

工學碩士 學位論文

철재형 이안제의 설계기법 및
시공공정에 관한 연구

Design Methodology and Construction Procedure
of Steel Type Breakwater

慶州大學校 大學院

土木工學科

韓有植

2009年 6月

철재형 이안제의 설계기법 및
시공공정에 관한 연구

Design Methodology and Construction Procedure
of Steel Type Breakwater

指導教授 權 赫 珉

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2009年 6月

慶州大學校 大學院

土 木 工 學 科

韓 有 植

韓有植의 碩士學位論文을 認准함

審查委員長 _____ 印

審查委員 _____ 印

審查委員 _____ 印

慶州大學校 大學院

2009年 6月

목 차

목차	i
표 목차	vi
그림 목차	ix
사진 목차	xvi
제 1 장 서론	1
1.1 연구배경 및 필요성	1
1.2 연구내용 및 방법	10
제 2 장 설계단계의 1차 세분화	12
2.1 수리적 성능검토 단계	13
2.2 하부 기초 설계 단계	14
제 3 장 설계단계 2차 세분화	16
제 4 장 2차 세분화에 따른 실험역 대상 설계 예	19
4.1 소파판 폭 결정을 위한 투과율 산정 실험	19
4.1.1 실험단면 선택	20
4.1.2 실험단면 제작	23
4.1.3 실험과의 선정	25
4.1.4 일방향 불규칙파에 의한 전달율 산정실험	25

4.1.4.1 통과파 설정	26
4.1.4.2 실험단면 거치 및 자료취득	27
4.1.5 실험파의 해석	30
4.1.5.1 해석순서	30
4.1.5.2 파의 스펙트럼 해석	31
4.1.5.3 파의 스펙트럼 해석	33
4.1.6 실험 분석 및 결과	34
4.2 보호 대상지역 설정	37
4.2.1 해안선 조사	37
4.2.2 해안선 측량 결과	43
4.3 천해 설계파 산정	44
4.3.1 지배방정식	44
4.3.2 쇄파항의 처리	46
4.3.3 설계 위치 지점의 천해설계파고 산정	48
4.4 실효역 대상 배치안 설계	51
4.5 파압분포 검토	54
4.5.1 파압측정을 위한 모형거치 및 실험방법	56
4.5.2 실험 분석을 위한 위상차 보정	65
4.5.3 시간별 최대 파압 분포	79

4.5.4	지점별 최대 하중 분포	85
4.5.5	로드셀에 의한 과력 측정	88
4.5.6	과력 측정 비교	91
제 5 장	물수심 조정을 위한 조위발생빈도분포 분석	93
제 6 장	철재형 이안제 상부구조 설계	100
6.1	철재형 이안제의 구성 및 설계과정	100
6.1.1	철재형 이안제의 구성	100
6.1.2	설계과정	101
6.2	실해역에 대한 철재형 이안제의 기본설계(상부구조)	103
6.2.1	설치위치 및 해양환경 조건	103
6.2.2	소파관의 배치 및 형상 결정	104
6.2.3	설계하중의 산정 및 하중 조합	105
6.2.4	소파관의 설계	107
6.2.5	소파관 보강재 설계	108
6.2.6	기둥과 브레이스 설계	109
6.2.7	소파관과 기둥의 연결부 설계	109
제 7 장	철재형 이안제 하부기초 설계	111
7.1	하부구조의 설계	111
7.1.1	철재형 이안제의 하부구조	111

7.1.2	지반반력해석	115
7.2	실해역에 대한 철재형 이안제의 기본설계(하부구조)	115
7.2.1	지반조사	115
7.2.2	철재형 이안제에 작용하는 외부하중의 결정	119
7.2.3	말뚝기초의 지지력 검토	120
7.2.4	지반반력해석	123
제 8 장	실해역 적용 실험	124
8.1	기준점 측량	125
8.1.1	수준측량	125
8.1.2	트래버스 측량	130
8.2	철재형 이안제 실해역 시공	145
8.2.1	투입인원 및 투입장비	145
8.2.2	철재형 이안제 시공 순서	146
8.2.2.1	소파판 육상제작	147
8.2.2.2	소파판 가거치	150
8.2.2.3	강관파일 관입 및 핀 설치	152
8.2.2.4	해상경계시설	160
8.3	철재형 이안제 파랑계측	162
8.3.1	파랑계측	162

8.3.2	과량계측 자료분석	164
8.3.3	투과율 산정	167
8.4	철재형 이안제 강관파일 변위계측	181
8.4.1	철재형 이안제 계측시기	181
8.4.2	철재형 이안제 강관파일 변위계측	184
8.4.3	철재형 이안제 강관파일 변위분석	187
8.5	철재형 이안제 별도안	193
제 9 장	결론 및 향후 연구과제	199
9.1	결론	199
9.2	향후 연구과제	200
	참고문헌	201
	부록. 철재형 이안제 표준 도면	203
	Abstract	220

표 목 차

표 1.1	우리나라 연안침식 지역	1
표 1.2	침식 저감 기술 분석	6
표 1.3	경상북도 백사장 중장기 변화	6
표 4.1	실험단면의 제원	24
표 4.2	실험단면 (b)-1의 통과과	27
표 4.3	실험단면 (b)-2의 통과과	27
표 4.4	실험과 조건과 해석결과	34
표 4.5	각 관측(왕/복)	39
표 4.6	기준점 좌표(상대좌표)	40
표 4.7	과랑조건과 투과율에 대한 Case별 조건	51
표 4.8	실해역 조건에 따른 과압측정 실험 제원(1/30 축척)	54
표 4.9	상·하판에 작용하는 시간별 최대 과압 분포	79
표 4.10	유공판에 작용하는 지점별 최대 압력	85
표 4.11	수평형 이열 조합판에 작용하는 최대 과력	88
표 4.12	과력에 의한 이열형 수평판(상·하판)에 작용하는 최대하중	90
표 4.13	과력에 의한 이열형 수평판에 작용하는 최대하중	90
표 4.14	과력에 의한 이열형 수평판에 작용하는 최대하중 비교	91
표 5.1	동해안 지역(후포)의 조위확률밀도함수의 모수 추정값	94

표 6.1	소파관 측정위치별 압력 분포 ($t=8.3sec$)	105
표 6.2	소파관과 기둥의 연결부 제안	110
표 7.1	수리모형실험에 의한 이열 유공관에 작용하는 하중	120
표 7.2	여러 가지 방법에 의한 말뚝기초의 연직지지력 산정 결과	121
표 7.3	말뚝기초의 침하량 검토결과	121
표 7.4	말뚝의 수평지지력과 수평변위 산정 결과	122
표 8.1	고차식 야장	128
표 8.2	측지 수준점 지반고	130
표 8.3	각 관측(왕/복)	131
표 8.4	기준점 좌표(상대좌표)	132
표 8.5	후포항의 기본 수준점 성과표	135
표 8.6	점의 조서	137
표 8.7	현장 투입 인원 현황	145
표 8.8	투입장비 계획	145
표 8.9	파랑계측 항목 및 내용	162
표 8.10	유의파의 파고·주기별 출현율($W-1$)	165
표 8.11	유의파의 파고·주기별 출현율($W-2$)	167
표 8.12	입사파고(H_{W-1}) 계급에 따른 투과율(K_T)	169
표 8.13	현장관측 및 파랑변형실험 결과 비교	176

표 8.14	<i>ENE</i> 방향의 입사파고(H_{W-1}) 계급에 따른 투과율(K_T)	179
표 8.15	월별 파고 계급별 발생빈도(1979년~1996년)	181
표 8.16	강관파일 변위계측 일정	184
표 8.17	강관파일 변위측정 <i>data</i>	189
표 8.18	국내외 시방서 및 전침하량 기준	191
표 8.19	국내외 시방서 및 기준의 수평변위 기준	192

그림 목 자

그림 1.1	해안보호 공법의 종류	8
그림 1.2	이안제 후면에서의 해안선 변형	10
그림 1.3	철재형 이안제 축조 이미지	11
그림 2.1	철재형 이안제 구성도	12
그림 2.2	수리적 성능 검토 단계 1차 세분화	13
그림 2.3	하부 기초설계 단계 1차 세분화	15
그림 3.1	철재형 이안제 설계 단계 2차 세분화	17
그림 4.1	전달율 비교를 위한 수치해석 대상단면	20
그림 4.2	상대수심 kh 에 따른 전달율 ($w=0.60m$)	21
그림 4.3	상대수심 kh 에 따른 전달율 ($w=0.90m$)	22
그림 4.4	상부유공수평-하부무공경사판 (a)	23
그림 4.5	상부유공수평-하부유공수평판 (b)	23
그림 4.6	통과파 설정을 위한 파고계 배치도	26
그림 4.7	조합판 모형실험 계측을 위한 배치도(평면도, 정면도)	29
그림 4.8	파의 해석 순서도	30
그림 4.9	스펙트럼 해석 실험단면 (a)	31
그림 4.10	스펙트럼 해석 실험단면 (b)	32

그림 4.11 투과율과 반사율에 대하여 권혁민 등(2008)의 결과와 비교	35
그림 4.12 해안선 조사단계	38
그림 4.13 기준점 측량	41
그림 4.14 해안 단면	42
그림 4.15 초산리 일대의 적지 선정을 위한 해안선 측량 결과	43
그림 4.16 주파향선의 진행위치 좌표	47
그림 4.17 파고 분포도	49
그림 4.18 주파향 벡터도(파향 E)	50
그림 4.19 투과율 60%일 때의 해저면 변화 수치모의 결과	52
그림 4.20 이안제 설치지역 (a) 북단, (b) 중앙부, (c) 남단의 단면을 따라 해저면 변화	53
그림 4.21 파압실험 순서	56
그림 4.22 상대수심 kh 에 따른 하중분포	57
그림 4.23 수평형 이열 유공판 거치 도면	58
그림 4.24 파압계 설치 위치	61
그림 4.25 측정을 위한 배치도	65
그림 4.26 상대수심(kh)에 의한 전달율	66
그림 4.27 규칙파의 투과율 실험	67

그림 4.28 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_1 지점)	69
그림 4.29 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_2 지점)	71
그림 4.30 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_3 지점)	72
그림 4.31 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_4 지점)	73
그림 4.32 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_5 지점)	75
그림 4.33 유공판 상판에 작용하는 파압	76
그림 4.34 유공판 하판에 작용하는 파압	77
그림 4.35 유공판 상판에 작용하는 파압분포도	80
그림 4.36 유공판 하판에 작용하는 파압분포도	83
그림 4.37 지점별 최대 파압 분포	86
그림 4.38 로드셀 측정	89
그림 5.1 후포지역의 조위확률밀도함수	95
그림 5.2 조위확률밀도함수를 고려한 철재형 이안제 설치 수심(수치지도)	97
그림 5.3 조위확률밀도함수를 고려하지 않은 철재형 이안제 설치 수심(수치지도)	98
그림 5.4 후포 지역의 조위면도	99
그림 6.1 철재형 이안제 구조형상	101
그림 6.2 상부구조물 설계 과정	102

그림 6.3	철재형 이안제의 설치 위치	103
그림 6.4	철재형 이안제의 소파판 설치 단면	104
그림 6.5	소파판의 형상	105
그림 6.6	소파판에 작용하는 등가 분포하중 (<i>case 1</i>)	106
그림 6.7	소파판에 작용하는 등가 분포하중 (<i>case 2</i>)	106
그림 7.1	철재형 이안제의 형상	112
그림 7.2	하부기초 설계과정 흐름도	114
그림 7.3	시추조사	115
그림 7.4	공내재하시험	116
그림 7.5	<i>N</i> 치 분포도	116
그림 7.6	수심도	117
그림 7.7	상부 모래층후도	117
그림 7.8	지층단면	118
그림 8.1	수준망도	127
그림 8.2	기준점 측량	133
그림 8.3	TBM-BM 높이 차	134
그림 8.4	철재형 이안제 시공순서	146
그림 8.5	소파판	149
그림 8.6	철재형 이안제 권상	150

그림 8.7	철재형 이안제 가거치	151
그림 8.8	강관파일 설치지점	153
그림 8.9	강관파일 관입 및 핀 연결 순서	154
그림 8.10	강관파일 관입($P7, P8, P9$)	155
그림 8.11	핀 연결($P7, P8, P9$)	157
그림 8.12	강관파일 관입 및 핀 연결($P1, P2, P3$)	158
그림 8.13	강관파일 관입 및 핀 연결($P4, P5, P6$)	159
그림 8.14	자국 시스템 구성도	161
그림 8.15	파랑계측기 설치 모식도	163
그림 8.16	파랑계측 자료의 시계열($W-1$)	164
그림 8.17	파랑계측 자료의 시계열($W-2$)	166
그림 8.18	전체 계측자료의 H_{W-1} 과 H_{W-2} 의 유의파고 비교	168
그림 8.19	전체 계측자료의 입사파고(H_{W-1})와 투과율(K_T) 관계	169
그림 8.20	폭-파장비($W/L_{1/3i}$)계급에 따른 평균 투과율(K_T)	170
그림 8.21	일기도(2009. 4. 26 00:00)	172
그림 8.22	지점별 매시 풍속자료 비교(2009. 4. 24 ~ 4. 28)	172
그림 8.23	지점별 매시 파랑자료 비교(2009. 4. 24 ~ 4. 28)	173
그림 8.24	부이자료와 입사파고(H_{W-1}) 비교	174
그림 8.25	파랑변형 실험결과 파랑벡터도	175

그림 8.26 방향성을 고려한 계측자료의 H_{W-1} 과 H_{W-2} 의 유의파고 분석	176
그림 8.27 방향성을 고려한 H_{W-1} 과 H_{W-2} 의 유의파고 비교	177
그림 8.28 ENE방향의 입사파고(H_{W-1})와 투과율(K_T)과의 관계	178
그림 8.29 ENE방향의 폭-파장비($W/L_{1/3}$)계급에 따른 평균투과율(K_T)	180
그림 8.30 월별 파고 발생빈도	182
그림 8.31 관측용 시트지 부착위치	187
그림 8.32 강관파일 변위계측 기간 동안의 기상관측 <i>Buoy</i> 자료 비교	188
그림 8.33 강관파일 변위량	190
그림 8.34 기존 소파관 캡의 설계	193
그림 8.35 개선된 소파관 캡의 설계	194
그림 8.36 소파관 캡 개선	195
그림 8.37 핀과 핀캡 연결	196
그림 8.38 핀캡 연결 완료	197
그림 8.39 철재형 이안제 추가안	198
그림 A.1 철재형 이안제 평면도(변단면)	204

그림 A.2	철재형 이안제 단면도(변단면)	205
그림 B.1	철재형 이안제 평면도(일체형)	206
그림 B.2	철재형 이안제 단면도(일체형)	207
그림 C.1	철재형 이안제 개요도(제1안)	208
그림 C.2	상·하부 소파판(제1안)	209
그림 C.3	중·횡방향 보강재 및 연결부재(제1안)	210
그림 C.4	유공판과 기둥연결부(제1안)	211
그림 D.1	철재형 이안제 개요도(제2안)	212
그림 D.2	상·하부 소파판(제2안)	213
그림 D.3	중·횡방향 보강재 및 연결부재(제2안)	214
그림 D.4	유공판과 기둥연결부(제2안)	215
그림 E.1	철재형 이안제 개요도(개선안)	216
그림 E.2	상·하부 소파판(개선안)	217
그림 E.3	중·횡방향 보강재 및 연결부재(개선안)	218
그림 E.4	유공판과 기둥연결부(개선안)	219

사 진 목 자

사진 4.1	이열 유공판 설치	28
사진 4.2	초산리 일대의 해안선 측량	42
사진 4.3	파압측정을 위한 거치	62
사진 4.4	수평형 이열 조합판의 파차단 효과	82
사진 8.1	국가 수준점 연결 관측	126
사진 8.2	소파판 절단 및 편칭	147
사진 8.3	소파판 용접	148
사진 8.4	소파판 가거치	152
사진 8.5	강관파일 관입(P7, P8, P9)	155
사진 8.6	핀 연결	156
사진 8.7	해상경계시설	160
사진 8.8	관측용 시트지	185
사진 8.9	강관파일에 시트지 부착	186

제1장 서론

1.1 연구배경 및 필요성

해빈을 포함하는 연안역은 수리환경특성이 시간과 공간에 따라 급격히 변화하는 곳이다. 연안구조물의 건설로 기존 해안지형의 평형에 혼란이 생길 경우, 여러 가지 해양특성이 복잡한 양상으로 변화되지만 이에 반응하여 스스로 새로운 평형상태로 접근해 간다. 또한 해안에서는 에너지의 소멸, 흡수현상이 심하게 일어나므로 미세한 지형변화에도 매우 민감하게 반응하여 예기치 못한 침식 또는 매물현상이 초래된다. 이와 같은 예는 연안역의 이용도가 점차 증가함에 따라 표 1.1에 보이는 바와 같이 해양수산부(2006) “연안침식 모니터링 체계 구축(IV) 보고서”, 경상북도 도집계 자료(경상북도 해양정책과) “연안 침식 현황”을 통하여 연안 침식이 보고된 바 있다.

표 1.1 우리나라 연안침식 지역

구분	시군도	대상지역	침식유형	
서해안(27)	인천광역시(6)	강화군(5)	화도면 동막해수욕장	백사장 침식
		서도면 영뜰해수욕장	사구포락	
		서도면 조개골해수욕장	사구포락	
		서도면 대빈창해수욕장	백사장 침식	
		서도면 뒷장슬해수욕장	사구포락	
	웅진군(1)	자월면 장골해수욕장	백사장 침식	
	충청남도(16)	보령시(3)	신후동 대천해수욕장	백사장 침식
			웅천읍 독산해수욕장	사구포락
			웅천읍 무장포해수욕장	백사장 침식
		서천군(1)	장항읍 송림리	사구포락

		태안군(12)	고남면 운여해수욕장	사구포락
			안면읍 꽃지해수욕장	백사장 침식
			남면 달산리	사구포락
			남면 양잠리	사구포락
			남면 원청리	사구포락
			남면 신은1리	사구포락
			남면 신은 2~4리	사구포락
			소원면 만리포해수욕장	백사장 침식
			고남면 바람아래해수욕장	사구포락
			원북면 신두리해수욕장	사구포락
			안면읍 삼봉해수욕장	사구포락
			원북면 학암포해수욕장	사구포락
	전라북도(1)	군산시(1)	옥도면 선유도해수욕장	백사장 침식
전라남도(4)	목포시(1)	층무동 외달도 제2해수욕장	백사장 침식	
	신안군(2)	임자면 대광해수욕장	백사장 침식	
		자은면 백산리	사구포락	
완도군(1)	신지면 명사십리해수욕장	백사장 침식		
남해안(11)	경상남도(2)	거제시(1)	일운면 구조라해수욕장	백사장 침식
		남해군(1)	상주면 상주해수욕장	백사장 침식
	부산광역시(6)	기장군(2)	일광면 일광해수욕장	백사장 침식
			장안읍 임랑해수욕장	백사장 침식
		사하구(1)	다대동 다대포해수욕장	백사장 침식
		서구(1)	암남동 송도해수욕장	백사장 침식
		수영구(1)	광안2동 광안리해수욕장	백사장 침식
		해운대구(1)	중동 해운대해수욕장	백사장 침식
	제주도(3)	서귀포시(2)	성산읍 수마포구	백사장 침식
			성산읍 신양해수욕장	백사장 침식
		제주시(1)	이호1동 이호해수욕장	백사장 침식
동해안(56)	강원도(18)	강릉시(8)	강동면 정동진 해수욕장	백사장 침식
			강문동 경포대 해수욕장	백사장 침식
			사천면 사천진 1~2리	백사장 침식

			성덕동 남항진리	백사장 침식
			안현동 사근진 해수욕장	백사장 침식
			연곡면 동덕리	백사장 침식
			연곡면 영진리	백사장 침식
			초당동 강문해수욕장	백사장 침식
		고성군(1)	토성면 천진1리	백사장 침식
		삼척시(1)	원덕읍 호산해수욕장	백사장 침식
		속초시(2)	영랑동	백사장 침식
			칭호동	백사장 침식
		영양군(6)	강현면 정암리	백사장 침식
			강현면 낙산 해수욕장	백사장 침식
			손양면 오산리	백사장 침식
			현남면 광진리	백사장 침식
			현남면 남애리	백사장 침식
			연남면 기사문리~잔교리	백사장 침식
	경상북도(37)	포항시(11)	북구 흥해읍 오도1리	토사포락
			북구 송라면 화진리	백사장 침식
			남구 구룡포읍 삼정리	백사장 침식
			남구 동해면 임곡1리	호안붕괴
			남구 동해면 발산2리	해안도로 매몰
			남구 동해면 입암2리	해안도로 매몰
			남구 동해면 입암1리	해안도로 매몰
			남구 동해면 마산리	해안도로 매몰
			남구 동해면 도구리	백사장 유실
			남구 송도동(해수욕장)	백사장 침식
			북구 청하면 청진3리	백사장 침식
		경주시(5)	감포읍 전촌리~나정리	백사장 침식
			감포읍 대본리	토사포락
			양북면 봉길리	백사장 침식
			양남면 하서리	백사장 침식
			양남면 읍천리	백사장 침식

		영덕군(8)	병곡면 병곡리 (고래불해수욕장)	백사장 침식
			영덕읍 대탄리 (대탄해수욕장)	백사장 침식
			강구면 삼사리	백사장 침식
			강구면 하저리 ~ 금진리	백사장 유실
			축산면 경정1리(경정간이해수욕장)	백사장 유실
			남정면 원척리	백사장 유실
			남정면 부경리	백사장 유실
			남정면 구계리	백사장 유실
		울진군(11)	죽변면 죽변리 (봉평지구)	백사장 침식
			후포면 삼울리 금음리	백사장 침식
			죽변면 후정리	백사장 침식
			기성면 구산리 ~ 평해읍 월송리	백사장 침식
			울진읍 온양2리	백사장 침식
			근남면 산포리	백사장 침식
			원남면 오산3리	백사장 침식
			원남면 덕신리	백사장 침식
			기성면 봉산2리	백사장 침식
			평해읍 직산2리	백사장 침식
			북면 나곡리 (나곡해수욕장)	백사장 침식
		울릉군(2)	서면 남양3리	해안도로 매몰
북면 천부1리	해안도로 매몰			
울산광역시(1)	울주군(1)	서생면 진해수욕장	백사장 침식	

우리나라의 연안침식 지역은 표 1.1에 보인 바와 같이 서해안 27지역, 남해안 11지역, 동해안 56지역으로 총94지역이 백사장 침식, 사구포락, 호안붕괴로 인하여 연안침식이 도처에서 빈번히 발생하고 있다. 이러한 연안지형의 부정적 변화에 대해 그 원인을 분석하고, 보호 대책을 마련하기 위해서는 우선 장기간에 걸친 변화과정의 추적과 이를 근거로 앞으로의 변화에 대한 정확한 예측이 필요하다. 이미 어느 정도 새로운 평형상태에 접근하고 있는 상황이라면

부분적 자료만으로도 꽤 효과적인 결과를 얻을 수 있다. 그러나 보다 근본적인, 경제적인, 그리고 환경 친화적인 대책을 강구하려면 최소한 현재 새로운 평형상태에 얼마나 접근해 있는가를 확인하는 것이 중요하며, 이는 수리환경 특성의 반복 관측과 분석이 그 기초가 된다.

연안구조물 건설에 따르는 해안지형의 변화를 예측하는 방법으로는 경험적 방법, 수리모형실험을 이용하는 방법, 그리고 컴퓨터를 이용하는 수치모형실험 등의 세 가지를 들 수 있다. 해안지형 변화는 그 지역의 지형적 및 수리환경 특성에 크게 지배되므로 한 가지의 예측방법에만 의존하는 것은 적절치 못하며, 두 가지 이상의 방법을 서로 상호 보완적으로 사용하는 것이 일반적이다. 해안선과 해저지형의 변화를 제어하기 위한 방법은 다양한 형태의 반영구적 구조물을 적절히 배치하여 설치하는 강성공법과 다른 지역의 모래를 인공적으로 공급함으로써 자연상태와 유사한 해안을 만드는 연성공법이 대표적이다. 또한 플라스틱 재료로 만든 인공해조를 이용하여 표사이동 조건에 변화를 주거나, *Air-Jet* 또는 *Water-Jet-Curtain* 등의 제어장치를 이용하는 방법, 해빈의 지하수위를 저하시키는 방법, 그리고 해빈에 지하 매설물을 설치하여 해빈경사를 조절하는 방법 등이 있다.

권 혁민 등(2004)은 플로리다 일대의 해안선 보호 기술 및 정책에 대하여 보고한 바 있으며 이를 통하여 전략적 해안선 보호를 위한 여러 가지 요소기술을 소개하였다. 그리고 조사결과로 여러 가지 요소기술 중 양빈에 의한 공법과 샌드바이패싱 기술이 연성공법으로써 강성공법보다 우선하여 수행되고 있음을 조사의 결과로써 보고한 바 있다.

표 1.2는 국토해양부(2007) “차세대 해안공간 확보기술 2차년도 실적 및 계획보고서”의 자연환경의 변화, 배후 연안역의 개발, 유역 개발 등에 따라 구별한 해안선 변화 유발 요인을 정리한 것이다. 그 중 돌제는 소용이 없거나 적합하지 않은 저감 기술로 평가된다.

표 1.2 침식 저감 기술 분석

변화유발유형	기본조사 항목	변화유발 요인	분석 기술	저감 기술			
				양빈	바이패싱	이안제/ 잡제	돌제/ 헤드랜드
1 자연환경	해안선 및	파향	EOF분석	△	+	△	-
		해수면	자료분석	+	×	△	×
2 연안역개발	중단면 측량	해안구조물 축조	표사량 추산모형	△	+	△	-
		배후지 개발	해빈단면 변화모형	+	×	△	×
3 유역개발	유역조사	공급원 감소	유역모델	+	×	△	×

+: 효과적이고, 적합함, △: 국지효과, -: 적합하지 않음, ×: 소용없음

침식해안의 저감기술로 가장 바람직한 방법은 표 1.2에 보인바와 같이 연성기술이다. 연성기술의 하나인 양빈은 침식해안의 인위적인 노력으로 인하여 침식해안을 복귀시키지만 모래의 수급안정이 불안하면 해안침식의 저감기술로 적합하지 않다.

경상북도(2008) “연안침식 실태조사 및 대응전략연구 보고서”의하면 표 1.3에 보이는 바와 같이 경상북도 백사장의 퇴적 및 침식지역의 변화를 조사하였다.

표 1.3 (a)경상북도 백사장 중장기 변화

시군	대상지	기간	퇴적			침식			합계		
			면적(m ²)	길이(m)	폭(m)	면적(m ²)	길이(m)	폭(m)	면적(m ²)	길이(m)	폭(m)
울진	8	33.9	147,151	6,529	22.5	-136,492	11,012	-12.4	10,659	17,541	0.6
영덕	9	32.8	114,255	5,905	19.3	-26,432	2,732	-9.7	87,823	8,637	10.2
포항	9	27.1	165,331	7,295	22.7	-34,714	4,370	-7.9	130,617	11,665	11.2
경주	5	29.0	75,435	3,025	24.9	-35,603	3,466	-10.3	39,832	6,491	6.6
합계	31	30.7	502,172	22,754	22.1	-233,241	21,580	-10.8	268,931	44,334	6.1

표 1.3 (b)경상북도 백사장 중단기 변화

시군	대상지	기간	퇴적			침식			합계		
			면적(m ²)	길이(m)	폭(m)	면적(m ²)	길이(m)	폭(m)	면적(m ²)	길이(m)	폭(m)
울진	11	15.5	151,342	7,548	20.1	-142,907	14,339	-10.0	8,435	21,887	0.4
영덕	9	15.6	69,735	4,247	16.4	-42,873	4,390	-9.8	26,862	8,637	3.1
포항	10	14.0	118,362	5,621	21.1	-68,217	6,372	-10.7	50,145	11,993	4.2
경주	5	13.6	69,374	3,710	18.7	-26,784	2,781	-9.6	42,590	6,491	6.6
합계	35	13.4	408,813	21,126	19.4	-280,781	27,882	-10.1	128,032	49,008	2.6

표 1.3 (c)경상북도 백사장 중장기 변화

시군	대상지	기간 (년)	지역별 기간(년)
울진	8	33.9	나곡리(33.8), 후정리(33.8), 봉평리(34.2), 온양2리(33.8), 산포2리(33.8), 봉산1리(33.8), 구산-월송리(33.8), 삼울-금음리(34.2)
영덕	9	32.8	병곡-대진리(34.0), 경정1리(34.2), 대탄리(34.3), 하저-금진리(34.1), 삼사리(34.1), 남호리(34.1), 구계리(34.1), 원척리(28.0), 부경리(28.0)
포항	9	27.1	지경리(28.0), 월포리(27.0), 청진3리(27.0), 오도1리(27.0), 항구동(27.8), 송도동(27.2), 도구-임곡리(25.5), 삼정리(27.2), 모포리(27.2)
경주	5	29.0	전촌-나정리(28.2), 대본리(27.2), 봉길리(37.0), 나아리(25.6), 하서리(27.3)

표 1.3 (d)경상북도 백사장 중단기 변화

시군	대상지	기간 (년)	지역별 기간(년)
울진	11	15.5	나곡리(7.8), 후정리(24.6), 봉평리(21.3), 온양2리(16.6), 산포2리(16.6), 오산3리(9.6), 덕신리(9.5), 봉산1리(13.9), 구산-월송리(13.9), 직산리(19.8), 삼울-금음리(17.3)
영덕	9	15.6	병곡-대진리(10.0), 경정1리(14.4), 대탄리(17.0), 하저-금진리(16.9), 삼사리(16.9), 남호리(16.9), 구계리(16.9), 원척리(16.9), 부경리(14.4)
포항	10	14.0	지경리(10.0), 월포리(22.4), 청진3리(12.4), 오도1리(12.4), 항구동(13.9), 송도동(17.3), 도구-임곡리(15.6), 발산2리(12.2), 삼정리(12.1), 모포리(12.1)
경주	5	13.6	전촌-나정리(13.1), 대본리(12.1), 봉길리(17.6), 나아리(20.0), 하서리(4.8)

경상북도지역의 백사장 침·퇴적의 합계에 따르면 경상북도 지역은 표 1.3에 보인 바와 같이 침식 보다 퇴적이 많은 것으로 조사되었다.

연성공법의 하나인 바이패싱 방법은 상류 측에 퇴적된 모래를 하류 측으로 강제 모래를 이동시키는 방법으로 장기적인 모니터링 분석에 의하여 모래의 수급안정(퇴적지역)이 되어야 한다. 따라서 모래의 수급안정(상류 측의 퇴적지역)이 없으면 해안침식의 저감기술로 연성공법은 적합하지 않다. 이처럼 모든 해안선을 연성공법만으로 처리할 수 없으며 현지의 지형 및 파랑장 조건에 대하여 어떤 방법이 우선시 되느냐가 공법선정에서 중요하다.

표사이동 제어를 위한 반영구적인 구조물은 그림 1.1에 보이는 바와 같이 방사제, 도류제, 돌제, 이안제, 및 호안 등이 있다.

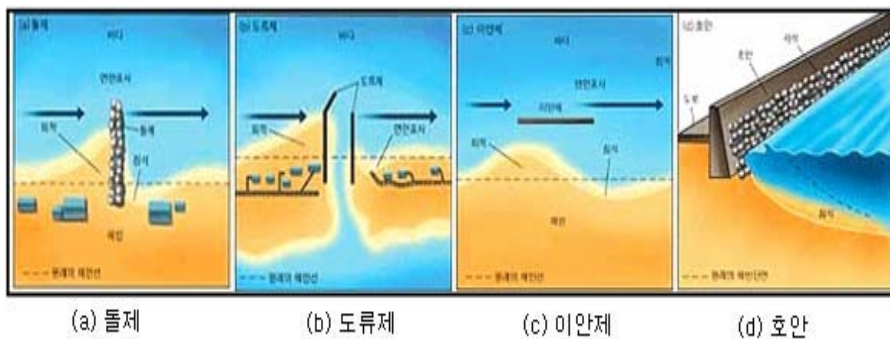


그림 1.1 해안보호 공법의 종류

방사제는 항만으로의 토사 유입을 막아 항만매몰을 방지하는 측면에서, 도류제는 해변에 있는 하천의 흐름을 유지하여 하천으로부터 유입되는 토사가 항만에 퇴적되거나 연안표사에 의해 하천입구가 매몰되어 홍수시 하천상류의 농경지가 침수되는 등의 피해를 방지하기 위해, 돌제나 이안제는 해안선의 침식 방지를 위해, 그리고 호안은 침식으로 인한 해안선의 후퇴와 상부의 도로나 건물 등을 보호하기 위해 사용된다. 또한 이들 구조물을 복합적으로 사용하여 해안침식 방지대책을 마련하기도 한다. 해변을 보호하기 위한 구조물 축조에

는 많은 비용이 소요되며, 이로 인해 예측이 어려운 결과를 초래할 수 있다. 따라서 최소한의 비용으로 최대의 실효성을 얻기 위해서는 다양한 자료의 신중한 분석을 통하여 구조물의 평면배치 및 규모, 시공의 난이도, 그리고 미관을 고려하는 등 각 공법의 적합성 여부를 여러 각도에서 검토해야 한다.

최근 들어 친수성 또는 해안 경관이라는 측면에서 바다의 조망권을 해치는 구조물로서 인식 되면서 그 사용빈도가 저조하게 되었다. 이에 일본에서는 강성기술의 하나인 이안제를 새롭게 개량한 *VHS*, *PBS*, *CALMOS* 등의 신형 이안제를 개발 하였다. 해안침식 방지기능은 그대로 유지하면서 바다의 조망권도 보장할 수 있는 이 공법은 현재 일본의 시즈오카현 시미트해안 일대에 시험 시공되어 그 효과를 검증 받고 있다. 이에 우리나라에서도 자연과 공존하면서 급격히 변화하는 해상환경에 유연하게 대처 할 수 있고 이동설치가 가능하면서 친환경적 이며 그 효과가 탁월한 인공구조물에 대한 연구가 시급한 실정이다.

본 연구는 최근 들어 우리나라 전 해역에 걸쳐 발생하고 있는 해안선 평형상태 붕괴로 인한 침식 및 퇴적 문제를 친환경적인 방법으로 개선하고자 기존의 이안제의 단점인 수역의 풍치 저해, 해수유통저해를 개선한 연안토사의 이동을 허용하여 주변 해안의 침식을 완만하게 발생시키고 후면에 회절파를 발생시켜 모래를 모으는 기술인 철재형 이안제를 제안함으로써 환경을 최대한 보호하고 배타적 구조물이 아닌 친화적 구조물을 지향하는 친환경기술의 개발을 통해 경제성과 시공성에 있어 유사 공법에 비해 우수한 기술을 확보하고자 한다.

1.2 연구내용 및 방법

권 혁민 등(2008)은 수역의 경관을 저해하며 해수교환이 충분하지 않고 석산개발의 부담 등으로 인하여 해안 및 해빈보호를 위한 고정식 구조물의 효과가 반감되거나 역효과를 발생시키는 기존의 중력식 이안제의 단점을 보완할 수 있는 대안으로써 철재형 이안제를 제안한 바 있다. 실험적 연구를 통하여 소파제에 해당하는 다양한 수평형 이열 조합판의 투과율을 산정하였으며, 그 결과로 설계자들이 소파판의 폭을 결정할 수 있는 관계식을 제안하였다.

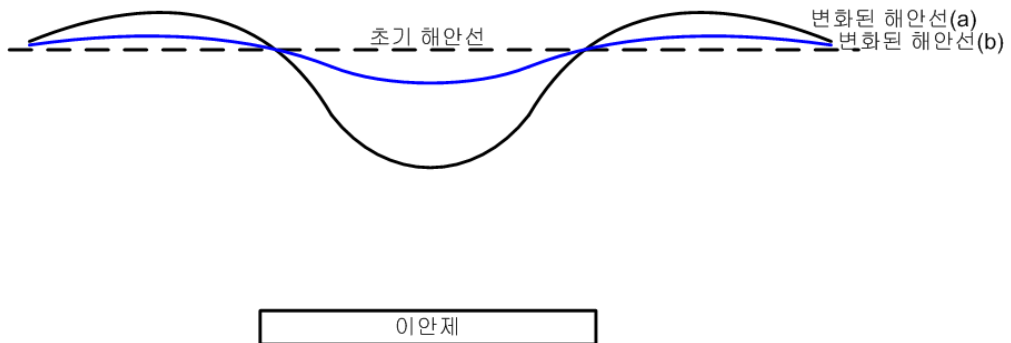


그림 1.2 이안제 후면에서의 해안선 변형

소파판의 폭은 파장에 대하여 정리하였으며 그림 1.2에 보인 바와 같이 초기 해안선으로부터 돌출되는 해안선인 돌출 해안을 조정하여 해안공간을 확보하거나 정온역 확보, 레저공간 확보 등의 목적에 따라 투과정도를 설정하여 결정되므로, 기존의 중력식 방파제보다 탁월하게 설계상 유연성을 가지고 있다고 할 수 있다. 그림 1.3은 철재형 이안제의 축조 이미지를 보여준다.

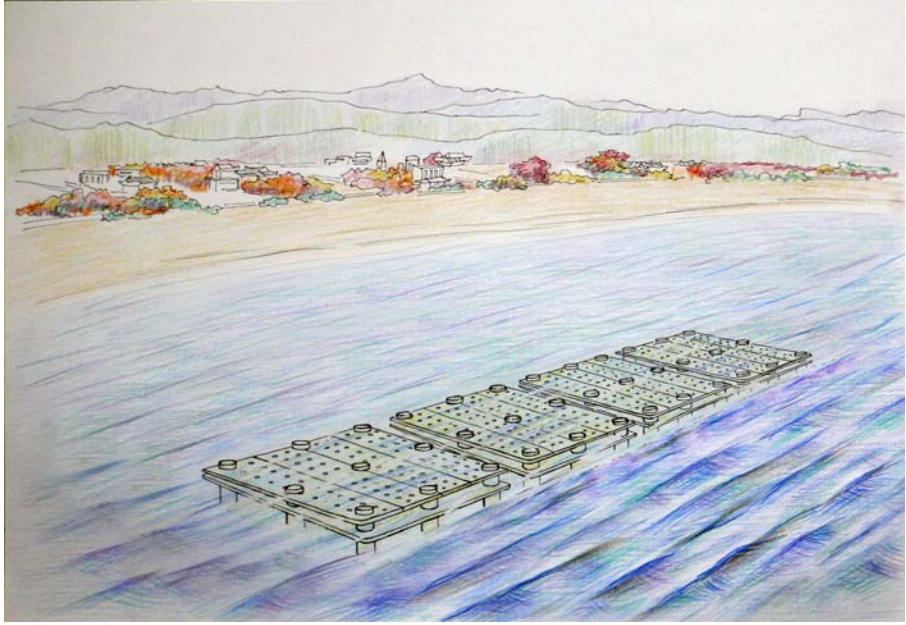


그림 1.3 철재형 이안제 축조 이미지

철재형 이안제는 그림 1.3에 보인 바와 같이 소파판, 이를 지지하는 기둥 등의 상부구조와 바닥의 하부기초로 구성되어 있으며 이들을 위한 별도의 설계기법 확립을 위한 수순이 필요하다.

본 연구에서는 상부구조 및 하부기초 설계를 위한 단계를 중심으로 철재형 이안제의 전체 요소를 설계하기 위한 파압추정 및 기초설계 단계, 상부구조물 설계 단계, 하부기초 설계단계 기법을 제안하고자 한다.

그림 1.3에 보인 바와 같이 본 연구의 설계 성과를 기초로 하여 울진군 초산리 일대에 철재형 이안제를 시공하여 실해역을 대상으로 기능성과 안정성을 검토가 요구된다.

제2장 설계단계의 1차 세분화

철재형 이안제는 해안선 보호 기능과 파력에 대한 안정성 확보를 동시에 만족해야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 철재형 이안제의 설계내용을 세분화하면 ① 수리적 성능검토, ② 상부 구조설계, ③ 하부 기초설계로 크게 나눌 수 있다. 본 연구에서는 각 요소에 대한 세분화된 설계를 통하여 최종적인 철재형 이안제의 설계단계를 제안하고자 한다.

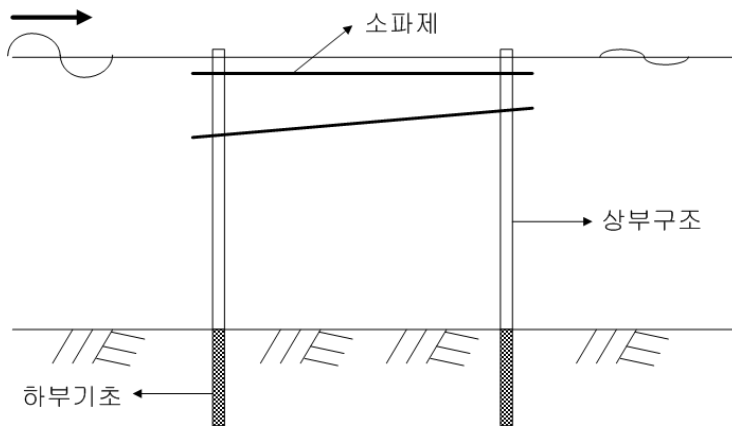


그림 2.1 철재형 이안제 구성도

그림 2.1은 철재형 이안제 구조물의 각 부분을 보여준다. 그림 2.1에서 보는 바와 같이 본 연구에서 다루는 소파구조물은 권 혁민 등(2008)의 연구성과를 기초로 하여 이열 수평형 유공판을 탑재하고 있다. 상부구조는 해수 바닥면 위의 구조체로써 소파제와 체결되며 하부기초는 지반하의 구조체로 한다.

본 연구의 1차 세분화에서는 수리적 성능 검토 ①과 하부 기초설계 ③ 단계만을 대상으로 하며 각각 독립적으로 접근한다. 구조형식과 상부구조 설계는 6장에 자세히 언급되어 있다.

2.1 수리적 성능검토 단계

수리적 성능검토는 상부 구조설계와 하부 기초설계보다 우선적으로 수행되어야 하는 단계이다. 왜냐하면 우선적으로 소파형식에 의한 투과율 산정을 통하여 기능성에 해당하는 해안선보호가 가능한지 여부를 판단해야 하기 때문이다. 기능성 목적이 달성되면, 그 다음에 탑재할 소파판을 지지할 수 있는 구조체를 설계한다.

수리적 성능검토에서는 먼저 임의의 지역에 대하여 외력조건에 해당하는 파랑으로 안정성 확보를 위하여 유의파 $H_{1/3}$ 를 선택한다. 이때, 수리적 성능검토 ①의 내부단계를 검토하여 설계위치가 만족되면 구조물에 작용하는 파압추정을 한다. 그림 2.2는 수리적 성능 검토의 수순을 보여준다.

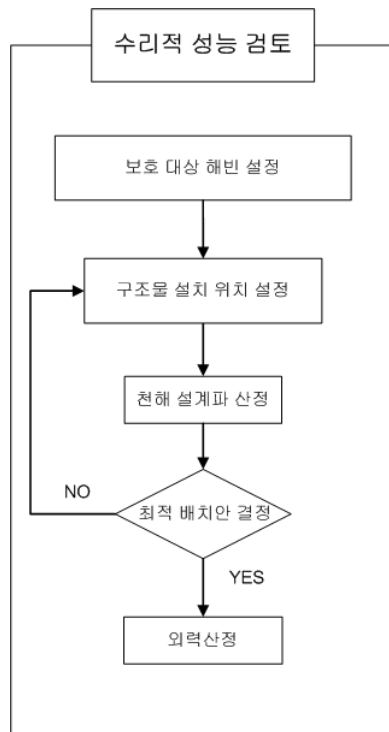


그림 2.2 수리적 성능 검토 단계 1차 세분화

그림 2.2에서 보인 바와 같이 최적 배치안 결정을 위한 수순이 수리적 성능 검토의 중심이 되며, 소파판을 지지하는 이를 지지할 구조체의 설계에 필요한 외력정보를 제공하기 위하여 과압추정 단계가 추가적으로 필요하다. 이때 전술한 바와 같이 기능성 만족 여부를 우선적으로 검토한 후 구조물 설계를 위한 외력산정 정보를 생산한다.

구조물 설치 위치는 설정하여 해당지역의 천해설계파를 산정하고 이를 대상으로 최적배치안 결정을 위한 폭과 길이를 결정한다. 보호하고자 하는 해빈을 대상으로 이러한 과정을 그림 2.2에 보인 바와 같이 만족할 때까지 반복적으로 수행한다.

2.2 하부 기초 설계 단계

하부기초는 그림 2.3에 보이는 바와 같이 구조물에 작용하는 외력에 의한 응력검토를 하고자 한다. 하부기초에 작용하는 외력은 수평하중과 수직하중으로 구분할 수 있다. 수평하중은 파력에 의해 주로 상부구조에 작용하여 지반에 작용하며 상재하중은 파에 의해 발생한다. 그림 2.3은 하부 기초설계 단계를 나타낸 순서도 이다.

그림 2.3에서 해상 지반조사 및 지반 물성치 분석은 외력산정과 별도로 독립적으로 수행할 수 있다. 여기서 외력 1과 2는 각각 수직하중과 수평하중을 의미한다. 외력 1은 수리적 성능 검토 단계, 그리고 외력 2는 상부구조 설계 단계에서 각각 정보를 얻을 수 있다.

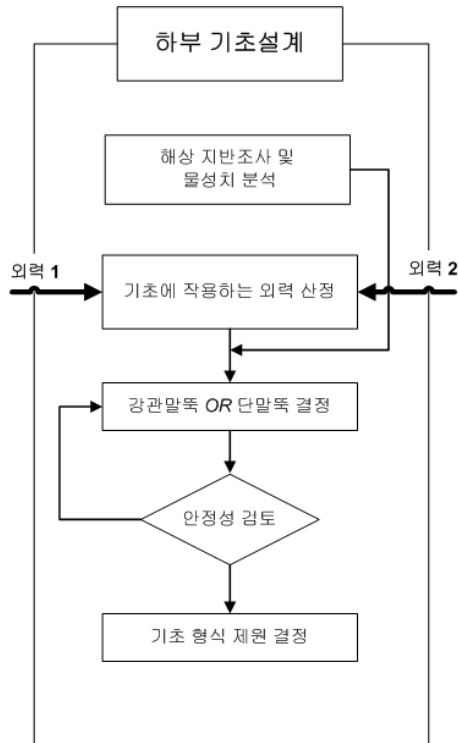


그림 2.3 하부 기초설계 단계 1차 세분화

하부 기초설계 단계는 해상 지반조사 및 지반 물성치 분석과 기초에 작용하는 외력 산정을 통하여 기초형식을 결정하고 이에 대한 안정성 검토를 반복적으로 수행한다. 이러한 과정을 거쳐서 최종적으로 기초형식의 제원이 결정된다.

제3장 설계단계 2차 세분화

설계단계는 점차적 세분화를 통하여 최종단계를 기법으로써 제안하고자 한다. 2차 세분화는 1차 세분화를 기초로 하여 ① 수리적 성능검토를 중심으로 ② 상부 구조설계와 ③ 하부 기초설계의 단계 및 수순을 위한 연결경로를 보이하고자 한다. 앞에서 상세히 설명한 바와 같이 먼저 수리적 성능검토(단계①)로부터 상부구조와 하부구조 설계 단계(단계② 와 단계③)에 필요한 외력조건을 생산하게 된다. 이때, 상부구조 설계②에 관해서는 상부구조물 설계 단계로부터 기본 단계를 인용한다. 2차 세분화는 ①, ②, ③의 상호관계가 일방향으로 주로 구성되어 있다. 그림 3.1는 철재형 이안제 설계 단계 2차 세분화를 보인 것이다.

그림 3.1에서 보이는 바와 같이 수리적 성능검토 단계에서는 최적 배치안을 결정하기 위하여 소파형식에 의한 투과율 산정 실험 결과를 활용한다. 이는 소파구조물을 통과한 파가 해안선에 미치는 영향을 평가하기 위하여 투과율을 사전에 알고 있어야 하기 때문이다. 또한 최적 배치안을 결정하기 위해서는 여러 가지 대표파를 대상으로 검토해야 하므로 소파 형식에 의한 투과율 산정은 일반화가 필요하다. 일반화를 위한 실험과정은 4.1절에서 자세히 의론한다. 최적 배치안을 결정하기 위하여 계절별 빈도파와 설계파를 대상으로 모래이동 여부를 검토하며, 이 내용은 4.4절 실패역 대상 배치안 설계에서 자세히 다룬다.

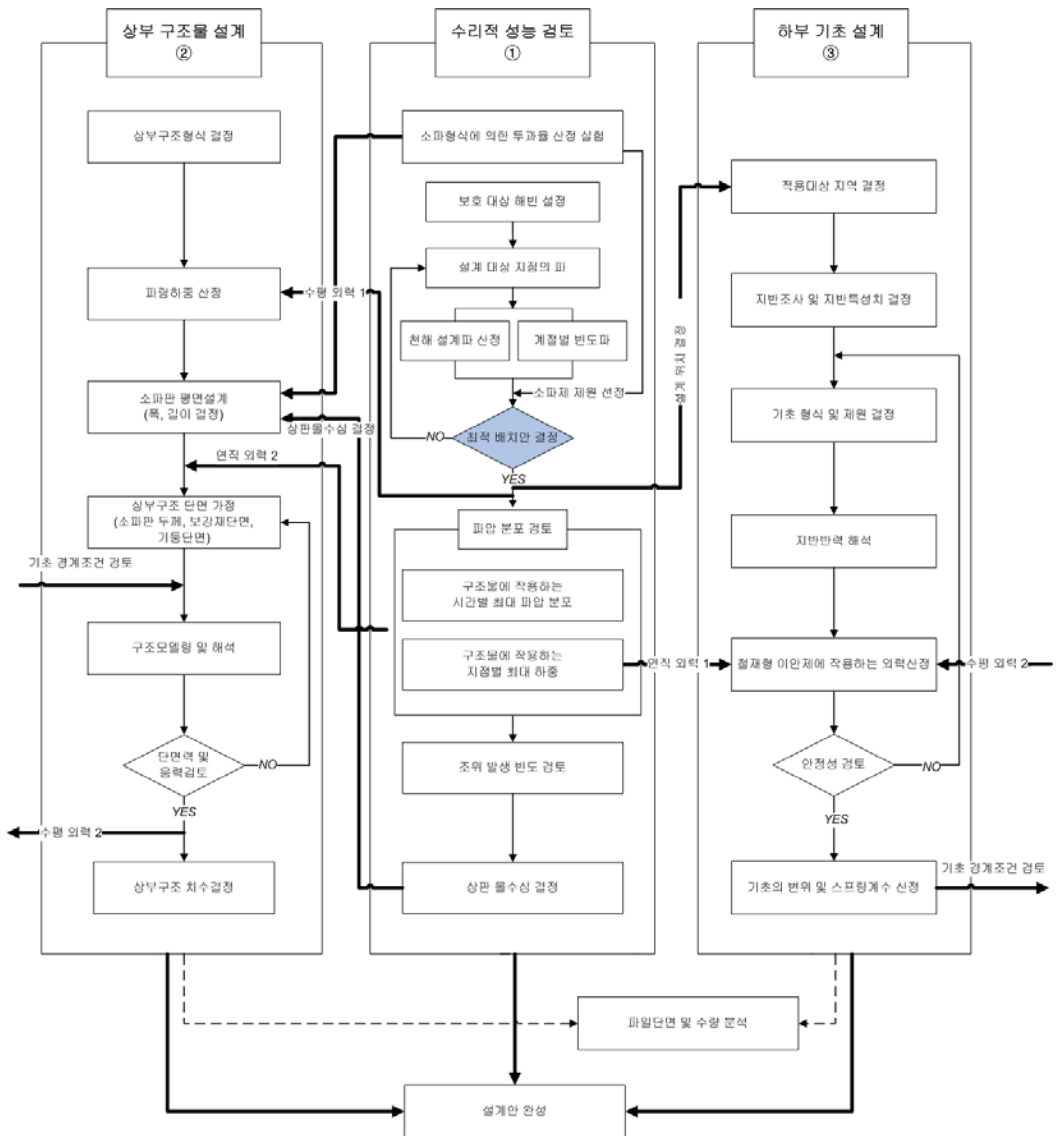


그림 3.1 철재형 이안제 설계 단계 2차 세분화

단계 ①에서 과압 분포에 대한 검토는 2단계로 구분되어 있으며 구조물에 작용하는 시간별 최대과압 분포와 구조물에 작용하는 지점별 최대 하중으로 구분한다. 본 연구에서는 부재의 안정성과 구조물 전체의 안정성을 검토하기 위하여 시간최대 및 지점 최대 하중에 대한 정보를 동시에 생산한다.

설계 단계 2차 세분화는 ①, ②, ③관계를 일방향으로 설정하고 있으며 전부 8가지이다.

양방향은 파일수 분석 8가지이다. 일방향관계는 ①→②또는 ②→①방향이 4가지, ①→③또는 ③→①방향이 2가지, ②→③방향이 1가지, ③→② 방향이 1가지이다. 방향 ①→②는 1) 소파형식에 의한 투과율 산정 실험을 통하여 성능을 검토하여 타당하다고 판단되면 이에 대한 구조형식을 선정할 수 있고 2) 하중은 수평외력과 연직외력으로 구분할 수 있으며 천해 설계과 산정에서 수평하중, 그리고 파압 분포 검토 단계에서 연직하중에 관한 정보를 각각 제공할 수 있다.

방향 ②→①은 보강재 및 프레임단면의 치수가 결정이 되면 설계도면 완성을 위한 정량적 정보를 제공한다. 방향 ①→③은 1) 구조물 설치 위치 설정단계가 결정이 되면 해상 지반조사 및 지반 물성치 분석 단계로 진행하고 2) 기초에 작용하는 외력을 산정하기 위하여 연직외력 1에 해당하는 지점별 최대 하중 정보를 제공한다. 방향 ③→①은 기초 형식 제원 결정이 되면 설계도면 완성을 위한 정량적 정보를 제공할 수 있다. 방향 ②→③은 강관말뚝에 작용하는 수평력을 상부구조해석(SAP2000)을 통하여 정보를 제공한다. 방향 ③→②는 상부구조의 거동 비교를 위한 지반 기초설계 정보 제공한다.

양방향 ②↔③의 파일수 분석은 상부 구조물 설계와 하부 기초 설계가 각각 독립적으로 검토되어 상호 조정에 의해 결정할 수 있다.

외력은 ①과정에서 직접 생산하는 경우가 파압산정 과정이며 연직외력 1과 연직외력 2가 해당된다. 하지만, 수평외력 1은 ①과정에서 설계과를 산정하면 ②과정에서 독립적으로 정보를 생산한다. 수평외력 2는 ②과정에서 생산하여 ③과정으로 전달한다.

제4장 제2차 세분화에 의한 실패역 대상 설계 예

상술한 2차 세분화의 단계 및 경로의 타당성을 확인하기 위하여 실패역을 대상으로 철재형 이안제를 설계하고자 한다. 실패역은 경상북도 울진군 오산향 인근 초산지역으로 정했으며 대상지의 적합성에 대하여 4.2절에서 의문하고자 한다.

설계단계 2차 세분화는 수리적 성능 검토를 중심으로 기능성과 안정성의 관점에서 세분화한 것이다. 기능성은 4.4절의 철재형 이안제 배치안 결정에서 구체적으로 언급된다. 2차 세분화에서 상부 구조물 설계(단계②)와 하부 기초 설계(단계③)는 안정성 확보를 위한 수순이며 수리적 성능 검토 ①단계로부터 수평 및 수직 하중에 대한 정보를 제공받는다.

본 절에서는 상술한 2차 세분화에 따른 실패역을 대상으로 하는 설계를 순차적으로 보이며 각각의 세부 단계에 대해 의문한다. 특히, 수평형 이열 조합판의 투과율 저하 및 파압 저감을 위한 산정 실험과 수직 하중 정보 생산을 위한 파압 실험에 대한 과정을 설명한다.

4.1 소파판 폭 결정을 위한 투과율 산정 실험

권 혁민 등(2008)은 이열 수평형 조합판을 이용하여 상부에는 유공판, 하부에는 무공판인 경우에 대하여 불규칙파 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 소파판에 작용하는 외력을 저감시키기 위하여 권 혁민 등의 성과에서 하부를 유공판으로 대체하여 실험을 수행하였다. 즉, 유공율 차이만큼 면적이 작아지므로 소파판에 작용하는 외력의 저감효과를 기대할 수 있다. 그리고 하부판이 무공판에서 유공판으로 대체되면, 투과율 산정결과가 기존의 권 혁민 등(2008)

의 연구결과와 유사하거나 작아야 이상적이다.

4.1.1 실험단면 선택

김성중(2006)은 단일로 배열된 수평관에 대해서 무공과 유공의 경우에 대하여 수평관의 물수심-수심비 d/h 를 0.05~0.3에서 0.05 간격으로 6가지에 대하여 규칙과의 투과율에 관하여 수치해석을 수행했다. 무공관의 경우는 $d/h=0.1$ 조건에서 상대수심 kh 가 1.0~1.8에서 상대적으로 가장 작은 투과율을 보이고 있다. 유공관의 경우는 d/h 가 0.05와 0.1조건에서 kh 가 0.0~2.0에서 투과율이 100%부터 30%까지 감소한다. 유공율은 약 7%에서 비교대상 중 가장 작은 투과율을 보이고 있다.

본 실험에서는 김성중의 연구 성과로부터 유공율 P 를 7%로 정하고 d/h 를 0.05와 0.1로 적용한 이열관 조합에 대하여 기성태 등의 수치기법을 준용하여 투과율 계산을 했다. 그림 4.1은 실험단면 선택을 위한 비교 단면안을 보이고 있다.

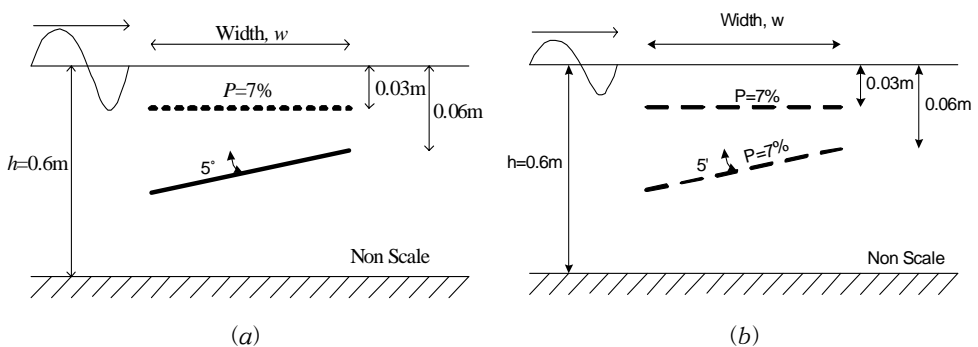


그림 4.1 투과율 비교를 위한 수치해석 대상단면

수치해석을 위한 수심 h 는 4.1.4절에서 설명할 실험과 설계에서 목표로 하는 파가 생성될 수 있는 수조 조건을 만족하는 범위에서 선정했다.

기성태(2006) 등은 폭 w 가 투과율 K_T 에 지배적 요소 중 하나로 기능함을 보였다. 본 비교에는 w 의 효과를 검토하기 위하여 $0.60m$, $0.90m$ 등 총 2가지에 대하여 비교했다. 각각의 길이는 불규칙과 실험에 있어서 파장 $L_{1/3}$ 과 관계하므로 폭-파장비, $w/L_{1/3}$ 이 $0.1\sim 0.2$ 범위로 되도록 파 설계와 함께 검토하여 결정했다.

수치해석을 위하여 $h=0.60m$, $d=0.03m$ 이며 판 간격은 $0.03m$ 로 동일한 값을 적용했다. 그림 4.2, 그림 4.3은 각각 $w=0.60m$, $0.90m$ 의 경우에 그림 4.1에 보인 (a), (b)단면을 비교하고자 했다. 그림 4.2, 그림 4.3에 보이는 바와 같이 파수 k 와 수심 h 의 곱인 상대수심 kh 에 따라 투과율 K_T 의 변화를 보인다.

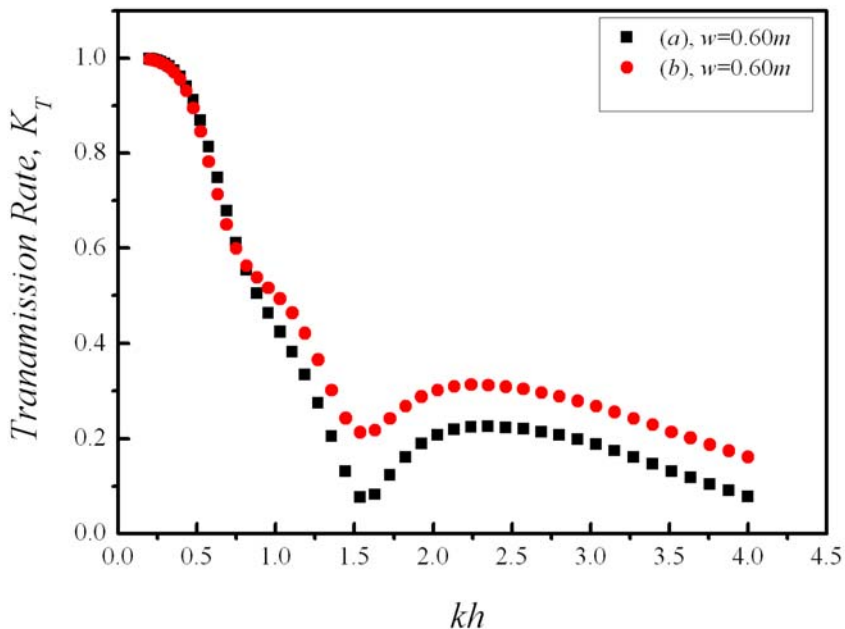


그림 4.2 상대수심 kh 에 따른 투과율 ($w=0.60m$)

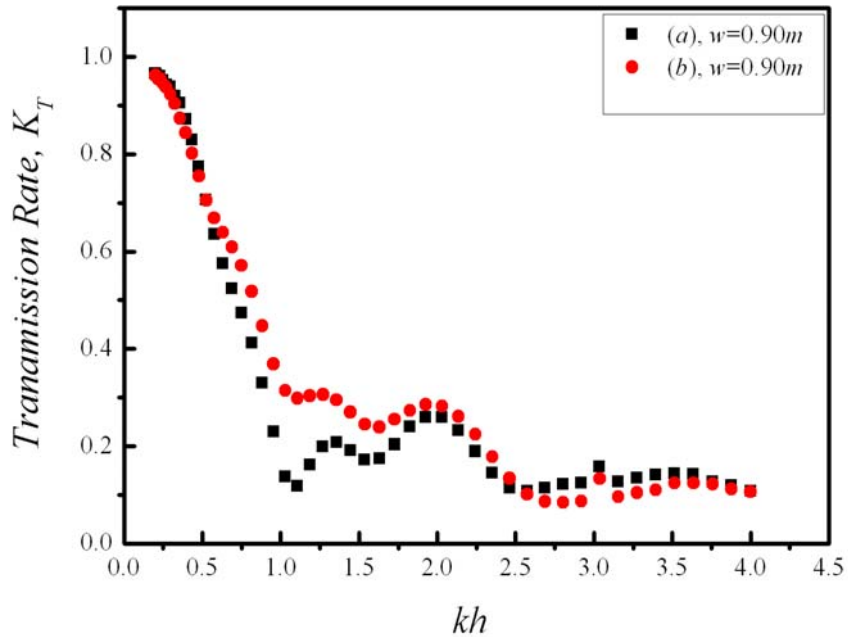


그림 4.3 상대수심 kh 에 따른 투과율 ($w=0.90m$)

폭 w 의 K_T 에 대한 영향을 해석한 그림 4.2과 그림 4.3를 통하여 조합 (a), (b)가 동일하게 폭 $w=0.90m$ 의 경우는 이보다 짧은 $0.60m$ 보다 kh 의 증가에 따라 K_T 가 최소값까지 빨리 감소함을 보이고 있다. 투과율 K_T 의 최소값 도달까지 각각이 서로 미미한 차이를 나타낸다. 하지만, K_T 의 최소값 도달 이후, kh 의 증가에 따라 저판이 경사이면서 무공인 (a)조합이 가장 작은 값을 보이고 있다.

