

3cm

12TR
PI-C
0574
31-0
2-00
0000

4cm

설
계
·
공
사
감
리

업
무
지
침

및

표
준
계
약
서

연
구
보
고
서

(견고닥
14p)

2012
(견고닥13
p)

국
토
해
양
부

한
국
건
설
교
통
기
술
평
가
원

5cm

3cm

(견고닥
17p)

Land Tranpot and Maritime R&D Report

(견고닥 25p)

○ R&D정책인프라사업 최종보고서 (견고닥13p)

3cm

0.5cm

R&D /
12TRPI-C057431
-02-000000

2.5cm

9cm

(견고닥31p)

5cm

저장식수의 부식오염방지과 내진성능향상을 위한 고수위 SMC 물탱크용 외부보강시스템 개발 최종보고서

(0.1cm)

199 . . .

0.15cm

(견고닥15p)

(별색바탕 : C50, M20, Y59, K0)

주관연구기관 / (주)엔아이씨이

위탁연구기관 / 연세대학교 산학

협력단

2cm

(견고닥 15.5p)

부산대학교 산학협력단

(백색바탕)

제 출 문

국토해양부(건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 ‘저장식수의 부식오염방지와 내진성능향상을 위한 고수위 SMC 물탱크용 외부보강시스템 개발’ 과제의 최종 결과 보고서로 제출합니다.

2012. 12.

주관연구기관 (주)엔아이씨이

주관연구책임자 : 주 순화

보고서 요약서

과제고유번호	12TRPI-C0 57431-02- 000000	해 당 단 계 연 구 기 간	2011.08.31. ~ 2012.12.31	단 계 구 분	1
연 구 사 업 명	중 사 업 명	R&D정책인프라사업			
	세부사업명				
연 구 과 제 명	대 과 제 명	저장식수의 부식오염방지와 내진성능향상을 위한 고수위 SMC 물탱크용 외부보강시스템 개발			
	위탁과제명				
연 구 책 임 자	주순화	해당단계 참 여 연구원수	총 : 14명 내부 : 14명 외부 : 명	해당단계 연 구 비	정부:106,577 기업: 77,812 계 :184,388
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 30명 내부 : 30명 외부 : 명	총연구비	정부:294,780 기업:215,220 계 :510,000
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(주)엔아이씨이		참여기업명	(주)엔아이씨이	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 연세대학교 산학협력 단				

요 약 문

I. 제목

저장식수의 부식오염방지와 내진성능향상을 위한 고수위 SMC 물탱크용
외부보강시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

가. 연구 개발의 목적

- (1) 고수위(4~5m) 물탱크 외부보강시스템 및 기초프레임 시스템 개발
- 다양한 하중조건(정수압, 지진하중 등)을 고려한 외부보강시스템 및 기초시스템
용 단위프레임 단면 개발
- (2) 청소 및 유지관리의 편리성을 증대시키는 물탱크 시스템 개발
- 금속재 보강용 환봉을 사용하지 않는 내부칸막이시스템 설계 및 검증
- (3) 부재 제작 및 조립공정 개발
- 제작성과 시공성 및 현장요건을 모두 고려한 제작 및 조립공정 개발
- (4) 다양한 환경조건에 대한 적용성 및 내구성 향상
- 지진에 대한 외부보강시스템의 안전성 평가

나. 연구 개발의 필요성

현재 시공되거나 사용되고 있는 대부분의 조립식 판넬 물탱크는 수압으로 인해 판넬이 벌어지는 현상을 막기 위하여 내부에 격자로 환봉이 설치되어 있음. 물탱크의 내부를 위생적으로 깨끗하게 유지하고, 내부 부식오염을 방지하기 위해서 기존 내부보강형 물탱크는 외부보강형으로의 교체가 불가피하며, 이러한 교체와 더불어 구조적 안전성과 적용성이 충분히 검토되어야 함

III. 연구개발의 내용 및 범위

가. 고수위 물탱크용 외부보강시스템 개발 (1차년도)

- (1) 고수위(4~5m) 물탱크 외부보강시스템 및 기초프레임 시스템 개발
- 다양한 하중조건(정수압, 지진시 동수압)을 고려한 외부보강시스템 및 기초
프레임용 단위프레임 단면 개발
- (2) 청소 및 유지관리의 편리성을 증대시키는 물탱크 시스템 개발
- 금속재 보강용 환봉을 사용하지 않는 내부칸막이시스템 설계 및 검증

나. 외부보강시스템의 내진성능 평가 (2차년도)

(1) 다양한 환경조건에 대한 적용성 및 내구성 향상

- 지진에 대한 외부보강시스템의 안전성 평가 (지진 진동대 실험)

(2) 부재 제작 및 조립공정 개발

- 외부보강시스템 및 기초프레임의 제작성과 시공성 및 현장 요건을 모두 고려한 제작·조립공정 개발

IV. 연구개발결과

가. 고수위(4~5m)에서 완벽하게 수압에 견디는 외부보강시스템 개발

- 내부에 금속 보강재가 전혀 없는 완벽한 외부보강시스템을 개발하고, 담수 재하실험 및 구조해석을 통해 구조적 안전성을 분석

나. 내진성능을 갖는 외부보강시스템 개발

- 개발된 외부보강시스템의 내진성능 평가
- 지진 진동대 실험결과, 물탱크의 전체적인 지진거동은 뒤틀림이 발생하거나 외부보강프레임에 국부적인 과다 변형 등의 문제는 발생하지 않았으며 안전한 지진거동을 보임

다. 외부보강형 판넬조립식 물탱크 표준시방 개발을 위한 지침 제안

- 개발된 외부보강형 물탱크의 수위별 설계 도면 제시
- 외부보강시스템의 각 부재에서부터 기초패드 및 물탱크 조립과 기타 부속품들의 전체적인 제작과 조립 공정의 지침 제안
- 향후 국내에는 전무한 판넬조립식 물탱크의 제작·설치 시방서에 적용 기대

V. 연구개발결과의 활용계획

- 외부보강형 판넬조립식 물탱크의 제작 및 설치지침은 향후 판넬조립식 물탱크의 설계기준 혹은 표준시방 작성 시 핵심내용으로써 활용될 수 있음
- 기존 내부보강형 물탱크의 문제점들을 보완하면서 체계적이고 합리적으로 설계·개발된 본 물탱크 외부보강시스템은 산업적, 환경적, 경제적인 파급효과가 클 것으로 예상됨

SUMMARY

I . Title

Externally Reinforced system development about High-water level SMC water tanks for Prevention contamination by corrosion of water in water storages and seismic performance increasement

II . Objectives and necessities

i. Objectives

- (1) Develop Externally Reinforced system for High-water level SMC water tanks and base frame system.
 - Develop externally Reinforced system regarding various load(hydrostatic pressure and seismic load) and unit frame for basic system.
- (2) Developement system for convenient cleaning and maintenance.
 - Design and assessment internal assembly panels without reinforced steelbars.
- (3) Development producing members and assembly process.
 - Development producing members and assembly process considering workability and more efficient manufacture.
- (4) Increasing the durability about circumstance.
 - Assessment the safety of externally Reinforced system by earthquake.

ii. Necessities

Most of the currently used assembly panel water tanks has a internally reinforced metal tied-bars to resist water pressure.

The existing internally reinforced water tanks need to change externally reinforced system due to corrosion of internally reinforced metal tied-bars.

Also, structural safety have to be reviewed sufficiently.

III. Overview and scope

i . First year of research

- (1) Develop Externally Reinforced system for High-water level SMC water tanks

and base frame system.

(2) Development system for convenient cleaning and maintenance.

- Design and assessment internal assembly panels without reinforced steelbars.

ii. Second year of research

(1) Increasing the durability about various circumstance.

- Assessment the safety of externally Reinforced system by earthquake.(shaking table test)

(2) Development producing members and assembly process.

- Development producing members and assembly process considering workability and more efficient manufacture.

IV. Results

i. Develop externally reinforced system that withstands high-water level SMC water tanks perfectly.

- Developing externally reinforced system without a internally reinforced metal tied-bars and analyzing structural safety through FE analysis and hydrostatic pressure test.

ii. Develop externally reinforced system with seismic performance.

- Assessment seismic performance
- As a result of shaking table test, this tank is evaluated to be stable without a locally large deformations and distortion.

iii. Proposal guidelines for externally reinforced panel assembly water tank standards.

- Suggestion a drawing on each water level.
- Anticipation the application on domestic design cords newly.

V. Applications

- When domestic design cords are made for the first time, Installation standards method of externally reinforced panel assembly water tank will be applied as domestic design cords.
- This water tank will affect industrial, environmental and economical fields.

목 차

제 1 장 서 론 1

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성 1

1. 연구개발의 목적 1
2. 연구개발의 필요성 2

제 2 절 연구개발의 내용 및 범위 3

1. 연구개발의 최종목표 3
 - 가. 최종목표 3
 - 나. 최종목표의 성격 및 설정 근거 5
2. 연차별 연구내용 6
 - 가. 1차년도 연구목표 및 내용 6
 - 나. 2차년도 연구목표 및 내용 6

제 2 장 연구개발 수행내용 및 결과 7

제 1 절 외부보강형 판넬조립식 물탱크의 내진설계 7

1. 국내의 설계기준 8
2. 일본의 설계기준 11
3. 설계기준에 따른 작용하중 산정 18

제 2 절 고수위 물탱크용 외부보강시스템 개발 20

1. 외부보강프레임으로 제작된 5m 물탱크의 안전성 분석 20
 - 가. 일반 20
 - 나. 외부보강프레임 제원 21
 - 다. 구조해석모형 및 해석결과 24
 - 라. 현장 담수재하실험 26
 - 마. 결론 30

2. 외부보강프레임으로 제작된 4m 물탱크의 안전성 분석	31
가. 일반	31
나. 외부보강프레임 제원	32
다. 구조해석모형 및 해석결과	34
라. 현장 담수재하실험	36
마. 결론	42

제 3 절 진동대를 이용한 외부보강형 물탱크의 동적거동 실험

1. 담수재하실험	43
가. 실험체 형상	43
나. 계측위치 및 실험결과	47
2. 진동대 실험	50
가. 진동대 실험장치	50
나. 실험체 설치 및 방수계획	52
다. 실험계획	54
라. 측정장비 및 측정위치	55
3. 진동대 실험결과	56
가. 1차 모드 고유진동수와 입력가속도-응답가속도 비	56
나. 입력가속도에 따른 수위별 수압 분포	60
다. 수위별 응력 결과	60

제 3 장 결 론 66

제 4 장 연구개발결과의 활용계획 67

제 1 절 판로 확보 계획 67

제 2 절 마케팅 계획 68

제 5 장 참고문헌 69

부록

표 목 차

<표 1.1> 최종 성과목표 및 성과지표	4
<표 1.2> 1차년도 연구목표 및 내용	6
<표 1.3> 2차년도 연구목표 및 내용	6
<표 2.1> 지진지역 구분 및 지역계수 (건축구조설계기준, 2009)	9
<표 2.2> 내진등급과 중요도계수 (건축구조설계기준, 2009)	9
<표 2.3> 공작물중요도계수(IE)와 내진등급의 분류(건축구조설계기준, 2009) ..	10
<표 2.4> 지반의 분류 (건축구조설계기준, 2009)	11
<표 2.5> 보통암 지반의 단주기(SDS), 주기 1초(SD1)의 설계스펙트럼 가속도 (건축 구조설계기준, 2009)	11
<표 2.6> 내진설계 설치위치계수 (FRP 수조 구조설계계산법, 1996)	12
<표 2.7> 가속도응답에 의해 물탱크에 작용하는 변동수압 (FRP 수조 구조설계계 산법, 1996)	14
<표 2.8> 슬로싱응답에 의해 물탱크에 작용하는 변동수압 (FRP 수조 구조설계계 산법, 1996)	17
<표 2.9> 측벽 및 칸막이벽에 작용하는 변동수압 산정 (FRP 수조 구조설계계산 법, 1996)	18
<표 2.10> 설계변동수압	19
<표 2.11> SMC 물성치	23
<표 2.12> 강재 물성치	23
<표 2.13> 외부보강프레임 위치별 최대응력결과	25
<표 2.14> 외부보강프레임 위치별 최대변위결과	25
<표 2.15> SMC 물성치	33
<표 2.16> 강재 물성치	33
<표 2.17> 외부보강프레임 위치별 최대응력결과	35
<표 2.18> 외부보강프레임 위치별 최대변위결과	35
<표 2.19> 진동대 주요제원	50
<표 2.20> 진동대실험 Case	54
<표 2.21> 진동대실험 Case 및 1차 모드 고유진동수	57
<표 2.22> 입력가속도-응답가속도 비	59
<표 2.23> 진동대가속도에 따른 수위별 최대수압	60

〈표 2.24〉 외부보강프레임에 발생한 최대응력결과	61
〈표 4.1〉 마케팅 세부 전략 및 추진전략	69

그 림 목 차

<그림 1.1> 기존 조립식 판넬 물탱크의 기본 개념도	1
<그림 1.2> 내부보강환봉	1
<그림 2.1> 국내 지진 발생횟수 및 빈도	7
<그림 2.2> 설계스펙트럼 가속도	10
<그림 2.3> 물탱크의 가속도응답에 의한 변동수압분포	13
<그림 2.4> 슬로싱응답에 의한 변동수압	15
<그림 2.5> 물탱크의 슬로싱응답에 의한 변동수압분포	16
<그림 2.6> 수위에 따른 설계변동수압	19
<그림 2.7> 5m용 외부보강프레임 제원	21
<그림 2.8> 5m용 내부칸막이보강프레임 제원	22
<그림 2.9> 구조해석모델	24
<그림 2.10> 5m 물탱크 담수재하실험	26
<그림 2.11> 담수범위 및 계측위치	27
<그림 2.12> 계측위치	28
<그림 2.13> 수위별 응력 결과	29
<그림 2.14> 수위별 변위 결과	29
<그림 2.15> 4m용 외부보강프레임 제원	32
<그림 2.16> 구조해석모델	34
<그림 2.17> 4m 물탱크 담수재하실험	36
<그림 2.18> 담수범위 및 계측위치	37
<그림 2.19> 계측위치	38
<그림 2.20> 수위별 응력 결과	39
<그림 2.21> 수위별 변위 결과	39
<그림 2.22> 내부칸막이보강프레임 계측위치	40
<그림 2.23> 수위별 응력 결과	41
<그림 2.24> 수위별 변위 결과	41
<그림 2.25> 판넬의 종류 (단위:mm)	44
<그림 2.26> 외부 및 내부칸막이보강시스템 (단위:mm)	45
<그림 2.27> 코너보강프레임 (단위:mm)	46
<그림 2.28> 외부보강형 판넬조립식 물탱크 실험체 형상	47

〈그림 2.29〉 계측 위치	48
〈그림 2.30〉 외부보강프레임의 발생응력(T-1)	49
〈그림 2.31〉 외부보강프레임의 발생응력(T-2)	49
〈그림 2.32〉 내부칸막이보강프레임의 발생응력(I-1)	49
〈그림 2.33〉 외부보강프레임의 발생 변위(T-1)	49
〈그림 2.34〉 실험에 사용한 진동대 형상	51
〈그림 2.35〉 진동대실험 실험체	53
〈그림 2.36〉 인공지진파	54
〈그림 2.37〉 설계스펙트럼 가속도	54
〈그림 2.38〉 계측기 부착 위치	55
〈그림 2.39〉 진동대입력가속도-최대응답가속도 비 (SMC판넬 실험체)	58
〈그림 2.40〉 진동대입력가속도-최대응답가속도 비 (강판넬 실험체)	58
〈그림 2.41〉 진동대가속도에 따른 수위별 최대수압	61
〈그림 2.42〉 지진가속도에 따른 설계기준-진동대실험 변동수압 비	62
〈그림 2.43〉 수위별 발생응력 (SMC판넬 실험체)	63
〈그림 2.44〉 수위별 발생응력 (강판넬 실험체)	63
〈그림 2.45〉 실험과 구조해석의 발생응력 비교 (T-1)	63
〈그림 2.46〉 지진가속도에 따른 외부보강시스템의 발생응력	65
〈그림 2.47〉 지진가속도에 따른 설계기준-진동대실험 응력 비	65

CONTENTS

Chapter 1 Introduction 1

Section 1 Objectives and necessities 1

- 1. Objectives 1
- 2. Necessities 2

Section 2 Overview and scope 3

- 1. Final Research Goals 3
 - 1) Final Goals 3
 - 2) Motivation and Backgrounds of Goals 5
- 2. Annual Contents and Scope 6
 - 1) First year of research 6
 - 2) Second year of research 6

Chapter 2 Contents and Results 7

Section 1 Seismic design for externally reinforced panel assembly water tanks 7

- 1. Domestic design cord 3
- 2. Japan design cord 11
- 3. Calculation of applying load according to japan design cord
18

Section 2 Development Externally Reinforced system for High-water level 20

1. Analysis stability of 5m water tank made externally reinforced frames	20
1) General	20
2) Externally reinforced frames specification	21
3) FE analysis and results	24
4) Hydrostatic pressure test	26
5) Conclusion	30
2. Analysis stability of 4m water tank made externally reinforced frames	31
1) General	31
2) Externally reinforced frames specification	32
3) FE analysis and results	34
4) Hydrostatic pressure test	36
5) Conclusion	42

Section 3 Dynamic behavior test of externally reinforced panel assembly water tanks using shaking table

.....	43
1. Hydrostatic pressure test	43
1) Specimen figure	43
2) Instrumentation location and experimental result	47
2. Shaking table test	50
1) Shaking table test system	50
2) Specimen installation and waterproofing plan	52
3) Planning test	54
4) Measuring equipment and location	55
3. Shaking table test result	56
1) First mode natural frequency and ratio of input-response acceleration	56

2) Water pressure distribution for each water level according to input acceleration	60
3) Water level stress result	60
 Chapter 3 Conclusion	66
 Chapter 4 Application	67
 Section 1 Plan to secure the market	67
 Section 2 Plan a marketing	68
 Chapter 5 References	69

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

선진국의 반열에 서 있는 우리나라는 수돗물이 음용수가 될 수 있도록 다양한 연구와 개발이 진행되고 있다. 수돗물의 취수장에서부터 가정까지 오는 과정에는 정수장 외에 대량의 수돗물 저장이 가능한 물탱크가 필요하며, 이러한 물탱크는 수돗물이 안전하게 음용수로 사용이 가능한 상태로 유지·저장될 수 있도록 위생적으로 깨끗해야 하며, 구조적으로 안전해야 한다. 현재 시공되고 있거나 사용되고 있는 대부분의 조립식 판넬 물탱크에는 수압으로 인해 판넬이 벌어지는 현상을 막기 위하여 내부에 격자로 환봉이 설치되어 있다. (그림 1.1, 그림 1.2).

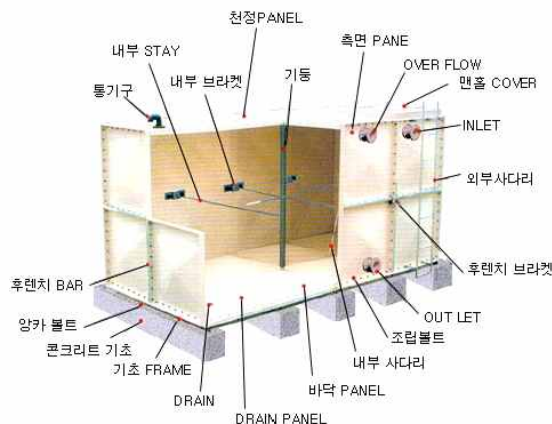


그림 1.1 기존 조립식 판넬 물탱크의 기본 개념도



그림 1.2 내부보강환봉

물탱크의 내부를 위생적으로 깨끗하게 유지하고, 내부 부식오염을 방지하기 위해서 기존 내부보강형 물탱크는 외부보강형으로의 교체가 불가피하며, 이러한 교체와 더불어 구조적 안전성과 적용성이 충분히 검토되어야 한다. 세계 물탱크 시장의 선두주자인 일본에서는 이미 외부보강형 물탱크가 개발되어 있으나 위생, 시공성, 유지관리 용이성, 안전성, 내진성능 측면에서 완벽한 외부보강형 물탱크라 볼 수 없다. 일본의 경우에는 외부보강 프레임과 판넬 연결 부위를 고정하는 금속판이 탱크 안쪽 벽면에 설치되어 있어 SMC 판넬의 원형을 훼손 할 뿐만 아니라 일정부분 녹

발생이 불가피한 형식이다.

따라서 본 연구를 통하여 세계 물탱크 시장의 90% 이상을 점유하고 있는 일본의 기술을 능가하는 완벽한 고수위(4~5m) SMC 물탱크용 외부보강시스템을 개발하고, 나아가 물탱크 기술의 수출을 통해 국가경쟁력을 함양하고자 한다. 이처럼 본 연구에서 개발하고자 하는 고수위 SMC 물탱크용 외부보강시스템은 국내에서 아직 상용화 및 보급이 되지 않은 기술로써, 해당 개발 기술의 시장진입을 위해서는 적용성 검토를 위한 실험적 연구를 포함한 다양한 연구가 필요한 실정이다.

2. 연구개발의 필요성

물탱크 산업은 물 부족에 따른 저장시설 확대의 필요성 증가와 함께 성장가능성이 높은 산업으로 주목받고 있으며 시장성 또한 높게 평가되고 있는 실정이다. 이러한 물탱크 산업의 육성을 위해 주관기관 (주)엔아이씨이는 기존 내부보강형 물탱크의 문제점을 인지하고 위생적이고 안전한 외부보강형 물탱크 개발에 착수하였다. 조립식 물탱크의 판넬은 SMC (Sheet molding compound), STS (Stainless steel), PDF (Polyethylene double frame) 등의 다양한 재질로 제작된다. STS 물탱크는 수돗물의 염소가스 등에 의해 판넬의 피막이 산화되고 내부보강재의 부식의 발생할 수 있어, 선진국에서는 식수용 저장탱크로의 사용이 제한되고 있는 실정이다. SMC는 미국 FDA(식품의약청) 승인을 받은 소재로 선진국에서는 널리 사용되고 있지만 내부보강재에 의한 녹부식의 발생 문제가 발생하고 있다. 물탱크 내부의 금속재 보강재로 인한 부식오염과 이에 따른 각종 세균 번식 가능성을 제거하기 위하여 내부에 금속성 보강재를 사용하지 않는 완벽하면서 경제적인 SMC 물탱크용 외부보강시스템을 개발하고 보급할 필요가 있다.

제 2 절 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구개발의 최종목표

가. 최종목표

본 연구의 최종목표는 다음과 같으며 표 1.1에 최종 성과목표 및 성과지표를 나타내었다.

- ☐ 고수위(4~5m) 물탱크 외부보강시스템 및 기초프레임 시스템 개발
 - 다양한 하중조건(정수압, 지진하중 등)을 고려한 외부보강시스템 및 기초프레임용 단위프레임 단면 개발
 - 단위프레임 및 연결부의 성능검증 및 개선

- ☐ 청소 및 유지관리의 편리성을 증대시키는 물탱크 시스템 개발
 - 금속 보강용 환봉을 사용하지 않는 내부 칸막이 시스템 설계 및 해석·실험 검증

- ☐ 부재 제작 및 조립공정 개발
 - 외부보강시스템 및 기초 프레임의 제작성과 시공성 및 현장 요건을 모두 고려한 제작·조립공정 개발

- ☐ 다양한 환경조건에 대한 적용성 및 내구성 향상
 - 지진에 대한 외부보강시스템의 안전성 평가

표 1.1 최종 성과목표 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	최종 목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정 근거
완벽한 외부보강시스 템 구축	1-1	내부보강용 금속계 환봉 사용량 0%	물탱크 내부에 외벽 지지용으로 사용되는 금속계 환봉 자재의 비율 산정	3건	0.24	위생적인 수질 관리를 위하여 물탱크 내부의 금속계 환봉 자재를 제거 (4m, 4.5m, 5m)
물탱크 내부칸막이시 스템 개발	2-1	내부보강용 금속계 환봉 사용량 0%	내부칸막이 지지용으로 사용되는 금속계 환봉의 사용비율 산정	3건	0.12	위생적인 수질 관리를 위하여 물탱크 내부의 금속계 환봉 자재를 제거 (4m, 4.5m, 5m)
물탱크 외부보강시스 템의 구조적 안전성 확보	3-1	발생 변위 (물탱크 높이의 1%이내)	담수재하실험을 통한 물탱크 외벽의 수평 변위 계측	3건	0.24	일본의 ‘FRP 수도 구조설계기준’ 에 따라 설정 (4m, 4.5m, 5m)
물탱크 외부보강시스 템의 내진 안전성 확보	4-1	설계지반가속 도0.11g에서 안전성 확보 (MMI진도Ⅶ 또는 리히터규모 5.5~6.0의 지진에 견디는 수준)	지진 진동대 실험	1건	0.1	건축구조설계기준 (대한건축학회,2009) 에 따라, 물탱크의 특성에 맞는 지반가속도 설정
물탱크 외부보강시스 템의 연구 성과 보호	5-1	특허출원 (국내)	특허출원 건수	2건	0.06	개발기술의 보호
물탱크 외부보강시스 템의 연구 성과 홍보	6-1	학술지 게재 논문건수 (국내)	국내 학술지 게재 논문건수	1건	0.03	학술논문 게재를 통하여 연구 성과 검증
	6-2	학술회의 발표 논문건수 (국내)	국내 학술회의 발표 논문건수	2건	0.03	학술논문 발표를 통하여 관련 전문가 토론 유도 및 연구 성과 검증
외부보강형 SMC 물탱크 상용화	7-1	물탱크 건설비용 감축효과 (10%이상)	기존 내부보강형 SMC 물탱크의 건설비용과 비교	3건	0.12	연구를 통해 개발된 제품의 경제성 평가 (4m, 4.5m, 5m)
	7-2	지침/매뉴얼의 개발 및 보급	관리 지침/매뉴얼 개발 건수	1건	0.006	연구를 통해 개발된 제품의 상용화

나. 최종목표의 성격 및 설정 근거

완벽한 외부보강시스템을 갖는 물탱크 개발을 위하여, 기존 내부보강형 물탱크의 외벽을 지지하기 위해 내부에 설치되는 모든 금속계 환봉을 제거한다. 또한 내부칸막이 벽체를 고정하기 위한 금속계 내부 환봉도 모두 제거하여, 물탱크 내부의 청소 및 유지관리의 1 편의성을 확보하고 저장식수의 부식오염을 방지한다.

외부보강시스템의 구조적 안전성 확보 평가를 위하여, 만수 시 물탱크 외벽에 발생하는 변위가 탱크 높이의 1% 이내로 유지되는 것을 성과지표로 설정하였다. 이는 일본의 ‘FRP 수조 구조설계기준(일본강화플라스틱협회, 1996)’에 근거한 수치로써, 현재 대부분의 조립식 물탱크에 적용되는 허용 변위 기준이다. 따라서 본 과제의 성과물인 외부보강형 물탱크의 허용 변위 기준으로써 매우 타당한 지표로 판단된다. 또한 외부보강시스템의 내진 안전성 확보 평가를 위한 성과지표는 국내 건축구조설계지침(대한건축학회, 2009)에 따라 설정하였다. 물탱크의 경우 중요도계수 1(재현주기 500년)과 지역계수 0.11을 적용하여 설계지반가속도 0.11g로 산정하지만 본 연구에서 개발한 내진용 물탱크는 일본의 물탱크 설계기준에서 제시하는 0.4g를 사용하여 설계하고 실험하였다.

개발하고자 하는 외부보강시스템과 관련된 산업 기술을 보호하기 위해 특허출원(국내)을 통한 특허등록이 필요하다. 그리고 SMC 물탱크 외부보강시스템의 검증 및 홍보를 위해서는 연구성과를 학술발표 및 학술지에 게재하고, 전문가의 지적사항을 충분히 반영할 필요가 있다. 또한, 본 연구성과를 이용하여 시제품화 되는 물탱크는 기존 물탱크 대비 고성능·고내구성 뿐만 아니라, 경제적인 면에서도 가능한 저렴하게 제작되어야 한다. 따라서 내부보강용 환봉 등의 자재 감축에 따른 건설 자재 및 비용의 저감효과도 평가되어야 한다. SMC 물탱크 외부보강시스템은 본 연구개발의 종료와 함께 본격적인 시장수주 및 설치가 추진될 것이므로 안전성 및 품질확보를 위한 관리 지침·매뉴얼의 개발이 필수적이다.

2. 연차별 연구내용

가. 1차년도 연구목표 및 내용

표 1.2 1차년도 연구목표 및 내용

연차	연구 목표	연구 내용
1차년도	외부보강시스템 및 기초프레임시스템 개발 및 설계	- 다양한 하중조건 (정수압, 지진하중 등)을 고려한 외부보강시스템 및 기초프레임용 단위프레임 단면 개발 - 부재 간의 효율적인 연결부 개발
	단위프레임 및 연결부의 성능검증 및 개선	- 단위프레임 하중재하실험 - 실험 및 해석결과를 바탕으로 최적의 프레임 형상 도출
	내부칸막이시스템 개발	- 금속 보강재를 사용하지 않는 내부칸막이시스템 설계 및 해석 - 담수재하실험

나. 2차년도 연구목표 및 내용

표 1.3 2차년도 연구목표 및 내용

연차	연구 목표	연구 내용
2차년도	지진하중에 대한 안전성 검증	- 지진에 대한 외부보강시스템의 안전성 평가 - 수평력에 효율적으로 저항하기 위한 기초 콘크리트 패드 배치방법 개발
	부재 제작 및 조립공정 개발	- 프레임 및 금형 제작 - 외부보강시스템 및 기초프레임의 제작성과 시공성 및 현장 요건을 모두 고려한 제작·조립공정 개발

제 2 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 외부보강형 판넬조립식 물탱크의 내진설계

최근 우리나라에서 발생하는 지진의 빈도가 증가하고 있으며, 건물의 초고층화, 대형화에 따라 내진설계에 대한 관심이 급증하고 있다. 국내 내진설계는 초고층빌딩, 장대 교량, 대형 시설물 뿐 아니라 일반 주거 시설물인 아파트와 기숙사에 이르기까지 보편화되고 있다. 건물의 대형화와 함께 물탱크의 용량도 증가되고 있으나, 건물의 옥외 또는 지하에 설치되는 물탱크의 경우 내진설계의 도입이 미비하다. 지진 발생 시에 상수도시설의 파괴로 물의 공급도 원활하지 않게 되어 물탱크에 저장된 물은 중요한 용수가 된다. 일본 고베지진 발생 후 상수도시설의 피해로 음용수의 약 75%가 전면 공급 중단됨에 따라 150만명 이상의 거주자들이 용수 없는 생활을 하였다(박동순 등, 2006). 이처럼 건물에 설치되는 물탱크의 경우 내진성능을 가져야하며 관련 연구가 필요한 실정이다.

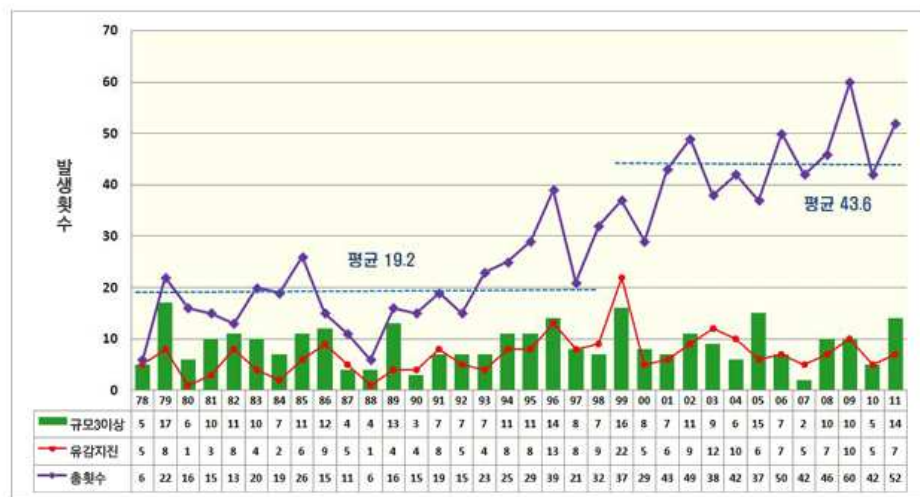


그림 2.1 국내 지진 발생횟수 및 빈도

우리나라의 건축구조설계기준(대한건축학회, 2009)에는 건물의 연면적과 층수에 따라 별도의 지진하중 산정식을 마련하고 있지 않으며, 구조물의 연면적, 층수, 행정구역에 따라 중요도계수와 지역계수를 설계지반가속도에 적용하여 최대지반가속도를 산정한다. 내진등급과 중요도계수에 맞추어 최대지반가속도를 산정할 수는 있으나 외벽, 칸막이벽에 작용하는 변동수압에 관한 구체적인 설계기준이 마련되어 있지 않다. 일본의 경우에는 FRP 수조 구조설계계산법(일본강화플라스틱협회, 1996)

에 물탱크에 대한 설계기준이 따로 마련되어 있으며, 물탱크의 내진설계에서는 Housner의 식에 기초해 내진력을 추정한다.

따라서 본 연구에서는 판넬 조립식 외부보강형 SMC 물탱크를 대상으로 일본 FRP 수조 구조설계계산법의 지진시 변동수압 산정법으로 국내의 지반조건과 지역계수를 적용하여 실험체를 수위별로 설계하고, 담수재하실험 및 진동대 실험을 수행하였다. 실험결과에서 얻은 변동수압으로 설계기준을 검증하고, 외부보강프레임의 구조적 응답을 측정하여 구조해석모형의 타당성을 검토하였다.

1. 국내의 설계기준

액체저장탱크의 내진에 대한 설계기준은 우선 KS B 6283에서 수평지반가속도에 의해 발생한 수평지진력과 슬로싱에 의해 발생한 수평지진력을 합으로 지진하중을 산정하여 설계한다. 연직방향의 하중은 수평방향 하중에 1/2를 곱하여 구하며, 지진 하중 산정법을 특별히 요구하지 않을 경우, 등가정적해석법을 우선 사용한다. 특별한 경우에는 응답스펙트럼해석법을 사용한다. 지진력에 의해 탱크 측벽에 지진전단력 Q_e 와 지진전도모멘트 M_e 는 다음 식 2.1과 2.2로 산정한다.

$$Q_e = AI_e(C_i W_s + C_i W_r + C_i W_0 + C_c W_1) \quad (2.1)$$

$$M_e = AI_e(C_i W_s X_s + C_i W_r X_r + C_i W_0 h_0 + C_c W_1 h_1) \quad (2.2)$$

식 2.1과 2.2에서 C_i 는 수평지반가속도에 의해 발생한 수평지진력, C_c 는 슬로싱에 의해 발생한 수평지진력을 합으로 지진하중이다. W_s 는 측벽의 중량, X_s 는 밑판에서 옆판의 중량중심까지의 높이, W_0 는 탱크 내용액의 슬로싱응답력 유효중량, h_0 는 밑판에서 탱크 내용액의 슬로싱응답 유효중량의 무게 중심까지의 높이, W_1 는 탱크 내용액의 슬로싱응답 유효중량, h_1 는 밑판에서 탱크 내용액의 슬로싱응답 유효중량의 무게 중심까지의 높이이다. 지역계수(A)와 중요도계수(I_e)는 표 2.1와 표 2.2에 나타나 있으며 건축구조설계기준과 동일하다.

건축구조설계기준으로 지진하중의 산정 시, 각 구조물은 그 용도와 시공될 지반 상태를 감안하여 내진설계범주에 따라 분류한다. 그러나 국내에서는 판넬조립식 물탱크에 대한 내진설계기준이 따로 마련되어 있지 않으며, 구조물이 설치되는 지역 계수(표 2.1)와 구조물의 내진등급, 중요도계수(표 2.2, 2.3)를 참고하여 외부보강형 판넬조립식 물탱크의 설계가속도를 산정할 수 있다. 하지만 이는 고층건물의 설계

가속도 산정에는 적합하며 저층건물 또는 일반구조물의 경우에는 중요도계수가 낮아 설계하중이 저평가 될 수 있다.

