

2004-N-OC02-P-01

한반도 조력자원 개발 타당성 검토

The Pre-Feasibility Study of Korea Tidal Power Development

2006. 5

한국해양연구원

산업자원부

제 출 문

산업자원부장관 귀하

본 보고서를 “한반도 조력자원 개발 타당성 검토” 과제의 최종보고서로 제출합니다

2006. 5. 31.

사업주관기관명 : 한국해양연구원

수행책임자 : 이광수

연구원 : 송원오, 강석구, 박우선,

연구원 : 진재율, 박진순, 김성은,

연구원 : 도종대, 김용권, 백원대,

연구원 : 김윤철, 김미경, 김상훈

위탁사업기관명 :

수행책임자 :

참여기업체 :

여백

| 에너지·자원기술개발사업 최종보고서 초록 | | | | | | | |
|---|------------------|--|--|-----------------------------|--------|--------|-----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 대체에너지 <input type="checkbox"/> 청정에너지 <input type="checkbox"/> 자원기술 <input type="checkbox"/> 에너지절약 | | | | | | | |
| 연구관리번호 | 2004-N-OC02-P-01 | | 과제구분 | (프로젝트형, 중·대형, 중점, 세부, 일반과제) | | | |
| 과제명 | 국 문 | 한반도 조력자원 개발 타당성 검토 | | | | | |
| | 영 문 | The Pre-Feasibility of Korea Tidal Power Development | | | | | |
| 사업주관기관 | 한국해양연구원 | 수행책임자 | 소속 | 연안개발 연구본부 | 전화번호 | | |
| | | | 성명 | 이광수 | fax | | |
| 참여기업 | | 위탁기관 | | | | | |
| 사업기간 | | 2004년 06월 01일 ~ 2006년 5월 31일(2년) | | | | | |
| 사업비 | 구분 | 1차년('05년) | 2차년('06년) | 3차년() | 4차년() | 5차년() | 계 |
| | 정부출연 | 200,000천원 | 300,000천원 | 천원 | 천원 | 천원 | 500,000천원 |
| | 민간부담 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 |
| | 현금 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 |
| | 현물 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 |
| 계 | 200,000천원 | 300,000천원 | 천원 | 천원 | 천원 | 천원 | 500,000천원 |
| 보고서 내용의 KEY WORDS (한글/영문) | | 한글 | 조석, 조력에너지, 서해안, 타당성, 조력발전 | | | | |
| | | 영어 | Tide, Tidal Energy, Western Coast, Feasibility, Tidal Power Generation | | | | |
| 연구결과요약 분석 (연구결과 중심으로 개조식 700자이내) | | - 1차년도 연구에서는 한반도 조력자원 한반도 조력자원 개발타당성 검토를 위하여 1) 서해안의 주요 지점에 대한 조석특성을 조사하였고, 2) 주요 조력자원 후보지 위치 및 영역을 설정하였으며, 3) 조석체계변화에 측 수치모형실험을 실시하였고, 4) 후보지별 발전소 평면배치계획(5개 지점 8개안)을 수립하였으며, 5) 후보지별 연간발전량과 개략공사비를 산출하여 6) 8개안에 후보지별 개략 적정개발 규모를 파악하였음 | | | | | |
| | | - 검토결과 우리나라 서해안의 조력개발 가능규모는 후보지별 대규모안 기준시 약 500만kW(북한 해주만 포함) 정도이며, 이 경우 연간 약 7,000 GWh의 전기를 생산할 수 있을 것으로 조사되었음. 또한 개략경제성 순위를 선정하였고, 이를 토대로 2차년도 연구위치를 선정하였음. | | | | | |
| | | - 2차년도 연구에서는 새만금 해역의 주요 지점에서 조석·조류관측 및 분석을 실시하여 수치 모형의 입력·검증 자료로 활용(기존자료 수집·활용과 병행)함과 아울러 퇴적물 이동특성을 검토하였고, | | | | | |
| | | - 해당해역에 대한 해수유동 수치모형실험을 실시하여 조력발전소 건설에 따른 조석체계변화 특성을 파악하고, 연간 발전량 산출을 위한 기초자료로 활용하였음. | | | | | |
| | | - 새만금 해역의 “친환경순차개발계획”을 감안하여 총 4개안(대용량 창·낙조 발전, 소용량 창·낙조발전)을 설정하여 각 안별 36개 조합안에 대한 개략공사비, 연간발전량 등을 산정하였음. | | | | | |
| - 이를 토대로 각 안별 적정개발규모를 파악하였고, 적정안에 대한 개략경제성 검토를 실시하였음. | | | | | | | |

여백

요 약 문

I. 제 목 : 한반도 조력자원 개발 타당성 검토

II. 기술개발목적 및 중요성

우리나라 서해안은 강한 조석현상이 발생하는 해역으로 세계적인 조력발전 적지로 널리 알려져 왔으나, 1980년대부터 서·남해 연안역에 대한 대규모 매립과 항만개발 등으로 조력개발입지 자체가 상실되고, 조석체계도 변화되고 있다. 한편 조력에너지는 기존의 화석연료를 대체할 수 있는 개발가능한 신·재생에너지 중에서 거의 유일하게 대규모로 개발이 가능한 것으로 평가되고 있어 개발시 기대효과는 매우 클 것이다. 이에 우리나라 서해안의 조력자원 부존량을 파악하고 주요 후보지에 대한 개발타당성 검토를 통하여 주요 조력자원 후보지를 타 개발로부터 보호하고, 민간참여를 유도하여 조력에너지 개발을 활성화하고자 본 조사를 추진하였다.

III. 기술개발내용 및 범위

1차년도 연구목표는 주요 조력개발 후보지별 개발 가능규모 파악 및 개발 우선순위 선정으로 연구내용은 다음과 같다.

- 서해안의 주요 지점에 대한 조석특성 조사
- 주요 조력자원 후보지 위치 및 영역 설정
- 조력발전 후보지 방조제 개발에 따른 조석체계변화 예측
- 후보지별 발전소 평면배치계획 수립
- 후보지별 연간발전량 산출
- 후보지별 개략 개발경제성 평가 및 우선순위 선정

2차년도 연구목표는 1차년도 사업을 통하여 선정된 우선순위 후보지에 대한 개발타당성 검토로 연구내용은 다음과 같다.

- 우선순위 후보지 해양특성 조사
- 우선순위 후보지 상세 위치 및 영역 설정

- 우선순위 후보지 방조제 개발에 따른 조석체계변화 예측
- 우선순위 후보지 상세 조력발전소 평면배치계획 수립
- 우선순위 후보지 연간발전량 상세 산출
- 우선순위 후보지 개발경제성 재평가

IV. 기술개발결과 및 활용에 대한 건의

1차년도 연구에서는 한반도 조력자원 한반도 조력자원 개발타당성 검토를 위하여 1) 서해안의 주요 지점에 대한 조석특성을 조사하였고, 2) 주요 조력자원 후보지 위치 및 영역을 설정하였으며, 3) 조석체계변화예측 수치모형실험을 실시하였고, 4) 후보지별 발전소 평면배치계획(5개 지점 8개안)을 수립하였으며, 5) 후보지별 연간발전량과 개략공사비를 산출하여 6) 8개안에 후보지별 개략 적정개발 규모를 파악하였다.

검토결과 우리나라 서해안의 조력개발 가능규모는 후보지별 대규모안 기준시 약 500만kW(북한 해주만 포함) 정도이며, 이 경우 연간 약 7,000 GWh의 전기를 생산할 수 있을 것으로 조사되었다. 경제적 측면에서는 가로림만이 조성해야할 방조제의 길이가 상대적으로 짧아 1순위 후보지이나, 현재 가로림만에 대한 사업이 추진되고 있는 점을 감안하여 본 조사에서 제외하였고, 차순위 후보지인 새만금을 2차년도 연구위치로 선정하여 새만금 조력 타당성을 검토하였다.

2차년도 연구에서는 새만금 해역의 주요 지점에서 조석·조류관측 및 분석을 실시하여 수치 모형의 입력·검증 자료로 활용(기존자료 수집·활용과 병행)함과 아울러 퇴적물 이동특성을 검토 하였고,

해당해역에 대한 해수유동 수치모형실험을 실시하여 조력발전소 건설에 따른 조석체계변화 특성을 파악하고, 연간 발전량 산출을 위한 기초자료로 활용하였다.

새만금 해역의 “친환경순차개발계획”을 감안하여 총 4개안(대용량 창·낙조 발전, 소용량 창·낙조발전)을 설정하여 각 안별 36개 조합안에 대한 개략공사비, 연간발전량 등을 산정하였다.

이를 토대로 각 안별 적정개발규모를 파악하였고, 적정안(소용량 창조발전)에 대한 개략 경제성 검토를 실시하였다. 검토결과 적정개발규모는 약 40만kW이고, 연간발전량은 약 687GWh이며, 경제성은 할인율이 7%인 경우에는 B/C가 0.94로 미흡하였으나, 할인율이 5%로 낮아지면 B/C가 1.24까지 상승하는 것으로 나타났다.

향후 신·재생에너지의 발전차액지원, 탄소거래가격 상승, 유가상승 혹은 할인율 하락

등 사회경제적 여러 변수에 의하여 경제성은 변동 될 수 있으므로 새만금 조력발전 (소용량 창조발전)은 새만금 사업의 “친환경순차개발계획” 상 향후 만경수역의 수질기준 확보가 곤란할 경우 개발대안으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

V. 기대효과

- 신규 및 기존 조력자원 후보지 개발을 통한 대체에너지 개발입지 확보
- 상용 조력발전소 건설시 기초자료 확보
- 새만금 개발에 대안 제시가 가능하여 국민 대화합의 기초 구축
- 향후 해주만 조력에너지 개발 등을 대비한 대북지원방안 확보
- 국가 대체에너지 개발 정책자료 제공 및 민자·외자 유치기반 조성
- 대규모 대체에너지 개발을 위한 기초자료로 활용
- 향후 조력자원 개발시 우선순위 선정 기초자료로 활용

여백

목 차

| | |
|--|----|
| 요 약 문 | 5 |
| 목 차 | 9 |
| 그림목차 | 13 |
| 표 목 차 | 17 |
| 제1장 한반도 조력자원 개발의 필요성 및 연구의 목적 | 21 |
| 제1절 무공해 청정 자연에너지 개발의 필요성 | 21 |
| 1. 화석연료 공급의 한계 | 21 |
| 2. 국내 에너지 소비 현황 및 에너지수급의 문제점 | 22 |
| 3. 기후변화협약의 동향과 지구환경 문제 | 23 |
| 가. 지구온난화와 온실가스 | 23 |
| 나. 기후변화협약의 주요내용 | 24 |
| 다. 우리나라의 에너지 부문 대응정책 | 25 |
| 4. 무공해 대체에너지 개발의 필요성 | 26 |
| 5. 해양에너지의 특성 및 조력발전 | 27 |
| 제2절 연구의 필요성 및 목적 | 31 |
| 제2장 한반도 조력자원 부존량 파악 및 개발 우선순위 선정 | 35 |
| 제1절 서해해역 조위특성 및 조석의 계절변화 | 36 |
| 1. 서해해역 장기 조위자료 분석 | 36 |
| 가. 개요 | 36 |
| 나. 분석결과 | 37 |
| 다. 조화상수의 변동 | 38 |
| 2. 조석의 계절변화 및 기작 | 57 |
| 가. 개요 | 57 |

| | |
|--|-----|
| 나. M2 분조의 계절변화 특성의 정량적 분석 및 조위예측 정확도 개선방향 | 57 |
| 다. 조석 계절변화 기작규명을 위한 2층류 모델실험 | 60 |
| 제2절 서해안 조력발전 후보지 방조제 개발에 따른 조석체계변화 예측 | 81 |
| 1. 개요 | 81 |
| 2. 경기만내 조석관측 및 결과 | 82 |
| 가. 개요 | 82 |
| 나. 경기만내 조석관측 및 결과 | 82 |
| 3. 조위예측 모델 수립 및 검증 | 84 |
| 가. 모델 수립 및 모델 검증 | 84 |
| 나. 현상태 조석도 | 92 |
| 4. 방조제 건설에 따른 경기만 조석체계변화 예측 | 98 |
| 가. 실험조건 | 98 |
| 나. 조력후보지 방조제 건설전·후 경기만 조석체계 변화 | 99 |
| 5. 토의 | 110 |
| 제3절 주요 후보지별 조력발전 개발규모 | 111 |
| 1. 조력발전 후보지 선정 | 111 |
| 2. 후보지별 발전량 산출 및 개발 우선순위 선정 | 116 |
| 가. 조력발전 최적화 | 116 |
| 나. 연간발전량 산출 및 조력발전 개략타당성 | 117 |
| 제3장 새만금 조력발전 타당성 검토 | 131 |
| 제1절 새만금 해역 해양특성 조사 및 분석 | 132 |
| 1. 새만금 해역 조석관측 및 태안 해상 조류관측 결과 | 132 |
| 가. 새만금 해역 조석관측 결과 | 132 |
| 나. 태안해상 조류관측 결과 | 144 |
| 2. 새만금 해역 퇴적물 이동특성 조사 결과 | 147 |
| 가. 해저퇴적물 분포 및 부유퇴적물 입도 특성 | 147 |
| 나. 해저경계층 수리·퇴적현상 특성 | 149 |

| | |
|---|-----|
| 다. 단면이동관측 결과 | 163 |
| 라. 결론 및 토의 | 167 |
| 제2절 새만금 해역 조력발전소 가동시 조석체계변화 특성 | 168 |
| 1. 조위예측 모델 수립 | 168 |
| 2. 발전소 가동 전·후 조석체계 변화 | 171 |
| 제3절 새만금 조력발전 개념설계 | 185 |
| 1. 새만금 조력발전 사업후보지 현황 | 185 |
| 가. 기초자료 조사 | 185 |
| 나. 해양자료 검토 | 188 |
| 다. 방조제 관련 조사 | 189 |
| 2. 새만금 조력발전 안별 조력발전량 산출 및 적정개발 규모 | 205 |
| 3. 새만금 조력발전 평면배치계획 검토 | 213 |
| 가. 개요 | 213 |
| 나. 수차발전기 및 구조물 규모 검토 | 214 |
| 다. 수문 및 구조물 규모 검토 | 215 |
| 라. 토목 구조물 규모 및 배치계획 검토 | 215 |
| 마. 발전설비 규모 및 배치계획 검토 | 218 |
| 4. 토목구조물 개념설계 | 219 |
| 가. 수차발전기 구조물 | 219 |
| 나. 수문 구조물 | 227 |
| 다. 중량물 물양장 | 230 |
| 라. 가물막이공 | 230 |
| 마. 작업장 | 230 |
| 바. 조립장 | 231 |
| 사. 준설 및 처리 | 231 |
| 5. 발전설비 및 기전설비 개념설계 | 232 |
| 가. 발전설비 | 232 |
| 나. 수차 기계설비 | 234 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 다. 수문 기계설비 | 234 |
| 6. 개략공사비 산출 | 235 |
| 가. 공사비 산출기준 | 235 |
| 나. 개략 공사비 | 236 |
| 7. 소용량 창조발전 적용시 개략경제성 검토 | 238 |
| 가. 경제성 검토 기준 | 238 |
| 나. 경제성 검토 결과 및 민감도 분석 | 247 |
| 제4장 결론 및 토의 | 249 |
| 참고문헌 | 251 |

그 립 목 차

| | | |
|--------------|---|-----|
| <그림 1.1.1> | 최근의 유가동향(2000. 6 ~ 2006. 5) | 23 |
| <그림 1.1.2> | 조력발전 방식 | 30 |
| <그림 2.1.1> | 인천에서의 주요 조화상수 연변화 | 51 |
| <그림 2.1.2> | 군산내항에서의 주요 조화상수 연변화 | 53 |
| <그림 2.1.3> | 제주항에서의 주요 조화상수 연변화 | 55 |
| <그림 2.2.1> | 덕적도와 연평도에서 관측된 조석시계열 관측 결과 | 82 |
| <그림 2.2.2> | 덕적도와 연평도 조석 관측점 위치도 | 83 |
| <그림 2.2.3> | 황동중국해 확장가변형 격자망 | 89 |
| <그림 2.2.4> | 모델 검증점 위치도 | 90 |
| <그림 2.2.5> | M2 조석도(굵은 선은 등진폭선, 가는 선은 등조시선을 나타내며, 지각은 135° E 기준. 이하 그림에 같은 표기 적용) | 94 |
| <그림 2.2.6> | 계산된 S2 조석도 | 95 |
| <그림 2.2.7> | 계산된 K1 조석도 | 96 |
| <그림 2.2.8> | 계산된 O1 조석도 | 97 |
| <그림 2.2.9> | 경기만 인근 격자점 및 주요 조력발전 후보지에서의 방조제완공 조건 | 100 |
| <그림 2.2.10a> | 경기만 주요 조력 후보지 방조제 완공전 M2 등진폭선(cm) | 102 |
| <그림 2.2.10b> | 경기만 주요 조력 후보지 방조제 완공후 M2 등진폭선(cm) | 103 |
| <그림 2.2.10c> | 주요 조력후보지 방조제 (완공후-완공전) M2 진폭차(cm) | 104 |
| <그림 2.2.11a> | 경기만 주요 조력 후보지 방조제 완공전 S2 등진폭선(cm) | 105 |
| <그림 2.2.11b> | 경기만 주요 조력 후보지 방조제 완공후 S2 등진폭선(cm) | 106 |
| <그림 2.2.11c> | 주요 조력 후보지 방조제 (완공후-완공전) S2 진폭변화(cm) | 107 |
| <그림 2.2.12a> | 주요 조력 후보지 방조제 (완공후-완공전) K1 진폭변화(cm) | 108 |
| <그림 2.2.12b> | 주요 조력 후보지 방조제 (완공후-완공전) O1 진폭변화(cm) | 109 |
| <그림 2.3.1> | 우리나라 조력발전 입지 | 111 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| <그림 2.3.2> | 주요 후보지별 8개안의 배치위치 및 수면적 | 112 |
| <그림 2.3.3> | 조력발전 최적화를 위하여 고려해야할 변수들의 상관관계(좌), 조력발전 시작수두에 따른 발전량 변동곡선(우) | 116 |
| <그림 2.3.4> | 2만kW급 Bulb형 수차발전기 및 발전구조물 단면도(좌), 특성곡선(우) | 117 |
| <그림 2.3.5> | 2.5만kW급 Bulb형 수차발전기 및 발전구조물 단면도(좌), 특성곡선(우) | 117 |
| <그림 2.3.6> | 주요 후보지별 대표 조석군(14.5일간)에 대한 발전량 산정결과 | 118 |
| <그림 3.1.1> | 새만금사업 순차개발 방안(농업기반공사, 2005) | 131 |
| <그림 3.1.2> | 새만금 해역 조석관측 지점 | 134 |
| <그림 3.1.3> | 4개 관측점(T1, T2, T3, T4)에서의 조석관측 결과 | 135 |
| <그림 3.1.4> | 태안 전면 해상 조류 관측지점(C) | 144 |
| <그림 3.1.5a> | 해저로부터 1, 10, 20, 30, 40층에서의 동서방향 유속성분 | 145 |
| <그림 3.1.5b> | 해저로부터 1, 10, 20, 30, 40층에서의 남북방향 유속성분 | 146 |
| <그림 3.1.6> | SPHINX 설치 인근해역의 해저퇴적물 채취 정점 | 147 |
| <그림 3.1.7> | 해저 경계층 수리·퇴적현상 정점 및 부유사 단면 관측 | 149 |
| <그림 3.1.8> | 해저 경계층 수리·퇴적관측시스템(SPHINX) 설치 전경 | 150 |
| <그림 3.1.9> | Vector 유속계의 수신신호강도의 검보정 결과 | 152 |
| <그림 3.1.10> | ADCP에서 관측된 후산란강도 검보정 결과 | 153 |
| <그림 3.1.11> | 연구해역의 해저 경계층 수리·퇴적특성 관측결과 | 156 |
| <그림 3.1.12> | 연구해역의 수심 층별의 유속·유향과 부유퇴적물 농도분포 특성 | 159 |
| <그림 3.1.13> | 해저면상 25cm에서의 부유퇴적물 농도 이동속 산포도 | 162 |
| <그림 3.1.14> | 해저면상 50cm에서의 부유퇴적물 농도 이동속 산포도 | 162 |
| <그림 3.1.15> | 선상 모니터링 시스템을 이용한 유황·탁도 관측 개념도 | 164 |
| <그림 3.1.16> | 최강 창조 부근에서 관측한 단면 A, B의 유속(상), 후산란강도(중) 및 이동경로(하) | 165 |
| <그림 3.1.17> | 최강 낙조 부근에서 관측한 단면 A, B의 유속(상), | |

| | | |
|-------------|---|-----|
| | 후산란강도(중) 및 이동경로(하) | 165 |
| <그림 3.1.18> | 최강 창조 부근에서 관측한 단면 C, D의 유속(상), 후산란강도(중) 및 이동경로(하) | 166 |
| <그림 3.1.19> | 최강 낙조 부근에서 관측한 단면 C, D의 유속(상), 후산란강도(중) 및 이동경로(하) | 166 |
| <그림 3.2.1> | 새만금 해역 신시도 남측의 수문, 수차 배치 특성 | 169 |
| <그림 3.2.2> | 창조시 조력발전소 가동시 새만금 인근해역의 계산된 조류벡터 ... | 170 |
| <그림 3.2.3> | 낙조시 조력발전소에서 수문, 수차를 통한 방류시 새만금 인근해역의 계산된 조류벡터 | 171 |
| <그림 3.2.4a> | 새만금 조력발전소 가동시 황동중국해 M2 조석도 (굵은선:진폭(cm), 가는선:등조시선) | 174 |
| <그림 3.2.4b> | 새만금 조력발전소 가동시 황동중국해 S2 조석도 (굵은선:진폭(cm), 가는선:등조시선) | 175 |
| <그림 3.2.4c> | 새만금 조력발전소 가동시 황동중국해 K1 조석도 (굵은선:진폭(cm), 가는선:등조시선) | 176 |
| <그림 3.2.5a> | 새만금 조력발전소 가동시 새만금 인근해역 M2 조석도 (굵은선:진폭(cm), 가는선:등조시선) | 177 |
| <그림 3.2.5b> | 새만금 조력발전소 가동시 새만금 인근해역 S2 조석도 (굵은선:진폭(cm), 가는선:등조시선) | 178 |
| <그림 3.2.5c> | 새만금 조력발전소 가동시 새만금 인근해역 K1 조석도 (굵은선:진폭(cm), 가는선:등조시선) | 179 |
| <그림 3.2.6a> | 황동중국해 M2 진폭변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm) | 180 |
| <그림 3.2.6b> | 황동중국해 S2 진폭변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm) | 181 |
| <그림 3.2.7a> | 새만금 인근 M2 진폭변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm) | 182 |
| <그림 3.2.7b> | 새만금 인근 S2 진폭변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm) | 183 |
| <그림 3.2.7c> | 새만금 인근 K1 진폭변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm) | 184 |
| <그림 3.3.1> | 새만금 해역 위치 현황도 | 185 |
| <그림 3.3.2> | 새만금 조력발전소 소용량 계획 위치도 | 187 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| <그림 3.3.3> | 새만금 조력발전소 대용량 계획 위치도 | 187 |
| <그림 3.3.4> | 새만금 소용량 대표 조석군 (14.5일간)에 대한 발전량 산정결과 ... | 207 |
| <그림 3.3.5> | 새만금 대용량 대표 조석군 (14.5일간)에 대한 발전량 산정결과 ... | 208 |
| <그림 3.3.6> | 새만금 조력발전소 구조물 배치 계획평면도(400MW) | 213 |
| <그림 3.3.7> | 새만금 조력발전소 구조물 배치 계획평면도(520MW) | 214 |
| <그림 3.3.8> | 새만금 조력발전소 가물막이 배치 계획평면도(400MW) | 216 |
| <그림 3.3.9> | 새만금 조력발전소 가물막이 배치 계획평면도(520MW) | 217 |
| <그림 3.3.10> | Bulb형 수차발전기 단면도(20MW) | 220 |
| <그림 3.3.11> | 하중분배도(20MW Unit) | 221 |
| <그림 3.3.12> | 수차발전기 구조물 평면도 | 223 |
| <그림 3.3.13> | 수차발전기 구조물 단면도 | 224 |
| <그림 3.3.14> | 수심 및 지층단면도 | 225 |
| <그림 3.3.15> | 문비 위치도 | 227 |
| <그림 3.3.16> | 수문 구조물 평면도 | 228 |
| <그림 3.3.17> | 수문 구조물 단면도 | 229 |
| <그림 3.3.18> | 전력구 계통도 | 232 |
| <그림 3.3.19> | 전기 단선도(400MVA) | 233 |
| <그림 3.3.20> | 전기 단선도(520MVA) | 233 |

표 목 차

| | | |
|------------|---|-----|
| <표 1.1.1> | 세계 원별 1차에너지 소비율(%) | 21 |
| <표 1.1.2> | 화석연료의 가채매장량 분포 (2004년 말 기준) | 22 |
| <표 1.1.3> | 우리나라 신·재생에너지 공급현황 | 27 |
| <표 1.1.4> | 에너지의 원별 분류 | 28 |
| <표 2.1.1a> | 인천항 검조소 장기조위자료 분석 결과 | 41 |
| <표 2.1.1b> | 안흥 검조소 장기조위자료 분석 결과 | 43 |
| <표 2.1.1c> | 군산항 검조소 장기조위자료 분석 결과 | 45 |
| <표 2.1.1d> | 목포 검조소 장기조위자료 분석 결과 | 47 |
| <표 2.1.1e> | 제주항 검조소 장기조위자료 분석 결과 | 49 |
| <표 2.1.2> | 11개 검조소의 5년 평균 M2 조화분조의 월변화. 진폭(am)의 단위는 cm이며 지각의 단위는 도(degree) | 58 |
| <표 2.1.3> | 11개 검조소의 M2 5년 평균 진폭의 표준편차(cm) | 59 |
| <표 2.1.4> | 평택을 제외한 11개 검조소의 5년 평균 자료에 근거한 동계와 하계 조화상수 차이. 진폭(am)과 지각(ph)의 단위는 각각 cm, degree임 | 59 |
| <표 2.2.1> | 덕적도 조석조화상수 분석결과(T1) | 85 |
| <표 2.2.2> | 연평도 조석조화상수 분석결과(T2) | 86 |
| <표 2.2.3> | <그림 2.2.4>에 제시된 검증점에서의 M2 및 K1 분조 검증 결과 (진폭(cm), 지각(deg)) | 91 |
| <표 2.2.4> | 관측치와 계산치의 진폭(am)과 지각(ph)의 RMS 오차 | 91 |
| <표 2.3.1> | 주요 후보지별 8개안에 대한 조차 및 수면적 | 111 |
| <표 2.3.2> | 천수만 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 123 |
| <표 2.3.3> | 새만금 소용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 124 |

| | | |
|------------|---|-----|
| <표 2.3.4> | 새만금 대용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 125 |
| <표 2.3.5> | 인천만 소용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 126 |
| <표 2.3.6> | 인천만 대용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 127 |
| <표 2.3.7> | 해주만 소용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 128 |
| <표 2.3.8> | 해주만 대용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 129 |
| <표 2.3.9> | 주요 후보지에 대한 개발안별 특성 및 개략경제성 | 130 |
| <표 3.1.1> | 새만금 조석관측 기간 | 134 |
| <표 3.1.2> | T1에서의 조화분석 결과 | 136 |
| <표 3.1.3> | T2에서의 조석 분석결과 | 137 |
| <표 3.1.4a> | T3 1차 관측치의 조화분석 결과 | 138 |
| <표 3.1.4b> | T3 2차 관측치의 조화분석 결과 | 139 |
| <표 3.1.4c> | T3 3차 관측치의 조화분석 결과 | 140 |
| <표 3.1.5a> | T4 1차 관측치의 조화분석 결과 | 141 |
| <표 3.1.5b> | T4 2차 관측치의 조화분석 결과 | 142 |
| <표 3.1.5c> | T4 3차 관측치의 조화분석 결과 | 143 |
| <표 3.1.6> | SPHINX 설치 인근해역의 해저퇴적물 입도분석결과 | 148 |
| <표 3.1.7> | 창·낙조시 부유 퇴적물의 입도 분포 | 148 |
| <표 3.1.8> | 해저 경계층 수리·퇴적현상 위치, 관측기간 및 방법 | 150 |
| <표 3.1.9> | 저면상 25cm 및 50cm에서 관측한 수리·퇴적특성 관측 결과 | 151 |
| <표 3.1.10> | 수층별 수리 현상에 따른 부유물질 농도와 비교한 후산란강도 | 153 |
| <표 3.1.11> | 해저경계층에서의 방향별 평균이동속 및 순이동량 | 162 |
| <표 3.3.1> | 새만금 조석의 조화상수 및 비조화상수 | 188 |
| <표 3.3.2> | 새만금 해역 개발안별 특성 및 개략 경제성 | 206 |

| | | |
|------------|---|-----|
| <표 3.3.3> | 새만금 소용량 창조발전 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 209 |
| <표 3.3.4> | 새만금 소용량 낙조발전 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 210 |
| <표 3.3.5> | 새만금 대용량 창조발전 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 211 |
| <표 3.3.6> | 새만금 대용량 낙조발전 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh) | 212 |
| <표 3.3.7> | Bulb형 수차발전기의 제원(20MW) | 219 |
| <표 3.3.8> | Bulb형 수차발전기의 하중조건(20MW) | 221 |
| <표 3.3.9> | 수차구조물 제원 | 222 |
| <표 3.3.10> | 기초공법 비교 | 226 |
| <표 3.3.11> | 수문 구조물 제원 | 228 |
| <표 3.3.12> | 수차측 Stoplog 제원 | 234 |
| <표 3.3.13> | 부하대별 발전량 | 240 |
| <표 3.3.14> | 발전설비별 주요 경제성 지표 비교(한국전력거래소, 2003) | 242 |
| <표 3.3.15> | 공금지장비 산출 관련 자료 | 243 |
| <표 3.3.16> | 발전연료 비용 | 243 |
| <표 3.3.17> | 대체에너지 가격(할인율 7%인 경우) | 244 |
| <표 3.3.18> | 환경편익 | 247 |
| <표 3.3.19> | 직·간접편익에 따른 경제성 변화 | 248 |
| <표 3.3.20> | 할인율에 따른 경제성 변화(발전편익) | 248 |

제 1장

한반도 조력자원 개발의 필요성 및 연구의 목적

제1장 한반도 조력자원 개발의 필요성 및 연구의 목적

제1절 무공해 청정 자연에너지 개발의 필요성

1. 화석연료 공급의 한계

인간의 쾌적한 생활과 고도의 경제활동을 지탱하는 기반은 에너지이며, 그 1차에너지 원의 대부분은 석탄, 석유 및 천연가스 등 화석연료에서 얻고 있으며, 총에너지의 약 37% 정도를 석유에서 얻고 있다(<표 1.1.1>). 표에 따르면, 최근 7년간 1차에너지원에 대한 의존도는 큰 변화가 없으며, 전체 수요에너지의 85% 이상을 화석연료의 연소를 통하여 얻고 있다.

<표 1.1.1> 세계 원별 1차에너지 소비율(%)*.

| 구 분 | 석 유 | 천연가스 | 석 탄 | 원자력 | 수 력 |
|-------|------|------|------|-----|-----|
| 1998년 | 39.7 | 22.3 | 29.2 | 6.5 | 6.5 |
| 1999년 | 40.6 | 24.2 | 25.0 | 7.6 | 2.7 |
| 2000년 | 38.7 | 23.7 | 24.4 | 6.4 | 6.8 |
| 2001년 | 38.5 | 23.7 | 24.7 | 6.6 | 6.5 |
| 2002년 | 37.6 | 24.2 | 25.5 | 6.3 | 6.5 |
| 2003년 | 37.2 | 23.9 | 26.7 | 6.1 | 6.2 |
| 2004년 | 36.8 | 23.7 | 27.2 | 6.1 | 6.2 |

* 자료 : BP Amoco, Statistical review of world energy

한편, 화석연료의 지속적인 소비증가는 필연적으로 수요 공급상의 불균형을 심화시키게 되어 에너지가격의 지속적인 상승을 초래하고, 궁극적으로는 에너지원이 고갈되는 문제에 직면하게 될 것이다. 주요 화석연료의 2004년 말 기준 확인매장량을 <표 1.1.2>에 제시하였으며, 자료에 나타난 바와 같이 석유 40.5년, 천연가스 66.7년 및 석탄 164년 등이다. 물론 여기서 추정된 가채년수는, 앞으로 지구상의 확인매장량이 증가하고 또한 세계 각국에서 소비절약 및 이용효율화 방안을 구체화하고 적극적으로 실현할 경우 길어질 수 있는 반면, 생산과 소비가 증가하면 가채년수는 줄어들게 된다. 그러나 현재의 생산과 소비량을 감안하면, 앞으로 석유의 경우 약 41년 내에 고갈될 것이고, 부존량이 비교적 풍부한 석탄의 경우도 약 200년 내에 고갈될 것이다.

석유와 천연가스의 대부분이 중동지역에 집중되어 있는 등 주요에너지원의 지역적인 편중으로 에너지원을 둘러싼 국가간 마찰이 지속되고 있는 실정이며, 에너지 자원 공급의 한계로 인하여 국가간 에너지자원 확보 경쟁이 날로 치열해지고 있으며, 이에 따른 가격 상승 문제가 유발된다.

<표 1.1.2> 화석연료의 가채매장량 분포 (2004년 말 기준)*.

| 구 분 | | 북미 | 중남미 | 유럽 및 유라시아 | 중동 | 아프 리카 | 아시아· 태평양 | 가채년수 (년) |
|-----------------------------|-----|-------|-------|--------------|-------|----------|-------------|-------------|
| 석 유 (10억Bbl) | 매장량 | 61.0 | 101.2 | 139.2 | 733.9 | 112.2 | 41.1 | 40.5 |
| | 구성비 | 5.1 | 8.5 | 11.7 | 61.7 | 9.2 | 3.5 | |
| 천연가스 (1조m ³) | 매장량 | 7.3 | 7.1 | 64.0 | 72.8 | 14.1 | 14.2 | 66.7 |
| | 구성비 | 4.1 | 4.0 | 35.7 | 40.6 | 7.8 | 7.9 | |
| 석 탄 (10억톤) | 매장량 | 254.4 | 19.9 | 287.1 | 50.8 | | 296.9 | 164.0 |
| | 구성비 | 28.0 | 2.2 | 31.6 | 5.6 | | 32.7 | |

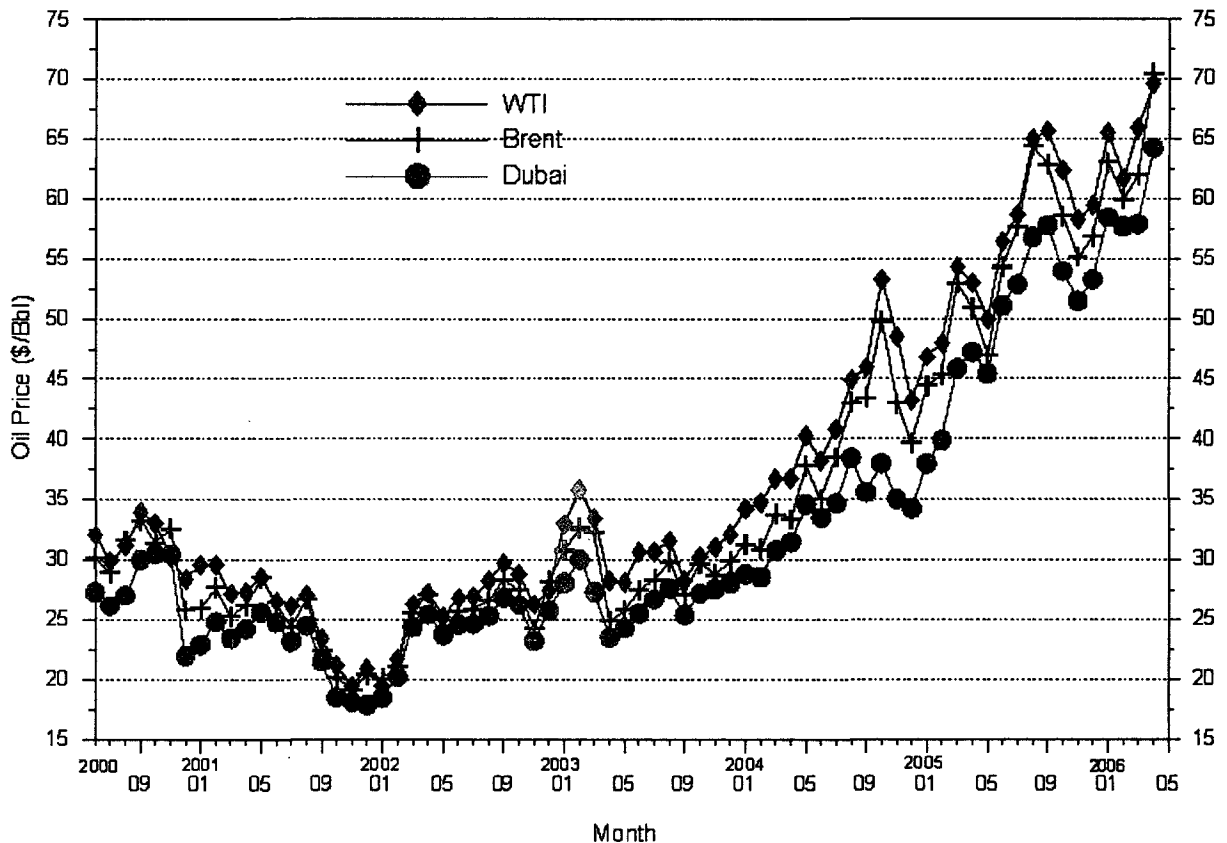
* 자료 : BP, Statistical review of world energy (2005 Edition)

2. 국내 에너지 소비 현황 및 에너지수급의 문제점

우리나라는 2003년 기준 일차에너지 소비량은 205백만TOE(Ton of Oil Equivalent)로 세계 10위(석유소비 세계 7위)이며, 수요에너지의 대부분을 수입(에너지 해외의존도 96.9%, 수입액 383억불)에 의존하고 있는 실정이다(IEA, 2005; 산업자원부, 2005). 경제성장 단계에 있는 우리나라는 다른 선진국에 비하여 에너지 소비 증가율이 높을 뿐 아니라 수입에 전적으로 의존하고 있어 에너지 수입의 증가가 국민 경제에 부담이 되고, 국가경쟁력을 약화시키는 요인이 되고 있다. 또한 우리나라는 96% 이상의 에너지를 수입에 의존하고 있기 때문에 유가상승 등 국제에너지 가격이 상승하면 그만큼 에너지 수입에 많은 외화를 지출해야하며, 이는 국제수지악화를 초래한다.

한편, 연평균 원유도입 단가가 1달러 오를 경우 수입이 9억 달러 늘고 수출이 1억 달러 감소, 전체적으로 무역수지가 10억 달러 악화되며 석유 값은 유종별로 1~2% 포인트, 소비자물가는 0.15~0.17% 포인트 높아질 것으로 추정되고 있다.

최근 5년간의 주요 원유의 가격 추이를 <그림 1.1.1>에 제시하였다(에너지경제연구원 홈페이지 참조). 이에 따르면, 2003년 이후의 원유가가 가파르게 상승하여 2006년 중반에 미국 서부텍사스 중질유(WTI)가 70\$/Bbl에 육박하였으며, 우리나라가 주로 수입하는 중동산 두바이유도 65\$/Bbl에 육박하였다. 한편, 원유가격은 정치·경제·사회적인 여러 변수에 따른 기복이 심하고, 이에 따라 우리나라 국제수지의 변동이 심하게 된다.



<그림 1.1.1> 최근의 유가동향(2000. 6 ~ 2006. 5).

3. 기후변화협약의 동향과 지구환경 문제

가. 지구온난화와 온실가스

대기 중에 있는 온실가스가 지표로부터 방출되는 장파인 적외선을 흡수하여 지구가 더워지는 현상을 지구온난화라 하며, 이로 인하여 사막화, 해수면상승 및 생태계변화 등의 부정적 효과가 유발된다. 이러한 지구온난화를 유발하는 온실가스로서는 CO₂(이산화탄소), CH₄(메탄), N₂O(아산화질소), HFCs(수소불화탄소), PFCs(과불화탄소) 및 SF₆(육불

화황) 등이 있다. CO₂는 주로 에너지 사용 및 산업공정에서, CH₄는 주로 폐기물, 농업 및 축산에서, N₂O는 주로 산업공정과 비료사용에서, HFCs, PFCs 및 SF₆ 등은 냉매 및 세척용도의 사용에서 각각 발생한다. 이 중에서 CO₂가 전체온실가스 배출량의 80% 이상을 차지한다.

특별한 온실가스 감축정책이 시행되지 않을 경우, 지구의 평균기온은 2100년까지 0.8℃~3.5℃ 상승하며, 해수면은 약 50cm 상승할 것으로 예상된다. 이러한 기후변화는 기상이변, 강수량변화 및 해수면상승 등을 초래하여 식량공급, 수자원공급 및 인간건강 등 생태계와 사회경제적 분야에 막대한 영향을 미칠 것이다.

나. 기후변화협약의 주요내용

유엔 기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)은 1992년 6월 브라질 리우환경회의에서 지구온난화에 따른 이상기후현상을 예방하기 위한 목적으로 채택되었다. 기후변화협약에서는 공동의 차별화된 책임 및 능력에 입각한 의무부담원칙, 개발도상국 특수사정 배려의 원칙, 모든 국가의 지속 가능한 성장의 보장 등을 기본원칙으로 하고 있으며, 선진국들에 대해 2000년까지 1990년 수준으로 온실가스 배출량 동결을 위하여 노력하도록 권고한 바 있으며, 온실가스 저감 및 조치의 수립 시행을 추진하고 있다.

기후변화협약이 채택된 이후 4차에 걸친 당사국 총회를 통해 점차 각국의 온실가스 배출량 감축 의무를 강화하고 있다. 현재 우리나라는 유엔기후변화협약상 개도국으로 분류되어 1997년 3차 당사국 총회에서 채택한 교토의정서의 온실가스 감축의무를 부과 받지 않았으나, 선진국들은 자국간 감축목표 합의를 명분으로 우리나라가 2008년부터 선진국과 같이 자발적 의무를 부담하여 줄 것을 요망하였다. 교토의정서에서는 공동이행, 청정개발체제 및 배출권거래제 등 시장원리에 입각한 새로운 온실가스 감축수단을 도입하였으며, 주요 내용은 다음과 같다.

- **공동이행제도(Joint Implementation):** 교토의정서 제6조에 규정된 것으로 선진국인 A국이 선진국인 B국에 투자하여 발생된 온실가스 감축분의 일정분을 A국의 배출저감실적으로 인정하는 제도

- **청정개발체제(Clean Development Mechanism):** 교토의정서 제12조에 규정된 것으로 선진국인 A국이 개도국인 B국에 투자하여 발생한 온실가스 배출 감축분을 자국의 감축 실적에 반영할 수 있도록 하는 제도
- **배출권거래제(Emission Trading):** 교토의정서 제17조에 규정된 것으로 온실가스 감축의무가 있는 국가에 배출쿼터를 부여한 후, 동 국가간 배출쿼터의 거래를 허용하는 제도

다. 우리나라의 에너지부문 대응정책

우리나라의 온실가스 배출은 1990~2002년 간 연평균 5.1% 증가하였으며, 2003년 기준 온실가스 배출은 세계 10위(IEA, 2005)로 감축노력이 매우 중요시되고 있다. 그러나 선진국과 같이 1990년 수준의 배출량 동결은 불가능하다. 따라서 우리나라는 향후 감축의무에 대한 압력이 가중될 전망이다, 이는 곧 경제적 부담으로 직결될 것이다. 이에 따라 정부는 1998년부터 기후변화협약 범정부 대책기구를 구성하여 대체에너지개발, 에너지절약 및 온실가스처리 등의 분야 기술의 집중 개발계획을 수립한 바 있다.

최근 러시아 정부의 비준으로 교토의정서가 2005년 2월 16일자로 발효됨에 따라 의정서 비준국에 대한 실질적인 효력이 발생하게 되었다.

교토의정서 발효에 따라 '05년부터 제2차 이행기간(2013~2017)에 대한 온실가스 감축 의무부담 협상이 시작되고, 온실가스 多배출국이며 OECD 국가인 우리나라에 대한 감축 의무 동참 압력이 가중될 것으로 예상된다. 의무부담 정도에 따라 우리나라의 경제 및 산업 활동에 심대한 영향을 초래할 가능성이 있고, 2차 이행기간 중 '95년 대비 배출량을 5% 감축할 경우 실질 GNP성장률이 2015년에 약 0.78%p 감소가 예상된다(기후변화협약 대책위원회, 2005; 산업자원부, 2005).

우리나라는 온실가스 한계 저감비용이 상대적으로 높아 자체 감축보다는 교토메카니즘을 활용할 가능성이 높을 것으로 전망되고, 온실가스는 주로 에너지 부문에서 발생하므로 감축 의무부담 시 에너지 부문에 미치는 영향이 클 전망이다. 특히 온실가스를 많이 배출하는 석유, 석탄 등 화석연료의 사용에 대한 제약이 예상된다.

이에 따라 정부는 '05년 2월 기후변화협약 대응 제3차 종합대책('05~'07)을 수립(기후변화협약대책위원회, 2005)하였다. 종합대책의 목표는 지구온난화 문제에 대응하기 위한 국제적 노력에 적극 동참하고, 온실가스 저배출형 경제구조로 전환을 위한 기반구축과 기후변화가 국민생활에 미치는 부정적 영향을 최소화하는 것이다. 이러한 추진목표를 달성하기 위하여 3대 분야의 90개 과제를 내용으로 하는 종합대책을 수립하였고, 3대 중점 추진 분야는 협약 이행기반 구축사업, 기후변화 적응기반 구축사업 및 부문별 온실가스 감축사업이다. 협약 이행기반 구축사업내의 온실가스 감축관련 연구개발 부문에 조력·조류·파력 등 해양에너지 개발 기술이 포함되어 있다.

4. 무공해 대체에너지 개발의 필요성

산업자원부의 제4차 장기전력수급계획(1998년 8월)에 따르면, 당시의 전력설비를 환경친화적 설비로 추진하기 위해 1998~2015년 사이에 전력부문 환경설비 투자비는 총 5조 7천억원(탈황설비 3조 5천억, 탈질설비 1조 5천억, 전기집진기 5천억, 기타 2천억 등)에 이를 것으로 전망한 바 있다. 이는 화석연료 사용 발전시 대기오염 등에 관한 환경개선설비 비용만을 의미하며, 핵폐기물처리장 건설, 온배수에 의한 환경피해 저감 등 발전부문 전체에 대한 환경개선비용은 발전시설용량에 비례해 기하급수적으로 늘어날 것으로 예상된다. 따라서 우리나라는 이러한 환경개선비용이 필요하지 않은 무공해 대체에너지 개발에 총력을 기울여야 할 입장이다.

1990년에서 1997년 사이의 전세계 에너지원별 사용 추이를 보면 무공해 자연에너지의 연평균 성장률(풍력 25.7%, 태양열 16.8% 등)은 기존에너지원(천연가스 2.1%, 석유 1.4%, 석탄 1.2%, 원자력 0.6%)에 비하여 월등히 높다. 또한 무공해 대체에너지에 대한 공급비중은 1998년 기준 전세계 평균 약 2%이고, 연평균 증가율이 2.8%정도로 예측되어 2020년에는 전세계 평균이 3% 정도에 도달할 것으로 예측되고 있다(IEA, 2000). 한편 수력발전과 폐기물에너지를 포함할 경우 '02년 기준 대체에너지 공급비중은 아이슬란드 72.3%(2,462천TOE), 노르웨이 47.4%(12,578천TOE), 스웨덴 28.3%(14,451천TOE), 미국 4.3%(99,533천TOE), 일본 3.5%(18,144천TOE) 등으로 OECD의 대부분의 국가에서 대체에너지 개발에 박차를 가하고 있다(IEA, 2004). 산업자원부에서 발표한 '04년 대체에너지

보급통계에 따르면, 우리나라의 2004년 기준 대체에너지 공급비중은 2.28%(5,039천TOE)로 OECD 국가들에 비하여 적은 편이며, 대체에너지의 96.3%가 폐기물과 수력에서 얻고 있어, 실제 무공해 대체에너지의 공급비중은 아주 미미한 실정이다(<표 1.1.3>).

<표 1.1.3> 우리나라 신·재생에너지 공급현황.

(단위 : 천TOE)

| 구분 | 태양열 | 태양광 | 바이오 | 폐기물 | 수력* | 풍력 | 지열 | 합계 |
|-----|------|-----|-------|---------|---------|------|-----|---------|
| '00 | 41.7 | 1.3 | 82.0 | 1,977.7 | 20.5 | 4.2 | - | 2,127.4 |
| '01 | 37.2 | 1.5 | 82.5 | 2,308.0 | 20.9 | 3.1 | - | 2,453.2 |
| '02 | 34.8 | 1.7 | 116.8 | 2,732.5 | 27.6 | 3.7 | 0.1 | 2,917.2 |
| '03 | 32.9 | 1.9 | 131.1 | 3,039.3 | 1,225.6 | 5.2 | 0.4 | 4,436.4 |
| '04 | 36.1 | 2.5 | 135.0 | 3,769.7 | 1,082.3 | 11.8 | 1.4 | 5,038.8 |

* : '03년부터 수력에 대수력을 포함('02년까지는 소수력)

기존의 화석연료를 대체할 수 있는 무공해 에너지원으로 태양열, 지열, 풍력, 해양 등의 자연에너지와 장기적인 안목에서 핵융합분야가 연구·검토되고 있다. 그러나 상기 표에서 제시된 것과 같이 현재까지 개발된 대체에너지의 규모가 작아 그 효과가 미미하다.

5. 해양에너지의 특성 및 조력발전

에너지는 그 상태에 따라 역학적, 열, 화학, 전기, 광, 핵에너지 등으로 구분할 수 있으며, 에너지 자원 측면에서 고갈성, 자연, 생물에너지로 대별할 수 있고, 이러한 에너지 자원의 분류를 <표 1.1.4>에 제시하였다. 이들 에너지 중에서 자연 및 생물에너지는 재생산이 가능하기 때문에 재생가능(renewable)에너지로 분류된다. 자연에너지는 태양이 존재하는 한 재생되며, 화석연료에 비해 환경오염이 거의 없다. 특히, 역학적 에너지인 조석·조류, 파랑에너지 등과 같은 해양에너지는 열에너지나 광에너지 등에 비하여 에너지 변환효율이 높고, 자연에너지 중에서 비교적 에너지밀도가 높아(해수 4m/s의 유속이 만드는 에너지는 108m/s로 부는 바람이 만드는 에너지와 같음) 개발시 저가로 에너지 취득이 가능하여 경제성 확보가 용이하다.

<표 1.1.4> 에너지의 원별 분류.

| 형태 자원 | | 역학적 에너지 | 열에너지 | 화학에너지 | 광에너지 | 핵에너지 |
|----------|----|--|----------------------|--------------------|------|----------------------|
| 고갈성 | | | | 화석: 석유, 석탄, 천연가스 등 | | 광물 : 우라늄, 토륨, 플루토늄 등 |
| 재생가능 | 자연 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 위치에너지: 조력, 수력, 빙하 ◦ 운동에너지: 조류, 해류, 풍력 ◦ 위치·운동에너지: 파력 | 태양열, 지열, 해양온도차, 폐열 등 | 농도차 | 태양광 | 중수소 |
| | 생물 | 가축의 힘 | 메탄발효 등 | 바이오매스: 짚, 해조류 등 | | |

이상과 같이 에너지자원의 고갈문제, 국내에너지 수급의 문제 및 온실가스에 의한 환경문제 모두 우리가 적극 대처해야 할 당면과제로서 청정에너지원 개발 및 실용화가 시급한 실정이다. 다행히 우리나라 해양에너지 자원개발에 있어 세계적으로 보기 드문 좋은 여건을 갖추고 있어 이를 이용한 무공해 대체에너지 개발에 총력을 기울여야 할 것이다. 특히, 서해안 중부 경기만 해역의 조력에너지를 경우 대규모로 개발이 가능하여 개발 시 화석연료 사용에 대한 실제적인 대안으로 작용할 수 있을 것이다.

조력발전이란, 조석을 동력원으로 하여 해수면의 상승하강현상을 이용, 전기를 생산하는 발전방식으로 일정중량의 부체가 받는 부력을 이용하는 부체식, 조위의 상승하강에 따라 밀실에 공기를 압축시키는 압축공기식, 그리고 방조제를 축조하여 해수저수지 즉, 조지를 조성하여 발전하는 조지식으로 나눌 수 있다. 그러나 오늘날의 실용화된 조력발전방식은 조지식으로, 강한 조석이 발생하는 큰 하구나 만에 방조제를 설치하여 조지를 만들고 외해수위와 조지내의 수위차를 이용하여 발전을 하게 된다. 이외에 조석을 동력원으로 하되 조석에 의한 해수의 흐름 즉, 조류로부터 에너지를 추출하는 조류발전이 있다. 조력발전방식은 일반적으로 조지수에 따라 단조지식과 복조지식으로 구분되며, 또한 조석의 이용횟수를 따라 단류식과 복류식으로 나누고 있다(그림 1.1.2).

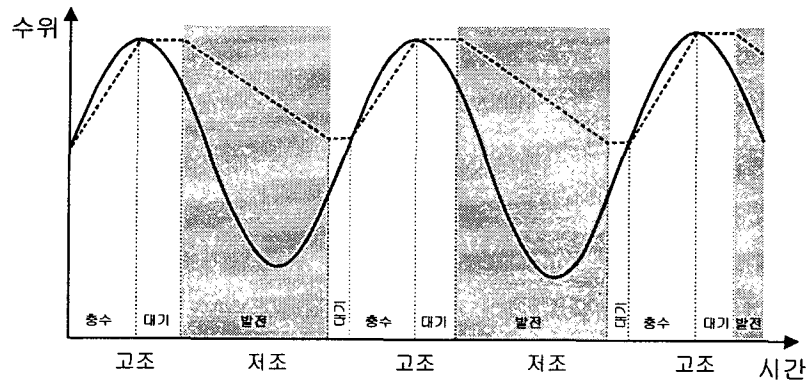
(1) 단조지 단류식 : 하나의 조지를 조성하여 발전하는 형태로 창조시에 수문을 개방하여 조지내에 해수를 만조수위까지 채운 후 수문을 닫고 기다렸다가 낙조시에 조지와

외해조위간의 수위차가 생길 때 그 낙차를 이용하여 발전하는 낙조식 발전방식과 이와는 반대로 낙조시에 수문을 개방하여 조지수위를 간조수위까지 낮춘 후 기다렸다가 창조시에 조지와 외해와의 낙차를 이용하여 발전을 하는 창조식 발전방식 등 두 가지의 발전방식이 있으며, 해역조건에 따라 적합한 방식을 택하게 될 것이나 발전 효율면에서는 창조식 발전이 낙조식 발전에 비해 약간 불리하다.

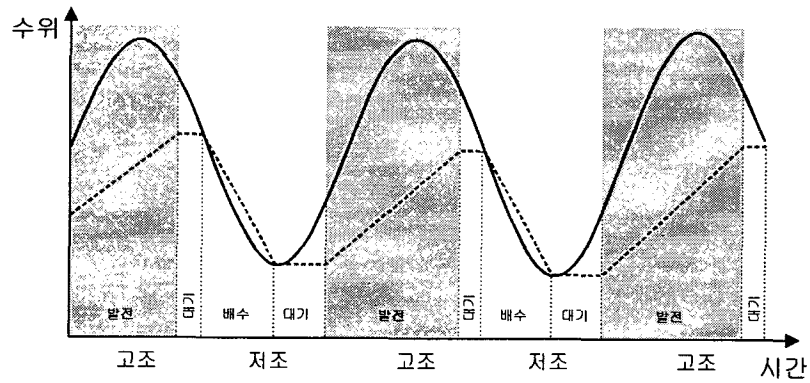
어느 경우이든 발전을 함에 있어서 한 방향의 흐름만을 이용하므로 단류식이라 한다. 운전방식은 발전→대기→충수→대기의 사이클을 계속 반복하므로 발전출력의 단속이 불가피하다. 그러나 발전방식이 가장 간단하고 발전설비의 가격도 저렴하여 가장 실용적인 조력발전방식이다. 낙조식 발전방식에서는 경우에 따라 조지수위가 만조수위에 도달한 후에도 수차에 전력을 공급하여 양수기능을 하게 함으로써 즉, 외해수를 조지내로 양수하여 조지의 수위를 상승시켜 발전량과 발전시간을 증가시킬 수도 있다.

(2) 단조지 복류식 : 이 방식은 하나의 조지를 조성하되 창조와 낙조 모두 발전하는 방식으로서 단조지 단류식에 비해 발전시간이 연장될 수 있다. 그러나 이 경우에도 역시 조지와 외해와의 수위차가 발전가능낙차에 이를 때까지 대기해야 하기 때문에 발전은 단속적이다. 또한 설치되는 수차발전기도 2방향 발전이 가능해야 하기 때문에 단류식 수차발전기에 비해 구조가 복잡해지므로 제작비용도 높게된다. 일반적으로 이 발전방식은 조차가 아주 크게 발생하는 지역에서 이용하면 단류식보다 유리한 것으로 알려져 있으나, 우리나라 서해안의 경우 유력한 조력발전 후보지의 하나인 충청남도 가로림만에 대한 분석 결과를 보면 단류식이 경제성 측면에서 유리한 것으로 나타난다. 현재 세계에서 유일하게 상업발전소로서 운영되고 있는 프랑스의 Rance 조력발전소가 단조지 복류식을 이용하고 있다

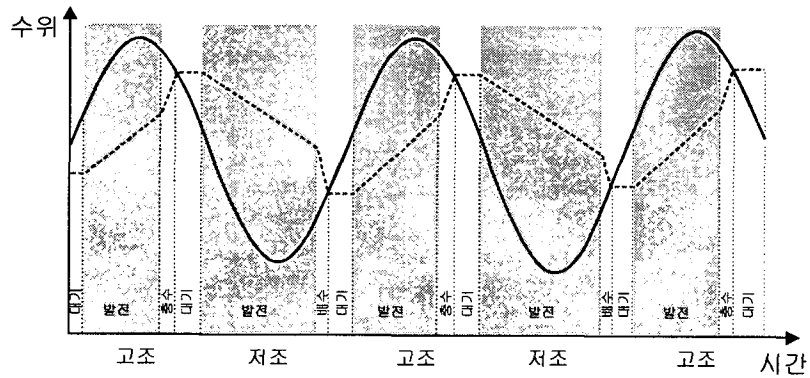
(3) 복조지 연결식 : 조력발전대상지점이 지형상 2개의 조지 형성이 가능할 경우 하나를 고조지, 다른 하나를 저조지로 조성하여 2개 조지 간의 수위 차를 이용, 고조지에서 저조지로 해수를 유통시키면서 발전하고 외해의 조석변화에 따라 고조지와 저조지의 수문을 조작하여 조지의 수위를 계속적으로 조정한다. 이 방식은 연속발전이 가능하나 발전효율은 단조지 발전방식에 비해 떨어진다.



(a) 낙조식 단류발전



(b) 창조식 단류발전



(c) 복류식 발전

— : 외해수위
 - - - : 조지수위

<그림 1.1.2> 조력발전 방식.

(4) 복조지 분리식 : 2개의 단조지 단류식 발전소를 독립적으로 운영하여 계통으로 연결시킨다. 즉, 한쪽 조지는 창조시에 단류식으로 발전하고 이와 동시에 다른 쪽 조지에 해수를 채웠다가 낙조시에 발전함으로써 발전시간간의 시차를 이용하는 것이다.

이와 같이 조력발전은 그 발전방식에 따라 크게 네 가지로 구분할 수 있으며, 복조지식 발전방식은 조력발전의 약점인 출력의 단속성을 완화시키기 위한 방식이다. 그러나 출력의 단속에서 발생하는 문제는 기존 전력계통에서의 효과적인 조정으로 충분히 대처할 수 있다.

조력발전에서의 또 한가지 문제점은 조력발전의 원리가 수두차 즉, 유체의 위치에너지를 운동에너지로 변환시켜서 발전을 하는 하천에서의 수력발전과 동일하므로 수력발전과 유사한 형태의 수차발전기를 이용하게 되지만, 그 이용가능 낙차가 작다는 점이다. 일반적으로 이러한 형태의 발전방식에서 발전비용은 낙차와 직접적으로 관련되므로 저낙차에 대해 효율이 좋은 발전기의 개발이 필요하다. 이러한 목적으로 개발된 것이 Bulb형 수차로서, 프로펠러형의 Runner를 사용하고 있으며 수차의 내부에 발전기(Generator)를 내장하고 있다. 이 수차의 특징은 물의 흐름변화에 따라 수차날개의 각도를 조정함으로써 발전효율을 극대화할 수 있고, 또 구조적으로 간단하기 때문에 토목구조물을 최소화할 수 있다. 이 수차는 프랑스의 Rance 조력발전소에서 채택된 이후 현재까지 30년 이상 가동되고 있어, 그 실용성이 입증되고 있다. 또한 특기할 만한 것은 새로운 대형 Straflo형 수차의 개발이다. Straflo형 수차는 이미 오래 전부터 하천에서의 소규모 수력발전에서 사용되어 왔으며 최근 캐나다 등지에서의 기술개발 결과 발전기의 대형화가 이루어져 조력발전에도 이용이 가능하게 되었다.

제2절 연구의 필요성 및 목적

조력발전의 기본원리는 저낙차 수력발전과 유사하며 해수의 조석간만 차, 즉 밀물과 썰물의 수위 차를 이용하여 해수를 인공적으로 조성된 저수지(일반적으로 潮池라함)에 출입시키면서 발전하는 방식으로 조력에너지는 기존의 화석연료를 대체할 수 있는 개발가능한 신·재생에너지 중에서 거의 유일하게 대규모로 개발이 가능하다. 또한 무공해 에너지

지로서 일단 개발이 되면 반영구적으로 활용이 가능한 비고갈성 에너지라는 이점과 함께 전력생산과 더불어 조지 내의 수산생물 생성조건의 향상에 따른 수산양식효과, 댐 축조에 따른 교량효과, 관광자원효과, 간석지 개발효과 등 다목적 개발효과를 얻을 수 있다(한국전력공사, 1993; 해양수산부, 2000).

조력자원의 개발입지 조건으로는 우선 발생하는 조석간만 차가 커야하고, 조지 면적이 넓어야하며, 조성되는 조력발전소의 만 입구, 즉 댐을 설치하는 곳의 폭이 좁아야 공사비 측면에서 유리하다.

우리나라 서해안 중부, 경기만 일대는 강한 조석과 잘 발달된 해만으로 세계적인 조력발전 적지로 널리 알려져 왔으며(Bernshtein, 1997), 이를 개발하기 위한 관심은 과거 일제 강점기하 인천만 조력발전 방안에 대한 조사를 실시한 이래부터 보여왔고, 1970년대 1, 2차 석유파동을 겪으면서 조력자원 개발 필요성이 대두되었다. 이후 1980년대에는 원유의 저유가 유지와 안정적인 공급으로 신·재생에너지 개발에 대한 인식 저감으로 조력자원의 개발 필요성이 감소하였으며, 저유가로 인하여 조력발전의 개발경제성도 미흡하였다. 1978년에 실시된 ‘서해안 조력 부존자원조사’(한국전력공사, 1978)를 통하여 서해안 중부 일대에 선정된 조력자원개발 입지 10개 지점에 대해 약 650만 kW의 부존 조력자원량이 확인되었다. 이 중 충남 서산군 소재 가로림만의 경우, 개발타당성이 매우 높은 것으로 평가된 바 있어 수차례에 걸쳐 개발을 위한 시도가 있었으나 아직 개발되지 않고 있다(한국해양연구소, 1981; 한국전력공사, 1986, 1993).

한편 우리나라의 협소한 국토 확장 및 식량안보 차원에서 1980년대부터 서·남해 연안역에 대한 대규모 간척·매립 사업이 진행되면서 유력한 조력발전 후보지들이 상실되고, 조석체계도 변화되고 있는 실정이다(해양수산부, 2001). 또한 최근 국제유가가 60불/Bbl을 상회하는 등 화석연료 가격이 급상승하고, 지구온난화 방지를 위한 국제적인 대응방안이 활발하게 전개되고 있으며, 이의 일환으로 자원개발 분야에서 지속가능한 개발(sustainable development) 방안을 강구하고 있다. 결과적으로 적절한 대안으로 평가되고 있는 신·재생에너지 분야의 개발, 보급 및 확대 정책이 적극적으로 추진되고 있는 여건 변화를 맞이하고 있다. 현재 신·재생에너지 중에서 거의 유일하게 대규모로 개발이 가능한 것으로 평가되고 있는 조력자원에 대한 개발 타당성 검토를 통하여 주요 후보지에 대한 보호 및 개발 방안 수립이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 우리나라 서해안의 조력자원 부존량을 파악하고 주요 후보지에 대한 개발타당성 검토를 통하여 주요 조력자원 후보지를 타 개발로부터 보호하고, 민간참여를 유도하여 조력에너지 개발을 활성화하는 것이다.

본 연구의 최종목표는 한반도 조력자원 부존량 파악 및 개발 타당성 검토이고, 이를 위하여 1차년도에서는 주요 조력자원 후보지별 개발 가능규모파악 및 개발 우선순위 선정, 그리고 2차년도에서는 1차년도 사업을 통하여 선정된 1순위 후보지에 대한 개발 타당성 검토를 연차별 목표로 하여 수행하였다.

제2장

한반도 조력자원 부존량 파악 및 개발 우선순위 선정

제2장 한반도 조력자원 부존량 파악 및 개발 우선순위 선정

우리나라 서해안 중부, 경기만 일대는 강한 조석과 잘 발달된 해만으로 세계적인 조력 발전 적지로 널리 알려져 왔으며, 이를 개발하기 위한 관심은 과거 일제 강점기하 인천만 조력발전 방안에 대한 조사를 실시한 이래부터 보여 왔고, 1970년대 1, 2차 석유파동을 겪으면서 조력자원 개발 필요성이 대두되었다. 이후 1980년대에는 원유의 저유가 유지와 안정적인 공급으로 신·재생에너지 개발에 대한 인식 저감으로 조력자원의 개발 필요성이 감소하였으며, 저유가로 인하여 조력발전의 개발경제성도 미흡하였다. 1978년에 실시된 '서해안 조력 부존자원조사'(한국전력공사, 1978)를 통하여 서해안 중부 일대에 선정된 조력자원개발 입지 10개 지점에 대해 약 650만 kW의 부존 조력자원량이 확인되었다. 이 중 충남 서산군 소재 가로림만의 경우, 개발타당성이 매우 높은 것으로 평가된 바 있어 수차례에 걸쳐 개발을 위한 시도가 있었으나 아직 개발되지 않고 있다(한국해양연구소, 1981; 한국전력공사, 1986, 1993).

한편 우리나라의 협소한 국토 확장 및 식량안보 차원에서 1980년대부터 서·남해 연안역에 대한 대규모 간척·매립 사업이 진행되면서 유력한 조력발전 후보지들이 상실되고, 조석체계도 변화되고 있는 실정이다(해양수산부, 2001). 또한 최근 국제유가가 60불/Bbl을 상회하는 등 화석연료 가격이 급상승하고, 지구온난화 방지를 위한 국제적인 대응방안이 활발하게 전개되고 있으며, 이의 일환으로 자원개발 분야에서 지속가능한 개발(sustainable development) 방안을 강구하고 있다. 결과적으로 적절한 대안으로 평가되고 있는 신·재생에너지 분야의 개발, 보급 및 확대 정책이 적극적으로 추진되고 있는 여건 변화를 맞이하고 있다. 현재 신·재생에너지 중에서 거의 유일하게 대규모로 개발이 가능한 것으로 평가되고 있는 조력자원에 대한 개발 타당성 검토를 통하여 주요 후보지에 대한 보호 및 개발 방안 수립이 필요한 실정이다.

따라서 제1차년도 연구의 목적은 우리나라 서해안의 조력자원 부존량을 파악하고 주요 후보지에 대한 개발타당성 개략검토를 통하여 조력자원 개발 우선순위를 선정하고, 제2차년도는 1차년도에 선정된 개발 우선순위 후보지에 대한 상세 타당성 검토를 수행하

는 것이다.

제1절에서는 서해안 검조소에서의 조석분석 특성을 간략히 재검토하며 우리나라 주변 해역에서 나타나는 중요한 조석특성의 하나인 조석계절 변동성에 대해 본 연구팀이 수행한 연구결과를 기술하고, 제2절에서는 경기만내 조석관측 결과와 조위예측 수치모델 수립 및 검증과 방조제 건설에 따른 경기만 조석체계변화 예측결과에 대하여 기술한다. 그리고 제3절에서는 조력발전 주요 후보지점을 선정하고, 이들 지점에 대한 평면배치계획 수립 및 개략공사비를 산정하며, 제2절에서 도출된 후보지별 조석체계 예측결과를 활용하여 후보지별 조력발전량을 산출하고 개략경제성 검토를 통하여 조력발전 개발우선 순위를 선정한다.

제1절 서해해역 조위특성 및 조석의 계절변화

1. 서해해역 장기조위자료 분석

가. 개요

본 절에서는 서해 연안의 검조소에서 관측한 장기조위자료를 분석하여 장기 연평균 해수면 및 조화상수의 연변화를 검토하며, 기존 연구결과로부터 조석 계절변화 특성을 분석한다. 서해해역에서의 조석특성의 상세한 분석은 본 연구팀이 수행한 해양수산부(2002) 연구사업에서 수행된 바 있으며, 이를 중심으로 기술한다.

조석자료에 대한 분석은 해양조사원에서 면밀한 자료 검토 후에 제공한 자료를 이용하였다. 자료 검토 과정에서 기존에는 불량 등의 이유로 제외시켰던 자료들을 많이 되살린 것으로 나타났으며, 이는 자료의 연속성 추구하는 점에서는 바람직하나, 되살리는 과정의 합리성이 보장되어야 한다. 분석에 활용한 주요 관측점 자료의 특성은 다음과 같다.

인천 : 1984년부터 1988년까지 5년간의 자료가 불량한 것으로 통보되었는데 이로서 1997년 8월 19일 우리나라 조석관측 사상 최고치라고 발표되었던 1008cm의 기록 근거를 상실하게 되었다.

안흥 : 차이 없음

보령 : 기존의 자료에서는 1995년에 며칠 간의 결측이 있었는데 본 자료에는 1985년 9월 이후 결측이 전혀 없다.

군산 : 기존의 자료에는 1985년과 1995년이 완전한 것으로 되어 있었는데 본 자료에는 각각 하루씩의 결측이 있다. 행자부의 자료에는 1988, 1991 그리고 1992년의 통계가 비어 있다.

군산외항 : 차이 없음

목포 : 기존의 자료에는 1981년, 1982년에 수일간 씩 그리고 1986년에 1개월의 결측이 있는 것으로 되어있었지만 본 자료에는 1980년 이후 결측이 전혀 없다.

제주 : 기존의 자료에서는 1984년부터 1987년까지 4년간의 자료가 빠져있었으나 본 자료는 빠짐이 없다.

서귀포 : 기존의 자료에서는 1986년에 한달의 결측이 있었으나 본 자료에서는 결측이 없다.

완도 : 기존의 자료에서는 1992년에 하루의 결측이 있었으나 본 자료에서는 결측이 없다.

거문도 : 기존의 자료에서는 1987년에 한달의 결측이 있었으나 본 자료에서는 결측이 없다.

나. 분석결과

해양조사원으로부터 제공된 자료는 기준면의 변동이 있었을 경우 동일 기준면으로의

통일을 위해 기준면 변동 전의 자료에 일정 값 보정 외에는 다른 수정 없이 바로 분석을 수행하였다. 분석은 연단위의 조화분석과 평균해면 등을 검토하였다. 조화분석은 TASK2000의 TIRA Program을 사용하였으며 분석에 사용된 분조 수는 Z0를 포함하여 61개이며 M2분조의 년 변동을 표시하는 MA2와 MB2는 포함시키지 않았다. 실제 우리나라 남 서해안 대부분의 항구에서 M2 분조의 연변동이 상당한 것으로 발표된 바 있기는 하나, 실제 조화분석에서 MA2와 MB2 두 분조를 포함 시켰을 때 분석 잔여치의 감소효과가 거의 보이지 않았다. 이는 이 두개의 분조로 M2 분조의 연변동을 표시하기에는 무리가 있다는 점을 시사한다.

다. 조화상수의 변동

조화분석 결과 중 서해 주요항인 인천, 안흥, 군산내항, 목포, 제주항에 대한 결과를 제시한다. 상기 분석결과를 도시한 결과는 인천, 군산내항, 제주항에 대해서만 <그림 2.1.1 ~ 2.1.3>에 제시한다. 각 항의 평균해면, 해면변동, 잔여치의 변동 그리고 주요 조화상수들의 연변동이 제시되어 있으며, 상세한 값은 <표 2.1.1-a ~ e>에 제시되어 있다. 그리고 <그림 2.1.1 ~ 2.1.3>에서 가로축의 위치는 관측 기간 동안의 평균값을 표시한다. 다음에 주요 항구의 평균해면과 함께 조화상수의 변동에 대하여 기존의 결과와 비교하여 서술하였다. 기타의 항에 대한 분석결과는 해양수산부 보고서(2002)에 수록되어 있다.

(1) 인천 (<그림 2.1.1>, <표 2.1.1-a>)

수로국에 의해 1960년부터 조석관측이 시작된 이래 처음 설정된 평균해면 464cm를 지금껏 한 번도 넘은 적이 없었으며 1990년에 460cm 그리고 대체로 455cm 내외에서 머물렀었다. 5년간의 공백 기간의 변동을 알 수는 없으나 1999년과 2000년의 경우 각각 465.7cm 그리고 460.4cm를 기록하고 있다. 이 값은 이전과는 매우 큰 차이를 보이는 것으로 이 차이가 무엇을 뜻하는지는 중간의 공백과 또 이전 자료와의 연속성 부재로 알 수는 없다. 현재의 검조소 위치가 이전의 월미도와 울도에 비해 상당히 남쪽에 위치하는 것으로 보아 평균해면이 전보다 낮을 것으로 추정되지만 실제로는 상당히 높게 나타났다는 점이 앞으로 검토해 보아야할 문제이다.

M2, S2 그리고 N2 분조를 보면 검조소 이전 후인 1999년부터 진폭이 상당히 감소하

고 또 지각이 빨라졌으며 M4 그리고 MS4 분조의 지각은 상당히 늦어진 것으로 나타났다. K1과 O1 등 1회분조의 지각도 전에 비해 상당히 빨라졌다. 이는 단정적으로 말할 수는 없으나 검조소 이전의 효과로 예상되는 현상이다. 그리고 분석의 정도를 가늠하는 지표가 되는 잔여치가 이전에 8~9%에서 신검조소 이후 6.5%로 안정적으로 줄어든 것은 일단 신 검조소가 안정적으로 운영되고 있다고 볼 수 있다.

인천은 우리나라 수준기준면의 기준이 되는 항으로 인천의 해면 유지는 매우 중요한 의미를 갖는다. 그러나 인천의 경우 검조소의 위치도 인천항, 월미도, 울도 그리고 1999년 이후의 신검조소 등 수차례 이동이 있었을 뿐 아니라 앞에서 언급된 바와 같이 1994년부터 98년까지 5년간의 자료 불량 등 자료의 유지에도 심각한 문제가 있는 곳이다. 그리고 인천은 염하에 연결된 수로에 접하고 있어 유속이 빠르고 또 앞에서 언급된 바와 같이 위치에 따른 조석의 차이도 심하여 관측 위치가 다른 자료를 인천이라는 하나의 자료 세트에 묶는 것은 문제가 있다.

(2) 군산내항(<그림 2.1.2>, <표 2.1.1-c>)

현재의 기준면과 동일 선 상에 표기하기 위하여 1995년부터 그 이전 자료에 대하여 모두 +27cm 하여 사용하였다. 잔여치 비중이 대체로 10%가 넘어 서해안의 다른 항에 비해 잔여치가 큰 편이다. 또 금강 하구언의 영향인 것으로 보이는 여러 형태의 조석체계의 변동이 보인다.

1989년에 연평균 해면이 최대였으며 1994년 수문 닫음 효과로 인한 평균해면의 하강이 1995년에 최저를 보인 후 최근까지 다시 상승하는 경향이 있다. 전체 해면 변동도 1994년을 경계로 급격히 증가했다. 거의 모든 분조들의 진폭이 1995년부터 급격히 증가했으며 지각은 빨라져 수문 닫음의 효과가 그대로 보인다. M4와 Ms4 등 천해분조는 하구언 공사기간 중인 1991년에 급격한 변화를 보였으며 1995년에도 또 한차례 변화를 보였다. 1998년에 Sa분조의 진폭이 급격히 증가했는데 이는 월평균해면의 변동이 그만큼 커진 것을 의미하며 기상변동과 연관시켜 검토해볼 사항이다.

(3) 제주(<그림 2.1.3>, <표 2.1.1-e>)

20년 동안에 꾸준히 연평균해면이 상승하는 경향이 있으며 서귀포에서도 같은 경향이 있

다. 서귀포에서의 연평균해면 상승 패턴은 제주와 같으나 상승률은 제주보다 크게 나타난다.

(4) 기타 지점

기타 지점으로서 목포는 영산강 하구언의 영향으로 1983년부터 기준면을 20cm 내렸고, 1993년부터 1998년 사이에 검조소의 지반 침하로 7cm를 조정했다고 한다. 현재 제공된 자료에서 1982년과 그이전의 자료에 +20cm 하여 사용하였고 1993년부터의 지반 침하 효과는 이미 자료에 반영된 것으로 간주되어 별다른 보정은 하지 않았다.

영암 및 금호 방조제 공사가 한창 진행 중인 1992년에 급격한 연평균해면의 상승이 있었다. 1994, 95, 96, 97년의 평균해면 하강이 검조소 지반 침하와 관련 있는 사항인지는 확실하지 않다. 전체 해면 변동은 1981년 영산강 완공년도인 81년 한 단계 증가하였으며 1991년 그리고 1994년에 각각 한 단계 증가하였다. 1일 2회조와 4회조는 1981년과 1991년을 경계로 뚜렷한 진폭의 증가와 지각의 감소를 보여 영산강 하구언 완공과 영암방조제의 최종 체절 효과가 나타난 것으로 보인다. 1일 1회조에서는 지각의 감소는 뚜렷하나 진폭은 1981년에는 증가한 것으로 보이나 1991년에는 오히려 감소한 것으로 보인다.

다른 지점 중 반면에 서남해 경계에 위치한 완도에서는 평균해면이 상승하는 듯하나 뚜렷하지는 않다. 특이한 것은 완도에서는 M2와 S2 분조의 진폭이 계속 줄어드는 경향이 있는 반면 1일 4회조는 작은 크기이기는 하지만 증가하는 경향이 뚜렷이 보인다.

<표 2.1.1a> 인천항 검조소 장기조위자료 분석 결과.

Port : Incheon

(Unit : m)

| Con Year | Mean | SSD | RSD | R/S | Sa | | O ₁ | | P ₁ | | K ₁ | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | | | | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | 4.515 | 2.320 | 0.177 | 0.076 | 0.199 | 134.6 | 0.286 | 265.9 | 0.113 | 301.8 | 0.386 | 304.9 |
| 1981 | 4.528 | 2.344 | 0.160 | 0.068 | 0.186 | 134.0 | 0.287 | 267.9 | 0.115 | 301.8 | 0.383 | 306.1 |
| 1982 | 4.527 | 2.325 | 0.156 | 0.067 | 0.189 | 132.1 | 0.286 | 267.8 | 0.109 | 302.2 | 0.386 | 306.2 |
| 1983 | 4.533 | 2.293 | 0.163 | 0.071 | 0.207 | 120.4 | 0.293 | 268.0 | 0.108 | 303.1 | 0.395 | 305.7 |
| 1984 | 4.518 | 2.267 | 0.169 | 0.074 | 0.191 | 140.8 | 0.280 | 266.2 | 0.105 | 303.6 | 0.389 | 306.2 |
| 1985 | 4.540 | 2.255 | 0.195 | 0.087 | 0.187 | 140.5 | 0.287 | 267.3 | 0.112 | 303.7 | 0.391 | 306.1 |
| 1986 | 4.535 | 2.245 | 0.214 | 0.095 | 0.127 | 108.9 | 0.286 | 268.6 | 0.103 | 303.7 | 0.395 | 307.4 |
| 1987 | 4.495 | 2.223 | 0.212 | 0.095 | 0.198 | 140.0 | 0.286 | 272.1 | 0.108 | 309.1 | 0.389 | 309.2 |
| 1988 | 4.559 | 2.249 | 0.171 | 0.076 | 0.223 | 118.9 | 0.290 | 267.6 | 0.109 | 301.2 | 0.394 | 306.2 |
| 1989 | 4.581 | 2.247 | 0.169 | 0.076 | 0.202 | 133.4 | 0.291 | 267.6 | 0.110 | 303.1 | 0.384 | 306.8 |
| 1990 | 4.603 | 2.270 | 0.231 | 0.102 | 0.221 | 117.6 | 0.287 | 268.0 | 0.108 | 298.2 | 0.392 | 306.9 |
| 1991 | 4.560 | 2.288 | 0.183 | 0.080 | 0.189 | 132.6 | 0.286 | 269.3 | 0.106 | 300.6 | 0.387 | 306.6 |
| 1992 | 4.547 | 2.281 | 0.172 | 0.075 | 0.150 | 129.9 | 0.275 | 268.6 | 0.111 | 297.8 | 0.389 | 308.1 |
| 1993 | 4.565 | 2.291 | 0.198 | 0.086 | 0.205 | 118.8 | 0.288 | 270.9 | 0.107 | 302.0 | 0.383 | 308.5 |
| 1994 | | | | | | | | | | | | |
| 1995 | | | | | | | | | | | | |
| 1996 | | | | | | | | | | | | |
| 1997 | | | | | | | | | | | | |
| 1998 | | | | | | | | | | | | |
| 1999 | 4.657 | 2.274 | 0.151 | 0.066 | 0.190 | 141.6 | 0.283 | 263.7 | 0.114 | 303.4 | 0.384 | 303.4 |
| 2000 | 4.604 | 2.269 | 0.147 | 0.065 | 0.173 | 135.0 | 0.291 | 262.7 | 0.114 | 301.7 | 0.393 | 303.1 |
| Mean | 4.554 | 2.278 | 0.179 | 0.079 | 0.190 | 129.9 | 0.286 | 267.6 | 0.110 | 302.3 | 0.389 | 306.3 |

(SSD : Standard Deviation of tota signal , RSD : Standard Deviation of Residual, R/S : the Ratio of RSD to SSD)

<표 2.1.1a> (계속).

(Unit : m)

| Con Year | N ₂ | | M ₂ | | S ₂ | | K ₂ | | M ₄ | | MS ₄ | |
|-------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|
| | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | 0.507 | 118.4 | 2.877 | 138.8 | 1.110 | 196.8 | 0.292 | 195.5 | 0.074 | 78.7 | 0.060 | 150.7 |
| 1981 | 0.511 | 117.3 | 2.929 | 138.6 | 1.131 | 196.8 | 0.336 | 192.5 | 0.072 | 79.4 | 0.059 | 148.6 |
| 1982 | 0.510 | 115.7 | 2.934 | 138.8 | 1.137 | 197.3 | 0.319 | 195.2 | 0.068 | 77.7 | 0.059 | 150.3 |
| 1983 | 0.526 | 116.2 | 2.901 | 138.0 | 1.129 | 196.7 | 0.322 | 194.0 | 0.066 | 82.1 | 0.059 | 148.6 |
| 1984 | 0.538 | 118.0 | 2.888 | 138.9 | 1.130 | 196.2 | 0.320 | 192.3 | 0.067 | 79.2 | 0.055 | 146.7 |
| 1985 | 0.543 | 120.2 | 2.883 | 138.9 | 1.150 | 196.5 | 0.315 | 192.8 | 0.070 | 75.6 | 0.058 | 136.8 |
| 1986 | 0.523 | 122.6 | 2.893 | 140.0 | 1.146 | 199.1 | 0.321 | 193.9 | 0.064 | 78.8 | 0.056 | 143.4 |
| 1987 | 0.496 | 122.7 | 2.861 | 142.3 | 1.154 | 200.9 | 0.310 | 195.8 | 0.048 | 68.2 | 0.038 | 140.8 |
| 1988 | 0.490 | 120.1 | 2.900 | 137.6 | 1.157 | 194.8 | 0.330 | 191.9 | 0.067 | 83.2 | 0.058 | 149.2 |
| 1989 | 0.501 | 117.1 | 2.897 | 138.1 | 1.156 | 195.8 | 0.327 | 192.1 | 0.066 | 88.3 | 0.057 | 159.8 |
| 1990 | 0.503 | 113.7 | 2.908 | 138.3 | 1.148 | 198.0 | 0.308 | 196.3 | 0.074 | 87.4 | 0.064 | 159.6 |
| 1991 | 0.517 | 117.2 | 2.908 | 138.4 | 1.156 | 197.1 | 0.295 | 193.0 | 0.069 | 88.4 | 0.057 | 160.3 |
| 1992 | 0.516 | 119.9 | 2.883 | 140.6 | 1.132 | 200.3 | 0.312 | 198.9 | 0.063 | 98.8 | 0.054 | 169.4 |
| 1993 | 0.529 | 120.9 | 2.869 | 142.5 | 1.122 | 202.1 | 0.320 | 201.8 | 0.061 | 92.2 | 0.049 | 168.5 |
| 1994 | | | | | | | | | | | | |
| 1995 | | | | | | | | | | | | |
| 1996 | | | | | | | | | | | | |
| 1997 | | | | | | | | | | | | |
| 1998 | | | | | | | | | | | | |
| 1999 | 0.501 | 112.0 | 2.818 | 132.3 | 1.103 | 189.7 | 0.319 | 184.1 | 0.064 | 114.0 | 0.058 | 184.1 |
| 2000 | 0.502 | 109.8 | 2.837 | 130.9 | 1.120 | 188.2 | 0.331 | 185.4 | 0.061 | 114.9 | 0.055 | 180.6 |
| Mean | 0.513 | 117.6 | 2.887 | 138.3 | 1.136 | 196.6 | 0.317 | 193.5 | 0.066 | 86.7 | 0.056 | 156.1 |

<표 2.1.1b> 안흥 검조소 장기조위자료 분석 결과.

Port : Anhung

(Unit : m)

| Con Year | Mean | SSD | RSD | R/S | Sa | | O ₁ | | P ₁ | | K ₁ | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | | | | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | | | | | | | | | | | | |
| 1981 | | | | | | | | | | | | |
| 1982 | | | | | | | | | | | | |
| 1983 | | | | | | | | | | | | |
| 1984 | | | | | | | | | | | | |
| 1985 | | | | | | | | | | | | |
| 1986 | | | | | | | | | | | | |
| 1987 | 3.485 | 1.643 | 0.141 | 0.086 | 0.135 | 123.2 | 0.269 | 251.8 | 0.106 | 283.2 | 0.360 | 289.3 |
| 1988 | 3.490 | 1.633 | 0.122 | 0.075 | 0.247 | 125.6 | 0.268 | 252.0 | 0.108 | 282.2 | 0.357 | 289.7 |
| 1989 | 3.553 | 1.633 | 0.124 | 0.076 | 0.194 | 135.5 | 0.267 | 251.4 | 0.104 | 282.0 | 0.353 | 290.1 |
| 1990 | 3.570 | 1.649 | 0.130 | 0.079 | 0.205 | 134.2 | 0.266 | 252.8 | 0.105 | 280.4 | 0.356 | 290.1 |
| 1991 | 3.579 | 1.659 | 0.128 | 0.077 | 0.171 | 132.9 | 0.267 | 251.3 | 0.105 | 280.9 | 0.354 | 288.7 |
| 1992 | 3.601 | 1.662 | 0.124 | 0.074 | 0.154 | 130.0 | 0.256 | 251.3 | 0.108 | 279.6 | 0.352 | 289.1 |
| 1993 | 3.508 | 1.685 | 0.132 | 0.079 | 0.181 | 131.3 | 0.266 | 252.4 | 0.103 | 279.7 | 0.360 | 289.6 |
| 1994 | 3.540 | 1.704 | 0.126 | 0.074 | 0.176 | 139.9 | 0.265 | 251.6 | 0.105 | 281.6 | 0.362 | 289.0 |
| 1995 | 3.570 | 1.711 | 0.125 | 0.073 | 0.170 | 124.3 | 0.264 | 252.2 | 0.111 | 278.8 | 0.351 | 289.8 |
| 1996 | 3.580 | 1.714 | 0.128 | 0.074 | 0.189 | 130.6 | 0.258 | 250.8 | 0.107 | 285.3 | 0.357 | 290.0 |
| 1997 | 3.566 | 1.717 | 0.141 | 0.082 | 0.180 | 125.7 | 0.260 | 250.6 | 0.110 | 281.1 | 0.358 | 289.5 |
| 1998 | 3.591 | 1.704 | 0.131 | 0.077 | 0.167 | 131.9 | 0.264 | 250.4 | 0.107 | 283.3 | 0.359 | 287.7 |
| 1999 | 3.591 | 1.692 | 0.127 | 0.075 | 0.189 | 138.8 | 0.265 | 250.1 | 0.107 | 287.1 | 0.352 | 289.5 |
| 2000 | 3.561 | 1.677 | 0.123 | 0.073 | 0.169 | 132.2 | 0.270 | 249.6 | 0.105 | 286.5 | 0.356 | 289.3 |
| Mean | 3.556 | 1.677 | 0.129 | 0.077 | 0.180 | 131.2 | 0.265 | 251.3 | 0.107 | 282.3 | 0.356 | 289.4 |

(SSD : Standard Deviation of tota signal , RSD : Standard Deviation of Residual, R/S : the Raio of RSD to SSD)

<표 2.1.1b> (계속).

(Unit : m)

| Con Year | N ₂ | | M ₂ | | S ₂ | | K ₂ | | M ₄ | | MS ₄ | |
|-------------|----------------|------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|------|-----------------|-------|
| | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | | | | | | | | | | | | |
| 1981 | | | | | | | | | | | | |
| 1982 | | | | | | | | | | | | |
| 1983 | | | | | | | | | | | | |
| 1984 | | | | | | | | | | | | |
| 1985 | | | | | | | | | | | | |
| 1986 | | | | | | | | | | | | |
| 1987 | 0.379 | 84.1 | 2.111 | 104.2 | 0.815 | 159.9 | 0.229 | 153.5 | 0.049 | 81.7 | 0.036 | 128.7 |
| 1988 | 0.373 | 82.6 | 2.086 | 103.7 | 0.818 | 155.7 | 0.230 | 152.3 | 0.045 | 75.1 | 0.034 | 122.8 |
| 1989 | 0.370 | 80.8 | 2.093 | 103.5 | 0.817 | 155.7 | 0.224 | 150.7 | 0.046 | 79.5 | 0.036 | 126.4 |
| 1990 | 0.385 | 79.5 | 2.101 | 103.9 | 0.822 | 156.9 | 0.221 | 153.9 | 0.044 | 80.3 | 0.033 | 130.4 |
| 1991 | 0.384 | 78.4 | 2.096 | 102.4 | 0.817 | 155.6 | 0.227 | 152.0 | 0.046 | 81.4 | 0.034 | 131.0 |
| 1992 | 0.398 | 80.3 | 2.089 | 103.5 | 0.810 | 156.9 | 0.220 | 152.6 | 0.044 | 82.2 | 0.033 | 128.0 |
| 1993 | 0.399 | 82.0 | 2.104 | 103.6 | 0.811 | 156.6 | 0.214 | 154.2 | 0.044 | 79.4 | 0.032 | 128.3 |
| 1994 | 0.393 | 82.4 | 2.111 | 103.6 | 0.821 | 156.7 | 0.230 | 153.1 | 0.039 | 79.8 | 0.029 | 127.2 |
| 1995 | 0.381 | 82.3 | 2.110 | 103.6 | 0.806 | 156.2 | 0.223 | 153.9 | 0.036 | 78.8 | 0.029 | 126.4 |
| 1996 | 0.384 | 82.5 | 2.110 | 103.5 | 0.806 | 156.7 | 0.224 | 154.5 | 0.036 | 80.7 | 0.029 | 128.4 |
| 1997 | 0.382 | 82.4 | 2.112 | 103.6 | 0.812 | 157.4 | 0.232 | 154.8 | 0.038 | 79.5 | 0.029 | 128.4 |
| 1998 | 0.379 | 80.9 | 2.097 | 103.1 | 0.810 | 156.3 | 0.231 | 155.4 | 0.037 | 77.5 | 0.029 | 127.0 |
| 1999 | 0.380 | 80.4 | 2.086 | 103.0 | 0.802 | 155.8 | 0.232 | 152.1 | 0.037 | 76.4 | 0.028 | 126.7 |
| 2000 | 0.383 | 78.0 | 2.086 | 101.7 | 0.810 | 154.6 | 0.234 | 151.4 | 0.037 | 77.1 | 0.028 | 125.9 |
| Mean | 0.384 | 81.2 | 2.099 | 103.3 | 0.813 | 156.5 | 0.227 | 153.2 | 0.041 | 79.2 | 0.031 | 127.5 |

<표 2.1.1c> 군산항 검조소 장기조위자료 분석 결과.

Port : Gunsan Inner

(Unit : m)

| Con Year | Mean | SSD | RSD | R/S | Sa | | O ₁ | | P ₁ | | K ₁ | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | | | | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | 3.509 | 1.624 | 0.241 | 0.148 | 0.188 | 165.7 | 0.239 | 251.2 | 0.104 | 288.1 | 0.306 | 290.6 |
| 1981 | 3.678 | 1.695 | 0.177 | 0.105 | 0.214 | 136.4 | 0.241 | 247.3 | 0.090 | 280.2 | 0.319 | 289.1 |
| 1982 | 3.690 | 1.681 | 0.153 | 0.091 | 0.209 | 130.1 | 0.249 | 248.6 | 0.098 | 280.8 | 0.323 | 287.2 |
| 1983 | 3.736 | 1.685 | 0.155 | 0.092 | 0.207 | 126.8 | 0.252 | 249.7 | 0.084 | 281.9 | 0.331 | 287.5 |
| 1984 | 3.688 | 1.646 | 0.178 | 0.108 | 0.197 | 138.5 | 0.238 | 247.8 | 0.086 | 284.5 | 0.319 | 288.0 |
| 1985 | 3.722 | 1.621 | 0.166 | 0.102 | 0.229 | 134.5 | 0.236 | 247.6 | 0.086 | 284.7 | 0.321 | 287.9 |
| 1986 | 3.732 | 1.632 | 0.160 | 0.098 | 0.185 | 139.6 | 0.250 | 248.1 | 0.094 | 282.6 | 0.325 | 286.4 |
| 1987 | 3.796 | 1.631 | 0.166 | 0.102 | 0.192 | 143.2 | 0.246 | 245.8 | 0.092 | 279.6 | 0.331 | 285.0 |
| 1988 | 3.793 | 1.584 | 0.176 | 0.111 | 0.199 | 134.0 | 0.245 | 249.2 | 0.093 | 280.2 | 0.323 | 288.0 |
| 1989 | 3.841 | 1.589 | 0.173 | 0.109 | 0.208 | 138.9 | 0.244 | 248.6 | 0.088 | 281.6 | 0.320 | 288.3 |
| 1990 | 3.819 | 1.621 | 0.165 | 0.102 | 0.207 | 131.2 | 0.244 | 249.4 | 0.094 | 281.3 | 0.322 | 287.9 |
| 1991 | 3.814 | 1.663 | 0.172 | 0.103 | 0.158 | 143.9 | 0.244 | 247.3 | 0.092 | 278.5 | 0.329 | 285.6 |
| 1992 | 3.791 | 1.655 | 0.167 | 0.101 | 0.172 | 142.0 | 0.237 | 247.1 | 0.095 | 278.0 | 0.324 | 286.8 |
| 1993 | 3.767 | 1.658 | 0.165 | 0.100 | 0.188 | 126.2 | 0.244 | 247.0 | 0.097 | 276.9 | 0.326 | 285.0 |
| 1994 | 3.726 | 1.753 | 0.182 | 0.104 | 0.155 | 116.6 | 0.245 | 245.7 | 0.103 | 277.3 | 0.331 | 284.5 |
| 1995 | 3.658 | 1.840 | 0.164 | 0.089 | 0.170 | 132.3 | 0.251 | 246.4 | 0.108 | 272.7 | 0.339 | 284.1 |
| 1996 | 3.682 | 1.853 | 0.154 | 0.083 | 0.203 | 132.9 | 0.246 | 245.3 | 0.099 | 278.0 | 0.346 | 284.7 |
| 1997 | 3.709 | 1.851 | 0.171 | 0.092 | 0.183 | 124.2 | 0.245 | 244.5 | 0.100 | 275.7 | 0.344 | 283.9 |
| 1998 | 3.718 | 1.840 | 0.166 | 0.090 | 0.258 | 123.8 | 0.252 | 244.7 | 0.102 | 278.2 | 0.341 | 284.9 |
| 1999 | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | 3.745 | 1.766 | 0.148 | 0.084 | 0.258 | 169.5 | 0.248 | 244.7 | 0.095 | 280.8 | 0.330 | 282.3 |
| Mean | 3.731 | 1.694 | 0.170 | 0.101 | 0.199 | 136.5 | 0.245 | 247.3 | 0.095 | 280.1 | 0.328 | 286.4 |

(SSD : Standard Deviation of tota signal , RSD : Standard Deviation of Residual, R/S : the Raio of RSD to SSD)

<표 2.1.1c> (계속).

(Unit : m)

| Con Year | N ₂ | | M ₂ | | S ₂ | | K ₂ | | M ₄ | | Ms ₄ | |
|-------------|----------------|------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|
| | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | 0.325 | 88.3 | 1.985 | 108.4 | 0.697 | 165.1 | 0.226 | 162.0 | 0.159 | 159.5 | 0.120 | 212.7 |
| 1981 | 0.353 | 77.1 | 2.113 | 102.2 | 0.730 | 158.0 | 0.219 | 150.1 | 0.205 | 132.2 | 0.142 | 186.2 |
| 1982 | 0.358 | 78.6 | 2.113 | 101.9 | 0.743 | 157.2 | 0.212 | 152.9 | 0.203 | 132.0 | 0.150 | 186.7 |
| 1983 | 0.375 | 78.6 | 2.132 | 101.3 | 0.748 | 158.1 | 0.214 | 153.4 | 0.188 | 135.1 | 0.133 | 189.0 |
| 1984 | 0.381 | 79.6 | 2.082 | 102.1 | 0.757 | 158.5 | 0.200 | 154.7 | 0.222 | 144.9 | 0.176 | 199.5 |
| 1985 | 0.373 | 81.4 | 2.060 | 102.5 | 0.747 | 157.5 | 0.196 | 150.5 | 0.253 | 146.8 | 0.195 | 198.9 |
| 1986 | 0.371 | 81.1 | 2.098 | 99.2 | 0.757 | 153.6 | 0.213 | 147.7 | 0.220 | 130.8 | 0.163 | 184.7 |
| 1987 | 0.364 | 80.4 | 2.105 | 98.6 | 0.744 | 154.0 | 0.200 | 149.0 | 0.211 | 129.4 | 0.152 | 182.1 |
| 1988 | 0.331 | 81.9 | 2.024 | 102.2 | 0.755 | 156.0 | 0.218 | 150.0 | 0.189 | 140.6 | 0.105 | 192.6 |
| 1989 | 0.339 | 80.5 | 2.035 | 102.6 | 0.749 | 157.8 | 0.205 | 153.0 | 0.196 | 143.5 | 0.158 | 196.5 |
| 1990 | 0.349 | 77.5 | 2.069 | 102.9 | 0.754 | 158.3 | 0.211 | 152.6 | 0.198 | 138.2 | 0.160 | 192.0 |
| 1991 | 0.365 | 75.6 | 2.100 | 98.1 | 0.763 | 154.1 | 0.196 | 148.9 | 0.208 | 126.4 | 0.159 | 177.5 |
| 1992 | 0.373 | 75.8 | 2.090 | 100.3 | 0.743 | 156.8 | 0.210 | 156.4 | 0.208 | 128.9 | 0.153 | 180.8 |
| 1993 | 0.374 | 78.3 | 2.073 | 98.2 | 0.740 | 154.3 | 0.191 | 149.6 | 0.207 | 126.0 | 0.148 | 178.3 |
| 1994 | 0.397 | 78.8 | 2.169 | 96.7 | 0.792 | 152.3 | 0.228 | 154.2 | 0.202 | 119.2 | 0.144 | 170.8 |
| 1995 | 0.396 | 73.4 | 2.265 | 94.1 | 0.841 | 148.9 | 0.241 | 150.4 | 0.206 | 107.7 | 0.154 | 156.0 |
| 1996 | 0.410 | 74.5 | 2.273 | 93.9 | 0.855 | 149.6 | 0.233 | 148.3 | 0.211 | 108.1 | 0.161 | 158.5 |
| 1997 | 0.410 | 74.5 | 2.269 | 94.7 | 0.856 | 151.0 | 0.243 | 149.4 | 0.216 | 109.2 | 0.162 | 161.3 |
| 1998 | 0.399 | 73.9 | 2.252 | 95.2 | 0.850 | 151.0 | 0.237 | 152.6 | 0.210 | 111.8 | 0.157 | 162.2 |
| 1999 | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | 0.385 | 73.2 | 2.191 | 95.9 | 0.847 | 152.3 | 0.228 | 153.9 | 0.216 | 116.6 | 0.170 | 169.9 |
| Mean | 0.371 | 78.2 | 2.125 | 99.5 | 0.773 | 155.2 | 0.216 | 152.0 | 0.206 | 129.3 | 0.153 | 181.8 |

<표 2.1.1d> 목포 검조소 장기조위자료 분석 결과.

Port : Mokpo

(Unit : m)

| Con Year | Mean | SSD | RSD | R/S | Sa | | O ₁ | | P ₁ | | K ₁ | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | | | | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | 2.320 | 1.045 | 0.142 | 0.136 | 0.200 | 147.1 | 0.245 | 234.2 | 0.096 | 272.0 | 0.316 | 269.0 |
| 1981 | 2.343 | 1.103 | 0.143 | 0.130 | 0.181 | 139.9 | 0.244 | 228.3 | 0.099 | 262.2 | 0.310 | 263.5 |
| 1982 | 2.318 | 1.123 | 0.130 | 0.115 | 0.186 | 138.1 | 0.252 | 227.0 | 0.094 | 262.8 | 0.317 | 261.5 |
| 1983 | 2.352 | 1.115 | 0.143 | 0.128 | 0.187 | 134.1 | 0.253 | 227.7 | 0.094 | 260.8 | 0.321 | 261.5 |
| 1984 | 2.336 | 1.114 | 0.139 | 0.124 | 0.173 | 142.8 | 0.246 | 225.7 | 0.092 | 264.2 | 0.317 | 260.6 |
| 1985 | 2.336 | 1.110 | 0.138 | 0.124 | 0.190 | 135.4 | 0.248 | 226.2 | 0.094 | 263.0 | 0.319 | 260.9 |
| 1986 | 2.326 | 1.111 | 0.168 | 0.151 | 0.175 | 128.7 | 0.252 | 226.8 | 0.091 | 266.6 | 0.325 | 261.6 |
| 1987 | 2.344 | 1.106 | 0.138 | 0.124 | 0.164 | 143.5 | 0.250 | 225.7 | 0.094 | 264.0 | 0.324 | 260.1 |
| 1988 | 2.320 | 1.096 | 0.133 | 0.121 | 0.198 | 125.7 | 0.249 | 226.1 | 0.091 | 262.9 | 0.319 | 260.7 |
| 1989 | 2.360 | 1.094 | 0.131 | 0.120 | 0.188 | 141.0 | 0.247 | 225.7 | 0.090 | 261.3 | 0.313 | 260.7 |
| 1990 | 2.360 | 1.088 | 0.127 | 0.117 | 0.171 | 138.3 | 0.243 | 226.9 | 0.089 | 260.4 | 0.313 | 261.4 |
| 1991 | 2.361 | 1.133 | 0.138 | 0.122 | 0.118 | 149.1 | 0.239 | 222.1 | 0.096 | 251.4 | 0.306 | 255.6 |
| 1992 | 2.429 | 1.148 | 0.122 | 0.106 | 0.182 | 130.6 | 0.230 | 219.8 | 0.094 | 250.6 | 0.309 | 254.9 |
| 1993 | 2.364 | 1.147 | 0.128 | 0.112 | 0.207 | 141.2 | 0.237 | 221.2 | 0.090 | 248.0 | 0.312 | 255.3 |
| 1994 | 2.314 | 1.163 | 0.144 | 0.124 | 0.139 | 145.3 | 0.234 | 219.5 | 0.089 | 251.3 | 0.306 | 253.2 |
| 1995 | 2.307 | 1.177 | 0.117 | 0.099 | 0.109 | 135.3 | 0.235 | 218.5 | 0.096 | 246.4 | 0.304 | 252.2 |
| 1996 | 2.313 | 1.184 | 0.116 | 0.098 | 0.178 | 142.5 | 0.230 | 217.0 | 0.092 | 250.3 | 0.308 | 252.5 |
| 1997 | 2.328 | 1.183 | 0.120 | 0.102 | 0.167 | 136.8 | 0.234 | 217.2 | 0.095 | 247.2 | 0.309 | 252.5 |
| 1998 | 2.353 | 1.169 | 0.158 | 0.135 | 0.185 | 131.1 | 0.230 | 217.3 | 0.095 | 250.1 | 0.307 | 253.0 |
| 1999 | 2.366 | 1.167 | 0.116 | 0.100 | 0.175 | 143.7 | 0.233 | 217.2 | 0.093 | 252.3 | 0.302 | 252.8 |
| 2000 | 2.352 | 1.155 | 0.121 | 0.104 | 0.164 | 144.8 | 0.238 | 217.2 | 0.090 | 251.1 | 0.306 | 252.3 |
| Mean | 2.343 | 1.130 | 0.134 | 0.119 | 0.173 | 138.8 | 0.241 | 223.2 | 0.093 | 257.1 | 0.313 | 257.9 |

(SSD : Standard Deviation of tota signal , RSD : Standard Deviation of Residual, R/S : the Ratio of RSD to SSD)

<표 2.1.1d> (계속).

(Unit : m)

| Con Year | N ₂ | | M ₂ | | S ₂ | | K ₂ | | M ₄ | | Ms ₄ | |
|-------------|----------------|------|----------------|------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|
| | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | 0.231 | 46.1 | 1.248 | 65.1 | 0.388 | 121.0 | 0.107 | 123.2 | 0.175 | 273.5 | 0.113 | 334.5 |
| 1981 | 0.252 | 36.4 | 1.328 | 56.3 | 0.424 | 109.3 | 0.131 | 111.7 | 0.212 | 253.0 | 0.137 | 313.6 |
| 1982 | 0.259 | 36.4 | 1.362 | 54.1 | 0.446 | 107.5 | 0.127 | 103.8 | 0.223 | 248.6 | 0.148 | 311.1 |
| 1983 | 0.262 | 33.7 | 1.354 | 54.0 | 0.444 | 108.1 | 0.129 | 107.8 | 0.220 | 249.1 | 0.147 | 310.4 |
| 1984 | 0.272 | 34.8 | 1.360 | 52.6 | 0.454 | 105.7 | 0.124 | 101.8 | 0.221 | 245.7 | 0.154 | 307.4 |
| 1985 | 0.271 | 36.8 | 1.363 | 53.4 | 0.452 | 106.7 | 0.127 | 102.9 | 0.224 | 247.4 | 0.150 | 309.3 |
| 1986 | 0.261 | 37.5 | 1.366 | 52.9 | 0.461 | 107.5 | 0.125 | 100.8 | 0.220 | 244.0 | 0.151 | 308.1 |
| 1987 | 0.261 | 37.4 | 1.370 | 52.8 | 0.450 | 107.5 | 0.128 | 102.3 | 0.228 | 245.4 | 0.153 | 308.4 |
| 1988 | 0.250 | 35.9 | 1.351 | 52.9 | 0.450 | 107.0 | 0.133 | 104.3 | 0.221 | 245.8 | 0.152 | 307.9 |
| 1989 | 0.252 | 34.6 | 1.351 | 53.1 | 0.452 | 107.0 | 0.125 | 101.4 | 0.224 | 246.0 | 0.150 | 308.7 |
| 1990 | 0.259 | 33.6 | 1.347 | 53.6 | 0.442 | 108.0 | 0.125 | 103.4 | 0.203 | 244.8 | 0.139 | 308.0 |
| 1991 | 0.276 | 24.2 | 1.397 | 44.7 | 0.464 | 97.7 | 0.142 | 99.2 | 0.208 | 219.0 | 0.143 | 284.1 |
| 1992 | 0.283 | 22.4 | 1.407 | 42.8 | 0.471 | 94.2 | 0.125 | 93.9 | 0.215 | 214.6 | 0.156 | 278.4 |
| 1993 | 0.285 | 24.8 | 1.395 | 42.5 | 0.469 | 93.8 | 0.121 | 92.9 | 0.204 | 214.1 | 0.147 | 277.6 |
| 1994 | 0.290 | 23.1 | 1.408 | 39.5 | 0.474 | 90.2 | 0.144 | 86.4 | 0.208 | 199.3 | 0.156 | 264.5 |
| 1995 | 0.279 | 18.9 | 1.426 | 38.0 | 0.477 | 87.3 | 0.131 | 85.6 | 0.218 | 197.3 | 0.163 | 262.2 |
| 1996 | 0.281 | 18.5 | 1.429 | 37.6 | 0.478 | 87.8 | 0.132 | 85.9 | 0.217 | 196.4 | 0.165 | 261.1 |
| 1997 | 0.278 | 19.8 | 1.426 | 38.5 | 0.478 | 89.0 | 0.142 | 88.9 | 0.217 | 198.2 | 0.163 | 264.2 |
| 1998 | 0.272 | 19.8 | 1.402 | 38.2 | 0.474 | 88.2 | 0.135 | 87.9 | 0.212 | 196.4 | 0.158 | 260.9 |
| 1999 | 0.275 | 18.0 | 1.410 | 38.2 | 0.472 | 87.6 | 0.139 | 85.7 | 0.215 | 196.0 | 0.163 | 261.8 |
| 2000 | 0.280 | 15.5 | 1.406 | 37.4 | 0.478 | 86.8 | 0.138 | 84.0 | 0.212 | 195.4 | 0.163 | 259.1 |
| Mean | 0.268 | 29.0 | 1.376 | 47.5 | 0.457 | 99.9 | 0.130 | 97.8 | 0.214 | 227.1 | 0.151 | 290.5 |

<표 2.1.1e> 제주항 검조소 장기조위자료 분석 결과.

Port : Cheju

(Unit : m)

| Con Year | Mean | SSD | RSD | R/S | Sa | | O ₁ | | P ₁ | | K ₁ | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | | | | | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | 1.482 | 0.585 | 0.111 | 0.190 | 0.131 | 149.6 | 0.158 | 187.7 | 0.068 | 213.7 | 0.221 | 219.2 |
| 1981 | 1.501 | 0.605 | 0.082 | 0.135 | 0.190 | 148.8 | 0.164 | 190.8 | 0.074 | 215.2 | 0.223 | 221.0 |
| 1982 | 1.480 | 0.607 | 0.070 | 0.115 | 0.169 | 142.2 | 0.167 | 189.8 | 0.071 | 216.5 | 0.227 | 220.2 |
| 1983 | 1.495 | 0.604 | 0.080 | 0.133 | 0.183 | 135.2 | 0.169 | 189.8 | 0.073 | 213.5 | 0.227 | 220.5 |
| 1984 | 1.479 | 0.600 | 0.069 | 0.114 | 0.165 | 145.3 | 0.165 | 188.9 | 0.072 | 214.6 | 0.224 | 219.8 |
| 1985 | 1.488 | 0.599 | 0.079 | 0.132 | 0.172 | 135.0 | 0.167 | 189.2 | 0.070 | 215.7 | 0.224 | 220.4 |
| 1986 | 1.483 | 0.595 | 0.080 | 0.135 | 0.166 | 152.0 | 0.166 | 189.5 | 0.072 | 214.9 | 0.225 | 221.1 |
| 1987 | 1.509 | 0.590 | 0.080 | 0.135 | 0.160 | 149.0 | 0.165 | 190.8 | 0.070 | 217.5 | 0.228 | 221.1 |
| 1988 | 1.478 | 0.603 | 0.068 | 0.113 | 0.163 | 128.9 | 0.170 | 189.7 | 0.074 | 216.8 | 0.232 | 220.0 |
| 1989 | 1.515 | 0.601 | 0.081 | 0.134 | 0.173 | 145.4 | 0.169 | 192.1 | 0.073 | 217.8 | 0.228 | 222.2 |
| 1990 | 1.515 | 0.605 | 0.080 | 0.133 | 0.191 | 140.3 | 0.168 | 192.5 | 0.073 | 218.6 | 0.229 | 222.5 |
| 1991 | 1.522 | 0.613 | 0.081 | 0.132 | 0.192 | 154.0 | 0.170 | 192.9 | 0.075 | 219.2 | 0.229 | 222.6 |
| 1992 | 1.535 | 0.609 | 0.067 | 0.109 | 0.167 | 146.5 | 0.165 | 191.9 | 0.076 | 218.6 | 0.230 | 223.3 |
| 1993 | 1.493 | 0.604 | 0.074 | 0.122 | 0.158 | 137.8 | 0.165 | 194.2 | 0.073 | 217.2 | 0.231 | 224.3 |
| 1994 | 1.541 | 0.601 | 0.077 | 0.127 | 0.171 | 147.7 | 0.167 | 193.8 | 0.070 | 219.3 | 0.230 | 224.5 |
| 1995 | 1.520 | 0.601 | 0.073 | 0.121 | 0.134 | 142.9 | 0.167 | 193.7 | 0.075 | 218.1 | 0.226 | 224.9 |
| 1996 | 1.519 | 0.599 | 0.072 | 0.120 | 0.183 | 150.5 | 0.163 | 191.8 | 0.071 | 221.4 | 0.228 | 225.1 |
| 1997 | 1.555 | 0.607 | 0.076 | 0.125 | 0.166 | 140.9 | 0.165 | 188.6 | 0.074 | 213.8 | 0.229 | 220.2 |
| 1998 | 1.560 | 0.600 | 0.084 | 0.140 | 0.138 | 142.8 | 0.168 | 188.9 | 0.074 | 214.1 | 0.230 | 220.7 |
| 1999 | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | 1.563 | 0.607 | 0.069 | 0.114 | 0.196 | 168.0 | 0.172 | 188.3 | 0.081 | 210.3 | 0.221 | 218.9 |
| Mean | 1.512 | 0.602 | 0.078 | 0.129 | 0.168 | 145.1 | 0.167 | 190.7 | 0.073 | 216.3 | 0.227 | 221.6 |

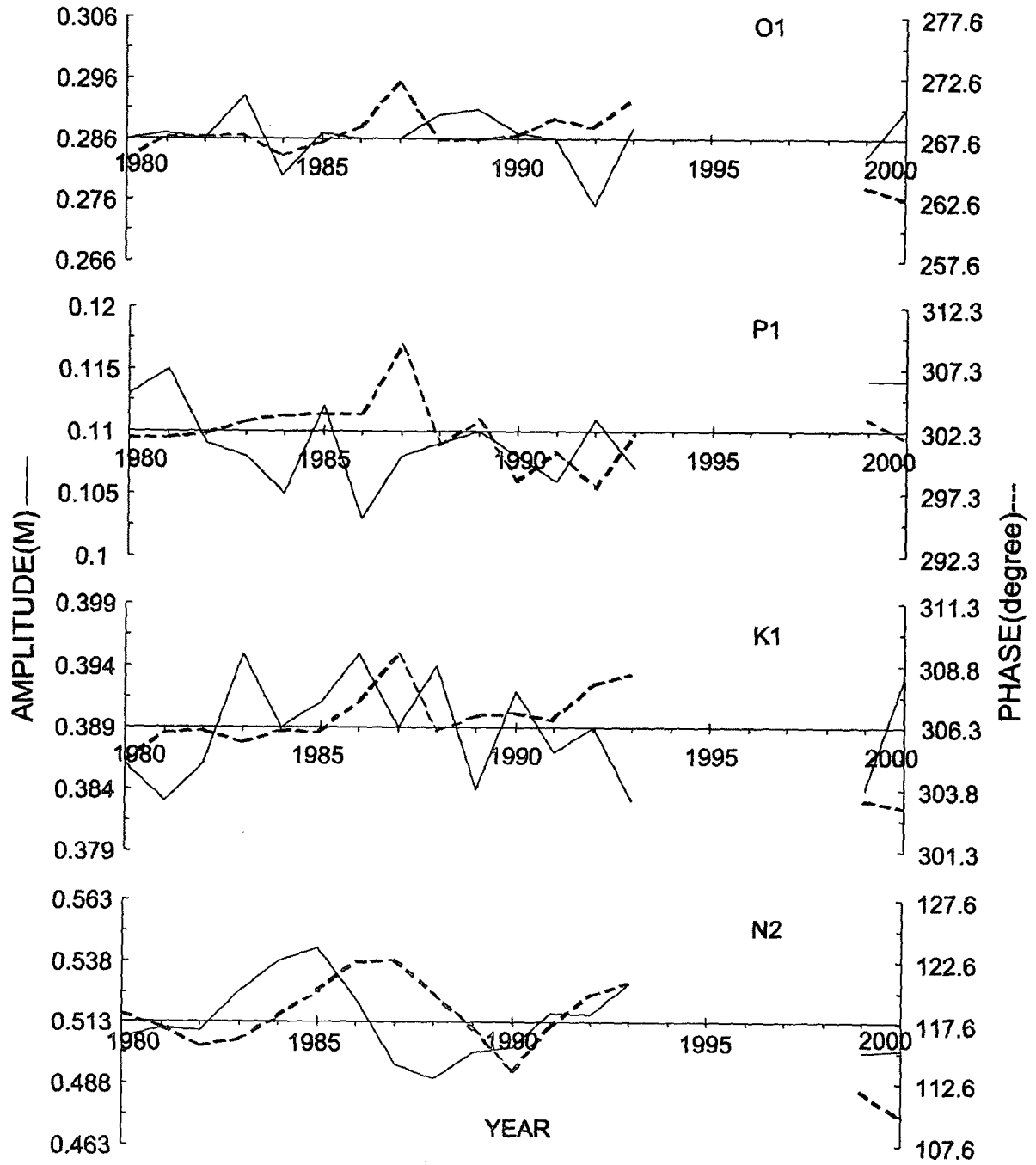
(SSD : Standard Deviation of tota signal , RSD : Standard Deviation of Residual, R/S : the Raio of RSD to SSD)

<표 2.1.1e> (계속).

(Unit : m)

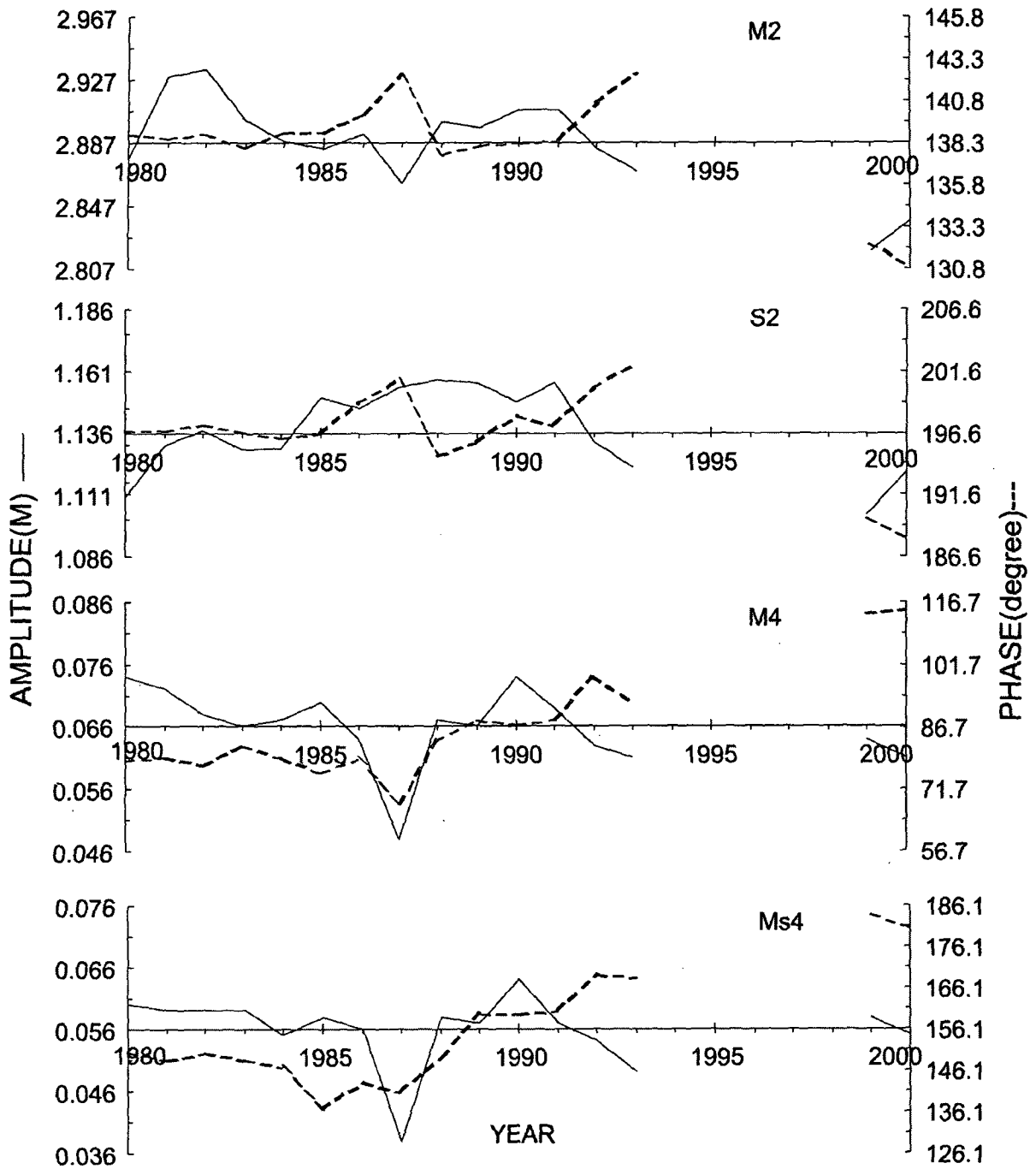
| Con Year | N ₂ | | M ₂ | | S ₂ | | K ₂ | | M ₄ | | Ms ₄ | |
|-------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|
| | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G | H | G |
| 1980 | 0.141 | 300.5 | 0.669 | 316.2 | 0.264 | 346.0 | 0.071 | 346.4 | 0.026 | 176.5 | 0.023 | 235.9 |
| 1981 | 0.151 | 300.9 | 0.685 | 317.2 | 0.283 | 346.4 | 0.079 | 347.1 | 0.026 | 156.4 | 0.019 | 214.7 |
| 1982 | 0.155 | 297.6 | 0.697 | 314.8 | 0.289 | 344.5 | 0.081 | 338.9 | 0.028 | 142.4 | 0.020 | 196.8 |
| 1983 | 0.157 | 296.7 | 0.690 | 314.3 | 0.285 | 344.2 | 0.077 | 336.5 | 0.029 | 144.5 | 0.020 | 196.4 |
| 1984 | 0.158 | 297.3 | 0.690 | 314.6 | 0.288 | 343.2 | 0.079 | 339.0 | 0.027 | 145.5 | 0.020 | 203.9 |
| 1985 | 0.156 | 300.9 | 0.689 | 315.7 | 0.287 | 344.8 | 0.076 | 337.2 | 0.029 | 152.3 | 0.022 | 209.2 |
| 1986 | 0.154 | 302.0 | 0.689 | 316.2 | 0.285 | 346.0 | 0.079 | 338.9 | 0.029 | 156.0 | 0.024 | 213.6 |
| 1987 | 0.148 | 303.7 | 0.684 | 317.7 | 0.280 | 347.1 | 0.072 | 337.0 | 0.029 | 157.9 | 0.023 | 215.9 |
| 1988 | 0.150 | 298.9 | 0.699 | 312.8 | 0.288 | 342.3 | 0.079 | 338.3 | 0.032 | 134.6 | 0.021 | 189.5 |
| 1989 | 0.151 | 300.8 | 0.692 | 317.6 | 0.288 | 346.5 | 0.070 | 340.4 | 0.029 | 159.4 | 0.023 | 213.0 |
| 1990 | 0.154 | 300.9 | 0.694 | 317.9 | 0.287 | 347.3 | 0.074 | 341.6 | 0.030 | 149.6 | 0.022 | 206.3 |
| 1991 | 0.161 | 301.1 | 0.699 | 318.6 | 0.288 | 347.9 | 0.076 | 340.6 | 0.031 | 151.1 | 0.022 | 208.2 |
| 1992 | 0.161 | 304.8 | 0.700 | 320.4 | 0.287 | 350.4 | 0.073 | 342.9 | 0.032 | 156.2 | 0.023 | 212.5 |
| 1993 | 0.158 | 307.2 | 0.693 | 321.6 | 0.285 | 352.0 | 0.073 | 343.3 | 0.031 | 157.9 | 0.022 | 213.4 |
| 1994 | 0.154 | 309.9 | 0.686 | 324.3 | 0.280 | 354.1 | 0.070 | 351.3 | 0.031 | 158.0 | 0.021 | 217.0 |
| 1995 | 0.154 | 308.9 | 0.691 | 324.5 | 0.280 | 353.9 | 0.073 | 349.7 | 0.031 | 159.7 | 0.021 | 216.1 |
| 1996 | 0.153 | 310.3 | 0.683 | 324.5 | 0.273 | 353.9 | 0.069 | 348.7 | 0.032 | 160.9 | 0.022 | 219.0 |
| 1997 | 0.150 | 301.5 | 0.694 | 316.2 | 0.280 | 345.5 | 0.075 | 343.8 | 0.033 | 145.1 | 0.025 | 207.1 |
| 1998 | 0.149 | 300.1 | 0.687 | 315.3 | 0.281 | 343.9 | 0.076 | 339.4 | 0.033 | 140.9 | 0.023 | 200.3 |
| 1999 | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | 0.156 | 296.2 | 0.691 | 312.9 | 0.285 | 342.5 | 0.074 | 338.9 | 0.034 | 134.0 | 0.022 | 191.4 |
| Mean | 0.154 | 302.0 | 0.690 | 317.7 | 0.283 | 347.1 | 0.075 | 342.0 | 0.030 | 151.9 | 0.022 | 209.0 |

Inchon



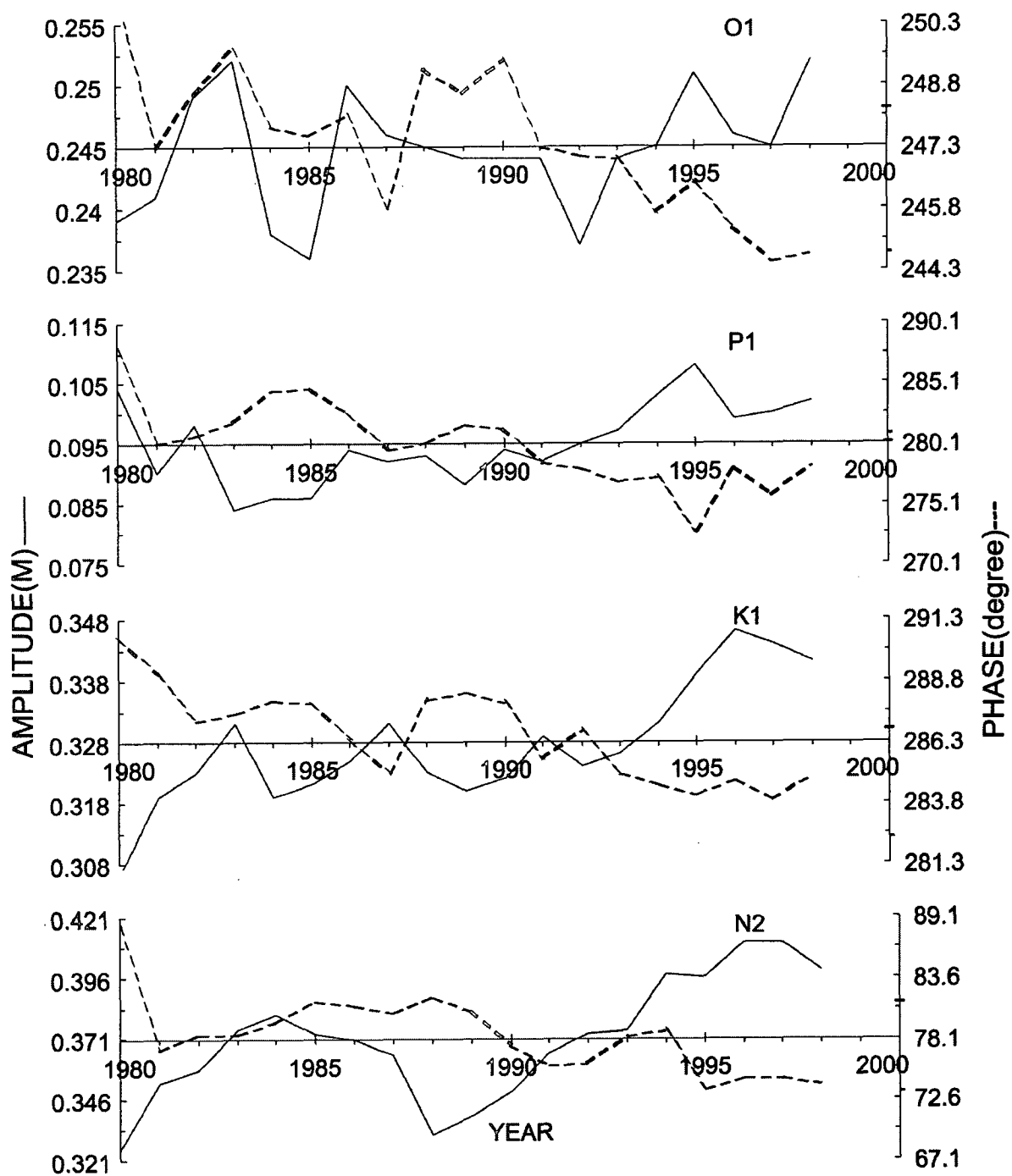
<그림 2.1.1> 인천에서의 주요 조화상수 연변화.

Inchon



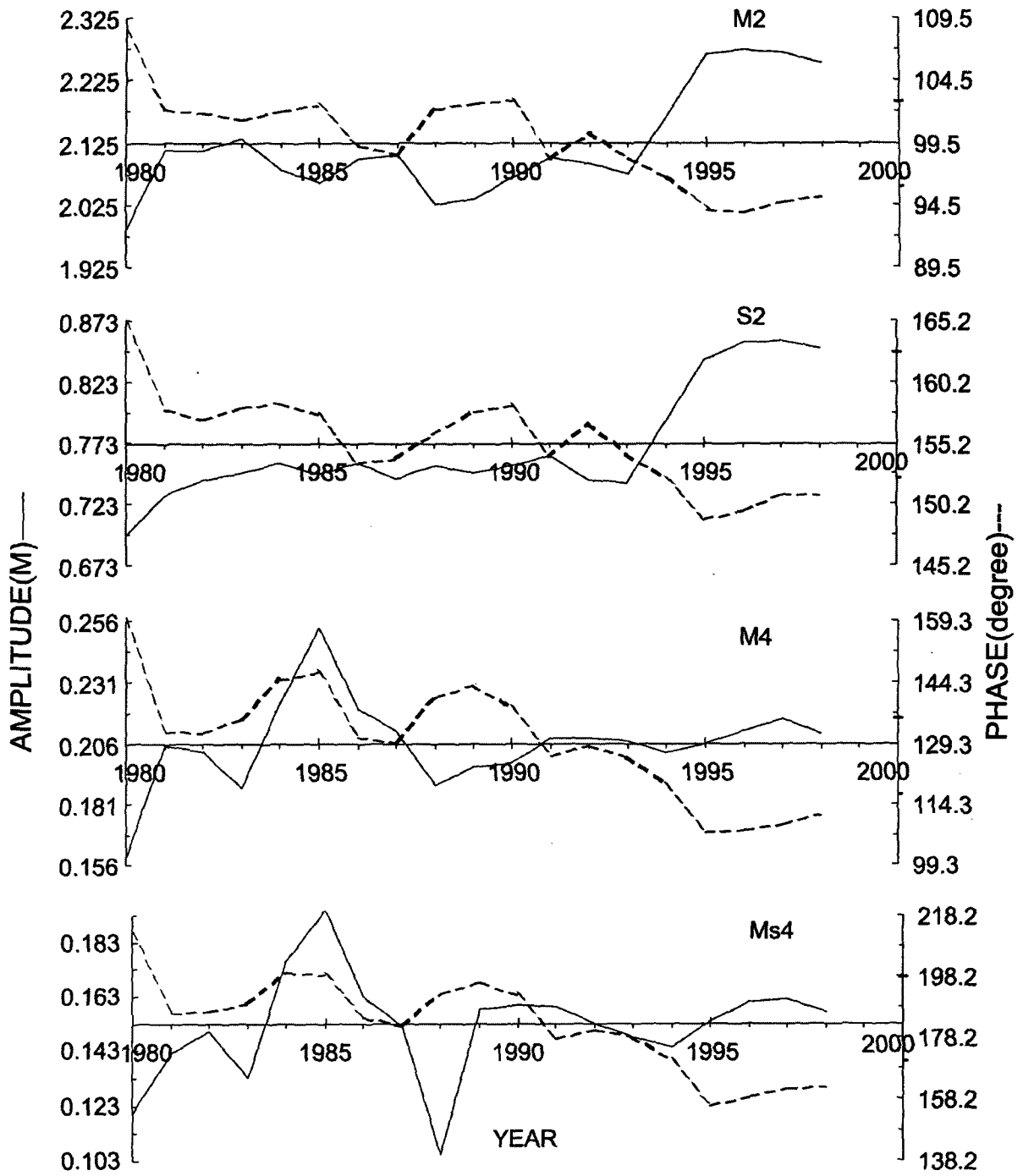
<그림 2.1.1> (계속).

Gusan Inner

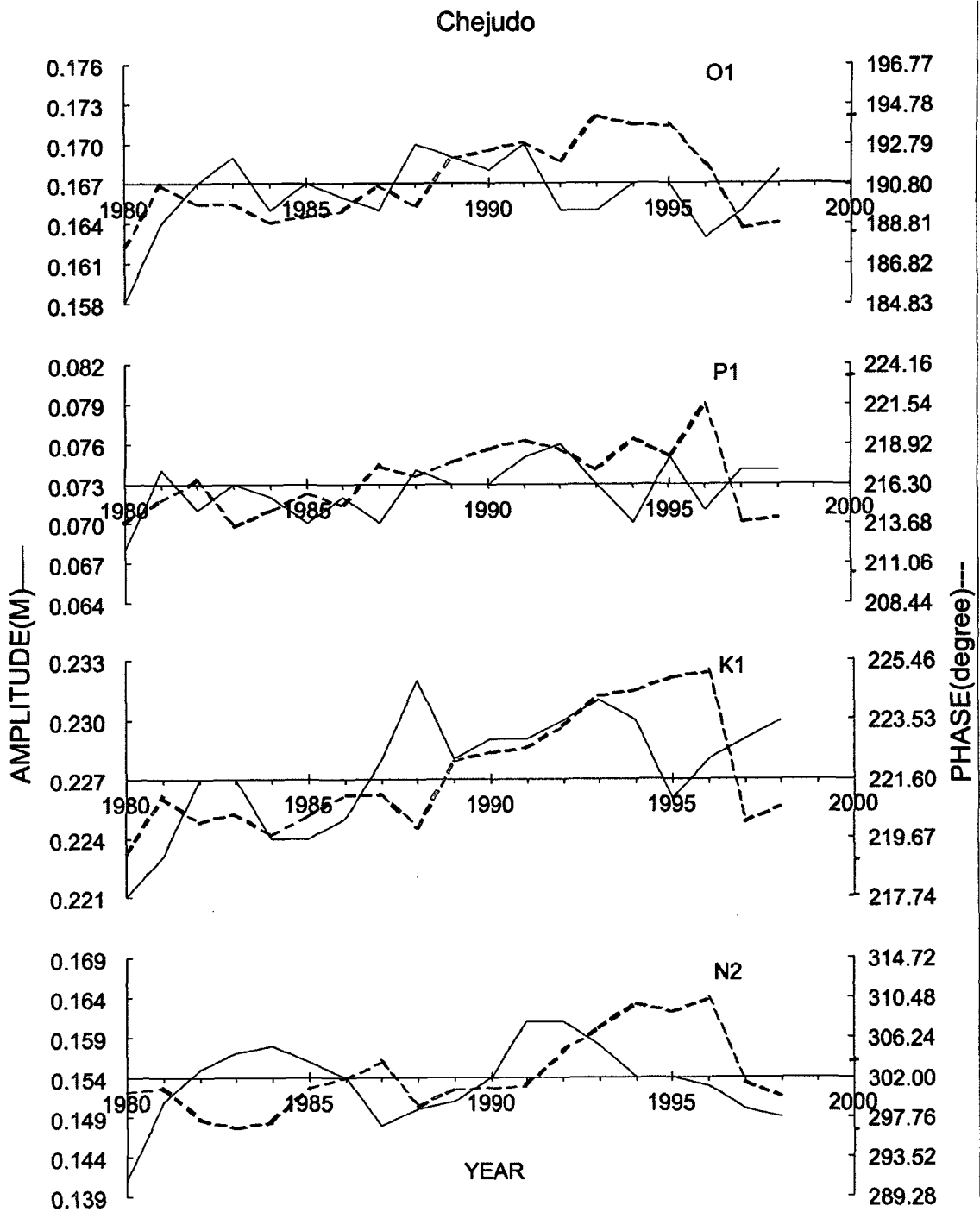


<그림 2.1.2> 군산내항에서의 주요 조화상수 연변화.

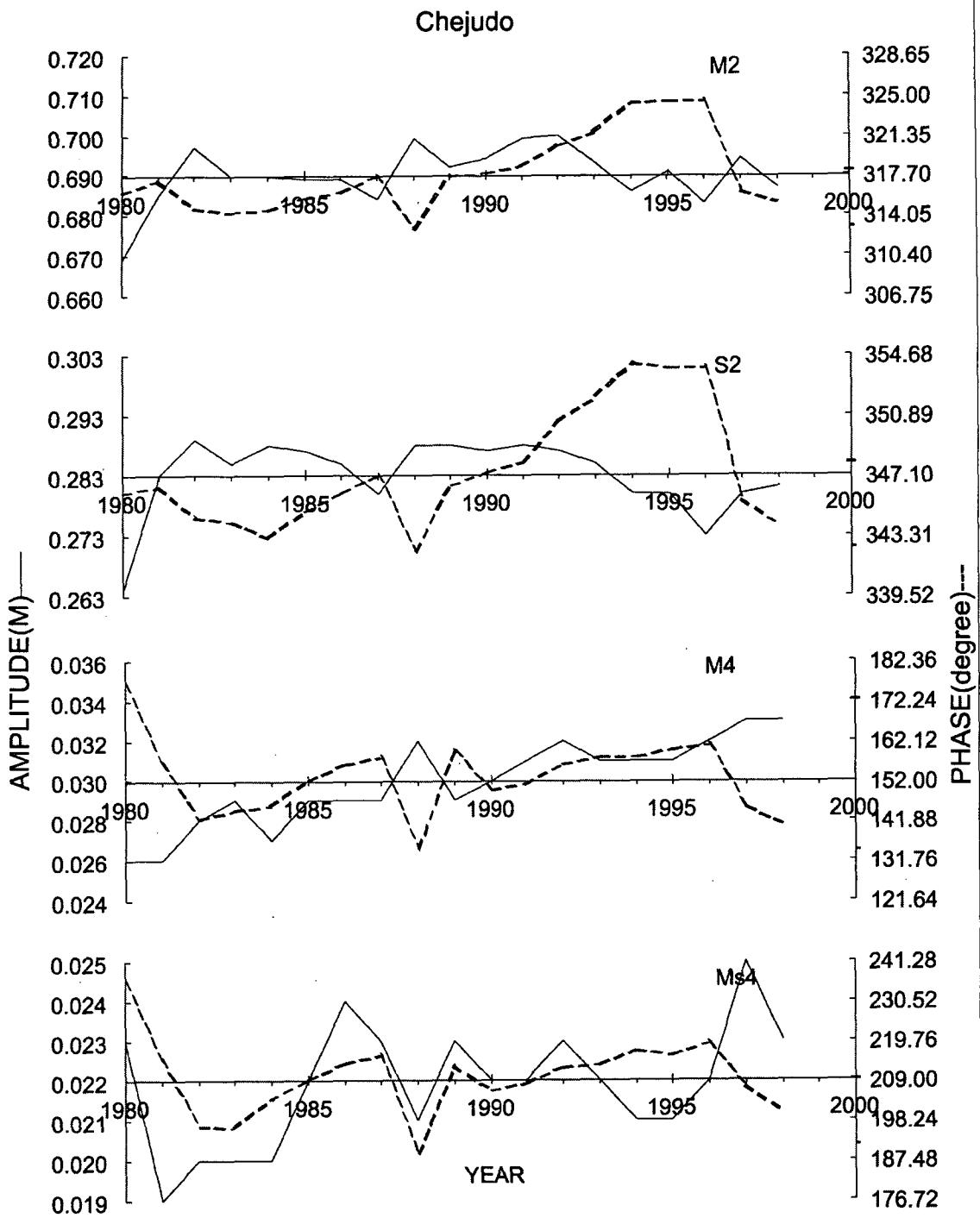
Gunsan Inner



<그림 2.1.2> (계속).



<그림 2.1.3> 제주항에서의 주요 조화상수 연변화.



<그림 2.1.3> (계속).

2. 조석의 계절 변화 및 기작

가. 개요

조위예측의 정확도를 향상시키기 위한 방안으로는 보다 신뢰성 있는 조화상수를 산출하여 예측의 정확도를 높이는 방법이 있다. 이러한 방법의 적용가능성 여부는 현재 사용되고 있는 조석예측을 위한 조화상수가 조위예측에 적절하지 않다는 전제하에서 출발한다. 이러한 전제는 기존 연구(Kang et al, 1995)에서 조석조화 상수에 계절변화가 있다는 사실과 이러한 변화를 적절히 반영한 예측이 수행되면 현재 조위예측에서 관측치의 약 10%로 해당하는 오차의 크기를 일정 부분 줄일 수 있다는 점을 시사한다. 본 항에서는 조석분조 특히 M2 분조의 계절변화 특성에 의해서 나타나는 오차를 줄이는 방법에 대해 중점적으로 고찰한다. 아울러 이러한 반조차의 계절변화가 일어나는 기작에 관하여 검토한다.

나. M2 분조의 계절변화 특성의 정량적 분석 및 조위예측 정확도 개선방향

우리나라 주변의 고정검조소 중에서 인천, 평택, 안흥, 보령, 군산외항, 위도, 완도, 추자도, 거문도, 제주, 서귀포에서의 검조소별로 5년간의 자료에 대해 월분석하여 그 변화폭과 표준편차 등을 검토하였다. 자료 분석에 사용된 기본 자료는 최근 국립해양조사원의 검토를 통하여 제공된 자료를 사용하였다. 대부분의 지역에서 1987년에서 1991년에 걸친 5년간의 자료를 이용하였으나, 평택과 같은 일부 관측점에서는 자료제한으로 1년간의 자료 분석에 국한하였다.

주요 관측점에서 월자료의 관측 기간 동안의 평균치는 <표 2.1.2>와 같다. 각 관측점에서 월에 따른 변화가 두드러진다. 연안 관측점에서 계절변화가 나타난다는 사실은 Kang et al. (1995, Continental Shelf Research)에 의해 보고된 바 있다. 본 연구에서는 위의 저자들이 분석하지 않았던 점까지 포함, 서해에 위치한 대부분의 관측점들에서도 같은 특성이 나타나는 것을 확인하였다. 대체로 2월에 진폭의 반조차가 최소인 경우는 인천, 평택, 안흥, 보령, 군산, 위도를 들 수 있으며, 남쪽의 완도, 추자도, 거문도, 제주 및 서귀포에서는 2월에 최대값이 나타난다. 대략 위도를 경계로 북쪽 연안은 겨울철에 최소하계에 최대를 보이며, 남측연안 특히 제주해협과 대한해협 인접 관측점에서는 동계에 최

대, 하계에 진폭이 최소가 나타난다. 아울러 인천에서의 2월과 8월의 5년 동안의 각 관측 점에서 2월과 8월 진폭의 5년 동안의 표준편차는 <표 2.1.3>에 제시된 바와 같다. 각 관측점에서의 2월과 8월의 5년 동안 진폭의 표준편차는 대체로 2cm 이내로서 진폭차를 고려할 때, 대체로 계절변화가 나타남을 통계적으로 파악할 수 있다. 계절변화가 특히 크게 나타나는 점은 평택으로서 8월이 2월보다 12.3cm 크게 나타난다. 완도의 경우는 2월(109.5cm)이 8월(101.3cm)보다 8.2cm 크게 나타나는 두드러진 특성을 보인다.

<표 2.1.2> 11개 검조소의 5년 평균 M2 조화분조의 월변화. 진폭(am)의 단위는 cm이며 지각의 단위는 도(degree).

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 인천 | am | 289.4 | 284.4 | 282.9 | 288.3 | 293.4 | 293.1 | 289.9 | 289.1 | 290.5 | 289.2 | 289.4 | 290.0 |
| | ph | 137.9 | 137.9 | 139.3 | 139.0 | 139.2 | 138.8 | 138.8 | 141.1 | 142.5 | 141.3 | 139.0 | 135.8 |
| 평택 | am | 286.4 | 285.0 | 284.6 | 286.2 | 286.9 | 288.9 | 293.6 | 297.3 | 297.7 | 295.3 | 287.7 | 283.6 |
| | ph | 128.0 | 128.6 | 129.5 | 129.5 | 129.0 | 128.4 | 128.4 | 129.2 | 129.5 | 130.7 | 130.9 | 129.0 |
| 안흥 | am | 209.5 | 207.1 | 206.7 | 209.4 | 211.0 | 210.8 | 209.1 | 209.9 | 210.10 | 210.4 | 209.7 | 210.2 |
| | ph | 102.8 | 103.0 | 103.1 | 103.4 | 103.0 | 102.7 | 103.4 | 104.8 | 105.1 | 104.9 | 104.6 | 103.1 |
| 보령 | am | 228.8 | 226.0 | 225.3 | 228.4 | 230.6 | 230.9 | 228.3 | 229.1 | 229.4 | 230.2 | 229.1 | 229.1 |
| | ph | 94.8 | 94.8 | 95.5 | 95.3 | 95.0 | 94.4 | 94.9 | 96.5 | 97.0 | 96.8 | 96.0 | 95.1 |
| 군산외항 | am | 215.6 | 212.7 | 213.8 | 216.6 | 218.5 | 221.2 | 219.2 | 218.2 | 219.3 | 219.4 | 216.8 | 216.8 |
| | ph | 89.6 | 89.5 | 89.9 | 89.7 | 88.4 | 87.7 | 88.8 | 89.3 | 90.2 | 90.3 | 90.7 | 89.2 |
| 위도 | am | 197.3 | 194.5 | 195.0 | 196.6 | 196.7 | 197.3 | 195.4 | 195.6 | 196.9 | 198.1 | 196.7 | 197.4 |
| | ph | 74.6 | 74.5 | 74.6 | 75.9 | 76.5 | 75.1 | 75.6 | 76.8 | 77.8 | 77.2 | 76.9 | 75.2 |
| 완도 | am | 107.9 | 109.5 | 109.3 | 108.0 | 106.5 | 104.4 | 102.2 | 101.3 | 101.3 | 103.3 | 103.9 | 105.3 |
| | ph | 295.8 | 295.6 | 295.3 | 295.4 | 294.8 | 293.9 | 294.2 | 294.3 | 295.6 | 295.7 | 295.2 | 295.9 |
| 추자도 | am | 89.9 | 90.9 | 90.6 | 89.1 | 87.4 | 85.7 | 83.4 | 82.5 | 83.6 | 85.6 | 86.1 | 87.9 |
| | ph | 323.2 | 322.5 | 322.6 | 322.5 | 323.9 | 323.2 | 323.2 | 324.8 | 325.6 | 324.8 | 323.4 | 323.5 |
| 거문도 | am | 90.2 | 92.0 | 91.9 | 90.8 | 89.8 | 88.3 | 86.5 | 85.8 | 85.4 | 86.9 | 87.7 | 88.6 |
| | ph | 278.9 | 278.1 | 278.8 | 278.1 | 276.7 | 276.0 | 275.8 | 276.3 | 277.7 | 277.6 | 277.5 | 278.7 |
| 제주 | am | 71.9 | 72.9 | 72.8 | 71.5 | 69.8 | 68.2 | 66.7 | 66.0 | 66.6 | 68.1 | 68.6 | 70.0 |
| | ph | 317.3 | 315.8 | 315.9 | 315.6 | 316.4 | 315.7 | 316.0 | 316.2 | 318.1 | 318.8 | 318.4 | 319.4 |
| 서귀포 | am | 78.3 | 79.4 | 79.0 | 77.9 | 76.8 | 75.9 | 74.5 | 73.2 | 73.1 | 75.0 | 75.6 | 76.5 |
| | ph | 283.3 | 283.1 | 282.6 | 282.2 | 281.4 | 280.5 | 279.9 | 280.3 | 281.8 | 282.5 | 282.5 | 283.1 |

<표 2.1.3> 11개 검조소의 M2 5년평균 진폭의 표준편차(cm).

| | 인천 | 평택 | 안흥 | 보령 | 군산 외항 | 위도 | 완도 | 추자도 | 거문도 | 제주도 | 서귀포 |
|------------|-----|----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 동계 (2월) | 1.1 | - | 1.9 | 1.5 | 1.8 | 1.8 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.4 |
| 하계 (8월) | 2.0 | - | 1.9 | 2.3 | 2.5 | 1.6 | 1.1 | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.6 |

위의 특성으로부터 하계와 동계의 차가 크게 나타나는 지점에서의 조위예보를 위해 1년 자료 분석 결과를 사용하는 것보다는 해당 월의 자료를 사용하는 것이 오차를 줄일 수 있는 방법이라고 판단할 수 있다. 차이가 크게 나타나는 평택이나 완도의 경우 그 효과가 클 것임을 알 수 있다. 동계와 하계에 보이는 M2 분조의 계절변화 특성을 예측에 활용하는 구체적인 방법은 동계와 하계를 대표하는 적절한 조화상수를 선택하여 이를 조위예보에 활용하는 방법이다. 이를 위한 구체적인 방법으로서 동계는 1~3월의 대표치(평균치)를 하계는 7~9월의 대표치를 산출하여 동계와 하계예보에 활용하는 방법이다. <표 2.1.4>에 각 지점의 동계와 하계의 대표 조화상수값을 제시하였다.

<표 2.1.4> 평택을 제외한 11개 검조소의 5년평균 자료에 근거한 동계와 하계 조화상수 차이. 진폭(am)과 지각(ph)의 단위는 각각 cm, degree.

| | | 인천 | 평택 | 안흥 | 보령 | 군산 외항 | 위도 | 완도 | 추자도 | 거문도 | 제주도 | 서귀포 |
|----|----|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 동계 | am | 285.6 | 285.4 | 207.8 | 226.7 | 214.0 | 195.6 | 108.9 | 90.5 | 91.4 | 72.5 | 78.9 |
| | ph | 138.4 | 128.7 | 103.0 | 95.0 | 89.7 | 74.6 | 295.6 | 322.7 | 278.6 | 316.3 | 283.0 |
| 하계 | am | 289.9 | 296.2 | 209.7 | 228.9 | 218.9 | 196.0 | 101.6 | 83.2 | 85.9 | 66.4 | 73.6 |
| | ph | 140.8 | 129.0 | 104.5 | 96.1 | 89.4 | 76.7 | 294.7 | 324.5 | 276.6 | 316.8 | 280.6 |

동계와 하계의 진폭차가 약 5cm 이상 나는 지점은 평택, 군산외항, 완도, 추자도, 거문도, 제주도 및 서귀포이다. 상대적으로 위상의 차이는 작게 나타나며 최대 2.5°이하가 나타난다. 여타의 다른 검조소 관측점에서도 이러한 계절변화 특성이 나타나고 있으며, 관측지점에 따라 그 변화의 크기는 차이가 난다. 평택 검조소에서는 자료 제한으로 1년간의 자료 분석에 국한하였다. 지역에 따라 진폭의 계절변동의 위상이 다르게 나타나며, 대체로 2월에 진폭의 반조차가 최소인 경우는 인천, 평택, 안흥, 보령, 군산, 위도를 들 수 있으며, 남쪽의 완도, 추자도, 거문도, 제주 및 서귀포에서는 2월에 최대값이 나타난다.

이러한 계절변화의 원인을 규명하기 위하여 Kang et al. (1995)은 한반도 주변해에서 나타나는 해류의 계절변화에 유의하여 해류와 조석과의 상호작용 가능성에 관하여 가설을 제시하였다. 대한해협에서 나타나는 해류의 계절변화가 비선형 해저마찰항의 역할을 통해 M2 분조에 작용하는 해저마찰력의 계절변화에 영향을 미치며 이로 인한 마찰항의 크기가 계절적 변화를 보이고 이 효과가 M2 분조의 계절변화에 영향을 미칠 수 있다고 추정하였다. 하지만 마찰항의 계절변화의 크기가 M2 분조의 현격한 계절변화에 영향을 줄 정도는 아니며, 정량적으로 M2 분조에 영향을 주는 정도를 규명하지 못하였다.

문헌에 나타나는 M2 조화상수의 계절변화는 캐나다 벤쿠버섬내의 빅토리아항에서의 관측점에서 체계적인 계절변화가 나타난다는 점이 보고(Foreman et al. 1995)된 바를 제외하고는 연구 사례가 거의 없는 실정이었다. 그간은 조화상수의 불규칙한 변동이 분석자료 기간이 짧아서 나타나는 분석상의 오차, 기상요인 등에 의한 것으로 여겨져 왔을 뿐이다. 즉 한반도 주변 해양에서 나타나는 것과 같은 현상이 여타 지역에서는 뚜렷하게 나타나지 않았기 때문에 이러한 현상에 대한 역학적 원인 규명에 관한 연구도 찾아보기 힘든 형편이다.

조석의 계절변동은 조석예보의 정확도 향상측면에서나, 단기간 조석관측에 의한 조력에너지 평가시 유의해야 할 사항이다. 계절 변동이 있다는 의미는 조석이 관측된 시기에 따라 다르며, 특정 월에 관측된 결과는 그 값이 대표치인가의 측면에서 오차가 있을 수 있음을 암시하기 때문이다.

다. 조석 계절변화 기작규명을 위한 2층류 모델실험

전항에서 분석한 M2 분조의 계절변화의 기작이 무엇인가에 관하여 그간 국외는 물론 국내에서도 초보적인 연구 (Kang et al. 1999)를 제외하고는 거의 수행되지 못하였다. Kang et al.(1995)은 이러한 변화가 유발될 수 있는 요인 중에 양자강수 등의 계절변화에 의한 담수효과 등의 Baroclinic 효과에 기인할 수도 있다고 지적한 바가 있으며, 이외에도 계절변화가 뚜렷한 현상 중에 계절적인 성층현상이 이를 유발할 수도 있는 요인이 될 수 있음을 지적하였다.

따라서 이 같은 계절변화를 유발하는 현상으로서 계절적인 성층현상과의 상관성에 유의하여 3차원 2층 모델을 이용한 수치실험을 실시하였다. 본 연구를 통해 계절적인 성층현상의 변화가 계절적인 조석 에너지 플럭스의 황해 입구역에서 조석에너지 플럭스의 비대칭적인 변화를 유발하여 궁극적으로 한반도 남서단 구역에서의 하계 진폭감소를 가져옴을 설명할 수 있었다.

상기 연구결과는 저명한 국제학술지인 “Journal of Geophysical Research”(Vol. 107, No C3)에 “Two-Layer Tidal Modeling of the Yellow and East China Seas with Application to Seasonal Variability of the M2 tide”라는 제목으로 게재되었다. 그 중요성과 학술적 가치를 고려하여 연구결과를 아래에 수록한다.

상기 논문의 내용을 간단히 요약하면, 계절변화를 유발하는 현상으로서 계절적인 성층현상과의 상관성에 유의하여 3차원 2층모델을 이용한 수치실험을 실시하였다. 본 연구를 통해 계절적인 성층현상의 변화가 계절적인 조석 에너지 플럭스의 황해 입구역에서 조석에너지 플럭스의 비대칭적인 변화를 유발하여 궁극적으로 한반도 남서단 구역에서의 하계 진폭감소를 가져옴을 설명할 수 있었다. 수치실험에서 하계 조건은 상층의 두께를 15~20m 조건에서 실험한 결과, 15m 조건에서 관측치와의 RMS 오차가 가장 작게 나오는, 상대적으로 가장 양호한 결과를 보였다. 하계 최대 진폭 감소가 나타나는 지점은 진도 서남측 연안역으로서 동계에 비해 약 14cm의 진폭감소가 나타나는 것으로 예측되었다. 본 연구 논문에서는 중국연안에서의 계절변화 역시 고도위성자료를 분석하여 모델 계산치와 비교하였으며, 대체로 모델 계산치와 관측치가 전반적으로 양호하게 일치하였다.

모델 영역에서 진폭의 증가는 경기만에서 10-20 cm 이상 나타났으며, 평택에서 관측된 하계 M_2 진폭의 12cm의 증가는 모델과 상당히 일치하여 본 연구결과가 조위예측 개선 연구의 중요한 결과가 됨을 암시한다. 특정지역의 10-20cm의 계절변화는 현재 조위예측시의 10-20cm 내외의 오차를 크게 줄일 수 있음을 암시한다.

Two-layer tidal modeling of the Yellow and East China Seas with application to seasonal variability of the M_2 tide

Sok Kuh Kang,¹ Michael G. G. Foreman,² Heung-Jae Lie,¹ Jae-Hak Lee,¹ Josef Cherniawsky,² and Ki-Dai Yum¹

Received 8 February 2001; revised 20 August 2001; accepted 17 October 2001; published 23 March 2002.

[1] The baroclinic response of tide and tidal currents in the Yellow and East China Seas is investigated using a two-layer numerical model. Seasonal variability in the M_2 tide, especially the smaller summer amplitudes prevailing along the Korea/Tsushima Strait [Kang *et al.*, 1995], is investigated by a series of numerical experiments with varying degrees of stratification specific to winter and summer. Model results show that the summer amplitudes of the M_2 tide around the southwestern tip of the Korean peninsula and Korea/Tsushima Strait decrease, with a peak decrease of about 14 cm off the southwestern tip of the Korean peninsula, while the summer amplitudes in other coastal regions tend to increase. This seasonal variability generally coincides with the observations. These models results indicate that seasonal stratification has several noticeable effects on the tides, including varying degrees of current shear, varying frictional dissipation, and varying barotropic energy flux. In particular, it drives complicated seasonal variability in the M_2 tide, with a peak amplitude modulation of nearly 5% off the southwestern tip of the Korean peninsula. The seasonal variation of barotropic M_2 energy flux through the eastern entrance of the Yellow Sea is thought to induce the corresponding variability in the M_2 amplitude in the Korea/Tsushima Strait, with smaller amplitudes found in the summer. **INDEX TERMS:** 4219 Oceanography: General: Continental shelf processes; 4255 Oceanography: General: Numerical modeling; 4560 Oceanography: Physical: Surface waves and tides (1255); **KEYWORDS:** Two layer, modeling, M_2 , seasonal variability

1. Introduction

[2] Comprehensive studies on the tide and tidal currents in the Yellow and East China Seas (YECS) have been carried out by Ogura [1933]. He produced cotidal and corange charts in these seas based upon a large number of tidal measurements [see also Defant, 1960]. The tide or tidal current data used in these charts are not usually classified according to the seasons, even though seasonal baroclinic effects may exist. The tidal charts are generally believed to describe the barotropic tide. However, coamplitude lines may be significantly distorted or have large irregularities due to strong baroclinic effects, as revealed by TOPEX/Poseidon satellite observations [Ray and Mitchum, 1996] and numerical modeling [Kang *et al.*, 2000].