본 실험에서는 주어진 2가지 이열 조합에 대하여 투과율이 작은 순으로 권혁민 등(2008)의 이열 수평형 조합판을 이용하여 불규칙과 실험을 수행한 상부유공수평-하부무공경사판 조합인 (a)와 상부유공수평-하부유공경사평판 조합인 (b)를 실험대상단면으로 결정했다.

4.1.2 실험단면 제작

실험단면제작을 위하여 4.1.1절에서 보인 실험단면 (a), (b) 단면의 실험 폭 w 를 결정해야 한다. 본 실험에서는 (a), (b)단면에 대하여 서로 같은 길이를 적용하고자 한다. $w=0.60\text{m}$, 0.90m 2가지로 결정했다.

그림 4.4와 그림 4.5의 실험단면에 대한 제원의 대상부위를 보인다.

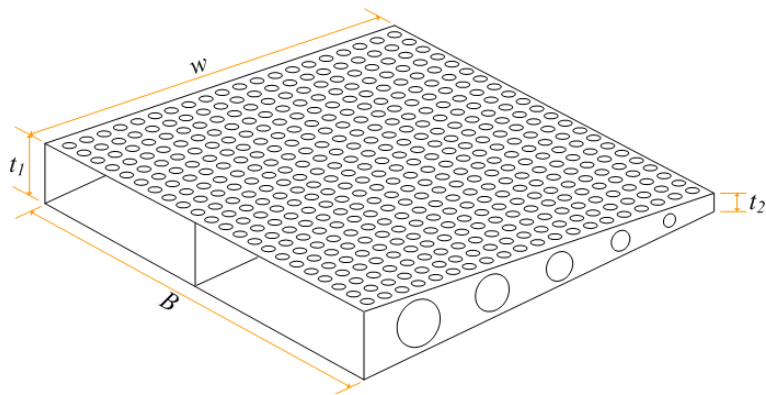


그림 4.4 상부유공수평-하부무공경사판 (a)

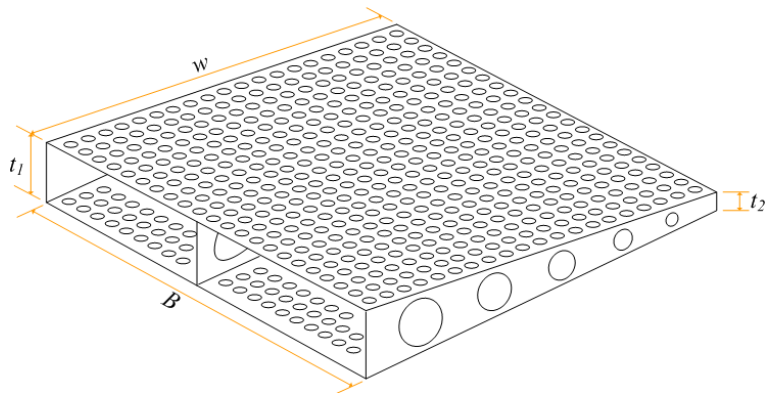


그림 4.5 상부유공수평-하부유공수평판 (b)

그림 4.4은 상부판에만 7%의 유공율을 가지고 있으며, 하부판은 무공의 형태

로 제작을 하였다. 상부판은 수면과 수평이며 하부판은 경사각 5° 를 주고 상하부판의 높이차가 큰 쪽이 조파판으로 향하도록 했다. 길이 B 는 실험수조에 맞추어 $0.99m$ 로 $1mm$ 작게 제작했다. 상부판의 유공직경은 $1cm$ 로 레이저 가공을 하였으며, 파의 감쇠효과를 증가시킬 수 있기를 기대하며 지그재그 형태로 배치했다. 그림 4.5는 상부판과 하부판 모두 7%의 유공율을 가지고 있으며 길이 B 와 상부판, 하부판 간격 t_1 , t_2 와 유공직경 및 배치는 그림 4.5와 동일하다. 전단면은 녹이 발생하지 않는 스테인리스로 제작했으며 판의 두께는 전부 $2mm$ 이다.

그림 4.4와 그림 4.5의 실험단면에 대하여 각각 (a), (b)로 구분하여 각 제원을 표 4.1에 보인다.

표 4.1. 실험단면의 제원

명칭 \ 제원	(a)		(b)	
	(a)-1	(a)-2	(b)-1	(b)-2
폭 $w(m)$	0.60	0.90	0.6	0.90
길이 $B(m)$	0.99	0.99	0.99	0.99
간격 $t_1(m)$	0.08	0.11	0.08	0.11
간격 $t_2(m)$	0.03	0.03	0.03	0.03
유공율 $P(\%)$	7	7	7	7

투과율 산정 실험을 위한 수평형 이열 유공판은 그림 4.4, 4.5에 보인 바와 같이 권혁민 등(2008)이 실험한 조합판과 치수는 동일하지만, 하부판에 유공율이 존재한다는 점에서 차이가 있다.

표 4.1에 보인 바와 같이 하판의 유공율은 상판과 동일하게 7%이며, 즉 면적이 7%감소된 경우이다.

투과율 산정 실험은 권혁민(2008)등과 동일한 조파시스템에서 같은 수준의 입사파 조건으로 실시하였으며 실험방법과 해석기법도 일치한다.

4.1.3 실험파의 선정

실험파는 각 대상단면에 대하여 조건을 만족할 때까지 반복계산을 하여 선정했다. 선정에서 사용한 조건은 ① 풍파영역에 해당하는 환산심해 파형경사, $0.02 \leq H_0'/L_0 \leq 0.04$ 의 범위, ② 상대수심, $0.5 < kh < 1.5$ 의 범위 ③ 조파수조의 성능 ④ 비쇄파 등 4가지 조건을 만족하는 파를 실험파로 선정했다. ②의 조건은 $kh=0.5$ 에서 그림 4.2에서 K_T 가 약 90%, 그림 4.3에서 약 80%를 보이고 있으며 그 이상 값에 대해서는 실용적 의미가 없으므로 최소값으로 정했다. 최대값 $kh=1.5$ 는 그림 4.2에 보인 바와 같이 최소값을 보이고 있으며, 그림 4.3에서는 K_T 값이 최저점에서 단주기 방향으로 가면서 증가하고 있거나 변화가 미미하다. 따라서 투과율이 가장 작게 나타나는 단면 (a)에 대하여 증감이 일정하지 않은 구간에서의 변화를 살펴볼 수 있다. 수심은 전 단면에 대하여 동일하게 $0.60m$ 로 했다. 조건 ④에 대해서는 최대파고 H_{max} 가 유의파고 $H_{(1/3)}$ 의 2.0배로 계산하여 수심의 0.78배 이하임을 확인하고 선정했다.

실험단면에 관하여 환산심해 파형경사 H_0'/L_0 가 0.02, 0.03, 0.04급을 1개씩 선택하고 1개를 추가하여 총 4개의 파를 선정했다.

선정된 실험파 제원은 조파시스템에서 파생성의 정밀도 한계로 인하여 통과파 설정 단계에서 약간 수정이 된다. 4.1.4절의 통과파 설정에서 실험파의 제원을 보이하고자 한다.

4.1.4 일방향 불규칙파에 의한 투과율 산정실험

본 실험은 서울 산업대학교에 설치되어 있는 일방향 불규칙파 시스템을 사용했다. 수조는 길이 $25m$, 폭 $1m$, 높이 $1m$ 의 단면 수조이며, 조파판 반대 끝단에는 반사파를 저감시키기 위해 소파장치를 배치했다.

불규칙파의 생성을 위하여 *JONSWAP* 스펙트럼의 평균값 $\gamma=3.3$ 을 사용했

다. (해안·항만. p36) 파측정을 위하여 용량식 파고계를 사용하여 Goda · Suzuki(1976)의 3점법을 사용하여 입·반사파 분리를 시도했다.

설계된 실험파를 목표파로 하여 설정된 통과파가 본 실험에서 사용됐다. 통과파 설정 후 제작된 단면을 수조에 거치하고 입사파가 통과파와 동일하도록 파 검정을 실시했다. 파 검정 후 투과율 산정을 위한 실험이 수행됐다. 수심은 0.60m로 일정하게 했다.

4.1.4.1 통과파 설정

통과파 설정은 시행착오방법으로 수행하므로 실험시간을 단축하기 위하여 120파를 기준으로 한다. 우선 120파를 기준으로 평균 주기를 곱하여 파 취득 시간으로 정하고 취득간격 $\Delta t=0.05 \text{ sec}$ 를 곱하면 취득자료 개수 m 이 된다. 이때, m 을 2의 n 승으로 표현한 값 1과 비교하여 가장 가깝게 넘는 1이 실제 취득자료 개수 q 가 되며 $q \times \Delta t$ 값이 통과파 취득시간이 된다. 본 실험에서는 20Hz간격으로 자료취득을 했으며 본 실험은 스펙트럼 분석을 시도했으므로 2의 n 승 자료개수가 필요하다.

통과파 설정을 위하여 그림 4.6과 같이 단면을 설치 할 위치에 3개의 용량식 파고계를 배치했다.

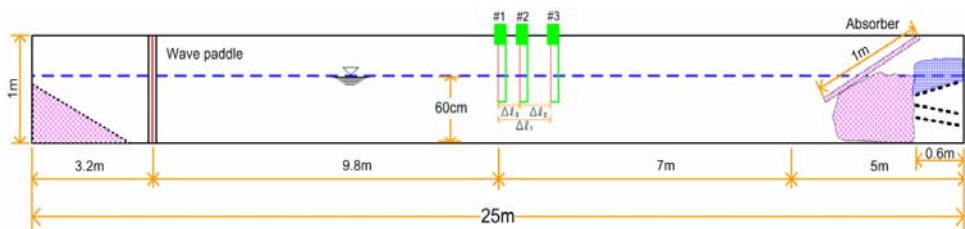


그림 4.6 통과파 설정을 위한 파고계 배치도

표 4.2, 표 4.3는 각각의 실험단면에 대한 통과파를 보인 것이다.

표 4.2 실험단면 (b)-1의 통과파

실험단면 (b)-1			
Case	입력주기 $T_{1/3}, sec$	입력파고 $H_{(1/3)i},$ cm	반사율 K_R
1	1.5	13.5	0.195
2	1.7	13.5	0.150
3	1.9	14	0.161
4	2.1	14	0.167

표 4.3 실험단면 (b)-2의 통과파

실험단면 (b)-2			
Case	입력주기 $T_{1/3}, sec$	입력파고 $H_{(1/3)i},$ cm	반사율 K_R
1	1.4	12	0.160
2	1.7	18	0.186
3	1.9	16.5	0.155
4	2.0	12.5	0.135

표 4.2, 표 4.3에 보인 반사율 K_R 은 최대 19.5%, 최소 13.5%를 보이고 있다. 반사율은 그림 4.6에 보인 수조 끝단에 설치된 소파장치의 능력을 보이는 것이다.

4.1.4.2 실험단면 거치 및 자료취득

철재형 이안제 모형실험에 사용한 조합판은 박스 형태로 2중으로 배치된 형상이며, 처짐을 방지하기 위하여 가운데와 양 측면에 수직으로 된 유공판을 용접을 하였다. 수평판과 경사판에 7%의 유공을 주고 폭($w=0.6m, w=0.9m$)을

다르게 하여 2개의 조합판 모형을 제작하여 실험을 실시했다. 조합판을 실험 수조에 설치할 때 수면에서부터 몰수심 깊이 $0.03m$ 를 고려하여 수조바닥에서 $0.57m$ 높이에 상부판을 기준으로 실리콘을 이용하여 이열판을 고정했다. 사진 4.1은 수조에 고정되어 있는 실험단면의 모습을 보인 것이다.

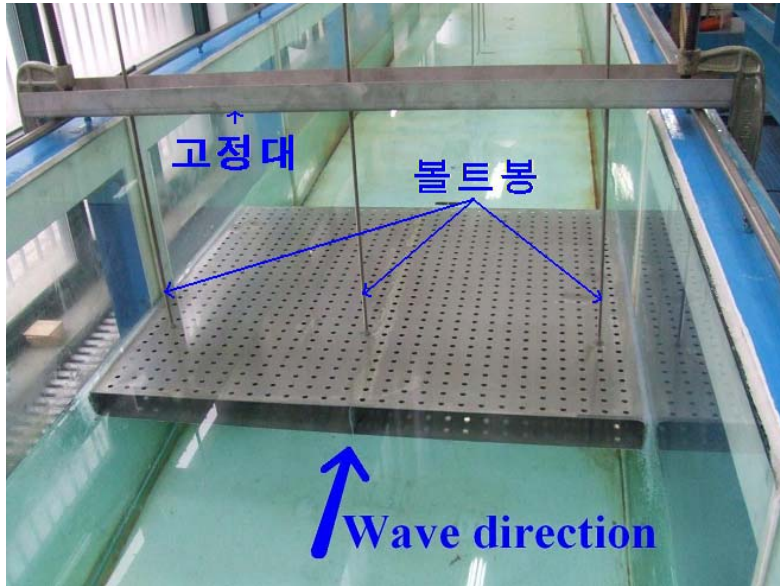
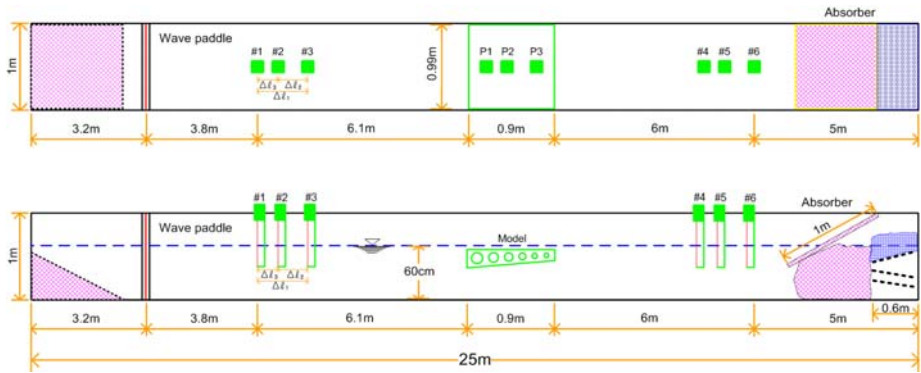


사진 4.1 이열 유공판 설치

사진 4.1에 보인 바와 같이 이열판 모형의 무게를 지탱하기 위하여 사진 4.1과 같이 스테인리스 볼트봉 3개를 수조의 양끝단에 지점을 둔 고정대와 연결했다. 볼트봉은 상부판 유공 $1cm$ 를 통과시켜 상부판에 너트로 고정시켜 모형의 처짐과 흔들림을 방지했다.

투과율 산정을 위한 모형실험은 그림 4.7에 보이는 바와 같이 조합판 전·후방에 3점법 관측을 위하여 파고계를 3개씩 설치하여 입·반사 분리를 시도했다. 전방부의 3개에서 얻어진 입사파를 입사파로 후방부 3개에서 얻어진 입사파를 전달파로 했다.



DISTORTED SCALE 1H=2.6V

그림 4.7 조합판 모형실험 계측을 위한 배치도
(평면도, 정면도)

입사파 측정을 위한 전방에 설치된 파고계는 조파판을 기준으로 수심의 3배 이상 이격시켜 3.8m 지점에 #1 파고계를 설치하여 Δl 값을 조절하였고, 전달파 측정을 위한 후방에 설치된 파고계는 #6 파고계를 기준으로 Δl 값을 조절하여 설치를 하였다.

파고계의 간격 Δl 은 파고와 주기에 따라 거리를 조정하여 파형을 취득한 후 반사율을 계산했고, 분리한 주파수대는 최대주파수 f_P 의 $0.6f_P \sim 3.0f_P$ 로 설정했다.

통과파를 검정한 파조건을 조파시켜 목측을 통하여 약 3~4분 동안 중복파의 안정적 형성을 확인 후 자료취득을 시작하여 자료수가 2의 13승인 8192개가 취득될 수 있는 시간 약 7분 동안 자료를 얻었으며, $T_{1/3} \approx 1.2\bar{T}$ 의 식으로부터 평균주기가 1.2초 일 때 취득시간 7분에 대한 유의파 주기는 350파에 해당한다.

4.1.5 실험파의 해석

불규칙파의 해석을 위하여 수조 내 장주기 성분을 제거하고 전면부와 후면부의 입·반사 분리를 시도했다. 실험단면의 파 통과 전후의 에너지 밀도변화를 비교하기 위하여 스펙트럼 분석을 수행했다.

4.1.5.1 해석순서

불규칙파의 해석은 권혁민(1996)의 연구에서 제시한 방법을 준용하여 그림 4.8에 보이는 바와 같은 순서로 불규칙파 해석을 실시했다.

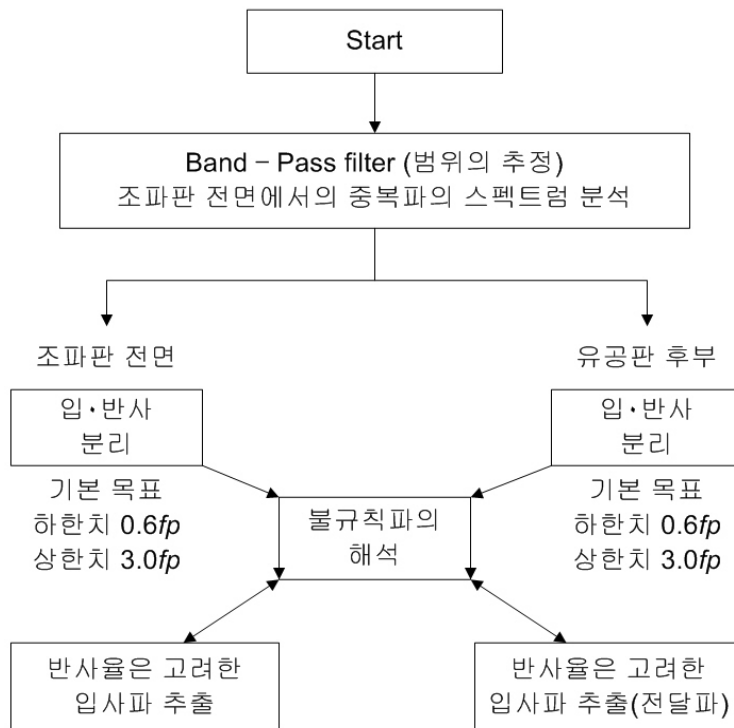


그림 4.8 파의 해석 순서도

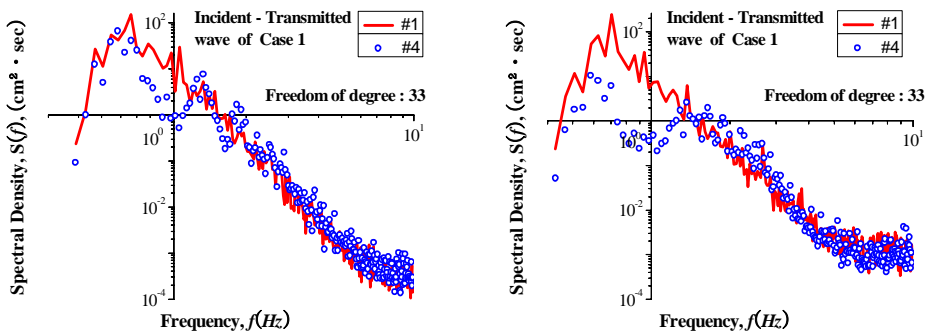
본 해석에서는 수조의 양쪽 끝 경계면으로부터 반사에 의한 장주기파 성분을

제거하기 위해 스펙트럼분석을 통하여 표준스펙트럼과 현저한 차이를 보이는 저주파수대 f_{low} 이하를 제외했다. 일정범위의 저주파수대 f_{low} 와 고주파수대 f_{high} 사이의 주파수대를 대상으로 불규칙파 해석을 시도했다. 이때, f_{low} 는 입사파와 전달파에 동일하게 적용했다. 전 실험의 $f_{high}=9.92188Hz$ 로 일정하고 f_{low} 는 주기에 따라 다르다.

4.1.5.2 파의 스펙트럼 해석

그림 4.9와 그림 4.10은 수평판과 경사판의 입사파와 전달파의 스펙트럼 변화를 각각 보인 것이다. 수평축은 주파수 (Frequency, $f(Hz)$)이고, 수직축은 스펙트럼밀도 (Spectral Density, $S(f)$, $(cm^2 \cdot sec)$)로 나타내었고, 주파수 f 는 0~1.5Hz 사이의 범위로 동일하게 표현하였다.

실험단면 (a)-1, (a)-2 그리고 실험단면 (b)-1, (b)-2는 입사파와 전달파의 크기 차가 각각 실험 Case에서 가장 큰 경우를 대상으로 했으며, 비교대상의 파는 입사파 측정점인 #1과 전달파 측정점인 #4의 측정점 2지점의 자료를 대상으로 했다.

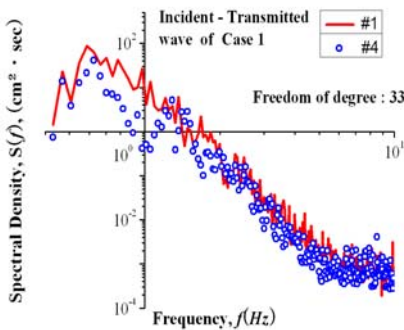


실험단면 (a)-1, Case 1

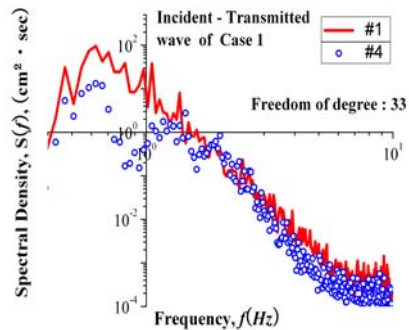
실험단면 (a)-2, Case 1

그림 4.9. 스펙트럼 해석 실험단면 (a)

그림 4.9에 보인 바와 같이 실험단면 (a)-1과 (a)-2에서 최대 주파수대의 에너지가 감쇠됨을 알 수 있다. 그러나 실험단면 (a)-2와 같이 실험단면 (a)-1에 비하여 조합판의 폭이 넓은 경우는 최대 주파수대의 에너지가 폭이 좁은 경우보다 에너지 감쇠효과가 크다는 걸 알 수 있으며, 이는 조합판의 폭이 에너지 감쇠에 주요한 파라메타임을 확인할 수 있다.



실험단면 (b)-1, Case 1



실험단면 (b)-2, Case 1

그림 4.10 스펙트럼 해석 실험단면 (b)

그림 4.10의 실험단면 (b)-1과 (b)-2를 비교하여 보면, 경사판에 유공을 가지는 경우도 유공이 없는 경우와 같이 폭이 넓은 실험단면 (b)-2가 (b)-1보다 최대 주파수대에서의 에너지가 더 많이 감쇠되고, 감쇠된 에너지 일부는 고주파수대로 이동함을 알 수 있다.

실험단면 중에서 최대주파수에서의 차이가 가장 큰 (a)-2의 경우 전 Case에서 좋은 성능을 보이고 있다. 그 이유는 유공이 없는 경사지게 배치된 하부판에 의해 압력장이 형성되며 조합판을 통과할 때 압력의 차이로 인해 상부판의 유공을 통한 제트류가 발생하여 상부판의 유공을 통해 상승하는 유체에 의해 쇄파현상이 발생하여 파고의 변화에 많은 영향을 주는 것으로 판단된다. 이러한 결과로 폭의 넓이가 같은 실험단면 (b)-2의 경우보다 에너지 감쇠효과가

크게 보였다고 판단된다.

4.1.5.3 파고 산정

수조 전면에서 중복파의 파고 $H_{(1/3)s}$ 는 스펙트럼 해석법을 사용하여 식 (4.1)에 보이는 바와 같이 정했다.

$$H_{(1/3)s} = 4.0 \sqrt{m_o} \quad (4.1)$$

여기서,

$$m_o = \sum_{i=low}^{high} S(f_i) \times \Delta f_i$$

$S(f_i)$ 는 스펙트럼의 밀도, Δf_i 주파수의 계급값이며 $0.03906Hz$ 로 일정하다.

상기한 m_o 는 중복파의 스펙트럼 면적이므로 최종적으로 입사 파고는 입사울을 곱한 식 (4.2)으로 정했다.

$$H_{(1/3)i} = H_{(1/3)s} \times (1 - K_R) \quad (4.2)$$

여기서, K_R 은 반사율이며 *Goda · Suzuki* (1976)방법에 의해 입 · 반사를 분리하여 통하여 추산되었다.

4.1.6 실험 분석 및 결과

본 실험의 분석은 식 (4.3)에 보이는 바와 같이 반사율 K_R , 투과율 K_T , 에너지손실률 K_{loss} 에 대하여 정리했다.

$$1 = K_R^2 + K_T^2 + K_{loss} \quad (4.3)$$

여기서, $K_T = H_T / H_{(1/3)i}$ 는 입사파고이며, H_T 는 조합판 후방의 파를 입·반사 분리하여 식 (4.2)로 계산한 결과이다. K_T 와 K_R 은 실험에 의한 측정값이며, K_{loss} 는 식 (4.3)에 의해 계산된 값이다.

표 4.4는 실험조건과 결과를 정리한 것이며, 모든 경우에서의 파조건은 비쇄 파대에 해당한다.

표 4.4 실험과 조건과 해석결과

단면	Case	주기 $T_{1/3}$ sec	파고 $H_{(1/3)i}$ cm	폭-파장비 $w/L_{(3/1)i}$	반사율 K_R	투과율 K_T	에너지 손실률 K_{loss}
단면 1	case 1	1.491	11.947	0.202	0.397	0.525	0.567
	case 2	1.667	10.894	0.174	0.379	0.615	0.479
	case 3	1.849	13.709	0.152	0.360	0.656	0.441
	case 4	2.020	13.736	0.136	0.327	0.696	0.408
단면 2	case 1	1.487	11.134	0.305	0.448	0.357	0.672
	case 2	1.657	11.101	0.263	0.429	0.427	0.634
	case 3	1.868	10.766	0.225	0.430	0.495	0.571
	case 4	2.042	11.037	0.201	0.387	0.578	0.516

이 표에서 보는 바와 같이 반사율 K_R 은 투과율 K_T 에 비하여 변화가 크게 나타나고 있음 알 수 있다.

본 연구에서 수행된 실험결과는 권 혁민 등(2008)의 투과율과 반사율 결과와 비교를 하고자 한다. 그림 4.11은 폭-파장비에 대한 투과율 K_T 와 반사율 K_R 에 대하여 본 실험결과와 권 혁민 등(2008) 직선적으로 비교한 것이다.

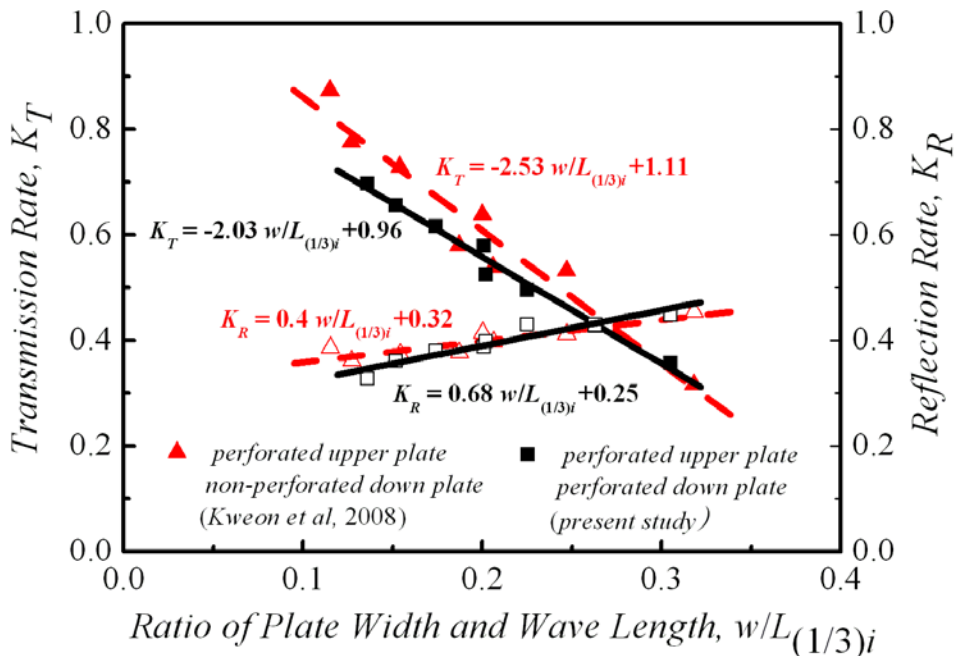


그림 4.11 투과율과 반사율에 대하여 권 혁민 등(2008)의 결과와 비교

이 그림에서 속이 채워진 것과 비워있는 점들은 각각 투과율과 반사율을 나타내며, 각각의 실험결과에 대하여 회귀분석한 결과가 직선식 및 점선식으로 표시되어 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 투과율 K_T 는 폭-파장비 $w/L_{(1/3)i}=0.1$ 부근에서 본 연구와 권혁민 등(2008)의 연구결과가 약 10%의 차이를 보이고 있다. 그러나 반사율 K_R 은 폭-파장비 0.1 ~ 0.35에서 두 결과의 차이가 미미한 것을 알 수 있다.

상부 유공판과 하부 유공판의 이열 수평형 조합판에 대한 실험 결과로부터 폭-과장비와 투과율 K_T 및 반사율 K_R 에 대한 관계식을 다음의 식 (4.4) 및 식(4.5)와 같이 각각 얻을 수 있었다.

$$K_T = -2.03w/L_{(1/3)i} + 0.96 \quad (4.4)$$

$$K_R = 0.68w/L_{(1/3)i} + 0.25 \quad (4.5)$$

투과율 K_T 의 식 (4.4)은 폭-과장비 $w/L_{(1/3)i}=0$ 에 대하여 0.96을 보임으로써 K_T 절편 상에서 4%의 오차가 발생한다. 반사율 K_R 은 $w/L_{(1/3)i}$ 가 증가함에 따라 커지는 경향을 보인다. 식 (4.4)과 식 (4.5)은 비쇄파대를 대상으로 실험한 결과이다.

그림 4.11을 통하여 상부유공-하부유공이 상부유공-하부무공의 경우보다 투과율과 반사율이 작게 나타난다는 것은 결국 수파능력이 우수하다는 것을 의미한다. 따라서 하부유공을 통과하는 연직방향의 분출수가 상판과 하판사이를 통과하는 진행파 입자와 부딪힘으로써 마찰로 인한 동력학적 에너지 감소가 투과율에 영향을 주고 있다고 추측된다. 결국 투과율은 이열 수평형 유공판의 투과율과 소파율 능력에 따라 결정되므로 에너지의 관점에서 보면 반사율이 작은 차이에 의해 소파율은 큰 차이가 날 수 있다.

본 연구에서 투과율에 대한 실험결과는 폭-과장비가 약 0.27보다 작은 경우에서 권 혁민 등(2008)의 연구결과 보다 최대 약 10%작게 나타나고 있다. 이와 같이 하부판의 면적 7% 감소와 더불어 투과율도 약간의 감소되고 있음을 실험적으로 확인하였으며, 이 결과를 설계에 반영하기로 하였다.

4.2 보호 대상지역 설정

본 연구는 침식이 심각한 해안을 대상으로 하지 않고 가능하면 철재형 이안제의 기능성을 확인할 수 있는 장소를 선택하고자 한다. 왜냐하면 안정성 확인은 임의의 해안에서도 구조물에 내습하는 설계파 상당의 레벨을 경험하기 수월하지만, 해안선 지형이 복잡하거나 비교적 규모가 큰 침퇴적의 이력이 최근까지 발생한 지역은 철재형 이안제의 해안선 보호라는 기능성을 확인하기 어렵기 때문이다.

4.2.1 해안선 조사

보호대상해안의 침식여부를 판단하기 위하여 현장조사는 인공위성사진, 지형도를 가지고 보호대상지역의 사전 측량 계획을 한 후 현장지형 답사를 나간다. 현장답사 후 기준점을 선점하고 기준점 측량을 실시하여 오차여부를 판단 후 오차가 발생할 경우 재측하여 기준점 좌표를 산정하게 된다. 기준점 좌표를 산정하게 되면 해안선 측량을 실시하여 데이터 정리 및 분석을 통하여 해안선 침·퇴적여부를 판단하게 된다. 그림 4.12는 해안선 조사단계를 보인 것이다.

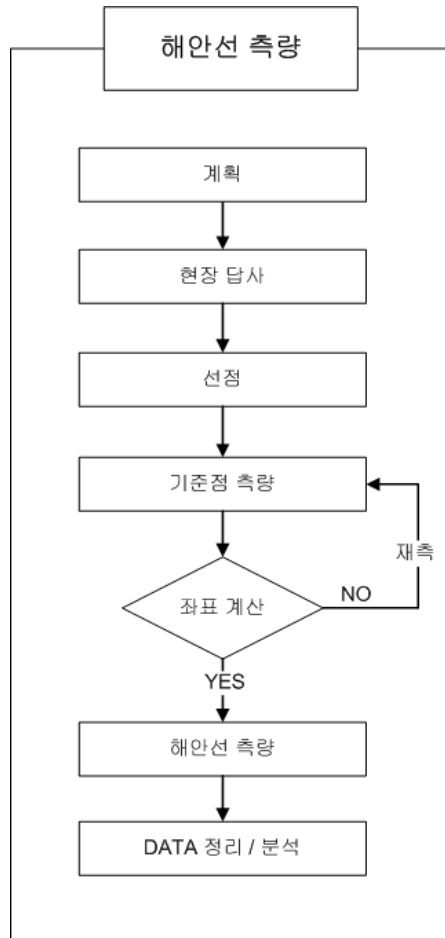


그림 4.12 해안선 조사단계

그림 4.12에 보인 바와 같이 해안선 조사 단계를 거쳐 울진군 오산항 지역일대를 그림 4.13에 보이는 바와 같이 기준점 측량을 실시하였다.

표 4.5는 광과기 SET530RK를 사용하여 그림 4.13에 보이는 바와 같이 오산항 남방과제의 CP.1에서 초산지역 무릉교 위의 CP.8까지 내각을 왕복으로 트레이버스 측량을 실시하였으며, 망원경을 정·반위로 하여 평균값을 취함으로써 시준측 오차, 망원경 편심오차, 수평측 오차를 소거하였다.

표 4.5 각 관측(왕/복)

측점	시준점	D/R	도 (°)	분 (′)	초 (″)		거리 (m)
2	1	D	241	2	17	왕	203.133
		R	61	2	18		
	3	D	241	2	11	복	
		R	61	2	21		
평균		241	2	17			
3	2	D	151	54	47	왕	372.675
		R	331	54	41		
	4	D	151	55	2	복	
		R	331	54	59		
평균		151	54	52			
4	3	D	155	4	55	왕	244.63
		R	335	5	1		
	5	D	155	4	51	복	
		R	335	4	53		
평균		155	4	55			
5	4	D	158	43	51	왕	423.568
		R	338	44	5		
	6	D	158	44	2	복	
		R	338	43	56		
평균		158	43	59			
6	5	D	185	3	34	왕	445.878
		R	5	3	28		
	7	D	185	3	26	복	
		R	5	3	24		
평균		185	3	28			
7	6	D	174	31	52	왕	131.731
		R	354	31	42		
	8	D	174	31	43	복	
		R	354	31	43		
평균		174	31	45			

기준점 측량을 실시한 각 관측 데이터 표 4.5의 오차 발생 여부를 판단한 후 각 관측 데이터를 이용하여 기준점의 좌표를 표 4.6과 같이 산정하였다.

표 4.6 기준점 좌표(상대좌표)

측선	관측각	방위각	거리	위거	경거	<i>N</i>	<i>E</i>	<i>NO</i>
<i>CP.1</i>						4104970.451	534814.897	<i>CP.1</i>
<i>CP.1</i> ⇒ <i>CP.2</i>		10.39560	203.133	199.624	37.595	4105170.075	534852.492	<i>CP.2</i>
<i>CP.2</i> ⇒ <i>CP.3</i>	241.02170	71.42130	460.895	144.690	437.595	4105314.765	535290.087	<i>CP.3</i>
<i>CP.3</i> ⇒ <i>CP.4</i>	151.54520	43.37050	372.675	269.800	257.089	4105584.565	535547.176	<i>CP.4</i>
<i>CP.4</i> ⇒ <i>CP.5</i>	155.04550	18.42000	244.630	231.716	78.432	4105816.281	535625.608	<i>CP.5</i>
<i>CP.5</i> ⇒ <i>CP.6</i>	158.43590	-2.74410	423.568	423.143	-18.970	4106239.424	535606.638	<i>CP.6</i>
<i>CP.6</i> ⇒ <i>CP.7</i>	185.03280	2.29270	445.878	445.457	19.378	4106684.881	535626.016	<i>CP.7</i>
<i>CP.7</i> ⇒ <i>CP.8</i>	174.31450	-2.98880	131.731	131.553	-6.848	4106816.434	535619.168	<i>CP.8</i>

표 4.6은 *CP.1*에서 *CP.8*까지 각 관측을 트래버스 측량으로 실시 하였으며, 정·반위를 실시하여 왕복측량을 하였다. 표 4.5의 각 관측 데이터를 이용하여 아래의 식 (4.6)과 식 (4.7)을 이용하여 기준점 좌표 표 4.6를 산정하였다.

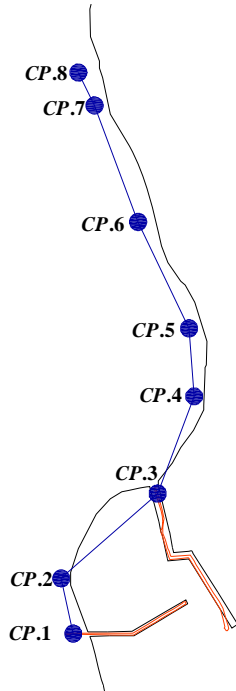
$$\text{위거} = l \cos\theta \quad (4.6)$$

$$\text{경거} = l \sin\theta \quad (4.7)$$

여기서 *l*는 측선거리 이며, θ 는 방위각이다.

산정된 기준점 좌표를 기존의 지형도에 그림 4.13의 (a)에 보인 바와 같이 오산향을 기준으로 기존의 도면에 중첩시켜 보인 것이며, (b)는 오산향을 기준

으로 위성사진에 중첩시켜 보인 것이다.



(a) 기준점을 도면에 중첩



(b) 기준점을 위성사진 중첩

그림 4.13 기준점 측량

실시 측량한 오산항과 기존의 지형도의 오산항을 중첩시켜 표 4.6의 기준점 좌표를 보정하여 산정하였으며, 표 4.6의 기준점 좌표는 상대좌표이다.

해안선 측량은 그림 4.12의 해안선 조사단계를 통하여 산정된 표 4.6의 기준점 좌표를 이용하여 사진 4.2에 보이는 바와 같이 주기적인 해안선관측을 실시하게 된다.



사진 4.2 초산리 일대의 해안선 측량

울진군 초산리 일대의 보호대상지역을 대상으로 사진 4.2에 보인 바와 같이 해안선 측량을 실시하였으며, 해안선은 임의의 소상고(*Swash Zone*)인 부서진 파도가 해안의 경사면과 만나면서 해저면을 따라 밀려 올라가는 지역을 측정하였다.

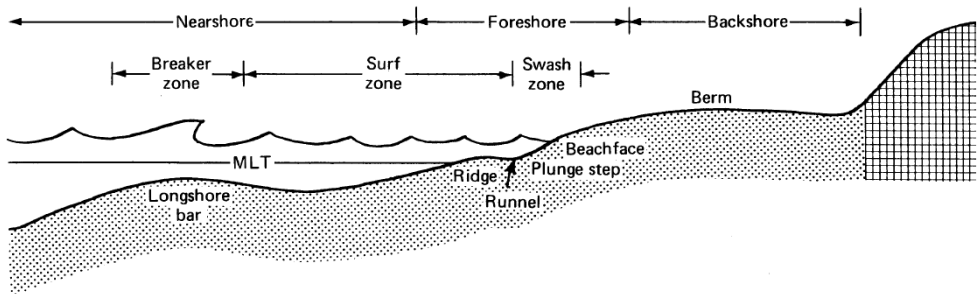


그림 4.14 해안단면

그림 4.14는 해안단면을 나타낸 것이며 해안측량은 *Swash Zone*을 대상으로 하였다. 이를 통한 주기적인 모니터링 자료를 이용하여 해안선의 침·퇴적 여부를 판단하게 된다.

4.2.2 해안선 측량 결과

철재형 이안제의 실효역 설계를 위한 대상지역은 경상북도 울진군 초산리 일대로서 남쪽 인근에 오산항이 위치하고 있다. 그림 4.15은 적지 선정을 위한 해안선 측량 결과이다.

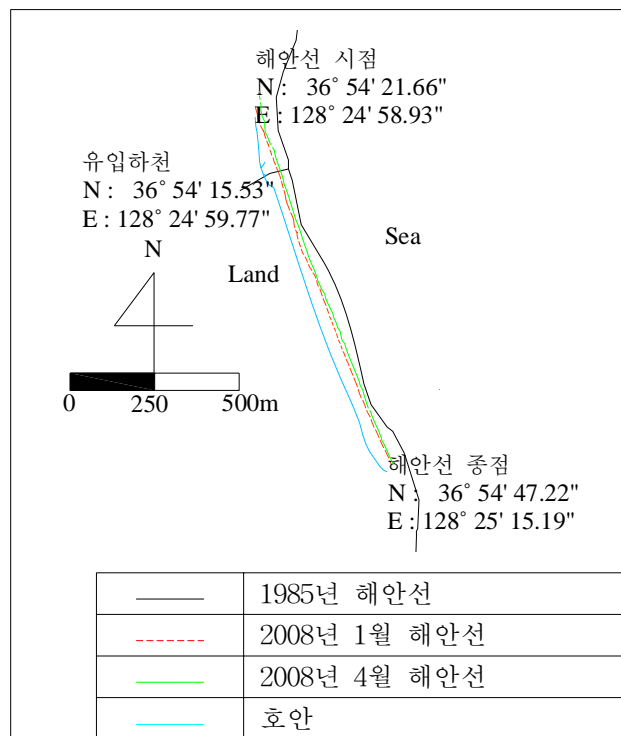


그림 4.15 초산리 일대의 적지 선정을 위한 해안선 측량 결과

초산리 일대의 해안선은 전형적인 일직선 해안으로서 그림 4.15에서 보인 바

와 같이 1985년 해안선을 기준으로 2008년도 1월 해안선이 최대 42m정도 후퇴한 것을 알 수 있다. 하지만, 2008년 1월 해안선과 4월의 것을 비교하면 최대 12m정도 후퇴하였다. 전체적으로 해안선의 후퇴와 전진이 보이거나 형태는 유지가 되어 있어 대상지역내 부분적 침퇴적 이력은 보이지 않고 있다. 또한 본 연구를 통하여 설계한 철재형 이안제의 시험시공 시기는 변화가 미미한 2009년도 1월~4월 사이가 적절할 것으로 판단된다.

본 연구는 경상북도 초산리 일대의 일직선 해안을 대상으로 철재형 이안제의 설계를 수행하고자 한다.

4.3 천해 설계파 산정

실해역 대상지역인 초산리 일대의 전면 해안은 개방형으로써 비교적 계산이 간단한 에너지 평형 방정식을 기초로 한 모델을 운영하는 것이 수월하다. 본 연구에서는 3차원 다방향 쇄파 모델인 권 혁민(1988)의 수치해석 프로그램인 방향 스펙트럼 파랑에 대한 3차원 쇄파 변형 모델을 사용하여 천해 설계파를 산정하였다.

4.3.1 지배방정식

권(1998)은 *karlsson*(1969)의 스펙트럼 굴절 모델에 *Kweon and Goda*(1969)의 쇄파 모델을 결합하여 임의의 지형에 다방향 불규칙파가 입사할 때, 쇄파대를 포함한 천해에서의 파고 및 파향을 계산하였다. 지배방정식은 (4.8)와 같다.

$$\frac{\partial(D_s V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(D_s V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(D_s V_\theta)}{\partial \theta} = -\epsilon_b \quad (4.8)$$

여기서, D_s 는 방향 스펙트럼, V_x, V_y, V_θ 는 각 방향의 균속도 성분, θ 는 계산 격자 점의 정방향으로부터 반시계 방향의 각도, ϵ_b 는 쇄파에 의한 에너지 감쇠항이다. 비쇄파일 때는 $\epsilon_b=0$ 이 되어 *karlsson*이 제안한 식이 된다.

ϵ_b 를 풍상(*upwind*)차분법으로 나타내면 다음과 같다.

$$\epsilon_b = \epsilon'_b D_s^{i-1, j, k} \quad (4.9)$$

여기서, ϵ'_b 는 단위 시간 내에 쇄파에 의해 잃은 에너지의 소산율, i, j 는 각각 x, y 방향의 격자번호, k 는 방향함수를 K 개 분할했을 때 k 번째 성분을 나타낸다. ϵ'_b 는 권 등(1996)의 모델과 같이 불규칙파의 안정파고를 도입한 형태로 방향 스펙트럼 파랑의 경우 다음과 같이 차별화 된다.

$$\epsilon'_b = \frac{(K_d)_{i^*}}{d_{i-1}} (C_g)_{i-1} \left(1 - \frac{(\Gamma d_{i-1})^2}{H_{i-1}} \right) \quad (4.10)$$

여기서, Γ 는 불규칙 파랑에 의한 안정파고대 수심의 비(권 등, 1996), K_d 는 감쇠계수, d 는 수심, C_g 는 균속도, H 는 파고이다. K_d 의 경우는 $i-1$ 과 i 격자 사이의 파향선의 길이에 의해 변화하므로 i^* 로 표현하였다.

식 (4.10)는 최초로 *Dally et al.*(1985)이 제안한 식이나 본 연구에서는 불규칙파에 의한 각각의 대표파고에 대하여 안정파고가 존재함을 실험을 통하여 발견하고 이를 정식화한 권 등(1996)의 수심과 안정파고의 비를 이용하였다.

식 (4.9)에서와 같이 쇄파항은 하나 전의 격자점에서의 쇄파감쇠항을 사용한다. 천수, 굴정에 의한 방향 스펙트럼 파랑변형의 계산은 $i-1$ 의 심해로부터 순번으로 격자 점마다 진행해 나간다. 각 격자 점에서는 방향 스펙트럼으로부터

유의과고($H_{1/3}$)와 주파향(θ_p)은 다음과 같이 계산한다.

$$H_{1/3} = 4.0 \sqrt{m_0}, \quad m_0 = \int_0^\infty \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} D_s d\theta df \quad (4.11)$$

$$\theta_p = \frac{\int_0^\infty \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \theta D_s d\theta df}{m_0} \quad (4.12)$$

여기서, 주파향 θ_p 는 x 축으로 부터 양의 방향으로부터 반시계 방향이다.

4.3.2 쇄파향의 처리

천수·굴절에 의한 방향 스펙트럼 파랑변형의 계산은 어떤 격자점에서 쇄파한 경우에는 주파향을 가지고 다음의 진행방향 좌표까지의 거리를 계산한다. 그리고 쇄파감쇠속도계수의 변화는 이의 거리에 의행 산정한다. 이때, 주파향 선으로부터 바로 옆 격자점까지의 거리에 반비례한 값을 취한다. 이것은 파랑의 진행방향으로부터 거리가 가까울수록 쇄파의 영향이 크게 되기 때문이다. Kd 를 산정한 후 쇄파에 의한 에너지 감쇠를 고려한 에너지 지배방정식을 푼다. 방향 스펙트럼의 함수형상은 변화하지 않는다고 가정하나 에너지 레벨은 파에 비례하여 저하시킨다.

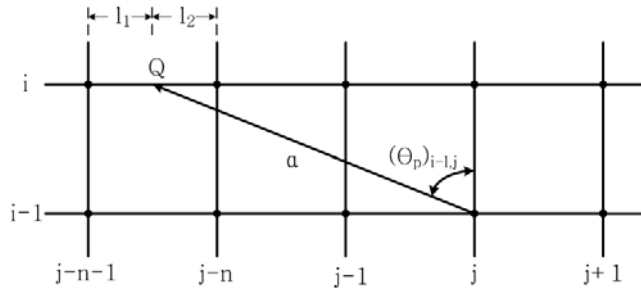


그림 4.16 주파향선의 진행위치 좌표

그림 4.16은 하나의 진행파향 좌표의 사이에서 주파향의 길이 및 진행위치를 결정하는 방법을 보인 것이다. 여기서, n 은 정수, $(Qp)_{i-1, j}$ 는 주파향의 각도 (≥ 0), a 는 주파향선이다. 먼저 $(i-1, j)$ 의 격자점 p 로부터 주파향 $(Qp)_{i-1, j}$ 로 진행하는 주파향선 a 의 격자선상에서는 $j-n$ 과 $j-n-1$ 의 사이의 점 Q 에 도달한다고 하면, 이의 격자수의 n 은 다음의 식으로 구해진다.

$$n = -int \left[\frac{\Delta\chi \tan(\theta_p)_{i-1, j}}{\Delta y} \right] \quad (4.13)$$

여기서, int 는 $[]$ 내의 값을 넘지 않는 최대의 정수를 나타내며, 거리 \overline{PQ} 는 다음과 같이 구해진다.

$$\overline{PQ} = \frac{\Delta\chi}{\cos(\theta_p)_{i-1, j}} \quad (4.14)$$

주파향선이 Q 점에 도달함으로써 쇄파감쇠의 영향은 $(i, j-n)$ 및 $(i, j-n-1)$ 의 2점에 끼친다. 이 2점에 대한 쇄파감쇠계수의 변화는 식 (4.15)로 산정한다.

$$(\Delta K_d)_{i,j-n}^* = \delta_{i,j-n} \frac{\overline{PQ}}{LL} (K_d)_{\max} \quad (4.15)$$

$$(\Delta K_d)_{i,j-n-1}^* = \delta_{i,j-n-1} \frac{\overline{PQ}}{LL} (K_d)_{\max}$$

여기서, δ 는 보정계수이며, Q 점과 근접하는 2개의 격자점의 거리에 따라 다음과 같이 정한다.

$$\delta_{i,j-n} = \frac{l_1}{\Delta y}, \quad \delta_{i,j-n-1} = \frac{l_2}{\Delta y} \quad (4.16)$$

여기서, LL 은 쇄파대내의 천이거리이며 권등(1996)의 일방향 쇄파모델과 같이 $LL = H'o / \tan(s)$ 로 설정했다. $\tan(s)$ 는 i 방향의 사면구배이다. $(Kd)_{\max}$ 는 쇄파 감쇠계수의 최대치이며 권 등(1996)의 일방향 모델과 같이 0.2로 설정했다.

주방향의 각도가 0의 경우는 n 이 0로 되어 거리 \overline{PQ} 는 ΔX 와 같게 된다. 더욱이 i 의 격자선상에서는 근접하는 두 개의 격자점 사이에 $i-1$ 의 격자선상의 복수의 격자점으로부터의 주파향선이 도달하는 것을 생각할 수 있다. 이와 같은 경우에는 각각의 주파향선의 쇄파감쇠계수의 변화분을 합계한다.

4.3.3 설계 위치 지점의 천해설계파고 산정

구조물 설치 위치 설정에서부터 최적 배치안 결정 단계는 해안선 보호라는 가능성을 만족할 때 까지 반복수행을 통하여 진행한다. 단, 위치선정은 설계파에 대하여 비쇄파대가 대상이 되었다. 천해 설계파 산정은 이러한 반복 수행 과정에서 구조물 설치 위치의 파고 및 주기 정보를 생산한다.

실해역 대상지역인 초산리 일대의 전면 해안은 개방형으로써 비교적 계산이

간단한 에너지 평형 방정식을 기초로 한 모델을 운영하는 것이 수월하다. 본 연구에서는 3차원 다방향 쇄파 모델인 권 혁민(1988)의 수치해석 프로그램을 사용하여 천해 설계파를 산정하였다. 입력자료는 "심해설계파 추정 보고서Ⅱ (한국해양연구원 2005)" 부록H. 최종 설계파 추산결과로 부터 심해 설계파 파고 7.58m, 주기 12.21sec, 방향 E 그리고 모델입력 자료로써 방향집중도 S_{max} 는 10, 방향분할수 4개, 주파수 분할 6개, 계산격자는 파 진행 방향을 바라보면서 가로 300개, 세로 300개 이며 격자간격은 가로 54m, 세로 51m 이다. 계산결과는 그림 4.17와 그림 4.18에 나타나 있다.

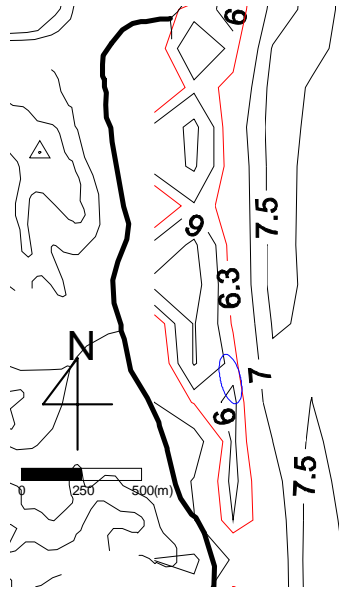


그림 4.17 파고 분포도

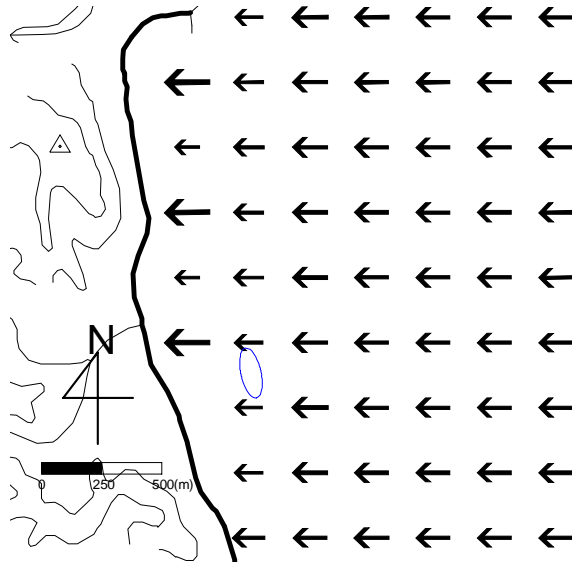


그림 4.18 주파향 벡터도(파향 E)

그림 4.17은 계산에 의한 파고 분포도를 보인 것이다. 철재형 이안제 설치 위치점은 타원으로 표시했으며 파고는 $6.216m$ 이고 설계파고 $7.58m$ 에 대하여 약 82%에 해당하는 비쇄파조건이다. 주파향은 그림 4.18에 보인 바와 같이 해안선에 대하여 E 방향을 유지하고 있다. 설계파는 철재형 이안제의 안정성 확보 여부를 판단할 수 있는 외력조건으로써 입사각이 직각에 근접하므로 평가가 수월하리라 기대된다.

안정성 확보를 위해서는 설계파를 대상으로 검토하며 기능성 검토도 동시에 한다. 왜냐하면 설계파 내습시 淺深방향(*on-off shore*) 표사이동을 억제하기 위하여 만족할 정도의 파고를 감쇠시켜야 한다. 논문의 최적 배치안은 천해 설계파와 계절별 빈도파를 외력조건으로 선택하여 결정한다. 본 연구에서는 설계파의 투과율 75%를 목표로 투과파고가 $4.66m$ 가 되도록 수평형 이열 유공판의 폭을 $12m$ 로 결정하였다.

4.4 실패역 대상 배치안 설계

철재형 이안제의 설치 예정지역은 경상북도 울진군 초산리 일대로 200m 길이의 철재형 이안제를 수심 3.8m지점에 설치한다. 해저면 변화 수치모형 실험에서의 입사파랑 조건은 해양연구원에서 제공한 30년 빈도 파랑 중 설치 예정 지역에 가장 큰 성분으로 유입하는 파향 성분(파고 7m, 주기 11.5sec, 파향 E)에 대하여 수행한다. 미국 플로리다의 경우 침식관리선(ECL; Erosion Control Line)이 30년간의 침식을 적분을 통하여 결정되는 것을 감안하여 30년 빈도 파랑에 대하여 수치모의 되었다.

본 연구에서는 실패역 대상 배치설계를 하는데 있어서 이안제의 투과율이 배후공간의 보호 기능에 미치는 영향을 살펴보기 위한 것으로 동일 파랑 입사 조건과 동일한 0.1의 소산율 하에서 0, 30, 60, 100%의 4가지 투과율에 대하여 *case study*를 실시한다.

표 4.7 파랑조건과 투과율에 대한 Case별 조건

파랑조건	투과율(%)			
	0(완전차단)	30	60	100(완전투과)
파고 : 7m 주기 : 11.5sec 파향 : 90° (E)	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4

투과성 이안제는 같은 위치에 설치되어 동일한 파랑조건을 받아도 투과성 철재형 이안제의 경우 공극율 및 공극의 배치, 폭 등에 의하여 다양한 투과율을 구현할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 투과성 이안제에 대하여 적용할 수 있는 해저면 변화 모형을 이용하여 투과율이 100%에 해당하는 이안제가 없는

경우와 파랑 에너지 및 토사의 이동을 완전히 차단하여 투과율이 0인 불투과성 이안제가 놓인 경우 그리고 임의로 30과 60%의 투과율에 해당하는 이안제가 놓인 경우 해저면 변화에 어떤 영향을 미치는 지 살펴본다. 그림 4.19는 투과율 60%인 이안제가 놓였을 때의 해저면 변화 수치모의 결과이다.

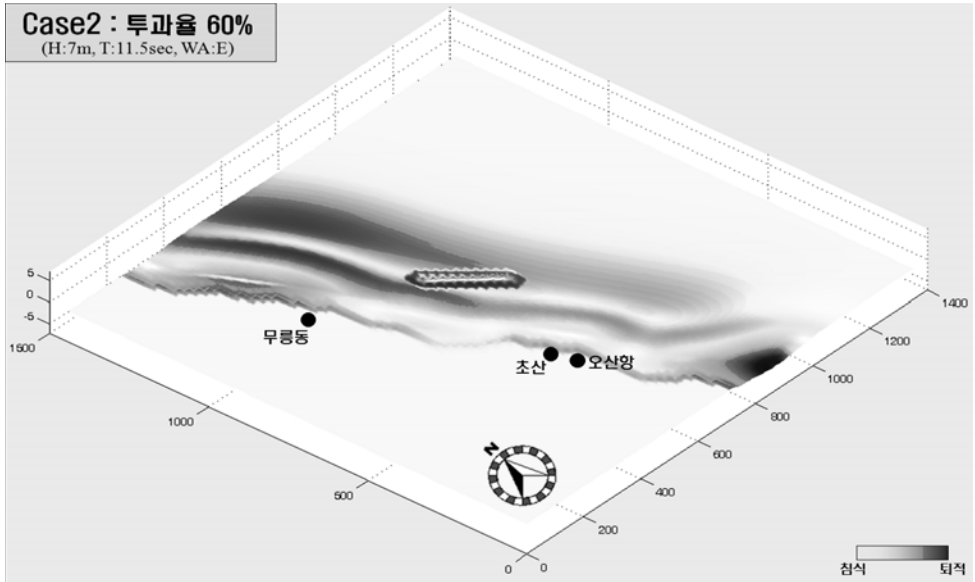


그림 4.19 투과율 60%일 때의 해저면 변화 수치모의 결과 (unit : m)

이안제 설치지역을 중심으로 각 케이스별로 해저 지형이 평형상태가 된 후의 단면을 비교하였다. 그림 4.20은 투과율에 따른 이안제 설치지역 북단, 이안제 중앙부, 남단의 해저지형 단면을 따라 해저면 변화 Δz (음수: 침식; 양수: 퇴적)를 도시한 것으로 동일한 파랑 조건이 상당히 지속되었을 경우에 얻은 결과이다. 이안제의 투과율이 커질수록 연안사주(longshore bar)의 형성이 우월하며 북향으로의 토사이동이 원활해 보인다. 그러나 이안제의 투과율이 작을수록 이안제 후면의 전반에서는 토사의 침식이 둔화되지만 주변해안의 전반에서는 상대적으로 침식이 더 발생되고 있다. 특히 그림 4.20b에서와 같이 투

과율이 30, 60%라도 이안제의 설치로 이안제가 설치된 배후 해안에서 파랑 작용에 의한 해안 침식이 상당히 둔화되는 역할을 하고 있다.

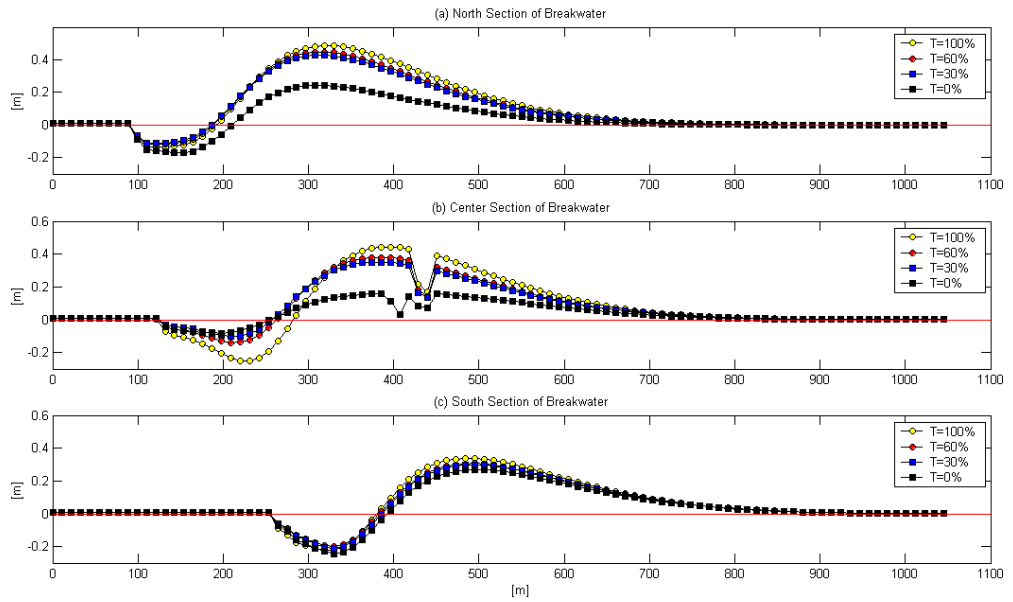


그림 4.20 이안제 설치지역 (a) 북단, (b) 중앙부, (c) 남단의 단면을 따라
해저면 변화 (-: 침식; +: 퇴적)

4.5 파압분포 검토

유공판에 작용하는 파압검토는 파일의 안정성과 판의 안정성을 파악하기 위한 기초자료의 생산을 위하여 수행하였다. 파압분포 검토는 그림 3.1에 보인 바와 같이 연직 외력 1과 연직 외력 2를 생산하기 위한 단계이다. 파압은 철재형 이안제 구조물의 기둥과 수평형 이열 유공판에 작용하게 되지만 본 장에서는 주로 수평판에 작용하는 파압분포를 검토하고자 한다. 기둥에 작용하는 파압에 관해서는 제 6 장의 상부구조물 설계 단계에서 논의하고자 한다.

