

부산항 신항 해양수리현상
연구개발 용역(3차)

보 고 서

2009. 4

MLTMA

부산지방해양항만청
부산항건설사무소

Ministry of Land,
Transport and Maritime Affairs

제 출 문

부산지방해양항만청
부산항건설사무소장 귀하

귀 건설사무소와 2008년 11월 24일에 계약체결한 ‘부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)’을 과업지시서 및 제반 지시사항에 의거하여 완료하고 그 결과를 이 최종보고서로 제출합니다.

2009년 4월 27일

한국해양연구원
원 장 강 정 극

(주)세광종합기술단
대표이사 이 재 완

목 차

제출문	i
그림목차	v
표목차	xi

제 1 장 총 설

1.1 과업의 목적	1- 1
1.2 과업의 범위	1- 2
1.3 주요 과업 내용	1- 2
1.4 과업 결과 요약	1- 3
1.4.1 용원지역 실시간 해수위 모니터링 및 용원 해수위 변화분석	1- 3
1.4.2 동방파제 및 컨테이너 부두 전면 파고 관측	1- 3
1.4.3 실시간 부유사확산 모니터링 및 제어 시스템 운영	1- 5
1.4.4 부유사 확산 및 해저지형변화	1- 6
1.4.5 영상자료 수집 및 분석	1- 6
1.4.6 용원수로의 수질변화 분석 및 예측	1- 6
1.4.7 협수로 매몰조사 및 대책	1- 9
1.4.8 Website 및 실시간 자료제공 시스템 운영	1-10

제2장 해양수리 조사분석

2.1 용원지역 실시간 해수위 모니터링 및 용원 해수위 변화분석	2- 1
2.1.1 개요	2- 1
2.1.2 실시간 해수위 모니터링	2- 1
2.1.3 조위 및 조류관측	2-11
2.1.4 분석 결과	2-23
2.2 동방파제 및 컨테이너 부두 전면 파고 관측	2-25
2.2.1 현장관측 내용	2-25
2.2.2 자료 분석방법	2-27
2.2.3 동방파제 전면 파랑 특성	2-27
2.2.4 부두 전면 및 항내 파랑 특성	2-39
2.2.5 장주기파 분석	2-52

2.3 실시간 부유사 확산 모니터링 및 제어 시스템 운영	2-73
2.3.1 관측 개요	2-73
2.3.2 실시간 모니터링 부이 운용	2-73
2.3.3 토의 및 결론	2-79
2.4 부유사 확산 및 해저지형 변화	2-83
2.4.1 과업의 목적, 범위 및 내용	2-83
2.4.2 적용 수치모델	2-83
2.4.3 해수유동 및 파랑모델 Set-up	2-91
2.4.4 진우도 주변 장기지형 변화	2-93
2.4.5 결론	2-107
2.5 영상자료 수집 및 분석	2-109
2.5.1 위성자료 수집 및 분석	2-109
2.6 용원수로의 수질변화 분석, 예측 및 변화분석	2-117
2.6.1 과업의 개요	2-117
2.6.2 기상조사	2-117
2.6.3 수질조사	2-118
2.6.4 수질변동 양상 분석	2-123
2.6.5 용원수로 오염원 조사	2-130
2.6.6 해수유동 실험	2-132
2.6.7 용원수로 수질모델링	2-148
2.7 협수로 매물조사 및 대책	2-173
2.7.1 RTK 측량을 통한 침식 및 퇴적 현상 분석	2-173
2.7.2 해안선 및 협수로 단면변화	2-176
2.7.3 진우도 남측 해역의 등수심도 비교	2-194
2.8 Website 및 실시간 자료제공 시스템 운영	2-196
2.8.1 실시간 해양자료 수신, 처리	2-196
2.8.2 인터넷 자료제공	2-202
2.8.3 웹사이트 운영	2-207
부록 A1. 참고문헌	A- 1
부록 B1. 참여자 명단	B- 1
부록 C1. 최종보고회 결과 및 조치사항	C- 1
부록 D1. 연결잔교 상시접안에 따른 문제 검토 결과	D- 1

그림 목 차

그림 1.1.1 부산항 신항 해역관리 전문가시스템 구성도.	1- 1
그림 1.4.1 파랑관측정점 위치도.	1- 4
그림 1.4.2 INBUS-1, -2의 관측 위치도.	1- 5
그림 1.4.3 수질 조사지점 위치도.	1- 7
그림 1.4.4 토구위치도.	1- 8
그림 2.1.2 레이다식 실시간 해수위계 설치 사진.	2- 2
그림 2.1.3 레이다식 실시간 해수위계 제원 및 설치 개요(자료 제공 : 오션 ENG).	2- 4
그림 2.1.4 레이다식 실시간 해수위계의 관측자료 송·수신 및 제공 흐름도.	2- 5
그림 2.1.5 평균해면 및 주요 조화상수 진폭의 계절변화.	2- 8
그림 2.1.6 모니터링수위, 예측조위 및 잔차수위의 월별 시간변화.	2- 9
그림 2.1.7 용원수로 외해측 조석, 조류관측 지점 위치도.	2-11
그림 2.1.8 관측수위, 예측조위, 잔차수위의 시간변화.	2-15
그림 2.1.9 조위관측자료(S1)의 조차빈도 분포.	2-15
그림 2.1.10 관측 조류의 시간변화(C1).	2-17
그림 2.1.11 관측 조류의 시간변화(C2).	2-18
그림 2.1.12 관측 조류의 시간변화(C3).	2-19
그림 2.1.13 유속, 유향의 분산도 및 히스토그램(C1).	2-20
그림 2.1.14 유속, 유향의 분산도 및 히스토그램(C2).	2-20
그림 2.1.15 유속, 유향의 분산도 및 히스토그램(C3).	2-20
그림 2.1.16 관측된 조류의 진행벡터도(C1).	2-21
그림 2.1.17 관측된 조류의 진행벡터도(C2).	2-21
그림 2.1.18 관측된 조류의 진행벡터도(C3).	2-21
그림 2.2.1 파랑관측정점 위치도.	2-26
그림 2.2.2 정점 DW에서 2008년 6월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-29
그림 2.2.3 정점 DW에서 2008년 7월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-30
그림 2.2.4 정점 DW에서 2008년 8월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-31
그림 2.2.5 정점 DW에서 2008년 9월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-32
그림 2.2.6 정점 DW에서 2008년 10월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-33
그림 2.2.7 정점 DW에서 2008년 11월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-34

그림 2.2.8 정점 DW에서 2008년 12월에 관측된 유의 파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-35
그림 2.2.9 정점 DW에서 2009년 1월에 관측된 유의 파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-36
그림 2.2.10 정점 DW에서 2009년 2월에 관측된 유의 파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-37
그림 2.2.11 정점 DW에서 2009년 3월에 관측된 유의 파고, 첨두주기 및 대표파향.	2-38
그림 2.2.12 정점 P6에서 2008년 6월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-40
그림 2.2.13 정점 P6에서 2008년 7월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-41
그림 2.2.14 정점 P6에서 2008년 8월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-42
그림 2.2.15 정점 P6에서 2008년 9월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-43
그림 2.2.16 정점 P6에서 2008년 10월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-44
그림 2.2.17 정점 P6에서 2008년 11월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-45
그림 2.2.18 정점 P9에서 2008년 6월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-46
그림 2.2.19 정점 P9에서 2008년 7월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-47
그림 2.2.20 정점 P9에서 2008년 8월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-48
그림 2.2.21 정점 P9에서 2008년 9월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-49
그림 2.2.22 정점 P9에서 2008년 10월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-50
그림 2.2.23 정점 P9에서 2008년 11월에 관측된 유의 파고와 첨두주기.	2-51
그림 2.2.24 2006년 5~6월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-54
그림 2.2.25 2006년 7~9월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-55
그림 2.2.26 2006년 10~11월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-56
그림 2.2.27 2007년 6월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-57
그림 2.2.28 2007년 7~9월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-58
그림 2.2.29 2007년 10~11월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-59
그림 2.2.30 2008년 6월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-60
그림 2.2.31 2008년 7~9월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-61
그림 2.2.32 2008년 10~11월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-62
그림 2.2.33 2006년 6월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-63
그림 2.2.34 2006년 7~9월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-64
그림 2.2.35 2006년 10~11월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-65
그림 2.2.36 2007년 6월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-66
그림 2.2.37 2007년 7~9월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-67
그림 2.2.38 2007년 10~11월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-68

그림 2.2.39 2008년 6월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-69
그림 2.2.40 2008년 7~9월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-70
그림 2.2.41 2008년 10~11월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.	2-71
그림 2.3.1 INBUS-1, -2의 관측 위치도.	2-73
그림 2.3.2 YSI 6600의 탁도(NTU) 대 부유퇴적물 농도의 상관관계식(좌: INBUS-1, 우: INBUS-2).	2-74
그림 2.3.3 하계 INBUS-1 운용결과.	2-76
그림 2.3.4 추계 INBUS-1 운용결과.	2-77
그림 2.3.5 동계 INBUS-1 운용결과.	2-78
그림 2.3.6 하계 INBUS-2 운용 결과.	2-80
그림 2.3.7 추계 INBUS-2 운용 결과.	2-81
그림 2.3.8 동계 INBUS-2 운용 결과.	2-82
그림 2.4.1 해수유동 모델 영역도.	2-92
그림 2.4.2 거제도 외해 해상 파랑 시계열 자료(2006년 11월 1일~2007년 10월 30일).	2-92
그림 2.4.3 파랑모델(overall-wave, sebu-wave) 및 유동모델(flow) 영역.	2-93
그림 2.4.4 부산신항 건설전 (1996년) 수심도(단위: m).	2-95
그림 2.4.5 현재 수심도(단위: m).	2-95
그림 2.4.6 낙동강 하구둑의 연간 방류량 및 SS농도의 시계열 분포.	2-96
그림 2.4.7 낙동강하구 및 놀차만 해역의 해저질 분포.	2-96
그림 2.4.8 지반조사 위치도.	2-97
그림 2.4.9 정선 Jo에서의 지형변화 관측치와 시뮬레이션 결과 비교(분홍색: 시뮬레이션 결과).	2-97
그림 2.4.10 진우도 주변해역의 연간 침식 및 퇴적 분포(신항건설전).	2-98
그림 2.4.11 진우도 주변해역의 연간 침식 및 퇴적 분포(현상태).	2-98
그림 2.4.12 신항건설전 진우도 주변해역의 수심 및 정선 배치.	2-100
그림 2.4.13 현상태 진우도 주변해역의 수심 및 정선 배치.	2-100
그림 2.4.14 신항건설전 정선 A1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-101
그림 2.4.15 신항건설전 정선 A2에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-101
그림 2.4.16 신항건설전 정선 B1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-102
그림 2.4.17 신항건설전 정선 B2에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-102
그림 2.4.18 신항건설전 정선 C1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-103
그림 2.4.19 신항건설전 정선 D1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-103
그림 2.4.20 현상태 정선 A1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-104

그림 2.4.21	현상태 정선 A2에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-104
그림 2.4.22	현상태 정선 B1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-105
그림 2.4.23	현상태 정선 B2에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-105
그림 2.4.24	현상태 정선 C1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-106
그림 2.4.25	현상태 정선 D1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.	2-106
그림 2.5.9	SPOT-5 위성 영상(2002. 12. 27).	2-111
그림 2.5.10	SPOT-5 위성 영상(2003. 10. 3).	2-112
그림 2.5.11	SPOT-5 위성 영상(2004. 11. 12).	2-113
그림 2.5.12	SPOT-5 위성 영상(2006. 11. 20).	2-114
그림 2.5.13	SPOT-5 위성 영상(2007. 11. 30).	2-115
그림 2.5.14	SPOT-5 위성 영상(2008. 12. 19).	2-116
그림 2.6.1	조사지점 위치도.	2-118
그림 2.6.2	지점별 평균 BOD5.	2-124
그림 2.6.3	지점별 평균 CODMn.	2-124
그림 2.6.4	지점별 평균 TSS.	2-124
그림 2.6.5	지점별 평균 TN.	2-125
그림 2.6.6	지점별 평균 TP.	2-125
그림 2.6.7	COD농도 추세변화(site 2, 2003~2009).	2-126
그림 2.6.8	TN농도 추세변화(site 2, 2003~2009).	2-126
그림 2.6.9	TP농도 추세변화(site 2, 2003~2009).	2-127
그림 2.6.10	COD농도 추세변화(site 5, 2003~2009).	2-127
그림 2.6.11	TN농도 추세변화(site 5, 2003~2009).	2-127
그림 2.6.12	TP농도 추세변화(site 5, 2003~2009).	2-128
그림 2.6.13	COD농도 추세변화(site 9, 2003~2009).	2-128
그림 2.6.14	TN농도 추세변화(site 9, 2003~2009).	2-128
그림 2.6.15	TP농도 추세변화(site 9, 2003~2009).	2-129
그림 2.6.16	토구위치도.	2-130
그림 2.6.17	가덕도 조위관측소.	2-132
그림 2.6.18	조석 자료처리 흐름도.	2-134
그림 2.6.19	가덕도 조석(2008년 10월 1일~10월 31일) 조화분해된 시계열.	2-135
그림 2.6.20	가덕도(2008년 10월 1일~2008년 10월 31일)의 분조별 진폭.	2-136

그림 2.6.21 가덕도(2008년 10월 1일 ~2008년 10월 31일)의 분조별 위상.	2-136
그림 2.6.22 유한차분 격자망.	2-141
그림 2.6.23 Time centering.	2-141
그림 2.6.24 해수유동 수치모형의 구성.	2-143
그림 2.6.25 계산영역의 등수심도.	2-144
그림 2.6.26 창조시 유속벡터도.	2-145
그림 2.6.27 낙조시 유속벡터도.	2-145
그림 2.6.28 정점별 유속 시계열.	2-146
그림 2.6.29 용원수로 3차원 모식도.	2-147
그림 2.6.30 QUAL2E 모형의 하천구간 및 요소구분 개념도.	2-150
그림 2.6.31 QUAL2E 모델의 계산요소.	2-154
그림 2.6.32 QUAL2E Model의 수질모의 항목 및 상호관계.	2-159
그림 2.6.33 용원수로 횡단면도.	2-169
그림 2.6.34 용원수로 횡단면도 유량 분석.	2-170
그림 2.6.35 HEC-RAS를 이용한 유량계수 산정(유량-수심, 유량-유속 그래프).	2-171
그림 2.6.36 용원수로 QUAL2E 모델 구성도.	2-172
그림 2.6.37 용원수로 QUAL2E 모델 모식도.	2-172
그림 2.7.1 퇴적물 관측을 위한 매물관 설치 위치도.	2-173
그림 2.7.2 RTK 측량결과(P07, P08지점 위치, 2009년 1월).	2-174
그림 2.7.3 RTK DGPS 측량에 의한 표고 변동.	2-175
그림 2.7.4 해안선 및 협수로단면 조사 구역도 및 측량 기준점(거리 단위: × 1,000 m).	2-177
그림 2.7.5 진우도 기준점.	2-177
그림 2.7.6 신자도 기준점.	2-177
그림 2.7.7 연직 기준면.	2-178
그림 2.7.8 정선별 수심 변동(진우도 및 신자도 남측/ 1, 2, 3차년도 결과 함께 제시).	2-180
그림 2.7.9 Area B의 정선 수심측량 결과(가덕도-진우도 협수로, 1, 2, 3차년도 결과를 모두 함께 제시).	2-191
그림 2.7.10 Area C의 정선 수심측량 결과(진우도-신자도 협수로, 1, 2, 3차년도 결과를 모두 함께 제시).	2-193
그림 2.7.11 진우도 남측 사주의 년도별 평면도 비교(그림 속의 검은 사각형은 2007년 준설.	2-195
그림 2.8.1 실시간 해양자료 제공시스템 개념도.	2-195

그림 2.8.2 INBUS 실시간 자료의 수신 프로그램.	2-198
그림 2.8.3 수신자료(상)와 변환자료(하)의 파일 포맷.	2-198
그림 2.8.4 용원 수위자료 수신 프로그램.	2-199
그림 2.8.5 용원 수위자료 포맷	2-199
그림 2.8.6 용원 수위자료 DB 구조.	2-200
그림 2.8.7 Oracle DB에 입력된 수위자료.	2-200
그림 2.8.8 파고 자료 DB 구조.	2-201
그림 2.8.9 Oracle DB에 입력된 파랑 자료.	2-201
그림 2.8.10 자료변환, DB 입력 자동처리를 위한 예약작업.	2-202
그림 2.8.11 INBUS “실시간 자료” 화면.	2-203
그림 2.8.12 INBUS “자료검색” 화면.	2-203
그림 2.8.13 용원해수위 “실시간 자료” 화면.	2-204
그림 2.8.14 용원해수위 “자료검색” 화면.	2-205
그림 2.8.15 파랑 “실시간 자료” 화면.	2-206
그림 2.8.16 파랑 “자료검색” 화면.	2-206
그림 2.8.17 인터넷 서버 프로그램의 설정화면.	2-208
그림 2.8.18 웹사이트의 초기화면.	2-210
그림 2.8.19 웹사이트의 “연구목표” 메뉴 화면.	2-210
그림 2.8.20 웹사이트의 “연구성과” 메뉴 화면.	2-211
그림 2.8.21 웹사이트의 “실시간자료 - INBUS 소개” 메뉴 화면.	2-211

표 목 차

표 2.1.1 2008년 6월 자료의 조화분석 결과.	2- 7
표 2.1.2 평균해면 및 주요 조화상수 진폭의 계절변화.	2- 8
표 2.1.3 조위, 조류 관측 내용.	2-11
표 2.1.4 조위자료 조화분석 결과.	2-13
표 2.1.5 두 지점간 주요 조화상수 비교.	2-14
표 2.1.6 조위관측 자료의 주요 비조화상수.	2-14
표 2.1.7 조류자료 조화분석 결과(C1).	2-22
표 2.1.8 조류자료 조화분석 결과(C2).	2-22
표 2.1.9 조류자료 조화분석 결과(C3).	2-23
표 2.3.1 INBUS-1, -2의 관측 위치 및 기간.	2-73
표 2.3.2 관측기간 동안의 월별 준설량 및 준설 공종.	2-74
표 2.4.1 해저질 물성치.	2-96
표 2.5.1 SPOT-5 위성의 주요 제원.	2-109
표 2.6.1 기상조사표.	2-119
표 2.6.2 조사지점 위치.	2-119
표 2.6.3 수질분석방법.	2-119
표 2.6.4 수질조사표.	2-120
표 2.6.5 해역 수질환경기준.	2-123
표 2.6.6 수질조사표.	2-131
표 2.6.7 조석관측 개요.	2-132
표 2.6.8 조석의 주요 조화상수와 비조화상수.	2-137
표 2.6.9 조석 형태수 설명.	2-138
표 2.6.10 용원수로 인근 조석 형태수.	2-138
표 2.6.11 해수유동 실험 개요.	2-139
표 2.6.12 정점별 유속 대표 유속값.	2-146
표 2.6.13 용원수로의 조석 기준면에 따른 면적 및 용적.	2-147
표 2.6.14 QUAL2E에서 사용되는 계산요소(Element)의 구분.	2-149
표 2.6.15 모델에 적용되는 반응계수의 범위.	2-168
표 2.7.1 녹산공단 전면해역의 문화재관리구역 RTK 관측 기준점.	2-174

표 2.7.2 측량 실시 일정.	2-176
표 2.8.1 웹사이트의 메뉴별 주요내용.	2-207
표 2.8.2 CGI 처리를 위한 프로그램 목록.	2-209

제 1 장

제 2 장

부 록 A

부 록 B

부 록 C

부 록 D

제 1 장 총 설

제 1 장 총 설

1.1 과업의 목적

- 부산항 신항 개발사업의 시행으로 인하여 영향이 예측되는 환경인자에 대해 조사·분석하고, 사업 수행시 해상상태 및 부유사 확산 등을 실시간으로 모니터링한다.
- 주요 공사단계별 해수유동, 퇴적물 이동 및 지형변화 등을 예측하여, 해양환경변화를 감시 및 제어하여 환경친화적인 공사가 추진될 수 있도록 한다.
- 해난재해를 예방하고 환경피해를 최소화함으로써 효율적인 공정관리를 할 수 있도록 한다.

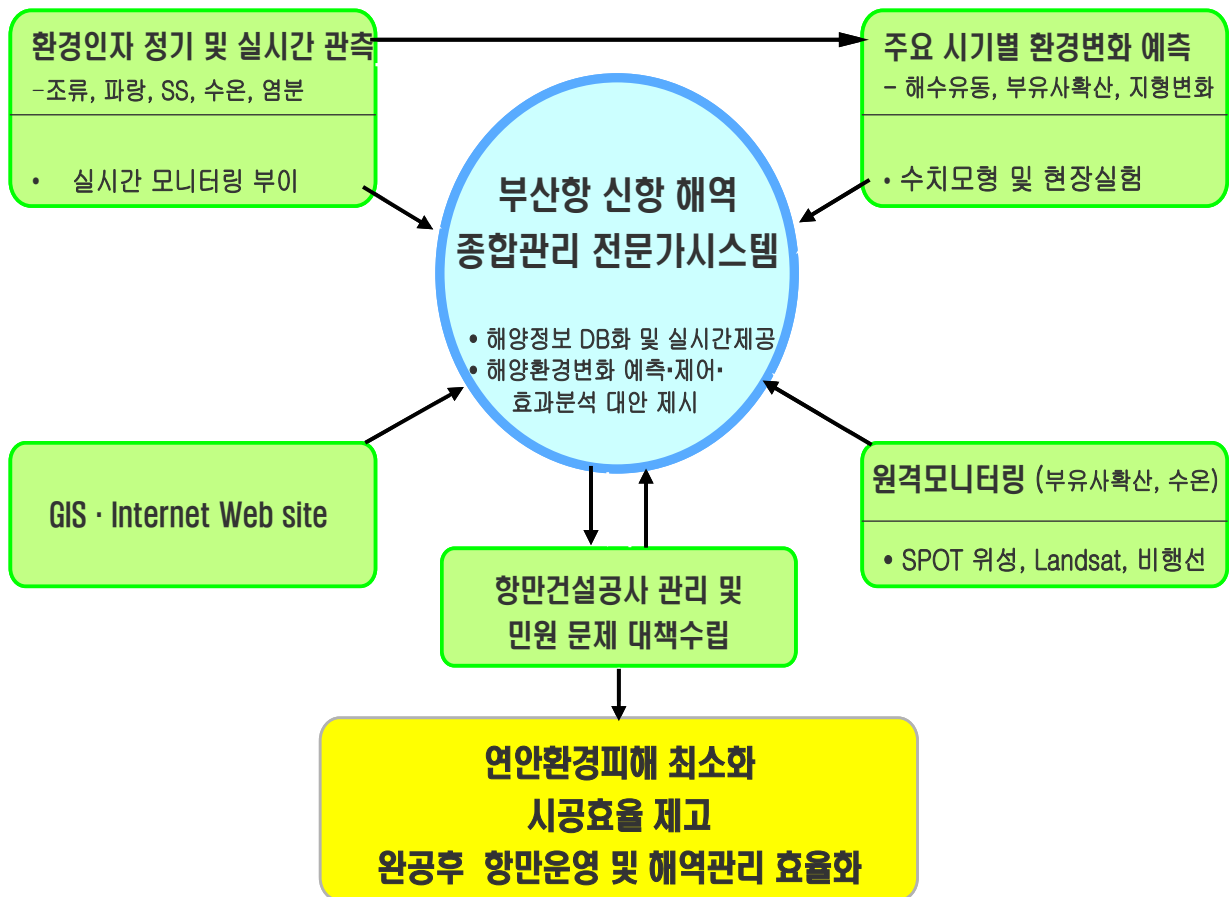


그림 1.1.1 부산항 신항 해역관리 전문가시스템 구성도.

1.2 과업의 범위

- 본 과업의 최종 목표는 부산항 신항의 기 구축된 해양수리 및 환경관리시스템을 GIS 및 전문가 시스템과 연동 운영하는 통합관리시스템을 보완 및 운영하는데 있다.
- 본 연구영역을 통해 단계적으로 개발되는 시스템은 관련된 해양수리·환경인자의 공사단계별 조사, 또는 연속 모니터링 시스템 구축 및 운영, 모니터링 자료를 실시간 제공서비스하고, 공사중 부유퇴적물 확산, 오염물질 이동 및 해저지형 변화 등 환경인자의 주요 공사단계별 변화를 예측하며, 그리고 조석, 조류 및 파랑 등 수리인자를 실시간으로 예측하는 세부내용으로 구성된다. 이는 GIS 및 전문가 시스템과 연동시켜 운영될 것이다.

1.3 주요 과업 내용

- 용원지역 실시간 해수위 모니터링 및 용원 해수위 변화 분석 : 1개소×5개월
- 동방파제 및 컨테이너 부두 전면 파고 관측
 - 동방파제 전면 : 파향·파고계 1개소×5개월
 - 컨테이너부두 전면 : 수압식파고계 2개소×4개월
- 실시간 부유사확산 모니터링 및 제어 시스템 운영
 - INBUS 부이 2개소×5개월
- 부유사확산 및 해저지형변화 분석 : 수치모형실험
- 영상자료 수집 및 분석
 - 위성자료 수집 및 분석: 1회, 위성사진 구입 및 분석(SPOT-5 위성영상)
- 용원수로의 수질변화 분석, 예측 및 대책 검토 : 현장조사 및 오염원 파악
- 협수로 매물조사 및 대책
 - 해안선 및 수심측량 등 협수로 매물 관측 및 경향 분석
 - 문화재 관리구역 매물고 조사(RTK 측량) : 10개소
- 웹사이트 및 실시간 자료 제공 시스템 운영 및 개선

1.4 과업 결과 요약

1.4.1 용원지역 실시간 해수위 모니터링 및 용원 해수위 변화분석

- 상승적으로 침수가 발생하고 있는 진해시 용원동 해안의 해수위 변화와 주변지역의 침수 상황을 파악하고 민원대책 수립을 위한 기초자료로 활용하기 위하여 레이다식 수위관측기를 설치하여 상시 운영하고 있으며, 10분 간격으로 실시간 수위자료를 수집하여 웹사이트를 통하여 직접 관계자들에게 제공하고 있다.
- 레이다식 수위관측기로부터 2008년 6월부터 2009년 2월까지 약 9개월 동안의 해수위 자료를 수집하였으며 수집한 자료를 분석하여 월별 평균해수위의 변화를 산출하고 이로부터 이상고조의 발생여부를 검토하였다.
- 용원수로의 유속변화를 파악하기 위하여 2009년 3월 8일부터 4월 8일까지 약 1개월 동안 조위 및 조류 각각 1개 정점에서 장기계류 관측을 실시하여 분석하였다.

1.4.2 동방파제 및 컨테이너 부두 전면 파고 관측

- 부산항 신항에 내습하는 단주기파의 특성을 파악하기 위하여 동방파제 전면의 정점 DW에 파향·파고계를 설치, 2006년 7월 8일부터 현재까지 실시간으로 단주기파 연속관측을 실시하고 있다. 또한, 작업부두 부근(정점 P6) 및 서컨테이너부두 부근(정점 P9)에 수압식 파고계를 설치, 2008년 6월 8일~11월 8일까지 단주기파 연속관측을 실시하였다. 관측자료들은 스펙트럼법, 파별분석법 및 최대엔트로피법(Maximum Entropy Method)를 사용하여 분석하였다.
- 동방파제 전면에서의 먼저, 대표파향은 2008년 9월까지의 S 계열인 파의 출현빈도가 크게 우세하나 10월부터는 S와 W의 파향이 혼재하다. 관측기간 중 최대 유의파고는 2009년 2월 13일 15시의 2.42 m(침두주기는 8.2초, 1/3최대유의파 평균주기는 7.9초, 대표파향은 S9.7°W)로 제시되었다.
- 2008년 6~11월에 북컨테이너부두와 연결된 작업부두 방파제 인근의 정점 P6에서 관측된 자료를 분석하여 구한 유의파고와 침두주기를 살펴보면, 2008년 6월 18일에 유의파고가 0.5 m를 초과하는 파가 관측되었다. 정점 DW에 대한 결과와 비교해보면 파향이 S계열이고 정점 DW에서의 파고가 큰 경우에는 정점 P6에서의 파고도 크게 제시되어 S계열의 파는 항입구파 천수심을 전파하면서 감소되기는 하나 상당한 크기의 파가 작업부두 부근에 도달함을 알 수 있다.



그림 1.4.1 파랑관측정점 위치도.

- 서컨테이너 부두 부근의 정점 P9에서 관측된 자료를 분석하여 구한 유의파고와 침두주기를 살펴보면, 여기서는 관측기간 동안 유의파고가 0.5 m를 초과하는 파가 관측되지 않았다.
- 장주기파의 시간적 변화 특성을 검토하기 위하여 정점 P6과 P9에서 수집된 자료를 1.5시간 길이의 자료로 분할하고 다시 장주기파의 파고 H_L 과 주기 T_L 을 구하였다.
- 정점 P6에서의 최대 장주기파 파고는 2006년에는 2006년 7월 10일 13시 30분의 0.155 m (장주기파 주기는 66.3초)로 나타났으며 이를 제외하면 0.10 m를 초과하는 장주기파 파고는 나타나지 않았다. 또한 2007년과 2008년에는 0.10 m를 초과하는 장주기파 파고가 전혀 나타나지 않았다.
- 정점 P9에서의 최대 장주기파 파고는 2006년에는 2006년 7월 10일 13시 30분의 0.180 m (장주기파 주기는 71.1초)로 나타났으며 이를 제외하면 0.10 m를 초과하는 장주기파 파고는 나타나지 않았다. 또한 2007년과 2008년에는 0.10 m를 초과하는 장주기파 파고가 전혀 나타나지 않았다.

- 정점 P6과 P9에서 최대 장주기파 파고를 기록한 2006년 7월 10일의 관측 자료는 태풍 에위니아의 영향을 받은 것으로 판단되었다.

1.4.3 실시간 부유사확산 모니터링 및 제어 시스템 운영

- 부산항 신항만 건설해역의 해상 상태 및 부유사 확산 모니터링 뿐 아니라 해양환경변화를 실시간 감시·제어하기 위하여 자동승강식 실시간 모니터링 부이 2기(INBUS-1, 2)를 2006년 7월부터 현재까지 관측을 수행하고 있다.
- 실시간 관측결과는 관련 부산항 신항 실시간 해양관측자료 웹사이트에 제공하여 자료를 상시 열람하고 관측상황을 파악할 수 있도록 하였다.
- 2차년도에 여수도 투기장과 호란도 동측에서 운용한 자동승강식 실시간 모니터링 부이인 INBUS-1, INBUS-2는 2008년 6월부터 2009년 2월까지 3차년도 기간에는 남컨2-3단계 공사장의 오탉방지막 북측과 서측 전면에 설치하여 매시간 3개층으로 운용하였다.

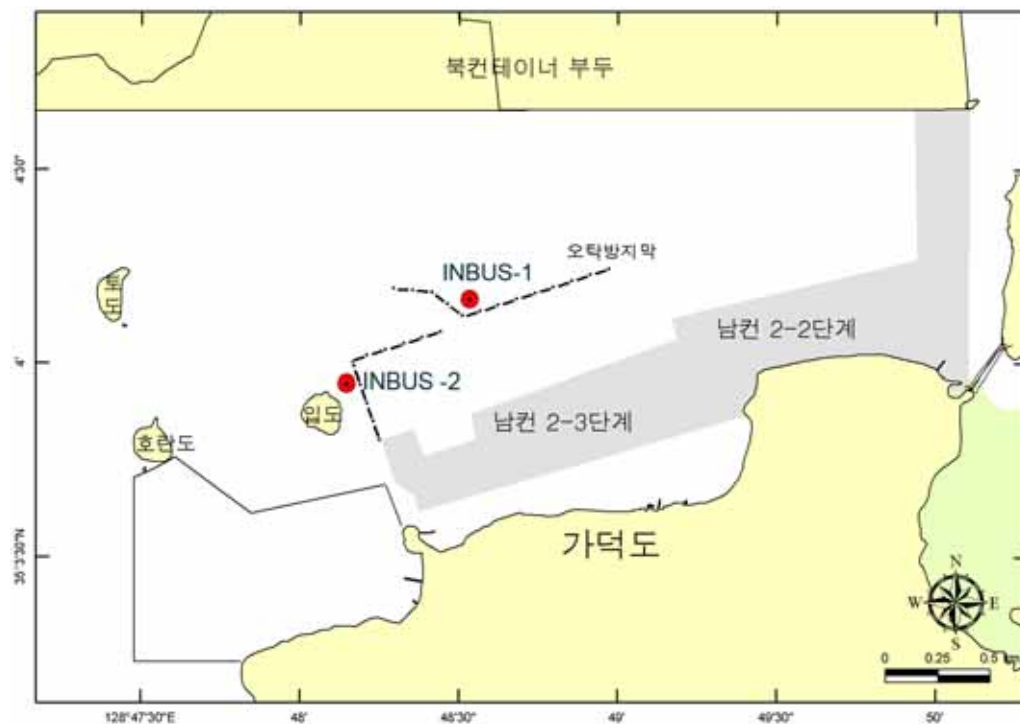


그림 1.4.2 INBUS-1, -2의 관측 위치도.

- 남컨 2-3단계의 북측 오탉방지막 전면에서 7월과 8월 사이에 약 2500 mg/l까지 발생한 부유사 농도는 준설로 인한 영향보다는 강수로 인해 육상기원의 부유사가 흘러나온 것으로 판단된다. 그러나 10월 21일 이후 약 80 mg/l까지 발생한 부유사 농도는 준설로 인한 것으로 판단된다.

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 영역(3차)

- 서측 오탉방지막의 전면에서는 강수시 약 50 mg/l까지 증가하였지만 전체적으로 35 mg/l 내로 분포하였다. 또한 준설의 영향으로 인한 부유사 농도증가는 없는 것으로 판단되었다. 평상시 북측과 서측의 부유사 배경농도는 약 35 mg/l 내로 분포한다. 두 지점에서의 수온과 염분의 경우 날씨와 조석에 따른 증감이 잘 반영되었다.

1.4.4 부유사 확산 및 해저지형변화

- 본 과업은 준설공사로 인한 부유사확산 범위 및 퇴적물이송 분포를 파악하고, 부산항 신항 건설이 낙동강하구역의 장기지형변화에 미치는 영향을 정성적으로 평가하는데 있으며, 공사중 부유퇴적물 확산, 이동 및 장기 해저지형 변화 등 환경인자의 변화를 예측하기 위하여 해수유동, 파랑, 부유사확산, 퇴적물 이송 및 장기지형변화 수치시뮬레이션을 수행한다.
- 부산신항 건설이 진우도 인근 장기 지형변화에 미치는 영향(기여도)을 분석한 결과, 진우도 인근해역의 지형변화는 신항건설로 인한 조류 등의 흐름변화에 기인했다기 보다는 외해파랑에 의해 발생하는 과정 중에 있는 것으로 여겨진다. 즉, 전형적인 외해파랑에 의한 지형변화 중에 있는 것으로 보여진다.

1.4.5 영상자료 수집 및 분석

가. 위성자료 수집 및 분석

- 부산항 신항 건설 해역의 부유사 농도 공간분포, 공사 중 부유사 확산범위 및 공사 진척 상황 파악을 위하여 프랑스의 고해상도 위성인 SPOT-5로 촬영한 영상자료를 수집·분석하였다.
- 3차 과업기간의 2008년 영상자료(그림 2.5.14)를 살펴보면, 남컨테이너부두 준설토 투기장의 호안공사와 남컨테이너부두 2-3단계 공사가 상당히 진척되었음을 확인할 수 있다.
- 2002년~2004년 영상 자료와 2006년, 2007년, 2008년 영상 자료를 비교해 보면 준설토 투기장과 북컨테이너부두, 연결잔교 및 다목적 부두 배후부지, 남컨테이너부두 2-2단계 하부공사, 남컨테이너부두 준설토 투기장의 호안공사와 남컨테이너부두 2-3단계 공사 등의 공사진척단계를 확인할 수 있다.

1.4.6 용원수로의 수질변화 분석 및 예측

- 과업내용 : 용원수로 수질변화 분석 및 수질모델링을 위한 입력자료 구성
- 분석항목 : 현장관측 항목 포함 10개 항목

기온, 수온, 염도(전기전도도), pH, DO, BOD, COD, SS, TN, TP

- 관측지점 : 부산신항만 용원수로 인근 총 10개 지점
용원수로(6개 지점), 송정천(2개 지점), 합류지점(2개 지점)
- 수질모델 : MIKE 21/HEC-RAS/QUAL2E



그림 1.43 수질 조사지점 위치도.

- 지점별 수질변화를 조사한 결과, 평균 TN은 용원수로 내부 지점들이 외부지점보다 높은 값을 나타내었는데 이 중 site 1이 1,895 mg/L로 가장 높았으며, site 9이 0,592 mg/L로 가장 낮은 값을 나타내었다. 특히 site 1~4 지점은 해역 수질환경기준 3등급인 TN 1 mg/L를 초과하였으며 site 5~10 지점의 경우 3등급에 해당하는 농도값을 나타내었다. TP의 경우 TN과 비슷한 양상을 띄었으며 site 1이 0,254 mg/L로 가장 높은 값을, site 9가 0,095 mg/L로 가장 낮은 값을 나타내었다. 또한 모든 지점에서 해역 수질환경기준 3등급인 TP 0,09 mg/L를 초과하였으며 특히 site 1~4 지점이 다른 지점에 비해 높은 값을 나타내었다. 이처럼 용원수로 내부지점의 농도가 외부지점보다 높은 이유는 site 1~4 까지 육지에서 해상으로 나오는 토구가 밀집되어 있기 때문에 비점오염원의 영향으로 판단된다.
- 시간적 수질변화를 추세 검정한 결과, site 2, 5, 9 지점의 COD농도, site 2의 TP농도가 뚜렷한 추세변화가 있는 것으로 파악되었으며, 나머지 지점의 자료는 모두 뚜렷한 농도변화 추세를 보이고 있지 않은 것으로 파악되었다. site 2, 5, 9 지점의 COD농도는 2009년으로 갈수록 점차 감소하는 추세를 나타내었다. 즉, 2003년 기간의 심한 오염의 영향으로 초기에는 높은 농도를 보이다가 점차 개선되는 추세를 보이고 있는 것으로 파악되었다. 반면에 site 2 지

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 영역(3차)

점의 TP농도는 점차 증가하는 추세를 나타내었다. 이는 유역에서의 지속적인 TP의 오염부하 및 제한된 해수교환으로 유입된 오염물질이 수로내부에서 채류하기 때문이라고 판단된다. 용원지역의 부산신항 개발사업 전·후의 수질변화 양상 분석은 자료부족으로 정확한 판단을 내릴 수는 없으나 용원수로가 형성된 이후의 수질변화는 site 2 지점의 TP 항목을 제외하고는 뚜렷한 추세변화가 없는 것으로 분석되었다. site 2 지점의 뚜렷한 TP 항목의 증가에도 불구하고 site 5, 9지점의 추세가 보이지 않는 이유는 TP 오염부하의 영향범위가 용원수로 전체로 미치지 않고 국지적으로 제한되는 것으로 판단할 수 있다.

- 토구 조사는 용원수로 주변을 대상으로 하여 용원수로 내부지점으로부터 외부지점까지 현장 조사하였다. 조사결과 용원수로 주변의 토구 개수는 총 28개로 비닐관 5개소, 토구 23개소이며 토구의 위치는 다음 그림 1.4.4와 같다.



그림 1.4.4 토구위치도.

1.4.7 협수로 매몰조사 및 대책

가. RTK 측량을 통한 침식 및 퇴적 현상 분석

- 본 과업에서는 지형변동에 대한 기초적인 자료축적의 일환으로서 2006년도 6월 19일부터 2006년 11월 4일까지 그림 2.8.1에 표시한 11개 지점에 매몰판을 설치하였으며, 총 7차례에 걸쳐 해저면의 고도를 시간적으로 모니터링하여 측정점의 퇴적률을 측정하는 현장조사를 실시하였으나 2007년부터는 1차년도 중간보고시 지적 및 보완사항을 반영하여 정확성과 자료 분실의 위험을 최소화하기 위해 분기별로 년 4회에 걸쳐 RTK DGPS 관측을 시행하기로 하여 2007년 6월 14일 12시 10분에 처음 관측을 시작하였다.
- 2차년도에는 2007년 10월 25일 11시 13분, 12월 26일 14시 11분, 2008년 3월 24일 14시 9분, 6월 19일 14시 51분에 각각 관측을 시작하여 2시간 이내에 관측을 수행하였다.
- 3차년도부터는 2차년도 중간 및 최종보고시 지적 및 보완사항을 반영하여 년 2회 RTK DGPS 관측을 시행하고 진우도 남측 최적현상의 관측정밀도를 높이기로 하여 2009년 1월 12일 14시 54분에 관측을 시작하였다.

나. 해안선 및 협수로 단면변화

- 신항만 부지와 인접한 낙동강 하구역 협수로부와 진우도 및 신자도 남측 해안의 지형 변동에 대한 대책 수립의 기초 자료 확보를 위하여 놀차도-진우도 사이(Area B), 그리고 진우도-신자도 사이(Area C)의 협수로부의 수심측량과 진우도 남측해역에서의 수심측량을 실시하였다. 3차년도에는 2차년도 최종보고회에서 지적된 바를 수용하여 연결잔교 해역(Area A)의 측량을 제외시키고 진우도와 신자도 남측은 정선 간격이 100 m가 되도록 기존 정선 사이에 보조 정선을 추가하였다. 측량 시기는 계절 효과를 최대한 반영시키기 위하여 하계와 동계가 되도록 설정하였으나 사업 기간의 제약으로 12월 말과 1월 초에 걸쳐 1회의 측량이 실시되었다. 수심측량과 동시에 수심측량 정선의 육지 연장부에 대한 해안선 변동을 관측하였다.
- 진우도-신자도 협수로부에서 연장되어 나온 골의 깊이는 그동안 더 얕아지지는 않았으나 골의 남쪽 벽에는 꾸준하게 퇴적이 일어나고 있으며 북쪽 벽에서는 남쪽 벽의 퇴적 속도 보다는 늦은 침식이 일어나고 있다. 즉 골의 폭은 좁아지며 골 전체가 북쪽으로 이동하고 있다. 이 경향은 지난 2년 반 동안 매우 일관성 있게 계속되고 있다.
- 신자도 남측 해역은 별다른 변동이 보이지 않아 안정된 것으로 보이나 육지쪽에서 퇴적과

침식이 반복되는 변동이 크게 보인다.

- 가덕도-진우도 협수로 측량 결과, 뚜렷한 경향성을 보이지는 않으나 진우도 서쪽 끝에서는 퇴적이 약간 우세한 것으로 보이지만 일부 지점에서는 큰 침식도 보인다.
- 진우도-신자도 협수로 측량 결과, 협수로 골의 바닥에서는 계속 퇴적이 일어나 수심이 1 m 이상 얕아진 곳도 보인다. 진우도와 시신자도 사이의 협수로에서는 미세하나 서쪽 벽에는 퇴적이 동쪽 벽에서는 침식이 일어나 골 전체가 동쪽(신자도 쪽)으로 이동하는 것처럼 보인다.

1.4.8 Website 및 실시간 자료제공 시스템 운영

- 부산항 신항 해역의 해양환경 모니터링을 위해 운영하는 관측시스템에서 실시간으로 측정하는 자료를 체계적으로 관리하고 제공하는 인터넷 정보시스템을 구축, 운영하였다.
- 부산항 신항 해역에서는 INBUS 부이 2기, 해수위관측기 및 파향·파고계 등 3가지 종류의 실시간자료가 수신되며, 다양한 경로와 방법으로 자료수집시스템에 저장된다. 이렇게 저장된 자료들은 각 자료별 변환프로그램들에 의해 변환된 후 DB와 파일단위로 관리되며, 인터넷 실시간 자료제공에 사용된다. 지속적으로 실시간 자료를 제공하기 위해서는 자료수신, 변환, DB 입력과정이 자동화되어야 하며, 이를 위해 자료처리 배치파일들을 작성하였다. 이 배치파일들은 Windows 예약작업을 통해 주기적으로 실행되도록 설정하였다.
- 축적된 실시간 자료들은 인터넷을 통해 수치값 및 그래프 형태로 제공되며, 과거자료에 대한 검색도 가능하다. 인터넷을 통한 실시간 자료제공을 위해 CGI 처리, 자료추출을 담당하는 ASP 프로그램과 C 프로그램을 개발하였으며, 동적 그래픽을 위한 JAVA 프로그램을 개발, 적용하였다.
- 이렇게 INBUS 부이 2기, 해수위관측기 및 파향·파고계의 실시간자료는 무선인터넷을 통해 한국해양연구원으로 전송되며, 자동처리절차를 거쳐 수치자료 및 그래프 형태로 인터넷을 통해 실시간 제공되고 있다. 또한, 본 사업의 연구내용 홍보, 실시간자료 제공을 목적으로 웹사이트를 구축, 운영하였다(<http://pob.kordi.re.kr>).

제 1 장

제 2 장

부 록 A

부 록 B

부 록 C

부 록 D

제 2 장 해양수리 조사 분석

제 2 장 해양수리 조사 분석

2.1 용원지역 실시간 해수위 모니터링 및 용원 해수위 변화분석

2.1.1 개요

상습적으로 침수가 발생하고 있는 진해시 용원동 해안의 해수위 변화와 주변지역의 침수상황을 파악하고, 민원대책 수립을 위한 기초자료로 활용하기 위하여 레이더식 수위관측기를 설치하여 상시 운영하고 있다. 또한 실시간 수위자료를 10분 간격으로 수집하여 웹사이트를 통해 직접 관계자들에게 제공하고 있다. 이에 대한 내용은 2.8절에 자세히 기술하였다.

레이더식 수위관측기를 이용하여 2008년 6월부터 2009년 2월까지 해수위 자료를 수집하였으며, 상태가 불량한 일부 자료를 제외한 자료를 분석하여 월별 평균해수위의 변화를 산출하고 이로부터 이상고조의 발생 여부를 검토하였다.

2.1.2 실시간 해수위 모니터링

가. 관측 개요

레이더식 실시간 수위 관측기는 그림 2.1.1에 표시된 지점(용원 수산물 공판장 부근 호안 밖, 정점 T0)에 그림 2.1.2와 같이 설치되어 있으며 매 10분 간격으로 실시간 수위자료를 수집하여 웹사이트를 통해 직접 관계자들에게 제공하고 있다.

설치된 수위관측기는 2006년의 경우 연구사업 일정상 7월 27일부터 가동되기 시작하여 현재까지 양호하게 가동되고 있으며, 분석에 사용된 자료는 2008년 6월 1일부터 2009년 3월 2일까지의 해수위 자료이다.

수집된 자료에 일부 통신 장애로 인한 오류가 포함되어 있어서 이를 내삽법으로 보정하였다. 또한 2008년 10월, 12월, 2009년 1월에 수집된 자료에 다수의 관측 에러가 포함되어 있어서 이 기간 동안의 자료는 분석에서 제외하였다.

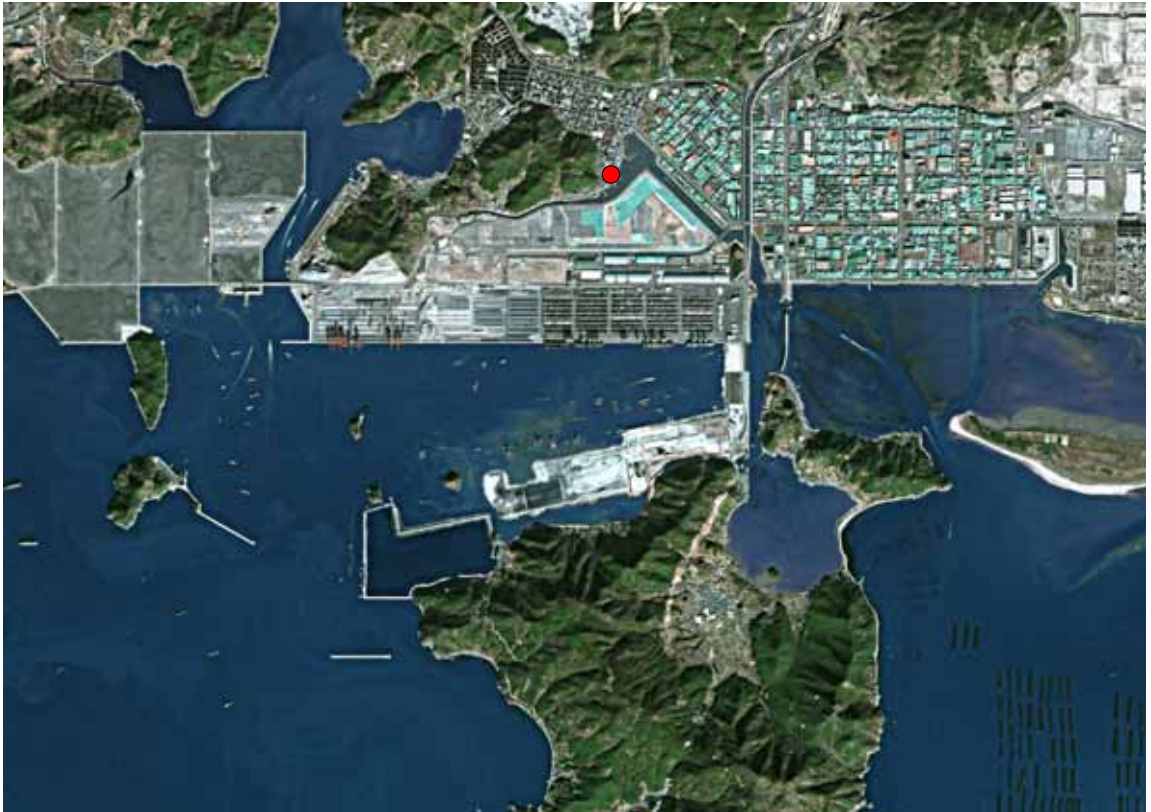


그림 2.1.2 레이더식 실시간 해수위계 설치 사진.

나. 레이더식 수위 관측기

1) 레이더식 수위 관측기의 특성 및 제원, 설치방법

관측기기는 레이더 식 VEGAPULS Type 42로 26GHz의 주파수 신호가 레이더 센서의 안테나로부터 방출(Emission)-반사(Reflection)-수신(Reception)되는 과정을 거쳐서 작동된다. 파고계 Horn 안테나 시스템에 의해 반사되는 펄스시간(Pulse Duration)은 1ns (nano second : 1/1,000,000,000 초)이며, 펄스간격(Pulse interval)은 287ns이다. 펄스간격에 안테나는 수신(Reception) 기능을 하며, 수신 기간 동안에 360만개의 반향 이미지를 얻게 된다.

레이더식 센서 Type 42의 측정범위는 0~10m이며, 이 센서는 유체의 수준 측량 뿐만 아니라 진공상태에서도 측정이 가능하다. 정확도(Accuracy)는 0.05%, 정밀도(Resolution)는 1mm이고, 소음(Noise), 수증기(Steam), 먼지, 가스에 의해서도 영향을 받지 않는다. 또한 밀도와 온도가 변하더라도 영향을 받지 않으며, 40 Bar의 압력과 150℃의 온도에도 측정이 가능하다. 외부의 환경적 요인(비, 바람, 눈 등)에 의한 영향을 받지 않으며, 자료 전송시 2.4GHz의 주파수대역을 사용하여 자료의 신뢰도가 높기 때문에 신뢰성과 연속성, 안정성이 요구되는 상황에 적용될 수 있다.

용원해역에 설치된 레이더식 실시간 해수위계의 제원을 그림 2.2.3에 제시하였다. 설치된 센서의 높이는 해상기준으로 기본 수준면하 가덕도 TBM No. 1 (H=DL+3.819) 국립해양조사원 가덕도 검조소 수준점을 기준하여 설정된 값이다. 센서는 기본 수준면으로부터 555.3cm 위에 설치되었으며, 거치대 지지부는 기본수준면으로부터 202.8cm에 위치하도록 하였다.

제공하는 자료의 해상기준이 되는 가덕도 검조소의 TBM No 1. 수준점은 2003년 태풍 “매미”에 의해 유실되어(국립해양조사원, 2004), 2004년 8월 센서 수리 및 배터리 교체와 함께 높이를 현재 제공하고 있는 TBM No 4. 수준면에 맞추어 다시 보정·보수하였다.

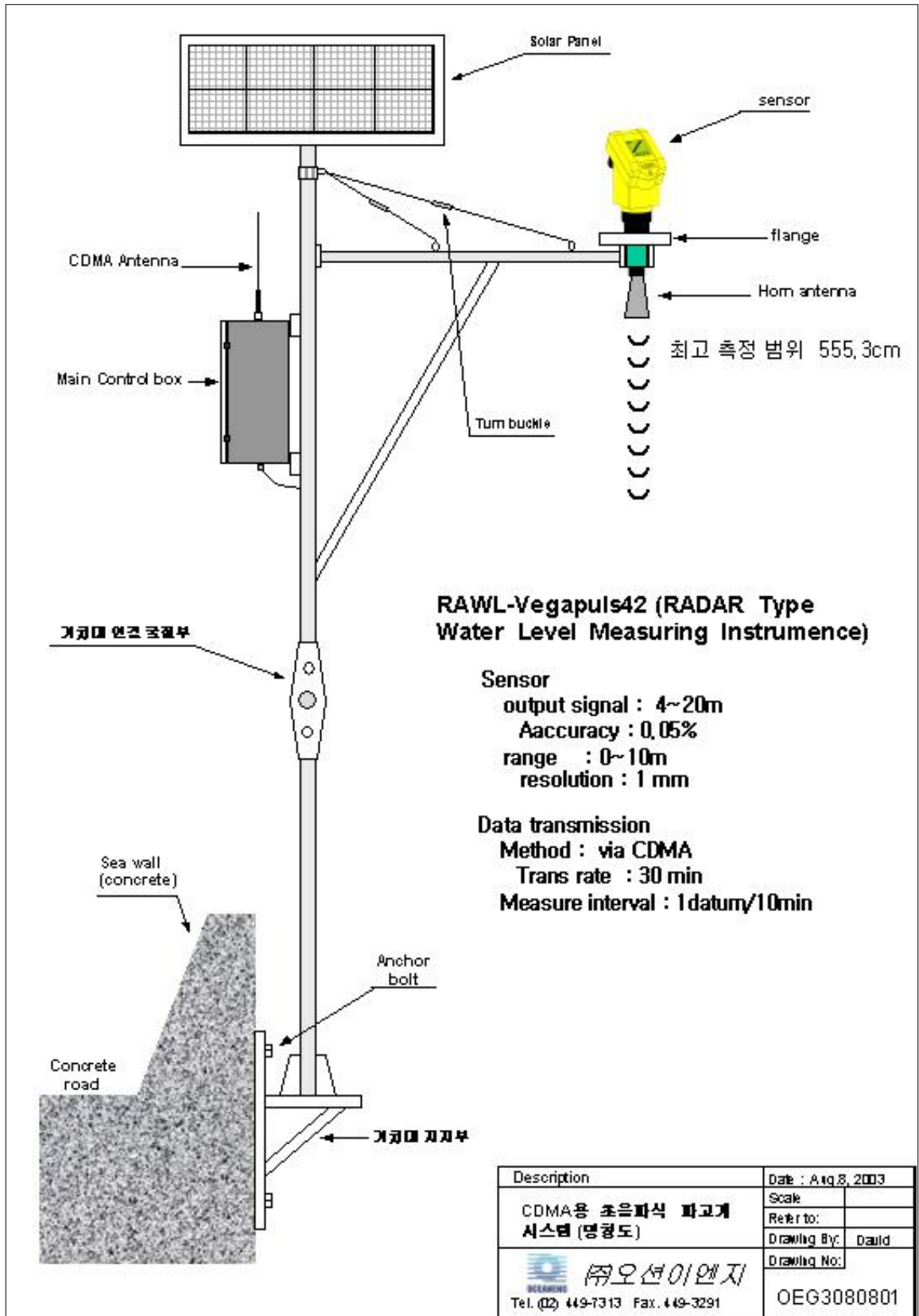


그림 2.1.3 레이더식 실시간 해수위계 제원 및 설치 개요(자료 제공 : 오션 ENG).

2) 데이터 전송 시스템 개요

실시간 해수위 모니터링 시스템은 현장계측 시스템에 인터넷 통신이 가능하도록 구성되어 인터넷 사용자가 현장에서 측정된 해수위 자료를 실시간으로 모니터링 할 수 있다.

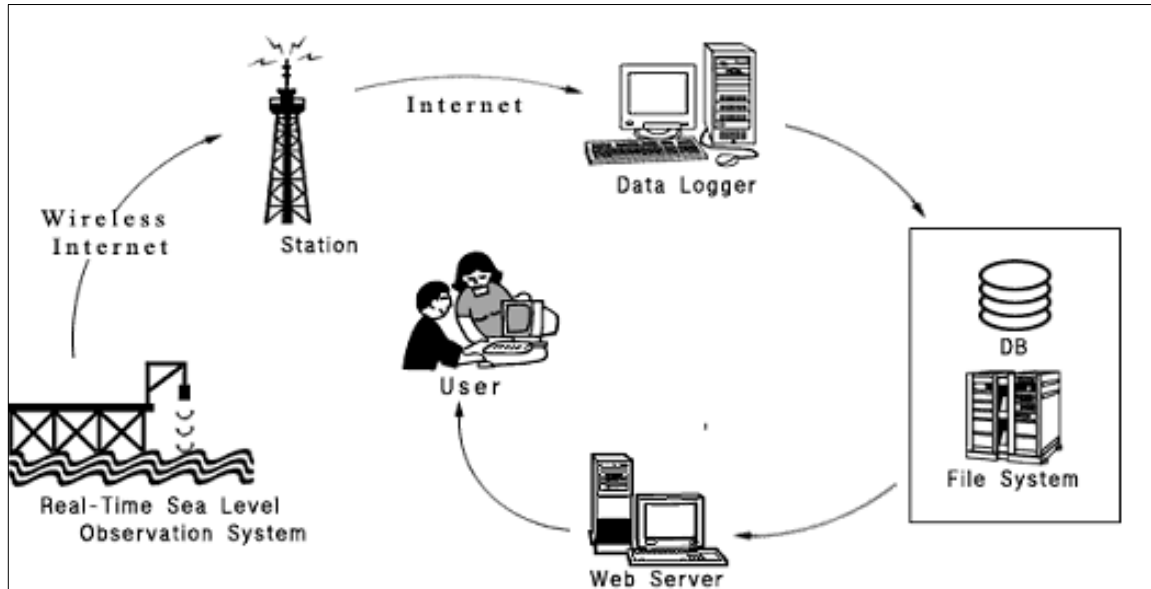


그림 2.1.4 레이다식 실시간 해수위계의 관측자료 송·수신 및 제공 흐름도.

가덕도 용원해역에서 관측되는 실시간 해수위자료는 10분 간격으로 CDMA 전송 시스템을 이용하여 자료관리용 컴퓨터 웹서버에 수집, 처리되어 실시간으로 사용자에게 제공되고, 또한 D/B로 저장된다(그림 2.1.4 참조). 이 시스템은 한국해양연구원의 시스템에서 자료처리 후 현재 운영되고 있는 부산항 신항 해양환경 관리시스템에 해수위 자료를 제공하고 있다.

CDMA 전송 시스템은 계측된 조위 자료가 디지털 코드 분할 방식으로 전송되어 데이터의 손실이 없고, 보안성이 뛰어나다. 또한, 해양환경조사 여건상 장기간 및 장거리를 필요로 하는 경우 원격지에서 자료 확인이 가능하다. 이러한 CDMA 전송 체계를 이용하고 원격 모니터링 프로그램을 적용함으로써 원시 데이터를 활용하여 조사해역 상황을 그래픽으로 보기 쉽게 나타내고, 자료의 관리 및 활용이 쉽도록 시스템을 구축한다.

레이다식 해수위 관측시스템은 자체 솔라 시스템을 활용하기 때문에 별도의 전원 없이 단독으로 작동되며, 현장에서 측정된 데이터는 무선 통신망으로 User의 자료 서버에 전송되고 자료 변환과정을 거친 후 인터넷을 통해 실시간으로 제공하는 시스템이다. 그림 2.2.4는 자료 송·수신을 포함한 전체적인 자료 관리 및 제공에 대한 흐름을 나타낸 것이다.

다. 월별 해수위 조화분석

수집된 자료를 2008년 6월부터 2009년 2월까지 6개월(2008년 10월, 12월 2009년 1월 자료 불량)의 월별 자료로 나눈 다음 각각의 자료에 대하여 smoothing filter를 적용하여 1시간 간격 자료를 산출하였다. 6개의 1시간 간격 월별자료 각각에 대하여 조화분석 프로그램 TIRA를 적용하여 조화분석을 실시하였으며 2008년 9월 자료의 조화분석 결과를 표 2.1.1에 예로 제시하였다.

M_2 , S_2 , O_1 , K_1 분조의 진폭은 각각 0.48 m, 0.23 m, 0.04 m, 0.08 m이며 조석형태수 (Tide Form Number: $F = (H' + H_o) / (H_m + H_s)$)는 0.17로 1일 2회조의 특성을 나타낸다. 그 외에 N_2 분조 진폭이 0.10m로 크게 나타났다(H' : K_1 분조 진폭, H_o : O_1 분조 진폭, H_m : M_2 분조 진폭, H_s : S_2 분조 진폭).

평균해면(Z_o) 및 주요 분조 진폭의 계절변화는 표 2.1.2와 그림 2.1.5에 제시한 바와 같다. 표 2.1.2에서 평균해면은 2008년 8월에 1.51 m, 2009년 2월에 1.14 m로 나타나 동계보다 하계에 0.37 m 높아지는 것으로 나타났다. 이는 하계 해수온도 상승으로 인한 열팽창효과에 기인하는 일반적인 현상이다.

하계에는 이러한 수온상승에 따른 해수위 상승에 더하여 빈발하는 태풍 등 열대성 저기압의 통과에 따른 해일발생 가능성도 높아지기 때문에 침수의 빈도 및 침수 정도가 높아진다.

제 2 장 해양수리 조사분석

표 2.1.1 2008년 9월 자료의 조화분석 결과.

Locatation : Yongwon T0 (128° 49' 08" E, 35° 05' 32" N)					
Duration : 31 days (0:00, Sep. 1, 2008 – 0:00, Oct. 1, 2008)					
Observed M. : 0.1446D+01			Observed S.D. : 0.4234D+00		
Residual M. : -0.9780D-07			Residual S.D. : 0.5069D-01		
Related constituents				Nrel= 8	
No	Rel. const.	Ref. const.	Speed (deg./hr)	H (m)	g (deg.)
1	<i>PI1</i>	<i>K1</i>	14.9178647	0.0004	284.860
2	<i>P1</i>	<i>K1</i>	14.9589314	0.0271	157.110
3	<i>PSI1</i>	<i>K1</i>	15.0821353	0.0023	163.710
4	<i>PHI1</i>	<i>K1</i>	15.1232059	0.0017	113.430
5	<i>2N2</i>	<i>N2</i>	27.8953548	0.0175	232.708
6	<i>NU2</i>	<i>N2</i>	28.5125831	0.0188	233.158
7	<i>T2</i>	<i>S2</i>	29.9589333	0.0168	293.632
8	<i>K2</i>	<i>S2</i>	30.0821373	0.0666	273.242
Major constituents				Nsig= 27	
No	Constituent	Speed (deg./hr)	H (m)	g (deg.)	
1	<i>Z0</i>	0.0000000	1.4440	0.000	
2	<i>MM</i>	0.5443747	0.0303	148.320	
3	<i>MSF</i>	1.0158958	0.0653	96.481	
4	<i>Q1</i>	13.3986609	0.0063	105.178	
5	<i>O1</i>	13.9430356	0.0400	130.667	
6	<i>M1</i>	14.4920521	0.0031	190.302	
7	<i>K1</i>	15.0410686	0.0841	158.390	
8	<i>J1</i>	15.5854433	0.0046	181.808	
9	<i>OO1</i>	16.1391017	0.0046	255.741	
10	<i>MU2</i>	27.9682084	0.0315	244.096	
11	<i>N2</i>	28.4397295	0.1016	232.368	
12	<i>M2</i>	28.9841042	0.4970	245.629	
13	<i>L2</i>	29.5284789	0.0069	256.503	
14	<i>S2</i>	30.0000000	0.2327	281.812	
15	<i>2SM2</i>	31.0158958	0.0102	49.280	
16	<i>MO3</i>	42.9271398	0.0047	80.248	
17	<i>M3</i>	43.4761563	0.0151	352.189	
18	<i>MK3</i>	44.0251729	0.0034	201.198	
19	<i>MN4</i>	57.4238337	0.0078	244.995	
20	<i>M4</i>	57.9682084	0.0198	272.262	
21	<i>SN4</i>	58.4397295	0.0069	278.961	
22	<i>MS4</i>	58.9841042	0.0159	306.196	
23	<i>2MN6</i>	86.4079380	0.0009	1.109	
24	<i>M6</i>	86.9523127	0.0015	43.541	
25	<i>MSN6</i>	87.4238337	0.0011	53.446	
26	<i>2MS6</i>	87.9682084	0.0023	80.206	
27	<i>2SM6</i>	88.9841042	0.0009	109.467	

표 2.1.2 평균해면 및 주요 조화상수 진폭의 계절변화.

단위 : m

조화상수 \ 시기	2008년 6월	2008년 7월	2008년 8월	2008년 9월	2008년 11월	2009년 2월
Z_0	1.4310	1.4398	1.5052	1.4440	1.1686	1.1426
M_2	0.5062	0.4955	0.4944	0.4970	0.5022	0.5331
S_2	0.2461	0.2392	0.2355	0.2327	0.2342	0.2506
O_1	0.0422	0.0415	0.0393	0.0400	0.0435	0.0385
K_1	0.0720	0.0746	0.0843	0.0841	0.0781	0.0704
N_2	0.0950	0.0928	0.0988	0.1016	0.0968	0.1022

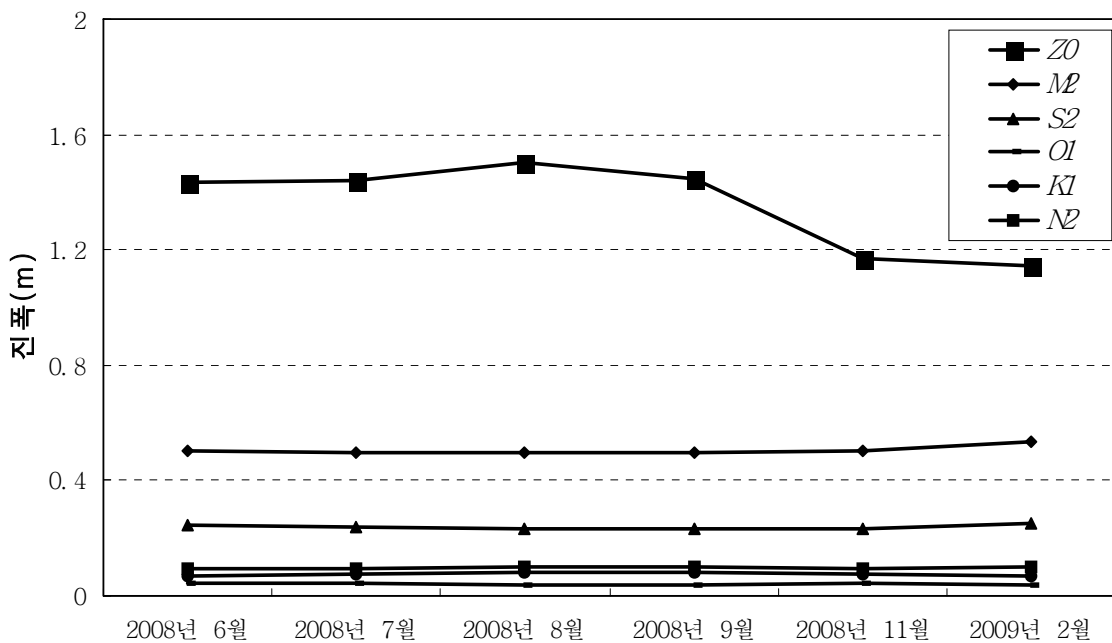


그림 2.1.5 평균해면 및 주요 조화상수 진폭의 계절변화.

라. 이상고조 분석

6개의 월별 1시간 간격 자료에 대하여 관측치에서 조화상수를 이용한 예측치, 즉 순 조위 곡선을 뺀 잔차(residual) 값을 산정하였으며 월별 관측수위, 예측조위 및 잔차수위의 변화를 그림 2.1.6에 도시하였다. 그림 2.1.6의 잔차수위 변화에서 보는 바와 같이 관측기간 중 조석 변동을 제외한 유의할 만한 해수위 변화는 눈에 띄지 않았다.

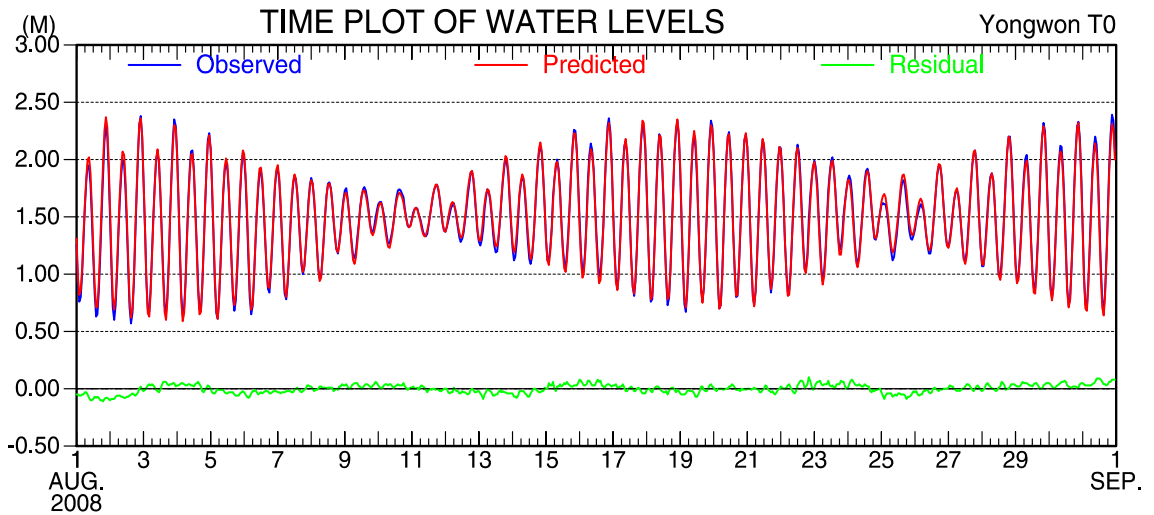
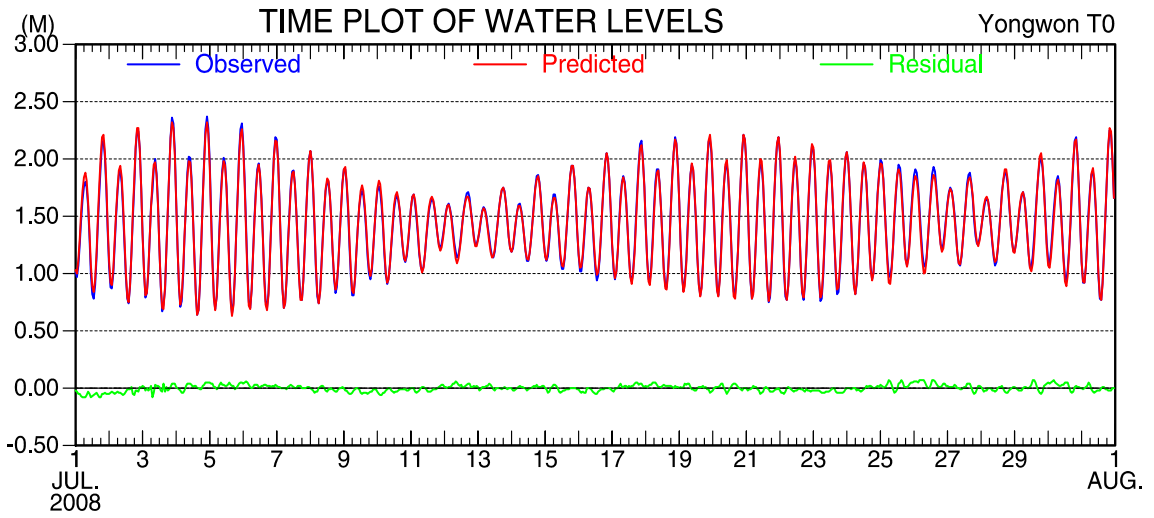
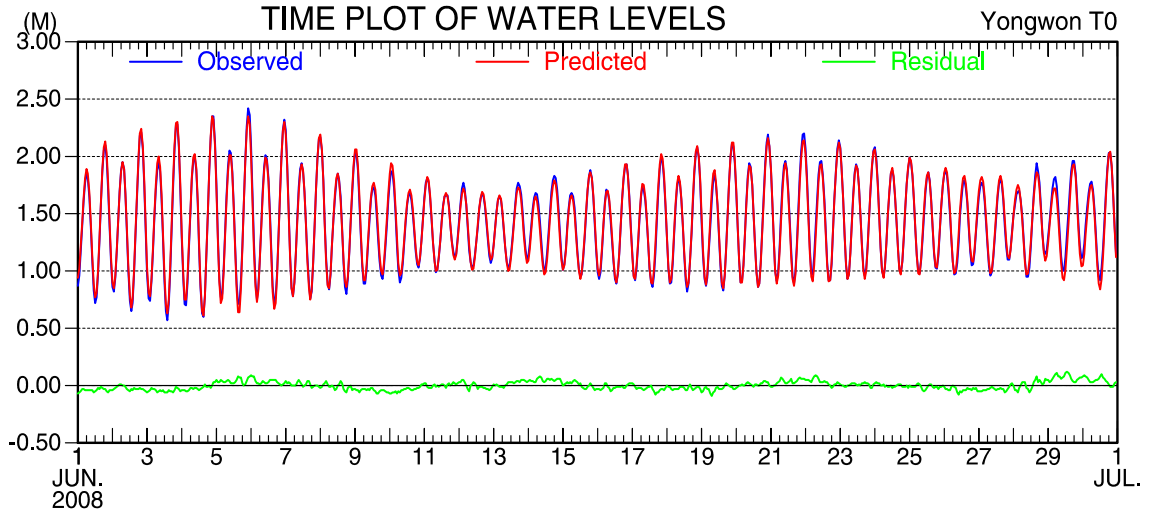


그림 2.16 모니터링수위, 예측조위 및 잔차수위의 월별 시간변화.

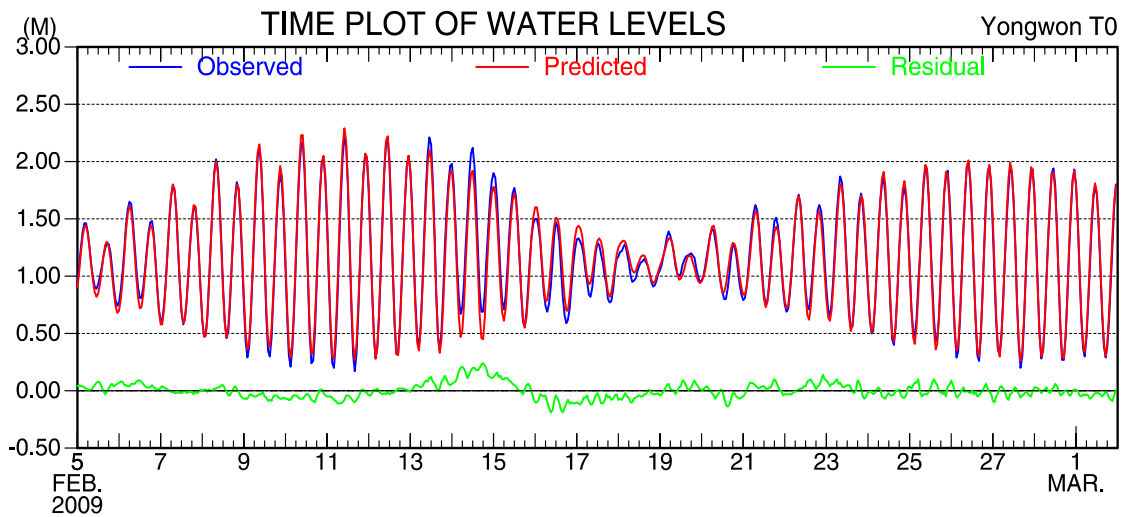
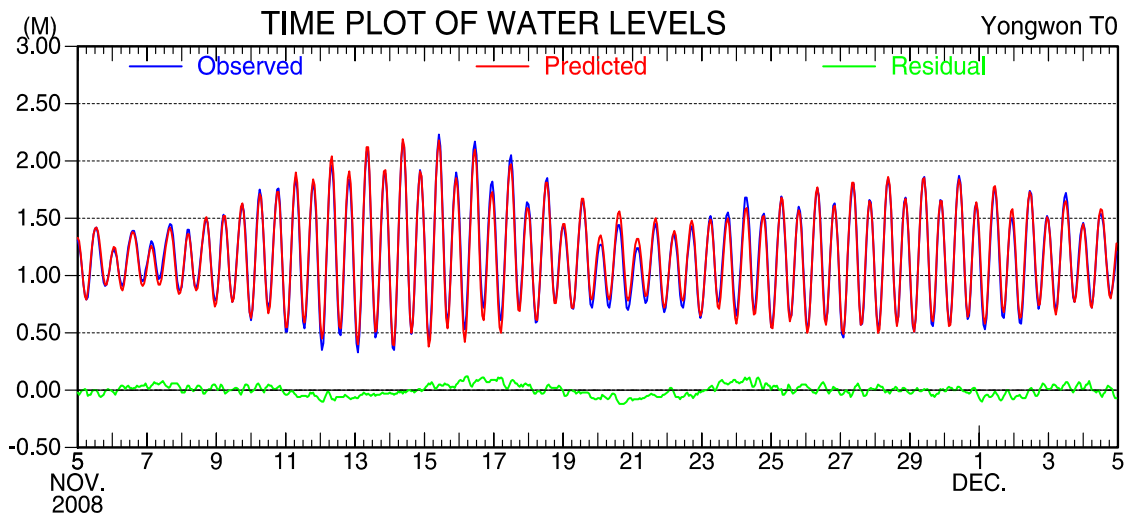
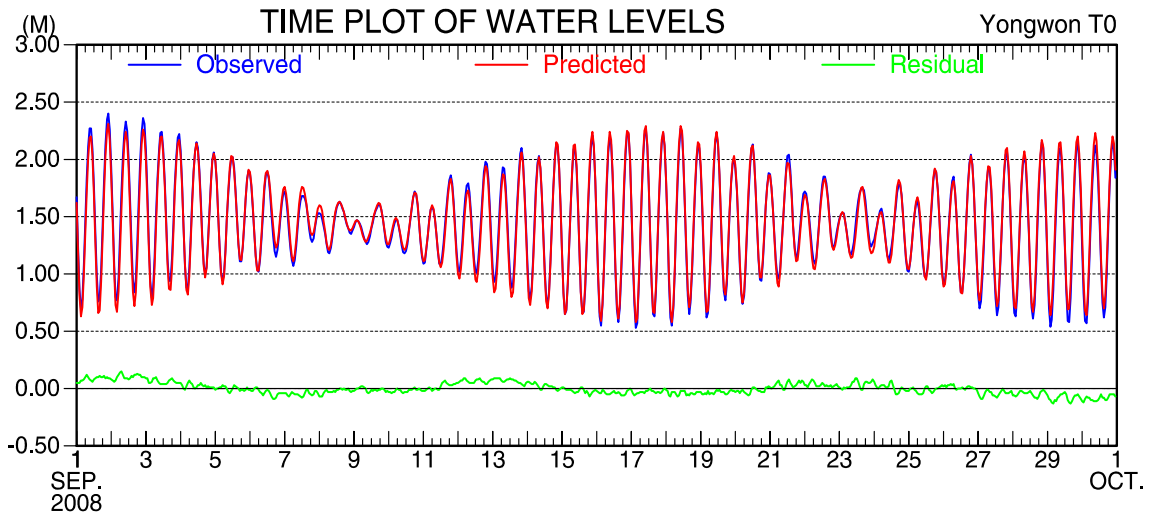


그림 2.16 (계 속).

2.1.3 조위 및 조류관측

가. 관측 개요

해수위 모니터링 자료와 비교, 검토하기 위하여 그림 2.1.7에 표시된 용원수로 입구 정점에서 표 2.1.3과 같이 1개월 동안 조위, 조류 장기 계류관측을 실시하였으며 조위 자료 상태는 양호하였으나 조류 자료는 3월 17일 22시 20분~18일 4시 50분과 27일 22시 50분~28일 10시 20분 사이 자료가 불량하여 양호한 구간 C1, C2, C3으로 나누어 제시하였다.

표 2.1.3 조위, 조류 관측 내용.

관측항목	정점	관측기간	시간간격	관측위치	관측기기	자료상태
조위관측	S1	2009 3/8 15:00 ~ 4/8 09:20	30분	128° 50' 10" E 35° 05' 03" N	Aanderaa WTR9	양호
조류관측	C1	2009 3/8 15:00 ~ 3/17 22:20	10분	128° 50' 10" E 35° 05' 03" N	Aanderaa RCM9	양호
조류관측	C2	2009 3/18 04:50 ~ 3/27 22:50	10분	128° 50' 10" E 35° 05' 03" N	Aanderaa RCM9	양호
조류관측	C3	2009 3/28 10:20 ~ 4/8 09:20	10분	128° 50' 10" E 35° 05' 03" N	Aanderaa RCM9	양호

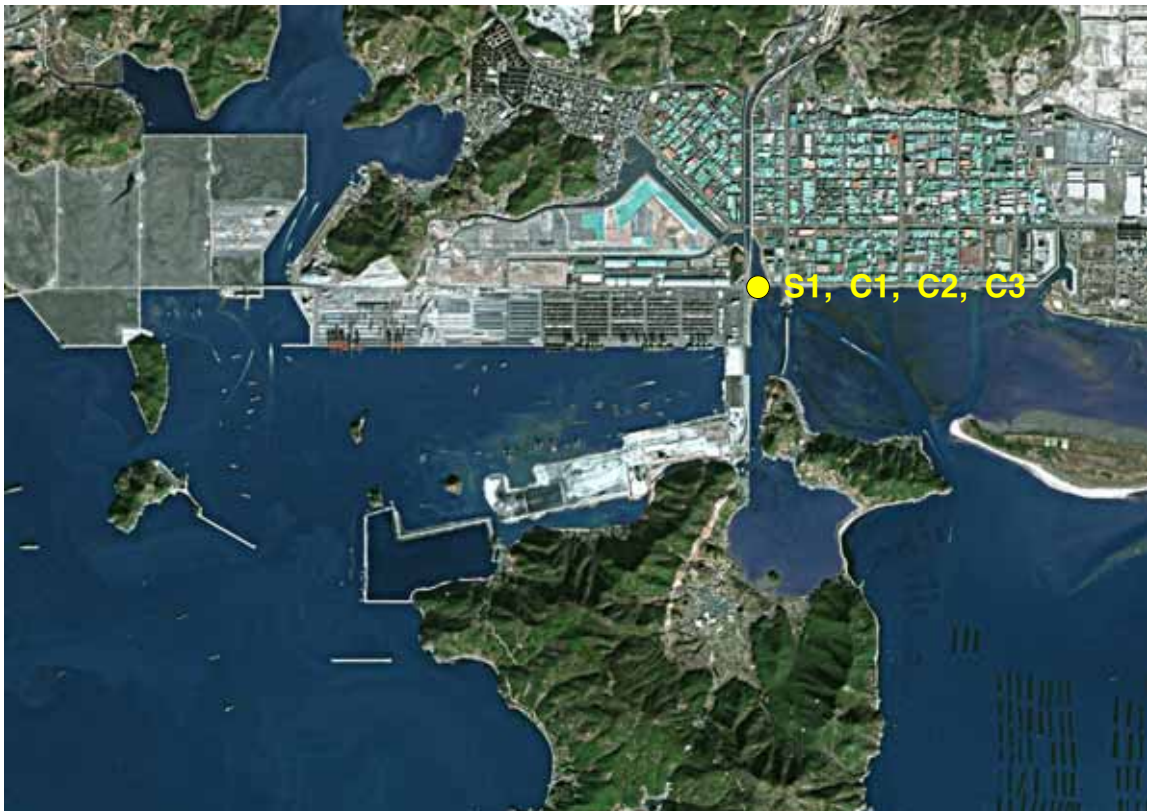


그림 2.1.7 용원수로 외해측 조석, 조류관측 지점 위치도.

용원수로 입구의 해저면에 수압식 수위관측기 Aanderaa WTR9을 계류하여 기기에 내장된 자료저장장치(DSU)에 30분 간격으로 관측된 수압을 저장하도록 하였다. 약 1개월 동안의 관측을 종료한 후 기기를 회수하여 DSU에 저장된 수압자료를 해수위 자료로 변환하여 분석하였다.

조위관측 정점에 Aanderaa RCM9을 계류하여 기기에 내장된 DSU에 10분 간격으로 유속 및 유향을 저장하도록 하였으며 저장된 자료는 관측 종료 후 컴퓨터에 입력하여 분석하였다.

나. 조위 분석

수위 값으로 변환된 30분 간격 자료를 smoothing filter를 사용하여 1시간 간격 자료로 변환하였다. 1시간 간격 자료에 대하여 조화분석 프로그램 TIRA를 사용하여 조화분석을 실시하였으며 산출된 조화상수는 표 2.1.4와 같다. M_2 , S_2 , O_1 , K_1 , N_2 분조의 진폭은 각각 0.56 m, 0.26 m, 0.04 m, 0.07 m, 0.10 m 등이다.

조위관측(S1)과 해수위 모니터링이 겹쳐지는 기간이 없어 조위관측(S1)의 주요 분조의 조화상수를 가장 근접한 기간인 2009년 2월 용원지점 해수위 모니터링 자료(T0)와 비교하여 표 2.1.5에 제시하였다. M_2 , S_2 분조 진폭은 S1이 T0에 비해 약간 크며, 지각은 두 정점 값 약간 다르게 나타나는데 다른 시기의 모니터링 자료와 비교해 보면 비슷하게 나타나는 경우도 있기 때문에 분석에 따른 오차와 시기에 따른 변화일 뿐 실제로 크게 다르지는 않을 것으로 판단된다. 대조차는 S1에서 1.64 m, T0에서 1.57 m, 평균조차는 S1에서 1.11 m, T0에서 1.07 m이며, 소조차는 S1에서 0.58 m, T0에서 0.56 m 이다. 조석형태수는 S1에서 0.14, T0에서 0.14로 모두 1일 2회조의 특성을 보인다.

관측수위, 예측조위, 잔차수위의 시간변화를 그림 2.1.8에 제시하였다. 관측기간 동안 별다른 변동이 나타나지 않았다.

1시간 간격 자료(736개)에서 산출한 비조화상수는 표 2.1.6과 같다. 평균 창·낙조차는 120 cm, 최대 창조차는 197 cm, 최대 낙조차는 199 cm로 낙조차가 창조차보다 2 cm 크며, 최소 창조차는 7 cm, 최소 낙조차는 19 cm로 낙조차가 창조차보다 12 cm 크다. 평균 창조지속시간은 6시간 28분, 평균 낙조지속시간은 5시간 56분으로 창조지속시간이 30분정도 더 길다.

조위관측자료(S1)의 조차 빈도분포를 그림 2.1.9에 도시하였다. 창조차, 낙조차 모두 180 cm에서 가장 높은 빈도를 나타냈다.

표 2.1.4 조위자료 조화분석 결과.

Locatation :		Pusan S1 (128° 50' 10" E, 35° 05' 03" N)			
Duration :		32 days (17:00, Mar. 8, 2009 – 8:00, Apr. 8, 2009)			
Observed M. :		-0.5978D-03	Observed S.D. : 0.4635D+00		
Residual M. :		-0.8186D-04	Residual S.D. : 0.5444D-01		
Related constituents					Nrel= 8
No	Rel. const.	Ref. const.	Speed (deg./hr)	H (m)	g (deg.)
1	<i>PI1</i>	<i>K1</i>	14.9178647	0.0009	283.798
2	<i>P1</i>	<i>K1</i>	14.9589314	0.0239	157.388
3	<i>PSI1</i>	<i>K1</i>	15.0821353	0.0016	157.128
4	<i>PHI1</i>	<i>K1</i>	15.1232059	0.0023	185.438
5	<i>2N2</i>	<i>N2</i>	27.8953548	0.0196	196.768
6	<i>NU2</i>	<i>N2</i>	28.5125831	0.0306	220.908
7	<i>T2</i>	<i>S2</i>	29.9589333	0.0172	274.896
8	<i>K2</i>	<i>S2</i>	30.0821373	0.0768	264.076
Major constituents					Nsig= 27
No	Constituent	Speed (deg./hr)	H (m)	g (deg.)	
1	<i>Z0</i>	0.0000000	0.0013	180.000	
2	<i>MM</i>	0.5443747	0.0326	305.584	
3	<i>MSF</i>	1.0158958	0.0097	115.997	
4	<i>Q1</i>	13.3986609	0.0109	110.519	
5	<i>O1</i>	13.9430356	0.0404	120.990	
6	<i>M1</i>	14.4920521	0.0021	127.260	
7	<i>K1</i>	15.0410686	0.0711	158.288	
8	<i>J1</i>	15.5854433	0.0092	239.151	
9	<i>OO1</i>	16.1391017	0.0035	225.528	
10	<i>MU2</i>	27.9682084	0.0365	205.491	
11	<i>N2</i>	28.4397295	0.1248	221.248	
12	<i>M2</i>	28.9841042	0.5561	232.583	
13	<i>L2</i>	29.5284789	0.0083	244.253	
14	<i>S2</i>	30.0000000	0.2640	271.296	
15	<i>2SM2</i>	31.0158958	0.0105	357.547	
16	<i>MO3</i>	42.9271398	0.0092	75.310	
17	<i>M3</i>	43.4761563	0.0213	338.666	
18	<i>MK3</i>	44.0251729	0.0050	106.313	
19	<i>MN4</i>	57.4238337	0.0069	196.206	
20	<i>M4</i>	57.9682084	0.0197	212.561	
21	<i>SN4</i>	58.4397295	0.0016	291.911	
22	<i>MS4</i>	58.9841042	0.0256	250.537	
23	<i>2MN6</i>	86.4079380	0.0007	335.253	
24	<i>M6</i>	86.9523127	0.0032	53.487	
25	<i>MSN6</i>	87.4238337	0.0026	40.784	
26	<i>2MS6</i>	87.9682084	0.0040	100.752	
27	<i>2SM6</i>	88.9841042	0.0033	130.633	

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 영역(3차)

표 2.1.5 두 지점간 주요 조화상수 비교.

항 목		조위관측 결과 (2009. 3. 8 ~ 4. 8)	해수위 모니터링 (2009. 2. 4 ~ 3. 2)
주요분조 조화상수	M_2 분조	진폭(m)	0.556
		지각(°)	232.58
	S_2 분조	진폭(m)	0.264
		지각(°)	271.30
	O_1 분조	진폭(m)	0.040
		지각(°)	120.99
	K_1 분조	진폭(m)	0.071
		지각(°)	158.29
N_2 분조	진폭(m)	0.125	
	지각(°)	221.25	
대조차(m)	$2(H_m + H_s)$	1.640	1.568
평균조차(m)	$2H_m$	1.112	1.066
소조차(m)	$2(H_m - H_s)$	0.584	0.564
조석형태수	$F = (H_o + H') / (H_m + H_s)$	0.135	0.139

표 2.1.6 조위관측 자료의 주요 비조화상수.

Pusan S1	
1시간간격 자료 수	736
평균창조지속시간	6시간 28분
평균창조차	120 cm
평균낙조지속시간	5시간 56분
평균낙조차	120 cm
최대창조차	197 cm
최대창조차 발생시간	2009년 3월 12일 02:49 - 3월 12일 09:17
최소창조차	7 cm
최소창조차 발생시간	2009년 3월 20일 10:36 - 3월 20일 14:55
최대낙조차	199 cm
최대낙조차 발생시간	2009년 3월 12일 09:17 - 3월 12일 14:57
최소낙조차	19 cm
최소낙조차 발생시간	2009년 3월 20일 14:55 - 3월 20일 22:11
고조 최대 일조부등	33 cm
고조최대 일조부등 발생시간	2009년 3월 8일 18:53 - 3월 9일 07:31
저조 최대 일조부등	23 cm
저조최대 일조부등 발생시간	2009년 3월 16일 16:42 - 3월 17일 05:16

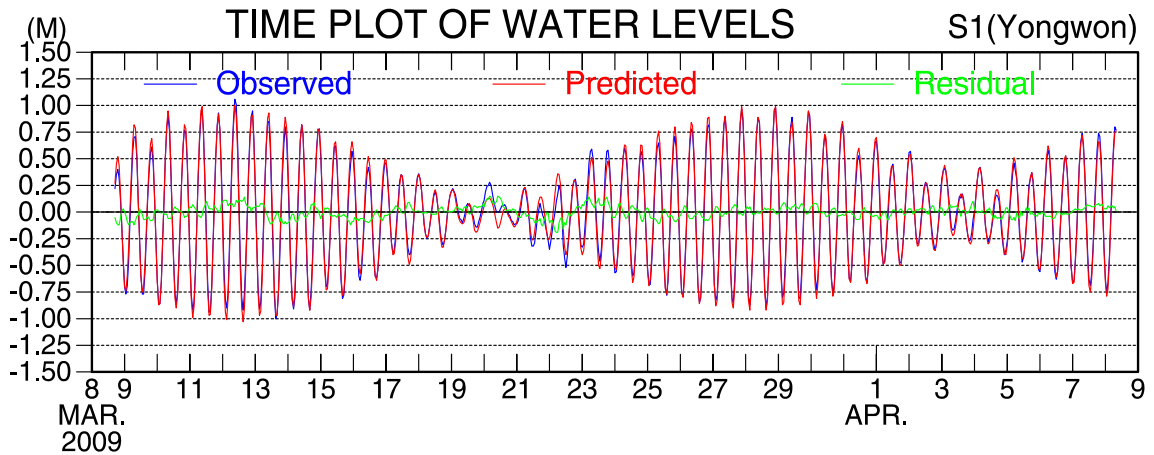


그림 2.1.8 관측수위, 예측조위, 잔차수위의 시간변화.

TIDAL RANGE OCCURRENCE AT YONGWON

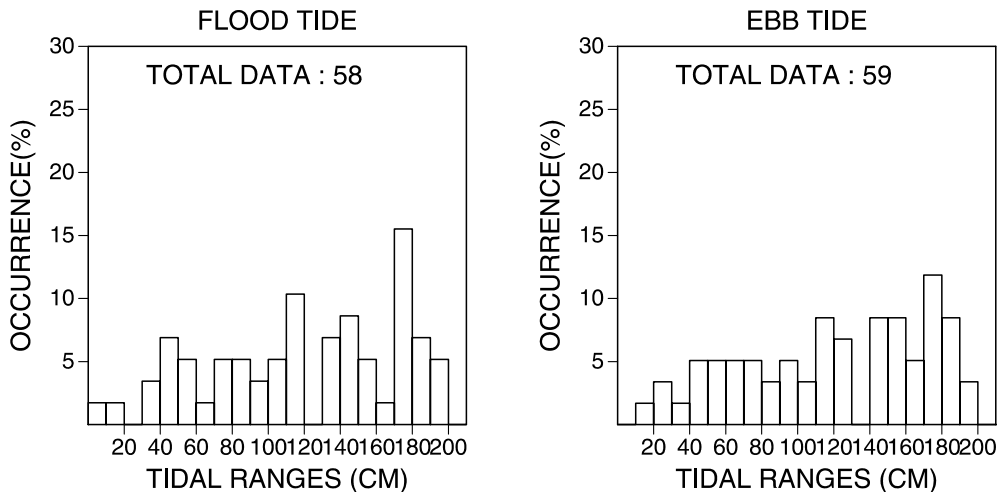


그림 2.1.9 조위관측자료(S1)의 조차빈도 분포.