[3] Tides in the YECS are very complex with many amphidromic systems and a large tidal range in Kyunggi Bay (Figure 1). Therefore they have been the subject of frequent numerical and analytical modeling studies. Various numerical experiments have been carried out to investigate tides in the YECS, using both two and three-dimensional finite difference [An, 1997; Choi, 1980; Kang *et al.*, 1991, 1998; Kantha *et al.*, 1996; Lee and Beardsley, 1999] and finite element [Lefevre *et al.*, 2000] models. However, most studies focused on barotropic features using the two-dimensional models, and even the three-dimensional studies were generally carried out with homogenous density. An exception is the study by Lee and Beardsley [1999], who investigated the residual circulation under both homogenous conditions and schematic stratified conditions arising from the complex water mass charac-

teristics in the YECS. These main water masses are the Yellow Sea Bottom cold water, the saline water of Kuroshio origin (often called Tsushima Warm Current water) flowing into East/Japan Sea through the South Sea of Korea [Lie and Cho, 1994], and several Chinese and Korean coastal waters.

[4] Even though the water masses in the YECS are complicated horizontally, their representative feature is that they are strongly stratified in summer and become homogenous or well mixed in most shelf regions in the winter. In the southern Yellow Sea, the stratification is strongly determined by the Yangtze River discharge and the Tsushima Warm Current flowing through Korea/Tsushima Strait, with a detouring branch around the Cheju Island [Lie *et al.*, 2000]. This seasonal pattern allows us to schematize roughly water mass features as partly stratified, strongly stratified, and well mixed, as the seasons vary from spring to winter, respectively. Consequently, baroclinic tidal features can be investigated using a two-layer model with varying stratification determined by the upper layer thickness and the density difference between the layers.

[5] Actually, we expect that current shear appears in a two-layer schematization through the following process. Assuming that the phase of the interfacial disturbance has a linear relation with the surface tide, the surface barotropic tide induces an interfacial slope between the layers since there is a horizontal gradient of surface cotidal lines. Another mechanism inducing interfacial slope may be internal tide generation. These tides arise under specific depth gradient and stratification conditions. Many researchers have investigated internal tide generation using numerical models [e.g. Holloway, 1996; Cummins and Oey, 1997; Kang *et al.*, 2000]. The gradient of interfacial slope arising from the above processes will raise the current shear between layers in terms of the thermal wind relation.

[6] Kang *et al.* [1995] showed that M_2 tidal harmonics in the Korea/Tsushima Strait have strong seasonal variability with large amplitudes in winter and smaller amplitudes in summer. They suggested that the seasonal variability of the M_2 tides might be

¹Korea Ocean Research and Development Institute, Seoul, Korea.

²Institute of Ocean Sciences, Department of Fisheries and Oceans, Sidney, British Columbia, Canada.

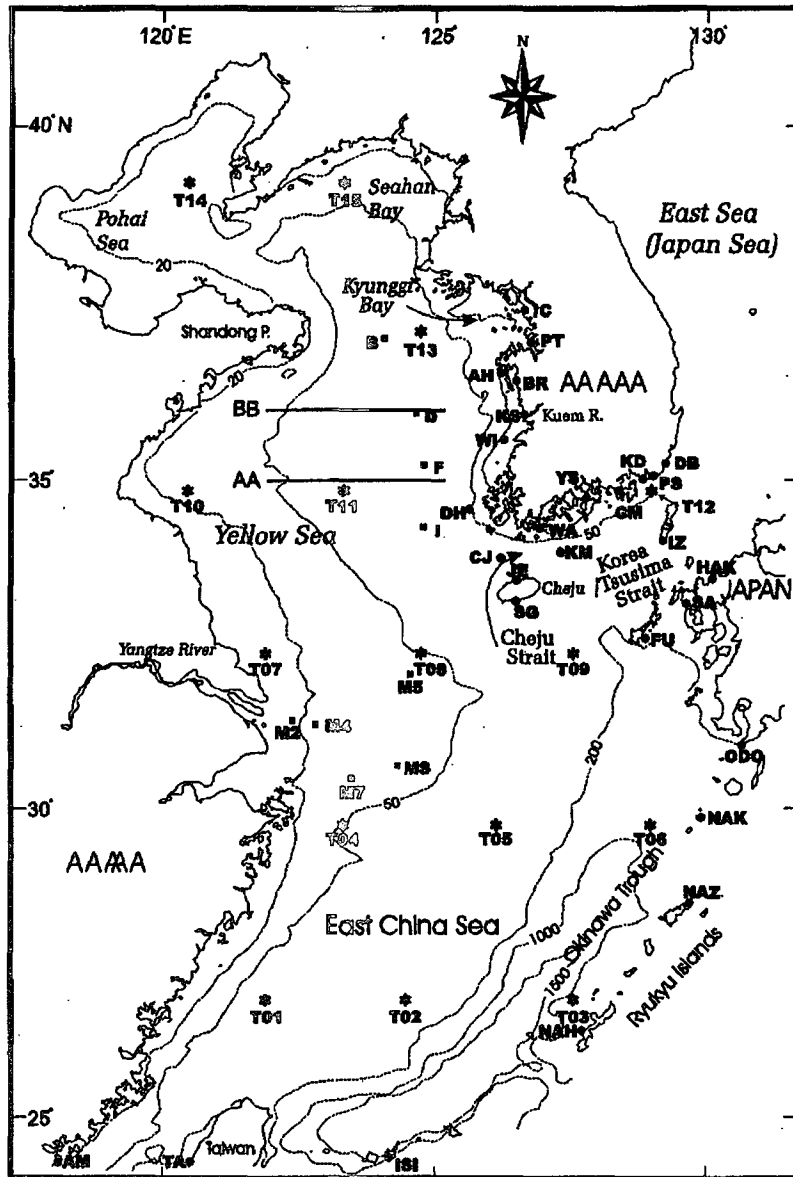


Figure 1. Tide (solid circles) and current (solid squares) verification points and two sections (AA and BB) where hydrography observations were carried out. Solid circles along the Ryukyu islands and the Korea Strait denote the points along the model open boundaries. TOPEX/Poseidon crossover sites (T01–T20) are denoted as asterisks. Several representative depth contours are plotted with dashed lines (depth referred to mean sea level).

related to frictional damping and advection effects induced by the mean current. Their discussion was restricted to quantitative analysis for the seasonally different damping coefficients. Foreman *et al.* [1995] showed seasonal variability in the M_2 harmonics at Victoria, Canada, and suggested that seasonal changes in the back-

ground stratification and/or estuarine flow might be the underlying cause. However, no modeling or analytic studies were (or have subsequently been) carried out to confirm or refute this hypothesis.

[7] In this paper the baroclinic features and seasonal variations in the M_2 tides and tidal currents in the Y ECS are examined using a

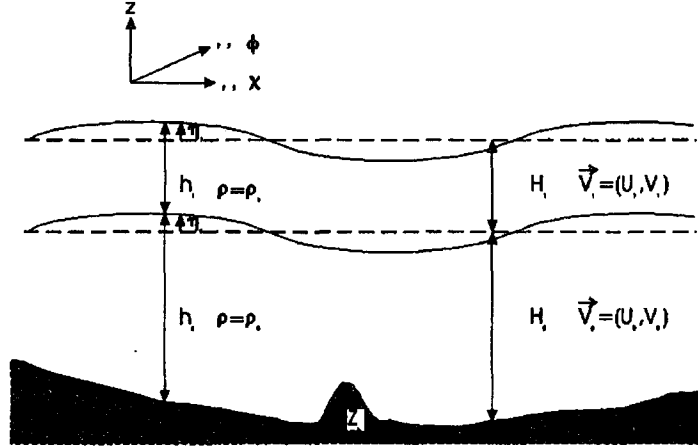


Figure 2. Definition sketch for a two-layered stratified flow.

two-layer numerical model and the same grid system used in the barotropic tide study by Kang *et al.* [1998]. Computed current shears for strongly stratified summer conditions are compared with observed current data and spatial patterns of current shear are discussed. To our knowledge, numerical modeling of M₂ amplitude variability has seldom been studied before and especially not in the YECS. Present study results strongly suggest that large seasonal variations in the M₂ harmonics, especially in the Korea/Tsushima Strait [Kang *et al.*, 1995], are driven by the seasonally different stratification. This study will investigate how this stratification change induces seasonally varying current shear, different bottom frictional dissipation, seasonally varying barotropic energy flux through the entrance section of the Yellow Sea, and eventually, a seasonal variability in the M₂ amplitude.

[8] Since the major axis of tidal currents along the continental slope of the East China Sea is directed across the isobaths of Okinawa Trough (Figure 1), internal tide generation is expected to occur in the shelf slope. However, our grid resolution is not sufficiently fine to resolve an internal tide with wavelength of about several tens of kilometers and therefore the intensity of this generation might be weakened or distorted with the present grid resolution. Also, since we think that in relation to seasonal tidal variability many related physical processes take place in water shallower than 200 m, no effort was made to examine the generation of internal tides along the shelf slope and shelf break of the YECS. In other words our study is mainly focused on baroclinic effects arising from large-scale horizontal gradients of the interfacial slope associated with surface barotropic tide propagation. Hence surface elevation changes by the surface manifestation of internal tides [Ray and Mitchum, 1996; Kang *et al.*, 2000; Cummins *et al.*, 2001] are not examined properly in the present study.

2. A Two-Layer Model

2.1. Model Formulation

[9] Two-layer, stratified, nearly horizontal flow is considered according to the definition sketch shown in Figure 2. The governing equations for two-layer flow are described using a spherical polar coordinate system. For two-layered flow the usual depth-averaged two-dimensional equations for shallow water waves can be alternatively represented in terms of layer-integrated velocities for each layer. Advection terms are not included since they are

mainly related to generation of higher harmonics, while the present objective is to examine the baroclinic response of M₂ tides to seasonally different stratification conditions. The momentum and continuity equations for the upper and lower layers are as follows:

Upper layer

$$\frac{\partial U_1}{\partial t} - 2\omega \sin \phi V_1 = -\frac{gh_1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \chi} (h_1 + h_0 + Z_b) + \frac{U_1 V_1 \tan \phi}{Rh_1} - \frac{K_t}{\Delta z} S \left(\frac{U_1}{h_1} - \frac{U_0}{h_0} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial V_1}{\partial t} + 2\omega \sin \phi U_1 = -\frac{gh_1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (h_1 + h_0 + Z_b) + \frac{V_1^2 \tan \phi}{Rh_1} - \frac{K_t}{\Delta z} S \left(\frac{V_1}{h_1} - \frac{V_0}{h_0} \right), \quad (2)$$

$$R \cos \phi \frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{\partial U_1}{\partial \chi} + \frac{\partial (V_1 \cos \phi)}{\partial \phi} = 0 \quad (3)$$

Lower layer

$$\frac{\partial U_0}{\partial t} - 2\omega \sin \phi V_0 = -\frac{gh_0}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \chi} (\lambda h_1 + h_0 + Z_b) - \frac{K_t}{z} S \left(\frac{U_1}{h_1} - \frac{U_0}{h_0} \right) - \frac{K_b}{h_0} \sqrt{U_0^2 + V_0^2} U_0 + \frac{U_0 V_0 \tan \phi}{Rh_0}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial V_0}{\partial t} + 2\omega \sin \phi U_0 = -\frac{gh_0}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} (\lambda h_1 + h_0 + Z_b) - \frac{K_t}{z} S \left(\frac{V_1}{h_1} - \frac{V_0}{h_0} \right) - \frac{K_b}{h_0} \sqrt{U_0^2 + V_0^2} V_0 + \frac{V_0^2 \tan \phi}{Rh_0}, \quad (5)$$

$$R \cos \phi \frac{\partial h_0}{\partial t} + \frac{\partial U_0}{\partial \chi} + \frac{\partial (V_0 \cos \phi)}{\partial \phi} = 0, \quad (6)$$

where χ is longitude, ϕ is latitude, Z_b is bottom topography (Figure 2), $h_0 (= h_1 + \eta_0)$ is total water depth of the lower layer,

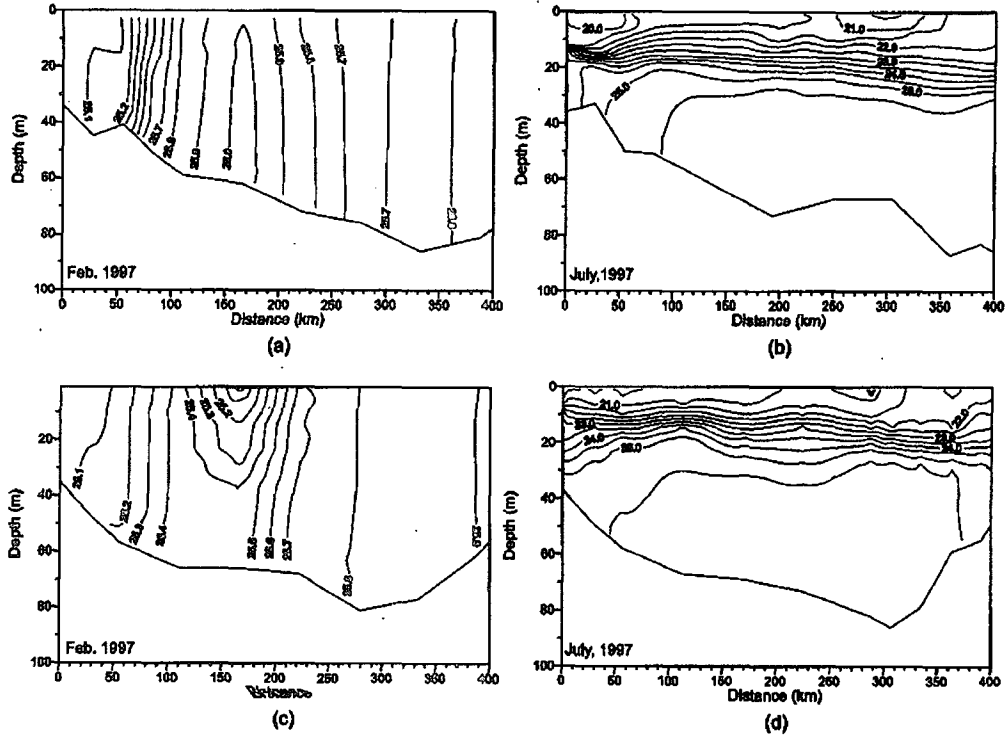


Figure 3. Vertical density distributions along (a) and (b) 35° and (c) and (d) 36° N in February and July 1997.

$h_1 (= H_1 + \eta_1)$ is total water depth of the upper layer, $\Delta z = 0.5(h_0 + h_1)$, $S = [(U_1/h_1 - V_0/h_0)^2 + (V_1/h_1 - V_0/h_0)^2]^{1/2}$, U_1 (U_0) is mass flux of the upper (lower) layer in χ ; V_1 (V_0) is mass flux of the upper (lower) layer in ϕ ; R is radius of the Earth, $\lambda = \rho_1/\rho_2$, K_b is the bottom friction coefficient, K_i is the interfacial shear stress coefficient, and g is gravity acceleration. H_0 , η_0 , H_1 , and η_1 are the mean thickness of lower layer, the interface disturbance of lower layer, the mean thickness of upper layer, and the surface disturbance of upper layer, respectively.

[10] The full set of equations is discretized with a time- and space-centered scheme [Kang et al., 2000] and is solved using an alternating direction implicit (ADI) method. It can be said that the equations are solved with an extension of the one-dimensional two-layer modeling scheme [Hodgins, 1979] and a depth-averaged 2-dimensional modeling method [Abbott et al., 1981; Kang et al., 1998] [see Kang et al., 2000, Appendix A]. The continuity and momentum equations for the upper and lower layers are solved simultaneously in the χ coordinate, and then continuity and ϕ direction momentum equations are solved in the ϕ coordinates, with dynamical linking and without resorting to a separation of variables or modes [Serpette and Maze, 1989].

[11] The bottom friction term for the lower layer has been expressed in a quadratic friction form, following the general applicability of the quadratic friction law to the semidiurnal tide modeling [e.g., Pingree and Griffiths, 1987]. A square law formulation [Bertelsen and Warren, 1973] is used for the stress at the interface. A linear interfacial formulation, instead of the square law, was also found to work reasonably well for the exchange flow tests done in previous works [e.g., Hodgins, 1979] and internal tide modeling [Kang et al., 2000], but the present quadratic form was

found to show similar results and is preferable because it takes a more general form.

2.2. Computation and Experiments

[12] The initial and boundary conditions required for the solution of (1)–(6) are described as follows. At $t = 0$ the values of $\eta_0 = \eta_1 = U_{0,1}(\chi, \phi, t) = V_{0,1}(\chi, \phi, t) = 0$ are specified at all points. The initial thickness of the upper layer was set to $H_1 = 3.5, 8, 15, 17,$ and 20 m, according to different experiments. The shallow region, where water depth is less than the initial upper layer thickness, was treated as one upper layer, with a thin lower layer defined to retain the solution algorithm for a two-layer flow. This is the usual way to treat shallow regions in layered models.

[13] The specified boundary conditions are the same as for the barotropic model of Kang et al. [1998]. The M_2 open boundary elevations are prescribed as

$$\eta_0(t) = A \cos(\omega t - G), \quad (7)$$

where A is the tidal amplitude and G is the phase lag of the M_2 tide. The boundary elevation was defined as a variation of the interfacial surface while keeping the thickness of upper layer constant. The propagation speed of a surface gravity wave is about 100 times faster than the internal wave speed,

$$\left\{ \frac{\Delta \rho}{\rho_0} g \frac{H_0 H_1}{(H_0 + H_1)(1 - f^2/\omega^2)} \right\}^{1/2}$$

Table 1. Experimental Cases in This Study

| Experiment | H_1 , m | $\Delta\rho/\rho_0$ | K_f |
|------------|-----------|---------------------|-------|
| RSF | 8 | 0.0039 | 0.017 |
| RSM | 15 | 0.0039 | 0.017 |
| RSM1 | 17 | 0.0039 | 0.017 |
| RSM2 | 20 | 0.0039 | 0.017 |
| RWN | 3.5 | 0.0039 | 0.017 |

Thus the response of interfacial motion to a barotropic tidal wave travelling over the shelf region can also be investigated. This idea has worked successfully when modeling generation of the internal tide along the Hawaiian submarine ridge [Kang et al., 2000].

[14] The grid resolution is about 7 km, with intervals of $1/16^\circ$ in latitude by $1/12^\circ$ in longitude. The time step is 43.666, so that one M_2 period consists of 1024 time steps (for subsequent fast Fourier transform (FFT) analysis). The bottom friction coefficient for the M_2 experiments was chosen to be $K_2 = 0.00265$, in order to take into account mutual damping effects between various constituents. Kang et al. [1998] showed that the contribution to dissipation of the M_2 tide is about 87% from itself and about 8% from S_2 , while the remaining 5% are from other constituents. The magnitude of the interfacial stress coefficient K_f for the quadratic form was chosen to be 0.017, while the interfacial coefficient for the linear form was given as $K_l = 0.0015$, as by Hodgins [1977] and Kang et al. [2000].

[15] The seasonal hydrographic structure in the Y ECS has been relatively well described recently through the East China Sea Circulation program [Lie and Lee, 2000] and the Yellow Sea Observation program [Lee, 1998]. Except for the shallow coastal regions, these data revealed an annual cycle of convection and stratification. The transects AA and BB in Figure 1 indicate lines along which temperature and salinity have been measured, while Figure 3 shows the vertical density structure along 35° and 36°N during winter and summer. In winter the density structure in most of the model region is vertically homogeneous, with σ_t values ranging from 25.0 to 26.0. In summer these waters are well stratified with a σ_t range of 20.0–26.0. The stratification is further intensified in August, with a pycnocline depth of 15–20 m in general. During the spring and fall the stratification is relatively weak, showing increasing and decreasing trends, respectively. However, the thickness of the upper layer increases gradually from spring to fall.

[16] Using these observations, we selected input parameters for our model experiments, which are listed in Table 1. Specifically, for the summer season we estimated the upper and lower layer densities $\rho_{1,0}$ to be 1021.5 and 1025.5 kg m^{-3} , while the upper layer thickness H_1 was selected to be 15 (RSM), 17 (RSM1), and 20 m (RSM2). A conceptual difficulty arises in schematizing these parameters for winter. We have defined winter parameters in order to keep the the structure nearly homogeneous while maintaining consistency with the summer experiments. We set the upper and lower layer densities $\rho_{1,0}$ to be 1021.5 and 1025.5 kg m^{-3} and the upper layer thickness H_1 to be 3.5 m (RWN). This thin upper thickness is justifiable as a surface layer would be maintained by solar radiation. Intermediate upper layer depths, such as 8 m, could be set for partly mixed spring or fall cases, with the upper and lower layer densities $\rho_{1,0}$ set as before (RSF). Continuous model runs were carried out over 7 M_2 tidal cycles, and an FFT analysis over the seventh cycle was used to calculate amplitudes and phase lags.

3. Results: Barotropic and Baroclinic Response to Varying Stratification

[17] The most interesting results are those for summer (RSM, RSM1, and RSM2), where the parameterization of upper layer thickness and the degree of stratification are near observations in the shelf region of Y ECS. Also, baroclinic effects may appear clearly in observed data at this time of the year, compared with those from other seasons. Validation of model result (RSM) revealed that it was in better agreement with the summer M_2 elevation amplitudes than the results from RSM1 and RSM2. Therefore most of the following description is focused on RSM and a comparison of summer with the winter result (RWN).

[18] The major results are described in terms of surface amplitude, tidal ellipse, and energy flux. The tidal ellipses are selectively chosen for every seven grid intervals in the latitude and longitude directions and presented only for the region where total water depth is deeper than upper layer thickness. The energy flux vector is selectively chosen for every six grid intervals.

3.1. Comparison of Surface Amplitude Between Model and Observations

[19] The comparison between model results (RWN and RSM) and the results of harmonic analyses of winter and summer

Table 2a. Observed Winter (OB SWIN) Observed Summer (OB SSUM), Model Winter (RWN), and Model Summer (RSM) M_2 Elevation Amplitudes and Phases for the Sites Shown in Figure 1^a

| Site | M_2 (OB SWIN) | | M_2 (OB SSUM) | | M_2 (RWN) | | M_2 (RSM) | |
|------|-----------------|-------|-----------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | Am | Ph | Am | Ph | Am | Ph | Am | Ph |
| IC | 284.4 | 137.9 | 289.1 | 141.0 | 275.3 | 135.9 | 291.0 | 133.4 |
| PT | 285.0 | 128.6 | 297.3 | 129.2 | 276.2 | 130.1 | 291.2 | 127.6 |
| AH | 207.1 | 103.0 | 209.9 | 104.8 | 192.7 | 105.7 | 199.8 | 108.1 |
| BR | 226.0 | 94.8 | 229.1 | 96.5 | 212.9 | 97.4 | 220.9 | 98.6 |
| KS | 212.7 | 89.5 | 218.2 | 89.3 | 207.1 | 87.9 | 212.9 | 90.0 |
| WI | 194.5 | 74.5 | 195.6 | 76.8 | 185.1 | 75.9 | 188.5 | 78.0 |
| DH | 106.6 | 36.8 | 103.1 | 41.5 | 98.1 | 21.2 | 90.2 | 26.5 |
| WA | 109.5 | 295.6 | 101.3 | 294.3 | 125.2 | 298.2 | 118.0 | 294.2 |
| KM | 92.0 | 278.1 | 85.8 | 276.3 | 102.3 | 278.6 | 96.9 | 276.1 |
| CJ | 90.9 | 322.5 | 82.5 | 324.8 | 99.4 | 317.6 | 90.5 | 316.3 |
| YS | 100.3 | 261.1 | 95.6 | 259.0 | 107.5 | 258.5 | 105.1 | 256.2 |
| CM | 80.1 | 253.9 | 76.0 | 251.4 | 86.8 | 251.6 | 84.3 | 250.4 |
| JB | 72.9 | 315.8 | 66.0 | 316.2 | 83.2 | 309.6 | 74.3 | 306.4 |
| SG | 79.4 | 283.1 | 73.1 | 280.3 | 90.9 | 283.6 | 87.2 | 280.1 |
| SA | 85.5 | 242.9 | 83.3 | 240.0 | 91.4 | 243.8 | 91.9 | 242.0 |
| FU | 79.7 | 235.9 | 77.5 | 233.2 | 82.4 | 234.2 | 83.8 | 232.1 |
| KD | 57.7 | 244.3 | 53.8 | 244.9 | 49.4 | 247.2 | 48.6 | 247.2 |
| PS | 40.2 | 237.8 | 38.1 | 233.7 | 40.1 | 244.0 | 39.5 | 244.1 |

^aPhase lag is referred to 135°E . Amplitude (Am) is in centimeters and phase lag (Ph) is in degrees. The same notation is used in Table 2b.

Summer - Winter M₂ amplitude differences at Tide Gauges around the Yellow Sea

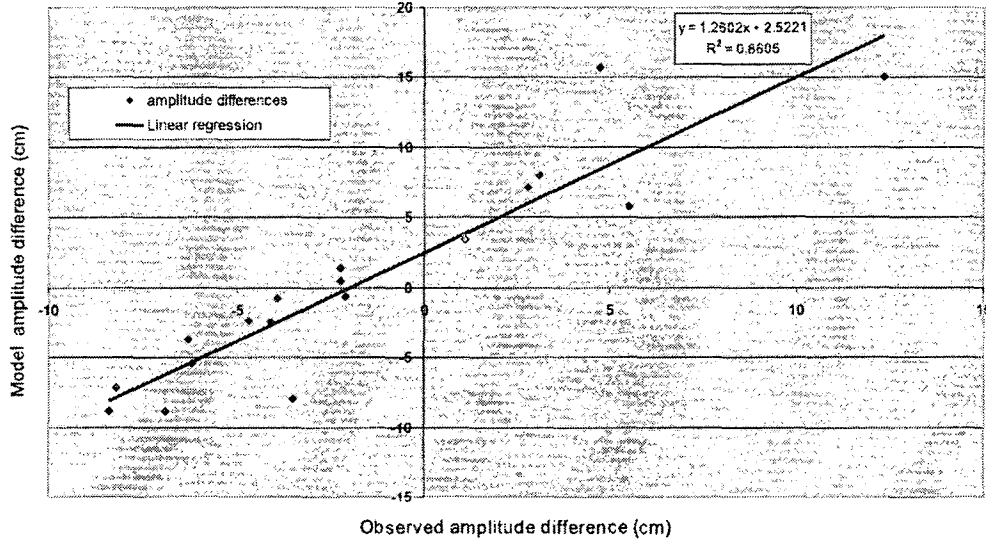


Figure 4a. (Summer–winter) M₂ amplitude differences between model and observations at tide gauges along the Korean and Japanese coasts.

Summer - Winter M₂ amplitude differences at TP crossover sites in the Yellow and East China Seas

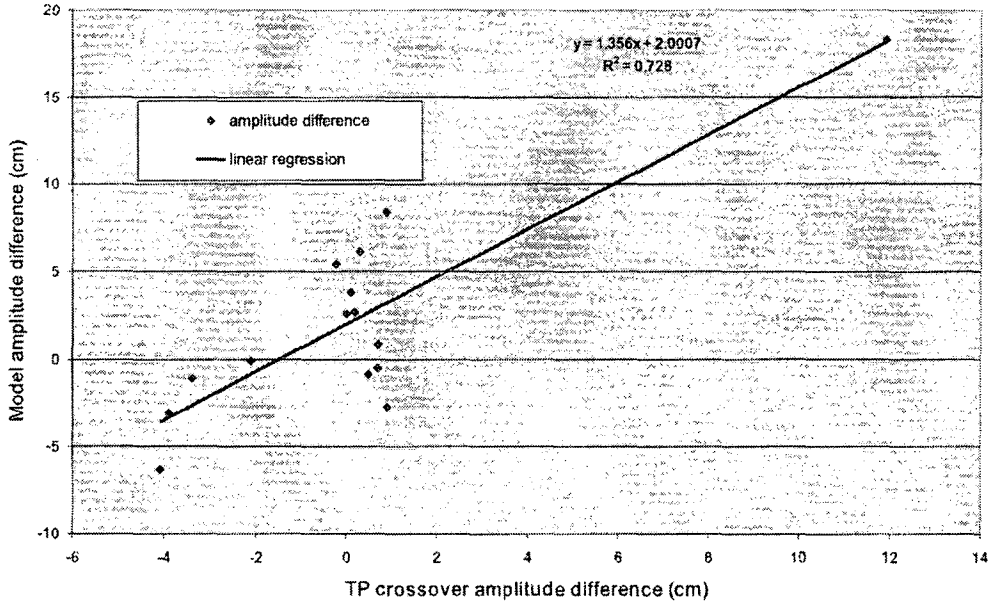


Figure 4b. Summer–winter M₂ amplitude differences at T/P crossover locations.

Table 2b. TOPEX/Poseidon(T/P) Observed Winter (OBSSWIN), T/P-Observed Summer (OBSSUM), Model Winter (RWN), and Model Summer (RSM) M₂ Elevation Amplitudes and Phases for the Sites Shown in Figure 1

| Site | M ₂ (OBSSWIN) | | M ₂ (OBSSUM) | | M ₂ (RWN) | | M ₂ (RSM) | |
|------|--------------------------|-------|-------------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|
| | Am | Ph | Am | Ph | Am | Ph | Am | Ph |
| T01 | 111.5 | 297.9 | 112.4 | 297.3 | 110.7 | 293.2 | 119.1 | 293.4 |
| T02 | 59.1 | 236.4 | 59.1 | 235.5 | 60.3 | 238.4 | 62.9 | 237.0 |
| T03 | 56.4 | 214.2 | 56.9 | 214.2 | 55.3 | 219.3 | 54.4 | 213.7 |
| T04 | 119.6 | 291.0 | 119.9 | 288.0 | 140.8 | 296.9 | 146.9 | 293.5 |
| T05 | 70.1 | 249.3 | 70.3 | 248.4 | 71.2 | 241.8 | 73.9 | 240.2 |
| T06 | 58.8 | 222.0 | 54.9 | 217.5 | 62.7 | 212.4 | 59.6 | 212.3 |
| T07 | 149.7 | 12.0 | 161.6 | 8.4 | 119.6 | 28.1 | 137.9 | 19.3 |
| T08 | 71.9 | 328.5 | 67.8 | 327.3 | 86.2 | 318.3 | 79.9 | 316.7 |
| T09 | 67.6 | 264.9 | 65.5 | 263.1 | 76.3 | 257.7 | 76.2 | 253.7 |
| T10 | 80.9 | 216.0 | 77.5 | 219.3 | 62.0 | 217.5 | 60.9 | 225.5 |
| T11 | 61.6 | 52.5 | 62.5 | 54.0 | 52.7 | 42.8 | 50.0 | 51.3 |
| T12 | 53.7 | 261.3 | 50.4 | 256.2 | 46.5 | 249.9 | 46.0 | 251.4 |
| T13 | 104.4 | 129.9 | 104.2 | 130.8 | 95.7 | 130.3 | 101.1 | 132.4 |
| T14 | 22.8 | 7.2 | 23.5 | 17.4 | 23.9 | 20.2 | 24.7 | 29.3 |
| T15 | 151.1 | 283.5 | 151.2 | 285.6 | 114.8 | 271.5 | 118.6 | 280.0 |

observations at 18 permanent tidal stations (Figure 1) are given in Table 2a. A seasonal variation in M₂ appears to prevail through every year, as a 9 year long feature was seen in a previous study [Kang *et al.*, 1995]. For this comparison, 5 years of data between 1987 and 1991 (except for PT (Pyungtaek)) were subject to monthly harmonic analyses similar to those done in Kang *et al.* [1995]. (For PT, only 1 year of data, in 1999, was available.) Averaged winter (February) and summer (August) harmonic values are shown in Table 2a. The standard deviations of the amplitudes for winter (February) and summer (August) are 0.94 and 0.26 cm, respectively, for JB (Cheju), while the mean amplitudes for February and August are 72.9 and 66.0 cm, respectively. Therefore seasonal variability is statistically significant. A similar trend exists at other stations, even though some of them have relatively larger standard deviations.

[20] Model amplitude differences (summer-winter) are plotted against observed differences in Figure 4a. Though there is some scatter in the points, 83% of the variance can be explained by a line with slope 1.27. This indicates that the model is producing the correct seasonal changes in M₂ but overestimating their magnitude by 27%. Given the simplicity of the layer approximations, we feel this is a reasonable agreement. A similar comparison was also carried out with the M₂ amplitudes computed by analysing TOPEX/Poseidon (T/P) crossover time series within the model domain (see Figure 2). Average amplitudes for 8 years of data were computed for winter (January-March) and summer (July-September) using methods described by Foreman [1977] and Cherniawsky *et al.* [2001]. Seasonal amplitude differences are plotted in Figure 4b and an explicit comparison is given in Table 2b, with RMS errors in Table 3. Though there is considerably more scatter than in Figure 4a, the best linear fit through the points gives a slope of 1.37, reasonably consistent with the result using tide gauge data. As the tide gauge values were concentrated along the western Korean coast and the T/P crossover locations are scattered more broadly over the model domain, the latter do give a better assessment of model performance. Note that the largest seasonal differ-

ence in Figure 4b arose at the T/P crossover near the mouth of the Yangtze River, while the largest differences in Figure 4a arose at stations PT, IC, and KS.

[21] RMS errors for the BTM, RWN, and RSM model runs, relative to observations, are given in Table 3 (top line). Results for RWN are slightly better than those from the barotropic model of Kang *et al.* [1998] (BTM), with (amplitude, phase) RMS errors being (9.7 cm, 4.5°) and (9.4 cm, 4.7°) for BTM and RWN, respectively, while large-amplitude RMS error is found in comparison of model data with T/P data (Table 3, bottom line). However, the closeness of the values in Table 3 (top line) indicates that barotropic elevations are reasonably well simulated under the present winter condition. This is not surprising, as RWN was almost barotropic, having only a 3.5 m upper layer. In addition, this closeness also indicates that the frictional dissipation of the M₂ component by other components is relatively well represented by the increased bottom frictional coefficient of 0.00265. (The BTM runs included five constituents). On the basis of an analysis of the relative contributions to the damping terms for the major five constituents and observed data at stations I, F, D, and B, Kang *et al.* [1998] concluded that the contribution of the M₂ itself reaches 87% for the Yellow Sea area.

[22] The (amplitude, phase) RMS errors for (RSM) are (9.1 cm, 5.8°). Note that the amplitude error is slightly better than for RWN but worse for the phase lag. Careful inspection using coamplitude charts reveals that the M₂ amplitude for RSM are generally larger than those of RWN in inner Kyunggi Bay. It is worth noting here that an accuracy comparison of BTM with the present model experiment (RWN and RSM) may not be very meaningful since comparison points are not exactly the same between BTM and RWN or RSM. The computed M₂ tidal charts for RWN and RSM are presented in Figures 5 and 6. The solid and dashed lines in Figures 5 and 6 denote coamplitude and cotidal lines respectively. At a first glance the tidal chart for winter (RWN) is quite similar to that for the M₂ barotropic tides computed by Kang *et al.* [1998], except for some oscillations in the 50 and 60 cm coamplitude lines in the offshore slope region.

[23] However, Figures 5 and 6 do have some subtle differences. First, the amphidromic points of Figure 5 in the Pohai (Bohai) Sea (Bay) appear less degenerate compared with those in Figure 6. Maximum coamplitude values of Figure 6 in the western and northern ends in the Pohai Sea are equal to 90 and 100 cm but are less in Figure 5 and the barotropic model [Kang *et al.*, 1998, Figure 3]. Also, the cophase lines of experiment RWN in the Yellow Sea lead those of experiment RSM by about 5°. Furthermore, the cophase lines of experiment RSM in

Table 3. RMS Differences Between Observed and Modeled M₂ (Amplitude (cm), Phase Lag (deg))

| Experiments | BTM | RWN | RSM |
|------------------------------|------------|-------------|-------------|
| RMS DIF (Am Ph) ^a | (9.7, 4.5) | (9.4, 4.7) | (9.1, 5.8) |
| RMS (Am Ph) ^b | (9.7, 4.5) | (15.4, 8.9) | (14.6, 6.9) |

^a The 18 sites listed in Table 2a and shown in Figure 1.

^b The 15 sites listed in Table 2b and shown in Figure 1 (T01-T15).

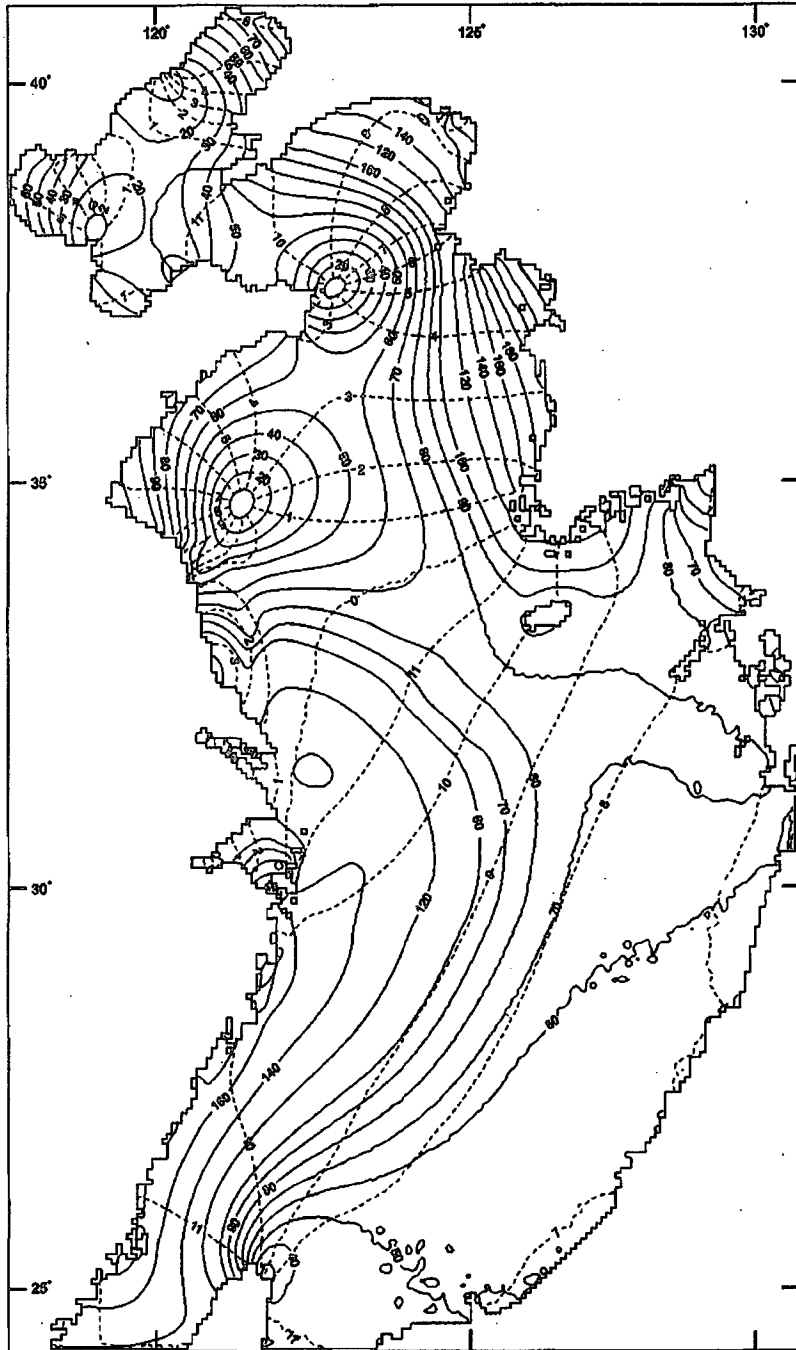


Figure 5. Computed M_2 tidal chart for (RWN). Solid and dotted lines denote the coamplitudes in centimeters and the cotidal hours, respectively. Tidal hour is referred to 135°E . The same notation is used in Figures 6-10b.

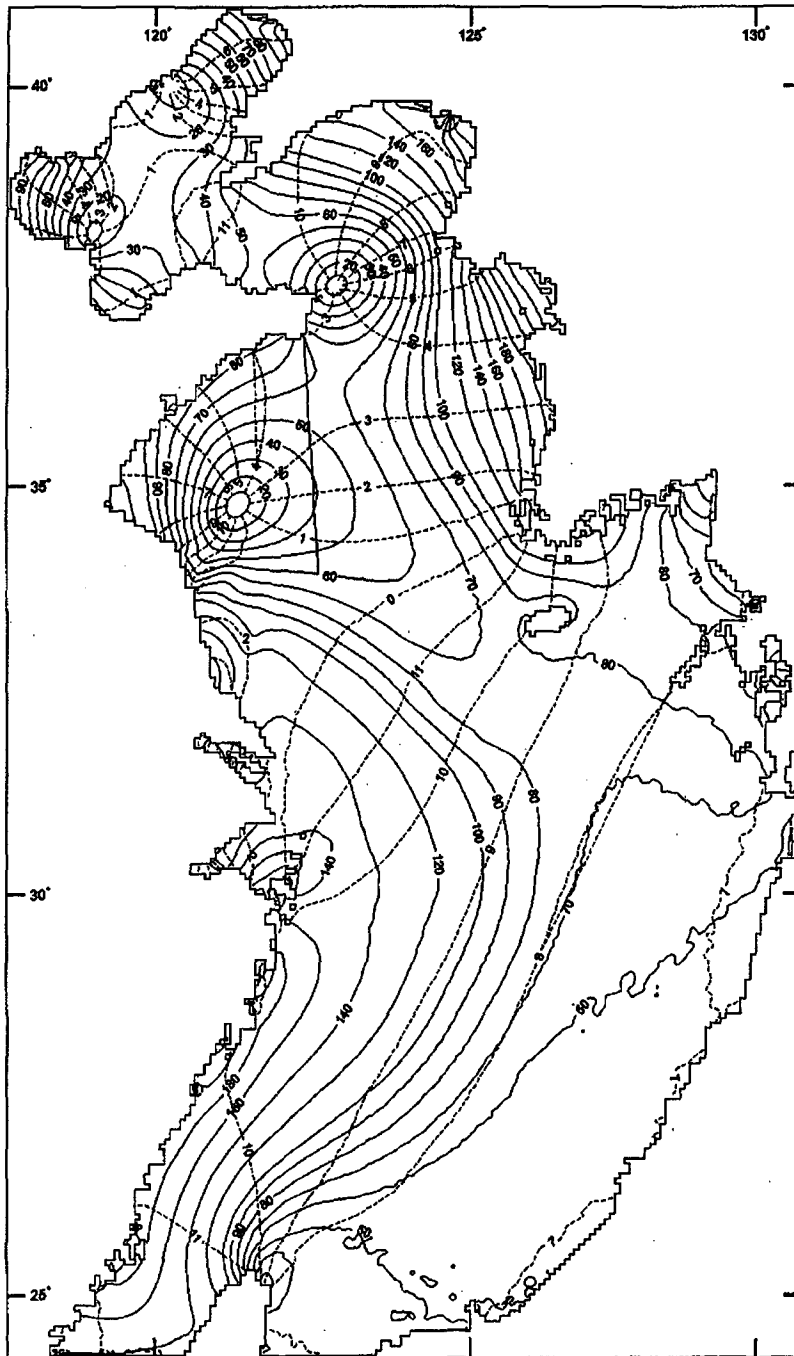


Figure 6. Computed M_2 tidal chart for summer (RSM). Note that the 70 cm coamplitude line west of Cheju in Figure 5 extends southeastward, reaching the 10.5 hour line position. The 80 cm coamplitude line appears in the Cheju Strait.

the southern area of the 0 hour line connecting the southwestern tip of the Korean peninsula and Shanghai (Figure 1) slightly less than those of experiment RWN.

[24] Another noticeable difference appears in the location of 70, 80, 90, and 100 cm coamplitude lines around Cheju Island. During summer the 70 cm coamplitude line crossing the 0 and 11 hour cophase lines comes closer to Cheju Island, and the 80 cm coamplitude line appears in the Cheju Strait. In winter the 70 cm coamplitude line does not extend as far southward, and the 80 cm coamplitude line disappears in Cheju Strait. This means that the summer M_2 amplitudes around Cheju Island are about 10 cm smaller than those in winter. These model results generally agree well with the amplitude-decreasing pattern appearing in data analysis [Kang et al., 1995] and in the Table 2a entries near the Korea Strait. Meanwhile, the model amplitude results in Kyunggi Bay also show a reverse trend of increasing amplitude. That is, the location of the 200 - 260 cm coamplitude lines in Figures 5 and 6 clearly indicates that the amplitude in inner Kyunggi Bay increases during summer by about 10 - 15 cm, compared with those of winter. The pattern also indicates that the tidal amplitude has increased from the offshore region, and this trend extends to the inner coastal area. These increasing amplitudes also agree well with the observations at Incheon (IC) [Kang et al., 1995].

[25] Figure 7 shows amplitude difference contours (summer amplitude - winter amplitude). Remarkably, the pattern of amplitude decrease appears only in the offshore region off the southwestern tip of the Korean peninsula around the Cheju and Korea Straits. The amplitude shows a negative (decreasing in summer season) peak value at the southwestern tip of the Korean peninsula. Generally, larger amplitudes appear along the Korea Strait in February, with the lowest value around the southwestern tip of the Korean peninsula. The tide gauge station WI is located near the observed northern limit of decreasing summer amplitude, and its difference is 1.1 cm. The northern limit in the model result is quite similar to this observed value (3.4 cm at WI). The spring experiment (RSF) indicates that some intermediate stage of change exists between winter and summer. The 70 cm coamplitude line in the central Yellow Sea now extends southeastward nearly to the 11 hour line, while the 80 cm coamplitude line does not exist in the Cheju Strait. The 2 cm coamplitude difference appears in the Cheju Strait, and the lowest value of negative 3.9 cm occurs similarly off the southwestern tip of the Korean peninsula, while an increasing amplitude pattern still prevails elsewhere along the Chinese and Korean coasts. A comparison of coamplitude lines from the RSM and RSF indicates that increasing stratification gives rise to a clearer increased amplitude contrast. This is closely related to seasonal variability in the M_2 tide [Kang et al., 1995] according to seasonally varying stratification.

[26] The above results deserve greater attention since they suggest that changes in stratification can cause surface tidal amplitude variations. Such variations have seldom been reported in other regions, with the exception of stations in the YBCS and Victoria, Canada. In sections 3.2 and 3.3 we will look into this problem in more detail, through examining current ellipses and seasonally varying barotropic energy fluxes.

3.2. Tidal Current Ellipses

[27] Computed tidal current harmonics for the upper and lower layers have been compared with observations, as listed in Tables 4a and 4b. Current data measured during summer are available at stations MS, M5, M4, and M7 [Larsen et al., 1985; Choi, 1993]. In the case of station MS, there is no moored data for the upper layer because it is <20 m. So, only lower layer data were compared with the model results. MS, M5, M4, M7 are especially good verification sites for model comparisons since a strong current shear prevails in the region. This will be seen in the following tidal ellipse figures for experiment RSM.

[28] The current shears at M5, M4, and M7 are relatively well reproduced by the model. The observed (computed) shear ratio of lower to upper velocity is about 0.74 (0.67) and 0.71 (0.72) for the u and v components, respectively, and the average observed (calculated) shear ratio is 0.73 (0.69). A similar large current shear was revealed by summer drifter observations along the western Canadian coast by Crawford et al. [1998].

[29] The computed barotropic results of experiment RWN are also compared with data measured during winter season at sites I, F, D, B, and SB, as listed in Table 4b. Results from the barotropic model (BTM) [Kang et al., 1998] are also included. As expected, RWN compared well with BTM.

[30] Tidal current ellipses for the upper (u_1, v_1) (thick line) and lower layer velocity (u_0, v_0) (thin line) are presented in Figure 8a. The two-layer-averaged (barotropic) velocity components

$$u_{bt} = \frac{U_1 + U_0}{h_1 + h_0} \quad v_{bt} = \frac{V_1 + V_0}{h_1 + h_0} \quad (8)$$

are also computed for summer and winter. Two-layer-averaged (barotropic) tidal ellipses for winter and summer are shown in Figure 8b. Baroclinic features in the tidal flows can be examined in terms of differences between the upper and lower layer tidal ellipses. Figure 8a indicates that relatively large current shears exist, especially off the middle Chinese coast. In the same region the (RSM) barotropic currents are stronger than those from (RWN) (Figure 8b). It is possible that larger current shears in summer contribute to slightly stronger barotropic currents (thick line) than in winter (thin line) (Figure 8b).

[31] The degree of inhomogeneity in current shear between layers is quite interesting from the tidal dynamics point of view. We suspect that the reason for this strong current shear is as follows. The surface barotropic tide induces an interfacial slope between layers in the horizontal domain since there is horizontal gradient of the surface tides. (This assumes that the phase of the interfacial disturbance varies linearly with the surface tide.) The pattern of the 9, 10, 11, and 12(0) hour cotidal lines off the Yangtze River may reinforce the gradient of this interfacial disturbance, together with large-amplitude differences ranging from 80 to 140 cm. Furthermore, the 50 m isobath off the Yangtze River extends farther onto the shelf, and a larger bottom slope exists between the shallower region of 20 - 50 m and the relatively deeper region of 50 - 200 m, which also contributes to an increased interfacial slope. These large gradients of interfacial slope will cause a strong current shear between layers due to the thermal wind relation. In Cheju Strait, amplitude changes along the 2 hour cotidal line are ~5-10 cm. However, the amplitude difference over a similar distance off the Chinese coast is about 40 cm, with a 1-1.2 hour phase difference. The smaller amplitude difference in Cheju Strait yields less interfacial slope than in the shelf region off the middle Chinese coast near the Yangtze River.

[32] Baroclinic effects due to the Yangtze River discharge are also expected to be important in the region. However, the present results indicate that summer stratification alone plays a dominant role in inducing large vertical current shears. This is substantiated by the relatively good agreement between the observations and model results. The strong summer stratification may be maintained or enhanced by the Yangtze River discharge.

[33] Tidal ellipse results from the present model also show changes in rotation direction from clockwise to counterclockwise occurring in both the upper and lower layers along Cheju Strait. This same feature appears in the barotropic model [Kang et al., 1998]. In addition, the rotation directions are almost the same between upper and lower layers but reverse at some points off the southwestern tip of the Korean peninsula, where the barotropic current also changes its rotation direction. Strong upper layer tidal currents appear off the northeastern tip of Taiwan. Some hint of the surface manifestation of an internal tide seems to appear around

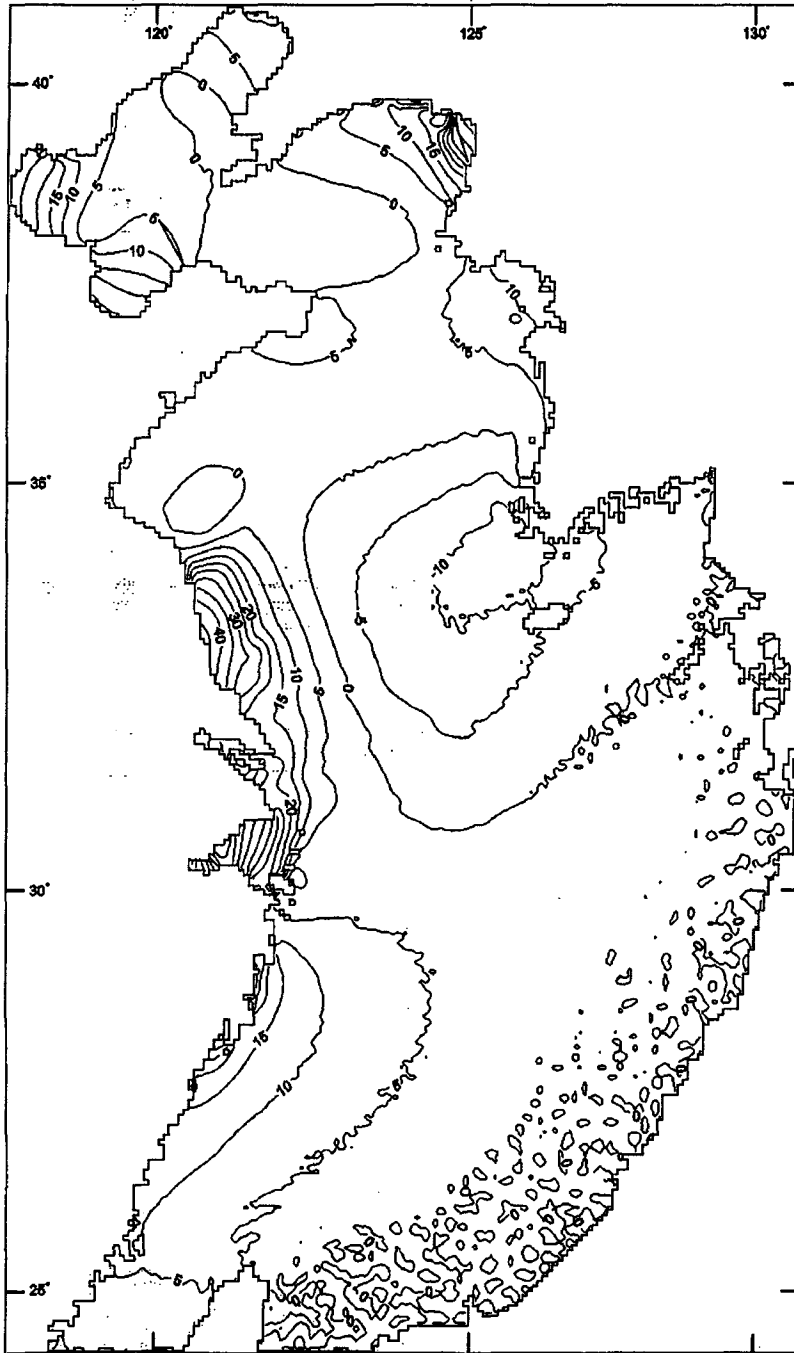


Figure 7. Computed M_2 amplitude differences (summer-winter) in centimeters. .

Table 4a. Comparison of M₂ Tidal Current Harmonics Observed in Summer (June–August) With Model Results (RSM) at Sites in the YECS (Figure 2)^a

| Station (Depth) | U Am, cm/ s ⁻¹ | | U Ph, deg | | V Am, cm/ s ⁻¹ | | V Ph, deg | |
|-----------------|---------------------------|------|-----------|-------|---------------------------|------|-----------|-------|
| | OBS | CAL | OBS | CAL | OBS | CAL | OBS | CAL |
| MS(upper) | ... | 61.3 | ... | 59.3 | ... | 50.2 | ... | 316.5 |
| MS(lower) | 36.9 | 48.1 | 35.9 | 37.3 | 35.3 | 41.0 | 279.8 | 290.7 |
| M5(upper) | 66.4 | 79.2 | 143.4 | 91.0 | 71.5 | 75.2 | 51.6 | 357.9 |
| M5(lower) | 45.8 | 49.6 | 96.0 | 66.8 | 46.3 | 46.1 | 358.5 | 332.1 |
| M4(upper) | 48.3 | 59.8 | 86.7 | 118.8 | 52.1 | 50.7 | 313.5 | 358.3 |
| M4(lower) | 41.1 | 42.2 | 76.3 | 97.7 | 40.5 | 38.7 | 303.5 | 331.2 |
| M7(upper) | 36.1 | 33.2 | 68.2 | 77.6 | 48.4 | 64.6 | 315.8 | 323.6 |
| M7(lower) | 24.6 | 36.0 | 54.0 | 53.2 | 33.6 | 49.9 | 296.0 | 294.8 |

^a Current speeds and directions were averaged for the data belonging to each layer. Upper layer components for M5, M4, and M7 are data observed at 5, 2, and 5 m, respectively. Lower layer component for M5 is an average of values at the three depths 23, 32, and 45 m; for M5 it is at depth 35 m; for M4 it is an average of the values at the three depths of 25, 38, and 44 m; and for M7 it is an average at two depths of 50 and 60 m.

shelf break region, similar to that shown by Kang *et al.* [2000]. Careful examination showed that only near the northeastern shelf slope of Taiwan was this manifestation more than 2 cm. This implies that the seasonal variability in surface amplitude is not due to internal tides.

3.3. Energy Fluxes and Seasonal Variability

[34] The bottom dissipation for the Yellow and/or East China Seas has been calculated in several previous studies [Kantha *et al.*, 1995; Lyard and Le Provost, 1997; Lefevre *et al.*, 2000], which show it to be equal to about 8% of the total global M₂ dissipation (2.4 TW). Using the dissipation expression given by Taylor [1919] and Munk [1997], our study confirms this percentage. The M₂ bottom dissipation for experiment RWN is shown in Figure 9a, and the M₂ bottom dissipation for RSM is presented in Figure 9b. The M₂ dissipation pattern for RWN is similar to that shown by Lefevre *et al.* [2000]. However, the summer bottom dissipation in the Southern Yellow Sea is generally smaller than in winter. In particular, note that the 0.3 and 0.4 of W m⁻² codissipation rate lines in RWN almost disappear in RSM in the shelf region off the middle Chinese coast. Weaker summer dissipation near the southwestern tip of the Korean peninsula is also worth noting. It seems that locally enhanced dissipation in summer occurs because of the local generation of internal tide, which induces several maxima in the dissipation pattern. Overall weak dissipation in RWN seems to be induced by slightly larger amplitudes along the Korean and Chinese coasts. This includes Kyunggi Bay, where amplitude increases inshore, as indicated by the location of 200 – 260 cm coamplitude lines in Figures 5 and 6.

[35] It is interesting to investigate barotropic and first-mode baroclinic energy fluxes in the model domain. Using the analyzed harmonic values of surface and interfacial disturbances, along with those for the barotropic and baroclinic currents, time-averaged barotropic energy flux J_{br} and baroclinic energy flux J_{bc} were computed for the two-layer system, using the following relations [see Kang *et al.*, 2000, Appendix B]:

$$J_{br} = \left(\frac{1}{2} \rho_1 g u_{br} \eta_1 \cos(\theta_{\eta_1} - \theta_{ubr}), \frac{1}{2} \rho_1 g v_{br} \eta_1 \cos(\theta_{\eta_1} - \theta_{ubr}) \right). \quad (9a)$$

$$J_{bc} = \left(\frac{1}{2} (\rho_0 - \rho_1) g u_{0bc} \eta_0 \cos(\theta_0 - \theta_{0bc}), \right.$$

$$\left. \frac{1}{2} (\rho_0 - \rho_1) g v_{0bc} \eta_0 \cos(\theta_0 - \theta_{0bc}) \right). \quad (9b)$$

u_{br}, v_{br} is the x, y amplitude of barotropic current, θ_{ubr} is the phase lag of x component of barotropic current, θ_{ubr} is the phase lag of y component of barotropic current, $(\eta_1, \theta_{\eta_1})$ are the amplitude and phase lag of surface disturbance, (η_0, θ_0) are the amplitude and phase lag of interfacial disturbance, (u_{0bc}, v_{0bc}) are the x, y amplitude of baroclinic current in the lower layer, and $(\theta_{0bc}, \theta_{0bc})$ are the x, y phase lag of baroclinic current in the lower layer. These amplitudes and phase lags are obtained by harmonic analysis of currents and surface disturbances.

[36] Using barotropic (or depth-averaged) results, the barotropic energy flux vectors are computed and presented in Figure 10a, where the thick arrow denotes summer barotropic energy flux and the thin arrow denotes winter flux. As seen in Figure 10a, the barotropic energy propagates from the western Pacific Ocean through Ryukyu Islands to the shallow region of the YECS, with some energy passing in the South China Sea through the Taiwan Strait. Careful examination of Figure 10a also reveals that the magnitude of summer barotropic energy flux, compared with that for winter, is increased in the area northwest of sections S1 and S2, while the directions of the summer flux have turned in a northwesterly direction. Meanwhile, the magnitudes of summer barotropic energy flux, off the southwestern tip of the Korean peninsula, are noticeably decreased, compared with those for the winter. This implies that more barotropic energy flux propagates through sections S1 and S2 in summer while less barotropic energy

Table 4b. Comparison of the M₂ Tidal Current Harmonics Observed During Winter With the Model Result (RWN) and Kang *et al.*'s [1998] Barotropic Model (BTM)^a

| Station (Depth) | U Am, cm/ s ⁻¹ | | | | U Ph, deg | | | | V Am, cm/ s ⁻¹ | | | | V Ph, deg | | | |
|-----------------|---------------------------|------|------|-------|-----------|-------|------|------|---------------------------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|-----|
| | OBS | | CAL | | OBS | | CAL | | OBS | | CAL | | OBS | | CAL | |
| | BTM | RWN | BTM | RWN | BTM | RWN | BTM | RWN | BTM | RWN | BTM | RWN | BTM | RWN | BTM | RWN |
| I(48) | 13.3 | 15.7 | 15.4 | 111.5 | 136.7 | 136.9 | 43.7 | 44.9 | 43.6 | 358.5 | 8.0 | 8.5 | | | | |
| F(70) | 5.0 | 10.0 | 8.4 | 7.2 | 41.5 | 35.5 | 39.9 | 45.7 | 43.1 | 19.4 | 28.1 | 29.0 | | | | |
| D(41) | 15.1 | 15.5 | 14.2 | 10.8 | 21.3 | 14.3 | 26.1 | 27.9 | 28.3 | 63.3 | 65.9 | 68.9 | | | | |
| B(38) | 18.6 | 19.9 | 19.2 | 4.4 | 26.7 | 22.9 | 32.8 | 26.5 | 28.2 | 146.2 | 153.0 | 149.4 | | | | |
| SB(110) | 11.8 | 7.1 | 6.9 | 339.9 | 9.9 | 7.6 | 7.4 | 4.3 | 3.8 | 218.7 | 234.0 | 232.4 | | | | |

^a See Figure 1 for site locations. Value in parenthesis denotes the depth of moored current meter.

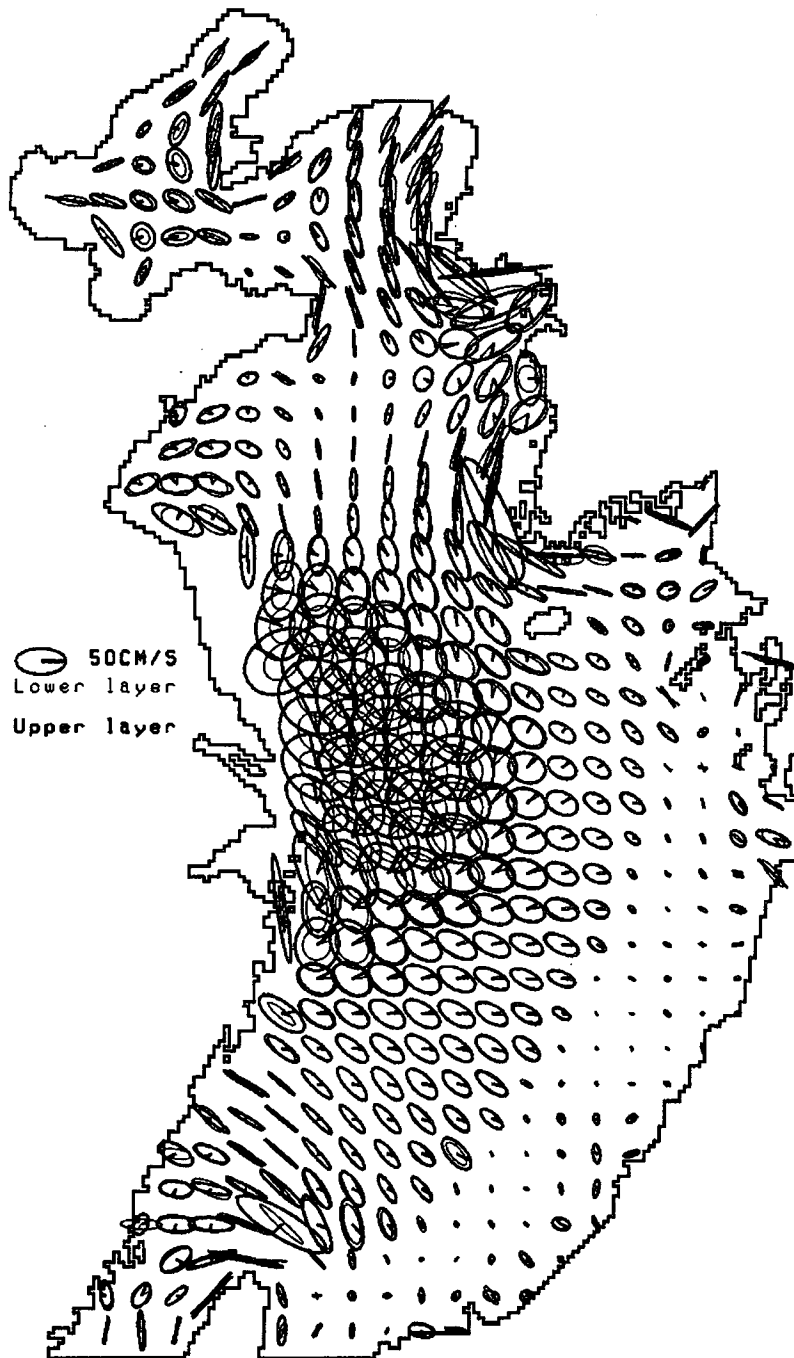


Figure 8a. Summer tidal ellipses for both the upper layer (thick line) and lower layer (thin line). Every seventh ellipse is shown here and in Figure 8b.

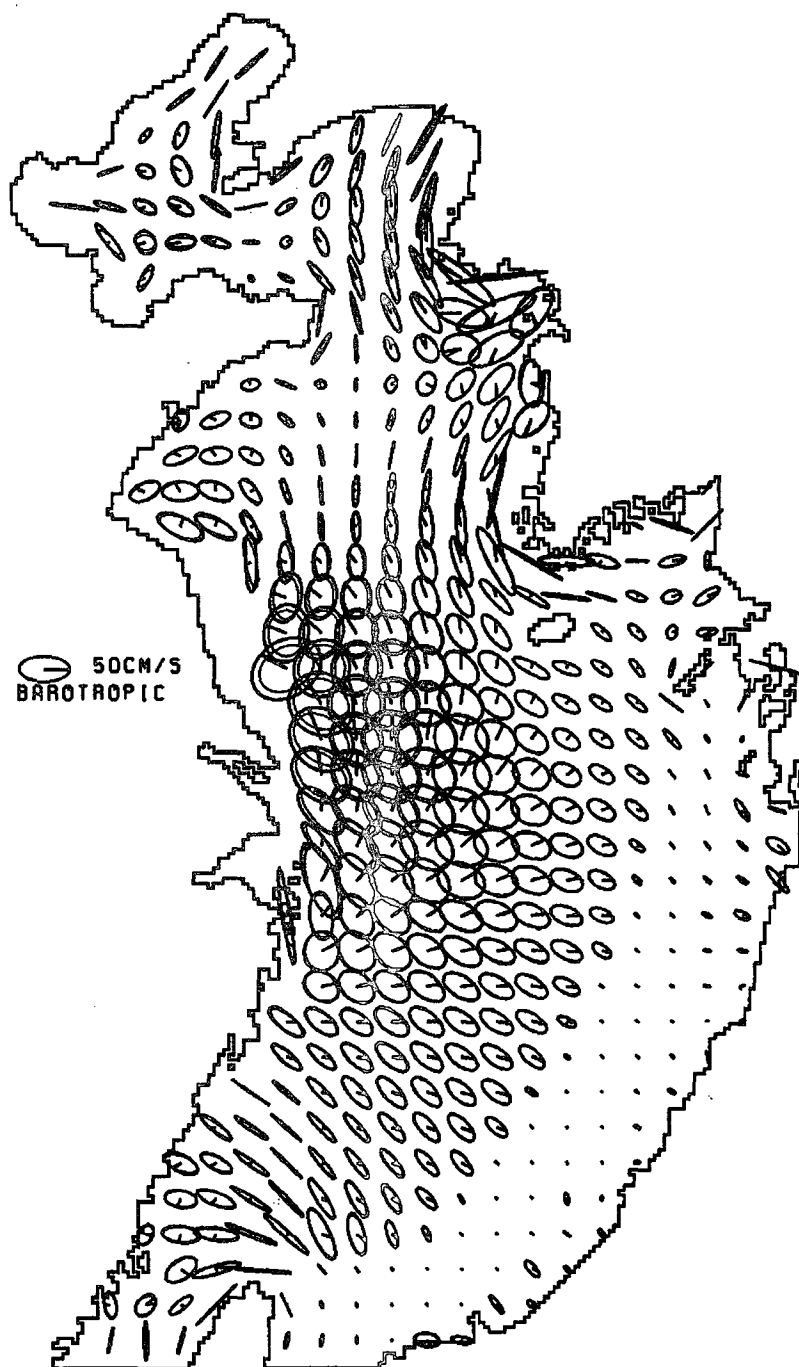


Figure 8b. Barotropic (depth-averaged) tidal ellipses for winter (thin line) and summer (thick line). Increased current speeds in summer are evident off the middle Chinese coast.

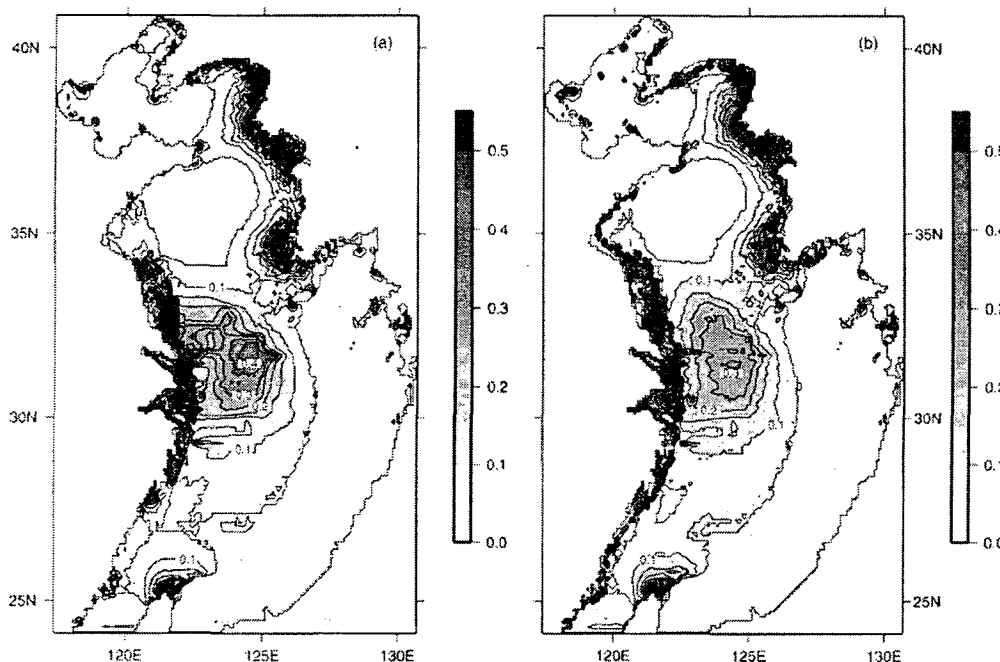


Figure 9. (a) Winter and (b) Summer bottom dissipation (W/m^2) using the lower layer currents.

flux passes through sections S3 and S4. Considering that the magnitudes of the summer and winter barotropic tidal ellipses in the same region, i.e., offshore of the southwestern tip of the Korean peninsula, are similar to each other (Figure 8b), the barotropic energy flux decrease must therefore occur in terms of an amplitude change, as seen from Figure 8a. A more quantitative analysis will be made in the following paragraphs.

[37] Baroclinic energy flux vectors for RSM are presented in Figure 10b. Figure 10b indicates that the dominant source regions of baroclinic energy flux are the northeastern shelf slope region of Taiwan, the offshore region of the middle Chinese coast near the Yangtze River, and several local regions. In particular, the large generation of baroclinic energy off the middle Chinese coast seems to be related to a strong current shear, as was extensively discussed in section 3.2. However, baroclinic energy flux is 2–3 orders of magnitude smaller than barotropic energy flux.

[38] In order to examine winter-summer variations the barotropic energy passing through sections S1, S2, S3, and S4 of Figure 10a was calculated for winter and summer and is listed in Table 5. The northern region of sections S1 and S2 roughly corresponds to the area of large current shear between the upper and lower layers, while the northwestern area of sections S3 and S4 roughly corresponds to the region where amplitude decreases in summer, compared with the amplitude in winter.

[39] Table 5 shows that the total winter and summer barotropic energy fluxes passing through the sections (S1–S4) are 98.1 and 97.3 GW, respectively. However, there is a 2.6 GW increase of energy flux over subsections S1–S2 from winter (50.6 GW) to summer (53.2 GW). Meanwhile, there is a 3.4 GW decrease of energy flux over subsections S3–S4 from winter (47.5 GW) to summer (44.1 GW). That is, tidal power entering the Yellow Sea through the Chinese and Korean side entrances varies by 2.6–3.4 GW, according to whether it belongs to the western Chinese

section (1–2) or the eastern Korean section (3–4) of the Yellow Sea. This unbalance of decreasing energy flux (3.4GW) through S3–S4 and increasing energy flux (2.6GW) through S1–S2 suggests that about 0.8 GW of barotropic energy flux was scattered into baroclinic energy in the southern region of sections S1 and S2, as was also hinted by baroclinic energy vector in Figure 10b.

[40] More importantly, the summer barotropic energy flux through sections S5–S7, where the peak decreasing amplitude pattern appears in Figure 7, decreases by 3.3GW to 24.3GW in summer from 27.6 GW in winter season. This 3.3 GW is a significant decrease, considering the section widths between S3–S4 and S5–S7. The summer decrease of barotropic energy flux in the eastern Korean side entrance of the Yellow Sea (section S5–S7) is thought to arise because of the large-amplitude decrease because the barotropic tidal currents are nearly the same in the summer and winter (Figure 8b) and the preceding discussion of Figure 8a. An artificial 12% surface amplitude decrease in RWN result over sections S5–S7 would yield 24.2 GW, comparable to summer barotropic energy flux of 24.3 GW. It can therefore be said that the barotropic energy flux decrease around S3–S4 and S5–S7 induces an amplitude decrease in the region around the Korean and Cheju Straits. These results imply that the seasonal change of barotropic energy flux through the eastern entrance of the Yellow Sea, driven by different seasonal stratification, results in a seasonal change of the M_2 amplitude, especially in the Korea Strait. For the western Chinese section (S1–S2) the summer increase in barotropic energy flux seems to arise in terms of a tidal elevation increase and a barotropic (depth-averaged) current increase (Figure 8b).

[41] The seasonal rearrangement of the barotropic energy flux through the eastern and western entrances to the Yellow Sea seems to result from the requirement to balance the seasonally changing intensity of baroclinicity in the shelf region off middle Chinese

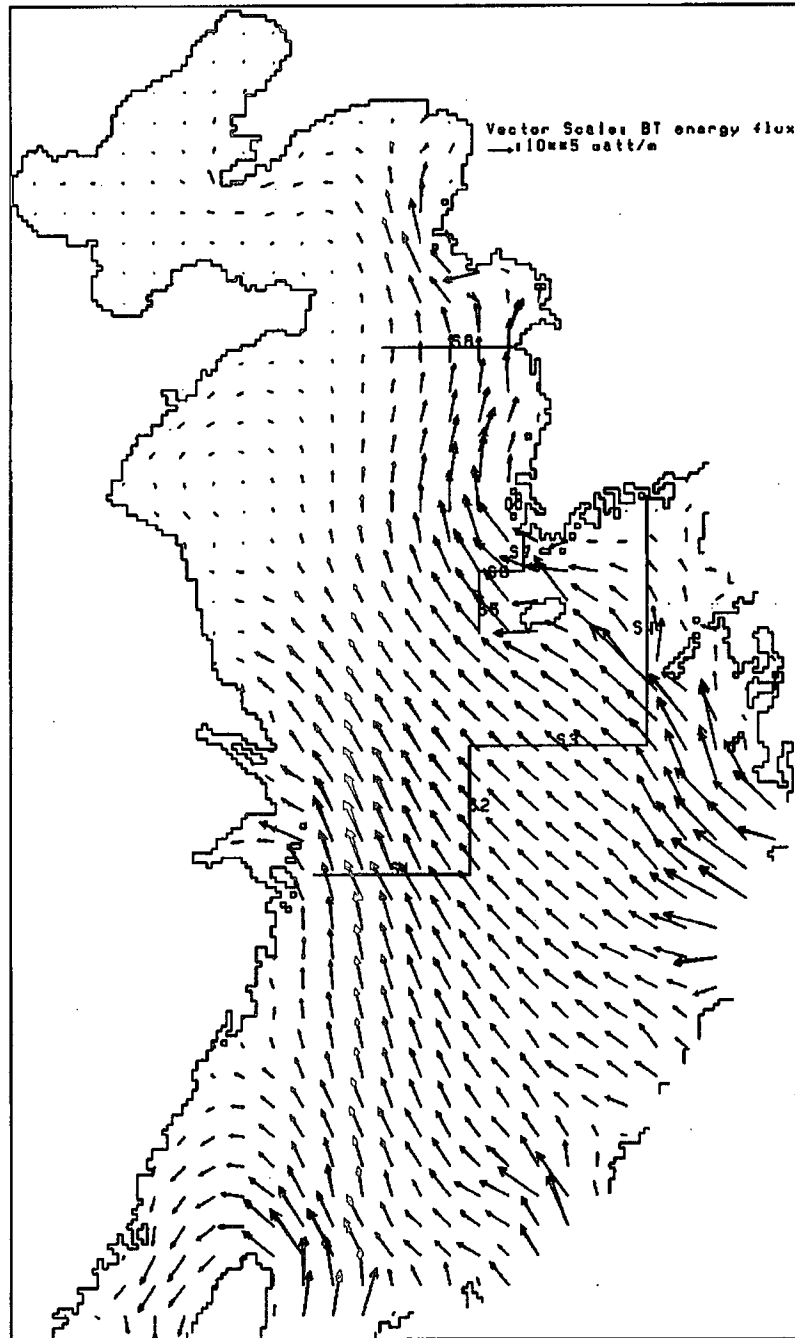


Figure 10a. Barotropic (depth-averaged) energy flux vectors for winter (thin line) and summer (thick line). Increased summer flux appears off the middle Chinese coast, while decreased summer energy flux is evident near the southwestern tip off the Korean peninsula. The energy flux sum was computed in the sections of S1-S2 and S3-S4. Every sixth vector is shown.

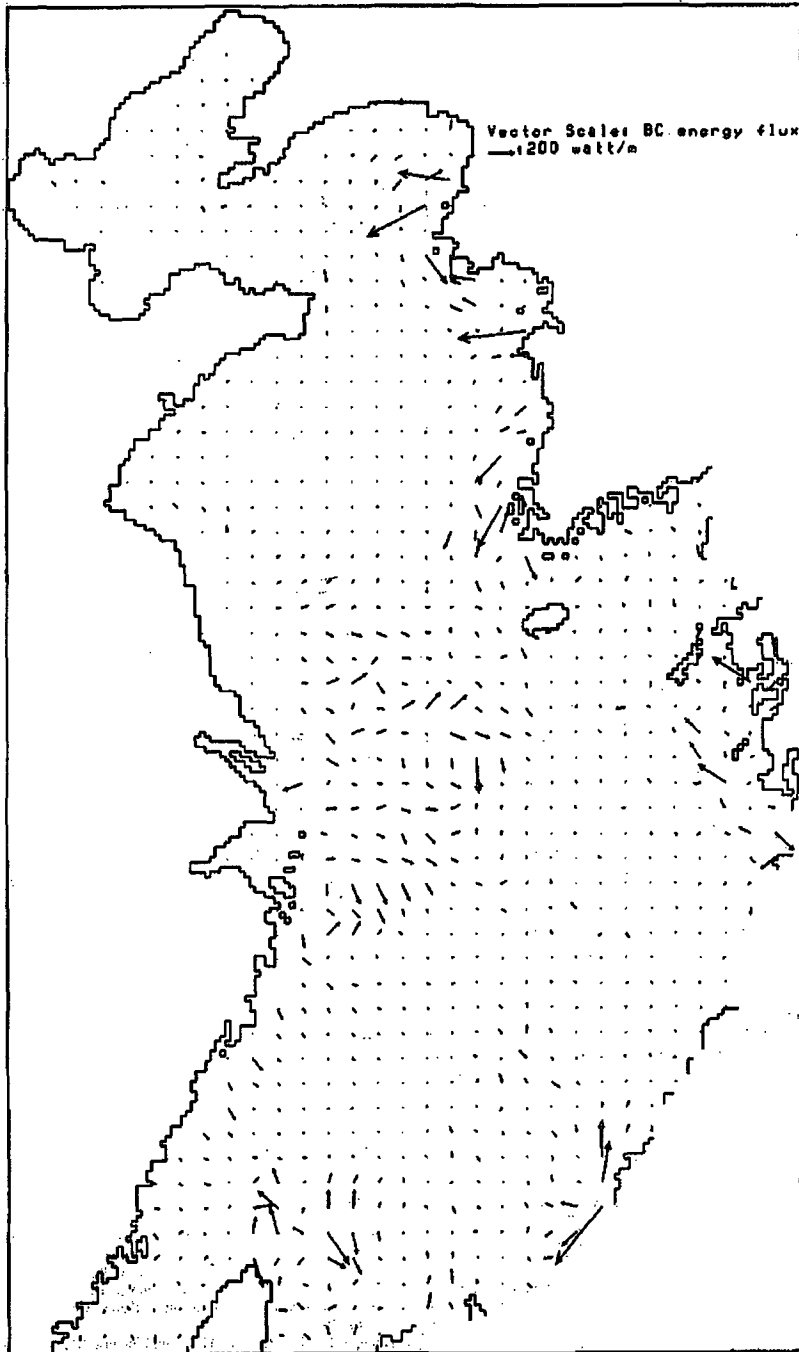


Figure 10b: Summer baroclinic energy flux vector. Every fifth vector is shown.

Table 5. Winter and Summer Variations of the M_2 Integrated Mean Barotropic Energy Flux (BEF) Through the Entrance Section of the Yellow Sea (S1–S4), the Southwestern Tip Section (S5–S7) of the Korean peninsula, and the Northern Section (S8) of the Yellow Sea^a

| Section | BEF (Winter Experiment RWN) | BEF (Summer Experiment RSM) |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| S1 | 36.5 | 38.0 |
| S2 | 14.1 | 15.2 |
| S3 | 23.6 | 20.9 |
| S4 | 23.9 | 22.2 |
| Sum of (S1 + S2) | 50.6 | 53.2 |
| Sum of (S3 + S4) | 47.5 | 44.1 |
| S5–S7 | 27.6 | 24.3 |
| S8 | 20.1 | 19.4 |

^aSee Figure 2. Unit is GW. Northward and westward fluxes are positive.

coast. The barotropic energy flux in the northern section (S8), near the entrance to Kyunggi Bay, is 19.4 GW in summer and 20.1 GW in winter. This implies that some part of amplitude change might be related to seasonal changes in the incident barotropic energy flux into the northern area of Kyunggi Bay.

4. Discussions and Summary

[42] The barotropic and baroclinic responses of tides and tidal currents in the YECS are investigated using a two-layer numerical model. Comparisons between available current observations and model results show reasonable agreement for the shear characteristics of tidal current, with relatively large current shears found around the shelf region off the Yangtze River. The magnitude of summer barotropic current is also slightly larger than that in winter. This is mainly due to an increased upper layer current speed.

[43] Strong current shear appears off the middle Chinese coast because the surface barotropic tide induces an interfacial slope between layers in horizontal domain. This large interfacial slope can be driven by horizontal gradients in the surface tides, assuming that the phase of the interface disturbance has a linear relationship with the surface tide. Specifically, the pattern of the 9, 10, 11, and 12(0) hour cotidal lines off the Chinese coast around the Yangtze River may reinforce the gradient of the interfacial disturbance, together with the large-amplitude differences, ranging from 80 to 140 cm. This large gradient of interfacial slope will produce strong current shear between layers, in terms of the thermal wind relationship.

[44] Seasonal variability in the M_2 tide in the YECS, especially the smaller summer amplitudes along the Korea/Tsushima Strait, which were revealed by Kang et al. [1995], is successfully reproduced by numerical experiments with varying degrees of stratification, which are specific to winter and summer. In particular, model results also show that the summer M_2 amplitude decrease around the Korea Strait (a maximum amplitude decrease of 14 cm off the southwestern tip of the Korean peninsula) coincides with observations. The amplitude of the M_2 tide at Cheju harbor decreases by nearly 9 cm (about 10%) under summer stratification, and this compares well with the observations. Amplitude increases appear in most of other model regions, such as that revealed by Kang et al. [1995] at Incheon (IC) inside the Kyunggi Bay. A summer amplitude increase along the Chinese coast was also found by Lee [2001] and T/P data, in agreement with the model results.

[45] Whereas the summer barotropic energy flux through the western entrance of the Yellow Sea is about 2.6 GW larger than the winter flux, the summer flux through the eastern entrance decreases by 3.4 GW. The 3.3 GW summer decrease in barotropic energy flux off the southwestern tip of the Korean peninsula arises

because of a large-amplitude decrease since the barotropic tidal currents in the area are nearly the same in summer and winter. Also, summer current shears induce smaller bottom dissipation and a seasonal change in bottom dissipation arising from the seasonal change of stratification. It seems that larger summer amplitudes in several coastal regions may be due to less bottom dissipation.

[46] This study reveals that seasonal stratification changes several tidal features such as the degree of current shear, the frictional dissipation, and the barotropic energy flux. Seasonal changes in the barotropic energy flux through the eastern entrance to the Yellow Sea result in corresponding seasonal variations in the M_2 tidal elevation amplitude in the Korea/Tsushima Strait, with minimum amplitudes in summer and maximum in winter. The present study also indicates that the major baroclinic dynamics on this shelf region can be represented reasonably well by a two-layer system, even though this representation is fairly schematic.

[47] Acknowledgments. This work has been supported by the Korean Ministry of Science and Technology (National Research Laboratory Program Grants PN00-404-00 and PN00-405-00) and the KORDI for the East China Sea Circulation Project (BSPB99754-00-1244). This work was also partially funded by a grant from the Korean Ministry of Ocean Marine Affairs and Fishery Research Program PM079 and PM127. We thank reviewers for valuable suggestions and Y. J. Shin and M. Kim for drafting the manuscript and many of the figures.

References

- Abbott, M. B., A. McCowan, and I. R. Warren, Numerical modeling of free-surface flows and coastal waters, in *Transport Models for Inland and Coastal Water*, edited by H. B. Fisher, 542 pp., Academic, San Diego, Calif., 1981.
- An, H. S., A numerical experiment of the M_2 tide in the Yellow Sea, *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, 33, 103–110, 1997.
- Bertelsen, J. A., and I. R. Warren, Two-layer modelling of the Danish Belts: Collection and processing of data and calibration of the models, Paper presented 15th Congress, *Int. Assoc. Hydraul. Res.*, Istanbul, 1973.
- Cherniawsky, J. Y., M. G. G. Foreman, and W. R. Crawford, Ocean tides from TOPEX/Poseidon sea level data, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 18, 649–664, 2001.
- Choi, B. H., A tidal model of Yellow Sea and Eastern China Sea, *KORDI Rep. 80-02*, 72 pp., Korea Ocean Res. and Dev. Inst. Seoul, 1980.
- Choi, B. H., Current observations in the Yellow Sea and the East China Sea continental shelf (in Korean), *J. Korean Soc. Coast. Ocean Eng.*, 5, 414–426, 1993.
- Crawford, W. R., J. Y. Cherniawsky, P. F. Cummins, and M. G. G. Foreman, Variability of tidal currents in a wide strait: A comparison between drifter observations and numerical simulation, *J. Geophys. Res.*, 103, 12,743–12,759, 1998.
- Cummins, P. F., and L. Y. Oey, Simulation of barotropic and baroclinic tides off northern British Columbia, *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 762–781, 1997.
- Cummins, P. F., J. Y. Cherniawsky, and M. G. G. Foreman, North Pacific internal tides from the Aleutian Ridge: Observations and modelling, *J. Mar. Res.*, 59, 167–191, 2001.
- Defant, A., *Physical Oceanography*, vol. II, 598 pp., Pergamon, New York, 1960.
- Foreman, M. G. G., *Manual for tidal analysis and prediction*, *Pac. Mar. Sci. Rep.* 77–10, 66 pp., Inst. of Ocean Sci. Sidney, B. C. Can., 1977.
- Foreman, M. G. G., R. A. Walters, R. F. Henry, C. P. Keller, and A. G. Dolling, A tidal model for eastern Juan de Fuca Strait and the southern Strait of Georgia, *J. Geophys. Res.*, 100, 721–740, 1995.
- Hodgins, D. O., On the numerical computation of two-layer nearly horizontal flows, *J. Hydraul. Res.*, 17, 23–42, 1979.
- Holloway, P. E., A numerical model of internal tides with application to the Australian North West Shelf, *J. Phys. Oceanogr.*, 26, 21–37, 1996.
- Kang, S. K., S. R. Lee, K. Yum, Tidal computation of the East China Sea, the Yellow Sea and the East Sea, in *Oceanography of Asian Marginal Seas*, *Elsevier Oceanogr. Ser.*, edited by K. Takano, 54, 25–48, 1991.
- Kang, S. K., J. Y. Chung, S. R. Lee, and K. D. Yum, Seasonal variability of the M_2 tide in the seas adjacent to Korea, *Cont. Shelf Res.*, 13, 1087–1113, 1995.
- Kang, S. K., S. R. Lee, and H. J. Lie, Fine grid tidal modeling of the Yellow and East China Seas, *Cont. Shelf Res.*, 18, 739–772, 1998.
- Kang, S. K., M. G. G. Foreman, W. R. Crawford, and J. Y. Cherniawsky, Numerical modelling of internal tide generation along the Hawaiian Ridge, *J. Phys. Oceanogr.*, 3, 1083–1098, 2000.

- Kantha, L. H., C. Tierney, J. W. Lopez, S. D. Desai, M. B. Parke, and L. Drexler, Barotropic tides in the global oceans from a nonlinear tidal model assimilating altimetric tides, 2, Altimetric and geophysical implications, *J. Geophys. Res.*, *100*, 25,309–25,317, 1995.
- Kantha, L. H., I. Bang, J.-K. Choi, and M.-S. Suk, Shallow water tides in the seas around Korea, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, *31*, 123–133, 1996.
- Larsen, L. H., G. A. Cannon, and B. H. Choi, East China Sea tide current, *Cont. Shelf Res.*, *4*, 77–103, 1985.
- Lee, J. H., (Ed.), A study on water circulation and material flux in the Yellow Sea—Survey of sea water properties in the Yellow Sea (in Korean), *Rep. BSPN 97337-02-1101-1*, 263 pp., Ministry of Sci. and Technol., Kwachon City, 1998.
- Lee, S., Spatial distribution of tidal currents and seasonal variation of tide in the Yellow and East China Seas (in Korean), Ph. D. thesis, 190 pp., Sungkyunkwan Univ., Suwon, 2001.
- Lee, S. H., and R. C. Beardsley, Influence of stratification on residual tidal currents in the Yellow Sea, *J. Geophys. Res.*, *104*, 15,679–15,701, 1999.
- Lefevre, F., C. Le Provost, and F. H. Lyard, How can we improve a global ocean tide model at a regional scale? A test on the Yellow Sea and the East China Sea, *J. Geophys. Res.*, *105*, 8707–8725, 2000.
- Lie, H. J., and C. H. Cho, The origin of Trushima Current, *J. Geophys. Res.*, *99*, 25,081–25,091, 1994.
- Lie, H. J., and J. H. Lee, (Eds.), Ocean circulation in the western and middle part of East China Sea (in Korean), *Rep. BSPE 99754-00-1244-1*, 428 pp., Korea Ocean Res. and Dev. Inst., Seoul, 2000.
- Lie, H.-J., C.-H. Cho, J.-H. Lee, S. Lee, and Y. Tang, Seasonal variation of the Cheju Warm Current in the northern East China Sea, *J. Oceanogr.*, *56*, 197–211, 2000.
- Lyard, F. H., and C. Le Provost, Energy budget of the tidal hydrodynamic model FES94.1, *Geophys. Res. Lett.*, *24*, 687–690, 1997.
- Munk, W. H., Once again: Once again—tidal friction, *Prog. Oceanogr.*, *40*, 7–35, 1997.
- Ogura, S., The tides in the seas adjacent to Japan, *Bull. Hydr. Dep.*, *7*, 1–189, 1933.
- Pingree, R. D., and D. K. Griffiths, Tidal friction for semidiurnal tides, *Cont. Shelf Res.*, *7*, 1181–1209, 1987.
- Ray, R. D., and G. T. Mitchum, Surface manifestation of internal tides generated near Hawaii, *Geophys. Res. Lett.*, *23*, 2101–2104, 1996.
- Serpette, A., and R. Maze, Internal tides in the Bay of Biscay: A two-dimensional model, *Cont. Shelf Res.*, *9*, 795–821, 1989.
- Taylor, G. I., Tidal friction in the Irish Sea, *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, *220*, 1–93, 1919.

J. Cherniawsky and M. G. G. Foreman, Institute of Ocean Sciences, Department of Fisheries and Oceans, P. O. Box 6000, Sidney, B. C., Canada V8L 4B2.

S. K. Kang, J.-H. Lee, H.-J. Lie, and K.-D. Yum, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea. (skkang@kordi.re.kr)

제2절 서해안 조력발전 후보지 방조제 개발에 따른 조석체계 변화 예측

1. 개요

본 연구에서 조위예측 수치모델링 연구는 1차적으로 조력발전, 새만금개발 등 대규모 개발에 따른 조위변화에 대한 사전 예측을 염두에 두고 수치실험을 수행하였다. 따라서 새만금 외곽방조제가 완공된 후를 가정한 경우와 2000~2001년을 현상태로 규정한 경우에 대하여 주요 분조의 조위변화를 예측, 비교하였다.

이러한 연구는 2001~2003년 사이 수행된 해양수산부 연구용역사업인 “대규모 연안개발에 따른 조위예측 연구개발”사업의 일환으로 수행되었다. 상기 연구의 일부 결과를 일부 발췌, 소록한다. 이를 통해 대규모 연안개발이 황동중국해 조석체계 변화에 어느 정도 영향을 주는지 평가할 수 있다. 상기 연구 단계에서는 한반도 주변해인 황해, 동중국해, 남해 및 동해를 포괄하는 모델링 시스템이 수립하여 모델검증을 실시한 바 있다. 초기 모델 수립시 특히 주안점을 둔 점은 침수, 범람 피해가 두드러졌던 황해 남부 연안해역을 대상으로 고해상도를 지닌 격자시스템을 구축한 점이다. 새만금 해역의 경우, 인근 도시의 영향을 감안하여 군산내·외항 수로 해역에서의 영향을 자세히 검토하기 위하여 수로 해역을 상세격자로 구성하였다.

이러한 일련의 수치모델링 연구를 통하여 서해 연안에서 대규모 개발에 따른 조위변화로 인한 악영향 발생 가능성에 대한 사전 예측 능력이 훨씬 향상된 것으로 평가한다. 목포 하구언과 인근 방조제가 최종 완공된 직후인 1994~1997년 사이에 조위변화로 인해 목포시내 침수빈발로 인해 그 후 많은 경제적 사회적 문제를 야기한 바 있다. 이는 이러한 계획이 입안되고 사전, 예측된 1980년대에는 해양에서의 예측기술이 상대적으로 열등하여, 보다 정확한 사전 예측이 불가능했던 데에도 그 원인이 있었다고 판단된다. 근래 10~20년 동안 위성관측기술, 수치모델링 기술, 계산컴퓨터의 속도 측면에서의 발전은 해양에서의 수치모델링의 정확도 및 신뢰도를 개선하는 데 크게 기여하였다.

2항에서는 경기만 조석관측결과를 기술하고, 3항에서는 황동중국해 모델링 시스템 수립, 검증 과정을, 4항에 방조제 건설에 따른 경기만 조석체계변화 결과를 기술하며, 5항에서는 1차년도 연구결과에 대해 간략히 토의한다.

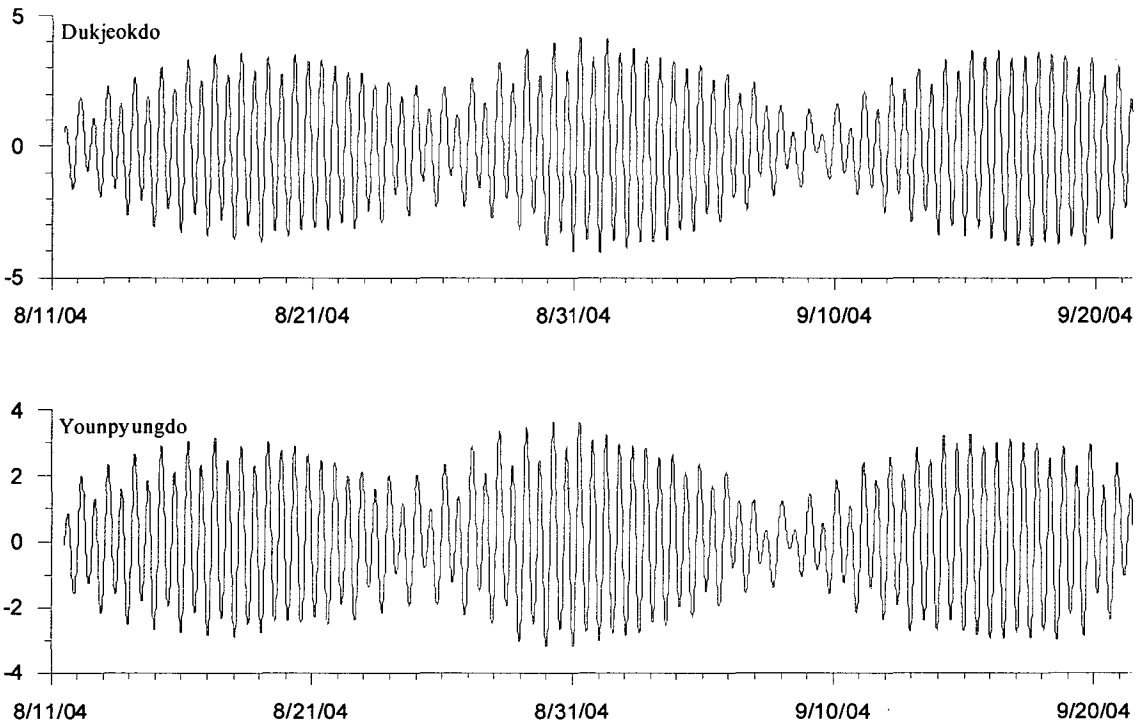
2. 경기만내 조위관측 및 결과

가. 개요

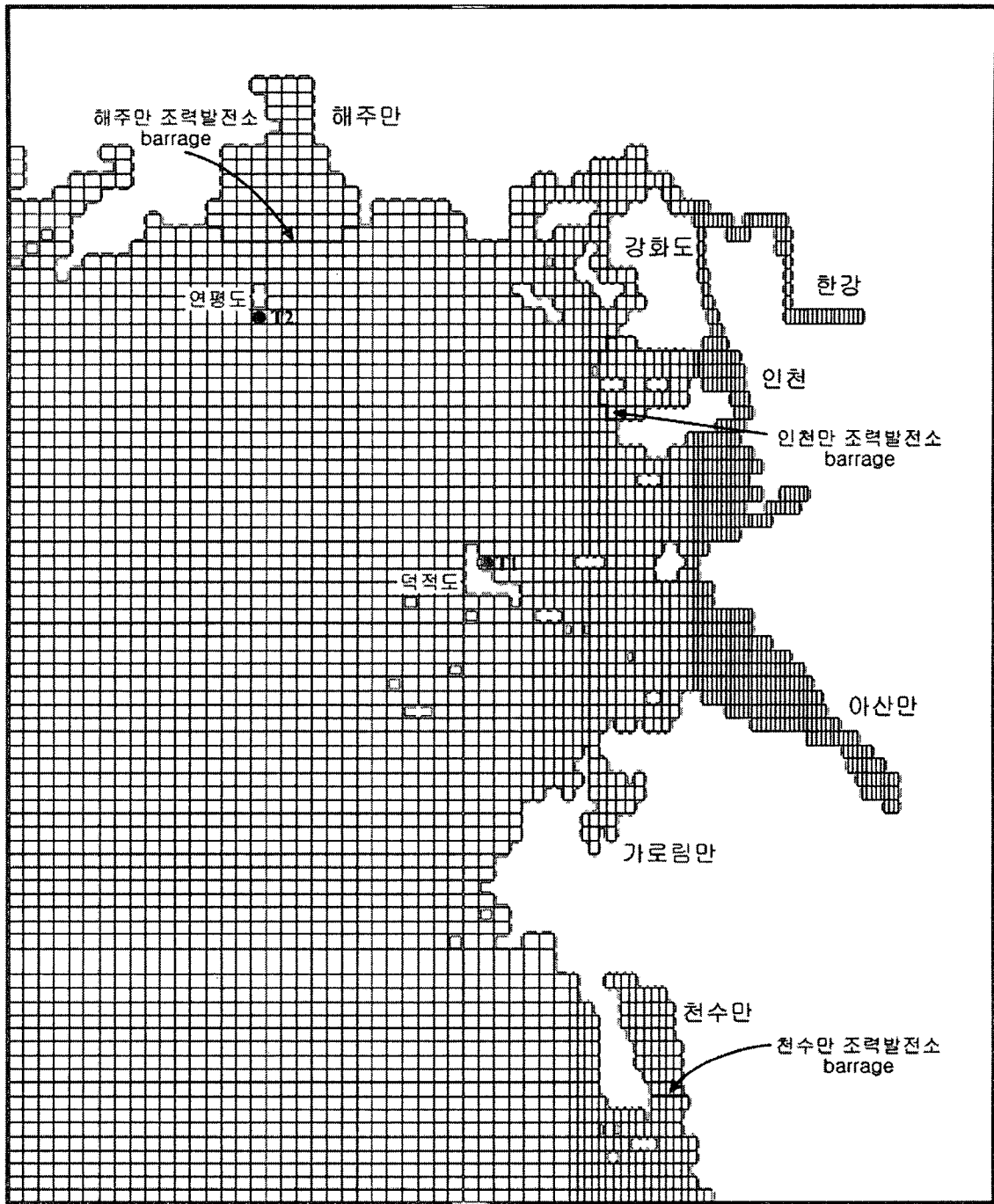
제2장 1절에서 기술한 바와 같이 조석의 계절별 진폭특성 변화로 인해 단기적인 관측에 근거한 진폭에 근거하여 에너지나 조위특성을 평가하는 것은 어느 정도 오차를 수반할 수 있다. 따라서 본 연구 기간 동안 수행된 하계 단기 관측결과는 참고자료로 활용한다. 경기만 입구역에서의 조석특성을 파악하기 위하여 2개 지점에서 하계 관측을 실시하였다. 조석관측은 상대적으로 조석 관측자료가 부족한 해주만 인근인 연평도와 경기만 입구에 근접한 덕적도에서 1개월 관측을 실시하였으며, 관측은 성공적으로 수행되었다.

나. 경기만내 조석관측 및 결과

자료처리 및 분석 방법은 해양연구원에서 수립된 일련의 자료처리 과정을 동일하며 상세한 기술은 생략한다. 관측을 통해 얻어진 시계열 관측자료는 <그림 2.2.1>과 같다. 관측 지점은 <그림 2.2.2>에 표기된 T1(덕적도)과 T2(연평도)로서 연평도가 해주만에 지리적으로 매우 가까워 T2의 관측결과가 해주만 조석특성 파악에 유용할 것임을 알 수 있다. T1, T2에서의 분석결과는 <표 2.2.1~2.2.2>에 제시하였다.



<그림 2.2.1> 덕적도와 연평도에서 관측된 조석시계열 관측 결과.



<그림 2.2.2> 덕적도와 연평도 조석 관측점 위치도.

T1에서의 주요 4개 분조의 진폭은 251.2, 102.2, 40.4, 31.5cm 로서 M2의 진폭이 가로림만보다 큰 특성을 보이고 있다. 반면에 연평도(T2)에서의 4개 분조의 크기는 각각 210.0, 85.2, 39.1, 30.4cm로서 덕적도보다 M2, S2의 진폭이 크게 작다. 이들 자료는 계절 변화에 따른 크기변화 가능성으로 앞 절에서의 모델 검증 자료로 활용하지 않았으나 <그림 2.2.3>의 현상태 M2 진폭과 비교할 때 비교적 만족스러움을 알 수 있다.

3. 조위 예측모델 수립 및 검증

가. 모델 수립 및 모델 검증

(1) 모델수립

새만금 개발전후 조위변화를 예측하기 위하여 사용된 지비배방정식은 아래와 같이 2차원 수심 평균된 비선형 천해 장파방정식이며, 비선형항 및 수평 난류확산항을 추가하였다. 지배 방정식은 위도에 따른 전향력(Coriolis force)과 위,경도 함수인 기조력(Tide generating force)을 고려하기 위하여 지구구면좌표계(Spherical polar coordinate system) 상에 기술하였다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \chi} \left(\frac{U^2}{h} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{UV}{h} \right) = & - \frac{gh}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \chi} (\eta - (1+k-h')\zeta_n) \\ & + \frac{UV \tan \phi}{Rh} + 2\omega \sin \phi V - K_b \frac{U \sqrt{U^2 + V^2}}{h^2} + F_x \end{aligned} \quad (2.2.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \chi} \left(\frac{UV}{h} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{V^2}{h} \right) = & - \frac{gh}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} (\eta - (1+k-h')\zeta_n) \\ & + \frac{V^2 \tan \phi}{Rh} - 2\omega \sin \phi U - K_b \frac{V \sqrt{U^2 + V^2}}{h^2} + F_\phi \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

$$R \cos \phi \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial \chi} + \frac{\partial (V \cos \phi)}{\partial \phi} = 0 \quad (2.2.3)$$

위식에서 χ , ϕ , h , η 는 경도, 위도 방향좌표, 수심, 해수위 변화를 각각 나타내며, U , V , R 는 경도, 위도 방향 질량속, 지구반경을 각각 나타낸다. 해저면 마찰계수 $K_b = g/C^2$ 로서 g , C 는 중력가속도, Chezy 계수를 나타낸다. $(1+k-h')$ 는 Earth tide에 의한 Modification factor이다. F 는 수평 난류 확산항으로서 Kang et al.(1998)에 제시된 바와 같다. 아울러 기조력의 포텐셜 함수에 대한 상세한 기술은 1차년도 보고서에 자세히 기술한 바 있다. 1차년도 보고서에 기술한 바와 같이 기조력만에 의한 경기만에서의 M_2 진폭은 약 30cm에 달하나 개방경계에서 입사하는 공진조석에 의해 감쇄가 발생하여 최종적으로 경기만에서 약 10cm 정도의 기여를 하는 것으로 밝혀졌다 (Kang et al., 1998). 따라서 본 연구에서는 일차적인 모델반응을 실험한다는 점에서 기조력을 제외하였다.

<표 2.2.1> 덕적도 조석조화상수 분석결과(T1).

```

=====
Locatation : Dukjeok T1 (126 5 21, 37 16 30)
Duration : 42 days (13:00, Aug. 11, 2004 - 8:00, Sep. 21, 2004)
Observed M. : -0.3133D-02, S.D. : 0.1949D+01
Residual M. : 0.3831D-09, S.D. : 0.1157D+00
=====

```

Related constituents Nrel= 8

| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|----|-------------|-------------|-----------------|--------|----------|
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178648 | 0.0077 | 211.834 |
| 2 | P1 | K1 | 14.9589310 | 0.1211 | 292.464 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821352 | 0.0065 | 119.044 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232061 | 0.0061 | 260.804 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953552 | 0.0884 | 79.490 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125828 | 0.1031 | 94.030 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589329 | 0.0675 | 176.392 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821381 | 0.2913 | 179.622 |

Major constituents Nsig= 27

| No | Constituent | Speed(deg/hr) | H(cm) | g(deg) |
|----|-------------|---------------|--------|---------|
| 1 | Z0 | 0.0000000 | 0.0032 | 0.000 |
| 2 | MM | 0.5443747 | 0.0253 | 98.911 |
| 3 | MSF | 1.0158958 | 0.0477 | 275.888 |
| 4 | Q1 | 13.3986607 | 0.0476 | 205.898 |
| 5 | O1 | 13.9430351 | 0.3153 | 262.515 |
| 6 | M1 | 14.4920521 | 0.0152 | 261.920 |
| 7 | K1 | 15.0410690 | 0.4037 | 300.544 |
| 8 | J1 | 15.5854435 | 0.0309 | 347.176 |
| 9 | O01 | 16.1391010 | 0.0208 | 344.193 |
| 10 | MU2 | 27.9682083 | 0.0627 | 177.529 |
| 11 | N2 | 28.4397297 | 0.4840 | 109.110 |
| 12 | M2 | 28.9841042 | 2.5124 | 127.750 |
| 13 | L2 | 29.5284786 | 0.0802 | 143.311 |
| 14 | S2 | 30.0000000 | 1.0219 | 181.302 |
| 15 | 2SM2 | 31.0158958 | 0.0703 | 67.074 |
| 16 | M03 | 42.9271393 | 0.0308 | 191.304 |
| 17 | M3 | 43.4761581 | 0.0141 | 17.180 |
| 18 | MK3 | 44.0251732 | 0.0223 | 314.086 |
| 19 | MN4 | 57.4238319 | 0.0045 | 179.628 |
| 20 | M4 | 57.9682083 | 0.0230 | 129.648 |
| 21 | SN4 | 58.4397278 | 0.0107 | 204.443 |
| 22 | MS4 | 58.9841042 | 0.0255 | 203.270 |
| 23 | 2MN6 | 86.4079361 | 0.0049 | 59.265 |
| 24 | M6 | 86.9523163 | 0.0101 | 91.488 |
| 25 | MSN6 | 87.4238358 | 0.0090 | 137.469 |
| 26 | 2MS6 | 87.9682083 | 0.0209 | 147.716 |
| 27 | 2SM6 | 88.9841080 | 0.0074 | 215.089 |

<표 2.2.2> 연평도 조석조화상수 분석결과(T2).

| ===== Locatation : Yeonpyungdo T2 (126 44 27, 37 40 30) Duration : 42 days (14:00, Aug.12, 2004 - 11:00, Sep.22, 2004) Observed M. : -0.1120D-02, S.D. : 0.1649D+01 Residual M. : -0.1258D-09, S.D. : 0.1121D+00 ===== | | | | | |
|---|-------------|----|-----------------|--------|----------|
| Related constituents | | | Nrel= 8 | | |
| No | Constituent | | Speed(deg/hr) | H(cm) | g(deg) |
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178648 | 0.0075 | 220.465 |
| 2 | P1 | K1 | 14.9589310 | 0.1172 | 301.095 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821352 | 0.0063 | 127.675 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232061 | 0.0059 | 269.435 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953552 | 0.0746 | 95.661 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125828 | 0.0869 | 110.201 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589329 | 0.0563 | 192.441 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821381 | 0.2429 | 195.671 |
| ===== Major constituents Nsig= 27 ===== | | | | | |
| No | Constituent | | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
| 1 | Z0 | | 0.0000000 | 0.0033 | 0.000 |
| 2 | MM | | 0.5443747 | 0.0290 | 64.119 |
| 3 | MSF | | 1.0158958 | 0.0415 | 269.472 |
| 4 | Q1 | | 13.3986607 | 0.0467 | 220.684 |
| 5 | O1 | | 13.9430351 | 0.3036 | 270.280 |
| 6 | M1 | | 14.4920521 | 0.0188 | 273.152 |
| 7 | K1 | | 15.0410690 | 0.3907 | 309.175 |
| 8 | J1 | | 15.5854435 | 0.0292 | 349.091 |
| 9 | OO1 | | 16.1391010 | 0.0201 | 355.492 |
| 10 | MU2 | | 27.9682083 | 0.0507 | 194.226 |
| 11 | N2 | | 28.4397297 | 0.4080 | 125.281 |
| 12 | M2 | | 28.9841042 | 2.1003 | 144.186 |
| 13 | L2 | | 29.5284786 | 0.0671 | 160.138 |
| 14 | S2 | | 30.0000000 | 0.8520 | 197.351 |
| 15 | 2SM2 | | 31.0158958 | 0.0602 | 79.283 |
| 16 | MO3 | | 42.9271393 | 0.0163 | 207.933 |
| 17 | M3 | | 43.4761581 | 0.0102 | 27.494 |
| 18 | MK3 | | 44.0251732 | 0.0178 | 359.410 |
| 19 | MN4 | | 57.4238319 | 0.0307 | 242.140 |
| 20 | M4 | | 57.9682083 | 0.0787 | 273.052 |
| 21 | SN4 | | 58.4397278 | 0.0235 | 311.245 |
| 22 | MS4 | | 58.9841042 | 0.0808 | 334.523 |
| 23 | 2MN6 | | 86.4079361 | 0.0058 | 210.802 |
| 24 | M6 | | 86.9523163 | 0.0155 | 262.114 |
| 25 | MSN6 | | 87.4238358 | 0.0078 | 319.283 |
| 26 | 2MS6 | | 87.9682083 | 0.0252 | 331.962 |
| 27 | 2SM6 | | 88.9841080 | 0.0071 | 31.555 |
| ===== | | | | | |

상기 비선형 방정식은 ADI(Alternating Direction Implicit) 기법을 이용한 2차원 모델링 시스템으로서 비선형항 처리는 특별한 Side feeding technique을 사용한다. 그 적용결과는 다수의 연구(Kang et al., 1991; Kang et al., 1998) 및 다수의 연구용역 사업(부산직할시, 1991; 한국전력공사, 1993; 해운항만청, 1994; 해양수산부, 1996)에 성공적으로 적용되어 왔다.

본 연구에서 시도하고자 하는 점은 황해 및 남해 연안의 해안선이 매우 불규칙하여 조석정보가 없는 곳에서의 수백 m, 혹은 수 km 내외의 보다 정밀한 조석정보를 파악하기 위해서는 특별한 격자망 시스템이 필요하다. 이러한 목적을 위하여 본 연구에서는 광역해역을 대상으로 가변격자망 개념을 도입하여 외해 경계의 규정만으로 연안의 상세 정보를 획득하는 방법을 시도하였다. 본 연구에서 채택한 격자 시스템은 확장가변격자망 시스템(Fetched variable grid system)으로서 가변격자시스템보다 한 단계 발전된 격자망 시스템으로서 이는 지형특성을 이용한 격자간격의 효율화를 통해 모델계산상의 효율을 극대화하기 위해서이다.

특히 가변격자망 시스템의 채택은 격자간격이 일정한 경우 Truncation 오차가 공간에 따라 차이가 난다는 점을 제외하고는 운동량이나 질량의 보존에 전혀 오차가 없다는 장점이 있다. 해안선이 복잡하고 특정해역의 격자해상도가 높을 필요가 있는 경우, 사용하는 방법 중의 하나가 격자간격을 외해측에서 내해측으로 향하면서 1/3내지 그 이하의 격자간격을 취하는 Nesting 기법이나 이 경우 운동량이나 질량 Balance 측면의 문제가 발생할 수 있다. 격자간격이 변하는 영역에서 변수에 대한 보간법(Interpolation)을 사용해야 하는 데 통상 많은 방법이 사용되나 운동량이나 질량보존이 완벽히 이루어진다고 증명하기가 쉽지 않은 것을 감안하면 본 연구에서 채택한 방법은 초기단계에서 그러한 가능성을 배제한 방법이라 할 수 있다.

본 연구에 사용된 가변 격자망은 <그림 2.2.3>과 같다. 위도(x방향) 및 경도방향(y방향) 격자 간격은 수백 m에서 수 km 분포한다. 일정 위도 구간당 경도방향 격자간격을 달리하는 구간은 모두 10개 이내의 구간으로 분류된다. 위도 방향 서로 다른 격자간격을 지닌 격자간격은 남쪽에서부터 3.75분, 2.25분, 1.5분, 1.25분, 0.625분, 0.415분, 0.25분, 0.2분, 0.15분, 0.1분, 0.15분, 0.2분, 0.25분, 0.415분, 0.625분, 1.25분, 0.625분, 1.25분, 0.625분, 0.4분, 0.3분, 0.2분, 0.15분, 0.1분, 0.15분, 0.2분, 0.15분, 0.2분, 0.4분, 0.625분, 1.25분, 2.25분, 1.5분, 1.25분, 1.85분, 3.75분으로 구성된다. 경도방향 격자간격은 가장 격자수가 많은 구간에서 5.0분, 1.67분, 0.83333분, 0.5분, 0.4분, 0.3분, 0.25분, 0.2분으로 구성된다. 현상태는 새만금 방조제가 건설이 체절되기 전인 2000년대 초반의 시기를 현재 상태로 규정하였다.

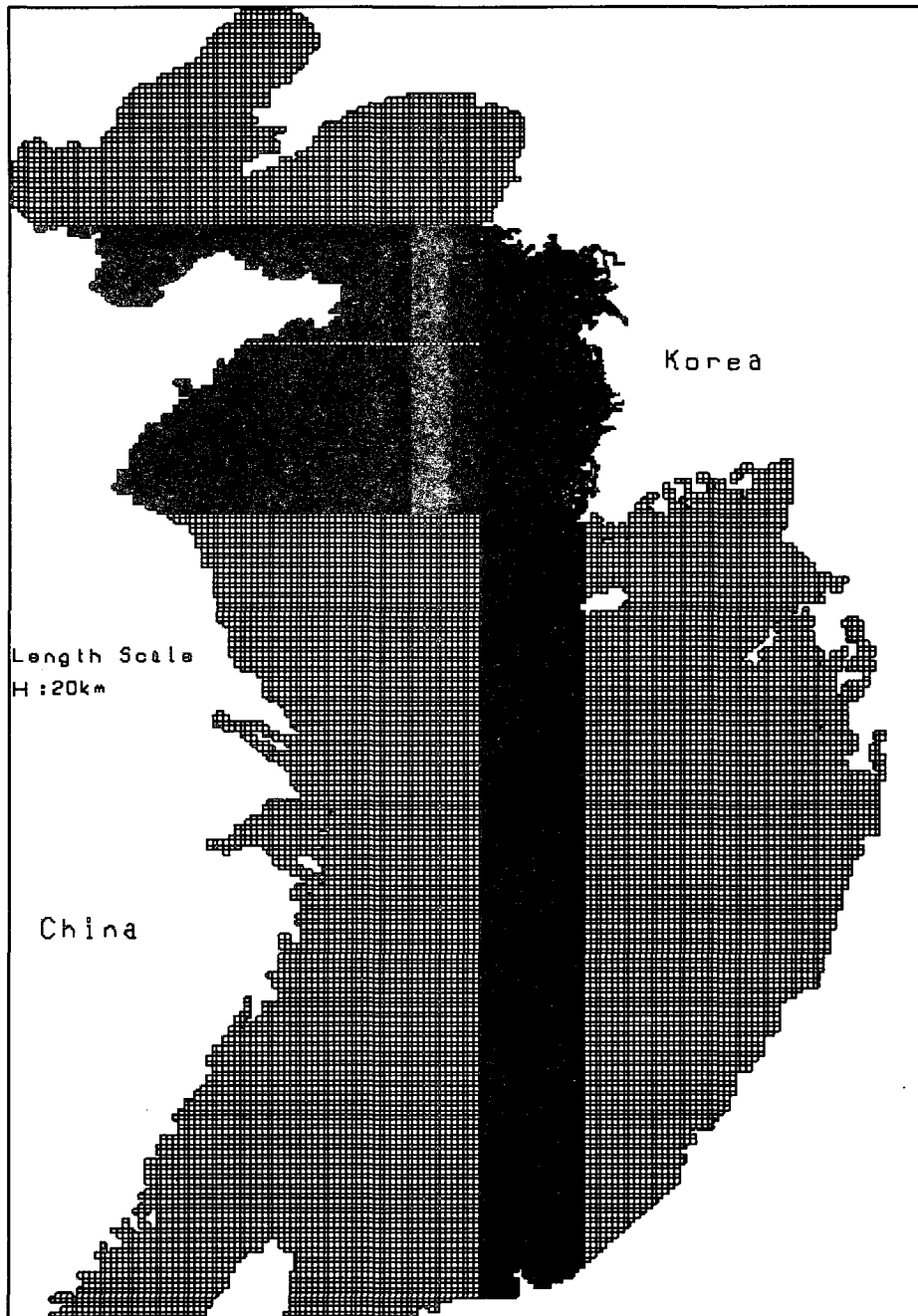
본 연구에서는 관측치, 고도위성자료 등으로부터 13개 분조를 추출하여 활용하였다. M4, MS4분조 등이 대부분 내부에서 비선형작용에 의해 생성된다는 점을 감안하면 이 13개의 분조는 인천에서 10cm 이상의 진폭기여를 하는 대부분의 분조를 포괄한다. 모델 경계는 남측으로 타이완해협, Ryukyu열도와 대한해협을 경계로 모두 13개 분조 ($M_2, S_2, N_2, K_1, O_1, Q_1, P_1, Mu_2, N_2, T_2, K_2, L_2, 2N_2$)를 개방경계에서 입력하였다. 경계자료는 Nishida (1980), KODC (Korea Oceanographic Data Center), JODC(Japan Oceanographic Data Center), 고도위성자료 등으로부터 수집한 자료 및 부산직할시(1992) 자료를 이용하여 산출하였다.

모델 개방경계에서의 값은 주요 5개 분조의 경우, Kang et al. (1998)에서 보정된 값을 활용하였으며 여타의 분조는 여러 정보로부터 얻은 자료를 취합하였다.

(2)모델 검증

모델검증을 위한 자료로는 조석특성의 계절변화에 따른 자료의 오차 가능성을 고려하여 서남해 검조소 자료중 2000년 1년 동안 관측 자료가 있는 지점(<그림 2.2.4>)에서의 자료를 분석하여 주요 5개 분조에 대한 검증을 실시하였다. 전술한 바와 같이 본 연구사업에서는 13개 분조를 고려하였으나 실제 주기가 근접한 분조들을 분석해내기 위해서는 장기자료가 필요하다. 계산상의 효율성을 위해 1개월 계산을 기준으로 실행하였다.

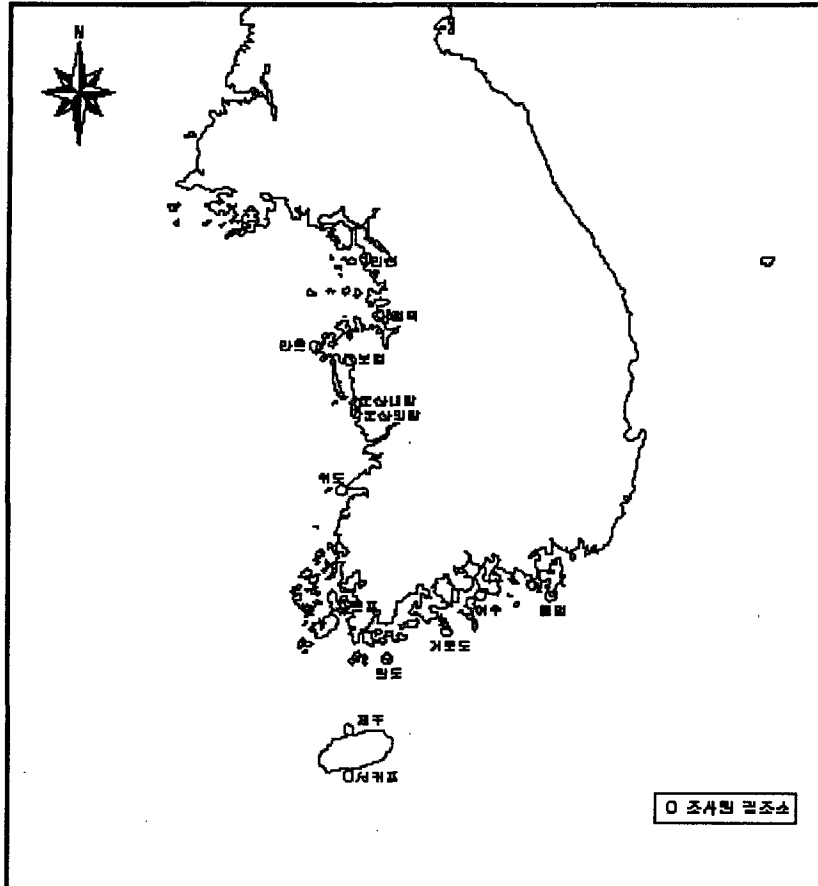
본 모델코드를 사용하여 기존 황해모델(Kang et al., 1998)의 검증시 보다 Coarse 격자상에서 유속자료를 매우 성공적으로 재현한 바 있기 때문에, 본 연구단 계에서는 모델의 검증은 수위자료 검증에 주력하였다. 모델검증 및 적용을 위해 사용한 마찰계수는 해저면 마찰계수는 Chezy 계수가 $64.610 m^{1/2}/s$ 으로 마찰계수는 0.00235의 값을 갖는다. 난류운동 확산항의 Smagorinsky계수는 0.30을 사용하였다. 계산시간 간격은 100초이고 M_2 약 8주기 후 28일간의 결과를 조화분석하여 검조소 분석결과와 분석, 비교하였다. 서남해 연안 주요 검조소에서의 2000년 M2 및 K1분조의 자료분석결과와 모델계산치와 비교결과를 <표 2.2.3>에, 관측치와 계산치의 RMS오차를 <표 2.2.4>에 제시하였다.



<그림 2.2.3> 황동중국해 확장가변형 격자망.

주요 반일주조의 진폭의 오차는 대체로 10cm 정도, 일주조는 5cm 내외에서 일치하고 지가은 5-10 deg 정도 범위에서 일치하여, 기존 연구(Kang, 1998)와 대체로 비슷한 정확도를 유지하는 것으로 나타났다.

과거 본 모델 시스템의 검증과 본 연구에서의 비교결과를 감안할 때, 대체로 만족스러운 결과를 보이고 있다고 판단된다. 전반적인 특성비교는 다음과 같다.



<그림 2.2.4> 모델 검증점 위치도.

관측치와 계산치의 결과중에서 <표 2.2.4>의 M_2 분조의 RMS 오차의 정확도가 타분조에 비해 두드러진다. 이러한 정확도는 시계열자료 비교에서 관측치와 계산치간의 일치성을 좌우한다. 이런 점에서 서남해 관측점에서 M_2 분조가 조석에너지의 상당부분을 설명한다는 점을 감안하면 M_2 분조의 정확도 특별한 의미가 있으며, 위상의 평균적인 차이는 약 12분으로 관측치와 계산치 간에 거의 일치하는 결과를 보였다.

아울러 한 가지 부연할 사항은 목포항에서의 계산결과의 정확도에 관한 것이다. 기존 연구들에 의하면 목포항에서의 일치 정도는 매우 좋지 않아 전체적인 비교에서 제외하고 있는 실정인 데, 이는 목포항이 내륙에 위치하고 있어 기존에 수행되었던 모델들의 해상도를 감안하면 비교가 어려웠기 때문이다.

<표 2.2.3> <그림 2.2.4>에 제시된 검증점에서의 M2 및 K1 분조 검증 결과
(진폭[cm], 지각[deg]).

| 위 치 | M2 진폭 | | M2 지각 | | K1 진폭 | | K1 지각 | |
|------|--------------|--------------|------------|--------------|------------|------------|-------|--|
| | (관측치, 계산치) | (관측치, 계산치) | (관측치, 계산치) | (관측치, 계산치) | (관측치, 계산치) | (관측치, 계산치) | | |
| 인천 | 283.7, 282.7 | 130.9, 138.8 | 39.3, 40.9 | 303.1, 301.8 | | | | |
| 평택 | 288.6, 281.1 | 129.2, 133.2 | 39.4, 40.7 | 302.7, 299.6 | | | | |
| 안흥 | 208.6, 201.4 | 101.7, 103.4 | 35.6, 38.4 | 289.3, 283.4 | | | | |
| 보령 | 227.8, 215.0 | 95.1, 92.0 | 35.8, 38.8 | 285.6, 278.6 | | | | |
| 군산외항 | 221.4, 208.1 | 86.9, 85.5 | 35.2, 37.5 | 281.0, 275.6 | | | | |
| 군산내항 | 219.1, 213.4 | 95.9, 87.9 | 33.0, 37.4 | 282.3, 277.6 | | | | |
| 위도 | 191.3, 185.7 | 81.0, 73.8 | 32.8, 36.1 | 282.2, 269.4 | | | | |
| 목포 | 140.6, 162.3 | 37.4, 21.3 | 30.6, 37.0 | 252.3, 240.4 | | | | |
| 완도 | 104.6, 122.1 | 293.4, 287.9 | 25.8, 33.1 | 201.8, 194.8 | | | | |
| 거문도 | 87.8, 102.2 | 277.3, 279.3 | 22.2, 30.2 | 200.7, 196.9 | | | | |
| 제주 | 69.1, 84.1 | 312.9, 309.3 | 22.1, 29.7 | 218.9, 214.5 | | | | |
| 서귀포 | 75.7, 91.5 | 282.1, 284.1 | 23.3, 31.7 | 210.5, 204.8 | | | | |
| 여수 | 96.9, 105.2 | 259.5, 258.7 | 19.3, 22.4 | 179.3, 174.6 | | | | |
| 통영 | 77.7, 91.9 | 251.7, 252.4 | 14.7, 19.8 | 177.2, 171.2 | | | | |
| 가덕도 | 56.1, 51.1 | 244.0, 245.8 | 7.6, 10.6 | 161.4, 155.1 | | | | |
| 부산 | 39.0, 39.9 | 235.7, 241.9 | 4.3, 8.5 | 143.1, 140.4 | | | | |

<표 2.2.4> 관측치와 계산치의 진폭(am)과 지각(ph)의 RMS 오차.

| Component | M_2 | S_2 | N_2 | K_1 | O_1 |
|-----------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| RMS DIF(am, ph) | (11.9, 5.9) | (9.3, 10.9) | (6.3, 8.9) | (5.0, 6.5) | (3.5, 7.9) |

특히 복잡한 수로를 따라 내만에 위치하는 관계로 도달 시각에서 오차가 많이 발생한다. 목포항으로 향하는 지형이 매우 복잡하고 좁은 수로로 연결되어 이를 적절한 해상도로 분해하는 문제와 함께, 연결되는 수로의 폭이 매우 좁아서 강한 흐름이 발생하며 이로 인해 많은 에너지 감쇄 특성이 나타나는 데 이러한 측면에서 제반 사항을 보다 면밀히 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이류항을 제외한 선형실험과 이류항을 포함한 실험 결과를 비교할 때, 상당한 차이가 나타났는데, 이는 목포항 조석 재현에는 복잡한 지형조건에 따른 비선형 효과가 매우 중요함을 암시한다.

고조위 예측의 경우 최고치나 최저치에 대한 정량적인 오차가 중요하므로 정확도가 특별히 의미가 있다. 반면에 연안개발 후 조위특성 비교는 이러한 정도의 정확도로 서남해의 조석특성이 재현되었다는 점을 전제하고 개발후의 예측결과를 평가하는 데 충분한 것으로 생각된다.

나. 현상태 조석도

모델 계산치와 관측치를 검증하기 위하여 28일간 계산결과를 대상으로 조석도를 산출하였다. 아울러 S₂, N₂분조는 인근 주기가 추가됨에 따라 자료분석상의 오차를 감안하여 5개분조만을 고려한 추가 계산을 통하여 조화상수를 산출하였다. 정확도를 분조의 조위에서 검증된 조석 계산치를 근거로 주요 4개 분조(M_2, S_2, K_1, O_1)의 조석도를 <그림 2.2.5~2.2.8>에 제시하였다.

M_2 분조의 조석도<그림 2.2.5>에 의하면 황해 및 발해만에 4개의 무조점이 존재하며, 이는 기존의 Ogura(1933)나 수치모델결과(Choi, 1980, Kang, 1998)와 유사하기 때문에 개괄적인 조석체계에 대한 설명은 생략한다. 단 기존의 Ogura(1933)가 제시한 조석도는 조석도 작성시 관측점의 위치에 따른 조석과 전파 시간 고려에 오차가 있어 경기만 및 군산을 통과하는 조시에 있어 오차가 있음이 확인되었다(Kang et al., 1998).

M_2 분조 진폭의 공간특성을 살펴보면, 전체적인 특성으로서 새만금해역과 경기만을 포괄하는 서해연안역의 등진폭선의 특성은 외해측에서 연안으로 가면서 비스듬한 등진폭선이 나타난다는 점이다. 이러한 특성으로부터 경기만내의 점인 가로림만근처의 등진폭선이 220cm인가하면 군산내·외항에서도 비슷한 크기를 나타낸다. 200cm 등진폭선은 경기만입구에서 새만금방조제 입구해역을 포괄한다. 따라서 태안반도 내측인 천수만이나 군산내항수로 영역등 연안해역에서의 M_2 분조의 진폭은 200cm이상의 크기를 기록한다. 경기만 내부의 M_2 분조의 진폭은 모두 200cm를 넘고 있으며, 경기만에서 M_2 분조의 최대 등진폭선은 작은 영역이나마 280cm선까지 나타나며 인천에서는 282.7cm를 기록하고 있다. 이같은 진폭특성은 이론적으로 Kang(1984)과 Kang등(1999)에 의해서 고찰된 바 있으며, 경기만 남측에서 진폭이 크게 나타나는 진폭특성은 Kelvin파나 Poincare파와 같은 조석파가 웅진반도에 의해서 변형되기 때문으로 분석한 바 있다.

S₂ 분조의 계산된 조석도는 <그림 2.2.6>에 제시된 바와 같이 M_2 분조와 같이 4개의 무조점이 존재한다. Pohai만에서의 무조점이 M_2 분조보다는 보다 육지쪽으로 이동한 모습을 보이는 데 이는 M_2 분조보다 저면마찰을 보다 크게 받고있다는 것을 암시한다. 경기만 남측에서의 등진폭선의 공간분포 특성은 M_2 분조의 분포와 유사하다.

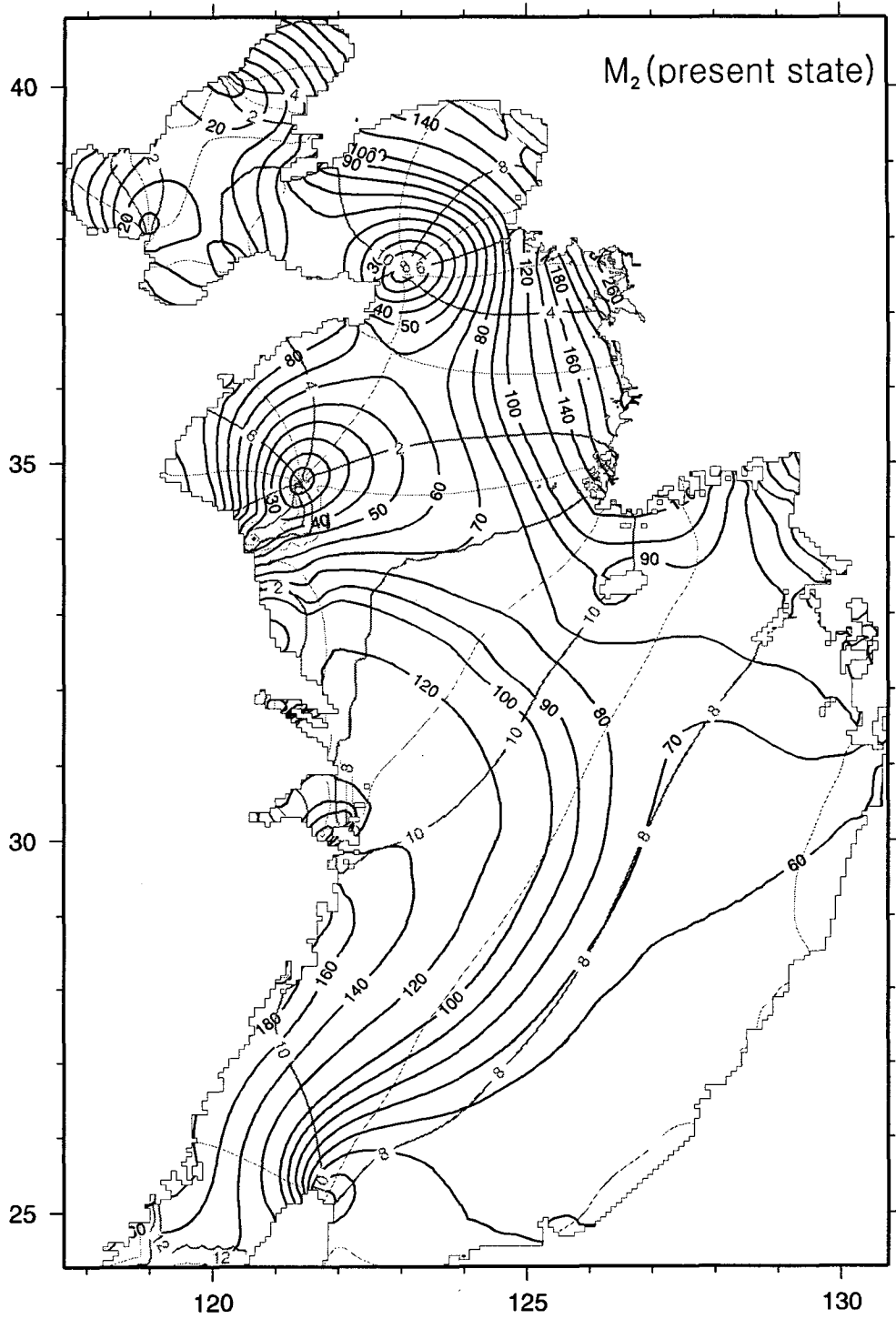
경기만 입구에서 새만금해역까지 이르는 S_2 분조의 등진폭선이 약 70cm 라는 점을 감안하면, 이지점에서 S_2 진폭/ M_2 진폭의 비는 약 1/3 정도임을 알 수 있다. 인천에서 계산된 S_2 분조의 진폭이 101.4cm이고 관측치가 112.0cm이고 M_2 분조의 진폭이 280cm 정도인 것을 감안하면 이같은 진폭 비율은 비슷하게 유지되고 있음을 알 수 있다.

지각의 경우, 약 11° 의 RMS 편차가 나타나는 데 M_2 분조에 비하면 상대적으로 약 2배 정도가 크다. 이는 연안내부 지점인 군산내항이나 목포항에서의 편차가 상대적으로 큰 데 일부 기인하는 것으로 나타났다. 아울러 인천, 평택을 제외하고 서해연안에서 조석과의 전파가 관측치보다 빠르게 계산된 것으로 나타났다. 차후 모델정확도 개선에 이러한 점을 고려해야 할 것으로 판단된다.

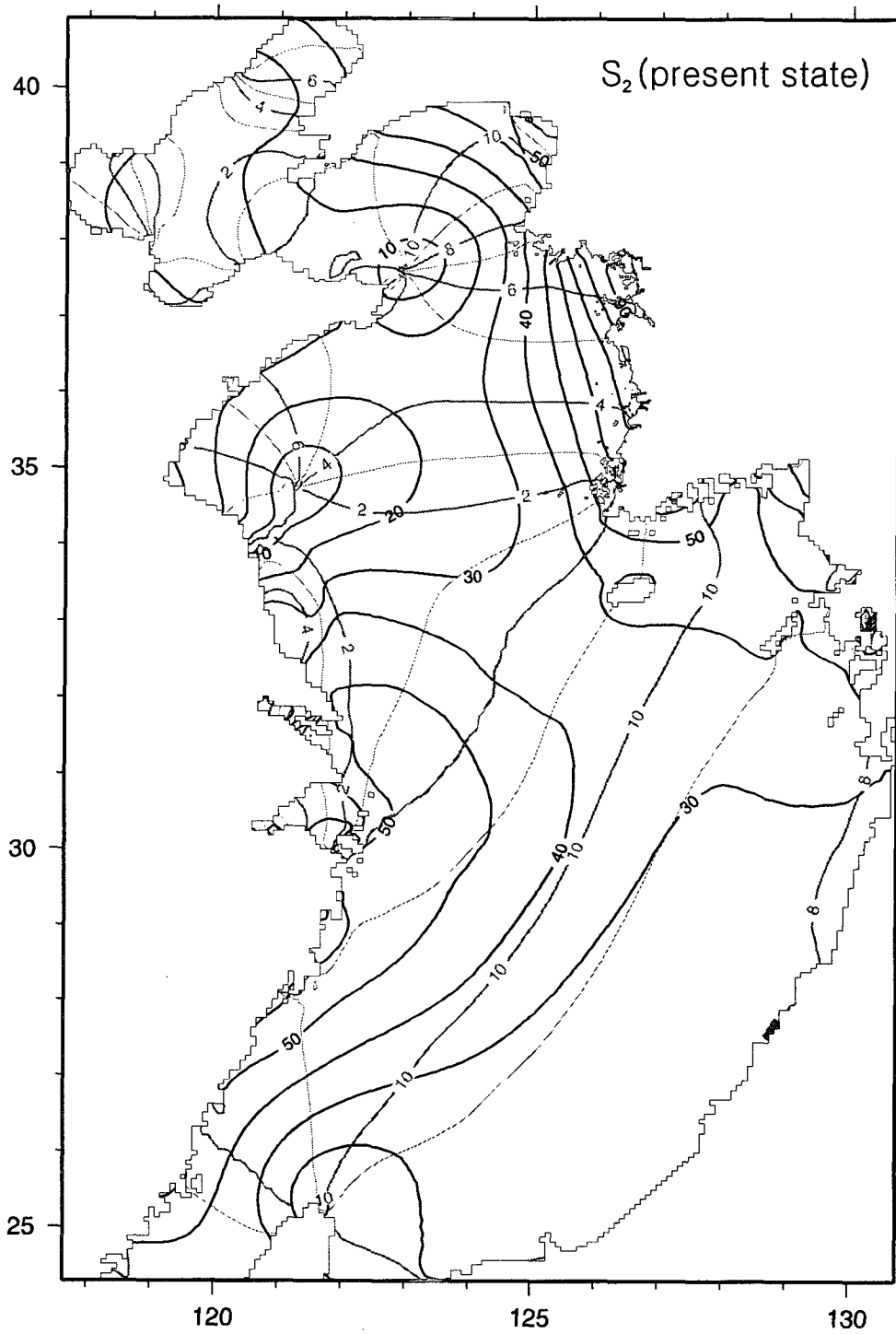
K_1 , O_1 분조의 조석도는 <그림 2.2.7> 및 <그림 2.2.8>에 제시된 바와 같고, 관측점에서의 오차는 <표 2.2.4>에 제시된 바와 같이 진폭 및 지각의 RMS 오차는 K_1 분조가 각각 5.0cm, 6.5° 이고, O_1 분조가 각각 3.5cm, 7.9° 이다.

K_1 분조의 경우 진폭이 전반적으로 관측치보다 크게 나타나는 데 이는 개방경계에서의 조절을 통하여 진폭의 정확도를 향상시킬 수 있는 여지가 있다는 점을 암시한다. 주기가 상대적으로 반일주조의 주기보다 약 2배 크기 때문에 무조점은 모델영역에서 2개가 존재하며, 파의 전파는 반일주조와 같이 서해 연안에서 반시계 방향으로 전파한다. 대체로 모델영역에서 K_1 분조 진폭의 경우 40cm이하이며, O_1 분조의 경우 30cm이하로서 반일주조에 비하여 상대적으로 진폭의 크기가 작다.

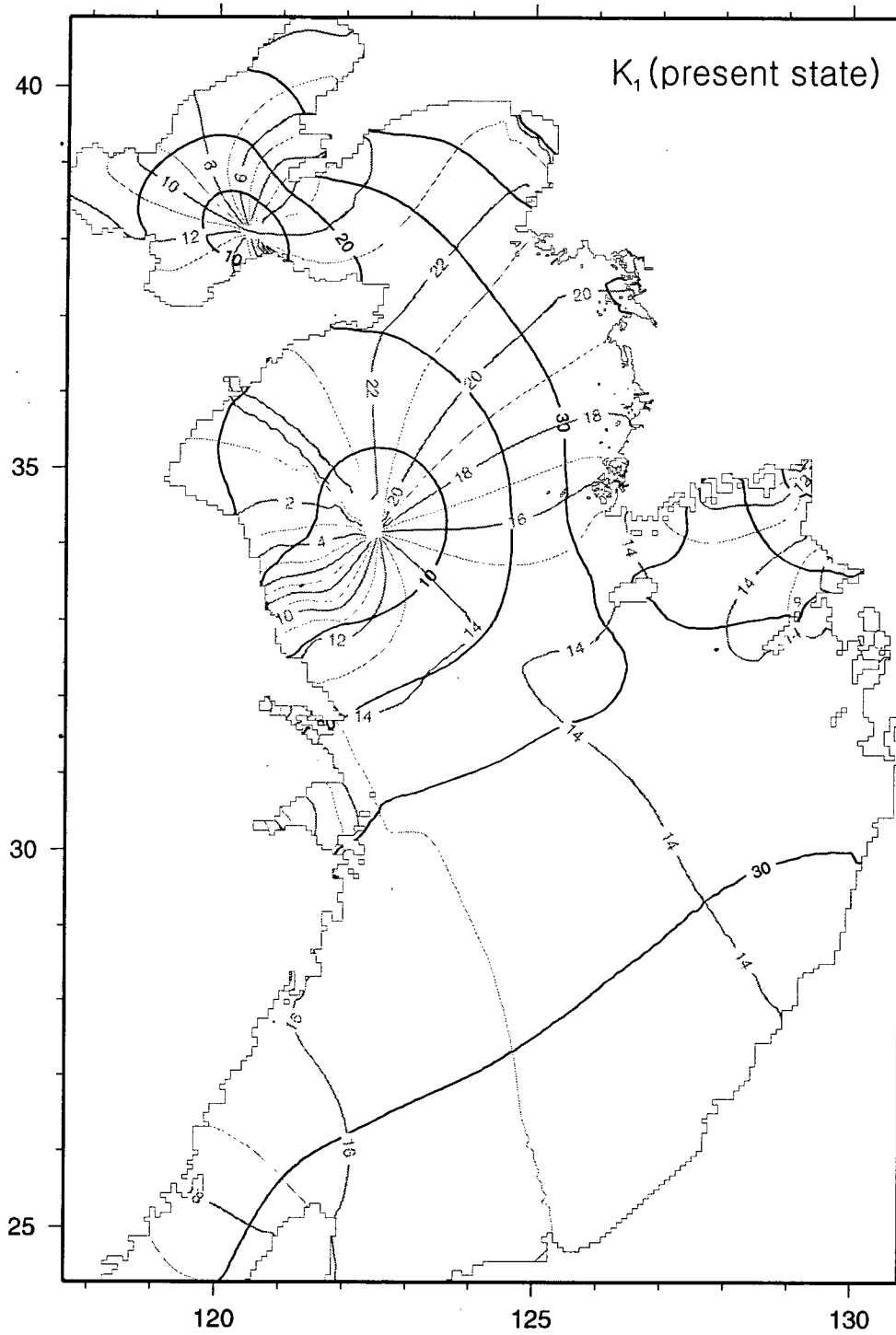
본 연구결과는 연안의 해상도에 있어 상대적으로 기존의 수치모델 결과와는 달리 연안의 지형특성이 훨씬 상세히 반영되어 새만금 개발후 연안에서 나타나는 조석변형에 대한 상세하고 보다 정확한 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 다음 항에서는 새만금 해역 방조제 개발후의 조석변화를 본 항에서 기술한 현상태의 조석도와 비교하여 기술한다.



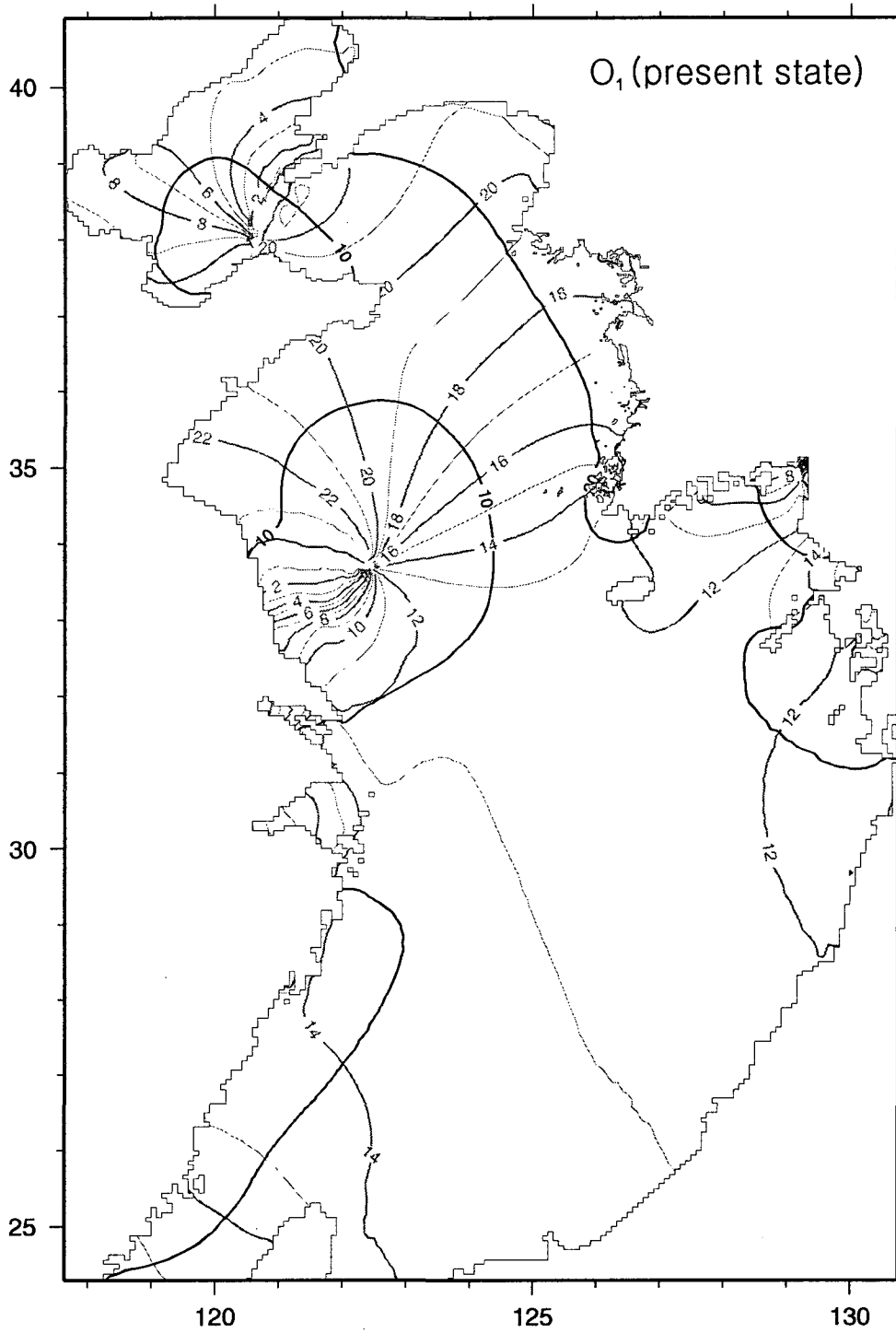
<그림 2.2.5> M2 조석도(굵은 선은 등진폭선, 가는 선은 등조시선을 나타내며
 지각은 135° E 기준. 이하 그림에 같은 표기 적용).



<그림 2.2.6> 계산된 S₂ 조석도.



<그림 2.2.7> 계산된 K1 조석도.



<그림 2.2.8> 계산된 O1 조석도.

4. 방조제 건설에 따른 경기만 조석체계변화 예측

경기만에 존재하는 조력 후보지로는 70년대 이후 잘 알려진 충청남도 가로림만을 비롯하여 천수만, 인천만, 해주만에 존재한다. 방조제 건설이라는 호 조건하에서 가장 먼저 조력발전소 건설이 확정되고 약 5년 뒤에 조력발전소 건설이 완공될 시화호는 매우 예외적인 해역이라 볼 수 있다. 본 연구에서는 조력발전소 건설에 따른 경기만 내에서 조석체계 변화를 예측하기 위하여 3항에서 수립한 수치모델을 적용하였다. 구체적인 방조제 배치에 관한 실험조건은 현재 거의 완공단계에 들어간 새만금 해역 방조제가 완공되고 천수만, 인천만, 해주만에서 조력발전소 방조제가 완공된다는 조건하에서 조석체계 변화에 대한 예측 실험을 수행하였다.

가. 실험조건

현재 서해안에서 유력한 조력발전 후보지로 평가되는 해역은 건설이 시작된 시화호 해역을 제외하고, 천수만, 가로림만, 인천만, 해주만 등을 들 수 있다. 모델격자상에 상기 지역을 <그림 2.2.9>에 표기하였다. 본 실험에서는 조력발전소가 실제로 가동하는 조건보다는 조력발전소 건설과 더불어 건설되는 방조제로 건설로 인해 조석파의 변형으로 인한 조석체계 변형 파악에 중점을 두었다. 후보지별로 조력발전소가 가동되는 조건에서 조석체계 변화를 평가하기 위해서는 각 후보지별로 조력발전방식과 규모가 사전 확정되어야 가능할 것이다.

구체적인 수치실험은 <그림 2.2.9>에 표기된 후보지 천수만, 인천만, 해주만에서의 조력발전 Barrage가 완공되고, 서해중부의 새만금 지역 방조제가 완공된다는 조건에서 실시하였다. 기존 연구에서 새만금 해역의 방조제 완공시 조석체계 변화는 황동중국해 해역 전체에서 그 변화가 나타나는 것으로 예상되고 있다. 특히 새만금 해역 반경 100km 내에서 M2 진폭이 감소하는 것으로 나타났으며 방조제 인근에서 그 변화폭이 크며 최대 8cm내외로 나타난다. 이는 평균조차가 16cm 감소한다는 것을 나타내며 그 변화폭이 적지 않음을 나타낸다. 새만금 방조제 건설로 인해 경기만에서의 변화는 1cm 내외로 작게 나타나 이로 인한 경기만 해역의 영향은 상대적으로 적은 것으로 보인다.

5개 주요 분조를 입력조건으로 실험을 실시했으며, 약 1개월 계산결과를 자료 분석에 활용하였다. 실험은 방조제가 건설되기 전 조건과 건설된 후의 조건에서의 실험을 실시하였다.

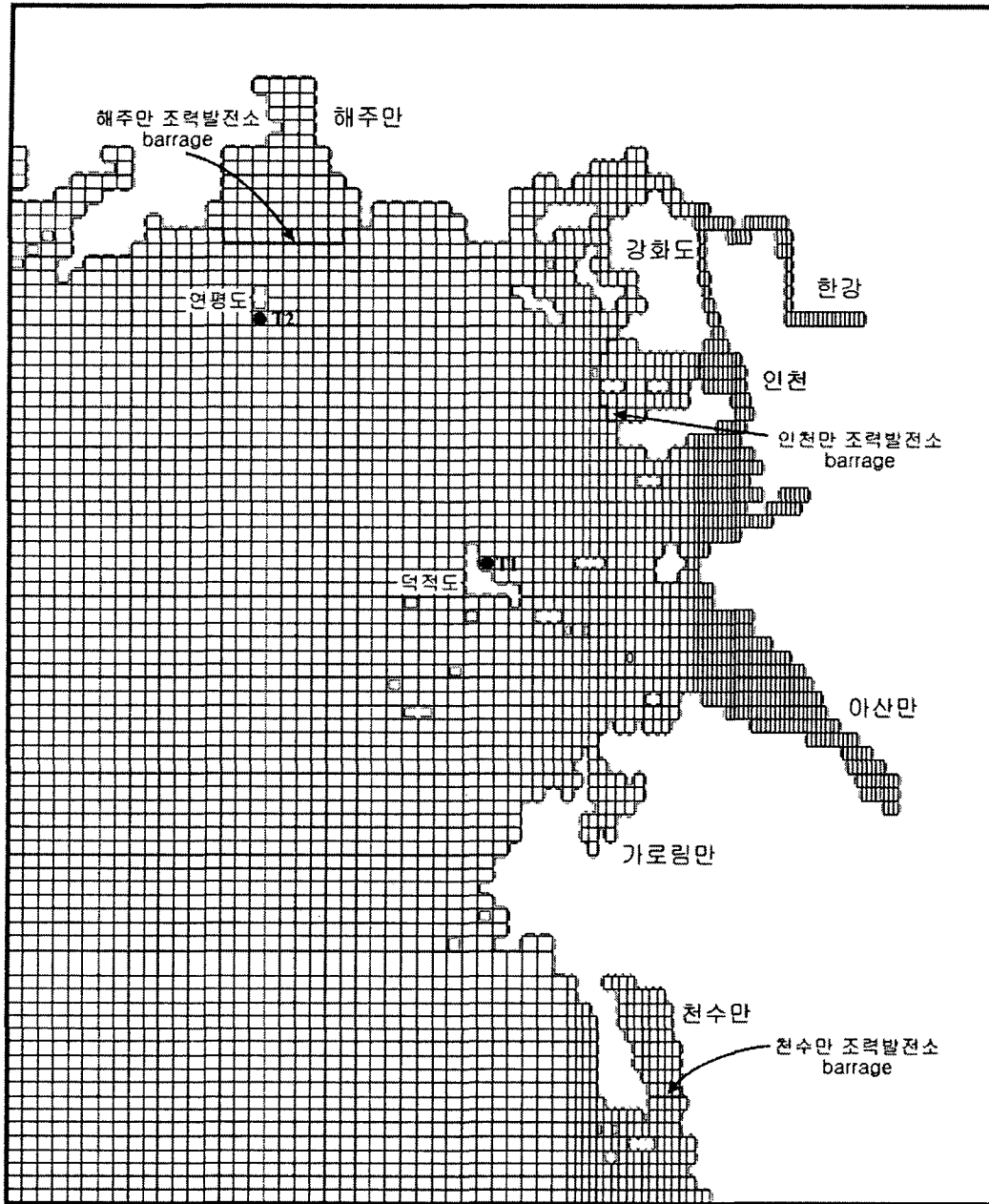
나. 조력후보지 방조제 건설전·후 경기만 조석체계 변화

조력후보지 개발전의 M2 분조의 조석도중 등진폭도는 <그림 2.2.10a>와 같다. 경기만에서 M2의 진폭은 입구에서 200cm 정도이고 북동 방향으로 향하면서 증가하며, 내부 영종도 남서쪽에 270cm 등진폭선이 북서-남동 방향으로 가로 지른다. 인천의 M2 진폭이 280~290cm 이므로 약간 작게 나타나지만 관측치와 계산치가 약 10cm이내의 차이를 보이는 비교적 만족스러운 결과임을 알 수 있다. 천수만에서는 입구에 210cm, 내부에는 220cm 등진폭선이 나타나는 특성을 보인다.

<그림 2.2.10b>는 <그림 2.2.9>에 표기된 조력발전 후보지의 방조제가 완공된 후의 M2 등진폭도이다. 강화도 남동쪽에 보이는 등진폭선이 보이지 않는 부분은 조건대역으로서 등진폭선을 도시하지 않은 지역이다. 일차적으로 보이는 특징은 현상태(<그림 2.2.10a>)와 비교하여 경기만 내부의 진폭이 전반적으로 감소했다는 점이다. 개발 후 270cm 등진폭도는 보이지 않고, 시화호 전면 및 인천 해역에서 260cm 등진폭선이 나타나는 특성을 보인다. 개발 전 260cm 등진폭선이 나타났던 해역 인근에 약 250cm 등진폭선이 나타나 M2 진폭이 약 10cm 정도 감소되었음을 알 수 있다.