본 연구에서는 파압분포 검토를 위하여 수리모형실험을 수행하였다. 파압측정을 위한 수리모형실험의 축척은 실험수조의 조건을 고려하여 1/30로 정하였다. 표 4.8은 실험조건에 대한 실험 조건을 보인 것이다.

표 4.8 실험조건에 따른 파압측정 실험 제원(1/30 축척)

제 원	실험조건	실험 조건
폭, w	12 m	0.4 m
수심, h	9 m	0.3 m
주기, T	12 sec	2.2 sec
설계파고, $H_{(1/3)}$	6.2 m	0.207 m

철재형 이안제의 설치 지점의 실험조건인 표 4.8에 보인 바와 같이 수심 9m, 주기 12.21sec에 대한 그림 4.2, 그림 4.3의 상대수심에 따른 투과율 수치 해석을 통하여 상대수심 kh 0.5에 대한 투과율은 약 75%정도의 변화를 보이고 있으며, 본 연구의 철재형 이안제 설계는 목표 투과율을 75%로 하여 설계에 반영하기로 한다.

본 실험은 불규칙파를 사용하지 않고 설계파고를 규칙파로 하여 재현하고자 하였다. 이때, 파고·수심비 $H_{(1/3)}/h$ 가 약 0.7이며 조파가 가능하다고 판단된다. 실패역 조건과 실험 조건은 동일하게 환산심해 파형경사 $H'_0/L_0 = 0.025$ 가 되며 풍파영역에 해당됨을 확인하였다.

파압측정은 그림 3.1에 보인 바와 같이 수리적 성능검토에서 상부 구조물 설계와 하부 기초 설계에 정보를 제공하기 위한 단계이다. 파압을 측정하기 위한 목적은 구조물의 안정성과 안전성을 확보하기 위한 정보를 제공하기 위함이다. 전체적인 파압측정의 모식도는 그림 4.21에 보는 바와 같이 계측을 위하여 파압계와 로드셀을 동시에 측정하였으며 파압계 자료를 중심으로 로드셀의 자료는 검증자료로 활용하였다.

파압계의 자료는 분석을 통하여 지점별 최대파압으로부터 설계하중을 산정하였으며 시간별 최대하중은 각 지점에 최대하중이 작용할 시 다른 지점에 작용하는 동시파압자료를 나열하였다.

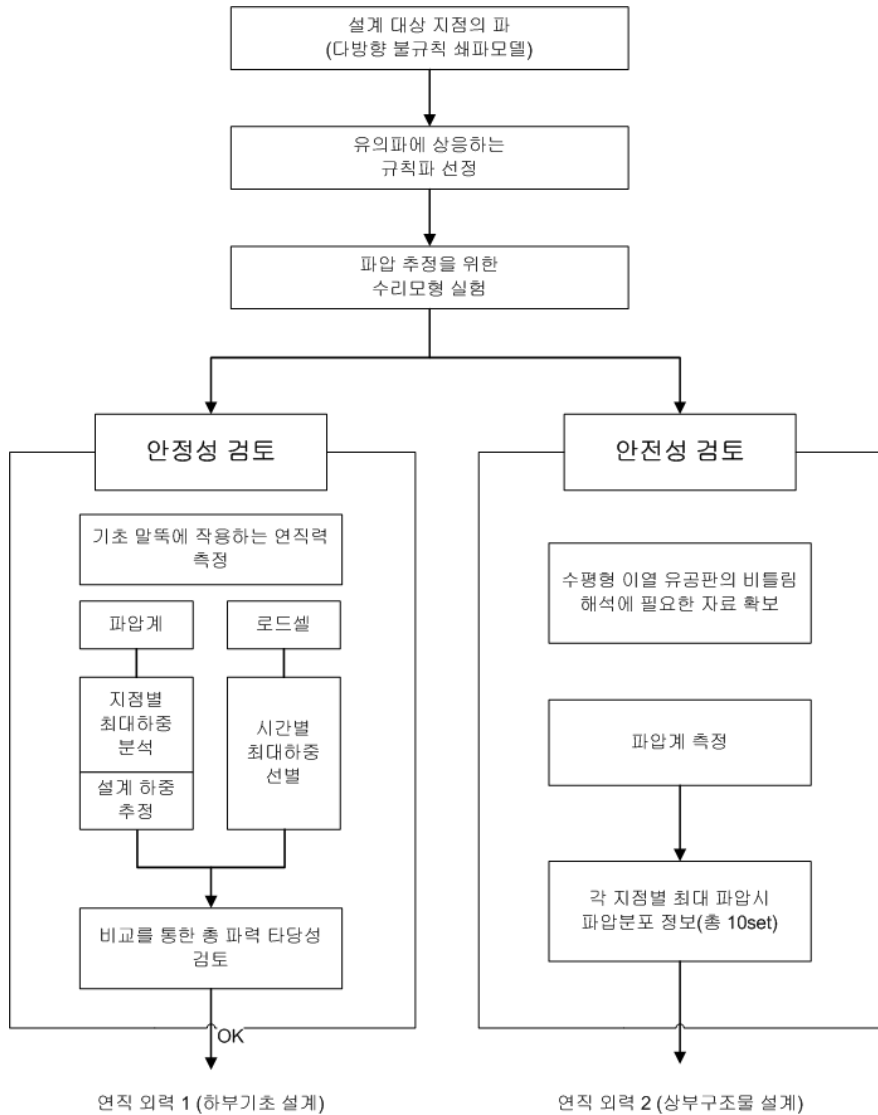


그림 4.21 파압실험 순서

4.5.1 파압추정을 위한 모형거치 및 실험방법

소파관에 작용하는 파압을 측정하는 실험에서는 파압계와 로드셀을 이용하여 측정한 후 비교하여 검증하고자 한다. 로드셀 측정 범위를 예측하기 위해

여 *kee*(2006) 등이 개발한 해석 프로그램을 이용하여 유공판에 작용하는 힘을 계산하였다. 계산조건은 표 4.8에 보인 실험조건이며 상하 유공판의 유공율은 동일하게 7%이다. 그림 4.22은 *kee* 등에 의한 계산결과를 보여준다. 유공판에 작용하는 주력은 파진행방향의 연직성분이며 연직하향력은 하중으로 작용하며 연직상향력은 양력으로 작용한다.

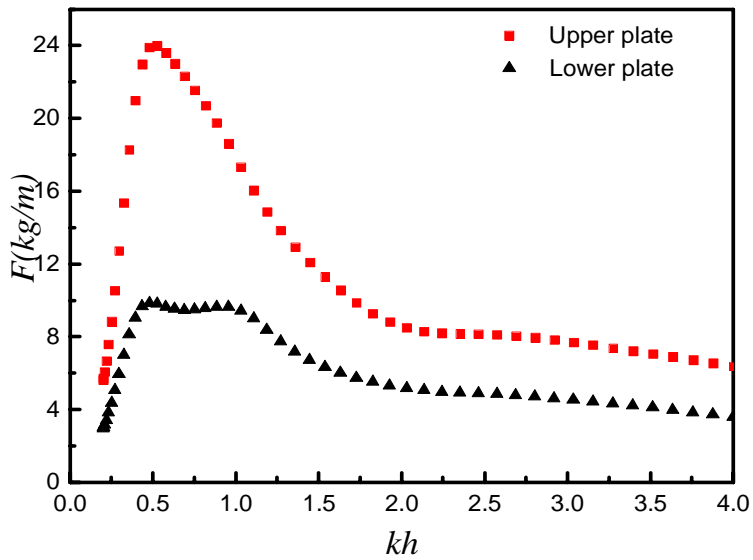
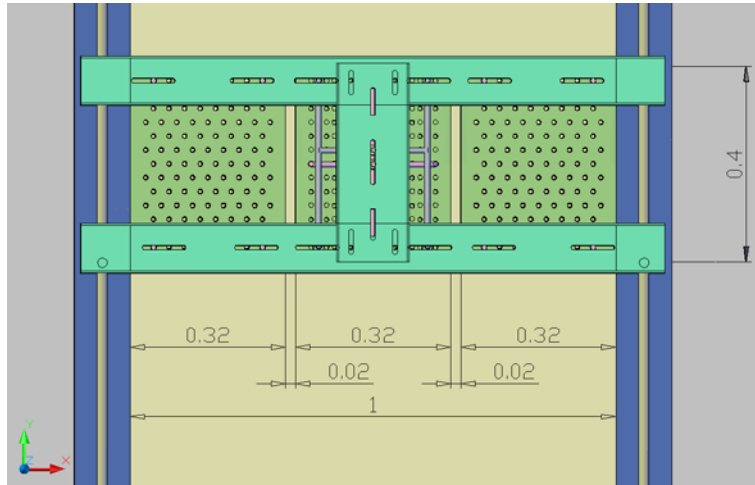


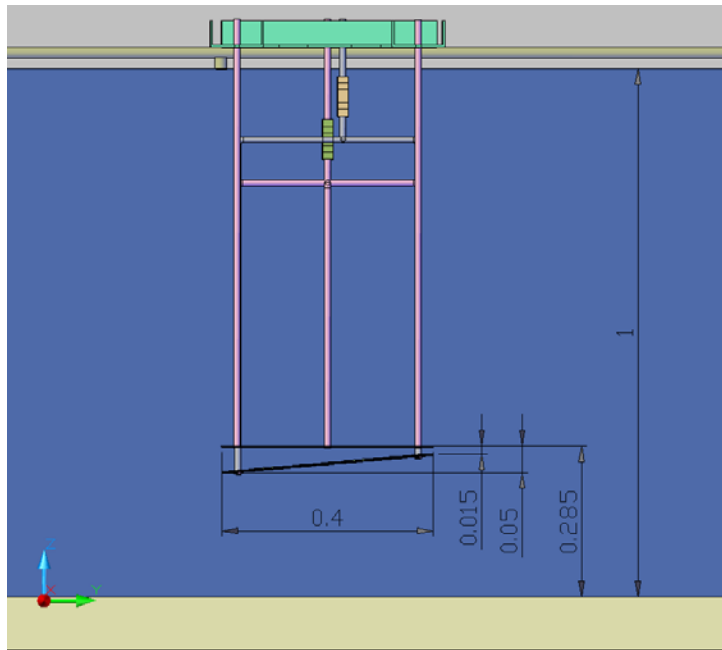
그림 4.22 상대수심 kh 에 따른 하중분포

그림 4.22에서 보는 바와 같이 수평형 이열 유공판에 작용하는 파력은 하판보다 상판에 더 크게 작용하는 것으로 나타났다. 그림 4.22는 상대수심 kh 에 따른 단위길이당 하중을 보이고 있으므로 실험조건에 따라 파력을 산정할 수 있다.

본 실험조건은 $kh=0.521$ 에 해당하며 그림 4.22에서 상판에 작용하는 하중이 단위길이(m)당 $24kg$ 임을 알 수 있다. 설치하고자 하는 단면의 거치 형상은 그림 4.23에 보이는 바와 같다.

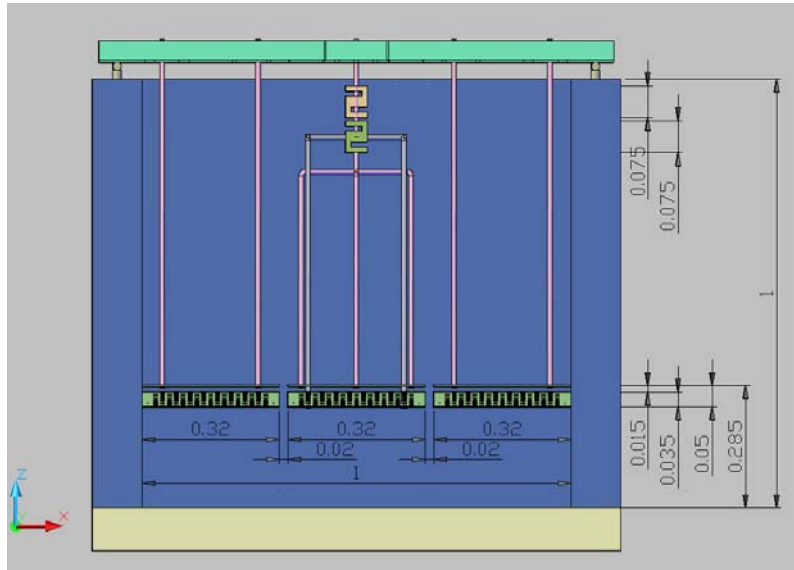


(a) 과압 실험 배치도(평면도)

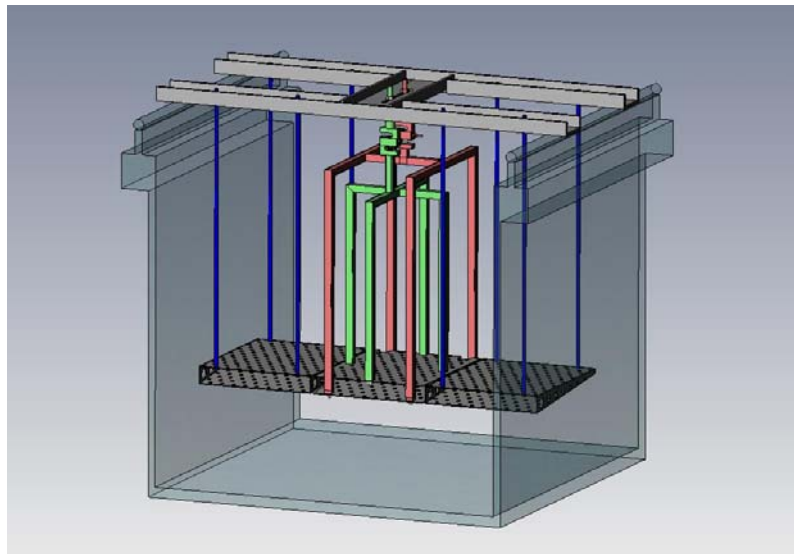


(b) 과압 실험 배치도(측면도)

그림 4.23 수평형 이열 유공관 거치 도면



(c) 파압 실험 배치도(정면도)

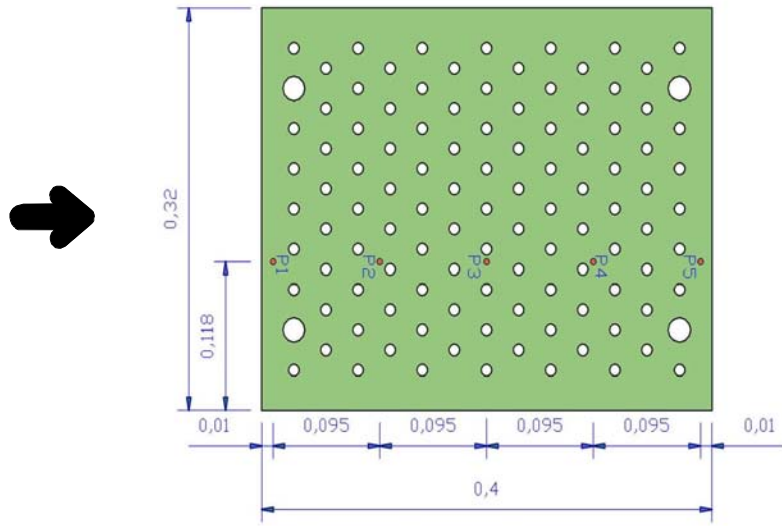


(d) 파압 실험 배치도(입체도)

그림 4.23 수평형 이열 유공판 거치 도면

그림 4.23 (a)의 평면도에서 보는 바와 같이 3등분한 유공판을 0.02m 간격으로 이격하여 가운데 판을 수조의 양끝단 지점으로부터 자유롭도록 하였다. 가운데 유공판은 수조 상단에 지지대를 설치하여 로드셀과 지지봉을 고정하였다. 양쪽 유공판은 상하 일체형으로 수조에 고정식으로 설치하였다. 그림 4.23 (c)의 정면도에 보이는 바와 같이 상판과 하판은 서로 연결되어 있지 않으며 각각 독립적으로 파압을 측정하였다. 상부와 하부 유공판은 각각 4개의 지지봉을 이용하여 독립된 묶음으로 조립되어 로드셀에 연결되어 있다. 로드셀은 상하에 압나사 형식으로 되어 있으며 상부는 지지대에 하부는 4개 지지봉과 상판 또는 하판의 무게를 지탱하고 있다. 그림 4.23에 보인 바와 같이 가운데 판의 하부 경사 유공판의 지지대는 투과율을 고려하여 직경 10mm로 결정하였다. 이때, 유공판의 상판에 작용하는 하중은 그림 4.22의 상술한 단위길이당 값을 가운데 판의 길이 0.32m로 곱하면 7.68kg이 된다. 이때, 유공판의 상판과 봉의 무게를 더하면 약 7.52kg이 된다. 따라서 로드셀에 작용하는 하중은 파에 의한 하중과 실험 부재의 하중을 더하면 15.2kg이 된다. 하지만, 측정은 실험실 여건상 200kg까지 켈 수 있는 로드셀을 사용하였다. 그림 4.23 (c)의 정면도에 보인 바와 같이 상판의 몰수심은 수심 0.3m에 대하여 5%에 해당하는 0.015m로 하였다.

파압에 관한 자료를 얻기 위하여 가용한 파압계 5개를 사용하여 상판상부 (Case 1), 상판하부 (Case 2), 하판상부 (Case 3), 하판하부 (Case 4)를 각각 독립적으로 측정하였다. 그림 4.24은 파압계가 설치된 위치를 보여주고 있다.



파압계 설치 위치 (평면도)

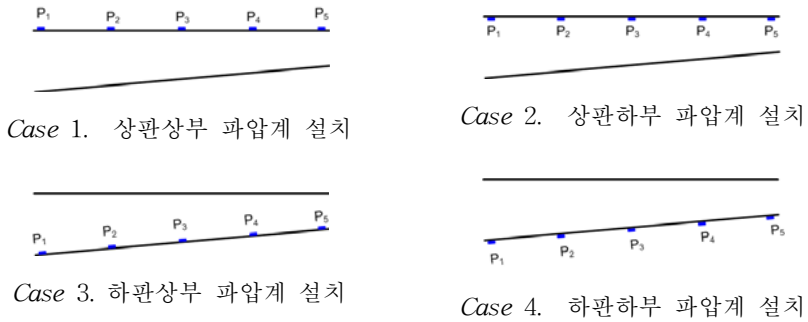
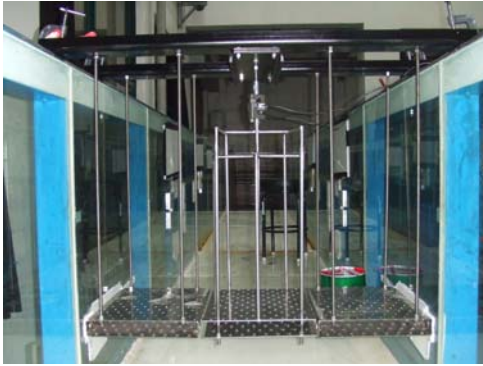


그림 4.24 파압계 설치 위치

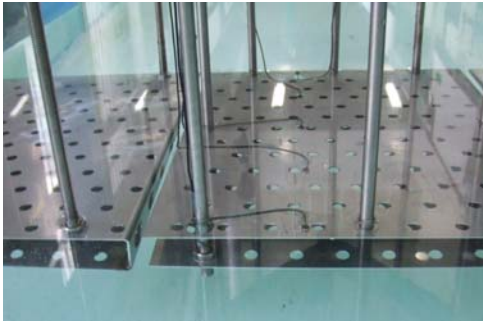
파압계는 그림 4.24에 보인 바와 같이 로드셀 연결봉을 피하여 약간 한쪽으로 치우쳐져 가운데판 수조벽 방향 끝단에서 0.118m가 되도록 폭방향으로 5개를 설치하였다. 유공판의 양끝점에서 1cm 안으로 P_1 번과 P_5 번 파압계 그리고 나머지 P_2 , P_3 , P_4 번 파압계는 등간격의 9.5cm로 배치하였다.



(a) 유공판 거치(앞)



(b) 유공판 거치(뒤)



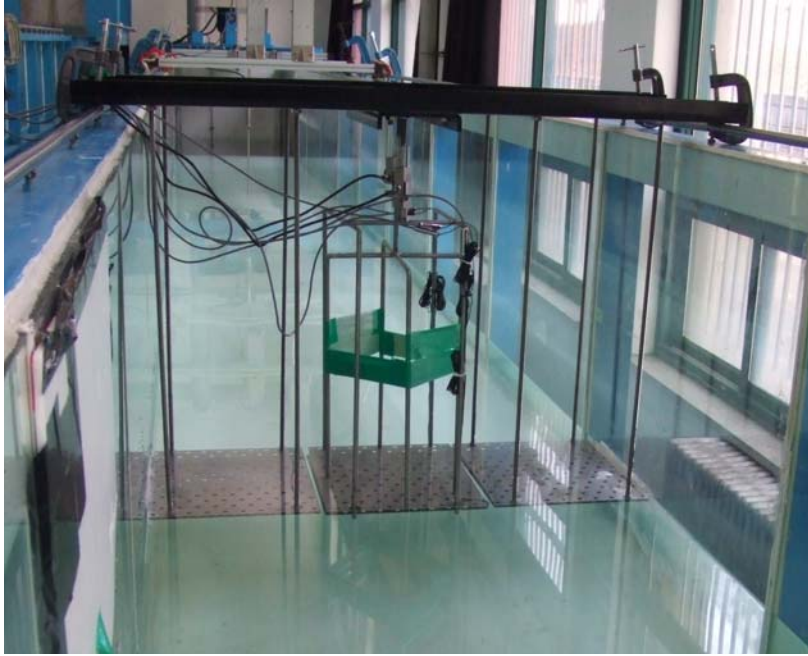
(c) 파압계 설치



(d) 로드셀 설치

사진 4.3 파압측정을 위한 거치

사진 4.3의 (a)는 파 진행방향의 거치 상태, (b)는 파 통과방향의 거치 상태, (c)는 파압계를 상판 상부에 설치한 상태, (d)는 로드셀을 유공판에 설치한 상태를 각각 보인 것이다. (c)에 보인 바와 같이 하판에서 올라가는 지지봉이 상판에 닿지 않도록 통과하는 부위의 상판구멍 직경을 봉 직경보다 약간 크게 하였다. 파압계는 P306제품을 사용했으며 양면 테이프를 사용하여 스테인레스 판에 부착시켰으며 파압계의 센서가 상방향을 향하도록 하였다. 하지만, 상판 및 하판의 하부는 센서를 아랫방향으로 하였다. (d)에 보인 바와 같이 로드셀은 지지봉을 이용하여 유공판의 상판과 하판에 연결되어 있으며, 하중 200kg을 측정할 수 있다.



(e) 전체 거치

사진 4.3 과압측정을 위한 거치

과압측정 실험시 입사파고에 의한 4개의 붕이 떨리는 것을 억제하기 위하여 상판 및 하판의 지지봉에 청테이프로 감아 구속하였다. 사진 4.3의 (e)은 수조에 단면을 거치하여 유공판의 지지봉에 청테이프로 감아 구속한 상태를 보인 것이다.

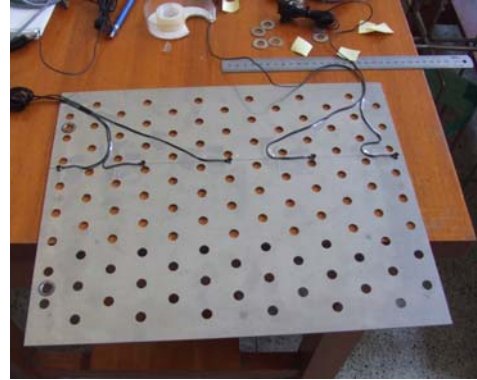
실험은 과압과 하중을 동시에 측정하였다. 과압계는 그림 4.24에 보인 바와 같이 총 5개(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)를 설치하여 동일한 유공판 위치에 상판상부, 상판하부, 하판상부, 하판하부 각각 5회에 걸쳐 측정하였으며, 과압은 초당 100개, 로드셀은 초당 1개의 자료를 얻을 수 있다.

상판상부, 상판하부, 하판상부, 하판하부의 매회 실험시 마다 사진 4.3의 (e)에 거치된 유공판을 (f)에 보인 바와 같이 유공판을 수조에서 분리하여 건조시킨 후 그림 4.24의 과압계를 동일한 위치에 (g)와 같이 양면테이프와 유리테

이프를 사용하여 고정시킨 후 (f)와 같이 조립 후 그림 4.23의 수평형 이열 유공판을 동일한 유치에 (e)와 같이 거치 후 매회 실험을 반복하여 실시 하였다.



(f)



(g)

사진 4.3 파압측정을 위한 거치

본 실험은 표 4.8에 보인 설계파에 상응하는 규칙파를 사용하였다. 규칙파를 사용한 것은 조파기 끝단에서 발생하는 반사파가 수평판을 역으로 통과하는 파에 의해 변형하여 조파판 전면에서 측정할 입사파고와 다른 파가 되므로 기준으로써 설정할 수 없다. 따라서 본 실험에서는 규칙파가 수평판을 통과하여 반사되기 전의 파압정보를 생산하여 구조물 설계에 반영하고자 한다. 따라서 본 파압정보는 실험실 실험을 통하여 불규칙파에 대한 파압정보 생산이 별도로 수행되어야 한다.

수조내 파고계는 모형의 전면부와 후부에 각각 1개씩 배치하였다. 그림 4.25는 수조내 모형과 파고계를 설치한 위치를 보인 것이다.

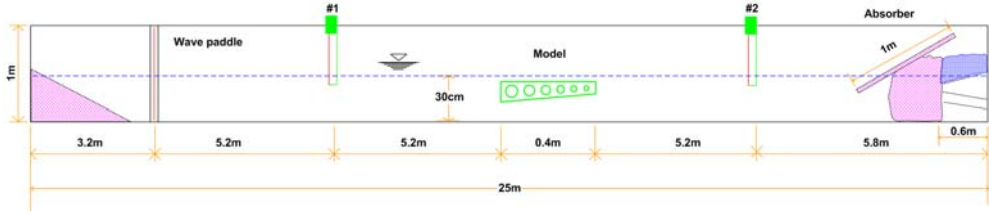


그림 4.25 측정을 위한 배치도

이 그림에서 보인 바와 같이 입사파 관측을 위한 전면부 파고계 #1과 후부 파고계 #2는 반사파를 허용하지 않는 범위 내에서 실험을 수행하고자 하며 각각 1개씩 설치하였다.

실험은 유의파에 상응하는 규칙파를 사용하였다. 더욱이 반사를 허용하지 않는 범위에서 모든 측정을 하고자 한다. 불규칙파를 사용할 경우는 일정시간 파의 지속시간이 필요하므로 필연적으로 조파관 후면의 반사파가 모형을 파진 행방향의 반대쪽에서 내습하여 모형위치지점에 중복파가 발생한다. 이때 반사율은 일반화된 정보가 아니므로 파압에 영향을 줄 경우 이를 보정하기가 불가능하다. 모형은 통과파 설정 후 거치하였다.

4.5.2 실험 분석을 위한 위상차 보정

본 실험은 상술한 바와 같이 가용한 파압계 5개를 활용하여 상판과 하판의 상하면을 독립적으로 파압을 계측하였으므로 파압계설치 지점의 자료에 대하여 위상차 보정을 하여야 한다. 또한 타당한 실험임을 확인하기 위하여 투과율에 대하여 기존의 성과와 비교하였다.

파압자료를 분석하기 전에 투과율을 기존의 성과와 비교하고자 한다. 본 실험에 의한 투과율은 김성중(2006)의 규칙파 수치계산결과, 권 혁민등(2008)의 불규칙파에 의한 실험식 등 2종류에 대하여 비교하여 타당성을 의론하고자 한다.

김성중의 수치계산을 위한 입력자료는 주기 2.2sec, 파고 20cm, 폭 $w=40\text{cm}$, 수심 $h=30\text{cm}$, 유공율 $P=7\%$ 를 조건으로 하였다. 그림 4.26는 상대수심 kh 에 대한 투과율 K_T 를 보인 것이다.

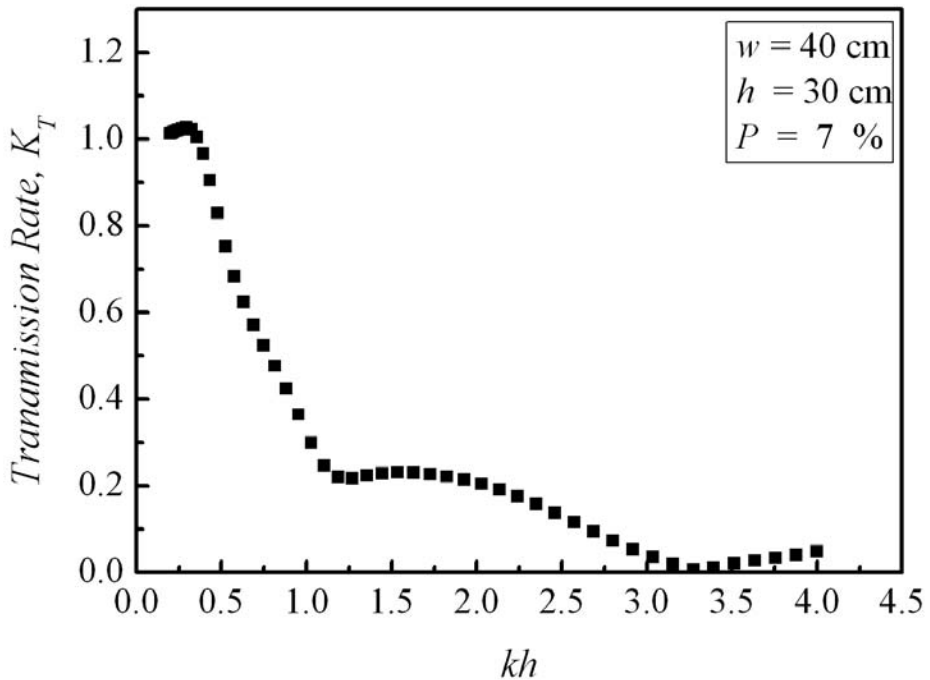
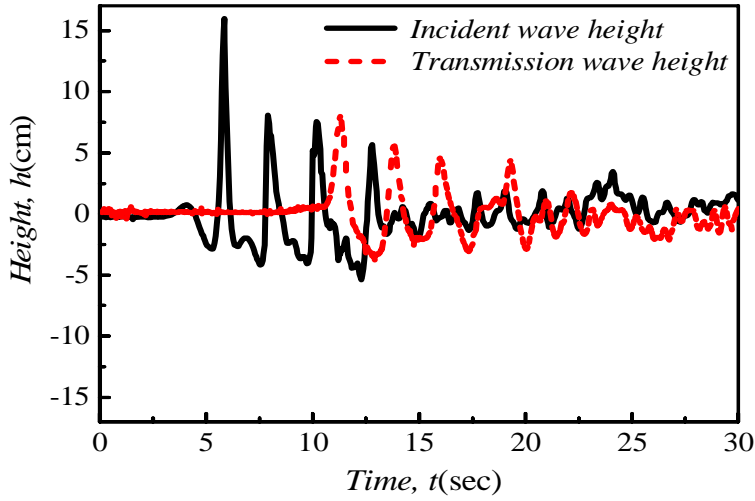


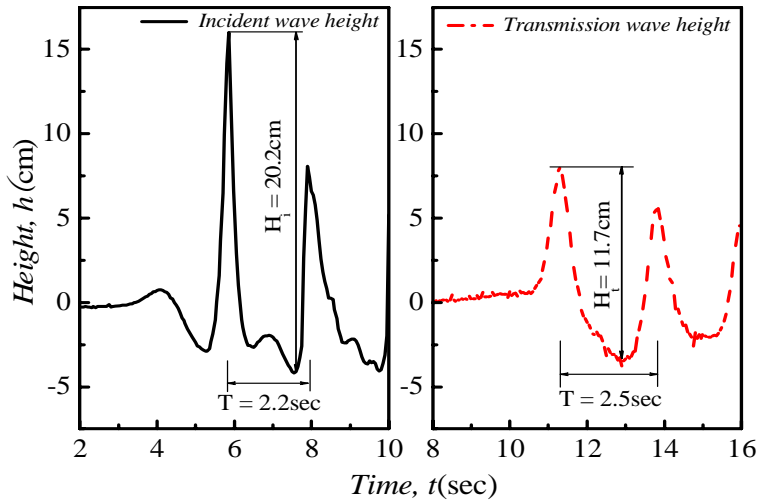
그림 4.26 상대수심(kh)에 의한 투과율

그림 4.26에 보인 바와 같이 $kh=0.521$ 에 대한 K_T 가 75%정도이며 이는 불규칙 파에 의한 결과인 그림 4.11의 폭-파장비 직선식에 보인 바와 동일한 K_T 값에 해당된다.

본 실험에 의한 K_T 값의 타당성 확인을 위하여 파형의 시계열을 분석하고자 한다. 그림 4.27은 파의 시계열과 파고결정을 위한 방법을 보인 것이다.



(a) 규칙파 투과율 실험



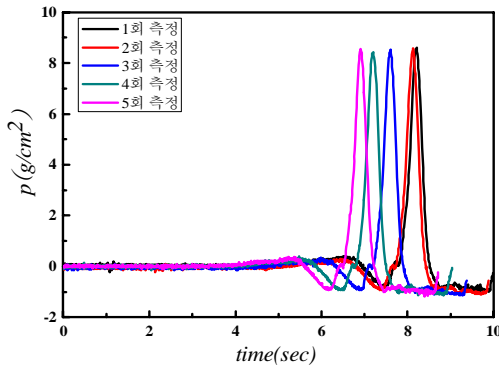
(b) 투과율 산정을 위한 파고결정

그림 4.27 규칙파의 투과율 실험

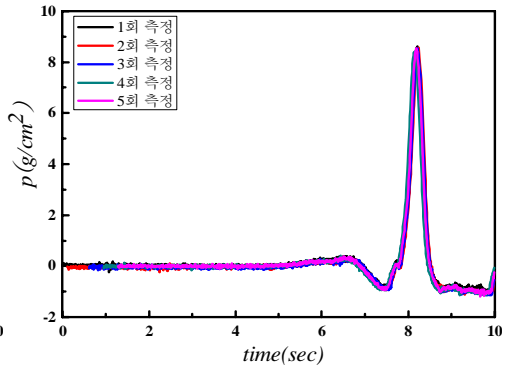
그림 4.27에 보인 바와 같이 투과율 산정을 위하여 시계열 중 가장 먼저 내습한 입사파와 가장 먼저 발생한 투과파를 대상으로 하였다. 규칙파 실험에서의 투과율 K_T 는 입사파고가 목표파인 20.7cm 에 가장 유사한 20.2cm 의 경우를 대상으로 계산하였으며, 파압분포 검토에서도 해당파를 적용하였다. 본 파는 실

해역의 유의파에 상당하는 규칙파의 파고이나 실험상 한계파임을 알 수 있다. 즉, 파압자료 생산을 위하여 주어진 수심에 대하여 거의 최대파고 H_{max} 를 대상으로 하고 있음을 알 수 있다. 본 규칙파실험에 의한 투과율은 58%로써 불규칙파 실험식과 김성중의 수치계산결과보다 17%정도 작게 나타난다. 이는 그림 4.26에 보인 바와 같이 반사를 허용하지 않은 조건과 입사파형의 강비선 형성에 기인된다고 추측된다. 즉 유공판 통과 후 전달파의 파형은 입사파에 비하여 선형적임을 알 수 있다. 따라서 입사파고가 크게 되며 전달파고는 상대적으로 작아져 K_T 가 작게 추산되고 있다.

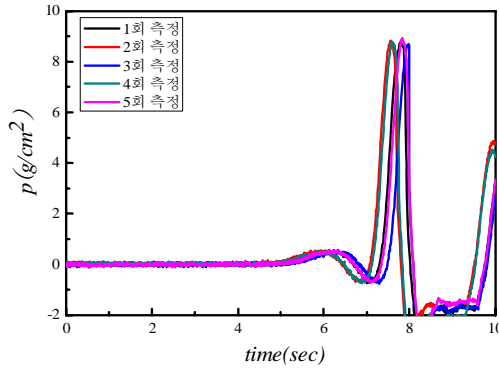
본 실험은 그림 4.24에 보인 바와 같이 5개의 파압계를 상판상부에 부착시킨 후, 파압계로부터 동일한 입사파에 대하여 동일한 크기와 형태의 파형을 얻을 수 있는지 확인하기 위하여 5번 반복실험을 수행하였다. 그림 4.28의 (a), (c), (e), (g)는 신호를 받은 시간에 따른 파압의 파형을 보인 것이며 (b), (d), (f), (h)는 파압최대치의 시간대를 일치시켜 위상차를 보정한 것이다.



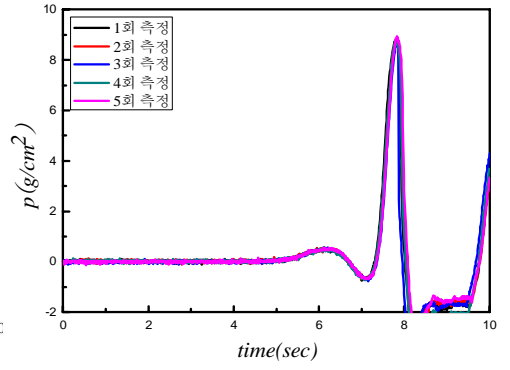
(a) 상판 상부 위상차 보정 전



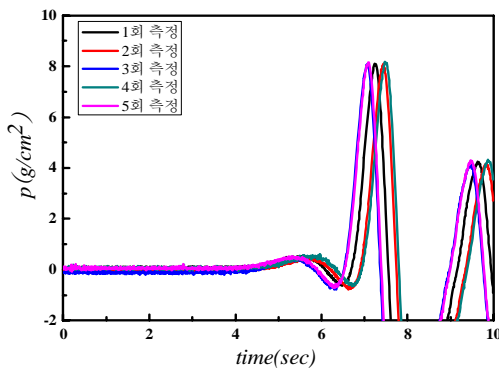
(b) 상판 상부 위상차 보정 후



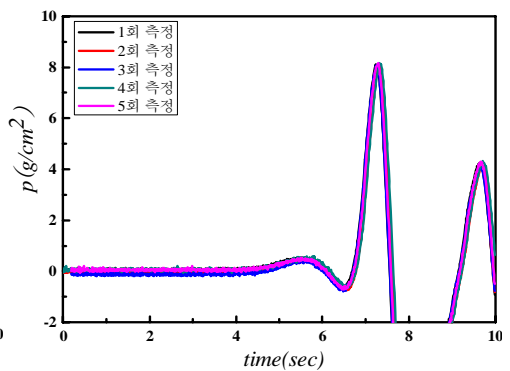
(c) 상판 하부 위상차 보정 전



(d) 상판 하부 위상차 보정 후

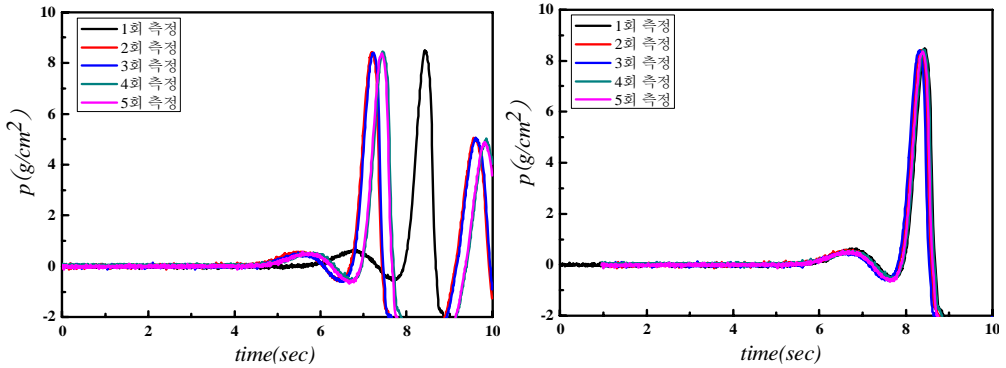


(e) 하판 상부 위상차 보정 전



(f) 하판 상부 위상차 보정 후

그림 4.28 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_1 지점)



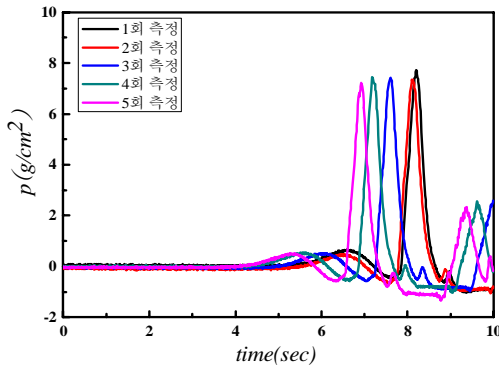
(g) 하판 하부 위상차 보정 전 (h) 하판 하부 위상차 보정 후

그림 4.28 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_1 지점)

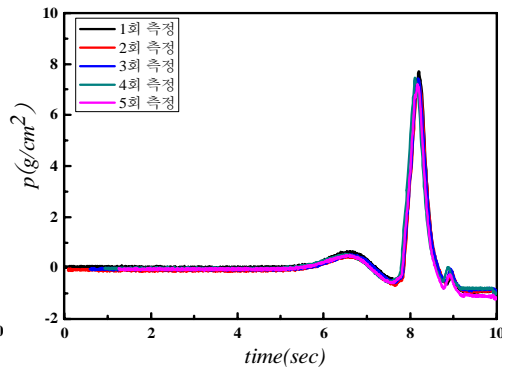
그림 4.28의 (a), (c), (e), (g)를 보면 알 수 있듯이 5회의 매 실험마다 실험자가 임의의 측정시간 시작점을 결정하므로 위상차가 발생한다. 이러한 위상차를 그림 4.28의 (b), (d), (f), (h)와 같이 1회째의 최대 파압시간대에 2~5회의 최대 파압시간대를 인위적으로 일치시켰다.

본 실험에서는 상판상부, 상판하부, 하판상부, 하판하부를 그림 4.28에 보인 바와 같이 그림 (a), (c), (e), (g)를 작성하여 유사한 파형이 발생하는 지 확인한 후 (b), (d), (f), (h)와 같이 위상차를 조절하여 모든 분석을 수행하였다. 위상차를 보정한 후 매시간대 별 5회의 평균값을 계산하였다.

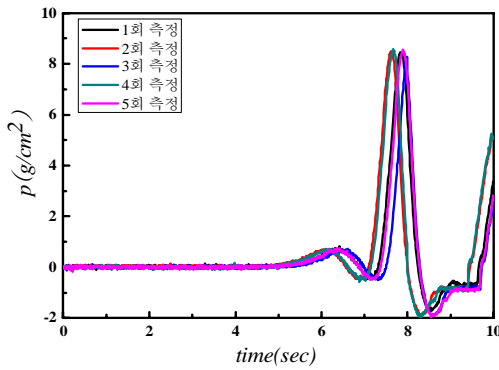
그림 4.29, 그림 4.30, 그림 4.31, 그림 4.32는 유공판 파압 실험의 P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , 게이지의 위상차 보정을 나타낸 것이다.



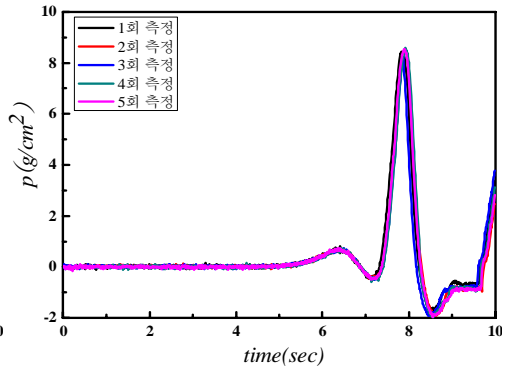
(a) 상판 상부 위상차 보정 전



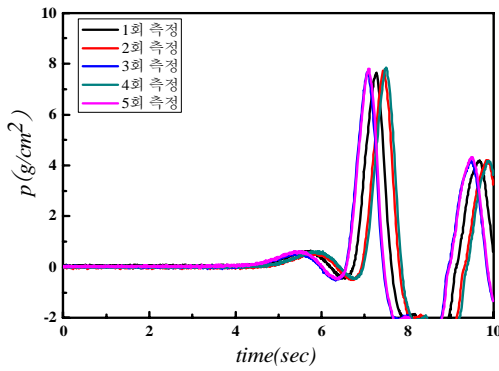
(b) 상판 상부 위상차 보정 후



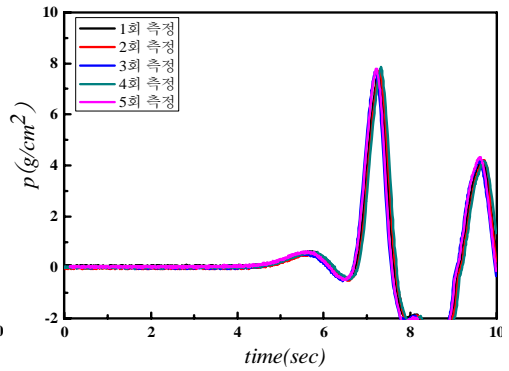
(c) 상판 하부 위상차 보정 전



(d) 상판 하부 위상차 보정 후

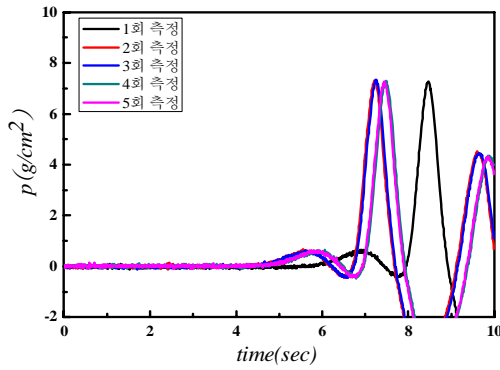


(e) 하판 상부 위상차 보정 전

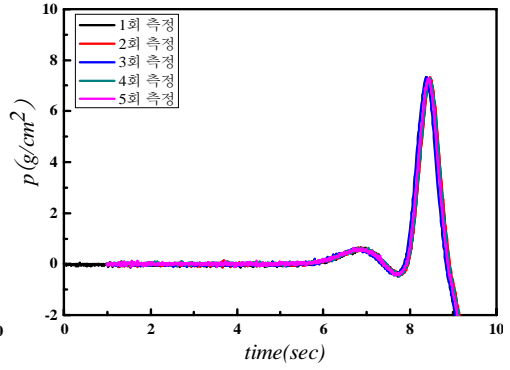


(f) 하판 상부 위상차 보정 후

그림 4.29 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_2 지점)

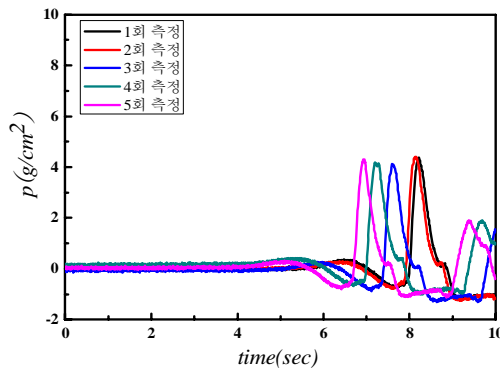


(g) 하판 하부 위상차 보정 전

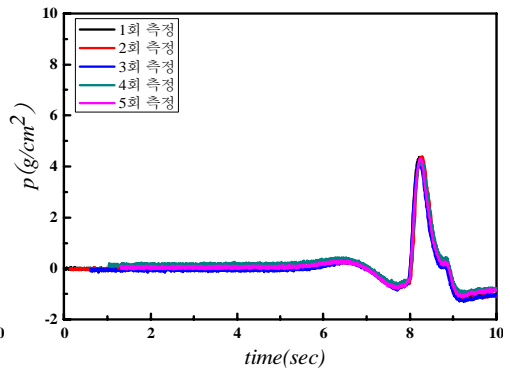


(h) 하판 하부 위상차 보정 후

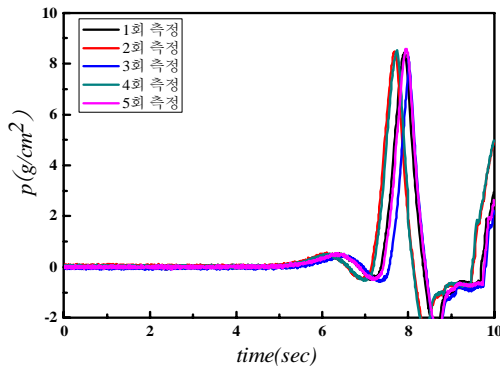
그림 4.29 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_2 지점)



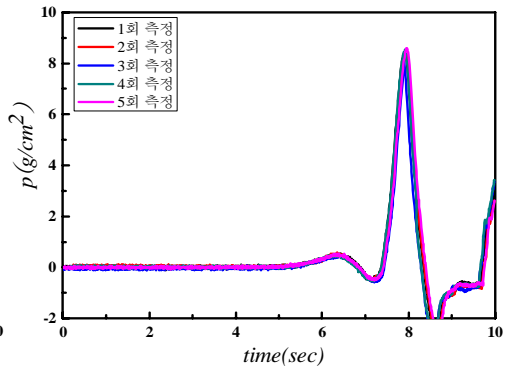
(a) 상판 상부 위상차 보정 전



(b) 상판 상부 위상차 보정 후

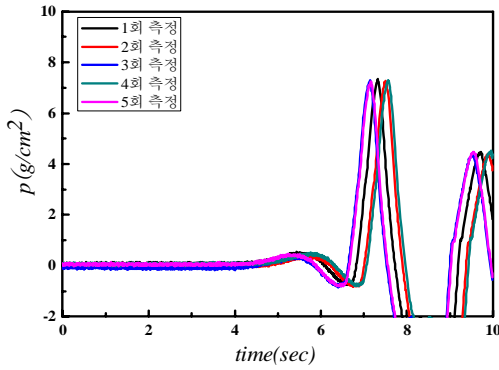


(c) 상판 하부 위상차 보정 전

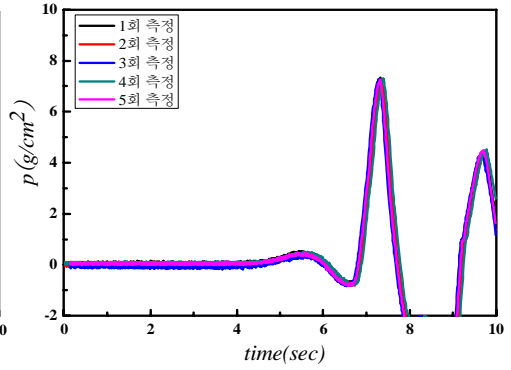


(d) 상판 하부 위상차 보정 후

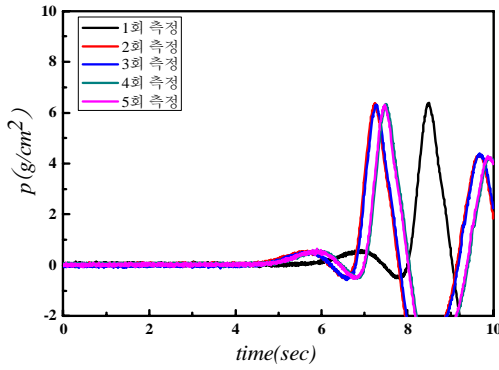
그림 4.30 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_3 지점)



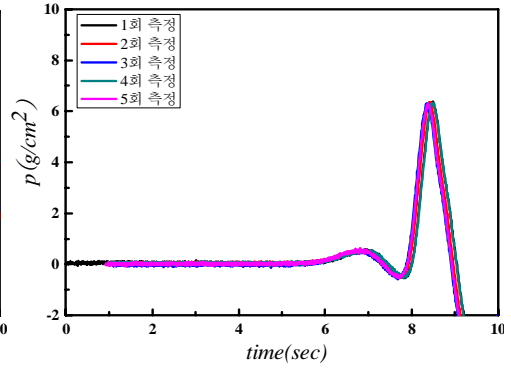
(e) 하판 상부 위상차 보정 전



(f) 하판 상부 위상차 보정 후

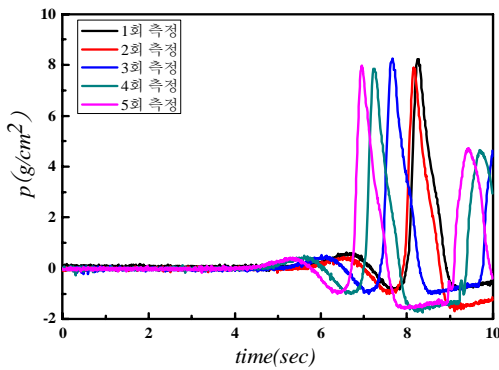


(g) 하판 하부 위상차 보정 전

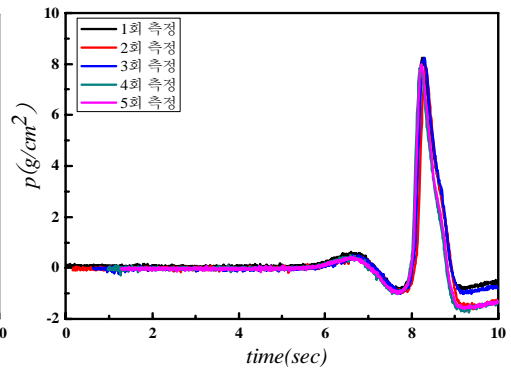


(h) 하판 하부 위상차 보정 후

그림 4.30 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_3 지점)

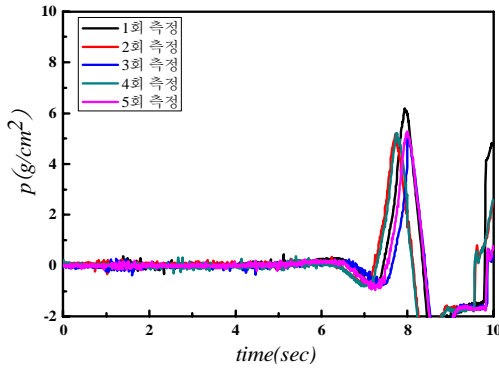


(a) 상판 상부 위상차 보정 전

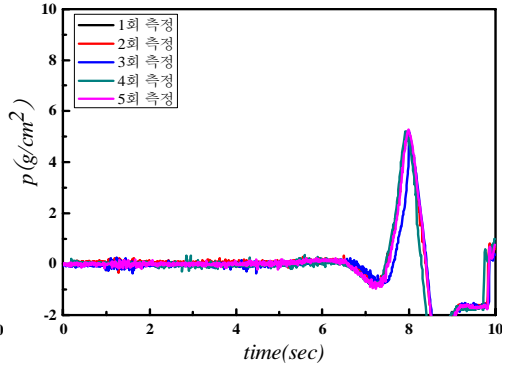


(b) 상판 상부 위상차 보정 후

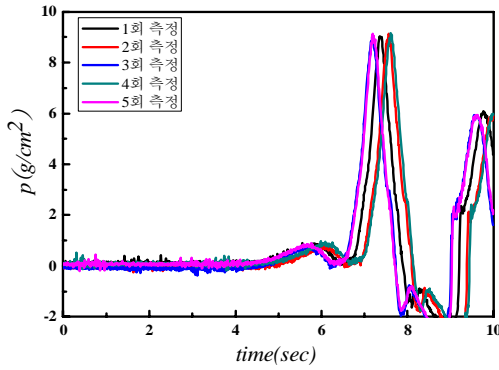
그림 4.31 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_4 지점)



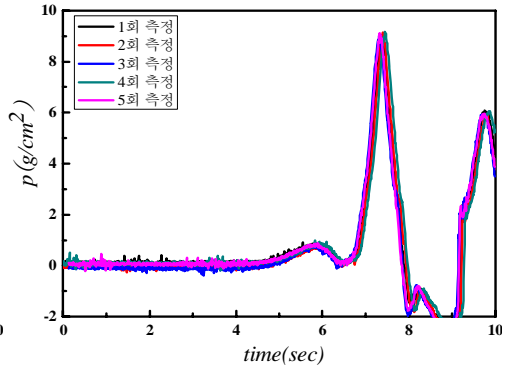
(c) 상판 하부 위상차 보정 전



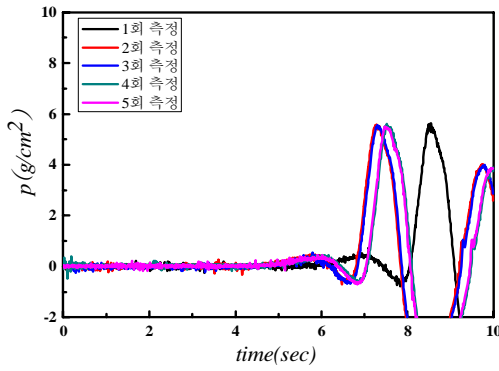
(d) 상판 하부 위상차 보정 후



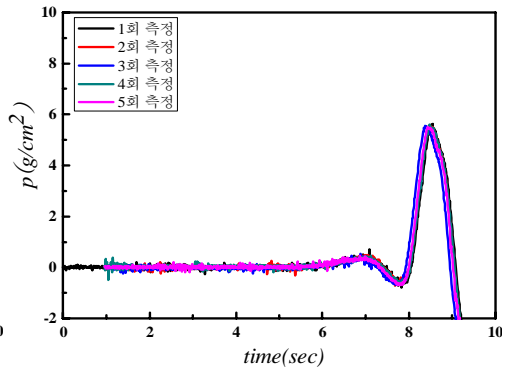
(e) 하판 상부 위상차 보정 전



(f) 하판 상부 위상차 보정 후

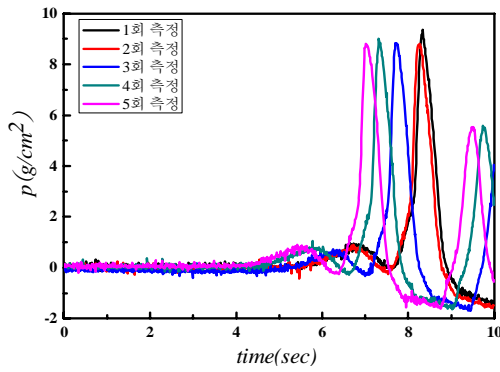


(g) 하판 하부 위상차 보정 전

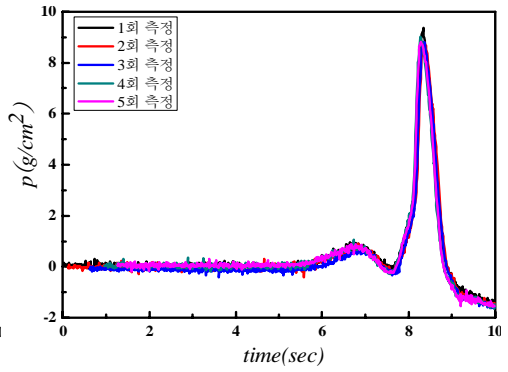


(h) 하판 하부 위상차 보정 후

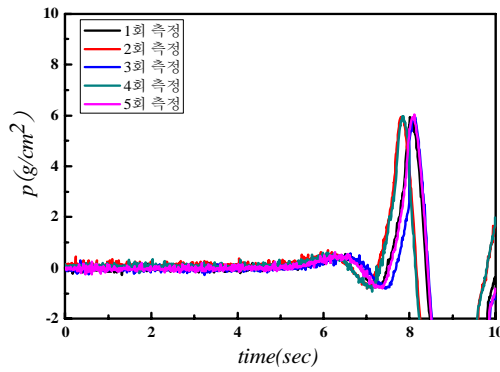
그림 4.31 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_4 지점)



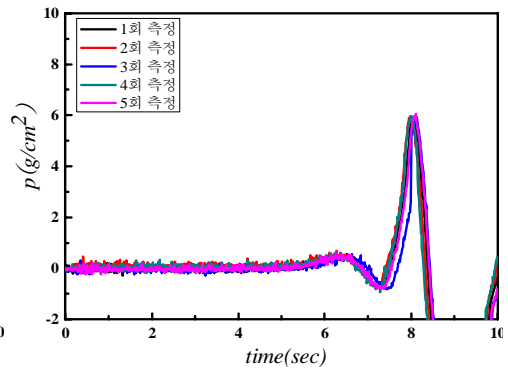
(a) 상판 상부 위상차 보정 전



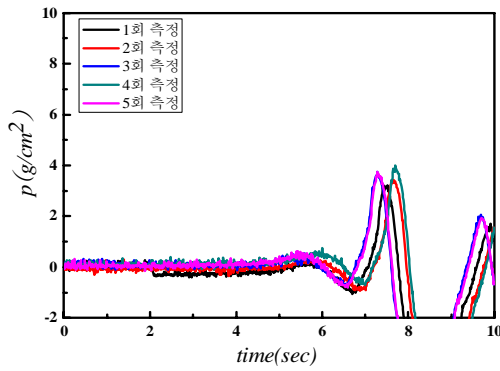
(b) 상판 상부 위상차 보정 후



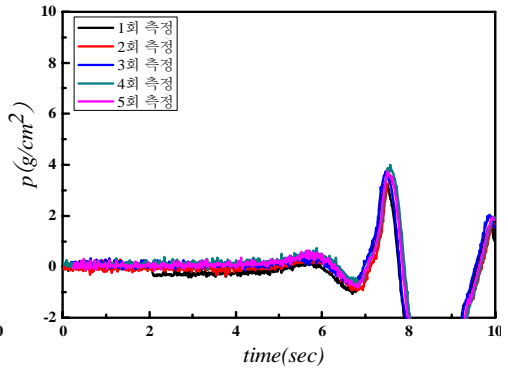
(c) 상판 하부 위상차 보정 전



(d) 상판 하부 위상차 보정 후

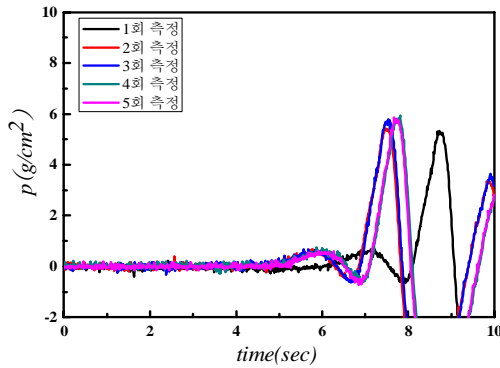


(e) 하판 상부 위상차 보정 전

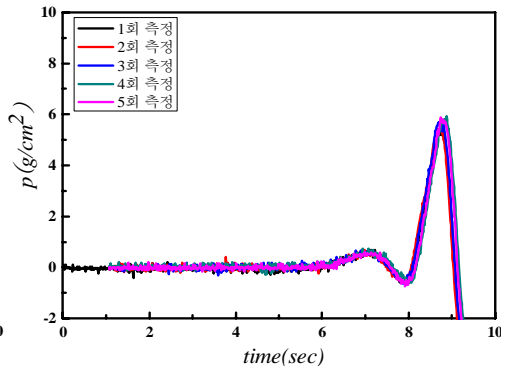


(f) 하판 상부 위상차 보정 후

그림 4.32 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_5 지점)



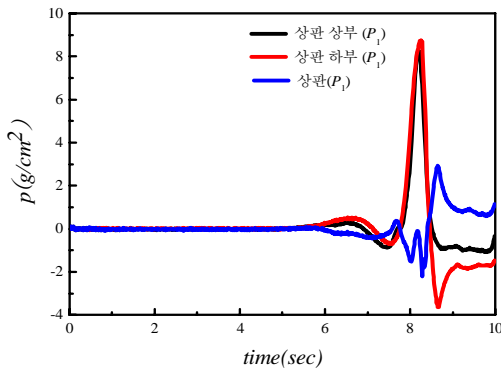
(g) 하판 하부 위상차 보정 전



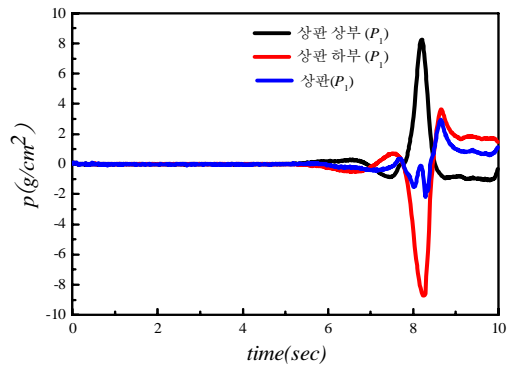
(h) 하판 하부 위상차 보정 후

그림 4.32 유공판 파압 실험 위상차 보정(P_5 지점)

상판상부, 상판하부, 하판상부, 하판하부의 위상차 보정 후 상판 및 하판에 작용하는 파압의 위상을 조정해야 한다. 그림 4.33(a)와 그림 4.34(a)는 상부판과 하부판의 상·하부 파압의 위상을 일치시키는 과정을 보인 것이다.