나. 조류 분석

위에서 언급했듯이 조류 관측도 동일한 정점에서 계류하였으나 불량한 구간이 있어 C1, C2, C3로 나누어 자료를 제시하였다. 관측된 10분 간격 시계열자료를 그림 2.1.10 ~ 2.1.12에 도시하였다. 유속의 크기는 C1에서 최대 46 cm/s 이 나타나며 대체로 25 cm/s 이내의 분포를 보였다. 관측정점의 위치가 남북방향인 용원수로의 입구 부근이기 때문에 남북방향의 왕복성 흐름이 지배적이다. 유속, 유향과 함께 관측한 수온은 9.0℃~16.0℃에서 변동하였고 조석에 따른 변동이 거의 없다.

관측된 10분 자료의 유속, 유향 분산도와 히스토그램을 그림 2.1.13 ~ 2.1.15에 도시하였

다. 부산도에서 남북방향 왕복성 흐름의 특성이 뚜렷이 나타지며 히스토그램에서 유속은 C1에서는 대체로 30 cm/s이내, C2와 C3에서는 대체로 25 cm/s보다 작은 범위에 분포한다.

조류진행 벡터도를 그림 2.1.16 ~ 2.1.18에 제시하였다. 관측기간 동안 별다른 변동이 나타나지 않았다.

10분 간격자료에 smoothing filter를 적용하여 1시간 간격 자료를 산출하였으며 산출된 1시간 간격 자료에 대해 조화분석 프로그램 TIRA를 사용하여 조화상수를 산출하였다. 산출한 조화상수는 표 2.1.7에 제시하였다. 항류(Z_0)의 크기는 C1은 2.2 cm/s, C2는 1.4 cm/s, C3는 1.5 cm/s 정도이며, M_2 분조 조류타원의 장축길이는 C1은 18.0 cm/s, C2는 9.4 cm/s, C3는 11.7 cm/s, 단축길이는 C1은 0.05 cm/s, C2는 0.08 cm/s, C3는 0.26 cm/s, 기울기는 C1은 111.4°(동향기준 반시계방향), C2는 110.1°, C3는 108.8° 이었다.

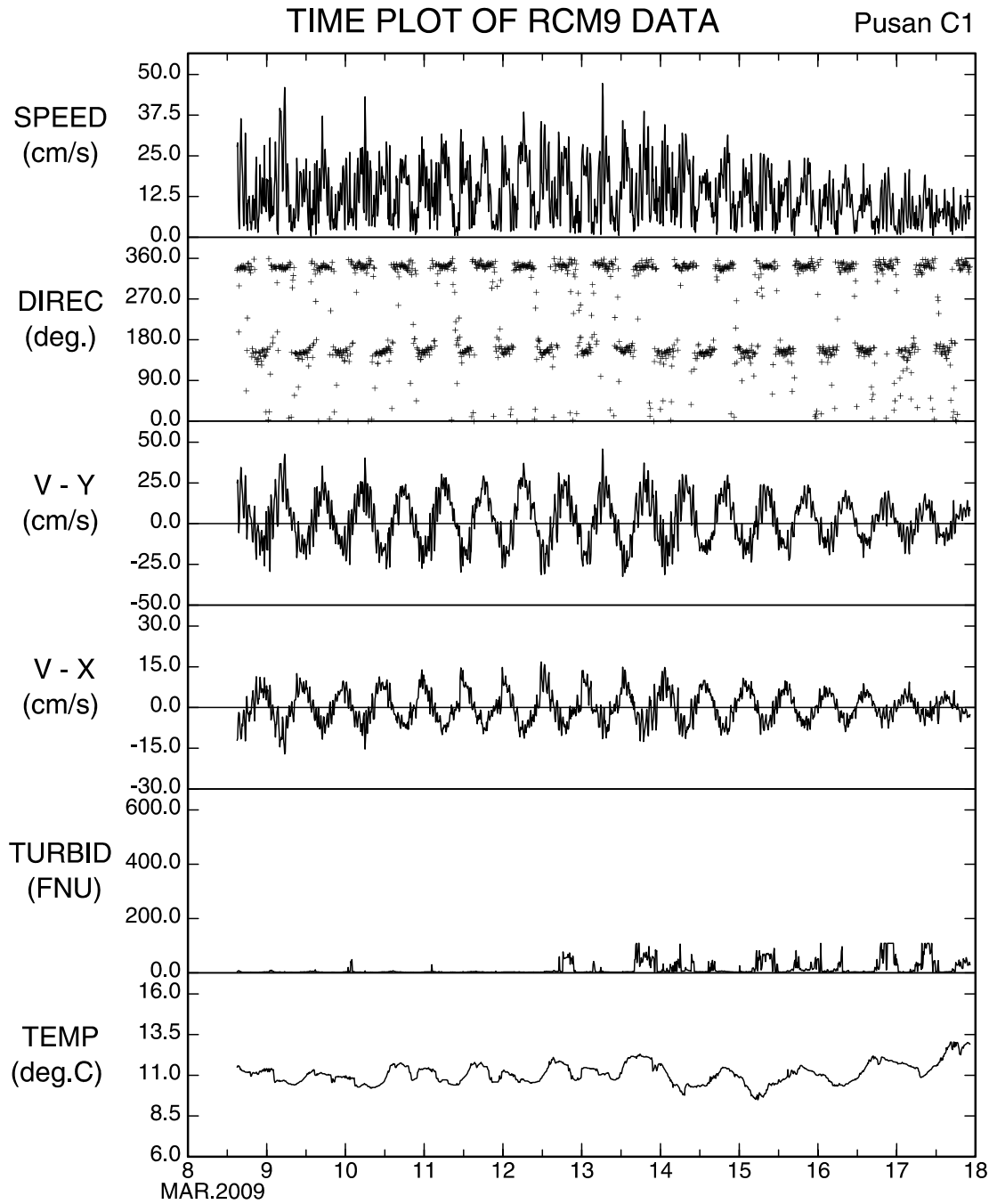


그림 2.1.10 관측 조류의 시간변화(C1).

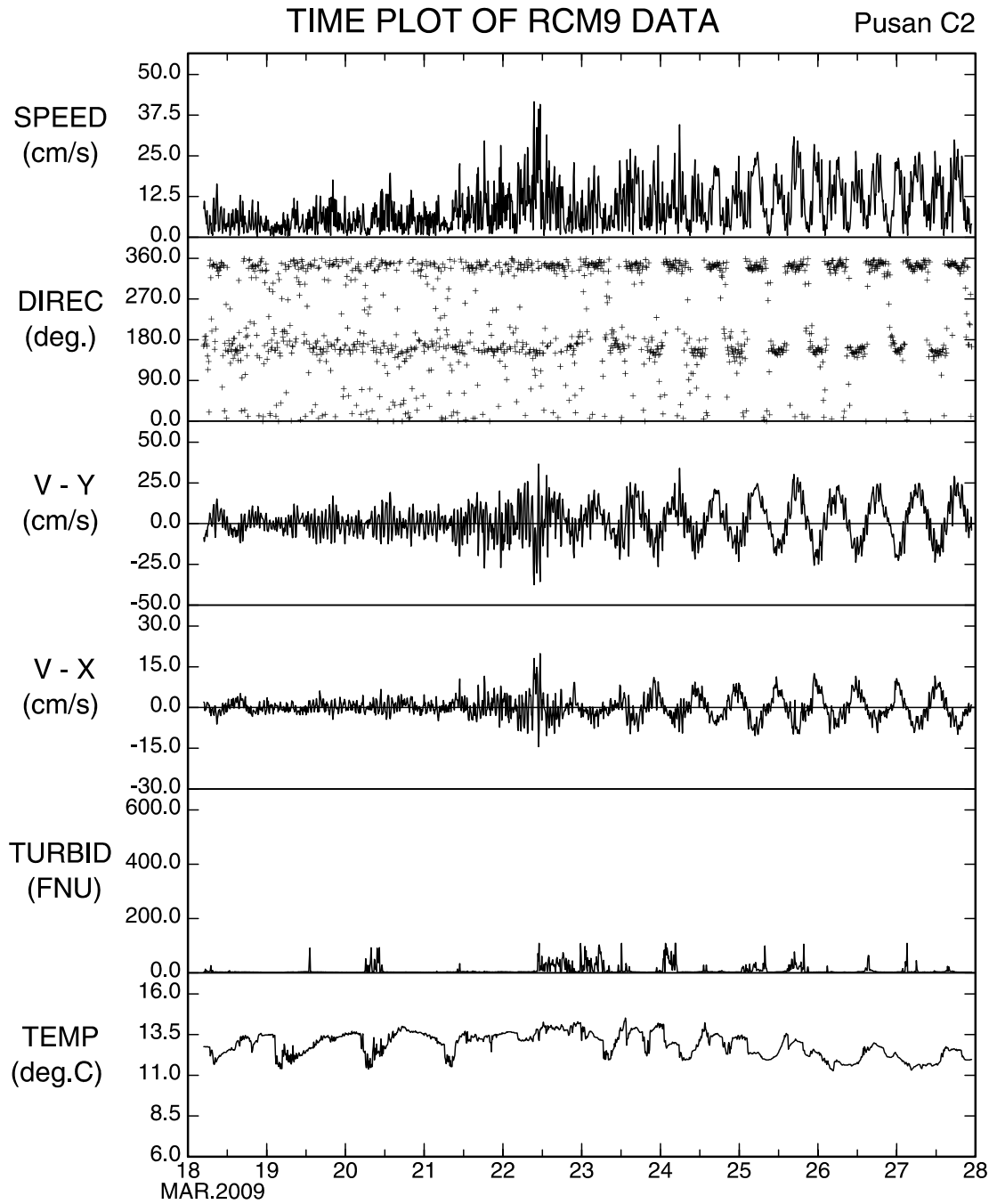


그림 2.1.11 관측 조류의 시간변화(C2).

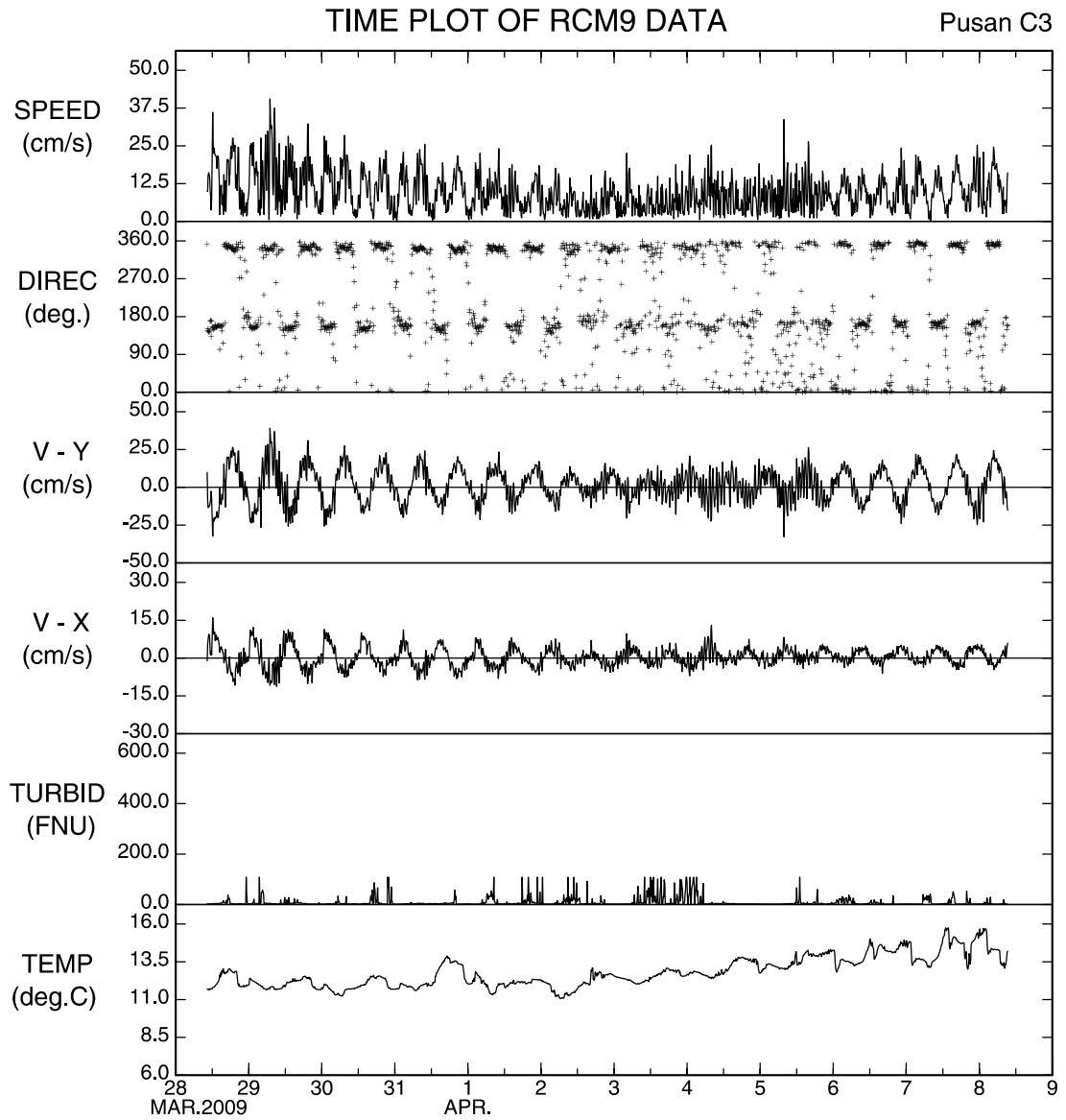


그림 2.1.12 관측 조류의 시간변화(C3).

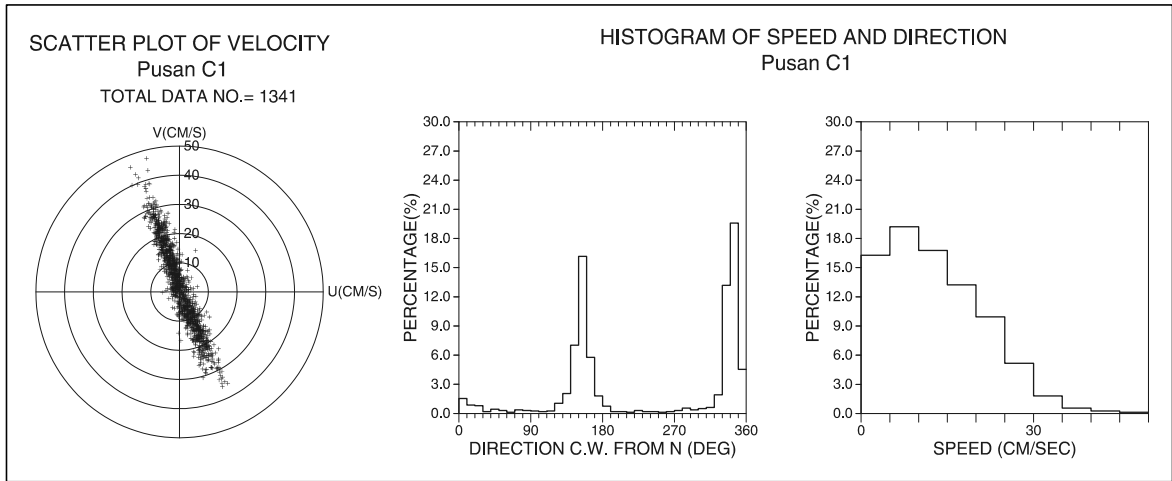


그림 2.1.13 유속, 유향의 분산도 및 히스토그램(C1).

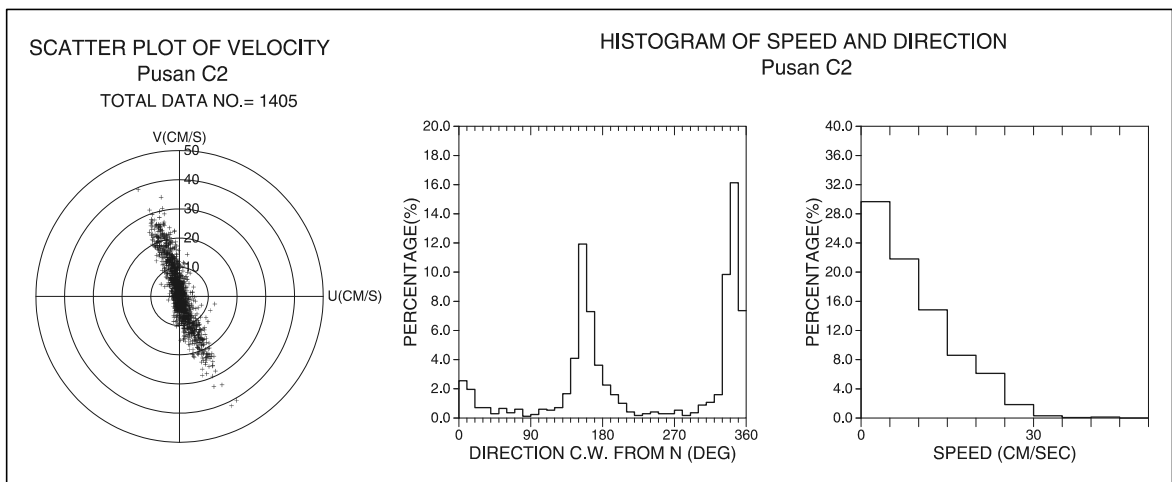


그림 2.1.14 유속, 유향의 분산도 및 히스토그램(C2).

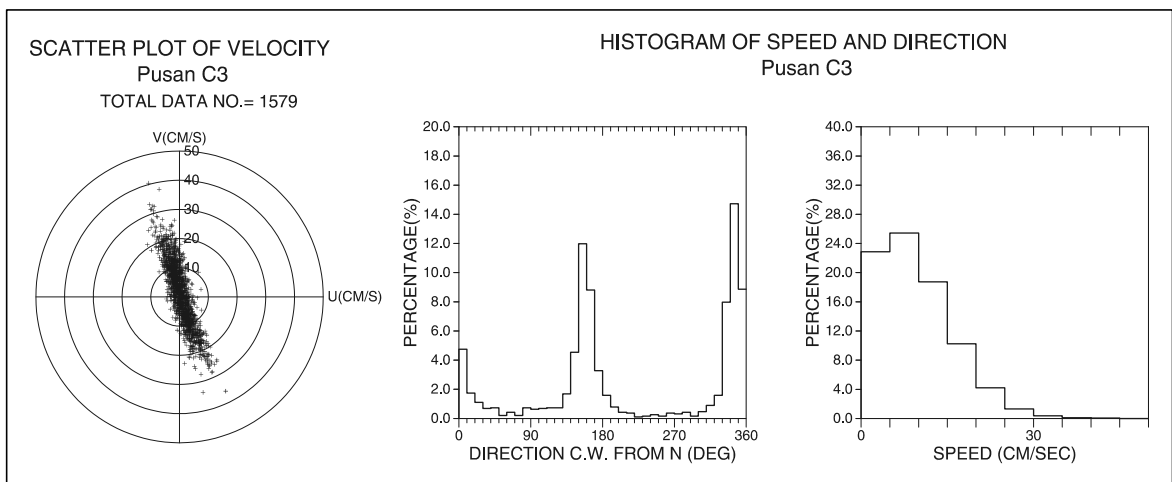


그림 2.1.15 유속, 유향의 분산도 및 히스토그램(C3).

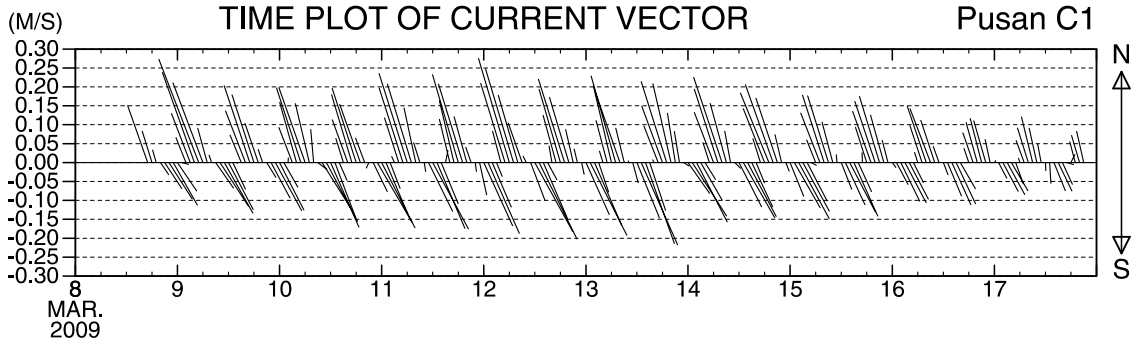


그림 2.1.16 관측된 조류의 진행벡터도(C1).

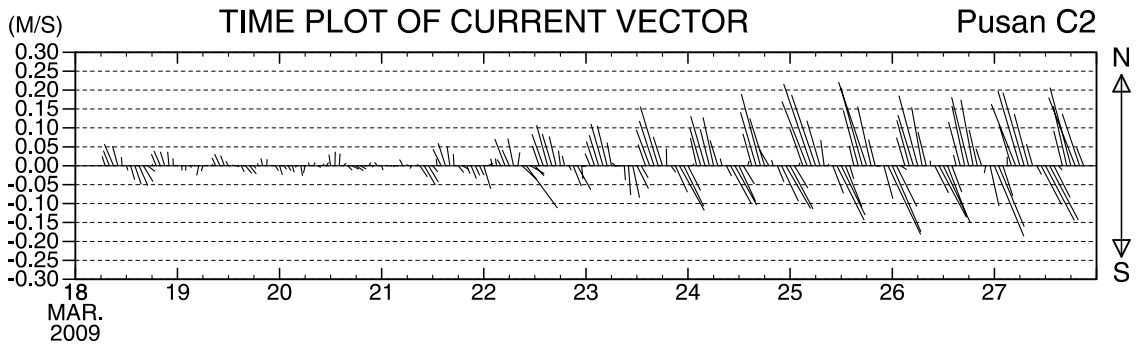


그림 2.1.17 관측된 조류의 진행벡터도(C2).

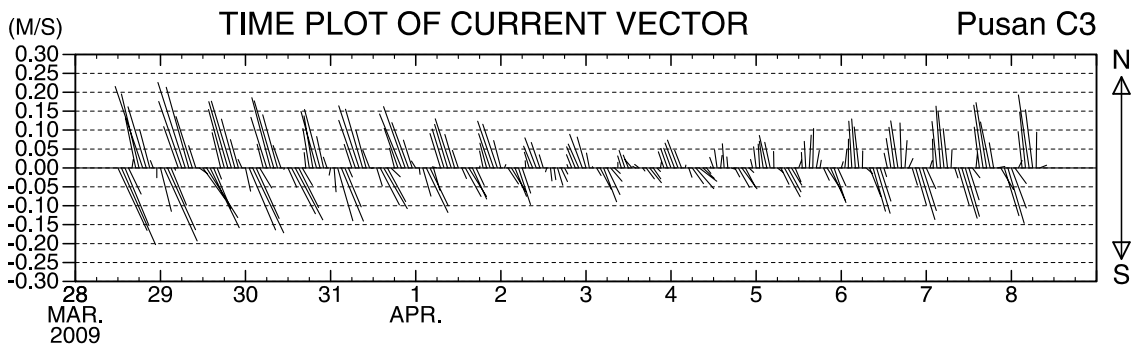


그림 2.1.18 관측된 조류의 진행벡터도(C3).

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)

표 2.1.7 조류자료 조화분석 결과(C1).

Station	: Pusan C1 (128° 50' 10" E, 35° 05' 03" N)							
No.of data	: 221							
Duration	: From 17:00 8/ 3/ 2009 To 21:00 17/ 3/ 2009							
Time zone	: KST							
No. of tidal harmonic constituents = 10								
No	Name	Speed (degree/hr)	Major (cm/s)	Minor (cm/s)	Inc. (deg.)	g (deg.)	g+ (deg.)	g- (deg.)
1	Z0	0.00000000	2.232	0.000	86.9	0.0	273.1	86.9
2	K1	15.04106900	0.792	-0.083	103.7	96.0	352.3	199.6
3	M2	28.98410420	18.007	-0.054	111.4	168.9	57.5	280.3
4	M3	43.47615810	0.793	0.009	116.8	263.4	146.6	20.2
5	M4	57.96820830	0.685	-0.437	32.5	334.7	302.2	7.2
6	2MK5	73.00927730	0.341	-0.091	95.3	81.0	345.7	176.4
7	2SK5	75.04106900	0.122	0.009	135.4	30.6	255.1	166.0
8	M6	86.95231630	1.059	-0.204	118.7	180.1	61.5	298.8
9	3MK7	101.99337800	0.434	0.065	94.7	246.0	151.3	340.7
10	M8	115.93641700	0.341	0.265	130.4	38.8	268.4	169.2

표 2.1.8 조류자료 조화분석 결과(C2).

Station	: Pusan C2 (128° 50' 10" E, 35° 05' 03" N)							
No.of data	: 231							
Duration	: From 7:00 18/ 3/ 2009 To 21:00 27/ 3/ 2009							
Time zone	: KST							
No. of tidal harmonic constituents = 10								
No	Name	Speed (degree/hr)	Major (cm/s)	Minor (cm/s)	Inc. (deg.)	g (deg.)	g+ (deg.)	g- (deg.)
1	Z0	0.00000000	1.400	0.000	87.1	0.0	272.9	87.1
2	K1	15.04106900	0.262	0.063	0.3	316.4	316.1	316.6
3	M2	28.98410420	9.390	0.083	110.1	176.6	66.4	286.7
4	M3	43.47615810	0.984	0.089	112.7	253.4	140.7	6.2
5	M4	57.96820830	0.598	-0.159	138.2	221.7	83.5	359.9
6	2MK5	73.00927730	0.299	0.041	102.9	314.1	211.2	57.0
7	2SK5	75.04106900	0.389	0.126	92.8	306.0	213.2	38.8
8	M6	86.95231630	0.681	-0.037	121.5	175.1	53.6	296.6
9	3MK7	101.99337800	0.377	0.059	115.4	232.4	117.1	347.8
10	M8	115.93641700	0.140	0.059	90.2	88.8	358.6	179.0

표 2.1.9 조류자료 조화분석 결과(C3).

Station	: Pusan C3 (128° 50' 10" E, 35° 05' 03" N)							
No.of data	: 261							
Duration	: From 12:00 28/ 3/ 2009 To 8:00 8/ 4/ 2009							
Time zone	: KST							
No. of tidal harmonic constituents = 10								
No	Name	Speed (degree/hr)	Major (cm/s)	Minor (cm/s)	Inc. (deg.)	g (deg.)	g+ (deg.)	g- (deg.)
1	Z0	0.00000000	1.506	0.000	75.4	0.0	284.6	75.4
2	K1	15.04106900	0.511	0.059	120.7	73.8	313.1	194.4
3	M2	28.98410420	11.728	-0.260	108.8	155.5	46.6	264.3
4	M3	43.47615810	0.609	0.165	102.0	306.4	204.4	48.4
5	M4	57.96820830	1.177	-0.075	121.8	148.3	26.6	270.1
6	2MK5	73.00927730	0.296	0.038	127.6	317.3	189.7	84.8
7	2SK5	75.04106900	0.148	-0.016	64.5	294.2	229.8	358.7
8	M6	86.95231630	0.512	-0.110	123.1	81.1	318.0	204.3
9	3MK7	101.99337800	0.196	0.044	73.8	345.3	271.5	59.1
10	M8	115.93641700	0.162	-0.038	99.7	305.9	206.2	45.6

2.1.4 분석 결과

레이다식 수위관측기를 이용하여 2008년 6월부터 2009년 2월까지 해수위 자료를 수집하였으며, 상태가 불량한 일부 자료를 제외한 자료를 분석하여 월별 평균해수위의 변화를 산출하고 이로부터 이상고조의 발생 여부를 검토하였으나 관측기간 중 조석변동을 제외한 유의할 만한 해수위 변화는 눈에 띄지 않았다.

해수위 모니터링 자료와 비교, 검토하기 위하여 용원수로 입구 정점에서 1개월 동안 조위, 조류 장기 계류관측을 실시하였으며 분석결과 별다른 변동성 및 차이가 보이지 않았다.

2.2 동방파제 및 컨테이너 부두 전면 파고 관측

2.2.1 현장관측 내용

가. 동방파제 전면 파고·파향 관측

부산신항에 내습하는 단주기파의 특성을 파악하기 위하여 전년도에 이어 그림 2.2.1에 제시된 정점 DW에 Obcomm 위성으로 자료를 전송할 수 있으며 부이 내부에 자료저장 장치를 장착한 부이형 파향·파고계(Directional Waverider, 원래는 네덜란드 Datawell 사 제품)를 설치하고 단주기파 연속관측을 실시하였다. 이 정점의 위치는 부산신항 동·서방파제 축조 공사가 진행되는 동안 해양수산부가 실시한 파랑관측(한국해양연구소, 1999; 2000; 한국해양연구원, 2001; 2002, 해양수산부, 2003) 정점과 비슷하며 그 후속관측의 성격도 일부 가지고 있다. 정점의 보다 정확한 위치는 부산신항 동방파제의 海側(西側) 기부에서 정동 방향으로 300 m, 정남 방향으로 400 m 떨어진 지점(128° 47'29.9"E, 35°02'38.4"N)이며 M.S.L.을 기준한 설치수심은 약 15 m이다.

관측기기는 본 과업의 제1차년도인 2006년 6월 30일에 설치되었으며 현재까지 실시간으로 파랑 자료(유의파고 H_s , 평균주기 T_z 및 대표파향 $\bar{\theta}$)를 전송받아서 홈페이지에 서비스를 실시하고 있다. 본 보고서에는 2008년 6월 1일부터 2009년 3월 31까지의 자료를 분석하여 수록하였다.

나. 부두 전면 파랑 관측

컨테이너부두 예정 지점에서의 단주기파 특성을 파악하기 위하여 그림 2.2.1에 제시된 정점 P6과 P9에 수압식 파고계를 설치하고 단주기파 연속관측을 실시하였다. 관측기기로는 100 psia의 Paro-Scientific사의 센서 또는 Pressure Systems사의 센서를 장착한 WTG(Wave and Tide Gauge)를 사용하였으며, 원시 수압 자료(raw pressure data)가 매 0.5초마다 연속적으로 기기에 내장된 128 또는 256 MB 용량의 자료 저장장치에 저장되었다. 기기는 1.2×1.2×0.60(m)의 철제 설치대에 장착하여 인위적인 이동을 방지하였으며 1~2개월마다 잠수부를 사용하여 자료를 백업하였다.

정점 P6과 P9에서의 파랑관측은 2008년 6월 8일에 시작되어 11월 8일에 종료되었으며 결측없이 자료가 수집되었다. 북컨테이너부두와 연결된 작업부두 방파제 인근에 위

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)

치한 정점 P6의 경·위도는 (128°46′52.1″E, 35°04′38.2″N)이며 M.S.L.을 기준한 설치수심은 약 8.1 m, 그리고 서컨테이너부두 예정 지점 인근에 위치한 정점 P9의 경·위도는 (128°46′36.4″E, 35°03′44.0″N)이며 M.S.L.을 기준한 설치수심은 약 7.9 m였다.

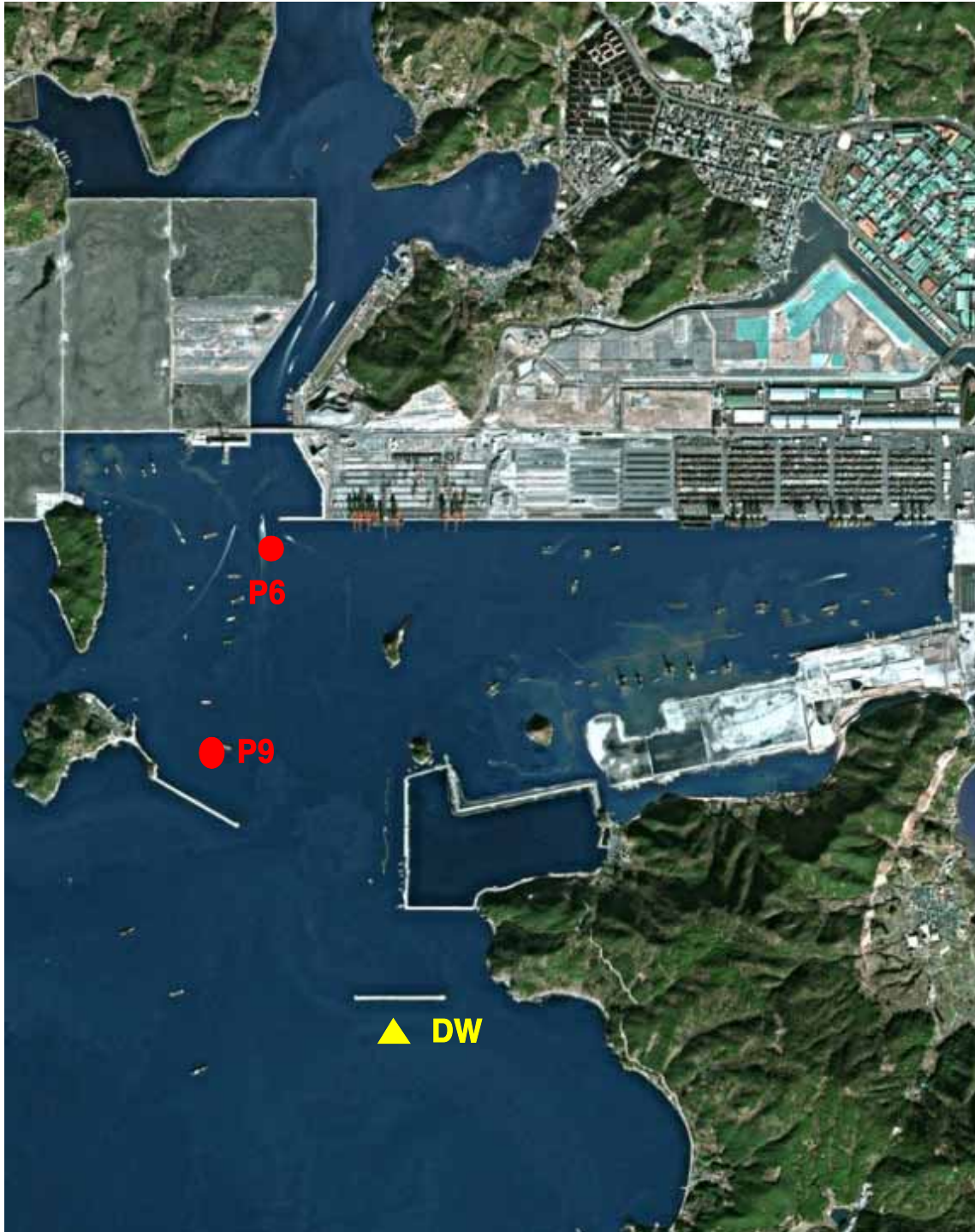


그림 2.2.1 파랑관측정점 위치도.

2.2.2 자료 분석방법

본 과업에서는 파향·파고계에 의한 자료에 대해 파별분석법(wave by wave analysis method), 스펙트럼법(spectral method), LHM(Longuet-Higgins' Method) 및 MEM(Maximum Entropy Method), 그리고 수압식 파고계에 의한 자료에 대해서는 스펙트럼법과 파별분석법을 각각 적용하였다.

파랑 분석을 통하여 제시되는 여러 가지 파랑특성계수의 정의는 IAHR Working Group on Wave Generation and Analysis(1989)에 자세하게 제시되어 있으며 본 과업에서는 이들의 제안을 따라 파랑특성계수들을 표기하였다.

파별분석법은 시계열의 파랑 자료를 영점 하향교차(zero-downcrossing) 또는 영점 상향교차(zero-upcrossing) 방법으로 분석한 후 개개의 파를 통계적으로 처리하여 파랑특성계수를 산출하는 방법이다. 본 과업에서는 보다 사용빈도가 높은 영점 상향교차법을 적용하였으며 이 방법에 의해서는 평균 파고($\overline{H_u}$), 평균 주기($\overline{T_u}$), 1/3 최대 유의파고($H_{1/3,u}$), 1/3 최대 유의파 평균주기($T_{H_{1/3,u}}$), 최대 파고($H_{\max,u}$), 최대파 주기($T_{H_{\max,u}}$), 상승평균평방근(root-mean-square) 파고(H_s) 등의 파랑특성계수들이 산출된다. 단, 이후에는 편의상 영점 상향교차를 나타내는 아랫첨자 u 를 생략하고 $H_{1/3}$, $T_{H_{1/3}}$ 등으로 표시하였다.

스펙트럼법은 관측된 파의 시계열 자료를 FFT(Fast Fourier Transform) 기법으로 분석하고 파랑의 에너지 스펙트럼을 구하여 파랑 특성을 파악하는 방법이다. 이는 불규칙파를 분석하는 일반적인 방법으로 불규칙성을 가진 자료의 분석에 매우 유용하다. 스펙트럼 분석법을 통해서서는 유의파고 추정치(H_{m0} ; 통상 유의파고로 불리며 H_s 로 표시됨), 스펙트럼 첨두주기(T_p), 스펙트럼 모멘트에 의한 평균주기($T_{i,j}$; 통상 T_2 로 표시됨), 스펙트럼 폭 매개변수(spectral width parameter) ϵ_i , 스펙트럼 첨예도 인자(spectral peakedness factor) Q_p 등이 제시된다.

2.2.3 동방파제 전면 파랑 특성

정점 DW에서 파향·파고계에 의해 관측된 파랑특성계수 중에서 스펙트럼법에 의한 유의파고(H_s), 첨두주기(T_p) 및 Longuet-Higgins법으로 구해진 대표파향($\bar{\theta}$; 첨두주기 T_p 에서의 파향)의 시간적 변화를 검토하였다. 먼저, 2008년 6월의 관측 자료를 그림

2.2.2에 제시하였으며 순차적으로 2008년 7월~2009년 3월의 관측 자료를 그림 2.2.3~2.2.11에 각각 제시하였다. 이 그림들에서 파향은 0° 가 N, 90° 가 E, 180° 가 S, 그리고 270° 가 W를 각각 나타낸다.

먼저, 대표파향은 2008년 9월까지의 S 계열인 파의 출현빈도가 크게 우세하나 10월부터는 S와 W의 파향이 혼재하다.

관측기간 중 최대 유의파고는 2009년 2월 13일 15시의 2.42 m(침두주기는 8.2초, 1/3 최대유의파 평균주기는 7.9초, 대표파향은 $S9.7^\circ W$)로 제시되었다.

유의파고가 1.0 m를 초과하는 경우를 폭풍파로 설정하면 관측기간 중에는 2008년 6월 18일(유의파고의 최대치는 20시의 1.12 m, 이하에서는 $\text{Max}(H_s)$ 로 표기), 7월 20~21일($\text{Max}(H_s)$ 는 20일 16시의 1.21 m), 7월 29~30일($\text{Max}(H_s)$ 는 30일 1시의 2.03 m), 8월 15일($\text{Max}(H_s)$ 는 5시의 1.01 m), 7월 23일($\text{Max}(H_s)$ 는 15시의 1.38 m), 9월 30일($\text{Max}(H_s)$ 는 13시의 1.40 m), 2009년 2월 13~14일($\text{Max}(H_s)$ 는 13일 15시의 2.42 m), 3월 13일($\text{Max}(H_s)$ 는 13시의 2.0 m), 3월 21~22일($\text{Max}(H_s)$ 는 22일 1시의 2.20 m)의 9회에 걸쳐 폭풍파가 내습하였다.

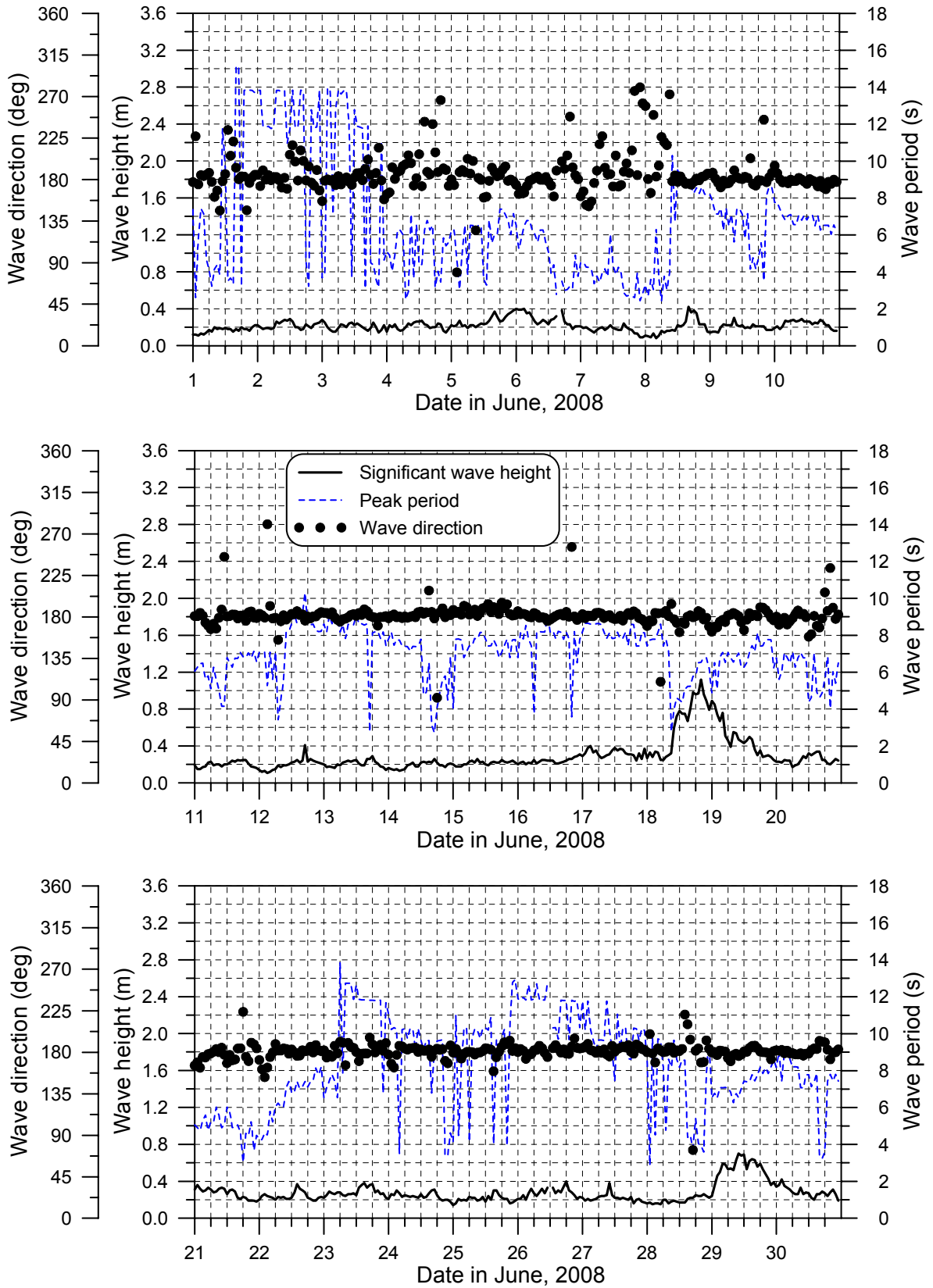


그림 2.2.2 정점 DW에서 2008년 6월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.

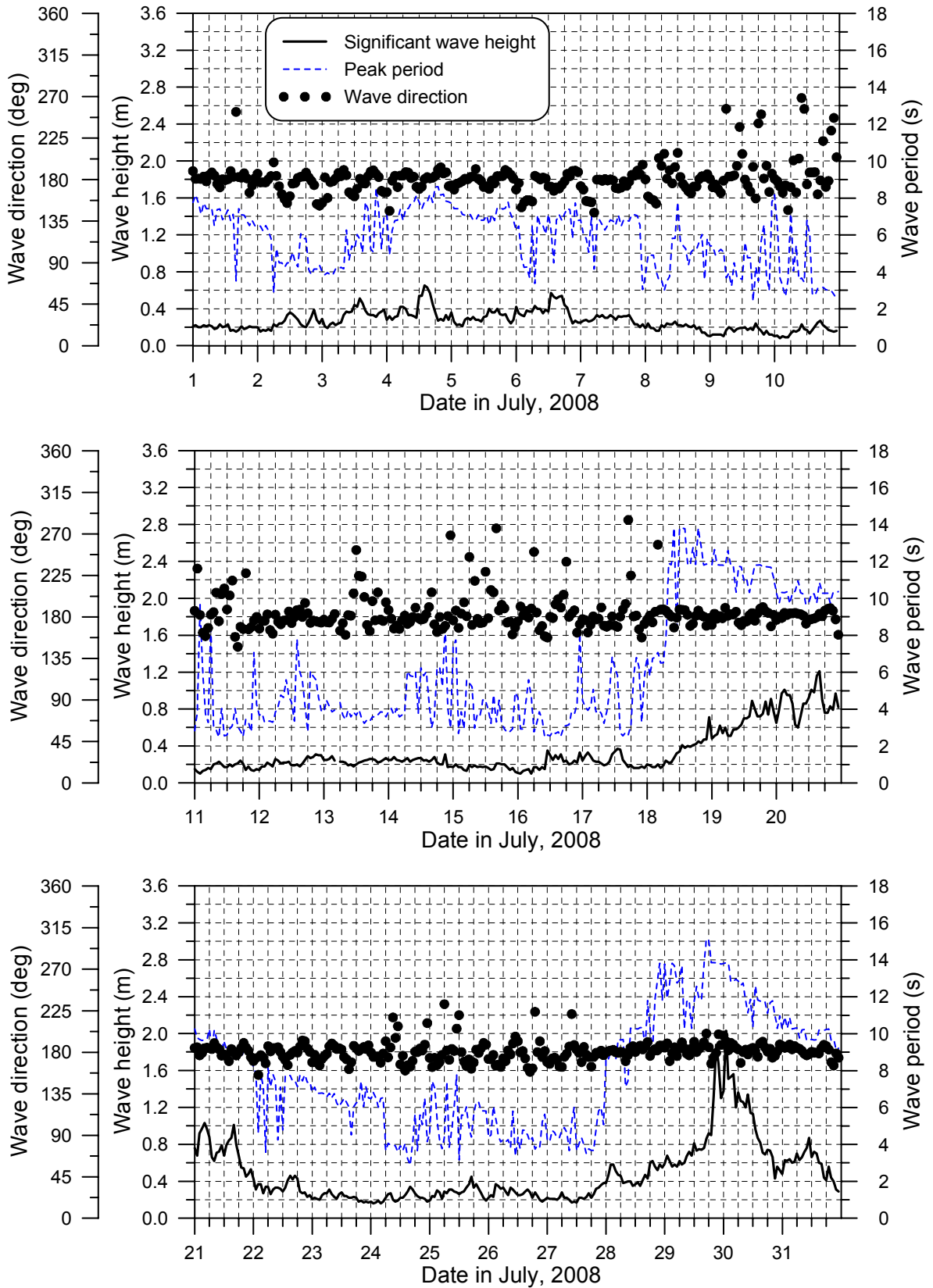


그림 2.2.3 정점 DW에서 2008년 7월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.

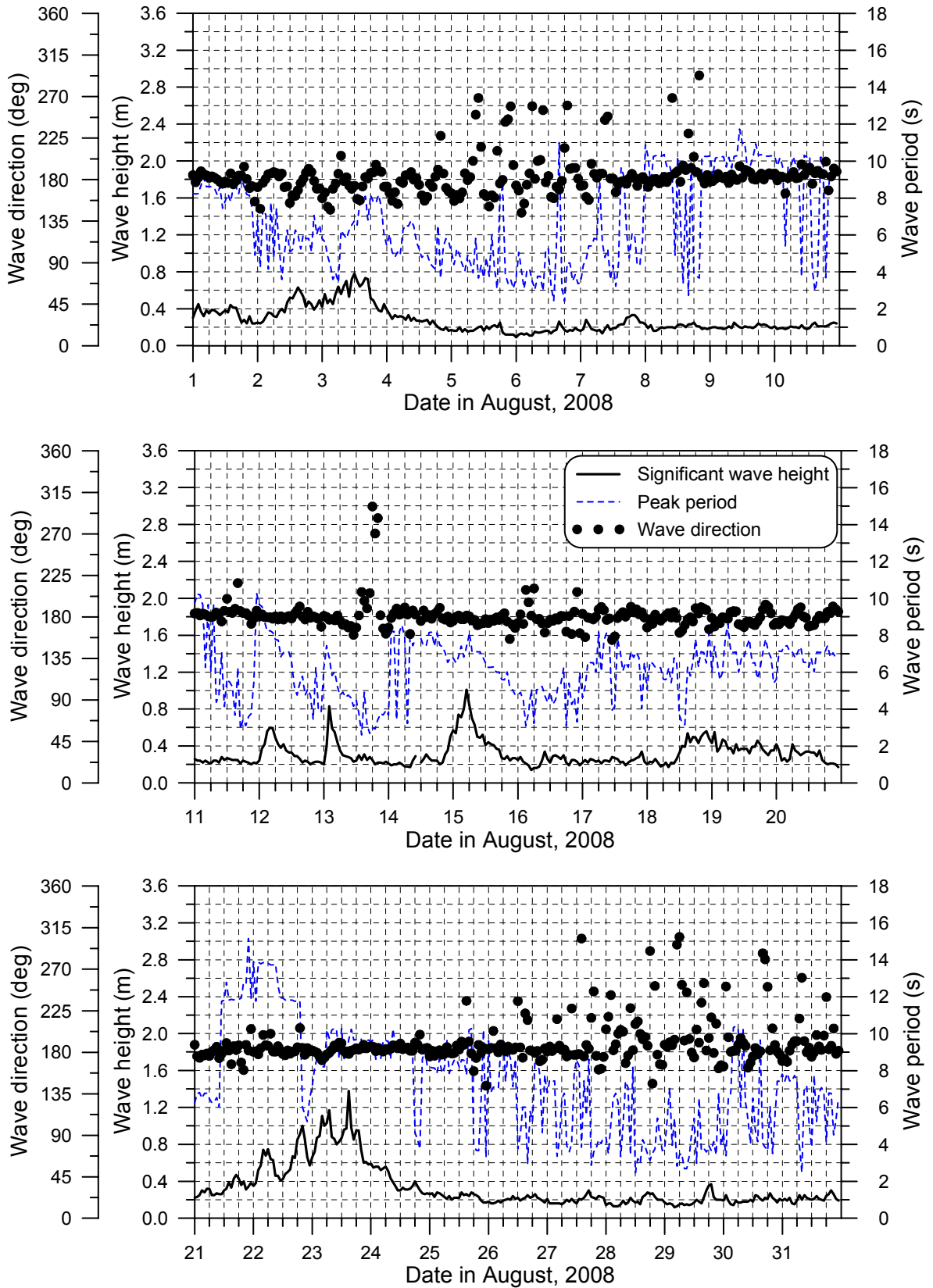


그림 2.2.4 정점 DW에서 2008년 8월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.

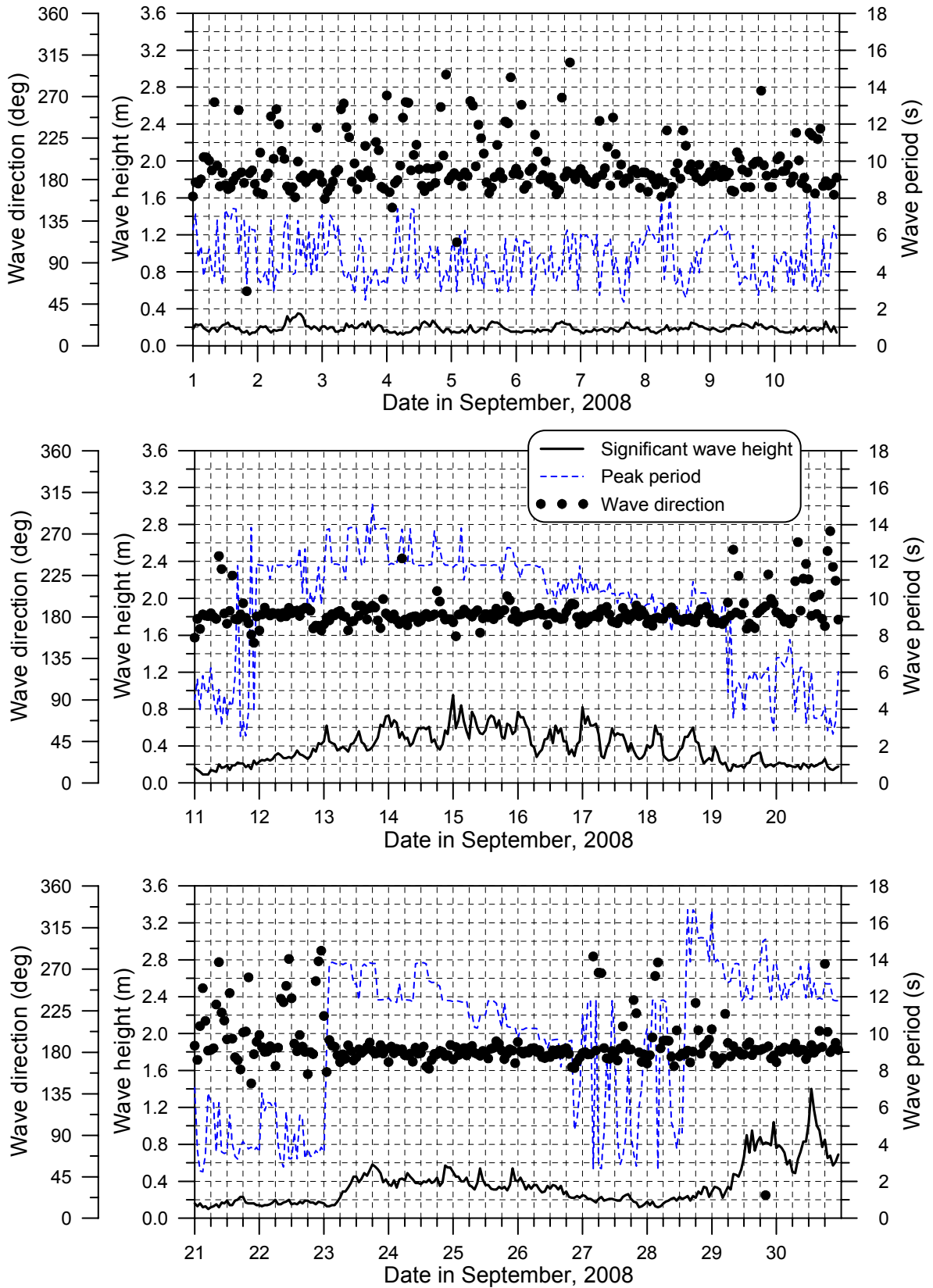


그림 2.2.5 정점 DW에서 2008년 9월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.

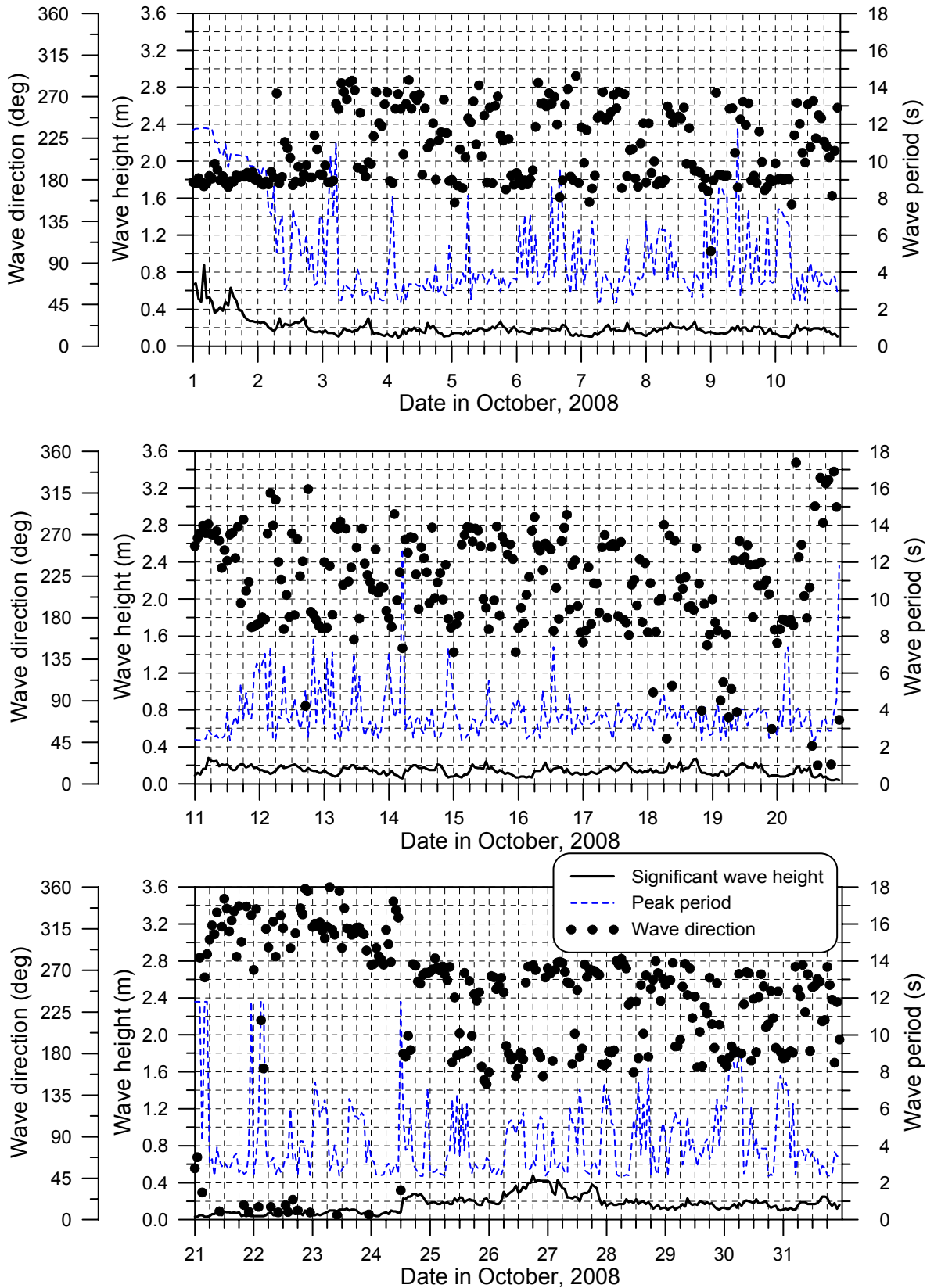


그림 2.2.6 정점 DW에서 2008년 10월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.

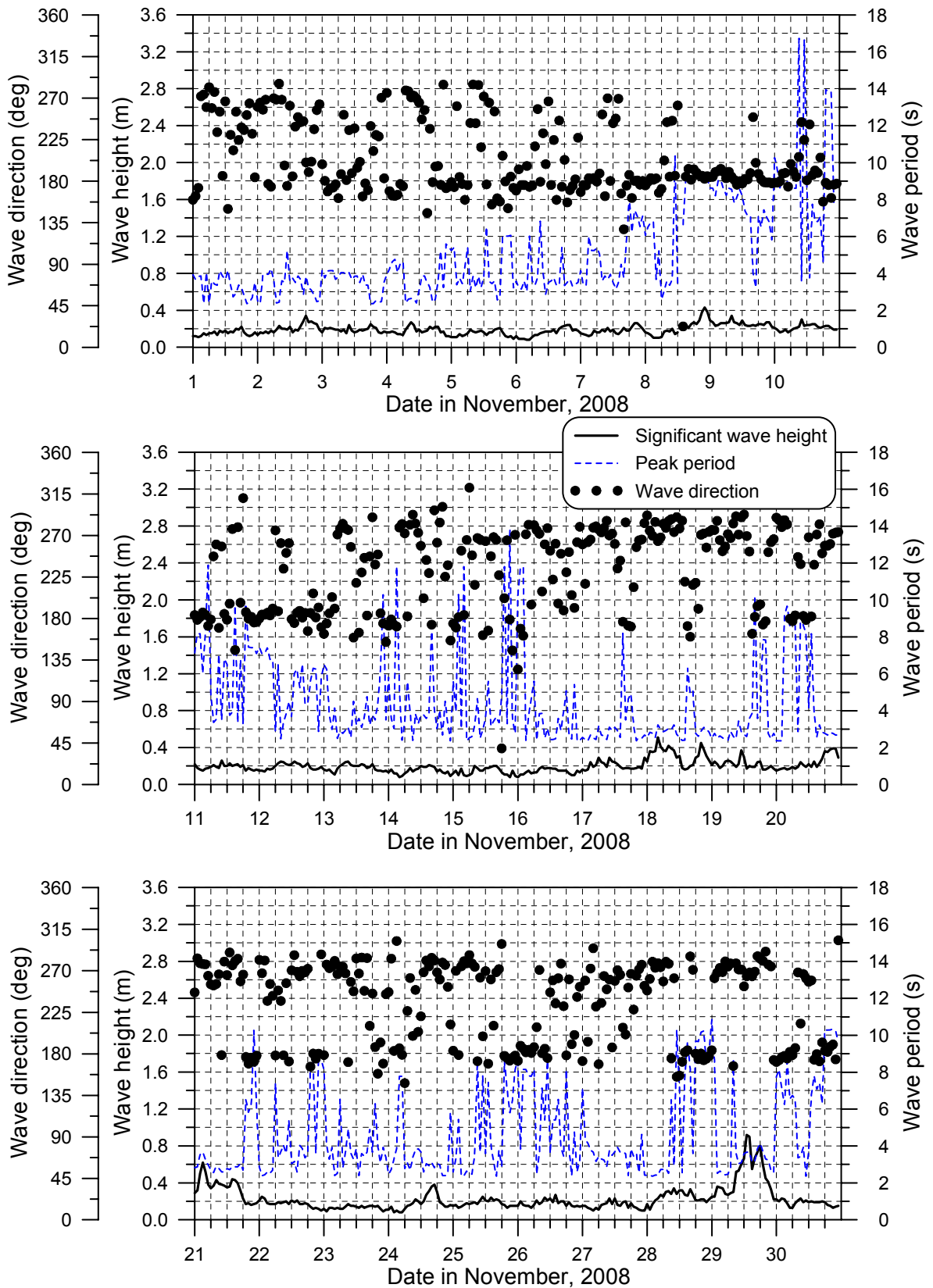


그림 2.2.7 정점 DW에서 2008년 11월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.

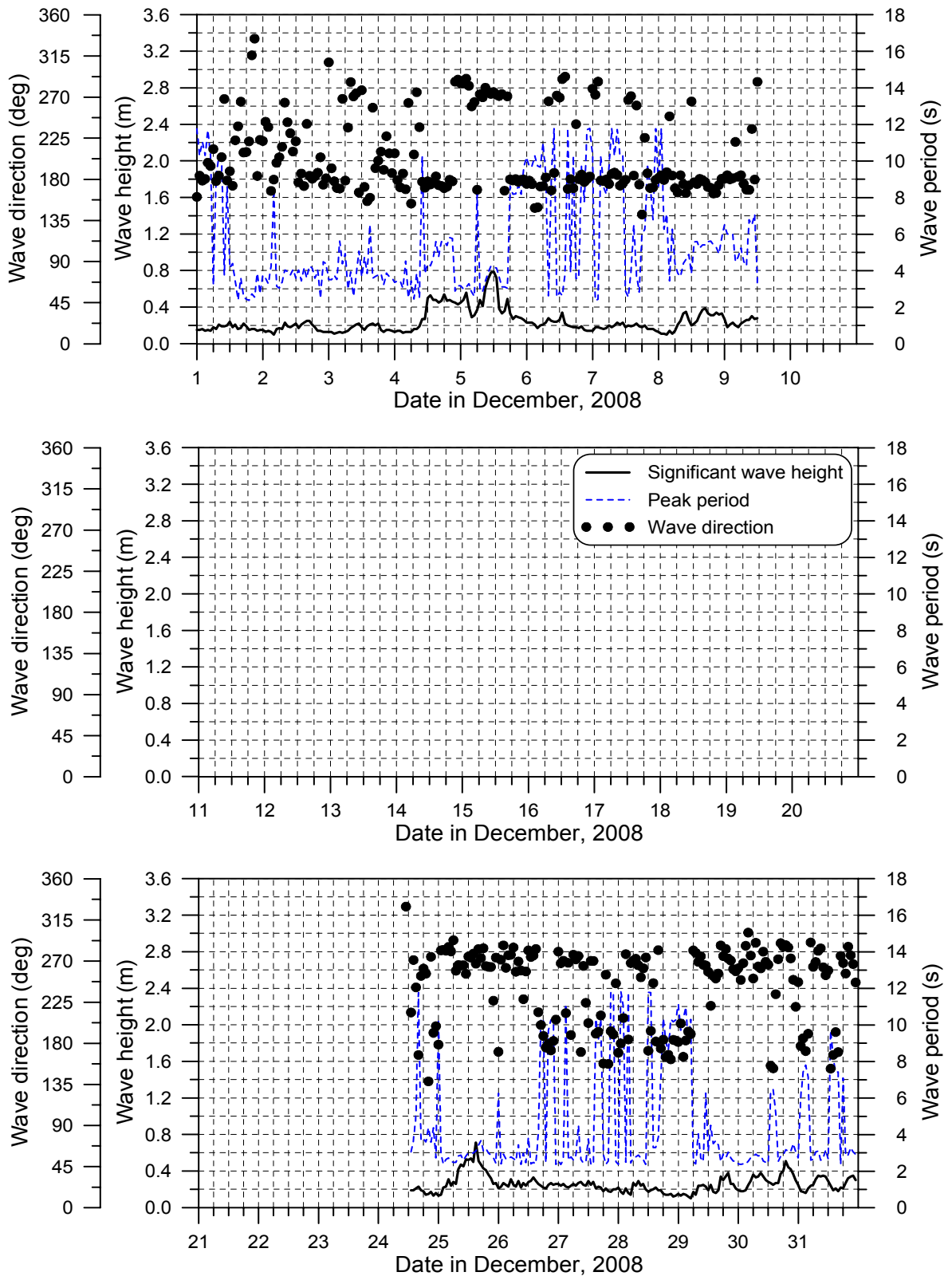


그림 2.28 정점 DW에서 2008년 12월에 관측된 유의파고, 침두주기 및 대표파향.

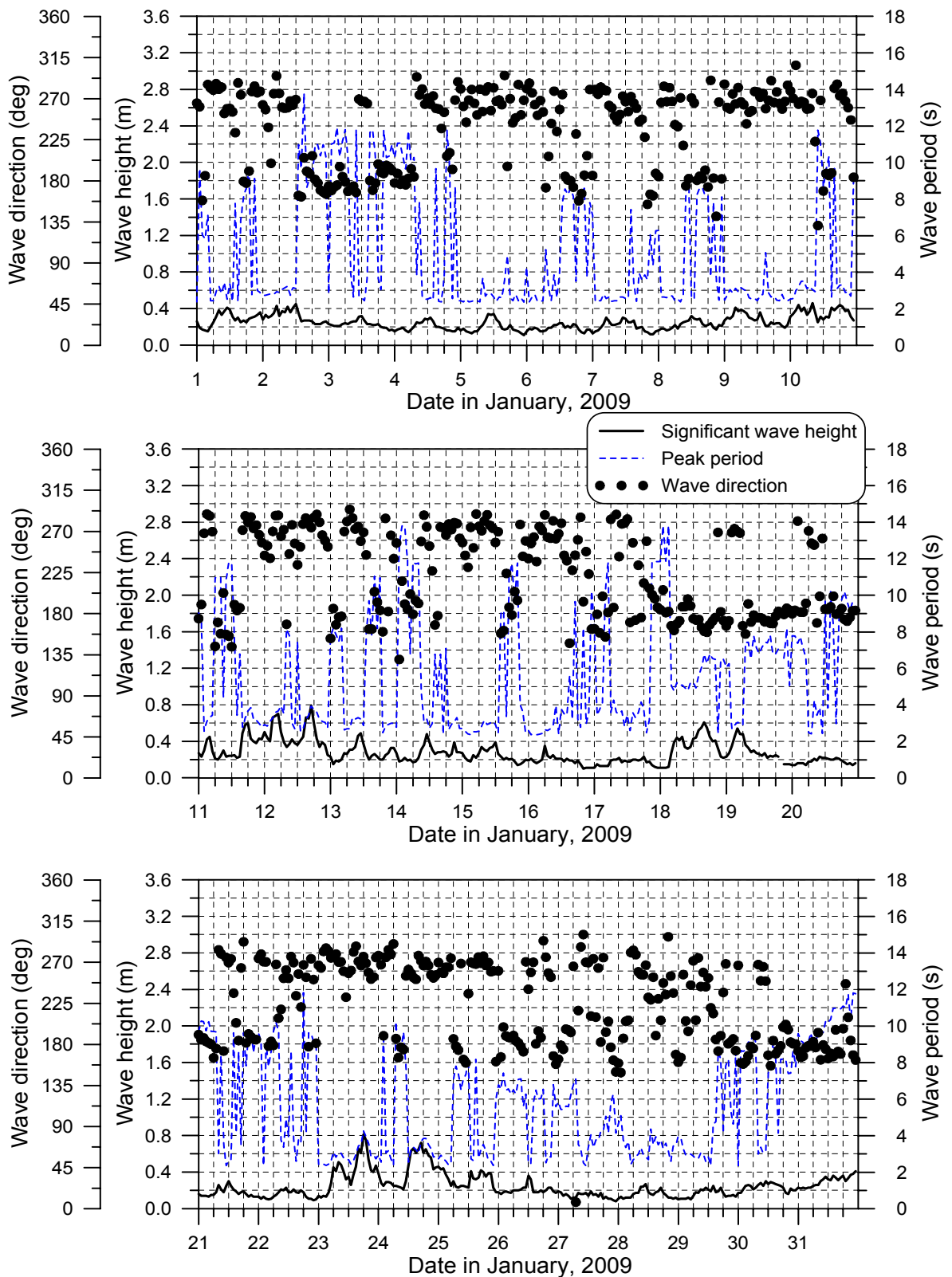


그림 2.2.9 정점 DW에서 2009년 1월에 관측된 유의파고, 첨두주기 및 대표파향.

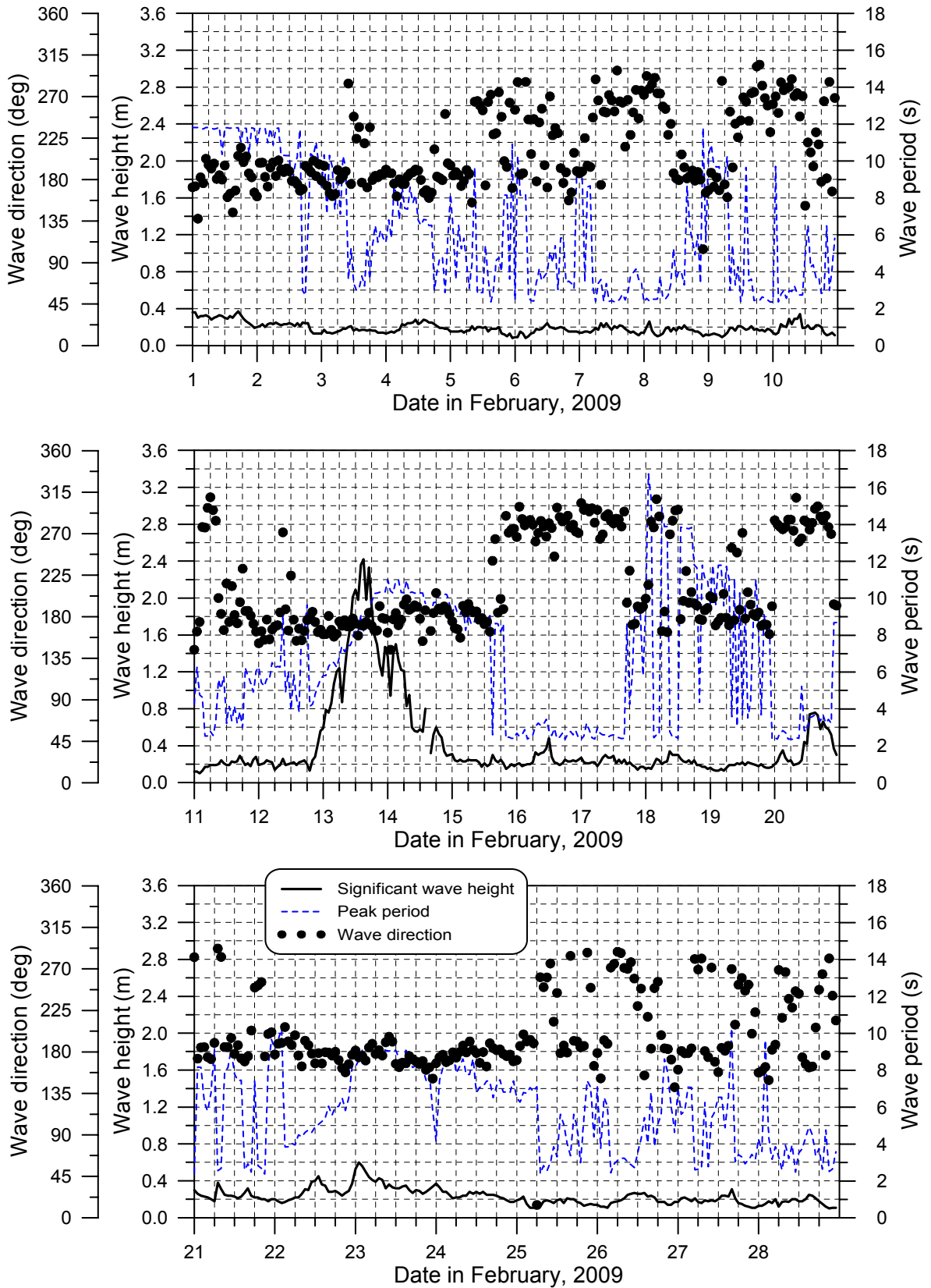


그림 2.2.10 정점 DW에서 2009년 2월에 관측된 유의파고, 침두주기 및 대표파향.

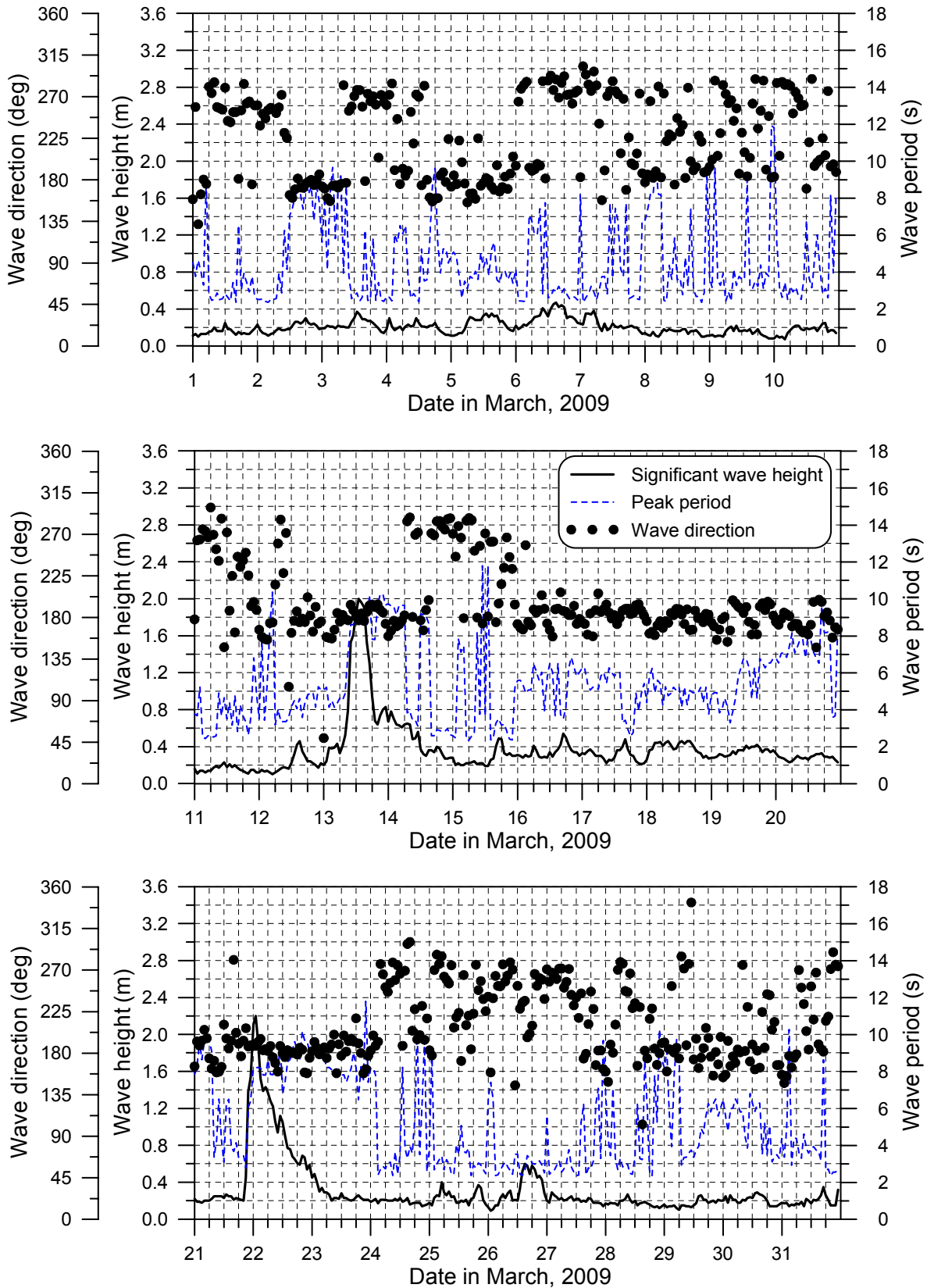


그림 2.2.11 정점 DW에서 2009년 3월에 관측된 유의파고, 침두주기 및 대표파향.

2.2.4 부두 전면 및 항내 파랑 특성

1) 정점 P6

그림 2.2.12~17에는 2008년 6~11월에 북컨테이너부두와 연결된 작업부두 방파제 인근의 정점 P6에서 관측된 자료를 분석하여 구한 유의파고와 침투주기를 제시하였다. 여기서는 2008년 6월 18일에 유의파고가 0.5 m를 초과하는 파가 관측되었다.

그림 2.2.12~17을 정점 DW에서의 자료를 제시한 그림 2.2.2~8과 비교해보면 파향이 S계열이고 정점 DW에서의 파고가 큰 경우에는 정점 P6에서의 파고도 크게 제시되어 S계열의 파는 항입구과 천수심을 전파하면서 감소되기는 하나 상당한 크기의 파가 작업부두 부근에 도달함을 알 수 있다.

2) 정점 P9

그림 2.2.18~23에는 2008년 6~11월에 장래 계획된 서컨테이너 부두 부근의 정점 P9에서 관측된 자료를 분석하여 구한 유의파고와 침투주기를 제시하였다. 여기서는 유의파고가 0.5 m를 초과하는 파가 관측되지 않았다.

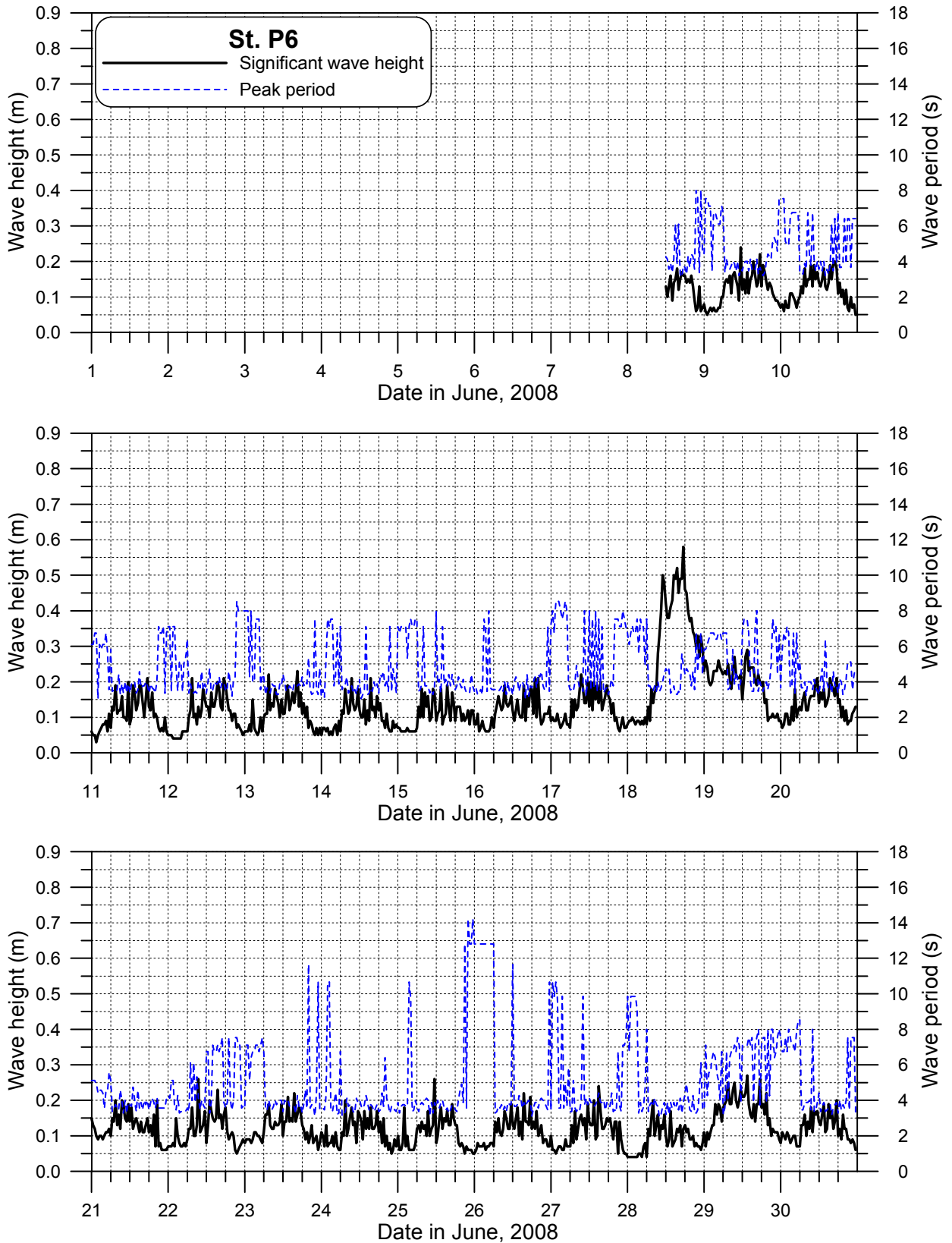


그림 2.2.12 정점 P6에서 2008년 6월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

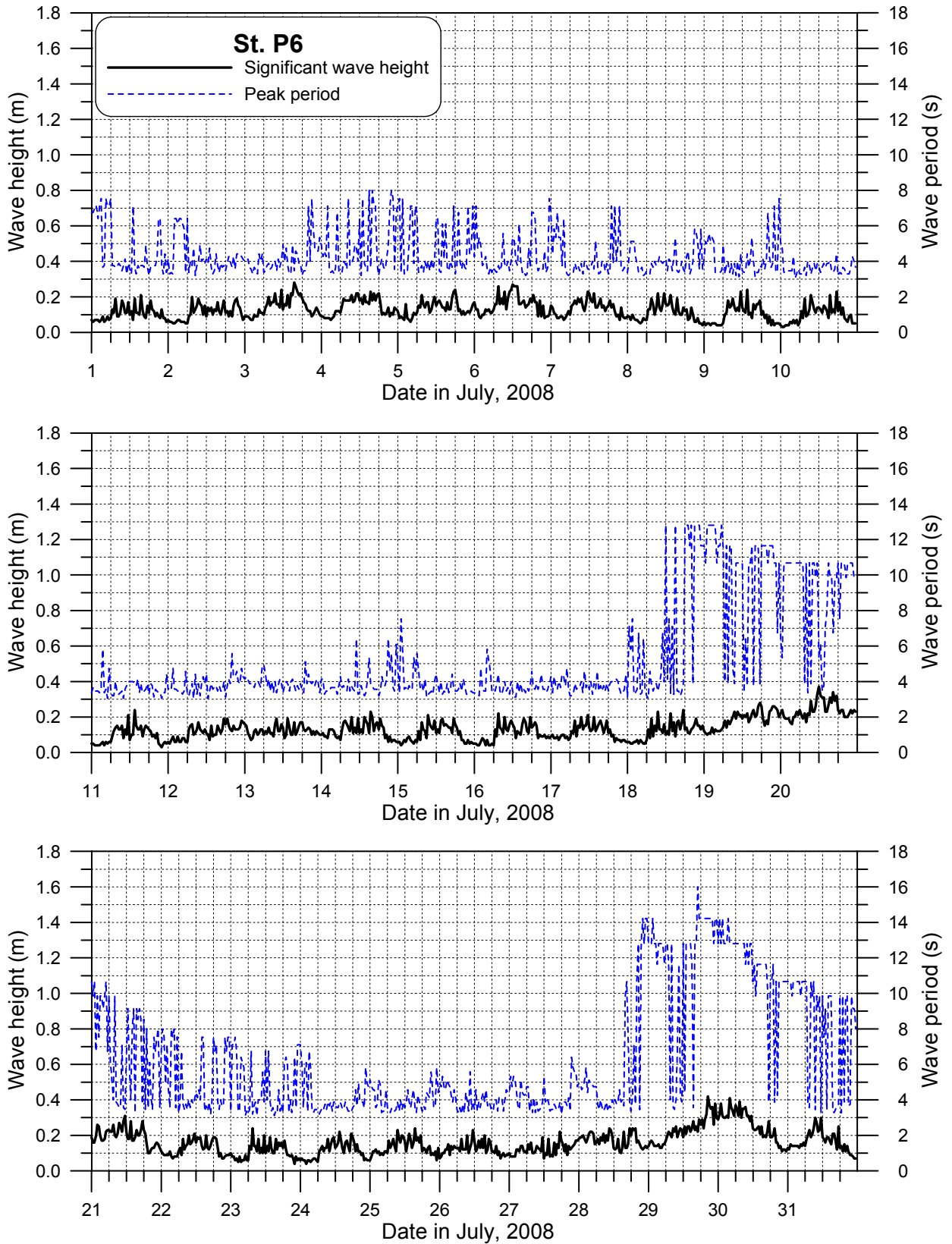


그림 2.2.13 정점 P6에서 2008년 7월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

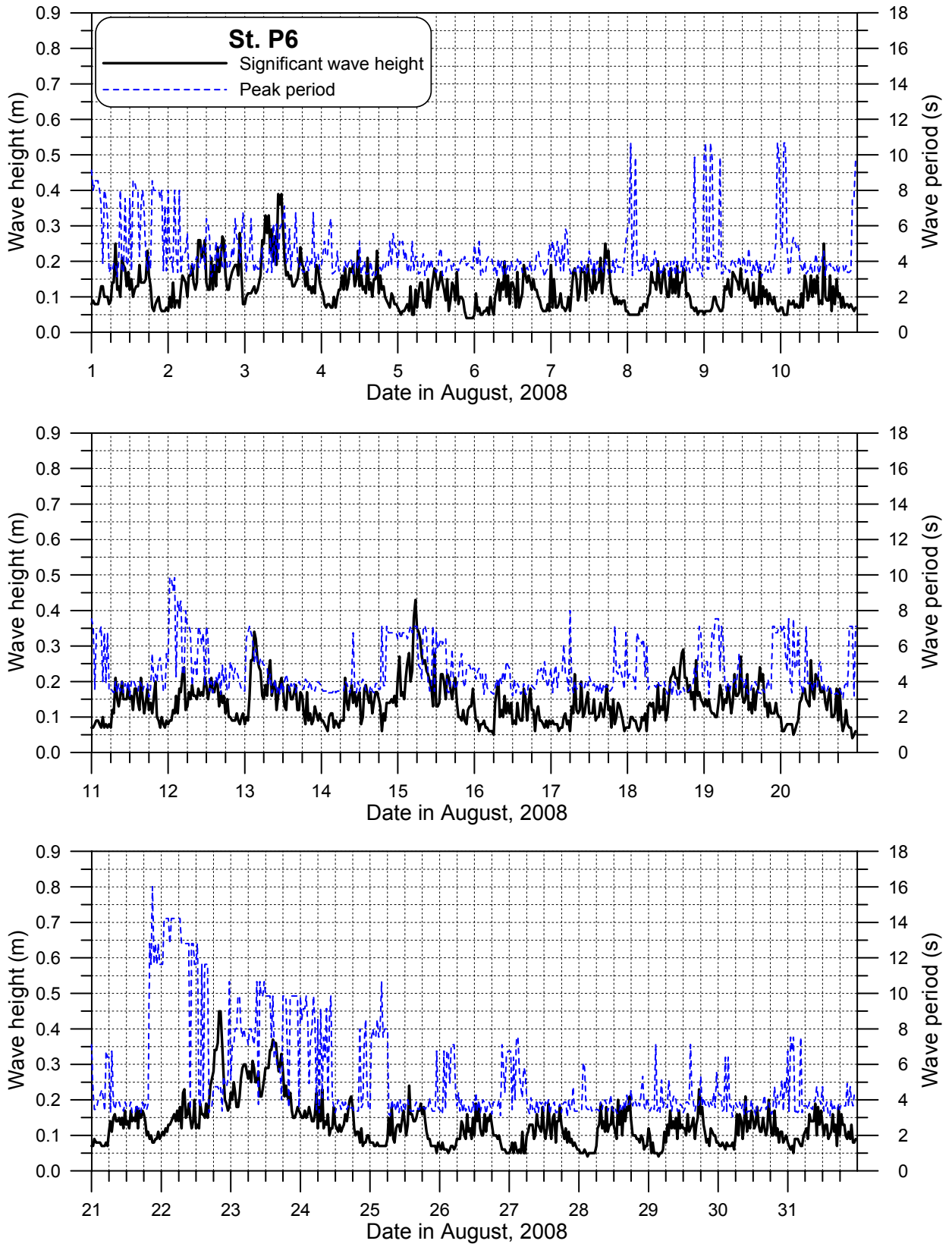


그림 2.2.14 정점 P6에서 2008년 8월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

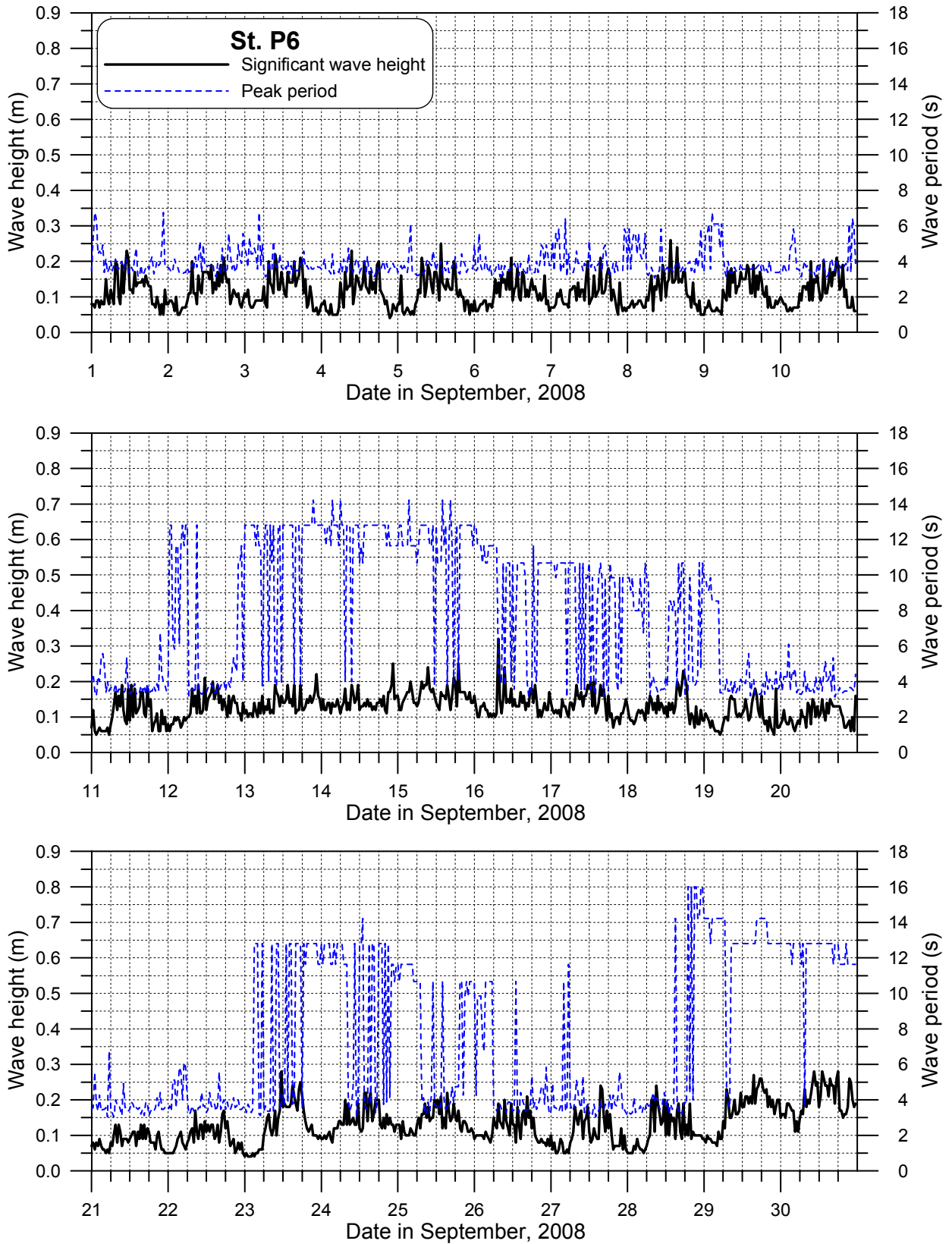


그림 2.2.15 정점 P6에서 2008년 9월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

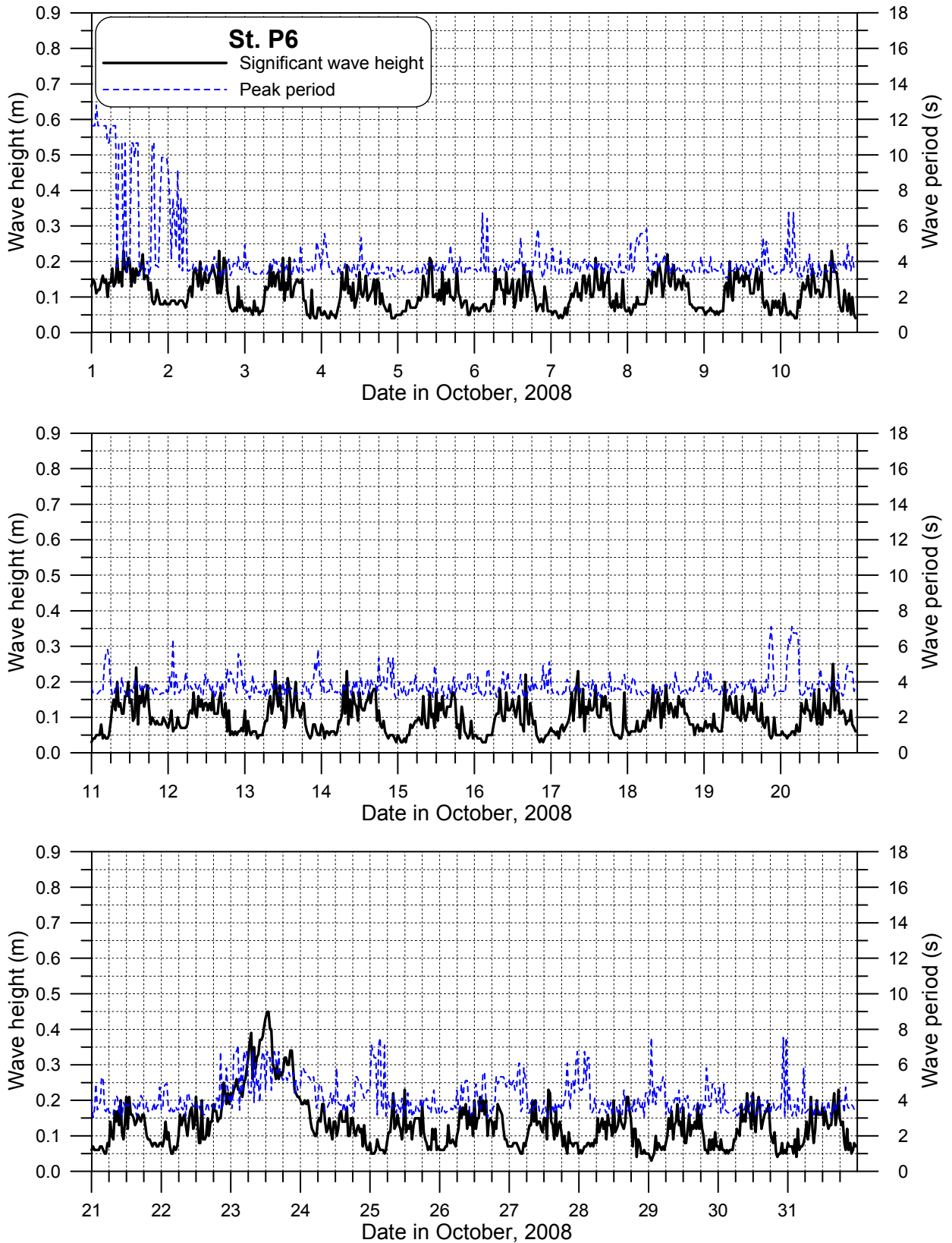


그림 2.2.16 정점 P6에서 2008년 10월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

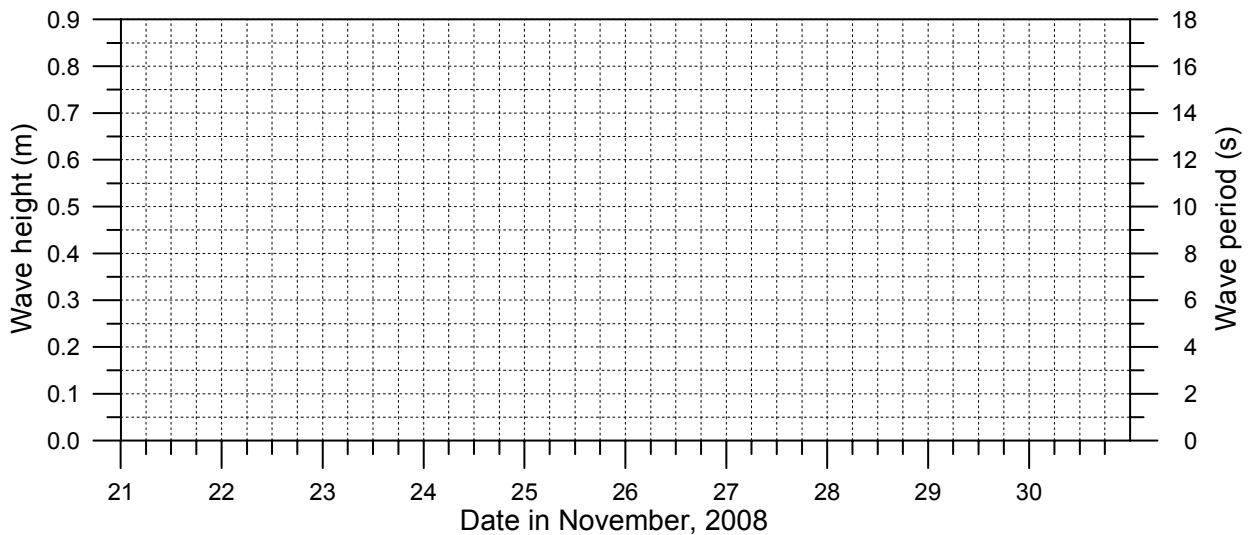
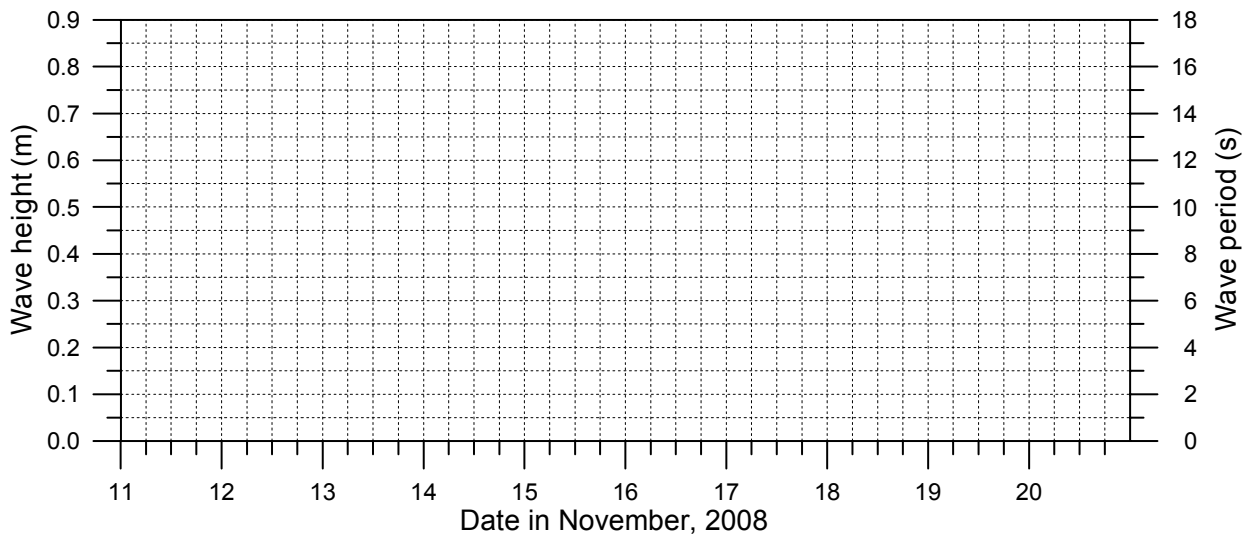
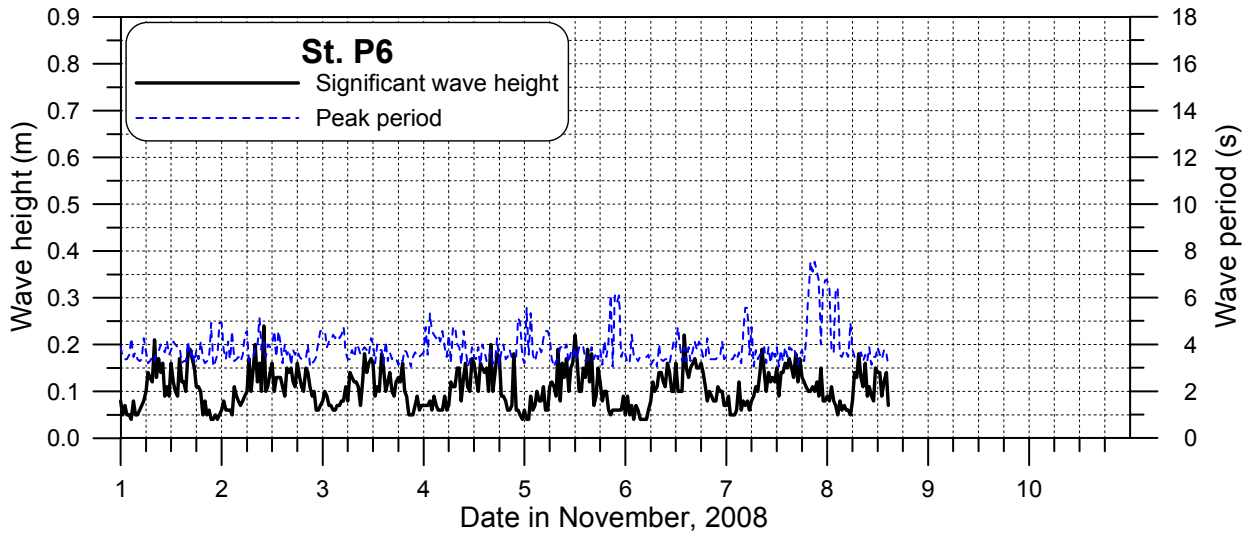


