

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

본 보고서를 “첨단 항로표지 수중구조물 기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2009 년 2 월 26 일

주관연구기관명 : 한국해양연구원

주관연구책임자 : 오영민

연 구 원 : 이달수, 권오순

이진학, 오상호

백원대, 장세철

양재우

위탁연구기관명 : (주)한동이엔씨

위탁연구책임자 : 김승현

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 첨단 항로표지 수중구조물 기술개발					
	(영문) Development of high-tech light beacon structures for the safe navigation of vessels					
주관연구기관	한국해양연구원		총괄연구 책임자	(소속) 연안개발·에너지연구부		
참 여 기 업				(성명) 오 영 민		
총연구개발비 (578,050 천원)	계	578,050 천원	총연구기간	2006.10.01~2008.11.30 (2년2월)		
	정부출연금	478,050 천원	총참여 연구원수	총 인 원	14	
	기업부담금	100,000 천원		내부인원	11	
	연구기관부담금			외부인원	3	
국제공동연구	공동연구과제명					
	공동연구기간		상대국연구기관명 (상대국연구책임자)			
위탁연구	연구기관명	(주)한동이앤씨		연구책임자	김 승 현	
<p>○ 연구개발 목표 및 내용(개조식)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 동·서·남해안에 설치된 기존 등표 구조물의 형식과 공법, 현재 상태 등 분석 ▪ 기존 등표의 설계기준 보완 및 유지관리, 보강공법 개발 ▪ 새로운 형식의 첨단 등표 구조물 개발 <p>○ 연구결과</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 세굴 발생 등표에 대한 현지 실태조사 실시 및 현장조사 기록표(checklist) 작성 ▪ 기존에 미비하였던 등(입)표 기초의 보수보강 및 안전점검 지침 마련 ▪ 기존 항로표지 업무편람 등의 등표구조물 설계기준의 내용 보완 (지진하중 추가, 말뚝식 기초에 대한 고려, 앵커 설계 반영 등) ▪ 암반 기초를 손상하지 않고 설치가 가능한 비굴착 중력식 등표구조물 개발 및 시공성 평가 ▪ 수심이 깊은 해역에서 장점이 있는 파일테크식 등표구조물 개발 및 수리특성 평가 ▪ 육안조사 없이 세굴에 의한 구조안정성을 평가할 수 있는 세굴평가시스템 기반기술 개발 <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 보수보강 및 안전점검 지침 활용에 따른 등표구조물의 수명 연장 효과 ▪ 등표 신설 및 보수보강 시 비굴착 중력식 등표 및 파일테크식 등표구조물 적극 반영 ▪ 상시진동계측에 의한 기초세굴 평가시스템을 활용한 등표 상시 유지관리 가능 ▪ 등표구조물에 선박 충돌시 경고 시스템 개발 및 적용 						
색인어	한글	등표	세굴	파력	설계	지침
	영어	beacon	scouring	wave force	design	manual

요 약 문

I. 제 목

첨단 항로표지 수중구조물 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

선박의 항행에 위협을 줄 수 있는 암초 등의 장소에 주로 설치되는 항로표지 구조물인 등(입)표는 선박의 안전한 항행을 보장하는 매우 중요한 역할을 한다. 등표는 일반적으로 암초의 암석을 일정 깊이만큼 굴착하여 그 위에 콘크리트 구조물을 설치하여 시공하는데, 암석과 콘크리트 간의 결합이 완벽하지 않으면 틈새로 균열이 발생하고 장기간에 걸쳐서 세굴이 발생하기 쉽다. 세굴이 진행되면 기초 하부와 암석이 분리되어 구조물의 안정성이 나빠지며 특히 세굴이 진행된 상태에서 태풍과 같은 큰 바람과 파도가 작용하면 전도될 가능성이 높아진다.

특히, 수중압 또는 노출압 위에 설치되는 등표 구조물의 경우에는 시공에 상당한 어려움이 있으며, 기상조건이나 해상조건에 따라 시공을 위한 선박과 장비의 운용에 많은 제약이 따른다. 이와 같은 현실에서 파랑과 조류 등으로 인하여 기초가 세굴 및 파손되고 마침내 등표 구조물 자체가 훼손되는 사례가 발생하고 있다.

등표의 기초는 파랑과 조류에 장시간 노출되어 있어서 어느 정도의 세굴은 피할 수 없지만, 등표 구조물의 완전한 파괴가 발생하지 않도록 등표 파손에 대한 원인을 분석하고 적절한 대책을 수립하여 등표의 구조 안정성을 확보할 필요성이 있다. 따라서 등표 기초의 세굴이 발생하였을 경우 구조물의 안정성을 훼손시키지 않고 등표의 기능을 수행할 수 있는 보수·보강 지침을 마련하고, 세굴 방지에 효과적이고 시공이 간편한 형태의 새로운 형식의 첨단 등표 구조형식을 개발하는데 본 연구의 목적이 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구개발사업의 연구 내용은 다음과 같다.

- 기초세굴 등표에 대한 현지조사 및 원인분석 보완
- 선진국 등표 설계자료 조사
- 기존 등표 보강공법 및 유지관리 지침 개발

- 등표 기초의 설계기준 수정 보완
- 첨단 항로표지 수중구조물 형식 개발
- 수리모형실험을 통한 신형식 등표구조물 성능 평가
- 상시진동계측에 의한 기초세굴 평가시스템 개발

IV. 연구개발 결과

본 연구개발사업을 통하여 동·서·남해안의 세굴 발생 등표에 대한 현지 실태조사를 실시하고 그 원인을 분석하여 등(입)표 기초의 보수보강 및 안전점검 지침을 마련하고 시공성 및 안정성을 향상시킬 수 있도록 설계기준(항로표지 업무편람)의 내용을 보완하였다. 또한, 기존 중력식 등표의 설계·시공상의 문제점을 개선할 수 있는 신형식 등표구조물로서 비굴착 중력식 등표 및 파일데크식 등표를 개발하고 수리모형실험을 통하여 시공성 및 주요한 수리특성을 검토하였다. 마지막으로, 기초가 수중에 있는 중력식 등표구조물의 기초 세굴이 발생하였을 경우에 잠수부에 의한 육안조사 없이 등표구조물 관리자가 보다 쉽게 세굴에 의한 구조안정성을 정량적으로 평가할 수 있는 세굴평가시스템 (알고리즘)을 제안하였다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구에서 제시한 보수보강 및 안전점검 지침은 등표의 수명을 연장시키고 예산절감의 효과를 가져올 수 있으며, 등표구조물의 과학적인 관리 기법을 제시함으로써 등표의 기능을 지속적으로 유지하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

한편, 비굴착 중력식 등표구조물은 신설 등표에도 적용 가능할 뿐만 아니라, 기존에 설치된 등표 세굴이 심하게 발생하여 철거 내지는 보수보강이 필요한 경우에도 암반 기초를 손상하지 않고 설치가 가능하기 때문에 환경 피해를 방지하고 예산 절감 효과를 거둘 수 있다. 또한, 파일 데크식 등표구조물은 주변 수심이 깊고 설계파고가 커서 대형 중력식 구조물이나 자켓식이 필요한 경우에 특히 강점이 있는 구조형식으로서, 사전에 pile 속의 강봉을 인장하기 때문에 구조물의 자중을 줄일 수 있어서 기존의 중력식 및 자켓식보다는 훨씬 경제성이 높다.

상시진동계측에 의한 기초세굴 평가시스템은 기존 등표의 세굴 모니터링 뿐만아니라 신설 등표에도 계측시스템을 설치하면 등표의 유지관리가 가능하여 항해 안전성을 향상시키고 등표구조물의 구조안정성을 확보하는 데 기여할 수 있다.

SUMMARY

I. Title

Development of high-tech light beacon structures for the safe navigation of vessels

II. Objectives and Necessities

Light beacon, an Aids to Navigation installed on the marine reef, plays an important role in guaranteeing the safety of vessel navigation. It is constructed on the marine reefs. It is typically constructed by installing a concreted structures on the surface of the cut reef. Hence, if the reef rock is not tightly connected to concrete structure each other, some cracks are easily developed at the interface and scouring occurs occasionally. As the scouring is progressed, the foundation of light beacon is increasingly separated from the reef rock so that the structural stability is deteriorated. In such a condition, overturning of light beacon is very probable when it is attacked by large waves or winds accompanied by typhoon.

In particular, construction of the light beacon structures are very difficult when they are installed on the submerged or intermittently-submerged reefs. Also, the operation of ships and equipments for the construction is limited according to the atmospheric and oceanic condition. For these reasons, light beacon structures are occasionally damaged due to the scouring of foundation induced by action of waves or currents.

The foundation of light beacon is exposed to action of waves or currents for long time so that scouring of foundation to a certain degree is likely to be developed. However, it is necessary to establish a proper countermeasure to the scouring in order to prevent a complete destruction of the beacon structures. In this respect, it is requested to provide repair and reinforcement method that are applicable to the scoured beacon foundation and to develop technologies for new beacon structures that are easily constructed and effective for preventing scouring.

III. Contents and Scope

The contents and scope of this study is as follows.

- Field investigation of the scoured beacon structures and analysis of the reason

- Examination on the design material of the advanced country
- Development of the reinforcement method and maintenance guide
- Amendment and supplement of design standard of beacon foundation
- Development of high-tech beacon structures
- Performance test of the developed beacon structures by hydraulic experiment
- Development of the scouring evaluation system based on ordinary vibration measurement

IV. Results

In this study, the actual condition of light beacon structures located in the east, south, and west coast of Korea that are suffering from foundation scouring were investigated and the reason of scouring was analyzed to provide reinforcement method and maintenance guide of the damaged structures and to amend the design standard of light beacon for improving safety of the structures. In addition, non-excavation gravity-type beacon and pile deck beacon, which can improve the typical problems of conventional gravity-type beacon were developed and their overall performance and principal hydraulic characteristics were examined by hydraulic experiment. Finally, a scouring assessment system (algorithm) was suggested that are applicable to evaluate the structural stability of the beacon structures installed on the submerged reef without performing diver's eye survey.

V. Practical Application of Results

The reinforcement method and maintenance guide presented in this study is expected to extend the lifetime of the beacon structures, reduce the maintenance cost, and help to incessantly maintain the function of light beacon based on efficient management technique

The concept of the non-excavation gravity-type light beacon can be used for the reinforcement or replacement of the preexisting scouring-damaged beacon structures as well as for the establishment of a new light beacon. With this technique, the reef rock needs not to be cut, which results in better preservation of marine environment and reduction of construction cost. Meanwhile, the pile-deck light beacon is more advantageous than gravity-type or jacket-type beacon especially in deep water where the design wave height is large. With this method, the weight of the structures can be greatly reduced because the pre-tensioned steel piles take some charge of the load. Hence, it is less expensive than the conventional gravity-type or jacket-type light beacon structures.

The scouring evaluation system based on ordinary vibration measurement can contribute to improving safety of vessel navigation and ensuring structural stability of the pre-existing or newly-established light beacon by performing inspection on the scouring of beacon structures.

목 차

제 1 장 연구개발사업의 개요	1
제 1 절 연구개발의 목적	1
제 2 절 연구개발의 필요성	1
1. 기술적인 측면	1
2. 경제·산업적인 측면	3
3. 사회·문화적인 측면	3
제 3 절 연구개발의 범위	4
1. 연구개발의 최종 목표	4
2. 연차별 연구목표 및 내용	4
제 2 장 국내외 기술개발 현황	6
제 1 절 국내 항로표지구조물 기술개발 현황	6
1. 국내 등(입)표의 설치현황 및 여건	6
2. 기존 등표 구조물 형식별 특징 및 설계 사례	12
제 2 절 국외 항로표지구조물 기술개발 현황	15
1. 일본의 등표 설치 및 유지관리 현황	15
2. 미국의 등표 설치 및 유지관리 현황	17
3. 국외 항로표지구조물 관련 특허	20
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	26
제 1 절 개요	26
제 2 절 기존 등표의 현장조사 및 세굴원인 파악	27
1. 기초세굴 등표에 대한 현지 실태조사	27
2. 등표 구조물 파손 형태와 발생원인	38
제 3 절 등(입)표의 기초 설계지침	40
1. 기존 설계 지침	40
2. 설계 지침 보완 내용	43

제 4 절 등(입)표의 안전점검 및 보수보강	46
제 5 절 신형식 항로표지 수중구조물	54
1. 비굴착 중력식 등표	54
2. 파일테크 등표	69
제 6 절 상시진동계측에 의한 기초세굴평가기법 개발	95
1. 개요	95
2. 상시진동계측에 의한 구조물 동특성 추정	97
3. 상시진동계측장비의 구축 및 활용	100
4. 세굴평가시스템 구축	114
5. 소결	126
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	127
제 1 절 목표달성도	127
제 2 절 관련분야에의 기여도	128
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	129
제 6 장 참고문헌	130
부록 A 등(입)표 현장조사 기록표(Checklist)	131
부록 B 등(입)표 기초 안전점검 지침(안)	169
부록 C 등(입)표 기초 보수·보강 지침(안)	183
부록 D 등(입)표 기초의 설계기준(안)	193

그림 목 차

<그림 1-2-1> 기초의 형식	2
<그림 1-2-2> 전망산 등표 기초 파손 전경	2
<그림 1-2-3> 을호 등표 기초 파손 전경	2
<그림 1-2-4> 행담도 북서방 입표	3
<그림 1-2-5> 진해서등표	3
<그림 2-2-1> 知人礁 등표	15
<그림 2-2-2> 小湊港 등표	15
<그림 2-2-3> 安藝白石 등표의 보수보강 모습	16
<그림 2-2-4> 등부표에 설치된 조류발전장치	16
<그림 2-2-5> 小湊港 등표의 파력발전장치	16
<그림 2-2-6> 미국의 자켓식 및 폴식 등표 형태	17
<그림 2-2-7> Thomas point shoals lighthouse (1825년 설립)	18
<그림 2-2-8> Portland head lighthouse station (1820년 설립)	18
<그림 2-2-9> 미국의 등표 시공 재료의 변천	18
<그림 2-2-10> 미국의 등표 기초 시공 방법의 변천	19
<그림 2-2-11> Sabine bank lighthouse	19
<그림 2-2-12> Chesapeake light station	19
<그림 2-3-1> Aureka 특허 검색 화면	20
<그림 2-3-2> 등표 폴(pole)의 직립 방법에 관한 특허(JP1984091203A)	22
<그림 2-3-3> 등표 폴(pole)의 기초 조성 방법에 관한 특허(JP1984096311A)	23
<그림 2-3-4> 등표 폴(pole)의 기초 조성 방법에 관한 특허(JP1984106608A)	24
<그림 2-3-5> 해양 파일구조물의 해저 고정 방법에 관한 특허(WO2008060070A1)	25
<그림 3-2-1> 서포리 등표의 모습	27
<그림 3-2-2> 수중 정밀조사를 통해 파악된 서포리 등표의 현재 상태	28
<그림 3-2-3> 수중 측정점의 경·위도 좌표	30
<그림 3-2-4> 수중 측정점을 직교좌표로 변환한 후의 좌표	30
<그림 3-2-5> 여초 등표 현장조사 사진 - 등표 전경	31
<그림 3-2-6> 여초 등표 현장조사 사진 - 좌표 계측	31
<그림 3-2-7> 여초 등표 현장조사 사진 - 등표기울기 계측	32
<그림 3-2-8> 여초 등표 현장조사 사진 - 세굴상태(남향)	32
<그림 3-2-9> 여초 등표 현장조사 사진 - 세굴상태(북향)	33
<그림 3-2-10> 여초 등표 현장조사 사진 - 세굴상태(확대)	33
<그림 3-2-11> 여초 등표 현장조사 기록표	34
<그림 3-2-12> 보수·보강 전 작은구들돌 등표의 현장사진	35
<그림 3-2-13> 보수·보강 후 작은구들돌 등표 현장조사 사진 1	36

<그림 3-2-14> 보수·보강 후 작은구들돌 등표 현장조사 사진 2	36
<그림 3-2-15> 작은구들돌 등표 현장조사 기록표	37
<그림 3-3-1> 기존의 중력식 기초 형태	42
<그림 3-3-2> 표준설계응답스펙스림	44
<그림 3-4-1> 등(입)표 기초 현장 안전점검 흐름도	47
<그림 3-4-2> 세굴의 등급 (Level)	49
<그림 3-4-3> 상태평가지수	49
<그림 3-4-4> 비굴착 중력식 보강공법 개요	51
<그림 3-4-5> 선행긴장 앵커보강 공법 개요	53
<그림 3-5-1> 도투마리암 등표구조물	55
<그림 3-5-2> SEP(Self Elevating Platform) barge를 이용한 지형측량	56
<그림 3-5-3> 강봉 根入을 위한 천공	56
<그림 3-5-4> 고무 케이슨 설치	57
<그림 3-5-5> 암반과 케이슨의 접합부분을 보강	57
<그림 3-5-6> 시멘트 그라우팅	58
<그림 3-5-7> 상부 구조물 설치	58
<그림 3-5-8> 케이슨 평면 및 단면도	60
<그림 3-5-9> 고무케이슨 전개도 및 地盤高 측량용 조사경	61
<그림 3-5-10> 조사경을 이용한 지형측량(S.E.P BARGE 대응)	62
<그림 3-5-11> 파일테크 등표 기초의 설계 개념	69
<그림 3-5-12> 파일테크 등표 기초 설계 예 (앵커 분리)	69
<그림 3-5-13> 파일테크 등표 기초 설계 예 (앵커 일체)	70
<그림 3-5-14> 활동에 대한 안정성 검토 단면	70
<그림 3-5-15> 전도에 대한 안정성 검토 단면	71
<그림 3-5-16> 원형 파일테크식 등표의 개념도	72
<그림 3-5-17> 2차원 파랑 흐름 복합수조	73
<그림 3-5-18> 앵커파일을 포함하는 중력식 등표구조물 (단위: m)	74
<그림 3-5-19> 파일테크식 등표구조물 (단위: m)	75
<그림 3-5-20> 파일테크식 등표 모형의 수조 내 설치 개략도 (단위: cm)	76
<그림 3-5-21> 파일테크식 등표 구조물에 파가 작용하는 모습	82
<그림 3-5-22> 테크 저면 파압 계측점의 위치	83
<그림 3-5-23> 외해파고, 저면파압, 앵커장력 및 파일인발력의 시계열 (=23.3cm, =2.56s)	84
<그림 3-5-24> 외해파고, 저면파압, 앵커장력 및 파일인발력의 시계열 (=23.3cm, =2.56s)	85
<그림 3-5-25> 파 진행방향 최대유속 (규칙파)	86
<그림 3-5-26> 파 진행방향 최대유속 (불규칙파)	86
<그림 3-5-27> 연직방향 최대유속 (규칙파)	87
<그림 3-5-28> 연직방향 최대유속 (불규칙파)	87
<그림 3-5-29> 파의 처오름 높이 (규칙파)	88
<그림 3-5-30> 파의 처오름 높이 (불규칙파)	88

<그림 3-5-31> 테크 저면과압 (P1 계측점 - 규칙과)	89
<그림 3-5-32> 테크 저면과압 (P1 계측점 - 불규칙과)	89
<그림 3-5-33> 테크 저면 전파력 (규칙과)	90
<그림 3-5-34> 테크 저면 전파력 (불규칙과)	90
<그림 3-5-35> 앵커 와이어의 인장·압축력 (규칙과)	91
<그림 3-5-36> 앵커 와이어의 인장·압축력 (불규칙과)	91
<그림 3-5-37> 강관과일에 작용하는 연직방향 하중 (규칙과)	92
<그림 3-5-38> 강관과일에 작용하는 연직방향 하중 (불규칙과)	92
<그림 3-5-39> 파일테크식 등표의 최대 변위 (규칙과)	93
<그림 3-5-40> 파일테크식 등표의 최대 변위 (불규칙과)	93
<그림 3-6-1> Lance사의 LC0116A 가속도계	101
<그림 3-6-2> 상시진동계측시스템 (4채널)	102
<그림 3-6-3> 서포리 남방 등표	103
<그림 3-6-4> 상시진동계측시스템 구축현황	103
<그림 3-6-5> 태양광 발전판 설치 모습 (2008.8.27)	104
<그림 3-6-6> 4월 21일 12시 20분부터 계측한 20분 자료	105
<그림 3-6-7> 계측된 가속도 신호를 이용한 주파수 성분 분석 결과	106
<그림 3-6-8> 4월 28일 오후 2시부터 계측한 30분 자료	107
<그림 3-6-9> 계측된 가속도 신호를 이용한 주파수 성분 분석 결과(2008.4.28)	108
<그림 3-6-10> 8월 27일 계측한 30분 자료	109
<그림 3-6-11> 계측된 가속도 신호를 이용한 주파수 성분 분석 결과(2008.8.27)	110
<그림 3-6-12> Stabilization Chart (2008.4.21자료)	111
<그림 3-6-13> Stabilization Chart (2008.4.28자료)	111
<그림 3-6-14> Stabilization Chart (2008.8.27자료)	112
<그림 3-6-15> 세굴깊이에 따른 안전계수	114
<그림 3-6-16> 세굴깊이에 따른 고유주파수	115
<그림 3-6-17> 세굴되지 않은 등표와 세굴된 등표의 작용하중	116
<그림 3-6-18> 세굴 및 기울어짐이 된 등표의 사양	116
<그림 3-6-19> 대상등표의 제원	117
<그림 3-6-20> 입력자료 체크를 위한 Layout 출력 결과	118
<그림 3-6-21> 세굴깊이와 자중에 의한 모멘트 지지력의 관계	120
<그림 3-6-22> 세굴깊이와 안전계수(Safety Factor)와의 관계	120
<그림 3-6-23> 수치해석에 의한 대상 등표의 고유주파수 및 모드형상 분석 결과	121
<그림 3-6-24> 수치해석에 사용된 세굴단계	122
<그림 3-6-25> 수치해석에 의한 세굴단계별 고유주파수 변화(Hz)	122
<그림 3-6-26> 수치해석에 의한 세굴단계별 고유주파수 감소율	123
<그림 3-6-27> 서포리 남방등표 안정성 검토 모델 및 세굴깊이의 영향 (경사가 없는 경우)	124
<그림 3-6-28> 경사가 있는 경우 구조물에 작용하는 중력 및 구조물 상태	125
<그림 3-6-29> 경사가 있는 경우 세굴깊이에 따른 전도 지지력의 변화	125

표 목 차

<표 1-2-1> 기초형식의 선정 기준	1
<표 1-3-1> 연차별 연구목표, 내용 및 연구비 예산	4
<표 2-1-1> 등(입)표 설치 현황	6
<표 2-1-2> 동해안의 해황 및 시공여건	10
<표 2-1-3> 남해안의 해황 및 시공여건	11
<표 2-1-4> 서해안의 해황 및 시공여건	11
<표 2-1-5> 등표 구조물의 형식별 특징	12
<표 2-1-6> 중력식 등표 구조물의 설계 사례	13
<표 2-1-7> 자켓식 등표 구조물의 설계 사례	14
<표 3-2-1> 수중 측정점의 위치별 거리 및 수심	29
<표 3-2-2> 등표의 파손형태	38
<표 3-2-3> 등표 파손 형태와 발생원인	39
<표 3-3-1> 지반별 계수 및 높이 계수	41
<표 3-3-2> 지반의 허용지내력도(단위 : t/m ²)	41
<표 3-3-3> 매몰깊이 h와 기초지름 DB의 비	42
<표 3-3-4> 기초형식의 선정기준	42
<표 3-3-5> 지진별 진도	44
<표 3-3-6> 지진계수, Ca (재현주기 500년 해당)	44
<표 3-4-1> 등(입)표의 손상 및 결함의 한계값과 영향	48
<표 3-4-2> 마모/침식의 등급 (Level)	48
<표 3-4-3> 박리/탈락의 등급 (Level)	48
<표 3-4-4> 파손의 등급 (Level)	49
<표 3-4-5> 상태지수에 의한 상태평가등급 및 조치사항	50
<표 3-5-1> 실험과 조건	81
<표 3-6-1> 계측시스템 사양	100
<표 3-6-2> ICP형 가속도계의 제원	101
<표 3-6-3> 상시진동계측시스템 (4채널)	102
<표 3-6-4> 세 차례에 걸친 상시진동계측에 의한 동특성 추정 결과	112
<표 3-6-5> 설계조건	118
<표 3-6-6> 설계시 안전계수 산정 결과	119
<표 3-6-7> 수치해석에 의한 세굴단계별 고유주파수 변화(Hz)	122

제 1 장 연구개발사업의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

태풍, 조류 등 외력에 의한 등표의 파손을 방지하기 위하여 등표 파손에 대한 원인 분석과 대책 수립을 통한 등표의 안정성을 확보하여 선박의 안전항해 및 해상교통안전을 도모하고, 동·서·남해안에 설치된 기존 등표 구조물 형식과 공법을 분석하여 새로운 형식의 첨단 등표 구조물을 개발하여 등표의 구조 안정성을 향상시키는데 연구의 목적이 있다.

제 2 절 연구개발의 필요성

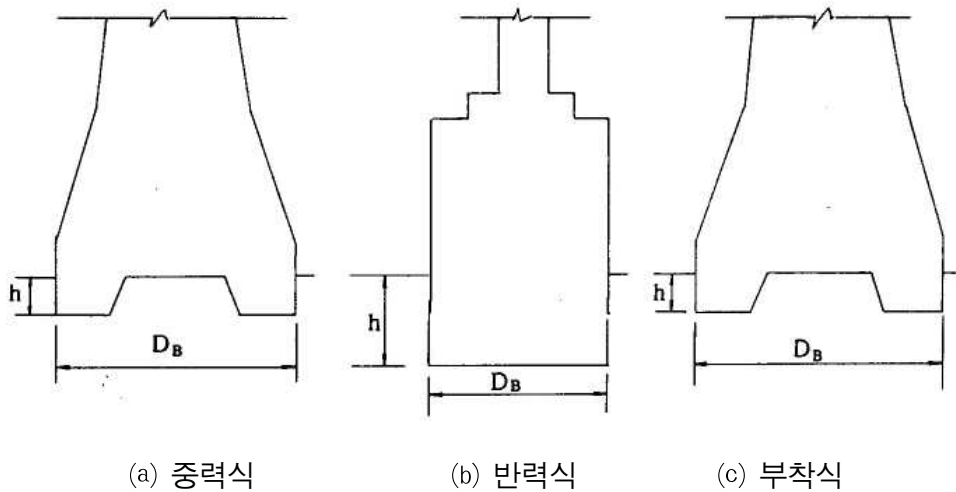
1. 기술적인 측면

현재 등표는 ‘항만 및 어항설계기준(해양수산부, 2005)’과 ‘항로표지업무편람(해양수산부, 1997)’에 의거하여 설계 및 시공이 이루어지고 있는데, 광달거리(光達距離)와 광도(光度) 등을 고려하여 상부 구조물의 폭과 높이가 결정되고 해당 위치의 설계과 조건에서 구조물의 안정성을 확보할 수 있도록 기초를 설계하고 있다.

기초의 형식은 지반의 강도, 등탑의 규모, 외력의 대소, 시공성 등을 고려하여 다음 <표 1-2-1>을 기준으로 하여 안정하고 경제적인 형식을 채택한다. 기초의 형상은 <그림 1-2-1>과 같으며, 외력에 의한 전도, 활동에 대해서 안정하고, 또한 기초 및 지반의 각 부분에 일어나는 최대 응력이 허용 응력을 넘지 않도록 형상 및 치수를 설계한다. 현재 기준에 의하면 봉강으로 지반에 고정시키는 것은 원칙적으로 기초 안정계산에 고려하지 않고 있다.

<표 1-2-1> 기초형식의 선정 기준

조 건 \ 기초의 형식	중 력 식	반 력 식	부 착 식
지 반 외 력 등탑의 규모 시공의 난이도	토사 연암 적 음 적 음 용 이 함	보 통 암 큼 큼 난 이 함	경 암 큼 보 통 보 통



<그림 1-2-1> 기초의 형식

등표의 설치는 일반적으로 암석을 일정 깊이만큼 굴착하여 그 위에 콘크리트 구조물을 설치하는데, 암석과 콘크리트 간의 결합이 완벽하지 않으면 틈새로 균열이 발생하고 장기간에 걸쳐서 세굴이 발생하기 쉽다. 세굴이 진행되면 기초 하부와 암석이 분리되어 구조물의 안정성이 나빠지며 특히 세굴이 진행된 상태에서 태풍과 같은 큰 바람과 파도가 작용하면 전도될 가능성이 높아진다.

암초가 항상 수면 아래에 있는 경우나, 해수면 위로 노출되는 시간이 길지 않은 경우에는 시공에 상당한 어려움이 있으며, 기상조건이나 해상조건에 따라 시공을 위한 선박과 장비의 운용에 많은 제약이 있기 때문에 시공 환경이 매우 열악하다. 그러나 현재 등표의 설계와 시공에 충분하지 않은 예산이 투입되고 있기 때문에 안전하고 완벽한 시공이 원활하게 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다. 이와 같은 현실에서 파랑과 조류 등으로 인하여 기초가 파손되고(<그림 1-2-2>, <그림 1-2-3> 참조), 결국 등표 자체가 훼손되는 사례가 빈번하게 발생하고 있다.



<그림 1-2-2> 전망산 등표 기초 파손 전경



<그림 1-2-3> 을호 등표 기초 파손 전경

현재 국내에 설치된 등표는 260 여개 이상으로 세월이나 기타 원인으로 파손된 상태로 방치된 것도 상당수 있는 것으로 알려져 있으며, 이에 대한 현황 파악과 대책이 시급한 실정이다. 또한, 최근에는 기상이변으로 인하여 설계외력이 증가하고 있는 추세에 있기 때문에 현재보다 더 튼튼한 구조물 기초의 개발이 더욱 절실한 시점이다.

따라서 현재 설치된 등표와 입표에 대한 현황을 권역별로 조사하여 구조 및 환경조건에 대한 분석을 실시하고, 파손된 등표 및 입표 기초에 대한 조사를 수행하여 파손원인을 분석하며, 선진국의 등표 및 입표의 사례 분석을 통하여 등표 및 입표 기초의 종류, 설계 방법, 시공기법과 유지관리 실태를 조사·분석할 필요성이 있다.

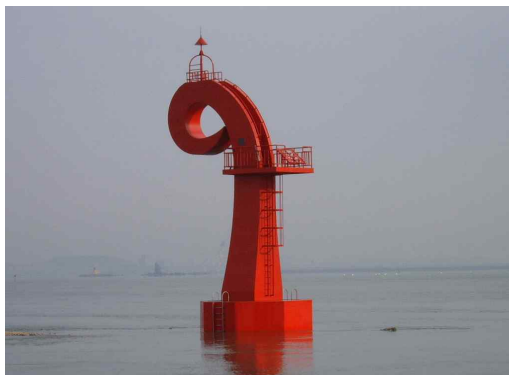
2. 경제·산업적인 측면

선박의 항해에 위협을 줄 수 있는 장소에 설치되는 항로표지 구조물인 등표의 기초는 파랑과 조류에 장시간 노출되어 있어서 어느 정도의 세월은 피할 수 없다. 세월이 발생하여도 구조물의 안정성을 훼손시키지 않고, 등표 또는 입표의 기능을 수행할 수 있으며, 경제적이면서도 신속한 시공이 가능한 형태의 새로운 형식의 수중 구조물 기초의 개발이 요구되고 있다.

항로 위에 솟아있는 암초는 선박의 안전 운항에 치명적이며, 따라서 선박의 안전을 위해 설치되는 등표는 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 즉, 등표의 경제적인 가치는 정량적으로 계량화되기는 어려우나 그 중요성은 매우 크다고 할 수 있다.

3. 사회·문화적인 측면

안전한 항행을 보장해주는 등표는 지역 경제의 발전에도 직간접적으로 기여를 하고 있으며 주변 지역을 편안하고 살기 좋은 곳으로 만드는 역할을 한다. 또한 미적으로 잘 설계된 등표는 관광자원으로서의 기능도 겸할 수 있어 지역경제 발전에 기여할 수 있다(<그림 1-2-4>, <그림 1-2-5>).



<그림 1-2-4> 행담도 북서방 입표



<그림 1-2-5> 진해서등표

제 3 절 연구개발의 범위

1. 연구개발의 최종 목표

- 태풍, 조류 등 외력에 의한 등표의 파손을 방지하기 위하여 원인분석과 대책수립을 통한 등표의 안정성을 확보하여 선박의 안전항해 및 해상교통안전 도모
- 동·서·남해안에 설치된 기존 등표 구조물 형식과 공법을 분석하여 새로운 형식의 첨단 등표 구조물을 개발하여 안정성 확보

2. 연차별 연구목표 및 내용

<표 1-3-1> 연차별 연구목표, 내용 및 연구비 예산

(단위 : 천원)

구분	연구개발 목표	연구개발내용 및 범위	총연구비	
1차년도 (‘06.10~’07.09)	<ul style="list-style-type: none"> • 기존등표 유지관리 및 보강공법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 권역별 기 설치된 등표(입표포함)의 현황 실태조사 • 기존 등표(입표포함)의 구조 및 환경조건에 대한 통계자료 수집분석 • 동·서·남해안별 등표(입표포함) 구조와 관련한 파손 원인 분석 • 선진국 등표(입표포함) 구조, 설치 및 유지관리 실태조사 분석 • 수치해석 및 모형시험을 통한 기존 등표 구조의 성능 평가 • 설계외력의 증가에 대비한 신 등표(입표포함) 구조물의 개념 설계 	<ul style="list-style-type: none"> • 지방청 자료를 활용하여 설계자료 확보(구조형식, 설계조건, 시공상황 등) • 기존자료분석 및 조사 대상 등표(입표) 선정 : 30여개 정도 • 현장조사를 통한 파손 현황 조사 및 파손 원인 분석 • 해외 사례 방문 조사, 설계도서 및 지침 관련자료 확보 • 기존 등표 구조물의 대표단면에 대한 수치해석 및 모형시험을 통한 성능 평가 • 경제적이고 안전한 시공이 가능한 새로운 형식의 등표 구조물 개념 설계 (말뚝기초 방식, 지보재 설치 방식 등 다양한 형태 고려) 선진국 사례 참조 	340,000

구분	연구개발 목표	연구개발내용 및 범위		총연구비
2차년도 (’07.10~’08.09)	<ul style="list-style-type: none"> • 항로표지 수형 중구조물 식 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 등표(입표포함) 보강공법 및 유지관리 지침 개발 • 선진국 신공법을 적용한 등표 설계자료 조사 • 등표(입표포함)의 앵커링, 천공기술, 구조형식 등의 고안 • 등표(입표포함) 기초의 암반 천공 등 기초부 시공 개선 공법 개발 • 첨단 항로표지 수중구조물 형식 개발 • 수치해석 및 모형시험을 통하여 구조성능 평가 및 보완 	<ul style="list-style-type: none"> • 세굴로 인한 기초 이격이나 기초 파손에 따른 적절한 보수·보강 대책 제시, 해외 유지관리지침이나 국내 유사 사례를 바탕으로 ‘등표 유지관리 지침서(안)’ 작성 • 해외 사례 방문 조사, 설계도서 및 지침 관련자료 추가 확보 • 기존 시공방식에 부가적으로 적용할 앵커기술이나 보강재 설치를 위한 구조형식 개발 • 기초와 암초의 결합력을 증가시키기 위한 기초부 개선 방안 개발(강봉, 앵커 등 설치) 부가적으로 암초 천공을 위한 착암기 또는 소형 천공장비 도입, 개량 또는 개발 • 신형식 등표구조물 형식 개발(표준 단면 확정, 설계 및 시공기법 도출 등) • 개발된 표준 단면에 대한 수치해석과 모형시험을 수행. 횡방향 재하시험과 미끄러짐, 전도 등에 대한 안정성 평가 	238,050

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 항로표지구조물 기술개발 현황

1. 국내 등(입)표의 설치현황 및 여건

2005년까지의 통계 조사한 바에 의하면 등(입)표의 설치기수는 <표 2-1-1>에 보인 것처럼 동해안 13기, 남해안 131기, 서해안 114기로 총 258기가 설치되어있으며, 매년 약10~20여기가 신설 또는 개량이 되고 있다. 최근에는 등표 구조물이 항로지표로서의 단순한 기능에서 벗어나 실시간 해양관측을 겸한 해양기지로서의 역할을 하고 있다.

<표 2-1-1> 등(입)표 설치 현황

동 해 안		남 해 안		서 해 안	
번 호	등표명칭	번 호	등표명칭	번 호	등표명칭
1218.5	속초항등표	2020	우암고가차도1호등표	3008	경서초등표
1220.2	조도동방등표	2021	우암고가차도2호등표	3009	연출서남방위등표
1270.5	쌍정초등표	2024	감만부두등표	3010.3	종다리암등표
1282.6	왕돌초등표	2026	등무다리등표	3011.1	승서등표
1339	교석초등표	2028.50	송도서측잠재서단등표	3018.3	두량서등표
1348.5	관암등표	2028.51	송도동측잠재서단등표	3019	복사초등표
1354	이덕서등표	2028.52	송도서측잠재동단등표	3024	번서등표
1439.10	학리항등표	2028.53	송도동측잠재동단등표	3029	해수서등표
1443.6	미포등표	2028.54	송도거북섬등표	3050	갈두리서방등표
1449	송정리등표	2038	감천항등표	3054.8	마진도남방등표
1450	교석추등표	2040	자담말등표	3056	방탄등표
1479	광안리해양기상관측탑등표	2040.3	송도등표	3102.5	종달암등표
개 수	12	2050	생도등표	3105	복도등표
번 호	입표명칭	2056	남형제도등표	3122	상사치도등표
1438.5	강양입표	2076	사근서등표	3123	암치도남서방등표
개 수	1	2076.5	격도등표	3129	해서등표
		2077	상유등표	3134	병풍도북서방등표
		2079	소범북도등표	3138	내도등표
		2091	찬널초등표	3149.7	배잠여등표
		2093	도투마리암등표	3150	장은서등표
		2094	마당여등표	3152	소당도남서방등표
		2099	중죽도등표	3152.6	새만금농업기반공사A호등표
		2134	백암등표	3154	갈매여등표

동해안		남해안		서해안	
번호	등표명칭	번호	등표명칭	번호	등표명칭
		2099	중죽도등표	3152.6	새만금농업기반공사A호등표
		2134	백암등표	3154	갈매여등표
		2135	흑암등표	3158	할미녀등표
		2135.5	소계도등표	3159	곰소등표
		2136	복진개여등표	3161.1	서근여등표
		2139	장안서등표	3161.7	무녀도등표
		2165.8	도장포등표	3162.5	도토머리도등표
		2168.3	대병대도등표	3162.6	새만금농업기반공사B호등표
		2169	복여도등표	3163.1	골서등표
		2175	평서등표	3163.2	흑도등표
		2182	소여등표	3167.3	솔폰서등표
		2184	각수서등표	3167.4	새만금농업기반공사C호등표
		2184.5	작도등표	3170.8	명암서방등표
		2191	저도등표	3189	군산항을호등표
		2194	한산항등표	3200	군산항병호등표
		2196	비산도등표	3208	민야암등표
		2199	산서등표	3216.2	새만금한국해양연구원C호등표
		2200	대초등표	3220	전망산등표
		2202	노루섬등표	3221.1	골여등표
		2204	복여등표	3221.2	장서등표
		2206	견내량등표	3232.1	광암등표
		2216.4	숨은여등표	3240.5	녹도등표
		2217	진해서등표	3241.5	하홍서등표
		2218	장서등표	3243	삼시도북단등표
		2227	통영항제7호등표	3263	소녀암등표
		2228	통영항제8호등표	3275	외죽도등표
		2236.5	흑서등표	3275.2	간서등표
		2237.5	교본초등표	3279	목도동방등표
		2237.7	사이도여등표	3287	신온항등표
		2241.1	정서등표	3290	행여등표
		2241.3	흑초등표	3290.2	검은여등표
		2241.4	남작여등표	3290.6	덕암등표
		2241.5	당항등표	3290.7	가의도남방등표
		2241.7	고도등표	3291.1	화기서북방등표

동해안		남해안		서해안	
번호	등표명칭	번호	등표명칭	번호	등표명칭
		2248	백서등표	3294	안흥항등표
		2249	목석도등표	3298	가대암등표
		2250	지족등표	3298.2	파도리통계항등표
		2255	묘서등표	3302	의항리북방등표
		2266	남무도등표	3305.5	반서등표
		2285	추도등표	3306.5	울도북방등표
		2296	밤암등표	3307.1	외장고도동방등표
		2297	모개도서방등표	3308.5	우두암등표
		2298	장서등표	3309	수인여등표
		2305	향도등표	3321	신도 타서등표
		2306	와기등표	3322	구도등표
		2307	엄수도등표	3362	민어탄등표
		2309	우모서등표	3364.1	웅암등표
		2318	우암등표	3366.5	서포리남방등표
		2329	삼여등표	3366.8	덕적도남방등표
		2405	광양항등표	3367	소야리등표
		2452	양암등표	3373	이작도등표
		2469	대횡간도등표	3374	광여등표
		2470	금성등표	3375	월암두남방등표
		2471	하중도등표	3380	초치암등표
		2473	호리도등표	3386	장안서등표
		2474.5	칠여등표	3398	부도동방등표
		2474.7	삼초등표	3401	무당서등표
		2475	여초등표	3425	학산서등표
		2486	신강서등표	3446.5	방도등표
		2487	소유등표	3461.8	한진등표
		2488	후서등표	3493	통서등표
		2489	화태도등표	3494	해전서등표
		2489.2	선바위등표	3495	백암등표
		2489.5	월호등표	3496	항서등표
		2495	질리서등표	3529	서수도등표
		2509	반여등표	3548	북장자서등표
		2526.4	봉암등표	3549	남장자서등표
		2526.7	모녀도등표	3562	배동초등표
		2531	주인여등표	3615	서두암등표

동 해 안		남 해 안		서 해 안	
번 호	등표명칭	번 호	등표명칭	번 호	등표명칭
		2534	삼암등표	3710	쇠여등표
		2537.2	오도남방등표	3716	작은구들들등표
		2538	여자만등표	3718	가진여등표
		2548.1	소록도등표	3721	노운서등표
		2548.2	씨래여등표	3727	창후리등표
		2553.2	신흥등표	개 수	95
		2572	메에루암등표	번 호	입표명칭
		2574	물서등표	3303	어란진서입표
		2575	까막섬등표	3004	어란진동입표
		2580	각씨여등표	3059	장산입표
		2581.5	대서등표	3121	가산입표
		2583	용전초등표	3127	북진입표
		2585	석도등표	3132	북강진입표
		2597.2	출운초등표	3132	병풍도입표
		2609	추자도등표	3134.5	법성포입표
		2612	추자도가막여등표	3161	닭섬북서방입표
		2617	우도등표	3162	선유도입표
		2618	반다탄등표	3162.3	작은여입표
		2625.5	종달등표	3212	군산항입표
		2639	온평등표	3360.8	각홀도남방입표
		2652.4	세별곶등표	3563	용유도2호입표
		2659.5	도농탄등표	3565	용유도6호입표
		2660	광포탄등표	3629	신도북동방입표
		2663	과부탄등표	3715	불음도입표
		2666.5	고산등표	3715.5	주문도입표
		2667	용당산곶등표	3726	명석여입표
		2669	서비여등표	개 수	19
		2672	비양도남단등표		
		2673.1	귀덕2리등표		
		2675.4	귀덕1리등표		
		2678.10	세배여등표		
		개 수	121		

동 해 안		남 해 안		서 해 안	
번 호	등표명칭	번 호	등표명칭	번 호	등표명칭
		번 호	입표명칭		
		2201.8	가도입표		
		2246	호성입표		
		2491	군내입표		
		2546	자섬북방위입표		
		2547	어부암입표		
		2570.5	금당도입표		
		2579	하대소북방입표		
		2584	달도입표		
		2679.8	이호항입표		
		2688.5	조천항입표		
		개 수	10		

자료 : 등대표

한편, 동해안, 서해안, 남해안의 각 권역별로 조석 및 파랑 등의 해황과 시공 여건을 정리하여 <표 2-1-2>~<표 2-1-4>에 나타내었다.

<표 2-1-2> 동해안의 해황 및 시공여건

구 분		내 용
대상청		동해지방해양수산청, 포항지방해양수산청, 울산지방해양수산청, 부산지방해양수산청
해황	조석	<ul style="list-style-type: none"> ● 조차 : 평균 0.2~1.0m ● 조류속 : 비교적 빠르지 않음
	파랑	<ul style="list-style-type: none"> ● 동절기 계절풍에 의해 고파랑이 발생함 ● 파고 및 주기가 긴 장주기파가 주로 내습 ● 항 출입항로 부근을 제외한 외해 시공시 특히 파랑의 영향이 큼
시공여건		<ul style="list-style-type: none"> ● 항만공사가 비교적 소규모여서 해상장비 수급에 어려움이 있음 ● 대체로 수중압에 등표가 시공되는 경우가 많아서 암 천공이 필수적임 ● 타 권역에 비해서 작업일수가 적으므로 충분한 공사기간이 필요함

<표 2-1-3> 남해안의 해황 및 시공여건

구 분		내 용
대상청		여수지방해양수산청, 마산지방해양수산청, 제주지방해양수산청
해황	조석	<ul style="list-style-type: none"> ● 조차 : 평균 1.0~4.0m ● 조류속 : 1~2 knot
	파랑	<ul style="list-style-type: none"> ● 하절기 태풍 내습에 의해 고파랑이 발생함 ● 섬이 많은 지리적 특성상 등표의 설치 위치에 따라서 지역별 파고의 편차가 심함
시공 여건		<ul style="list-style-type: none"> ● 해상장비 수급이 대체로 용이함 ● 조석의 영향으로 작업 가능 시간이 짧고 안전사고의 위험성이 있음 ● 파랑이 차폐된 지역과 외해에 노출된 지역에 따라 시공 여건의 난이도가 차이를 보임

<표 2-1-4> 서해안의 해황 및 시공여건

구 분		내 용
대상청		인천지방해양수산청, 평택지방해양수산청, 대산지방해양수산청, 군산지방해양수산청, 목포지방해양수산청
해황	조석	<ul style="list-style-type: none"> ● 조차 : 평균 4.0~9.0m ● 조류속 : 3~4 knot
	파랑	<ul style="list-style-type: none"> ● 타 권역에 비해서 고파랑의 발생 빈도는 낮음
시공 여건		<ul style="list-style-type: none"> ● 파랑에 비해서 조류의 영향이 압도적으로 중요함 ● 조차가 매우 크기 때문에 시공 여건이 날짜 및 시간의 제약을 크게 받음

2. 기존 등표 구조물 형식별 특징 및 설계 사례

국내에 설치된 등표 구조물은 크게 중력식, 자켓식, 폴식 등 세 가지 형식으로 구분되며, 95% 이상이 중력식으로 시공되었다. 각 등표 구조물의 형식별 특징은 <표 2-1-5>에 나타낸 바와 같다.

<표 2-1-5> 등표 구조물의 형식별 특징

구조물 형식 구분		중력식	자켓식	폴 식
형 상				
형식	상부	· 강관 파일형 등탑 및 원통형 등탑 구조	· 콘크리트 및 와이드 플랜지로 구성된 데크 구조	· 콘크리트 및 와이드 플랜지로 구성된 데크 구조
	기초	· 중력식(Precast Wall)+2또는 3단 구조	· 자켓 레그 및 파일이 직접 지지하는 구조	· 레그가 직접 지지하는 구조
내구성		· 콘크리트의 염해 발생 가능성이 있음	· 강관기둥의 해양 부식 가능성이 있음	· 강관기둥의 해양 부식 가능성이 있음
경제성		· 단면이 크지 않을 경우 타 구조에 비해 경제성 양호함	· 콘크리트에 비해 고가인 강재를 사용하여 일반적으로 시공비가 비쌈	· 콘크리트에 비해 고가인 강재를 사용하여 일반적으로 시공비가 비쌈
시공성		· 발파 또는 암천공 등의 기초 시공 여건이 좋지 않음	· 공장에서 제작하여 운반설치하므로 현장작업량이 적고 공기가 단축됨	· 강관 기둥 및 파일 설치가 단조로우므로 시공성 우수
장점		· 외력에 대한 안정성 우수 · 대체로 시공비가 많이 들지 않음	· 횡하중(파압, 조류력, 풍하중)에 대한 저항성이 큼 · 세굴의 영향 없음	· 외력에 대한 안정성 양호 · 세굴의 영향 없음
단점		· 기초 직경이 클 경우 동파력 및 쇄파력의 영향을 많이 받음 · 세굴의 영향 많음	· 자켓의 정확한 거치, 천공에 기술력을 요함 · 부식에 대한 지속적인 유지관리가 필요함	· 해상 대구경 파일 천공이 곤란함 · 부식에 대한 지속적인 유지관리 필요함

한편 <표 2-1-6>~<표 2-1-7>에는 중력식 및 자켓식 등표 구조물의 설계 사례를 제시하였다. 대체로 자켓식 등표는 중력식 등표에 비해서 설계 파고가 큰 외해에 설치되는 것이 보통이지만, 반드시 그러한 것은 아니다. 또한 비슷한 설계 조건의 중력식 또는 자켓식 등표라고 하더라도 설계 사례에 따라서 시공비가 큰 차이를 보이기도 한다.

<표 2-1-6> 중력식 등표 구조물의 설계 사례

항목		보돌서	장예항	조도남서방	종달암	출운초
구조형식	상부	강관파일형	로켓형	원통형	원통형	원통형
	하부	중력식	중력식	중력식	중력식	중력식
파고(m)		10.10	2.40	11.00	10.20	10.20
주기(sec)		13.00	4.15	13.00	11.00	11.00
조류(m/s)		0.51	0.93	-	1.59	1.29
풍속(m/s)		40.00	40.00	28.70	25.70	27.30
해저면(m)		-6.00	-0.50	-9.10	-2.00	-4.50
기초직경(m)		파일 : 2 well : 6	6.00	12.00	9.00	10.00
구조물높이(m)		23.70	16.50	23.30	23.00	25.00
설계조위(m)						
App. H.H.W		DL(+3.824	DL(+3.736	DL(+0.394	DL(+4.950	DL(+4.420
M.S.L		DL(+1.912	DL(+1.868	DL(+0.200	DL(+2.340	DL(+2.002
App. L.L.W		DL(+0.000	DL(+0.000	DL(+0.000	DL(+0.000	DL(+0.000
기초조건		풍화암 (간출암)	풍화암 (간출암)	풍화토 및 연암	안산암 (급경사)	경암(급경사)
총공사비		670,000,000	197,700,000	524,000,000	1,235,200,000	1,587,700,000

<표 2-1-7> 자켓식 등표 구조물의 설계 사례

항목		쌍정초	조도동방	출운초	복사초
구조형식	상부	콘크리트슬래브	콘크리트슬래브	콘크리트슬래브	콘크리트슬래브
	하부	자켓식	자켓식	자켓식	자켓식
파고(m)		12.70	12.56	11.50	10.00
주기(sec)		14.00	13.00	10.40	16.00
조류(m/s)		-	-	1.29	0.64
풍속(m/s)		50.00	28.70	27.30	30.00
해저면(m)		-	-5.90	-3.00	-6.00
설계조위(m)					
Approx. H.H.W		DL(+0.320	DL(+0.394	DL(+4.420	DL(+3.360
M.S.L		DL(+0.160	DL(+0.200	DL(+2.002	DL(+1.680
Approx. L.L.W		DL(+0.000	DL(+0.000	DL(+0.000	DL(+0.000
기초조건		현무암 (530kg/cm ²)	연암	경암(급경사	중경암
총공사비		1,907,000,000	830,000,000	1,326,000,000	2,000,000,000

제 2 절 국외 항로표지구조물 기술개발 현황

1. 일본의 등표 설치 및 유지관리 현황

일본은 1868년 明治維新 이후 등표, 등대 등의 항로표지시설의 시공이 본격적으로 이루어지기 시작하였다. 2006년 현재, 일본 전역에 설치된 등표의 갯수는 490기, 입표의 갯수는 40기로 파악되고 있다. 일본해상보안청(Japan Coast Guard)에서 항로표지시설의 설치 및 운영, 개·보수에 관한 사항등을 종합적으로 관리하고 있다.

최근 기상이변으로 인하여 50년 빈도 설계과 이상의 파가 자주 발생하고 있으며, 이로 인해서 등표의 전도가 발생하고 있는데 이는 2003년 태풍 매미 내습시 국내 상황과 유사한 것이다. 신설되는 등표 구조물에 대한 시공비는 대략 2억엔(한화 20억) 이상으로 책정되어 있다. 그러나 최근에는 일본 경제의 위축 등의 이유로 등표 신설계획이 없으며, 유지관리를 위한 예산확보에 치중하고 상태이다. 등표 구조물의 세굴은 한국과 마찬가지로 유지관리에 있어 중요한 사항이며, 세굴에 대한 체계적인 조사 지침보다는 등표구조물의 외관 및 기울어짐 등에 대한 주관적 판단을 근거로 정밀진단 및 보수보강 대책을 결정하고 있다.

일본의 설계 자료는 이미 국내 항로표지시설 설계시방서의 기초자료로 활용되고 있는 실정이며, 따라서 기존에 일본에서 적용되고 있는 유지 및 보수·보강 기법은 국내 등표의 유지관리에 적절하게 응용될 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 등표에 소규모 파력발전기 또는 조류발전기를 설치하려는 노력이 활발하게 진행되고 있는데, 이러한 점을 참고하여 향후 국내의 등표/등부표의 구조 형식에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 2-2-1> 知人礁 등표



<그림 2-2-2> 小湊港 등표



<그림 2-2-3> 安藝白石 등표의 보수보강 모습



<그림 2-2-4> 등부표에 설치된 조류발전장치

<그림 2-2-5> 小湊港 등표의 파력발전장치

2. 미국의 등표 설치 및 유지관리 현황

미국은 등대 및 등표를 모두 포함하여 468기의 항로표지시설을 운영하고 있으며, U.S. Coast Guard에서 항로표지시설의 설치 및 운영, 개·보수에 관한 사항등을 종합적으로 관리하고 있다. 해안선이 비교적 단순하고 대서양 및 태평양 등 대양에 직접 맞닿아 있어서 기설치된 등표의 개수는 국토의 크기에 비해서는 상대적으로 많지 않으며, 대개 동부 해안의 내만을 중심으로 등표가 많이 설치되어 있다. 우리나라 및 일본과는 달리 자켓식 또는 폴식 구조 형식의 등표가 많이 설치되었다.