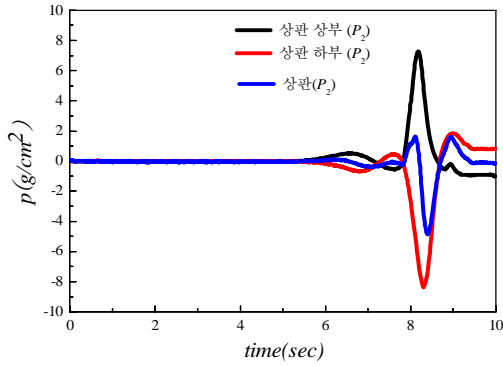


(a) 상판의 P_1 위상차 보정

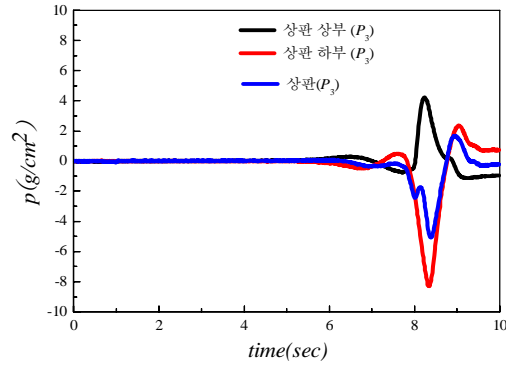


(b) 상판에 작용하는 P_1 지점의 파압

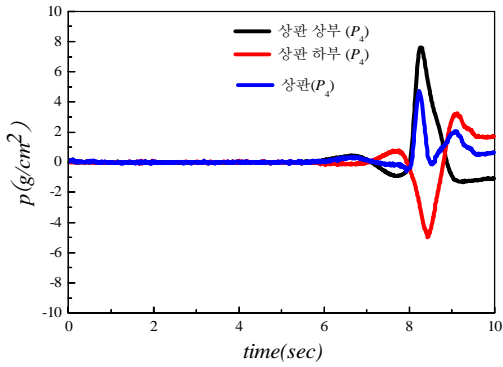
그림 4.33 유공판 상판에 작용하는 파압



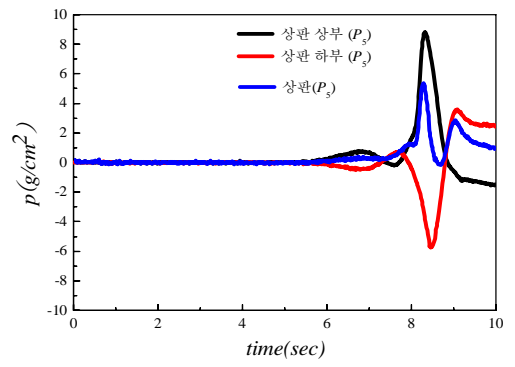
(c) 상판에 작용하는 P_2 지점의 파압



(d) 상판에 작용하는 P_3 지점의 파압

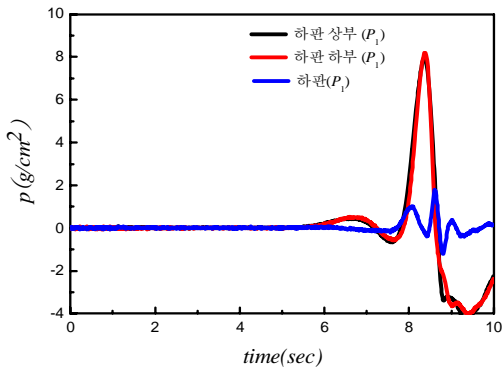


(e) 상판에 작용하는 P_4 지점의 파압

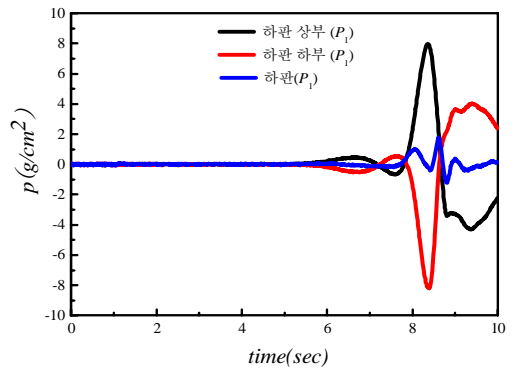


(f) 상판에 작용하는 P_5 지점의 파압

그림 4.33 유공판 상판에 작용하는 파압

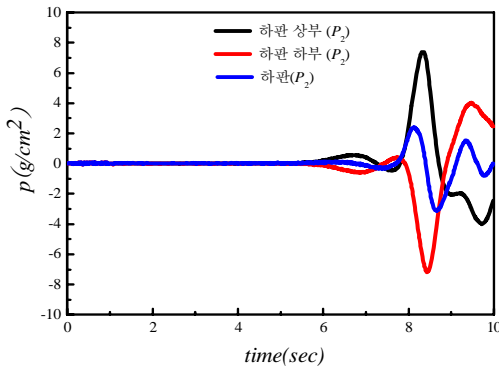


(a) 하판의 P_1 위상차 보정

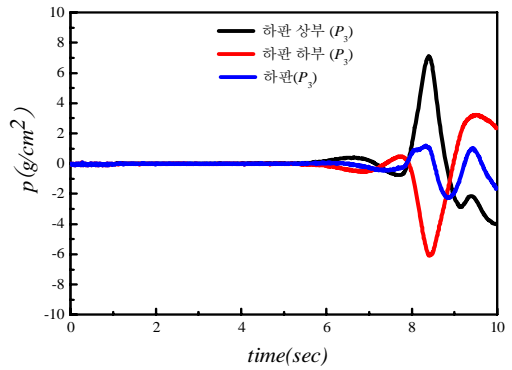


(b) 하판에 작용하는 P_1 지점의 파압

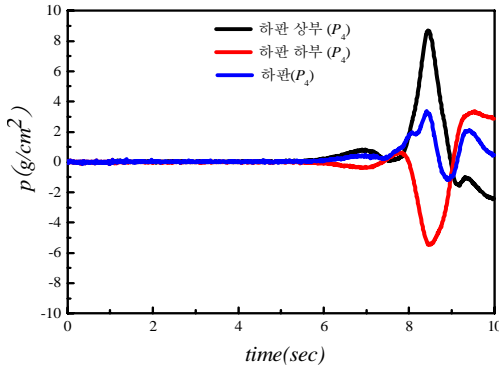
그림 4.34. 유공판 하판에 작용하는 파압



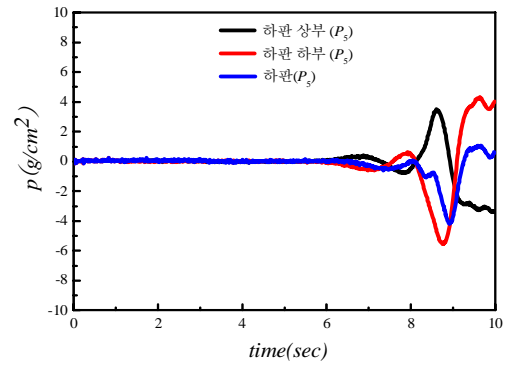
(c) 하판에 작용하는 P_2 지점의 파압



(d) 하판에 작용하는 P_3 지점의 파압



(e) 하판에 작용하는 P_4 지점의 파압



(f) 하판에 작용하는 P_5 지점의 파압

그림 4.34 유공판 하판에 작용하는 파압

그림 4.33(a)와 그림 4.34(a)에서 위상차 보정은 (a)와 같이 상판의 상부와 하부, 하판의 상부와 하부를 각각 부호를 동일하게 가정하여 P_1 지점의 최대치를 일치시킨 후, 일치된 위상을 가지고 (b)와 같이 하판에 작용하는 파압을 원래의 “-”부호로 한 후 더하여 최종적으로 P_1 지점에 작용하는 파압을 산정하였다. 다른 지점의 $P_2 \sim P_5$ 는 P_1 지점의 동일한 시간대에 위상차를 P_2, P_3, P_4, P_5 을 적용하여 (c), (d), (e), (f)와 같이 하판에 작용하는 파압을 원래의 “-”부호로 한 후 더하여 P_2, P_3, P_4, P_5 에 작용하는 파압을 산정하였다.

4.5.3 시간별 최대 파압 분포

시간별 최대 파압분포는 부재의 안정성을 해석하기 위하여 순간에 작용하는 파압분포를 파악하고자 한다. 본 연구에서는 각 지점에서 최대파압이 발생하는 시간대에 다른 파압계에 작용하는 파압을 나열하여 어떠한 경우가 가장 부재의 안정성에 영향을 미칠 것인지를 파악하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 단, 부재력을 파악하기 위하여 상판과 하판을 별도로 연직상향력과 연직하향력을 각각 따로 정리하였다. 연직상향력은 하중으로 연직하향력은 양력으로 구조물에 각각 작용한다. 표 4.9는 각각의 파압 측정점에서 최대치가 발생한 시간대의 다른 파압계에 측정된 파압을 나열한 것이다.

표 4.9 상·하판에 작용하는 시간별 최대 파압 분포

	최대파압 작용지점	연직 하향력					연직 상향력				
		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
상 판	P_{1max}	2.95	-0.80	-1.42	0.43	-0.13	-2.21	-2.94	-3.80	4.12	5.35
	P_{2max}	-0.58	1.64	-1.77	1.78	1.24	0.09	-4.86	-5.04	1.05	3.17
	P_{3max}	1.11	1.60	1.67	1.69	2.35	-0.45	-4.82	-5.10	1.57	3.55
	P_{4max}	-0.71	-0.78	-2.64	4.75	4.29	-0.99	0.77	-1.76	-0.60	1.18
	P_{5max}	-1.42	-3.31	-4.00	3.85	5.38	2.54	-0.07	-0.75	0.76	-0.18
하 판	P_{1max}	1.78	0.03	-0.01	0.03	0.01	-1.21	-2.42	-2.20	-0.83	-3.39
	P_{2max}	0.85	2.40	0.86	1.85	-0.04	1.07	-3.13	-1.53	0.60	-1.91
	P_{3max}	-0.05	1.27	1.19	2.72	-1.01	-0.74	-2.19	-2.27	-1.01	-3.80
	P_{4max}	-0.38	-0.42	1.02	3.36	-0.88	-0.08	-1.67	-2.22	-1.21	-4.16
	P_{5max}	-0.05	-0.43	-0.17	1.29	1.08	-0.08	-1.67	-2.22	-1.21	-4.16

P 의 단위 : g/cm^2

표 4.9에 보인 상판 P_{1max} 에서 $P_1 \sim P_5$ 는 P_1 점에 최대파압이 발생한 동일한 시간대에 작용한 파압을 의미한다. 이때, 그림 4.33, 4.34에 보인 바와 같이 최대파압이 작용하는 동일시간대에 상판의 상부와 하부에 동시에 작용하면서 이

를 각 지점별로 합한 압력이 판에 작용하는 참값이다. 하지만, 외력에 대한 부재력의 안전율을 확보하기 위하여 독립적으로 작용하는 외력으로 취급한다.

그림 4.35는 표 4.9에서 각각의 과압 측정 점에서 최대치가 발생한 시간대의 다른 과압계에 측정된 과압을 시간대로 나열하여 유공판 상판에 작용하는 과압분포도를 표현한 것이다.

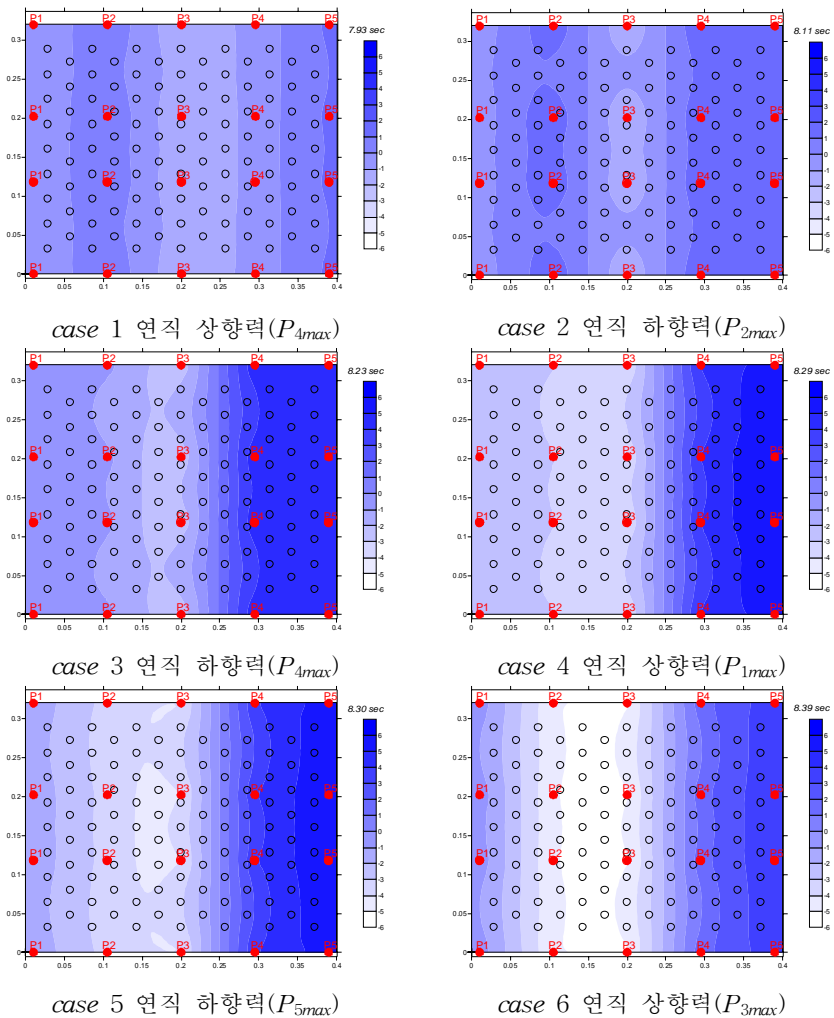


그림 4.35 유공판 상판에 작용하는 과압분포도

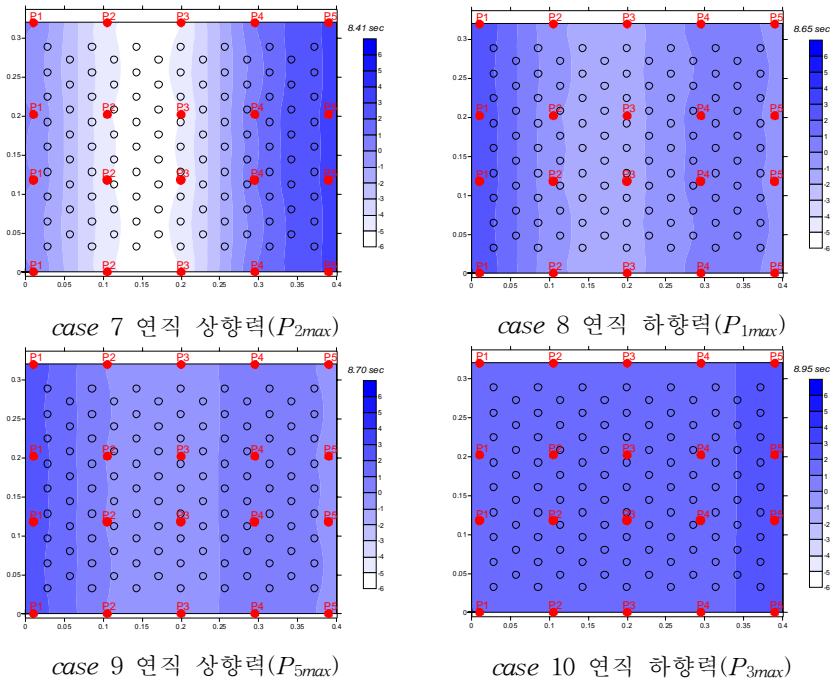


그림 4.35 유공관 상관에 작용하는 과압분포도

그림 4.35에 보인 유공관 상관에 작용하는 연직 하향력은 파 진행방향에서 조합관의 후면에서 최대가 발생하며, 연직 상향력은 파 진행방향에서 조합관의 1/3 지점에서 최대가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 사진 4.4에 보인 수평형 이열 조합관의 파차단 효과에 의한 조합관의 상판과 하판사이를 통과하는 파의 위상에 의한 역방향 진행파와 즉 반사파와 충돌하여 형성되는 중첩된 파형으로 순간적 충돌 후 각각의 방향으로 진행하게 된다. 이러한 상부 평판에서 발생하는 파 차단효과와 더불어 평판 하단부에서 발생하는 *pulsating flow*에 의한 파차단 효과 (2006, 기성태 · 허동수, 2007, S.T. Kee et. al.)는 평판의 유공을 통한 파에너지의 소산과 더불어 투과율 저하에 기여하고 있다.



사진 4.4 수평형 이열 조합판의 파차단 효과

사진 4.4는 파 진행방향에서 조합판의 후면에 발생하고 있는 파형이 부풀어 오른 모습을 보이고 있으며, 상판에서 발생하는 쇄파에 의한 수위상승은 부풀러지기 전의 수위를 보면 알 수 있듯이 가시적으로 판단할 정도의 크기로 나타나고 있지는 않으며, 쇄파에 의한 수위상승은 조합판 하단을 통해서 쉽게 복원됨으로 조합판으로 부터 일정거리 떨어진 곳에서는 수위상승의 효과가 지극히 미미하다. *Kweon · Goda(1996)*는 평균수위상승은 쇄파에 의한 유의파고의 감쇠 시작점 직전에 상승하기 시작하며 파고의 수% 정도의 크기로 나타남을 보인 바 있다.

그림 4.36는 표 4.9에서 각각의 파압 측정점에서 최대치가 발생한 시간대의 다른 파압계에 측정된 파압을 시간대로 나열하여 유공판 하판에 작용하는 파압분포도를 표현한 것이다.

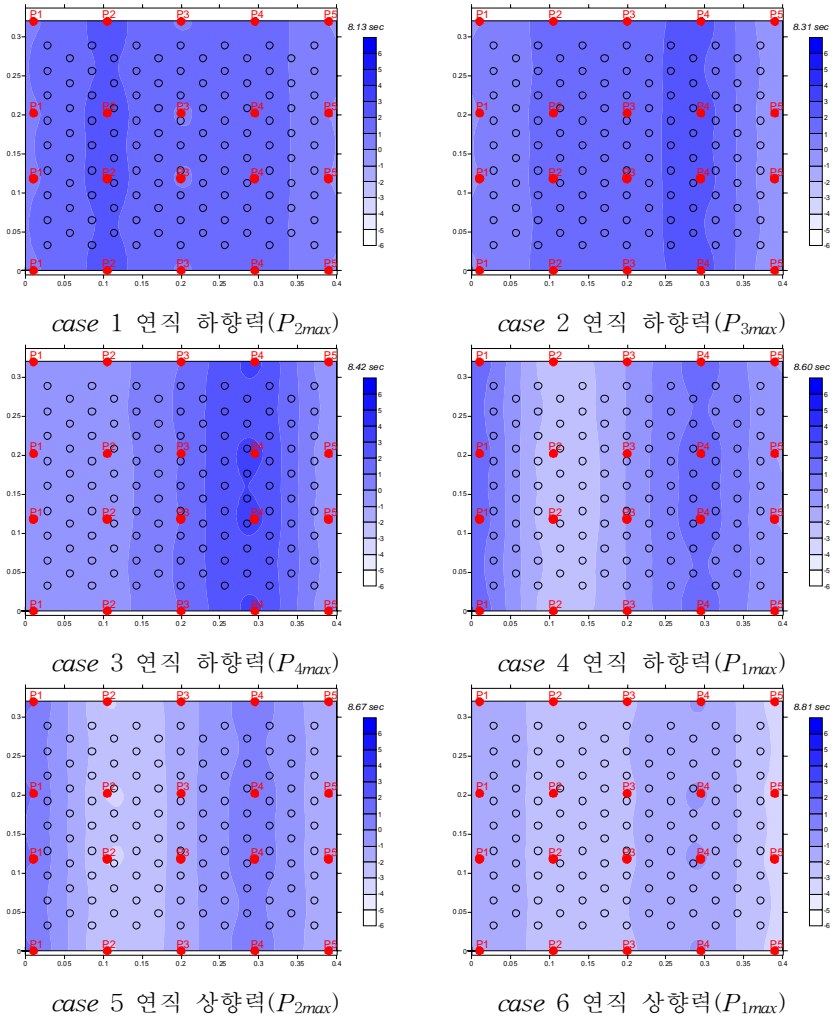


그림 4.36 유공판 하판에 작용하는 파압분포도

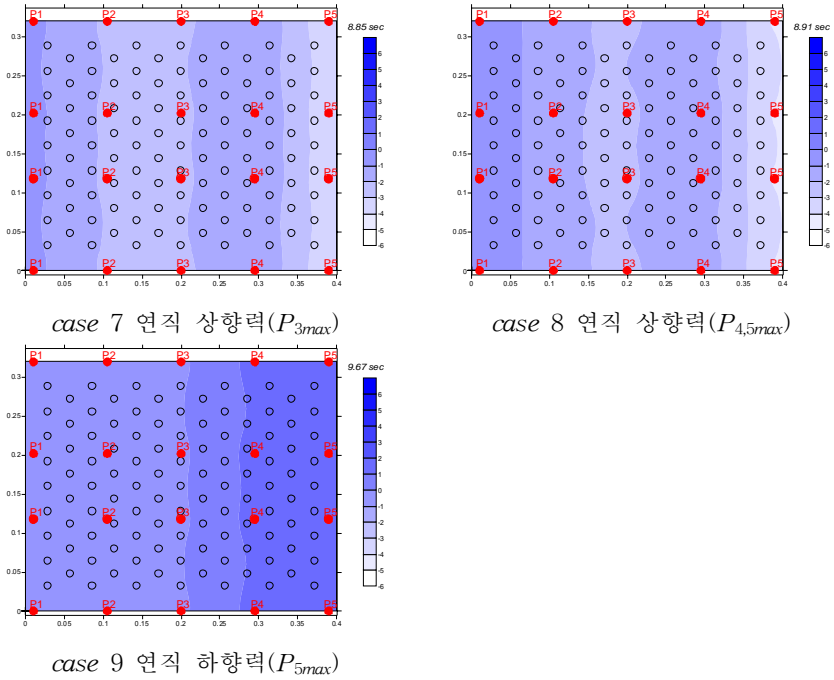


그림 4.36 유공판 하판에 작용하는 과압분포도

그림 4.36에 보인 유공판 하판에 작용하는 연직하향력은 파 진행방향에서 조합판의 후면에서의 1/3 지점에서 최대가 발생하며, 연직 상향력은 파 진행 방향에서 조합판의 1/3 지점과 조합판의 후면에서 최대가 발생하는 것을 알 수 있다.

연직 하향력과 연직 상향력의 지점에 작용하는 압력차는 부재의 비틀림 등에 영향을 줄 수 있다. 그림 4.35, 4.36은 표 4.9를 가시화한 것이다. 이때, 상판의 연직 하향력 P_{5max} 경우에 $5.38 - (-4.00) = 9.38g/cm^2$ 으로 최대차, 연직 상향력 P_{1max} 경우에 $-3.80 - 5.35 = -9.15g/cm^2$ 으로 최대차, 하판의 P_{4max} 경우에 연직 하향력 $3.36 - (-0.42) = 3.78g/cm^2$ 으로 최대차, 상향력 P_{2max} 경우에 $-3.13 - 1.07 = -4.20g/cm^2$ 으로 최대차가 각각 보인다. 그림 3.1에 보인 바와 같이 표 4.9의 정보는 ② 상부 구조물 설계를 위해 외력 2의 시간별 최대 과압조건으로써 제공된다.

4.5.4 지점별 최대 하중 분포

지점별 최대 하중 분포에 대한 정보는 표 4.10에 보이는 바와 같이 상부 구조물 설계를 위한 외력조건으로 제공된다. 수평파력을 추산할 경우 畠田良實(2008)는 설계파를 최고파 H_{max} 를 주기는 유의파 주기 $T_{1/3}$ 를 각각 사용하였다. 하지만, 본 실험은 $H_{1/3}$ 을 대상으로 했으나 그림 4.27의 실험파형에서 보인 바와 같이 실제로 거의 쇄파한계에 도달하여 H_{max} 에 근접하고 있다는 것을 알 수 있다.

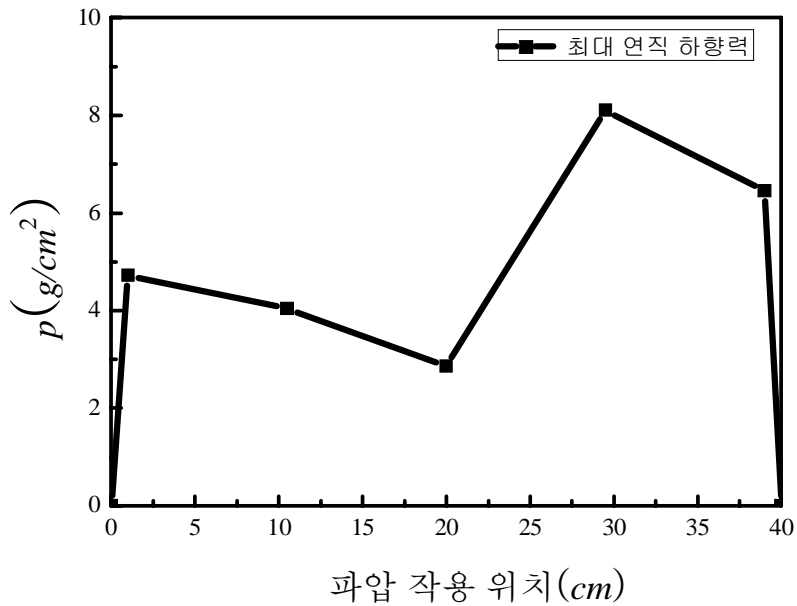
본 자료해석은 지점별 최대하중이 작용할 때 반대방향에서 작용하는 하중은 없는 것으로 가정한다. 즉, 지점별 최대 연직 하향력이 작용할 때 상향력은 0이며 이와 반대로 상향력이 작용할 때 하향력은 0로 가정한다. 단, 유공판을 일체형으로 간주하고 상판, 하판에 작용하는 지점별 최대 연직하향력 및 최대 연직상향력을 각각 합산하여 표 4.10에 보이는 바와 같이 유공판에 작용하는 지점별 최대압력을 산정하였다.

표 4.10 유공판에 작용하는 지점별 최대 압력

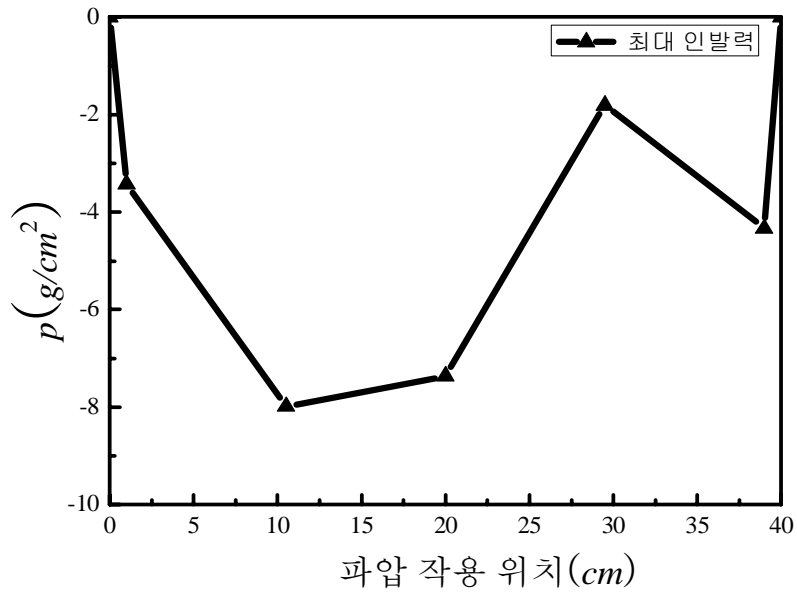
작용점	단위면적당 최대 연직 하향력 $p(g/cm^2)$	단위면적당 최대 연직 상향력 $p(g/cm^2)$
P_1	4.7222	-3.4238
P_2	4.0450	-7.9860
P_3	2.8628	-7.3660
P_4	8.1033	-1.8084
P_5	6.4596	-4.3374

표 4.10에 보인 바와 같이 각 지점별 최대하중 중에서 P_4 에서 연직 하향력 $8.1033g/cm^2$, P_2 에서 연직 상향력 $-7.9860g/cm^2$ 로 가장 크게 나타나고 있다. 이는 연직 하향력은 내습과 진행방향으로 보면 비교적 판의 뒤쪽에 나타나며 연직 상향력은 앞쪽에 크게 작용함을 알 수 있다.

지점별 최대 과압자료로부터 길이당 작용하는 과력을 산정하기 위하여 위치에 따른 과압크기를 그림 4.37와 같이 직선으로 연결하였다. 위치지점은 그림 4.24에 보인 바와 같이 조합판 앞쪽에서부터 길이로 표시하였다.



(a) 지점별 최대 연직 하향력 분포
 그림 4.37 지점별 최대 과압 분포



(b) 지점별 최대 연직 상향력 분포

그림 4.37 지점별 최대 과압 분포

그림 4.37의 (a)의 지점별 최대 연직 하향력 분포로부터 수평축과 직선 연결선 내 면적을 구하면 $201.310g/cm$, 이고 동일하게 (b)는 $-203.770g/cm$ 이 된다. 이들을 각각 길이방향 $32cm$ 로 곱하게 되면 유공판에 작용하는 최대 연직 하향력 $6.441kg$, 최대 연직 상향력 $-6.520kg$ 을 얻는다. 표 4.11은 실험단면과 실험역 단면에 작용하는 최대하중을 보인다.

표 4.11 수평형 이열 조합판에 작용하는 최대 파력

	하중	최대 연직 하향력	최대 연직 상향력
실험 단면	길이당 총작용 하중	201.310 <i>g/cm</i>	-203.770 <i>g/cm</i>
	총 하중 $W(40cm) \times L(32cm)$	6.441 <i>kg</i>	-6.520 <i>kg</i>
실험역 단면	길이당 총작용 하중	18.118 <i>ton/m</i>	18.339 <i>ton/m</i>
	총 하중 $W(12m) \times L(9m)$	163.062 <i>ton</i>	-165.051 <i>ton</i>

실험단면에서 산정된 유공판에 작용하는 최대 하중을 상부 구조물 설계 및 하부 기초설계에 적용되는 연직 외력을 산정하기 위해 *Froude* 상사법칙을 적용하면 표 4.11에 보인 바와 같이 최대연직 상향력 163.062ton, 최대 연직상향력은 -165.051ton이 작용하게 된다.

표 4.11에 보인 바와 같이 실험역 단면에 작용하는 최대 파력은 연직 하향력과 상향력이 거의 유사함을 알 수 있다.

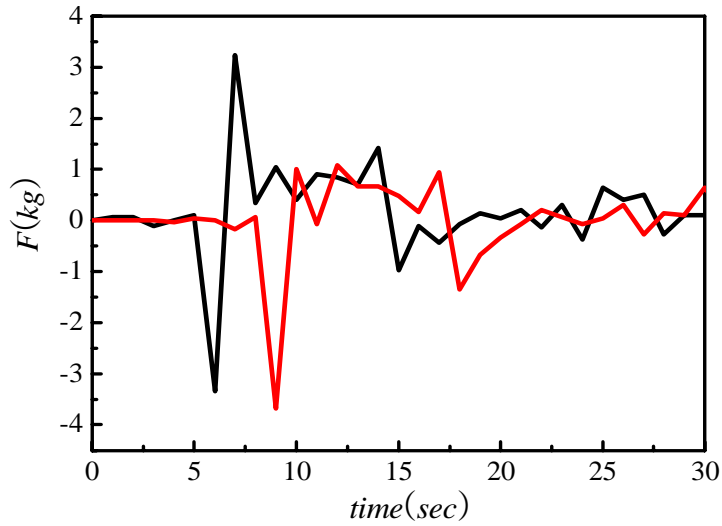
4.5.5 로드셀에 의한 파력 측정

파력에 의한 이열형 수평판에 작용하는 하중을 측정하여 상부구조물 설계와 하부기초 설계에 반영하기위하여 파압계를 이용하여 파력을 측정하였다.

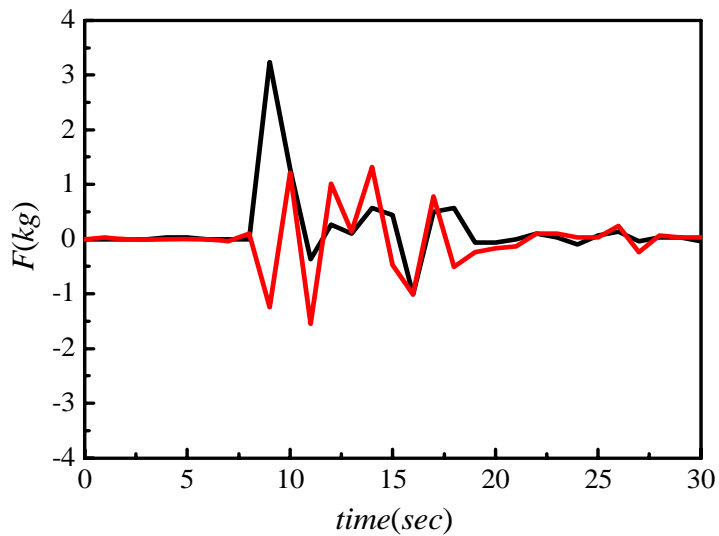
파압계측에 의한 파력을 이용하여 산정한 최대하중을 비교 분석하기 위하여 파압계측과 동시에 로드셀을 이용하여 파압과 하중을 동시에 측정하였으며 상판 상부 5회, 상판 하부 5회 하판 상부 5회, 하판 하부 5회를 측정하였다.

그림 4.24에 보인 바와 같이 수평형 이열 유공판 거치 도면에서 상판과 하판을 동시에 측정 하였으므로 총 상판 20회, 하판 20회의 수평파력에 의한 수

평형 이열 유공판에 작용하는 하중을 측정하였다. 측정된 결과는 연직하향력 최대치와 연직상향력의 최대치를 산정하여 그림 4.38와 같이 표현하였다.



(a)상판 로드셀(*Force*) 측정



(b)하판 로드셀(*Force*) 측정

그림 4.38 로드셀 측정

그림 4.38의 로드셀에 의한 파력 측정으로 부터 파력에 의한 이열형 유공판의 상판과 하판에 작용하는 연직 하향력 및 연직 상향력의 최대값을 각각 산정하였고, 표 4.12에 보이는 바와 같다.

파압측정을 위한 실험에서의 파압계측을 이용한 측정값과 로드셀을 이용한 측정값을 비교하기 위하여 수평형 이열 유공판에 작용하는 최대하중을 산정하였다.

표 4.12 파력에 의한 이열형 수평판(상·하판)에 작용하는 최대하중

<i>Force</i>	연직 하향력	연직 상향력
상판	3.235 <i>kg</i>	-3.673 <i>kg</i>
하판	3.235 <i>kg</i>	-1.550 <i>kg</i>

산정방법은 유공판을 일체형으로 간주하고 상판과 하판에 작용하는 파력에 의한 최대 하중을 합산한 결과 수평형 이열 유공판에 작용되는 하중을 표 4.13과 같이 산정하였다.

표 4.13 파력에 의한 이열형 수평판에 작용하는 최대하중

	크기 (<i>m</i>)	최대 연직 하향력	최대 연직 상향력
실험 단면	0.3 × 0.4	6.47 <i>kg</i>	-5.223 <i>kg</i>
실해역 단면	9 × 12	174.7 <i>ton</i>	-141.021 <i>ton</i>

파력에 의한 이열형 수평판에 작용하는 로드셀에 의한 측정 최대 하중 값은

실험단면에서 산정된 유공관에 작용하는 최대 하중에 *Froude* 상사법칙을 적용하면 표 4.13에서 보는 바와 같이 최대연직 하중 174.7ton, 최대 연직상향력은 -141.021ton이 작용하였다.

4.5.6 파력 측정 비교

파력에 의한 이열형 수평관에 작용하는 최대하중을 파압계에 의한 측정값과 로드셀에 의한 측정값을 비교한 결과 표 4.14에 보인 바와 같이 최대 연직 하향력에서는 로드셀에서 측정한 하중이 11.6ton 크게 산정되었으며 최대 연직 상향력에서는 파압계로 측정한 하중이 24ton 이 더 크게 나오는 것을 알 수 있다.

표 4.14 파력에 의한 이열형 수평관에 작용하는 최대하중 비교

계측 장비 하 중	파압계측에 의한 실험		로드셀에 의한 실험	
	실험 단면	현장 단면	실험 단면	현장 단면
크기(m)	0.3 × 0.4	9 × 12	0.3 × 0.4	9 × 12
최대 연직하향력	6.441 kg	163.062 ton	6.47 kg	174.7 ton
최대 연직상향력	-6.520 kg	-165.051 ton	-5.223 kg	-141.021 ton

실험 단면에서의 최대 연직 하향력은 파압계에 의한 측정 값과 로드셀에 의한 측정값은 비슷한 값을 보였으며, 최대 연직 상향력은 파압계에 의한 측정값이 로드셀에 의한 측정값 보다 1.3kg이 더 크게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 규칙파에 의한 파압계 실험에서 상판 및 하판에 작용하는 최대 연직 하향력

및 상향력은 비슷한 값을 나타낸 반면, 규칙파에 의한 로드셀 실험에서 상판 및 하판 최대 연직 하향력은 비슷한 값을 보였으며, 최대 연직 하향력 측정시 상판 보다 하판이 약 $1.5kg$ 정도 낮게 측정되는 것을 알 수 있다.

그림 4.22의 상대수심 kh 에 따른 하중분포의 그래프에 보인 바와 같이 상판에 작용하는 하중보다 하판에 작용하는 하중이 작게 작용하는 것을 알 수 있다.

철재형 이안제 설계시 안정성을 고려하여 파압계 실험에서 측정된 최대 연직 하향력 $163.062ton$, 최대 연직 상향력 $-165.051ton$ 을 설계에 반영하기로 한다.

제5장 몰수심 조정을 위한 조위발생확률밀도함수 분석

해역의 조위발생으로 인하여 본 구조물 소파판의 몰수심이 유동적이므로 투과율이 변한다. 따라서 조위발생확률밀도함수를 해석하여 빈도가 가장 높은 수심에 대하여 몰수심을 조절하여 투과율을 예측에 가깝게 하며 기능성 유지를 기대할 수 있다. 본 장에서는 실험해역의 조위발생빈도분포를 고려한 몰수심 선정에 대한 과정을 보이고자 한다.

분석에 사용된 쌍봉형 확률밀도함수는 *Kweon et al(2003)*에 의해 제안된 2개의 정규분포함수의 합의 형태로 표시된 쌍봉형 확률밀도함수를 변형하여 식 (5.1)과 같은 형태를 사용하였다. 사용된 정규분포의 함수는 각 경우에 대하여 면적비가 같지 않아도 된다. 수위 변동량 η 의 재현성을 높이기 위하여 각각의 정규분포가 미치는 영향 정도도 변수화하여 추정했다.

$$P(\eta) = a_D \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\eta - \mu_D}{\sigma_D}\right)^2\right] + a_U \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\eta - \mu_U}{\sigma_U}\right)^2\right] \quad (5.1)$$

여기서, $a_D = \frac{a_1}{\sigma_D \sqrt{2\pi}}$, $a_U = \frac{a_2}{\sigma_U \sqrt{2\pi}}$ 는 각각 저수위, 고수위 분포함수의 영향을 나타내 주는 모형 변수이며 μ_D , μ_U , σ_D , σ_U 는 각각 저수위, 고수위 분포함수의 평균과 표준편차를 나타낸다. 단, 모형 변수는 $a_1 + a_2 = 1$ 의 관계를 만족시키며 η 는 조위자료 η_0 로부터 평균값 $\bar{\eta}_0$ 를 각각 뺀 조위값의 시계열이다.

위의 모형변수, 평균, 표준편차 등의 추정은 임의의 비선형함수로 표시되는 함수와 조위자료의 확률밀도 함수의 불일치도(오차제곱합)를 최소화하는 함수를 목적함수로 선정하여 수행되었으며, 초기 매개 변수 값을 이용하여 다음

단계의 매개변수 값을 반복적으로 추정하는 기법은 비선형 최적화 매개변수 추정에 범용적으로 이용되는 *Newton* 방법을 수정한 *Levenberg-Marquardt* 방법을 이용하였다. 전체적인 과정은 최소자승법을 이용한 비선형 곡선 일치 (*nonlinear curve Fitting*) 방법에 해당한다. 그리고 확률분포함수 형태 재현성을 평가하기 위하여 R^2 (*Coefficient of determination*) 값을 계산하였다. R^2 의 값은 0과 1사이의 값을 가지며 1에 가까운 값일수록 재현성이 우수한 것으로 판단할 수 있다.

$$R^2 = \frac{SS_R}{S_{yy}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5.2)$$

여기서, SS_R , S_{yy} 는 각각 추정 함수와 실제 데이터의 분산을 나타낸다.

위의 식 (5.1)을 사용하여 추정된 매개변수 값은 표 5.1과 같고 조위발생확률 밀도함수는 그림 5.1에 보인다.

표 5.1 동해안 지역(후포)의 조위확률밀도함수의 모수 추정값

모수 지역	a_D	a_U	μ_D	μ_U	σ_D	σ_U	R^2
후포	0.0192	0.02858	-8.704	5.216	8.27	8.34	0.9959

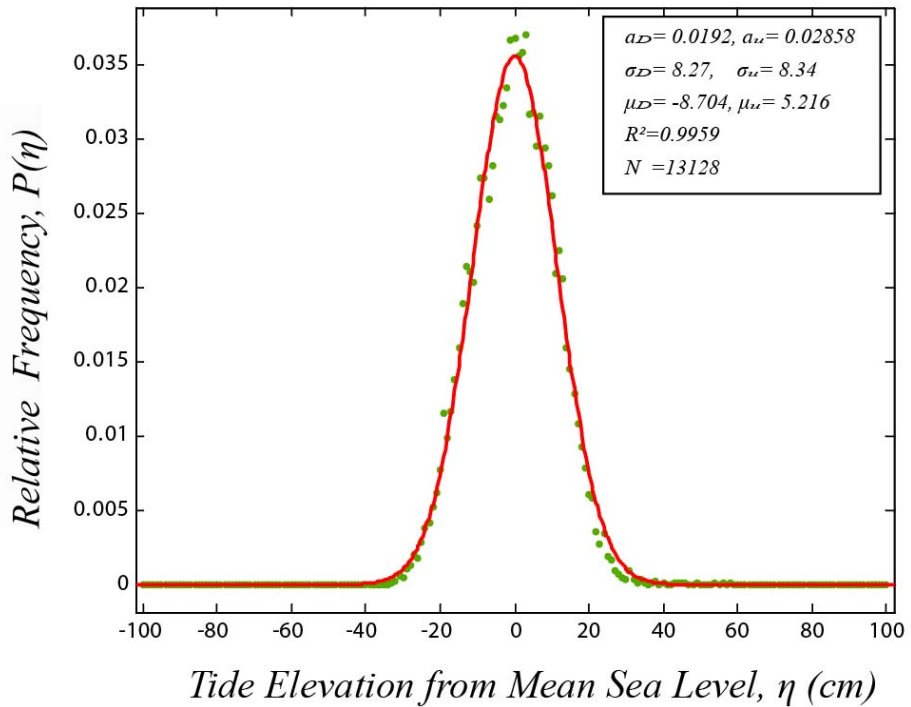


그림 5.1 (a)후포지역의 조위확률밀도함수

철재형 이안제 설치 수심인 9m 지역의 철재형 이안제 몰수심은 45cm이며 2005년 항만 및 어항 설계기준 p. 168 표(6-5) 한국 연안의 조석의 비조화상수를 참조하여 철재형 이안제 실험 후보지역 주변의 후포지역의 평균조위 (MSL) 13.5cm을 적용하였다.

조위발생확률밀도함수에 의한 몰 수심 결정 방법은 차세대 해안공간 확보기술 개발 2차년도 실적 및 계획보고서(2007)에 의하면 몰수심 d 은 $0.05ds \sim 0.1ds$ 에서 그 효과가 전 주과수영역에 걸쳐서 유사하므로 조위발생빈도분포 내에서 식 (5.3)과 같은 관계식을 설정한다.

$$\int_{\eta_{\min}}^{\eta_{\max}} P(\eta) = A(MAX) \quad (5.3)$$

식 (5.3)은 $\eta_{\max} - \eta_{\min} = (0.1 \sim 0.05)d_s$ 를 만족하며, 분포 내에서 최대면적 $A(\max)$ 가 되도록 η_{\max}, η_{\min} 을 구한다.

$h_s=9m$ 에 대하여 그림 5.1의 (b)에 보이는 바와 같이 $\eta_{\min}=-\infty$ 부터 $\eta_{\max}=\infty$ 까지 $P(\eta)$ 의 면적을 구할 수 있다. 순차적으로 η_{\min} 을 증가시켜 면적이 증가하다가 감소하는 η_{\min} 에 대하여 최대면적을 판단하였다.

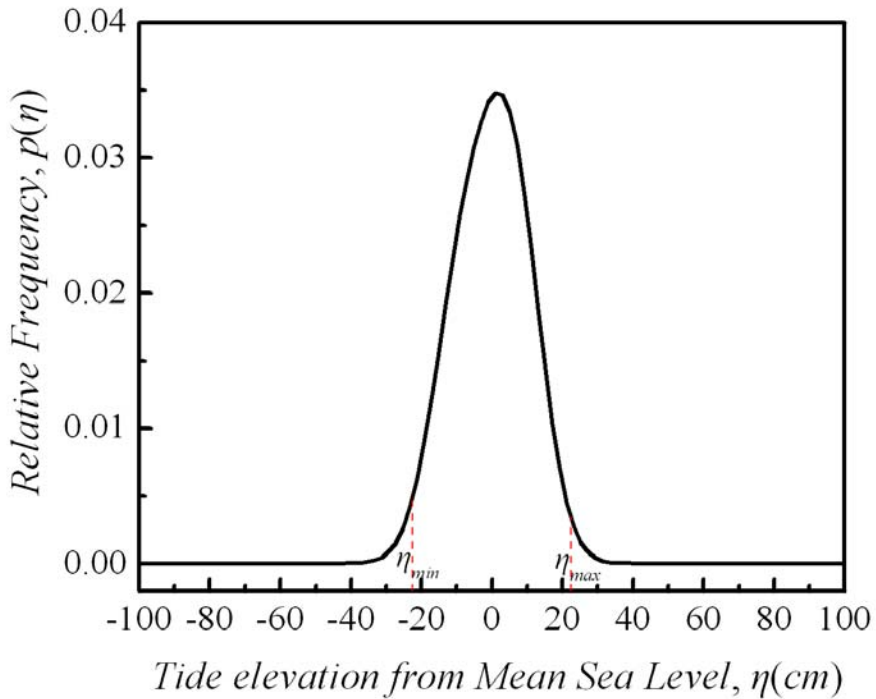


그림 5.1 (b)후포지역의 조위확률밀도함수

조위발생확률밀도함수 내에서 식 (5.3)을 만족하는

$\eta_{\min}=-23cm, \eta_{\max}=22cm$ 이며, 96.5%의 최대면적값을 나타내었다.

조위발생확률밀도함수는 η 는 조위자료 η_o 로부터 평균값 $\bar{\eta}_o$ 를 각각 뺀 조위

값의 시계열이므로 평균조위(MSL)를 고려하여야 한다. 평균조위를 고려한 η_{\min}, η_{\max} 는 $\eta_{\min} = -0.23 + 0.135 = -0.095m$, $\eta_{\max} = 0.22 + 0.135 = 0.355m$ 되며, 철재형 이안제 설치 수심은 그림 5.2에 보이는 바와 같다.

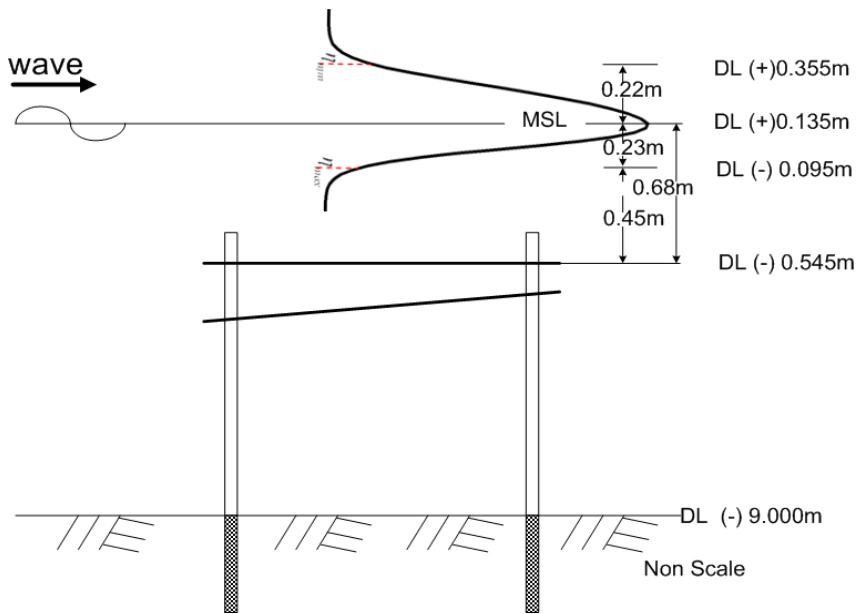


그림 5.2 조위확률밀도함수를 고려한
철재형 이안제 설치 수심(수치지도)

철재형 이안제의 몰수심은 그림 5.2에 보인 바와 같이 조위발생확률밀도함수 내에서의 최대면적 $A(MAX)$ 가 96.5%일때 $\eta_{\min} = -0.095m$ 를 기준으로 식 (5.4)에 보이는 바와 같이 최저 몰수심 45cm를 결정하였다.

$$\eta_{\min} + d = 0.05d_s \quad (5.4)$$

몰수심 d 를 식 (5.4)에 의하여 계산하면 0.545m 되며, 이는 Approx. LLW로부터 몰수심이 된다.

조위발생확률밀도함수 내에서의 식(5.3)을 고려하지 않고 DL (-)0.45m와 DL (+)0.45m를 적용하여 그림 5.1에 보인 바와 같이 후포지역의 조위발생확률 밀도함수를 적용하면 $\eta_{\min} = -13.5\text{cm}$, $\eta_{\max} = 31.5\text{cm}$ 이며, 87.6%의 면적 값을 나타낸다. 이는 그림 5.2와 5.3을 비교하면 DL (-)0.545m일 때 보다 조위발생 확률밀도함수내 면적이 8.9% 작게 나타난다. 즉, 조위발생밀도함수를 고려하여 결정한 수심 DL (-)0.545m이 고려하지 않은 그림 5.3의 DL (-)0.45m보다 8.9% 더 긴 시간동안 성능을 유지할 수 있음을 의미한다.

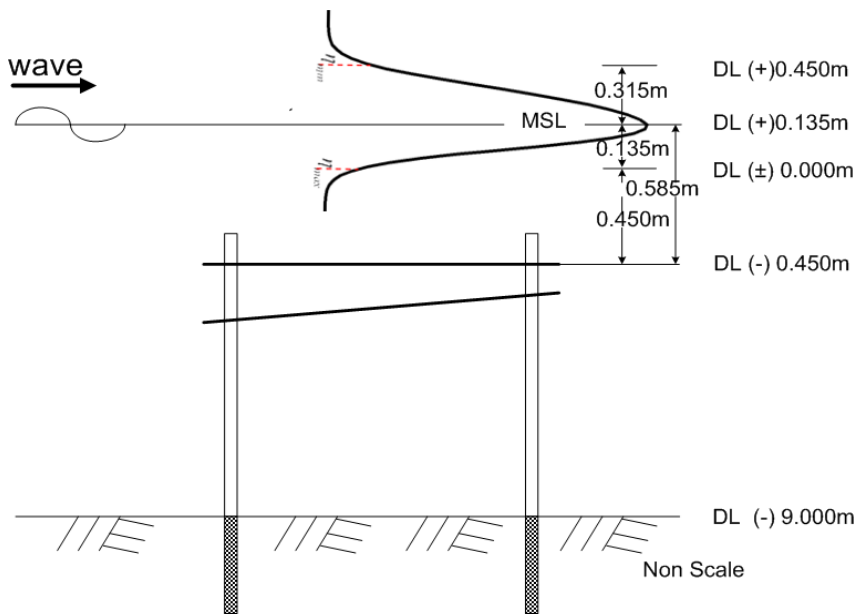


그림 5.3 조위확률밀도함수를 고려하지 않은
철재형 이안제 설치 수심(수치지도)

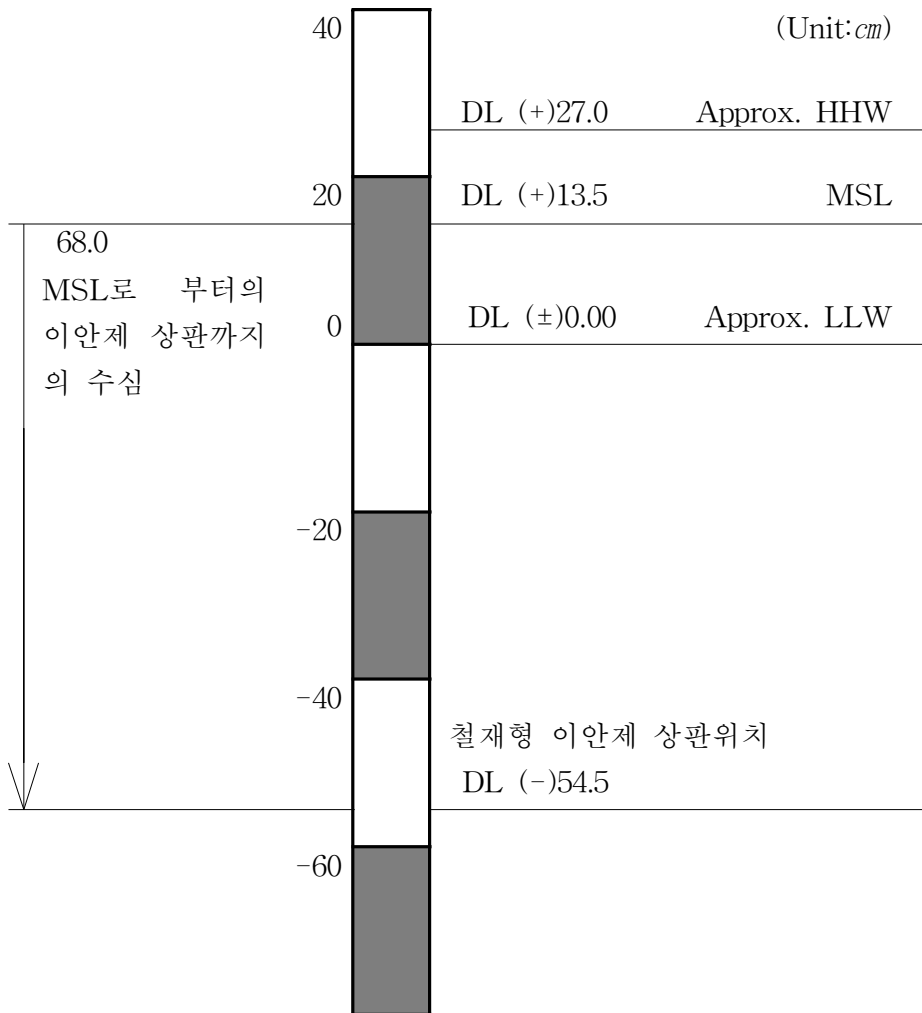


그림 5.4 후포 지역의 조위면도

제6장 철재형 이안제 상부구조 설계

철재형 이안제 상부구조 설계②는 그림 3.1의 철재형 이안제 설계 단계 2차 세분화를 통하여 수리적 성능 검토 단계①에서의 천해설계파 및 파압분포 검토를 통한 구조물에 작용하는 하중을 검토하여 설계하중을 산정하며, 소파형식에 의한 투과율 산정 실험식을 이용하여 소파판, 소파판 보강재, 기둥, 브레이스의 설계로 수행한다.

단면의 설계가 완성되면 하부기초 설계 단계③에서의 기초 형식의 파일 단면을 검토하여 철재형 이안제의 기둥의 재설계를 수행한다.

6.1 철재형 이안제의 구성 및 설계과정

6.1.1 철재형 이안제의 구성

철재형 이안제의 상부구조는 그림 6.1과 같이 소파기능을 담당하는 유공판 부분과 유공판을 지지하는 기둥 부분으로 구성되어 있다. 소파판은 수면에 일정 깊이로 잠겨져 있으며, 수평판과 경사판으로 구성된 2중 유공판 구조이다. 이러한 소파판의 소파성능은 일반적으로 판의 길이와 잠긴 수심에 의해 결정된다.

두개의 소파판은 주보강재와 가로보강재로 연결되어있으며, 보강재는 소파판의 연결과 구조적 안정성을 확보하는 역할을 한다. 소파판의 하부는 기둥으로 연결되어 상부구조에 작용하는 하중을 기초로 전달하는 기능을 수행한다. 기둥들은 브레이스로 연결되어 기둥의 변형을 제어하고 기둥 기능을 보강한다.

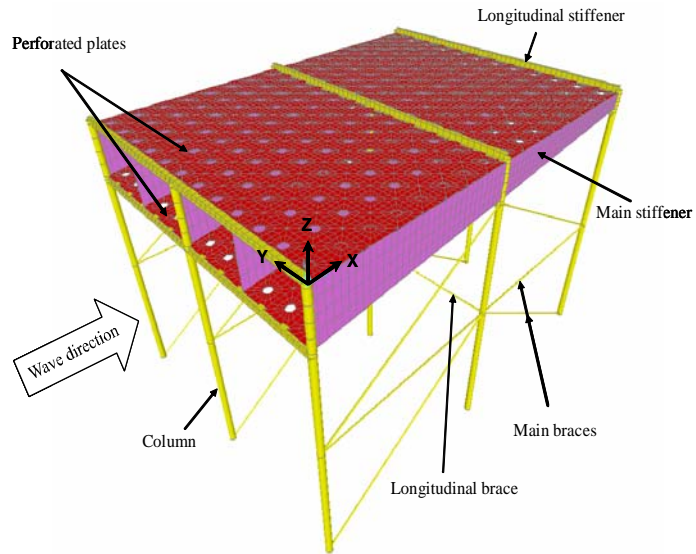


그림 6.1 철재형 이안제 구조형상

6.1.2 설계과정

철재형 이안제의 상부구조 설계과정은 그림 6.2와 같다. 그림 3.1에 보인바와 같이 천해 설계과 산정을 통한 수평외력1, 파압 분포 검토를 통한 연직외력2를 통하여 이안제에 작용하는 설계하중을 산정하고, 소파판, 소파판 보강재, 기둥, 브레이스의 설계로 수행한다.

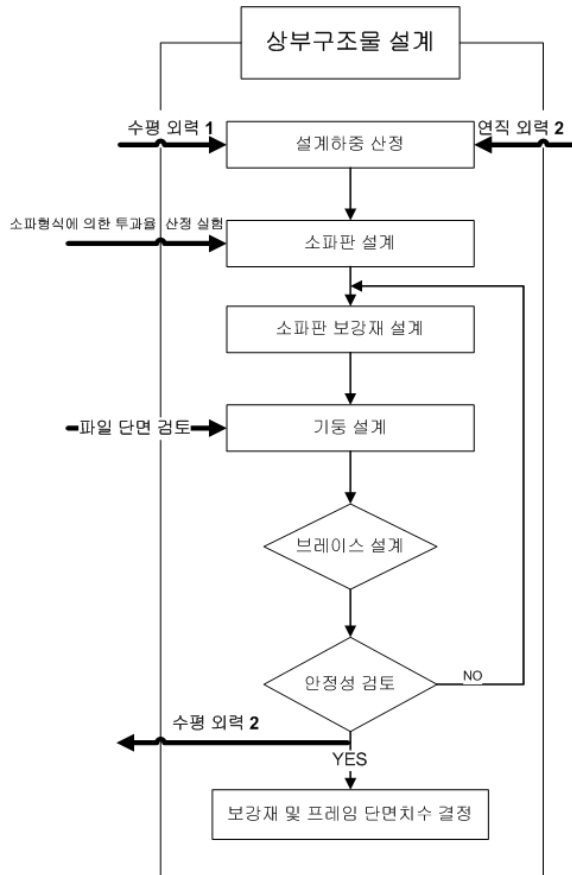


그림 6.2 상부구조물 설계 과정

설계하중의 산정 시에는 파랑하중과 자중을 고려하는데, 파랑하중에 대해서는 입사파의 파력과 소파판에 작용하는 양압력과 하향력을 고려하여 설계하중을 결정한다. 부재 및 단면의 설계에는 도로교 설계기준(건설교통부, 2005)과 강구조 설계기준(강구조학회, 2003)을 적용한다.