그림 2.2.17 정점 P6에서 2008년 11월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

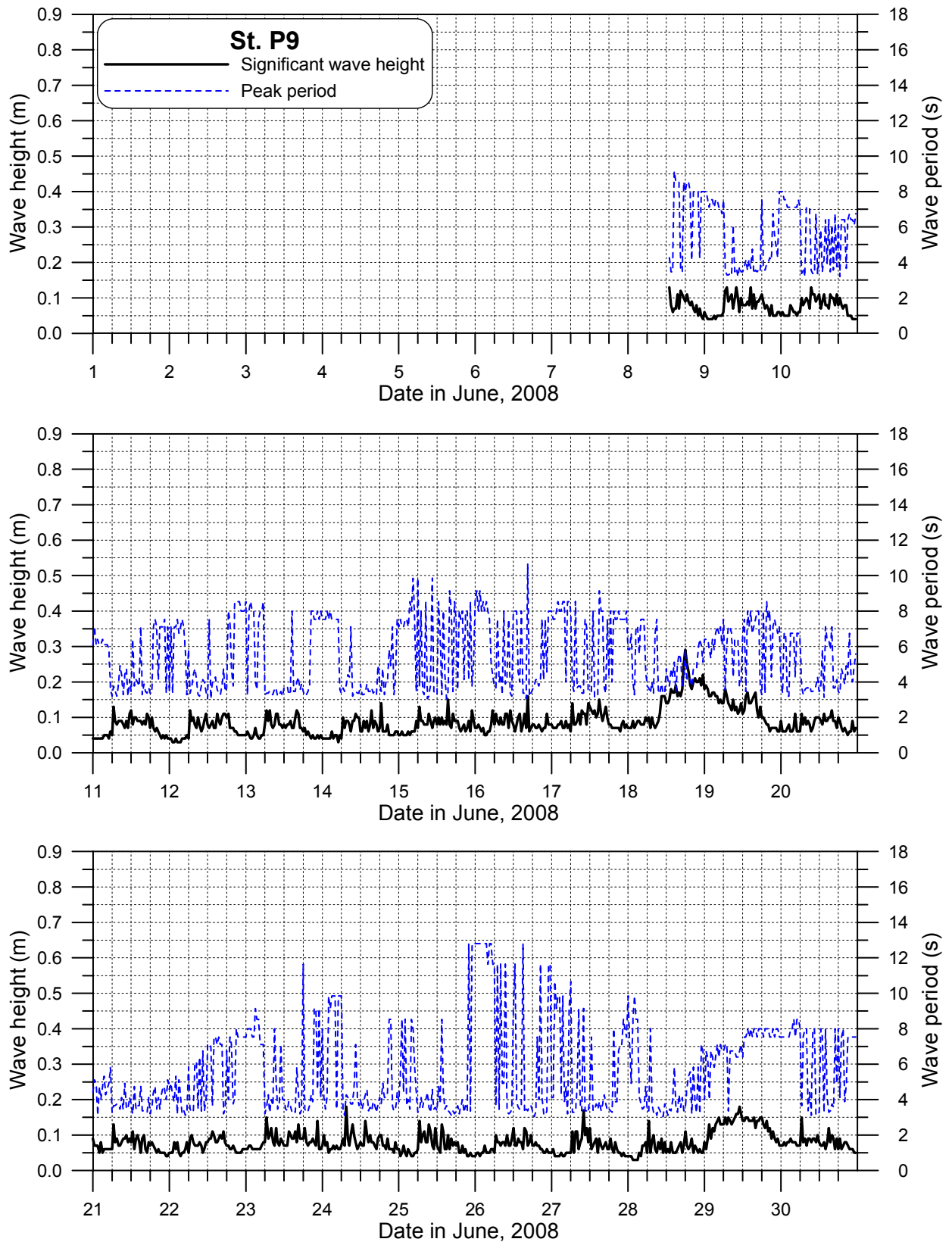


그림 2.2.18 정점 P9에서 2008년 6월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

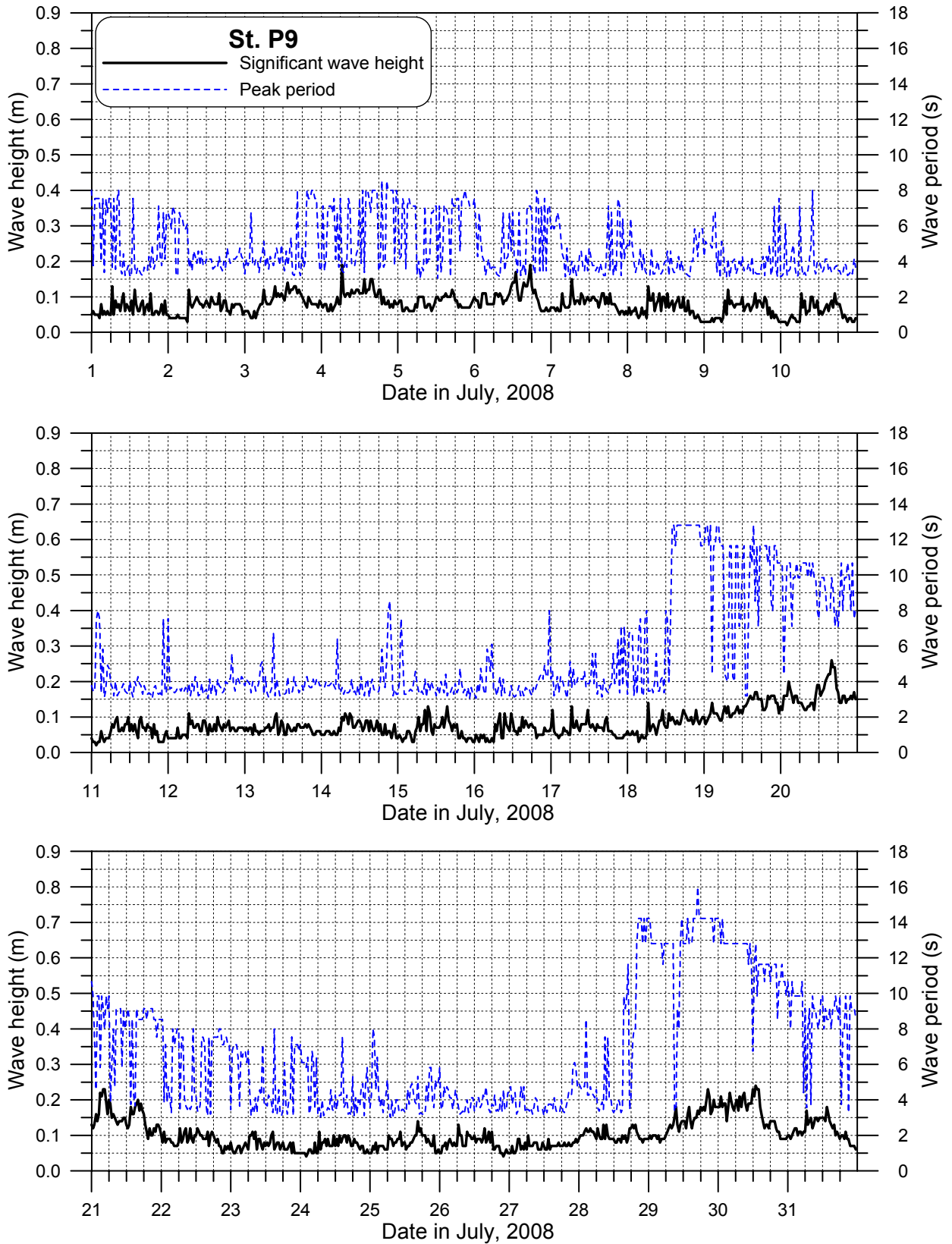


그림 2.2.19 정점 P9에서 2008년 7월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

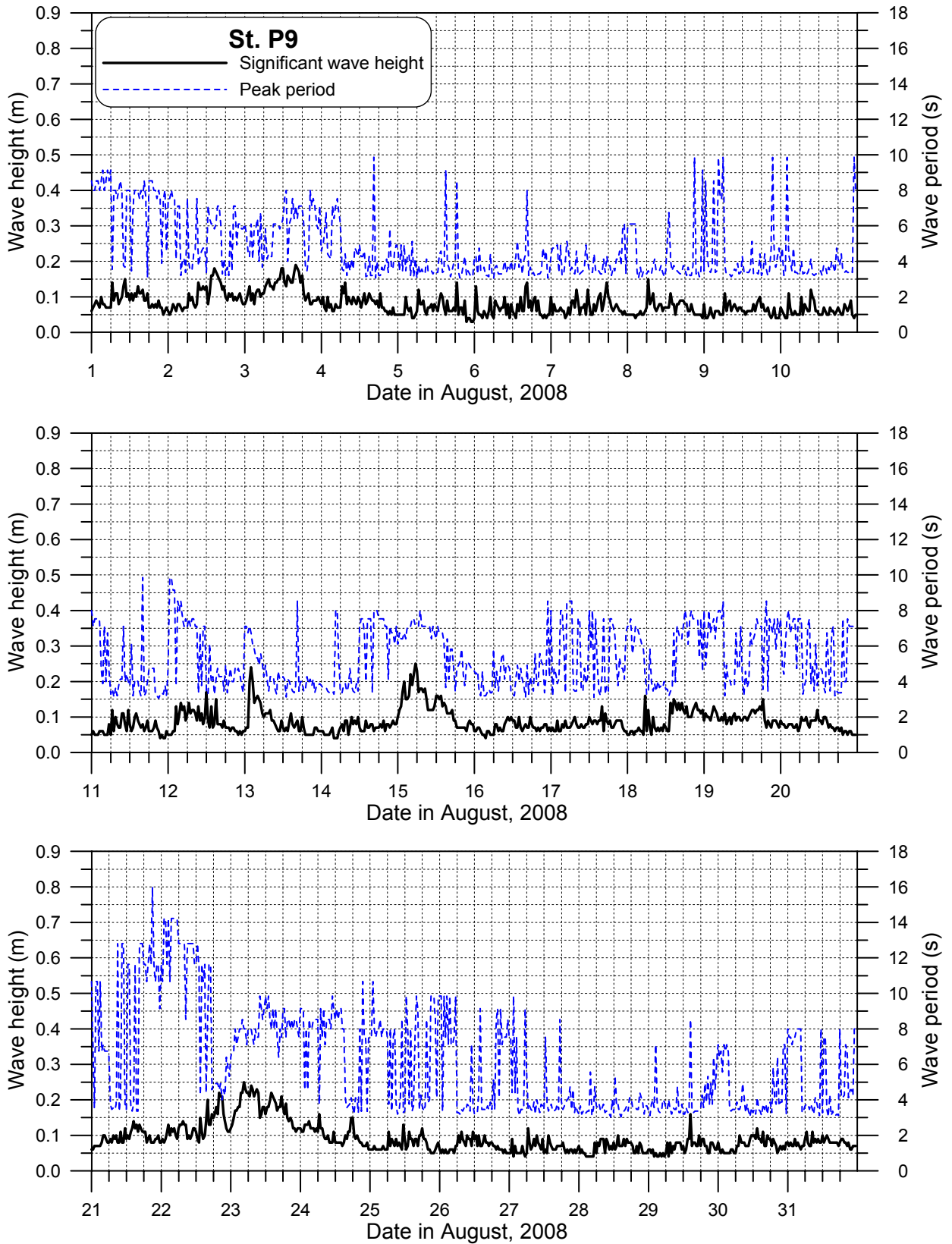


그림 2.2.20 정점 P9에서 2008년 8월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

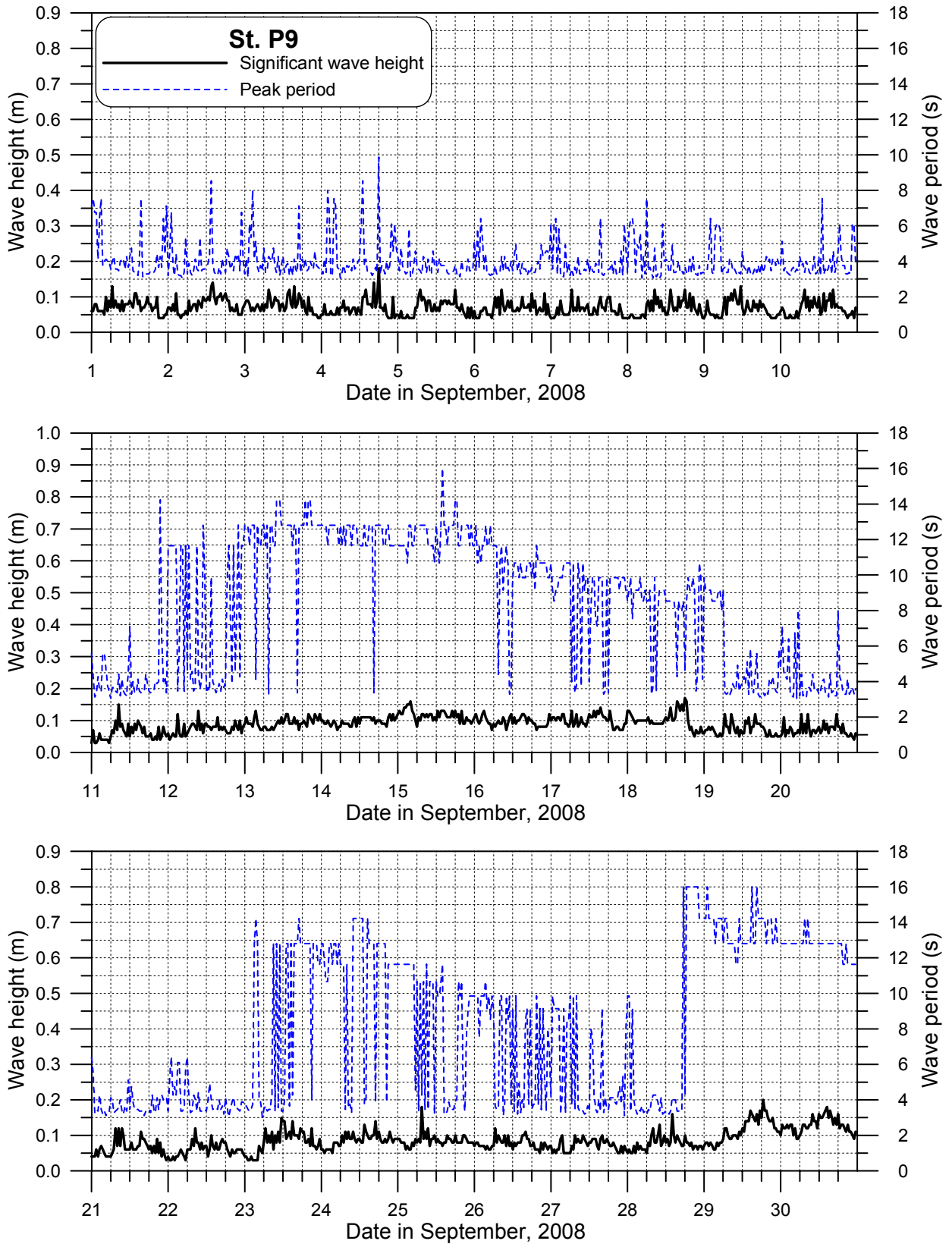


그림 2.2.21 정점 P9에서 2008년 9월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

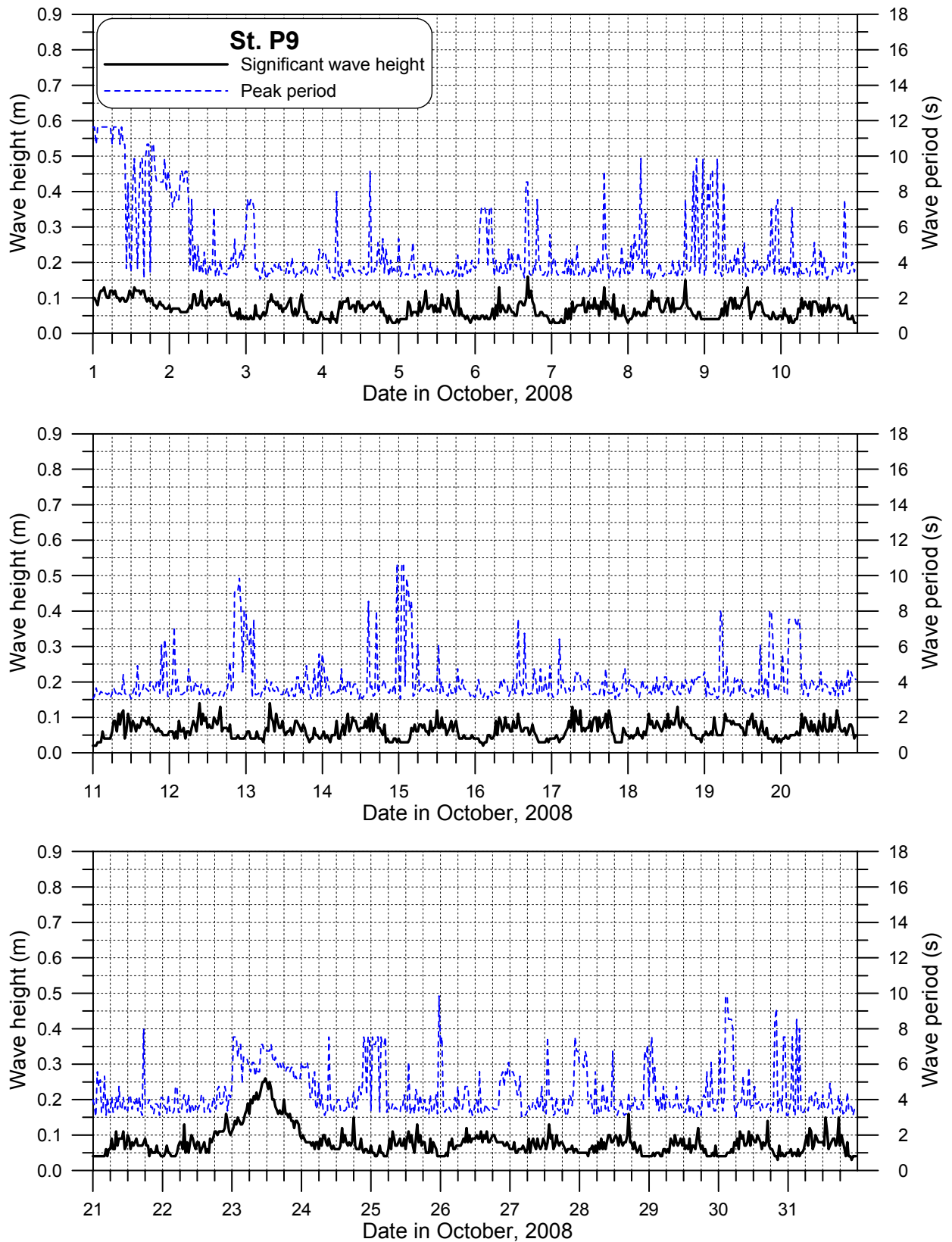


그림 2.2.22 정점 P9에서 2008년 10월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

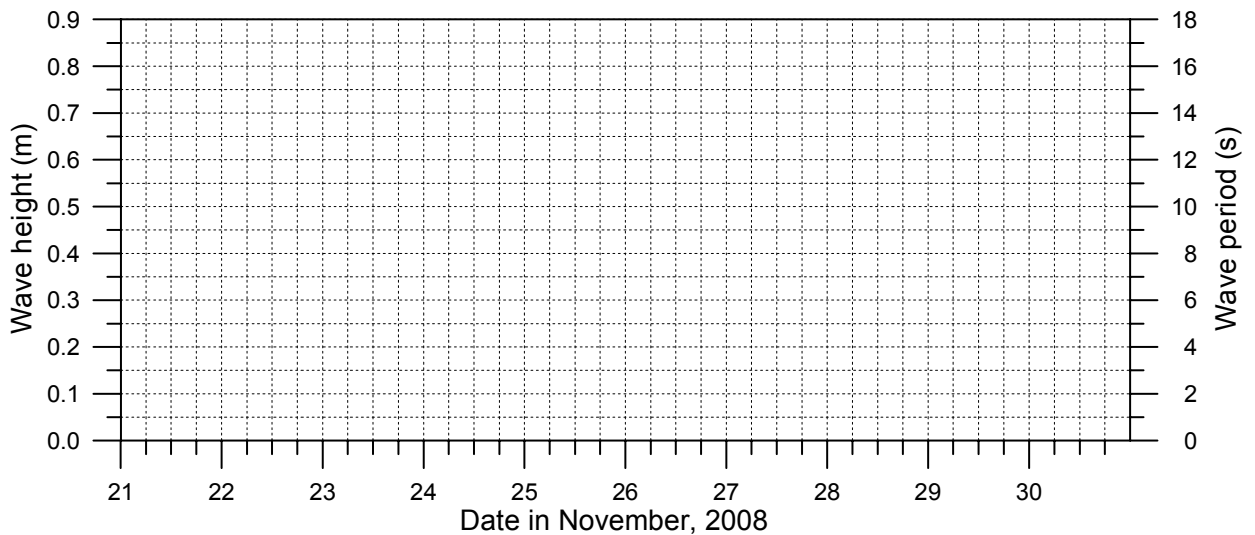
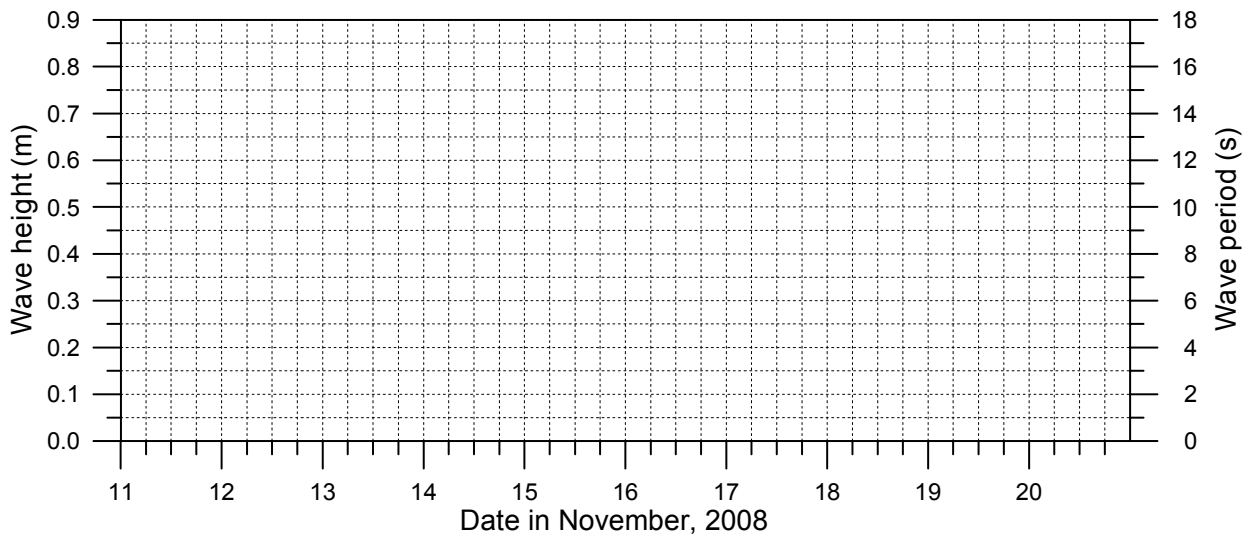
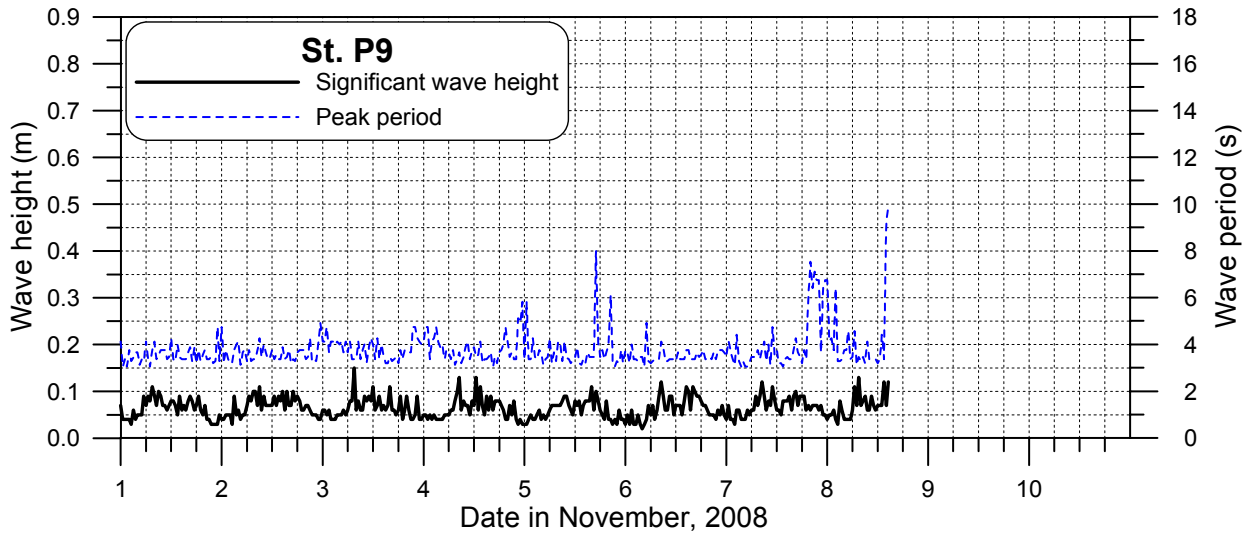


그림 2.2.23 정점 P9에서 2008년 11월에 관측된 유의파고와 첨두주기.

2.2.5 장주기파 분석

가. 장기간 자료 분석

장주기파 자료 분석은 스펙트럼 분석법을 이용하여 실시하였다. 즉, 수압식 파고계로부터 취득된 자료를 온도 보정하고 FFT를 이용하여 파고에 대한 스펙트럼을 구한 후 다음 관계식을 이용하여 분석을 수행하였다.

$$H_L = 4\sqrt{m_0} \quad (2.2.1)$$

$$T_L = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (2.2.2)$$

여기서, H_L 은 장주기파의 유의파고, T_L 은 장주기파의 평균주기를 나타내며, m_0 와 m_2 는 0차 및 2차 모멘트를 의미한다. 참고로 n 차 모멘트 m_n 에 대한 정의는 다음과 같다.

$$m_n = \int_{f_1}^{f_2} f^n \cdot S(f) df \quad (2.2.3)$$

여기서, f 는 주파수, $S(f)$ 는 주파수 f 에 대한 수면변동에 대한 스펙트럼 밀도함수, f_1 과 f_2 는 각각 하한 및 상한 절단주파수이다.

일반적으로 하한 및 상한 절단주파수를 어떻게 설정하느냐에 따라 파랑 특성이 영향을 받게 된다. 특히, 단주기파와 장주기파를 구분하는 주파수를 어떻게 설정하느냐는 중요한 의미를 지닌다. 본 과업의 2차년도에서는 실측 파랑 스펙트럼의 형태를 고려하여 절단주파수를 결정하는 기존 연구 결과(정 등, 2002)를 참조하여 상한 절단주파수, f_2 는 약 1/10 Hz로, 그리고 하한 절단주파수, f_1 은 약 1/500 Hz로 설정하고 자료를 분석하였다. 그러나 본 과업에서는 새로 개정된 일본의 항만설계기준에 제시된 $f_1 = 300$ Hz, $f_2 = 1/30$ Hz를 적용하는 것으로 하였다.

나. 장주기파의 파고와 주기의 시간적 변화

장주기파의 시간적 변화 특성을 검토하기 위하여 정점 P6과 P9에서 수집된 자료를 1.5시간 길이의 자료로 분할하고 전술한 식 (2.2.1)~(2.2.3)을 이용하여 장주기파의 파고, H_L 과 주기 T_L 을 구하였다.

그림 2.2.24~2.2.32와 그림 2.2.33~2.2.41에는 2006년, 2007년 및 2008년에 수압식 파고계

로 관측이 이루어진 기간동안 정점 P6과 P9에서 각각 구해진 장주기파의 파고의 시간적 변화를 도시하였다.

정점 P6에서의 최대 장주기파 파고는 2006년에는 2006년 7월 10일 13시 30분의 0.155 m (장주기파 주기는 66.3초)로 나타났으며 이를 제외하면 0.10 m를 초과하는 장주기파 파고는 나타나지 않았다. 또한 2007년과 2008년에는 0.10 m를 초과하는 장주기파 파고가 전혀 나타나지 않았다.

정점 P9에서의 최대 장주기파 파고는 2006년에는 2006년 7월 10일 13시 30분의 0.180 m (장주기파 주기는 71.1초)로 나타났으며 이를 제외하면 0.10 m를 초과하는 장주기파 파고는 나타나지 않았다. 또한 2007년과 2008년에는 0.10 m를 초과하는 장주기파 파고가 전혀 나타나지 않았다.

정점 P6과 P9에서 최대 장주기파 파고를 기록한 2006년 7월 10일의 관측 자료는 태풍 애위니아의 영향을 받은 것으로 판단되었다.

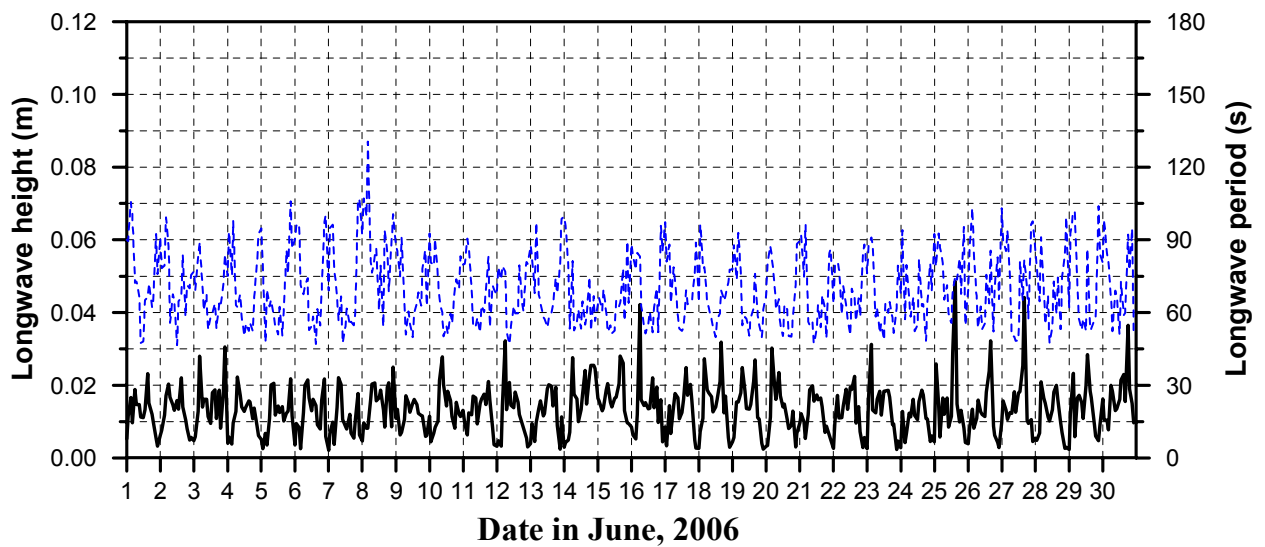
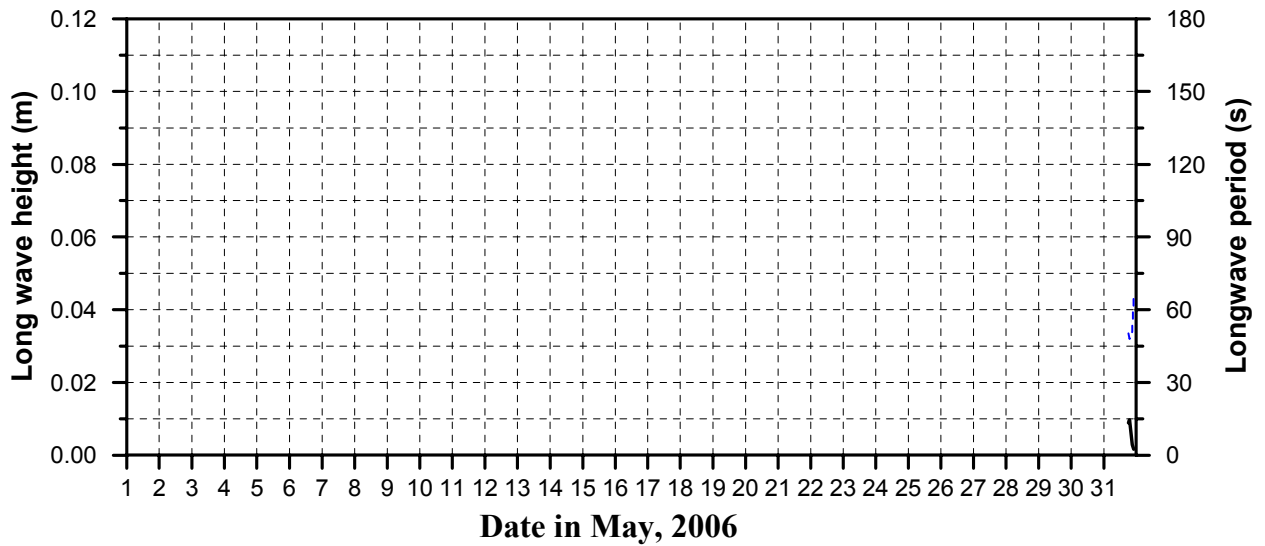
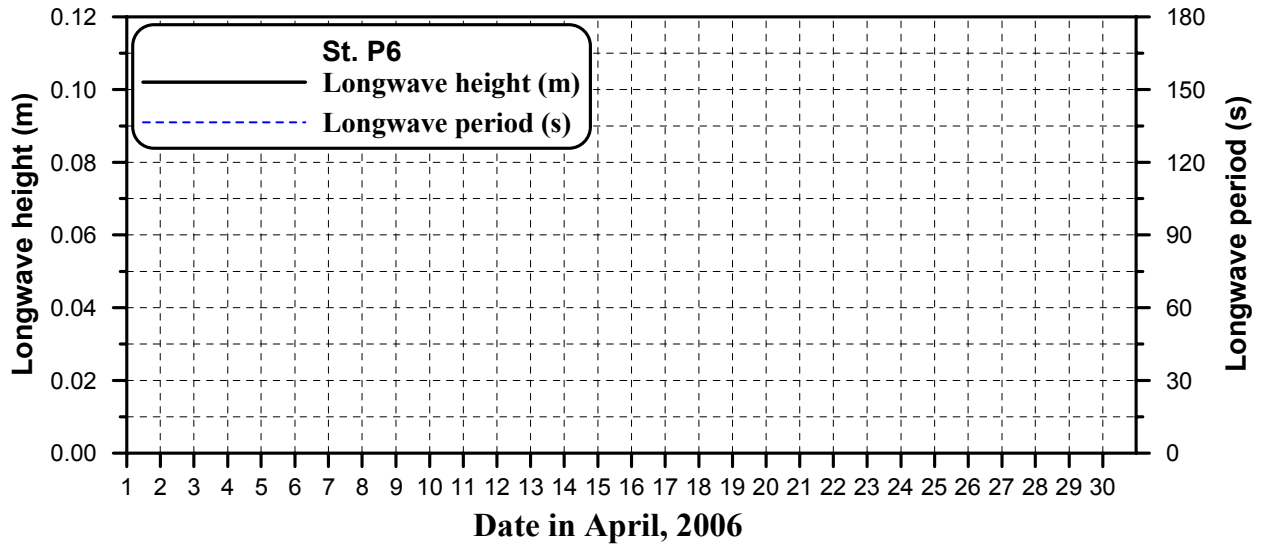


그림 2.2.24 2006년 5~6월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

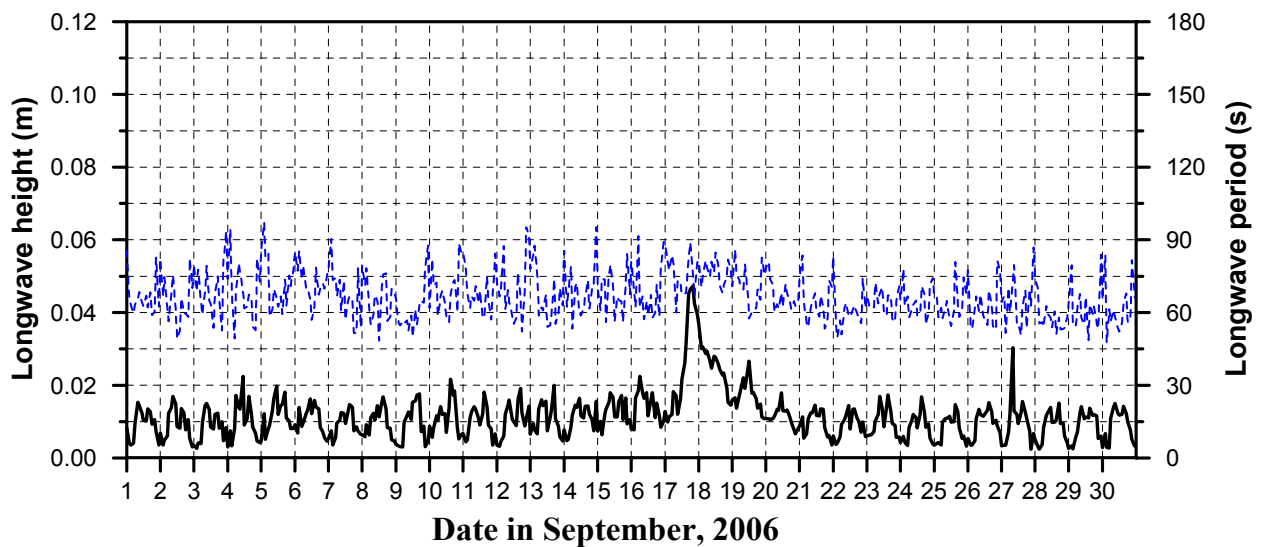
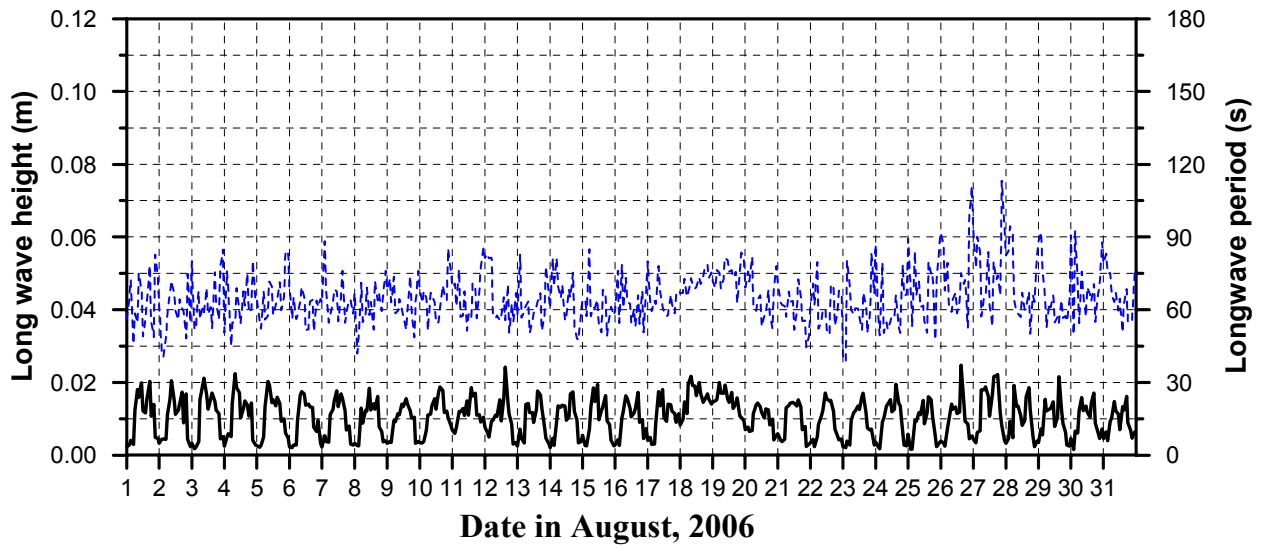
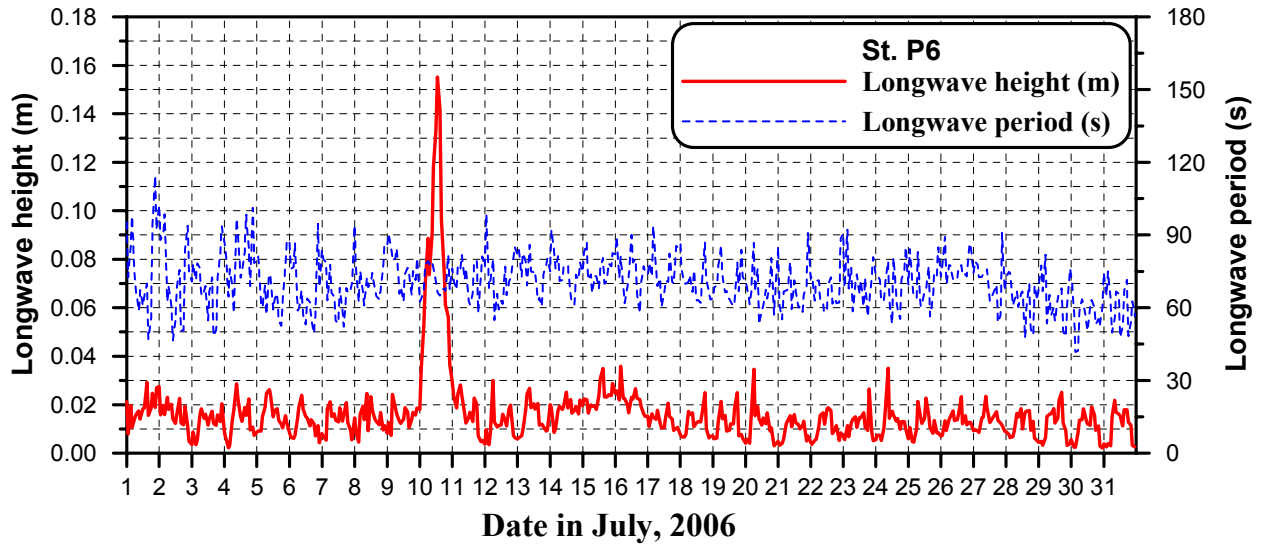


그림 2.2.25 2006년 7~9월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

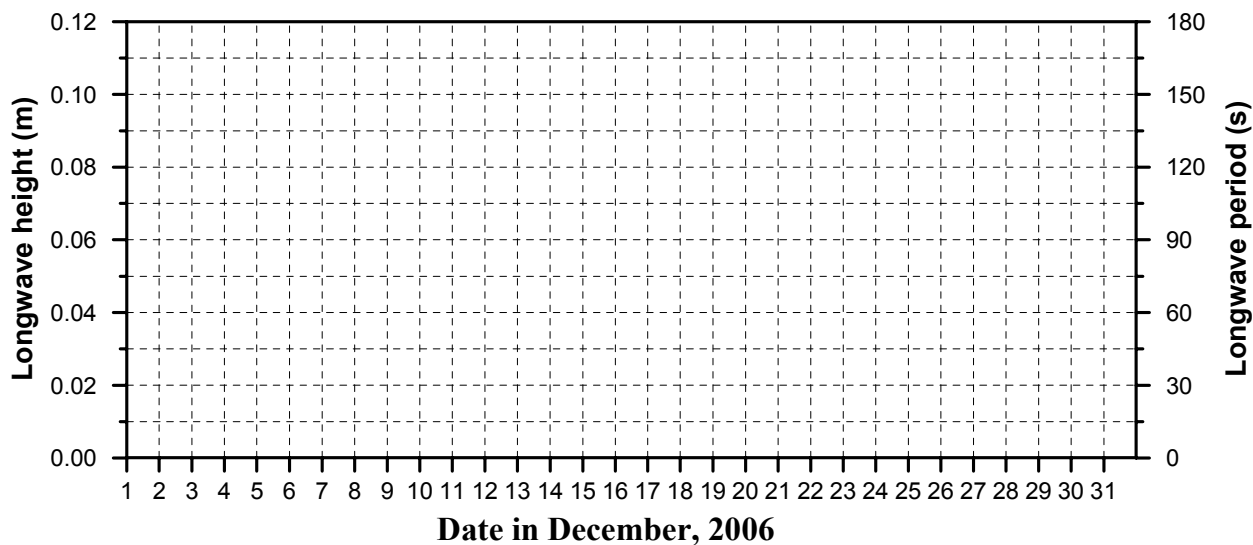
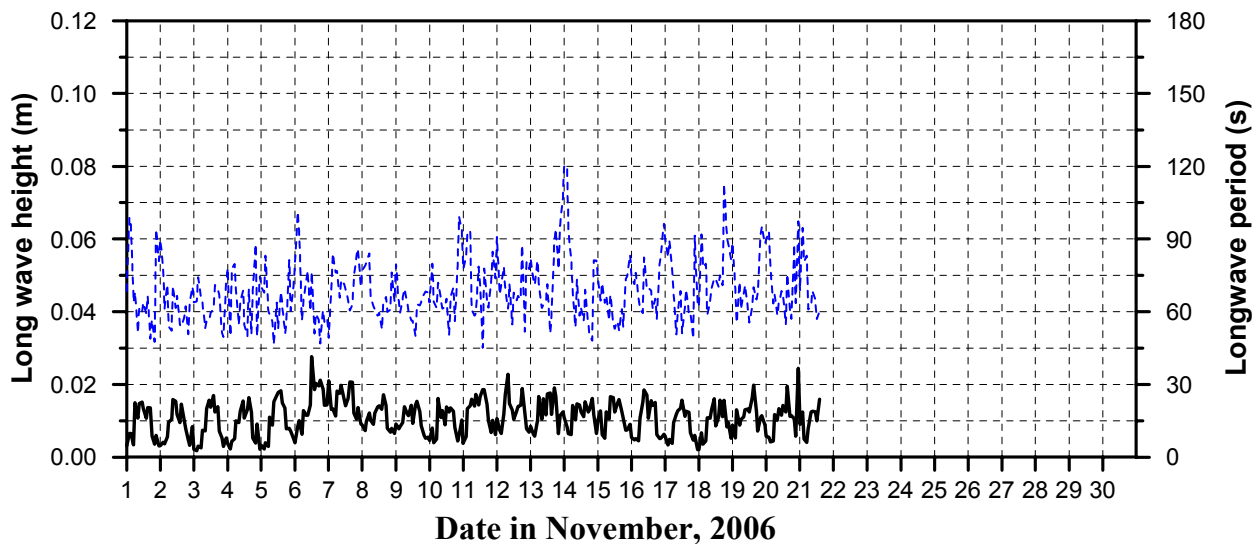
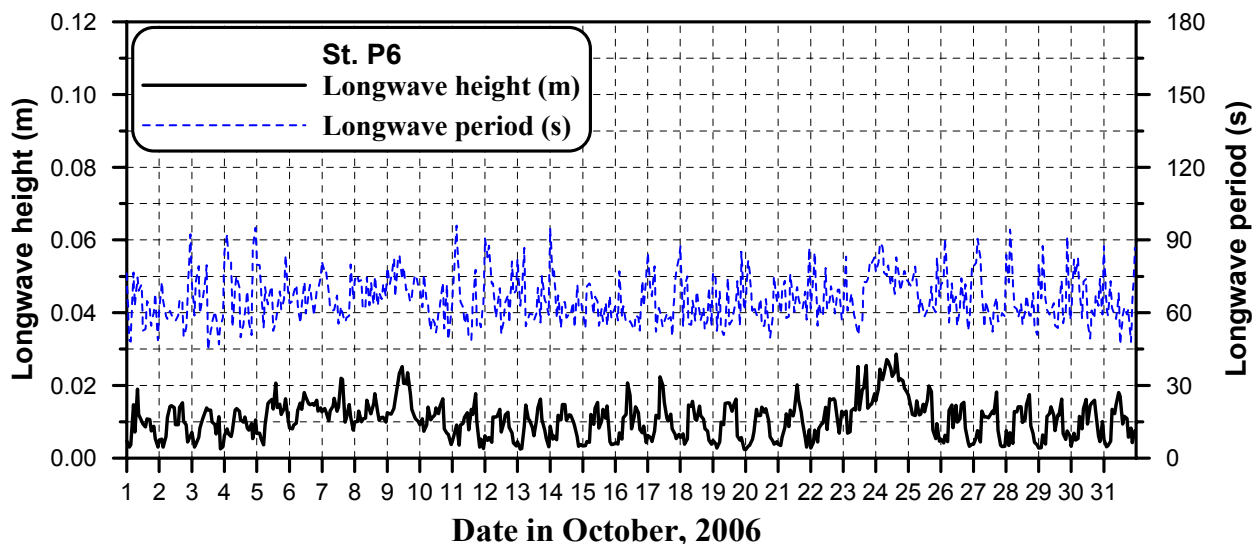


그림 2.2.26 2006년 10~11월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

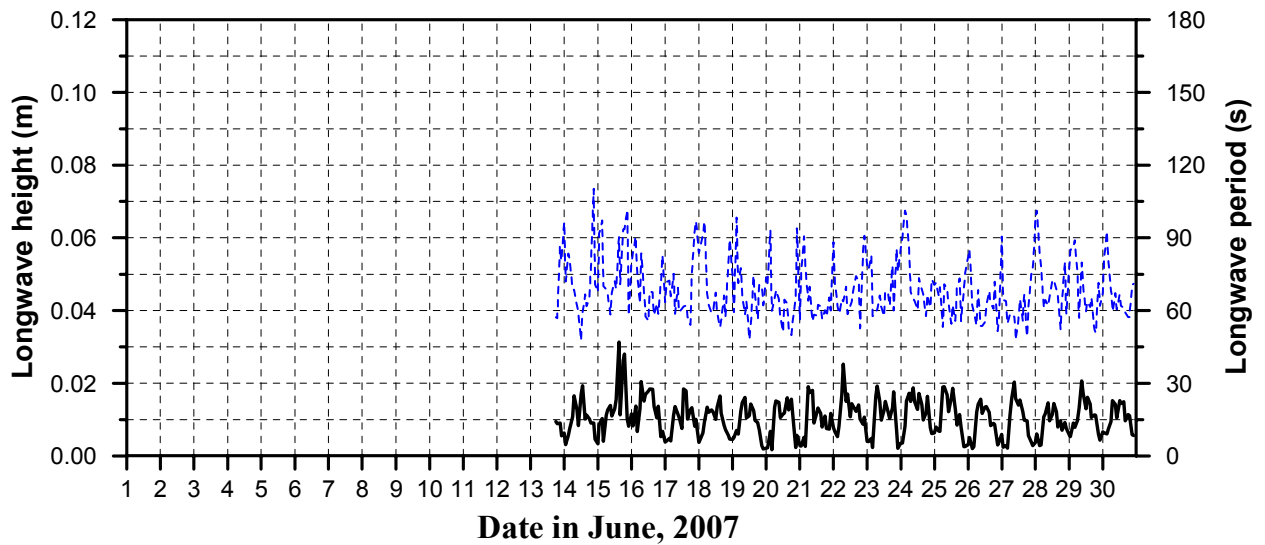
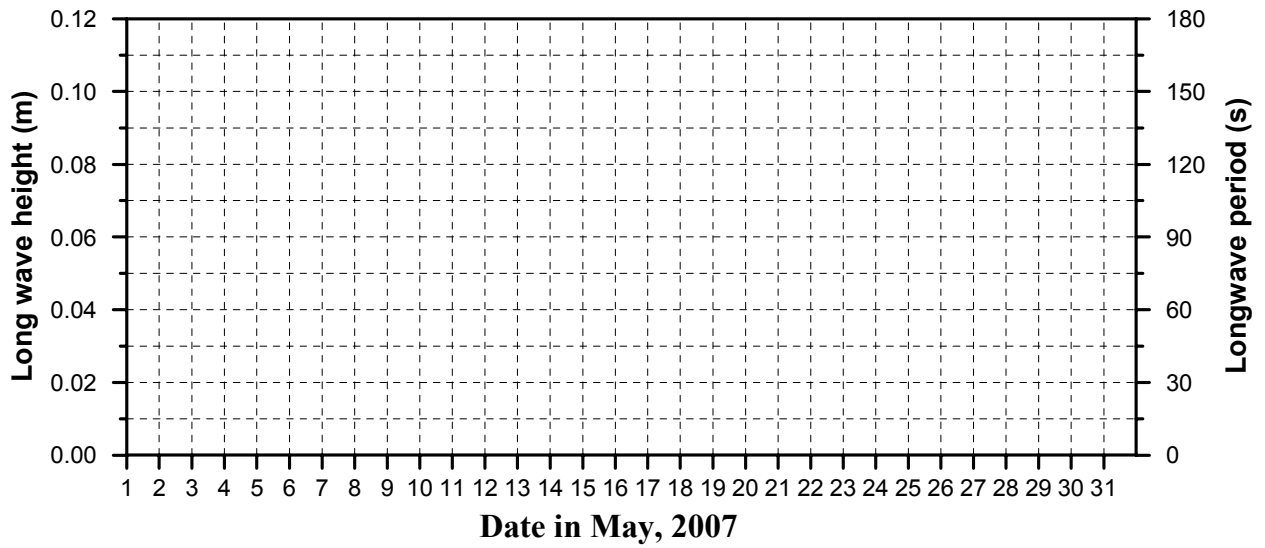
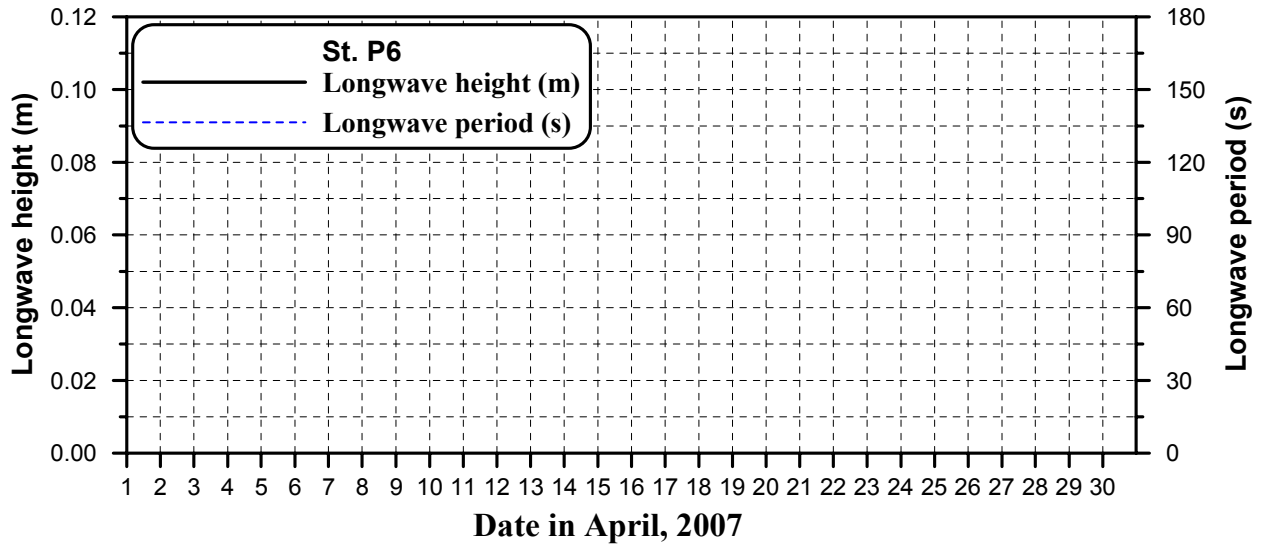


그림 2.2.27 2007년 6월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

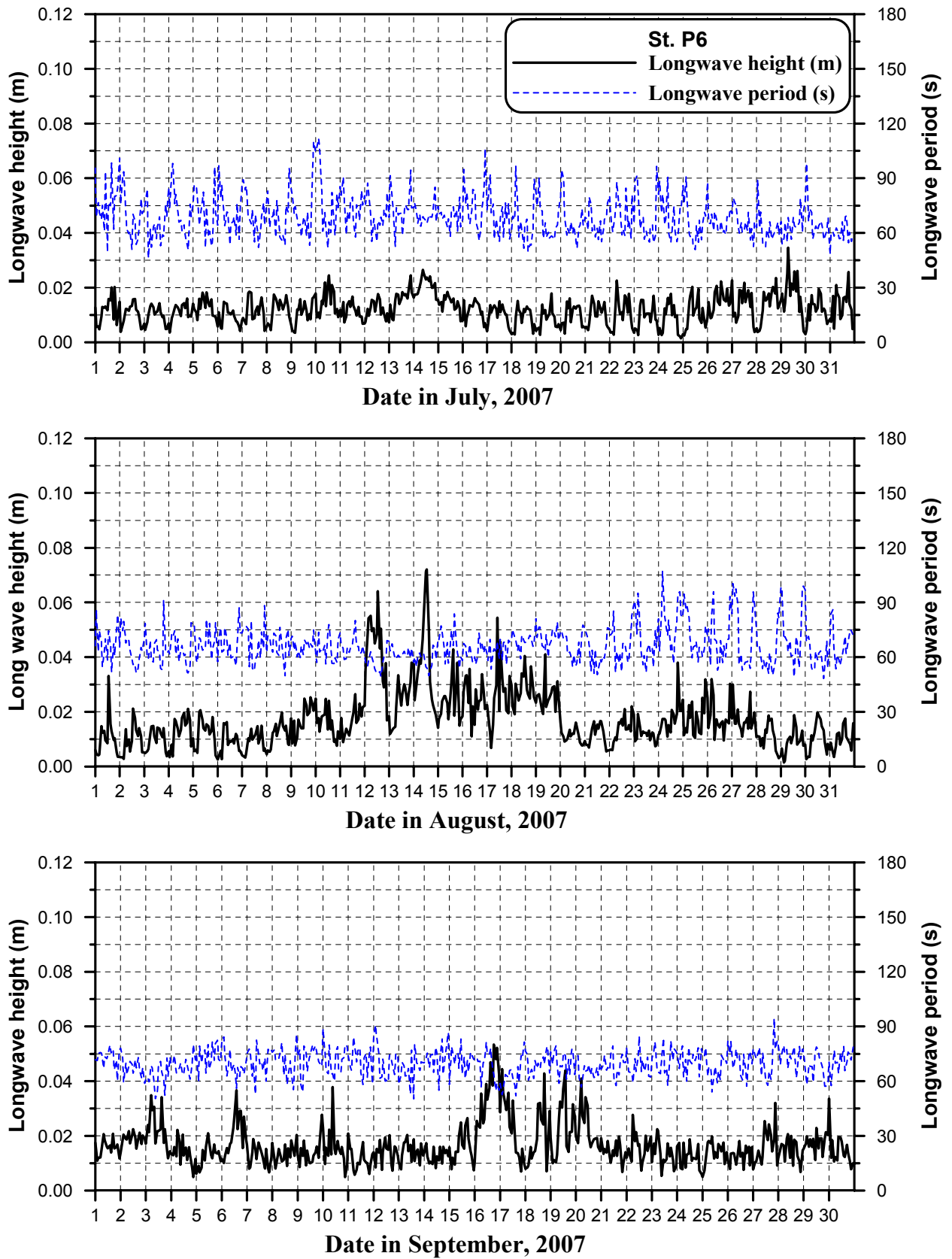


그림 2.2.28 2007년 7~9월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

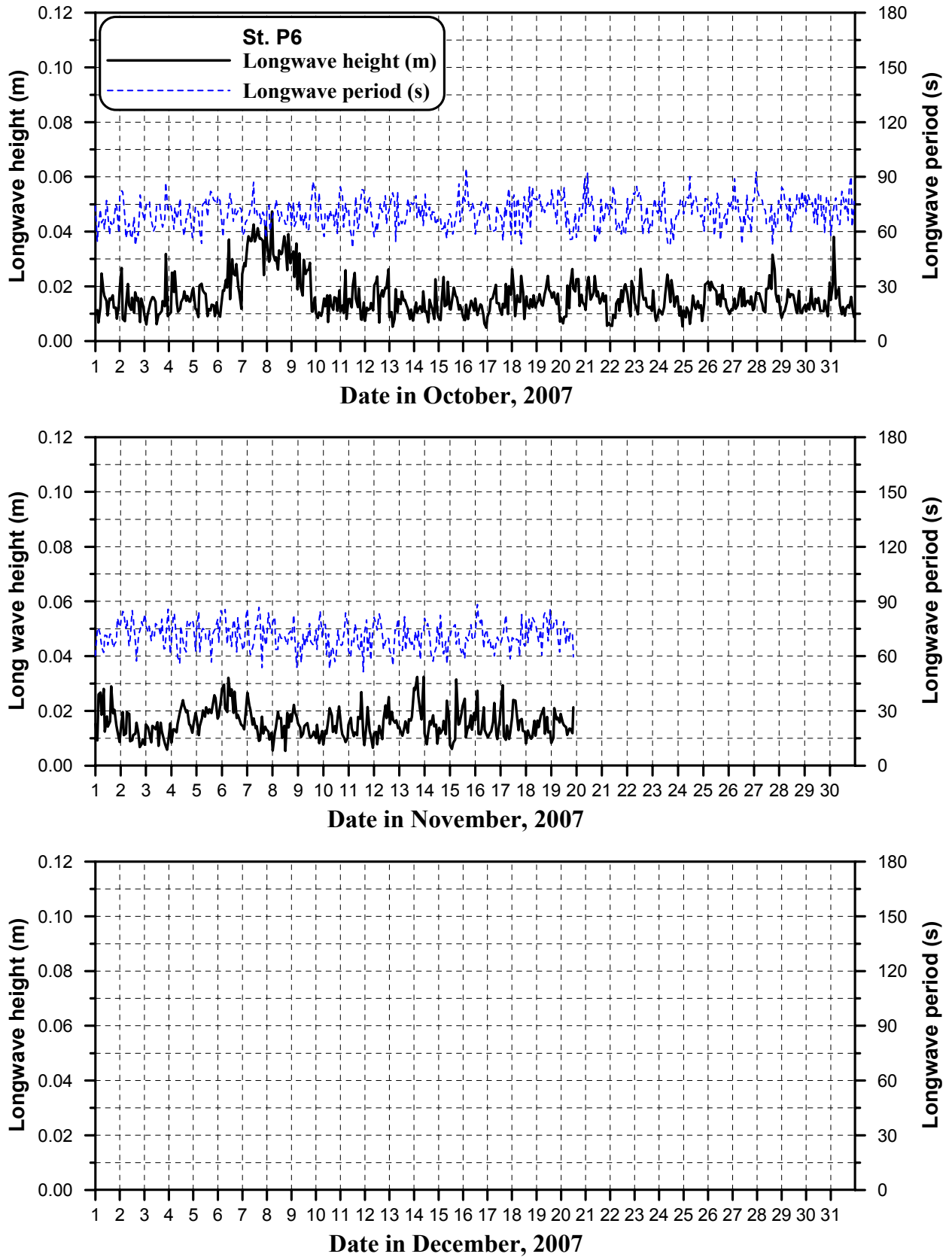


그림 2.2.29 2007년 10~11월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

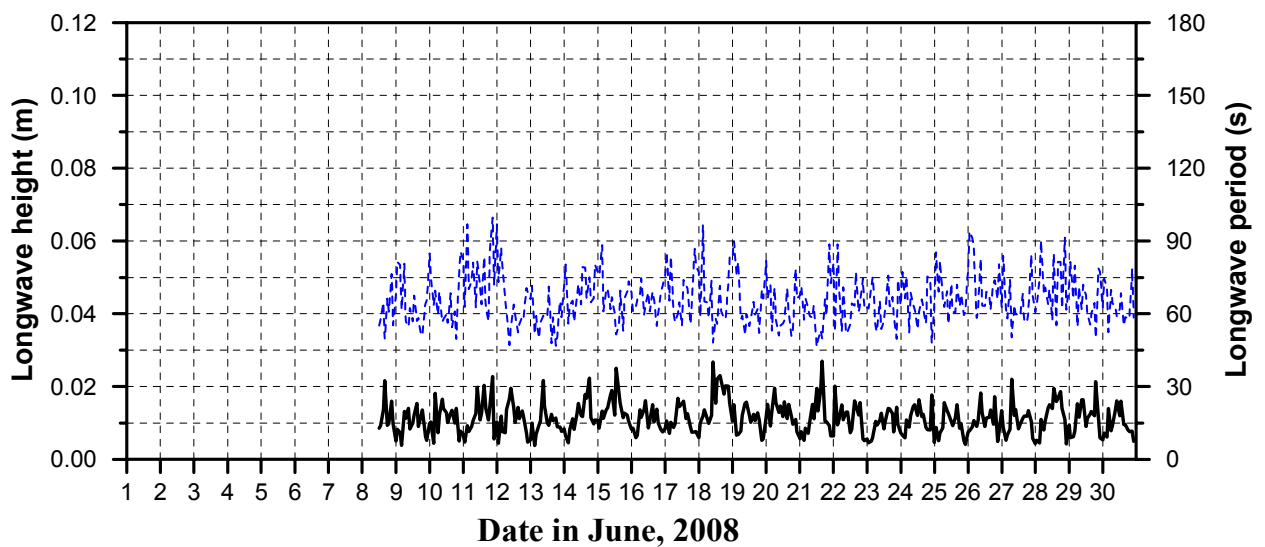
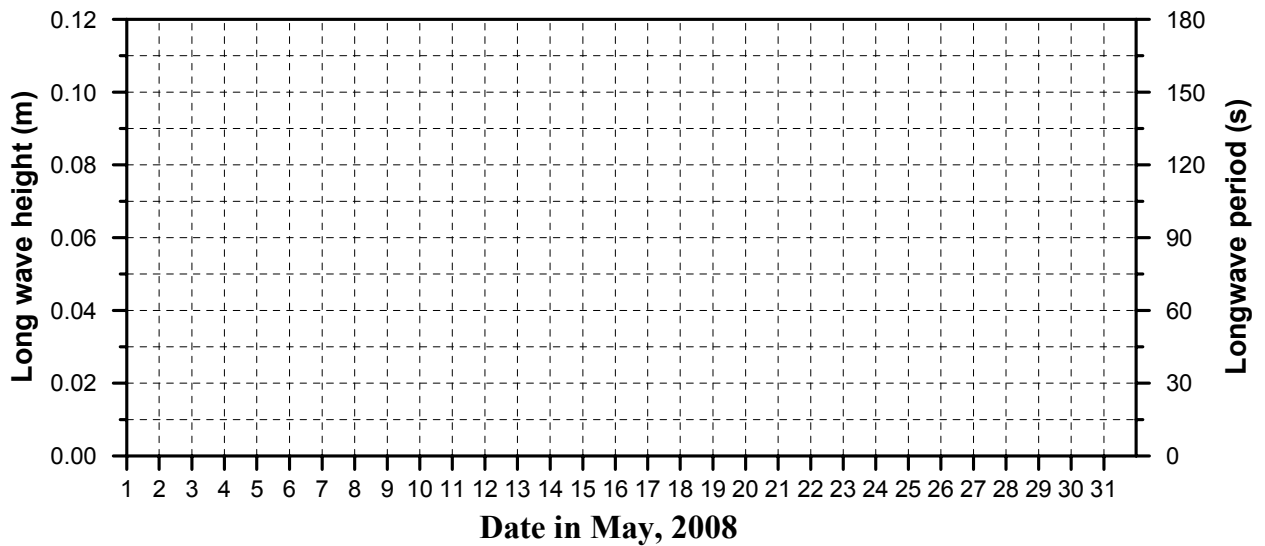
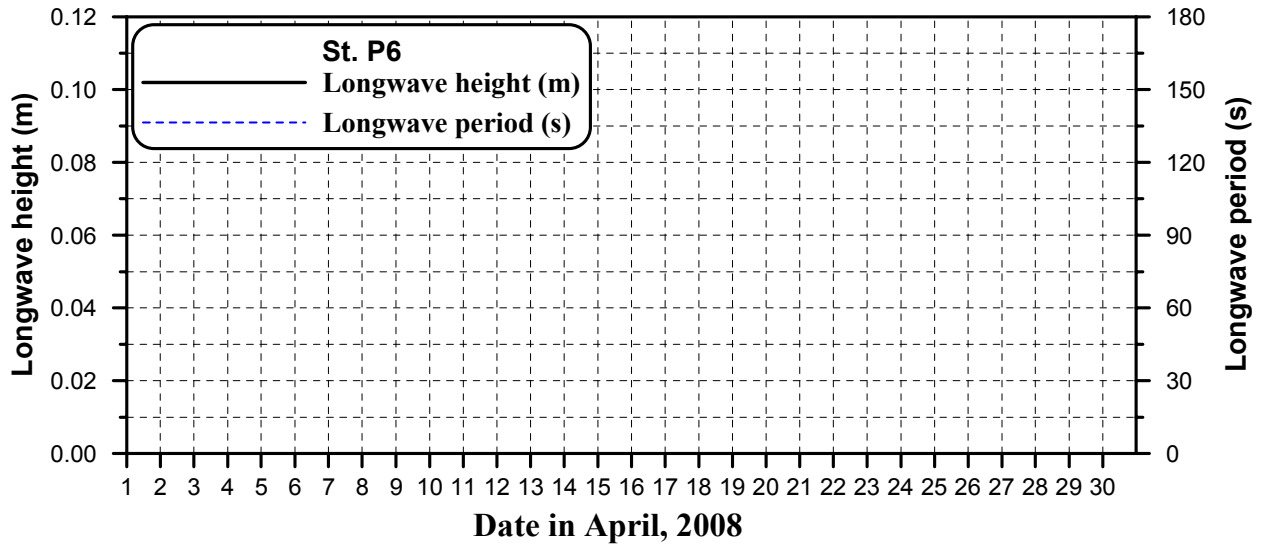


그림 2.2.30 2008년 6월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

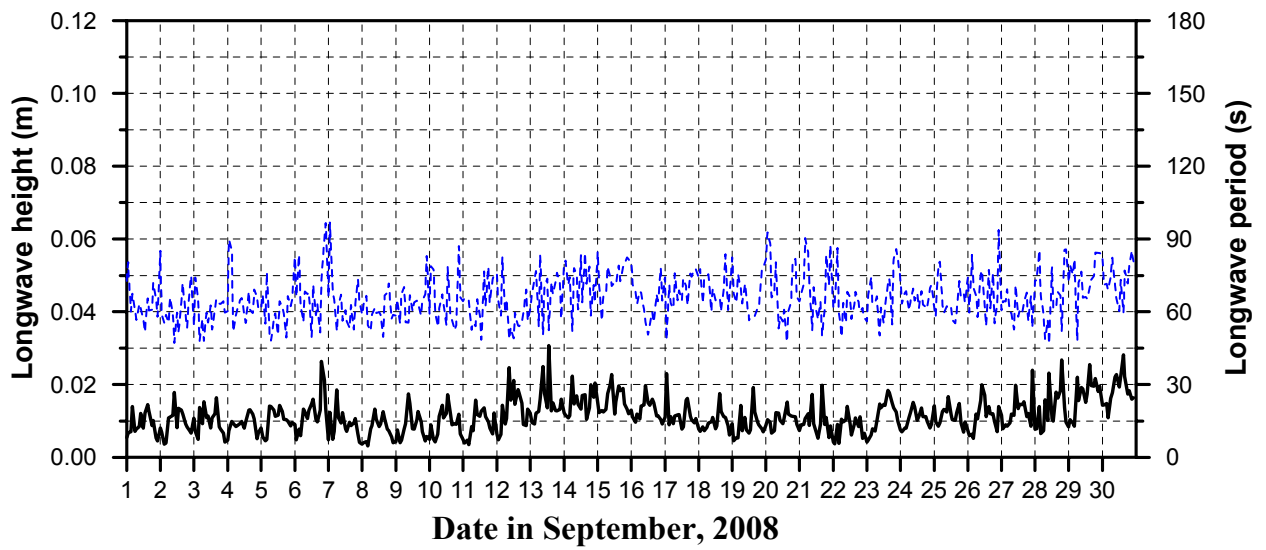
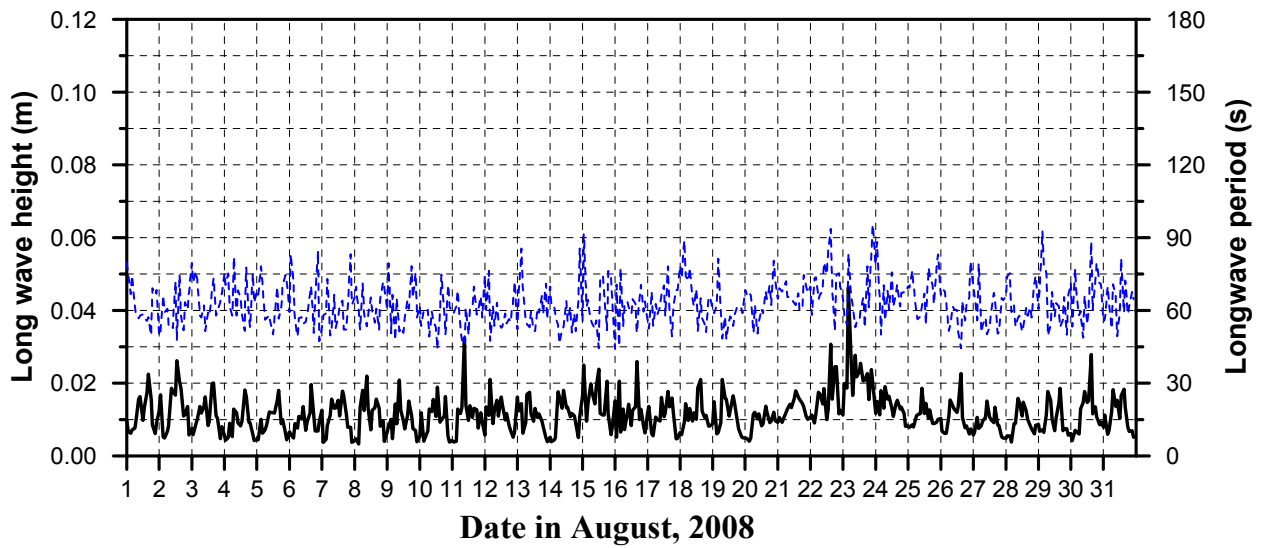
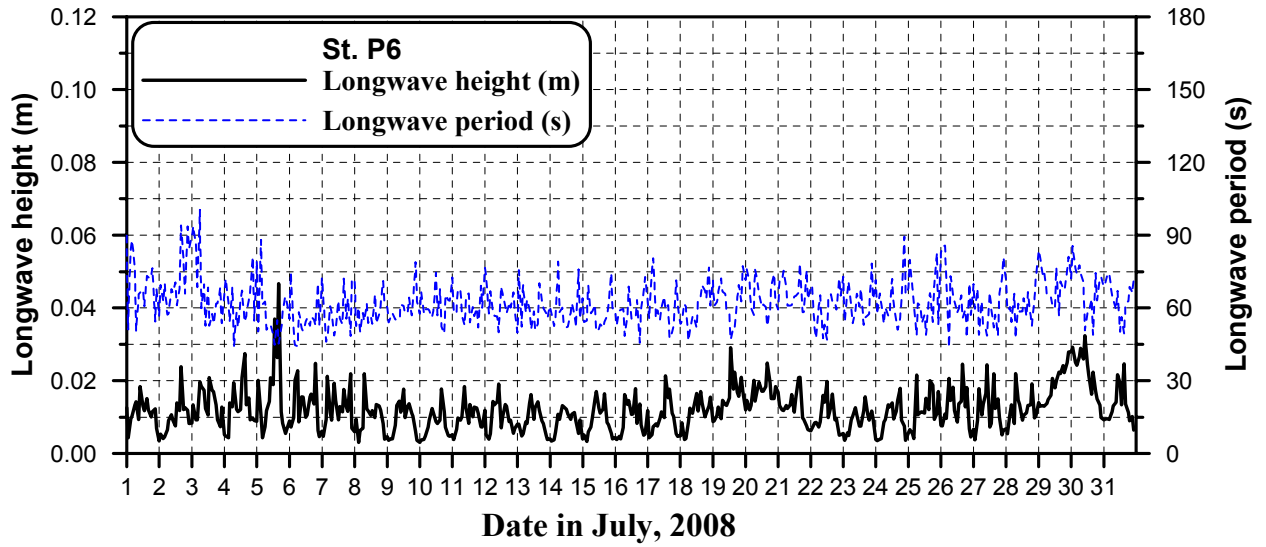


그림 2.2.31 2008년 7~9월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

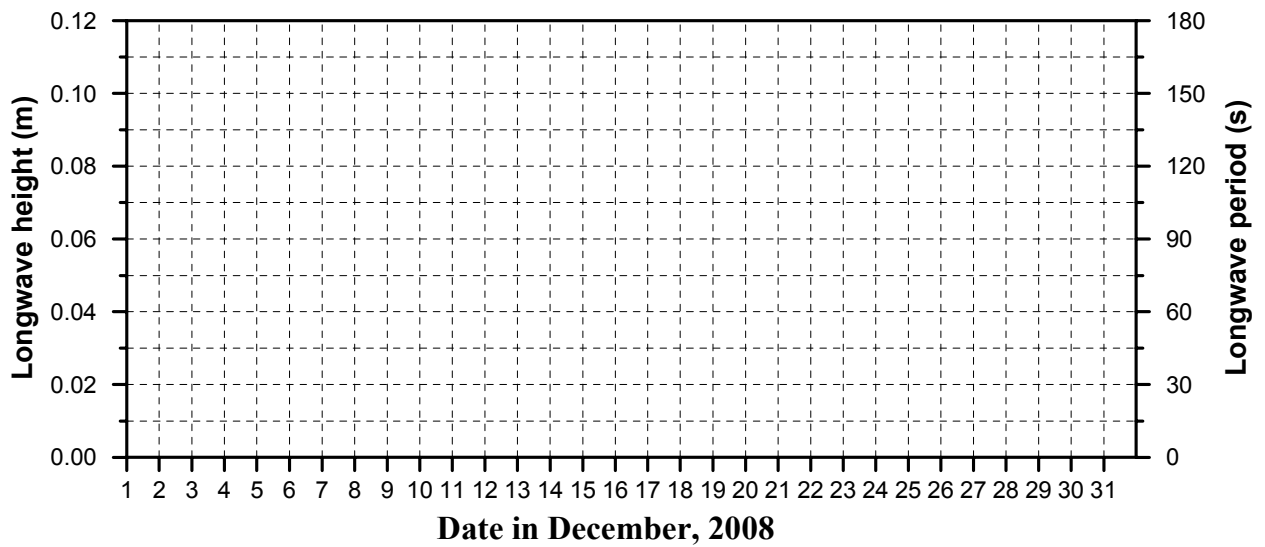
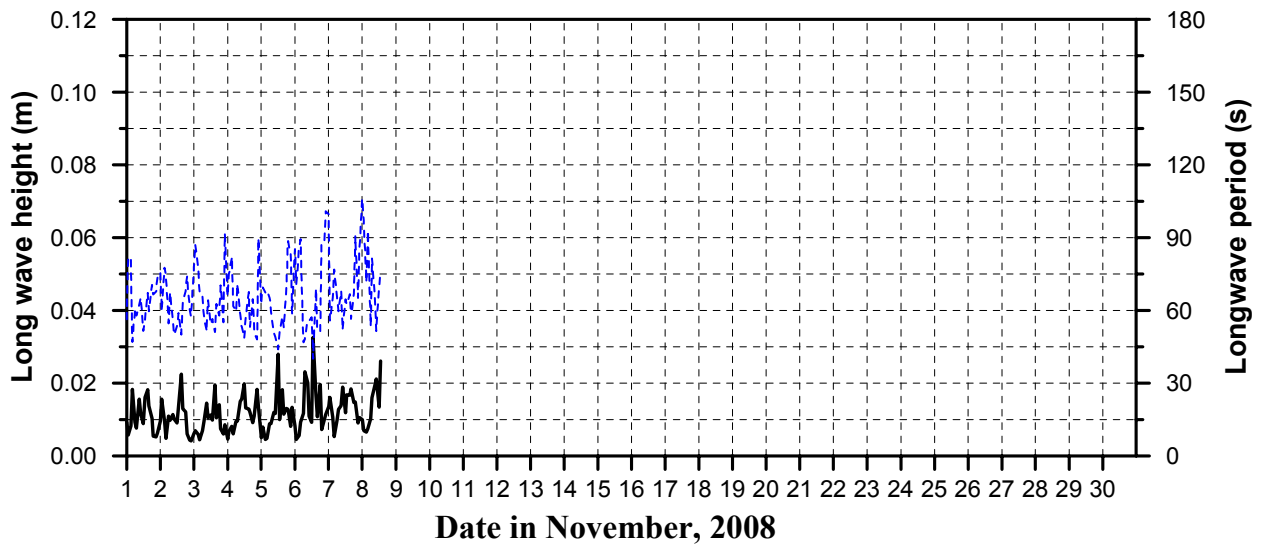
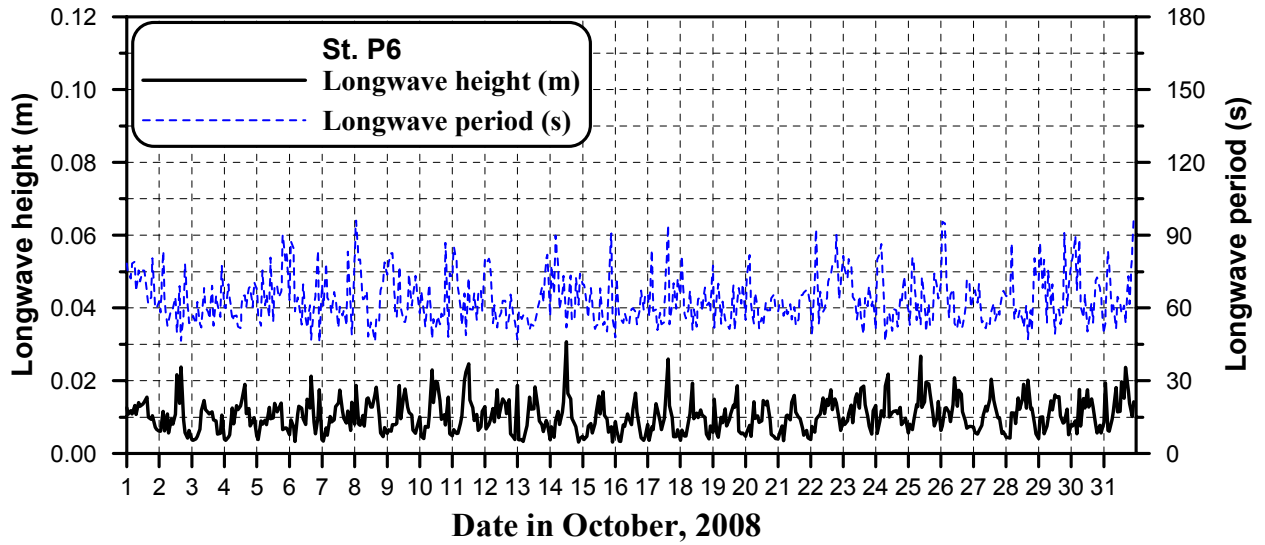


그림 2.2.32 2008년 10~11월에 정점 P6에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

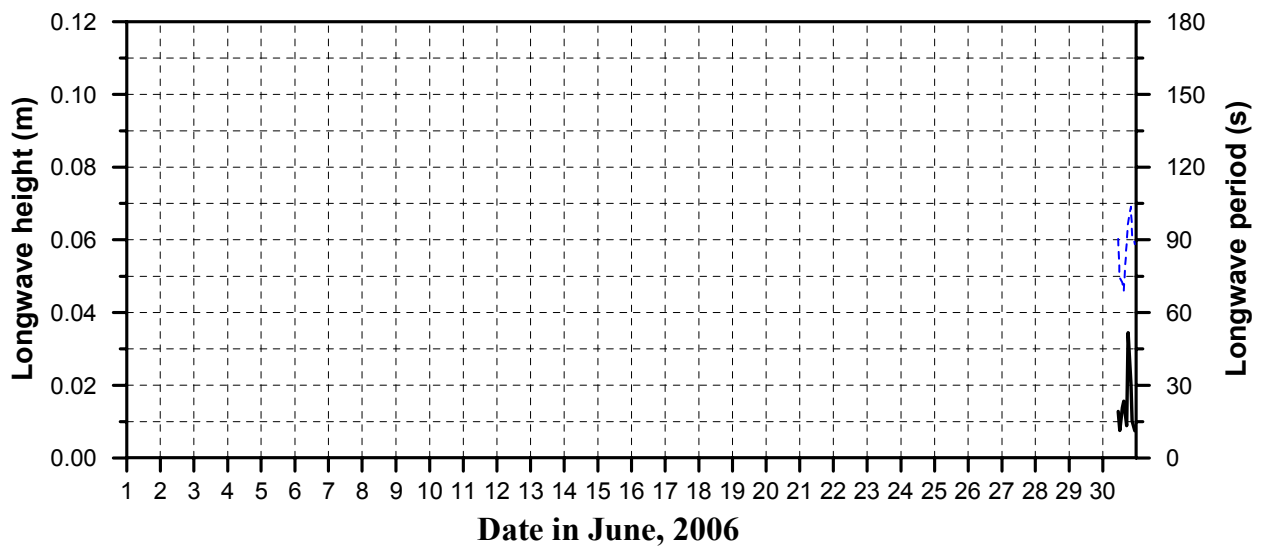
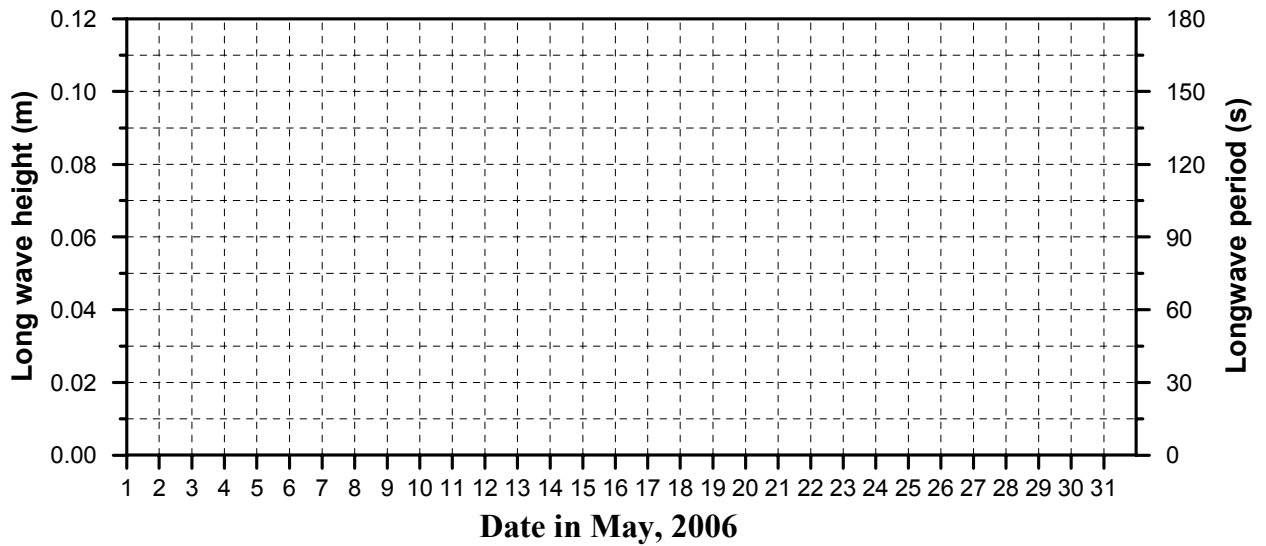
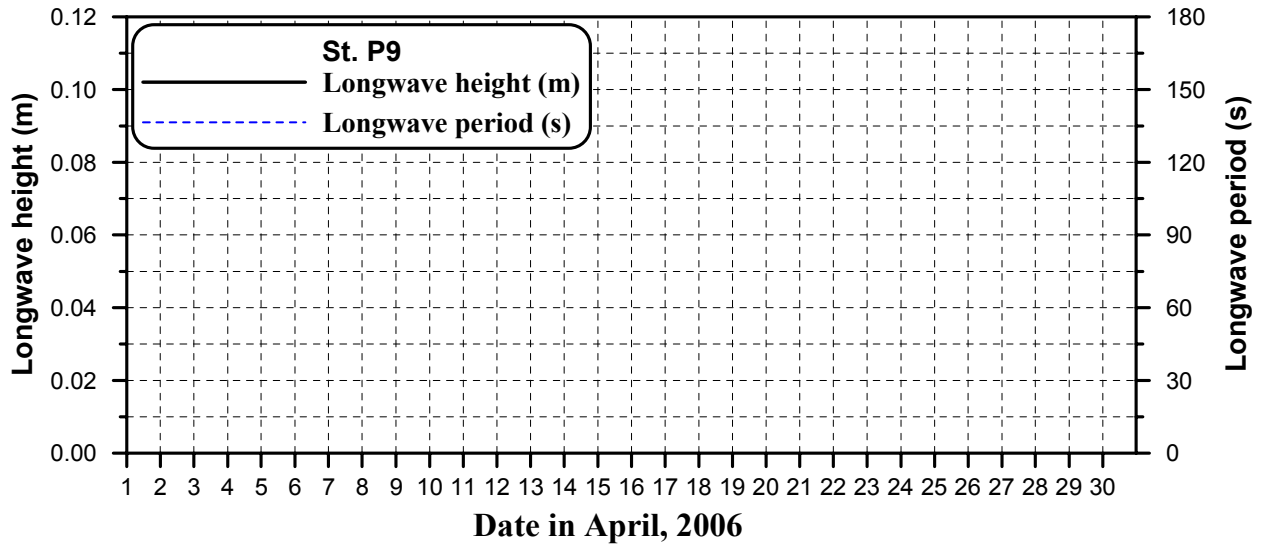