Single wood pile



Battered pile dolphin



Multiple pile platform

<그림 2-2-6> 미국의 자켓식 및 폴식 등표 형태

1968년부터 20년에 걸쳐서 항로표지시설 무인화 및 표준화 사업 LAMP(Lighthouse Automation and Modernization Program)를 수행하여 현재 대부분의 등표가 무인화 상태로 관리되고 있다. 등표의 신설은 거의 이루어지지 않으며, 기설치된 등표의 유지관리 업무에 주로 치중하고 있다. 최근에는 역사가 오래된 등대 및 등표의 문화재로서 가치를 유지·보존하기 위하여 상당한 노력을 기울이고 있다.

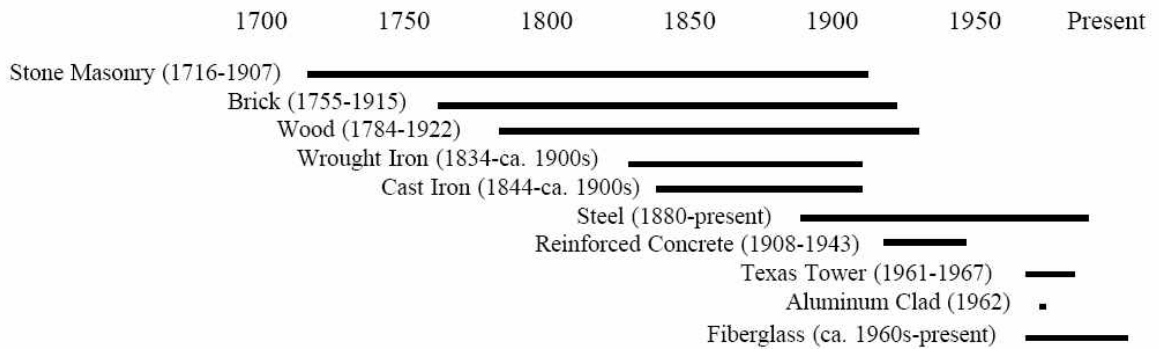


<그림 2-2-7> Thomas point shoals lighthouse
(1825년 설립)



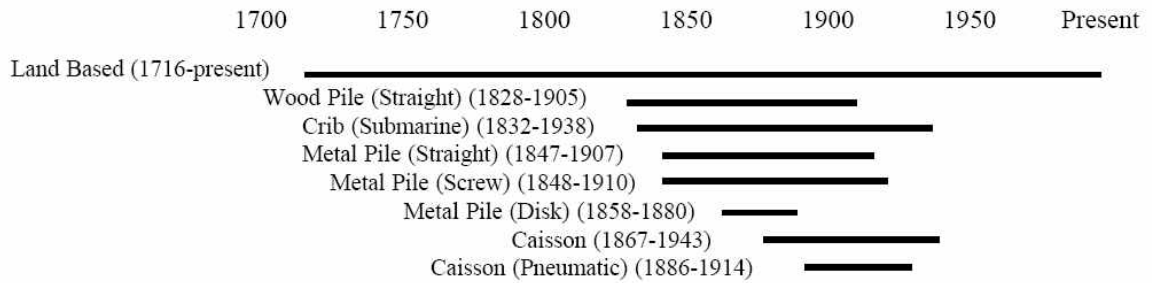
<그림 2-2-8> Portland head lighthouse
station (1820년 설립)

등표의 시공 재료는 <그림 2-2-9>에 보인 바와 같이 초기에는 석조나 벽돌, 나무 등이 많이 쓰였고, 그 이후에는 철, 콘크리트, 알루미늄, 유리 섬유 등의 순으로 발전해왔다.



<그림 2-2-9> 미국의 등표 시공 재료의 변천

한편, 등표 기초의 시공 방법도 시대에 따라 조금씩 변화해왔는데, 최근에는 <그림 2-1-11> 및 <그림 2-2-12>와 같은 케이슨식 또는 자켓 구조물 형식의 타워식 등표가 주로 설치되었다.



<그림 2-2-10> 미국의 등표 기초 시공 방법의 변천



<그림 2-2-11> Sabine bank lighthouse



<그림 2-2-12> Chesapeake light station

3. 국외 항로표지구조물 관련 특허

가. 특허조사 개요

국외 항로표지구조물 관련 특허는 특허 검색 프로그램인 Aureka를 통해 조사하였다. Aureka는 Thomson Reuters 사에서 개발한 특허 검색 전문 프로그램으로 미국·유럽·일본의 특허정보를 DB화하여 제공하며, 이를 통해 제품개발 전략수립 및 R&D 생산성 향상 등에 도움을 얻을 수 있다. Aureka 솔루션은 텍스트 방식에 의한 특허정보와 함께, 저널 기사·설계도·상표·저작권 등과 관련된 자료까지 검색할 수 있으며, 특정 기술의 개발 방향을 파악할 수 있도록 한다.



<그림 2-3-1> Aureka 특허 검색 화면

나. 조사 방법

■ DB

- US, EP, JP, WO

■ Keywords

- Beacon & Foundation
- Beacon & Reef
- Beacon & Structure

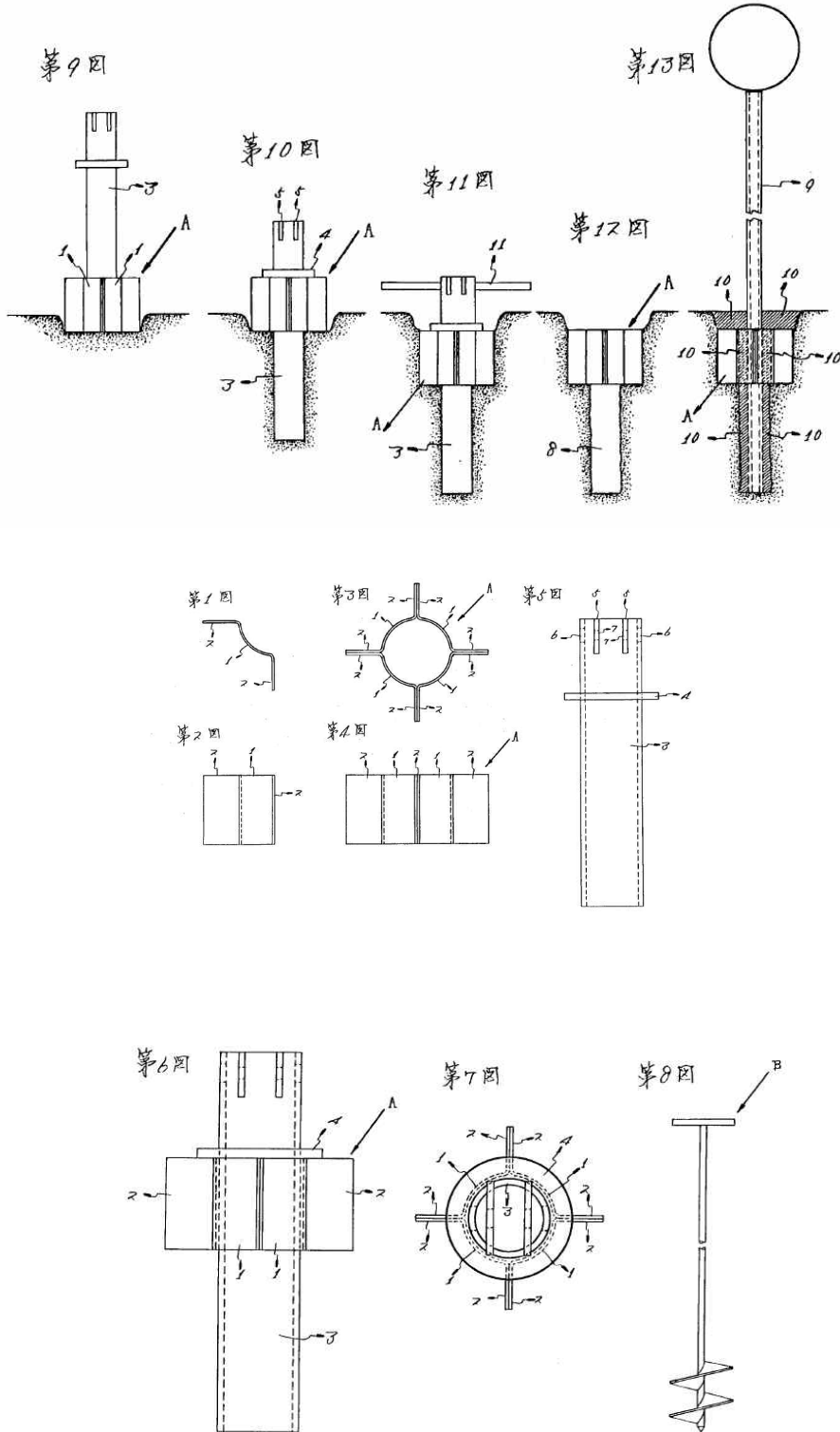
- Beacon & Offshore
- Aids to Navigation & Foundation
- Aids to Navigation & Reef
- Aids to Navigation & Structure
- Aids to Navigation & Offshore

■ Search Field

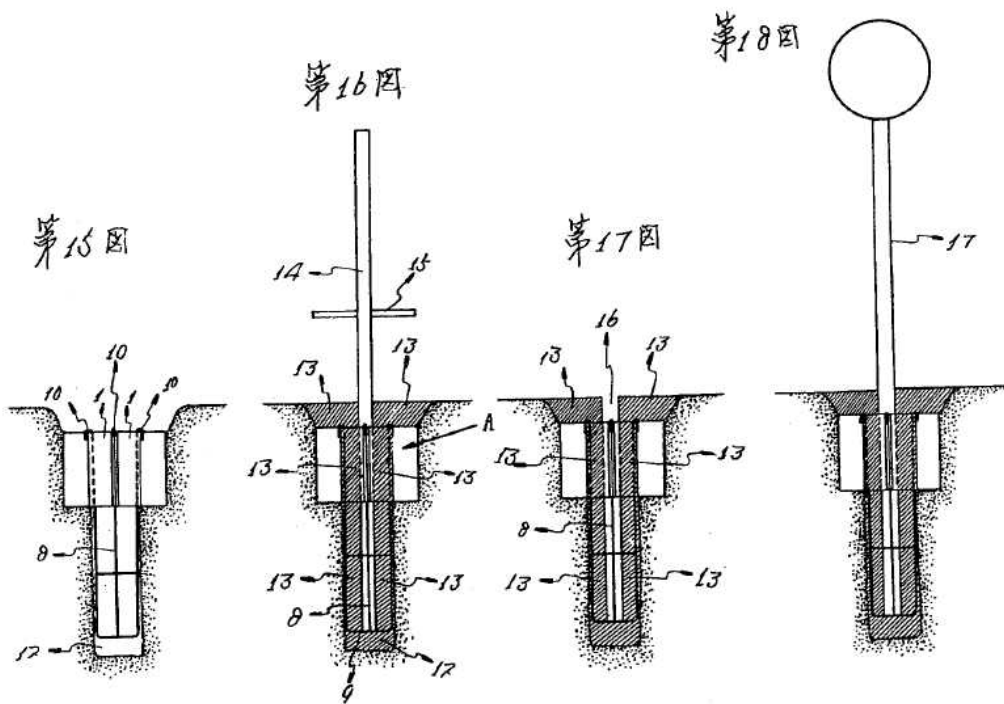
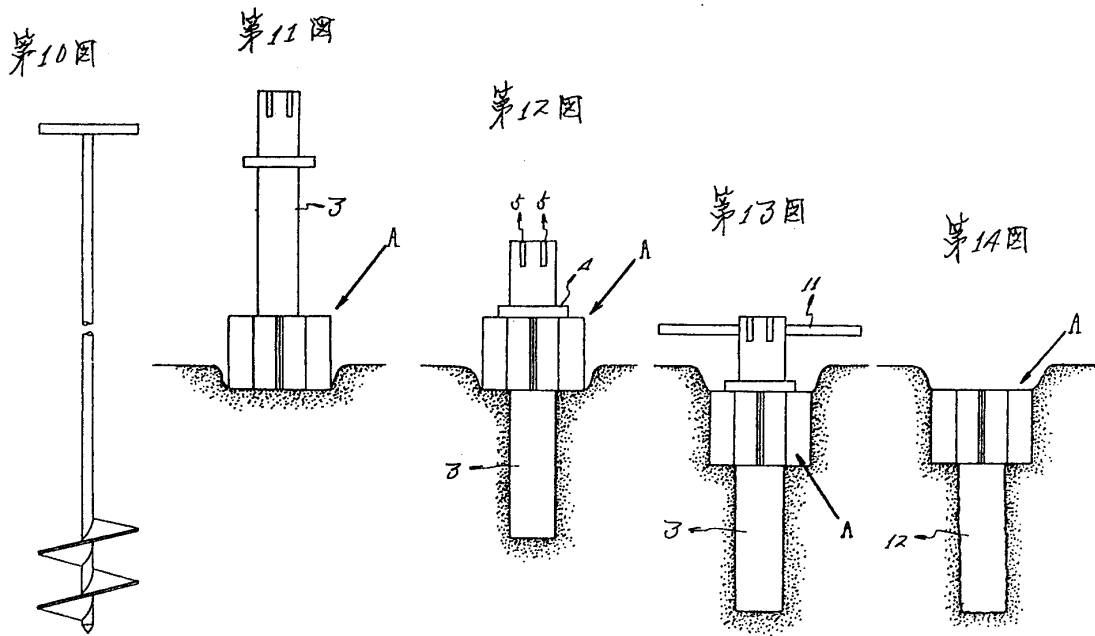
- Claims, Title, Abstract

다. 조사 결과

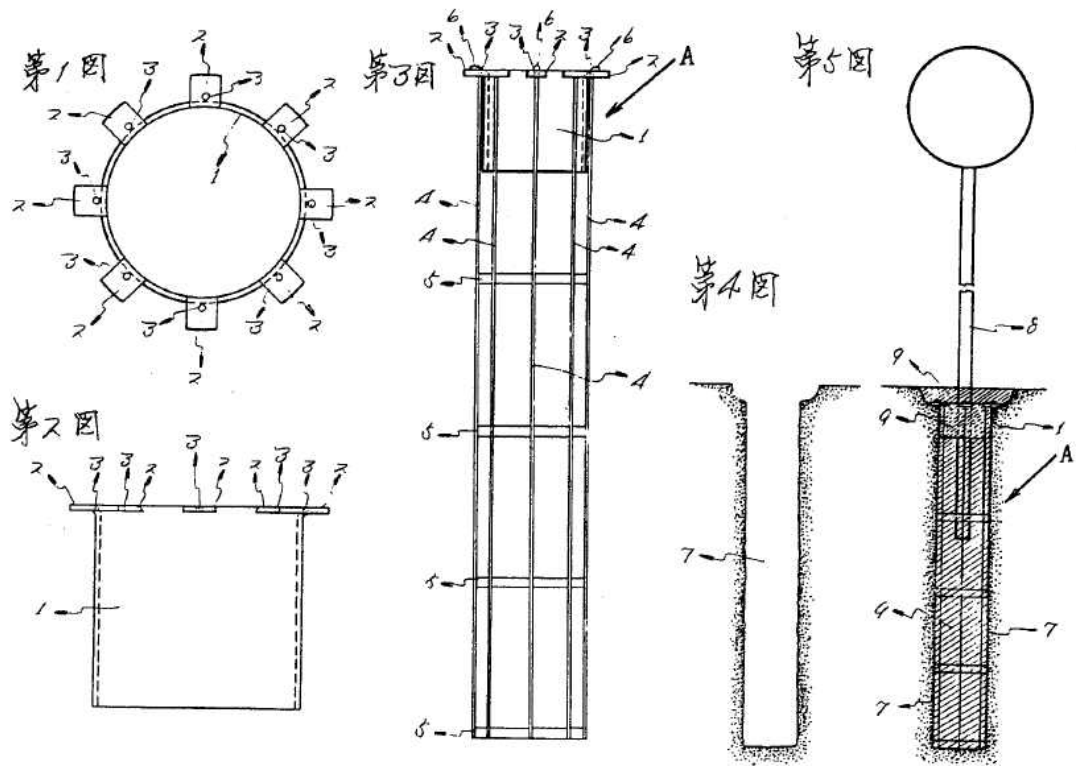
항로표지구조물에 관련된 특허는 많은 수가 검색되었으나, 그 중 대부분은 등명기, 전원공급 시스템 또는 항해 시스템(navigation)에 관한 것이었으며 항로표지구조물의 형식에 관한 특허의 수는 많지 않았다. 그 중에서 항로표지구조물의 기초 설계 및 시공에 직접적으로 관련된 특허 4가지의 내용을 이후에 소개하였다.



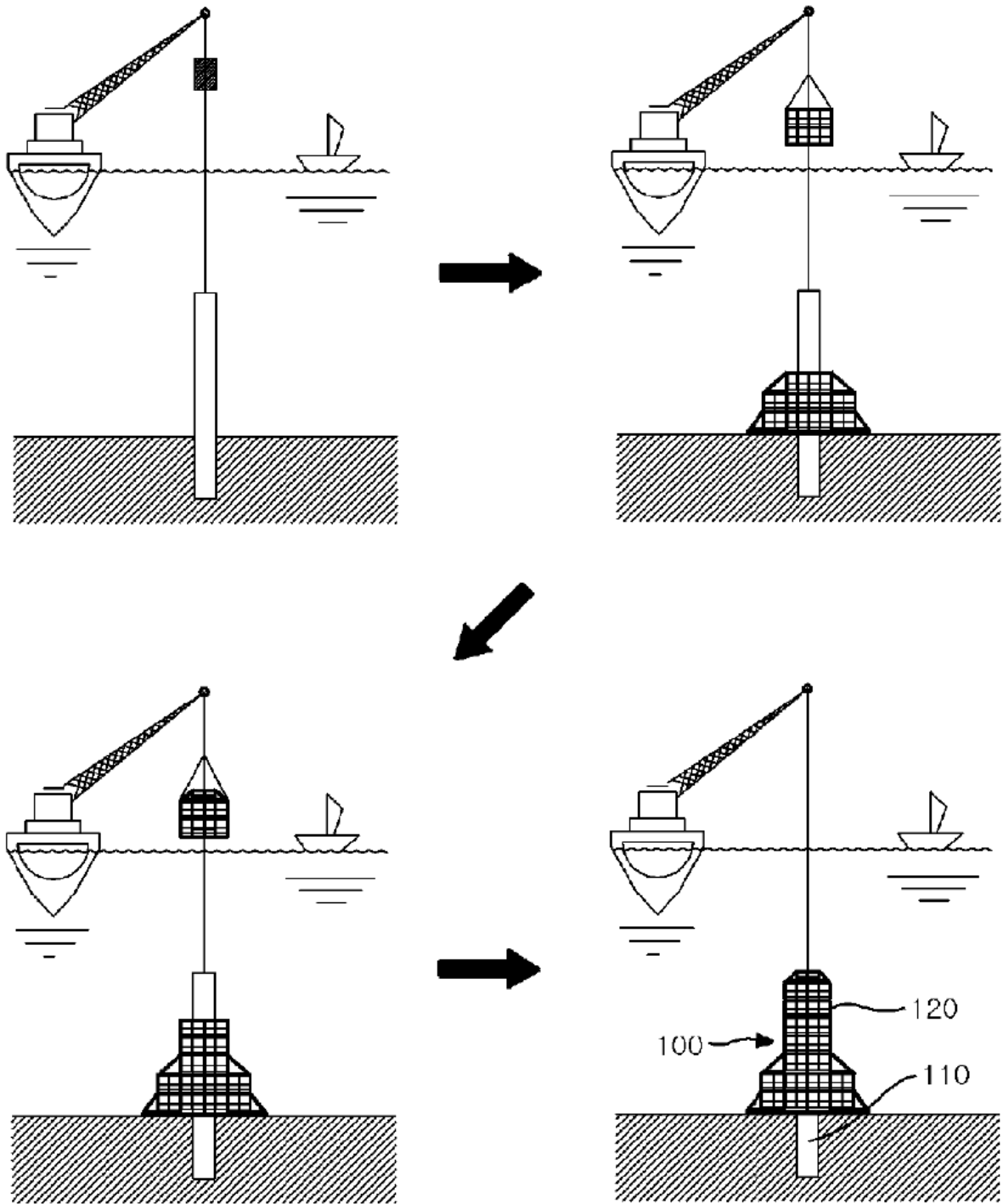
<그림 2-3-2> 등표 폴(pole)의 직립 방법에 관한 특허(JP1984091203A)



<그림 2-3-3> 등표 폴(pole)의 기초 조성 방법에 관한 특허(JP1984096311A)



<그림 2-3-4> 등표 폴(pole)의 기초 조성 방법에 관한 특허(JP1984106608A)



<그림 2-3-5> 해양 파일구조물의 해저 고정 방법에 관한 특허(WO2008060070A1)

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 개요

본 장에서는 “첨단 항로표지 수중구조물 기술개발”과제의 주요 연구내용을 제시하였으며, 세부 연구내용은 다음과 같이 정리하여 나타내었다.

- 제 1 절 개요
 - 3장의 개요와 구성에 관하여 소개하였다.
- 제 2 절 기존등표의 현장조사 및 세굴원인 분석
 - 기초 세굴이 발생한 등표에 대한 현지 실태조사 내용을 소개하고, 등표구조물의 파손 형태 별 원인을 분류하여 나타내었다. 단, 본 절에서는 2차년도 사업기간 동안 현지 실태조사가 이루어진 등표에 대한 현장조사 내용만을 상술하였고, 전 사업기간 동안 수행된 실태조사 내용은 부록A에 정리하였다.
- 제 3 절 등(입)표 기초의 설계지침
 - 현재 ‘항만 및 어항 설계기준’ 및 ‘항로표지업무편람’에 수록된 등(입)표 기초의 설계 기준에 관하여 설명하고, 보완 방안을 제시하였다.
- 제 4 절 등(입)표의 안전점검 및 보수보강
 - 현재 등(입)표에 대한 체계적인 안전점검 및 보수보강 지침이 미비되어 있기 때문에 이에 대한 지침을 마련하였다. 이 지침은 ‘항만 구조물 중력식 안벽 및 외곽시설 안전점검 및 보수보강 표준지침서’를 비롯하여 기존의 다른 항만 시설물들의 현장점검 및 안전진단, 보수보강 지침을 토대로 작성하였다.
- 제 5 절 신형식 항로표지 수중구조물 개발
 - 본 연구개발사업에서 새롭게 개발된 비굴착 중력식 등표와 파일데크식 등표의 설계 개념을 소개하고 수리모형실험을 통한 시공성 및 수리특성 평가 결과를 제시하였다.
- 제 6 절 상시진동계측에 의한 기초세굴평가기법 개발
 - 상시진동 계측 시스템을 이용하여 등표 구조물의 구조적 건전성 및 세굴 정도를 파악할 수 있는 시스템 개발에 관해서 설명하였다.

제 2 절 기존 등표의 현장조사 및 세굴원인 파악

1. 기초세굴 등표에 대한 현지 실태조사

각 지방청 별로 보고된 등표 구조물의 피해 발생 현황 자료를 입수하여 피해 발생이 보고된 등표 구조물을 중심으로 현지 실태조사를 실시하였다. 현지 실태조사가 이루어진 등표에 대해서는 등(입)표 현장조사기록표(Checklist)를 작성하였으며, 이를 부록A에 정리하여 제시하였으며, 본 절에서는 2차년도 사업 기간 중 정밀조사가 이루어진 세 개 등표에 대한 조사결과의 주요 내용만을 요약하였다.

가. 서포리 남방등표 수중조사

서포리 남방등표는 현재 한쪽으로 심하게 기울어 있는 상태이며, 이에 따라서 2009년에 보수 보강 계획이 추진중에 있다. 현재 국내에 설치된 등표 중에서 서포리 등표의 손상 및 기초 세굴 상태가 가장 심각하다고 판단되어 수중 정밀조사를 수행하였다.



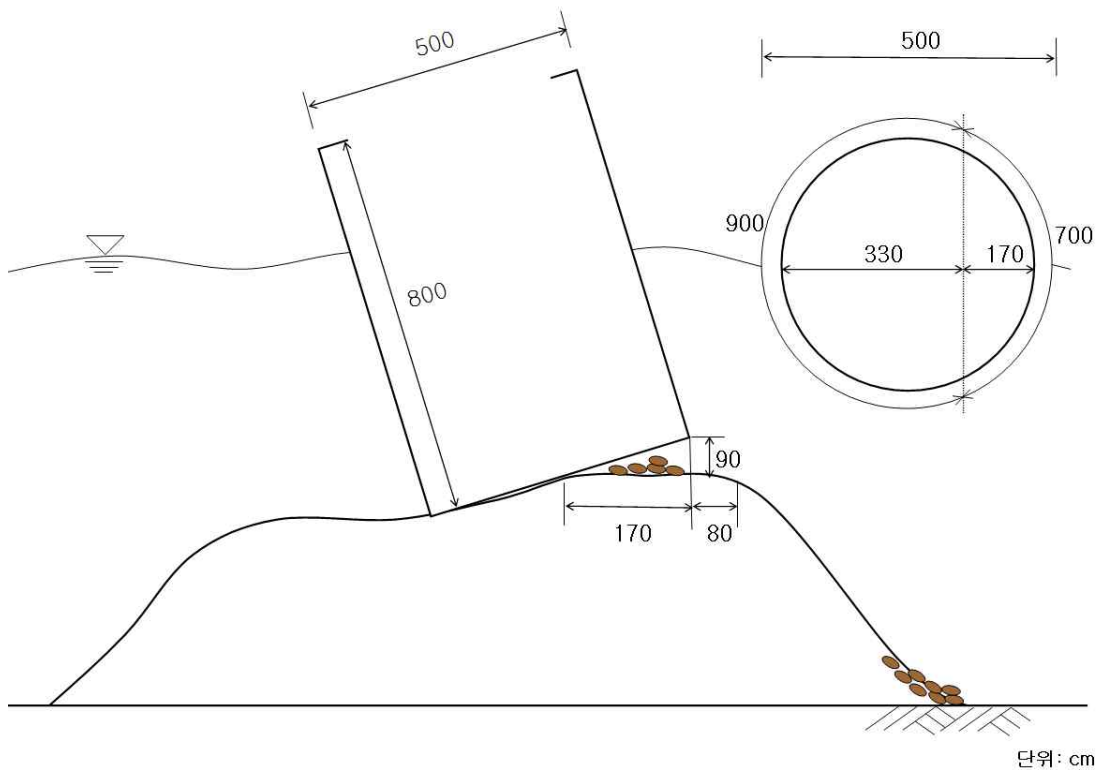
<그림 3-2-1> 서포리 등표의 모습

서포리 남방등표는 1차년도 사업 기간 동안에 이미 3차례 현지 조사를 수행하여 육안 관찰 및 수중 비디오 촬영을 실시한 바 있다. 2차년도 사업 기간 동안에도 2차례 현장을 답사하여 수중 정밀조사를 수행하였다. 특히, 2009년에 이 등표의 보수·보강이 추진되고 있으므로 단순

한 세굴조사 뿐만 아니라 조사 결과가 보수·보강에 활용될 수 있도록 하는데 초점을 맞추어 정밀조사를 수행하였다.

<그림 3-2-1>에 보인 것처럼 이 등표 구조물의 한쪽은 약 0.9~1.0 m 정도 암반으로부터 떠 있는 상태이며, 등탑은 약 7.5° 기울어 있는 것으로 조사되었다. 특히 등표 기초가 떠 있는 부분의 경우, 수평 여유공간은 약 50 cm에 불과하며, 수심이 더 깊은 곳까지 급경사면으로 이어진다.

또한, 암 굴착시 여굴로 인해서 굴착면의 요철이 매우 심하며, 그 사이 공간을 사석이 메우고 있어서 절개면이 평탄하게 유지되고 있음을 확인하였다. 특히 사석 사이사이로 콘크리트 몰타르가 침투되지 않아서 등표구조물 기초와 암반은 일체화되지 않고 분리되어 있는 상태를 알 수 있었다.

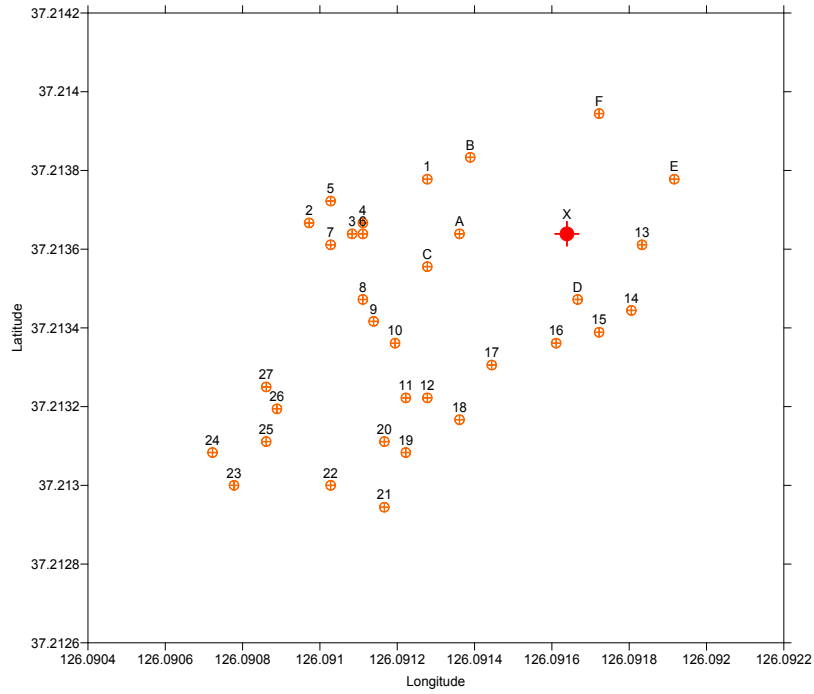


<그림 3-2-2> 수중 정밀조사를 통해 파악된 서포리 등표의 현재 상태

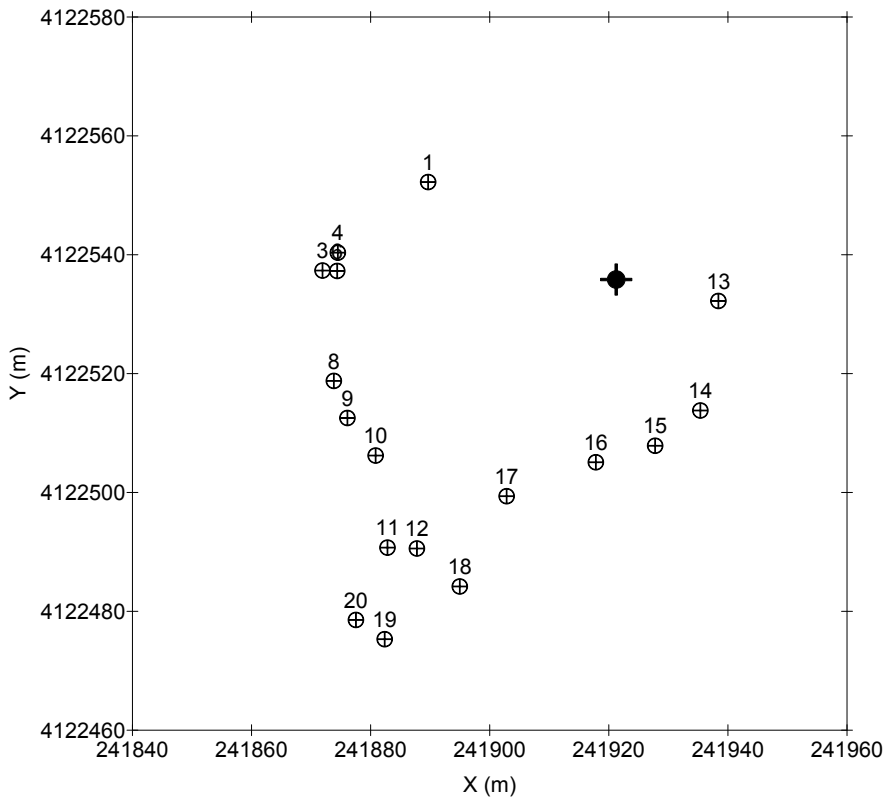
한편, 추후 보수·보강 작업 등을 염두에 두고, 등표구조물이 위치한 암반의 둘레를 측정하였다. 아래 <표 3-2-1>에 측정 위치의 좌표, 등표로부터의 거리 및 수심을 표시하였고, 그 결과를 <그림 3-2-3>과 <그림 3-2-4>에 도시하였다.

<표 3-2-1> 수중 측정점의 위치별 거리 및 수심

No	X (도-분-초)	Y (도-분-초)	거리 (m)	수심 (m)	No	X (도-분-초)	Y (도-분-초)	거리 (m)	수심 (m)
1	37-12-49.6	126-05-28.6	30	15.6	18	37-12-47.4	126-05-28.9	60	16
2	37-12-49.2	126-05-27.5	50	29.2	19	37-12-47.1	126-05-28.4	70	11.5
3	37-12-49.1	126-05-27.9	44	27.3	20	37-12-47.2	126-05-28.2	68	19.2
4	37-12-49.2	126-05-27.6	50	27.7	21	37-12-46.6	126-05-28.2	86	21.6
5	37-12-49.4	126-05-28.0	42	29	22	37-12-46.8	126-05-27.7	86	27
6	37-12-49.1	126-05-27.7	44	26.7	23	37-12-46.8	126-05-26.8	104	10.2
7	37-12-49.0	126-05-28.0	38	25.1	24	37-12-47.1	126-05-26.6	102	26.2
8	37-12-48.5	126-05-27.7	48	27.8	25	37-12-47.2	126-05-27.1	86	26.8
9	37-12-48.3	126-05-28.1	44	21	26	37-12-47.5	126-05-27.2	78	13.6
10	37-12-48.1	126-05-28.3	46	19.5	27	37-12-47.7	126-05-27.1	76	34.1
11	37-12-47.6	126-05-28.4	60	15.4	A	37-12-49.1	126-05-28.9	20	13.6
12	37-12-47.6	126-05-28.6	52	16.9	B	37-12-49.8	126-05-29.0	20	7.8
13	37-12-49.0	126-05-30.6	22	19.2	C	37-12-48.8	126-05-28.6	26	6.1
14	37-12-48.4	126-05-30.5	30	18.2	D	37-12-48.5	126-05-30.0	22	11.6
15	37-12-48.2	126-05-30.2	30	17.7	E	37-12-49.6	126-05-30.9	28	18.4
16	37-12-48.1	126-05-29.8	32	13.8	F	37-12-50.2	126-05-30.2	26	17.1
17	37-12-47.9	126-05-29.2	42	12.8		37-12-49.1	126-05-29.9	등표	



<그림 3-2-3> 수중 측정점의 경·위도 좌표



<그림 3-2-4> 수중 측정점을 직교좌표로 변환한 후의 좌표

나. 여초 등표 현지조사

여수청 관할 여초 등표에 대한 현지조사를 2008년 6월 25일에 실시하였다. <그림 가-5>부터 <그림 3-2-5>에 현장 조사 사진을 제시하였다.



<그림 3-2-5> 여초 등표 현장조사 사진 - 등표 전경



<그림 3-2-6> 여초 등표 현장조사 사진 - 좌표 계측



<그림 3-2-7> 여초 등표 현장조사 사진 - 등표기울기 계측



<그림 3-2-8> 여초 등표 현장조사 사진 - 세굴상태(남향)



<그림 3-2-9> 여초 등표 현장조사 사진 - 세굴상태(북향)



<그림 3-2-10> 여초 등표 현장조사 사진 - 세굴상태(확대)

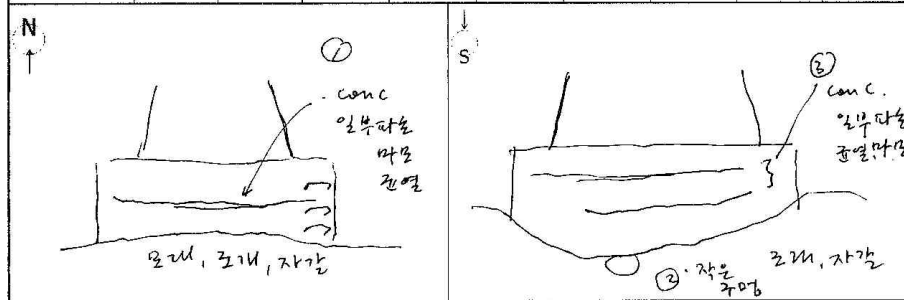
한편, <그림 3-2-11>에는 현장조사 결과를 정리한 현장조사 기록표(Checklist)를 제시하였다. 여초등표는 등표 기초 일부가 마모 또는 파손되기는 하였지만, 구조물의 안정성을 위협할만한 세굴은 발생하지 않은 것으로 평가되었다.

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명: 여초등표 조사일자: 2008. 6. 25. 쪽 번호: /

담당자: 책임자: 관리기관: 여수해양환경연구소

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
각도	34°	41.281N		127°	41.939E				
①						√(2)			
②				√		(conc. 일부 훼손)		√	√(2)
③						√(2)			(콘크리트 일부 파임)
④	S	0°				(conc. 일부 훼손)			
⑤	E	0°							
* 등표 주변 모래, 자갈, 조개가 쌓여 있어서 정확한 기초세굴은 평가하기 어려움.									



1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

<그림 3-2-11> 여초 등표 현장조사 기록표

다. 작은구들돌 등표 현지조사

인천청 관할 작은구들돌 등표에 대한 현지조사를 2008년 6월 12일에 실시하였다. 작은구들돌 등표는 <그림 3-2-12>에 보인 것처럼 등표의 기초 세굴 및 손상이 심각하였으나, 최근에 새롭게 보수·보강을 시행하였으며 현장 조사는 보수·보강이 이루어진 후에 실시하였다. 금회 현장조사 시의 모습을 <그림 3-2-13> 및 <그림 3-2-14>에 제시하였다.



<그림 3-2-12> 보수·보강 전 작은구들돌 등표의 현장사진



<그림 3-2-13> 보수·보강 후 작은구들돌 등표 현장조사 사진 1



<그림 3-2-14> 보수·보강 후 작은구들돌 등표 현장조사 사진 2

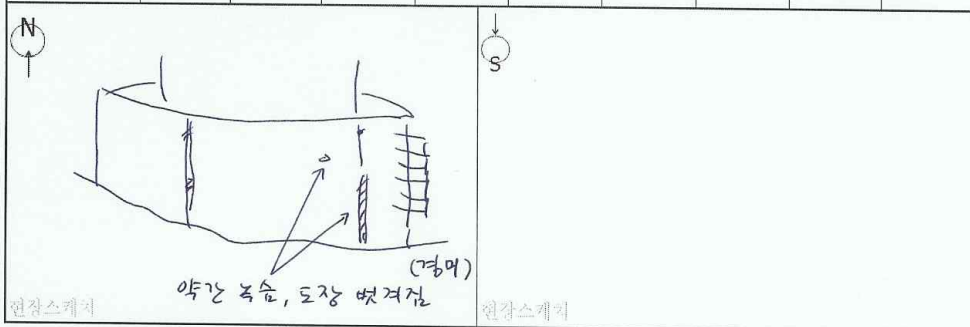
<그림 3-2-15>에는 작은구들돌 등표에 대한 현장조사 결과를 정리한 현장조사 기록표 (Checklist)를 제시하였다. 이 등표구조물 기초부는 조사항목에 해당하는 손상이 발생하지 않은 것으로 평가되었다.

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 작은구들돌등표 조사일자 : 2008 . 6. 12. 쪽 번호 : 1

담당자 : _____ 책임자 : _____ 관리기관 : 인천해양항만청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
좌 등	37°	40'	16" N						
	126°	23'	17" E						
* 주민의 다른 사항 없음.									





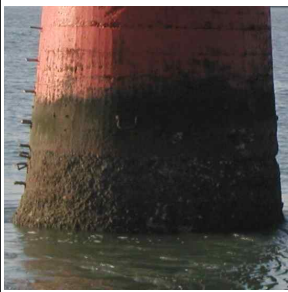


1. 결함이 발생한 조사부위단을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

<그림 3-2-15> 작은구들돌 등표 현장조사 기록표

2. 등표 구조물 파손 형태와 발생원인

부록 A의 현장조사기록표(checklist)에 제시된 바와 같이 연구 사업 수행 기간동안 수행된 기초세굴 등표의 현지 실태조사 결과로부터 등표 구조물의 파손 형태와 그 발생원인을 다음 2개의 표에 정리하여 나타내었다.

<표 3-2-2> 등표의 파손형태

경사	활동	세굴	균열
 <ul style="list-style-type: none"> • 등탑부의 회전 • 기초부의 기울어짐 • 기초 침하 	 <ul style="list-style-type: none"> • 등탑 횡방향 이동 • 기초의 횡방향 이동 • 등(입)표 위치 변경 	 <ul style="list-style-type: none"> • 기초와 모암의 이격 • 기초 콘크리트 손상 • 모암 손상 / 탈락 	 <ul style="list-style-type: none"> • 등탑의 균열 • 기초 블록의 균열 • 콘크리트 균열
마모/침식	박리/탈락	유실	파손
 <ul style="list-style-type: none"> • 부유물 충돌 • 콘크리트 표면 마모 • 각종 부재 침식 	 <ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 피복 탈락 • 철근 노출 • 균열 손상 	 <ul style="list-style-type: none"> • 등탑 유실 • 콘크리트 블록 유실 • 전체 유실 	 <ul style="list-style-type: none"> • 등탑 파손 • 콘크리트 블록 파손 • 기초 블록 파손

<표 3-2-3> 등표 파손 형태와 발생원인

손상형태 \ 발생원인	기초 콘크리트 침식	기초 암반 파손	암반 세굴	콘크리트 염해	철근 부식	동결 융해	기초 전단 파괴	파랑 작용	선박 충돌	기타
경사	●	●	●				●		●	
활동		●					●		●	
세굴	●	●	●							
균열	●			●	●	●	●			
마모/침식				●		●		●	●	
박리/탈락	●			●	●	●	●			
유실	●			●	●	●				
파손	●			●	●	●	●			

제 3 절 등(입)표의 기초 설계지침

1. 기존 설계 지침

가. 개요

현재 등표 및 입표 기초의 설계는 '항만 및 어항 설계기준(해양수산부, 2005)'과 '항로표지업무편람(해양수산부, 2006)'에 따라 이루어지고 있다. 등(입)표에 대한 독립적인 설계지침은 마련되어 있지 않으며, 상기 설계기준이나 지침에서 언급된 내용은 대부분이 중력식 기초에 대한 내용이며 다른 항만구조물의 설계 지침과 비교하여 허술한 점이 많은 것이 현실이다. 이번 연구에서는 등(입)표 기초에 대한 설계기준(안)을 마련하기 위하여 기존 설계기준에 대한 분석과 보완방안을 제시하였다. 또한 최근 등(입)표의 설계에 중력식 기초뿐만 아니라 말뚝식 기초가 반영되고 있고, 다양한 신형식 기초에 대한 연구가 진행되고 있기 때문에 이에 대한 설계의 기준을 마련하고자 하였다.

나. 항만 및 어항 설계기준(해양수산부, 2005)

'항만 및 어항 설계기준'에서는 등(입)표 기초에 대한 설계기준은 '제13편 항로표지시설'에 제시되어 있는데, 대부분이 설계하중 산정에 대한 것이며, 기초의 지지력을 산정하는 방법으로 지반의 종류에 따라 허용지내력 도표를 제시하는 것이 전부이다. 그런데 여기에서 제시된 몇 가지 기준은 '항만 및 어항 설계기준'의 전편에서 제시하고 있는 기준과 일치하지 않는 문제점이 있다. 실제 설계기준 '제13편 항로표지시설'에 수록된 지진하중 산정 방법은 '제2편 설계조건'에서 제시된 지진하중 산정방법과 맞지 않는다. 또한 이것은 '항만 및 어항의 내진설계표준서(해양수산부, 1999)'에도 부합하지 않는 기준이다.

'제13편 항로표지시설'에서는 기초의 지지력을 다음 표와 같이 지반의 종류에 따른 허용지내력으로 제시하고 있으나, 이것도 설계기준 '제4편 기초'에서 제시하고 있는 얇은 기초의 지지력 산정방법에 부합하지 않는다.

다음은 설계 기준 '제13편 항로표지시설'에 제시된 등(입)표의 지진하중 산정방법을 정리한 것으로 수정이 필요한 부분이다.

$$E = K \cdot N \quad (3.3.1)$$

$$K = K_A \cdot K_B \cdot K_C \quad (3.3.2)$$

여기서, E : 지진력(t)
K : 수평진도
N : 지반면에 있어서의 자중
K_A : 지반계수

K_B : 지역별 진도

K_C : 높이계수

<표 3-3-1> 지반별 계수 및 높이 계수

	허용지내력도(t/m^2)	지반별계수(K_A)	구조물높이(m)	높이계수(k)
단 가	$f_e > 200$	0.9	지반면 ~ 10m	1.0
	$200 \geq f_e > 10$	1.0	10 ~ 20m	1.1
	$f_e \leq 10$	1.2	20m 이상	1.2

또한 다음 표는 등(입)표의 기초설계에서 제시된 지반의 허용지내력도이며 역시 수정 보완이 필요한 부분이다.

<표 3-3-2> 지반의 허용지내력도(단위 : t/m^2)

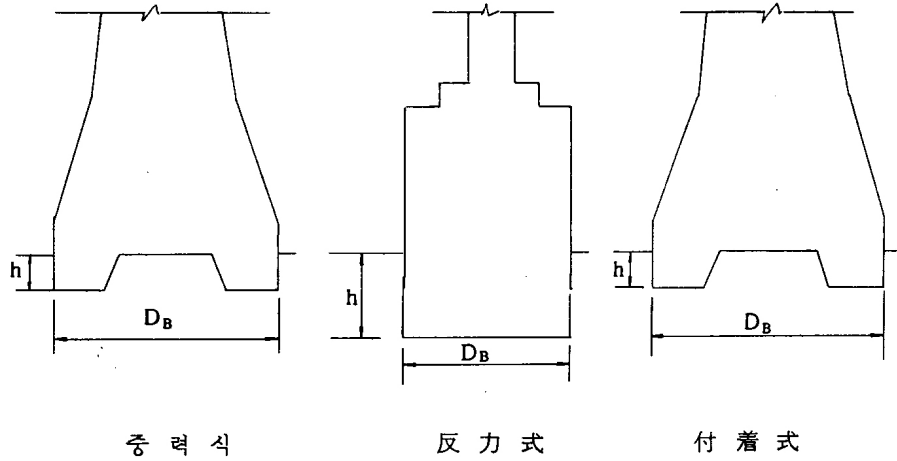
지 반		허용지내력도 (장기)	허용지내력도 (단기)
경 반 암	화강암, 석록암, 편마암, 안산암, 화성암 및 굳은 역암 등의 암반	400	장기응력에 대한 1.5배로 한다.
연 암 반	관암, 편암등의 수성암의 암반	200	"
	혈암, 토단반 등의 암반	100	"
자 갈		30	
자갈과 모래섞인 혼합물		20	
모래섞인 점토 또는 립층		15	
모래 또는 점토		10	

다. 항로표지업무편람(해양수산부, 2006)

등(입)표의 설계기준이 제시된 '항로표지업무편람(해양수산부, 2006)'에서는 등(입)표의 기초를 중력식, 반력식, 부착식으로 구분하여 안정성 평가 기준을 제시하고 있다. 중력식은 외력의 휨모멘트에 대해서는 자중으로 수평력에 대해서는 저면 마찰로서 안정을 유지하는 형식으로 정의하고 있으며, 반력식은 지반 내에 기초를 깊이 매몰하여 측면반력, 저면반력에 의해서 안정을 유지하는 형식으로 정의하며, 부착식은 지반 내에 기초를 얇게 매몰하여 측면부착력, 저면반력에 의해서 안정을 유지하는 형식으로 정의한다. 각 형식은 매몰깊이 h 와 기초 경 D_B 와의 비 h/D_B 가 다음 표의 값을 만족하여야 한다. 또한 기초형식의 선정에 있어서는 자반의 강도, 등탑의 규모, 외력의 대소, 시공성 등을 고려하여 안정되고 경제적인 형식을 채택하는 도표를 제시하고 있다.

<표 3-3-3> 매물깊이 h와 기초지름 DB의 비

기초의 형식	h / D_B
중력식	0.1 이하(sliding을 방지할 정도)
부착식	0.1~0.3
반력식	0.3 이상



<그림 3-3-1> 기존의 중력식 기초 형태

<표 3-3-4> 기초형식의 선정기준

기초의 형식	중력식	반력식	부착식
조건			
지반 외력	토사 연암 적 음	보통 암 큼	경암 큼
등탑의 규모	적 음	큼	보통
시공의 난이도	용이함	난이함	보통

일반적으로 기초와 하부 암초의 부착력을 증가시키기 위해 설치하는 봉강은 설계에 반영하지 않는 것으로 명시되어 있다.

각 형식에 대한 전도와 활동에 대한 안정성을 평가하는 방법을 제시하고 있으며, 침하에 대한 검토는 지지력 검토 방식을 도입하여 제시하고 있다.

2. 설계 지침 보완 내용

가. 기본 개념

등(입)표의 설계지침(안)의 작성기준은 다음과 같은 설계지침을 일관성있게 준용하는 것을 원칙으로 하였다.

- '항만 및 어항 설계 기준(해양수산부, 2005)'의 설계 기법 준용
 - 얕은 기초의 지지력 산정 기법
 - 안정성 평가 기법
 - 말뚝 기초의 연직 및 횡방향 지지력 산정 기법 적용
- '항만 및 어항시설의 내진설계표준서(해양수산부, 1999)'
 - 내진설계 기준 준용
- '도로교 시방서 - 하부기초편'
 - 'Foundations on Rock' 해석 기법 적용
- 지보재(앵커 철근 및 선행 긴장 앵커 부재) 설계 반영

나. 설계 지침 보완 내용

(1) 외력 계산

설계 하중인 풍하중, 파랑하중 등은 '항만 및 어항 설계기준' 준용하였으나, 지진하중은 '항만 및 어항 설계기준'의 '제2편 설계조건', '제12장 지진 및 지지력'과 '항만 및 어항의 내진설계표준서'에 제시된 등가정적해석법을 적용하여 산정한다.

$$\text{지지력} = \text{자중} \times \text{지진계수}$$

$$\text{여기서, 지진계수} = \text{지역별 진도(구역계수)} \times \text{지반종별 증폭계수}$$

지반종별 증폭계수는 지반조건에 따른 지진응답해석을 수행하여 결정하는 것이 원칙이나, 소규모 시설이나 부득이한 경우에는 지반별 지진계수 C_a 를 이용하여 보통암(S_B)에 대한 값을 적용한다.

<표 3-3-5> 지진별 진도

(a) 지진구역 구분

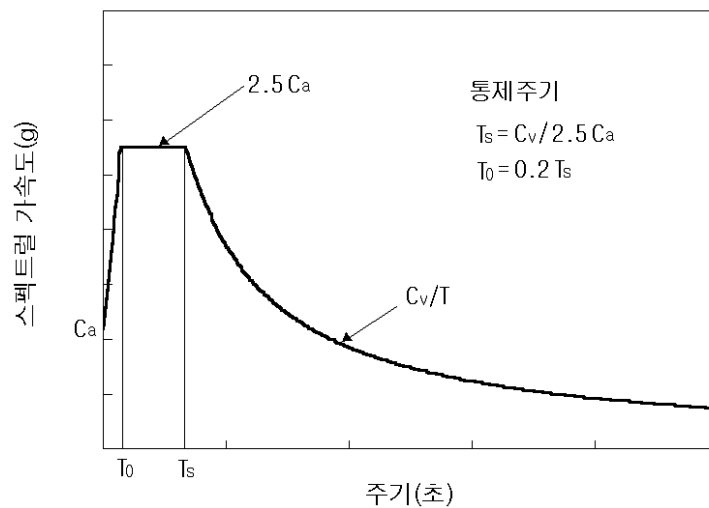
지진구역	행정구역	
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 동북부
II	도	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도

(b) 지진구역 계수

지진구역	I	II
구역계수, Z(g값)	0.11	0.07

<표 3-3-6> 지진계수, C_a (재현주기 500년 해당)

지반종류	지진구역	
	I	II
S_A	0.09	0.05
S_B	0.11	0.07
S_C	0.13	0.08
S_D	0.16	0.11
S_E	0.22	0.17



<그림 3-3-2> 표준설계응답스펙트럼

(2) 안정성 평가

안정성 평가는 지지력, 활동, 전도에 대하여 검토한다. 중력식 기초와 말뚝식 기초에 대한 검토를 수행하며, 말뚝식 기초와 자켓식 기초는 말뚝의 횡방향 지지력 검토와 근입깊이 산정 및 말뚝 휨모멘트 산정을 통한 부재설계로 이루어지며, 중력식 기초는 기존의 활동과 전도에 대한 검토를 수행한다.

지지력과 활동, 전도에 대한 안전율을 기존의 방과제에서 사용하는 안전율 1.2보다 높게 설정한 것은 압초의 강도를 엄밀하게 측정하지 못하는 현실적인 면과 다른 항만구조물과 달리 독립 구조형태로 상부 구조물을 지지하는 형태이기 때문에 작용 하중과 저항력의 산정이 불확실성이 크다고 보았기 때문이며, 설계 사례와 시공사례가 축적되어 작용 하중이나 저항력 산정에 신뢰성이 높아진다면 안전율을 1.2로 낮출 수 있다.

중력식 등(입)표의 지지력 계산은 '항만 및 어항 설계기준' '제4편 기초'와 '도로교 시방서'의 '5.6 직접기초의 설계'에서 제시된 지지력 평가 기법 의거(암반 위에 놓인 기초의 설계 기법 적용)하여 산정하며, 말뚝식 등(입)표의 지지력은 '항만 및 어항 설계기준' '제4편 기초'에서 제시한 연암에 설치된 말뚝의 연직지지력 공식 적용하며, 주변마찰력 고려하지 않는다.