6.2. 실해역에 대한 철재형 이안제의 기본설계(상부구조)

6.2.1 설치위치 및 해양환경 조건

철재형 이안제의 설치 위치는 그림 6.3와 같은 동해 오산항의 인근 해역이며, 그림 3.1에 설명한 바와 같이 철재형 이안제 설계단계의 수리적 성능 검토 부분에서 4.2절의 보호대상 해빈 설정에서 설치 위치를 선정하였다.



그림 6.3 철재형 이안제의 설치 위치

설치 수심은 $9m$, 해양파랑 조건은 오산항의 것을 사용하였고, 설계파고는 4.3절의 3차원 다방향 쇄파 모델인 권 혁민(1988)의 수치해석 프로그램인 방향 스펙트럼 파랑에 대한 3차원 쇄파 변형 모델을 사용하여 천해 설계파를 산정하였으며, 산정결과 파랑 주기는 $12.21sec$, 파고는 $6.216m$ 이다.

6.2.2 소파판의 배치 및 형상 결정

소파판의 폭은 식(4.1)을 사용하여 12m로 산정하였다. 소파판의 폭을 결정하기 위해 목표 전달률은 70%로 설정하고, 파장은 4.3절의 천해파 파장 계산 결과를 이용하였다. 판의 잠긴 깊이는 6.2.4절의 식 (6.5)를 사용하여 0.45m로 결정하였다. 그림 6.4는 소파판의 배치 형상이다.

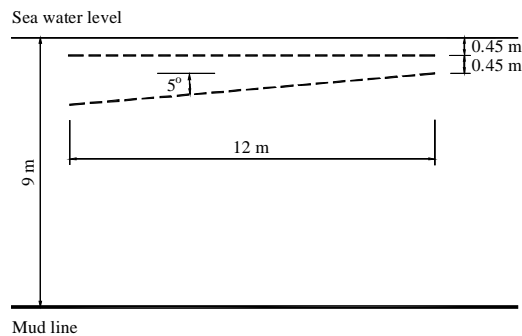


그림 6.4 철재형 이안제의 소파판 설치 단면

4장에 제시한 바와 같이, 대상해역의 파랑특성을 분석한 결과, 저주파 영역으로 나타나므로 공극률 계수는 3으로 하여 식 (6.6)을 이용해 소파판의 공극률을 7%로 결정하였다. 결정된 공극률에 대해 원형 유공을 배치하여 그림 6.5과 같은 소파판의 형상을 결정하였다. 소파판의 원형 구멍 직경은 22.4cm이다.

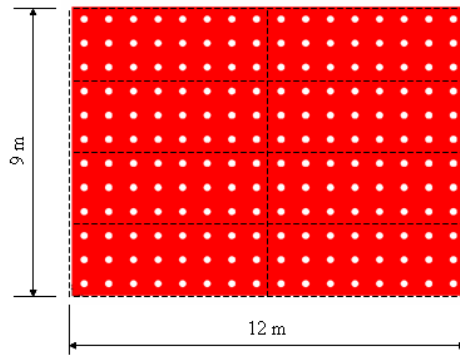


그림 6.5 소파관의 형상

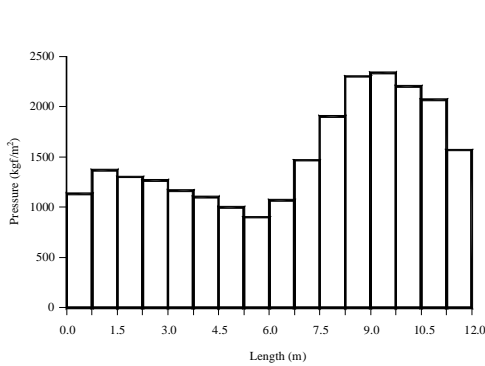
6.2.3 설계하중의 산정 및 하중 조합

철재형 이안제의 구조설계 과정에서 고려되는 하중으로는 구조물의 자중, 입사파 진행방향의 파력, 소파관에 미치는 압력이 있다. 소파관 평면에 수직으로 작용하는 압력은 4.5절의 수리모형실험 결과로부터 산정하였다.

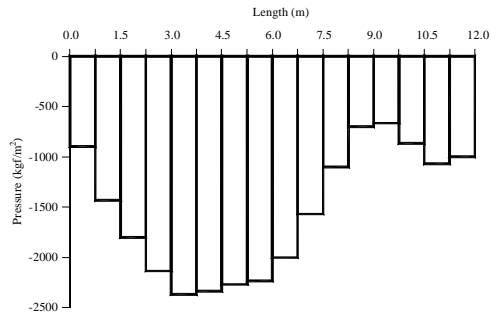
소파관에 작용하는 압력은 두 가지의 최대하중상태에 대해 고려하였다. *case 1*은 수리모형실험 결과에서 각 측정위치별 최대 압력을 바탕으로 하중을 산정하여 조합한 경우이고, *case 2*는 일정시간에 최대 파압이 작용하는 파압분포를 계산하여 조합한 것이다. *case 2*의 경우는 8.3sec 일 때의 압력 분포로 표 6.1와 같다. 여기서 측정위치는 소파관 폭 12m에 대해 게이지가 위치한 지점이다. 두 가지 경우를 각각 소파관 폭에 대해 0.75m 간격으로 분할하여 등가 분포하중으로 그림 6.6, 6.7과 같이 변환하였다.

표 6.1 소파관 측정위치별 압력 분포 ($t=8.3\text{sec}$)

측정 위치 (m)		0.3	3.15	6	8.85	11.7
압력 (ton/m^2)	상판	-0.4247	-0.9916	-1.1995	1.1540	1.6143
	하판	0.0154	0.4662	0.3408	0.7722	-0.2805

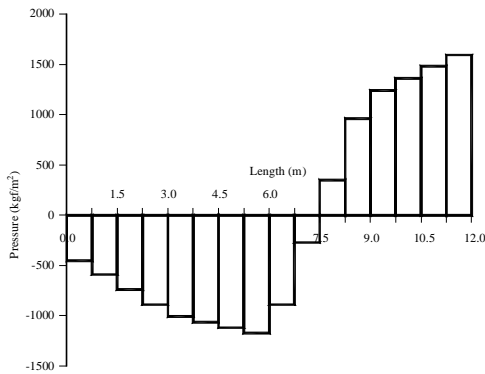


-상판-

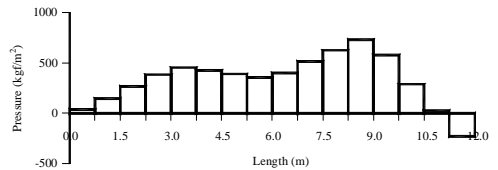


-하판-

그림 6.6 소파판에 작용하는 등가 분포하중 (case 1)



-상판-



-하판-

그림 6.7 소파판에 작용하는 등가 분포하중 (case 2)

소파판에 작용하는 압력을 고려하여 세가지의 하중조합을 다음과 같이 적용하였다.

$$\text{하중조합1} = \text{구조물의 자중} + \text{입사파의 파력} \quad (6.1)$$

$$\text{하중조합2} = \text{구조물의 자중} + \text{입사파의 파력} + \text{소파판의 압력(case1)} \quad (6.2)$$

$$\text{하중조합3} = \text{구조물의 자중} + \text{입사파의 파력} + \text{소파판의 압력(case2)} \quad (6.3)$$

소파관에 작용하는 하중은 식 (6.1) ~ (6.3)에 보인 바와 같이 나타내었으며 소파관의 압력은 그림 6.6, 그림 6.7의 소파관에 작용하는 등가 분포하중을 나타낸 것이다.

6.2.4 소파관의 설계

소파관은 2중 유공관으로 구성되며 상부 관은 수평관, 하부관은 경사관이다. 소파관의 설계는 소파관의 폭을 결정하고, 유공률 산정과 유공형상 결정한 후에 소파관의 두께를 결정하는 과정을 거친다.

사각형 소파관의 크기를 결정하기 위해 입사파의 방향에 대한 소파관의 길이를 소파관의 폭(w)으로 정의하고 이를 계산한다. 소파관의 폭은 4.1절에 설명한 소파관 형식에 의한 투과율 산정 실험을 통하여 폭-파장비 직선식에 의해 식 (4.4) 보인 바와 같이 구할 수 있다.

$$K_T = -2.03 \frac{w}{L_{(1/3)i}} + 0.96 \quad (4.4)$$

조일형(2002)은 단일 수평관의 잠긴 깊이가 얕을수록 파의 반사율이 작아진다고 밝혔고, 잠긴 깊이의 적정범위를 식(6.4)과 같이 제안하였다.

$$\frac{d}{h} \leq 0.2 \quad (6.4)$$

여기서, d 는 수평관의 잠긴 깊이이고, h 는 소파관이 설치된 지점의 수심이다.

본 연구에서의 소파관은 이중관 구조이며, 일반적으로 파 에너지의 대부분

이 수면주위에 존재하므로 판의 깊이는 식(6.4)의 적정 범위 내에서 식(6.5)와 같이 설정하였다.

$$\frac{d}{h} = 0.05 \quad (6.5)$$

소파판의 공극률은 소파판의 면적에 대한 유공단면의 면적비로 정의되고, 여기서 소파판의 면적은 유공단면을 고려하지 않은 총 면적이다. 일반적으로 최대 소파성능 소파성능을 발휘하는 공극률의 범위는 7~12%로 밝혀졌고 공극률 계수와 공극률의 관계는 다음과 같다(조일형, 2002).

$$G = 57.63P - 0.9717 \quad (6.6)$$

여기서 G 는 공극률 계수이고, P 는 공극률이다.

소파판의 두께는 설계하중에 대해 판에 발생하는 응력을 계산하고 발생응력이 허용응력을 초과하지 않도록 결정한다.

6.2.5 소파판 보강재의 설계

소파판 보강재는 주보강재와 가로 보강재로 구성되며, 주보강재는 단면 높이가 변화하는 판형 부재이며, 가로 보강재는 H형 단면이다.

허용응력설계법에 의해 보강재의 단면을 선정하였으며, 소파판의 주보강재 단면은 단면의 높이 변화하는 변단면 판구조이다. 본 설계 과정에서는 두께 15mm, 높이는 450mm에서 1500mm로 변화하는 단면을 주보강재 단면으로 선정하였다. 가로 보강재는 H형 단면으로 200×120×6×6(mm)으로 결정하였다.

6.2.6 기둥과 브레이스 설계

기둥의 단면은 유체력에 대해 가장 효과적인 중공 원형단면으로 결정하였고, 기둥을 연결하는 브레이스는 기둥과 브레이스는 관형 구조부재로서 기둥의 단면은 외경과 두께가 $190.7 \times 7.0 \text{mm}$ 이고, 브레이스는 $42.7 \times 2.3 \text{mm}$, 가로 브레이스는 $34.0 \times 2.3 \text{mm}$ 로 결정한다.

6.2.7 소파판과 기둥의 연결부 설계

시공성과 안정성을 고려하여 소파판과 기둥연결부의 설계안을 표 6.2에 보이는 바와 같이 두 가지를 제시하였고, 시공시에는 현장상황을 고려하여 선택할 수 있다.

표 6.2 소파판과 기둥의 연결부 제안

	1안	2안
일반도		
소파판-기둥연결	보강재와 볼트연결 	소파판에 부착된 실린더와 핀(PIN)연결
소파판-보강재연결	볼트연결 	용접연결
시공순서	소파판시스템 (소파판+보강재)제작 ↓ 강관말뚝(9개소)시공 ↓ 소파판시스템과 볼트연결	A안 ; 강관말뚝(9개소)시공 →소파판 시스템 삽입→연결 B안 ; 강관말뚝(1~2개소)시공 →소파판시스템 삽입→연결 →강관말뚝 추가공(7~8)개소 →연결
특이사항	소파판과 기둥의 연결강성이 높음 소파판과 기둥 연결 시 수중작업이 요구됨 시공성이 낮음 해체 시 작업의 난이도가 높음	A안 시공시 시공된 말뚝의 정확한 위치 측량 후에 소파판에 실린더 부착이 필요함 B안 시공시 소파판 초기 거치 후에 부유안정성이 요구됨, 핀연결부 주위에 보강작업이 필요 1안에 비해 시공성이 높고 해체 시에 작업이 수월함.

제7장 철재형 이안제 하부기초 설계

철재형 이안제 하부기초 설계③는 그림 3.1의 철재형 이안제 설계 단계 2차 세분화를 통화여 수리적 성능 검토 단계①에서의 철재형 이안제의 최적 배치안의 결정으로 적용대상 지역을 결정하여 지반조사 및 지반특성치를 결정하며, 수리적 성 검토 단계①에서의 소파형식에 의한 투과율 산정 실험의 결과로부터 말뚝형식 결정, 자반반력 해석을 하며, 수리적 성능 검토 단계①의 파압 분포 검토로부터 연직 외력1과 상부 구조물 설계②의 수평 외력2를 상호 조정하여 철재형 이안제에 작용하는 하부기초의 외력을 산정하게 된다.

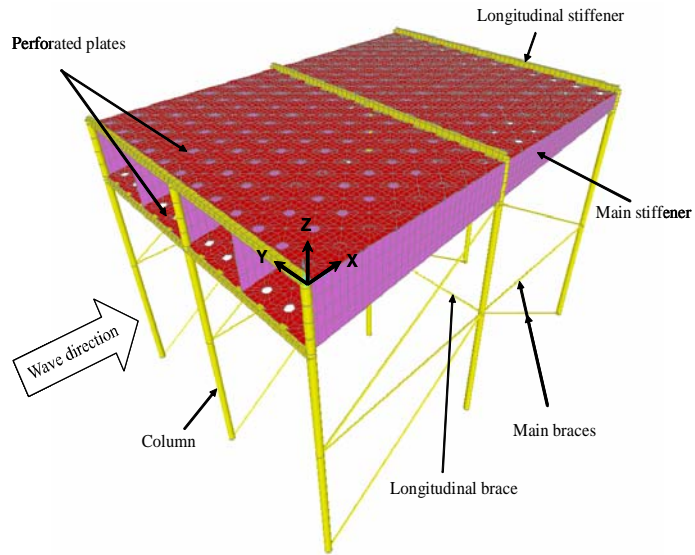
안정성 검토후 기초 형식 제원이 결정되면 상부 구조물 설계 단계②에 파일 단면을 검토후 상호조정 하여 철재형 이안제의 기둥의 재설계를 수행한다.

7.1 하부구조의 설계

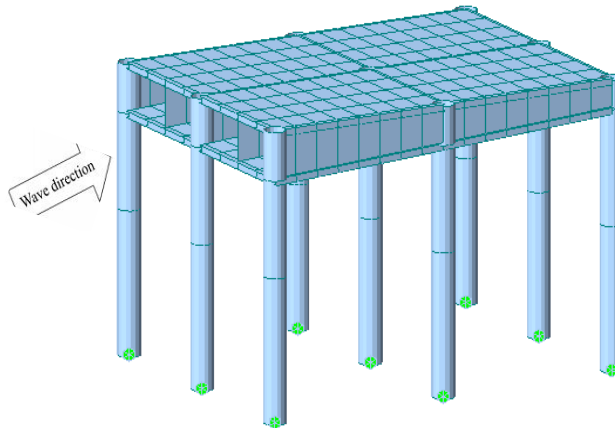
7.1.1 철재형 이안제의 하부구조

철재형 이안제 구조물은 그림 7.1에서 보이는 바와 같이 소파기능을 하는 유공판 부분 및 기둥부와 이를 지지하는 하부기초로 구성되어 있다. 유공판은 일정 깊이로 수면에 잠겨져 있으며, 수평판과 경사판으로 구성된 2중 구조로 되어 있다. 두개의 소파판은 주보강재와 가로보강재로 연결되어 있으며, 유공판의 하부는 기둥으로 연결되어서 상부구조물에 작용하는 외부하중을 하부기초로 전달하는 역할을 한다. 기둥들은 브레이스로 연결되어 기둥의 변형을 제어하고 기둥 기능을 보강한다. 그리고 하부기초는 상부구조물과 유공판에 작용하는 외부하중에 대하여 지지하므로 해안선 보호라는 철재형 이안제의 기능

을 유지하기 위하여 주요한 역할을 한다고 볼 수 있다.



(a) 철재형 이안제 형상 I



(b) 철재형 이안제의 형상 II

그림 7.1 철재형 이안제의 형상

철재형 이안제의 전체적인 설계과정은 그림 3.1에 보인 바와 같이 먼저 수리성능검토단계, 상부구조물 설계단계, 하부구조물 설계단계로 이루어진다. 먼저 수리성능 검토단계에서는 수리모형실험, 수치해석 등을 통하여 적용대상 지역에서의 설계파를 검토하여 유공판의 최적 배치안의 결정 및 파압검토를 통하여 구조물 전체에 작용하는 수직하중, 수평하중, 인발하중 등의 외부하중을 결정하고, 상부구조 설계단계에서는 유공판, 보강재, 기둥, 브레이스 등의 구조설계를 실시한다. 그리고 하부구조 설계단계에서는 적용대상 지역에 대한 지반조사를 실시하여 지층구성 및 각 지층의 물성치와 특성치를 결정하고, 수리성능검토 및 상부구조해석에서 결정된 모든 외부하중에 대하여 적합한 말뚝의 종류 및 배치안과 각 외부하중에 대한 안정성 검토를 실시하여 최종 설계도면을 작성하게 된다. 본 구조물은 해수에 접하게 되므로 재료의 부식에 대한 검토도 수행되어야 한다. 이러한 철재형 이안제의 하부구조 설계과정은 그림 7.2에 보이는 바와 같다.

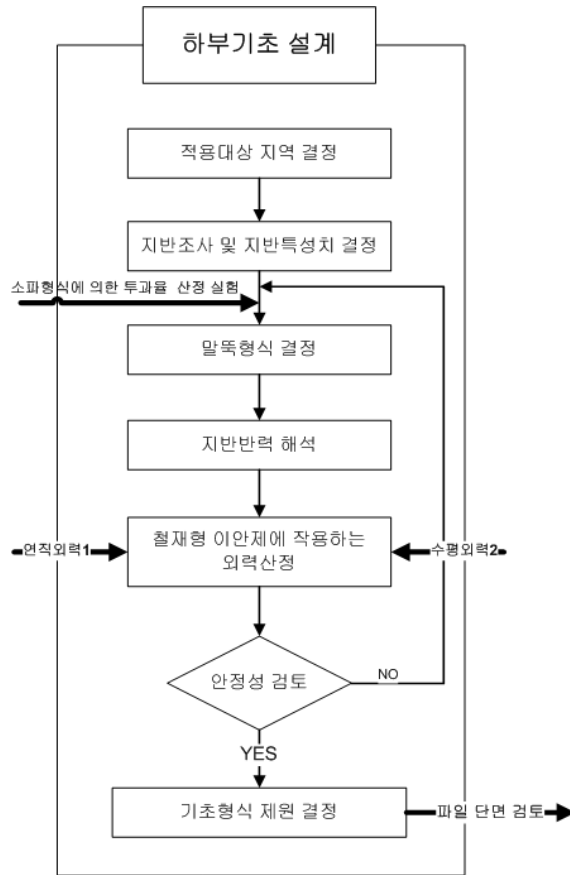


그림 7.2 하부기초 설계과정 흐름도

철재형 이안제의 하부기초는 상부구조물로부터 전달되는 외부하중을 지층에 분산하여 지지하는 지중 구조물로서 상부구조물의 규모, 형식 및 형태와 지반 조건 등을 고려하여 외부하중을 안전하게 지지할 수 있고, 기초지반의 침하가 상부구조물에 영향을 미치지 않는 허용 침하량 이내에서 확실한 시공이 가능하도록 하여야 한다. 하부구조 기초의 형식은 외부하중의 종류 및 크기, 지중 조건, 현장조건, 시공성 및 경제성 등을 종합적으로 검토하여 선정하여야 한다. 기초의 종류는 크게 얕은 기초와 깊은 기초로 구분할 수 있으며, 일반적으로 수심이 깊은 경우에는 깊은 기초가 적합하다. 기초의 종류에는 강관파일, H형강, 강널말뚝, 기성 콘크리트말뚝, 현장타설말뚝 등이 검토될 수 있다.

7.1.2 지반반력해석

축하중 재하시 말뚝-지반계의 거동을 모의하기 위하여 말뚝을 일축부재로 모델하여 탄성 스프링으로 고려할 수 있다. 그리고 말뚝주면의 지반은 깊이에 따라 상이한 비선형 스프링으로 모델하고 말뚝 선단 직하부의 지반거동은 하나의 비선형 스프링으로 모델할 수 있다.

횡하중에 대한 지반반력법은 지반스프링을 선형 또는 비선형으로 모델하여 해석적이거나 수치적으로 해를 구할 수 있다.

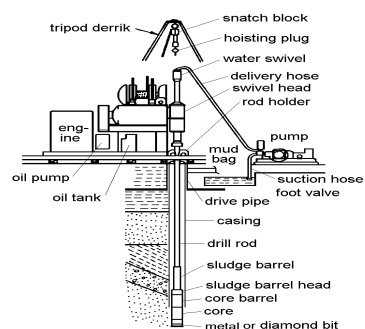
7.2 실패역에 대한 철재형 이안제의 기본설계(하부구조)

7.2.1 지반조사

현장에 적용되는 철재형 이안제 구조물을 설계하기 위하여 본 연구에서는 철재형 이안제가 시험시공될 예정지인 경상북도 울진군 원남읍 오산항 인근 해상에 예인선을 이용하여 수심 측량을 실시한 후, 지반조건 및 지반물성치와 특성치를 평가하기 위하여 총 4공의 지반조사를 수행하였다.



(a) 시추조사 전경

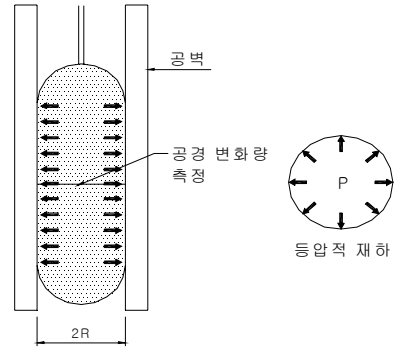


(b) 모식도

그림 7.3 시추조사



(a) 공내재하시험 전경



(b) 시험 모식도

그림 7.4 공내재하시험

지반조사 결과, 철재형 이안제가 시험시공될 예정지역의 지반조건을 살펴보면, 상부에 평균 N 치가 47인 조밀한 모래층이 존재하며 그 하부에 연암층이 나타나는 것으로 확인되었다.

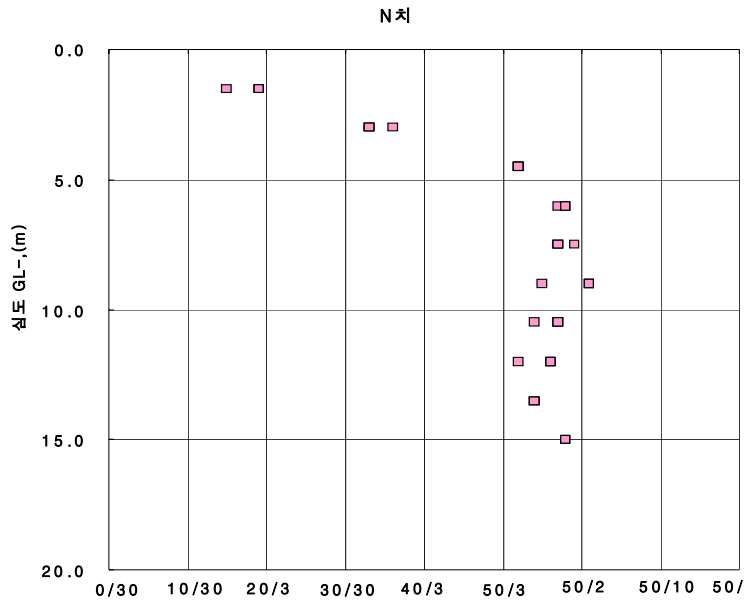


그림 7.5 N 치 분포도

수심측량 결과와 시추 주상도를 이용하여 작성된 수심 깊이와 상부 모래층 두께에 대한 등고선도가 그림 7.6와 그림 7.7에 나타나 있다. 여러 가지 결과들을 고려하여 철재형 이안제의 시공 예정위치를 수심 9.0m지점으로 결정하였으며, 시공 예정위치에서 상부 모래층의 두께는 13.2~13.3m로 분포하고 있는 것으로 나타났다.

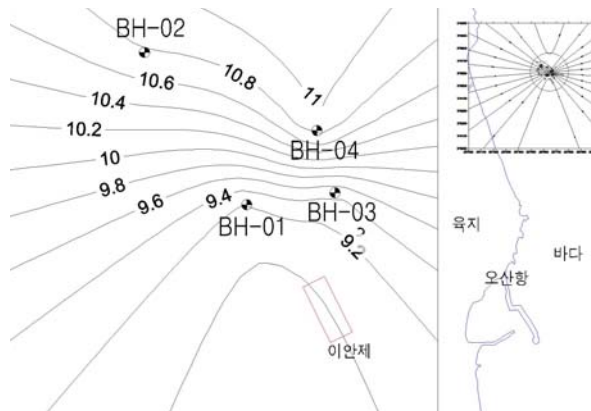


그림 7.6 수심도

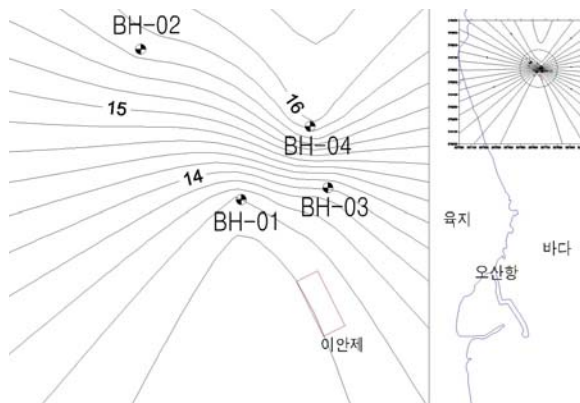


그림 7.7 상부 모래층후도

철재형 이안제가 수심 9.0m 위치에 설치될 예정이므로 본 구조물의 기초는 깊은 기초로 결정하였으며, 깊은 기초는 하부 연암층에 관입하는 것으로 고려하였으며, 하부구조계산을 위한 각 지층의 두께는 그림 7.7에 보이는 바와 같이 상부 모래층 13.3m, 하부 연암층 1.0m를 적용하였다.

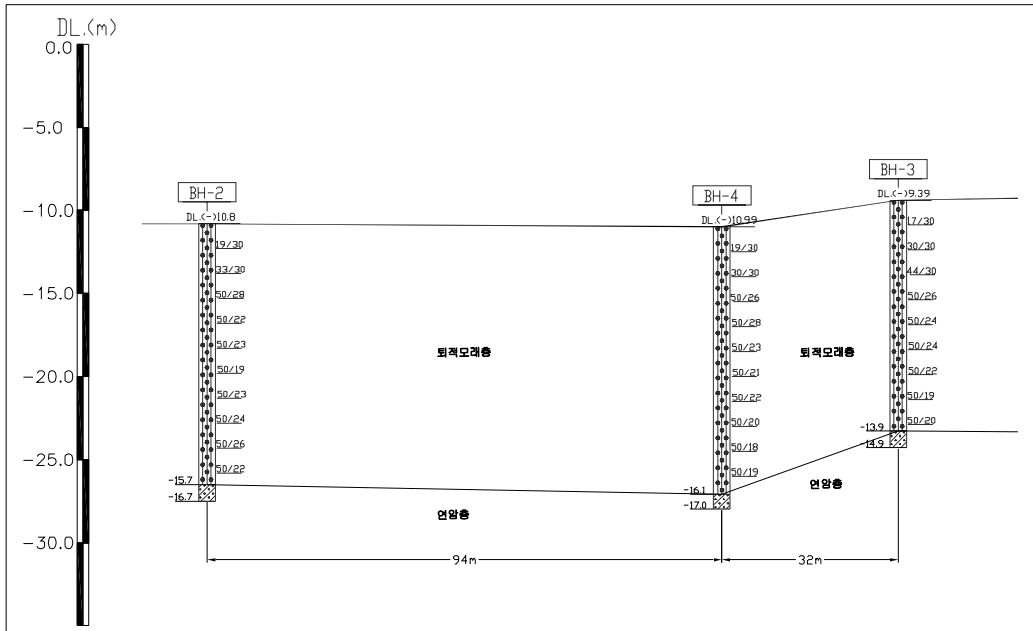


그림 7.8 지층단면

7.2.2 철재형 이안제에 작용하는 외부하중의 결정

철재형 이안제의 하부기초는 상부구조물로부터 전달되는 하중을 지지하는 구조체로서 상부구조물의 규모, 형식 및 형태와 지반조건 등을 고려하여 상부재하하중을 안전하게 지지할 수 있고, 기초지반의 침하가 상부구조물에 영향을 미치지 않는 허용 침하량 이내에서 확실한 시공이 가능하도록 하여야 하므로 하부구조 기초의 형식은 상재하중의 종류 및 크기, 시공조건, 진동 및 소음 등 환경조건을 고려하여 선정하여야 한다.

본 연구에서 철재형 이안제를 시험시공 할 예정지의 지반조건에서는 직접기초가 가능하지만, 해파방지 구조물을 말뚝두부에 설치해야 하는 시공조건상 깊은기초가 적합한 것으로 판단되었다. 이에 본 구간에 적용 가능한 말뚝재료를 선정함에 있어 지층조건, 현장조건, 구조물 하중, 시공성 및 경제성 등을 종합적으로 고려하였으며, 특히 본 구조물에 작용하는 파력에 대한 저항특성을 고려하고 횡방향 저항력을 고려하여 휨저항성이 큰 강관말뚝으로 선정하였다. 설계에 적용된 강관말뚝은 직경 711mm, 두께 12mm이다.

철재형 이안제의 하부구조를 설계하기 위해서는 구조물에 작용하는 연직력, 인발력, 수평력 등의 외부하중을 결정하여야 한다. 구조물에 작용하는 이러한 외부하중은 강관말뚝에 작용하는 수평파력과 이열 유공판에 작용하는 연직하중 및 인발하중을 고려하였으며, 그 크기는 4.4절에서 수행한 이열 유공판에 작용하는 수리모형실험 결과 및 강관말뚝에 작용하는 수평 파력식에 의하여 결정되었다. 현장 조건을 모사한 이열 유공판에 대한 수리모형실험을 통하여 파력에 의한 이열 유공판에 작용하는 최대하중은 파압계와 로드셀로 측정하였다. 실험결과로부터 얻은 최대하중을 현장에 적용되는 실제 구조물에 작용하는 최대하중을 얻기 위하여 *Froude* 상사법칙을 적용하였으며, 모형실험단면과 실제 구조물에 작용하는 최대하중의 산정결과가 표 7.1에 나타나 있다. 이 표에서 보는 바와 같이 수리모형실험에서 파압계와 로드셀로 측정된 최대하중

은 최대 연직하향력의 경우 비슷하게 나타났고, 최대 연직상향력은 약간 차이가 있지만 비슷하게 측정되었다.

설계시 안정성을 고려하여 본 연구에서는 파압계에서 측정된 값을 근거로 철재형 이안제 구조물 전체에 작용하는 최대 연직하향력은 $1,598kN$, 최대 연직상향력은 $1,617kN$ 을 설계에 반영하였다. 현장에 적용될 철재형 이안제의 하부 기초는 3×3 배열의 강관말뚝으로 그림 7.1(b)과 같이 모델링하여 수치해석을 실시한 결과, 강관말뚝에 작용하는 최대 연직하향력은 $369.2kN$ 이고, 최대 연직상향력은 $403.7kN$ 으로 평가되었다.

표 7.1 수리모형실험에 의한 이열 유공판에 작용하는 하중

구분	최대 연직하향력	최대 연직상향력	비고
수리모형실험 ($0.4m\times 0.32m, L\times B$)	$63.1 N$	$-63.9 N$	파압계 측정
	$63.4 N$	$-51.2 N$	로드셀 측정
현장조건 ($12m\times 9m, L\times B$)	$1598.0 kN$	$-1617.5 kN$	파압계 측정
	$1712.1 kN$	$-1382.0 kN$	로드셀 측정

철재형 이안제 구조물에 작용하는 단위길이당 각 부재에 작용하는 수평력은 강관말뚝에 작용하는 수평파력식과 상부구조해석(SAP2000)에 의하여 결정되었다.

7.2.3 말뚝기초의 지지력 검토

말뚝기초의 연직지지력은 시공방법 및 지지층의 지반특성에 따라 산정방법을 다양하게 검토할 수 있으며, 본 연구에서는 강관말뚝이 상부 모래층 $13.3m$ 를 관통하여, 하부 연암층 $1.0m$ 에 근입하는 것으로 검토하였다. 본 연구에서는 표 7.1에서 제시된 말뚝기초의 허용지지력은 도로교표준시방서, 구조물기초설

계기준 및 도로교설계기준 방법, 현장시험결과를 이용하는 방법 등의 방법으로 말뚝의 지지력을 산정하였으며, 말뚝기초의 지지력은 직경 711mm, 두께 12mm의 강관말뚝에 대하여 평가하였다.

각 방법에 의한 연직지지력은 표 7.2에 보이는 바와 같이 최대 작용하중 369.2kN에 대하여 충분히 안전한 것으로 검토되었다.

표 7.2 여러 가지 방법에 의한 말뚝기초의 연직지지력 산정 결과

해석 방법	허용지지력
허용압축응력에 의한 방법	2,853.8kN
일축압축강도를 이용한 방법	1,433.7kN
공내재하시험을 이용한 방법	1,594.5kN
도로교 표준시방서에 의한 방법	1,800.3kN
구조물 기초설계기준에 의한 방법	1,745.4kN

철재형 이안제에 외부하중 작용시 말뚝기초에 발생하는 침하량에 대한 검토를 수행했다. 말뚝기초의 침하량은 구조물기초설계기준(2003)과 경험적 방법에 의하여 검토가 되었으며, 표 7.3에 보이는 바와 같이 발생 침하량은 각각 9.1mm, 7.7mm로 나타났다. 이 값들은 허용침하량 25.4mm 이내이므로 본 연구에서의 철재형 이안제 구조물은 침하에 대하여 안전한 것으로 판단된다.

표 7.3 말뚝기초의 침하량 검토결과

구분	발생침하량			전체침하량 (mm)	허용 침하량 (mm)	결과
	S1	S2	S3			
구조물기초설계기준	0.96	7.50	0.66	9.1	25.4	O.K.
경험적인 방법	-	-	-	7.7	25.4	O.K.

말뚝기초의 수평방향 안정성 검토는 다음과 같이 실시하였다. 본 연구에서의 철재형 이안제는 해저면에서 9m 돌출되어 수평하중과 모멘트를 받고 있으므로 이에 대한 말뚝본체의 안정성을 평가하여야 된다. 말뚝두부변위, 말뚝의 지표면변위, 최대휨모멘트 등을 구분하여 산정할 수 있으며, 말뚝에 발생하는 휨모멘트를 산정하여 말뚝본체의 안정성도 검토할 수 있는 $h(\text{돌출높이}) \gg 0$ 인 조건에서 탄성지반반력법(*Chang's method*)과 극한평형법(*Brom's method*)을 적용하여 검토하였다. 본 연구에서 시험시공 될 철재형 이안제에 대한 수평지지력은 작용 수평력 40.8kN에 비하여 훨씬 크게 나타났고, 수평방향 발생 변위도 허용 변위이내 이므로 철재형 이안제의 말뚝기초는 수평방향에 대하여 안전한 것으로 평가되었다.

표 7.4 말뚝의 수평지지력과 수평변위 산정 결과

지지력 산정 방법	허용수평지지력 (kN/본)	수평변위 산정 방법	수평변위 (mm)
극한평형법 (<i>Broms</i> , 1964)	244.1	수평지반반력계수가 일정한 경우	0.20
허용변위에 의한 방법 (<i>Chang</i> , 1937)	1,224.0	수평지반반력계수가 깊이에 비례하는 경우	0.30

철재형 이안제의 말뚝기초의 인발력에 대한 안정성 평가 결과는 식 7.1에 의한 말뚝 1본에 작용하는 허용 연직인발지지력은 482.9kN으로 산정되었으며, 이는 철재형 이안제 구조물에 작용하는 외부작용 인발력 403kN에 대하여 충분히 안전한 것을 판단된다.

$$P_a = \frac{P_{u2}}{n_2} + W \quad (7.1)$$

여기서, P_{u2} : 정역학적 지지력 산정공식에 의한 극한인발력

n_2 : 안전율 ($n_2 \geq 3.0$)

W : 부력을 뺀 말뚝자중 + 상부구조물 무게

7.2.4 지반반력해석

본 연구에서는 철재형 이안제 구조물이 설치될 예정지에 대하여 지반반력해석법을 실시하였으며, 사질토층 하부 암반에 근입된 효과에 대해서는 무시하였다.

제8장 실효역 적용 실험

해역환경의 년단위 변화에 대하여 실험실 수준에서 3차원적 현상을 충분히 모의하기가 사실상 불가능하다. 특히 대표파에 의한 주파랑 방향에 대한 모의 방법을 생각할 수 있으나 년중 큰 파가 내습하여 안충표사량을 변화시키는 *Event*성 파랑에 대하여 모의하기가 이론 및 실제적으로 어려움이 있다. 따라서 철재형 이안제는 해안선 보호 기능과 파력에 대한 안정성 확보를 위한 실효역을 대상으로 현장 검증 실험이 필요하다.

실효역을 대상으로 한 검증 실험은 7장에서 보인바와 같이 울진군 초산리 일대에 수행된 지반조사의 위치내로 하며, 설계파고를 대상으로 철재형 이안제의 현장검증을 실시하여야 한다.

본 연구에서는 철재형 이안제의 안정성, 안전성, 투과율에 대하여 검토하고자 한다. 해안선 보호를 위한 기능성에 대한 검토는 하지 않는다.

철재형 이안제 실효역 적용 실험 시 설계 도면은 그림 3.1에 보인 바와 같이 철재형 이안제의 설계 단계를 통하여 검토된 철재형 이안제 상세도면 중에서 시공이 용이하다고 판단된 부록D의 철재형 이안제 상세설계(제2안)를 기준으로 하여 철재형 이안제를 시공한다.

철재형 이안제 실효역 시공에 있어 정확한 파일의 정위치 확인 및 소파판 거치 확인을 위하여 정밀 측량을 실시하며 실효역 시공완료 후 파랑계측 및 강관파일 변위계측을 통한 수리모형 실험 검증 및 구조물의 안정성 여부를 파악하여 철재형 이안제를 제안하고자 한다.

8.1 기준점 측량

철재형 이안제의 실효역 시공에 있어서 파일의 정위치 확인, 소파판 몰수심 결정이 가장 중요한 문제 중의 일부이다. 본 연구는 이러한 실효역 시공을 정밀한 측량성과에 기초하여 완성하기 위하여 인근의 수준점을 확인하고 시공 예정지로부터 가까운 육상부에 기준점을 설치하고자 한다. 또한 EL값과 DL값의 상관관계를 정립하여 실제 해역에서 설치될 구조물의 수심을 정확히 확정하고자 한다.

설치지점의 정위치는 7장에 보인바와 같이 수행된 지반조사의 위치내로 하였으며 정확한 좌표는 시공 중 결정되도록 하였다.

8.1.1 수준측량

철재형 이안제 현장적용 실험시 구조물의 설치를 위하여 국토지리정보원의 국가 기준점 성과표를 사용하여 기준점 측량을 실시하였다.

국가 수준점 *BM 12-36-00*은 국도7호선(구. 국도7호선)경북 울진군 후포면 소재지에서 울진방면 *27.6km* 진행하면 도로우측에 매화덕신분교가 있으며, 이 분교 우측 화단(백엽상)에 위치에 있다. *BM 12-37-00*은 국도7호선(구. 국도7호선) 경북 울진군 후포면 소재지에서 울진방면 *30.1km* 진행하면 도로우측 백옥동 버스정류장 옆 *2m* 떨어진 화단에 위치하고 있다. 국가 수준점 사용여부를 확인하기 위하여 *BM 12-36-00*와 *BM 12-37-00*의 2점을 사진 8.1에 보이는 바와 같이 수준측량을 실시하여 연결 관측하였다. 연결 관측시 국가 수준점의 *BM 12-36-00*와 *BM 12-37-00*의 거리는 약 *4km* 정도이며 측량시 오차는 $\pm 5cm$ 이다.



BM 12-36-00



기준점 수준측량



BM 12-37-00



기준점 수준측량

사진 8.1 국가 수준점 연결 관측

철재형 이안제의 시공위치와 가장 근접한 위치에 있는 *BM 12-36-00*을 사용하여 울진군 초산리 지역까지 왕복 수준측량을 실시하였으며, 시준축 오차를 소거하기 위하여 시준거리를 약 40m정도를 유지하였으며, 영점오차를 소거하기 위하여 표척 2개를 1조로 하고 출발점에 세운 표척을 반드시 도착점에 세웠다.

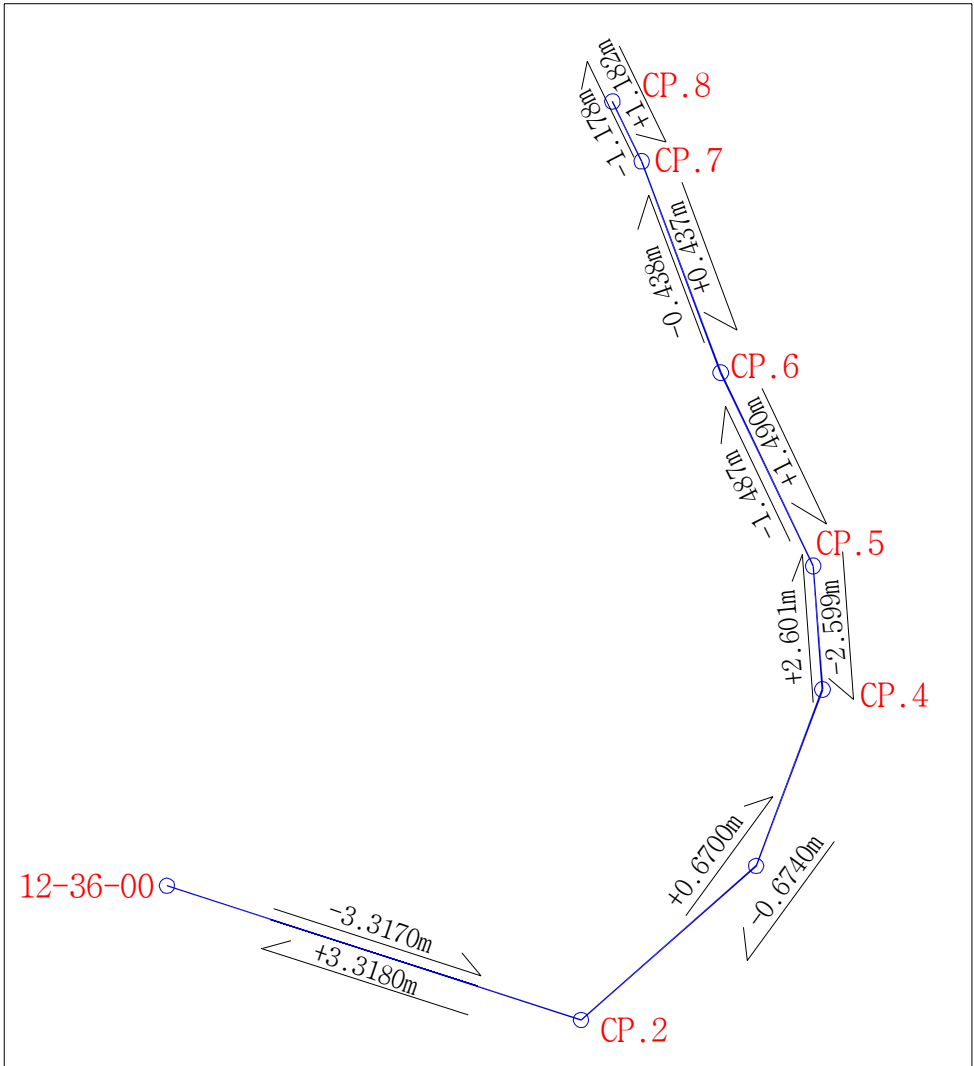


그림 8.1 수준망도

그림 8.1의 수준망도에 보인 바와 같이 국가수준점 *BM* 12-36-00에서 *CP*8 까지의 거리는 약 4km이정도이며, 수준측량의 계산은 표 8.1에 보이는 바와 같이 고차식 계산을 표준으로 작업하였다.

표 8.1 고차식 야장

수준측량(왕)				수준측량(복)			
NO	B.S	F.S	G.H	NO	B.S	F.S	G.H
12-36-00	1.801		6.5839	CP.8	1.572		4.3039
	2.135	3.44	4.9449		1.468	1.223	4.6529
	0.219	1.568	5.5119		1.506	1.428	4.6929
	1.573	2.079	3.6519	CP.7		0.713	5.4859
	1.635	1.948	3.2769				
CP.2		1.645	3.2669	CP.7	0.78		5.4859
					1.607	1.615	4.6509
CP.2	1.598		3.2669		1.673	1.466	4.7919
	1.53	1.7	3.1649		1.668	1.525	4.9399
	1.461	1.613	3.0819		1.683	1.465	5.1429
	1.451	1.681	2.8619		1.576	1.375	5.4509
	1.451	1.656	2.6569	CP.6		1.978	5.0489
	1.489	1.681	2.4269				
	1.672	1.686	2.2299	CP.6	2.06		5.0489
2-1	1.863	1.25	2.6519		1.618	1.449	5.6599
	1.55	1.4	3.1149		1.445	1.592	5.6859
	1.662	1.538	3.1269		1.588	1.741	5.3899
	1.435	1.784	3.0049		1.516	1.625	5.3529
	1.569	1.585	2.8549		1.51	1.624	5.2449
	2.45	1.439	2.9849		1.535	1.631	5.1239
CP.4		1.498	3.9369	CP.5		0.12	6.5389
80		2.167	3.2679				
					1.565		5.0879
80	1.174		3.2679	CP.5		0.114	6.5389
CP.4		0.505	3.9369		0.87	2.006	4.6469
	1.733	1.501	2.9409		1.37	2.045	3.4719
	1.556	1.345	3.3289		1.24	1.551	3.2909

	2.175	0.936	3.9489		1.622	1.56	2.9709
	1.678	1.14	4.9839	CP.4		0.653	3.9399
CP.5		0.124	6.5379	80		1.32	3.2699
CP.5	0.124		6.5379	80	2.156		3.2699
	1.475	1.678	4.9839	CP.4		1.486	3.9399
	1.499	1.328	5.1309		1.475	2.436	2.9899
	1.49	1.329	5.3009		1.583	1.613	2.8519
	1.499	1.4	5.3909		1.794	1.462	2.9729
	1.425	1.353	5.5369		1.58	1.631	3.1359
	1.37	1.21	5.7519		1.543	1.625	3.0909
CP.6		2.071	5.0509	2-1	1.3	1.98	2.6539
					1.705	1.719	2.2349
CP.6	1.891		5.0509	CP.6	1.704	1.535	2.4049
	1.33	1.598	5.3439		1.704	1.453	2.6559
	1.385	1.603	5.0709		1.691	1.515	2.8449
	1.409	1.545	4.9109		1.651	1.468	3.0679
	1.455	1.565	4.7549		1.685	1.555	3.1639
	1.48	1.476	4.7339	CP.2		1.583	3.2659
CP.7		0.725	5.4889				
				2	1.726		3.2659
7	0.68		5.4889		1.555	1.335	3.6569
	1.428	1.473	4.6959		2.875	1.12	4.0919
	1.22	1.463	4.6609		1.433	1.409	5.5579
8		1.57	4.3109		2.572	2.024	4.9669
				12-36-00		0.955	6.5839

수준측량을 실시한 결과(표 8.1 고차식 야장)를 이용하여 $5.0mm \sqrt{s}$ 이내에 들도록 오차량을 거리에 비례하게 분배하였으며, 각 지점의 지반고는 아래의 표 8.2와 같다.

표 8.2 측지 수준점 지반고

측점	지반고	관 측 오 차
12-36-00	6.5839m	0
CP. 2	3.2664m	±0.5mm
CP. 4	3.9384m	±1.5mm
CP. 5	6.5384m	±0.5mm
CP. 6	5.0499m	±1mm
CP. 8	4.3074m	±3.5mm

8.1.2 트래버스측량

광파기 SET530RK를 사용하여 그림 8.2에 보이는 바와 같이 오산항 남방과 제의 CP.1에서 초산지역 무릉교 위의 CP.8까지 내각을 왕복으로 트래버스 측량을 실시하였으며, 망원경을 정·반위로 하여 평균값을 취함으로써 시준측 오차, 망원경 편심오차, 수평측 오차를 소거하였다.

표 8.3 각 관측(왕/복)

측점	시준점	D/R	도 (°)	분 (')	초 (")		거리 (m)
2	1	D	241	2	17	왕	203.133
		R	61	2	18		
	3	D	241	2	11	복	460.895
		R	61	2	21		
	평균		241	2	17		
3	2	D	151	54	47	왕	
		R	331	54	41		
	4	D	151	55	2	복	372.675
		R	331	54	59		
	평균		151	54	52		
4	3	D	155	4	55	왕	
		R	335	5	1		
	5	D	155	4	51	복	244.63
		R	335	4	53		
	평균		155	4	55		
5	4	D	158	43	51	왕	
		R	338	44	5		
	6	D	158	44	2	복	423.568
		R	338	43	56		
	평균		158	43	59		
6	5	D	185	3	34	왕	
		R	5	3	28		
	7	D	185	3	26	복	445.878
		R	5	3	24		
	평균		185	3	28		
7	6	D	174	31	52	왕	
		R	354	31	42		
	8	D	174	31	43	복	131.731
		R	354	31	43		
	평균		174	31	45		

표 8.3과 같이 CP.1 ~ CP.8까지 기준점 측량을 실시하였으며, 실시한 각 관측 데이터의 오차 발생 여부를 판단한 후 각 관측 데이터를 이용하여 기준점의 좌표를 아래의 식 (8.1)과 식 (8.2)을 이용하여 기준점 좌표 표 8.4를 산정하였다.

$$\text{위거} = l \cos \theta \quad (8.1)$$

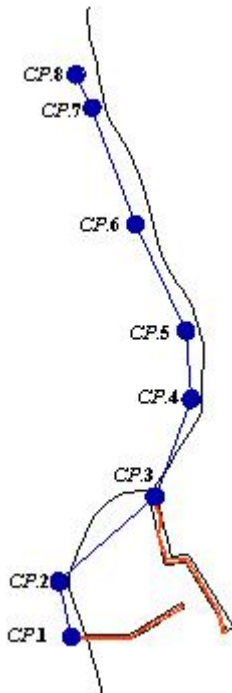
$$\text{경거} = l \sin \theta \quad (8.2)$$

여기서 l 은 측선거리 이며, θ 는 방위각이다.

표 8.4 기준점 좌표(상대좌표)

측선	관측각	방위각	거리	위거	경거	N	E	NO
	CP.1					4104970.451	534814.897	CP.1
CP.1 ⇒ CP.2		10.39560	203.133	199.624	37.595	4105170.075	534852.492	CP.2
CP.2 ⇒ CP.3	241.02170	71.42130	460.895	144.690	437.595	4105314.765	535290.087	CP.3
CP.3 ⇒ CP.4	151.54520	43.37050	372.675	269.800	257.089	4105584.565	535547.176	CP.4
CP.4 ⇒ CP.5	155.04550	18.42000	244.630	231.716	78.432	4105816.281	535625.608	CP.5
CP.5 ⇒ CP.6	158.43590	-2.74410	423.568	423.143	-18.970	4106239.424	535606.638	CP.6
CP.6 ⇒ CP.7	185.03280	2.29270	445.878	445.457	19.378	4106684.881	535626.016	CP.7
CP.7 ⇒ CP.8	174.31450	-2.98880	131.731	131.553	-6.848	4106816.434	535619.168	CP.8

산정된 기준점 좌표를 기존의 지형도에 그림 8.2의 (a)에 보인 바와 같이 오산향을 기준으로 기존의 도면에 중첩시켜 보인 것이며, (b)는 기존의 오산향을 기준으로 위성사진에 중첩시켜 보인 것이다.



(a) 기준점을 도면에 중첩



(b) 기준점을 위성사진 중첩

그림 8.2 기준점 측량

실시 측량한 오산항과 기존의 지형도에 오산항을 중첩시켜 표 8.4의 기준점 좌표를 보정하여 산정하였으며, 기준점 좌표는 상대좌표이다.

철재형 이안제 현장실험 지역인 울진군 초산리 지역의 기본수준점점표와 측지 수준점에 관계를 얻기 위하여 표 8.5와 같이 후포항의 기본수준점 성과표를 이용하였다. DL은 후포항의 약최저저조면을 기준으로 하여 그림 8.3에 보이는 바와 같이 측지 수준점에서 기본수준점을 보정하였다.

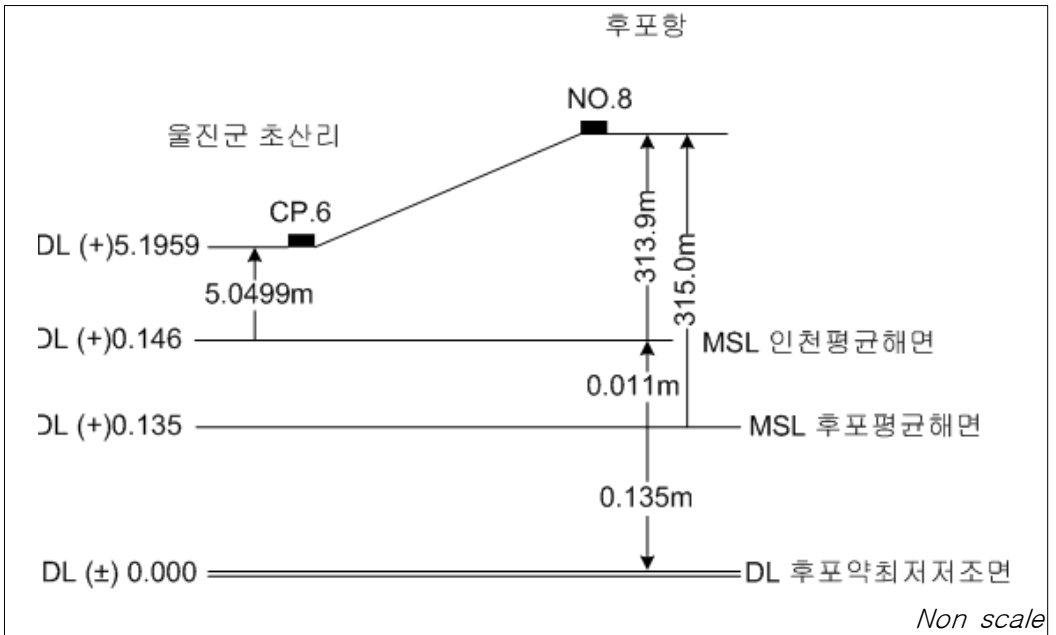


그림 8.3 TBM-BM 높이 차

※ 철재형 이안제는 물수심에 의하여 성능이 달라지므로 현지의 조건에 맞추어 조위 관측을 실시한 후 DL(약최저저조면)을 결정 하는 것이 좋다.

표 8.5 후포항의 기본 수준점 성과표

지 명		기본수준점성과표				고유번호	110	
후 포						참조해도	137	
표 지 명		TBM No.1	TBM No.2	TBM No.3	TBM No.4			
표 고	MSL 상	330.7 cm	329.8 cm	210.4 cm	246.5 cm			
	DL 상	344.2 cm	343.3 cm	223.9 cm	260.0cm			
위치 (WGS-84)	위도							
	경도							
지 상 표 지								
설 표 일 자								
최종조사일자		2008. 05. 01	2008. 05. 01	2008. 05. 01	2008. 05. 01			
관 리 자				정덕모	정덕모			
장 소		후포항 북동편 방파제 연결돌섬 우측 암반상	후포항 조위관측소 정면 우측	후포하우조위관 측소 진입 방파제입구	후포항 북동편 방파제 입구 신아수산 건물옆			
표 지 명		구분체	수측기점					
표 고	MSL 상	400.0cm	512.5cm					
	DL 상	413.5cm	526.0cm					
위치 (WGS-84)	위 도							
	경 도							
지 상 표 지								
설 표 일 자								
최종조사일자		2008. 05. 01	2008. 05. 01					
관 리 자								
장 소		조위관측소 내	조위관측소 내					
IMSL(BM)과의 관계		- 상대차 :-1.1cm - TBM No. 8 : MSL상 315.0cm, I MSL(BM)상 : 313.9cm (각 TBM의 MSL상의 성과에 -1.1cm를 더해주면 BM상의 성과가 됨)						
조 화 상 수			비 조 화 상 수					
분조	반조차 (H)	지각 (K)	평균고조간격	03 h 11 m	장 소	경북 울진군 후포면 후포리 후포방파제		
M ₂	4.1 cm	92.3	대 조 승	18.7cm	위 치	Tokyo Datum	36-40-38.8 N	129-27-46.0 E
						WGS-84	36-40-49.4 N	129-27 37.6 E
S ₂	1.1 cm	117.8	소 조 승	16.5 cm	기 기	OTT 형(배율 1/10)		
K ₁	4.2 cm	-3.2	평 균 해 면	13.5 cm	기 간	2003. 1. 1 ~2003. 12. 31		
O ₁	4.1 cm	322.9	약최고고조면	27.0 cm	관측 자	동해해양조사사무소		

표 8.5 후포항의 기본수준점성과표(계속)

지 명	기본수준점성과표	고유 번호	110
후 포		참조 해도	137







표 8.6 점의 조서

(a) CP. 1의 기준점 위치

점의 조서			
측점	CP.1		관측일 2008년1월16일
성과	N좌표	4081895.246	높이
	E좌표	537224.183	
소재지	오산항 남방과제		
			
		측점	CP.1
			
		CP.1 → CP.2	




(b) CP.2의 기준점 위치

점의 조서				
측점	CP.2		관측일	2009년3월17일
성과	N좌표	4082093.684	높이	IMSL(+) 3.2664m
	E좌표	537180.761		DL(+) 3.4124m
소재지	오천 버스정류장 앞			
				
				
CP.2 → CP.1			CP.2 → CP.3	





(c) CP. 3의 기준점 위치

점의 조서			
측점	CP.3		관측일 2008년1월16일
성과	N좌표	4082397.905	높이 -
	E좌표	537526.988	
소재지	오산항 북방파제(공사용 수준점표-해양수산부)		
			
			
CP.3 → CP.2		CP.3 → CP.4	

(d) CP. 4의 기준점 위치

점의 조서			
측점	CP.4		관측일 2009년3월17일
성과	N좌표	4082746.729	높이 IMSL(+) 3.9384m DL(+) 4.0844m
	E좌표	537658.169	
소재지			
			
			
CP.4 → CP.3		CP.4 → CP.5	

(e) CP. 5의 기준점 위치

점의 조서			
측점	CP.5		관측일 2009년3월17일
성과	N좌표	4082990.668	높이 IMSL(+) 6.5384m DL(+) 6.6844m
	E좌표	537639.791	
소재지	해안 경계 소초		
			
		측점	CP.5
			
CP.5 → CP.4		CP.5 → CP.6	

(f) CP. 6의 기준점 위치

점의 조서				
측점	CP.6		관측일	2009년3월17일
성과	N좌표	4083372.733	높이	IMSL(+) 5.0499m
	E좌표	537456.936		DL(+) 5.1959m
소재지				
				
				
CP.6 → CP.5			CP.6 → CP.7	

(g) CP. 7의 기준점 위치

점의 조서			
측점	CP.7		관측일 2009년3월17일
성과	N좌표	4083790.327	높이 손실
	E좌표	537300.658	
소재지			
			
		측점	CP.7
			
CP.7 → CP.6		CP.7 → CP.8	

(g) CP. 8의 기준점 위치

점의 조서			
측점	CP.8		관측일 2009년3월17일
성과	N좌표	4083908.737	높이 IMSL(+) 4.3074m DL(+) 4.4534m
	E좌표	537242.934	
소재지	무릉교 위		
			
			
CP.8 → CP.7			

8.2 철재형 이안제 실패역 시공

철재형 이안제 현장 실험시 적용한 상세 도면은 그림 3.1의 설계단계를 통하여 검토된 설계도면 중 시공이 용이하다고 판단한 부록D에 보이는 바와 같이 소파판과 강관파일을 핀으로 연결한 제2안을 사용하였으며, 철재형 이안제의 성능 향상을 위하여 몰수심 결정 및 이안제 설치 방향을 육상에서 광파기로 관측하여 철재형 이안제를 실패역에 설치하였다.

8.2.1 투입인원 및 투입장비

철재형 이안제 현장실험을 위한 현장 투입 인원 및 투입 장비는 표 8.7과 8.8에 보이는 바와 같다

표 8.7 현장 투입 인원 현황

현장대리인	공사공무팀	품질관리팀	잠수부	특별노무자	일반노무자	소계
1 인	1 인	1 인 (겸직)	4 인	2 인	2 인	10 인

표 8.8 투입장비 계획

품 목	규 격	단 위	수 량	비 고
크레인 바지선	(627덕양) 125ton 크레인, 붐 길이 : 27m	선단	1	
항타 전용선	(625덕양) 80ton 크레인, 붐 길이 : 36.58m	선단	1	
예 인 선		대	1	
운 반 바 지 선	43.22m×18.4m×2.5m (627덕양) 29.62m×15m×2.20m (625덕양)	대	2	
통 선		대	1	
발 전 기		대	1	

8.2.2 철재형 이안제 시공 순서

철재형 이안제를 실패역을 대상으로 기능성과 안정성을 검토하기 위하여 실패역을 대상으로 현장실험을 실시하여야 한다.

철재형 이안제를 해상에서 현장실험을 하기 위하여 그림 8.4에 보이는 바와 같은 시공과정을 통하여 원하는 정위치에 철재형 이안제를 시공한다.

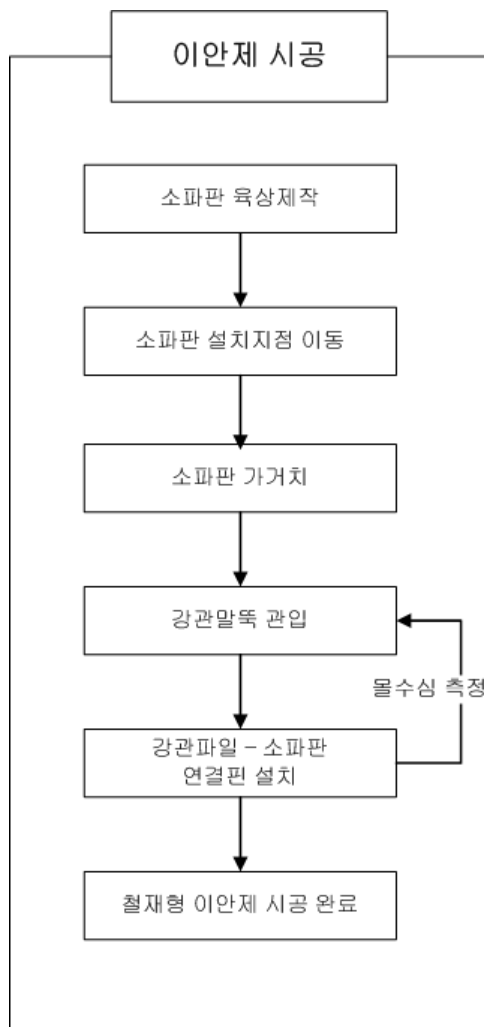


그림 8.4 철재형 이안제 시공순서

철재형 이안제 시공은 소파판을 육상에서 제작을 하여 설치 위치 지점으로 해상이동을 한다. 해상위치 지점으로 이동이 되면 육상에서 정확한 정위치를 측량하여 설치위치에 크레인을 이용하여 소파판을 정확히 거치 후 강관파일을 관입한다.