강화도 남서측에 건설전 나타났던 260cm 등진폭선이 나타났던 지점에 건설후 240cm 등진폭선이 나타나 인근 지점에서는 M2 진폭 감소가 20cm에 이르는 지점도 있음을 알 수 있다. 경기만 입구역에 나타났던 200cm 등진폭선이 나타났던 위치는 경기만 내부 대략 210cm 등진폭이 나타났던 위치로 이동했음을 알 수 있다. 천수만 입구에서의 M2 진폭도 약 10cm 내외 감소한 특성을 보인다.

후보지 방조제 개발 전·후의 두 결과의 차이를 보다 정량적으로 비교하기 위하여 M2 진폭의 차(건설후-현상태)를 <그림 2.2.10c>에 도시하였다. 경기만 입구에서 5cm 내외의 진폭 감소가 나타나며 영종도와 강화도쪽 내부 인천만 방조제 인근에 20cm 이상의 진폭 감소가 나타나며 대체로 진폭이 증가하는 경기만 북동방향으로 진폭감소가 평균 10cm 내외로 나타남을 알 수 있다. 평균조차 측면에서 보면 평균조차 감소는 평균적으로 20cm 감소하며, 강화도-영종도 남측 및 남서측에서 30~40cm 이상 나타날 것임을 암시한다. 경기만 외측에서 나타나는 등진폭도 감소가 2~3cm 임을 고려하면 서해해역 중앙부에도 수cm의 등진폭선이 존재할 것임을 나타낸다.



<그림 2.2.9> 경기만 인근 격자점 및 주요 조력발전 후보지에서의 방조제완공 조건.

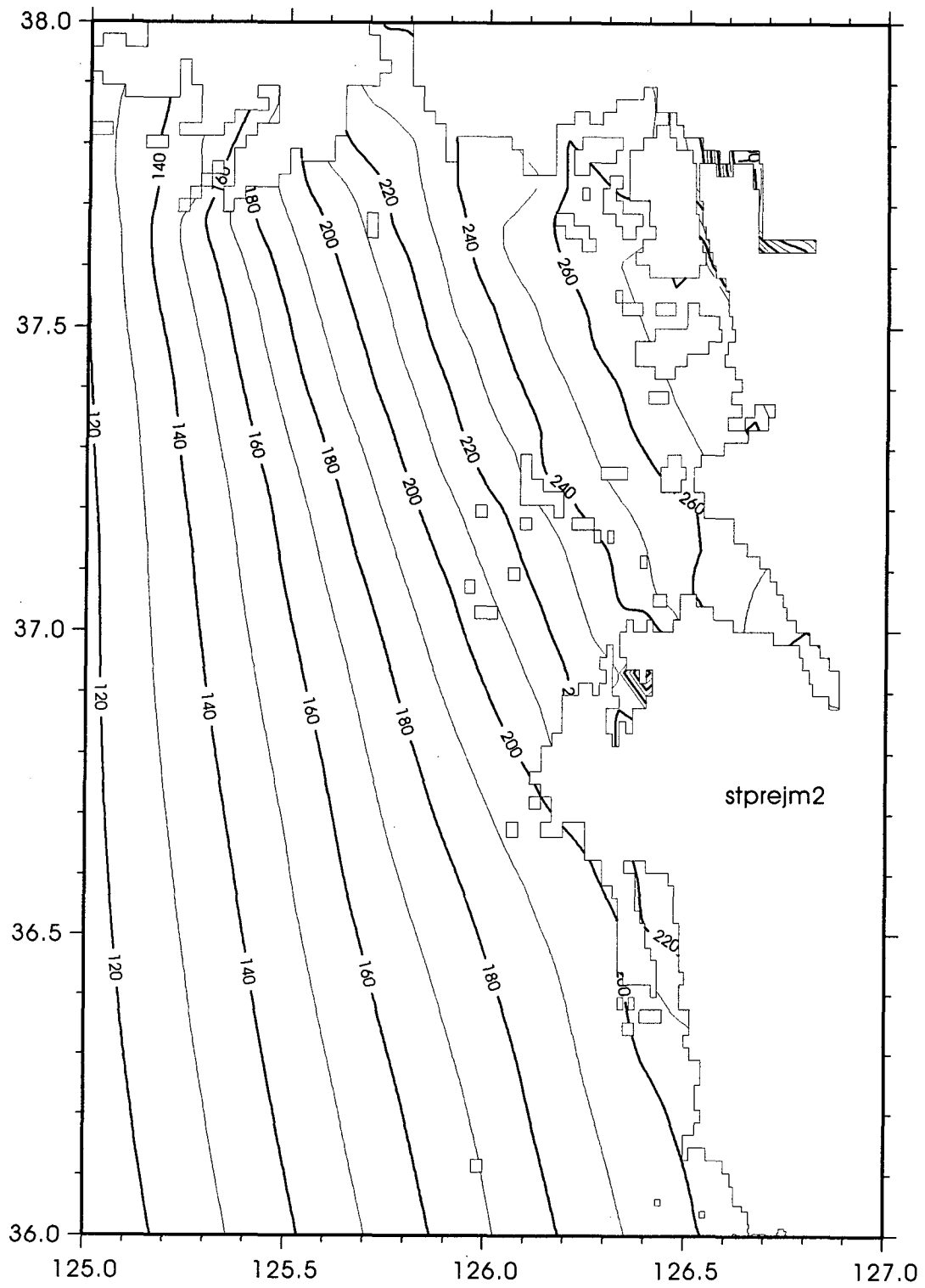
현상태, 후보지 방조제 개발후의 S2 분조의 등진폭도는 <그림 2.2.11a> 및 <그림 2.2.11b>와 같다. 경기만 입구에서 S2의 진폭은 약 75cm로서 M2 분조 진폭의 1/3 정도임을 알 수 있다. M2 분조아 같이 북동 방향으로 향하면서 증가하며, 내부 영종도 남동 측에 100cm 등진폭선이 북서-남동 방향으로 존재한다. 천수만에서는 90cm 등진폭선의 위치로 판단할 때, 만 내부에서 S2 진폭이 90cm 이상임을 알 수 있다.

<그림 2.2.11b>는 <그림 2.2.9>에 표기된 조력발전 후보지의 방조제가 완공된 후의 S2 등진폭도이다. 현상태와 비교하여 영종도-강화도 남서측의 100cm 등진폭선은 사라졌으나, 90cm 등진폭선의 위치 변화가 그리 크지 않아 외측으로 가면서 크기 변화가 아주 작아짐을 알 수 있다.

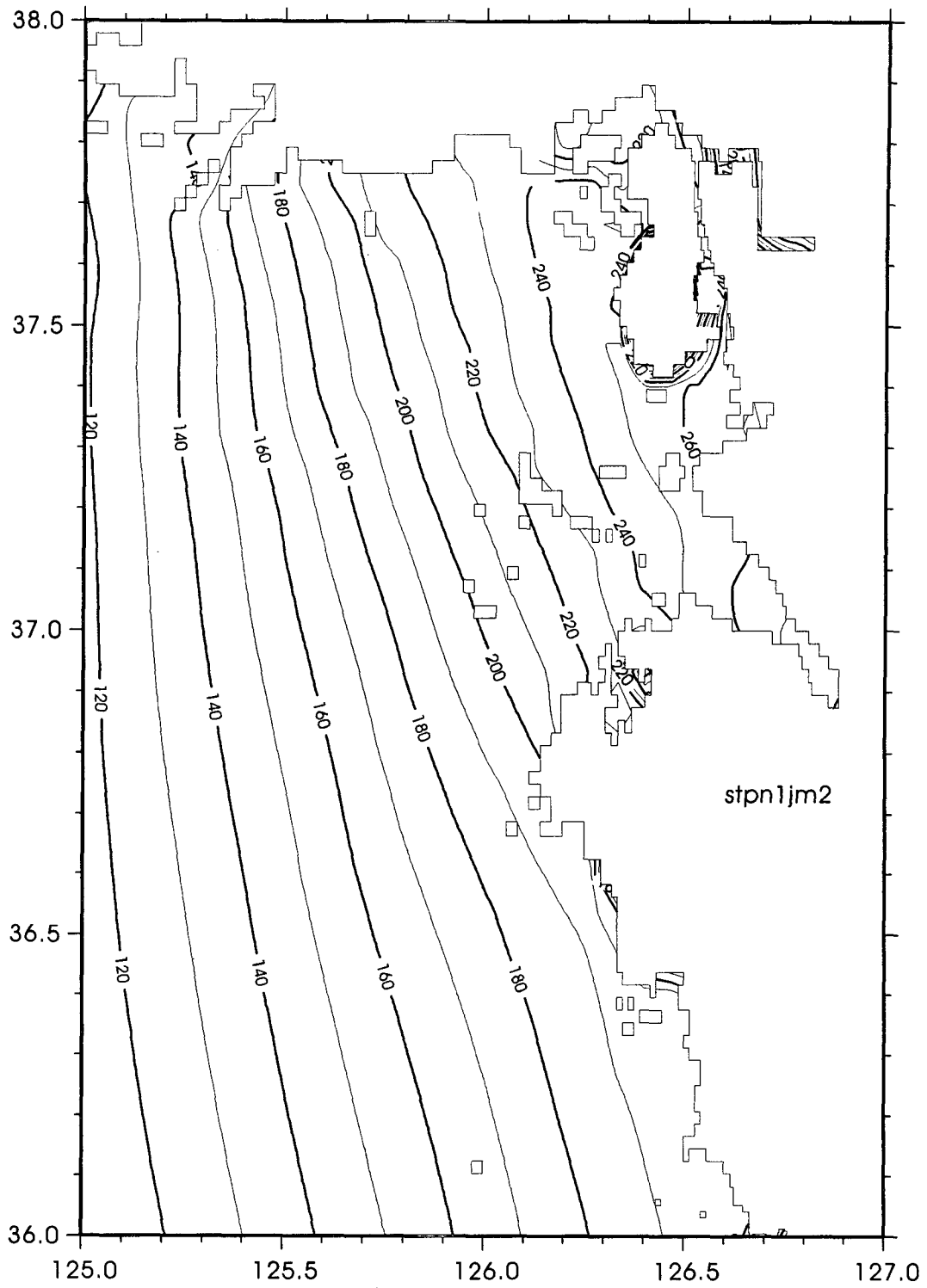
후보지 방조제 개발 전·후의 S2 진폭 차이(건설후-현상태)를 <그림 2.2.11c>에 도시하였다. 강화도, 영종도쪽 내부, 인천만 방조제 인근 수 km 이내에서는 10cm 이상감소하나 외측 및 경기만 전반에서는 1cm 내외의 작은 변화를 보임을 알 수 있다. 평균조차 감소는 강화도-영종도 남서측 인접 지역에서 20cm 내외 감소하므로 평균 대조차로 보면 50cm 이상 감소하여 남서측 연안에서 조석 환경변화가 아주 클 것임을 예상할 수 있다.

일주조인 K1과 O1 분조의 진폭 감소는 크기 감소면에서 S2 분조의 변화와 비슷하다. <그림 2.2.12a>와 <그림 2.2.12b>에 K1 분조와 O1 분조의 진폭차(건설후-현재)를 제시하였다. 강화도-영종도 서측에서 K1 및 O1 분조의 진폭 감소는 5~10 cm 정도이나 다른 지역에서의 진폭 감소는 무시할 정도이다. 4개 분조의 진폭 감소 특성을 감안할 때, 강화도-영종도 서측에서의 진폭 감소는 50cm 이상으로 예상된다.

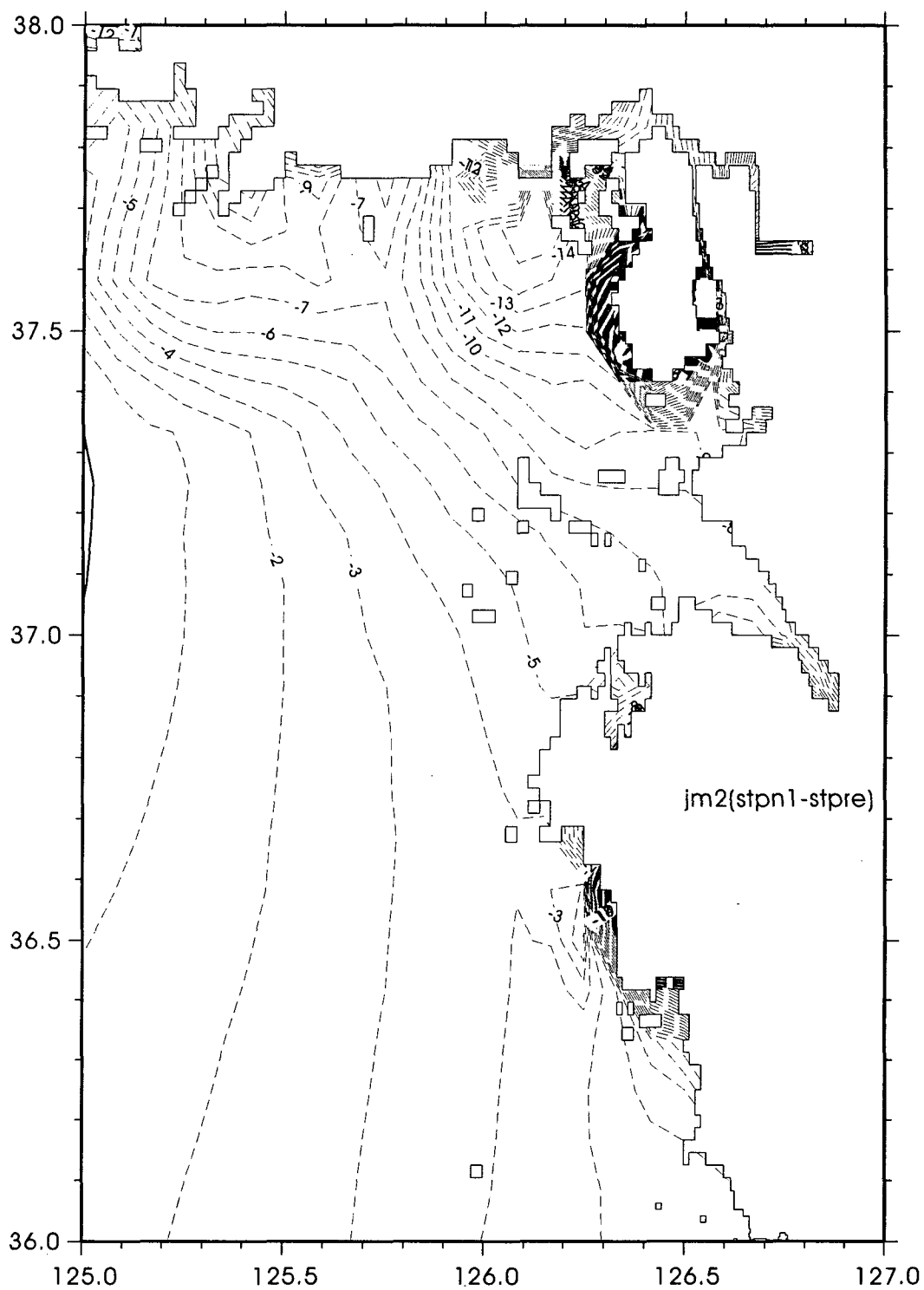
조력발전소가 실제 가동할 시 방조제 수문, 수차를 통해 해수가 제한된 시간동안 유통될 것이기 때문에, 방조제만 들어선 경우에 비해, 평균적인 조석체계 변화는 금번 연구에서 보다 약화될 것으로 예상된다.



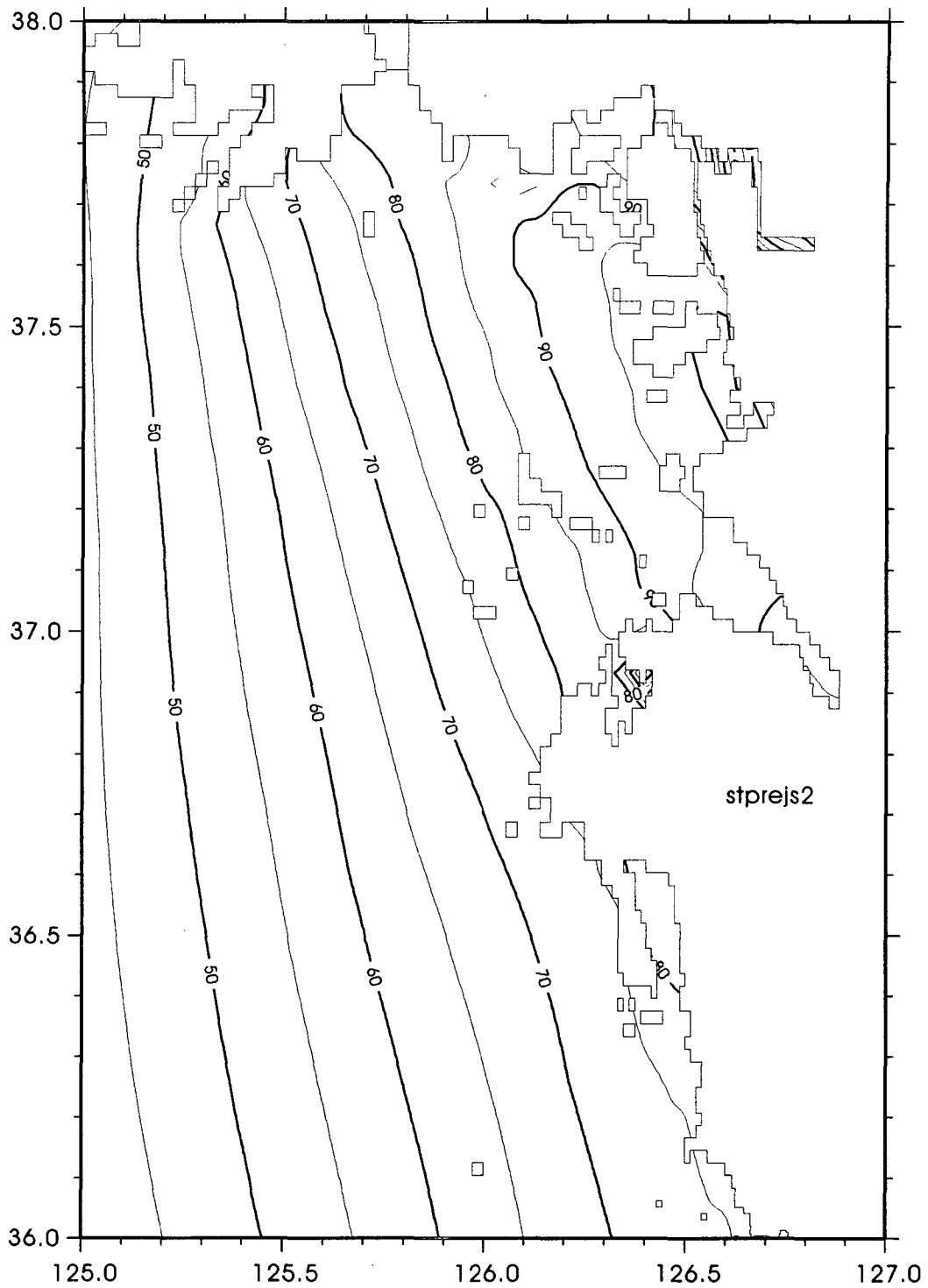
<그림 2.2.10a> 경기만 주요 조력 후보지 방조제 완공전 M2 등진폭선(cm).



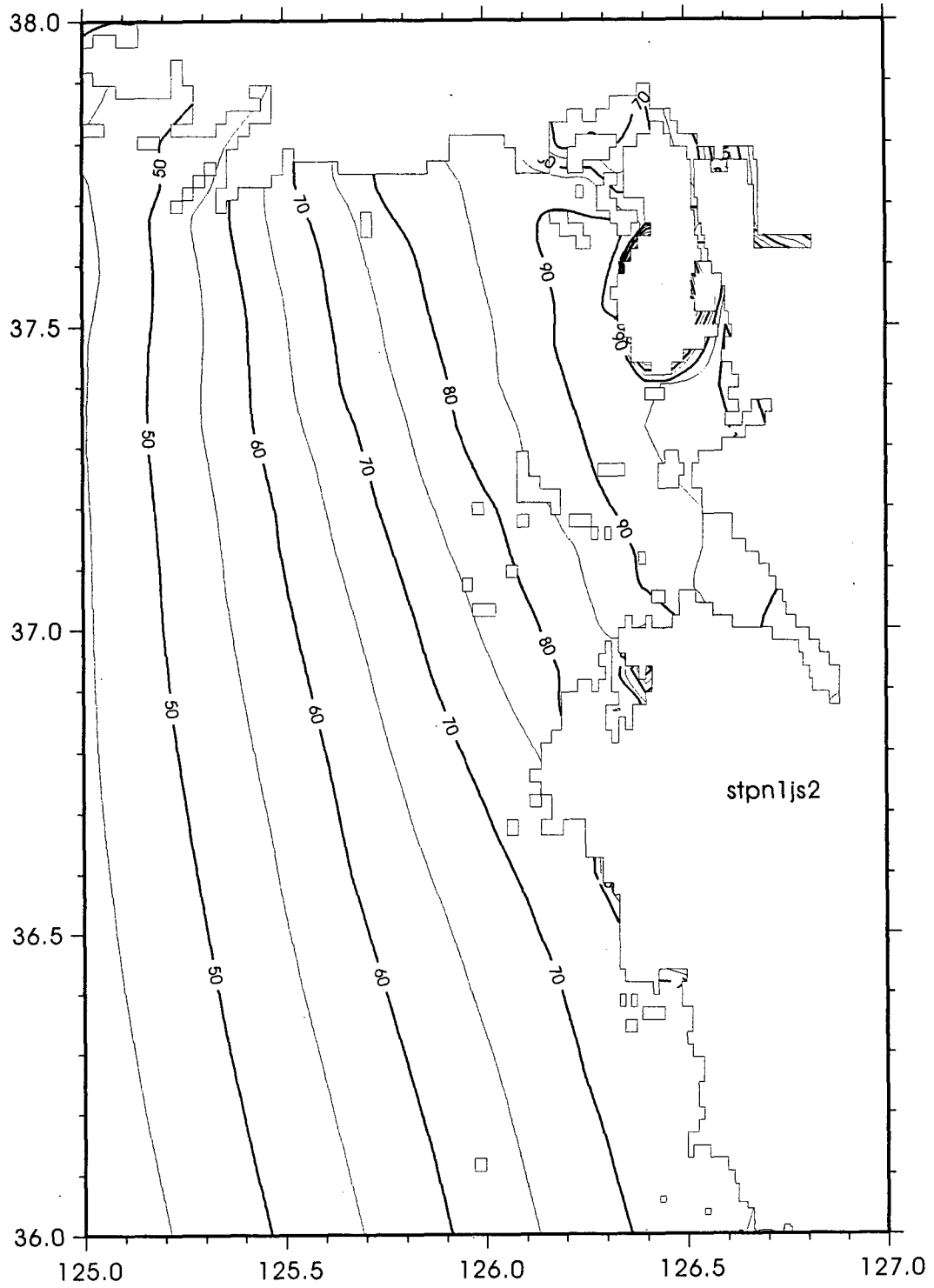
<그림 2.2.10b> 경기만 주요 조력 후보지 방조제 완공후 M2 등진폭선(cm).



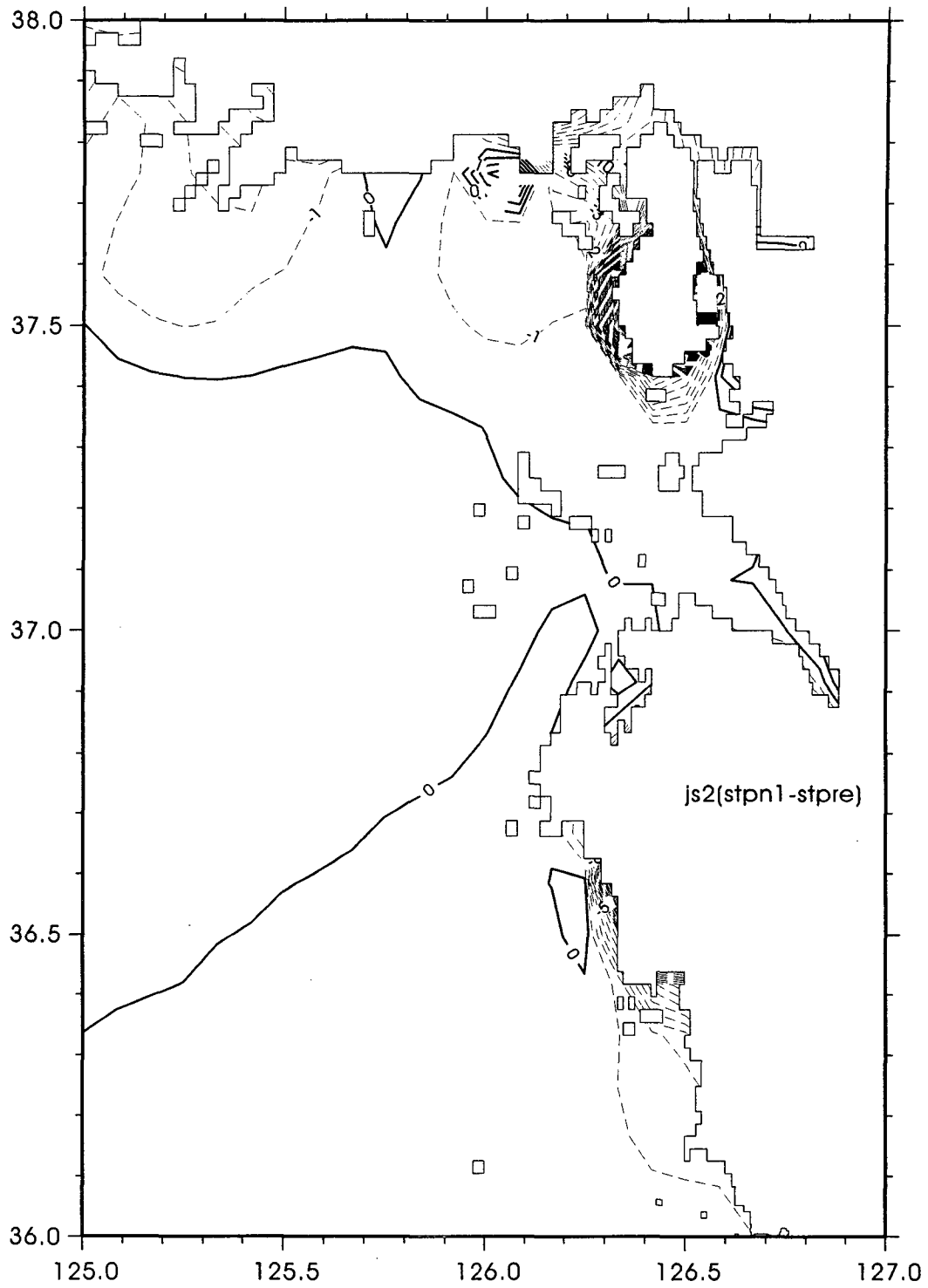
<그림 2.2.10c> 주요 조력후보지 방조제 (완공후-완공전) M2 진폭차(cm).



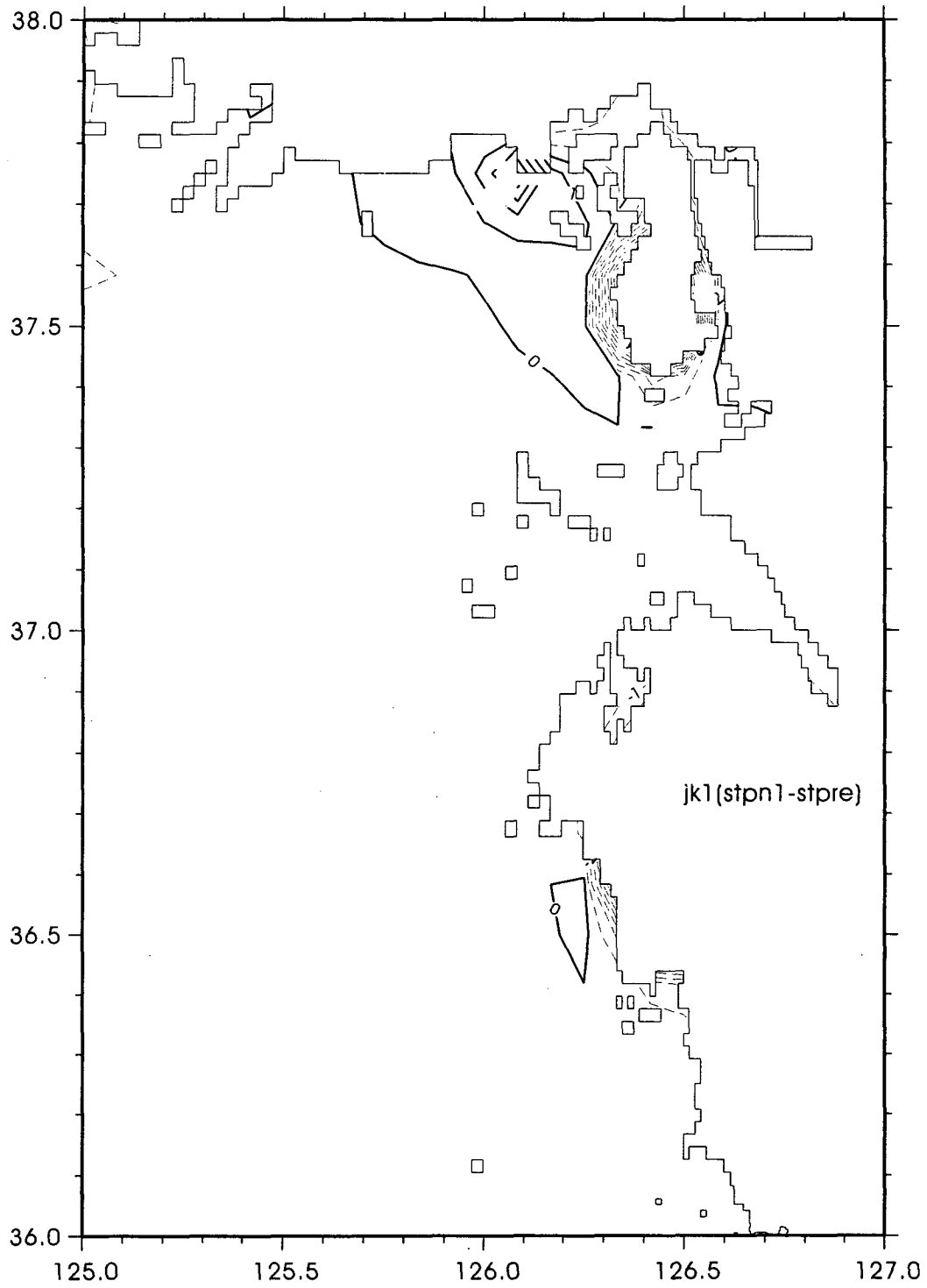
<그림 2.2.11a> 경기만 주요 조력 후보지 방조제 완공전 S2 등진폭선(cm).



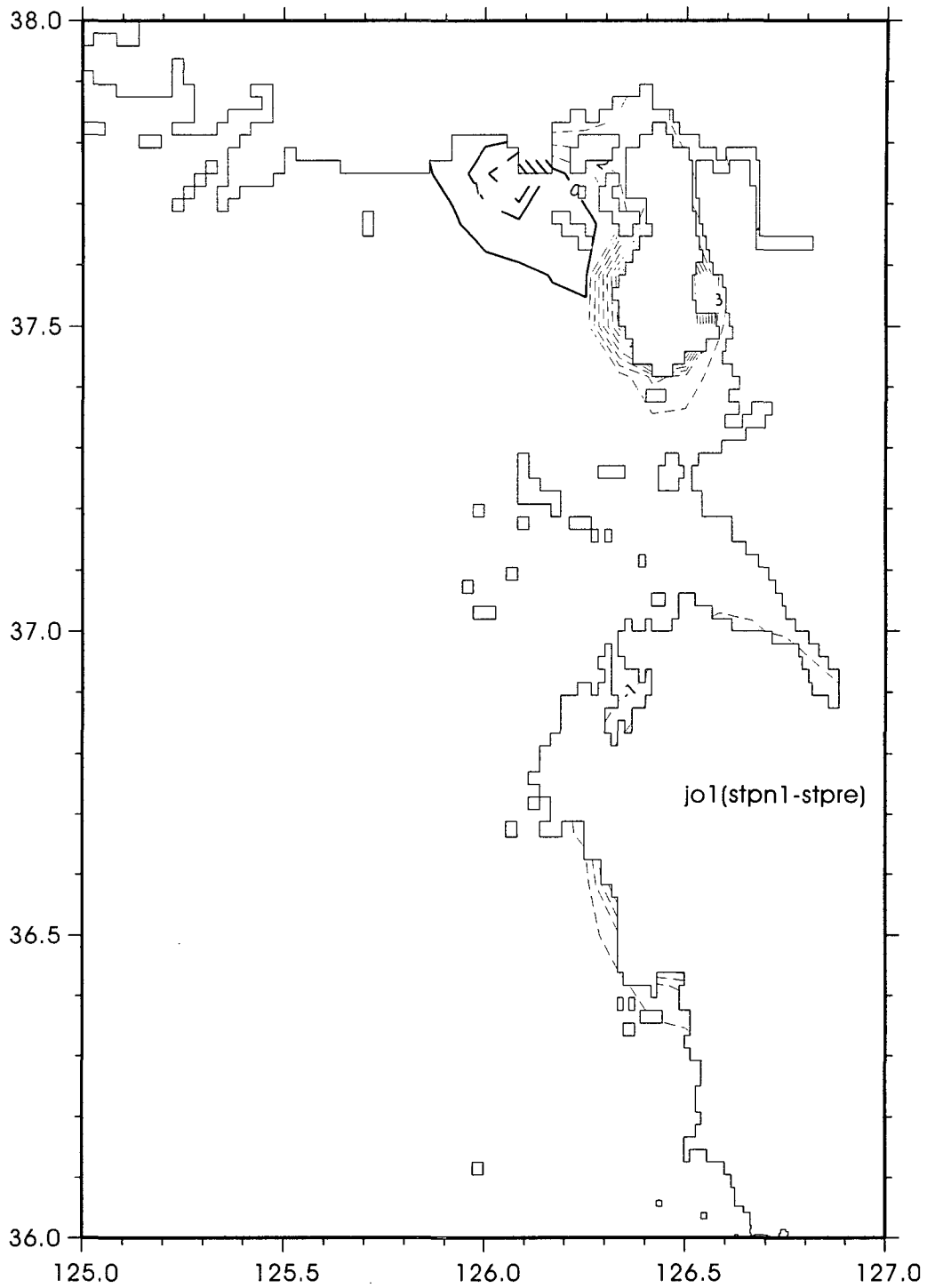
<그림 2.2.11b> 경기만 주요 조력 후보지 방조제 완공후 S2 등진폭선(cm).



<그림 2.2.11c> 주요 조력 후보지 방조제 (완공후-완공전) S2 진폭변화(cm).



<그림 2.2.12a> 주요 조력 후보지 방조제 (완공후-완공전) K1 진폭변화(cm).



<그림 2.2.12b> 주요 조력 후보지 방조제 (완공후-완공전) O1 진폭변화(cm)

5. 토의

현재 거의 완공단계에 들어간 새만금 해역 방조제가 완공되고 천수만, 인천만, 해주만에서 조력발전소 방조제가 완공된다는 조건하에서 조석체계 변화에 대한 예측연구를 수행한 결과, 경기만 일원에 조석체계 변화가 유의할 정도로 나타나는 것으로 나타났다. 정량적인 변화로 경기만 입구에서 M2 진폭이 약 5cm 감소하며 경기만내에서 평균 약 10cm 감소하는 것으로 나타났으며, 북서측으로 갈수록 감소 폭이 크게 나타난다. 이는 평균조차가 약 20cm 정도 감소하며, 평균대조차의 경우 약 50cm 전후의 감소와 이 경우 연간 조력발전량의 상당한 감소를 의미한다. 이 경우 현재의 조석 관측치에 근거하여 평가하는 경우보다 경제성 평가에 있어서 상당한 차이를 보일 것이므로 조력발전소 개발에 따른 사전 조석체계 변화에 대한 예측 연구의 중요성을 나타내 준다.

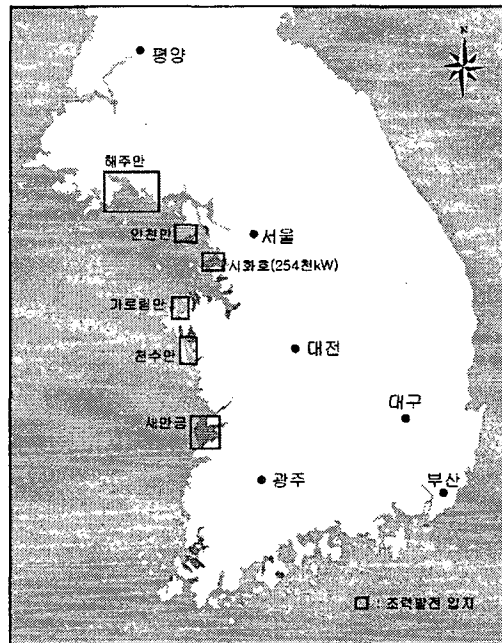
천수만에서도 조력발전 Barrage 건설로 인해 M2 조차 감소도 약 10cm 이르는 것으로 예측되어, 대체로 조력발전소 건설이란 대규모 연안개발로 인해 조차가 감소하는 것이 일반적으로 나타나며, 특히 조력발전소 전면 해상에서 조석의 진폭 감소폭이 크게 나타남을 알 수 있다.

조력발전 후보지 방조제 건설로 인한 조석 체계 변화의 주요 원인은 다른 후보지보다 인천만 조력발전 후보지 건설로 인해 영종도와 강화도 사이의 물길이 막히고 경기만에서 조석과의 반사체계가 변하는 것에 주로 기인하는 것으로 판단된다. 인천만 조력 발전소 개발로부터 예측되는 큰 변화로부터 판단할 때, 인천만 조력발전소 개발 방식 및 규모 결정에 있어 세심한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 특히 강화도와 영종도 사이의 수로를 보존하여 해수가 유통될 경우, 경기만 북동쪽에서 조석체계 변화는 보다 감소할 수 있다.

제3절 주요 후보지별 조력발전 개발규모

1. 조력발전 후보지 선정

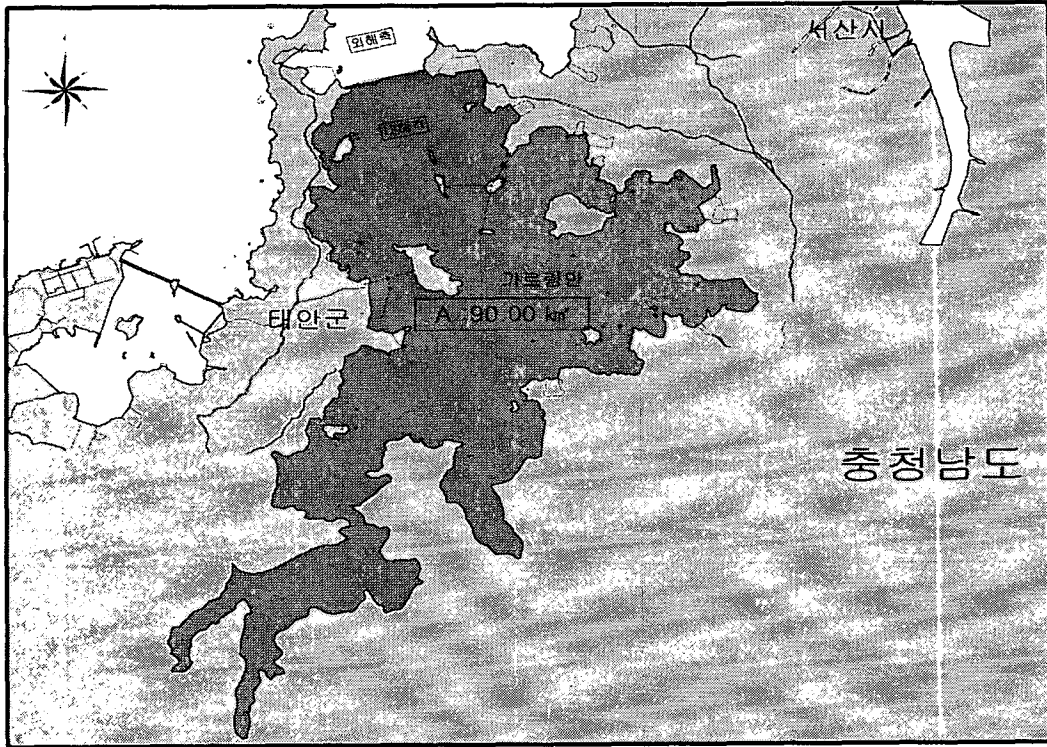
조석체계변화 예측 수치모형 결과와 도상에서 검토한 내용을 토대로 우리나라 서해안의 주요 5개 조력개발 후보지점(그림 2.3.1)에 대한 8개안을 도출하여 후보지별 평면배치 계획을 수립하였다. 주요 후보지별 조석체계 예측결과와 도상에서 추출된 주요 후보지별 만조시 수면적을 <표 2.3.1>에 제시하였다.



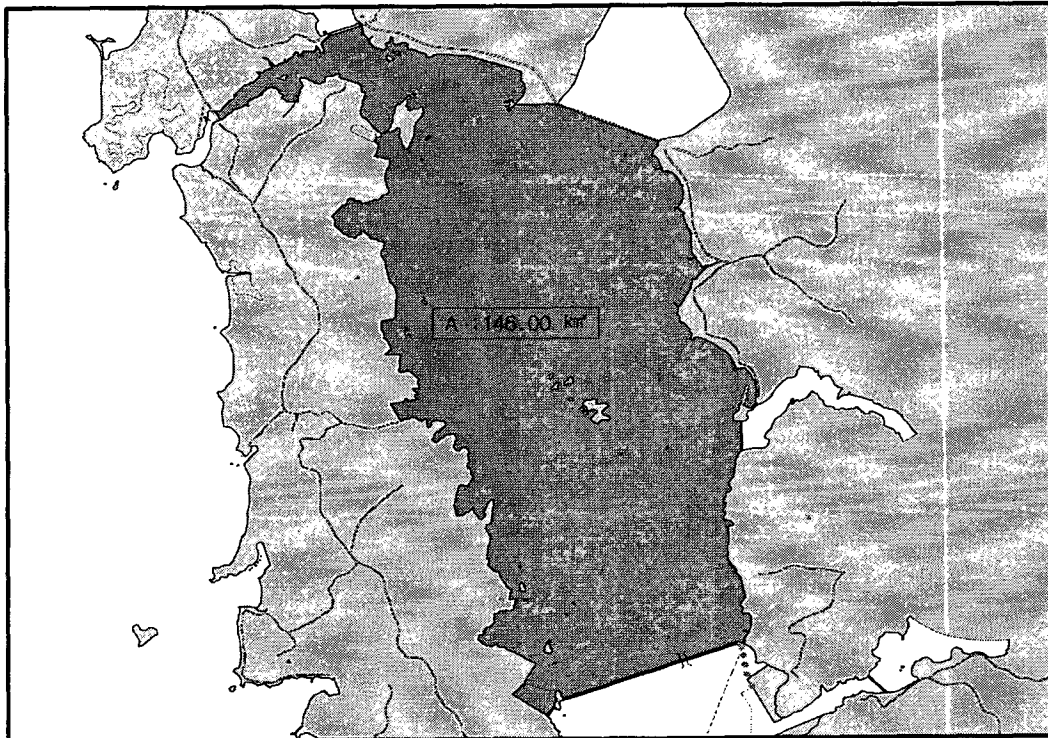
<그림 2.3.1> 우리나라 조력발전 입지.

<표 2.3.1> 주요 후보지별 8개안에 대한 조차 및 수면적.

| 후보지 | 평균대조차 (m) | 수면적 (km ²) |
|--------|-----------|------------------------|
| 인천만[소] | 7.25 | 57 |
| 인천만[대] | 7.25 | 158 |
| 가로림만 | 6.44 | 95 |
| 천수만 | 5.91 | 146 |
| 새만금[소] | 5.32 | 185 |
| 새만금[대] | 5.32 | 405 |
| 해주만[소] | 5.75 | 582 |
| 해주만[대] | 5.75 | 631 |

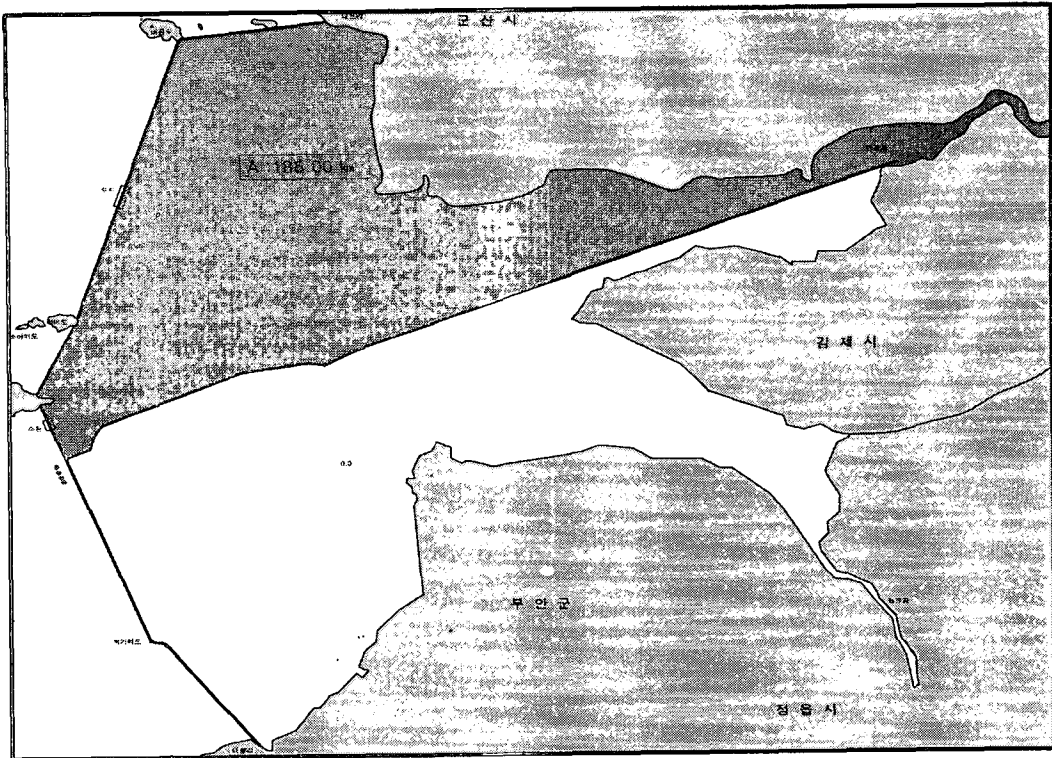


(a). 가로림만

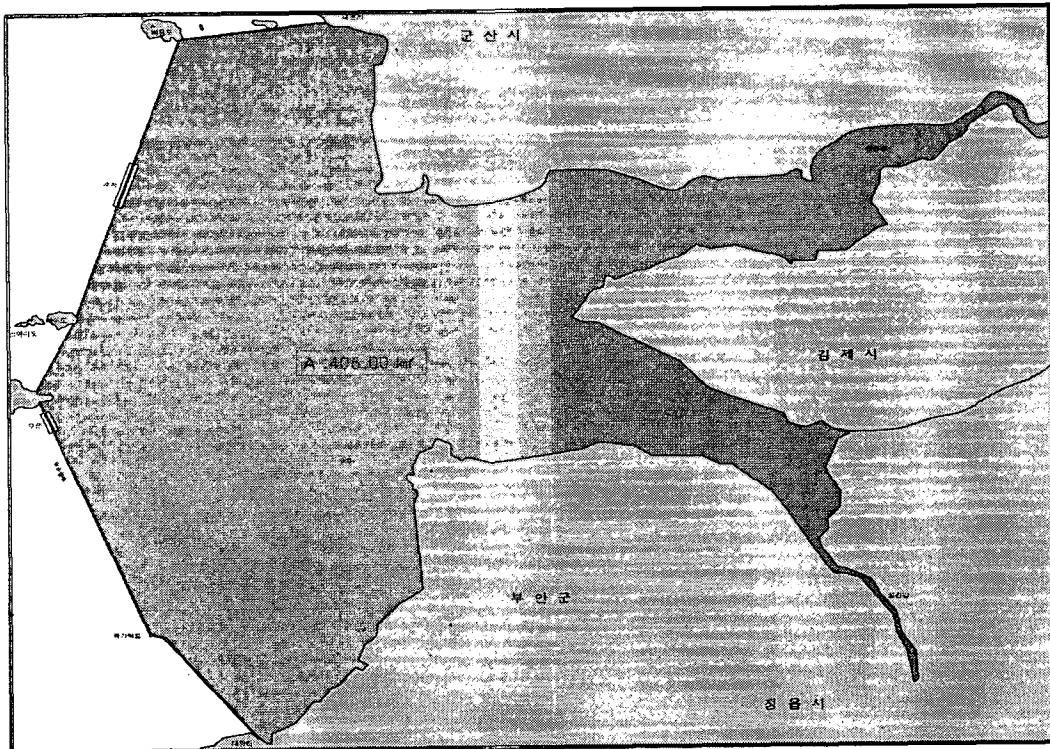


(b). 천수만

<그림 2.3.2> 주요 후보지별 8개안의 배치위치 및 수면적.

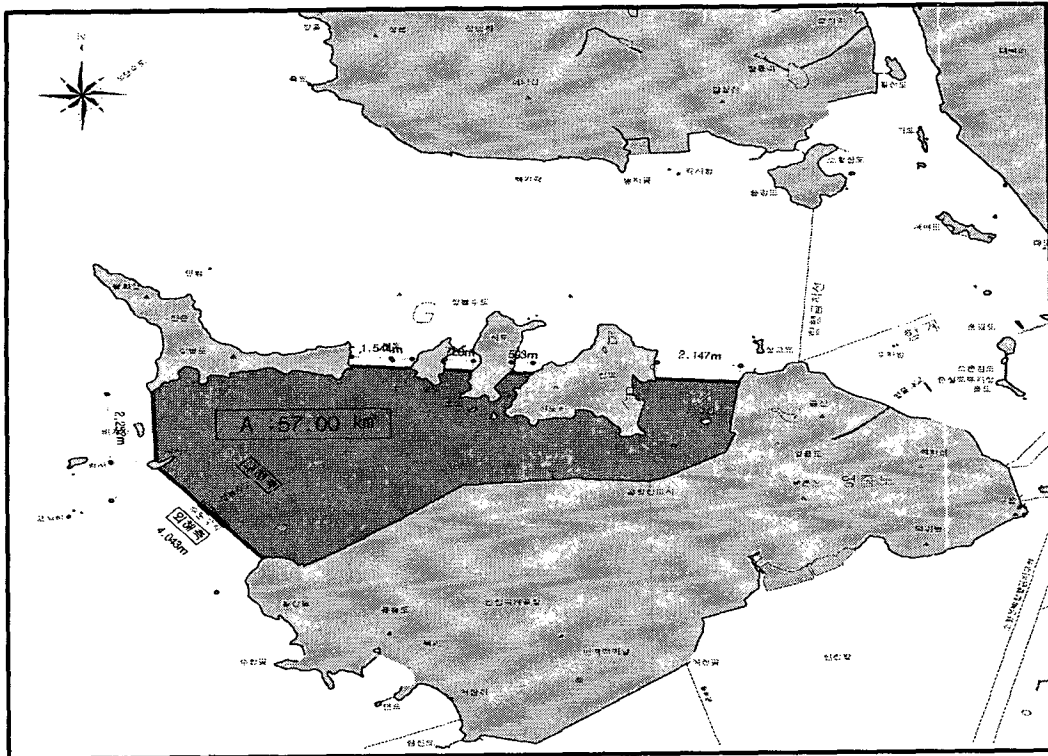


(c). 새만금(소)

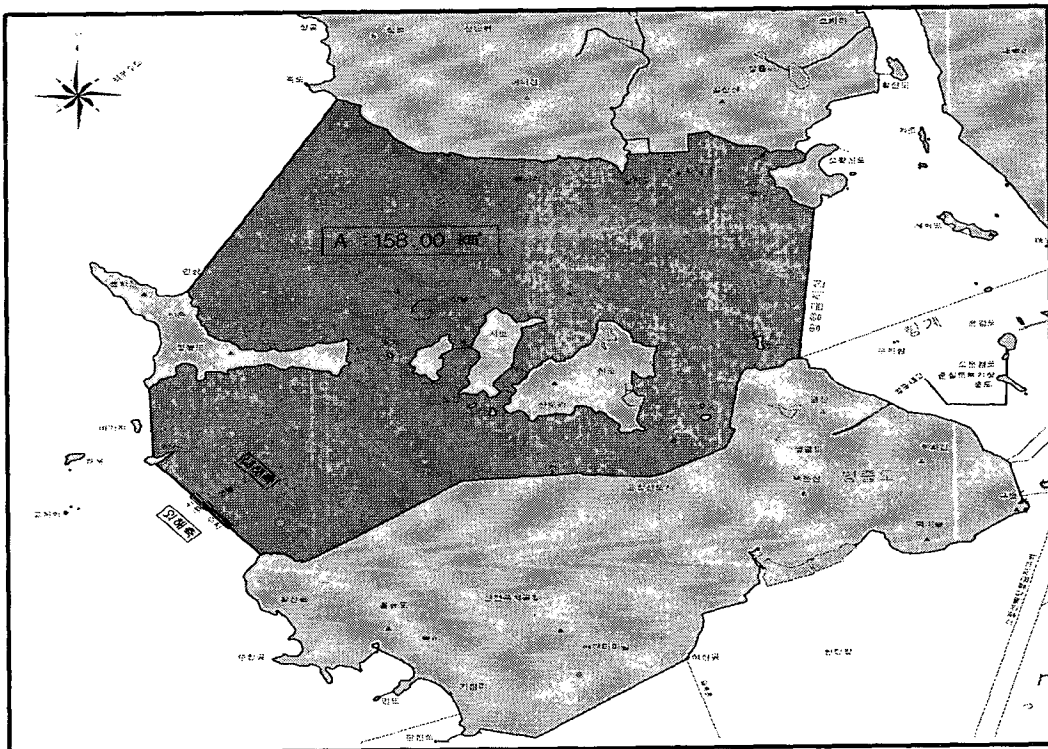


(d). 새만금(대)

<그림 2.3.2> (계속)

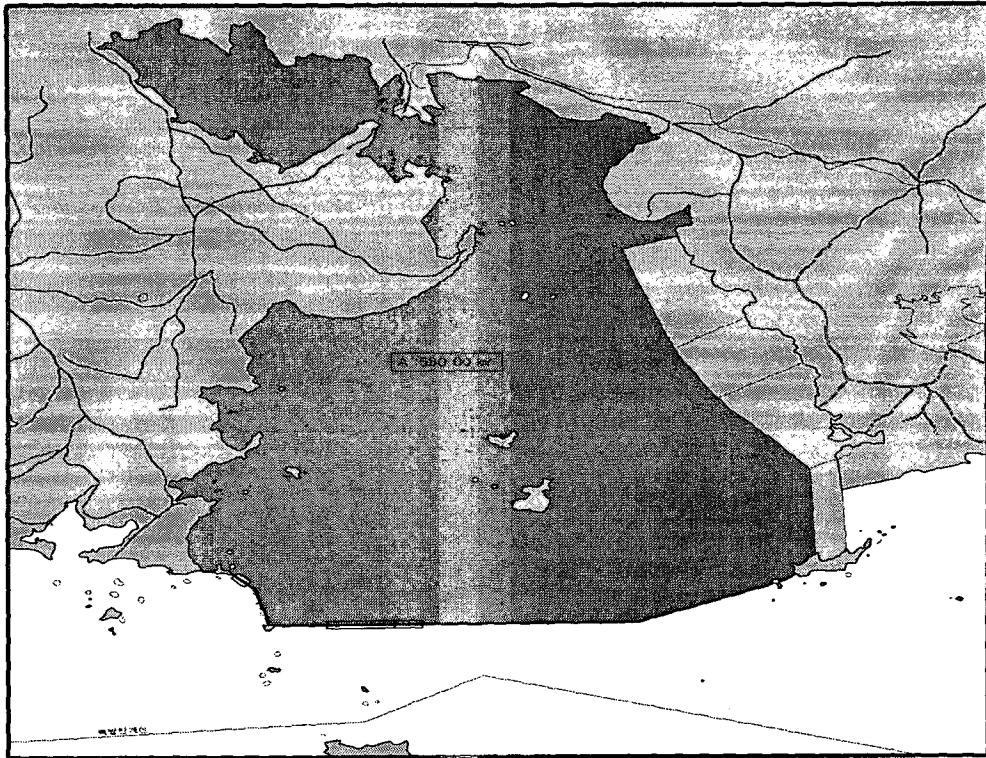


(e). 인천만(소)

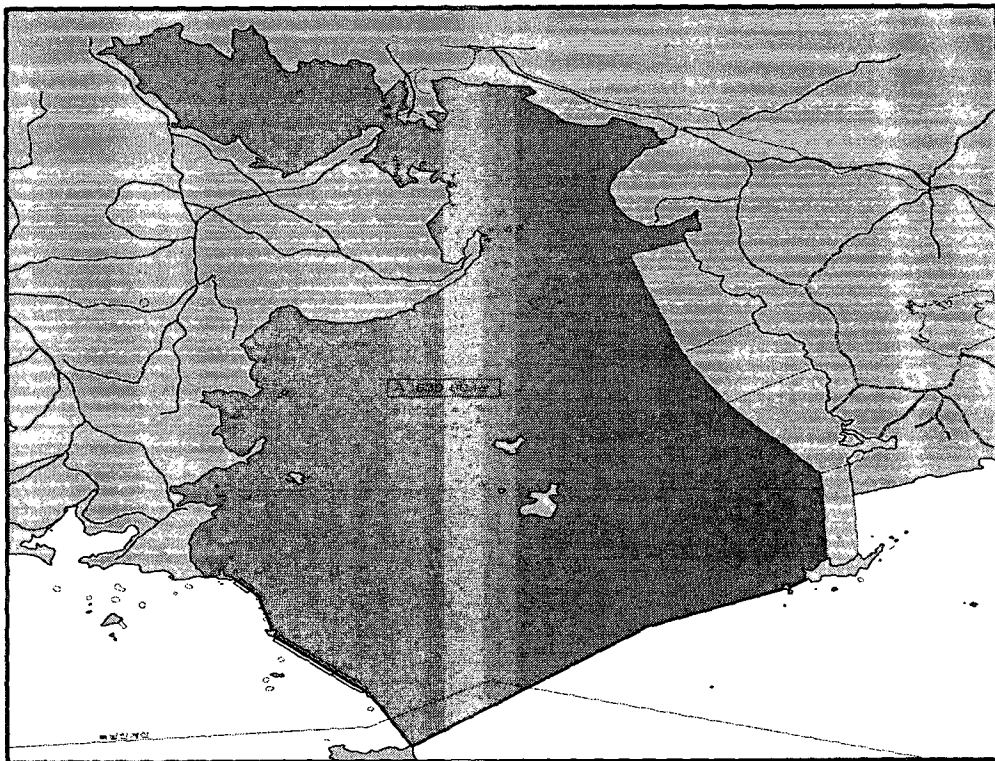


(f). 인천만(대)

<그림 2.3.2> (계속)



(g). 해주만(소)



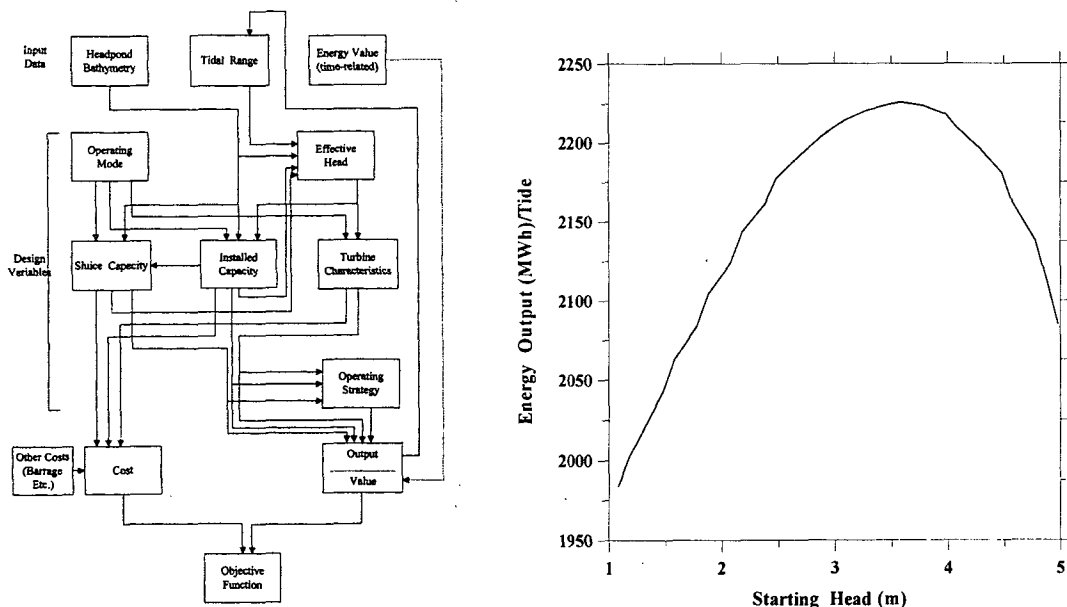
(h). 해주만(대)

<그림 2.3.2> (계속)

2. 후보지별 발전량 산출 및 개발 우선순위 선정

가. 조력발전 최적화

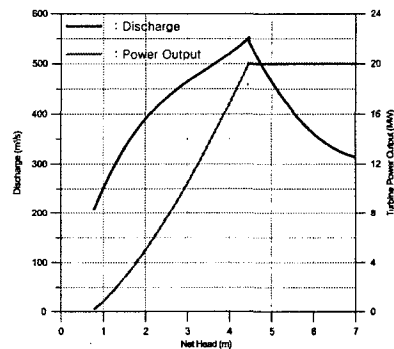
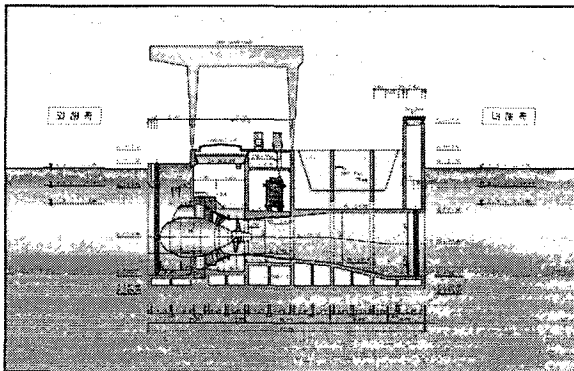
조력발전과 수력발전은 수역학, 기기특성, 설계 및 공법 등에서 차이가 있다. 즉 수력발전의 최적개발규모는 최저갈수위, 홍수위 및 저수용량 등 하천의 수문학적 특성에 의해 결정되는 반면, 조력발전은 1)외해조석과 발전소운전에 따른 조지수위 변화에 따라 결정되는 가용수두, 2)조지면적, 3)수문용량, 4)발전기용량, 5)발전방식 등 서로 영향을 미치는 여러 가지 요소들에 의해 결정된다(Baker, 1991). 따라서 조력발전은 최적화가 필요하며, 최적화에 필요한 변수들 사이의 상관관계와 발전시작 수두에 따른 발전출력 변동곡선을 <그림 2.3.3>에 도시하였다. 발전최적화는 발전소 운전에 관계되는 변수(발전개시시간, 발전종료시간, 발전중 수차날개각도 수차의 유량조절수문 조정)와 공사비에 관계되는 변수(방조제 및 수문의 제원, 수차발전기 제원, 수차발전기 및 수문의 설치대수)들을 최적화하고 이들을 서로 비교함으로써 최종적인 최적발전규모가 결정되어야 한다. 본 조사에서는 해양연구원이 자체개발하여 보유하고 있는 최적발전량 산출모형(TEGEN)을 이용하여 연간발전량을 산출하였고, 상기에서 선정된 5개 후보지에 대한 8개안에 대한 안별 개략공사비를 추정하여 최적발전규모를 결정하였다.



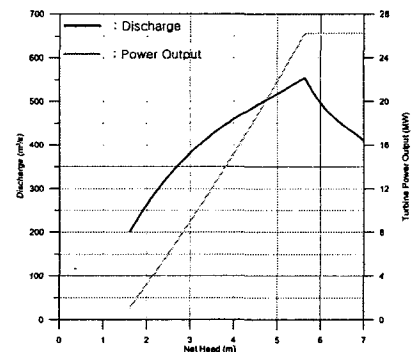
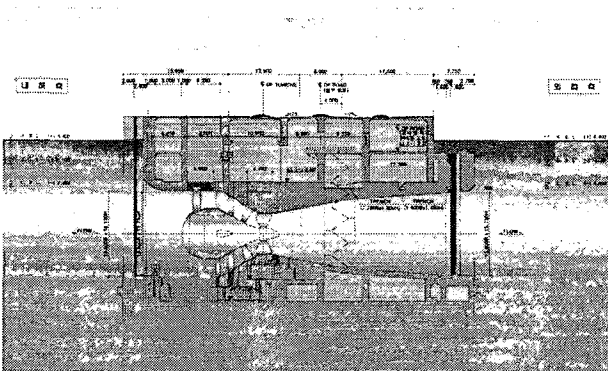
<그림 2.3.3> 조력발전 최적화를 위하여 고려해야할 변수들의 상관관계(좌), 조력발전 시작 수두에 따른 발전량 변동곡선(우).

나. 연간발전량 산출 및 조력발전 개략타당성

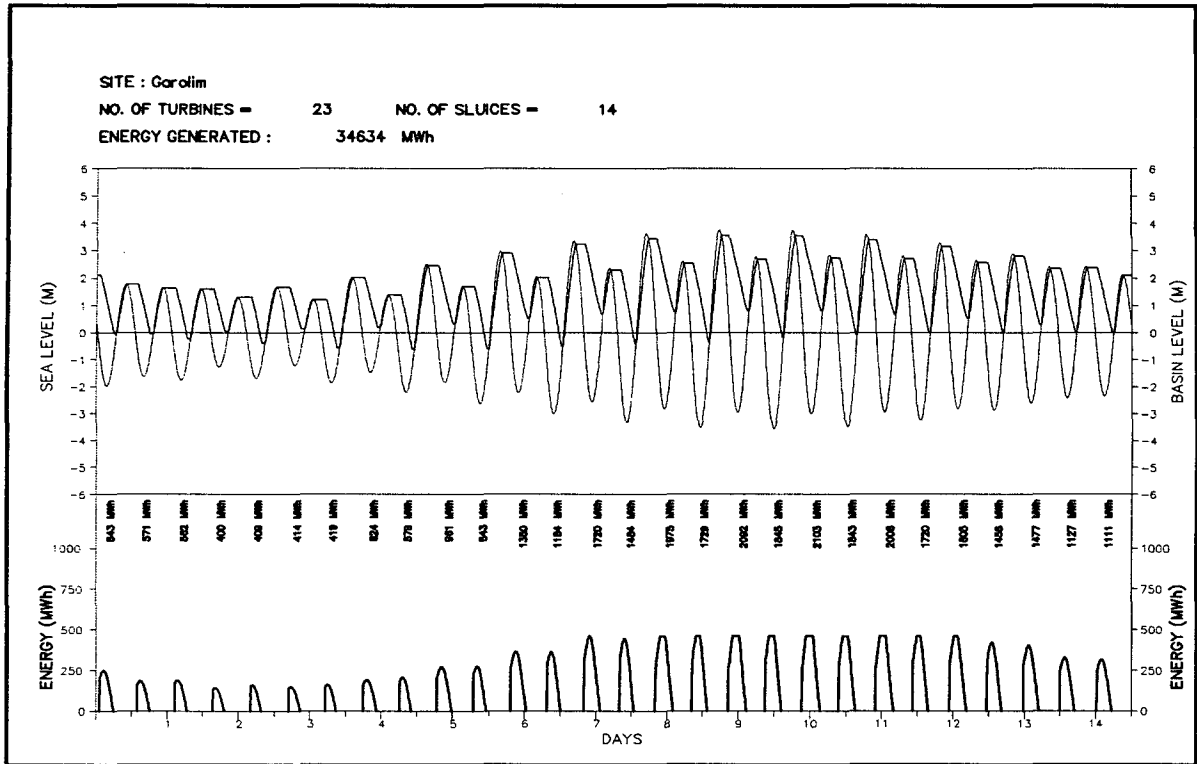
발전량 산출을 위하여 조석체계변화예측 수치모형을 통하여 산정된 주요 5개 분조의 조화 상수, 도상에서 추출한 조위별 수면적 및 후보지 특성에 적합한 수차발전기 특성자료 등을 이용하여 조력발전출력 산정 모형을 구축하여 활용하였다. 본 조사에서 적용한 수차발전기는 Bulb 형 수차발전기로 가로림만, 천수만 및 새만금의 경우는 2만kW급, 인천만과 해주만의 경우는 2.5만kW급 수차발전기 특성자료를 입수하여 특성을 분석한 후 발전출력산정 모형에 적용하였다(<그림 2.3.4, 2.3.5> 참조). 한편 주요 조력발전 후보지에 적용한 조력발전방식은 조지대를 충분히 활용하여 발전량 측면에서 우수한 낙조식 발전방식을 선정하였으며, 이를 적용한 14.5일간의 발전량 산출 예를 <그림 2.3.6>에 도시하였다. 한편, 주요 후보지별 안별 조력발전시스템 배치계획 및 개략공사비는 부록에 제시하였다.



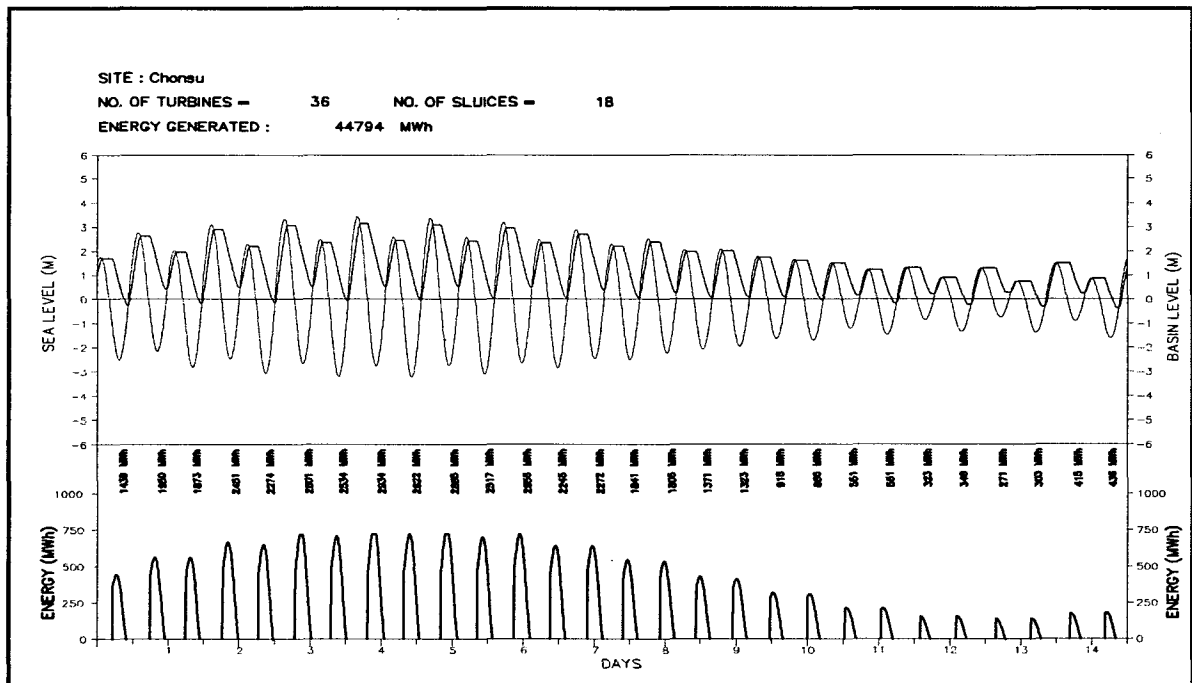
<그림 2.3.4> 2만kW급 Bulb 형 수차발전기 및 발전구조물 단면도(좌), 특성곡선(우).



<그림 2.3.5> 2.5만kW급 Bulb 형 수차발전기 및 발전구조물 단면도(좌), 특성곡선(우).

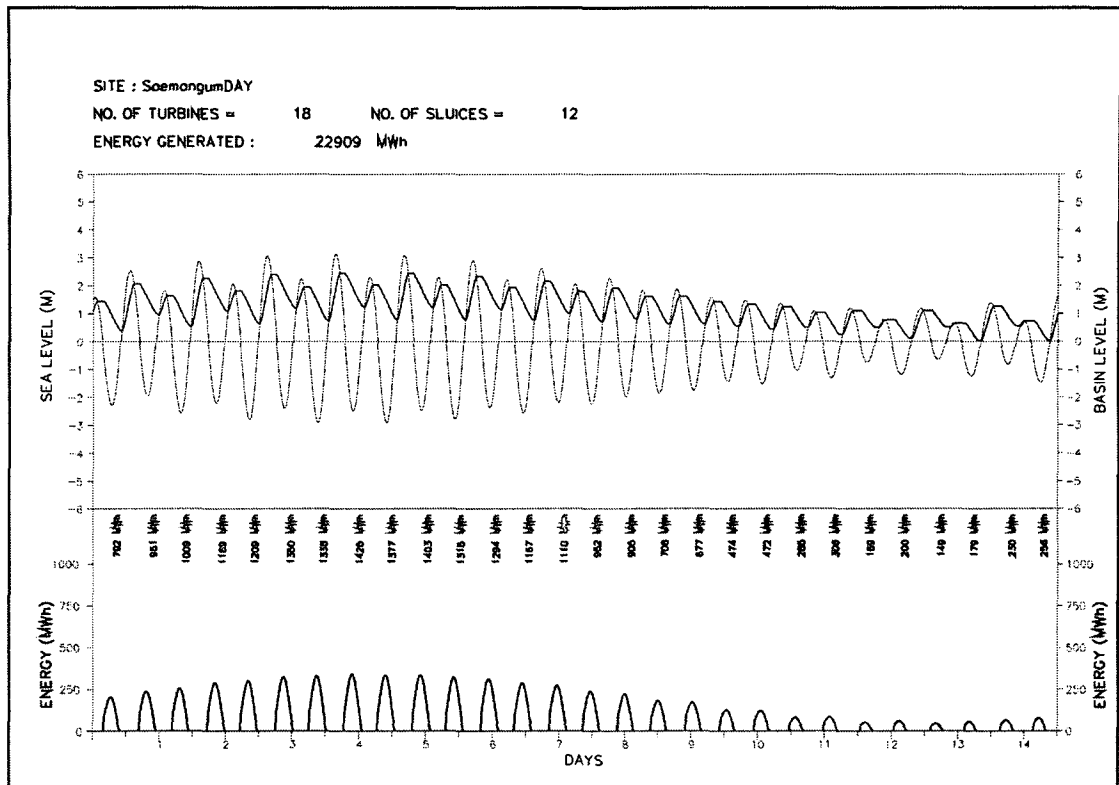


(a). 가로림만

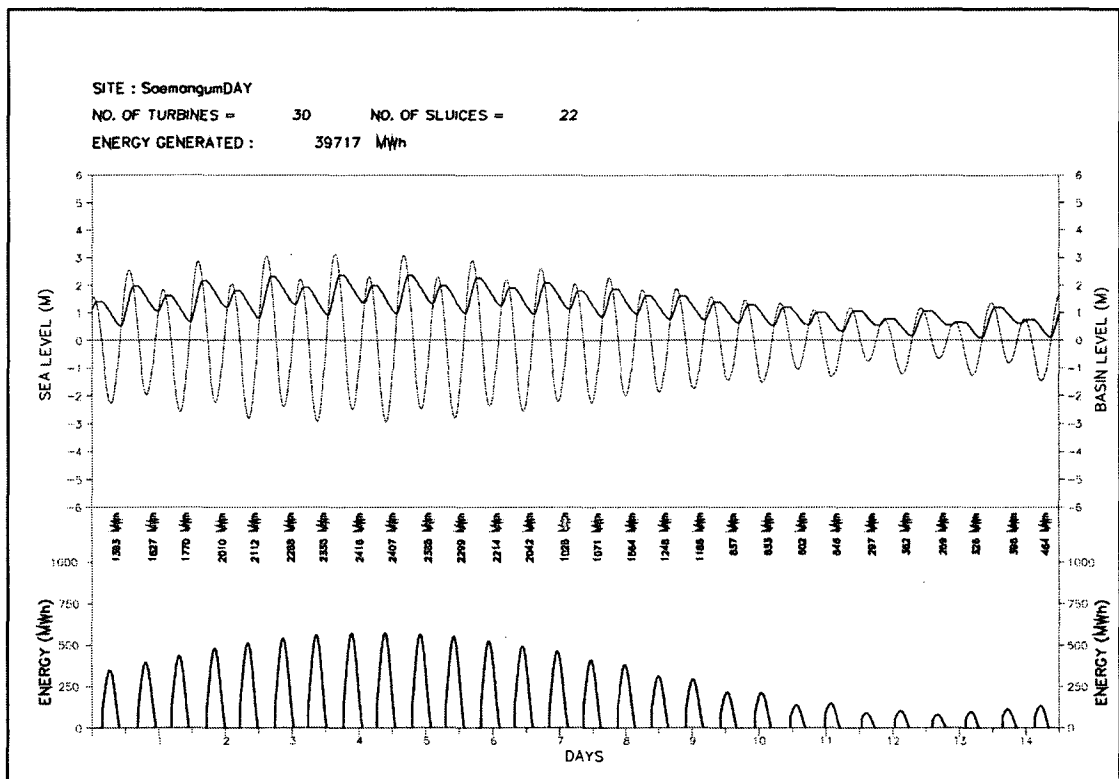


(b). 천수만

<그림 2.3.6> 주요 후보지별 대표 조석군(14.5일간)에 대한 발전량 산정결과.

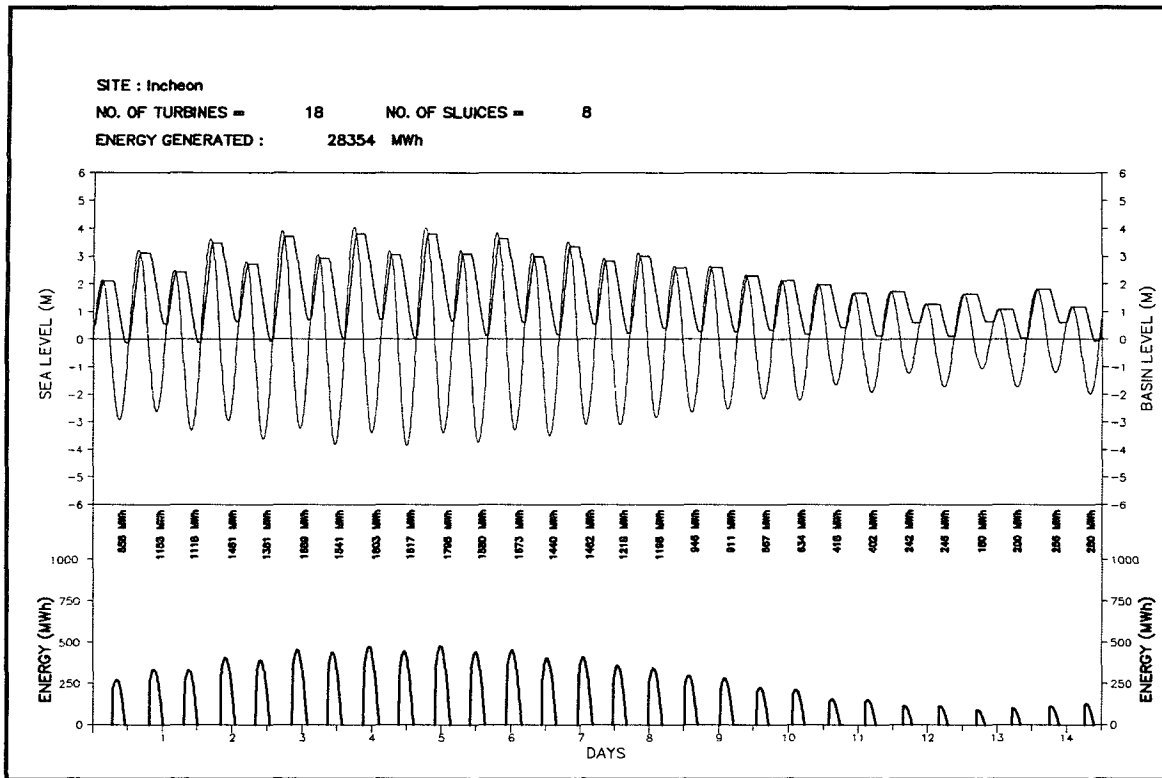


(c). 새만금(소)

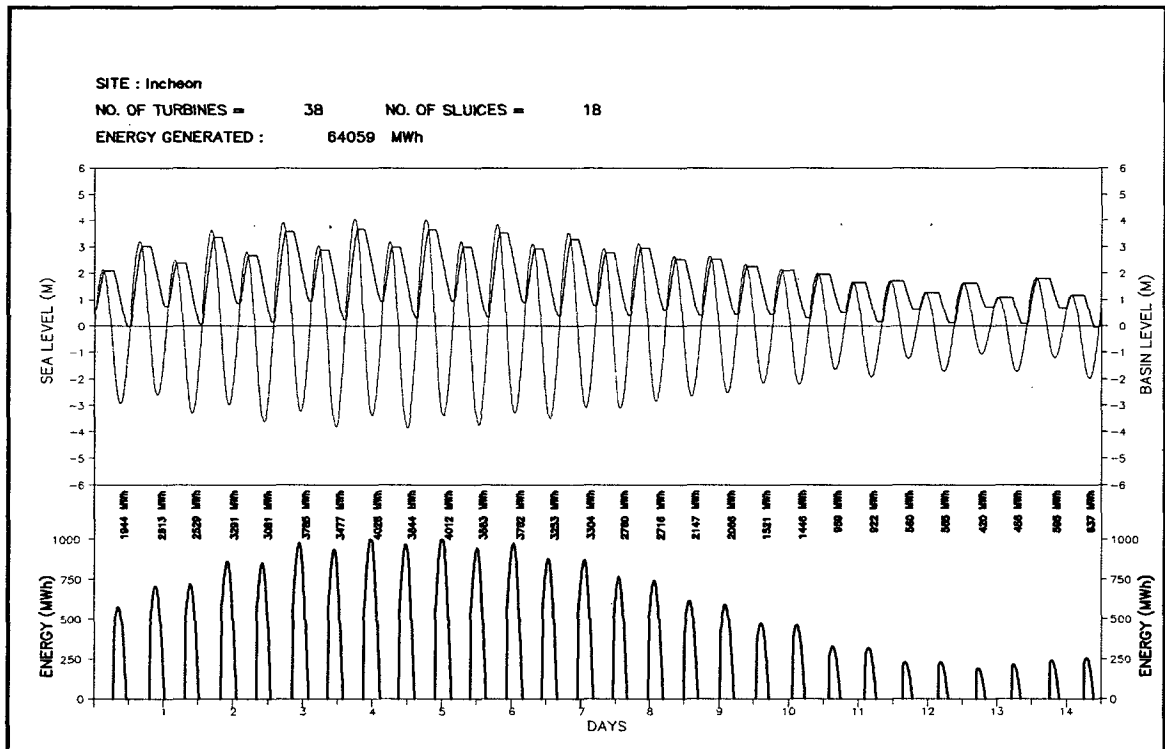


(d). 새만금(대)

<그림 2.3.4> (계속)

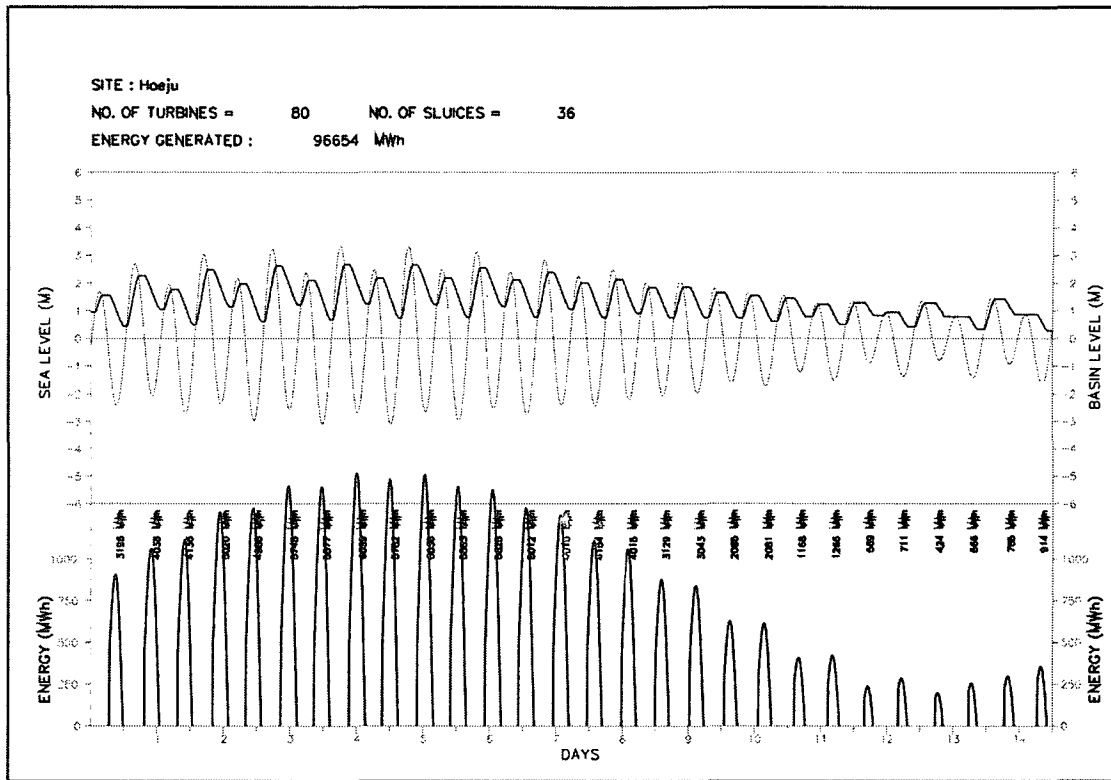


(e). 인천만(소)

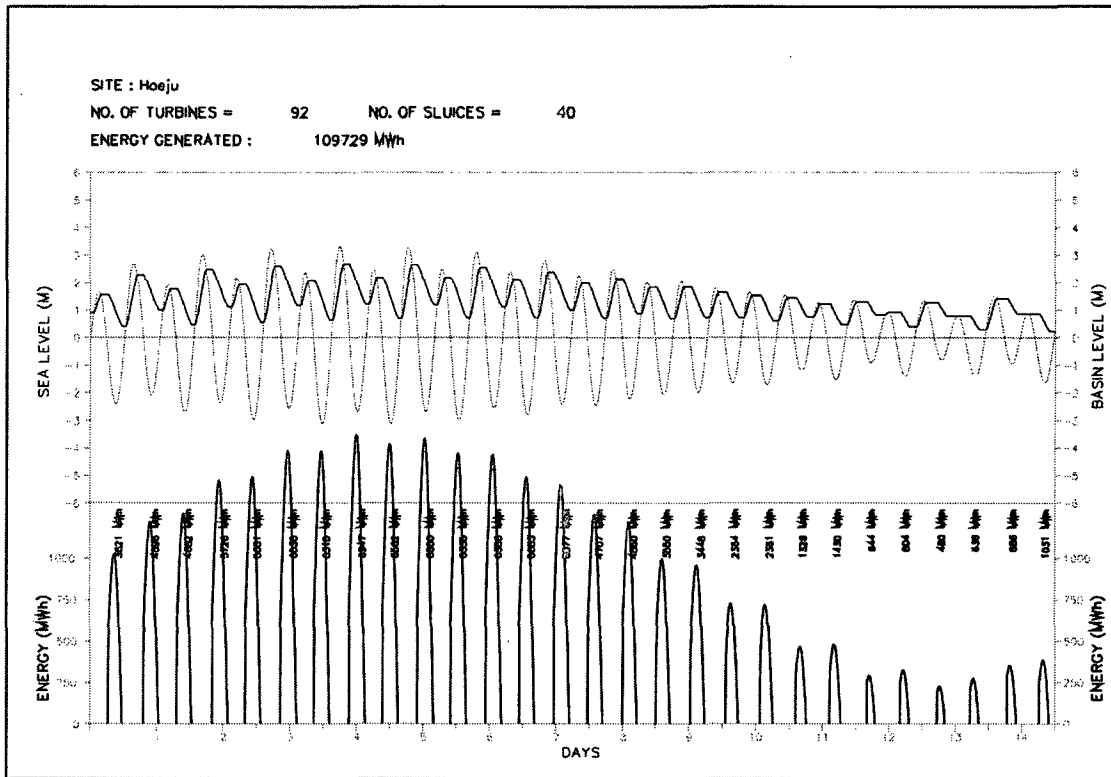


(f). 인천만(대)

<그림 2.3.4> (계속)



(g). 해주만(소)



(h). 해주만(대)

<그림 2.3.4> (계속)

천수만의 조력발전 적정개발규모 파악을 위하여 천수만 조력발전출력 산정 모형을 이용하여 수차발전기(2만kW급)는 30대(60만kW)에서 40대(80만kW)까지 2대 간격, 수문(12m×12m)은 14대에서 24대까지 2대 간격의 36개 조합에 대하여 2005년도의 천문인수를 적용하여 연간발전량을 산정하였다. 또한 부록에 제시된 천수만 조력발전 평면배치계획안을 기본으로 최근 물가자료 등을 참조하여 36개 개발안에 대한 개략공사비를 산출하였고, 이들 안에 대한 개략공사비 및 연간발전량과의 비교한 결과 수차발전기(2만kW급) 36대(72만kW), 수문 18대로 나타났다(<표 2.3.2> 참조).

새만금(소)와 새만금(대) 안에 대해서도 천수만과 같은 방법을 적용하여 연간발전량 및 개략공사비를 산정하여 적정개발규모를 파악한 결과(새만금 방조제에 계획중인 배수갑문 2개소를 사용하지 않는 것으로 적용), 새만금(소)는 수차발전기(2만kW급) 18대(36만kW), 수문 12대이고, 새만금(대)는 수차발전기 30대(60만kW), 수문 22대로 나타났다(<표 2.3.3, 2.3.4> 참조).

인천만(소)와 인천만(대) 안에 대해서도 위와 같은 방법을 적용하여 연간발전량 및 개략공사비를 산정하여 적정개발규모를 파악한 결과, 인천만(소)는 수차발전기(2.5만kW급) 18대(45만kW), 수문 8대이고, 인천만(대)는 수차발전기 38대(95만kW), 수문 18대로 나타났다(<표 2.3.5, 2.3.6> 참조).

해주만(소)와 해주만(대) 안에 대해서도 위와 같은 방법을 적용하여 연간발전량 및 개략공사비를 산정하여 적정개발규모를 파악한 결과, 해주만(소)는 수차발전기(2.5만kW급) 80대(200만kW), 수문 36대이고, 해주만(대)는 수차발전기 92대(230만kW), 수문 40대로 나타났다(<표 2.3.7, 2.3.8> 참조).

한편 현재 적용한 방법이 가장 단순하게 적정용량을 산출한 것이므로 각 안에 대한 상세 경제성 분석을 수행하면 그 순위가 다소 변경될 가능성도 있으며, 환율변동에 따른 수차발전기 제작사의 가격 및 성능특성 등에 따라서도 변경될 가능성은 있다.

이상의 최적화 과정을 통하여 도출된 주요 조력발전 후보지별 적정개발규모와 해역특성을 <표 2.3.9>에 제시하였다. 가로림만의 경우 기존 조사자료(한국서부발전, 2005)를 활용하여 표에 함께 나타내었다. 이에 따르면 가로림만, 인천만(대), 천수만, 새만금(대), 해주만(대)를 모두 합하면 개발가능규모는 505만kW 정도이며, 주요 후보지를 모두 개발할 경우 연간 7,892GWh의 전기를 생산할 수 있을 것으로 조사되었다. 또한 연간발전량 대

비 순공사비 비율에 따르면 만 입구가 좁아 개발 경제성 확보가 유리한 가로림만을 우선 추진하고, 이후 새만금(대), 인천만(대) 순으로 개발하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 그러나 연간발전량 대비 순공사비 비율(원/kWh)은 상호비교를 위하여 사용된 단순지표로 향후 각 후보지별 정밀 타당성 조사를 통하여 경제성(B/C, IRR 등)분석을 수행하여야 보다 정확한 우선순위 도출이 가능할 것이다.

경제적 측면에서는 가로림만이 조성해야할 방조제의 길이가 상대적으로 짧아 1순위 후보지이나, 현재 사업이 추진되고 있는 점을 감안하여 본 조사에서는 차순위 후보지인 새만금을 2차년도 조사지점으로 선정하여 새만금 조력 개발 타당성을 검토하였다.

<표 2.3.2> 천수만 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh).

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 14대 | 16대 | 18대 | 20대 | 22대 | 24대 |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 30대 | {1,135,835} [1,045.05] 1,086.87 | {1,154,090} [1,068.40] 1,080.21 | {1,169,638} [1,087.52] 1,075.51 | {1,187,892} [1,103.08] 1,076.89 | {1,203,439} [1,115.85] 1,078.50 | {1,218,993} [1,126.22] 1,082.38 |
| 32대 | {1,174,991} [1,086.49] 1,081.46 | {1,193,246} [1,110.07] 1,074.92 | {1,208,793} [1,129.43] 1,070.27 | {1,227,049} [1,145.18] 1,071.49 | {1,242,596} [1,157.97] 1,073.08 | {1,258,150} [1,168.39] 1,076.82 |
| 34대 | {1,217,033} [1,126.13] 1,080.72 | {1,235,288} [1,149.76] 1,074.39 | {1,250,835} [1,169.22] 1,069.80 | {1,269,090} [1,185.07] 1,070.96 | {1,284,638} [1,197.82] 1,072.48 | {1,300,191} [1,208.20] 1,076.14 |
| 36대 | {1,256,190} [1,164.02] 1,079.18 | {1,274,445} [1,187.54] 1,073.18 | {1,289,992} [1,206.95] 1,068.80 | {1,308,246} [1,222.78] 1,069.89 | {1,323,793} [1,235.52] 1,071.44 | {1,339,348} [1,245.51] 1,075.34 |
| 38대 | {1,298,231} [1,200.57] 1,081.35 | {1,316,487} [1,223.80] 1,075.74 | {1,332,034} [1,242.89] 1,071.72 | {1,350,288} [1,258.56] 1,072.88 | {1,365,835} [1,271.26] 1,074.39 | {1,381,389} [1,281.40] 1,078.03 |
| 40대 | {1,337,387} [1,235.35] 1,082.60 | {1,355,642} [1,258.42] 1,077.25 | {1,371,190} [1,277.18] 1,073.61 | {1,389,445} [1,292.55] 1,074.96 | {1,404,992} [1,305.04] 1,076.59 | {1,420,545} [1,315.05] 1,080.23 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 2.3.3> 새만금 소용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh).

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 8대 | 10대 | 12대 | 14대 | 16대 | 18대 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 14대 | {516,763} | {540,965} | {565,169} | {589,372} | {613,574} | {637,777} |
| | [468.07] | [495.70] | [517.80] | [535.31] | [549.64] | [561.41] |
| | 1,104.02 | 1,091.35 | 1,091.74 | 1,100.99 | 1,116.32 | 1,136.03 |
| 16대 | {566,521} | {591,476} | {616,430} | {641,383} | {666,337} | {691,291} |
| | [513.85] | [544.19] | [568.56] | [588.36] | [604.59] | [617.96] |
| | 1,102.51 | 1,086.89 | 1,084.20 | 1,090.11 | 1,102.13 | 1,118.67 |
| 18대 | {616,279} | {641,984} | {667,689} | {693,393} | {719,098} | {744,802} |
| | [557.58] | [590.17] | [616.63] | [683.31] | [656.17] | [670.92] |
| | 1,105.28 | 1,087.80 | 1,082.81 | 1,086.30 | 1,095.90 | 1,110.13 |
| 20대 | {666,039} | {692,494} | {718,950} | {745,406} | {771,860} | {798,316} |
| | [599.65] | [634.05] | [662.31] | [685.55] | [704.76] | [720.70] |
| | 1,110.71 | 1,092.17 | 1,085.52 | 1,087.31 | 1,095.22 | 1,107.69 |
| 22대 | {715,796} | {743,002} | {770,209} | {797,415} | {824,621} | {851,828} |
| | [640.32] | [676.19] | [705.86] | [730.35] | [750.76] | [767.73] |
| | 1,117.87 | 1,098.81 | 1,091.16 | 1,091.82 | 1,098.39 | 1,109.54 |
| 24대 | {765,554} | {793,512} | {821,468} | {849,426} | {877,381} | {905,339} |
| | [679.66] | [716.72] | [747.43] | [773.04] | [794.44] | [812.26] |
| | 1,126.37 | 1,107.15 | 1,099.05 | 1,098.81 | 1,104.41 | 1,114.60 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 2.3.4> 새만금 대용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh).

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 18대 | 20대 | 22대 | 24대 | 26대 | 28대 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 26대 | {925,558} | {948,690} | {971,823} | {994,955} | {1,018,088} | {1,041,221} |
| | [917.94] | [942.74] | [964.77] | [984.42] | [1,002.07] | [1,017.93] |
| | 1,008.30 | 1,006.31 | 1,007.31 | 1,010.70 | 1,015.99 | 1,022.88 |
| 28대 | {975,176} | {998,628} | {1,022,078} | {1,045,528} | {1,068,981} | {1,092,430} |
| | [967.25] | [993.52] | [1,017.13] | [1,038.11] | [1,057.11] | [1,074.09] |
| | 1,008.20 | 1,005.14 | 1,007.87 | 1,007.14 | 1,011.23 | 1,017.07 |
| 30대 | {1,024,797} | {1,048,564} | {1,072,335} | {1,096,104} | {1,119,873} | {1,143,643} |
| | [1,015.21] | [1,1043.02] | [1,067.82] | [1,090.18] | [1,110.32] | [1,128.48] |
| | 1,009.44 | 1,005.32 | 1,004.23 | 1,005.43 | 1,008.60 | 1,013.44 |
| 32대 | {1,074,415} | {1,098,502} | {1,122,590} | {1,146,678} | {1,170,766} | {1,194,852} |
| | [1,061.99] | [1,091.10] | [1,117.18] | [1,140.70] | [1,161.91] | [1,181.24] |
| | 1,011.69 | 1,006.78 | 1,004.84 | 1,005.24 | 1,007.62 | 1,011.52 |
| 34대 | {1,124,035} | {1,148,440} | {1,172,846} | {1,197,251} | {1,221,657} | {1,246,062} |
| | [1,107.64] | [1,137.96] | [1,165.19] | [1,189.94] | [1,212.09] | [1,232.35] |
| | 1,014.80 | 1,009.21 | 1,006.57 | 1,006.14 | 1,007.89 | 1,011.13 |
| 36대 | {1,173,655} | {1,198,378} | {1,223,103} | {1,247,826} | {1,272,551} | {1,297,274} |
| | [1,152.39] | [1,183.87] | [1,212.02] | [1,237.71] | [1,260.90] | [1,282.08] |
| | 1,018.46 | 1,012.26 | 1,009.15 | 1,008.18 | 1,009.24 | 1,011.85 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 2.3.5> 인천만 소용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh).

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 4대 | 6대 | 8대 | 10대 | 12대 | 14대 |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 12대 | {738,496} | {759,589} | {780,681} | {801,773} | {822,863} | {843,955} |
| | [545.29] | [584.25] | [608.76] | [624.07] | [633.36] | [638.59] |
| | 1,354.32 | 1,300.11 | 1,282.41 | 1,284.76 | 1,299.21 | 1,321.60 |
| 14대 | {789,524} | {811,344} | {833,165} | {854,986} | {876,806} | {898,627} |
| | [603.46] | [643.29] | [668.62] | [684.40] | [693.80] | [698.92] |
| | 1,308.33 | 1,261.25 | 1,246.09 | 1,249.25 | 1,263.77 | 1,285.74 |
| 16대 | {840,552} | {863,101} | {885,650} | {908,199} | {930,748} | {953,297} |
| | [656.99] | [696.41] | [721.67] | [737.33] | [745.98] | [750.72] |
| | 1,279.39 | 1,239.36 | 1,227.23 | 1,231.74 | 1,247.68 | 1,269.84 |
| 18대 | {891,579} | {914,858} | {938,136} | {961,414} | {984,692} | {1,077,971} |
| | [706.30] | [744.68] | [768.88] | [783.89] | [791.39] | [795.51] |
| | 1,262.32 | 1,228.53 | 1,220.13 | 1,226.47 | 1,244.25 | 1,267.08 |
| 20대 | {942,606} | {966,614} | {990,621} | {1,014,627} | {1,038,634} | {1,062,641} |
| | [751.63] | [788.03] | [811.04] | [823.87] | [831.46] | [835.75] |
| | 1,254.08 | 1,226.62 | 1,221.43 | 1,231.54 | 1,249.16 | 1,271.48 |
| 22대 | {993,636} | {1,018,372} | {1,043,107} | {1,067,843} | {1,092,576} | {1,117,312} |
| | [793.45] | [827.20] | [848.71] | [861.59] | [867.29] | [870.75] |
| | 1,252.31 | 1,231.11 | 1,229.05 | 1,239.38 | 1,259.76 | 1,283.16 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 2.3.6> 인천만 대용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh).

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 12대 | 14대 | 16대 | 18대 | 20대 | 22대 |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 34대 | {1,611,380} [1,528.97] 1,053.90 | {1,636,238} [1,567.48] 1,043.87 | {1,661,097} [1,599.72] 1,038.37 | {1,685,954} [1,626.76] 1,036.39 | {1,710,812} [1,649.47] 1,037.19 | {1,735,669} [1,668.27] 1,040.40 |
| 36대 | {1,663,638} [1,584.86] 1,049.71 | {1,688,965} [1,623.46] 1,040.35 | {1,714,293} [1,655.82] 1,035.32 | {1,739,619} [1,683.12] 1,033.57 | {1,764,946} [1,706.03] 1,034.53 | {1,790,274} [1,724.83] 1,037.94 |
| 38대 | {1,715,892} [1,638.76] 1,047.07 | {1,741,689} [1,677.34] 1,038.36 | {1,767,486} [1,709.76] 1,033.76 | {1,793,282} [1,736.94] 1,032.44 | {1,819,080} [1,759.74] 1,033.72 | {1,844,876} [1,778.99] 1,037.04 |
| 40대 | {1,768,147} [1,690.70] 1,045.81 | {1,794,414} [1,729.06] 1,037.80 | {1,820,680} [1,761.42] 1,033.64 | {1,846,947} [1,788.25] 1,032.82 | {1,873,213} [1,811.23] 1,034.22 | {1,899,480} [1,830.15] 1,037.88 |
| 42대 | {1,820,404} [1,690.70] 1,076.72 | {1,847,140} [1,778.31] 1,038.70 | {1,873,875} [1,810.64] 1,034.93 | {1,900,611} [1,837.62] 1,034.28 | {1,927,347} [1,859.81] 1,036.31 | {1,954,083} [1,879.02] 1,039.95 |
| 44대 | {1,872,659} [1,788.87] 1,046.84 | {1,899,865} [1,826.49] 1,040.17 | {1,927,070} [1,857.93] 1,037.21 | {1,954,275} [1,884.16] 1,037.21 | {1,981,481} [1,906.61] 1,039.27 | {2,008,686} [1,923.99] 1,044.02 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 2.3.7> 해주만 소용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh).

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 32대 | 34대 | 36대 | 38대 | 40대 | 42대 |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 76대 | {3,361,484} [2,482.17] 1,354.25 | {3,400,271} [2,513.29] 1,352.92 | {3,439,057} [2,542.54] 1,352.60 | {3,477,843} [2,569.86] 1,353.32 | {3,516,629} [2,596.03] 1,354.62 | {3,555,416} [2,620.84] 1,356.59 |
| 78대 | {3,419,555} [2,526.69] 1,353.37 | {3,458,771} [2,558.17] 1,352.05 | {3,497,986} [2,587.70] 1,351.77 | {3,537,201} [2,615.48] 1,352.41 | {3,576,416} [2,641.93] 1,353.71 | {3,615,631} [2,666.93] 1,355.73 |
| 80대 | {3,477,626} [2,570.67] 1,352.81 | {3,517,272} [2,602.58] 1,351.46 | {3,556,916} [2,632.21] 1,351.30 | {3,596,560} [2,660.31] 1,351.93 | {3,636,204} [2,687.34] 1,353.09 | {3,675,848} [2,712.52] 1,355.14 |
| 82대 | {3,546,290} [2,614.31] 1,356.49 | {3,586,363} [2,646.41] 1,355.18 | {3,626,436} [2,676.47] 1,354.93 | {3,666,510} [2,704.84] 1,355.53 | {3,706,583} [2,731.93] 1,356.77 | {3,746,657} [2,757.40] 1,358.76 |
| 84대 | {3,604,361} [2,657.52] 1,356.29 | {3,644,864} [2,689.83] 1,355.05 | {3,685,367} [2,720.09] 1,354.87 | {3,725,869} [2,748.68] 1,355.51 | {3,766,371} [2,776.07] 1,356.73 | {3,806,874} [2,801.86] 1,358.70 |
| 86대 | {3,662,431} [2,700.18] 1,356.37 | {3,703,364} [2,732.88] 1,355.11 | {3,744,295} [2,763.20] 1,355.06 | {3,785,227} [2,791.99] 1,355.74 | {3,826,159} [2,819.68] 1,356.95 | {3,867,090} [2,845.68] 1,358.93 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 2.3.8> 해주만 대용량 조력개발 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh).

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 36대 | 38대 | 40대 | 42대 | 44대 | 46대 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 90대 | {3,950,300} | {3,989,130} | {4,027,962} | {4,066,793} | {4,105,624} | {4,144,455} |
| | [2,884.35] | [2,915.69] | [2,945.32] | [2,973.31] | [3,000.27] | [3,025.91] |
| | 1,369.56 | 1,368.16 | 1,367.58 | 1,367.77 | 1,368.42 | 1,369.65 |
| 92대 | {4,008.789} | {4,047,980} | {4,087,173} | {4,126,365} | {4,165,556} | {4,204,749} |
| | [2,927.62] | [2,959.34] | [2,988.97] | [3,017.29] | [3,044.58] | [3,070.38] |
| | 1,369.30 | 1,367.87 | 1,367.42 | 1,367.57 | 1,368.19 | 1,369.46 |
| 94대 | {4,067,276} | {4,106,828} | {4,146,381} | {4,185,934} | {4,225,487} | {4,265,040} |
| | [2,970.59] | [3,002.28] | [3,032.25] | [3,060.77] | [3,088.42] | [3,114.30] |
| | 1,369.18 | 1,367.90 | 1,367.43 | 1,367.61 | 1,368.17 | 1,369.50 |
| 96대 | {4,125.765} | {4,165,678} | {4,205,592} | {4,245,506} | {4,285,418} | {4,325,333} |
| | [3,012.81] | [3,045.02] | [3,075.09] | [3,103.86] | [3,131.56] | [3,157.64] |
| | 1,369.41 | 1,368.03 | 1,367.63 | 1,367.82 | 1,368.46 | 1,369.80 |
| 98대 | {4,184,253} | {4,224,526} | {4,264,802} | {4,305,076} | {4,345,349} | {4,385,625} |
| | [3,054.89] | [3,087.01] | [3,117.54] | [3,146.54] | [3,174.32] | [3,200.58] |
| | 1,369.69 | 1,368.48 | 1,368.00 | 1,368.20 | 1,368.91 | 1,370.26 |
| 100대 | {4,242,741} | {4,283,376} | {4,324,012} | {4,364,648} | {4,405,281} | {4,445,918} |
| | [3,096.49] | [3,128.87] | [3,159.28] | [3,188.61] | [3,216.60] | [3,243.68] |
| | 1,370.18 | 1,368.98 | 1,368.67 | 1,368.83 | 1,369.55 | 1,370.90 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 2.3.9> 주요 후보지에 대한 개발안별 특성 및 개략경제성.

| 후보지 | 평균 대조차 (m) | 수면적 (km ²) | 검토안 | 시설용량 (만kW) | 발전량 (GWh) | 순공사비 /연간발전량 (원/kWh) | 개략경제 성순위 | 2차년도 연구위치 |
|--------|------------------|---------------------------|-----|---------------|--------------|---------------------------|-------------|--------------|
| 인천만[소] | 7.25 | 57 | 36 | 45 | 768 | 1,220 | 6 | |
| 인천만[대] | 7.25 | 158 | 36 | 95 | 1,736 | 1,032 | 3 | |
| 가로림만 | 6.44 | 95 | 36 | 48 | 883 | 864 | 1 | |
| 천수만 | 5.91 | 146 | 36 | 72 | 1,207 | 1,068 | 4 | |
| 새만금[소] | 5.32 | 185 | 36 | 36 | 616 | 1,082 | 5 | ★ |
| 새만금[대] | 5.32 | 405 | 36 | 60 | 1,067 | 1,004 | 2 | ★ |
| 해주만[소] | 5.75 | 582 | 36 | 200 | 2,632 | 1,351 | 7 | |
| 해주만[대] | 5.75 | 631 | 36 | 230 | 2,999 | 1,367 | 8 | |

※ 각 후보지별 36개안에 대한 개략경제성 검토를 통한 적정개발규모 파악

※ 후보지별 적정개발안에 대한 경제적 비교를 통한 개발 우선순위 선정

※ ★ : 기존에 조력발전 후보지로 검토된 바 없어 관련 자료가 거의 없고, 대규모 연안 개발에 따른 환경문제 발생으로 사회적 혼란을 야기하고 있는 새만금 해역에 대한 조사가 시급하고 중요한 것으로 판단되어 2차년도 조사지역으로 선정

제3장

새만금 조력발전 타당성 검토

제3장 새만금 조력발전 타당성 검토

새만금 간척사업은 사업은 방조제 33km를 조성하여 40,100ha의 토지 및 담수호를 조성하는 것으로 '91년 착공하여 사업추진 중 환경단체 등의 문제 제기로 환경보전대책을 마련한 후 추진키로 하는 “친환경순차개발계획”(물관리정책조정위원회, 2001. 5. 25)을 정부의 최종방침으로 확정한 바 있다.

새만금 친환경순차개발계획의 내용으로는 우선 방조제를 완공하고 내부간척지는 수질 여건에 따라 단계적으로 추진하는 순차개발추진이며 추진절차는 1) 방조제 완공→ 2) 동진수역우선개발→ 3) 만경수역 수질기준확보 후 개발이다(<그림 3.1.1> 참조). 이외의 계획 내용으로는 1) 만경강·동진강 유역, 새만금호, 연안해역에 대한 수질 및 해양 환경보전대책을 차질 없이 추진, 2) 내부간척지 친환경적 이용, 3) 수질개선, 친환경간척, 해양환경보전방안에 대한 조사연구실시 및 추가대책 발굴, 4) 수질보전대책, 친환경간척 추진에 대한 점검·평가 등이 있다.



<그림 3.1.1> 새만금사업 순차개발 방안(농업기반공사, 2005).

따라서 본 조사에서는 새만금순차개발계획에 의거하여 새만금 내부 방수제를 조성한다는 전제하에 새만금 조력개발을 대용량과 소용량으로 구분하였고, 발전방식으로는 낙조식과 창조식을 각각 적용하여 총 4개안의 조력발전 개발방안을 도출하였다. 또한 이들에 대한 안별 조력발전 시스템 배치계획 및 개략공사비를 산정하였고, 발전량을 산출하여 안별 특성을 비교하였으며 새만금순차개발계획을 감안하여 만경수역에 창조식 조력발전방식을 적용할 경우에 대한 개략경제성 검토를 수행하였다.

제1절에서는 조력발전 검토시 기초자료로 활용되는 새만금 해역의 조석, 조류 및 퇴적물 이동특성에 대한 조사 및 분석결과를 나타내었고, 제2절에서는 새만금 해역에 조력발전소 가동시 조석체계변화를 예측하였으며, 제3절에서는 새만금 조력발전시스템 배치계획, 개략공사비 산정, 발전량 산출 및 개략경제성 검토를 수행하였다.

제1절 새만금 해역 해양특성 조사 및 분석

1. 새만금 해역 조석관측 및 태안 해상 조류관측 결과

가. 새만금 해역 조석관측 결과

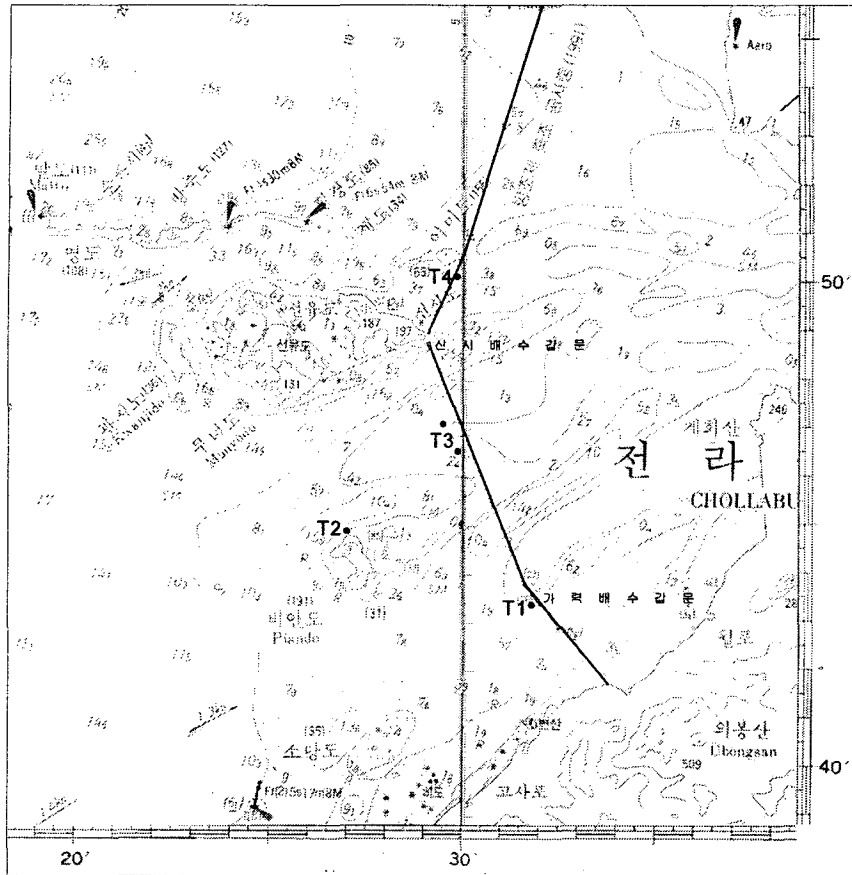
새만금 해역의 조석에너지 산출을 위한 기본자료 확보를 목적으로 조석관측을 실시하였다. 특히 2006년 3월 24일 ~ 4월 21일 사이 새만금 해역의 최종 물막이 공사가 완료됨에 따라 방조제 완공 전후의 조석특성 비교자료 확보 및 수치모델 검증자료 확보를 목적으로 관측 자료를 확보하고자 하였으나, 끝물막이 후에도 가력 및 신시배수갑문이 개방되어 여전히 상당량의 해수가 유통되기 때문에 급격한 조석변화는 나타나지 않고 있다. 새만금 해역에서는 모두 4개 지점에서 조석 관측이 실시되었다. 초기에는 방조제 내외에서, 2005년 3월 이후에는 방조제 외측에서만 관측하였다.

관측 위치도는 <그림 3.1.2>과 같으며, T3의 위치는 현장 여건에 따라 일부 위치 이동이 있었다. 관측점 T1, T2, T3는 방조제가 완공될 경우 조위변화가 가장 크게 나타나는 지점으로서 수치모델 결과를 비교하기 쉬운 지점이다. 관측지점에서 자료는 지점에 따라 2004년 9월부터 관측이 실시되었으며, 관측결과는 <그림 3.1.3>에 제시하였고, 지점별

관측기간은 <표 3.1.1>에 제시하였다.

각 관측점에서 주요 4개 분조의 진폭 및 지각은 M2의 경우, 210 ~ 215cm로서 변화 폭이 크지 않고, S2의 경우는 78 ~ 81cm 정도이다. K1의 진폭은 시기에 따라 차이가 있으나, 31 ~ 36cm 내외이며, O1 분조의 경우, 24 ~ 28cm의 분포를 보인다. 대개의 관측이 지난 2005년 9월부터 2006년 봄에 걸쳐 실시되었고, 그 시기에 최종 물막이가 이루어져 계절변화와 지형변화에 의한 변화가 중첩되어 분석이 용이하지 않다. 특히 가력수로와 신시수로를 통한 물길이 계속 개방되어 방조제 건설전후의 영향이 완벽하게 나타나지는 않고 있다. 이러한 이유로 방조제 건설에 따른 변화를 파악하기 위해서는 앞으로도 계속적인 관측이 필요할 것으로 생각된다. 각 관측점에서의 관측기간별로 수집된 자료를 대상으로 조화분해를 실시하였다. 산출된 조석조화분석 결과를 <표 2.3.2>에 제시하였다.

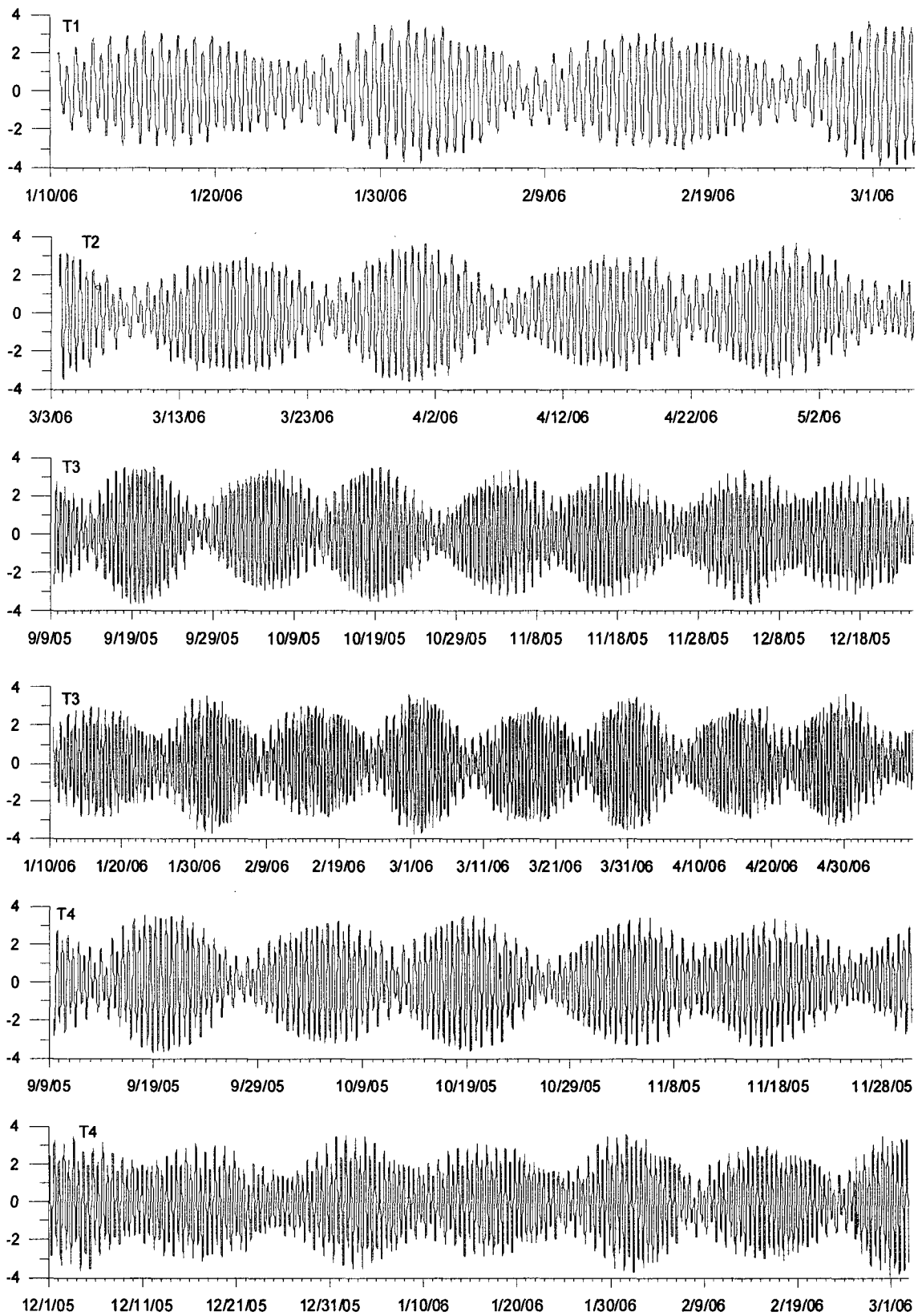
관측자료 분석 결과는 개발단계에 따른 조석특성 변화를 평가에 이용됨은 물론, 방조제 혹은 조력발전 개발 단계에 따른 조석체계 변화에 대한 모델검증 자료로 활용될 예정이다. 한가지 언급할 사항은 우리나라 서해안은 성층효과로 인해 조석이 계절변화(Kang et al., 1995; Kang et al., 2002)를 하는 것으로 알려져 있기 때문에 정확한 평가를 위해서는 최소 1년여의 장기자료 분석에 입각한 분조 특성계산이 필요하다는 점이다. 본 사업에서 얻어진 축적한 자료는 향후 이 지점에서 조력발전소개발 계획이 가시화하는 경우, 궁극적으로 발전량 평가의 신뢰성을 향상시키는 데 활용될 것이다. 비공식적으로 1개 지점에서는 본 사업종료와 관계없이 추가적인 자료 관측이 계속되고 있다. 장기 자료가 제한된 경우, 평균적인 특성과 유사하다고 판단할 수 있는 준계자료나 이용 가능한 자료를 활용할 수 있으나 그에 따른 오차는 염두에 두어야 한다.



<그림 3.1.2> 새만금 해역 조석관측 지점.

<표 3.1.1> 새만금 조석관측 기간.

| 지점 | 관측기간 | 위경도 |
|----|------------------------|--------------------------|
| T1 | 2006 1/10 - 2006 3/3 | 35-43-21, 126-31-48 |
| T2 | 2006 3/3 - 2006 5/9 | 35-44-8.64, 126-26-39.24 |
| T3 | 2005 9/9 - 2005 12/24 | 35-46-39, 126-29-50.7 |
| | 2006 1/10 - 2006 3/3 | 35-47-03, 126-29-30 |
| | 2006 3/3 - 2006 5/9 | 35-47-03, 126-29-30 |
| T4 | 2005 9/9 - 2005 11/17 | 35-50-08, 126-29-41 |
| | 2005 11/17 - 2006 1/10 | |
| | 2006 1/10 - 2006 3/2 | |



<그림 3.1.3> 4개 관측점(T1, T2, T3, T4)에서의 조석관측 결과.

<표 3.1.2> T1에서의 조화분석 결과.

| Location : Gunsan T1 (126 31 48, 35 43 21) | | | | | |
|--|-------------|-----------------|-----------------|----------|----------|
| Duration : 53 days (13:00, Jan.10, 2006 - 12:00, Mar. 3, 2006) | | | | | |
| Observed M. : 0.1146D-02, S.D. : 0.1652D+01 | | | | | |
| Residual M. : -0.5604D-04, S.D. : 0.1439D+00 | | | | | |
| ----- | | | | | |
| Related constituents Nrel= 8 | | | | | |
| ----- | | | | | |
| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
| ----- | | | | | |
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178647 | 0.0076 | 120.737 |
| 2 | P1 | K1 | 14.9589314 | 0.0977 | 271.647 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821353 | 0.0165 | 137.667 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232059 | 0.0102 | 233.557 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953548 | 0.0464 | 65.117 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125831 | 0.1171 | 49.357 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589333 | 0.0530 | 155.859 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821373 | 0.2444 | 121.779 |
| ----- | | | | | |
| Major constituents Nsig= 27 | | | | | |
| ----- | | | | | |
| No | Constituent | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) | |
| ----- | | | | | |
| 1 | Z0 | 0.0000000 | 0.0032 | 180.000 | |
| 2 | MM | 0.5443747 | 0.0567 | 199.838 | |
| 3 | MSF | 1.0158958 | 0.0534 | 343.051 | |
| 4 | Q1 | 13.3986609 | 0.0606 | 221.985 | |
| 5 | O1 | 13.9430356 | 0.2578 | 241.215 | |
| 6 | M1 | 14.4920521 | 0.0083 | 251.023 | |
| 7 | K1 | 15.0410686 | 0.3289 | 277.047 | |
| 8 | J1 | 15.5854433 | 0.0222 | 279.748 | |
| 9 | OO1 | 16.1391017 | 0.0147 | 328.329 | |
| 10 | MU2 | 27.9682084 | 0.0310 | 146.274 | |
| 11 | N2 | 28.4397295 | 0.3465 | 55.517 | |
| 12 | M2 | 28.9841042 | 2.1541 | 77.828 | |
| 13 | L2 | 29.5284789 | 0.1383 | 104.452 | |
| 14 | S2 | 30.0000000 | 0.8170 | 127.459 | |
| 15 | 2SM2 | 31.0158958 | 0.0438 | 43.231 | |
| 16 | MO3 | 42.9271398 | 0.0146 | 104.704 | |
| 17 | M3 | 43.4761563 | 0.0090 | 229.590 | |
| 18 | MK3 | 44.0251729 | 0.0233 | 205.238 | |
| 19 | MN4 | 57.4238337 | 0.0370 | 67.351 | |
| 20 | M4 | 57.9682084 | 0.0794 | 72.622 | |
| 21 | SN4 | 58.4397295 | 0.0207 | 89.224 | |
| 22 | MS4 | 58.9841042 | 0.0574 | 133.822 | |
| 23 | 2MN6 | 86.4079380 | 0.0298 | 305.653 | |
| 24 | M6 | 86.9523127 | 0.0447 | 322.818 | |
| 25 | MSN6 | 87.4238337 | 0.0152 | 30.990 | |
| 26 | 2MS6 | 87.9682084 | 0.0613 | 35.675 | |
| 27 | 2SM6 | 88.9841042 | 0.0189 | 106.079 | |
| ----- | | | | | |

<표 3.1.3> T2에서의 조석 분석결과.

```

=====
Locatation : Gunsan T2 (126 26 39, 35 44 9)
Duration : 68 days (17:00, Mar. 3, 2006 - 9:00, May 9, 2006)
Observed M. : -0.1999D-02, S.D. : 0.1575D+01
Residual M. : 0.6925D-10, S.D. : 0.1504D+00
=====

```

Related constituents Nrel= 8

| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|----|-------------|-------------|-----------------|--------|----------|
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178647 | 0.0088 | 118.039 |
| 2 | P1 | K1 | 14.9589314 | 0.1130 | 268.949 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821353 | 0.0191 | 134.969 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232059 | 0.0118 | 230.859 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953548 | 0.0486 | 69.552 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125831 | 0.1227 | 53.792 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589333 | 0.0524 | 159.244 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821373 | 0.2414 | 125.164 |

Major constituents Nsig= 27

| No | Constituent | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|----|-------------|-----------------|--------|----------|
| 1 | Z0 | 0.0000000 | 0.0071 | 180.000 |
| 2 | MM | 0.5443747 | 0.0321 | 102.079 |
| 3 | MSF | 1.0158958 | 0.0302 | 167.489 |
| 4 | Q1 | 13.3986609 | 0.0642 | 198.978 |
| 5 | O1 | 13.9430356 | 0.2765 | 237.332 |
| 6 | M1 | 14.4920521 | 0.0170 | 252.745 |
| 7 | K1 | 15.0410686 | 0.3807 | 274.349 |
| 8 | J1 | 15.5854433 | 0.0246 | 312.842 |
| 9 | OO1 | 16.1391017 | 0.0094 | 304.442 |
| 10 | MU2 | 27.9682084 | 0.0217 | 88.393 |
| 11 | N2 | 28.4397295 | 0.3629 | 59.952 |
| 12 | M2 | 28.9841042 | 2.0854 | 77.678 |
| 13 | L2 | 29.5284789 | 0.0850 | 131.936 |
| 14 | S2 | 30.0000000 | 0.8075 | 130.844 |
| 15 | 2SM2 | 31.0158958 | 0.0353 | 16.325 |
| 16 | MO3 | 42.9271398 | 0.0120 | 95.461 |
| 17 | M3 | 43.4761563 | 0.0066 | 223.567 |
| 18 | MK3 | 44.0251729 | 0.0063 | 165.398 |
| 19 | MN4 | 57.4238337 | 0.0341 | 46.643 |
| 20 | M4 | 57.9682084 | 0.0729 | 71.363 |
| 21 | SN4 | 58.4397295 | 0.0130 | 67.641 |
| 22 | MS4 | 58.9841042 | 0.0585 | 103.003 |
| 23 | 2MN6 | 86.4079380 | 0.0154 | 281.206 |
| 24 | M6 | 86.9523127 | 0.0297 | 324.850 |
| 25 | MSN6 | 87.4238337 | 0.0141 | 351.736 |
| 26 | 2MS6 | 87.9682084 | 0.0487 | 18.901 |
| 27 | 2SM6 | 88.9841042 | 0.0198 | 72.680 |

<표 3.1.4a> T3 1차 관측치의 조화분석 결과.

| Locatation : Gunsan T3 (126 29 51, 35 46 39) Duration : 107 days (14:00, Sep. 9, 2005 - 14:00, Dec.24, 2005) Observed M. : 0.2043D-02, S.D. : 0.1608D+01 Residual M. : 0.2217D-05, S.D. : 0.1734D+00 | | | | | |
|---|-------------|-------------|-----------------|--------|----------|
| Related constituents Nrel= 8 | | | | | |
| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178647 | 0.0080 | 122.057 |
| 2 | P1 | K1 | 14.9589314 | 0.1026 | 272.966 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821353 | 0.0173 | 138.987 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232059 | 0.0107 | 234.877 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953548 | 0.0568 | 70.622 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125831 | 0.1434 | 54.862 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589333 | 0.0533 | 161.603 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821373 | 0.2449 | 127.523 |
| Major constituents Nsig= 27 | | | | | |
| No | Constituent | | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
| 1 | Z0 | | 0.0000000 | 0.0017 | 0.000 |
| 2 | MM | | 0.5443747 | 0.0587 | 271.353 |
| 3 | MSF | | 1.0158958 | 0.0417 | 222.982 |
| 4 | Q1 | | 13.3986609 | 0.0439 | 208.485 |
| 5 | O1 | | 13.9430356 | 0.2648 | 240.071 |
| 6 | M1 | | 14.4920521 | 0.0099 | 299.362 |
| 7 | K1 | | 15.0410686 | 0.3451 | 278.367 |
| 8 | J1 | | 15.5854433 | 0.0216 | 327.583 |
| 9 | OO1 | | 16.1391017 | 0.0107 | 311.973 |
| 10 | MU2 | | 27.9682084 | 0.0409 | 149.052 |
| 11 | N2 | | 28.4397295 | 0.4242 | 61.022 |
| 12 | M2 | | 28.9841042 | 2.1416 | 80.617 |
| 13 | L2 | | 29.5284789 | 0.0532 | 102.238 |
| 14 | S2 | | 30.0000000 | 0.8189 | 133.202 |
| 15 | 2SM2 | | 31.0158958 | 0.0250 | 335.328 |
| 16 | MO3 | | 42.9271398 | 0.0180 | 90.688 |
| 17 | M3 | | 43.4761563 | 0.0119 | 255.561 |
| 18 | MK3 | | 44.0251729 | 0.0192 | 144.048 |
| 19 | MN4 | | 57.4238337 | 0.0297 | 56.935 |
| 20 | M4 | | 57.9682084 | 0.0656 | 99.880 |
| 21 | SN4 | | 58.4397295 | 0.0085 | 58.697 |
| 22 | MS4 | | 58.9841042 | 0.0385 | 118.427 |
| 23 | 2MN6 | | 86.4079380 | 0.0205 | 300.330 |
| 24 | M6 | | 86.9523127 | 0.0497 | 328.638 |
| 25 | MSN6 | | 87.4238337 | 0.0181 | 343.416 |
| 26 | 2MS6 | | 87.9682084 | 0.0673 | 5.205 |
| 27 | 2SM6 | | 88.9841042 | 0.0175 | 40.099 |

<표 3.1.4b> T3 2차 관측치의 조화분석 결과.

```

=====
Locatation : Gunsan T3 (126 29 30, 35 47 3)
Duration : 53 days (14:00, Jan. 10, 2006 - 11:00, Mar. 3, 2006)
Observed M. : 0.9631D-03, S.D. : 0.1608D+01
Residual M. : -0.2873D-04, S.D. : 0.1374D+00
=====

```

Related constituents Nrel= 8

| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|----|-------------|-------------|-----------------|--------|----------|
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178647 | 0.0074 | 121.769 |
| 2 | P1 | K1 | 14.9589314 | 0.0948 | 272.679 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821353 | 0.0160 | 138.699 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232059 | 0.0099 | 234.589 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953548 | 0.0452 | 67.162 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125831 | 0.1144 | 51.402 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589333 | 0.0516 | 157.773 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821373 | 0.2376 | 123.693 |

Major constituents Nsig= 27

| No | Constituent | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|----|-------------|-----------------|--------|----------|
| 1 | Z0 | 0.0000000 | 0.0070 | 180.000 |
| 2 | MM | 0.5443747 | 0.0715 | 215.726 |
| 3 | MSF | 1.0158958 | 0.0688 | 330.071 |
| 4 | Q1 | 13.3986609 | 0.0598 | 222.156 |
| 5 | O1 | 13.9430356 | 0.2519 | 242.479 |
| 6 | M1 | 14.4920521 | 0.0077 | 253.371 |
| 7 | K1 | 15.0410686 | 0.3193 | 278.079 |
| 8 | J1 | 15.5854433 | 0.0220 | 279.440 |
| 9 | O01 | 16.1391017 | 0.0145 | 326.790 |
| 10 | MU2 | 27.9682084 | 0.0300 | 149.668 |
| 11 | N2 | 28.4397295 | 0.3384 | 57.562 |
| 12 | M2 | 28.9841042 | 2.0999 | 79.717 |
| 13 | L2 | 29.5284789 | 0.1395 | 105.695 |
| 14 | S2 | 30.0000000 | 0.7946 | 129.373 |
| 15 | 2SM2 | 31.0158958 | 0.0430 | 44.635 |
| 16 | M03 | 42.9271398 | 0.0151 | 100.332 |
| 17 | M3 | 43.4761563 | 0.0089 | 228.901 |
| 18 | MK3 | 44.0251729 | 0.0211 | 206.372 |
| 19 | MN4 | 57.4238337 | 0.0325 | 82.134 |
| 20 | M4 | 57.9682084 | 0.0674 | 89.767 |
| 21 | SN4 | 58.4397295 | 0.0184 | 91.028 |
| 22 | MS4 | 58.9841042 | 0.0460 | 152.542 |
| 23 | 2MN6 | 86.4079380 | 0.0313 | 307.097 |
| 24 | M6 | 86.9523127 | 0.0482 | 325.083 |
| 25 | MSN6 | 87.4238337 | 0.0148 | 28.442 |
| 26 | 2MS6 | 87.9682084 | 0.0677 | 37.410 |
| 27 | 2SM6 | 88.9841042 | 0.0205 | 107.252 |

<표 3.1.4c> T3 3차 관측치의 조화분석 결과.

Locatation : Gunsan T3 (126 29 30, 35 47 3)
 Duration : 68 days (15:00, Mar. 3, 2006 - 12:00, May 9, 2006)
 Observed M. : -0.4047D-03, S.D. : 0.1553D+01
 Residual M. : -0.2347D-09, S.D. : 0.1577D+00

Related constituents Nrel= 8

| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|----|-------------|-------------|-----------------|--------|----------|
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178647 | 0.0086 | 118.880 |
| 2 | P1 | K1 | 14.9589314 | 0.1107 | 269.790 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821353 | 0.0187 | 135.810 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232059 | 0.0115 | 231.700 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953548 | 0.0474 | 70.649 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125831 | 0.1198 | 54.889 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589333 | 0.0516 | 161.013 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821373 | 0.2375 | 126.933 |

Major constituents Nsig= 27

| No | Constituent | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|----|-------------|-----------------|--------|----------|
| 1 | Z0 | 0.0000000 | 0.0094 | 180.000 |
| 2 | MM | 0.5443747 | 0.0309 | 102.637 |
| 3 | MSF | 1.0158958 | 0.0339 | 182.231 |
| 4 | Q1 | 13.3986609 | 0.0628 | 200.277 |
| 5 | O1 | 13.9430356 | 0.2708 | 237.930 |
| 6 | M1 | 14.4920521 | 0.0163 | 253.747 |
| 7 | K1 | 15.0410686 | 0.3728 | 275.190 |
| 8 | J1 | 15.5854433 | 0.0237 | 311.905 |
| 9 | OO1 | 16.1391017 | 0.0089 | 310.846 |
| 10 | MU2 | 27.9682084 | 0.0235 | 95.422 |
| 11 | N2 | 28.4397295 | 0.3545 | 61.049 |
| 12 | M2 | 28.9841042 | 2.0580 | 79.115 |
| 13 | L2 | 29.5284789 | 0.0863 | 135.364 |
| 14 | S2 | 30.0000000 | 0.7940 | 132.613 |
| 15 | 2SM2 | 31.0158958 | 0.0368 | 13.504 |
| 16 | MO3 | 42.9271398 | 0.0118 | 91.456 |
| 17 | M3 | 43.4761563 | 0.0068 | 228.011 |
| 18 | MK3 | 44.0251729 | 0.0062 | 167.136 |
| 19 | MN4 | 57.4238337 | 0.0339 | 54.934 |
| 20 | M4 | 57.9682084 | 0.0693 | 79.308 |
| 21 | SN4 | 58.4397295 | 0.0125 | 61.330 |
| 22 | MS4 | 58.9841042 | 0.0509 | 111.333 |
| 23 | 2MN6 | 86.4079380 | 0.0184 | 282.238 |
| 24 | M6 | 86.9523127 | 0.0333 | 329.704 |
| 25 | MSN6 | 87.4238337 | 0.0154 | 355.109 |
| 26 | 2MS6 | 87.9682084 | 0.0572 | 24.291 |
| 27 | 2SM6 | 88.9841042 | 0.0234 | 76.542 |

<표 3.1.5a> T4 1차 관측치의 조화분석 결과.

| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|--|-------------|-------------|-----------------|--------|----------|
| Location : Gunsan T4 (126 29 41, 35 50 8) | | | | | |
| Duration : 70 days (13:00, Sep. 9, 2005 - 12:00, Nov.17, 2005) | | | | | |
| Observed M. : 0.2011D-02, S.D. : 0.1622D+01 | | | | | |
| Residual M. : -0.3244D-04, S.D. : 0.1114D+00 | | | | | |
| ----- | | | | | |
| Related constituents | | | Nrel= 8 | | |
| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178647 | 0.0078 | 131.109 |
| 2 | P1 | K1 | 14.9589314 | 0.1008 | 282.019 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821353 | 0.0170 | 148.039 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232059 | 0.0105 | 243.929 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953548 | 0.0545 | 91.727 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125831 | 0.1378 | 75.967 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589333 | 0.0512 | 179.809 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821373 | 0.2355 | 145.729 |
| ----- | | | | | |
| Major constituents | | | Nsig= 27 | | |
| No | Constituent | | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
| 1 | Z0 | | 0.0000000 | 0.0056 | 0.000 |
| 2 | MM | | 0.5443747 | 0.0128 | 354.359 |
| 3 | MSF | | 1.0158958 | 0.0229 | 134.154 |
| 4 | Q1 | | 13.3986609 | 0.0536 | 207.748 |
| 5 | O1 | | 13.9430356 | 0.2770 | 247.439 |
| 6 | M1 | | 14.4920521 | 0.0145 | 260.744 |
| 7 | K1 | | 15.0410686 | 0.3395 | 287.419 |
| 8 | J1 | | 15.5854433 | 0.0253 | 334.459 |
| 9 | OO1 | | 16.1391017 | 0.0078 | 3.415 |
| 10 | MU2 | | 27.9682084 | 0.1303 | 156.192 |
| 11 | N2 | | 28.4397295 | 0.4075 | 82.127 |
| 12 | M2 | | 28.9841042 | 2.1115 | 94.747 |
| 13 | L2 | | 29.5284789 | 0.0754 | 133.416 |
| 14 | S2 | | 30.0000000 | 0.7874 | 151.409 |
| 15 | 2SM2 | | 31.0158958 | 0.0481 | 322.171 |
| 16 | MO3 | | 42.9271398 | 0.0286 | 93.101 |
| 17 | M3 | | 43.4761563 | 0.0116 | 250.173 |
| 18 | MK3 | | 44.0251729 | 0.0191 | 111.498 |
| 19 | MN4 | | 57.4238337 | 0.0144 | 51.048 |
| 20 | M4 | | 57.9682084 | 0.0196 | 60.430 |
| 21 | SN4 | | 58.4397295 | 0.0111 | 28.244 |
| 22 | MS4 | | 58.9841042 | 0.0357 | 49.859 |
| 23 | 2MN6 | | 86.4079380 | 0.0206 | 277.356 |
| 24 | M6 | | 86.9523127 | 0.0382 | 317.552 |
| 25 | MSN6 | | 87.4238337 | 0.0172 | 329.043 |
| 26 | 2MS6 | | 87.9682084 | 0.0606 | 352.731 |
| 27 | 2SM6 | | 88.9841042 | 0.0233 | 22.880 |

<표 3.1.5b> T4 2차 관측치의 조화분석 결과.

=====
 Locatation : Gunsan T4 (126 29 41, 35 50 8)
 Duration : 54 days (17:00, Nov.17, 2005 - 11:00, Jan.10, 2006)
 Observed M. : -0.5407D-02, S.D. : 0.1544D+01
 Residual M. : -0.1846D-04, S.D. : 0.1755D+00
 =====

Related constituents Nrel= 8

| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|----|-------------|-------------|-----------------|--------|----------|
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178647 | 0.0082 | 128.363 |
| 2 | PI | K1 | 14.9589314 | 0.1056 | 279.273 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821353 | 0.0178 | 145.293 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232059 | 0.0110 | 241.183 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953548 | 0.0514 | 74.736 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125831 | 0.1300 | 58.976 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589333 | 0.0529 | 173.743 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821373 | 0.2436 | 139.663 |

=====
 Major constituents Nsig= 27

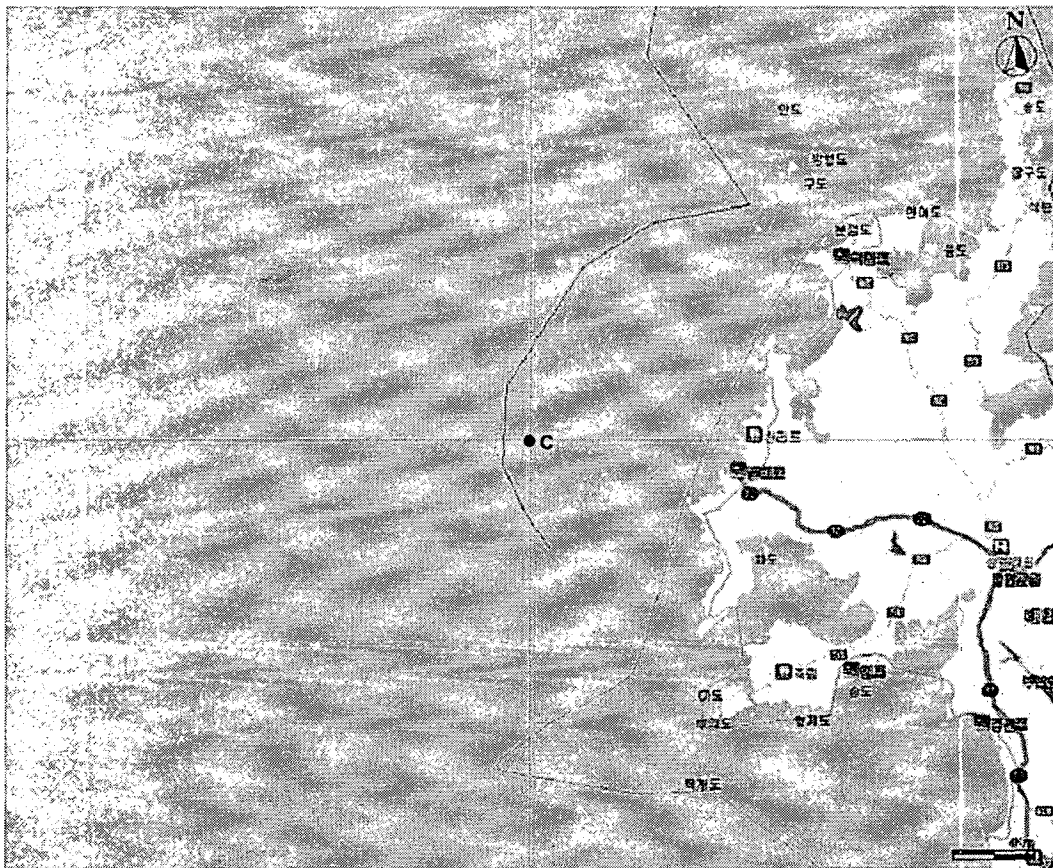
| No | Constituent | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
|----|-------------|-----------------|--------|----------|
| 1 | Z0 | 0.0000000 | 0.0029 | 180.000 |
| 2 | MM | 0.5443747 | 0.0405 | 247.735 |
| 3 | MSF | 1.0158958 | 0.0222 | 280.964 |
| 4 | Q1 | 13.3986609 | 0.0370 | 248.153 |
| 5 | O1 | 13.9430356 | 0.2423 | 248.161 |
| 6 | M1 | 14.4920521 | 0.0092 | 348.720 |
| 7 | K1 | 15.0410686 | 0.3553 | 284.673 |
| 8 | J1 | 15.5854433 | 0.0207 | 335.065 |
| 9 | OO1 | 16.1391017 | 0.0101 | 307.246 |
| 10 | MU2 | 27.9682084 | 0.0908 | 158.294 |
| 11 | N2 | 28.4397295 | 0.3846 | 65.136 |
| 12 | M2 | 28.9841042 | 2.1372 | 91.359 |
| 13 | L2 | 29.5284789 | 0.0872 | 80.991 |
| 14 | S2 | 30.0000000 | 0.8146 | 145.343 |
| 15 | 2SM2 | 31.0158958 | 0.0314 | 342.671 |
| 16 | MO3 | 42.9271398 | 0.0373 | 87.289 |
| 17 | M3 | 43.4761563 | 0.0175 | 302.836 |
| 18 | MK3 | 44.0251729 | 0.0423 | 147.870 |
| 19 | MN4 | 57.4238337 | 0.0165 | 38.644 |
| 20 | M4 | 57.9682084 | 0.0143 | 95.490 |
| 21 | SN4 | 58.4397295 | 0.0047 | 91.766 |
| 22 | MS4 | 58.9841042 | 0.0206 | 65.512 |
| 23 | 2MN6 | 86.4079380 | 0.0179 | 296.790 |
| 24 | M6 | 86.9523127 | 0.0444 | 313.619 |
| 25 | MSN6 | 87.4238337 | 0.0084 | 318.417 |
| 26 | 2MS6 | 87.9682084 | 0.0335 | 353.164 |
| 27 | 2SM6 | 88.9841042 | 0.0062 | 13.838 |

<표 3.1.5c> T4 3차 관측치의 조화분석 결과.

| | | | | | |
|----------------------|-------------|--|----------------------|------------|----------|
| Locatation | | : Gunsan T4 | (126 29 41, 35 50 8) | | |
| Duration | | : 52 days (15:00, Jan. 10, 2006 - 20:00, Mar. 2, 2006) | | | |
| Observed M. | | : 0.2805D-02, | S.D. : | 0.1592D+01 | |
| Residual M. | | : 0.1436D-04, | S.D. : | 0.4272D+00 | |
| ----- | | | | | |
| Related constituents | | | Nrel= 8 | | |
| No | Rel. const. | Ref. const. | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
| 1 | PI1 | K1 | 14.9178647 | 0.0060 | 120.835 |
| 2 | P1 | K1 | 14.9589314 | 0.0774 | 271.745 |
| 3 | PSI1 | K1 | 15.0821353 | 0.0130 | 137.765 |
| 4 | PHI1 | K1 | 15.1232059 | 0.0081 | 233.655 |
| 5 | 2N2 | N2 | 27.8953548 | 0.0428 | 57.200 |
| 6 | NU2 | N2 | 28.5125831 | 0.1081 | 41.440 |
| 7 | T2 | S2 | 29.9589333 | 0.0474 | 166.241 |
| 8 | K2 | S2 | 30.0821373 | 0.2181 | 132.161 |
| ----- | | | | | |
| Major constituents | | | Nsig= 27 | | |
| No | Constituent | | Speed (deg./hr) | H (m) | g (deg.) |
| 1 | Z0 | | 0.0000000 | 0.0078 | 180.000 |
| 2 | MM | | 0.5443747 | 0.0596 | 201.669 |
| 3 | MSF | | 1.0158958 | 0.0528 | 352.929 |
| 4 | Q1 | | 13.3986609 | 0.0248 | 309.991 |
| 5 | O1 | | 13.9430356 | 0.2057 | 262.230 |
| 6 | M1 | | 14.4920521 | 0.0428 | 174.385 |
| 7 | K1 | | 15.0410686 | 0.2606 | 277.145 |
| 8 | J1 | | 15.5854433 | 0.0426 | 158.393 |
| 9 | OO1 | | 16.1391017 | 0.0301 | 42.133 |
| 10 | MU2 | | 27.9682084 | 0.0400 | 285.574 |
| 11 | N2 | | 28.4397295 | 0.3198 | 47.600 |
| 12 | M2 | | 28.9841042 | 2.0594 | 87.504 |
| 13 | L2 | | 29.5284789 | 0.1921 | 163.414 |
| 14 | S2 | | 30.0000000 | 0.7293 | 137.841 |
| 15 | 2SM2 | | 31.0158958 | 0.1736 | 56.304 |
| 16 | MO3 | | 42.9271398 | 0.0271 | 55.340 |
| 17 | M3 | | 43.4761563 | 0.0292 | 210.654 |
| 18 | MK3 | | 44.0251729 | 0.0208 | 149.387 |
| 19 | MN4 | | 57.4238337 | 0.0091 | 205.495 |
| 20 | M4 | | 57.9682084 | 0.0132 | 50.254 |
| 21 | SN4 | | 58.4397295 | 0.0165 | 76.690 |
| 22 | MS4 | | 58.9841042 | 0.0311 | 78.954 |
| 23 | 2MN6 | | 86.4079380 | 0.0113 | 249.074 |
| 24 | M6 | | 86.9523127 | 0.0291 | 286.427 |
| 25 | MSN6 | | 87.4238337 | 0.0086 | 286.475 |
| 26 | 2MS6 | | 87.9682084 | 0.0414 | 7.456 |
| 27 | 2SM6 | | 88.9841042 | 0.0039 | 109.197 |

나. 태안해양 조류관측 결과

조석에너지의 계절별 변화특성을 파악하기 위한 목적으로 동계 충청남도 태안 인근 천리포앞 해상 수심 50m 지점에서 동계 조류 관측자료를 수집하였다. 위치는 36°47' 57"N, 126°00' 53"N이다. 5분 간격으로 자료를 관측하였으며, 매 1m 연직 해상도로 자료를 얻었으며, 해저에서 약 41m 수심까지의 자료가 전 관측기간 동안 유효한 특성을 보였다.

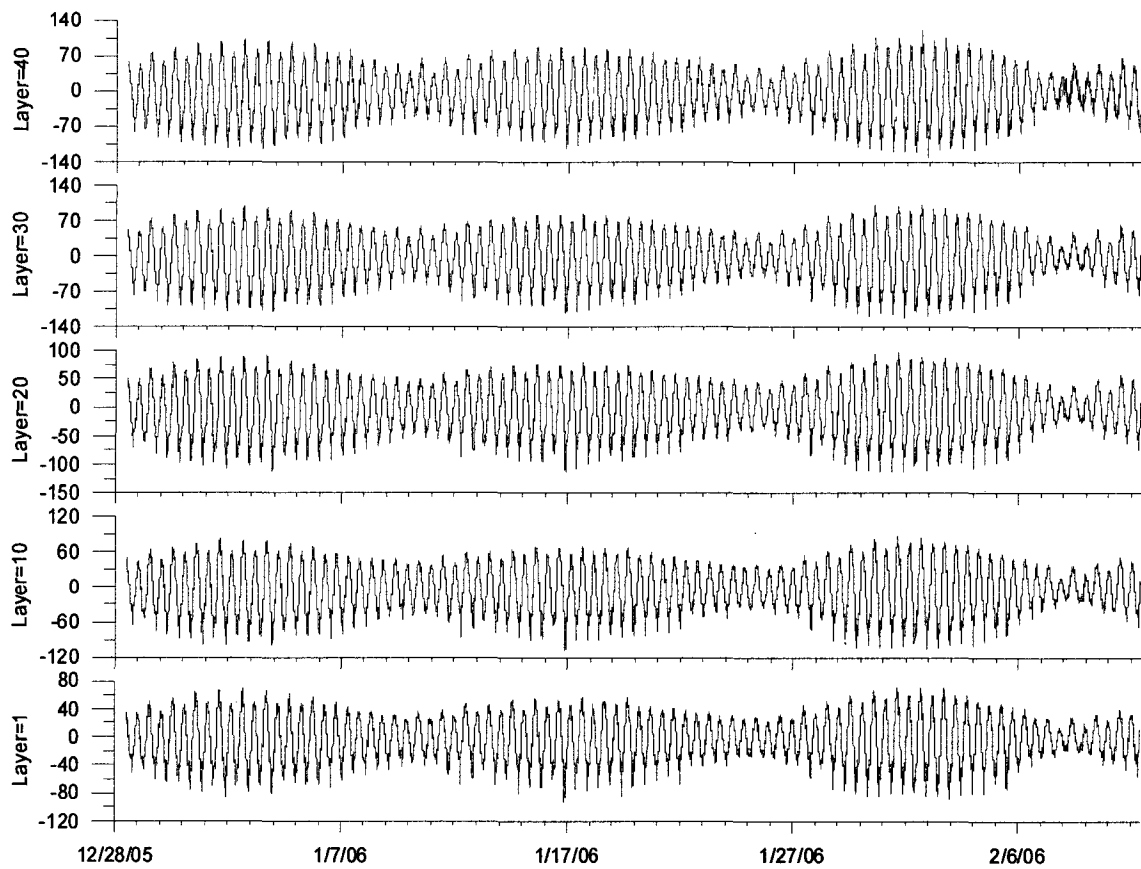


<그림 3.1.4> 태안 전면 해상 조류 관측지점(C).

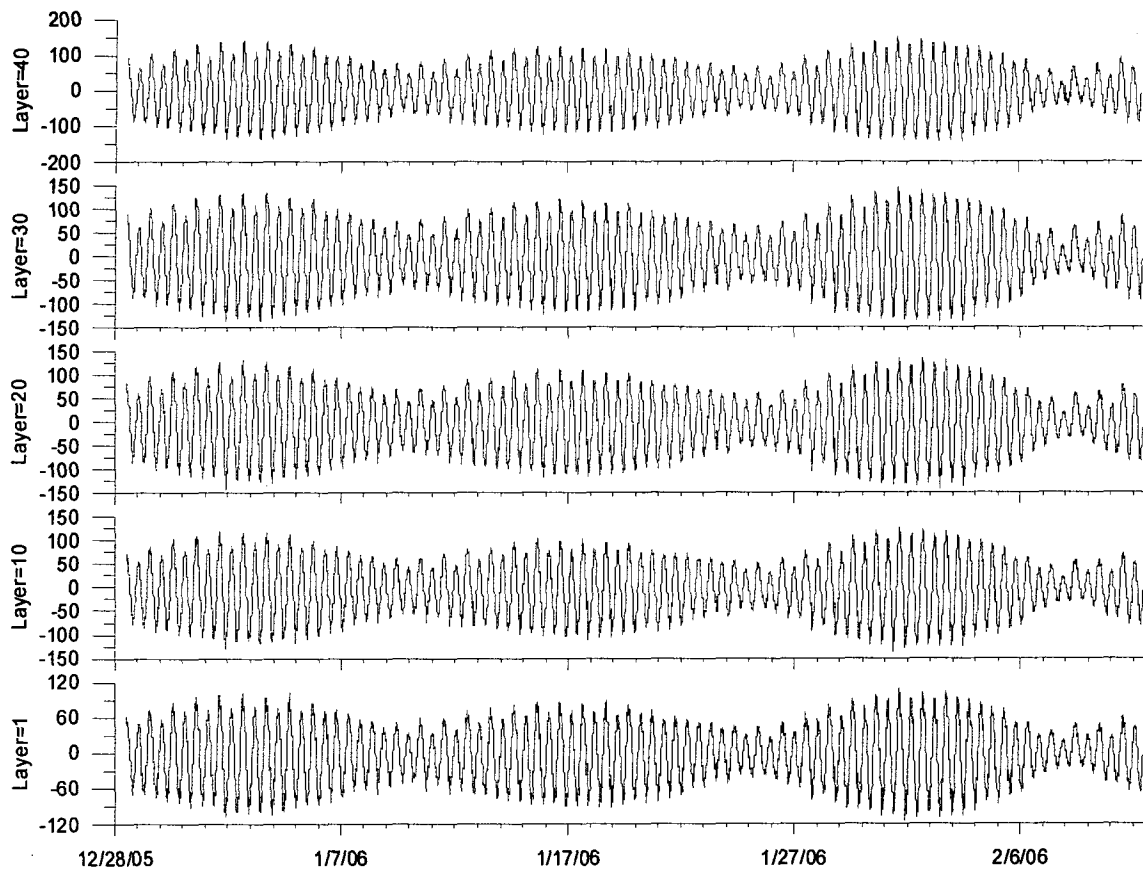
저층과 10m 간격으로 동서방향 유속을 <그림 3.1.5a>에 제시하였고, 남북방향 유속은 <그림 3.1.5b>에 제시하였다. 저층에서의 남북 성분은 대략 -60 ~ +80cm/s 내외의 분포를 보이며, 상층으로 갈수록 미약하게 증가하나 대체로 일정한 특성을 보인다. 40번째 상층에서의 유속은 대략 -100 ~ +100cm/s의 범위를 보인다. 남북성분도 비슷한 경향을 보이나 크기는 10 ~ 20% 정도 증가하는 특성을 보인다. 서해안에서는 대체로 남북 성분이 우세하나, 관측지점은 경기만 내부로 향하는 에너지가 모이는 지점으로서 남북성분과 동

서성분 차이가 크지 않다.

동계의 이러한 특성은 하계에 크게 바뀔 것으로 예상된다. 이러한 특성으로부터 동계와 하계의 조류의 계절변화 특성이 잘 나타날 것으로 판단되며, 추후 이러한 자료의 비교를 통해 조석, 조류에너지의 계절별 변환 혹은 분산(Scattering) 특징이 연구될 수 있을 것으로 생각된다. 이는 조석, 조류에너지 평가에 주요한 기본 자료가 될 것이다.



<그림 3.1.5a> 해저로부터 1, 10, 20, 30, 40층에서의 동서방향 유속성분.