말뚝의 횡방향 지지력은 지반반력법인 Chang 방법을 적용하여 산정하며, 말뚝 근입깊이는 횡방향 모멘트의 중심이 되는 중립점을 최소 근입깊이로 사용한다.

인발부재로 사용하는 앵커는 앵커의 매입 깊이(자유장), 허용 인발하중, 정착장, 강선의 수에 대한 검토를 수행하여야 한다. 인발 하중에 대한 정착부가 형성하는 썰기가 저항력을 충분히 발휘하여야 하므로 이에 대한 검토를 수행하여야 하며, 정착부의 주변 마찰력이 인발하중보다 충분히 커야 하며, 인발하중에 의해 인발 부재인 강선이 절단되지 않도록 검토하여야 한다.

상세한 설계지침은 부록 D를 참조한다.

제 4 절 등(입)표의 안전점검 및 보수보강

가. 등(입)표 현장 안전점검 지침(안) 작성

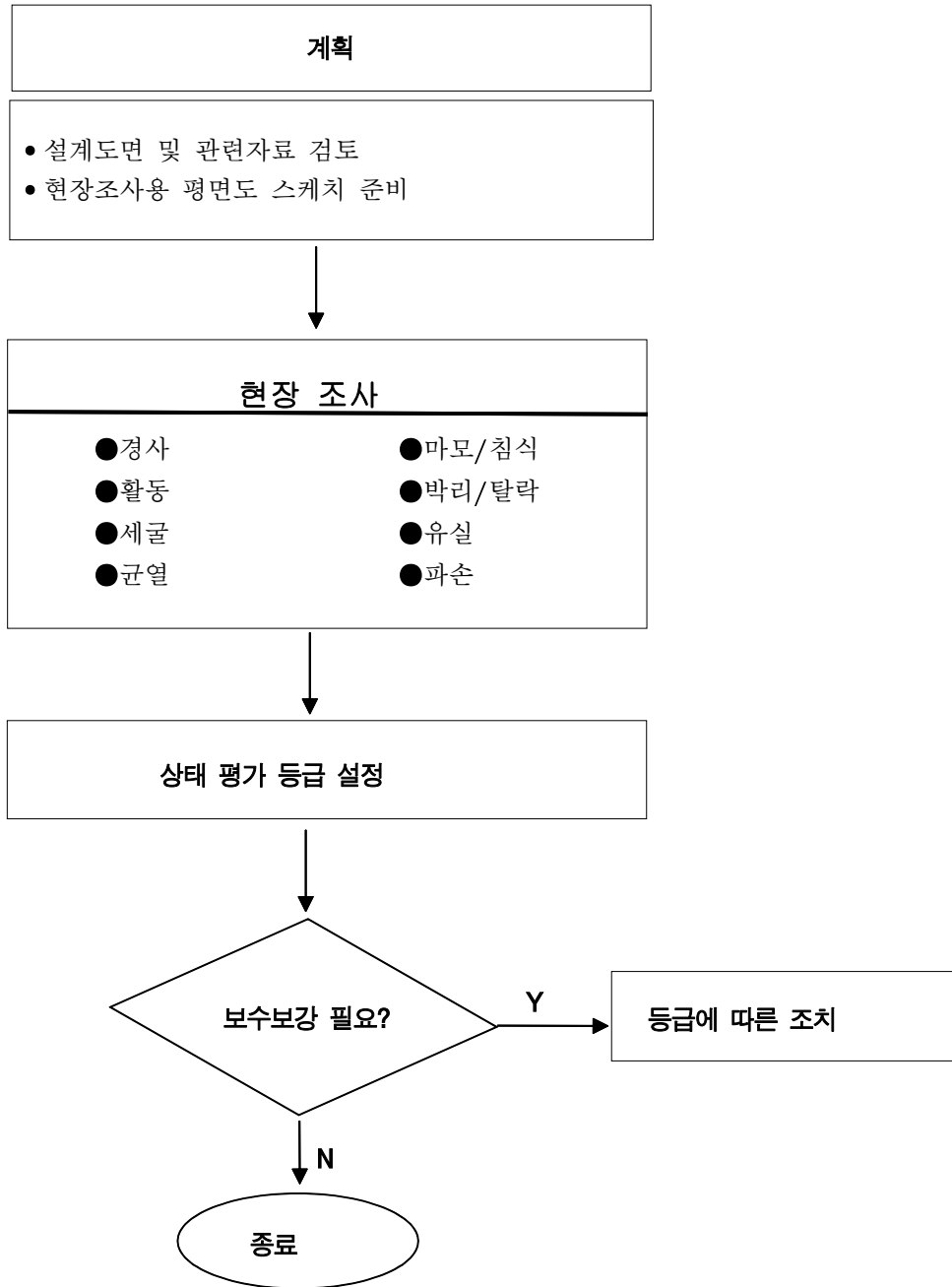
(1) 개요

등(입)표에 대한 '안전점검 및 보수보강 지침'이 마련되어 있지 않아 현장 조사 업무와 보수보강이 통상적인 방법으로 수행되고 있어, 이에 대한 지침 마련을 하고자 하였다. 지침은 기존 '항만 구조물 중력식 안벽 및 외곽시설 안전점검 및 보수보강 표준지침서'와 다른 항만 시설물들의 현장점검 및 안전진단, 보수보강 지침을 토대로 작성하였다.

상세한 내용은 '부록 B. 등(입)표 기초 안전점검 지침(안)' 및 '부록 C. 등(입)표 기초 보수·보강 지침(안)'을 참조한다.

(2) 점검의 흐름도

등(입)표의 현장점검은 다음 표와 같은 순서로 이루어진다.



<그림 3-4-1> 등(입)표 기초 현장 안전점검 흐름도

(3) 상태평가등급

상태등급은 관찰된 손상 및 결함의 상태 중에서 가장 심각한 것의 상태지수를 사용하는 것으로 정의한다. 따라서 2장 2절에서 정의된 등표 구조물의 파손형태 별로 그 크기 및 상태에 대한 평가기준을 설정하여야 한다. 앞에서 정의한 손상과 결함에 대한 상태등급을 다음 표에서 정의하였다. 경미한 손상과 불량한 손상을 구분하는 경계치로 한계값(X_{lim})과 각 손상과 결함의 구조적 기능성 및 안정성에 미치는 영향 정도에 따라 영향지수를 정리하였다. 여기에서 정의한 한계값 및 영향지수는 '항만구조물 잔고식 안벽 안전진단 및 보수·보강 요약지침서'와 '항만구조물 중력식 안벽 및 외곽시설 안전점검 및 정밀안전진단 지침서'에서 제시된 기준을 참조하였고, 국내 '항만공사 표준시방서'에서 정의하는 공사 허용범위를 참조하였다.

<표 3-4-1> 등(입)표의 손상 및 결함의 한계값과 영향

구분	한계값(X_{lim})	영향지수(S)
경사	5°	1.2
활동	30cm	1.2
세굴	Level-3	1.5
균열	폭 0.2cm	1
마모/침식	Level-2	1
박리/탈락	Level-3	1
유실	1곳	1.2
파손	Level-2	1

<표 3-4-2> 마모/침식의 등급 (Level)

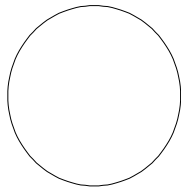
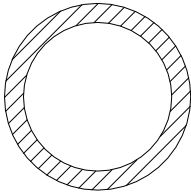
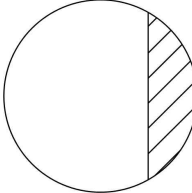
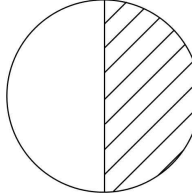
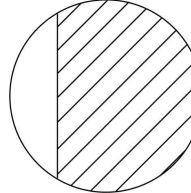
Level (X)	상태
0	• 새로운 상태
1	• 도장 훼손
2	• 표피 침식으로 콘크리트 일부 훼손
3	• 콘크리트 표면 대부분 훼손
4	• 철근 노출

<표 3-4-3> 박리/탈락의 등급 (Level)

Level (X)	상태
0	• 새로운 상태
1	• 박리로 인한 경미한 균열 형상
2	• 균열심각, 부풀어 오름
3	• 약간 박리 부분이 탈락
4	• 철근 노출되고 완전 박리 발생

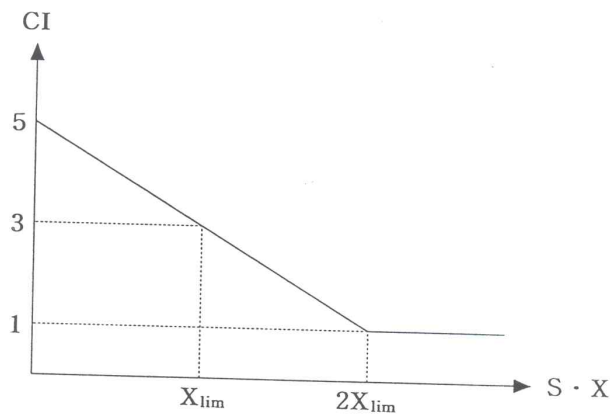
<표 3-4-4> 파손의 등급 (Level)

Level (X)	상태
0	• 새로운 상태
1	• 도장 및 표면 훼손
2	• 콘크리트 일부 패임
3	• 콘크리트 깨짐 균열 확장
4	• 파손으로 인한 콘크리트 블록 탈락

Level (X)	0	1	2	3	4
세굴형상					
세굴상태	새로운 상태	외측 세굴	일면 부분 세굴	절반 세굴	대부분 세굴

<그림 3-4-2> 세굴의 등급 (Level)

손상과 결함에 대한 한계치와 영향지수를 이용하여 등(입)표 기초의 상태평가등급을 설정하기 위하여 각 손상 및 결함별로 상태지수를 계산한다. 상태지수(CI)는 다음 식에서와 같이 각 손상 및 결함별로 평가된 상태와 한계값과 비교를 통하여 계산한다. 이 식을 그림으로 나타내면 다음과 같다.



<그림 3-4-3> 상태평가지수

$$CI_j = 5 - 2 \frac{X_j}{X_{j\lim}} \times S_j, S_j S_j \leq 2X_{j\lim}$$

$$CI_j = 1, S_j S_j > 2X_{j\lim}$$

여기에서 계산되는 상태지수의 범위는 1.0~5.0이며, 손상이 전혀 없는 경우에는 CI=5이며, 최악인 상태인 경우에는 CI=1로 정의된다. 최종 등(입)표 기초의 상태평가등급은 각 손상과 결함에서 산정된 CI 값 가운데 가장 작은 값을 선택한다. 상태등급과 평가점수는 현장점검 상태평가와 일관성 있게 5등급으로 분류한다. 분류된 등급에서 A등급(최상)으로 분류되는 구조물은 다른 조치 없이 다음 정기점검을 정기적으로 시행하면 되는 것이고, B등급(양호)으로 분류되는 구조물은 일상적인 보수사항이 있으면 실시하도록 조치하면 되며 정밀안전진단을 수행할 필요는 없다. 그러나 분류된 등급이 C등급(불량), D등급(심각), E등급(위험)일 경우에는 안전진단을 실시하도록 조치하는 것이 필요하다.

<표 3-4-5> 상태지수에 의한 상태평가등급 및 조치사항

구분	평가등급	평가점수(M)	상태지수(CI)범위	상태	조치사항
1	A	5	4.50~5.00	최상	없음
2	B	4	3.50~4.49	양호	일상 보수
3	C	3	2.50~3.49	불량	정밀안전진단 실시
4	D	2	1.50~2.49	심각	
5	E	1	1.00~1.49	위험	

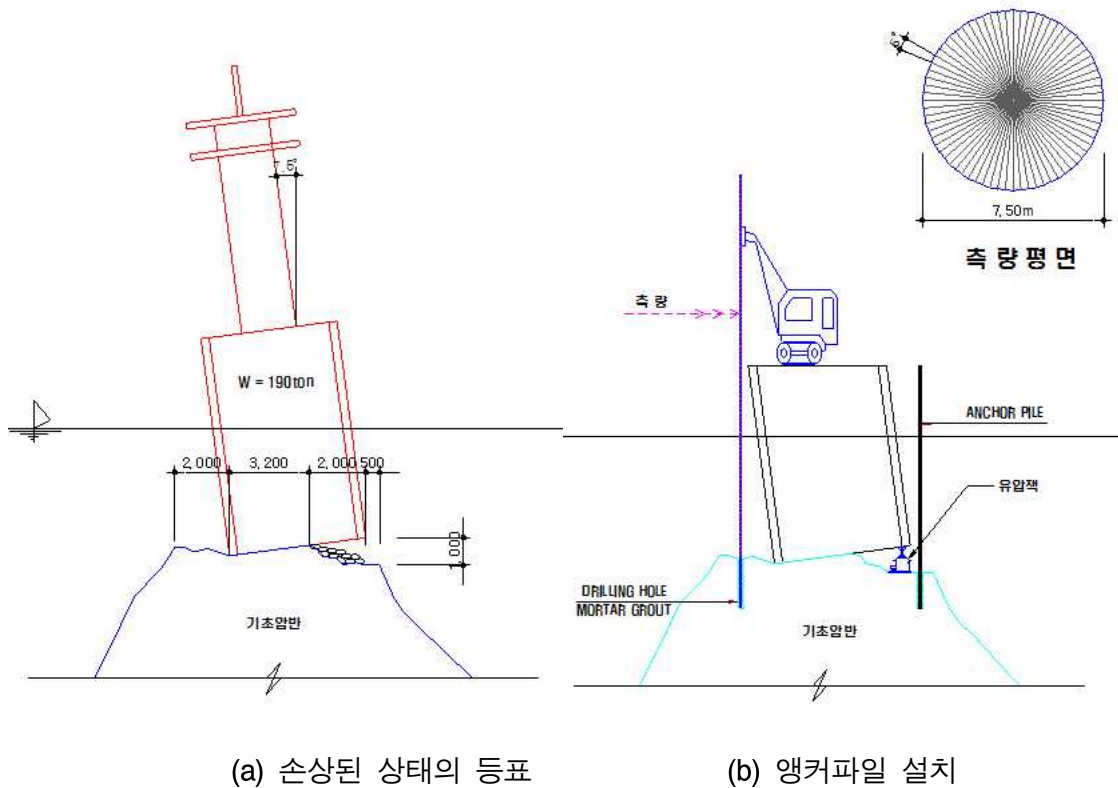
나. 등(입)표 보수·보강 지침 작성

(1) 개요

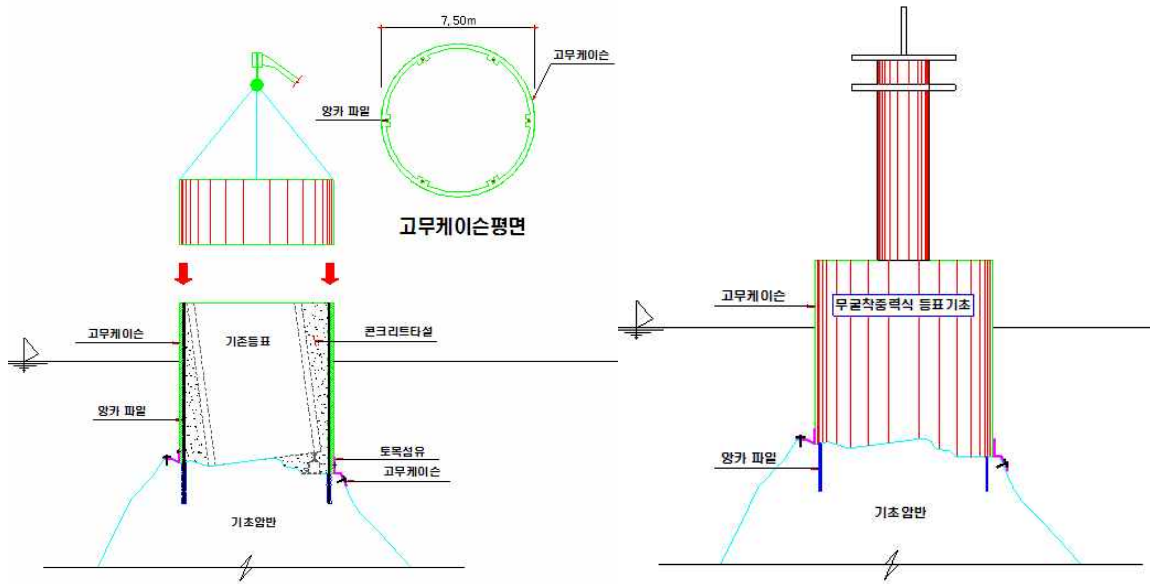
등(입)표 기초는 중력식의 경우에는 대부분이 콘크리트 구조물이다. 따라서 등(입)표 기초의 보수보강은 기존의 콘크리트 구조물의 보수보강 공법을 준용한다. 따라서 여기에서는 기존 '항만구조물 잔교식 안벽 보수·보강 표준지침서'에서 제시된 콘크리트 부재에 대한 보수보강 기준에 따라 정리하였다. 기존의 콘크리트 항만 구조물의 보수보강공법과 상이한 부분은 시초 세굴이나 철근 노출 기초에 대한 보강공법으로 비굴착 중력식 보강공법에 대한 내용과 설계하중 증가로 인한 구조물 자중의 부족을 해결하기 위한 선행긴장 앵커보강 공법을 추가하였다. 상세한 내용은 '부록 C. 등(입)표 기초 안전점검 및 보수보강 지침(안)'을 참조한다.

(2) 비굴착 중력식 보강공법

비굴착 중력식 보강공법은 기존 등표에 고무거푸집을 거치하여 기존 등표 기초 외부에 추가의 콘크리트 타설을 통해 기초의 안정성을 증가시키는 공법으로 시공 순서는 다음 그림과 같다. 먼저 손상된 등표기초와 암초의 정확한 계측을 통해 정확한 거푸집 단면을 제작하고, 소정의 위치에 앵커 파일을 설치한 후, 제작된 고무 거푸집을 설치한다. 최종적으로 거푸집과 기존 기초 사이에 콘크리트를 충전하여 보강한다.



<그림 3-4-4> 비굴착 중력식 보강공법 개요



(c) 고무거푸집 설치 및 콘크리트 타설

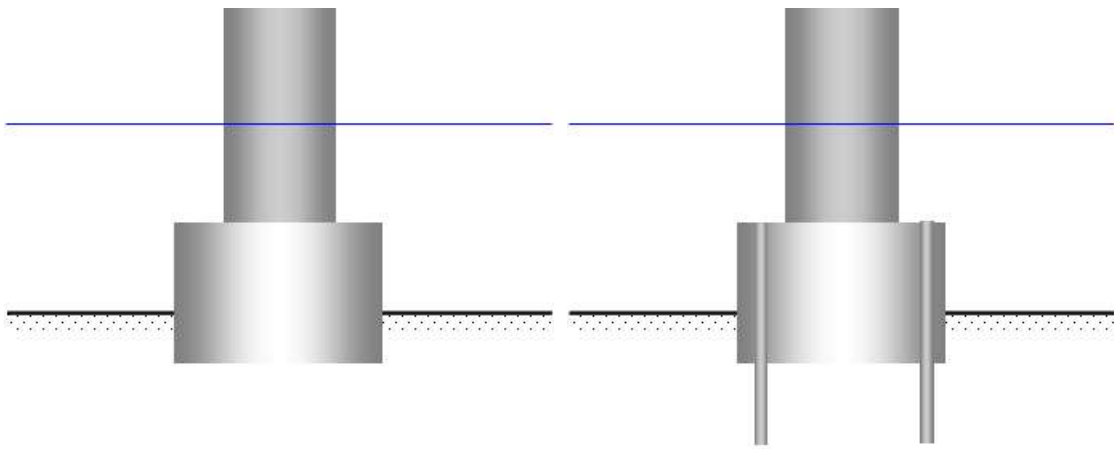
(d) 최종 보강된 등표

<그림 3-4-4> 비굴착 중력식 보강공법 개요 (계속)

(3) 선행진장 앵커보강 공법

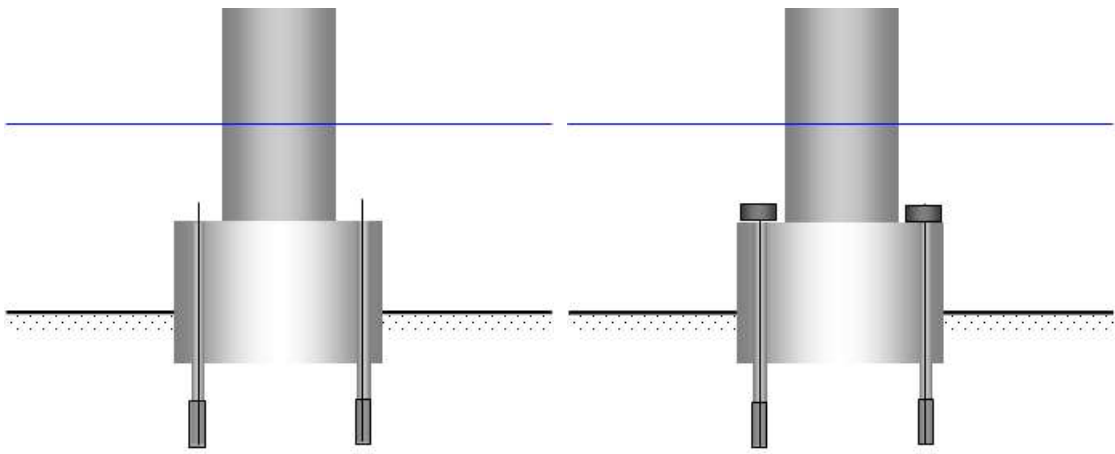
최근 설계과의 증가로 인해 필요한 등표의 자중이 증가함에 따라 기존 등표의 보강이 필요한 경우가 많으며, 또한 기초의 손상으로 인해 하중이 부족한 경우와 기초와 암초의 결합력이 부족한 경우, 육상에서 많이 사용하고 있는 앵커(또는 락볼트)를 사용하여 기초를 보강한다. 다음에서 보강방법을 제시하였는데, 먼저 기존 등표 기초와 암체를 동시에 천공하여 앵커의 설치 위치를 확보하고 내부에 강성과 정착부를 형성하고 최종적으로 고정이 되면 등표 기초 상부에서 선행하중을 가하여 고정한 후, 최종적으로 앵커 두부를 피복 수밀 처리한다. 선행하중은 등표의 자중과 동일한 역할을 하기 때문에 효율적으로 기초를 보강할 수 있다.

최근 앵커 정착부를 형성하는 시간을 절약하기 위하여 설치 직후부터 앵커체와 암초가 완벽하게 결합하도록 하는 다양한 제품이 개발되어 있어 작업시간에 제한이 있는 해상에서 적절한 공법으로 채택할 수 있다.



(a) 보수 필요 등표 기초

(b) 기초 부와 岩體 동시 천공



(c) 강선 및 정착장 설치

(d) 앵커 긴장 및 頭部 정리

<그림 3-4-5> 선행긴장 앵커보강 공법 개요

제 5 절 신형식 항로표지 수중구조물

1. 비굴착 중력식 등표

가. 현황

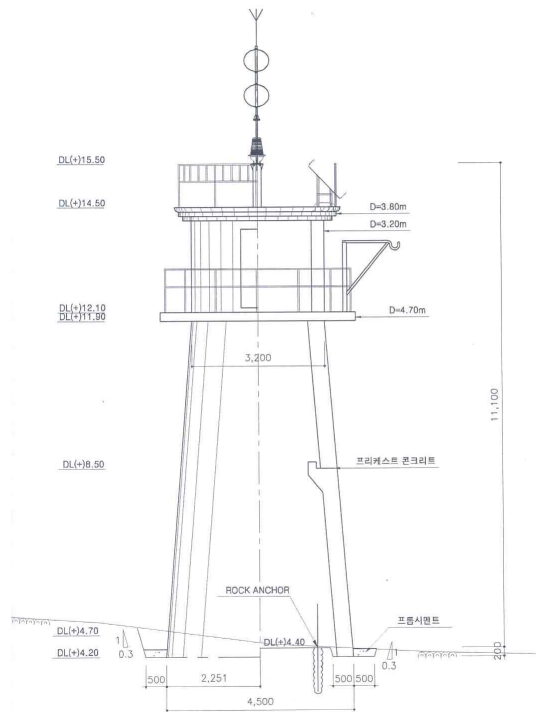
선박이 안전하게 항해를 하기 위해서는 여러 가지의 요소가 필요한데, 그 중에서 수중의 암초위치를 알려주어 선박이 충돌하지 않도록 하는 방법은 매우 고전적이면서도 기본적인 안전 시설이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 수중 암초 상에 설치하는 구조물을 항로표지 구조물이라고 하는데 멀리서도 식별이 가능하도록 일정한 높이를 유지해야하며 야간에도 보일 수 있도록 등명기가 장착되어 있는 것도 있다. 등표는 구조적으로 보면 매우 단순한 cantilever 형 구조물이지만 해상의 암초상에 설치해야하기 때문에 작업이 매우 어렵고 소규모의 공사이기 때문에 대형장비를 동원한 신속한 시공이 되지 못하여 부실한 경우가 많다. 국내에는 현재 250여개 정도의 등표가 설치되어 있으며 이 중 10% 정도는 작업여건이 어려워 발생한 부실시공과 파랑이나 해류에 의한 침식으로 구조물이 손상되어 있다(해양수산부, 2007). 구조물의 손상 중에서 외력에 의한 표면의 마모나 균열 등은 구조물의 안전에 큰 영향을 끼치지 않으나 기초의 세굴은 안전에 지대한 영향을 미친다.

등표의 설치방법은 크게 중력식과 자켓식으로 나눌 수 있는데 중력식은 구조물의 자중으로 외력에 저항하는 방식이며 자켓식은 주로 강관파일을 암초에 관입하는 방법으로 비교적 파고가 높은 심해에 설치하고 있다(해양수산부, 2006). 기초의 세굴은 주로 중력식에서 발생하는 파손형태인데, 울퉁불퉁한 암초를 평평하게 절단하고 그 위에 구조물을 설치하기 때문에 시공이 정밀하지 못하면 구조물과 암초의 절단면에 발생한 틈에서 세굴이 진행된다. 대부분 중력식 등표 구조물의 설계는 이와 같이 암초를 말끔하게 절단하는 방식을 채택하고 있는데 해상 작업의 어려움으로 인하여 현실적으로는 정밀시공이 되지 않는 경우가 많이 발생한다. 또한 암초를 말끔하게 절단하였다 하더라도 파랑과 해류의 작용에 의하여 시간이 지나면서 시공 시 충격을 받은 암반이 떨어져 나가는 경우가 발생하면서 구조물의 안전을 위협하고 있다.

비굴착 중력식 등표는 등표의 기초 세굴을 방지하기 위하여 제안된 구조 형식으로서, 기존의 암초 절단방식 대신에 암초의 형상을 그대로 유지하면서 반대로 등표의 바닥을 암초의 형상에 맞추어 절단하여 설치하는 등표 구조물이다. 비굴착 중력식 등표는 모암을 손상시키지 않기 때문에 안전성이 향상되고, 또한 해상 구조물의 크기를 줄임으로써 공기 단축 및 공사비 단축등 시공성을 향상시키는 장점이 있다.

나. 기존 중력식 등표설계

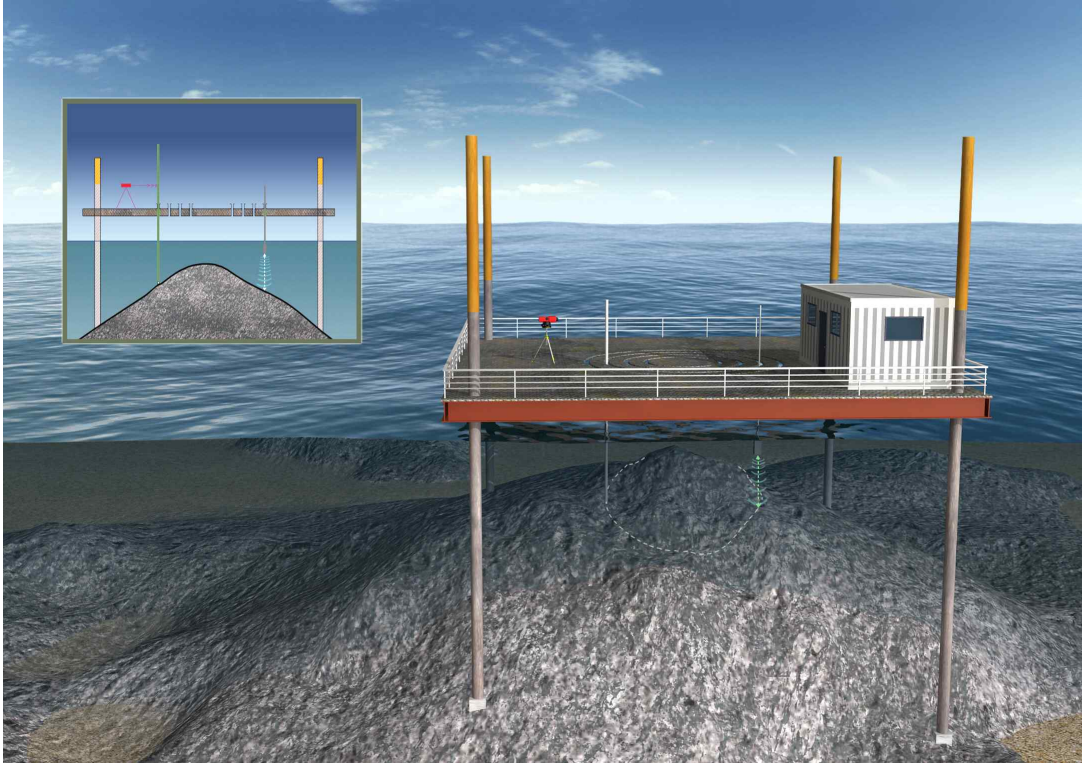
아래 그림은 일반적인 중력식 등표의 설계도를 나타낸다(마산지방해양수산청, 2006). 이 그림에서 보듯이 기존의 방식은 암초를 평탄하게 절단한 후에 등표를 설치하는 형상인데, 이러한 설계는 현장에서 정밀한 시공이 이루어지지 않으면 등표의 안전을 보장하기 어려운 방식이다.



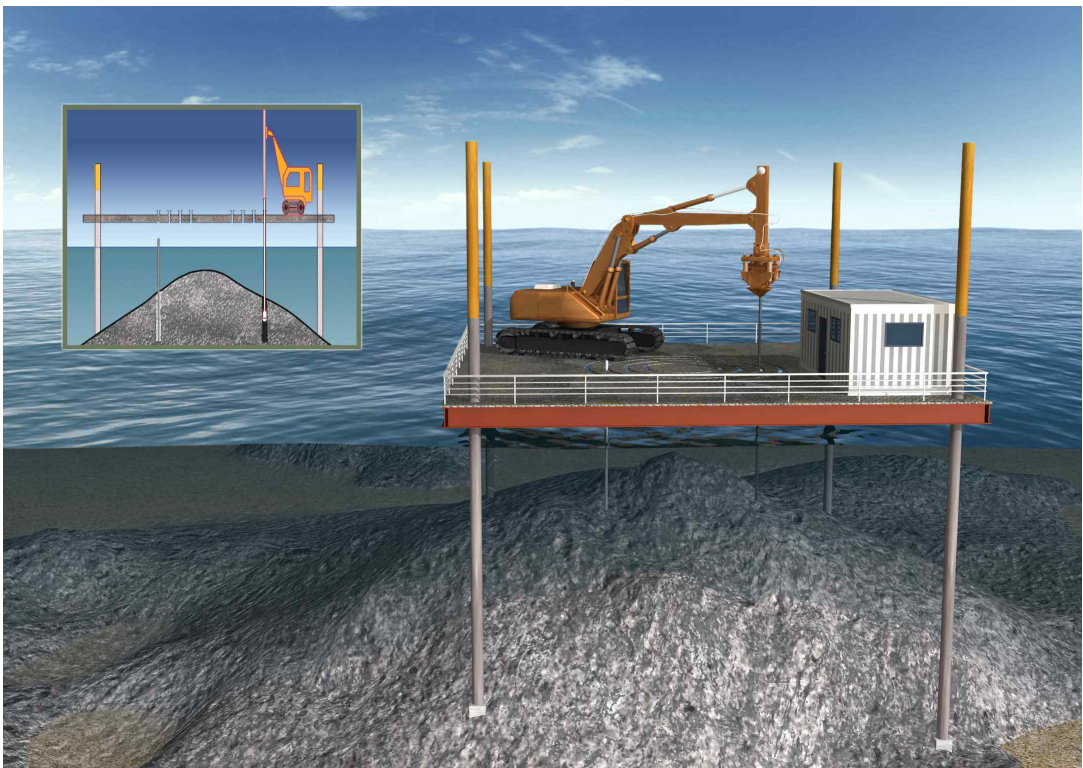
<그림 3-5-1> 도투마리암 등표구조물

다. 신공법 등표설계 - 비굴착 중력식 등표

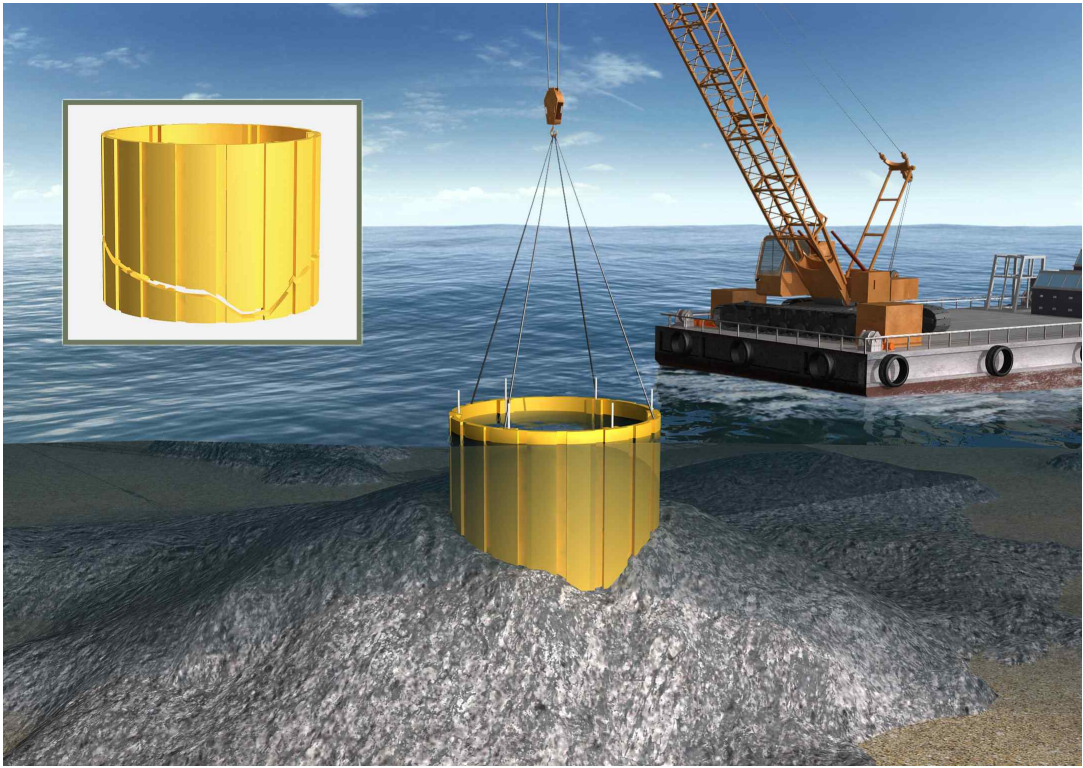
기존의 등표설계가 위 그림에서와 같이 암초 지반을 손상시키기 때문에 기초의 세굴 원인이 된다는 것은 앞에서 밝힌 바와 같다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 암초의 형상을 그대로 유지하면서 그 위에 등표를 설치하는 방법을 개발하였다. 기존의 방법은 육상에서 평평한 우물통의 형상에 맞추어 암반을 평평하게 절단한 후에 구조물을 설치하는 것이었는데, 본 연구에서는 암반의 형상에 맞추어 우물통을 제단하는 방법을 강구하였다. 제단을 쉽게 하기 위하여 우물통의 재질은 고무로 선정하였는데 다른 재질보다는 부식에 강하고 등표 수리를 위하여 정기적으로 점검하는 선박의 접안이 용이하다는 장점이 있다. 본 방법의 적용 과정을 아래 그림에 순서대로 제시하였다.



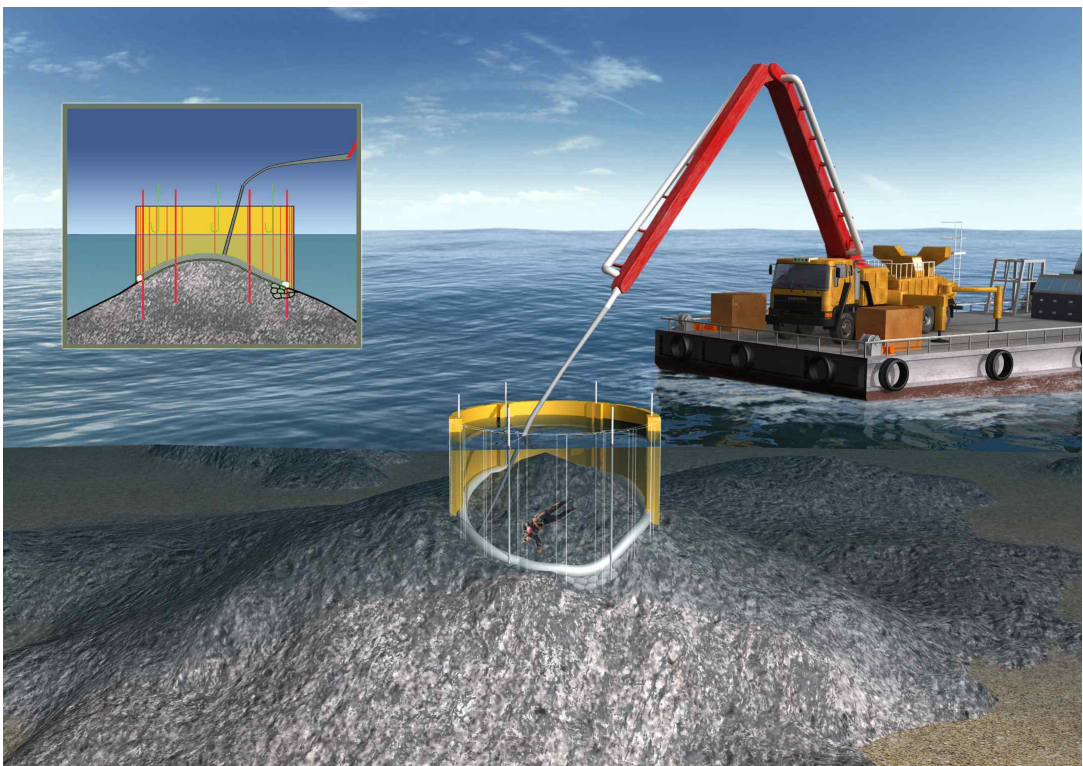
<그림 3-5-2> SEP(Self Elevating Platform) barge를 이용한 지형측량



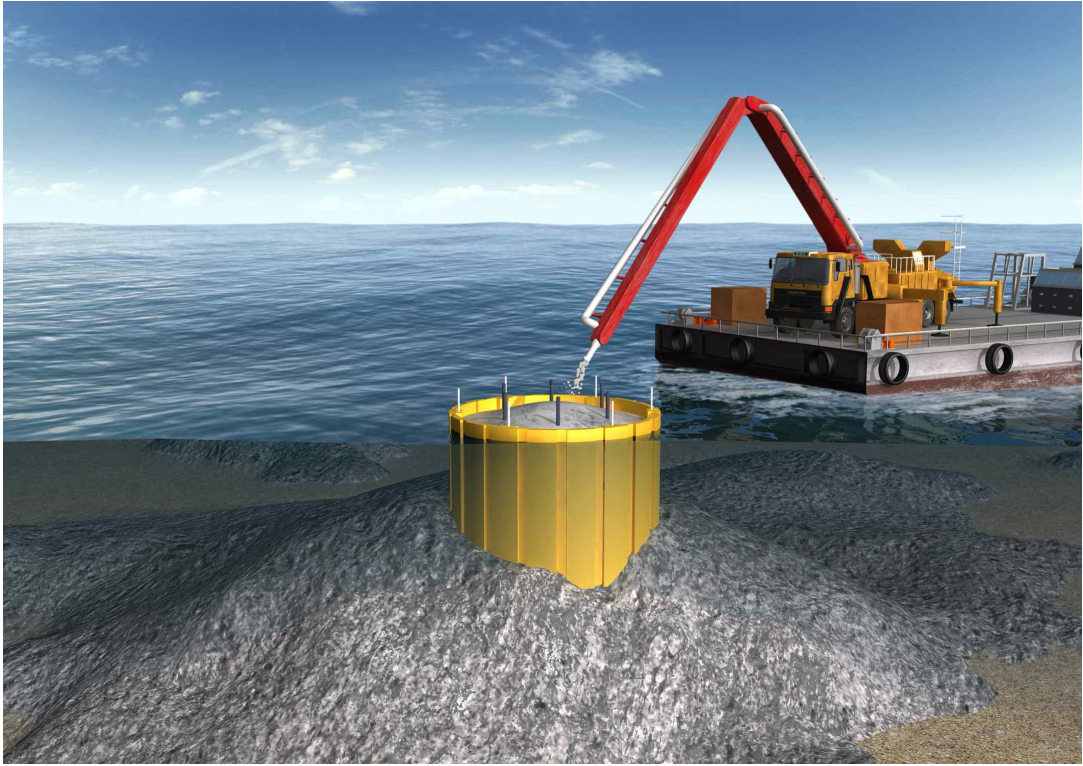
<그림 3-5-3> 강봉 根入을 위한 천공



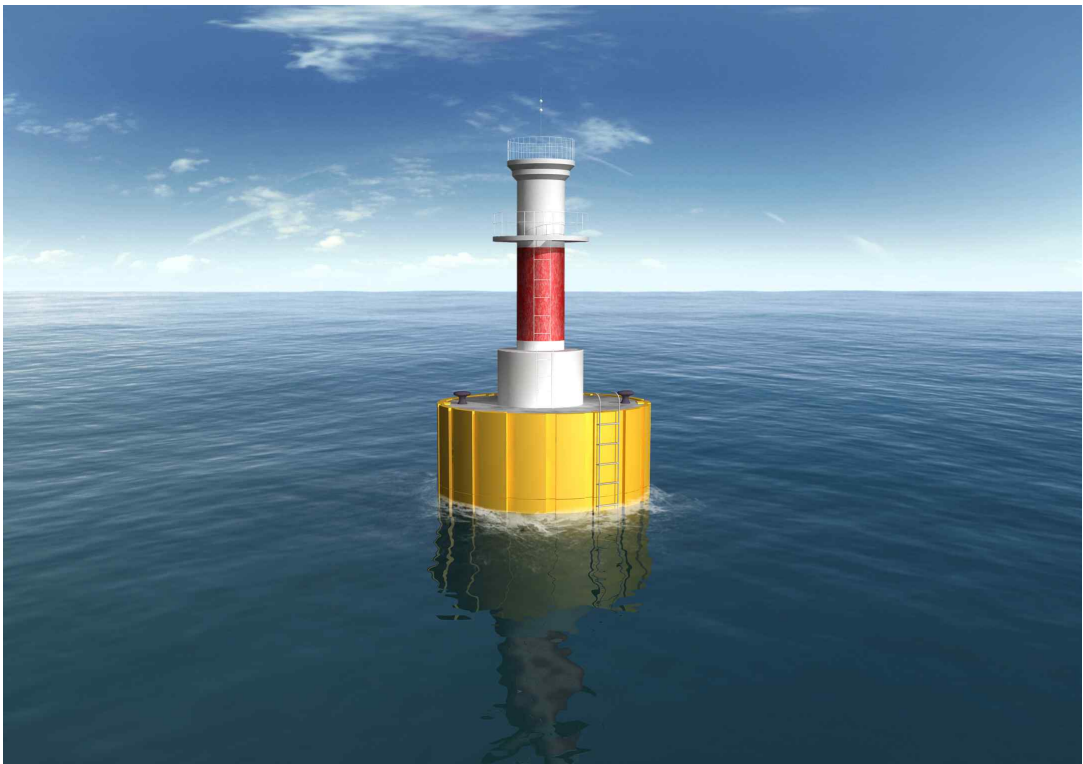
<그림 3-5-4> 고무 케이스 설치



<그림 3-5-5> 암반과 케이스의 접합부분을 보강



<그림 3-5-6> 시멘트 그라우팅



<그림 3-5-7> 상부 구조물 설치

<그림 3-5-2>는 등표의 설치장소에 SEP barge를 설치하여 지형을 측량하는 과정인데, 기존의 방법은 사전조사 차원에서 전 지형을 단순하게 측량하였지만 본 방법은 고정된 SEP barge에서 우물통이 놓일 부분을 따라 간편하고 정밀하게 측량하는 장점이 있다.

<그림 3-5-3>은 우물통을 고정시키고 파랑이나 흐름하중에 견딜 수 있도록 고강도 앵커파일을 설치하는 과정이다. 기존의 방법들은 앵커파일을 설치하지 않거나 설치하더라도 우물통의 바닥에 얇게 설치하여 형식적인 설계가 되는 문제점이 있는데 본 방법은 고강도 앵커파일로 하여금 하중을 견디게 함으로써 자중에 의하여 하중을 견디는 중력식 구조물의 특성상 우물통의 크기를 줄일 수 있어서 경제적이며, 천공 시 채취된 암반 시료로 암반의 역학적 특성을 파악할 수 있고, 소형의 천공 장비를 사용하므로 작업성이 원활해지는 장점이 있다.

<그림 3-5-4>는 암초의 형상에 맞게 육상에서 제작된 고무 케이슨을 설치하는 과정이다. 고무 케이슨에는 앵커볼트가 삽입될 수 있도록 구멍이 제작되어 있으며 전단계에서 설치한 앵커볼트에 고무 케이슨을 삽입한다. <그림 3-5-5>는 아무리 정밀하게 바닥 지형을 측량하고 고무 케이슨을 제단하더라도 현장에 설치할 경우에 발생할 수 있는 연결부의 틈새를 메우는 과정인데 메움 재료로는 섬유튜브를 먼저 설치하고 그 속에 경화재를 충전하는 방법 등을 강구중인데 이에 대해서는 좀 더 연구가 필요하다. <그림 3-5-6>은 본 방법의 가장 중요한 공정인 우물통 설치공사가 끝나고 상부의 등표를 세우기 위하여 시멘트로 속채움을 하는 과정이다. 이 이후로는 기존의 방법과 동일하기 때문에 특별히 언급할 것은 없으며 마지막으로 <그림 3-5-7>에서와 같이 육상에서 제작된 상부 구조물을 설치하면 등표 설치공사가 완료된다.

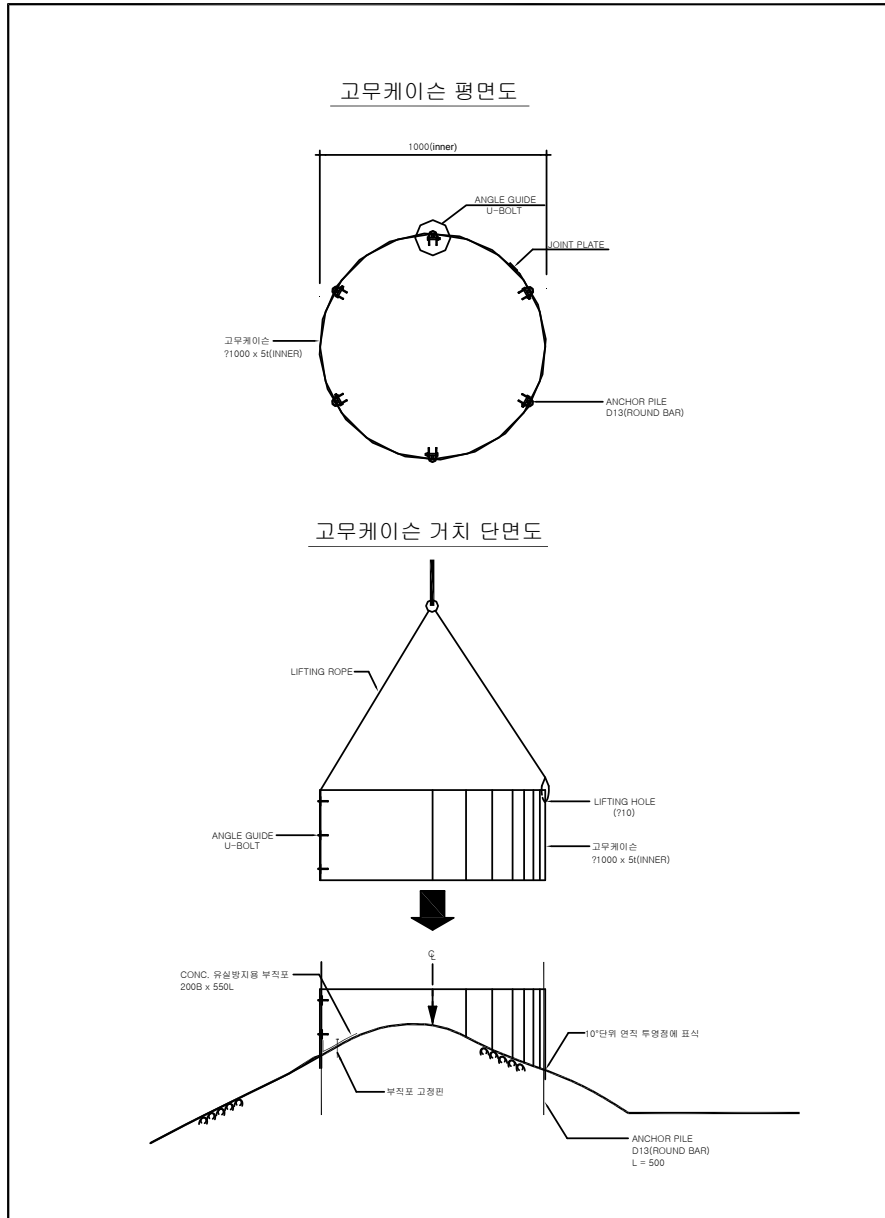
라. 비굴착 중력식등표에 대한 수리모형실험

1) 실험 개요

고무케이슨을 이용하여 설계된 비굴착 중력식 등표의 시공성을 확인하기 위하여 해양연구원 내 해양환경모의실험장 부대시설에서 실험을 수행하였다.

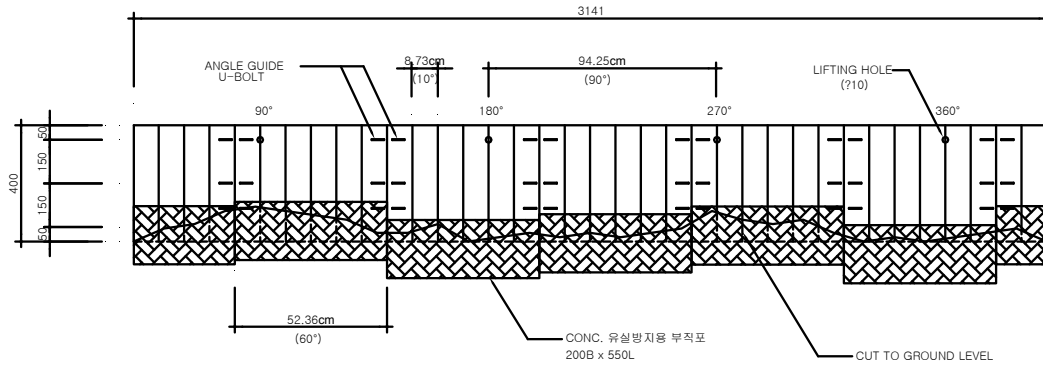
<그림 3-5-8>은 케이슨의 평면과 단면도를 표현한 것이다. 케이슨의 크기는 지름이 1m이고 두께는 5mm로 정하였다. 또한 해저지형을 재현한 바닥에 케이슨을 거치후 콘크리트 타설후 유실방지를 위한 부직포의 접착이 용이하도록, 부직포 고정편을 고려하였다. 수리모형 실험시 실험케이슨의 작업의 용이성과 실험체의 크기의 비율을 고려하여 정하였다.

<그림 3-5-9>는 고무케이슨의 전개도이다. 60° 마다 U볼트 4개로 앵글 가이드를 뒤서 앵커파일에 적절히 거치될 수 있도록 하였고, 속채움 콘크리트의 실험체 외부 유출 방지를 위해서 부직포를 사용하여 고무케이슨 제단후 부착을 하였습니다. 고무케이슨이 거치될 곳의 측량을 위해 S.E.P BARGE의 대응으로 사용될 조사경은 플라스틱 재질을 사용하여 바닥의 높이를 측량할 목적으로 제작하였다. 조사경은 10°간격으로 선을 측량의 오차를 최소화하였다.