강관파일 관입 후 강관파일과 소파판 캡을 핀으로 연결 후 마무리 작업을 하면 철재형 이안제 시공이 완료된다.

8.2.2.1 소파판 육상제작

철재형 이안제의 상부구조인 소파판은 먼저 강판을 사용하여 사진 8.2와 같이 구멍뚫기를 실시하며, 자세한 제작 방법은 다음과 같다.



사진 8.2 소파판 절단 및 펀칭

강판을 사진 8.2에 보인 바와 같이 $1.8m \times 6m$ 크기에 직경(D) $0.224m$ 의 구멍뚫기를 실시하여 7%의 유공을 주어 제작한다.

강판에 직경 $0.224m$ 의 펀칭이 완료가 되면 사진 8.3(a)에 보이는 바와 같이

강판과 강판을 $9m \times 12m$ 크기로 용접 후 비틀림 방지를 위한 상판에 가로보강재인 H형강과 주보강재를 용접하며, 강관파일과 소파관을 연결하기 위한 캡을 상판의 강관파일 설치 위치 지점에 용접한다.



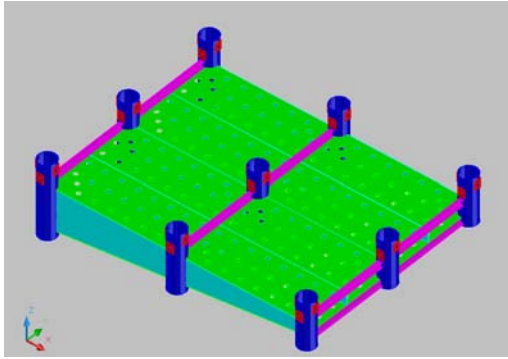
(a) 소파관 용접



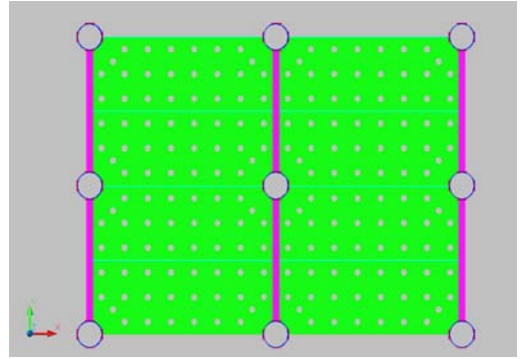
(b) 소파관과 캡 용접

사진 8.3 소파관 용접

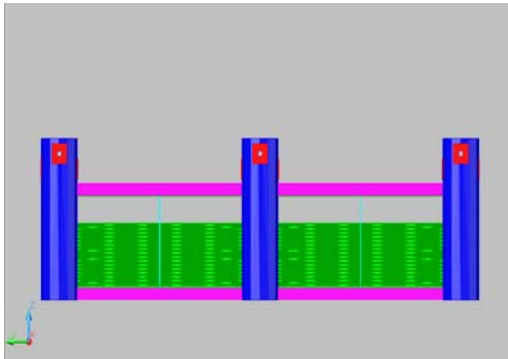
소파관 상판에 가로보강재(H형강), 주보강재, 캡 용접이 완료가 되면 소파관 상판에 하판을 용접하며, 하판에는 비틀림 방지를 위한 가로보강재(T형강)를 용접하여 그림 8.5에 보이는 바와 같이 소파관 제작을 완료한다.



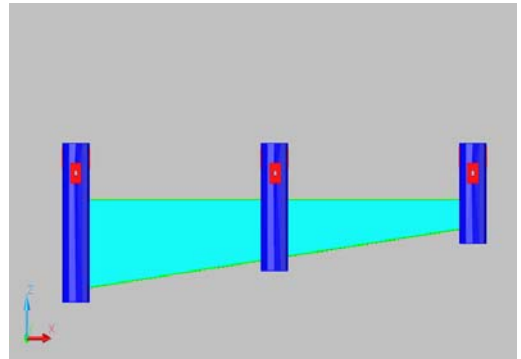
(a) 입체도



(b) 평면도



(c) 정면도



(d) 측면도

그림 8.5 소파판

8.2.2.2 소파판 가거치

철재형 이안제의 소파판이 육상에서 제작이 완료가 되면 그림8.7에 보이는 바와 같이 와이어로프(C1, C2, C3, C4지점)를 크레인에 고정시켜 바지선에 탑재를 한 후 철재형 이안제 설치 지점(지반조사 실시지역)으로 *GPS*를 이용하여 이동한다.

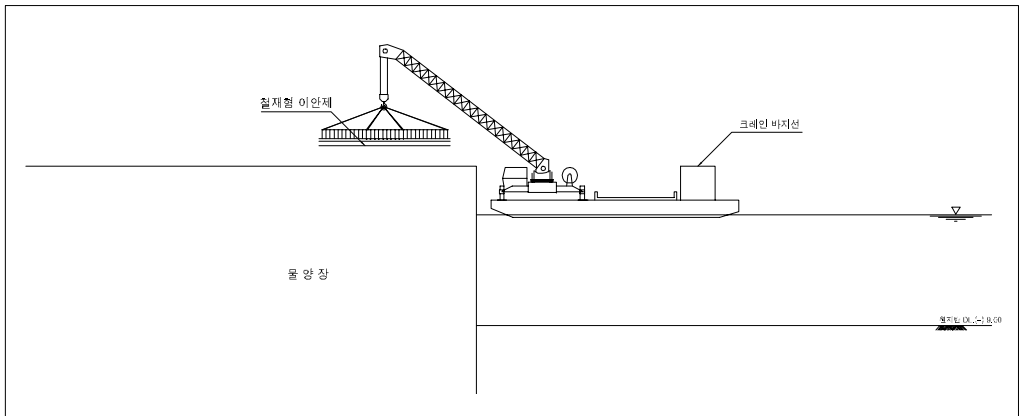


그림 8.6 철재형 이안제 권상

철재형 이안제의 소파판을 *GPS*를 이용하여 설치 위치 지점으로 해상이동이 완료가 되면 육상에서 소파판의 정위치 방향을 유도하여야 하는데 본 연구에서는 트래버스 측량시 국가 삼각점을 사용하지 않았으며, 임의의 위치에서 트래버스 측량을 실시하여 수치지도와 중첩 시킨 후 이를 기준점 좌표로 사용하였다. 따라서 소파판의 정위치 방향을 유도하기 위하여 그림 8.7에 보이는 바와 같이 P8의 정위치 지점을 설치지점(지반조사지역) 위치와의 육상의 기준점(상대좌표)의 좌표로 환산하여야 한다.

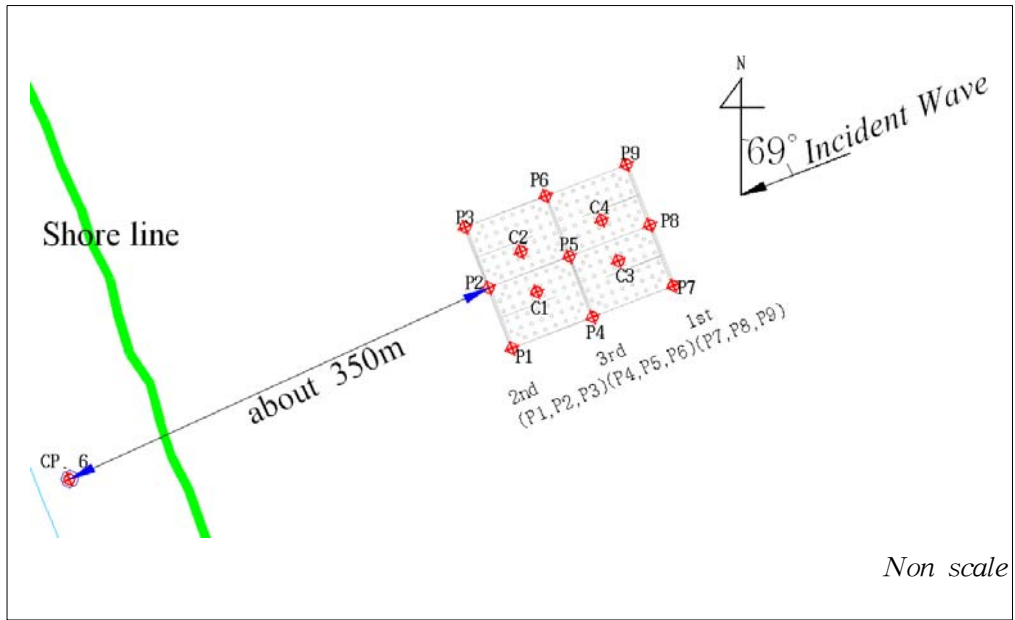


그림 8.7 철재형 이안제 가거치

철재형 이안제 소파판 가거치는 제 4.3장의 천해설계와 산정에서 보인 바와 같이 주파향인 E 방향에 대하여 설계를 하였으며 철재형 이안제 안정성 확보 및 기능성 검토를 동시에 만족하기 위하여 주파향인 E 방향과 약 21° 정도 차이를 보이는 해안선과 평행하게 철재형 이안제를 배치하여 설치하였다.



사진 8.4 소파판 가거치

8.2.2.3 강관파일 관입 및 편 설치

소파판의 가거치가 완료되면 철재형 이안제를 정위치에 배치하기 위하여 그림 8.7의 P8 위치를 육상의 기준점(상대좌표)로 환산한 후 P8의 위치에 사진 8.5(a)에 보이는 바와 같이 기준이 되는 강관파일을 관입한다.

기준말뚝 관입후 소파캡의 강관말뚝 직경보다 1cm정도의 여유가 있으므로 이동은 불가능하나 수평움직임은 가능하며, P8의 위치에 기준 말뚝 관입후 철재형 이안제를 정위치에 배치하기 위하여 육상기준점으로부터 변환된 좌표를 사용하여 그림 8.8의 나머지 강관파일 설치 지점의(P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P9) 정위치를 아래의 식 (8.3) ~ (8.5)을 사용하여 계산한다.

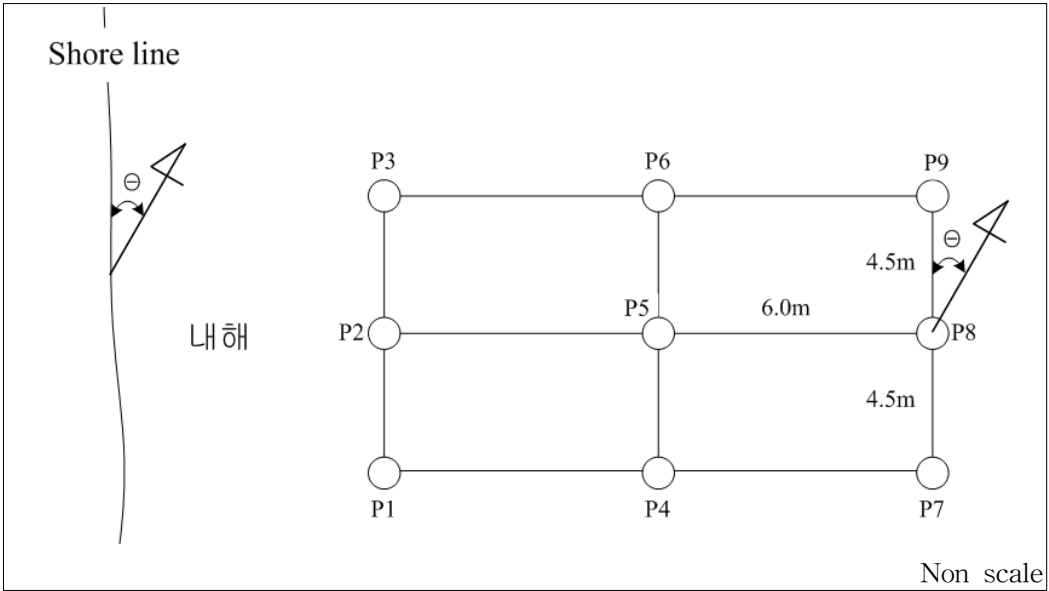


그림 8.8 강관파일 설치지점

철재형 이안제를 해안선과 평행하게 설치하기 위해서는 그림 8.8에 보인바와 같이 해안선과 진북과의 각도 θ 를 아래의 식 (8.3), (8.4), (8.5)에 대입하여 $P7$, $P9$, $P5$ 의 강관파일 설치 지점의 위치를 계산한다.

$$P7: \begin{aligned} X &= P8(N) + \cos(180 - \theta) \times 4.5m \\ Y &= P8(E) + \sin(180 - \theta) \times 4.5m \end{aligned} \quad (8.3)$$

$$P9: \begin{aligned} X &= P8(N) + \cos(360 - \theta) \times 4.5m \\ Y &= P8(E) + \sin(360 - \theta) \times 4.5m \end{aligned} \quad (8.4)$$

$$P5: \begin{aligned} X &= P8(N) + \cos(270 - \theta) \times 6.0m \\ Y &= P8(E) + \sin(270 - \theta) \times 6.0m \end{aligned} \quad (8.5)$$

강관파일의 설치 지점 $P4$, $P6$, $P2$ 는 식 (8.3), (8.4), (8.5)에 $P8(N)$ 좌표, $P8(E)$ 좌표 대신 $P5(N)$ 좌표, $P5(E)$ 좌표를 대입하여 계산하며, 강관파일의 설치 지점 $P1$, $P3$ 은 식 (8.3), (8.4)에 $P8(N)$ 좌표, $P8(E)$ 좌표 대신 $P2(N)$ 좌표, $P2(E)$ 좌표를 대입하여 계산한다.

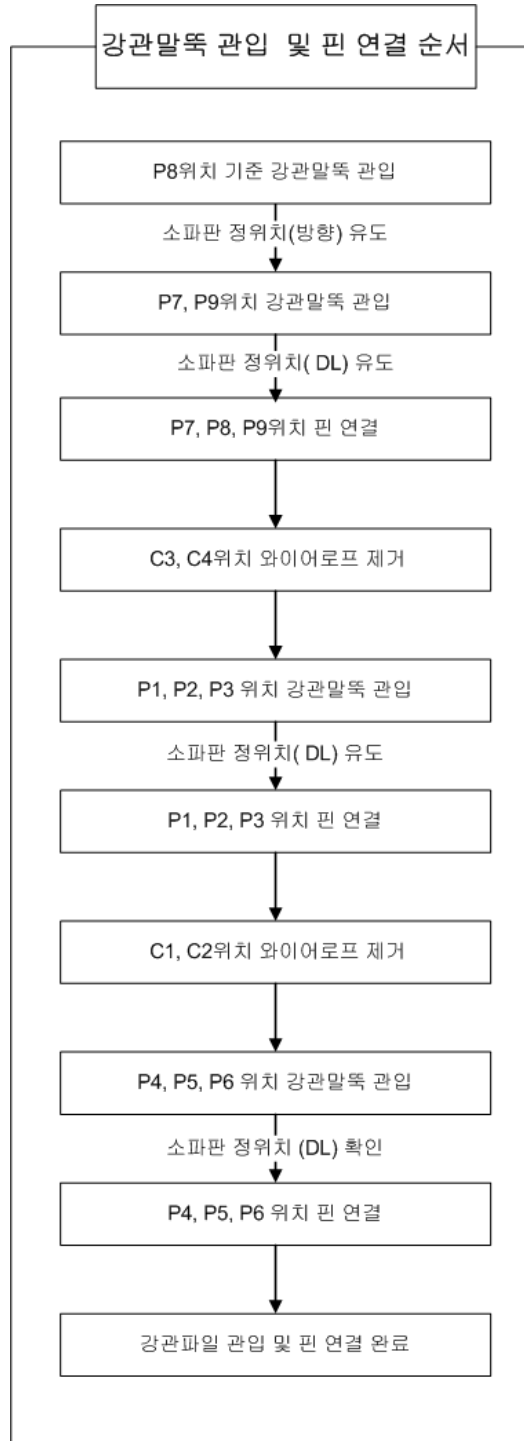


그림 8.9 강관파일 관입 및 핀 연결 순서

계산된 좌표를 이용하여 육상 기준점으로 부터 광파기를 이용하여 철재형 이안제 소파판의 정위치를 유도한다.

철재형 이안제 소파판 정위치의 방향이 유도가 완료되면 사진 8.5(b)에 보이는 바와 같이 그림 8.7의 P7, P9의 정위치에 강관파일을 관입한다.

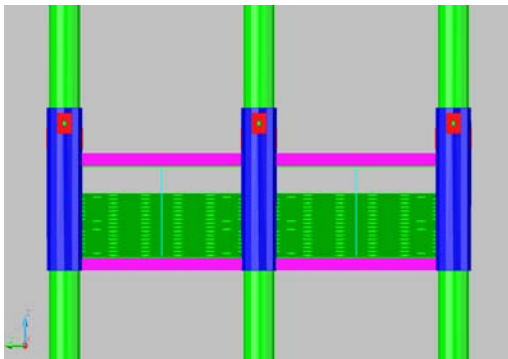


(a) 기준말뚝(P8)

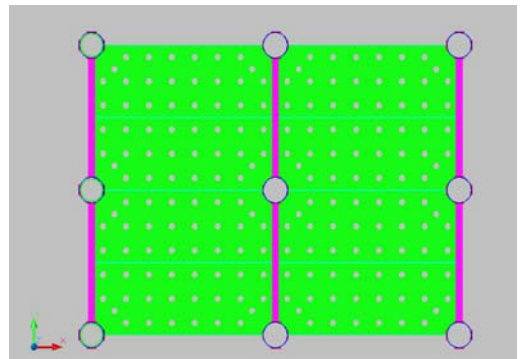


(b) 동일행의 파일(P7 or P9)

사진 8.5 강관파일 관입(P7, P8, P9)



(a) 정면도



(b) 평면도

그림 8.10 강관파일 관입(P7, P8, P9)

강관파일(P7, P8, P9지점)의 관입이 완료가 되면 소파관의 이동 및 수평 움직임은 불가능하며 소파관의 수직움직임은 가능하다.

철재형 이안제의 성능을 향상시키기 위하여 철재형 이안제의 몰수심을 $0.05ds \sim 0.1ds$ 가 유지되어야 하므로 육상 기준점으로 부터 광파기를 이용하여 소파관 상판의 DL 관측을 실시한 후 크레인을 이용하여 소파관을 고정시킨 후 사진 8.6에 보이는 바와 같이 강관파일에 소파관을 고정시키기 위하여 육상에서의 제작된 소파관 캡의 핀 접합 구멍을 통하여 관입된 강관파일에 산소용접으로 구멍을 뚫어 핀으로 연결한 후 소파관과 강관파일을 고정시킨다.
(P7, P8, P9지점)

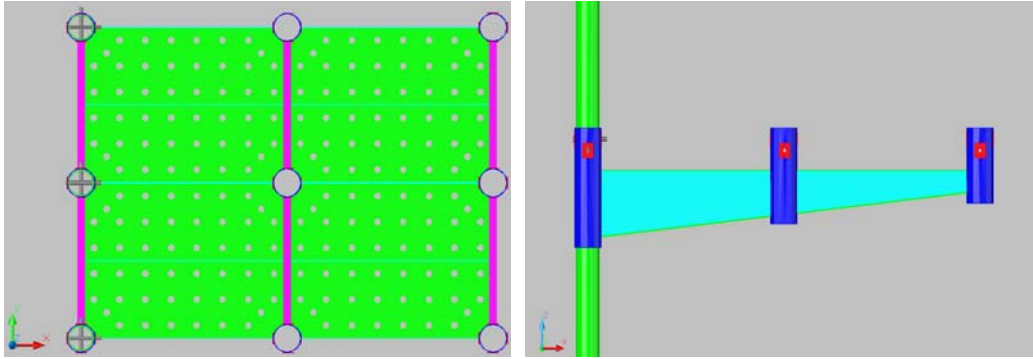


(a) 산소용접



(b) 핀 연결

사진 8.6 핀 연결 (P7, P8, P9)



(a) 평면도

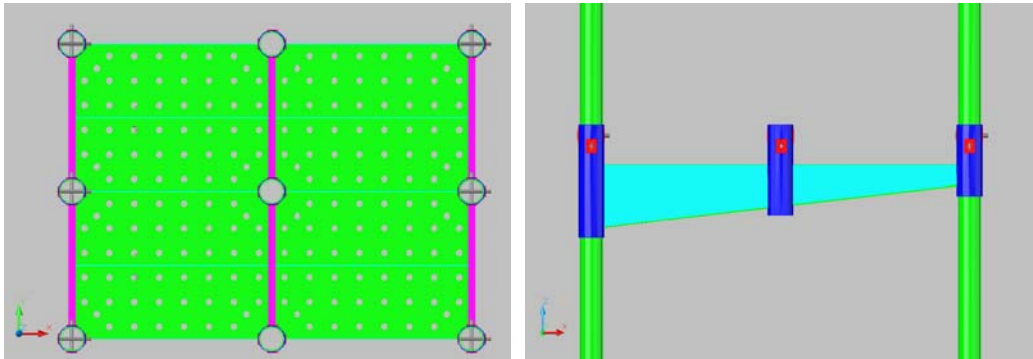
(b) 측면도

그림 8.11 핀 연결($P7, P8, P9$)

소파판과 강관파일을 고정시키기 위한 핀 연결($P7, P8, P9$)이 완료가 되면 강관파일 이동시 크레인의 움직임을 자유롭게 하기 위하여 그림 8.7의 소파판을 들고 있는 크레인 와이어로프($C3, C4$ 지점)을 분리를 하여 강관파일 관입 정위치 지점인 $P1, P2, P3$ 에 강관파일을 관입 한다.

강관파일($P1, P2, P3$ 지점) 관입이 완료가 되면 육상의 기준점으로 부터 광파기를 이용하여 소파판 상판의 물수심을 관측 후 크레인 와이어로프($C1, C2$ 지점)를 사용하여 정확한 DL 위치에 소파판($P1, P2, P3$ 지점)을 수직방향으로 유도한다.

소파판이 정확한 DL의 정위치에 유도가 되면 소파판 캡의 핀설치 구멍을 통하여 강관파일에 구멍을 뚫어 핀으로 연결시킨 후 소파판과 강관파일을 고정시킨다. ($P1, P2, P3$ 지점)



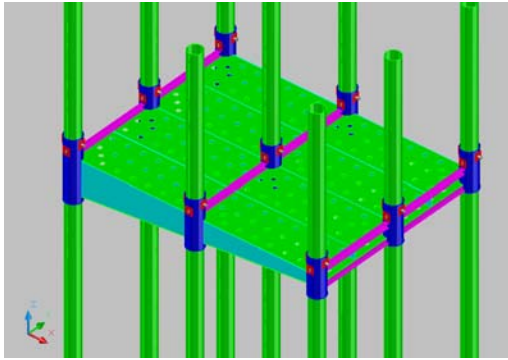
(a) 평면도

(b) 측면도

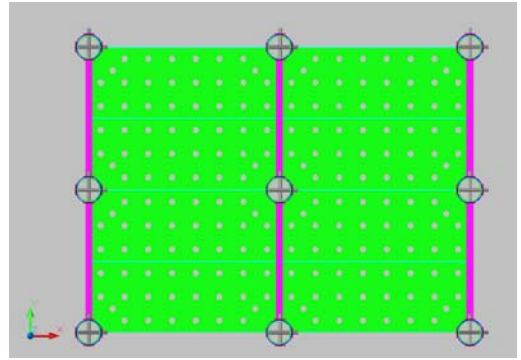
그림 8.12 강관파일 관입 및 핀 연결($P1, P2, P3$)

소파판과 강관파일을 파랑이 입사되는 부분($P7, P8, P9$ 지점)과 파랑이 투과되는 부분($P1, P2, P3$ 지점)이 핀으로 고정이 되면 소파판은 소파판 이동 및 소파판의 수평 수직 움직임은 불가능하게 된다. 따라서 그림 8.7의 소파판을 들고 있는 마지막 크레인 와이어로프($C1, C2$ 지점)를 분리 하고 마지막 강관파일을 정위치 지점인 $P4, P5, P6$ 에 강관파일을 관입한다.

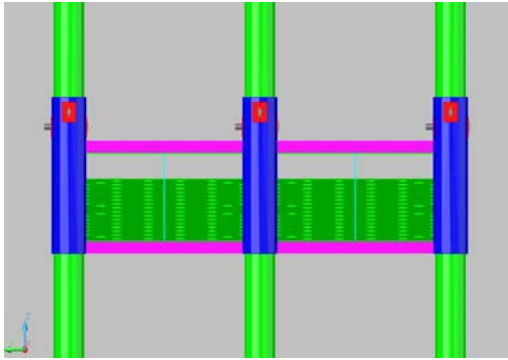
마지막 강관파일($P4, P5, P6$ 지점) 관입이 완료가 되면 육상의 기준점에서 광파기로 소파판 상판의 DL의 정위치 확인 후 소파판 캡의 핀설치 구멍을 통하여 강관파일에 구멍을 뚫어 핀으로 연결시킨 후 소파판과 강관파일을 고정시켜. ($P4, P5, P6$ 지점) 철재형 이안제 현장 시공을 완료한다.



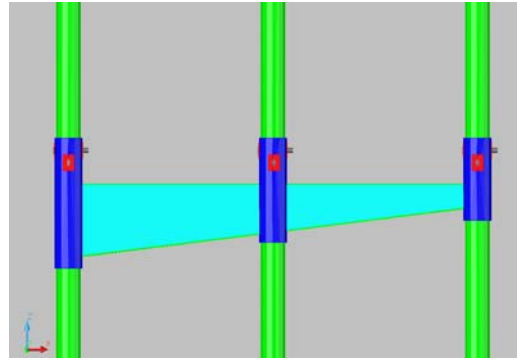
(a) 입체도



(b) 평면도



(c) 정면도



(d) 측면도

그림 8.13 강관파일 관입 및 핀 연결(P4, P5, P6)

8.2.2.4 해상경계시설

철재형 이안제의 실해역 적용실험 시공위치는 항로의 일부에 해당되며 야간 선박 운항시 철재형 이안제 구조물로 인한 선박 충돌 등 안전사고가 우려되므로 사진 8.7에 보이는 바와 같이 해상경계시설을 설치하여야 한다.



사진 8.7 해상경계시설

해상경계시설은 그림 8.14에 보이는 바와 같이 *SOLAR* 시스템으로 태양열을 배터리에 충전하여 야간에 전력을 램프에 공급하므로 야간 선박 운항시 안전하게 운항 할 수 있도록 한다.

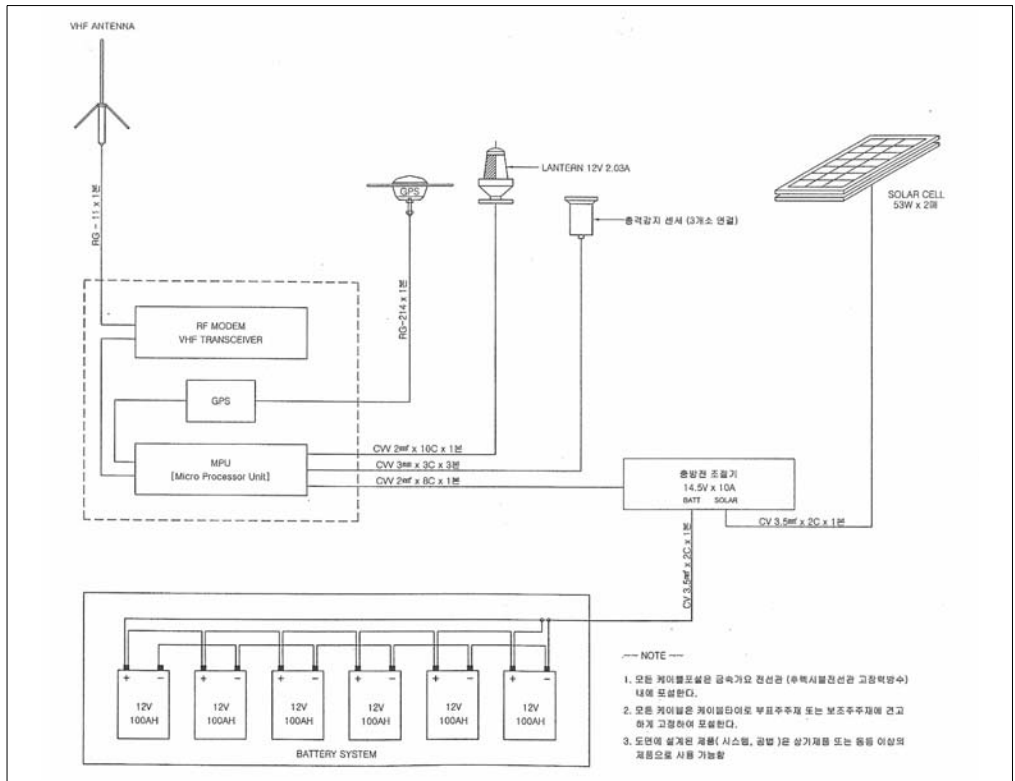


그림 8.14 자국 시스템 구성도

8.3 철재형 이안제 파랑계측

철재형 이안제의 실효역 검증 실험에서 파랑계측을 통한 철재형 이안제의 파랑 저감효과를 검증하고 4.1절에서 제시한 소파판 폭 결정을 위한 투과율 산정 실험에 대하여 비교분석 하여야 한다.

8.3.1 파랑계측

철재형 이안제의 파랑 저감효과 검증을 위한 파랑계측시기는 아래의 표 8.9에 보인 바와 같이 철재형 이안제의 해안선 보호대상지역인 울진군 원남면 오산리 지역의 현장 설치(2009년 4월 10일) 이후 2009년 4월 17일부터 25일간 파랑계측을 실시하였다.

표 8.9 파랑계측 항목 및 내용

계측항목	계 측 범 위	계 측 기 간	계 측 내 용
파랑계측	2개소 × 35일	2009. 4.17~5.21	대상해역의 파랑 특성 파악

파랑계측은 그림 8.15에 보이는 바와 같이 철재형 이안제의 전·후면에 수압식 파고계를 각각 1대씩 해저에 설치하여 입사파와 투과파의 파고 및 주기를 계측하였다.

철재형 이안제 전·후면에 설치되는 수압식 파고계는 AAT사의 WGT-128M으로써 장기자기기록식이 가능하며, 계측 간격은 0.25초이다.

철재형 이안제의 전면에 설치되는 파고계와 후면에 설치되는 파고계는 천수변형의 영향을 배제하기 위하여 가능한 동일수심이 될 수 있도록 설치하며,

반사파와 회절파의 영향이 최소화 될 수 있는 위치를 선정하여 설치를 하였다.

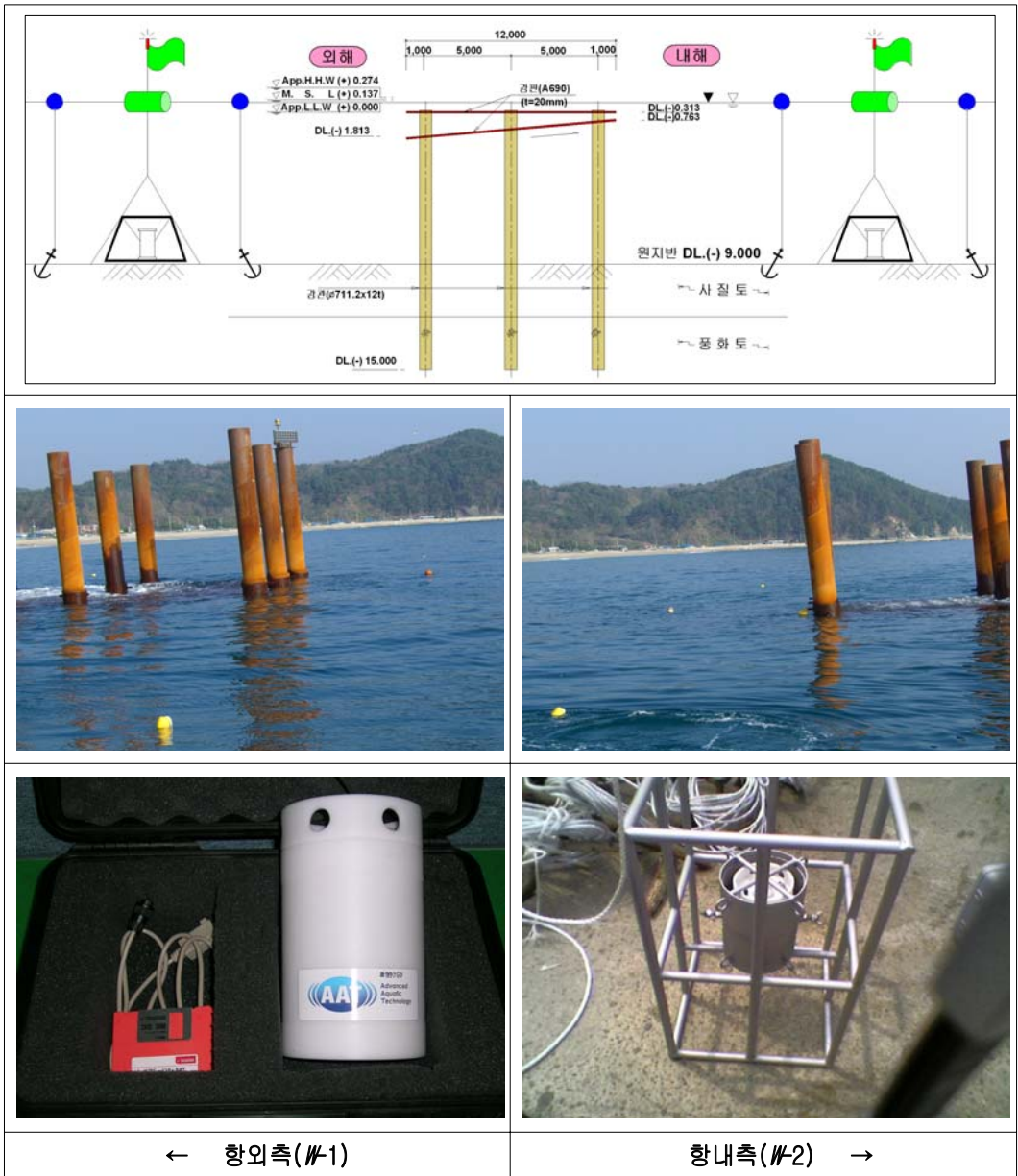


그림 8.15 파랑계측기 설치 모식도

8.3.2 파랑계측 자료분석

철재형 이안제의 항외측(W-1)에서 2009년 4월 17일~5월 21일까지 약 35일간 계측된 파랑자료를 분석하여 파랑의 최대파고(H_{max}), 유의파고($H_{1/3}$) 및 유의파주기($T_{1/3}$)를 그림 8.16에 보이는 바와 같이 나타내었다.

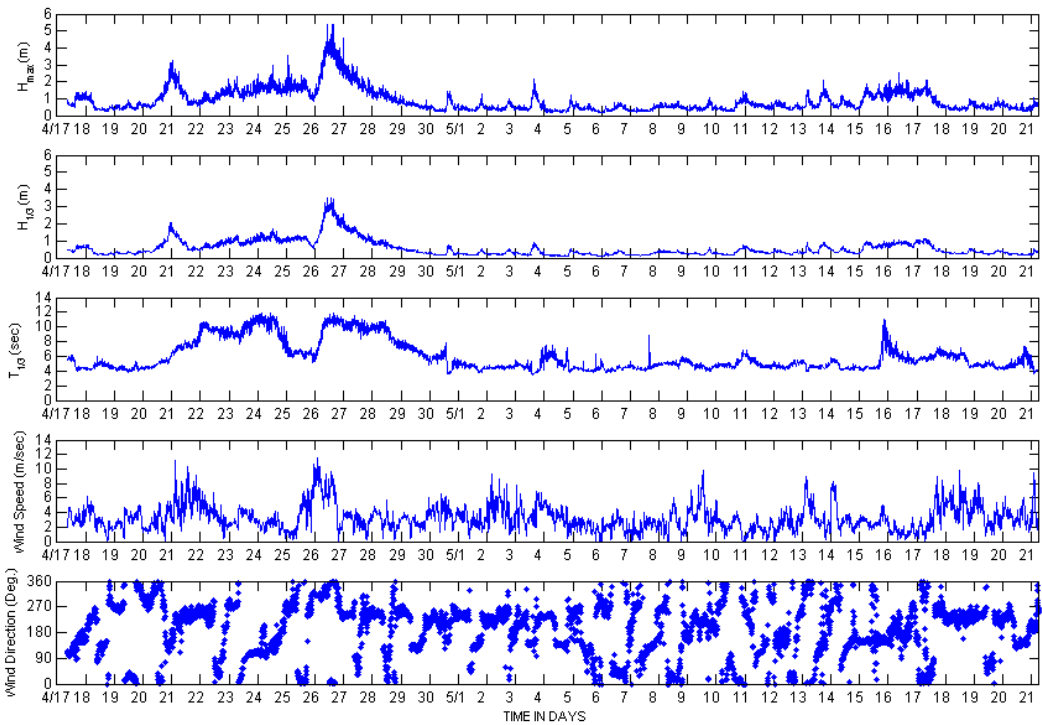


그림 8.16 파랑계측 자료의 시계열(W-1)

파랑계측 자료(W-1)를 살펴보면, 계측기간 동안 유의파고는 3.5m이하로 나타났으며, 전체적인 파고·주기 분포는 약 4~11초 정도로 나타났다. 대부분의 주기가 4~7초 사이에 집중하였으며, 최대 유의파고($H_{1/3}$)는 10~11초 주기대역에서 3.51m로 나타났다.

표 8.10 유의파의 파고 · 주기별 출현율(W-1)

파고 \ 주기	주기										Total	(%)
	~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~		
0.0 ~ 0.5	74	1,892	662	265	69	16	6	0	0	0	2,984	61.09
0.5 ~ 1.0	58	284	202	145	139	103	188	91	2	0	1,212	24.81
1.0 ~ 1.5	0	0	61	108	31	28	87	98	55	0	468	9.58
1.5 ~ 2.0	0	0	11	16	3	6	17	54	9	0	116	2.37
2.0 ~ 2.5	0	0	1	2	0	2	5	31	9	0	50	1.02
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0	1	30	10	0	41	0.84
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0	6	7	0	13	0.27
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.02
4.0 ~	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Total	132	2,176	937	536	242	155	304	311	92	0	4,885	100
(%)	2.70	44.55	19.19	10.97	4.95	3.17	6.22	6.37	1.88	0.00	100	

파랑계측 기간 중 표 8.10에 보인바와 같이 유의파고($H_{1/3}$)가 4.0m 이상인 파고는 나타나지 않았으며, 대부분 1.5m 이하로서 전체출현율의 95.48%를 차지하였다.

철재형 이안제의 항내측(W-2)에서 2009년 4월 17일 ~ 5월 21일까지 약 35일간 계측된 파랑자료를 분석하여 파랑의 최대파고(H_{max}), 유의파고($H_{1/3}$) 및 유의파주기($T_{1/3}$)를 그림 8.17에 보이는 바와 같이 나타내었다.

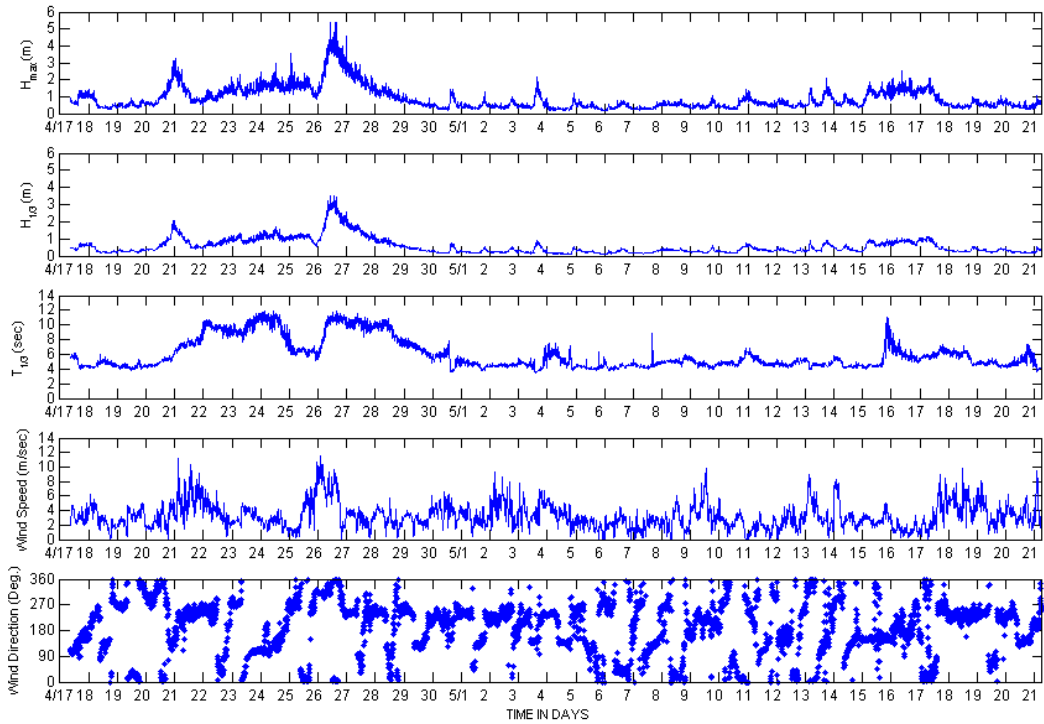


그림 8.17 파랑계측 자료의 시계열(W-2)

파랑계측 자료(W-2)를 살펴보면, 계측기간 동안 유의파고는 $3.5m$ 이하로 나타났으며, 전체적인 파고·주기 분포는 약 4~11초 정도로 나타났다. 대부분의 주기가 4~7초 사이에 집중하였으며, 최대 유의파고($H_{1/3}$)는 10~11초 주기대역에서 $3.24m$ 로 나타났다.

표 8.11 유의파의 파고 · 주기별 출현율(W-2)

파고 \ 주기	주기										Total	(%)
	~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~		
0.0 ~ 0.5	85	1,250	1,110	529	392	90	16	8	5	1	3,486	71.36
0.5 ~ 1.0	16	46	34	114	163	114	233	200	29	2	951	19.47
1.0 ~ 1.5	0	0	8	26	18	10	39	92	83	5	281	5.75
1.5 ~ 2.0	0	0	0	1	0	0	5	55	17	0	78	1.60
2.0 ~ 2.5	0	0	0	0	0	0	0	27	22	0	49	1.00
2.5 ~ 3.0	0	0	0	0	0	0	1	13	21	0	35	0.72
3.0 ~ 3.5	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	5	0.10
3.5 ~ 4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
4.0 ~	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Total	101	1,296	1,152	670	573	214	294	396	181	8	4,885	100
(%)	2.07	26.53	23.58	13.72	11.73	4.38	6.02	8.11	3.71	0.15	100	

파랑계측 기간 중 표 8.11에 보인바와 같이 유의파고($H_{1/3}$)가 3.5m이상인 파고는 나타나지 않았으며, 대부분 1.5m 이하로서 전체출현율의 96.58%를 차지하였다.

8.3.3 투과율 산정

철재형 이안제의 파랑 저감효과를 검토하기 위하여 외측(W-1)과 내측(W-2)에서 관측된 유의파고의 비(내측($H_{1/3}$)/외측($H_{1/3}$))인 투과율을 산정하여 분석하였다.

파랑의 전파 특성은 그림 8.18에 보이는 바와 같이 항외측에서 입사된 파랑이 철재형 이안제 전면을 통과하면서 평균 68%정도의 파랑 에너지가 감쇄되어 내측으로 유입되는 양상을 보였다. 계측기간 동안 항외측(W-1)에서의 유

의파고는 0.08m ~ 3.51m로 분포하였으며, 평균파고는 0.56m로 나타났으며 항내측(W-2)에서의 유의파고는 0.06m~3.24m로 분포하였으며, 평균파고는 0.45m로 나타났다.

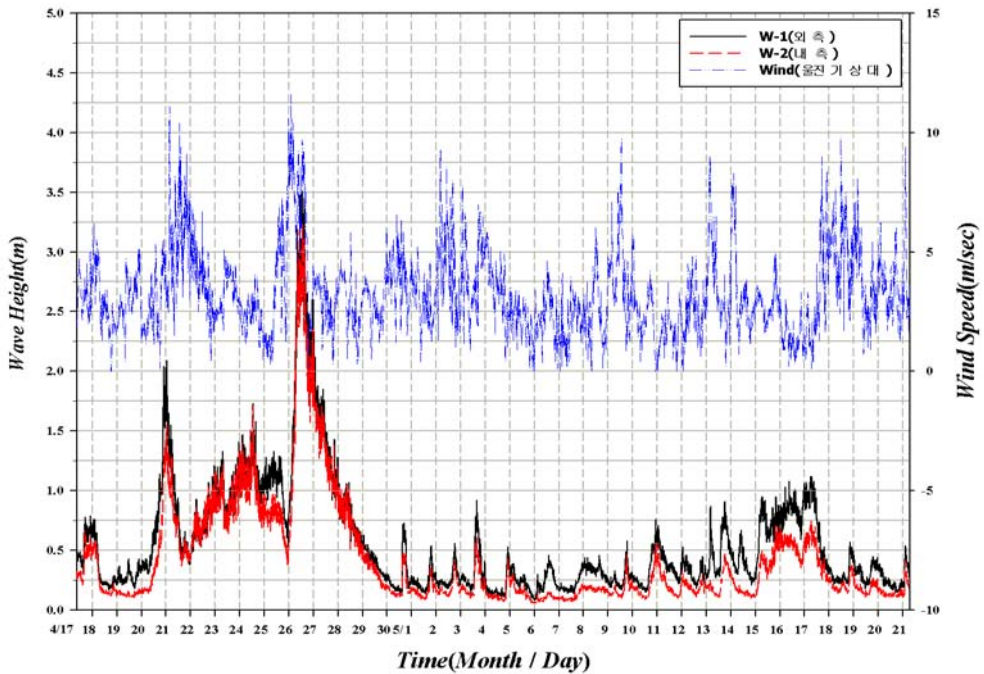


그림 8.18 전체 계측자료의 H_{W-1} 과 H_{W-2} 의 유의파고 비교

투과율 산정을 위한 유의파고($H_{1/3}$)의 비교 결과 그림 8.18에 보인바와 같이 두 정점 간의 파고 차이는 약 30%정도 나타났으며, 입사파고가 증가 할수록 투과율이 증가하는 양상을 보였다.

전체 계측자료를 이용하여, 그림 8.19에 보이는 바와 같이 입사파고(H_{W-1})와 투과율(H_{W-2}/H_{W-1})과의 관계를 산포도(상관도)로 나타낸 것으로서, 그림의 우측하단은 이를 이용하여 산출된 회귀식을 나타낸 것이다.

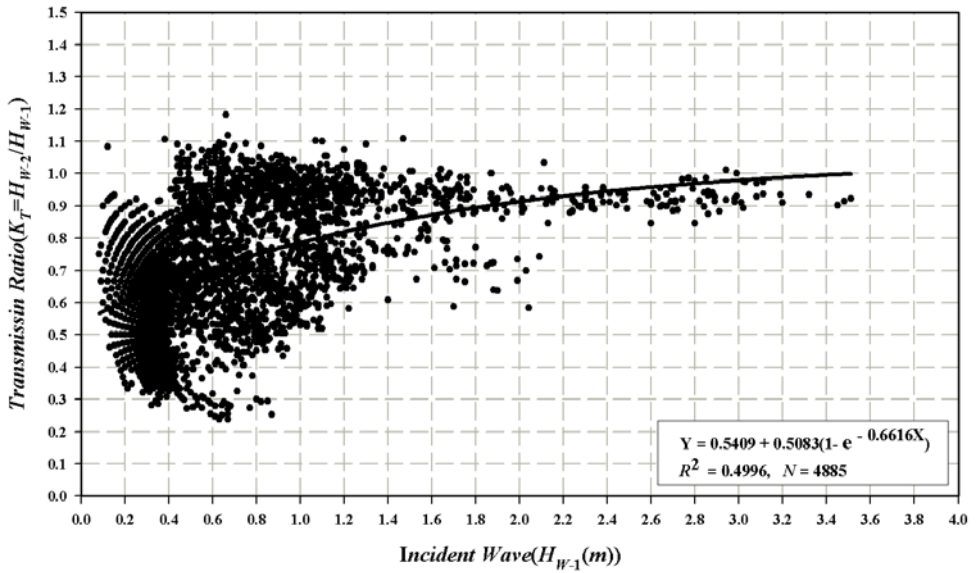


그림 8.19 전체 계측자료의 입사파고(H_w-1)와 투과율(K_T) 관계

도시된 투과율 분포 중 가장 낮은 투과율은 0.24로 외해 입사파랑의 24%정도가 향내로 입사하는 것으로 나타났으며, 이때의 향외측 입사파고는 0.81m이고, 주기는 4.93sec로 나타났다. 가장 높은 투과율은 1.18로 외해 입사파랑의 118%정도가 향내로 입사하는 것으로 나타났으며 이때의 향외측 입사파고는 0.43m이고, 주기는 4.36sec로 나타났다.

표 8.12 입사파고(H_w-1) 계급에 따른 투과율(K_T)

파고분포 (m)	0.0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5	3.5~4.0	전체 계측자료
평균 투과율	0.62	0.75	0.84	0.87	0.90	0.93	0.94	0.92	0.68
자료수	3017	1202	449	113	49	41	13	1	4885

입사파고 계급에 따른 투과율을 표 8.12에 보인바와 같이 나타내었으며, 계측기간 동안의 투과율은 0.68로서, 철재형 이안제에 의한 파랑 저감효과가 우수한 것으로 나타났다.

철재형 이안제의 파랑 저감효과를 검증하기 위하여 수리모형실험과 파랑계측(4.17~5.21)된 폭-파장비에 따른 투과율을 비교하여 아래의 그림 8.20에 보이는 바와 같이 철재형 이안제의 파랑 저감효과를 검토하였다.

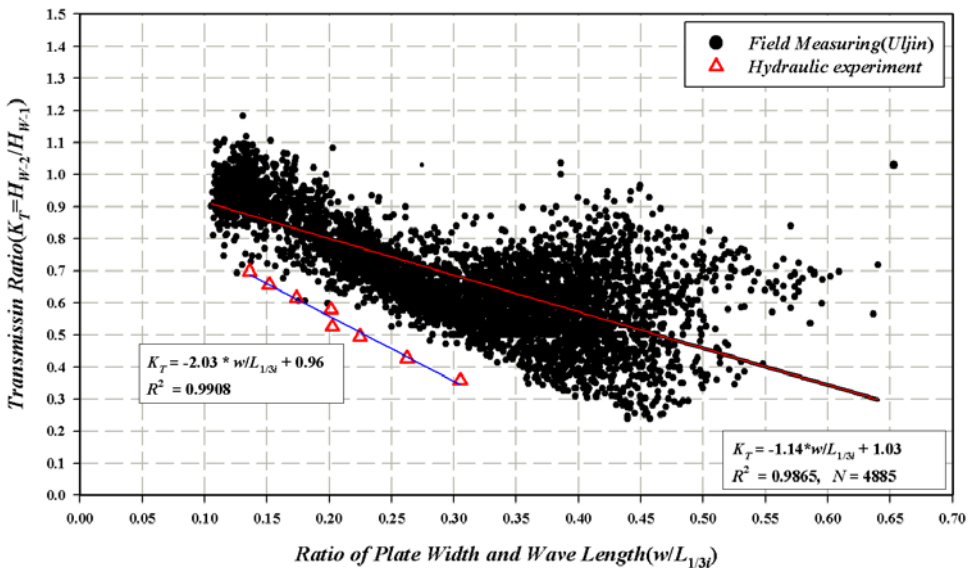


그림 8.20 폭-파장비($W/L_{1/3}$)계급에 따른 평균 투과율(K_T)

철재형 이안제의 폭-파장비에 따른 투과율 실험에서 그림 8.20에 보인바와 같이 이안제의 폭이 증감함에 따라 투과율이 감소하는 경향을 나타낸다.

수리모형의 실험결과로부터 목표투과율을 0.75두어 철재형 이안제의 폭-파장비가 0.10이 되도록 설계를 하였다. 현장 파랑계측 결과 투과율 0.75경우 폭-파장비가 0.25로 나타났으며 수리모형 실험의 직선식과 현장 파랑계측 실험의 직선식은 유사한 경향을 나타내었다.

철재형 이안제는 울진 해역의 심해설계파랑에 대하여 최대의 성능을 갖도록 E방향으로 설계를 하였으나 해안선의 기능성과 안정성을 만족하기 위하여 그림 8.7에 보인바와 같이 주파향인 E방향에 대하여 약 21°정도 차이를 보이는 해안선과 평행하게 철재형 이안제를 ENE(69°) 방향으로 배치하여 시공하였다. 따라서 철재형 이안제의 파랑 저감효과를 검토하기 위하여 철재형 이안제에 직각으로 입사하는 파랑에 대한 방향성을 고려하여야 한다.

철재형 이안제 설치 위치인 울진 지역은 남북으로 길게 해안선이 형성되어 있어서 지역에 따라 지형효과에 의한 풍향별 풍속이 뚜렷한 특징을 보여주고 있다. 특히 북동풍은 울진부근에서 타지역에 비해 매우 강하게 발생하는 경향이 있다.

파랑계측 기간의 최대 파고가 내습한 4월 26일 00시 기상일기도를 분석해 보면, 발달한 저기압이 남동해성을 느리게 통과하면서 전형적인 북고남저형 기압배치를 형성하고 있다. 또한 4월 26일 02시의 바람자료를 보면 16.9m/s 이상의 강한 북동기류가 경북 북부앞바다와 경북 동해안 지방으로 강하게 유입되면서 육상에는 돌풍이 발생하였고, 해상에는 강풍 및 고파를 유발하는 악기상을 초래하였다.

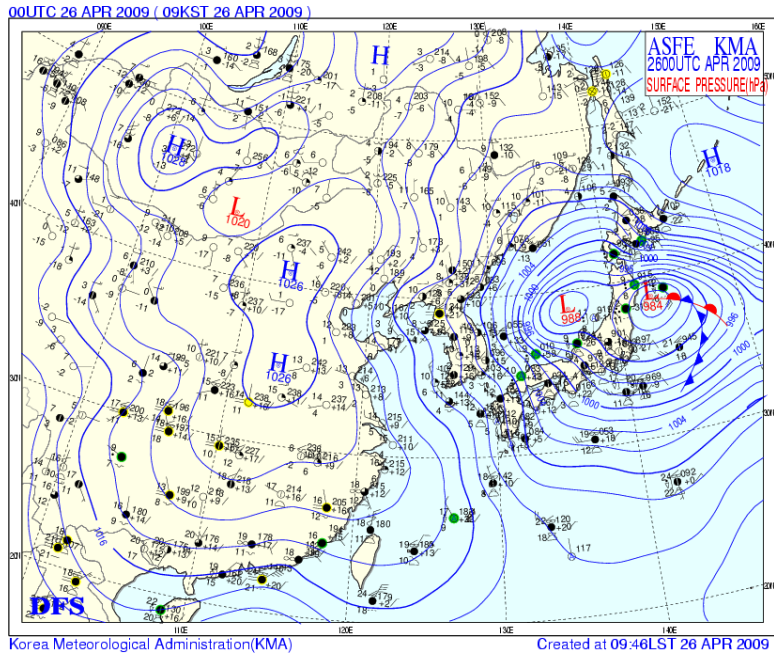


그림 8.21 일기도(2009. 4. 26 00:00)

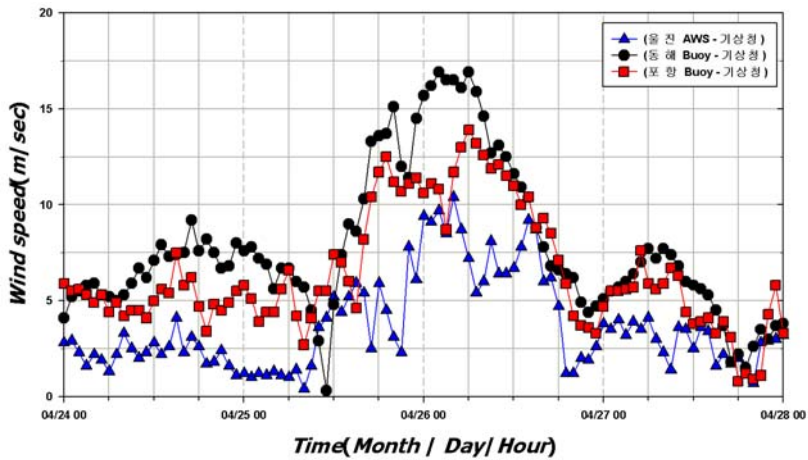


그림 8.22 지점별 매시 풍속자료 비교(2009. 4. 24 ~ 4. 28)

시간별 풍속자료를 살펴보면 4월 25일 12시부터 5m/sec 이상의 바람이 불기 시작하여, 4월 26일 6시경에 10m/sec ~ 17m/sec 이상의 강한 바람이 발

생되었다.

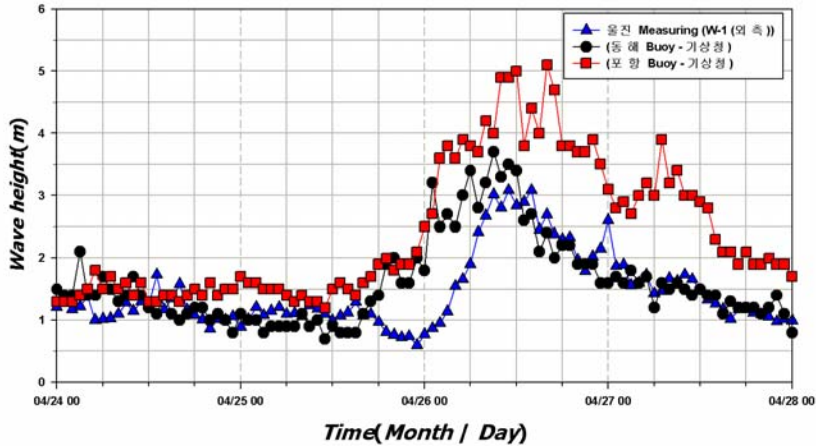


그림 8.23 지점별 매시 파랑자료 비교(2009. 4. 24 ~ 4. 28)

풍속자료와 동일한 기간의 철재형 이안제 전면(H_{W-1}) 및 그림 8.23에 보인바와 같이 동해 Buoy와 포항 Buoy의 파고계측 자료를 살펴보면 4월 26일 00시부터 27일 00시 까지 3m~5m의 고파랑이 지속적으로 발생되었다. 이러한 고파현상은 경북지방의 장시간에 걸친 북동 기류형에 의한 바람의 영향으로 판단된다.

기상청(http://www.kma.go.kr/marine/marine_01/marine_01_01.jsp)에서 운영 및 제공하고 있는 동해부이 관측 자료와 포항부이 관측 자료를 그림 8.24에 보인바와 같이 파랑계측 기간(4월17일~5월 21일)동안 입사파고(H_{W-1})와 비교한 결과 동해부이 관측 자료와 철재형 이안제 파랑계측을 위한 입사파고(H_{W-1})와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 철재형 이안제의 경우 해안선에 평행한 북쪽을 기준으로 69°(시계방향) 기울어져 있어 북동계열에 의한 파랑 내습시 수직으로 입사할 가능성이 클 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 방향성을 고려한 철재형 이안제의 투과율 산정시 동해 Buoy에서 관측된 파랑 자료를 이용하여 분석하였다.

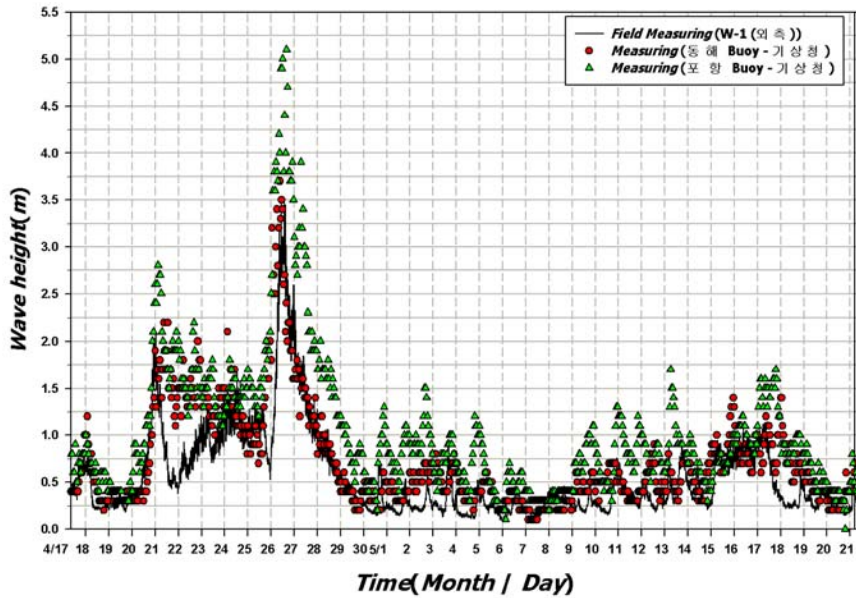
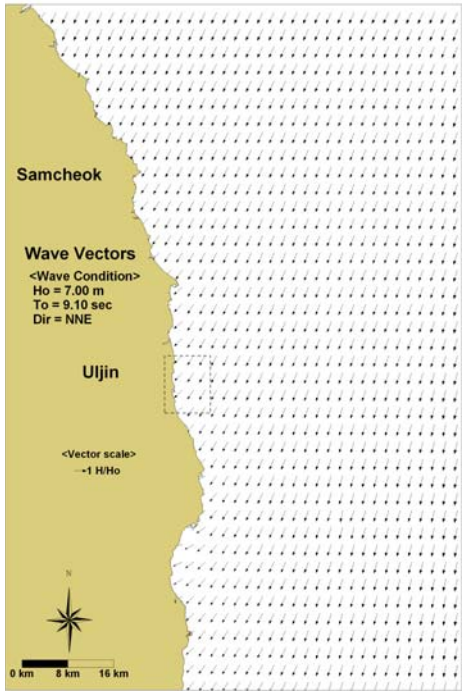


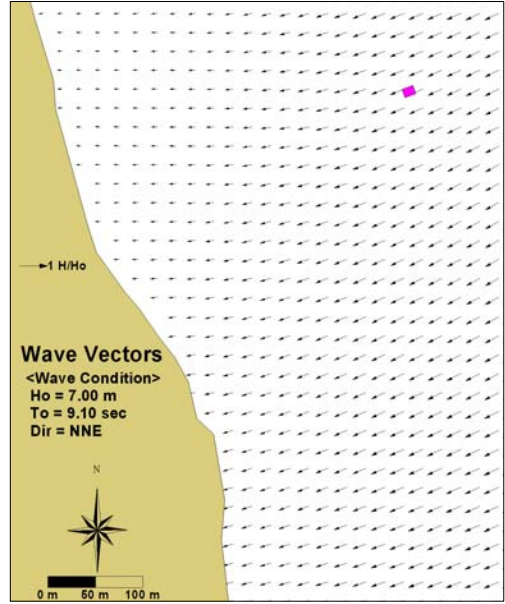
그림 8.24 부이자료와 입사파고(H_{W-1}) 비교

동해 Buoy의 경우 철재형 이안제로부터 약 84km 떨어져 있으며 수심 약 1500m인 동해상에 위치하고 있어, Buoy 위치에 발생된 파랑이 해저지형에 따른 굴절변형과 수심변화에 의한 천수변형을 거치면서 철재형 이안제 위치에서는 파고 및 파향이 변화될 가능성이 크다. 따라서 이를 정도 높게 해석하기 위하여 불규칙파랑모형인 SWAN을 이용하여 예측하였다.