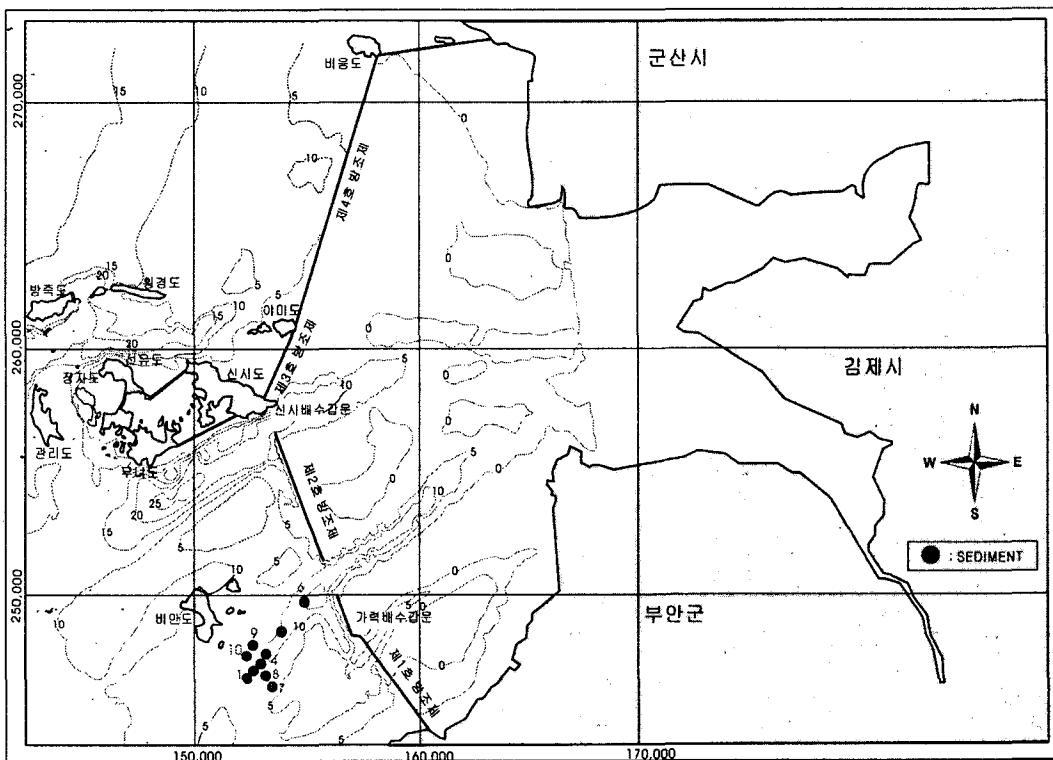


<그림 3.1.5b> 해저로부터 1, 10, 20, 30, 40층에서의 남북방향 유속성분.

2. 새만금 해역 퇴적물 이동특성 조사 결과

가. 해저퇴적물 분포 및 부유퇴적물 입도 특성

새만금 해역 퇴적물 이동특성 조사를 위하여 해저경계층 수리·퇴적 현상관측시스템 (SPHINX) 설치 위치 인근해역에서 2006년 1월 3일에 Grab을 이용하여 총 10점의 해저 퇴적물을 채취 채취하였다(<그림 3.1.6> 참조).



<그림 3.1.6> SPHINX 설치 인근해역의 해저퇴적물 채취 정점.

채취된 시료 중 $62.5\mu\text{m}$ 이상(4Φ 이하)의 조립질은 1Φ 간격의 건식채질(dry sieving)로, 그 이하의 세립질은 레이저 자동입도분석기(Mastersizer MAF 5000)를 이용하여 입도 분석을 수행하였다.

해저퇴적물의 입도분석 결과를 <표 3.1.6>에 제시하였다. 해저퇴적물의 평균입도는 $-0.04 \sim 2.99\Phi$ 의 범위로 조립한 사질퇴적물이 우세하다. 이는 방조제의 영향으로 형성된 수로의 강한 유속으로 인하여 미세퇴적물이 침식되고 조립의 퇴적물만이 수로 주변에 남아있기 때문인 것으로 판단된다.

<표 3.1.6> SPHINX 설치 인근해역의 해저퇴적물 입도분석 결과.

| St. No. | TM(m) | | Weight Composition(%) | | | | | | | | Sedi. Type | 비고 |
|---------|-----------|-----------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------------|---------|
| | X | Y | Grav. | Sand | Silt | Clay | T.Me* | SD* | SK* | Kt* | | |
| 01 | 152228.29 | 246577.58 | 5.29 | 92.06 | 2.17 | 0.48 | 0.68 | 0.82 | 0.07 | 1.48 | gS | |
| 02 | 152390.57 | 246854.13 | 0.45 | 68.43 | 25.66 | 5.46 | 2.25 | 2.78 | 0.70 | 0.82 | (g)mS | |
| 03 | 152769.02 | 247129.48 | 2.34 | 95.11 | 2.02 | 0.53 | 0.93 | 1.15 | -0.03 | 1.08 | (g)S | shell포함 |
| 04 | 153022.62 | 247559.59 | 3.93 | 94.38 | 1.37 | 0.31 | -0.04 | 0.79 | 0.28 | 0.96 | (g)S | |
| 05 | 153781.65 | 248541.80 | 0.71 | 91.72 | 6.38 | 1.19 | 2.06 | 1.32 | 0.38 | 1.17 | (g)S | shell포함 |
| 06 | 154818.45 | 249830.84 | 0.00 | 94.65 | 4.85 | 0.50 | 3.00 | 0.67 | 0.13 | 0.78 | S | |
| 07 | 153342.34 | 246232.71 | 0.00 | 97.34 | 2.41 | 0.24 | 2.83 | 0.64 | 0.23 | 0.83 | S | |
| 08 | 153068.21 | 246696.43 | 0.00 | 96.58 | 2.94 | 0.48 | 2.37 | 0.66 | -0.04 | 1.45 | S | shell포함 |
| 09 | 152320.80 | 247902.34 | 0.00 | 5.40 | 77.93 | 16.67 | 6.48 | 1.65 | 0.00 | 1.09 | Z | |
| 10 | 152617.41 | 246976.19 | 3.86 | 73.71 | 17.68 | 4.76 | 2.05 | 2.83 | 0.61 | 1.08 | (g)mS | SPHINX |

* T.Me(ϕ) : Total Mean Diameter, SD(ϕ) : Standard Deviation, SK(ϕ) : Skewness, Kt(ϕ) : Kurtosis
 gS : gravelly Sand, (g)S : slightly gravelly Sand, S : sand, (g)mS : slightly gravelly muddy Sand, Z : Silt

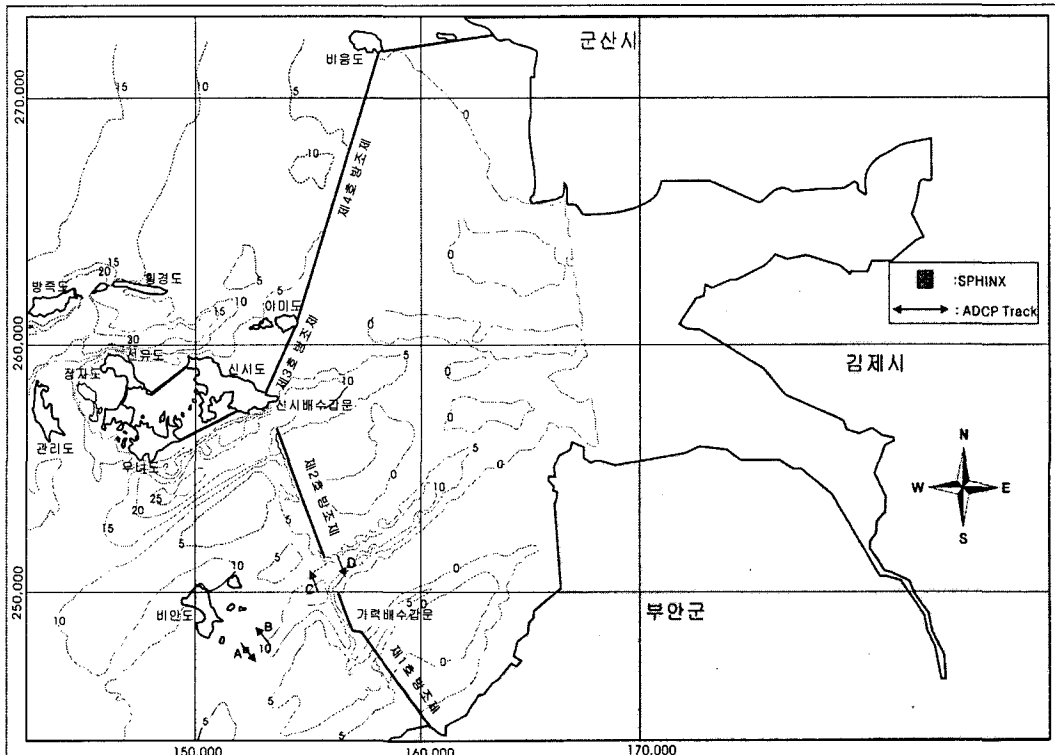
SPHINX를 설치한 정점에서 창·낙조시 부유퇴적물의 특성을 파악하기 위하여 입도 분석을 실시하였다<표 3.1.7 참조>. 이 정점에서 표층퇴적물의 평균입도가 2.05 ϕ 로 조립한 사질퇴적물인 반면, 중층과 저층의 부유퇴적물의 평균입도는 5.83 ~ 6.17 ϕ 범위이며, 실트질의 퇴적물이 우세하게 나타났다. 부유퇴적물의 구성비를 비교해 보면, 낙조시 저층에서 사질 함유량이 증가된 것을 알 수 있다.

<표 3.1.7> 창·낙조시 부유퇴적물의 입도 분포.

| 조석 시간 | 총 수심 (m) | 관측수심 (m) | 무게 함량비(%) | | | 평균입도 (ϕ) |
|------------|----------|----------|-----------|-------|-------|-----------------|
| | | | Sand | Silt | Clay | |
| 낙조 (11:00) | 10.7 | 5.0 | 14.13 | 56.12 | 28.85 | 6.02 |
| | | 10.0 | 20.85 | 49.51 | 28.80 | 5.83 |
| 창조 (15:30) | 14.4 | 7.0 | 12.46 | 60.19 | 26.54 | 5.99 |
| | | 14.0 | 12.84 | 52.45 | 33.70 | 6.17 |

나. 해저경계층 수리·퇴적현상 특성

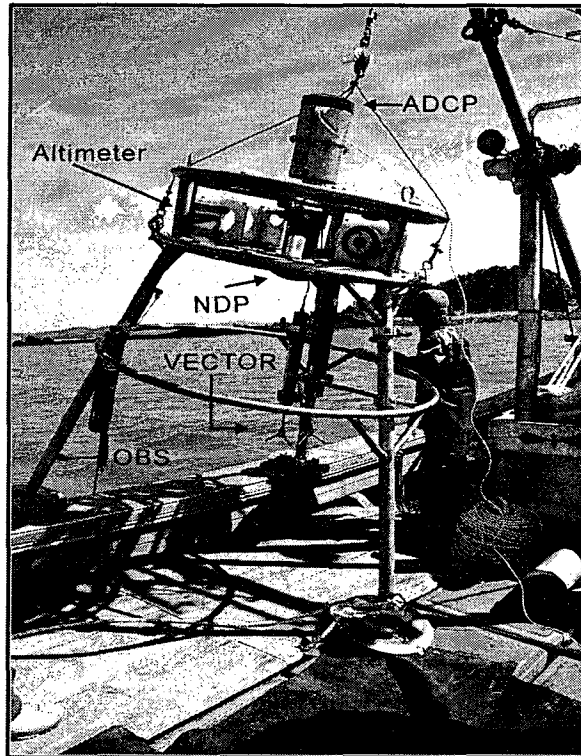
새만금 해역의 해저 경계층 유속 및 부유사 이동 특성 파악을 위하여 한국해양연구원 에서 구축한 최신의 해저 경계층 수리·퇴적현상 관측시스템(SPHINX)을 설치하여 15일 동안 관측하였다(<그림 3.1.7>, <표 3.1.8> 참조).



<그림 3.1.7> 해저 경계층 수리·퇴적현상 정점 및 부유사 단면 관측.

해저 경계층 수리·퇴적현상 관측시스템인 SPHINX는 2중주파수 음향표고계 DUFAL, 미국 D&A 社의 OBS 2개와 함께 노르웨이 Nortek 社가 제작한 초음파 유속계 3대 및 RDI 社에서 제작된 ADCP 1200kHz가 장착된다(<그림 3.1.9> 참조). 첫째는 1200kHz ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)로서 파랑의 방향스펙트럼을 측정할 뿐 아니라 표층까지의 2차원 유속과 농도(signal strength) 분포를 25cm 간격으로 0.5Hz로 관측한다. 둘째는 500kHz NDP(Nortek Acoustic Doppler Profiler)로서 하향 high resolution mode로 설치하여 SPHINX 상부에서 해저면까지 10cm 간격의 3차원 유속과 농도를 0.5Hz로 관측한다. 마지막은 2개의 Vector로서 해저면 근방 2개의 지점에서 3차원 유속과 농도를 최대 64Hz로 측정할 수 있다. 2개의 Vector에서 모든 자료를 동기제어하며,

하나의 OBS와 하나의 Vector를 1조로 하여 독립적으로 사용 할 수 있다.



<그림 3.1.8> 해저 경계층 수리·퇴적관측시스템 (SPHINX) 설치 전경.

<표 3.1.8> 해저 경계층 수리·퇴적현상 위치, 관측기간 및 방법.

| 위 치 | | 관측기간 | 관측장비 | 수심 |
|-----------------------|------------------------|-------------------|--------|-------|
| Latitude (TM-X) | Longitude (TM-Y) | | | |
| 34°52'05.1"(152617.4) | 127°31'00.2"(246976.2) | 2006. 1.04 ~ 1.20 | SPHINX | 약 10m |

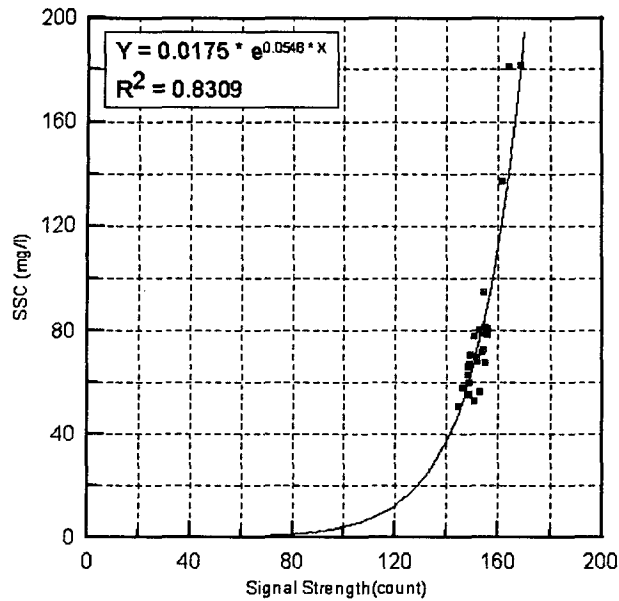
우선 VECTOR, OBS, DUFAL 그리고 채수기를 이용하여 저면상 25cm와 50cm에서 관측한 수심, 유속, 유의파고, 부유퇴적물 농도 및 음파신호강도를 <표 3.1.9>에 제시하였다. 이에 따르면, 부유퇴적물 농도는 시간에 따라 상당한 변화특성을 보이는 반면, OBS의 출력전압은 변화폭이 매우 미미하게 나타났다. 이에 본 조사에서는 OBS 출력전압보다는 VECTOR 수신신호강도를 이용하여 부유퇴적물 농도로 환산하는 것이 신뢰성 측면에서 우수할 것으로 판단하여, 이를 적용하여 부유퇴적물과의 상관관계를 구하여 부유퇴적물 농도 시계열을 산정하였다.

<표 3.1.9> 저면상 25cm 및 50cm에서 관측한 수리·퇴적특성 관측결과.

| D(cm) | Date & Time | Total Depth(m) | U (cm/s) | Hs (cm) | SSC (mg/l) | OBS (mV) | ASA |
|-------|---------------|----------------|----------|---------|------------|----------|-------|
| 25 | Jan. 04 13:30 | 10.6 | 23.3 | 34 | 137.4 | 13.461 | 161.2 |
| | 14:30 | 12.2 | 48.1 | 51 | 181.6 | 13.479 | 168.5 |
| | Jan. 14 12:30 | 13.4 | 49.3 | 63 | 80.3 | 13.471 | 152.5 |
| | 13:00 | 14.4 | 46.7 | 63 | 80.9 | 13.476 | 155.9 |
| | 13:30 | 14.7 | 44.5 | 75 | 81.6 | 13.485 | 154.6 |
| | 14:00 | 15.1 | 44.5 | 59 | 72.9 | 13.489 | 154.3 |
| | 14:30 | 15.5 | 40.0 | 62 | 72.0 | 13.5 | 153.4 |
| | 15:00 | 15.7 | 35.0 | 48 | 77.8 | 13.483 | 150.8 |
| | 15:30 | 15.8 | 27.5 | 45 | 67.4 | 13.489 | 148.6 |
| | 16:00 | 15.7 | 14.2 | 52 | 63.2 | 13.484 | 148.0 |
| 50 | Jan. 04 14:30 | 12.2 | 49.7 | 51 | 181.3 | 13.221 | 164.0 |
| | Jan. 14 11:00 | 11.4 | 32.4 | 55 | 50.9 | 13.189 | 144.5 |
| | 11:30 | 12.1 | 50.7 | 47 | 55.5 | 13.186 | 148.6 |
| | 12:00 | 12.8 | 52.7 | 59 | 53.0 | 13.189 | 150.5 |
| | 12:30 | 13.4 | 54.0 | 63 | 56.5 | 13.187 | 152.5 |
| | 13:00 | 14.1 | 51.7 | 63 | 78.7 | 13.193 | 155.9 |
| | 13:30 | 14.7 | 48.7 | 75 | 67.5 | 13.199 | 154.6 |
| | 14:00 | 15.1 | 49.2 | 59 | 94.6 | 13.210 | 154.3 |
| | 14:30 | 15.5 | 42.7 | 62 | 79.2 | 13.213 | 153.4 |
| | 15:30 | 15.8 | 29.7 | 45 | 60.2 | 13.220 | 148.6 |
| | 16:00 | 15.7 | 14.4 | 52 | 66.3 | 13.213 | 148.0 |
| | Jan. 19 11:30 | 10.5 | 34.0 | 20 | 68.4 | 13.201 | 151.6 |
| | 12:00 | 10.5 | 22.2 | 20 | 70.7 | 13.206 | 149.2 |
| | 12:30 | 10.6 | 13.5 | 27 | 66.1 | 13.201 | 147.8 |
| | 14:00 | 12.2 | 44.3 | 37 | 58.2 | 13.200 | 146.2 |
| | 15:30 | 14.1 | 50.9 | 54 | 69.8 | 13.219 | 151.6 |

D : Sampling depth above bottom
 ASA : Acoustic signal amplitude

VECTOR의 수신신호강도와 부유퇴적물 농도사이의 결정계수는 약 0.83으로 비교적 높은 상관관계를 보였다(<그림 3.1.9> 참조).



<그림 3.1.9> VECTOR 수신신호강도 검보정 결과.

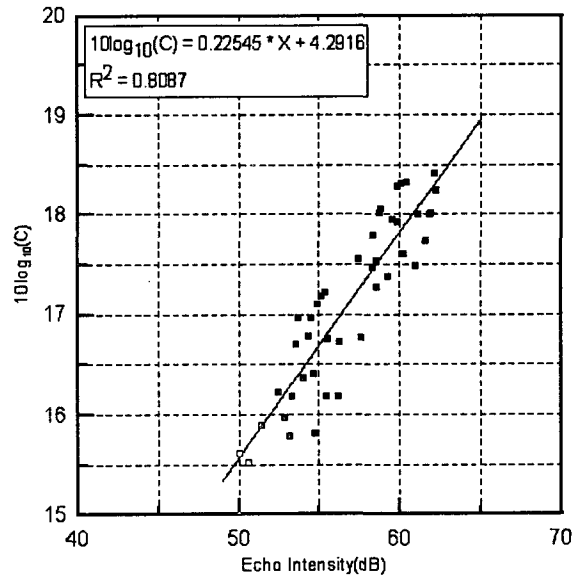
NDP와 ADCP에서 관측한 수심에 따른 층별 무차원 수신신호강도는 다음의 수식 (Nortek AS, 2001; RD Instruments, 2000)을 이용하여 후산란강도로 변환된다.

$$EL = Amp \times 0.43 + 20 \log(R) + 2a_w R + 20R \int a_p \cdot d_r \quad (1)$$

여기서 EL은 후산란강도(dB), Amp는 각 층으로부터 수신한 무차원 신호강도(RSSI: Received Signal Strength Indicator), R은 음원으로부터 해당 층까지의 연직거리, a_w 는 수온과 염분에 따라 변하는 물의 음파흡수계수(dB/m)이고, a_p 는 부유입자에 의한 음파흡수계수(dB/m)이다. NDP의 경우에는 RSSI의 값이 상부 몇 개 층에서 너무 낮아 후산란강도로 변환하지 못하였다.

변환된 후산란강도를 실제 농도로 변환하기 위하여 Patino & Byrne(2001)과 Gartner(2002)가 제시한 경험상 상관관계식을 이용하였고, 상관계수는 약 0.81 정도이다 (<그림 3.1.10>, <표 3.1.10> 참조).

$$10 \log_{10}(c) = A \cdot EL + B \quad (2)$$



<그림 3.1.10> ADCP 후산란강도 검보정 결과.

<표 3.1.10> 수층별 수리 현상에 따른 부유물질 농도와 비교한 후산란강도.

| Data & Time | Total depth(m) | cell depth(m) | Hs (cm) | U (cm) | SSC (mg/l) | Echo Intensity(dB) |
|------------------|----------------|---------------|---------|--------|------------|--------------------|
| Jan. 14 11:00 | 11.3 | 3.09 | 55 | 51.5 | 39.61 | 52.85 |
| | | 6.09 | | 53.8 | 46.77 | 53.55 |
| | | 8.84 | | 60.9 | 38.84 | 51.41 |
| 11:30 | 11.8 | 3.09 | 47 | 50.2 | 41.51 | 53.27 |
| | | 7.09 | | 68.5 | 43.32 | 54.05 |
| | | 9.84 | | 79.3 | 41.91 | 52.41 |
| 13:30 | 14.6 | 3.09 | 75 | 50.0 | 55.92 | 58.31 |
| | | 4.84 | | 65.4 | 69.43 | 62.15 |
| | | 12.09 | | 73.4 | 41.59 | 56.14 |
| 14:30 | 15.3 | 5.59 | 62 | 55.6 | 63.24 | 61.83 |
| | | 12.59 | | 66.0 | 47.05 | 56.24 |
| 15:00 | 15.6 | 3.34 | 48 | 48.7 | 57.67 | 60.23 |
| | | 8.09 | | 51.1 | 63.85 | 58.83 |
| | | 10.84 | | 57.5 | 56.97 | 57.45 |
| | | 13.09 | | 57.6 | 41.55 | 55.48 |
| 15:30 | 15.7 | 3.09 | 45 | 32.6 | 63.30 | 58.73 |
| | | 7.84 | | 35.2 | 62.05 | 59.87 |
| | | 12.59 | | 40.9 | 52.72 | 55.40 |
| 16:00 | 15.6 | 3.09 | 52 | 9.5 | 60.10 | 58.31 |
| | | 3.59 | | 16.2 | 59.40 | 61.58 |
| | | 6.59 | | 13.0 | 56.10 | 60.98 |

<표 3.1.10> 계속

| Data & Time | Total depth(m) | cell depth(m) | Hs (cm) | U (cm) | SSC (mg/l) | Echo Intensity(dB) |
|------------------|----------------|---------------|---------|--------|------------|--------------------|
| Jan. 19 11:00 | 10.1 | 5.59 | 25 | 59.2 | 66.75 | 62.25 |
| | | 7.84 | | 69.2 | 67.99 | 60.35 |
| 11:30 | 10.2 | 3.09 | 37 | 39.5 | 67.27 | 59.81 |
| | | 5.09 | | 43.4 | 63.09 | 61.13 |
| 12:00 | 10.3 | 3.84 | 28 | 32.9 | 67.76 | 60.06 |
| | | 9.84 | | 25.4 | 49.80 | 53.67 |
| 12:30 | 10.5 | 3.59 | 36 | 18.1 | 62.46 | 59.48 |
| | | 5.59 | | 22.9 | 54.73 | 59.31 |
| | | 8.09 | | 16.9 | 43.71 | 54.63 |
| 13:30 | 11.4 | 4.34 | 47 | 49.3 | 47.49 | 57.60 |
| | | 5.84 | | 45.1 | 52.28 | 55.17 |
| | | 9.34 | | 37.8 | 36.47 | 50.04 |
| 14:00 | 11.9 | 6.34 | 59 | 72.5 | 47.74 | 54.32 |
| | | 9.59 | | 72.5 | 35.69 | 50.60 |
| 14:30 | 12.6 | 3.09 | 67 | 65.7 | 49.81 | 54.53 |
| | | 6.59 | | 74.9 | 47.40 | 55.52 |
| | | 9.59 | | 81.7 | 37.88 | 53.12 |
| 15:30 | 13.9 | 3.34 | 111 | 64.0 | 56.82 | 58.55 |
| | | 6.34 | | 72.5 | 53.33 | 58.52 |
| | | 10.84 | | 75.9 | 51.28 | 54.93 |

SPHINX에서 관측한 수심, 유의파고, 해저면상 25cm와 50cm에서의 유속·유향과 부유퇴적물 농도와 저면고 변화의 시계열 자료를 <그림 3.1.11>에 제시하였다.

관측기간 동안 새만금 해역의 최고 조위차는 대조기에 약 6m이며, 소조기에 약 3m정도로 나타났다. 해저면상 25cm와 50cm에서의 최대 유속은 대조기에 약 70cm/s이며, 소조기에 약 40cm/s로 나타났다.

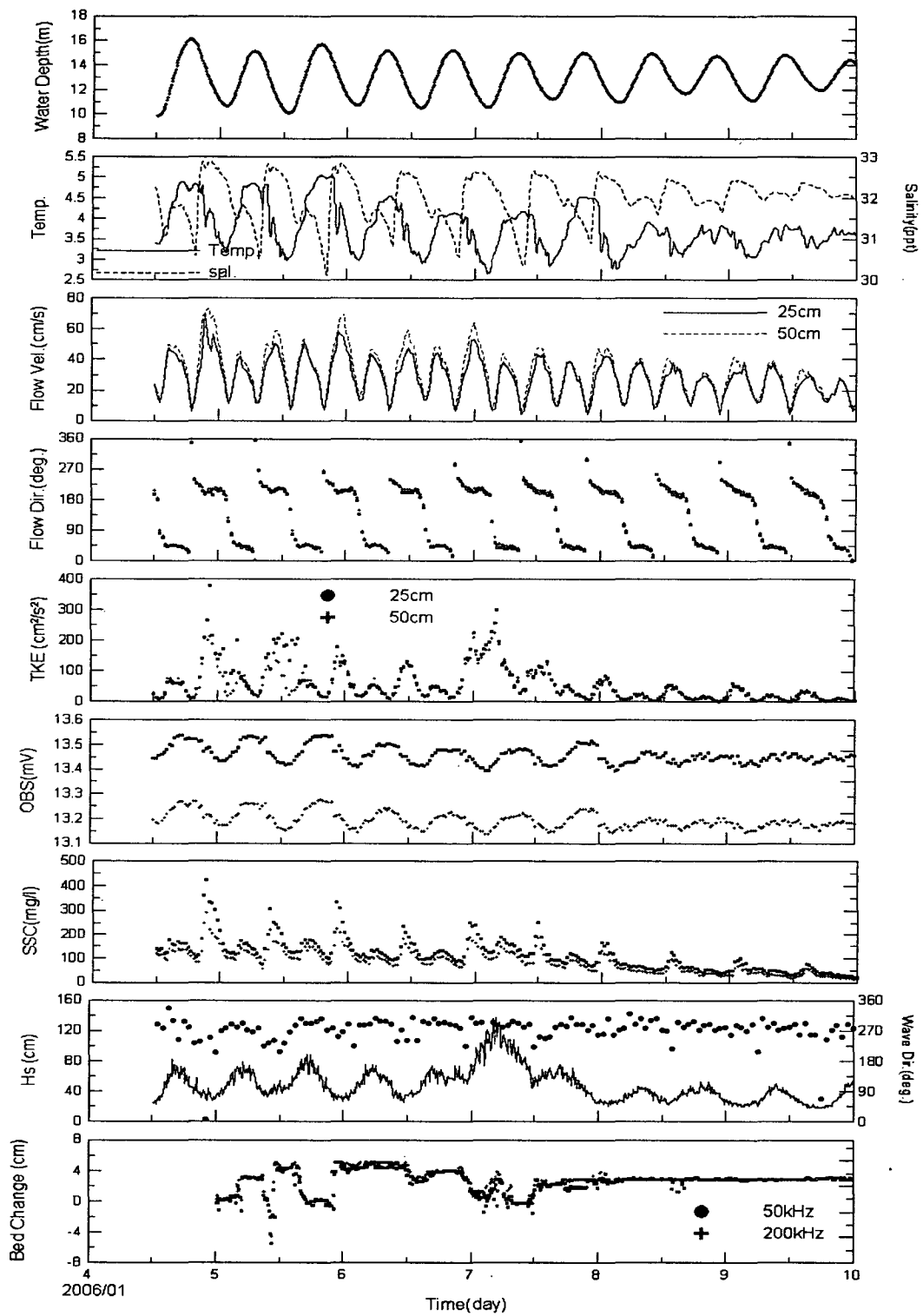
유향은 창조시에는 북동방향으로 낙조류시에는 남서방향을 보였다. 낙조시의 유속이 창조시의 유속보다 10cm/s ~ 20cm/s 크게 나타났고, 창조시에는 25cm와 50cm에서의

유속세기는 거의 같으나, 낙조시에는 50cm 높이에서 유속이 10cm/s ~ 20cm/s 크게 나타났다. 이는 관측 지점이 창조류보다는 낙조류에 강한 유속 경사가 발생하는 것을 나타내고, 방조제가 미완공으로 인한 낙조류시 강한 유속이 발생하기 때문으로 판단된다.

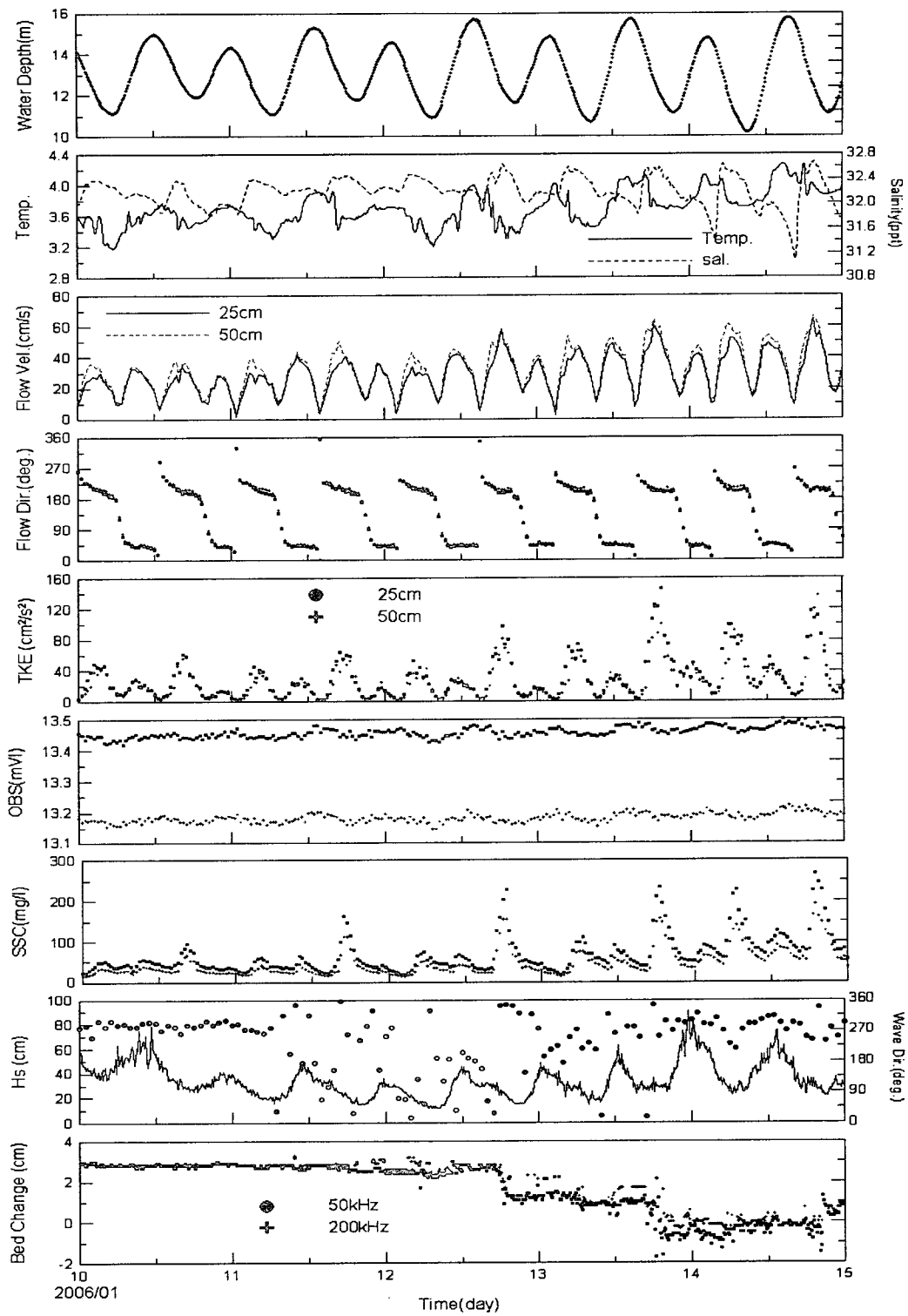
부유퇴적물 최대농도는 대조기 낙조시에 해저면상 25cm에서 약 400mg/l, 50cm에서 약 300mg/l까지 증가하며, 소조기에 약 100mg/l 이하로 감소한다. 부유퇴적물의 농도는 창조시보다 낙조시에 높게 나타났다. 관측기간 전반부에 창조시 최대 약 130cm까지의 파랑이 발생하고, 이후에는 80cm 내외의 파랑이 북서방향에서 지속적으로 발생하였다. 이에 따라 관측초기 난류에너지가 비교적 높게 나타났다. 그러나, 부유퇴적물의 높은 농도는 고파랑의 영향보다 낙조시의 강한 유속으로 인한 영향을 잘 반영하고 있다. 저면고의 변화는 대조기에 소조기보다 크게 변화하고 있다. 수온과 염분은 약 3℃ ~ 5℃, 약 30% ~ 32.5%의 범위 정도이며, 조석과 파랑에 의한 영향을 잘 반영하고 있다.

상기에서 언급한 ADCP 후산란강도를 이용한 부유퇴적물 농도와 유속·유향 시계열 자료를 <그림 3.1.12>에 제시하였다.

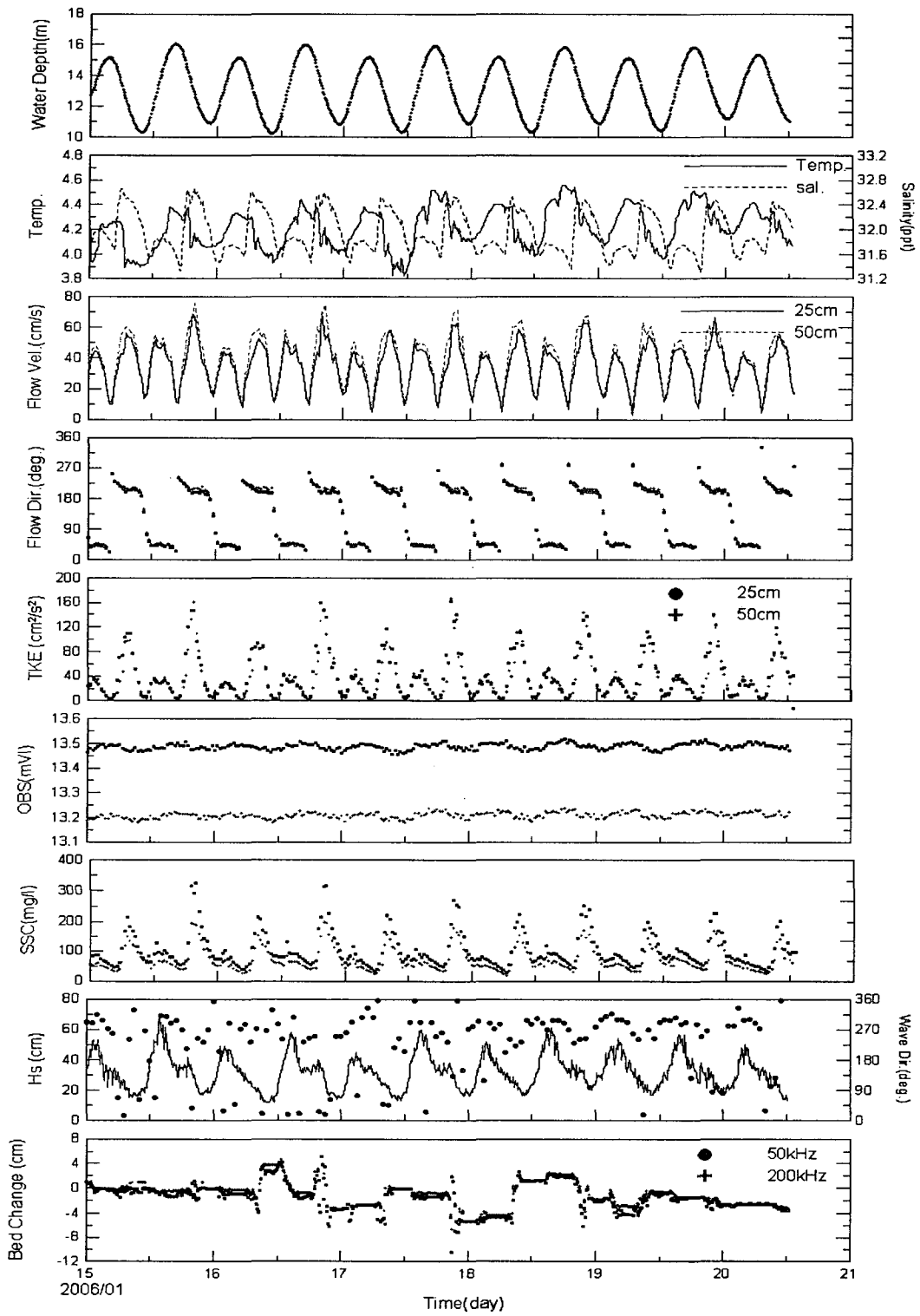
최대 유속은 대조기에는 최강 창조시 약 1m/s 정도이며, 최강 낙조시에 약 1.5m/s 정도이다. 소조기에는 최강 창·낙조시 모두 약 80cm/s 내외이다. 대조기 최강 낙조시에는 유속이 저면상 3m까지 1m/s 이상이다. 유향은 VECTOR의 관측결과와 같이 창조시에 북동방향이며, 낙조시에 남서 방향으로 흐르는 것으로 나타났다. 부유퇴적물의 농도는 대조기 낙조시에 저면에서 표층까지 약 120mg/l 정도이며, 창조시에 저면상 약 8m까지 약 80mg/l 정도이다. 소조기에는 표층까지 50mg/l 내로 분포한다. 이는 부유퇴적물의 주된 이동이 대조기 낙조시에 이루어지고 있음을 시사한다.



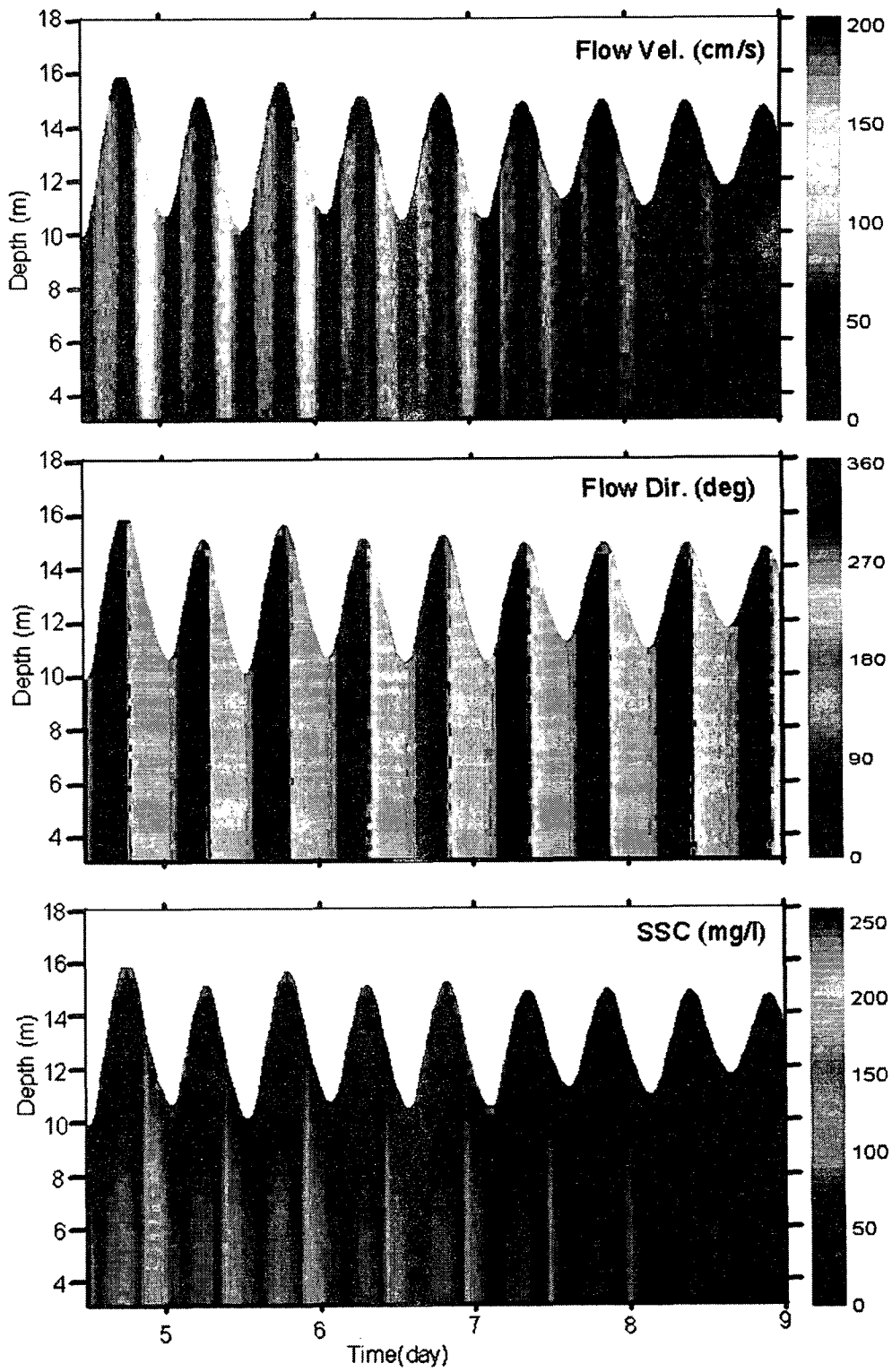
<그림 3.1.11> 연구해역의 해저 경계층 수리·퇴적특성 관측결과.



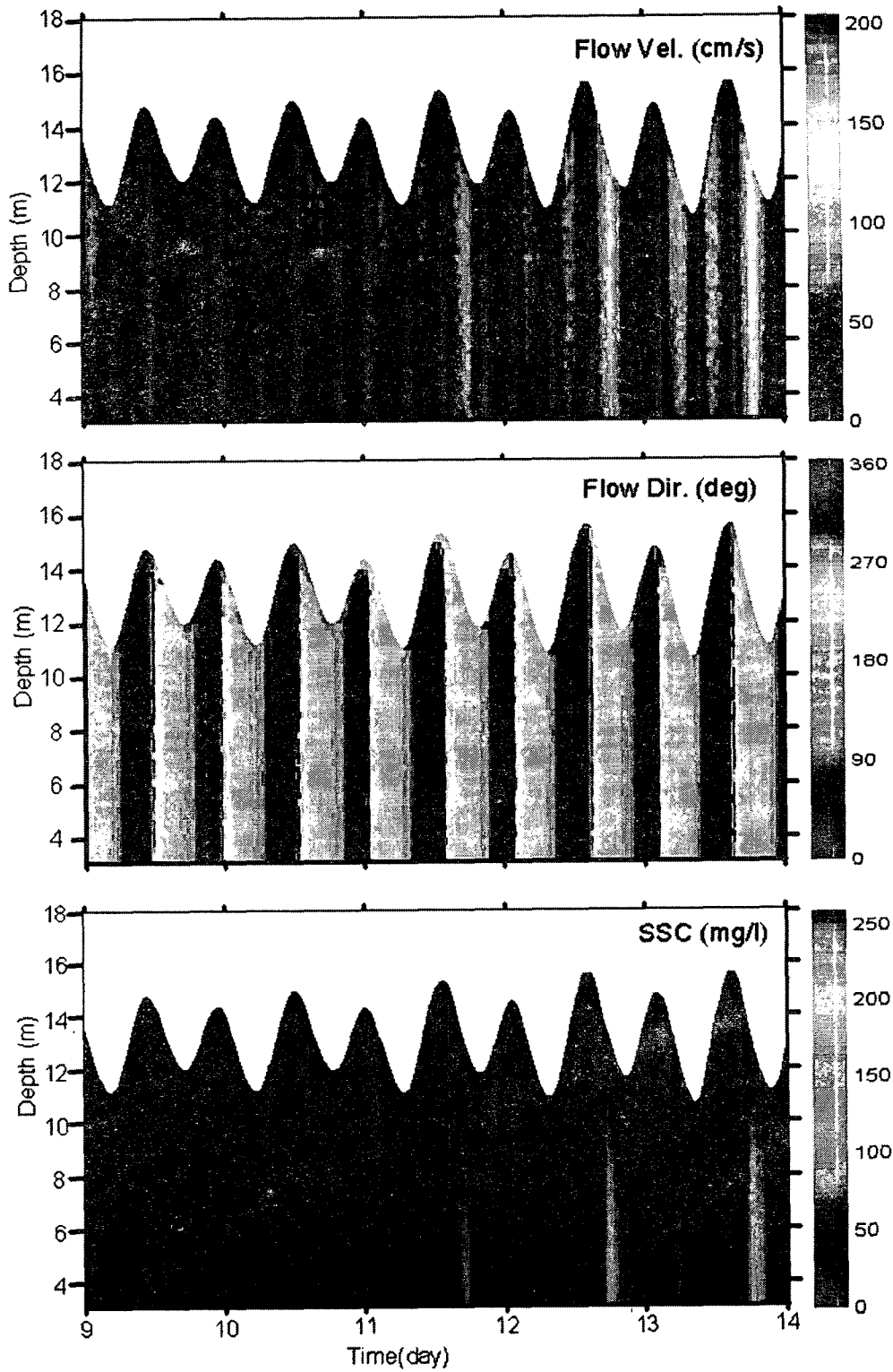
<그림 3.1.11> 계속



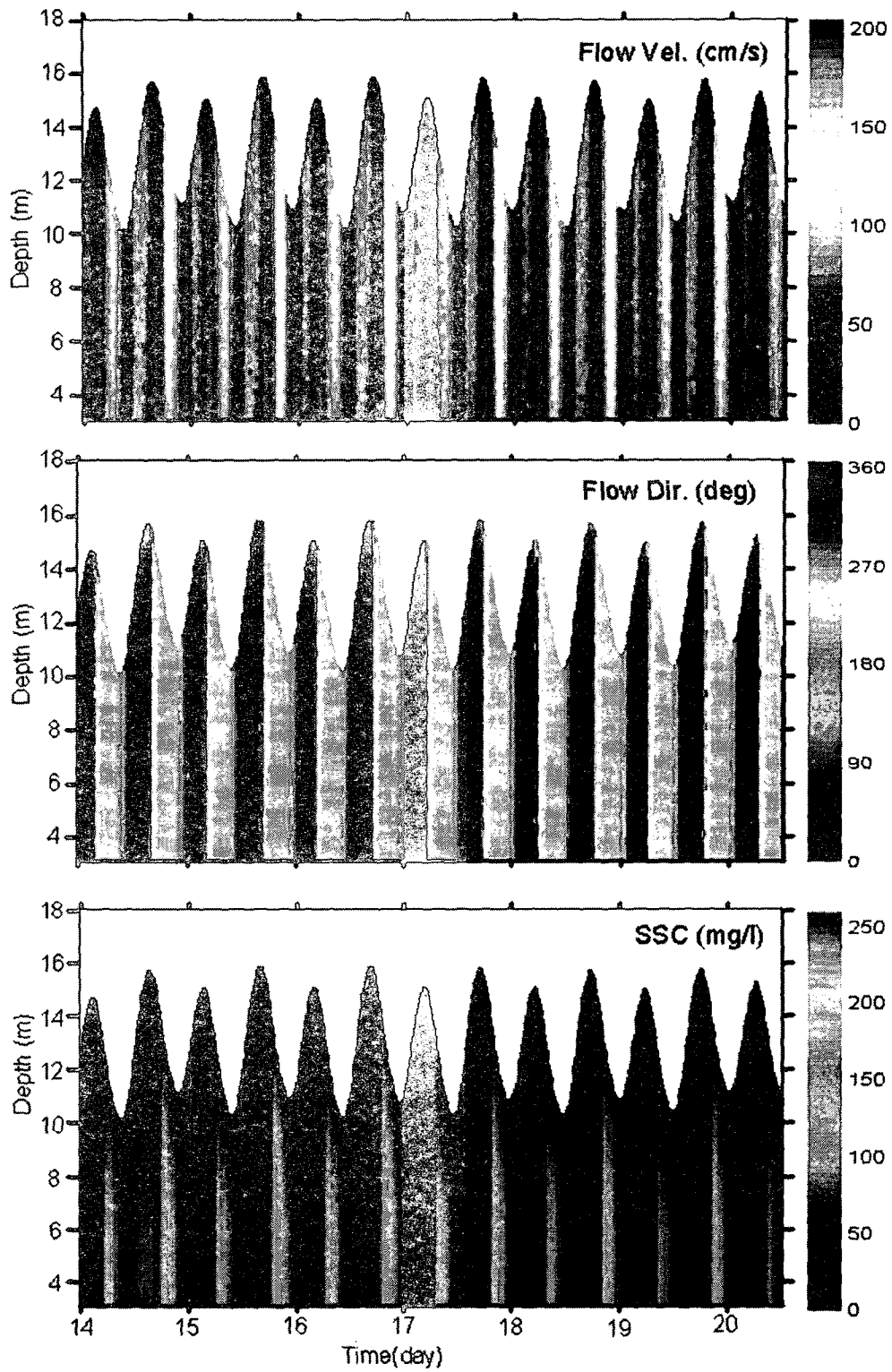
<그림 3.1.11> 계속



<그림 3.1.12> 연구해역의 수심 층별의 유속·유향과 부유퇴적물 농도 분포 특성.



<그림 3.1.12> 계속

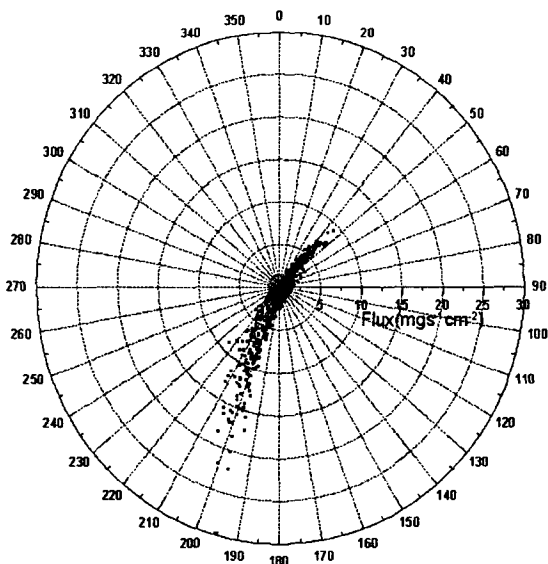


<그림 3.1.12> 계속

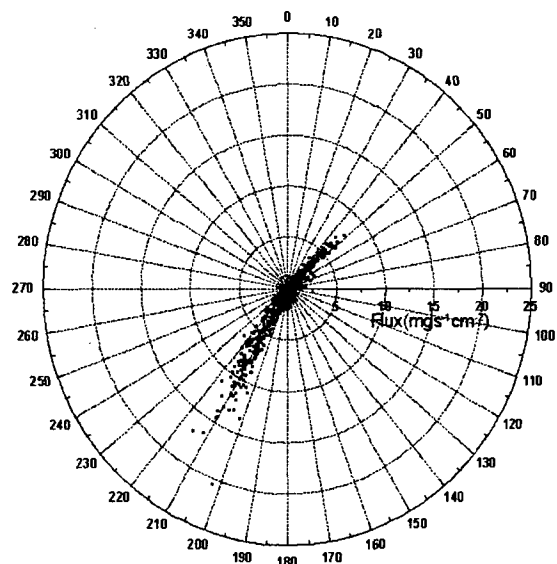
관측기간 동안(2006년 1월 4일 12:00 ~1월 20일 12:00)에 저면상 25cm와 50cm에서의 모든 유속, 유향 및 부유퇴적물의 농도를 이용하여 방향별 평균 이동속과 순이동량을 구하여 <표 3.1.11>과 <그림 3.1.13, 3.1.14>에 제시하였다.

<표 3.1.11> 해저경계층에서의 방향별 평균이동속 및 순이동량.

| Depth(cm) | Direcional Mean Flux (mg/scm ²),(%) | Net Transport (g/cm ²) |
|-----------|---|---|
| 25cm | E : 1.55(38.6) W : 1.19(61.4) | Westward : 81.38 Southward : 640.60 |
| | S : 2.55(62.3) N : 1.75(34.7) | |
| 50cm | E : 1.36(37.6) W : 1.22(62.4) | Westward : 152.12 Southward : 494.33 |
| | S : 1.94(65.4) N : 1.29(34.6) | |



<그림 3.1.13> 해저면상 25cm에서의 부유 퇴적물 농도 이동속 산포도.



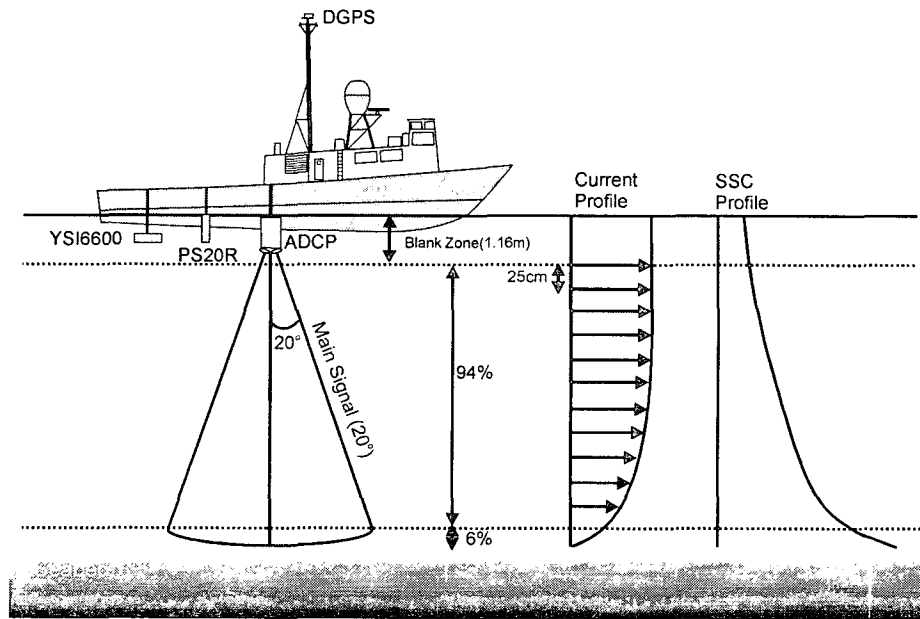
<그림 3.1.14> 해저면상 50cm에서의 부유 퇴적물 농도 이동속 산포도.

부유퇴적물 농도 이동속은 저면상 25cm의 경우 동북방향($40^{\circ}\sim 50^{\circ}$)으로 약 $10\text{mg}/\text{scm}^2$ 내에서 분포하며, 남서방향($190^{\circ}\sim 230^{\circ}$)으로 최대 약 $30\text{mg}/\text{scm}^2$ 까지 분포한다. 50cm의 경우 동북방향($40^{\circ}\sim 50^{\circ}$)으로 약 $10\text{mg}/\text{scm}^2$ 내에서 분포하며, 남서방향($200^{\circ}\sim 230^{\circ}$)으로 최대 약 $25\text{mg}/\text{scm}^2$ 까지 분포한다. 방향별 평균이동속은 동서 및 남북 방향으로 구분하여 보면, 동측과 남측 방향으로 크게 나타났으며, 남측 방향의 평균이동속이 가장 크다. 한편, 발생빈도 측면에서 살펴보면, 서측 방향의 평균이동속이 동측 방향의 평균이동속보다 높게 나타났다. 또한, 25cm 높이에서의 방향별 평균이동속이 50cm에서보다 대부분 높게 나타났는데, 이는 유속의 차이가 크게 나타나지 않는 것으로 보아 부유퇴적물의 농도 차이에 기인한 것으로 판단된다. 관측기간 동안 부유퇴적물은 남측과 서측 방향으로 순이동한 것으로 나타났다.

다. 단면이동관측 결과

최강 창조·낙조 부근에서 수로를 중심으로 단면이동관측을 2회(단면A, B : 2006년 1월 11일, 단면 C, D: 2006년 2월 12일) 실시하였다(<그림3.1.7> 참조). 단면이동관측에 이용되는 음향장비로서는 3차원 유속 및 반사음향강도의 연직분포를 측정할 수 있는 미국 RDI 社의 600KHz ADCP를 이용하였고, 이러한 유황 관측장비와 함께 DGPS, 채수기 및 음향측심기를 같이 부착하여 급변하는 플룸을 효과적으로 관측이 가능한 선상 모니터링 시스템을 구축하였다.

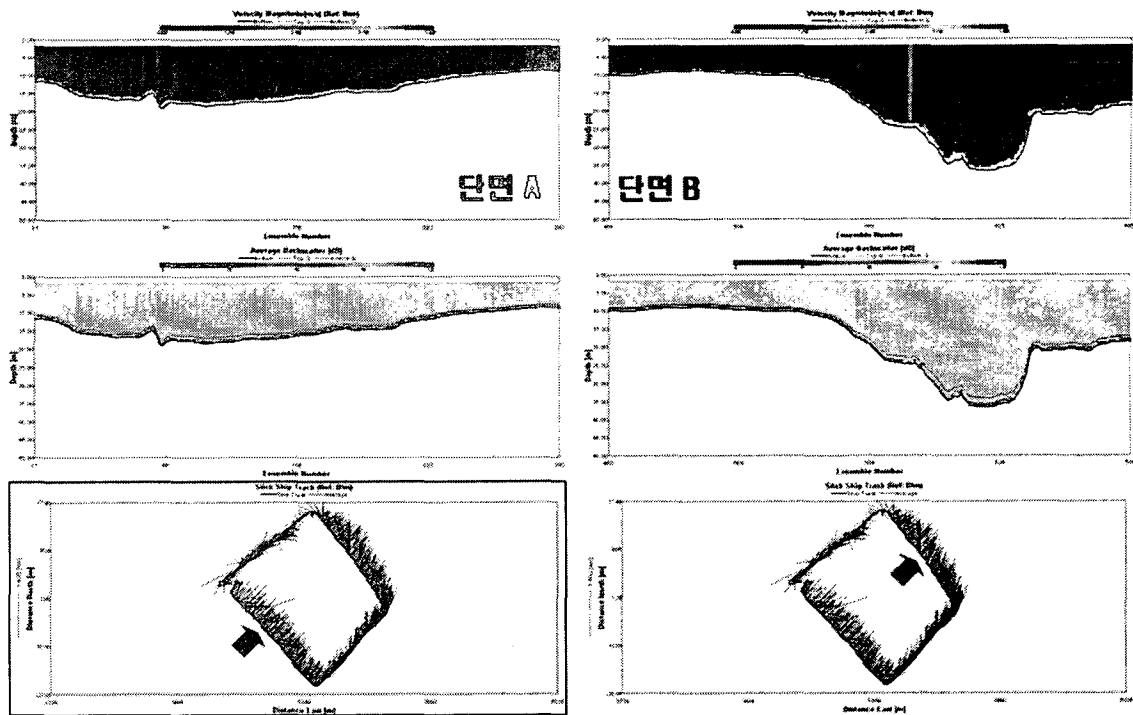
선상 모니터링 시스템을 장착한 조사선박을 이용하여 유속 및 탁도의 연직분포 관측과 측심 개념도를 <그림 3.1.15>에 제시하였다. ADCP를 수면하 0.7m에 고정하여 관측하였으며, 이 경우 600KHz ADCP는 수면하 1.81m부터 50cm 간격으로 유속·유황·반사음향강도를 측정한다. ADCP는 수심에 따라서 약간의 차이는 있으나, 전층 자료를 획득하는데 약 1~3초가 소요됨으로 관측선의 속도를 약 2m/s를 유지하여 2~6m간격의 자료를 획득하였다. 한편, ADCP가 플룸 관측에 매우 유용한 장비이나 파도나 다른 선박항행으로 만들어지는 bubble 등은 ADCP 반사음향강도 자료에 악영향으로 작용하기 때문에 현장관측과 자료처리시 주의가 필요하다.



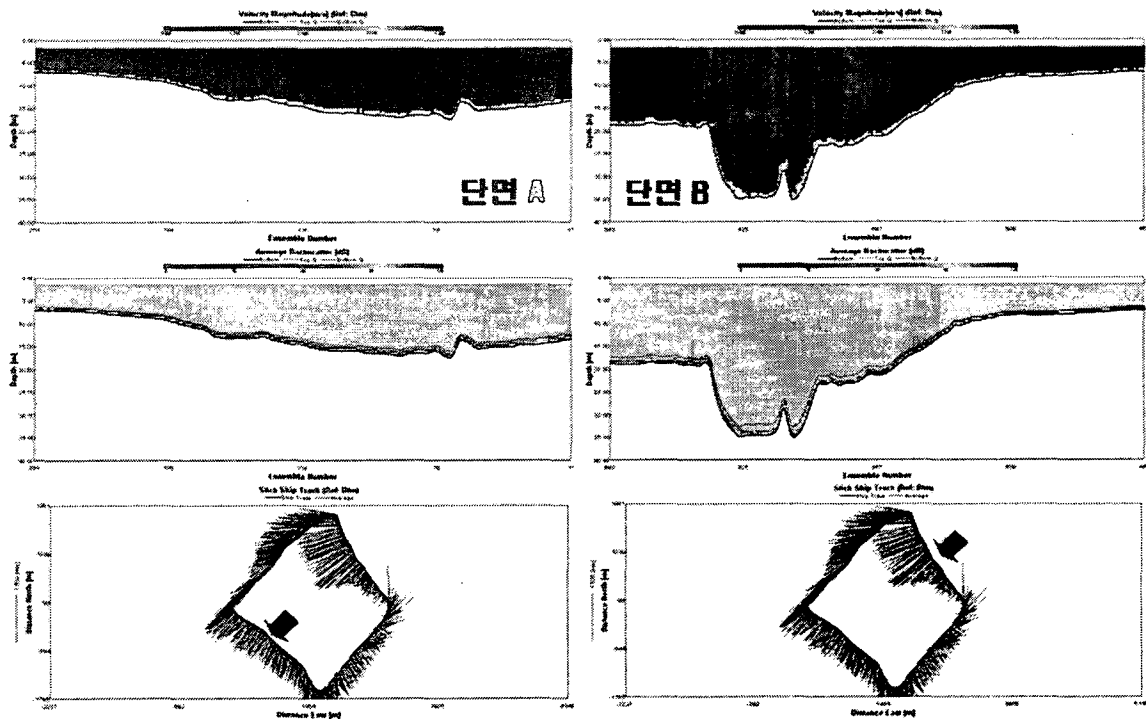
<그림 3.1.15> 선상 모니터링 시스템을 이용한
유황·탁도 관측 개념도.

최강 창·낙조 부근에서 단면 A, B, C, D의 관측결과를 <그림 3.1.16 ~ 3.1.19>에 제시하였다. ADCP 단면이동 관측자료의 음파후산란 강도를 이용하여 부유사 농도로 환산하기 위해서는 많은 검보정 자료를 확보하여야 신뢰성있는 농도 검보정이 가능하다. 이에 본 조사에서는 정성적인 음파후산란강도 자료를 이용하여 정성적인 특성을 파악하였다.

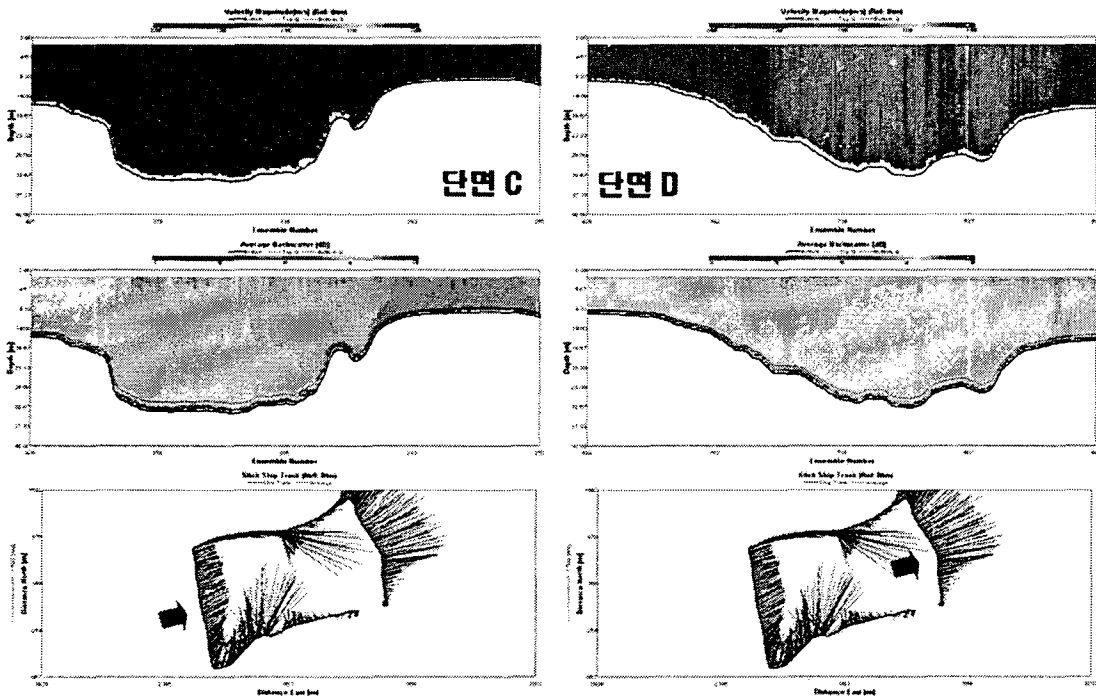
단면이동관측 결과, 창조시의 최강유속은 단면 A, B, C, D에서 각각 약 0.8m/s, 약 0.9m/s, 약 1.0m/s, 약 1.9m/s로 나타났고, 낙조시의 최강유속은 단면 A, B, C, D에서 각각 약 0.9m/s, 약 1.5m/s, 약 2.5m/s, 약 1.2m/s로 나타났다. 또한 부유퇴적물 농도로 판단할 수 있는 음파후산란강도는 단면 C에서 낙조시 표층 인근에서 가장 높게 나타났다. 이러한 유속과 후산란강도 양상을 기준하여 판단해보면, 방조제 최종체절 이전의 흐름 양상은 지형적 특성으로 인하여 창조보다 낙조가 우세하고, 이에 따른 퇴적물 이동도 낙조시가 창조시보다 높을 것으로 판단된다. 이러한 결과는 이전의 SPHINX로 관측한 퇴적물 이동특성과 유사하다. 그러나 보다 상세한 이동특성파악을 위해서는 대상해역에서 많은 자료 축적이 필요한 것으로 판단된다.



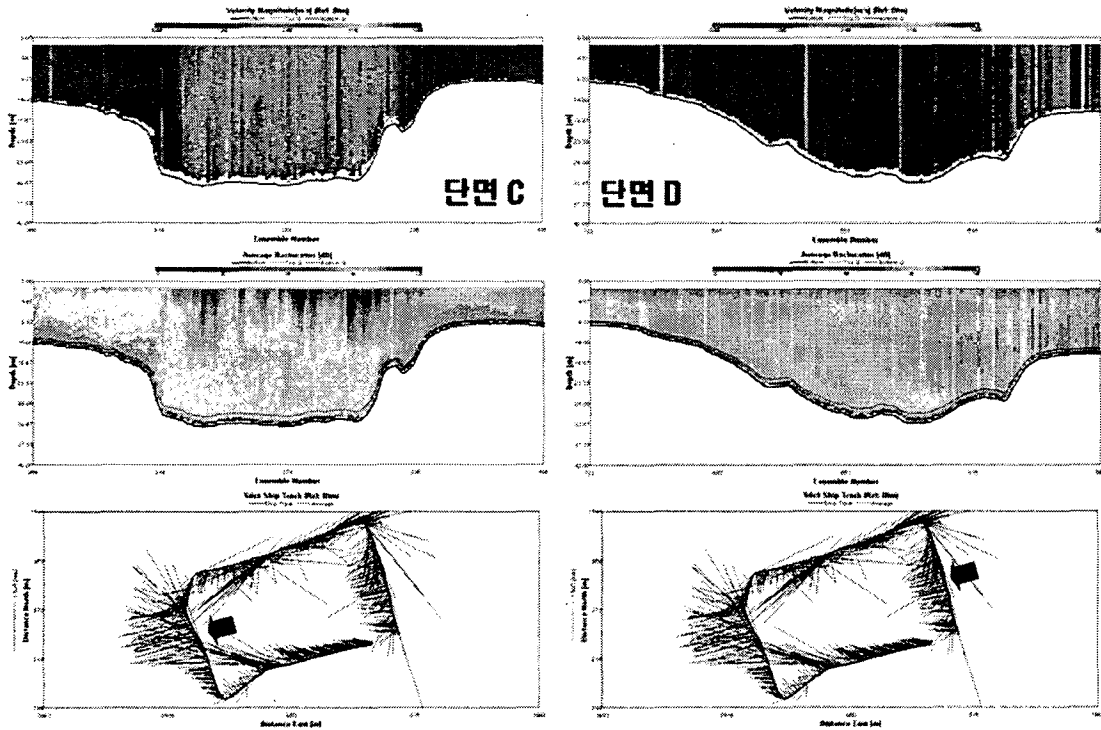
<그림 3.1.16> 최강 창조 부근에서 관측한 단면 A, B의 유속(상), 부유사농도(중) 및 이동경로(하).



<그림 3.1.17> 최강 낙조 부근에서 관측한 단면 A, B의 유속(상), 부유사농도(중) 및 이동경로(하).



<그림 3.1.18> 최강 창조 부근에서 관측한 단면 C, D의 유속(상), 부유사농도(중) 및 이동경로(하).



<그림 3.1.19> 최강 낙조 부근에서 관측한 단면 C, D의 유속(상), 부유사농도(중) 및 이동경로(하).

라. 결론 및 토의

연구지역의 해저퇴적물은 주로 사질퇴적물로 구성되어 있고, 부유퇴적물은 실트질 퇴적물이 우세하게 나타났다.

SPHINX를 이용한 해저 경계층과 층별 결과에 따르면, 유속은 대조기 낙조시에 강하게 나타났으며, 부유퇴적물의 농도 역시 동 시기에 높게 증가하였다. 해저 경계층에서 나타난 순 이동량은 주로 남서 방향으로 나타났다. 즉, 창조 방향보다는 낙조 방향으로 퇴적물이 이동하는 특성을 보였다. 이러한 결과는 단면이동관측결과에서도 유사하게 나타났다.

한편, 본 연구에서는 대상해역의 퇴적물 특성이 OBS와 NDP 센서에 민감하게 반응하지 않음으로 인하여 OBS와 NDP로 관측한 전압 및 음파수신신호강도를 이용하여 부유퇴적물 농도로 변환을 부득이하게 시도하지 못하였다.

본 조사결과는 향후 새만금에 조력발전 방식을 적용할 경우 기초자료로 활용될 것으로 예상되고, 보다 정확한 퇴적물 이동 특성 파악을 위해서는 향후 대상해역에서 퇴적물 이동 특성과 관련한 상세한 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

제2절 새만금 해역 조력발전소 가동시 조석체계변화 특성

1. 조위예측 모델 수립

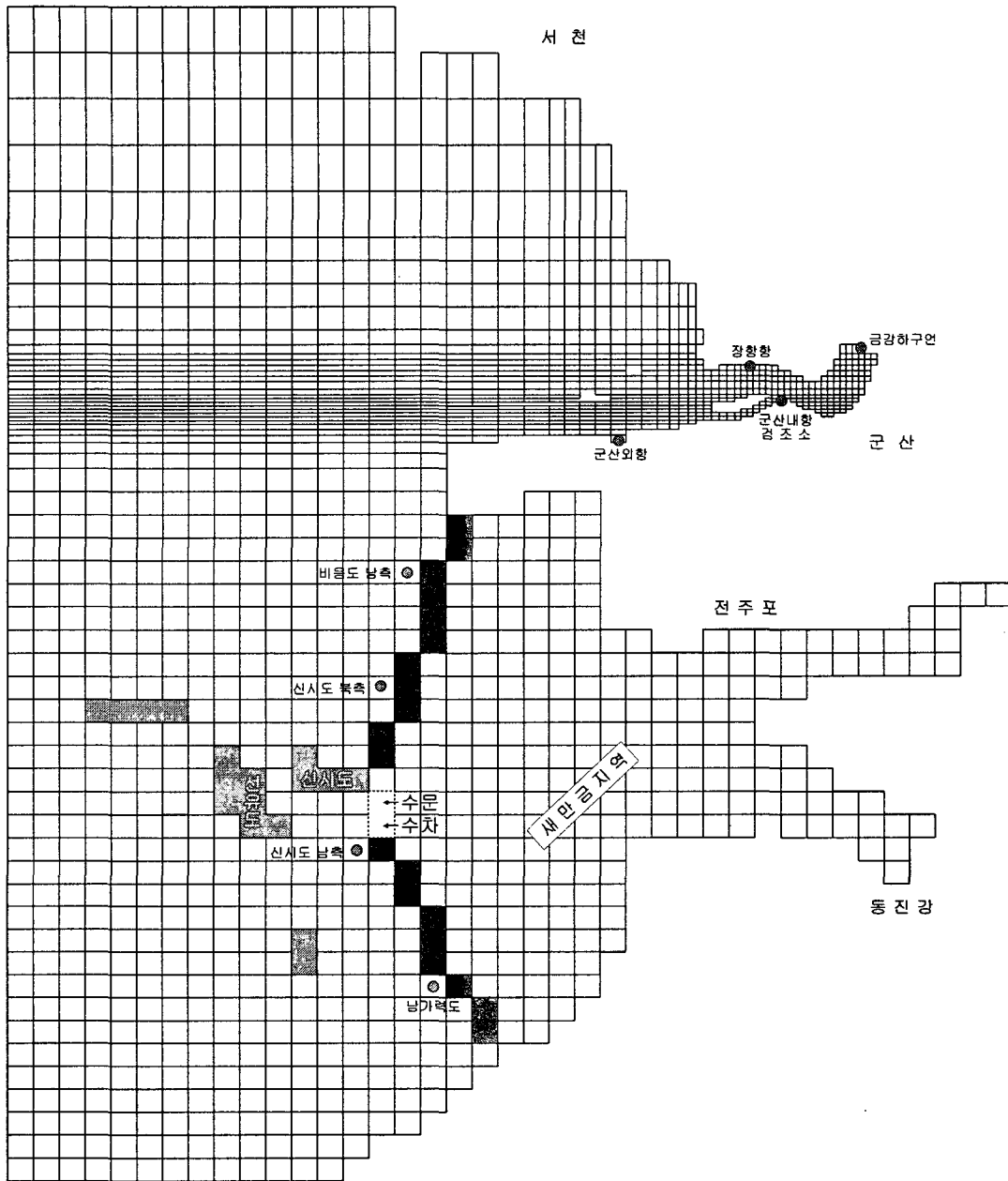
새만금 해역의 조석모델은 황동중국해를 포괄하는 격자망상에 기술되었으며, 이는 1차년도 연구결과인 제2장 제2절에 상세히 제시한 바 있다. 본 연구는 상기 모델에 기반을 두고 있다. 따라서 기본 조석모델은 1차년도에 수립, 검증을 통해 그 적용성을 충분히 확인한 바 있다.

본 1항에서는 실제 발전소 가동시 적용한 가동조건에 관하여 주로 기술한다. 발전소 가동 조건은 낙조시, 창조시, 창낙조시 발전의 경우 중에서 내부 수위 조절이 필요한 점을 감안하여 시화호 조력발전소와 같이 창조시 발전을 전제로 부여하였다. 하지만 실제 적용실험에서 만내부의 수위에 대한 조건은 특별히 부여하지 않았으나, 시화호처럼 내부 수위에 대한 조건이 부여하는 경우 추후 시화조력발전소처럼 이를 반영할 수 있기 때문에 현단계에서는 내부 조절을 하지 않는 단순한 조건을 부여하였다. 특히 새만금호 내부에서 내부 수역을 부분적으로 개발하고 그 개발하는 해역을 매립하여 산업단지나 거주지로 이용하는 경우 하수가 역류하지 않도록 만내 수위가 평균하면 또는 그 이하로 제한되어야 할 것이다.

현 실험은 상세한 조력발전소 가동 전후의 실험단계라고 보기보다는 개략적인 특성을 파악하기 위한 실험으로서 격자간격도 100 ~ 200m 해상도의 정밀한 격자망보다는 800m 정도의 해상도를 부분적으로 도입한 격자시스템을 채용하였다.

수문과 수차배치도는 <그림 3.2.1>에 제시한 바와 같다. 격자 해상도 문제로 기존 신시갑문과 조력발전소 수문이 같이 위치한다고 전제하였다. 수문, 수차 인근 6개의 y방향 격자 간격은 0.8125', 0.625', 0.434', 0.434', 0.625', 0.8125'으로서 수문과 수차의 폭은 약 800m(0.434') 폭으로 나타내었다. 수문의 경우 기존 수문의 역할을 포함하여 17개의 수문이 가동하는 것으로 반영하였으며, 수차는 20MW 용량의 26기가 가동하는 것으로 반영하였다.

그 외의 제반 변수는 기존 가로림만 조력발전 타당성 연구(1993)에서 활용하였던 특성치를 사용하였다.



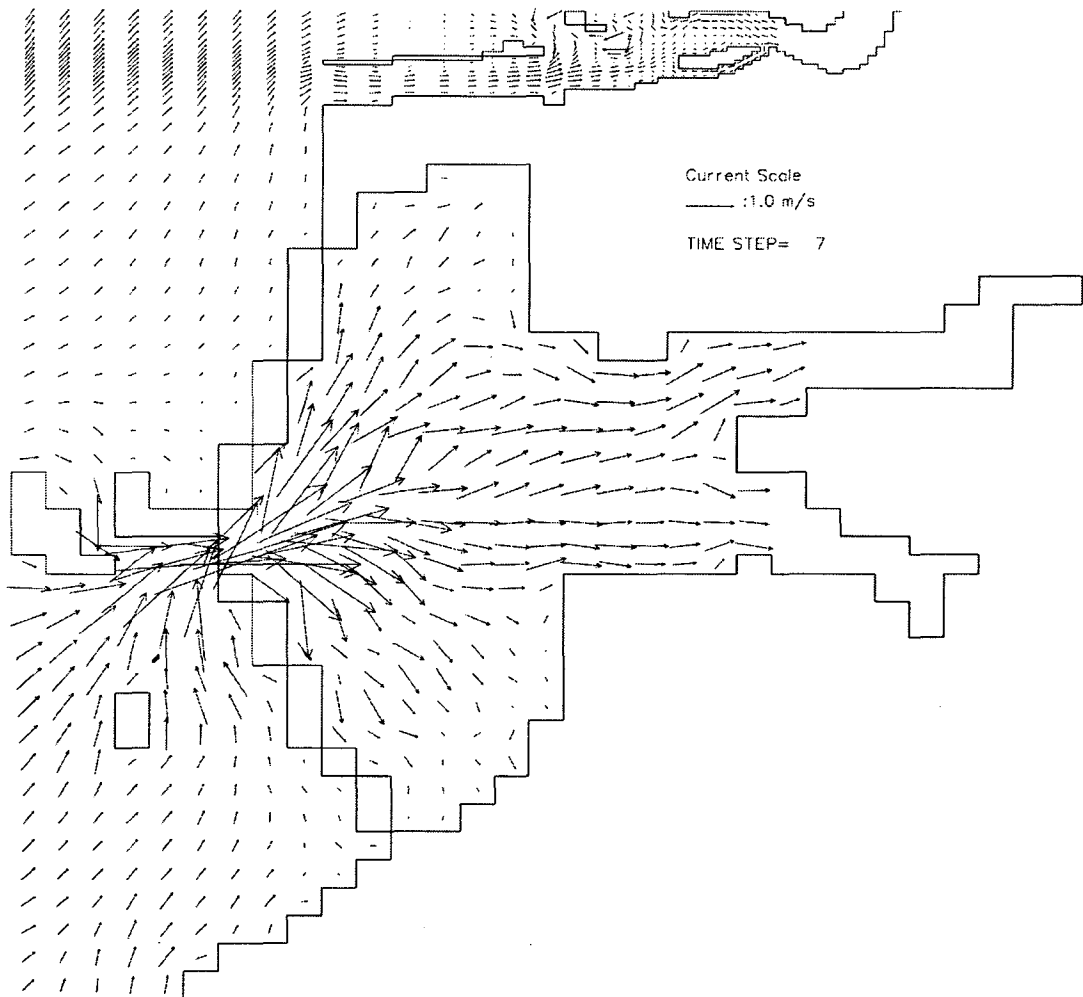
<그림 3.2.1> 새만금 해역 신시도 남측의 수문, 수차 배치 특성.

수차의 경우, <그림 3.2.1>에 제시한 바와 같이 수문의 남쪽에 인접하는 조건을 부여하였다. 조력발전소 개발안은 새만금호 내부의 방수제가 건설되어 동진해역과 만경수역으로 분리되는 경우를 감안할 수 있으나, 현실적으로 가장 큰 조차 변화를 야기할 수 있는 안인 새만금호 전체를 대상으로 한 조력발전을 염두에 두고 실험을 실시하였다.

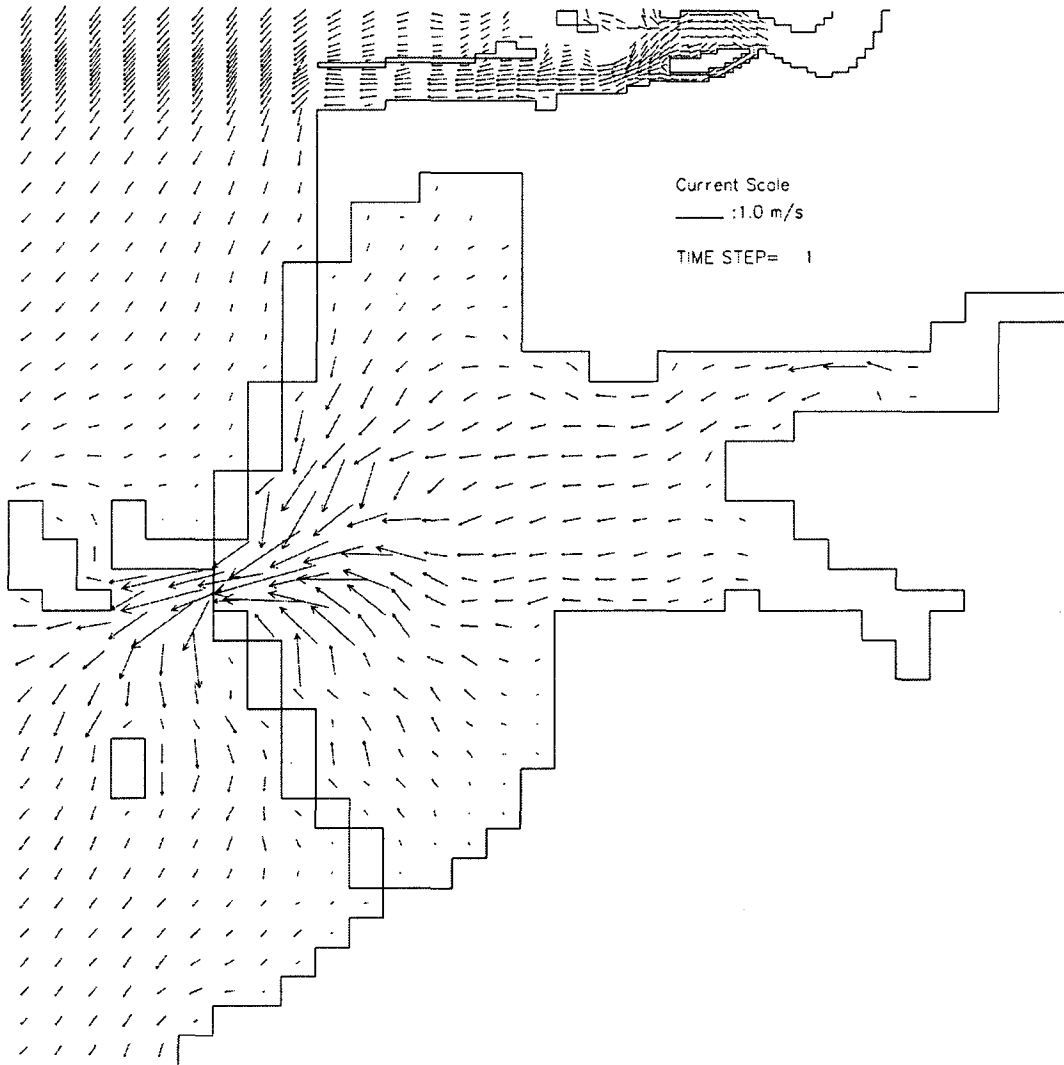
앞서 기술한 여러 가능한 조합에 대한 상세한 실험은 추후 새만금 해역에서의 조력발전소 건설이 가시화 되면, 상세한 정밀격자 실험에서 이를 반영할 수 있을 것이다.

발전소 가동시 수문과 수차를 통해 해수의 유동을 재현한 창조시 유속벡터를 <그림 3.2.2>에 제시하였고, 낙조시 수문, 수차를 통해 방류하는 유속특성을 <그림 3.2.3> 제시하였다.

창조시 조력발전소 가동에 따라 새만금호 내부로 유입되는 유동 특성이 잘 재현되었으며, 낙조시 수문과 수차를 통해 외해쪽으로 방출되는 해수의 움직임이 합리적으로 계산되었음을 보여주고 있다. 두 그림간의 조시차는 6시간의 시간차가 나며 위상이 180° 바뀐 특성임을 알 수 있다. 수문이나 수차의 경우, 수치모델 격자의 해상도가 충분히 상세하지 못하여 최대 유속이 상당히 저감되게 나올 수 밖에 없으므로 이를 감안하여야 한다.



<그림 3.2.2> 창조시 조력발전소 가동시 새만금 인근해역의 계산된 조류벡터.



<그림 3.2.3> 낙조시 조력발전소에서 수문, 수차를 통한 방류시 새만금 인근해역의 계산된 조류벡터.

2. 발전소 가동 전·후 조석체계 변화

2000년 현상태 조건과 2006년 방조제 끝물막이 공사후 수문이 가동이 중단된 경우의 조석체계 변화는 새만금 해역에서 반경 100km 내 해역에서는 M2 진폭이 최대 8cm 정도 감소하며 여타 지역에서는 황동중국해 전역에서 진폭의 증가와 감소가 미약하게 반복되는 것을 확인하였다.

대규모 변화의 한 예로서 새만금 해역의 조력발전소가 가동되는 경우와 방조제 공사

가 마무리된 현상태를 대상으로 조석체계 변화를 산정하였다. 발전소 가동전 현상태의 조석체계와 발전소 가동시 조석체계 변화 산정을 위해 주요 5개 분조를 입력조건으로 조석체계 변화를 비교하였다.

<그림 3.2.4a>는 조력발전소 가동시, 황동중국해 해역에서의 M2 조석도를 나타낸다. 굵은 실선은 등진폭도(cm), 가는 실선은 지각을 나타낸다. S2, K1 분조의 조석도는 <그림 3.2.4b>, <그림 3.2.4c>에 제시한 바와 같다. 새만금 인근에서의 특성이기 때문에 큰 스케일로 본 조석도의 변화는 두드러지지 않게 나타났다.

<그림 3.2.5a>는 조력발전소 가동시, 새만금 해역 인근 해역에서의 M2 조석도를 나타낸다. 여기서 굵은 실선은 등진폭도(cm), 가는 실선은 지각을 나타낸다. S2, K1 분조의 조석도는 <그림 3.2.5b>, <그림 3.2.5c>에 제시한 바와 같다. M2 진폭은 외해에서 새만금 해역내로 가면서 연속적으로 변하는 특성이 나타나나 진폭변화는 크다. 가는 실선으로 나타난 지각은 새만금 내부로 가면서 급격한 위상지연이 나타나는데 이는 발전소 가동시 창조시 발전에 따라 일정한 수두차가 발생할 때까지 기다리는 시간차를 반영하는 것으로 보인다. 외측에서는 지각은 약 2.0(60°)시이나 만내부에서는 4.0(120°)시로서 60°, 즉 2시간 정도의 차이를 보이는 데, 이는 창조시 2시간 정도의 위상차가 발생함을 의미한다. <그림 3.2.5b>의 S2 분조의 경우, 만내부와 외측의 지각차는 약 1.7시간 정도로서 M2 분조에 비해 0.3시간(18°) 정도 빠르게 나타난다. 반면에 <그림 3.2.5c>에 제시된 K1 분조의 지각 특성을 보면 새만금 외측과 새만금호 내부 중앙부와는 약 1.5시간 정도의 지각차가 나타난다. 3개 분조 모두 수차 입구에서 급격한 지각차이를 보이는 특성이 나타나는데, 이러한 특성은 이 지점에서의 유속이 아주 빠르게 나타날 것임을 암시하고 있으며, 앞서 제시한 조류도에서도 이를 반영한 빠른 흐름이 재현된 바 있다.

황동중국해 전역에서의 M2, S2 분조의 진폭차이(가동시-방조제완공시현상태)를 <그림 3.2.6a>, <그림 3.2.6b>에 각각 제시하였다. M2의 진폭변화가 새만금 인근과 경기만 해역에서 약 2cm 감소하는 특성이 나타나며, 특히 황해 북동부 해역에서 1cm 이상 감소하는 특성이 나타난다. 목포에서 대만 북단을 잇는 선을 중심으로 북쪽에서 진폭 감소, 남측에서 진폭 증가 특성이 나타난다. 남해 중앙부에서 진폭 증가가 약 1cm에 달함을 알 수 있다. S2 분조의 경우 진폭 변화는 미약하나 증가와 감소가 규칙적으로 나타난다.

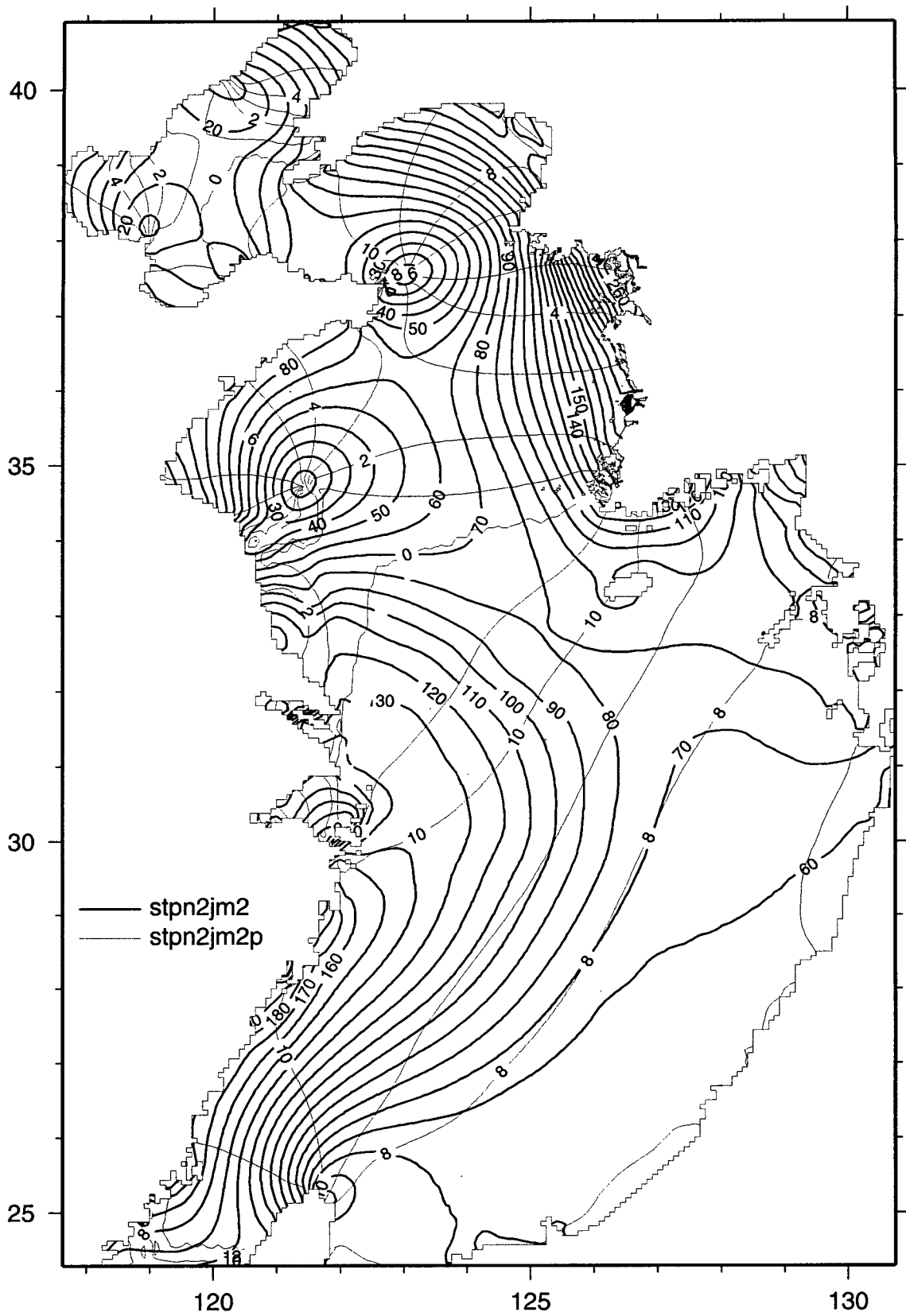
새만금 해역 인근에서 발전소 가동시와 방조제 공사가 완료된 현상태의 진폭차이(가동시-방조제완공시 현상태)를 M2, S2, K1 분조의 경우에 <그림 3.2.7a ~ 3.2.7c>에 각

각 제시하였다. M2 분조의 경우 현상태에서는 외부와 해수유통이 없기 때문에 완전히 차단된 상태에서 발전소가 가동되는 경우 조석 특성이 나타나기 때문에 새만금호 내부에서 수위 변화가 크게 나타난다. 현상태 새만금호 외해측에서 M2 진폭이 약 215cm(<그림 3.2.5a>) 정도이나 만내부 중앙에서는 70 ~ 75cm 로서 발전소 가동과 조절에 의해서 진폭이 외해측에 비해 약 1/3 정도로 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 <그림 3.2.5b>에 제시된 바와 같이 S2 분조에서도 동일하게 나타나며, 새만금내부에서 S2 진폭은 20cm 내외의 크기로 감소한다. K1 분조 역시, <그림 3.2.7c>에 제시된 바와 같이, 새롭게 새만금호 내부에 나타나는 일주조의 진폭은 약 15cm 정도임을 알 수 있다.

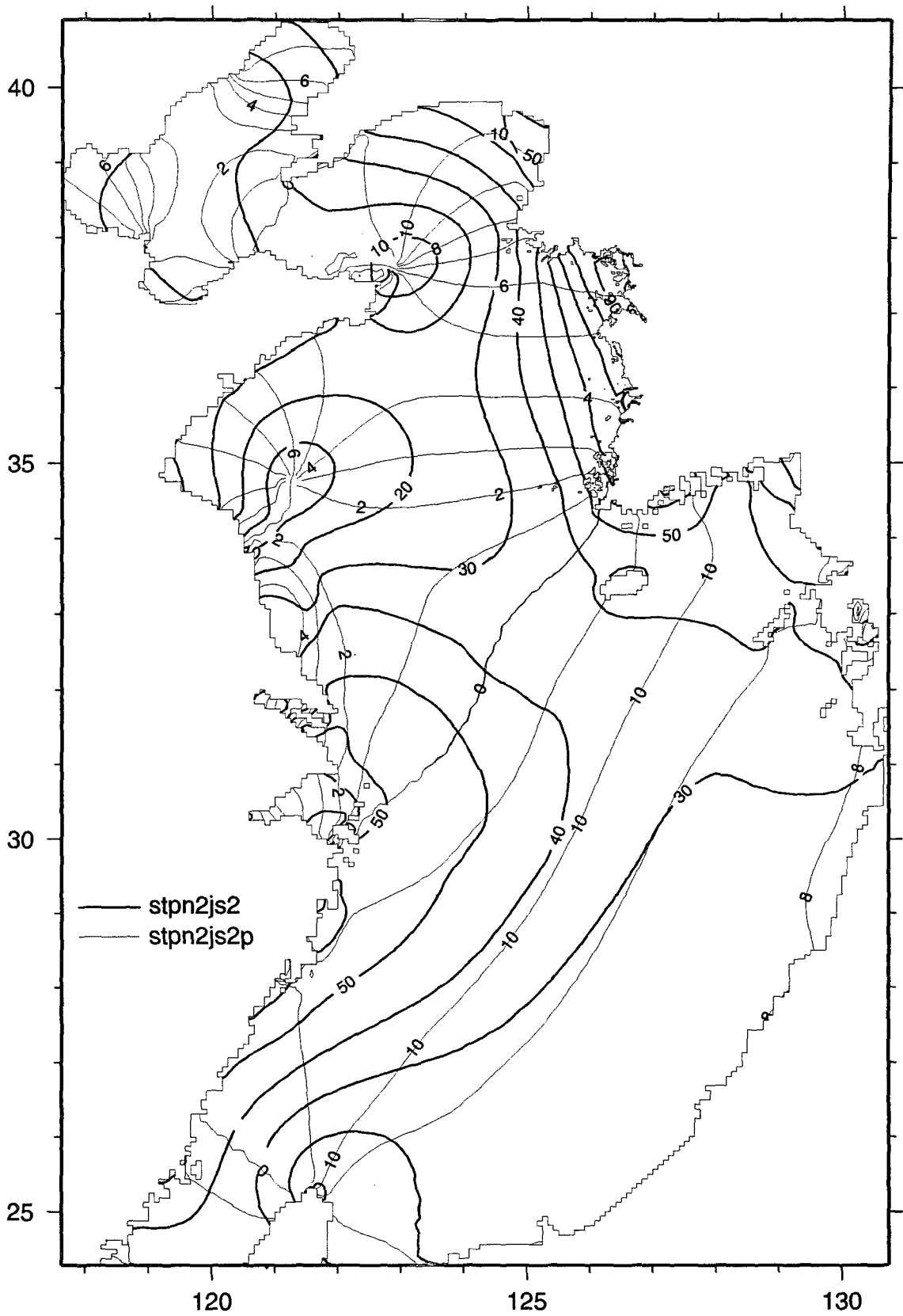
본 절에서는 새만금 전 해역에서 창조 발전을 할 경우, 나타나는 조석 변화를 평가하였다. 예상대로 새만금호 내부에서 평균적으로 평균조시 약 150cm의 조차가 발생하며, 평균대조시 만내부에서 약 200cm의 평균대조차가 발생할 것으로 예상된다. 아울러 이에 따른 해수유통도 방조제 완공시 정체상태에서 벗어나 활발해 질 것임을 암시한다.

황동중국해 스케일에서 볼 때, M2 분조의 경우 황해 북동쪽에서는 1~2cm 감소하는 등 적지 않은 변화가 나타난다. 이로부터 새만금해역에서의 조력발전은 황동중국해 전역에 영향을 미치며, 대체로 황해 해역에서는 감소를 남측에서는 미약한 증가를 야기할 것으로 예상된다.

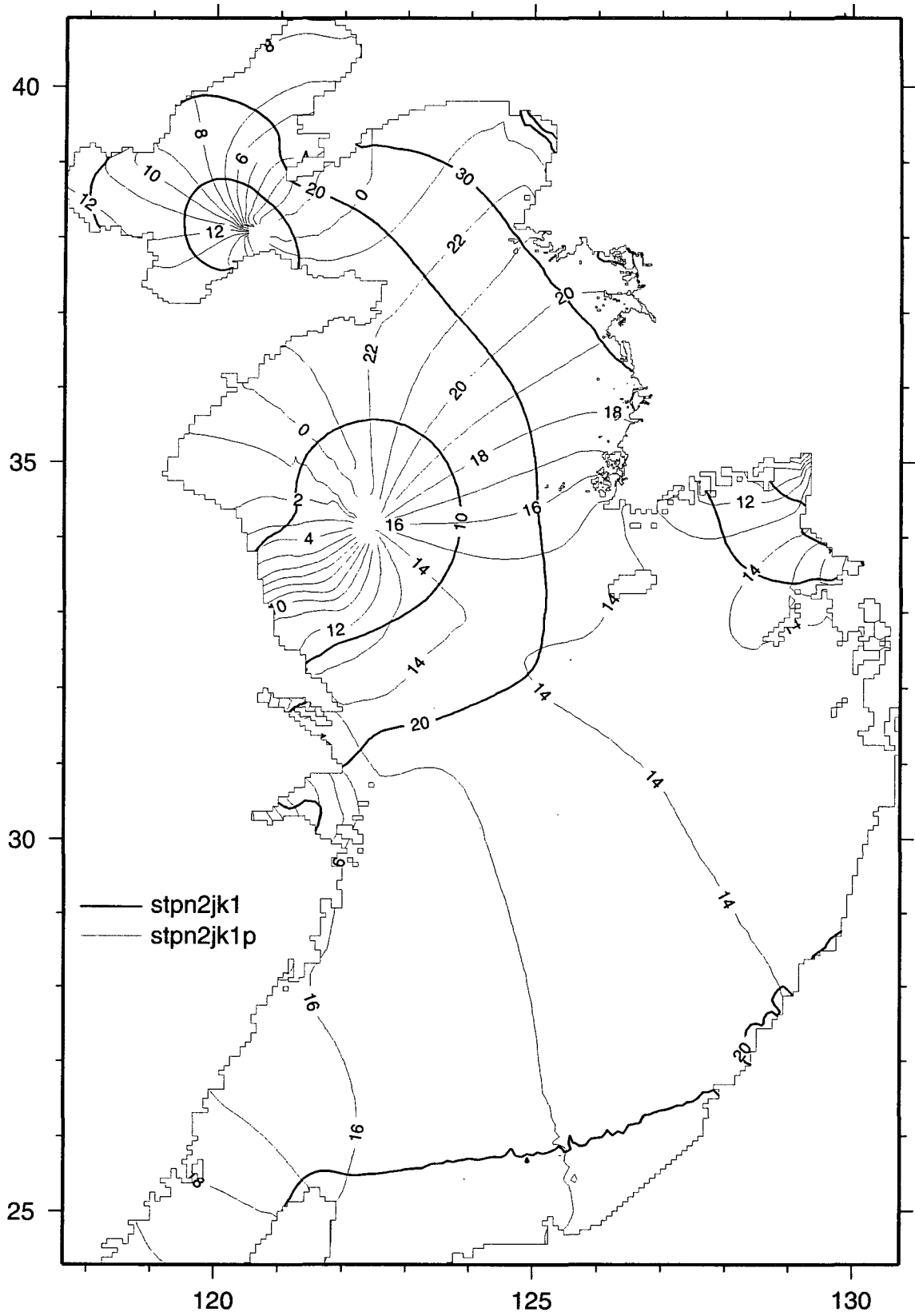
현재의 실험 조건은 새만금해역에서 조위변화를 가장 크게 미칠 것으로 예상되는 새만금 해역 전역을 조력발전에 활용하는 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 향후 새만금해역에 대하여 본격적인 조력발전이 추진될 경우 본 조사결과가 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



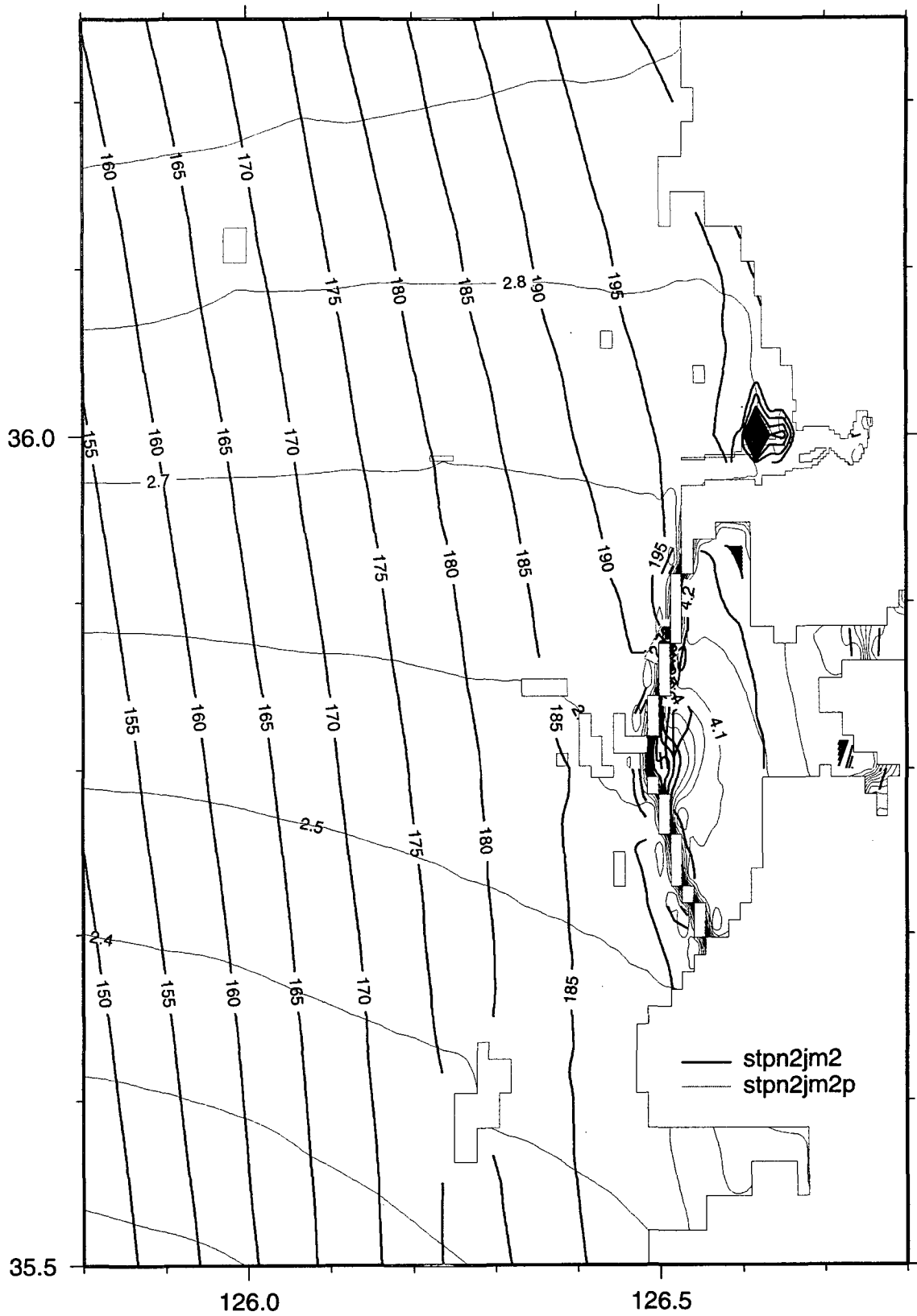
<그림 3.2.4a> 새만금 조력발전소 가동시 황동중국해 M2 조석도(굵은선:진폭(cm)
 가는선:등조시선).



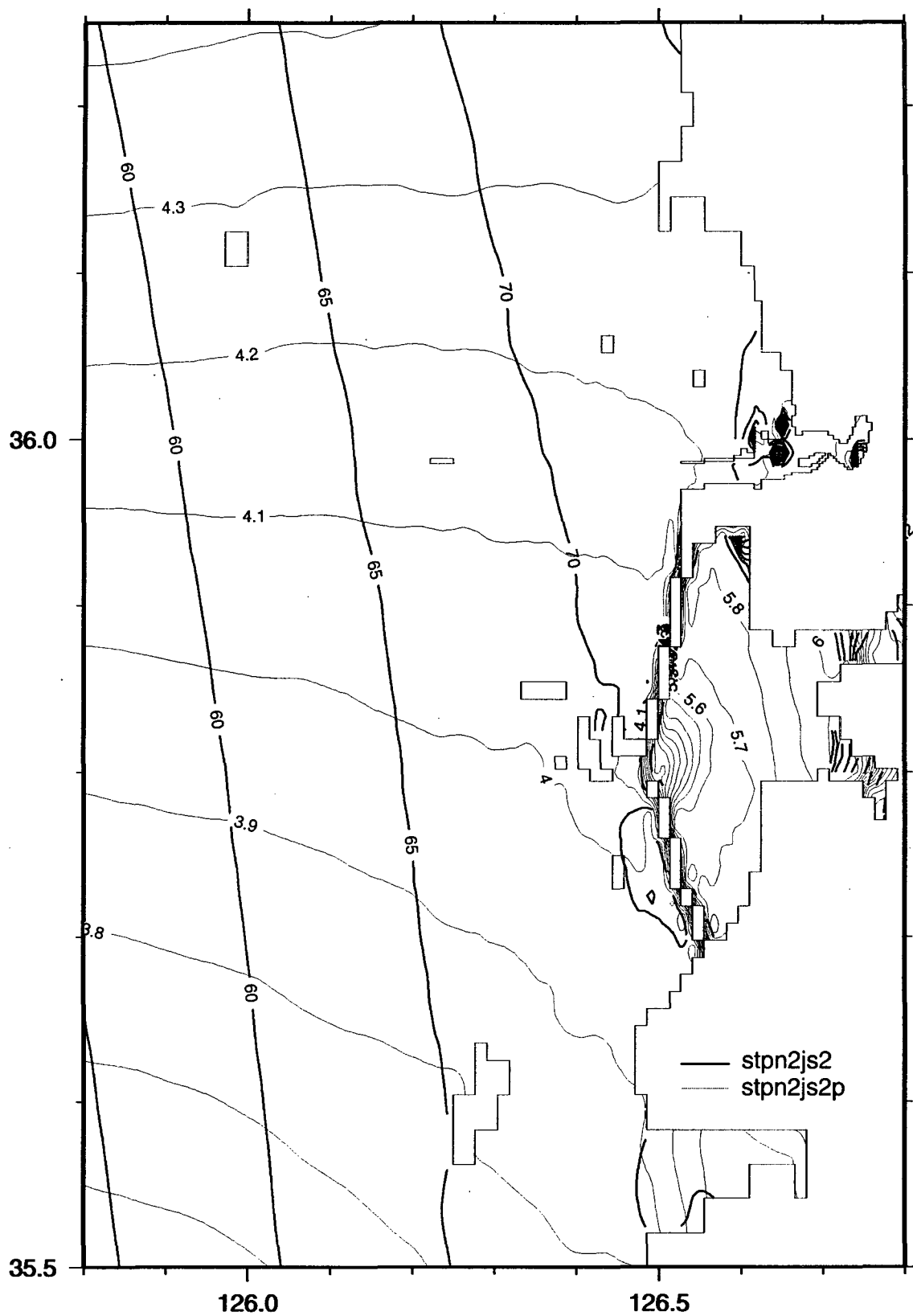
<그림 3.2.4b> 새만금 조력발전소 가동시 황동중국해 S2 조석도(굵은선:진폭 (cm) 가는선:등조시선).



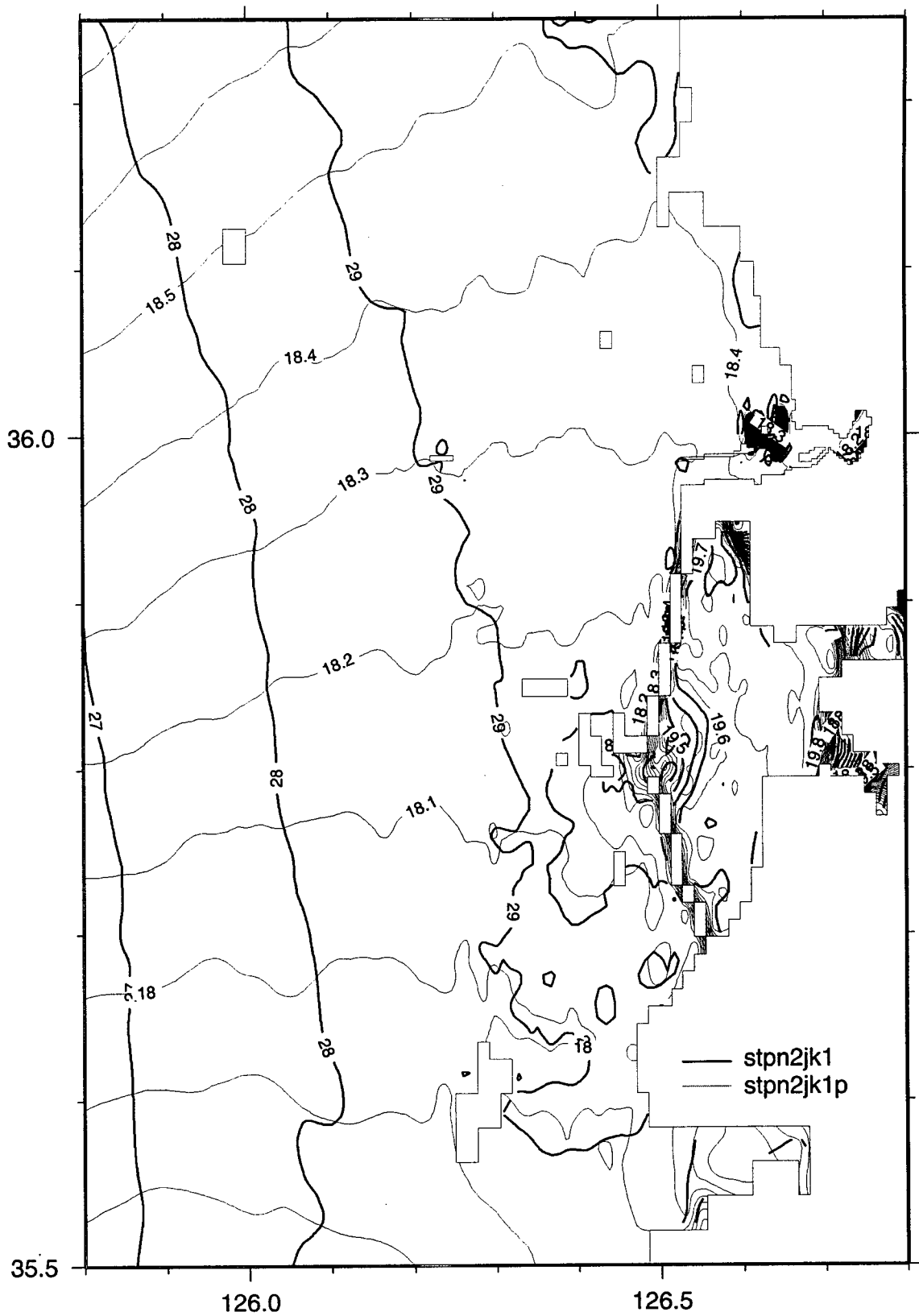
<그림 3.2.4b> 새만금 조력발전소 가동시 황동중국해 K1 조석도(굵은선:진폭(cm)
가는선:등조시선).



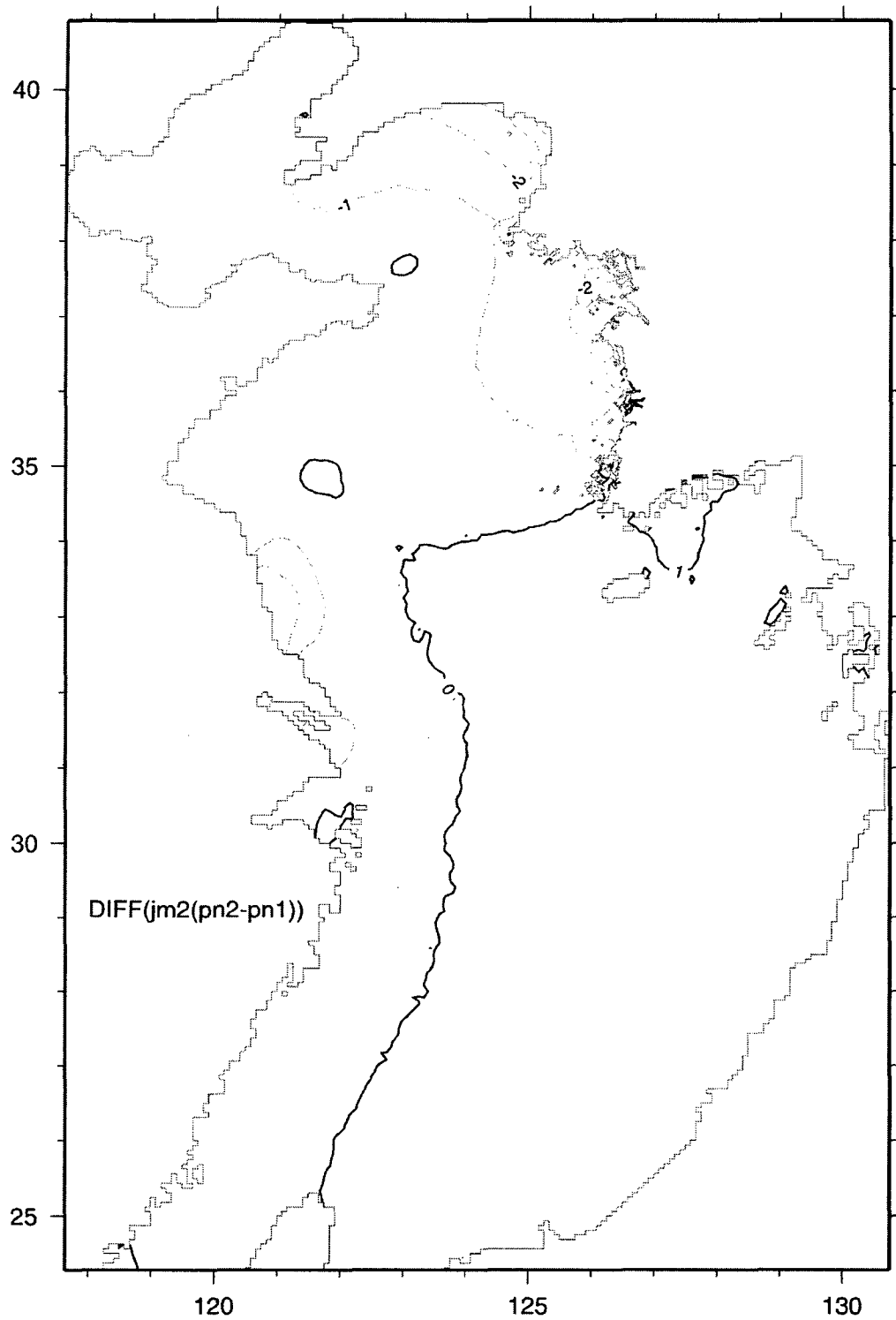
<그림 3.2.5a> 새만금 조력발전소 가동시 새만금 인근해역 M2 조석도(굵은선:진폭 (cm), 가는선:등조시선).



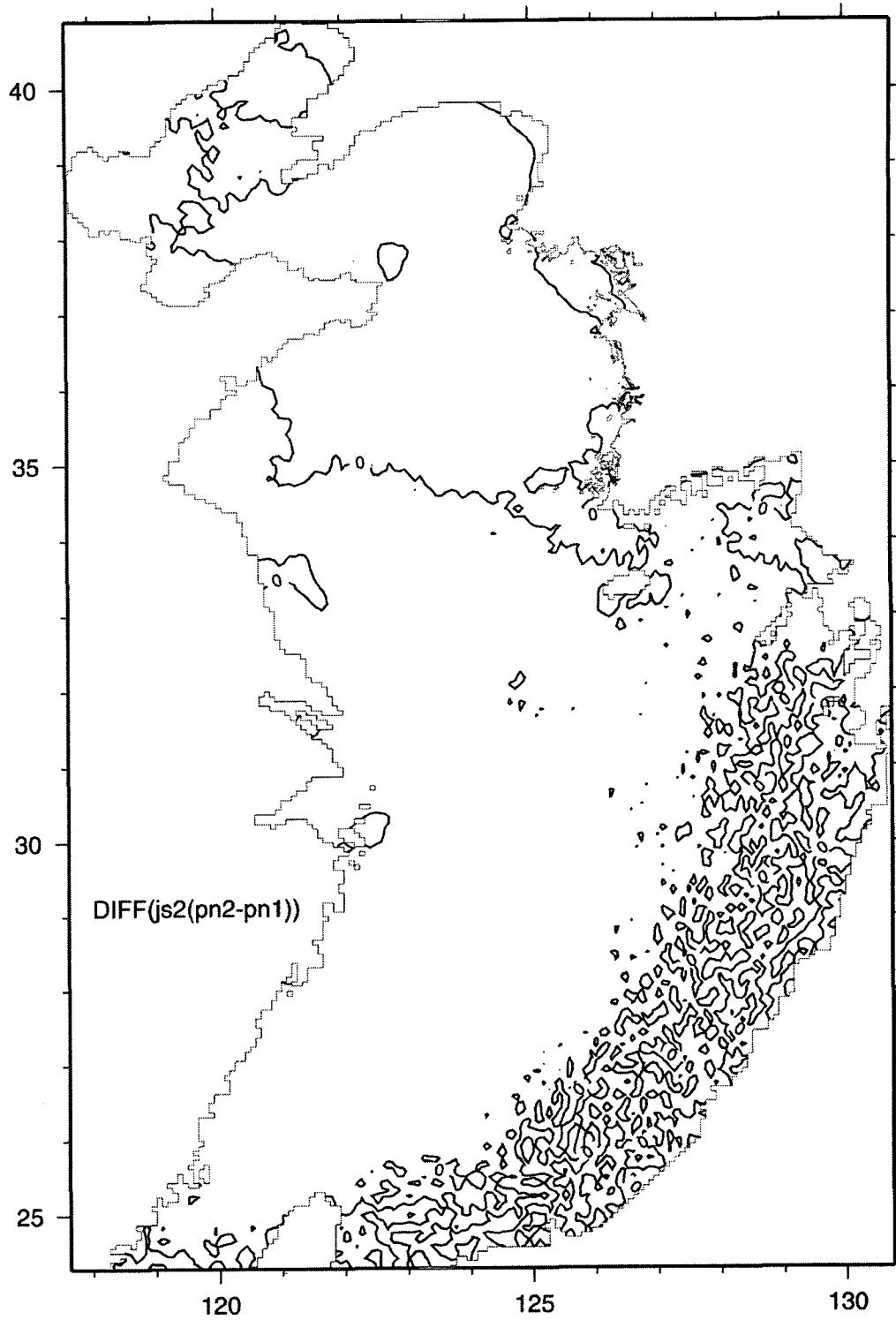
<그림 3.2.5b> 새만금 조력발전소 가동시 새만금 인근해역 S2 조석도(굵은선:진폭 (cm), 가는선:등조시선).



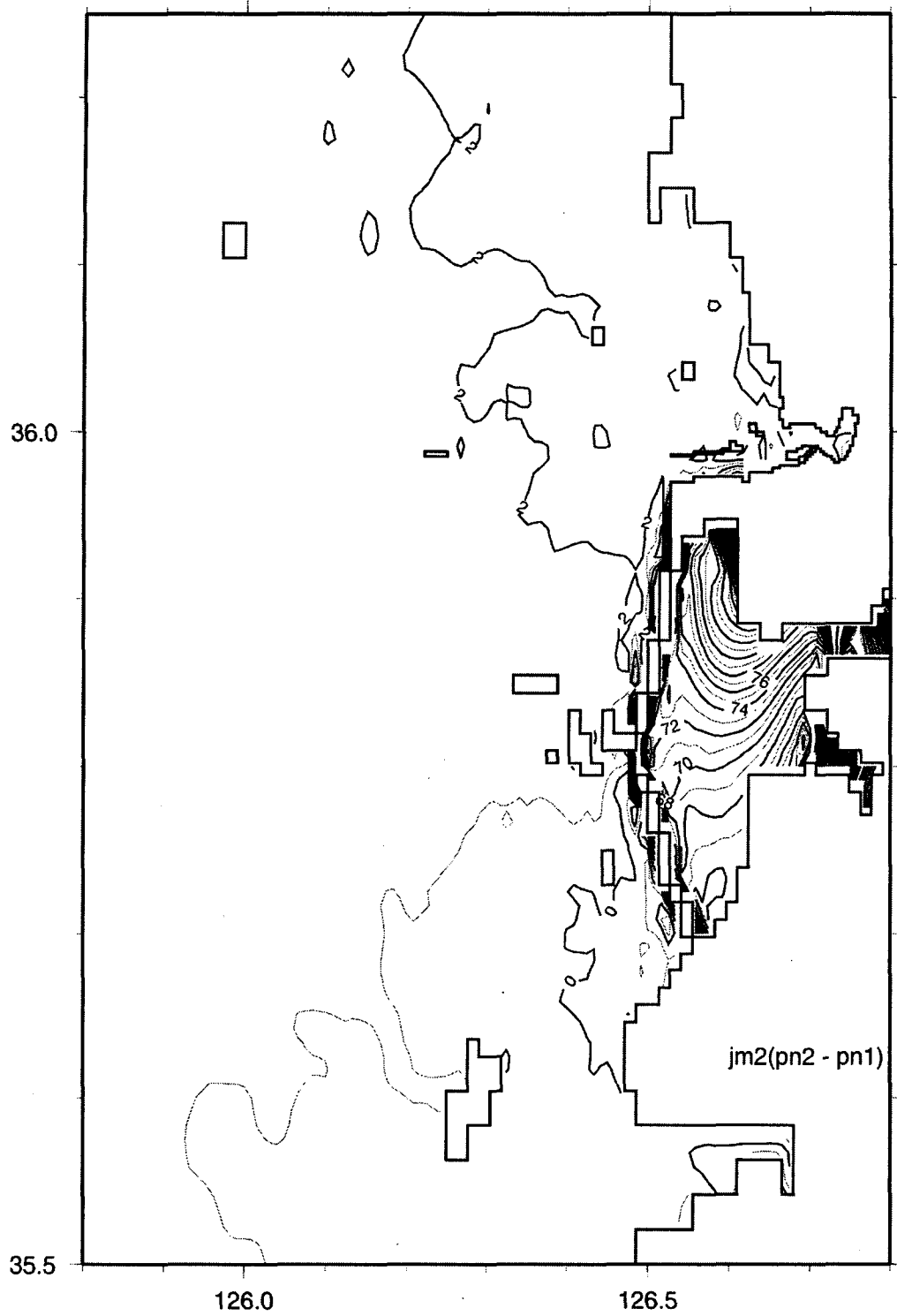
<그림 3.2.5c> 새만금 조력발전소 가동시 새만금 인근해역 K1 조석도(굵은선:진폭 (cm), 가는선:등조시선).



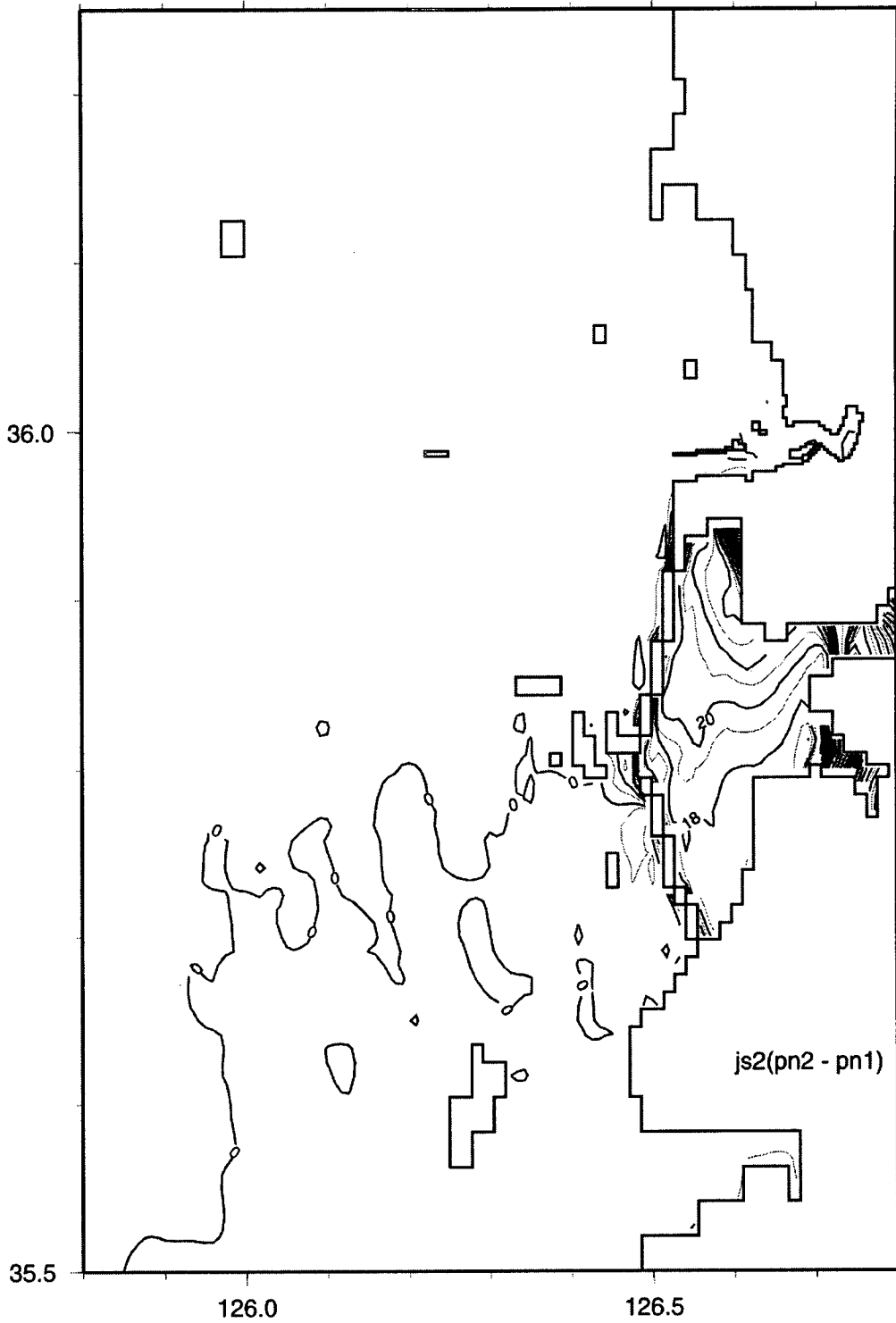
<그림 3.2.6a> 황동중국해 M2 진폭 변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm)



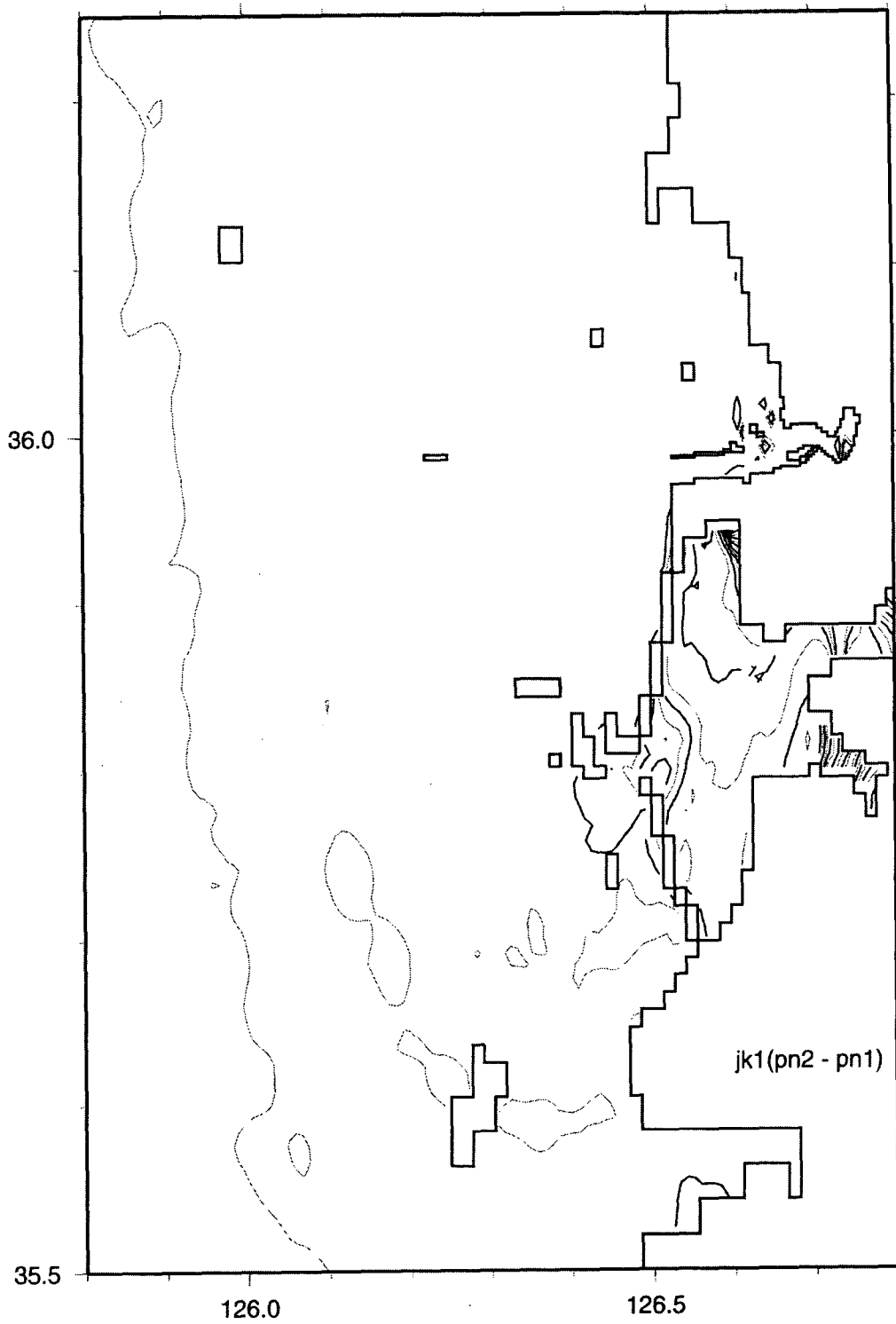
<그림 3.2.6b> 황동중국해 S2 진폭 변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm)



<그림 3.2.7a> 새만금 인근 M2 진폭 변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm)



<그림 3.2.7b> 새만금 인근 S2 진폭 변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm)



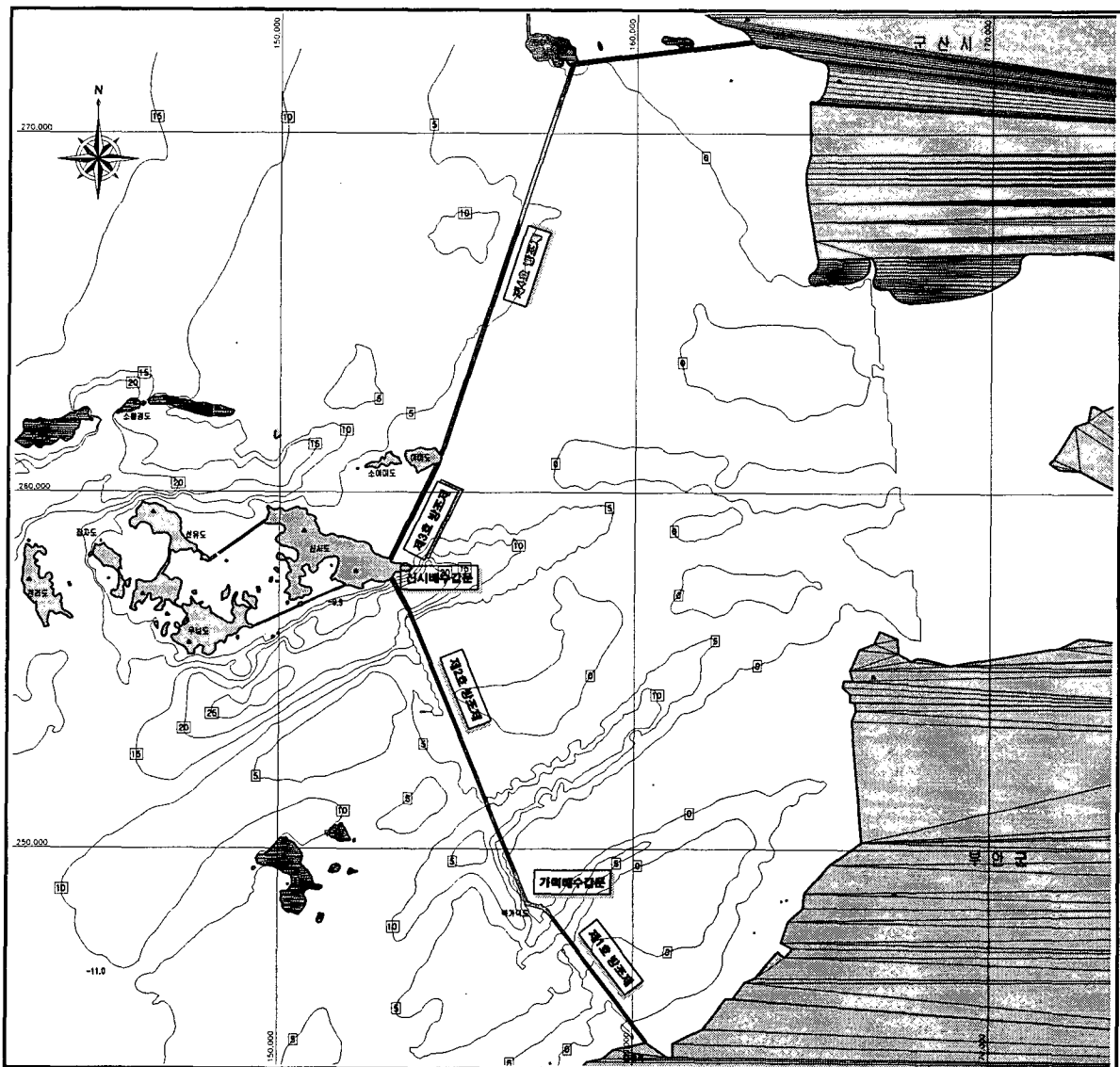
<그림 3.2.7c> 새만금 인근 K1 진폭 변화(발전소가동시-방조제완공현상태)(cm)

제3절 새만금 조력발전 개념설계

1. 새만금 조력발전 사업후보지 현황

가. 기초자료 조사

(1) 발전소 위치 : 전라북도 군산과 부안사이의 새만금 방조제 일대 해역



<그림 3.3.1> 새만금 해역 위치 현황도.

(2) 새만금 방조제 공사관련 현황

- 사업시행 체계
 - 사업시행 주체 : 농림부
 - 보상업무 : 전라북도
 - 공사집행 : 농업기반공사

- 사업기간 : 1991년~2011년(방조제 2006년 완공예정)

- 새만금 개발면적 : 40,100ha
 - 토지조성 : 28,300ha
 - 담수호 : 11,800ha

- 사업비 : 3조 3,666억원
 - 방조제 : 2조 514억원(공사비 1조 6,044억원, 보상비 4,470억원)
 - 내부개발 : 1조 3,152억원(농지조성 기준)

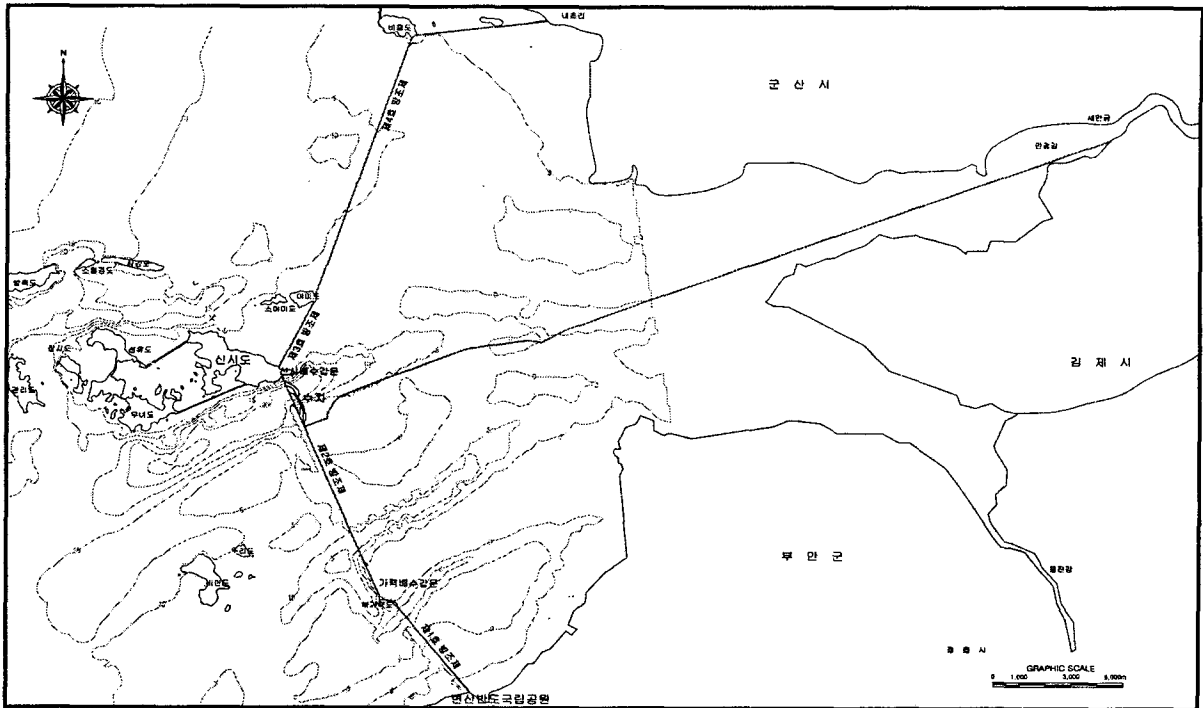
- 주요시설
 - 방조제 : 4개소(33km)
 - 배수갑문 : 2개소(656m)

- 방조제 공사추진 현황
 - 제1호 방조제(4.7km) : 1998년 12월 준공
 - 제2호 방조제(9.9km) : 물막이된 7.2km 단면보강 공사중이며 가력배수갑문측 1.6km와 신시배수갑문측 1.1km 구간이 아직 체철이 되지 않았음
 - 제3호 방조제(2.7km) : 1994년 7월 물막이 완료
 - 제4호 방조제(11.4km) : 2003년 6월 물막이 완료

- 배수갑문 2개소 공사추진 현황
 - 가력배수갑문 : 수문 16련 제작·설치 완료(2003년 준공)
 - 신시배수갑문 : 기초 및 구체 콘크리트, 배수갑문 설치 공사중

(3) 조력발전 소용량 개발 계획

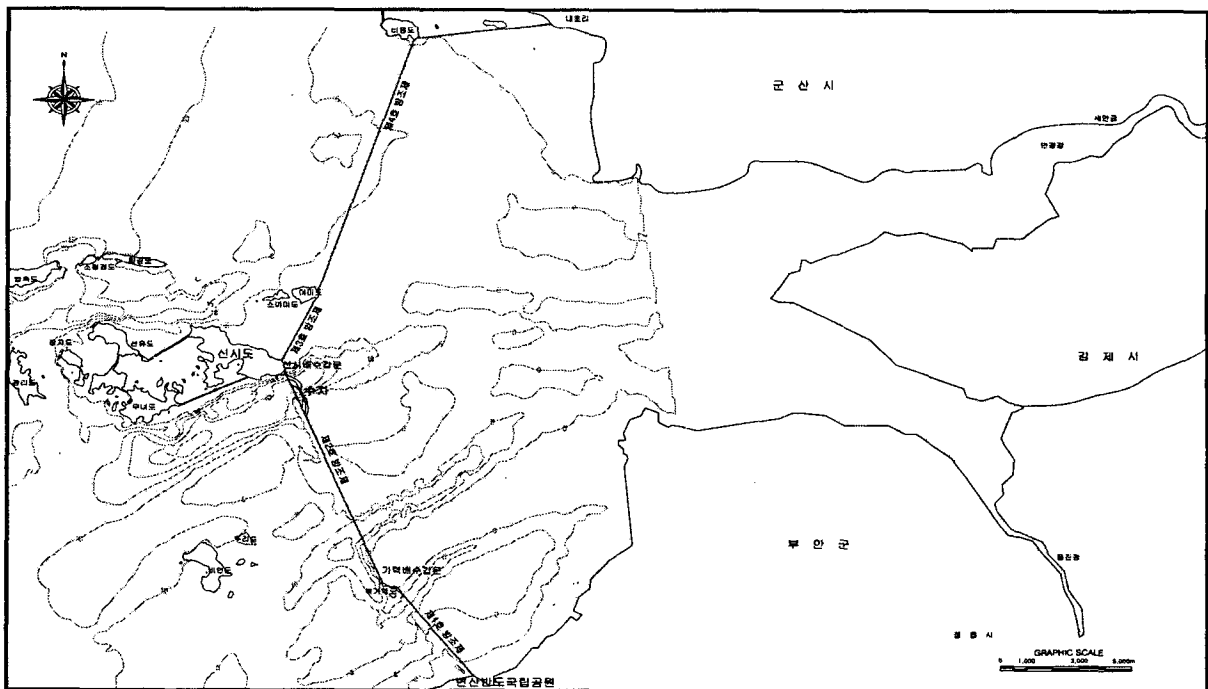
○ 내수면적 : 약 185km²



<그림 3.3.2> 새만금 조력발전 소용량 계획 위치도.

(4) 조력발전 대용량 개발 계획

○ 내수면적 : 약 405km²



<그림 3.3.3> 새만금 조력발전 대용량 계획 위치도.

나. 해양자료 검토

(1) 설계파랑(100년 빈도):

- 제2호 방조제 : 파고 3.88m, 주기 8.04sec
- 제4호 방조제 : 파고 4.37m, 주기 8.09sec

(2) 설계조위 : 새만금 지역의 조석자료는 국립해양조사원(1999년)에서 제공하는 선 유도검조소의 자료를 사용한다.

<표 3.3.1> 새만금 조석의 조화상수 및 비조화상수.

| 조 화 상 수 | 항 목 | | 반조차 (cm) | 지각 (°) | 비고 |
|-----------------------|----------------|----------------|-------------|-----------|----|
| | 분 조 | | | | |
| 조 화 상 수 | M ₂ | 주태음반일주조 | 196.5 | 73.1 | |
| | S ₂ | 주태양반일주조 | 69.0 | 116.9 | |
| | K ₁ | 일월합성일주조 | 33.4 | 264.6 | |
| | O ₁ | 주태음일주조 | 24.8 | 236.3 | |
| 비 조 화 상 수 | 평균고조간격 | (M.H.W.I) | 2h 31m | | |
| | 평균저조간격 | (M.L.W.I) | 8h 43m | | |
| | 약최고고조위 | (App. H.H.W) | 647.4cm | | |
| | 대조평균고조위 | (H.W.O.S.T) | 589.2cm | | |
| | 평균고조위 | (H.W.O.M.T) | 520.2cm | | |
| | 소조평균고조위 | (H.W.O.N.T) | 451.2cm | | |
| | 평균해면 | (M.S.L) | 323.7cm | | |
| | 소조평균저조위 | (L.W.O.N.T) | 196.2cm | | |
| | 평균저조위 | (L.W.O.M.T) | 127.2cm | | |
| | 대조평균저조위 | (L.W.O.S.T) | 58.2cm | | |
| | 약최저저조위 | (App. L.W.L) | 0.0cm | | |
| | 대조차 | (Spring Range) | 531.0cm | | |
| | 평균조차 | (Mean Range) | 393.0cm | | |
| 저조차 | (Neap Range) | 255.0cm | | | |

자료 : 국립해양조사원(1999년)

(3) 설계조류 : 이 해역에는 많은 도서가 산재하고 동측에는 새만금 방조제 공사가 진행중으로 유황이 복잡한 양상을 보인다. 창(낙)조류는 군산외항의 저조후 0.4~0.8(고조후 0.5~1.2)시경에 전류하여 고조후 0.5~1.2(저조후 0.4~0.4)시경까지 지속된다. 평균대조기 최강창(낙)조류는 고조전 2.5~2.9(저조전 2.2~4.1)시경에 1.2~2.7(1.1~3.1)kn에 이르며, 최강유속은 신지도 남측의 새만금 방조제 개구부에서 나타난다.

다. 방조제 관련 조사

(1) 각 방조제별 공사현황

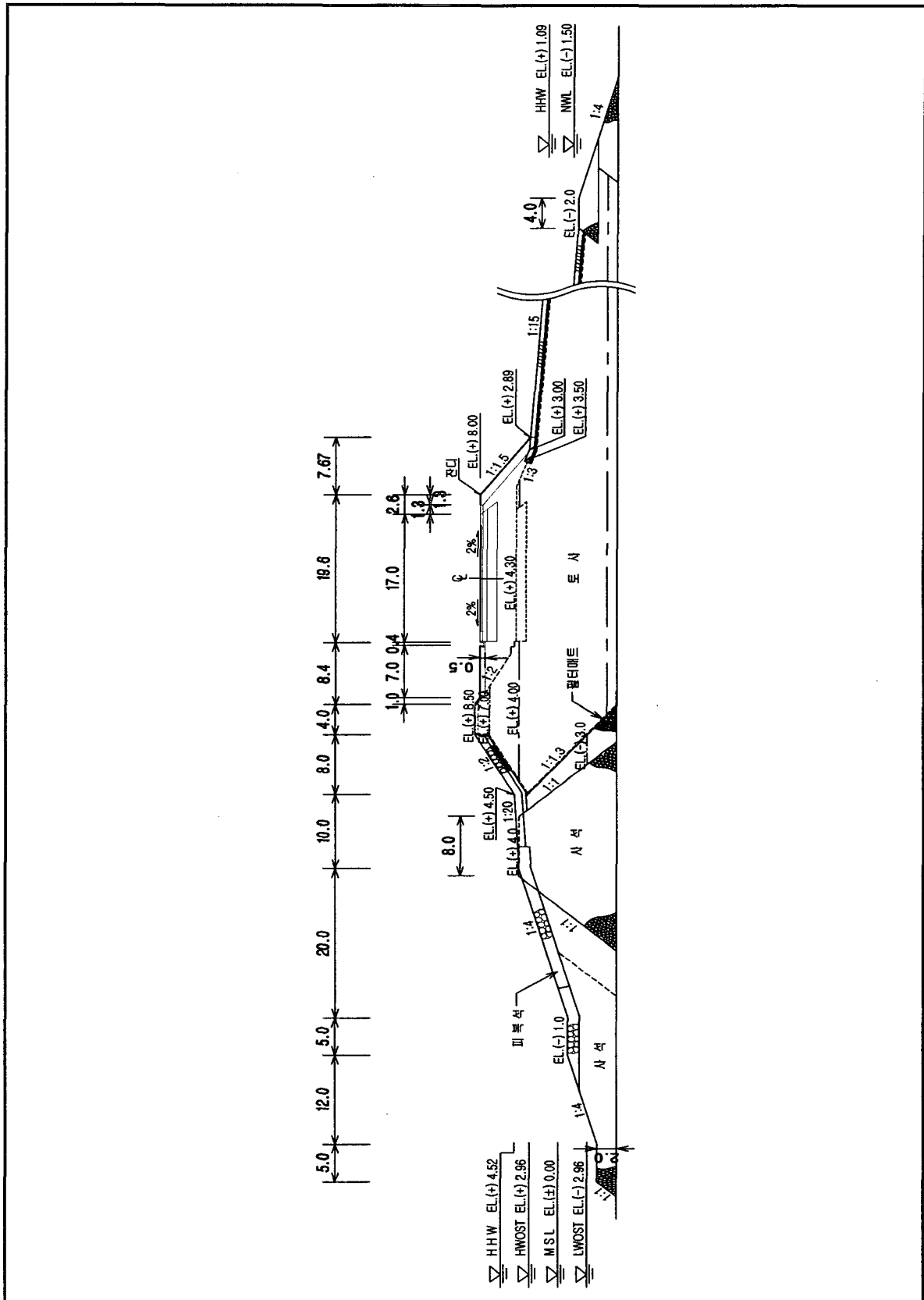
- 제1호방조제(1공구) : 4.7km, 1998년 12월 준공
 - 구 간 : 변산면 대항리~가력도
 - 시 공 회 사 : (주)대우건설
 - 총 공 사 비 : 527억원
 - 높이 및 너비 : 제정고 EL.(+)10.2m
 - 축 조 공 법 : 경사식 사석·해사 성토 공법
 - 부 설 도 로 : 4차선(폭 17m)

- 제2호방조제(2공구) : 9.9km, 2006년 12월 준공 예정
 - 구 간 : 가력도~신시도
 - 시 공 회 사 : (주)현대건설
 - 총 공 사 비 : 5,674억원
 - 높이 및 너비 : 제정고 EL.(+)9.60m, 평균밀너비 290m
 - 축 조 공 법 : 경사식 사석·해사 성토 공법
 - 부 설 도 로 : 4차선(폭 17m)

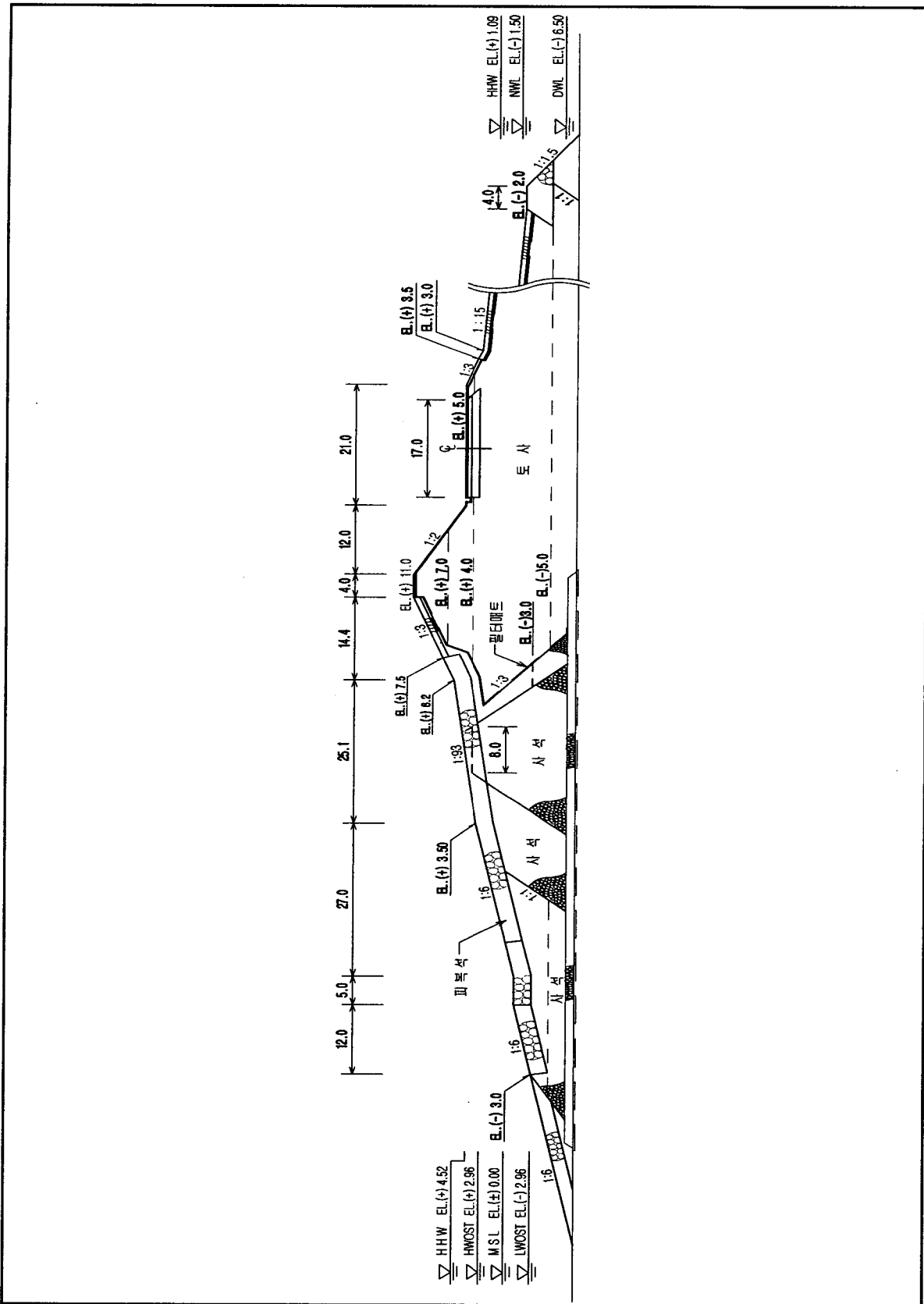
- 제3호방조제(3공구) : 2.7km, 2006년 12월 준공 예정
 - 구 간 : 신시도~야미도
 - 시 공 회 사 : (주)대림산업
 - 총 공 사 비 : 1,657억원
 - 높이 및 너비 : 제정고 EL.(+)8.50m, 평균밀너비 198m
 - 축 조 공 법 : 경사식 사석·해사 성토 공법
 - 부 설 도 로 : 4차선(폭 17m)

- 제4호방조제(4공구) : 11.4km, 2006년 12월 준공 예정
 - 구 간 : 야미도~비용도
 - 시 공 회 사 : (주)대우건설
 - 총 공 사 비 : 4,197억원
 - 높이 및 너비 : 제정고 EL.(+)11.0m, 평균밀너비 290m
 - 축 조 공 법 : 경사식 사석·해사 성토 공법
 - 부 설 도 로 : 4차선(폭 17m)

○ 제3호방조제 표준단면도



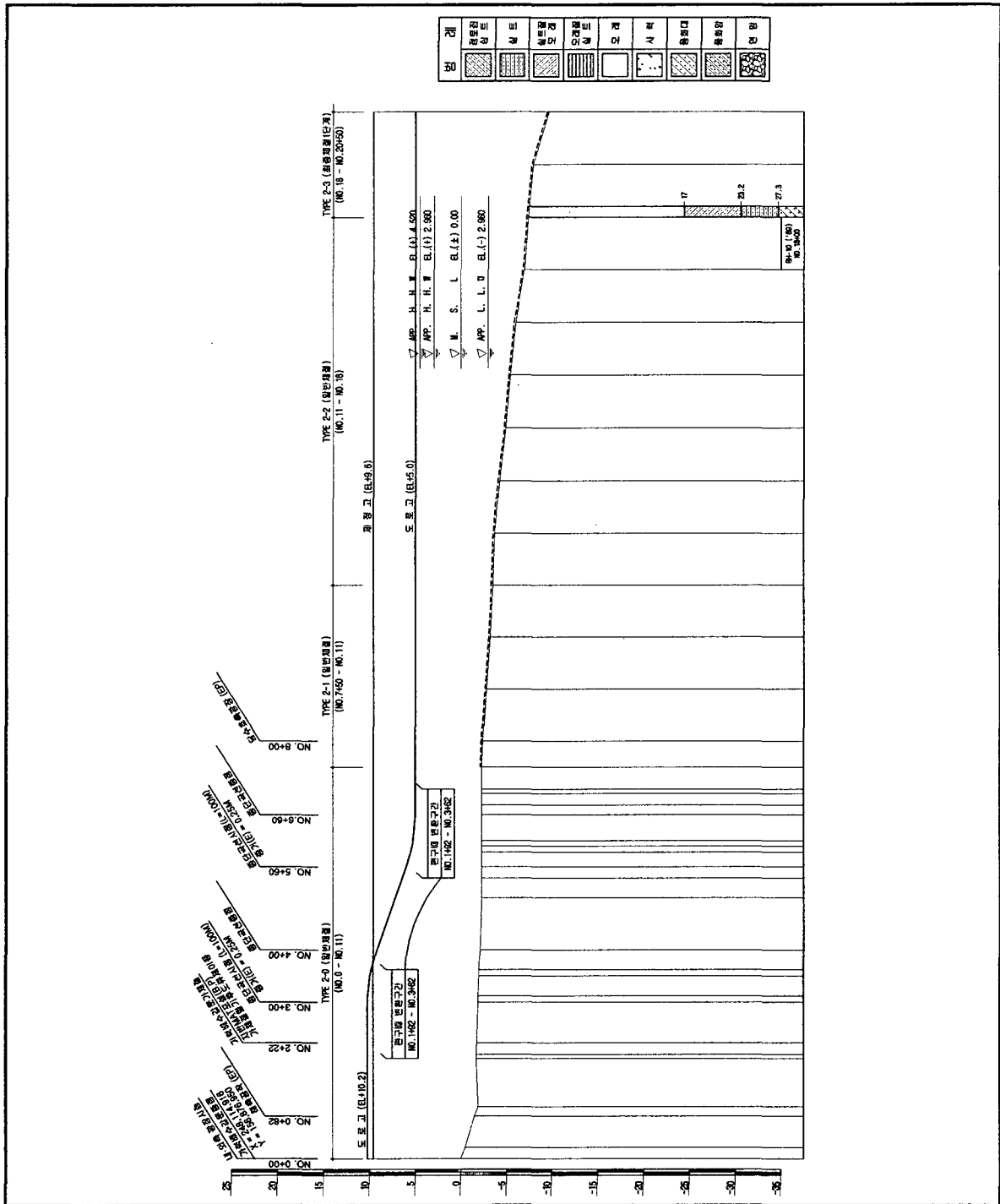
○ 제4호방조제 표준단면도



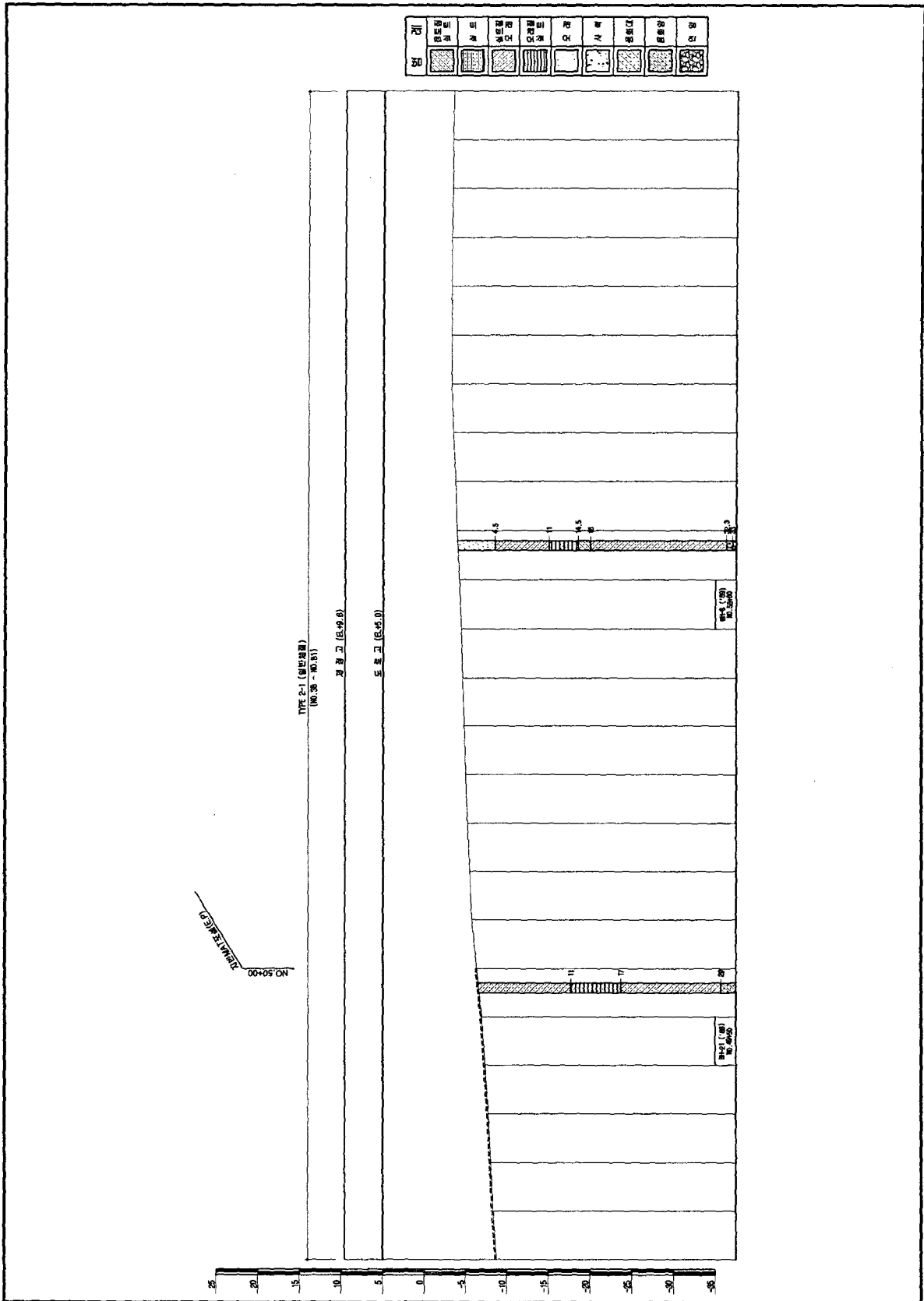
(3) 수심 및 지질조건

새만금 조력발전소 후보지의 수심 및 지반조사는 각 공구별로 1986년~1991년도에 조사 설계된 자료를 모집하여 사용하였다. 본 자료는 그동안 공사 진척에 따른 변화 등을 고려하여 기본계획 및 실시설계시 별도의 추가 조사를 수행하여야 한다.