표 2.1 지진지역 구분 및 지역계수 (건축구조설계기준, 2009)

지진지역	행정구역	지역계수(A)
1	지진지역 2를 제외한 전지역	0.11
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.07

표 2.2 내진등급과 중요도계수 (건축구조설계기준, 2009)

내진등급		용도 및 규모	중요도계수(IE)	
			도시계획구역	그 외 지역
(특)	지진 후 피해복구에 필요한 중요시설을 갖추고 있거나 유해 물질을 다량 저장하고 있는 구조물	- 연면적이 1천 제곱미터 이상인 위험물저장 및 처리시설, 병원, 방송국, 통신전화국, 소방서, 발전소, 국가 또는 지방자치단체의 청사, 외국공관, 아동관련시설, 노인복지시설, 및 근로 복지 시설 15층 이상 아파트 및 오피스텔	1.5	1.2
I	지진으로 인한 피해를 입을 경우 대중에게 큰 위험을 초래할 수 있는 구조물	- 연면적이 5천 제곱미터 이상인 공연장, 집회장, 관람장, 전시장, 운동시설, 판매 및 영업시설 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사 및 아파트 3층 이상의 학교	1.2	1.0
II	내진등급 (특)이나 I 어디에도 해당되지 않는 구조물	· 내진등급 (특)이나 I 어디에도 해당되지 않는 건축물	1.0	0.8

표 2.3 공작물중요도계수(IE)와 내진등급의 분류(건축구조설계기준, 2009)

중요도계수	IE=1.0	IE=1.5
표 2.2에서 정의한 내진등급	II	(특)
위험성	H-1	H-2
기능성	F-1	F-2

H-1 = 저장된 물품이 생물학적 또는 환경적으로 양호한 경우; 화재 또는 물리적 위험이 적은 경우

H-2 = 저장된 물품이 소방법, 유해화학물질관리법 또는 산업안전보건법에 의해 건강장해물질, 환경유해성물질 또는 물리적 위험물로 분류되는 경우

F-1 = F-2로 분류되지 않은 공작물

F-2 = 내진등급 (특)에 해당하는 공작물 또는 내진등급 (특)으로 분류되는 지정된 부속물로서 내진등급이 (특)에 해당하는 구조물의 운용에 필요한 공작물(통신 탑, 연료저장탱크, 냉각탑, 또는 전력변전 구조물 과 같은 구조물)

지역계수와 지반분류(표 2.4)를 바탕으로 단주기와 주기 1초의 설계스펙트럼 가속도(표 2.5)를 산정하여 설계스펙트럼 가속도를 작성할 수 있다(그림 2.2). 본 연구에서 외부보강형 판넬조립식 물탱크는 지진지역 1에 설치되며, 지반조건은 보통암으로 가정한다.

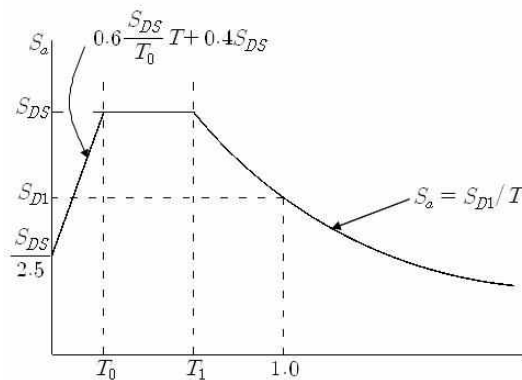


그림 2.2 설계스펙트럼 가속도

표 2.4 지반의 분류 (건축구조설계기준, 2009)

지반종 류	지반종류의 호칭	지역계수(A)		
		전단파속도	표준관입시험	비배수전단강 도
SA	경암 지반	1500 초과	-	-
SB	보통암 지반	760에서 1500		
SC	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360에서 760	50초과	100초과
SD	단단한 토사 지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
SE	연약한 토사 지반	180 미만	15미만	50미만

표 2.5 보통암 지반의 단주기(SDS), 주기 1초(SD1)의 설계스펙트럼 가속도 (건축구조설계기준, 2009)

주기	지역계수(A)	
	1	2
단주기 설계스펙트럼 가속도 SDS	2.5MA	2.5MA
주기 1초의 설계스펙트럼 가속도 SD1	1.0MA	1.0MA

국내의 KS B 6283와 건축구조설계기준은 원형 유체저장탱크를 기준으로 설계식을 산정한 것이어서 각형 형상의 외부보강형 판넬조립식 물탱크에 적용하기에는 다소 무리가 따른다.

2. 일본의 설계기준

일본의 FRP 수조 구조설계계산법(일본강화플라스틱협회, 1996)의 범위는 지상 및 건물 높이 45m 이하의 건물의 내부 및 옥상에 설치되는 용적 50m³, 수심 4m 이내의 원통형, 각형, 구형의 FRP 물탱크로 한다.

지진하중(K)는 물탱크의 가속도응답과 슬로싱응답을 설계에 있어서는 별개로 다룬다. 수평진도 k_H 는 물탱크를 설치하는 지역, 중요도, 건물의 구조와 종류 등에 의해 정해지는 계수이며 일반적으로는 식 2.3으로 구할 수 있다.

$$k_H = \beta \cdot k_{FH} \leq 2.0 \quad (2.3)$$

$$k_{FH} = I \cdot K_1 \cdot Z \cdot k_{OH} \quad (2.4)$$

여기에서 설치위치 계수 K_1 는 물탱크가 설치되는 건물의 위치에 따라 지진응답계수가 다른 것을 고려하기 위한 계수이며, 지하 또는 지상일 경우 $K_1 = 1.0$ 이며, 옥상의 경우 $K_1 = 2.5$ 이다. FRP 수조 구조설계계산법에서는 변동수압의 계산은 Housner의 식에 근거하고 있으며, 물탱크가 강체가 아니므로 기존 실험결과와의 비교하여 변동수압의 응답을 계산할 때에는 할증계수 β 를 사용한다. 지하층 및 지상에서는 $\beta = 2.0$, 옥상층에서는 $\beta = 1.5$ 를 사용한다. 그리고 건물의 종류, 용도 및 물탱크의 용도에 따라 내진성능을 고려하여 용도계수를 결정한다. 내진성능이 특히 고려되는 건물 또는 물탱크의 경우 $I = 1.5$, 내진성능이 중시되는 건물 또는 물탱크의 경우 $I = 1.0$, 그 이외의 경우는 $I = 0.7$ 을 사용한다. 지역계수(Z)는 지진활동의 지역에 의한 차이를 고려하기 위한 계수로, 그 값은 국내건축설계기준 표 2.1을 참고하여 결정한다. FRP 수조 구조설계계산법에서 제안하는 1차 수평진도(k_{OH})는 0.4g이며 수평진도 계수로 사용한다. 물탱크 설계용 표준 수평진도는 물탱크와 건물의 동적 특성을 고려하고, 지역계수 및 용도계수를 고려하면 표 2.6과 같이 나타낼 수 있다.

표 2.6 내진설계 설치위치계수 (FRP 수조 구조설계계산법, 1996)

	$I = 0.7$	$I = 1.0$	$I = 1.5$
건물의 옥상층	$k_H = 1.0$	$k_H = 1.5$	$k_H = 2.0$
	$S_V = 263$	$S_V = 375$	$S_V = 375$
중간층	$k_H = 2/3$	$k_H = 1.0$	$k_H = 1.5$
	$S_V = 135$	$S_V = 190$	$S_V = 285$
건물의 1층 또는 지하	$k_H = 2/3$	$k_H = 1.0$	$k_H = 1.5$
	$S_V = 105$	$S_V = 150$	$S_V = 225$

표 2.6의 설계용 속도응답스펙트럼의 값 S_V 는 식 2.5로 산출하여 나타낼 수 있다.

$$S_V = I \cdot K_1 \cdot Z \cdot S_{VO} \quad (2.5)$$

식 2.5에서 $I \cdot K_1 \leq 2.5$ 로 하며, I 는 용도계수, K_1 는 물탱크의 설치위치 계수, Z 는 지역계수, S_{VO} 는 기준속도응답스펙트럼(cm/sec)의 값이다.

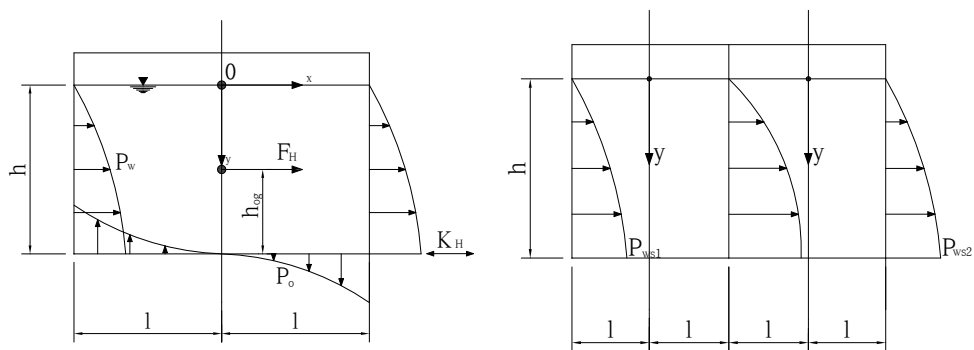
지진 시, 물탱크의 가속도응답에 의한 하중은 수평하중과 물탱크 내에 작용하는 변동압력이 발생하며, 설계용 수평지진하중은 식 2.6으로 계산할 수 있으며 단기하중으로 다룬다. 식 2.6에서 F_H 는 설계용 수평지진하중, k_H 는 수평진도, W 는 물탱크의 유효중량이다. 물탱크의 유효중량은 식 2.7에 의해 구하며, 물의 유효중량비 α_T 는 물탱크의 형상에 따라 달라지며 식 2.8과 2.9에 의해 구해진다. 유효중량비 α_T 는 표 2.6의 식을 이용하여 나타나는 수압분포에 기초해 구한 것이다.

$$F_H = k_H \cdot W \quad (2.6)$$

$$h/2l \leq 0.75 \text{인 경우, } \alpha_T = \frac{\tanh\left(\frac{0.866 \cdot 2l}{h}\right)}{\frac{0.866 \cdot 2l}{h}} \quad (2.7)$$

$$h/2l > 0.75 \text{인 경우, } \alpha_T = 1 - \frac{0.218}{\frac{h}{2l}} \quad (2.8)$$

설계용 수평지진하중과 물탱크의 형상비를 통해 물탱크에 작용하는 변동수압을 계산할 수 있다. 변동수압은 벽체의 모양과 형상에 따라 그 식이 다르며, 칸막이가 존재할 경우 칸막이의 개수와 간격에 따라 변동수압의 분포가 달라진다. 변동수압의 계산은 표 2.7에 나타내었으며 수평지진하중에 따른 변동수압의 작용은 그림 2.3과 같다.



(a) 각형물탱크의 가속도응답에 의한 변동수압분포

(b) 각형물탱크에서 칸막이의 가속도응답에 의한 변동수압분포

그림 2.3 물탱크의 가속도응답에 의한 변동수압분포

표 2.7 가속도응답에 의해 물탱크에 작용하는 변동수압 (FRP 수조 구조설계계산법, 1996)

측벽에 작용하는 변동수압	$h \leq 1.5l$ 의 경우 $p_w = \sqrt{3} \gamma k_H h \left\{ \frac{y}{h} - \frac{1}{3} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right\} \times \tanh \left(\sqrt{3} \frac{l}{h} \right)$ $h > 1.5l$ 의 경우 $0 \leq y \leq 1.5l$ 부분을 위 식에서 $h = 1.5l$ 로 해서 계산하고, $1.5l \leq y \leq h$ 의 부분은 $p_w = \gamma k_H l$ 으로 계산한다.
벽체 바닥에 작용하는 변동수압	$p_b = \frac{\sqrt{3}}{2} \gamma k_H h \frac{\sinh \left(\sqrt{3} \frac{x}{h} \right)}{\cosh \left(\sqrt{3} \frac{l}{h} \right)}$ 여기에서, $1.5l < h$ 의 경우, $h = 1.5l$ 로 계산한다.
칸막이벽에 작용하는 변동수압	$h \leq 1.5l_n$ 의 경우 $P'_{wsn} = \sqrt{3} \gamma k_H h \left\{ \frac{y}{h} - \frac{1}{3} \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right\} \times \tanh \left(\sqrt{3} \frac{l_n}{h} \right)$ $P_{wsn} = P'_{wsn} \times D_s$ $h > 1.5l_n$ 의 경우 $0 \leq y \leq 1.5l_n$ 부분을 위 식에서 $h = 1.5l_n$ 로 해서 계산하고, $1.5l_n \leq y \leq h$ 의 부분은 $P'_{wsn} = \gamma k_H l_n$, $P_{wsn} = P'_{wsn} \times D_s$ 으로 계산한다. 물탱크의 칸막이를 기준으로 양쪽을 동시에 사용하는 경우의 변동수압은 $P_{ws} = P_{wsn} + P_{ws(n+1)}$ 이 된다.

그림 2.2와 표 2.7에서 p_w 는 물탱크 측벽에 작용하는 변동수압, p_b 는 물탱크 벽체 바닥에 작용하는 변동수압, γ 는 물의 비중량, k_H 는 물탱크의 저면에 작용하는 수평진도, h 는 물탱크 내부의 수위, y 는 수면으로부터의 깊이, l 은 수평진도 방향의 물탱크 길이의 1/2, x 는 물탱크 중심에서부터 수평방향의 거리, P'_{ws} 는 칸막이벽에 작용하는 기준변동수압, P_{ws} 는 칸막이벽에 작용하는 설계용변동수압, l_n 은 물탱크의 벽체와 칸막이 또는 칸막이와 칸막이 사이의 길이의 1/2이다. D_s 는 물탱크설계 구조특성계수이며 강도설계시의 계수는 0.455, 강성설계시의 계수는 0.53이지만, 일반적으로 0.5를 사용한다.

물탱크에 작용하는 전도모멘트를 구하기 위해서는 수평하중의 작용점의 높이 h_{OG} 는 식 2.21로 구할 수 있다. 식 2.9에서 h 는 물의 수위, β_T 는 작용점높이와 물의 수위와의 비이다. β_T 는 측벽과 벽체 바닥에 작용하는 변동수압을 고려하여 구해지며 물탱크의 형상비에 따라 계수가 달라진다. 각형 물탱크의 β_T 는 식 2.10과 식 2.23을 통해 나타낸다.

$$h_{OT} = \beta_T \cdot h \quad (2.9)$$

$$h/2l \leq 0.75 \text{ 일 경우, } \beta_T = \frac{\frac{0.866}{h/2l}}{2 \cdot \tanh\left(\frac{0.866}{h/2l}\right)} - 0.125 \quad (2.10)$$

$$h/2l > 0.75 \text{ 일 경우, } \beta_T = \frac{\frac{0.75}{h/2l} \left(\frac{0.151}{h/2l} - 0.29 \right) + 0.5}{1 - \frac{0.218}{h/2l}} \quad (2.11)$$

물탱크에 지진하중이 작용하였을 때, 물탱크 내부의 물은 진동에 따라 출렁이는 슬로싱응답이 일어나고, 슬로싱은 측벽과 천정에 충격을 주게되고 물탱크의 측벽과 천정을 손상시킨다. 그러므로 슬로싱응답에 의한 측벽과 천정의 검토는 이루어져야 하는 것이며 슬로싱응답은 위에서 언급한 것과 같이 가속도 응답과는 별개로 계산한다. 각형 물탱크의 1차 슬로싱 고유주기의 값 T_s 은 식 2.12에 나타내었으며 슬로싱응답에 의한 변동수압을 그림 2.4에 나타내었다.

$$T_s = \frac{2\pi}{\sqrt{1.58 \frac{g}{l} \tanh\left(1.58 \frac{h}{l}\right)}} \quad (2.12)$$

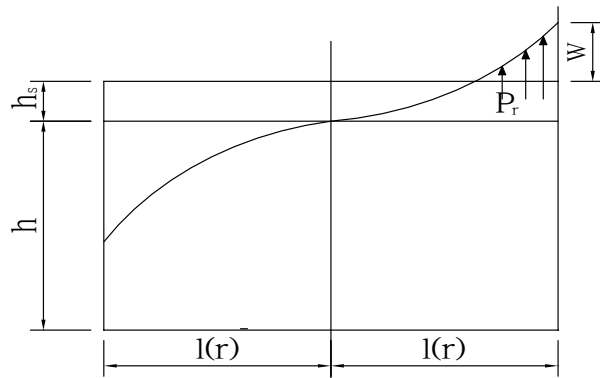


그림 2.4 슬로싱응답에 의한 변동수압

슬로싱응답으로 인한 각형물탱크의 천정에 작용하는 파고의 계산은 식 2.13 기준 변동수압의 계산은 식 2.14, 식 2.15에 따른다. 물탱크의 형상비에 따라 기준변동수압의 계산식이 다르다. 식 2.26와 2.27에서 p_{ro} 는 물탱크 천정에 작용하는 기준변동수압이며 물탱크설계 구조특성계수 D_s 는 위에서 언급한 일반적인 값 0.5를 사용한

다. $W, \dot{W}, \ddot{W}$ 는 각각 파고, 파고속도, 파고가속도이며, ω_s 는 1차 슬로싱 고유각진동수(rad/sec), l 은 수평진도 방향의 물탱크 길이의 1/2, h 는 지진이 일어나기 전 수위, h_s 는 물탱크의 높이와 지진이 일어나기 전 수위의 차, ρ 는 물의 단위체적질량, S_V 는 속도응답스펙트럼 값이다. 식 2.16에서 p_r 은 물탱크 천정에 작용하는 설계용변동수압이며 물탱크 설계 시에는 이 값을 사용한다.

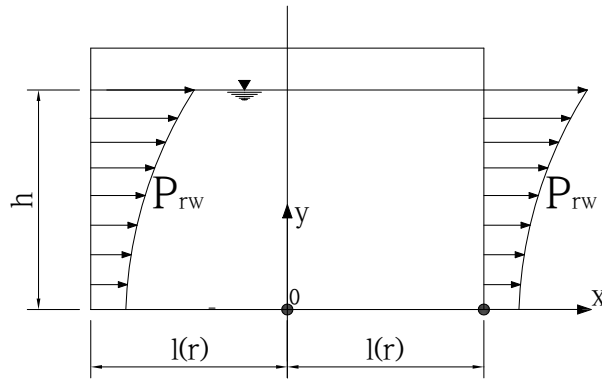
$$W = 0.84 \frac{l \cdot \omega_s \cdot S_V}{g} \quad (2.13)$$

$$0 < h/2l < 0.62 \text{ 일 경우, } p_{ro} = \left(\frac{1.6h}{\pi} + h_s \right) \rho \ddot{W} + \rho \dot{W}^2 \quad (2.14)$$

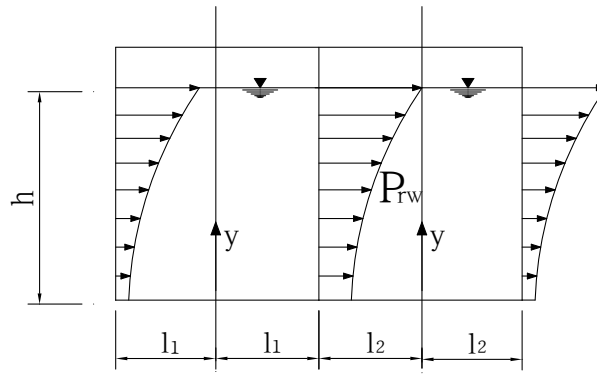
$$h/2l \geq 0.62 \text{ 의 경우, } p_{ro} = \left(\frac{2l}{\pi} + h_s \right) \rho \ddot{W} + \rho \dot{W}^2 \quad (2.15)$$

$$p_r = D_s \cdot p_{ro}, \quad (D_s \approx 0.5) \quad (2.16)$$

슬로싱응답으로 인한 각형물탱크의 측벽과 칸막이벽에 작용하는 변동수압을 그림 2.5에 각각 나타내었다. 슬로싱응답에 의해 측벽에 작용하는 변동수압과 칸막이벽에 작용하는 변동수압을 표 2.8에 나타내었다.



(a) 각형물탱크에서 슬로싱응답에 의한 벽체의변동수압분포



(b) 각형물탱크에서 슬로싱응답에 의한 칸막이의변동수압분포

그림 2.5 물탱크의 슬로싱응답에 의한 변동수압분포

표 2.8 슬로싱응답에 의해 물탱크에 작용하는 변동수압 (FRP 수조 구조설계계산
법, 1996)

측벽에 작용하는 변동수압	$p_{rw} = \frac{5}{6} \rho l \frac{\cosh\left(\sqrt{\frac{5}{2}} \frac{y}{l}\right)}{\cosh\left(\sqrt{\frac{5}{2}} \frac{h}{l}\right)} \cdot \omega_s \cdot S_V$
칸막이벽에 작용하는 변동수압	$p'_{rwsn} = \frac{5}{6} \rho l_n \frac{\cosh\left(\sqrt{\frac{5}{2}} \frac{y}{l_n}\right)}{\cosh\left(\sqrt{\frac{5}{2}} \frac{h}{l_n}\right)} \cdot \omega_s \cdot S_V$ $p_{rwsn} = p'_{rwsn} \cdot D_S$ 물탱크의 칸막이를 기준으로 양쪽을 동시에 사용하는 경우의 변동수압은 $P_{rws} = P_{rwsn} + P_{rws(n+1)}$ 이 된다.

3. 설계기준에 따른 작용하중 산정

지진 발생 시 기초를 통하여 외부보강프레임에 전달되는 지진하중을 산정하기 위하여 FRP 수조 구조설계계산법(일본강화플라스틱협회, 1996)에서 제시한 식을 적용하였다. 설계지반가속도 0.4g에서 안전성을 확보할 수 있도록 설계하였으며, 설계지반가속도를 산정하기 위해서 물탱크가 지하에 설치되며 내진성능을 중시하는 것으로 가정하였다. 설계 시에 지진하중에 따라 발생할 수 있는 다양한 수압을 표 2.9에 나타내었으며 그 중 가장 큰 수압을 사용하여 물탱크의 외부보강시스템을 설계하였다. 실험체 제원은 진동대의 공간적 제약을 고려하여 길이 3m, 폭2m, 높이3m로 하였으며, 수위 1m, 1.5m, 2m, 2.5m의 응답을 고려하여 측벽에 작용하는 설계변동수압을 표 2.10과 그림 2.6에 나타냈다. 표 2.10에서 y는 물의 수면으로부터의 깊이이다.

표 2.9 측벽 및 칸막이벽에 작용하는 변동수압 산정 (FRP 수조 구조설계계산법, 1996)

측벽에 작용하는 분포하중	(a) 가속도응답시의 정수압+변동수압에 의한 분포하중
	(b) 슬로싱응답시의 변동수압에 의한 분포하중
	(a) 가속도응답시의 정수압+변동수압에 의한 분포하중 (편수조*)
칸막이벽에 작용하는 분포하중	(b) 가속도응답시의 변동수압+변동수압에 의한 분포하중
	(c) 슬로싱응답시의 정수압+변동수압에 의한 분포하중 (편수조)
	(d) 슬로싱응답시의 변동수압+변동수압에 의한 분포하중

*편수조 - 칸막이로 인해 분할된 공간 중 한쪽만 물이 채워져 있는 경우

표 2.10 설계변동수압

y(m)	$p_w (G=0.4g)$ 인 경우 (단위:tonf/m ²)			
	1m	1.5m	2m	2.5m
0.2	0.71	0.73	0.73	0.71
0.4	1.26	1.35	1.38	1.37
0.6	1.65	1.87	1.96	1.96
0.8	1.88	2.29	2.46	2.5
1.0	1.96	2.6	2.88	2.97
1.2		2.81	3.22	3.39
1.4		2.92	3.49	3.75
1.5		2.93	3.6	3.9
1.7			3.75	4.17
2.0			3.84	4.46
2.3				4.61
2.5				4.64

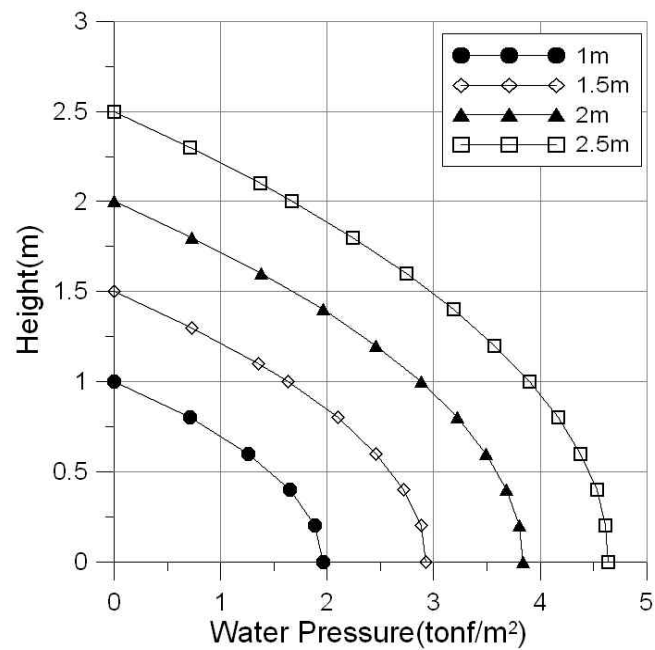


그림 2.6 수위에 따른 설계변동수압

제 2 절 고수위 물탱크용 외부보강시스템 개발

1. 외부보강프레임으로 제작된 5m 물탱크의 안전성 분석

가. 일반

본 연구는 5m 높이를 갖는 고수위 SMC 물탱크 외부보강시스템의 안전성을 검토함을 목적으로 한다. 지난 8월에 수행된 5m 물탱크의 문제점을 개선하여 설계·제작된 외부보강시스템과 칸막이 보강시스템을 갖는 실험체를 대상으로 현장 담수재하시험을 수행하였으며, 5m 물탱크 보강시스템의 안전성을 검토하였다. 연구는 다음의 절차로 수행하였다.

1) 5m 물탱크 외부보강프레임의 설계

2) 5m 물탱크의 현장 담수재하시험에 의한 구조적 응답과 해석결과의 비교를 통한 외부보강프레임의 안전성 검토

또한 본 연구의 대상이 되는 실험체는 다음과 같은 보강시스템을 갖는다.

- 외부: T프레임(SMC 측판 플랜지 사이에 삽입하여 조립), B 프레임
- 내부 칸막이: I 프레임, 하부 보강대
- 기초: 기초강판넬, C채널

나. 외부보강프레임 제원

외부보강프레임(T프레임)은 T형 단면을 가지며 측면 SMC 판넬의 사이에 끼워지는 방식으로 설치된다. 외부보강프레임의 하단에 설치된 하부 수직보강재(B프레임)는 수압에 의해 외부보강프레임에 발생하는 응력을 기초로 원활하게 전달해주는 역할을 하며, 지지판에 의해 지지되어 있다. 그림 2.7에 외부보강프레임의 제원을 나타내었다.

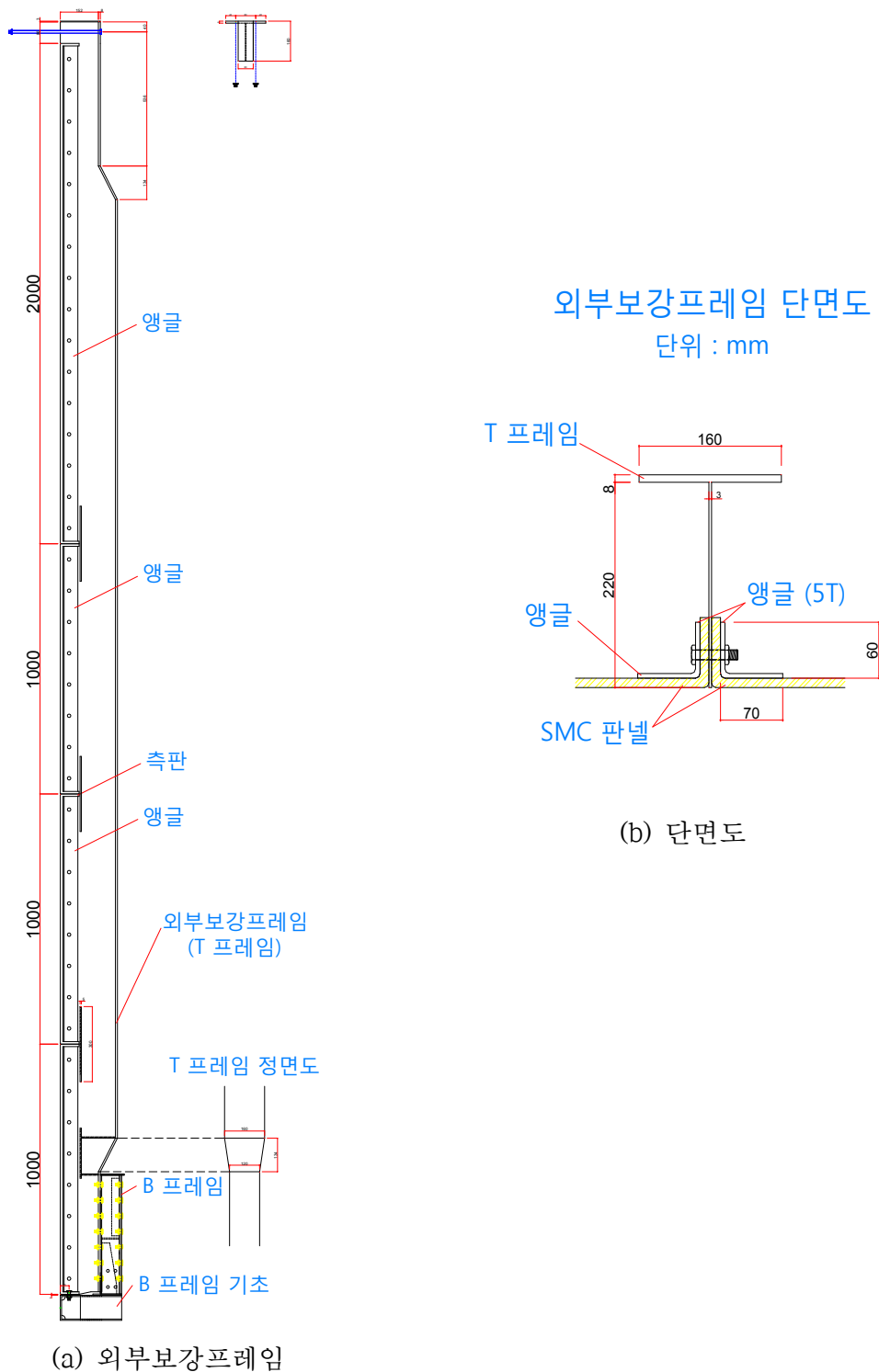
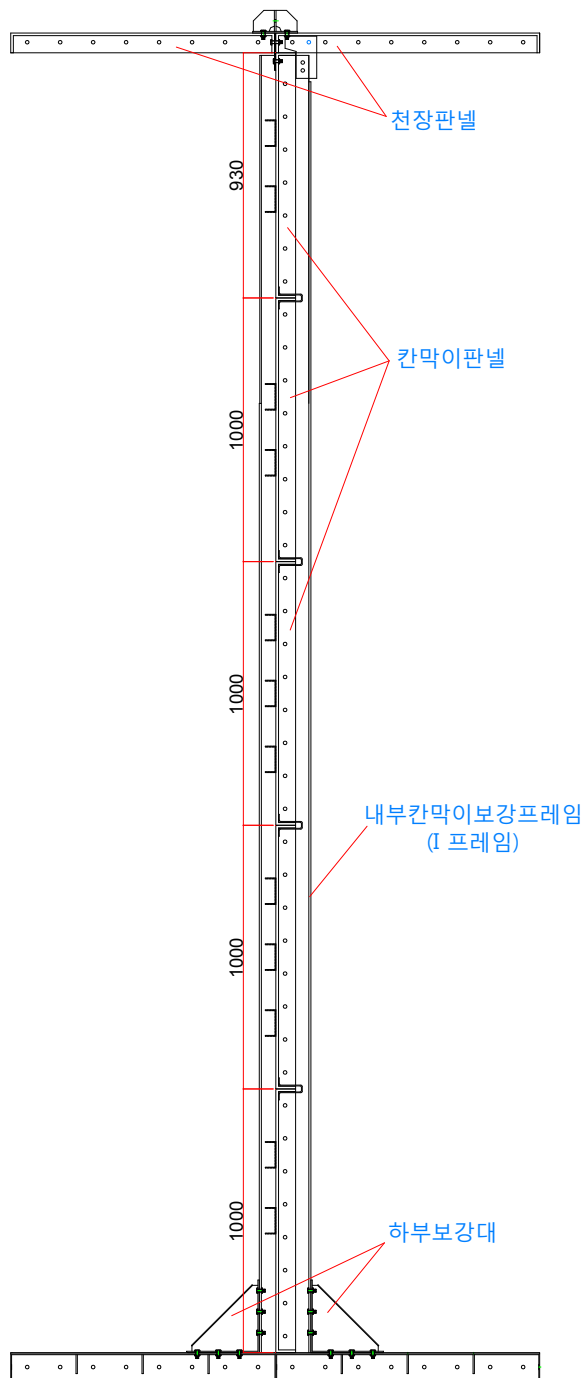


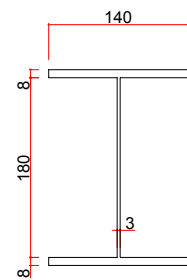
그림 2.7 5m용 외부보강프레임 제원

물탱크 내부에 설치되는 칸막이용 보강프레임은 그림 2.8와 같다. 내부 칸막이용 프레임은 I형 단면을 가지며 외부에 설치되는 T프레임과 마찬가지로 칸막이 SMC 패널의 사이에 끼워지는 방식으로 설치된다. 하부 보강대는 칸막이의 양쪽으로 설치되어 칸막이 하부를 지지하는 역할을 한다.

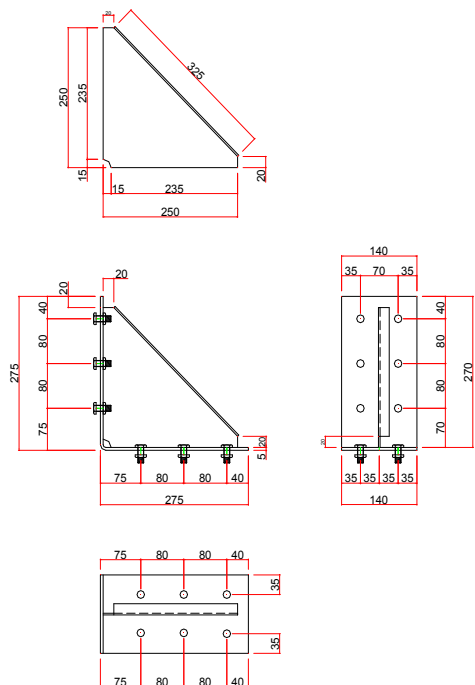


(a) 외부보강프레임

내부칸막이보강프레임 단면도
단위 : mm



(b) 단면도



(c) 하부보강대 제원

그림 2.8 5m용 내부칸막이보강프레임 제원

SMC와 강재의 물성치를 다음 표 2.11, 2.12에 나타내었다.

표 2.11 SMC 물성치*

탄성계수	단위	초기특성치 (상온)	내용연수 15년 고려시 한계치
인장탄성계수	kgf/mm ²	900	(*0.8) 720
휨탄성계수		1,200	(*0.8) 960
포아송비	-	0.3	0.3

표 2.12 강재 물성치*

파괴강도	단위	허용응력	
		단기하중	장기하중
인장/압축강도	kgf/mm ²	24	16
휨강도		24	16
전단강도		13.5	9
탄성계수		21,000	21,000
포아송비	-	0.3	0.3

*FRP 수조 구조설계계산법(일본강화플라스틱협회, 1996)

다. 구조해석모형 및 해석결과

본 보고서에서 사용된 해석모형은 상용 구조해석 프로그램인 MIDAS를 이용하여 수행되었으며 SMC 판넬은 4-node Plate 요소, 외부보강용 W 프레임 2-node Beam 요소를 사용하여 모형화하였다. 외부보강프레임은 판넬 단부로부터 각 단면 도심까지의 거리에 요소를 배치하고 판넬과 프레임의 절점을 Rigid link를 사용하여 결합하였다(그림 2.9).