파랑 변형실험을 위한 격자구성은 광역모형과 상세역 모형으로 구분하여 구성하였다. 광역 파랑변형 실험의 영역은 동해 Buoy 관측지점을 입사경계로 하여 파랑전파의 재현성을 향상시켰으며, 동서방향으로 80km 남북방향으로 120km로, 격자간격은 200m 등격자로 구성하였다. 상세역 파랑변형 실험 대상 해역 인근을 중심으로 파랑의 재현성을 높일 수 있도록, 철재형 이안제 인근 해역을 중심으로 동서방향 8km, 남북방향 10km로, 격자간격은 고해상도의 해석이 가능할 수 있도록 20m 등격자로 구성하였다.



(a) 광역 파랑변형 실험결과



(b) 상세역 파랑변형 실험결과

그림 8.25 파랑변형 실험결과 파랑벡터도

동해 *Buoy*에서 관측된 파랑자료를 이용하여 파랑변형 실험을 수행한 결과 전반적으로 현장실험 대상지역 인근해역의 파랑전파 특성을 비교적 잘 재현하는 것으로 나타났다. 철재형 이안제 전면에서의 파고는 $3.57m$ 로 나타났으며, 파향각은 70° 로 철재형 이안제에 수직으로 입사하는 것으로 나타났다. 따라서 방향성을 고려한 투과율 산정시 동해 *Buoy*에서 관측된 파랑자료 중 *NNE* 파향에 대하여 검토하면 방향성을 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

상세역 파랑변형 실험결과를 살펴보면, 실험치가 관측시(H_W-1)에 비해 약 22%정도 낮은 수치를 보이는데, 이러한 차이는 대상해역의 해저지형 및 수심, 그리고 파랑과 동반되어 나타나는 여러 가지 기상조와 고조 등을 적절히 모형

에 반영하지 못한 결과로 판단된다.

표 8.13 현장관측 및 파랑변형실험 결과 비교

정점	파고(m)		비율 (관측치/실험치)
	현장 관측	파랑변형실험	
철재형 이안제 전면 (H_W-1)	4.36	3.57	1.22

철재형 이안제에 직각으로 입사하는 파랑에 대한 방향성을 고려하기 위하여 기상청 동해부이 관측 자료의 *NNE* 방향의 시간차에 철재형 이안제 파랑계측 자료의 입사파고(H_W-1), 투과파고(H_W-2)를 동일한 시간대에 두어 울진군에 시공되어 있는 철재형 이안제에 *ENE*(69°)방향으로 파랑이 입사할 수 있도록 입사파고와 투과파고를 아래의 그림 8.26과 그림 8.27에 보이는 바와 같이 분석하였다.

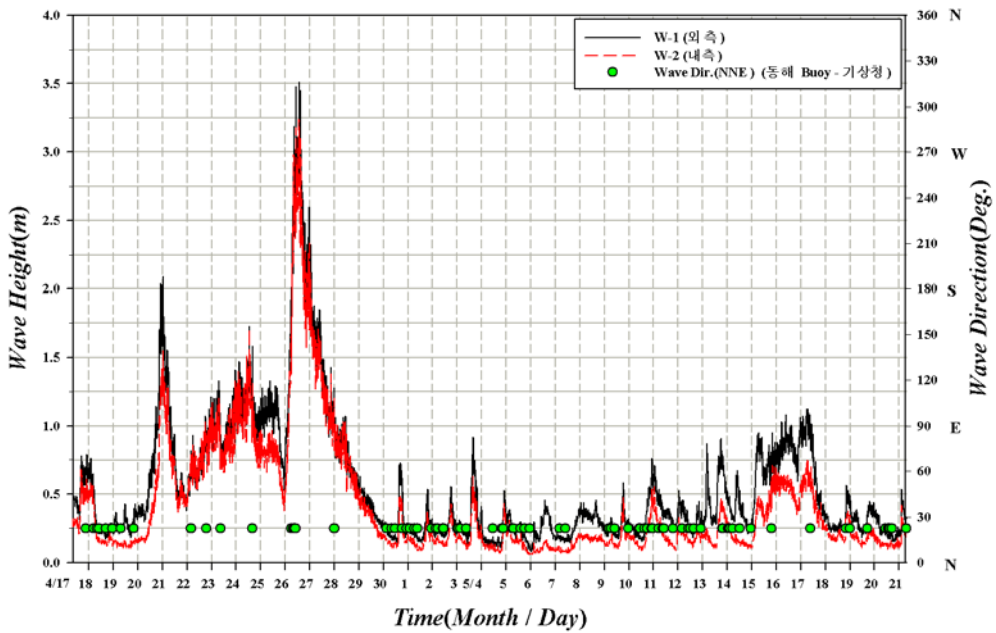


그림 8.26 방향성을 고려한 계측자료의 H_W-1 과 H_W-2 의 유의파고 분석

동해부이 관측자료의 ENE방향을 철재형 이안제의 파랑 계측자료와 동일한 시간대에 포함되는 입사파고(H_{W-1})와 투과파고(H_{W-2})를 선정하여 아래의 그림 8.27에 보이는 바와 같이 철재형 이안제에 직각으로 입사하는 파랑에 대하여 입사파고(H_{W-1}), 투과파고(H_{W-2})를 선정하였다.

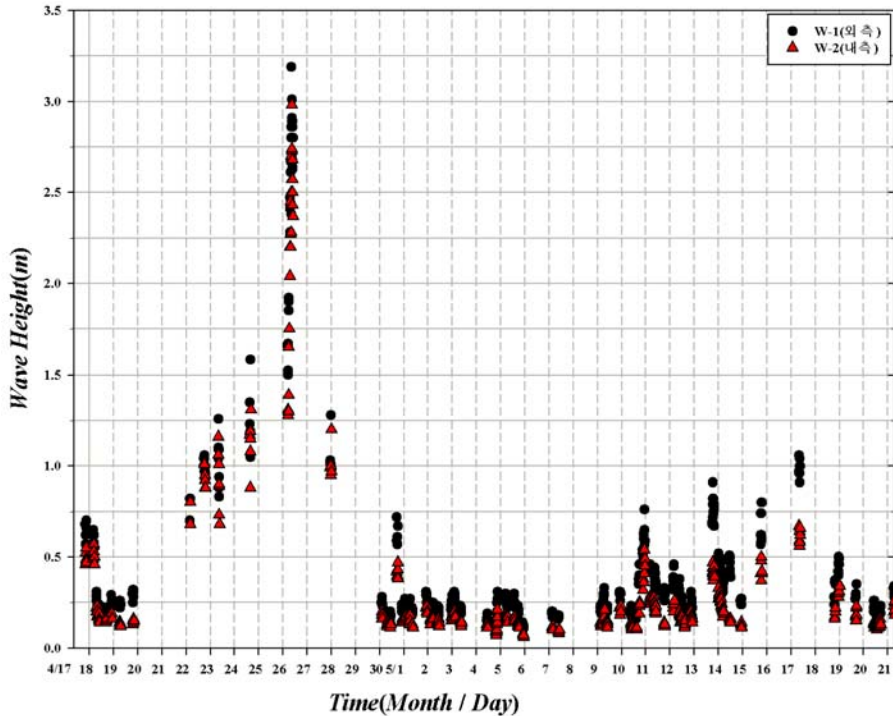


그림 8.27 방향성을 고려한 H_{W-1} 과 H_{W-2} 의 유의파고 비교

파랑의 전파 특성은 전반적으로 항외측(H_{W-1})에서 입사된 파랑이 철재형 이안제 전면을 통과하면서 평균 66%정도의 파랑 에너지가 감쇄되어 내측으로 유입되는 양상을 보였으며, 외측(H_{W-1})에서 유의파고는 1.5m이하의 파고가 전체의 95%로 대부분을 차지하였으며, 최대 유의파고($H_{1/3}$)는 3.19m로 나타났다. 내측(H_{W-2})에서의 유의파고는 1.5m이하의 파고가 전체의 96%로 대부분을 차지하였으며, 최대 유의파고($H_{1/3}$)는 2.98m로 나타났다.

입사파에 대한 투과율을 검토하기 위하여 그림 8.28에 보이는 바와 같이 전체 계측자료를 이용하여 입사파고(H_{W-1})와 투과율(H_{W-2}/H_{W-1})과의 관계를 산포도(상관도)로 나타내었다. 그림의 우측하단은 이를 이용하여 산출된 회귀식을 나타낸 것으로서 분석결과 54% 상관계수를 나타내었다.

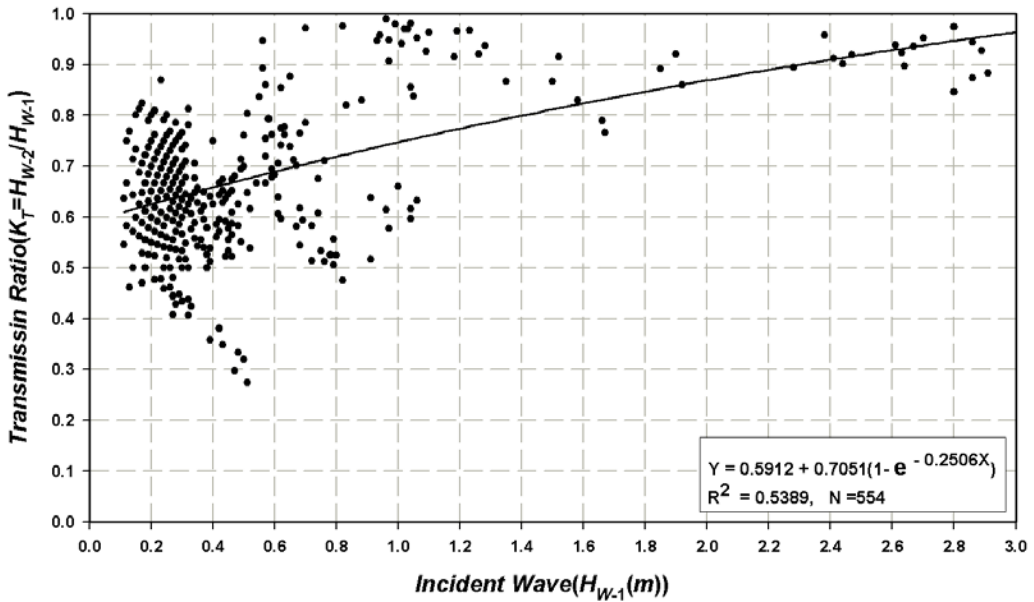


그림 8.28 ENE방향의 입사파고(H_{W-1})와 투과율(K_T)과의 관계

철재형 이안제에 직각으로 입사하는 파랑에 대하여 방향성을 고려한 결과 입사 파고에 대한 평균 투과율은 0.66로서 철재형 이안제에 의한 파랑 저감효과는 평균 34%정도 나타났으며, 계측 기간 동안 목표 투과율인 0.75보다 파랑 저감효과가 높은 자료는 전체 자료의 84%정도 나타났으며, 이는 철재형 이안제의 파랑저감 효과가 84%의 성능을 유지할 수 있음을 의미한다.

표 8.14 ENE방향의 입사파고(H_{W-1}) 계급에 따른 투과율(K_T)

파고분포 (m)	0.0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5	전체 계측자료
평균 투과율	0.63	0.71	0.87	0.85	0.92	0.92	0.92	0.66
자료수	439	70	19	8	5	11	2	554

철재형 이안제의 파랑 저감효과를 검증하기 위하여 파랑계측(4.17~5.21)된 자료 중에서 설계파인 주파향의 ENE(69°)방향 분석 자료에 대하여 4.1절의 투과율 산정 실험조건에서의 풍파영역에 해당하는 환산심해 파형경사, $0.02 \leq H_0'/L_0 \leq 0.04$ 의 범위와 상대수심, $0.5 < kh < 1.5$ 의 범위를 만족을 하며 철재형 이안제의 입사파에 대하여 회절의 영향을 받지 않도록 투과율 1이하의 *data*만 선정하여 분석하였다.

수리모형실험과 현장실험의 파랑계측 자료의 폭-파장비에 따른 투과율을 비교하여, 아래의 그림 8.29에 보이는 바와 같이 철재형 이안제의 파랑 저감효과를 검토하였다.

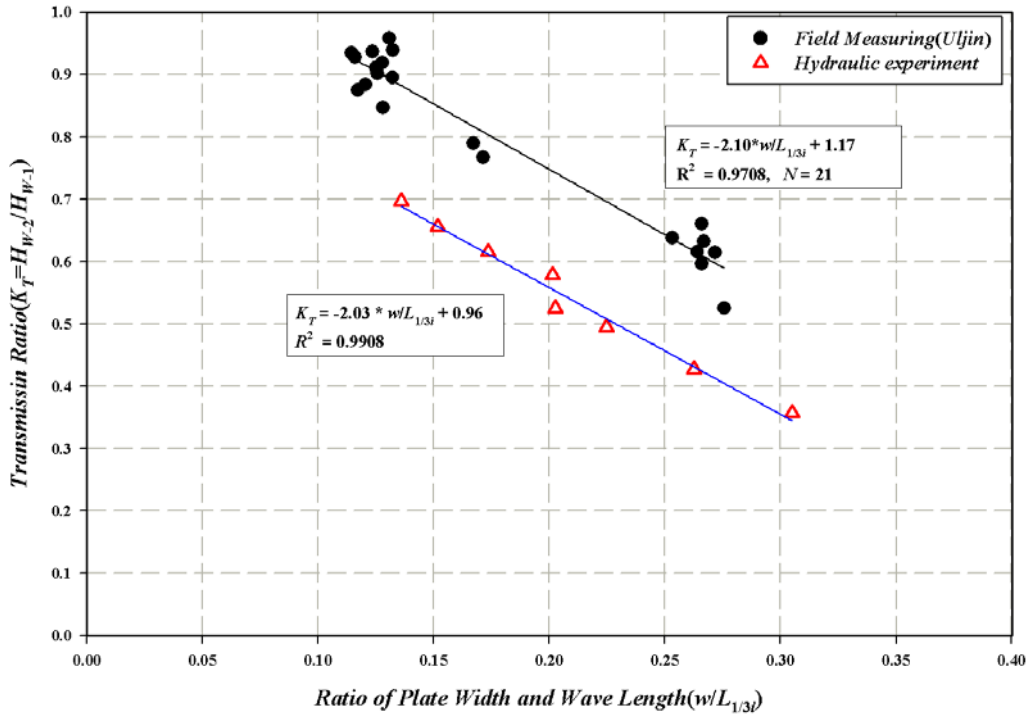


그림 8.29 ENE방향의 폭-파장비($W/L_{1/3i}$)계급에 따른 평균 투과율(K_T)

철재형 이안제의 폭-파장비에 따른 투과율 실험에서 그림 8.29에 보인바와 같이 이안제의 폭이 증감함에 따라 투과율이 감소하는 경향을 나타내었다. 수리모형의 실험결과로부터 목표투과율을 0.75두어 철재형 이안제의 폭-파장비가 0.10이 되도록 설계를 하였다.

현장 파랑계측 결과를 4가지 조건(①방향성 고려, ②입사파에 대한 회절의 영향분석 ③상대수심 고려, ④파형경사고려)을 만족하여 분석하한 결과 투과 0.75인 경우 폭-파장비가 0.20로 나타났으며 이는 그림 8.20의 4가지 조건에 만족하지 않았을 경우에 비해 투과율 0.75에 대하여 폭-파장비가 0.05정도 작게 나타나며 수리모형 실험의 직선식과 현장 파랑계측 실험의 직선식은 그림 8.26에 보인바와 같이 유사한 경향을 나타내었다.

8.4 철재형 이안제 강관파일 변위계측

철재형 이안제의 실패역을 대상으로 한 실험에서 4.2절에서 제시한 해안선의 보호대상지역인 울진군 초산리 일대의 설계파고에 상응하는 파의 내습시 파력에 대한 강관파일의 변위 여부를 파악하여 철재형 이안제의 구조물의 안정성에 대하여 검토하여야 한다.

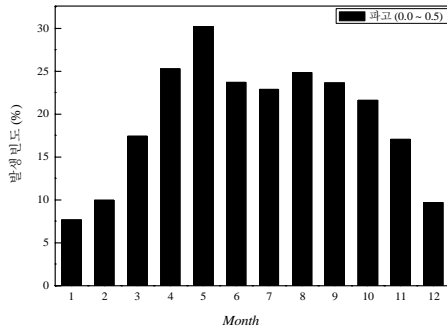
8.4.1 철재형 이안제 계측시기

본 연구의 설계 성과를 기초로 하여 울진군 원남면 오산리의 실패역을 대상으로 안정성을 검토하기 위한 적절한 계측시기를 결정하기 위하여 표 8.15에 보이는 바와 같이 해양수산부(1997) “장기 파랑 산출 자료집”의 월별 파고 계급별 발생빈도를 분석하여 설계파고에 상응하는 파랑에 대한 철재형 이안제의 변위 계측시기를 결정 한다.

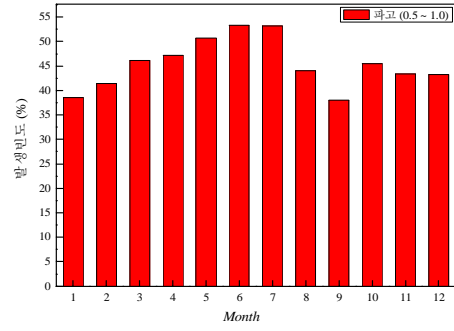
표 8.15 월별 파고 계급별 발생빈도(1979년~1996년)

월 파고 (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean
0.0 ~ 0.5	7.7	10.0	17.4	25.3	30.2	23.7	22.9	24.8	23.6	21.6	17.1	9.7	19.5
0.5 ~ 1.0	38.5	41.4	46.2	47.2	50.7	53.4	53.2	44.0	38.1	45.5	43.4	43.3	45.4
1.0 ~ 1.5	37.1	31.7	23.5	18.2	13.5	16.4	17.2	18.8	20.8	18.8	26.0	32.0	22.8
1.5 ~ 2.0	10.1	9.8	7.7	5.9	3.9	4.2	5.0	6.9	8.1	8.0	7.3	9.5	7.2
2.0 ~ 2.5	3.2	3.3	3.6	2.0	1.0	1.2	1.3	3.1	5.2	3.5	2.9	3.0	2.8
2.5 ~ 3.0	1.6	2.3	1.2	0.7	0.4	0.5	0.3	1.3	2.4	1.9	1.6	1.5	1.3
3.0 ~ 3.5	0.9	1.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.6	1.2	0.6	0.9	0.6	0.6
3.5 ~ 4.0	0.5	0.2	0.1	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.4	0.1	0.6	0.3	0.2
4.0 ~ 4.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1
4.5 ~ 5.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
5.0 ~	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mean(m)	1.13	1.09	0.95	0.84	0.74	0.80	0.80	0.90	1.00	0.93	1.00	1.06	0.94

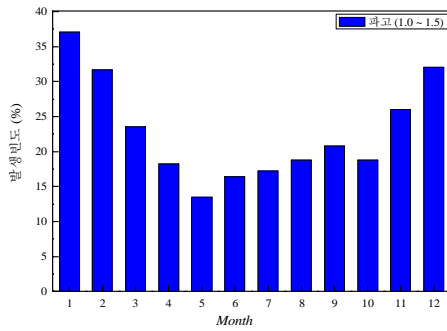
월별 파고 계급별 발생빈도를 이용하여 그림 8.30에 보이는 바와 같이 월별 파고 발생빈도 분포도를 그린 것이다.



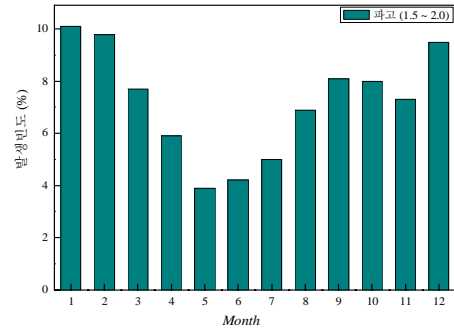
파고 0.0m ~ 0.5m



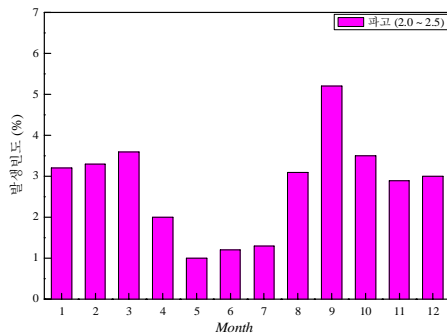
파고 0.5m ~ 1.0m



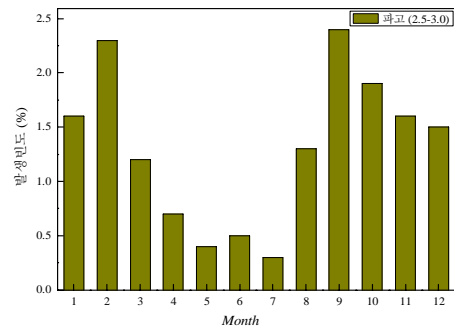
파고 1.0m ~ 1.5m



파고 1.5m ~ 2.0m

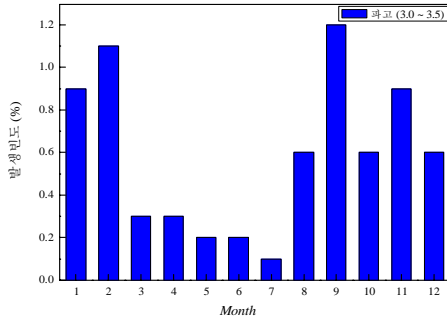


파고 2.0m ~ 2.5m

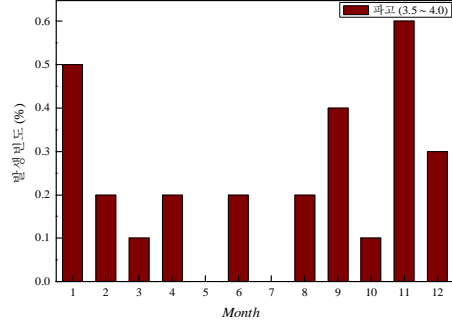


파고 2.5m ~ 3.0m

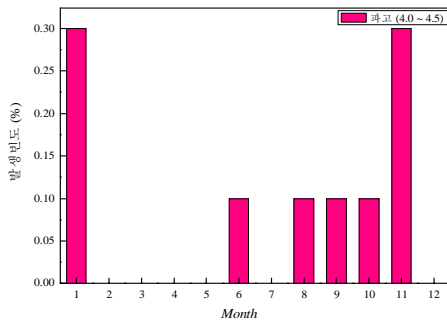
그림 8.30 월별 파고 발생빈도



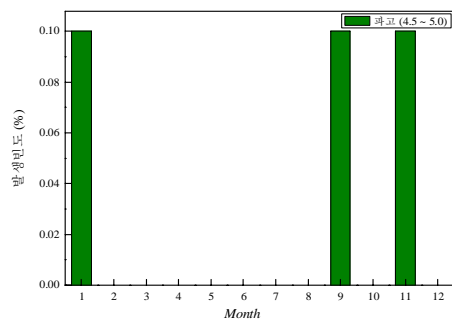
파고 3.0m ~ 3.5m



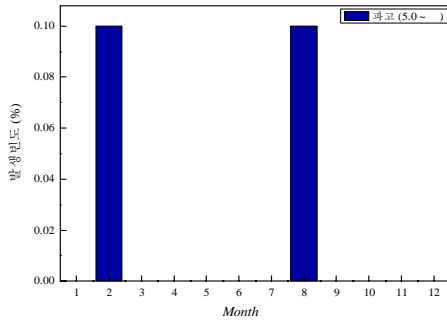
파고 3.5m ~ 4.0m



파고 4.0m ~ 4.5m



파고 4.5m ~ 5.0m



파고 5.0m 이상

그림 8.30 월별 파고 발생빈도

울진군 초산리 일대에 철재형 이안제를 그림 8.30에 보인바와 같이 설계파고인 6.216m에 대하여 파고 5.0m 이상의 월별 발생빈도는 2월에 0.1% 8월에 0.1% 이므로 실패역을 대상으로 기능성과 안정성 검토 시 2월, 8월에 현장계측을 하는 것이 적당하다고 판단된다.

8.4.2 철재형 이안제 강관파일 변위계측

철재형 이안제의 변위 관측을 위한 시트지 부착은 아래의 표 8.16에 보이는 바와 같이 철재형 이안제 현장시공이 완료된 후 울진 인근해역의 해상의 상태를 확인한 후 시트지 부착시 안전을 고려하여 해상의 날씨 상태가 좋은 2009년 4월 29일 시트지를 강관파일에 부착하였다.

표 8.16 강관파일 변위계측 일정

항목 \ 날짜	4월					5월					6월				비고		
	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15		20	
철재형 이안제 시공	■																4.9~4.10
파랑계측			■	■	■	■	■	■	■	■							4.17~5.21
강관파일 변위계측						■							■			■	5.1, 6.4, 6.16

관측용 시트지는 사진 8.8에 보이는 바와 같이 가로 10cm 세로 10cm의 크기이며 광파기를 사용하여 거리 측정시 프리즘이 필요 없으며 약 500m정도의 거리를 측정할 수 있다.

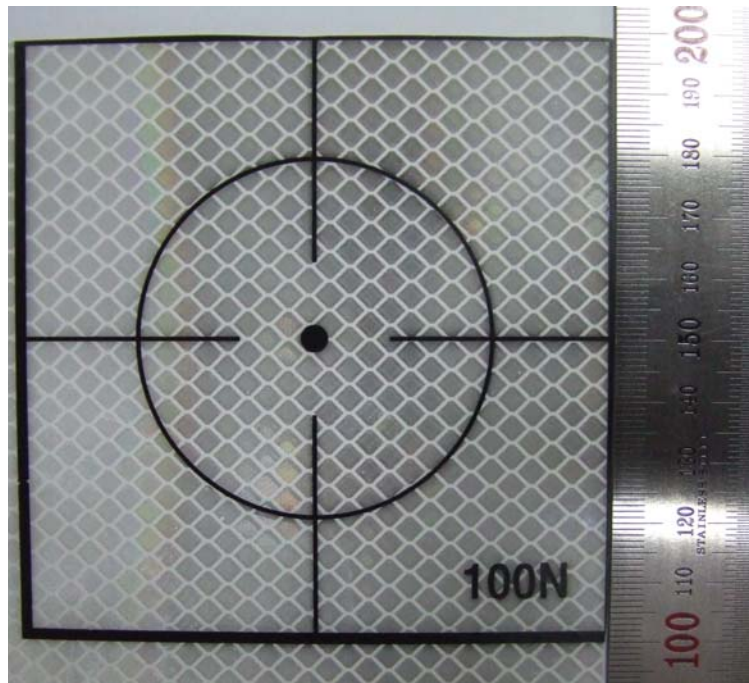


사진 8.8 관측용 시트지

강관파일을 파력에 의한 변위를 측정하기 위하여 사진 8.9에 보이는 바와 같이 강관파일에 측량용 시트지를 육상 기준점인 표 8.6의 (f) CP.6에서 시준이 가능한곳(그림 8.7의 P5지점을 제외한 강관파일)에 부착하였다.

관측용 시트지 부착은 사포를 사용하여 강관파일의 녹을 제거한 후 관측용 시트지를 강관파일에 부착하였다.

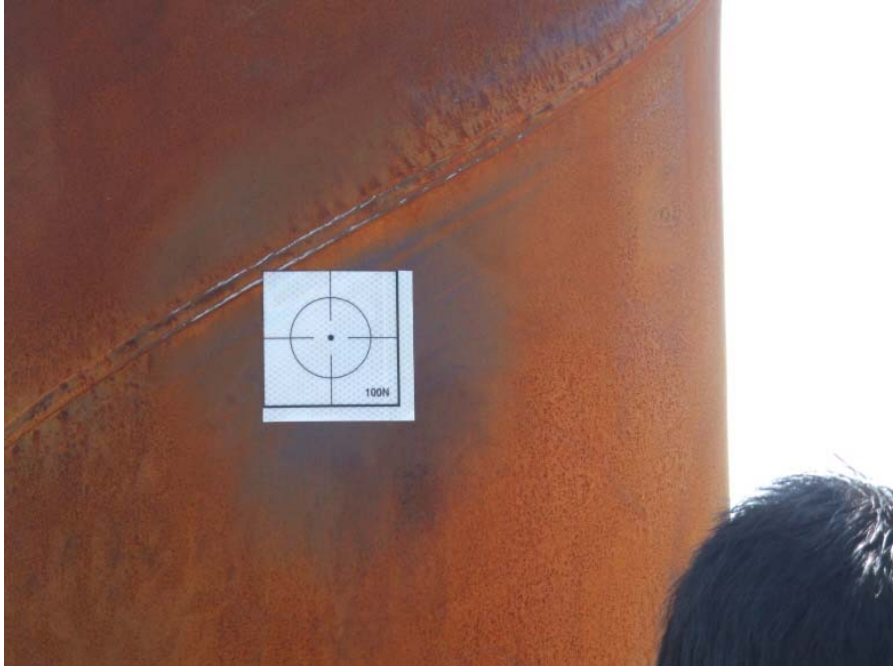


사진 8.9 강관파일에 시트지 부착

강관파일 변위 관측은 육상 기준점인 표 8.6의 (f) CP.6에 기계를 세운후 표 8.6의 (e) CP.5를 시준한 후 강관파일에 부착되어 있는 시트지를 광과기를 사용하여 수평각 및 연직각을 정·반위 관측하여 수평각, 연직각 수평거리를 보정한 후 식 (8.1), 식 (8.2)를 사용하여 관측용 시트지가 부착된 중심 지점의 N , E , Z 의 거리를 주기적으로 관측을 실시하였으며, 측정시 수평각 및 연직각 관측오차는 $\pm 4''$ 이며, 수평거리 측정오차는 $\pm 3mm$ 이다.

8.4.3 철재형 이안제 강관파일 변위분석

철재형 이안제 강관파일 변위측정은 아래의 그림 8.31에 보이는 바와 같이 총 8개소에 시트지를 부착 하였으며, S1 부분의 시트지는 5월 1일 첫 번째 관측 이후 손실되었다.

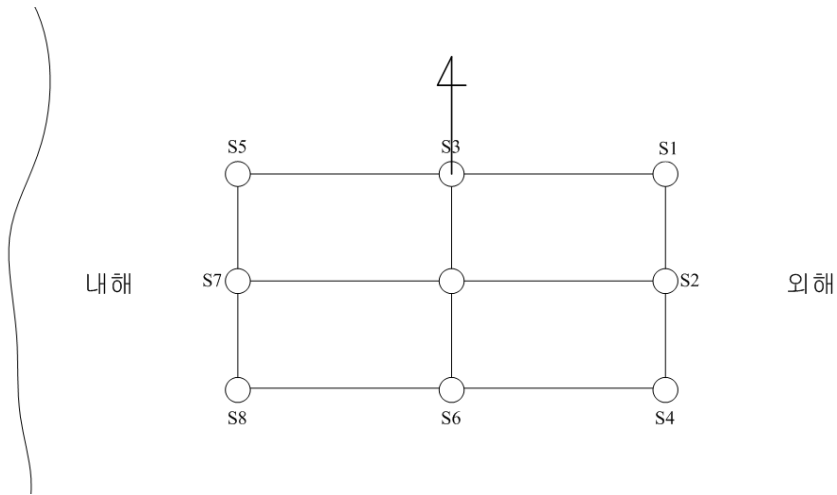


그림 8.31 관측용 시트지 부착위치

울진군 원남면 오산리 오산 출장소의 히어링 조사결과 5월 29에는 풍랑주의보가 발효 되어 오산항의 출항이 통제 되었으며, 5월 30일에 풍랑주의보가 해제되었다.

철재형 이안제의 표 8.16에 보인바와 같이 강관파일의 변위계측 기간 동안의 기상관측 *Buoy* 자료의 최대파고를 비교한 결과 동해 *Buoy*는 5월 21일 최대파고 3.4m, 포항 *Buoy*는 5월 29일 5.8m가 관측되었다.

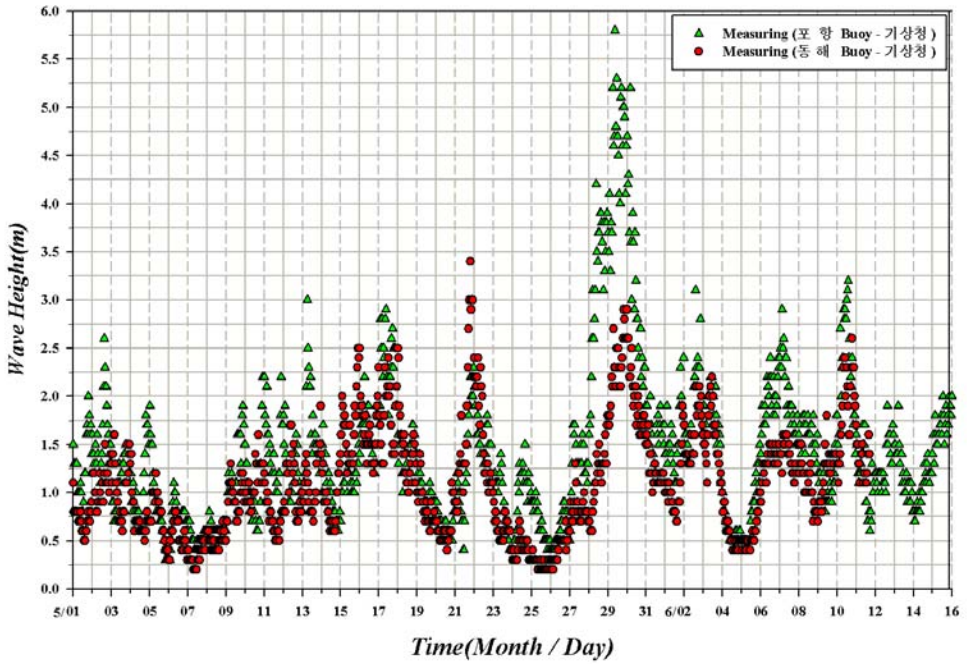


그림 8.32 강관파일 변위계측 기간 동안의 기상관측 Buoy자료 비교

철재형 이안제의 강관파일 변위 계측기간 동안 철재형 이안제에 내습한 파랑계측 자료가 미흡하여 철재형 이안제에 내습한 파랑 추산은 어려우나 히어링 조사와 기상관측 Buoy자료를 통하여 계측기간 동안 철재형 이안제에 설계 파에 상응하는 파랑이 내습한 것으로 판단된다.

구조물의 안정성 여부를 판단하기 위하여 강관파일의 변위를 2009년 6월 4일과 6월 16일에 철재형 이안제에 부착되어 있는 시트지를 이용하여 5월 1일에 관측한 방법과 동일한 방법으로 관측을 실시하여 아래의 표 8.17에 보이는 바와 같이 분석 하였다.

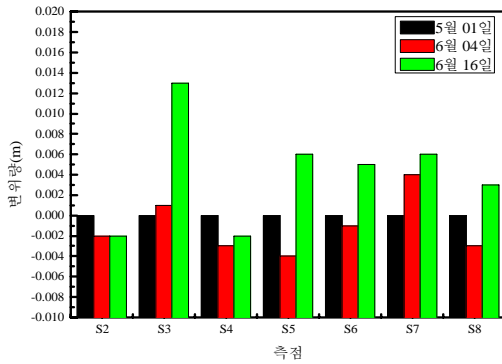
표 8.17 강관파일 변위측정 data

(단위 : m)

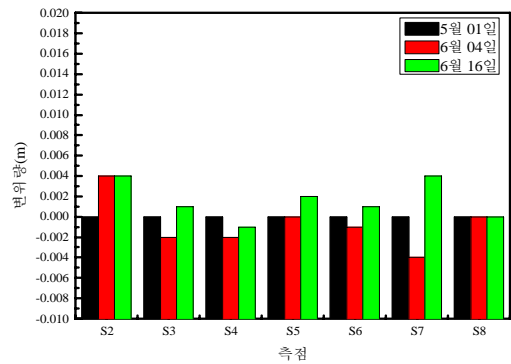
측점		2009년	2009년	2009년
		05월 01일	06월 04일	06월 16일
S1	N	4083301.322	손실	손실
	E	537801.790		
	Z	1.567		
S2	N	4083297.252	4083297.250	4083297.250
	E	537803.977	537803.981	537803.981
	Z	1.373	1.366	1.368
S3	N	4083298.343	4083298.345	4083298.356
	E	537796.576	537796.574	537796.578
	Z	1.550	1.548	1.550
S4	N	4083293.446	4083293.442	4083293.444
	E	537806.272	537806.269	537806.271
	Z	1.397	1.397	1.398
S5	N	4083295.411	4083295.407	4083295.418
	E	537791.473	537791.473	537791.475
	Z	1.554	1.561	1.558
S6	N	4083290.488	4083290.487	4083290.493
	E	537801.050	537801.049	537801.051
	Z	1.251	1.248	1.246
S7	N	4083291.441	4083291.445	4083291.447
	E	537793.583	537793.579	537793.588
	Z	1.494	1.500	1.508
S8	N	4083287.544	4083287.542	4083287.548
	E	537795.804	537795.803	537795.804
	Z	1.603	1.600	1.604

철재형 이안제 강관파일의 변위를 측정한 결과를 이용하여 아래의 그림 8.33에 보이는 바와 같이 방향별로 변위량을 나타내었다.

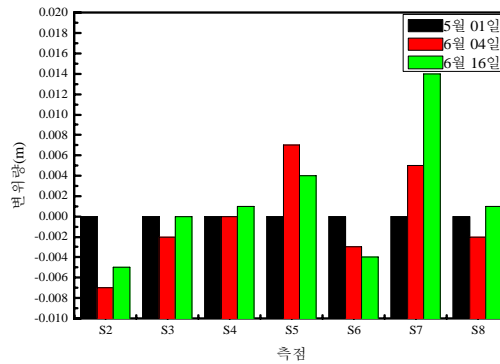
설계파에 상응하는 파이 내습시 수평변위는 S3번의 위치에 북쪽 방향으로 13mm, 변화를 보였으며, 연직변위는 S7번의 위치에서 상향으로 (+)14mm 변화를 보였다.



(a) N방향의 변위



(b) E방향의 변위



(c) Z방향의 변위

그림 8.33 강관파일 변위량

강관파일 수평변위는 설계과에 상응하는 과가 내습시 남서(SW)방향으로 움직임을 보였으며, 이후(6월16일) 관측시 북동(NE)방향으로 강관파일이 움직임을 보인 것으로 추정된다.

구조물의 기초를 설계하는 데에는 과과에 대하여 안전할 것과 허용된 침하 범위 이상의 침하가 발생하지 말아야 할 것 등 두가지 기준에 의한다. 과과에 대하여 안전하도록 하는 지지력개념의 설계에서는 과과를 유발하는 극한지지력을 구하고 비교적 높은 2.0~3.0의 안전율을 적용한다. 따라서 지지력 개념

의 설계는 극한지지력의 확인에 의하는 것이 가장 바람직하며 이 개념은 우리나라 건설부 제정 “구조물 기초설계 기준”에도 명시되어 있다. 또한 각종 문헌에서도 극한지지력을 기준으로 할 것을 제안하고 있다.

극한상태의 정의는 하중의 증가 없이 침하량이 무한대로 증가는 상태 이지 만 대부분의 말뚝재하시험에서는 이와 같은 이론적인 극한지지력은 확인이 되지 않는다. 따라서 인위적인 침하량에 도달하면 그때의 하중을 극한하중으로 인정하는 방법이 보다 폭 넓게 적용되고 있다.

아래의 표 8.18에 보이는 바와 같이 전 침하량의 기준으로부터 강관말뚝의 연직변위는 허용범위 내에서 변위량이 만족이 되며, 수평변위는 표 8.19에 보이는 바와 같이 국내외 시방서 및 기준의 수평변위의 기준에서 보는바와 같이 허용범위 내에서 변위량이 만족이 된다. 따라서 구조물에 설계파고의 상응하는 파가 내습시 파력에 의한 구조물은 안전하다고 판단된다.

표 8.18 국내외 시방서 및 전침하량 기준

구분		전침하량 기준
국내 규정	BS규정	<ul style="list-style-type: none"> 말뚝직경의 10% 침하량 Terzaghi and Peck 제안한 25mm
	인위적인 기준값 (De Beer)	<ul style="list-style-type: none"> 항타말뚝의 경우 말뚝직경의 10% 현장타설 콘크리트 말뚝에서는 말뚝직경의 30% 침하
국외 규정	Singapore 지하철 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> 설계하중에서 6~9mm 설계하중의 1.5배 하중에서 9~20mm
	일본 토질공학회	<ul style="list-style-type: none"> 설계하중의 1.5배 하중에서 25mm
	러시아	<ul style="list-style-type: none"> 설계하중의 1.5배 하중에서 40~80mm

표 8.19 국내의 시방서 및 기준의 수평변위 기준(한국지반공학회, 2006)

구분		수평변위기준(한국지반공학회, 2006)
국내 규정	구조물기초설계기준 (2003)	· 말뚝머리의 수평방향 변위량이 상부구조에서 정해지는 허용 변위량을 넘어서지 않는 조건을 만족
	도로교설계기준 (2001)	· 말뚝의 수평변위는 기초폭의 1%이며, 최소 15mm, 최대 50mm으로 함
국외 규정	<i>AASHTO</i> (2004)	· 말뚝의 수평변위는 Barker 방법 또는 p-y해석 절차 적용 · 수평변위는 지반-말뚝 상호작용을 고려하여야 함. · 말뚝의 수평변위는 선택된 허용수평변위 이내 · 수평방향 변위는 38mm로 제한
	<i>Candian Geotechnical Society</i> (1992)	· 수평지지력은 3가지 조건에 의해 제한. · 그 중 말뚝두부 변위에 의해 상부구조의 준립이 가능하여야 함.
	<i>FHWA</i> (1999)	· 교대의 수평 변위는 연직변위보다 구조물 손상에 더 큰 영향을 미치며, 사용성 예측에 의해 38mm보다 작아야 함.
	<i>AASHTO</i> (1996)	· 매입말뚝의 수평변위 기준은 연직변위와 수평변위를 결합시킬 수 있는 경우, 수평변위를 25mm이하, 연직변위가 작은 경우 수평변위는 50mm이하로 규정. 예측 변위가 위의 규정을 초과하였다면, 정밀분석이 필요함.

8.5 철재형 이안제 별도안

철재형 이안제는 해상구조물로서 부식이 단점으로 작용할 수 있다. 따라서 조위발생확률밀도함수를 검토하여 소파관 캡 노출되는 부분을 수면 아래로 설계를 변경하여야 하며, 강관파일과 소파관의 연결시 핀 접합을 보강하여 소파관과 강관파일을 고정시키기 위한 핀 연결시 핀의 움직임을 최소화 할 수 있도록 수정하여야 한다.

철재형 이안제의 부식 방지를 위하여 소파관의 캡 부분을 최대한 수면 아래에 잠기도록 하여야 한다. 기존설계 도면인 부록D. 2안의 경우 소파관 캡 상부는 DL (+)0.407m이다. 이는 아래의 그림 8.34에 보이는 바와 같이 $\eta_{\min} = (+)27.2cm$ 이가 된다. 이를 제 5장의 조위발생빈도분포 내에서 식(5.3)

을 적용하게 되면 $\int_{27.2}^{\infty} P(\eta) = 0.003$ 이 된다.

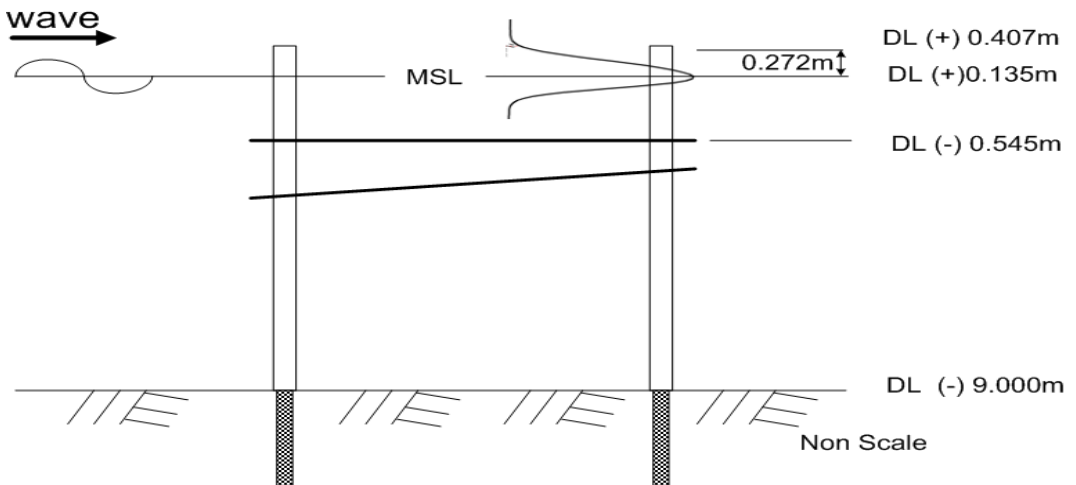


그림 8.34 기존 소파관 캡의 설계

기존의 소파판캡을 설계하게 되면 수면아래에 잠길 확률이 0.3%정도가 되며, 이는 수면위로 노출될 확률이 높아 부식이 우려가 된다.

기존의 소파판 상부 주보강재의 높이 20cm, 핀 직경 10cm를 지그재그 설치한 높이를 고려하여 소파판캡 상부 높이를 0.452m정도 낮추게 되면 아래의 그림 8.35에 보이는 바와 같이 DL (-)0.025m정도가 되는데 이는 $\eta_{\min} = (-)16cm$ 가 된다. 이를 제 5장의 조위발생빈도분포 내에서 식(5.3)을 적용하면 $\int_{-16}^{\infty} P(\eta) = 0.92$ 가 된다.

용하면 $\int_{-16}^{\infty} P(\eta) = 0.92$ 가 된다.

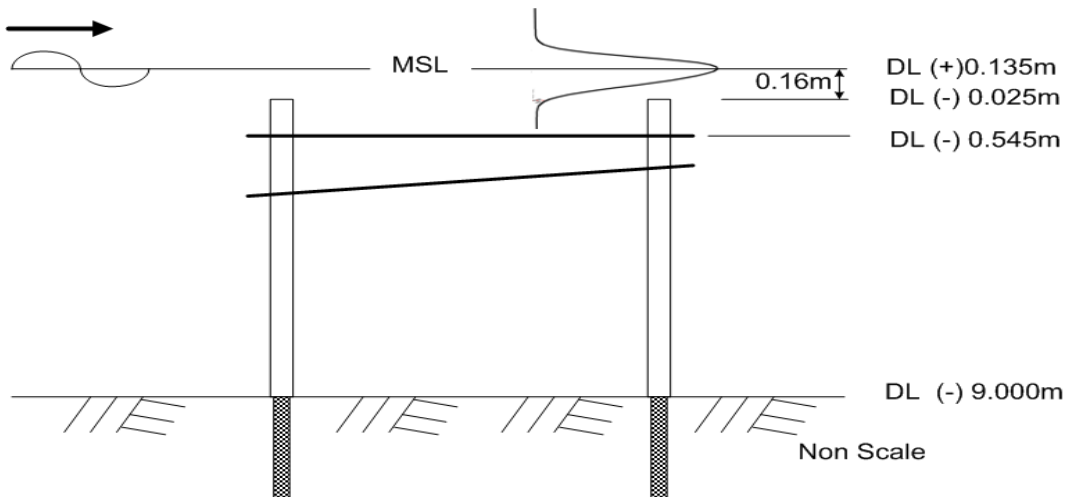


그림 8.35 개선된 소파판 캡 설계

철재형 이안제의 소파판 캡의 최대 높이를 DL (-)0.025m로 두고 철재형 이안제의 소파판 캡을 수정하게 되면 수면아래에 잠길 확률이 92%정도가 되며 기존보다는 수면위로 노출되는 부위가 낮아 부식 관련하여 효과가 있을 것으로 판단된다. 따라서 철재형 이안제의 소파판 캡의 높이를 개선하기 위하여 아래의 그림 8.36에 보이는 바와 같이 소파판 캡의 위치를 변경하여야 한다.

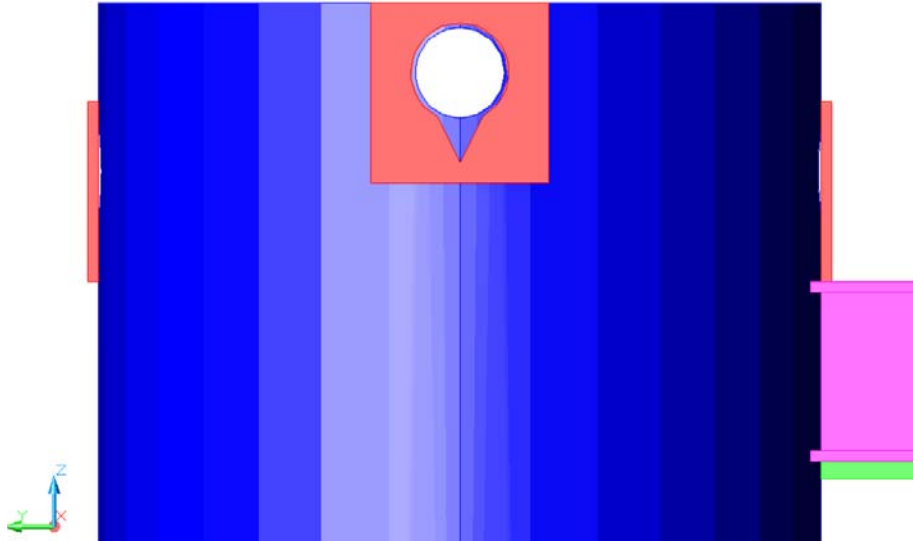
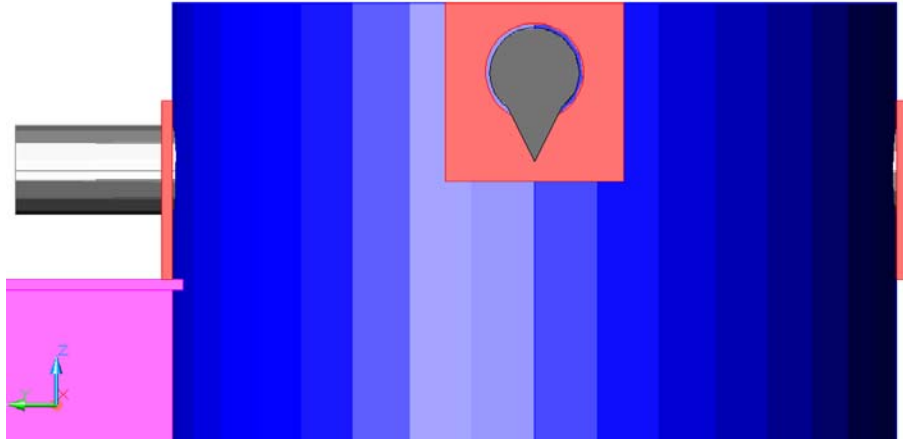


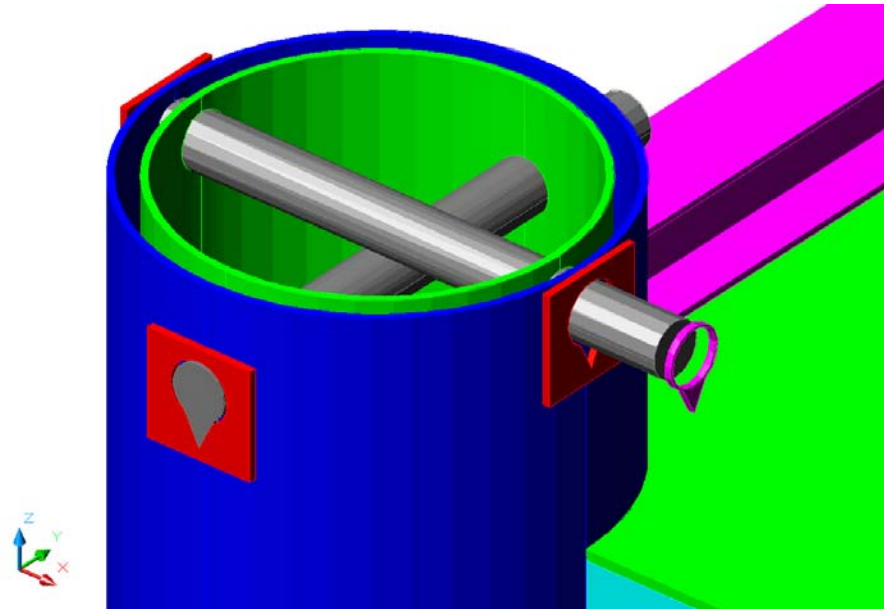
그림 8.36 소파판 캡 개선

소파판 캡은 소파판 상판상부의 가로보강재(H형강)로부터 소파판 캡과 강관 파일을 연결하는 핀 설치를 위한 최소한의 높이를 두어 최대한 소파판 캡이 수면으로부터 잠기도록 하였다.

소파판 캡과 강관파일을 핀으로 연결할 때 핀의 움직임을 최소화하기 위하여 핀접합 보강재에 홈을 두어 핀과의 용접을 할 수 있도록 설계 하였다.



(a) 정면



(b) 후면

그림 8.37 핀과 핀캡 연결

소파관 캡에 강관파일 관입후 강관파일에 핀을 접합할 수 있는 직경의 구멍을 뚫고 핀연결후 핀 보강재와 핀을 용접한 후 반대쪽 핀 부분에 핀 보강재와 핀을 용접할 수 있도록 캡을 연결하여 용접한다.

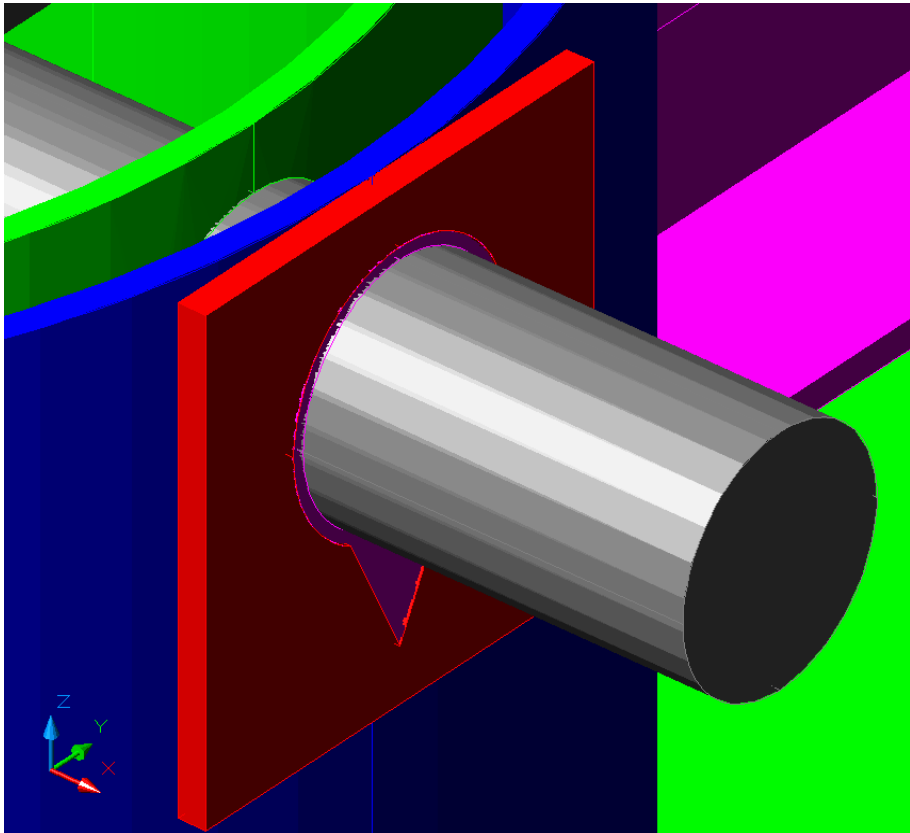


그림 8.38 핀캡 연결 완료

철재형 이안제의 강관파일과 소파관과의 고정시키기 위한 핀 연결의 움직임을 최소화 할 수 있도록 하였다.

소파관 하부에 보강재를 두어 그림 8.39에 보이는 바와 같이 소파관의 처짐 및 변형에 대하여 설계하여야 한다.

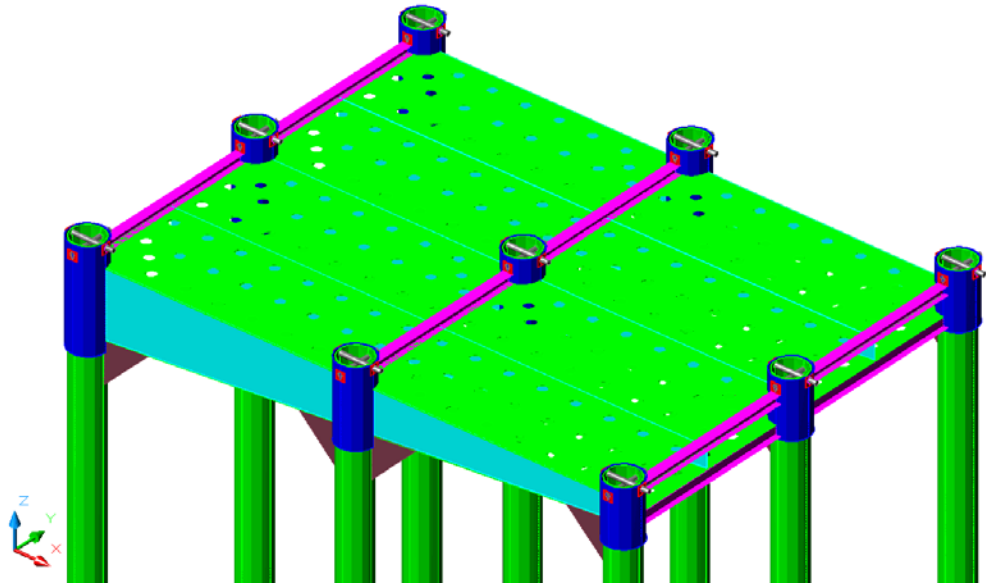


그림 8.39 철재형 이안제 추가안

소파판 하부의 처짐 및 변형을 최소화 하기 위하여 보강재를 소파판 하부와 소파판캡, 강관파일에 용접하여 소파판 하부를 지지할 수 있도록 하였다.

제9장 결론 및 향후 연구과제

9.1 결론

철재형 이안제 설계시 그림 3.1에 설명한 철재형 이안제 설계 단계 2차 세분화의 수리적 성능 검토①의 소파형식에 의한 투과율 산정 실험을 통하여 철재형 이안제 단면을 결정하며, 파압분포를 검토한 후 상부구조물 설계②와 하부기초 설계③을 독립적인 검토하면서 제공할 자료를 일방 또는 상호 조절하면서 철재형 이안제의 기초설계 검토가 상부구조물 설계에 선행되어 설계단면 완성이 가능했다.

설계단계를 통하여 결정된 철재형 이안제의 상세 설계도면을 실험해역에 적용 실험을 하여 철재형 이안제의 기능성과 안정성에 대하여 검토하였다.

철재형 이안제 실험해역 적용실험과 수리모형 실험의 비교 분석하였을 경우 투과율이 폭-파장비가 증가함에 따라 투과율이 감소하는 경향을 나타냈으며, 설계파고에 상응하는 파의 내습시 파력에 의한 강관파일의 변위 분석에서도 허용오차범위 내에 들어오는 것을 알 수 있었다. 따라서 철재형 이안제는 그림 3.1의 설계 과정을 통하여 시공시 철재형 이안제의 수리실험과 유사한 파랑저감 효과를 보이며, 설계파고에 상응하는 파의 내습시 파력에 의한 구조물이 안전하다고 추측된다.

9.2 향후 연구과제

본 연구에서는 철재형 이안제 설계기법 연구를 통한 철재형 이안제의 상세 설계 및 실패역 적용실험을 하여 철재형 이안제의 수리모형 실험 검증 및 구조물의 안정성 여부를 판단하였다.

본 연구의 성과를 기초로 하여 향후 다수의 철재형 이안제 구조물을 현장에 배치하여 해안선 보호를 증명하기위한 해안선 침·퇴적 경향을 파악하여야 하며, 조위차가 큰 지역에서도 활용이 가능할 수 있도록 연구가 필요할 것이다.