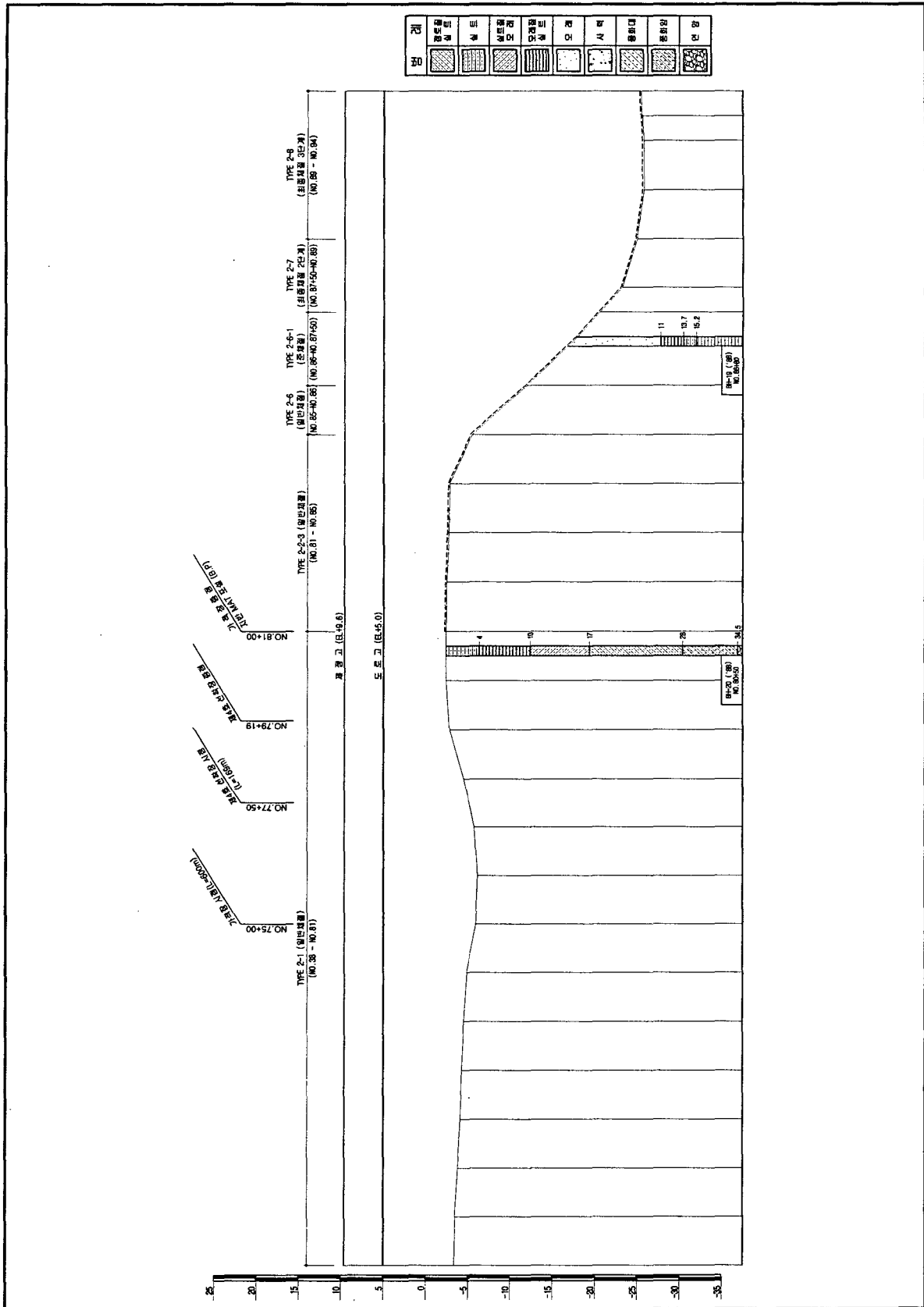
○ 제2호방조제 종단면도 및 토질주상도(1/5)



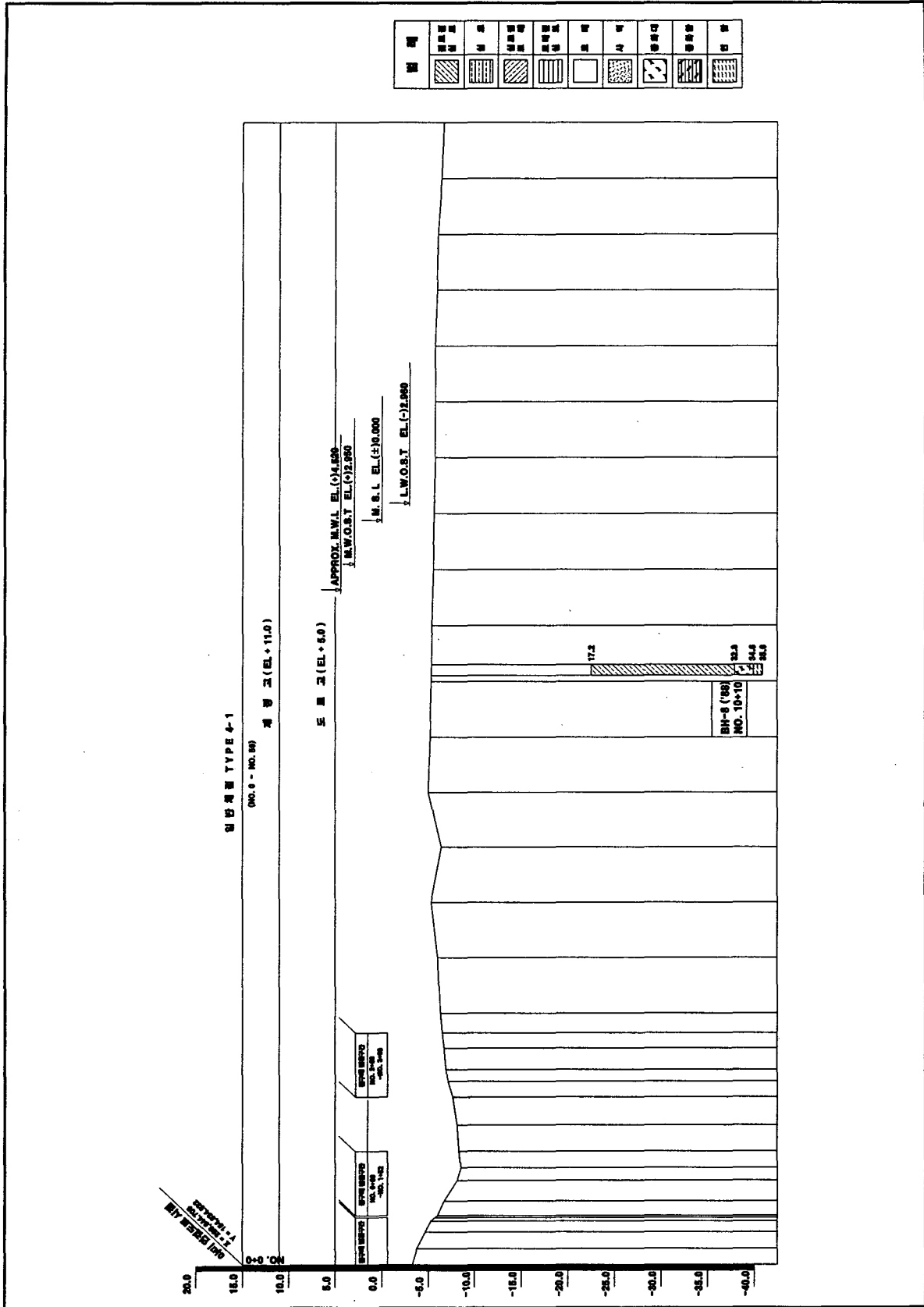
○ 제2호방조제 종단면도 및 토질주상도(3/5)



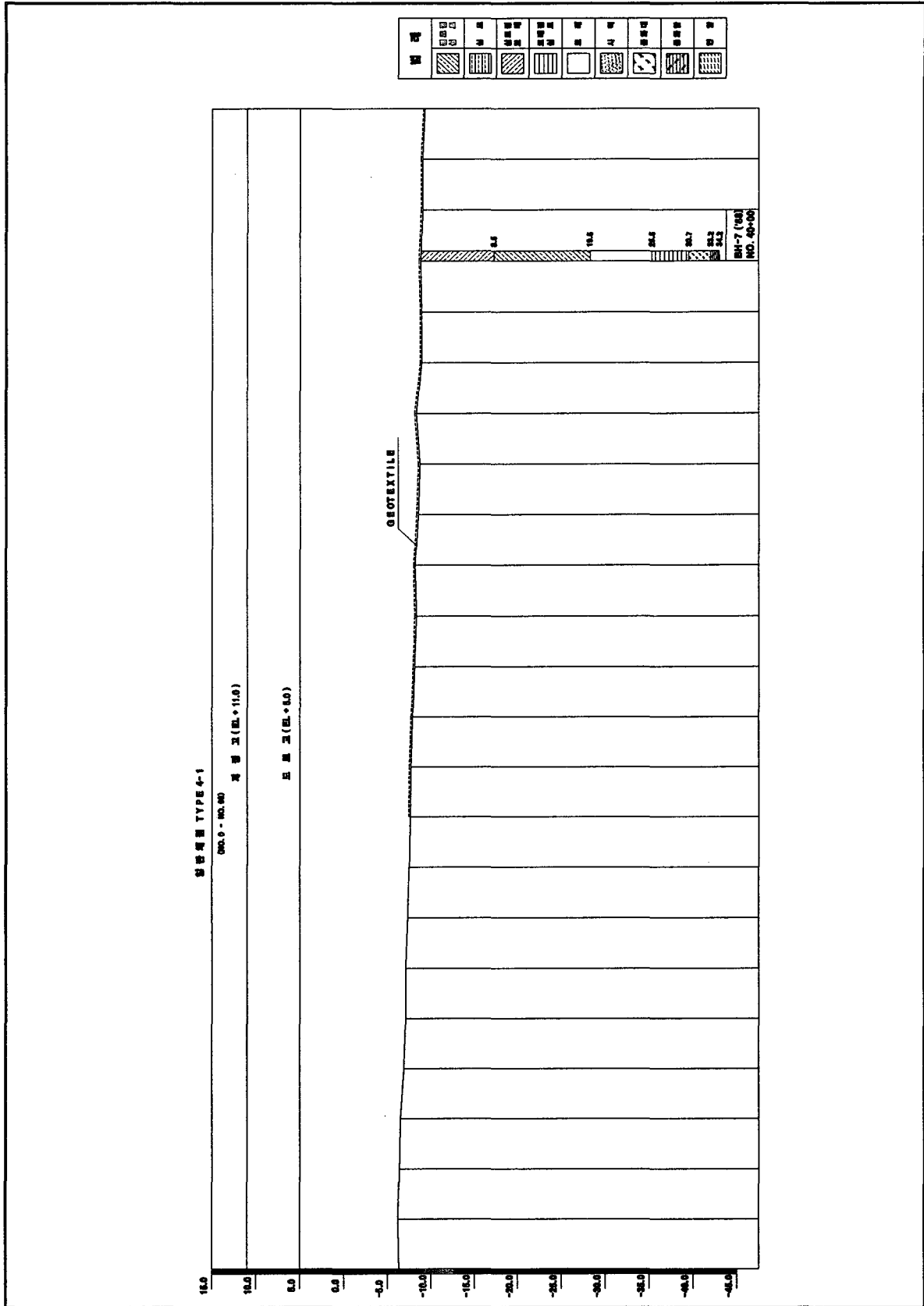
○ 제2호방조제 종단면도 및 토질주상도(4/5)



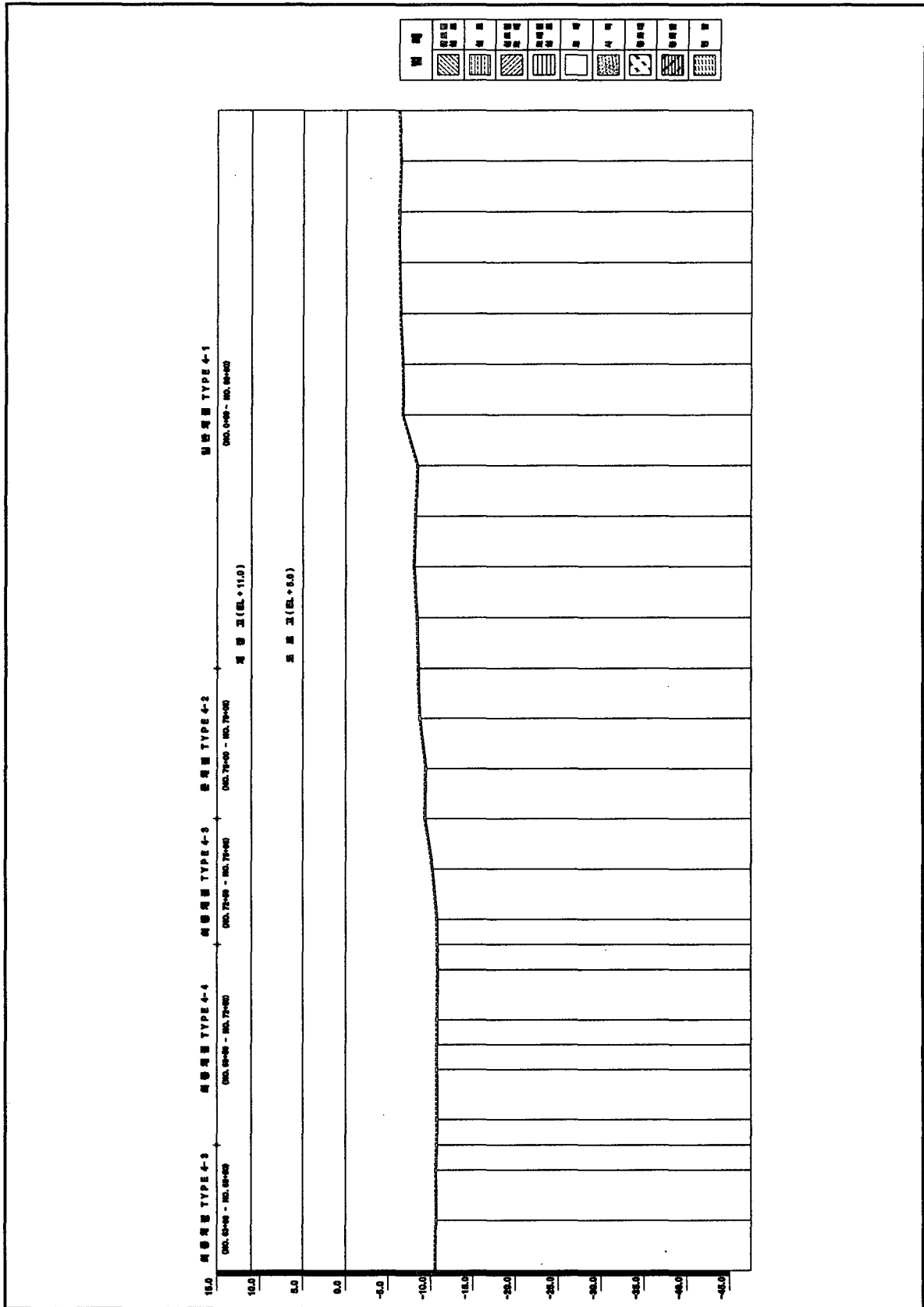
○ 제4호방조제 종단면도 및 토질주상도(1/5)



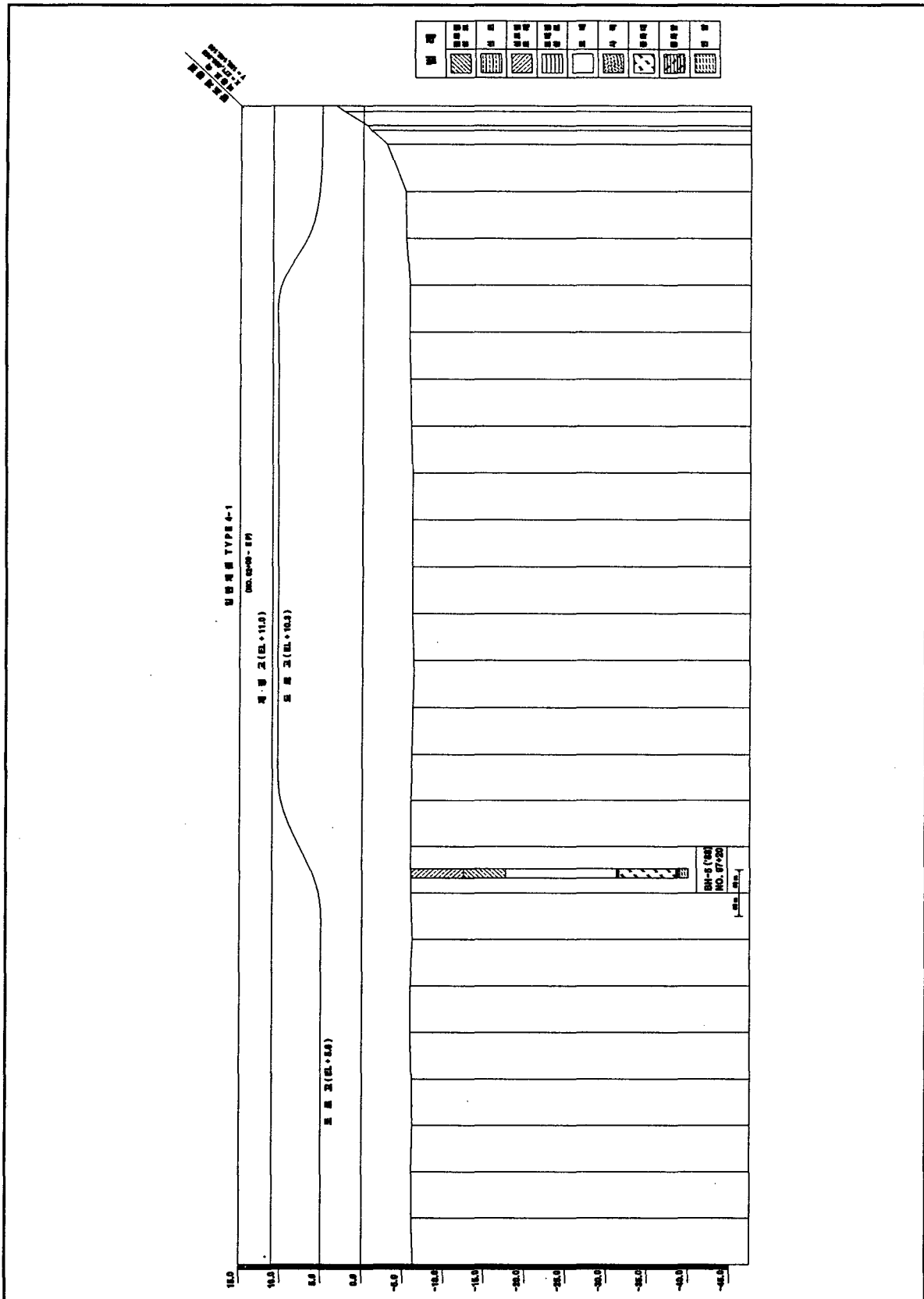
○ 제4호방조제 중단면도 및 토질주상도(2/5)



○ 제4호방조제 종단면도 및 토질주상도(4/5)



○ 제4호방조제 종단면도 및 토질주상도(5/5)



2. 새만금 조력발전 안별 조력발전량 산출 및 적정개발 규모

본 조사에서는 새만금순차개발계획에 의거하여 새만금 내부 방수제를 조성한다는 전제하에 새만금 조력개발을 상기에서 나타낸 바와 같이 소용량과 대용량으로 구분하였고, 만내의 조간대 영역의 개발 가능성을 검토하기 위하여 창조식 및 낙조식 발전방식을 각각 적용하는 4개안을 도출하였다. 따라서 본 조사에서는 방수제 조성을 위한 공사비는 산정하지 않았다.

1차년도에 새만금에 적용하였던 발전량 산출방식과 다른 점은 배수갑문을 발전량 산정에 이용한 것과 조간대 영역의 활용을 위하여 창조식 발전방식을 적용한 것이다. 또한 수차발전기 및 추가 수문의 위치를 수심 및 지반조건 등을 고려하여 신시도 인근에 설치하는 것으로 배치한 것이다. 그리고 발전량 산출의 정확도를 제고하기 위하여 최근의 수심측량 결과를 입수하여 활용하였다.

발전량 산정은 제2장 3절에 언급한 바 있는 최적발전량 산출모형을 적용하였으며 사용하였고, 상기에서 언급한 차이점이외에는 1차년도와 동일한 조건을 적용하여 조력발전 출력 산정 모형을 구축하여 활용하였다. 각 안별 낙조식과 창조식 발전방식을 적용하여 14.5일간의 발전량 산출 예를 <그림 3.3.4>와 <그림 3.3.5>에 도시하였다.

용량별 및 발전방식별 새만금 조력발전 적정개발규모 파악을 위하여 조력발전출력 산정 모형을 이용하여 수차발전기(2만kW급)는 10대(20만kW)에서 38대(76만kW)까지 2대 간격, 수문(12m×12m)은 0대에서 18대까지 2대 간격의 150개 조합에 대하여 2005년도의 천문인수를 적용하여 연간발전량을 산정하였다. 또한 다음 항에 제시된 새만금 조력발전 평면배치계획안을 기본으로 최근 물가자료 등을 참조하여 150개 개발안에 대한 개략공사비를 산출하였고, 이들 안에 대한 개략공사비 및 연간발전량과의 비교한 결과 중에서 36개안만을 선정하여 <표 3.3.3> ~ <표 3.3.6>에 제시하였다. 그리고 각 안별로 선정된 새만금 해역의 개발안별 특성 및 개략경제성을 <표 3.3.2>에 요약하였다.

이에 따르면 새만금 대용량의 경우 창조발전과 낙조발전 적용시의 적정개발규모는 수차발전기(2만kW급) 26대(52만kW), 수문 12대와 수차발전기 26대(52만kW), 수문 8대로 나타났다. 그리고 소용량의 경우는 수차발전기 20대(40만kW), 수문 10대와 수차발전기

20대(40만kW), 수문 8대로 나타났다. 대용량 낙조발전의 경우 개략경제성 측면에서 수차와 수문의 대수가 감소할수록 증가하는 양상을 보여 연간발전량 대비 공사비율(원/kWh)이 800원/kWh 인근의 7개안들도 적정개발 규모로 판단되나, 이 중에서 연간발전량이 높아 경제성도 확보가 가능할 것으로 판단되는 수차 26, 수문 8대인 경우를 적정개발 규모로 선정하였다.

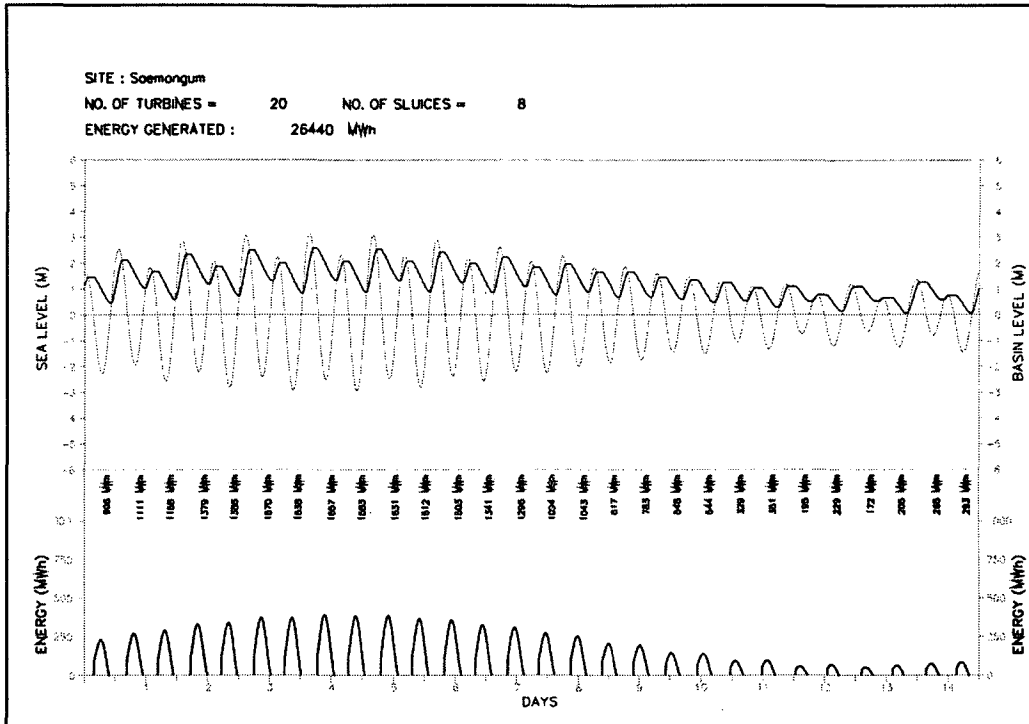
각 안별 적정개발 규모에 대한 연간발전량은 대용량 낙조발전(964GWh), 대용량 창조발전(938GWh), 소용량 낙조발전(711GWh), 그리고 소용량 창조발전(687GWh) 순으로 나타났고, 개략경제성 측면에서도 이와 같은 특성을 보였다. 그러나 이는 조력발전에서 사용하는 수면적을 비교하면 소용량의 창조발전을 적용하는 것이 가장 경제적일 것으로 판단된다. 그 이유는 시화호처럼 창조발전을 적용하면 평균해수면 이상의 조간대를 개발하고, 평균해수면 이하는 조력발전으로 활용할 수 있기 때문이다. 이러한 소용량(만경수역 이용안) 창조발전을 적용하는 것은 정부의 “친환경순차개발계획안”과 배치되지 않으면서 향후 만경수역의 수질기준이 확보되지 못할 경우 새만금 개발의 대안으로 제시가 가능할 수도 있을 것이다. 이러한 기준 하에 새만금에 소용량 창조발전 방식을 적용하는 개발안을 채택하여 본 절의 7항에서 경제성 검토를 수행하였다.

<표 3.3.2> 새만금 해역 개발안별 특성 및 개략경제성

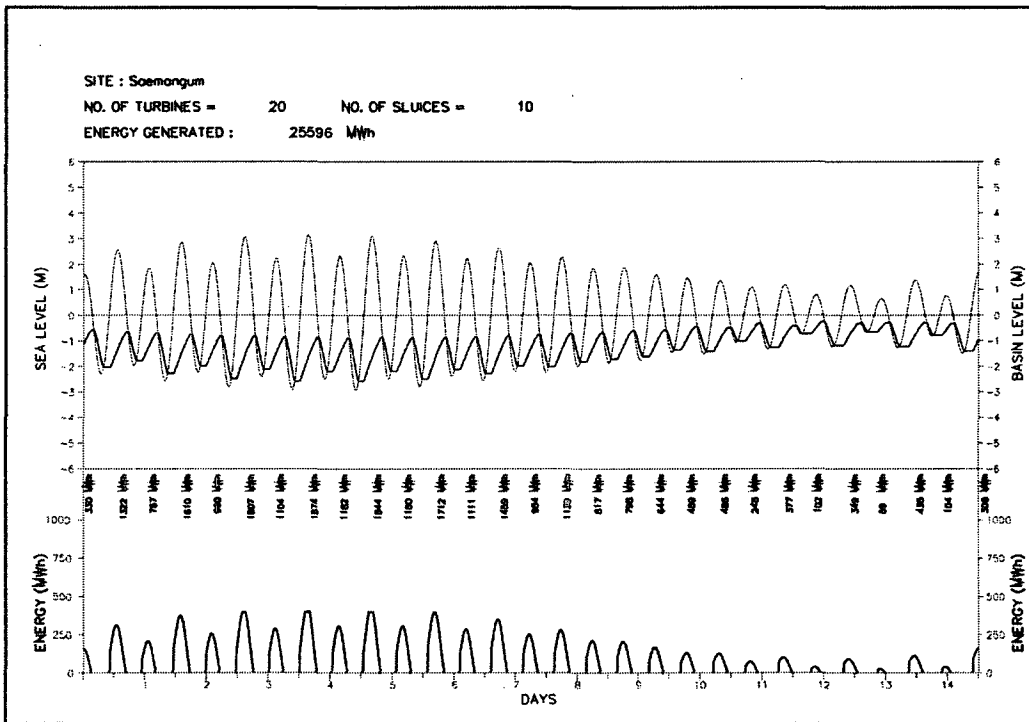
| 개발안 | 평균 대조차 (m) | 수면적 (km ²) | 시설용량 (만kW) | 발전량 (GWh) | 순공사비 /연간발전량 (원/kWh) | 개략 경제성 순위 | 채택 (안) |
|-------------|------------------|---------------------------|---------------|--------------|---------------------------|-----------------|-----------|
| 소용량 창조발전 | 5.32 | 185 | 40 | 687 | 960 | 4 | ★ |
| 소용량 낙조발전 | 5.32 | 185 | 40 | 711 | 902 | 3 | |
| 대용량 창조발전 | 5.32 | 405 | 52 | 938 | 862 | 2 | |
| 대용량 낙조발전 | 5.32 | 405 | 52 | 964 | 802 | 1 | |

※ 후보지별 적정개발안에 대한 경제적 비교를 통한 개발 우선순위 선정

※ ★ : 상세검토결과 순공사비 대비 발전량이 1차년도에 비하여 감소하여 개발경제성 상승, 채택안에 대하여 경제성 분석을 실시

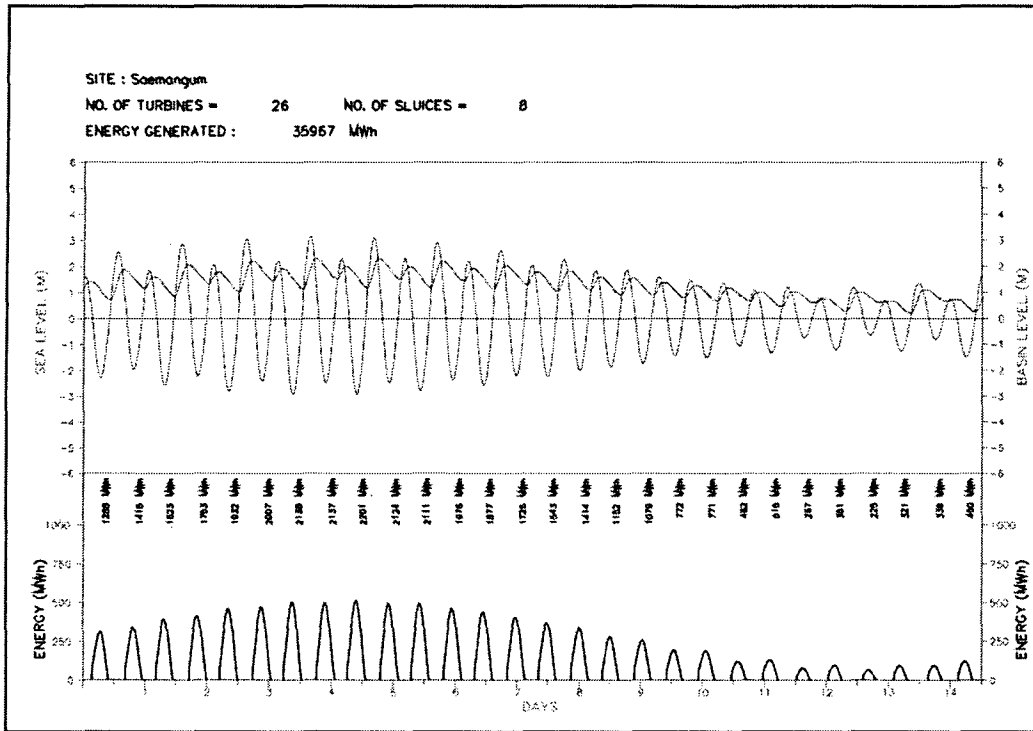


(a). 낙조발전 방식

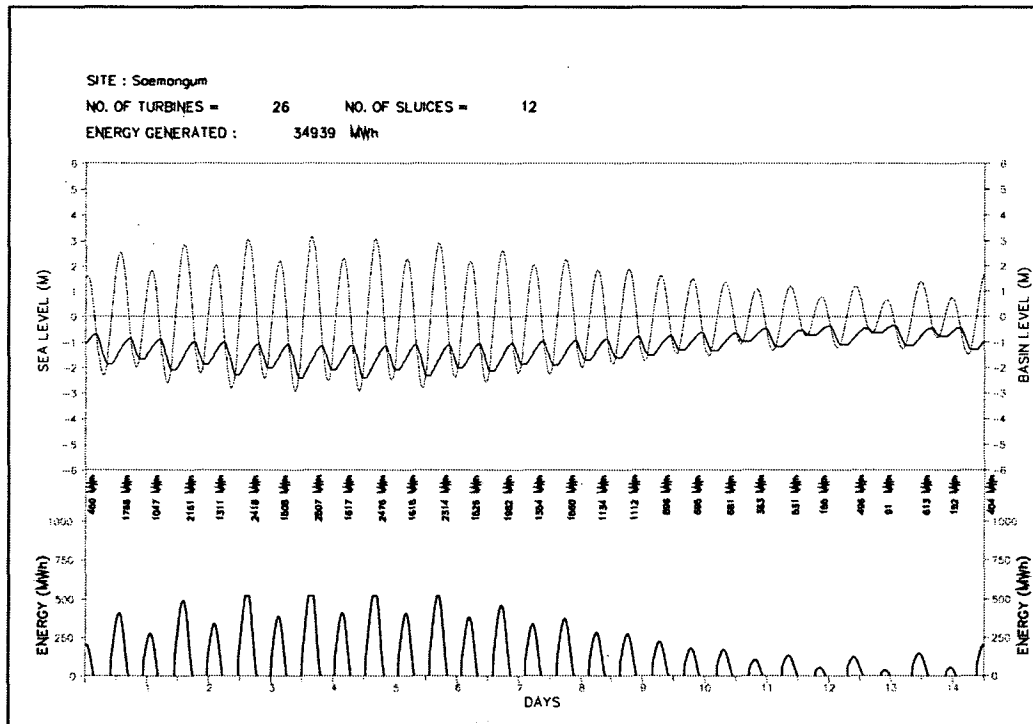


(b). 창조발전 방식

<그림 3.3.4> 새만금 소용량 대표 조석군(14.5일간)에 대한 발전량 산정결과.



(a). 낙조발전 방식



(b). 창조발전 방식

<그림 3.3.5> 새만금 대용량 대표 조석군(14.5일간)에 대한 발전량 산정결과.

<표 3.3.3> 새만금 소용량 창조발전 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율 (원/kWh).

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 6대 | 8대 | 10대 | 12대 | 14대 | 16대 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 16대 | {534,712} | {554,022} | {572,072} | {590,124} | {608,175} | {626,227} |
| | [550.10] | [572.24] | [589.80] | [603.66] | [614.66] | [623.31] |
| | 972.04 | 968.16 | 969.94 | 977.58 | 989.45 | 1,004.67 |
| 18대 | {580,236} | {599,546} | {617,596} | {635,648} | {653,699} | {671,751} |
| | [596.76] | [620.67] | [639.74] | [654.86] | [666.90] | [676.41] |
| | 972.31 | 965.96 | 965.39 | 970.66 | 980.20 | 993.12 |
| 20대 | {622,130} | {641,440} | {659,490} | {677,542} | {695,593} | {713,645} |
| | [641.15] | [666.58] | [686.89] | [703.08] | [715.97] | [726.20] |
| | 970.66 | 962.29 | 960.11 | 963.68 | 971.54 | 982.71 |
| 22대 | {665,839} | {685,149} | {703,199} | {721,251} | {739,302} | {757,354} |
| | [683.78] | [710.36] | [731.61] | [748.63] | [762.23] | [773.04] |
| | 973.76 | 964.51 | 961.17 | 963.43 | 969.92 | 979.71 |
| 24대 | {709,549} | {728,859} | {746,909} | {764,961} | {783,012} | {801,064} |
| | [724.68] | [752.08] | [774.11] | [791.77] | [805.90] | [817.18] |
| | 979.12 | 969.13 | 964.86 | 966.14 | 971.60 | 980.28 |
| 26대 | {753,258} | {772,568} | {790,618} | {808,670} | {826,721} | {844,773} |
| | [764.04] | [791.99] | [814.56] | [832.71] | [847.31] | [858.88] |
| | 985.88 | 975.48 | 970.60 | 971.13 | 975.70 | 983.58 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 3.3.4> 새만금 소용량 낙조발전 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율 (원/kWh)

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 4대 | 6대 | 8대 | 10대 | 12대 | 14대 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 16대 | {516,661} | {534,712} | {554,022} | {572,072} | {590,124} | {608,175} |
| | [566.61] | [589.57] | [608.32] | [623.79] | [636.64] | [647.40] |
| | 911.85 | 906.96 | 910.74 | 917.09 | 926.93 | 939.41 |
| 18대 | {562,185} | {580,236} | {599,546} | {617,596} | {635,648} | {653,699} |
| | [614.75] | [640.08] | [660.92] | [678.17] | [692.53] | [704.66] |
| | 914.49 | 906.50 | 907.14 | 910.69 | 917.86 | 927.68 |
| 20대 | {604,079} | {622,130} | {641,440} | {659,490} | {677,542} | {695,593} |
| | [660.66] | [688.10] | [710.75] | [729.60] | [745.39] | [758.76] |
| | 914.35 | 904.13 | 902.48 | 903.91 | 908.98 | 916.76 |
| 22대 | {647,788} | {665,839} | {658,149} | {703,199} | {721,251} | {739,302} |
| | [704.83] | [733.96] | [758.18] | [778.50] | [795.57] | [810.06] |
| | 919.06 | 907.19 | 903.68 | 903.28 | 906.59 | 912.65 |
| 24대 | {691,498} | {709,549} | {728,859} | {746,909} | {764,961} | {783,012} |
| | [747.36] | [777.93] | [803.62] | [825.12] | [843.37] | [858.71] |
| | 925.26 | 912.09 | 906.97 | 905.22 | 907.03 | 911.85 |
| 26대 | {753,207} | {753,258} | {772,568} | {790,618} | {808,670} | {826,721} |
| | [788.42] | [820.32] | [847.13] | [869.66] | [888.81] | [905.034] |
| | 932.51 | 918.24 | 911.98 | 909.11 | 909.83 | 913.47 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 3.3.5> 새만금 대용량 창조발전 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율 (원/kWh)

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 8대 | 10대 | 12대 | 14대 | 16대 | 18대 |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 22대 | {685,149} [787.90] 869.59 | {703,199} [811.46] 867.07 | {721,251} [831.82] 867.07 | {739,302} [849.46] 870.33 | {757,354} [864.82] 875.74 | {775,406} [878.22] 882.93 |
| 24대 | {728,859} [838.40] 869.34 | {746,909} [863.68] 864.80 | {764,961} [885.69] 863.69 | {783,012} [904.78] 865.42 | {801,064} [921.39] 869.41 | {819,116} [936.00] 875.13 |
| 26대 | {772,568} [887.29] 870.07 | {790,618} [914.29] 864.74 | {808,670} [937.64] 862.45 | {826,721} [958.10] 862.88 | {844,773} [976.01] 865.54 | {862,825} [991.66] 870.08 |
| 28대 | {816,278} [934.93] 873.09 | {834,328} [963.26] 866.15 | {852,380} [988.01] 862.73 | {870,431} [1,009.74] 862.04 | {888,483} [1,028.65] 863.74 | {906,535} [1,045.40] 867.17 |
| 30대 | {859,987} [981.20] 876.47 | {878,037} [1,010.88] 868.59 | {896,089} [1,036.87] 864.22 | {914,140} [1,059.63] 862.70 | {932,192} [1,079.66] 863.41 | {950,244} [1,097.31] 865.97 |
| 32대 | {903,696} [1,026.55] 880.33 | {921,746} [1,057.21] 871.87 | {939,798} [1,084.38] 866.67 | {957,849} [1,108.10] 864.41 | {975,901} [1,129.19] 864.25 | {993,953} [1,147.54] 866.16 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

<표 3.3.6> 새만금 대용량 낙조발전 36개안에 대한 연간발전량 대비 공사비율 (원/kWh)

Unit : ₩/ kWh

| 수문 수차 | 4대 | 6대 | 8대 | 10대 | 12대 | 14대 |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 22대 | {647,788} | {665,839} | {685,149} | {703,199} | {721,251} | {739,302} |
| | [809,71] | [833.52] | [854.47] | [872.88] | [889.37] | [904.10] |
| | 800.03 | 798.82 | 801.84 | 805.61 | 810.97 | 817.72 |
| 24대 | {691,498} | {709,549} | {728,895} | {746,909} | {764,961} | {783,012} |
| | [861.40] | [887.31] | [910.12] | [930.41] | [948.44] | [964.59] |
| | 802.77 | 799.66 | 800.84 | 802.78 | 806.55 | 811.76 |
| 26대 | {735,207} | {753,258} | {772,568} | {790,618} | {808,670} | {826,721} |
| | [911.29] | [939.18] | [963.89] | [985.93] | [1,005.44] | [1,023.17] |
| | 806.78 | 802.04 | 801.51 | 801.90 | 804.30 | 808.00 |
| 28대 | {778,917} | {796,968} | {816,278} | {834,328} | {852,380} | {870,431} |
| | [959.85] | [989.56] | [1,016.04] | [1,039.67] | [1,060.77] | [1,079.84] |
| | 811.50 | 805.38 | 803.39 | 802.49 | 803.55 | 806.07 |
| 30대 | {822,626} | {840,677} | {859,987} | {878,037} | {896,089} | {914,140} |
| | [1,007.10] | [1,038.59] | [1,066.78] | [1,091.78] | [1,114.31] | [1,134.71] |
| | 816.83 | 809.44 | 806.15 | 804.23 | 804.17 | 805.62 |
| 32대 | {866,335} | {884,386} | {903,696} | {921,746} | {939,798} | {957,849} |
| | [1,053.30] | [1,086.42] | [1,116.00] | [1,142.61] | [1,166.55] | [1,188.11] |
| | 822.50 | 814.03 | 809.77 | 806.70 | 805.62 | 806.20 |

{ } : 건설공사비(백만원)

[] : 연간발전량(GWh)

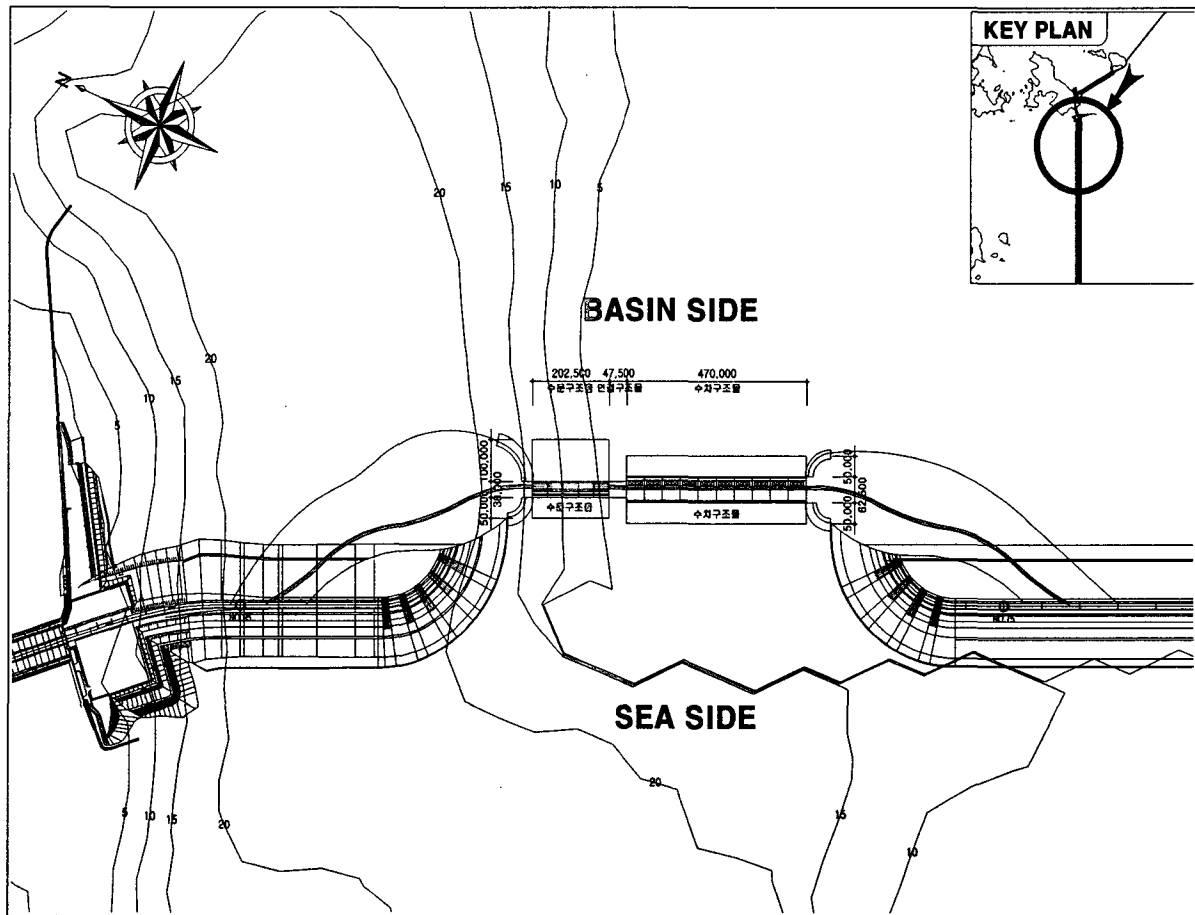
3. 새만금 조력발전 평면배치계획 검토

가. 개요

새만금 조력발전은 공사비 절감 및 공기 단축을 위하여 수차발전기 구조물과 수문구조물을 같이 기존 새만금 방조제 내측(Basin Side)에 배치함으로써 기존 방조제는 공사 중에 가물막이 기능과 기존 방조제의 도로기능을 유지하게 된다. 수차발전기 구조물과 수문 구조물처럼 해상에 설치되는 대형 구조물은 가물막이 공사 후 Dry 상태에서 시공하는 것으로 계획하여 현장타설 구조물 형식으로 선정하였다.

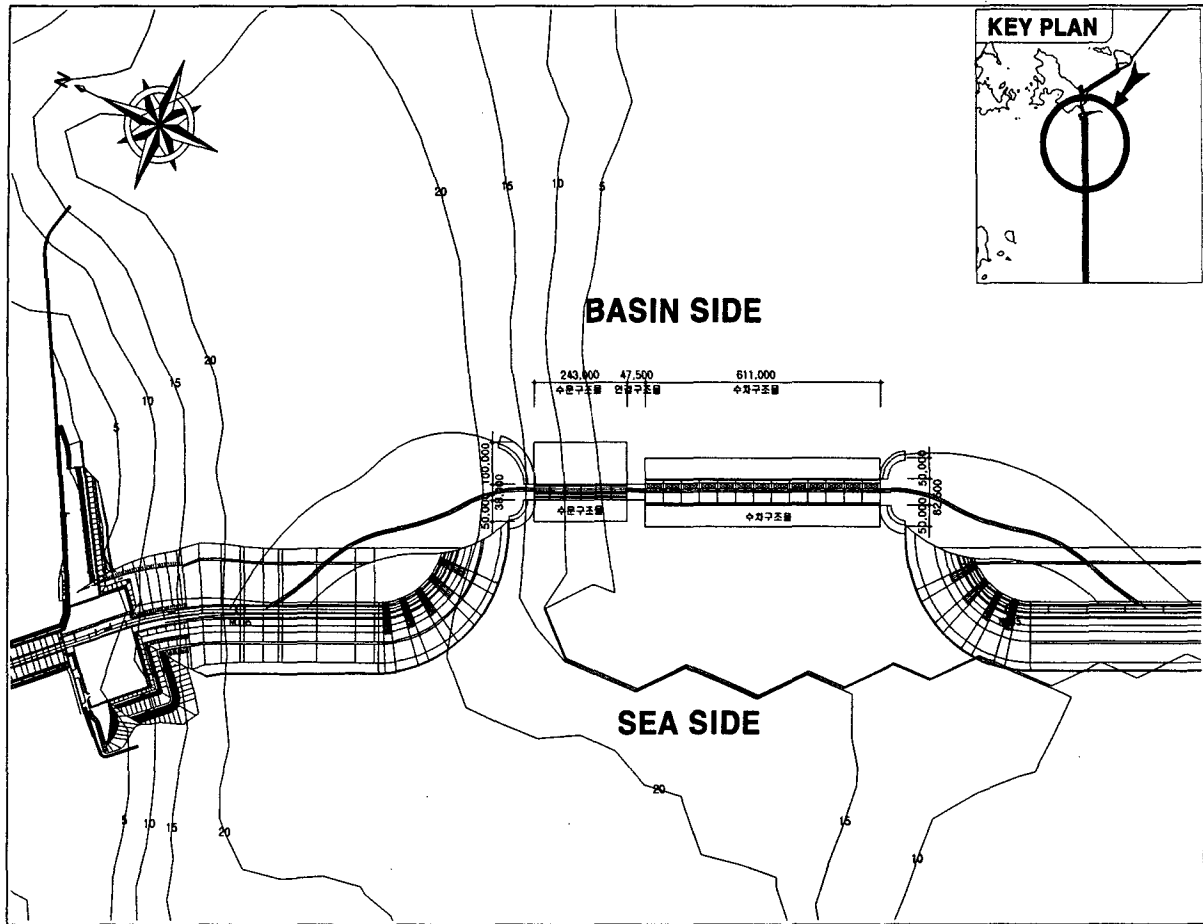
조력발전소 구조물 평면배치 계획시 구조물 설치 위치 및 용량별로 나누어 검토하였으며, 구조물 설치 위치는 신시배수갑문이 위치한 제2호 방조제 구간을 검토 대상으로 하였다. 또한 용량은 소용량(400MW)과 대용량(520MW)으로 구분하여 검토하였다.

(1) 소용량(400MW) 평면배치계획 검토



<그림 3.3.6> 새만금 조력발전소 구조물 배치 계획평면도(400MW)

(2) 대용량(520MW) 평면배치계획 검토



<그림 3.3.7> 새만금 조력발전소 구조물 배치 계획평면도(520MW).

나. 수차발전기 및 구조물 규모 검토

(1) 발전시설용량

- 소용량 : $20\text{MW} \times 20\text{기} = 400\text{MW} = 40\text{만kW}$
- 대용량 : $20\text{MW} \times 26\text{기} = 520\text{MW} = 52\text{만kW}$

(2) 시 공 방 법 : 가물막이 공법(현장타설 공법)

(3) 구 조 물

- 제원 : $B \times H \times L = 45.80\text{m} \times 29.40\text{m} \times 62.50\text{m}$
- 콘크리트 : $V=21,740\text{m}^3/\text{기}$, $W=53,260\text{ton}/\text{기}$

(4) 수차발전기 구조물 형식

- 수차 형태는 Bulb형 수차로 계획
- 수차발전기 양단에 Stoplog를 설치하여 내부 Dry Work 가능

- 외해측에 Over Head Crane, 내해측에 Gantry Crane 각각 설치
- 기존 새만금 방조제 도로와 연계하고 도로폭 15.0m 이상 확보

다. 수문 및 구조물 규모 검토

(1) 형 태 : Ventri 식

(2) 문 비

- 소용량(400MW) : 수직인양식 (10 개, B × H = 12m × 12m)
- 대용량(520MW) : 수직인양식 (12 개, B × H = 12m × 12m)

(3) 구 조 물

- 체 원 : B × H × L = 40.0m × 27.50m × 38.0m
- 콘크리트 : V=11,154m³/기, W=27,320ton/기

(4) 수문 구조물 형식

- 소용량(400MW) 안의 경우 신시배수갑문을 리모델링하여 수문으로 이용하는 것으로 계획
- 대용량(520MW) 안의 경우는 신시배수갑문과 가력배수갑문을 리모델링하여 수문시설로 이용하는 것으로 계획
- 수문은 조위의 변화에 관계없이 통수 전면이 상시 물에 잠기도록 계획
 - TOP EL.(-)3.50m
 - Bottom EL.(-)15.50m
- 수문 구조물 양단에 Stoplog를 설치하여 내부 Dry Work 가능
- 외해측에 Gantry Crane, 내해측에 Over Head Crane 각각 설치
- 기존 새만금 방조제 도로와 연계하고 도로폭 15.0m 이상 확보

라. 토목구조물 규모 및 배치계획 검토

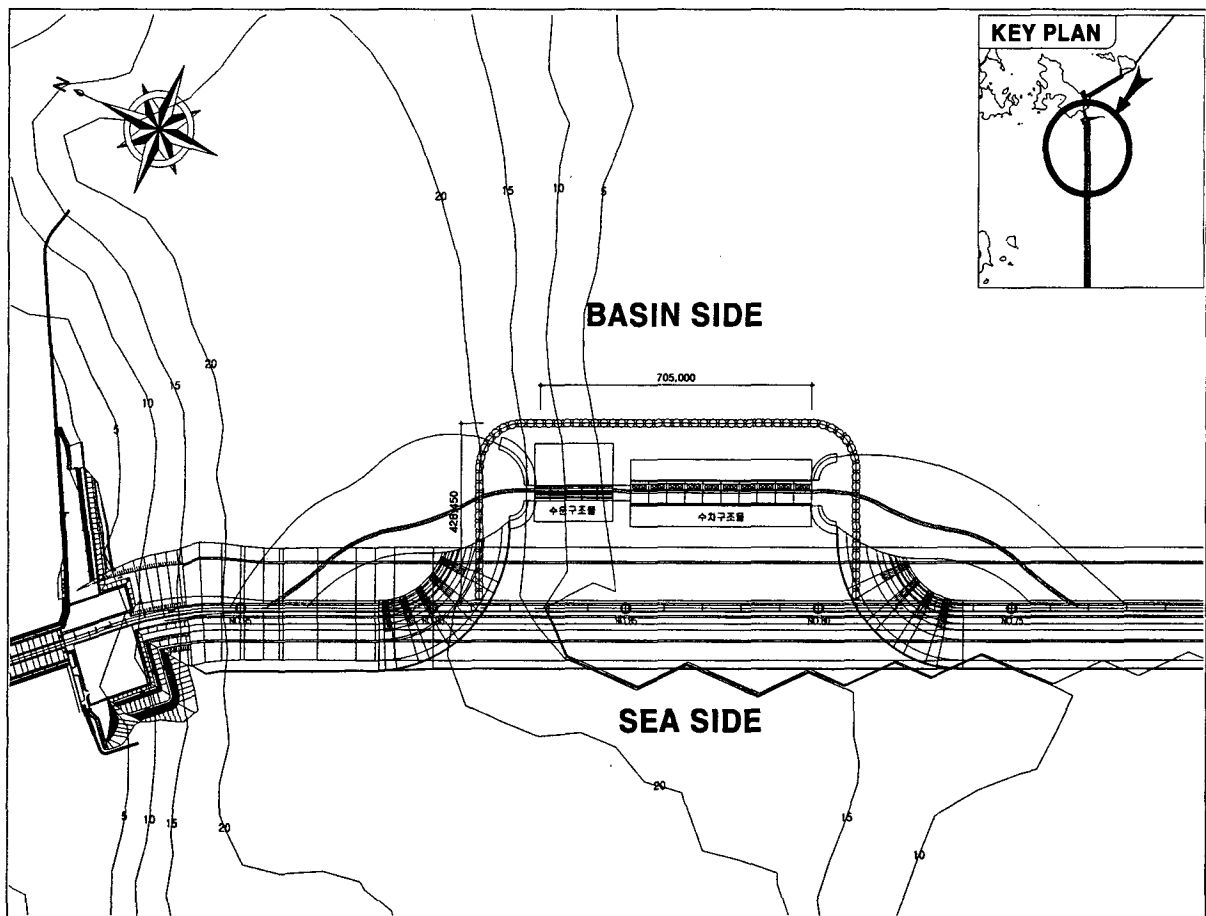
(1) 중량물 물양장

- 대상선박 : 5,000DWT 화물선 × 1선좌
- 선좌길이 : 130m , 박지수심 : EL.(-)11.50m
- 구조형식 : 중력식 구조물
- 중량물 물양장은 수차와 공사재료의 해상이동 분의 하역 및 현장과의 연결성을 고려하여 수차 발전기 구조물과 가깝게 계획하며, 완공 후에도 유지, 보수 등 관리용으로 사용할 수 있도록 가물막이공 밖으로 계획함

- 또한 물양장 배후부지를 충분히 확보하여 작업을 용이하게 함.

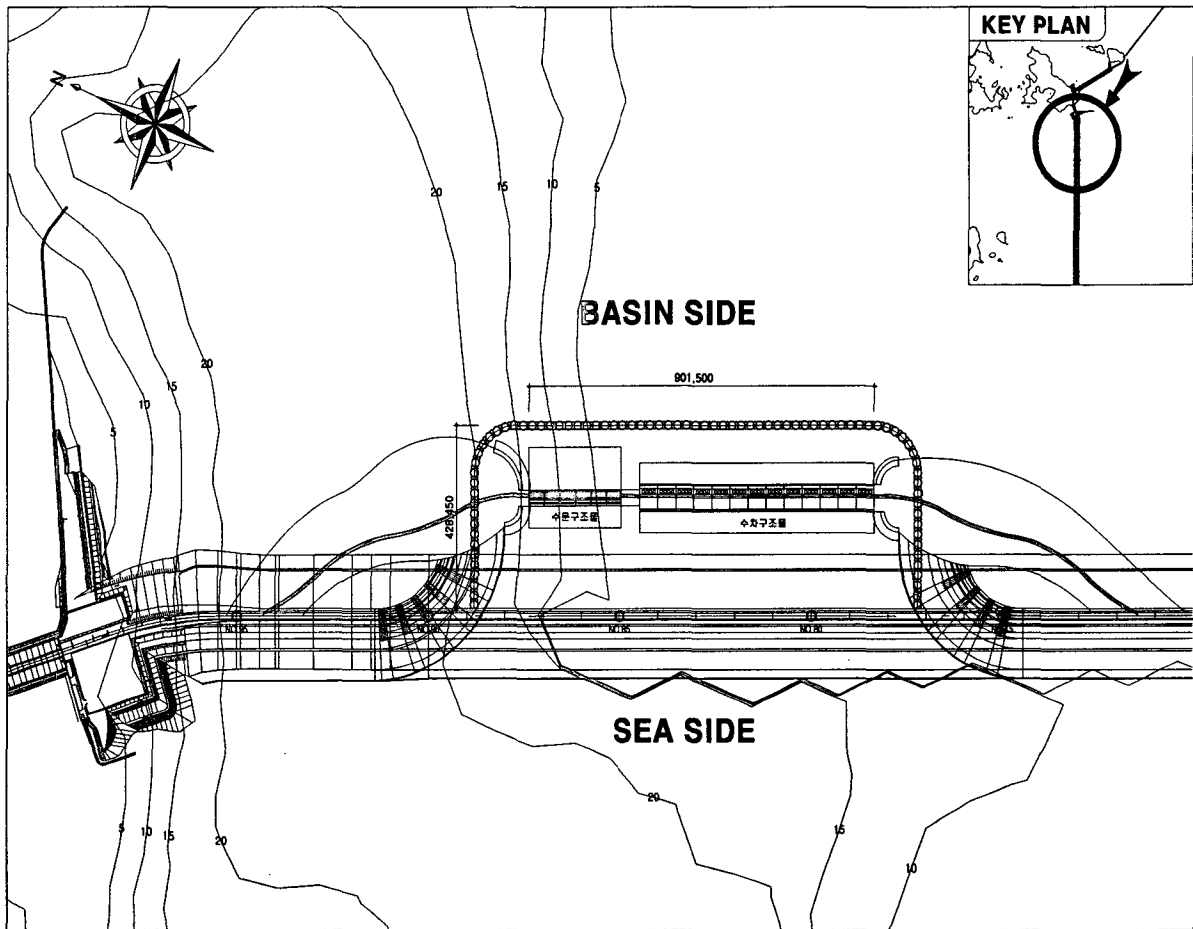
(2) 가물막이

- 가물막이 공사는 중력식과 파일식이 있는데 중력식의 경우 제체의 대형화로 인하여 골재원의 확보가 문제가 될 수 있으며, 완공후 제거 및 유용의 어려움이 발생할 우려로 인하여 파일식으로 계획함
- 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t
- 소용량(400MW)
 - 총파일 본수 : 12,496본
 - 총 시트파일 중량 : 34,465.168Ton
 - 속채움 모래량 : 1,081,176m³



<그림 3.3.8> 새만금 조력발전소 가물막이 배치 계획평면도(400MW).

- 대용량(520MW)
 - 총파일 본수 : 13,856본
 - 총 시트파일 중량 : 38,252.6Ton
 - 속채움 모래량 : 1,199,847m³
- 시트파일은 풍화암층 이하로 향타하는 것을 기본으로 함



<그림 3.3.9> 새만금 조력발전소 가물막이 배치 계획평면도(520MW).

(3) 작업장

- 현장 여건상 작업장을 확보하기 어려우므로 가물막이 공 내에 설치하여 충분한 작업공간을 확보하여 공기단축에도 유리함
- 면적 = 234,000m²

(4) 조립장

- 작업장과 같이 현장 여건상 조립장을 확보하기 어려우므로 가물막이 공 내에 설치하여 충분한 조립장을 확보하여 공기를 단축함
- 길 이 : 190m, 폭 : 35~80m
- 면 적 : 11,000m²

마. 발전설비 규모 및 배치계획 검토

(1) 발전기

- TYPE : 벌브식 수차 발전기
- 냉각방식 : 공냉식
- 발전기 정격출력 : 25.45MW/26.788MVA
- 계통연결 : 345kv

(2) 주변압기

- 규격 : 345kV 케이블 사용, XLPE, Single Core, 1 Line, 600mm²

(3) 변전소

- 군산변전소와 새만금 조력발전소간- 410mm², 2회선

(4) 송전선로(Duct 포함)

- 규격 : TACSR/AW, 410mm², 2회선
- 연장 23km

- (5) 수차 발전기측 Stoplog : 외해측 : B × H = 14.40m × 14.40m
: (6組) 내해측 : B × H = 15.40m × 19.70m

(6) 수차 발전기측 크레인

- Ganty Crane (250톤)
- Overhead Crane (50톤, 30톤)

- (7) 수문측 STOPLOG : 외해측 : B × H = 16.0m × 20.50m
: (4組) 내해측 : B × H = 16.0m × 24.50m

- (8) 수문측 크레인 : Ganty Crane (100톤)
: Overhead Crane (50톤)
: Hydraulic Hoist Unit

4. 토목구조물 개념설계

가. 수차발전기 구조물

(1) 기본조건

- 수차발전기의 제원

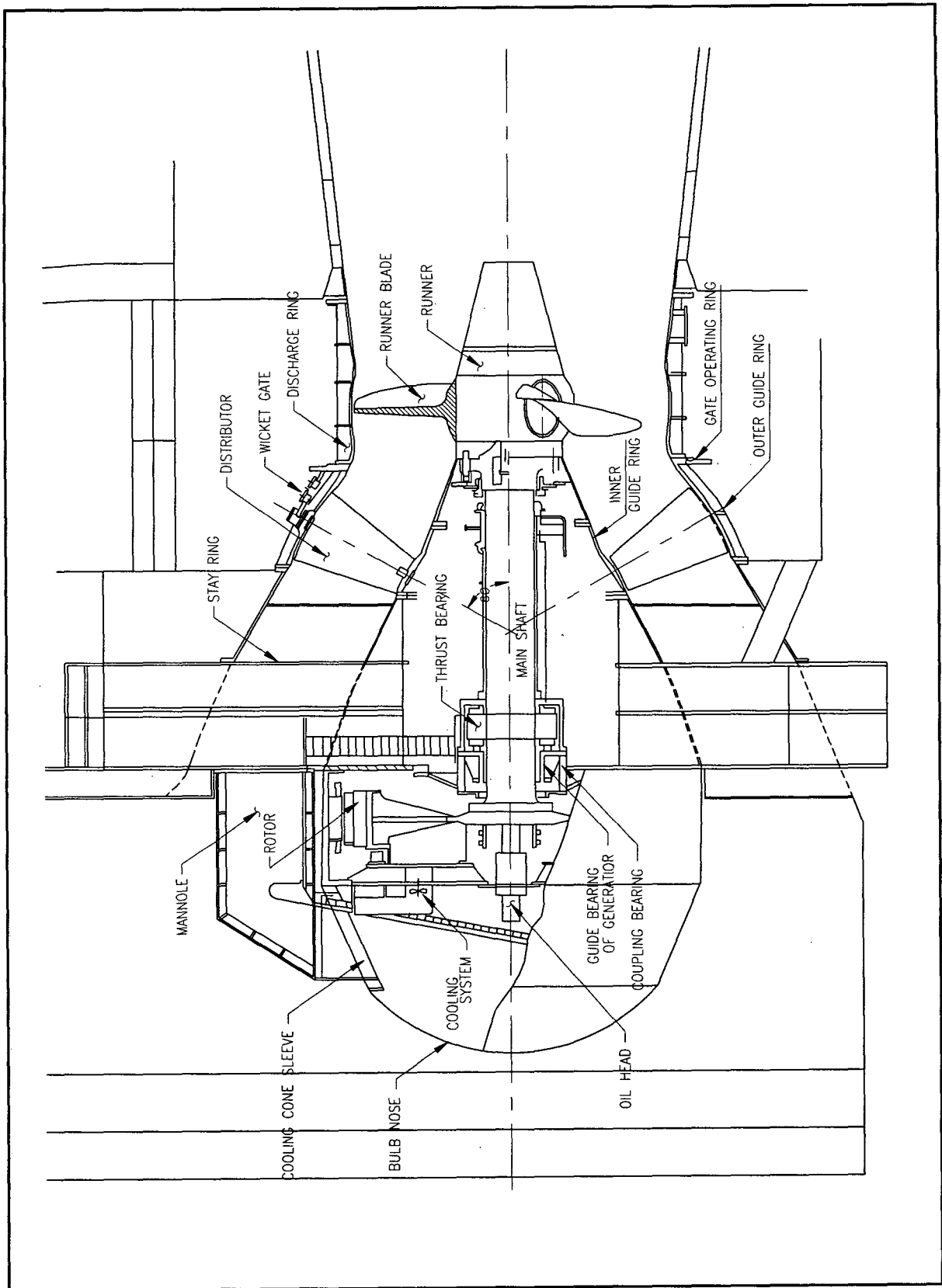
최적화 검토결과 선정된 20MW급 Bulb형 수차발전기의 대수 및 제원은 다음과 같다.

(참조 <표 3.3.7>, <그림 3.3.10>)

- 소용량 수차발전기의 대수 : 20대(400MW)
- 대용량 수차발전기의 대수 : 26대(520MW)

<표 3.3.7> Bulb형 수차발전기의 제원(20MW).

| 구 분 | | 제 원 | |
|-----------|-----------------------|--------------------|---------|
| | | 크기(m) | 중량(ton) |
| Turbine | Runner | 8.00 × 5.20 | 125 |
| | Main shaft & Bearings | 4.50 × 9.85 | 90 |
| | Stay ring | 19.0 × 12.70 × 5.0 | 220 |
| | Discharge ring | 8.80 × 3.65 | 56 |
| | Guide vane apparatus | 8.80 × 3.65 | 210 |
| | Misc. | 11.60 × 2.80 | 125 |
| | SUBTOTAL | | |
| Generator | Stator | 9.10 × 2.95 | 210 |
| | Rotor | 8.365 × 1.7.0 | 160 |
| | Cooling Cover | 9.10 × 2.45 | 60 |
| | Bulb nose | 6.80 × 2.20 | 30 |
| | Misc. | | 88 |
| | SUBTOTAL | | |
| TOTAL | | | 1,374 |



<그림 3.3.10> Bulb형 수차발전기 단면도(20MW).

○ 수차발전기의 하중조건

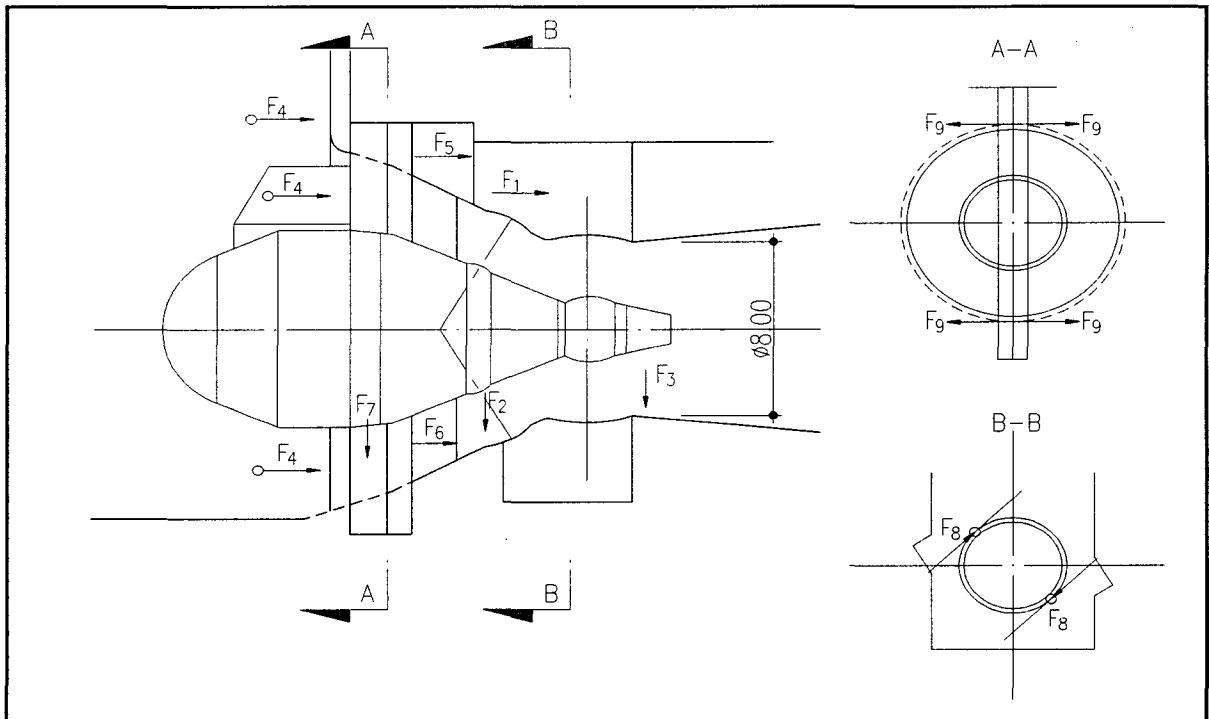
<표 3.3.8> Bulb형 수차발전기의 하중조건(20MW)

(단위 : ton)

| Foundation | forces | Force mode | Dewtr'd turbine | Waterf turbine | Nomal opr'n | Shut-down | Run-away | Shut-down runawa y |
|---------------------------------------|--------|------------|-----------------|----------------|-------------|-----------|----------|--------------------|
| Turbine Pit | | | | | | | | |
| Hor. Force Staying Flange | F1 | 0.0 | 751 | 715 | 789 | 505 | 859 | |
| Vert. Force Staying Flange | F2 | 168 | 339 | 339 | 339 | 339 | 339 | |
| Vert. Force draft tube Flange | F3 | 115 | 232 | 232 | 232 | 232 | 232 | |
| Water pressure on outer barrel | F4 | 0.0 | 2450 | 2440 | 2504 | 2370 | 2608 | |
| Axial force stay ring leg | F5 | 0.0 | 9.0 | 167 | -112 | 288 | -93 | |
| Axial force stay ring leg | F6 | 0.0 | 9.0 | 167 | -112 | 288 | -93 | |
| Resulting vert. force staying rig leg | F7 | 1050 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | |
| Servomotor | F8 | 78.5 | - | - | - | - | - | |
| Short Circuit torque : (T.m) | MK | 1590 | - | - | - | - | - | |
| Reaction force | F9 | 86.5 | - | - | - | - | - | |

주 : F5 and F6 differs only if tie down anchor deleted.

자료 : 중국기술자문단, 가로림 조력개발 타당성 조사 자문보고서, 1993



<그림 3.3.11> 하중분배도(20MW Unit).

(2) 수차발전기 구조물 구상

Bulb형 수차발전기를 설치할 구조물은 발전기 제작 회사들이 수리학적인 모형실험 등을 실시하여 물의 흐름에 있어서 구조물로 인한 저항을 최소화하는 연구결과들을 발표한 바 있다.

금번의 단면구상은 기존의 연구 자료들을 기초로 하여 가장 널리 채택되고 있는 단면을 대상으로 구상하였다.

수차발전기 구조물의 단면구상은 다음사항들을 전제로 하였다.

- 단면형상은 수로의 수리학적 영향을 고려함
- 구조물 폭 결정은 기존 방조제 도로와 연계되도록 함.

<표 3.3.9> 수차구조물 제원.

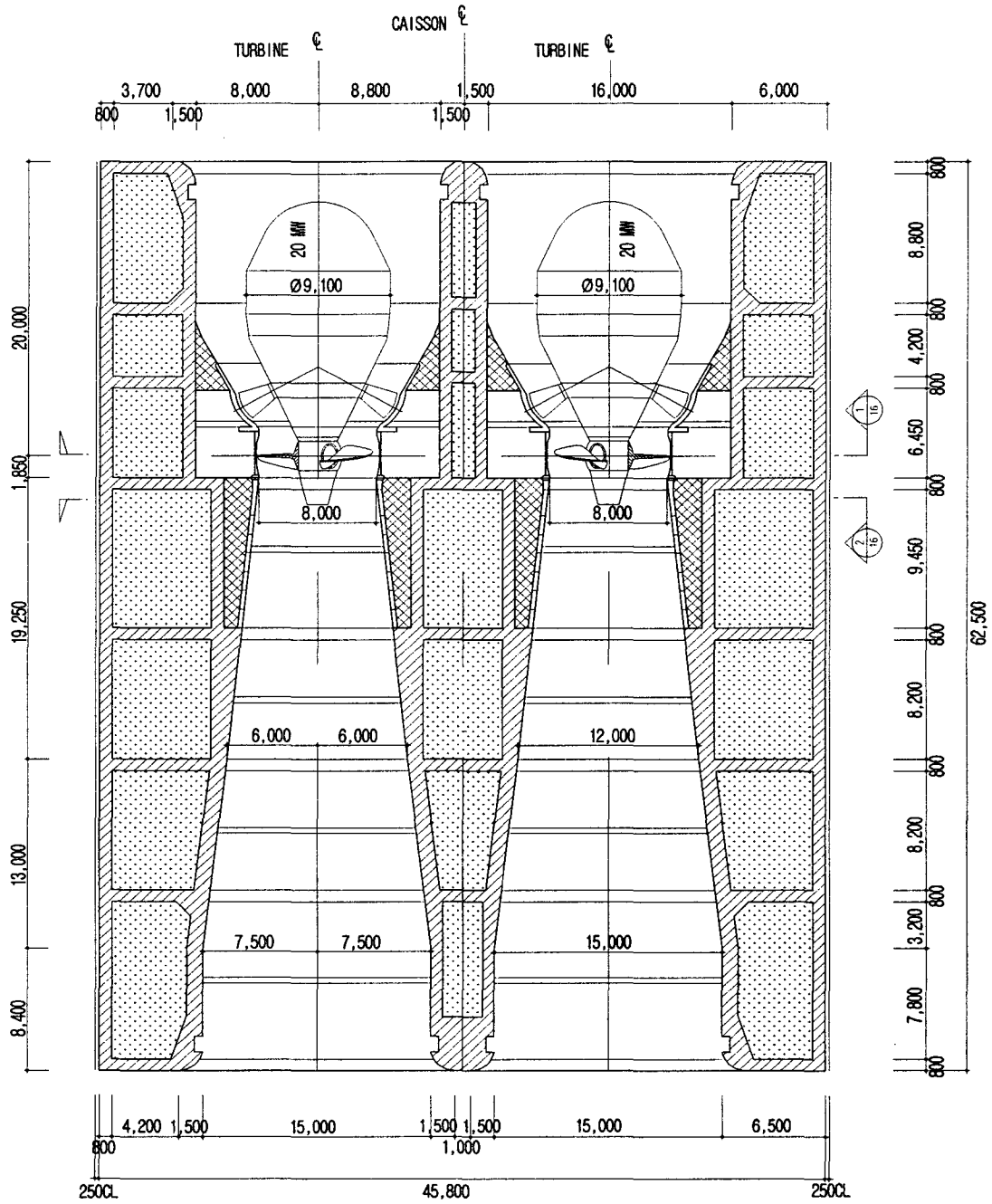
(단위 : m)

| 구 분 | | 단 면 제 원 |
|--------------|-----------|--------------|
| 폭 | | 62.50 |
| 높 이 | | 28.40 |
| 길 이 | | 45.80 |
| 수 로 Inlet | Top EL | EL.(-)6 m |
| | Invert EL | EL.(-)20.4 m |

(3) 수차발전기 구조물 기초보강

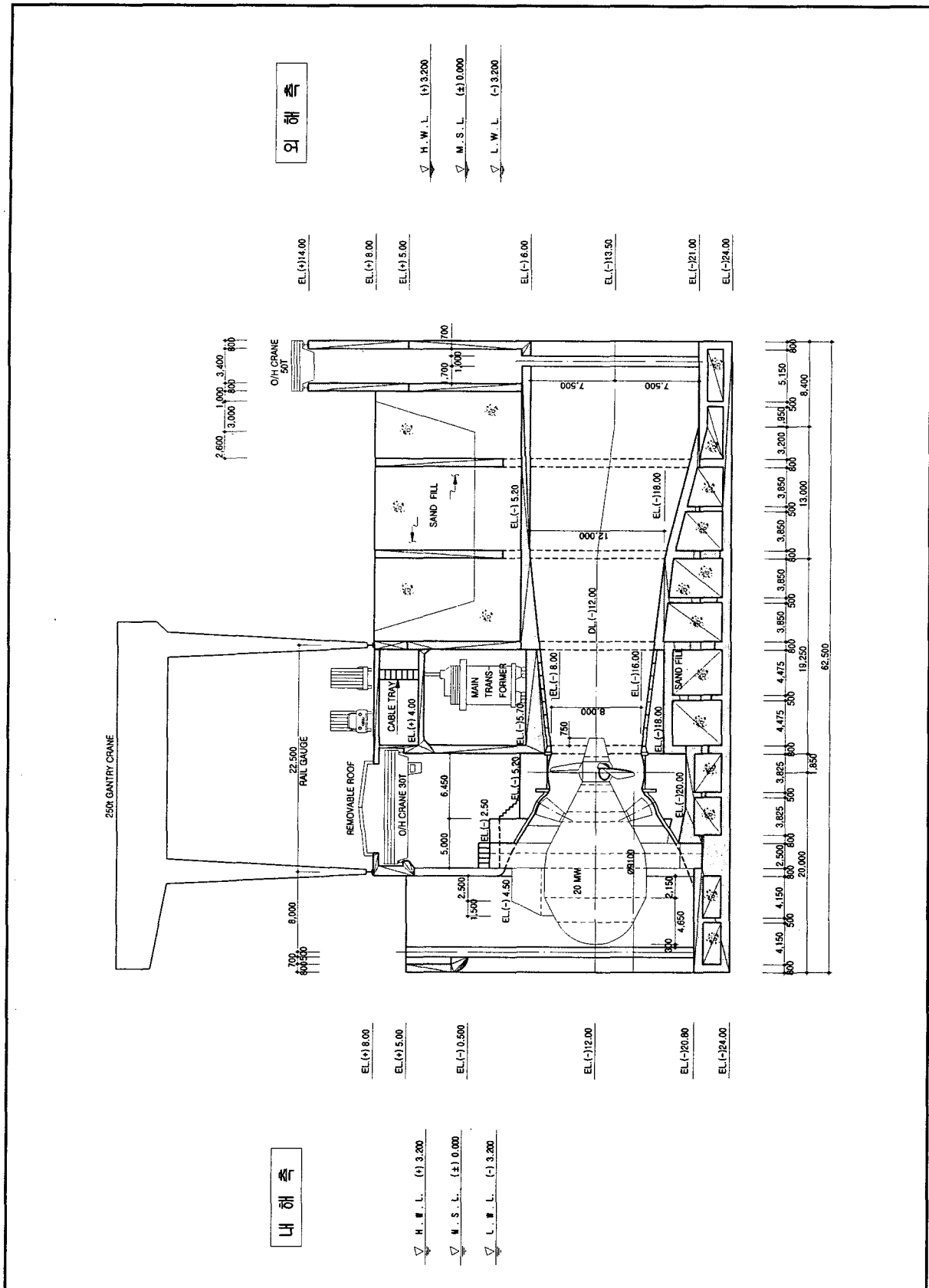
퇴적층은 대부분이 연약한 토질이므로 47.0t/m²이 소요되는 구조물을 지지할 수 없기 때문에 연약토질을 제거하고 소요 지지력을 감당할 수 있는 기초로 바꾸어 주어야 한다. 소요지지력을 감당할 수 있는 기초로서 고려할 수 있는 공법은 치환공법과 개량공법을 들 수 있다.

내 해 측



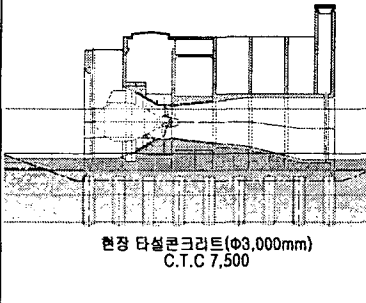
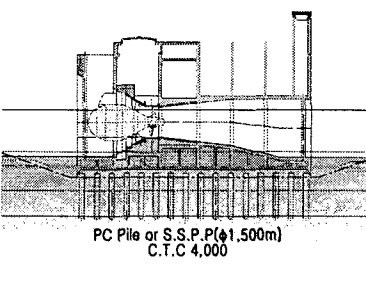
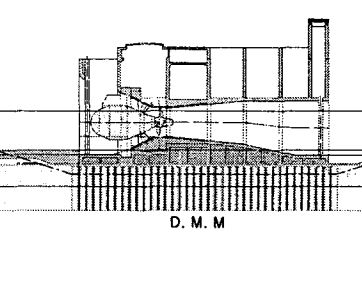
외 해 측

<그림 3.3.12> 수차발전기 구조물 평면도.



<그림 3.3.13> 수차발전기 구조물 단면도.

<표 3.3.10> 기초공법 비교

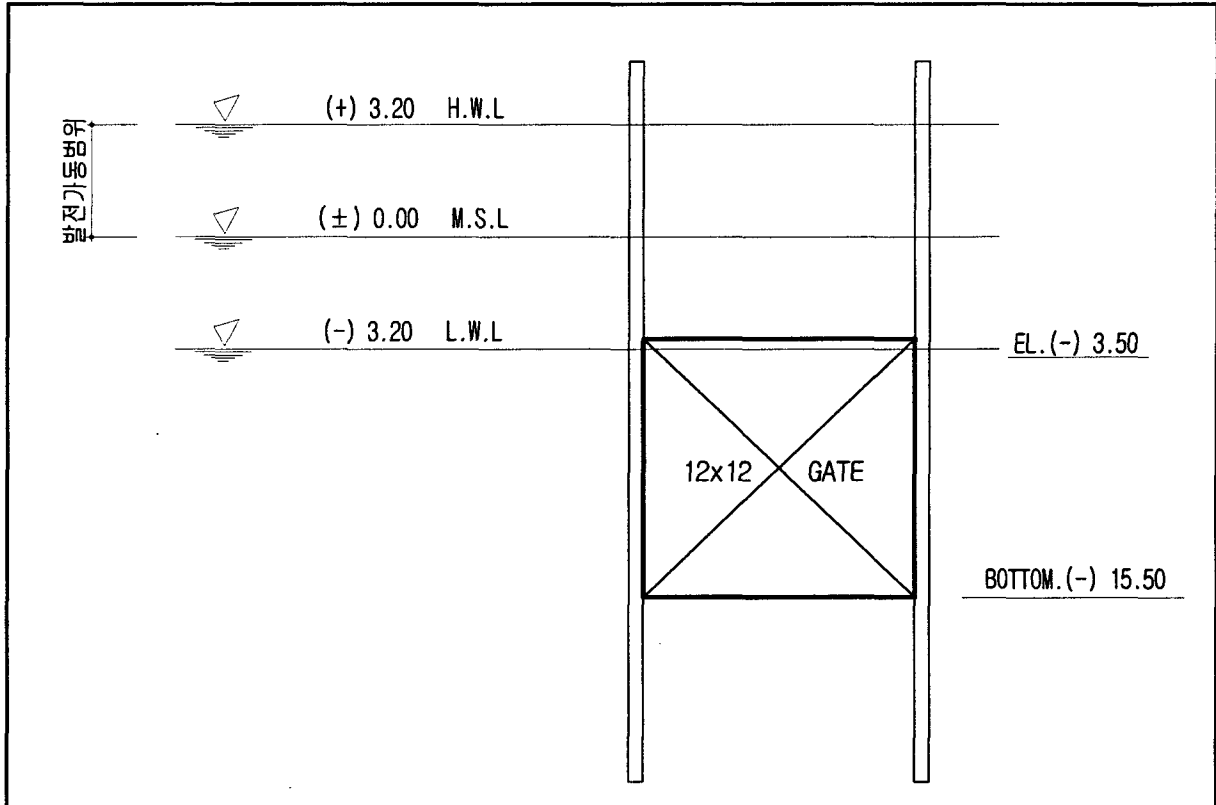
| 구분 | 현장타설 말뚝기초 | 강관말뚝 기초 | 심층혼합처리 공법 | |
|------------------|--|---|--|--|
| 개요도 |  현장 타설콘크리트(Φ3,000mm) C.T.C 7,500 |  PC Pile or S.S.P.P(Φ1,500m) C.T.C 4,000 |  D. M. M | |
| 공법 개요 | <ul style="list-style-type: none"> ·지중에 Casing을 설치하고 내부를 Hammer Grab이나 Earth Drill로 굴착한 후 철근망 등의 응력재를 Casing내부에 삽입하고 Tremie Pipe로 콘크리트를 타설하여 말뚝을 형성하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> ·강관말뚝을 지중에 타입하여 상부 구조물의 하중을 단단한 지지층에 전달하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> ·연약지반(점성토, 느슨한 사질토, 유기질토)에 시멘트와 물을 혼합하여 반응된 수화생성물을 지반 내에 주입하면서 특수교반기로 회전 혼합하여 지반 내에 고화된 개량체를 조성하는 공법 | |
| 특 징 | 장 점 | <ul style="list-style-type: none"> ·모든 지반에 적용가능 ·지지층 확인이 용이 ·저소음, 저진동 공법으로 주변 영향 적음 ·공사목적과 지층조건에 따라 다양한 구경과 심도의 말뚝형성 ·대구경이므로 말뚝의 지지력 큼 ·기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> ·공사비가 비교적 경제적임 ·시공속도가 빠르고 시공용이 ·품질 관리 용이 ·장비조합이 간단하고 시공이 단순함 ·비교적 깊은 심도까지 지지가능 ·기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> ·모든 지반에 적용가능 ·저소음, 저진동 공법으로 주변영향 적음 ·연속벽체이므로 치수가능 ·소요강도 확보가 용이함 ·개량효과가 확실하며 공기단축 ·공사비가 경제적임 ·기초지반 침하량이 3cm 이내임 |
| | 단 점 | <ul style="list-style-type: none"> ·Casing이 없는 경우 지중에 화학성분이 있으면 시멘트가 잘 경화되지 않을 수 있음 ·말뚝 체의 결손을 확인하기 어려우므로 품질관리 주의요망 ·공사비 고가 ·장비구성 및 부속자재 대형 ·대형장비로 넓은 작업공간 필요 | <ul style="list-style-type: none"> ·소음, 진동 대책 필요 ·해수에 의한 부식방지 필요 ·자갈 및 전석층이 있는 경우 타입 곤란 ·상부 구조물의 하중이 큰 경우 파일분수의 과다로 경제성 및 시공성 불리 | <ul style="list-style-type: none"> ·시공깊이에 제약이 따름(약 30m내외) ·연약층의 고결상태 확인이 용이치 않으므로 품질관리에 주의가 요망됨 ·지반조건에 따라 강도변화가 생길 수 있음 |
| 선 정 | | | ● | |
| 선 정 사 유 | <ul style="list-style-type: none"> ·강관말뚝인 경우 자갈 및 전석층이 존재하면 타입이 곤란하며, 구조물 하중이 커 파일분수 과다로 경제성 및 시공성이 불리함 ·심층혼합처리 공법은 타 공법에 비하여 공사비 뿐만 아니라 시공성에서 다른 안에 비하여 유리함 | | | |

나. 수문 구조물

(1) 기본단면구상

○ 문비의 위치

수로의 표고는 문비의 위치에 따라 결정되며, 문비의 위치는 발전소 가동시 조위의 변화에 관계없이 통수 전면적이 상시 물에 잠길 수 있도록 하고 새만금 조위측정현황과 비교하여 문비의 위치를 도시하였다.(참조 <그림 3.3.15>)



<그림 3.3.15> 문비 위치도

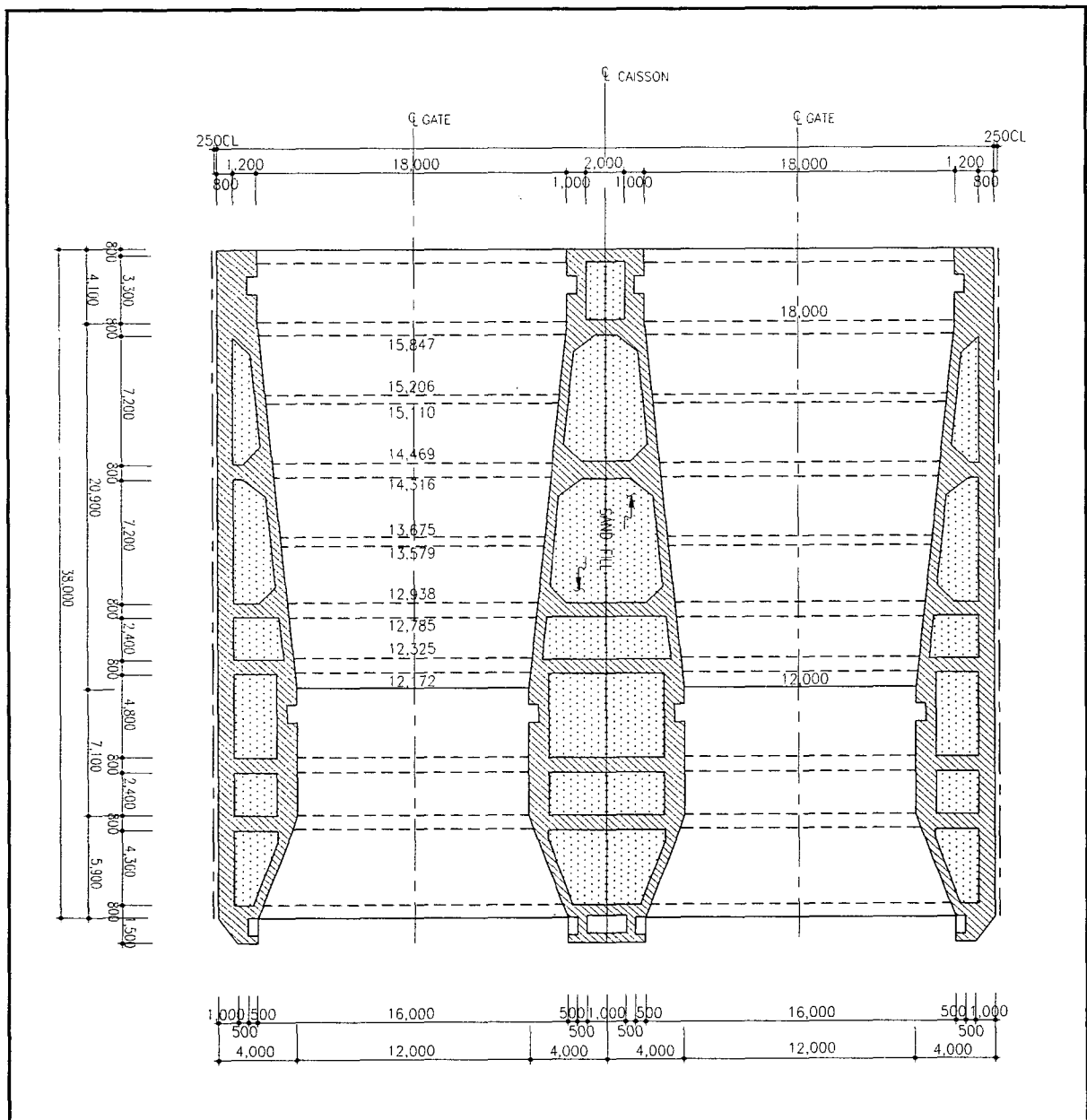
○ 수문구조물 구조단면

수문구조물에는 2개의 문비를 설치토록 계획하였으며 구조물의 기본단면을 구상하는데 있어서 다음의 사항들을 전제조건으로 하였다.

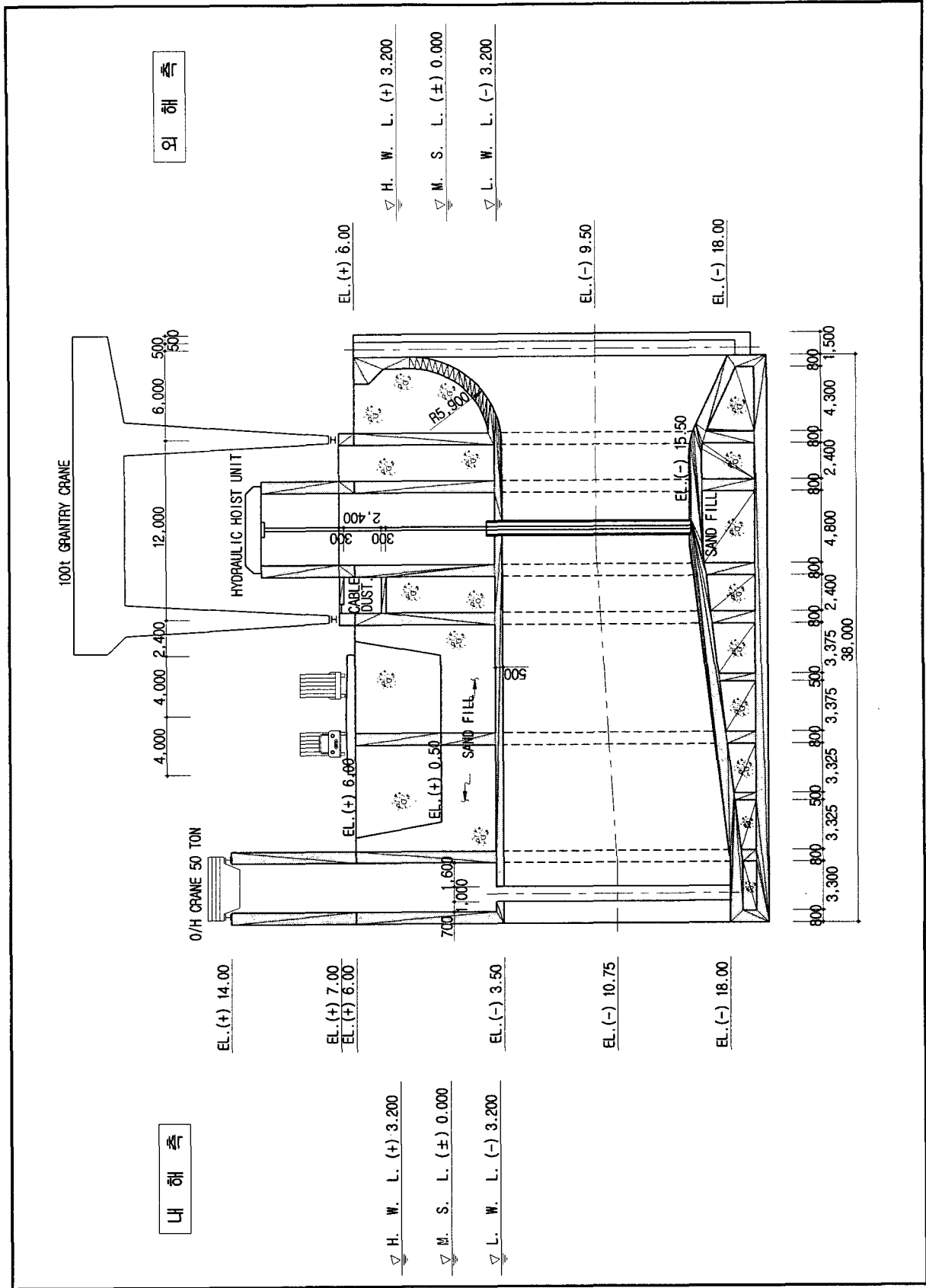
- 수로의 단면곡선은 외해측으로 수로 상·하단에 완화곡선을 두며, 내해측은 수로 하단부만 완화곡선을 계획
- 구조물 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 계획.
- 향후 도로계획과 연계를 고려하여 구조물 상부에 계획되는 도로폭원은 4차선 이상 가능하도록 구조물 폭을 구상하였다.(참조 <그림 3.3.16, 17>)

<표 3.3.11> 수문 구조물 제원

| 구분 | 설계단면 | 비고 |
|------------|--------------|----|
| 폭 | 38.0m | |
| 높이 | 26.50m | |
| 길이 | 40.0m | |
| Top EL. | EL.(-)3.50m | |
| Bottom EL. | EL.(-)15.50m | |



<그림 3.3.16> 수문 구조물 평면도



외 해 측

내 해 측

▽ H. W. L. (+) 3.200
 ▽ M. S. L. (±) 0.000
 ▽ L. W. L. (-) 3.200

▽ H. W. L. (+) 3.200
 ▽ M. S. L. (±) 0.000
 ▽ L. W. L. (-) 3.200

<그림 3.3.17> 수문 구조물 단면도

다. 중량물 몰양장

- (1) 대상선박 : 5,000DWT 화물선 × 1선좌
- (2) 선좌길이 : 130m , 박지수심 : EL.(-)11.50m
- (3) 구조형식 : 중력식
- (4) 구조물제원 :
 - Type A (4개소) : B×H×L = 23.65m×12.0m×17.0m
 - Type B (1개소) : B×H×L = 35.00m×18.0m×25.50m
- (5) 주요 물량
 - 기초사석 : 40,100m³
 - 속채움 모래 : 30,500m³

라. 가물막이공

조력발전소용 구조물의 제작을 위한 시설로서는 현장여건상 기존 방조제를 이용한 가물막이를 축조하는 것으로 계획하였다. 가물막이공은 사석경사제보다 방수 성능이 우수한 시트파일을 이용한 원형 cell식 가물막이 공법을 적용하는 것으로 계획하였다.

(1) 규모

- 가물막이 천단고: EL.(+)8.0m
- 가물막이 Sheet Pile: 500mm × 12.7t

(2) 주요물량

- 소용량(400MW)
 - 총파일 본수 : 12,496본
 - 총 시트파일 중량 : 34,465.168Ton
 - 속채움 모래량 : 1,081,176m³
- 대용량(520MW)
 - 총파일 본수 : 13,856본
 - 총 시트파일 중량 : 38,252.6Ton
 - 속채움 모래량 : 1,199,847m³

마. 작업장(Platform)

(1) 작업장 조성

현장 여건상 인근에 작업장으로 사용할 만한 지형적으로 용지가 부족하여 가물막이 내에 작업장을 조성하는 것으로 계획하며, 그 총면적은 234,000m²이고 그 내역은 다음과 같다.

(2) 작업장 소요시설

- 사무실 : 800m²(회의실, 설계실, 기술 및 행정요원 사무실 등)
- 중기수리공장 : 4,000m²
- 목공소 : 1,500m²
- 철조가공장 : 6,000m²
- 창고 : 2,000m²
- 발전실 : 1,000m²(발전기 1000kw × 4EA)
- 시멘트 창고 : 1,500m²
- 크랏샤 Plant : 40,000m²(원석 야적장, 모래선별기, 골재야적장)
- TTP 제작장 및 야적장 : 16,000m²(120m×130m)
- Con'c Block 제작장 및 야적장 : 15,000m²
- 보조장비 구역 : 1,500m²
- 작업도로 및 기타구역 : 144,700m²

바. 조립장(Erection Yard)

- 조립장의 위치는 가물막이공 안쪽에 계획하며, 규모는 길이 190m, 폭 35~80m, 면적 11,000m²이다.
- 조립장의 기능 : 5,000DWT 중물양장을 통하여 반입된 수차발전기 부속자재를 육상 Crane(70ton)을 사용하여 조립작업을 시행하며, 조립장까지 연결된 Gantry Crane(250ton)을 이용하여 구조물 내부에 수차발전기를 설치한다.

사. 준설 및 처리

(1) 기초굴착 및 수로준설

기초굴착은 수차발전기 구조물의 설치를 위해, 발전소 부분의 수로준설은 발전시 수차발전기를 통과하여 배출되는 유량의 흐름을 원활히 하기 위한 목적으로 시행되어야 한다. 발전소 부분의 굴착은 구조물 설치위치에서 내해측 및 외해측으로 각각 50m까지는 굴착을 시행한다. 또한 수문구조물은 내해측 및 외해측으로 각각 100m, 50m까지는 굴착을 필요로 한다. 기초준설은 가물막이 내에서 수행하므로 육상 준설이 되며 수로준설은 펌프준설로 해상에서 작업하는 것으로 계획한다.

(2) 준설토의 처리

수차발전기, 수문구조물의 기초굴착 및 수로준설 등의 준설의 처리는 새만금 종합개발 방안 중 가장 가까운 매립예정지에 투기하는 것으로 계획하였다.

5. 발전설비 및 기전설비 개념설계

가. 발전설비

(1) 개요

기전설비의 시설용량으로서는 용량별로 소용량(400MW) 20MW 수차발전기 20대와 대용량(520MW) 20MW 수차발전기 26대에 대하여 검토하였다. 발전기 용량이 증가됨에 따라 주변압기 용량, 345kV 케이블 규격과 송전선 규격이 증가되었다. 송전선 연계지점은 23km 떨어진곳에 위치한 군산변전소로 계획하고 345kV 케이블을 서측에서 동측으로 포설하게 되었다. 또한 345kV 송전선 및 케이블 그리고 주변압기 용량은 용량별로 사용할 수 있도록 하였다.

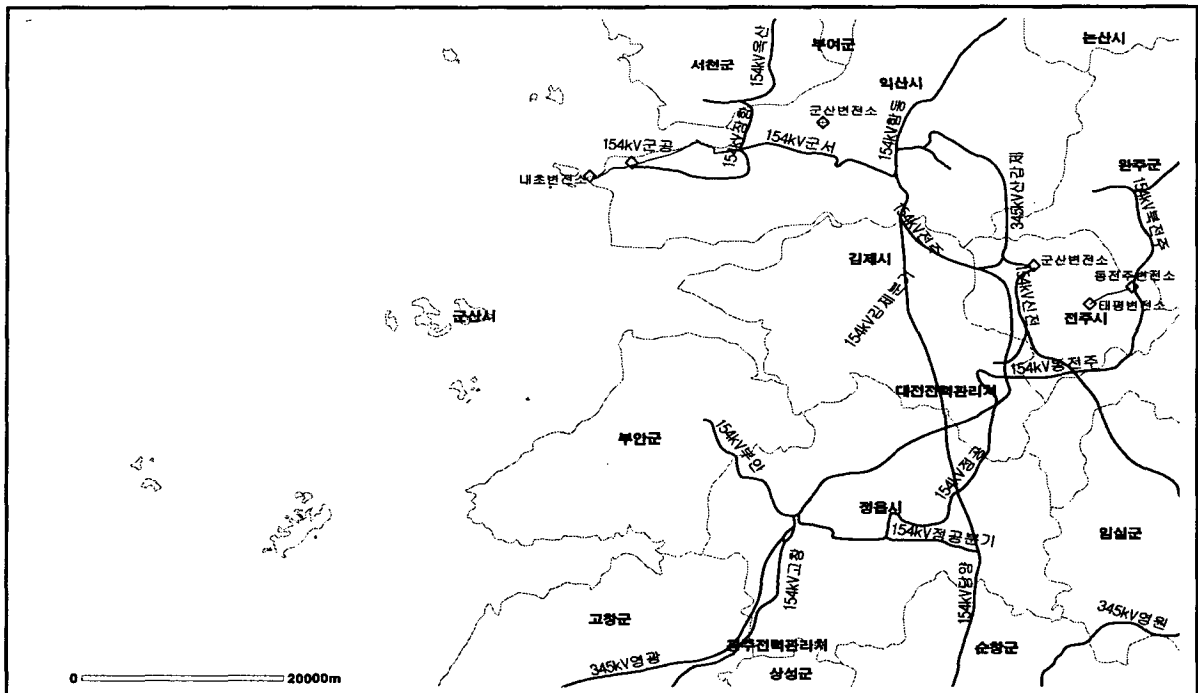
(2) 송전선로

새만금 조력 발전소의 건설 후보지점은 동쪽으로 약 23km 떨어진 곳에 위치하게 되며 송전선은 20MW의 경우에 적용할 수 있도록 ACSR, 410mm², 2회선으로 하여 1회선 정전시에도 송전이 가능토록 하였다.(평상시 2대 보수정지, 소내전력 2%)

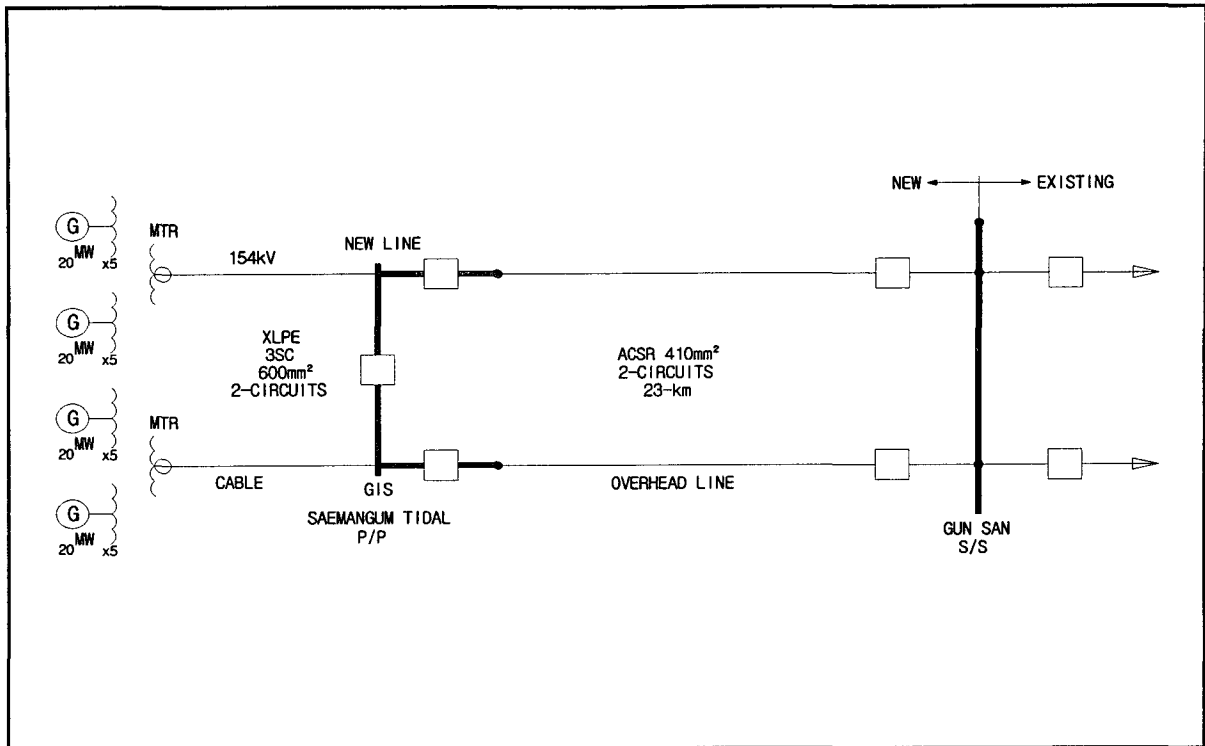
(3) 345kV 전력계통에 있어서는 동쪽 23km 지점에 345kV 군산변전소가 410mm², 2회선을 계획하였다.

(4) 주변압기 용량은 다음과 같다,

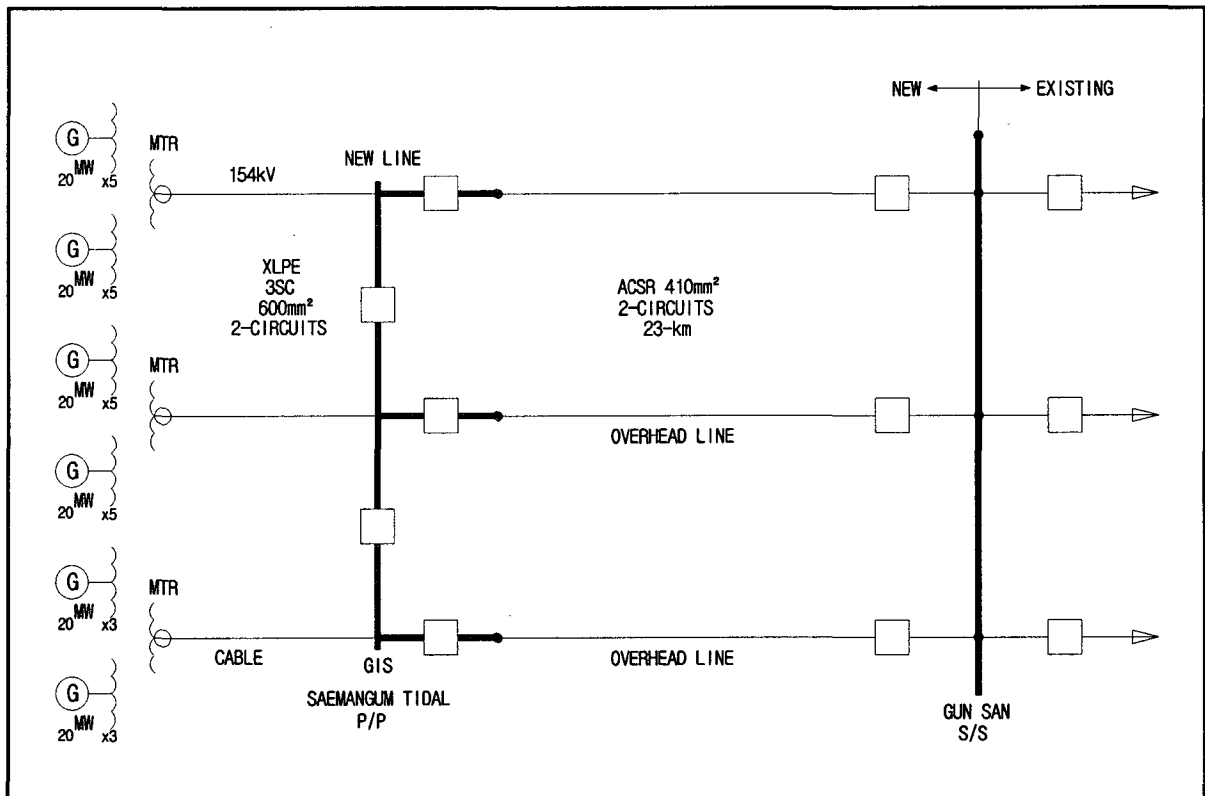
- 주변압기 용량 ----- 260/130/130MVA × 2
- 345kV Cable ----- Single Core Cable, XLPE, 600mm², 2회선으로 한다.



<그림 3.3.18> 전력 계통도



<그림 3.3.19> 전기 단선도(400MVA).



<그림 3.3.20> 전기 단선도(520MVA).

나. 수차 기계설비

(1) Stoplog

Stoplog은 구조물 수로양단에 Drop in bulkhead gate 형태로 설치하여 수차발전기의 설치, 정기적인 검사 및 보수를 하고자 할 때 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획한다.

(2) Crane

상류단 및 하류단의 Stoplog 크기 및 중량은 최종거치 후 운영 관리할 수 있도록 설치 계획한 Overhead crane과 Gantry crane의 능력과 연계시켜 다음 표와 같이 계획하였다. (참조 <표 3.3.12>)

<표 3.3.12> 수차측 Stoplog 제원

| 구 분 | | 상 류 단 | 하 류 단 | 비 고 |
|------|----|------------------------|-----------------------|-----|
| 크 기 | 폭 | 15.40m | 14.40m | |
| | 높이 | 19.70m | 14.40m | |
| 중 량 | | 293ton (100ton × 3) | 200ton (50ton × 4) | |
| 운영장비 | | 250ton Gantry crane | 50ton Overhead crane | |

다. 수문 기계설비

(1) 문비

최적화 과정을 거쳐 산출된 적정시설 수문의 대수는 소용량(400MW) 10대, 대용량(520MW) 12대였으며 이에 따라 문비도 각각 10개와 12개를 설치하는 것으로 하였으며, 문비의 형태는 여건에 적합한 Lift gate를 채택하였다. 문비의 크기는 1986년 가로림 조력발전 연구내용과 동일하게 계획하였으며 그 제원은 다음 표와 같다.

| 형 식 | 크 기 | 통 수 면 적 |
|-----------|---------|---------------------|
| Lift gate | 12m×12m | 3,168m ² |

(2) Stoplog : 구조물 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수 시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획

- (3) Crane : 내해측 Stoplog는 100ton Gantry Crane으로, 외해측 Stoplog은 50ton Overhead Crane으로 설치 및 해체할 수 있도록 계획하고 문비의 개폐 운영은 200ton Hydraulic Hoist Unit를 사용하며 보수 및 수리시는 상부에 고정된 100ton Gantry Crane으로 계획

6. 개략공사비 산출

가. 공사비 산출기준

공사비는 다음을 기준으로 산출하여 원화로 표시하였으며 제경비가 포함되었으나 부가세는 제외하였다.

- (1) 환 율 : 1\$ = 978.4원 (2006년 1월 2일 기준, 재정환율)
- (2) 재료비 : 2006년 2월 기준 (물가자료)
- (3) 노무비 : 2006년 정부고시 상반기 노임단가
- (4) 토목공사비 : 공사단가는 정부공사 표준품셈과 2006년도 항만·어항공사 설계 및 적산기준을 적용하였으며, 단가산출이 어려운 공종은 기존검토 자료를 이용 Escalation하여 적용하였다.
 - 금번 타당성 조사에서는 물가 상승률을(30% : '96~2006 상반기) 가산 적용하였으며 2006년도에 구상한 표준단면도 및 수량산출을 적용하였다.
 - 공종중 Con'c bacth plant를 삭제하였고, 레미콘 생산업체의 현대화로 인하여 물량수급에 있어 대량생산이 가능하므로 믹서트럭을 이용한 레미콘 운반 타설로 적용하였다.
- (5) 전기·기계공사
 - Turbine & Generator의 가격은 최근 중국에서 제시한 견적가격에 환율을 고려하여 적용하였다. (설치비는 95년도 가로림 조력발전소 타당성용역 적용가격에 환율 고려 적용)
 - 발전기의 개폐류와 Gantry crane, Sluice gate류의 기계부분 공사비는 국내업체의 견적가격 (95년도 가로림 조력발전소 타당성용역 기준에 물가상승률 44% 적용)을 적용하였다.
- (6) 공사관리비는 보상비, 토목공사비와 전기/기계공사비에 대하여 3%를 계상하였다.
- (7) 조사설계 감리비는 토목공사비에 대하여 5%, 전기/기계공사비에 대하여 1.5%를 계상하였다.
- (8) 건설이자는 5% 복리이자로 적용하였다.

나. 개략 공사비

(1) 소용량 개략공사비

(단위:백만원)

| 구 분 | 금 액 | 비 고 |
|-------------------------|---------|------------------------|
| (1) 토목공사비 | | |
| ㉠ 가설비 | 15,993 | |
| ㉡ 발전소 구조물 | 149,191 | 수차 20대 |
| ㉢ 수문 구조물 | 61,132 | 수문 10대 |
| ㉣ 기존방조제 제거 및 유용 | 45,662 | |
| ㉤ 가물막이공 | 49,861 | |
| ㉥ 중앙물양장(5,000 DWT급) | 14,043 | |
| ㉦ 도로포장공 | 326 | |
| ㉧ 옹벽공 | 26,703 | |
| 소 계 | 362,911 | |
| (2) 전기/ 기계공사비 | | |
| ㉠ Turbine-Generator | 190,550 | |
| ㉡ Sluice Gates | 13,435 | |
| ㉢ Stop-Log(Power Plant) | 14,422 | |
| ㉣ Stop-Log(Sluice Gate) | 7,739 | |
| ㉤ Lock 기계설비 | 9,588 | |
| ㉥ Gantry Crane ect. | 8,392 | |
| ㉦ Switch Gear & Trans. | 31,604 | |
| 소 계 | 296,730 | |
| 계(1+2) | 659,641 | |
| (3) 공사관리비 | 51,127 | (1+2)×3% |
| (4) 조사,설계,감리비 | 22,596 | (1)×5%+(2)×1.5% |
| 합 계 | 733,364 | (1)+.....+(4), (VAT별도) |
| (5) 건설이자 | 81,411 | 년 5% 복리이자 |
| 사업비계 | 814,775 | (1)+.....+(5) |

(2) 소용량 년차별 투자계획

(단위:백만원)

| 구 분 | 제1차년도 | 제2차년도 | 제3차년도 | 제4차년도 | 제5차년도 | 합 계 |
|-----|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| 금 액 | 117,388 | 176,007 | 205,342 | 146,673 | 88,004 | 733,364 |

주) 건설이자는 미포함

(3) 대용량 개략 공사비

(단위:백만원)

| 구 분 | 금 액 | 비 고 |
|-------------------------|---------|------------------------|
| (1) 토목공사비 | | |
| ㉠ 가설비 | 15,993 | |
| ㉡ 발전소 구조물 | 193,812 | 수차 26대 |
| ㉢ 수문 구조물 | 72,225 | 수문 12대 |
| ㉣ 기존방조제 제거 및 유용 | 52,151 | |
| ㉤ 가물막이공 | 55,329 | |
| ㉥ 중앙물양장(5,000 DWT급) | 14,043 | |
| ㉦ 도로포장공 | 326 | |
| ㉧ 옹벽공 | 26,703 | |
| 소 계 | 430,582 | |
| (2) 전기/ 기계공사비 | | |
| ㉠ Turbine-Generator | 275,014 | |
| ㉡ Sluice Gates | 16,123 | |
| ㉢ Stop-Log(Power Plant) | 18,749 | |
| ㉣ Stop-Log(Sluice Gate) | 9,286 | |
| ㉤ Lock 기계설비 | 9,439 | |
| ㉥ Gantry Crane ect. | 8,392 | |
| ㉦ Switch Gear & Trans. | 41,085 | |
| 소 계 | 378,088 | |
| 계(1+2) | 808,670 | |
| (3) 공사관리비 | 61,962 | (1+2)×3% |
| (4) 조사,설계,감리비 | 27,200 | (1)×5%+(2)×1.5% |
| 합 계 | 897,832 | (1)+.....+(4), (VAT별도) |
| (5) 건설이자 | 99,669 | 년 5% 복리이자 |
| 사업비계 | 997,501 | (1)+.....+(5) |

(4) 대용량 년차별 투자계획

(단위:백만원)

| 구 분 | 제1차년도 | 제2차년도 | 제3차년도 | 제4차년도 | 제5차년도 | 합 계 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 금 액 | 143,653 | 215,480 | 251,393 | 179,566 | 107,740 | 897,832 |

주) 건설이자는 미포함

7. 소용량 창조발전 적용시 개략경제성 검토

본 조사에서는 새만금에 소용량 창조발전(만경수역 개발안)에 대한 개략 경제성 검토를 실시하여 향후 만경수역의 수질기준 확보가 곤란 할 경우 대안으로 활용할 수 있는 방안을 구상하였다. 경제성 평가시 중요한 요인 중의 하나가 할인율의 결정이다. 한편 한국수자원공사(2002)에서는 “시화호 조력발전 건설사업 타당성조사 및 기본계획”시 7.5%의 할인율을 적용하여 타당성 조사를 수행한 바 있으며, 산업자원부(2004)에서는 “제2차 전력수급기본계획” 수립시 7.0%의 할인율을 적용한 바 있어, 본 조사에서는 기준할인율을 7.0%로 선정하고, 민감도 분석에서 5.0%, 6.0%, 7.0% 및 8.0%인 경우에 대한 분석을 실시하였다.

가. 경제성 검토 기준

본 조사의 경제성 분석을 위하여 사업의 최적규모에 대한 비용과 사업시행으로 얻을 수 있는 편익을 산정 하였으며, 연차별 현금 흐름표를 작성한 후 할인율을 적용하여 현재 가치로 변환하여 순현재가(NPV), 편익/비용비(B/C) 및 내부수익율(IRR)을 구하여 사업이 갖는 경제적 타당성을 분석하였다.

(1) 비용

조력발전소 건설에 따른 비용은 발전소 건설에 직접 소요되는 발전설비 및 토목공사비 등 건설비용과 발전소 유지관리비가 고려되어야 한다. 아래에서는 2006년 1월 초 기준 불변가격에 의거 경제성 분석을 실시하였다.

(가) 건설공사비

건설이자를 제외한 건설공사비는 전 항에서 제시한 바와 같이 건설기간을 5년으로 단계별 공정에 맞추어 투자계획을 수립하였으며 순공사비는 733,364 백만원이다. 여기에는 육상물권 및 해상어업권 보상액 그리고 건설이자는 포함되어 있지 않다.

(나) 운전유지비 및 재투자 비용

운전유지비는 새만금 조력발전소가 프랑스 랑스 조력발전소에 비해 2배 정도 큰 규모로 계획되고 있는 점을 감안하여 수력발전, 양수발전 및 조력발전 실적치의 평균인 총 공사비의 1.70%를 발전소 건설 이후 매년 계상하였다. 또한, 전기기계설비는 1993년 가로림 타당성 조사시와 같이 건설 이후 40년차에 발전설비 공사비의 1/2을 재투자하는 것으로 계상하였다.

(2) 편익

새만금 조력발전소 건설로 인한 편익으로는 대체화력(연료편익과 공급지장비 절감 편익), 환경, 관광 및 수산증식 편익 등을 들 수 있다. 이 중에서 대체화력 및 환경 편익은 발전편익으로 조력발전소 건설에 따른 직접편익으로 볼 수 있다. 또한 간접편익으로 관광 및 만내 수산증식 편익 등을 들 수 있다. 간접편익의 경우 가로림만 타당성 조사 자료를 토대로 관광편익만을 산정하였다.

(가) 조력발전 특성 및 발전량

조력발전소를 건설하여 전력계통에 통합시키면 다음과 같은 직접적인 효과를 얻는다.

- ① 화력발전소의 연료소비가 줄어드는 연료절감효과 즉 연료편익
- ② 전력공급의 실패가 드물게 되어 전력공급의 질이 개선되는데 이 편익은 동일 실패확률을 갖는 발전용량의 투자감소분과 일치함(공급지장비 절감편익)
- ③ 청정에너지로서 환경처리비용의 절감효과 발생(환경편익)

본 조사에서는 가로림 타당성 조사와 같이 ①, ② 편익을 에너지 편익으로 통합하여 계산하였고, ③의 편익은 환경편익으로 계산하며 이 세가지 편익이 발전편익이 된다. 즉, 발전편익은 생산된 조력발전량의 가치와 공급장애 개선효과, 환경비용 절감효과로 평가되는데 조력발전량의 순가치는 생산된 조력발전량에 이에 대응될 수 있는 대체에너지의 가격을 곱하여 산출한다. 새만금 조력발전으로 인한 연간발전량은 687GWh(시설용량 400MW)이다.

조석운동에 따르는 조력발전량은 매 조석마다 달라지며, 발전시간도 일정치 않다. 이에 따라 대체될 에너지의 종류도 달라지게 된다. 즉, 기저부하, 중간부하, 첨두부하 시간

에 따라 각 시간에 생산되는 조력에너지의 대체가격에는 차이가 나게 된다. 각 부하대별 발전량은 다음과 같다.

<표 3.3.13> 부하대별 발전량.

| 부하종류 | 지속시간/년 | 부하대별 발전량(GWh) |
|------|--------|---------------|
| 기저부하 | 3,650 | 302 |
| 중간부하 | 3,098 | 247 |
| 첨두부하 | 2,012 | 138 |
| 총계 | 8,760 | 687 |

※ 첨두부하 : 08:00 - 18:00 (6월 - 8월)
 18:00 - 22:00 (9월 - 5월)

기저부하 : 22:00 - 08:00

중간부하 : 기타시간

(나) 대체에너지 가격(대체화력편익)

대체에너지 가격산정은 1993년과 같이 에너지 1kWh당 한계비용은 자본비와 고정운영비에 의한 공급지장비 부분 및 연료비 편익을 합하여 계산하였다. 아래 식에서 A는 발전소의 공급지장에 대비한 새로운 1kW급 한계설비 건설 및 고정운영비용을 나타내며 이를 가동시간수로 나누어 공급지장확률을 곱하면 1kWh에 대한 공급지장비가 산출된다.

에너지 1kWh당 가격 = 공급지장비 (자본비 + 고정운영비) + 연료비

공급지장비 = $A \times (\text{공급지장확률} / \text{시간수})$

$$A = \frac{1}{D} \left[\left(I \times \frac{1 - \frac{1}{1+a}}{1 - \frac{1}{(1+a)^L}} \right) + \left(F \times \frac{1}{(1+a)^{1/2}} \right) \right]$$

A : 1kW 설비의 연간 비용

D : 설비가용율

I : 투자비(건설단가)

a : 할인율

L : 발전소 수명

F : 연간고정비

여기서 가로리만 타당성 조사 자료를 참고하여 공급지장확률(%)는 침두부하 65%, 중간부하 35%, 기타 0%으로 하고 시간은 <표 3.3.13>의 각 부하대별 시간을 이용한다.

상기 항목중 설비가용률은 1993년 자료와 같이 91%로 하였고, 연간고정비, 대체화력의 수명·건설단가 등을 산정하기 위하여 2003년도판 발전설비현황(한국전력거래소, 2003)의 자료를 참조하였다. 한편 한국전력거래소에서 제시한 자료는 할인율 8%로 하여 자본회수계수를 산정하였다. 그러나, 본 조사에서는 상기에 언급한 바와 같이 적정할인율을 7%로 선정하였으므로 전력거래소 자료에 7% 할인율 적용시 자본회수계수 및 고정비율을 재산정하여 <표 3.3.14>에 제시하였다.

표에 나타난바와 같이 1993년에 비하여 화력발전소의 수명 및 건설단가가 증가한 것을 알 수 있다. 상기 식의 연간고정비(F)는 건설단가에 고정비율을 곱하여 산정하였고 공급지장비와 관련한 각 항목을 종합하여 <표 3.3.15>에 제시하였다. 표에 제시된 자료는 환경편익과 관련된 항목은 제외하고 계산된 것이다.

또한 연료편익을 계산하기 위한 발전연료 비용은 LNG와 유연탄의 2006년 1월 수입가격에 소내소비율과 열효율(2004년도 실적치 평균)를 적용하여 산출하였으며, 이를 <표 3.3.16>에 제시하였다.

<표 3.3.14> 발전설비별 주요경제성 지표 비교(한국전력거래소, 2003).

| 구 분 | | 원자력 | | 석탄 | | 국내탄 (무연탄) | 석 유 | LNG 복합 | 양수 |
|--------|------------------------|---------|---------|--------|--------|--------------|-------------|-------------|--------|
| | | 1000천kW | 1400천kW | 500천kW | 800천kW | 200천kW | 500천kW | 450천kW | 300천kW |
| 순공사비단가 | 천원/kW | 1,498 | 1,197 | 1,045 | 876 | 1,585 | 793 | 533 | 635 |
| 건설기간 | 개월 | 64 | 68 | 44 | 52 | 40 | 42 | 30 | 65 |
| 건설이자 | % | 19.96 | 21.35 | 13.25 | 15.88 | 11.96 | 12.60 | 8.82 | 20.30 |
| 총건설비단가 | 천원/kW | 1,797 | 1,453 | 1,183 | 1,015 | 1,775 | 893 | 580 | 764 |
| 운전유지비 | 천원/kW월 | 6.66 | 5.63 | 4.24 | 3.43 | 5.10 | 3.07 | 3.63 | 1.43 |
| 설비수명 | 년 | 40 | 40 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 55 |
| 자본회수계수 | % | 7.501 | 7.501 | 8.059 | 8.059 | 8.059 | 8.059 | 8.059 | 7.174 |
| 법인세율 | % | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 |
| 운전유지비율 | % | 4.447 | 4.651 | 4.299 | 4.055 | 3.449 | 4.126 | 7.510 | 2.246 |
| 고정비율 | % | 11.966 | 12.170 | 12.376 | 12.132 | 11.526 | 12.203 | 15.587 | 9.438 |
| 연료구입단가 | 원/kg,ℓ | - | - | 37.157 | 37.157 | 71.100 | 208.00 0 | 434.18 8 | - |
| 발 열 량 | kcal/kg,ℓ | - | - | 5,780 | 5,780 | 4,882 | 9,831 | 13,042 | - |
| 열소비율 | kcal/kWh | 2,315 | 2,364 | 2,091 | 1,977 | 2,270 | 2,091 | 1,592 | - |
| 발열량 단가 | 원/10 ⁶ kcal | - | - | 6,429 | 6,429 | 14,564 | 21,158 | 33,292 | - |
| 소내전력률 | % | 4.7 | 4.2 | 4.4 | 4.2 | 10.5 | 4.0 | 1.3 | 0.4 |
| 연료비원가 | 원/kWh | 4.38 | 4.49 | 14.06 | 13.27 | 36.94 | 46.08 | 53.70 | - |

※ 자본회수계수 및 고정비율 재산정(할인을 7% 적용)

<표 3.3.15> 공급지장비 산출 관련 자료.

| 발전설비 | 연간고정비(F) (원) | 설비가용률(D) (%) | 발전소 수명(L) (년) | 건설단가(I) (원/kW) |
|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|
| LNG복합 (450MW) | 90,400 | 91 | 30 | 580,000 |
| 유연탄 (500MW) | 146,400 | 91 | 30 | 1,183,000 |

<표 3.3.16> 발전연료 비용.

| 발전설비 | 비용 (원/kWh) | 연료단가 (원/kg) | 소내소비율 (%) | 열효율 (%) | 발열량 (kcal/kg) |
|------------------|---------------|----------------|--------------|------------|------------------|
| LNG복합 (450MW) | 81.49 | 398.9 | 1.85 | 47.23 | 13,042 |
| 유연탄 (500MW) | 26.57 | 70.7 | 4.58 | 39.25 | 5,780 |

※ 연료비용=860(kcal/kWh)×연료단가(원/kg)/(1-소내소비율)/열효율(%)/발열량(kcal/kg)

각 전력부하별로 사용되는 에너지원은 1993년 가로림만 타당성 조사 결과를 참조하여 부하대별 대체에너지를 다음과 같이 결정하였다.

첨두부하 - LNG

중간부하 - LNG

기저부하 - 유연탄

경제성 평가시 비용과 편익은 가격 기준년도의 불변가격으로 표시된다. 따라서, 미래의 일반적인 가격상승 효과는 고려하지 않는다. 그러나 자원의 고갈이나 기타 요인을 고려하여 연료가격의 실질적 상승을 반영하는 경우도 있다. 미래의 실질 연료가격 상승을 예측하는 것은 신뢰성이 높지 않고 예측하기 어려운 많은 변수들을 포함하지만 일반적으로 연료비 상승계수를 고려하여 적용한다. 본 조사에서는 미국 에너지성(DOE/EIA)이 발간한 “Annual Energy Outlook 2004”에서 2002년에서 2025년 사이에 연간가격 변화율 예측치(LNG : 1.8% 상승, 유연탄 : 0.3% 하강)를 적용하여 등가연료비 상승계수를 산정하였다. 연간 등가연료비 상승계수 산정시 수력발전소 수명을 기준하여 가동연수를 55년으

로 하였으며, 미국 에너지성의 예측치가 내용년수 동안 일정하게 유지되는 것으로 간주하였다.

연료비 상승계수(Fuel Escalation Factor)는 다음 식으로 산정한다.

$$\text{연료비상승계수} = \sum_{k=1}^{60-d} \frac{(1+e)^{d+k}}{(1+i)^k} \times \text{CRF}$$

d : 가격 기준년도와 전력공급 시점까지의 기간(5년, 건설기간적용)

e : 연간 실질 연료가격 상승률 (LNG: 1.8%, 유연탄: -0.3%)

$$\text{CRF} : \text{자본회수계수(Capital Recovery Factor)} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$= 0.0717$$

n : 내용년수(55년)

i : 할인율(7.0%)

상기 값들을 적용하여 연료비 상승계수를 산정하면 LNG는 1.4363, 유연탄은 0.9453이다. 이는 LNG의 경우 발전연료 비용의 증가를 가져오나, 유연탄의 경우에는 비용이 오히려 감소한다. 이러한 연료비 변동계수를 LNG 및 유연탄의 kWh당 가격에 곱하고 여기에 공급지장비를 합하면 각 년도의 각 에너지의 kWh당 한계대체원가가 산출된다. 한계대체원가에 각 부하별 발전량을 곱하면 각 년도의 총 대체에너지 가격이 산출된다. 할인율을 7%로 적용하여 산정된 공급지장비, 대체연료비용 및 대체에너지 가격을 정리하여 <표 3.3.17>에 제시하였다. 이에 따르면, 연간 총 대체에너지 가격은 49,802 백만원이다.

<표 3.3.17> 대체에너지 가격(할인율 7%인 경우).

| 부하종류 | 부하대별 발전량(GWh) | 공급지장비 (원/kWh) | 발전연료비 (원/kWh) | 대체에너지가격 (백만원) |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 기저부하 | 302 | 0.00 | 26.56 | 8,030 |
| 중간부하 | 247 | 16.27 | 81.49 | 24,180 |
| 첨두부하 | 138 | 46.53 | 81.49 | 17,591 |
| 총계 | 687 | | | 49,802 |

(다) 환경처리비용(환경편익)

조력발전은 화력이나 원자력 발전에 비해 환경공해가 없어 이를 방제하기 위한 시설 설치비나 처리비용이 들지 않는다. 따라서 조력발전은 환경처리비용이 절감되는 효과를 가져오며 이것을 환경편익으로 간주할 수 있다. 과거 1993년 조사시점만 하더라도 국내에서 화력발전으로 발생하는 SO₂나 NO₂를 처리하지 않았으나, 1999년에 태안화력 1, 2, 3, 4호기 탈황설비가 준공(1996년 착공, 총공사비 2,030억원)되어 가동 중이다.

본 조사에서는 기본적으로 화력발전소의 건설원가에 탈황 및 탈질설비 공사비가 포함 되어 있지 않고, SO₂와 NO₂에 대한 규제를 선진국수준으로 유지한다고 가정하여 환경편익을 산정하였다. 또한 2005년 2월 16일부로 교토의정서가 발효되었으므로 CO₂ 처리비용도 환경편익으로 간주하였다.

새만금 조력발전에서 침두 및 중간부하는 LNG 화력으로 대체하고, 기저부하는 유연탄 화력발전으로 대체한다고 보았으므로 청정연료인 LNG의 경우는 CO₂, NO₂가 주요 규제대상이 될 것이고, 유연탄 화력발전에서는 CO₂, SO₂, NO₂, 분진 등이 많이 발생하게 되어 이것이 주요 규제 대상이 된다.

기후변화협약(교토의정서)의 발효로 CO₂ 처리비용이 발전소 가동에 상당한 부담으로 작용할 것으로 판단되고, 탄소 배출권 거래소가 생기는 등 앞으로 CO₂ 처리 문제는 기업 활동에 심각한 문제로 부각되고 있다. 한편, David(2000) 등은 호주에서 개최된 제5차 온실가스조절기술 컨퍼런스에서 전력산업에 있어서의 CO₂ 회수비용에 대한 논문을 발표하였다. 그에 따르면 2000년을 기준하여 유연탄 및 LNG 발전이 각각 0.0332 \$/kWh, 0.0161 \$/kWh 이었으며, 여기에 미국 내 물가상승분을 반영하여 CO₂ 회수비용을 산정하였다. 이를 통하여 CO₂ 회수비용은 각각 대체하는 부하별 발전설비 발전량에 kWh당 CO₂ 회수비용과 환율을 곱하면 연간 회수비용은 18,292 백만원이다.

한편 SO₂, NO₂ 및 분진을 처리해야 하는 기저부하의 대체화력인 유연탄 화력발전소의 경우 탈질시설과 탈황시설의 설치·운영비용과 분진제거를 위한 전기집진기 운영비를 계산하였고, LNG 화력의 경우에는 NO₂를 제거하기 위하여 탈질시설의 설치·운영비용을 계산하였다. 유연탄 화력의 경우 탈황시설 및 전기집진시설은 국내의 가동 실적자료를 이

용하였으나, 실적자료가 없는 탈질시설의 경우에는 국외자료를 참고하였다. 또한 LNG 화력의 경우에는 국내의 가동실적 자료를 이용하였다.

최근의 500MW급 유연탄 화력발전소 기준 탈황설비 설치비, 관리유지비 및 전기집진기 운영비는 각각 64,000원/kW과 0.55원/kWh, 0.12원/kWh이고, Rubin(2003) 등이 제시한 1997년 기준으로 탈질설비 대한 설치비용 및 관리유지비는 각각 65\$/kW과 0.0045\$/kWh이었다. 또한 시설용량 75천kW급 LNG 화력발전소의 탈질시설 설치비와 운영비는 각각 36,000원/kW과 0.99원/kWh이다. 이러한 비용은 1993년 가로림나 타당성 조사결과에 비하여 감소하였으며, 이는 기술발달로 기인하는 것으로 판단된다. 고로 물가상승분을 반영하지 않고 그대로 반영하였다.

기저부하인 유연탄 화력과 중간·첨두부하인 LNG 화력을 대체하는 발전량으로서는 각각 302GWh, 385GWh로 전체발전량의 44%와 56%이며, 이용을 91%로 하여 대응하는 대체화력 발전용량을 산정하면 약 37.9MW(유연탄)과 48.3MW(LNG)이다.

$$\frac{\text{부하대별발전량(MWh)}}{x(\text{MW}) \times 24(\text{h}) \times 365(\text{일})} = 0.91$$

여기서, x는 대체화력용량

기저부하를 대체하는 유연탄 화력의 경우 상기에 산정한 대체화력 발전용량에 탈황설비와 탈질설비의 kW당 설치비용과 환율(공사비 산정시와 같은 2006년 1월 2일 기준환율)을 곱하면 4,838 백만원의 환경시설 투자비 절감효과가 나타나게 된다. 또한 환경시설 운영비는 기저부하시의 발전량에 상기에 언급한 탈황·질설비 관리유지비와 전기집진시설 운영비를 곱하면 연간 498 백만원이 된다.

마찬가지로 중간 및 첨두부하를 대체하는 LNG 화력의 환경시설 투자비는 상기에 산정한 대체화력 발전용량에 탈질시설 설치비를 곱하면 1,737 백만원이고, 시설운영비는 중간·첨두부하시의 발전량에 탈질시설 운영비를 곱하면 연간 379 백만원이다.

이상과 같은 환경편익을 정리하여 <표 3.3.18>에 제시하였다. 한편 대체하는 화력발전

소의 시설투자비를 합하면 6,575 백만원이고, 운영비를 합하면 877 백만원이다.

<표 3.3.18> 환경편익.

| 부하종류 | 부하대별 발전량 (GWh) | CO ₂ 회수비용 (백만원) | 유연탄 화력(백만원) | | LNG 화력(백만원) | |
|------|----------------|----------------------------|-------------|-----|-------------|-----|
| | | | 시설투자비 | 운영비 | 시설투자비 | 운영비 |
| 기저부하 | 302 | 11,311 | 4,838 | 498 | - | - |
| 중간부하 | 247 | 4,488 | - | - | 1,737 | 379 |
| 첨두부하 | 138 | 2,493 | - | - | | |
| 총계 | 687 | 18,292 | | | | |

(라) 수산 증산 및 관광 효과(간접편익)

조력발전소를 건설하게 되면 발전소의 만내수역은 투명도가 증가하고 영양염이 풍부해지며, 수온이 상승하는 등 기초생산력의 증대와 일반수산생물의 생산증대효과를 가져올 수 있다. 또한, 조력발전소는 세계적으로도 드문 시설물이며 특히 해양의 무공해 청정 에너지를 개발한다는 측면에서 볼 때 많은 국민들의 호기심을 불러일으킬 수 있고 교육적인 측면에서도 효과적으로 작용할 수 있다. 그러나 시화조력발전소가 먼저 완공될 것으로 예상되어 호기심은 반감할 수 있으나, 새만금 조력발전소는 주변의 많은 관광자원과 연계한다면 관광자원으로서의 활용가치는 매우 클 것이다. 따라서 이러한 관광효과는 간접편익으로 평가할 수 있으며, 1993년 가로림만 타당성 조사 결과에 물가상승율을 반영하여 산정하면 연간 약 17,282 백만원의 편익이 기대된다.

기타 여러 가지 편익이 간접편익으로 고려될 수 있으나, 본 조사에서는 상기에 언급한 편익에 대해서만 경제성 분석을 실시하였다.

나. 경제성 검토 결과 및 민감도 분석

경제성 검토는 조력발전소의 내용년수인 55년(양수발전의 설계치와 동일한 내용년수로 가정)을 기준으로 하여 실시하였다.

대체화력 편익, CO2 회수편익, 환경시설 연간운영편익 및 관광편익은 공사 완료(착공 후 6년차) 후부터 매년 각각 49,802 백만원, 18,293 백만원, 878 백만원 및 17,604 백만원 발생하는 것으로 계상하였다. 또한 환경시설 투자비(6,575 백만원)는 유연탄 및 LNG 화력발전소 수명기간인 30년마다 새로이 교체하는 것으로 가정하여 대체화력 건설기간인 44개월에 맞추어 가동직전 4년간 그리고 가동후 27~30년차에 각각 계상하였다.

이렇게 비용과 편익이 모두 계산되면 이를 연도별로 합산하여 각각 할인율로 할인하여 현가화 시켜야 하는데, 본 조사에서는 앞에서 선정한 7.0%를 적용하여 비용과 편익의 NPV를 산정하였으며, 편익과 비용을 이용하여 B/C를 계산함과 아울러 IRR을 계산하였다(<표 3.3.19, 3.3.20> 참조).

본 조사에서는 대체화력편익과 환경편익을 발전편익(직접편익)으로 하였다. 발전편익만을 고려할 경우 B/C는 0.94이고, IRR은 6.47이며, NPV는 -49,633 백만원으로 산출되어 새만금 조력개발 사업의 경제성은 다소 미흡한 것으로 평가되었다. 그러나 할인율이 6% 이하가 되면 B/C는 1.0보다 크게 나타나 향후 이자율의 하락할 경우 경제성이 있을 것으로 나타났다.

<표 3.3.19> 직·간접편익에 따른 경제성 변화.

| 고 려 편 익 | B/C | IRR(%) | NPV(백만원) |
|---------------|------|--------|----------|
| 발전편익(에너지+ 환경) | 0.94 | 6.47 | -49,633 |
| 총편익(발전+ 관광) | 1.17 | 8.38 | 137,621 |

<표 3.3.20> 할인율에 따른 경제성 변화(발전편익).

| 할인율 | B/C | IRR(%) | NPV(백만원) |
|-----|------|--------|----------|
| 5% | 1.24 | 6.65 | 207,587 |
| 6% | 1.07 | 6.55 | 59,265 |
| 7% | 0.94 | 6.47 | -49,633 |
| 8% | 0.83 | 6.40 | -130,964 |

제4장

결론 및 토의

제4장 결론 및 토의

우리나라 서해안은 강한 조석현상이 발생하는 해역으로 세계적인 조력발전 적지로 널리 알려져 왔으나, 1980년대부터 서·남해 연안역에 대한 대규모 매립과 항만개발 등으로 조력개발입지 자체가 상실되고, 조석체계도 변화되고 있다. 한편 조력에너지는 기존의 화석연료를 대체할 수 있는 개발가능한 신·재생에너지 중에서 거의 유일하게 대규모로 개발이 가능한 것으로 평가되고 있어 개발시 기대효과는 매우 클 것이다. 이에 우리나라 서해안의 조력자원 부존량을 파악하고 주요 후보지에 대한 개발타당성 검토를 통하여 주요 조력자원 후보지를 타 개발로부터 보호하고, 민간참여를 유도하여 조력에너지 개발을 활성화하고자 본 조사를 추진하였다.

1차년도 연구에서는 한반도 조력자원 한반도 조력자원 개발타당성 검토를 위하여 1) 서해안의 주요 지점에 대한 조석특성을 조사하였고, 2) 주요 조력자원 후보지 위치 및 영역을 설정하였으며, 3) 조석체계변화예측 수치모형실험을 실시하였고, 4) 후보지별 발전소 평면배치계획(5개 지점 8개안)을 수립하였으며, 5) 후보지별 연간발전량과 개략공사비를 산출하여 6) 8개안에 후보지별 개략 적정개발 규모를 파악하였다.

검토결과 우리나라 서해안의 조력개발 가능규모는 후보지별 대규모안 기준시 약 500만kW(북한 해주만 포함) 정도이며, 이 경우 연간 약 7,000 GWh의 전기를 생산할 수 있을 것으로 조사되었다. 경제적 측면에서는 가로림만이 조성해야할 방조제의 길이가 상대적으로 짧아 1순위 후보지이나, 현재 가로림만에 대한 사업이 추진되고 있는 점을 감안하여 본 조사에서 제외하였고, 차순위 후보지인 새만금을 2차년도 연구위치로 선정하여 새만금 조력 타당성을 검토하였다.

2차년도 연구에서는 새만금 해역의 주요 지점에서 조석·조류관측 및 분석을 실시하여 수치 모형의 입력·검증 자료로 활용(기존자료 수집·활용과 병행)함과 아울러 퇴적물 이동특성을 검토 하였고, 해당해역에 대한 해수유동 수치모형실험을 실시하여 조력발전소 건설에 따른 조석체계변화 특성을 파악하고, 연간 발전량 산출을 위한 기초자료로 활용하였다. 새만금 해역의 “친환경순차개발계획”을 감안하여 총 4개안(대용량 창·낙조

발전, 소용량 창·낙조발전)을 설정하여 각 안별 36개 조합안에 대한 개략공사비, 연간발전량 등을 산정하였다. 이를 토대로 각 안별 적정개발규모를 파악하였고, 적정안(소용량 창조발전)에 대한 개략 경제성 검토를 실시하였다. 검토결과 적정개발규모는 약 40만kW 이고, 연간발전량은 약 687GWh이며, 경제성은 할인율이 7%인 경우에는 B/C가 0.94로 미흡하였으나, 할인율이 5%로 낮아지면 B/C가 1.24까지 상승하는 것으로 나타났다

현재 상태에서는 경제성이 미흡하였으나 향후 신·재생에너지의 발전차액지원, 탄소거래가격 상승, 유가상승 혹은 할인율 하락 등 사회경제적 여러 변수에 의하여 경제성은 변동 될 수 있으므로 새만금 조력발전(소용량 창조발전)은 새만금 사업의 “친환경순차개발 계획” 상 향후 만경수역의 수질기준 확보가 곤란할 경우 개발대안으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

한편, 본 보고서에서는 조력개발의 기술적, 경제적 측면에서의 개략적인 검토가 이루어 졌으나, 향후 자연환경(생태, 물리환경 변화), 생활환경 및 사회경제환경 등 종합적인 환경적 측면에서의 상세한 검토를 통하여 조력발전이 환경에 미치는 영향을 구체적으로 파악한 후 추진하여야 할 것으로 판단된다. 이는 조력발전이 대규모 건설과 연계되어 추진되는 점 등을 감안하면, 환경적 측면의 심도있는 과학적 조사 자료에 근거하여 사업추진의 타당성을 확보한 후 국민적 공감대를 조성한 후 추진하여야 사회적 비용을 최소화 할 수 있을 것이다.

또한 본 조사에서는 시간적, 예산적인 제약으로 인하여 주요 후보지에 대한 조력발전 방식만을 적용하여 개략적 타당성조사를 실시하였는데, 향후 조력발전 보다 더 환경친화적 발전방식으로 평가되는 조류발전 방식에 대한 검토도 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

참고문헌

- 농업기반공사. 2005. 새만금 사업현황.
- 산업자원부. 1998. 제4차 장기전력수급계획.
- 이창호. 2000. 전력산업 구조개편후 대체에너지 발전전력 지원규모(안). 에너지절약 시민연대 제3회 정책포럼.
- 한국수자원공사. 1997. 시화호 조력발전 가능성 검토 연구.
- 한국전력공사. 1978. 서해안 조력 부존자원조사.
- 한국전력공사. 1986. 가로림 조력발전 후속조사 및 우수영 조류발전 예비타당성 조사.
- 한국전력공사. 1993. 가로림 조력개발 타당성조사.
- 한국전력공사. 1990. 장기 전력 수급계획.
- 한국해양연구소. 1981. 가로림만 조력발전 타당성 조사.
- 한국해양연구소. 1992. 우수영 난류 정밀수치실험에 관한 연구.
- 해양수산부. 2001. 대규모 연안개발에 따른 조위예측 연구개발.
- 해양수산부. 2001. 해양수산부문 청정개발체제 도입방안연구.
- 해양수산부 국립해양조사원. 2002. 대규모 연안개발에 따른 조위예측 연구개발: 부제: 해수범람 해역의 조위예측 연구.
- Alexander M. Gorlov. 1999. Helical turbines for harnessing zero-head hydro and wind energy. Assembly Environmental Forum.
- Baker. A.C. 1991. Tidal power. Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom.
- BP Amoco, 2000. Statistical review of world energy.
- BP Amoco, 2001. Statistical review of world energy.
- Daniel J. Schneider and Gai Schneider. 1999. Ecologically Sustainable water power: A dynamic opportunity for Korea. KORDI.
- Gartner, J.W. 2002. Estimation of Suspended Solids Concentrations Based on Acoustic Backscatter Intensity: Theoretical Background. Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop.

- IEA. 1998. World energy outlook 1998.
- IEA. 2000. World energy outlook 2000.
- Kang, S.K., Chung, J.-Y., Lee, S.-R., and K.D. Yum. 1995. Seasonal variability in the M2 tide in the seas adjacent to Korea. *Contin. Shelf Res.*, 15(9) : 1087-1113.
- Kang, S.K., Lee, S.-R., and H.J. Lie. 1998. Fine grid tidal modeling of the Yellow and East China Seas. *Contin. Shelf res.*, 18: 739-772.
- Kang, S.K., M.G.G. Foreman, H.J. Lie, J.H. Lee, J. Chrniawsky, and K.D.. Yum. et al., 2002. Two-layer tidal modeling of the Yellow and East China Seas with application to seasonal variability of the M2 tide. *J. geophys. res.*, 107(C3): 10,1029-10,1037.
- Kepeco. 1986. korea Tidal Power Study-1986. Volume I data Report.
- L. B. Bernshtein, E. M. Wilson & W. O. Song. 1997. Tidal power plant.
- Mersey Barrage Committee. 1991. Mersey Barrage Feasibility Study.
- Nortek AS. 2001. Monitoring Sediment Concentration with acoustic backscattering instruments. Nortek Technical Note, No. 3 : 1-4.
- Patino, E. & Byrne, M.J. 2001. Use of Acoustic Instrument for Estimating Total Suspended Solids Concentration in Streams. The South Florida Experience.
- RD Instrument. 1996. Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation A Practicla Primer. Ed. 2, 29-34.
- R. H. Clark. 1994. Elements of tidal electric engineering.
- Severn Barrage Committee. 1981. Tidal Power form the Severn estuary, Vols 1 and 2.
- United Nation. 1997. Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change.