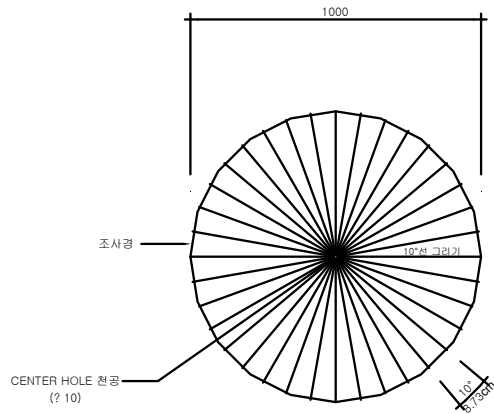


<그림 3-5-8> 케이스 평면 및 단면도

고무케이스 전개도

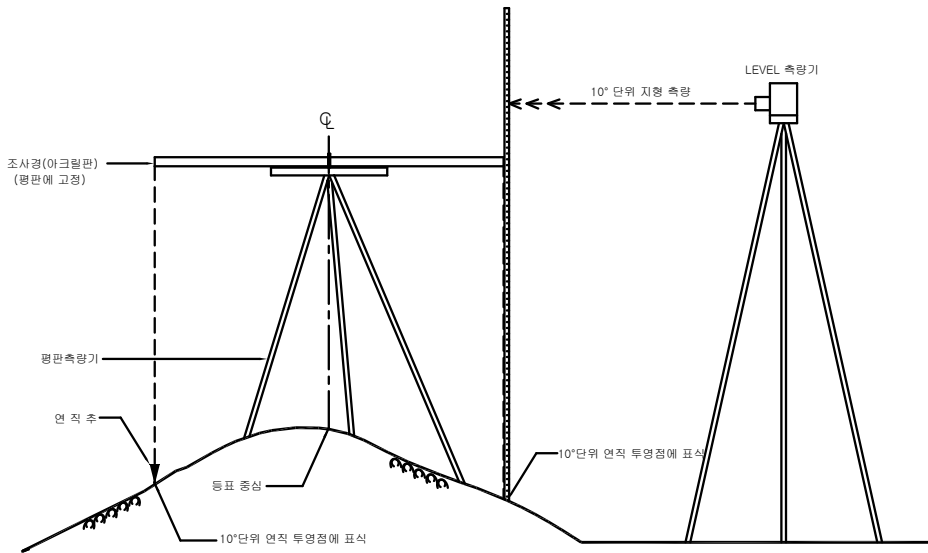


지반고 측량용 조사경



<그림 3-5-9> 고무케이스 전개도 및 地盤高 측량용 조사경

조사경이용한 지형측량
(S.E.P BARGE 대응)



주요 자재 표

ITEM	SIZE	UNIT	Q'TY
고무케이스	3141 x 400 x 5	EA	1.00
아크릴판	∅1,000	EA	1.00
레벨측량기	-	식	1
U - BOLT	앙카파일 고정용	EA	18.00
ROUND BAR	∅10.0mm(0.7m)	EA	6

<그림 3-5-10> 조사경을 이용한 지형측량(S.E.P BARGE 대응)

<그림 3-5-10>은 S.E.P BARGE의 측량을 기본으로 한 실험 방법에 대하여 표시한 그림이다. 바닥은 평판측량기를 얹어서 조사경의 SETTING을 도우며, LEVEL측량기로 각 10°별의 투영 점을 측량하여 오차를 최소화 하고, 10°간격 사이에 심하게 지형이 변할시에는 추가로 측량을 더 하는 방법으로 고려하였다.

실험 조건은 암초의 지름을 약 2.5m 정도로 만들어 가급적 실제 등표의 구조물이 설치되는 현장을 재현하였다. 실험의 축척은 일반적인 등표구조물의 크기가 지름 6 m정도의 것임을 고려하여 케이스 지름을 1 m로 하여 1/6로 하였다.

2) 수리모형실험 과정

아래의 그림은 실험의 진행과정을 순서대로 사진으로 정리한 것이다.



제 2 단계

레벨측량



제 3 단계

양카파일설치



제 4 단계

고무케이슨 제단



제 5 단계

고정핀과 부직포 설치



제 6 단계

원통형 완성



제 7 단계

틈메우기



제 8 단계

불분리혼화제 및 시멘트 타설



제 9 단계

시멘트 유출 없음 확인





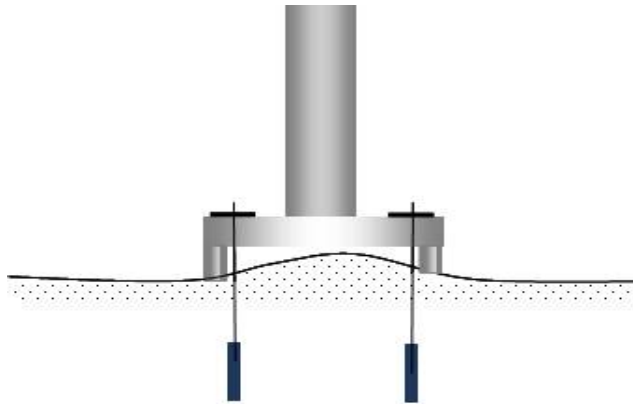
3) 수리모형실험 결과

본 시공방법의 핵심은 고무케이슨과 암반 접촉면이 완벽하게 밀착하여 속채움 시멘트가 새어나오지 않도록 하는 것인데 현실적으로는 불가능하므로 보조수단으로 섬유매트를 사용하여 누수를 방지하는 것인데, 실험결과 만족한 결과를 얻었다. 물론 현장에서처럼 파도가 치고 흐름이 있는 것은 아니기 때문에 훨씬 안정된 조건에서 수행하여 좋은 결과가 나왔으리라 생각되나 방법 자체의 오류는 없는 것으로 판단되어 차후 현장실험에서 재확인하여 발생하는 문제점을 보완한다면 현장적용이 가능하리라 판단된다.

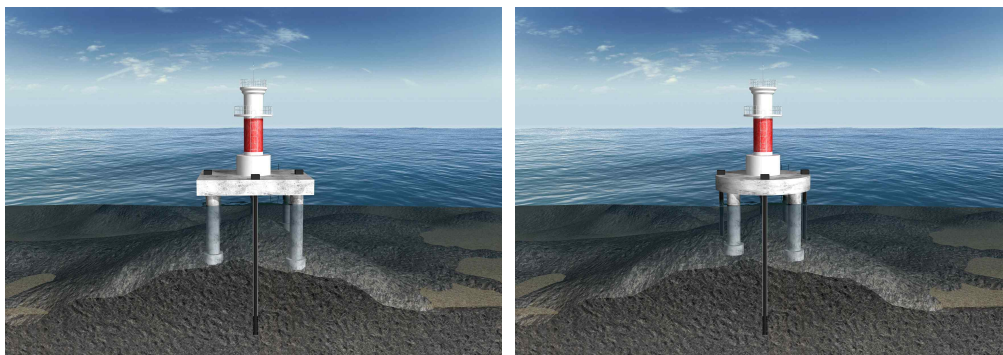
2. 파일데크 등표

가. 설계 개념(Design Concept)

파일데크식 등표는 기존 등표에서 발생하는 기초의 문제점이 대부분 압초의 굴착과정에서 발생하는 여굴이나 압초의 파쇄로 인한 것에서 착안하여, 압초를 굴착하지 않고 기초를 설치하는 방법을 고려하여 설계되었다. 등표 기초의 지지력은 상부 하중이 하부 압초에 마찰력으로 저항하는 메카니즘이므로, 상부 하중은 앵커의 선형하중으로 일부 대체하고 하부 압초와 마찰력은 접지면적과 관계되지 않는다는 점에서 압초를 굴착하지 않고 기초가 놓일 위치를 정리하여 기초를 얹어 두는 방식으로 대체하였다. 따라서 압초를 굴착하지 않고 기초가 놓일 위치를 최소한으로 정리하는 것만으로 기초의 설치가 가능하기 때문에 기초의 세굴문제를 회피할 수 있으며, 선형하중을 가하여 상부 하중을 대체하여 단면을 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 기초에 작용하는 파랑하중이 기초의 단면이 감소함에 따라 작용력이 감소하는 부가적인 효과도 얻을 수 있다.



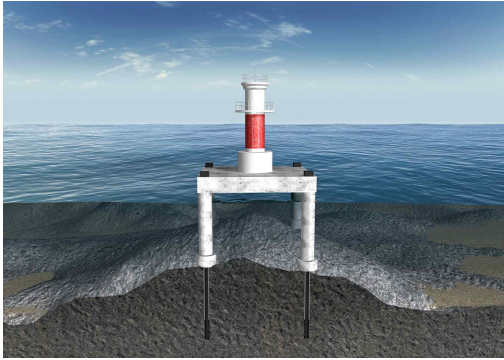
<그림 3-5-11> 파일데크 등표 기초의 설계 개념



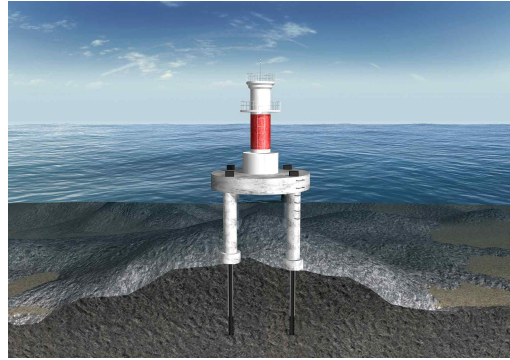
사각형 데크

원형 데크

<그림 3-5-12> 파일데크 등표 기초 설계 예 (앵커 분리)



사각형 데크

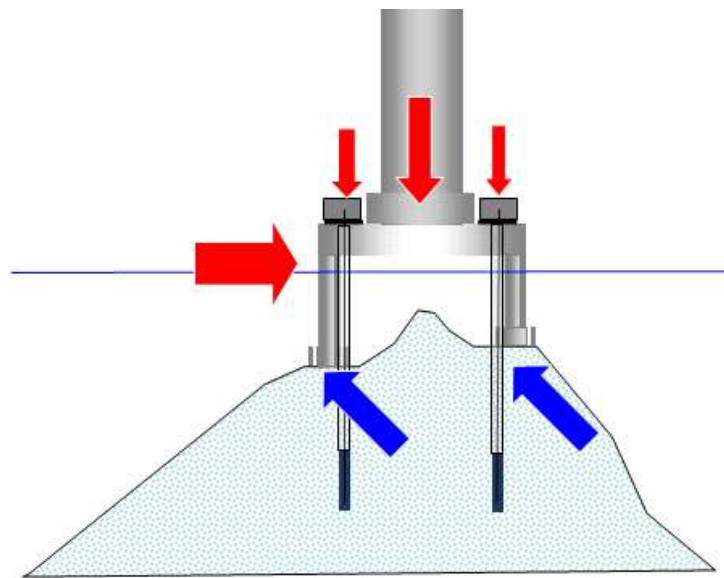


원형 데크

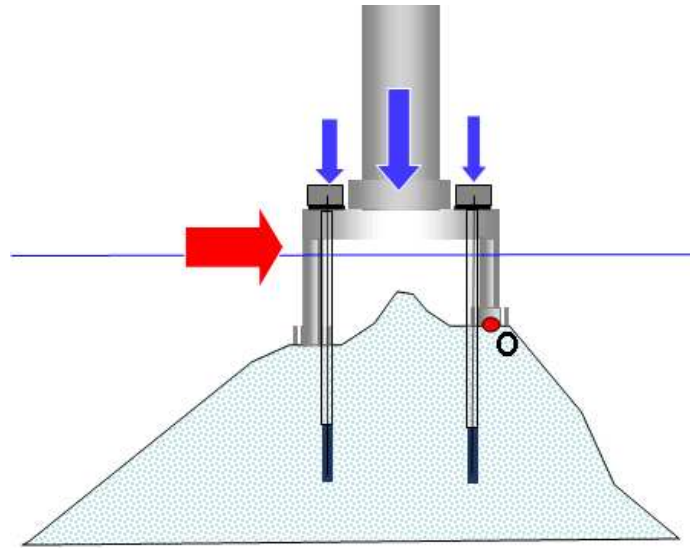
<그림 3-5-13> 파일데크 등표 기초 설계 예 (앵커 일체)

나. 파일데크 등표의 안정성 평가

파일데크 등표의 안정성 평가 기법은 중력식 기초와 동일하며, 앵커에서 발생하는 선형하중은 상부 하중에 부가적으로 더해지면 된다. 상세한 안정성 평가 방법은 '부록 D. 등(입)표 기초의 설계 지침(안)'을 참조한다.



<그림 3-5-14> 활동에 대한 안정성 검토 단면



<그림 3-5-15> 전도에 대한 안정성 검토 단면

다. 시공 순서

파일테크 등표의 시공 순서는 다음과 같다.

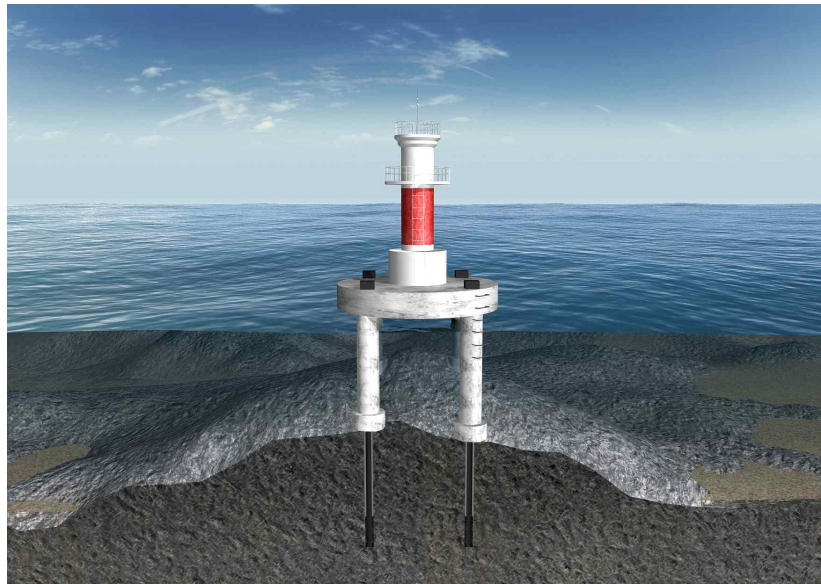
- 앵커가 설치될 위치 천공(SEP 바지 이용)
- 테크의 기둥이 놓일 위치의 압채 정리(grinding을 통한 면 정리, 잠수 작업)
- 천공한 공내에 앵커 설치 후 정착부 시공
- 육상에서 제작된 테크(기둥과 일체형으로 제작)를 해당 위치에 설치
- 긴장력 작용
- 두부 정리
- 등탑 설치

※ 작업시간이나 장비를 고려하여 앵커 설치를 위한 압채 천공은 테크 설치 후 테크 위에서 작업할 수도 있음

라. 파일데크 등표의 수리특성 평가

1) 수리모형실험 개요

파일데크식 등표의 수리특성을 평가하기 위하여 2차원 조파수조에서 수리모형실험을 수행하였다. 파일데크식 등표의 데크 형상은 사각형 및 원형을 고려할 수 있는데, 본 수리모형실험에서는 원형 데크 형식을 실험 대상으로 선정하였다. <그림 3-5-16>에 데크 형상이 원형인 파일데크식 등표의 개념도를 제시하였다.



<그림 3-5-16> 원형 파일데크식 등표의 개념도

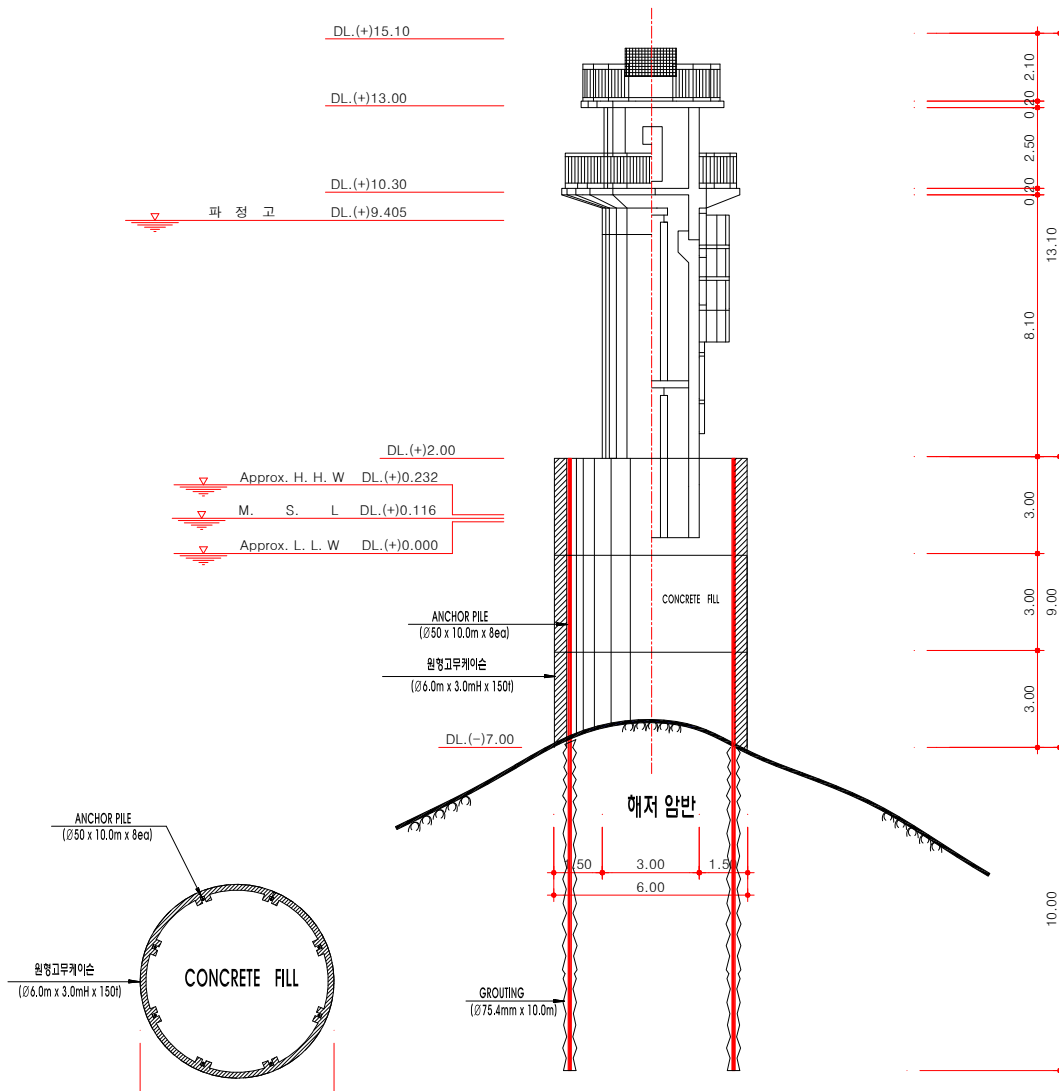
2) 수리모형실험 방법

실험에는 <그림 3-5-17>에 보인 한국해양연구원의 장수조를 사용하였다. 이 수조는 길이 53.15 m, 높이 1.25 m, 폭 1.0 m의 크기로서, 수조의 상류 쪽 13 m와 하류 쪽 7 m 구간은 양측 벽이 철재로 되어 있으며, 나머지 중앙 부분 33.15 m의 양측 벽은 강화유리로 되어 있어 거의 모든 실험구간에서 관찰이 가능하다. 조파기는 유압펌프에 의해 작동되는 피스톤형으로 최대 이격 거리가 ± 50 cm이며 조파기의 후면과 수조의 하류 쪽 끝에는 경사식 소파장치가 설치되어 있다.

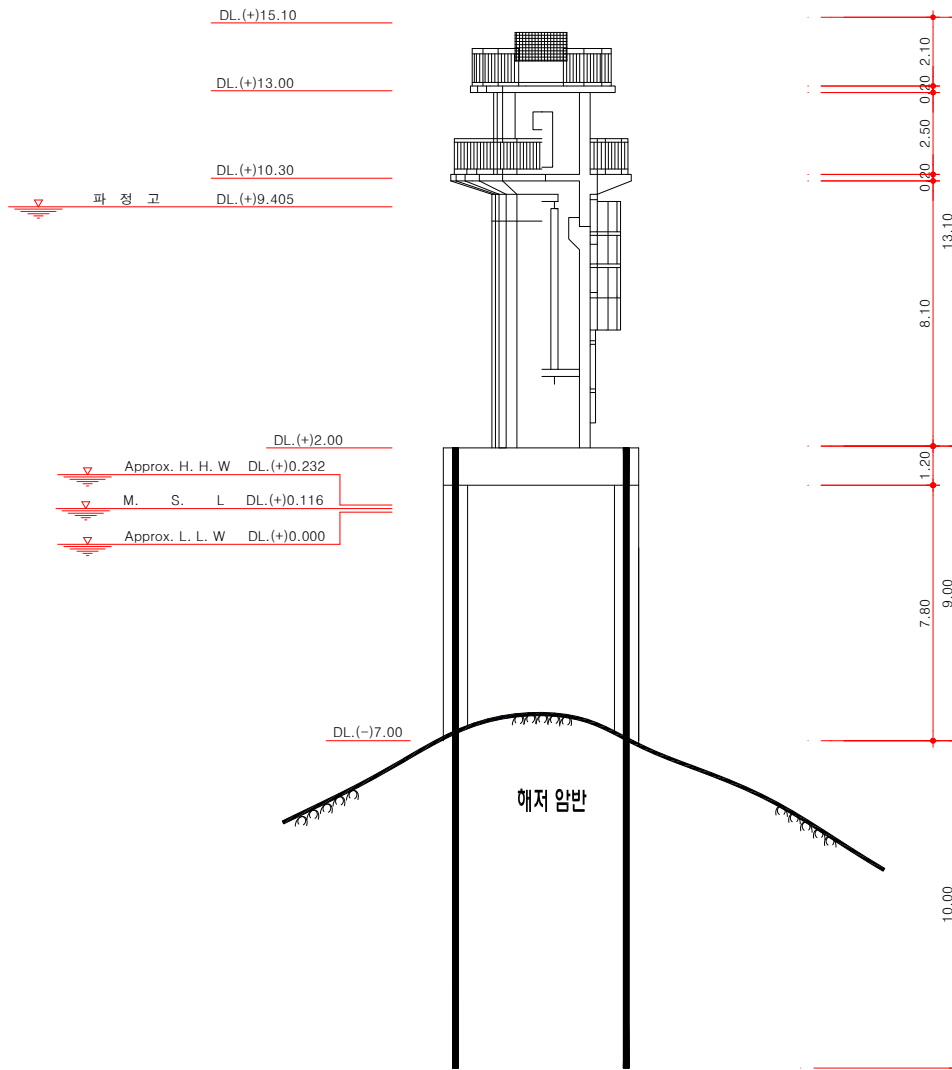


<그림 3-5-17> 2차원 파랑 흐름 복합수조

파일데크식 등표구조물의 제원 및 실험 조건을 결정하기 위하여 2007년 8월에 설계가 완료된 포항청 사라말 동방등표의 기본설계 자료를 참고자료로 활용하였다. <그림 3-5-18>에 보인 것은 사라말 동방등표의 설계자료에 근거하여 제작된 중력식 등표의 설계 도면이다. 이 등표는 기초부의 직경이 6 m, 등탑부의 직경이 3 m이며, 추가적인 지지력 확보를 위해서 8개의 앵커 파일을 암반에 근입하여 그라우팅한 형식이다. 이를 바탕으로 <그림 3-5-19>에 보인 것처럼 수리모형실험을 위한 파일데크식 등표구조물의 개략도를 작성하였다. 파일데크식 등표구조물은 <그림 3-5-18>에 보인 중력식 등표 구조물에 비해서 등표 기초부의 단면적이 감소하므로 자중이 감소하며, 작용 파력도 감소할 것으로 예상할 수 있다.

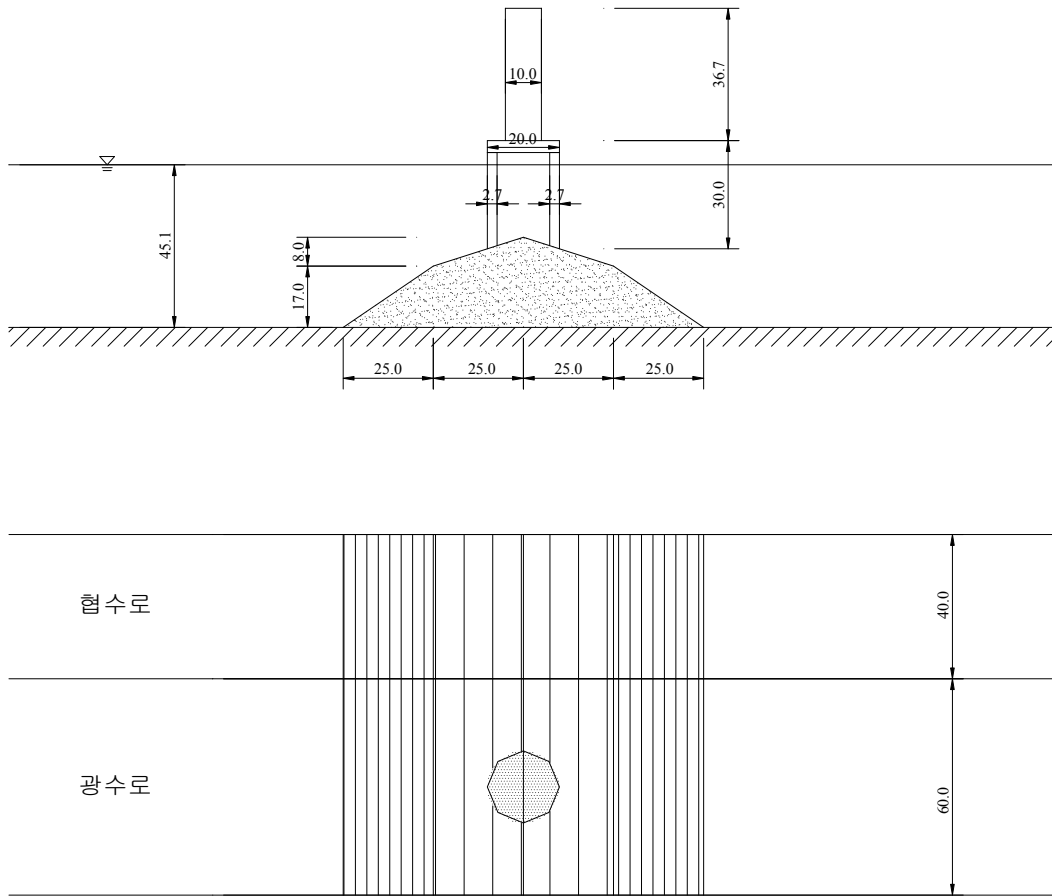


<그림 3-5-18> 앵커파일을 포함하는 중력식 등표구조물 (단위: m)



<그림 3-5-19> 파일데크식 등표구조물 (단위: m)

파일데크식 등표의 수리특성을 효과적으로 평가하기 위하여 수조의 종방향으로 연직 분할판을 설치하여 수조를 폭 0.4 m의 협수로와 폭 0.6 m의 광수로로 분리하여 등표 모형은 폭 0.6 m의 광수로에 설치하였다. 등표 모형은 실험 여건을 고려하여 현장 축척의 1/30 크기로 제작하였으며, 이에 따른 수조 내 설치 모습을 <그림 3-5-20>에 제시하였다.



<그림 3-5-20> 파일테크식 등표 모형의 수조 내 설치 개략도 (단위: cm)

등표 모형이 설치된 암초는 콘크리트 면으로 제작되었으며 <그림 3-5-20>에 보인 것처럼 암초의 전면은 1:3.1 및 1:1.5 두 개의 경사면으로 구성되었으며, 평균 경사는 1:2이다. 이처럼 암초의 전면 경사를 1:2의 급경사면으로 설치한 것은 실제로 등표가 설치되는 암초의 경우 암초 전면 해상에서 수심이 급격하게 얕아지는 경우가 많으며 이에 따라 쇄파가 발생하게 되므로 수리모형실험에서 이러한 악조건에서의 파일테크식 등표의 수리특성을 평가하기 위함이었다.

아래 사진에는 파일테크식 등표 및 암초를 수조 내에 구성하는 모습을 순차적으로 제시하였다.

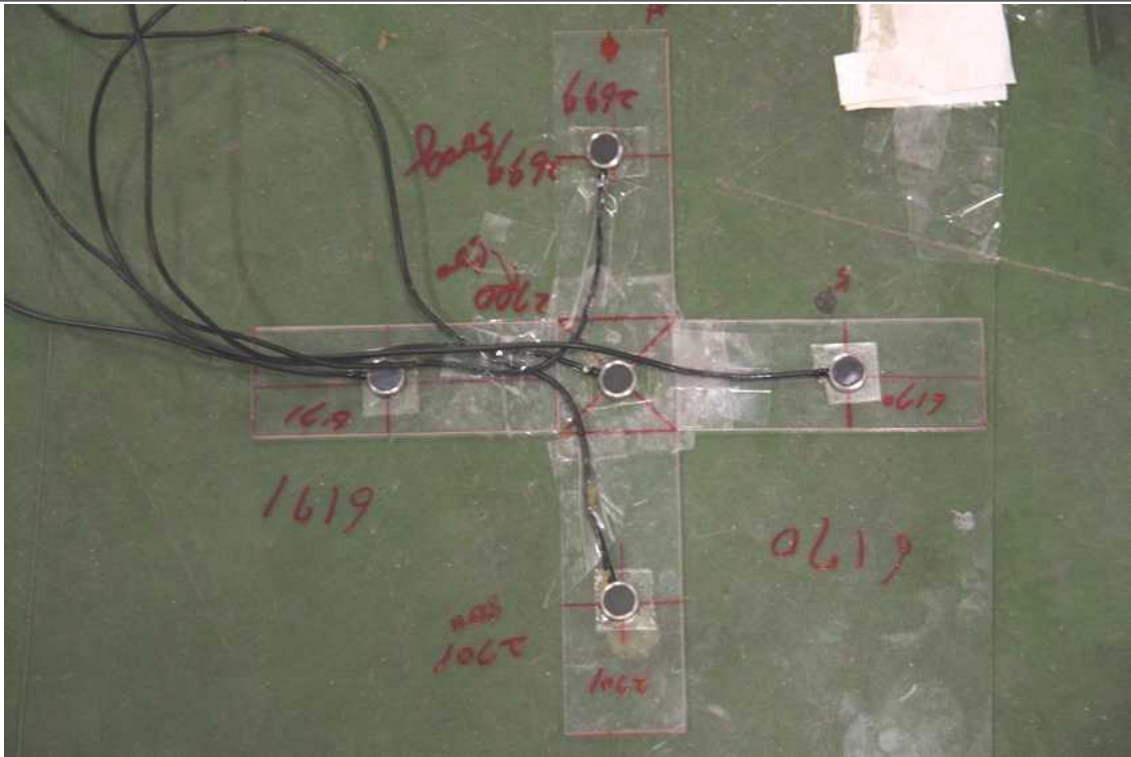
No. 1

2축 스트레인 게이지가 부착된 강관 파이프 준비 (4조)



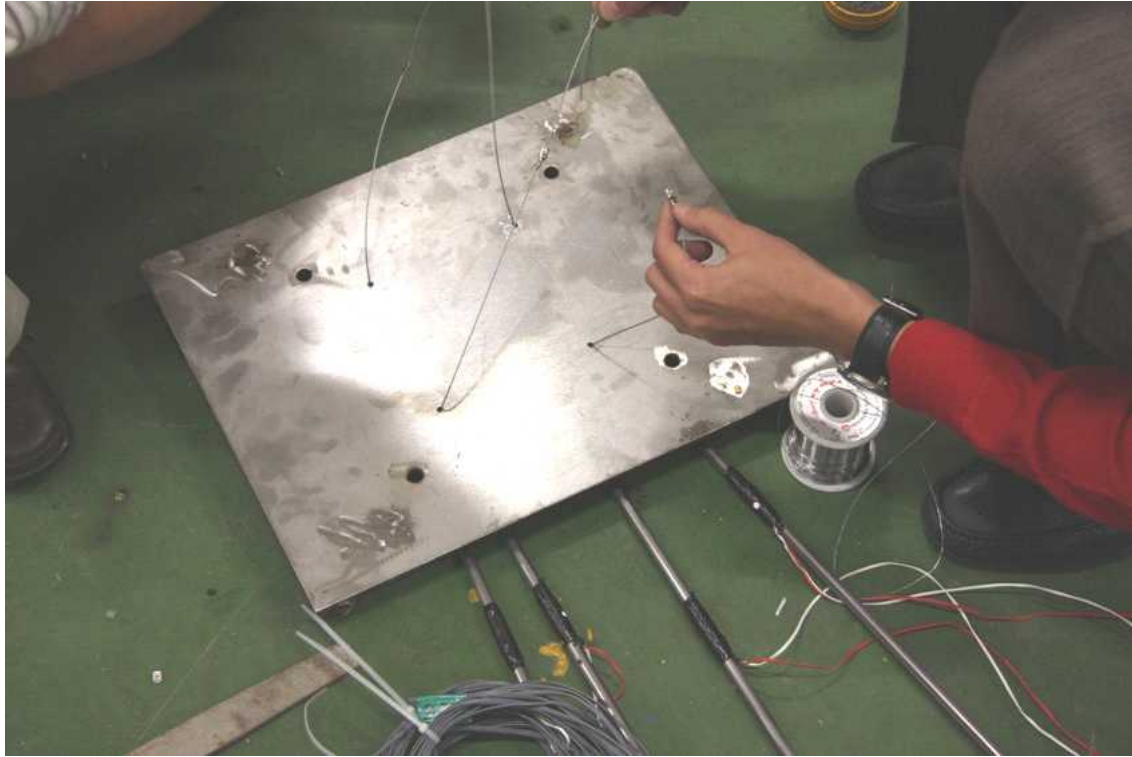
No. 2

데크 저면 파압 계측을 위한 압력센서 준비



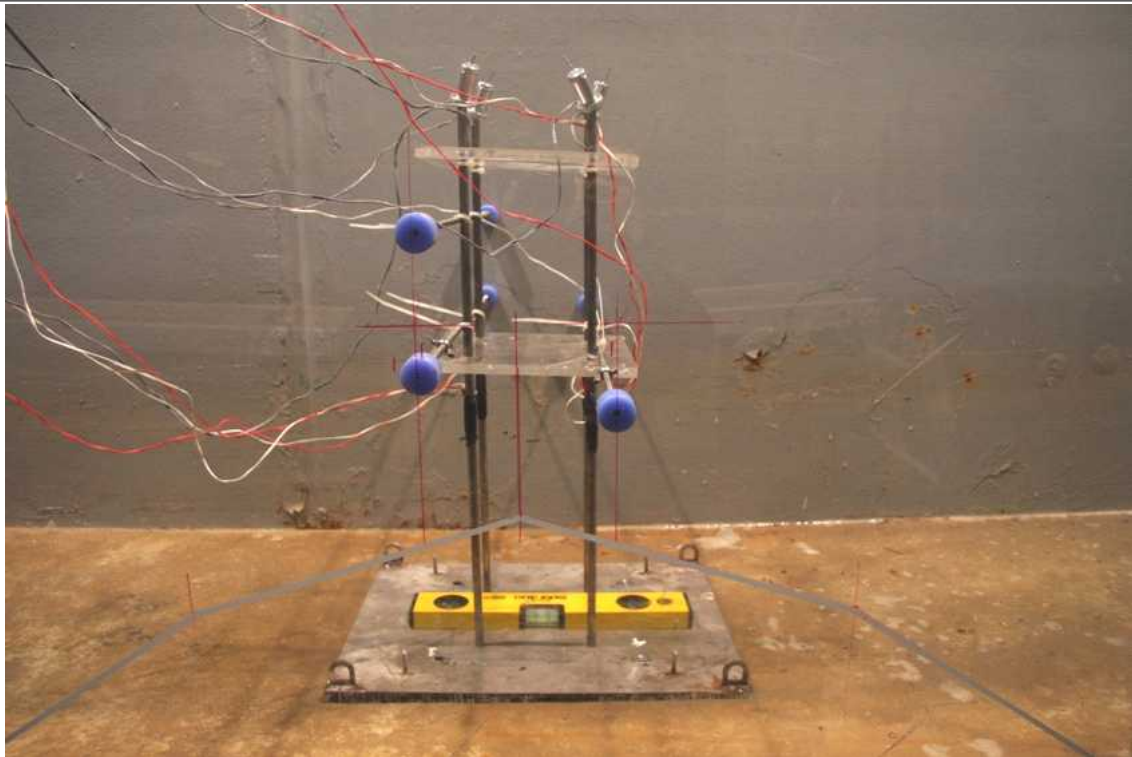
No. 3

강관파일을 고정시킬 바닥판 준비



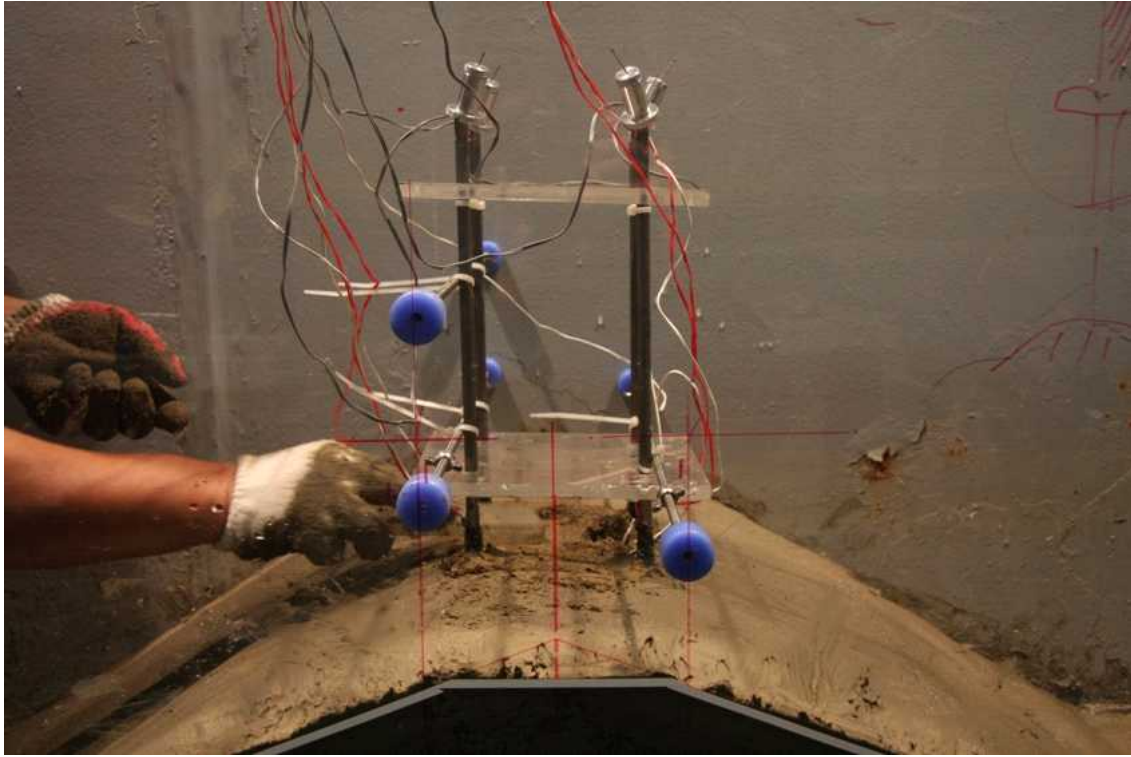
No. 4

강관파일 4개를 바닥판에 고정시키고 위치 잡음



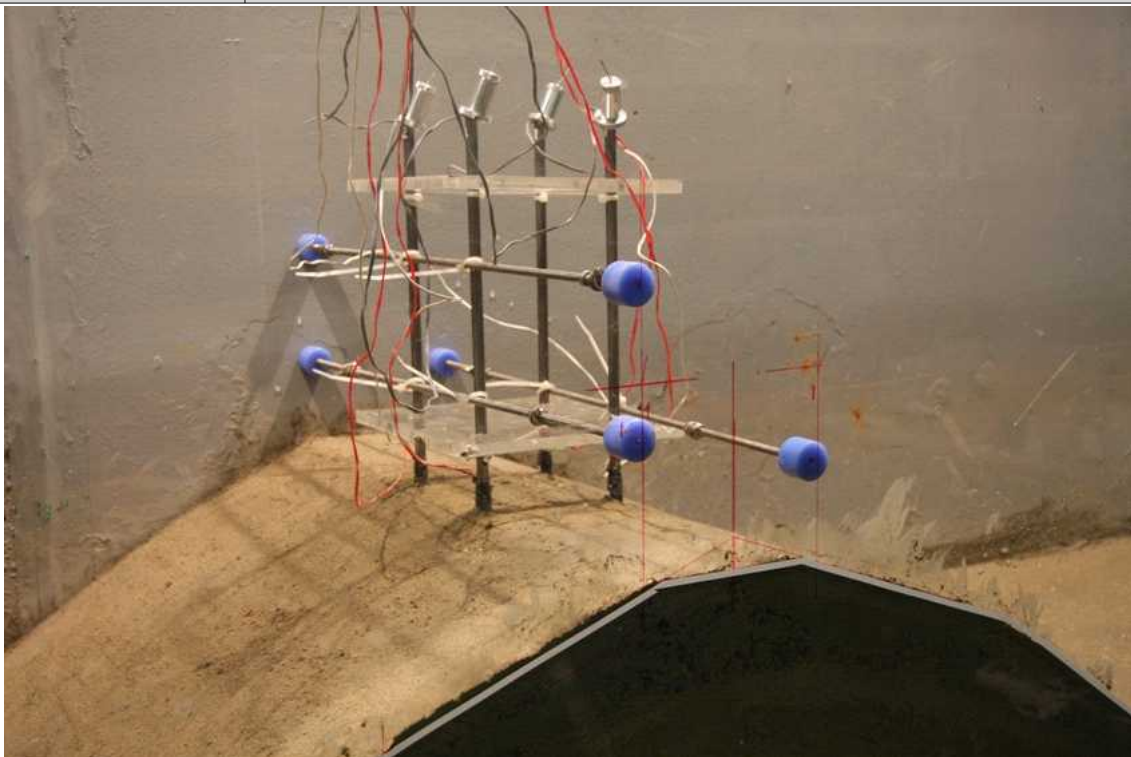
No. 5

암초 모형 제작 과정 (시멘트 몰타르로 표면 마감처리)



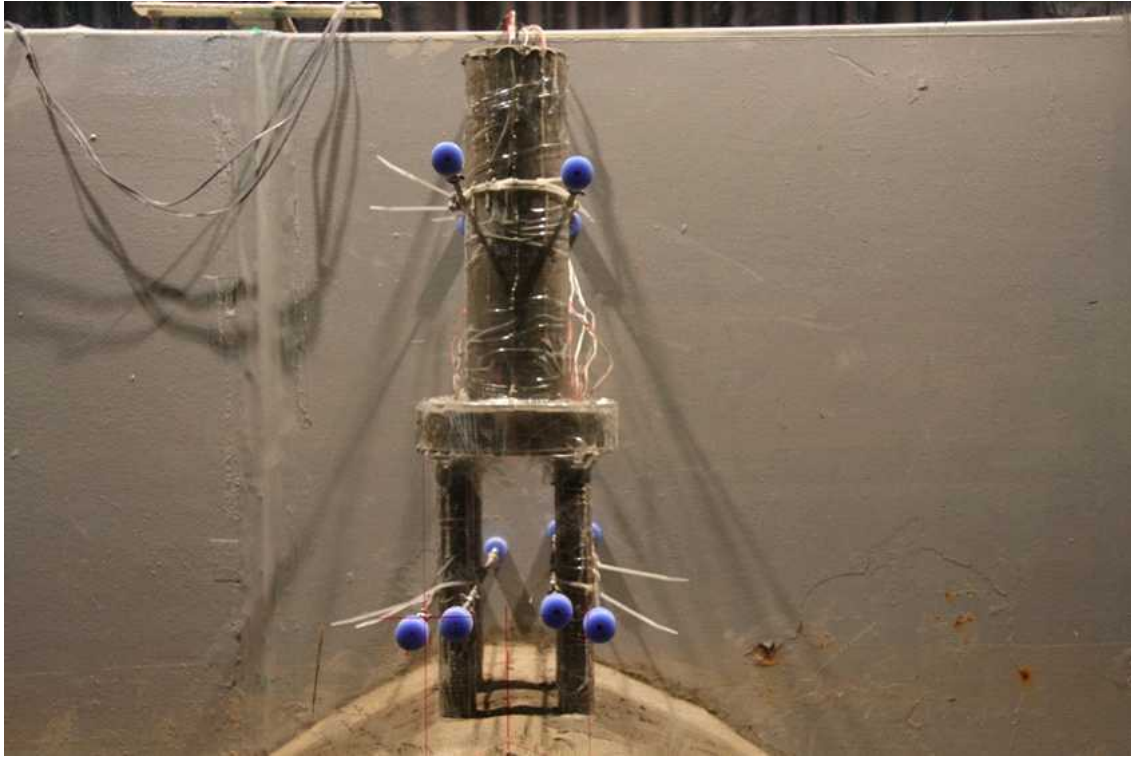
No. 6

암초 모형 제작 완료 (측사면에서 본 모습)



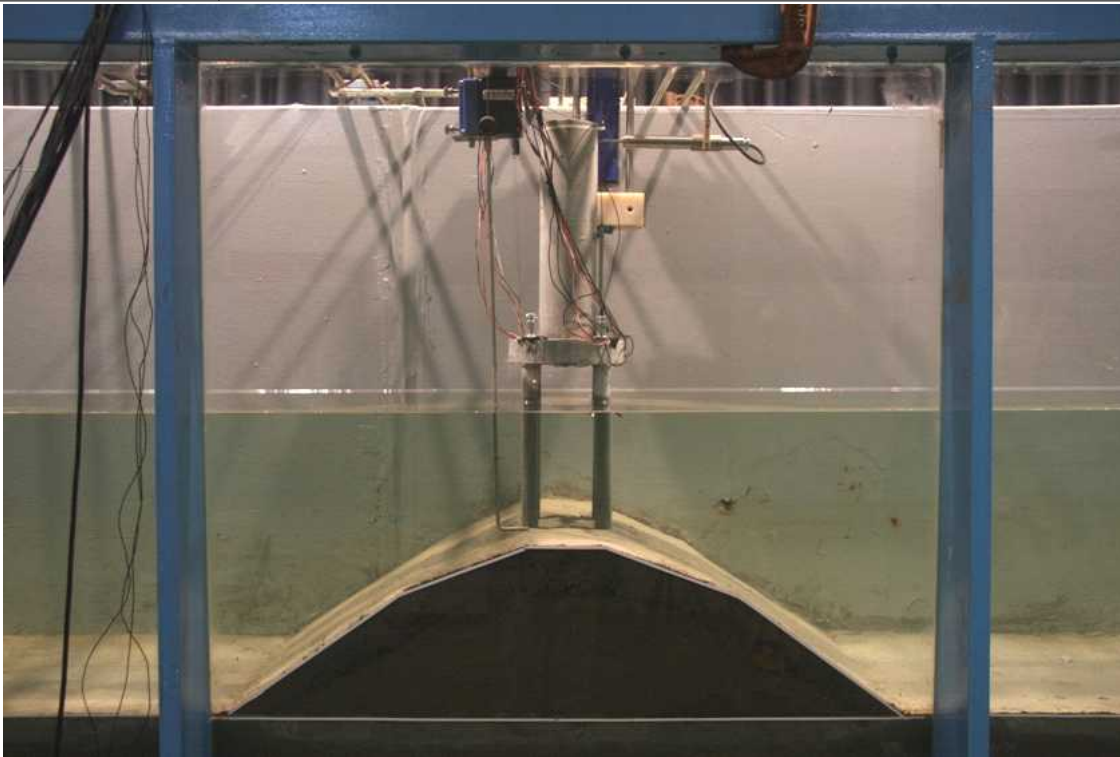
No. 7

파일데크식 등표 거푸집을 끼운 후 시멘트 타설



No. 8

파고계, 유속계, 변위계 설치 및 수조 내 물 공급



한편, 실험파는 규칙파 및 Goda(1987)에 의해 수정된 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 이용하여 작성하였다.

$$S(f) = 0.205 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp[-0.75 (T_{1/3} f)^{-4}]$$

여기서 $S(f)$ 는 파랑에너지 밀도, f 는 주파수를 나타내며, $H_{1/3}$ 및 $T_{1/3}$ 은 각각 유의파고 및 유의파 주기를 나타낸다.

<표 3-5-1>에는 실험파의 제원을 나타내었다. 우리나라 해안에서 50년 빈도 설계파의 주기로는 해역에 따라 8초 내외와 12-15초가 많이 사용되므로 파의 주기를 8초, 11초 및 14초로 선정하였다. 그리고 태풍 등 악기상조건 하에서의 장주기파를 고려하여 17초 주기의 파도 실험파로 고려하였다. 파의 작용시간은 규칙파의 경우 1분 30초였으며, 불규칙파의 경우 총 4분을 초과하여 최후 3분간의 자료를 분석에 이용하였다. 수심은 외해(조파기)에서는 65 cm, 암초 시작부분에서는 45 cm, 암초 정상부에서는 20 cm였으며, 이를 현장조건으로 환산하면, 각각 19.5 m, 13.5 m, 6 m에 해당한다.

<표 3-5-1> 실험파 조건

현장조건		실험실 조건	
주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (cm)
8.0	2.5	1.46	8.3
	4.0		13.3
	5.5		18.3
	7.0		23.3
11.0	2.5	2.01	8.3
	4.0		13.3
	5.5		18.3
	7.0		23.3
14.0	2.5	2.56	8.3
	4.0		13.3
	5.5		18.3
	7.0		23.3
17.0	2.5	3.10	8.3
	4.0		13.3
	5.5		18.3
	7.0		23.3

한편, 계측기기로는 다음 장비들을 사용하였다.

- 파고계: 입사파의 파고 및 등표 전면 처오름높이
- 파압계: 파일테크식 등표 데크 저면 압력
- 가속도계: 구조물의 진동
- 유속계: 등표 설치 위치에서의 유속
- 변형률계: 앵커 장력 및 등표 다리에 작용하는 양력

또한 실험 중 주요한 장면에 대해서는 사진 및 비디오 촬영을 실시하였다. <그림 3-5-21>에 는 파일테크식 등표 모형에 파가 작용하는 모습을 제시하였다.



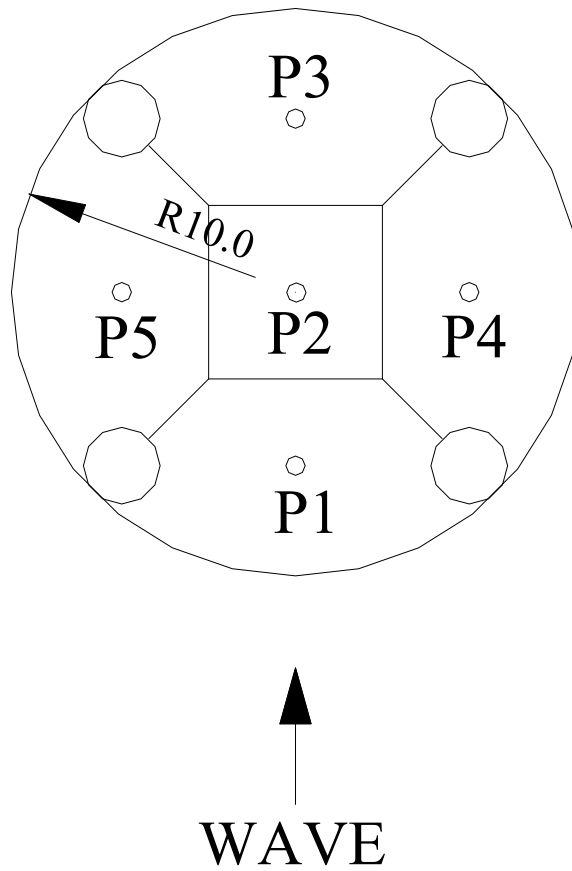
주기 14 s, 파고 7 m



주기 8 s, 파고 7 m

<그림 3-5-21> 파일테크식 등표 구조물에 파가 작용하는 모습

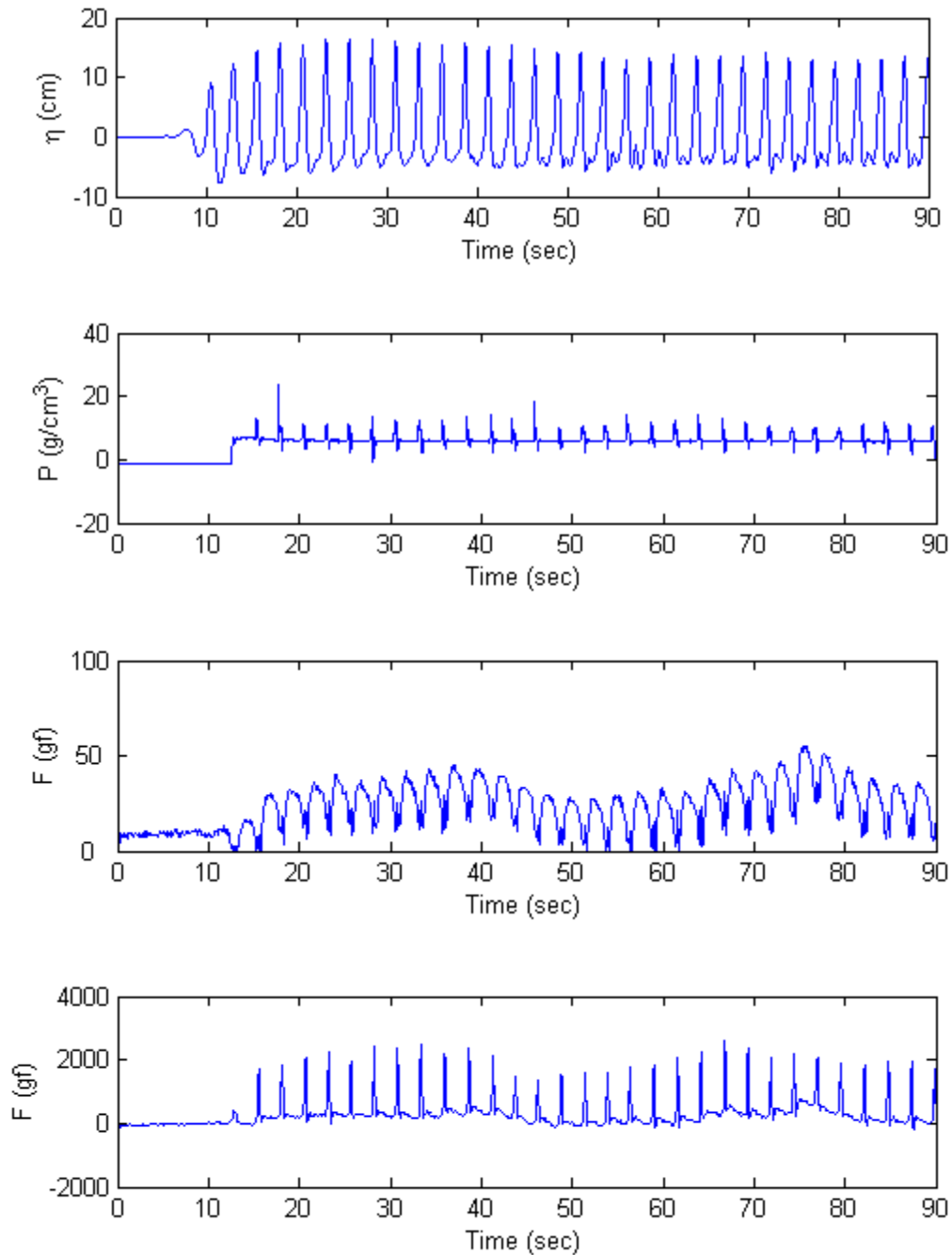
한편, 데크 저면에서의 파압은 <그림 3-5-22>에 보인 것처럼 P1~P5의 다섯 개 계측점에서 측정하였다.