그림 2.2.33 2006년 6월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

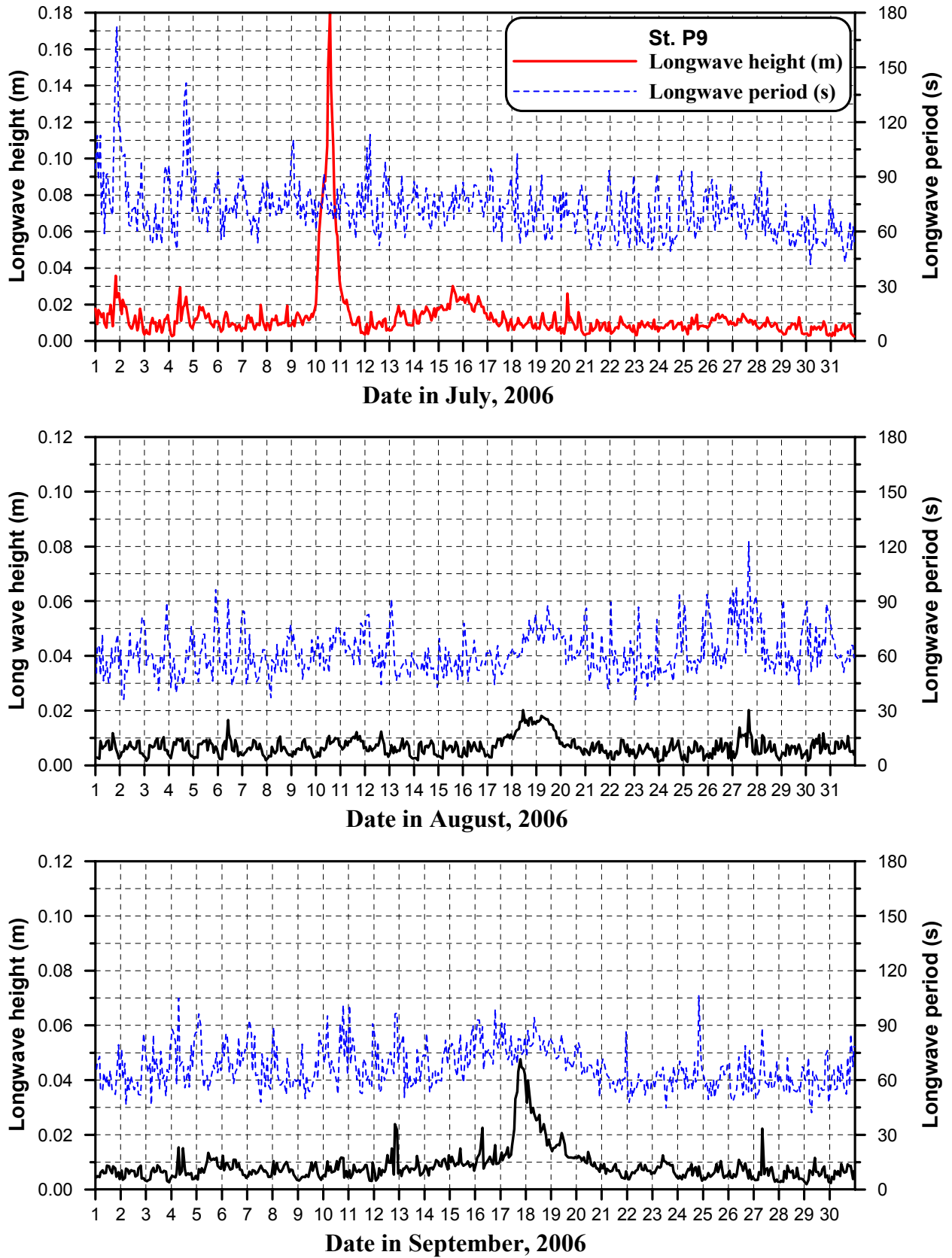


그림 2.2.34 2006년 7~9월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

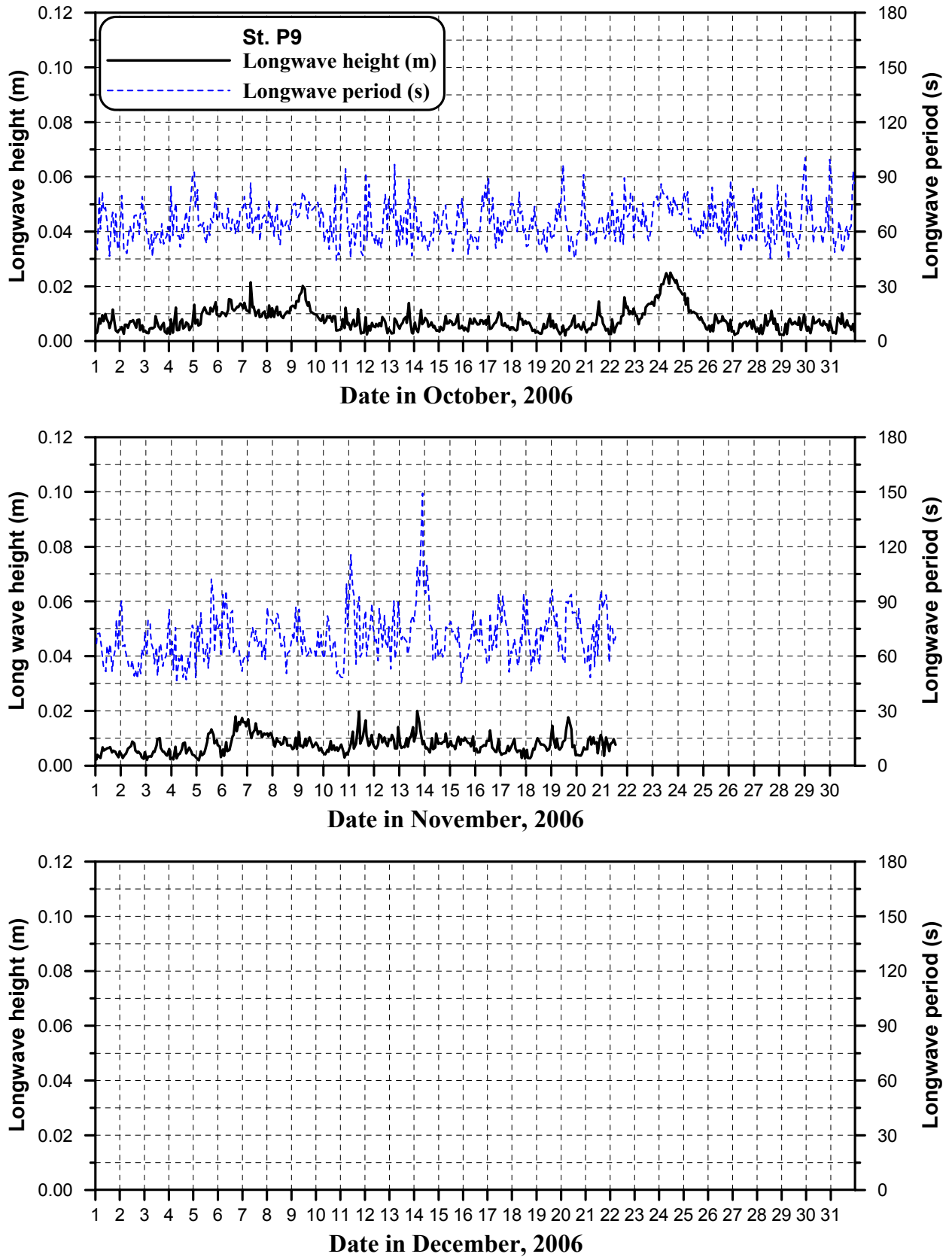


그림 2.2.35 2006년 10~11월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

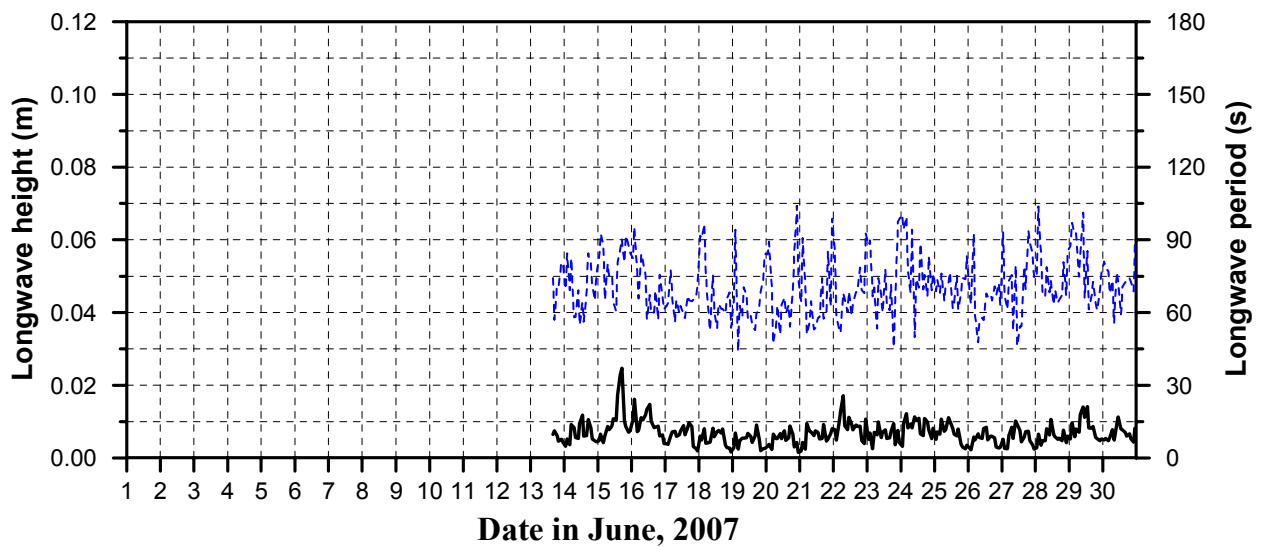
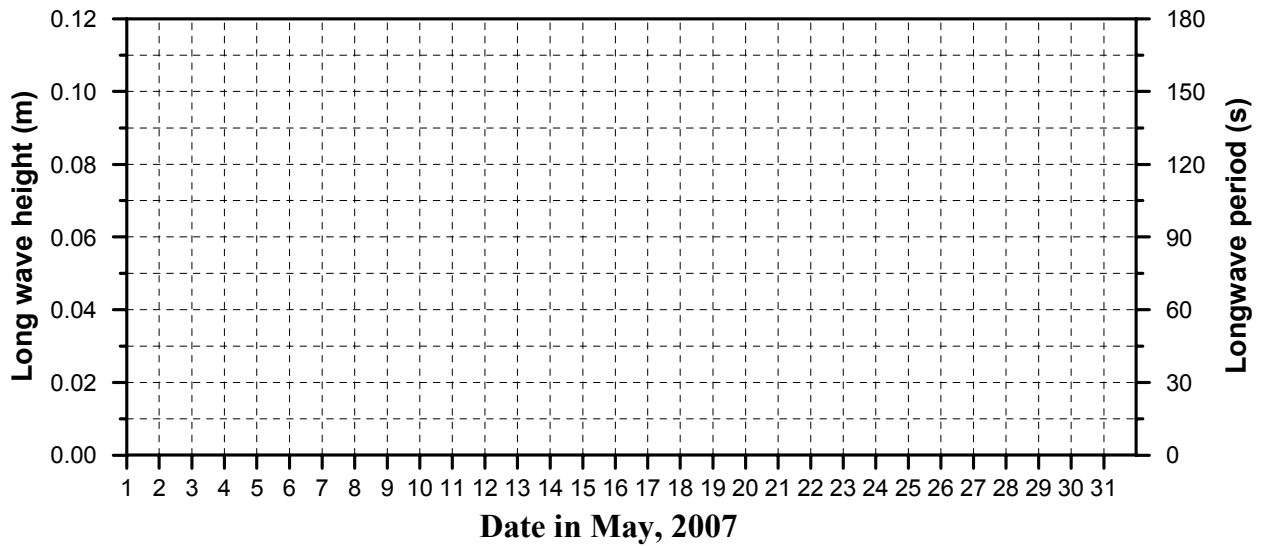
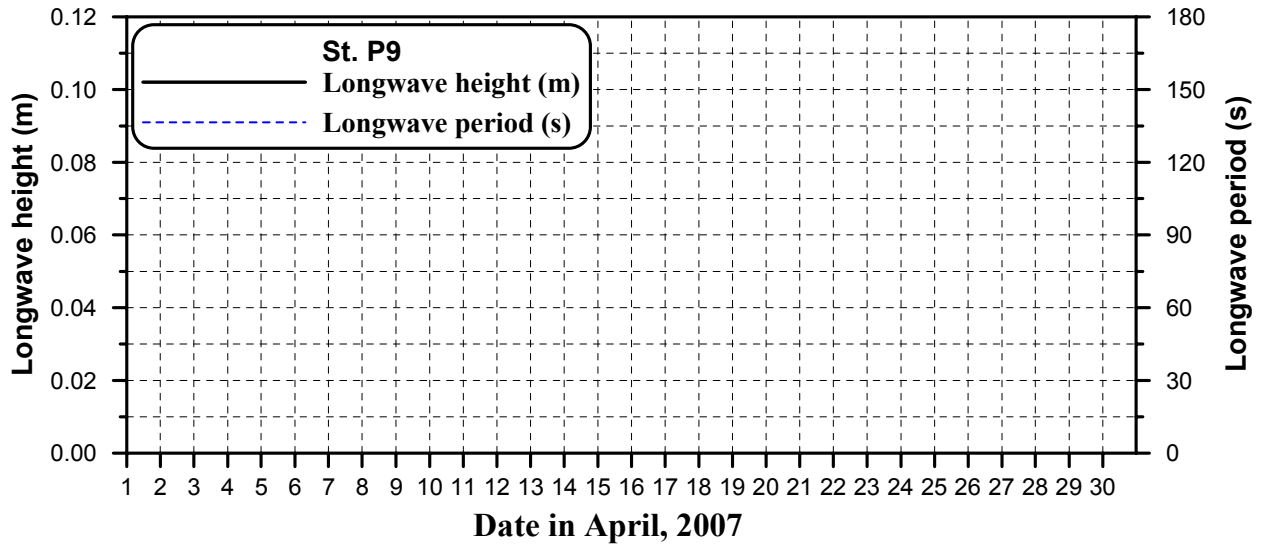


그림 2.2.36 2007년 6월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

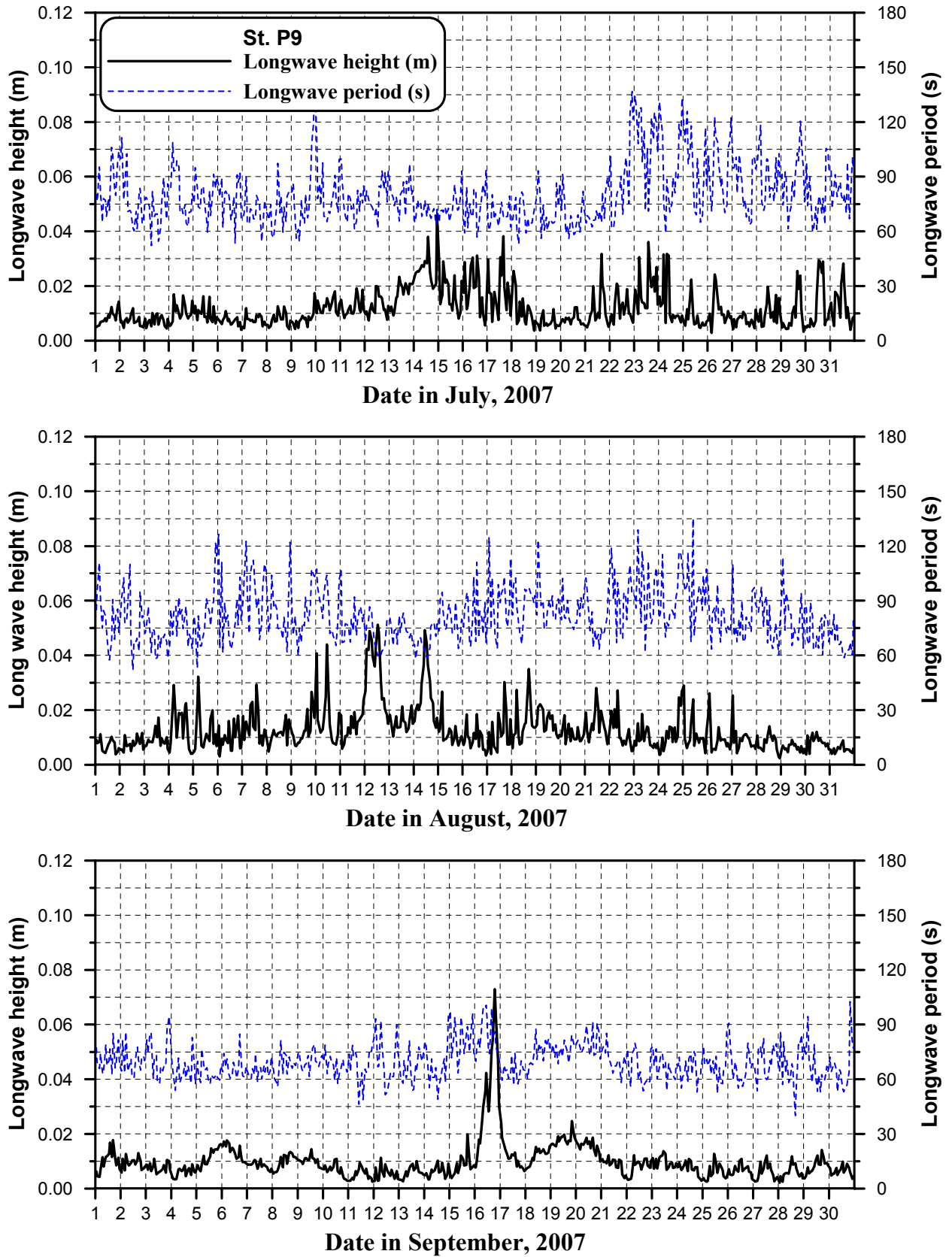


그림 2.2.37 2007년 7~9월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

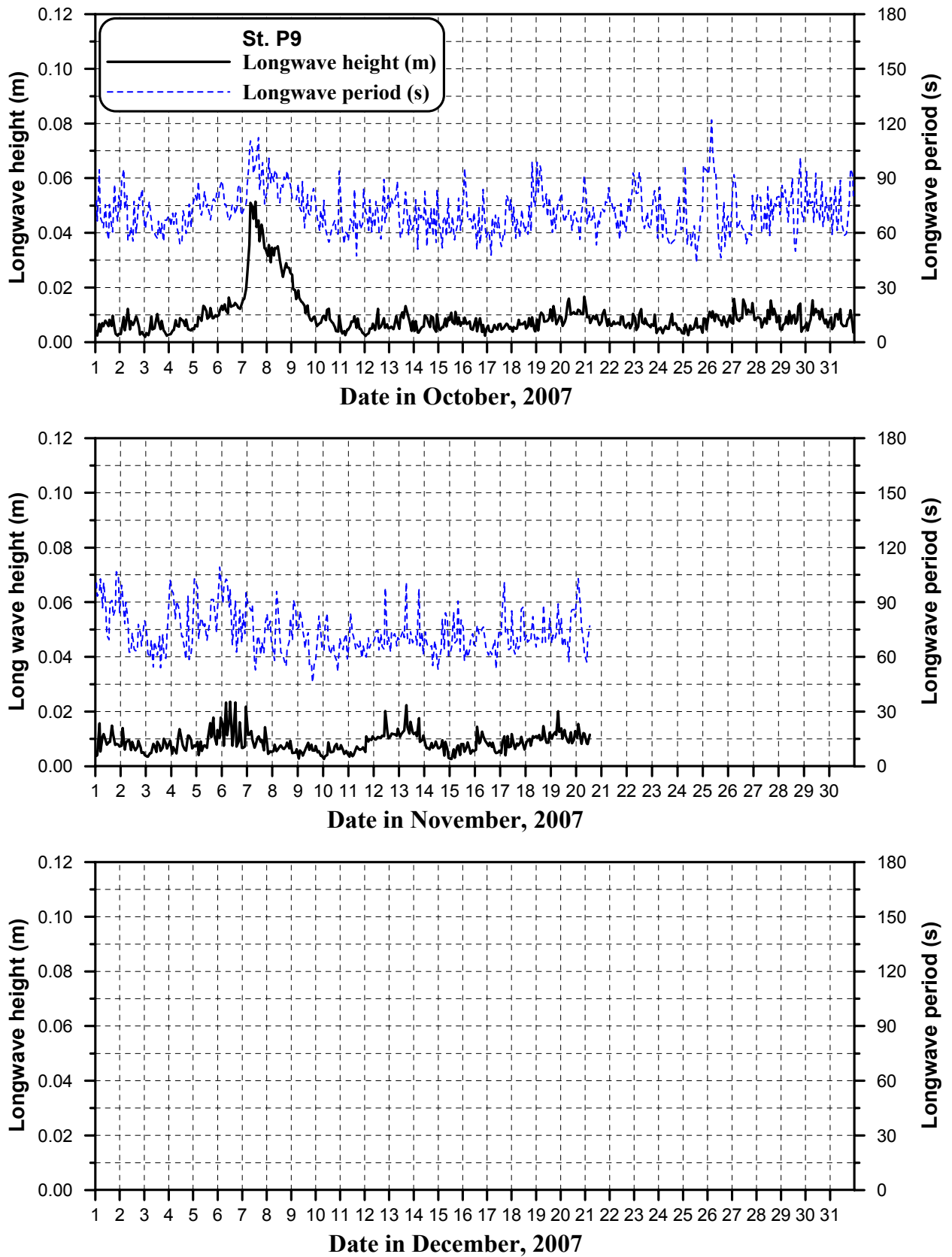


그림 2.2.38 2007년 10~11월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

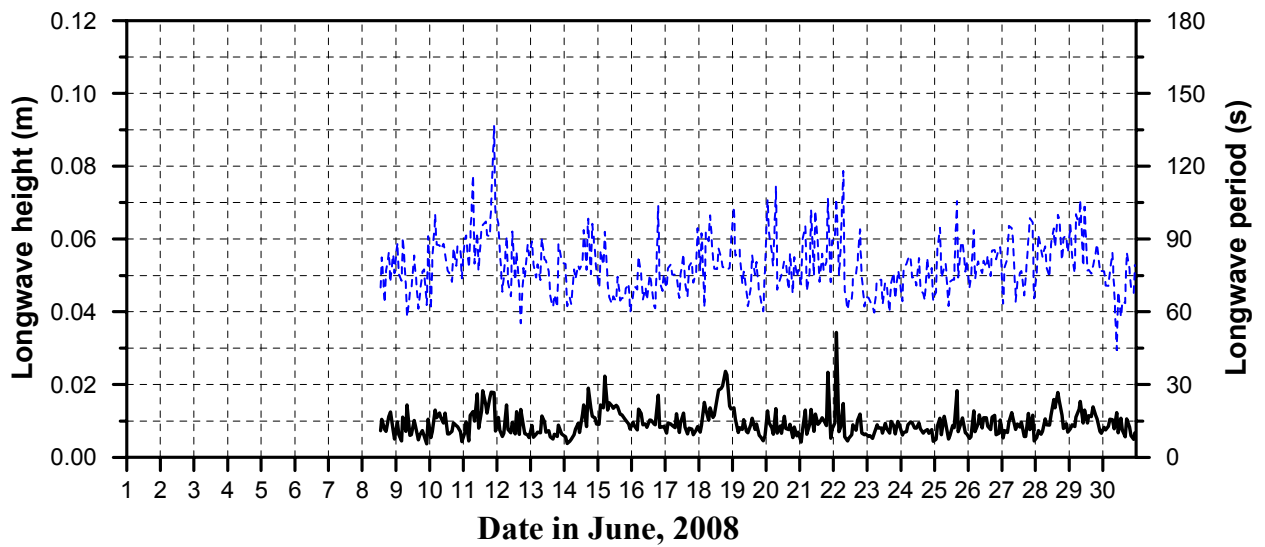
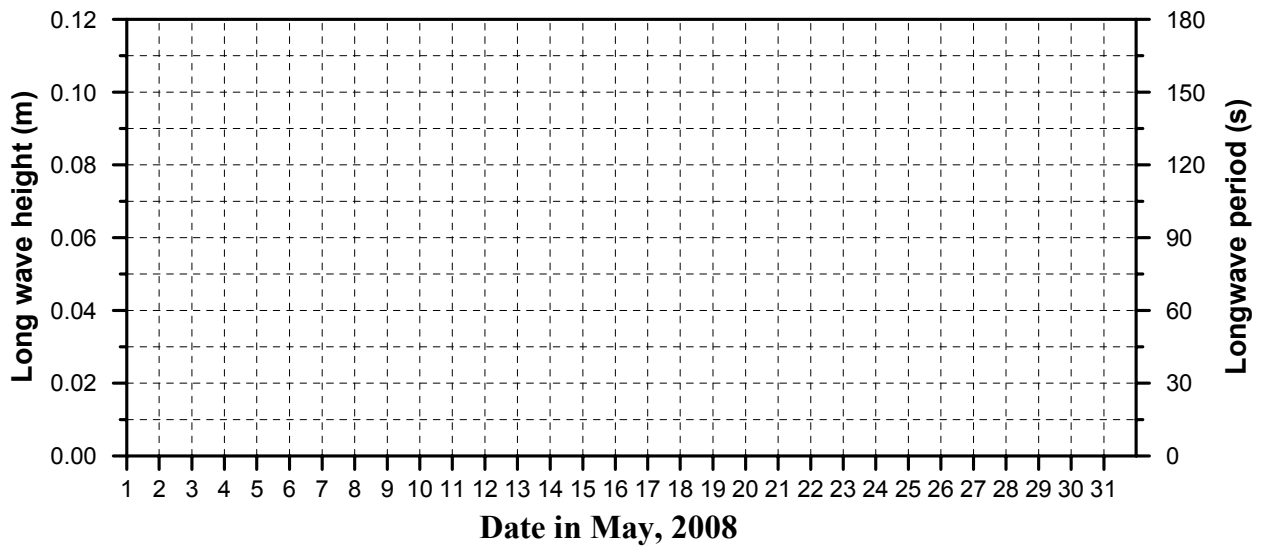
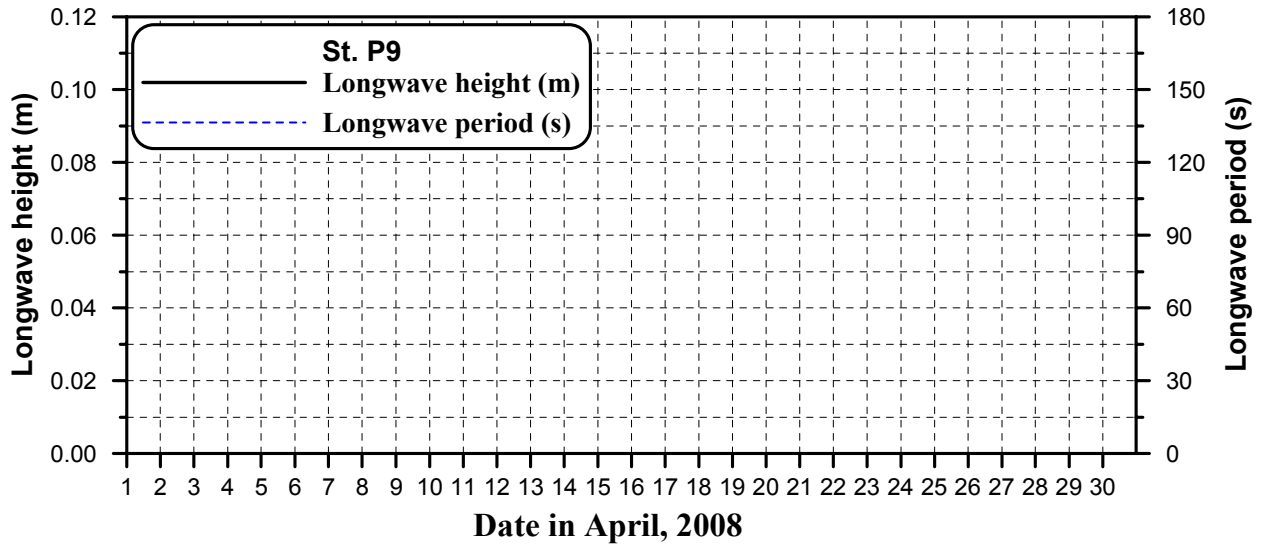


그림 2.2.39 2008년 6월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

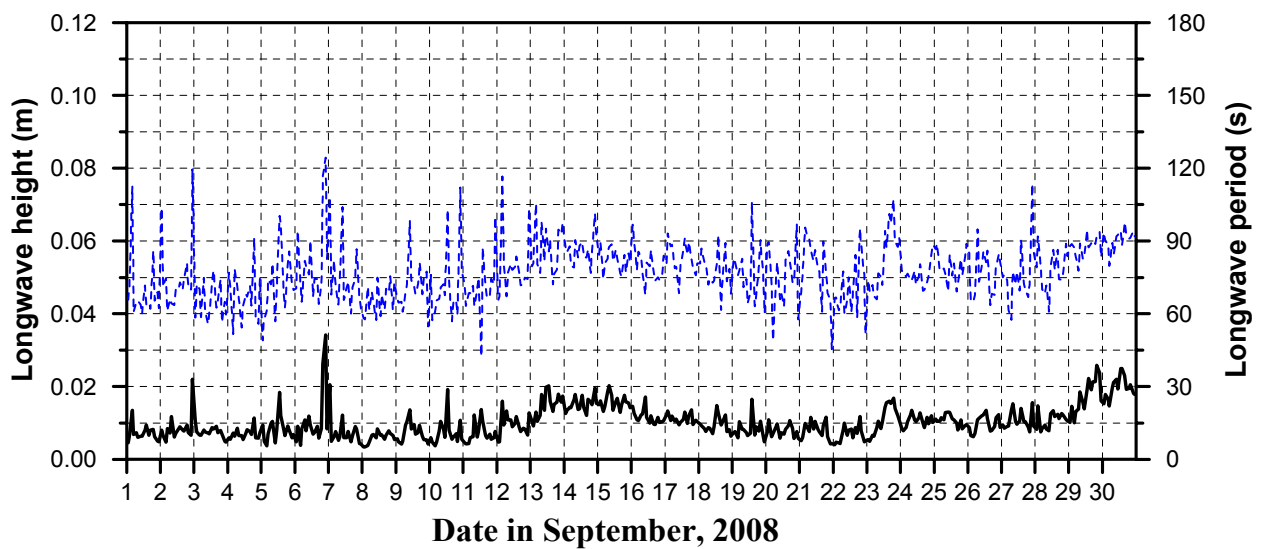
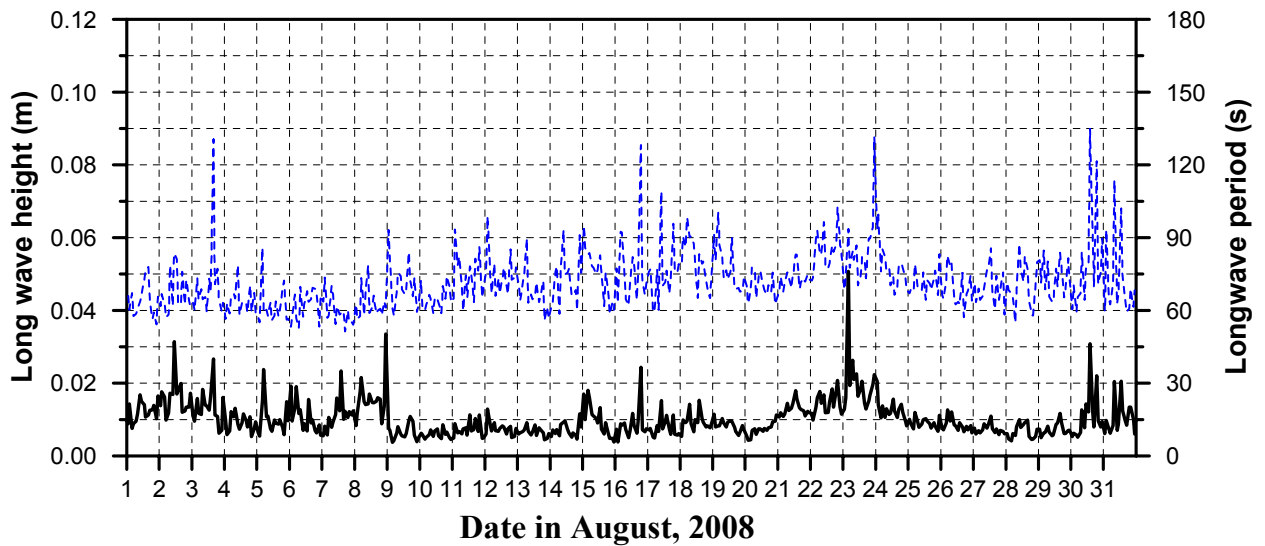
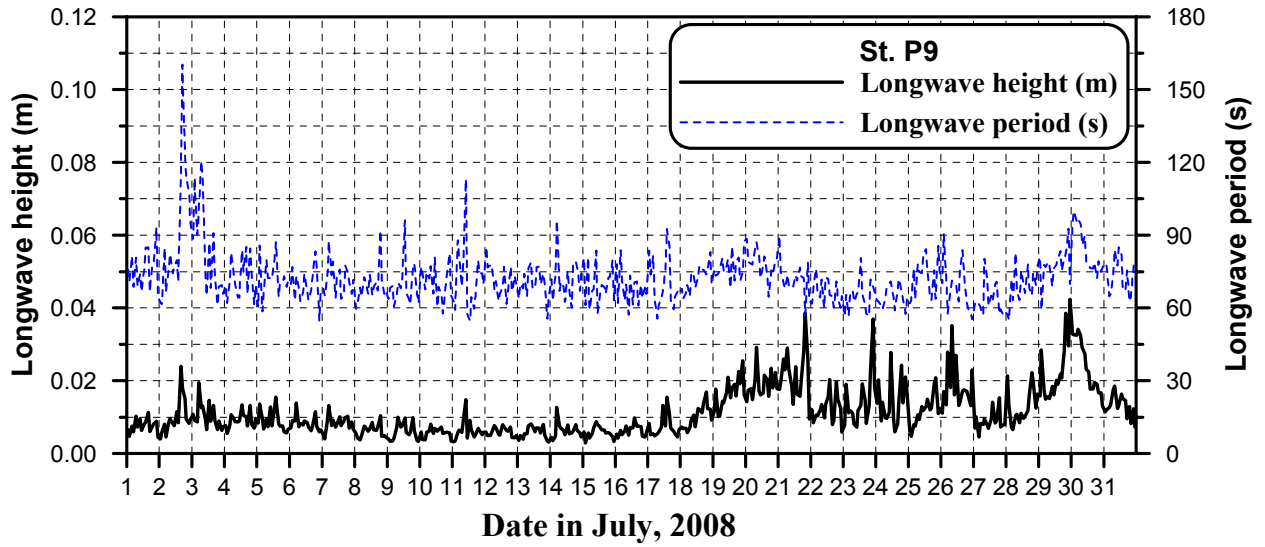


그림 2.2.40 2008년 7~9월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

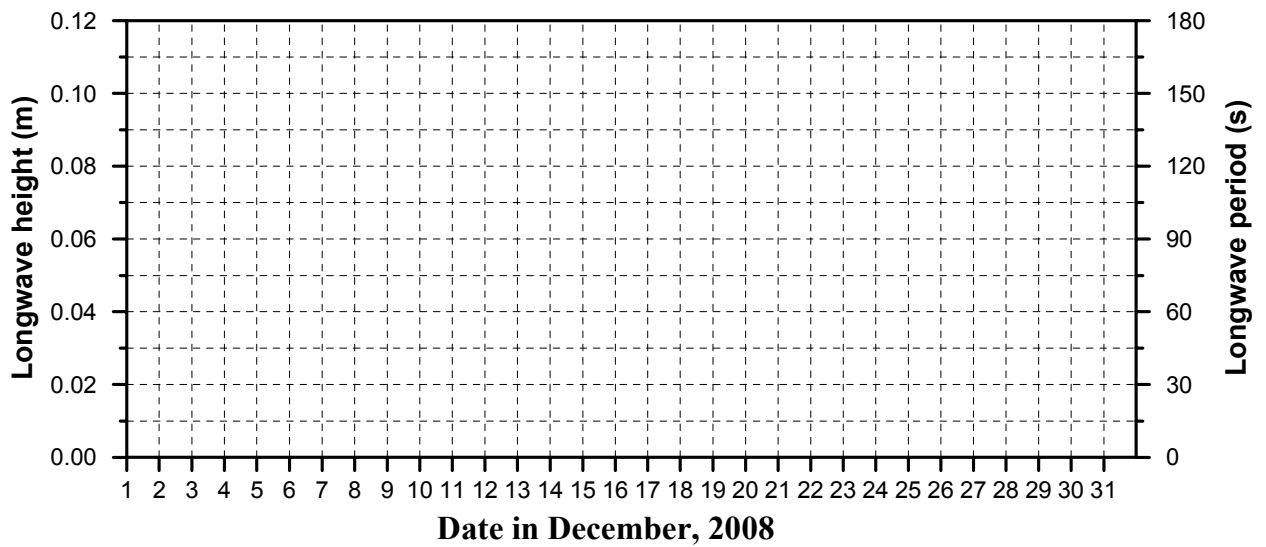
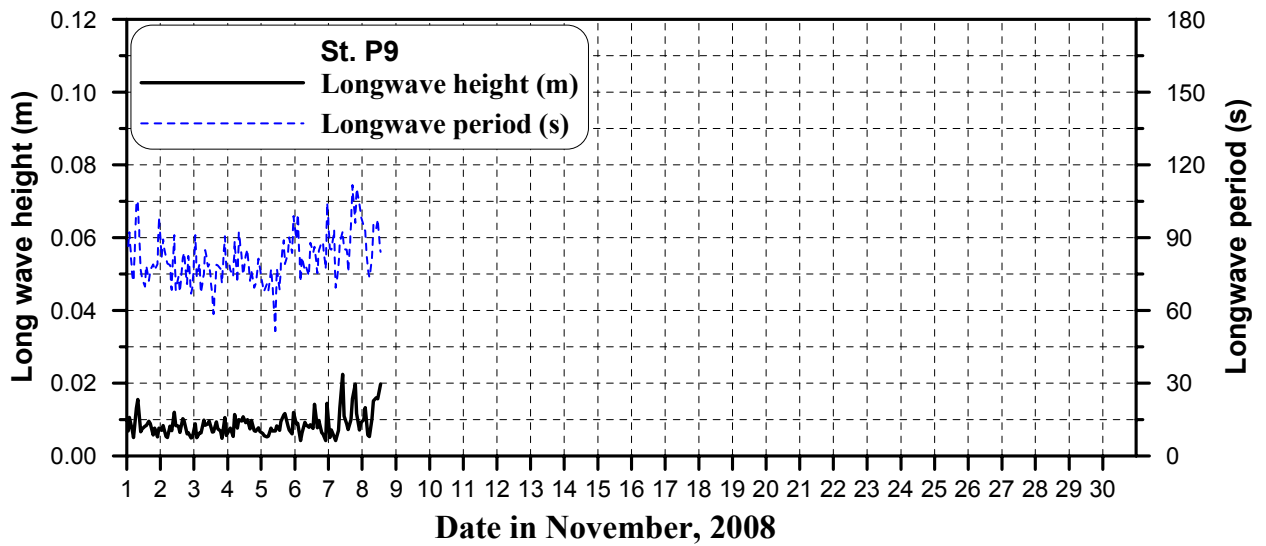
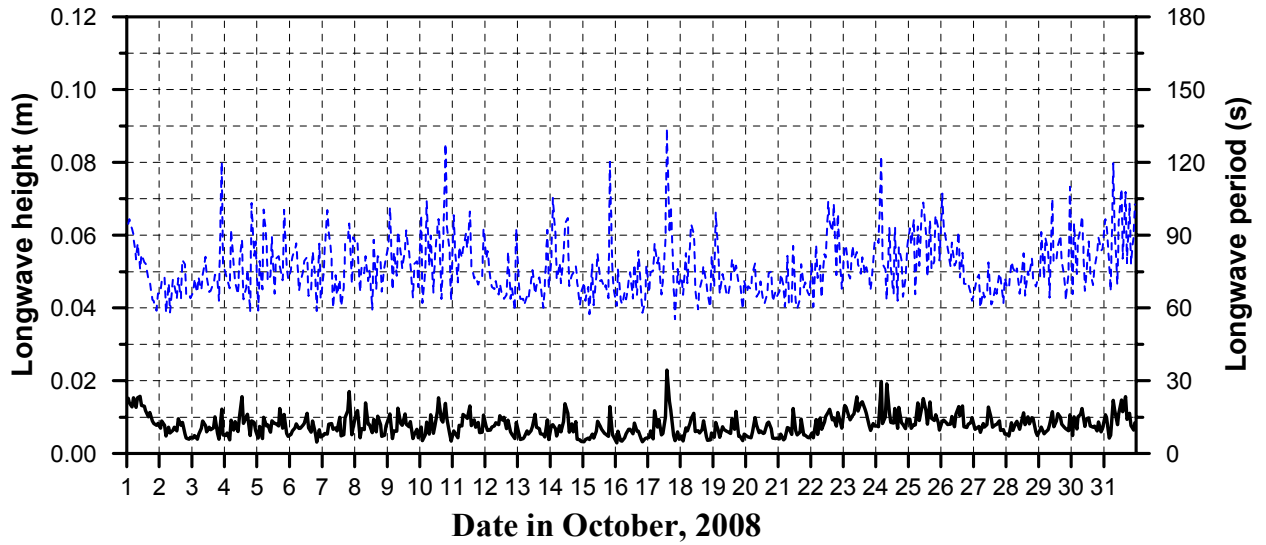


그림 2.2.41 2008년 10~11월에 정점 P9에서 관측된 장주기파 파고와 주기.

2.3 실시간 부유사 확산 모니터링 및 제어 시스템 운영

2.3.1 개요

부산항 신항만 건설해역에 부유사 농도 및 수질인자를 연직으로 관측하는 자동 승강식 실시간 모니터링 부이(INBUS-1, -2)를 설치·운영하여 공사시 발생하는 부유사 확산 및 해양 환경변화를 감시·제어하고, 그 결과를 관련 부산항 신항 실시간 해양관측자료 웹사이트에 제공하여 관측상황을 파악함으로써 친환경적 공사가 원활히 이루어지도록 하기 위함이다.

2.3.2 실시간 모니터링 부이 운용

2차년도에 여수토 투기장과 호란도 동측에서 운용한 자동승강식 실시간 모니터링 부이인 INBUS-1, INBUS-2는 2008년 6월부터 2009년 2월까지 남컨2-3단계 공사장의 오탁방지막 북측과 서측 전면에 설치하여 매시간 3개층으로 운용하였다(표 2.3.1, 그림 2.3.1).

표 2.3.1 INBUS-1, -2의 관측 위치 및 기간.

기기	위 치		관측기간
INBUS-1	35° 04 ' 13.8 "	128° 48 ' 41.3 "	'08. 06. 01 - '09. 02. 29
INBUS-2	35° 04 ' 0.1 "	128° 48 ' 4.2 "	

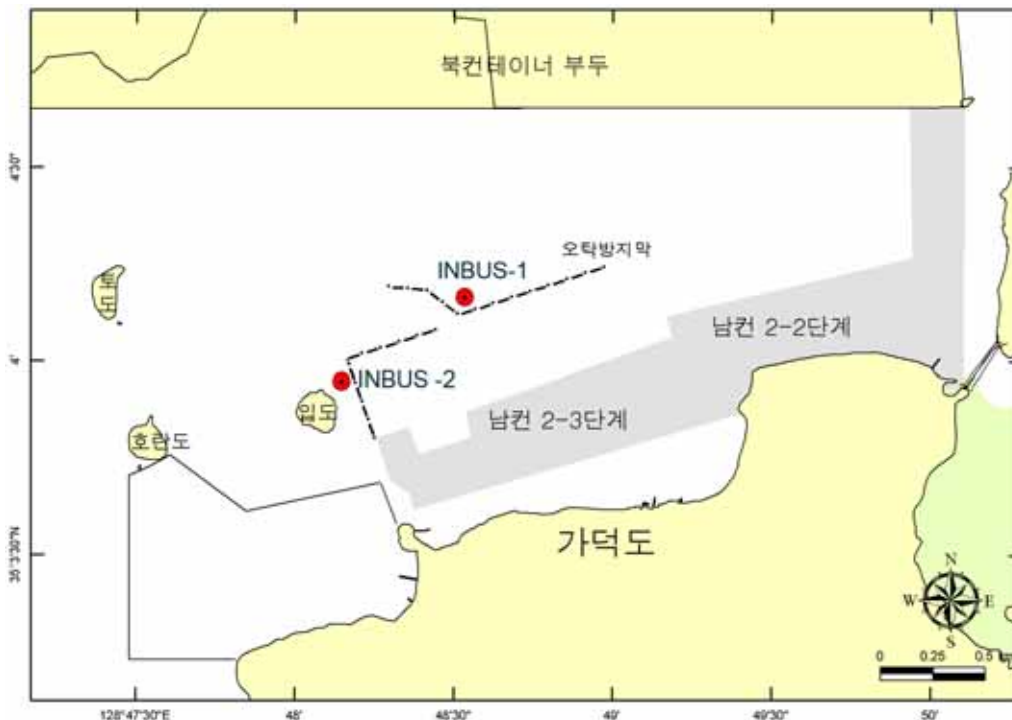


그림 2.3.1 INBUS-1, -2의 관측 위치도.

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)

남킨 2-3단계의 준설은 16 m³, 18 m³ 및 20 m³급의 Grab 준설로 이루어졌으며, 월별 준설량을 <표 2.3.2>에 제시하였다. 또한 공사구역은 부유사 확산을 막기 위해 표층에서 수심 1m 까지 오타방지막이 설치되어 있었다. 한편, 공사 현장에서의 준설자료 등은 남킨테이너부두 2-3단계와 항로준설1-3단계 현장에서 제공한 공사일지를 참조하였다.

<표 2.3.2> 관측기간 동안의 월별 준설량 및 준설 공종.

날짜	준설량		준설공종
	m ³	%	
2008년 6월	465,230	20.6	Grab
7월	679,098	30.1	
8월	302,973	13.4	
9월	79,800	3.5	
10월	417,157	18.5	
11월	241,188	10.7	
12월	70,372	3.2	
합계	2,258,818	100.0	

INBUS 부이의 관측 항목은 수온, 염분, pH, 용존산소량 및 탁도이며, 이 중에서 수온, 염분, 부유사농도를 분석하였고, 동 기간 내의 가덕도 기상자료, 조석 및 일일 준설량을 분석하였다. 관측 항목 중 탁도는 실제 부유사 농도 값으로 변환하기 위해 3차례 해수를 채취하여 얻은 농도와 동 시간의 탁도치를 이용하여 상관관계식을 구하였다(그림 2.3.2).

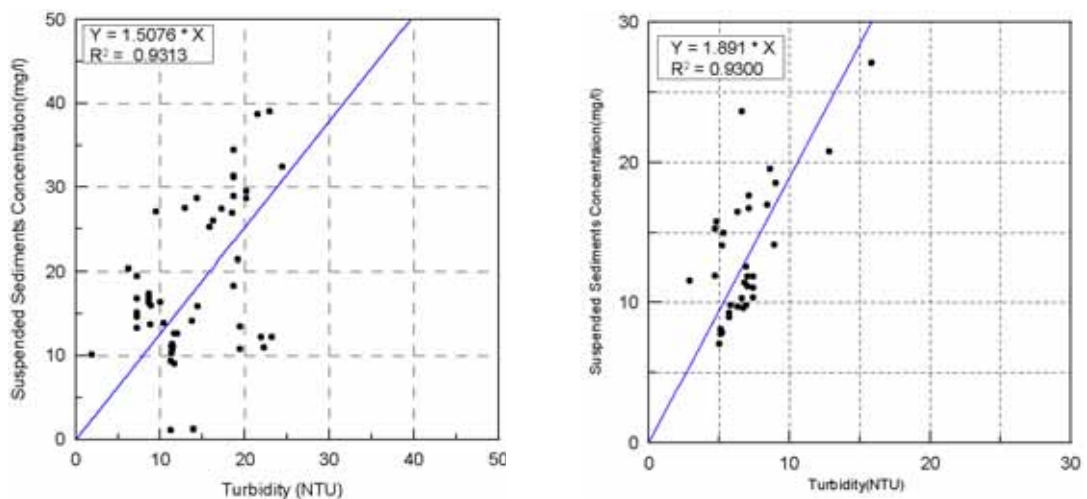


그림 2.3.2 YSI 6600의 탁도(NTU) 대 부유퇴적물 농도의 상관관계식(좌: INBUS-1, 우: INBUS-2).

가. INBUS-1 운용 결과

남컨2-3단계 공사장의 오탉방지막 북측에서 2008년 6월부터 관측한 계절별 시계열 결과를 <그림 2.3.3-2.3.5>에 제시하였다.

<그림 2.3.3>에 제시한 하계 관측결과(2008. 6. 1~8. 31)에서 바람은 약 6 m/s 미만의 미풍이며, 평상시보다 강수시에 약간 증가한다. 강수는 11차례 발생하였고, 최대강수량은 8월 15일에 133 mm였다.

최대조차는 약 2 m이며, 수온분포는 약 18~27°C 범위로서 일일변동폭은 약 1°C이다. 6월에서 8월로 가면서 서서히 증가하고, 평상시보다 강수시에 수온이 급격히 증가한다. 평상시 염분은 약 32‰ 내외이지만, 강수시에는 최소 약 18‰까지 급격히 감소한다.

하계동안의 부유사 농도는 강수시에 약 250 mg/l 이상으로 급격히 증가하고, 약 2,500 mg/l의 최대 부유사농도가 발생한 기간은 2008년 7월 19일부터 8월 7일까지이다. 이 기간 동안의 총강수량은 87 mm였고, 염분은 약 18‰까지 감소하였다. 하계동안 20,000 m³ 이상의 준설은 약 38일간이고, 일일 최대준설량은 7월 22일에 33,987 m³이다. <표 2.3.2>에서 나타나듯이 하계 기간의 준설이 약 64%에 달한다. 최대부유사 농도가 발생한 기간과 부유사 농도가 낮은 기간의 준설량이 거의 비슷한 것과 수온의 상승 및 최소 염분을 보면, 최대 부유사 농도 발생은 준설의 영향보다는 강수로 인한 육상기원의 부유퇴적물일 가능성이 더 큰 것으로 판단된다. 강수시를 제외한 평상시 부유사 농도는 약 30 mg/l 내외이다.

<그림 2.3.4>에서 제시한 추계의 관측결과(2008. 09. 01~11. 15)를 살펴보면, 바람은 하계와 비슷한 약 7 m/s 미만의 미풍이었고, 강수는 약 20 mm 이하로 11차례 발생하였다.

수온은 9월동안 약 24°C 내외였지만, 이후부터 약 15°C까지 서서히 감소한다. 염분은 강수시를 제외하면 수온과 반대로 약 31 ‰에서 약 34 ‰까지 서서히 증가하는 경향이다.

추계의 부유사 농도는 2008년 10월 21일까지 약 20 mg/l 내외였지만, 이후부터 약 80 mg/l까지 급격히 증가한 후 11월 15일까지 이 농도를 유지하고 있다. <표 2.3.2>에서 추계의 준설은 주로 10월(약 417,157 m³)에 집중적으로 이루어졌다. 10월 21일 이후의 부유사 증가는 강수(약 20 ml)의 영향도 있지만, 평균 일일준설량이 약 12,000 m³에서 약 20,000 m³로 증가한 준설로 인한 영향이 더 큰 것으로 사료된다.

2008년 12월에서 2009년 2월까지의 동계 관측 자료를 <그림 2.3.5>에 제시하였다.

동계의 바람은 최대 약 10 m/s며, 강수는 약 15 mm 이하로 2월에 집중적으로 내렸다. 수온분포는 약 8~11°C로서 2008년도 동계의 최저수온 약 3°C와 비교해서 약 5°C 정도 상승하였다. 염분 분포는 약 32~33‰의 범위이다.

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)

이 기간의 부유사 농도분포는 강수의 영향으로 인해 간헐적으로 약 50 mg/l까지 증가하지만, 전반적으로 10 mg/l 내·외이다. 또한 준설도 2008년 12월 14에 끝난 이후였다.

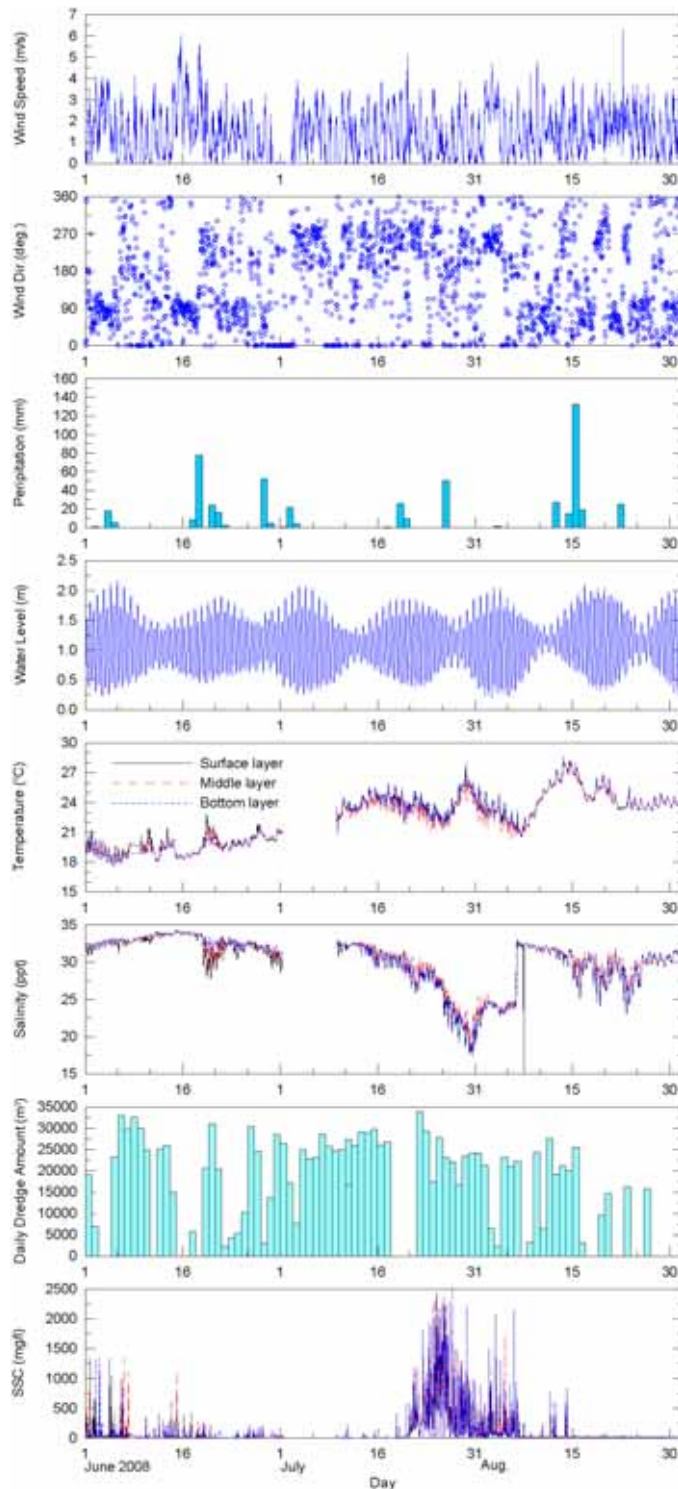


그림 2.3.3 하계 INBUS-1 운용결과.

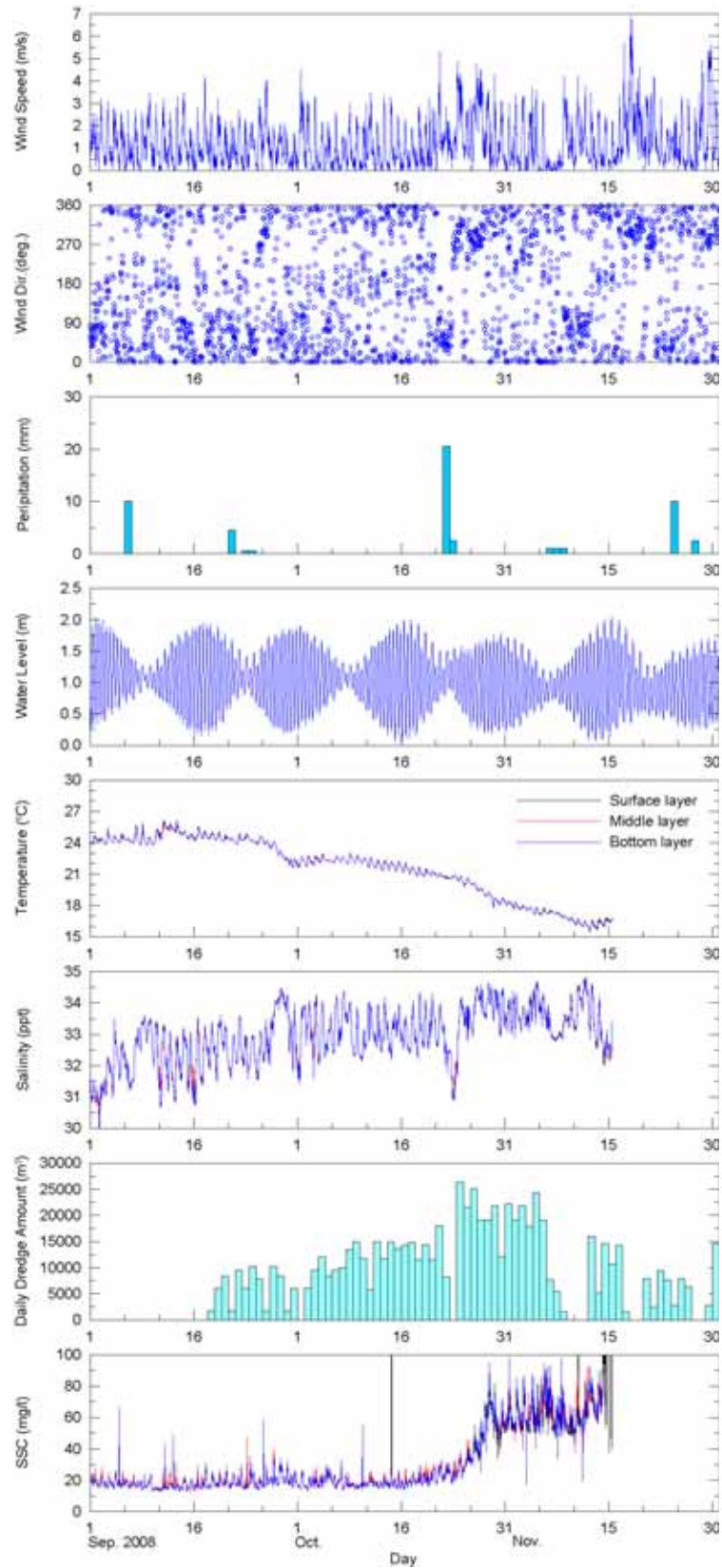


그림 2.3.4 추계 INBUS-1 운용결과.

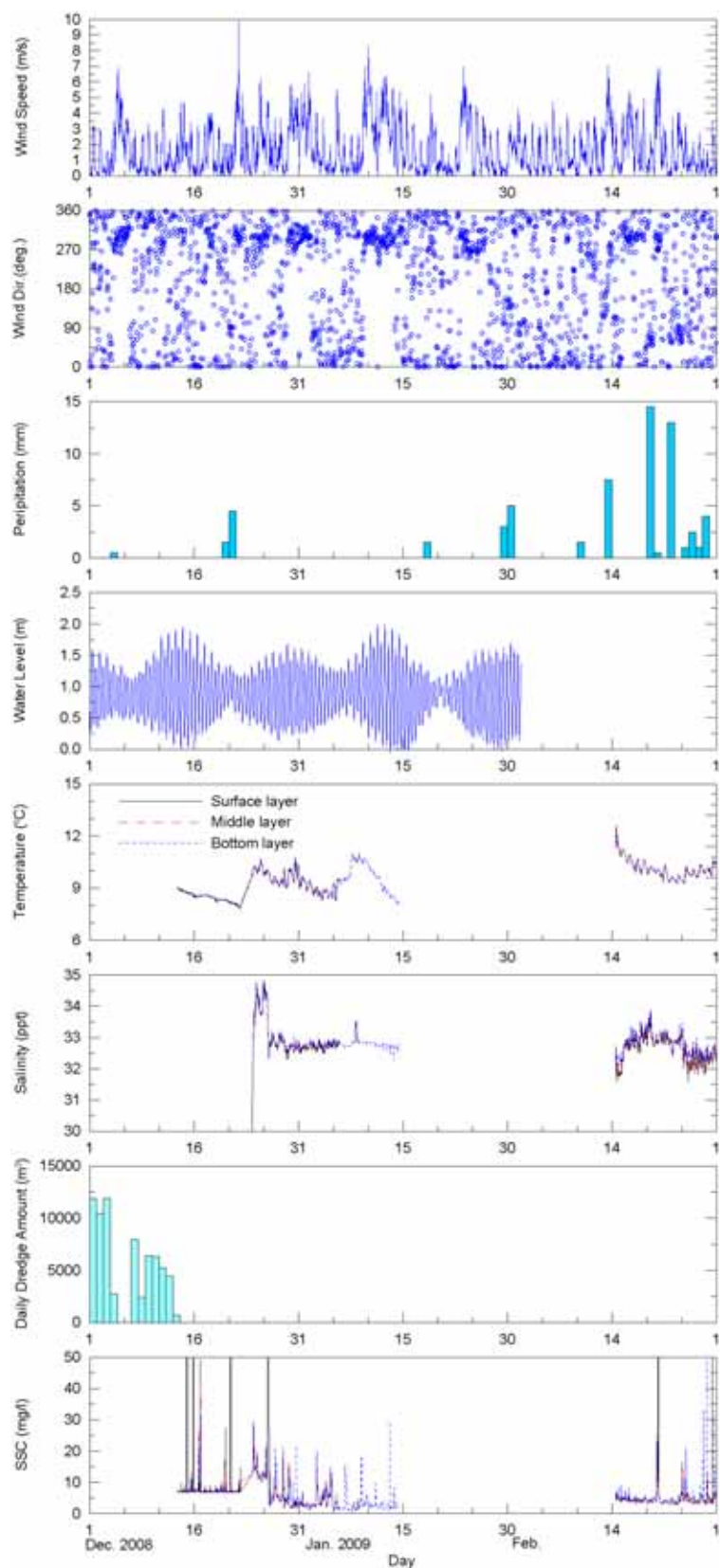


그림 2.3.5 동계 INBUS-1 운용결과.

나. INBUS-2 운용 결과

남컨2-3단계 공사장의 오탉방지막 서측에서 2008년 6월부터 관측한 계절별 시계열 결과를 <그림 2.3.6~2.3.8>에 제시하였다. 그림에서 나타난 바람, 강수 및 조석의 자료는 INBUS-1의 자료와 동일하다.

<그림 2.3.6>에서 하계의 수온의 분포는 INBUS-1과 비슷하고, 염분은 평상시 약 33‰ 부근이며, 강수시에 급격히 감소한다. 특히 최소 염분은 INBUS-1과 동일한 기간에 발생하였으며, 약 26‰까지 감소하였다. 부유사 농도는 평상시 약 20 mg/l 내로 발생하며, 강수시에는 최대 약 50 mg/l까지 증가한다. 최대농도는 INBUS-1에서 관측한 최대농도의 기간과 상이하게 6월 10일경에 발생하였다. 이는 INBUS-1 지점의 고농도 부유사가 INBUS-2 지점까지 영향을 미치지 못한 것으로 판단되며, 남컨 2-2단계 부근의 천가일주도로의 건설로 인해 낙조시의 유속이 약화되었기 때문으로 판단된다.

추계의 시계열 결과(2008. 9. 1~2008. 10. 19)인 <그림 2.3.7>에서 수온 분포는 9월3일까지 약 24℃ 내외였으며, 이후 약 25.2℃까지 증가하였다가 서서히 감소한다. 염분은 시간이 지나면서 약 30.5‰에서부터 약 31.5‰까지 증가한다. 부유사 농도는 대조기인 9월 1일에 약 32 mg/l까지 증가하고, 이후부터는 약 30 mg/l 내로 분포한다. 전체적으로 부유사 농도는 대조기와 강수시에 소조기보다 약 10 mg/l 정도 크게 나타났다.

동계(2008. 12. 26~2009. 2.28)의 시계열 결과를 보면, 수온 분포는 약 7~12℃의 범위이며, 1월의 변동폭이 2월보다 크게 나타났다. 염분의 경우 2월 14일을 제외하면 1월 29일까지 약 35.5‰까지 증가하였고, 이후 약 34.5‰까지 서서히 감소한다. 2월 14일에는 강수의 영향으로 약 33.5‰까지 감소하였다. 이 기간동안 부유사의 최대농도는 약 34 mg/l이며, 전체적인 부유사 농도분포는 추계와 비슷하다.

INBUS-2에서 관측한 부유사 농도는 9월의 강수시에 약 50 mg/l까지 증가한 것을 제외하고 전 기간에 걸쳐 약 35 mg/l 내로서 준설로 인한 영향은 없는 것으로 판단된다.

2.3.3 토의 및 결론

남컨 2-3단계의 북측 오탉방지막 전면에서 7월과 8월 사이에 약 2500 mg/l까지 발생한 부유사 농도는 준설로 인한 영향보다는 강수로 인해 육상기원의 부유사가 흘러나온 것으로 판단된다. 그러나 10월 21일 이후 약 80 mg/l까지 발생한 부유사 농도는 준설로 인한 것으로 판단된다.

서측 오탉방지막의 전면에서는 강수시 약 50 mg/l까지 증가하였지만 전체적으로 35 mg/l

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)

내로 분포하였다. 또한 준설의 영향으로 인한 부유사 농도증가는 없는 것으로 판단되었다. 평상시 북측과 서측의 부유사 배경농도는 약 35 mg/l 내로 분포한다. 두 지점에서의 수온과 염분의 경우 날씨와 조석에 따른 증감이 잘 반영되었다.

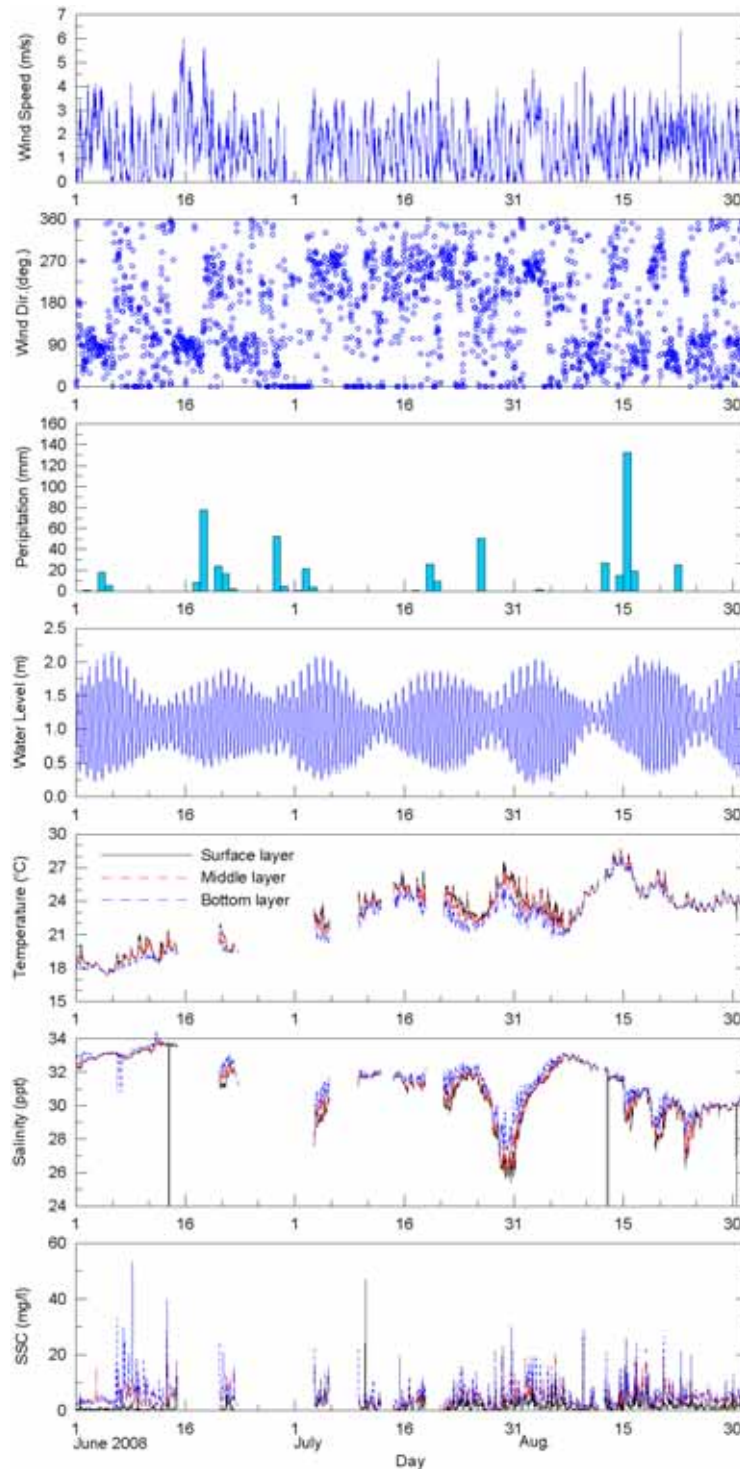


그림 2.3.6 하계 INBUS-2 운용 결과.

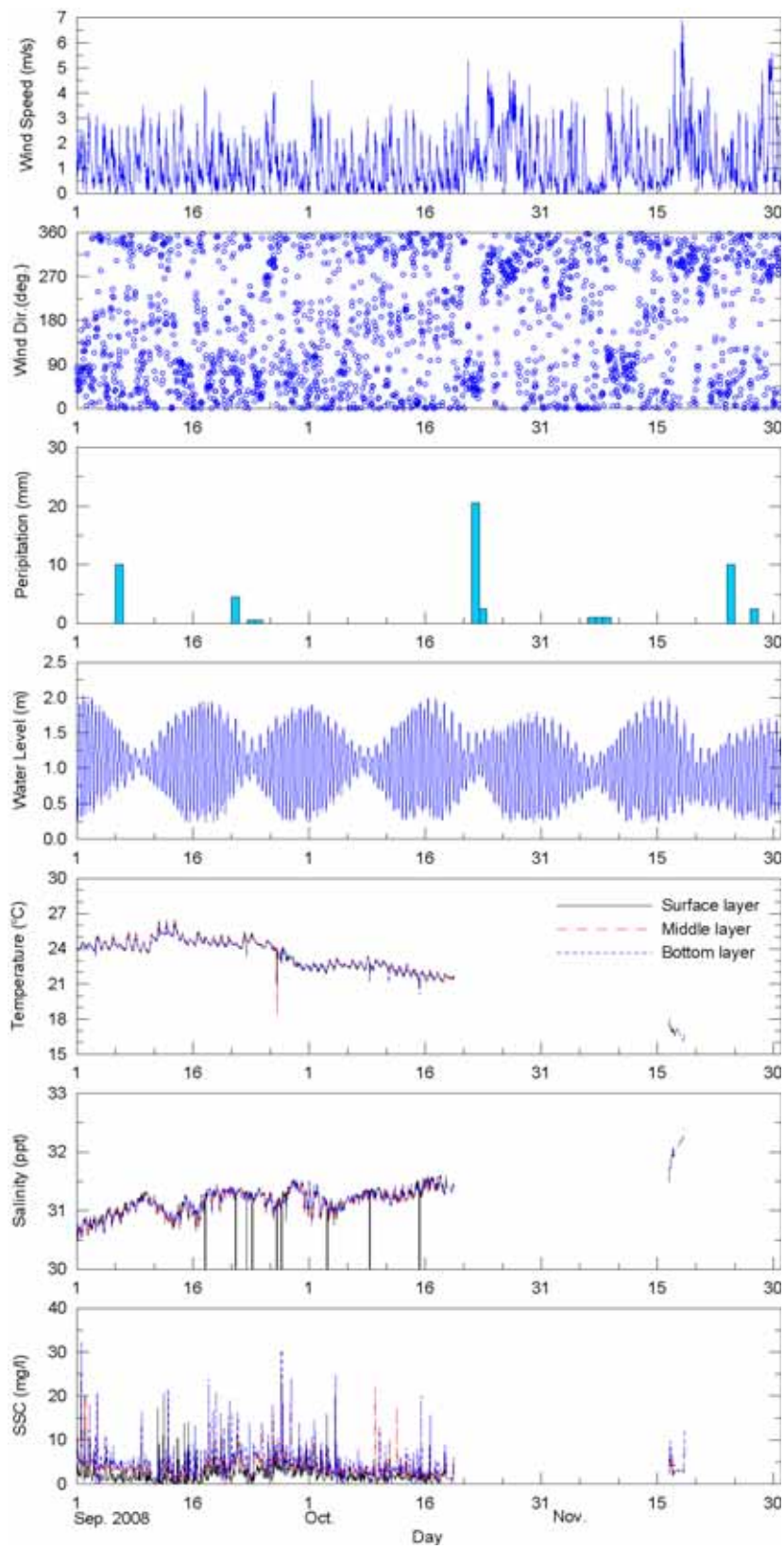


그림 2.3.7 추계 INBUS-2 운용 결과.

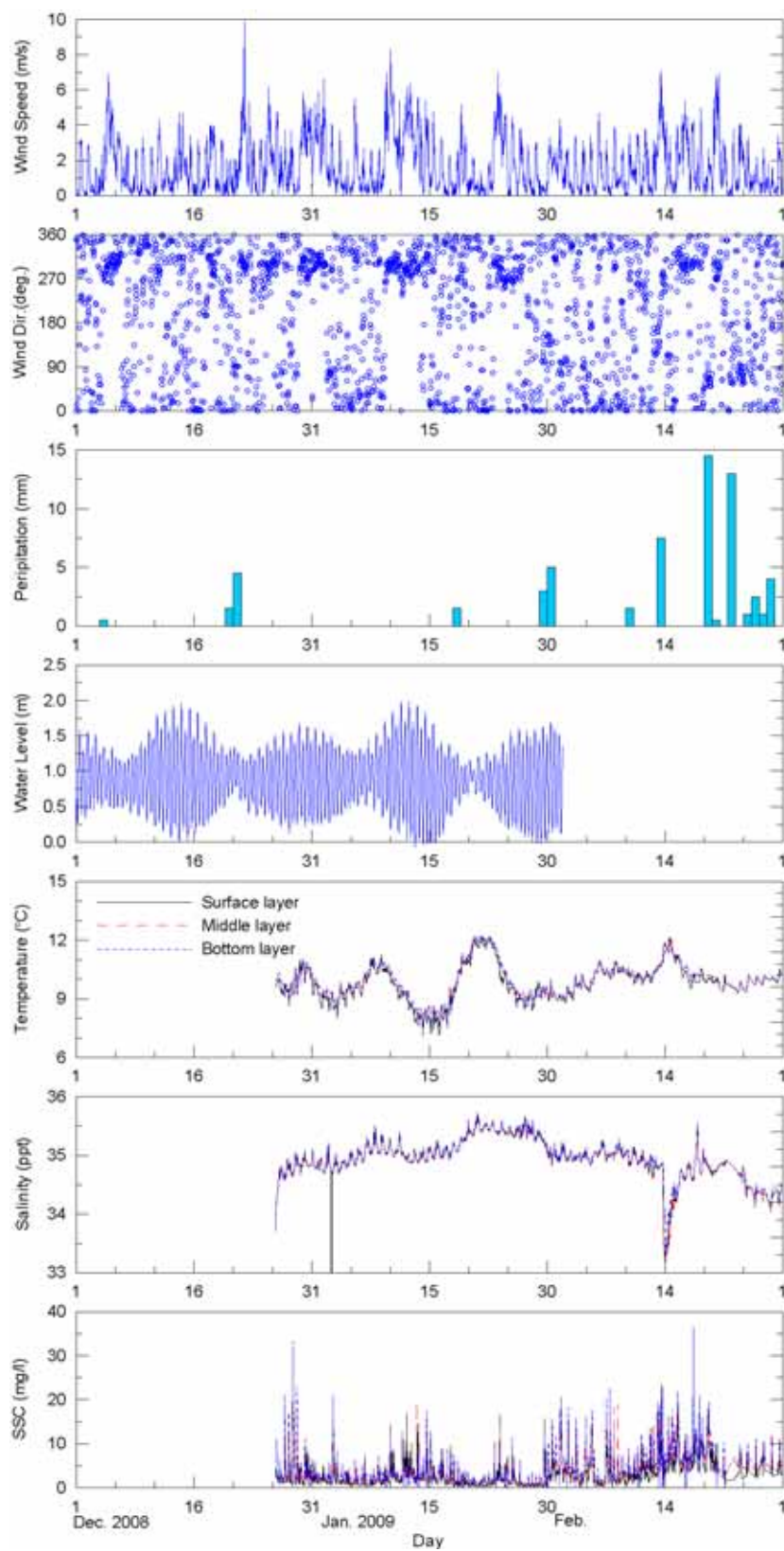


그림 2.3.8 동계 INBUS-2 운용 결과.

2.4 부유사 확산 및 해저지형 변화

2.4.1 과업의 목적, 범위 및 내용

가. 과업 목적

본 과업의 목적은 부산신항 건설이 진우도 인근 장기 지형변화에 미치는 영향(기여도)을 분석하는데 있다.

나. 과업 범위 및 내용

본 과업의 범위는 장기 해저지형 변화 등 환경인자의 변화를 예측하기 위하여 해수유동, 파랑, 부유사확산, 퇴적물 이송 및 장기지형변화 수치시뮬레이션을 수행한다.

2.4.2 적용 수치모델

해수유동, 이류·확산모델, 파랑산정을 위해 근해 풍파 스펙트럼모델인 SWAN 및 사질토 및 점토성 퇴적물이송 수치모델이 적용된다.

가. 해수유동모델

가덕도 인근해역의 해수유동 수치모형실험을 위하여 아래의 식 (2.4.1), (2.4.2), (2.4.3)과 같이 수심에 대해서 적분된 연속방정식과 운동량 방정식들을 유한차분화 방법으로 이용하여 수치해석적으로 풀어낸다. 즉, 수심평균된 2차원 비선형 지배방정식을 2차항 정밀도를 가진 음해 ADI 유한차분법(implicit ADI finite difference scheme of second order accuracy)을 이용하여 계산하여, 해수유동 현상을 재현한다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} \quad (2.4.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} \\ - \frac{1}{\rho_\omega} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_\omega} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \end{aligned} \quad (2.4.2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2}$$

$$-\frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \quad (2.4.3)$$

여기서, $h(x, y)$: 수심 (m)

$\zeta(x, y, t)$: 해수면변화(m)

$p, q(x, y, t)$: ($m^3/s/m$)= (uh, vh)

(u, v) = 수심평균된 x 와 y 방향 유속

$C(x, y)$: chezy저항계수($m^{1/2}/s$)

$C = Mh^{1/6}$ M : Manning No.

g : 중력가속도 (m/s^2)

$f(v)$: Wind 마찰계수

$V, V_x, V_y(x, y, t)$: x, y 풍속성분(m/s)

$\Omega(x, y)$: Coriolis parameter(s^{-1})

$P_a(x, y, t)$: 대기압(kg/m^2)

ρ_w : density of water(kg/m^3)

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: 유효전단응력 성분

나. 이류 · 확산모델

2차원상에 용해되어 있거나 부유되어 있는 물질의 이류 및 확산 예측을 하기위해 다음의 식 (2.4.4)와 같은 수심평균 2차원 이류-확산식을 그 지배 방정식으로 한다. 여기서, 식 (2.4.4)는 물질의 이류항과 확산항 뿐만 아니라, 물질의 용출 및 흡입에 대한 항 또한 포함하고 있다. 식 (2.4.4)를 3차 양해유한차분법인 ULTIMATE 방식(Leonard, 1991)을 사용하여 수치해석적으로 풀어낸다. 이 수치해석 기법은 QUICKEST 방법으로부터 변형된 것으로 오염물질의 이동 및 확산을 예측하는 데 많이 사용된다. 이 방법은 비교적 정확하면서도 그 계산시간이 짧은 것이 특징이다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (hC) + \frac{\partial}{\partial x} (uhC) + \frac{\partial}{\partial y} (vhC) \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \left(hD_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - FhC + S \end{aligned} \quad (2.4.4)$$

여기서, C : 혼합농도

u, v : x, y 방향 수평속도 성분(m/s)

h : 수심(m)

D_x, D_y : x, y 방향에서 확산계수(m^2/s)

F : 선형감소계수(1/s)

S : $Q_s(C_s - C)$

Q_s : 용출/흡입량($m^3/s/m^2$)

C_s : 용출/흡입 유량에서 혼합농도

위의 식 (2.4.4)에서 u 와 v 는 각각 x 및 y 방향으로의 유속과 전체수심을 뜻하는 것으로 유동결과로부터 그 값을 얻는다. 유효분산계수 D_x, D_y 등은 등방난류확산과 수심평균화에 따른 분산을 포함하며, Elder의 식을 사용하여 구한다.

다. 근해 증파 스펙트럼 모델(SWAN)

본 과업에서 적용한 SWAN은 근해지역에서 단주기 short-crested 파랑들의 전파, 생성과 소멸을 산정하는 모델이다. 이 모델은 깊이변화에 의한 굴절과 천수 효과, 그리고 바닥마찰과 파랑의 붕괴에 인한 에너지 분산을 포함한다. 또한 이 모델은 파랑과 해류의 상호작용에 의한 효과도 포함하고 고정된, 매개변수의 방향이 분리된 모델이다. 해류의 영향을 참조하기 위해서, 이 모델에서의 기본 방정식들은 스펙트럼 파동 밀도에 관한 보존 방정식을 사용한다. 보존 방정식의 매개변수화는, 독립변수로서 파동 스펙트럼의 영번째와 첫번째 모멘트를 사용함으로써 얻어진다. 기본 방정식들은 Eulerian 유한 차분법을 이용함으로써 풀며 파동 스펙트럼의 영번째와 첫 번째 모멘트는 다수의 분리된 방향들에 대한 사각형의 격자에서 계산되어진다. Once-through marching procedure는 파랑전파의 주된 방향에 대해 적용한다. 모델로부터 유의파고, 평균파주기, 평균파향, 방향표준편차, 잉여응력과 같은 적분된 파랑 매개변수가 얻어지며 방향을 갖은 파랑에너지의 분산 형태의 스펙트럼 출력 데이터도 얻을 수도 있다.

모델에서의 기본 방정식들은 스펙트럼 파랑 작용 밀도의 보존 방정식으로서 주파수 영역에 대한 이 방정식의 매개변수화는 그 파랑작용 스펙트럼의 0차와 1차 모멘트를 독립변수로 도입하여 이루어진다. 이것은 다음과 같은 두 개의 편미분 방정식으로 유도된다:

$$\frac{\partial(c_{gx}m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(c_{\theta}m_0)}{\partial \theta} = T_0 \quad (2.4.5)$$

$$\frac{\partial(c_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(c_{\theta}m_1)}{\partial \theta} = T_1 \quad (2.4.6)$$

여기서, $m_0(x, y, \theta)$ - 파랑작용 스펙트럼의 0차 모멘트

$m_1(x, y, \theta)$ - 파랑작용 스펙트럼의 1차 모멘트

c_{gx} 와 c_{gy} - 각각 군속도 c_g 의 x, y방향의 성분들

c_{θ} - θ 방향의 전파속도

x와 y - 직교 좌표계

θ - 파랑전파의 방향

T_0 와 T_1 - Source

모멘트 $m_n(\theta)$ 는 다음과 같다.

$$m_n(\theta) = \int_0^{\infty} \omega^n A(\omega, \theta) d\omega \quad (2.4.7)$$

여기에서, ω 는 절대 주파수이고 A는 스펙트럼파장 작용 밀도이다. 전파속도 c_{gx} , c_{gy} 와 c_{θ} 는 선형파 이론에 사용하여 구해진다. 기본방정식의 좌측항은 굴절과 천수 효과를 고려한 것이다. T_0 와 T_1 은 바닥마찰과 쇄파에 기인한 국부적인 바람의 발생과 에너지 손실을 고려한 것이다. 이런 현상들에 대한 흐름의 영향들도 내포되어 있다.

라. 퇴적물 (사질토 및 점토) 이동 모델

1) 점토성

준설 작업 중에는 일반적으로 많은 양의 부유사가 발생한다. 이 때, 발생한 부유사는 입자의 크기, 파랑과 조류와 같은 주변해역의 흐름으로 인해 일부는 이류, 확산 과정을 거쳐 이동하고, 나머지 일부는 침강하여 해저에 퇴적된다. 그리고, 퇴적된 입자들 중에서 일부는 압밀되고 나머지 일부는 주변흐름으로 인해 침식 및 재부유되어 확산한다. 이와 같은 과정을 반복한 결과, 수면에는 sediment flume이 형성되고 해저에는 퇴적물이 쌓이게 된다. 부유사의 이동 및 확산을 통계학적인 방법으로 이용하여 예측하기 위해, Krone(1962)에 의해

처음 개발된 방법을 적용하였다.

가) 퇴적

Krone에 의해 제시된 퇴적율(Deposition rate)은 다음의 식 (2.7.19)와 같이 주어진다.

$$SD = W_g C_b P_d \tag{2.4.8}$$

여기서, W_g : 침강속도 (m/s)

C_b : 해저표면농도(g/m³)

P_d : 퇴적확률, $P_d = 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}}$, $\tau_b \leq \tau_{cd}$

τ_b : 하상전단응력(N/m²)

τ_{cd} : 퇴적을 위한 한계 하상전단응력(N/m²)

점착성토사의 침강속도는 flocc크기, 온도, 입자농도, 유기물 함유율 등에 따라 좌우된다. Van Rijn(1989)에 따르면 염분도가 5‰이상인물에서의 침강속도는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$W_g = kc^{\gamma} \quad \text{for } c \leq 10 \text{ kg/m}^3 \tag{2.4.9}$$

여기서, W_g : flocc의 침강속도(m/s)

c : 체적농도

k, γ : 계수

γ : 1~2

Salt flocculation (염분응집)은 해수와 같이 염분이 높은 물에서 활성화된다. 염도를 고려한 Krone의 실험에 따르면 침강속도는 다음과 같다.

$$W_g = k_1 c^{\gamma_1} \left\{ 1 + (c^{\beta_1} - 1) \min \left[\frac{s}{s_{\min 1}} \right] \right\} \quad 0 \leq c \leq 0.3 \text{ kg/m}^3 \tag{2.4.10}$$

$$W_g = k_2 c^{\gamma_2} \left\{ 1 + (c^{\beta_2} - 1) \min \left[\frac{s}{s_{\min 2}} \right] \right\} \quad 0.3 \leq c \leq 10 \text{ kg/m}^3 \tag{2.4.11}$$

여기서, W_g : 침강속도

$k_1, k_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$: 상수

C : 침강속도

S : 염분도

$S_{\min 1}, S_{\min 2}$: 염분응집의 중요한계

Peclet number는 수직방향으로의 convection과 diffusion에 의한 이송율로서 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$P_e = \frac{C_{vc}}{C_{vd}} \quad (2.4.12)$$

여기서, C_{vc} : Convective Courant Number = $W_s \Delta t / h$

$$C_{vd} : \text{Diffusive Courant Number} = \overline{D_z} \frac{\Delta t}{h^2}$$

$\overline{D_z}$: 수심평균 Eddy diffusivity

나) 침식

Metha et al. (1989)에 의하면 침식은 다음과 같다.

$$S_E = E \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_{ce}}\right)^n, \quad \tau_b > \tau_{ce} \quad (2.4.13)$$

여기서, E : 하상의 침식율($\text{g/m}^2/\text{s}$)

τ_{ce} : 침식을 위한 한계 하상전단응력

n : power of erosion

Soft, Parly consolidated bed :

$$S_E = E \exp[a(\tau_b - \tau_{ce})^{1/2}], \quad \tau_b > \tau_{ce} \quad (2.4.14)$$

여기서, a : 계수(N/m^2)

다) Bed description

layer간 이동율은 Teisson(1992)원리를 적용하였다. 과랑에 의한 Liquefaction은 Delo and Ockendon(1992), Sediment sliding은 Teisson(1992), Grishanin(1987)의 이론을 참조하였다.

라) 해저 전단응력

Fredsoe(1981)의 제안식을 적용하였다.

순수조류만에 의한 전단응력은

$$\tau_c = \frac{1}{2} \rho f_c V^2 \quad (2.4.15)$$

여기서, τ_c : 하상전단응력(N/m²)

ρ : 유체의 밀도(kg/m³)

f_c ; 조류마찰계수, $f_c = 2 \left\{ 2.5 \left[\ln \left(\frac{30h}{k} \right) - 1 \right] \right\}^{-2}$

V : 평균조류속도(m/s)

h : 수심(m)

k : 하상조도(m)

순수파랑에 의한 전단응력은

$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho f_w U_b^2 \quad (2.4.16)$$

여기서, f_w : 파랑마찰계수

U_b : 하상에서의 수직평균 파랑궤도속도(m/s)

$$U_b = \frac{2H_s}{T_z} \frac{1}{\sinh \left(\frac{2\pi}{L} h \right)}$$

H_s : 유의파고(m)

T_z : Zero-crossing wave period(s)

Swart(1974)에 의하면 wave friction factor는

$$f_w = 0.47 ; \frac{a}{k} \leq 1$$

$$f_w = \exp(5.213 \left(\frac{a}{k} \right)^{-0.194} - 5.977) ; 1 < \frac{a}{k} \leq 3000$$

여기서, a : 하상에서의 수평평균 파랑궤도운동(m)

$$a = \frac{H_s}{\pi} \frac{1}{\sinh \left(\frac{2\pi}{L} h \right)}$$

여기에서 파장은 Fenton과 McKee(1990)의 표현을 인용하면

$$L = \frac{gT_z^2}{2\pi} \left(\tanh \left[\frac{2\pi}{T_z} \sqrt{\frac{h}{g}} \right]^2 \right)^{\frac{3}{2}}$$

파랑과 조류의 상호작용하에서의 평균해저면 전단응력은

$$\tau_b = 1/2 \rho f w (U_b^2 + U\delta^2 = 2 U_b \cos \alpha)$$

여기서, $U\delta$: 파랑경계층 상부 ($Z=\delta w$)에서의 조류속도

α : 평균조류 방향과 파랑전파 방향과의 각도

평균전단응력식에서 파랑경계층 두께는 Jonsson과 Carlsen에 의하면

$$\delta_w = 0.072 k \left(\frac{a}{k} \right)^{0.75}$$

그리고, 파랑경계층 외부에서의 유속분포는

$$\frac{U(z)}{U_{fc}} = 2.5 \ln \left(\frac{30z}{k_w} \right)$$

여기에서, $U(z)$: 수직좌표 z 에서의 유속(m/s)

U_{fc} : 마찰속도(m/s)

z : 수직좌표(m)

k_w : 파랑조도(m)

2) 사질토성

비점착성 퇴적물의 침강속도는 Van Rijn(1993)의 방법에 따라 계산된다. 즉, 부유물 또는 퇴적물의 직경에 따라 다음식이 적용된다.

$$w_{s,0}^{(\ell)} = \frac{(s^{(\ell)} - 1)g d_s^{(\ell)2}}{18\nu}, \quad 65 \mu m < d_s \leq 100 \mu m \quad (2.4.17)$$

$$w_{s,0}^{(\ell)} = \frac{10\nu}{d_s} \left[\left(1 + \frac{0.01(s^{(\ell)} - 1)g d_s^{(\ell)3}}{\nu^2} \right)^{0.5} - 1 \right], \quad 100 \mu m < d_s \leq 1000 \mu m \quad (2.4.18)$$

$$w_{s,0}^{(\ell)} = 1.1 [(s^{(\ell)} - 1)g d_s^{(\ell)}]^{0.5}, \quad 1000 \mu m \leq d_s \quad (2.4.19)$$

$s^{(\ell)}$ 퇴적물 (ℓ) 상대밀도 $\rho_s^{(\ell)}/\rho_w$

$d_s^{(\ell)}$ 퇴적물 직경 (ℓ)

ν 물의 동점성계수 [m^2/s]

수평면에서 소류사량의 이송크기와 방향을 포함하기 위한 시뮬레이션을 위하여 Van Rijn(1993)이 개발한 다음과 같은 근사법이 적용되어진다.

$$|S_b| = 0.006 \rho_s w_s d_{50}^{(\ell)} M^{0.5} M_e^{0.7} \quad (2.4.20)$$

S_b = 소류사량 (kg/m/s)

M = Wave와 Current에 의한 퇴적물 유동수 $M = \frac{\nu_{eff}^2}{(s-1)gd_{50}}$

M_e = 초과된 퇴적물 유동수 $M_e = \frac{(\nu_{eff} - \nu_{cr})^2}{(s-1)gd_{50}}$

$$\nu_{eff} = \sqrt{\nu_R^2 + U_{on}^2}$$

여기서, ν_{cr} = 초기운동을 위한 한계수심평균속도 (m/s), ν_R = 같은 수심평균속도의 크기는 계산되는 바닥층에 속도 또는 가상로그 속도 분포로부터 계산된다.