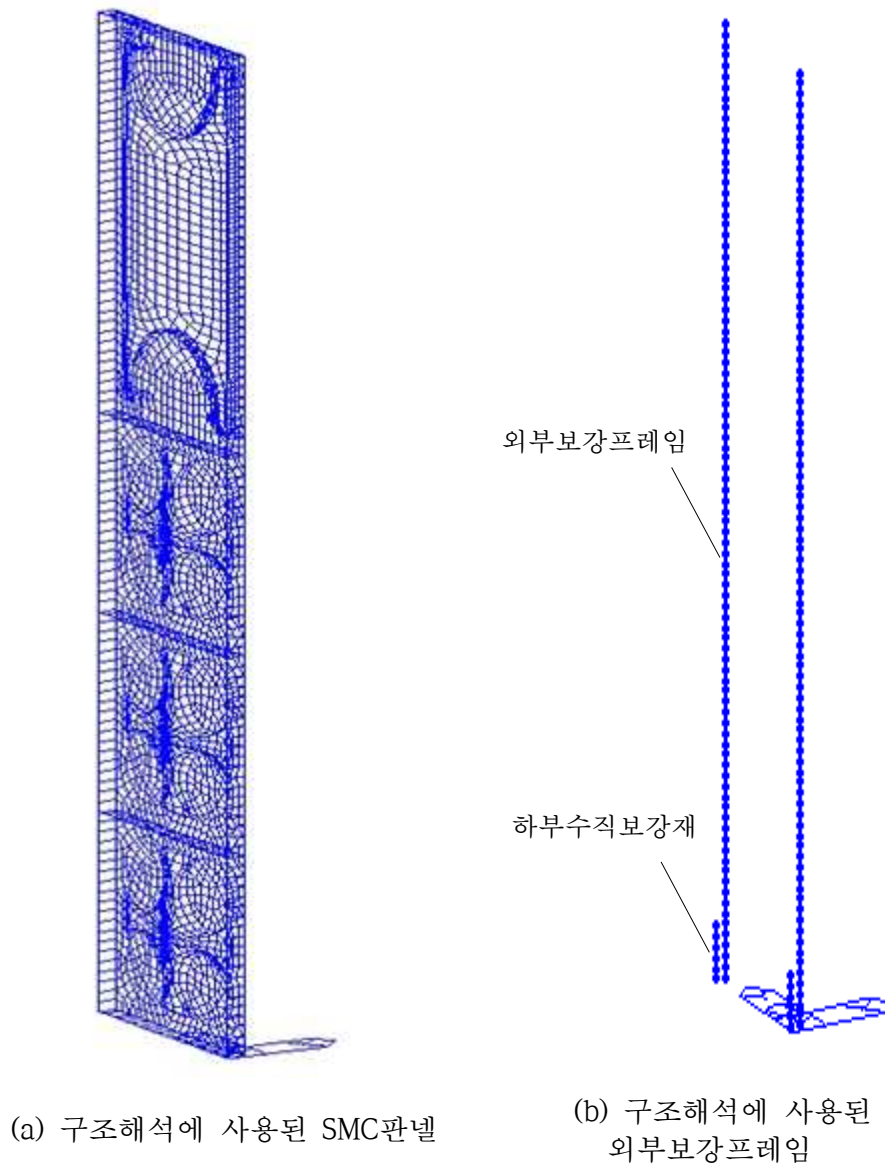


그림 2.9 구조해석모델

적용하중은 SMC 물탱크 내부에서 작용하는 정수압과 제2장에서 산정한 변동수압을 모두 고려하였으며 물탱크 내부에 작용하는 수압은 모든 벽면에서 일정하므로, 본 연구에서는 측벽의 한 부분(1m)을 대상으로 구조적 거동을 검토하였다. 벽면의

상부는 강봉에 의해 지지되므로 양단에 설치되는 강봉의 스프링계수(k, N/mm)를 계산하여 적용하였으며, 하부는 기초프레임에 의해 고정되어 있다고 가정하였다. 그리고 벽면의 측부는 양쪽 모두 인접한 벽면과 대칭적인 거동을 하므로 변위는 허용하고 회전은 구속하였다. 해석결과는 다음 표 2.13, 2.14와 같다.

표 2.13 외부보강프레임 위치별 최대응력결과

위치	발생응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상시 정수압	지진 시 변동수압	장기하중	단기하중
T프레임	128.01	157.72	160	240
B프레임	117.53	149.58		
	OK	OK		

표 2.14 외부보강프레임 위치별 최대변위결과

위치	최대변위 (mm)	
	상시 정수압	지진 시 변동수압
T프레임	22.84	30.04
B프레임	13.89	19.73

라. 현장 담수재하실험

5m 물탱크 실험체와 실험 모습을 그림 2.10에 나타내었다. 실험은 경기도 안산시에 위치한 (주)NICE 공장에서 수행되었으며, 변형률계(Strain gauge)와 변위계(LVDT)를 이용하여 담수에 따라 보강프레임에 발생하는 응력과 변위를 측정하였다. 본 실험에서는 지난 1차 실험의 칸막이 보강시스템의 보완점을 확인하고자 내부 칸막이 보강프레임에만 계측기를 설치하여 실험을 수행하였다.



그림 2.10 5m 물탱크 담수재하실험

실험은 가로 4m, 세로 4m의 넓이를 갖는 물탱크를 대상으로 하였으며, 칸막이 지지프레임의 구조적 응답을 확인하기 위하여 물을 절반만 채워 수행하였다. 그림 2.11에 담수범위와 측정 대상 프레임을 표시하였다. 계측은 내부 칸막이 지지용 I프레임의 두 곳을 선정하여 변위계와 변형률계를 설치하여 수행하였다.

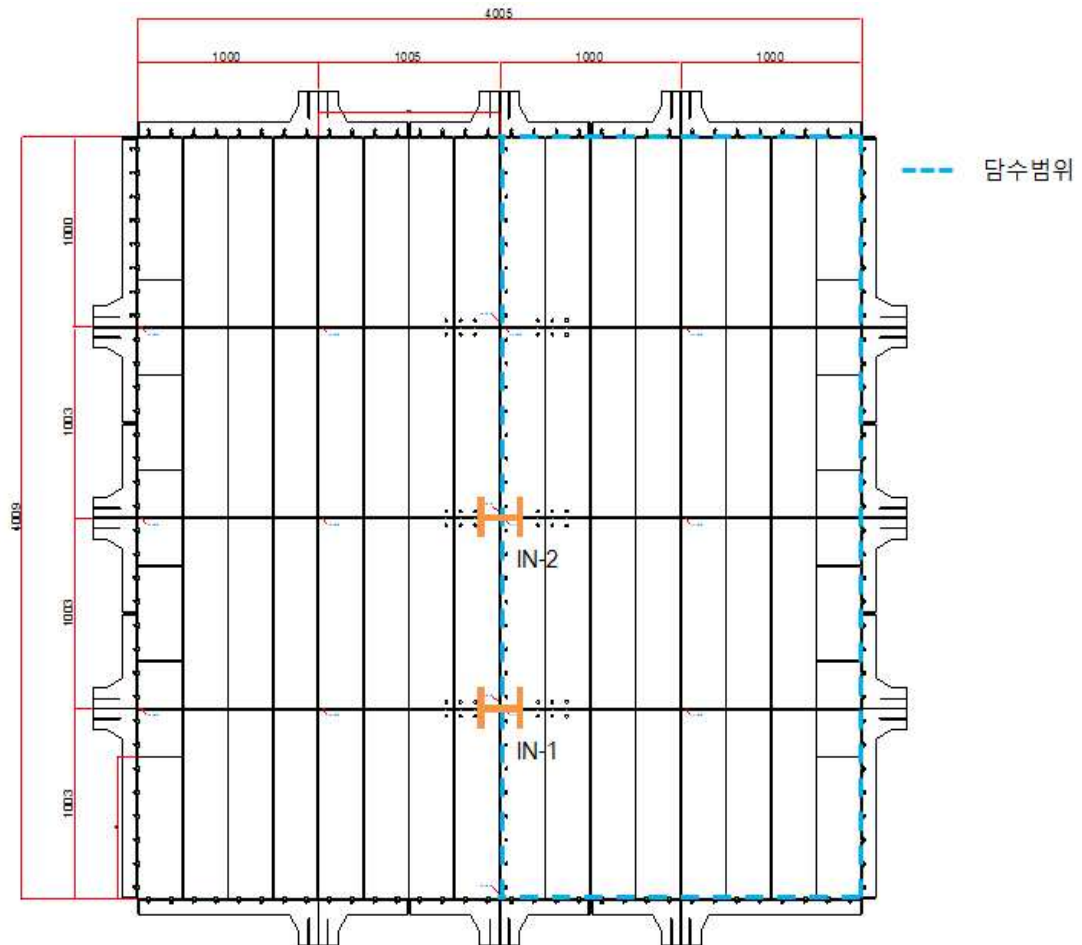


그림 2.11 담수범위 및 계측위치

내부 칸막이용 I프레임에 설치된 변형률계와 변위계의 위치를 그림 2.12에 나타내었고 그림 2.13, 2.14는 측정된 변형률에 따른 수위별 응력도와 변위를 나타낸 것이다.

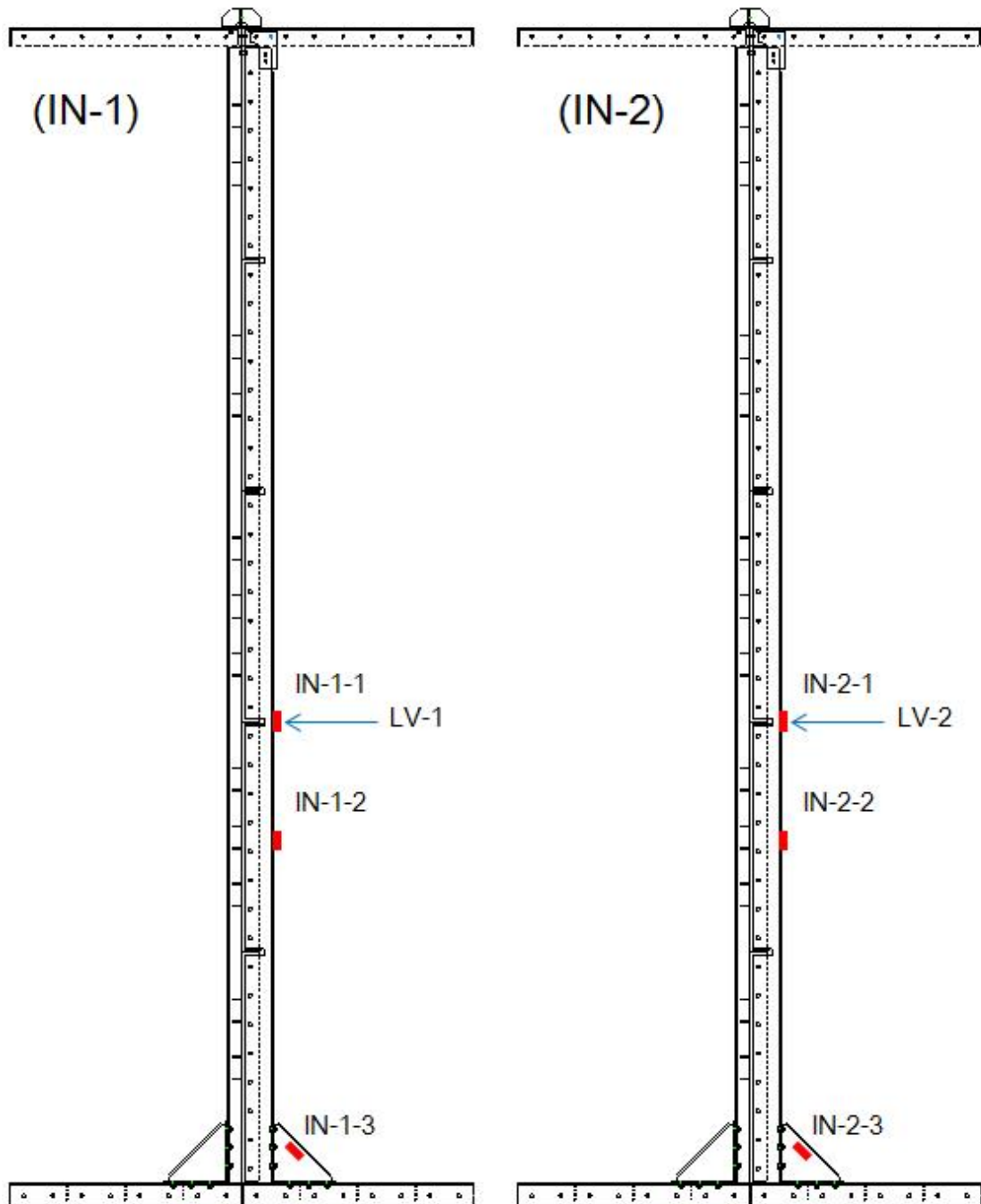


그림 2.12 계측위치

수위별 응력 결과를 보면 모든 계측 위치에서 발생응력이 허용응력 (160MPa)의 범위 내로 분석되었으며 최대응력은 물탱크의 하부에서 2m 지점인 IN2-1에서 134MPa 발생하였다. 또한 하부보강대의 발생응력은 66MPa로 분석되었다. 따라서 개선된 단면을 갖는 5m용 내부 칸막이용 프레임은 충분한 구조적 안전성을 갖는 것으로 판단된다. 수위별 변위 결과에서는 내부 칸막이용 프레임 LV-2 계측위치에서 최대변위 31.01mm가 발생하였다. 이는 물탱크 높이의 약 0.62% 수준으로 본 연구의 성과지표인 발생변위 1%이내를 충족시킨다.

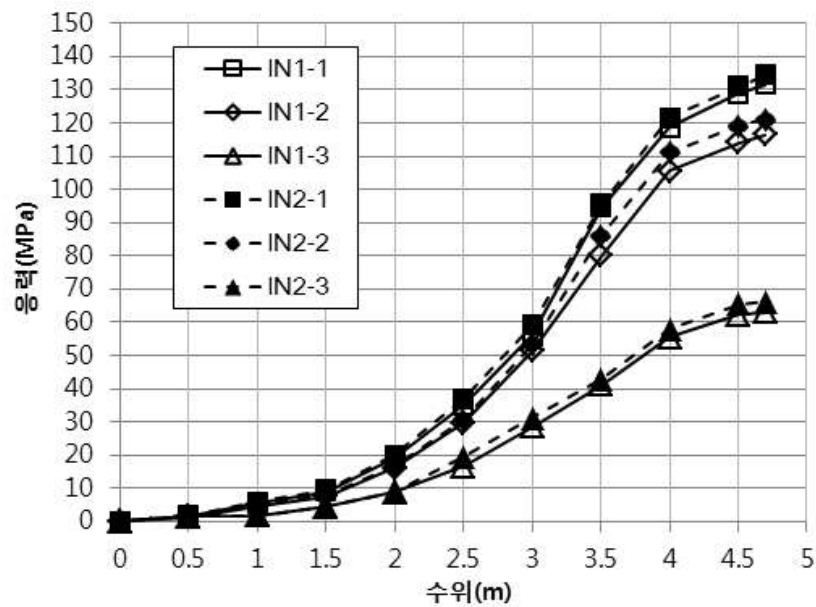


그림 2.13 수위별 응력 결과

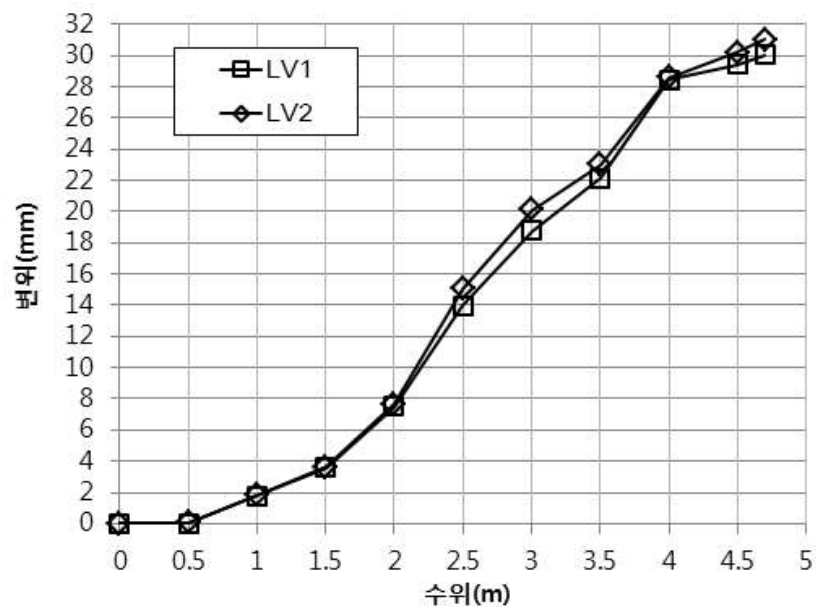


그림 2.14 수위별 변위 결과

마. 결론

본 연구에서는 개선된 형태의 SMC 물탱크 외부보강시스템의 구조해석을 수행하고 5m 물탱크 외부보강시스템의 담수재하실험을 통하여 안전성을 분석하였다. 해석 및 실험결과, 전체적으로 실험결과와 해석모형의 결과가 매우 유사하게 분석되었으며 모든 응력값들은 강재의 허용응력 범위 내에서 발생하였다. 또한 만수 시 물탱크에 발생하는 변위는 물탱크 높이의 약 0.62%수준으로 매우 양호한 결과를 나타내었다.

2. 외부보강프레임으로 제작된 4m 물탱크의 안전성 분석

가. 일반

본 연구는 4m 높이를 갖는 고수위 SMC 물탱크 외부보강시스템의 안전성을 검토함을 목적으로 한다. 4m 물탱크에 설치되는 외부보강프레임의 구조적 분석을 위하여 다음과 같은 절차로 연구를 수행하였다.

- 1) 4m 물탱크 외부보강프레임의 설계
- 2) 외부보강시스템 및 기초 강판넬의 구조해석
- 3) 4m 물탱크의 현장 담수재하시험에 의한 구조적 응답과 해석결과의 비교를 통한 외부보강프레임의 안전성 검토

또한 본 보고서의 대상이 되는 실험체는 다음과 같은 보강시스템을 갖는다.

- 외부: T프레임(SMC 측판 플랜지 사이에 삽입하여 조립), 하부 수직보강재
- 내부 칸막이: I 프레임, 하부 보강대
- 기초: 기초강판넬, C채널

나. 외부보강프레임 제원

외부보강프레임(T프레임)은 T형 단면을 가지며 측면 SMC 판넬의 사이에 끼워지는 방식으로 설치된다. 외부보강프레임의 하단에 설치된 하부 수직보강재(B프레임)는 수압에 의해 외부보강프레임에 발생하는 응력을 기초로 원활하게 전달해주는 역할을 하며, 지지판에 의해 지지되어 있다. 그림 2.15에 외부보강프레임의 제원을 나타내었다.

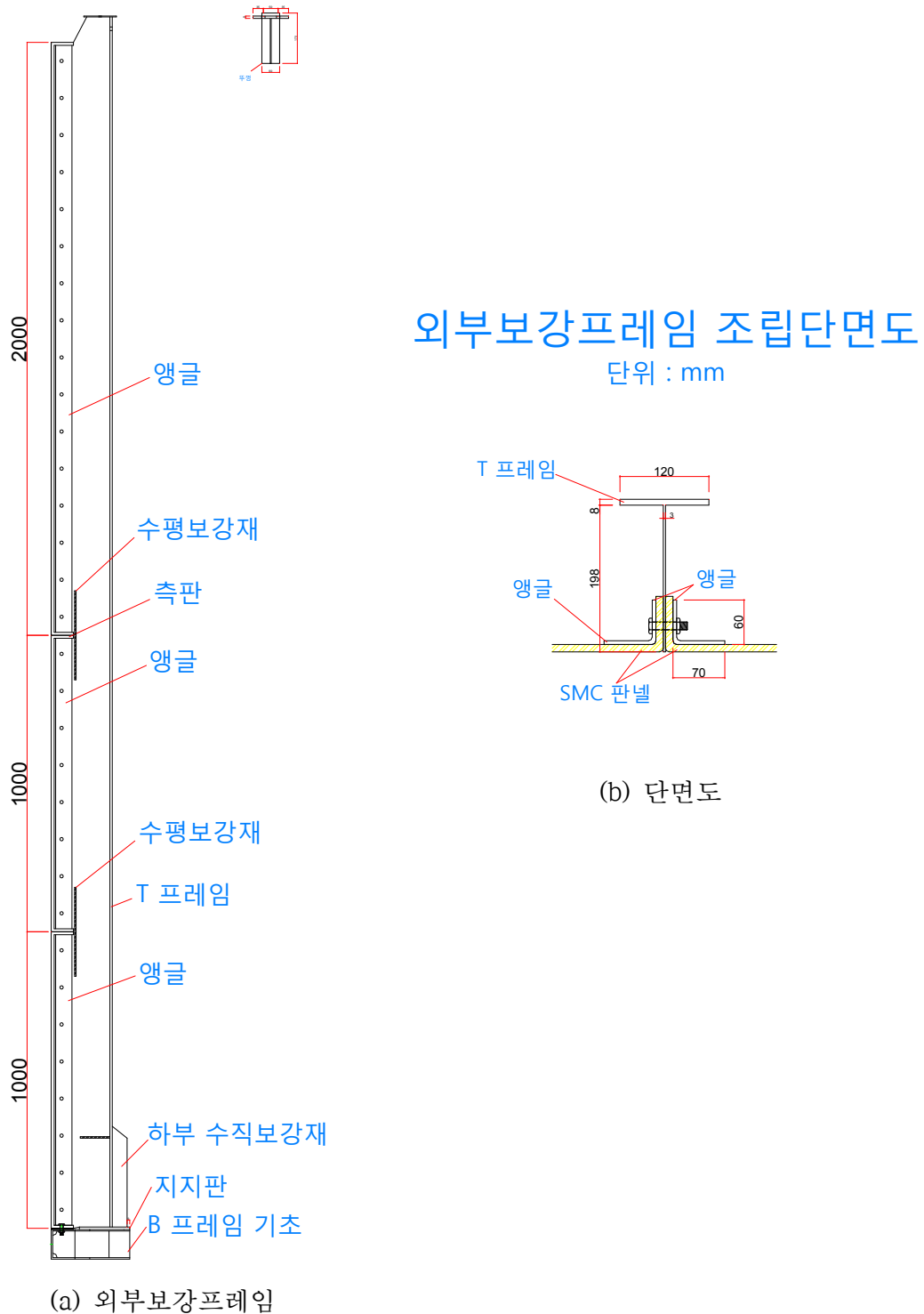


그림 2.15 4m용 외부보강프레임 제원

SMC와 강재의 물성치를 다음 표 2.15, 2.16에 나타내었다.

표 2.15 SMC 물성치*

탄성계수	단위	초기특성치 (상온)	내용연수 15년 고려시 한계치
인장탄성계수	kgf/mm ²	900	(*0.8) 720
휨탄성계수		1,200	(*0.8) 960
포아송비	-	0.3	0.3

표 2.16 강재 물성치*

파괴강도	단위	허용응력	
		단기하중	장기하중
인장/압축강도	kgf/mm ²	24	16
휨강도		24	16
전단강도		13.5	9
탄성계수		21,000	21,000
포아송비	-	0.3	0.3

*FRP 수조 구조설계계산법(일본강화플라스틱협회, 1996)

다. 구조해석모형 및 해석결과

본 보고서에서 사용된 해석모형은 상용 구조해석 프로그램인 MIDAS를 이용하여 수행되었으며 SMC 판넬은 4-node Plate 요소, 외부보강용 W 프레임 2-node Beam 요소를 사용하여 모형화하였다. 외부보강프레임은 판넬 단부로부터 각 단면 도심까지의 거리에 요소를 배치하고 판넬과 프레임의 절점을 Rigid link를 사용하여 결합하였다(그림 2.16).

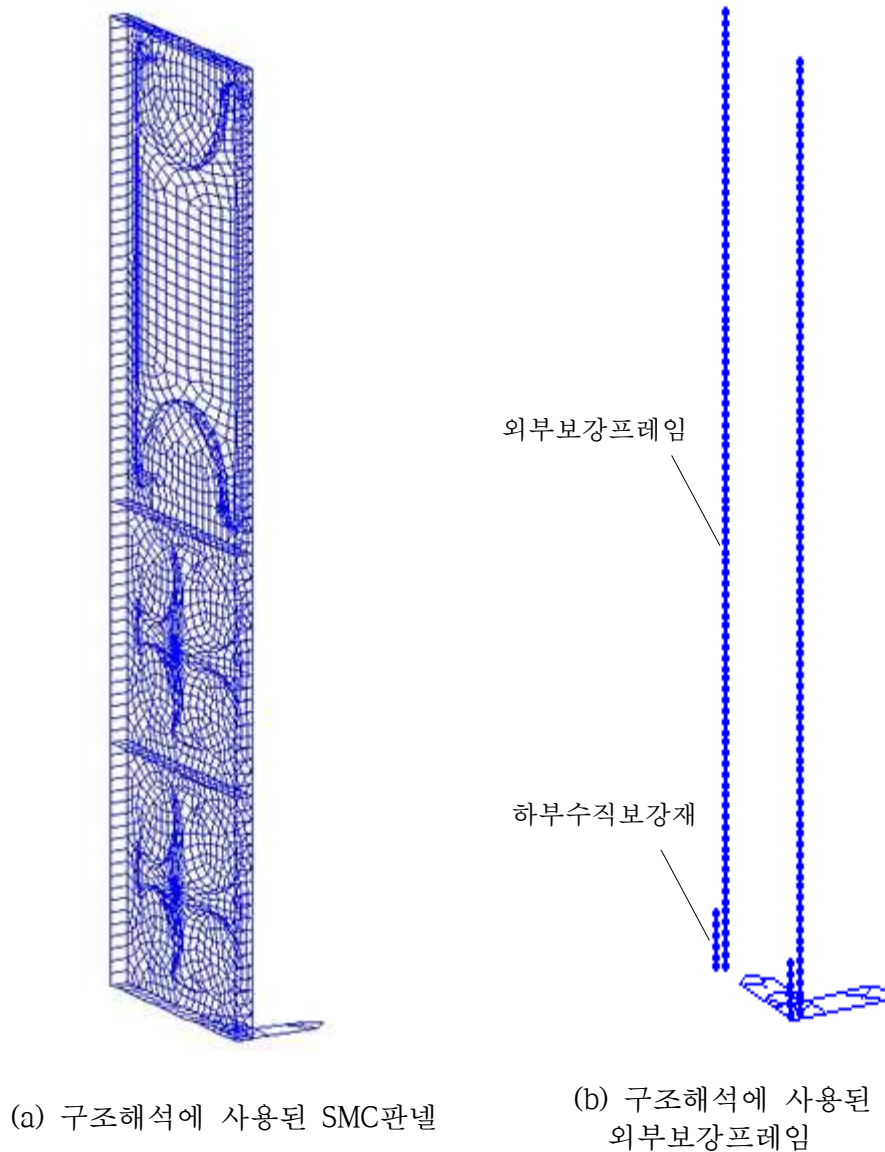


그림 2.16 구조해석모델

적용하중은 SMC 물탱크 내부에서 작용하는 정수압과 제2장에서 산정한 변동수압을 모두 고려하였으며 물탱크 내부에 작용하는 수압은 모든 벽면에서 일정하므로, 본 연구에서는 측벽의 한 부분(1m)을 대상으로 구조적 거동을 검토하였다. 벽면의

상부는 강봉에 의해 지지되므로 양단에 설치되는 강봉의 스프링계수(k, N/mm)를 계산하여 적용하였으며, 하부는 기초프레임에 의해 고정되어 있다고 가정하였다. 그리고 벽면의 측부는 양쪽 모두 인접한 벽면과 대칭적인 거동을 하므로 변위는 허용하고 회전은 구속하였다. 해석결과는 다음 표 2.17, 2.18와 같다.

표 2.17 외부보강프레임 위치별 최대응력결과

위치	발생응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상시 정수압	지진 시 변동수압	장기하중	단기하중
T프레임	138.45	164.87	160	240
B프레임	90.46	112.17		
	OK	OK		

표 2.18 외부보강프레임 위치별 최대변위결과

위치	최대변위 (mm)	
	상시 정수압	지진 시 변동수압
T프레임	20.71	27.48
B프레임	9.54	16.43

라. 현장 담수재하실험

4m 물탱크 실험체와 실험 모습을 그림 2.17에 나타내었다. 실험은 경기도 안산시에 위치한 (주)NICE 공장에서 수행되었으며, 변형률계(Strain gauge)와 변위계(LVDT)를 이용하여 담수에 따라 외부보강프레임에 발생하는 응력과 변위를 측정하였다. 또한 담수 시에는 물탱크의 over flow를 고려하여 최고수위를 3.7m로 결정하였다.



그림 2.17 4m 물탱크 담수재하실험

실험은 가로 4m, 세로 4m의 넓이를 갖는 물탱크를 대상으로 하였으며, 칸막이 지지프레임의 구조적 응답을 확인하기 위하여 물을 절반만 채워 수행하였다. 그림 2.18에 담수범위와 측정 대상 프레임을 표시하였다.

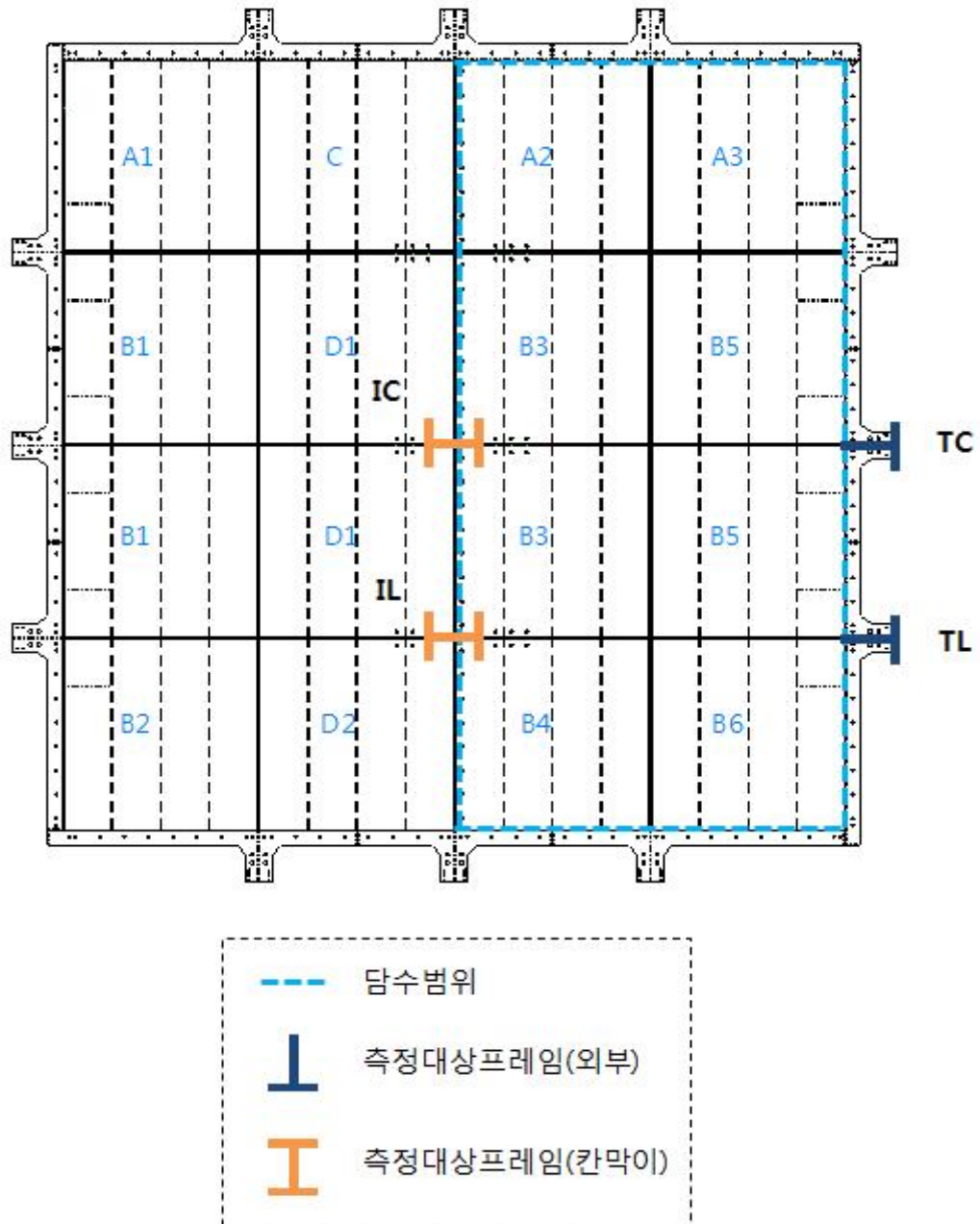


그림 2.18 담수범위 및 계측위치

외부보강프레임에 설치된 변형률계와 변위계의 위치를 그림 2.19에 나타내었고
 그림 2.20, 2.21는 측정된 변형률에 따른 수위별 응력도와 변위를 나타낸 것이다.

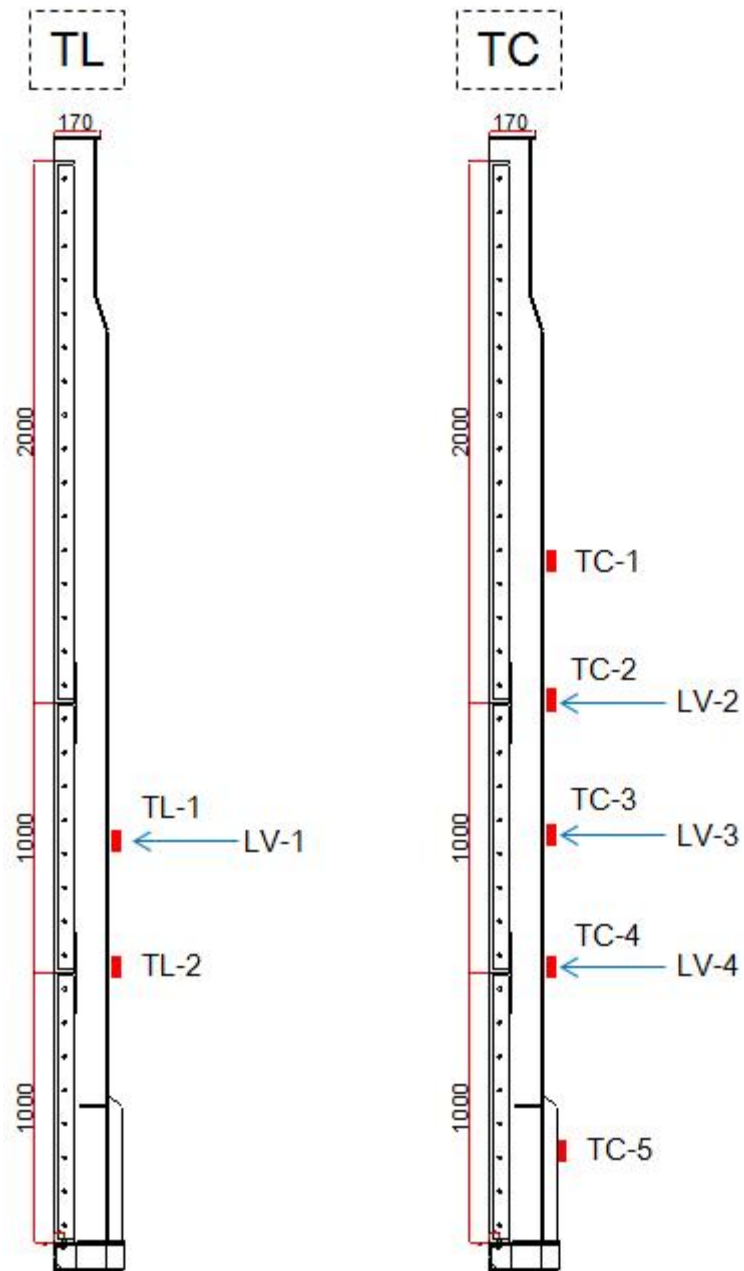


그림 2.19. 외부보강프레임 계측위치

수위별 응력 결과를 보면 모든 계측 위치에서 발생응력이 허용응력 (160MPa)의 범위 내로 분석되었으며 최대응력은 물탱크의 하부에서 2m 지점인 TC-2에서 143MPa 발생하였다. 또한 하부수직보강재의 발생응력은 92MPa로 분석되었다. 해석 결과에서는 정수압만을 적용하였을 경우 외부보강프레임의 최대응력이 138.45MPa, 하부수직보강재는 90.46MPa로 나타나 비슷한 수준을 보임을 알 수 있다. 수위별 변위 결과에서는 외부보강프레임 LV-2 계측위치에서 최대변위 23mm가 발생하였으며, 이는 물탱크 높이의 약 0.55% 수준으로 본 연구의 성과지표인 발생변위 1%이내를 충족시킨다. 또한 해석결과 정수압 적용 시 외부보강프레임의 최대 변위는 20.71mm로써 비슷한 수준을 보인다.