<그림 3-5-22> 데크 저면 파압 계측점의 위치

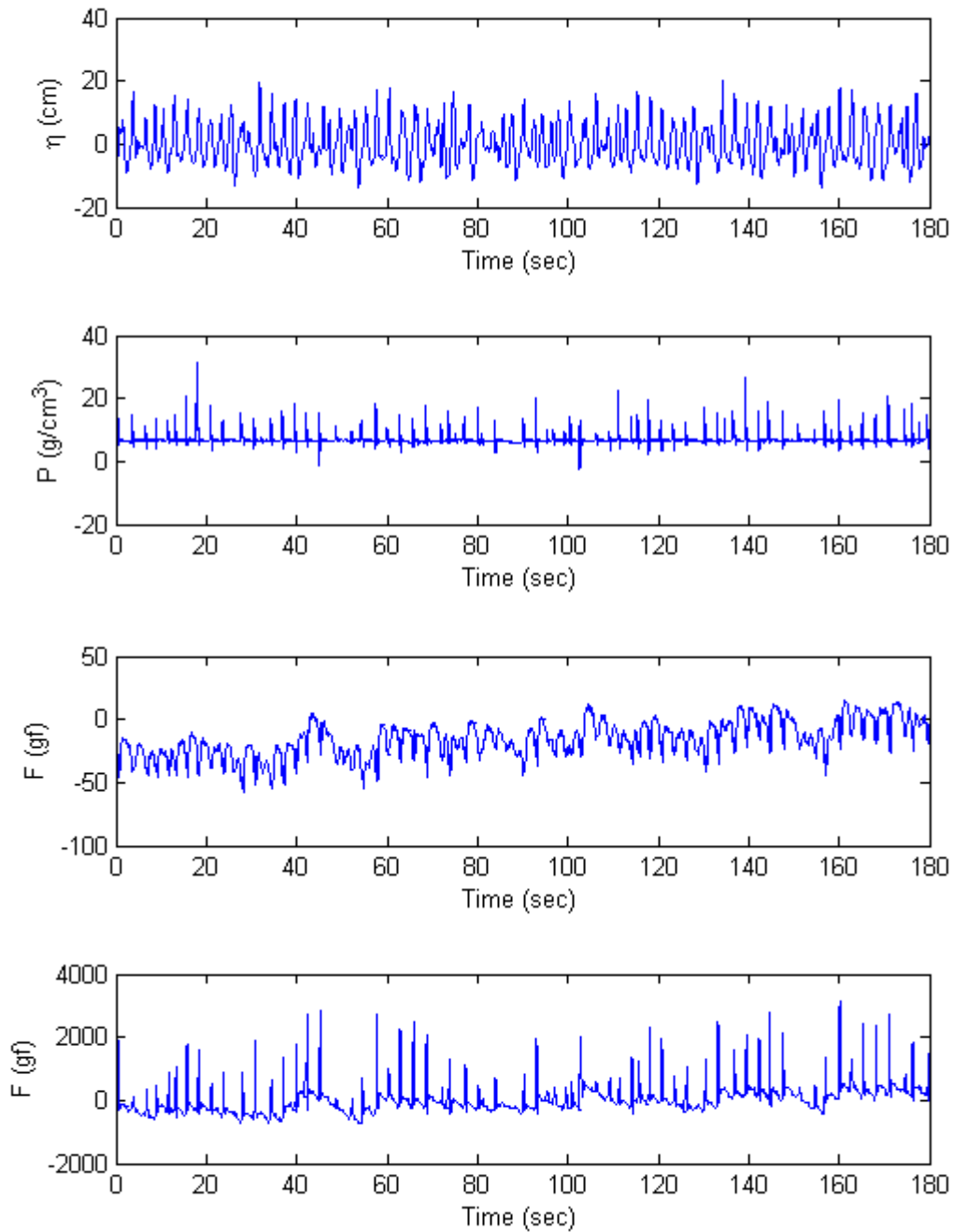
3) 수리모형실험 결과

<그림 3-5-23>에는 실험실 조건에서 파고가 23.3 cm, 2.56 s인 규칙파를 조파하였을 때 측정된 파고, 데크 저면 파압, 앵커장력 및 파일 인발력에 대한 시계열 그림을 예로써 제시하였다. 단위는 실험실에서 측정된 값이다.



<그림 3-5-23> 외해파고, 저면파압, 앵커장력 및 파일인발력의 시계열 ($H=23.3\text{cm}$, $T=2.56\text{s}$)

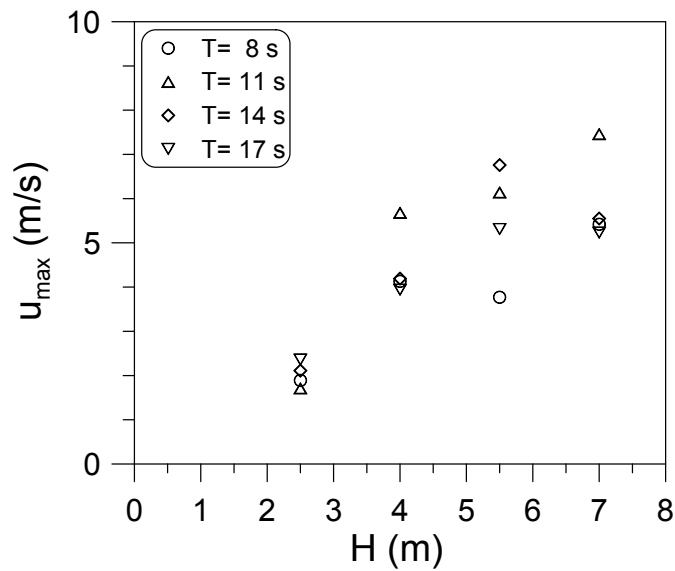
한편, <그림 3-5-24>에는 실험실 조건에서 파고가 23.3 cm, 2.56 s인 불규칙파를 조파하였을 때 계측된 파고, 데크 저면 파압, 앵커장력 및 파일 인발력에 대한 시계열 그림을 예로써 제시하였다. 단위는 실험실에서 측정된 값이다.



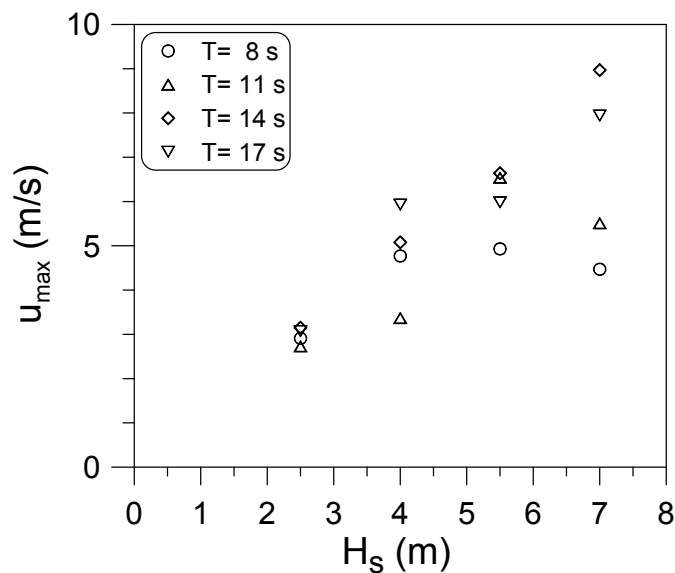
<그림 3-5-24> 외해파고, 저면파압, 앵커장력 및 파일인발력의 시계열 ($H_s=23.3\text{cm}$, $T_s=2.56\text{s}$)

한편, 이후로부터 설명되는 수리모형실험 결과는 모두 현장 단위로 환산하여 제시하였다. 파고, 파력 등의 주요 물리량을 현장 단위로 제시하는 것이 실제의 현장 조건을 감안하여 더 이해가 쉽고 실제 적용성을 가늠할 때 더 유용하기 때문이다.

<그림 3-5-25> 및 <그림 3-5-26>에는 파일테크식 등표 구조물이 설치된 위치에서의 파 진행 방향 최대유속을 나타내었다. 대체로 파고가 증가할수록 최대유속은 선형적으로 증가하며, 파고가 동일한 경우 주기가 클수록 최대유속이 증가하는 경향이 나타났다. 또한, 규칙파와 불규칙파 간 큰 차이가 나타나지 않았다. 현장 기준으로 유속 최대값은 8~9 m/s 정도가 된다.

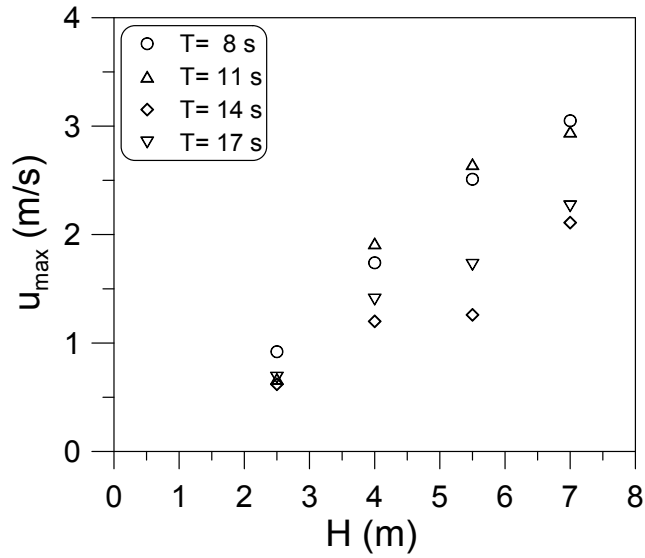


<그림 3-5-25> 파 진행방향 최대유속 (규칙파)

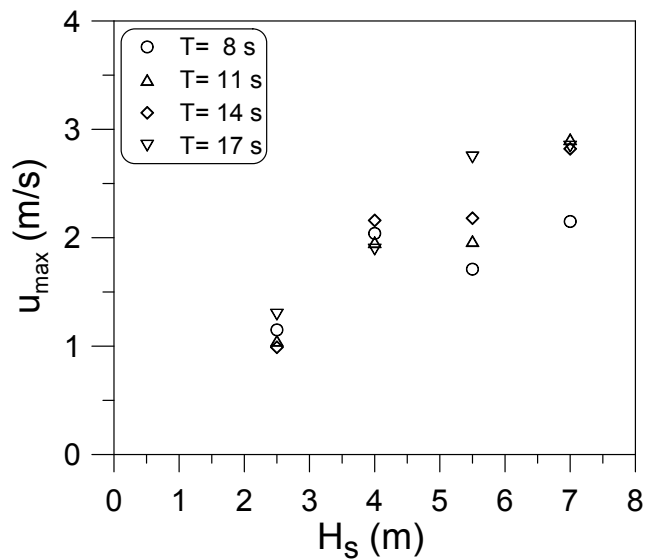


<그림 3-5-26> 파 진행방향 최대유속 (불규칙파)

<그림 3-5-27> 및 <그림 3-5-28>에는 파일데크식 등표 구조물이 설치된 위치에서의 연직방향 최대유속을 나타내었다. 이 경우에도 대체로 파고가 증가할수록 최대유속은 선형적으로 증가하며, 파고가 동일한 경우 주기가 클수록 최대유속이 증가하는 경향이 동일하게 나타났다. 현장 기준으로 연직방향 유속 최대값은 3 m/s 정도가 된다.

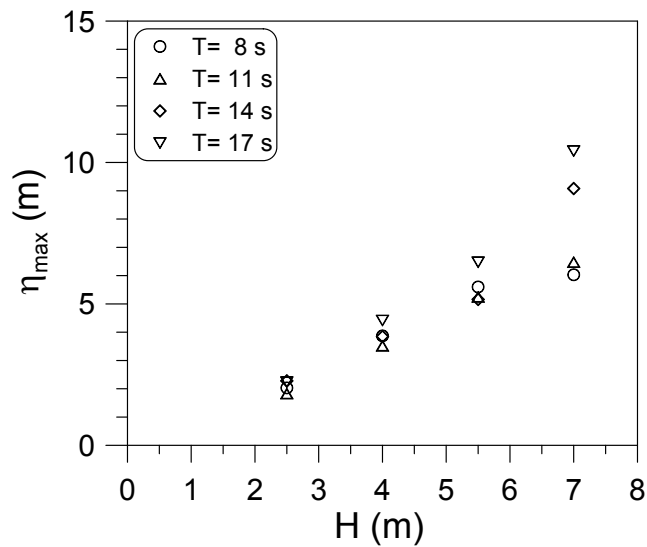


<그림 3-5-27> 연직방향 최대유속 (규칙파)

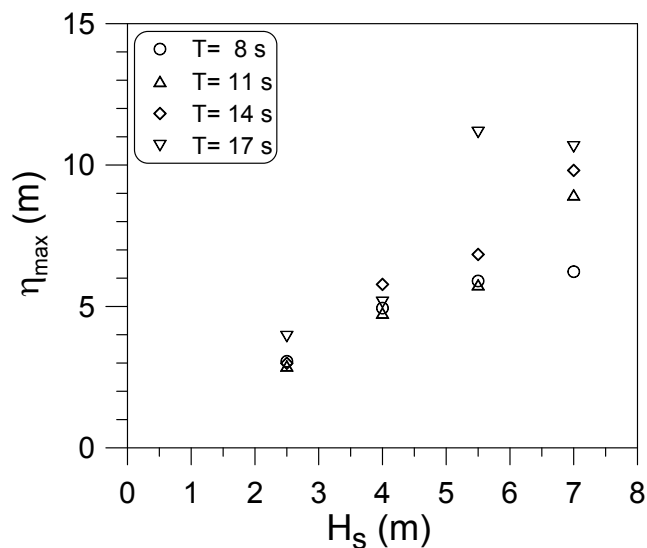


<그림 3-5-28> 연직방향 최대유속 (불규칙파)

<그림 3-5-29> 및 <그림 3-5-30>에는 파일테크식 등표 구조물이 설치된 위치에서의 파의 처오름 높이를 나타내었다. 이 경우에도 파고가 증가할수록 파의 처오름 높이가 선형적으로 증가하는 경향이 관찰되었다. 한편, 파고가 5.5 m, 주기가 14 s인 불규칙파의 경우 파의 처오름 높이가 매우 크게 나타났는데, 이것은 쇄파가 진행되면서 발생한 거품이 파고계에 접촉하여 발생한 오차로 추정된다. 파의 최대처오름 높이는 약 10 m 정도로 추정되며, 따라서 등탑 정상부 근처까지 파가 튀어오를 수 있을 것으로 평가된다.

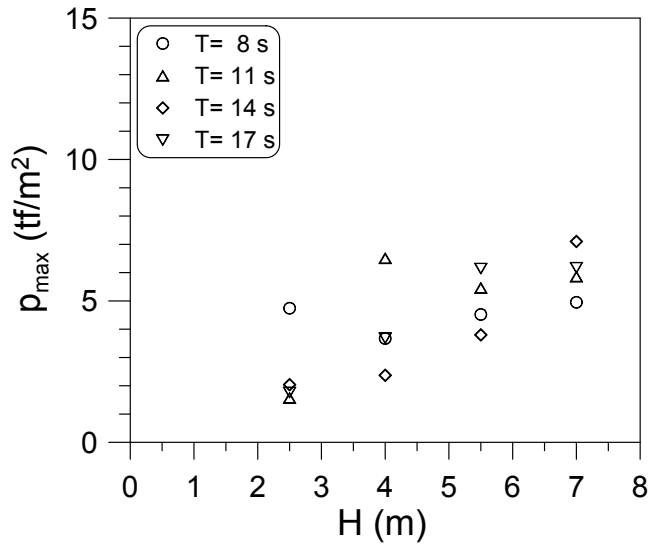


<그림 3-5-29> 파의 처오름 높이 (규칙파)

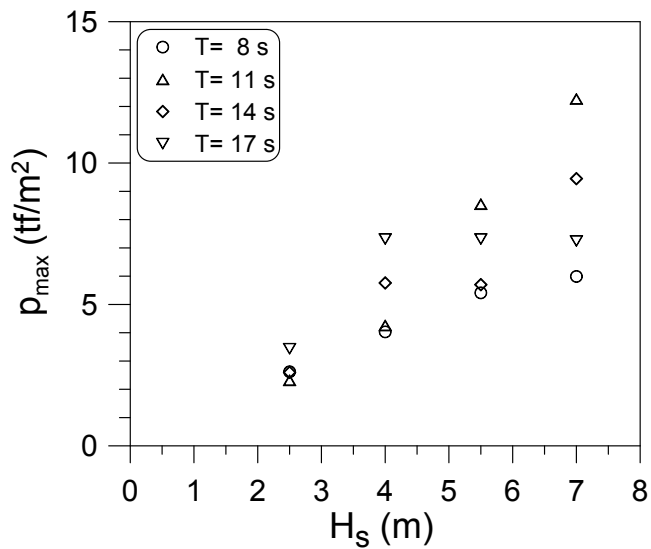


<그림 3-5-30> 파의 처오름 높이 (불규칙파)

<그림 3-5-31> 및 <그림 3-5-32>에는 파일테크식 등표 테크 저면 최대파압에 대한 계측값을 나타내었다. 다섯 개의 계측점 중에서 가장 앞쪽에 위치한 P1 계측점에서 계측된 파압이며, 불규칙파의 경우에 파압이 훨씬 크게 나타남을 알 수 있다. 이것은 불규칙파의 경우 유의파고는 규칙파의 파고와 같다고 하더라도 그 값의 1.6~2.0배에 이르는 최대파가 발생할 수 있기 때문에 더 큰 파압이 작용하게 된다. 최대 파압은 13 tf/m² 정도가 될 것으로 평가되었다.

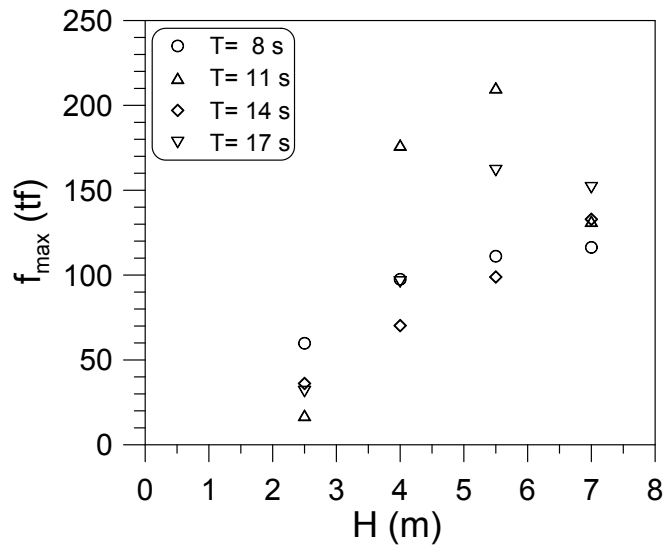


<그림 3-5-31> 테크 저면파압 (P1 계측점 - 규칙파)

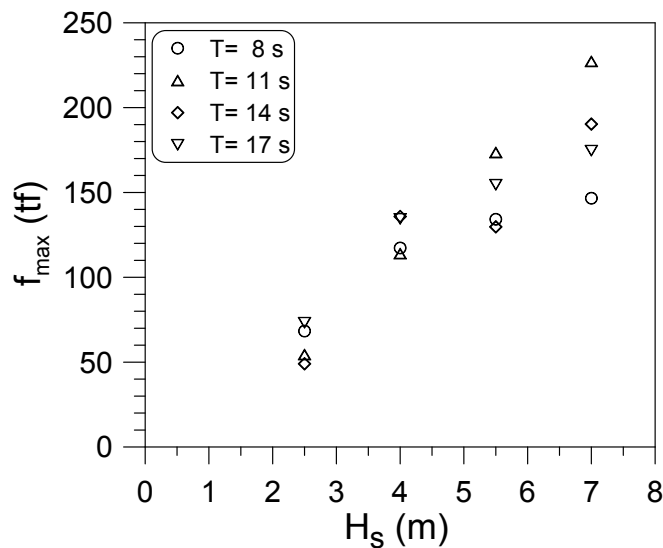


<그림 3-5-32> 테크 저면파압 (P1 계측점 - 불규칙파)

<그림 3-5-33> 및 <그림 3-5-34>에는 파일테크식 등표 테크 저면에 작용하는 연직 상방향의 전파력을 나타내었다. 전파력은 다섯 개 계측점에서 계측된 최대파압에 파압이 작용하는 면적을 곱하여 합산함으로써 계산하였다. 규칙파의 경우 주기 11 s의 경우 전파력이 크게 계측되었는데, 이것은 실험오차에 기인한 것으로 추정된다. 테크 저면 최대 전파력은 약 230 tonf로 계측되었다. 다만, 모든 계측점에서 최대파압이 작용하는 것이 아니므로 실제로 테크 저면에 작용하는 전파력은 이 값보다는 작다고 할 수 있다.

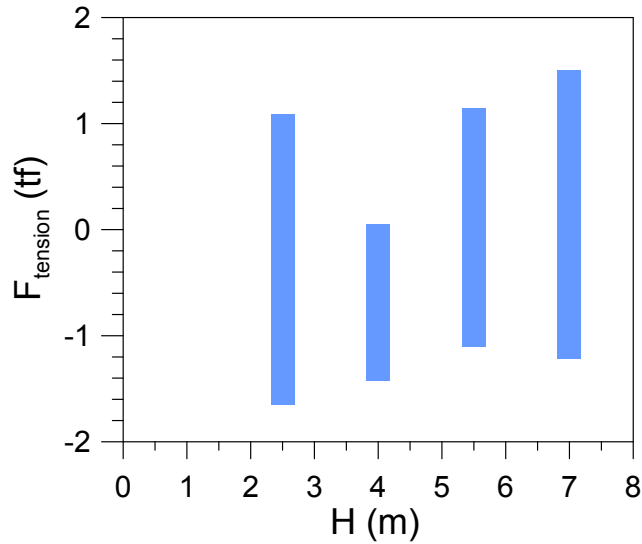


<그림 3-5-33> 테크 저면 전파력 (규칙파)

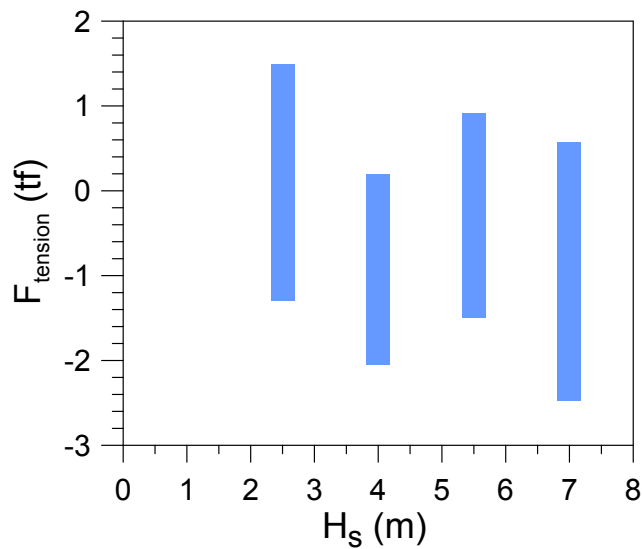


<그림 3-5-34> 테크 저면 전파력 (불규칙파)

<그림 3-5-35> 및 <그림 3-5-36>에는 수리모형실험 중에 파일테크식 등표 와이어에 걸리는 인장·압축력을 나타내었다. 실험 중 와이어에 작용하는 하중이 ± 2.5 tonf 범위에 있음을 알 수 있다. 파일테크식 등표 설치시에 선행 긴장하중을 125 tonf을 작용시켰으므로, 실험 중에 와이어에 작용되는 인장·압축력은 선행 긴장하중의 약 2% 정도에 해당한다.

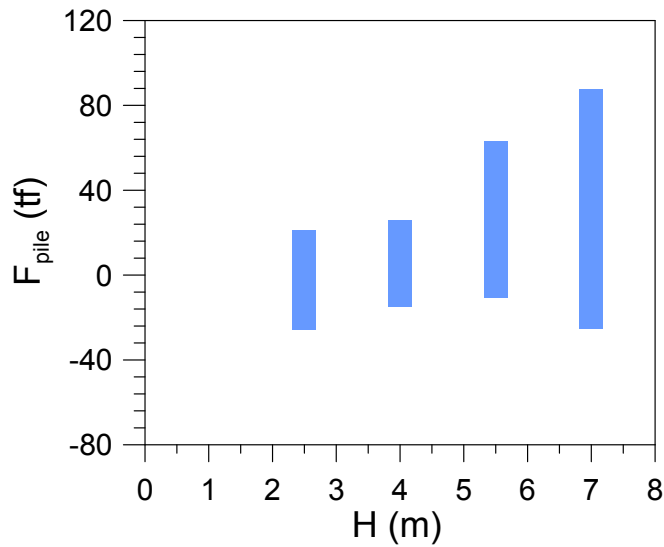


<그림 3-5-35> 앵커 와이어의 인장·압축력 (규칙파)

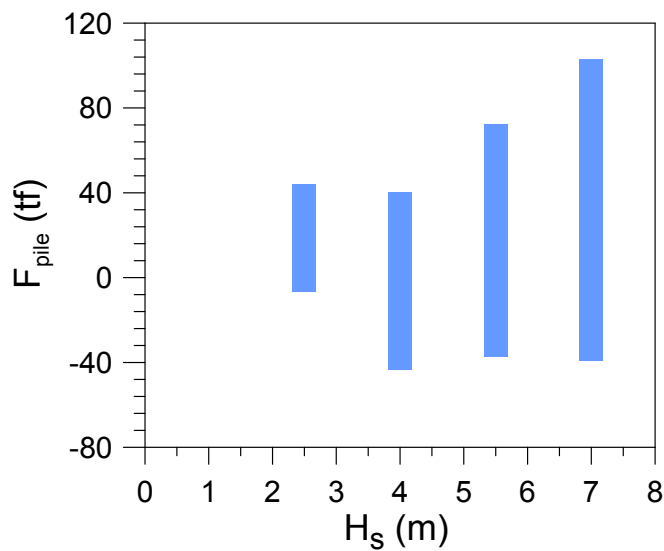


<그림 3-5-36> 앵커 와이어의 인장·압축력 (불규칙파)

<그림 3-5-37> 및 <그림 3-5-38>에는 파일테크식 등표 강관 파일에 작용하는 하중을 나타내었다. 규칙파에 비해서 불규칙파의 경우에 훨씬 더 큰 힘이 작용함을 알 수 있으며, 연직 하방(-부호)보다는 연직 상방(+부호)의 하중이 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 이로부터 강관 파일 1개에 대하여 연직 상방으로 작용하는 최대하중은 약 100 tonf 정도로 추정된다.

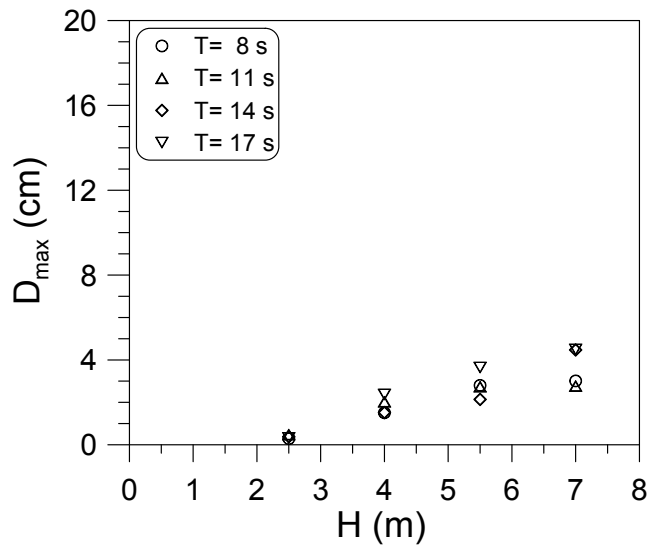


<그림 3-5-37> 강관파일에서 작용하는 연직방향 하중 (규칙파)

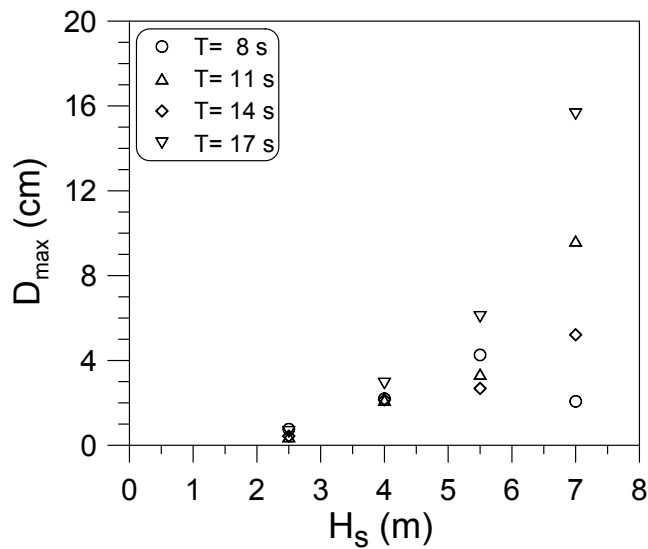


<그림 3-5-38> 강관파일에서 작용하는 연직방향 하중 (불규칙파)

마지막으로, <그림 3-5-39> 및 <그림 3-5-40>에는 파일데크식 등표의 횡방향 최대 변위량을 나타내었다. 횡방향 변위는 가속도를 시간에 대하여 2차 적분하여 계산하였다. 규칙파의 경우에는 최대 변위가 5 cm, 불규칙파의 경우에는 15 cm 정도임을 알 수 있다. 이는 실험실 값으로는 각각 0.15 cm, 0.5 cm에 해당한다. 현장 기준으로 등표 구조물의 전체 높이가 20 m에 이르는 점을 감안하면 등표구조물의 횡방향 변위는 매우 작은 것으로 평가된다.



<그림 3-5-39> 파일데크식 등표의 최대 변위 (규칙파)



<그림 3-5-40> 파일데크식 등표의 최대 변위 (불규칙파)

4) 소결

2차원 조파수조 내에서 파일데크식 등표 모형을 제작 및 설치하고 규칙파 및 불규칙파에 대하여 수리모형실험을 수행하여 파일데크식 등표의 성능을 평가하였다. 비록 조파시간이 규칙파의 경우에 1분 30초, 불규칙파의 경우에 3분 정도로 아주 길지는 않았지만, 등표 구조물은 매우 안정적이었으며 파압에 대하여 효율적으로 저항함을 알 수 있었다. 특히 설계의 핵심적인 요소에 해당하는 앵커 긴장력이 최초 선행 긴장하중의 2% 정도 내에서 변화함에 따라 구조물의 거동이 매우 안정적이었다. 파일데크식 등표는 앵커 긴장력에 의해서 구조물의 자중을 줄일 수 있고, 시공 방법 상 모암의 형태를 그대로 유지한 채로 등표구조물을 시공할 수 있어서 현장에 적용할 경우에 여러 가지 장점이 있을 것으로 기대된다.

제 6 절 상시진동계측에 의한 기초세굴평가기법 개발

1. 개요

교량이나 고층빌딩 등과 같은 육상 사회기반시설물의 상시진동계측 자료를 이용하여 이들 구조물의 구조적 건전성을 평가하는 것에 관하여 활발한 연구가 진행되어져 오고 있다(Jaishi *et al*, 2003; Feng *et al*, 2004). 특히 상시진동은 교량에 작용하는 차량하중이나 풍하중에 의한 교량의 상시진동을 계측하여, 이로부터 교량의 구조손상도를 평가하거나 혹은 교량의 전반적인 내하력을 교통차단 없이 수행할 수 있는 대안으로써 제안된 바 있다(Shama *et al*, 2001; Ren *et al* 2004). 한편 고층빌딩의 경우 교량과 달리 낮은 속도의 바람에 의해서도 충분히 계측가능한 진동이 발생함으로써 이러한 진동을 계측하여 구조물의 동특성을 추정하고 이로부터 구조 건전성을 평가하는 연구가 활발하게 수행되고 있다. 비교적 최근에는 그리스, 요르단 등 문화재가 많은 국가에서 이들 문화재에 대한 건전성 평가 및 보수보강 등을 위하여 상시진동을 이용한 연구를 집중적으로 수행한 바 있다(Bani-Hani *et al*, 2008; Chrysostomou *et al*, 2008; Ei-Borgi *et al*, 2008). 이외에도 상시진동계측에 의한 동특성 추정 및 구조건전성 평가에 관한 연구는 국내외에서 다양한 육상구조물에 대하여 적용되어 활발히 연구가 이루어지고 있는 상황이다. 이러한 육상 시설물과 달리, 이 연구에서 다루고자 하는 등표 구조물은 안전한 항로 확보를 위하여 연안에 건설되는 항로표지시설로서 규모는 교량이나 고층빌딩에 비하여 작지만 그 기능은 선박의 안전한 항해를 확보하는데 중요한 기능을 수행하며, 특히 압초 위에 시공됨으로써 선박이 압초와 충돌하여 전복되는 것을 방지하는데 매우 중요한 역할을 수행하고 있다. 우리나라 서해안의 경우 조수간만의 차가 크고, 섬이 많으며 또한 수심이 얕은 경우가 많고, 또한 주변에 많은 압초가 존재하여 선박의 안전한 운행을 위하여 많은 등표 구조물이 설치, 운영되고 있다. 그러나 이들 구조물에 대한 구조적 안전성 평가는 주로 육안검사 등 재래식 방법에 주로 의존하고 있다. 등표의 경우 청소, 등명기 및 배터리 관리를 위하여 정기적으로 점검하고 있으나, 이는 등표의 기능성 확보를 위한 관리이며, 안전성 확보를 위한 관리는 매우 미약한 상황이다. 특히 우리나라의 경우 등표 구조물은 중력식 구조물로 설계 및 시공하는 경우가 많으나 이러한 중력식 구조물의 기초는 강한 조류에 의하여 세굴이 발생하기 쉽고, 따라서 태풍과 같은 큰 하중이 발생하는 경우 이를 견디지 못하고 전복되는 경우가 발생하고 있다. 중력식 등표구조물의 기초 세굴이 심각하게 진행되는 경우에는 에폭시, 초속경 콘크리트 등과 같은 보수재료를 이용하여 보수 또는 보강을 할 수 있으나 기초가 항상 수중에 잠겨 있는 수중압 상의 등표 구조물의 경우 이러한 기초세굴을 정량적으로 평가할 수 있는 방법이 없고, 관리기관의 주관적인 판단에 의하여 재시공 등이 결정되고 있는 상황이다. 이 연구에서는 이와 같이 연안을 운행하는 선박의 운행안전성을 확보하는데 매우 중요한 기능을 수행하고 있는 등표구조물의 유지관리를 위하여, 기초가 항상 노출되어 있는 노출암 상의 등표뿐만 아니라 조수간만에 따라 기초가 잠기기도 하는 간출암, 그리고 항상 기초가 수중에 있어 육안검사가 어려운 수중암 등에 시공되어 있는 등표구조물의 구조건전성 평가를 위하여 이들

구조물의 상시진동계측 자료를 활용하는 방법에 관하여 연구를 수행하였다.

등표 구조물의 경우 육지에서 분리되어 있는 압초 위에 시공되므로 특별한 전력공급이 불가능하며, 또한 작업이 가능한 시간이 매우 제한되어 있기 때문에 이 연구에서는 휴대가 간편하고, 충전식 구조로 적용이 매우 용이한 무선계측시스템을 적용하였으며, 이때 기존의 MEMS 형식의 무선계측시스템의 경우 계측잡음비가 높아 수백 μg 의 미소진동을 계측하기 어려우므로 등표 구조물의 일반적인 고유주파수인 5Hz 이상에서 미세한 진동계측이 가능한 ICP 형식의 가속도계를 사용하고 유선 시스템이 갖는 불편을 해결하기 위하여 계측자료의 송수신만을 무선화한 시스템을 적용하였다. 지난 1차년도 연구사업에서 제안한 방법은 등표 구조물에 대한 상시진동계측, 계측자료만을 활용한 구조물의 동특성 추정, 계측된 동특성과 도면을 바탕으로 작성된 유한요소모델을 이용하여 계산된 동특성과의 차이를 이용한 유한요소모델개선에 의한 구조진전성 평가 등의 절차로 구성되어 있으며, 이때 등표 구조물의 구조적인 특성을 반영하기 위하여 우물통 기초와 압초 사이의 경계면의 강성을 회전 스프링의 등가강성으로 표현하였다. 그러나 1차년도에 제안한 방법을 등표 관리감독청에서 직접 적용하기 위해서는 상시진동을 이용한 동특성 추정뿐만 아니라 이를 이용한 수치해석모델의 개선까지 수행하여야 하므로, 이러한 불편을 해소하기 위하여 2차년도 연구를 수행하면서 관리기준을 마련하고, 그 기준 아래로 동특성이 추정되는 경우 잠수부 등에 의한 육안검사를 제안하는 절차를 제안하였다. 즉, 상시진동계측에 의한 동특성 추정까지는 1차년도에 제안한 방법과 동일하지만 복잡한 유한요소해석모델의 구축이나 수치해석모델 개선과 같은 역해석 절차가 불필요하게 되어 보다 간편하게 등표의 안전성을 분석할 수 있도록 하였다.

2. 상시진동계측에 의한 구조물 동특성 추정

상시진동계측에 의한 구조물의 동특성 추정에 있어서 여러 기법들이 소개되어져 있으나, 이 연구에서는 이들 방법 중 가장 최근에 제안된 방법 가운데 하나인 추계론적 부공간 규명법(Stochastic Subspace Identification, SSI)에 의하여 등표구조물의 동특성을 추정할 수 있도록 하였다. 추계론적 부공간 규명법에 대한 자세한 이론은 문헌을 참고할 수 있으며, 여기서는 주요 내용만을 정리하였다(Overschee and De Moor, 1996; Peeters and De Roeck, 1999).

추계론적 부공간 규명법(SSI)은 응답값의 상관행렬을 요소로 가지는 블록 행켈행렬을 SVD(Singular Value Decomposition)함으로써 모드계수를 추정하는 방법으로, 행켈 행렬을 구성하는 방법에 따라 SSI-BR (Balanced Realization)과 SSI-CVA (Canonical Variate Analysis)로 나눌 수 있다. 우선 추계론적 이산상태방정식은 다음의 식 (3.6.1)과 같이 하중을 랜덤정규분포 하중으로 고려한 경우를 표현한 방정식이며, 이로부터 상호상관행렬($R(k)$)을 구하면 식 (3.6.2)와 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{z}(k+1) &= \mathbf{A}\mathbf{z}(k) + \mathbf{w}(k) \\ \mathbf{y}(k) &= \mathbf{C}\mathbf{z}(k) + \mathbf{v}(k) \end{aligned} \quad (3.6.1)$$

$$\mathbf{R}(k) = E[\mathbf{y}(k+m)\mathbf{y}(m)^T] = \mathbf{C}\mathbf{A}^{k-1}E[\mathbf{z}(m+1)\mathbf{y}(m)^T] = \mathbf{C}\mathbf{A}^{k-1}\mathbf{G} \quad (3.6.2)$$

여기서, $\mathbf{G} \equiv E[\mathbf{z}(m+1)\mathbf{y}(m)^T]$ 이며, $\mathbf{w}(k)$ 와 $\mathbf{v}(k)$ 는 각각 서로 상관관계가 없는 랜덤 정규분포 하중벡터와 관측변수에 대한 노이즈벡터이다. 식 (3.6.2)와 같은 상호상관행렬을 요소로 갖는 블록 행켈행렬을 구성하면, 이는 식 (3.6.2)의 마지막 등호관계와 같이 가관측성 행렬과 확장 가제어성 행렬(extended controllability matrix)로 분해할 수 있음을 알 수 있고, 이는 행켈행렬을 Q-R 분해(Orthogonal-Triangular Decmopostion)함으로써 실현할 수 있다.

$$\mathbf{H}_{n_1, n_2} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_1 & \cdots & \mathbf{R}_{n_2} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{R}_{n_1} & \cdots & \mathbf{R}_{n_1+n_2-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}\mathbf{G} & \cdots & \mathbf{C}\mathbf{A}^{n_2-1}\mathbf{G} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{C}\mathbf{A}^{n_2-1}\mathbf{G} & \cdots & \mathbf{C}\mathbf{A}^{n_1+n_2-2}\mathbf{G} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{C} \\ \vdots \\ \mathbf{C}\mathbf{A}^{n_1-1} \end{bmatrix} [\mathbf{G} \cdots \mathbf{A}^{n_2-1}\mathbf{G}] = \tilde{\mathbf{O}}_{n_1} \tilde{\mathbf{C}}_{n_2} \quad (3.6.3)$$

여기서, $\tilde{\mathbf{O}}_{n_1} = \begin{bmatrix} \mathbf{C} \\ \vdots \\ \mathbf{C}\mathbf{A}^{n_1-1} \end{bmatrix}$, $\tilde{\mathbf{C}}_{n_2} = [\mathbf{G} \cdots \mathbf{A}^{n_2-1}\mathbf{G}]$ 이다. 식 (3.6.3)의 블록 행켈 행렬 (\mathbf{H}_{n_1, n_2}) 대신 다음과 같이 역변환이 가능한 가중치 행렬 \mathbf{W}_1 과 \mathbf{W}_2 를 블록 행켈행렬의 전후에 곱한 후, 이를 SVD하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_1 \mathbf{H}_{n_1, n_2} \mathbf{W}_2 &= [\mathbf{U}_1 \ \mathbf{U}_2] \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Sigma}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1^T \\ \mathbf{V}_2^T \end{bmatrix} \approx \mathbf{U}_1 \boldsymbol{\Sigma}_1 \mathbf{V}_1^T \Leftrightarrow \mathbf{W}_1 \tilde{\mathbf{O}}_{n_1} \tilde{\mathbf{C}}_{n_2} \mathbf{W}_2 \\ \therefore \tilde{\mathbf{O}}_{n_1} &= \mathbf{W}_1^{-1} \mathbf{U}_1 \boldsymbol{\Sigma}_1^{1/2} \end{aligned} \quad (3.6.4)$$

최종적으로, 식 (3.6.4)의 관계를 이용하면, $\tilde{\mathbf{O}}_{n_1}$ 행렬에서 각각 아래와 위로 한 블록을 빼 나머지 행렬 $\tilde{\mathbf{O}}_{n_1-1}^\uparrow$ 와 $\tilde{\mathbf{O}}_{n_1-1}$ 로부터 시스템 행렬 \mathbf{A} 를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\tilde{\mathbf{O}}_{n_1-1}^\uparrow = \tilde{\mathbf{O}}_{n_1-1} \mathbf{A} \quad (3.6.5)$$

여기서, $\tilde{\mathbf{O}}_{n_1-1}^\uparrow = \begin{bmatrix} \mathbf{CA} \\ \vdots \\ \mathbf{CA}^{n_1-1} \end{bmatrix}$, $\tilde{\mathbf{O}}_{n_1-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{C} \\ \vdots \\ \mathbf{CA}^{n_1-2} \end{bmatrix}$ 이다. 마지막으로 이산상태방정식에 대한 고유주파수, 모드감쇠비, 모드형상 등의 모드계수는 시스템행렬 \mathbf{A} 로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\mathbf{A}\boldsymbol{\Psi} = \mathbf{M}\boldsymbol{\Psi} \quad (\mathbf{M} = \text{diag}(\mu_1, \dots, \mu_N) \in \mathbb{R}^{N \times N} \text{ and } \boldsymbol{\Psi} = [\boldsymbol{\Psi}_1 \dots \boldsymbol{\Psi}_N] \in \mathbb{R}^{N \times N}) \quad (3.6.6)$$

따라서, 연속상태방정식의 고유치(λ_k), 고유진동수(ω_k)와 모드감쇠비(ζ_k) 및 계측자유도에서의 실제 모드벡터(ϕ_k)는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\lambda_k = \frac{1}{\Delta t} \ln(\mu_k), \quad \zeta_k = -\text{Re}(\lambda_k)/|\lambda_k|, \quad \omega_k = -\text{Im}(\lambda_k)/\sqrt{1-\zeta_k^2}, \quad \phi_k = \mathbf{C}\boldsymbol{\psi}_k \quad (3.6.7)$$

ERA(Eigensystem Realization Algorithm), SSI 등과 같은 시간영역 방법의 경우, 시스템의 최소실현(minimum order realization)을 위하여 시스템의 적절한 차수(system order)를 결정하여야 한다. 만약, 자유도가 n 인 전단빌딩의 경우라면, \mathbf{A} 의 크기는 $2n$ 이 된다. 그러나 일반적인 구조물의 경우 실제로는 무한개의 자유도를 가지고 있으므로, 실측자료에 근거하여 공학적으로 의미있는 시스템의 차수를 찾기 위해서는 적절한 절차가 필요하다. 자유도가 정확히 n 이고, 계측자료에 노이즈가 포함되지 않은 경우에는, 행렬행렬에 대하여 SVD를 하였을 때, 구조물의 시스템 차수 $2n$ 보다 큰 특이치는 모두 0이 된다.

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_{2n} > \sigma_{2n+1} = \sigma_{2n+2} = \dots = 0 \quad (3.6.8)$$

그러나 계측자료에 노이즈가 포함되어 있는 경우에는, σ_{2n+1} 이상의 특이치는 정확히 0은 아니지만, σ_{2n} 에 비하여 아주 작은 값을 가지게 된다.

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_{2n} > \sigma_{2n+1} \geq \sigma_{2n+2} \geq \dots \geq 0 \quad (3.6.9)$$

따라서 위와 같은 판단근거로 시스템의 적절한 차수를 구하는 것이 가능하다. 그러나 실제 구조물의 실험모드해석에서는 위의 방법을 사용하더라도 특이치의 급격한 차이를 보이는 시스템의 차수를 구분하기 힘든 경우가 많다. 따라서 이러한 경우에는 시스템의 차수(SVD에서 Σ_1 의 차수)를 증가시켜가면서, 해당되는 모드들을 추출한 후 이들이 시스템 차수의 증가에 따라 일관적인지를 도표로 살펴보는 것이 매우 유용할 것이다. 이 도표를 안정화 도표(Stabilization Chart)라고 하며, 이러한 안정화 도표를 구하는 데 있어 다음과 같이 안정모드, 불안정모드, 노이즈모드의 판단근거를 사용할 수 있다. 우선 노이즈모드의 경우, 다음 식과 같이 감쇠비가 어느 정도 이상일 경우 노이즈모드로 판단한다.

$$\zeta_j^{(p)} > \zeta_{noise_cr} \quad (3.6.10)$$

여기서, $\zeta_j^{(p)}$ 는 시스템 차수를 p 로 고려했을 때, j 번째 모드의 감쇠비이며, ζ_{noise_cr} 은 노이즈모드로 판단하기 위한 임계값이다. 한편, 노이즈모드가 아닌 모드들에 대하여 다음과 같이 시스템 차수를 p 로 고려하였을 때의 모드계수와 $p+1$ 로 고려하였을 때의 모드계수를 비교하여, 고유주파수, 감쇠비, 모드형상이 모두 조건에 만족할 경우 안정모드로 간주할 수 있다.

$$\frac{f_j^{(p)} - f_j^{(p+1)}}{f_j^{(p)}} < \Delta f_{stable_cr} \quad (3.6.11)$$

$$\frac{\zeta_j^{(p)} - \zeta_j^{(p+1)}}{\zeta_j^{(p)}} < \Delta \zeta_{stable_cr} \quad (3.6.12)$$

$$1 - \frac{\|\phi_j^{(p)} \cdot \phi_j^{(p+1)}\|^2}{\|\phi_j^{(p)}\|^2 \|\phi_j^{(p+1)}\|^2} < \Delta \phi_{stable_cr} \quad (3.6.13)$$

여기서, Δf_{stable_cr} , $\Delta \zeta_{stable_cr}$, $\Delta \phi_{stable_cr}$ 은 각각 고유주파수, 감쇠비, 모드형상에 대한 임계값을 의미한다. 이러한 허용범위는 사용자에게 의하여 결정되며, 구조물의 형태 및 계측자료의 신뢰도 등을 고려하여 결정함으로써 만족스러운 결과를 얻을 수 있다.

3. 상시진동계측장비의 구축 및 활용

가. 상시진동 계측시스템 구축

일반적으로 진동은 가속도계, 속도계 등을 이용하여 계측하며, 일반적으로 시계열 자체를 이용하여 진동 특성을 분석하기 보다는 이를 주파수 영역으로 변환하여, 가장 큰 응답을 갖는 주파수 성분을 중심으로 진동을 분석하는 것이 대부분이다. 그러나 등표와 같은 대형 중력식 구조물의 경우 일반적인 파랑에 의한 진동 레벨이 작고, 또한 고유주파수가 기계구조물에 비하여 작기 때문에 이에 적합한 센서를 선택하여야 한다. 다음 <표 3-6-1>은 이 연구에서 구축한 계측시스템의 사양을 간략하게 정리한 것이다.

<표 3-6-1> 계측시스템 사양

Category	Spec.
Max. Channel	6 CH
Sensor Input	Accelerometer
Sampling Rate	Max 10KHz/Ch
Sleep/Wake	Yes
동작 온도	-20 ~ 85 deg C
분해능	16 Bits
통신 방식	RS232
동기 정밀도	50ns

일반적으로 사용되고 있는 가속도계는 크게 Servo형, ICP형, Strain Gauge형 등으로 구분할 수 있다. Servo 형 가속도계는 Force Balanced 가속도계로 부르기도 하며 센서 내부의 진동자에 작용하는 하중이 결국 가속도와 선형관계에 있음을 이용하여 가속도를 계측하는 것이며, 압전형 가속도계는 진동에 의하여 전하가 발생하는 양을 측정하여 가속도를 계측하는 것이며, ICP형은 이러한 압전형 센서의 일종으로 PCB사에서 개발한 가속도계 형태이다. 그리고 Strain Gauge 형 가속도계는 진동자가 진동할 때 진동자에 연결된 스프링의 변형률을 계측하여 이로부터 가속도 값을 변환하여 구하게 된다. 따라서 Strain Gauge 형 가속도계는 다른 변형률계 형태의 파압계 등과 같은 데이터 로거를 이용하여 계측할 수 있다.

일반적으로 Servo형 가속도계의 경우 지진계 등과 같이 DC 성분부터 측정이 가능하고, 또한 작은 가속도 범위의 진동을 정확하게 계측할 수 있다. 한편 ICP형 가속도계는 Servo형 가속도계보다 조금 더 큰 가속도 범위의 진동을 계측하며, Servo형 보다는 높은 주파수 범위의 진동을 계측하는 데 적절하게 이용될 수 있다. 한편 Strain Gauge형 가속도계는 Servo형 가속도계나 ICP형 가속도계보다 큰 가속도 범위의 진동을 계측하며 주파수 범위로 보면 Servo형과 유사하게 저 주파수 범위의 가속도를 계측하는 데 적절하다. 다만 이러한 특징은 일반적인 센서의 특징이며, 최근에는 센서기술이 크게 발전하고 있으므로 더 좋은 성능의 센서가 개발

될 수 있을 것이다.

이 연구에서는 등표의 고유주파수가 대부분 수 Hz에서 수십 Hz 사이인 점을 고려하여 ICP형 가속도계를 사용하였으며, ICP형 가속도계 중 국내에서는 널리 알려져 있지 않지만 비교적 가격대 성능비가 우수한 Lance사의 가속도계를 사용하였다. 다음 표는 이 연구에서 가속도를 계측하기 위하여 적용된 Lance사의 가속도계 사양이다.

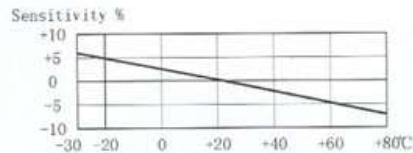
<표 3-6-2> ICP형 가속도계의 제원

Dynamic:

Sensitivity (@160Hz) : 10.043V/g
 Method : Back-to-Back Comparison Calibration
 Amplitude range : 0.5g pk
 Resolution: 0.000002g rms
 Transverse Sensitivity: 2.3%
 Frequency Range: 0.1~300Hz (±10%)
 Resonance Frequency : 1.2kHz

Environmental:

Mechanical Shock Limit: 100g pk
 Temperature Range: -30~+80°C
 Typical Temperature Response:



Electrical:

Output Bias Voltage: 8~12VDC
 Excitation Voltage: 18~30VDC
 Constant Current: 4~20mA

Physical:

Weight:192gram
 Construction: Isolated shear
 Mounting Thread: M5
 Mounting Surface Flatness: <3mm
 Mounting Torque: 3Nm

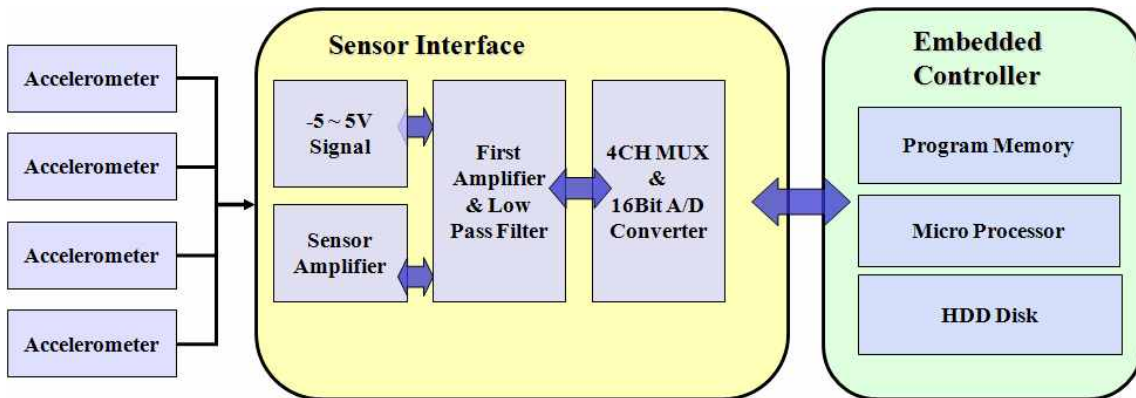


<그림 3-6-1> Lance사의 LC0116A 가속도계

이 연구에서 제작한 4채널 가속도 계측 시스템은 다음 표와 같이 인텔사의 PXA255 CPU를 이용하여 제작된 PC를 이용하여 구성하였으며, 구체적인 시스템 사양은 다음의 표와 같다.