2.4.3 해수유동 및 파랑모델 Set-up

2차년도 기존연구(2008년 보고서)와 동일한 입력자료, 모델범위 및 경계조건 등을 적용하였다. 해수유동의 경우 2차년도와 동일한 조건을 사용하여 유동시뮬레이션을 다시 수립하였으며 모델의 광역(overall), 세부역(nested) 및 2차세부역(sebu)은 그림 2.4.1에 나타내었다. 파랑 모델에서 가장 중요한 입력 자료인 외해 파랑자료도 2차년도와 동일하게 거제도 외해 해상에서 관측한 부산기상청 시계열 자료(2006년 1월 1일 ~ 2007년 10월 30일, 그림 2.4.2 참조)를 입사 파랑으로 사용하였다. 또한, set up된 기존 유동모델에 연계하여 파랑 모델을 수립하였으며, 적용 파랑모델은 네델란드 Delft에서 개발한 SWAN을 적용하였다. 2차년도에서 수행한 것처럼 진우도를 포함한 낙동강하구 지역 파랑분포를 산정하기 위하여 세부역(sebu-wave)을 그림 2.4.3에서 보듯이 정하였으며 세부역의 파랑 경계 조건 전이를 산정하기 위하여 광역(overall-wave)을 수립하였다. 또한, 세부역에서의 wave-current interaction을 고려하기 위하여 파랑세부역인 sebu-wave영역 보다 약간 크게 유동모델인 flow 영역을 선정하였다. 이 밖의 모든 파랑시뮬레이션 관련 자료는 2008년도 보고서를 참조하기 바란다.

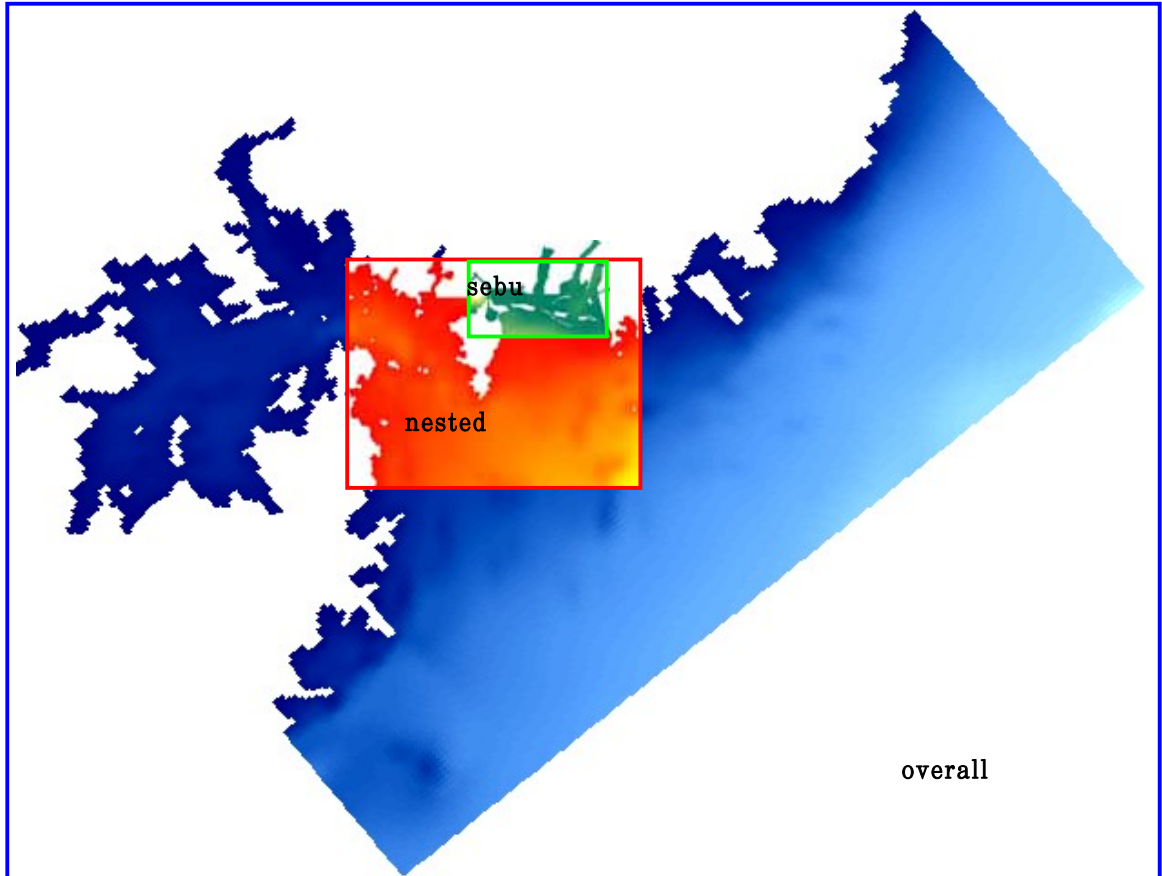


그림 2.4.1 해수유동 모델 영역도.

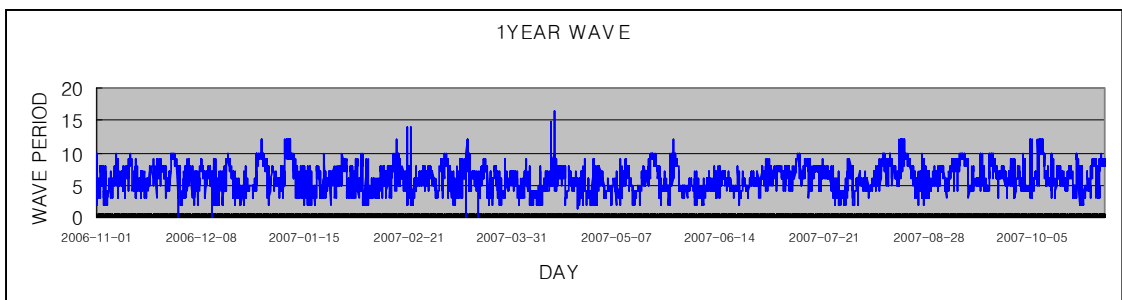
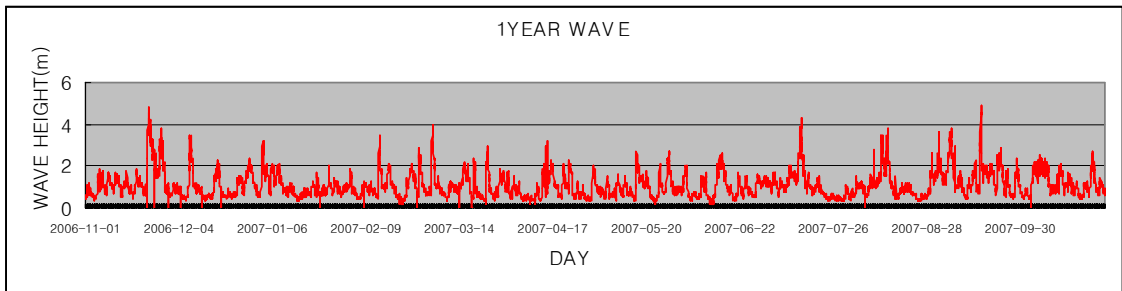


그림 2.4.2 거제도 외해 해상 파랑 시계열 자료(2006년 11월 1일~2007년 10월 30일).

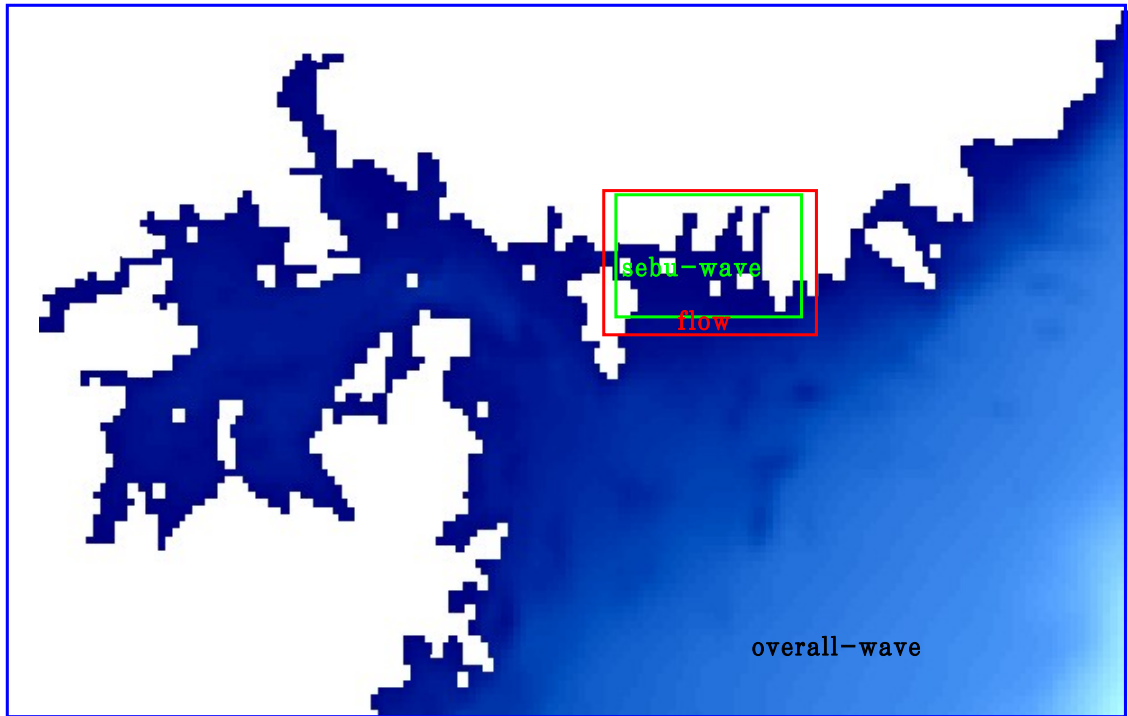


그림 2.4.3 파랑모델(overall-wave, sebu-wave) 및 유동모델(flow) 영역.

2.4.4 진우도 주변 장기지형 변화

본 과업의 목적은 부산신항 건설이 진우도 주변 지역의 장기 지형변동에 미치는 영향을 조사하는데 있다. 그러나, 이미 2차년도 보고서에도 언급하였듯이 진우도를 포함한 낙동강하구지역은 장기 및 단기적인 지형변화폭이 큰 지역으로, 장기지형변화를 정량적으로 정확하게 평가하기 위해서는 정확하고 다양한 입력 자료 즉, 조사 과업기간내의 수심분포 및 변화, 과업대상해역의 외력인 바람, 파랑, 조류 이외에도 해저질의 분포 및 물리적 특성, 지층분포 및 최상층두께, 낙동강으로부터 유입되는 유량, 토사성분 및 농도의 시계열자료 등이 필요하나, 아직 충분한 자료 확보가 이루어지지 않은 상태이다.

그러므로, 정확한 정량적 평가는 아직 무리라 판단되나, 본 과업의 목적이 부산신항의 건설로 인해 발생하는 조석 및 파랑에 의한 흐름장(해저토사의 이송외력)의 변화로 인한 지형 변화 차이만을 평가하는 것으로서 대상해역이 진우도 주변에 한정되어 있으므로 미비 자료는 경험치나 주변자료로부터 유추하여 적용하여 가능한 한 실제적인 장기지형 변화를 나타내고자 하였다.

가. 시뮬레이션 개요 및 입력자료

장기지형 시뮬레이션을 위해 부산신항 건설전과 현재(2008년)의 수심도에 각각 동일한 인자 즉, 동일한 파랑 및 조류, 동일한 해저질 분포 및 물리적특성, 동일한 지층의 최상층두께 및 지질, 동일한 유입유량, 토사성분 및 농도자료를 적용하여 각각 1년간의 지형변화를 시뮬레이션 하였다. 조류 및 파랑에 의한 흐름장은 이미 앞서 기술한 바와 같이 적용하였으며, 부산신항 건설전의 수심도는 1980년 발행 해도를 보고 수립한 것으로 그림 2.4.4에, 현재의 수심도는 2006년 발행 수치해도를 기본으로 현재까지의 변화를 반영하여 수립한 것으로 그림 2.4.5에 나타내었다. 그러나, 낙동강하구지역의 수심은 관측기록이 부족한 관계로 일부 독취 및 추정하여 삽입하였다. 그림 2.4.4와 그림 2.4.5를 비교하면 낙동강 하구지역의 지형변화가 활발히 일어나고 있음을 알 수 있다. 즉, 그림의 놀차만 해역은 부산신항 건설로 인해 협수로폭이 급격히 감소하였으며, 진우도는 북동쪽 일부해안 형상이 변하며 외해방향으로 진우도 전체가 전진하는 양상을 보여준다. 또한, 신자도 A, B구역은 병합되어 신자도 하나의 섬으로 이어지며 장자도, 대마등, 및 백합등은 형상 및 크기가 변하고, 백합등 남쪽에 도요등이 새로 생성된다. 이외에도, 주목할 만한 현상으로 그림 2.4.4의 낙동강하구둑 근처 C구역의 모래톱이 그림 2.4.5에서 보듯이 ①과 ②구역으로 분리되어 지류를 형성하게 되어 이미, 2008년 보고서에서 분석 하였듯이 지류 형성으로 인해 낙동강 하구 주변의 하구둑 방류에 의한 유속장이 건설전에 비하여 차이가 나게됨을 알 수 있었다.

낙동강하구둑에서 방류되는 유량 및 SS농도는 그림 2.4.6에서 보듯이 2006년 11월부터 2007년 1년간의 자료를 적용하였으며 방류 SS농도로부터 방출 토사농도를 유추하여 적용하였다. 이외에도 녹산배수펌프장 및 서낙동강 지류로부터 유입되는 유량은 낙동강 하구둑 방출유량의 10%로 보았다. 해저질은 좀 더 나은 장기지형변화의 재현을 위하여 2008년 보고서와 달리 그림 2.4.7에서 보듯이 지역별로 나누어 분포시켰다. 즉, 부산신항 내에는 점토성을 분포 시켰으며, 나머지 전 해역은 사질토로 보되 사질토의 D50은 그림 2.4.8과 표 2.4.1에서 보듯이 진우도 남쪽 전면해상에서 관측한 자료의 평균치를 참조하여 공간적으로 다르게 분포시켰다.

나. 장기지형변화 결과 및 분석

상기의 조건과 입력자료를 바탕으로 1년간의 지형변화시뮬레이션을 수행한 후, 2008년도 보고서에 언급된 진우도 주변 정선 J₀에서 관측결과와 비교하여 그림 2.4.9에 나타내었다. 그림 2.4.9에서 보듯이 입력자료의 부정확성으로 인하여 관측치와 시뮬레이션 결과가 정량적으로 차이가 나나 정선을 따른 지형변화의 경향은 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

1년간의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 진우도 주변의 장기지형 변화 분석을 위하여 년간 침식(-) 및 퇴적(+)분포를 신항 건설전과 현상태로 나누어 그림 2.4.10 과 2.4.11에 나타냈다.

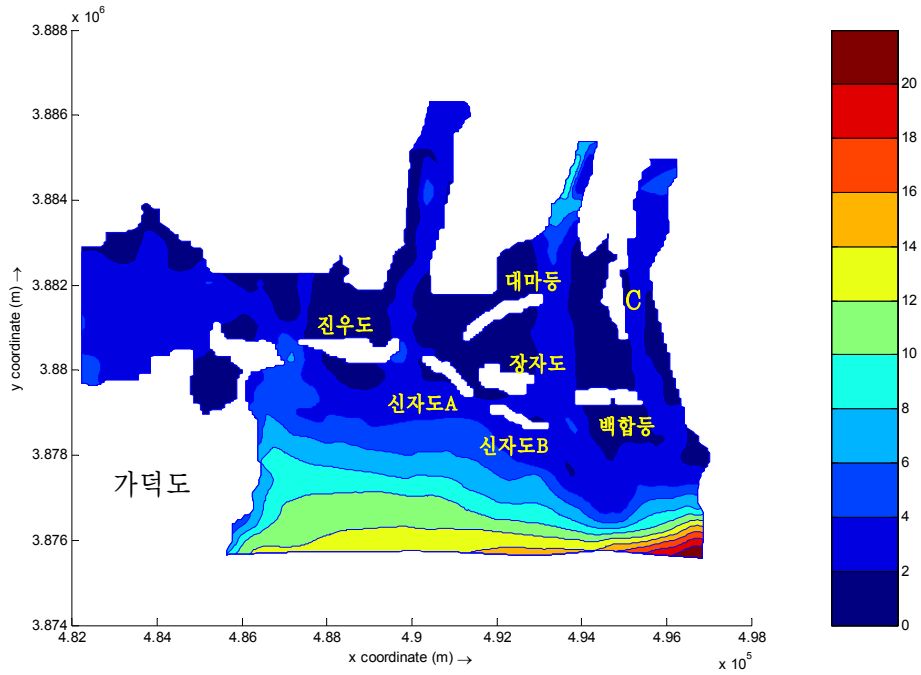


그림 2.4.4 부산신항 건설전 (1996년) 수심도(단위: m).

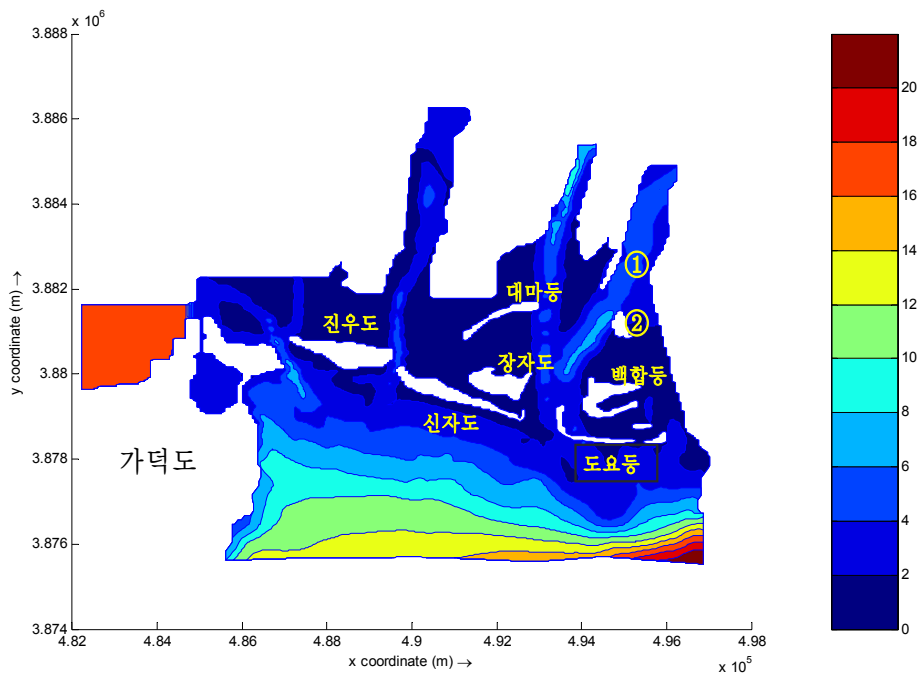


그림 2.4.5 현재 수심도(단위: m).

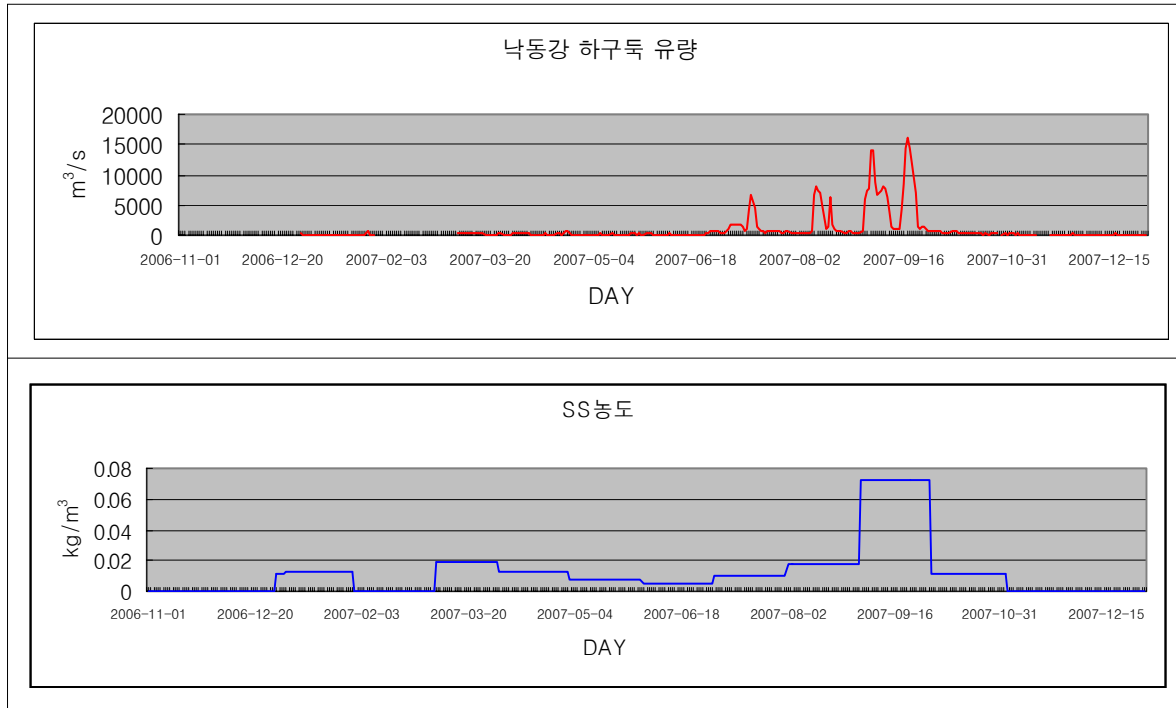


그림 2.46 낙동강 하구둑의 연간 방류량 및 SS농도의 시계열 분포.

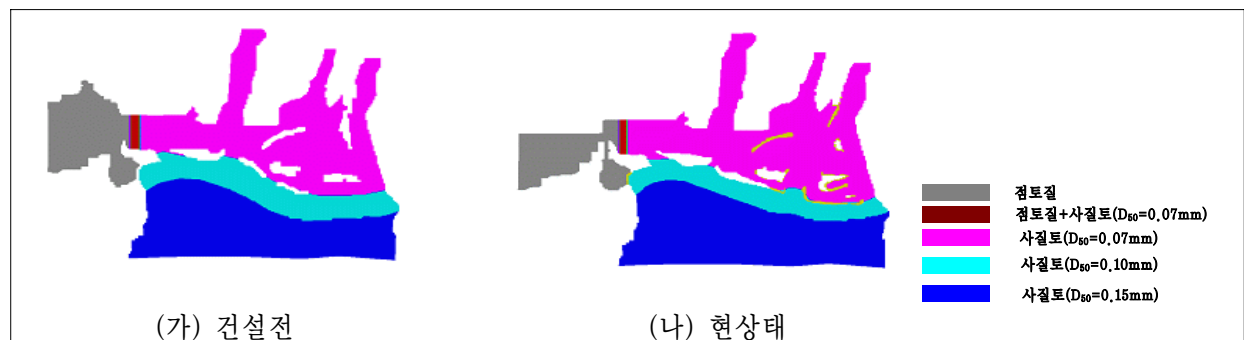


그림 2.47 낙동강하구 및 놀차만 해역의 해저질 분포.

표 2.4.1 해저질 물성치.

	BH1	BH2	BH3	BH4	BH5
D50 (mm)	0.109	0.092	0.144	0.093	0.098
Specific density (t/m ³)	2.681	2.697	2.662	2.693	2.700
Dry density(t/m ³)	1.198	1.182	1.084	1.169	1.172

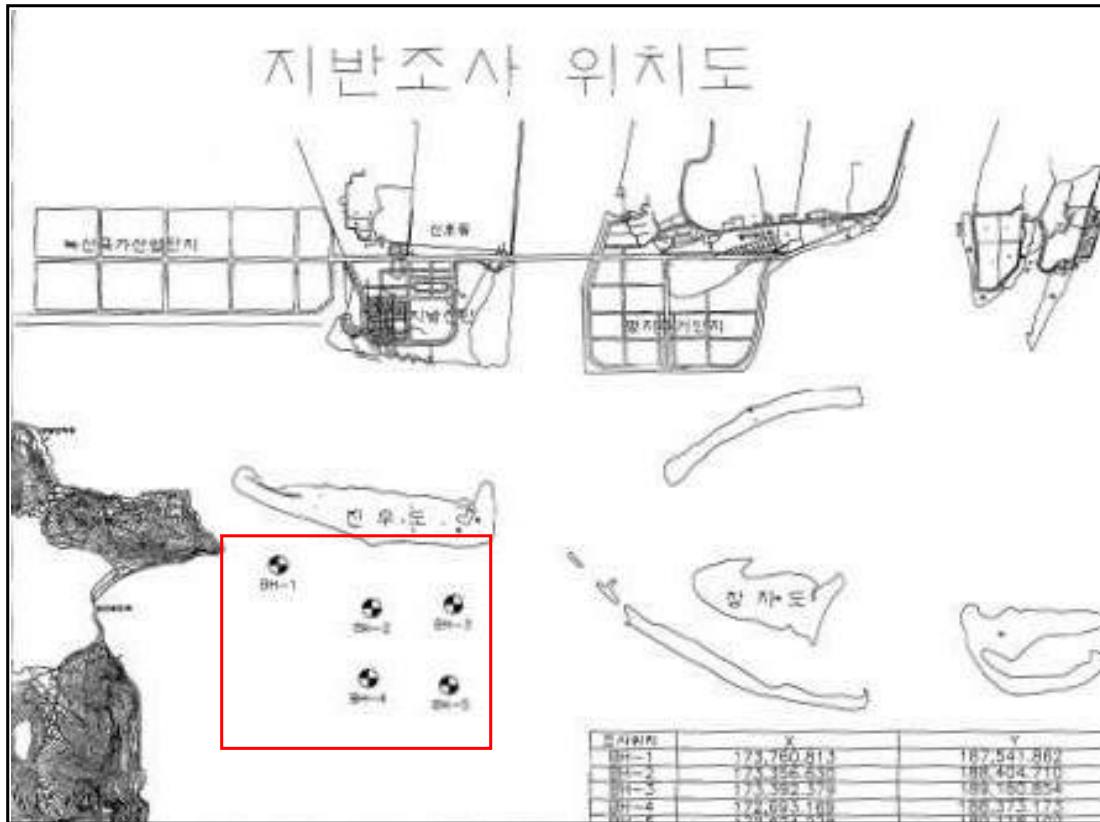


그림 2.4.8 지반조사 위치도.

출처 : 2005년 부산신항 남권 (2-2단계) 진우도 전면해상 지반조사보고서 (동아지질)

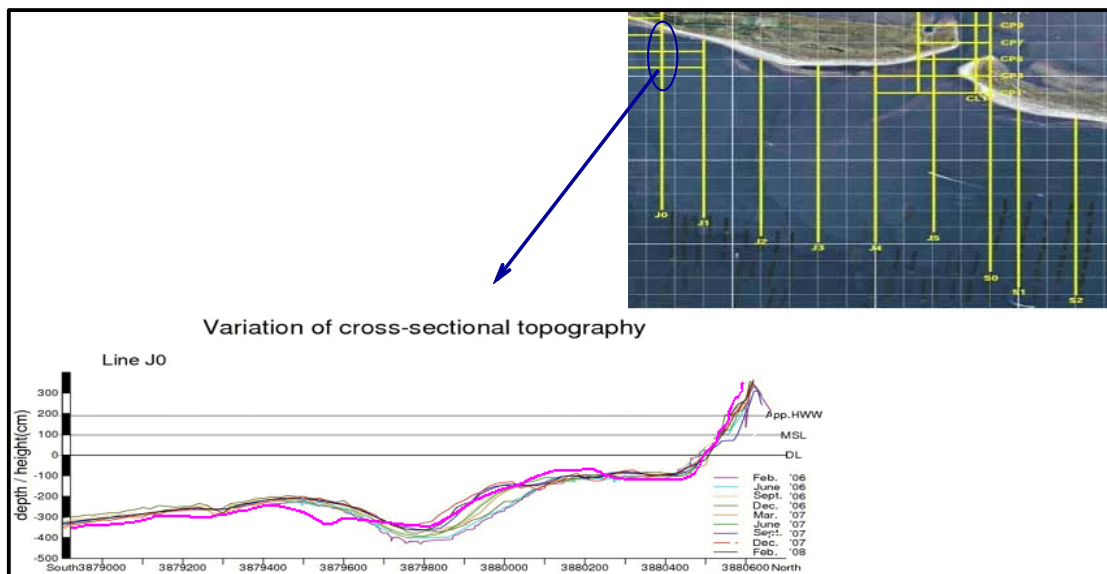


그림 2.4.9 정선 J0에서의 지형변화 관측치와 시뮬레이션 결과 비교(분홍색: 시뮬레이션 결과).

양(+): 퇴적
음(-): 침식

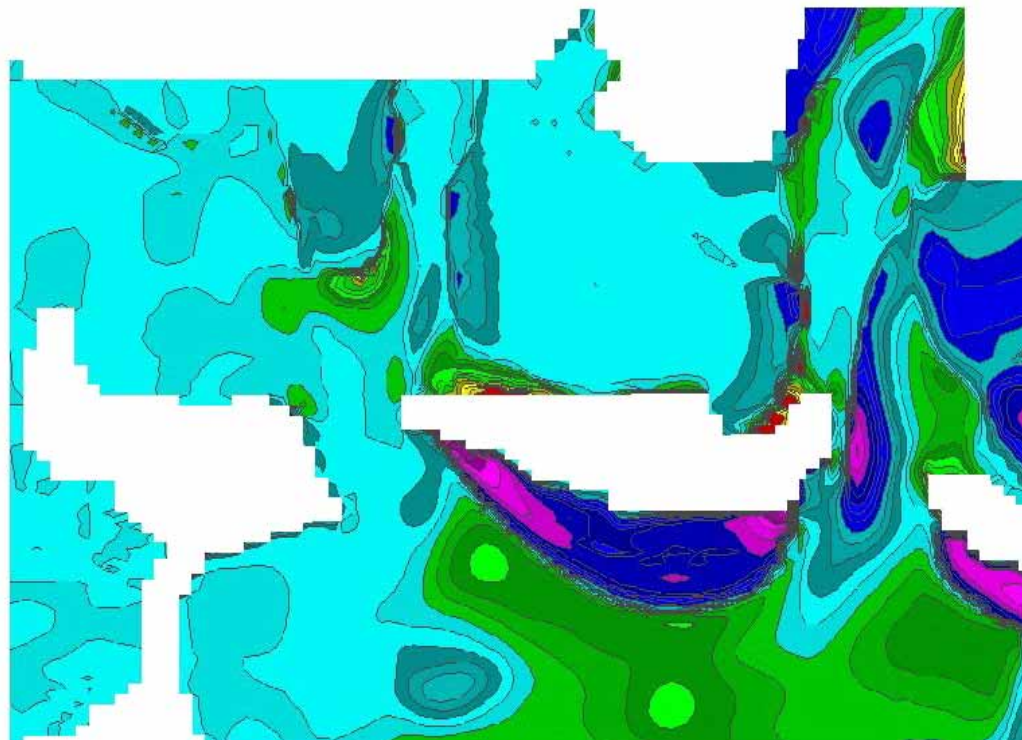
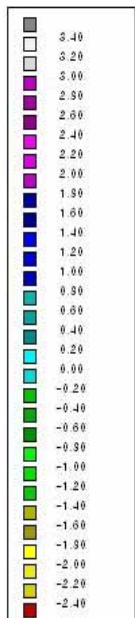


그림 2.4.10 진우도 주변해역의 연간 침식 및 퇴적 분포(신항건설전).

양(+): 퇴적
음(-): 침식

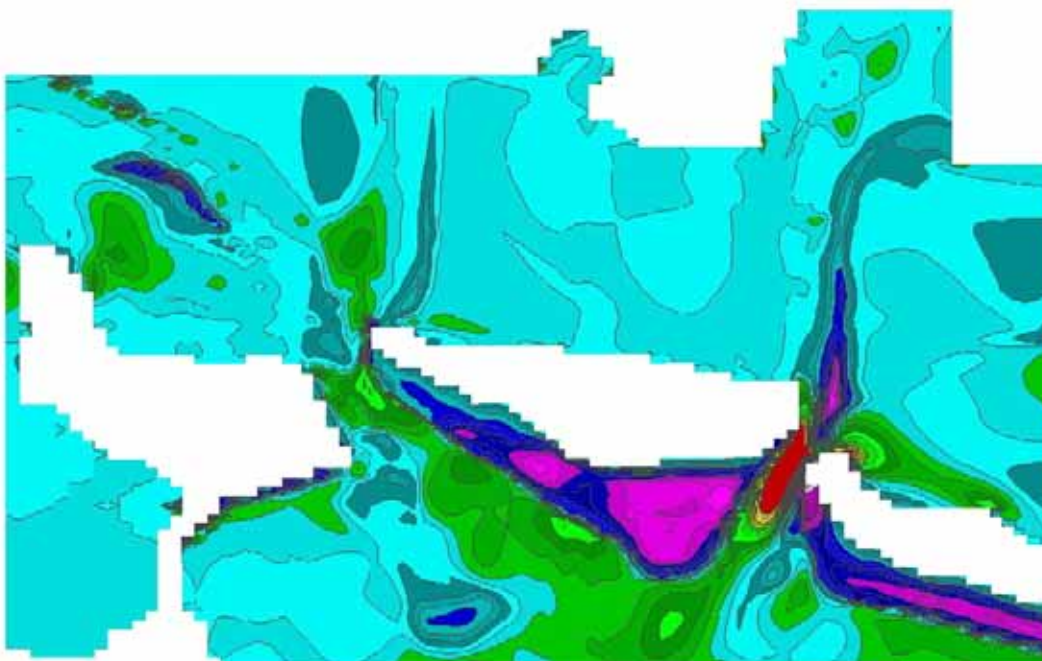
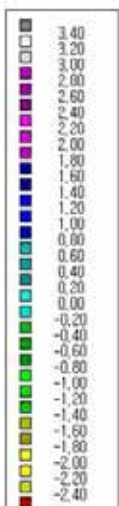


그림 2.4.11 진우도 주변해역의 연간 침식 및 퇴적 분포(현상태).

시뮬레이션 결과 놀차만 연결잔교 동안은 현상태의 경우 연결잔교 건설로 인해 부분적으로 침식 및 퇴적이 부분적으로 나타나는 것 외에는 신항 건설전과 유사한 양상을 보이는 것을 알 수 있으며, 진우도와 놀차만 사이의 해역은 건설전에는 진우도 양 끝단 남안에 퇴적이 집중적으로 발생하던 것이 현 상태에서는 진우도 남안 중심부 주변 및 진우도와 신자도 협수로 입구에 퇴적이 집중적으로 발생하며 놀차만과 진우도, 진우도와 신자도 사이 협수로는 좁아지면서 중앙에는 침식이 발생하는 것을 알 수 있다.

상기의 지형변화의 원인이 신항건설로 인하여 발생한 것인지를 분석하기 위하여 그림 2.4.12(건설전)와 2.4.13(현상태)에 나타낸 정선에서의 연간 수심변화 및 침퇴적 두께변화를 그림 2.4.14부터 그림 2.4.25에 나타내었으며, 그림들로부터 진우도 남안(A1, A2) 에서는 신항 건설전, 현상태 모두 북단에서는 주로 퇴적이 남단에서는 침식이 발생하는 전형적인 외해파랑에 의해 지형변화가 발생하는 양상을 보이며, 이 양상은 중앙부로 갈수록 활발하게 이루어진다. 진우도 북안(B1, B2) 에서는, 신항건설전, 현상태 모두 퇴적 및 침식이 혼재되어 나타나나 그 변화가 남안에 비해 상대적으로 미미하게 나타나는 양상을 보이는데 이는 외해파랑은 진우도에 의해 차폐되고 하계에 발생하는 하구 집중 방류, 조류 등에 의해 기인한 것으로 보여진다. 그러나, 변화량은 남안에 비하여 상대적으로 적게 나타난다.

놀차만과 진우도 사이의 수로(C1)는 신항 건설전에는 놀차만 쪽에 퇴적이 진우도 쪽이 침식이 일어나 현상태의 경우는 진우도 연안의 일부 해역에서 침,퇴적이 발생하는 양상을 보이는데 이는 신항 건설 후 외해로 부터 파랑에 의하여 이동된 토사에 의해 수로 폭이 좁아져 상대적으로 외해파랑을 더 차단하기 때문인 것으로 여겨진다. 놀차만 입구(D1) 에서는 신항 건설전, 현상태 모두 연간 침식 및 퇴적이 5cm 미만으로 발생한다. 즉, 외해파랑이 거의 차단되기 때문인 것으로 보이며, 진우도 인근해역의 연간 침식 및 분포도에서도 이는 명백히 나타난다.

그러므로, 진우도 인근해역의 지형변화는 신항건설로 인한 조류 등의 흐름변화에 기인했다기 보다는 외해파랑에 의해 발생하는 과정 중에 있는 것으로 여겨진다. 즉, 전형적인 외해파랑에 의한 지형변화 중에 있는 것으로 보여진다.

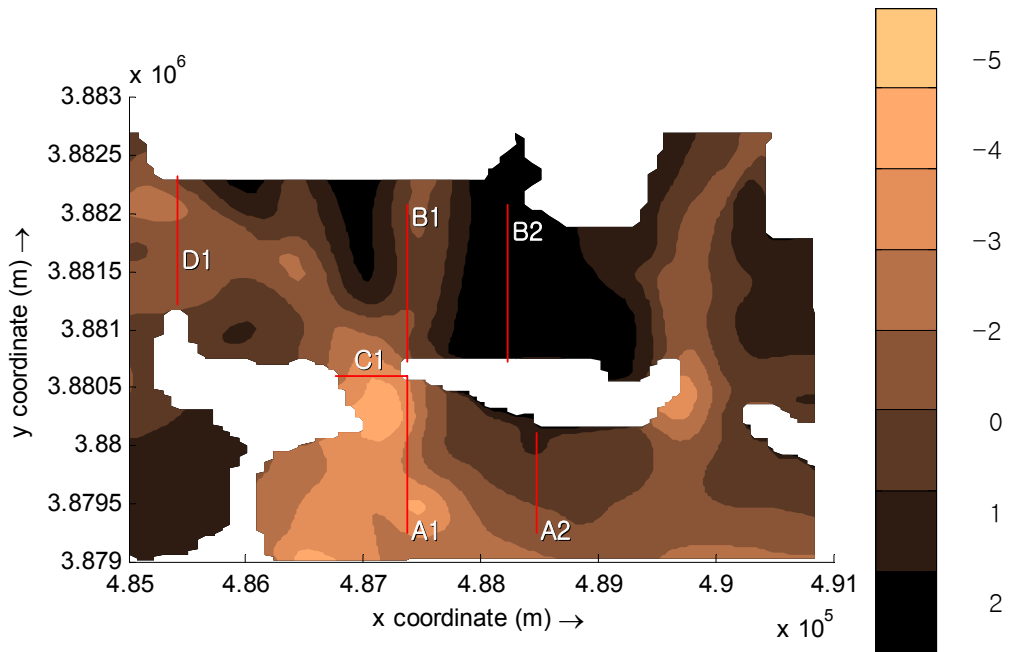


그림 2.4.12 신항건설전 진우도 주변해역의 수심 및 정선 배치.

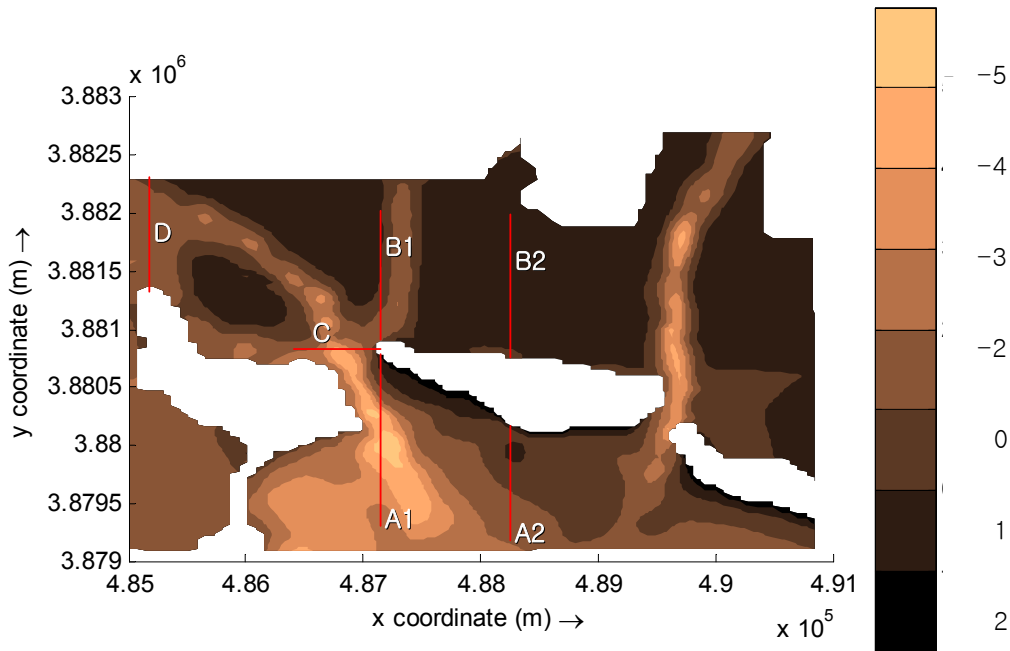


그림 2.4.13 현상태 진우도 주변해역의 수심 및 정선 배치.

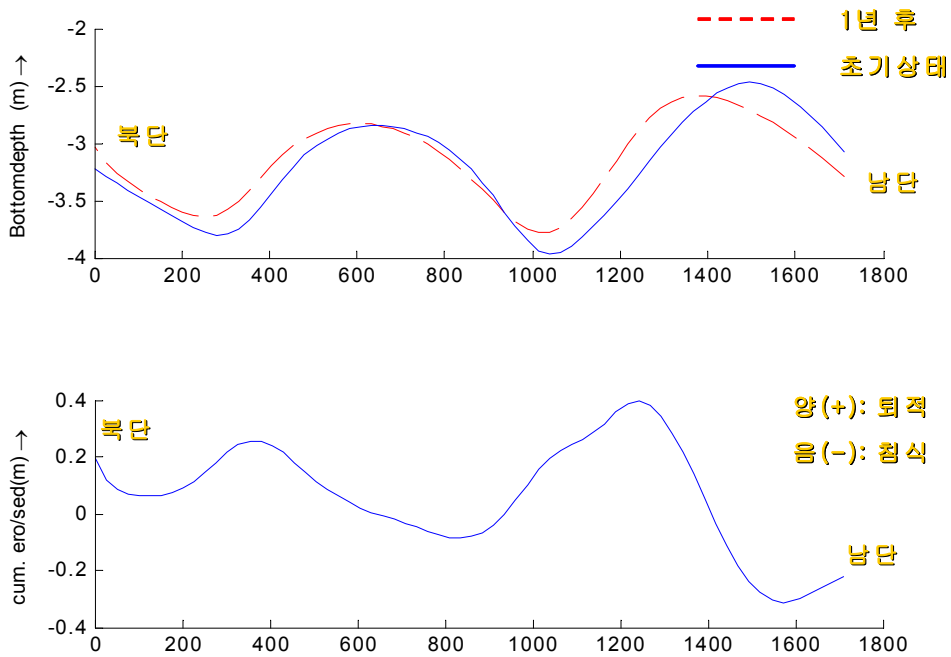


그림 2.4.14 신항건설전 정선 A1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

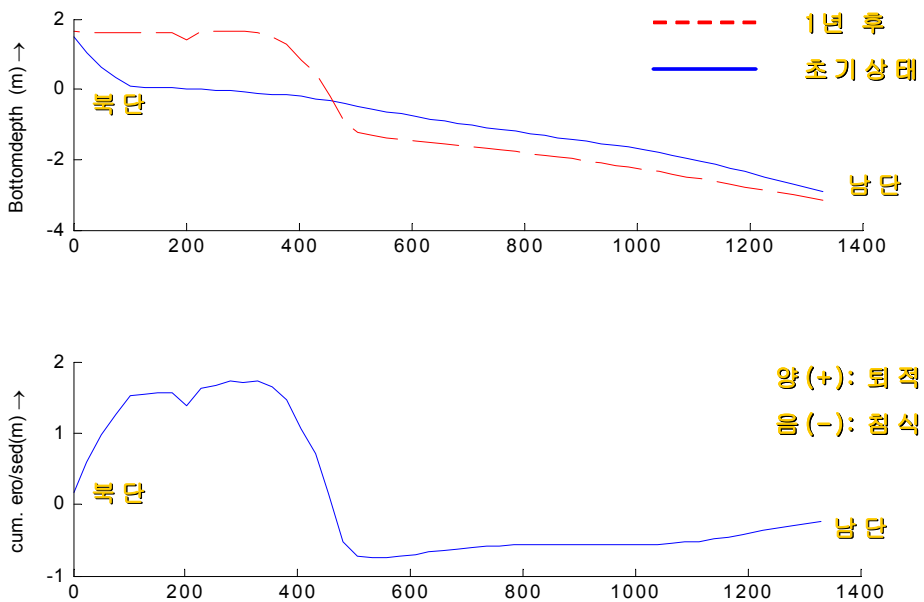


그림 2.4.15 신항건설전 정선 A2에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

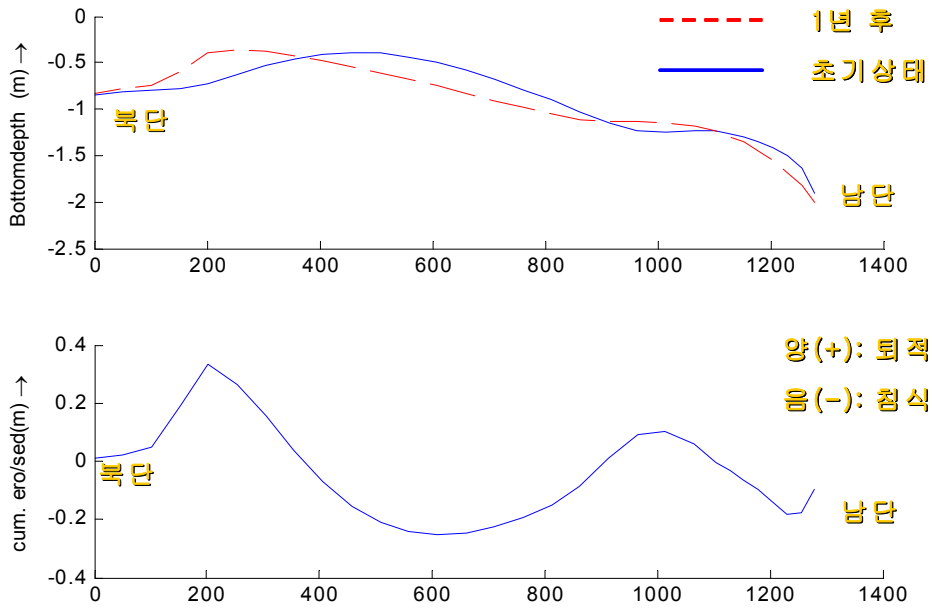


그림 2.4.16 신항건설전 정선 B1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

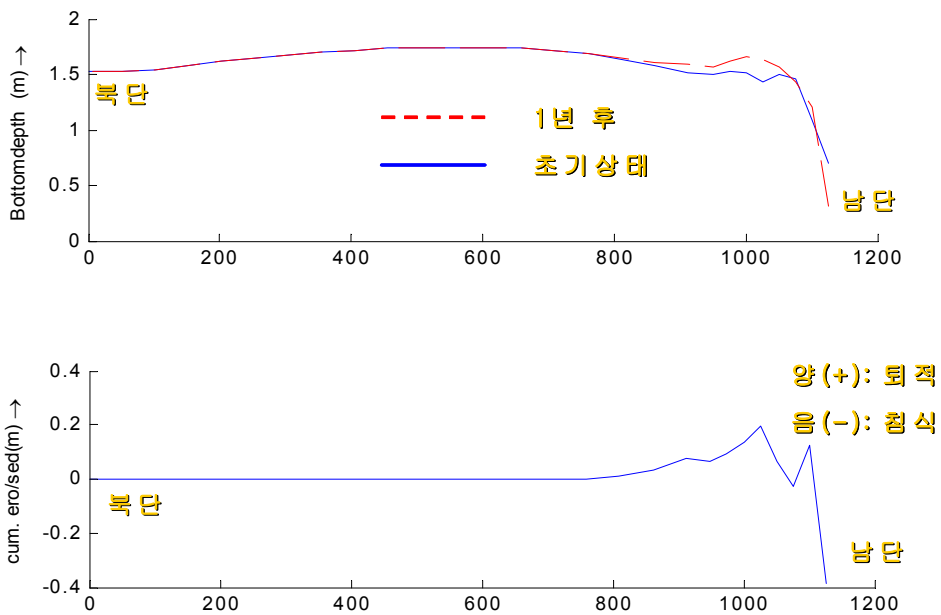


그림 2.4.17 신항건설전 정선 B2에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

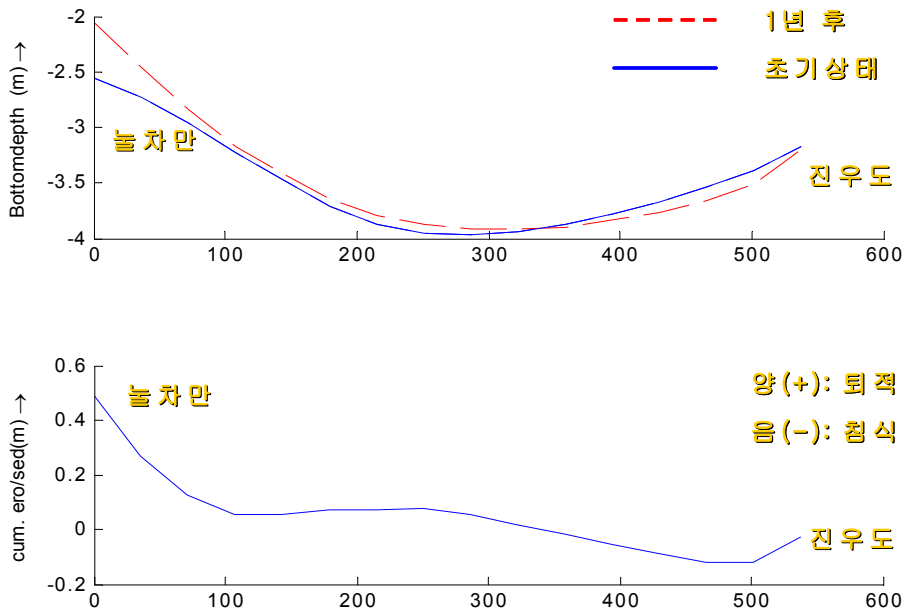


그림 2.4.18 신항건설전 정선 C1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

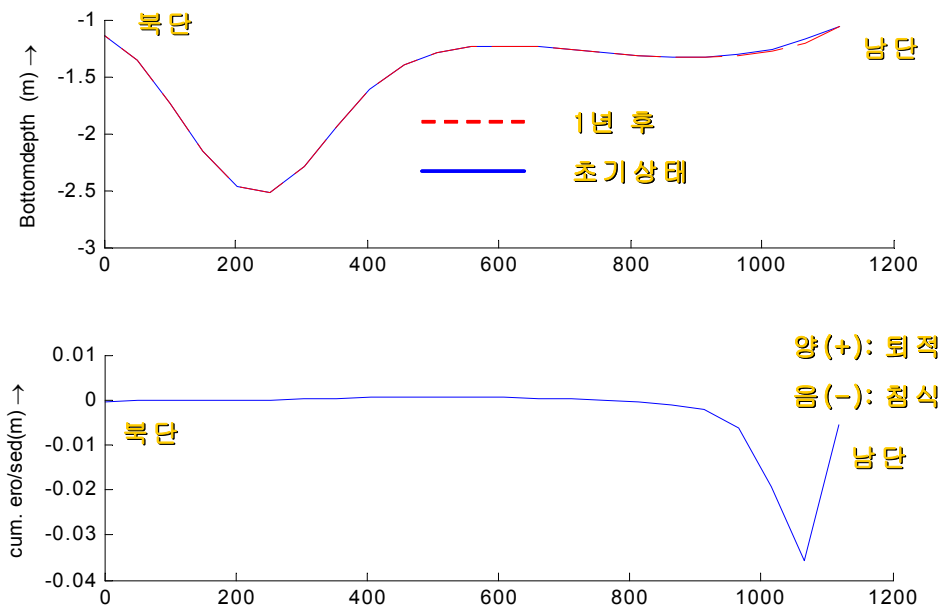


그림 2.4.19 신항건설전 정선 D1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

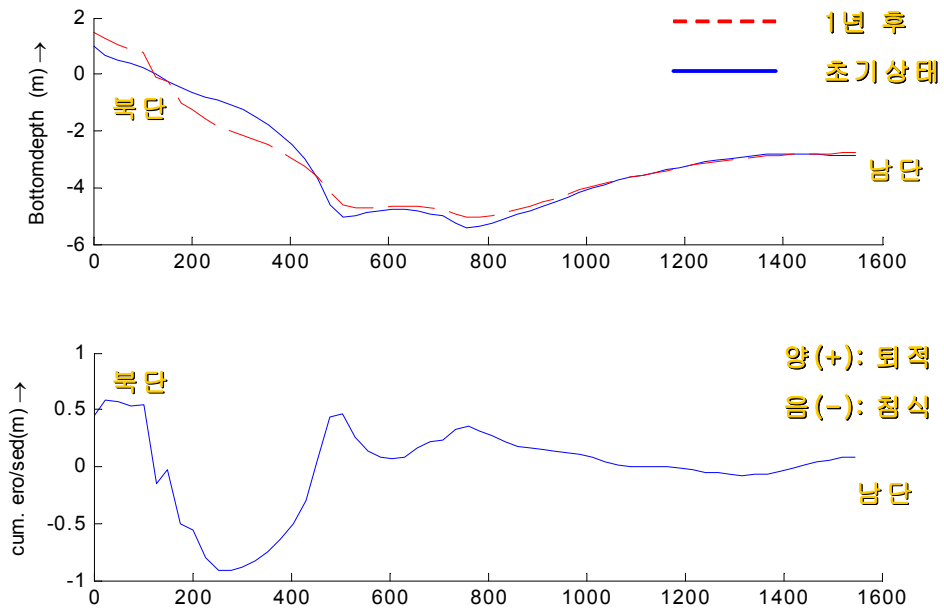


그림 2.4.20 현상태 정선 A1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

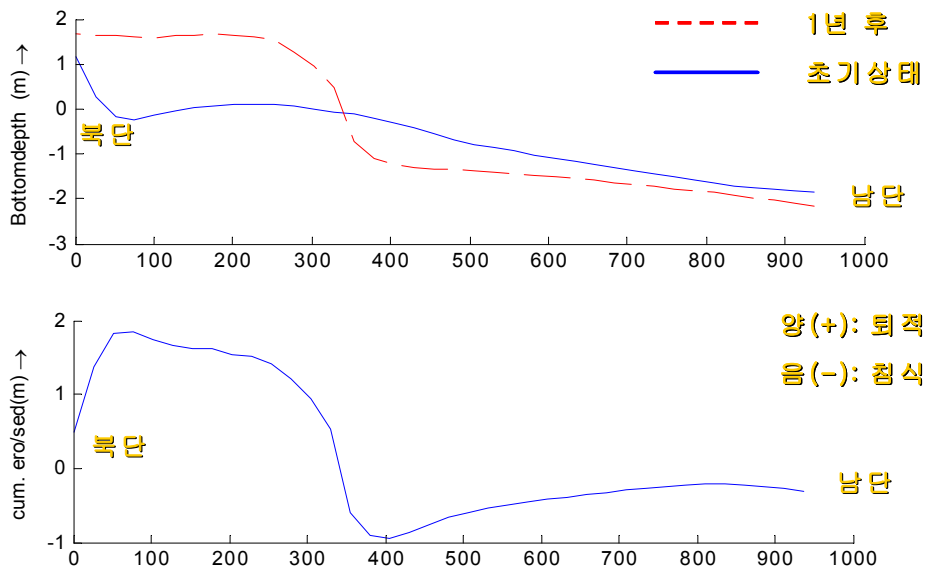


그림 2.4.21 현상태 정선 A2에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

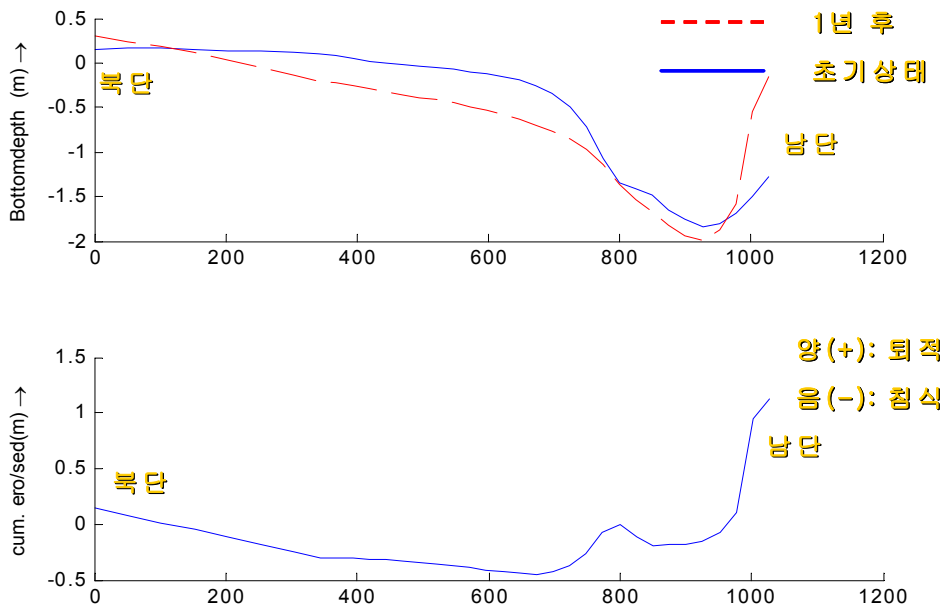


그림 2.4.22 현상태 정선 B1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

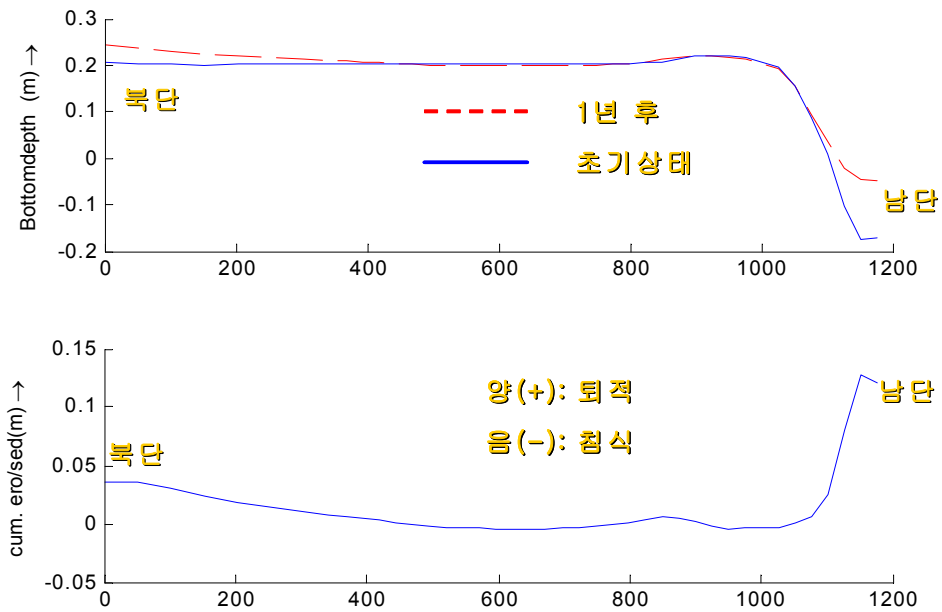


그림 2.4.23 현상태 정선 B2에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

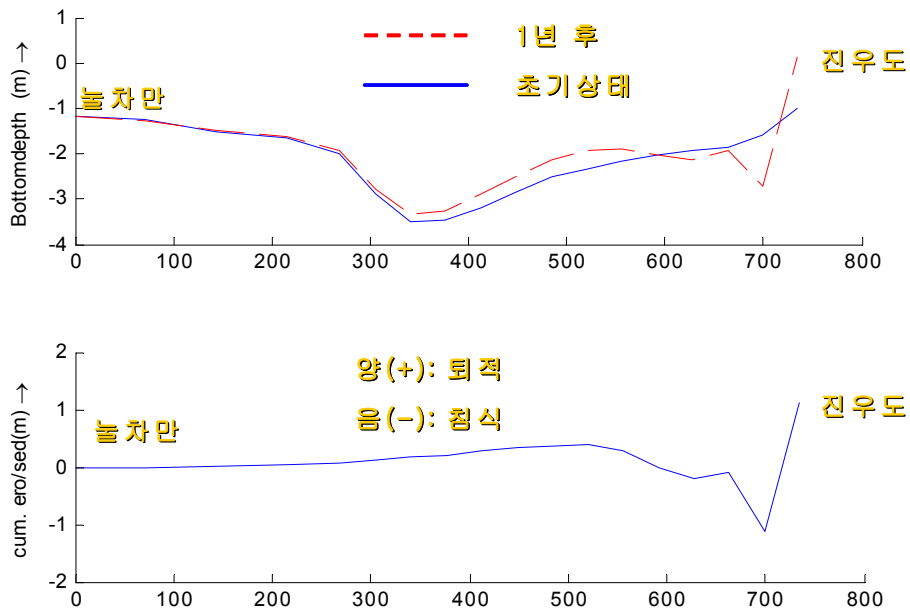


그림 2.4.24 현상태 정선 C1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

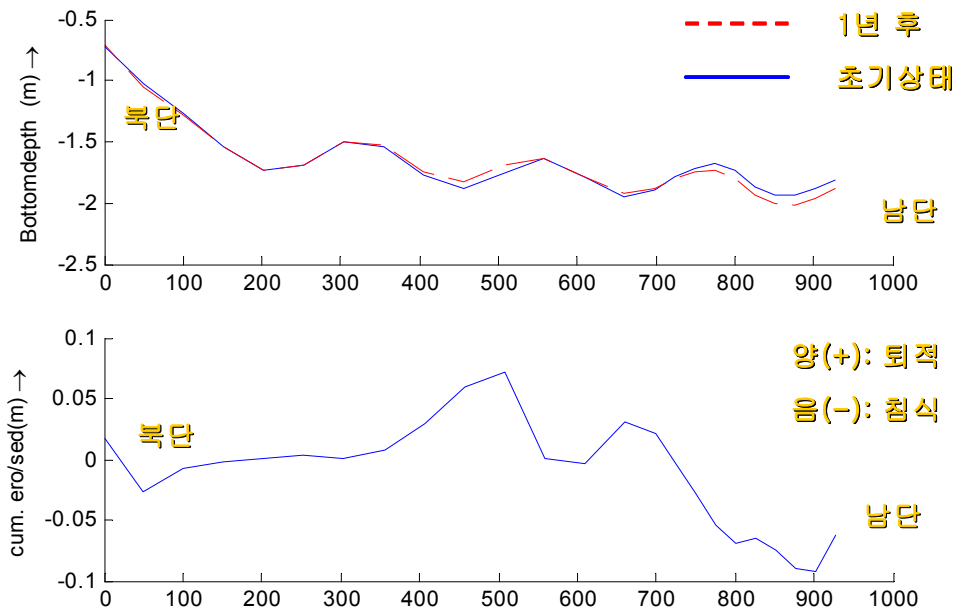


그림 2.4.25 현상태 정선 D1에서의 연간 수심변화 및 침·퇴적 두께 변화.

2.4.5 결론

본 과업은 부산신항 건설이 진우도 인근 장기 지형변화에 미치는 영향(기여도)을 분석한 것으로 진우도 인근해역의 지형변화는 신항건설로 인한 조류 등의 흐름변화에 기인했다기 보다는 외해파랑에 의해 발생하는 과정 중에 있는 것으로 여겨진다. 즉, 전형적인 외해파랑에 의한 지형변화 중에 있는 것으로 보여진다.

2.5 영상자료 수집 및 분석

2.5.1 위성자료 수집 및 분석

부산항 신항 건설 해역의 부유사 농도 공간분포, 공사 중 부유사 확산범위 및 공사 진척 상황 파악을 위하여 프랑스의 고해상도 위성인 SPOT-5로 촬영한 영상자료를 수집·분석하였다.

가. SPOT-5 위성

SPOT 위성은 프랑스 국립우주센터(CNES)를 중심으로 벨기에와 스웨덴의 공동연구로 개발된 원격탐사 시스템이며, 이 위성은 실험적 연구목적이 아닌 상업적 목적으로 개발·발사되었다. 최초 1986년 2월에 SPOT-1 발사 이후, 현재 2002년 5월에 발사한 SPOT-5에 이르고 있다.

표 2.5.1에 SPOT-5 위성의 주요 특성들을 제시하였다.

표 2.5.1 SPOT-5 위성의 주요 제원.

위 성	SPOT-5
발 사 시 기	2002년 5월
수 명	5년 이상
궤 도 특 성	자전동기
적조은행지방시	오전 10:30
적도기점운향고도	822 km
궤도순환주기	101.4분
동일궤도순환주기	26일
경 사 관 측	$\leq 45^\circ$
관 측 폭	60 km
공간해상도	2.5 m (Panchromatic) 10.0 m (Multi-spectral)

SPOT-5는 2.5 m 공간해상도의 단일(panchromatic band, 사용파장: 0.48~0.71 mm), 10 m 공간해상도의 가시광선 2개(green: 0.50~0.59 mm, red: 0.50~0.59 mm), 10 m 공간해상도의 근적외선 1개(near infrared: 0.78~0.89 mm) 및 20 m 공간해상도의 단파적외선 1개(short wave infrared: 1.58~1.75 mm)의 센서를 탑재하고 있다. 이러한 센서로 촬영된 원시 영상자료에 영상처리기법을 적용하여 단색과 가시광선 밴드를 합병함으로써 2.5 m 공간해상도의 칼라합성영상 제작이 가능하다.

이전의 “부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역” 4차년도(2002년 12월 27일 11시 23분, 소조기, 최강창조 부근), 5차년도(2004년 11월 12일 11시 30분, 대조기, 최강낙조 부근)에 SPOT-5 위성으로 촬영한 영상에 이어서 2006년 11월 20일 11시 30분, 2007년 11월 30일 11시 18분경에 촬영하였다. 이전의 위성사진과 가능한한 동일한 조건을 갖추기 위해 2006년 하반기에 촬영을 하도록 시도하였다. 과거의 영상 획득 시기는 2003년 10월 3일 11시 38분(소조기, 최강창조 부근)과 2004년 11월 12일 11시 30분(대조기, 최강낙조 부근)이다. 이 영상들은 상기와 같은 방법으로 처리하여 그림 2.5.10과 그림 2.5.11에 제시하였다. 한편, SPOT-5 영상은 칼라이므로 수색 분석을 통하여 부유사 농도의 정성적 파악이 가능하다.

2002년 영상에서는 오락방지막이 여러 곳에 설치되었으며, 북컨테이너부두 남측에 설치된 방지막의 경우 부유사 저감 효과를 정성적으로 파악할 수 있다. 그리고 2003년 영상에서는 준설토 투기장 가호안 및 북컨테이너부두 전면의 공사 해역 인근에서 비교적 높은 부유사농도를 보였으나, 공사 해역 이외에서는 전반적으로 낮게 나타났다. 2004년 영상에서는 준설토 투기장 내측이 상당량 매립된 것을 알 수 있다. 2006년 영상에서는 준설토 투기장이 거의 매립된 것을 알 수 있다. 북컨테이너부두의 하부공사는 대부분 완료되고, 연결잔교와 다목적 부두의 공사도 상당부분 진척되어 있으며 남컨 2-2단계 하부공사도 상당히 진척되어 있음을 알 수 있다. 2007년 영상에서는 남컨테이너부두 준설토 투기장의 호안공사가 상당부분 진행된 것을 확인할 수 있다. 3차 과업기간의 2008년 영상자료(그림 2.5.14)를 살펴보면, 남컨테이너부두 준설토 투기장의 호안공사와 남컨테이너부두 2-3단계 공사가 상당히 진척되었음을 확인할 수 있다.

2002년~2004년 영상 자료와 2006년, 2007년, 2008년 영상 자료를 비교해 보면 준설토 투기장과 북컨테이너부두, 연결잔교 및 다목적 부두 배후부지, 남컨테이너부두 2-2단계 하부공사, 남컨테이너부두 준설토 투기장의 호안공사와 남컨테이너부두 2-3단계 공사 등의 공사 진척단계를 확인할 수 있다.



그림 2.5.9 SPOT-5 위성 영상(2002. 12. 27).



그림 2.5.10 SPOT-5 위성 영상(2003. 10. 3).



그림 2.5.11 SPOT-5 위성 영상(2004. 11. 12).



그림 2.5.12 SPOT-5 위성 영상(2006. 11. 20).



그림 2.5.13 SPOT-5 위성 영상(2007. 11. 30).



그림 2.5.14 SPOT-5 위성 영상(2008. 12. 19).

2.6 용원수로의 수질변화 분석 및 대책검토

2.6.1 과업의 개요

가. 과업명 및 과업기간

- 과업명 : 부산항 신항 해양수리현상 연구개발용역 중
“용원수로 수질변화 분석 및 대책 검토”
- 과업기간 : 2008년 11월 24일~2009년 4월 27일

나. 과업범위 및 내용

- 과업내용 : 용원수로 수질변화 분석 및 수질모델링을 위한 입력자료 구성
- 분석항목 : 현장관측 항목 포함 10개 항목
기온, 수온, 염도(전기전도도), pH, DO, BOD, COD, SS, TN, TP
- 관측지점 : 부산신항만 용원수로 인근 총 10개 지점
용원수로(6개 지점), 송정천(2개 지점), 합류지점(2개 지점)
- 수질모델 : MIKE 21 (해수유동 현황 재현, 오염물질 확산 모델의 입력자료 제공)
HEC-RAS (수리학적 분석)
QUAL2E (수질모델)

2.6.2 기상조사

가. 조사방법

진해시의 기상 측정소가 없는 관계로 진해 용원해역의 기상자료는 부산지방기상청의 자료를 수집하여 정리하였다.

나. 조사기간 : 2006년 ~ 2009년

다. 조사결과

조사기간 내 평균기온은 16.21℃로 나타났으며 2006년 9월 15일에 37.5 mm로 최대강수량을 나타내었다. 조사결과는 표 2.6.1에 제시하였다.

표 2.6.1 기상조사표

관측소명		관측기관	단위유역명		시도	시군구			동리		TM_X		TM_Y	
부산지방기상청		기상청	낙동강N		부산광역시	동래구			명륜동 577번지		207486		189660	
년	월일	평균기온 (°C)	강수량 (mm)	증발량 (mm)	강우지속시간 (hr)	평균풍속 (m/s)	최대풍향	평균습도 (%)	이슬점 온도 (°C)	증기압 (hpa)	현기압 (hpa)	운량 (할)*	일사량 (MJ/m ²)	가조시간 (hr)
2006년 ~	06.08.29	27.5	-	-	-	1.5	-	74.1	-	-	-	0.9	-	-
	06.09.15	20.6	37.5	-	-	4.0	-	77.5	-	-	-	9.9	-	-
	06.09.29	21.8	-	-	-	2.4	-	68.5	-	-	-	4.3	-	-
	07.10.26	17.4	12.0	-	-	3.5	-	79.0	-	-	-	6.9	-	-
2009년	08.02.26	4.0	18.5	-	-	2.7	-	73.5	-	-	-	7.1	-	-
	08.05.27	18.0	-	-	-	1.9	-	78.5	-	-	-	4.6	-	-
	09.02.18	4.2	-	-	-	3.0	-	25.8	-	-	-	2.3	-	-
평균		16.21	9.71	-	-	2.71	-	68.1	-	-	-	5.14	-	-

2.6.3 수질조사

가. 조사지점

수질관측은 용원수로 주변 총 10개 지점을 대상으로 하여 수로 내부로부터 외부까지 지점 번호를 선정하여 용원수로 내부 6개지점, 송정천 2개 지점, 외부 2개 지점에서 채수하여 이를 분석하였다. 조사지점의 위치는 그림 2.6.1과 표 2.6.2에 나타내었다.



그림 2.6.1 조사지점 위치도.

표 2.6.2 조사지점 위치.

지점번호	지점명	E(동경)	N(북위)
Site 1	양지농원 앞	182340	177081
Site 2	용원배수장 하류부	183183	177317
Site 3	의창수협 수산물위판장	183249	177372
Site 4	망산도	183376	177811
Site 5	(주)웰스틸 앞	183762	177580
Site 6	대변철강 앞	184418	176964
Site 7	녹송1호교	184682	177992
Site 8	녹송3호교	184658	176956
Site 9	경제자유구역청 앞	184862	176771
Site 10	가덕도 여객터미널	184877	176362

나. 조사방법

용원수로의 수질조사는 2009년 2월 18일 1회 샘플 후 각 항목별로 2회 실험하여 평균하였으며, 수질분석방법은 총 9개 항목을 수질오염공정시험방법(환경부, 2003)을 기준으로 하였다. 각 항목별 분석방법은 표 2.6.3과 같다.

표 2.6.3 수질분석방법.

수질항목	분석방법	비고
수온	YSI 85	현장분석
pH	744 pH meter	Metrohm社
DO	YSI 85	현장분석
BOD ₅	수질오염공정시험법 제4장 제4항 윙클러 아지드화나트륨 변법	
COD _{Mn}	수질오염공정시험법 제4장 제6항 알칼리성 100℃ 과망간산칼륨법	
SS	수질오염공정시험법 제4장 제8항 유리섬유여지법	
TN	수질오염공정시험법 제4장 제14항 흡광광도법	
TP	수질오염공정시험법 제4장 제16항 흡광광도법	
Salinity	Conduct meter	Professional meter PP-50

나. 조사결과

수질조사는 2009년 2월 18일 수행한 결과에 과거 2006~2008년 까지 수행하였던 6회 자료를 추가하여 나타내었다. 조사결과는 표 2.6.4와 같다.

표 2.6.4 수질조사표.

지점 번호	지점명	시기	수온 (°C)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 1	양지하관앞	06.08.29	29.6	18.95	7.43	6.37	50.1	3.11	3.72	1.27	0.170
		06.09.15	20.0	21.34	7.68	6.43	88.2	2.66	2.78	1.30	0.360
		06.09.29	23.5	21.88	7.62	6.93	37.3	2.13	2.45	0.82	0.240
		07.10.26	20.8	19.29	7.62	7.01	19.9	3.42	4.01	3.00	0.500
		08.02.26	10.2	18.70	7.32	6.12	21.8	3.12	3.08	3.30	0.110
		08.05.27	23.0	19.87	7.50	4.36	91.1	3.43	3.59	0.70	0.210
		09.02.18	12.7	12.25	7.65	5.14	64.7	4.14	5.60	2.88	0.189
		평균	20.0	18.90	7.55	6.05	53.3	3.14	3.60	1.90	0.254

지점 번호	지점명	시기	수온 (°C)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 2	용원배수장하류측	06.08.29	29.8	19.54	7.50	6.38	39.9	3.02	2.96	1.19	0.140
		06.09.15	21.8	24.96	7.63	6.32	89.7	3.11	3.24	1.27	0.150
		06.09.29	23.0	25.00	7.57	6.42	49.6	2.45	2.51	1.02	0.190
		07.10.26	20.5	22.06	7.90	7.15	36.2	3.38	3.80	6.00	0.600
		08.02.26	10.2	24.16	7.98	5.10	11.5	2.79	2.20	1.00	0.060
		08.05.27	21.1	23.01	7.48	5.13	68.0	2.82	2.96	0.60	0.200
		09.02.18	10.0	12.17	7.71	5.21	51.9	2.94	3.20	1.55	0.133
		평균	19.5	21.56	7.68	5.96	49.5	2.93	2.98	1.80	0.210

지점 번호	지점명	시기	수온 (°C)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 3	수협수산물위판장	06.08.29	29.0	20.15	7.51	6.01	52.6	3.34	3.04	1.34	0.250
		06.09.15	21.8	25.25	7.64	6.62	95.6	3.08	2.84	0.36	0.260
		06.09.29	22.8	25.19	7.61	6.50	24.0	2.01	2.46	0.26	0.120
		07.10.26	20.3	24.28	7.87	6.61	51.4	3.67	3.56	3.30	0.400
		08.02.26	10.2	25.30	7.68	6.92	18.5	3.92	3.44	1.90	0.120
		08.05.27	23.0	22.67	7.78	4.09	73.3	3.88	4.25	0.90	0.140
		09.02.18	10.0	12.17	7.73	5.34	31.9	6.50	9.20	3.15	0.111
		평균	19.6	22.14	7.69	6.01	49.6	3.77	4.11	1.60	0.200

표 2.6.4 수질조사표(계 속).

지점 번호	지점명	시기	수온 (℃)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 4	망 산 도	06.08.29	30.1	19.95	7.67	6.25	58.1	3.39	3.28	1.08	0.140
		06.09.15	22.9	24.45	7.77	6.52	177.8	2.85	3.12	0.74	0.060
		06.09.29	22.5	21.70	7.61	5.71	82.1	2.43	2.84	0.55	0.040
		07.10.26	20.1	26.71	7.90	7.36	35.4	4.02	4.12	3.00	0.400
		08.02.26	10.2	25.89	7.67	7.62	12.7	3.01	3.08	2.00	0.020
		08.05.27	21.6	23.96	7.65	5.39	142.1	3.22	3.41	2.10	0.170
		09.02.18	10.0	12.16	7.91	9.21	67.6	3.56	4.80	0.99	0.118
		평균	19.6	22.12	7.74	6.87	82.3	3.21	3.52	1.50	0.135

지점 번호	지점명	시기	수온 (℃)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 5	(주) 웰 스 탈 앞	06.08.29	29.4	20.45	7.74	6.50	51.7	2.42	2.36	0.88	0.130
		06.09.15	22.1	26.28	7.65	6.45	149.1	2.51	2.31	0.63	0.050
		06.09.29	23.4	25.64	7.69	7.50	60.2	2.11	2.04	0.35	0.030
		07.10.26	19.9	25.04	7.84	6.96	21.2	3.76	4.26	1.70	0.300
		08.02.26	10.2	26.09	7.74	7.51	22.2	2.94	3.64	0.90	0.010
		08.05.27	21.4	26.68	8.08	6.25	64.5	3.31	3.61	0.40	0.170
		09.02.18	9.2	12.17	7.97	6.84	37.0	3.12	4.00	0.57	0.056
		평균	19.4	23.19	7.82	6.86	58.0	2.88	3.17	0.78	0.107

지점 번호	지점명	시기	수온 (℃)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 6	대 번 철 강 앞	06.08.29	29.2	21.73	7.64	6.72	41.0	2.97	2.44	0.97	0.100
		06.09.15	22.1	28.09	7.82	6.47	159.0	2.65	2.42	0.55	0.180
		06.09.29	23.5	27.40	7.87	8.16	54.2	2.16	2.54	0.35	0.090
		07.10.26	20.0	27.30	8.11	7.39	40.0	3.23	3.95	0.50	0.400
		08.02.26	10.2	27.11	7.96	5.84	25.7	3.22	3.36	2.20	0.040
		08.05.27	21.1	28.24	8.16	7.36	68.5	2.76	3.44	0.70	0.110
		09.02.18	9.5	12.15	8.02	6.57	42.6	3.30	4.40	0.41	0.042
		평균	19.4	24.57	7.94	6.93	61.6	2.90	3.22	0.81	0.137

지점 번호	지점명	시기	수온 (℃)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 7	북 송 1 호 교	06.08.29	29.0	9.09	7.41	6.01	27.3	3.42	3.80	1.68	0.140
		06.09.15	21.9	22.10	7.77	7.35	79.3	2.05	2.11	0.81	0.060
		06.09.29	23.5	17.99	7.82	7.55	19.3	1.94	2.04	0.48	0.040
		07.10.26	19.8	27.22	8.08	6.61	39.5	3.76	3.92	0.50	0.400
		08.02.26	10.2	26.28	8.16	7.80	12.7	2.88	2.40	0.60	0.010
		08.05.27	22.6	27.65	7.67	5.80	78.5	3.01	3.83	0.70	0.110
		09.02.18	4.9	12.23	8.06	9.94	27.8	4.34	6.80	0.58	0.039
		평균	18.9	20.37	7.85	7.29	40.6	3.06	3.56	0.77	0.114

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)

표 2.6.4 수질조사표(계 속).

지점 번호	지점명	시기	수온 (℃)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 8	남 송 3 호 교	06.08.29	27.8	19.18	7.66	6.54	48.8	3.01	2.56	1.02	0.070
		06.09.15	22.1	28.35	7.91	6.63	93.9	2.99	2.25	0.42	0.070
		06.09.29	24.1	25.22	7.84	7.46	44.1	2.06	2.23	0.32	0.050
		07.10.26	20.0	26.72	8.15	6.93	38.8	3.19	3.56	0.60	0.400
		08.02.26	10.2	27.23	8.33	5.07	16.1	3.03	3.14	0.90	0.120
		08.05.27	20.7	29.54	7.94	8.21	72.0	3.07	3.89	3.10	0.150
		09.02.18	6.5	12.18	7.95	6.14	33.8	4.22	6.00	0.47	0.044
		평균	18.8	24.06	7.97	6.71	49.6	3.08	3.38	0.98	0.129

지점 번호	지점명	시기	수온 (℃)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 9	경 제 자 유 구 역 청 앞	06.08.29	28.7	23.57	7.62	6.90	41.7	1.95	1.80	1.02	0.100
		06.09.15	22.3	28.28	7.97	7.01	96.8	1.35	1.48	0.39	0.180
		06.09.29	23.6	28.38	7.99	8.46	24.4	1.21	1.64	0.25	0.100
		07.10.26	19.9	27.65	8.14	7.59	53.5	2.26	3.10	0.50	0.100
		08.02.26	10.2	28.69	7.99	6.78	71.6	3.43	4.52	1.40	0.020
		08.05.27	21.4	28.97	8.07	8.98	63.4	3.26	3.46	0.40	0.130
		09.02.18	9.2	12.16	7.93	5.56	44.7	2.40	3.20	0.19	0.033
		평균	19.3	25.39	7.96	7.33	56.6	2.27	2.74	0.59	0.095

지점 번호	지점명	시기	수온 (℃)	Salinity (ppt)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD5 (mg/L)	CODMn (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Site 10	가 덕 도 여 객 터 미 널	06.08.29	26.2	21.13	7.48	7.50	100.2	3.59	3.24	0.43	0.310
		06.09.15	22.2	28.08	8.02	7.11	88.8	3.20	3.45	0.47	0.440
		06.09.29	23.2	28.79	7.96	8.15	25.6	2.91	3.11	0.24	0.220
		07.10.26	19.9	27.79	8.18	7.88	26.8	3.56	3.79	0.70	0.500
		08.02.26	10.2	28.29	8.16	6.52	7.7	3.69	4.40	1.30	0.020
		08.05.27	20.4	26.98	8.02	8.90	60.5	2.82	2.76	1.20	0.110
		09.02.18	9.3	25.25	7.93	2.12	4.0	3.20	4.00	0.13	0.029
		평균	18.8	26.62	7.96	6.88	44.79	3.28	3.54	0.64	0.233

2.6.4 수질변동 양상 분석

환경정책기본법 시행령에서 정한 해역의 수질 등급에 따른 기준은 표 2.6.5와 같다. I 등급은 참돔·방어 및 미역 등 수산생물의 서식·양식 및 해수욕에 적합한 수질을 말한다. II 등급은 해양에서의 관광 및 여가선용과 송어 및 김 등 I 등급의 해역에서 서식·양식에 적합한 수산생물외의 수산생물의 서식·양식에 적합한 수질을 말한다. III 등급은 공업용 냉각수, 선박의 정박 등 기타 용도로 이용되는 수질을 말한다.

표 2.6.5 해역 수질환경기준.

등급	기 준						
	PH	COD (mg/L)	DO (mg/L)	총대장균군 (대장균수/ 100mL)	용매추출 유분 (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
I	7.8~8.3	1 이하	7.5 이상	1000 이하	0.01 이하	0.3 이하	0.03 이하
II	6.5~8.5	2 이하	5 이상	1000 이하	0.01 이하	0.6 이하	0.05 이하
III	6.5~8.5	4 이하	2 이상	-	-	1.0 이하	0.09 이하

용원수로 수질변동양상은 각 지점별 수질변화와 시간별 수질변화에 따른 추세검정으로 구분하여 분석하였다. 분석에 사용한 자료는 2006년 8월~2009년 2월 동안의 자료를 사용하였으며, 추세검정의 경우 site 2, 5, 9을 2003년~2007년 부산항 사후환경영향 조사결과 자료를 추가하여 분석하였다.

가. 지점별 수질변화

각 지점별 수질결과는 BOD₅, COD_{Mn}, TN, TP, SS의 주요항목을 산술평균하여 분석하였다. 아래 그림 2.6.2는 지점별 평균 BOD₅로 비교적 고른 분포를 띠었으나 site 3의 경우 3.77 mg/L로 용원수로 외부 입구지점인 site 9의 2.27 mg/L보다 높은 값을 나타내었다. 이는 수산물 위판장의 특성상 유기물이 많이 함유되어 있기 때문이라 판단된다. 아래 그림 2.6.3에서 보듯이 COD_{Mn} 역시 BOD₅와 비슷한 경향을 나타내었는데 용원수로 주변 모든 지점에서 해역 수질환경기준 3등급인 COD 4mg/L 이하에 해당하였으며 site 3 지점은 초과하였다.

SS의 경우 역시 고른 분포를 나타내었으나 site 4 지역에서 82.3 mg/L로 가장 높았으며, site 7에서 40.6 mg/L로 가장 낮은 값을 나타내었다.

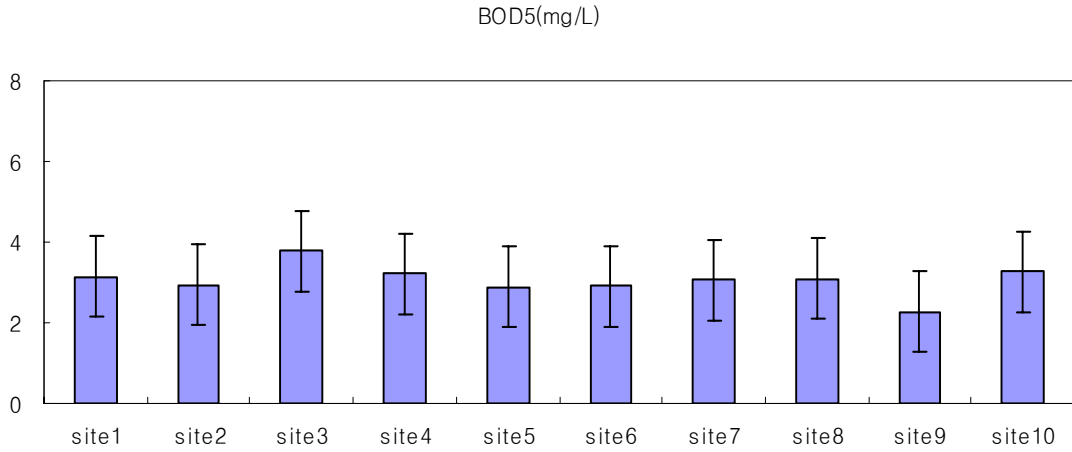


그림 2.6.2 지점별 평균 BOD₅.

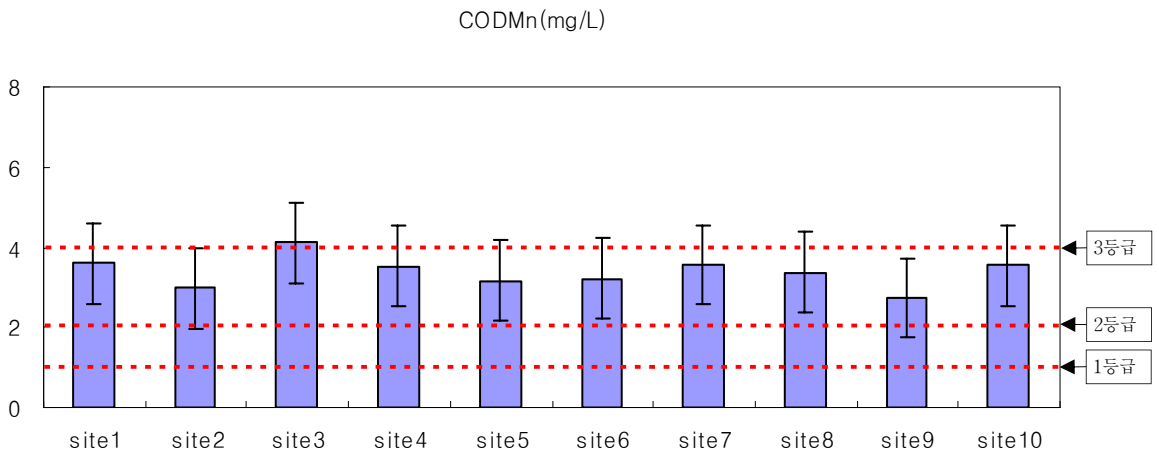


그림 2.6.3 지점별 평균 COD_{Mn}.

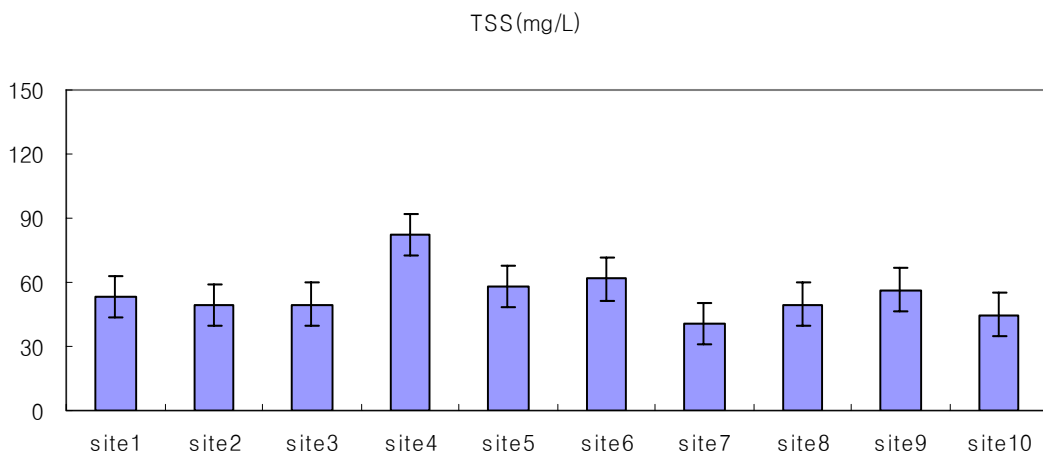


그림 2.6.4 지점별 평균 TSS.

지점별 평균 TN은 용원수로 내부 지점들이 외부지점보다 높은 값을 나타내었는데 이 중 site 1이 1.895 mg/L로 가장 높았으며, site 9이 0.592 mg/L로 가장 낮은 값을 나타내었다. 특히 site 1~4 지점은 해역 수질환경기준 3등급인 TN 1 mg/L를 초과하였으며 site 5~10 지점의 경우 3등급에 해당하는 농도값을 나타내었다. TP의 경우 TN과 비슷한 양상을 띄었으며 site 1이 0.254 mg/L로 가장 높은 값을, site 9가 0.095 mg/L로 가장 낮은 값을 나타내었다. 또한 모든 지점에서 해역 수질환경기준 3등급인 TP 0.09 mg/L를 초과하였으며 특히 site 1~4 지점이 다른 지점에 비해 높은 값을 나타내었다. 이처럼 용원수로 내부지점의 농도가 외부지점보다 높은 이유는 site 1~4 까지 육지에서 해상으로 나오는 토구가 밀집되어 있기 때문에 비점오염원의 영향으로 판단된다.

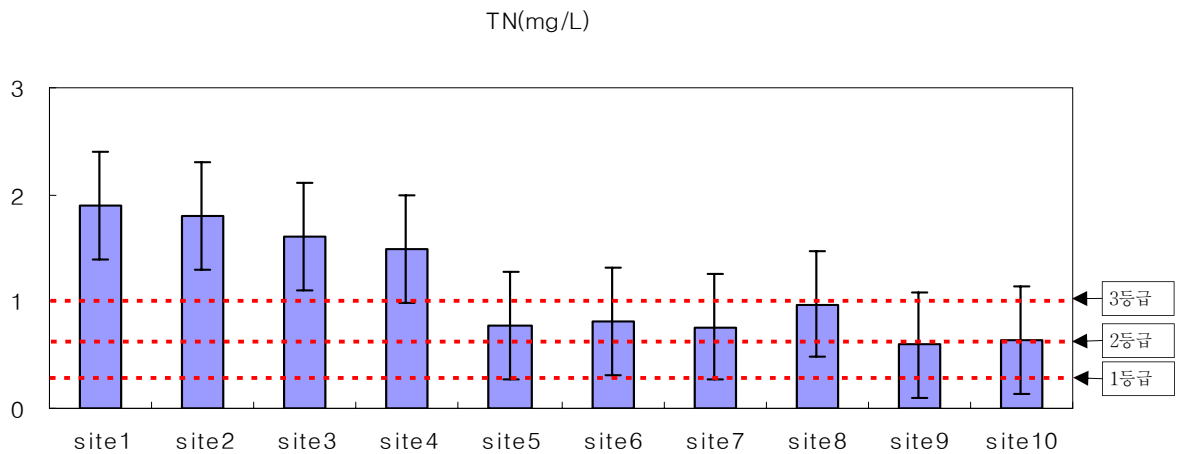


그림 2.6.5 지점별 평균 TN.

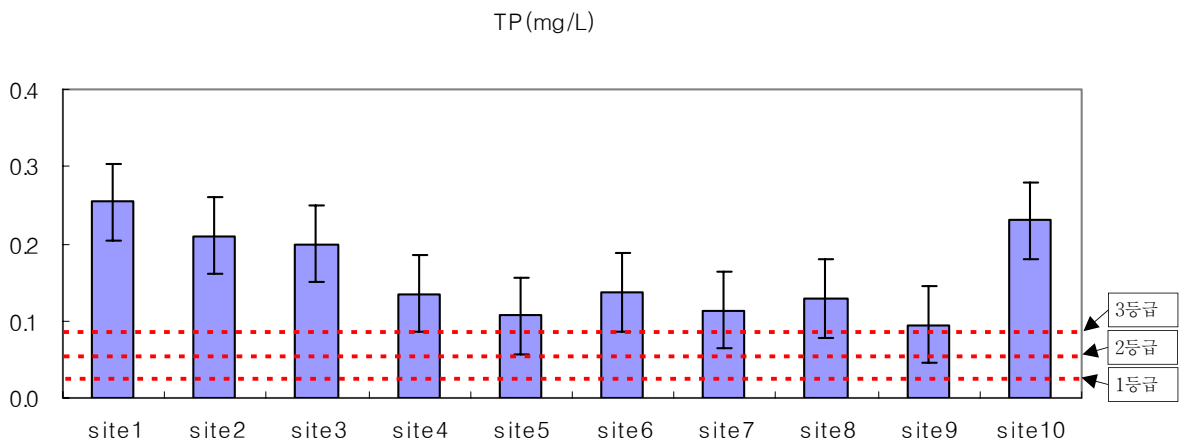


그림 2.6.6 지점별 평균 TP.