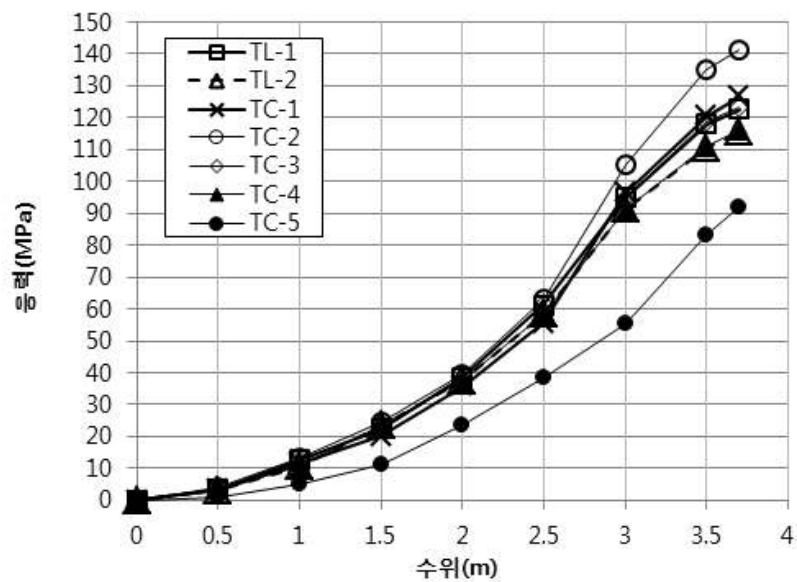


그림 2.20 수위별 응력 결과

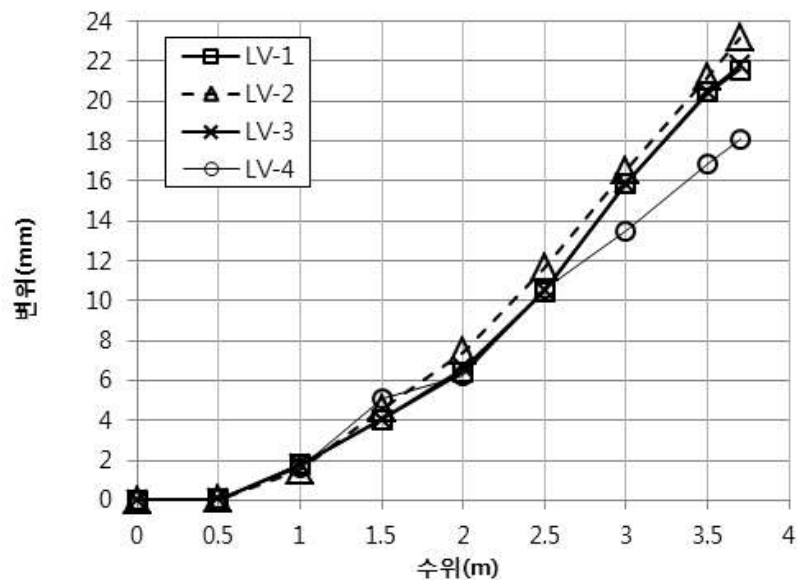


그림 2.21 수위별 변위 결과

내부칸막이보강프레임에 설치된 변형률계와 변위계의 위치를 그림 2.22에 나타내었고 그림 2.23, 2.24은 측정된 변형률에 따른 수위별 응력도와 변위를 나타낸 것이다.

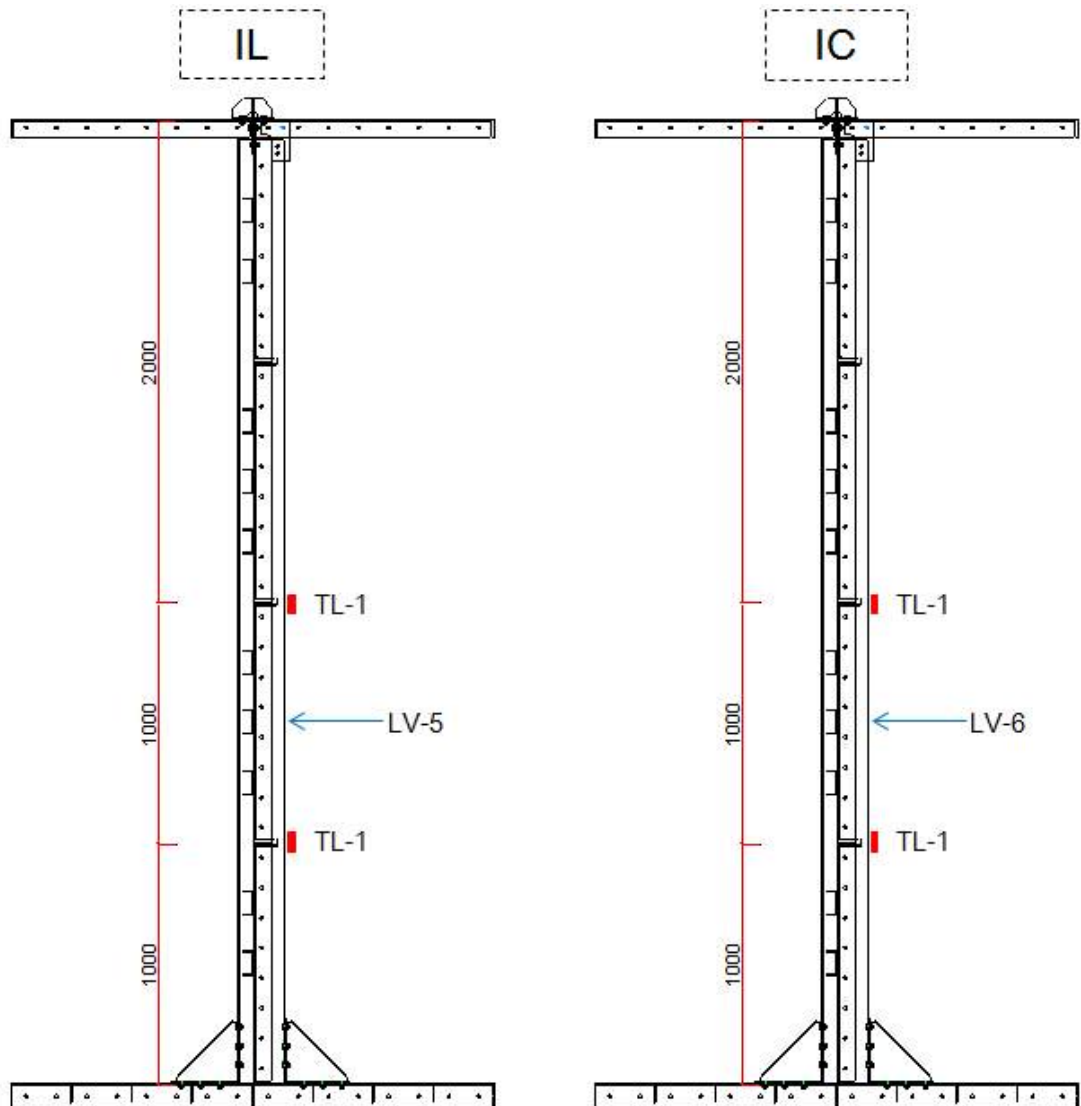


그림 2.22 내부칸막이보강프레임 계측위치

실험 결과, 수위별 응력은 IL과 IC 모두 수위 2m 부분에서 최대응력을 나타내었고 각각 139MPa, 131MPa이 발생되어 모두 허용응력의 범위 안으로 분석되었다. 변위는 변위계가 설치된 수위 1.5m 부분에서 IC는 22.6mm, IL은 20.9mm 발생하였으며 물탱크 높이의 0.55% 수준으로 분석되었다.

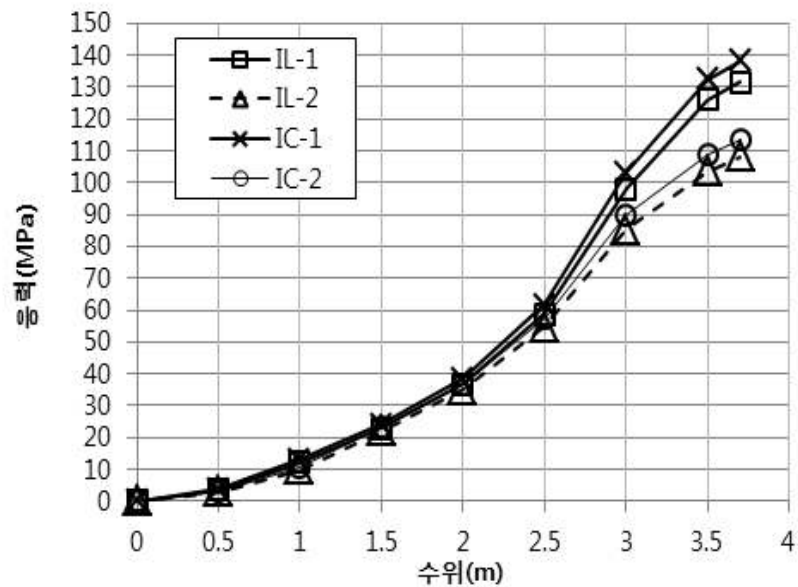


그림 2.23 수위별 응력 결과

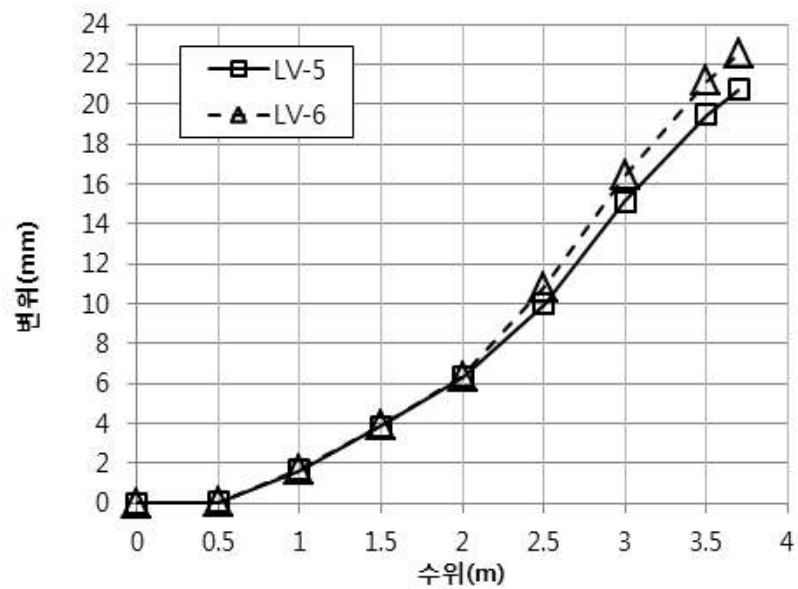


그림 2.24 수위별 변위 결과

마. 결론

본 연구에서는 개선된 형태의 SMC 물탱크 외부보강시스템의 구조해석을 수행하고 4m 물탱크 외부보강시스템의 담수재하실험을 통하여 안전성을 분석하였다. 해석 및 실험결과, 전체적으로 실험결과와 해석모형의 결과가 매우 유사하게 분석되었으며 모든 응력값들은 강재의 허용응력 범위 내에서 발생하였다. 또한 만수 시 물탱크에 발생하는 변위는 물탱크 높이의 약 0.55%수준으로 매우 양호한 결과를 나타내었다.

제 3 절 진동대를 이용한 외부보강형 물탱크의 동적거동 실험

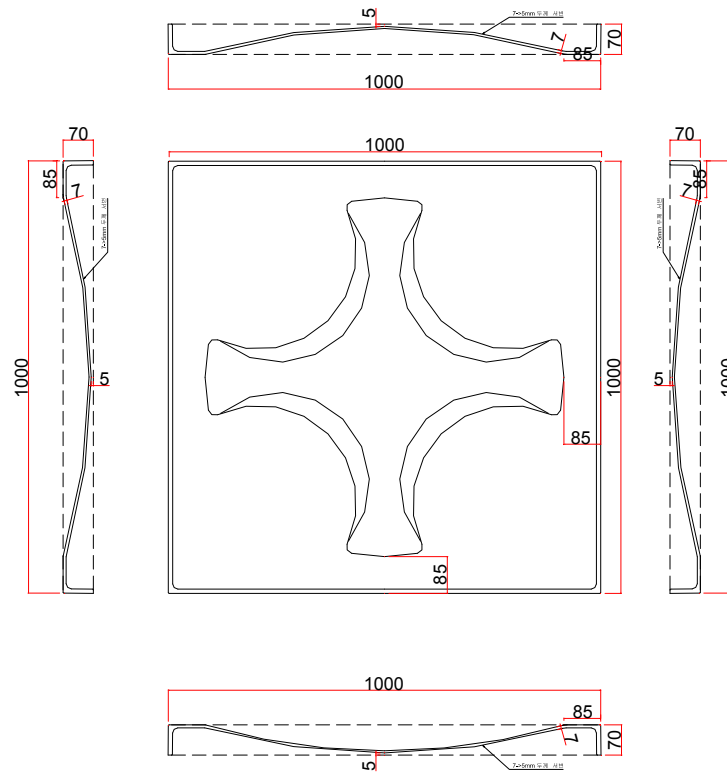
1. 담수재하실험

내진성능 평가를 위한 진동대 실험에 앞서, 실험체의 정수압에 대한 안전성 검토를 위하여 담수재하실험을 수행하였다. 담수재하실험은 변형률계(Strain gauge)와 변위계(LVDT)를 이용하여 수위에 따라 외부보강프레임에 발생하는 응력과 변위를 측정하고 구조해석값과 비교하였다.

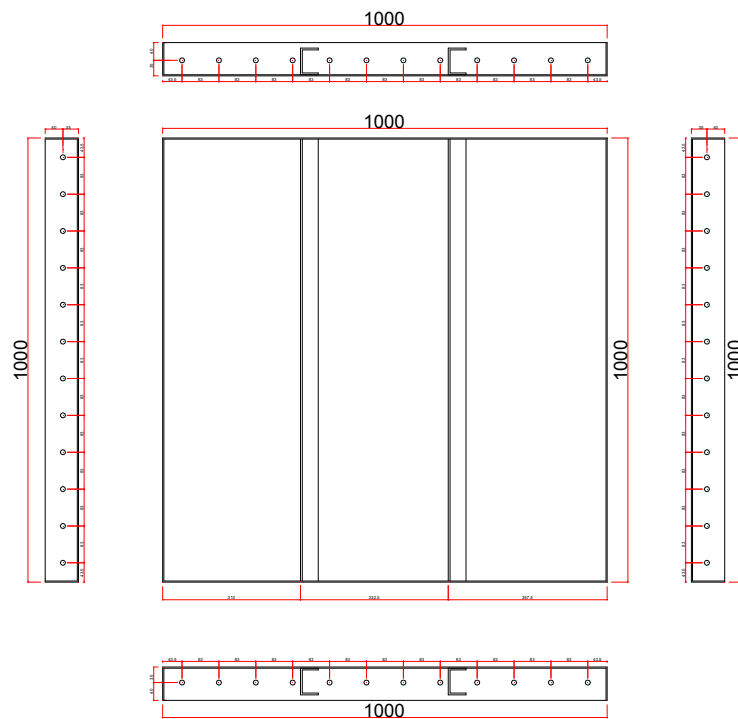
가. 실험체 형상

SMC판넬과 강판넬을 이용하여 진동대의 용량과 크기에 따라 길이 3m, 폭 2m, 높이 3m를 갖는 총 2개의 실험체를 제작하였다. 각 실험체에서 사용된 판넬과 본 연구에서 제안하는 보강시스템을 그림 2.25과 2.26에 각각 나타내었다.

외부보강프레임은 T형 단면을 가지며 측면 SMC판넬 사이에 끼워지는 방식으로 설치된다. 외부보강프레임의 하단에 설치된 하부 수직보강재는 수압에 의해 외부보강프레임에 발생하는 응력을 원활하게 기초로 전달해주는 역할을 하며 지지판에 의해 지지되어있다. 내부에 설치되는 칸막이는 양쪽방향에서 모두 수압을 받으므로 보강프레임은 I형 단면으로 설계하였으며 외부보강프레임과 마찬가지로 칸막이용 판넬 사이에 위치한다. 칸막이용 I형 외부보강프레임의 내진 거동을 함께 평가하기 위하여 가진방향에 직각으로 위치한 벽체에 한 개를 칸막이용 I형 외부보강프레임으로 바꾸어 실험을 수행하였다. T형 외부보강프레임에 설치되는 하부 수직보강재와 다른 형상을 가지고 있으며, 외부보강프레임에 발생하는 응력을 원활하게 기초로 전달한다. 외부보강프레임의 강종은 SM490 고강도 강재를 사용하였으며 변형률계(Strain gauge)와 변위계(LVDT)를 이용하여 담수에 따라 외부보강프레임에 발생하는 응력과 변위를 측정하였다. 강판넬로 제작된 물탱크 실험체는 내진 성능 검토를 위한 진동대 실험 시 SMC 판넬 물탱크와의 비교를 위하여 제작된 것으로, 정수압 시험 시에는 실험체의 제작 완성도 평가를 위하여 현장에서 외부보강프레임의 변위만 확인하였다. 정수압에 의한 구조적 응답 측정은 또한 담수 시에는 물탱크의 overflow를 고려하여 최고수위를 2.8m로 결정하였다.

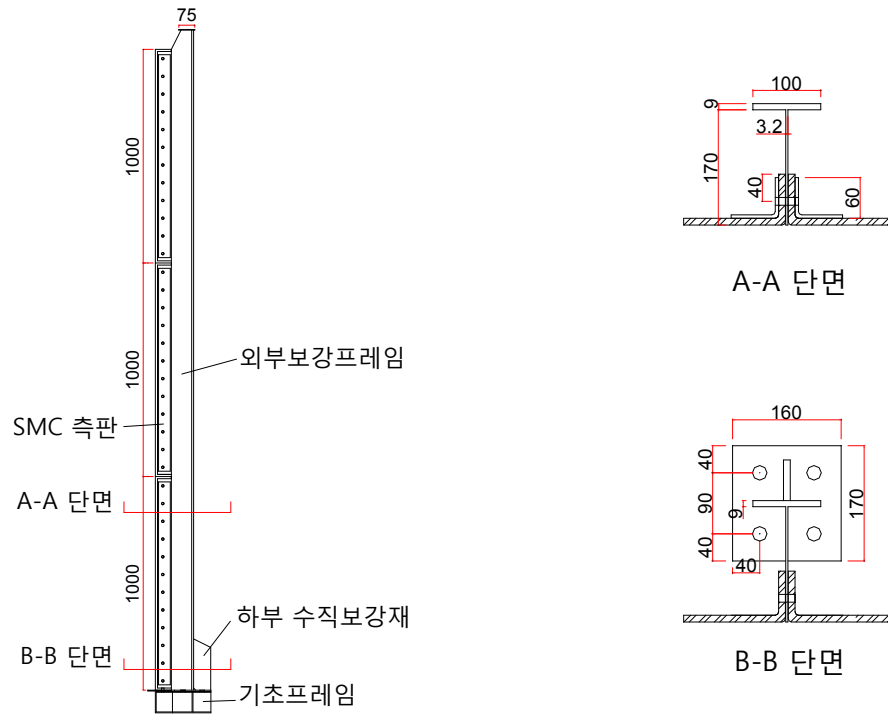


(a) SMC판넬 (1000mm x 1000mm)

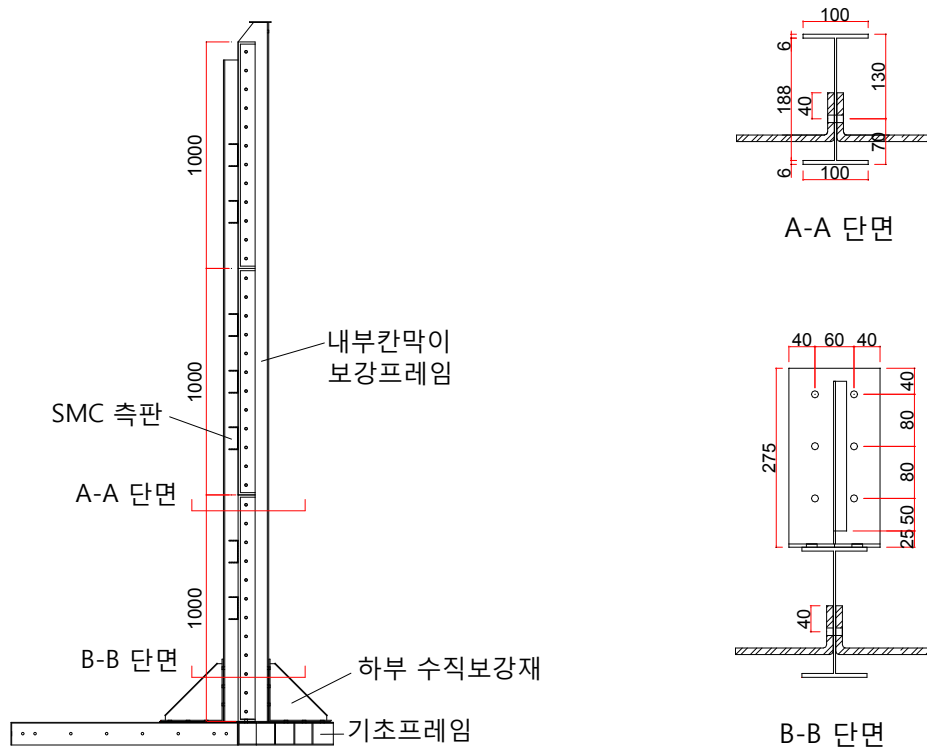


(b) 강판넬 (1000mm x 1000mm)

그림 2.25 판넬의 종류 (단위:mm)



(a) 외부보강프레임 측면도 (T형 단면)



(b) 내부칸막이보강프레임 측면도 (I형 단면)

그림 2.26 외부 및 내부칸막이보강시스템 (단위:mm)

물탱크 벽면이 만나는 4개의 코너부에는 외부보강프레임이 없어 수압과 지진동에 의해 벽면이 벌어지거나 전체 구조물이 뒤틀릴 가능성이 있다. 따라서 각 코너에

물탱크 높이별로 1m마다 판넬 사이에 코너보강프레임을 제작하여 설치하였다. 코너보강프레임은 T형 단면을 갖는 프레임과 물탱크 벽면 판넬 플랜지를 평판을 사용하여 볼트 연결하도록 되어있으며, 그림 2.27과 같다. 그리고 그림 2.28에 본 실험체의 전체 조립 형상을 나타내었다.

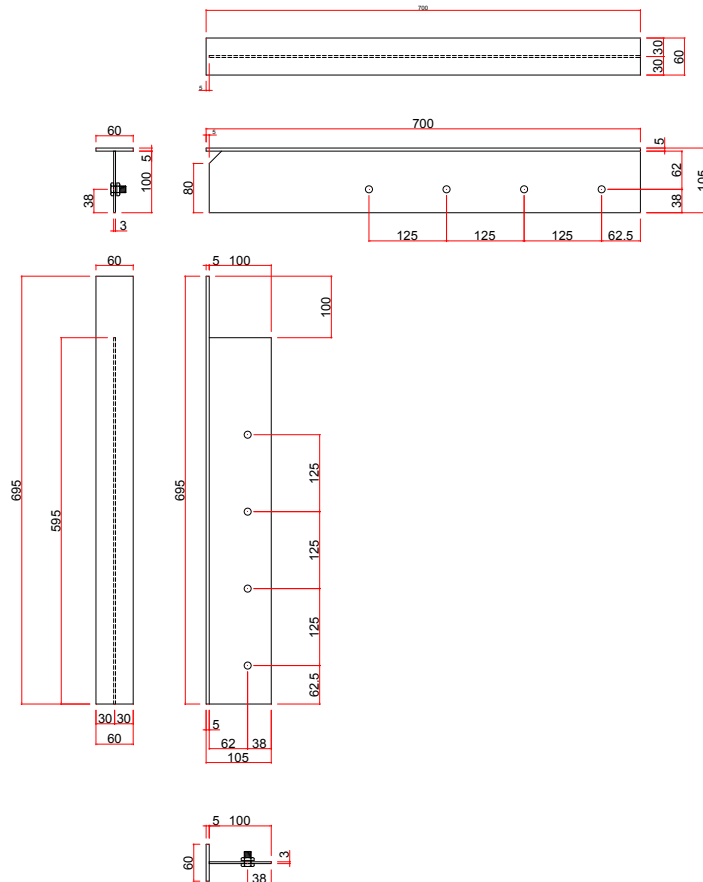


그림 2.27 코너보강프레임 (단위:mm)

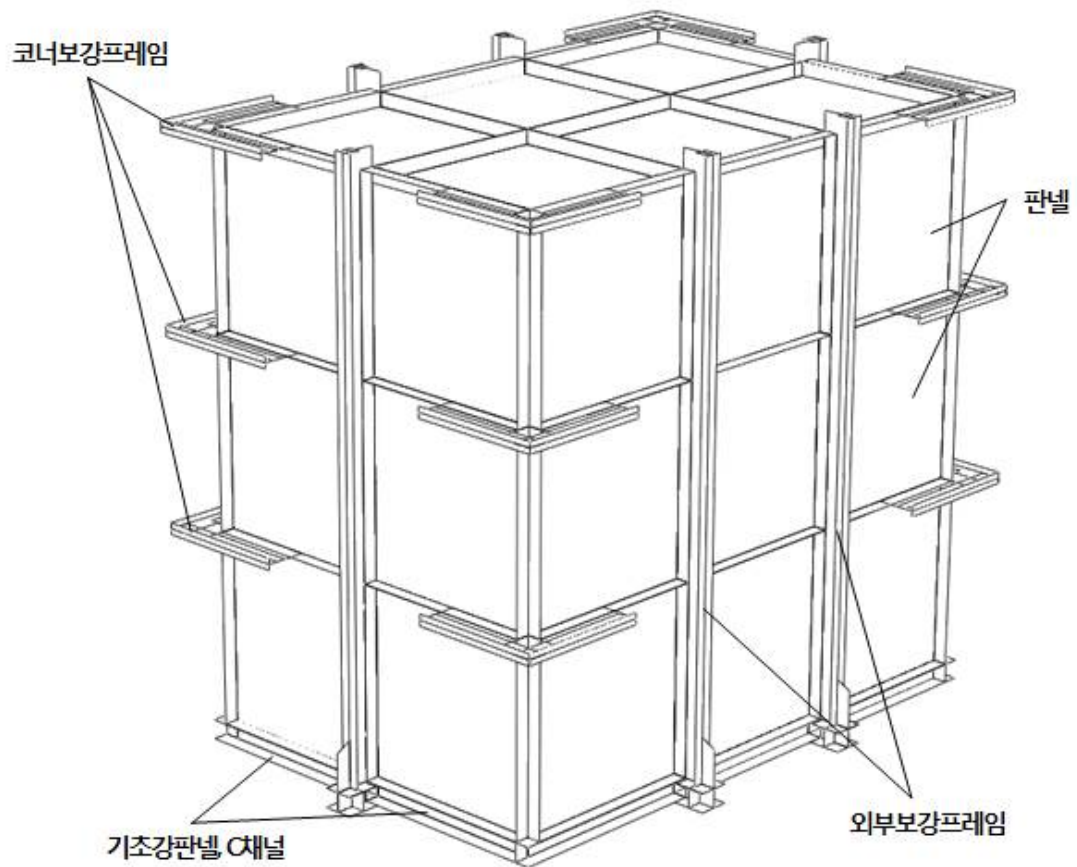
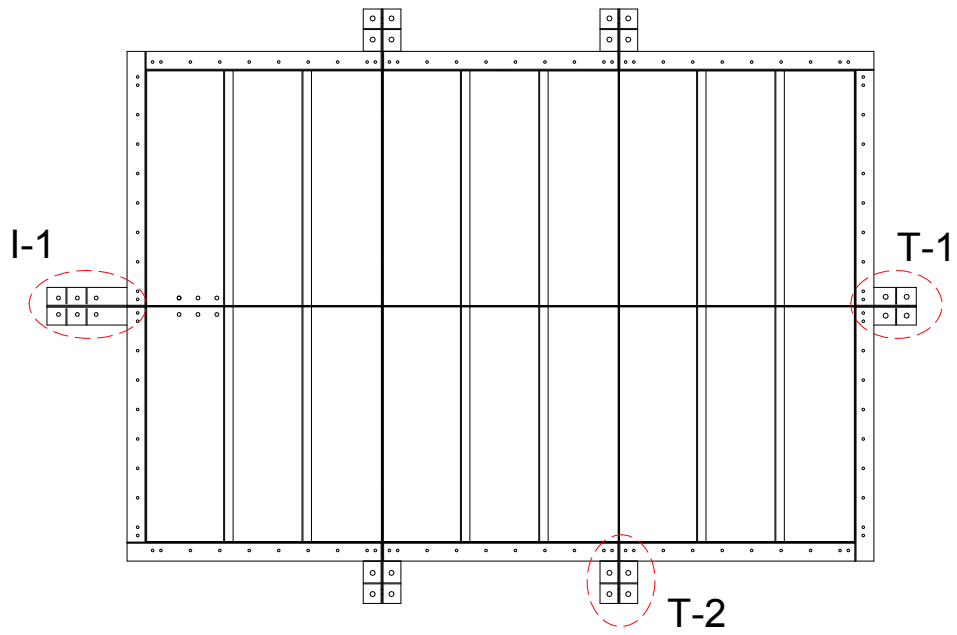


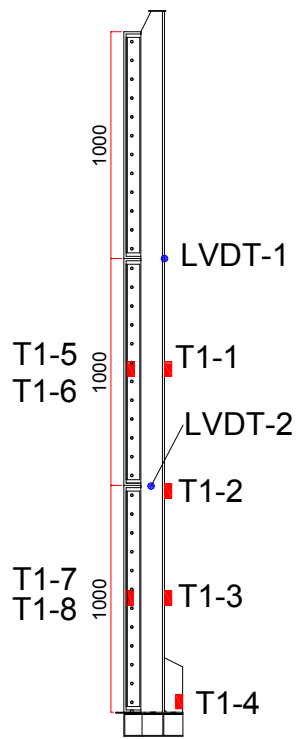
그림 2.28 외부보강형 판넬조립식 물탱크 실험체 형상

나. 계측위치 및 실험결과

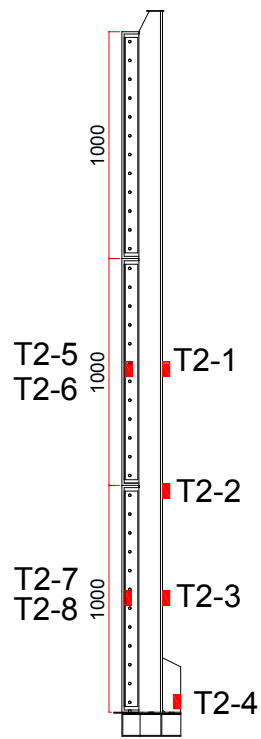
담수재하시험과 구조해석결과를 비교하기 위하여 외부보강프레임에 변형률계와 변위계 설치하고 응력을 측정하였다. 측벽에 설치되는 T형 외부보강프레임과 내부 칸막이에 설치되는 I형 보강프레임의 비교를 위하여 T-1과 I-1 위치에서 계측을 하였고, T형 외부보강프레임의 설치 방향별 결과 비교를 위하여 T-2 위치에도 추가로 계측기를 설치하였다. 외부보강프레임에 설치된 변형률계와 변위계의 설치 위치를 그림 2.29에 나타내었고, 수위별로 외부보강프레임에 발생된 응력과 변위를 그림 2.30, 2.31, 2.32, 2.33에 각각 나타내었다.



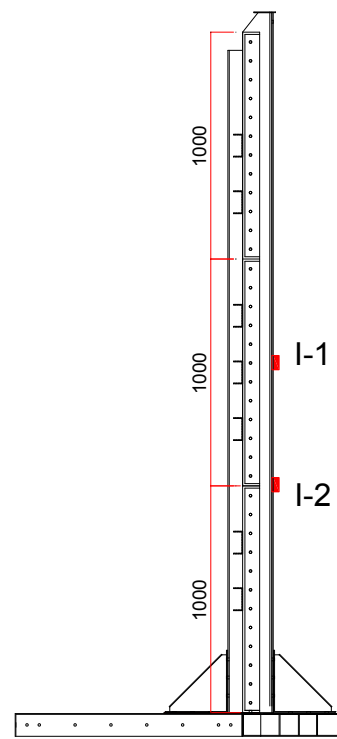
(a) 계측 위치 평면도



(b) T-1



(c) T-2



(d) I-1

그림 2.29 계측 위치

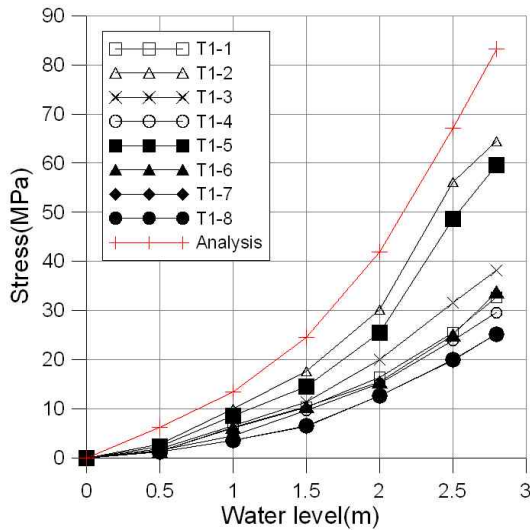


그림 2.30 외부보강프레임의
발생응력(T-1)

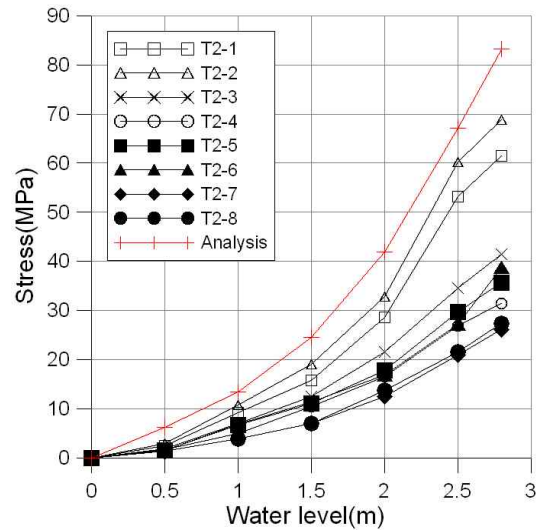


그림 2.31 외부보강프레임의
발생응력(T-2)

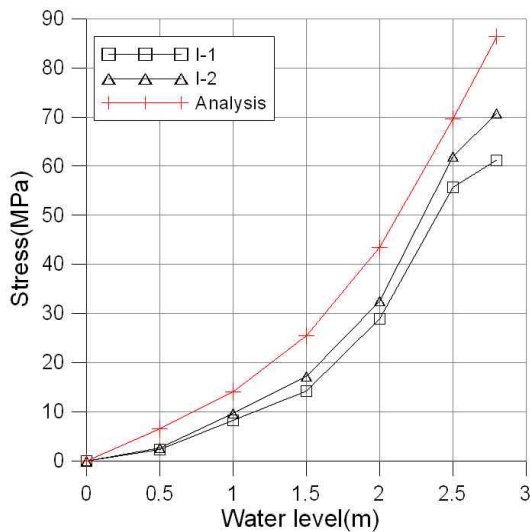


그림 3.32 내부칸막이보강프레임의
발생응력(I-1)

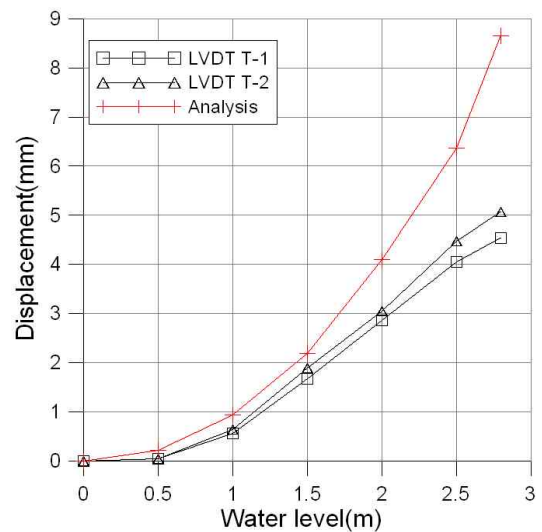


그림 2.33 외부보강프레임의 발생
변위(T-1)

최대응력은 내부칸막이보강프레임의 하부에서 1m 지점인 I-2에서 71MPa이 발생 하였으며 구조해석결과에서는 외부보강프레임의 I-2 지점의 최대응력이 86MPa로 나타나 실험체가 훨씬 안전측의 결과를 보였다. 수위별 변위 결과에서는 칸막이용 외부보강프레임 LVDT T-1 계측위치에서 최대변위 5mm가 발생하였으며, 이는 물탱크 높이의 약 0.16% 수준이며 구조해석결과 정수압 적용 시 외부보강프레임의 최대 변위는 8.7mm로 나타나 발생 변위 또한 실험체가 안전측의 결과를 나타내었다.

2. 진동대 실험

가. 진동대 실험장치

본 실험은 부산대학교 양산캠퍼스 지진실험센터의 3자유도를 가진 진동대를 이용하여 수행하였다. 4개의 액추에이터와 4개의 압력베어링으로 구성되어 최대 30톤 구조물의 가진 실험이 가능하다. 진동대의 크기는 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 이며, 최대가속도는 0.85g , 진동수 범위는 $0.1\text{Hz} \sim 60\text{Hz}$ 이다. 본 진동대의 주요 제원을 표 2.19에 진동대의 형상을 그림 2.34에 나타내었다.