<표 3-6-3> 상시진동계측시스템 (4채널)

분류	부품 이름	제조 회사	Datasheet	비고
CPU	PXA255	Intel®	PXA255 Developer's Manual.pdf	-
SDRAM	K4S561632	Samsung	k4s561632d.pdf	2개 사용
Flash Memory	Strata E28F128	Intel®	28FxxxJ3A.pdf	2개 사용
Ethernet Controller	CS8900a	Cirrus Logic		1CH
UART	16C2450	ST		2CH
RTC	DS1302	DALLAS		1
Hard Disk	MK2006GAL	Toshiba		Option



<그림 3-6-2> 상시진동계측시스템 (4채널)

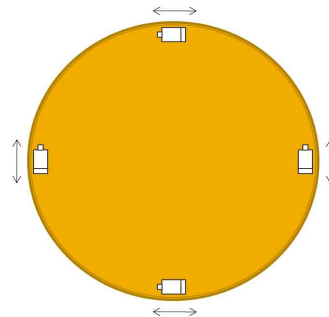
여기서 상시계측은 Embedded Controller를 통하여 수행이 이루어지며, 진행 상태의 모니터링은 휴대용 노트북을 Ethernet Port를 이용하여 Embedded Controller에 연결한 후 원격접속을 이용, 데이터 로깅 상태를 확인하거나 설정할 수 있다.

나. 서포리 남방 등표에 대한 적용

이 연구를 통하여 구축한 시스템을 인천광역시 옹진군 덕적면 서포리 해상의 서포리 남방등표에 설치하여 성능을 검증하고 있다. 현재까지 S/W를 지속적으로 개선하고 있으며, 안정적인 전원 공급을 위하여 지난 2008년 8월 27일 태양광 발전판을 설치한 바 있다.

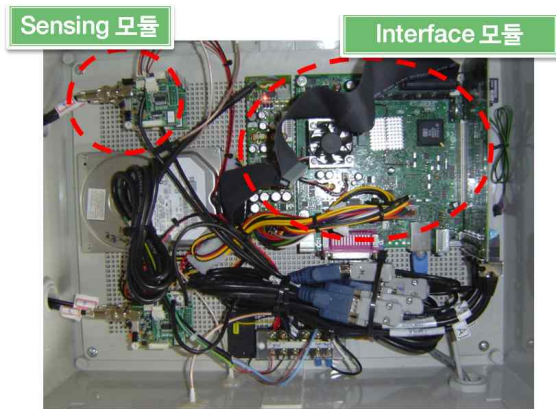


(a) 서포리 남방 등표



(b) 계측 위치

<그림 3-6-3> 서포리 남방 등표



(a) Main Control Box 내부



(b) 설치된 축전지실 내부

<그림 3-6-4> 상시진동계측시스템 구축현황



(a) 설치 장면



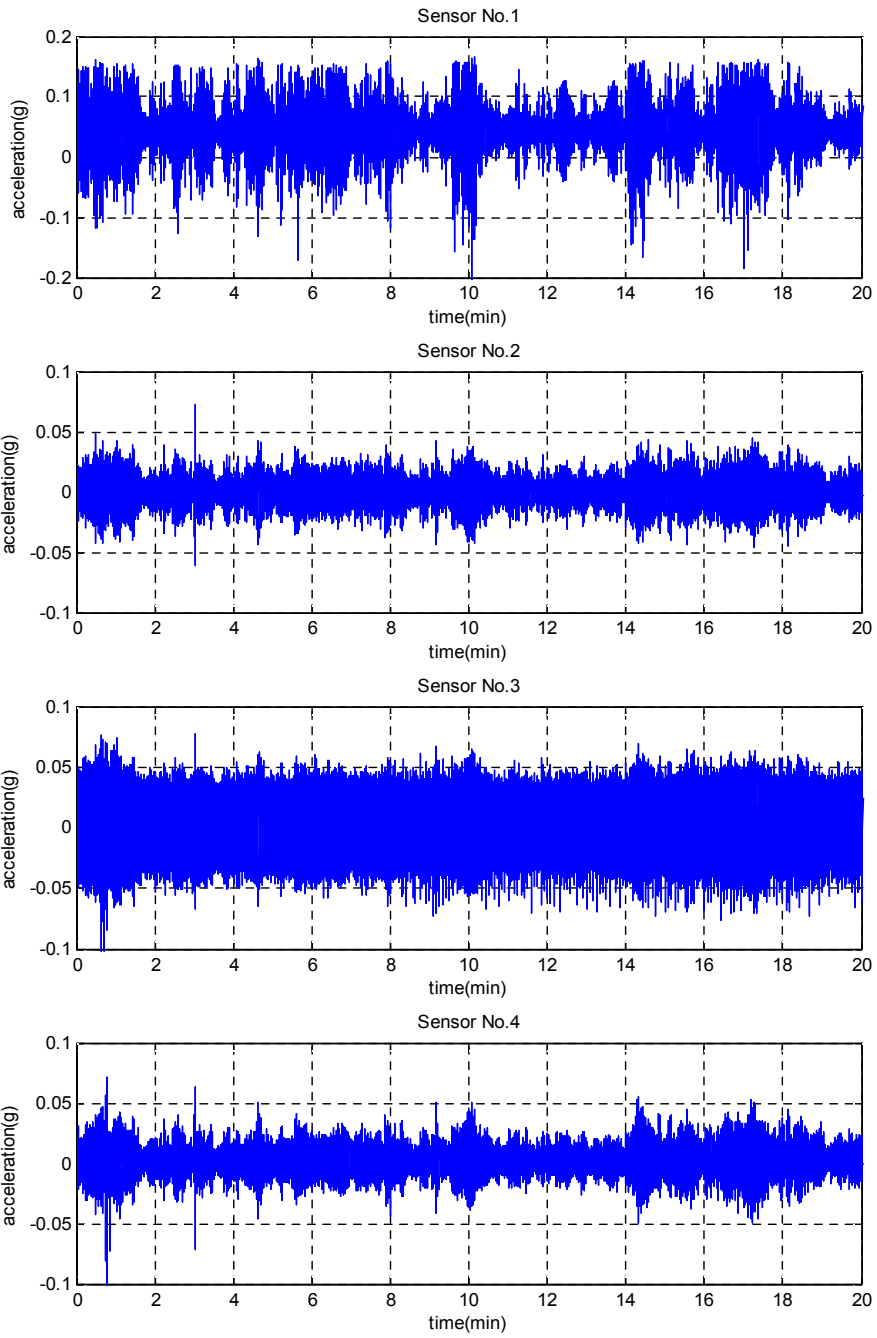
(b) 설치된 태양광 발전판

<그림 3-6-5> 태양광 발전판 설치 모습 (2008.8.27)

다. 상시진동 계측 결과

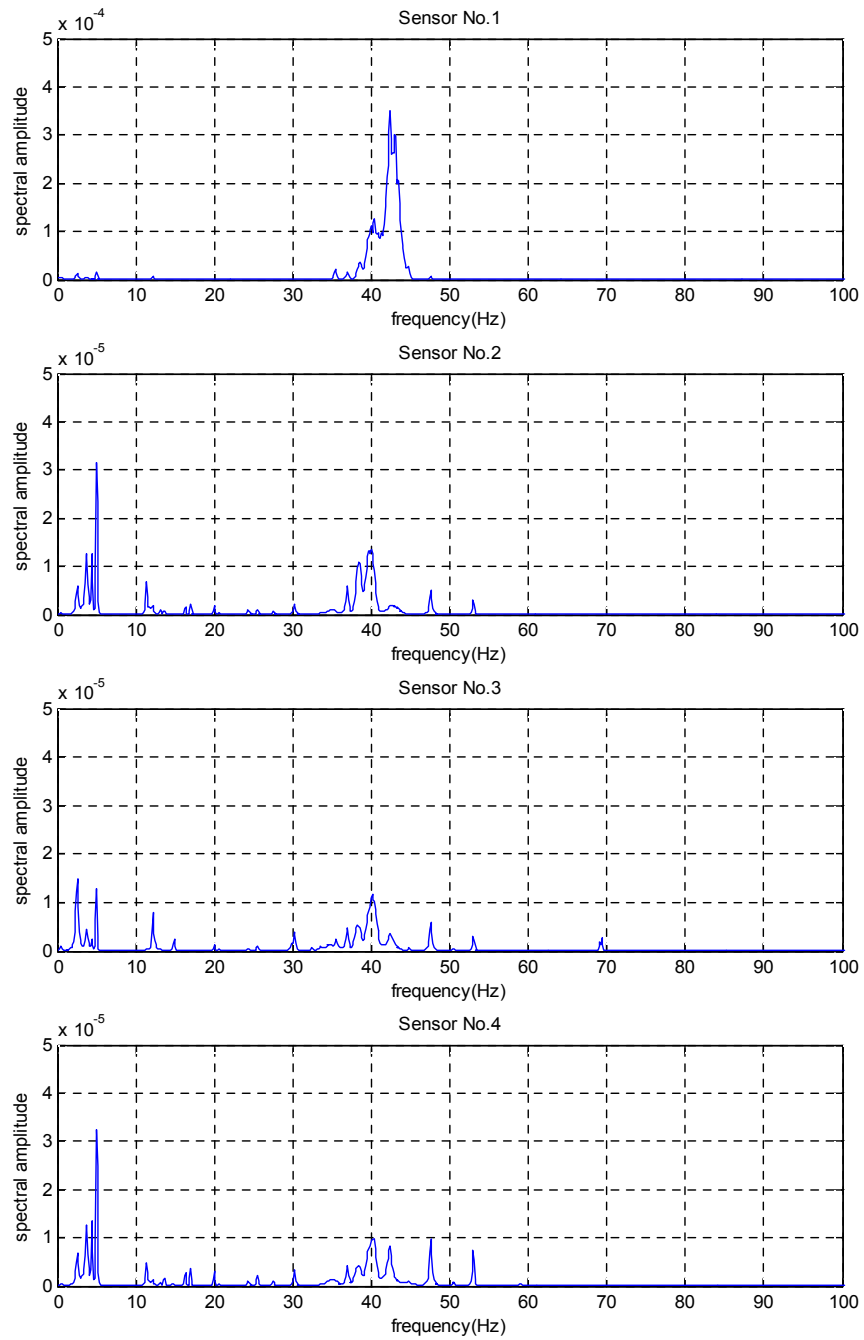
외국의 기성제품을 구매하여 사용한 것과는 달리 이 연구에서는 국내 업체와 함께 시스템을 제작하였기 때문에 시스템을 지속적으로 보완하고 있으며, 따라서 2차년도 연구기간 동안 원활한 데이터 수집이 이루어지지 못한 면이 있다. 그러나 3차에 이르는 현장점검을 통하여 세 차례의 상시진동을 계측하였으며, 3차년도 연구기간 동안에는 주기적인 상시진동 계측자료 저장 및 연속적인 동특성 변화 추이를 변화, 분석함으로써 상시진동계측으로부터 구조물의 안전성을 평가하는데 보다 정량적인 자료를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

다음의 그림은 4월 21일 수행한 상시진동실험을 통하여 얻은 20분 동안의 가속도 시계열이다. 센서 1번의 경우 축전지실 바닥에 지그를 설치하고 센서를 지그위에 부착한 결과인데, 다른 센서 2, 3, 4번의 가속도 범위가 대체로 $-0.1g \sim 0.1g$ 사이인데 비하여 센서 1번의 경우 $-0.2 \sim 0.2g$ 로 가속도가 크게 계측되었다. 그 이유는 센서 2, 3, 4번의 경우 비교적 견고한 축전지실 벽에 지그를 부착하였으나, 센서 1번의 경우 축전지실 출입구 때문에 벽에 설치하기 어려워 시멘트 바닥에 부착하였고, 또한 축전지실 출입구가 바람에 의하여 흔들리면서 발생한 진동에 의하여 가속도가 크게 계측된 것으로 사료되었다.



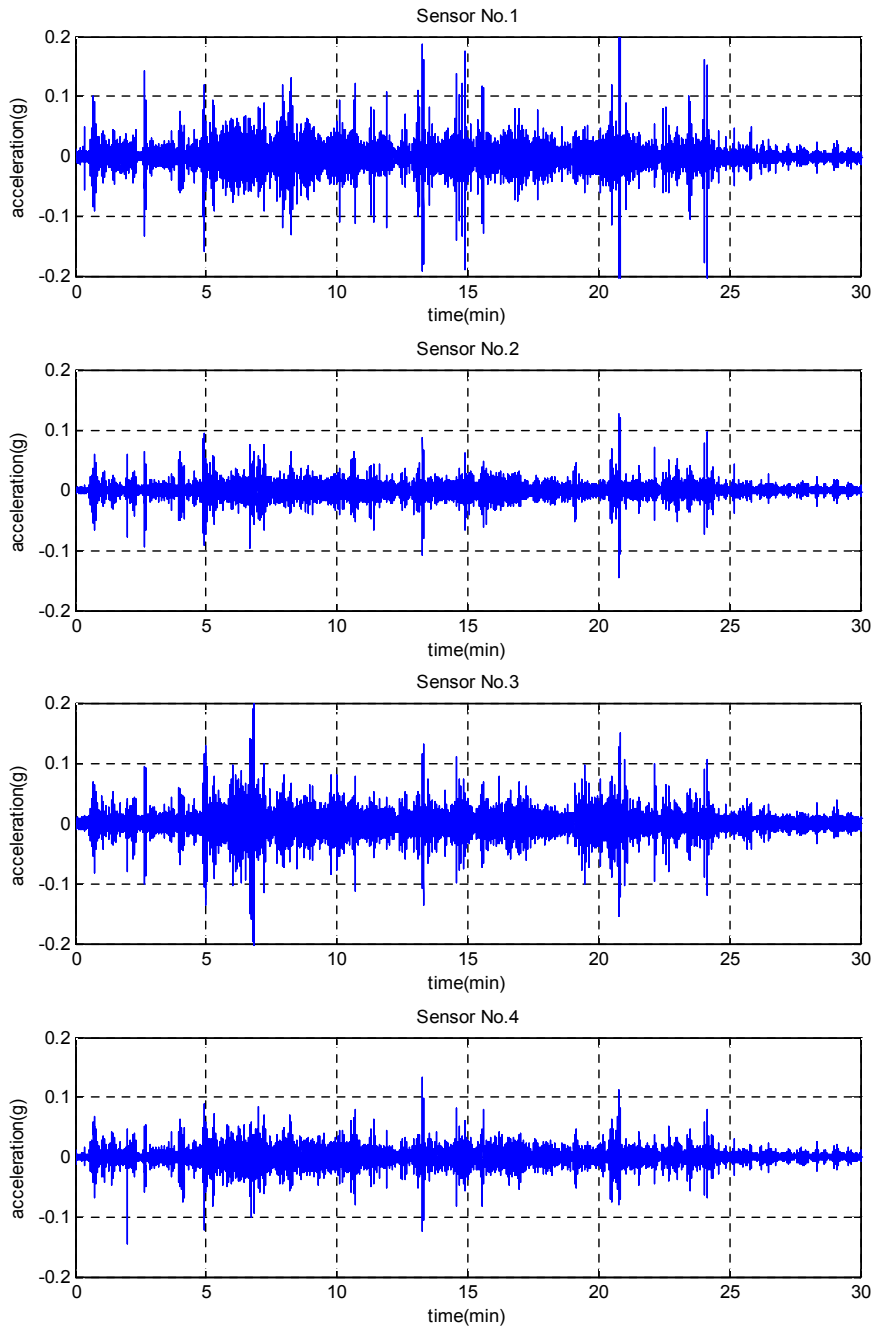
<그림 3-6-6> 4월 21일 12시 20분부터 계측한 20분 자료

다음의 그림은 계측된 가속도 시계열을 이용하여 주파수 성분을 분석한 결과이다.



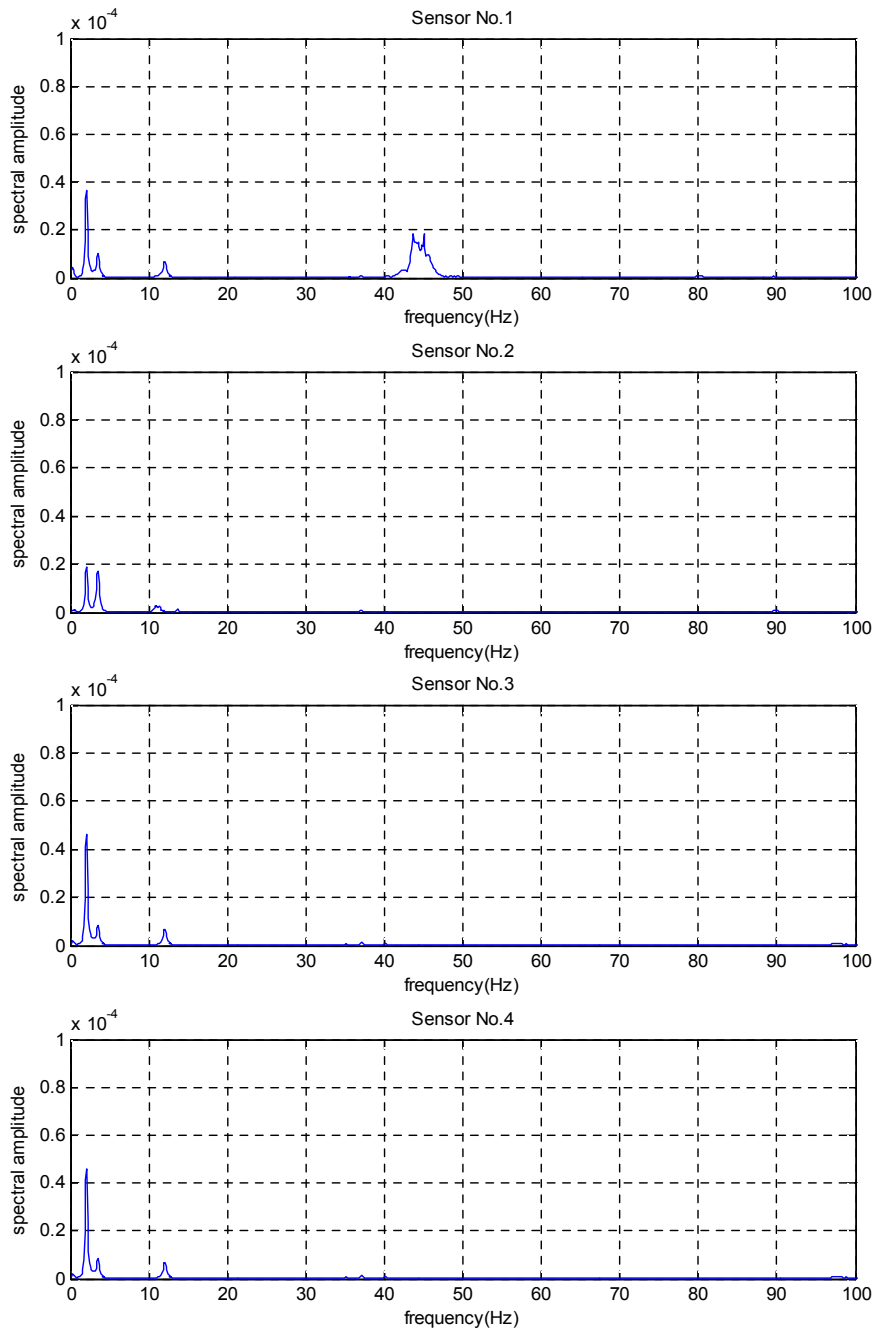
<그림 3-6-7> 계측된 가속도 신호를 이용한 주파수 성분 분석 결과

다음 그림은 시스템 체크를 위하여 서포리 등포에 현장방문(4.28)하여 계측한 상시진동 계측 신호이다.



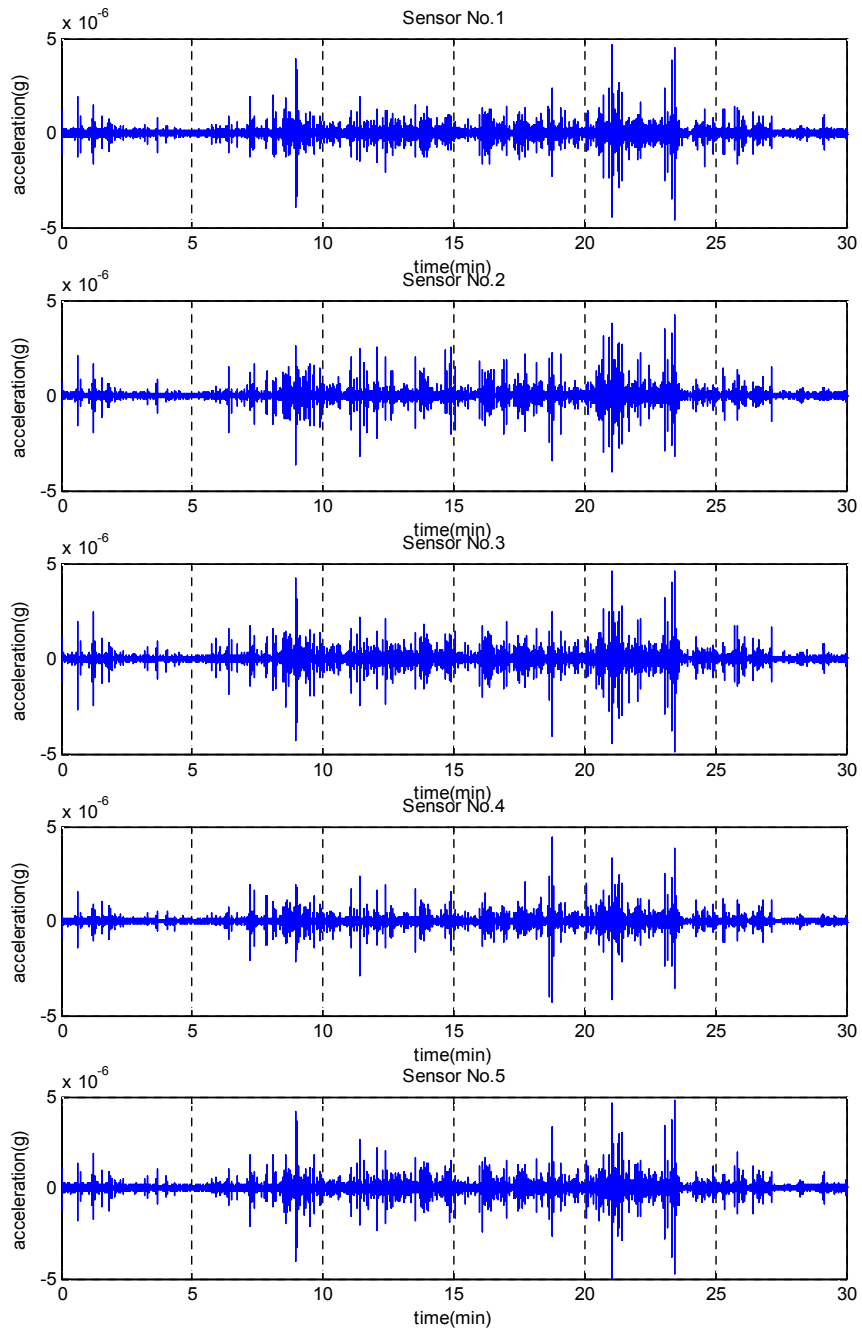
<그림 3-6-8> 4월 28일 오후 2시부터 계측한 30분 자료

다음의 그림은 2008년 4월 28일 계측된 가속도 시계열을 이용하여 주파수 성분은 분석한 결과이다.



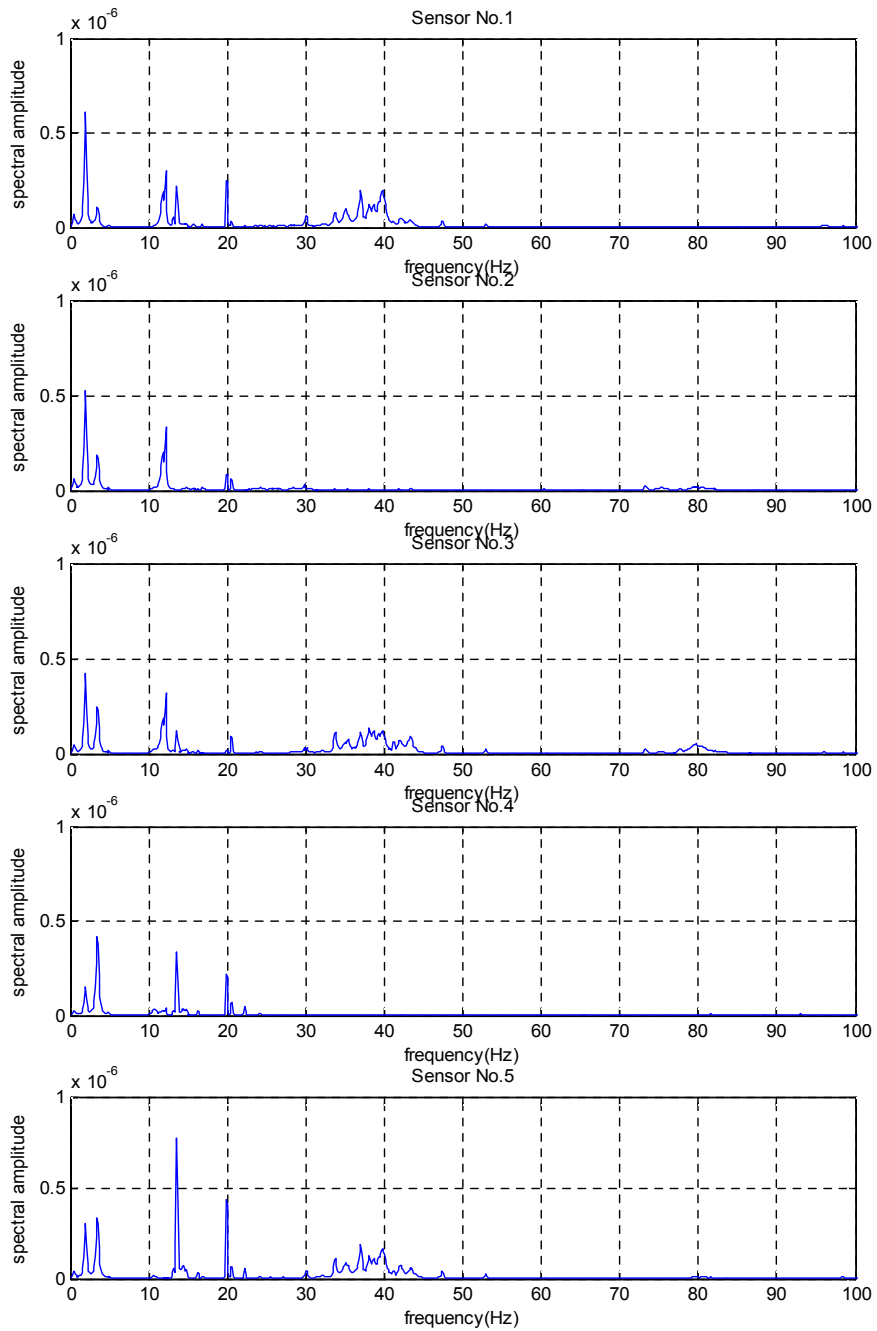
<그림 3-6-9> 계측된 가속도 신호를 이용한 주파수 성분 분석 결과(2008.4.28)

다음의 그림은 2008년 8월 27일 계측된 가속도 시계열이다. 이번 계측 자료는 센서 1개를 추가하여 총 5개의 센서를 사용하였다.



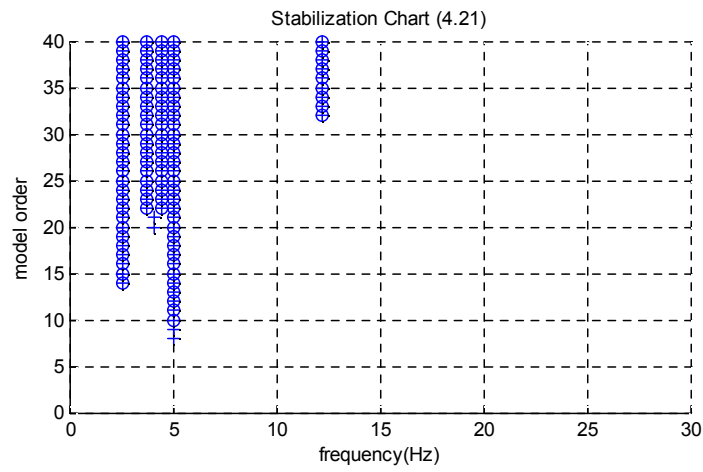
<그림 3-6-10> 8월 27일 계측한 30분 자료

다음의 그림은 2008년 8월 27일 계측된 가속도 시계열을 이용하여 주파수 성분은 분석한 결과이다.

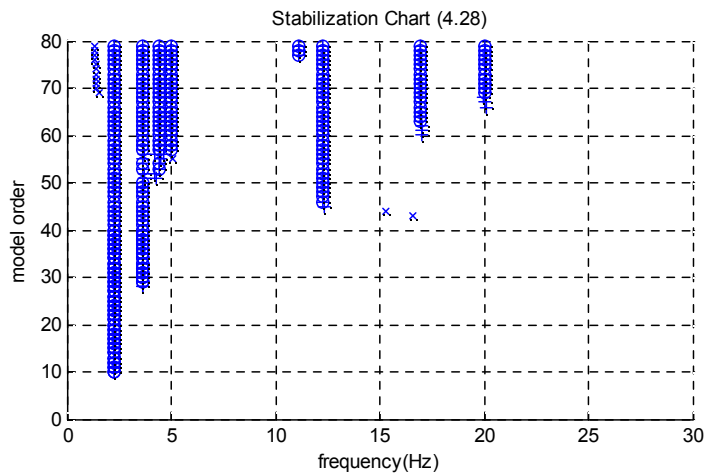


<그림 3-6-11> 계측된 가속도 신호를 이용한 주파수 성분 분석 결과(2008.8.27)

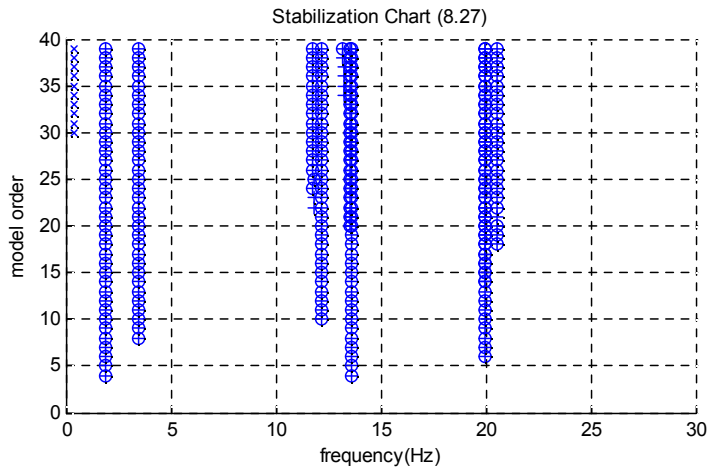
다음은 추계론적 부공간 규명법(Stochastic Subspace Identification)에 의하여 주요 모드의 고유주파수 및 모드감쇠비를 추정한 결과를 정리한 그림과 표이다.



<그림 3-6-12> Stabilization Chart (2008.4.21자료)



<그림 3-6-13> Stabilization Chart (2008.4.28자료)



<그림 3-6-14> Stabilization Chart (2008.8.27자료)

<표 3-6-4> 세 차례에 걸친 상시진동계측에 의한 동특성 추정 결과

		고유주파수(Hz)			모드감쇠비(%)		
		1차 모드	2차 모드	3차 모드	1차 모드	2차 모드	3차 모드
4.21	1	2.5538	3.7220	12.1909	6.0049	3.6253	0.6467
	2	2.5863	3.7184	12.1778	2.4955	2.6772	0.2598
4.28	1	2.2929	3.6576	12.2715	5.1235	4.8181	1.6983
	2	2.0198	3.5160	12.1498	6.2226	5.2767	0.0157
8.27		1.9170	3.4545	12.1904	5.8705	4.7164	0.5085

위의 표에서 1차 모드는 현재 기울어진 방향으로의 진동 모드이며, 2차 모드는 기울어진 방향과 직각 방향으로의 진동 모드이다. 즉 기울어진 방향으로 세굴이 더욱 심각하게 발생하였기 때문에 구조물의 관점에서 볼 때 더 유연한(flexible) 기초 지지조건이 되어 고유주파수가 2차 모드의 고유주파수보다 작은 상태이다. 또한 4월21일 이후 1차 모드의 고유주파수가 지속적으로 감소하고 있는데, 그 감소량이 2차 모드와 3차 모드의 고유주파수 감소량에 비하여 크을 알 수 있다. 즉, 상시진동 계측시스템을 구축하기 위하여 서포리 남방등표에 접근한 기간 동안 세굴이 지속적으로 진행된 것으로 판단되며, 따라서 이 등표에 대한 신속한 보수, 보강 또는 신설이 요구된다고 할 수 있다. 지난 1차년도 연구보고서에서 밝힌 바와 같이 기초지반이 완전 강결로 고려할 수 있는 경우 세굴이 50% 이상 진행되었을 경우 1차 모드의 고유진동수가 약 15% 감소함을 보인 바 있다. 그러나 현재 서포리 남방등표의 경우 1차 모드가 약 2.6Hz에서 1.9Hz로 27% 감소하였다. 고유주파수의 감소량이 27%인 것은 교량 등의 육상시설물에서도 매우 심각한 손상이 발생한 경우에 얻을 수 있는 값으로서 현재 서포리 등표의 기초 세굴 정도가 매우 심각함을 알 수 있다. 다만 전도가 발생하지 않는 이유는 세굴이 발생한 방

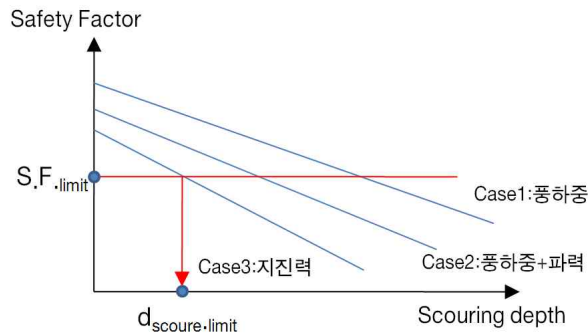
향이 아닌 반대 방향으로 기울어져 있어 구조적 안정성을 취하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 만약 경사가 지지 않았거나, 혹은 경사가 세굴이 진행된 방향으로 일어났다면 이미 전도가 되었을 것으로 사료된다. 이는 다음 절에서 좀 더 살펴보도록 한다.

4. 세굴평가시스템 구축

가. 제안 시스템 개요

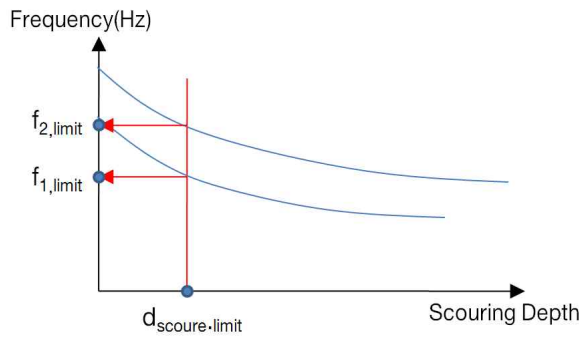
상시진동계측을 통하여 구조물의 고유진동수 및 모드형상, 모드감쇠비를 추정하고, 그 결과를 이용하여 세굴을 평가하는 것도 가능하지만 이 경우 세굴을 평가하기 위하여 역해석(inverse analysis)을 수행하여야 한다. 이와 같은 역해석을 수행하기 위해서는 적절한 수치해석모델이 필요하며, 또한 실무자들이 수행하기에 어려움이 있을 수 있다. 따라서 미리 적절한 수준의 위험수준을 결정해 놓고 그 이하로 또는 그 수준 이상으로 구조물의 동특성이 추정될 경우 정밀진단을 하도록 하는 방법이 더욱 실용적이라 할 수 있다. 이를 위해서 다음과 같이 사전에 세굴 및 기울어짐에 대한 안전계수를 결정하고, 해당되는 안전계수가 설계기준 이하로 내려가는 경우의 구조물의 동특성을 결정하여 이를 유의수준의 동특성으로 결정할 수 있다. 다만 이 경우 지반스프링 계수를 결정하기 어려우므로 시공 초기에 세굴이 발생하지 않았을 당시의 구조물의 동특성을 실험을 통하여 구할 필요가 있다.

따라서 이 연구에서 제안한 방법은 설계조건에 대하여 세굴 및 경사 등을 고려하여 임의의 경사 조건에서 다음 그림과 같은 세굴 깊이에 따른 안전계수를 구하고, 임계 안전계수인 1.5에 대한 최소 세굴깊이를 결정한다.



<그림 3-6-15> 세굴깊이에 따른 안전계수

그리고 구조물의 세굴깊이에 따른 고유진동수를 계산하고, d_{scoure.limit}에 대한 고유진동수 한계를 각 모드 별로 계산할 수 있다. 일반적인 반력식 구조물의 경우 경계조건이 완전 고정(fixed) 조건이므로 유한요소해석에 의한 고유진동수를 비교적 정확하게 계산할 수 있지만, 중력식 구조물의 경우 경계조건을 정확하게 반영하기 어려운 점이 있으므로 지반 반력 스프링계수(soil reaction spring constant)를 정확하게 반영하기 위하여 시공 초기에 진동계측을 통하여 스프링 계수를 먼저 결정하는 것이 보다 바람직하다고 할 수 있을 것이다.



<그림 3-6-16> 세굴깊이에 따른 고유주파수

나. 세굴깊이에 대한 안전계수 평가

중력식 등표구조물의 경우 파랑, 조류, 바람, 지진 등의 수평하중을 구조물 자체의 자중(self weight)에 의하여 지지하게 된다. 이때 수평하중에 의한 활동(slip)과 전도(rocking)를 방지하여야 하며, 이 때 안전계수(Safety Factor, SF)은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$(1) \text{ 활동} : S.F. = NW - \int_0^H f(y)dy$$

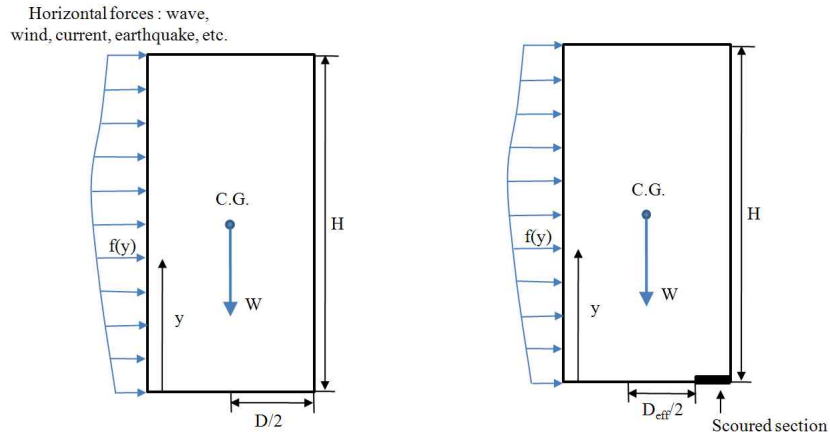
$$(2) \text{ 전도} : S.F. = \frac{D}{2} W - \int_0^H f(y)ydy$$

여기서, $f(y)$ 는 바닥에서부터의 수직거리 y 의 미소거리 dy 에 작용하는 평균하중이며, W 는 자중, N 은 정지마찰계수, D 는 등표 기초의 직경을 의미한다. 한편 $f(y)$ 는 파랑, 조류, 바람, 지진 등에 의한 모든 수평하중을 한 함수이며, 여러 개의 블록으로 등표구조물이 구성된 경우 각 블록의 자중과 질량중심을 고려하여 지지력을 구할 수 있다.

한편, 중력식 등표구조물의 기초부에 세굴이 발생하여 밀면 전체가 하중을 지지하지 못하고 전도 시 모멘트 팔길이(moment arm)가 줄어드는 경우의 안전계수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(1) \text{ 활동} : S.F. = NW - \int_0^H f(y)dy$$

$$(2) \text{ 전도} : S.F. = \left(\frac{D}{2} - d_{\text{scouring}} \right) W - \int_0^H f(y)ydy$$



(a) 중력식 등표구조물의 작용하중 (b) 세굴된 등표구조물의 작용하중

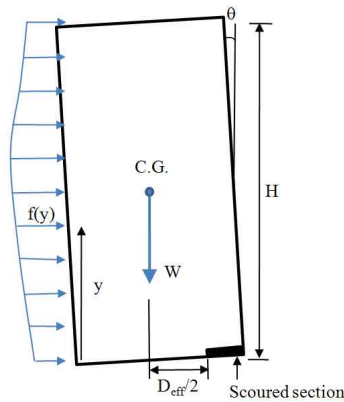
<그림 3-6-17> 세굴되지 않은 등표와 세굴된 등표의 작용하중

결국 활동에 대한 안전계수는 세굴이 발생하지 않은 경우와 동일하게 평가될 수 있지만, 전도의 경우 모멘트 팔길이가 세굴깊이만큼 감소하게 되어 전체 지지력이 감소하게 되고, 따라서 안전계수가 감소하게 된다.

또한 세굴뿐만 아니라 구조물 자체가 어떠한 요인에 의하여 기울어진 경우 활동과 전도에 대한 안전계수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(1) \text{ 활동 : } S.F. = NW - \int_0^H f(y)dy$$

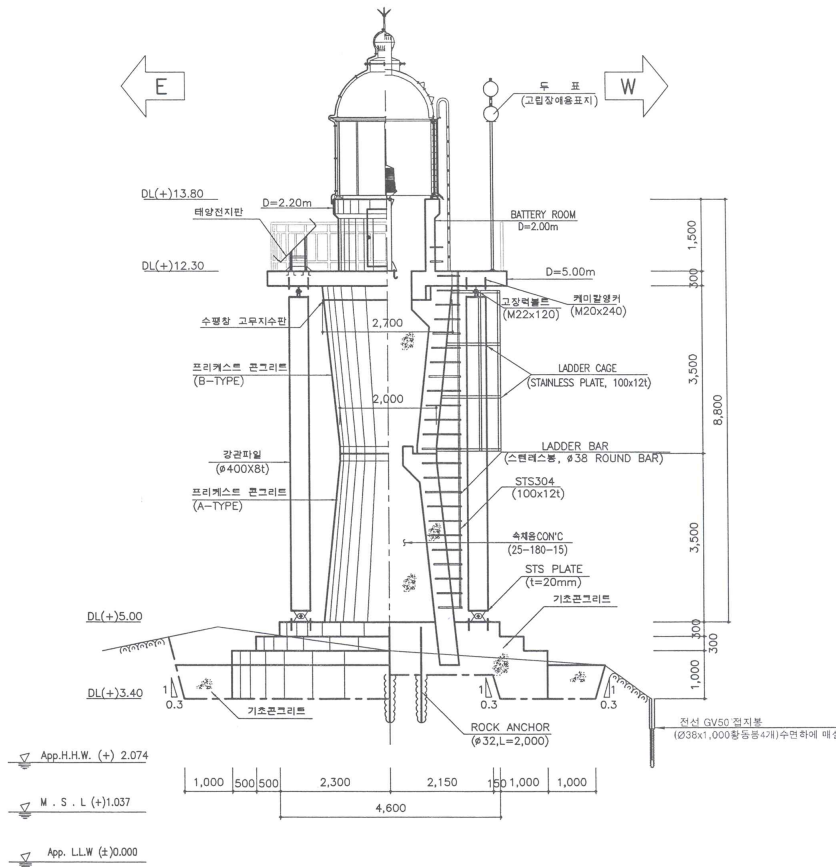
$$(2) \text{ 전도 : } S.F. = \left(\frac{D}{2} - d_{\text{scouring}} \right) W - \int_0^H f(y)ydy$$



<그림 3-6-18> 세굴 및 기울어짐이 된 등표의 사양

다. 수치시뮬레이션에 의한 제안 시스템의 적용 사례

제안된 세굴 평가 시스템을 수치시뮬레이션 결과를 이용하여 적용하여 보았다. 대상 등표는 경상남도 진해시 진해항로 해상의 도투마리암 등표로서 설계조건은 다음과 같다.

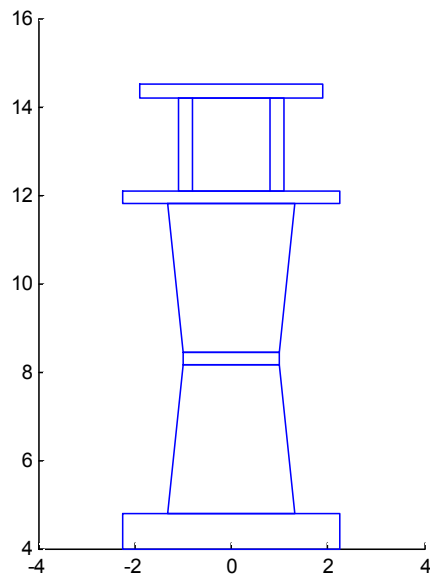


<그림 3-6-19> 대상등표의 제원

<표 3-6-5> 설계조건

항목	내용
설계파고($H_D = \min(2H_{1/3}, H_b)$)	3.26m
설치표고	DL(+3.40m)
연직하중	자중
수평하중	풍압력, 파압력, 지진력
하중조합 CASE1	자중+풍하중
하중조합 CASE2	자중+풍하중+파압력
하중조합 CASE3	자중+지진력

다음은 안전계수 계산 프로그램을 이용하여 구한 안전계수이며, 세굴깊이에 따른 안전계수는 다음과 같다. 한편 구조물 기초에 세굴이 발생하지 않은 상태에서 기울어진 경우, 고유진동수 등의 동특성에는 변화가 발생하지 않기 때문에 기울어진 각도, 즉 경사각은 육안조사에 의하여 측정하는 것이 더욱 바람직하며, 임의의 경사 조건에서 세굴깊이에 따른 안전계수를 평가할 수 있도록 하였다.



<그림 3-6-20> 입력자료 체크를 위한 Layout 출력 결과

<표 3-6-6> 설계시 안전계수 산정 결과

1. 하중 산정 결과

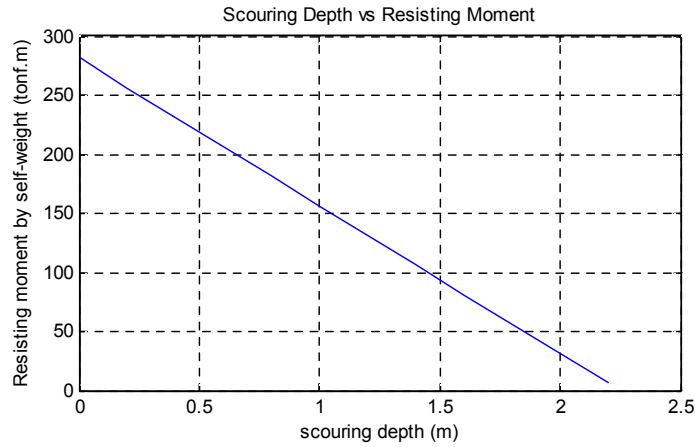
하중구분	P_v (tonf)	M_v (tonf.m)	P_h (tonf)	M_h (tonf.m)
자중	125.17	281.64	-	-
case1(풍하중)	-	-	5.63	28.46
case2(풍하중+파압력)	-	-	24.70	63.10
case3(지진력)	-	-	24.78	109.40

2. 활동에 대한 안전계수

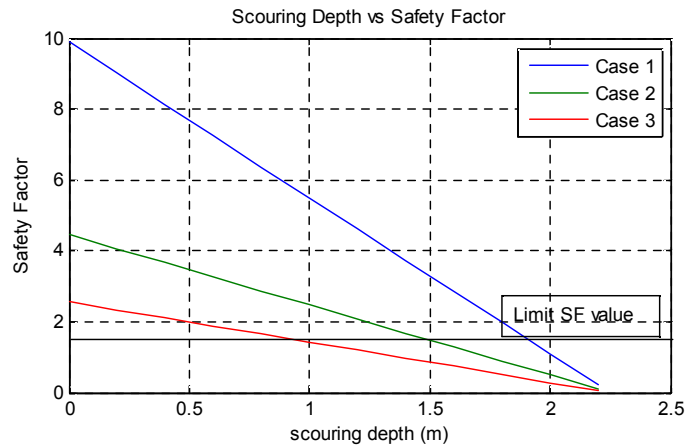
하중구분	$\sum P_v$ (tonf)	$\sum P_h$ (tonf.m)	μ	Fs	허용FS	판정
case1	125.17	5.63	0.60	13.33	1.5	O.K.
case2	125.17	24.70	0.60	3.04	1.5	O.K.
case3	125.17	24.78	0.60	3.03	1.5	O.K.

3. 전도에 대한 안전계수

하중구분	$\sum M_v$ (tonf)	$\sum M_h$ (tonf.m)	Fs	허용FS	판정
case1	281.64	28.46	9.90	1.5	O.K.
case2	281.64	63.10	4.46	1.5	O.K.
case3	281.64	109.40	2.57	1.5	O.K.



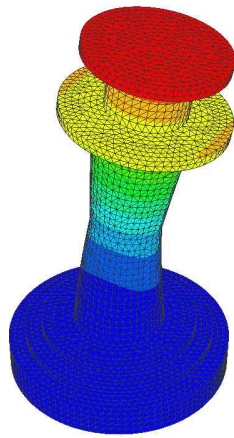
<그림 3-6-21> 세굴깊이와 자중에 의한 모멘트 지지력의 관계



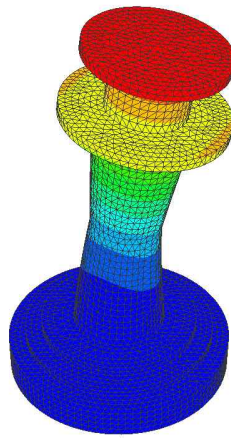
<그림 3-6-22> 세굴깊이와 안전계수(Safety Factor)와의 관계

설계시방서에서 제시된 안전계수의 허용값은 최소 1.5이므로 이를 만족하기 위해서는 Case 3 즉 지진력에 대한 안전계수를 중심으로 분석할 수 있으며, 이 경우 세굴깊이는 0.94m가 된다. 따라서 0.94m 이상 세굴이 진행되는 경우 설계에서 허용하는 안전계수 이하로 내려가게 되며 이는 안정성에 문제가 될 수 있으므로 보수, 보강 또는 신설과 같은 대책이 필요하게 된다.

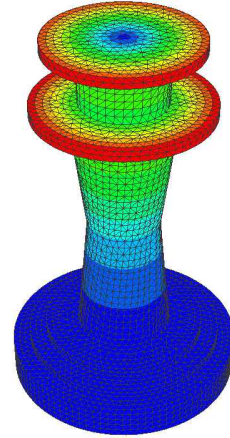
이와 같은 과정을 거쳐 세굴에 의한 안전계수 감소를 분석할 수 있고, 허용 안전계수를 만족하는 최대 세굴깊이를 평가할 수 있다. 그리고 이 결과를 이용하여 허용 고유주파수를 결정할 수 있다. 다음은 대상 등표에 대하여 수치해석을 수행하여 주요 모드의 모드형상 및 고유주파수를 분석한 결과이다.



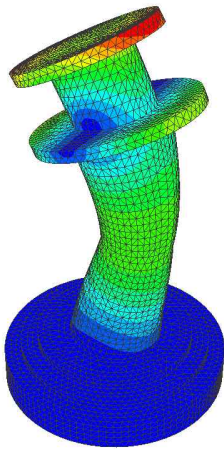
1차 모드 (9.7186Hz)(B)



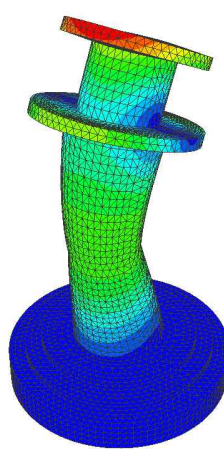
2차 모드 (9.7262Hz)(B)



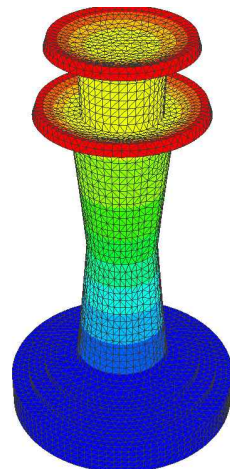
3차 모드 (33.512Hz)(T)



4차 모드 (50.919Hz)(B)



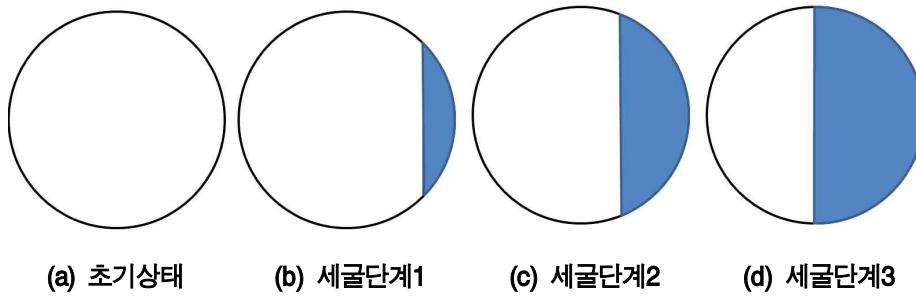
5차 모드 (50.944Hz)(B)



6차 모드 (67.651Hz)(A)

<그림 3-6-23> 수치해석에 의한 대상 등표의 고유주파수 및 모드형상 분석 결과
(B: Bending modes, T: Torsional modes, A: Axial modes)

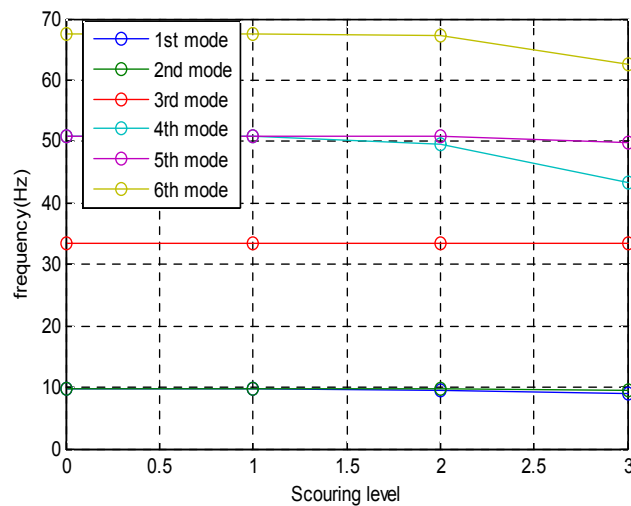
한편 다음의 <그림 3-6-24>과 같이 세 단계의 세굴 상태를 고려한 경우, 각 모드의 고유주파수는 다음의 <표 3-6-7>와 같이 감소함을 알 수 있다.