나. 시간별 수질변화

용원수로를 포함한 일반적인 수질자료는 월별 변화가 심하기 때문에 도식적인 분석 (graphical analysis)으로 추세를 판단하기에는 곤란한 부분이 있다. 따라서 본 연구에서는 추세분석을 통해 향후 용원수로의 수질변화를 예측하고자 한다. 추세분석에 이용한 자료는 2008년~2009년 까지 수행한 3회 자료와 부산항 신항 사후환경영향 조사결과 통보서의 2003년부터 2007년 까지 월별 관측한 자료 및 직전 12개 자료(1년간의 자료)를 평균한 이동평균 자료(실질적으로 연 평균 자료)를 첨부하여 분석하였다. 해당지점은 용원수로 내부지점인 site 2, 5과 외부지점인 site 9번을 기준으로 하였으며 CODMn, TN, TP의 주요 수질항목을 분석하여 그림 2.6.7~2.6.15에 나타내었다.

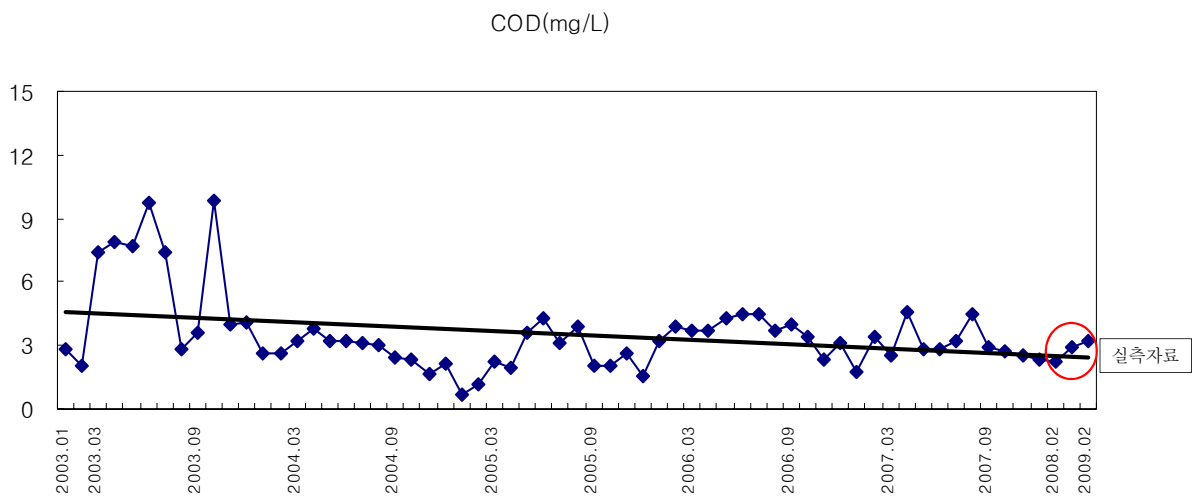


그림 2.6.7 COD농도 추세변화(site 2, 2003~2009).

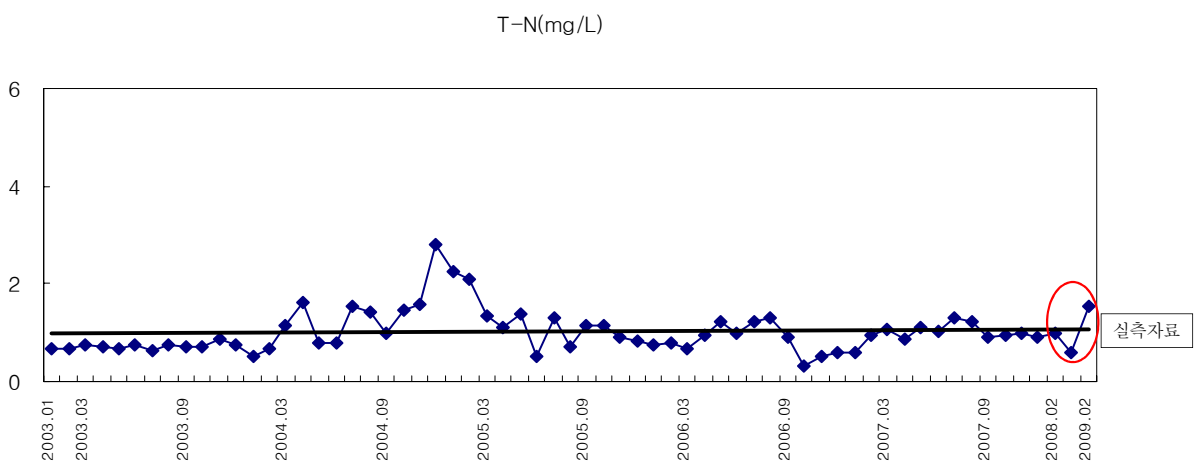


그림 2.6.8 TN농도 추세변화(site 2, 2003~2009).

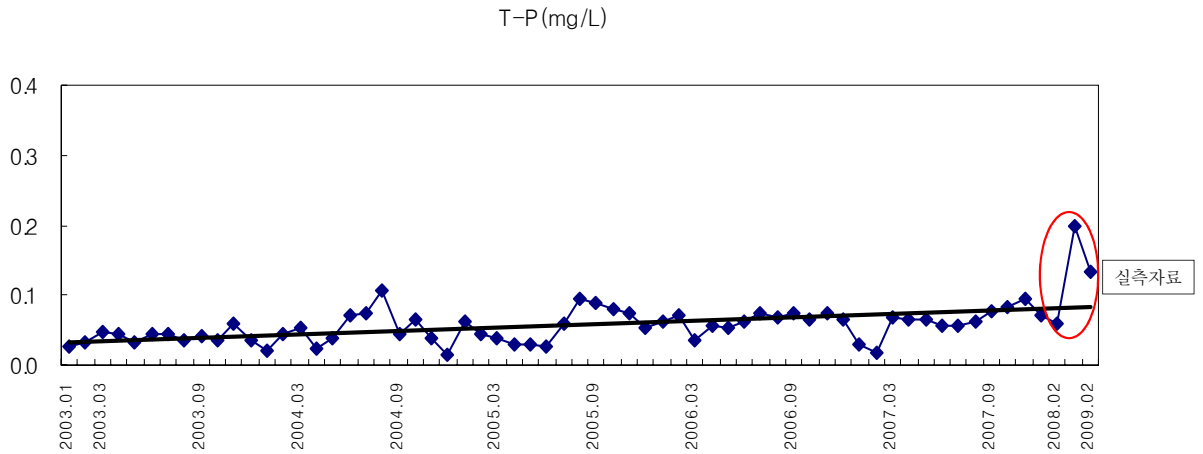


그림 2.6.9 TP농도 추세변화(site 2, 2003~2009).

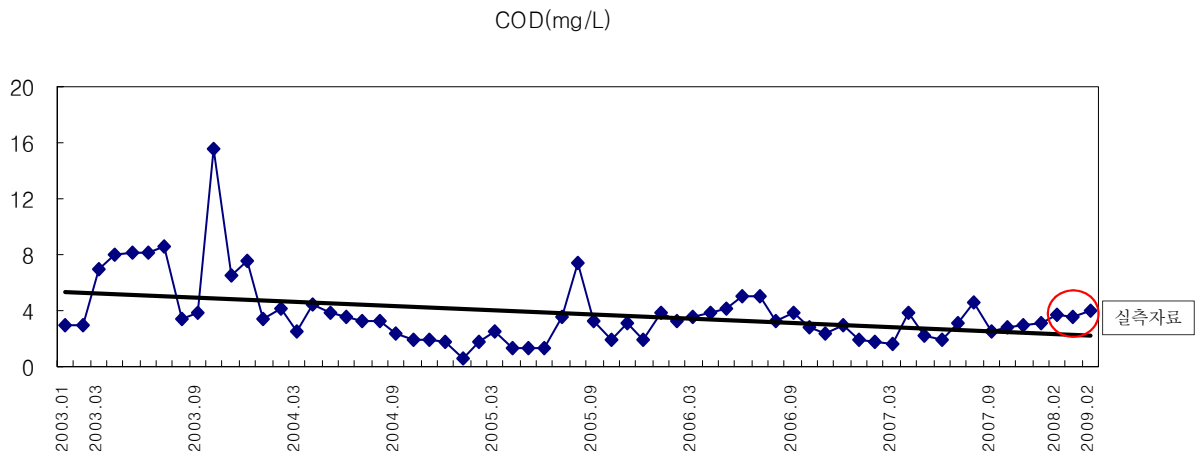


그림 2.6.10 COD농도 추세변화(site 5, 2003~2009).

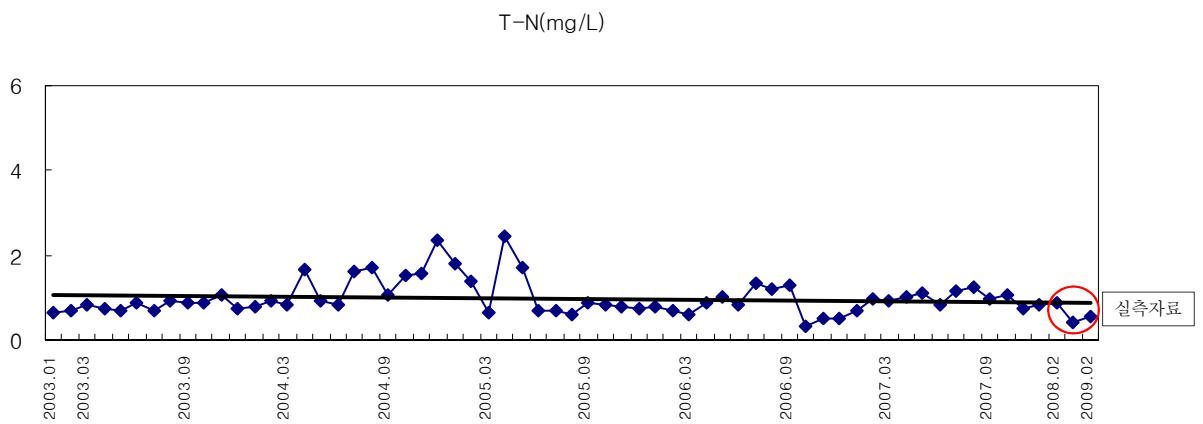


그림 2.6.11 TN농도 추세변화(site 5, 2003~2009).

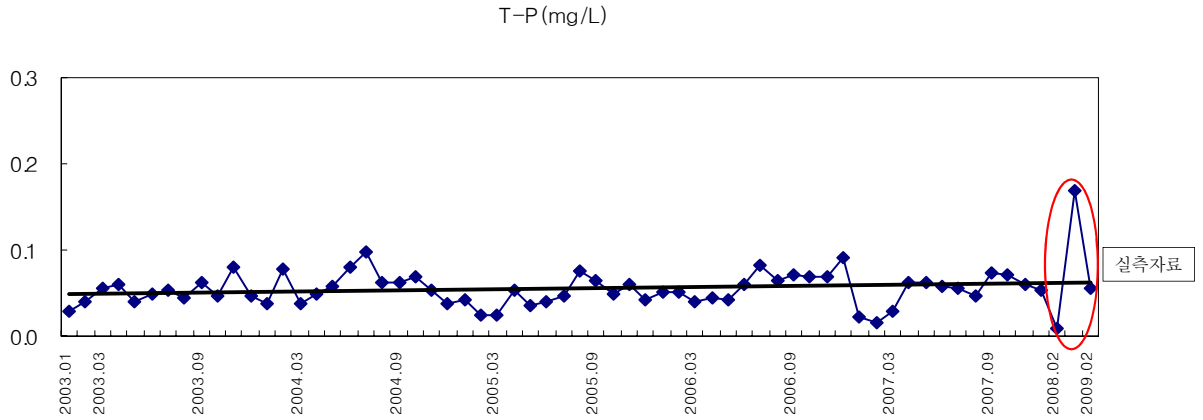


그림 2.6.12 TP농도 추세변화(site 5, 2003~2009).

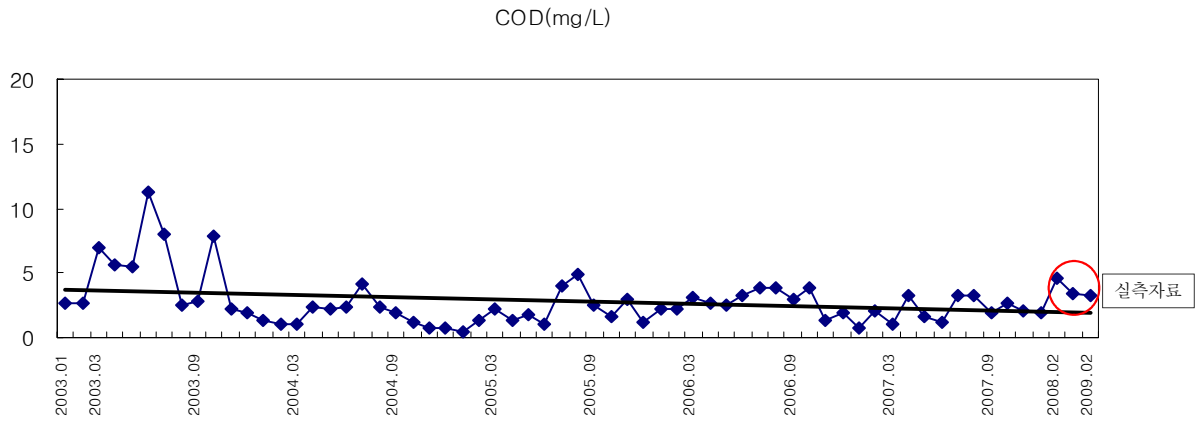


그림 2.6.13 COD농도 추세변화(site 9, 2003~2009).

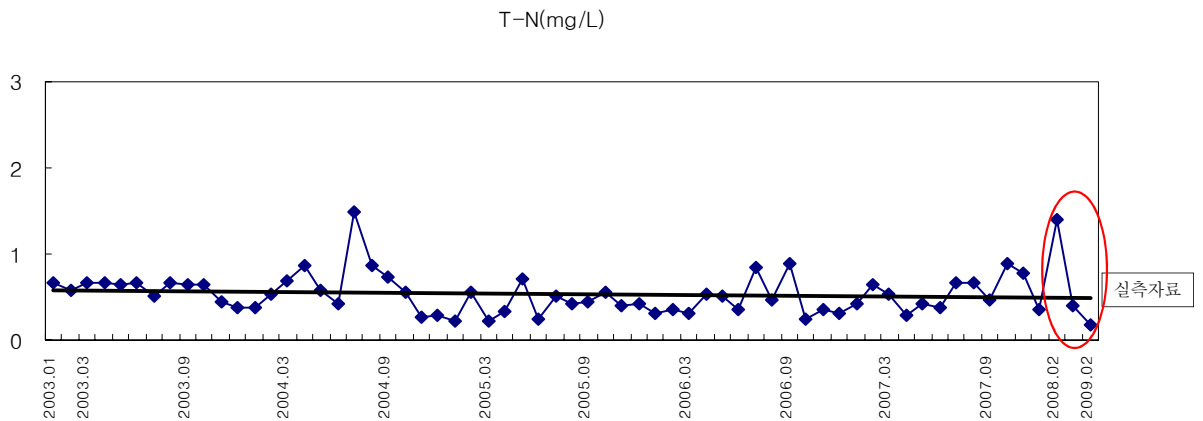


그림 2.6.14 TN농도 추세변화(site 9, 2003~2009).

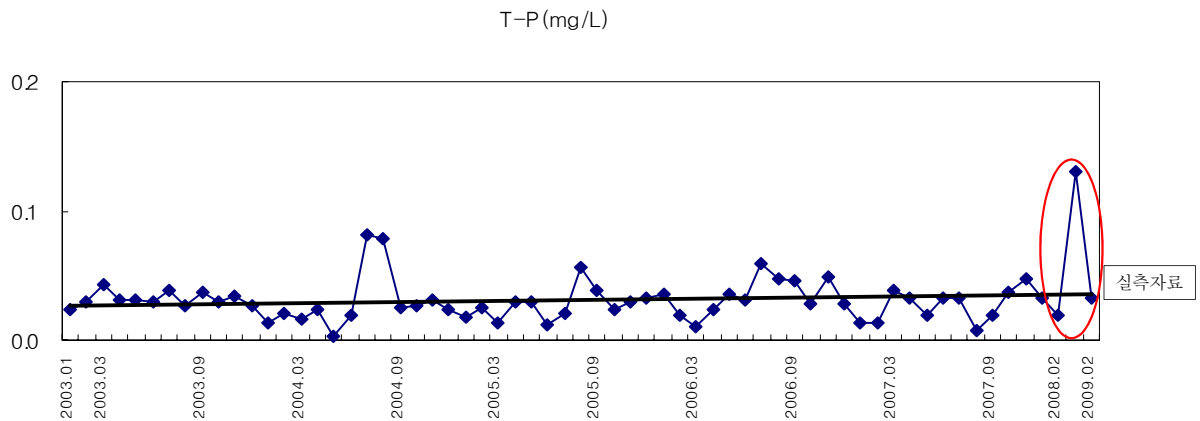


그림 2.6.15 TP농도 추세변화(site 9, 2003~2009).

추세 검정한 결과, site 2, 5, 9 지점의 COD농도, site 2의 TP농도가 뚜렷한 추세변화가 있는 것으로 파악되었으며, 나머지 지점의 자료는 모두 뚜렷한 농도변화 추세를 보이고 있지 않은 것으로 파악되었다. site 2, 5, 9 지점의 COD농도는 2009년으로 갈수록 점차 감소하는 추세를 나타내었다. 즉, 2003년 기간의 심한 오염의 영향으로 초기에는 높은 농도를 보이다가 점차 개선되는 추세를 보이고 있는 것으로 파악되었다. 반면에 site 2지점의 TP농도는 점차 증가하는 추세를 나타내었다.

이는 유역에서의 지속적인 TP의 오염부하 및 제한된 해수교환으로 유입된 오염물질이 수로내부에서 채류하기 때문이라고 판단된다. 용원지역의 부산신항 개발사업 전·후의 수질변화 양상 분석은 자료부족으로 정확한 판단을 내릴 수는 없으나 용원수로가 형성된 이후의 수질변화는 site 2 지점의 TP 항목을 제외하고는 뚜렷한 추세변화가 없는 것으로 분석되었다. site 2 지점의 뚜렷한 TP 항목의 증가에도 불구하고 site 5, 9지점의 추세가 보이지 않는 이유는 TP 오염부하의 영향범위가 용원수로 전체로 미치지 않고 국지적으로 제한되는 것으로 판단할 수 있다.

2.6.5 용원수로 오염원 조사

토구 조사는 용원수로 주변을 대상으로 하여 용원수로 내부지점으로부터 외부지점까지 현장 조사하였다. 조사결과 용원수로 주변의 토구 개수는 총 28개로 비닐관 5개소, 토구 23개소이며 토구의 위치는 다음 그림 2.6.16과 같다.

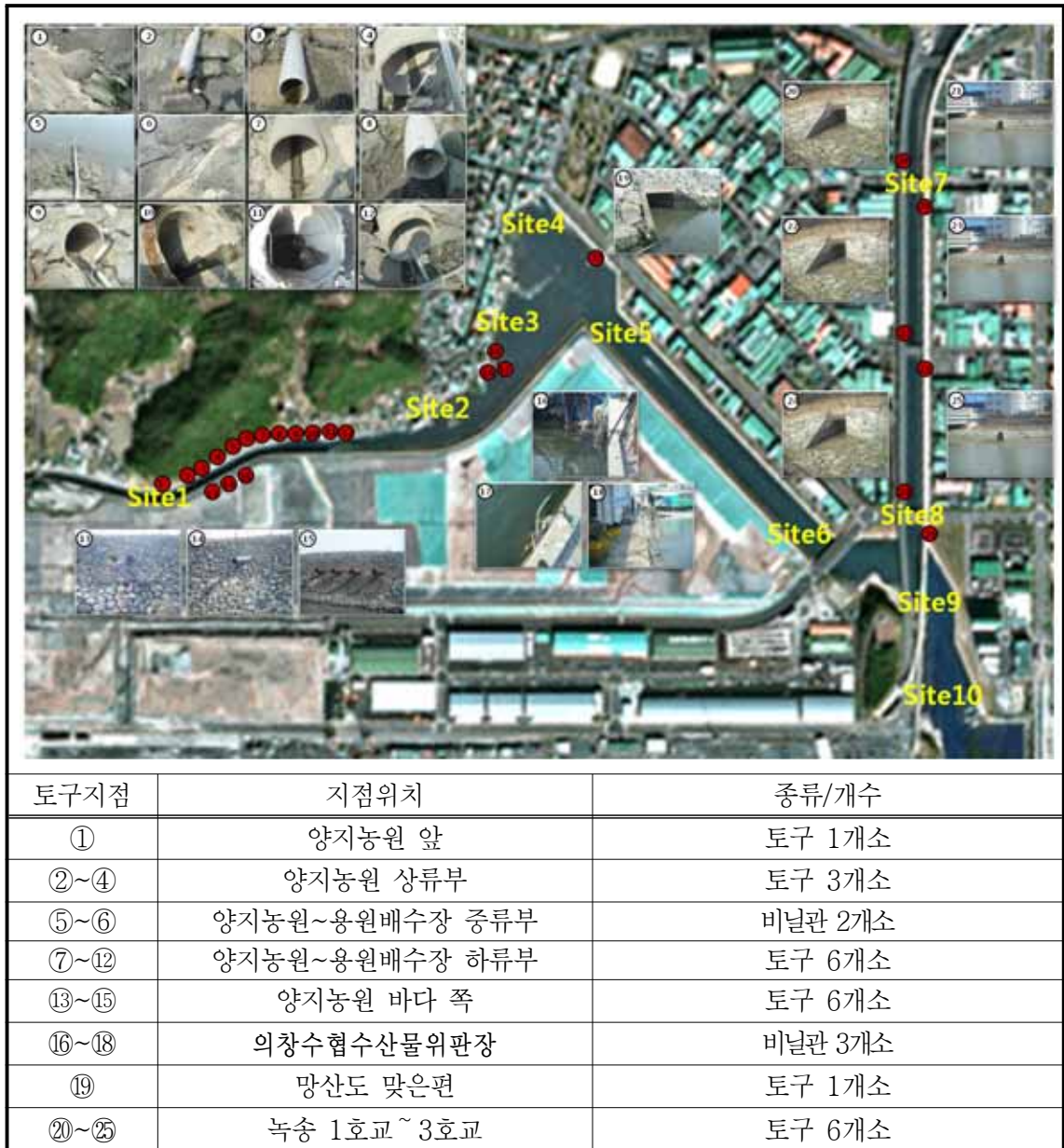


그림 2.6.16 토구위치도.

조사결과 site 1 지점인 양지농원과 용원배수장 사이의 용원수로 내부에서 토구 10개소 및 비닐관 2개소 등이 밀집되어 있는 것으로 나타났으며 기타 다른 토구도 site 2~4까지 위치하고 있는 것으로 나타났다. 토구에 따른 수질영향을 파악하기 위해 토구가 밀집해 있는 site 1~4 지점과 site 5~10 지점으로 나누어 COD, TN, TP, SS등 주요 항목별 평균 수질조사 결과를 표 2.6.6에 나타내었다.

표 2.6.6 수질조사표.

지점번호	COD _{Mn} (mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)	SS(mg/L)
site 1 ~ 4	3.56	1.699	0.2	58.67
site 5 ~ 10	3.27	0.760	0.136	51.86

위 표에서 보듯이 토구가 밀집 되어 있는 site 1~4 지점이 site 5~10 지점에 비해 COD, TN, TP, SS의 항목 등이 모두 높은 농도 값을 나타냄을 알 수 있는데, 이 지점은 헛집, 숙박시설 및 시장 등이 밀집해 있는 지역으로써 육지에서의 오염물이 토구를 통해 유입되어 용원수로 내부의 수질을 악화시키는 것으로 판단된다.

2.6.6 해수유동 실험

가. 조석

(1) 관측개요

조석관측은 본 사업지구 인근해역의 조석특성을 파악하기 위하여 용원수로에서 가까운 가덕도 조위관측소의 조위 자료를 이용하여 분석하였다.

표 2.6.7 조석관측 개요.

정점	경위도	소재지	기준면	관측개시일	검조의종류
가덕도	N 35° 01' 18" E 128° 48' 47"	부산시 강서구 천가동 천성방파제	평균해면 하 95 cm	1977년 1월 1일	OTT형 원격검조의

※ 본자료는 국립해양조사원 웹사이트에서 발췌



그림 2.6.17 가덕도 조위관측소.

(2) 관측방법

장기 조석관측을 실시하기 위해 설치된 건물로 조위계, 각종 관측센서, 자료 저장 장치, 기본수준점표(TBM), 표척 등이 설치되고, 해안에 우물정을 설치하고 도수관으로 해수를 우물 정 내로 유도하여 연중 해수면의 변화를 기록함. 국립해양조사원에서는 부산, 인천 등 전국 37개(2008년 현재) 조위관측소를 설치하여 운영 중에 있다. OTT형 원격검조의는 조석현상을 디지털 및 아날로그 기록지 자료를 동시에 관측할 수 있으며 디지털 및 아날로그 장비 중 하나의 자료 결측시에 자료를 상호 보완할 수 있는 장비이다.

(3) 조석분석

관측된 조석자료는 그림 2.6.18과 같은 방법으로 전산처리 하였고, 임의 시(時)의 조위(H_t)는 다음과 같이 여러 분조의 합으로 표시할 수 있다.

$$H_t = A_0 + \sum fH \cos(V_0 + u + nt - K)$$

- 여기서, A_0 : 평균해면
 n : 분조의 각속도
 t : 시각
 H : 분조의 반조차 (semi-range)
 K : 분조의 지각 (phase lag)
 f, V_0, u : 천문상수

위 식에서 각 분조의 반조차(H)와 지각(K)을 조화상수(harmonic constant)라 하며, 조화 상수를 구하는 계산을 조화분석이라 한다.

비조화상수(non-harmonic constant)는 조화 상수로부터 유도되며, 조석의 특성을 나타내는 상수임. 여러 분조중 주요 4개 분조의 특성 및 비조화 상수는 표 2.6.8에 정리하였다.

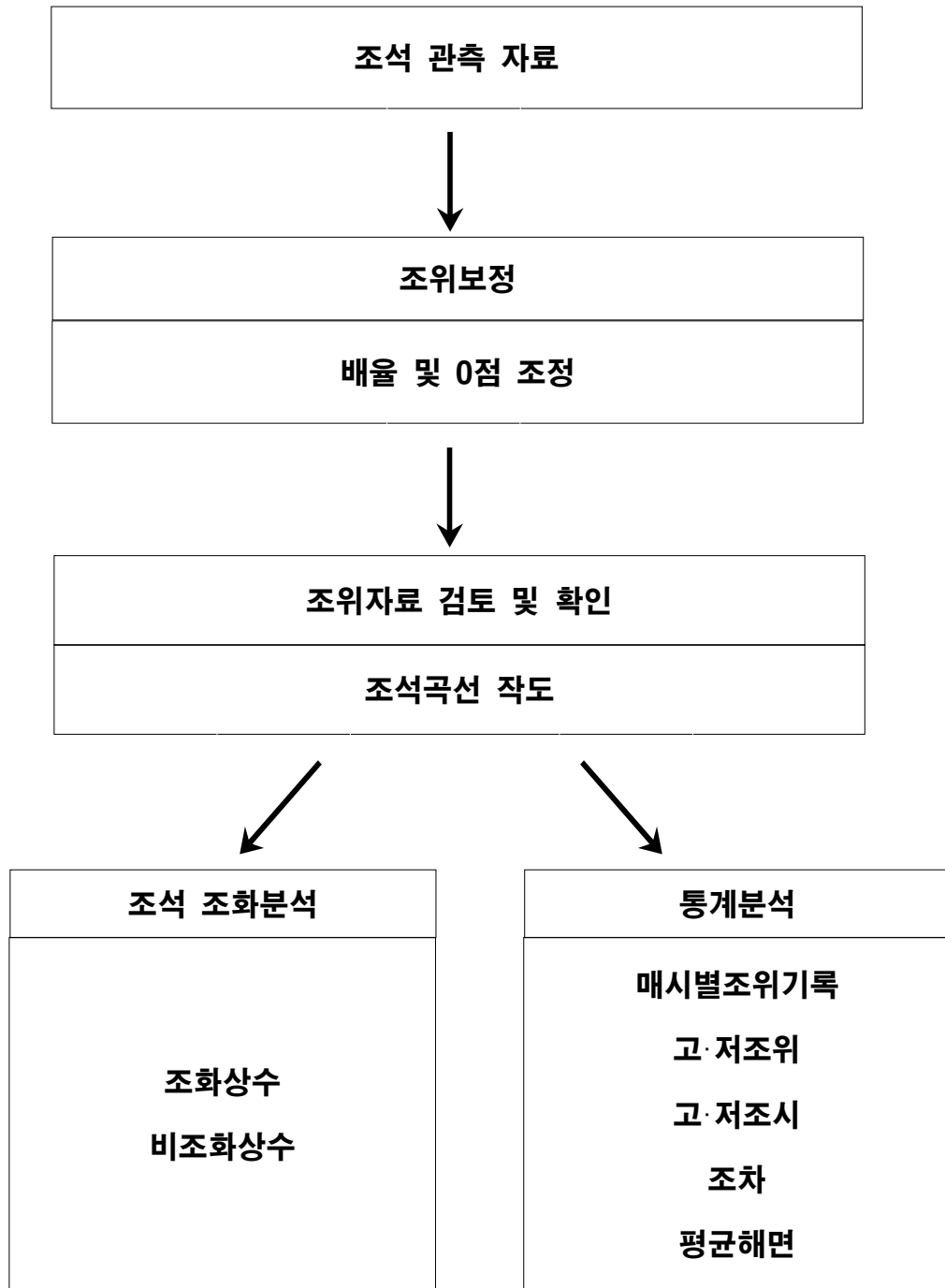


그림 2.6.18 조석 자료처리 흐름도.

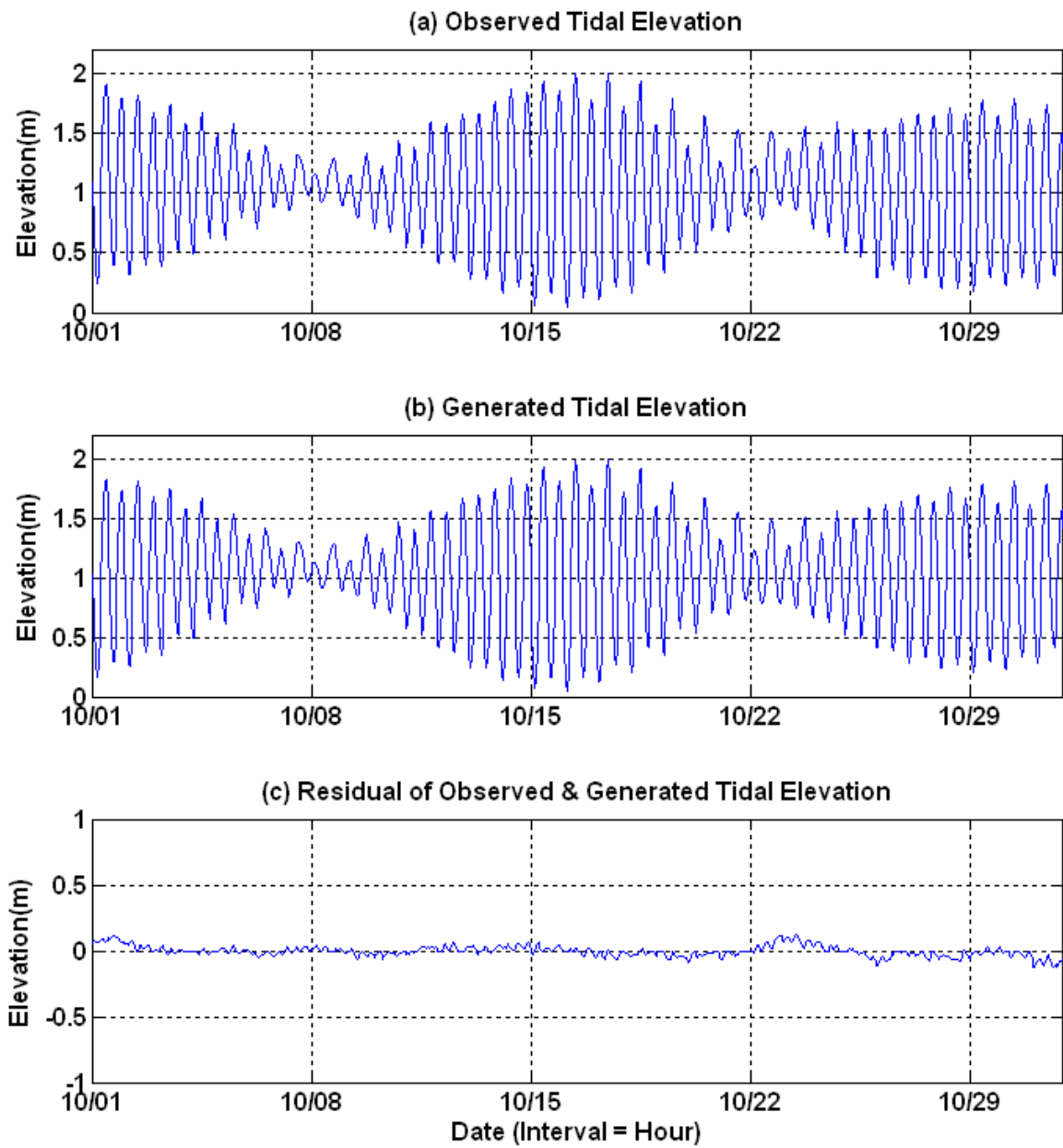


그림 2.6.19 가덕도 조석(2008년 10월 1일~10월 31일) 조화분해된 시계열.

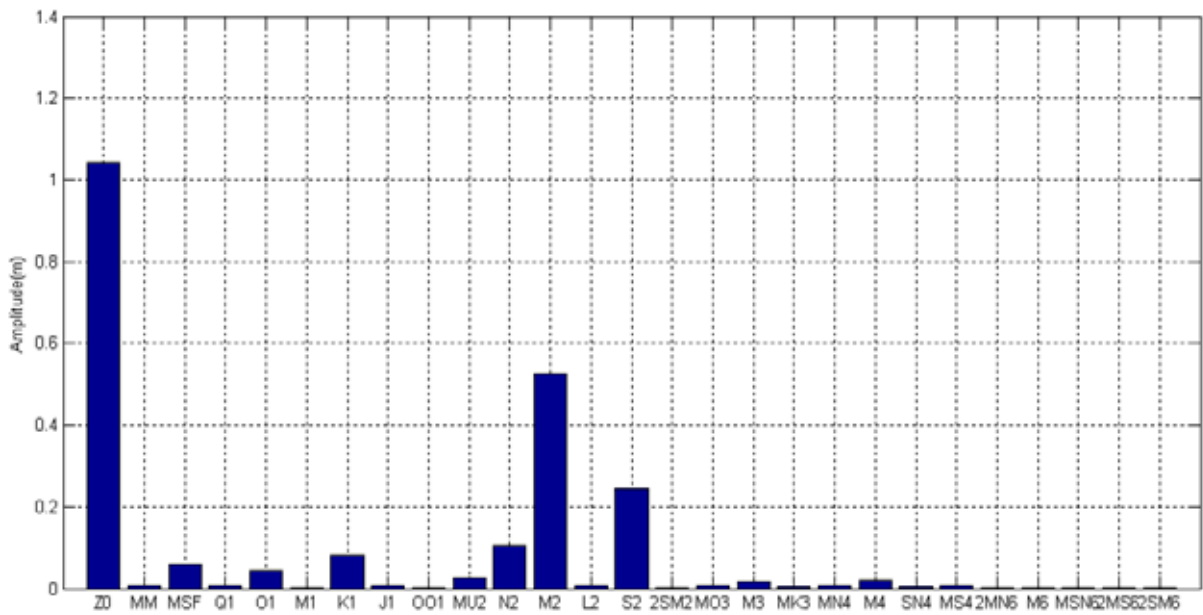


그림 2.6.20 가덕도(2008년 10월 1일~2008년 10월 31일)의 분조별 진폭.

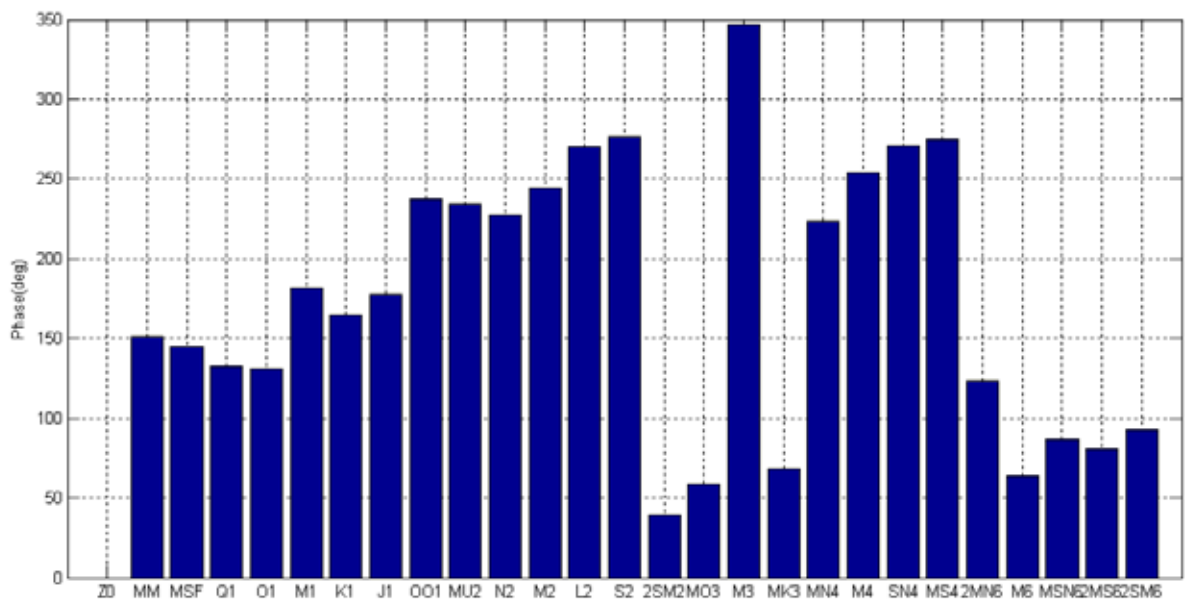


그림 2.6.21 가덕도(2008년 10월 1일~2008년 10월 31일)의 분조별 위상.

표 2.6.8 조석의 주요 조화상수와 비조화상수.

항 목		가덕도	
관 측 위 치※		N 35° 01' 18" E 128° 48' 47"	
관 측 기 간		2008년 10월 1일 ~ 10월 31일	
조 화 상 수	항목 분조	반조차 (cm)	지각 (°)
	M2	52.6	244.3
	S2	24.5	276.5
	K1	8.2	164.5
	O1	4.4	130.9
비 조 화 상 수	평균고조간격(M.H.W.I)	8.4	
	평균저조간격(M.L.W.I)	14.6	
	약최고고조(Approx. H.H.W)	179.2	
	대조평균고조(H.W.O.S.T)	166.7	
	평균고조(H.W.O.M.T)	142.2	
	소조평균고조(H.W.O.N.T)	117.8	
	평균해면(M.S.L)	89.6	
	소조 평균저조(L.W.O.N.T)	61.5	
	평균저조(L.W.O.M.T)	37.0	
	대조평균저조(L.W.O.S.T)	12.5	
	대조차(Sp. Range)	154.2	
	평균조차(Mn. Range)	105.2	
	소조차(Np. Range)	56.3	
조석형태수(Tide Form No.)		0.16	

주 : 관측위치 : Tokyo Datum 기준 지각 : Local 자오선 기준 국립해양조사원

(4) 조석특성

● 조석 형태수

조석 형태수란 일주조의 합($H'+H_0$)과 반일주조의 합(H_m+H_s)의 비로써 일조부등의 정도를 나타내는 척도이며 용원수로 해석은 반일주조가 우세한 조석이다.

표 2.6.9 조석 형태수 설명.

조석의 형태수	$F = \frac{H' + H_0}{H_m + H_s}$
$F = 0.00 \sim 0.25$	반일주조가 우세한 조석
$F = 0.25 \sim 1.50$	반일주조가 우세한 혼합조
$F = 1.50 \sim 3.00$	일주조가 우세한 혼합조
$F > 3.00$	일주조가 우세한 조석

표 2.6.10 용원수로 인근 조석 형태수.

	가덕도
조석의 형태수	0.16

● 조차

2008년 10월 가덕도의 평균조차는 각각 105.2 cm로 조사되었다.

나. 해수유동 실험

● 실험목적

해수유동 실험은 사업지구 일대 해역의 해수유동 현황을 재현하고 사업완료에 따른 수리현상의 변화를 예측함과 동시에 오염물질 확산 실험을 위한 입력자료를 제공하기 위해 수행한다.

● 적용모형 개요

표 2.6.11 해수유동 실험 개요.

구분	내용	
목적	<ul style="list-style-type: none"> ■ 사업지구 해역의 해수유동 현황 재현(모델검증) ■ 오염물질 확산 모델의 입력자료제공 	
사용모델	<ul style="list-style-type: none"> ■ MIKE21(덴마크 DHI, 2002) 	
모델구성	모델 범위	2.36 km × 1.62 km
	격자 간격	10 m 등간격
	격자수	236 × 162
모의기간	<ul style="list-style-type: none"> ■ 15일 	
계산시간 간격	<ul style="list-style-type: none"> ■ 5.0 sec 	

● 사용모델

해수유동은 3차원 흐름이지만, 수평성분 흐름의 연직분포나 연직방향의 흐름이 특별히 중요한 경우를 제외하고는 일반적으로 수심적분된 평면 2차원 흐름으로 해석함. 2차원 단층모형은 2차원 다층모형이나 3차원 모형에 비해 식의 구성이 간단하고 매개변수가 적기 때문에 취급이 용이하고 실용적인 모형으로서, 수심이 깊지 않은 연안해역의 흐름이나 물질 확산의 예측에 많이 이용되고 있음. 2차원 평면 해수유동모형은 사용되는 좌표계, 수치계산 방법, 계산격자의 일정성 등에 따라 종류가 세분되며, 적용해역의 규모, 지형적 형태, 적용목적 등에 따라 적합한 모형이 선택적으로 사용된다.

본 대상해역은 천해역으로서 조류의 연직변화는 거의 무시할 수 있으며, 해저면 부근의 경계층을 제외하고는 밀도의 수평, 수직변화 효과 또한 미미함. 반면, 항류와 천해배조 형성에

관여하는 비선형 이류항은 고려함. 본 과업에서 사용하는 모형은 하구, 만, 그리고 해역에서의 수위 및 흐름을 모의하는 수치모형으로 비정상 상태의 수심 평균된 2차원 흐름을 재현하는 프로그램임. 수심 평균된 질량 및 모멘텀 보존방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ & + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yx}) \right] - \Omega q \end{aligned} \quad (2)$$

$$-fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ & + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega p \end{aligned} \quad (3)$$

$$-fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0$$

여기서, $h(x, y, t)$: 수심(m)

$\zeta(x, y, t)$: 수면 변위(m)

$p, q(x, y, t) = (uh, vh)$: x 및 y 방향의 플릭스 밀도 ($m^3/s/m$)

$u(x, y, t), v(x, y, t)$: x 및 y 방향의 수심평균 유속

x, y : 평균해수면상에 위치한 직교 좌표계

$C(x, y)$: Chezy 저항계수 ($m^{1/2}/s$)

g : 중력 가속도 (m/s^2)

$f(V)$: 바람저항 계수

$V, V_x, V_y(x, y, t)$: 풍속 및 바람의 x, y 방향 성분 (m/s)

$\Omega(x, y)$: 지구 편향력계수 (s^{-1})

$p_a(x, y, t)$: 대기압 ($kg/m/s^2$)

ρ_w : 물의 밀도 (kg/m^3)

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: 유효 전단 응력 성분

지배방정식인 질량 및 모멘텀 보존식 (1)~(3)을 그림 2.6.22와 같은 Staggered 격자망을 사용하여 차분화 함. 이 때 Alternating direction Implicit(ADI) 방법을 사용하여 차분화하며, 이 차분식은 이중소거법(Double Sweep algorithm)을 사용하여 해를 구한다.

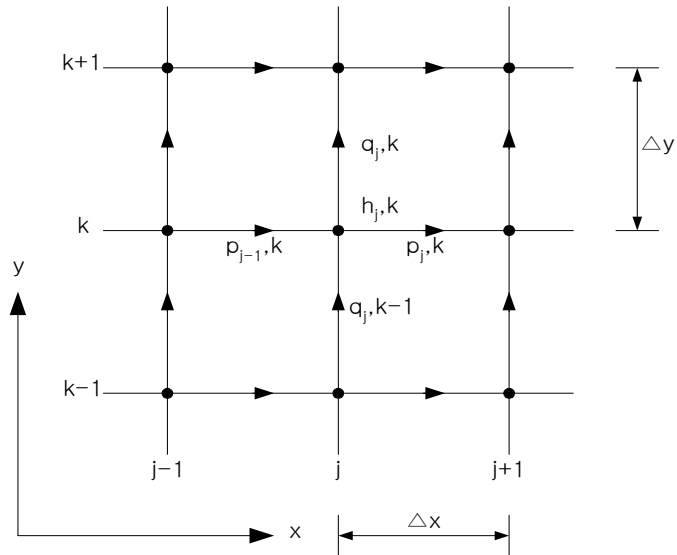


그림 2.6.22 유한차분 격자망.

한편, 3개의 차분방정식은 그림 2.6.23과 같은 형태로 시간 평균을 행함. 즉, x와 y방향으로 번갈아 가면서 계산을 수행함. x방향으로는 연속방정식과 x방향 모멘텀 방정식의 해를 구하되, 변수 ζ 는 n에서 n+1/2까지, p는 n에서 n+1까지의 값을 취한다. 반면 q는 n-1/2에서 n+1/2의 값을 취함. y방향으로는 연속방정식과 y방향 모멘텀 방정식의 해를 구하되, 변수 ζ 는 n+1/2에서 n+1까지, q는 n+1/2에서 n+3/2까지의 값을 취함. 반면 p는 n에서 n+1의 값을 취한다.

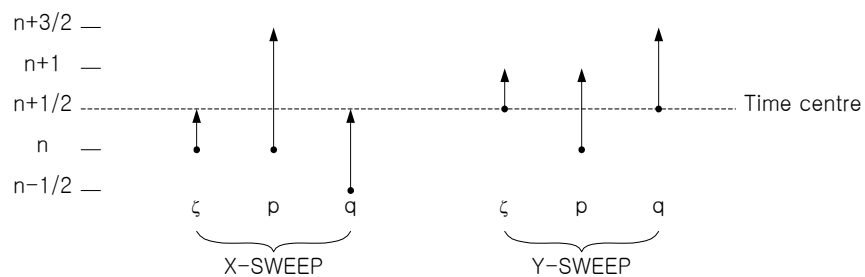


그림 2.6.23 Time centering.

흐름모형의 저면저항(Bed resistance)은 Chezy 공식에 의해 $\frac{g \cdot u \cdot |u|}{C^2 h^2}$ 의 형태로 표현되며, 매닝계수(Manning number), M과 Chezy 계수 C와는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$C = M \cdot h^{1/6} \quad (4)$$

Chezy 계수와 매닝계수의 단위는 각각 $m^{1/2}/s$, $m^{1/3}/s$ 임. 매닝계수는 $20 \sim 40 m^{1/3}/s$, 통상적으로는 $32 m^{1/3}/s$ 를 사용하며, Chezy 계수는 일반적으로 $30 \sim 50 m^{1/2}/s$ 를 사용함. 일반적으로 저면저항을 증가시키기 위해서는 작은 Chezy 계수를 사용한다.

Courant수 C_R 은 다음과 같이 정의된다..

$$C_R = c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (5)$$

위 식에서, $c = \sqrt{gh}$ 로서 조석의 전파속도를 의미함. C_R 은 수치모델링 과정에서 수위나 flux 등에 관한 정보가 파속 c 로 이동할 때, 매 시간간격마다 몇 개의 격자점에 이르게 되는지를 표현함. Courant수 C_R 은 지형조건에 따라 다르나, 최대치 20까지 사용할 수 있다.

수치모델 과정에서 수심을 표현하는 작업이 가장 중요한 작업이며, 그 다음으로는 개방경계에서 수위 및 흐름을 정의하는 것(경계조건)이 중요함. 즉, 경계조건이 정확하면, 모델결과가 정확할 뿐 아니라 안정성도 확보된다.

주어진 대상해역에서 상기 방정식의 해를 구하기 위해서는 모형의 경계조건이 필요함. 육지경계조건은 육지경계면과 수직한 유속성분이 없는 무흐름(no-flux) 조건이며, 개방경계조건(open boundary condition)은 개방경계면 상의 관측치 또는 기존 자료를 선형 내삽한 조위가 수치로 주어지는 수치지정 경계조건이다.

경계조건은 외해경계면, 육지 경계면 및 조간대 지역에서의 계산조건으로 구분할 수 있음. 외해와 해수교환이 일어나는 격자로 구성되는 외해경계면에서는 다음 식 (6)에서와 같이 4 ~ 8개 조화상수의 합으로 해수위가 정의되며, 유속과 조석 변화량의 관계로부터 경계면에서의 유속을 계산한다.

$$\eta_B(x, y, t) = \sum A_j \cos(\omega_j t - g_j) \quad (6)$$

여기서 n_B 는 경계면에서의 조위, A_j 는 조석파의 경계면에서의 반조차, ω_j 는 위상속도(phase velocity), g_j 는 지각(phase lag)임. 이러한 해수유동 모형의 구성은 그림 2.6.24와 같다.

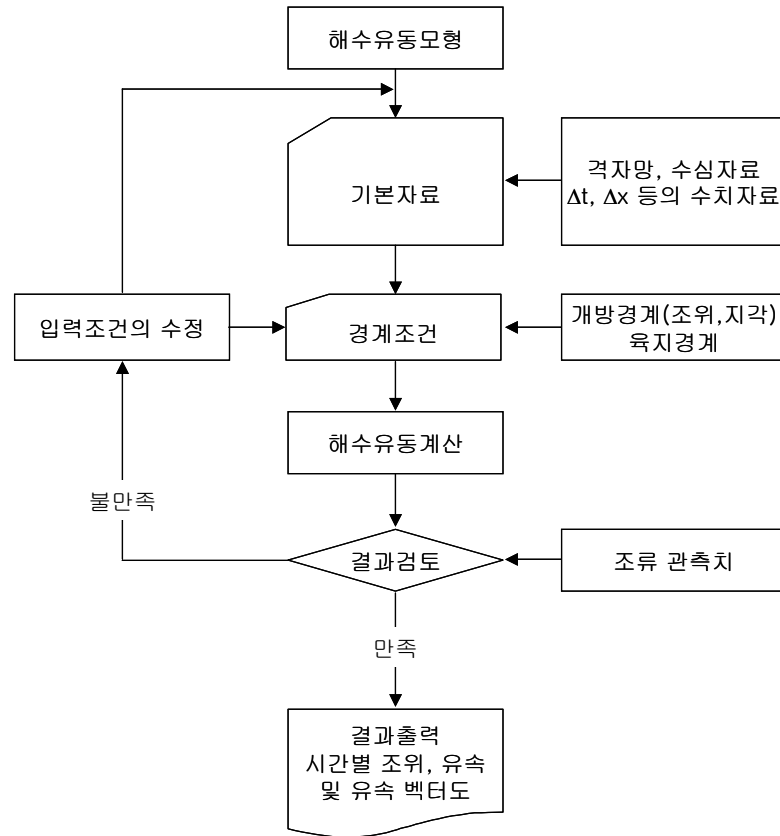


그림 2.6.24 해수유동 수치모형의 구성.

● 모델수립

수치 모형의 수립과정은 모형범위의 결정, 이에 따른 격자망의 구성, 수심 등의 기초자료 및 현장 관측자료 또는 기존자료의 분석결과를 토대로 한 개방경계 조건의 입력 등으로 구성된다. 일반적으로 모형범위의 결정은 모형실험을 통한 재현 및 예측결과와 직결되며, 계산조건의 변화가 모형의 개방경계에 이르지 않도록 모형의 범위를 충분히 크게 설정하여야 한다. 대상해역의 세부사항은 다음과 같고, 수심도는 그림 2.6.25와 같다.

- 수심자료와 지형

- 발행처 : 국립해양조사원
- 종류 : 수치해도(Digital Charts) 및 측량자료
- 도면번호 : n20200, n224a0, n255a0
- 수심기준 : Approx.L.L.W

- 격자망
 - 격자간격 : $\Delta x = 10 \text{ m}$, $\Delta y = 10 \text{ m}$
 - 격자점수 : 38,232 개 (= 236×162)
 - 면 적 : 3.823 km^2 (= $2.36 \text{ km} \times 1.62 \text{ km}$)
 - 수심기준 : M.S.L

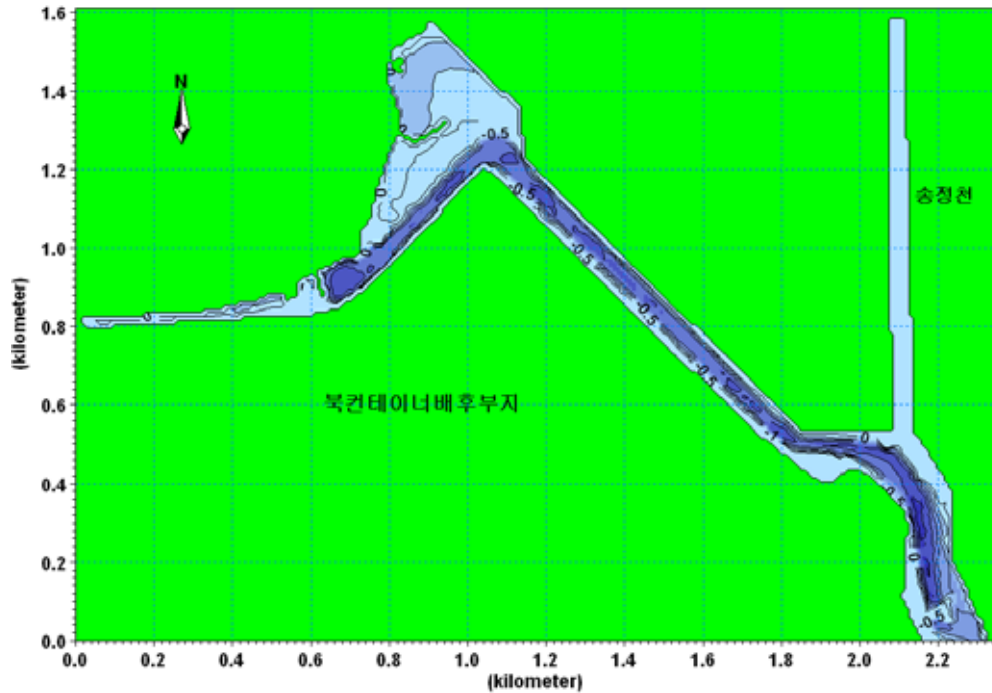


그림 2.6.25 계산영역의 등수심도.

● 경계조건

모델의 개방경계조건은 국립해양조사원(<http://www.nori.go.kr>)의 최근 가덕도 조석 1시간 자료(2008년 10월)를 입력하였다.

● 실험결과

해수유동 수치모형실험을 통해 용원수로의 유동을 재현 및 예측하였으며 실험 결과는 창조시 및 낙조시 유속벡터도를 그림 2.6.26에 나타내었다. 그림 2.6.26에 용원수로의 유속파악을 위한 지점으로 St.1, St.2, St.3을 표시하고 실험 결과에서 St.1, St.2, St.3의 유속 시계열을 그림 2.6.28에 도시하였다. 평균유속은 St.1, St.2 및 St.3에서 각각 5.2 cm/s, 3.4 cm/s 및 1.0

cm/s로 나타났으며 최대유속은 St.1, St.2 및 St.3에서 각각 19.0 cm/s, 15.3 cm/s 및 3.7 cm/s로 나타났다. 최소유속은 St.1, St.2 및 St.3에서 각각 0.1 cm/s, 0.1 cm/s 및 0.1 cm/s로 나타나며 대상지역 평균유속은 1.0 cm/s ~ 5.2 cm/s의 매우 작은 유속을 나타내었다.

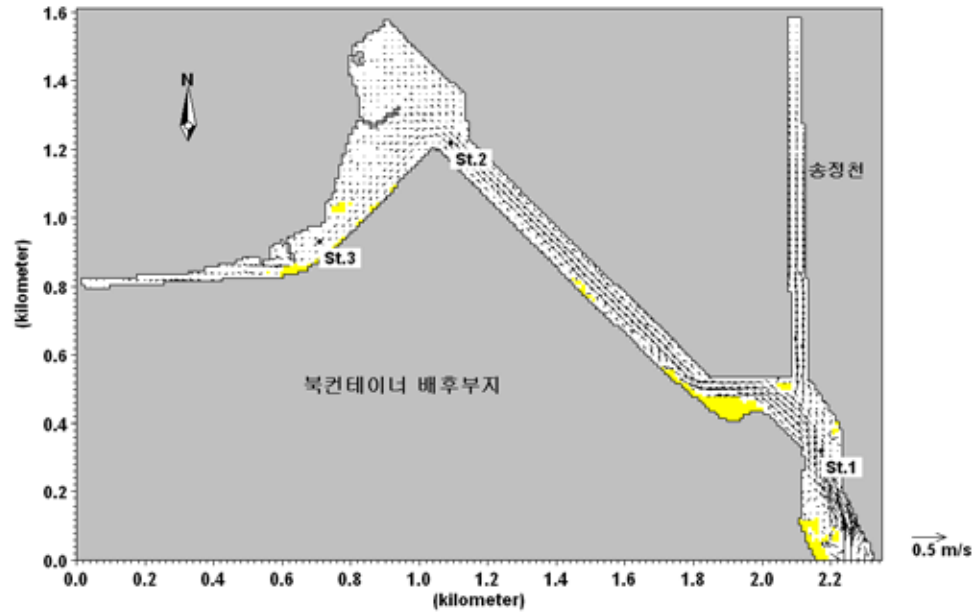


그림 2.6.26 창조시 유속벡터도.

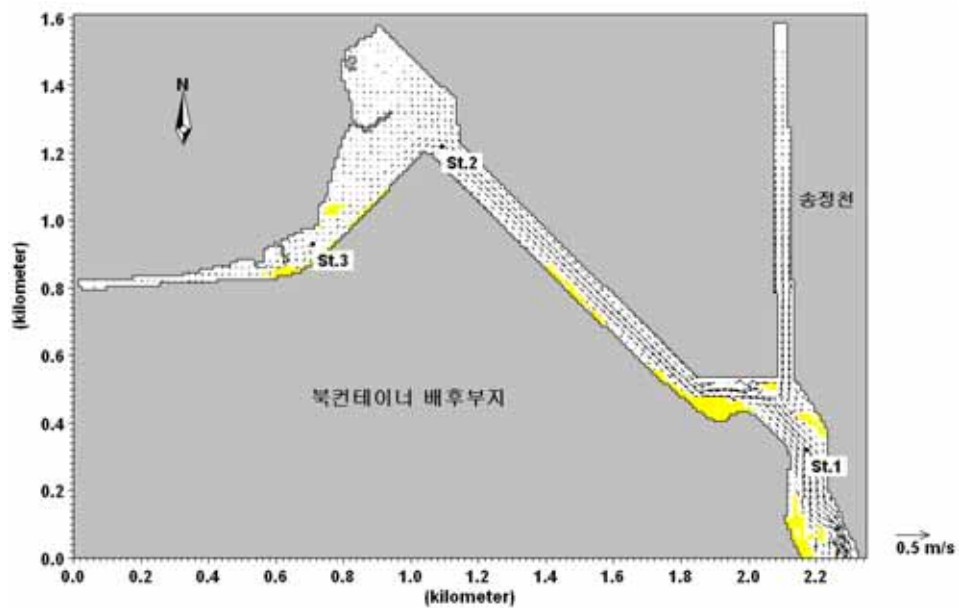


그림 2.6.27 낙조시 유속벡터도.

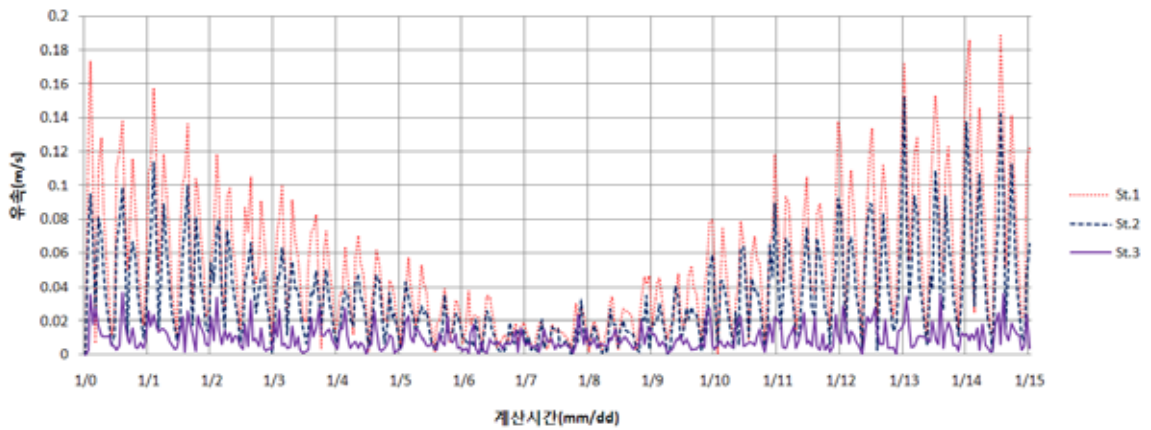


그림 2.6.28 정점별 유속 시계열.

표 2.6.12 정점별 유속 대표 유속값.

정점	St.1	St.2	St.3
평균유속(cm/s)	5.2	3.4	1.0
최대유속(cm/s)	19.0	15.3	3.7
최소유속(cm/s)	0.1	0.1	0.1

● 유역의 수량

용원수로의 수심을 수치해도 및 측량자료를 이용하여 그림 2.6.29에 3차원 모식도로 도시하였으며. 조석에 의한 기준면에 따른 면적 및 수량을 계산하여 표 2.6.13에 정리하였다.

용원수로의 최대용적은 약최고고조위(EL[+] 0.896 m)일 때 343,785 m³, 최소용적은 약최저저조위(EL[-] 0.896 m)일 때 48,409 m³ 정도로 추산된다.

평균고조(EL[+] 0.526 m)시 수로용적에서 평균저조(EL[-] 0.526 m)시 수로용적의 차(257,915-78,037)는 179,878 m³이며, 이 용적은 주기 약 12시간 25분 동안 수로를 출입한다. 따라서 수로를 출입하는 평균수량은 4.024 m³/s 정도로 산정할 수 있다.

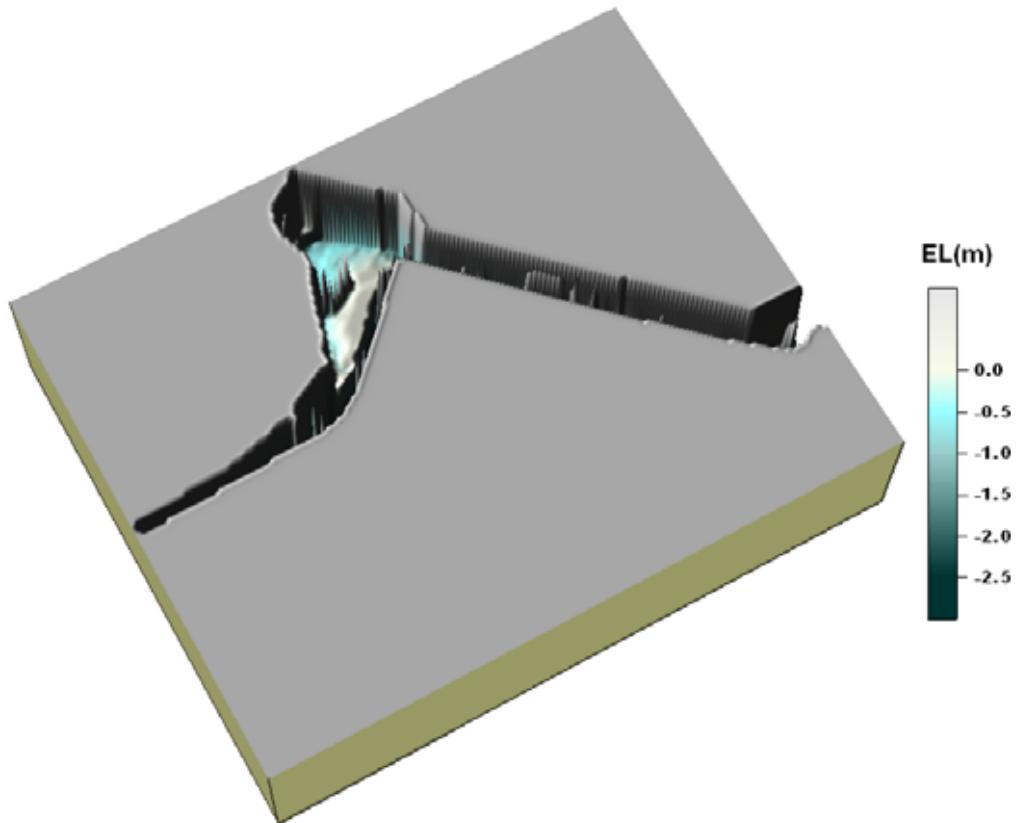


그림 2.6.29 용원수로 3차원 모식도.

표 2.6.13 용원수로의 조석 기준면에 따른 면적 및 용적.

기준면(m)		총면적(m ²)	육지부 면적(m ²)	수로부 면적(m ²)	수로 용적(m ³)
약최고고조위	EL[+] 0.896	3,244,150	3,006,869	237,281	343,785
평균고조	EL[+] 0.526	3,244,150	3,018,448	225,702	257,915
평균해면	EL[+] 0.000	3,244,150	3,069,578	174,572	148,339
평균저조	EL[-] 0.526	3,244,150	3,143,806	100,344	78,037
약최저저조위	EL[-] 0.896	3,244,150	3,180,898	63,252	48,409

2.6.7 용원수로 수질모델링

가. 모형의 선정

수질모델은 예측하고자 하는 해당수계의 오염부하량, 유출량 등 환경요인의 변화와 이에 따른 목표수질 설정지점의 수질변화를 모의함으로써 합리적이고 경제적인 접근방법으로 효과적인 수질관리가 가능하도록 만들어준다. 따라서 과학적인 수질변화를 모의할 경우 적절한 수질모델의 선정이 중요하다.

수질예측 모델의 선정조건은 다음과 같다.

- ①. 수질예측모델은 과학적 타당성과 이용성을 가져야 한다.
 - 목표수질의 대상물질을 적정하게 분석할 수 있어야 한다.
 - 모델을 구성하는 과학적 이론이 합리적이어야 한다.
 - 모델에 필요한 자료가 충분히 갖추어져 있어야 한다.
 - 모델결과는 이해당사자들이 신뢰할 수 있어야 한다.
 - 모델의 유지관리와 지원에 소요되는 비용이 적정하여야 한다.
 - 향후의 개선과 보완이 가능하여야 한다.
- ②. 수질예측모델은 예측목적과 지역여건에 부합하여야 한다.
 - 수체의 수리적 특성에 따라 일차원 또는 다차원 모델이 선별적으로 적용되어야 한다.
 - 오염부하의 공간적 영향을 민감하게 반영하여야 하는 경우 오염물질 배출원의 위치에 따른 수질영향을 모의할 수 있어야 한다.
 - 수중생태계의 물질순환이 수질에 큰 영향을 주는 경우 이에 대한 모의가 가능하여야 한다.
- ③. 유사하거나 혹은 다른 조건의 수체에서 그 재현성을 검증할 수 있는 모델이어야 한다.

QUAL 모델은 미TWDB(Texas Water Development Board)에서 Masch 등(1971)이 개발한 QUAL1에서 시작하여 지속적으로 연구 개발되어 현재 하천수질 예측에 가장 널리 사용되고 있는 모델로, 하천 하류방향의 1차 확산과 이류를 고려하고 많은 지점에 있어서 오염부하, 지류유입, 취수, 유출 등을 정상상태에서 고려할 수 있다. 또한, 이 모델은 Org-P를 모의할 수 있고, DO농도가 낮은 곳에서 질산화 과정(Nitrification)을 제한할 수 있으며, 평가 대상하천의 최하류 소구획의 수질인자 값 및 확산계수(Dispersion constant)값을 각 구획별로 입력할

수 있어, 감조구간의 수질 변화를 효과적으로 고려할 수 있는 모델이다. 모의 대상 수질항목은 DO, BOD, Temperature, Chlorophyll-Algae, Organic-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, Organic-P, Dissolved-P, Coliform, 3개의 보존성 물질 1개의 비보존성 물질 등 15개이며, 필요에 따라 수질항목을 선택하여 모의가 가능하다. 위 와 같은 수질예측 모델의 선정조건을 고려하여 용원수로의 수질을 예측하기에 가장 적합한 모델로서 MIKE21과 QUAL2E를 선정하고 모델의 입력자료를 구성하였다.

나. 모델의 기본구조 및 이론

QUAL2E는 하천을 동일한 지형과 수리특성을 가진 구간(reach)으로 간주하며 각 구간은 같은 길이로 이루어진 계산 요소(element)들의 연결로 세분화된다. 각 구간의 내부에서는 하상의 경사, 하천의 종단면적 그리고 마찰계수 등을 포함한 각 소구간의 수리학적 또는 지형학적 특성과 BOD 분해율, 저층의 용출율, 조류의 침강속도 등이 일정하다고 가정되어 있다. QUAL2E 모델의 element는 표 2.6.14에 나타난 바와 같이 총 8개의 요소로 정의 될 수 있으며, 모의 가능한 수질항목은 총 15개의 항목이다.

표 2.6.14 QUAL2E에서 사용되는 계산요소(Element)의 구분.

번호	구 분	변 수	내 용
1	Headwater	H	본류 및 지류의 최상류의 요소
2	Standard	S	가장 일반적인 소구간 요소로서 다른 범위에 포함되지 않는 요소
3	Upstream of a junction	U	지류와 합류점 바로 위의 본류상 구간
4	Junction	J	지류와 합류되는 지점의 본류 소구간 요소
5	Most downstream	E	하천의 최하류부 소구간 요소
6	Point source	P	본류상의 요소로서 점오염원이 존재하는 소구간 요소
7	Withdrawal	W	취수 등을 통하여 본류간에서 물이 빠져나가는 소구간 요소
8	Dam	D	댐 또는 보가 위치하는 소구간 요소

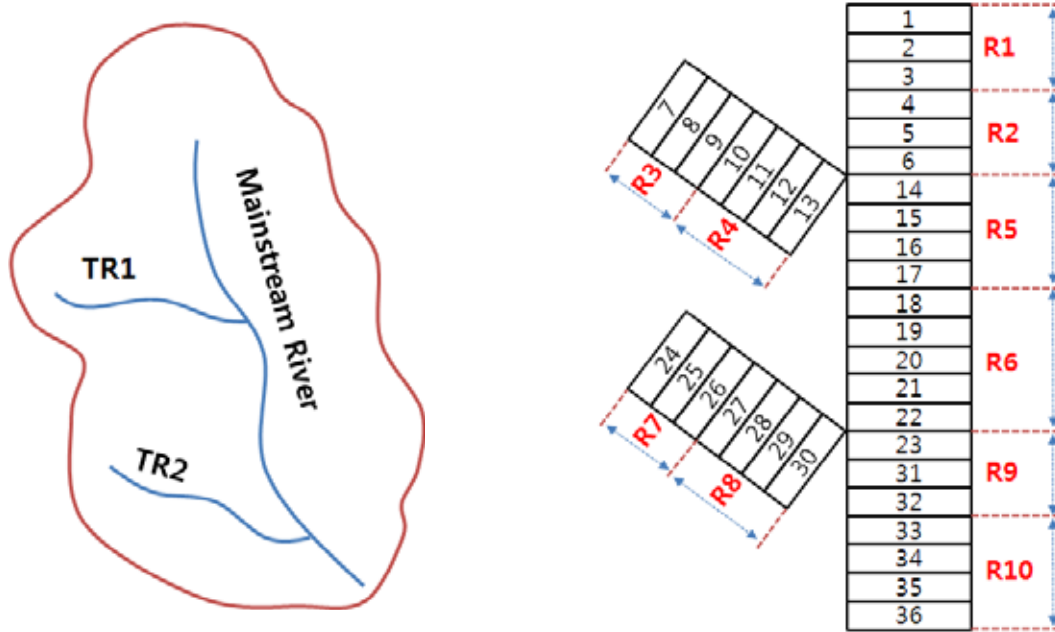


그림 2.6.30 QUAL2E 모형의 하천구간 및 요소구분 개념도.

QUAL2E 모형에서 오염물질은 이송-확산-반응이 고려된 물질수송방정식에 의해 해석되며 연속된 완전 혼합형 반응조 (Casacade Model)가 계속적으로 이어져 있는 형태로 모의된다. 모의 대상 하천을 크게 n개의 구간(Reach)으로 나누고, 각 구간 내부를 소구간 계산요소 (Elements)로 다시 나누어 농도를 소구간별로 계산한다. 동일한 흐름 구간(reach) 내부에 있는 요소에 대해서는 하상경사와 하천의 단면적, 조도계수 등의 수리학적특성과 수질반응계수, 초기조건이 일정하다고 가정한다.

(1) 물질수송 방정식

QUAL2E 모형의 하천 소구간에 대한 물질수지식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial \left(A_x E \frac{\partial C}{\partial x} \right)}{\partial x} dx - \frac{\partial (A_x UC)}{\partial x} dx + (A_x dx) \frac{\partial C}{\partial t} + S \quad (1)$$

A_x : 하천의 종단면적, [L^2]

C : 오염물질의 농도, [M/L^3]

DL : 종방향 확산계수, [L^2/t]

dx : 하천의 미소구간, [L]

M : 오염물질의 질량 = VC , [M]

S : 오염부하 유입 또는 반응에 의한 분해량, [M/t]

M : VC

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(Vc)}{\partial t} = V \frac{\partial c}{\partial t} + c \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2)$$

만약에 하천의 흐름이 정상상태이라면, $\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial t} = 0$ 이며, $\frac{\partial M}{\partial t} = V \frac{\partial c}{\partial t}$ 를

대입하고 양변을 $V=Adx$ 로 나누면 식 (3)로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial(A_x E \frac{\partial C}{\partial x})}{A_x \partial x} - \frac{\partial(A_x UC)}{A_x \partial x} + \frac{dc}{dt} + \frac{S}{V} = 0 \quad (3)$$

여기서

$\frac{dc}{dt}$ = 개별적인 수질항목의 물리적, 화학적, 생물학적 수질반응

QUAL2E 모델은 각 소구간 물질수지식을 행렬식으로 변환한 후 풀이하여 수질농도를 계산한다.

(2) 수리해석 방법

QUAL2E 모델은 하천의 수리학적 흐름상태가 정상류로 가정하며 하천의 유량변화에 따른 유속과 수심 또는 단면적계산은 유량계수법과 Manning의 공식 중에서 선택적하여 사용할 수 있도록 되었다.

가) 유량계수법

유속 $U = aQ^b$

단면적 $A_x = Q/(U)$

수심 $H = aQ^\beta$

여기서 a, b, α, β는 경험상수로 수위-유량곡선으로부터 산출하거나 HEC-2 또는

HEC-RAS와 같은 부등류 모형을 이용하여 여러 가지 유량조건에 따른 각 하천구간별 유속과 수심을 계산한 후 결과에 대한 회귀분석을 통해 계수값들을 산정할 수도 있다.

나) Manning 공식을 이용한 방법

하천수심 H에 대한 하천의 단면 특성(사다리꼴 단면) 자료가 있으면, Manning방정식으로부터 시행착오법을 이용하여 유속 계산할 수 있다.

$$Q = \frac{1.486}{n} A_x R_x^{2/3} S_e^{1/2}$$

여기서 A = 하천의 횡단면적, R = 평균 수리경심, S = 에너지경사, n = Manning 조도계수이다. 이 방법을 사용하기 위해서는 하천 구간별 하천의 바닥폭, 사다리꼴 단면의 측면경사, 하천바닥경사, 조도계수에 대한 입력자료가 필요하다.

다) 종 확산계수 (Longitudinal Dispersion)

Elder(1959)는 다음과 같은 종확산계수(E) 산정식을 제시하였다.

$$E = K d u^*$$

여기서, K = 확산상수, 평균 마찰속도 $u^* = C\sqrt{RS_e}$, C = Chezy's 상수 $C = \frac{R^{1/6}}{n}$,

R = A/P, S_e = 에너지 경사이다.

Manning 방정식으로부터 에너지경사식을 유도하여 대입하여 정리하면 다음과 같은 식(SI unit)이 유도된다 (Fischer et al. 1979).

$$S_e = \left(\frac{\bar{U} n}{1.486 n R^{2/3}} \right)^2$$

$$E = 3.11 K n \bar{U} d^{5/6}$$

여기서, E = 하천의 종확산계수 (m²/s), U = 평균유속 (m/s), H = 평균수심(m), K = 확산

인자 (무차원).

라) Flow Augmentation

목표수질 DO농도를 만족시키기 위해 필요한 유량증가량 계산

$$DO_R = DO_T - DO_{\min}$$

$$Q_R = Q_c \left[\frac{DO_R}{DO_T} + 0.15 \left(\frac{DO_R}{DO_T} \right)^2 \right]$$

DO_R = 목표 DO를 만족시키기 위한 DO농도 (mg/l)

DO_T = 목표 DO 농도 (mg/l)

DO_{\min} = DO sag curve에서 최소 DO농도 (mg/l)

Q_R = 유량 증가 요구량 (m³/s)

Q_C = DO sag curve에서 최소 DO 발생시 유량 (m³/s)

(3) 수치해석기법 (FTCS)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial \left(A_x E \frac{\partial C}{\partial x} \right)}{A_x \partial x} - \frac{\partial (A_x UC)}{A_x \partial x} + rc + p + \frac{S}{V} = 0$$

수질반응 $-\frac{dc}{dt} = rc + p$ 로 두가지 항으로 분리되었다. 첫 번째 항은 농도에 비례하는 1차반응, 두 번째 항은 내부 발생 또는 제거를 나타내며 예로써, 저니층 부하, 조류성장에 따른 영양염류 손실 등이 해당한다.

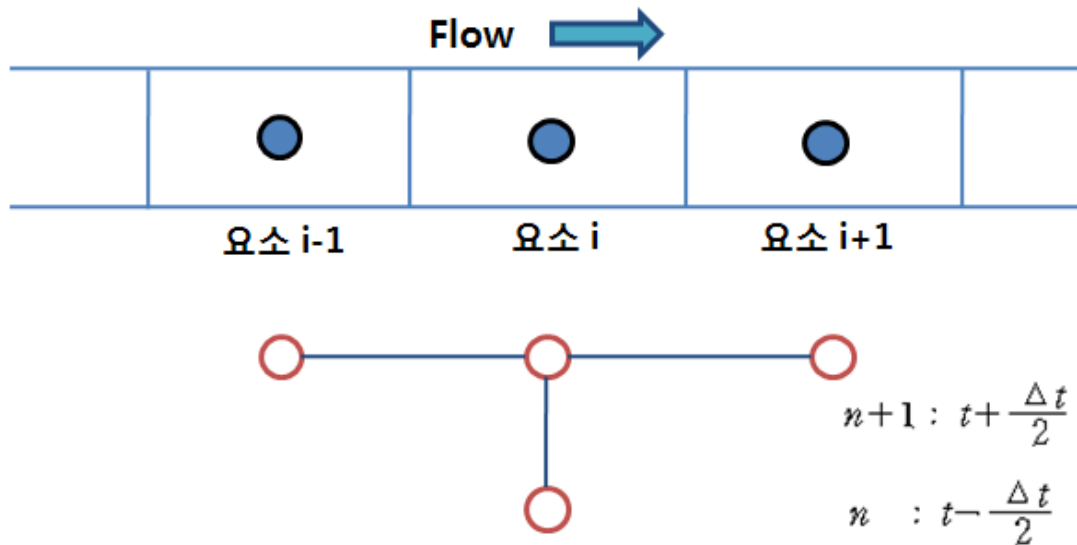


그림 2.6.31 QUAL2E 모델의 계산요소.

가) Implicit Backward Difference Method : 후방차분

음해적 유한차분법을 적용하여 모든 공간 편미분 항 $\frac{\partial}{\partial x}$ 은 시간 n+1에서 후방차분 한다.

1단계: 이송과 확산항을 x에 대해 한번 후방차분하면,

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{-(AE \frac{\partial c}{\partial x})_{i-1} + (AE \frac{\partial c}{\partial x})_i}{V_i} + \frac{(AUC)_{i-1} - (AUC)_i}{V_i} + rc_i + p_i + \frac{S_i}{V_i}$$

여기서, $V_i = A_i \Delta x_i$

2단계: 나머지 공간변수에 후방차분 적용

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{(AE)(c_{i+1} - c_i)}{V_i \Delta x_i} + \frac{(AE)(c_{i-1} - c_i)}{V_i \Delta x_i} + \frac{Q_{i-1}c_{i-1} - Q_i c_i}{V_i} + rc_i + p_i + \frac{S_i}{V_i}$$

3단계: 시간 편미분항을 후방차분한다. (Unsteady 상태의 유한차분)

$$\frac{c_i^{n+1} - c_i^n}{\Delta t} = \frac{(AE)_{i,i+1}(c_{i+1}^{n+1} - c_i^{n+1})}{V_i \Delta x_i} + \frac{(AE)_{i-1,i}(c_{i-1}^{n+1} - c_i^{n+1})}{V_i \Delta x_i} + \frac{(Q_{i-1}c_{i-1}^{n+1} - Q_i c_i^{n+1})}{V_i} + r_i c_i^{n+1} + p_i + \frac{s_i}{V_i}$$

Unsteady 상태에서, 위의 식을 수질농도항별로 정리하면,

$$a_i C_{i-1}^{n+1} + b_i C_i^{n+1} + c_i C_{i+1}^{n+1} = Z_i$$

$$a_i = - \left[(AE)_{i-1} \frac{\Delta t}{V_i \Delta x_i} + \frac{Q_{i-1} \Delta t}{V_i} \right]$$

$$b_i = 1.0 + \left[(AE)_{i-1} + (AE)_i \right] \frac{\Delta t}{V_i \Delta x_i} + \frac{Q_i \Delta t}{V_i} - r_i \Delta t$$

$$c_i = - \left[(AE)_i \frac{\Delta t}{V_i \Delta x_i} \right]$$

$$Z_i = C_i^n + \frac{s_i \Delta t}{V_i} + p_i \Delta t$$

미지수는 좌항에 있는 3개의 수질농도 값이고, 나머지는 모두 기지의 값들이다. 정상상태에

서는 $\frac{\partial C_i}{\partial t} = 0$ 이므로

$$a_i C_{i-1}^{n+1} + b_i C_i^{n+1} + c_i C_{i+1}^{n+1} = Z_i$$

$$a_i = - \left[\frac{(AE)_{i-1}}{V_i \Delta x_i} + \frac{Q_{i-1}}{V_i} \right]$$

$$b_i = \left[\frac{(AE)_i}{V_i \Delta x_i} + \frac{(AE)_{i-1}}{V_i \Delta x_i} + \frac{Q_i}{V_i} - r_i \right]$$

$$c_1^{n+1} + W_1 c_2^{n+1} = G_1 \quad \text{---- (1)}$$

여기서 $W_1 = \frac{c_1}{b_1}, \quad G_1 = \frac{Z_1}{b_1}$

▶ 2행 $a_2 c_1^{n+1} + b_2 c_2^{n+1} + c_2 c_3^{n+1} = Z_2 \quad \text{---- (2)}$

▶ 2행에서 a_2 를 소거하기 위해 1행으로 부터 유도한 식(1)에 a_2 를 곱하고 (2)식 - (1)식을 하면

$$a_2 c_1^{n+1} + a_2 C_1^{n+1} + b_2 C_2^{n+1} + c_2 C_3^{n+1} = Z_1$$

$$a_2 c_1^{n+1} + a_2 W_1 C_2^{n+1} = a_2 G_1$$

$$(b_2 - a_2 W_1) C_2^{n+1} + c_2 C_3^{n+1} = Z_2 - a_2 G_1$$

$$c_2^{n+1} + W_2 c_3^{n+1} = G_2$$

여기서 $W_2 = \frac{c_2}{b_2 - a_2 W_1}, \quad G_2 = \frac{Z_2 - a_2 G_1}{b_2 - a_2 W_1}$

▶ 같은 방법으로 i 행에 대해 풀면

$$c_i^{n+1} + W_i c_{i+1}^{n+1} = G_i$$

여기서 $W_i = \frac{c_i}{b_i - a_i W_{i-1}}, \quad G_i = \frac{Z_i - a_i G_{i-1}}{b_i - a_i W_{i-1}}$

▶ 마지막 행에 대한 해는

$$C_I^{n+1} = G_I \quad \text{이므로 이 값을 이용하여 Back substitution하여 가며}$$

$C_{I-1}^{n+1}, C_{I-2}^{n+1}, \dots$ 를 구한다.

$$C_i^{n+1} = G_i - W_i C_{i+1}^{n+1}, \quad i = I-1, 1, -1$$

라. 경계조건 (Headwater Elements)

최상류에서는 headwater elements의 수질농도가 C_{i-1} (또는 C_o)로 사용된다.

$$Z_1 = C_1^n + \frac{s_1 \Delta t}{V_1} + p_1 \Delta t - a_1 C_o$$

하류 경계조건 (Last Element)은 다음과 같은 Options 중 선택한다.

▶ Option 1: Zero Gradient Assumption

하천 마지막구간의 최하단 요소 I에서 C_{i+1} 은 C_{i-1} 로 대체된다.

$$a_i = - \left[((AE)_{I-1} + (AE)_I) \frac{\Delta t}{V_i \Delta x_i} + \frac{Q_{i-1} \Delta t}{V_i} \right]$$

▶ Option 2: Fixed Concentrations

시스템의 마지막 요소에 고정된 농도값을 사용한다.

$$C_{I+1} = C_{LB}$$

$$Z_I = C_I^n + \frac{s_I \Delta t}{V_I} + p_I \Delta t - c_I C_{LB}$$

(4) 수질반응 및 상호관계

QUAL2E모델에서 모의 가능한 수질항목은 그림 3.1에 나타난 바와 같이 DO, BOD, 온도, 클로로필-a로 표시되는 조류, 유기질소, 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소, 유기인, 용존성 인, 대장균, 반응성 물질, 비반응성 물질 등이다.

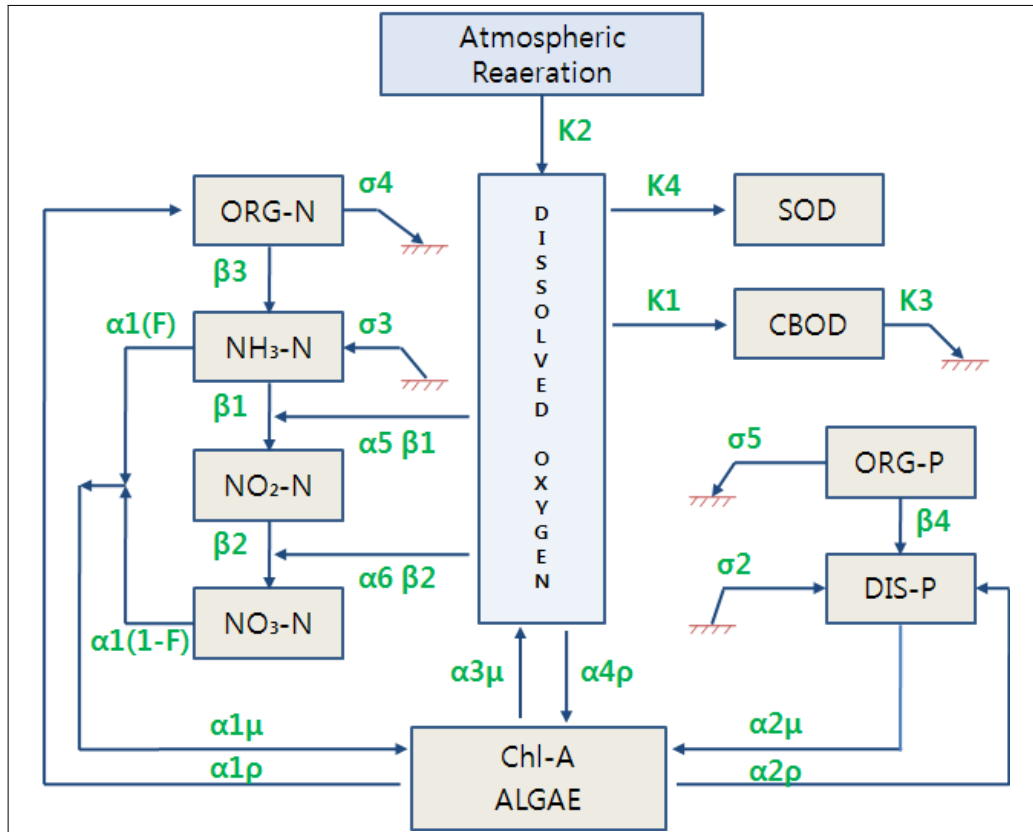


그림 2.6.32 QUAL2E Model의 수질모의 항목 및 상호관계.

Dissolved Oxygen (DO) :	용존산소
Biochemical Oxygen Demand (BOD) :	생화학적 산소유구량
Temperature :	온도
Algae as a Chlorophyll a :	조류 (엽록소로 표시)
Organic Nitrogen as N:	유기질소 (as N)
Ammonia as N (NH ₃ -N) :	암모니아 (as N)
Nitrite as N(NO ₂ --N) :	아질산성 질소
Nitrate as N(NO ₃ -N) :	질산성 질소
Organic Phosphorus as P :	유기인 (as P)
Dissolved Phosphorus as P :	용존인 (as P)
Coliforms :	대장균
Arbitary Nonconservative Constituent :	임의의 비보존성 물질
Three Conservative Constituents :	3개의 보존성 물질

(5) 수질항목별 반응식

가) 조류(A)

$$\text{Chl. } a = \alpha_0 A$$

$$\frac{dA}{dt} = \underbrace{\mu A}_{\text{축적}} - \underbrace{\rho A}_{\text{성장}} - \underbrace{\frac{\sigma_1}{d} A}_{\text{호흡}} - \underbrace{\frac{\sigma_1}{d} A}_{\text{침전}}$$

Chl. a = 엽록소 농도

A = 조류농도

α_0 = Conversion factor, ug Chl. a/mg A

μ = Specific growth rate of algae

ρ = Respiration rate of algae

σ_1 = Settling rate for algae

d = 평균수심

Algal Specific Growth Rate 산정 Options

Option 1. Multiplicative

$$\mu = \mu_{\max} (FL) (FN) (FP)$$

Option 2. Limiting Nutrient

$$\mu = \mu_{\max} (FL) \text{Min}(FN, FP)$$

Option3. Harmonic Mean

$$\mu = \mu_{\max} (FL) \left[\frac{2}{1/FN + 1/FP} \right]$$

여기서,

μ_{\max} = Maximum specific algal growth rate

FL = Algal growth limitation factor for light

FN = Algal growth limitation factor for nitrogen

FP = Algal growth limitation factor for phosphorus

나) 유기질소 Organic Nitrogen (N4)

$$\frac{dN_4}{dt} = \alpha_1 \rho A - \beta_3 N_4 - \sigma_4 N_4$$

축적 호흡 가수분해 침전

N_4 = Concentration of Organic Nitrogen, mg-N/L

β_3 = Hydrolysis rate of Org. N to NH₃-N, /day

α_1 = Fraction of algal biomass that is N, mg-N/mg-A

ρ = Respiration rate of algae

σ_4 = Settling rate for Org. N

다) 암모니아성 질소 Ammonia Nitrogen(N1)

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta_3 N_4 - \beta_1 N_1 + \sigma_3/H - F_1 \alpha_1 \mu A$$

축적 가수분해 질산화 침전 성장

N_1 = Concentration of Ammonia Nitrogen, mg-N/L

β_1 = Oxidation rate of NH₃-N to NO₂-N, /day

σ_3 = The benthos source rate for NH₃-N, mg-N/ft²-day

H = water depth

F₁ = Fraction of algal N uptake from ammonia pool

$$F_1 = \frac{P_N N_1}{P_N N_1 + (1 - P_N) N_3}$$

P_N = Preference factor for ammonia nitrogen (0 to 1.0)

라) 아질산성 질소 Nitrite Nitrogen(N₂)

$$\frac{dN_2}{dt} = \beta_1 N_1 - \beta_2 N_2$$

축적 질산화 질산화

N₂ = Concentration of Nitrite Nitrogen, mg-N/L

β_1 = Oxidation rate of NH₃-N to NO₂-N, /day

β_2 = Oxidation rate of NO₂-N to NO₃-N, /day

마) 질산성 질소 Nitrate Nitrogen(N₃)

$$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2 N_2 - (1 - F_1) \alpha_1 \mu A$$

축적 질산화 성장

α_1 = Fraction of algal biomass that is N, mg-N/mg-A

F₁ = Fraction of algal N uptake from ammonia pool

μ = Specific growth rate of algae

바) 유기인 Organic Phosphorus(P1)

$$\frac{dP_1}{dt} = \alpha_2 \rho A - \beta_4 P_1 - \sigma_5 P_1$$

축적 호흡 호기성분해 침전

P_1 = Concentration of Organic Phosphorus, mg-P/L

α_2 = Fraction of algal biomass that is P, mg-P/mg-A

β_4 = Organic P decay rate, /day

ρ = Respiration rate of algae

σ_5 = Settling rate for Org. P

사) 용존인 Dissolved Phosphorus (P2)

$$\frac{dP_2}{dt} = \beta_4 P_1 + \sigma_2/d - \alpha_2 \mu A$$

축적 호기성분해 용출 성장

P_2 = Concentration of inorganic or dissolved P, mg-P/L

σ_2 = Benthos source rate for dissolved P, mg-P/ft²-day

d = Mean stream depth

α_2 = Fraction of algal biomass that is P, mg-P/mg-A

μ = Specific growth rate of algae

β_4 = Organic P decay rate, /day

아) 탄소계 CBOD (L)

$$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_3L$$

축적 호기성분해 침전

L = the concentration of ultimate carbonaceous BOD, mg/L

K1 = deoxygenation rate coefficient, temperature dependent, /d

K3 = the rate of loss of CBOD due to settling, /d

QUAL2E 모형은 일반적으로 최종 BOD인 BOD_u를 계산하지만, 사용자가 5일 BOD인 BOD₅를 사용하고자 할 때에는 입력자료에서 지정을 해야 하며, 모형은 내부적으로 다음 식으로 변환한다.

$$BOD_5 = BOD_u(1.0 - \exp(-5 \times KBOD))$$

자) 용존산소 (O)

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O_s - O) - K_1L - K_4/H + (a_3\mu - a_4\rho)A - a_5\beta_1N_1 - a_6\beta_2N_2$$

축적 재폭기 분해 SOD 성장 - 호흡 질산화

용존산소 포화농도(O_s)는 수온에 반비례, 용존부유물 농도 또는 염도에 반비례, 기압에 비례하며 아래와 같은 관계가 있다.