부 록 1

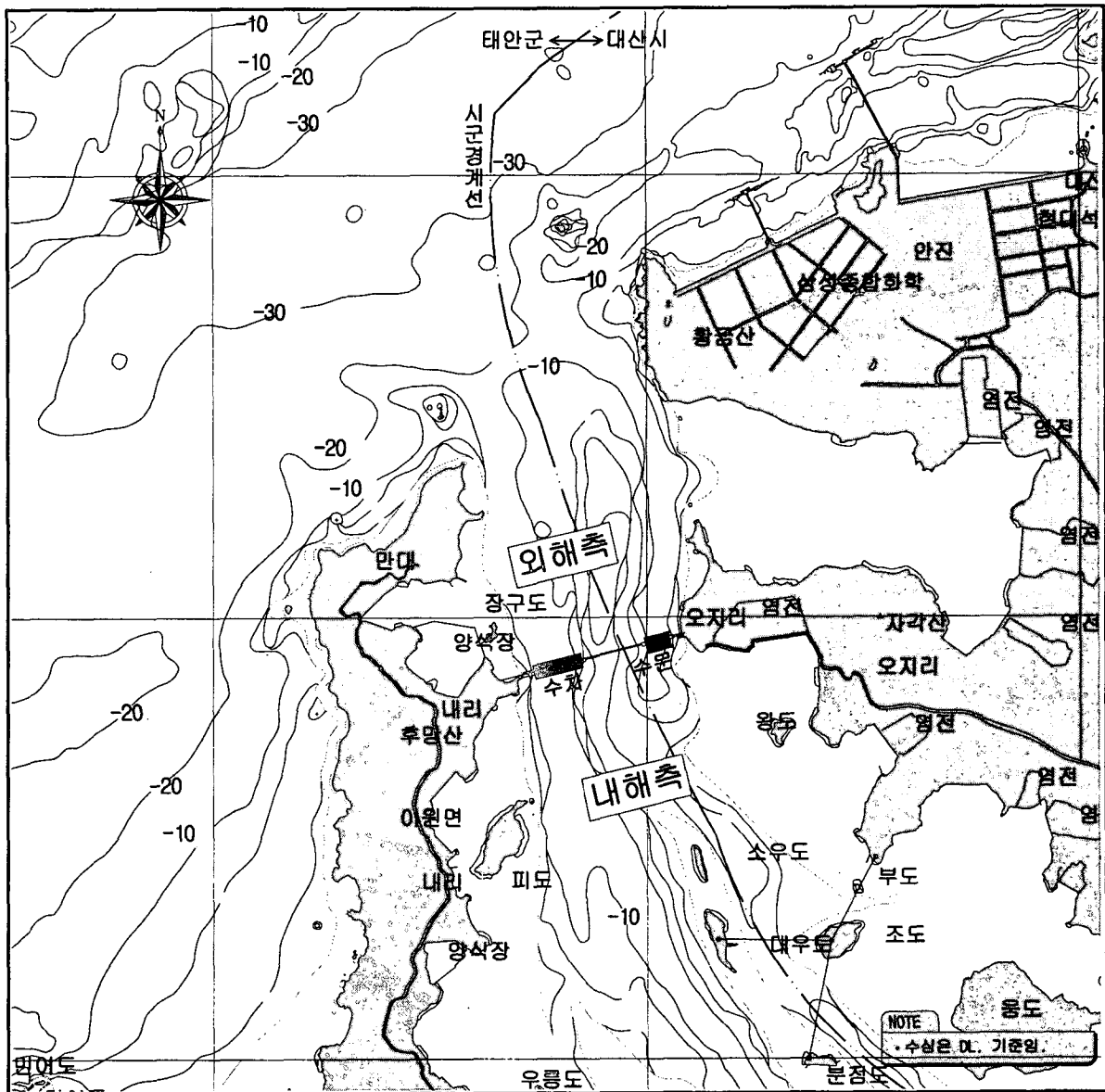
가로림만 조력발전 시스템 배치계획 및 개략 공사비산정

부록 1 가로림만

1 가로림만 현황

(1) 기초자료 검토

- 발전소 위치 : 충청남도 태안군 가로림만 벌말과 내리 일대의 해역
- 지역 형상 : 가로림만은 만의 입구부가 좁고 내부가 넓은 호리병 모양을 하고 있으며 입구폭은 2km에 불과하나 내부폭은 약 10km, 만의 길이는 약 20km이다.
- 내수면 면적 : 90km²



<그림 1.1> 가로림만 조력발전 위치도

- 가로림만 지형 : 서해안 특유의 리아시스식 해안의 형태이며 주변의 지형은 완만한 구릉지로 형성되어 있다.

(2) 해양자료 검토

- 설계파랑(80년 빈도): 파고 3.0m, 주기 6.5sec
- 설계조위 : 본 타당성 조사에서는 1993년 한국해양연구원의 “가로림 조력 개발 타당성 조사 보고서”의 조석자료를 사용한다.

<표 1.1> 가로림만 조석의 조화상수 및 비조화상수

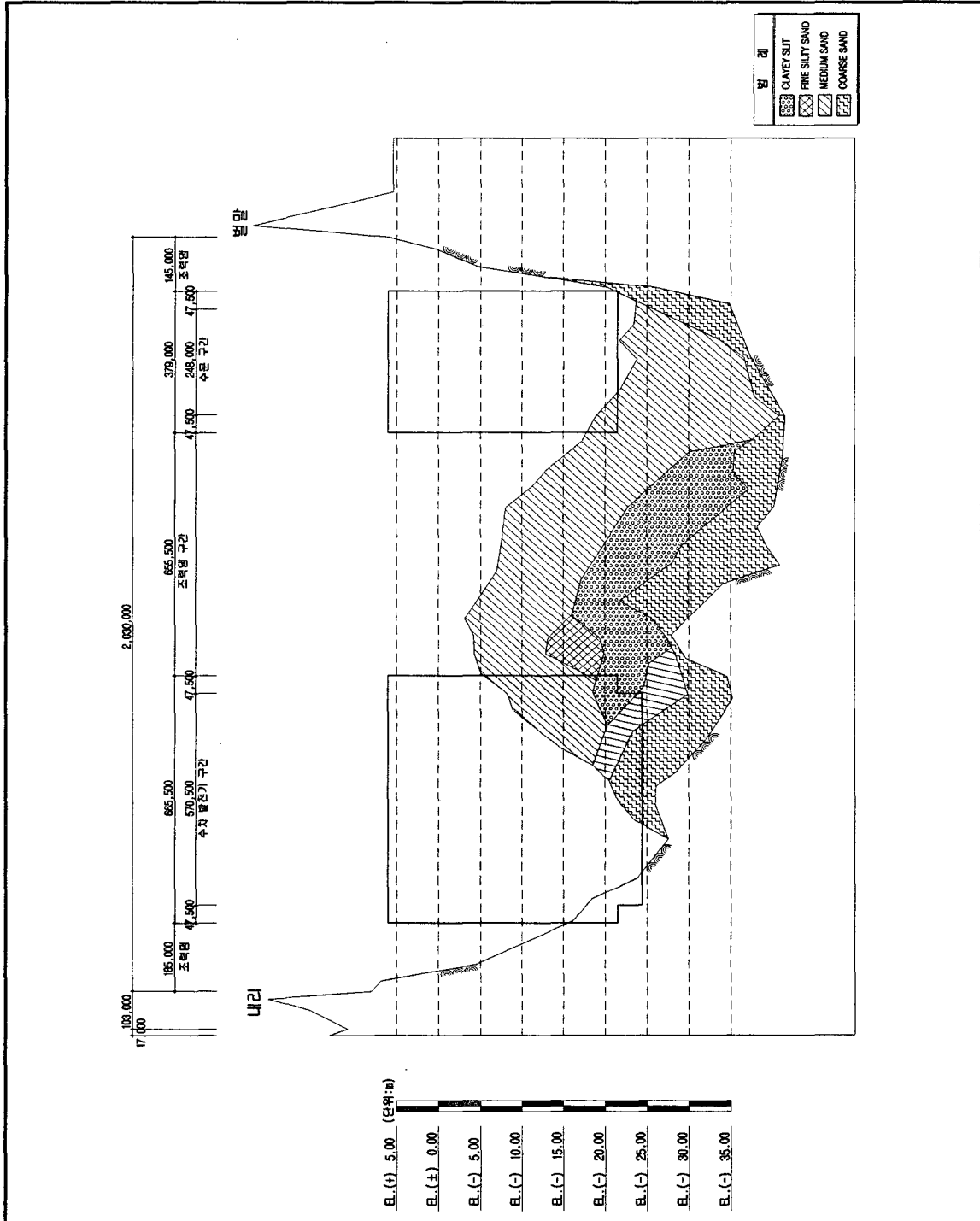
| 조화상수 | 항 목 | | 반조차 (cm) | 지각 (°) | 비고 |
|-------|----------------|----------------|-------------|------------|----|
| | 분 조 | | | | |
| 조화상수 | M ₂ | 주태음반일주조 | 235.9 | 122.8 | |
| | S ₂ | 주태양반일주조 | 91.9 | 178.0 | |
| | K ₁ | 일월합성일주조 | 37.4 | 299.0 | |
| | O ₁ | 주태음일주조 | 28.0 | 260.2 | |
| 비조화상수 | 평균고조간격 | (M.H.W.I) | 4h 14m | | |
| | 평균저조간격 | (M.L.W.I) | 10h 26m | | |
| | | | 해상표고(DL.) | 육상표고(EL.) | |
| | 약최고고조위 | (App. H.H.W) | 849.5cm | 400.0cm | |
| | 대조평균고조위 | (H.W.O.S.T) | 784.1cm | 320.0cm | |
| | 평균고조위 | (H.W.O.M.T) | 692.2cm | 230.0cm | |
| | 소조평균고조위 | (H.W.O.N.T) | 600.6cm | 140.0cm | |
| | 평균해면 | (M.S.L) | 456.3cm | 0.0cm | |
| | 소조평균저조위 | (L.W.O.N.T) | 312.3cm | (-)150.0cm | |
| | 평균저조위 | (L.W.O.M.T) | 220.4cm | (-)240.0cm | |
| | 대조평균저조위 | (L.W.O.S.T) | 128.2cm | (-)330.0cm | |
| | 약최저저조위 | (App. L.W.L) | 63.1cm | (-)400.0cm | |
| | 대조차 | (Spring Range) | 655.9cm | | |
| 평균조차 | (Mean Range) | 471.8cm | | | |
| 저조차 | (Neap Range) | 288.3cm | | | |

자료 : 한국해양연구원(1993년) “가로림 조력개발 타당성조사 보고서”

- 설계조류 : 창조류는 외해에서 북동류하여 일부는 아산만으로 일부는 동·서수로 유입되며 낙조류는 이와 반대로 흐른다. 창(낙)조류는 인천항의 저조전 0.6~저조후 1.6(고조전 0.7~고조후 2.7)시경에 전류하여 고조전 0.7~고조후 2.7(저조전 0.6~저조후 1.6)시경까지 6.1~7.3(5.1~6.3)시간 지속되며, 최강창(낙)조류는 인천항의 저조후 2.6~4.2(고조후 2.5~4.1)시경에 평균대조기 최강유속이 1.8~2.8(1.7~2.8)kn에 이른다.

(3) 수심 및 지질

- 지질조건 : 수차발전기 케이슨 위치의 지반은 3.0~20.0m 두께의 퇴적층 밑에 암반이 나타나고, 수문 케이슨 위치의 지반은 5.0~25.0m 두께의 퇴적층 밑에 암반이 나타난다.

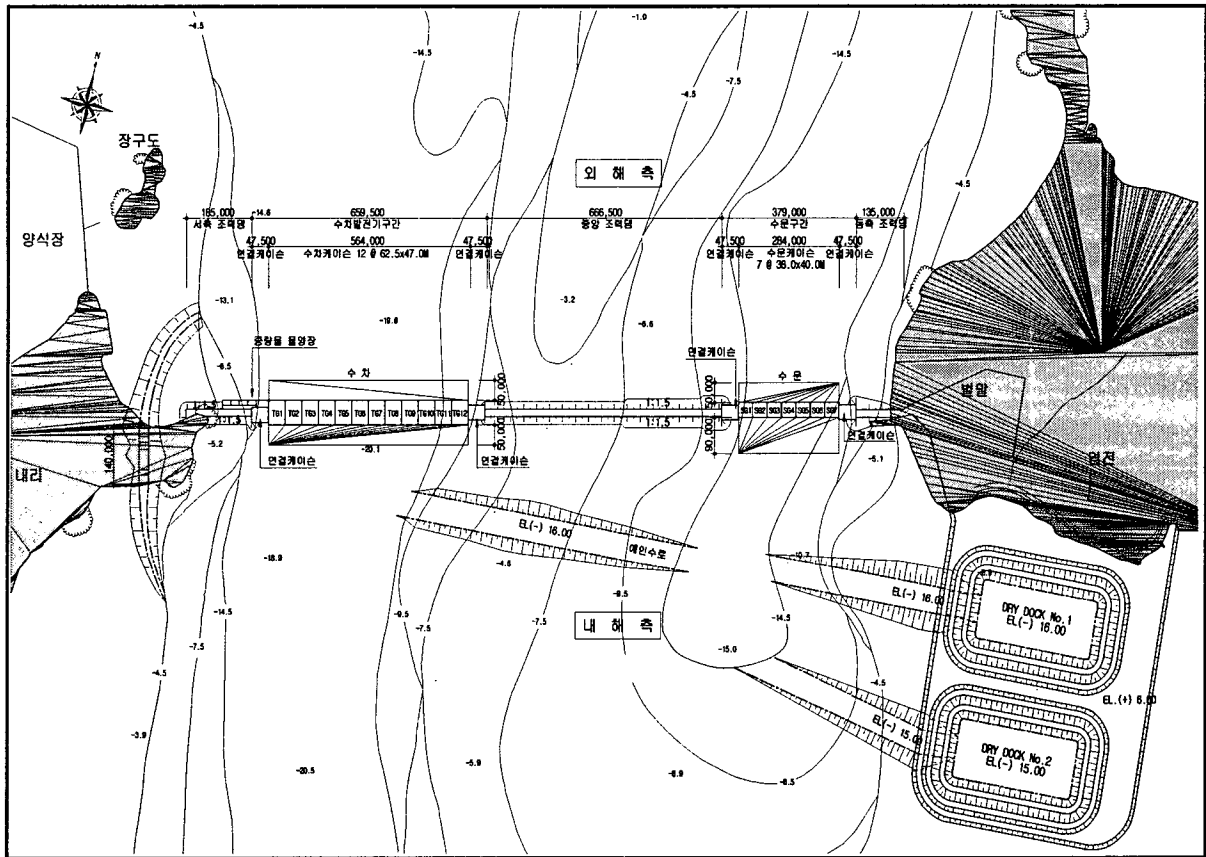


<그림 1.2> 가로림만 수심 및 지층단면도

2. 평면배치계획 검토

(1) 개요

가로림만 조력발전 개발 타당성 조사(1993)의 검토를 통하여 조력발전소 배치계획안을 선정하였다. 조력댐 설치 구간은 가로림만 입구부근에서 서쪽방향에 있는 내리와 동쪽 방향에 있는 벌말을 잇는 구역이다. 발전소 구조물 배치의 주요 특징은 낙조 우세인 서측수로에 수차발전기 구조물을 배치하고 창조 우세인 동측수로에는 수문 구조물을 배치하고, 통선문은 서측의 내리쪽에 배치하였다. 수차발전기, 수문, 통선문등 해상에 설치되는 대형 구조물은Caisson 형식을 선정하였다.(참조 그림 2.1)



<그림 2.1> 가로림만 배치 계획평면도

(2) 수차발전기 및 케이슨 구조물 규모검토

- ① 발전시설용량 : 20MW× 24대 = 480MW
- ② 건설 방법 : 케이슨 공법 (12함)
- ③ 케이슨

- 제 원 : $B \times H \times L = 45.80 \times 29.40 \times 62.50\text{m}$
- 콘크리트 : $V=21,740\text{m}^3/\text{합}$, $W=53,260\text{ton}/\text{합}$

(3) 수문 및 케이슨 구조물 규모검토

- ① 형 태 : Ventri 식
- ② 문 비 : 수직인양식 (14개, $B \times H = 12 \times 12\text{m}$)
- ③ 케 이 슨
 - 제 원 : $B \times H \times L = 40.0 \times 27.50 \times 38.0\text{m}$
 - 콘크리트 : $V=11,154\text{m}^3/\text{합}$, $W=27,320\text{ton}/\text{합}$

(4) 토목구조물 규모 및 배치계획

① 조력댐

| 구 분 | 서측조력댐 | 중앙조력댐 | 동측조력댐 |
|---------|------------|------------|------------|
| 마 루 높 이 | EL.(+)8.00 | EL.(+)8.00 | EL.(+)8.00 |
| 길 이 | 185.0m | 655.5m | 135.0m |
| 구 조 형 식 | 사석경사식 | 사석경사식 | 사석경사식 |

② 통선문

- 대상선박 : 선박 5~10톤, 준설선 3,300HP, 관광선 500톤
- 구조형식 : 콘크리트 중력식
- 제 원 : 유효길이(140.0m), 폭(17.0m), 갑실수심(3.50m)

③ 연결케이슨

- Type A (수차측 연결) : 2합, $B \times H \times L = 47.50 \times 26.50 \times 38.0\text{m}$
- Type B (수문측 연결) : 2합, $B \times H \times L = 47.50 \times 26.50 \times 38.0\text{m}$

④ 중량물물양장

- 대상선박 : 5,000DWT 화물선 × 1선좌
- 선좌길이 : 130m, 박지수심 : EL.(-)11.50m
- 구조형식 : 케이슨식
- 케이슨제원 :

- Type A (4합) : $B \times H \times L = 23.65 \times 12.0 \times 17.0\text{m}$

- Type B (1함) : B × H × L = 35.0 × 18.0 × 25.50m

⑤ Dry Dock : 2기

<표 2.1> Dry Dock 사용계획

| 구 분 | PHASE-I | PHASE-II | 규 격 | 저면 EL. |
|-------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Dry Dock #1 | 수 차 케 이 슨 : 5함 중물양장케이슨 : 5함 연 결 케 이 슨 : 1함 | 수 차 케 이 슨 : 7함 연 결 케 이 슨 : 1함 | 330 × 150m = 49,500m ² | EL.(-)16.0m |
| Dry Dock #2 | 수 문 케 이 슨 : 7함 연 결 케 이 슨 : 2함 | - | 340 × 150m = 51,000m ² | EL.(-)15.0m |

- 출입구 가물막이 : Φ 17.0m Cell × 5ea
- 예인수로 : W = 67.0m, EL.(-)16.0m, W = 67.0m, EL.(-)15.0m
- 터파기 및 준설량 : 2,849,000m³

⑥ 작업장

- 면적 = 234,000m²
- 부지계획고 EL.(+)6.0m

⑦ 조립장

- 길 이 : 190m, 폭 : 35~80m
- 면 적 : 11,000m²
- 부지계획고 : EL.(+)8.0m

(5) 발전설비 규모 및 배치계획

① 발전기

- TYPE : 밸브식 수차 발전기
- 냉각방식 : 공냉식
- 발전기 전압 : 10.5kV
- 계통연결 : 10.5/10.5/154kv, 3권선 변압기 사용

② 주변압기

- 규격 : 154kV 케이블 사용, XLPE, 3 S-C, 2회선, 1200, 길이 1600m

- 용량 : 130/130/260MVW, 2대사용

- ③ 변전소
 - 대산변전소와 가로림 조력발전소간- 480mm², 2-복도체, 2회선
 - 서산변전소와 대산변전소간- 410mm², 2-복도체, 2회선
- ④ 송전선로(Duct 포함)
 - 규격 : ACSR, 480mm², 2-복도체, 2회선
 - 연장 10km
- ⑤ 수차 발전기축 Stoplog : 외해측 : B × H = 14.40 × 14.40m
 : (6 組) 내해측 : B × H = 15.40 × 19.70m
- ⑥ 수차 발전기축 크레인
 - Ganty Crane (250 톤) 1기
 - Overhead Crane (50 톤, 30 톤) 각 1기
- ⑦ 수문축 STOPLOG : 외해측 : B × H = 16.0 × 20.50m
 (4 組) 내해측 : B × H = 16.0 × 24.50m
- ⑧ 수문축 크레인 : Ganty Crane (100 톤) 1기
 : Overhead Crane (50 톤) 1기
 : Hydraulic Hoist Unit 14기

3. 토목구조물 개념설계

(1) 수차발전기 케이슨 구조물

① 기본조건

- 수차발전기의 제원

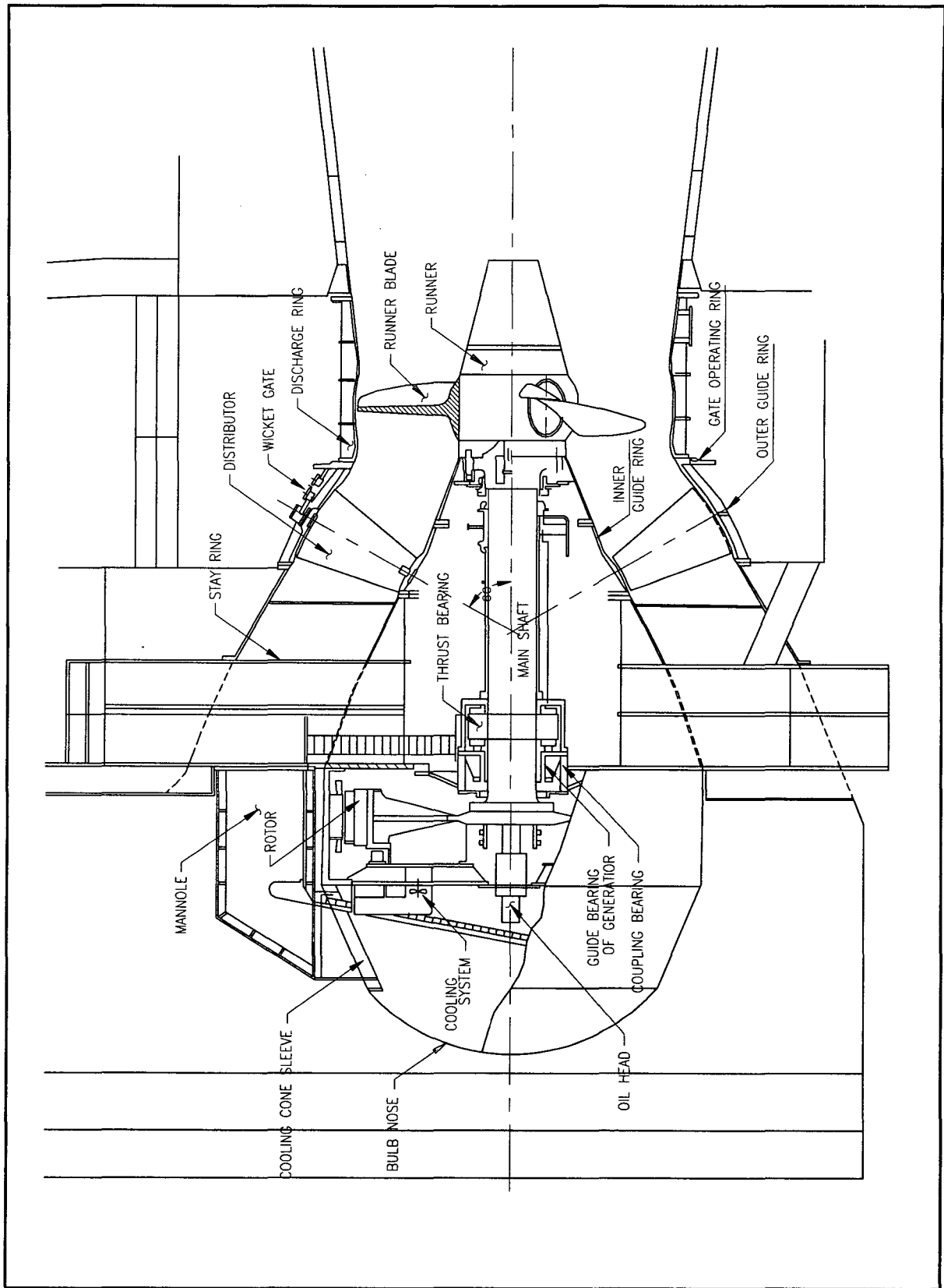
최적화 검토결과 선정된 20MW급 Bulb형 수차발전기의 대수 및 제원은 다음과 같다.

(참조 표 3.1, 그림 3.1)

- 각 안별 수차발전기의 대수 : 24대(480MW)

<표 3.1> Bulb형 수차발전기의 제원(20MW)

| 구 분 | | 제 원 | |
|-----------|-----------------------|--------------------|---------|
| | | 크기(m) | 중량(ton) |
| Turbine | Runner | 8.00 × 5.20 | 125 |
| | Main shaft & Bearings | 4.50 × 9.85 | 90 |
| | Stay ring | 19.0 × 12.70 × 5.0 | 220 |
| | Discharge ring | 8.80 × 3.65 | 56 |
| | Guide vane apparatus | 8.80 × 3.65 | 210 |
| | Misc. | 11.60 × 2.80 | 125 |
| | SUBTOTAL | | |
| Generator | Stator | 9.10 × 2.95 | 210 |
| | Rotor | 8.365 × 1.7.0 | 160 |
| | Cooling Cover | 9.10 × 2.45 | 60 |
| | Bulb nose | 6.80 × 2.20 | 30 |
| | Misc. | | 88 |
| | SUBTOTAL | | |
| TOTAL | | | 1,374 |



<그림 3.1> Bulb형 수차발전기 단면도(20MW)

○ 수차발전기의 하중조건

<표 3.2> Bulb형 수차발전기의 하중조건(20MW)

(단위 : ton)

| Foundation | forces | Force mode | Dewtr' d turbine | Waterf turbine | Nomal opr'n | Shut-down | Run-away | Shut-down runaway |
|---------------------------------------|--------|------------|------------------|----------------|-------------|-----------|----------|-------------------|
| Turbine Pit | | | | | | | | |
| Hor. Force Staying Flange | | F1 | 0.0 | 751 | 715 | 789 | 505 | 859 |
| Vert. Force Staying Flange | | F2 | 168 | 339 | 339 | 339 | 339 | 339 |
| Vert. Force draft tube Flange | | F3 | 115 | 232 | 232 | 232 | 232 | 232 |
| Water pressure on outer barrel | | F4 | 0.0 | 2450 | 2440 | 2504 | 2370 | 2608 |
| Axial force stay ring leg | | F5 | 0.0 | 9.0 | 167 | -112 | 288 | -93 |
| Axial force stay ring leg | | F6 | 0.0 | 9.0 | 167 | -112 | 288 | -93 |
| Resulting vert. force staying rig leg | | F7 | 1050 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| Servomotor | | F8 | 78.5 | - | - | - | - | - |
| Short Circuit torque : (T.m) | | MK | 1590 | - | - | - | - | - |
| Reaction force | | F9 | 86.5 | - | - | - | - | - |

주 : F5 and F6 differs only if tie down anchor deleted.

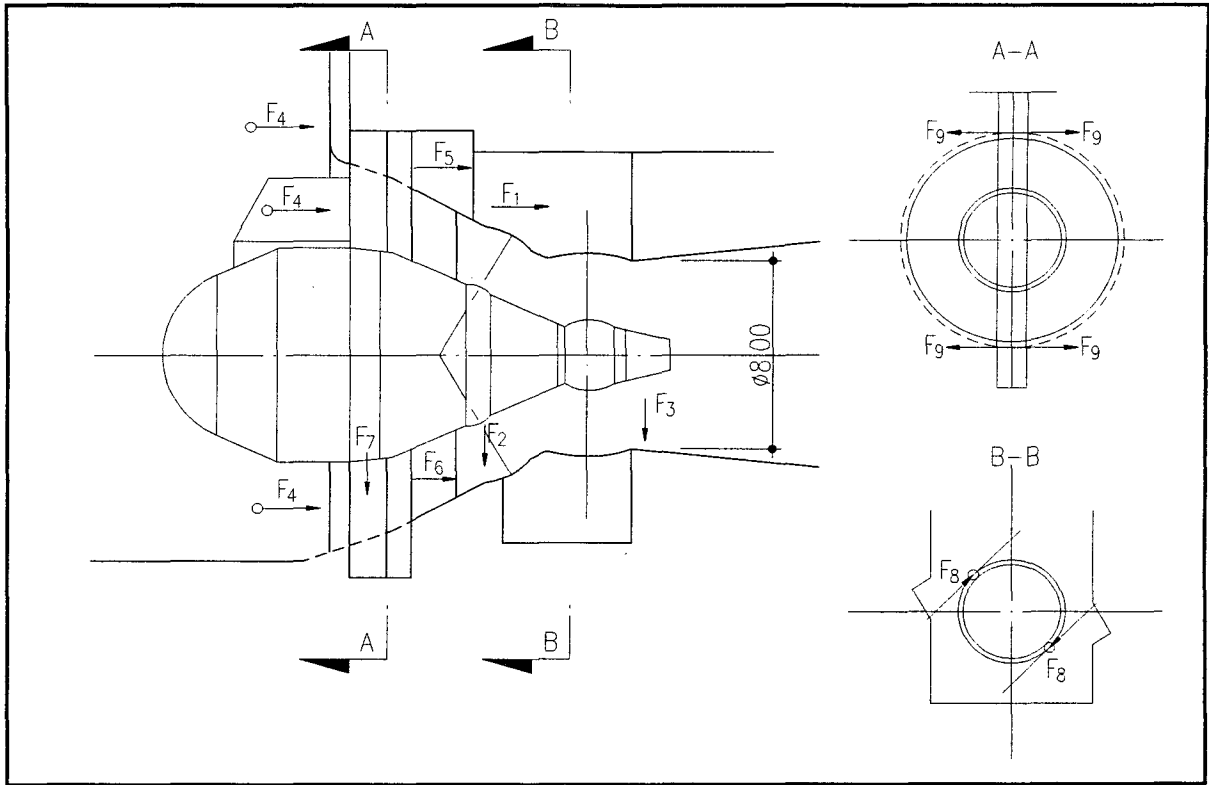
자료 : 중국기술자문단, 가로림 조력개발 타당성 조사 자문보고서, 1993

② 수차발전기 케이슨 구조물 구상

Bulb형 수차발전기를 설치할 구조물은 발전기 제작 회사들이 수리학적인 모형실험 등을 실시하여 물의 흐름에 있어서 구조물로 인한 저항을 최소화하는 연구결과들을 발표한 바 있다. 금번의 단면구상은 기존의 연구자료들을 기초로 하여 가장 널리 채택되고 있는 단면을 대상으로 구상하였다.

수차발전기 케이슨의 단면구상은 다음사항들을 전제로 하였다.

- 단면형상은 수로의 수리학적 영향을 고려함
- 케이슨 거치를 위한 예인시의 흘수를 최소화 하도록 하며 Stoplog로서 거치, 수차발전기 설치, 검사 및 보수시에 Dry Work이 가능하도록 구상함.
- 케이슨 거치후 수압과 부력으로부터 안정을 위하여 자중을 증가시킬 수 있는 단면으로 구상함.
- 케이슨 폭 결정은 4차선 이상이 될 해안도로와 연계되도록 함.



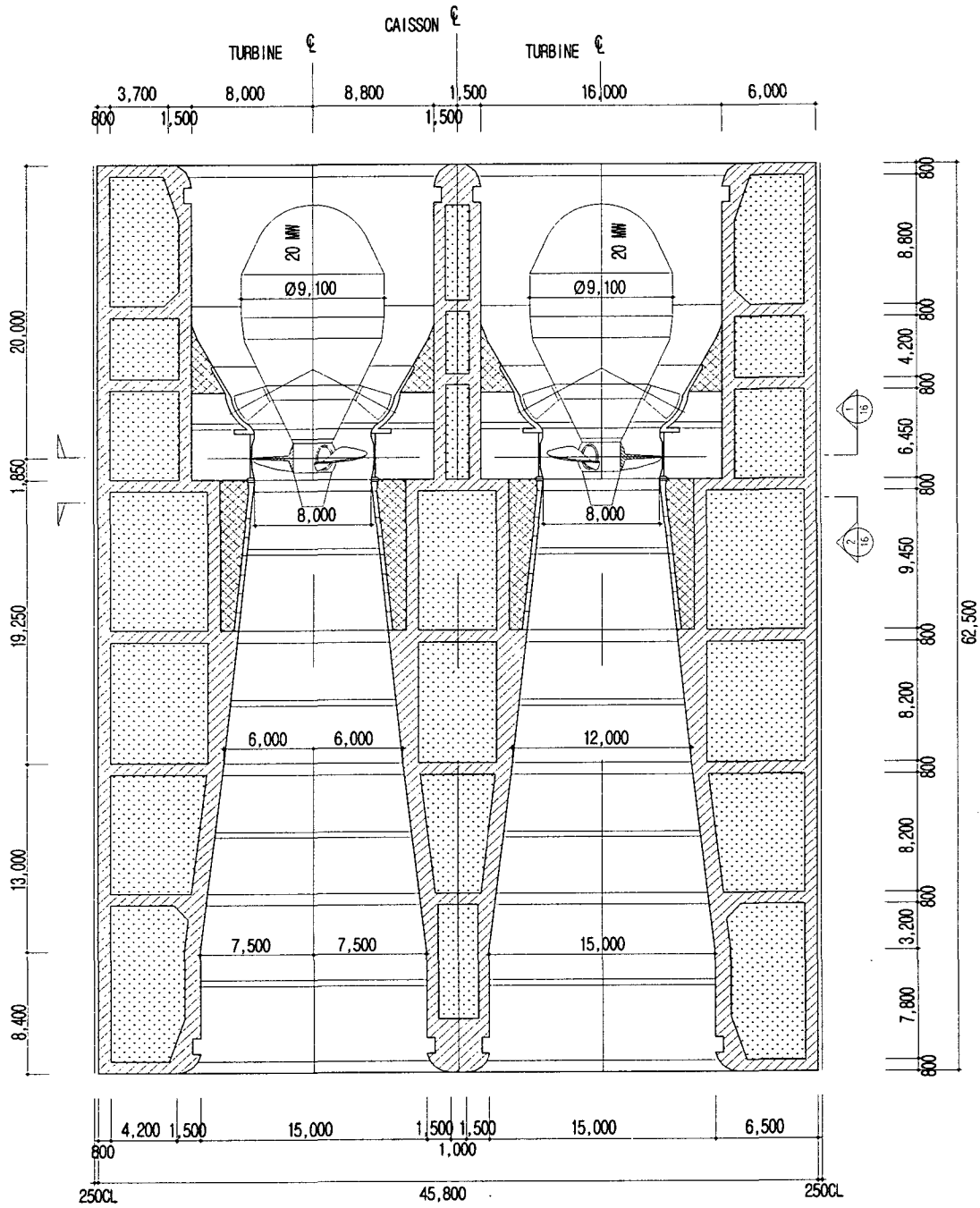
<그림 3.2> 하중분배도(20MW Unit)

<표 3.3> 수차케이슨 제원

(단위 : m)

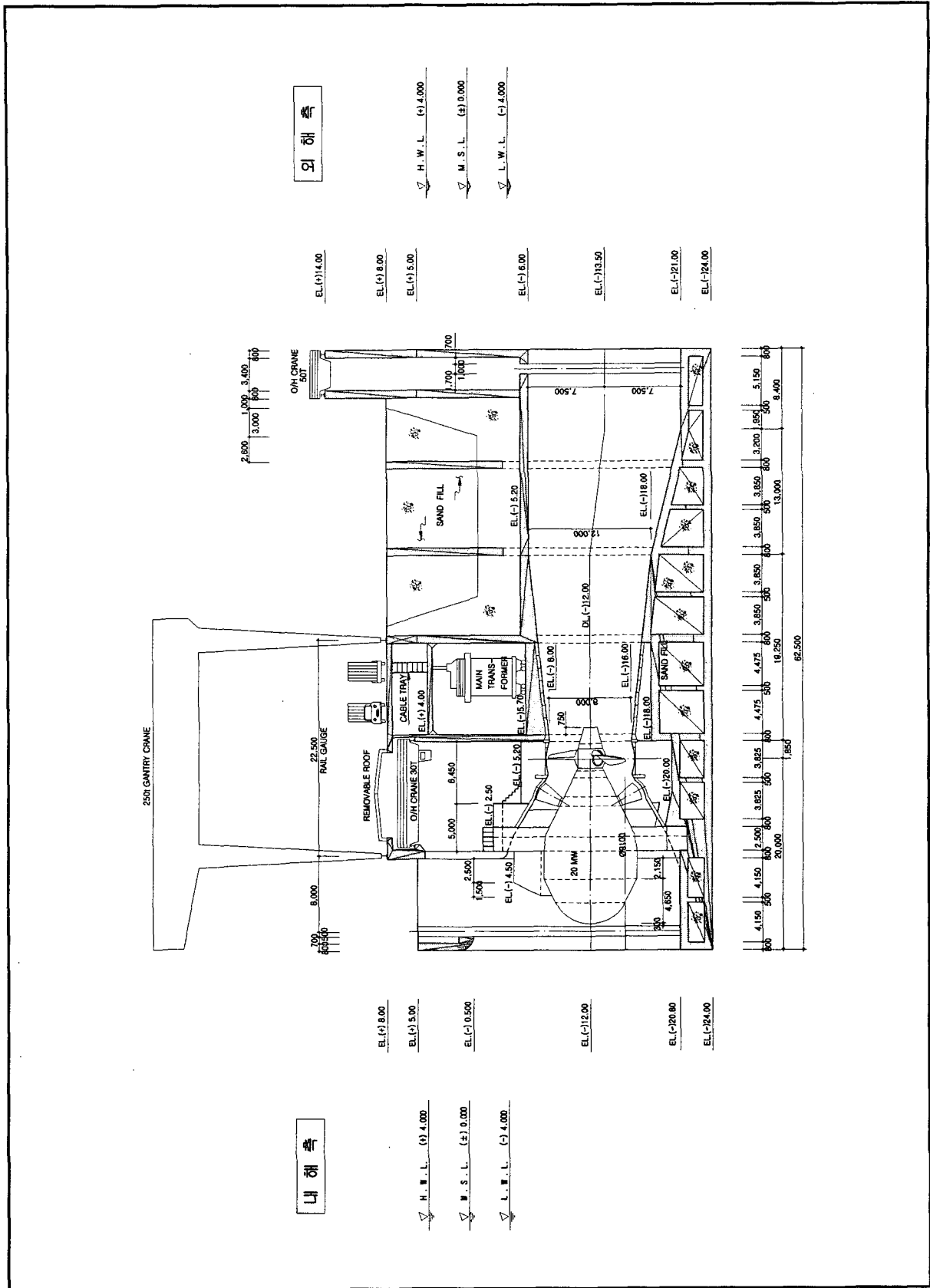
| 구 분 | | 단 면 제 원 |
|--------------|-----------|-------------|
| 폭 | | 62.50 |
| 높 이 | | 28.40 |
| 길 이 | | 45.80 |
| 수 로 Inlet | Top EL | EL.(-)6m |
| | Invert EL | EL.(-)20.4m |

내 해 측



외 해 측

<그림 3.3> 수차발전기 케이슨 평면도



<그림 3.4> 수차발전기 케이스 단면도

③ 수차발전기 케이슨 기초보강

수차발전기 케이슨 위치의 지반은 3.0~20.0m 두께의 퇴적층 밑에 암반이 나타나고 있다. 퇴적층은 대부분이 연약한 토질이므로 47.0t/m²이 소요되는 케이슨을 지지할 수 없기 때문에 연약토질을 제거하고 소요 지지력을 감당할 수 있는 기초로 바꾸어 주어야 한다.소요지지력을 감당할 수 있는 기초로서 고려할 수 있는 공법은 치환법과 개량법을 들 수 있다.

○ 지층 조건

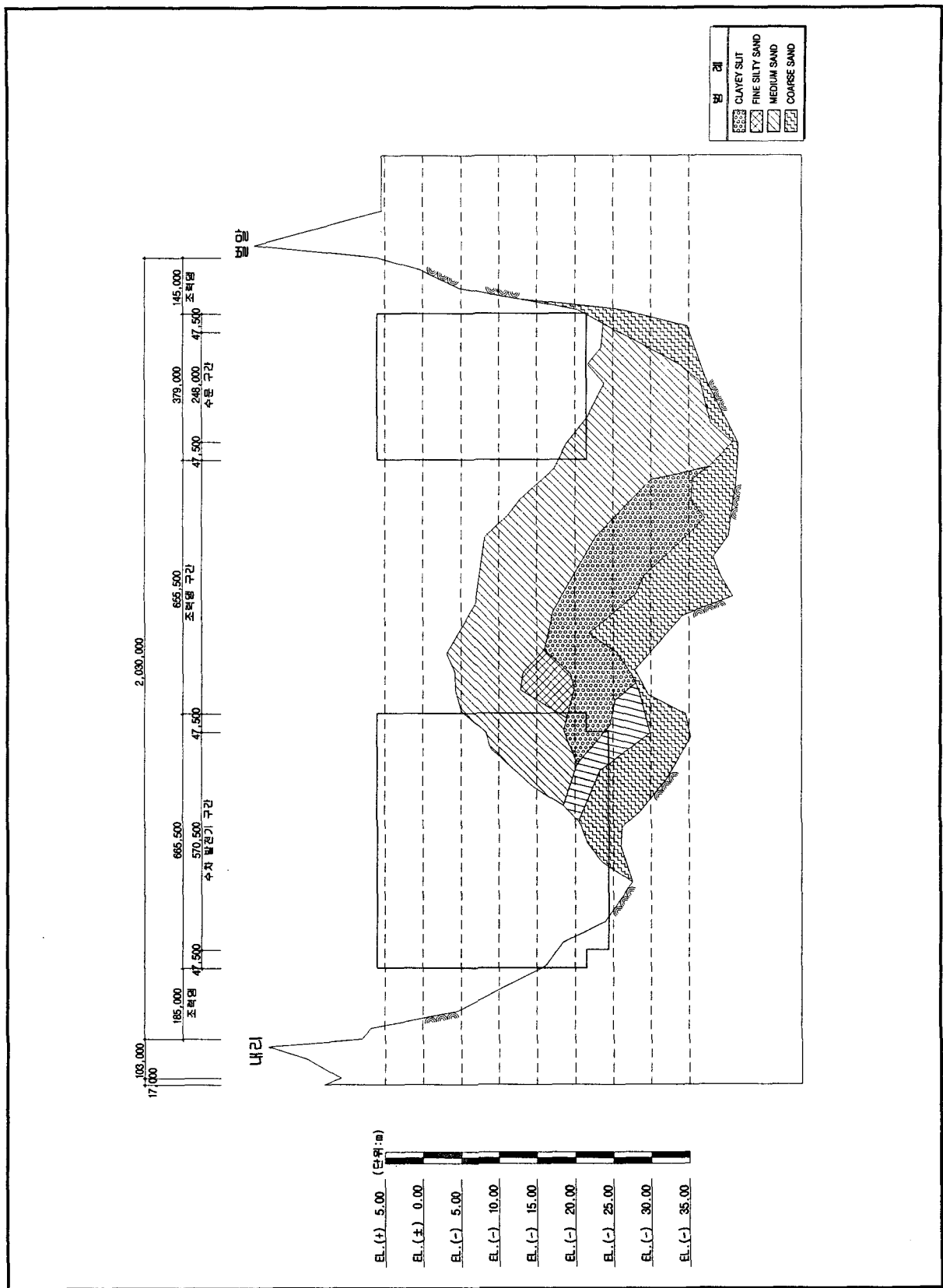
가로림만의 조력발전소가 위치할 지역(내리~벌말 간)의 기존 시추조사 결과에 의하면 벌말 측으로는 표층으로부터 silty clay 또는 silty clay - sandy clay 층이 약 12.8m 정도 두께로 분포하며 그 밑에 바로 연암층이 나타난다. 내리~벌말 중간지점에서는 위로부터 sand - clayey sand층이 3.5m~4.2m두께로 silty clay 또는 silty clay - sandy clay층이 16.5m~17.2m두께로 weathered rock층이 2.5m두께로 분포하며 그 밑에 soft rock층이 나타난다. 내리 측으로는 silty clay - sandy clay층이 약 15.0m로 분포하며 그 밑에 바로 soft rock층이 나타나는 것으로 조사 되었으며 정리하면 아래 표와 같다.

<표 3.4> 수차, 수문 구조물 기초 지층 조건

| 구분 | 수 차 | | 수 문 | | 비 고 |
|---------|--------------------------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|---------------------|
| 수 심 | 약 12.6m | | 약 23.7m | | H.W.L(+) 4.0m 기준 |
| 지 층 | EL(-)8.60~EL(-)19.00 (두께 : 10.4m) | Medium Sand | EL(-)19.70~EL(-)39.60 (두께 : 19.9m) | Medium Sand | - |
| | EL(-)19.00~EL(-)22.90 (두께 : 3.9m) | Clayey Silt | EL(-)39.60~EL(-)40.90 (두께 : 1.3m) | Coarse Sand | - |
| | EL(-)22.90~EL(-)28.60 (두께 : 5.7m) | Medium Sand | EL(-)40.90~ | Soft Rock | - |
| | EL(-)28.60~EL(-)35.00 (두께 : 6.4m) | Coarse Sand | - | - | - |
| | EL(-)35.00~ | Soft Rock | - | - | - |
| 구조물바닥고 | EL(-)23.40m | - | EL(-)21.20m | - | - |
| 준 설 깊 이 | 약 14.80m | - | 약 1.50m | - | 구조물설치시 |
| 기초처리깊이 | 약 11.6m | - | 약 19.7m | - | - |
| 지지층 깊이 | 약 39.0m | - | 약 44.9m | - | 수심 포함 |

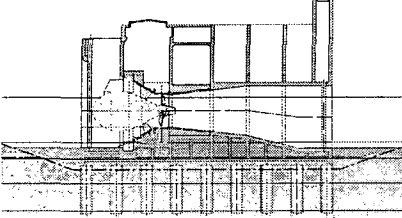
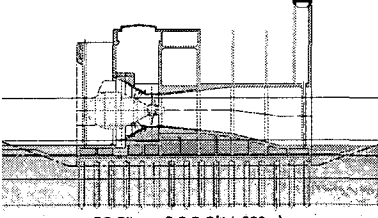
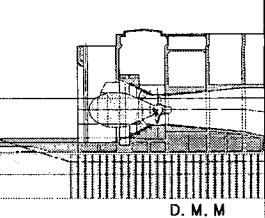
○ 기초공법 검토

가로림만의 조력발전소 구조물 공사는 만 입구가 좁아 가물막이를 축조할 경우 강한 유속의 영향을 고려하여 Dry Dock을 이용하여 발전소 구조물을 제작하여 발전소 설치 지점으로 인양 거치하는 시공방법을 채택하였다. 이때 발전소 구조물기초는 지층조건, 시공성 및 경제성 등을 고려하여 현장타설 말뚝기초, 강관 말뚝기초, 표층혼합처리 공법을 <표 3.5>와 같이 각각 비교 검토하였다.



<그림 3.5> 지층 단면도

<표 3.5> 기초공법 비교

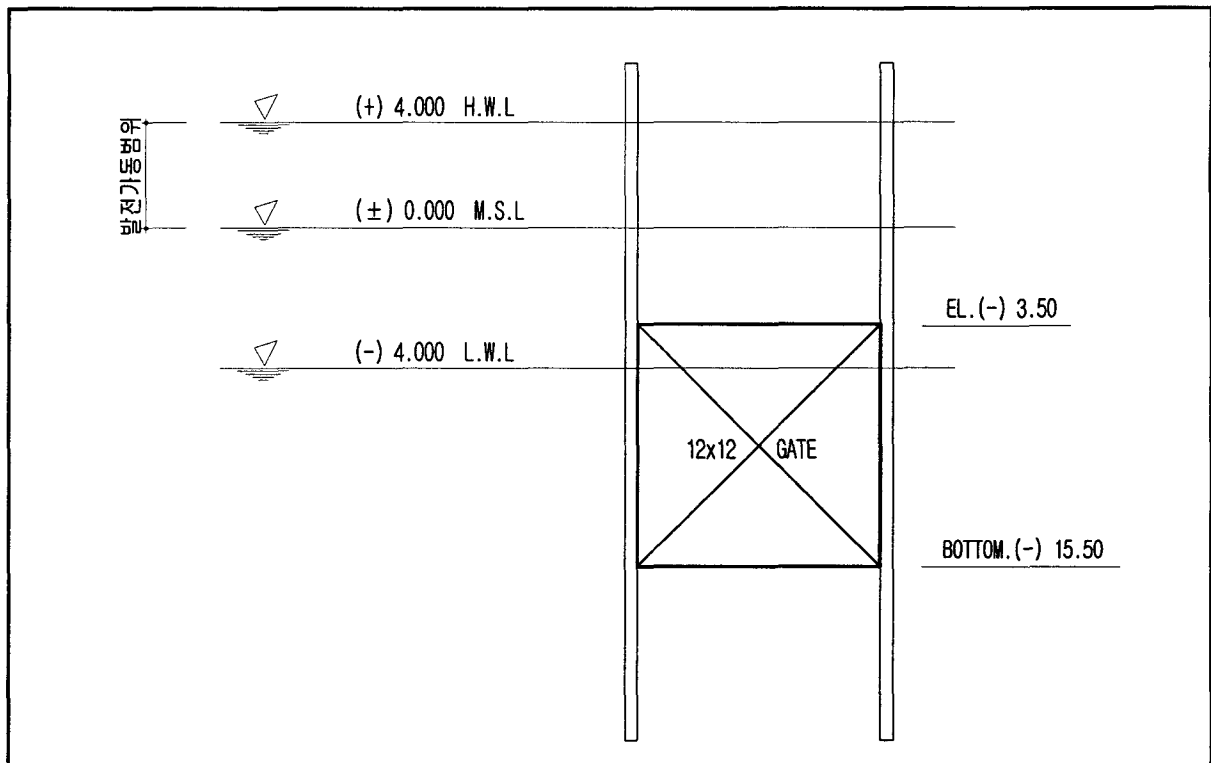
| 구분 | 현장타설 말뚝기초 | 강관말뚝 기초 | 심층혼합처리 공법 | |
|------------------|--|---|--|---|
| 개요도 |  <p>현장 타설콘크리트(φ3,000mm) C.T.C 7,500</p> |  <p>PC Pile or S.S.P.P(φ1,500m) C.T.C 4,000</p> |  <p>D. M. M</p> | |
| 공법개요 | <ul style="list-style-type: none"> 지중에 Casing을 설치하고 내부를 Hammer Grab이나 Earth Drill로 굴착한 후 철근망 등의 응력재를 Casing내부에 삽입하고 Tremie Pipe로 콘크리트를 타설하여 말뚝을 형성하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝을 지중에 타입하여 상부 구조물의 하중을 단단한 지지층에 전달하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 연약지반(점성토, 느슨한 사질토, 유기질토)에 시멘트와 물을 혼합하여 반응된 수화생성물을 지반 내에 주입하면서 특수교반기로 회전 혼합하여 지반 내에 고화된 개량체를 조성하는 공법 | |
| 특 징 | 장 점 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 지지층 확인이 용이 저소음, 저진동 공법으로 주변 영향 적음 공사목적과 지층조건에 따라 다양한 구경과 심도의 말뚝형성 대구경이므로 말뚝의 지지력 큼 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 공사비가 비교적 경제적임 시공속도가 빠르고 시공용이 품질 관리 용이 장비조합이 간단하고 시공이 단순함 비교적 깊은 심도까지 지지가능 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 저소음, 저진동 공법으로 주변영향 적음 연속벽체이므로 차수가능 소요강도 확보가 용이함 개량효과가 확실하며 공기단축 공사비가 경제적임 기초지반 침하량이 3cm 이내임 |
| | 단 점 | <ul style="list-style-type: none"> Casing이 없는 경우 지중에 화학성분이 있으면 시멘트가 잘경화되지 않을 수 있음 말뚝 체의 결손을 확인하기 어려우므로 품질관리 주의요망 공사비 고가 장비구성 및 부속자재 대형 대형장비로 넓은 작업공간 필요 | <ul style="list-style-type: none"> 소음, 진동 대책 필요 해수에 의한 부식방지 필요 자갈 및 전석층이 있는 경우 타입곤란 상부 구조물의 하중이 큰 경우 파일 본수의 과다로 경제성 및 시공성 불리 | <ul style="list-style-type: none"> 시공깊이에 제약이 따름 (약 30m내외) 연약층의 고결상태 확인이 용이치 않으므로 품질관리에 주의가 요망됨 지반조건에 따라 강도변화가 생길 수 있음 |
| 선 정 | | | ● | |
| 선 정 사 유 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝인 경우 자갈 및 전석층이 존재하면 타입이 곤란하며, 구조물 하중이 커 파일본수 과다로 경제성 및 시공성이 불리함 심층혼합처리 공법은 타 공법에 비하여 공사비 뿐만 아니라 시공성에서 다른 안에 비하여 유리함 | | | |

(2) 수문케이슨 구조물

① 기본단면구상

○ 문비의 위치

수로의 표고는 문비의 위치에 따라 결정되며, 문비의 위치는 발전소 가동시 조위의 변화에 관계없이 통수 전면적이 상시 물에 잠길수 있도록 하고 가로림만 조위측정현황과 비교하여 문비의 위치를 도시하였다.(참조 그림 3.6)



<그림 3.6> 문비 위치도

○ 수문케이슨 구조단면

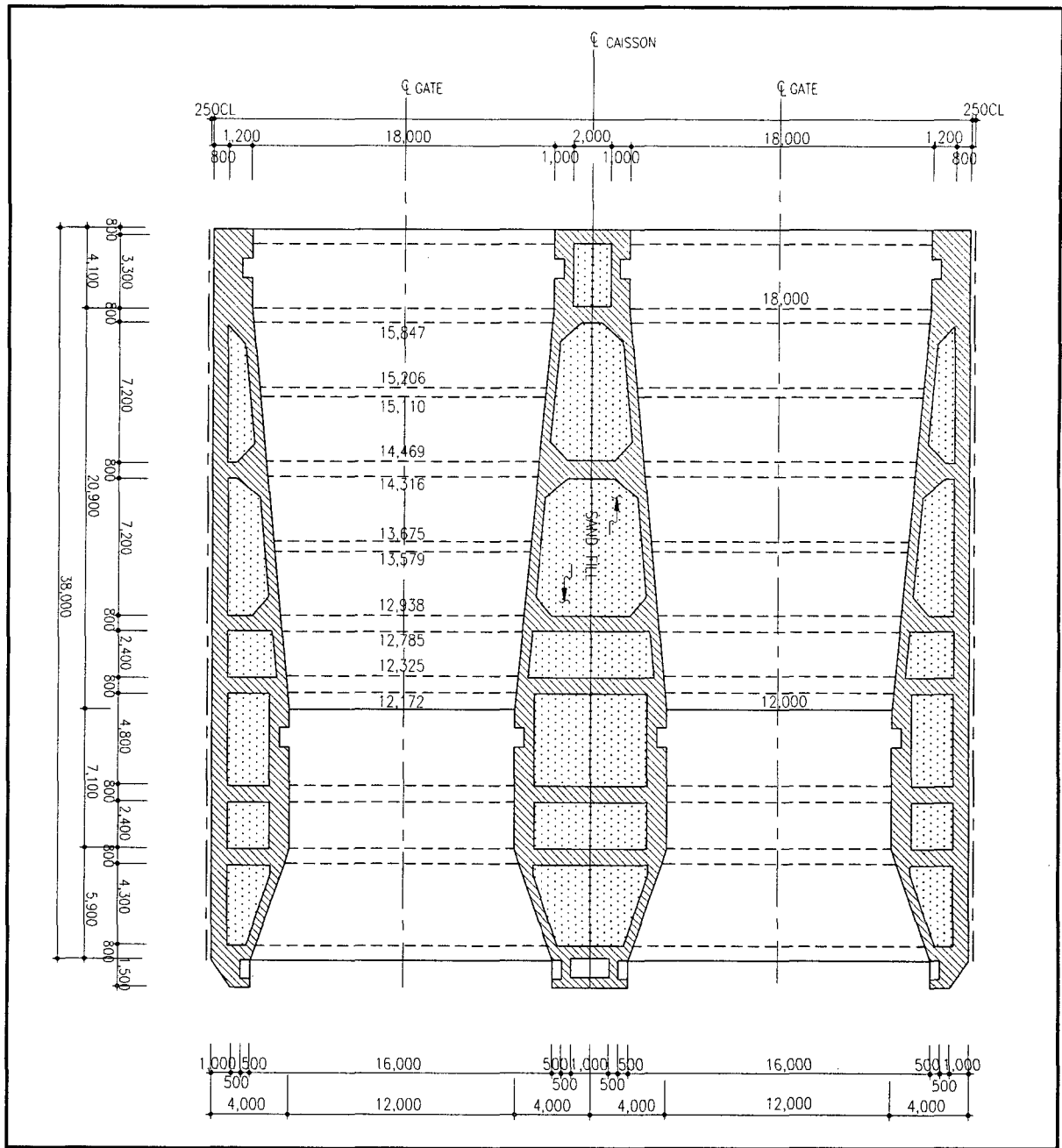
수문케이슨에는 2개의 문비를 설치토록 계획하였으며 케이슨의 기본단면을 구상하는데 있어서 다음의 사항들을 전제조건으로 하였다.

- 수로의 단면곡선은 외해측으로 수로 상·하단에 완화곡선을 두며, 내해측은 수로 하단부만 완화곡선을 계획

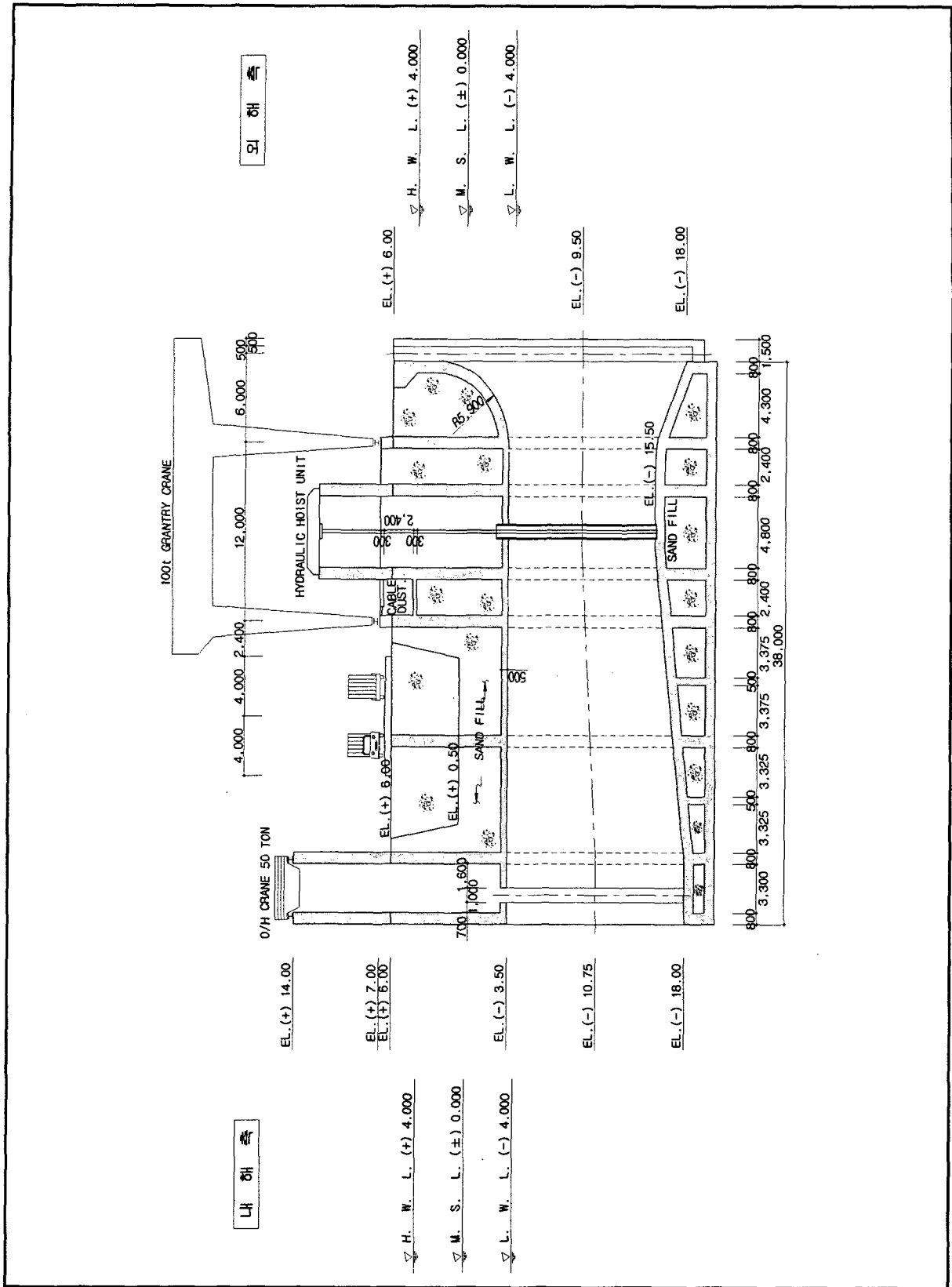
- 케이슨 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 계획.
- 준설비용의 절감을 위하여 Dry Dock에서부터 케이슨 거치 위치까지의 케이슨 향로의 소요수심이 최소가 될 수 있도록 케이슨 제작시 1차 콘크리트 양을 최소로 계획
- 케이슨 거치후 자중을 증가시키기 위하여 케이슨 벽체 및 바닥의 단면을 Hollow형태로 설계하여 모래로 채울 수 있도록 계획
- 서해안 해안도로와의 연계를 고려하여 케이슨 상부에 계획되는 도로폭원은 4차선 이상 가능하도록 케이슨 폭을 구상하였다.(참조 그림 3.7, 그림 3.8)

<표 3.6> 수문 케이슨 제원

| 구 분 | 설 계 단 면 | 비 고 |
|------------|--------------|-----|
| 폭 | 38.0m | |
| 높 이 | 26.50m | |
| 길 이 | 40.0m | |
| Top EL. | EL.(-)3.50m | |
| Bottom EL. | EL.(-)15.50m | |



<그림 3.7> 수문 케이슨 평면도



<그림 3.8> 수문 케이슨 단면도

(3) 연결 케이슨

① 기본단면구상

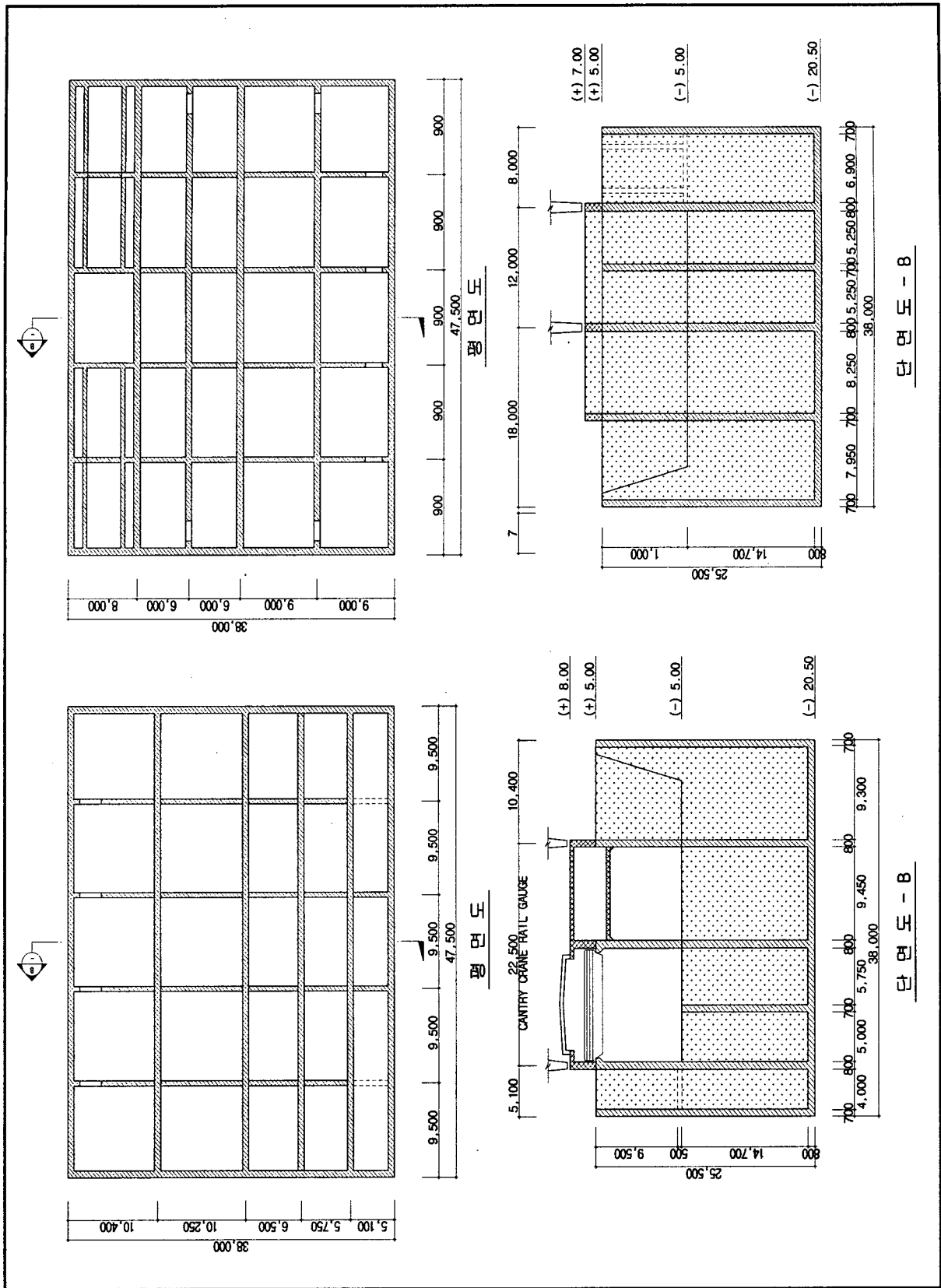
사석 조력댐이 수문케이슨 및 수차발전기 케이슨에 접속되는 완화구간에는 연결 케이슨을 배치하며 형상은 단일 구형 형태의 철근 콘크리트 구조로 계획하였다.

연결케이슨의 폭은 수문케이슨과 수차발전기 케이슨이 사석체와 연결되는 곳에 구조적으로 무리가 없도록 설계하였으며 수문 및 수차발전기 케이슨과의 높이 조정은 케이슨 거치 후 2차 콘크리트 타설에 의해 조정토록 계획하였다.

연결케이슨의 내부는 칸막이 상자형(Cellular box type)으로 설계하여 예인 후 인근의 해사로 속채움하여 안정시키며, 연결케이슨의 상단부는 전기 부속설비의 내장 및 Stoplog 보관이 가능토록 높이 9.50m 보관실을 계획하였다.(참조 표 3.7, 그림 3.9)

<표 3.7> 연결케이슨 제원

| 구 분 | 위 치 | 폭 | 높 이 | 길 이 | 비 고 |
|----------|-------|-------|--------|--------|-----|
| TYPE - A | 수차케이슨 | 38.0m | 25.50m | 47.50m | |
| TYPE - B | 수문케이슨 | 38.0m | 25.50m | 47.50m | |



<그림 3.9> 연결 케이스 개념도

(4) 조력댐

조력댐은 위치에 따라 서측조력댐, 중앙조력댐, 동측조력댐으로 나누어지며 제체의 구조형식은 지반침하에 대하여 탄력적으로 대처할 수 있는 사석경사제로 설계하였다.

① 항만 및 어항 설계기준에 의한 마루높이 검토

| 구 분 | 개 요 |
|--|--|
| 항만 및 어항 설계기준 (H.W.L + 1.25 H _{1/4}) | • 배후지의 이용방법에 따라 방파제를 월파하는 월파량의 기준을 달리하여 제한된 월파량만을 허용토록 마루높이 결정 |

주 : 측정된 삭망평균고조위가 없으므로 고극조위를 기준으로 마루높이를 검토함

$$\begin{aligned}
 \text{마루높이} &= \text{고극조위} + 1.25 H_{1/4} \\
 &= 4.0 + 1.25 \times 3.0 \\
 &= \text{EL.}(+) 7.75\text{m}
 \end{aligned}$$

따라서, 마루높이를 여유고를 두어 EL.(+)8.00m로 결정

② 천단폭

기본단면을 구상하기 위한 전제조건으로

- 조지내외의 수위차이로 인한 활동의 안정성 확보
- 최소 2차선 도로폭원을 확보하되 장래 4차선 도로 폭원을 확보가 가능하도록 계획

위 전제조건을 바탕으로 천단폭을 18.5m이상으로 계획

③ T.T.P 소요중량산정

- Hudson 공식에 의한 검토

- 적용기준 : 항만 및 어항설계기준 2000, 해양수산부(상 p.138)

$$W = \frac{\gamma_r \times H_{1/3}^3}{K_D(S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha} = \frac{2.3 \times 3.00^3}{8 \times \left(\frac{2.3}{1.03} - 1\right)^3 \times 1.5} = 2.76\text{ton}$$

여기서, W : 피복재 안정에 필요한 최소 중량(tonf)

γ_r : 피복재의 공기중 단위체적중량(2.3tonf/m³)

$H_{1/3}$: 설계파고(100년 빈도)

S_r : 사석 또는 블록의 해수에 대한 비중

α : 사면의 경사각($\cot \alpha = 1.5$)

K_D : 피복재 상수(T.T.P = 8.0)

그러므로, T.T.P 3.2ton(실중량 2.88ton) 사용

○ 제체단면

<표 3.8> 조력댐 제원

| 마루 폭 | 마루 높이 | 사면 경사 | | 비 고 |
|--------|------------|-------|-------|-----|
| | | 제외측 | 제내측 | |
| 18.50m | EL.(+)8.0m | 1:1.5 | 1:1.5 | |

(5) 통선문

① 위치

갑문의 위치는 육지측에 계획하되 다음사항을 감안하여 서측 내리의 작업장 끝부분에 계획하였다.

- 항로와 연계하여 선박출입에 장애요인이 적은 곳
- 지반이 구조물설치에 양호한 곳
- 갑문 및 항로 소요수심 확보를 위한 준설토량이 적은 곳

② 대상선박

- 500ton급 관광선 통과가 가능할 것
- 3,300Hp급 준설패 통과가 가능할 것

<표 3.9> 톤급별 입·출입 어선척수

| 5톤급 이하 | 5톤급~10톤급 | 10톤급이상 | 계 | 비 고 |
|--------|----------|--------|------|-----------|
| 128척 | 6척 | 2척 | 136척 | 679척의 20% |

i) 대상선박제원

<표 3.10> 어선제원

(단위 : m)

| 구 분 | 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만제흘수(H) | 비 고 |
|---------|--------|---------|---------|---------|
| 5톤급 이하 | 3.10 | 10.80 | 1.0 | |
| 5~10톤급 | 3.60 | 15.0 | 1.20 | |
| 10톤급 이상 | 4.90 | 18.50 | 1.50 | 20톤급 제원 |

주 : 마스트 높이는 5~6m 임

<표 3.11> 준설제원(3,300Hp)

(단위 : m)

| 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만제홀수(H) | 마스트높이(P) |
|--------|---------|---------|------------|
| 14.63 | 48.77 | 2.30 | 8.0 ~ 10.0 |

주 : 마스트는 일부 해체 가능

<표 3.12> 관광선 제원(500ton)

(단위 : m)

| 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만제홀수(H) |
|--------|---------|---------|
| 9.90 | 49.60 | 2.50 |

③규모결정

- 갑문의 통과 가능시간은 주간에만 한정토록 하고, 외해에서의 작업시간을 최대한 늘리기 위해 갑문의 통과 시간은 최소가 되도록 한다.
- 어선총척수의 20%인 136척을 일시에 통과시키려면 갑실의 규모가 너무커져서 비경제적이 되므로 통과척수를6회에 나누어 통과할 수 있도록 계획한다.
- 재적어선의 약 98.8%가 1톤급에서 10톤급 규모의 어선이므로 갑실의 규모를 산정하는 데는 10톤급 이하의 어선을 대상으로 검토하였다. 1회 통과해야 할 어선의 선급별 척수는 다음과 같다.

· 5톤급이하 : 128척 ÷ 6회 ≍ 21척

· 5톤~10톤급이하 : 6척 ÷ 6회 ≍ 1척

i) 갑싹폭

대상선박중 최대선급인 3300HP 준설선이 진입 가능한 폭을 계산하면

$$W = 14.63\text{m (준설선폭)} + \text{여유}(1.50\sim 2.0\text{m})$$

$$\approx 17.0\text{m}$$

iii) 갑실길이

어선과 어선, 어선과 갑문에 대한 여유를 선폭에 대하여 0.30m, 선장에 대하여 3.0m 이 산을 두어 수용가능한 어선을 갑실내에서 배치하면 갑실길이는 80.0m 가 필요하다. 수용 가능한 어선척수를 검토하면

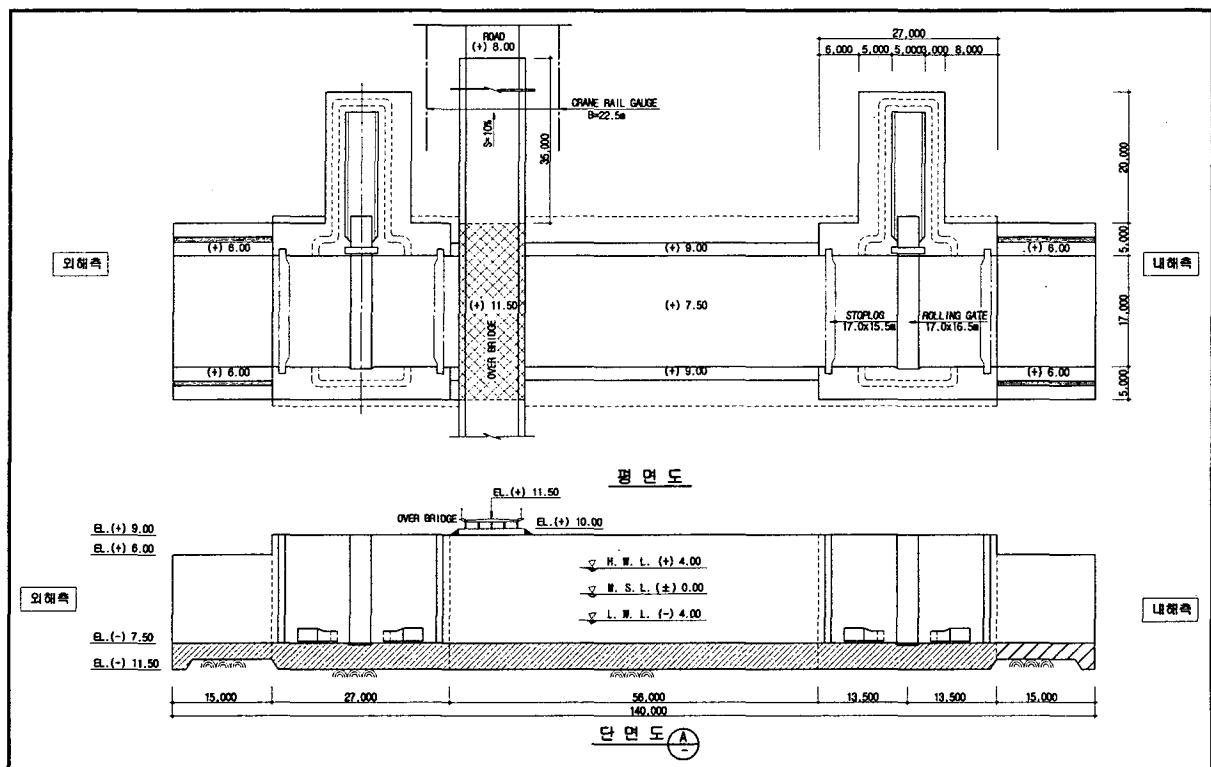
- 5톤급이하: 22척 > 21척
- 5~10톤급: 2척 > 1척

iv) 갑실수심

갑실수심은 만재출수가 가장 깊은 관광선(500ton)의 통행을 고려하여 2.50m + 1.0m (여유고) = 3.50m로 계획하였다.

v) 구조형식

계획지점에 가체철제를 축조하여 육상 시공하는 구조적으로 안전한 콘크리트 중력식 공법을 적용하였다. (참조 그림 3.11)



<그림 3.11> 통선문 개념도

(6) 중물양장

- ① 대상선박 : 5,000 DWT 화물선 ×1선좌
- ② 선좌길이 : 130m , 박지수심 : EL.(-)11.50m
- ③ 구조형식 : 케이슨식
- ④ 케이슨제원 :
 - Type A (4함) : B×H×L = 23.65×12.0×17.0m
 - Type B (1함) : B×H×L = 35.0×18.0×25.50m
- ⑤ 주요 물량 :
 - 터파기 및 준설 : 7,000m²
 - 기초사석 : 40,100m³
 - 속채움 모래 : 30,500m³

(7) Dry Dock(케이슨 제작장)

조력발전소용 케이슨(3가지 종류)의 제작을 위한 시설로서는 현장여건상 임시 Dry Dock를 축조하는 것으로 계획하였다. Dry Dock을 축조한후 소요되는 케이슨을 각각 2회로 나누어 제작하도록 계획하였으며 Dry Dock 규모 및 사용계획은 다음과 같다.

① 케이슨 제작장 사용계획

<표 3.13> Dry Dock 사용 계획

| 구 분 | 사 용 계 획 |
|-------|--|
| 제 1 회 | 수차발전기 케이슨 : 12함 (T1~T12) 연결케이슨 : 3함 5,000 DWT급 안벽 케이슨 : 5함 (W1~W5) |
| 제 2 회 | 수문케이슨 : 7함 (G1~G7) 연결케이슨 : 1함 |

② 규모

- Dry Dock 작업장 저면 표고 : EL.(-)16.0m(발전기 및 수문케이스 홀수 고려)

③ 구조

- 제 방 경 사 : 1 : 3
- 소 단 표 고 : EL.(-)8.0m 및 EL.(±)0.0m
- 출구가물막이 : ø17.0m Cell × 5ea(개방용 Cell : 3ea)
- 예 인 수 로 : 67.0m

(8) 작업장(Platform)

① 작업장 조성

Dry Dock 주변의 작업장은 Dry Dock 굴착시 발생하는 토사를 유용, EL.(+)6.0m까지 성토하며, 총면적은 234,000m²이고 그 내역은 다음과 같다.

② 작업장 소요시설

- 사무실 : 800m²(회의실, 설계실, 기술 및 행정요원 사무실 등)
- 중기수리공장 : 4,000m²
- 목공소 : 1,500m²
- 철조가공장 : 6,000m²
- 창고 : 2,000m²
- 발전실 : 1,000m²(발전기 1000kw × 4EA)
- 시멘트 창고 : 1,500m²
- 크랏샤 Plant : 40,000m²(원석 야적장, 모래선별기, 골재야적장)
- TTP 제작장 및 야적장 : 16,000m²(120m×130m)
- Con'c Block 제작장 및 야적장 : 15,000m²
- 보조장비 구역 : 1,500m²
- 작업도로 및 기타구역: 144,700m²

(9) 조립장(Erection Yard)

- 조립장의 위치는 서측조력댐끝, 통선문 옆에 위치하며, 규모는 길이 190m, 폭 35~80m, 면적 11,000m²이다.
- 부지의 조성은 부지정지시 절토로 발생하는 토석을 이용하며, 부지계획고는 EL.(+)8.0m이다.
- 조립장의 기능 : 5,000DWT 중물양장을 통하여 반입된 수차발전기 부속자재를 육상 Crane(70ton)을 사용하여 조립작업을 시행하며, 조립장까지 연결된 Gantry Crane(250ton)을 이용하여 케이슨 내부에 수차발전기를 설치한다.

(10) 준설 및 처리

① 기초준설 및 수로준설

기초준설은 수차발전기 케이슨의 설치를 위해, 발전소 부분의 수로준설은 발전시 수차발전기를 통과하여 배출되는 유량의 흐름을 원활히 하기 위한 목적으로 시행되어야 한다. 발전소 부분의 준설은 케이슨 설치위치에서 내해측 및 외해측으로 각각 50m까지는 EL.(-)22.6m로 준설을 시행한다. 또한 수문케이슨은 EL.(-)22.50m까지 기초준설이 필요로 한다.

② 예인수로 준설

Dry Dock에서 제작되어 케이슨을 발전소 및 수문위치 부분으로 예인할 때 일부 기존 지형이 케이슨의 소요흘수 보다 낮은 부분이 있으므로 이 부분을 폭 67.0m EL.(-)16.0m로 준설하여 케이슨을 예인토록 계획한다.

③ 준설토의 처리

수차발전기, 수문케이슨의 기초준설 및 수로준설과 케이슨의 예인수로 등의 준설의 처리는 가로림만 종합개발 방안 중 가장 가까운 매립예정지에 투기하는 것으로 계획하였다.

4. 발전설비 및 기기설비 개념설계

(1) 발전설비

① 개요

기전설비의 시설용량으로서는 20MW 수차발전기 24대에 대하여 검토하였다. 특히 기본사양에서 양수기능이 적용되는 경우에는 기동용 가변속장치, 고조파 필터 및 회전방향 전환스위치 등을 추가시켜 가격을 참고할 수 있게 하였다. 발전기를 소형화 시키기 위하여 발전기의 전압과 역율을 증가시켰으나 역율 변동에 따른 계통운영에는 지장없는 것으로 검토되었으며 발전기 용량이 증가됨에 따라 주변압기 용량, 154kV 케이블 규격과 송전선 규격이 증가되었다. 송전선 연계지점은 10km 떨어진곳에 위치한 대산변전소로 계획하고 154kV 케이블을 서측에서 동측으로 포설하게 되었다. 또한 154kV 송전선 및 케이블 그리고 주변압기 용량은 24대에 대해 사용할 수 있도록 하였다.

② 송전선로

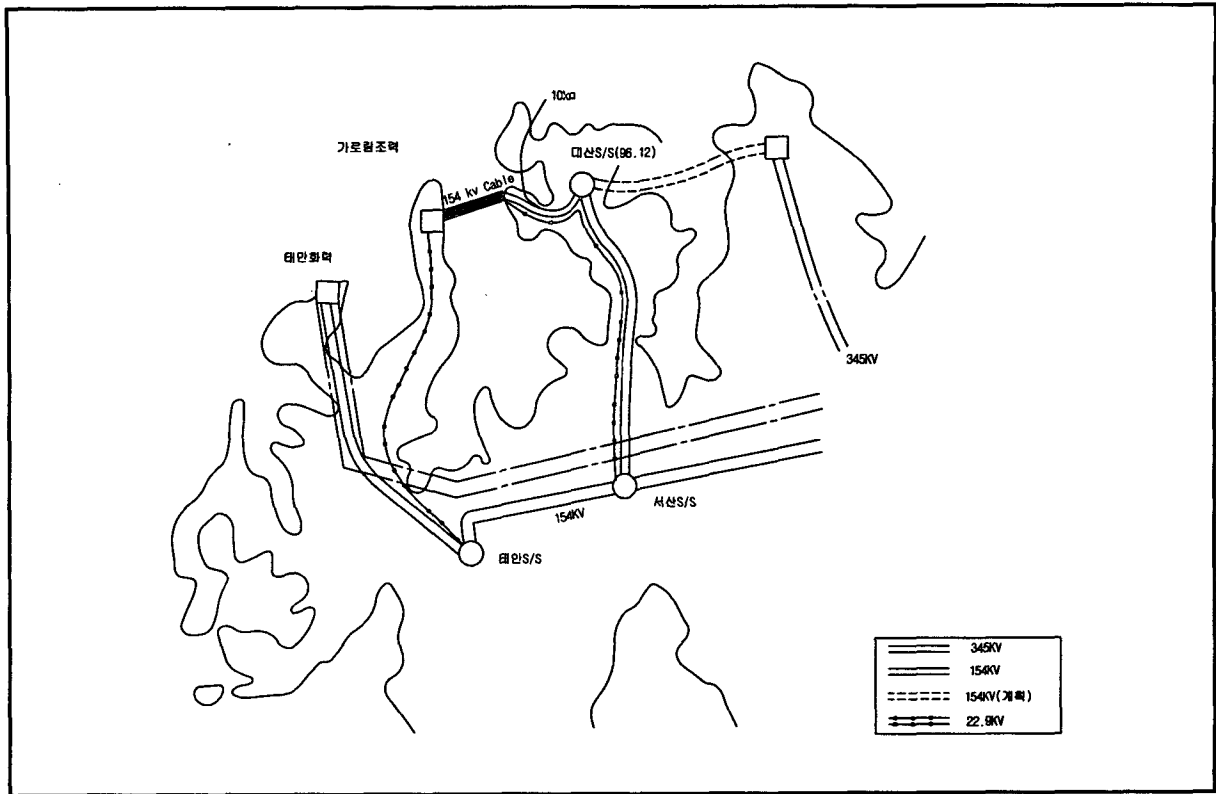
가로림 조력 발전소의 건설 후보지점은 다음 <그림 4.1>과 같이 1995년에 건설된 태안 화력발전소에서 동북쪽으로 10km 떨어진 곳에 위치하게 되며 송전선은 20MW×24대일 경우에 적용할 수 있도록 ACSR, 480mm², 2-복도체, 2회선으로 하여 1회선 정전시에도 22대분의 발전 출력 532 MVA의 송전이 가능토록 하였다.(평상시 2대 보수정지, 소내전력 2%)

③ 154kV 전력계통에 있어서는 1996년 12월에 가로림만 제방 동쪽 10km 지점에 154kV 대산변전소가와, 서산변전소간에는 410mm², 2-복도체, 2회선이 구성되므로, 대산변전소와 가로림 조력발전소간에 480mm², 2-복도체, 2회선을 계획하였다.

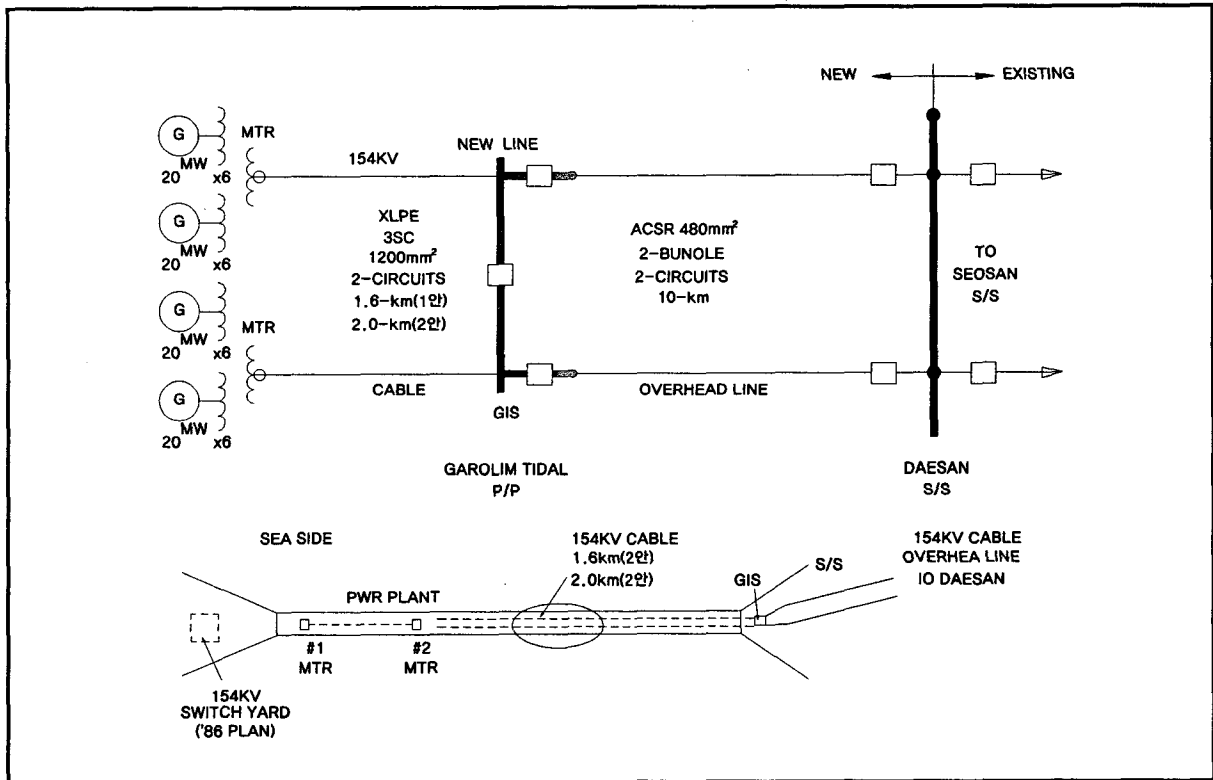
④ 주변압기 용량은 발전기 24대에 조합되도록 주변압기에 12대씩 설정하고 발전기가 22대일 때에는 11대(5+6대)씩 설치하게 된다.

- 주변압기 용량 ----- 260/130/130MVA × 2대

- 154kV Cable ----- 3 Single Conductor, XLPE, 1,200mm², 2,000, 1,600m, 2회선으로 한다.



<그림 4.1> 전력구 계통도



<그림 4.2> 전기 단선도

(2) 수차 기기설비

① Stoplog

Stoplog은 케이슨의 수로양단에 Drop in bulkhead gate 형태로 설치하여 케이슨 예인시 양단을 막아 부유상태로 케이슨을 예인하는데 사용하고, 수차발전기의 설치, 정기적인 검사 및 보수를 하고자 할 때 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획한다.

② Crane

상류단 및 하류단의 Stoplog 크기 및 중량은 최종거치 후 운영 관리할 수 있도록 설치 계획한 Overhead crane과 Gantry crane의 능력과 연계시켜 다음 표와 같이 계획하였다. (참조 <표 4.1>)

<표 4.1> 수차측 Stoplog 제원

| 구 분 | | 상 류 단 | 하 류 단 | 비 고 |
|------|----|------------------------|-----------------------|--------|
| 크 기 | 폭 | 15.40m | 14.40m | 4개로 구성 |
| | 높이 | 19.70m | 14.40m | |
| 중 량 | | 293ton (100ton × 3) | 200ton (50ton × 4) | |
| 운영장비 | | 250ton Gantry crane | 50ton Overhead crane | |

(3) 수문 기기설비

① 문비

최적화 과정을 거쳐 산출된 적정시설 수문의 대수는 14대였으며 이에 따라 문비도 14개를 설치하는 것으로 하였으며, 문비의 형태는 수심이 깊은 가로림만 입구의 여건에 적합한 Lift gate를 채택하였다. 문비의 크기는 1986년 연구내용과 동일하게 계획하였으며 그 제원은 다음 표와 같다.

| 형 식 | 크 기 | 수 량 | 통 수 면 적 |
|-----------|---------|-----|---------------------|
| Lift gate | 12m×12m | 14개 | 3,168m ² |

② Stoplog : 케이슨 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수 시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획

③ Crane : 내해측 Stoplog는 100ton Gantry Crane으로, 외해측 Stoplog은 50ton Overhead Crane으로 설치 및 해체할 수 있도록 계획하고 문비의 개폐운영은 200ton Hydraulic Hoist Unit를 사용하며 보수 및 수리시는 상부에 고정된 100ton Gantry Crane으로 계획

5. 시공 및 공정계획

(가) 작업기준설정

조력발전소의 전 공정 계획을 수립하기 위하여 주요 구조물의 건설방법 및 단위공정을 산출하기 위한 작업기준을 다음 표와 같이 설정하였다.

<표 5.1> 작업기준

| 구 분 | 작 업 기 준 |
|----------|--|
| ○ 해상작업 | 월 20일 |
| - 일반공사 | 1일 10시간 1교대 |
| - 준설공사 | 1일 10시간 2교대 |
| ○ 육상작업 | 월 23일, 1일 10시간 2교대 |
| - 콘크리트공사 | 년간 월동기 2개월간은 타설 중지 |
| ○ 진입도로공사 | 발전소 계획위치에 진입하는 동서측의 양쪽 진입도로는 발전소 공사전에 건설되는 것으로 간주하여 본 공정에서 제외함 |

(나) 단위공종의 시공방법 및 계획

발전소 공사의 주공정(Critical path)에 영향 주는 주요 단위 공종은 수차케이슨, 수문 케이슨 및 조력댐 구조물이므로 이들의 시공방법과 공기를 검토하여 전체사업의 공정계획 수립에 적용토록 한다.

① Dry Dock

수차, 수문 및 중물양장 등에 사용되는 케이슨을 제작하기 위한 Dry Dock는 1개소를 설치하고 사용횟수는 2회 사용하는 것으로 계획하였다.

○ 규모구상

Dry Dock의 규모는 다음과 같이 구상하였다.

<표 5.2> Dry Dock 규모

| 구 분 | Dry Dock 사용계획 | | | 규 모 |
|----------|---------------|-----|----|-------------|
| | 구조물 종류 | 1차 | 2차 | |
| Dry Dock | 수차케이슨 | 12합 | - | 420m × 270m |
| | 수문케이슨 | - | 7합 | |
| | 연결케이슨 | 3합 | 1합 | |
| | 물양장케이슨 | 5합 | - | |

○ 공사기간

- 토공, pile 항타공

- 터파기 및 준설 : 3,428,086m³
- 성 토 : 646,894m³ 5개월
- Sheet piling & Removal : 25,147m²

- 정지, Bedding, 배수 및 기타 1식 : 2개월

- Lighting & MISC. : 1개월

계 : 8개월

②수차케이슨

○ 공사규모

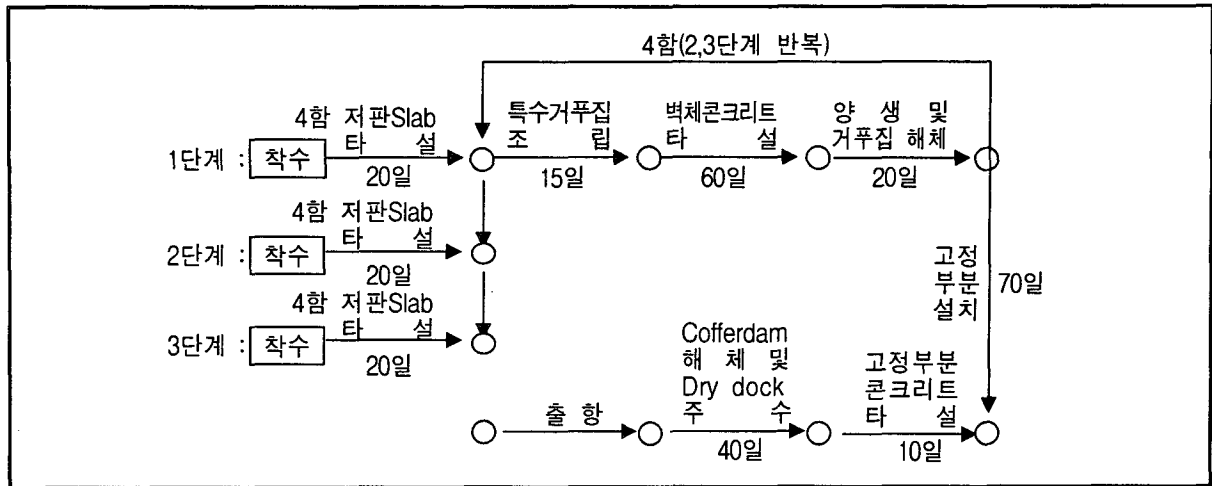
케이슨 전체수량은 12개함으로 총 사용 콘크리트량은 22,000m³/함 × 12 함 = 264,000m³임

○ 공사기간

- 케이슨 제작

1차로 12합을 제작하여 Dry Dock를 open한 후 수차케이슨과 동시에 제작된 연결케이슨 및 물양장케이슨과 함께 예인하여 출하시킨다.

- 1차 제작 : 특수 거푸집 4개소를 사용하여 1단계시 4합을 제작하고 2,3단계시 잔여 8합을 제작하는 것으로 계획한다.



총소요기간 : 425일(14.17개월)

- 케이슨 견인 및 거치

- 케이슨 견인시 해상 제한조건

조류속도 : 1.0m/sec

풍 속 : 10.0m/sec

파 고 : 2.0m

- 예인장비

800HP ~ 2,400HP Tug Boat : 12대

80HP ~ 120HP Tug Boat : 2대

- 거치장비

기중기선(10ton) : 1대

80HP 예선 : 1대

ø200mm pump : 10대

발전기(200kw) 및 기타 : 1식

- 예인 및 거치시간

평균 1함당 9시간(6~12시간)

해상조건에 따라 변화 큼

③ 수문케이슨

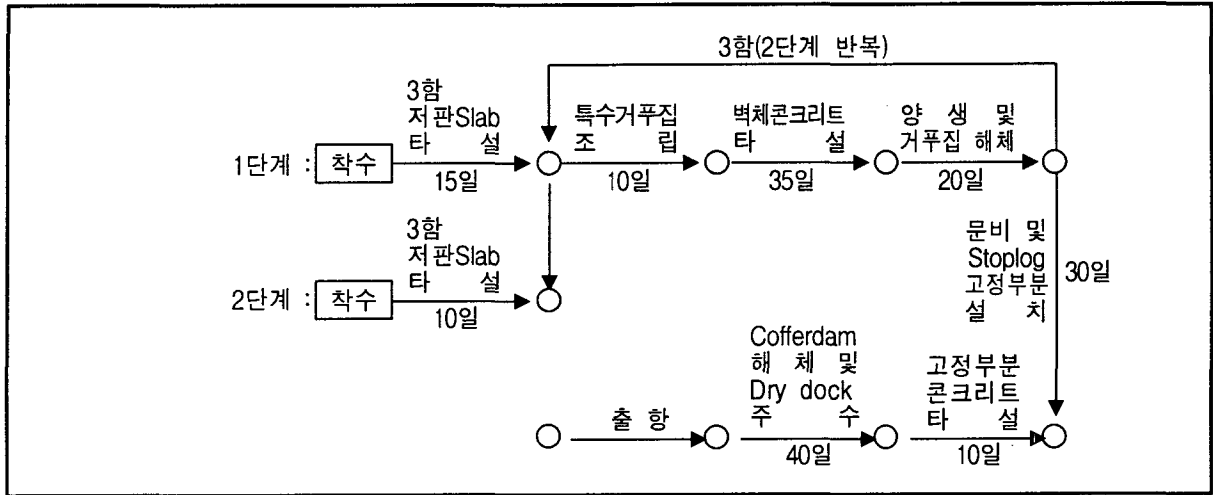
- 공사규모

케이슨 전체수량은 7개함으로 총 사용 콘크리트량은 11,200m³/함 × 7함 = 78,400m³임

○ 공사기간

- 케이슨 제작

전량 Dry Dock 2차 사용시 제작하는 것으로 계획하며 특수 거푸집은 4개소를 사용하여 1단계시 4함을 제작하고 2단계시 잔여 3함을 제작하는 것으로 계획한다.



총소요기간 : 225일(8.5개월)

- 케이슨 전인 및 거치

수차케이슨과 동일한 해상조건에서 동일한 장비로 예인 및 거치를 계획하며 예인 및 거치시간은 6~12시간 소요된다.

④ 조력댐

조력댐의 주요 공종은 연약지반 처리공, 사석공, 피복재 및 TTP 포설공, 차수 Sheet 공 및 기타공 등이 있으며 주요물량 및 공사기간을 추정하면 다음과 같다.

<표 5.3> 조력댐 주요물량 및 공사기간

| 주요 공종 | 수량 | 공사기간 |
|---------------------|-----------------------|---------------------|
| ○ 사석 및 피복석 | 819,995m ³ | 사석, 피복석 및 TTP : 3개월 |
| ○ 차수 Sheet 부설 | 27,553m ² | 콘크리트타설 및 레도부설 : 1개월 |
| ○ TTP (3.2ton) | 26,062ea | 기타 : 1개월 |
| ○ 상치 및 crane 기초콘크리트 | 9,665m ³ | |
| | | 계 : 5개월 |

6. 개략공사비

(1) 공사비 산출기준

공사비는 다음을 기준으로 산출하여 적용하였다.

- ① 환 율 : 1\$ = 1,035.6원 (2005년 1월 3일 기준, 재정환율)
- ② 보상비
 - 코리아 감정 평가법인(주)에서 조사, 산출한 “가로림 조력 타당성 조사 보상비 산정 용역 보고서, 2004년 11월”을 기준으로 적용하였다.
 - 육상보상비 : 건설공사 육상시설 및 송전선 설치를 위한 토지와 건물등에 대해 조사 적용하였다.
 - 해상보상비 : 어업권 어선 및 맨손 어업에 대해 소멸 보상 및 재한 보상으로 나누어 조사 적용하였다.
- ③ 토목공사비 : 공사단가는 가로림 조력개발 타당성 조사 보고서(한국전력공사, 1993)를 기준으로 건설단가 상승률(69.87%)를 고려하여 적용하였다.
 - 건설단가 상승률 산출근거는 다음과 같다.
 - 달러 환율 : 789.70₩/\$('93. 1. 3) → 1,035.60₩/\$('05. 1. 3)
 - 공사비 적용단가 : '93년 1월 단가 → '05년 1월 단가 적용
 - 건설단가 상승률 : 물가 상승률 + 건설단가 상승률 = 61.39% + 8.48% = 69.87%
 - 물가 상승률 산출근거 : $(116.2-72.0)/72.0 \times 100\% = 61.39\%$
 - 1993년 1월 통계청발표 소비자 물가지수 : 72.0
 - 2005년 1월 통계청발표 소비자 물가지수 : 116.2
 - 평균단가 상승률 산출근거 : $31.14\% \times 0.2726(\text{가중치}) = 8.48\%$
 - 기계경비 상승률 : $(1,035.6-789.7)/789.7 \times 100\% = 31.14\%$
 - 가중치 산출(청송양수 상부댐 축조공사 실적치 적용) : 27.26%

(단위: 원)

| 재 료 비 | 노 무 비 | 경 비 | 계 | 비 고 |
|---------------|----------------|---------------|----------------|--------------|
| 9,262,743,741 | 10,726,528,579 | 7,491,247,592 | 27,480,519,912 | 경비율 : 27.26% |

⑥ 전기·기계공사

- Turbine & Generator의 가격은 최근 중국에서 입수한 견적가격을 적용하였다.
- 발전기의 개폐류와 Gantry crane, Sluice gate류의 기계부분 공사비 또한, 건설 단가 상승률(69.87%)을 고려하여 적용하였다.

⑦ 공사관리비는 보상비, 토목공사비의 10%와 전기/기계공사비의 5%를 합하여 적용하였다.

⑧ 조사설계 감리비는 토목공사비에 대하여 5%, 전기/기계공사비에 대하여 1.5%를 계상하였다.

⑨ 건설이자는 연차별 투자금액에 연 5.0%의 복리이자를 적용하여 산출하였다.

(2) 개략 공사비

(단위:백만원)

| 구분 | 금액 | 비고 |
|-------------------------|-----------|------------------------|
| (1) 보상비 | | |
| ㉠ 육상보상비 | 6,664 | |
| ㉡ 어업권 보상비 | 62,442 | |
| 소 계 | 69,106 | |
| (2) 토목공사비 | | |
| ㉠ 가설비 | 21,386 | |
| ㉡ 방조제 축조공 | 296,107 | |
| - 발전소 구조물 | 175,785 | |
| - 수문 구조물 | 74,751 | |
| - 조력댐(동측,중앙,서측) | 45,571 | |
| ㉢ 통선문 | 14,214 | |
| ㉣ Cable Duct(154kv) | 1,713 | |
| ㉤ Dry Dock | 30,627 | |
| ㉥ 중앙물양장(5,000 DWT급) | 8,656 | |
| 소 계 | 372,703 | |
| (3) 전기/ 기계공사비 | | |
| ㉠ Turbine-Generator | 268,701 | |
| ㉡ Sluice Gates | 20,483 | |
| ㉢ Stop-Log(Power Plant) | 18,845 | |
| ㉣ Stop-Log(Sluice Gate) | 11,798 | |
| ㉤ Lock 기계설비 | 10,863 | |
| ㉥ Gantry Crane ect. | 7,770 | |
| ㉦ Switch Gear & Trans. | 51,895 | |
| 소 계 | 390,355 | |
| 계(1+2+3) | 832,164 | |
| (4) 공사관리비 | 63,698 | (1+2)×10%+(3)×5% |
| (5) 조사,설계,감리비 | 24,490 | (2)×5%+(3)×1.5% |
| 합 계 | 920,352 | (1)+.....+(5), (VAT별도) |
| (6) 건설이자 | 102,169 | 년5.0% 단리이자 |
| 사업비계 | 1,022,521 | (1)+.....+(6) |

(3) 년차별 투자계획

(단위:백만원)

| 구분 | 제1차년도 | 제2차년도 | 제3차년도 | 제4차년도 | 제5차년도 | 합 계 |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 금액 | 147,256 | 220,885 | 257,699 | 184,070 | 110,442 | 920,352 |

주) 건설이자는 미포함

부 록 2

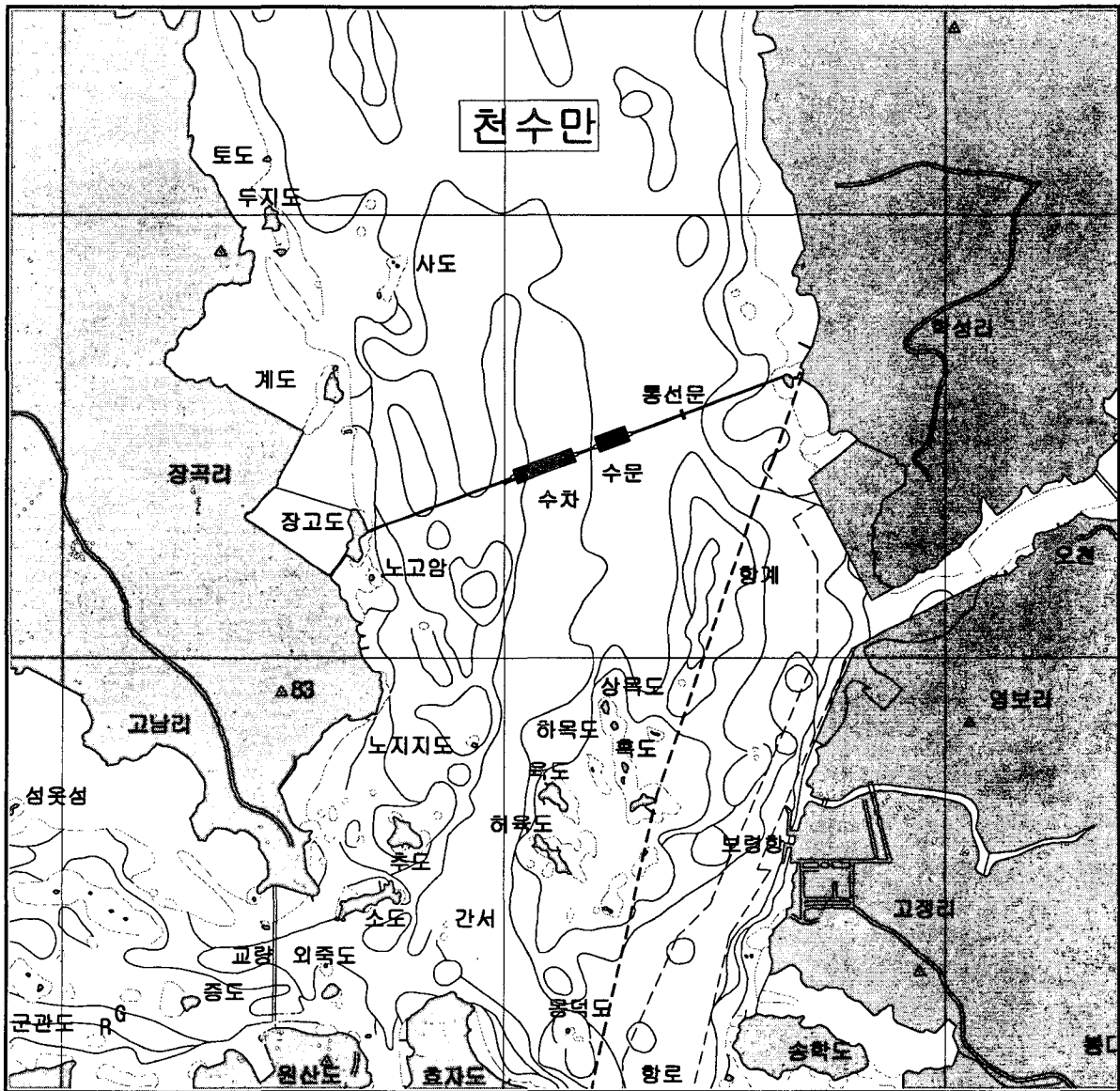
천수만 조력발전 시스템 배치계획
및 개략 공사비산정

부록 2 천수만

1. 천수만 현황

(1) 기초자료 검토

- 발전소 위치 : 충청남도 태안군 천수만 장고도와 학성리 일대의 해역
- 지역 형상 : 천수만 해역은 안면도와 홍성군 사이에 남·북으로 길게 위치한 천해의 만으로써 항로상에 암초가 많이 산재해 있으며 수로가 좁아 보령항으로 입·출항 하는 대형선박은 항행에 주의를 요하는 해역이다.
- 내수면 면적 : 146km²



<그림 1.1> 천수만 조력발전 위치도

- 천수만의 지형 : 서해안 특유의 리아시스식 해안의 형태이며 주변의 지형은 완만한 구릉지로 형성되어 있다.

(2) 해양자료 검토

- 설계파랑(100년 빈도): 파고 0.9m, 주기 3.6sec
- 설계조위 : 본 타당성 조사에서는 천수만의 조위 관측 자료가 없으므로, 인근지역이며 국립해양조사원(1999년)에서 제공하는 보령 표지지역의 조석자료를 사용한다.
- 설계조류 : 창(낙)조류는 안흥항 조석의 저(고)조후 0.2~1.2(0.1~1.3)시경에 전류하여 고(저)조후 0.1~1.3(0.2~1.2)시경까지 약 6.4~6.5(5.9~6.0)시간 지속되며, 최강 창(낙)조류는 연간 평균대조기에 약 0.9~2.1(0.7~1.5)kn로써 고(저)조 전 2.3~2.5(2.0~3.5)시경에 일어난다.

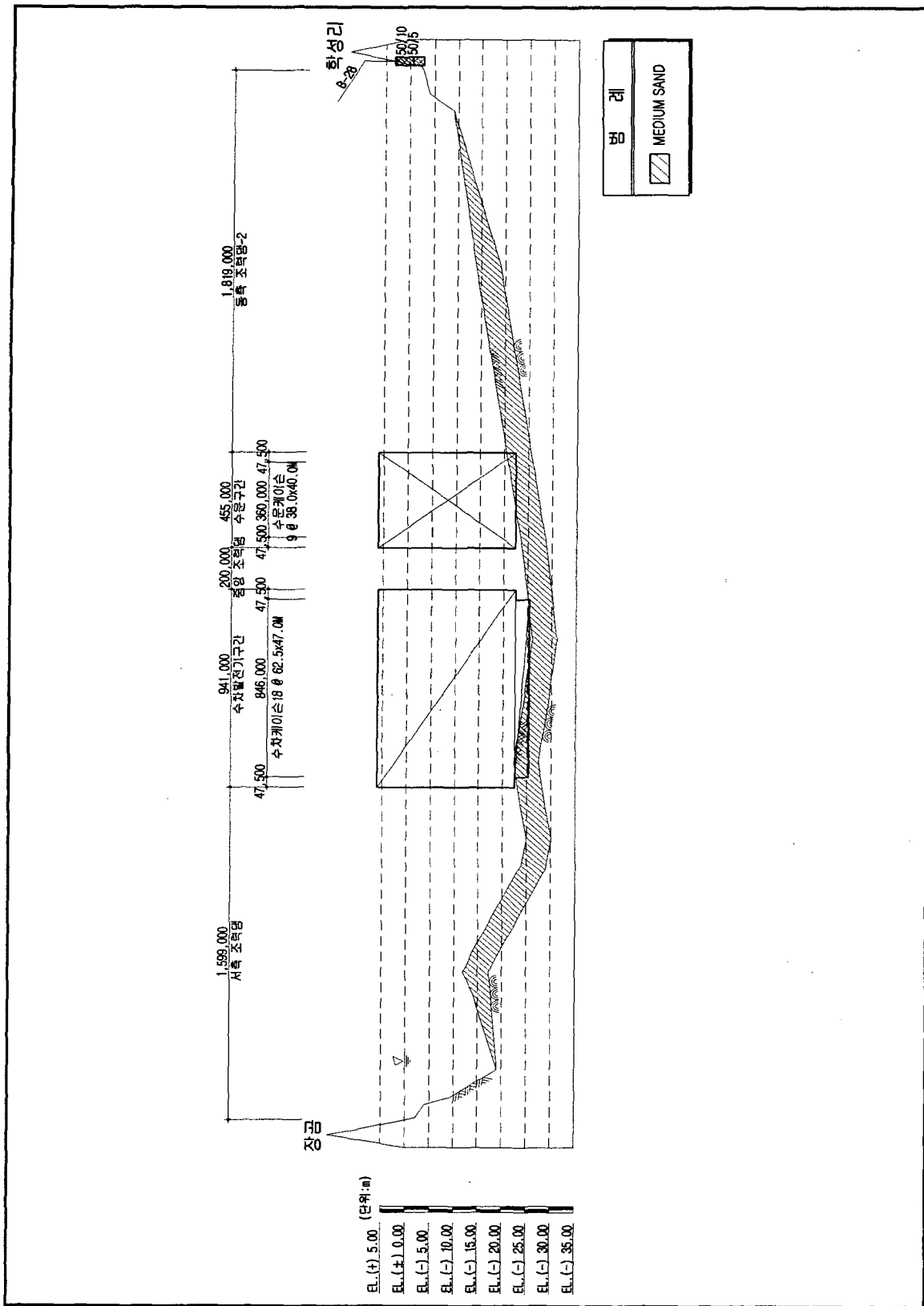
(3) 수심 및 지질

- 지질조건 : 천수만 계획법선의 지반조사가 이루어지지 않아 인근 보령신항의 자료를 이용하여 유추하였으므로 결과 값에 대한 신뢰성이 부족하므로 추후 지반조사를 실시하여 설계에 반영하여야 한다.

<표 1.1> 천수만 조석의 조화상수 및 비조화상수

| 분 조 | 항 목 | | 반조차 (cm) | 지각 (°) | 비고 |
|-----------------------|---------------------|---------|-------------|------------|----|
| | | | | | |
| 조 화 상 수 | M ₂ | 주태음반일주조 | 229.4 | 86.8 | |
| | S ₂ | 주태양반일주조 | 89.1 | 130.8 | |
| | K ₁ | 일월합성일주조 | 36.1 | 276.2 | |
| | O ₁ | 주태음일주조 | 27.2 | 247.9 | |
| 비 조 화 상 수 | 평균고조간격 (M.H.W.I) | | 2h 60m | | |
| | 평균저조간격 (M.L.W.I) | | 9h 11m | | |
| | | | 해상표고(DL.) | 육상표고(EL.) | |
| | 약최고고조위 (App. H.H.W) | | 763.6cm | 380.0cm | |
| | 대조평균고조위 (H.W.O.S.T) | | 700.3cm | 320.0cm | |
| | 평균고조위 (H.W.O.M.T) | | 611.2cm | 230.0cm | |
| | 소조평균고조위 (H.W.O.N.T) | | 522.1cm | 140.0cm | |
| | 평균해면 (M.S.L) | | 381.8cm | 0.0cm | |
| | 소조평균저조위 (L.W.O.N.T) | | 241.5cm | (-)140.0cm | |
| | 평균저조위 (L.W.O.M.T) | | 152.4cm | (-)230.0cm | |
| | 대조평균저조위 (L.W.O.S.T) | | 63.3cm | (-)320.0cm | |
| | 약최저저조위 (App. L.W.L) | | 0.0cm | (-)380.0cm | |
| | 대조차 (Spring Range) | | 637.0cm | | |
| 평균조차 (Mean Range) | | 458.8cm | | | |
| 저조차 (Neap Range) | | 280.6cm | | | |

자료 : 국립해양조사원(1999년)

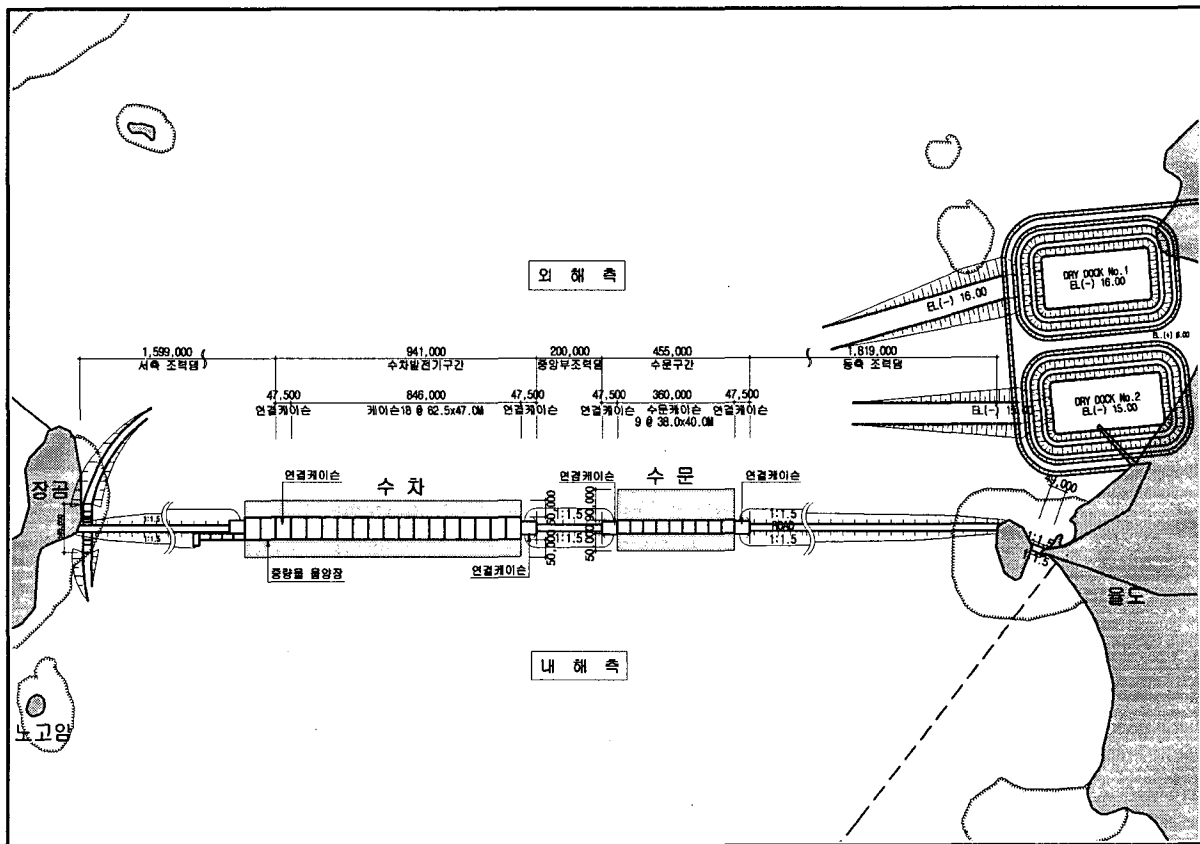


<그림 1.2> 천수만 수심 및 지층단면도

2. 평면배치계획 검토

(1) 개요

조력댐 설치 구간은 천수만 내에서 서쪽방향에 있는 장곶과 동쪽 방향에 있는 학성리를 잇는 구역이다. 발전소 구조물 배치의 주요 특징은 창·낙조 우세한 구간이며 인근 항로에 영향이 적은 장곶과 학성리의 중앙부에 수차발전기 구조물과 수문 구조물을 배치하고, 통선문은 서측의 장곶 쪽에 배치하였다. 수차발전기, 수문, 통선문 등 해상에 설치되는 대형 구조물은 Caisson 형식을 선정하였다.(참조 그림 2.1)



<그림 2.1> 천수만 배치 계획평면도

(2) 수차발전기 및 케이스 구조물 규모검토

- ① 발전시설용량 : $20\text{MW} \times 36\text{대} = 600\text{MW}$
- ② 건설 방법 : 케이스 공법 (18합)
- ③ 케이스
 - 제 원 : $B \times H \times L = 45.80 \times 29.40 \times 62.50\text{m}$
 - 콘크리트 : $V=21,740\text{m}^3/\text{합}$, $W=53,260\text{ton}/\text{합}$

(3) 수문 및 케이슨 구조물 규모검토

- ① 형 태 : Ventri 식
- ② 문 비 : 수직인양식 (18 개, $B \times H = 12 \times 12m$)
- ③ 케 이 슨
 - 체 원 : $B \times H \times L = 40.0 \times 27.50 \times 38.0m$
 - 콘크리트 : $V=11,154m^3/합$, $W=27,320ton/합$

(4) 토목구조물 규모 및 배치계획

① 조력댐

| 구 분 | 서측조력댐 | 중앙조력댐 | 동측조력댐 |
|---------|------------|------------|------------|
| 마 루 높 이 | EL.(+)6.50 | EL.(+)6.50 | EL.(+)6.50 |
| 길 이 | 1,599.0m | 200.0m | 1,819.0m |
| 구 조 형 식 | 사석경사식 | 사석경사식 | 사석경사식 |

② 통선문

- 대상선박 : 선박 5~10톤, 준설선 3,300HP, 관광선 500톤
- 구조형식 : 콘크리트 중력식
- 체 원 : 유효길이(140.0m), 폭(17.0m), 갑실수심(3.50m)

③ 연결케이슨

- Type A (수차측 연결) : 2 합, $B \times H \times L = 47.50 \times 26.50 \times 38.0m$
- Type B (수문측 연결) : 2 합, $B \times H \times L = 47.50 \times 26.50 \times 38.0m$

④ 중량물물양장

- 대상선박 : 5,000DWT 화물선 × 1선좌
- 선좌길이 : 130m
- 구조형식 : 케이슨식
- 케이슨체원 :
 - Type B (5합) : $B \times H \times L = 35.0 \times 18.0 \times 25.50m$

⑤ Dry Dock : 2기

<표 2.1> Dry Dock 사용계획

| 구분 | PHASE-I | PHASE-II | 규격 | 저면 EL. |
|-------------|--|--------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Dry Dock #1 | 수차케이스 : 5합 중물양장케이스 : 5합 연결케이스 : 1합 | 수차케이스 : 5합 연결케이스 : 2합 | 330 × 150m = 49,500m ² | EL.(-)16.0m |
| Dry Dock #2 | 수차케이스 : 8합 | 수문케이스 : 9합 연결케이스 : 1합 | 340 × 150m = 51,000m ² | EL.(-)15.0m |

- 출입구 가물막이 : Φ 17.0m Cell × 5ea
- 예인수로 : W = 67.0m, EL.(-)16.0m, W = 67.0m, EL.(-)15.0m
- 터파기 및 준설량 : 3,343,000m³

⑥ 작업장

- 면적 = 234,000m²
- 부지계획고 EL.(+)6.0m

⑦ 조립장

- 길이 : 190m, 폭 : 35~80m
- 면적 : 11,000m²
- 부지계획고 : EL.(+)8.0m

(5) 발전설비 규모 및 배치계획

① 발전기

- TYPE : 별브식 수차 발전기
- 냉각방식 : 공냉식
- 발전기 전압 : 10.5kV
- 계통연결 : 10.5/10.5/154kv, 3권선 변압기 사용

② 주변압기

- 규격 : 345kV 케이블 사용, XLPE, Single Core, 1 Line, 600mm²

③ 변전소

- 청양변전소와 천수만 조력발전소간- 410mm², 2회선

- ④ 송전선로(Duct 포함)
 - 규격 : TACSR/AW, 410mm², 2회선
 - 연장 35km
- ⑤ 수차 발전기측 Stoplog : 외해측 : B × H = 14.40 × 14.40m
 (8組) 내해측 : B × H = 15.40 × 19.70m
- ⑥ 수차 발전기측 크레인
 - Ganty Crane (250톤) 1기
 - Overhead Crane (50톤, 30톤) 각 1기
- ⑦ 수문측 STOPLOG : 외해측 : B × H = 16.0 × 20.50m
 (5組) 내해측 : B × H = 16.0 × 24.50m
- ⑧ 수문측 크레인 : Ganty Crane (100톤) 1기
 : Overhead Crane (50톤) 1기
 : Hydraulic Hoist Unit 18기

3. 토목구조물 개념설계

(1) 수차발전기 케이슨 구조물

① 기본조건

- 수차발전기의 제원

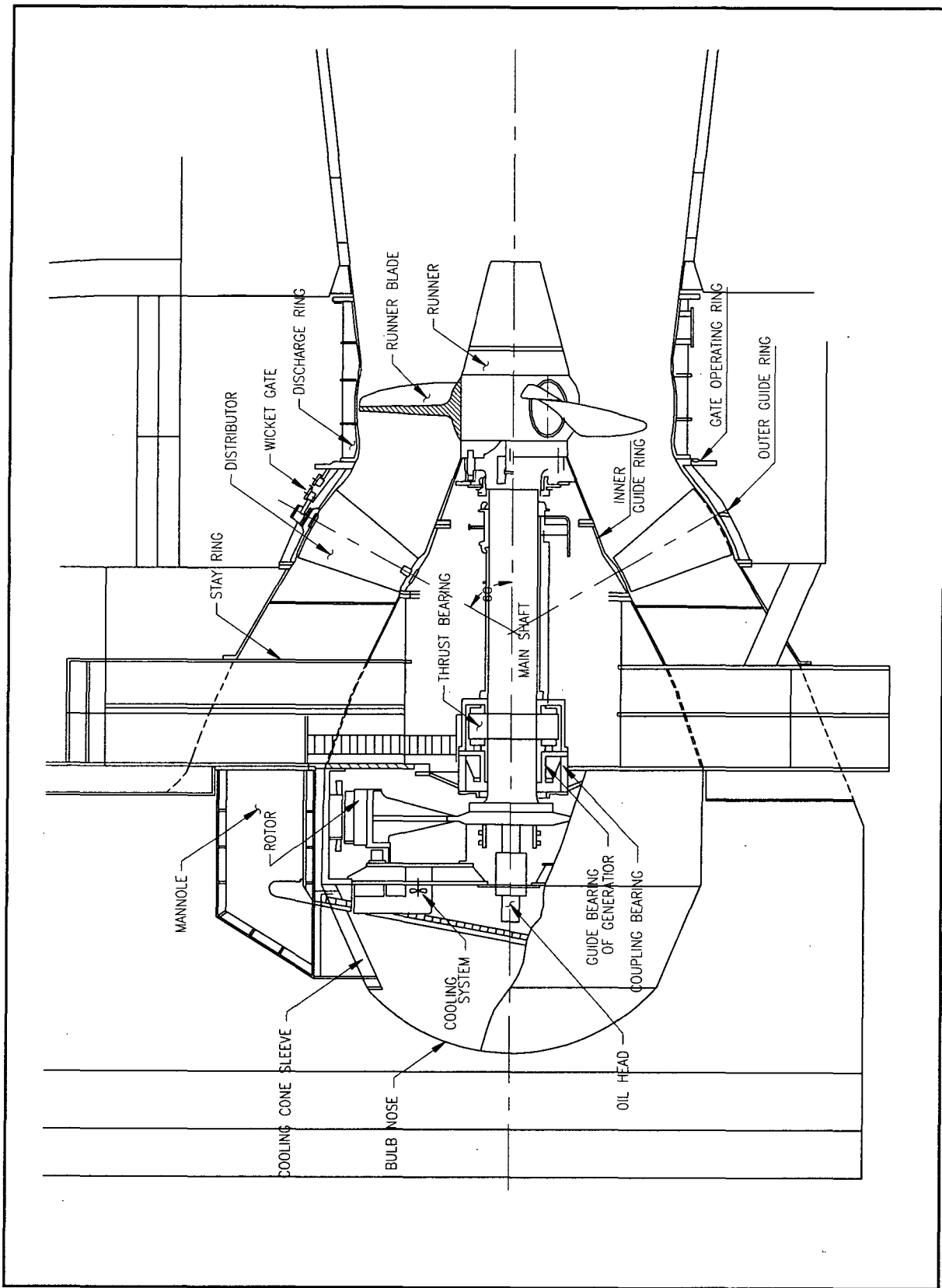
최적화 검토결과 선정된 20MW급 Bulb형 수차발전기의 대수 및 제원은 다음과 같다.

(참조 표 3.1, 그림 3.1)

- 각 안별 수차발전기의 대수 : 36대(720MW)

<표 3.1> Bulb형 수차발전기의 제원(20MW)

| 구 분 | | 제 원 | |
|-----------|-----------------------|--------------------|---------|
| | | 크기(m) | 중량(ton) |
| Turbine | Runner | 8.00 × 5.20 | 125 |
| | Main shaft & Bearings | 4.50 × 9.85 | 90 |
| | Stay ring | 19.0 × 12.70 × 5.0 | 220 |
| | Discharge ring | 8.80 × 3.65 | 56 |
| | Guide vane apparatus | 8.80 × 3.65 | 210 |
| | Misc. | 11.60 × 2.80 | 125 |
| | SUBTOTAL | | |
| Generator | Stator | 9.10 × 2.95 | 210 |
| | Rotor | 8.365 × 1.7.0 | 160 |
| | Cooling Cover | 9.10 × 2.45 | 60 |
| | Bulb nose | 6.80 × 2.20 | 30 |
| | Misc. | | 88 |
| | SUBTOTAL | | |
| TOTAL | | | 1,374 |



<그림 3.1> Bulb형 수차발전기 단면도(20MW)

○ 수차발전기의 하중조건

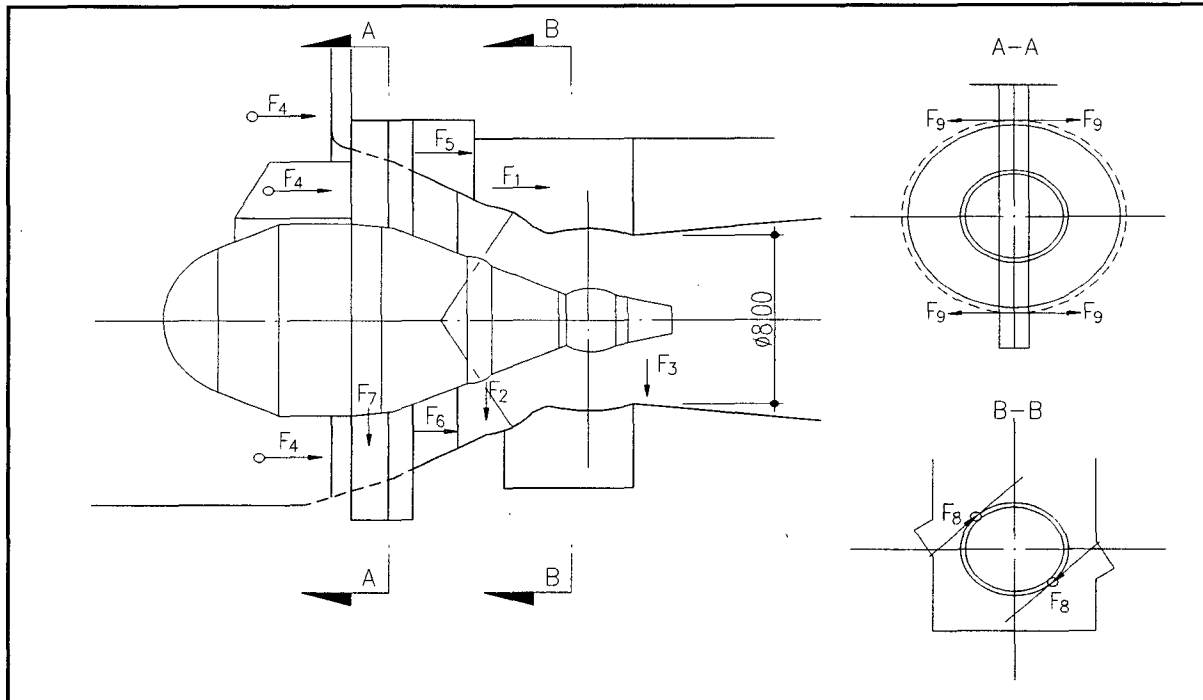
<표 3.2> Bulb형 수차발전기의 하중조건(20MW)

(단위 : ton)

| Foundation | forces | Force mode | Dewtr' d turbine | Waterf turbine | Nomal opr'n | Shut-down | Run-away | Shut-down runawa y |
|---------------------------------------|--------|------------|------------------|----------------|-------------|-----------|----------|--------------------|
| Turbine Pit | | | | | | | | |
| Hor. Force Staying Flange | F1 | F1 | 0.0 | 751 | 715 | 789 | 505 | 859 |
| Vert. Force Staying Flange | F2 | F2 | 168 | 339 | 339 | 339 | 339 | 339 |
| Vert. Force draft tube Flange | F3 | F3 | 115 | 232 | 232 | 232 | 232 | 232 |
| Water pressure on outer barrel | F4 | F4 | 0.0 | 2450 | 2440 | 2504 | 2370 | 2608 |
| Axial force stay ring leg | F5 | F5 | 0.0 | 9.0 | 167 | -112 | 288 | -93 |
| Axial force stay ring leg | F6 | F6 | 0.0 | 9.0 | 167 | -112 | 288 | -93 |
| Resulting vert. force staying rig leg | F7 | F7 | 1050 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| Servomotor | F8 | F8 | 78.5 | - | - | - | - | - |
| Short Circuit torque : (T.m) | MK | MK | 1590 | - | - | - | - | - |
| Reaction force | F9 | F9 | 86.5 | - | - | - | - | - |

주 : F5 and F6 differs only if tie down anchor deleted.

자료 : 중국기술자문단



<그림 3.2> 하중분배도(20MW Unit)

② 수차발전기 케이슨 구조물 구상

Bulb형 수차발전기를 설치할 구조물은 발전기 제작 회사들이 수리학적인 모형실험 등을 실시하여 물의 흐름에 있어서 구조물로 인한 저항을 최소화하는 연구결과들을 발표한 바 있다. 금번의 단면구상은 기존의 연구자료들을 기초로 하여 가장 널리 채택되고 있는 단면을 대상으로 구상하였다.

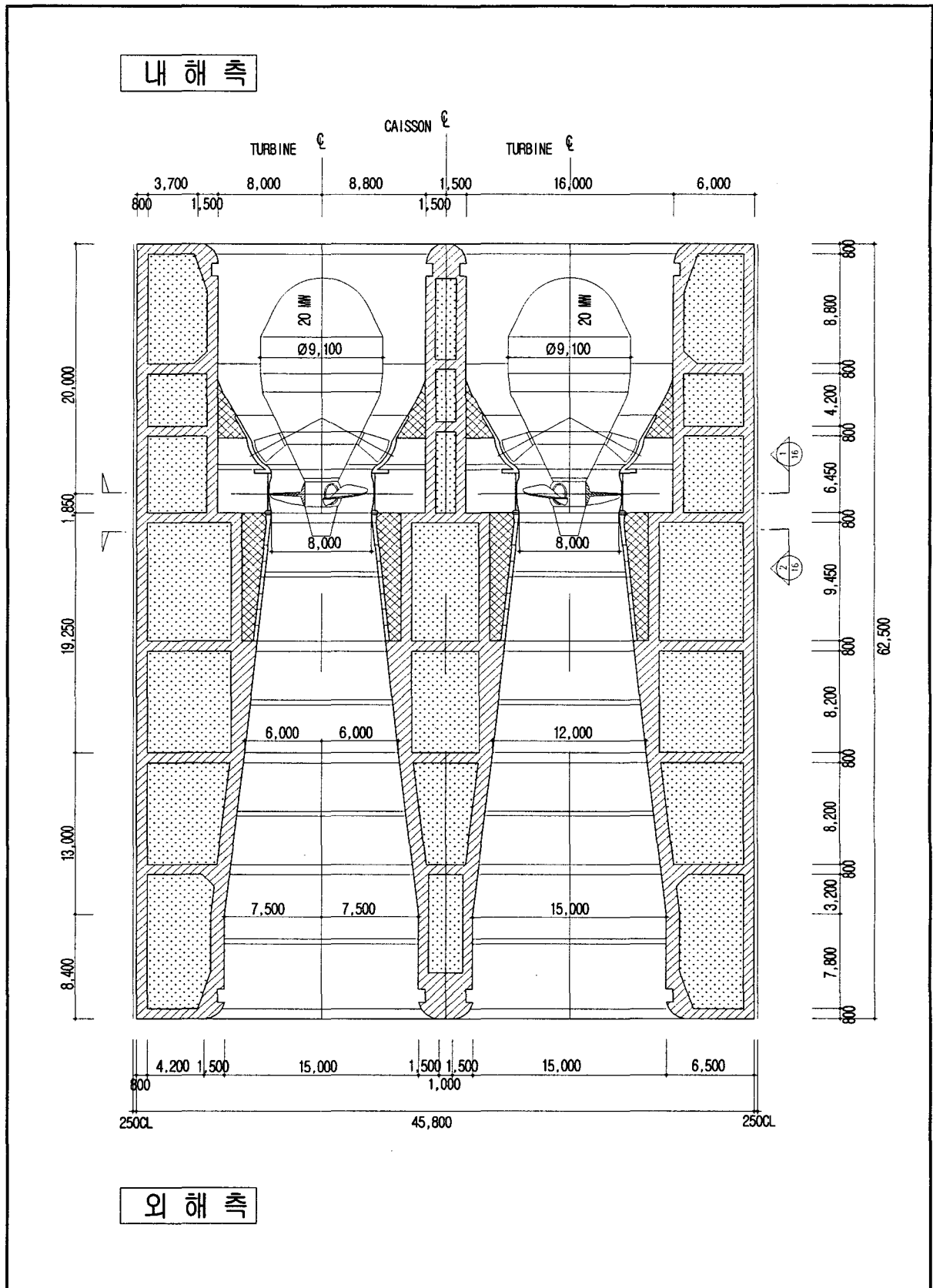
수차발전기 케이슨의 단면구상은 다음사항들을 전제로 하였다.

- 단면형상은 수로의 수리학적 영향을 고려함
- 케이슨 거치를 위한 예인시의 흘수를 최소화 하도록 하며 Stoplog로서 거치, 수차발전기 설치, 검사 및 보수시에 Dry Work이 가능하도록 구상함.
- 케이슨 거치후 수압과 부력으로부터 안정을 위하여 자중을 증가시킬 수 있는 단면으로 구상함.
- 케이슨 폭 결정은 4차선 이상이 될 해안도로와 연계되도록 함.

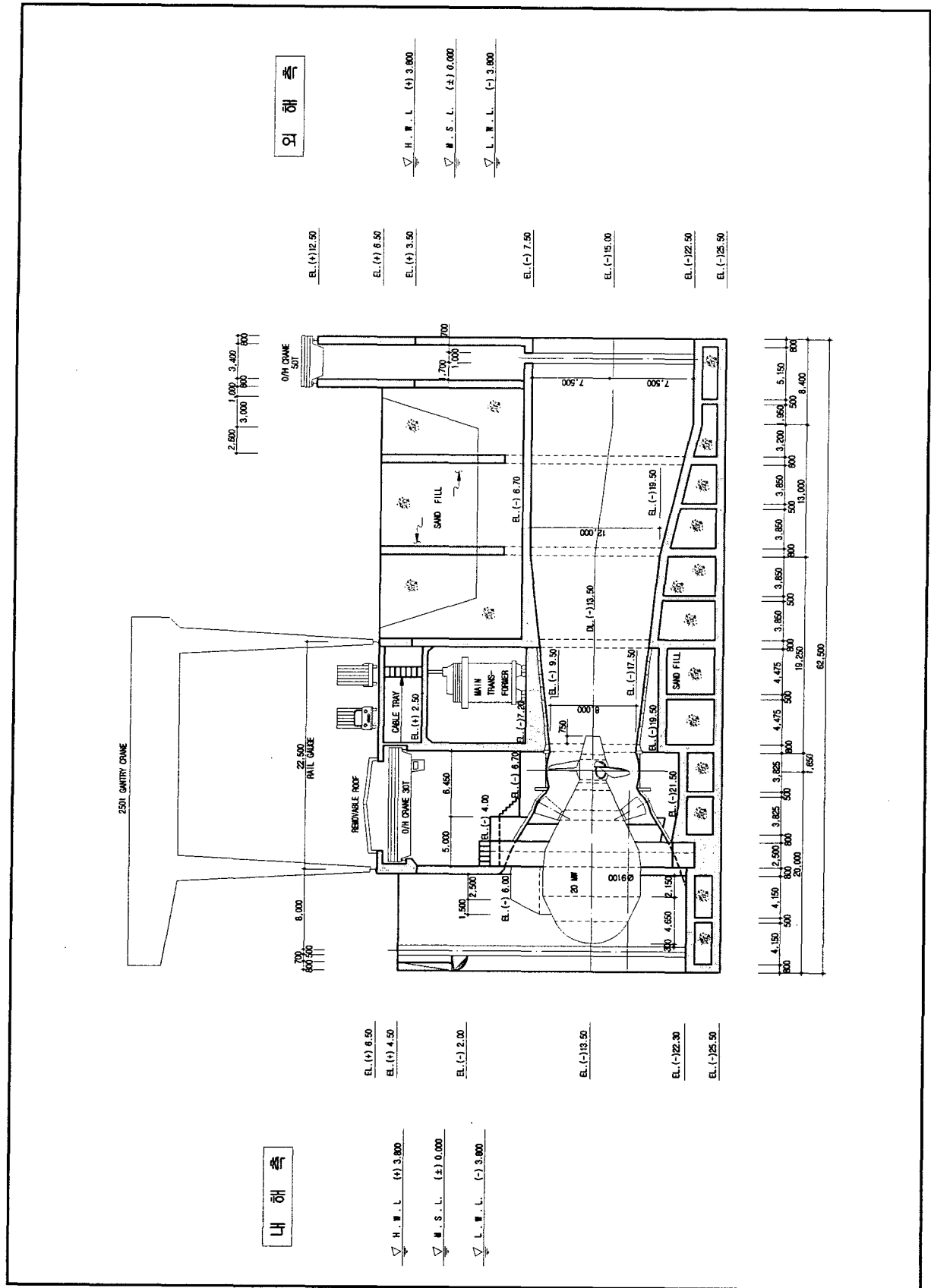
<표 3.3> 수차케이슨 제원

(단위 : m)

| 구 분 | | 단 면 제 원 |
|-------|-----------|-------------|
| 폭 | | 62.50 |
| 높 이 | | 28.40 |
| 길 이 | | 45.80 |
| 수 로 | Top EL | EL.(-)7.5m |
| Inlet | Invert EL | EL.(-)22.5m |



<그림 3.3> 수차발전기 케이슨 평면도



<그림 3.4> 수차발전기 케이스 단면도

③ 수차발전기 케이슨 기초보강

수차발전기 케이슨 위치의 지반은 약 5.0m 두께(가정 값)의 퇴적층 밑에 암반이 나타나고 있다. 퇴적층은 대부분이 연약한 토질이므로 47.0t/m²이 소요되는 케이슨을 지지할 수 없기 때문에 연약토질을 제거하고 소요 지지력을 감당할 수 있는 기초로 바꾸어 주어야 한다. 소요지지력을 감당할 수 있는 기초로서 고려할 수 있는 공법은 치환법과 개량법을 들 수 있다.

○ 지층 조건

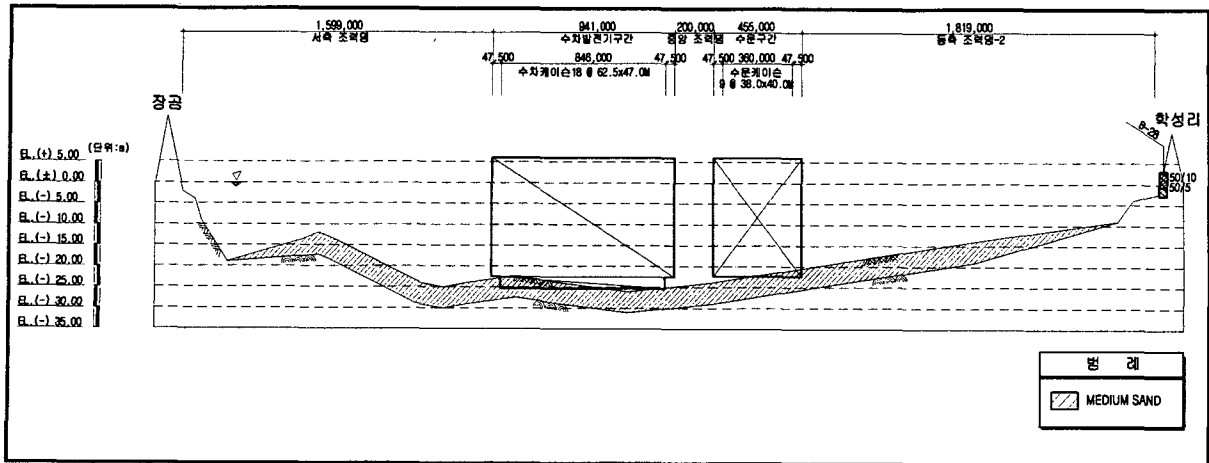
천수만 조력발전소가 위치할 인근지역인 보령신항의 시추조사 결과 값으로부터 표층으로부터 퇴적층이 약 5.0m 정도 두께로 분포하며 그 밑에 바로 연암층이 나타난다고 가정한다.

<표 3.4> 수차, 수문 구조물 기초 지층 조건

| 구분 | 수 차 | | 수 문 | | 비 고 |
|---------|--------------|-----------|--------------|-----------|---------------------|
| 수 심 | 약 24.9m | | 약 21.9m | | H.W.L(+) 3.8m 기준 |
| 지 층 | EL(-)29.90m~ | Soft Rock | EL(-)25.10m~ | Soft Rock | - |
| 구조물바닥고 | EL(-)25.50m | - | EL(-)22.00m | - | - |
| 준 설 깊 이 | 약 2.60m | - | 약 2.10m | - | 구조물설치시 |
| 기초처리깊이 | 약 2.90m | - | 약 3.40m | - | - |
| 지지층 깊이 | 약 30.40m | - | 약 27.40m | - | 수심 포함 |

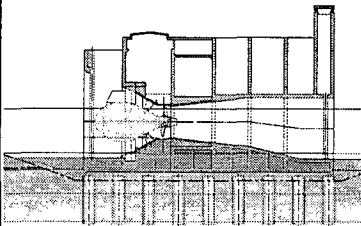
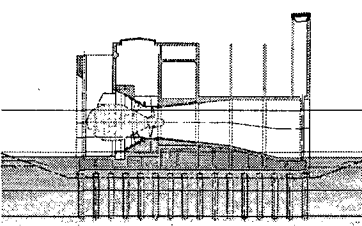
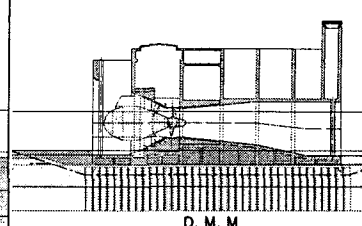
○ 기초공법 검토

천수만의 조력발전소 구조물 공사는 만 입구가 좁아 가물막이를 축조할 경우 강한 유속의 영향을 고려하여 Dry Dock을 이용하여 발전소 구조물을 제작하여 발전소 설치 지점으로 인양 거치하는 시공방법을 채택하였다. 이때 발전소 구조물기초는 지층조건, 시공성 및 경제성 등을 고려하여 현장타설 말뚝기초, 강관 말뚝기초, 표층혼합처리 공법을 비교 검토하였다.(참조 표 3.5)



<그림 3.5> 지층 단면도

<표 3.5> 기초공법 비교

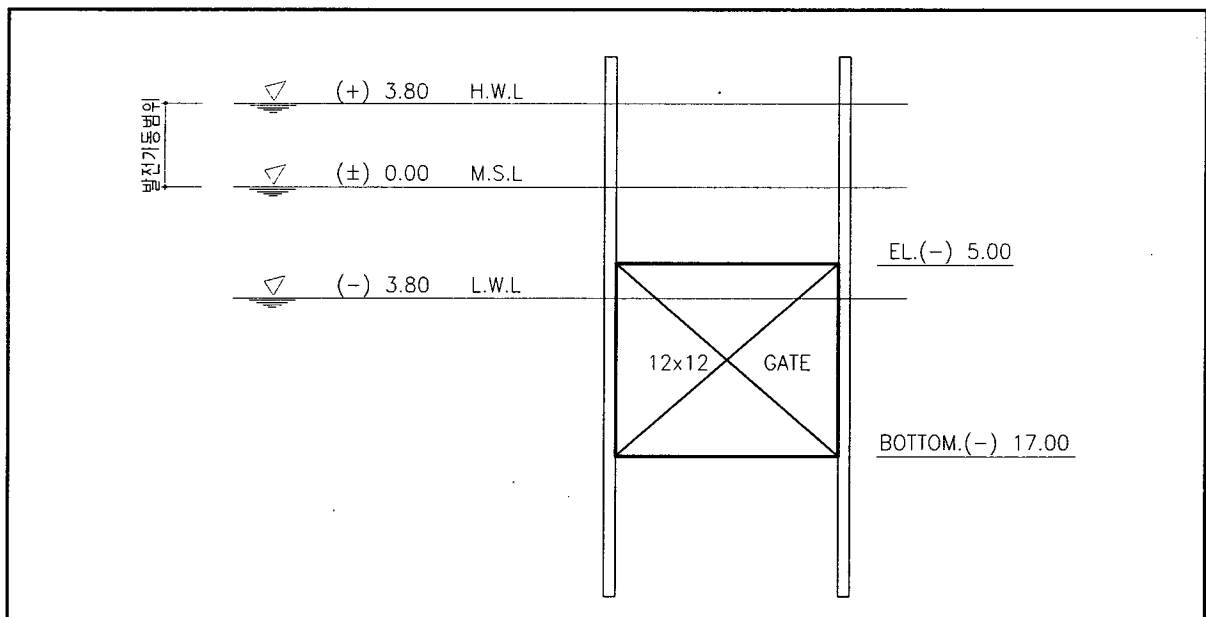
| 구분 | 현장타설 말뚝기초 | 강관말뚝 기초 | 심층혼합처리 공법 | |
|------|--|---|--|---|
| 개요도 |  <p>현장 타설콘크리트(φ3,000mm) C.T.C 7,500</p> |  <p>PC Pile or S.S.P.P(φ1,500m) C.T.C 4,000</p> |  <p>D. M. M</p> | |
| 공법개요 | <ul style="list-style-type: none"> 지중에 Casing을 설치하고 내부를 Hammer Grab이나 Earth Drill로 굴착한 후 철근망 등의 응력재를 Casing내부에 삽입하고 Tremie Pipe로 콘크리트를 타설하여 말뚝을 형성하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝을 지중에 타입하여 상부 구조물의 하중을 단단한 지층에 전달하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 연약지반(점성토, 느슨한 사질토, 유기질토)에 시멘트와 물을 혼합하여 반응된 수화생성물을 지반 내에 주입하면서 특수교반기로 회전 혼합하여 지반 내에 고화된 개량체를 조성하는 공법 | |
| 특징 | 장점 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 지지층 확인이 용이 저소음, 저진동 공법으로 주변 영향 적음 공사목적과 지층조건에 따라 다양한 구경과 심도의 말뚝형성 대구경이므로 말뚝의 지지력 큼 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 공사비가 비교적 경제적임 시공속도가 빠르고 시공용이 품질 관리 용이 장비조합이 간단하고 시공이 단순함 비교적 깊은 심도까지 지지가능 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 저소음, 저진동 공법으로 주변영향 적음 연속벽체이므로 치수가능 소요강도 확보가 용이함 개량효과가 확실하며 공기단축 공사비가 경제적임 기초지반 침하량이 3cm 이내임 |
| | 단점 | <ul style="list-style-type: none"> Casing이 없는 경우 지중에 화학성분이 있으면 시멘트가 잘경화되지 않을 수 있음 말뚝 체의 결손을 확인하기 어려우므로 품질관리 주의요망 공사비 고가 장비구성 및 부속자재 대형 대형장비로 넓은 작업공간 필요 | <ul style="list-style-type: none"> 소음, 진동 대책 필요 해수에 의한 부식방지 필요 자갈 및 전석층이 있는 경우 타입곤란 상부 구조물의 하중이 큰 경우 파일본수의 과다로 경제성 및 시공성 불리 | <ul style="list-style-type: none"> 시공깊이에 제약이 따름(약 30m내외) 연약층의 고결상태 확인이 용이치 않으므로 품질관리에 주의가 요망됨 지반조건에 따라 강도변화가 생길 수 있음 |
| 선정 | | | ● | |
| 선정사유 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝인 경우 자갈 및 전석층이 존재하면 타입이 곤란하며, 구조물 하중이 커 파일본수 과다로 경제성 및 시공성이 불리함 심층혼합처리 공법은 타 공법에 비하여 공사비 뿐만 아니라 시공성에서 다른 안에 비하여 유리함 | | | |

(2) 수문케이슨 구조물

① 기본단면구상

○ 문비의 위치

수로의 표고는 문비의 위치에 따라 결정되며, 문비의 위치는 발전소 가동시 조위의 변화에 관계없이 통수 전면적이 상시 물에 잠길수 있도록 하고 천수만 조위측정현황과 비교하여 문비의 위치를 도시하였다.(참조 그림 3.6)



<그림 3.6> 문비 위치도

○ 수문케이슨 구조단면

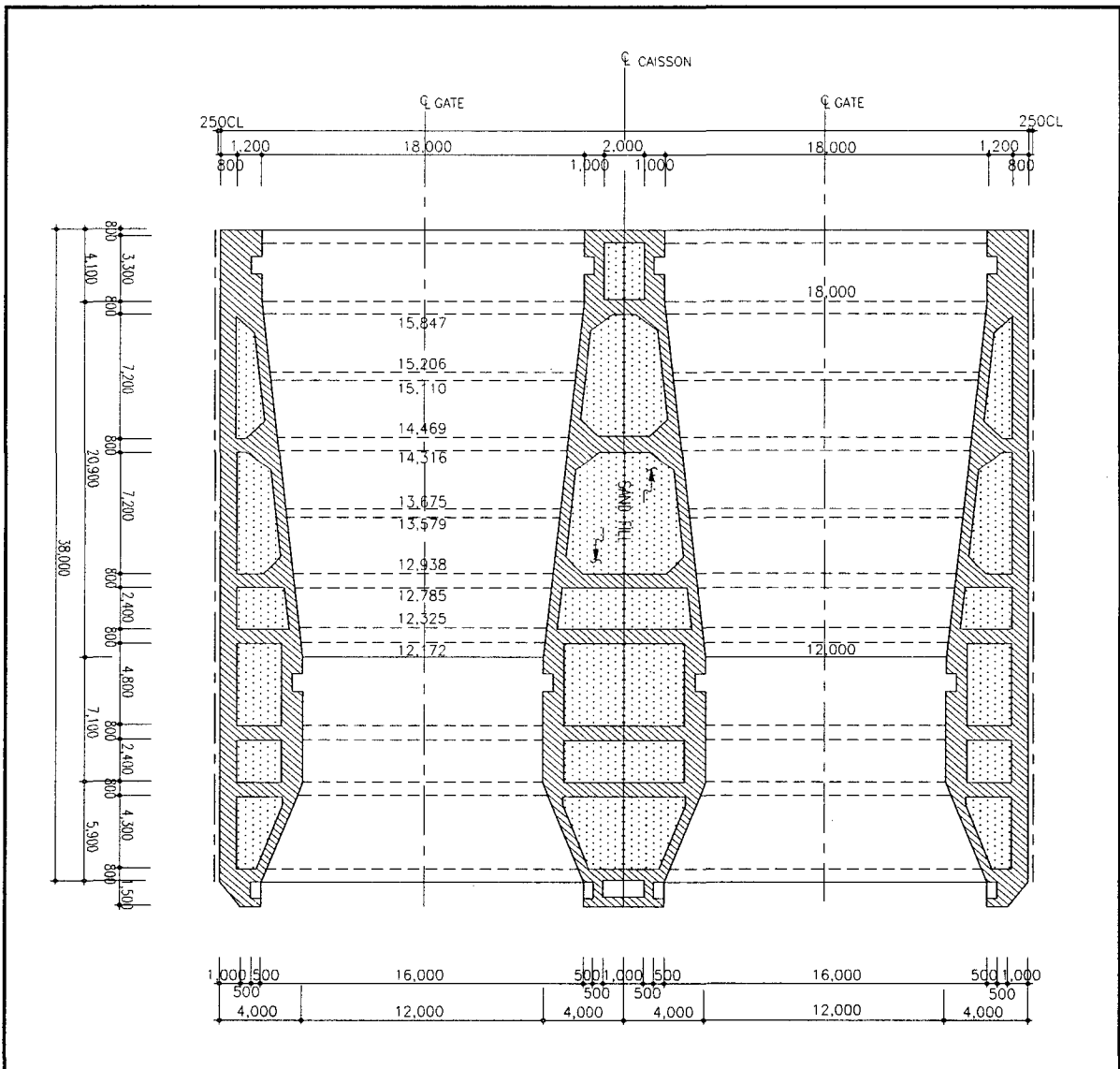
수문케이슨에는 2개의 문비를 설치토록 계획하였으며 케이슨의 기본단면을 구상하는데 있어서 다음의 사항들을 전제조건으로 하였다.

- 수로의 단면곡선은 외해측으로 수로 상·하단에 완화곡선을 두며, 내해측은 수로 하단부만 완화곡선을 계획
- 케이슨 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 계획.
- 준설비용의 절감을 위하여 Dry Dock에서부터 케이슨 거치 위치까지의 케이슨 향로의 소요수심이 최소가 될 수 있도록 케이슨 제작시 1차 콘크리트 양을 최소로 계획
- 케이슨 거치후 자중을 증가시키기 위하여 케이슨 벽체 및 바닥의 단면을 Hollow형태로 설계하여 모래로 채울 수 있도록 계획

- 서해안 해안도로와의 연계를 고려하여 케이슨 상부에 계획되는 도로폭원은 4차선 이상 가능하도록 케이슨 폭을 구상하였다.(참조 그림 3.7, 그림 3.8)

<표 3.6> 수문 케이슨 제원

| 구분 | 설계단면 | 비고 |
|------------|--------------|----|
| 폭 | 38.0m | |
| 높이 | 26.50m | |
| 길이 | 40.0m | |
| Top EL. | EL.(-)5.00m | |
| Bottom EL. | EL.(-)19.50m | |



<그림 3.7> 수문 케이슨 평면도

(3) 연결 케이슨

① 기본단면구상

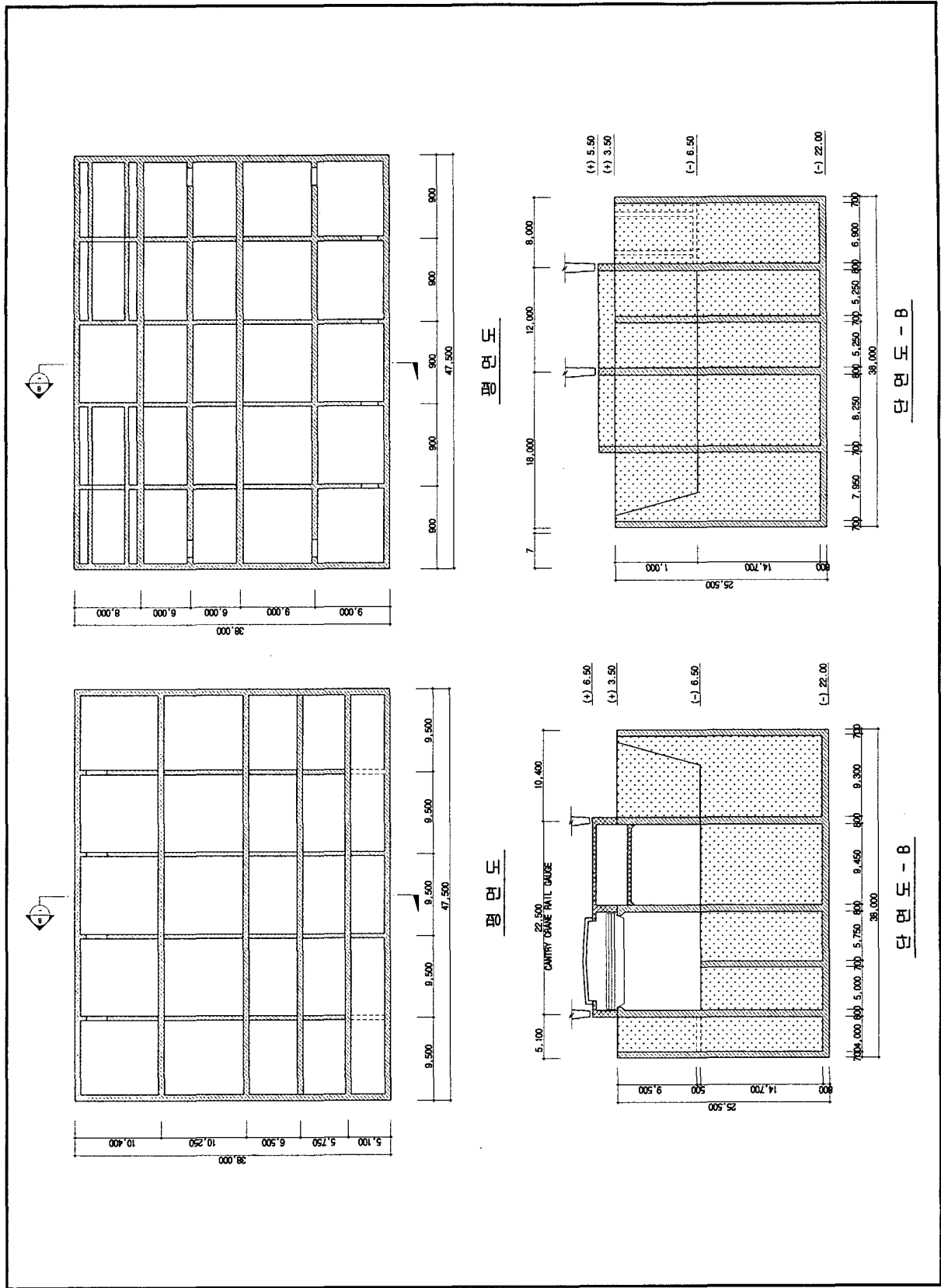
사석 조력댐이 수문케이슨 및 수차발전기 케이슨에 접속되는 완화구간에는 연결케이슨을 배치하며 형상은 단일 구형 형태의 철근 콘크리트 구조로 계획하였다.