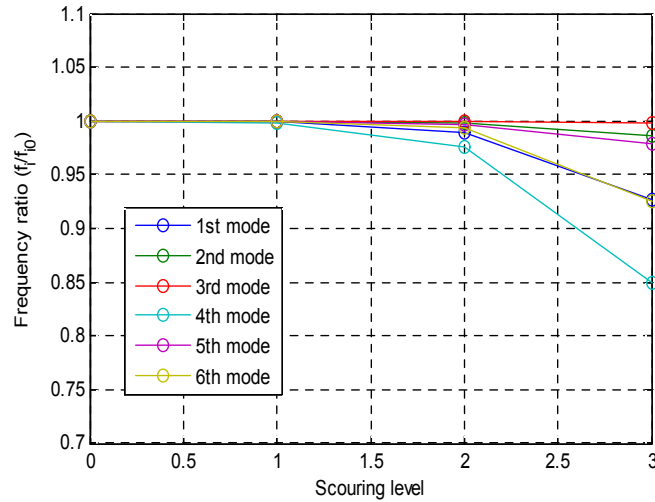
<그림 3-6-24> 수치해석에 사용된 세굴단계

<표 3-6-7> 수치해석에 의한 세굴단계별 고유주파수 변화(Hz)

	초기상태	세굴단계1	세굴단계2	세굴단계3
1차모드(B)	9.7186	9.7125	9.6096	9.0128
2차모드(B)	9.7262	9.7254	9.7116	9.5892
3차모드(T)	33.512	33.510	33.509	33.427
4차모드(B)	50.919	50.819	49.695	43.284
5차모드(B)	50.944	50.934	50.794	49.868
6차모드(A)	67.651	67.636	67.195	62.631



<그림 3-6-25> 수치해석에 의한 세굴단계별 고유주파수 변화(Hz)



<그림 3-6-26> 수치해석에 의한 세굴단계별 고유주파수 감소율

위의 그림을 볼 때 1차 모드, 4차 모드 그리고 6차 모드의 고유주파수가 가장 크게 감소되었음을 알 수 있고, 이는 세굴이 진행된 방향으로의 단면2차 모멘트가 크게 감소된 방향으로의 굽힘모드와 그리고 세굴에 의한 기초 지지 단면감소 효과가 직접적으로 나타나는 축방향모드의 고유주파수가 크게 감소함을 의미한다. 그러나 안전계수가 1.5가 되는 약 1m의 세굴깊이의 경우(세굴단계1과 유사), 고유주파수의 감소가 거의 없는 상태임을 알 수 있다. 따라서 진동계측에 의한 평가로는 지진에 대한 안전계수를 만족하는 수준을 평가하기 어렵다는 것을 의미한다. 일반적인 경우, 지진의 발생 빈도는 매우 작기 때문에 지진이 아닌 풍하중과 파압이 작용하는 경우 허용 세굴깊이는 약 1.5m인데, 이 역시 위의 세굴단계로보면 세굴단계1과 세굴단계2의 중간으로서 이 경우에도 고유주파수의 감소경향이 눈에 띄 정도로 크지 않음을 알 수 있다.

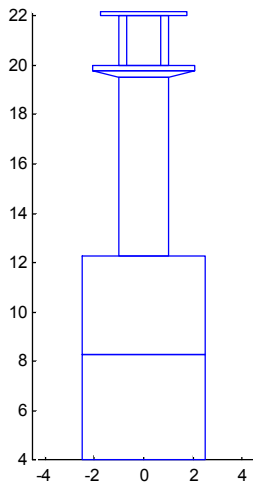
실제 면적의 1/2 정도가 감소하는 세굴단계3에 도달할 경우 고유주파수가 10~15% 정도 감소하여 충분히 실험을 통하여 평가할 수 있는 단계임을 알 수 있고, 최소한 세굴단계2 이상 세굴이 진행된 경우 고유주파수 변화로부터 세굴에 의한 구조안정성 확보를 위한 한계 상태를 평가할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

그러나 아.-1)-다) 항에서 서포리 남방등표의 경우 예제 등표와 크기나 제원이 다르지만 같은 중력식 구조물로 고유주파수 등의 감소는 세굴상태에 따라 비슷한 경향을 보일 것으로 고려할 수 있다. 그러나 서포리 남방등표의 경우 계측을 시작한 지난 2008년 4월 이후 8월 사이에 첫 번째 고유주파수가 25% 이상 감소하는 것으로 분석되었는데, 이는 기초 지지조건이 지난 봄-가을 사이에 크게 악화되었다는 것을 의미한다. 그리고 이러한 기초 지지조건이 구조물의 고유주파수에 미치는 영향에 대해서는 현재까지 많은 연구가 진행되지 않았기 때문에 향후 3차년도 연구에서는 중력식 구조물의 수치해석 및 기초 지지조건에 따른 모델링 기법 등에 대하여 추가적인 연구를 수행하고자 한다.

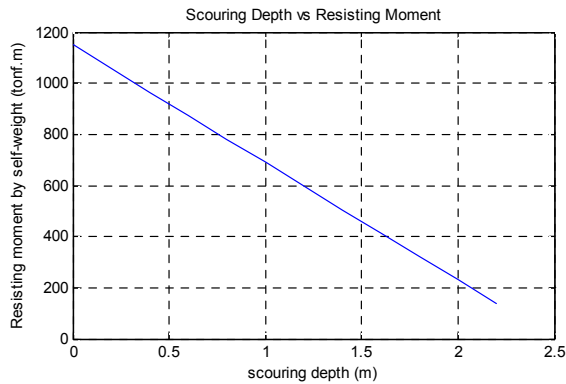
라) 서포리 등표의 세굴에 따른 지지력 감소 및 경사의 효과 검토

서포리 남방등표의 경우 세굴이 매우 심각하게 진행되었음에도 불구하고 2년여 가까이 현장에서 전도되지 않고 유지되고 있다. 서포리 남방등표의 경우 세굴에 따른 지지력 감소 및 경사에 의한 지지력 변화를 분석하여 보았다.

우선 서포리 등표의 제원은 다음과 같다. 경사가 없는 경우 자중에 의한 지지력은 수직방향 하중으로 459tonf이며, 전도에 대하여 1150tonf·m가 된다. 따라서 정지마찰계수를 0.6으로 고려하면, 수평하중은 275tonf까지 지지할 수 있게 된다. 활동에 대한 지지력의 경우 자중에만 영향을 받기 때문에 세굴 또는 경사에 의하여 변화가 없지만, 전도 모멘트에 대한 지지력은 세굴 또는 경사에 대하여 영향을 받게 된다. 우선 경사가 없는 경우 모멘트에 대한 지지력 변화는 다음과 같다.



(a)해석모델 체크

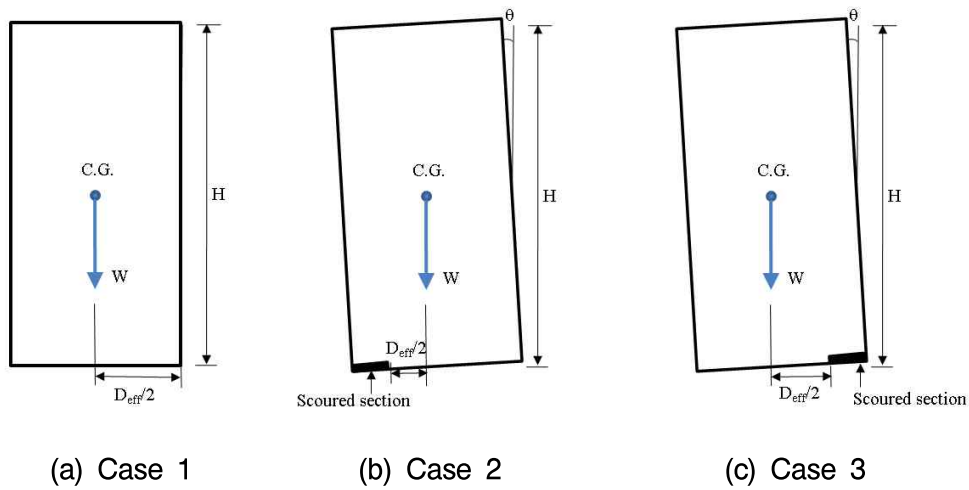


(b) 세굴깊이에 따른 전도 지지력 감소

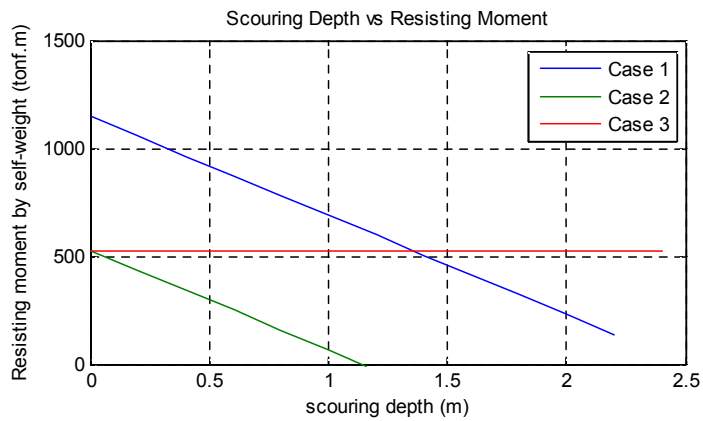
<그림 3-6-27> 서포리 남방등표 안정성 검토 모델 및 세굴깊이의 영향 (경사가 없는 경우)

한편 서포리 등표의 경우 현재 약 8도 정도 기울어진 상태이므로, 이를 고려하여 지지력을 계산하면 다음과 같다. 이 때 기울어진 방향이 세굴방향인 경우와 세굴방향 반대인 경우 두 가지를 고려할 수 있다. 아래의 그림에서 파란색 선은 기울어지지 않은 등표 구조물에 세굴이 발생한 경우(Case 1)이고, 녹색 선은 기울어진 방향으로 세굴이 발생한 경우(Case 2)이며, 빨간색 선은 기울어진 방향 반대쪽에 세굴이 발생한 경우(Case 3)이다. Case 2의 경우 전도에 대

한 지지력이 급격히 상실되는 것을 볼 수 있다. 다행히 서포리 남방등표의 경우 Case 3에 해당하고, 세굴깊이에 상관없이 전도에 대한 지지력을 500tonf·m를 보유하고 있다. 즉, 서포리 남방등표의 경우에는 세굴보다는 경사가 안정성과 관련하여 더 중요한 영향인자가 됨을 알 수 있다.



<그림 3-6-28> 경사가 있는 경우 구조물에 작용하는 중력 및 구조물 상태



<그림 3-6-29> 경사가 있는 경우 세굴깊이에 따른 전도 지지력의 변화

5. 소결

이 절에서는 중력식 등표구조물의 기초가 수중에 있는 경우, 잠수부에 의한 육안조사 없이 세굴깊이를 평가할 수 있는 진동기반의 평가기법 개발에 관한 연구내용을 정리하였다. 우선 하드웨어 시스템 구축과 관련하여 4개의 가속도계와 DAQ, 그리고 Visualization 등의 기능을 갖는 시스템을 제작하였으며, 현재 서포리 남방등표의 상시모니터링을 위하여 태양광 발전장치와 함께 설치해 놓은 상태이다. 2차년도 연구기간 중 구축된 시스템에 (1) 시스템 불안정성, (2) 파일관리시스템, (3) 전원공급의 문제 등으로 인하여 여러 차례의 개선을 거쳤으며, 10월 말 최종 설치되어 11월 점검을 한 바 있다.

시스템 구축과 더불어 등표구조물 관리자가 보다 쉽게 세굴에 의한 구조안정성을 정량적으로 평가할 수 있도록 하기 위하여 단순화한 세굴평가시스템 (알고리즘)을 제안하였다. 제안된 세굴평가시스템은 (1) 설계조건에서 경사 및 세굴을 고려한 구조안정성(활동 및 전도) 평가, (2) 최소 안전계수를 만족하는 한계 세굴 깊이 결정, 그리고 (3) 시공초기 및 한계 세굴이 발생한 상태에서의 고유주파수 등을 계산하여 정기적으로 구한 고유주파수가 한계 상태에서의 고유주파수보다 작은지를 판단하여 안정성을 검토할 수 있도록 하였다. 그러나 반력식 구조물과 달리 중력식 구조물의 경우 기초 지지조건이 완전접합(fixed) 상태도 아니고 핀접합(pinned) 상태도 아닌 상태여서 구조해석모델을 작성할 때 기초 지지조건을 정확하게 반영하기 어려운 점이 노출되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 시공초기 구조물의 고유주파수 및 모드형상 등을 구하고, 이로부터 지지조건을 역해석에 의하여 먼저 구해 놓는 것이 바람직하리라 판단하였다. 만약 운용 중인 구조물이라면 상시계측시스템을 설치하여 1개월 정도 운용한 뒤 1개월 동안의 고유주파수 변동 추이를 고찰함으로써 정성적으로 구조안정성 감소를 평가할 수 있을 것으로 판단하였다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표달성도

연구개발 목표	연구 내용	목표달성도 (%)
<ul style="list-style-type: none"> 기초세굴 등표에 대한 정밀조사 및 원인분석 	<ul style="list-style-type: none"> 수중압 및 노출압 등표 현지 실태 조사 실시 및 세굴원인 파악 	100%
<ul style="list-style-type: none"> 기존 등표 보강공법 및 유지관리 지침 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 등(입)표 기초의 안전점검 및 보수보강 지침(안) 작성 	100%
<ul style="list-style-type: none"> 등표 기초의 설계기준(항로표지 업무편람)의 수정 보완 	<ul style="list-style-type: none"> 등(입)표 기초의 설계기준(안) 작성 	100%
<ul style="list-style-type: none"> 등표 기초부의 시공성 및 안정성 향상 공법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 앵커볼트 보강 공법 설계 반영 선행긴장형 앵커 보강 공법 적용 	100%
<ul style="list-style-type: none"> 첨단 항로표지 수중구조물 형식 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 비굴착 중력식등표 기초 제안 파일테크식 등표 기초 제안 	100%
<ul style="list-style-type: none"> 선진국 신공법을 적용한 등표 설계자료 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 선진국의 등표 기술개발 동향 분석 해외 특허정보 제공사이트를 이용한 관련 특허자료 검색 	100%
<ul style="list-style-type: none"> 수리모형실험을 통한 성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 비굴착 중력식 등표에 대한 수리모형실험 실시 파일테크식 등표의 수리특성 평가를 위한 수리모형실험 실시 	100%
<ul style="list-style-type: none"> 상시진동계측에 의한 기초세굴 평가 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 4채널 상시진동 계측시스템(태양광발전 포함)구축 및 적용(서포리 등표) 세굴에 따른 안전성 및 진동특성 사이의 관계를 검토 	100%
전체 목표달성도		100%

제 2 절 관련분야에의 기여도

본 연구개발과제로부터 도출된 세부 연구성과의 관련분야에의 기여도는 다음과 같다.

○ 기존 등표의 보강공법 및 유지관리 지침 개발

지금까지 등표의 보강공법은 노출암에 설치된 등표의 손상된 외관에 덧씌우기 정도였으며 수중암에 설치된 경우는 철거 후 신설하는 것이 보통이었다. 본 연구에서 제시한 보수보강 기법은 적은 비용으로 안정성을 확보할 수 있는 수단을 제공함으로써 등표의 수명을 연장시키고 예산절감의 효과를 가져올 수 있다. 또한 유지관리 지침은 과학적인 관리 기법을 제시함으로써 적절한 보수보강 기법을 적용할 시기를 알려주어 등표의 기능을 항상 유지하는데 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

○ 등표기초의 설계기준 수정 보완

최근의 기술발전을 반영한 수정 보완된 설계기준은 등표의 안정성을 향상시키고 예산절감을 가능하게 하여 적은 비용으로 시공이 가능하도록 도와줄 것으로 사료된다.

○ 신형식 등표구조물 개발

비굴착 중력식 등표 및 파일데크식 등표는 모암의 형태를 가능한 보존하면서 지지력을 확보하는 것을 추구하는 기초 형식으로서 기존 중력식 등표와는 차별화되는 새로운 구조형식이다. 향후에는 신설 또는 보수보강 등표구조물의 설계시에 이러한 방향으로 기술개발이 더 활발하게 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

○ 상시진동계측에 의한 기초세굴 평가시스템

기존의 등표 뿐만아니라 신설 등표에도 계측시스템을 설치하면 등표의 유지관리가 가능하여 항해의 안전과 구조물의 안정성을 증대시킬 수 있다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

비굴착 중력식 등표는 신설 등표는 물론, 보수보강이 필요한 경우에도 활용할 수 있는 구조 형식이다. 특히, 암반 기초를 손상하지 않고 설치가 가능하기 때문에 적은 비용으로 유지보수가 가능하다. 또한, 지금까지는 기초가 심하게 손상된 경우에는 구조물의 안전을 위하여 손상이 발생한 등표를 완전히 철거한 후에 신설하였는데 비굴착 중력식 등표 형식을 채택하게 될 경우 이 과정을 단순화시키는 것이 가능하여 폐기물 처리에 따른 환경피해를 저감할 수 있다. 향후, 신설 및 보수보강이 이루어지는 등표구조물의 설계 시에 비굴착 중력식 등표 방식도 적극적으로 검토될 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 파일 테크식 등표는 주변이 수심이 깊고 파도가 높아서 대형 중력식 구조물이나 자켓 식이 필요한 경우에 특히 강점이 있는 구조형식으로서, 사전에 pile 속의 강봉을 인장하기 때문에 구조물의 자중을 줄일 수 있어서 기존의 중력식보다는 훨씬 경제적이며, 자켓식보다는 구조가 단순하기 때문에 역시 시공면이나 경제적인 면에서 우월한 구조이다. 따라서 향후 설계사업 등에 적극 반영될 수 있을 것으로 기대된다.

신형식 등표구조물 뿐만아니라 계측시스템 관련 기술은 특허를 출원한 상태인데 이 기술을 이용하겠다는 업체가 있기 때문에 현재 기업화 협의가 진행중이다. 기술이전은 기업화와 맞물려서 진행해야 하므로 연구결과에 대한 충분한 현장검증 후에 실시할 예정이다.

제 6 장 참고문헌

- 오상호, 오영민, 권오순, 이진학(2008). “등표구조물의 설계 및 시공방법에 관한 소고”, 한국
해안해양공학회 가을학술발표대회
- 해양수산부(1999), 항로표지업무편람
- 해양수산부(2005), 항만 및 어항 설계기준
- 한국도로공사(2001), 도로교 설계기준 해설 (하부구조편)
- 해양수산부(1999), 항만 및 어항시설의 내진설계표준서
- Bani-Hani, K.A. Zibdeh, H.S. and Hamdaouri, K. (2008), “Health monitoring of a
historical monument in Jordan based on ambient vibration test”, *Smart Structures and
Systems*, 4(2), 195-208.
- Chrysostomou, C.Z., Demetriou, T. and Stassis, A. (2008), “Health-monitoring and
system-identification of an ancient aqueduct”, *Smart Structures and Systems*, 4(2),
183-194.
- Ei-Borgi S, Choura S, Neifar M, Smaoui, H., Majdoub, M.S. and Cherif, D. (2008),
“Seismic vulnerability assessment of a historical building in Tunisia”, *Smart Structures
and Systems*, 4(2), 209-220.
- Feng, M.Q., Kim, D.K., Yi, J.H. and Chen, Y. (2004) “Baseline models for bridge
performance monitoring”, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE. 130(5), 562-569.
- Jaishi, B., Ren, W.-X., Zong, Z.-H. and Maskey, P.N. (2003) “Dynamic and seismic
performance of old multi-tiered temples in Nepal”, *Engineering Structures*, 25(14),
1827-1839.
- Overschee V.P. and De Moor, B. (1996), *Subspace Identification for Linear Systems*,
Kluwer Academic Publisher
- Peeters, B. and De Roeck, G. (1999), “Reference-based stochastic subspace identification
for output-only modal analysis.” *Mechanical Systems and Signal Processing*, 13(6),
855-878.
- Ren, W.X., Zatar, W., and Harik, I.E. (2004), “Ambient vibration-based seismic evaluation
of a continuous girder bridge”, *Engineering Structures*, 26(5) 631-640.
- Shama, A.A., Mander, J.B., Chen, S.S. and Aref, A.J. (2001), “Ambient vibration and
seismic evaluation of a cantilever truss bridge”, *Engineering Structures*, 23, 1281-1292.

부록 A

등(입)표 현장조사 기록표(Checklist)

I. 개 요

‘첨단항로표지 수중구조물 기술개발’ 과제의 사업기간 동안 각 지방청 별로 등표 구조물의 기초 손상 및 세굴피해가 발생한 것으로 보고된 자료를 토대로 <표 1>에 보인 것처럼 총 27개 등표에 대한 실태조사를 실시하였다. 그 중에서 8개 등표에 대해서는 수중 잠수를 통해 등표 기초를 비디오로 촬영하였다. <표 1>에 수중 동영상 촬영을 실시한 등표는 별표(*)로 표시하였다. 한편, 2차년도 사업기간 동안에도 추가로 1곳(여수청 여초등표)에 대한 현장조사를 실시하였으며, 등표가 심하게 기울어 보수·보강 계획이 있는 서포리남방등표의 경우는 3차례에 걸쳐서 정밀 재조사를 실시하였다.

<표 2>에는 현장조사 항목을 나타내었다. 경사, 활동, 세굴, 균열, 마모/침식, 박리/탈락, 유실, 파손 등 총 8개 항목에 대하여 등표구조물의 피해 정도를 조사하였으며, <표 3>에 나타낸 것처럼 각각의 조사 항목별로 피해의 정도를 나타내는 평가등급에 따라 조사 결과를 정리하여 기록하였다.

II 장에는 <표 1>에 나타낸 총 27개 등표에 대한 현장조사 기록표(checklist)를 각각 제시하였다. 등표 기초의 세굴 및 손상상태를 평가함에 있어서, 측면에서 등표 기초 구조물을 보았을 때 등표 기초의 대략적인 중심을 기준으로 위쪽(등탑쪽)과 아래쪽(암반쪽)을 각각 ‘기초 상부’ 및 ‘기초 하부’로 구분하여 정리하였다. 이렇게 기초를 두 부분으로 세분하여 피해 정도를 평가한 이유는 기초 상부와 기초 하부에서 피해 양상 및 정도가 다르게 나타나는 경우가 관찰되었기 때문이며, 또한 등표 기초 구조물 전체로 조사 부위를 설정할 경우 피해가 구체적으로 발생한 부분이 어느 곳인지 파악하기 어려울 수 있기 때문이다. 이러한 점을 고려하여 향후에 현장조사가 이루어질 경우에는 보다 세부적으로 조사부위를 설정하고 피해 형태 및 정도를 기록하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

<표 1> 현지조사 등표 목록 (수중동영상 촬영 등표는 *로 표시)

관할청	표지명	현지조사일
인천청	백암등표	2007.01.11
	서포리남방등표(*)	2007.05.21/06.09/07.08 2008.04.27/06.12
	울도북방등표(*)	2007.05.21/06.09/07.08
	광여등표	2007.05.21
	가진여등표	2007.08.10
	작은구들돌등표	2008.06.12
대산청	외죽도등표(*)	2007.08.11
	행여등표(*)	2007.08.11
	안흥항등표	2007.08.11
	가대암등표	2007.08.11
목포청	마진도남방등표(*)	2007.06.26
진도관리소	메에루암등표(*)	2007.06.26
여수청	소유등표	2007.04.16
	절리서등표	2007.04.16
	신강서등표	2007.04.16
	엄수도등표	2007.04.16
	우모서등표	2007.04.16
	여초등표	2008.06.25
마산청	견내량등표	2007.05.02
	산서등표	2007.05.02
	소여등표	2007.05.02
	저도등표	2007.05.02
	진해서등표	2007.05.02
	한산항등표	2007.05.02
부산청	송정리등표(*)	2007.07.26
	교석추등표(*)	2007.07.26
포항청	관암등표	2007.07.27
합계	27 개	

<표 2> 등표 구조물 현장조사 항목

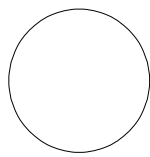
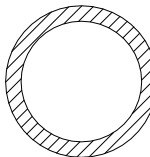
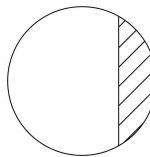
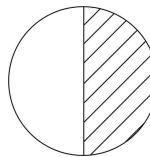
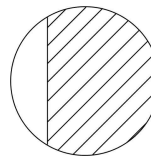
구분	조사 항목
경사	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 등탑만 기울어짐 ▶ 경사각 측정
활동	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기초부와 등탑의 활동 발생 ▶ 활동 변위 측정
세굴	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기초와 암반 이격, 기초부 손상 여부 확인, 암반 손상 확인 ▶ 전체 면적에 대해 백분율 표기, 방향 확인
균열	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 콘크리트에 발생한 균열 (과응력균열, 부식균열, 일반균열) ▶ 연결부 균열 ▶ 수중 균열
마모/침식	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 파랑, 부유물 충돌에 의한 콘크리트 기초 마모/침식 ▶ 등(입)표 진동으로 인한 기초 콘크리트 침식, 파쇄
박리/탈락	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 콘크리트 피복 박리, 철근 노출 ▶ 부식 박리, 철근 노출 ▶ 콘크리트 염해 발생 여부
유실	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 등탑부 유실 ▶ 상부 콘크리트 블록 유실 ▶ 기초 파손으로 인한 콘크리트 블록 유실 ▶ 기초부 전체 유실
파손	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 충돌에 의한 콘크리트 블록 파손 ▶ 기초 콘크리트 파손 ▶ 충돌로 인한 기초 콘크리트 패임

<표 3> 등표 현장조사 항목별 평가등급 및 한계값

1. 등(입)표의 손상 및 결함의 등급 및 한계값

구분	한계값(X_{lim})
경사	5°
활동	30cm
세굴	Level-3
균열	폭 0.2cm
마모/침식	Level-2
박리/탈락	Level-3
유실	1곳
파손	Level-2

2. 세굴의 등급 (Level)

Level (X)	0	1	2	3	4
세굴형상					
세굴상태	새로운 상태	외측 세굴	일면 부분 세굴	절반 세굴	대부분 세굴

3. 마모/침식의 등급 (Level)

Level (X)	상태
0	새로운 상태
1	도장 훼손
2	표피 침식으로 콘크리트 일부 훼손
3	콘크리트 표면 대부분 훼손
4	철근 노출

4. 박리/탈락의 등급 (Level)

Level (X)	상태
0	새로운 상태
1	박리로 인한 경미한 균열 형상
2	균열심각, 부풀어 오름
3	약간 박리 부분이 탈락
4	철근 노출되고 완전 박리 발생

5. 파손의 등급 (Level)

Level (X)	상태
0	새로운 상태
1	도장 및 표면 훼손
2	콘크리트 일부 패임
3	콘크리트 깨짐 균열 확장
4	파손으로 인한 콘크리트 블록 탈락

II. 등표 실태조사표(Checklist)

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 백암등표 조사일자 : 2007 . 01. 11. 쪽 번 호 : 1 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 인천청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						2	1		
기초 하부				1		2	1		2
(이하 여백)									

기타 기록사항

· 상시 미진동 계측 수행



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 서포리남방등표 조사일자 : 2007 . 05. 21. 쪽 번 호 : 2 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 인천청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
등표 전체		7°							
기초 수중 (이하 여백)				2		1	2		2

기타 기록사항

- 2007년 재조사 수행 및 수중비디오 촬영 실시 (2007.06.09 / 2007.07.08)
- 2008년 재조사 수행 및 수중비디오 촬영 실시 (2008.04.27 / 2008.06.12)
- 암반과 기초 사이의 최대 이격거리 ≈ 90 cm



현장 실태조사 사진



수중 동영상촬영 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

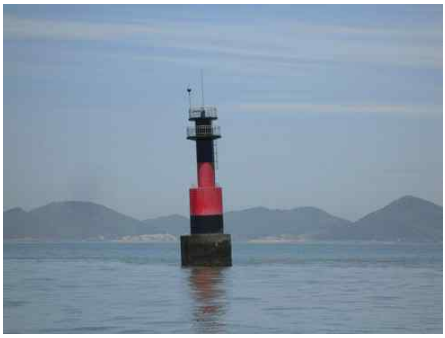
등(입)표명 : 울도북방등표 조사일자 : 2007 . 05. 21. 쪽 번 호 : 3 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 인천청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
등표 전체		2°							
기초 수중 (이하 여백)				1		1	1		1

기타 기록사항

· 2007년 재조사 수행 및 수중비디오 촬영 실시 (2007.06.09 / 2007.07.08)



현장 실태조사 사진



수중 동영상촬영 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 광여등표 조사일자 : 2007 . 05. 21. 쪽 번 호 : 4 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 인천청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부					○	2	2		2
기초 하부						2	1		1
(이하 여백)									

기타 기록사항

- 기초 상부와 하부 연결부 전면에 걸쳐서 균열 발견됨



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 가진여등표 조사일자 : 2007 . 08. 10. 쪽 번 호 : 5 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 인천청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						2			1
기초 하부						2			
(이하 여백)									

기타 기록사항

- 기초 상부 일부구간에 파손이 발생하였음
- 기초 하부 전면에 걸쳐서 마모가 발생하였음



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 작은구들돌등표 조사일자 : 2008 . 06. 12. 쪽 번 호 : 6 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 인천청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
(이하 여백)									

기타 기록사항

· 유의미한 피해가 발견되지 않았음 (최근에 기초부 보강)



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 외죽도등표 조사일자 : 2007 . 08. 11. 쪽 번 호 : 7 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 대산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부					○	3	3		2
기초 하부					○	3	3		2
기초 수중				1		4			
(이하 여백)									

기타 기록사항

- 수중 동영상 촬영 실시



현장 실태조사 사진



수중 동영상촬영 사진 (기초 이격거리 측정)

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 행여등표 조사일자 : 2007 . 08. 11. 쪽 번 호 : 8 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 대산청

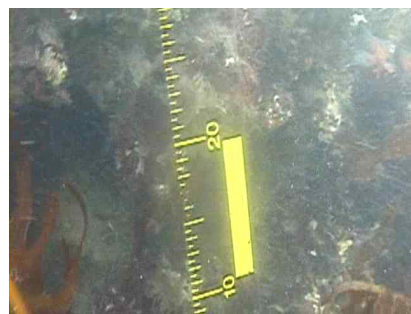
조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						1	1		1
기초 하부						2			1
기초 수중				1		2			
(이하 여백)									

기타 기록사항

- 수중 동영상 촬영 실시



현장 실태조사 사진



수중 동영상촬영 사진 (기초 이격거리 측정)

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 안흥항등표 조사일자 : 2007 . 08. 11. 쪽 번 호 : 9 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 대산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
등표 전체						1			
기초 하부 (이하 여백)						1			1

기타 기록사항



1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 가대암등표 조사일자 : 2007 . 08. 11. 쪽 번 호 : 10 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 대산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
등표 전체						1			
기초 하부 (이하 여백)				1		2	1		2

기타 기록사항



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 마진도남방등표 조사일자 : 2007 . 06. 26. 쪽 번 호 : 11 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 목포청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 하부						1	1		1
기초 수중 (이하 여백)				1		1	1		

기타 기록사항

· 수중 동영상 촬영 실시



현장 실태조사 사진



수중 동영상촬영 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 메에루암등표 조사일자 : 2007 . 06. 26. 쪽 번 호 : 12 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 진도관리소

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 하부					○	2	1		2
기초 수중				1		2	2		2
(이하 여백)									

기타 기록사항

· 수중 동영상 촬영 실시



현장 실태조사 사진



수중 동영상촬영 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

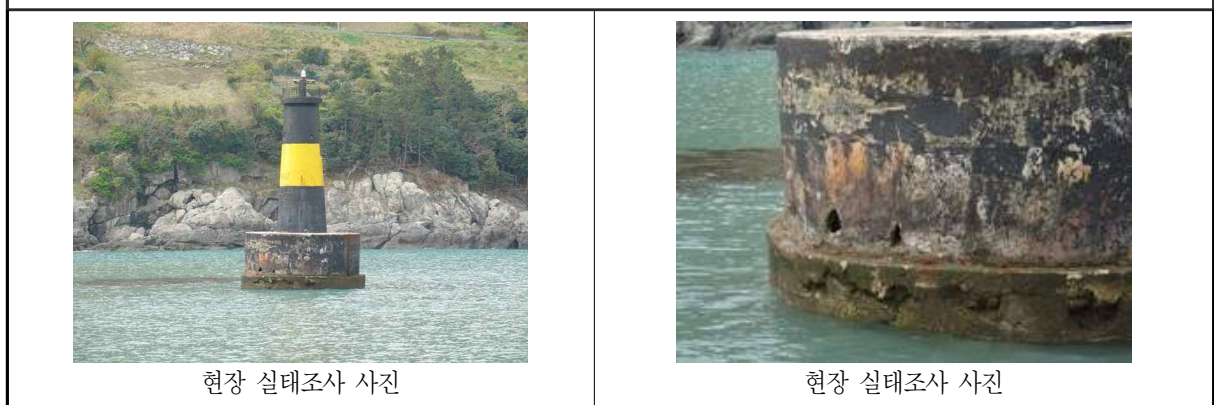
등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 소유등표 조사일자 : 2007 . 04. 16. 쪽 번 호 : 13 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 여수청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						2	1		1
기초 하부				1	○	3	2		3
(이하 여백)									

기타 기록사항



1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 절리서등표 조사일자 : 2007 . 04. 16. 쪽 번 호 : 14 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 여수청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						2	1		1
기초 하부					○	2	1		2
(이하 여백)									

기타 기록사항



1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 신강서등표 조사일자 : 2007 . 04. 16. 쪽 번 호 : 15 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 여수청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						1	1		2
기초 하부						2	1		1
(이하 여백)									

기타 기록사항



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 업수도등표 조사일자 : 2007 . 04. 16. 쪽 번 호 : 16 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 여수청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부					○	1	1		
기초 하부				1	○	2			3
(이하 여백)									

기타 기록사항



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 우모서등표 조사일자 : 2007 . 04. 16. 쪽 번 호 : 17 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 여수청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부									1
기초 하부						2			2
(이하 여백)									

기타 기록사항



1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 여초등표 조사일자 : 2008 . 06. 25. 쪽 번 호 : 18 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 여수청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부					○	2	2		1
기초 하부						2	1		2
(이하 여백)									

기타 기록사항



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 견내량등표 조사일자 : 2007 . 05. 02. 쪽 번 호 : 19 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 마산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
등표 전체		1.5°							
사다리									2
기초 상부 (이하 여백)						1			

기타 기록사항



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 산서등표 조사일자 : 2007 . 05. 02. 쪽 번 호 : 20 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 마산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						1	1		
기초 하부				1		3	3		3
(이하 여백)									

기타 기록사항

· 상시 미진동 계측 실시



현장 실태조사 사진



상시 미진동 계측 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 소여등표 조사일자 : 2007 . 05. 02. 쪽 번 호 : 21 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 마산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						1	1		
기초 하부				2	○	3	2		3
(이하 여백)									

기타 기록사항



1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 저도등표 조사일자 : 2007 . 05. 02. 쪽 번 호 : 22 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 마산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
사다리									1
기초 상부						1	1		1
기초 하부				1	○	3	3		2
(이하 여백)									

기타 기록사항



1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 진해서등표 조사일자 : 2007 . 05. 02. 쪽 번 호 : 23 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 마산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
다리					○		1		
몸체							1		1
기초 하부				2		3	4		3
(이하 여백)									

기타 기록사항



1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 한산항등표 조사일자 : 2007 . 05. 02. 쪽 번 호 : 24 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 마산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 하부 (이하 여백)						1	1		

기타 기록사항



1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 송정리등표 조사일자 : 2007 . 07. 26. 쪽 번 호 : 25 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 부산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부									1
기초 하부						1			2
기초 수중				1		2	1		2
(이하 여백)									

기타 기록사항

• 수중 동영상 촬영 실시



현장 실태조사 사진



수중 동영상촬영 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 교석추등표 조사일자 : 2007 . 07. 26. 쪽 번 호 : 26 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 부산청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						2	1		2
기초 하부						2	1		2
기초 수중				1		2			2
(이하 여백)									

기타 기록사항

• 수중 동영상 촬영 실시



현장 실태조사 사진



수중 동영상촬영 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

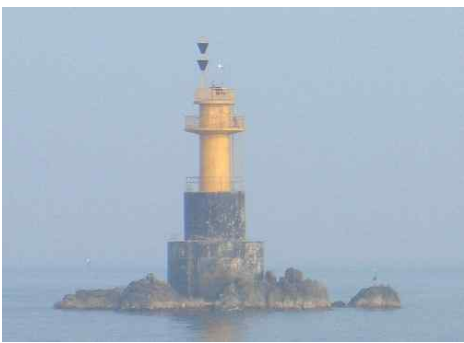
등(입)표 현장조사 기록표(Check List)

등(입)표명 : 관암등표 조사일자 : 2007 . 07. 27. 쪽 번 호 : 27 /

담 당 자 : _____ 책 임 자 : _____ 관리기관 : 포항청

조사부위 (표식번호)	경사		활동	세굴	균열	마모/ 침식	박리/ 탈락	유실	파손
	방향	경사							
기초 상부						1			
기초 하부						1			1
(이하 여백)									

기타 기록사항



현장 실태조사 사진



현장 실태조사 사진

1. 결함이 발생한 조사부위만을 기록
2. 평가점수는 조사부위에 발생한 결함의 평가점수 중 가장 낮은 것으로 기록

부록 B

등(입)표 기초 안전점검 지침(안)

목 차

1. 개요	173
(1) 적용범위	173
(2) 관련기준	173
(3) 목적 및 배경	173
(4) 등(입)포 기초의 종류 및 구성요소	174
(5) 지침의 범위	174
2. 안전점검	175
(2) 점검 계획	175
(3) 등(입)포 손상 및 결함 형태와 발생원인	176
(4) 등(입)포 현장조사 항목	178
(5) 상태평가등급	179

1. 개요

(1) 적용범위

이 지침은 등(입)표 기초의 현장 안전점검 업무에 적용한다.

[해설]

이 지침은 항로표지시설인 등(입)표 기초에 대한 안전점검 업무에 적용한다. 안전점검은 주로 육안에 의한 외관조사를 통하여 구조물의 안전성과 사용성에 문제점이 있는지를 조사하는 모든 업무로 정의한다.

(2) 관련기준

이 지침에서 규정하지 않은 사항들은 다음 법규의 기준을 따른다.

- 정부(2002), “시설물 안전관리에 관한 특별법”, 법률 제 6608호
- 정부(2002), “시설물 안전관리에 관한 특별법 시행령”, 대통령령 제17538호
- 건설교통부(1995), “시설물 안전관리에 관한 특별법 시행규칙”, 건설교통부령 제195호
- 건설교통부(1995), “안전점검 및 정밀안전진단지침”
- 건설교통부, 시설안전기술공단(1996), “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”
- 해양수산부(1997), “항만구조물 잔교식 안벽 안전진단 및 정밀안전진단 지침서”
- 해양수산부(1997), “항만구조물 잔교식 안벽 안전진단 및 보수보강 요약지침서”
- 해양수산부(1998), “항만구조물 중력식 안벽 및 외곽시설 안전점검 및 정밀안전진단 지침서”
- 해양수산부(1998), “항만구조물 중력식 안벽 및 외곽시설 보수보강 표준지침서”

(3) 목적 및 배경

이 지침은 등(입)표 기초의 현장 안전점검을 수행하고 구조물의 상태를 객관적으로 평가하여 기록하는 방법을 수록하여, 등(입)표 기초에 대한 안전점검을 실시할 때 참조할 수 있는 기본저건 조사요령과 조사 사항들을 설명하는데 그 목적이 있다.

[해설]

구조물의 상태를 점검하고 그 결과로부터 구조물의 개략적인 상태를 이해하기 쉽게 나타내는 지수로 상태등급을 기존의 시설물 안전진단 지침서들에서와 동일하게 정의하고 있다. 즉, 구조물의 상태등급을 5 단계로 구분하여 설정하여 구조물의 상태를 가시적으로 판단할 수 있는 지수를 정의하였다.

(4) 등(입)표 기초의 종류 및 구성요소

등(입)표 기초의 종류는 다음과 같이 4종류로 구분한다.

- ① 重力式
- ② 말뚝식
- ③ 자켓식
- ④ 기타 형식

[해설]

등(입)표 기초의 종류는 크게 4가지로 분류할 수 있으며, 다음 그림과 같은 형식으로 정리할 수 있다.



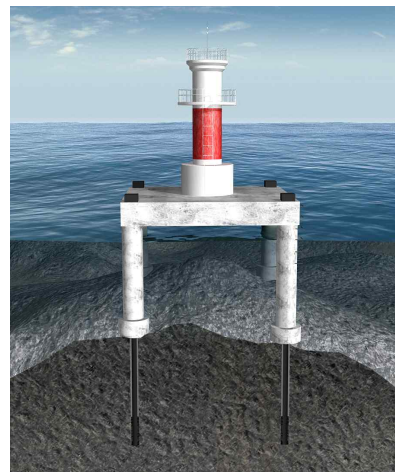
중력식 기초



말뚝식 기초



자켓식 기초



기타 형식(파일데크식 기초)

(5) 지침의 범위

안전점검 지침은 등(입)표 기초의 현장점검을 통하여 구조물의 상태평가를 수행하여 정밀안전진단이 필요한지 결정하기 위한 것이다.

2. 안전점검

(1) 점검 계획

안전점검 계획을 수립할 때는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- ① 조사의 종류, 범위, 항목, 방법, 장비
- ② 조사 대상 등(입)표의 설계자료, 과거 점검자료 및 보수보강의 이력
- ③ 대상 등(입)표의 구조적 특성과 특별한 자체만의 문제점
- ④ 대상 등(입)표의 규모와 조사의 난이도
- ⑤ 기상 및 조수간만의 상태
- ⑥ 사용제한에 따른 영향
- ⑦ 조사장비의 실용성
- ⑧ 최신 조사기술의 적용성
- ⑨ 조사자의 자격

[해설]

효과적이고 안전한 점검을 위하여 적절한 사전 계획과 충분한 준비가 필수적이며, 조사계획은 기존의 자료(설계, 이력기록)들에 대한 충분한 검토를 토대로 하여야 한다. 조사계획을 수립할 때 다음과 같은 사항도 고려하여야 한다.

- ① 필요한 조사 형태의 결정
- ② 조사를 수행하는데 필요한 인원수, 장비 및 기구의 형태 결정
- ③ 기존의 발생한 손상 또는 우려 부위를 알기 위하여 이전의 조사 또는 유지관리 기록에 어떤 내용이 있는지 확인
- ④ 조사 기간과 계획된 작업시간 단축
- ⑤ 타 기관 또는 필요한 경우 사용자와 협조 또는 공지사항 관계 수립
- ⑥ 현장 기록 양식을 취합
- ⑦ 조사 대상 구역의 평면에 대한 스케치와 대표적인 상세에 대한 적절한 사전 스케치 준비
- ⑧ 비파괴 또는 기타 특수 시험이 적절한 지 결정
- ⑨ 구조물의 붕괴 유발 부재, 피로 취약 구조세목, 구조적 여유도가 없는 부재와 같이 특별한 주의를 필요로 하는 부재와 세목이 포함되었는지 판단

(2) 등(입)표 손상 및 결함 형태와 발생원인

등(입)표 기초에서 발생하는 손상 및 결함의 형태에 따라 분류한다.

[해설]

등(입)표의 기초는 일반적으로 콘크리트 구조물에서 발생하는 손상 및 결함이 나타난다. 구조물 기초 자체가 회전하거나 이동하거나 유실된 것을 손상이라고 하고 그 이외의 항목들은 구조물 자체의 결함으로 분류할 수 있다. 손상과 결함의 형태 및 주요 발생 원인과의 상관관계를 다음 표에서 정리하였다.

등(입)표의 손상형태

경사	활동	세굴	균열
 <ul style="list-style-type: none"> · 등탑부의 회전 · 기초부의 기울어짐 · 기초 침하 	 <ul style="list-style-type: none"> · 등탑 횡방향 이동 · 기초의 횡방향 이동 · 등(입)표 위치 변경 	 <ul style="list-style-type: none"> · 기초와 모암의 이격 · 기초 콘크리트 손상 · 모암 손상 / 탈락 	 <ul style="list-style-type: none"> · 등탑의 균열 · 기초 블록의 균열 · 콘크리트 균열
마모/침식	박리/탈락	유실	파손
 <ul style="list-style-type: none"> · 부유물 충돌 · 콘크리트 표면 마모 · 각종 부재 침식 	 <ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트 피복 탈락 · 철근 노출 · 균열 손상 	 <ul style="list-style-type: none"> · 등탑 유실 · 콘크리트 블록 유실 · 전체 유실 	 <ul style="list-style-type: none"> · 등탑 파손 · 콘크리트 블록 파손 · 기초 블록 파손

등(입)표 손상 및 결함 형태와 발생원인

발생원인 손상형태	기초 콘크리트 침식	기초 암반 파손	암반 세굴	콘크리트 염해	철근 부식	동결 융해	기초 전단 파괴	파랑 작용	선박 충돌	기타
경사	●	●	●				●		●	
활동		●					●		●	
세굴	●	●	●							
균열	●			●	●	●	●			
마모 침식				●		●		●	●	
박리/탈락	●			●	●	●	●			
유실	●			●	●	●				
파손	●			●	●	●	●			

(3) 등(입)표 현장조사 항목

등(입)표 기초의 안전점검은 현장 조사를 통해 발생한 손상, 결함 항목을 구분하여 정리한다.

등(입)표 현장조사 항목

구분	조사 항목
경사	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 등탑만 기울이짐 ▶ 경사각 측정
활동	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기초부와 등탑의 활동 발생 ▶ 활동 변위 측정
세굴	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기초와 암반 이격, 기초부 손상 여부 확인, 암반 손상 확인 ▶ 전체 면적에 대해 백분을 표기, 방향 확인
균열	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 콘크리트에 발생한 균열 (과응력균열, 부식균열, 일반균열) ▶ 연결부 균열 ▶ 수중 균열
마모/침식	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 파랑, 부유물 충돌에 의한 콘크리트 기초 마모/침식 ▶ 등(입)표 진동으로 인한 기초 콘크리트 침식, 파쇄
박리/탈락	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 콘크리트 피복 박리, 철근 노출 ▶ 부식 박리, 철근 노출 ▶ 콘크리트 염해 발생 여부
유실	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 등탑부 유실 ▶ 상부 콘크리트 블록 유실 ▶ 기초 파손으로 인한 콘크리트 블록 유실 ▶ 기초부 전체 유실
파손	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 충돌에 의한 콘크리트 블록 파손 ▶ 기초 콘크리트 파손 ▶ 충돌로 인한 기초 콘크리트 패임

(4) 상태평가등급

상태평가등급은 등(입)표 기초에서 관찰된 손상 및 결함에 대한 평가지수를 계산하여 그 중 가장 심각한 것을 사용하여 결정한다. 이렇게 결정된 조사대상 구조물에 대한 상태평가등급은 정밀안전진단을 실시할 것인 지를 결정하는 자료로 활용한다.

[해설]

- ① 상태등급은 관찰된 손상 및 결함의 상태 중에서 가장 심각한 것의 상태지수를 사용하는 것으로 정의한다. 따라서 앞에서 정의한 손상 및 결함에 대한 크기 및 상태에 대한 평가기준을 설정하여야 한다.
- ② 앞에서 정의한 손상과 결함에 대한 상태등급을 다음 표에서 정의하였다. 경미한 손상과 불량한 손상을 구분하는 경계치로 한계값(X_{lim})과 각 손상과 결함의 구조적 기능성 및 안정성에 미치는 영향 정도에 따라 영향지수를 정리하였다.
- ③ 여기에서 정의한 한계값 및 영향지수는 ‘항만구조물 잔교식 안벽 안전진단 및 보수·보강 요약지침서’와 ‘항만구조물 중력식 안벽 및 외곽시설 안전점검 및 정밀안전진단 지침서’에서 제시된 기준을 참조하였고, 국내 ‘항만공사 표준시방서’에서 정의하는 공사 허용범위를 참조하였다.

등(입)표의 손상 및 결함의 한계값과 영향

구분	한계값(X_{lim})	영향지수(S)
경사	5°	1.2
활동	30cm	1.2
세굴	Level-3	1.5
균열	폭 0.2cm	1
마모/침식	Level-2	1
박리/탈락	Level-3	1
유실	1곳	1.2
파손	Level-2	1

마모/침식의 등급 (Level)

Level (X)	상태
0	새로운 상태
1	도장 훼손
2	표피 침식으로 콘크리트 일부 훼손
3	콘크리트 표면 대부분 훼손
4	철근 노출

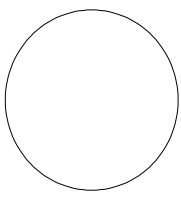
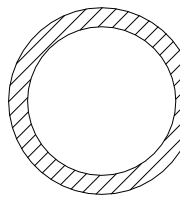
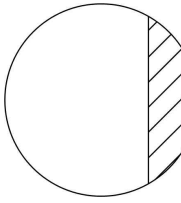
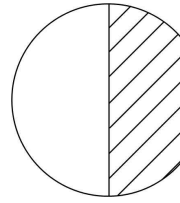
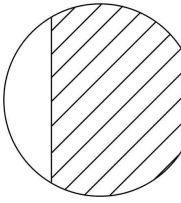
박리/탈락의 등급 (Level)

Level (X)	상태
0	새로운 상태
1	박리로 인한 경미한 균열 형상
2	균열심각, 부풀어 오름
3	약간 박리 부분이 탈락
4	철근 노출되고 완전 박리 발생

파손의 등급 (Level)

Level (X)	상태
0	새로운 상태
1	도장 및 표면 훼손
2	콘크리트 일부 패임
3	콘크리트 깨짐 균열 확장
4	파손으로 인한 콘크리트 블록 탈락

세굴의 등급 (Level)

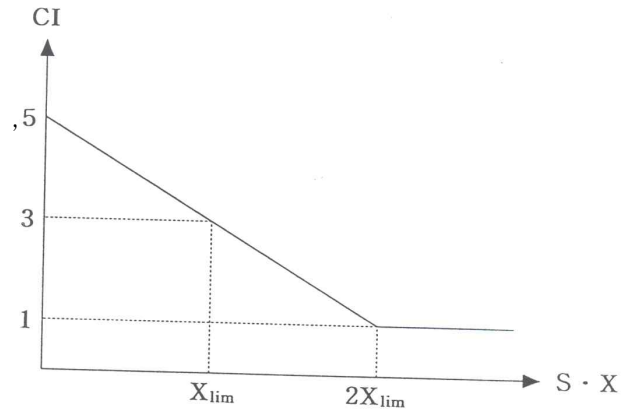
Level (X)	0	1	2	3	4
세굴형상					
세굴상태	새로운 상태	외측 세굴	일면 부분 세굴	절반 세굴	대부분 세굴

④ 손상과 결함에 대한 한계치와 영향지수를 이용하여 등(입)표 기초의 상태평가등급을 설정하기 위하여 각 손상 및 결함별로 상태지수를 계산한다. 상태지수(CI)는 다음 식에서와 같이 각 손상 및 결함별로 평가된 상태와 한계값과의 비교를 통하여 계산한다. 이 식을 그림으로 나타내면 다음과 같다.

$$CI_j = 5 - 2 \frac{X_j}{X_{jlim}} \times S_j, \quad S_j S_j \leq 2X_{jlim}$$

$$CI_j = 1$$

$$S_j S_j > 2X_{jlim}$$



⑤ 여기에서 계산되는 상태지수의 범위는 1.0~5.0이며, 손상이 전혀 없는 경우에는 CI=5이며, 최악인 상태인 경우에는 CI=1로 정의된다.

⑥ 최종 등(입)표 기초의 상태평가등급은 각 손상과 결함에서 산정된 CI 값 가운데 가장 작은 값을 선택한다. 상태등급과 평가점수는 현장점검 상태평가와 일관성 있게 5등급으로 분류한다.

⑦ 분류된 등급에서 A등급(최상)으로 분류되는 구조물은 다른 조치 없이 다음 정기점검을 정기적으로 시행하면 되는 것이고, B등급(양호)으로 분류되는 구조물은 일상적인 보수사항이 있으면 실시하도록 조치하면 되며 정밀안전진단을 수행할 필요는 없다. 그러나 분류된 등급이 C등급(불량), D등급(심각), E등급(위험)일 경우에는 안전진단을 실시하도록 조치하는 것이 필요하다.