● 온도의 영향

APHA(1985) 평균해수면에서 온도에 따른 DO포화농도

$$\ln O_s = -139.34410 + \frac{1.575701 \times 10^5}{Ta} - \frac{6.642308 \times 10^7}{Ta^2} + \frac{1.243800 \times 10^{10}}{Ta^3} - \frac{8.621949 \times 10^{11}}{Ta^4}$$

$$Ta(\text{oK}) = T(\text{oC}) + 273.15$$

● 압력의 영향

$$O_p = O_s \times P \left[\frac{(1 - \frac{p_{wv}}{p})(1 - \phi P)}{(1 - p_{wv})(1 - \phi)} \right]$$

Op = 다른 기압에서 포화 용존산소 농도

Os = 1기압(atm)에서의 포화용존산소 농도

P = 압력 (atm)

Pwv = 수증기의 부분압 (atm)

$$\phi = 0.000975 - (1.426 \times 10^{-5} t) + (6.436 \times 10^{-8} t^2)$$

$$\ln P_{wv} = 11.8571 - (3840.70 / T) - 216961 / T^2$$

t = 기온. oC

● 용존산소 폭기계수 산정 Options

용존산소 폭기계수(K2)는 일반적으로 수심과 유속의 함수로 나타내며, QUAL2E 모델에서는 8개의 Options 제공한다.

K2 Option 1

직접 사용자 입력. 하천구간 얼음생성과 같은 비정상적 조건에 유리

K2 Option 2 (Churchill, Elmore, and Buckingham, 1962)

$$K_2^{20} = 5.026U^{0.969}H^{-1.673}$$

K2 Option 3 (O'Conner and Dobbins, 1958) : 가장 많이 사용

$$K_2^{20} = 3.93U^{0.5}H^{-1.5} \quad (\text{간략식})$$

K2 Option 4 (Owens et al. 1964) : 얇고 빠른 흐름의 하천

$$K_2^{20} = 9.4U^{0.67} \times H^{-1.85}$$

K2 Option 5 (Thacston and Krenkel, 1966) : TVA 하천

$$K_2^{20} = 10.8(1 + F^{0.5}) \frac{u^*}{h}$$

$$F = \text{Froude number} \quad F = \frac{U^*}{\sqrt{gH}}, \quad \text{전단속도} \quad U^* = \sqrt{gHS_e}$$

K2 Option 6 (Langbien and Durum, 1967)

$$K_2^{20} = 3.3U \times H^{-1.33}$$

K2 Option 7

유량과의 멱함수로 표현

$$K_2 = aQ^b$$

K2 Option 8 (Tsivoglou and Wallace, 1972)

$$K_2^{20} = (3600 \times 24) c S_e U$$

c = escape coefficient (유량의 함수)

● Dam Reaeration (Butts and Evans, 1983)

$$D_a - D_b = \left[1 - \frac{1}{1 + 0.116 abH(1 - 0.034H)(1 + 0.46T)} \right] D_a$$

D_a, D_b = 각각 댐 상류와 하류에서의 DO 결핍량

a, b = 각각 수질오염상태와 댐 형식에 따른 계수

표 2.6.15 모델에 적용되는 반응계수의 범위.

반응 계수	설 명	적용범위
α_0	Ratio of chl-a to algal biomass	10~100
α_1	Fraction of algal biomass that is nitrogen	0.07~0.09
α_2	Fraction of algal biomass that is phosphorus	0.01~0.02
α_3	O ₂ production per unit of algal growth	1.4~1.8
α_4	O ₂ uptake per unit of algal respired	1.6~2.3
α_5	O ₂ uptake per unit of NH ₃ oxidation	3.0~4.0
α_6	O ₂ uptake per unit of NO ₂ oxidation	1.0~1.14
μ_{max}	Maximum algal growth rate	1.0~3.0
ρ	Algal respiration rate	0.05~0.5
KL	Michaelis-Menton half saturation constant for light	0.02~0.10
KN	Michaelis-Menton half saturation constant for nitrogen	0.01~0.30
KP	Michaelis-Menton half saturation constant for phosphorus	0.001~0.05
λ_0	Non-algal light extinction coefficient	variable
λ_1	Linear algal self-shading coefficient	0.002~0.02
λ_2	Nonlinear algal self-shading coefficient	0.0165
PN	Algal preference factor for ammonia	0.0~1.0
σ_1	Algal settling rate	0.5~6.0
σ_2	Benthos source rate for dissolved phosphorus	variable
σ_3	Benthos source rate for ammonia nitrogen	variable
σ_4	Organic nitrogen settling rate	0.001~0.1
σ_5	Organic phosphorus settling rate	0.001~0.1
K ₁	Carbonaceous deoxygeneration rate constant	0.02~3.4
K ₂	Reaeration rate constant	-
K ₃	Rate of loss of BOD due to settling	-0.36~0.36
K ₄	Benthic oxygen uptake	variable
β_1	Rate constant for the biological oxidation of NH ₃ to NO ₂	0.10~1.00
β_2	Rate constant for the biological oxidation of NO ₂ to NO ₃	0.20~2.0
β_3	Rate constant for the hydrolysis of organic N to ammonia	0.02~0.4
β_4	Rate constant for the decay of organic P to dissolved P	0.01~0.7

다. 모형의 적용구간 및 입력자료 구성

● 하천 수리 모델

하천 수리 분석을 위해 사용한 HEC-RAS 모델은 1970년대 미국육군공병단(Hydrologic Engineering Center)에서 자연 하천이나 인공하천에서 1차원흐름이며 바닥경사가 완만하다(1:10이내)라는 가정하에 정상류 상태의 점변류 수면곡선을 계산하기 위해서 개발된 수리 모델 HEC-2 프로그램의 윈도우버전으로 사용자-컴퓨터 연결기능과 분석결과의 효과적인 도사가 가능한 프로그램이다. HEC-RAS 모델에 입력되는 자료는 하천 단면의 표고-측점좌표, 주요지점별 유량, 교량 및 암거시설 등이고 단면적, 유속, 횡단면, 종단면, 한계수심, 수심, 에너지경사 등이 결과물로 산출된다.

HEC-RAS 분석결과는 하천의 지형 및 수리학적 특성과 유량변동을 고려하여 수질 모델 적용 구간을 구분하고, 수질모델에 적용되는 유량-유속, 유량-수심 관련 하천 수리 계수(a, b, c, d)를 도출하는데 이용된다. 하천 유황변동에 따른 하천의 수리적인 분석을 위하여 아래와 같은 과정으로 각 단면별 수심-유량, 유속-유량 관계식 도출하였다.

아래 그림은 용원수로 해당 구간의 일부횡단면도를표시하였다.

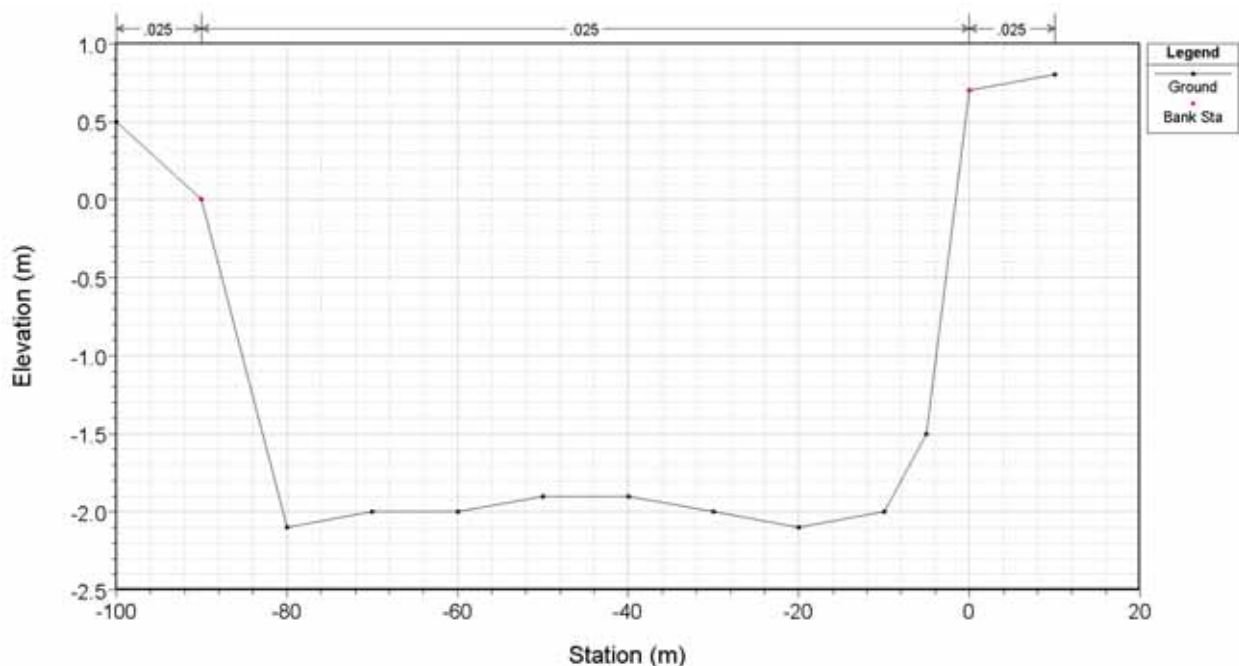


그림 2.6.33 용원수로 횡단면도.

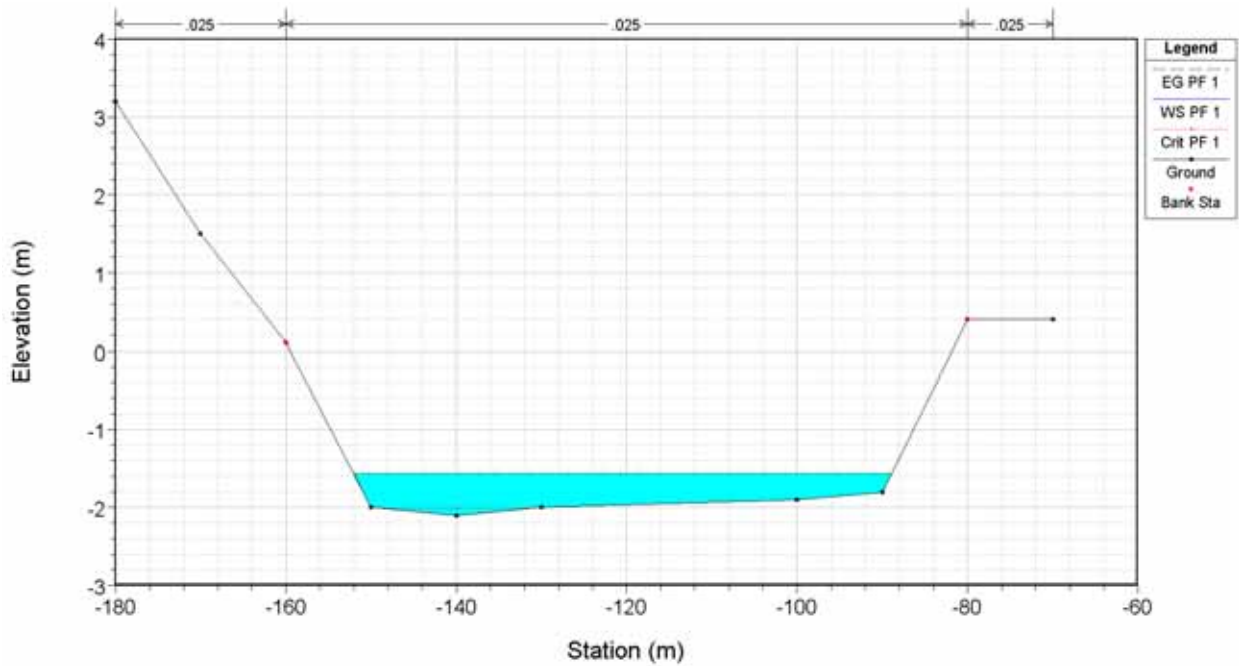


그림 2.6.34 용원수로 횡단면도 유량 분석.

유량 변화에 따른 유속, 수심 변화를 아래와 같이 중, 횡단면으로 분석하고, 각 단면별로 유량-유속, 유량-수심 관계를 회귀하여 분석하였다. 수질 모델의 용이한 적용을 위하여 횡단의 경사도 분석과 단면별로 유량과 수위 및 유속 rating curve를 분석한 결과에 근거하여 하천 내 수리 특성이 유사한 구간을 일정하게 구분하였다.

수질 모델에 적용하기 위한 하천구간별 수리계수를 다음과 같이 유량-유속, 유량-수심 Rating curve에서 계산한 후 동일구간에 포함된 단면별로 계산된 값의 평균으로 산출하였다.

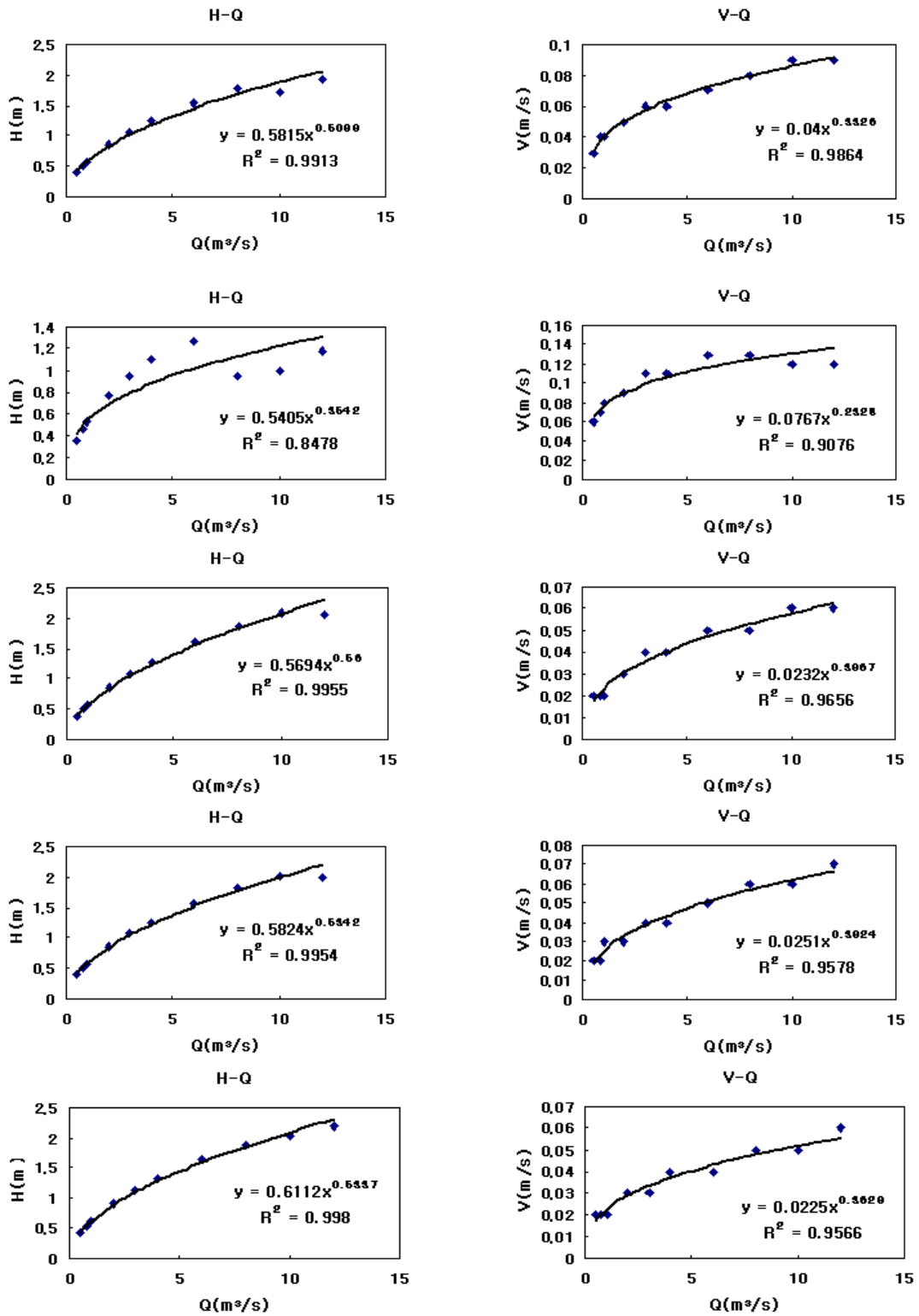


그림 2.6.35 HEC-RAS를 이용한 유량계수 산정(유량-수심, 유량-유속 그래프).

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)

● 하천 수질 모델

수질 모델은 지천 유입 및 도구 등의 위치를 확인하여 적용하였다. 실측자료가 있는 송정천 지류를 고려하여 모델에 유입되는 형태로 적용하였다.



그림 2.6.36 용원수로 QUAL2E 모델 구성도.

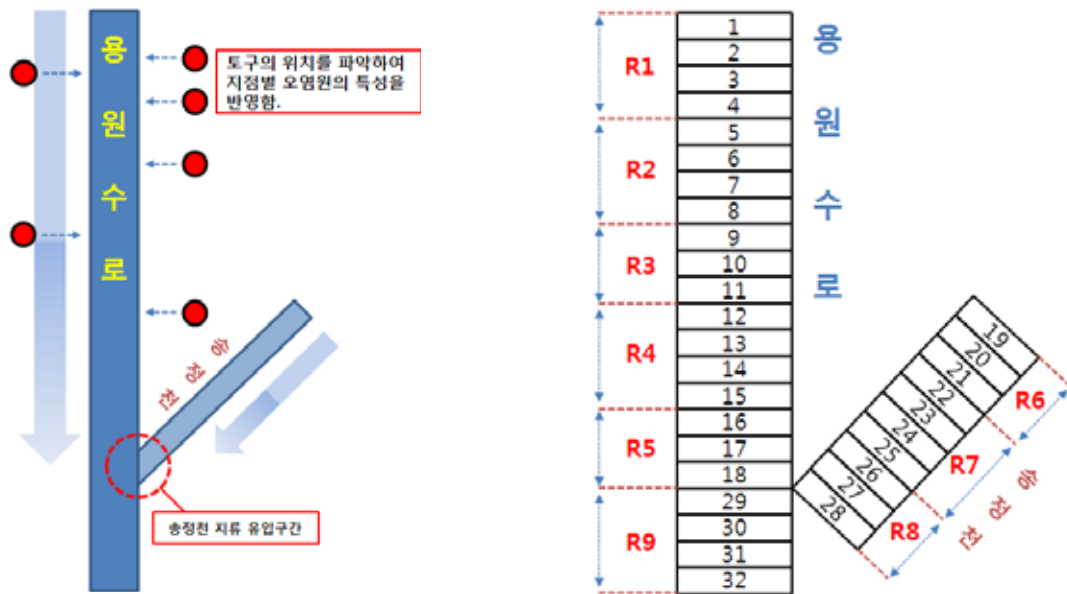


그림 2.6.37 용원수로 QUAL2E 모델 모식도.

2.7 협수로 매몰조사 및 대책

2.7.1 RTK 측량을 통한 침식 및 퇴적 현상 분석

가. 조사 배경

부산항 신항만 건설은 자연상태의 지형을 변화시키기 때문에 이로 인한 수리역학적 환경 변화(흐름의 양상과 크기, 파고 등)가 불가피하게 발생된다. 이러한 수리역학적인 변동은 퇴적물의 이동현상을 통하여 기존의 평형을 이루던 자연지형 및 저질 상태로부터 새로운 평형 상태를 이루게 하는 원인이 된다. 따라서 신항만 건설 인근 해역에서 국지적인 침식 또는 퇴적 현상이 예상되며, 향후 신항만 인근 해역에서의 지형 및 저질 변동에 대한 평가를 수립하기 위해서는 현재 공사가 진행되는 단계에서부터 환경변동 모니터링이 반드시 시작되어야만 한다.

본 과업에서는 지형변동에 대한 기초적인 자료축적의 일환으로서 2006년도 6월 19일부터 2006년 11월 4일까지 그림 2.7.1에 표시한 11개 지점에 매몰관을 설치하였으며, 총 7차례에 걸쳐 해저면의 고도를 시간적으로 모니터링하여 측정점의 퇴적률을 측정하는 현장조사를 실시하였으나 1차년도 중간보고시 지적 및 보완사항을 반영하여 정확성과 자료분실의 위험을 최소화하기 위해 2007년부터 2차년도 과업기간에는 분기별로 년 4회에 걸쳐 RTK DGPS 관측을 시행하기로 하였다. 3차년도부터는 2차년도 지적 및 보완사항을 반영하여 진우도 남측의 퇴적현상에 집중하고자 년 2회(하계 및 동계 이후) 관측으로 변경하여 시행하였다.



그림 2.7.1 퇴적을 관측을 위한 매몰관 설치 위치도.

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 영역(3차)

표 2.7.1 녹산공단 전면해역의 문화재관리구역 RTK 관측 기준점.

P01	P02	P03	P04	P05	P06
35° 04 ' 27.6 "	35° 04 ' 18.2 "	35° 04 ' 14.5 "	35° 04 ' 16.9 "	35° 04 ' 32.4 "	35° 04 ' 32.7 "
128° 50 ' 14.5 "	128° 50 ' 30.9 "	128° 50 ' 49.2 "	128° 51 ' 38.6 "	128° 51 ' 53.5 "	128° 51 ' 48.8 "
P07	P08	P09	P10	P11	
35° 04 ' 17.1 "	35° 04 ' 16.7 "	35° 04 ' 42.7 "	35° 04 ' 50.3 "	35° 04 ' 54.6 "	
128° 51 ' 26.9 "	128° 51 ' 26.9 "	128° 50 ' 50.8 "	128° 50 ' 39.2 "	128° 50 ' 28.1 "	

나. 조사 방법

RTK 매물판 설치 위치는 그림 2.7.1에 제시한 바와 같이 신항만 건설 현장 동측의 11개 지점을 선정하였다. RTK 측량시 이전 매물판의 각 관측 지점 정 중앙 및 매물판 범위의 주변 8개 지점을 측량하여 자료의 정확성과 활용도를 높였다. 그림 2.7.2에 2009년 1월에 관측한 자료중 P07와 P08지점의 관측위치를 표시하였다. 한편, 관측시 표고는 인천 M.S.L을 기준으로 한 미터(m) 단위로 표기하였다.

3차년도에는 2009년 1월 12일 14시 54분에 관측을 시작하여 약 1시간에 걸쳐 관측을 수행하였다.

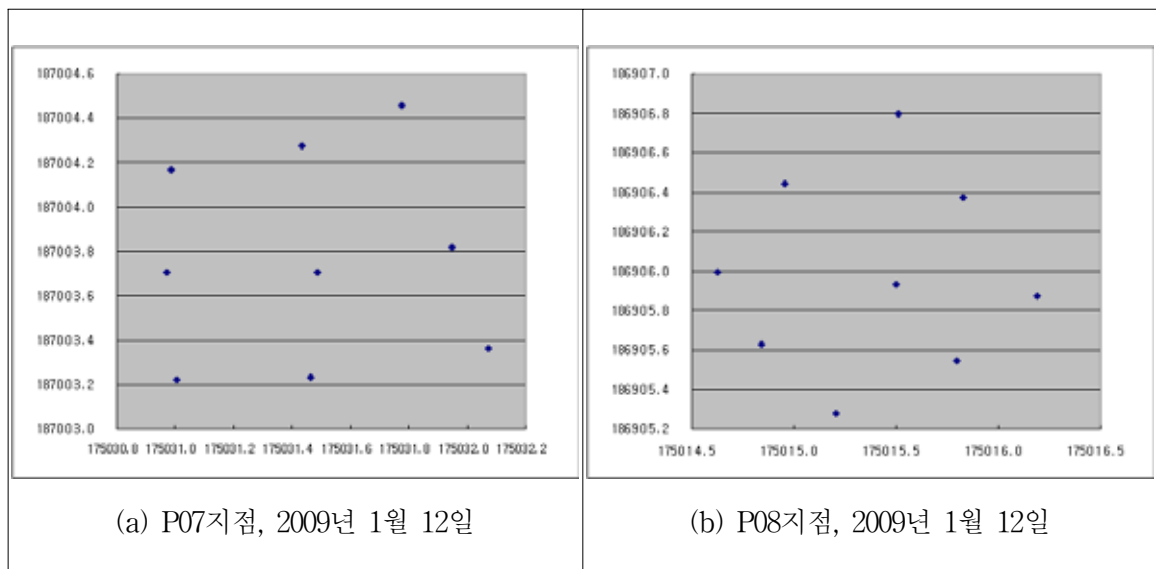


그림 2.7.2 RTK 측량결과(P07, P08지점 위치, 2009년 1월).

(단위 : m)

다. 관측 결과

RTK 측량을 통한 중앙 값 기준 및 평균값 기준의 관측결과를 cm 단위로 그림 2.7.3에 제시하였다. 이를 살펴보면, 처음 관측된 2007년 6월의 4번 지점을 제외하면 현재까지 6회 관

측한 결과에서는 표고 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

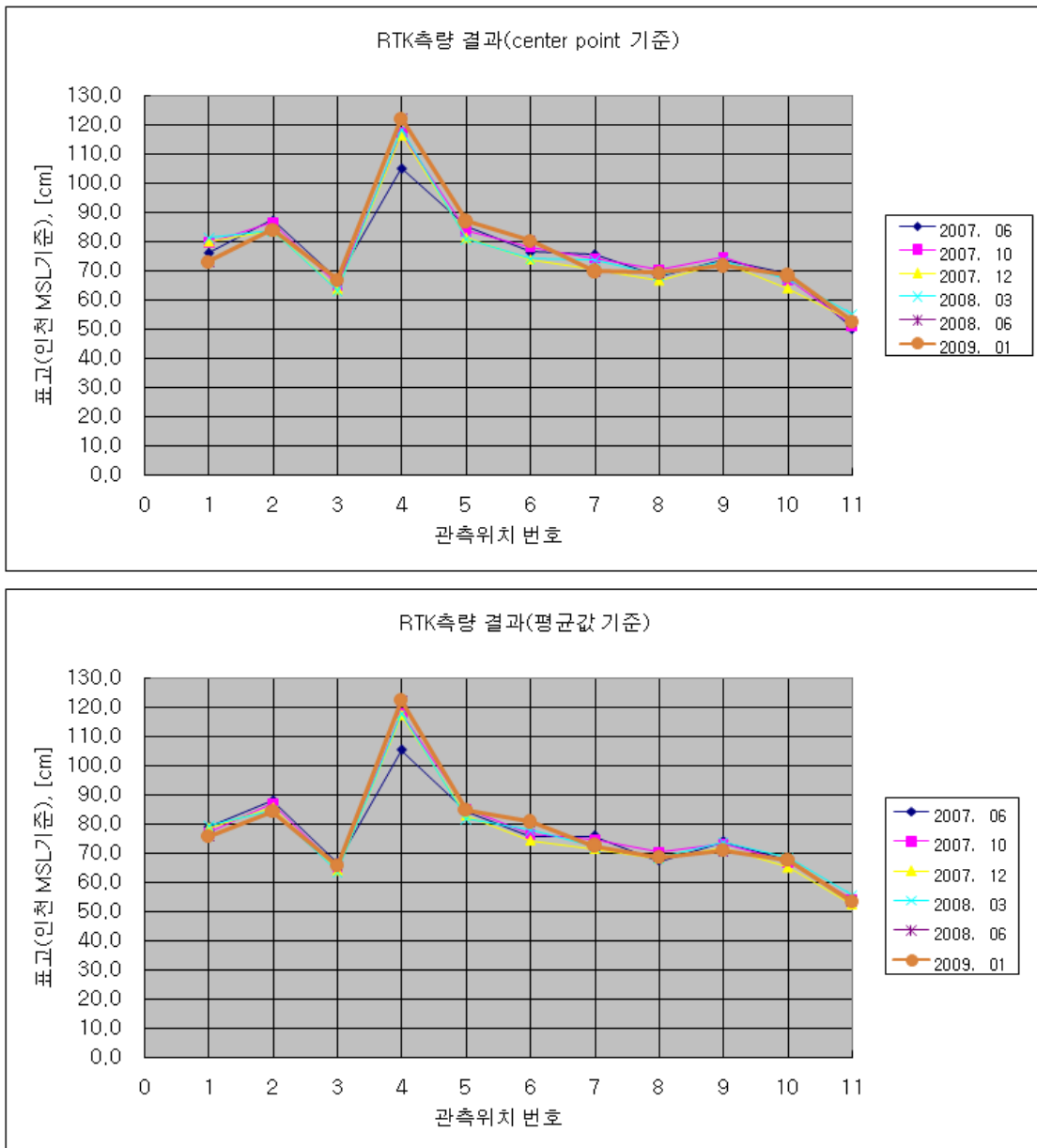


그림 2.7.3 RTK DGPS 측량에 의한 표고 변동.

2.7.2 해안선 및 협수로 단면변화

가. 측량 개요

신항만 부지와 인접한 낙동강 하구역 협수로부와 진우도 및 신자도 남측 해안의 지형 변동에 대한 대책 수립의 기초 자료 확보를 위하여 눌차도-진우도 사이(Area B), 그리고 진우도-신자도 사이(Area C)의 협수로부의 수심측량과 진우도 남측해역에서의 수심측량을 실시하였다. 3차년도에는 2차년도 최종보고회에서 지적된 바를 수용하여 연결잔교 해역(Area A)의 측량을 제외시키고 진우도와 신자도 남측은 정선 간격이 100 m가 되도록 기존 정선 사이에 보조 정선을 추가하였다. 측량 시기는 계절 효과를 최대한 반영시키기 위하여 하계와 동계가 되도록 설정하였으나 사업 기간의 제약으로 12월 말과 1월 초에 걸쳐 1회의 측량이 실시되었다. 수심측량과 동시에 수심측량 정선의 육지 연장부에 대한 해안선 변동을 관측하였다. 표 2.7.2와 그림 2.7.4에 구체적인 관측 날짜와 관측 구역이 제시되어 있다.

표 2.7.2 측량 실시 일정.

회 차	해안선 단면 측량	수심측량
1 차	2008. 12. 26 ~ 30 / 2009. 1. 9. ~ 12.	2008. 12. 26 ~ 30 / 2009. 1. 9. ~ 12.

수심측량은 SonarTech 사의 Aqua Ruler 200 기종으로 실시되었으며 해안선 측량은 Canada NovaTel 사의 RTK-DGPS(OEM4-DL4)를 이용하였다.

수심측량은 bar-check를 통한 음속보정을 실시하였으며 조석보정은 해양조사원의 가덕도 검조소의 조석자료를 이용하여 가덕도 기준면으로 환산하였다. 해안선 변동도 가덕도 기준면을 기준으로 하였다. 다음에 측량의 기준이 제시되어 있다.

1) 수평 기준점

RTK-DGPS의 기준국 설치를 위한 기준점을 진우도와 신자도의 2개소에 설치하였다. 이 기준점들은 부산신항만주식회사에서 시행한 측량 결과로 한국해양연구원으로부터 제공받은 것이다. 그림 2.7.4에 본 조사에서 사용된 RTK-DGPS 기준점과 인근 주요 삼각점들의 좌표가 제시되어 있으며 그림 2.7.5과 그림 2.7.6은 각각 진우도와 신자도에 설치된 기준점들의 모습이다. 그림 2.7.4에서 적색지형은 국립지리정보원 발행 1:25000 수치지도 358163 및 358164에 표시된 해안선이며 흑색 지형은 국립해양조사원 발행 수치해도 No. 202에 표시된

해안선이다. 그리고 본 조사에서 최종적(2008년 12월)으로 얻어진 진우도와 신자도의 해안선이 붉은 청색선으로 표시되어 있다(가덕도 App. H.H.W 190 cm).

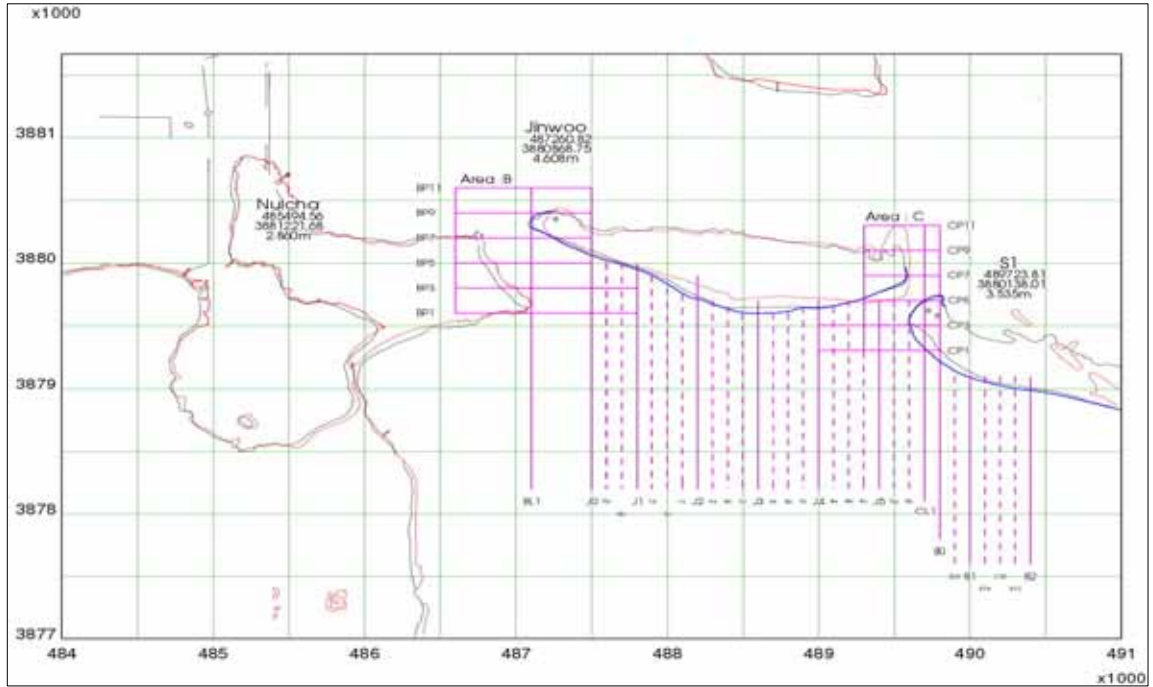


그림 2.7.4 해안선 및 협수로단면 조사 구역도 및 측량 기준점(거리 단위: × 1,000 m).



그림 2.7.5 진우도 기준점.



그림 2.7.6 신자도 기준점.

측량은 모두 세계측지계상에서 이루어졌으며 측량된 결과는 모두 UTM 좌표로 변환, 정리하였다. 기존 한국측지계상의 좌표와 세계측지계상의 좌표 변환은 국립지리정보원 고시 제2003-497호(국립지리정보원 2003. 12. 24.)에 의거하였으며 별도의 왜곡 보정은 실시하지 않았다.

2) 연직 기준면

연직 기준은 가덕도 기준면을 기준으로 했으며 그림 2.7.7에 인천, 부산, 그리고 가덕도의 조석 기준면이 비교, 제시되어 있다. 국립해양조사원 자료에 따르면 부산 평균해면은 우리나라 육상 표고 기준인 인천평균해면보다 8.6 cm 낮은 것으로 제시되어 있으나 가덕도 평균해면은 인천 평균해면이나 다른 육상 기준과의 수준 차에 대한 자료가 제시되어 있지 않다. 부산신항만주식회사(북컨테이너터미널 배후부지 실시설계, 2000. 8.)에서 시행한 측량 자료의 일부에서 가덕도 평균해면이 인천 평균해면(I.M.S.L.)보다 17 cm 높은 것으로 나와 있는가 하면, 다른 보고서(부산-거제간 연결도로 민간투자사업 기본설계보고서, 2004. 6.)에는 I.M.S.L.에 비해 12.4 cm 낮게 나와 있다. 이를 국립해양조사원 자료와 비교하면 부산 평균해면에 비해 3.8 cm 낮은 것으로 된다. 여러 자료들의 공신력에 의문이 있어 본 조사에서는 이 차이를 무시하여 가덕도 평균해면과 부산 평균해면을 같은 높이에 두었다. 추후 연직 기준에 대한 정확한 성과가 나오면 본 측량의 성과에 일괄 가감함으로써 정확한 표고 값을 정의할 수 있을 것이다.

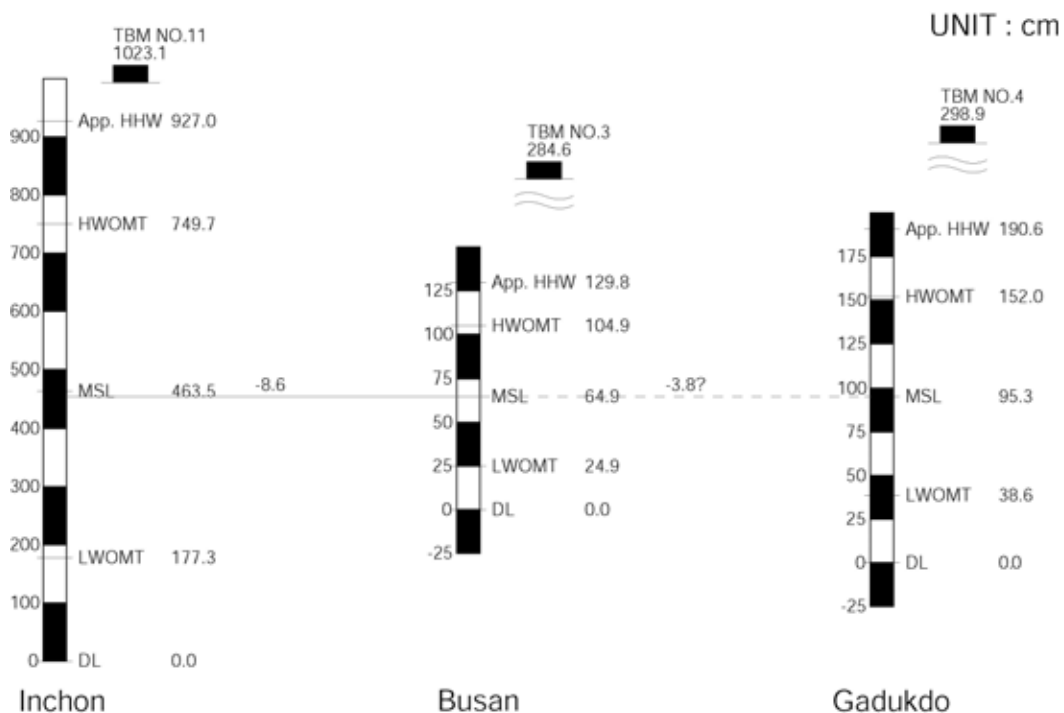


그림 2.7.7 연직 기준면.

나. 측량 결과

1) 정선 측량

정선은 진우도 남측에 기초의 6개(J0~J5), 신자도 남측에 3개(S0, S1, S2) 외에 19개의 보조 정선을 설정하여 정선 간격이 100 m를 넘지 않도록 하였으며 협수로부의 종방향 정선 BL01 정선과 CL01 정선을 남측으로 연장하였다. 측량은 정선을 정확히 유지하기 위하여 2회 이상 반복 실시하였다. 정선의 육상 연장 부분은 RTK-DGPS로 측량하였으며 수심측량 결과와 같이 정리하였다.

그림 2.7.8에 수심측량과 육상측량의 결과가 1차 년도의 결과와 함께 제시되어 있으며 순서는 서쪽부터 동쪽으로 가는 순이다. 수심 및 지반고는 모두 가덕도 D.L 기준이며 가덕도 평균해면은 95 cm, 약최고고조위(App. H.H.W)는 190 cm이다.

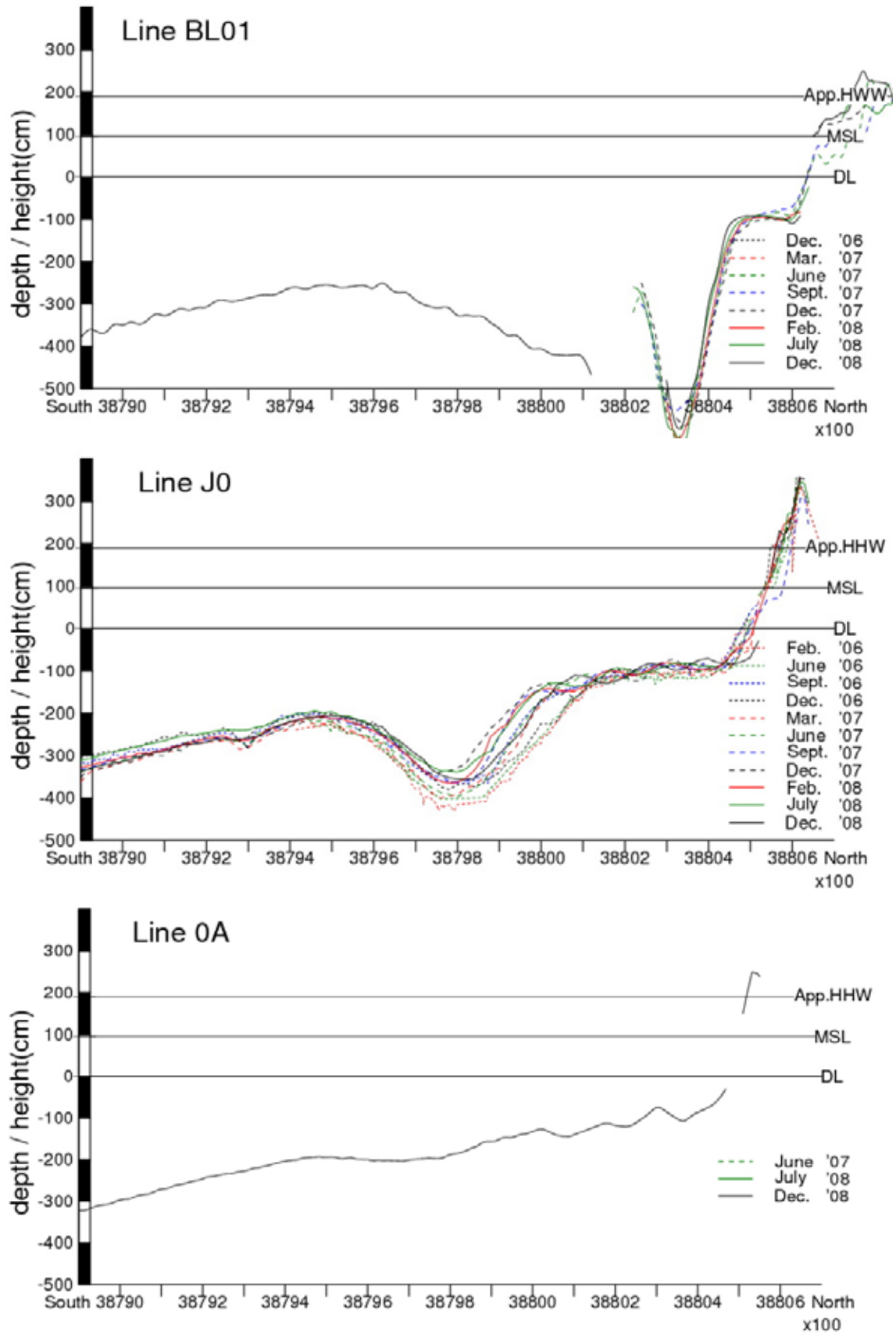


그림 2.7.8 정선별 수심 변동(진우도 및 신자도 남측/ 1, 2, 3차년도 결과 함께 제시).

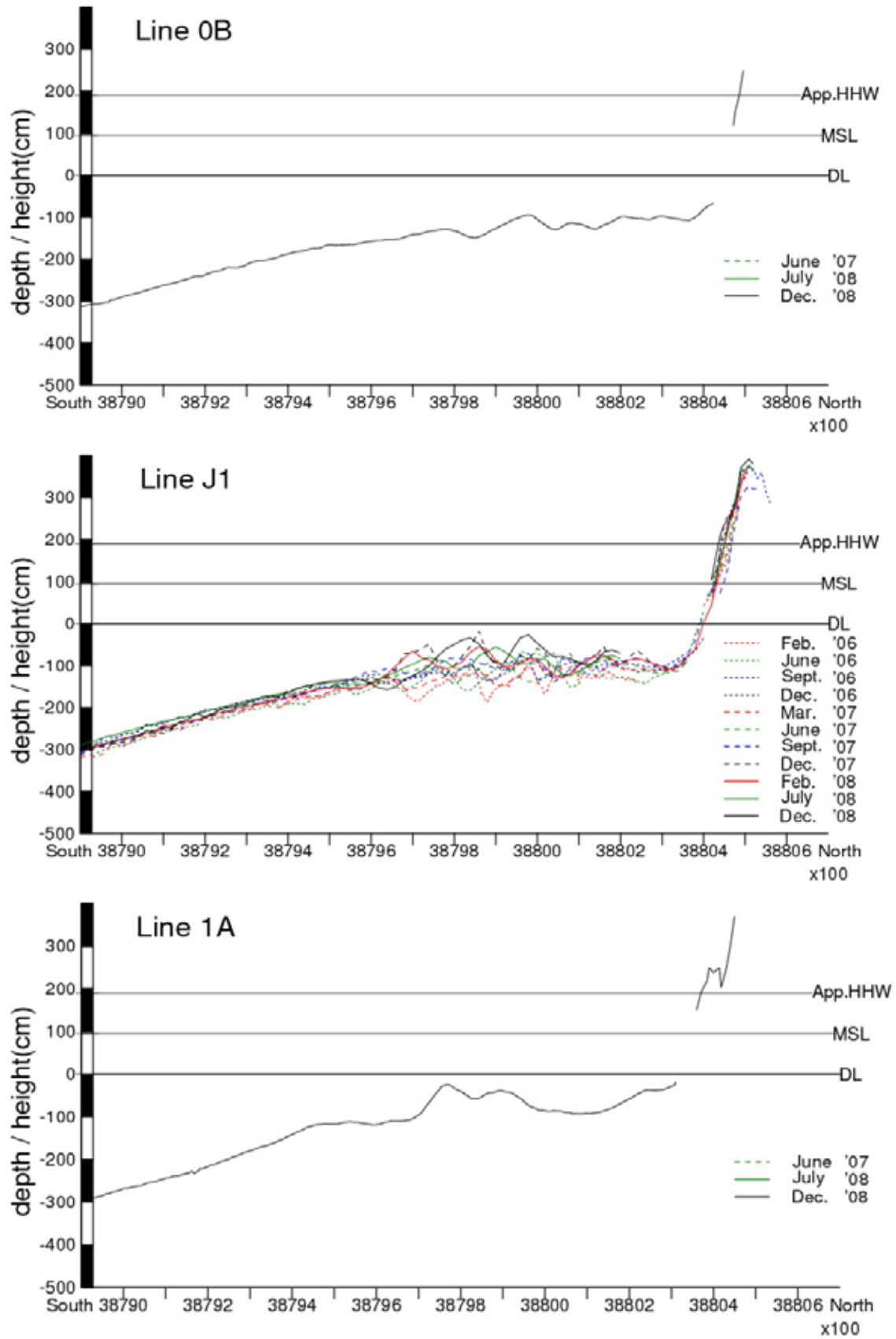


그림 2.7.8 (계 속).

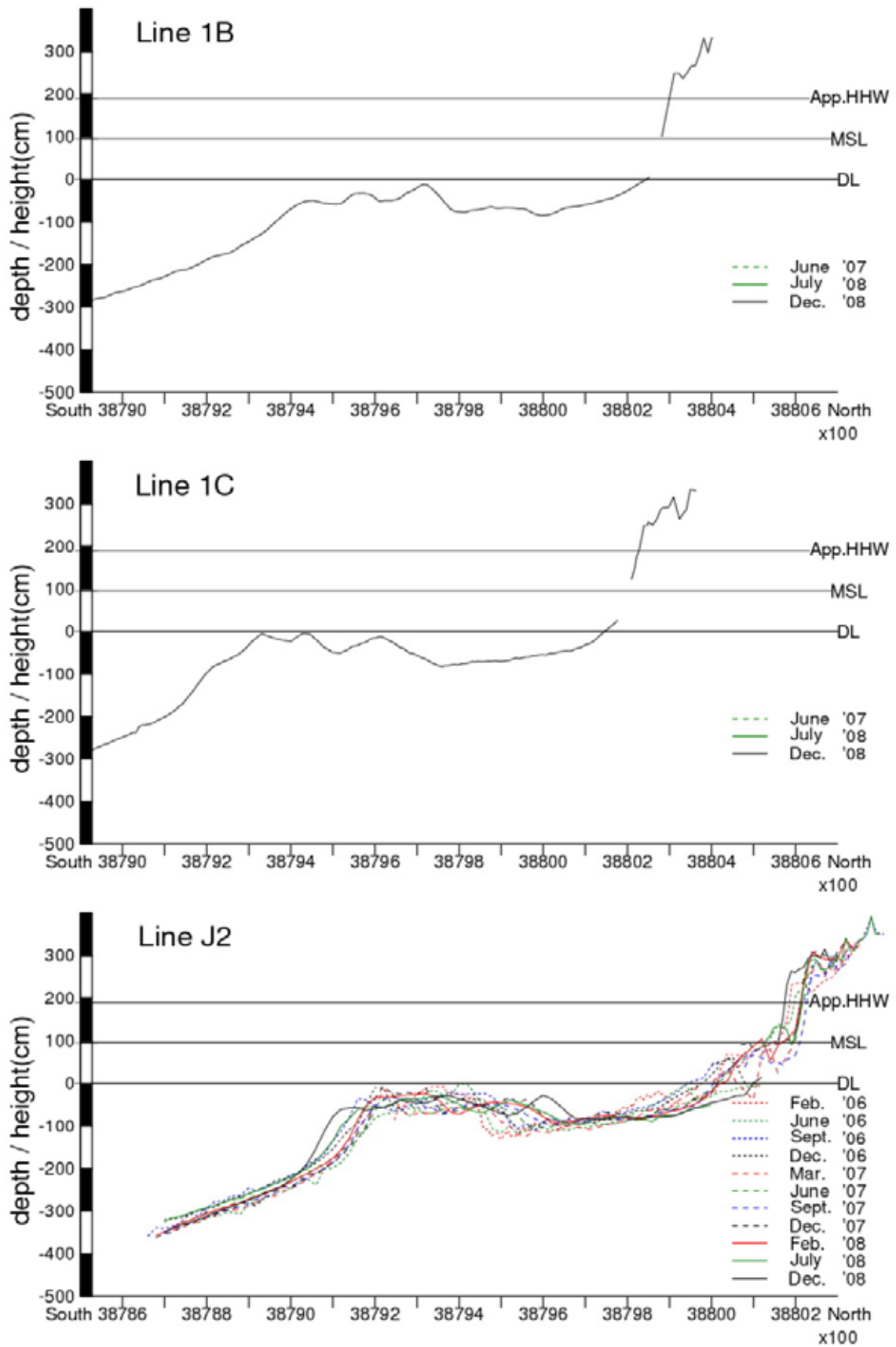


그림 2.7.8 (계 속).

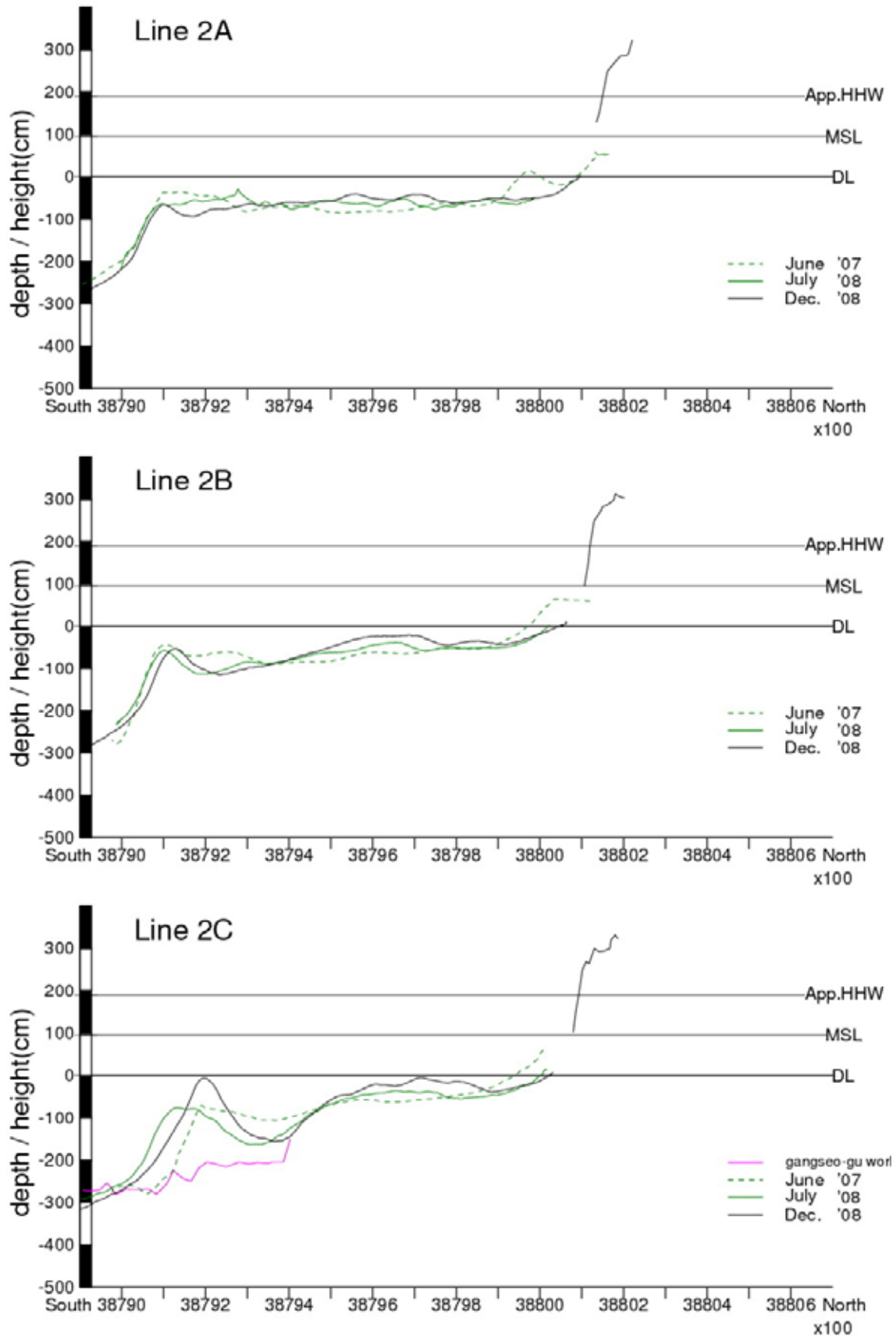


그림 2.7.8 (계 속, 자주색 선은 2007년 8월 강서구에서 실시한 준설 후 수심을 나타냄).

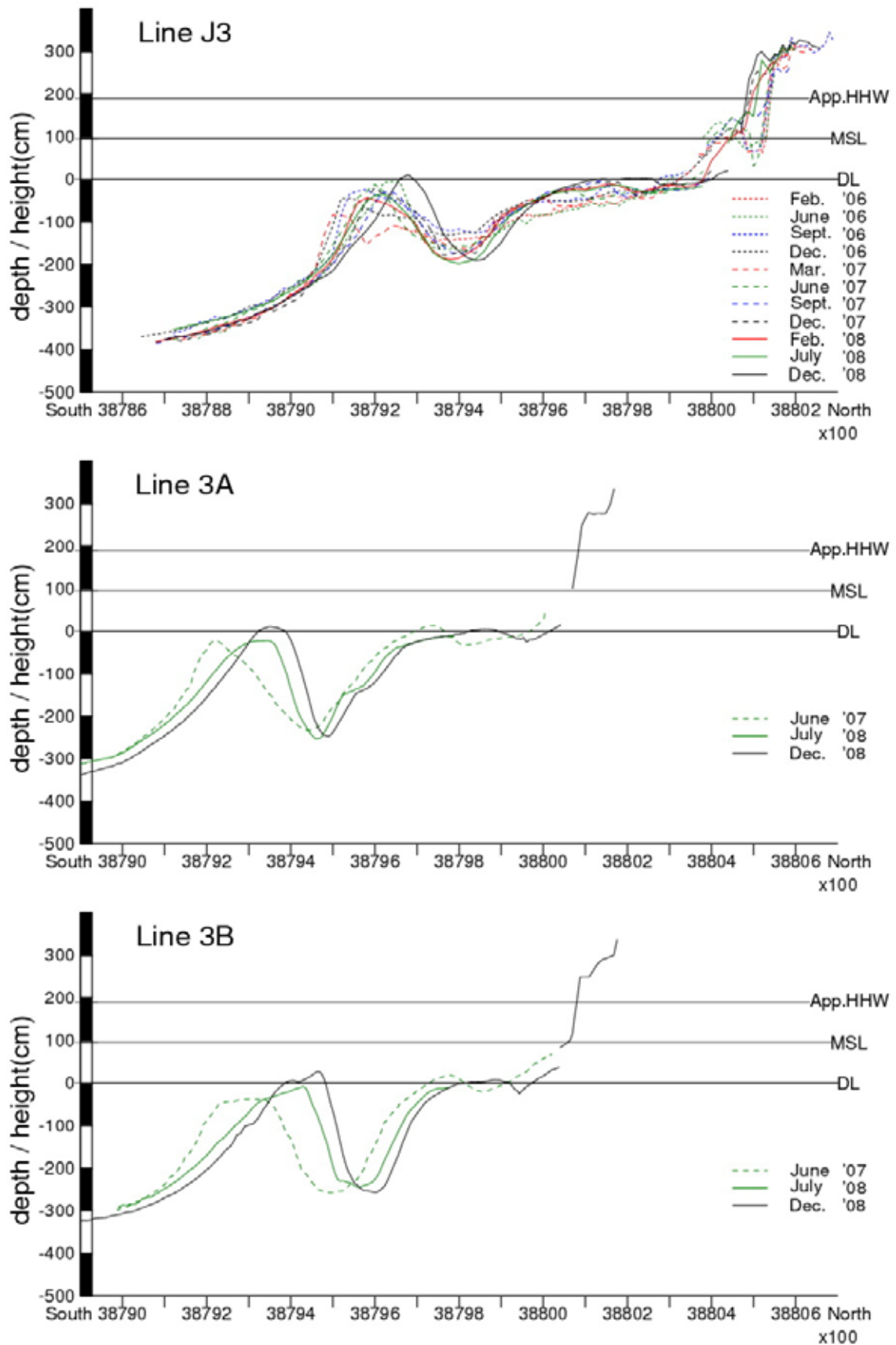


그림 2.7.8 (계 속).

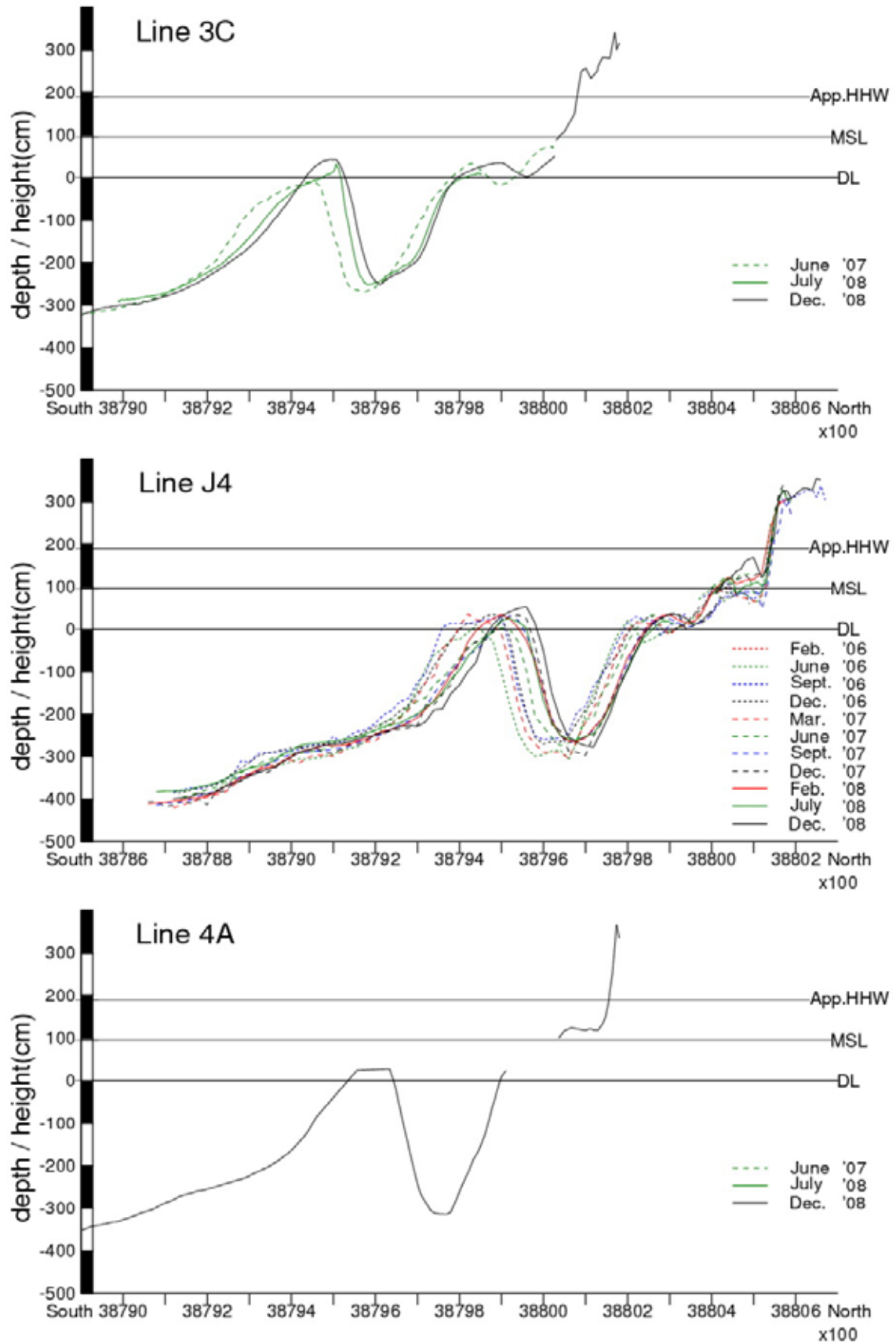


그림 2.7.8 (계 속).

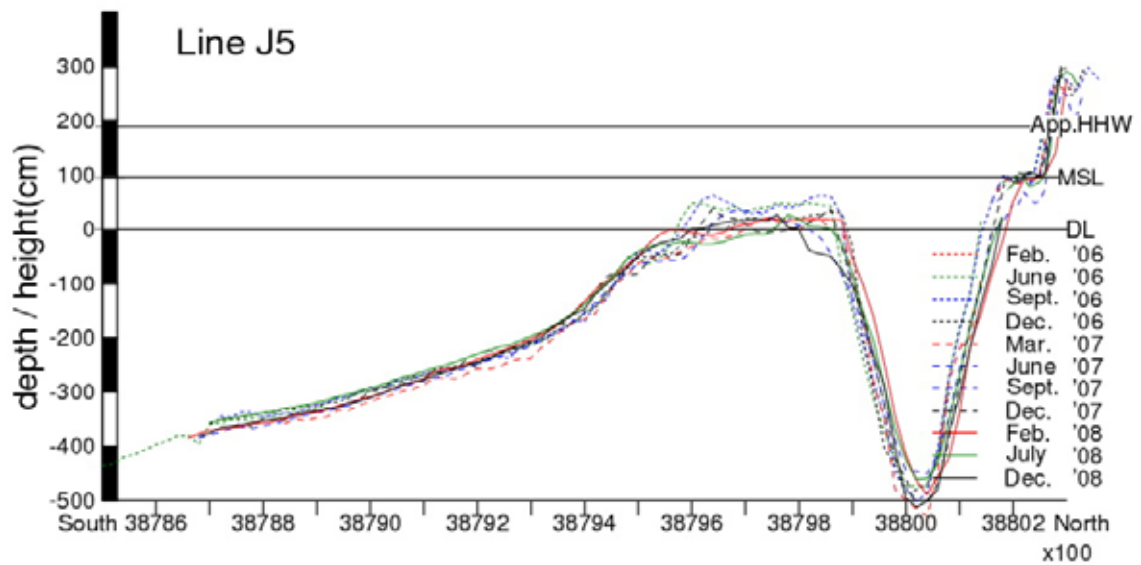
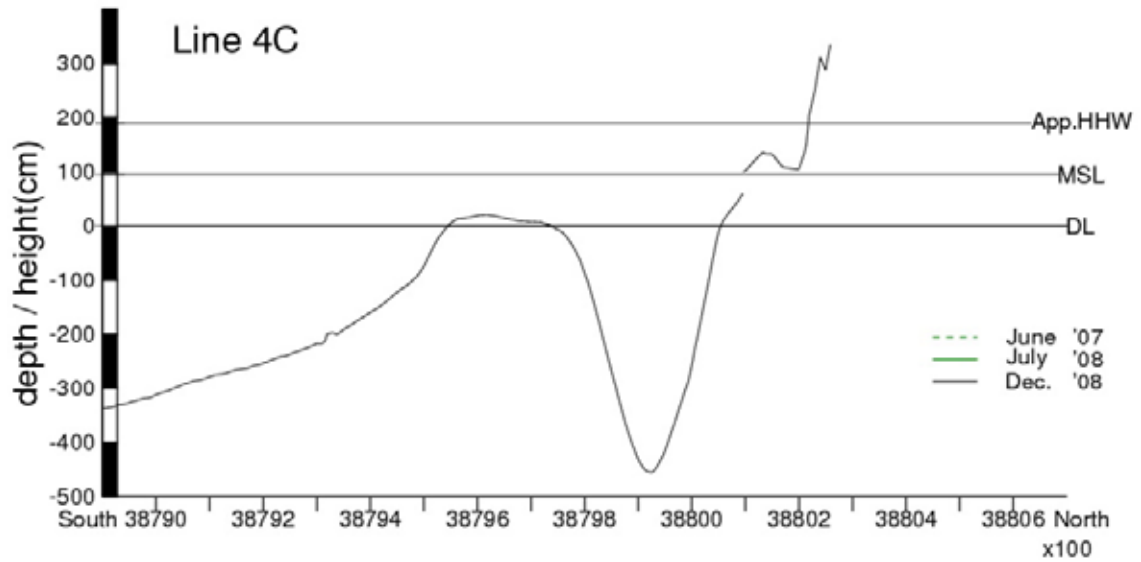
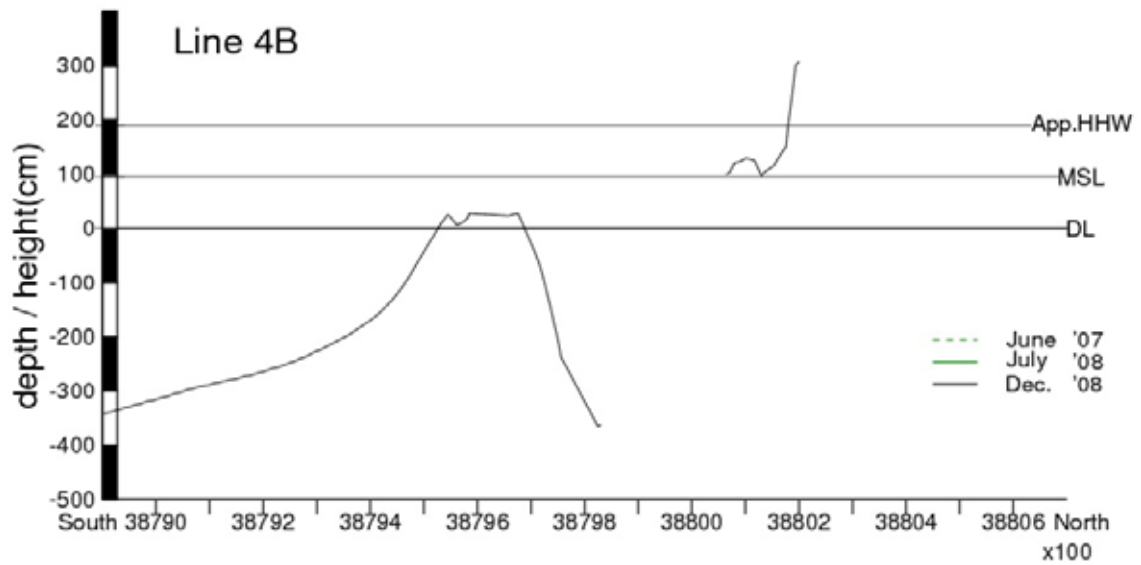


그림 2.7.8 (계 속).

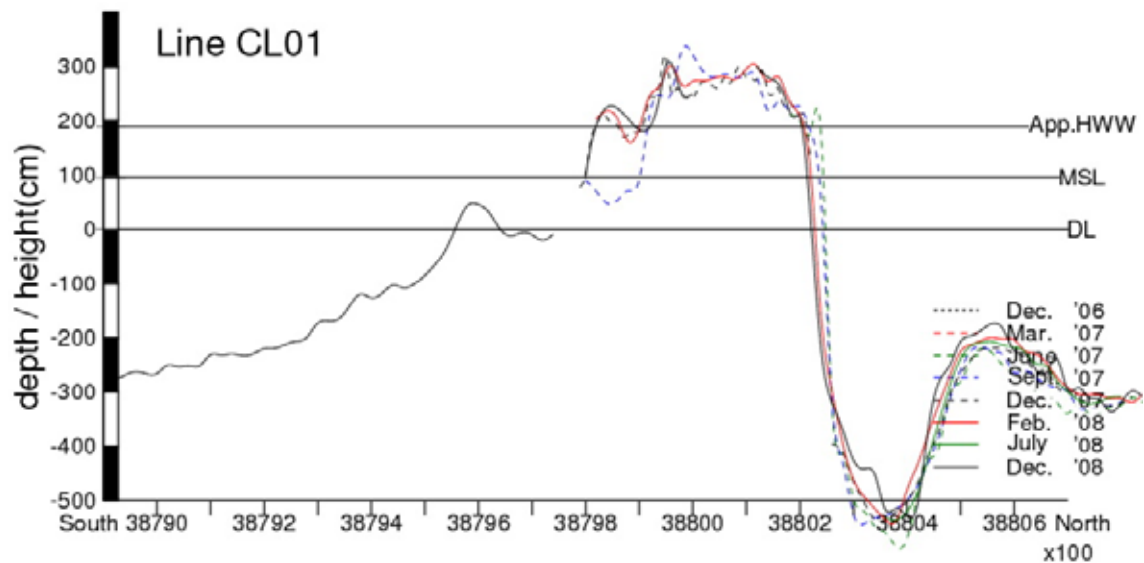
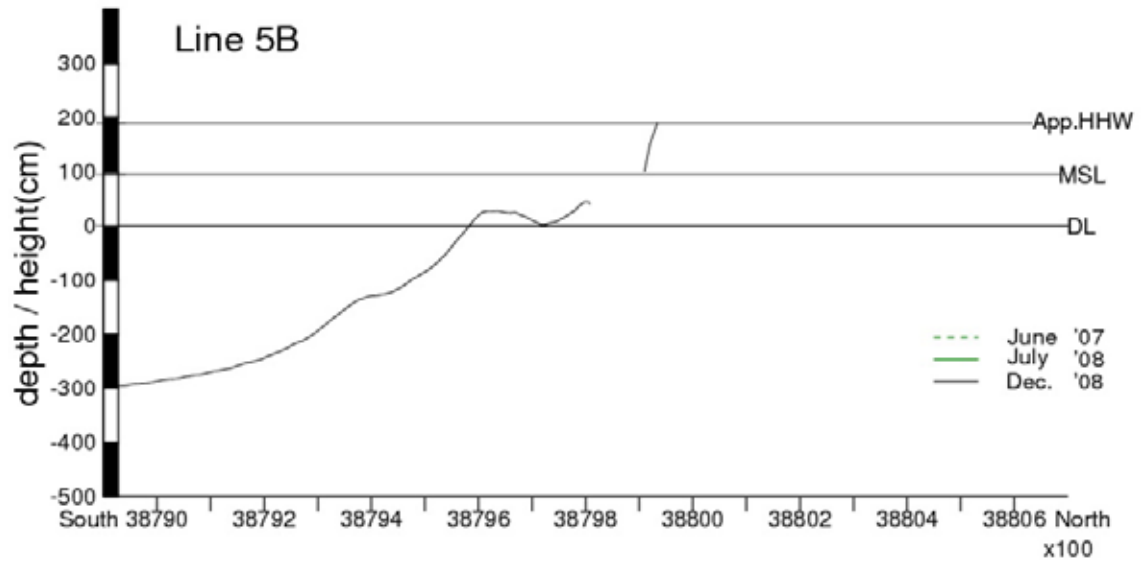
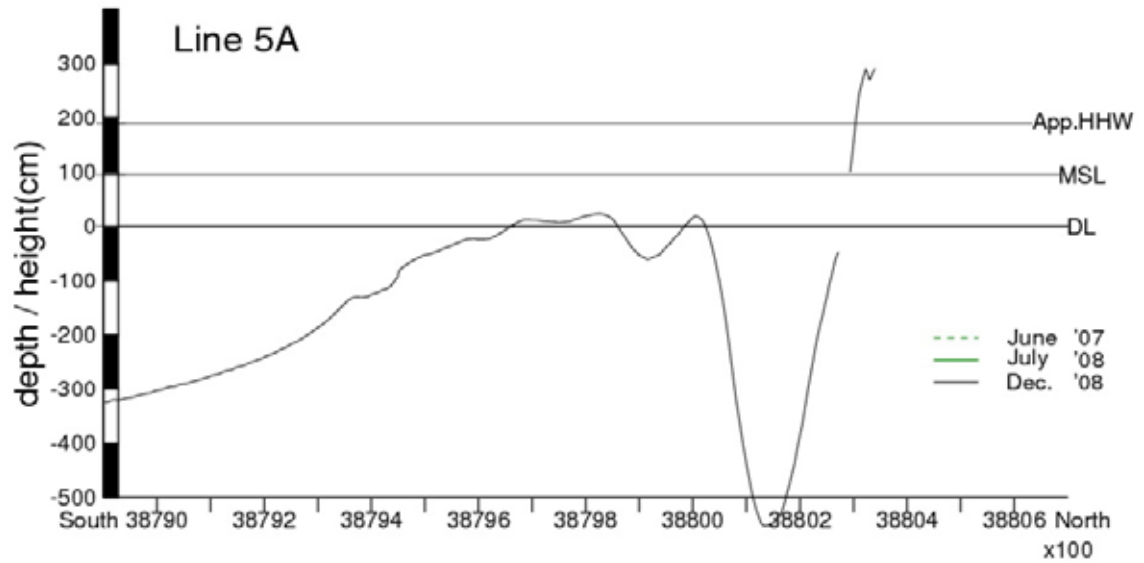


그림 2.7.8 (계 속).

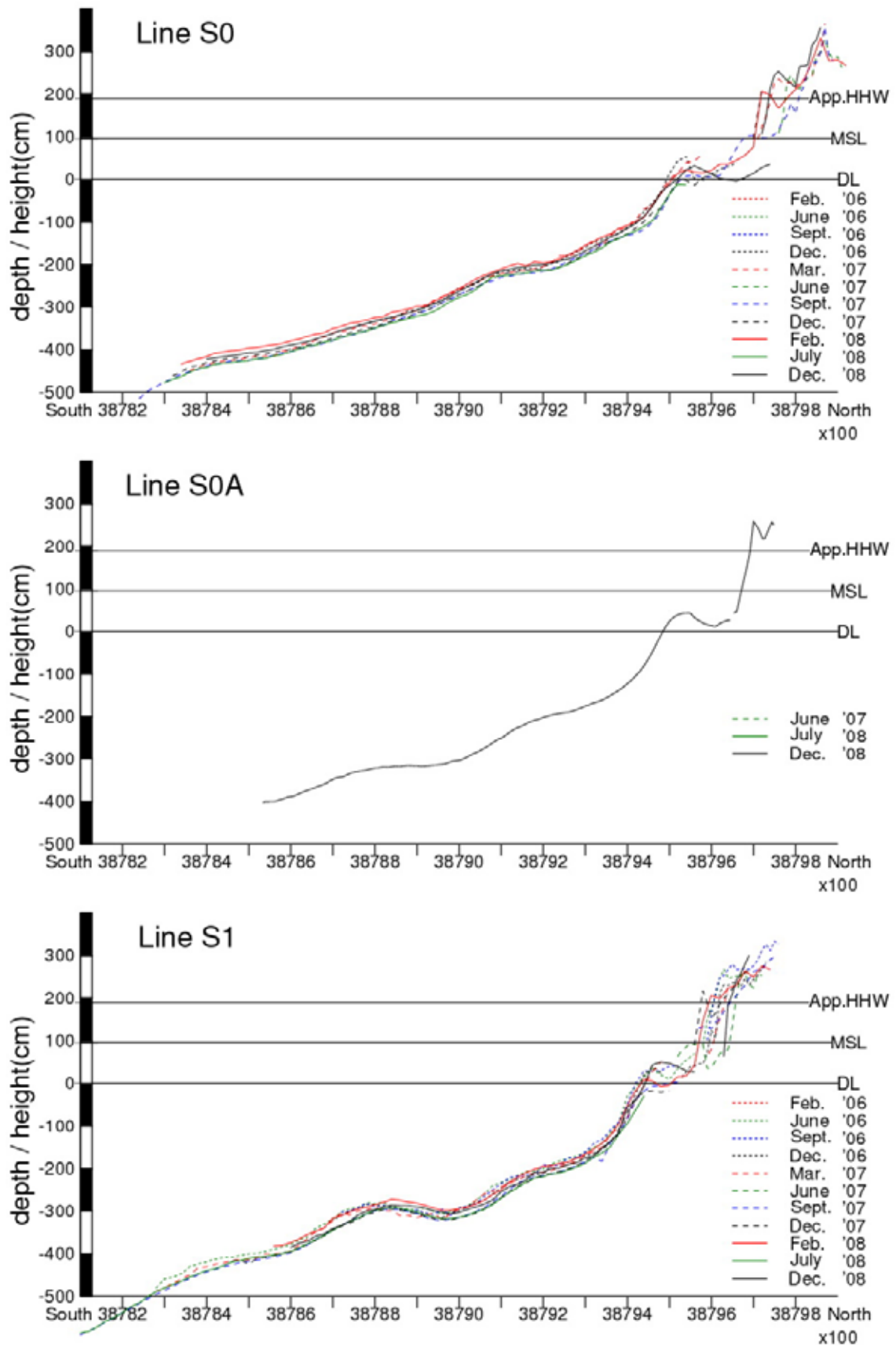


그림 2.7.8 (계 속).

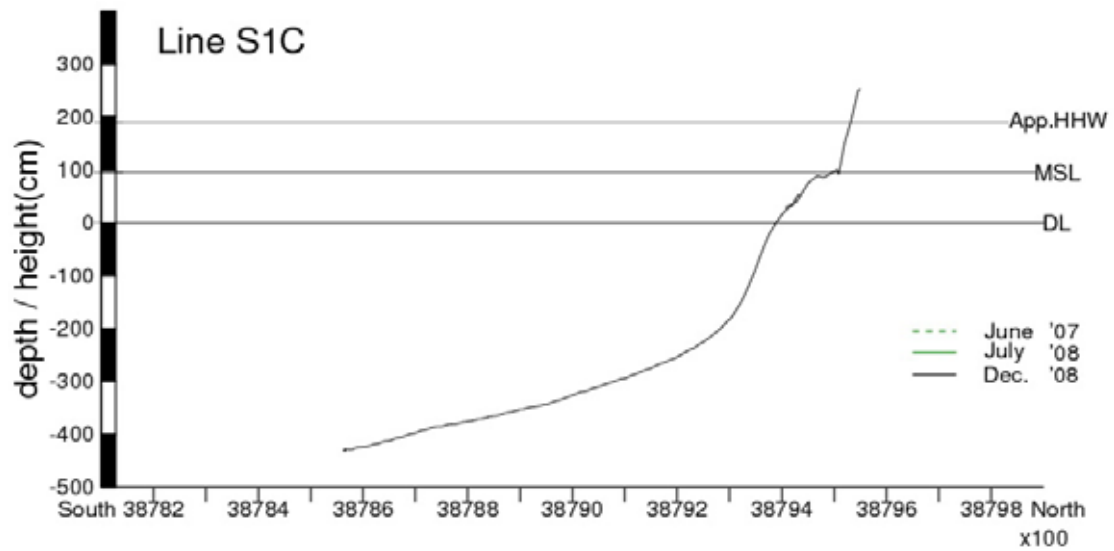
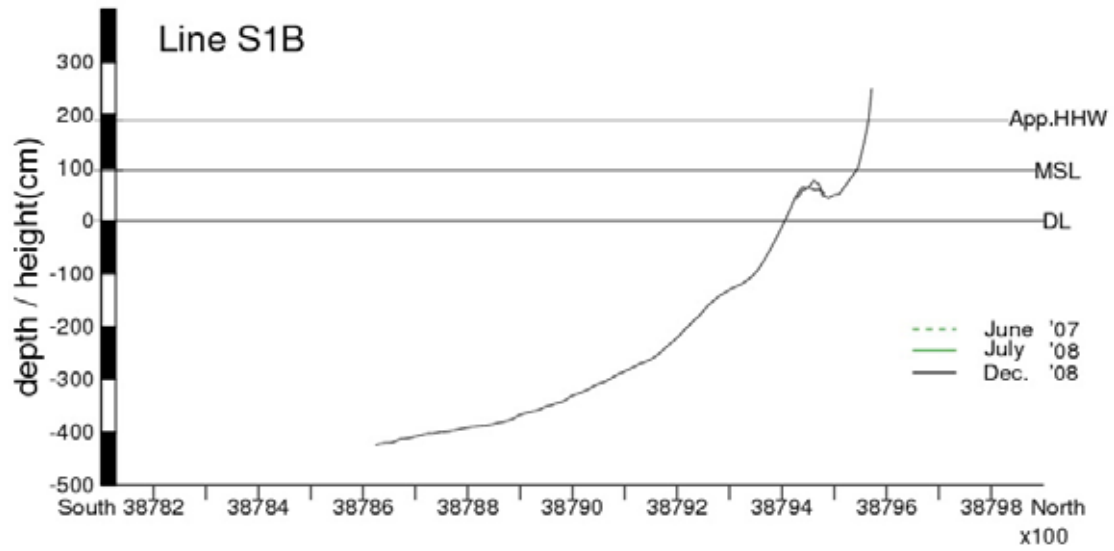
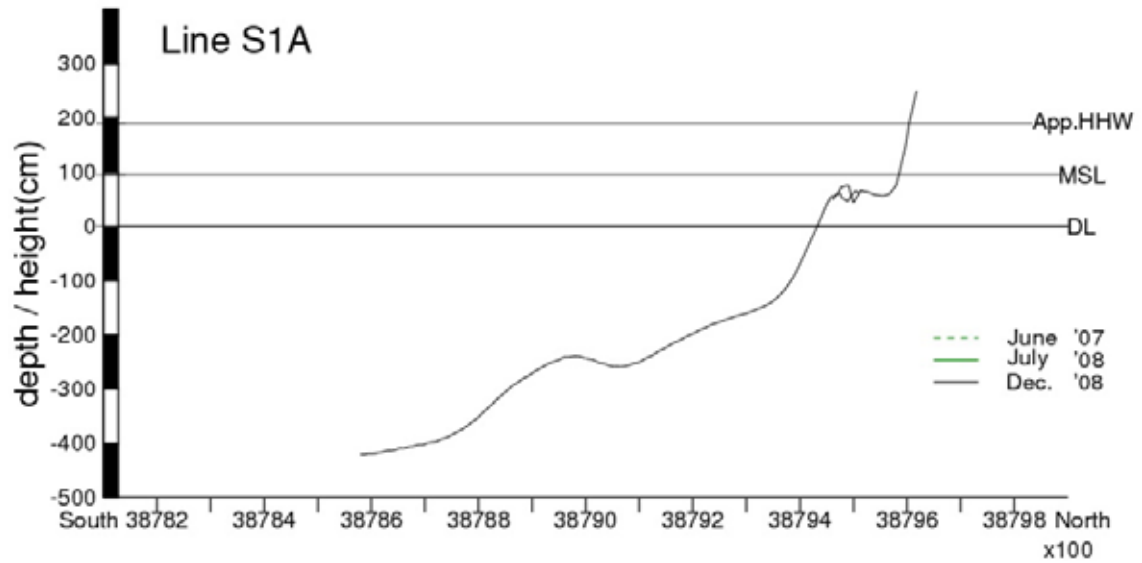


그림 2.7.8 (계 속).

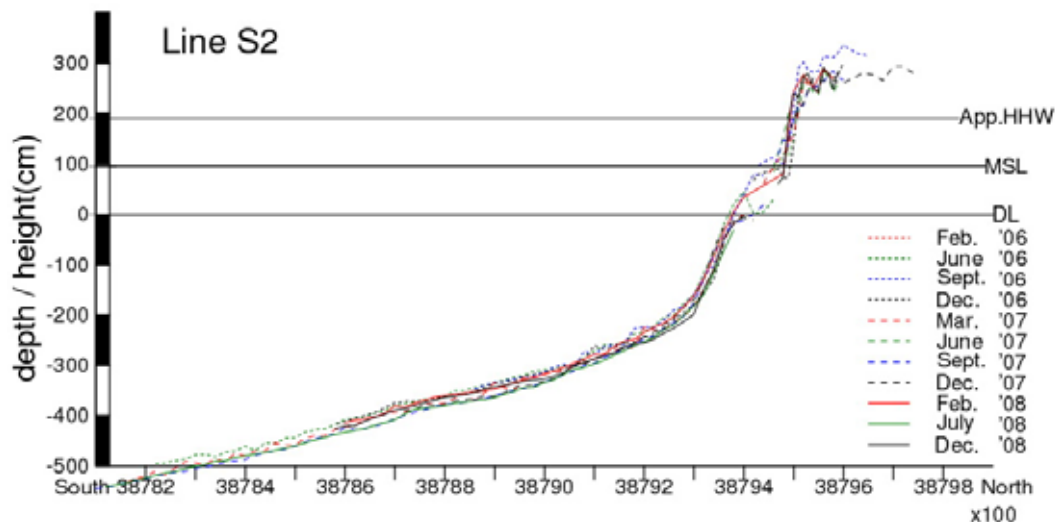


그림 2.7.8 (계 속).

지금까지의 조사결과 만으로 지형 변동의 패턴이나 경향성을 결론짓기에는 부족하며 이하 언급되는 사항들은 지난 2년 반동안의 조사결과에 대한 검토일 뿐이다.

정선 J0에서 보이는 골은 놀차만-진우도 협수로부에서 연장된 것인데 침식과 퇴적을 반복하고 있으며 이 변동의 폭은 골의 북쪽 벽이 더 심하다. 지난 2년 반 동안에는 대체로 퇴적이 더 많아 골의 가장 깊은 곳은 대략 1 m 정도 얕아 졌다. 정선 J1의 평탄부(3879600 - 3880400)는 해저면이 매우 울퉁불퉁하며 단기적인 변동도 심한 것을 볼 수 있다. 2007년의 준설구역은 그동안 완전히 매몰된 것으로 보이며 곳에 따라서는 준설 이전보다 더 많은 퇴적을 보인다(정선 J2C). 정선 J2의 경우 육지 가까이는 약간 침식이 일어났으며(3880000 근처) 평탄부는 J1에서와 같이 변동이 심하다.

진우도-신자도 협수로부에서 연장되어 나온 골의 깊이는 그동안 더 얕아지지는 않았으나 골의 남쪽 벽에는 꾸준하게 퇴적이 일어나고 있으며 북쪽 벽에서는 남쪽 벽의 퇴적 속도보다는 늦은 침식이 일어나고 있다. 즉 골의 폭은 좁아지며 골 전체가 북쪽으로 이동하고 있다.(J3 - J4). 이 경향은 지난 2년 반 동안 매우 일관성 있게 계속되고 있다.

신자도 남쪽 해역은 별다른 변동이 보이지 않아 안정된 것으로 보이나 육지쪽(S1의 3879400보다 북쪽)에서 퇴적과 침식이 반복되는 변동이 크게 보인다.

2) 협수로부 측량

가) Area B

가덕도와 진우도 사이의 협수로부로 선박의 왕래가 많은 곳이다. 이 해역에서도 2차년도와 같이 정선 측량으로 실시하였다. 정선은 동서로 6개와 협수로의 중앙부에 남북으로 1개

를 설정하였으며 중앙부의 남북 정선(BL01)은 앞의 정선측량 해역까지 남측으로 연장하였다. 정확한 측선의 유지를 위하여 매 정선 당 2회 이상의 측량을 실시하였다. 수심측량의 결과는 그림 2.7.9에 정선의 진우도 쪽 육지 연장부에는 해안선 측량 결과와 함께 제시되어 있으며 1, 2, 3차년도 of 성과가 함께 제시되어 있다. 제시되는 순서는 남북방향 정선 다음에는 북에서 남으로 가는 순서이다.

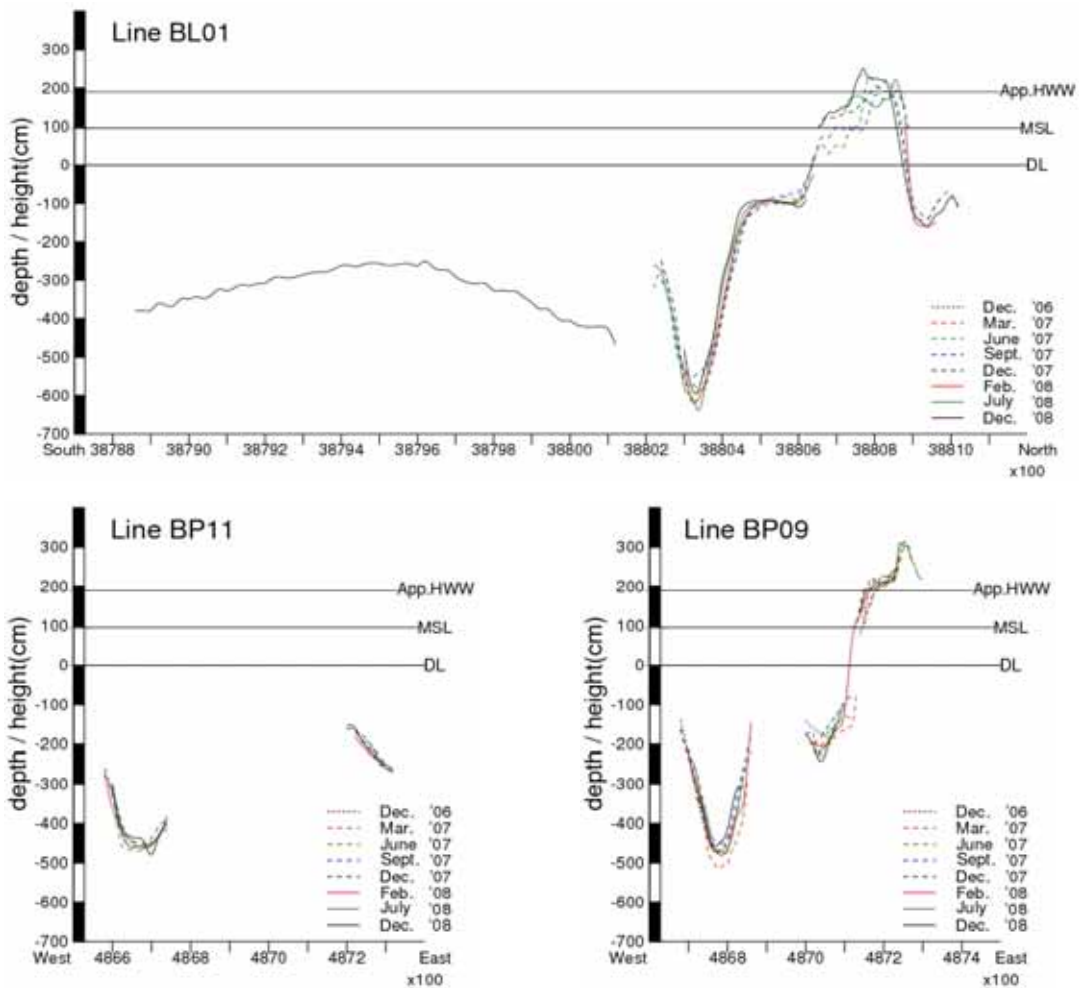


그림 2.7.9 Area B의 정선 수심측량 결과(가덕도-진우도 협수로, 1, 2, 3차년도 결과를 모두 함께 제시).

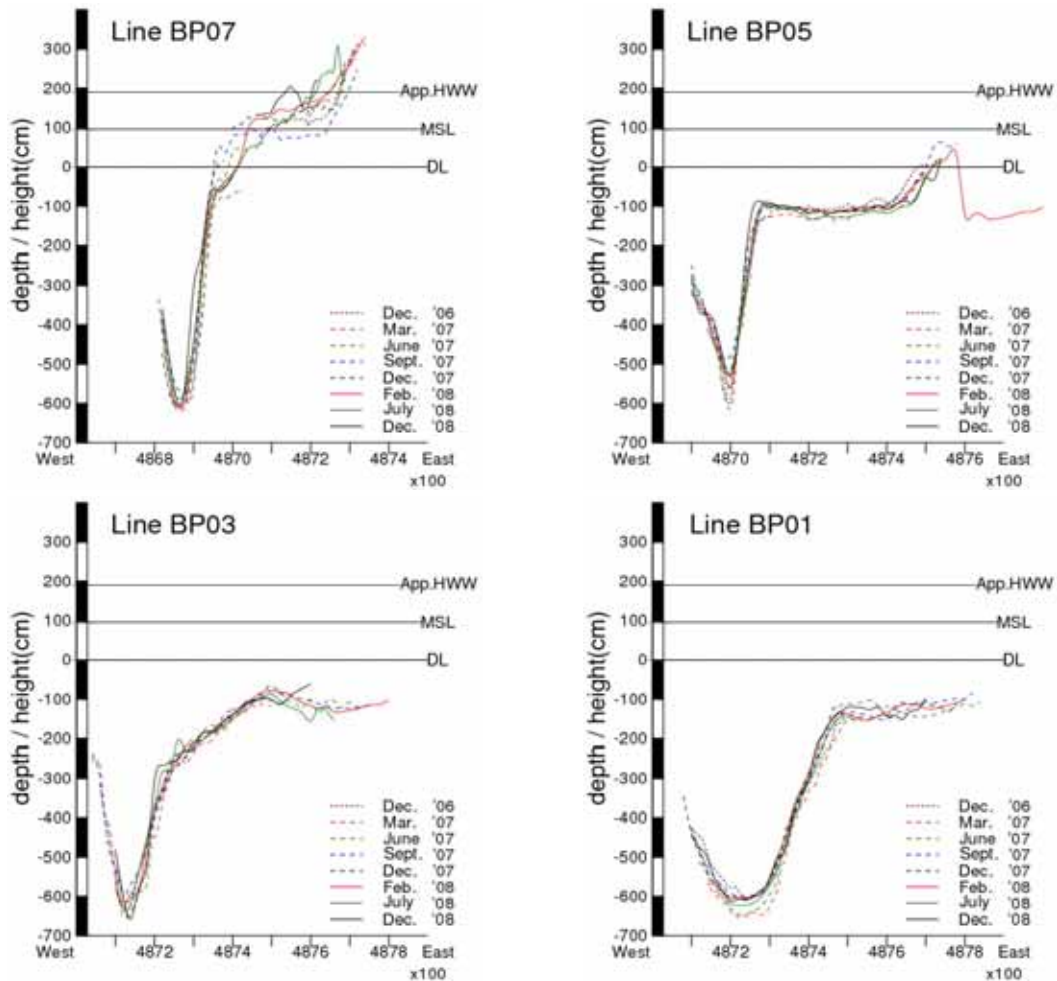


그림 2.7.9 (계 속).

뚜렷한 경향성을 보이지는 않으나 진우도 서쪽 끝(BL01의 3880700, BP07의 4870100 부근)에서는 퇴적이 약간 우세한 것으로 보이지만 정선 BP07의 끝이 시작되는 곳(487000 근처)에서는 큰 침식도 보인다.