표 2.19 진동대 주요제원

항목	제원
진동대 크기(m)	5.0×5.0
자유도	3
최대 용량(ton)	30
최대 가속도(g)	X축 1.0, Y축 1.0
최대 속도(m/s)	X축 1.0, Y축 1.0
최대 스트로크(mm)	X축 ± 300 , Y축 ± 200
진동수 범위 (Hz)	0.1~60

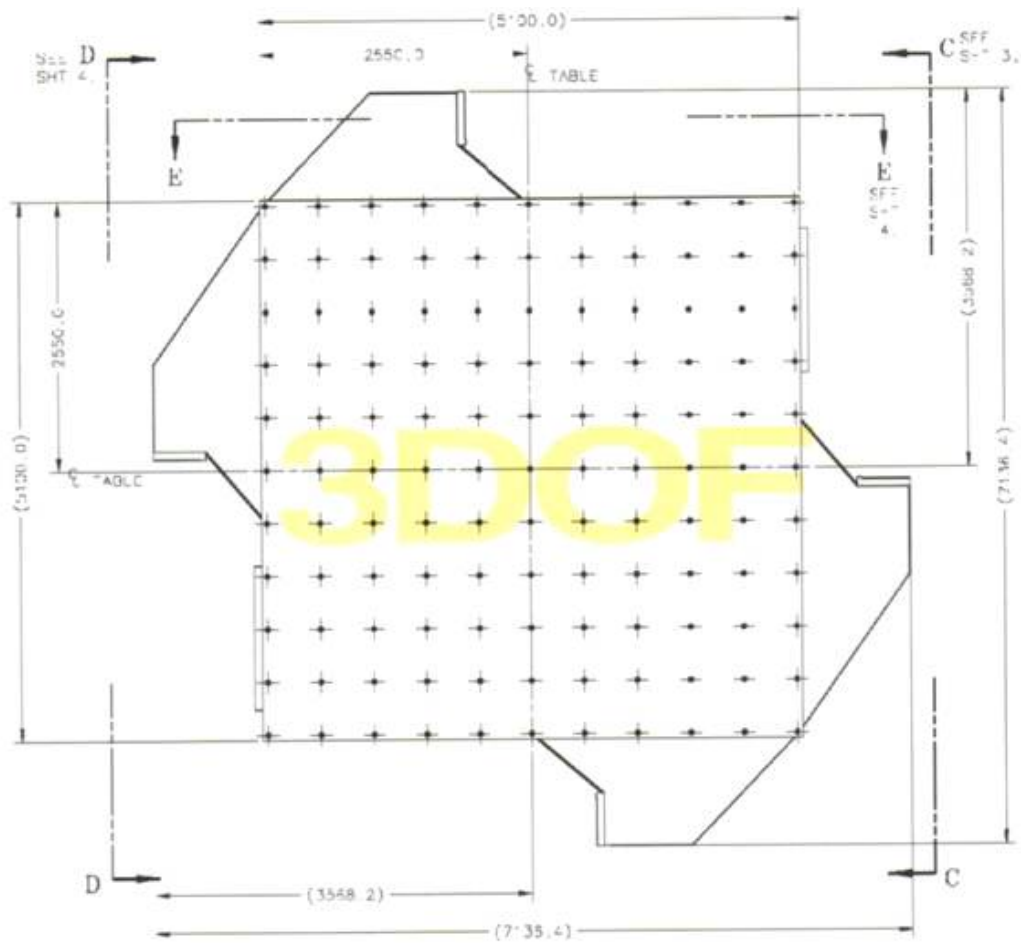


그림 2.34 실험에 사용한 진동대 형상

나. 실험체 설치 및 방수계획

진동대실험을 위한 실험체는 그림 2.35에 나타내었으며 실험체는 진동대 바닥에 고정된 H형강 위에 설치하였다. H형강은 통상 현장에서 물탱크가 설치되는 콘크리트 기초와 같은 역할을 한다. 진동대의 가장자리에 SMC 판넬을 활용하여 방수 가이드를 설치하여 실험체의 급격한 파괴에 따라 유출된 물이 장비 아래로 넘치는 것을 방지하였다. 방수 가이드용 SMC 판넬은 하부지지용 L형강을 통하여 진동대에 고정되며, 높이 1~1.5m 의 판넬을 사용하여 유사시에 물이 진동대 밖으로 넘치지 않도록 한다. 판넬 상부에는 적절한 보강 브레이싱을 설치하여 수압에 의한 판넬의 전도를 방지하였다.

또한 진동대와 각종 센서의 보호를 위해 방수설비를 설치하였다. 진동대 상부에는 시험체 설치를 위한 M30볼트 홀이 다수 존재하므로 방수처리 하지 않을 경우 볼트 홀 내부로 물이 유입되어 부식 등을 발생할 수 있다. 따라서 방수시트를 설치하고 볼트가 설치되는 위치에 실리콘 등으로 마감처리를 하였다. 또, 시험체에 급격한 파괴가 발생하여 다량의 물이 진동대 하부로 유입되면 고가의 연구 장비에 문제를 발생시킬 수 있다. 특히, 진동대 하부에는 제어기가 위치하고 있어 만약의 경우 피해를 최소화하기 위한 방안이 마련되어야 한다. 물탱크 내부의 물을 배수하기 위한 배수펌프를 설치(배수되는 물을 수용할 수 있는 물탱크 준비 고려)하였고, 1차 차단 구조물 내부의 물을 배수하기 위한 배수펌프를 준비하였다. 가속도계, 변위계 등은 대부분 방수기능이 포함되어 있지 않아 물이 들어가는 경우 고장의 원인이 될 수 있으므로 하부 변위 측정 위치를 최소화하고, 실리콘 등으로 방수처리 후 가속도계 등을 설치하였다.



(a) SMC판넬 조립식 물탱크 실험체



(b) 강판넬 조립식 물탱크 실험체

그림 2.35 진동대실험 실험체

다. 실험계획

본 실험에서의 지진 하중은 건축구조설계기준(대한건축학회, 2009)에서 제시하는 특등급구조물의 최대설계가속도값인 2,400년 재현주기 지진가속도 0.22g의 2/3값인 0.147g과 도로교설계기준(한국도로교통협회, 2010)에서 제시하는 최대값인 0.154g 중 큰 값인 0.154g를 인공지진파로 만들어 사용하였으며 실험에 사용한 지진파와 설계 스펙트럼가속도를 각각 그림 2.36과 그림 2.37에 나타냈었다. 각 실험체는 수위 0m~2.5m까지 다양한 수위로 실험을 계획하였으며 표 2.20에 실험 Case를 나타내었다.

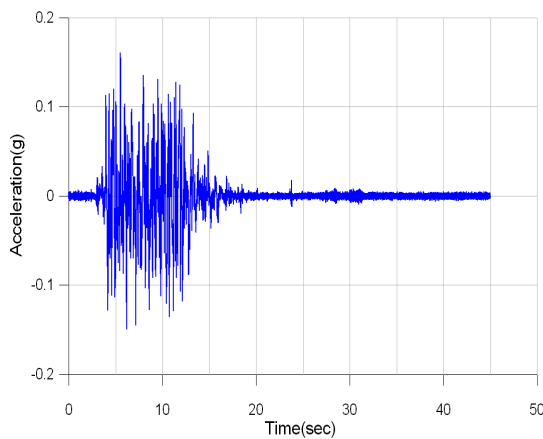


그림 2.36 인공지진파

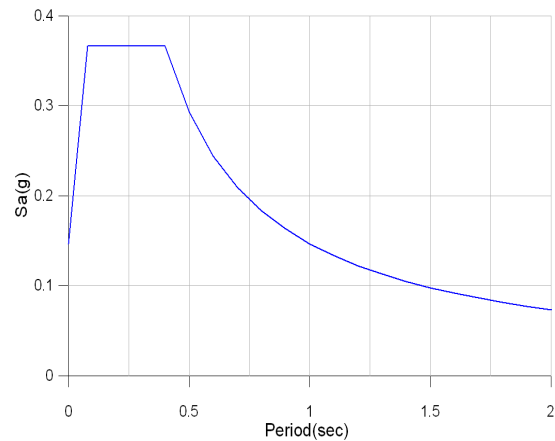


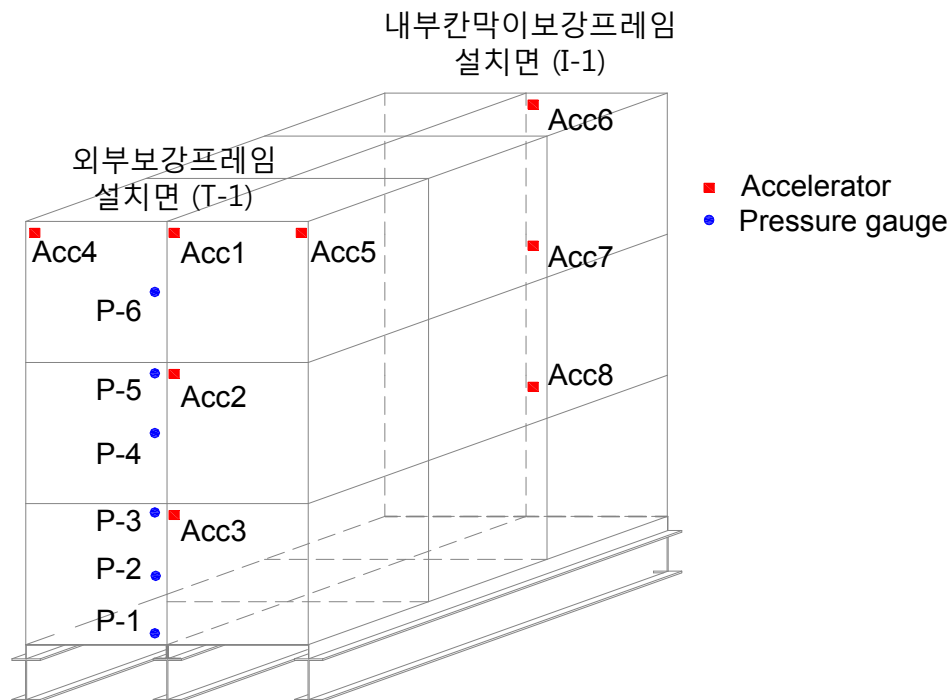
그림 2.37 설계스펙트럼 가속도

표 2.20 진동대실험 Case

실험체	단계	수위(m)	가진 가속도(g)	
SMC 판넬	1	0.0	0.154	100%
	2	0.75		100%
	3	1.0		100%
	4	1.25		100%
	5	1.25		150%
	6	1.5		100%
	7	1.5		150%
	8	2.0		100%
	9	2.0		150%
	10	2.5		100%
	11	2.5		150%
	12	2.5		200%
강판넬	1	0	0.154	100%
	2	1.5		100%
	3	2.0		100%
	4	2.5		100%
	5	2.5		200%

라. 측정장비 및 측정위치

물탱크 외부보강프레임의 내진성능을 평가하기 위하여 가속도계(Accelerometer), 변형률계 (Strain guage)를 사용하고 변위를 측정하여 다양한 구조적 응답을 검토하였다. 또한 실험체 벽체에 작용하는 변동수압과 슬로싱 현상에 의해 판넬에 발생하는 수압을 계측하기 위하여 압력센서(Pressure transducer)를 사용하였다. 지진하중에 따른 물탱크의 각 높이의 응답을 측정하기 위해 1m, 2m 3m 높이에 가진 방향으로 가속도계를 설치하였고, 외부보강프레임의 변형률을 측정하기 위해 변형률계를 설치하였으며 물탱크 내의 수압을 측정하기 위하여 가진 방향의 측벽에 수압계를 설치하였다(그림 2.38).



(a) 가속도계 및 압력계 부착위치

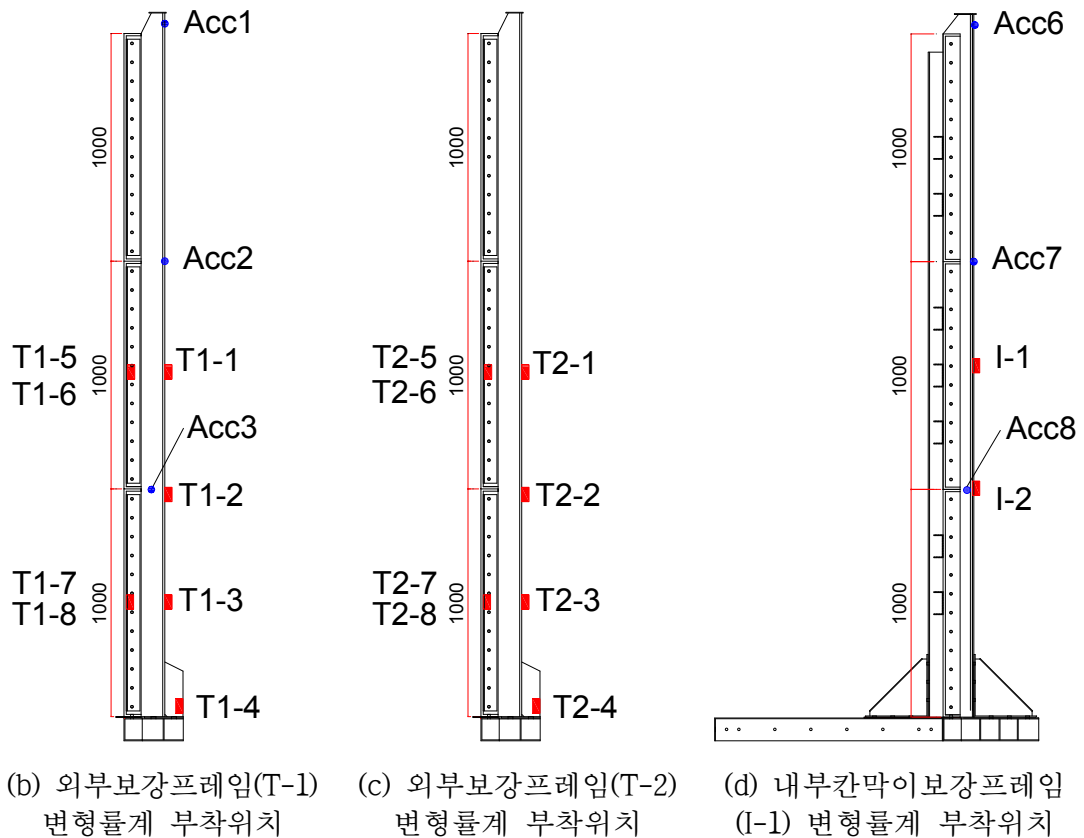


그림 2.38 계측기 부착 위치

3. 진동대 실험결과

가. 1차모드 고유진동수와 입력가속도-응답가속도 비

본 절에서는 외부보강형 SMC 판넬 물탱크와 강판넬 물탱크의 진동대실험의 가속도 응답비 결과를 통해 동적거동특성을 비교하였다. 진동대가진가속도에 따른 물탱크의 수위별 동적거동특성을 비교하기위해 표 2.21에 진동대실험 Case의 1차 모드의 고유진동수를 나타내었다. 진동대 입력가속도와 물탱크의 가진방향 측벽의 중앙 1m, 2m, 3m 높이의 가속도 응답비를 구하였다. 입력가속도와 물탱크의 응답가속도의 크기가 일정하지 않기 때문에 물탱크의 지진응답에 따른 강성을 비교하기 위해 최대입력가속도에 대한 최대응답가속도의 비율을 나타내었다. 수위별 SMC 판넬 물탱크와 강판넬 물탱크의 응답가속도비를 각각 그림 2.39와 그림 2.40에 나타내었고 입력가속도-응답가속도 비 최대값을 표 2.22에 나타내었다.

표 2.21 진동대실험 Case 및 1차 모드 고유진동수

실험체	단계	수위(m)	가진 가속도(g)		1차 모드 고유진동수(Hz)
SMC 판넬	1	0	0.154	100%	30.21
	2	0.75		100%	27.52
	3	1.00		100%	15.87
	4	1.25		100%	13.95
	5	1.25		150%	13.95
	6	1.50		100%	12.42
	7	1.50		150%	12.42
	8	2.00		100%	10.11
	9	2.00		150%	9.98
	10	2.50		100%	8.71
	11	2.50		150%	8.71
	12	2.50		200%	8.58
강판넬	1	0	0.154	100%	38.15
	2	1.50		100%	11.01
	3	2.00		100%	9.47
	4	2.50		100%	8.58
	5	2.50		200%	8.45

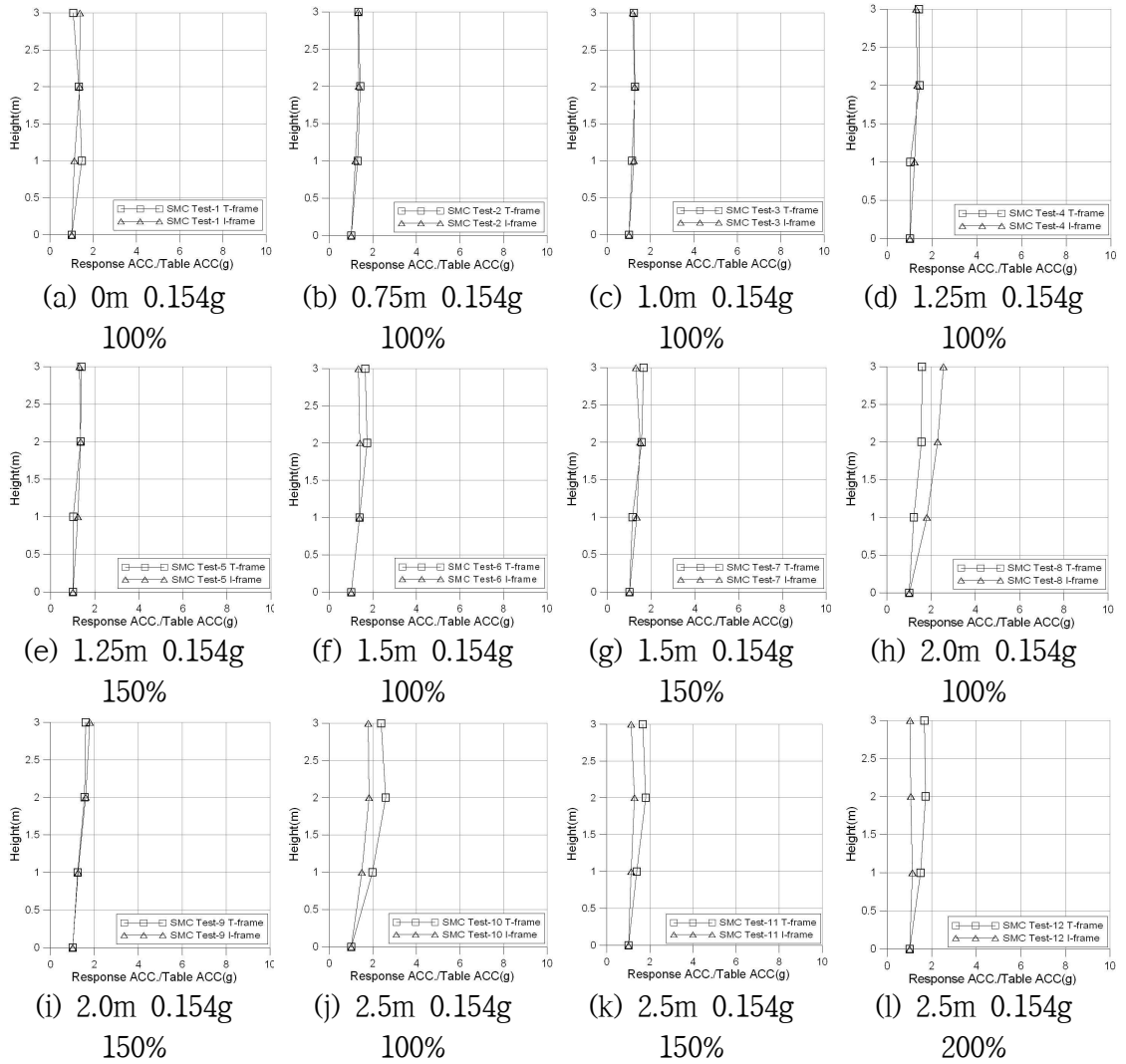


그림 2.39 진동대입력가속도-최대응답가속도 비 (SMC판넬 실험체)

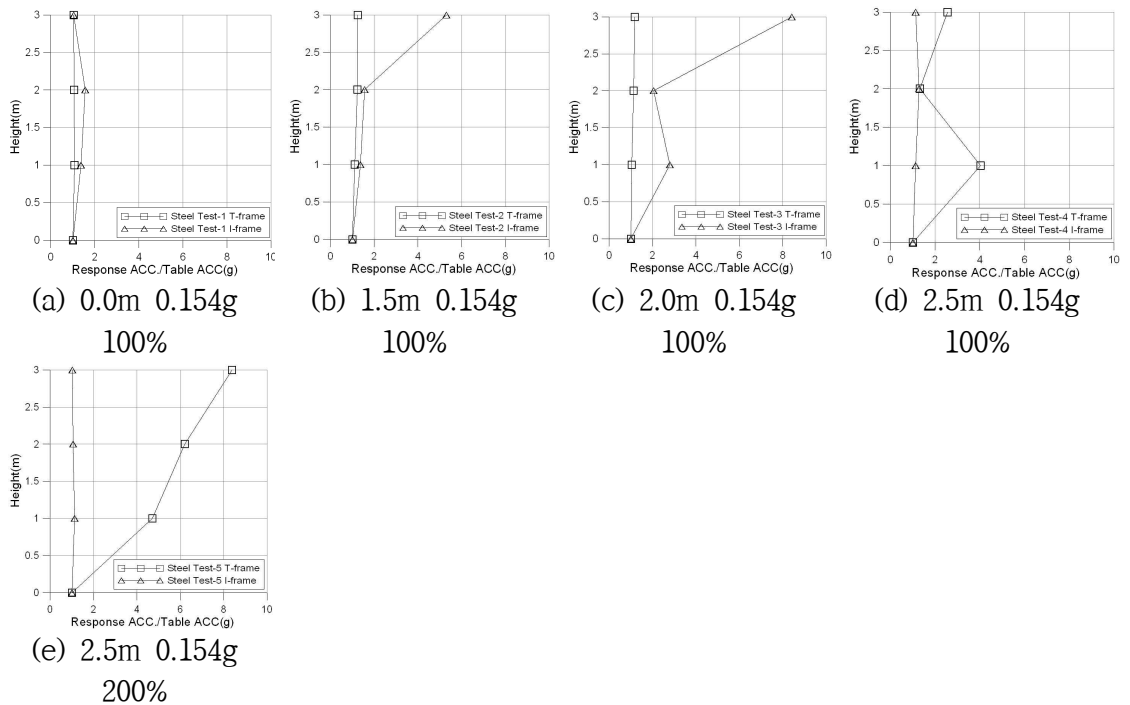


그림 2.40 진동대입력가속도-최대응답가속도 비 (강판넬 실험체)

표 2.22 입력가속도-응답가속도 비

실험체	가력 단계	수위(m)	가진 가속도(g)		입력가속도-응답가속도 비 최대값			
					3m	2m	1m	0m
SMC 판넬	1	0	0.154	100%	1.39	1.37	1.48	1
	2	0.75		100%	1.33	1.42	1.30	1
	3	1.00		100%	1.22	1.28	1.23	1
	4	1.25		100%	1.41	1.44	1.21	1
	5	1.25		150%	1.39	1.36	1.22	1
	6	1.50		100%	1.64	1.73	1.39	1
	7	1.50		150%	1.64	1.57	1.35	1
	8	2.00		100%	2.56	2.29	1.80	1
	9	2.00		150%	1.78	1.60	1.25	1
	10	2.50		100%	2.38	2.60	1.99	1
	11	2.50		150%	1.66	1.81	1.39	1
	12	2.50		200%	1.67	1.72	1.49	1
강판넬	1	0	0.154	100%	1.04	1.57	1.37	1
	2	1.50		100%	5.30	1.56	1.36	1
	3	2.00		100%	8.42	2.05	2.80	1
	4	2.50		100%	2.56	1.32	4.02	1
	5	2.50		200%	8.39	6.21	4.71	1

수위가 증가함에 따라 SMC판넬 물탱크와 강판넬 물탱크의 입력가속도-응답가속도 비가 증가하였으며, SMC판넬 물탱크의 입력가속도-응답가속도 비가 강판넬 물탱크에 비해 작게 나타났다. 이는 SMC판넬 물탱크가 강판넬 물탱크에 비해 물탱크의 변형이 더 작게 발생하는 것으로 판단되며, 정수압 실험 결과에서도 확인할 수 있듯이 SMC판넬 물탱크가 강판넬 물탱크에 비해 강성이 더 큰 것에 따른 결과로 판단된다.

나. 입력가속도에 따른 수위별 수압 분포

그림 2.41과 표 2.23에 진동대가진가속도에 따른 수위별 수압 분포와 설계식에 따른 수압분포를 나타내었다. 전체적인 수압분포는 정수압분포와 유사하며 가진력에 따라 수압분포는 미소한 차이를 보였다. 또한 설계식에 따른 수압과 실험결과는 전체적으로 실험 결과가 설계식에 의한 결과보다 작게 분석되었다. 강판넬로 제작된 물탱크 실험체는 내진성능검토 시 SMC 판넬 물탱크와 비교를 위하여 제작된 것으로, 내부 변동수압은 측정하지 않았다.

표 2.23 진동대가속도에 따른 수위별 최대수압

실험체 번호	수위(m)	가진 가속도(g)		최대수압(tonf/m ²)		Ratio
				실험값(A)	설계값(B)	(A)/(B)
2	0.75	0.154g	100%	0.79	1.09	0.72
3	1.00		100%	1.06	1.36	0.78
4	1.25		100%	1.31	1.77	0.74
5	1.25		150%	1.35	2.03	0.67
6	1.50		100%	1.59	2.04	0.78
7	1.50		150%	1.64	2.31	0.71
8	2.00		100%	2.10	2.71	0.77
9	2.00		150%	2.15	3.06	0.70
10	2.50		100%	2.61	3.35	0.78
11	2.50		150%	2.65	3.78	0.70
12	2.50		200%	2.78	4.21	0.66

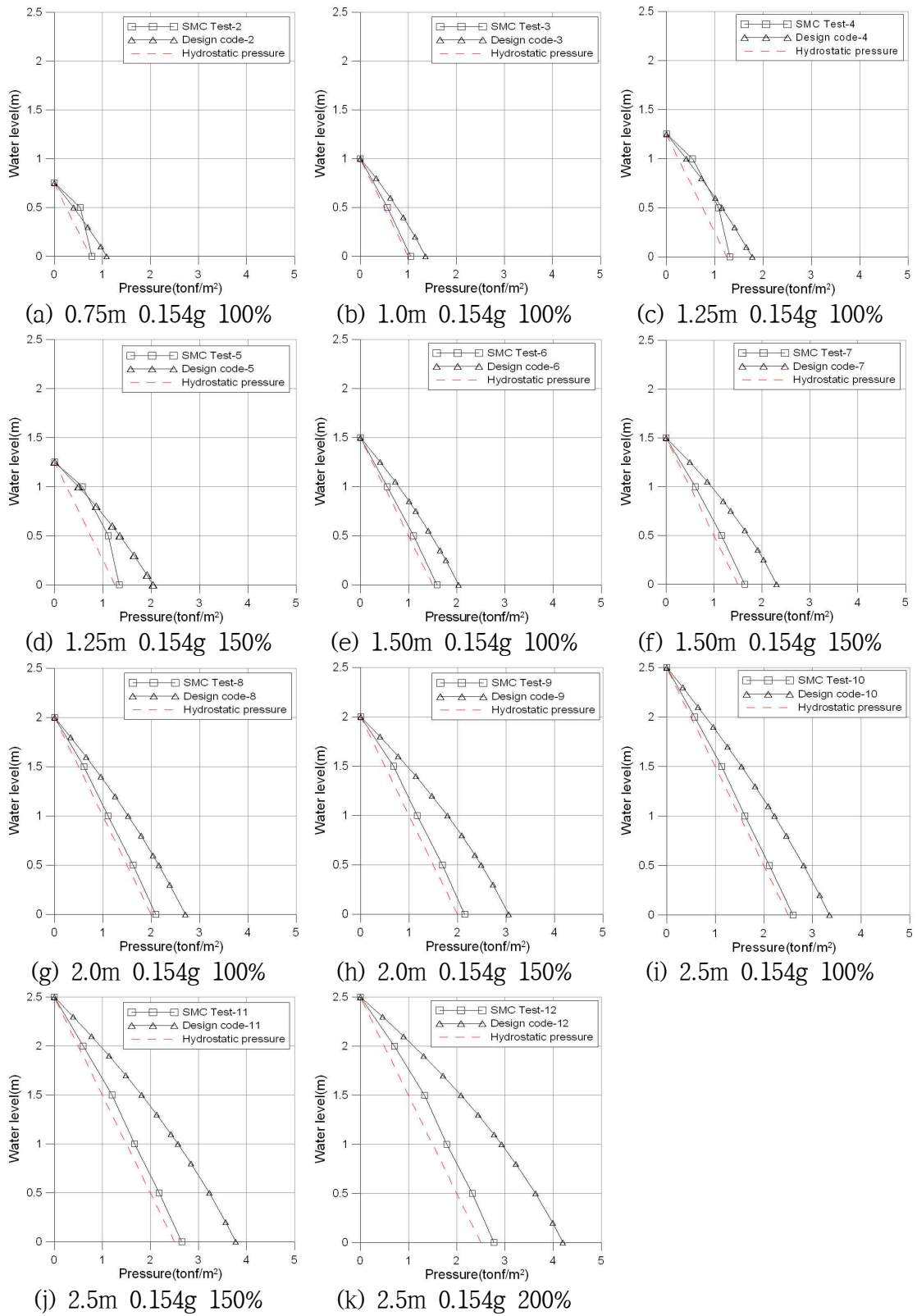


그림 2.41 진동대가속도에 따른 수위별 최대수압

진동대가속도에 따른 수위별 최대수압 결과를 보면 실험값은 설계기준을 따른 수압 분포 내로 분석되었으며, 실험값이 설계값의 약 70%의 수준으로 나타났다. 이는 설계기준에 어느정도 안전율이 포함되어 있음을 나타내며, 실험이 적절하게 수행된 것으로 판단된다.

그림 2.42에 지진가속도의 증가에 따른 설계수압과 실험에서 측정된 변동수압의 비를 나타내었다. 설계가속도 0.154g가 100%와 150% 그리고 200%로 증가됨에 따라 측정 수압에 대한 설계 수압의 비는 점점 증가하는 경향을 보였다. 이는 설계기준으로부터 산정된 변동수압이 수평진도에 비례하여 증가되는 반면, 실제 실험에서는 그 부분의 응답이 반영되지 않은 것으로 판단된다. 따라서 설계기준에서 제시하는 변동수압은 지진하중의 증가에 따라 보수적인 결과를 나타내는 것으로 보인다.

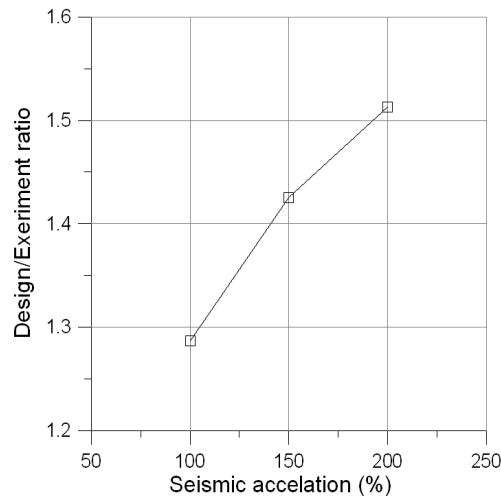
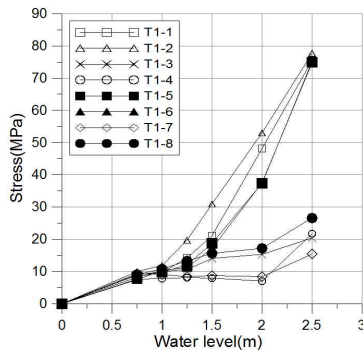


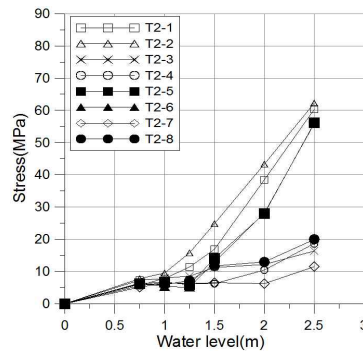
그림 2.42 지진가속도에 따른 설계기준-진동대실험 변동수압 비

다. 수위별 응력 결과

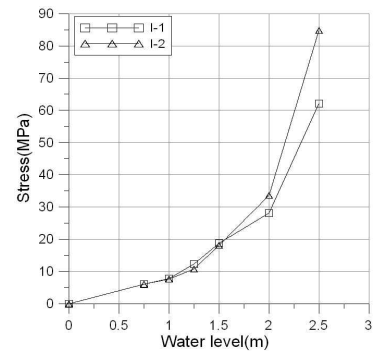
지진하중에 따른 외부보강프레임의 구조적 안전성을 판단하기 위하여 응력을 측정하였다. 측벽에 설치되는 T형 외부보강프레임과 내부 칸막이에 설치되는 I형 보강프레임의 비교를 위하여 T-1과 I-1 위치에서 측정을 하였고, T형 외부보강프레임의 설치 방향별 결과 비교를 위하여 T-2 위치에도 추가로 측정하였다. 지진하중 0.154g 100%에 따른 외부보강프레임에서 발생하는 수위별 최대응력을 그림 2.43에 나타내었으며 강판넬 물탱크의 가진방향 T형 외부보강프레임과 칸막이용 I형 외부보강프레임의 수위별 최대응력을 그림 2.44에 나타내었다. 응력이 가장 많이 발생하는 T형 외부보강프레임의 T-2 위치에 발생한 응력을 구조해석으로부터 얻은 응력과 비교하여 그림 2.45에 도시하였으며, 표 2.24에 SMC 판넬 물탱크와 강판넬 물탱크의 수위별 최대응력을 비교하였다.



(a) 외부보강프레임의



(b) 외부보강프레임의



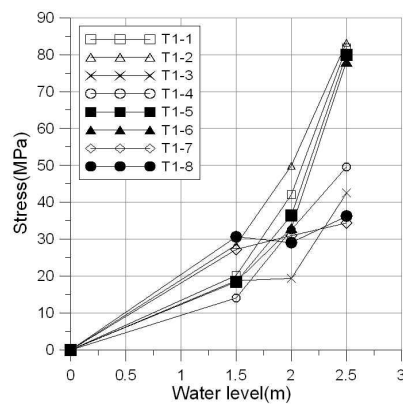
(c) 내부칸막이보강프레임의

수위별 발생응력 (T-1)

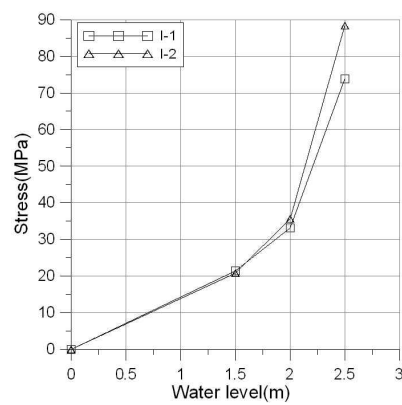
수위별 발생응력 (T-2)

수위별 발생응력 (I-1)

그림 2.43 수위별 발생응력 (SMC판넬 실험체)



(a) 외부보강프레임의 수위별



(b) 내부칸막이보강프레임의 수위별

발생응력 (T-1)

발생응력 (I-1)

그림 2.44 수위별 발생응력 (강판넬 실험체)

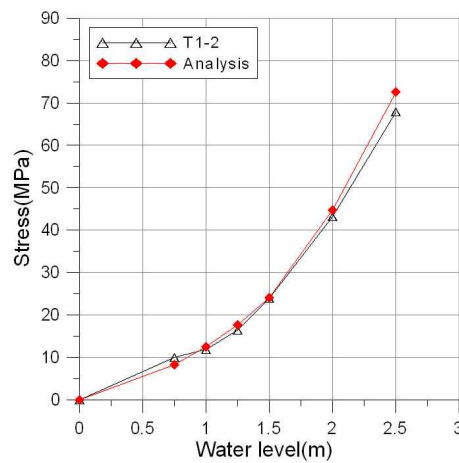


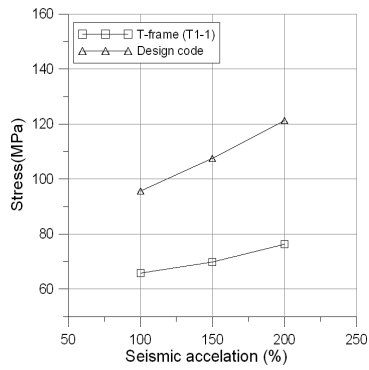
그림 2.45 실험과 구조해석의 발생응력 비교 (T-1)

표 2.24 외부보강프레임에 발생한 최대응력결과

외부보강 프레임	가진 가속도(g)		최대발생응력(MPa)		Ratio
			SMC 판넬(A)	강판넬(B)	(A)/(B)
T-1	0.154g	100%	80.54	101.76	0.79
I-1		100%	84.76	106.57	0.80

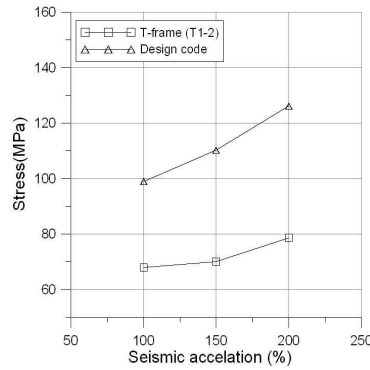
SMC 판넬 물탱크의 수위별 응력 결과를 보면 모든 계측 위치에서 발생응력이 허용응력(SM490강재, 190MPa)의 범위 내로 분석되었으며 최대응력은 칸막이용 외부보강프레임 I-1의 하부에서 1m 지점에서 85MPa가 발생하였다. 또한 하부 수직보강재에서 발생응력은 22MPa가 발생하였다. 해석결과에서는 외부보강프레임의 최대응력이 85MPa, 하부수직보강재는 33MPa로 나타나 실험체가 안전측의 결과를 보였으며 해석결과의 약 90% 수준으로 비교적 정확한 예측이 가능한 것으로 보인다. 또한 SMC 판넬 물탱크의 외부보강프레임에 발생한 응력은 강판넬 물탱크의 약 80%로써, 이는 일본설계기준식의 90% 수준으로 SMC판넬이 가지는 복부판의 형상에 의해 지진동 수압이 다소 감소되는 것으로 판단된다. 강판넬의 경우 두께가 2.6mm로써 매우 얇은 강판으로 제작되어 있으나, SMC 판넬의 경우 굴곡에 따라 두께가 7mm에서 12mm까지 이루어져 있어 물성의 차이를 감안하더라도 판넬 강성에 분명한 차이가 있음을 알 수 있다.