연결케이슨의 폭은 수문케이슨과 수차발전기 케이슨이 사석제와 연결되는 곳에 구조적으로 무리가 없도록 설계하였으며 수문 및 수차발전기 케이슨과의 높이 조정은 케이슨 거치 후 2차 콘크리트 타설에 의해 조정토록 계획하였다.

연결케이슨의 내부는 칸막이 상자형(Cellular box type)으로 설계하여 예인 후 인근의 해사로 속채움하여 안정시키며, 연결케이슨의 상단부는 전기 부속설비의 내장 및 Stoplog 보관이 가능토록 높이 9.50m 보관실을 계획하였다.(참조 표 3.7, 그림 3.9)

<표 3.7> 연결케이슨 제원

| 구 분 | 위 치 | 폭 | 높 이 | 길 이 | 비 고 |
|----------|-------|-------|--------|--------|-----|
| TYPE - A | 수차케이슨 | 38.0m | 25.50m | 47.50m | |
| TYPE - B | 수문케이슨 | 38.0m | 25.50m | 47.50m | |



<그림 3.9> 연결 케이스 개념도

(4) 조력댐

조력댐은 위치에 따라 서측조력댐, 중앙조력댐, 동측조력댐으로 나누어지며 제체의 구조형식은 지반침하에 대하여 탄력적으로 대처할 수 있는 사석경사제로 설계하였다.

① 항만 및 어항 설계기준에 의한 마루높이 검토

| 구 분 | 개 요 |
|---|--|
| 항만 및 어항 설계기준 (H.W.L.+1.25 H _{1/2}) | • 배후지의 이용방법에 따라 방파제를 월파하는 월파량의 기준을 달리하여 제한된 월파량만을 허용토록 마루높이 결정 |

주 : 측정된 삭망평균고조위가 없으므로 고극조위를 기준으로 마루높이를 검토함

$$\begin{aligned}
 \text{마루높이} &= \text{고극조위} + 1.25 H_{1/2} \\
 &= 3.8 + 1.25 \times 0.99 \\
 &= \text{EL.}(+) 5.94\text{m}
 \end{aligned}$$

따라서, 마루높이를 여유고를 두어 EL.(+)6.50m로 결정

② 천단폭

기본단면을 구상하기 위한 전제조건으로

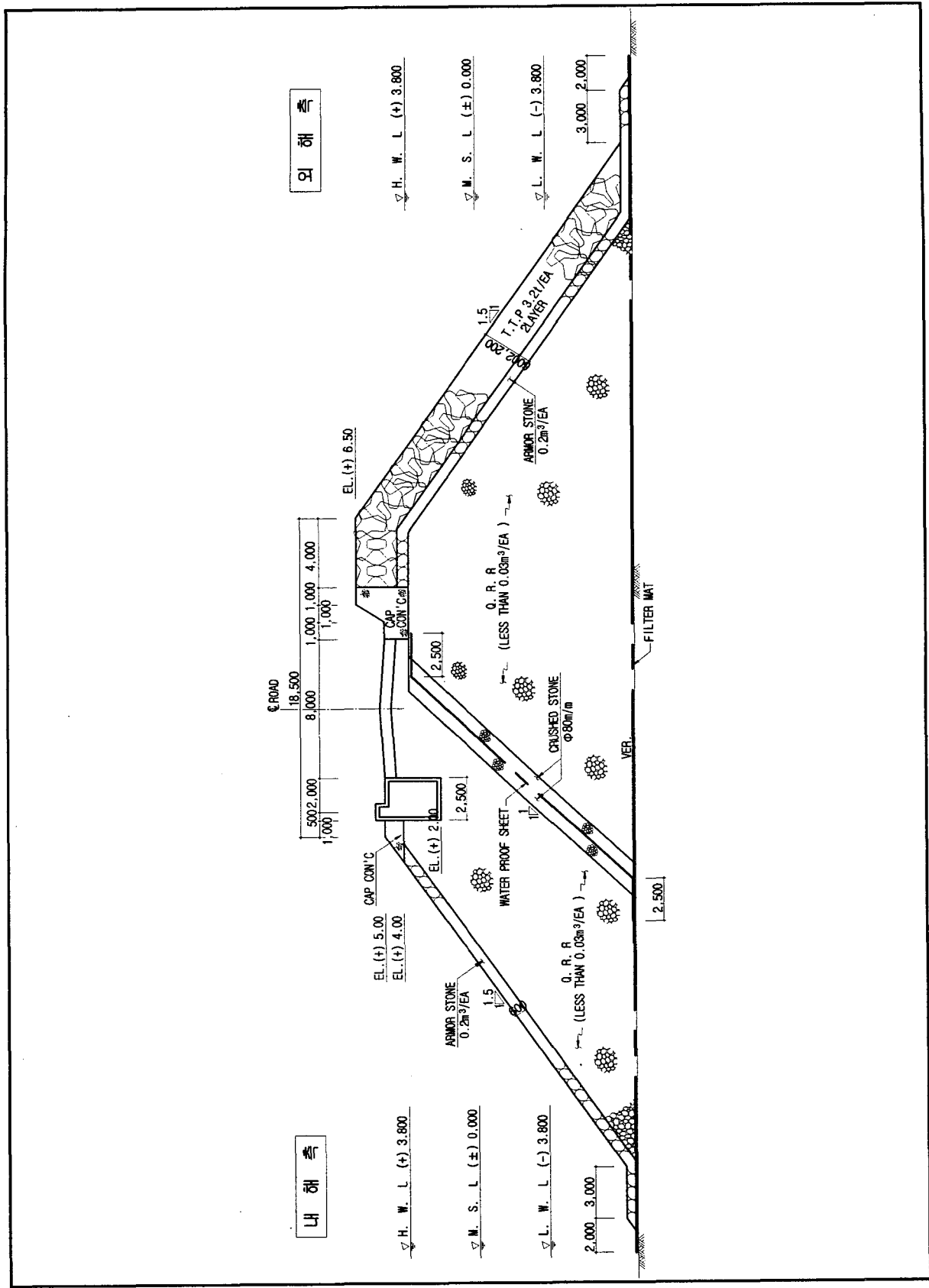
- 조지내외의 수위차이로 인한 활동의 안정성 확보
- 최소 2차선 도로폭원을 확보하되 장래 4차선 도로 폭원을 확보가 가능하도록 계획

위 전제조건을 바탕으로 천단폭을 18.5m이상으로 계획

○ 제체단면

<표 3.8> 조력댐 제원

| 마 루 폭 | 마 루 높 이 | 사 면 경 사 | | 비 고 |
|--------|------------|---------|-------|-----|
| | | 제외측 | 제내측 | |
| 18.50m | EL.(+)6.5m | 1:1.5 | 1:1.5 | |



<그림 3.10> 조력댐 단면도

(5) 통선문

① 위치

갑문의 위치는 육지측에 계획하되 다음사항을 감안하여 계획하였다.

- 항로와 연계하여 선박출입에 장애요인이 적은 곳
- 지반이 구조물설치에 양호한 곳
- 갑문 및 항로 소요수심 확보를 위한 준설토량이 적은 곳

② 대상선박

- 500ton급 관광선 통과가 가능할 것
- 3,300Hp급 준설선 통과가 가능할 것

i) 대상선박제원

<표 3.9> 어선제원

(단위 : m)

| 구 분 | 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만재흘수(H) | 비 고 |
|---------|--------|---------|---------|---------|
| 5톤급 이하 | 3.10 | 10.80 | 1.0 | |
| 5~10톤급 | 3.60 | 15.0 | 1.20 | |
| 10톤급 이상 | 4.90 | 18.50 | 1.50 | 20톤급 제원 |

주 : 마스트 높이는 5~6m 임

<표 3.10> 준설제원(3,300Hp)

(단위 : m)

| 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만재흘수(H) | 마스트높이(P) |
|--------|---------|---------|------------|
| 14.63 | 48.77 | 2.30 | 8.0 ~ 10.0 |

주 : 마스트는 일부 해체 가능

<표 3.11> 관광선 제원(500ton)

(단위 : m)

| 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만재흘수(H) |
|--------|---------|---------|
| 9.90 | 49.60 | 2.50 |

③ 규모결정

- 갑문의 통과 가능시간은 주간에만 한정토록 하고, 외해에서의 작업시간을 최대한 늘리기 위해 갑문의 통과 시간은 최소가 되도록 한다.

i) 갑실폭

대상선박중 최대선급인 3300HP 준설선이 진입 가능한 폭을 계산하면

$$W = 14.63\text{m (준설선폭)} + \text{여유}(1.50\sim 2.0\text{m})$$

$$\approx 17.0\text{m}$$

iii) 갑실길이

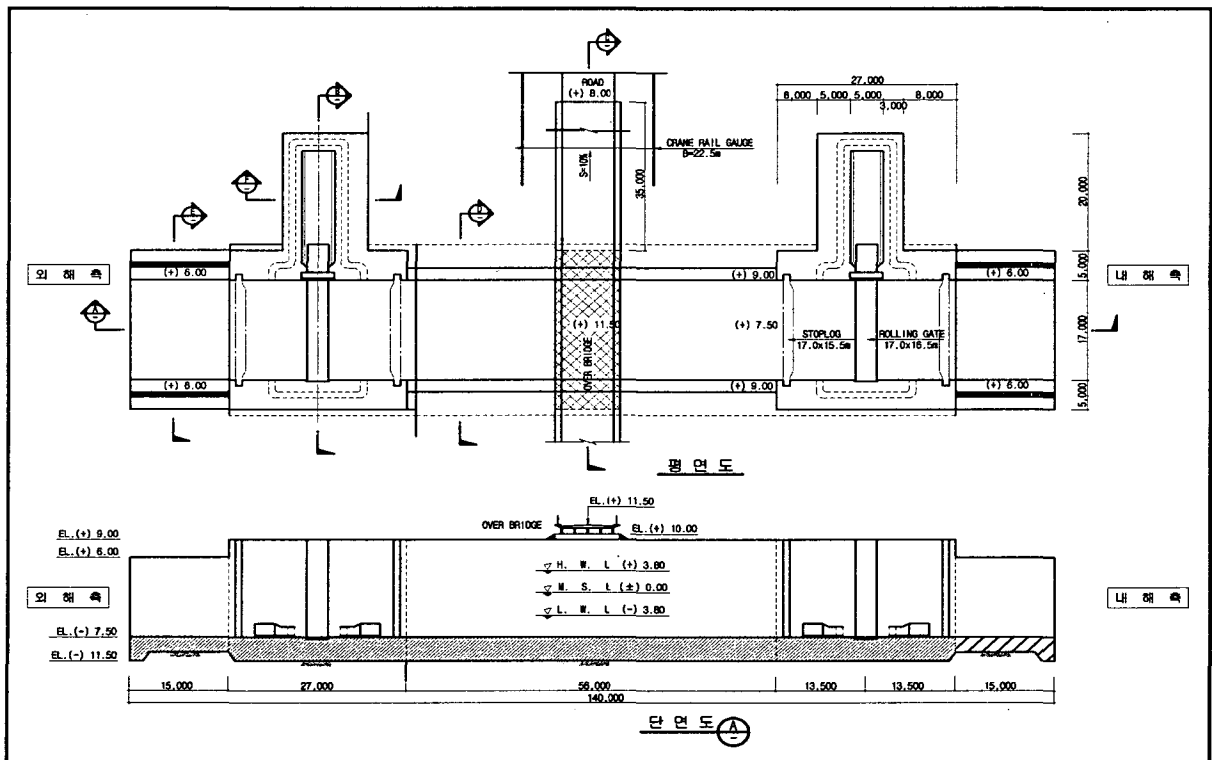
갑실길이는 80.0m 가 필요하다.

iv) 갑실수심

갑실수심은 만재흘수가 가장 깊은 관광선(500ton)의 통행을 고려하여 2.50m + 1.0m (여유고) = 3.50m로 계획하였다.

v) 구조형식

계획지점에 가체철제를 축조하여 육상 시공하는 구조적으로 안전한 콘크리트 중력식 공법을 적용하였다. (참조 그림 3.11)



<그림 3.11> 통선문 개념도

(6) 중물양장

- ① 대상선박 : 5,000DWT 화물선 ×1선좌
- ② 선좌길이 : 130m
- ③ 구조형식 : 케이슨식
- ④ 케이슨제원 :
 - Type B (5함) : B×H×L = 35.0×18.0×25.50m
- ⑤ 주요 물량 :
 - 기초사석 : 10,720m³
 - 속채움 모래 : 71,530m³

(7) Dry Dock(케이슨 제작장)

조력발전소용 케이슨(3가지 종류)의 제작을 위한 시설로서는 현장여건상 임시 Dry Dock를 축조하는 것으로 계획하였다. Dry Dock을 축조한 후 소요되는 케이슨을 각각 2회로 나누어 제작하도록 계획하였으며 Dry Dock 규모 및 사용계획은 다음과 같다.

① 케이슨 제작장 사용계획

<표 3.12> Dry Dock 사용 계획

| 구 분 | 사 용 계 획 |
|-------|---|
| 제 1 회 | 수차발전기 케이슨 : 13함 (T1~T13) 연결케이슨 : 1함 5,000DWT급 안벽 케이슨 : 5함 (W1~W5) |
| 제 2 회 | 수차발전기 케이슨 : 5함 (T14~T18) 수문케이슨 : 9함 (G1~G9) 연결케이슨 : 3함 |

② 규모

- Dry Dock 작업장 저면 표고 : EL.(-)16.0m(발전기 및 수문케이슨 홀수 고려)

③ 구조

- 제 방 경 사 : (1 : 3)
- 소 단 표 고 : EL.(-)8.0m 및 EL.(±)0.0m
- 출구가물막이 : ø17.0m Cell × 5ea(개방용 Cell : 3ea)
- 예 인 수 로 : 67.0m

(8) 작업장(Platform)

① 작업장 조성

Dry Dock 주변의 작업장은 Dry Dock 굴착시 발생하는 토사를 유용, EL.(+)6.0m까지 성토하며, 총면적은 234,000m²이고 그 내역은 다음과 같다.

② 작업장 소요시설

- 사무실 : 800m²(회의실, 설계실, 기술 및 행정요원 사무실 등)
- 중기수리공장 : 4,000m²
- 목공소 : 1,500m²
- 철조가공장 : 6,000m²
- 창고 : 2,000m²
- 발전실 : 1,000m²(발전기 1000kw × 4EA)
- 시멘트 창고 : 1,500m²
- 크랫샤 Plant : 40,000m²(원석 야적장, 모래선별기, 골재야적장)
- TTP 제작장 및 야적장 : 16,000m²(120m×130m)
- Con'c Block 제작장 및 야적장 : 15,000m²
- 보조장비 구역 : 1,500m²
- 작업도로 및 기타구역: 144,700m²

(9) 조립장(Erection Yard)

- 조립장의 위치는 서측 조력댐 끝에 위치하며, 규모는 길이 190m, 폭 35~80m, 면적 11,000m²이다.
- 부지의 조성은 부지 정지시 절토로 발생하는 토석을 이용하며, 부지계획고는 EL.(+)7.0m이다.

(10) 준설 및 처리

① 기초준설 및 수로준설

기초준설은 수차발전기 케이슨의 설치를 위해, 발전소 부분의 수로준설은 발전시 수차발전기를 통과하여 배출되는 유량의 흐름을 원활히 하기 위한 목적으로 시행되어야 한다. 발전소 부분의 준설은 케이슨 설치위치에서 내해측 및 외해측으로 각각 50m까지는 EL.(-)26.9m로 준설을 시행한다. 또한 수문케이슨은 EL.(-)24.00m까지 기초준설이 필요로 한다.

Dry Dock에서 제작되어 케이슨을 발전소 및 수문위치 부분으로 예인할 때 일부 기존 지형이 케이슨의 소요흘수 보다 낮은 부분이 있으므로 이 부분을 폭 67.0m EL.(-)16.0m로 준설하여 케이슨을 예인토록 계획한다.

② 준설토의 처리

수차발전기, 수문케이슨의 기초준설 및 수로준설과 케이슨의 예인수로 등의 준설의 처리는 가장 가까운 매립예정지에 투기하는 것으로 계획하였다.

4. 발전설비 및 기기설비 개념설계

(1) 발전설비

① 개요

기전설비의 시설용량으로서는 20MW 수차발전기 36대에 대하여 검토하였다. 특히 기본사양에서 양수기능이 적용되는 경우에는 기동용 가변속장치, 고조파 필터 및 회전방향 전환스위치 등을 추가시켜 가격을 참고할 수 있게 하였다.

발전기를 소형화시키기 위하여 발전기의 전압과 역율을 증가시켰으나 역율 변동에 따른 계통운영에는 지장 없는 것으로 검토되었으며 발전기 용량이 증가됨에 따라 주변압기 용량, 345kV 케이블 규격과 송전선 규격이 증가되었다. 송전선 연계지점은 약 35km 떨어진 곳에 위치한 청양변전소로 계획하고 345kV 케이블을 서측에서 동측으로 포설하게 되었다. 또한 345kV 송전선 및 케이블 그리고 주변압기 용량은 30대에 대해 사용할 수 있도록 하였다.

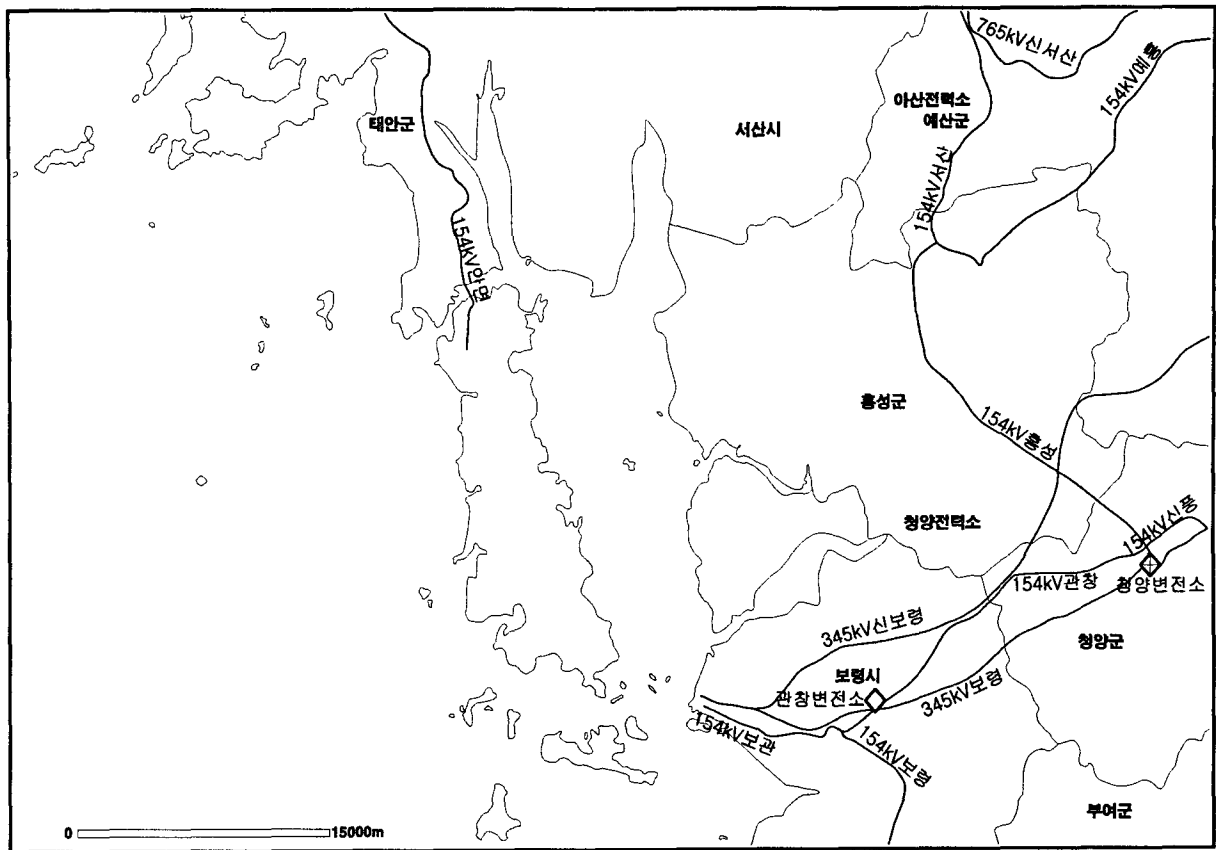
② 송전선로

천수만 조력 발전소의 건설 후보지점은 다음 <그림 4.1>과 같이 학성리로부터 동쪽으로 35km 떨어진 곳에 위치하게 되며 송전선은 20MW×36대일 경우에 적용할 수 있도록 TACSR/AW, 410mm², 2회선으로 하여 1회선 정전시에도 34대분의 송전이 가능토록 하였다.(정상시 2대 보수정지, 소내전력 2%)

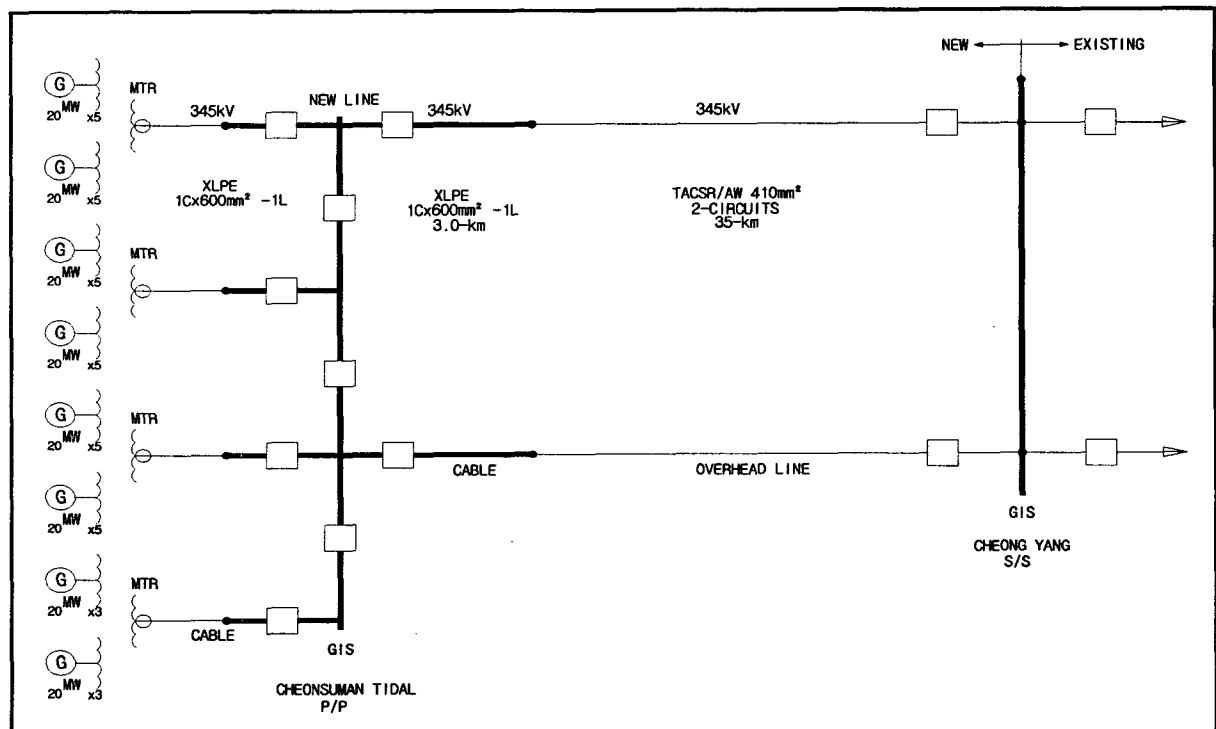
③ 주변압기 용량은 발전기 36대에 조합되도록 주변압기에 18대씩 설정하고 발전기가 34대일 때에는 17대(9+8대)씩 설치하게 된다.

- 주변압기 용량 ----- 260/130/130MVA × 2대

- 345kV Cable ----- 3 Single Conductor, XLPE, 600mm², 1회선으로 한다.



<그림 4.1> 전력구 계통도



<그림 4.2> 전기 단선도

(2) 수차 기기설비

① Stoplog

Stoplog은 케이슨의 수로양단에 Drop in bulkhead gate 형태로 설치하여 케이슨 예인시 양단을 막아 부유상태로 케이슨을 예인하는데 사용하고, 수차발전기의 설치, 정기적인 검사 및 보수를 하고자 할 때 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획한다.

② Crane

상류단 및 하류단의 Stoplog 크기 및 중량은 최종거치 후 운영 관리할 수 있도록 설치 계획한 Overhead crane과 Gantry crane의 능력과 연계시켜 다음 표와 같이 계획하였다.

(참조 표 4.1)

<표 4.1> 수차측 Stoplog 제원

| 구 분 | | 상 류 단 | 하 류 단 | 비 고 |
|------|----|------------------------|-----------------------|-----|
| 크 기 | 폭 | 15.40m | 14.40m | |
| | 높이 | 19.70m | 14.40m | |
| 중 량 | | 293ton (100ton × 3) | 200ton (50ton × 4) | |
| 운영장비 | | 250ton Gantry crane | 50ton Overhead crane | |

(3) 수문 기기설비

① 문비

최적화 과정을 거쳐 산출된 적정시설 수문의 대수는 18대였으며 이에 따라 문비도 18개를 설치하는 것으로 하였으며, 문비의 형태는 수심이 깊은 천수만 입구의 여건에 적합한 Lift gate를 채택하였다. 문비의 크기는 다음 표와 같다.

| 형 식 | 크 기 |
|-----------|---------|
| Lift gate | 12m×12m |

② Stoplog : 케이슨 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수 시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획

③ Crane : 내해측 Stoplog는 100ton Gantry Crane으로, 외해측 Stoplog은 50ton Overhead Crane으로 설치 및 해체할 수 있도록 계획하고 문비의 개폐운영은 200ton Hydraulic Hoist Unit를 사용하며 보수 및 수리시는 상부에 고정된 100ton Gantry Crane으로 계획

5. 시공 및 공정계획

(1) 작업기준설정

조력발전소의 전 공정계획을 수립하기 위하여 주요 구조물의 건설방법 및 단위공정을 산출하기 위한 작업기준을 다음 표와 같이 설정하였다.

<표 5.1> 작업기준

| 구 분 | 작 업 기 준 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ 해상작업 <li style="padding-left: 20px;">- 일반공사 <li style="padding-left: 20px;">- 준설공사 ○ 육상작업 <li style="padding-left: 20px;">- 콘크리트공사 ○ 진입도로공사 | <p>월 20일</p> <p>1일 10시간 1교대</p> <p>1일 10시간 2교대</p> <p>월 23일, 1일 10시간 2교대</p> <p>년간 월동기 2개월간은 타설 중지</p> <p>발전소 계획위치에 진입하는 동서측의 양쪽 진입도로는 발전소 공사전에 건설되는 것으로 간주하여 본 공정에서 제외함</p> |

(2) 단위공종의 시공방법 및 계획

발전소 공사의 주 공정에 영향 주는 주요 단위 공종은 수차케이슨, 수문케이슨 및 조력댐 구조물이므로 이들의 시공방법과 공기를 검토하여 전체 사업의 공정계획 수립에 적용토록 한다.

① Dry Dock

수차, 수문 및 중물양장 등에 사용되는 케이슨을 제작하기 위한 Dry Dock는 1개소를 설치하고 사용횟수는 2회 사용하는 것으로 계획하였다.

○ 규모구상

Dry Dock의 규모는 다음과 같이 구상하였다.

<표 5.2> Dry Dock 규모

| 구 분 | Dry Dock 사용계획 | | | 규 모 |
|----------|---------------|-----|----|-------------|
| | 구조물 종류 | 1차 | 2차 | |
| Dry Dock | 수차케이슨 | 13함 | 5함 | 420m × 270m |
| | 수문케이슨 | - | 9함 | |
| | 연결케이슨 | 1함 | 3함 | |
| | 물양장케이슨 | 5함 | - | |

○ 공사기간

- 토공, pile 항타공

• 터파기 및 준설 : 3,343,252m³

• 성 토 : 809,555m³ 5개월

• 모래 & 자갈 : 156,779m³

- 정지, Bedding, 배수 및 기타 1식 : 2개월

- Lighting & MISC. : 1개월

계 : 8개월

② 수차케이슨

○ 공사규모

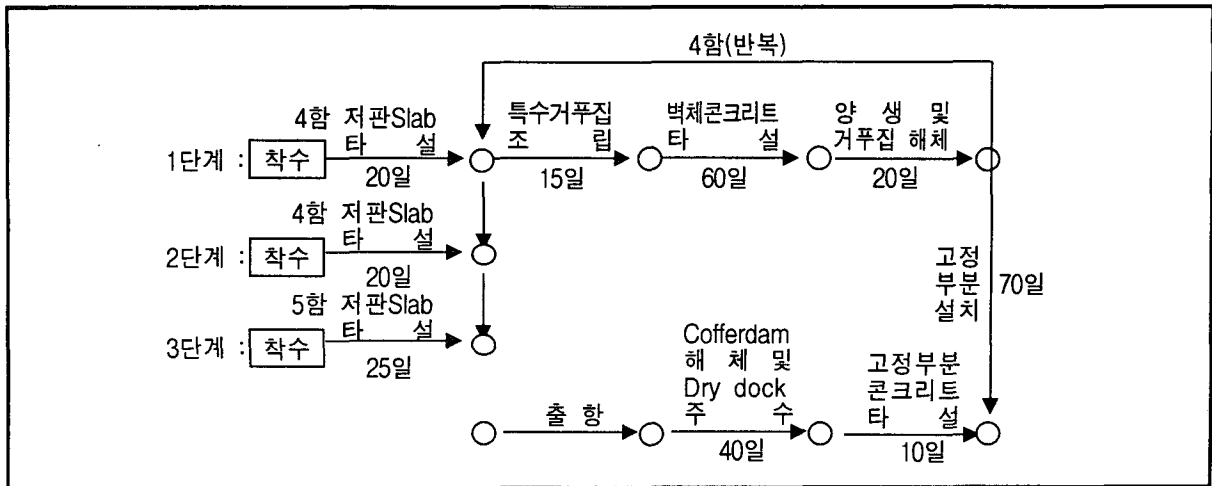
케이슨 전체수량은 18개함으로 총 사용 콘크리트량은 22,000m³/함 × 18함 = 396,000m³임

○ 공사기간

- 케이슨 제작

1차로 13함을 제작하여 Dry Dock를 open한 후 수차케이슨과 동시에 제작된 연결케이슨 및 물양장케이슨과 함께 예인하여 출하시킨다.

- 1차 제작 : 특수 거푸집을 사용하여 1, 2단계시 8함을 제작하고 3단계시 잔여 5함을 제작하는 것으로 계획한다.



총소요기간 : 430일

- 케이슨 견인 및 거치

- 케이슨 견인시 해상 제한조건

조류속도 : 1.0m/sec

풍 속 : 10.0m/sec

파 고 : 2.0m

- 예인장비

800HP ~ 2,400HP Tug Boat : 12대

80HP ~ 120HP Tug Boat : 2대

- 거치장비

기중기선(10ton) : 1대

80HP 예선 : 1대

ø200mm pump : 10대

발전기(200kw) 및 기타 : 1식

- 예인 및 거치시간

평균 1함당 9시간(6~12시간)

해상조건에 따라 변화 큼

③ 수문케이슨

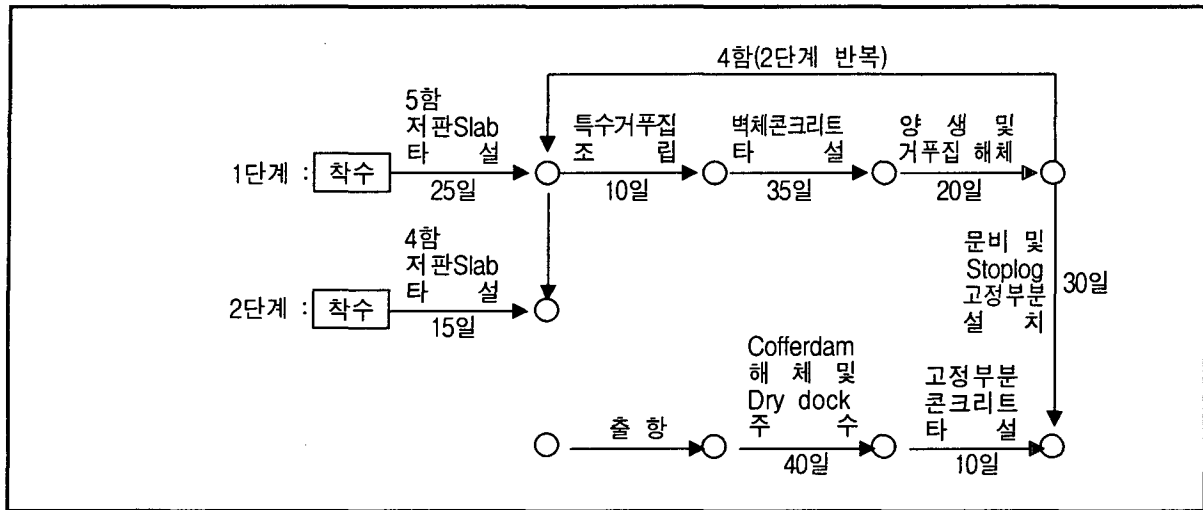
- 공사규모

케이슨 전체수량은 9개함으로 총 사용 콘크리트량은 $11,200\text{m}^3/\text{함} \times 9\text{함} = 100,800\text{m}^3$ 임

○ 공사기간

- 케이슨 제작

전량 Dry Dock 2차 사용시 제작하는 것으로 계획하며 특수 거푸집을 사용하여 1단계 시 5함을 제작하고 2단계시 잔여 4함을 제작하는 것으로 계획한다.



총소요기간 : 240일

- 케이슨 견인 및 거치

수차케이슨과 동일한 해상조건에서 동일한 장비로 예인 및 거치를 계획하며 예인 및 거치시간은 6~12시간 소요된다.

④ 조력댐

조력댐의 주요 공종은 연약지반 처리공, 사석공, 피복재 및 TTP 포설공, 차수 Sheet 공 및 기타공 등이 있으며 주요물량 및 공사기간을 추정하면 다음과 같다.

<표 5.3> 조력댐 주요물량 및 공사기간

| 주요 공종 | 수 량 | 공 사 기 간 |
|---------------------|-------------------------|---------------------|
| ○ 사석 및 피복석 | 5,145,501m ³ | 사석, 피복석 및 TTP : 9개월 |
| ○ 차수Sheet 부설 | 135,979m ² | 콘크리트타설 및 웨도부설 : 3개월 |
| ○ 저면매트 부설 | 377,720m ² | 기타 : 1.5개월 |
| ○ TTP (3.2ton) | 151,0886ea | ----- |
| ○ 상치 및 crane 기초콘크리트 | 41,589m ³ | 계 : 13.5개월 |

6. 개략공사비

(1) 공사비 산출기준

공사비는 다음을 기준으로 산출하여 원화로 표시하였으며 제경비가 포함되었으나 부가세도 제외하였다.

- ① 환 율 : 1\$ = 1,025.7원 (2005년 3월 1일 기준, 재정환율)
- ② 재료비 : 2005년 2월 기준 (물가지료)
- ③ 노무비 : 2005년 정부고시 상반기 노임단가
- ④ 보상비
 - 코리아 감정 평가법인(주)에서 조사, 산출한 “가로림 조력 타당성 조사 보상비 산정 용역 보고서, 2004년 11월”을 기준으로 면적대비 보상비를 산출하였다.
- ⑤ 토목공사비 : 공사단가는 정부공사 표준품셈과 2004년도 항만·어항공사 설계 및 적산기준을 적용하였으며, 단가산출이 어려운 공종은 기존검토 자료를 이용 Escalation하여 적용하였다.
 - 금번 타당성 조사에서는 물가 상승률을(30% : '96~2004 하반기) 가산 적용하였으며 2004년도에 구상한 표준단면도 및 수량산출을 적용하였다.
 - 공종중 Con'c bacth plant를 삭제하였고, 레미콘 생산업체의 현대화로 인하여 물량수급에 있어 대량생산이 가능하므로 믹서트럭을 이용한 레미콘 운반시설로 적용하였다.
- ⑥ 전기·기계공사
 - Turbine & Generator의 가격은 최근 중국에서 입수된 견적가격에 환율을 고려하여 적용하였다. (설치비는 95년도 적용가격에 환율 고려 적용)
 - 발전기의 개폐류와 Gantry crane, Sluice gate류의 기계부분 공사비는 국내업체의 견적가격 (95년도 기준에 물가상승률 30% 적용)을 적용하였다.
- ⑦ 공사관리비는 보상비, 토목공사비와 전기/기계공사비에 대하여 3%를 계상하였다.
- ⑧ 조사설계 감리비는 토목공사비에 대하여 5%, 전기/기계공사비에 대하여 1.5%를 계상하였다.
- ⑨ 건설이자는 연차별 투자금액에 연 5%의 복리이자를 적용하여 산출하였다.

(2) 개략 공사비

(단위:백만원)

| 구 분 | 금 액 | 비 고 |
|-------------------------|-----------|------------------|
| (1) 보상비 | | 가로림만 보상비의 면적 대비비 |
| ㉔ 육상보상비 | 10,810 | |
| ㉕ 어업권 보상비 | 101,295 | |
| 소 계 | 112,105 | |
| (2) 토목공사비 | | |
| ㉔ 가설비 | 22,262 | |
| ㉕ 발전소 구조물 | 353,787 | 수차36대(약846m) |
| ㉖ 수문 구조물 | 140,566 | 수문18대(약360m) |
| ㉗ 조력댐 | 186,552 | 연장 약3,976m |
| ㉘ 통신문 | 11,686 | |
| ㉙ DRY DOCK공 | 23,654 | |
| ㉚ 중량물물양장(5,000 DWT급) | 13,976 | |
| ㉛ 도로포장공 | 1,080 | |
| 소 계 | 753,563 | |
| (3) 전기/ 기계공사비 | | |
| ㉔ Turbine-Generator | 399,159 | 중국 견적가 |
| ㉕ Sluice Gates | 24,184 | |
| ㉖ Stop-Log(Power Plant) | 25,960 | |
| ㉗ Stop-Log(Sluice Gate) | 13,543 | |
| ㉘ Lock 기계설비 | 9,976 | |
| ㉙ Gantry Crane ect. | 7,135 | |
| ㉚ Switch Gear & Trans. | 56,473 | |
| 소 계 | 536,430 | |
| 계(1+2+3) | 1,402,098 | |
| (4) 공사관리비 | 113,388 | (1+2)×10%+(3)×5% |
| (5) 조사,설계,감리비 | 45,725 | (2)×5%+(3)×1.5% |
| 합 계 | 1,561,211 | (1)+.....+(5) |
| (6) 건설이자 | 297,284 | 년5% 단리이자 |
| 사업비계 | 1,858,495 | (1)+.....+(6) |

(3) 년차별 투자계획

(단위:백만원)

| 구 분 | 제1차 년 도 | 제2차 년 도 | 제3차 년 도 | 제4차 년 도 | 제5차 년 도 | 제6차 년 도 | 제7차 년 도 | 제8차 년 도 | 합 계 |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 금 액 | 93,673 | 202,957 | 218,569 | 249,794 | 249,794 | 249,794 | 218,569 | 78,061 | 1,561,211 |

주) 건설이자는 미포함

부 록 3

새만금 조력발전 시스템 배치계획
및 개략 공사비산정

부록 3 새만금

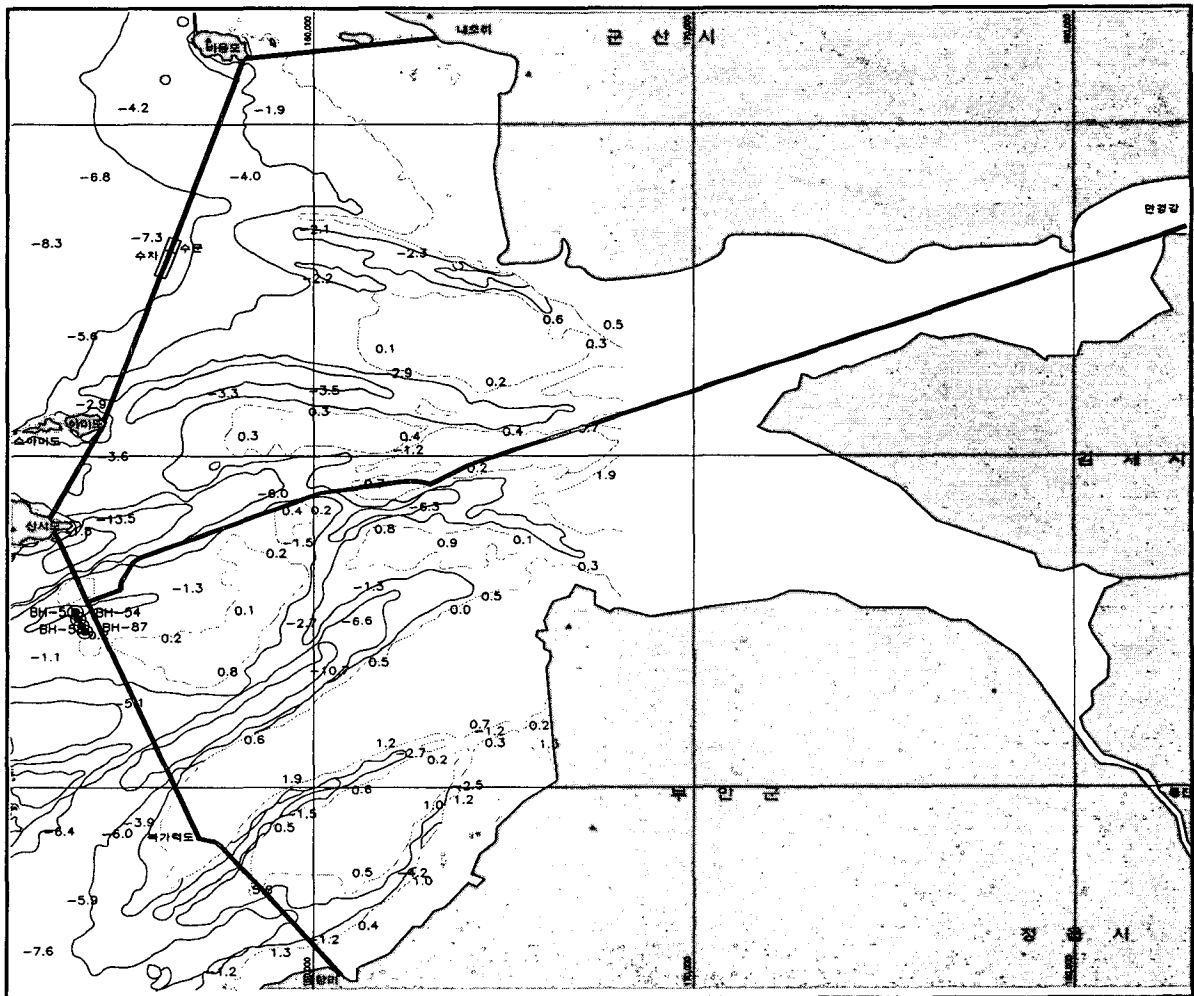
1. 새만금 현황

(1) 기초자료 검토

- 발전소 위치 : 전라북도 군산과 부안사이의 새만금 방조제 일대 해역
- 지역 형상 : 새만금 조력발전소 후보지는 비음도와 야미도 사이의 방조제 체절 구간 공사중인 구간의 수심이 다른 구간보다 구조물설치에 유리하고, 신시도와 북가령도 사이의 방조제 체제구간 역시 수심이 다른 구간보다 충분히 구조물설치에 유리하다 판단된다. 기존 방조제를 이용한 시공방법을 이용하여 가물막이 공사를 시공시 공사비 절감에 유리할 것이다. 기존 방조제가 있어 따로 조력댐 공사를 할 필요가 없을 뿐만 아니라 해수 유입이 원활하여 새만금 방조제 공사에 따른 환경 개선에도 영향을 줄 수 있을 것이다.

① 조력발전 소용량(360MW) 계획

- 내수면 면적 : 185km²



<그림 1.1> 새만금 조력발전 위치도(360MW)

<표 1.1> 새만금만 조석의 조화상수 및 비조화상수

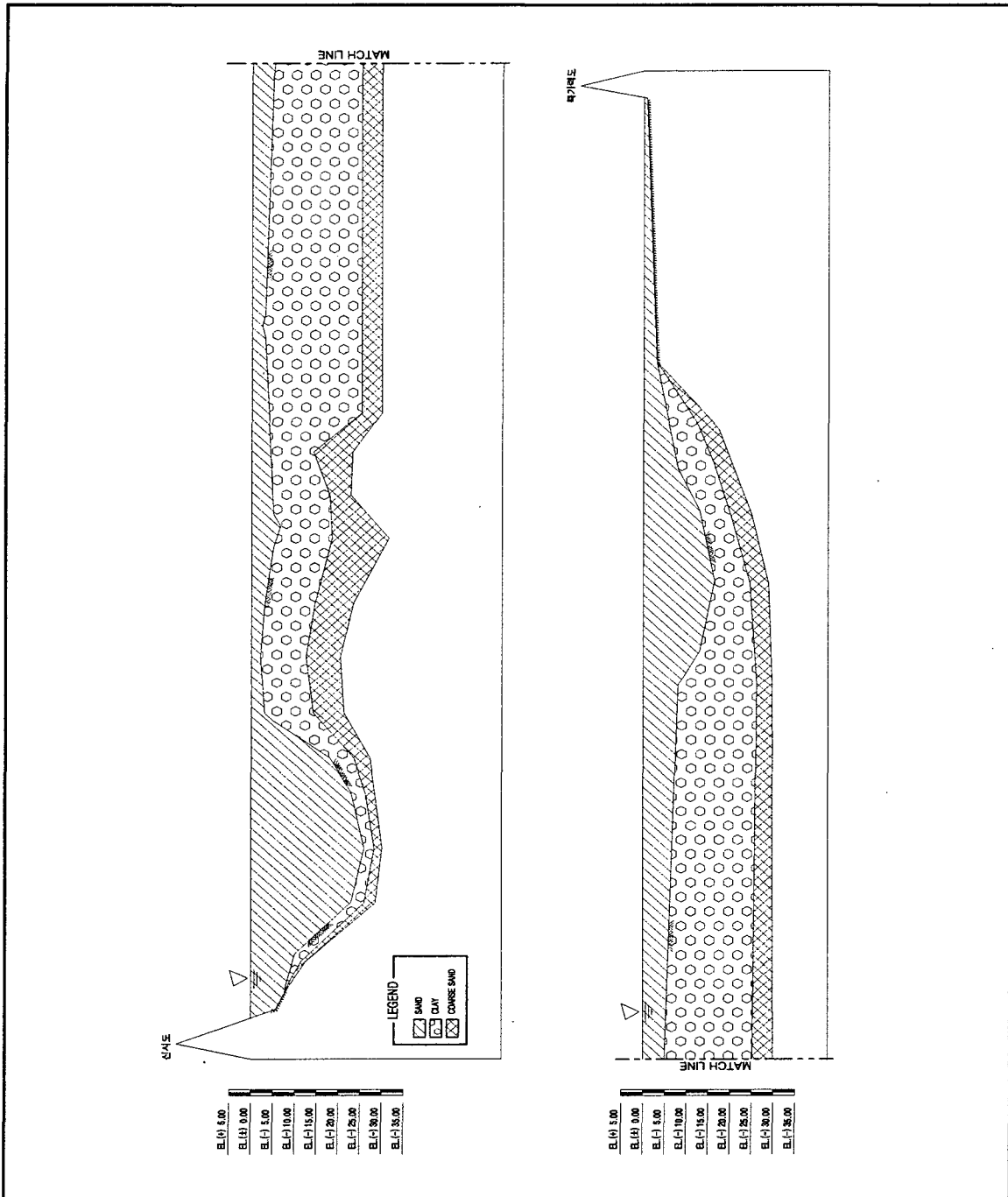
| 조 화 상 수 | 항 목 | | 반조차 (cm) | 지각 (°) | 비고 |
|-----------------------|----------------|----------------|-------------|-----------|----|
| | 분 조 | | | | |
| 조 화 상 수 | M ₂ | 주태음반일주조 | 196.5 | 73.1 | |
| | S ₂ | 주태양반일주조 | 69.0 | 116.9 | |
| | K ₁ | 일월합성일주조 | 33.4 | 264.6 | |
| | O ₁ | 주태음일주조 | 24.8 | 236.3 | |
| 비 조 화 상 수 | 평균고조간격 | (M.H.W.I) | 2h 31m | | |
| | 평균저조간격 | (M.L.W.I) | 8h 43m | | |
| | 약최고고조위 | (App. H.H.W) | 647.4cm | | |
| | 대조평균고조위 | (H.W.O.S.T) | 589.2cm | | |
| | 평균고조위 | (H.W.O.M.T) | 520.2cm | | |
| | 소조평균고조위 | (H.W.O.N.T) | 451.2cm | | |
| | 평균해면 | (M.S.L) | 323.7cm | | |
| | 소조평균저조위 | (L.W.O.N.T) | 196.2cm | | |
| | 평균저조위 | (L.W.O.M.T) | 127.2cm | | |
| | 대조평균저조위 | (L.W.O.S.T) | 58.2cm | | |
| | 약최저저조위 | (App. L.W.L) | 0.0cm | | |
| | 대조차 | (Spring Range) | 531.0cm | | |
| | 평균조차 | (Mean Range) | 393.0cm | | |
| | 저조차 | (Neap Range) | 255.0cm | | |

자료 : 국립해양조사원(1999년)

- 설계조류 : 이 해역에는 많은 도서가 산재하고 동측에는 새만금 방조제 공사가 진행중으로 유황이 복잡한 양상을 보인다. 창(낙)조류는 균산외항의 저조후 0.4~0.8(고조후 0.5~1.2)시경에 전류하여 고조후 0.5~1.2(저조후 0.4~0.4)시경까지 지속된다. 평균대조기 최강창(낙)조류는 고조전 2.5~2.9(저조전 2.2~4.1)시경에 1.2~2.7(1.1~3.1)kn에 이르며, 최강유속은 신지도 남측의 새만금 방조제 개구부에서 나타난다.

(3) 수심 및 지질

- 지질조건 : 새만금 조력발전소 후보지의 지반조사를 따로 수행한 것이 없으나, 인근 새만금 신항관련 보령자료를 사용하여 유추하였으므로 다음 자료에 대한 신뢰성이 다소 부족하므로 추후 지반조사를 별도로 수행하여 기본계획 및 설계 시 재 산정 하여야 한다.



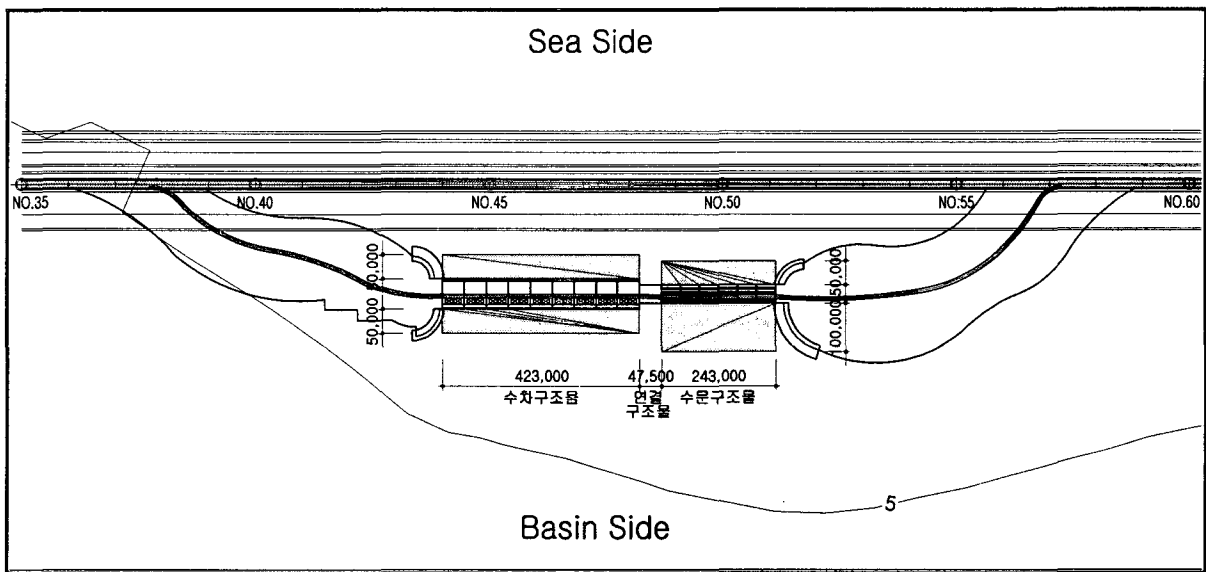
<그림 1.3> 새만금 수심 및 지층단면도

2. 평면배치계획 검토

(1) 개요

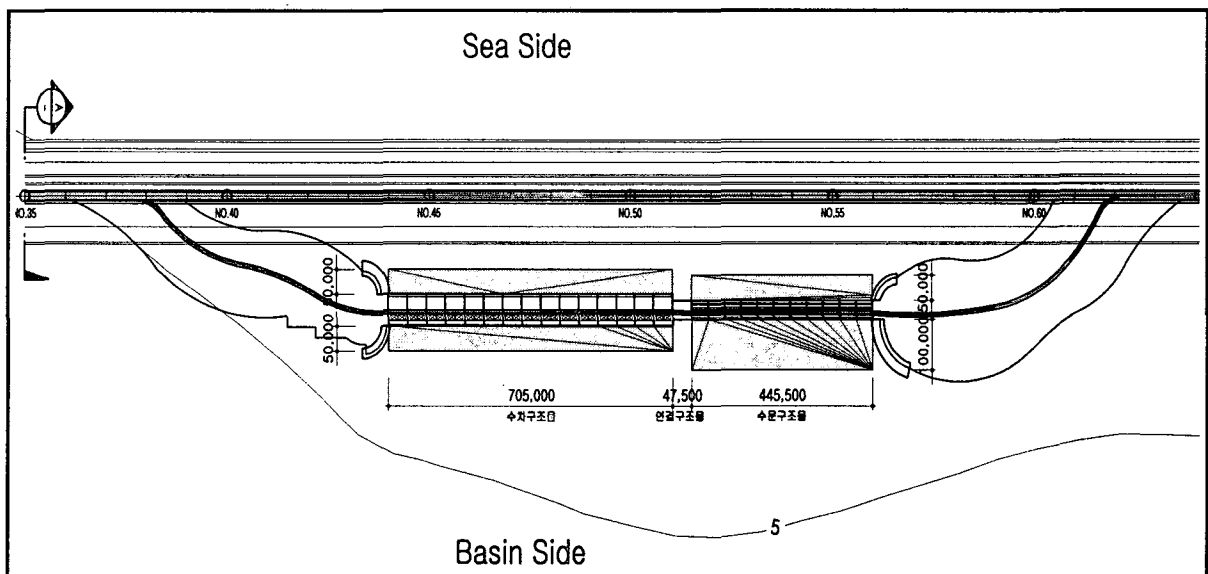
새만금 조력발전은 공사비 절감 및 공기 단축을 위하여 수차발전기 구조물과 수문구조물을 같이 기존 새만금 방조제 내측(Basin Sie)에 배치함으로써 기존 방조제는 공사중에 가물막이 기능과 기존 방조제의 도로기능을 유지하게 된다. 수차발전기 구조물과 수문구조물처럼 해상에 설치되는 대형 구조물은 가물막이 공사 후 Dry 상태에서 시공하는 것으로 계획하여 현장타설 구조물 형식으로 선정하였다.

① 소용량(360MW) 평면배치계획 검토



<그림 2.1> 새만금 조력발전소 구조물 배치 계획평면도(360MW)

② 대용량(600MW) 평면배치계획 검토



<그림 2.2> 새만금 조력발전소 구조물 배치 계획평면도(600MW)

(2) 수차발전기 및 구조물 규모검토

① 소용량(360MW) 규모 검토

- ㉠ 발전시설용량 : $20\text{MW} \times 18\text{대} = 360\text{MW}$
- ㉡ 건설 방법 : 현장타설 공법
- ㉢ 구조물
 - 제 원 : $B \times H \times L = 45.80 \times 29.40 \times 62.50\text{m}$
 - 콘크리트 : $V=21,740\text{m}^3/\text{함}$, $W=53,260\text{ton}/\text{함}$

② 대용량(600MW) 규모 검토

- ㉠ 발전시설용량 : $20\text{MW} \times 30\text{대} = 600\text{MW}$
- ㉡ 건설 방법 : 현장타설 공법
- ㉢ 구조물
 - 제 원 : $B \times H \times L = 45.80 \times 29.40 \times 62.50\text{m}$
 - 콘크리트 : $V=21,740\text{m}^3/\text{함}$, $W=53,260\text{ton}/\text{함}$

(3) 수문 및 구조물 규모검토

① 소용량(360MW) 규모 검토

- ㉠ 형 태 : Ventri 식
- ㉡ 문 비 : 수직인양식 (12개, $B \times H = 12 \times 12\text{m}$)
- ㉢ 케 이 슨
 - 제 원 : $B \times H \times L = 40.0 \times 27.50 \times 38.0\text{m}$
 - 콘크리트 : $V=11,154\text{m}^3/\text{함}$, $W=27,320\text{ton}/\text{함}$

② 대용량(600MW) 규모 검토

- ㉠ 형 태 : Ventri 식
- ㉡ 문 비 : 수직인양식 (22개, $B \times H = 12 \times 12\text{m}$)
- ㉢ 케 이 슨
 - 제 원 : $B \times H \times L = 40.0 \times 27.50 \times 38.0\text{m}$
 - 콘크리트 : $V=11,154\text{m}^3/\text{함}$, $W=27,320\text{ton}/\text{함}$

(4) 토목구조물 규모 및 배치계획

① 중량물물양장(소용량 및 대용량 공통)

- 대상선박 : 5,000DWT 화물선 × 1선좌
- 선좌길이 : 130m , 박지수심 : EL.(-)11.50m
- 구조형식 : 중력식 구조물
- 케이슨제원
 - Type A (4개소) : $B \times H \times L = 23.65 \times 12.0 \times 17.0\text{m}$
 - Type B (1개소) : $B \times H \times L = 35.0 \times 18.0 \times 25.50\text{m}$

② 가물막이

- 소용량(360MW)
 - 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t
 - 총파일중량 : 37,532Ton
 - 속채움모래량: 1,178,448m³
- 대용량(600MW)
 - 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t
 - 총파일중량 : 48,525Ton
 - 속채움모래량: 1,523,808m³

③ 작업장(소용량 및 대용량 공통)

- 면적 = 234,000m²
- 부지계획고 EL.(+)6.0m

④ 조립장(소용량 및 대용량 공통)

- 길이 : 190m, 폭 : 35~80m
- 면적 : 11,000m²
- 부지계획고 : EL.(+)6.0m

(5) 발전설비 규모 및 배치계획

① 발전기

- TYPE : 벨브식 수차 발전기
- 냉각방식 : 공냉식
- 발전기 정격출력 : 25.45MW/26.788MVA
- 계통연결 : 345kv

3. 토목구조물 개념설계

(1) 수차발전기 구조물

① 기본조건

- 수차발전기의 제원

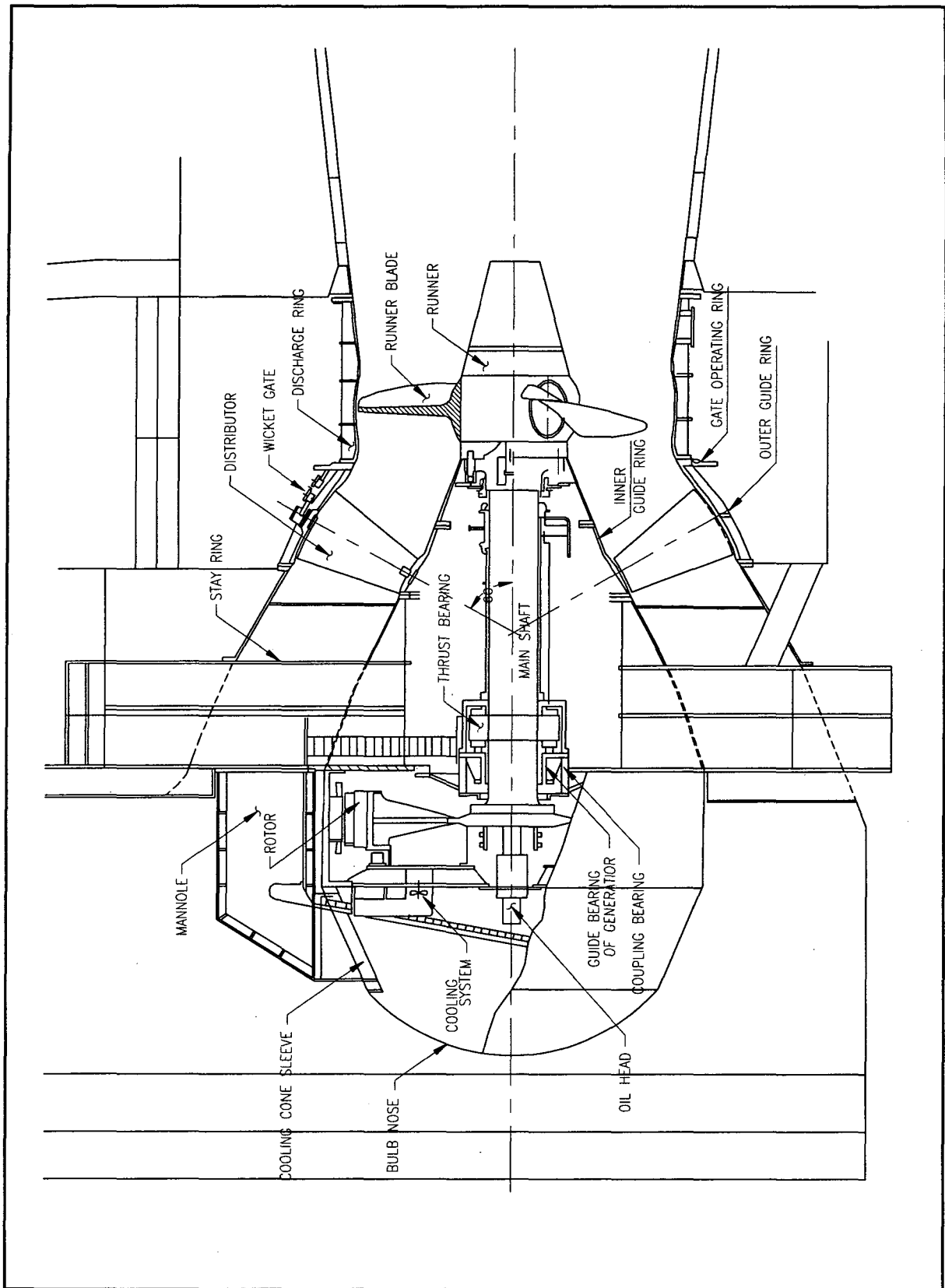
최적화 검토결과 선정된 20MW급 Bulb형 수차발전기의 대수 및 제원은 다음과 같다.

(참조 표 3.1, 그림 3.1)

- 소용량 수차발전기의 대수 : 18대(360MW)
- 대용량 수차발전기의 대수 : 30대(600MW)

<표 3.1> Bulb형 수차발전기의 제원(20MW)

| 구 분 | | 제 원 | |
|-----------|-----------------------|--------------------|---------|
| | | 크기(m) | 중량(ton) |
| Turbine | Runner | 8.00 × 5.20 | 125 |
| | Main shaft & Bearings | 4.50 × 9.85 | 90 |
| | Stay ring | 19.0 × 12.70 × 5.0 | 220 |
| | Discharge ring | 8.80 × 3.65 | 56 |
| | Guide vane apparatus | 8.80 × 3.65 | 210 |
| | Misc. | 11.60 × 2.80 | 125 |
| | SUBTOTAL | | |
| Generator | Stator | 9.10 × 2.95 | 210 |
| | Rotor | 8.365 × 1.7.0 | 160 |
| | Cooling Cover | 9.10 × 2.45 | 60 |
| | Bulb nose | 6.80 × 2.20 | 30 |
| | Misc. | | 88 |
| | SUBTOTAL | | |
| TOTAL | | | 1,374 |



<그림 3.1> Bulb형 수차발전기 단면도(20MW)

○ 수차발전기의 하중조건

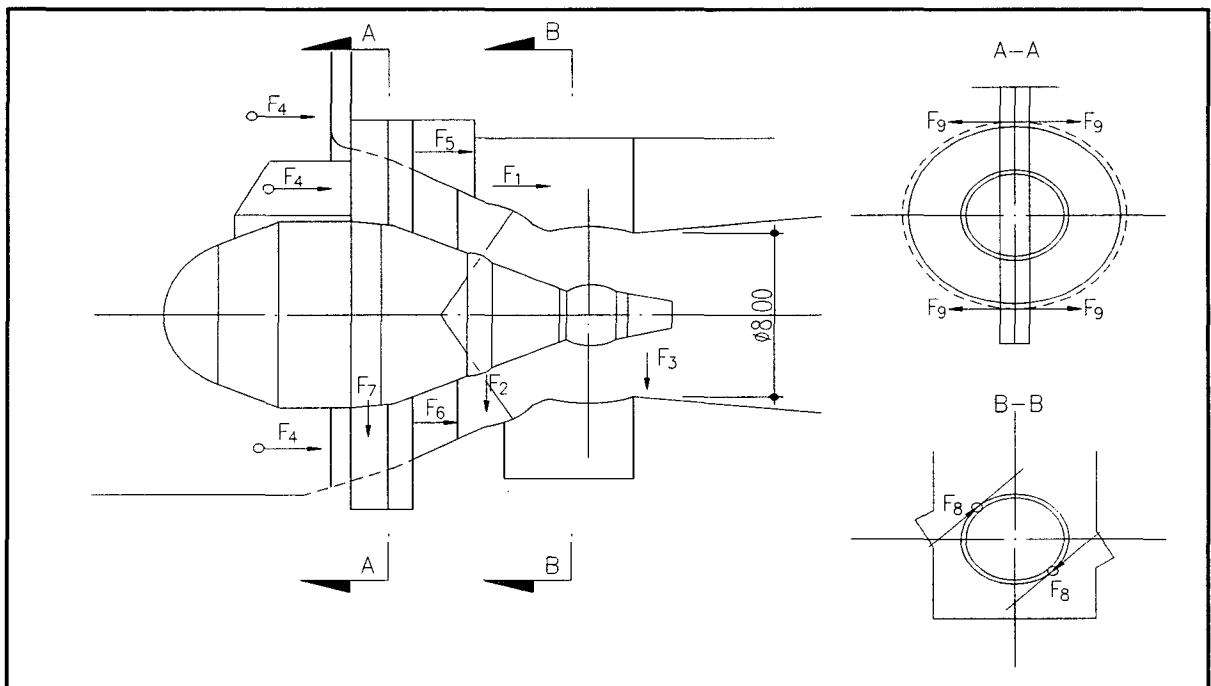
<표 3.2> Bulb형 수차발전기의 하중조건(20MW)

(단위 : ton)

| Foundation | forces | Force mode | Dewtr' d turbine | Waterf turbine | Nomal opr'n | Shut-down | Run-away | Shut-down runaway |
|---------------------------------------|--------|------------|------------------|----------------|-------------|-----------|----------|-------------------|
| Turbine Pit | | | | | | | | |
| Hor. Force Staying Flange | | F1 | 0.0 | 751 | 715 | 789 | 505 | 859 |
| Vert. Force Staying Flange | | F2 | 168 | 339 | 339 | 339 | 339 | 339 |
| Vert. Force draft tube Flange | | F3 | 115 | 232 | 232 | 232 | 232 | 232 |
| Water pressure on outer barrel | | F4 | 0.0 | 2450 | 2440 | 2504 | 2370 | 2608 |
| Axial force stay ring leg | | F5 | 0.0 | 9.0 | 167 | -112 | 288 | -93 |
| Axial force stay ring leg | | F6 | 0.0 | 9.0 | 167 | -112 | 288 | -93 |
| Resulting vert. force staying rig leg | | F7 | 1050 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| Servomotor | | F8 | 78.5 | - | - | - | - | - |
| Short Circuit torque : (T.m) | | MK | 1590 | - | - | - | - | - |
| Reaction force | | F9 | 86.5 | - | - | - | - | - |

주 : F5 and F6 differs only if tie down anchor deleted.

자료 : 중국기술자문단, 가로림 조력개발 타당성 조사 자문보고서, 1993



<그림 3.2> 하중분배도(20MW Unit)

② 수차발전기 구조물 구상

Bulb형 수차발전기를 설치할 구조물은 발전기 제작 회사들이 수리학적인 모형실험 등을 실시하여 물의 흐름에 있어서 구조물로 인한 저항을 최소화하는 연구결과들을 발표한 바 있다.

금번의 단면구상은 기존의 연구 자료들을 기초로 하여 가장 널리 채택되고 있는 단면을 대상으로 구상하였다.

수차발전기 구조물의 단면구상은 다음사항들을 전제로 하였다.

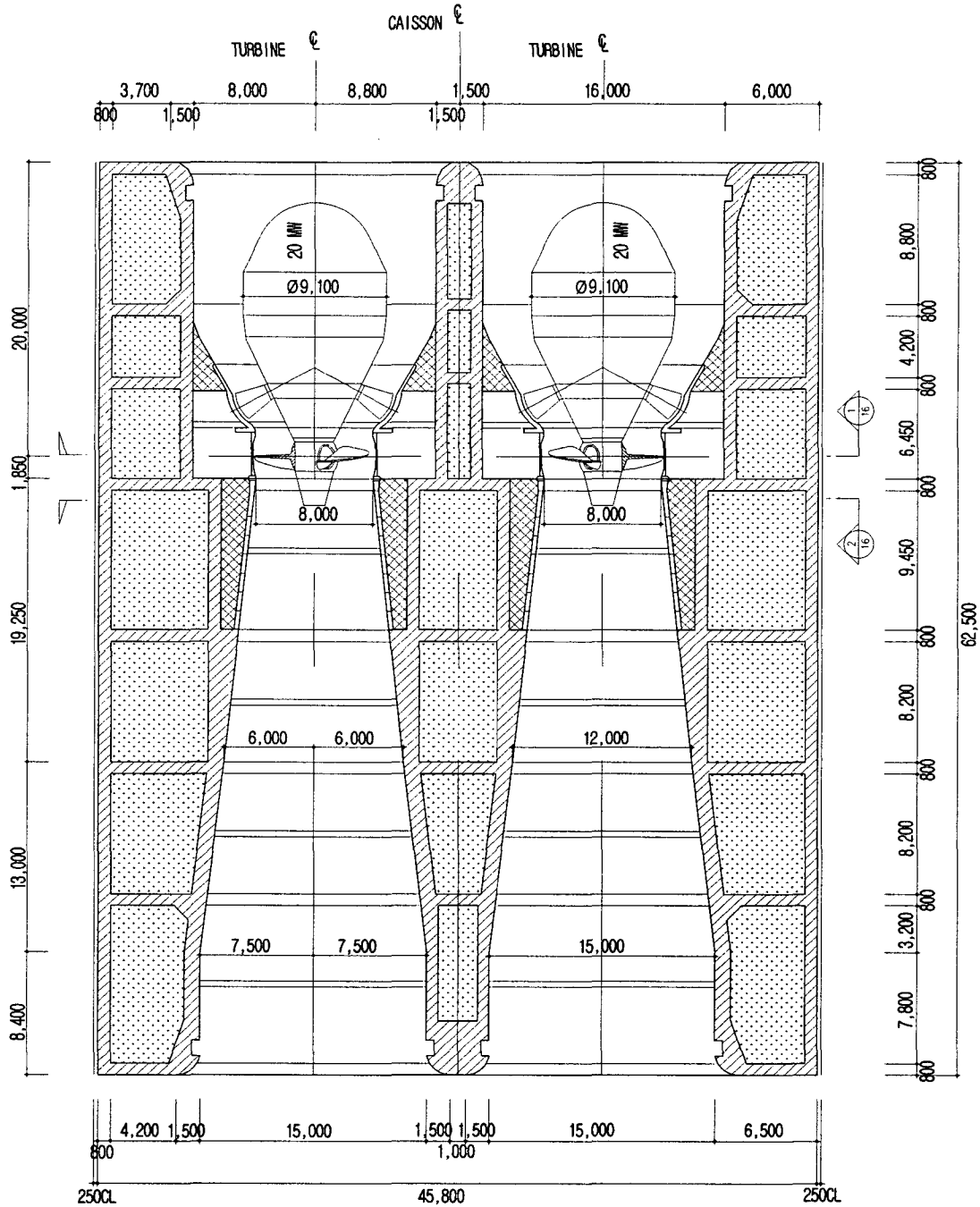
- 단면형상은 수로의 수리학적 영향을 고려함
- 구조물 폭 결정은 4차선 이상이 될 해안도로와 연계되도록 함.

<표 3.3> 수차구조물 제원

(단위 : m)

| 구 분 | | 단 면 제 원 |
|------------------|-----------|-------------|
| 폭 | | 62.50 |
| 높 이 | | 28.40 |
| 길 이 | | 45.80 |
| 수 로 Inlet | Top EL | EL.(-)6.0m |
| | Invert EL | EL.(-)21.0m |

내 해 측



외 해 측

<그림 3.3> 수차발전기 구조물 평면도

③ 수차발전기 구조물 기초보강

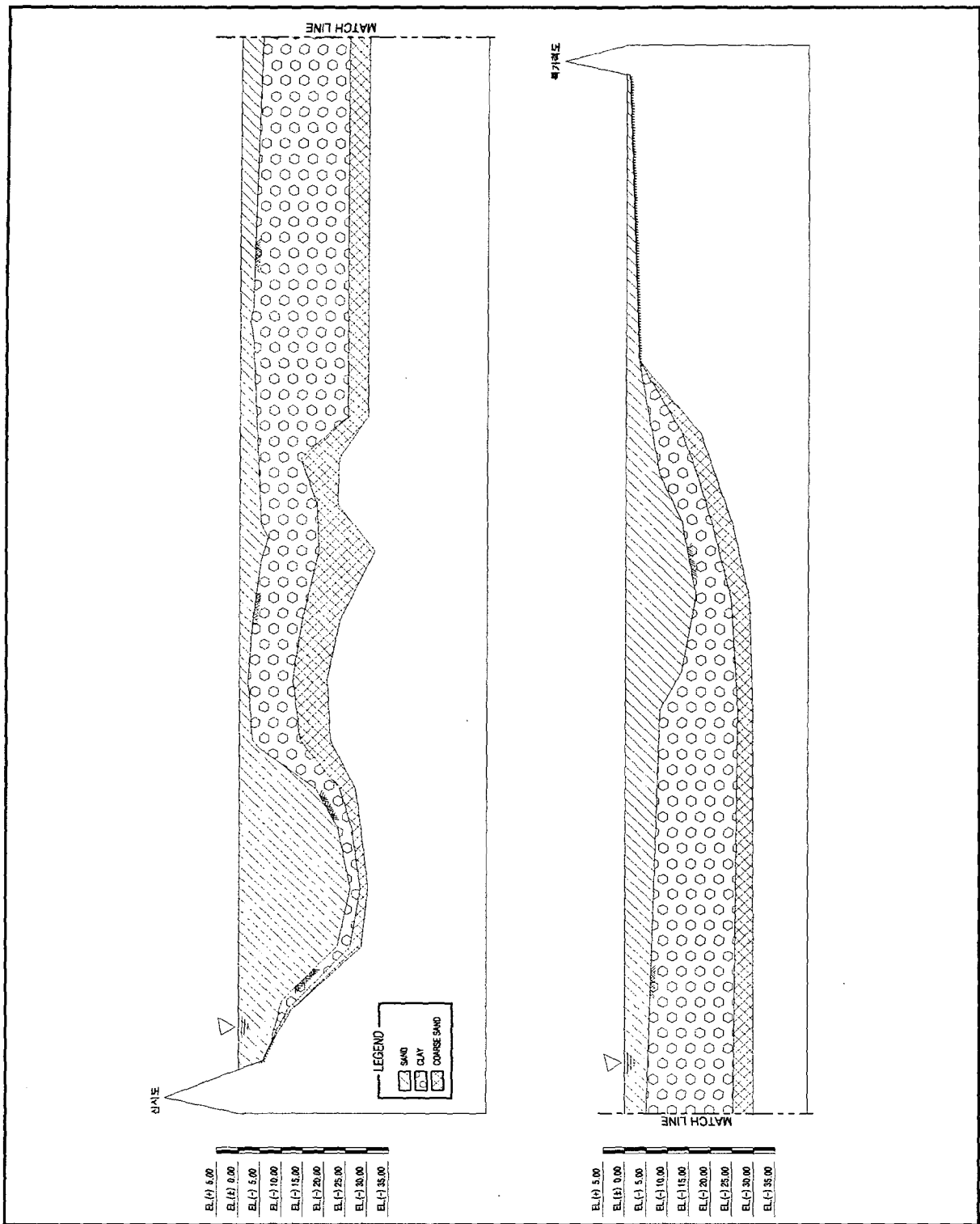
퇴적층은 대부분이 연약한 토질이므로 47.0t/m²이 소요되는 구조물을 지지할 수 없기 때문에 연약토질을 제거하고 소요 지지력을 감당할 수 있는 기초로 바꾸어 주어야 한다. 소요지지력을 감당할 수 있는 기초로서 고려할 수 있는 공법은 치환법과 개량법을 들 수 있다.

○ 지층 조건

새만금 조력발전소가 위치할 지역의 인근 조사 자료에 의하면 일부구간은 표층으로부터 전석층이 약 2m 정도 두께로 분포하며 그 밑에 바로 실트질층이 약 14m 정도의 두께로 분포하고 있다. 또 다른 층은 전석층이 약 2m 정도 두께로 분포하고 그 밑에 바로 실트질 모래층이 약 8m 정도의 두께로 분포하고 그 밑에 모래질 실트가 약 8m 정도로 분포하고 있다.

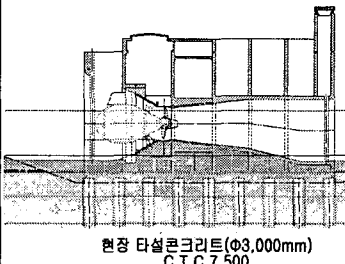
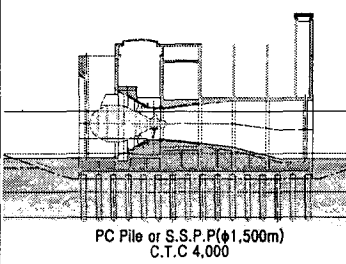
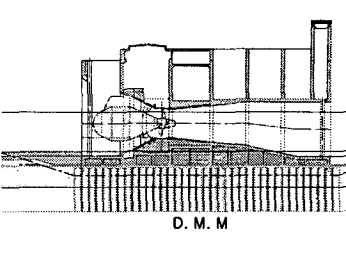
○ 기초공법 검토

새만금 조력발전소 구조물 공사는 가물막이를 이용하여 발전소 구조물을 현장에서 타설하여 제작하는 시공방법을 채택하였다. 이때 발전소 구조물기초는 지층조건, 시공성 및 경제성 등을 고려하여 기초처리 공법을 비교 검토하였다.(참조 표 3.4)



<그림 3.5> 수심 및 지층단면도

<표 3.4> 기초공법 비교

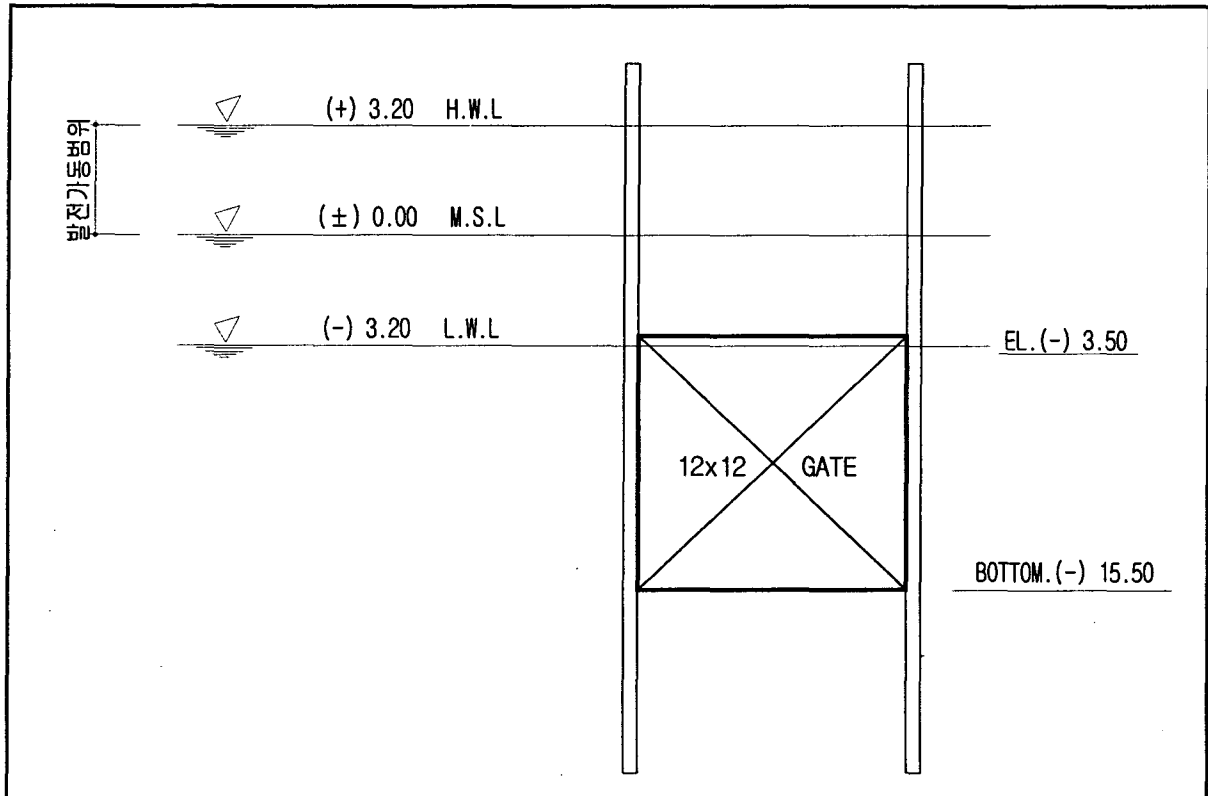
| 구분 | 현장타설 말뚝기초 | 강관말뚝 기초 | 심층혼합처리 공법 | |
|------|--|---|--|---|
| 개요도 |  현장 타설콘크리트(φ3,000mm) C.T.C 7,500 |  PC Pile or S.S.P.P(φ1,500m) C.T.C 4,000 |  D. M. M | |
| 공법개요 | <ul style="list-style-type: none"> 지중에 Casing을 설치하고 내부를 Hammer Grab이나 Earth Drill로 굴착한 후 철근망 등의 응력재를 Casing내부에 삽입하고 Tremie Pipe로 콘크리트를 타설하여 말뚝을 형성하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝을 지중에 타입하여 상부 구조물의 하중을 단단한 지지층에 전달하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 연약지반(점성토, 느슨한 사질토, 유기질토)에 시멘트와 물을 혼합하여 반응된 수화생성물을 지반 내에 주입하면서 특수교반기로 회전 혼합하여 지반 내에 고화된 개량체를 조성하는 공법 | |
| 특 | 장점 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 지지층 확인이 용이 저소음, 저진동 공법으로 주변 영향 적음 공사목적과 지층조건에 따라 다양한 구경과 심도의 말뚝형성 대구경이므로 말뚝의 지지력 큼 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 공사비가 비교적 경제적임 시공속도가 빠르고 시공용이 품질 관리 용이 장비조합이 간단하고 시공이 단순함 비교적 깊은 심도까지 지지가능 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 저소음, 저진동 공법으로 주변영향 적음 연속벽체이므로 치수가능 소요강도 확보가 용이함 개량효과가 확실하며 공기단축 공사비가 경제적임 기초지반 침하량이 3cm 이내임 |
| | 단점 | <ul style="list-style-type: none"> Casing이 없는 경우 지중에 화학성분이 있으면 시멘트가 잘경화되지 않을 수 있음 말뚝 체의 결손을 확인하기 어려우므로 품질관리 주의요망 공사비 고가 장비구성 및 부속자재 대형 대형장비로 넓은 작업공간 필요 | <ul style="list-style-type: none"> 소음, 진동 대책 필요 해수에 의한 부식방지 필요 자갈 및 전석층이 있는 경우 타입 곤란 상부 구조물의 하중이 큰 경우 파일본수의 과다로 경제성 및 시공성 불리 | <ul style="list-style-type: none"> 시공깊이에 제약이 따름(약 30m내외) 연약층의 고결상태 확인이 용이치 않으므로 품질관리에 주의가 요망됨 지반조건에 따라 강도변화가 생길 수 있음 |
| 선정 | | | ● | |
| 선정유 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝인 경우 자갈 및 전석층이 존재하면 타입이 곤란하며, 구조물 하중이 커 파일본수 과다로 경제성 및 시공성이 불리함 심층혼합처리 공법은 타 공법에 비하여 공사비 뿐만 아니라 시공성에서 다른 안에 비하여 유리함 | | | |

(2) 수문 구조물

① 기본단면구상

○ 문비의 위치

수로의 표고는 문비의 위치에 따라 결정되며, 문비의 위치는 발전소 가동시 조위의 변화에 관계없이 통수 전면적이 상시 물에 잠길수 있도록 하고 새만금 조위측정현황과 비교하여 문비의 위치를 도시하였다.(참조 그림 3.6)



<그림 3.6> 문비 위치도

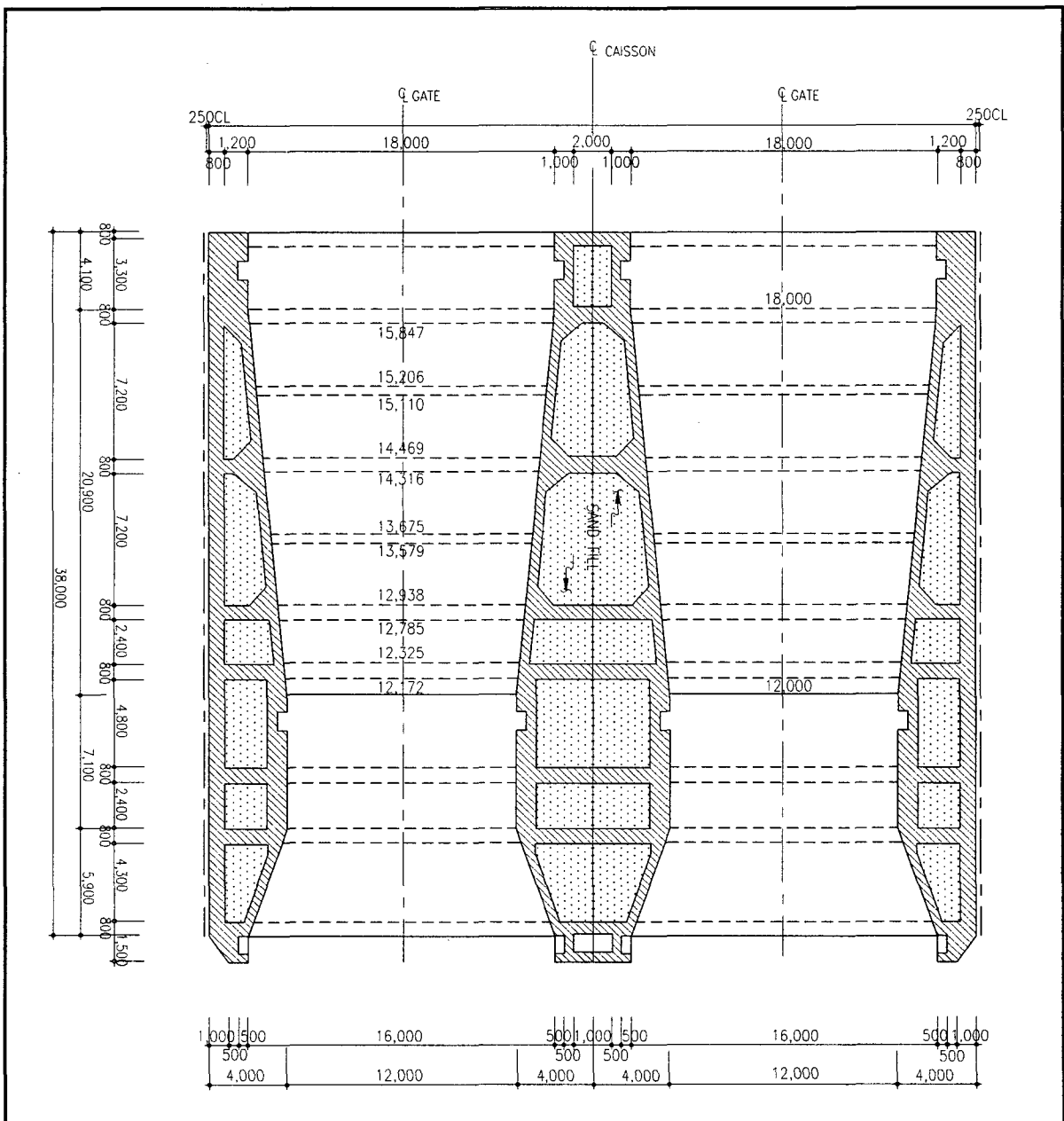
○ 수문구조물 구조단면

수문구조물에는 2개의 문비를 설치토록 계획하였으며 구조물의 기본단면을 구상하는데 있어서 다음의 사항들을 전제조건으로 하였다.

- 수로의 단면곡선은 외해측으로 수로 상·하단에 완화곡선을 두며, 내해측은 수로 하단부만 완화곡선을 계획
- 구조물 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 계획.
- 향후 도로계획과 연계를 고려하여 구조물 상부에 계획되는 도로폭원은 4차선 이상 가능하도록 구조물 폭을 구상하였다.(참조 그림 3.7, 그림 3.8)

<표 3.5> 수문 구조물 제원

| 구 분 | 설 계 단 면 | 비 고 |
|------------|--------------|-----|
| 폭 | 38.0m | |
| 높 이 | 26.50m | |
| 길 이 | 40.0m | |
| Top EL. | EL.(-)3.50m | |
| Bottom EL. | EL.(-)15.50m | |



<그림 3.7> 수문 구조물 평면도

(3) 중물양장

- ① 대상선박 : 5,000DWT 화물선 × 1선좌
- ② 선좌길이 : 130m , 박지수심 : EL.(-)11.50m
- ③ 구조형식 : 중력식
- ④ 구조물제원 :
 - Type A (4개소) : B×H×L = 23.65×12.0×17.0m
 - Type B (1개소) : B×H×L = 35.0×18.0×25.50m
- ⑤ 주요 물량
 - 기초사석 : 40,100m³
 - 속채움 모래 : 30,500m³

(4) 가물막이공

조력발전소용 구조물의 제작을 위한 시설로서는 현장여건상 기존 방조제를 이용한 가물막이를 축조하는 것으로 계획하였다. 가물막이공은 사석경사제보다 방수 성능이 우수한 시트파일을 이용한 원형 셀식 가물막이 공법을 적용하는 것으로 계획하였다.

- ① 규모
 - 가물막이 천단고 : EL.(+)8.0m
 - 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t
- ② 주요물량
 - 소용량(360MW)
 - 총 파일중량 : 37,532Ton
 - 속채움모래량 : 1,178,448m³
 - 대용량(600MW)
 - 총 파일중량 : 48,525Ton
 - 속채움모래량 : 1,523,808m³

(5) 작업장(Platform)

- ① 작업장 조성

총면적은 234,000m²이고 그 내역은 다음과 같다.

② 작업장 소요시설

- 사무실 : 800m²(회의실, 설계실, 기술 및 행정요원 사무실 등)
- 중기수리공장 : 4,000m²
- 목공소 : 1,500m²
- 철조가공장 : 6,000m²
- 창고 : 2,000m²
- 발전실 : 1,000m²(발전기 1000kw × 4EA)
- 시멘트 창고 : 1,500m²
- 크랏샤 Plant : 40,000m²(원석 야적장, 모래선별기, 골재야적장)
- TTP 제작장 및 야적장 : 16,000m²(120m×130m)
- Con'c Block 제작장 및 야적장 : 15,000m²
- 보조장비 구역 : 1,500m²
- 작업도로 및 기타구역 : 144,700m²

(6) 조립장(Erection Yard)

- 조립장의 위치는 가물막이공 안쪽에 계획하며, 규모는 길이 190m, 폭 35~80m, 면적 11,000m²이다.
- 조립장의 기능 : 5,000DWT 중물양장을 통하여 반입된 수차발전기 부속자재를 육상 Crane(70ton)을 사용하여 조립작업을 시행하며, 조립장까지 연결된 Gantry Crane(250ton)을 이용하여 구조물 내부에 수차발전기를 설치한다.

(7) 준설 및 처리

① 기초준설 및 수로준설

기초준설은 수차발전기 구조물의 설치를 위해, 발전소 부분의 수로준설은 발전시 수차발전기를 통과하여 방출되는 유량의 흐름을 원활히 하기 위한 목적으로 시행되어야 한다. 발전소 부분의 준설은 구조물 설치 위치에서 내해측 및 외해측으로 각각 50m까지는 준설을 시행한다. 또한 수문구조물은 내해측 및 외해측으로 각각 100m, 50m까지는 준설을 필요로 한다.

② 준설토의 처리

수차발전기, 수문구조물의 기초준설 및 수로준설 등의 준설의 처리는 새만금 종합개발 방안 중 가장 가까운 매립예정지에 투기하는 것으로 계획하였다.

4. 발전설비 및 기기설비 개념설계

(1) 발전설비

① 개요

기전설비의 시설용량으로서는 용량별로 20MW 수차발전기 18대와 20MW 수차발전기 30대에 대하여 검토하였다. 특히 기본사양에서 양수기능이 적용되는 경우에는 기동용 가변속 장치, 고조파 필터 및 회전방향 전환스위치 등을 추가시켜 가격을 참고할 수 있게 하였다. 발전기를 소형화시키기 위하여 발전기의 전압과 역을 증가시켰으나 역을 변동에 따른 계통운영에는 지장 없는 것으로 검토되었으며 발전기 용량이 증가됨에 따라 주변압기 용량, 345kV 케이블 규격과 송전선 규격이 증가되었다. 송전선 연계지점은 23km 떨어진 곳에 위치한 군산변전소로 계획하고 345kV 케이블을 서측에서 동측으로 포설하게 되었다.

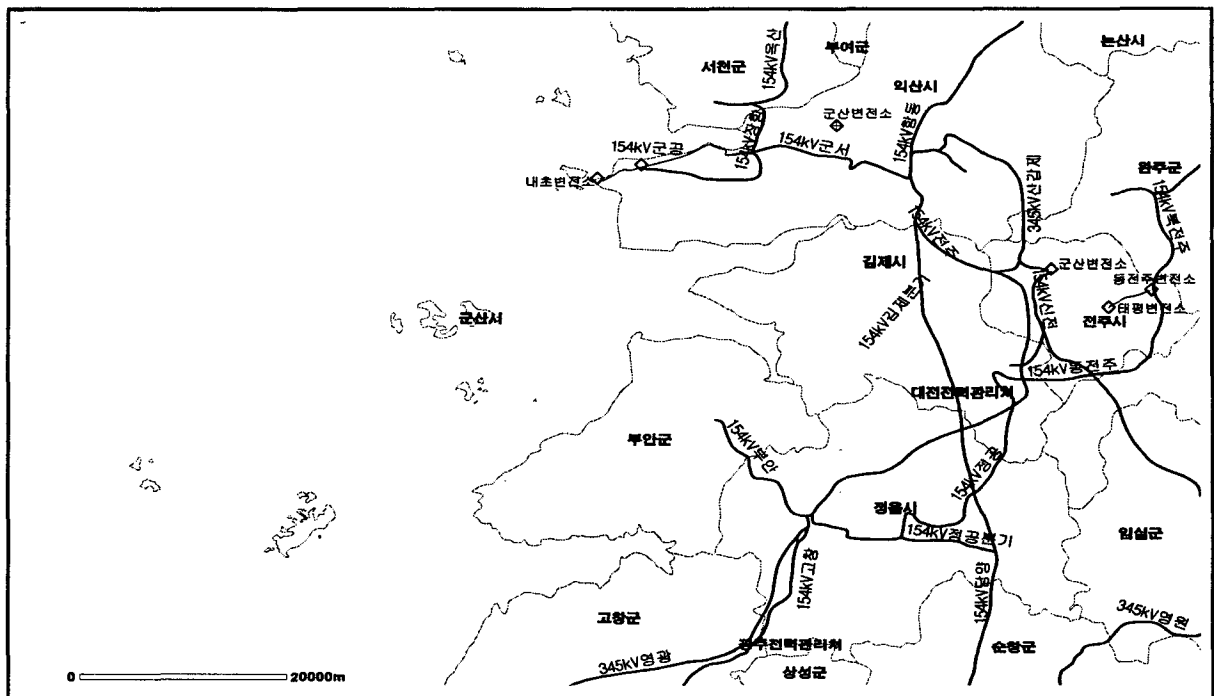
② 송전선로

새만금 조력 발전소의 건설 후보지점은 동쪽으로 약 23km 떨어진 곳에 위치하게 되며 송전선은 20MW의 경우에 적용할 수 있도록 ACSR, 410mm², 2회선으로 하여 1회선 정전 시에도 송전이 가능토록 하였다.(평상시 2대 보수정지, 소내전력 2%)

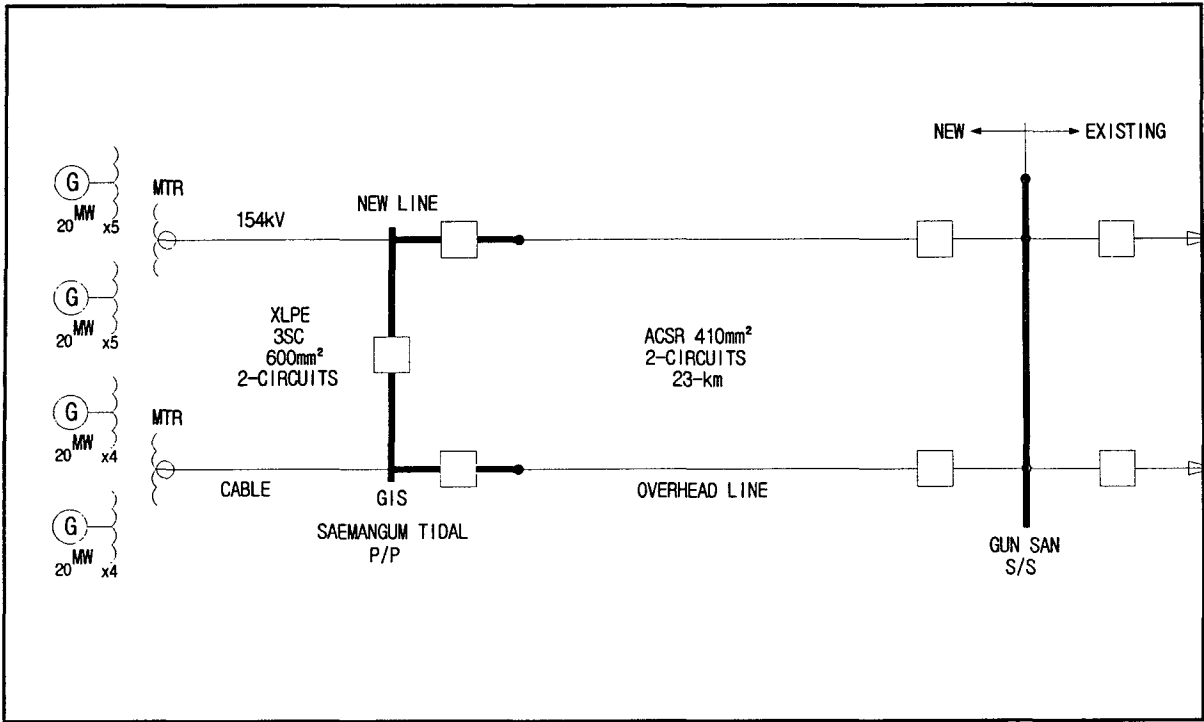
③ 345kV 전력계통에 있어서는 동쪽 23km 지점에 345kV 군산변전소가 410mm², 2회선을 계획하였다.

④ 주변압기 용량은 다음과 같이 계획한다.

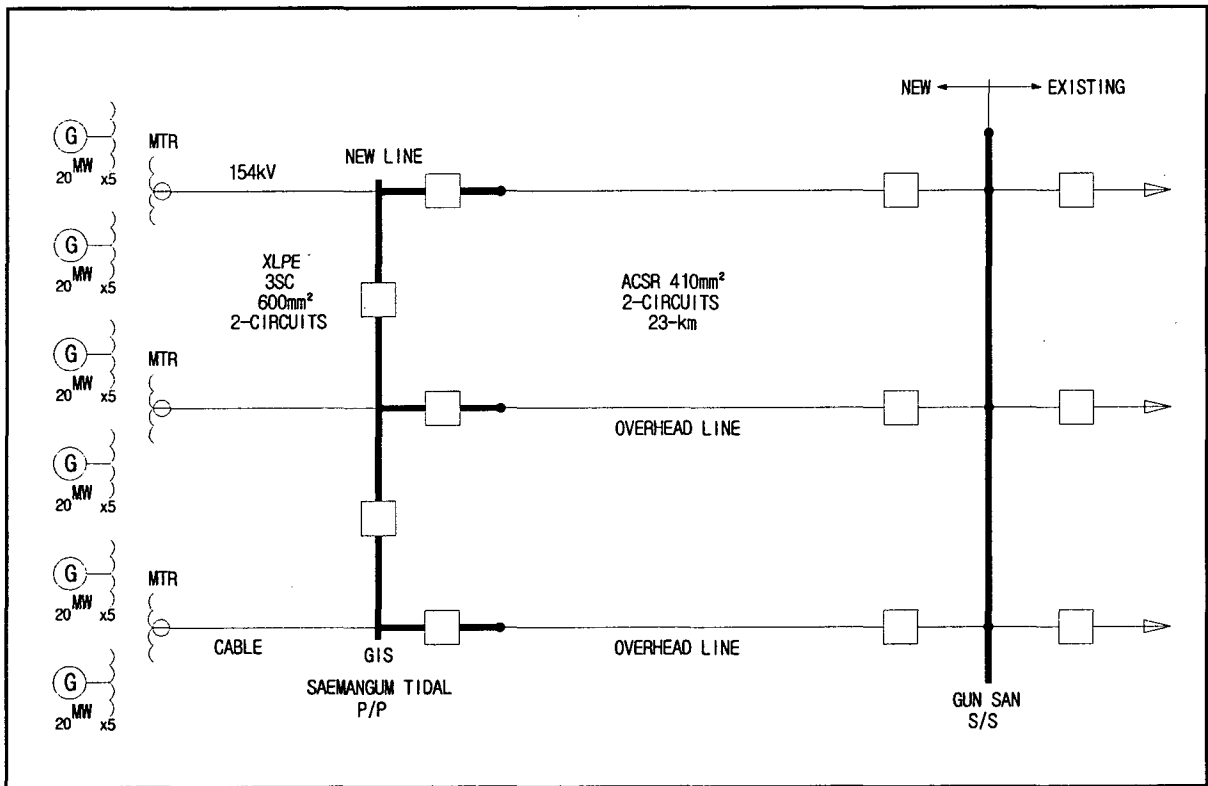
- 주변압기 용량 ----- 260/130/130MVA × 2대
- 345kV Cable ----- Single Core Cable, XLPE, 600mm², 2회선으로 한다.



<그림 4.1> 전력구 계통도



<그림 4.2> 전기 단선도(360MW)



<그림 4.3> 전기 단선도(600MW)

(2) 수차 기기설비

① Stoplog

Stoplog은 구조물 수로양단에 Drop in bulkhead gate 형태로 설치하여 수차발전기의 설치, 정기적인 검사 및 보수를 하고자 할 때 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획한다.

② Crane

상류단 및 하류단의 Stoplog 크기 및 중량은 최종거치 후 운영 관리할 수 있도록 설치 계획한 Overhead crane과 Gantry crane의 능력과 연계시켜 다음 표와 같이 계획하였다. (참조 표 4.1)

<표 4.1> 수차측 Stoplog 제원

| 구 분 | | 상 류 단 | 하 류 단 | 비 고 |
|------|----|------------------------|-----------------------|-----|
| 크 기 | 폭 | 15.40m | 14.40m | |
| | 높이 | 19.70m | 14.40m | |
| 중 량 | | 293ton (100ton × 3) | 200ton (50ton × 4) | |
| 운영장비 | | 250ton Gantry crane | 50ton Overhead crane | |

(3) 수문 기기설비

① 문비

최적화 과정을 거쳐 산출된 적정시설 수문의 대수는 소용량(360MW) 12대, 대용량(600MW) 22대였으며 이에 따라 문비도 각각 12개 및 22개를 설치하는 것으로 하였으며, 문비의 형태는 여건에 적합한 Lift gate를 채택하였다.

| 형 식 | 크 기 | 통 수 면 적 |
|-----------|---------|---------------------|
| Lift gate | 12m×12m | 3,168m ² |

② Stoplog : 구조물 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수 시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획

③ Crane : 내해측 Stoplog는 100ton Gantry Crane으로, 외해측 Stoplog은 50ton Overhead Crane으로 설치 및 해체할 수 있도록 계획하고 문비의 개폐운영은 200ton Hydraulic Hoist Unit를 사용하며 보수 및 수리시는 상부에 고정된 100ton Gantry Crane으로 계획

5. 개략공사비

(1) 공사비 산출기준

공사비는 다음을 기준으로 산출하여 원화로 표시하였으며 제경비가 포함되었으나 부가세도 제외하였다.

- ① 환 율 : 1\$ = 1,025.7원 (2005년 3월 1일 기준, 재정환율)
- ② 재료비 : 2005년 2월 기준 (물가지료)
- ③ 노무비 : 2005년 정부고시 상반기 노임단가
- ④ 토목공사비 : 공사단가는 정부공사 표준품셈과 2004년도 항만·어항공사 설계 및 적산기준을 적용하였으며, 단가산출이 어려운 공종은 기존검토 자료를 이용 Escalation하여 적용하였다.
 - 금변 타당성 조사에서는 물가 상승률을(30% : '96~2004 하반기) 가산 적용하였으며 2004년도에 구상한 표준단면도 및 수량산출을 적용하였다.
 - 공종중 Con'c bacth plant를 삭제하였고, 레미콘 생산업체의 현대화로 인하여 물량수급에 있어 대량생산이 가능하므로 믹서트럭을 이용한 레미콘 운반시설로 적용하였다.
- ⑤ 전기·기계공사
 - Turbine & Generator의 가격은 최근 중국에서 제시한 견적가격에 환율을 고려하여 적용하였다. (설치비는 95년도 적용가격에 환률 고려 적용)
 - 발전기의 개폐류와 Gantry crane, Sluice gate류의 기계부분 공사비는 국내업체의 견적가격 (95년도 기준에 물가상승률 44% 적용)을 적용하였다.
- ⑥ 공사관리비는 보상비, 토목공사비와 전기/기계공사비에 대하여 3%를 계상하였다.
- ⑦ 조사설계 감리비는 토목공사비에 대하여 5%, 전기/기계공사비에 대하여 1.5%를 계상하였다.
- ⑧ 건설이자는 5% 복리이자로 적용하였다.

(2) 개략 공사비(소용량-360MW)

(단위:백만원)

| 구 분 | 금 액 | 비 고 |
|-------------------------|---------|------------------------|
| (1) 토목공사비 | | |
| ㉠ 가설비 | 15,993 | |
| ㉡ 발전소 구조물 | 166,564 | |
| ㉢ 수문 구조물 | 75,139 | |
| ㉣ 기존방조제 제거 및 유용 | 59,858 | |
| ㉤ 가물막이공 | 53,218 | |
| ㉥ 중앙물양장(5,000DWT급) | 14,043 | |
| ㉦ 도로포장공 | 321 | |
| ㉧ 옹벽공 | 26,703 | |
| 소 계 | 411,839 | |
| (2) 전기/ 기계공사비 | | |
| ㉠ Turbine-Generator | 190,395 | |
| ㉡ Sluice Gates | 16,122 | |
| ㉢ Stop-Log(Power Plant) | 12,980 | |
| ㉣ Stop-Log(Sluice Gate) | 9,286 | |
| ㉤ Lock 기계설비 | 9,600 | |
| ㉥ Gantry Crane ect. | 7,135 | |
| ㉦ Switch Gear & Trans. | 28,443 | |
| 소 계 | 273,961 | |
| 계(1+2) | 685,800 | |
| (3) 공사관리비 | 54,881 | (1+2)×3 % |
| (4) 조사,설계,감리비 | 24,701 | (1)×5%+(2)×1.5% |
| 합 계 | 765,382 | (1)+.....+(4), (VAT별도) |
| (5) 건설이자 | 84,966 | 년 5% 복리이자 |
| 사업비계 | 850,348 | (1)+.....+(5) |

(3) 년차별 투자계획

(단위:백만원)

| 구 분 | 제1차년도 | 제2차년도 | 제3차년도 | 제4차년도 | 제5차년도 | 합 계 |
|-----|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| 금 액 | 122,461 | 183,692 | 214,307 | 153,076 | 91,846 | 765,382 |

주) 건설이자는 미포함

(4) 개략 공사비(대용량-600MW)

(단위:백만원)

| 구 분 | 금 액 | 비 고 |
|-------------------------|-----------|------------------------|
| (1) 토목공사비 | | |
| ㉠ 가설비 | 15,993 | |
| ㉡ 발전소 구조물 | 277,486 | |
| ㉢ 수문 구조물 | 136,978 | |
| ㉣ 기존방조제 제거 및 유용 | 77,200 | |
| ㉤ 가물막이공 | 68,809 | |
| ㉥ 중앙물양장(5,000DWT급) | 14,043 | |
| ㉦ 도로포장공 | 321 | |
| ㉧ 옹벽공 | 26,703 | |
| 소 계 | 617,533 | |
| (2) 전기/ 기계공사비 | | |
| ㉠ Turbine-Generator | 317,325 | |
| ㉡ Sluice Gates | 29,558 | |
| ㉢ Stop-Log(Power Plant) | 21,633 | |
| ㉣ Stop-Log(Sluice Gate) | 17,025 | |
| ㉤ Lock 기계설비 | 9,931 | |
| ㉥ Gantry Crane ect. | 7,135 | |
| ㉦ Switch Gear & Trans. | 47,406 | |
| 소 계 | 450,013 | |
| 계(1+2) | 1,607,546 | |
| (3) 공사관리비 | 84,253 | (1+2)×3% |
| (4) 조사,설계,감리비 | 37,626 | (1)×5%+(2)×1.5% |
| 합 계 | 1,189,425 | (1)+.....+(4), (VAT별도) |
| (5) 건설이자 | 132,039 | 년 5% 복리이자 |
| 사업비계 | 1,321,464 | (1)+.....+(5) |

(5) 년차별 투자계획

(단위:백만원)

| 구 분 | 제1차년도 | 제2차년도 | 제3차년도 | 제4차년도 | 제5차년도 | 합 계 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| 금 액 | 190,308 | 285,462 | 333,039 | 237,885 | 142,731 | 1,189,425 |

주) 건설이자는 미포함

부 록 4

인천만 조력발전 시스템 배치계획
및 개략 공사비산정

부록 4 인천만

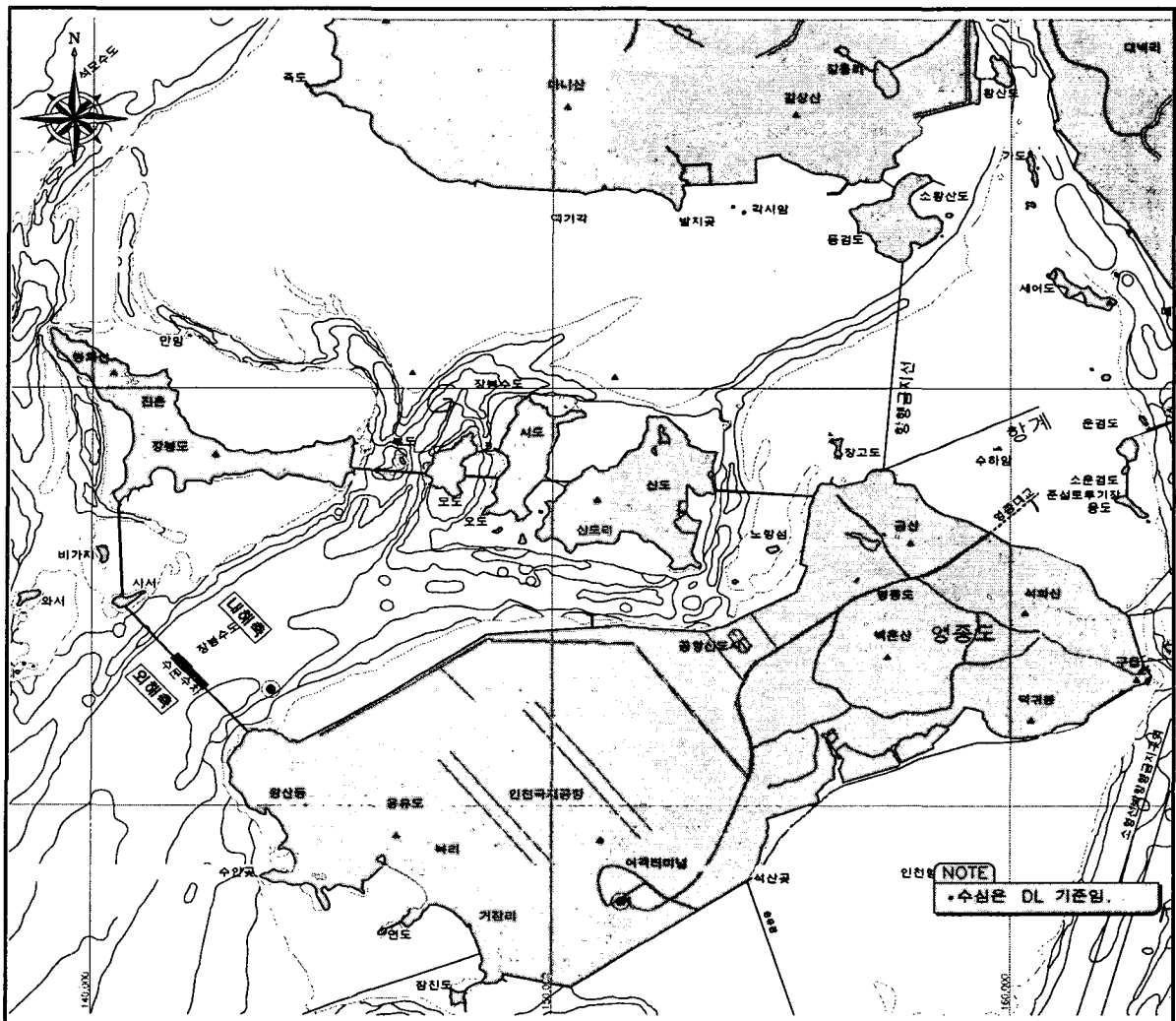
1. 인천만 현황

(1) 기초자료 검토

- 발전소 위치 : 인천광역시 중구 인천국제공항 북측 장봉수도의 해역
- 지역 현황 : 인천만 해역은 영종도와 용유도를 포함한 인천국제공항과 장봉도와 신도를 연결하는 소용량 안과 인천국제공항과 장봉도 강화도를 연결하는 대용량 안으로 구분되며 용유도와 장봉도 사이에 장봉수도가 있어 수차, 수문 구조물을 배치하기에 적합한 수심을 확보할 수 있으며 원활한 해수의 유입 및 유출이 이루어질 수 있을 것으로 예측된다.(참조 그림 1.1, 그림 1.2)

① 조력발전 소용량(450MW) 계획

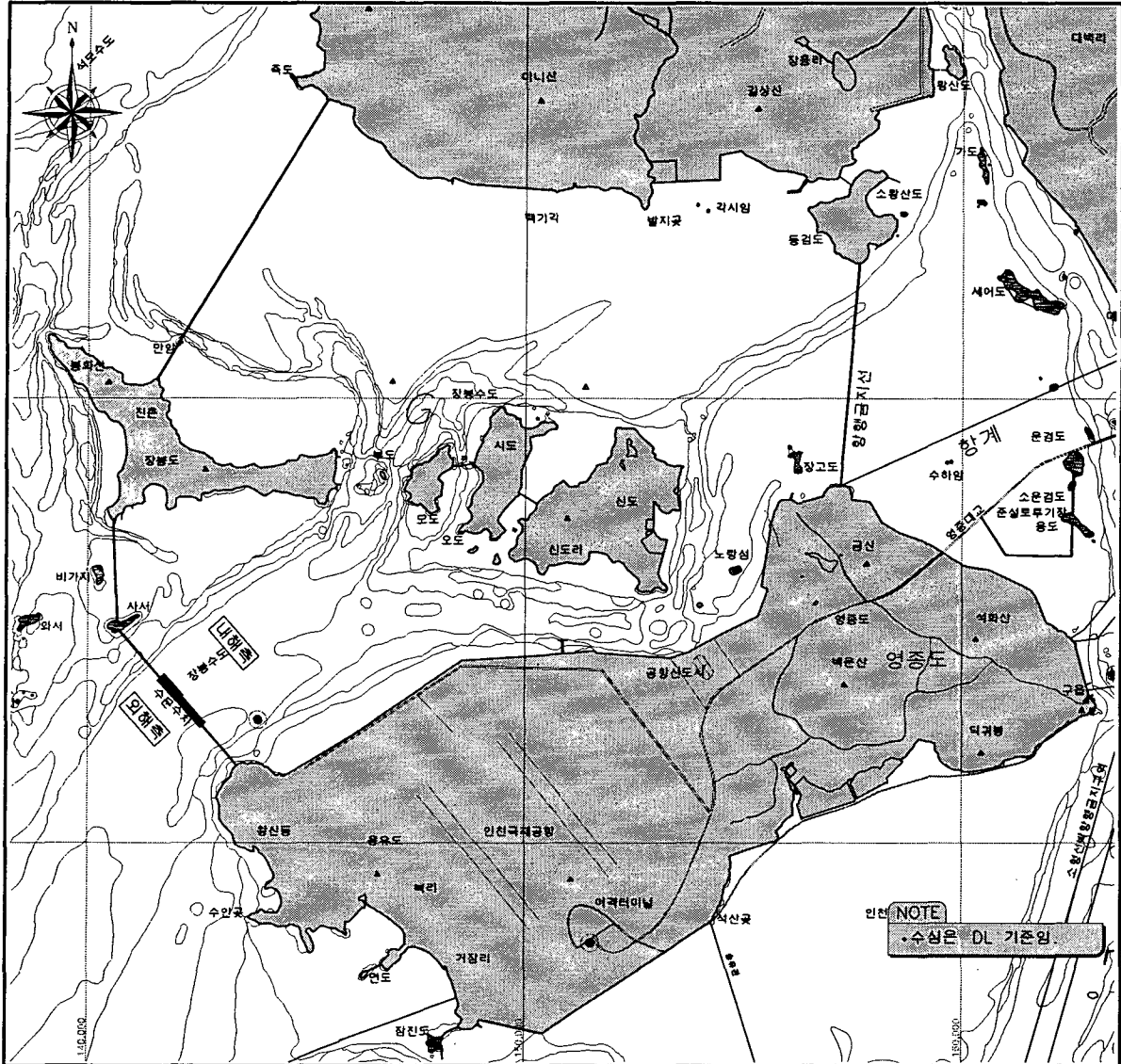
- 내수면 면적 : 약 57km²
- 조력댐 연장 : 약 10.2km



<그림 1.1> 인천만 조력발전 위치도(450MW)

② 조력발전 대용량(950MW) 계획

- 내수면 면적 : 약 158km²
- 조력댐 연장 : 약 16.3km



<그림 1.2> 인천만 조력발전 위치도(950MW)

(2) 해양자료 검토

- 설계파랑(100년 빈도): 파고 2.47m, 주기 5.72sec
- 설계조위 : 본 타당성 조사에서는 국립해양조사원(1999년)에서 제공하는 용유도 검조소 조석자료를 사용한다.

<표 1.1> 인천만 조석의 조화상수 및 비조화상수

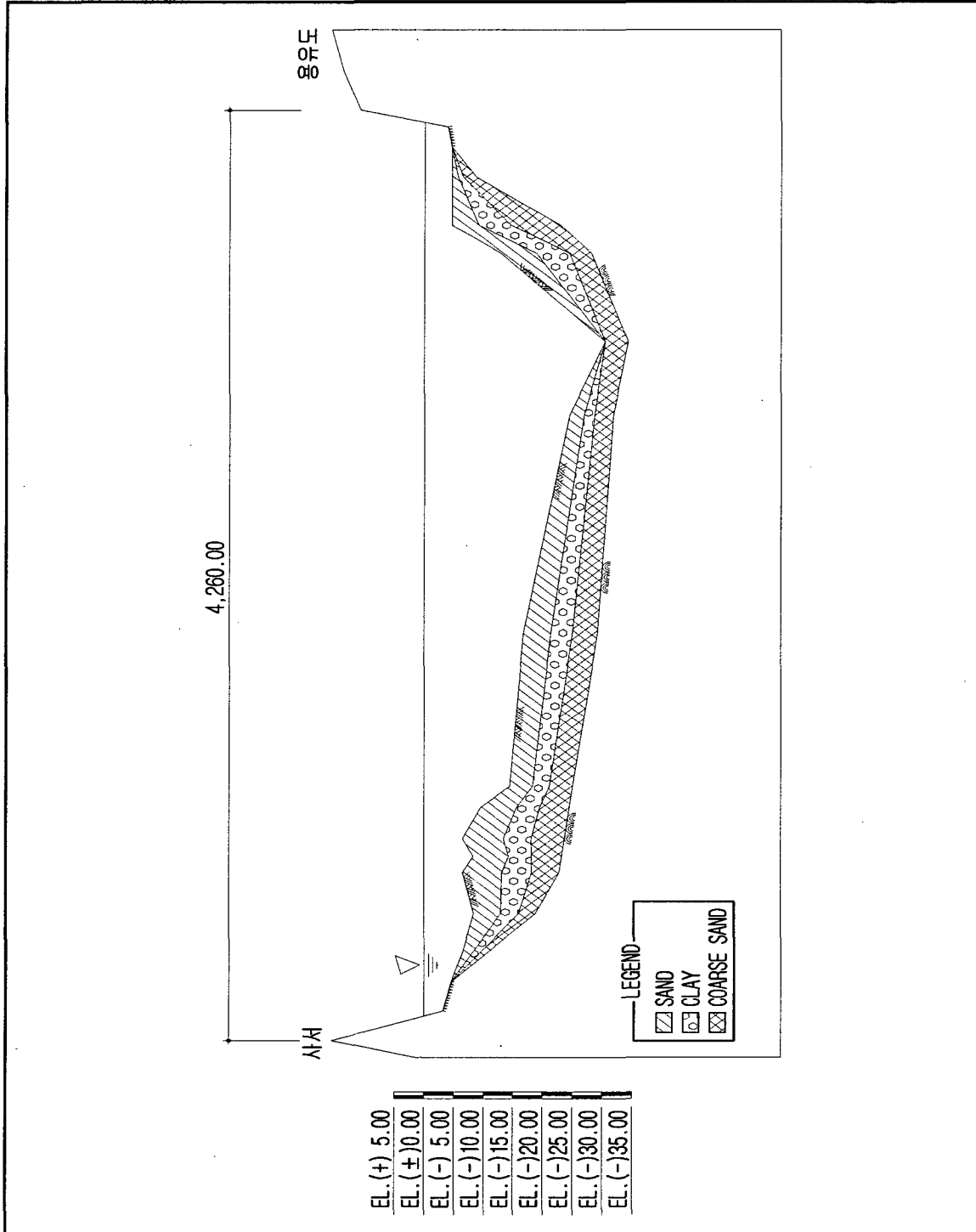
| | 항 목 | | 반조차 (cm) | 지각 (°) | 비고 |
|-----------------------|----------------|----------------|-------------|-----------|----|
| | 분 조 | | | | |
| 조 화 상 수 | M ₂ | 주태음반일주조 | 266.3 | 122.9 | |
| | S ₂ | 주태양반일주조 | 105.1 | 170.4 | |
| | K ₁ | 일월합성일주조 | 38.0 | 293.5 | |
| | O ₁ | 주태음일주조 | 28.0 | 264.1 | |
| 비 조 화 상 수 | 평균고조간격 | (M.H.W.I) | 4h 14m | | |
| | 평균저조간격 | (M.L.W.I) | 10h 26m | | |
| | 약최고고조위 | (App. H.H.W) | 874.8cm | | |
| | 대조평균고조위 | (H.W.O.S.T) | 808.8cm | | |
| | 평균고조위 | (H.W.O.M.T) | 703.7cm | | |
| | 소조평균고조위 | (H.W.O.N.T) | 598.6cm | | |
| | 평균해면 | (M.S.L) | 437.4cm | | |
| | 소조평균저조위 | (L.W.O.N.T) | 276.2cm | | |
| | 평균저조위 | (L.W.O.M.T) | 171.1cm | | |
| | 대조평균저조위 | (L.W.O.S.T) | 66.0cm | | |
| | 약최저저조위 | (App. L.W.L) | 0.0cm | | |
| | 대조차 | (Spring Range) | 742.8cm | | |
| | 평균조차 | (Mean Range) | 532.6cm | | |
| 저조차 | (Neap Range) | 322.4cm | | | |

자료 : 국립해양조사원(1999년)

- 설계조류 : 창조류는 북동류하여 수도를 따라 장봉수도로 유입되면서 최강류가 일어나고 낙조류는 이와 반대로 흐른다. 창(낙)조류는 인천항의 저조후 0.3~1.8(고조후 0.2~1.3)시경에 전류하여 고조후 0.2~1.3(저조후 0.3~1.8)시경까지 5.7~6.1(6.3~6.7)시간 지속되며, 최강창(낙)조류는 인천항의 저조후 3.0~4.6(고조후 3.4~4.9)시경에 평균대조기 최강유속이 2.1~3.2(2.4~4.4)kn에 이른다.

(3) 수심 및 지질

- 지질조건 : 인천만 계획법선의 지반조사가 이루어지지 않아 인근 인천국제공항 설계자료를 이용하여 유추하였으므로 결과 값에 대한 신뢰성이 부족하므로 추후 지반조사를 실시하여 설계에 반영하여야 한다.



<그림 1.3> 인천만 수심 및 지층단면도

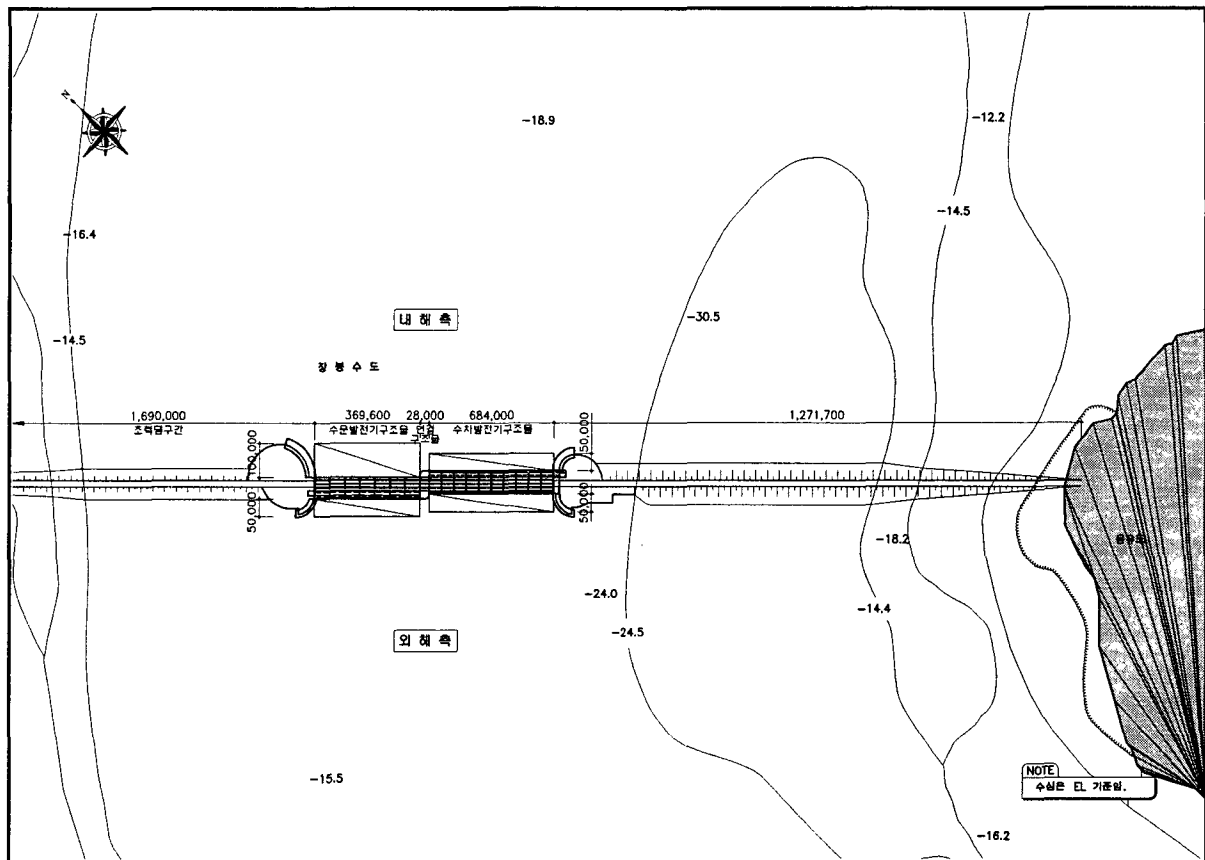
2. 평면배치계획 검토

(1) 개요

인천만 조력발전은 소용량(450MW)과 대용량(950MW)으로 구분하여 조력발전소 평면 배치를 계획하였다. 발전소 구조물 배치의 주요 특징은 창·낙조 우세한 구간이며 인근 항로에 영향이 적은 사서도와 용유도의 중앙부에 수차발전기 구조물과 수문 구조물을 배치하고, 통선문은 서측의 사서도 쪽에 배치하였다. 수차발전기, 수문 등 해상에 설치되는 대형 구조물은 가물막이 공사 후에 시공하므로 현장타설 구조물 형식을 선정하였다.(참조 그림 2.1, 그림 2.2)

① 소용량(450MW) 평면배치계획 검토

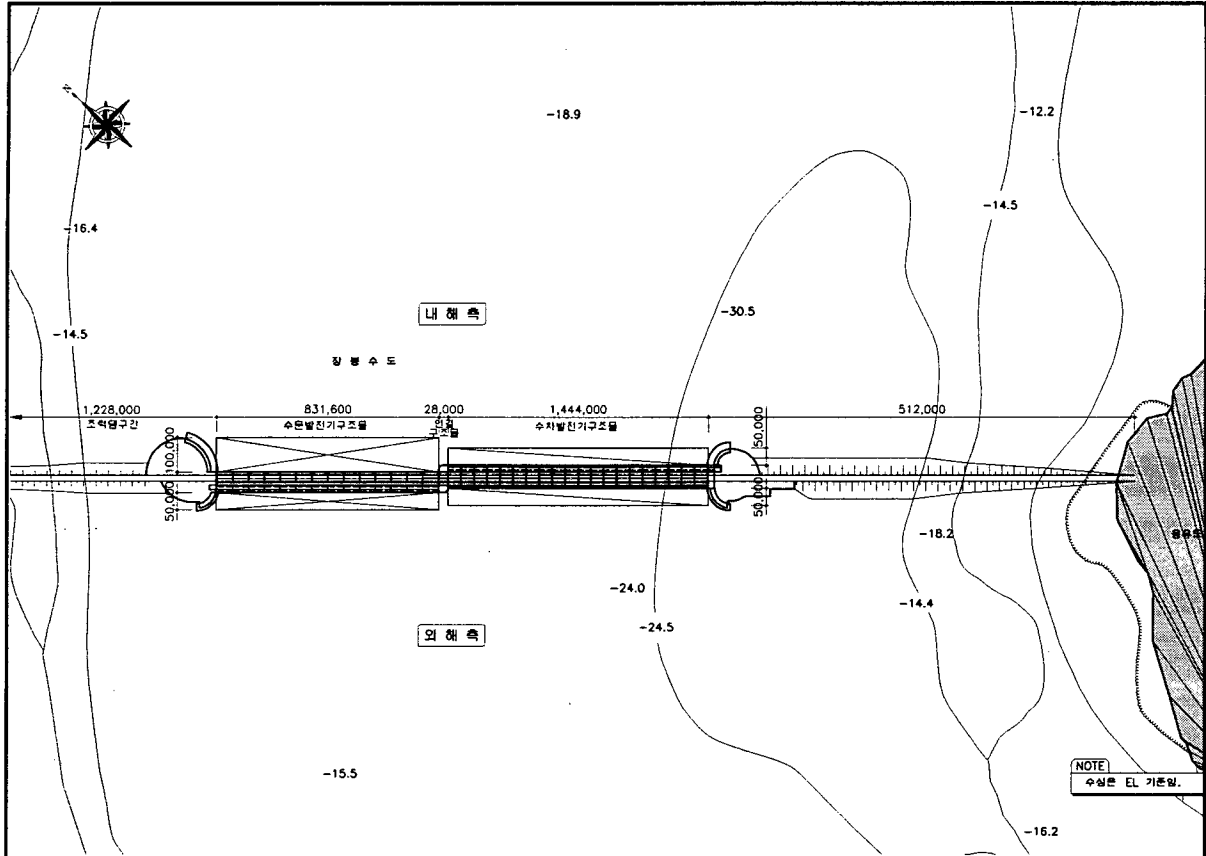
조력댐 설치 구간은 장봉수도 서쪽방향에 있는 사서도와 동쪽 방향에 있는 용유도를 잇는 구역이다. 조력댐 연장은 약 10.2Km이다.



<그림 2.1> 인천만 구조물 배치 계획평면도(450MW)

② 대용량(950MW) 평면배치계획 검토

조력댐 설치 구간은 북으로의 강화도와 장봉수도 서쪽방향에 있는 사서도, 동쪽 방향에 있는 용유도를 잇는 구역이다. 조력댐 연장은 약 16.3Km이다.



<그림 2.2> 인천만 구조물 배치 계획평면도(950MW)

(2) 수차발전기 및 구조물 규모검토

① 소용량(450MW) 규모 검토

㉠ 발전시설용량 : 25MW × 18대 = 450MW

㉡ 건설 방법 : 현장타설 공법

㉢ 구조물

○ 제 원 : B×H×L = 38.0×36.0×66.7m

○ 콘크리트 : V=19,452m³/기, W=47,650ton/기

② 대용량(950MW) 규모 검토

㉠ 발전시설용량 : 25MW × 38대 = 950MW

㉡ 건설 방법 : 현장타설 공법

㉔ 구조물

○ 제 원 : $B \times H \times L = 38.0 \times 36.0 \times 66.7\text{m}$

○ 콘크리트 : $V=19,452\text{m}^3/\text{기}$, $W=47,650\text{ton}/\text{기}$

(3) 수문 및 구조물 규모 검토

① 소용량(450MW) 규모 검토

㉔ 형태 : Ventri 식

㉔ 문 비 : 수직인양식 (8개, $B \times H = 12 \times 12\text{m}$)

㉔ 구조물

○ 제 원 : $B \times H \times L = 46.2 \times 35.0 \times 59.8\text{m}$

○ 콘크리트 : $V=16,179\text{m}^3/\text{기}$, $W=39,630\text{ton}/\text{기}$

② 대용량(950MW) 규모 검토

㉔ 형태 : Ventri 식

㉔ 문 비 : 수직인양식 (18개, $B \times H = 12 \times 12\text{m}$)

㉔ 구조물

○ 제 원 : $B \times H \times L = 46.2 \times 35.0 \times 59.8\text{m}$

○ 콘크리트 : $V=16,179\text{m}^3/\text{기}$, $W=39,630\text{ton}/\text{기}$

(4) 토목구조물 규모 및 배치계획

① 조력댐

○ 소용량(450MW)

| 구분 | 서측발전부 조력댐 | 서측 조력댐 | 북측 조력댐 |
|------|------------|------------|------------|
| 마루높이 | EL.(+)9.00 | EL.(+)9.00 | EL.(+)9.00 |
| 길이 | 2,962.0m | 2,248.0m | 5,017.0m |
| 구조형식 | 사석경사식 | 사석경사식 | 사석경사식 |

○ 대용량(950MW)

| 구 분 | 서측발전부 조력댐 | 서측 조력댐 | 동측 조력댐 |
|---------|------------|------------|------------|
| 마 루 높 이 | EL.(+)9.00 | EL.(+)9.00 | EL.(+)9.00 |
| 길 이 | 1,740.0m | 9,617.0m | 4,991.0m |
| 구 조 형 식 | 사석경사식 | 사석경사식 | 사석경사식 |

② 통선문(소용량 및 대용량 공통)

- 대상선박 : 선박 5~10톤, 준설선 3,300HP, 관광선 500톤
- 구조형식 : 콘크리트 중력식
- 제 원 : 유효길이(140.0m), 폭(17.0m), 갑실수심(3.50m)

③ 연결구조물(소용량 및 대용량 공통)

- 수차, 수문 연결구조물 : 1기, B×H×L = 25.0×35.0×79.75m
- 콘크리트 : V=26,883m³/기, W=65,863ton/기

④ 중량물물양장(소용량 및 대용량 공통)

- 대상선박 : 5,000DWT 화물선 × 1선좌
- 선좌길이 : 130m
- 구조형식 : 콘크리트블록식

⑤ 가물막이

○ 소용량(450MW)

- 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t
- 총 파일 중량 : 16,687.802ton
- 속채움모래량 : 524,104m³

○ 대용량(950MW)

- 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t
- 총 파일 중량 : 50,795.200ton
- 속채움모래량 : 1,595,396m³

⑥ 작업장(소용량 및 대용량 공통)

○ 면적 = 234,000m²

⑦ 조립장(소용량 및 대용량 공통)

○ 길이 : 190m, 폭 : 35~80m

○ 면적 : 11,000m²

(5) 발전설비 규모 및 배치계획

① 발전기

○ TYPE : 벨브식 수차 발전기

○ 냉각방식 : 공냉식

○ 발전기 정격출력 : 25.45MW/26.788MVA

○ 계통연결 : 345kv

② 주변압기

○ 규격 : 345kv 케이블 사용, XLPE, Single Core, 1 Line, 600 m²

③ 변전소

○ 서인천변전소와 인천만 조력발전소간- 330mm², 2회선

④ 송전선로(Duct 포함)

○ 규격 : TACSR/AW, 330mm², 2회선

○ 연장 : 약 30km

⑤ 수차 발전기축 Stoplog : 외해측 : B × H = 15.9 × 15.73m

내해측 : B × H = 15.0 × 16.12m

⑥ 수차 발전기축 크레인

○ Ganty Crane (250톤)

○ Overhead Crane (50톤, 30톤)

⑦ 수문축 STOPLOG : 외해측 : B × H = 12.0 × 15.0m

내해측 : B × H = 19.5 × 19.5m

⑧ 수문축 크레인 : Ganty Crane (100톤)

: Overhead Crane (50톤)

3. 토목구조물 개념설계

(1) 수차발전기 구조물

① 기본조건

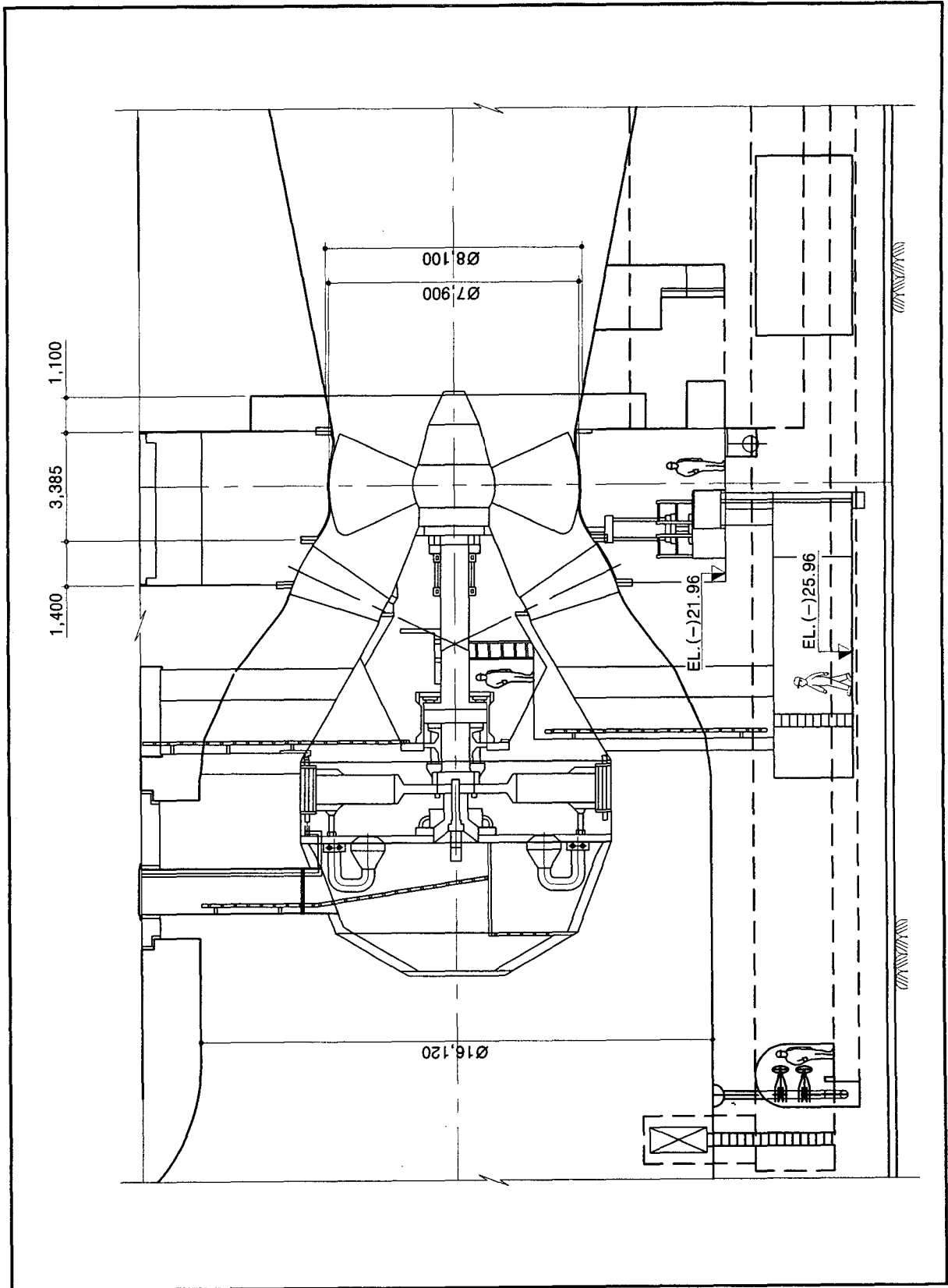
○ 수차발전기의 제원

최적화 검토결과 선정된 25MW급 비양수 단류식 Bulb형 수차발전기의 대수 및 제원은 다음과 같다.(참조 표 3.1, 그림 3.1)

- 소용량 수차발전기의 대수 : 18대(450MW)
- 대용량 수차발전기의 대수 : 38대(950MW)

<표 3.1> Bulb형 수차발전기의 제원(25MW)

| 구 분 | | 단 위 | 제 원 |
|---------|-----------|-----|-------------|
| Turbine | 정격비속도 | rpm | 385.1 |
| | 동기속도 | rpm | 62.07 |
| | 최대 축수력 | kg | 500,000 |
| | 수차회전부 중량 | ton | 156.9 |
| | 런너 외경 | mm | 7,900 |
| | 런너 외경 비율 | | 0.967 |
| | 런너의 날개수 | Nos | 3 |
| | 날개 길이 및 폭 | mm | 2,257/1,827 |
| | 날개 두께 | mm | 666 |
| | 주축 길이 | mm | 8,650 |
| | 주축 직경 | mm | 1,000 |



<그림 3.1> Bulb형 수차발전기 단면도(25MW)

② 수차발전기 구조물 구상

Bulb형 수차발전기를 설치할 구조물은 발전기 제작 회사들이 수리학적인 모형실험 등을 실시하여 물의 흐름에 있어서 구조물로 인한 저항을 최소화하는 연구결과들을 발표한 바 있다.

금번의 단면구상은 기존의 연구자료들을 기초로 하여 가장 널리 채택되고 있는 단면을 대상으로 구상하였다.

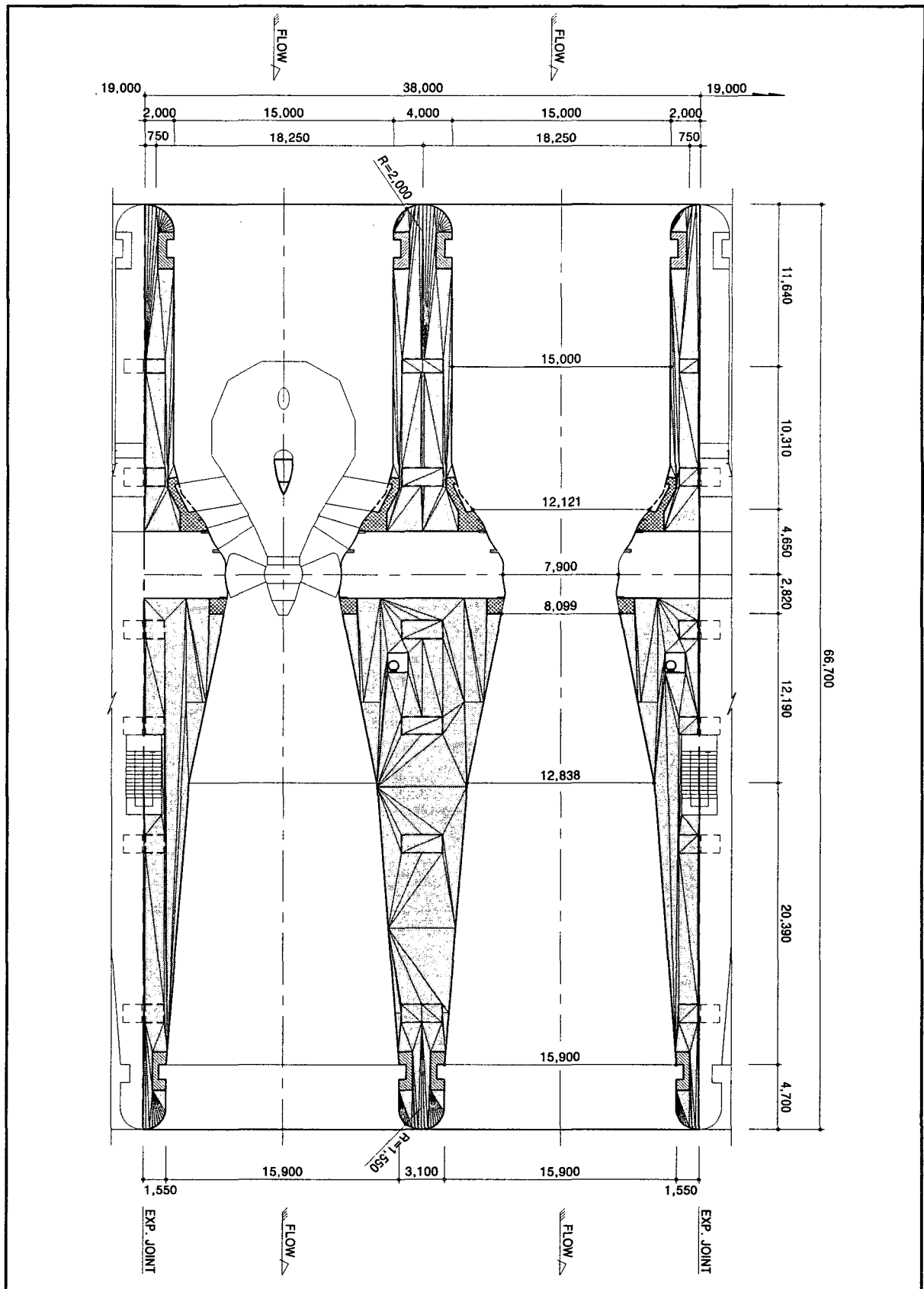
수차발전기 구조물의 단면구상은 다음사항들을 전제로 하였다.

- 단면형상은 수로의 수리학적 영향을 고려함
- 구조물 폭 결정은 4차선 이상이 될 해안도로와 연계되도록 함.

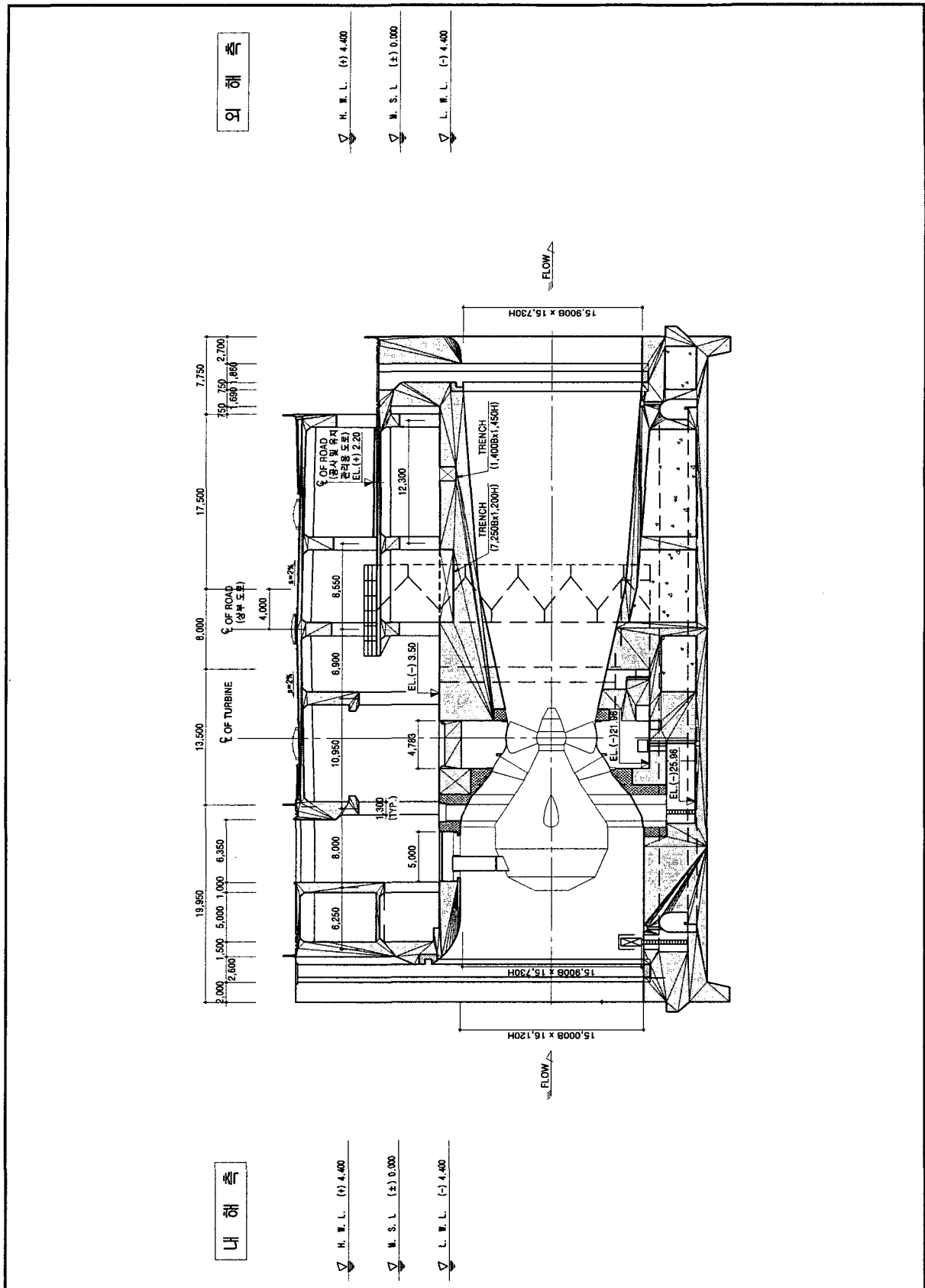
<표 3.2> 수차구조물 제원

(단위 : m)

| 구 분 | | 단 면 제 원 |
|-------|-----------|---------------|
| 폭 | | 66.7 |
| 높 이 | | 36.0 |
| 길 이 | | 38.0 |
| 수 로 | Top EL | EL.(-)5.34 m |
| Inlet | Invert EL | EL.(-)21.46 m |



<그림 3.2> 수차발전기 구조물 평면도



<그림 3.3> 수차발전기 구조물 단면도

③ 구조물 기초보강

퇴적층은 대부분이 연약한 토질이므로 47.0t/m²이 소요되는 구조물을 지지할 수 없기 때문에 연약토질을 제거하고 소요 지지력을 감당할 수 있는 기초로 바꾸어 주어야 한다. 소요 지지력을 감당할 수 있는 기초로서 고려할 수 있는 공법은 치환법과 개량법을 들 수 있다.

○ 지층 조건

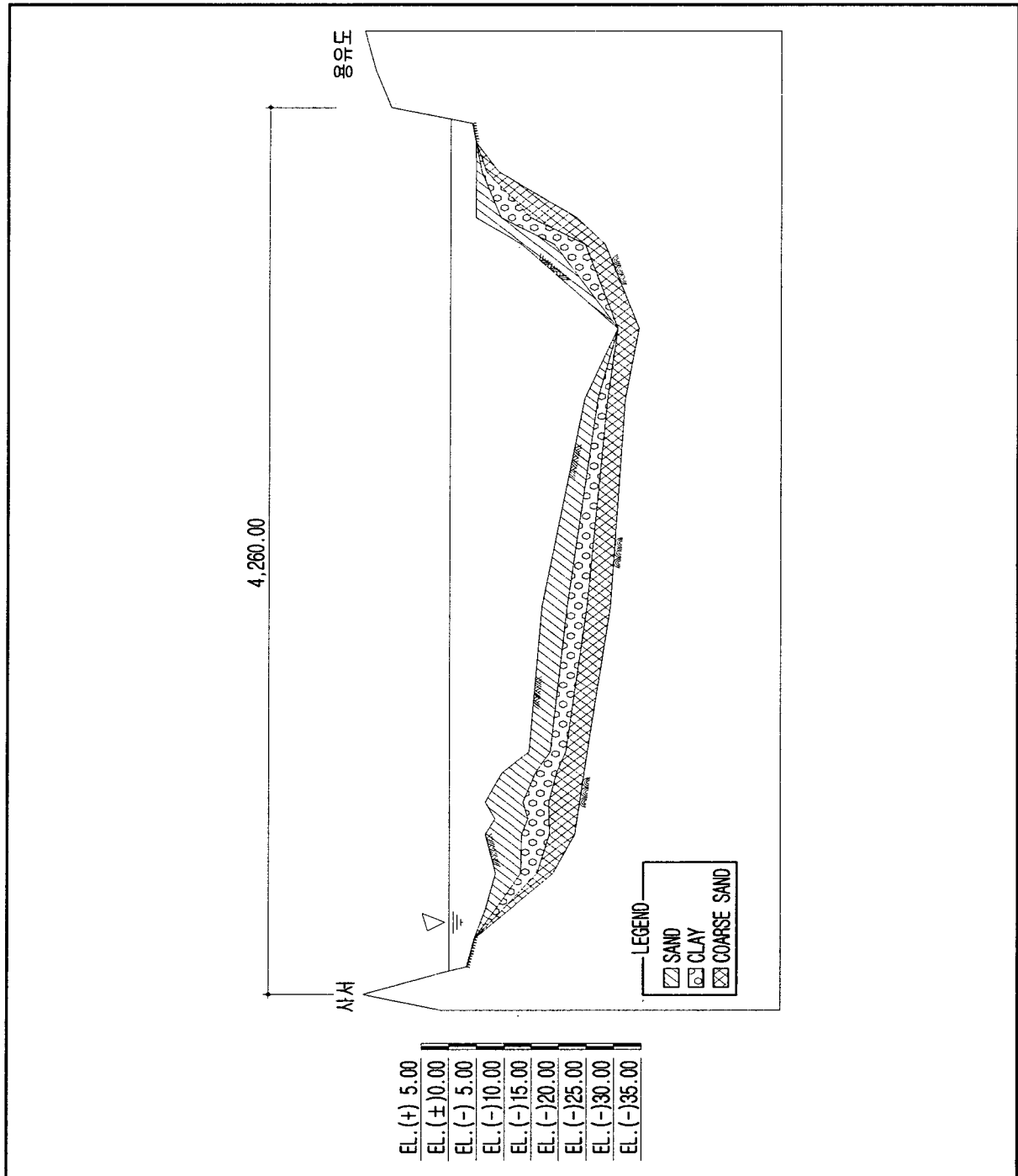
인천만의 조력발전소가 위치할 사서~용유도 사이 구간에 시추조사를 실시하지 않아 영종도 신공항 조성공사 시 실시된 시추조사 중 왕산등 북측 해안에 해당하는 No. BB101 1공을 참조 하였다. 이 조사 결과에 의하면 EL(-)4.60m~EL(-)9.10m는 silty sand층이 4.50m 두께로 분포하고 N치는 3~11로 느슨한 상태이며, EL(-)9.10m~EL(-)14.40m는 clay층이 5.30m 두께로 분포하고 N치는 7~10으로 연약 또는 보통의 상태이다. EL(-)14.40m~EL(-)23.00m는 silty sand층으로 N치가 14~50이며 보통 내지 매우 조밀한 상태를 나타낸다. 또한, EL(-)23.00m 이후부터는 soft rock층이 나타나는 것으로 조사 되었으며, 이 자료를 이용하여 수차 및 수문이 위치할 지층을 추정하여 정리하면 아래 표와 같다.