다) Area C

진우도와 신자도 사이의 협수로부터 선박의 왕래가 많은 곳이다. Area B에서와 같이 2차 년도와 같이 정선 측량으로 실시하였다. 정선은 동서 방향으로 6개와 남북으로 1개를 설정하였으며 남북 정선(CL01)은 남측으로 연장시켰다. 정선 위치는 그림 2.7.4에 제시되어 있다. 정확한 측선 유지를 위하여 매 정선에 대해 2회 이상 측량을 실시하였다. 수심측량 결과는 그림 2.7.10에 진우도와 신자도의 정선 육지 연장부에 대한 육상 측량 결과와 함께 제시하였으며 1차년도 결과도 함께 제시하였다. 제시되는 순서는 앞에서와 같이 남북방향 정선 다음에는 북에서 남으로 가는 순서이다.

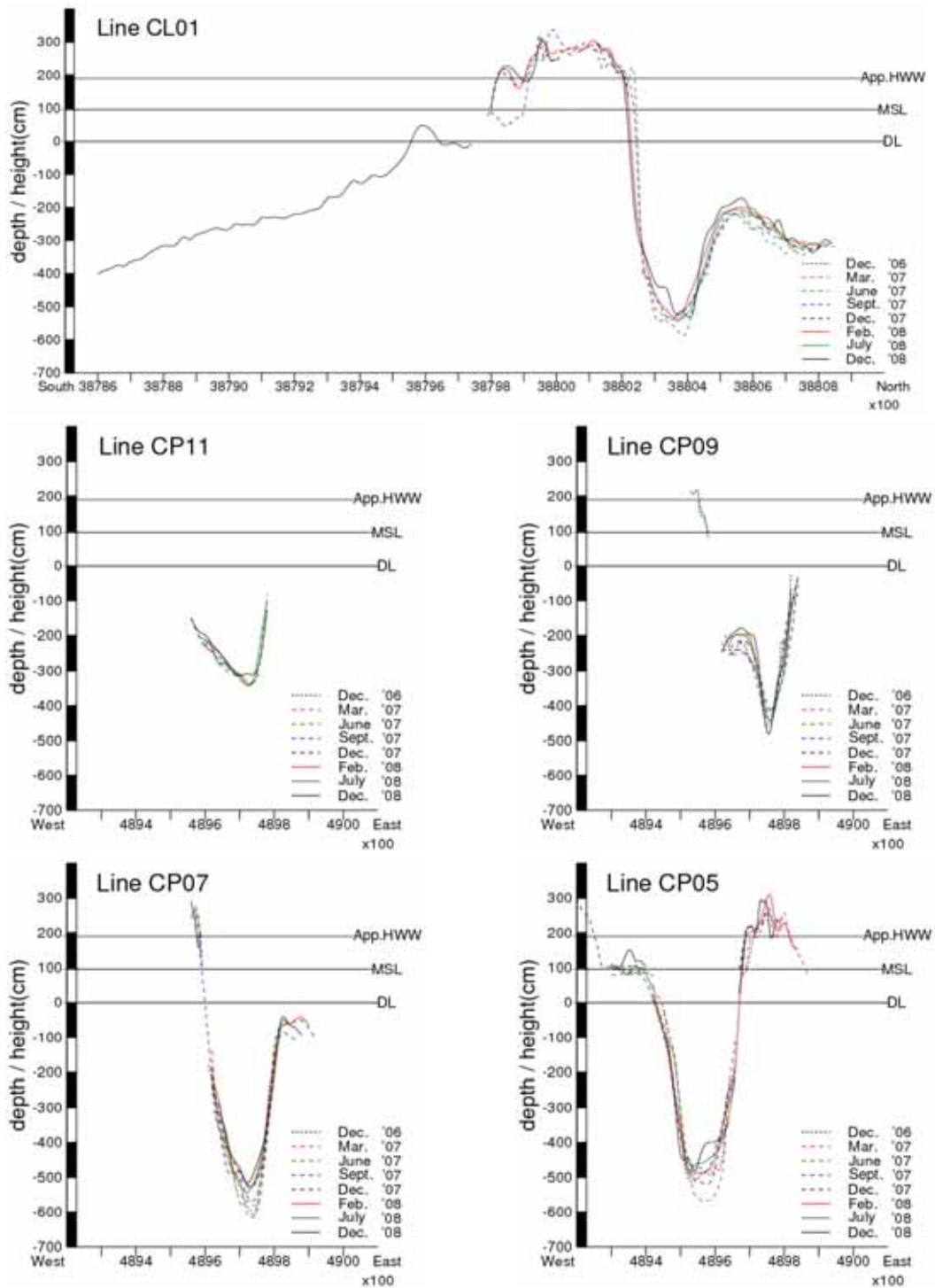


그림 2.7.10 Area C의 정선 수심측량 결과(진우도-신자도 협수로, 1, 2, 3차년도 결과를 모두 함께 제시).

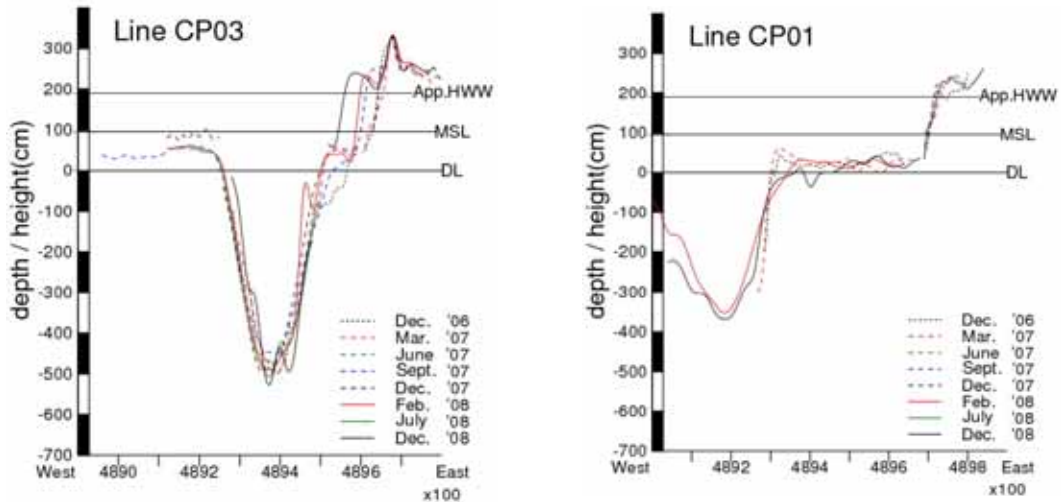
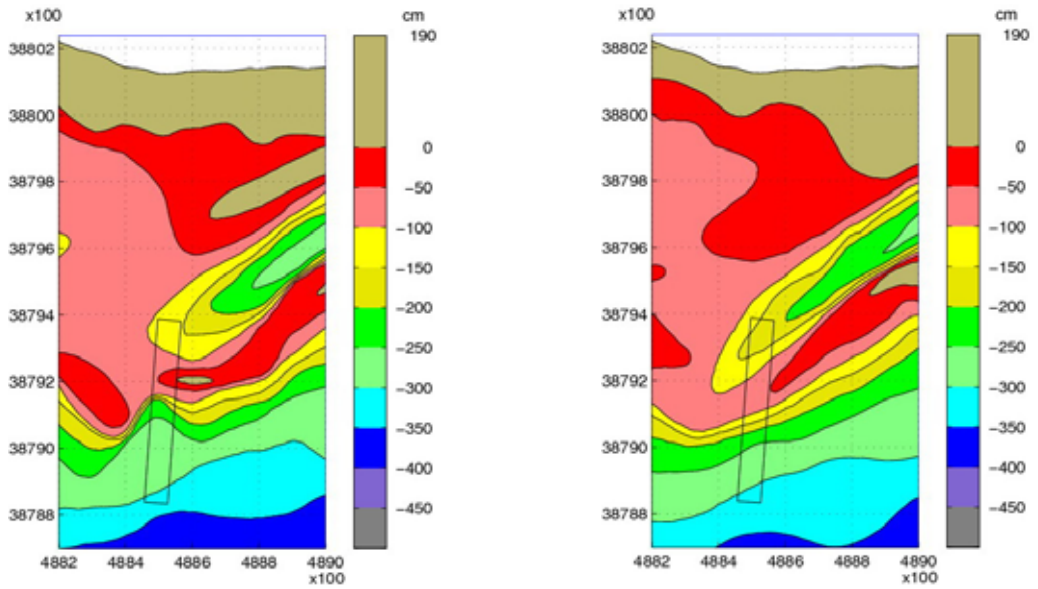


그림 2.7.10 (계 속).

협수로 골의 바닥에서는 계속 퇴적이 일어나 수심이 1 m 이상 얕아진 곳(CP07, CP05 등)도 보인다. 진우도와 시신자도 사이(정선 CP03)의 협수로에서는 미세하나 서쪽 벽에는 퇴적이 동쪽 벽에서는 침식이 일어나 골 전체가 동쪽(신자도 쪽)으로 이동하는 것처럼 보인다.

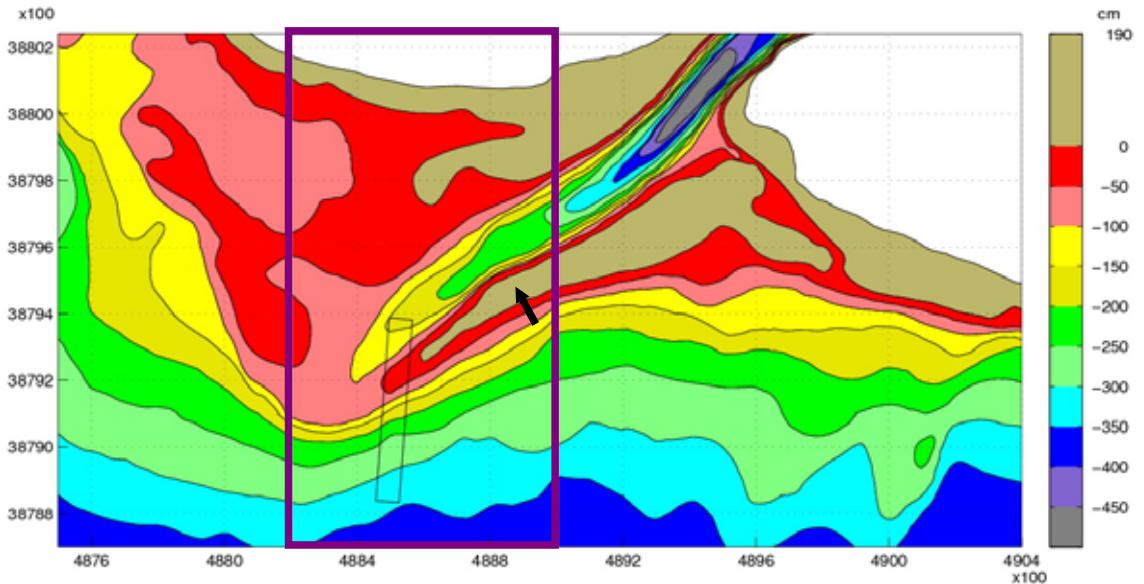
2.7.3 진우도 남측 해역의 등수심도 비교

진우도 남측 약 500~800 m 해역에 형성되어 있는 사주의 상세한 형태를 파악하고자 본 과업에는 포함되어 있지 않으나 1, 2차 년도인 2007년 6월 30일과 2008년 7월 5일에 정선 J2에서 J4 사이에 100 m 간격의 정선을 추가하여 수심 측량을 실시하였으며 3차년도 결과와 같이 등수심도로 비교하였다. 100 m 간격의 부족한 자료로부터 작성된 등수심도이기 때문에 보간 방법과 등수심선 작성 기법 또 작성자에 따라 세부적인 차이가 많이 날 수는 있으나 전체적인 경향을 비교해 보는 데는 지장이 없을 것으로 본다. 이 사주는 퇴적학 적으로도 중요한 요소이기도 할 뿐만 아니라 선박 통항에 장애가 되어 민원의 주요 대상이 되고 있으며 2007년 8월에 이 해역에서 준설이 실시되기도 했다.



2007년 6월

2008년 7월



2008년 12월

그림 2.7.11 진우도 남측 사주의 년도별 평면도 비교(그림 속의 검은 사각형은 2007년 준설 구역이며 2008년 12월의 보라색 사각형 테두리(□)는 전년도와 같은 해역을 표시함, 검은색 화살표는 본문 참조).

앞에서 이미 언급된바 있지만 2007년 준설 구역이 1년 후 흔적을 찾기 힘들게 되었으며 골 남쪽의 사주는 더 높아져 대부분이 DL 선 이상으로 노출된 것을 볼 수 있다(그림에서 검은색 화살표(↘) 부분). 또 골의 폭이 좁아진 것도 볼 수 있으며 육지 가까운 곳에서는 전년에 비해 얕아진 곳이 늘어난 것이 보이나 3 m 이상 깊은 곳에서는 큰 변동이 보이지는 않는다.

2.8 Website 및 실시간 자료제공 시스템 운영

부산항 신항 해역의 해양환경 모니터링을 위해 운영하는 관측 시스템에서 실시간으로 측정하는 자료를 체계적으로 관리하고 제공하는 인터넷 정보 시스템을 구축, 운영하였다. INBUS 부이 2기, 해수위관측기 및 파향·파고계의 실시간 자료는 무선 인터넷을 통해 한국해양연구원으로 전송되며, 자동처리절차를 거쳐 수치자료 및 그래프 형태로 인터넷을 통해 실시간 제공되고 있다. 또한, 본 사업의 연구내용 홍보, 실시간 자료 제공을 목적으로 웹사이트를 구축, 운영하였다 (<http://pob.kordi.re.kr>). 유무선 인터넷을 통해 한국해양연구원의 해양자료 관리 시스템으로 전송된 현장 측정자료는 웹서버를 통해 실시간 제공되며, 전체적인 흐름을 정리하면 그림 2.8.1과 같다.

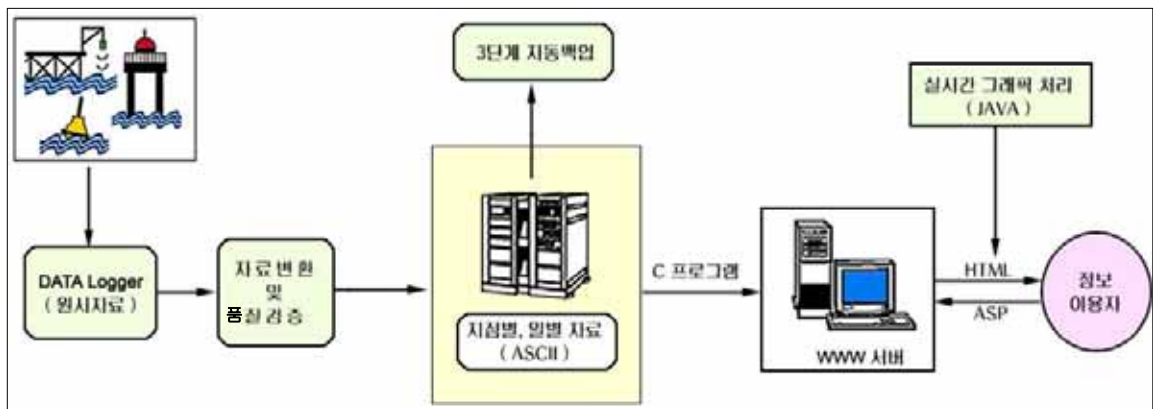


그림 2.8.1 실시간 해양자료 제공시스템 개념도.

2.8.1 실시간 해양자료 수신, 처리

INBUS 부이에서는 각 부이별 위치정보, 수심, 수온, 염분, DO, pH, 탁도 자료가 30분 간격으로 생산되며, 실시간 측정자료의 실시간 수신을 위해 한국해양연구원에 자료수신 프로그램을 설치하였다. 고정 IP를 갖는 컴퓨터에 설치된 전용 프로그램의 GUI 화면은 그림 2.8.2와 같으며, 가장 최근에 수신된 자료와 시스템 관련 전기 값들이 화면에 출력된다.

TCP/IP 프로토콜을 통해 전송되는 해양환경자료는 일정 시간 간격으로 수신용 컴퓨터에 ASCII 파일로 저장되며, C 언어로 작성된 자료변환 프로그램에 의해 일 단위의 자료 파일로 자동 변환된다. 수신자료와 변환자료의 파일 포맷은 그림 2.8.3과 같으며, 일별 자료는 인터넷을 통한 실시간 자료제공에 활용된다.

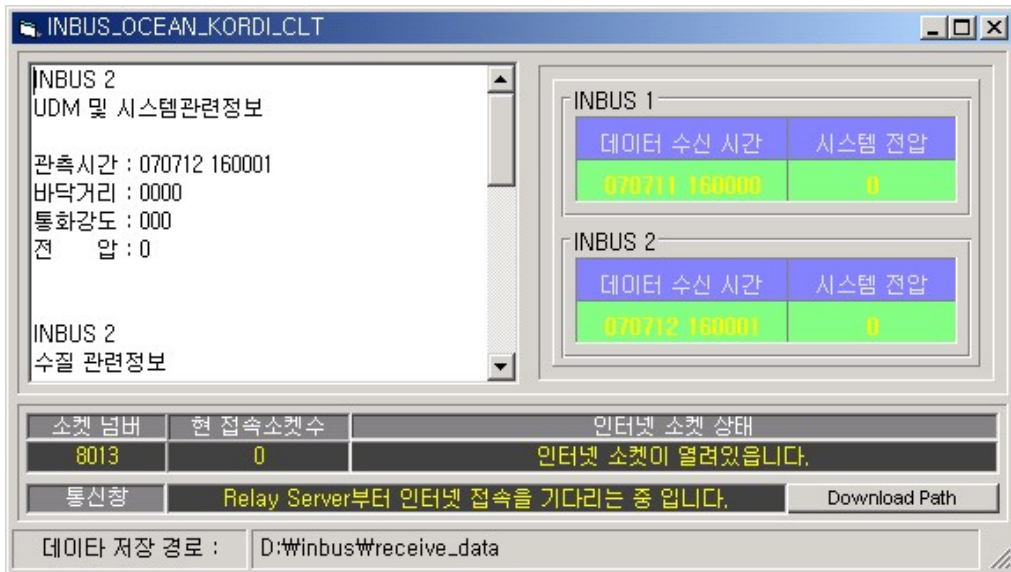


그림 2.8.2 INBUS 실시간 자료의 수신 프로그램.

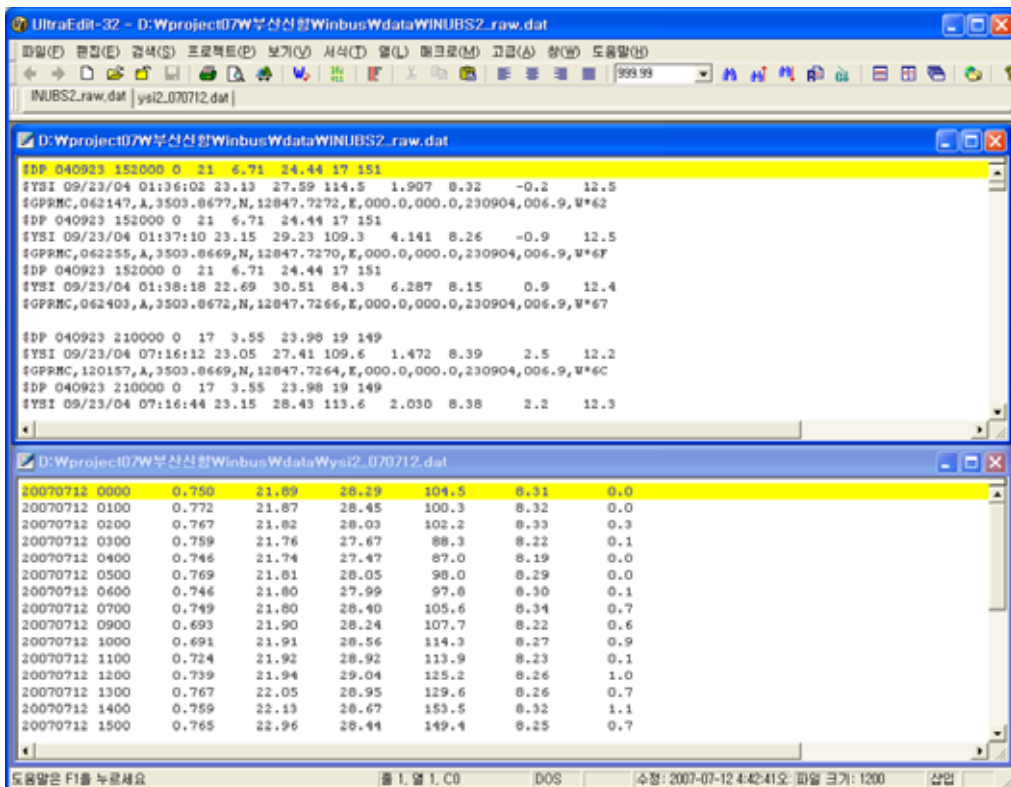


그림 2.8.3 수신자료(상)와 변환자료(하)의 파일 포맷.

용원지역에 설치한 수위관측기 측정자료는 E-Mail을 통해 전송되며 10분 간격으로 E-Mail 서버에 접속하여 신규자료를 수신하는 프로그램(그림 2.8.4)을 개발하여 운영하고 있다. 이 프로그램을 통해 수신한 파일의 형태는 그림 2.8.5와 같다.

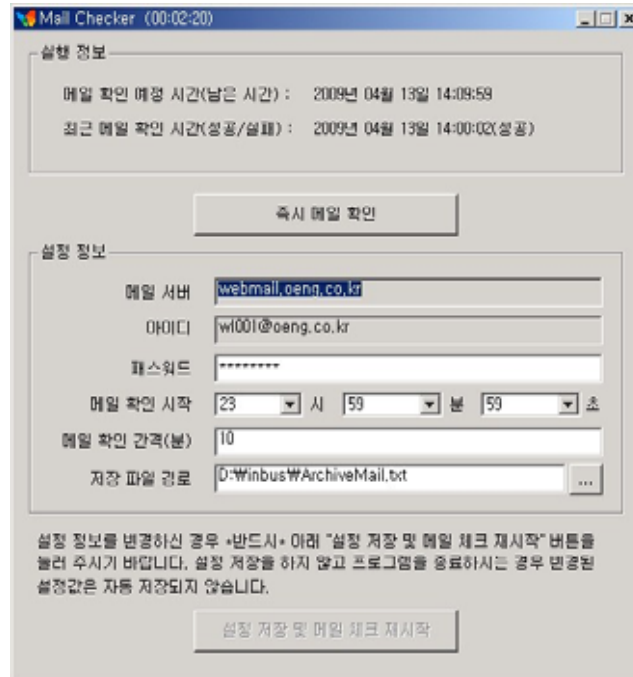


그림 2.8.4 용원 수위자료 수신 프로그램.

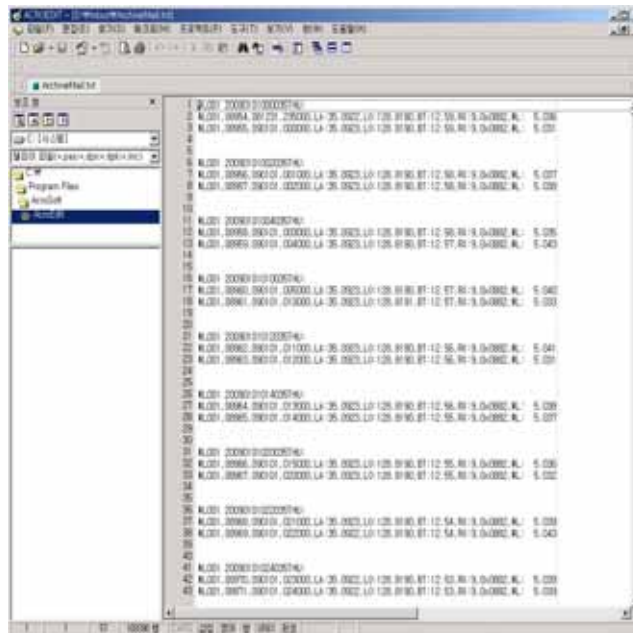


그림 2.8.5 용원 수위자료 포맷

용원지역 해수위자료는 Oracle DB에 입력하여 관리하며, 이를 위해 자료특성을 고려한 DB 테이블을 구성하였다(그림 2.8.6). 이렇게 생성한 DB 테이블에 수위자료가 1시간 간격으로 추가 입력되며, 그림 2.8.7과 같이 Oracle SQL을 통해 DB 수록 내용을 확인할 수 있다. 또한, 인터넷을 통한 실시간 자료제공에도 사용된다.

파랑 자료는 HTML 파일 형태로 한국해양연구원의 컴퓨터에 저장되며, 자동 자료변환 및

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 영역(3차)

DB 입력 프로그램을 통해 Oracle DB에 입력된다. 파랑 자료의 특성을 고려하여 구성한 DB 테이블은 그림 2.8.8과 같으며, 테이블에 축적된 파랑 자료의 예는 그림 2.8.9와 같다.

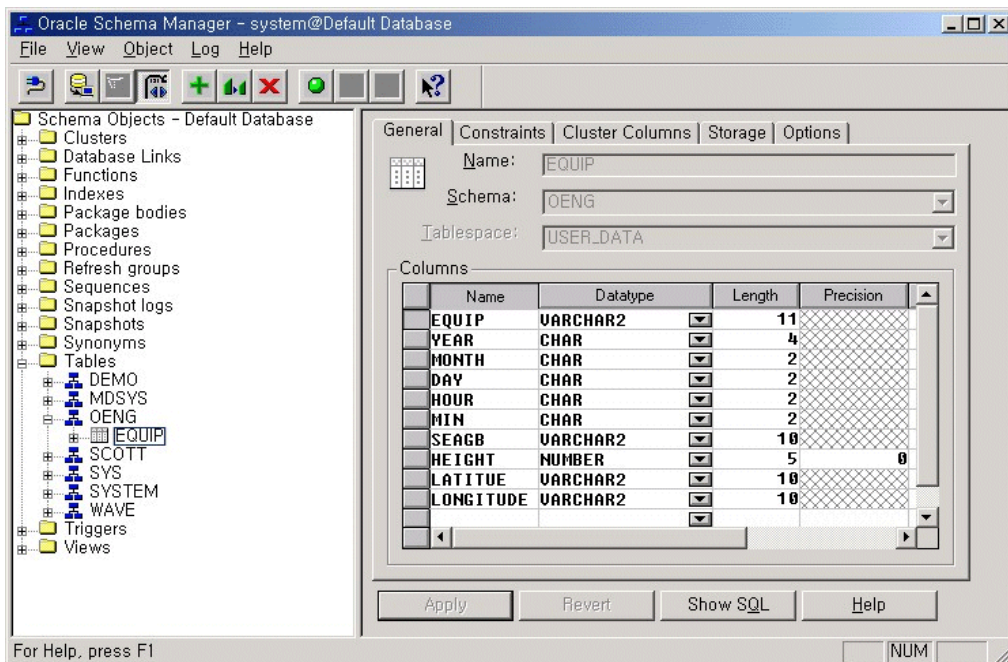


그림 2.8.6 용원 수위자료 DB 구조.

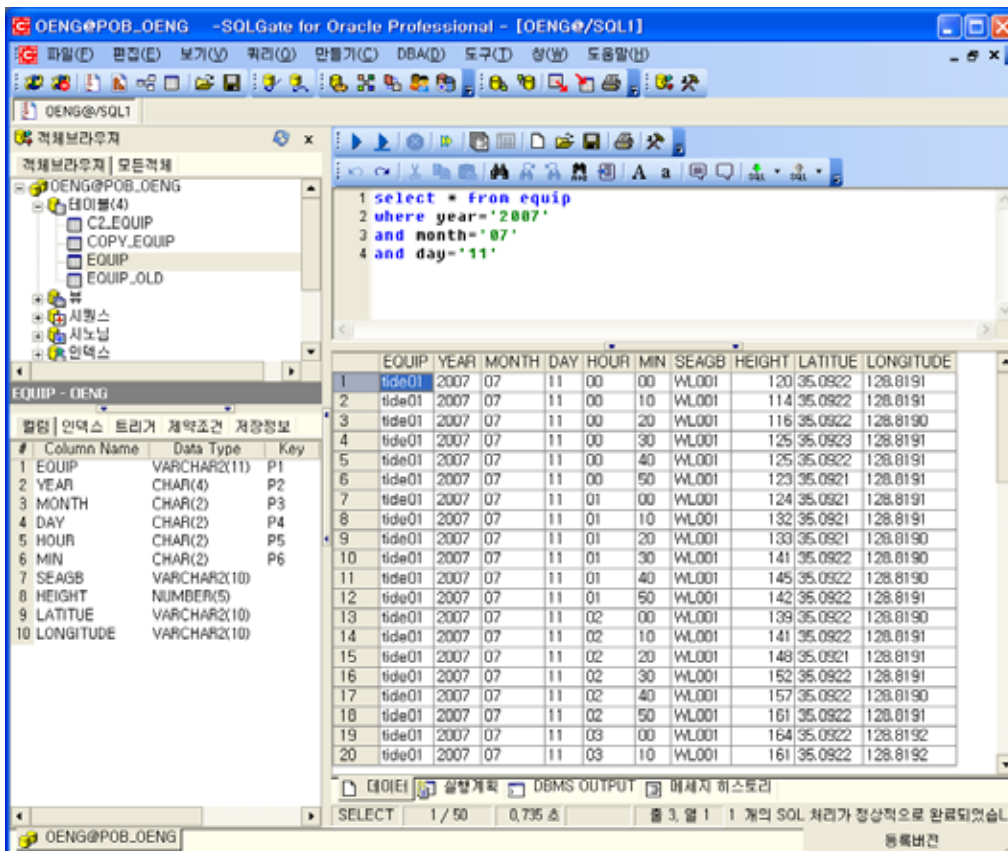


그림 2.8.7 Oracle DB에 입력된 수위자료.

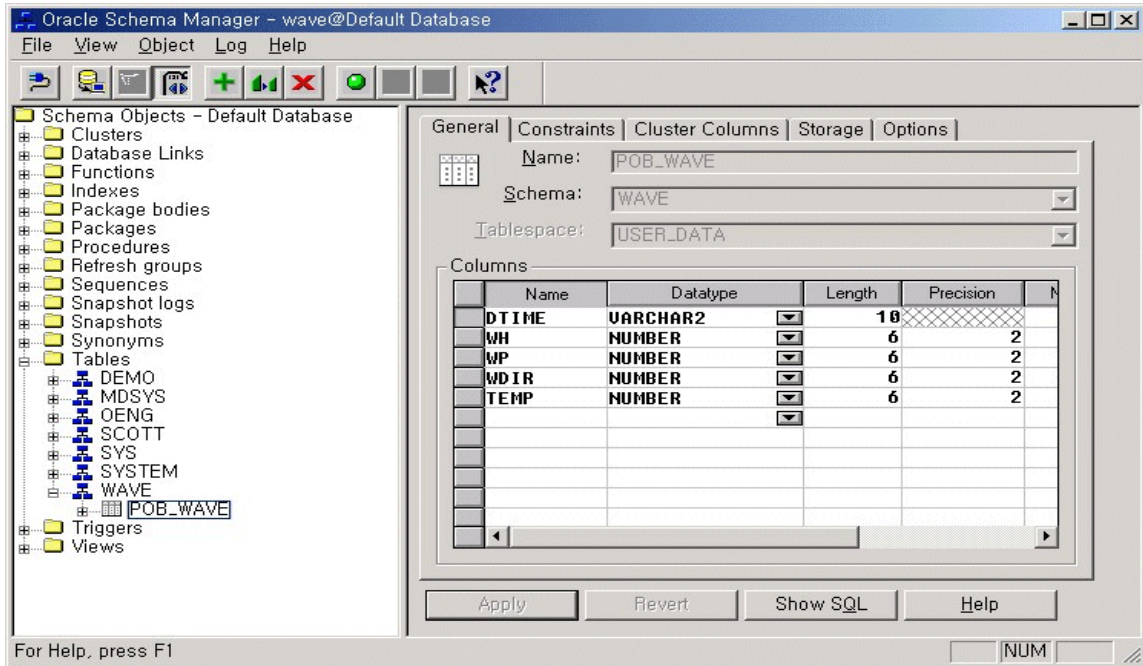


그림 2.8.8 파고 자료 DB 구조.

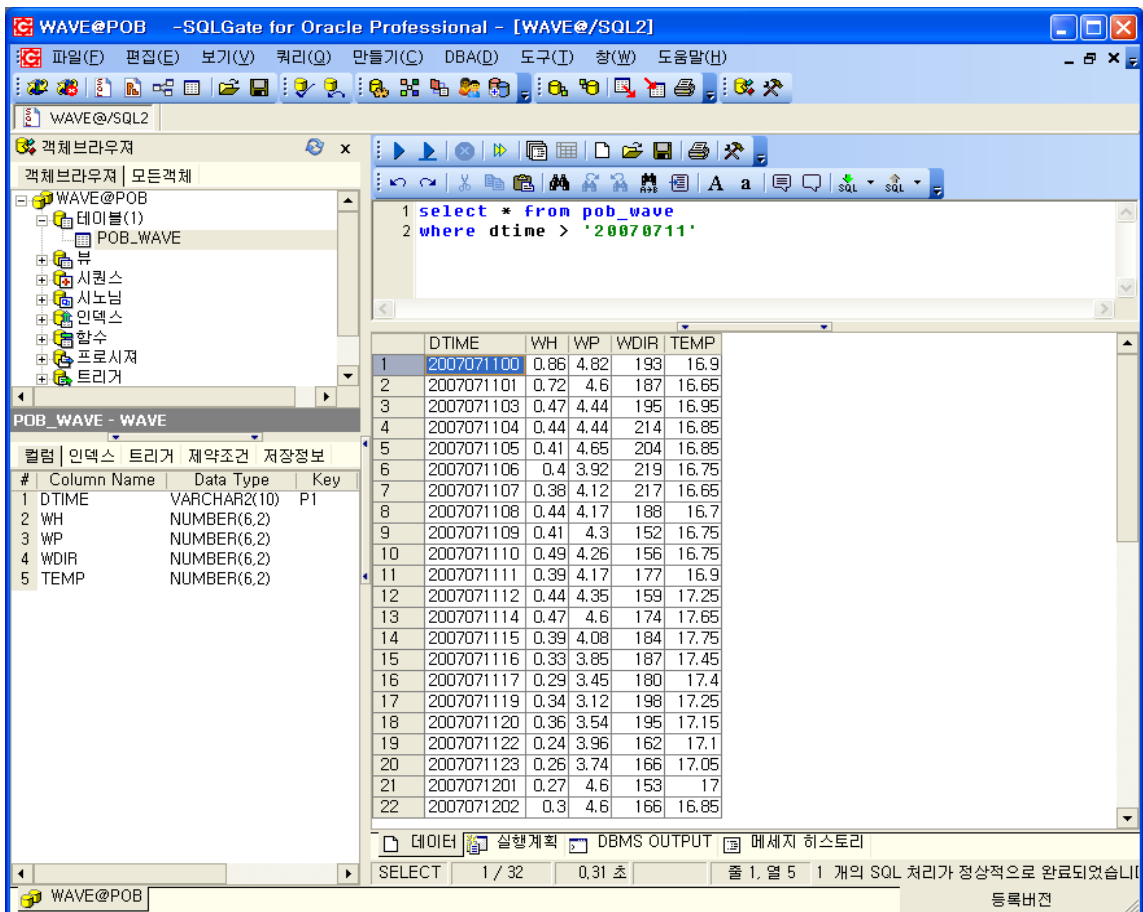


그림 2.8.9 Oracle DB에 입력된 파랑 자료.

이상에서와 같이 부산항 신항 해역에서는 3가지 종류의 실시간 자료가 수신되며, 다양한 경로와 방법으로 자료수집 시스템에 저장된다. 이렇게 저장된 자료들은 각 자료별 변환 프로그램들에 의해 변환된 후 DB와 파일 단위로 관리되며, 인터넷 실시간 자료제공에 사용된다. 지속적으로 실시간 자료를 제공하기 위해서는 자료수신, 변환, DB 입력과정이 자동화되어야 하며, 이를 위해 자료처리 배치파일들을 작성하였다. 이 배치파일들은 그림 2.8.10의 Windows 예약작업을 통해 주기적으로 실행되도록 설정하였다.

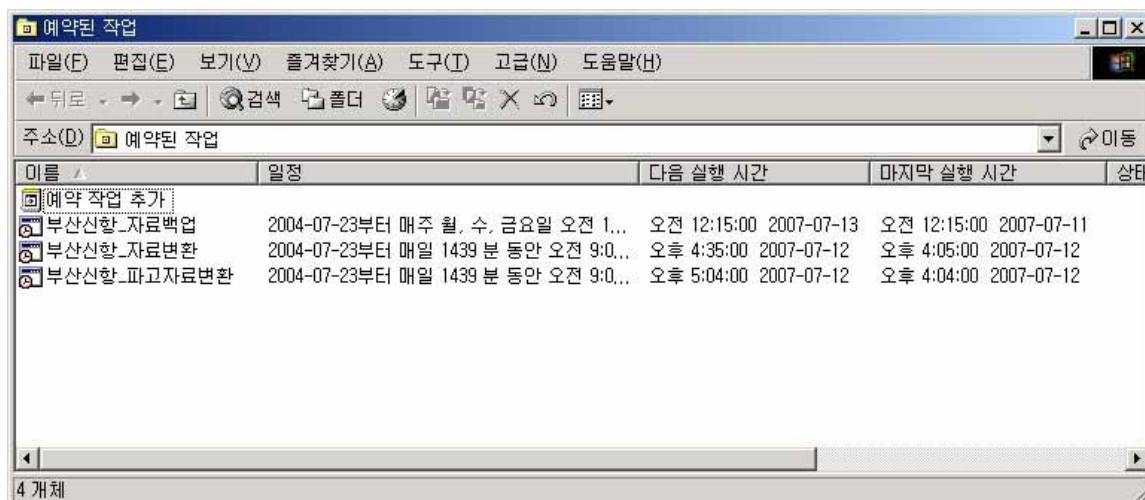


그림 2.8.10 자료변환, DB 입력 자동처리를 위한 예약작업.

2.8.2 인터넷 자료제공

부산항 신항 실시간 자료제공은 본 사업의 웹사이트를 통해 이루어지며, 가장 최근자료를 보여주는 “실시간 자료” 메뉴와 과거자료를 검색할 수 있는 “자료검색” 메뉴로 구성되어 있다.

INBUS 부이의 “실시간 자료” 메뉴 화면은 그림 2.8.11과 같으며, 가장 최근에 측정된 자료의 수치 값과 시간변화 그래프를 제공한다. 왼쪽 프레임에는 INBUS1, INBUS2의 위치정보 및 해양환경자료가 표 형태로 출력되며, CGI 처리에 ASP 스크립트, 자료추출 및 HTML 작성에 C 프로그램을 적용하였다. 오른쪽 프레임에는 최근 2일간의 시간변화를 그래프 형태로 제공하는데, C 프로그램이 생성하는 HTML 문서에 시계열 그래프를 출력하는 JAVA Applet을 포함시켰다. 이를 위해 여러 자료항목의 다양한 값에 대해 시계열 그래프를 동적으로 생성할 수 있는 JAVA 프로그램을 개발, 적용하였다.

INBUS 부이의 “자료검색” 메뉴 화면은 그림 2.8.12와 같이 구성하였다. 상단 프레임에서 부이, 자료항목, 검색기간을 선택하면, 하단 프레임에 해당 자료의 시계열 그래프 및 수치자료가 출력된다. 왼쪽의 시계열 그래프는 JAVA Applet으로 처리하였으며, 오른쪽에 출력되는 수치자료는 C 프로그램을 이용하여 구현하였다.

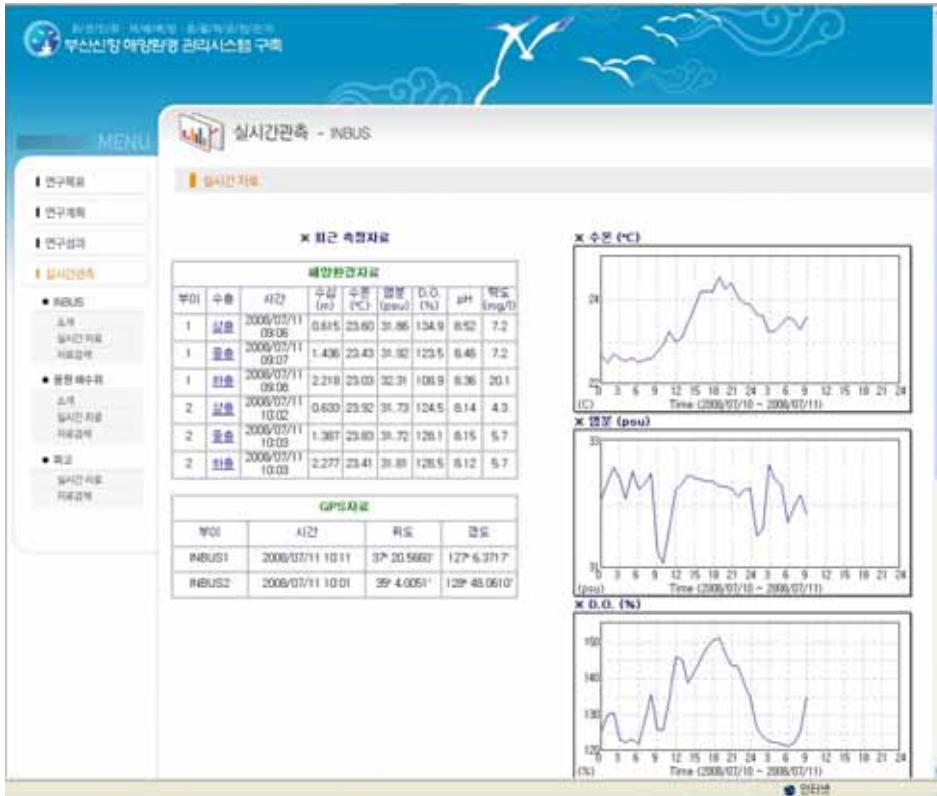


그림 2.8.11 INBUS “실시간 자료” 화면.

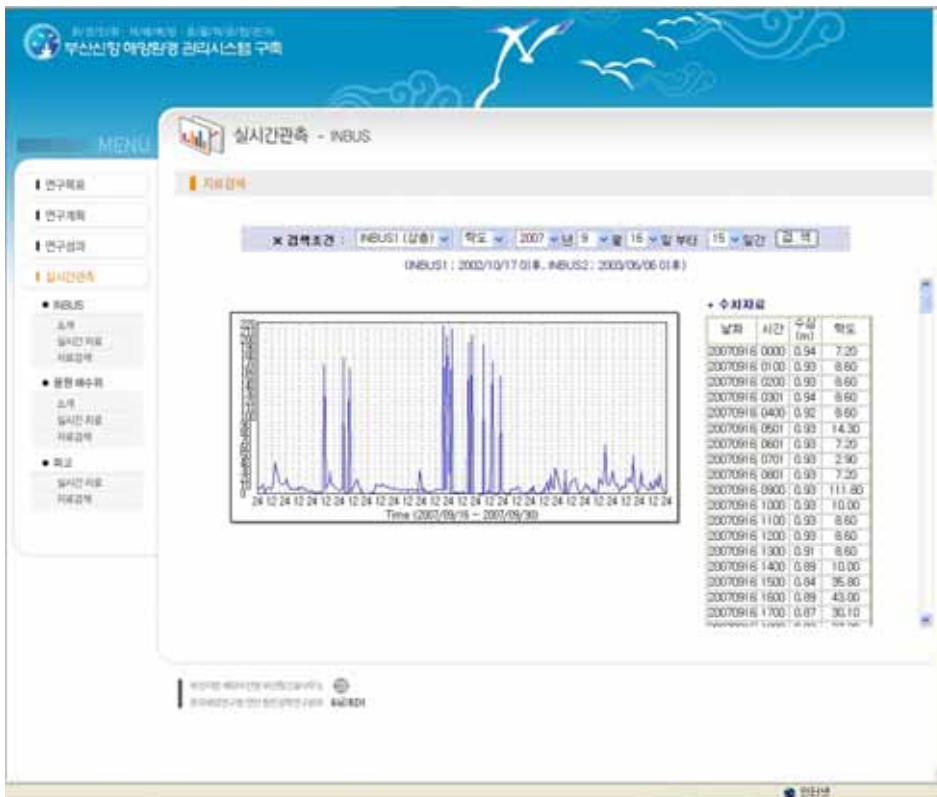


그림 2.8.12 INBUS “자료검색” 화면.

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)

용원 해수위의 “실시간 자료” 메뉴 화면은 그림 2.8.13으로, 왼쪽 프레임에는 최근에 측정된 자료의 수치 값과 최근 2일간의 그래프를 제공하며, 오른쪽 프레임에는 최근 2일간의 수치값을 제공한다. 용원 해수위자료는 DB에 저장되어 있으므로 CGI 처리, 자료추출 및 HTML 작성에 ASP 스크립트를 사용하였으며, 시계열 그래프 출력에는 JAVA Applet을 적용하였다.

용원 해수위의 “자료검색” 메뉴 화면은 그림 2.8.14와 같으며, 상단 프레임에서 검색기간을 선택하면 하단 프레임에 해당 자료의 시계열 그래프 및 수치자료가 출력된다. INBUS의 경우와 마찬가지로 시계열 그래프는 JAVA Applet으로 처리하였으며, 오른쪽에 출력되는 수치자료 출력은 ASP 프로그램으로 구현하였다.



그림 2.8.13 용원해수위 “실시간 자료” 화면.

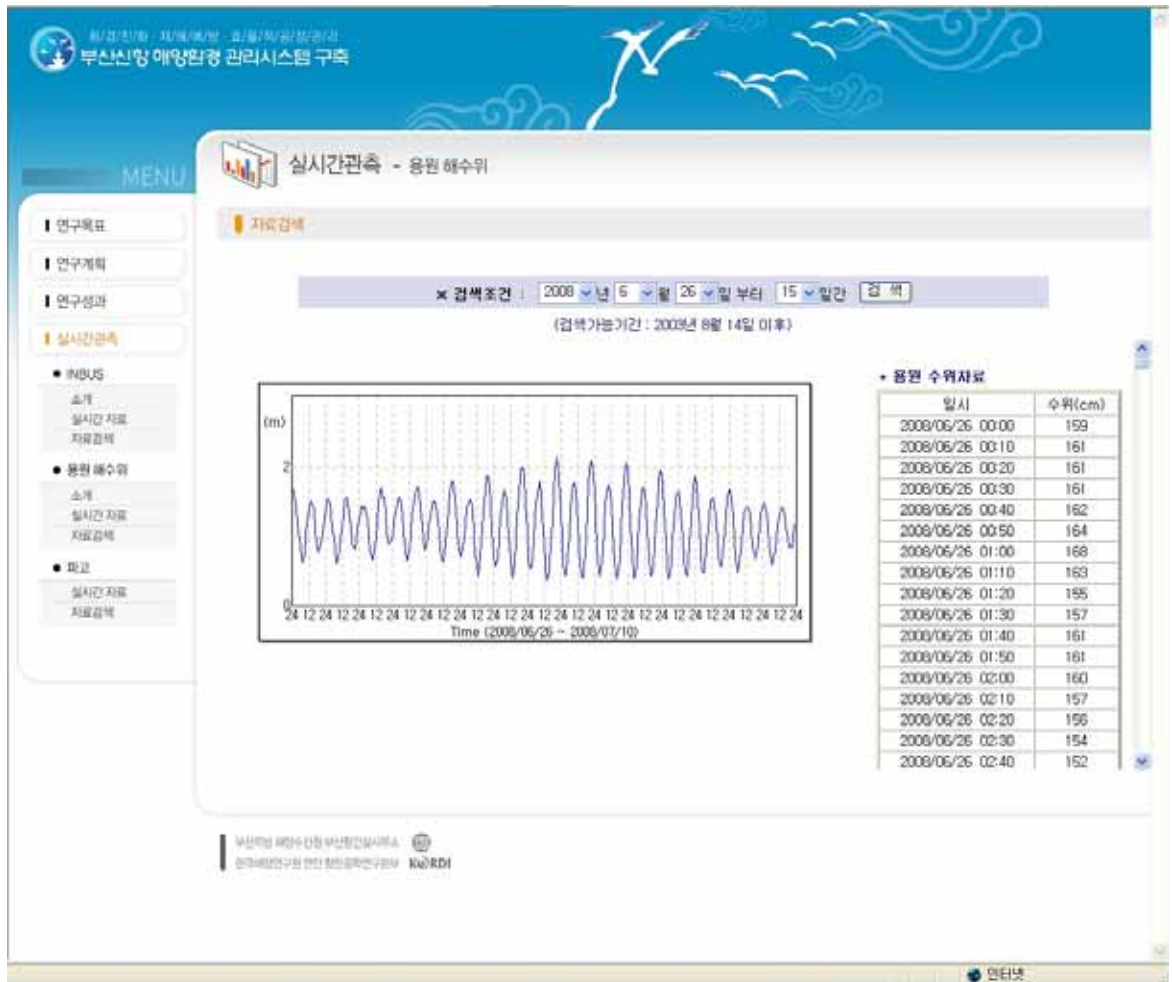


그림 2.8.14 용원해수위 “자료검색” 화면.

과랑의 “실시간 자료” 메뉴 화면은 그림 2.8.15로, 왼쪽 프레임에는 최근에 측정된 자료의 수치 값과 최근 2일간의 그래프를 제공하며, 오른쪽 프레임에는 최근 2일간의 수치값을 제공한다. 용원 해수위와 마찬가지로 과랑 자료도 DB에 저장되어 있으므로 CGI 처리, 자료추출 및 HTML 작성에 ASP 스크립트를 사용하였으며, 시계열 그래프를 출력에는 JAVA Applet을 적용하였다.

과랑의 “자료검색” 메뉴 화면은 그림 2.8.16과 같으며, 상단 프레임에서 검색기간을 선택하면 하단 프레임에 해당 자료의 시계열 그래프 및 수치자료가 출력된다. 시계열 그래프는 JAVA Applet으로 처리하였으며, 오른쪽에 출력되는 수치자료 출력은 ASP 프로그램으로 구현하였다.

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)



그림 2.8.15 파랑 “실시간 자료” 화면.

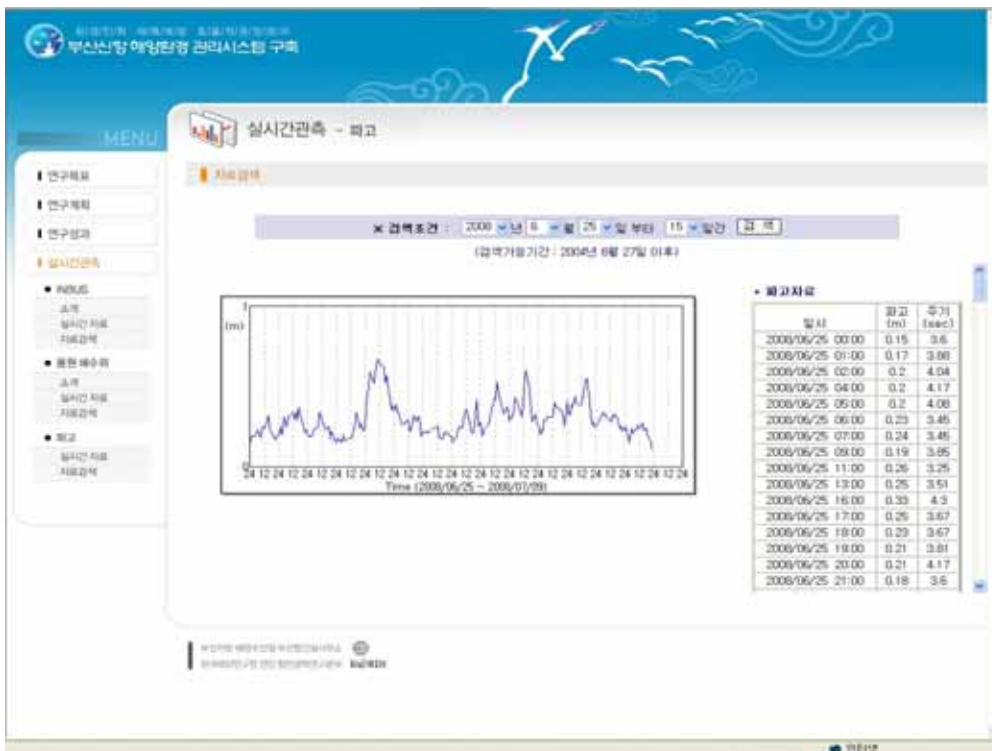


그림 2.8.16 파랑 “자료검색” 화면.

2.8.3 웹사이트 운영

실시간 해양자료 제공과 더불어 본 사업을 홍보하기 위해 2003년도에 구축한 인터넷 웹사이트의 지속적인 운영을 위해 OS 보안업데이트, 바이러스방지용 소프트웨어 업데이트 등의 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 유지보수 업무를 연중 수행하였다. 웹사이트의 메뉴별 주요 내용을 정리하면 표 2.8.1과 같으며, 실시간자료 부분이 강조되어 있다.

표 2.8.1 웹사이트의 메뉴별 주요내용.

메뉴		내용	비고
연구목표		·부산항 신항 개발사업을 친환경적 공사로 추진하기 위한 환경관리시스템의 필요성 및 구축 목표를 설명	
연구계획		·단계별, 연차별 연구내용 및 범위를 일목요연하게 정리	
연구성과		·당해년도까지의 연구성과를 분야별로 정리하여 그림과 함께 제공	
실시간 관측	INBUS 소개	·INBUS 실시간 관측 및 자료제공 시스템에 대한 전반적인 설명	
	INBUS 실시간 자료	·각 부이의 가장 최근 자료를 수치값으로 제공 ·최근 48시간 동안의 변화를 그래픽 처리하여 제공	접근 ID 필요
	INBUS 자료검색	·사용자가 입력한 검색조건에 맞는 자료를 추출하여 그래프 및 수치자료로 제공	
	용원해수위 소개	·용원해수위 실시간 관측 및 자료제공 시스템에 대한 전반적인 설명	
	용원해수위 실시간 자료	·가장 최근 해수위 자료를 수치값으로 제공 ·최근 48시간 동안의 변화를 그래프와 수치값으로 제공	
	용원해수위 자료검색	·사용자가 입력한 검색조건에 맞는 자료를 추출하여 그래프와 수치자료로 제공	접근 ID 필요
	파고 실시간 자료	·가장 최근 파고 자료를 수치값으로 제공 ·최근 48시간 동안의 변화를 그래프와 수치값으로 제공	
	파고 자료검색	·사용자가 입력한 검색조건에 맞는 자료를 추출하여 그래프와 수치자료로 제공	

본 웹사이트는 Windows 2000을 탑재한 PC급 서버를 하드웨어를 사용하고 있으며, Web Server 소프트웨어는 MS IIS 5.0이 사용되고 있다. 본 정보 시스템의 웹서버 설정상황은 그

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 영역(3차)

림 2.8.17과 같다. 각 메뉴의 구성에 사용되는 HTML 문서들은 루트 디렉토리 및 “/contents” 디렉토리에 저장하였으며, 사용자가 선택한 조건에 따른 자료 검색 및 추출을 담당하는 CGI 처리용 C 프로그램들은 “/cgi” 디렉토리에 별도로 저장하였다. 2차원 시계열 그래프를 실시간으로 작성하는 JAVA 프로그램들은 “/java_app” 디렉토리에 배치하였으며, 웹사이트 전체에서 공동으로 사용되는 이미지 파일들은 “/images” 디렉토리에 저장하였다. 실시간자료와 관련된 HTML 문서 및 ASP 프로그램들은 “/data” 디렉토리에 “*_recnet”와 “*_search” 세부 디렉토리에 분리 저장하였다.

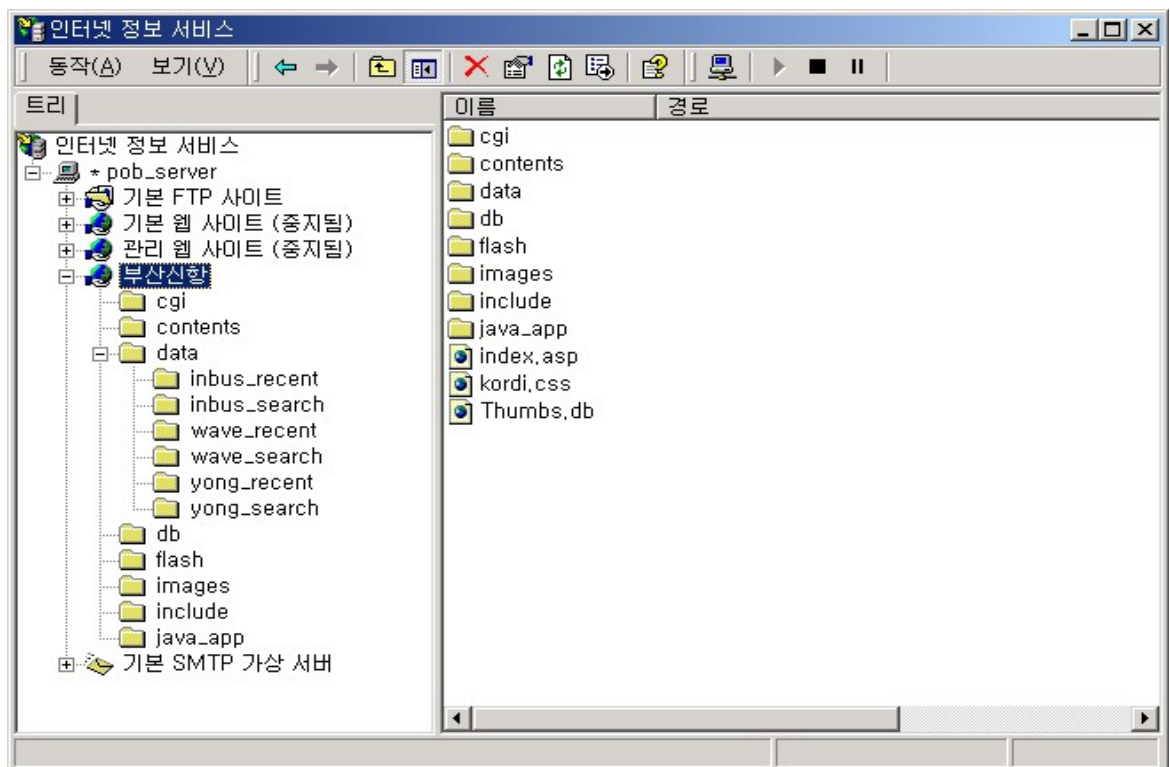


그림 2.8.17 인터넷 서버 프로그램의 설정화면.

사용자의 요구사항에 반응하는 홈페이지의 구축을 위해서는 CGI(Common Gateway Interface)를 통한 정보교환이 이루어져야 한다. 본 시스템에서는 사용자 요구사항 수렴을 위한 CGI 처리, 자료추출 및 결과제공용 HTML 작성에는 C언어와 ASP를 사용하였다. 본 시스템의 구현을 위해 작성된 CGI 처리용 프로그램의 목록 및 기능을 정리하면 표 2.8.2와 같다.

표 2.8.2 CGI 처리를 위한 프로그램 목록.

구분	파일명	기능
사용자 인증	login.asp	·사업참여자용 메뉴의 접속가능여부 확인을 위한 사용자 ID 및 비밀번호 확인
	checklogin.asp	·비정상적인 접속을 방지하기 위한 점검 프로시저
실시간 자료	recent_data.exe recent_data.asp	·가장 최근에 측정된 해양환경자료를 추출하고, 이를 수치값으로 표시하는 HTML 문서 생성
	recent_graph.exe recent_graph.asp	·최근 해양환경자료에 대한 48시간 그래프를 처리하는 HTML 문서 생성
자료검색	search_con.asp	·자료의 검색조건을 입력받는 HTML 문서 생성
	date_sel.asp	·사용자가 선택한 수심층, 자료항목 및 기간에 맞는 자료를 추출하는 C 또는 ASP 프로그램 호출
	search_data.exe search_data.asp	·검색조건에 맞는 자료를 추출하고, 이를 수치값으로 표시하는 HTML 문서 생성
	search_graph.exe search_graph.asp	·검색조건에 맞는 자료를 추출하고, 이를 그래픽으로 처리하는 HTML 문서 생성

이상에서 설명한 “부산항 신항 해양환경 관리시스템 구축” 웹사이트는 웹브라우저에서 “<http://pob.kordi.re.kr>”를 입력하면 그림 2.8.18의 초기화면에 접속할 수 있다. 사업의 전체적인 목표를 소개하는 “연구목표” 메뉴의 화면은 그림 2.8.19와 같다. 또한, “연구성과” 메뉴의 화면은 그림 2.8.20과 같으며, “실시간 자료” 메뉴 중 “INBUS 소개” 메뉴의 화면은 그림 2.8.21과 같다.

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(3차)

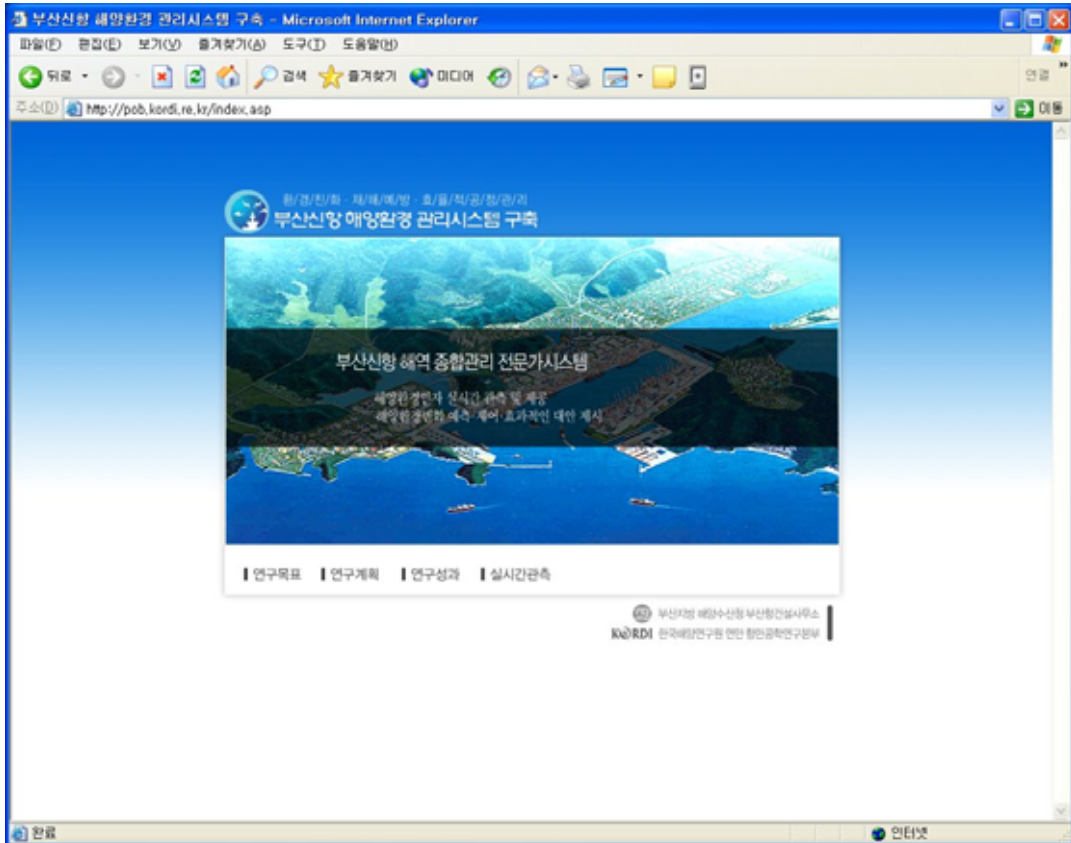


그림 2.8.18 웹사이트의 초기화면.

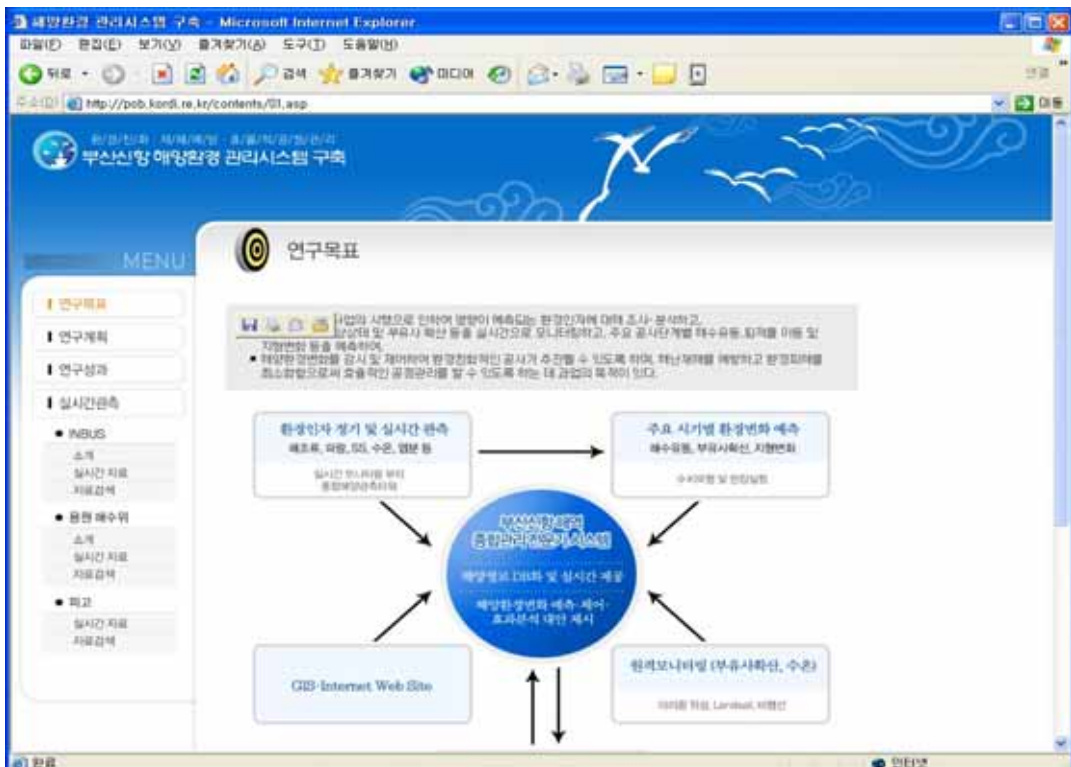


그림 2.8.19 웹사이트의 “연구목표” 메뉴 화면.

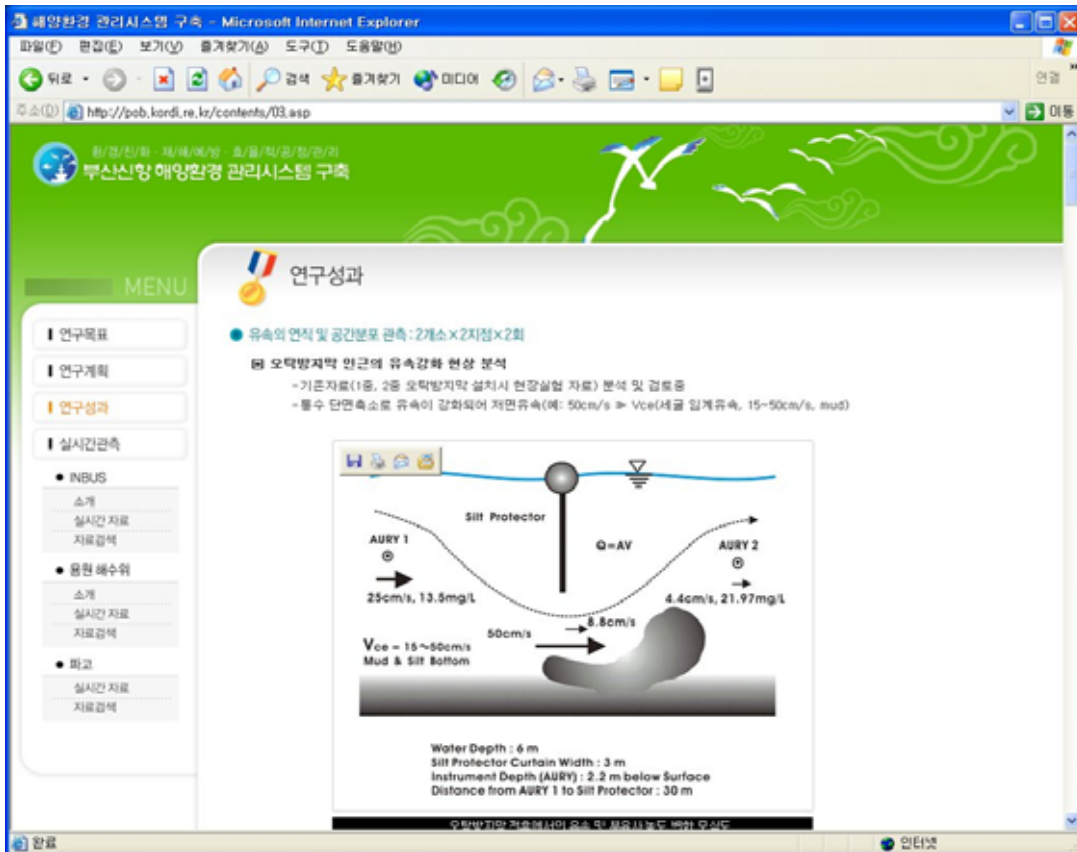


그림 2.8.20 웹사이트의 “연구성과” 메뉴 화면.

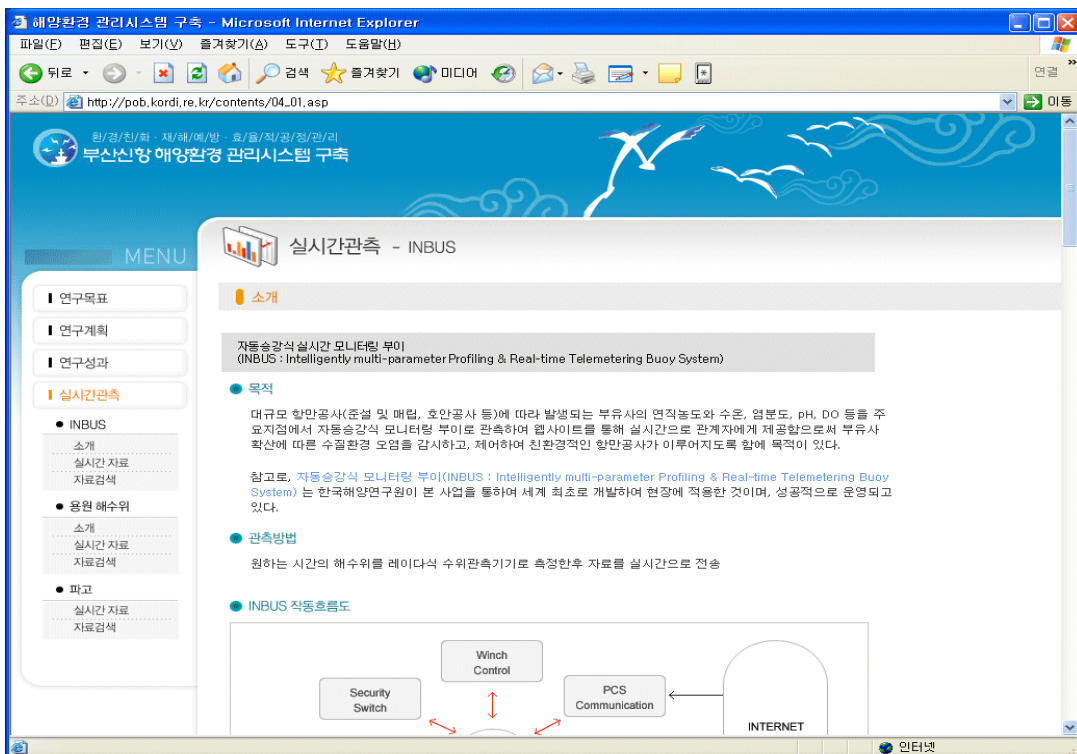


그림 2.8.21 웹사이트의 “실시간자료 - INBUS 소개” 메뉴 화면.

제 1 장

제 2 장

부 록 A

부 록 B

부 록 C

부 록 D

부 록 A

참 고 문 헌

- 국립해양조사원 2004. 태풍 “매미” 에 의한 남·동해안의 이상조위상승 고찰, 15pp.
- 김윤태, 2004. 치환율에 따른 안벽구조물 하부 SCP 복합지반의 응력분담비.
한국해안·해양공학회지, 16(1), 18-26.
- 노일현, 윤양호, 김대일, 박종식, 2006. 가막만 표층퇴적물중 유기물량의 시·공간적 분포 특성.
한국해양환경공학회지, 9(1), 1-13.
- 농어촌진흥공사. 1988. 새만금 간척 종합개발 기본 조사 보고서.
- 맹준호, 조광우, 주용준, 이지현, 홍재상, 강운구, 김규한. 2005.
해양매립사업으로 인한 환경영향의 효율적인 저감방안에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원 연구보고서.
- 맹준호, 조광우, 주용준, 2006. 해안개발사업의 부유토사 저감방안의 현황 및 개선방안, 환경영향평가 15(5).
289-297
- 부산신항 개발사업 환경영향 평가서 (1997.7, 해양수산부)
- 부산신항 준설토 투기장 호안(2공구)등 개발사업 환경영향 평가서 (1999.5., 부산지방해양수산청)
- 부산신항 해양수리현상 및 사후환경조사 연구개발용역(3차)에 따른 수치시물레이션 용역보고서
(2001. 12, 부산지방해양수산청)
- 부산신항 해양수리현상 및 사후환경조사 연구개발용역(3차) 보고서 제1권 해양수리현상편
(2002. 12. 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소)
- 부산신항 해양수리현상 및 사후환경조사 연구개발용역(4차) 보고서 제1권 해양수리현상편
(2003. 12. 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소)
- 부산신항 남권 (2-2단계) 진우도 전면해상 지반조사 보고서 (2005. 2. 동아지질)
- 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2000. 부산신항수리현상 연구개발용역 보고서.
- 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2001. 부산신항수리현상 연구개발용역(2차) 보고서.
- 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2002. 부산신항수리현상 연구개발용역(3차) 보고서.
- 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2003. 부산신항수리현상 연구개발용역(4차) 보고서.

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(1차)

- 부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 2004. 부산신항수리현상 연구개발용역(5차) 보고서.
- 부산항 신항 해양수리현상 연구개발 용역(1차) 보고서 (2007. 7. 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소)
- 이지왕, 맹준호, 조광우, 양권열, 김영섭, 2003. 항만공사시 부유토사의 거동 특성에 관한 연구(I) 사석공사시. 한국해양환경공학회지, 6(2), 38-45.
- 이지왕, 맹준호, 조광우, 양권열, 김영섭, 2003. 항만공사시 부유토사의 거동 특성에 관한 연구(II) 매립 및 준설 공사시. 한국해양환경공학회지, 6(2), 46-53.
- 이창희, 조광우, 맹준호, 최유진, KEI정책자료집 2005. 연안해양환경포럼
- 오영민, 송원오. 2002. 국내의 오탉방지막의 운영 실태에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회.
- 오영민, 송원오. 2003. 한일간 오탉방지막 설계 비교. 한국·해안해양공학회지, 15(1), 66-70.
- 조광우, 맹준호, 신범식, 김병준, KEI연구보고서 2003, 해수유동 및 부유사 확산의 예측기법 개선에 관한연구
- 진재울, 송원오, 맹준호, 오영민, 채장원, 안희도, 박진순, 오재경. 2003. 오탉방지막 설치·유지관리 지침(案). 한국해안·해양공학발표논문집, 14, pp.185-193.
- 진해시, 1995. 하수도대장 평면도(1:500).
- 한국토지공사, 1996. 송정천기본계획 및 침수방지대책기본설계 보고서.
- 한국해양연구소, 1999. 부산신항 방파제 축조공사 파향·파고계 유지관리 용역 보고서. BSP1 99280-00-1197-2, 194 p.
- 한국해양연구소, 2000. 부산신항 방파제 축조공사 파향·파고계 유지관리 용역 보고서. BSP1 99280-00-1272-2, 286 p.
- 한국해양연구원, 2001. 부산신항 방파제 축조공사 파향·파고계 유지관리 용역 보고서. BSP1 329-00-1362-2, 214 p.
- 한국해양연구원, 2002. 부산신항 방파제 축조공사 파향·파고계 유지관리 용역 보고서. BSP1 348-00-1491-2, 285 p.
- 한국해양연구원, 2004. 신항만 건설에 따른 용원지역 수로의 우수유출 특성연구 보고서
- 해양수산부, 2002. 해양환경공정시험방법. 330pp.
- 해양수산부, 2003. 부산신항 남컨테이너 부두(1차) 기본 및 실시설계 용역 수치모형실험 보고서. 457p.
- A three-dimensional environmental fluid dynamics computer code: theoretical and computational aspects (1999. 5. VIMS, John M. Hamrick)

- Brown, L. and T. Barnwell. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E : Documentation and User's Manual, USEPA, 1987
- Chow, V.T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill.
- DHI, 2002. MIKE21 Environmental Hydraulics User Guide.
- http://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/index_En.html
- Huber, W.C., and Dickinson, R.E. (1988). Stormwater management model, Version 4: User's manual Ver. 2.1. U.S. Army Corps of Engineers, Computer Program 723-S8-L7520.
- John D. Boon, 2004. Secrets of the Tide, Horwood Publishing.
- IAHR Working Group on Wave Generation and Analysis, 1989. List of sea-state parameters. J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engrg. Div., ASCE, Vol. 115, No. 6, pp. 793-808.
- Kobune, K., and Hashimoto, N., 1986. Estimation of directional spectra from maximum entropy principle. Proc. 5th Intern. Offshore Mechanics and Arctic Engrg. Symp., pp. 80-85.
- Longuet-Higgins, M. S., Cartwright, D. E., and Smith, N. D., 1963. Observation of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy. Ocean wave spectra. Prentice-Hall, Inc., pp. 111-136.

제 1 장

제 2 장

부 록 A

부 록 B

부 록 C

부 록 D

부 록 B

참여자 명단

■ 주관연구기관(한국해양연구원)

분야	성명	소속기관 및 부서	직위	전공 및 학위				서명
				학위	연도	전공	학교	
총괄	채장원	연안개발연구본부	책임연	박사	1983	연안공학	Salford	
부유사 확산 해저면 변화	진재울	"	책임연	박사	2005	해양학	인하대	
"	권오순	"	책임연	박사	1998	지반공학	서울대	
"	오명학	"	선임연	박사	2005	토목공학	서울대	
"	박진순	"	기술원	석사	1991	지질해양	인하대	
"	김성은	"	연구원	석사	1998	해양지질	인하대	
실시간연속 모니터링	정원무	"	책임연	박사	1999	연안공학	서울대	
"	백원대	"	기술원	전문	2006	건설	안산공대	
"	장세철	"	기술원		1985	토목	동도공고	
"	류경호	"	연구원	석사	2004	해안 및 항만	명지대	
"	양재우	"	연구원	전문	2003	레저스포츠	강원관광대	
수질/GIS	조홍연	"	책임연	박사	1994	토목공학	서울대	
"	한상훈	"	선임연	박사	2001	토목공학	KAIST	
"	변현진	"	연구원	학사	1993	경영	덕성여대	
해수위변화 분석	소재귀	"	책임연	박사	2000	물리해양	서울대	
"	이진학	"	선임연	박사	2001	토목공학	KAIST	
"	도종대	"	연구원	석사	2005	해양지질	인하대	
실시간자료 제공시스템	김성대	데이터운영팀	기술원	박사	1993	해양물리학	서울대	
"	박수영	"	기술원	석사	1993	해양생물학	서울대	

☞ (다음 page 계속)

부산항 신항 해양수리현상 연구개발 영역(3차)

■ 공동연구기관((주)세광종합기술단)

분야	성명	소속기관 및 부서	직위	전공 및 학위				서명
				학위	연도	전공	학교	
총괄	이진용	설계본부	부사장	학사	1977	토목공학	고려대	
부유토사 거동조사분석	조중환	"	상무이사	학사	1989	"	강원대	
용원수로 수질변화검토	이재완	"	대표이사	박사	1988	교통학	프랑스파리 1대학원	
부유사 확산 해수면 변화	신관용	"	이사	학사	1993	해양공학	군산대	
용원수로 수질변화검토	박광희	"	차장	학사	2006	환경공학	서울산업대	
부유사 확산 해수면 변화	이정만	"	이사	박사	1999	해양공학	동아대	
부유토사 거동조사분석	정석진	"	차장	박사	2001	토목공학	울산대	
용원수로 수질변화검토	김한선	"	상무이사	석사	2006	환경경영	광운대	
부유토사 거동조사분석	이덕수	"	부장	학사	1993	토목공학	충남대	
"	진승주	"	이사	학사	1995	해양학	인하대	
부유사 확산 해수면 변화	오명환	"	과장	석사	2001	토목공학	충남대	
용원수로 수질변화검토	박대석	"	과장	학사	2000	"	성균관대	
부유토사 거동조사분석	김세웅	"	차장	석사	1999	"	건국대	
"	이승욱	"	과장	학사	1999	환경공학	수원대	
부유사 확산 해수면 변화	김영준	"	과장	학사	2005	해양공학	관동대	
"	김일섭	"	과장	석사	2002	"	부경대	
용원수로 수질변화검토	문형석	"	대리	석사	1999	토목공학	성균관대	
"	김지환	"	대리	석사	2007	"	연세대	

■ 위탁연구기관

분야	기관명	성명	부서명(직급)	서명
협수로 해안선 변화	부산대학교	이상룡	교수	
용원수로 수질 및 오염원 분석	인제대학교	김영도	교수	
해수유동, 지형 변화	동아대학교	홍남식	교수	

제 1 장

제 2 장

부 록 A

부 록 B

부 록 C

부 록 D

부 록 C

C1. 최종보고회 결과 및 조치사항

- 용역명 : 부산항 신항 해양수리현상 연구개발용역(3차)
- 일 시 : 2009. 3. 31.(화) 오전 11:00~12:00
- 장 소 : 부산지방해양항만청 4층 소회의실
- 참석자 : 부산항건설사무소장, 한국해양연구원 채장원 박사의 10명
- 보고서 내용 요약

구분	토의내용	비고
총괄	<p><부건소장></p> <p>- 본 연구용역은 신항만 개발 초기의 1단계 연구사업의 연장선에 있는 과업으로, 신항만 개발에 따른 여러 가지 중요한 연구항목들이 포함되어 있음. 더욱 연구에 힘써주시고, 발주처는 가능한 모든 지원을 아끼지 않을 계획임</p>	
협수로 매몰조사 및 대책	<p><용역사></p> <p>- 3~4차 과업기간 동안 협수로의 매몰에 영향을 미치는 진우도 남측에 대한 자료를 확보하여 수치실험과 연계, 매몰대책을 마련할 계획임.</p> <p><부건소></p> <p>- 진우도측 토사가 연결잔교를 통해 유입될 수도 있으므로 동 구역의 부유토사 이동 경향도 분석하여 항내 유지준설 계획에 참고할 수 있도록 해주기 바람.</p> <p>- 본래 진우도 남측의 퇴적문제는 본 과업의 초기 목표와는 거리가 있음. 이 문제에 관한 연구는 어느 정도까지만 수행하고 별도의 과업에서 다루는 것에 대해 검토할 필요 있음</p>	
용원수로의 수질변화 분석, 예측 및 대책 검토	<p><용역사></p> <p>- 3~4차년도에는 2차년도 과업당시 보완 및 지적사항을 반영하여, 육상오염원에 대한 조사와 목표수질을 설정하여 용원수로 수질개선에 대한 대책을 수립할 계획임.</p> <p><부건소></p> <p>- 기존에는 같은 오염원을 방류해도 문제가 적던 사항이 용원수로 전면의 매립으로 인해 오염문제가 심화된 것이 아닌가라는 문제접근 방식에 대한 대책도 고민해야 하지 않는가?</p> <p><신항만 주식회사></p> <p>- 용원펌프장의 방류시, 오염도 조사가 필요할 것으로 판단됨.</p> <p><용역사></p> <p>- 용원펌프장의 방류시 오염 부하량 측정 등을 고려하겠음</p>	

구분	토의내용	비고
동방과제 및 컨테이너 부두 전면 파고 관측	<p><용역사> - 2008년 하계와 3차년도 기간에는 우리나라에 직접적인 영향을 미치는 태풍 등이 없었던 관계로 전반적으로 유의할 만한 파고는 관측되지 않았음.</p> <p><부건소> - 소형선부두와 연결잔교 등에서 선박의 동요, 월파등으로 민원문제가 제기되고 있음. 이를 위한 관측위치 변경 등 민원에 대해서 고려해주시기 바람.</p>	

□ 조치계획

1. 협수로 매몰조사 및 대책

가. 연결잔교를 통한 항내매몰 관측

☞ 2차년도 보고회 및 보고서에 밝힌 바와 같이 현재 항내와 연결잔교 외측에서 준설 등으로 인위적 수심변동이 심하여 지금 당장 자연적인 침·퇴적을 관측 분석하여 예측하기에는 어려움이 있음. 하지만 연결잔교 근처의 준설이 마무리되고 진우도 남측의 사주 관측에서 필요한 자료를 확보하면 이에 대한 경향도 분석하여 자료제공할 예정임.

나. 진우도 남측 퇴적문제

☞ 최근 민원들이 진우도 남측에 집중되어 2차년도 과업지시서 변경이후 현재 진우도 남측의 침퇴적 문제 대책에 관하여 연구가 진행중임. 발주처와 협의하여 과업범위의 변경이 필요하면 변경할 수 있음.

2. 용원수로의 수질변화 분석, 예측 및 대책 검토

가. 용원수로 전면 매립으로 인한 오염심화문제

☞ 수질조사 항목중 TN의 경우, 본 사업지구의 공사진행 사항과 연계해 볼 때 해양공사가 마무리되던 2004년도 이후 수로 안쪽에서 악화된 것으로 보임. 이는 육상으

로부터의 오염원이 바다로 비교적 쉽게 유입될 수 있는 용원선착장이 인근에 위치해 있어 생활하수 등의 유입에 따른 영향과, 준설토 매립공사 당시 여수토 방류구를 따라 유출된 준설토가 현재까지 상당량 퇴적되어 있어서 선박의 이동에 의해 준설토의 부유현상으로 나타난 결과로 판단됨.

☞ 수질조사 항목중 TP의 경우, 본 사업지구의 해상공사와 연계해 볼 때 준설토 매립이 한창이던 2003년도 이후 오히려 다소 양호해졌으나, 협수로내와 용원횃집 등에 인접한 지점은 다시 악화되었음. 또한 모든 정점에서 해양공사가 마무리되던 2004년도 이후의 2006년 조사결과가 가장 악화(해역수질환경기준 II등급(0.05mg/L 이하)에 다소 미치지(0.051mg/L) 못한 것으로 나타남)된 것으로 나타남. 이 결과는 TN과 마찬가지로 강우에 의한 육상으로부터의 오염물질 유입과 용원선착장 인근의 주거지역 및 음식점에서 발생된 하수에 의한 결과라 판단됨.

☞ 이상의 결과로 오염원인이 육상오염원이 주 요인인 것으로 보이는 만큼, 오염원을 차단하는 것이 주요문제인 것으로 판단됨.

☞ 용원수로 전면의 매립으로 인해 예전에 비해 오염강도가 크다는 주장에 대한 대응으로는 과거에 불법적으로 오염원을 방류했으므로 현재도 그 당시를 기준으로 오염원을 방류해도 된다는 것은 틀린 논리라는 것을 지적하고 오염원을 근본적으로 차단해야 한다고 대응하면 될 것으로 판단됨.

나. 용원수로 용원펌프장 방류시 오염 부하량 관측

☞ 시기를 맞추어 조사·분석하도록 하겠음.

3. 동방파제 및 컨테이너 부두 전면 파고 관측

가. 파고 관측위치 변경

☞ 2차년도에 제출한 『부산항 신항내 소형선의 태풍시 피항지 검토』 보고서(수치 실험)와 소형선 부두 전면의 파고 관측 시계열자료에 의하면 당시 민원인들이 주장했던 소형선 부두내측 파고와 연결잔교에서의 월파 등은 일반적으로 발생하기 어려운 것으로 판단됨. 다만 발생당시 현장에서 관측이나 관찰이 이루어지지 못했으므로 관측위치 변경등의 필요성에 대해서 발주처와 상의하여 재검토를 추진하겠음.

제 1 장

제 2 장

부록 A

부록 B

부록 C

부록 D

부 록 D

D1. 연결잔교 상시접안에 따른 문제 검토 결과

1. 해수유통 문제

☞ 1차년도에 제출한 보고서와 이후 답변에서 밝힌 바와 같이 상시접안을 조건으로 할 경우, 단기적으로는 향내측에서 낙동강 하구쪽으로 유출되는 해수는 약 6.5%, 유입되는 해수는 약 8.0%가 감소하여 큰 변화를 보이지는 않았다. 그러나, 연결잔교를 통해 유입되는 양보다 유출되는 양이 커 해수순환을 유발시키는 유동패턴을 감안하면 접안선박으로 인하여 해수유통량의 감소가 발생하여 장기적으로 볼 때는 향내의 해수순환을 저하시키는 원인이 될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 해수수질 문제

☞ 해수유통에서 언급한 바와 같이 연결잔교를 통해 유입되는 양보다 유출되는 양이 커 해수순환을 유발시키는 유동패턴과 해수유통량이 감소하는 상황을 고려하면 오염원이 향내로 유입/발생 될 경우 밖으로 배출되는 양이 줄어들 수 있다. 실제 수치실험을 통해, 향내의 배경농도를 전반적으로 3등급(COD 기준 약 4 ppm)으로 설정한 후 향내지점 3곳에서 향내 수질 기준인 2등급(2 ppm)에 도달하는 시간을 검토하였다(그림 1 참조).

☞ 수치실험 결과를 표 1에 정리하였으며, 그림 2~4에는 위치별 COD 농도의 변화를 도시하였다.

☞ 검토결과 :수치실험 결과를 보면 연결잔교 전면의 위치(a1)에서는 향내오염물질이 마지막으로 배출되기 때문에 시간이 향내 타 지점에 비해 많이 소요 된다 선박 접안 시에는 향내 수질이 III등급에서 II등급으로 정화되는 데에는 선박 미 접안 시에 비해 시간이 약간 더 소요되는 것으로 나타났다 따라서, 대형선박이 상시 접안보다 일정시간을 두고 접안한다면 향내수질개선에 도움이 될 것으로 사료된다

이 결과로 볼 때, 단기적인 경우에는 큰 문제는 없겠으나 장기적이고 광범위한 오염원이 투하되었을 경우는 상시 선박접안으로 인해 향내 자정기능의 저하 원인이 될 수도 있을 것으로 판단된다.

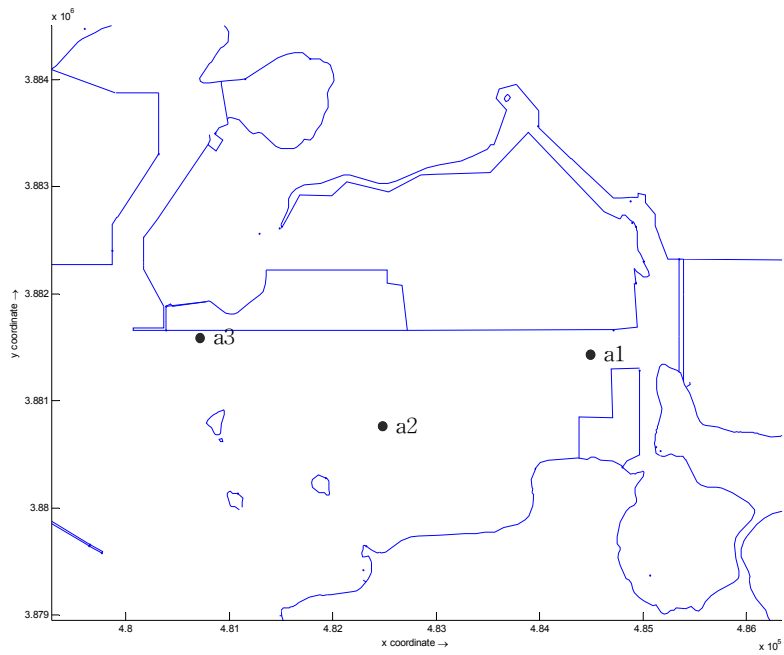


그림 2 COD농도 계산위치.

표 3. 항내 위치별 COD 농도 변화 결과

위치	COD 농도 2 ppm(2등급) 도달시간			비고
	연결잔교 접안시(T1)	연결잔교 미접안시(T2)	접안시 추가소요 시간 (T1-T2)	
A1	5일 19시간	5일 17시간	2시간	그림 2 참조
A2	3일 15시간	3일 14시간	1시간	그림 3 참조
A3	3일 05시간	3일 03시간	2시간	그림 4 참조



그림 3. A1 지점에서의 COD 농도 변화.

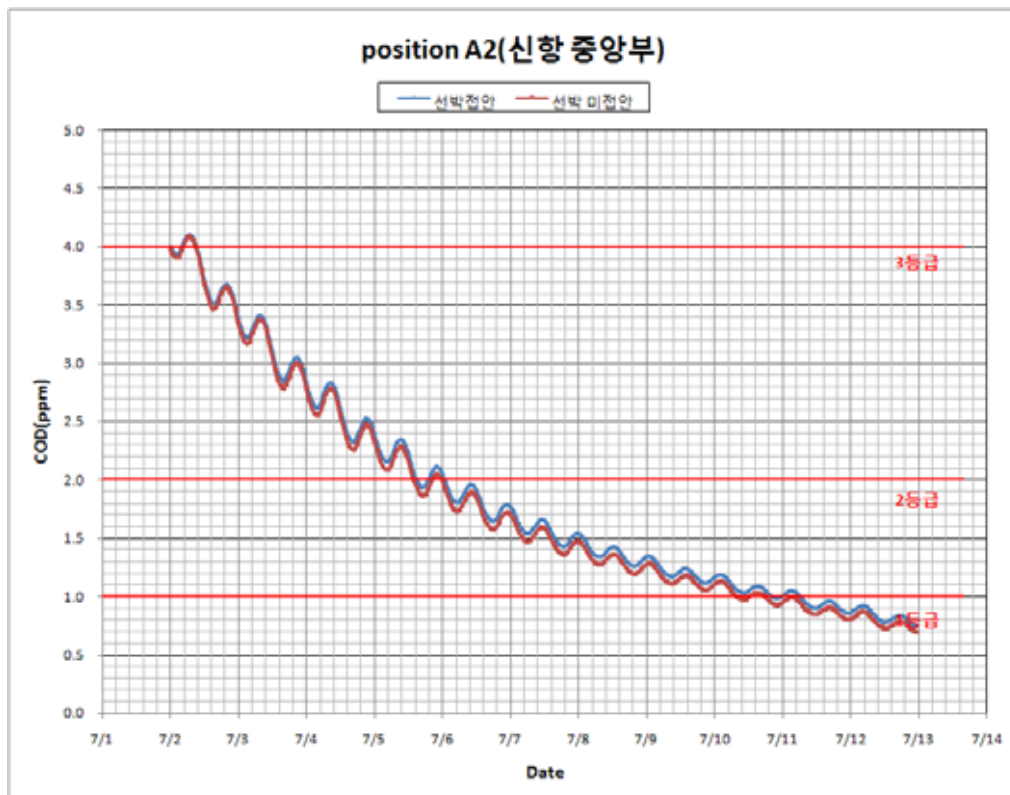


그림 4. A1 지점에서의 COD 농도 변화.



그림 5. A1 지점에서의 COD 농도 변화.

3. 종합 검토결과

☞ 앞에서 설명한 바와 같이 해수유통 및 수질문제는 모두 상시 선박접안으로 인해 나타났다. 그 결과, 단기적으로는 선박상시 접안으로 인한 큰 문제는 없어 보이나 장기적으로 보면 문제가 발생할 수 있을 것으로 보인다. 따라서 대형 컨테이너선보다는 소형선 부두로, 상시 접안보다는 일정시간 간격을 두고 접안하여 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.