그림 2.46와 2.47에 SMC판넬 물탱크의 2.5m 수위에서 지진가속도의 증가에 따른 설계수압으로 구조해석한 응력값과 실험에서 계측된 응력의 비를 나타내었다. 설계가속도 0.154g가 100%와 150% 그리고 200%로 증가됨에 따라 외부보강프레임에 계측된 응력에 대한 설계수압에 따른 응력의 비는 점점 증가하는 경향을 보였다. 이는 지진가속도의 증가에 따라 설계기준으로 산정된 변동수압의 증가비가 실험에서 계측된 변동수압의 증가비보다 큰 결과로 외부보강프레임에 발생응력이 변동수압과 비례하여 응답된다고 판단된다.



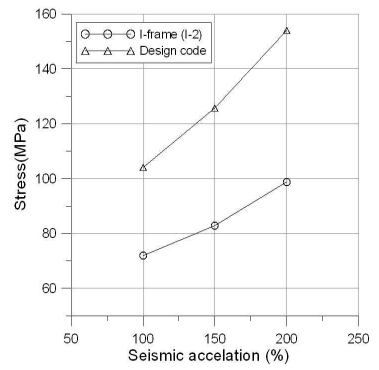
(a)외부보강프레임

(T1-1)



(b)외부보강프레임

(T1-2)



(c)내부칸막이보강프레임

(I-1)

그림 2.46 지진가속도에 따른 외부보강시스템의 발생응력

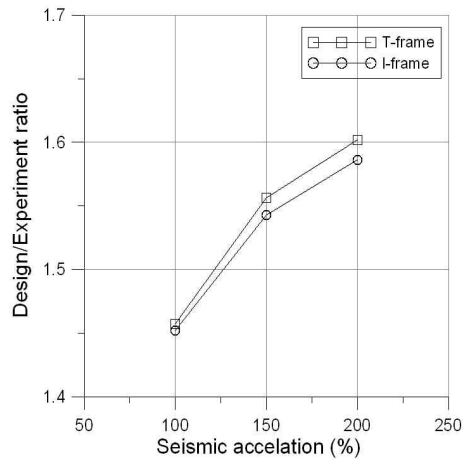


그림 2.47 지진가속도에 따른 설계기준-진동대실험 응력 비

제 3 장 결 론

본 연구에서는 일본의 물탱크 설계기준에서 제시하는 지진시 변동수압에 따라 외부보강시스템과 내부칸막이보강시스템을 설계하였으며, 담수재하실험과 지진 진동대 실험을 통하여 발생 수압과 외부보강프레임의 구조적 응답을 측정하고 설계식과 비교·분석하였다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 담수재하실험결과, 외부보강시스템에 발생한 응력과 변위 모두 기준치를 초과하지 않는 범위 내로 발생하였으며, 물탱크 벽체의 최대 변위는 탱크 높이의 0.5~0.6% 수준으로 매우 양호한 결과를 보였다. 또한 전체적으로 실험결과와 해석모형의 결과가 매우 유사하게 분석되었다.

(2) 지진실험결과, 진동대 가속도에 따른 수위별 변동수압은 일본설계기준식에 따라 산정된 설계값 내로 분석되었다. 설계값은 국내의 지반조건과 지역계수를 적용하여 산정하였으며, 변동수압 예측값이 설계값의 약 70%의 수준으로 나타나 일본 설계기준에 의한 설계가 매우 안전한 수준인 것으로 평가된다.

(3) 실험으로부터 얻은 변동수압 분포를 사용하여 구조해석을 수행한 결과, 외부보강프레임의 구조적 응답은 실험 결과와 유사한 결과를 나타내었다. 따라서 설계수압이 적절하게 산정된다면 본 연구에서 수행하는 해석기법이 지진시 외부보강프레임에 발생하는 구조적 응답을 적절히 분석할 수 있는 효율적인 해석기법인 것으로 평가된다.

(4) SMC판넬의 형상에 의한 지진동 수압의 영향을 분석하기 위해 평판 판넬로 조립한 실험체에서는 SMC판넬 실험체보다 약 20%의 높은 응답을 보였다. 이는 일본 설계기준식의 90% 수준으로 SMC판넬이 가지는 복부판의 형상에 의해 지진동 수압이 다소 감소되는 것으로 판단된다.

(5) 3면은 외부보강프레임으로 구성되고, 1면은 내부 칸막이보강프레임으로 구성된 실험용 물탱크의 전체적인 지진거동을 보면, 뒤틀림이 발생하거나 외부보강프레임에 국부적인 과다 변형 등의 문제는 전혀 발생하지 않았으며 전체적으로 안전한 지진거동을 보였다. 본 연구에서 제안한 외부보강프레임 및 내부칸막이보강프레임의 하부보강구조의 효율성과 코너보강프레임의 비틀림에 대한 효율성도 입증하는

것이라 판단된다.

(6) 보다 경제적인 설계를 위하여 국내에서 사용되는 SMC판넬의 형상에 따른 변동수압 산정에 대한 보완적인 연구와 실험이 필요할 것으로 판단된다.

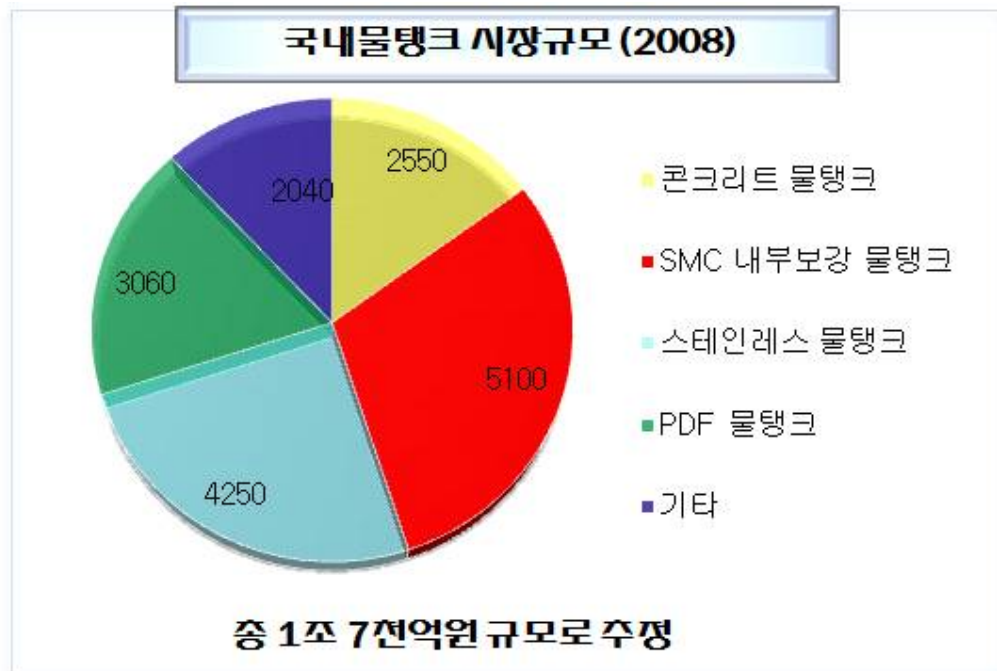
제 4 장 연구개발결과의 활용계획

수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙 제3조 8항에 의하면 녹물방지를 위해 “저수조 및 저수조에 설치하는 사다리등의 재질은 섬유보강플라스틱이나 스테인레스 스틸, 콘크리트 등의 내식성재료를 사용하도록 할 것”이라고 규정하고 있다. 현재까지 대체방안의 부재로 인하여 내부보강재 설치에 대한 제재가 미흡한 실정이다. 본 연구에서 개발한 고수위 SMC 물탱크용 외부보강시스템의 경우 부식 방지를 위한 규정에 적합한 제품이므로, 수도시설에 관한 규정에 부합하는 적절한 대안인 것으로 판단된다. 고수위 SMC 물탱크용 외부보강프레임 시스템의 경우, 물탱크 내부에 설치되는 스테이 환봉이 제거됨에 따라 기존의 내부 보강형 SMC 대비 30%~40%, STS 물탱크 대비 57%~62%의 비용절감이 가능하다. 전 세계 수출 물탱크 시장의 90%를 점유하고 있는 일본의 외부보강프레임 시스템의 경우 해당분야에 대한 연구를 진행하고 있으나, 아직 미흡한 실정이다. 본 연구개발결과로 세계최초 고수위(4~5m) 외부보강시스템에 대한 원천기술 확보로 전 세계 수출 물탱크 시장의 90%를 점유하고 있는 일본의 외부보강시스템에 대한 경쟁력 확보가 가능할 것으로 사료된다.

제 1 절 판로 확보 계획

I. 시장상황 분석

1. 국내시장의 규모와 향후전망



2008년도 물탱크 시장의 국내시장규모는 총 1조 7천억원 규모로 분석되고 있으며, 콘크리트 물탱크가 2550억원, SMC내부보강 물탱크 5100억원, 스테인레스물탱크 4250억원, PDF 물탱크 3060억원, 기타 형태의 물탱크 2040억원으로 구성되어 있는 상태입니다.

이는 환경부 “상수도통계(2009)”에 근거한 다음 [표1.1]를 기초로 하여 산출된 결과입니다.

[표1.1] 국내 물탱크 규모 (2009년)

[단위:톤]

구 분	저수조 용량					
	고가 저수조			지하 저수조		
	100㎥ 이하	101~300㎥	300㎥ 이상	300㎥ 이하	101~300㎥	300㎥ 이상
2009	2,732,555	1,079,645	1,241,170	1,656,845	4,954,685	8,554,103
합	4,693,370			15,155,633		
총합	19,849,003					

※ 자료출처 : 환경부 “상수도통계(2009)” 이용

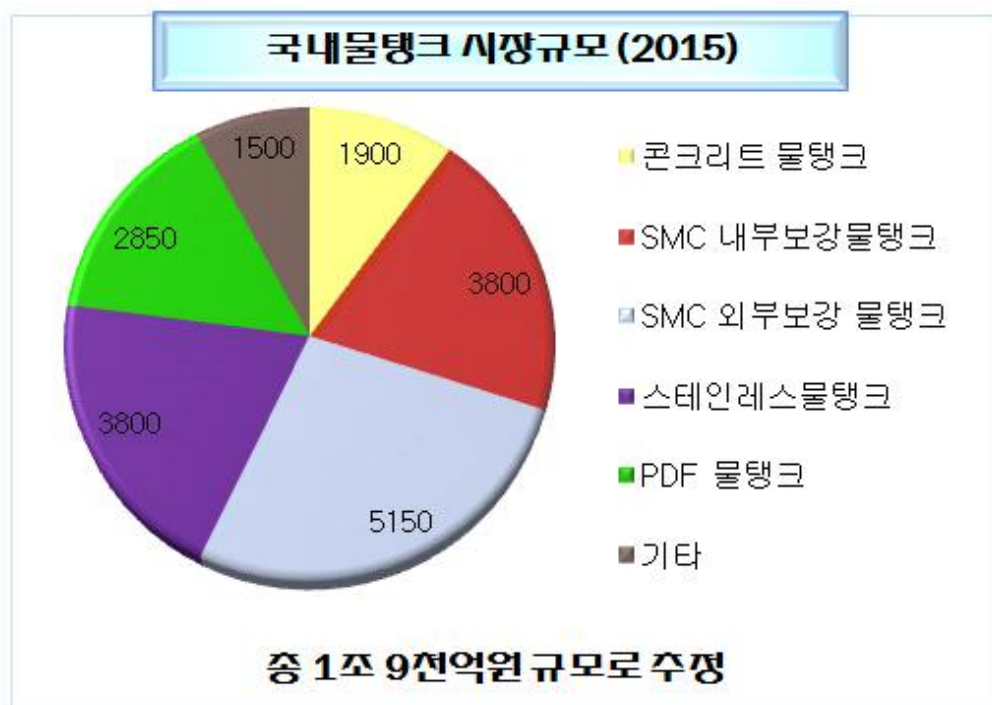
물탱크가 몇 톤급으로 설치되는가에 따라서 시장규모는 달라질 수 있는데 가장 많이

설치되는 1,000톤급을 기준으로 하였을 경우에는 약 2조원규모의 시장(19,848천톤 X 천톤 100,988천원 ≒ 2조45억원)으로 파악됩니다.

물탱크 업계에서는 500톤급 이하도 많이 활용되는 것으로 파악되어 시장규모는 약 1.7조 원으로 예측하고 있는 것입니다.

국내의 물탱크 시장 역시 일본이나 서구의 경우처럼 비교적 경제적이면서도 위생적이며 다른 재질의 물탱크보다 여러 장점을 갖고 있는 SMC판넬을 주재료로 사용하는 물탱크의 점유율이 점점 높아지고 있는 상황입니다.

이에, 업계에서는 2015년 경에는 전체물탱크 시장의 50% 가까이를 SMC 판넬을 갖는 조립식 물탱크가 점유할 것으로 보고 있으며, 이는 2008년도의 30% 점유율에 비하면 약 20%정도가 전체 물탱크시장에서 시장점유율이 높아질 것으로 예상하는 것입니다.



<참고문헌>

1. 환경부(2009), 상수도 통계
2. 한국발명진흥회 기술가치 평가서(2011 R&D 정책 인프라 사업)

일반적인 식수용 저수조 즉 물탱크는 주택건설촉진법의 ‘비상급수시설’의 설치규정에 의거, 공동주택을 건설하는 주택단지에는 저수조 설치가 의무로 규정되어 있

어 5층 이상의 모든 건물과 모든 공동주택이 넓은 의미로 수요처라 할 수 있습니다.

특히 내진구조 외부보강형 SMC물탱크는 기존 물탱크의 모든 문제점을 해결한 제품으로 본격적인 납품시 시장에 큰 변혁을 몰고 올 것입니다.

[표1.2] 주요 수요처와 납품처

수요처	주요납품처
공동주택(아파트) 사무용 빌딩 국가기관,군시설, 공공건축물 교육기관(초,중,고,대학)의 신축 혹은 개축과 보수 빗물 저수조 와 중수조 처리시스템등	대형 건설사 중소형 건설사 정부기관 지방 자치단체 L.H공사 설비업체 등

상기 언급된 수요처중 특히 빗물 저수조는 현재 물부족문제와 미래에는 더욱 어려운 물부족 상황이 올 것으로 예상하여 세계는 물론 국내에서도 점차 지방자치단체를 중심으로 그 설치가 늘어나고 있는 상황입니다.

그리고, 중수조처리시스템도 물부족 상황에 대비하여 사용한 수돗물을 다시 사용할 수 있도록 발효 및 기타 처리방법을 활용한 생활수의 재사용 시스템이라 할 수 있습니다.

이러한 경우에도 저수조 즉 물탱크가 소요되므로 새로운 시장의 출현이라 할 수 있습니다.

2. 해외시장

영국의 물 전문 리서치기관인 GWI(Global Water Intelligence)는 2010년 세계 물시장 규모는 4,828억 달러로 추정되며 연평균 4.9% 성장해 오는 2025년 8,650억 달러에 이를 것으로 전망하고 있습니다.

그 분야별 규모는 [표1.3]과 같습니다.

[표1.3] 분야별 세계 물시장 규모

[단위 : 억달러,%]

규모	전체	상수도	하수도	생수	수처리시설	기타
시장규모	4,828	2,092	1,618	589	278	251
비중	100.0	43.3	33.5	12.2	5.8	5.2

※ 자료 : Global Water Intelligence. 2010.

분야별로 상수도 시장이 2,092억 달러로 전체시장의 43.3%를 차지했으며, 하수도 33.5%, 생수 12.2% 수처리 시설 5.8% 순으로 나타났습니다.

물시장을 제조,건설,서비스 부문으로 구분해보면, 서비스 부문이 1,966억 달러 (46.4%)로 가장 큰 비중을 차지했습니다. 세계 물시장은 연평균 4.9%성장해 오는 2025년 8,650억 달러에 이를 것으로 전망됩니다.

이중 물탱크와 관련된 국내의 수출입현황을 살펴보기 위해 수출입 코드를 검색하여 관련이 높거나 유사한 품목으로 HS Code 3925100000으로 한정하여 분석하였습니다.

[표1.4] 수출입 동향(한국)

[단위:천불]

구 분		2008	2009	2010	2011(5)
수출	금액	23,990	11,185	11,845	7,026
	증가율	125.51%	-53.38%	5.90%	-
수입	금액	1,398	896	8,249	3,226
	증가율	-54.79%	-35.91%	820.65%	-

※ 자료출처 : 무역협회, “무역정보네트워크 서비스” 이용

한국 물탱크의 2008년부터 2011년까지 수출동향을 살펴보면, 2009년을 저점으

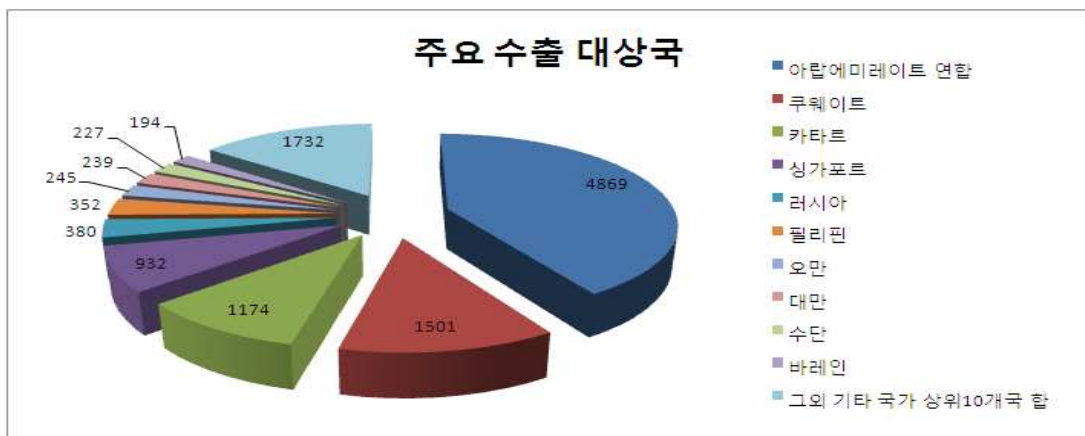
로 2008년의 23,990천불이 가장 높은 수출을 기록했으며, 수입의 경우는 2009년 896천불이 가장 낮은 수입을, 2010년의 8,249천불이 가장 높은 수입을 기록하였습니다.

최근의 수입과 수출을 비교해보면, 수출이 수입보다 117.79% 높은것을 알 수 있습니다.

[표1.5] 물탱크 관련 국가별 수출입 현황 (한국-2010년) [단위:천불]

구 분	수 출			수 입		
	국가명	금액	비중	국가명	금액	비중
1	아랍에미리트 연합	4,869	41.1%	중국	7,339	89.0%
2	쿠웨이트	1,501	12.7%	일본	673	8.2%
3	카타르	1,174	9.9%	독일	132	1.6%
4	싱가포르	932	7.9%	오스트리아	77	0.9%
5	러시아	380	3.2%	미국	24	0.3%
6	필리핀	352	3.0%	대만	2	0.0%
7	오만	245	2.1%	브라질	1	0.0%
8	대만	239	2.0%	-	-	-
9	수단	227	1.9%	-	-	-
10	바레인	194	1.6%	-	-	-
	그 외 기타 국가	1,732	14.6%	그 외 기타 국가	1	0.0%
	상위 10개국 합	10,113	85.4%	상위 7개국 합	8,248	100.0%
	전체	11,845	100.0 %	전체	8,249	100.0%

한국 물탱크의 2010년도 국가별 수출을 분석해보면, 전체 수출액은 11,845천불을 기록하였고, 아랍에미리트 연합이 4,869천불로 2010년도 전체 수출액의 41.11%로 가장 높은 비중을 나타냈으며, 쿠웨이트,



[표1.6] 물탱크 수요 수출대상국

카타르,싱가포르의 순으로 분석되었습니다.

즉, 물탱크의 주요 수요국은 중동지역과 동남아시아 지역인 것 을 알 수 있으며, 당사 역시 중동과 아시아 시장 공략을 위해 매진하고자 합니다.

또한, 전체 수입액은 중국이 7,339천불로 전체 수입액의 8.97%를 차지했으며 일본, 독일의 순으로 분석되었습니다. 이는 가격경쟁력이 있는 중국산 제품과 평균적인 품질이 국내 타사의 제품보다 좋은 일본과 독일의 제품이 선호되는 것으로 분석됩니다.

우리정부가 2015년도 예상하는 세계 물 산업 시장규모는 1,600조원입니다. 경제협력개발기구(OECD)는 2015년에 물 관련 인프라시장만 1,000조원에 이를 것이란 전망을 내놓은 바 있으며, 세계 물탱크 시장에 대한 정확한 규모는 파악하기 힘들으나, 전체 물시장 규모와 [표1.7]세계 물산업소재,부품시장 규모(2009년)를 참고로 추산해 볼 수 있을것입니다.

[표1.7] 세계 물산업 소재,부품시장 규모 (2009년) [단위 : 억달러]

구 분	금 액	비 율
장비	321	22%
파이프재생	262	18%
파이프	350	24%
화학약품	117	8%
펌프&밸브	233	16%
기타	175	12%
합계	1,458	100%

※ 자료출처 : 한국무역협회, 국내물산업의 해외진출 동향 및 확대방안. 2011.4

장비 및 기타항목으로 분류된 약 500억달러의 규모 중 상당부분이 물탱크 관련 산업부문의 시장규모로 분석됩니다.

3. 시장의 변화 및 시장 요구사항

생활수준의 향상으로 건강과 위생에 대한 관심이 증대되면서 식수, 즉 수도물의 수질 역시 첨예한 관심의 대상으로 부각되고 있는 상황입니다. 그로 인해 식수용 저장탱크의 초기 모델인 콘크리트 물탱크의 심각한 오염상태, 스테인레스 물탱크의 수도물 소독제인 염소에 의한 부식은 첨예한 사회문제로까지 대두되기도 했습니다.

단순한 시장점유율의 증가 뿐 만이 아니라 물탱크 업계에 있어서는 큰 판도변화의 흐름이 있는 것입니다.

현재까지 가장 일반적이고 보편적으로 사용되어왔던 내부에 여러 금속부자재와 탱크내부를 가로지르며 수압을 견뎌주는 금속성의 STAY환봉을 설치하는 내부보강 방식의 SMC 물탱크는 기존의 여타 물탱크와 비슷한 문제점을 보여주고 있는 것입니다. 내부의 금속부자재들에 의한 오염과 부식, 작업의 어려움등이 있는 것이며 이는 여타 타 재질의 물탱크가 태생적으로 지닐 수 밖에는 없는 문제점이라는 것을 시장은 인식을 하고 새로운 해결책을 요구하고 있는 것입니다.

내부금속 부자재에 의한 부식으로 저장식수의 오염, 시공 및 수리시의 작업불편성 등 내재된 문제점들은 근본적으로 탱크내부에 어떠한 금속자재를 사용하지 않는 완벽한 외부보강 시스템의 물탱크가 개발되지 않는 한 해결되지 않는 숙제였던 것입니다.

많은 국내외 업체의 시도와 노력에도 만족할만하고 검증된 외부보강 SMC물탱크는 아직까지 여타 업체에서도 개발하여 상용화에 성공한 사례는 없는 상태이며, 이분야의 선진기술을 가지고 있는 일본의 업체역시 완벽한 외부보강 시스템의 SMC물탱크는 아직 개발하지 못한 상태입니다.

이러한 시장흐름과 업계현황을 감안한다면 2015년경에는 전체 SMC물탱크 시장은 8950억원의 규모에 이를 것이며, 이중 당사의 주력상품인 외부보강형 SMC 물탱크가 점유하는 비율은 5150억원으로서 약 전체물탱크시장의 27% SMC물탱크에서는 58% 정도를 점유할 것으로 예상됩니다.

상기에 분석한 시장상황과 흐름으로 본다면, 기존 타재질의 탱크점유율은 급격히 흔들릴

가능성이 높으며 이 경우 당사의 사업부분인 외부보강형 물탱크의 시장점유율은 더욱 늘어나게 될 것입니다. 이는 당사가 이미 핵심기술로 독점적이고 선도적인 위치에서 기술의 표준화를 주도하고 유사기술이 나오기 전에 시장을 장악한다면 신규시장을 창출하는 기술 혁신의 업체가 될 것 입니다.

내부보강형 SMC물탱크나 스테인레스물탱크보다 약 10%~50%정도 경제성을 갖춘 외부보강형SMC물탱크의 빠른 보급은 국민건강증진(수돗물의 부식오염 방지)과 높은 경제성으로써 연간 약 4천억원 정도의 국가경비와 자원을 절감할 수 있습니다.

4. 물시장의 세계적 추세

“현재 세계인구의 30%가 위생 및 생활용수 부족으로 고통 받고 있으며, 2025년에는 50%를 넘어설 것이다.”

출처:세계물위원회(WWC) 윌리엄 코즈그로우브 부의장, UN 미래보고서

“2050년 전세계 인구의 3분의 2가 물부족 사태에 직면할 것이다.”

출처 : OECD 보고서

“20세기는 석유가 국제분쟁의 원인이었다면, 21세기의 가장 큰 분쟁요인은 물일 것이다.” - 출처 : 세계물정책연구소 포스텔 소장

“대체 수자원 개발 및 수요 관리에 의한 물 절감량을 고려하더라도 전국적으로 2011년 18억 m^2 , 2020년 26억 m^2 의 물 부족량이 예상된다.” - 출처 : 정부의 수자원 장기종합계획

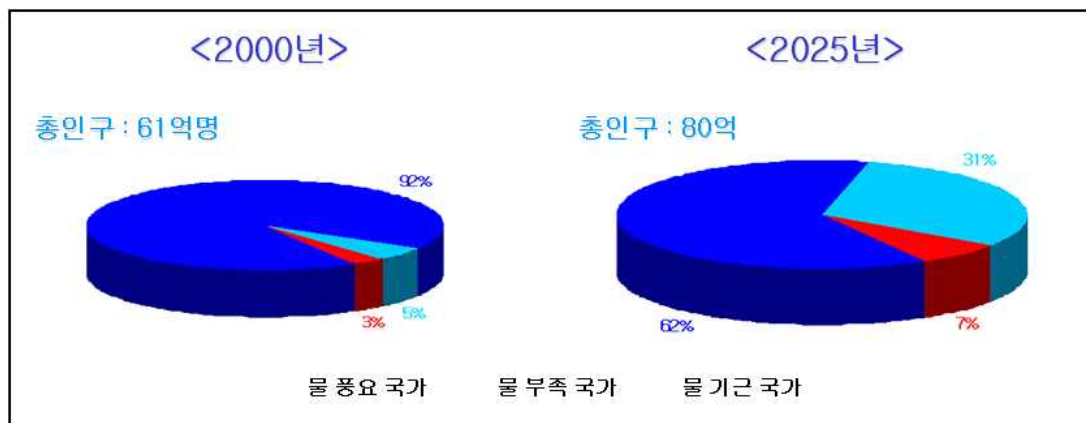
이러한 말들은 영화에 나오는 대사가 아닌, 요즈음 지구촌의 이상기후와 인류의 무분별한 자원남용으로 인해 발생한 여러 문제중 특히 물.. 우리의 생명유지에 직접적인 영향을 주는 물에 대한 여러 경고들인 것입니다.

태초에 지구상에 생명을 움트게 했던 지구상에 넘쳐나는 물이 어느때 부터인가 부족하다는 이야기를 하고 또 심각하다고 이야기 합니다.

그 물부족의 원인은 인류의 개발활동으로 인한 생태계파괴가 주 원인으로서는 기후가 변화되면서 홍수,가뭄등의 자연재해로 수자원이 부족하게 됩니다. 거기다 더불어 인류의 산업활동은 수자원을 오염시키고 있는 남아있는 물마저 더 이상 사용하지 못하게 만들기도 합니다.

그 심각한 물부족 상황을 보면 다음과 같습니다.

[표1.8] 세계 물부족 상황 및 전망



※출처:세계물위원회(WWC) 윌리엄 코즈그로우브 부의장, UN 미래보고서

상기의 [표.1.8]에서 보듯이 2025년에는 세계인구의 31% 물부족국가와 약 7%는 물 기근 국가에 포함된다. 즉 약 30억명의 전세계 인구가 머지않은 미래에는 물로 인해 고통을 받게 되는 것입니다.

가) 세계적 상황

첫째,지구온난화로 인한 가뭄 등의 자연재해로 인해 23억의 인구가 물부족으로 고통받고 있습니다.(중동,아프리카,멕시코,인도,중국 등)

그리고 그로 인한 물 분쟁이 전세계적으로 발생하고 있습니다.

전 세계 인구의 40%가 인접국의 물에 의존하고 있는 상황에서 유량통제를 둘러싸고 상하류 국가간의 분쟁이 발생하고 있으며 그 지역은 다음과 같습니다.

- ①. 나일강 : 이집트, 수단, 우간다 등의 인접국
- ②. 티그리스강 및 유프라테스강 : 터키, 이라크, 시리아
- ③. 다뉴브강 : 헝가리, 슬로바키아
- ④. 갠지스강 : 인도, 방글라데시

나) 우리나라

세계 연평균 강수량이 973mm인데 비해 우리나라의 연평균 강수량은 1,274mm로 충분해 보이지만, 높은 인구밀도와 강수량의 80%가 여름철에 집중되어 있으며, 강수량의 77%가 지하침수, 증발, 바다로 유출(여름철 홍수로 인한)되고, 수도관 노화로 인한 유실등으로 인해 UN의 국제인구행동연구소는 우리나라를 물 압박국가로 분류하고 있습니다.

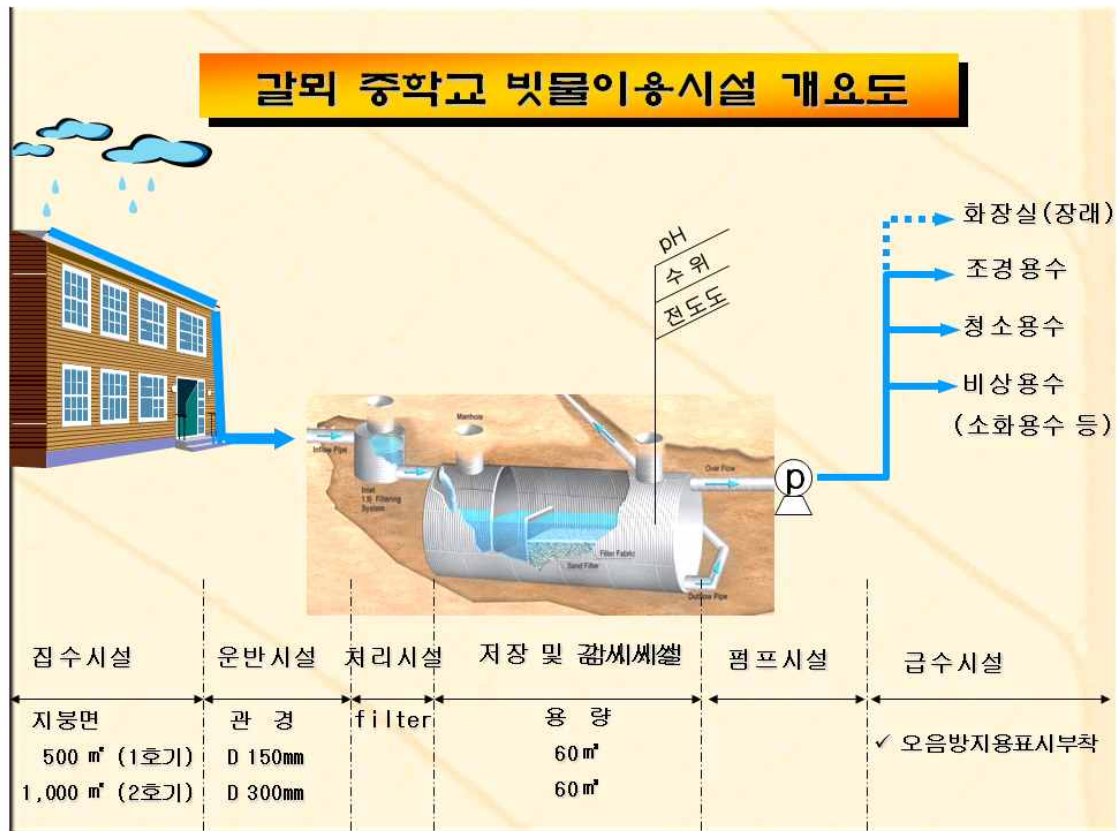
또한, 지구촌의 다른 나라처럼 우리나라도 역시 지구온난화로 인해 낙동강 등 4대강의 오염 확산과 물 사용량 증가에 따른 식수부족 등으로 인해 지방자치단체 사이의 물 분쟁이 급격하게 늘어나고 있습니다.

- ①. 전주 오천원 상수원 사용에 따른 갈등
- ②. 부산시·경상남도 간 물분쟁
- ③. 경기 동두천시·연천군 한탄강 취수장 공동사용에 따른 갈등
- ④. 전북 진안군 용담댐 건설로 인한 상류의 전북도와 하류의 충청남도와 대전시의 갈등 등은 우리나라의 대표적인 물분쟁 지역이라 할 수 있습니다.

해결방안으로는 자연의 복원이 가장 근본적인 해결방안이지만 한번 훼손된 자연이 복원되기는 어렵기에 다음과 같은 방법을 차선으로 생각해야 할 것입니다.

첫째, 강변여과수 개발, 이는 강변바닥의 지층아래 고여 있는 물은 자연적인 방법으로 여과되어 음용수로 사용하는 방법으로서 낙동강 대책의 하나로 경남 창원에서도 시범운영 중입니다.

[그림 1.1] 빗물이용시설 개요도



둘째, 빗물 이용 : 빗물 이용시설을 설치해 화장실의 세정·청소용수 및 조경수로 활용하는 방법으로서 서울 등 10개 시·도에서 운영 중입니다.

셋째, 중수도시스템, 이는 한번 사용한 허드렛물을 생활용수나 공업 용수로 재활용 하는 방법으로서 공장 등에서 운영 중입니다.

넷째, 해수 담수화사업으로 바닷물의 염분을 제거해 담수를 얻는 방법을 말하며, 제주도 등 20여 곳에서 추진 및 운영 중인 사업입니다.

그중 가장 실용적이면서 가장 활발하게 진행되고 있는 국내외의 저수조사업에 대해 알아보았습니다.

다) 국내·외 빗물 저수조 현황

우리나라는 2001년 물 부족 대책으로 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 제8조 개정을 통해 1천 제곱미터 이상인 종합운동장, 실내체육관 및 공공청사 신축 시에는 빗물이용시설의 설치·운영을 의무화하고 있습니다.