상태지수에 의한 상태평가등급 및 조치사항

구분	평가등급	평가점수(M)	상태지수(CI)범위	상태	조치사항
1	A	5	4.50~5.00	최상	없음
2	B	4	3.50~4.49	양호	일상 보수
3	C	3	2.50~3.49	불량	정밀안전진단 실시
4	D	2	1.50~2.49	심각	
5	E	1	1.00~1.49	위험	

등(입)표 기초 보수·보강 지침(안)

목 차

1. 개요	187
(1) 일반	187
(2) 손상유형에 따른 보수기준 및 방법	187
2. 보수·보강 공법	188
(1) 일반적인 콘크리트 보수보강 공법	188
(2) 등(입)표 기초 보수보강 공법	190

1. 개요

(1) 일반

이 지침서는 항로표지시설인 등(입)표 기초의 보수·보강을 위한 내용으로 주로 중력식 콘크리트 기초에 대한 내용으로 구성되어 있다. 대부분의 내용은 ‘항만구조물 잔교식 안벽 보수·보강 표준지침서’에서 제시된 기준에 따라 정리하였다.

(2) 손상유형에 따른 보수기준 및 방법

결 함	보수기준	보수우선순위	대표적 보수방법
파손	보수 필요	구조상태에 좌우됨	콘크리트 부분교체
충격 손상	균열깊이 > 25mm	유지보수	콘크리트 부분교체
과응력 균열	구조상태 및 균열폭에 좌우됨	구조상태 및 균열폭에 좌우됨	균열폭 ≤ 5mm : 에폭시 주입 균열폭 > 5mm 콘크리트 교체
일반 균열	균열폭 > 0.5mm	유지보수	봉합
부식 균열	균열폭 > 0.5mm	균열폭과 철근상태에 좌우됨	콘크리트 부분교체
부분부식박리	균열폭 > 0.5mm	균열폭과 철근상태에 좌우됨	콘크리트 부분교체
완전부식박리	보수 필요	노출된 철근에 좌우됨	콘크리트 부분교체

2. 보수·보강 공법

(1) 일반적인 콘크리트 보수보강 공법

■ LBR-1 : 콘크리트 인케이스먼트를 이용한 보수

콘크리트 말뚝의 황산염, 박리 및 균열에 의한 열화 혹은 해양 생물에 의해 말뚝 단면의 10%~50% 가량이 유실된 경우, 연성 혹은 강성거푸집은 철근과 같이 사용하고 보수대상 말뚝의 부분이나 전체에 대해서 케이싱보수를 하게 된다. 제조업자의 지시에 따라 보수대상말뚝의 지반선 아래를 밀착하여 말뚝을 완전히 노출시켜야 한다.

- 스크레이퍼(scraper), 샌드블라스팅(sand blasting) 및 워터블라스팅(water blasting)을 이용하여 해양 생물을 깨끗이 제거한다.
- 와이어브러시(wire brush)를 이용하여 철근 모재가 노출되도록 청소한다. 열화된 콘크리트, 목재, 녹 및 산화물 등을 제거한다.
- 기술자의 지시에 따라 노출/열화된 철근을 평행하게 잇는다.
- 말뚝의 주위에 철근을 설치하고 스페이서를 이용하여 말뚝 철근과 철근거푸집의 사이를 최소한 5cm 이상 유지되도록 한다.
- 최소한 1.0kg/cm² 이상의 압력으로 파이프나 호스를 거푸집 하단부까지 연장하여 콘크리트를 펌핑한다. 펌핑하는 동안 배출구는 콘크리트의 내부에 있도록 한다.

■ LBR-2 : 에폭시 그라우팅을 이용한 콘크리트 균열보수

풍화, 열화 혹은 콘크리트에 침투된 수분에 의한 철근 부식 등으로 야기된 균열의 경우 적절한 수중 그라우팅 균열에 의한 공극과 공극내의 수분을 제거하는 기술을 포함한다. (“잔교식 안벽 보수·보강 표준지침서”의 그림 4.3.5) 작은 균열은 그라우팅 건(gun)을 이용한 수작업을 통하여 수행하나 큰 균열은 압력그라우팅이 필요하다. 그라우팅은 젖은 표면에 직접적으로 접촉할 수 없다. 그라우팅할 표면의 습기를 제거하는데 상당한 노력을 기울여야 한다. 에폭시 그라우트는 거칠고 깨끗한 표면에서 접촉이 뛰어나다.

- 워터블라스터(water blaster), 철술과 스크레이퍼와 같은 기계기구를 이용하여 대상표면을 깨끗하게 청소한다. 표면의 해양생물과 부스러기 및 노출된 철근을 제거한다.
- 균열면 전체를 봉인테이프나 에폭시 등으로 봉인하고 그라우트를 이용하여 균열내부를 봉합한다. 수중에서 에폭시 그라우트를 할 경우에는 유리섬유를 이용하여 표면을 봉인한다. 봉인이 완전히 양생이 된 후 다음 과정을 진행한다.
- 균열 봉인이 완전히 양생된 후 1.25cm 정도 구멍을 파고 균열의 저부에까지 도달할 수 있도록 보다 큰 주입구를 길이방향으로 15cm의 간격으로 만든다. 구멍의 크기는 주입기에 따른다.
- 그라우트 주입노즐을 천공한 구멍의 제일 깊숙한 곳까지 삽입하고 유동성이 좋은 그라우트를 다음 구멍으로 나올 때까지 주입한다.

주의 : 노즐이 균열부의 끝부분까지 도달할 수 있도록 하기 위하여 노즐연결부가 필요할 수 있다.

■ LBR-3 : 에폭시 패칭을 이용한 콘크리트의 보수 계획

에폭시 패칭은 국부적으로 균열이 발생한 곳에 이용된다. 열화된 부위는 콘크리트의 접착을 위하여 깨끗이 청소를 하여야 하며, 에폭시는 제조업자의 지시에 따라 배합하며 수작업으로 고르게 바르도록 한다. 에폭시는 젖은 표면에서는 접착되지 않으므로 표면의 물을 제거하기 위하여 미리 표면을 건조시켜야 한다.

에폭시 패칭컴파운드는 에폭시와 콘크리트 층의 온도 차이에 따라 팽창이 다르므로 두께를 2.0cm 이하로 제한하여야 한다. 두꺼운 에폭시 패칭은 온도의 변화에 따라 쉽게 열화될 수 있다.

에폭시 그라우트 대신 포틀랜드 시멘트를 사용할 수 있으나 작업은 다소 어렵다. 균열은 일반적으로 저점성 에폭시 몰탈을 압력으로 균열내부에 분사하여 보수한다. (“잔교식 안벽 보수·보강 표준지침서”의 그림 3.3.1 참조) 이에 대한 상세한 사항은 “잔교식 안벽 보수·보강 표준지침서”의 CPR-2에 나타내었다. 첫 단계에서는 보수부위를 청소하는 것이다. 플라스틱 주입구는 에폭시 주입시스템의 제조업자의 요구에 따른다. 플라스틱 주입구는 에폭시 봉인기를 균열입구에 접착시킨다. 균열표면도 봉인되어야 한다. 에폭시 봉인은 밤새 양생을 하고 다음날 저점성 에폭시 레진을 주입구에 넘칠 때까지 주입한다. 양생 후 주입구와 표면에 넘친 에폭시는 그라인딩을 하여 제거한다. 넓고 깊은 균열폭을 갖는 균열은 에폭시 봉인기와 함께 표면을 막기 위해 유리섬유를 사용한다. 봉인이 양생된 후 에폭시 그라우트가 균열길이 방향으로 매 15cm 마다 에폭시 주입홀을 뚫는다. 에폭시 그라우트는 주입구를 통하여 주입하고 하부에서부터 시작한다. 주입이 끝난 후 에폭시가 정착이 되기 전에 에폭시가 흘러나오는 것을 방지하기 위해 주입구를 막는다.

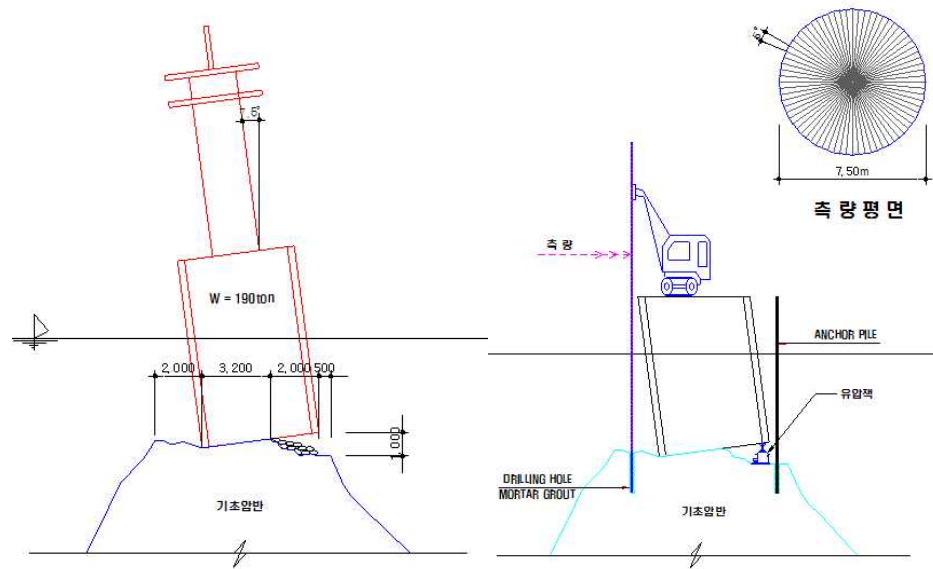
■ LBR-4 : 피복재를 이용한 콘크리트 말뚝의 유지보수계획

염화 폴리비닐(PVC) 혹은 유리섬유로 피복을 씌운 말뚝은 마모와 화학적 작용에 의한 흠에 대한 내구성이 우수하다. 왜냐하면 말뚝이 해수에 의한 직접적인 접촉이 없기 때문이다. 말뚝이 피복공법은 “잔교식 안벽 보수·보강 표준지침서”의 3.1.4절에 기술되어 있다.

(2) 등(입)표 기초 보수보강 공법

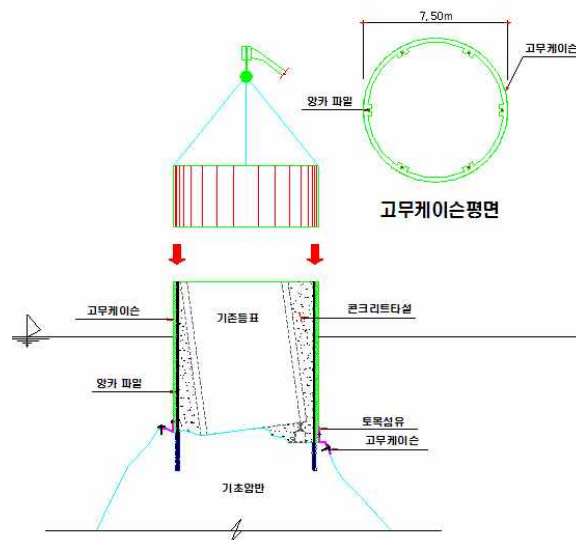
■ LBNR-1 : 비굴착 중력식 등표 보강 공법

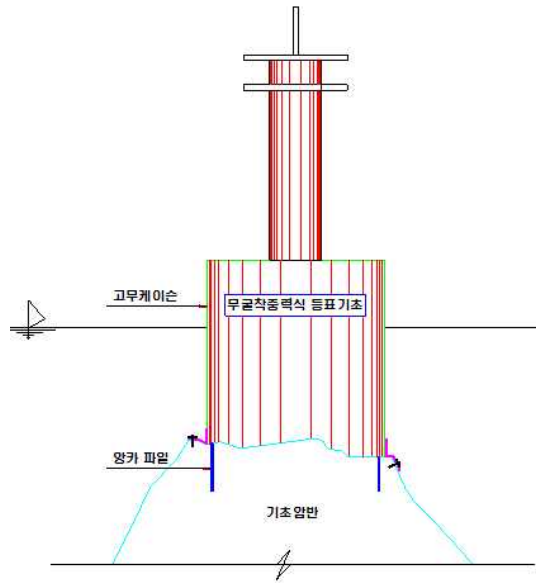
- 세굴 발생 기초나 철근노출 기초에 대하여 비굴착 중력식 보강기법 적용
- 먼저 손상된 등표 기초의 상부 등탑을 평편하게 절단
- 앵커말뚝 설치위치를 천공한 후, 앵커 파일 설치
- 외부 고무케이슨(거푸집)을 설치한 후, 내부에 콘크리트 타설
- 등탑 설치 및 시공 완료



(a) 손상된 상태의 등표

(b) 앵커파일 설치





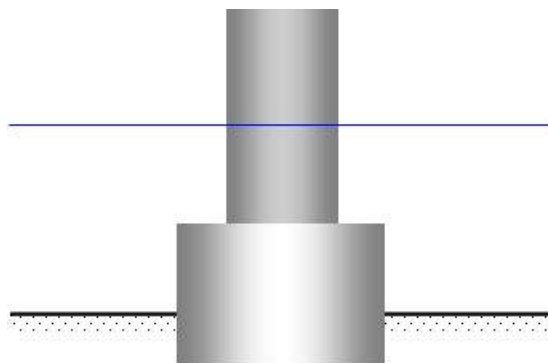
(c) 고무거푸집 설치 및 콘크리트 타설

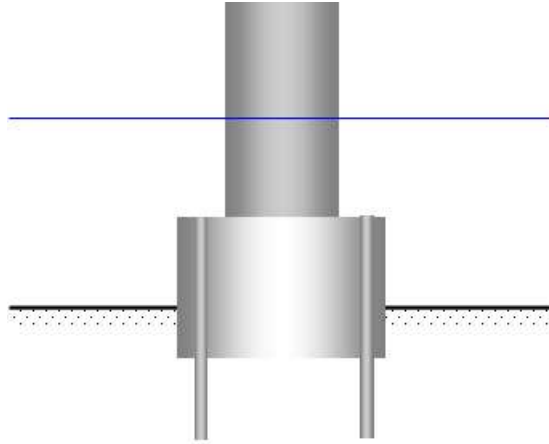
(d) 최종 보강된 등표

비굴착 중력식 등표 보강공법 개요

■ LBNR-2 : 선행 긴장 앵커 보강공법

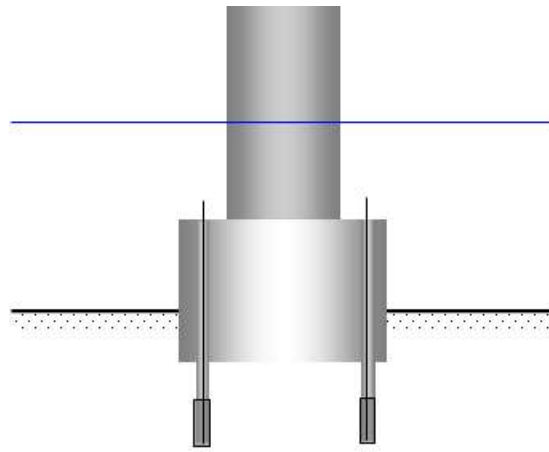
- 설계하중 증가로 인한 구조물 자중 부족을 해결하기 위한 선행인발형 앵커 보강 기법
- 보수 등표 기초부에서 기초와 암체를 천공
- 천공한 위치에 앵커 설치하여 정착부 형성
- 앵커 설계 긴장력만큼 긴장 후, 두부 정리 및 피복





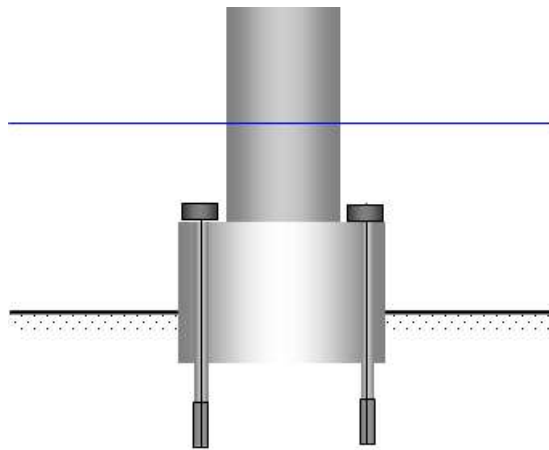
(a) 보수 필요 등표 기초

(b) 기초 부와 암체 동시 천공



(c) 강선 및 정착장 설치

(d) 앵커 긴장 및 두부 정리



선행긴장 앵커보강 공법 개요

부록 D

등(입)표 기초의 설계기준(안)

목 차

1. 개요	197
(1) 일반	197
(2) 적용기준	197
2. 설계 순서	198
3. 외력 계산	199
(1) 하중 및 외력	199
(2) 하중 및 외력의 조합	199
(3) 자중	199
(4) 지진력	199
(5) 풍압력	200
(6) 파압력	200
(7) 타상력	203
4. 안정성 검토	204
(1) 일반	204
(2) 지지력의 검토	204
(3) 활동에 대한 검토	206
(4) 전도에 대한 검토	207
5. 부재 계산	208
6. 참고문헌	209

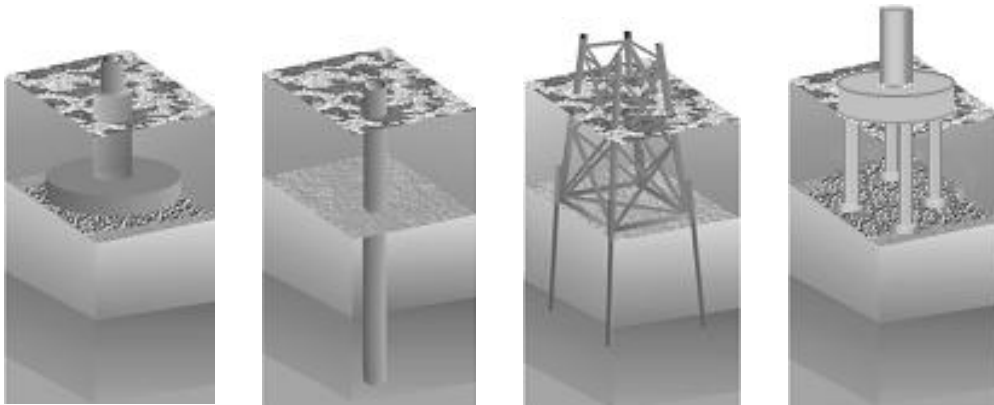
1. 개요

(1) 일반

이 기준은 등표 및 입표의 기초를 설계하는데 있어서 일반적인 기준 및 순서를 정하여 설계의 합리화와 능률화를 도모하는데 그 목적이 있으며 설계의 대상이 되는 시설물의 목적 및 기능을 충분히 이해하고 설계에 영향을 미치는 제반조건을 검토하여 목적 및 기능에 가장 적합한 구조물을 경제적으로 설계할 수 있도록 하여야 하며, 자연조건, 지반조건, 시공조건, 경제성 등을 고려해서 적절한 구조형식을 선정한다.

[해설]

- ① 등(입)표의 기초는 일반적으로 구조물의 자중으로 하중을 지지하는 중력식 기초와 말뚝의 휨모멘트로 저항하는 말뚝식 기초, 트러스형태의 무리말뚝으로 저항하는 자켓식 기초로 구분되며, 이외에도 다양한 형태의 기초형식을 적용할 수 있다.
- ② 보편적으로 수심이 얕거나 설계 하중이 작은 경우에는 중력식 기초를 사용하고, 수심이 깊은 경우에는 설계 하중에 따라 말뚝식 기초나 자켓식 기초를 사용하는 것이 경제적이다.
- ③ 중력식 기초에 선행진장앵커를 설치한 특수한 형태인 파일테크식 기초는 수심이 얕은 경우에 기초의 규모가 작아지고 기초의 세굴현상을 억제할 수 있기 때문에 경제적인 기초의 형식이다.



(a) 중력식 기초 (b) 말뚝식 기초 (c) 자켓식 기초 (d) 파일테크식 기초

<그림 1> 등표기초의 종류

(2) 적용기준

여기에서 표시하지 않는 사항에 대해서는 다음 기준을 따른다.

- ① 항만 및 어항 설계기준 (해양수산부), (이하 설계기준이라 함)
- ② 도로교 설계기준 (하부기초편) (한국도로공사), (이하 도로교시방서라 함)
- ③ 항만 및 어항시설의 내진설계표준서 (해양수산부), (이하 내진설계표준서라 함)

[해설]

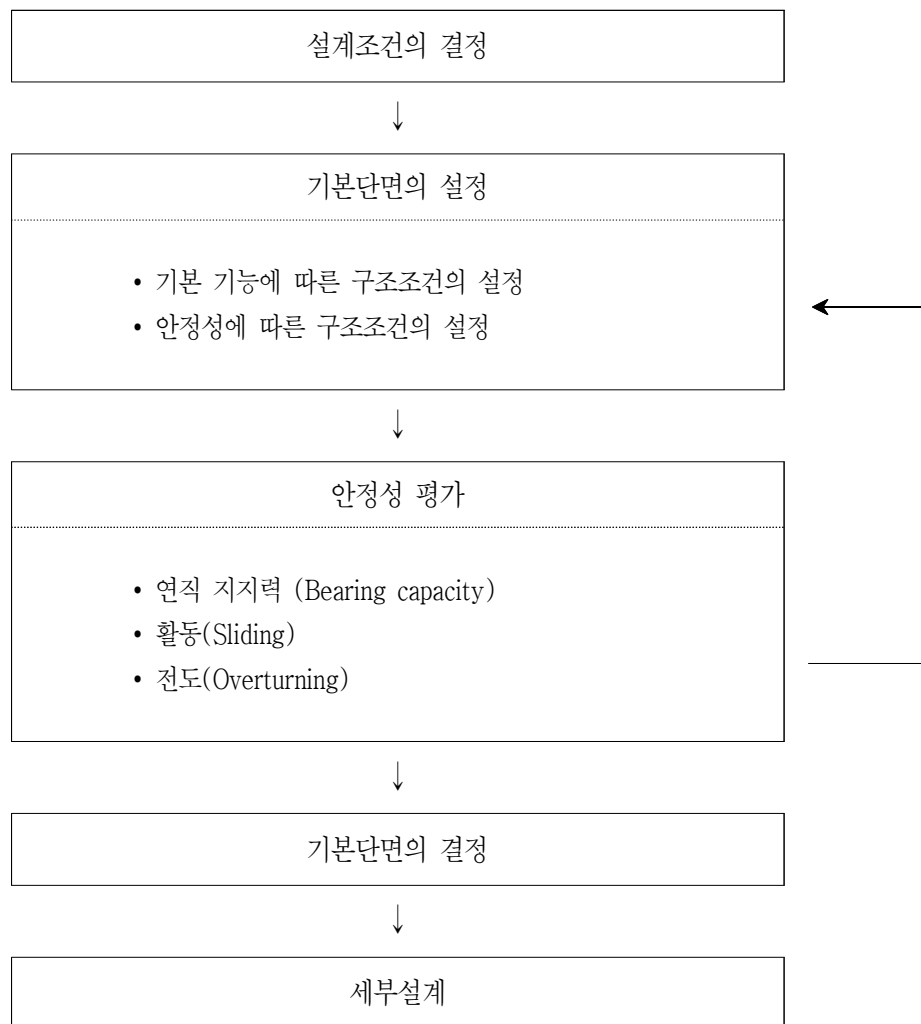
여기에서 특별히 지정하지 않는 경우에는 ①~③기준을 따른다. 예를 들면 본 여기에서 기술하지 않는 해상조건, 재료조건 및 구조해석방법 등에 대해서는 ①~③기준의 해당규정을 적용한다.

2. 설계 순서

등(입)표 기초의 설계는 ‘항만 및 어항 설계기준’ ‘제13편 항로표지시설’ ‘제1장 항로표지의 일반요건’과 ‘제6장 등표 및 입표’에 의거해서 기본 기능과 요건을 검토하고 소요 구조제원을 적절히 설정하여야 한다.

[해설]

등(입)표 기초의 설계는 일반적으로 다음에 나타난 순서에 의해서 행하는 것이 좋다.



<그림 2> 설계 순서도

3. 외력 계산

외력계산은 ‘항만 및 어항 설계기준’ ‘제13편 항로표지시설’ ‘제7장 등대 및 등표 구조물 설계’에서 제시한 외력계산을 표준으로 한다.

[해설]

(1) 하중 및 외력

설계에서 고려하여야 할 하중 및 외력은 다음에서 열거하는 요소의 조합에 의해 결정한다.

가. 자중 및 부력

나. 지진력

다. 풍압력

라. 파압력

마. 파의 타상력(올려치는 힘)

※ 이외에도 조건에 따라 토압, 수압, 기타 진동하중, 등에 대한 외력을 고려할 수도 있다.

(2) 하중 및 외력의 조합

일반적으로 (자중)+(풍압력)+(파압력)과 (자중)+(지진력) 가운데 큰 값을 채택한다.

(3) 자중

자중은 상부구조 및 기초의 실제 하중을 반영하며, 최고고조면(H.H.W.L)보다 아래에서는 수중중량을 사용한다.

(4) 지진력

지진력은 ‘항만 및 어항시설의 내진설계표준서(1999)’와 ‘항만 및 어항 설계기준’의 ‘제2편 설계조건’ ‘제12장 지진 및 지지력’에 제시된 등가정적해석법을 적용한다.

$$\text{지지력} = \text{자중} \times \text{지진계수}$$

$$\text{여기서, 지진계수} = \text{지역별 진도(구역계수)} \times \text{지반종별 증폭계수}$$

지반종별 증폭계수는 지반조건에 따른 지진응답해석을 수행하여 결정하는 것이 원칙이나, 소규모 시설이나 부득이한 경우에는 지반별 지진계수 C_a 를 이용하여 보통암(S_B)에 대한 값을 적용한다.

<표 1> 지진별 진도

(a) 지진구역 구분

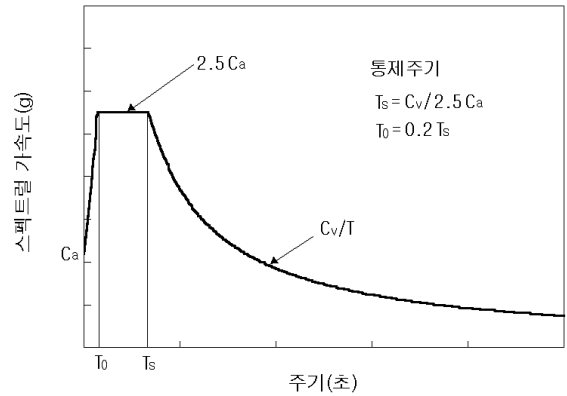
지진구역	행정구역	
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 동북부
II	도	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도

(b) 지진구역 계수

지진구역	I	II
구역계수, Z(g값)	0.11	0.07

<표 2> 지진계수, C_a (재현주기 500년 해당)

지반종류	지진구역	
	I	II
S_A	0.09	0.05
S_B	0.11	0.07
S_C	0.13	0.08
S_D	0.16	0.11
S_E	0.22	0.17



<그림 3> 표준설계응답스펙트럼

(5) 풍압력

풍압력은 속도압에 풍압계수를 곱하여 산정하며, 압력을 받는 면에 균일하게 분포하는 것으로 한다.

$$P_w = C_w \times q$$

여기서,

P_w : 풍압력(t/m^2)

C_w : 풍력계수(평면 : 1.0, 원형 : 0.7)

q : 속도압(t/m^2)

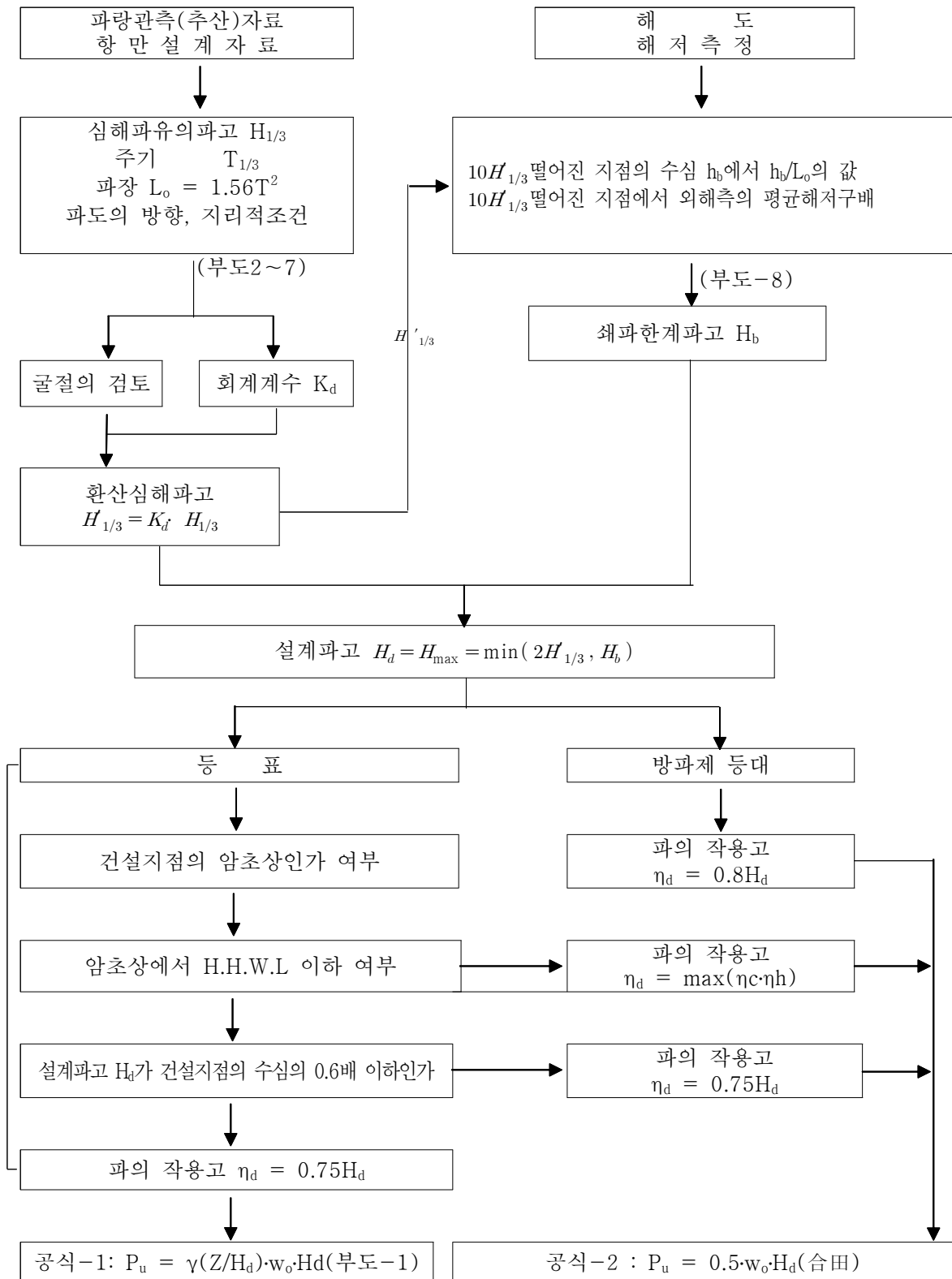
※ 속도압 q 는 일반적으로 $0.3t/m^2$ 로 한다.

(6) 파압력

① 파압력은 <그림 4>와 같은 순서로 산정한다. 먼저 설계파고 H_d 를 결정하고, 등(입)포의 설치 위치에 따라 2가지의 산정식을 적용하여 최종적으로 파압분포를 산정한다. 설계파는 부근의 장기간 파랑관측자료를 바탕으로 하여 결정하거나 자료가 없을 때에는 건설지점 부근에서 생길 수 있는 파도를 추산하여 설계파를 결정한다.

② 현장심해유의파고

현장심해유의파고 $H'_{1/3}$ 은 심해유의파고 $H_{1/3}$ 및 파도의 방향과 부근의 지리적 조건을 감안하여 회절, 굴절 등을 고려하여 결정한다.



<그림 4> 파압력 산정 흐름도

③ 주기

파랑관측자료 또는 파랑추산자료를 이용하여 결정한다. 자료가 없을 때에는 다음과 같이 결정한다.

- 외해로부터 파도의 영향을 받는 지점 $T_0 = 12$ 초

- 그 외 $T_0 = 8$ 초

④ 설계파고

설계파고 H_d 는 구조물에 작용하는 최대 파고(H_{max})를 취한다. 최대 파고는 구조물 건설지점의 현장심해유의파고 $H'_{1/3}$ 의 2배나 건설지점에서 $10H'_{1/3}$ 외해 쪽으로 거리가 떨어지 지점에서 쇄파한계파고 H_b 중 작은 값으로 한다.

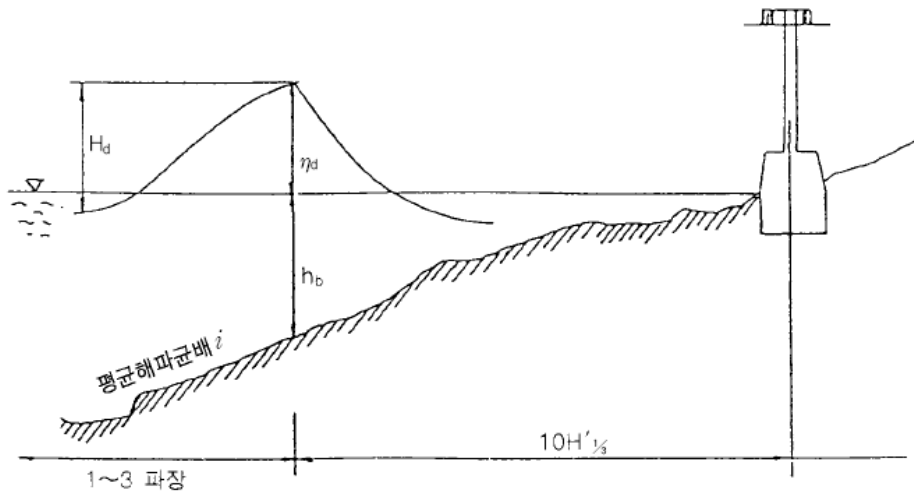
$$H_d = H_{max} = \min(2H'_{1/3}, H_b)$$

여기서, H_d : 설계파고(m)

H_b : 쇄파한계(m)

$H'_{1/3}$: 현장심해유의파고(m)

쇄파한계파고 H_b 는 쇄파지점의 수심 h_b 와 확산심해파장 $L_s (=1.56T_0^2)$ 와의 비 h_b/L_0 와의 쇄파지점에서 외해 측의 평균해저구배 i (통상 1-3파장의 범위)를 사용하여, 쇄파한계파고와 쇄파지점의 수심과의 비 H_b/h_b 를 구해서 계산한다. 또한, 쇄파지점의 외해 측의 분명한 천퇴(shoal)가 있고, 이 지점에서 쇄파한다고 예상될 때에는 이 지점에서의 통과최대한계파고(쇄파한계파고와 동일)를 구하고, 이 파도에 대해서 같은 방법을 적용한다.



<그림 5> 설계파고를 고려하는 방법도

⑤ 파의 작용고 및 파의 정상고

- 수상암 위의 등표

$$n_c = 0.75H_d$$

$$n_h = 0.55H_d + 0.7 R_h$$

$$n_d = \max(n_c, n_h)$$

- 암초 위의 등표

$$n_c = 0.75H_d$$

- 방파제 등대

$$n_c = 0.8H_d$$

⑥ 파압력

- 압초 위 등(입)표가 아닌 경우와 압초 위인 경우라도 압초 상단이 최고고조면(HHWL) 이하에 잠겨 있고, 설계파고 H_d 가 구조물 설치지점의 수심(최고고조면 이하의 수심)의 0.6배 이하일 때

$$P_s = \gamma (Z/H_d) \times w_0 \times H_d$$

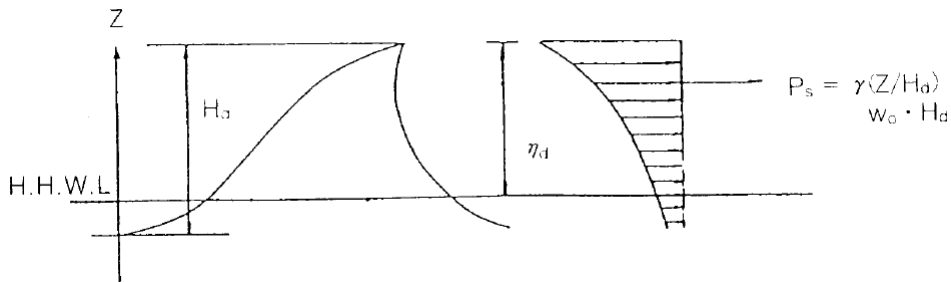
여기서, P_s : 파압력(t/m^3)

$\gamma (Z/H_d)$: 파압력계수

Z : 정지수면을 원점으로 했을 때의 연직방향의 거리(m)

w_0 : 해수의 단위중량($0.3t/m^3$)

H_d : 설계파고(m)



<그림 6> 파압력 산정 기법-1

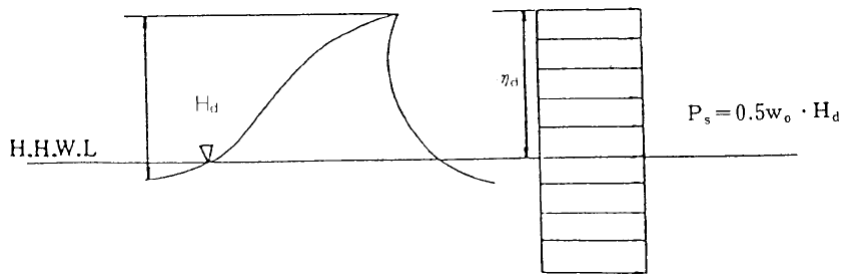
- 그 이외의 경우

$$P_s = 0.5 w_0 \times H_d$$

여기서, P_s : 파압력(t/m^3)

w_0 : 해수의 단위중량($1.03t/m^3$)

H_d : 설계파고(m)



<그림 7> 파압력 산정 기법-2

(7) 타상력

$$P_u = C_u \times w_0 \times (0.5H_d + n_d - Z), \quad n_d < Z < (n_d + 0.5H_d)$$

여기서 P_u : 파의 타상력

C_u : 타상력 계수(파의 진행을 방해할 때(평균) 2.0, 진행이 용이할 때 1.)

w_0 : 해수의 단위중량($1.03t/m^3$)

H_d : 설계파고(m)

Z : 최고고조면(HHWL)상 높이

n_d : 파의 작용고

4. 안정성 검토

(1) 일반

- ① 등(입)표의 안정계산은 ‘항만 및 어항 설계기준’ ‘제4편 기초’에서 제시된 중력식 구조물의 지지력 평가 기법에 의거하여 수행한다.
- ② 안전율은 지지력, 활동, 전도에 대하여 1.5이상으로 한다.

[해설]

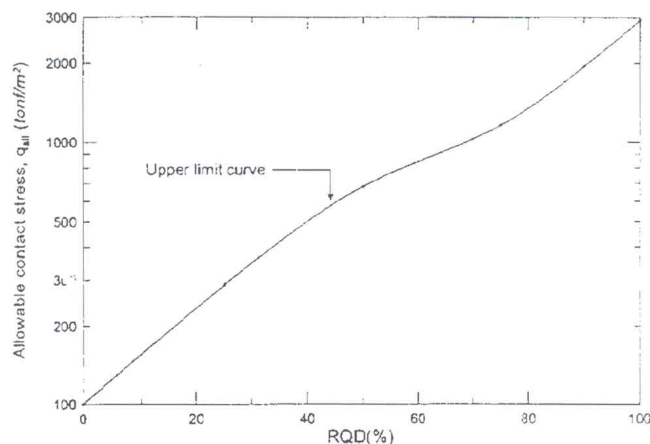
- ① 말뚝식 기초와 자켓식 기초는 말뚝의 횡방향 지지력 검토와 근입깊이 산정 및 말뚝 휨모멘트 산정을 통한 부재 설계로 이루어지면, 중력식 기초는 기존의 활동과 전도에 대한 검토를 추가적으로 수행한다.
- ② 특수한 형태인 파일테크식 기초는 중력식 기초의 검토 방법에 따른다.
- ③ 지지력과 활동, 전도에 대한 안전율을 기존의 방파제에서 사용하는 안전율 1.2보다 높게 설정한 것은 암초의 강도를 엄밀하게 측정하지 못하는 현실적인 면과 다른 항만구조물과 달리 독립 구조형태로 상부 구조물을 지지하는 형태이기 때문에 작용 하중과 저항력의 산정이 불확실성이 크다고 보았기 때문이며, 설계 사례와 시공사례가 축적되어 작용 하중이나 저항력 산정에 신뢰성이 높아진다면 안전율을 1.2로 낮출 수 있다.

(2) 지지력의 검토

등(입)표의 지지력 계산은 ‘항만 및 어항 설계기준’ ‘제4편 기초’와 ‘도로교 시방서’의 ‘5.6 직접기초의 설계’에서 제시된 지지력 평가 기법에 의거하여 수행한다.

[해설]

- ① 중력식 기초는 암초 위에 설치되기 때문에 암반 위의 얇은 기초의 지지력 공식을 적용한다. 암반 위에 놓인 직접 기초는 불연속면의 존재와 방향, 풍화상태 등에 따라 영향을 받는다.
 - 파쇄나 절리가 발달하지 않은 신선한 암반에서는 Peck(1974)의 도표에서 지지력을 산정한다.



- 파쇄나 절리가 발달한 암반에서는 Canadian Geotechnical Society(1985) 공식을 사용한다.

$$q_a = K_{sp} \times q_u$$

여기서 q_a : 허용지지력, q_u : 일축압축강도, K_{sp} : 암반지지력 결정계수

- 특별한 자료가 없을 때는 ‘항만 및 어항 설계기준’ 제13편 항로표지시설에서 제시된 암석의 종류에 따른 지내력 도표를 사용한다.

암석의 종류		허용지내력도(장기)	허용지내력도(단기)
경암	화강암, 석록암, 편마암, 안산암, 화성암 및 균은 역암 등의 암반	400 t/m ²	장기응력에 대한 1.5배로 한다.
연암	관암, 편암등의 수성암의 암반	200 t/m ²	”
	혈암, 토단반 등의 암반	100 t/m ²	”

* 암반의 압축강도 시험을 했을 때에는 이 압축강도의 20%를 장기허용지내력도로 한다.

② 말뚝기초의 연직지지력을 산정하기 위하여 ‘항만 및 어항 설계기준’ 제4편 기초에서 제시한 연암에 설치된 말뚝의 연직지지력 공식을 적용한다. 여기에서 주변마찰력은 고려하지 않는다.

$$R_u = 5 \times q_u \times A_p$$

여기서, R_u : 연직극한지지력

q_u : 일축압축강도

A_p : 말뚝의 단면적

③ 횡방향 지지력은 지반반력법인 Chang의 방법을 사용하여 산정한다.

④ 말뚝의 근입깊이는 횡방향 모멘트의 중심이 되는 중립점을 산정하여 최소 근입깊이로 사용한다.

$$\beta = \left(\frac{K_h \times D_s}{4E_s \times I_s} \right)^{1/4}$$

여기서, β : 1/L, L : 중립점의 깊이

K_h : 수평반력계수

D_s : 말뚝의 외경

E_s : 말뚝의 탄성계수

I_s : 말뚝의 2차관성모멘트

(3) 활동에 대한 검토

활동에 대한 안전율은 다음과 같이 산정한다.

$$F.S. = \frac{P_r}{P}$$

여기서, $F.S.$: 활동에 대한 안전율

P_r : 활동에 대한 저항력

P : 횡방향 작용 하중 ((자중)+(풍압력)+(파압력)과 (자중)+(지진력) 중 큰 값)

[해설]

① 활동에 대한 저항력은 자중이나 앵커의 선행긴장력으로 인한 마찰저항력과 봉강이나 기타 부재로 인한 전단력의 합으로 산정한다. 기초의 관입으로 인한 측면의 수동저항력이나 기초와 암반의 부착력은 무시한다.

② 자중과 앵커의 선행긴장력에 의한 마찰저항력

$$F = (W + F_{ap}) \times f_s$$

여기서, F : 자중에 의한 마찰저항력

W : 상부 구조물의 자중

F_{ap} : 설치된 앵커의 선행긴장력의 합

f_s : 마찰계수, 일반적으로 콘크리트 저판인 경우 0.7 사용

③ 봉강의 전단력

$$T_{bs} = (\pi \times r^2 \times \tau_u) / 2.5$$

여기서, T_{bs} : 봉강의 허용전단저항력

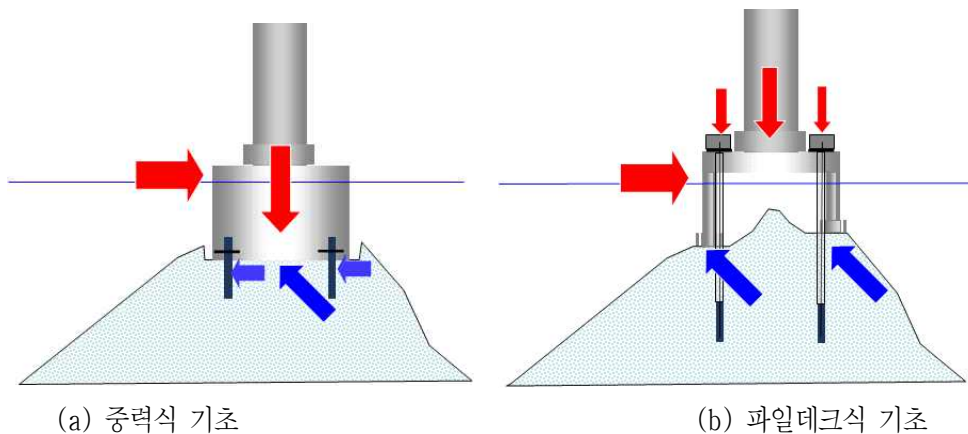
r : 봉강의 반지름

τ_u : 봉강의 최대전단응력

④ 활동에 대한 저항력

$$P_r = F + T_{ag} \times N$$

여기서, N 은 봉강의 설치 본 수



<그림 8> 활동에 대한 안전성 검토 단면

(4) 전도에 대한 검토

전도에 대한 안전율은 다음과 같이 산정한다.

$$F.S. = \frac{M_r}{M}$$

여기서, $F.S.$: 전도에 대한 안전율

M_r : 전도에 대한 저항 모멘트

M : 작용 하중에 의한 발생하는 모멘트

[해설]

① 전도에 대한 안전율을 산정하는 기준점은 작용 하중의 배면 하단 끝으로 하며, 전도에 대한 저항 모멘트는 자중이나 앵커의 선행긴장력으로 인한 저항 모멘트와 봉강이나 기타 부재로 인한 인발저항 모멘트의 합으로 산정한다.

② 자중과 앵커의 선행긴장력에 의한 저항 모멘트

$$M_w = (W + F_{ap}) \times r_b$$

여기서, M_w : 자중과 앵커의 선행긴장력에 의한 저항 모멘트

W : 상부 구조물의 자중

F_{ap} : 설치된 앵커의 선행긴장력의 합

r_b : 중력식 기초 - 기초의 반지름, 파일테크식 기초 - 말뚝기초 간격의 1/2

③ 봉강의 허용인발저항력

$$M_b = \Sigma T_{bf} \times s$$

여기서, M_b : 봉강의 인발저항에 의한 저항 모멘트

T_{bf} : 봉강의 허용인발저항력, $T_{bf} = (2\pi \times r \times \tau_u \times L) / 2.5$

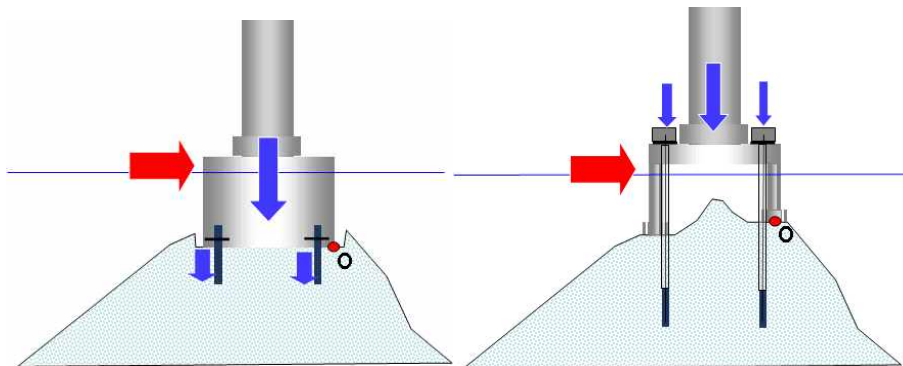
s : 봉강과 기준점과의 거리

r : 봉강의 반지름

τ_u : 봉강과 암반의 최대마찰력

④ 전도에 대한 저항 모멘트

$$M_r = M_w + M_b$$



(a) 중력식 기초

(b) 파일테크식 기초

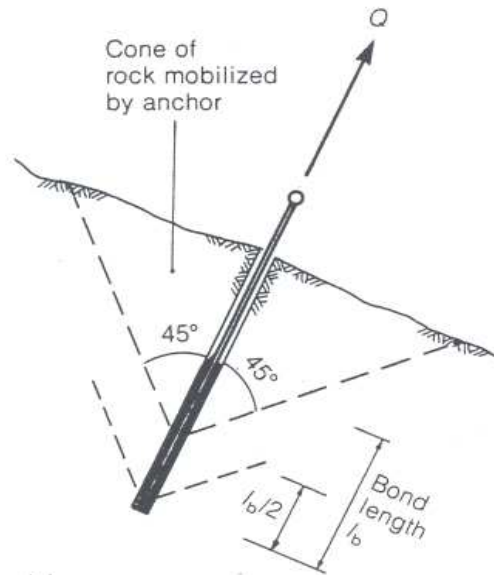
<그림 9> 활동에 대한 안전성 검토 단면

5. 부재계산

등(입)표 기초의 부재계산은 ‘항만 및 어항 설계기준’ ‘제4편 프리캐스트 철근 콘크리트부재’와 관련 시방서에 따른다.

[해설] 인발부재로 사용하는 앵커의 부재계산은 다음과 같은 항목에 대하여 검토를 수행하여야 한다.

- ① 앵커의 길이는 <그림 10>과 같이 정착부에서 45°의 썸기 형태의 가상과피면을 따라 저항을 발휘한다. 따라서 원뿔형태의 암반이 발휘하는 전단저항력이 인발력(Q)보다 크면 된다. 앵커의 정착부의 길이는 인발력보다 원뿔의 전단저항력이 커지는 깊이가 최소 근입깊이가 된다.



<그림 10> 앵커의 저항력 발휘 메카니즘

- ② 앵커의 선행인발하중은 정착장에서 발휘하는 허용인발력보다 작아야 하는데, 허용인발저항력은 다음과 같은 식으로 결정한다.

$$T_{ag} = T_{ug} / 2.5 = 2\pi R \times \tau_u \times L / 2.5$$

여기서, T_{ag} : 앵커의 허용 인발저항력

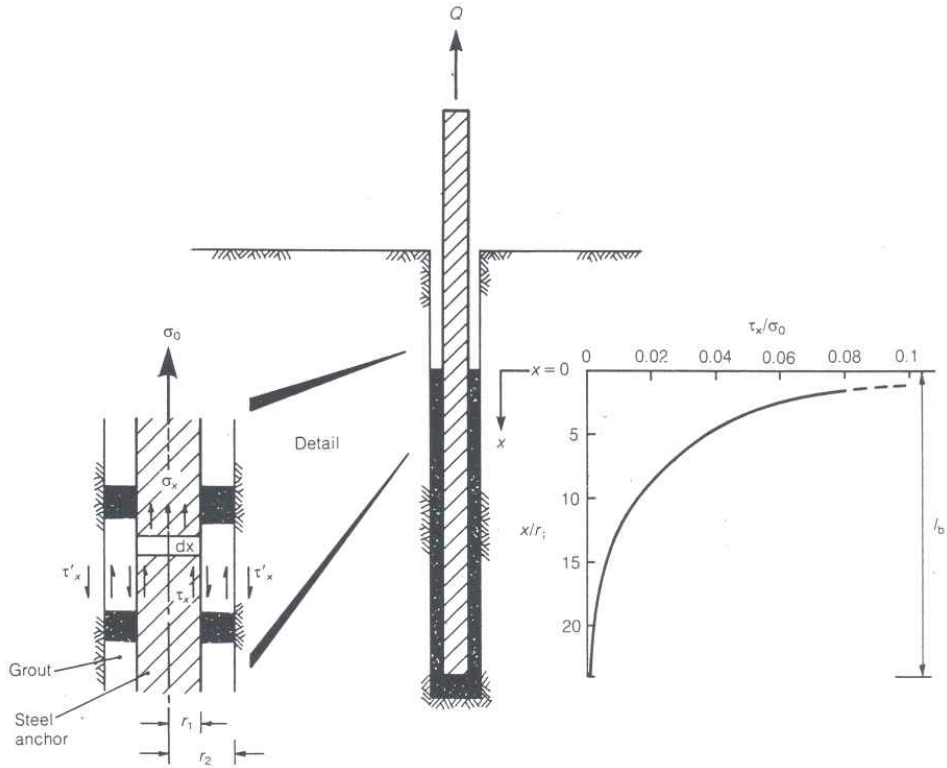
T_{ug} : 앵커의 극한 인발저항력

R : 정착부의 반지름

τ_u : 주변마찰저항력

L : 정착장

구분	주변마찰저항력 (kgf/cm ²)
경암	15~25
연암	10~15
풍화암	6~10



<그림 11> 앵커의 정착장에서의 인발 메카니즘

- ③ 정착장의 길이는 앞에서 정리한 바와 같이 정착장에서 발휘하는 허용인발력이 선행인발하중보다 커지도록 설계하여야 한다.
- ④ 강선의 허용인장력은 사용하고자 하는 강선의 본당 인발강도에 사용 강선의 수를 곱한 값으로 사용하여, 선행인발하중에 대하여 강선이 파손되지 않는 최소한의 강선 수를 적용한다.

6. 참고문헌

- 오상호, 오영민, 권오순, 이진학(2008). “등표구조물의 설계 및 시공방법에 관한 소고”, 한국해양해양공학회 가을학술발표대회
- 해양수산부, 항로표지업무편람
- 해양수산부(2005), 항만 및 어항 설계기준
- 한국도로공사(2001), 도로교 설계기준 해설 (하부구조편)
- 해양수산부(1999), 항만 및 어항시설의 내진설계표준서