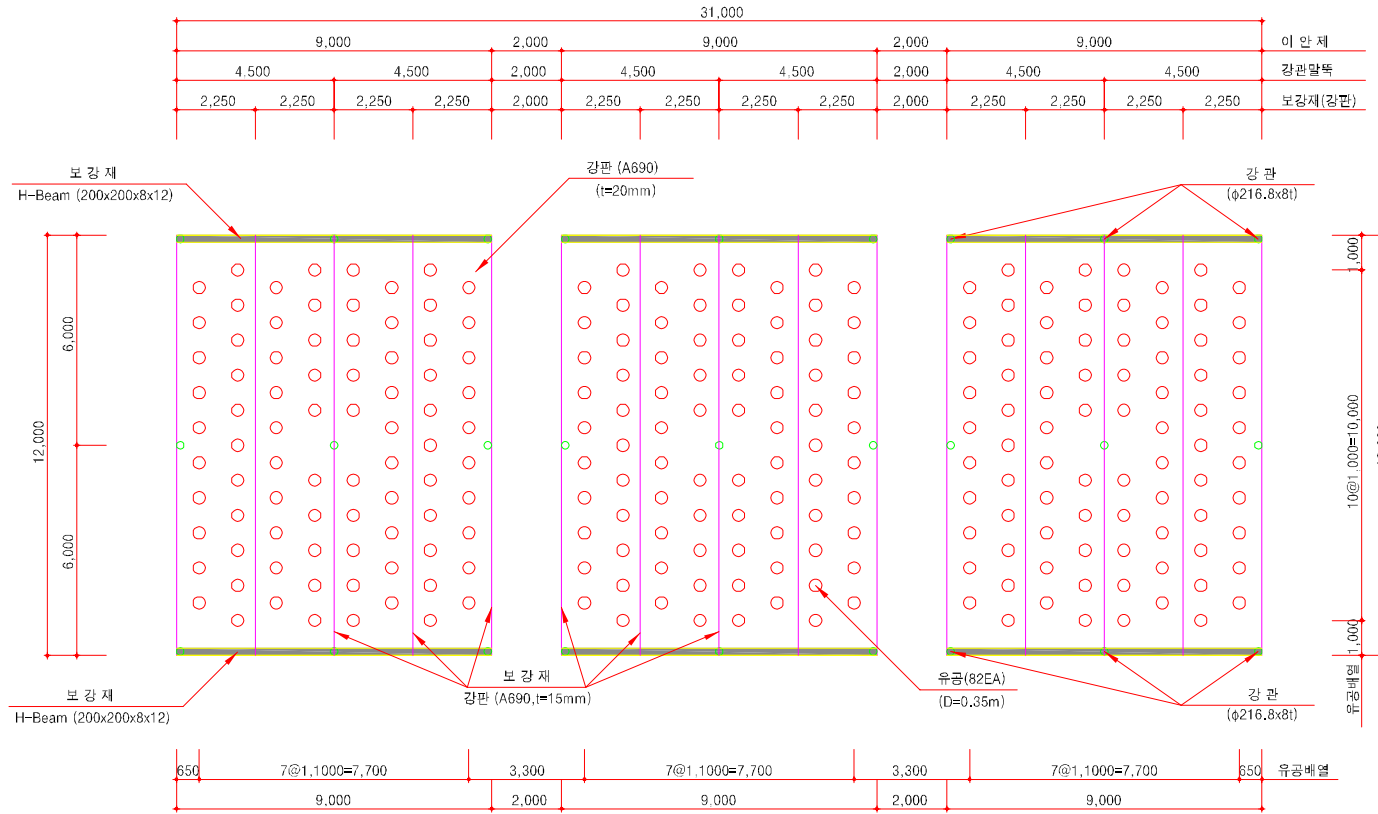
참고문헌

- 권혁민(1998) 방향 스펙트럼 파랑에 대한 3차원 쇄파변형 모델. 대한토목학회 논문집
- 권혁민·김영학·기성태(2008) 수평형 이열 조합관의 전달을 산정을 위한 실험적 연구. 대한토목학회논문집
- 기성태, 김성중(2006) 3중 유공관 방파제의 성능평가. 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 논문집, pp.1853-1858.
- 김성중(2006) 3중 유공관 방파제의 성능 평가. 공학석사 학위논문, 서울산업대학교.
- 김영학(2007) 이열 유공관을 활용한 철재형 이안제의 소파기능 검증. 공학석사 학위논문, 경주대학교.
- 박현석(2005) 신뢰성 해석에 의한 해역별 기대월과확률 비교. 공학석사 학위논문, 경주대학교
- 전성기(2003) 실무자를 위한 구조물기초 설계실무편람, 도서출판 과학기술 pp.262
- 조일형 (2002) 수평형 타공관의 소파특성. 한국해안·해양공학회지, 제14권 제4호. pp.265-273.
- 강원도 환동해출장소(2007) 해안침식지역 물리조사를 위한 기본계획 수립보고서
- 경상북도 도집계 자료(경상북도 해양정책과) 연안 침식 현황
- 경상북도(2008) 연안침식 실태조사 및 대응전략연구 보고서
- 국토해양부주관, 차세대 해안공간 연구단(2006) 차세대 해안공간 확보기술 1차년도 실적 및 계획보고서
- 국토해양부주관, 차세대 해안공간 연구단(2007) 차세대 해안공간 확보기술 2차년도 실적 및 계획보고서
- 국토해양부주관, 차세대 해안공간 연구단(2008) 차세대 해안공간 확보기술

- 3차년도 실적 및 계획보고서
- 국토해양부주관, 차세대 해안공간 연구단(2009) 차세대 해안공간 확보기술
4차년도 실적 및 계획보고서
- 한국해양연구원(2005) 심해설계과 추정 보고서Ⅱ
- 해양수산부(1997) 장기 파랑 산출 자료집 pp. 72
- 해양수산부(2002) 오산항 해안침식방지 기본설계 보고서
- 해양수산부(2005) 항만 및 어항 설계기준 pp. 168
- 해양수산부(2006) 연안침식 모니터링 체계 구축(Ⅳ) 보고서
- Lee, J.L. and Oh, M, (2005) Fine sediment accumulation in a port protected by a breakwater of surface-piercing type. *J. Coastal Research*, SI(39)
- Lee, J.L. and Park, C.S. (2001) A weakly nonlinear wave model of practical use. *Waves 2001*
- Lee, J.L., and Park, C.S., (2000) Development of weakly nonlinear wave model and its numerical simulation. *J. of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 12(4), pp. 181-189
- Lee, S.Y., Cho, H.M., Na, W.B. and Kim, J.T. (2007) Structural design of steel-type detached breakwater, *Proc. of Int. Conference on Civil and Environmental Engineering. ICCEE, Higashi-Hiroshima, Japan*
- S.T. Kee · D.S. Hur · S.J. Kim(2007) Blockage Effects and Wave Energy Dissipation by Submerged Porous Plates. *ISOPE*
- Yoshimi Goda(1996) 항만구조물의 내파설계. 김남형 역 구미서관
- 畠田良實(2008) 耐波工學, 鹿島出版社. pp. 104

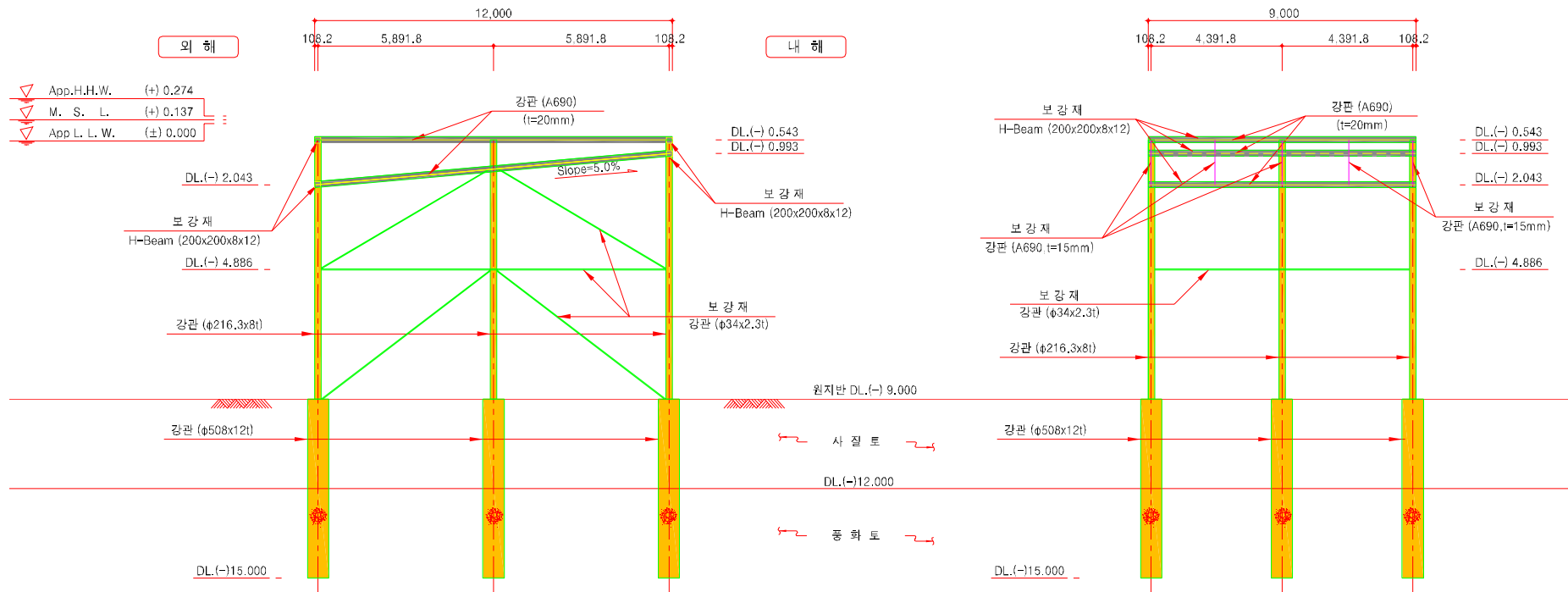
부록. 철재형 이안제 표준도면

외 해



내 해

부록 A.1 철재형 이안제 평면도(변단면)

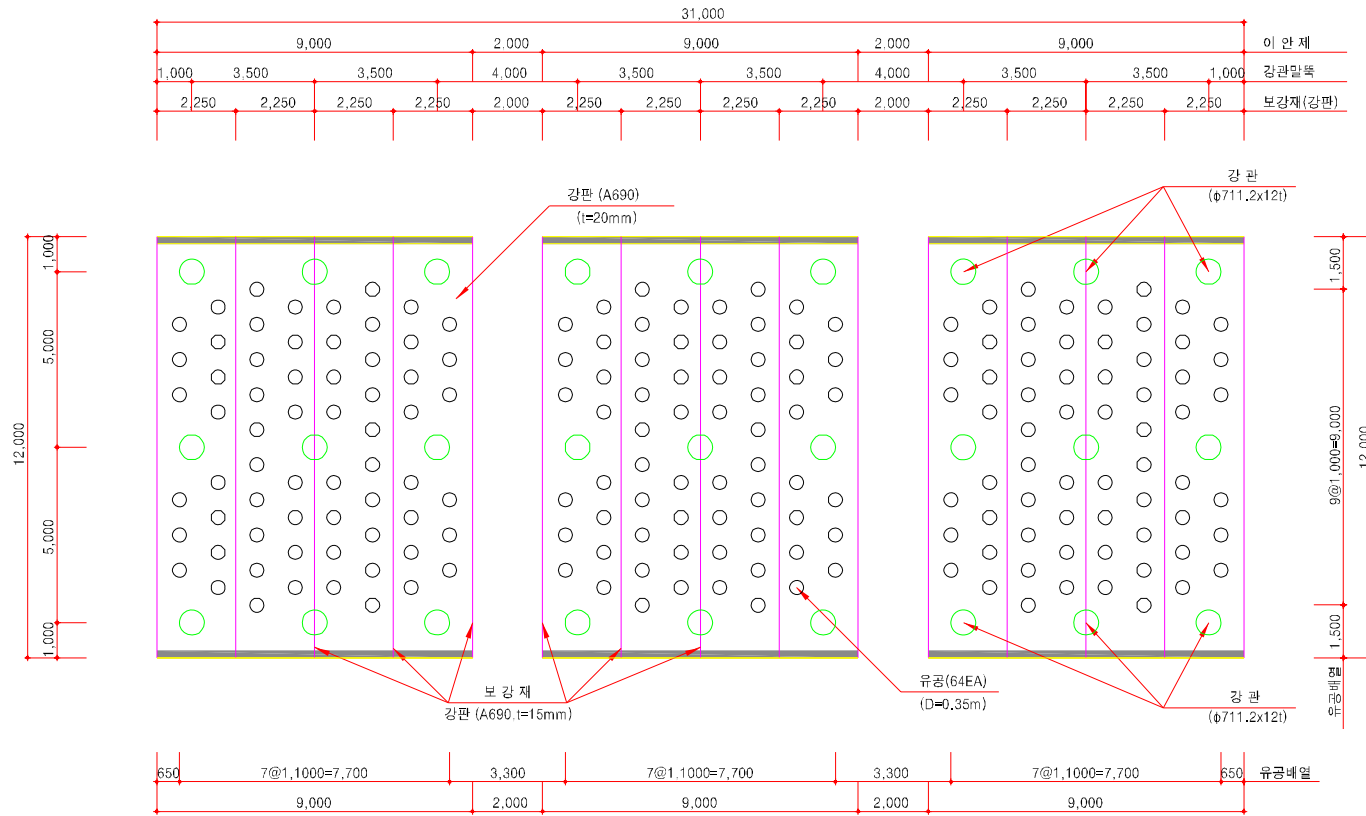


이안제 측면도

이안제 정면도

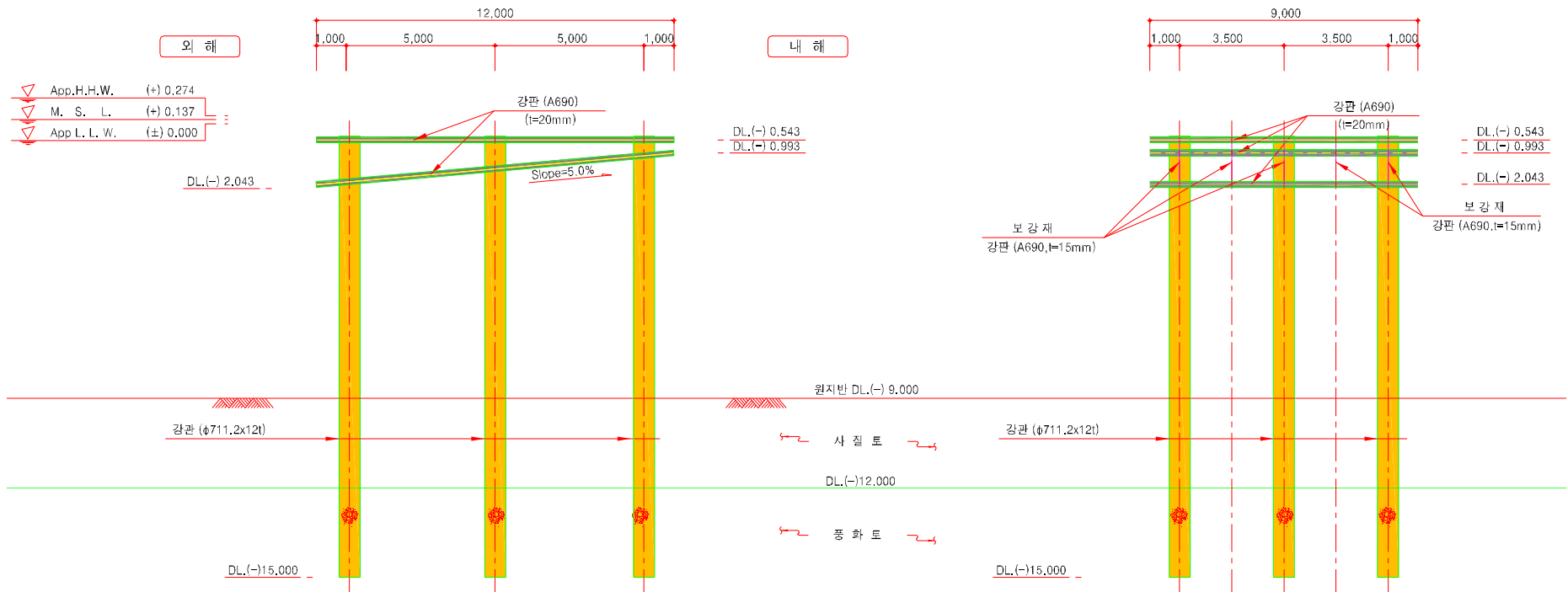
부록 A.2 철재형 이안제 단면도(변단면)

외 해



내 해

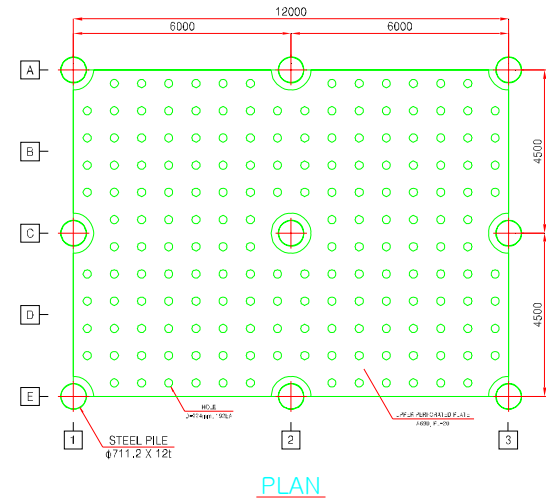
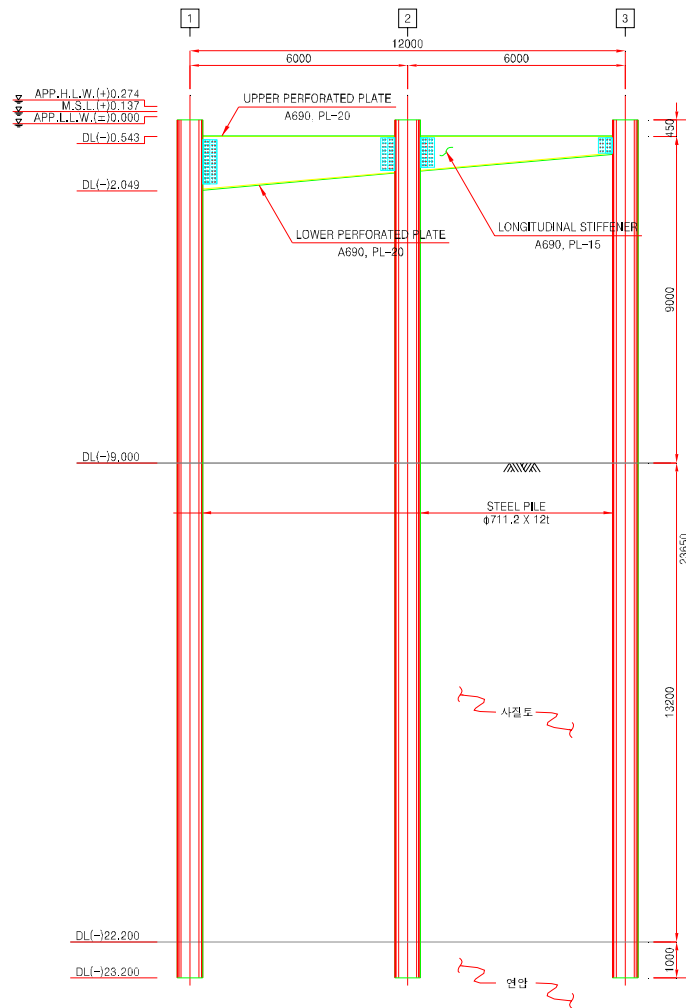
부록 B.1 철재형 이안제 평면도(일체형)



이안제 측면도

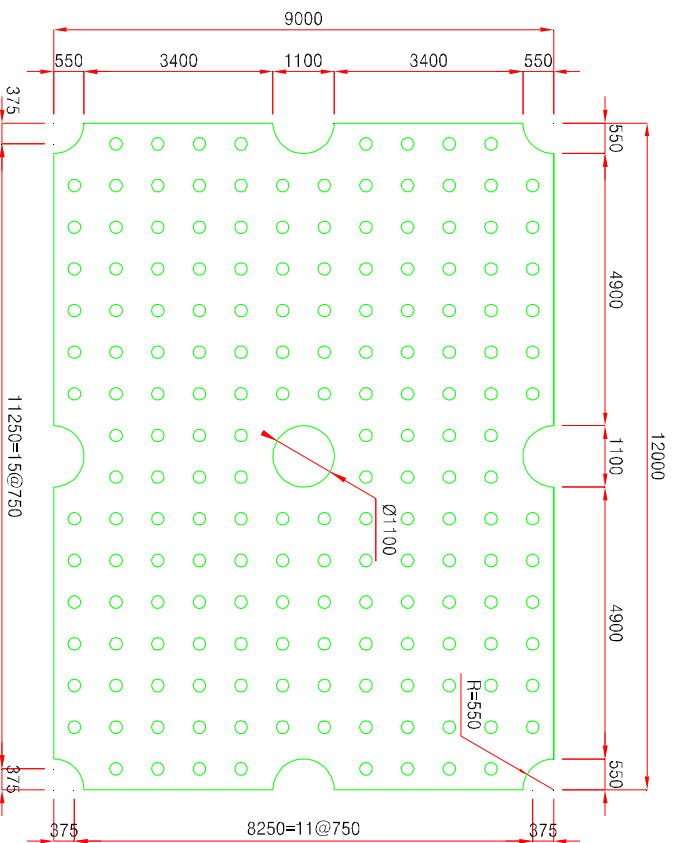
이안제 정면도

부록 B.2 철재형 이안제 단면도(일체형)

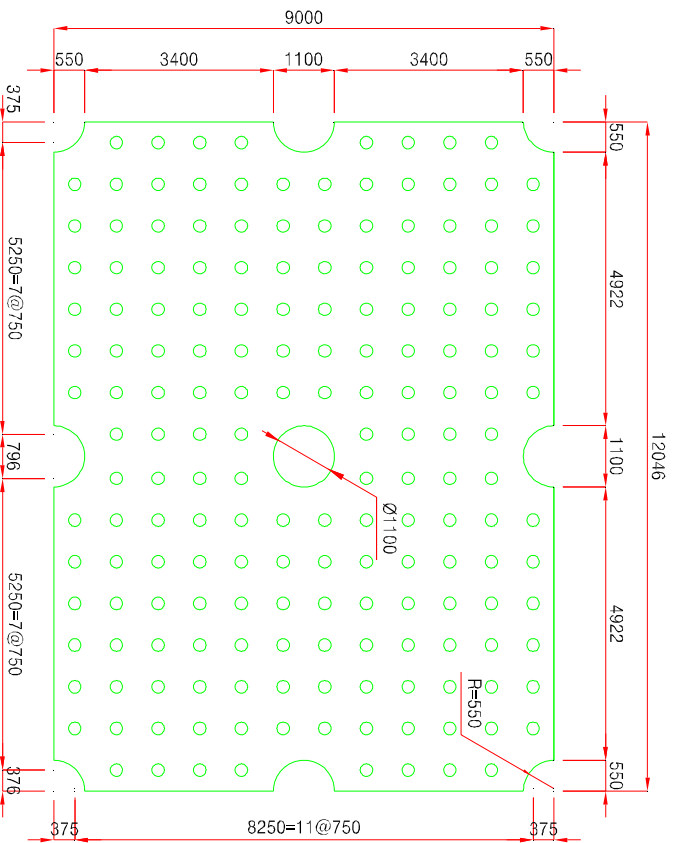


SIDE VIEW

부록 C.1 철재형 이안제 개요도(제1안)

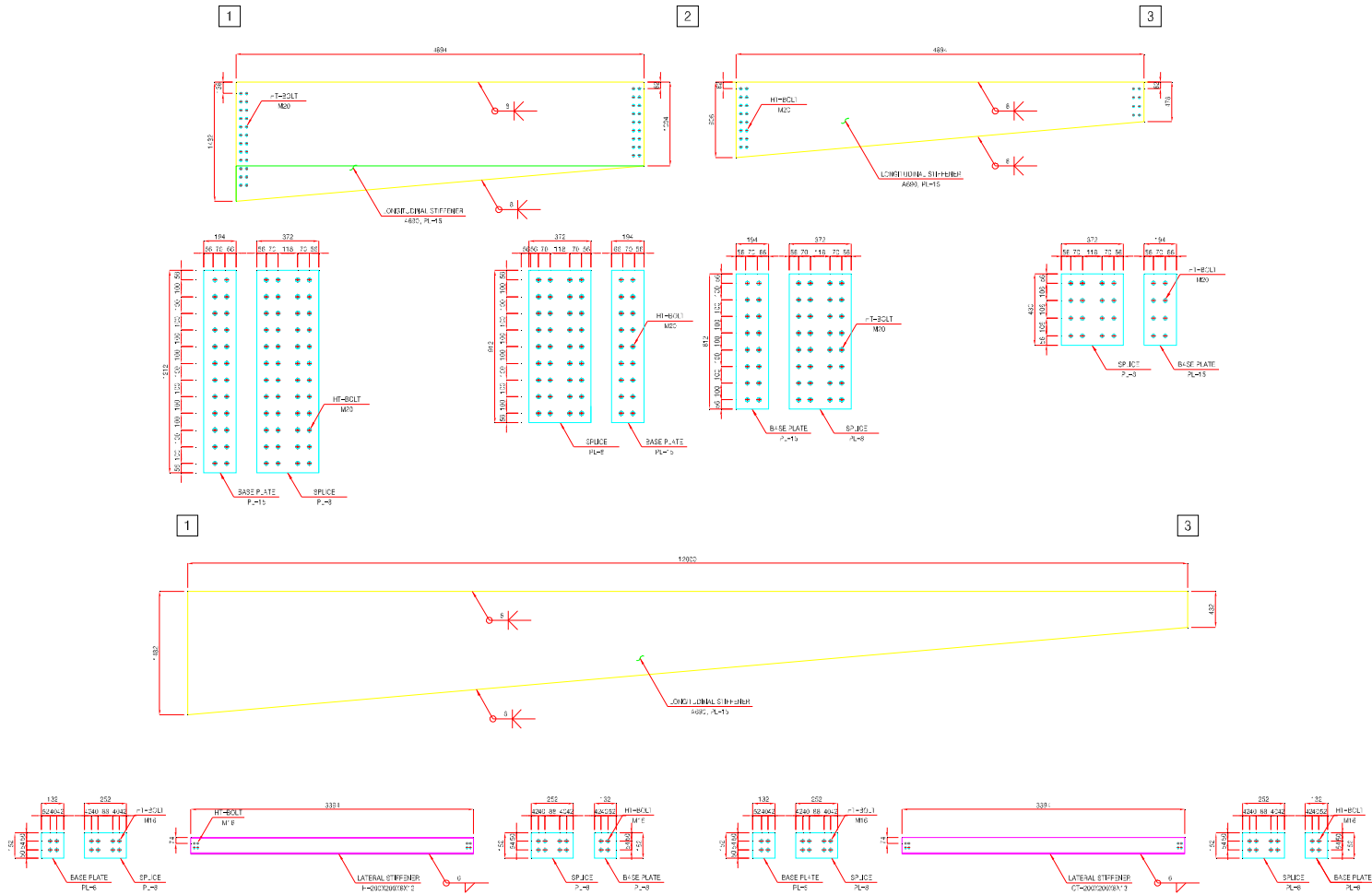


상부스파판

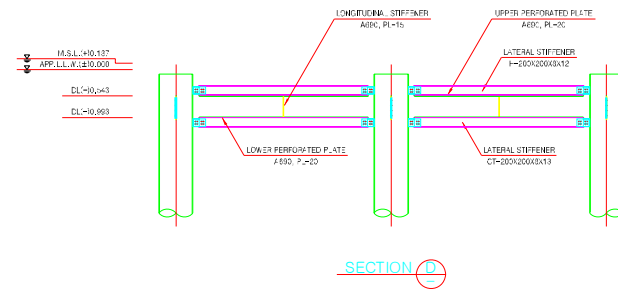
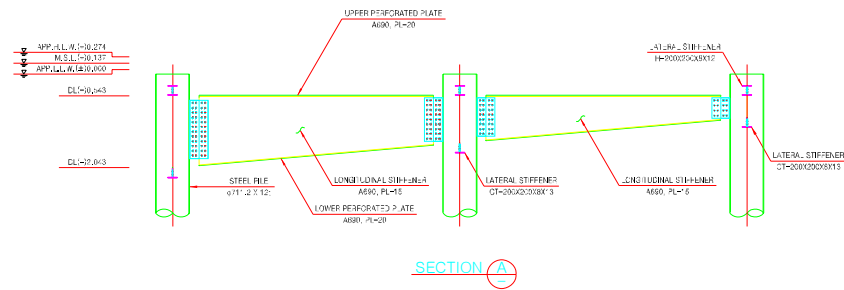
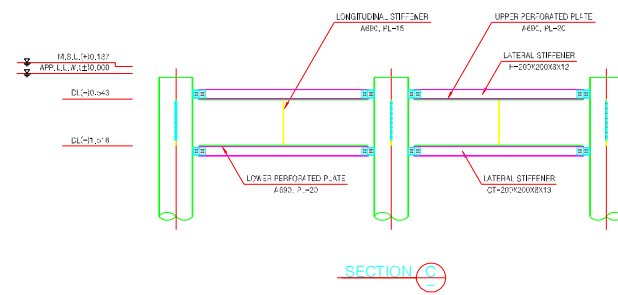
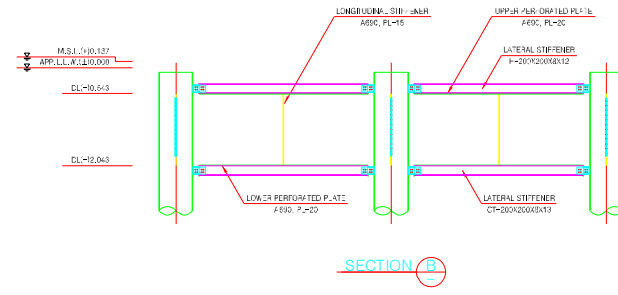
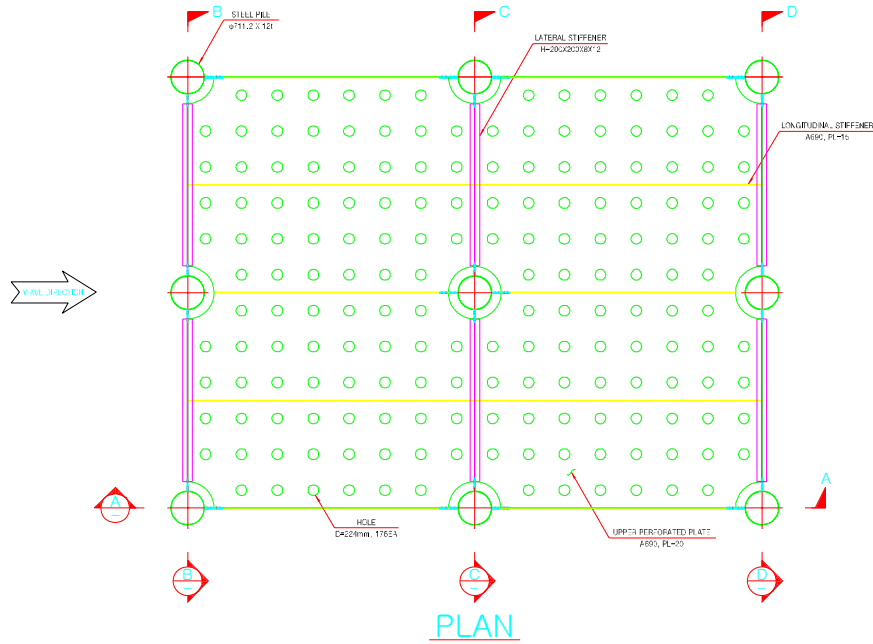


하부스파판

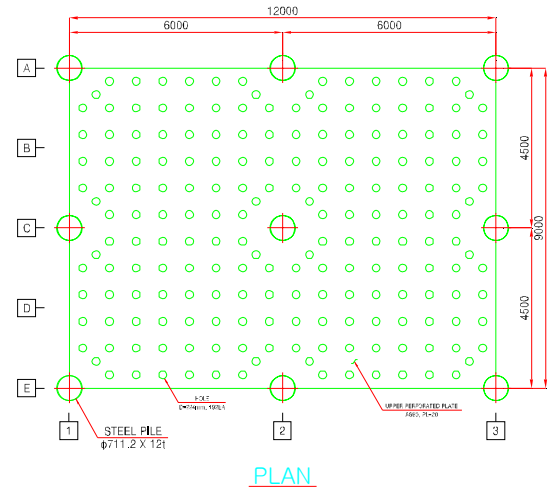
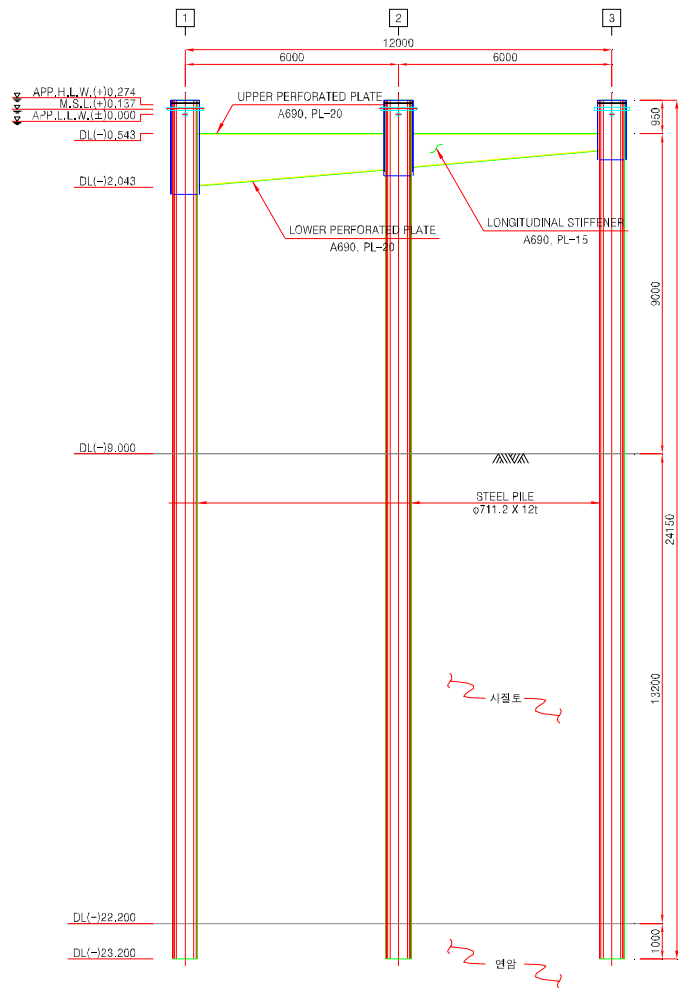
부록 C.2 상·하부 스파판(제1안)



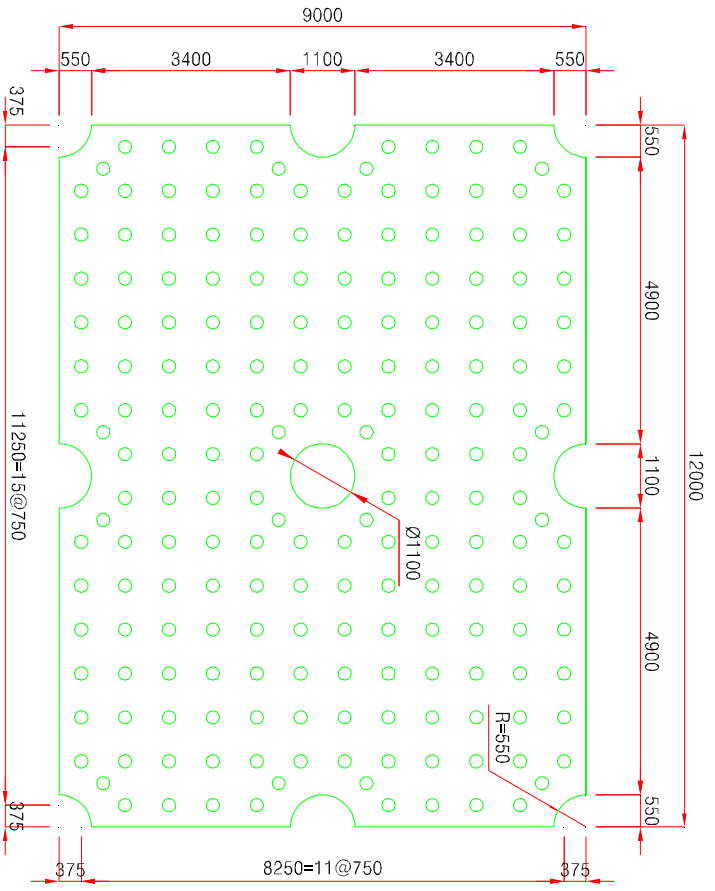
부록 C.3 중 · 횡방향 보강재 및 연결부재(제1안)



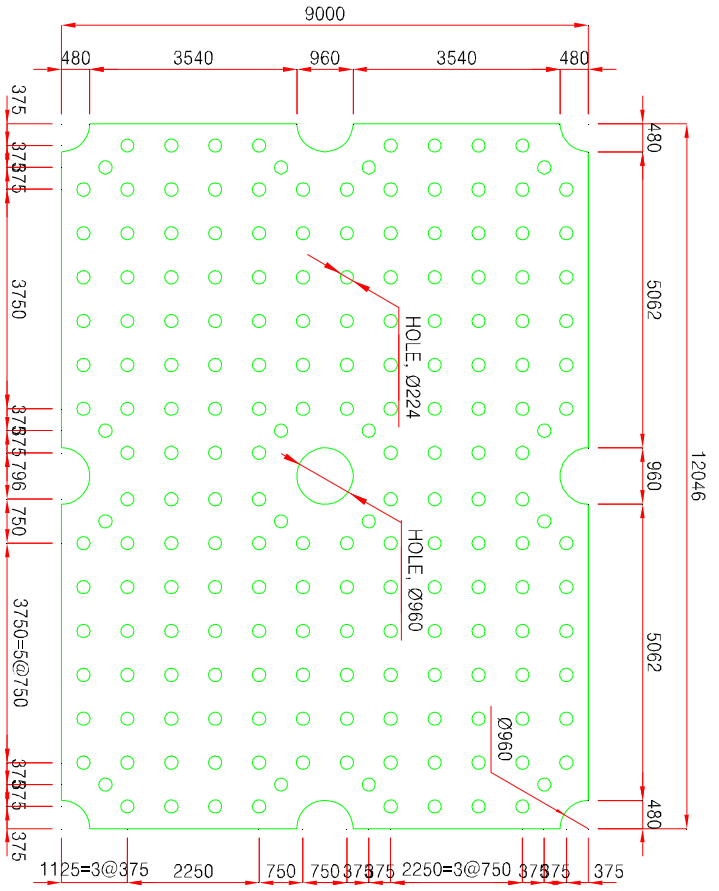
부록 C.4 유공판과 기둥연결부(제1안)



부록 D.1 철재형 이안제 개요도(제2안)

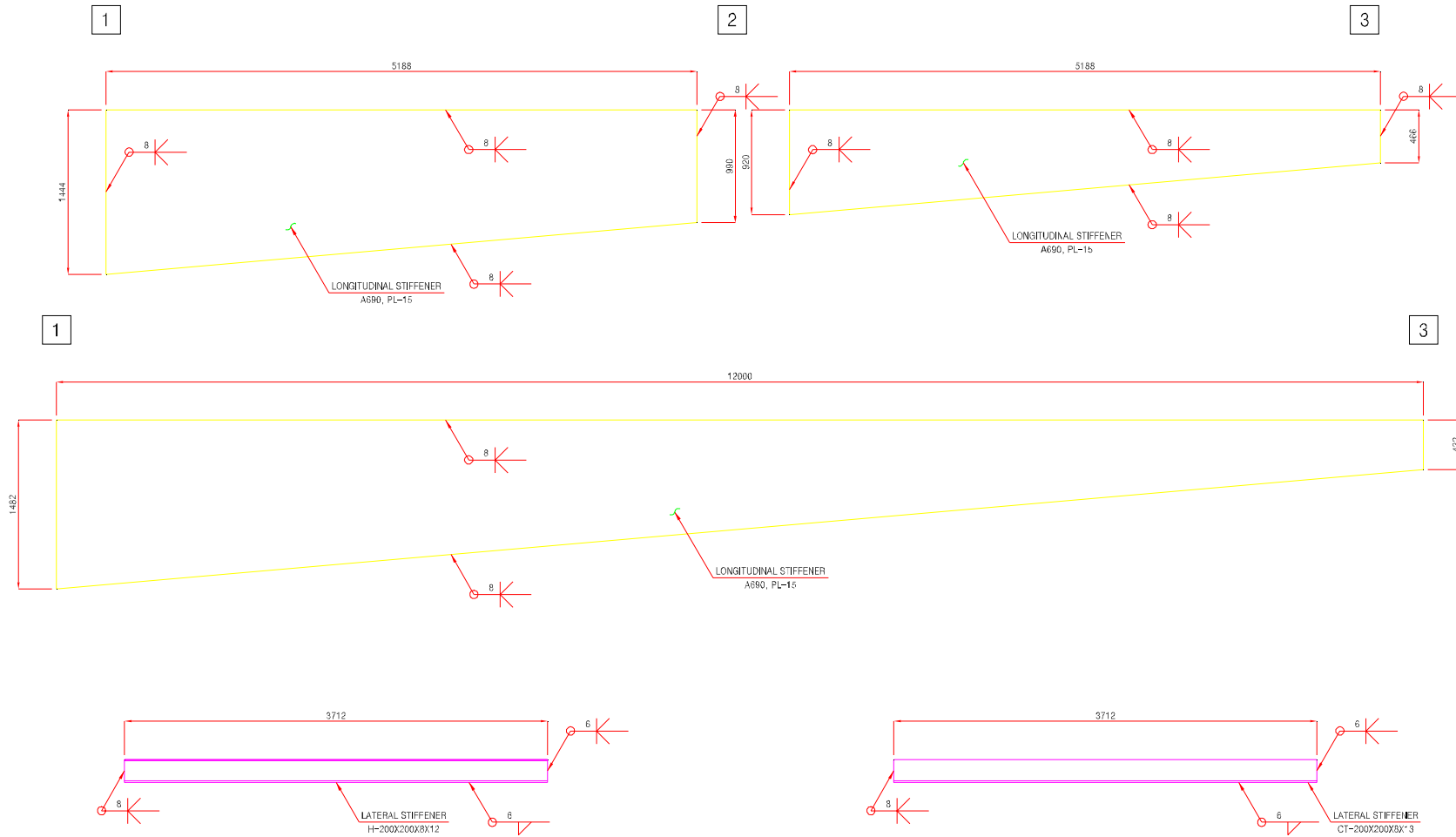


상부 스퍼판

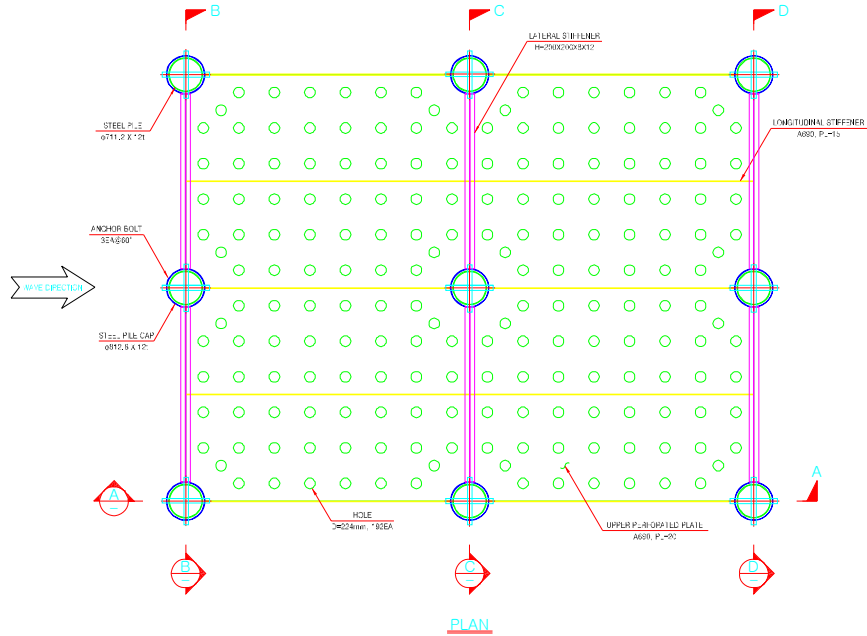


하부 스퍼판

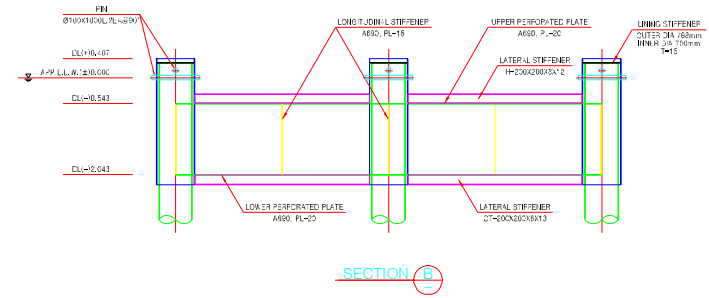
부록 D.2 상·하부 스퍼판(제2안)



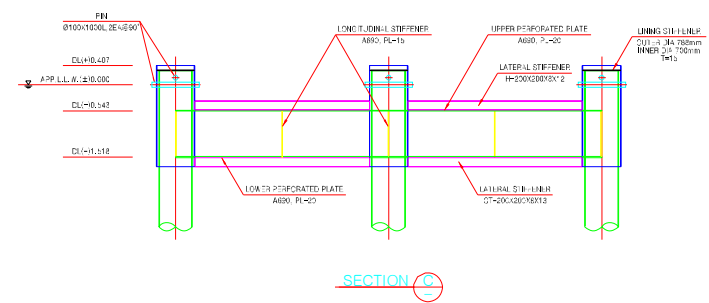
부록 D.3 중 · 횡방향 보강재 및 연결부재(제2안)



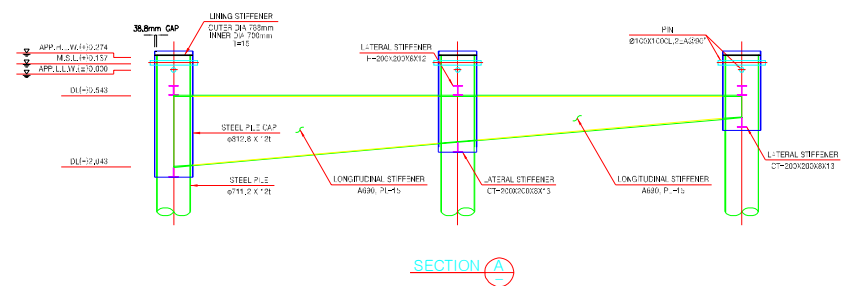
PLAN



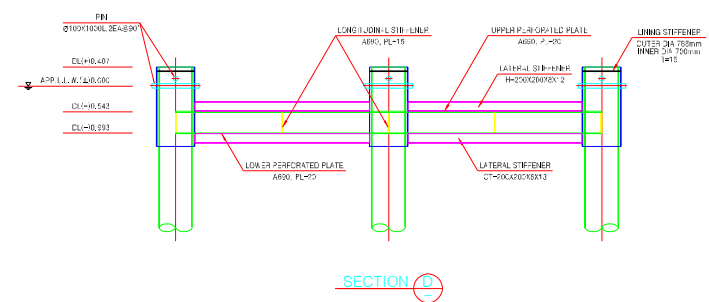
SECTION B



SECTION C

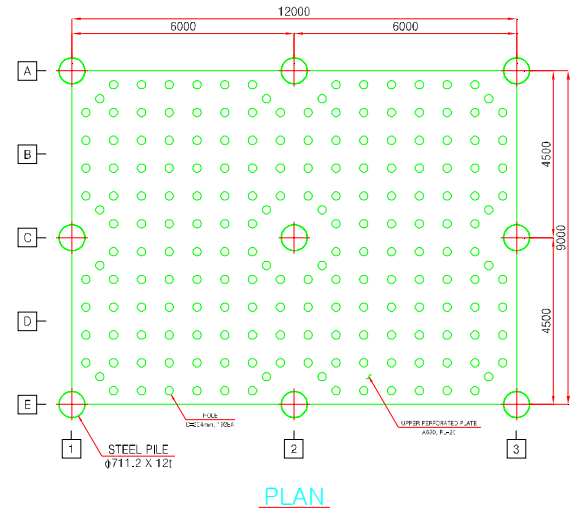
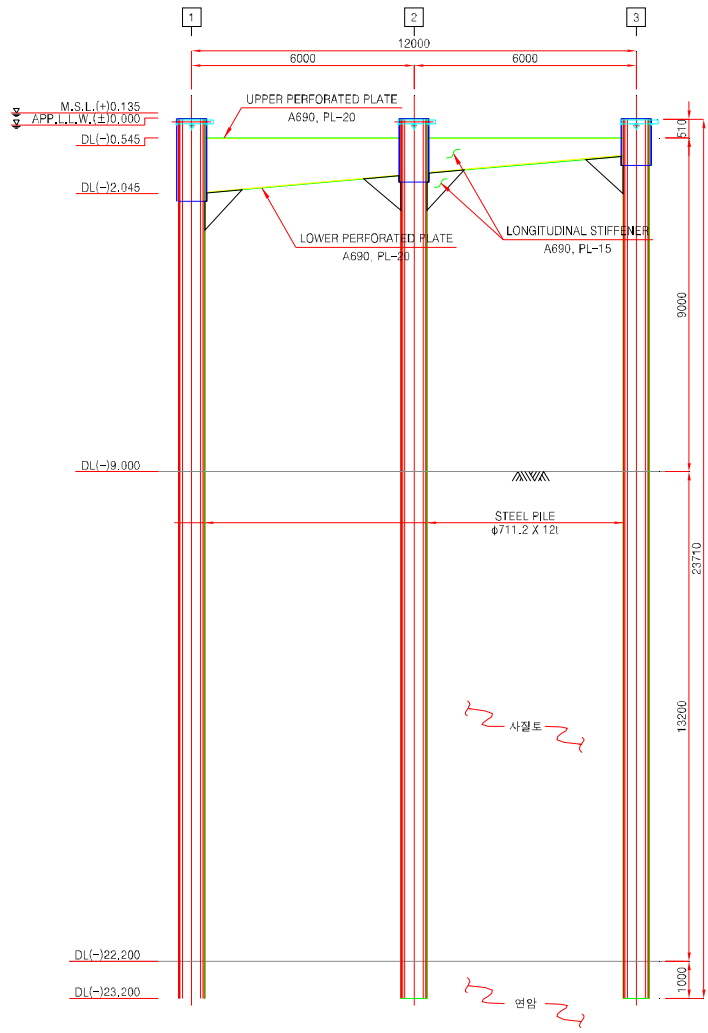


SECTION A



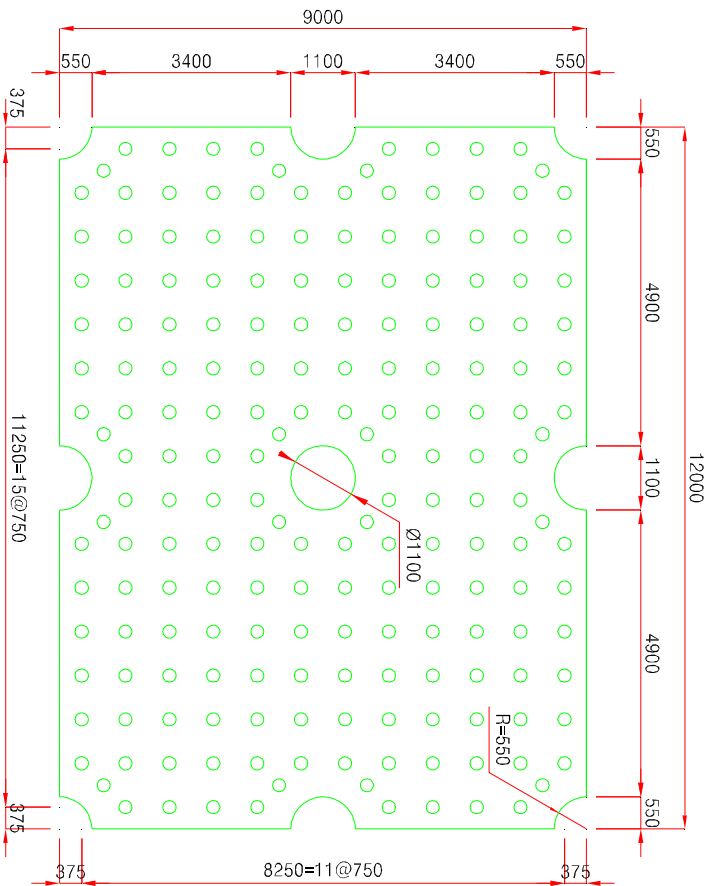
SECTION D

부록 D.4 유공판과 기둥연결부(제2안)

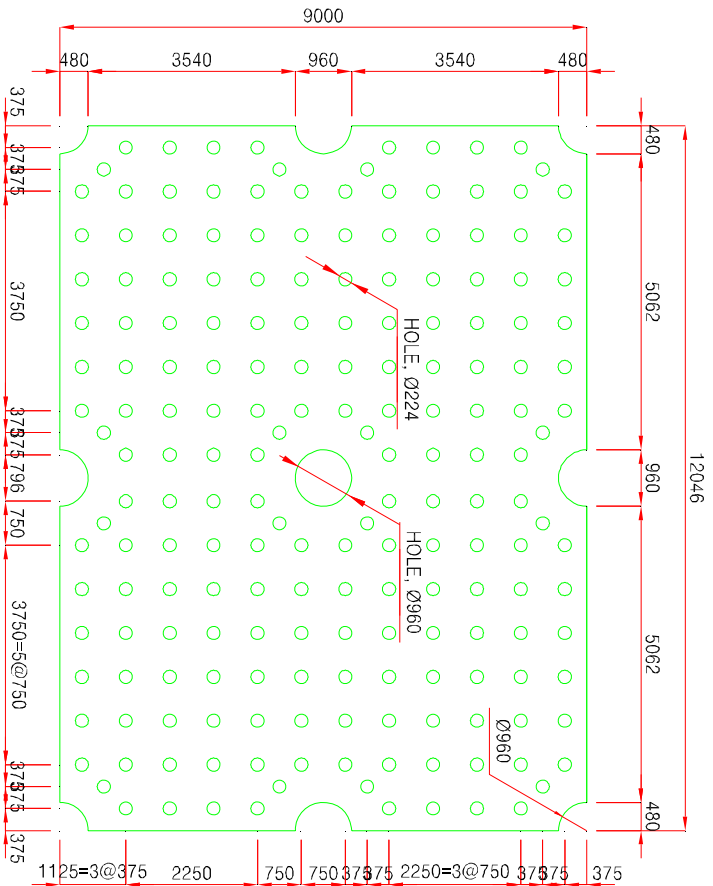


SIDE VIEW

부록 E.1 철재형 이안제 개요도(개선안)

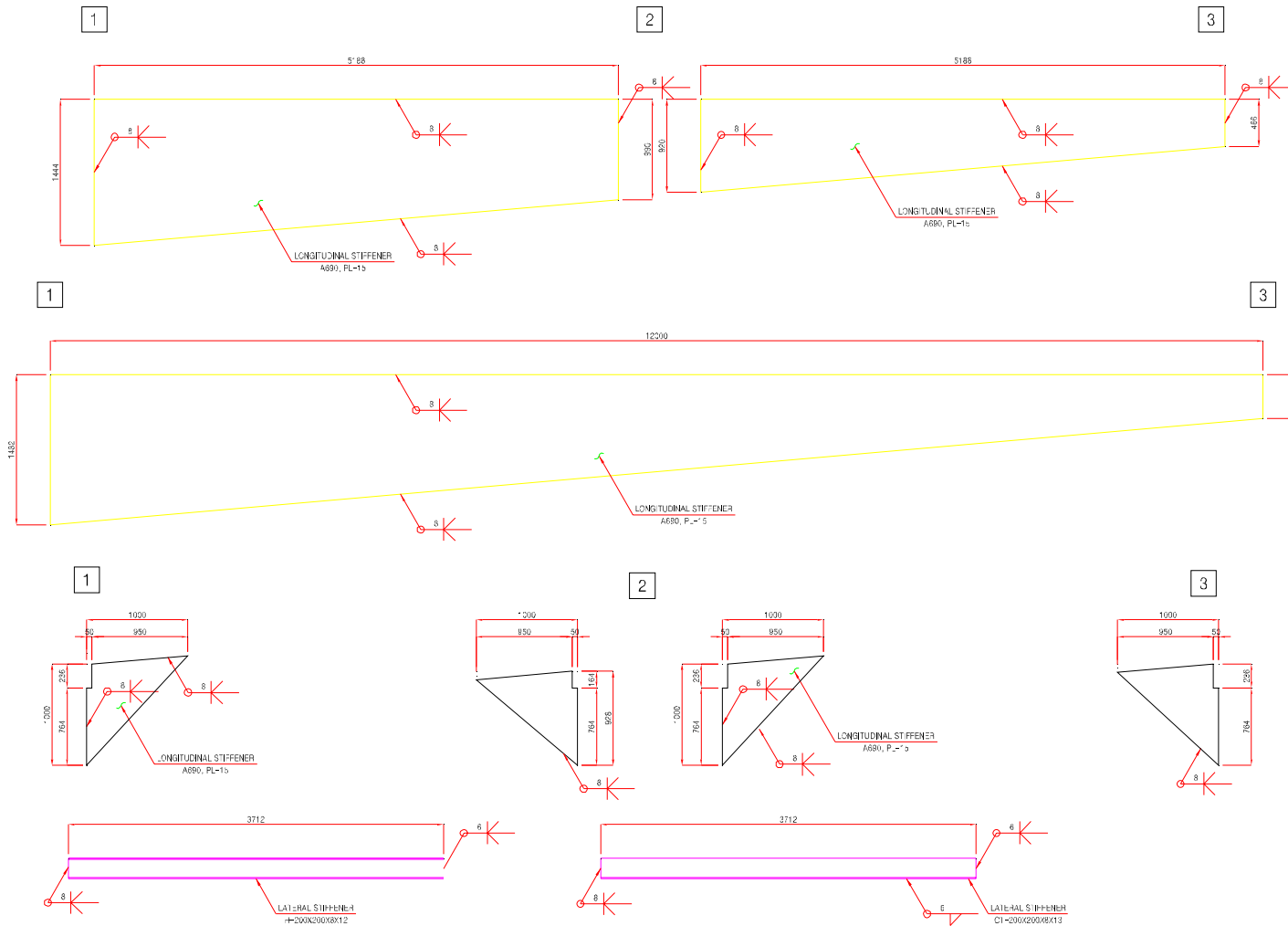


상부 소파판

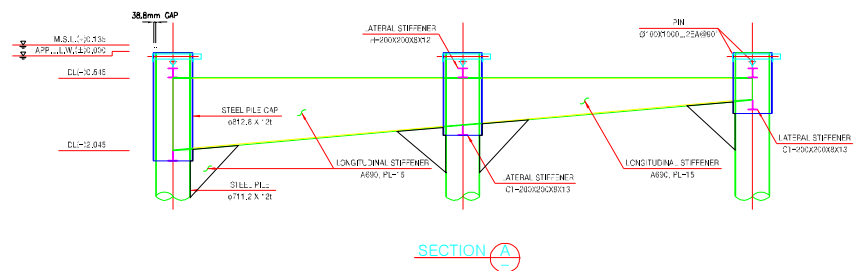
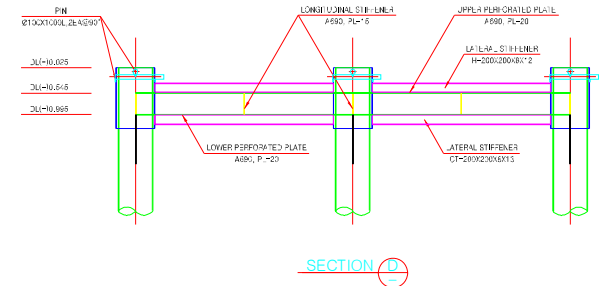
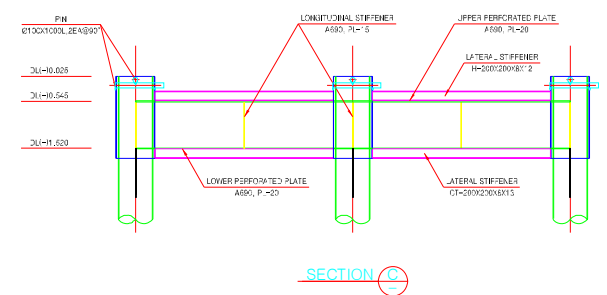
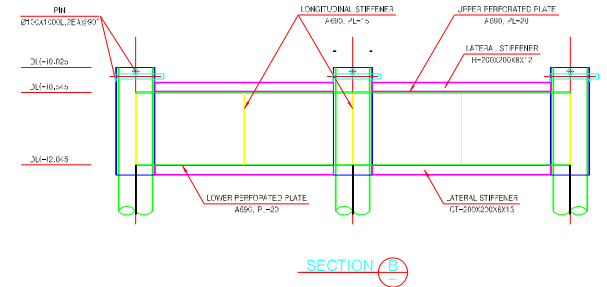
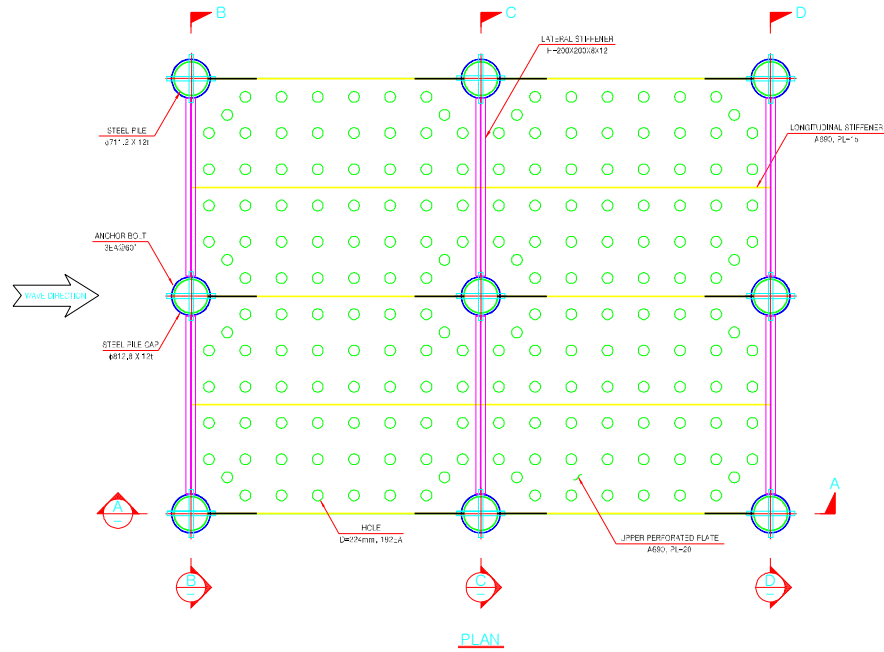


하부 소파판

부록 E.2 상·하부 소파판(개선안)



부록 E.3 중 · 횡방향 보강재 및 연결부재(개선안)



부록 E.4 유공판과 기둥연결부(개선안)

Design Methodology and Construction Procedure of Steel Type Breakwater

Han, Yu Shik

Department of Civil Engineering
The Graduate School
Gyeongju University

(Supervised by Professor Kweon, Hyuck-Min)

Recently the beach erosion has become a social problem for a decade. Expecially East Sea of Korea has been suffered from the breakwater which hinders the longshore current and the unstability of seasonal balanced on-off shore sedimentation.

Defense strategies of the beach erosion are divided into two categories, soft and hard construction method. Beach nourishment and sand by passing method can be classified into the soft construction. And the detached breakwater, jetty, training dike for inland-estuary channel and dike et al. are contained in the hard construction.

The study gives design procedure and construction method of steel type breakwater which can overcome the demerits of the gravitational type of the detached breakwater in use. For the design procedure, the permeability of a dual plane type plate utilizing by uni-directional wave experiment is described in liner relationship according to ratio of plate width and wave length. Moreover, the design force estimation method that the wave

pressure is acting on the plane plate up and down direction simultaneously is proposed in detail. Especially, wave pressure estimation method not by the maximum wave but by the significant wave is newly proposed in the study. The study extends its propose to the construction procedure.

Finally, utilizing by the real sea measuring, the study verifies the design procedure connecting the structural and geotechnical foundation process. Comparison of real sea and laboratory experiment results is made on the permeability of a dual plane plate. Stability of the column frame has been investigated with the displacement surveying of target point marked on the column. Safety of the connection between the dual plate and column has been measured with the eye. The study shows the displacement of the column is within the tolerable level against about design wave height of 90%.

The beach erosion control problem utilizing by steel type breakwater has to be verified in the real sea stage. More cells of the breakwater has to be constructed for the sedimentation control verification. The study expects real sea verification for steel type breakwater in a near future.