[표.1.9] 국내 빗물이용 시설현황

구분	집수면적(㎡)	저수조 용량(㎥)	용도
인천월드컵경기장	17,500 (지붕면적)	600	잔디살수용
대전월드컵경기장	7,140 (운동장면적)	200	잔디살수용
전주월드컵경기장	23,810 (지붕면적)	710	잔디살수용, 소방용수
서귀포월드컵경기장	14,200 (지붕면적)	500	잔디살수용, 조경용수
수원월드컵경기장	425,500 (부지면적)	24,500	홍수방지용수
포스코건설아파트	-	3,000	화장실용수, 조경용수
서울대대학원기숙사	-	200	화장실용수, 조경용수
의왕시 갈매중학교	-	120	화장실용수, 조경용수
서울시 19개 자치구	-	19,038	대형시설(67개소)
계	488,150	29,920	

상기의 표에서 보듯이 각 지자체와 정부기관을 중심으로 빗물 저수조 시설이 늘고 있으며 빗물 저수조를 대형건물에는 의무화는 추세에 있습니다.

또한, 해외에서는 수자원 확보 수단으로 벌써 20년 전부터 빗물이용을 추진해오고 있으며, 우리 나라보다 많이 보급되고 활발한 상태입니다.

[표.1.10] 해외의 대표적 빗물이용시설 현황

국명	이용사례
일본	동경 시내 750여개 공공건물 및 개인주택에 빗물이용시설 도입
대만	경작용 빗물저장소 3800여개 설치 운영
독일	지역단위 빗물이용 시스템 운영 레인시티(Rain City) 개념을 도입하여 주택에 빗물저장 지하탱크를 설치하여, 독일인 평균 1인 1일 상수사용량 129리터를 65리터로 줄였다. - 가정의 댐 역할 수행

라. 빗물저수조의 시장 현황

국내외로 빗물재활용을 위한 저수조(물탱크) 설치는 수도물 사용량을 50%이상 절감하는 효과와 빗물의 유량감소로 도심지 홍수를 예방하는 역할을 하게 됩니다.

또한, 기후변화 및 수자원 오염으로 인해 세계 물 시장은 현재 4천800억달러에서 2025년에는 8천650억달러 수준에 이를 것이라는 전망과 함께 많은 나라들이 물산업 육성에 투자를 확대해 나가고 있습니다.

※출처:정부의 물산업 해외진출 5개년 계획(Korea Water Partnership)

[표.1.11] 정부의 물부족 대책 사업

주관부서	사업내용	세부내용
환경부	물산업 강국 청사진 2015년까지 태양,바람,물 등 신재생에너지에 40조원 투자	원천기술개발, 전문물 기업육성, 먹는 샘물등 연관 산업 육성, 외국 진출 활성화
국토해양부	도시침수 방지 시스템강화	이상기후에 따른 대규모 홍수를 예방하기 위해 물 저장능력을 16억톤으로 늘림

이러한 정부의 물부족 대책들은 향후에 더욱 큰 물관련 시장을 보장해주는 것으로, 이에 발 맞추어 국내 및 해외에서는 환경오염으로 저수조에 대한 관심과 수요가 꾸준히 증가하고 있습니다.

수처리장에서 처리된 깨끗한 물이 가정에 음용수로 도달하면서 물탱크와 노후 된 배관으로 인해 식수의 질이 떨어지고 있는 실정에서, 청정 음용수에 대한 갈망은 끊임없이 제기되어 왔습니다.

이러한 자연고갈로 인한 철 사용에 대한 규제가 심화되고 있는 세계적인 추세와 끊임없이 제기되어 오던 내부 보강형 물탱크에 녹 발생등과 같은 위생적인 문제를 보완하기 위하여 내부에 녹 발생을 유발하는 원인자체를 제거하였으며, 동시에 재원절감을 통해 경제성, 기술력을 모두 갖춘 신개념 친환경(eco-friendly) 외부보강 물탱크를 개발하여 인류의 건강 지킴이 역할을 수행하고자 합니다.

II. 국내 물탱크 주도업체 분석

[표2.1] 주요 물탱크 전문기업 현황

구분	상호명	주요사업	2010년 매출
1	(주)삼양테크	스테인리스패널탱크	23,369백만원 (영업이익률 3.7%)
2	(주)젠트로	PDF물탱크, 거푸집, PE수밀벨트, 도류벽, 축산분뇨탱크, 빙축열탱크, 상하수도설비공사, 금속구조물창호공사, 미장공사, 조적공사	30,440백만원 (영업이익률 -10.9%)
3	(주)코반	웨어모리브템, 웨로바나디움, 물리브템 브리켓, 인조대리석, 물탱크	97,690백만원 (영업이익률 1.4%)
4	(주)캡스톤엔지니어링	화이버글라스도어, SMC물탱크	20,556백만원 (영업이익률 0.5%)
5	디와이종합화학(주)	세면기, 욕조, 욕실장, 싱크대상판, SMC물탱크, 조립식욕실	1,444백만원 (영업이익률 10%)
6	(주)세진에스엠씨	SMC물탱크, 욕조, 덕트, 싱크볼	12,049백만원 (영업이익률 6.4%)

물탱크업계에는 업계전체를 리드하는 대형사는 존재하지 않고 중소형 제조업체들이 점유하고 있는 상태입니다.

아직까지, 당사를 제외한 동종업계 어느 기업도 완벽한 외부보강형 물탱크를 제작하는 곳은 없으며, 이는 스테인레스, PDF, SMC 등 모든 재질의 탱크업체 모두 아직까지 내부보강 방식의 물탱크를 제작 시공하고 있습니다.

동종업계의 강한 기술력으로 독과점적인 시장을 형성할 수 있는 내진구조 외부보강형 SMC 물탱크를 예의 주시하고 있는 상태입니다.

1. 삼양테크

(주)삼양테크는 1987년 9월 보일러 사업등의 목적으로 설립된 후 사업영위중인 2011년말 기준 총자산 25,292백만원, 납입자본금 8,200백만원, 자본총계 12,803백만원, 상시종업원 48명 규모의 중소기업체입니다.

(주)삼양테크는 스테인리스물탱크를 주요제품으로 생산하고 있으며, 대전 정부청사, 서울대학교 분당병원, 상암,인천,수원,제주 월드컵 경기장등과 같은 대형건물에 수주를 받아 시공하였고, 최근 영업실적은 다음과 같습니다.

(주)삼양테크의 회사개요

기업체명	(주)삼양테크	대표자명	박지화
설립형태		설립일자	1987년 09월 08일
기업규모		기업형태	외부감사법인
상시종업원	48명	기업공개일자	
업종명	설치용 금속탱크 및 저장용기 제조업		
주요제품(상품)	스테인리스패널탱크		

(주)삼양테크의 영업실적

(단위 : 백만원)

구분	2004	2005	2006	2007
매출액	14,427	19,789	19,376	26,608
- 성장율	19.6%	37.2%	-2.1%	37.3%
영업이익	1,077	1,634	1,723	2,695
영업이익율	7.5%	8.3%	8.9%	10.1%
구분	2008	2009	2010	7년간 CAGR
매출액	23,362	22,306	23,369	9.9%
- 성장율	-12.2%	-4.5%	4.8%	
영업이익	798	1,342	854	
영업이익율	3.4%	6.0%	3.7%	

2. (주)젠트로

(주)젠트로는 1989년 11월 설립된 회사로 당사만의 고유 특허기술로 직접 설계 및 제작되는 HDPE(High Density Polyethylene)을 소재로 하는 PDF(Polyethylene Double Frame) Panel을 생산하고 있습니다. 당사의 2010년 기준 납입자본금은 3,893백만원, 총자산 31,005백만원, 자본총계 18,199백만원, 상시종업원 114명의 중소기업입니다.

현대건설, 극동건설, 창경종합건설, 롯데건설, 신창건설 등의 주요 건설사의 주요 자재업체로 선정되어 시공을 하고 있으며 특히 2005년에 들어 연간 단가 계약을 체결, 현장별로 지속적으로 물탱크를 설치하고 있습니다.

(주)젠트로의 회사개요

기업체명	(주)젠트로	대표자명	변무원
설립형태		설립일자	1989년 11월 07일
기업규모		기업형태	외부감사법인, 코스닥, 시장상장법인
상시종업원	114명	기업공개일자	
업종명	기타 건축용 플라스틱 조립제품 제조업		
주요제품(상품)	PDF물탱크, 거푸집, PE수밀벨트, 도류벽, 축산분뇨탱크, 빙축열탱크, 상하수도설비공사, 금속구조물창호공사, 미장공사, 방수공사, 조적공사		

(주)젠트로의 영업실적

(단위 : 백만원)

구분	2001	2002	2003	2004	2005	2006
매출액	14,451	18,609	23,130	26,753	25,162	32,913
-성장율		28.8%	24.3%	15.7%	-5.9%	30.8%
영업이익	1,456	1,607	4,030	1,477	1,711	2,249
영업이익율	10.1%	8.6%	17.4%	5.5%	6.8%	6.8%
구분	2007	2008	2009	2010	10년간 CAGR	
매출액	36,302	37,720	40,675	30,440	8.6%	
-성장율	103.0%	3.9%	7.8%	-25.2%		
영업이익	2,695	777	2,285	-3,317		
영업이익율	7.4%	2.1%	5.6%	-10.9%		

3. (주)코반

(주)코반은 1996년 4월 설립된 회사로 세계최대의 2,500Ton 유압프레스를 이용하여 SMC물탱크 판넬을 생산하여, 튼튼한 물탱크를 만드는 기술을 가지고 있는 중소기업입니다.

물탱크 산업 관련 협력업체에는 계룡건설(주), (주)금호건설, 남양건설(주), 대방건설(주), (주)대우건설, (주)쌍용건설, (주)GS건설 등이 주요 업체이고, 당사의 2010년도 기준 자본금은 1,250백만원이며, 총자산 59,163백만원, 자본총계 11,994백만원, 상시종업원 73명의 규모를 가지고 있으며, 영업상황은 다음과 같습니다.

(주)코반의 회사개요

기업체명	(주)코반	대표자명	이용기, 김충환
설립형태		설립일자	1996년 04월 16일
기업규모		기업형태	외부감사법인
상시종업원	73명	기업공개일자	
업종명	합금철 제조업		
주요제품(상품)	웨어블리브템, 웨로바나디움, 물리브템브리켓, 인조대리석, 물탱크		

(주)코반의 영업실적

(단위 : 백만원)

구분	2003	2004	2005	2006	2007
매출액	18,401	49,539	116,428	77,004	145,757
- 성장율		169.2%	135.0%	-33.9%	89.3%
영업이익	557	3,673	10,588	2,251	6,801
영업이익율	3.0%	7.4%	9.1%	2.9%	4.7%
구분	2008	2009	2010	8년간 CAGR	
매출액	138,121	59,273	97,690	26.9%	
- 성장율	-5.2%	-57.1%	64.8%		
영업이익	7,529	-2,813	1,398		
영업이익율	5.5%	-4.7%	1.4%		

4. (주)캡스톤엔지니어링

(주)캡스톤엔지니어링은 2002년 10월 설립된 회사로 사업영위중인 상시종업원 85명, 납입 자본금 4,554백만원, 총자산 및 자본총계가 각각 29,901백만원, 8,995백만원 규모의 중소기업입니다.

(주)캡스톤엔지니어링의 회사개요

기업체명	(주)캡스톤엔지니어링	대표자명	시벳피터영
설립형태		설립일자	2002년 10월 01일
기업규모		기업형태	외부감사법인, 벤처기업, 외국인투자기업(미국)
상시종업원	85명	기업공개일자	
업종명	기타 건축용 플라스틱 조립제품 제조업		
주요제품(상품)	화이버글라스도어, SMC물탱크		

(주)캡스톤엔지니어링 영업실적

(단위 : 백만원)

구분	2003	2004	2005	2006	2007
매출액	9,662	27,097	38,874	34,271	31,149
- 성장율		180.4%	43.5%	-11.8%	-9.1%
영업이익	46	3,243	4,503	1,875	-800
영업이익율	0.5%	12.0%	11.6%	5.5%	-2.6%
구분	2008	2009	2010	8년간 CAGR	
매출액	21,195	22,354	20,556	11.3%	
- 성장율	-32.0%	5.5%	-8.0%		
영업이익	-2,273	1,150	98		
영업이익율	-10.7%	5.1%	0.5%		

5. (주)디와이종합화학

디와이종합화학(주)은 1972년 11월 욱실자재 제조업 등을 목적으로 설립된 후, 1974년 일본 후지요시의 기술을, 1988년에는 일본 우쓰노미야 (주)동양 JAPAN SMC 기술을 도입하였습니다. 사업영위중인 2010년 말 기준 총자산 9,340백만원, 납입자본금 1,150백만원, 자본 총계, 5209백만원, 상시종업원 85명 규모의 중소기업체입니다.

당사의 영업현황은 대한주택공사, 계룡건설(주), 금호건설(주), 남양건설(주), 동양건설(주), 두산건설(주), 벽산건설(주), 풍림산업(주), (주)KCC건설, (주)신일 등의 거래처로부터 욱실사업과 SMC물탱크 등을 수주 받아 시공하고 있는 바, 영업 실적은 다음과 같습니다.

(주)디와이종합화학의 회사개요

기업체명	(주)디와이종합화학	대표자명	하진봉
설립형태		설립일자	1972년 11월 01일
기업규모		기업형태	외부감사법인
상시종업원	85명	기업공개일자	
업종명	저장용 및 위생용 플라스틱 제조업		
주요제품(상품)	세면기, 욱조, 욱실장, 싱크대상판, SMC물탱크, 조립식 욱실		

(주)디와이종합화학의 영업실적

(단위 : 백만원)

구분	2007	2008	2009	2010	4년간 CAGR
매출액	8,690	11,115	16,143	14,495	18.6%
- 성장율	-	27.9%	45.2%	-10.2%	
영업이익	117	213	1,361	1,444	

영업이익율	1.3%	1.9%	8.4%	10.0%	
-------	------	------	------	-------	--

6. (주)세진에스엠씨

(주)세진에스엠씨는 1981년 세진산업으로 설립된 후, 1986년 법인 회사로 전환하였으며, 사업영위중인 2010년 말 기준 총자산 13,298백만원, 납입자본금 1,400백만원, 자본총계 7,329백만원, 상시종업원 45명 규모의 중소기업체입니다.

당사는 건설, 산업설비 현장의 SMC 물탱크, TMC 싱크볼, 칸스톤, 미라톤 주방상관, 바닥재, FRP PLANT 공사의 화학탱크, DUCT, COVER를 주로 생산 및 시공하는 전문업체입니다.

(주)세진에스엠씨의 회사개요

기업체명	(주)세진에스엠씨	대표자명	최경식
설립형태		설립일자	1986년 08월 01일
기업규모		기업형태	외부감사법인
상시종업원	45명	기업공개일자	
업종명	저장용 및 위생용 플라스틱 제조업		
주요제품(상품)	SMC물탱크, 욕조, 덕트, 싱크볼		

(주)세진에스엠씨의 영업실적

(단위 : 백만원)

구분	2004	2005	2006	2007
매출액	12,130	12,450	12,751	13,302

- 성장율		2.6%	2.4%	4.3%
영업이익	511	853	616	875
영업이익율	4.2%	6.9%	4.8%	6.6%
구분	2008	2009	2010	7년간 CAGR
매출액	12,214	12,119	12,049	-0.1%
- 성장율	-8.2%	-0.8%	-0.6%	
영업이익	968	709	770	
영업이익율	7.9%	5.9%	6.4%	

III. 기존 물탱크와의 비교 및 특징

현재 물탱크시장에는 크게 재질별로 구분하여 본다면 스테인레스 물탱크, PDF 물탱크, SMC 물탱크로 나누어지며, 모두 내부보강방식 형태의 물탱크가 시공되고 있습니다. 이에, 내진구조의 외부보강형 물탱크와 기존 제품들과의 객관적인 비교와 그 특징들을 이번 장에서 기술코자 합니다.

먼저, 다음 페이지의 [표.3.1]은 물탱크의 소재별 특징을 요약 정리한 것으로서, 재질적 특성에서 본다면 SMC 판넬은 스테인레스나 PDF 재질에 비해 우수한 물성적 특성을 갖고 있습니다. 즉, 우수한 내식성과 강화된 기계적강도를 지니고 있으며, 스테인레스나 PDF에 비해 비교적 저렴한 단가의 재질로서 우수한 경제성을 보유하고 있는 것입니다.

하지만, SMC의 우수한 특징들이 내부보강방식이라는 개선되지 않은 조립시공방법을 적용함에 따라 내부환봉에 의한 부식으로 수질오염과 유지관리시 작업의 어려움이 발생하게 됩니다. 또한, 내부보강재를 사용함으로써 시공비 상승으로 인한 제품가의 상승이 발생하게 됩니다.

이러한 문제점들은 내부보강방식의 SMC물탱크에서만 발생하는 문제가 아니라 내부보강방식으로 만들어지는 다른 재질의 물탱크에서도 발생하는 문제점들이 있습니다.

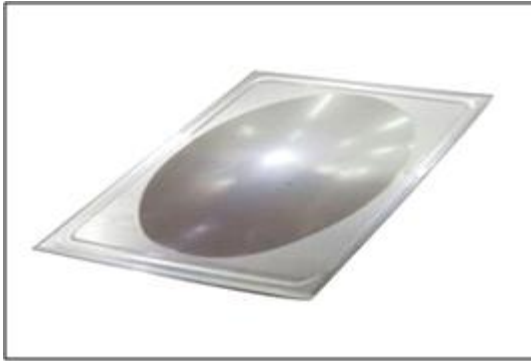
기존탱크의 여러 문제점들을 보완한 것이 내진구조 외부보강방식의 SMC물탱크인 것입니다.

[표.3.1] 물탱크의 소재별 비교

N O.		스테인레스 물탱크	피디에프 물탱크	에스엠씨 물탱크	외부보강형 물탱크
1	재 질	STS (304,316,444, 29J3L)	PDF	SMC	SMC
2	내 구 성	부식	탈질현상 및 빛투과	FDA에 승인받은 복합 신소재	FDA에 승인받은 복합 신소재
3	구 조	내부보강	내부보강	내부보강	외부보강
4	내진 설 계	없음	없음	없음	있음
5	시공 방 식	용접	용접, 열융합 접합	조립	조립
6	위 생 성	수돗물의 염소가스에 의해 물탱크 내부에 녹발생으로 위생성 저하	내부환봉으로 인해 청소 및 유지관리가 어려움	내부환봉으로 녹 발생 및 청소 유지관리가 어려움.	무환봉 방식으로 청소 및 유지관리가 편리하고 매우 위생적임
7	비 용	높다	높다	타제품에 비해 저렴	에스엠씨 물탱크와 비슷
8	경 제 성	초기투자비, 유지비, 보수비 등 타소재에 비해 비용이 높고, 원자재 값 변동에 영향을 많이 받으며, 자원고갈로 인한 철 사용자제로 인해 세계시장의 진입장벽이 높음.	현장에서 용접, 페인트칠, 방수시트작업 등 작업성이 떨어지며, 고비용에 비해 하자 발생율이 높아 시장성이 떨어지고 있는 추세임.	초기 투자비가 적게 드나, 내부 보강재로 인한 하자발생률 및 위생성이 떨어짐.	초기 투자비 대비 유지관리 및 위생성 측면에서 가장 경제적인 친환경 물탱크.

1. S.T.S Tank

1) 재질의 정의



● STS 판넬

S.T.S(Stainless Steel) 판넬은 내식성 확보를 위해 크롬이 약 12% 이상 첨가된 합금강으로 크롬이 표면 산화막을 형성하여, 부식 저항성이 뛰어난 고 합금강으로 화학성분과 금속조직에 따라 SUS 304 / 316 / 444 로 분류됨.

2) 판넬생산 방식



● 유압프레스 성형방식

-개요 : 유압프레스 공법은 스테인레스가 공기에 노출 시 산소로 인한 산화 진행을 방지하기 위하여 표면에 산화 피막을 형성하는 공정이나, 현장 시공 시 공식현상, 응력부식균열 등의 문제점이 있음.

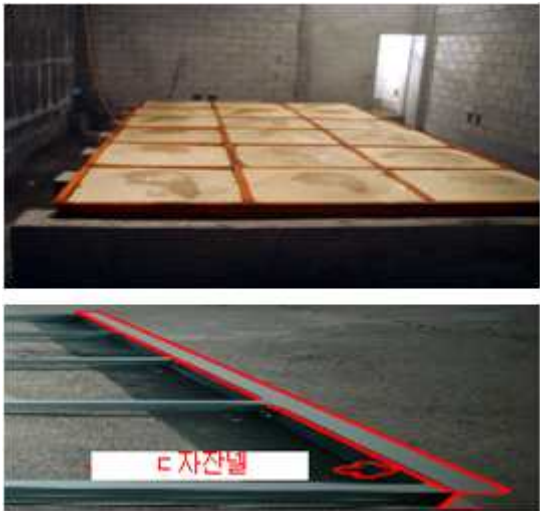
3) 보강 방식

	● 내부보강형 개요 : 내부환봉이 용접 방식으로 격자 배치(가로, 세로, 높이 1M 간격으로 배치) 되어 있어 부식 및 청소·유지관리의 효율성이 떨어짐. ① 제작과정에서 용접부위의 잔류 응력에 의한 응력부식균열과 표면의 산화피막이 손상되어 부식이 발생. ② 수면 접촉 부위는 염소 반응에 의한 공식현상(녹)이 발생. ③ 청소 시 내부 연결 구조 및 바닥 부위의 요철현상과 패널 접합부의 돌출로 인하여 완전 배수가 안 되는 등 유지관리 및 위생성의 문제점 .
--	--

4) 설치 과정

	● 용접·도금방식 -시공성 : 일괄 제작된 구조물을 현장에서 용접, 페인트칠 등의 작업을 통해 시공하는 방식. -유해요소 : 현장에서 구조물을 페인트칠 및 용접 보강하는 방식은 화재 발생의 위험이 많으며, 실내 작업환경이 악화됨. -페인트칠 : 대기중에 분진(미세먼지)이 많은 현장에서 용접 부위에 피막을 입히는 작업. (물과 습기에 취약하여, 부식속도가 용융도금에 비해 진행이 빨라 재료의 수명을 단축)
---	---

5) 하부 지지대

	● C자형 기초프레임 -구조 : 규격화된 구조물을 현장에서 용접 후 페인트 도장하여 화재 가능성 및 녹발생 -위험요소 : 잔널구조물을 용접방식으로 조립설치하여, 현장에서 페인트 도장함으로써 결로현상으로 인한 부식등의 문제가 발생하여 철의 내구성 저하됨.
---	---

6) 유지관리



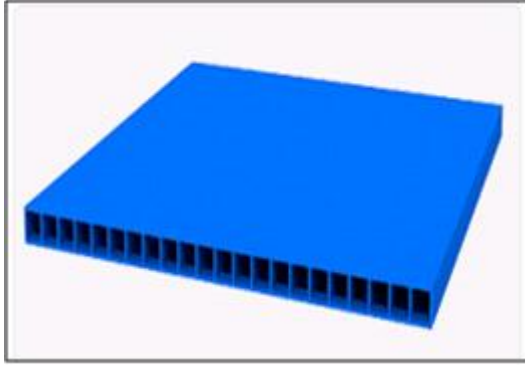
● 유지관리

- 누수 : 전 과정의 수작업으로 인해 ①내부환봉과 판넬을 연결하여, 물탱크내 수위 변동으로 인한 수축, 팽창에 의해 환봉과 판넬 연결부 주위에 균열 발생. ②용접이음부의 잔류응력에 의한 응력부식균열 발생.

-하자보수 : 용접 접합 방식으로 하자발생시 확인및 처리가 어려움.

2. PDF Tank

1) 재질의 정의



● PDF 판넬

P.D.F(Polyethylene Double Frame) 판넬이란 상판과 하부판, 그리고 중간의 연결부를 단일공정으로 일체화함으로써 PE제품의 내화학성을 향상시킨 제품임.

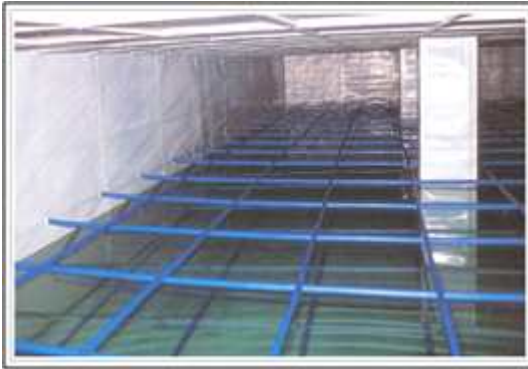
2) 판넬생산 방식



● 사출성형방식

사출성형방식으로 PE 원재료를 사용하여 생산된 제품으로 시간이 지나면 탈질현상 및 빛 투과 등의 문제점이 있음.

3) 보강 방식



● 내부보강형

내부환봉이 격자형식으로 배치되어 있어 청소 및 유지 관리의 효율성이 떨어짐.

4) 설치 과정



● 용접·도금방식

-시공성 : 일괄 제작된 구조물을 현장에서 용접, 페인트칠 등의 작업을 통해 시공하는 방식. (시공기간 길다)

-유해요소 : 현장에서 철구조물을 페인트칠 및 용접 보강하는 방식은 화재 발생의 위험이 많으며, 실내작업 환경이 악화됨.

-페인트칠 : 대기중에 분진(미세먼지)이 많은 현장에서 강재 표면에 피막을 입히는 작업. (물과 습기에 취약하여, 부식속도가 용융도금에 비해 100배 빨라 철의 수명을 단축)

5) 하부 지지대



● ㄷ 자형 기초프레임

- 구조 : 규격화된 구조물을 현장에서 용접후 페인트 도장하여 화재 가능성 및 녹발생
- 위험요소 : 잔널구조물을 용접방식으로 조립,설치하여,현장에서 페인트 도장함으로써 결로현상으로 인한 부식등의 문제가 발생하여 철의 내구성 저하됨.

6) 유지관리



● 유지관리

- 누수 : 전 과정의 수작업으로 인해서 ①내부환봉과 판넬을 연결하여, 물탱크내 수위 변동으로 인한 수축, 팽창에 의해 환봉과 판넬 연결부 주위에 균열 발생.

②방수시트(PESHEET)작업시 코너 및 후렌지 부위 등의 누수 발생이 빈번함.

- 하자보수 : 용접 및 열융합 접합 방식으로 하자 발생시 처리가 어려움

3. S.M.C (내부보강) Tank

1) 재질의 정의

	● SMC 판넬 S.M.C(Sheet Molding Compound)는 불포화 폴리에스터 수지에 보강재를 함침시켜 성형된 복합신소재로써 항공기 날개, 경비행기, 자동차 주요 부품, 수도관 교체용으로 사용되며, 미국 식품의약품 안정청(FDA)의 승인을 받은 제품으로 선진국에서는 80% 이상 SMC 물탱크를 사용하고 있음.
---	--

2) 판넬생산 방식

	● 유압프레스 성형방식 -개요:고온고압으로 점도를 증가시킨 가압성형된 재질로 인장강도가 뛰어나고 내구성이 반영구적임.
---	--

3) 보강 방식



● 내부보강형

- 격자형식으로 가로X세로X높이1m 간격으로 판넬에 브라킷을 고정하여 내부보강재를 시공함.
- 내부환풍이 거의 모든 수압을 부담하고 있는 형태로 과도한 인장력 집중으로 인한 파손 등의 하자 발생.
- 내부환풍이 지지되지 않은 지점에서 불균일한 처짐 현상 발생.

4) 설치 과정



● 조립방식

- 제한된 공간(물탱크 내)에서 판넬에 구멍을 뚫고 내부보강재를 연결해야 하므로 시공이 어려움.
- 1m 간격으로 구멍을 뚫어 브라켓을 연결.
- 내부 환풍의 길이와 설치작업자의 숙련도에 따라 담수 시 발생하는 수평변위의 편차가 매우 큼.

5) 하부 지지대

	● C자형 기초프레임 -구조 : 주잔널과 부잔널의 높이차 (50mm)로 인해 판넬의 처짐현상 (불균형)이 발생하며, 하자의 원인이 됨. -경제성 : 물탱크 하중이 주잔널에 집중되어 철 두께를 6T 이상으로 생산하므로 비경제적임.
---	---

6) 유지관리

	● 유지관리 -물탱크 내부보강재가 격자형 식으로 배치되어 있어 ① 녹 발생 및 부식으로 인한 물탱크내 수질오염 심화. ② 내부환풍으로 인한 청소 및 유지관리의 효율성 저하.
---	---

4. 내진설계의 외부보강형 물탱크

1) 재질의 정의

	● SMC 판넬 S.M.C(Sheet Molding Compound)는 불포화 폴리에스터 수지에 보강재를 함침시켜 성형된 복합신소재로써 항공기 날개, 경비행기, 자동차 주요 부품, 수도관 교체용으로 사용되며, 미국 식품의약품 안정청(FDA)의 승인을 받은 제품으로 선진국에서는 80% 이상 SMC 물탱크를 사용하고 있음.
---	--

2) 판넬생산 방식

	● 유압프레스 성형방식 - 개 요 : 고 온 고 압 으 로 점도를 증가시킨 가압성형된 재질로 인장강도가 뛰어나고 내구성이 반영구적임.
---	--

3) 보강 방식



● 외부보강형

-개요 : 물탱크 내부에 금속보강 지지대가 전혀 없어 녹발생이 없고, 위생적이며, 탱크 내에서 활동이 자유로워 청소 및 유지관리의 효율성이 매우 높음.

4) 설치 과정



● 조립방식

-시공성 : 탱크의 절대 안전 및 수명 향상을 위해 내부수압에 저항하고 측면의 변형을 최소화하기 위해 NICE프레임을 구성

-유해요소 : 볼트,너트만을 이용한 조립형 시공방식으로 시공성이 우수하여,작업환경이 매우양호.

-용융도금 : 강재표면의 녹과 scale를 제거한 후 금속피막을 입히는 작업.(물과 습기에 매우 강함)



5) 유지관리



● 유지관리

- 누수 : 판넬과 판넬사이 실링테이프(KSM 6613 1종 1호 규정 만족)를 이용하여 완벽한 수밀 상태 유지.
- 하자보수 : 볼트,너트를 이용한 조립형 구조로서 하자 발생시 교체및 보수가 용이.

6) 조립과정



● 설치공정

- ① 콘크리트 패드 : 일반 및 내진 설계구조에 따라 시공한다.
- ② 저판조립 : 저판조립->BASE-T조립->PE시트작업
- ③ 측판조립 : 측면판넬 및 나이스프레임 조립
- ④ 상판조립 : 천정판넬 및 외부 턴버클 조립
- ⑤ 마무리 : 외부마감 및 담수

일본 대지진 참사로 국내 및 해외에서는 내진 설계에 대한 관심이 증가하고 있습니다. 일본의 후쿠시마는 평소 산발적인 지진으로 인해 규모 7.2 지진에 대비하도록 내진설계가 잘 되어 있는 도시입니다.

하지만, 이번 지진강도 9.0 은 전혀 예상하지 못한 상황입니다. 우리나라 또한 규모 2.0 (사람이 느낄 수 있는 기준 강도) 이하의 지진 발생률이 매년 증가하고 있습니다.

후쿠시마의 사례에서 보듯이 영원한 안전지대는 없습니다. 정부는 구조물의 내진설계의무화 법률 계정을 추진중에 있습니다. 구조물의 내진설계시스템을 강화하여 국민의 안전을 지켜야 합니다. 이에 따라 내진설계로 인한 비용을 최소화은 물론 그 동안 제기 되어 오던 저수조 물탱크의 비위생성 및 구조적 결함을 개선하여 국민 건강을 지키고자 합니다.

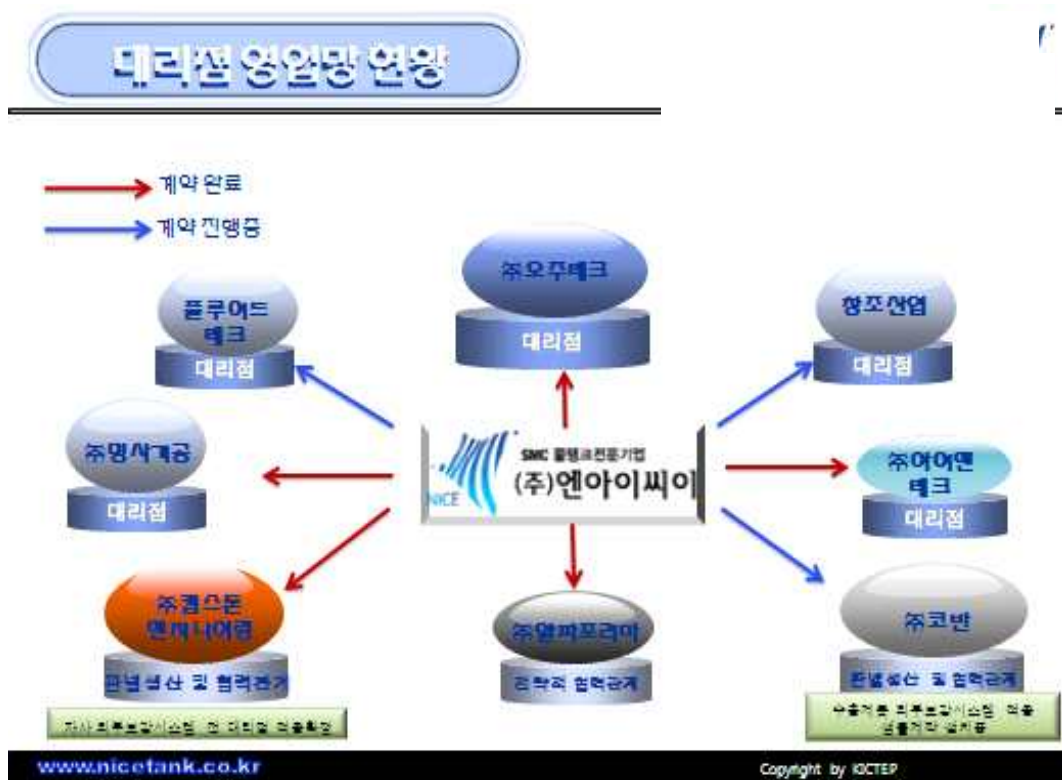
V. 영업전략

독보적인 기술력과 우수한 품질로 만들어질 내진구조의 외부 보강형 물탱크가 안정적으로 시장에 진입하기 위해서 다음과 같은 영업전략을 실행하고 있습니다.

1. 대리점 활용

현재까지 완성될 대리점 영업망을 최대한 활용하여, 초기 시장진입을 성공적으로 이루어 가고자 합니다.

[그림4.1]



2. 협력업체 (판넬생산 업체)와의 전략적 협조

추후 기술될 “V.수익성 분석 “에서 살펴보면 SMC 탱크의 원가 구조상 SMC판넬이 절반 이상을 차지합니다. 이는 SMC판넬 생산업체와 아주 밀접한 관계가 되어 서로의 생산공장과 같은 역할을 할 정도로 친밀해질 수 있다는 것을 뜻합니다.

이에, 당사는 단순히 SMC판넬 생산업체를 단순한 공급업체가 아니라 전략적인 제휴관계에 있는 협력업체로 인식하고 win-win을 도모하고 있습니다.

그 예로, (주)캡스톤엔지니어링은 자사(캡스톤)의 약 20여개소 영업대리점에 당사의 외부보강형 SMC물탱크 시스템을 적용하기로 결정하였으며, (주)캡스톤의 영업대리점에 적극적으로 당사의 제품을 홍보하고 있습니다.

당사의 프레임을 (주)캡스톤의 수주제품에 적용하고 (주)캡스톤의 SMC판넬을 당사의 Tank제작용 판넬로 이용하는 전략적 협력관계를 유지한다는 양해각서를 체결하여 운용중입니다.

(주)코반의 경우는 내진구조의 외부보강시스템을 (주)코반의 제품에 적용하기로 결정했으며 현재 이를 위한 제품을 준비중입니다. 또한 (주)코반의 수출물량에 당사의 외부보강 시스템을 적용하기로 합의한 상태입니다

이는 동종 경쟁업체일수도 있는 (주)코반과 (주)캡스톤엔지니어링이 당사에 매출을 발생시키게 되는 고정 매출처로서의 역할을 하게 될 것이며, 시장진입초기에 수월하게 시장에 안착할 수 있는 역할을 해줄 것 입니다.

대리점 및 전략적 제휴관계에 있는 업체들로부터 발생하는 고정 매출을 관계사들의 평균영업실적을 참고로 추산한다면 다음과 같습니다.

[표4.2] 전략적 관계로 확보된 확정적 매출액

회사명	확보매출액 (백만원)/월	확보예상 연매출액(백만 원)	비고
(주)코반	100	1,200	70% 적용 2013년도 55억원 예상
(주)캡스톤 엔지니어링	100	1,200	
(주)알파포리머	150	1,800	
대리점	300	3,600	
총계	650	7,800	

2013년 1월 현재까지 협의 및 확정된 매출 확보액은 연간 약 55억원 수준으로 예상하고 있으나, 당 투자제안서상의 매출 시나리오는 다소 보수적인 경우에는 초기년도(2013년)의 매출계획을 50억원 수준부터 시작하는 것으로 산출하였습니다.