<표 3.3> 수차, 수문 구조물 기초 지층 조건

| 구 분 | 수 차 | | 수 문 | | 비 고 |
|------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|----------|
| 수 심 | 약 30.0m | | 약 27.0m | | |
| 지 층 | EL(-)26.00~EL(-)27.00 (두께 : 1.0m) | Silty Sand | EL(-)23.00~EL(-)26.00 (두께 : 3.0m) | Silty Sand | N치 3~11 |
| | EL(-)27.00~EL(-)28.00 (두께 : 1.0m) | Clay | EL(-)26.00~EL(-)28.00 (두께 : 2.0m) | Clay | N치 7~10 |
| | EL(-)28.00~EL(-)30.00 (두께 : 2.0m) | Silty Sand | - | - | N치 3~11 |
| | EL(-)30.00~EL(-)33.00 (두께 : 3.0m) | Silty Sand | - | - | N치 14~50 |
| | EL(-)33.00~ | Soft Rock | EL(-)28.00~ | Soft Rock | N치 50이상 |
| 구조물 바닥 EL. | EL.(-)33.00m | - | EL.(-)31.00m | - | - |
| 준설 깊이 | 약 7.00m | - | 약 8.00m | - | 구조물 설치 시 |
| 기초 처리 깊이 | 약 0.00m | - | 약 0.00m | - | - |
| 지지층 깊이 | 약 37.0m | - | 약 35.0m | - | 수심 포함 |

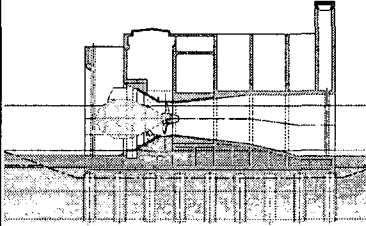
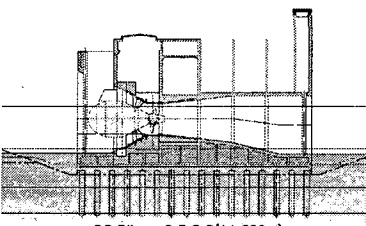
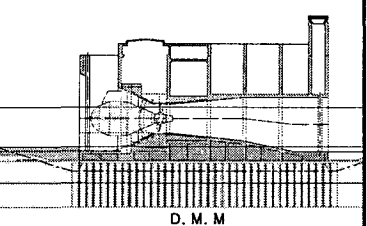
○ 기초공법 검토

인천만의 조력발전소 구조물 공사는 가물막이를 이용하여 발전소 구조물을 현장에서 타설하여 제작하는 시공방법을 채택하였다. 이때 발전소 구조물기초는 지층조건, 시공성 및 경제성 등을 고려하여 현장타설 말뚝기초, 강관 말뚝기초, 표층혼합처리 공법을 비교 검토하였다.(참조 표 3.4)



<그림 3.4> 지층 단면도

<표 3.4> 기초공법 비교

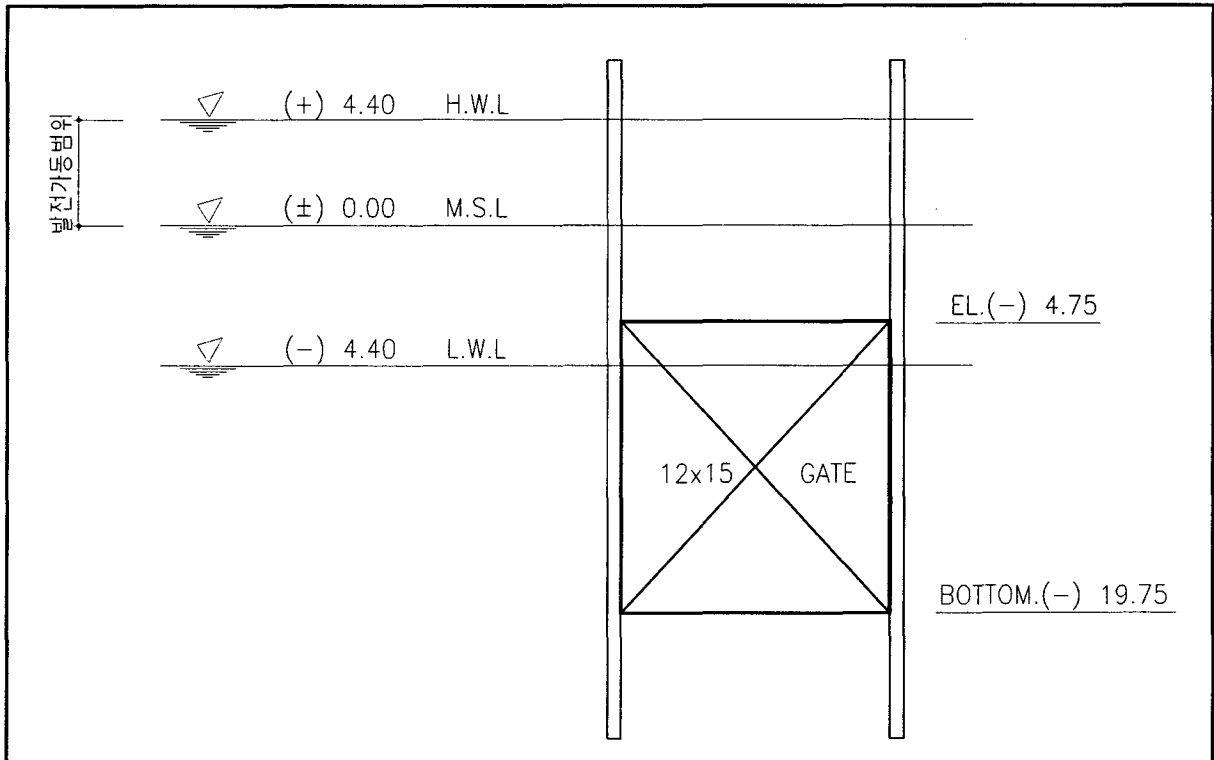
| 구분 | 현장타설 말뚝기초 | 강관말뚝 기초 | 심층혼합처리 공법 | |
|------|--|---|--|---|
| 개요도 |  현장 타설콘크리트(φ3,000mm) C.T.C 7,500 |  PC Pile or S.S.P.P.(φ1,500m) C.T.C 4,000 |  D. M. M | |
| 공법개요 | <ul style="list-style-type: none"> 지중에 Casing을 설치하고 내부를 Hammer Grab이나 Earth Drill로 굴착한 후 철근망 등의 응력재를 Casing내부에 삽입하고 Tremie Pipe로 콘크리트를 타설하여 말뚝을 형성하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝을 지중에 타입하여 상부 구조물의 하중을 단단한 지지층에 전달하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 연약지반(점성토, 느슨한 사질토, 유기질토)에 시멘트와 물을 혼합하여 반응된 수화생성물을 지반 내에 주입하면서 특수교반기로 회전 혼합하여 지반 내에 고화된 개량체를 조성하는 공법 | |
| 특 | 장점 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 지지층 확인이 용이 저소음, 저진동 공법으로 주변 영향 적음 공사목적과 지층조건에 따라 다양한 구경과 심도의 말뚝형성 대구경이므로 말뚝의 지지력 큼 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 공사비가 비교적 경제적인 시공속도가 빠르고 시공용이 품질 관리 용이 장비조합이 간단하고 시공이 단순함 비교적 깊은 심도까지 지지가능 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 저소음, 저진동 공법으로 주변영향 적음 연속벽체이므로 차수가능 소요강도 확보가 용이함 개량효과가 확실하며 공기단축 공사비가 경제적인 기초지반 침하량이 3cm 이내임 |
| | 단점 | <ul style="list-style-type: none"> Casing이 없는 경우 지중에 화학성분이 있으면 시멘트가 잘경화되지 않을 수 있음 말뚝 체의 결손을 확인하기 어려우므로 품질관리 주의요망 공사비 고가 장비구성 및 부속자재 대형 대형장비로 넓은 작업공간 필요 | <ul style="list-style-type: none"> 소음, 진동 대책 필요 해수에 의한 부식방지 필요 자갈 및 전석층이 있는 경우 타입 곤란 상부 구조물의 하중이 큰 경우 파일본수의 과다로 경제성 및 시공성 불리 | <ul style="list-style-type: none"> 시공깊이에 제약이 따름(약 30m내외) 연약층의 고결상태 확인이 용이치 않으므로 품질관리에 주의가 요망됨 지반조건에 따라 강도변화가 생길 수 있음 |
| 선정 | | | ● | |
| 선정사유 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝인 경우 자갈 및 전석층이 존재하면 타입이 곤란하며, 구조물 하중이 커 파일본수 과다로 경제성 및 시공성이 불리함 심층혼합처리 공법은 타 공법에 비하여 공사비 뿐만 아니라 시공성에서 다른 안에 비하여 유리함 | | | |

(2) 수문 구조물

① 기본단면구상

○ 문비의 위치

수로의 표고는 문비의 위치에 따라 결정되며, 문비의 위치는 발전소 가동시 조위의 변화에 관계없이 통수 전면적이 상시 물에 잠길수 있도록 하고 인천만 조위측정현황과 비교하여 문비의 위치를 도시하였다.(참조 그림 3.5)



<그림 3.5> 문비 위치도

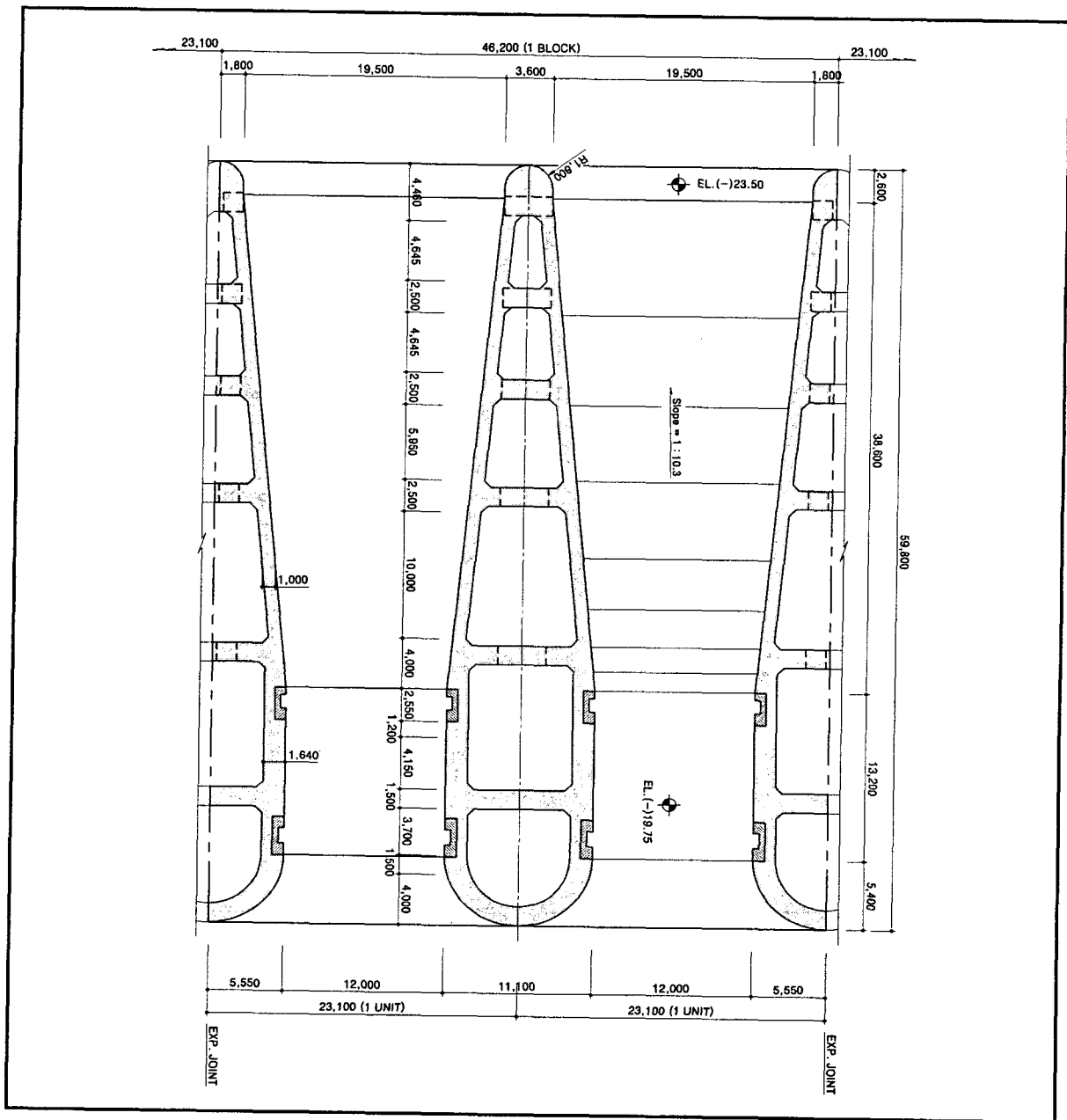
○ 수문구조물 구조단면

수문구조물에는 2개의 문비를 설치토록 계획하였으며 구조물의 기본단면을 구상하는데 있어서 다음의 사항들을 전제조건으로 하였다.

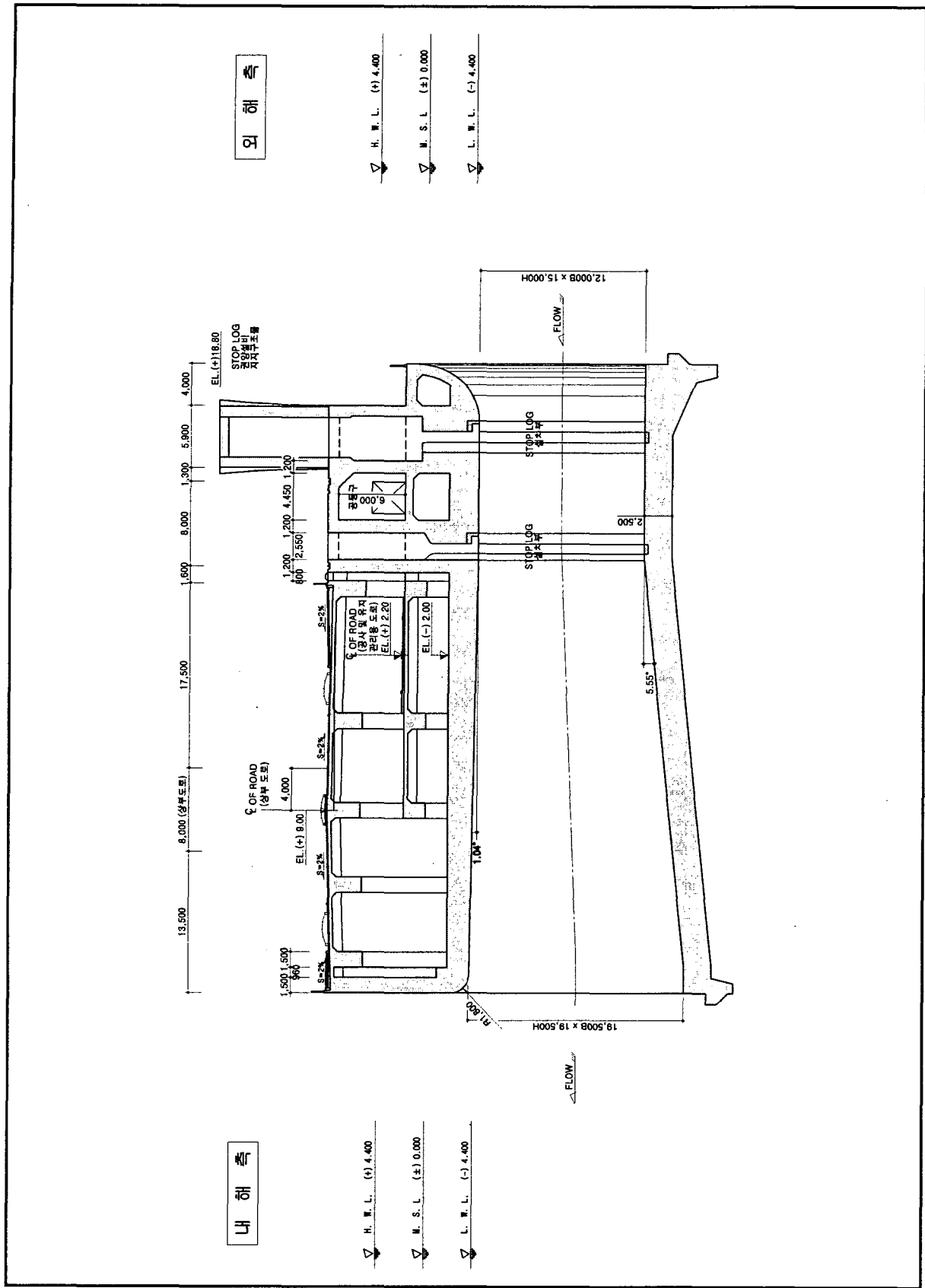
- 수로의 단면곡선은 외해측으로 수로 상·하단에 완화곡선을 두며, 내해측은 수로 하단부만 완화곡선을 계획
- 구조물 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 계획.
- 인천국제공항 고속도로와의 연계를 고려하여 구조물 상부에 계획되는 도로폭원은 4차선 이상 가능하도록 구조물 폭을 구상하였다.(참조 그림 3.6, 그림 3.7)

<표 3.5> 수문 구조물 제원

| 구 분 | 설 계 단 면 | 비 고 |
|------------|--------------|-----|
| 폭 | 38.0m | |
| 높 이 | 26.50m | |
| 길 이 | 40.0m | |
| Top EL. | EL.(-)4.75m | |
| Bottom EL. | EL.(-)19.75m | |



<그림 3.6> 수문 구조물 평면도



<그림 3.7> 수문 구조물 단면도

(3) 연결 구조물

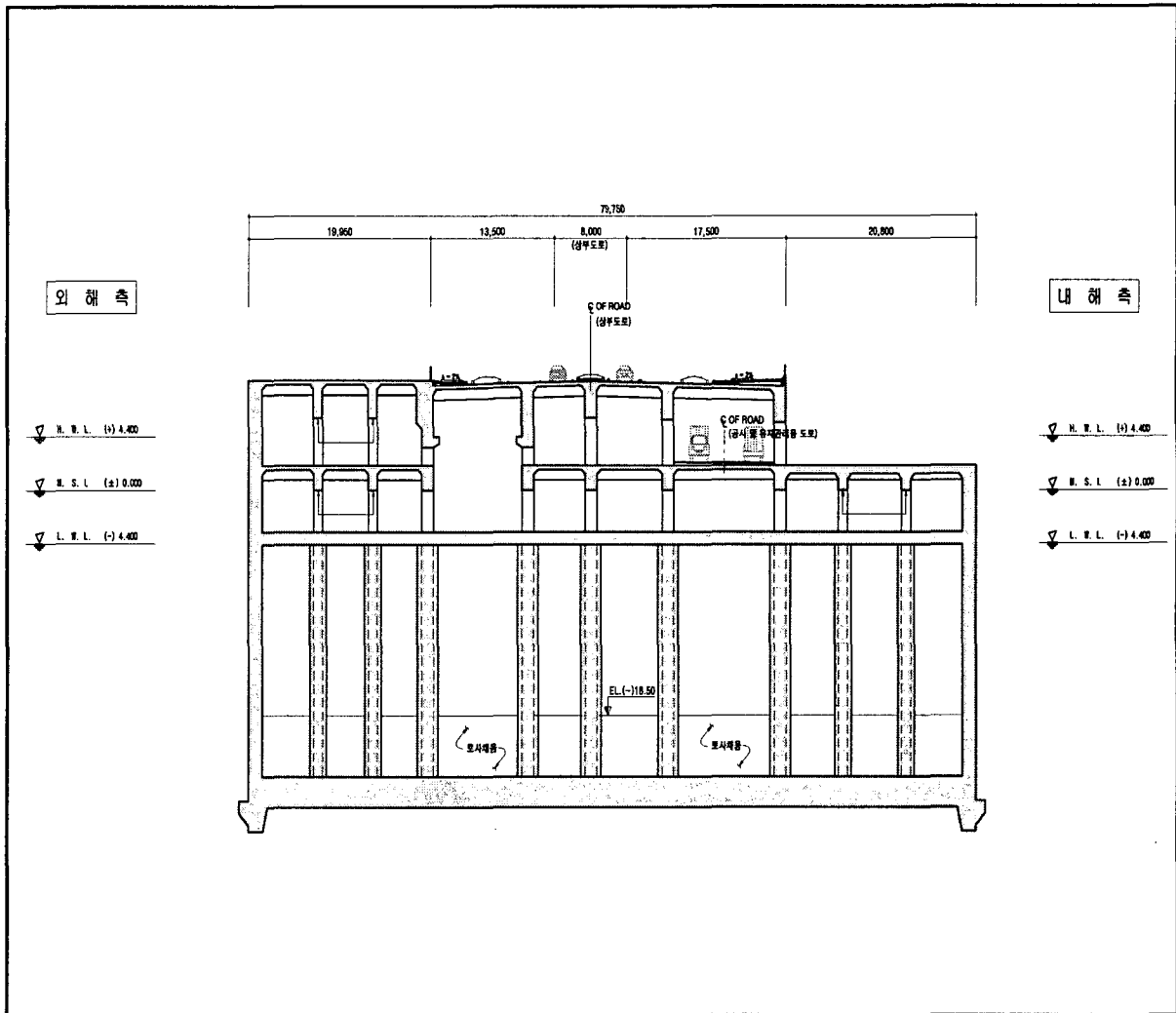
① 기본단면구상

수문구조물과 수차발전기 구조물이 접속되는 구간에는 연결구조물을 배치하며 형상은 단일 구형 형태의 철근 콘크리트 구조로 계획하였다.

연결구조물의 폭은 수문구조물과 수차발전기 구조물이 연결되는 곳에 구조적으로 무리가 없도록 설계하였다.(참조 표 3.6, 그림 3.8)

<표 3.6> 연결구조물 제원

| 구분 | 위치 | 폭 | 높이 | 길이 | 비고 |
|-------|---------------|-------|-------|--------|----|
| 연결구조물 | 수차, 수문 연결부 | 25.0m | 35.0m | 79.75m | |



<그림 3.8> 연결 구조물 개념도

(4) 조력댐

조력댐은 위치에 따라 서측발전부 조력댐, 서측조력댐, 북측조력댐으로 나누어지며 체체의 구조형식은 지반침하에 대하여 탄력적으로 대처할 수 있는 사석경사제로 설계하였다. 조력댐의 단면 검토는 전체 연장의 평균수심으로 산출하였으므로 수심이 깊은 곳의 조력댐의 단면검토는 추후 다시 검토되어야 한다.

① 항만 및 어항 설계기준에 의한 마루높이 검토

| 구 분 | 개 요 |
|--|--|
| 항만 및 어항 설계기준 (H.W.L+1.25 H _{1/2}) | • 배후지의 이용방법에 따라 방파제를 월파하는 월파량의 기준을 달리하여 제한된 월파량만을 허용토록 마루높이 결정 |

주 : 측정된 삭망평균고조위가 없으므로 고극조위를 기준으로 마루높이를 검토함

$$\begin{aligned}
 \text{마루높이} &= \text{고극조위} + 1.25 H_{1/2} \\
 &= 5.65 + 1.25 \times 2.47 \\
 &= \text{EL.}(+) 8.74\text{m}
 \end{aligned}$$

따라서, 마루높이를 여유고를 두어 EL.(+)9.0m로 결정

② 천단폭

기본단면을 구상하기 위한 전제조건으로

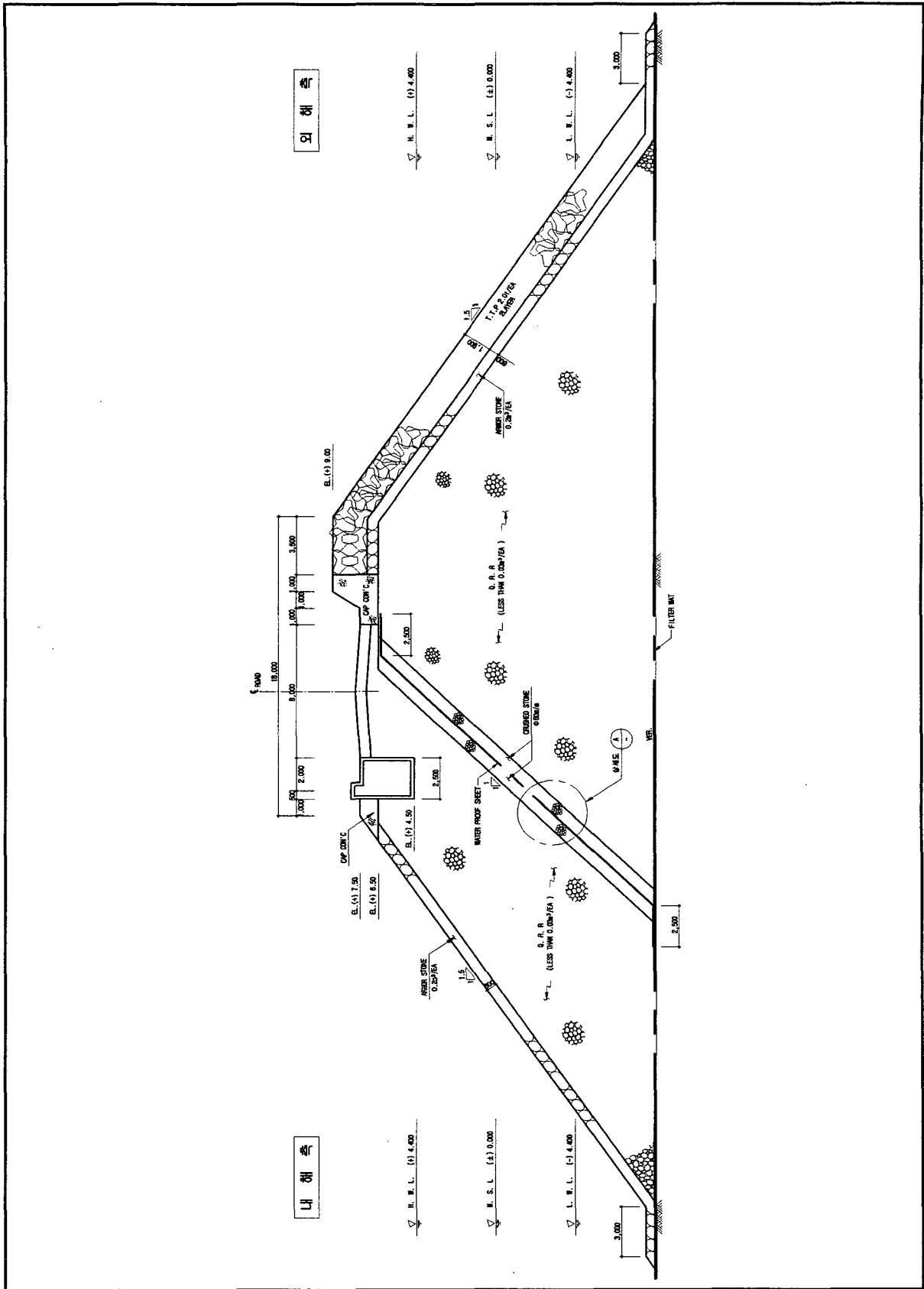
- 조지내외의 수위차이로 인한 활동의 안정성 확보
- 최소 2차선 도로폭원을 확보하되 장래 4차선 도로 폭원을 확보가 가능하도록 계획

위 전제조건을 바탕으로 천단폭을 18.5m이상으로 계획

○ 제체단면

<표 3.7> 조력댐 제원

| 마 루 폭 | 마 루 높 이 | 사 면 경 사 | | 비 고 |
|--------|------------|---------|-------|-----|
| | | 제외측 | 제내측 | |
| 18.50m | EL.(+)9.0m | 1:1.5 | 1:1.5 | |



<그림 3.9> 조력댐 단면도

(5) 통선문

① 위치

갑문의 위치는 육지측에 계획하되 다음사항을 감안하여 계획하였다.

- 항로와 연계하여 선박출입에 장애요인이 적은 곳
- 지반이 구조물설치에 양호한 곳
- 갑문 및 항로 소요수심 확보를 위한 준설토량이 적은 곳

② 대상선박

- 500ton급 관광선 통과가 가능할 것
- 3,300Hp급 준설선 통과가 가능할 것

i) 대상선박제원

<표 3.8> 어선제원

(단위 : m)

| 구 분 | 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만제흘수(H) | 비 고 |
|---------|--------|---------|---------|---------|
| 5톤급 이하 | 3.10 | 10.80 | 1.0 | |
| 5~10톤급 | 3.60 | 15.0 | 1.20 | |
| 10톤급 이상 | 4.90 | 18.50 | 1.50 | 20톤급 제원 |

주 : 마스트 높이는 5~6m 임

<표 3.9> 준설제원(3,300Hp)

(단위 : m)

| 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만제흘수(H) | 마스트높이(P) |
|--------|---------|---------|------------|
| 14.63 | 48.77 | 2.30 | 8.0 ~ 10.0 |

주 : 마스트는 일부 해체 가능

<표 3.10> 관광선 제원(500ton)

(단위 : m)

| 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만제흘수(H) |
|--------|---------|---------|
| 9.90 | 49.60 | 2.50 |

③ 규모결정

- 갑문의 통과 가능시간은 주간에만 한정토록 하고, 외해에서의 작업시간을 최대한 늘리기 위해 갑문의 통과 시간은 최소가 되도록 한다.

i) 갑싹폭

대상선박 중 최대선급인 3300HP 준설선이 진입 가능한 폭을 계산하면

$$W = 14.63\text{m (준설선폭)} + \text{여유}(1.50\sim 2.0\text{m})$$

$$\approx 17.0\text{m}$$

iii) 갑실길이

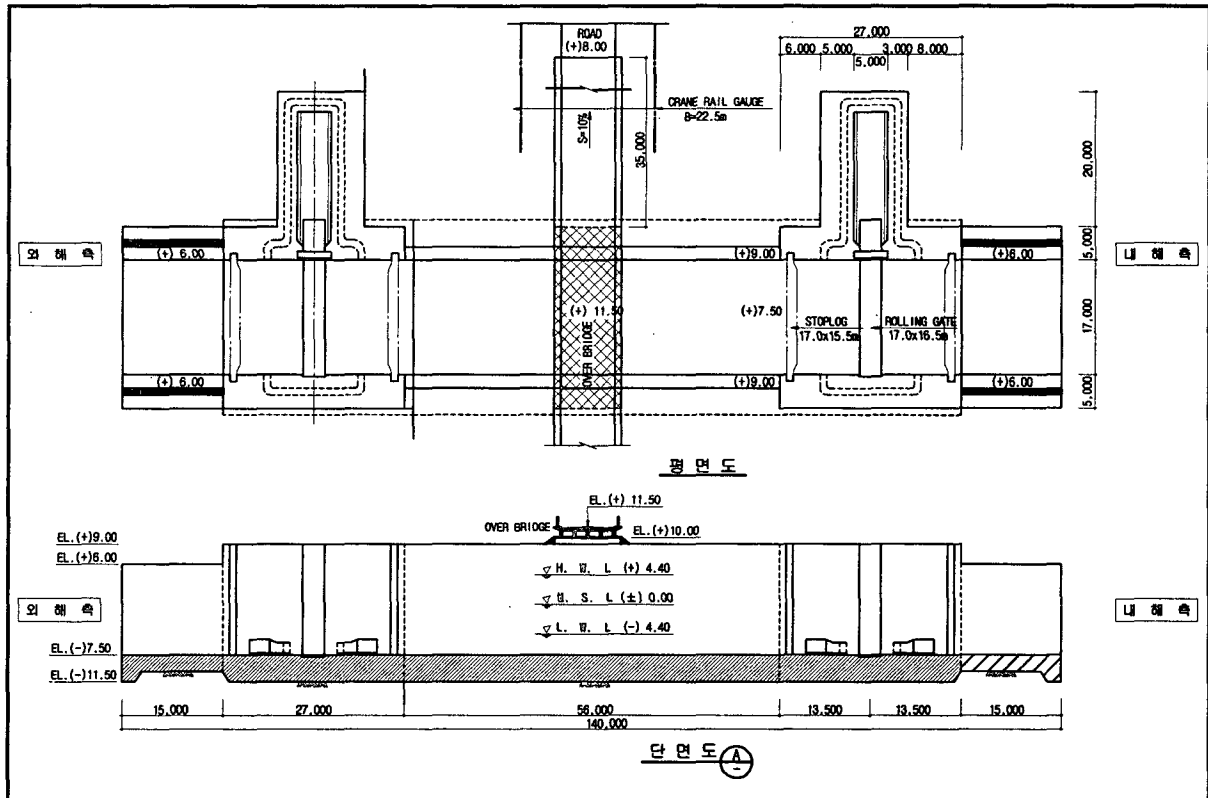
갑실길이는 80.0m 가 필요하다.

iv) 갑실수심

갑실수심은 만재흘수가 가장 깊은 관광선(500ton)의 통행을 고려하여 2.50m + 1.0m (여유고) = 3.50m로 계획하였다.

v) 구조형식

계획지점에 가체철제를 축조하여 육상 시공하는 구조적으로 안전한 콘크리트 중력식 공법을 적용하였다. (참조 그림 3.10)



<그림 3.10> 통선문 개념도

(6) 중물양장

- ① 대상선박 : 5,000DWT 화물선 ×1선좌
- ② 선좌길이 : 130m
- ③ 구조형식 : 콘크리트블록식
- ④ 주요 물량
 - 총사석량 : 187,298m³
 - 피복석량 : 10,312m³

(7) 가물막이공

조력발전소용 구조물의 제작을 위한 시설로 가물막이를 축조하는 것으로 계획하였다. 가물막이공은 사석경사제보다 방수성능이 우수한 시트파일을 이용한 원형 셀식 가물막이 공법을 선정하여 계획하였다.

① 규모

- 가물막이 천단고 : EL.(+)9.0m
- 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t

② 주요물량

- 소용량(450MW)
 - 총 파일 중량 : 16,687.802ton
 - 속채움모래량 : 524,104m³
- 대용량(950MW)
 - 총 파일 중량 : 50,795.2ton
 - 속채움모래량 : 1,595,396m³

(8) 작업장(Platform)

① 작업장 조성

작업장은 가물막이 안쪽에 조성하며 총면적은 234,000m²이고 그 내역은 다음과 같다.

② 작업장 소요시설

- 사무실 : 800m²(회의실, 설계실, 기술 및 행정요원 사무실 등)
- 중기수리공장 : 4,000m²

- 목공소 : 1,500m²
- 철조가공장 : 6,000m²
- 창고 : 2,000m²
- 발전실 : 1,000m²(발전기 1000kw × 4EA)
- 시멘트 창고 : 1,500m²
- 크랏샤 Plant : 40,000m²(원석 야적장, 모래선별기, 골재야적장)
- TTP 제작장 및 야적장 : 16,000m²(120m×130m)
- Con'c Block 제작장 및 야적장 : 15,000m²
- 보조장비 구역 : 1,500m²

(9) 조립장(Erection Yard)

- 조립장의 위치는 가물막이공 안쪽에 계획하며, 규모는 길이 190m, 폭 35~80m, 면적 11,000m²이다.
- 조립장의 기능 : 5,000DWT 중물양장을 통하여 반입된 수차발전기 부속자재를 육상 Crane(70ton)을 사용하여 조립작업을 시행하며, Gantry Crane(250ton)을 이용하여 구조물 내부에 수차발전기를 설치한다.

(10) 준설 및 처리

① 기초준설

기초준설은 수차발전기 구조물의 설치를 위해, 구조물 설치위치에서 내해측 및 외해측으로 각각 50m까지는 EL.(-)29.0m로 준설을 시행한다. 또한 수문구조물은 EL.(-)26.25m까지 기초준설이 필요로 한다.

② 준설토의 처리

수차발전기, 수문구조물의 기초준설의 준설의 처리는 가장 가까운 매립예정지에 투기하는 것으로 계획하였다.

4. 발전설비 및 기기설비 개념설계

(1) 발전설비

① 개요

발전설비의 시설용량으로서는 용량별로 소용량 25MW 수차발전기 18대와 대용량 25MW 수차발전기 38대에 대하여 검토하였다. 특히 기본사양에서 양수기능이 적용되는 경우에는 기동용 가변속장치, 고조파 필터 및 회전방향 전환스위치 등을 추가시켜 참고할 수 있게 하였다.

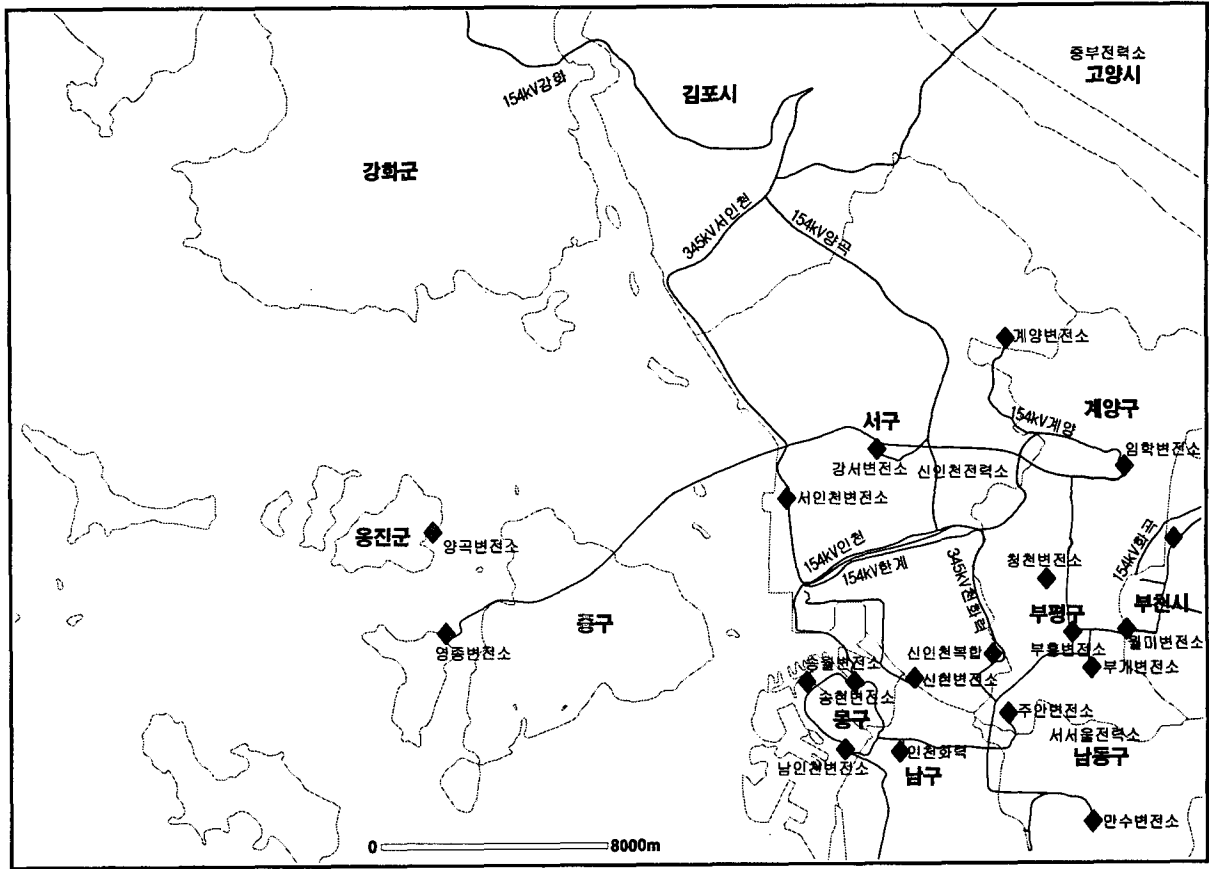
발전기를 소형화시키기 위하여 발전기의 전압과 역율을 증가시켰으나 역율 변동에 따른 계통운영에는 지장 없는 것으로 검토되었으며 발전기 용량이 증가됨에 따라 주변압기 용량, 345kV 케이블 규격과 송전선 규격이 증가되었다. 송전선 연계지점은 약 30km 떨어진 곳에 위치한 서인천변전소로 계획하고 345kV 케이블을 서측에서 동측으로 포설하게 되었다. 또한 345kV 송전선 및 케이블 그리고 주변압기 용량은 각 안별에 대해 사용할 수 있도록 하였다.

② 송전선로

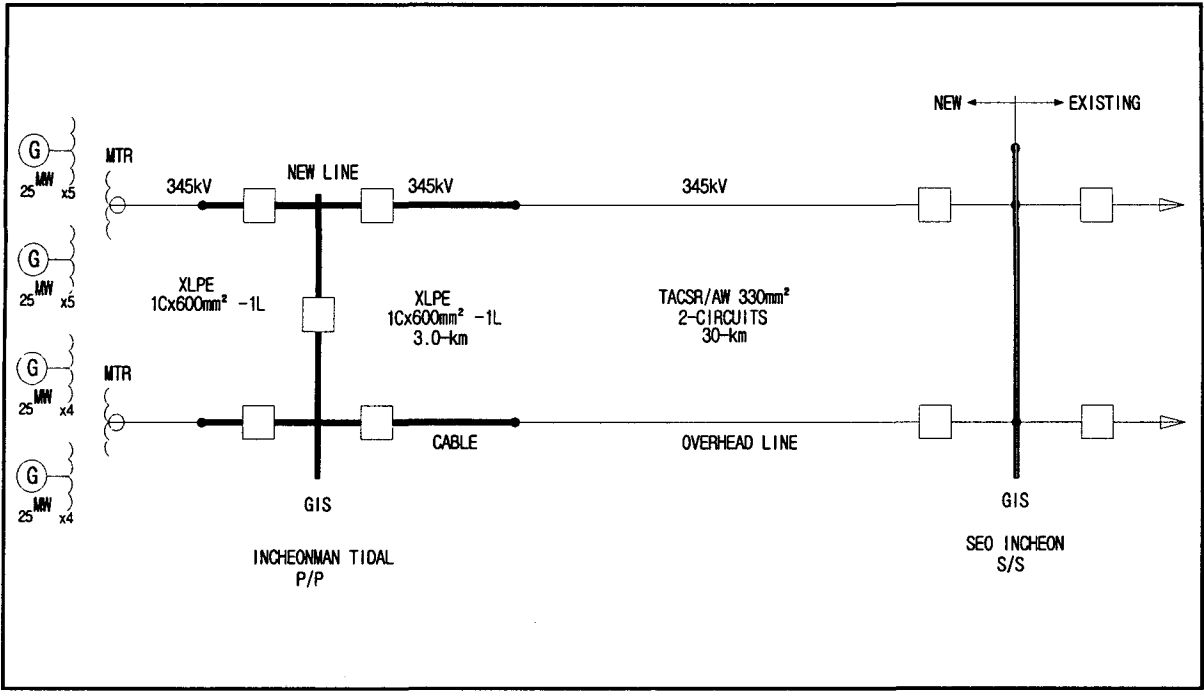
건설 후보지점은 인천국제공항으로부터 동쪽으로 30km 떨어진 곳에 위치하게 되며 송전선은 25MW의 경우에 적용할 수 있도록 TACSR/AW, 330mm², 2회선으로 하여 1회선 정전시에도 송전이 가능토록 하였다.(평상시 2대 보수정지, 소내전력 2%)

③ 주변압기 용량은 다음과 같이 계획한다.

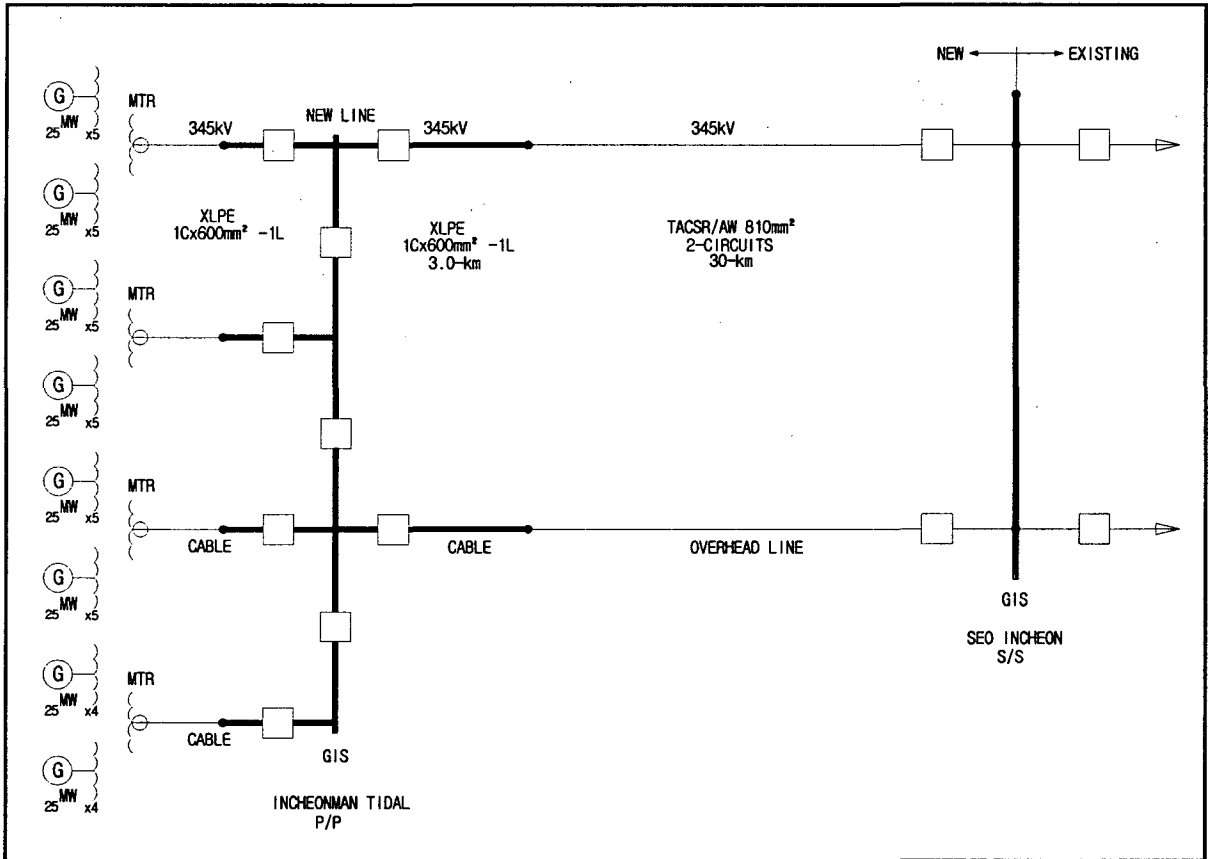
- 주변압기 용량 ----- 260/130/130MVA × 2대
- 345kV Cable ----- 2 Single Conductor, XLPE, 600mm², 1회선으로 한다.



<그림 4.1> 전력구 계통도



<그림 4.2> 전기 단선도(450MW)



<그림 4.3> 전기 단선도(950MW)

(2) 수차 기기설비

① Stoplog

Stoplog은 발전소 구조물의 수로양단에 Drop in bulkhead gate 형태로 설치하여, 수차 발전기의 설치, 정기적인 검사 및 보수를 하고자 할 때 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획한다.

② Crane

상류단 및 하류단의 Stoplog 크기 및 중량은 최종거치 후 운영 관리할 수 있도록 설치 계획한 Overhead crane과 Gantry crane의 능력과 연계시켜 다음 표와 같이 계획하였다 (참조 표 4.1).

<표 4.1> 수차측 Stoplog 제원

| 구 분 | | 내 해 측 | 외 해 측 | 비 고 |
|------|----|---------------------|----------------------|-----|
| 크 기 | 폭 | 15.0m | 15.9m | |
| | 높이 | 18.85m | 16.0m | |
| 구성형식 | | 1조, 5블록/조 | 1조, 5블록/조 | |
| 운영장비 | | 200ton Gantry crane | 80ton Overhead crane | |

(3) 수문 기기설비

① 배수갑문

최적화 과정을 거쳐 산출된 적정시설 수문의 대수는 소용량(450MW) 8대, 대용량(950MW) 18대였으며 이에 따라 문비도 맞추어 설치하는 것으로 하였으며, 문비의 형태는 수심이 깊은 장봉수도 여건에 적합한 Lift gate를 채택하였다. 문비의 크기는 다음 표와 같다.

| 형 식 | 크 기 |
|-----------|---------|
| Lift gate | 12m×15m |

② Stoplog : 구조물 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수 시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획

③ Crane : 배수갑문은 유압실린더식으로, Stoplog는 35 ton Gantry Crane으로 설치 및 해체할 수 있도록 계획하고 문비의 개폐운영은 유압실린더를 사용하는 것으로 계획

5. 시공 및 공정계획

(1) 작업기준설정

조력발전소의 전공정계획을 수립하기 위하여 주요 구조물의 건설방법 및 단위공정을 산출하기 위한 작업기준을 다음 표와 같이 설정하였다.

<표 5.1> 작업기준

| 구 분 | 작 업 기 준 |
|----------|--|
| ○ 해상작업 | 월 20일 |
| - 일반공사 | 1일 10시간 1교대 |
| - 준설공사 | 1일 10시간 2교대 |
| ○ 육상작업 | 월 23일, 1일 10시간 2교대 |
| - 콘크리트공사 | 년간 월동기 2개월간은 타설 중지 |
| ○ 진입도로공사 | 발전소 계획위치에 진입하는 동서측의 양쪽 진입도로는 발전소 공사전에 건설되는 것으로 간주하여 본 공정에서 제외함 |

(2) 단위공종의 시공방법 및 계획

발전소 공사의 주공정(Critical path)에 영향 주는 주요 단위 공종은 수차발전기, 수문 구조물 및 조력댐 구조물이므로 이들의 시공방법과 공기를 검토하여 전체사업의 공정계획 수립에 적용토록 한다.

① 가물막이

수차, 수문, 연결구조물 등에 사용되는 구조물을 제작하기 위한 가물막이를 설치하고 DRY상태에서 시공하는 것으로 계획하였다.

- 가물막이 천단고 : EL.(+)9.0m
- 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t
- 공사기간(소용량)
 - pile 항타 및 용접공 : 약 8개월
 - 정지, Bedding, 배수 및 기타 1식 : 약 2개월
 - Lighting & MISC. : 약 2개월
- 계 : 약 12개월

○ 공사기간(대용량)

- pile 항타 및 용접공 : 약 14개월
- 정지, Bedding, 배수 및 기타 1식 : 약 4개월
- Lighting & MISC. : 약 4개월
- 계 : 약 20개월

② 수차구조물

○ 공사규모(소용량-450MW)

구조물 전체수량은 18개함으로 총 사용 콘크리트량은

$$19,452\text{m}^3/\text{함} \times 18\text{함} = 350,136\text{m}^3\text{임}$$

- 공사기간

구조물 2대를 한조로 1개월 간격으로 기초공사를 착공하여 1조당 기초공사 소요기간이 약 2개월이며, 콘크리트 타설 및 상부공 공사 소요기간이 1조당 약 12개월이 소요된다. 그러므로 구조물 제작에 약 36개월이 소요될 것이다.

○ 공사규모(대용량-950MW)

구조물 전체수량은 38개함으로 총 사용 콘크리트량은

$$19,452\text{m}^3/\text{함} \times 38\text{함} = 739,176\text{m}^3\text{임}$$

- 공사기간

구조물 2대를 한조로 1개월 간격으로 기초공사를 착공하여 1조당 기초공사 소요기간이 약 2개월이며, 콘크리트 타설 및 상부공 공사 소요기간이 1조당 약 12개월이 소요된다. 그러므로 구조물 제작에 약 72개월이 소요될 것이다.

(3) 수문구조물

○ 공사규모(소용량-450MW)

구조물 전체수량은 8개함으로 총 사용 콘크리트량은

$$16,179\text{m}^3/\text{함} \times 8\text{함} = 129,432\text{m}^3\text{임}$$

- 공사기간

구조물 2대를 한조로 1개월 간격으로 기초공사를 착공하여 1조당 기초공사 소요기간이 약 2개월이며, 콘크리트 타설 및 상부공 공사 소요기간이 1조당 약 10개월이 소요된다. 그러므로 구조물 제작에 약 20개월이 소요될 것이다.

○ 공사규모(대용량-950MW)

구조물 전체수량은 18개함으로 총 사용 콘크리트량은

$$16,179\text{m}^3/\text{함} \times 18\text{함} = 291,222\text{m}^3\text{임}$$

- 공사기간

구조물 2대를 한조로 1개월 간격으로 기초공사를 착공하여 1조당 기초공사 소요기간이 약 2개월이며, 콘크리트 타설 및 상부공 공사 소요기간이 1조당 약 10개월이 소요된다. 그러므로 구조물 제작에 약 40개월이 소요될 것이다.

(4) 조력댐

조력댐의 주요 공종은 연약지반 처리공, 사석공, 피복재 및 TTP 포설공, 차수 Sheet 공 및 기타공 등이 있으며 주요물량 및 공사기간을 추정하면 다음과 같다.

<표 5.2> 조력댐 주요물량 및 공사기간(소용량)

| 주요 공종 | 수 량 | 공 사 기 간 |
|---------------------|-------------------------|----------------------|
| ○ 사석 및 피복석 | 8,632,036m ³ | 사석, 피복석 및 TTP : 35개월 |
| ○ 차수Sheet 부설 | 276,275m ² | 콘크리트타설 및 웨도부설 : 10개월 |
| ○ 저면매트 부설 | 858,831m ² | 기타 : 5개월 |
| ○ TTP (3.2ton) | 239,088ea | ----- |
| ○ 상치 및 crane 기초콘크리트 | 87,027m ³ | 계 : 50개월 |

<표 5.3> 조력댐 주요물량 및 공사기간(대용량)

| 주요 공종 | 수 량 | 공 사 기 간 |
|---------------------|--------------------------|----------------------|
| ○ 사석 및 피복석 | 14,072,228m ³ | 사석, 피복석 및 TTP : 56개월 |
| ○ 차수Sheet 부설 | 450,392m ² | 콘크리트타설 및 웨도부설 : 16개월 |
| ○ 저면매트 부설 | 1,400,095m ² | 기타 : 12개월 |
| ○ TTP (3.2ton) | 389,769ea | ----- |
| ○ 상치 및 crane 기초콘크리트 | 140,248m ³ | 계 : 84개월 |

6. 개략공사비

(1) 공사비 산출기준

공사비는 다음을 기준으로 산출하여 원화로 표시하였으며 제경비가 포함되었으나 부가세도 제외하였다.

- ① 환 율 : 1\$ = 1,025.7원 (2005년 3월 1일 기준, 재정환율)
- ② 재료비 : 2005년 2월 기준 (물가자료)
- ③ 노무비 : 2005년 정부고시 상반기 노임단가
- ④ 보상비
 - 코리아 감정 평가법인(주)에서 조사, 산출한 “가로림 조력 타당성 조사 보상비 산정 용역 보고서, 2004년 11월”을 기준으로 면적대비 보상비를 산출하였다.
- ⑤ 토목공사비 : 공사단가는 정부공사 표준품셈과 2004년도 향만·어항공사 설계 및 적산기준을 적용하였으며, 단가산출이 어려운 공종은 기존검토 자료를 이용 Escalation하여 적용하였다.
 - 금번 타당성 조사에서는 물가 상승률을(30% : '96~2004 하반기) 가산 적용하였으며 2004년도에 구상한 표준단면도 및 수량산출을 적용하였다.
 - 공종중 Con'c bacth plant를 삭제하였고, 레미콘 생산업체의 현대화로 인하여 물량수급에 있어 대량생산이 가능하므로 믹서트럭을 이용한 레미콘 운반시설로 적용하였다.
- ⑥ 전기·기계공사
 - Turbine & Generator의 가격은 최근 중국의 견적가격에 환율을 고려하여 적용하였다. (설치비는 95년도 적용가격에 환율 고려 적용)
 - 발전기의 개폐류와 Gantry crane, Sluice gate류의 기계부분 공사비는 국내업체의 견적가격 (95년도 기준에 물가상승률 44% 적용)을 적용하였다.
- ⑦ 공사관리비는 보상비, 토목공사비와 전기/기계공사비에 대하여 3%를 계상하였다.
- ⑧ 조사 설계 감리비는 토목공사비에 대하여 5%, 전기/기계공사비에 대하여 1.5%를 계상하였다.
- ⑨ 건설이자 5% 복리이자로 적용하였다.

(2) 개략 공사비(소용량-450MW)

(단위:백만원)

| 구분 | 금액 | 비고 |
|-------------------------|-----------|------------------|
| (1) 보상비 | | 가로림만 보상비의 면적 대비비 |
| ㉠ 육상보상비 | 4,220 | |
| ㉡ 어업권 보상비 | 39,546 | |
| 소 계 | 43,767 | |
| (2) 토목공사비 | | |
| ㉠ 가설비 | 18,096 | |
| ㉡ 발전소 구조물 | 111,384 | 수차18대(약342m) |
| ㉢ 수문 구조물 | 53,368 | 수문8대(약185m) |
| ㉣ 조력댐 | 305,201 | 연장 약10.2m |
| ㉤ 통선문 | 14,214 | |
| ㉥ 가물막이공 | 25,979 | |
| ㉦ 중량물물양장(5,000 DWT급) | 4,511 | |
| ㉧ 연결구조물 | 7,688 | 25m |
| ㉨ 접속구조물 | 1,932 | |
| ㉩ 옹벽구조물 | 13,921 | |
| 소 계 | 556,294 | |
| (3) 전기/ 기계공사비 | | |
| ㉠ Turbine-Generator | 270,000 | 중국 견적가 |
| ㉡ Sluice Gates | 11,906 | |
| ㉢ Stop-Log(Power Plant) | 14,378 | |
| ㉣ Stop-Log(Sluice Gate) | 6,857 | |
| ㉤ Lock 기계설비 | 10,711 | |
| ㉥ Gantry Crane ect. | 7,903 | |
| ㉦ Switch Gear & Trans. | 60,087 | |
| 소 계 | 381,842 | |
| 계(1+2+3) | 981,903 | |
| (4) 공사관리비 | 79,098 | (1+2)×10%+(3)×5% |
| (5) 조사,설계,감리비 | 33,542 | (2)×5%+(3)×1.5% |
| 합 계 | 1,094,543 | (1)+.....+(5) |
| (6) 건설이자 | 208,422 | 년5% 단리이자 |
| 사업비계 | 1,302,965 | (1)+.....+(6) |

(3) 년차별 투자계획

(단위:백만원)

| 구분 | 제1차 년도 | 제2차 년도 | 제3차 년도 | 제4차 년도 | 제5차 년도 | 제6차 년도 | 제7차 년도 | 제8차 년도 | 합 계 |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 금액 | 65,673 | 142,291 | 153,236 | 175,127 | 175,127 | 175,127 | 153,236 | 54,723 | 1,094,543 |

주) 건설이자는 미포함

(4) 개략 공사비(대용량-950MW)

(단위:백만원)

| 구분 | 금액 | 비고 |
|-------------------------|-----------|------------------|
| (1) 보상비 | | 가로림만 보상비의 면적 대비비 |
| ㉠ 육상보상비 | 11,847 | |
| ㉡ 어업권 보상비 | 111,008 | |
| 소 계 | 122,855 | |
| (2) 토목공사비 | | |
| ㉠ 가설비 | 18,096 | |
| ㉡ 발전소 구조물 | 232,622 | 수차38대(약622m) |
| ㉢ 수문 구조물 | 121,473 | 수문18대(약416m) |
| ㉣ 조력댐 | 496,543 | 연장 약16.3m |
| ㉤ 통신문 | 28,429 | |
| ㉥ 가물막이공 | 79,077 | |
| ㉦ 중량물물양장(5,000 DWT급) | 4,511 | |
| ㉧ 연결구조물 | 7,688 | 25m |
| ㉨ 접속구조물 | 1,932 | |
| ㉩ 옹벽구조물 | 13,921 | |
| 소 계 | 1,004,292 | |
| (3) 전기/ 기계공사비 | | 중국 견적가 |
| ㉠ Turbine-Generator | 570,000 | |
| ㉡ Sluice Gates | 26,788 | |
| ㉢ Stop-Log(Power Plant) | 30,353 | |
| ㉣ Stop-Log(Sluice Gate) | 15,430 | |
| ㉤ Lock 기계설비 | 11,666 | |
| ㉥ Gantry Crane ect. | 7,903 | |
| ㉦ Switch Gear & Trans. | 126,850 | |
| 소 계 | 788,990 | |
| 계(1+2+3) | 1,916,137 | |
| (4) 공사관리비 | 152,164 | (1+2)×10%+(3)×5% |
| (5) 조사,설계,감리비 | 62,049 | (2)×5%+(3)×1.5% |
| 합 계 | 2,130,350 | (1)+.....+(5) |
| (6) 건설이자 | 342,246 | 년5% 단리이자 |
| 사업비계 | 2,472,596 | (1)+.....+(6) |

(5) 년차별 투자계획

(단위:백만원)

| 구분 | 제1차 년도 | 제2차 년도 | 제3차 년도 | 제4차 년도 | 제5차 년도 | 제6차 년도 |
|----|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 금액 | 85,214 | 191,732 | 234,338 | 276,946 | 276,946 | 298,249 |
| 구분 | 제7차 년도 | 제8차 년도 | 제9차 년도 | 제10차 년도 | 합 계 | |
| 금액 | 319,552 | 234,338 | 170,428 | 47,607 | 2,130,350 | |

주) 건설이자는 미포함

부 록 5

해주만 조력발전 시스템 배치계획
및 개략 공사비산정

부록 5 해주만

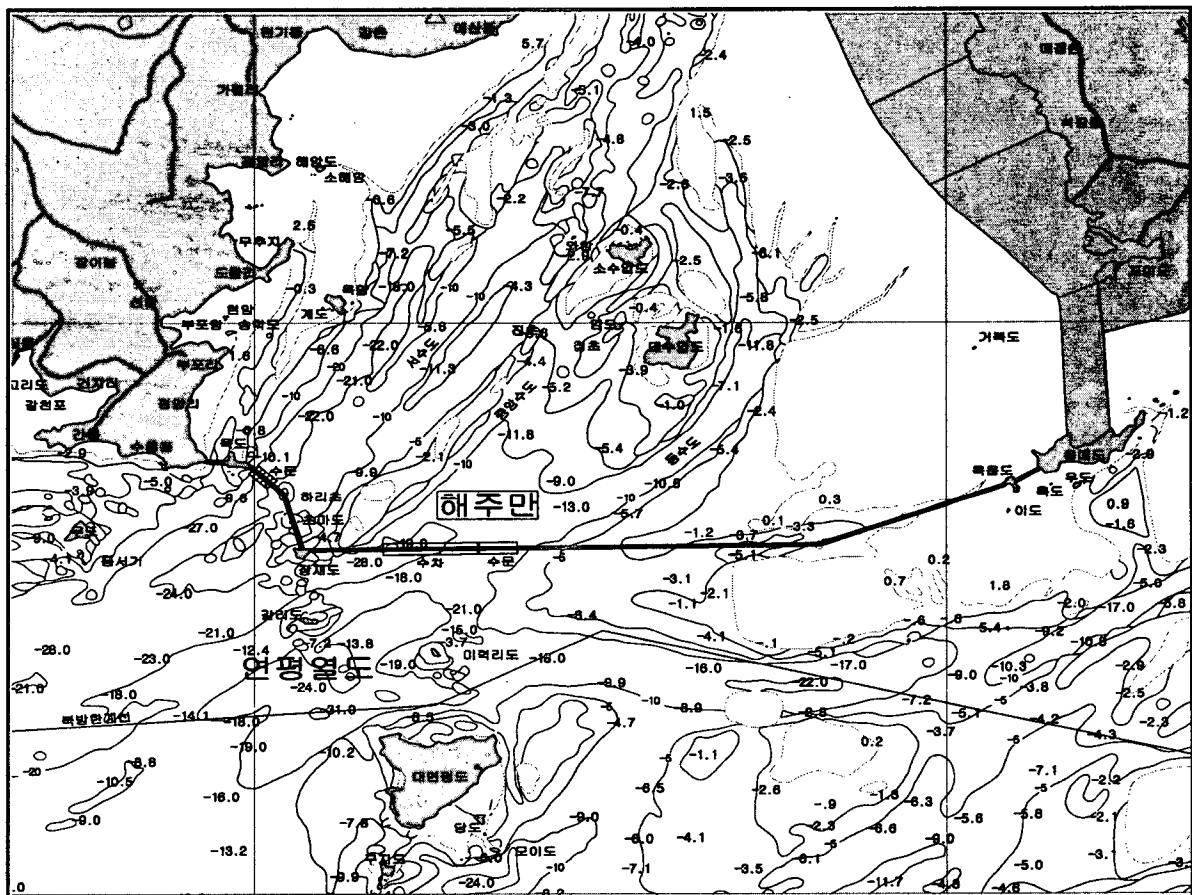
1. 해주만 현황

(1) 기초자료 검토

- 발전소 위치 : 황해도 연평열도 일대의 육도, 장재도와 용매도를 잇는 해주만 해역 일원
- 지역 현황 : 해주만 해역의 조력발전 댐은 황해도 평양리 수용동과 육도, 장재도와 해주만 우측부에 위치한 용매도를 연결하는 소용량 안과 장재도와 미력리도, 대연평도와 용매도를 연결하는 대용량 안으로 구분되며 육도와 하리초 사이의 수심이 충분히 깊어 조력발전용 수문구조물을 배치하기 유리하며, 장재도 부근이 조력발전용 수차와 수문구조물을 배치하기에 적합한 수심을 확보할 수 있다. 또한, 서수도 중앙수도 동수도와 연계되어 해수의 유입 및 유출이 원활히 이루어질 수 있을 것으로 예측된다.

① 조력발전 소용량(2,000MW) 계획

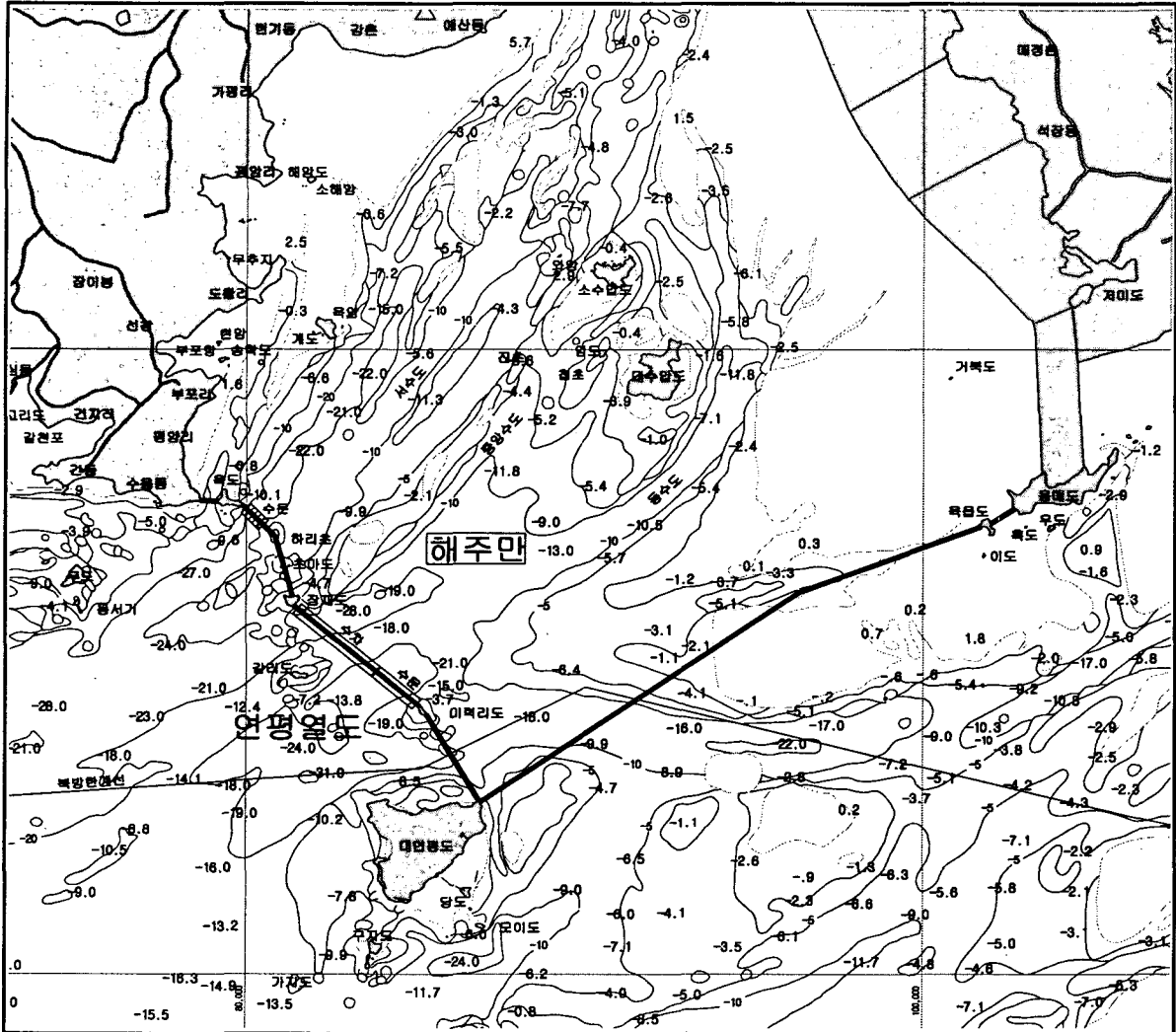
- 내수면 면적 : 약 580km²
- 조력댐 연장 : 약 20,220m



<그림 1.1> 해주만 조력발전 위치도(2,000MW)

② 조력발전 대용량(2,300MW) 계획

- 내수면 면적 : 약 630km²
- 조력댐 연장 : 약 24,402m



<그림 1.2> 해주만 조력발전 위치도(2,300MW)

(2) 해양자료 검토

- 설계파랑(100년 빈도): 파고 2.47m, 주기 5.72sec(인천만 자료이용)
- 설계조위 : 본 타당성 조사에서는 국립해양조사원(1999년)에서 제공하는 연평도 검조소 조석자료를 이용한다.

<표 1.1> 해주만 조석의 조화상수 및 비조화상수

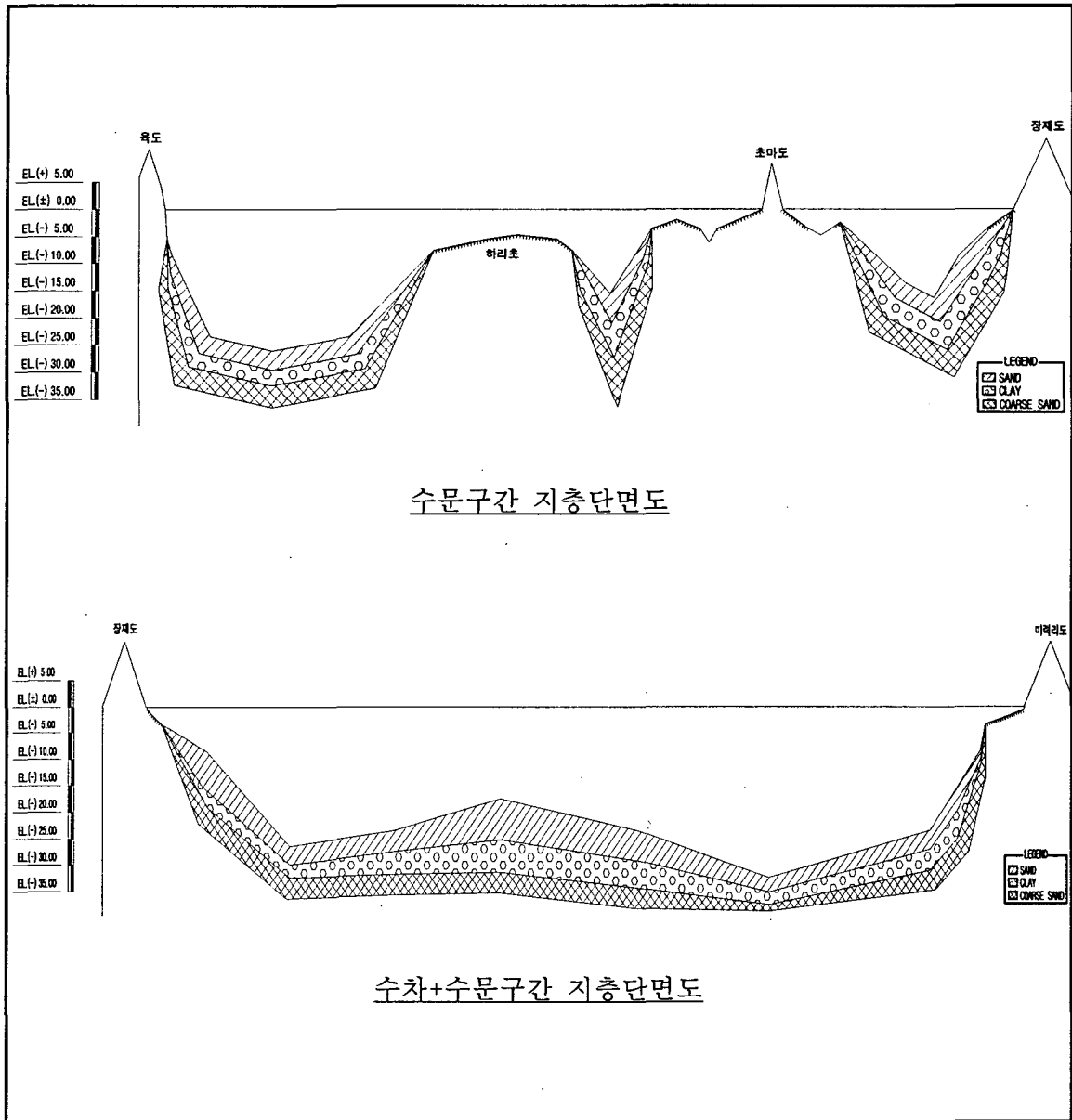
| 조 화 상 수 | 항 목 | | 반조차 (cm) | 지각 (°) | 비고 |
|-----------------------|----------------|----------------|-------------|-----------|----|
| | 분 조 | | | | |
| 조 화 상 수 | M ₂ | 주태음반일주조 | 215.5 | 133.7 | |
| | S ₂ | 주태양반일주조 | 86.7 | 180.5 | |
| | K ₁ | 일월합성일주조 | 36.7 | 303.5 | |
| | O ₁ | 주태음일주조 | 27.6 | 272.9 | |
| 비 조 화 상 수 | 평균고조간격 | (M.H.W.I) | 4h 37m | | |
| | 평균저조간격 | (M.L.W.I) | 10h 48m | | |
| | 약최고고조위 | (App. H.H.W) | 733.0cm | | |
| | 대조평균고조위 | (H.W.O.S.T) | 668.7cm | | |
| | 평균고조위 | (H.W.O.M.T) | 582.0cm | | |
| | 소조평균고조위 | (H.W.O.N.T) | 495.3cm | | |
| | 평균해면 | (M.S.L) | 366.5cm | | |
| | 소조평균저조위 | (L.W.O.N.T) | 237.7cm | | |
| | 평균저조위 | (L.W.O.M.T) | 151.0cm | | |
| | 대조평균저조위 | (L.W.O.S.T) | 64.3cm | | |
| | 약최저저조위 | (App. L.W.L) | 0.0cm | | |
| | 대조차 | (Spring Range) | 604.4cm | | |
| | 평균조차 | (Mean Range) | 431.0cm | | |
| 저조차 | (Neap Range) | 257.6cm | | | |

자료 : 국립해양조사원(1999년)

- 설계조류 : 창조류는 외해에서 유입되어 연평열도의 남측수로를 따라 북동류하여 일부는 소연평도 우측해역으로 북상하고 일부는 강화도로 유입되며, 낙조류는 이와 반대로 흐른다. 창(낙)조류는 인천항의 저조전 0.9~저조후 1.1(고조후 0.0~0.8)시경에 전류하여 고조후 0.0~0.8(저조전 0.9~저조후 1.1)시경까지 5.9~7.1(5.3~6.5)시간 지속되며, 최강창(낙)조류는 인천항의 저조후 2.0~4.5(고조후 2.1~4.2)시경에 평균대조기 최강유속이 1.3~3.4(1.3~4.0)kn에 이른다.

(3) 수심 및 지질

- 지질조건 : 해주만의 지반조사 자료가 전무하므로 해주만에 가장 인접한 인천 국제공항 설계 자료를 이용하여 유추하였으므로 결과 값에 대한 신뢰성이 절대적으로 부족하므로 추후 지반조사를 실시하여 설계에 재 반영하여야 한다.



<그림 1.3> 해주만 수심 및 지층단면도

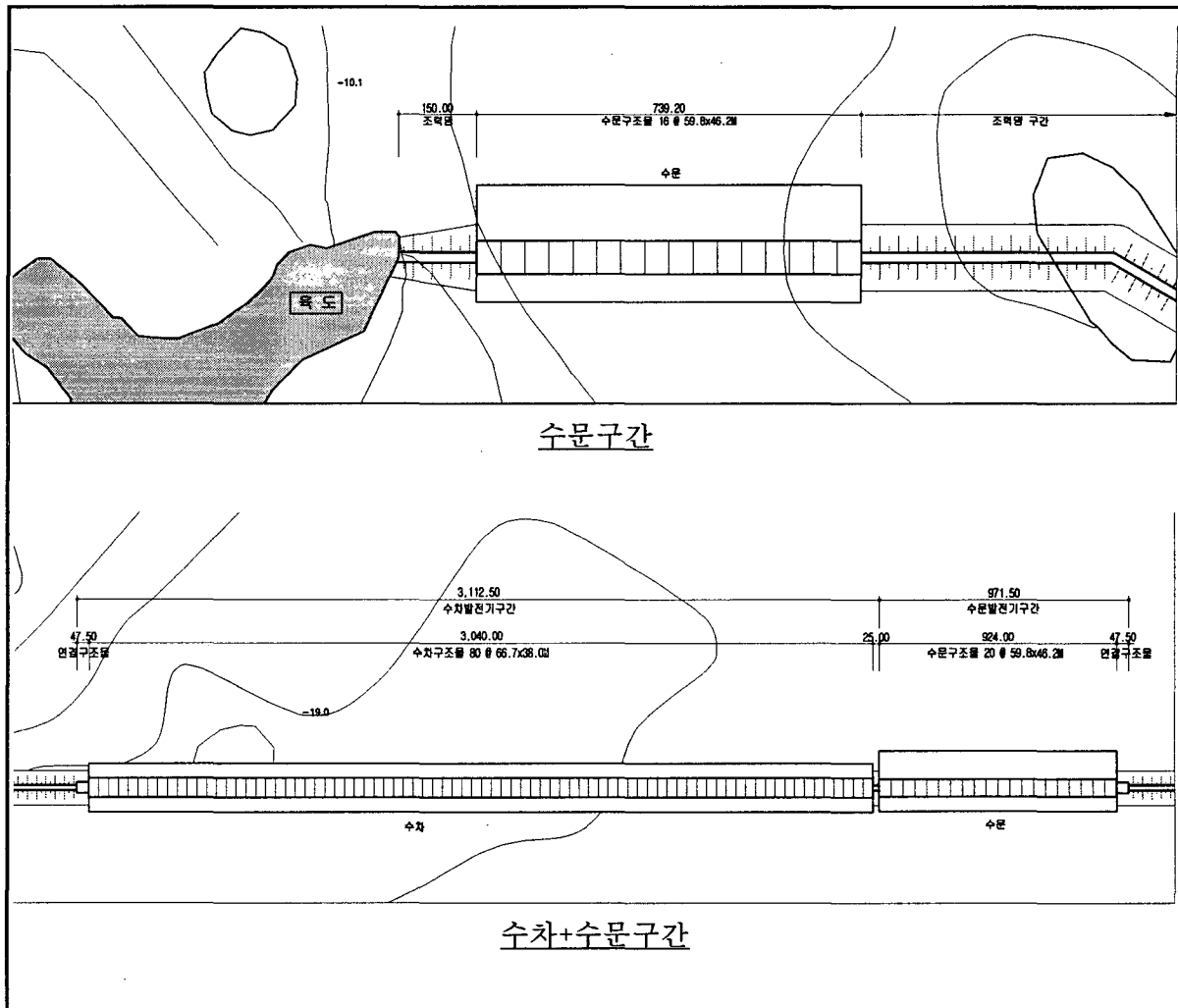
2. 평면배치계획 검토

(1) 개요

조력 발전소 구조물 배치의 주요 특징은 창·낙조가 우세하며 수심이 충분히 확보되어 준설량이 적어 공사비가 가능하면 적은 구간에 배치하는 것을 기본으로 계획하여 서수도에 있는 육도와 하리초 사이구간에 수문구조물을 배치하고, 장재도와 육읍도 사이이며 동수도의 상의 위치에 수차구조물과 수문구조물을 배치 계획하였다. 수차발전기, 수문 등 해상에 설치되는 대형 구조물은 가물막이 공사 후에 시공하므로 현장타설 구조물 형식을 선정하였다.(참조 그림2.1, 그림2.2)

① 소용량(2,000MW) 평면배치계획 검토

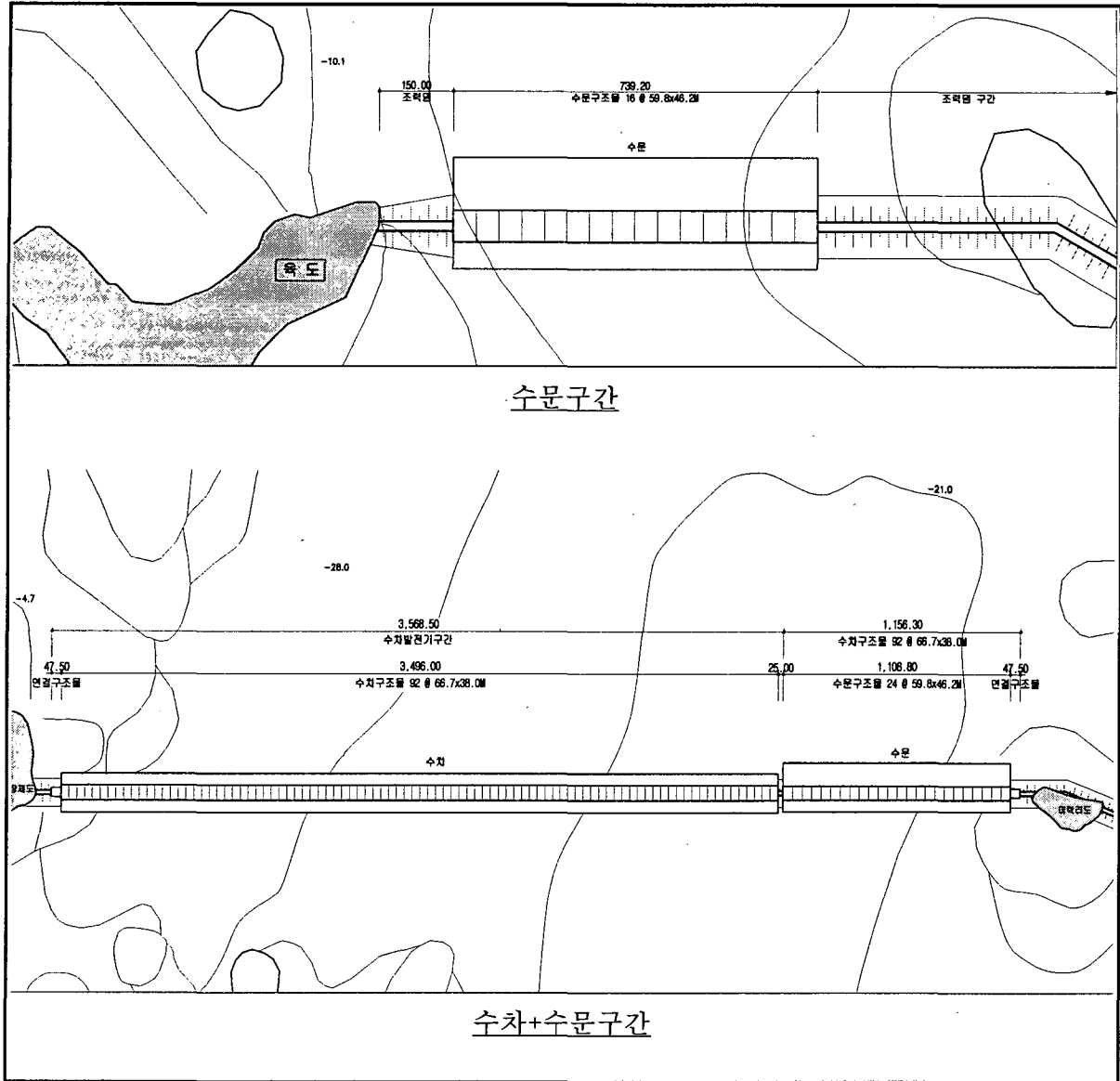
- 조력댐 설치 연장은 약 20,220m이다.



<그림 2.1> 해주만 배치 계획평면도(2,000MW)

② 대용량(2,300MW) 평면배치계획 검토

○ 조력댐 설치 연장은 약 24,402m이다.



<그림 2.2> 해주만 배치 계획평면도(2,300MW)

(2) 수차발전기 및 구조물 규모검토

① 소용량(2,000MW) 규모 검토

㉠ 발전시설용량 : 25MW × 80 대 = 2,000MW

㉡ 건설 방법 : 가물막이공법(현장타설 공법)

㉔ 구조물

○ 체 원 : $B \times H \times L = 38.0 \times 36.0 \times 66.7\text{m}$

○ 콘크리트 : $V=19,452\text{m}^3/\text{기}$, $W=47,650\text{ton}/\text{기}$

② 대용량(2,300MW) 규모 검토

㉔ 발전시설용량 : $25 \text{ MW} \times 92 \text{ 대} = 2,300\text{MW}$

㉔ 건설 방법 : 가물막이공법(현장타설 공법)

㉔ 구조물

○ 체 원 : $B \times H \times L = 38.0 \times 36.0 \times 66.7\text{m}$

○ 콘크리트 : $V=19,452\text{m}^3/\text{기}$, $W=47,650\text{ton}/\text{기}$

(3) 수문 및 구조물 규모검토

① 소용량(2,000MW) 규모 검토

㉔ 형태 : Ventri 식

㉔ 문 비 : 수직인양식 (36 개, $B \times H = 12 \times 12\text{m}$)

㉔ 구조물

○ 체 원 : $B \times H \times L = 46.2 \times 35.0 \times 59.8\text{m}$

○ 콘크리트 : $V=16,179\text{m}^3/\text{기}$, $W=39,630\text{ton}/\text{기}$

③ 대용량(2,300MW) 규모 검토

㉔ 형태 : Ventri 식

㉔ 문 비 : 수직인양식 (40 개, $B \times H = 12 \times 12\text{m}$)

㉔ 구조물

○ 체 원 : $B \times H \times L = 46.2 \times 35.0 \times 59.8\text{m}$

○ 콘크리트 : $V=16,179\text{m}^3/\text{기}$, $W=39,630\text{ton}/\text{기}$

(4) 토목구조물 규모 및 배치계획

① 조력댐

○ 소용량(2,000MW)

- 마루높이 : EL.(+)9.00m

- 총연장 : 약 20,220m

- 구조형식 : 사석경사식

- 대용량(2,300MW)
 - 마루높이 : EL.(+)9.00m
 - 총 연 장 : 약 24,402m
 - 구조형식 : 사석경사식
- ② 통선문(소용량 및 대용량 공통)
 - 대상선박 : 선박 5~10 톤, 준설선 3,300HP, 관광선 500 톤
 - 구조형식 : 콘크리트 중력식
 - 제 원 : 유효길이(140.0m), 폭(17.0m), 갑설수심(3.50m)
- ③ 연결구조물(소용량 및 대용량 공통)
 - 수차, 수문 연결구조물 : 1 기, B×H×L = 25.0×35.0×79.75m
 - 콘크리트 : V=26,883m³/기, W=65,863ton/기
- ④ 중량물물양장(소용량 및 대용량 공통)
 - 대상선박 : 5,000 DWT 화물선 × 2 선좌
 - 선좌길이 : 130m
 - 구조형식 : 콘크리트블록식
- ⑤ 가물막이
 - 소용량(2,000MW)
 - 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t
 - 총 파일 중량 : 213,544.464ton
 - 속채움모래량 : 6,708,618m³
 - 대용량(2,300MW)
 - 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t
 - 총 파일 중량 : 224,337.117ton
 - 속채움모래량 : 7,651,762m³
- ⑥ 작업장(소용량 및 대용량 공통)
 - 면적 = 234,000m²
- ⑦ 조립장(소용량 및 대용량 공통)
 - 길 이 : 190m, 폭 : 35~80m
 - 면 적 : 11,000m²

(5) 발전설비 규모 및 배치계획

① 발전기

- TYPE : 벌브식 수차 발전기
- 냉각방식 : 공냉식
- 발전기 정격출력 : 25.45MW/26.788MVA
- 계통연결 : 345kv

② 주변압기

- 규격 : 345kV 케이블 사용, XLPE, Single Core, 2 Line, 600mm²

③ 변전소

- 신규변전소 신설 예상

④ 송전선로(Duct 포함)

- 신규변전소와의 거리에 따라 달라짐

⑤ 수차 발전기측 Stoplog : 외해측 : B × H = 15.9 × 15.73m

내해측 : B × H = 15.0 × 16.12m

⑥ 수차 발전기측 크레인

- Ganty Crane (250톤)
- Overhead Crane (50톤, 30톤)

⑦ 수문측 STOPLOG : 외해측 : B × H = 12.0 × 15.0m

내해측 : B × H = 19.5 × 19.5m

⑧ 수문측 크레인 : Ganty Crane (100 톤)

: Overhead Crane (50 톤)

3. 토목구조물 개념설계

(1) 수차발전기 구조물

① 기본조건

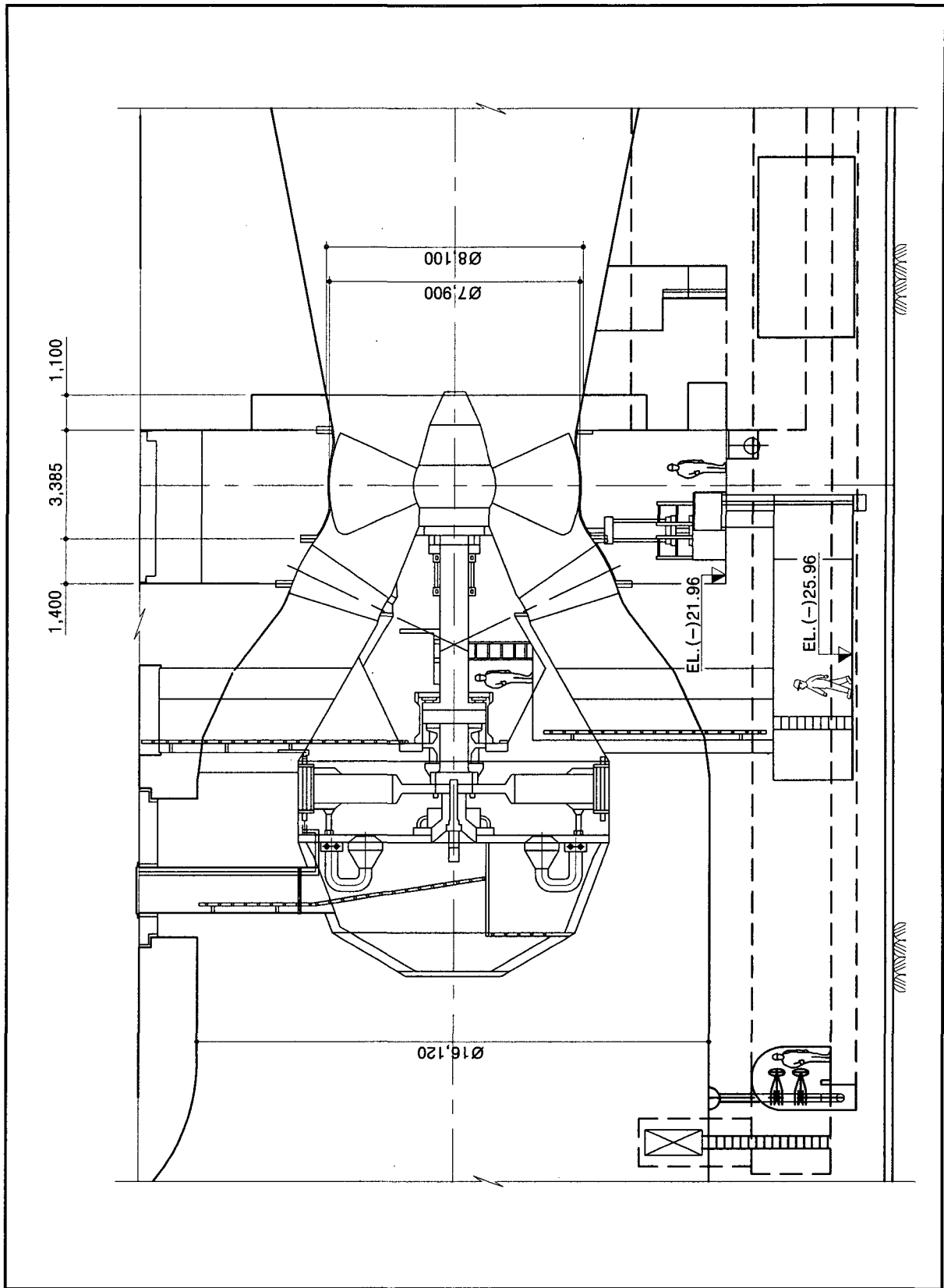
○ 수차발전기의 제원

최적화 검토결과 선정된 25MW급 비양수 단류식 Bulb형 수차발전기의 대수 및 제원은 다음과 같다.(참조 표 3.1, 그림 3.1)

- 소용량 수차발전기의 대수 : 80대(2,000MW)
- 대용량 수차발전기의 대수 : 92대(2,300MW)

<표 3.1> Bulb형 수차발전기의 제원(25MW)

| 구 분 | | 단 위 | 제 원 |
|---------|-----------|-----|-------------|
| Turbine | 정격비속도 | rpm | 385.1 |
| | 동기속도 | rpm | 62.07 |
| | 최대 축수력 | kg | 500,000 |
| | 수차회전부 중량 | ton | 156.9 |
| | 런너 외경 | mm | 7,900 |
| | 런너 외경 비율 | | 0.967 |
| | 런너의 날개수 | Nos | 3 |
| | 날개 길이 및 폭 | mm | 2,257/1,827 |
| | 날개 두께 | mm | 666 |
| | 주축 길이 | mm | 8,650 |
| | 주축 직경 | mm | 1,000 |



<그림 3.1> Bulb형 수차발전기 단면도(25MW)

② 수차발전기 구조물 구상

Bulb형 수차발전기를 설치할 구조물은 발전기 제작 회사들이 수리학적인 모형실험 등을 실시하여 물의 흐름에 있어서 구조물로 인한 저항을 최소화하는 연구결과들을 발표한 바 있다.

금번의 단면구상은 기존의 연구 자료들을 기초로 하여 가장 널리 채택되고 있는 단면을 대상으로 구상하였다.

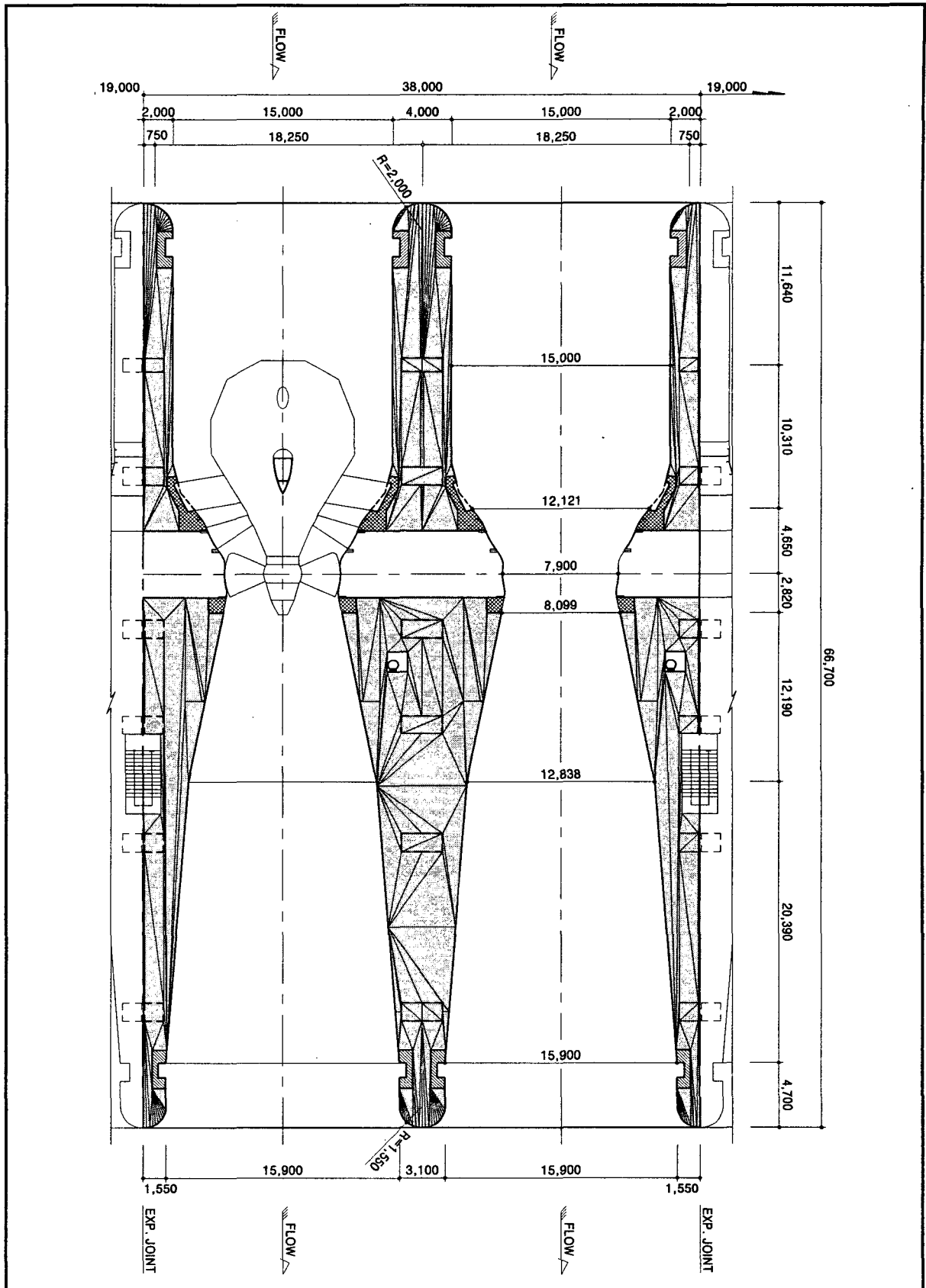
수차발전기 구조물의 단면구상은 다음사항들을 전제로 하였다.

- 단면형상은 수로의 수리학적 영향을 고려함
- 구조물 폭 결정은 4차선 이상이 될 해안도로와 연계되도록 함.

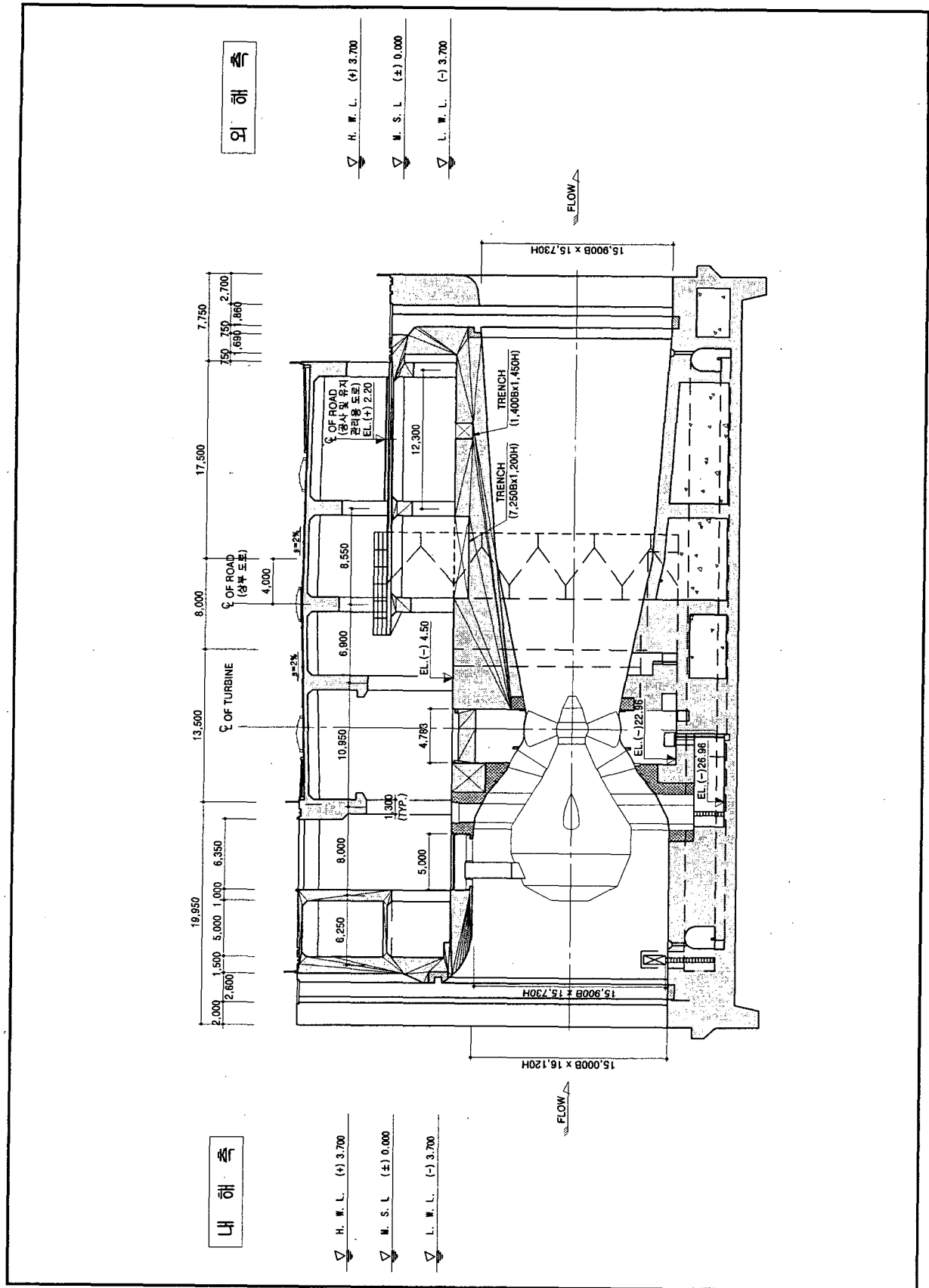
<표 3.2> 수차구조물 제원

(단위 : m)

| 구 분 | | 단 면 제 원 |
|------------------|-----------|--------------|
| 폭 | | 66.7 |
| 높 이 | | 36.0 |
| 길 이 | | 38.0 |
| 수 로 Inlet | Top EL | EL.(-)6.54m |
| | Invert EL | EL.(-)22.46m |



<그림 3.2> 수차발전기 구조물 평면도



<그림 3.3> 수차발전기 구조물 단면도

③ 구조물 기초보강

퇴적층은 대부분이 연약한 토질이므로 47.0t/m²이 소요되는 구조물을 지지할 수 없기 때문에 연약토질을 제거하고 소요 지지력을 감당할 수 있는 기초로 바꾸어 주어야 한다. 소요지지력을 감당할 수 있는 기초로서 고려할 수 있는 공법은 치환법과 개량법을 들 수 있다.

○ 지층 조건

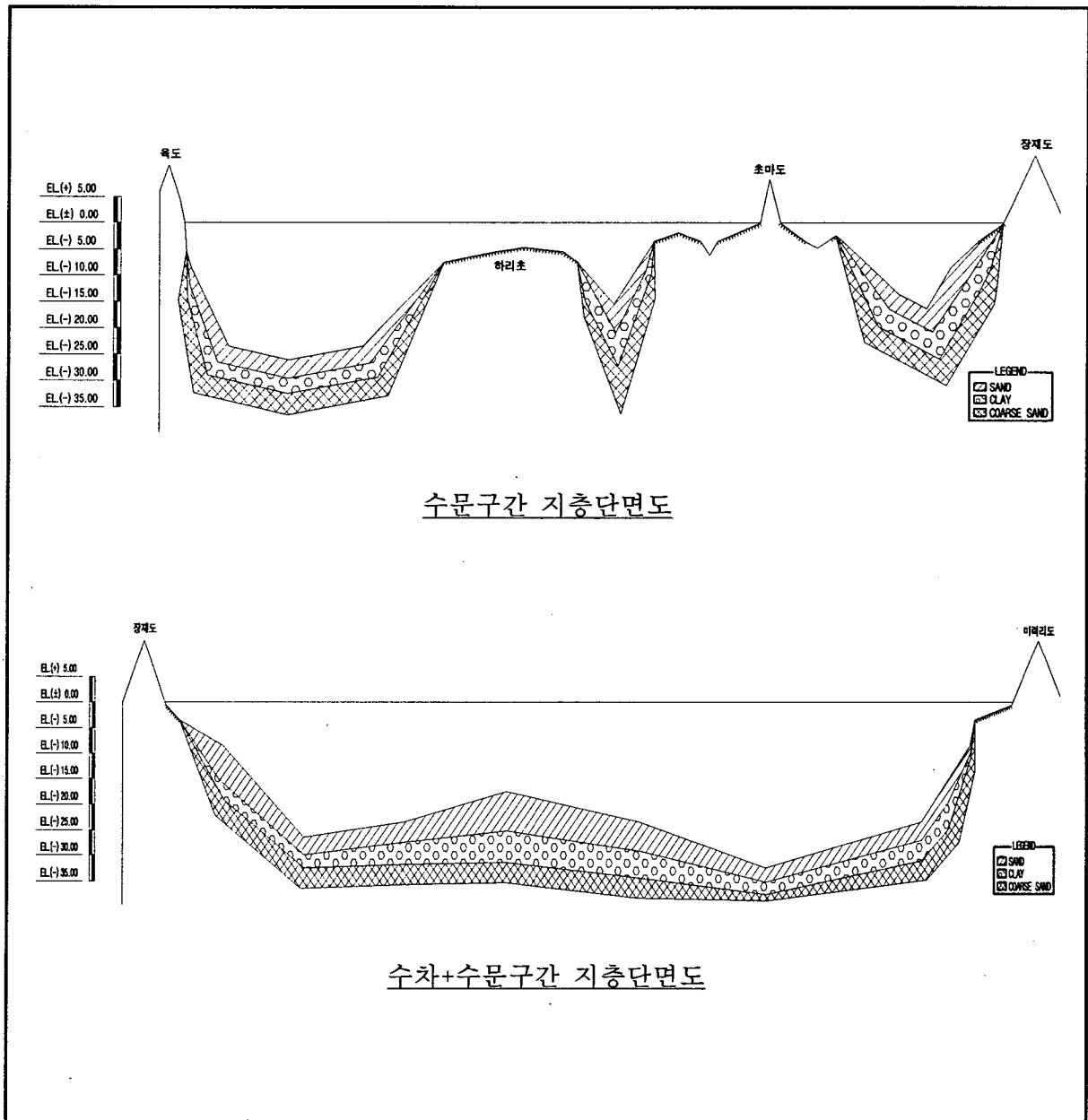
해주만의 조력발전소가 위치할 구간에 대한 시추조사내용이 없어 영종도 신공항 조성 공사 시 실시된 시추조사 중 왕산등 북측 해안에 해당하는 No. BB101 1공을 참조 하였다. 이 조사 결과에 의하면 표층은 silty sand층이 분포하고 N치는 3~11로 느슨한 상태이며, 다음 층은 clay층이 분포하고 N치는 7~10으로 연약 또는 보통의 상태이다. clay층 아래층은 silty sand층으로 N치가 14~50이며 보통 내지 매우 조밀한 상태를 나타낸다. 또한, silty sand층 이후부터는 soft rock층이 나타나는 것으로 조사 되었으며, 이 자료를 이용하여 수차 및 수문이 위치할 지층을 추정하여 정리하면 아래 표와 같다.

<표 3.3> 수차, 수문 구조물 기초 지층 조건

| 구분 | 수 차 | | 수 문 | | 비 고 |
|------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|----------|
| 수 심 | 약 EL(-)24.0m | | 약 EL(-)18.0m | | |
| 지 층 | EL(-)24.00~EL(-)25.00 (두께 : 1.0m) | Silty Sand | EL(-)18.00~EL(-)21.00 (두께 : 3.0m) | Silty Sand | N치 3~11 |
| | EL(-)25.00~EL(-)26.00 (두께 : 1.0m) | Clay | EL(-)21.00~EL(-)23.00 (두께 : 2.0m) | Clay | N치 7~10 |
| | EL(-)26.00~EL(-)28.00 (두께 : 2.0m) | Silty Sand | - | - | N치 3~11 |
| | EL(-)28.00~EL(-)31.00 (두께 : 3.0m) | Silty Sand | - | - | N치 14~50 |
| | EL(-)31.00~ | Soft Rock | EL(-)23.00~ | Soft Rock | N치 50이상 |
| 구조물 바닥 EL. | EL.(-)30.00m | - | EL.(-)29.00m | - | - |
| 준설 깊이 | 약 8.00m | - | 약 11.00m | - | 구조물 설치 시 |
| 기초 처리 깊이 | 약 5.00m | - | 약 5.00m | - | - |
| 지지층 깊이 | 약 35.0m | - | 약 34.0m | - | 수심 포함 |

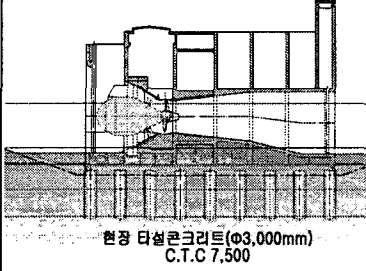
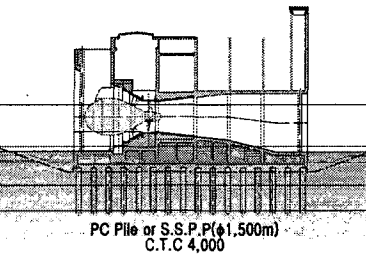
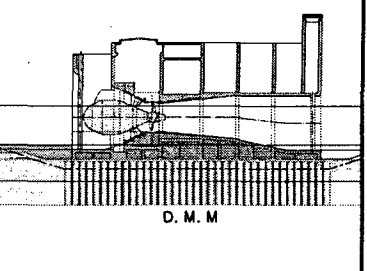
○ 기초공법 검토

해주만의 조력발전소 구조물 공사는 가물막이를 이용하여 발전소 구조물을 현장에서 타설하여 제작하는 시공방법을 채택하였다. 이때 발전소 구조물기초는 지층조건, 시공성 및 경제성 등을 고려하여 현장타설 말뚝기초, 강관 말뚝기초, 표층혼합처리 공법을 비교 검토하였다.(참조 표 3.4)



<그림 3.4> 지층 단면도

<표 3.4> 기초공법 비교

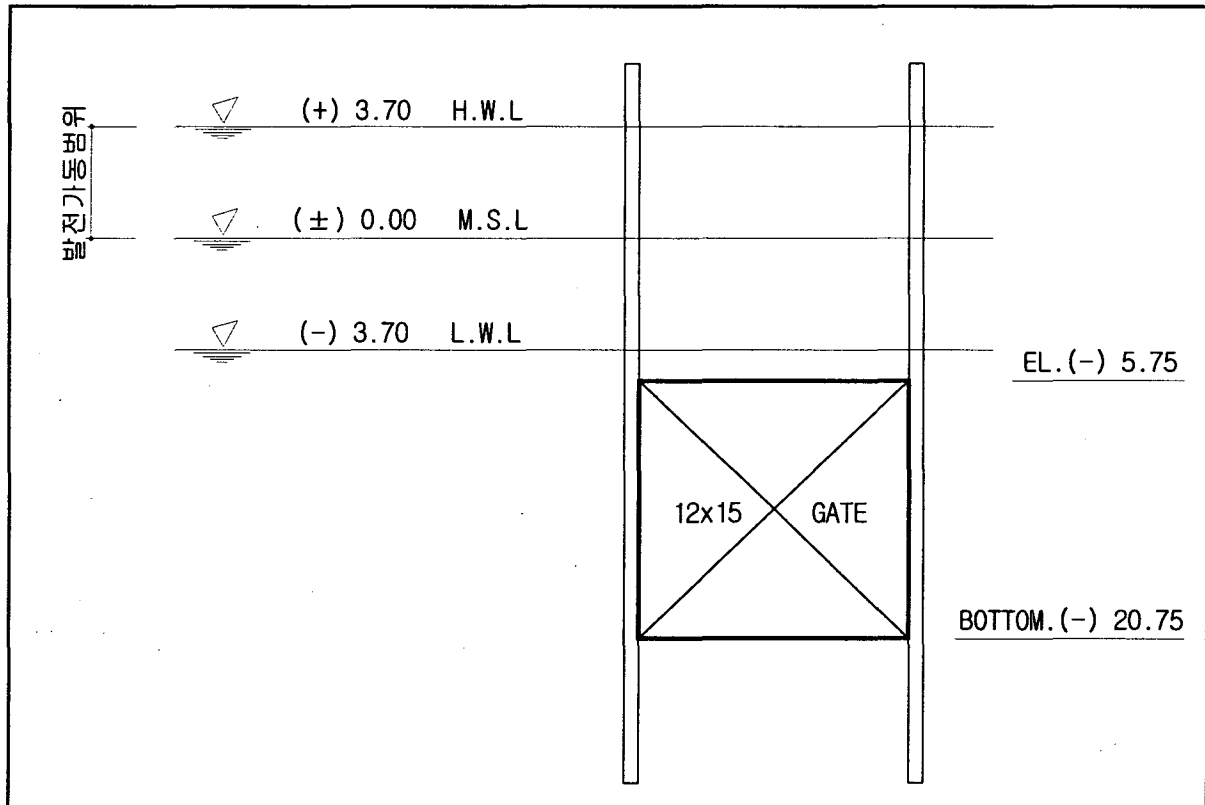
| 구분 | 현장타설 말뚝기초 | 강관말뚝 기초 | 심층혼합처리 공법 |
|------|---|--|---|
| 개요도 |  <p>현장 타설콘크리트(φ3,000mm) C.T.C 7,500</p> |  <p>PC Pile or S.S.P.P.(φ1,500mm) C.T.C 4,000</p> |  <p>D. M. M</p> |
| 공법개요 | <ul style="list-style-type: none"> 지중에 Casing을 설치하고 내부를 Hammer Grab이나 Earth Drill로 굴착한 후 철근망 등의 응력재를 Casing내부에 삽입하고 Tremie Pipe로 콘크리트를 타설하여 말뚝을 형성하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝을 지중에 타입하여 상부 구조물의 하중을 단단한 지지층에 전달하는 공법 | <ul style="list-style-type: none"> 연약지반(점성토, 느슨한 사질토, 유기질토)에 시멘트와 물을 혼합하여 반응된 수화생성물을 지반 내에 주입하면서 특수교반기로 회전, 혼합하여 지반 내에 고화된 개량체를 조성하는 공법 |
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 지지층 확인이 용이 저소음, 저진동 공법으로 주변 영향 적음 공사목적과 지층조건에 따라 다양한 구경과 심도의 말뚝형성 대구경이므로 말뚝의 지지력 큼 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 공사비가 비교적 경제적임 시공속도가 빠르고 시공용이 품질 관리 용이 장비조합이 간단하고 시공이 단순함 비교적 깊은 심도까지 지지가능 기초지반 침하량이 3cm 이내임 | <ul style="list-style-type: none"> 모든 지반에 적용가능 저소음, 저진동 공법으로 주변영향 적음 연속벽체이므로 치수가능 소요강도 확보가 용이함 개량효과가 확실하며 공기단축 공사비가 경제적임 기초지반 침하량이 3cm 이내임 |
| | 단점 | <ul style="list-style-type: none"> Casing이 없는 경우 지중에 화학성분이 있으면 시멘트가 잘경화되지 않을 수 있음 말뚝 체의 결손을 확인하기 어려우므로 품질관리 주의요망 공사비 고가 장비구성 및 부속자재 대형 대형장비로 넓은 작업공간 필요 | <ul style="list-style-type: none"> 소음, 진동 대책 필요 해수에 의한 부식방지 필요 자갈 및 전석층이 있는 경우 타입 곤란 상부 구조물의 하중이 큰 경우 파일본수 과다로 경제성 및 시공성 불리 |
| 선정 | | | ● |
| 선정사유 | <ul style="list-style-type: none"> 강관말뚝인 경우 자갈 및 전석층이 존재하면 타입이 곤란하며, 구조물 하중이 커 파일본수 과다로 경제성 및 시공성이 불리함 심층혼합처리 공법은 타 공법에 비하여 공사비 뿐만 아니라 시공성에서 다른 안에 비하여 유리함 | | |

(2) 수문 구조물

① 기본단면구상

○ 문비의 위치

수로의 표고는 문비의 위치에 따라 결정되며, 문비의 위치는 발전소 가동시 조위의 변화에 관계없이 통수 전면적이 상시 물에 잠길수 있도록 하고 인천만 조위측정현황과 비교하여 문비의 위치를 도시하였다.(참조 그림 3.5)



<그림 3.5> 문비 위치도

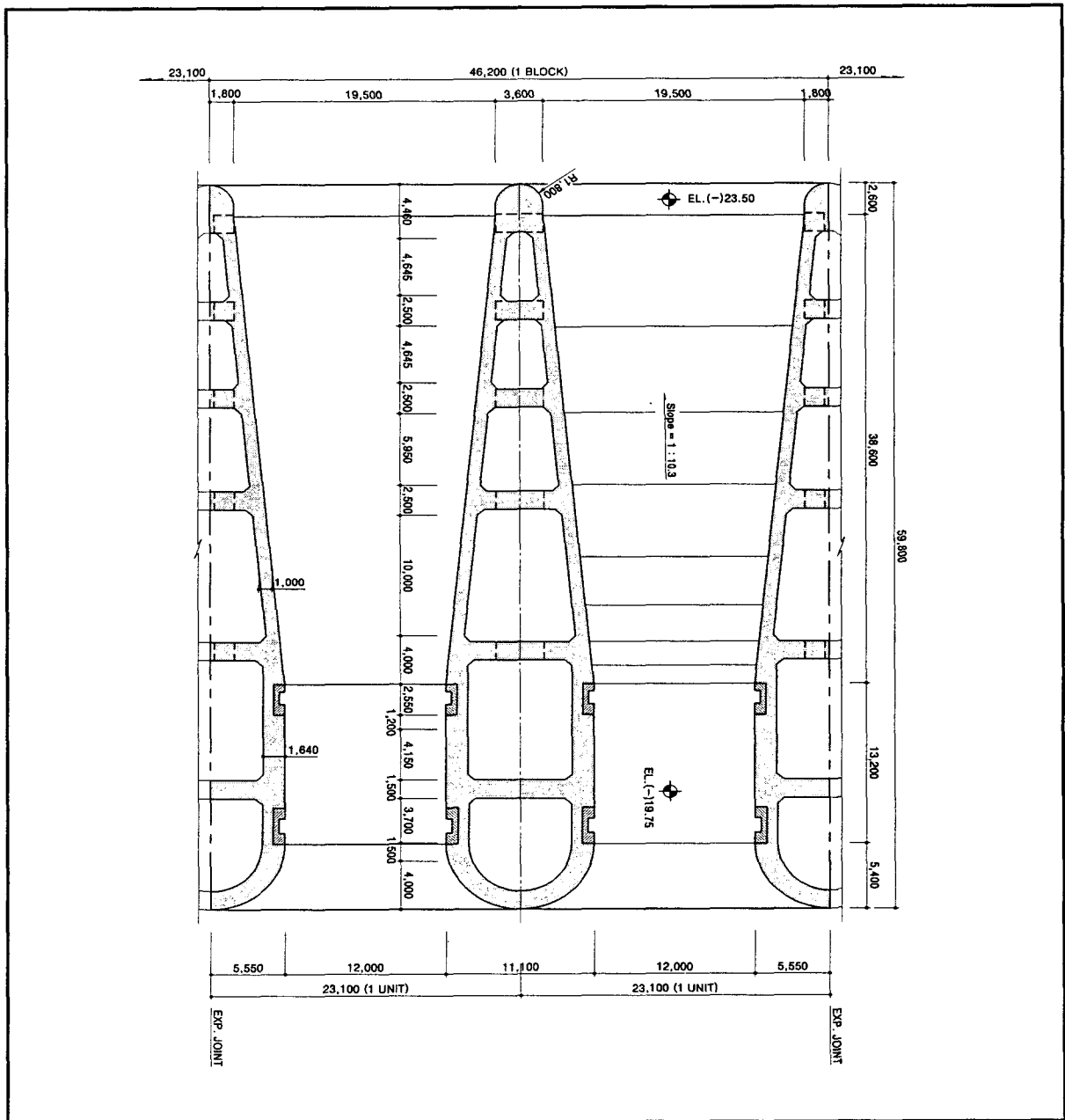
○ 수문구조물 구조단면

수문구조물에는 2개의 문비를 설치토록 계획하였으며 구조물의 기본단면을 구상하는데 있어서 다음의 사항들을 전제조건으로 하였다.

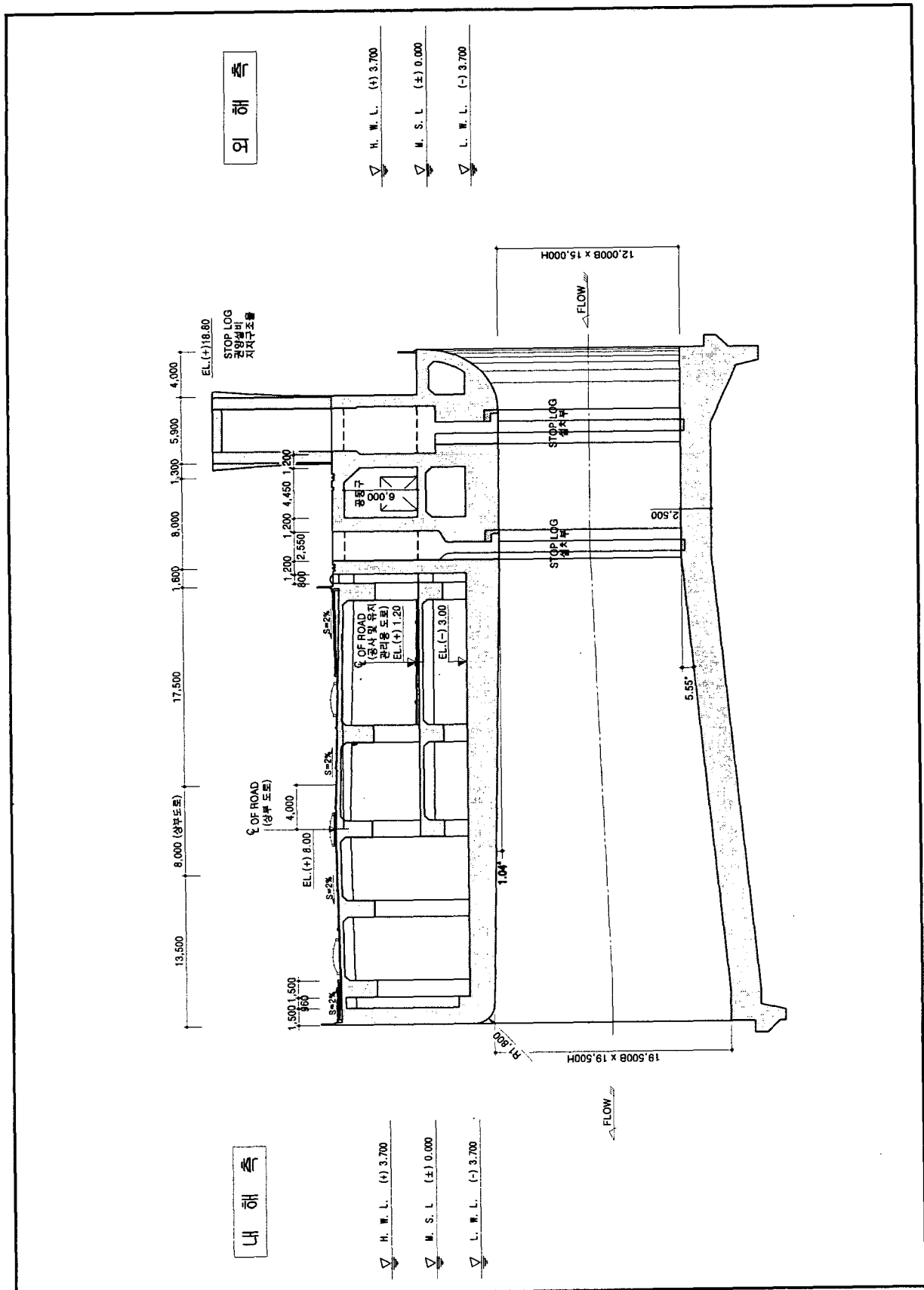
- 수로의 단면곡선은 외해측으로 수로 상·하단에 완화곡선을 두며, 내해측은 수로 하단부만 완화곡선을 계획
- 구조물 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 계획.
- 향후 도로계획과 연계를 고려하여 구조물 상부에 계획되는 도로폭원은 4차선 이상 가능하도록 구조물 폭을 구상하였다.(참조 그림 3.6, 그림 3.7)

<표 3.5> 수문 구조물 제원

| 구분 | 설계단면 | 비고 |
|------------|--------------|----|
| 폭 | 38.0m | |
| 높이 | 26.50m | |
| 길이 | 40.0m | |
| Top EL. | EL.(-)5.75m | |
| Bottom EL. | EL.(-)20.75m | |



<그림 3.6> 수문 구조물 평면도



외 해 측

- ▽ H. W. L. (+) 3.700
- ▽ M. S. L. (±) 0.000
- ▽ L. W. L. (-) 3.700

내 해 측

- ▽ H. W. L. (+) 3.700
- ▽ M. S. L. (±) 0.000
- ▽ L. W. L. (-) 3.700

<그림 3.7> 수문 구조물 단면도

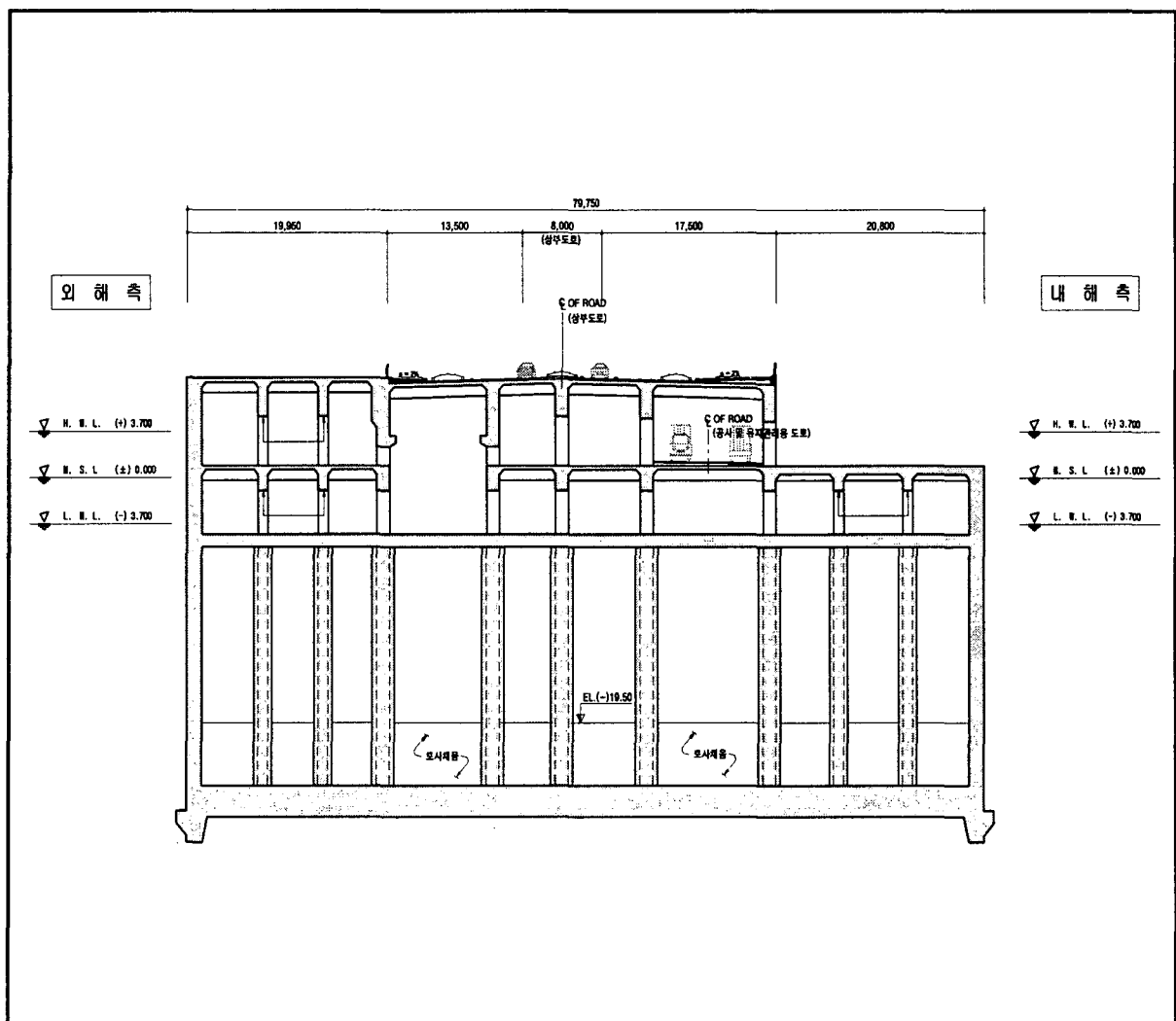
(3) 연결 구조물

① 기본단면구상

수문구조물과 수차발전기 구조물이 접속되는 구간에는 연결구조물을 배치하며 형상은 단일 구형 형태의 철근 콘크리트 구조로 계획하였다. 연결구조물의 폭은 수문구조물과 수차발전기 구조물이 연결되는 곳에 구조적으로 무리가 없도록 설계하였다.(참조 표 3.6, 그림 3.8)

<표 3.6> 연결구조물 제원

| 구분 | 위치 | 폭 | 높이 | 길이 | 비고 |
|-------|---------------|-------|-------|--------|----|
| 연결구조물 | 수차, 수문 연결부 | 25.0m | 35.0m | 79.75m | |



<그림 3.8> 연결 구조물 개념도

(4) 조력댐

조력댐 제체의 구조형식은 지반침하에 대하여 탄력적으로 대처할 수 있는 사석경사체로 설계하였다. 조력댐의 단면 검토는 전체 연장의 평균수심으로 산출하였으므로 수심이 깊은 곳의 조력댐의 단면검토는 추후 다시 검토되어야 한다.

① 항만 및 어항 설계기준에 의한 마루높이 검토

| 구 분 | 개 요 |
|--------------------------------------|--|
| 항만 및 어항 설계기준 (H.W.L + 1.25 H 1/4) | • 배후지의 이용방법에 따라 방과제를 월파하는 월파량의 기준을 달리하여 제한된 월파량만을 허용토록 마루높이 결정 |

주 : 측정된 삭망평균고조위가 없으므로 고극조위를 기준으로 마루높이를 검토함

$$\begin{aligned}
 \text{마루높이} &= \text{고극조위} + 1.25 H \frac{1}{4} \\
 &= 4.00 + 1.25 \times 2.47 \\
 &= \text{EL.}(+) 7.1\text{m}
 \end{aligned}$$

따라서, 마루높이를 여유고를 두어 EL.(+)8.0m로 결정

② 마루 폭

기본단면을 구상하기 위한 전제조건으로

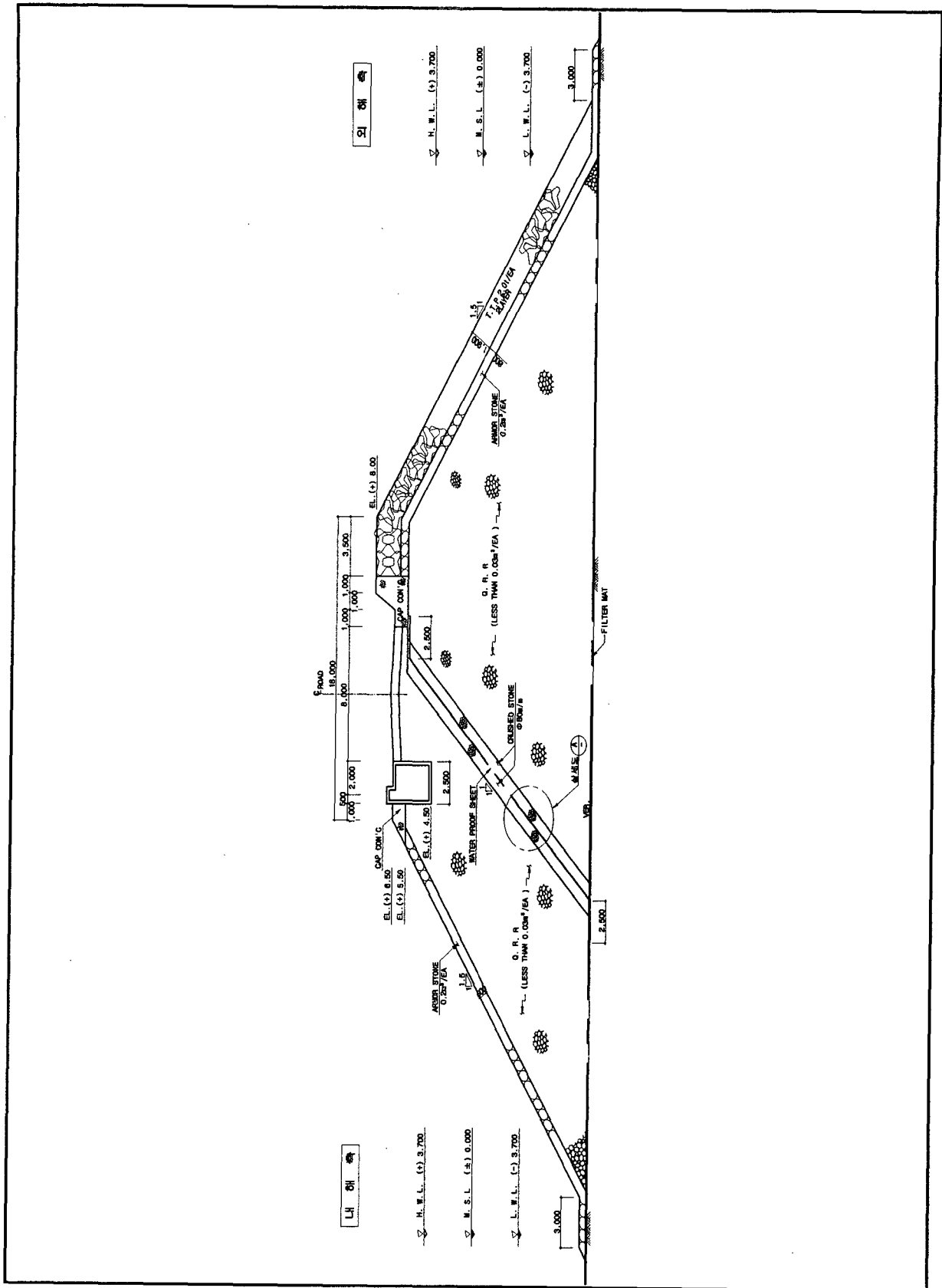
- 조지내외의 수위차이로 인한 활동의 안정성 확보
- 최소 2차선 도로폭원을 확보하되 장래 4차선 도로 폭원을 확보가 가능하도록 계획

위 전제조건을 바탕으로 마루 폭을 18.5m이상으로 계획

○ 제체단면

<표 3.7> 조력댐 제원

| 마 루 폭 | 마 루 높 이 | 사 면 경 사 | | 비 고 |
|--------|------------|---------|-------|-----|
| | | 제외측 | 제내측 | |
| 18.50m | EL.(+)8.0m | 1:1.5 | 1:1.5 | |



<그림 3.9> 조력댐 단면도

(5) 통선문

① 위치

갑문의 위치는 육지측에 계획하되 다음사항을 감안하여 계획하였다.

- 항로와 연계하여 선박출입에 장애요인이 적은 곳
- 지반이 구조물설치에 양호한 곳
- 갑문 및 항로 소요수심 확보를 위한 준설토량이 적은 곳

② 대상선박

- 500ton급 관광선 통과가 가능할 것
- 3,300Hp급 준설패 통과가 가능할 것

i) 대상선박제원

<표 3.8> 어선제원

(단위 : m)

| 구 분 | 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만재흘수(H) | 비 고 |
|---------|--------|---------|---------|---------|
| 5톤급 이하 | 3.10 | 10.80 | 1.0 | |
| 5~10톤급 | 3.60 | 15.0 | 1.20 | |
| 10톤급 이상 | 4.90 | 18.50 | 1.50 | 20톤급 제원 |

주 : 마스트 높이는 5~6m 임

<표 3.9> 준설패제원(3,300Hp)

(단위 : m)

| 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만재흘수(H) | 마스트높이(P) |
|--------|---------|---------|------------|
| 14.63 | 48.77 | 2.30 | 8.0 ~ 10.0 |

주 : 마스트는 일부 해체 가능

<표 3.10> 관광선 제원(500ton)

(단위 : m)

| 선박폭(B) | 선박길이(L) | 만재흘수(H) |
|--------|---------|---------|
| 9.90 | 49.60 | 2.50 |

③ 규모결정

- 갑문의 통과 가능시간은 주간에만 한정토록 하고, 외해에서의 작업시간을 최대한 늘리기 위해 갑문의 통과 시간은 최소가 되도록 한다.

i) 갑실폭

대상선박중 최대선급인 3300HP 준설선이 진입 가능한 폭을 계산하면

$$W = 14.63\text{m (준설선폭)} + \text{여유}(1.50\sim 2.0\text{m})$$

$$\approx 17.0\text{m}$$

iii) 갑실길이

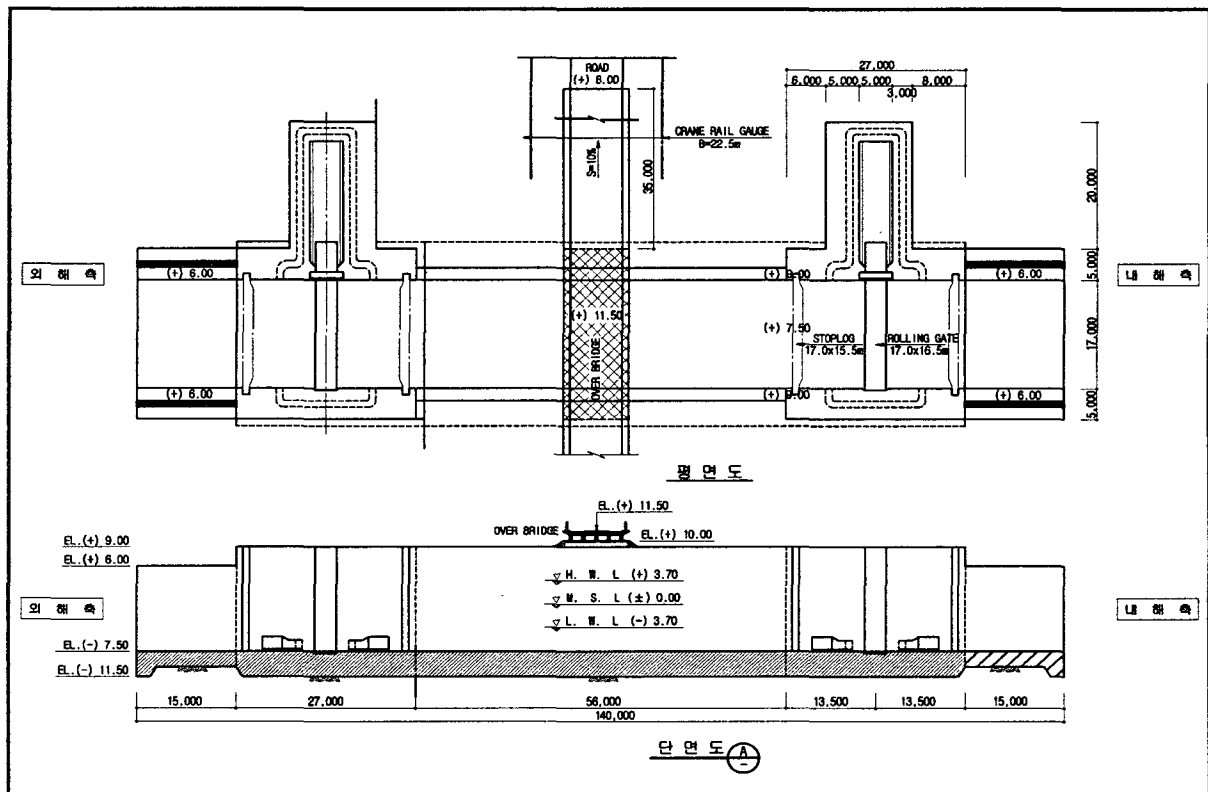
갑실길이는 80.0m 가 필요하다.

iv) 갑실수심

갑실수심은 만재흘수가 가장 깊은 관광선(500ton)의 통행을 고려하여 2.50m + 1.0m (여유고) = 3.50m로 계획하였다.

v) 구조형식

계획지점에 가체철제를 축조하여 육상시공하는 구조적으로 안전한 콘크리트 중력식 공법을 적용하였다. (참조 그림 3.10)



<그림 3.10> 통선문 개념도

(6) 중물양장

- ① 대상선박 : 5,000 DWT 화물선 ×1 선좌
- ② 선좌길이 : 130m
- ③ 구조형식 : 중력식 구조물
- ④ 주요 물량 :
 - 총사석량 : 25,381m³
 - 피복석량 : 1,405m³

(7) 가물막이공

조력발전소용 구조물의 제작을 위한 시설로 가물막이를 축조하는 것으로 계획하였다. 가물막이공은 사석경사제보다 방수성능이 우수한 시트파일을 이용한 원형셀식 가물막이 공법을 선정하여 계획하였다.

① 규모

- 가물막이 천단고 : EL.(+)8.0m
- 가물막이 Sheet Pile : 500mm × 12.7t

② 주요물량

- 소용량(2,000MW)
 - 총 파일 중량 : 213,544.464ton
 - 속채움모래량 : 6,708,618m³
- 대용량(2,300MW)
 - 총 파일 중량 : 224,337.117ton
 - 속채움모래량 : 7,651,762m³

(8) 작업장(Platform)

① 작업장 조성

작업장은 가물막이 안쪽에 조성하며 총면적은 234,000m²이고 그 내역은 다음과 같다.

② 작업장 소요시설

- 사무실 : 800m²(회의실, 설계실, 기술 및 행정요원 사무실 등)
- 중기수리공장 : 4,000m²
- 목공소 : 1,500m²

- 철조가공장 : 6,000m²
- 창고 : 2,000m²
- 발전실 : 1,000m²(발전기 1000kw × 4EA)
- 시멘트 창고 : 1,500m²
- 크랏샤 Plant : 40,000m²(원석 야적장, 모래선별기, 골재야적장)
- TTP 제작장 및 야적장 : 16,000m²(120m×130m)
- Con'c Block 제작장 및 야적장 : 15,000m²
- 보조장비 구역 : 1,500m²

(9) 조립장(Erection Yard)

- 조립장의 위치는 가물막이공 안쪽에 계획하며, 규모는 길이 190m, 폭 35~80m, 면적 11,000m²이다.
- 조립장의 기능 : 5,000DWT 중물양장을 통하여 반입된 수차발전기 부속자재를 육상 Crane(70ton)을 사용하여 조립작업을 시행하며, Gantry Crane(250ton)을 이용하여 구조물 내부에 수차발전기를 설치한다.

(10) 준설 및 처리

① 기초준설

기초준설은 수차발전기 구조물의 설치를 위해, 구조물 설치위치에서 내해측 및 외해측으로 각각 50m까지는 EL.(-)30.0m로 준설을 시행한다. 또한 수문구조물은 EL.(-)29.0m까지 기초준설이 필요로 한다.

② 준설토의 처리

수차발전기, 수문구조물의 기초준설의 준설의 처리는 가장 가까운 매립예정지에 투기하는 것으로 계획하였다.

4. 발전설비 및 기기설비 개념설계

(1) 발전설비

① 개요

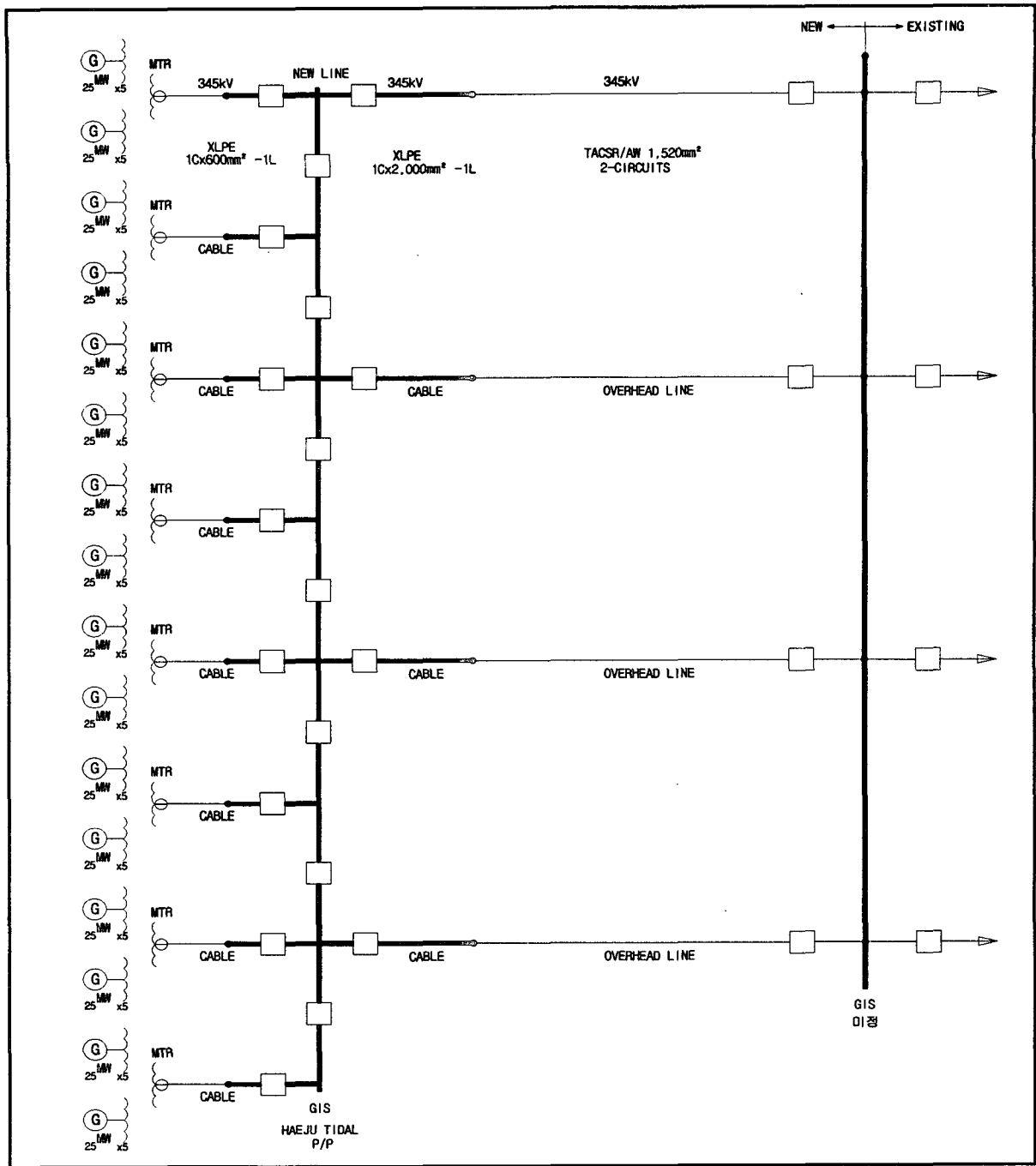
기전설비의 시설용량으로서는 용량별로 25MW 수차발전기 80대와 25MW 수차발전기 92대에 대하여 검토하였다. 특히 기본사양에서 양수기능이 적용되는 경우에는 기동용 가변속장치, 고조파 필터 및 회전방향 전환스위치 등을 추가시켜 가격을 참고할 수 있게 하였다. 발전기를 소형화시키기 위하여 발전기의 전압과 역율을 증가시켰으나 역율 변동에 따른 계통운영에는 지장 없는 것으로 검토되었으며 발전기 용량이 증가됨에 따라 주변압기 용량, 345kV 케이블 규격과 송전선 규격이 증가되었다. 또한 345kV 송전선 및 케이블 그리고 주변압기 용량은 각 안별에 대해 사용할 수 있도록 하였다.

② 송전선로

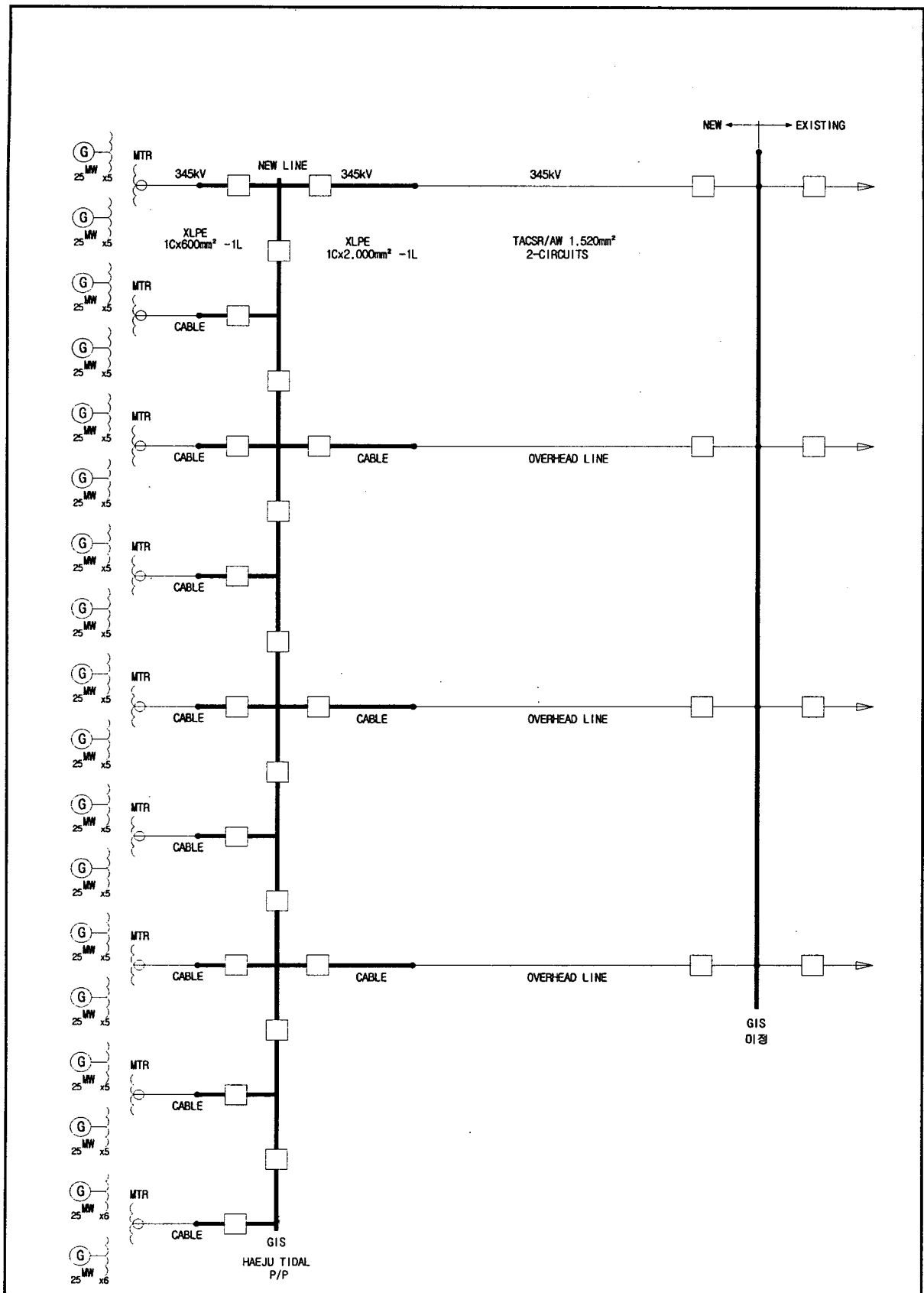
해주만 조력 발전소의 건설 후보지점은 북한지역이므로 우리나라와 전력계통의 차이가 있으므로 새로운 전력계통을 구축해야 할 것이다. 그러므로 이번 검토에서는 현재 우리나라에서 사용 중인 계통시스템을 근거로 하여 검토하였다. 송전선은 25MW의 경우에 적용할 수 있도록 TACSR/AW, 1520mm², 4회선으로 하여 1회선 정전시에도 송전이 가능토록 하였다.(정상시 2대 보수정지, 소내전력 2%)

③ 주변압기 용량은 다음과 같다..

- 주변압기 용량 ----- 260/130/130MVA × 2대
- 345kV Cable ----- 2 Single Conductor, XLPE, 600mm², 1회선으로 한다.



<그림 4.1> 전기 단선도(2,000MW)



<그림 4.2> 전기 단선도(2,300MW)

(2) 수차 기기설비

① Stoplog

Stoplog은 발전소 구조물의 수로양단에 Drop in bulkhead gate 형태로 설치하여, 수차 발전기의 설치, 정기적인 검사 및 보수를 하고자 할 때 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획한다.

② Crane

상류단 및 하류단의 Stoplog 크기 및 중량은 최종거치 후 운영 관리할 수 있도록 설치 계획한 Overhead crane과 Gantry crane의 능력과 연계시켜 다음 표와 같이 계획하였다(참조 표 4.1).

<표 4.1> 수차측 Stoplog 제원

| 구 분 | | 내 해 측 | 외 해 측 | 비 고 |
|------|----|---------------------|----------------------|-----|
| 크 기 | 폭 | 15.0m | 15.9m | |
| | 높이 | 18.85m | 16.0m | |
| 구성형식 | | 1조, 5블록/조 | 1조, 5블록/조 | |
| 운영장비 | | 200ton Gantry crane | 80ton Overhead crane | |

(3) 수문 기기설비

① 배수갑문

최적화 과정을 거쳐 산출된 적정시설 수문의 대수는 소용량(2,000MW) 36대, 대용량(2,300MW) 40대였으며 이에 따라 문비도 맞추어 설치하는 것으로 하였으며, 문비의 형태는 수심이 깊은 장봉수도 여건에 적합한 Lift gate를 채택하였다. 문비의 크기는 다음 표와 같다.

| 형 식 | 크 기 |
|-----------|---------|
| Lift gate | 12m×15m |

② Stoplog : 구조물 수로의 양단은 Stoplog을 설치하여 수문의 설치, 검사 및 보수 시 Dry 상태에서 작업이 가능하도록 다목적 기능으로 계획

③ Crane : 배수갑문은 유압실린더식으로, Stoplog는 35ton Gantry Crane으로 설치 및 해체할 수 있도록 계획하고 문비의 개폐운영은 유압실린더를 사용하는 것으로 계획

5. 시공 및 공정계획

(1) 작업기준설정

조력발전소의 전공정계획을 수립하기 위하여 주요 구조물의 건설방법 및 단위공정을 산출하기 위한 작업기준을 다음 표와 같이 설정하였다.

<표 5.1> 작업기준

| 구 분 | 작 업 기 준 |
|----------|--|
| ○ 해상작업 | 월 20일 |
| - 일반공사 | 1일 10시간 1교대 |
| - 준설공사 | 1일 10시간 2교대 |
| ○ 육상작업 | 월 23일, 1일 10시간 2교대 |
| - 콘크리트공사 | 년간 월동기 2개월간은 타설 중지 |
| ○ 진입도로공사 | 발전소 계획위치에 진입하는 동서측의 양쪽 진입도로는 발전소 공사전에 건설되는 것으로 간주하여 본 공정에서 제외함 |

(2) 단위공종의 시공방법 및 계획

발전소 공사의 주공정(Critical path)에 영향주는 주요 단위 공종은 수차발전기, 수문 구조물 및 조력댐 구조물이므로 이들의 시공방법과 공기를 검토하여 전체사업의 공정계획 수립에 적용토록 한다.

① 가물막이

수차, 수문, 연결구조물 등에 사용되는 구조물을 제작하기 위한 가물막이를 설치하고 DRY상태에서 시공하는 것으로 계획하였다.

○ 공사기간(소용량)

- pile 향타 및 용접공 : 약 14개월
- 정지, Bedding, 배수 및 기타 1식 : 약 4개월
- Lighting & MISC. : 약 4개월
- 계 : 약 22개월

○ 공사기간(대용량)

- pile 향타 및 용접공 : 약 18개월
- 정지, Bedding, 배수 및 기타 1식 : 약 5개월
- Lighting & MISC. : 약 5개월
- 계 : 약 28개월

② 수차구조물

○ 공사규모(소용량-2,000MW)

구조물 전체수량은 80개함으로 총 사용 콘크리트량은 $19,452\text{m}^3/\text{함} \times 80\text{함} = 1,556,000\text{m}^3$ 임

- 공사기간

구조물 2대를 한조로 1개월 간격으로 기초공사를 착공하여 1조당 기초공사 소요기간이 약 2개월이며, 콘크리트 타설 및 상부공 공사 소요기간이 1조당 약 12개월이 소요된다. 그러므로 구조물 제작에 약 72개월이 소요될 것이다.

○ 공사규모(대용량-2,300MW)

구조물 전체수량은 92개함으로 총 사용 콘크리트량은 $19,452\text{m}^3/\text{함} \times 92\text{함} = 1,789,000\text{m}^3$ 임

- 공사기간

구조물 2대를 한조로 1개월 간격으로 기초공사를 착공하여 1조당 기초공사 소요기간이 약 2개월이며, 콘크리트 타설 및 상부공 공사 소요기간이 1조당 약 12개월이 소요된다. 그러므로 구조물 제작에 약 78개월이 소요될 것이다.

③ 수문구조물

○ 공사규모(소용량-2,000MW)

구조물 전체수량은 36개함으로 총 사용 콘크리트량은 $16,179\text{m}^3/\text{함} \times 36\text{함} = 582,000\text{m}^3$ 임

- 공사기간

구조물 2대를 한조로 1개월 간격으로 기초공사를 착공하여 1조당 기초공사 소요기간이 약 2개월이며, 콘크리트 타설 및 상부공 공사 소요기간이 1조당 약 10개월이 소요된다. 그러므로 구조물 제작에 약 40개월이 소요될 것이다.

○ 공사규모(대용량-2,300MW)

구조물 전체수량은 40개함으로 총 사용 콘크리트량은 $16,179\text{m}^3/\text{함} \times 40\text{함} = 647,000\text{m}^3$ 임

- 공사기간

구조물 2대를 한조로 1개월 간격으로 기초공사를 착공하여 1조당 기초공사 소요기간이 약 2개월이며, 콘크리트 타설 및 상부공 공사 소요기간이 1조당 약 10개월이 소요된다. 그러므로 구조물 제작에 약 44개월이 소요될 것이다.

④ 조력댐

조력댐의 주요 공종은 연약지반 처리공, 사석공, 피복재 및 TTP 포설공, 차수 Sheet 공 및 기타공 등이 있으며 주요물량 및 공사기간을 추정하면 다음과 같다.

<표 5.2> 조력댐 주요물량 및 공사기간(소용량)

| 주요 공종 | 수 량 | 공 사 기 간 |
|---------------------|--------------------------|----------------------|
| ○ 사석 및 피복석 | 15,613,000m ³ | 사석, 피복석 및 TTP : 58개월 |
| ○ 차수Sheet 부설 | 506,000m ² | 콘크리트타설 및 레도부설 : 18개월 |
| ○ 저면매트 부설 | 1,541,000m ² | 기타 : 14개월 |
| ○ TTP (3.2ton) | 440,000ea | - |
| ○ 상치 및 crane 기초콘크리트 | 244,000m ³ | - |
| | | 계 : 90개월 |

<표 5.3> 조력댐 주요물량 및 공사기간(대용량)

| 주요 공종 | 수 량 | 공 사 기 간 |
|---------------------|--------------------------|----------------------|
| ○ 사석 및 피복석 | 16,137,000m ³ | 사석, 피복석 및 TTP : 60개월 |
| ○ 차수Sheet 부설 | 600,000m ² | 콘크리트타설 및 레도부설 : 19개월 |
| ○ 저면매트 부설 | 1,859,000m ² | 기타 : 15개월 |
| ○ TTP (3.2ton) | 520,000ea | - |
| ○ 상치 및 crane 기초콘크리트 | 295,000m ³ | - |
| | | 계 : 94개월 |