이는 확보된 매출처의 매출과 당사의 영업활동이 정상적으로 가동되게 된다면 초기 (2013년) 매출 55억원 + α (영업조직 매출)으로 대폭적인 매출증대를 확신하지만 시장진입의 변수도 감안하여 다소 보수적인 매출목표의 경우에는 “2013년 년 매출 50억원”를 적용하였습니다.

3. 신기술 인증획득으로 조달청 관급공사 수주확보

당사의 외부보강시스템의 기술은 건설분야의 신기술인증에 해당하는 것으로서 인증 취득 후에는 조달청 발주물량의 수주에 절대적인 혜택이 있습니다. 즉, 조달청은 발주금액의 20%를 NET 인증제품을 우선 구매해야만 하는 의무사항이 있습니다.

물탱크로 NET 인증을 취득한 업체 및 상품은 없으므로 당사는 취득후에는 큰 영업적 강점을 갖는 것입니다.

2012년도 기준으로 조달청의 물탱크 발주물량은 약 400억원으로서, 2012년도 기준으로 산출해본다면 인증획득후 2013년도에는 약 80억원의 수주 물량을 확보할 수 있는 것입니다. 또한, LH공사의 발주물량은 기존에 건설사에 발주하는 방식에서 조달물량으로 변경되었기에 그 물량은 더 늘어날 것입니다.

그리고, 대기업 즉 대형 건설회사의 구매담당이 NET제품을 구매시에는 진급시 유리하게 적용되는 가점이 부가됩니다.

또한, NET제품을 Turn-Key Base의 납품시 해당 설계자 (설비업자, 건설사, 설계사무소 등..)은 정부인증의 가점을 받게 되는 것입니다.

이러한 NET 인증제품의 장점은 대형 건설사 및 중소형 건설사 및 수요처에 대한 영업 활동시 큰 영향을 줄 수 있으며 이는 매출증대에 기여하게 될 것입니다.

중요한 영업대상군의 하나인 설계사무소는 좀 더 기술적인 측면과 안정성에 대한 중요성을 부각시킨다면 당사의 외부보강형 SMC물탱크는 크게 어필할 것입니다.

무엇보다도 가장 큰 영업 전략은 열정과 실천일 것입니다.

아직 누구도 실현시키지 못한 내진설계의 안정성과 외부보강형의 내부 위생성, 작업용이성, 관리의 편리성을 기존의 내부보강형 물탱크들이 태생적으로 갖을 수 밖에 없는 여러 단점들을 외부보강형 SMC물탱크와 비교해서 강조한다면 그것은 어떤 인증이나 어떤 홍보보다도 좋은 Power Sales Point 가 될 것입니다.

제 5 장 참고문헌

국토해양부(2009), 건축구조설계기준, 대한건축학회.

박동순, 하익수, 임정열, 정우성(2006), “수도시설물 지진피해 사례 보고서”, 한국수자원공사.

일본강화플라스틱협회(1996), FRP 수조 구조설계계산법

(주)엔아이씨이 물탱크

제 작 및 설 치 지 침

Guideline for NICE co. Water tank
manufacturing and installation

2012

국토해양부

건설교통R&D정책 인프라사업

목 차

1. 일반사항	1
1-1 목적	1
1-2 적용범위	1
1-3 준비	1
2. 기초시스템	2
2-1 콘크리트 패드	2
2-2 바닥 강판넬	3
2-3 C채널	4
3. 외부 및 내부칸막이보강시스템	7
3-1 외부보강프레임	7
3-2 내부칸막이보강시스템	9
3-3 코너보강프레임	13
3-4 천장 환풍	14
4. 기타 부속품	16
4-1 SMC 판넬	16
4-2 맨홀	16
4-3 사다리	16
4-4 밀봉재(씰링재)	16
4-5 배관재	16
4-6 환기구용 판넬	16
4-7 볼트	17
4-8 내부천장지지대	17
5. 추가 사항	17

6. 시험 및 검사	18
------------------	----

1. 일반사항

1-1 목적

본 지침은 고수위 판넬 조립식 물탱크의 제작 및 설치작업 과정에서 요구되는 작업 순서와 유의사항에 관하여 규정함을 목적으로 한다.

1-2 적용 범위

■ 본 지침은 (주)엔아이씨이와 연세대학교 산학협력단에서 공동 개발한 외부보강형 판넬 조립식 물탱크(이하 NICE 물탱크)의 제작 및 설치기준을 기술한 것으로, 실무자들이 NICE 물탱크의 제작 및 설치·관리에 관한 사업을 시행하고 협의하는데 적용한다. 고수위(4m~5m)를 갖는 NICE 물탱크가 주요 대상이며, 본 지침에서는 4m 용 외부보강시스템 및 내부칸막이보강시스템을 대상으로 기술하였고 이외의 용량에서도 동일하게 적용할 수 있다. 다만 부재의 단면이나 두께 등의 제원은 수압 조건이나 상황에 따라서 적절히 설계되어야 한다.

■ 각 부재는 현장 상황에 따라서 동일한 기능을 갖는 것이면 적절하게 변형시켜 제작·조립할 수 있으며, 그때마다 그에 준한 제작 및 설치지침을 마련한다. 또한 본 지침에서는 모든 프레임(외부보강용 T-프레임, 내부칸막이보강용 I-프레임)을 강재(SM490)로 규정하고 있으나, 향후 FRP 인발 프레임 등 다른 자재로 변경될 경우에는 단면 재설계 등 각 자재에 준하는 제원과 지침이 따로 마련되어야 한다.

1-3 준비

작업계획, 작업내용 등을 충분히 검토·이해하고 설치 현장의 상태와 각 부재의 조립도에 따라 다음 사항을 확인한다.

- (1) 물탱크 설치 현장의 상태 (설치 면적, 높이 및 콘크리트 패드 설치 여부 확인)
- (2) 설치될 탱크의 치수 (높이, 길이, 폭) 및 칸막이 판넬의 위치
- (3) 설치될 현장의 벽면과 외부보강프레임 단부와의 간격
- (4) 맨홀 및 유출구 위치
- (5) 현장내 공지의 상황 및 재료반입을 위한 출입구 위치, 넓이
- (6) 가스, 수도, 전기 등의 배관 및 배선계통의 위치

2. 기초시스템

본 NICE 물탱크의 기초시스템은 전체 보강시스템의 기반이 되는 시스템으로 공학적으로 가장 중요한 역할을 담당한다. 물탱크 벽면에 작용한 수압은 외부보강프레임 또는 내부칸막이보강프레임의 하단부에 집중되며 C채널을 통해 바닥 강판넬로 전달된다. 따라서 바닥 강판넬들의 연결구조에 의해 수압에 저항하게 되므로, 본 기초시스템의 제작과 조립에 특히 주의하여야 한다.

2-1 콘크리트 패드

콘크리트의 강도는 180kg/cm^2 이상이어야 하며 패드의 높이는 500mm 이상으로 한다. 기초 콘크리트 패드 공사는 발주자측이 시공하며 정확한 치수를 확인하고 각 부재의 제작에 들어가야 한다. 콘크리트 패드의 길이와 폭은 다음과 같이 규정하며, 그림 1의 배치도를 참고한다.

표 1. 콘크리트 패드 치수

길이		$L = l + 500\text{mm}$ (양쪽으로 최소 250mm)
폭	내측패드	$2B_i$ (B_i 는 최소 100mm)
	외측패드	$B_i + B_o$ (B_o 는 최소 250mm)
l = 바닥강판넬 수 x 바닥 강판넬 폭		
w = 바닥강판넬 수 x 바닥 강판넬 길이(폭)		

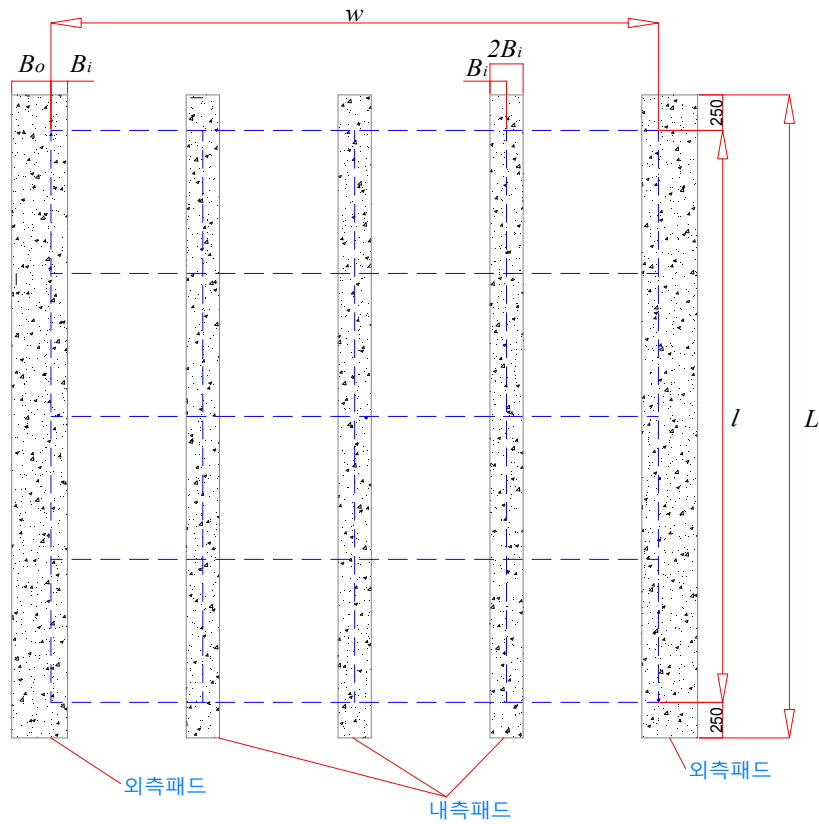
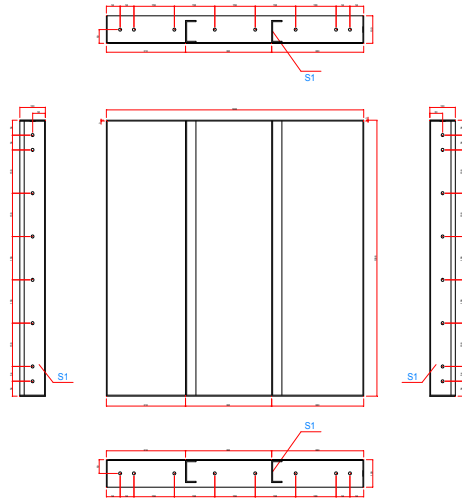


그림 1. 콘크리트 패드 배치도 (바닥 강판넬 4x4 물탱크, 예시)

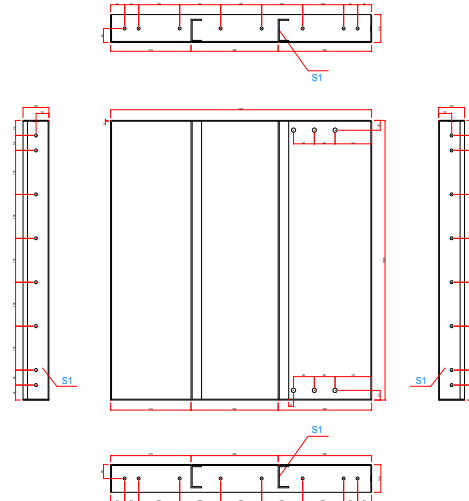
2-2 바닥 강판넬

바닥 강판넬은 A-type과 B-type으로 구분되며, 현장에 설치될 물탱크의 면적을 고려하여 각 type을 적절하게 배치하여야 한다. B-type은 내부칸막이보강프레임의 고정을 위한 볼트홀이 존재하므로 이를 고려하여 판넬의 위치와 조립에 유의하여야 한다. 바닥 강판넬은 각각의 플랜지끼리 8개의 볼트로 연결해야 하며 수압에 의한 외부보강프레임의 하단부 반력을 저항할 수 있도록 한 개도 빠짐없이 체결되어야 한다.

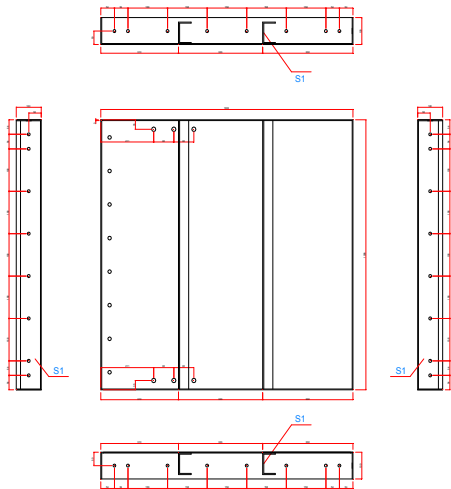
A-1



B-1



B-2



B-3

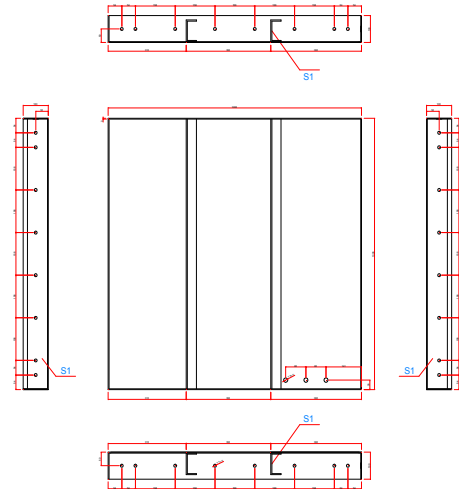


그림 2. 바닥 강판넬 (예시)

2-3 C채널

C채널은 CA-1과 CA-2, CB 등으로 구분되며 바닥 강판넬의 바깥쪽 플랜지부와 외부보강프레임의 하부 수직보강재, 그리고 SMC 판넬의 하부 플랜지를 연결시키는 부재로써, 현장에 설치될 물탱크의 면적을 고려하여 각 부재를 적절하게 배치하여야 한다(그림 3).

각각의 부재에는 CC-L과 CC-R을 용접하여 부착해야하며 각 부재가 놓이는 위치에 따라 양단 모두 또는 한쪽에만 용접 부착한다. CC 부재는 외부보강프레임의 하부 수직보강재의 바닥판이 연결되어야 하므로 볼트 구멍이 정확하게 위치하여야 하며, 현장에서 조립 오차를 줄이기 위하여 볼트 구멍을 약간 여유 있게 제작하는 것이 바람직하다.

또한 콘크리트 패드에 고정시키는 앵커가 설치되는데, 이때 앵커는 물탱크 본체의 이동을 완벽하게 방지할 수 있도록 설치되어야 하며 내진설계가 포함된 물탱크의 경우에는 특별히 조립에 주의를 요한다. 콘크리트 패드에 매입되는 앵커의 지지력을 확보할 수 있도록 앵커의 매입깊이를 확보하거나, 앵커가 매입되는 기초 패드의 콘크리트에 적절한 철근 배근이 필요하다.

각 부재별 제작 개수는 표 2와 같다. 4변을 갖는 각형 물탱크의 경우이며, 계단식 평면을 갖는 제품의 경우에는 형상에 따라 개수를 다시 산정해야 한다.

표 2. C채널 부재별 제작 개수

부재명	제작 개수
CA-1	$n = \text{물탱크 4변길이(m)} - 8$ (4mx4m 인 경우 8개)
CA-2	$n = \text{물탱크 변의 개수}$ (4변형인 경우 4개)
CB	$n = \text{물탱크 변의 개수}$ (4변형인 경우 4개)
CC-L	$n = \text{물탱크 4변길이(m)} - 4$
CC-R	$n = \text{물탱크 4변길이(m)} - 4$

그림 3에 기초시스템의 배치도를 나타내었으며 그림 4에 기초시스템의 조립 예를 도시하였다.

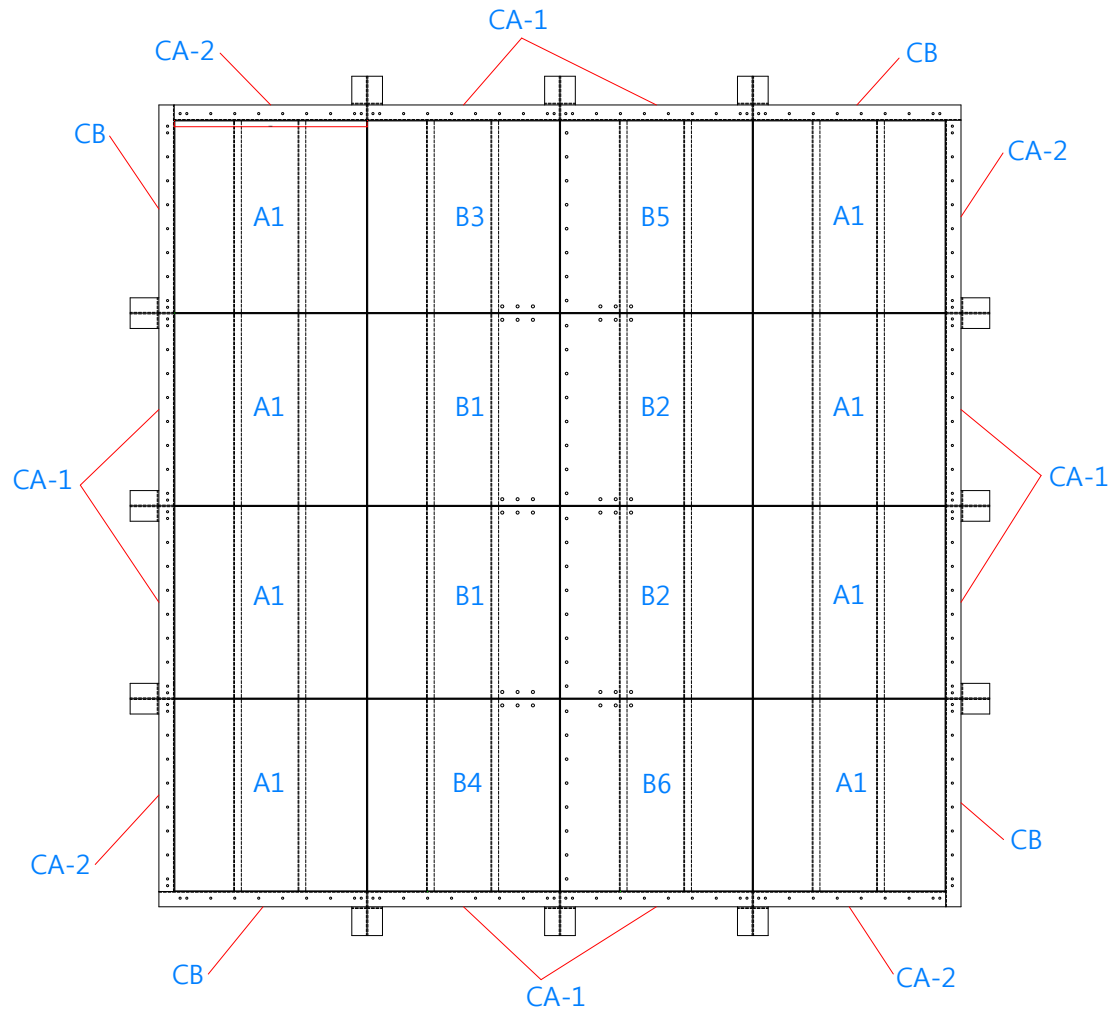
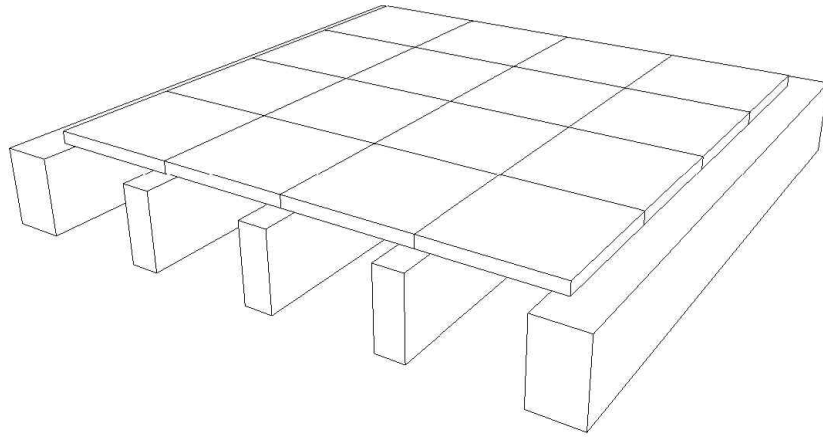
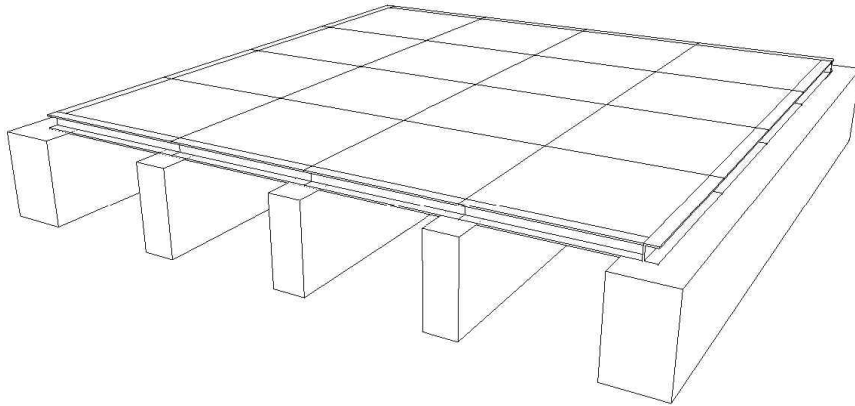


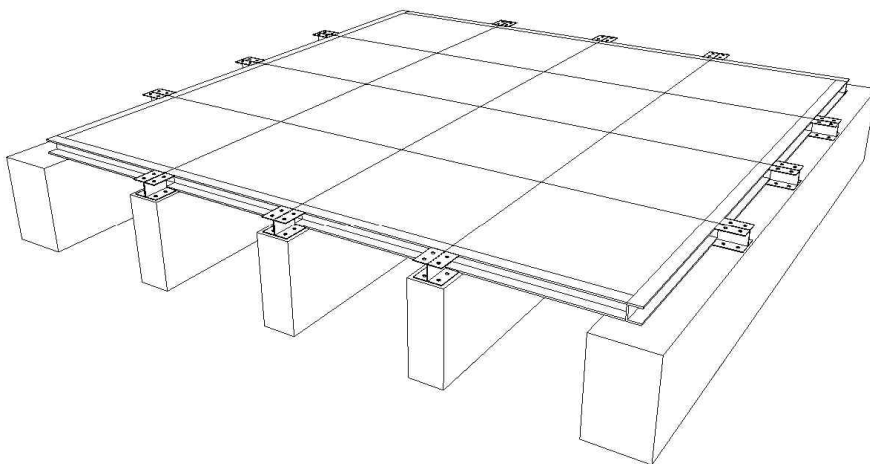
그림 3. 기초시스템 배치 예 (4x4 물탱크)



(a) 콘크리트 패드 + 바닥 강판넬 설치



(b) C채널 조립



(c) CC 조립

그림 4. 기초시스템 조립 예 (4x4 물탱크)

3. 외부 및 내부칸막이보강시스템

본 NICE 물탱크의 외부 및 내부칸막이보강시스템은 물탱크 벽면의 측판 사이에 설치되어 수압에 직접적으로 저항하는 역할을 하며, 프레임 하부를 통해 기초시스템으로 응력을 원활하게 전달하여야 한다. 또한 상부에는 천장을 가로지르는 환풍이 설치되어 물탱크의 벽면에 수압으로 인한 큰 변형이 발생하는 것을 방지한다.

3-1 외부보강프레임

외부보강프레임은 T형 단면을 갖는 부재로써 측벽 판넬의 플랜지 사이에 끼워지며 바깥쪽에서 보강용 앵글과 함께 볼트 연결한다. 외부보강프레임과 앵글, 측판의 플랜지가 함께 결합되므로 볼트 구멍 제작 시 유의하여야 한다(그림 5~6).

하부에는 수직보강재와 지지판이 용접 부착되며, 지지판은 기초시스템의 CC 부재와 연결되어야 하므로 볼트 구멍이 정확하게 위치하여야 하며, 현장에서 조립 오차를 줄이기 위하여 볼트 구멍을 약간 여유있게 제작하는 것이 바람직하다. 외부보강프레임 하부의 측판 플랜지와 연결되는 단부는 물탱크 내부의 방수용 바닥 비닐과 맞닿는 부분으로, 물탱크 공용기간 중 외부보강프레임의 모서리부에 의해 비닐이 손상될 수 있으므로 모서리를 둥글게 가공하는 것이 좋다(그림 7). 외부보강프레임의 하부는 제작 오차로 인한 단차나 C채널, 콘크리트 패드 사이의 유격이 발생하지 않도록 조립에 유의하여야 하며, 유격 발생 시에는 박판 등을 틈에 채워 넣어 모든 면이 지지되도록 해야 한다.

앵글은 측판의 플랜지 안쪽에 들어가야 하므로 2m 판넬의 경우에는 1.95m, 1m 판넬의 경우에는 0.95m로 제작하여야 한다. 또한 상부에는 천장 강봉을 연결하기 위한 볼트 구멍이 제작되어야 하며 덮개용 평판이 용접 부착된다(그림 8). 모든 부재간의 연결은 연속 필렛용접으로 한다. 외부보강프레임의 제작 개수는 표 3과 같다.

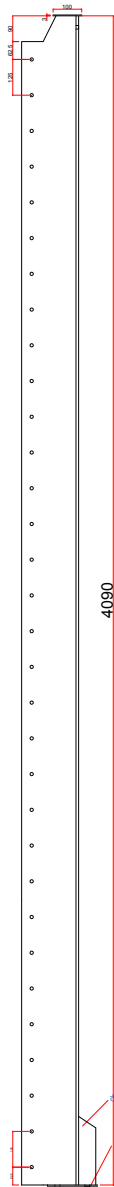


그림 5. 외부보강프레임 (예시, 4m용)

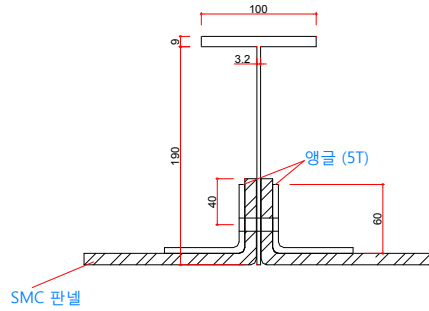


그림 6. 외부보강프레임 단면 (예시, 4m용)

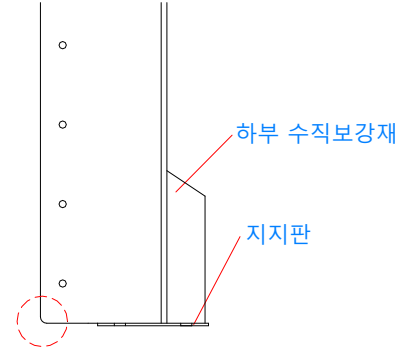


그림 7. 외부보강 프레임 하부 (예시)

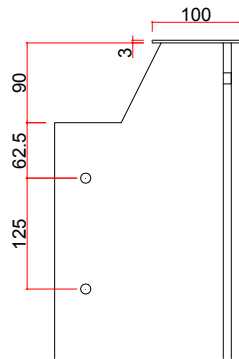


그림 8. 외부보강 프레임 상부 (예시)

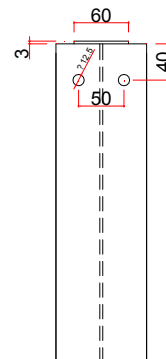


표 3. 외부보강프레임 제작 개수

부재명	제작 개수
외부보강프레임 (T-프레임)	$n = \text{물탱크 4변길이(m)} - 6$ 단, 칸막이가 없는 경우에는 $4\text{변길이(m)} - 4$

3-2 내부칸막이보강시스템

■ 칸막이보강프레임 (I-프레임)

칸막이보강프레임 (I-프레임)은 I형 단면을 갖는 부재로써 외부보강프레임(T-프레임)과 유사한 방식으로 칸막이 판넬과 결합된다. I-프레임의 복부에는 칸막이판넬의 조립을 용이하게 함과 동시에 보강 효과까지 주기 위한 지지대가 용접 부착된다. 그림 9와 같이 ㄷ형태로 제작하여 스팟 용접을 한다. I-프레임의 상부에는 I-프레임 지지용 평판을 연결하기 위한 볼트 구멍이 제작되어야 하며 지지용 평판의 부착을 위해 그림 10과 같이 플랜지의 일부를 잘라내어야 한다.

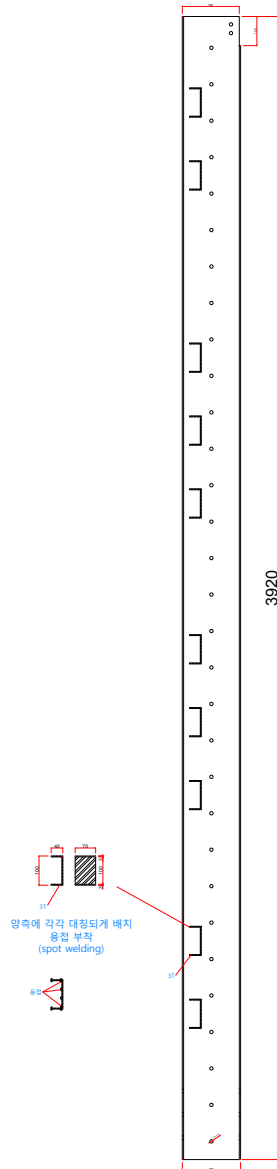


그림 9. I-프레임
(예시, 4m용)

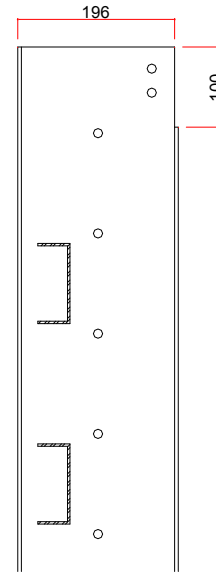


그림 10. I-프레임 상부 (예시, 4m용)

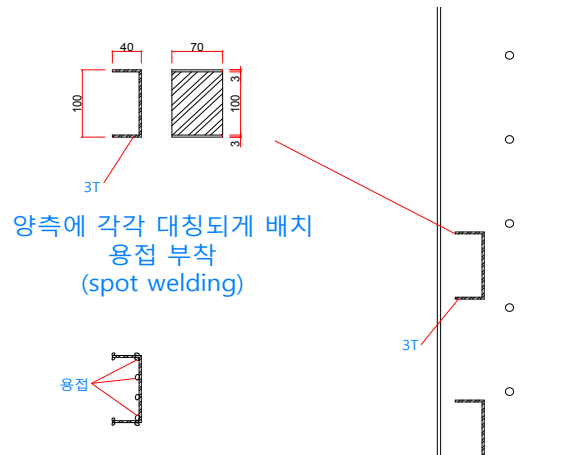
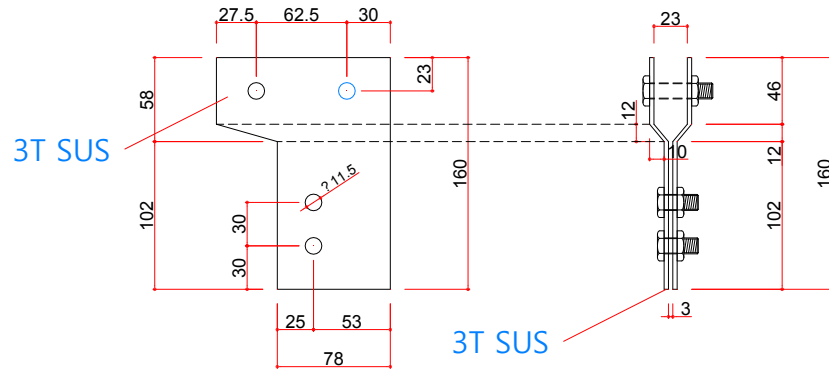


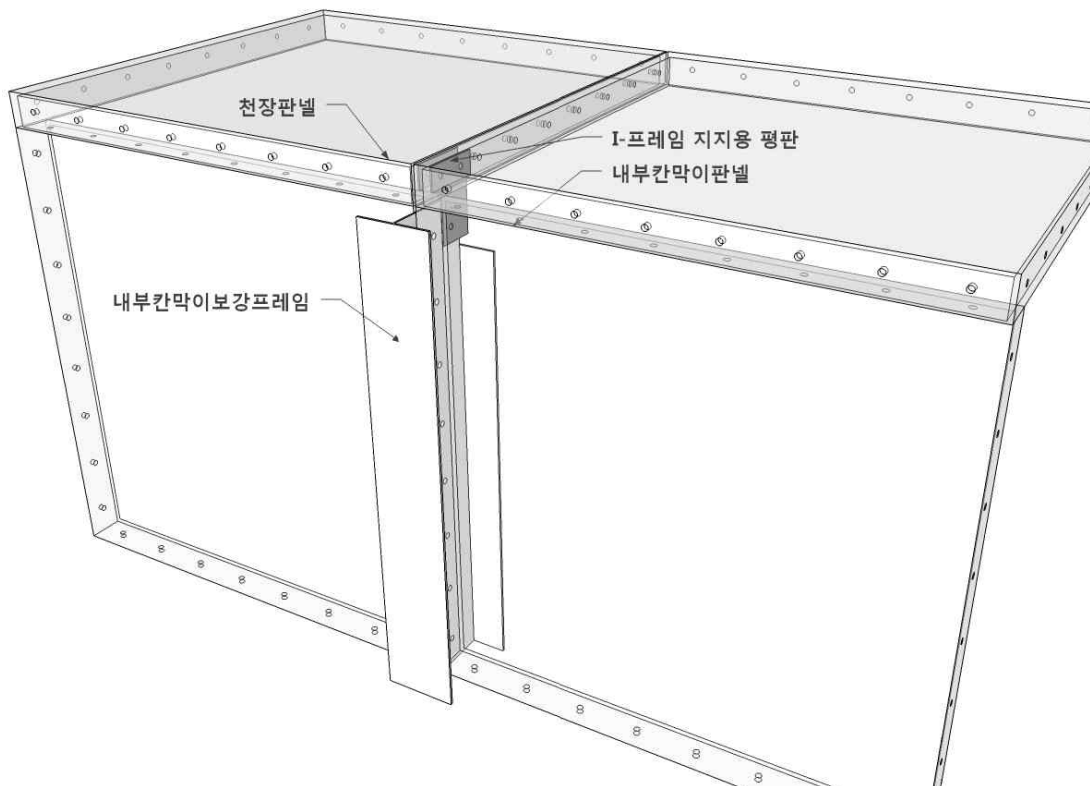
그림 11. 칸막이판넬 지지용 보강재 (예시,
4m용)

■ I-프레임 지지용 평판

I-프레임 지지용 평판은 I-프레임과 천장 판넬을 연결하는 역할을 하는 부재로써, 1개소에 2판이 하나의 세트로 제작되어 설치하여야 한다(그림 12).



(a) I-프레임 지지용 평판 제원 (예시)

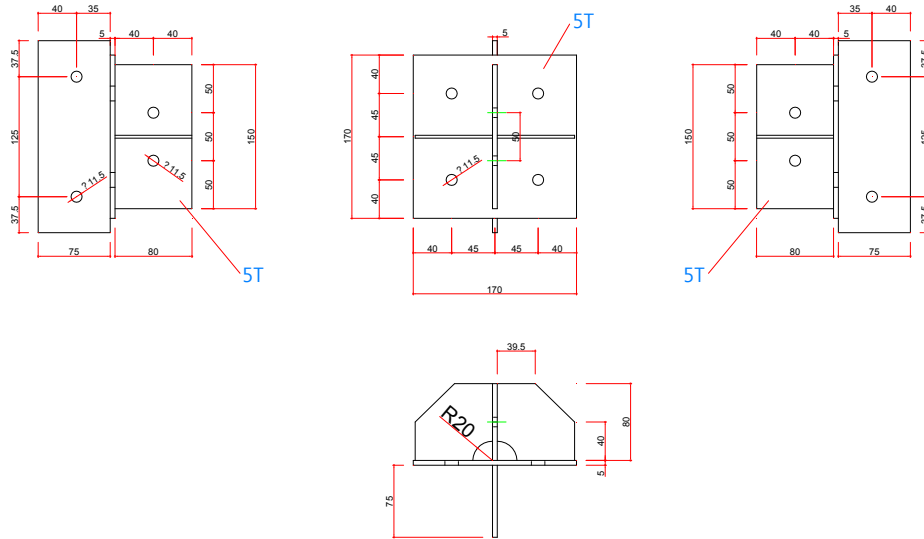


(b) I-프레임 지지용 평판 조립 예

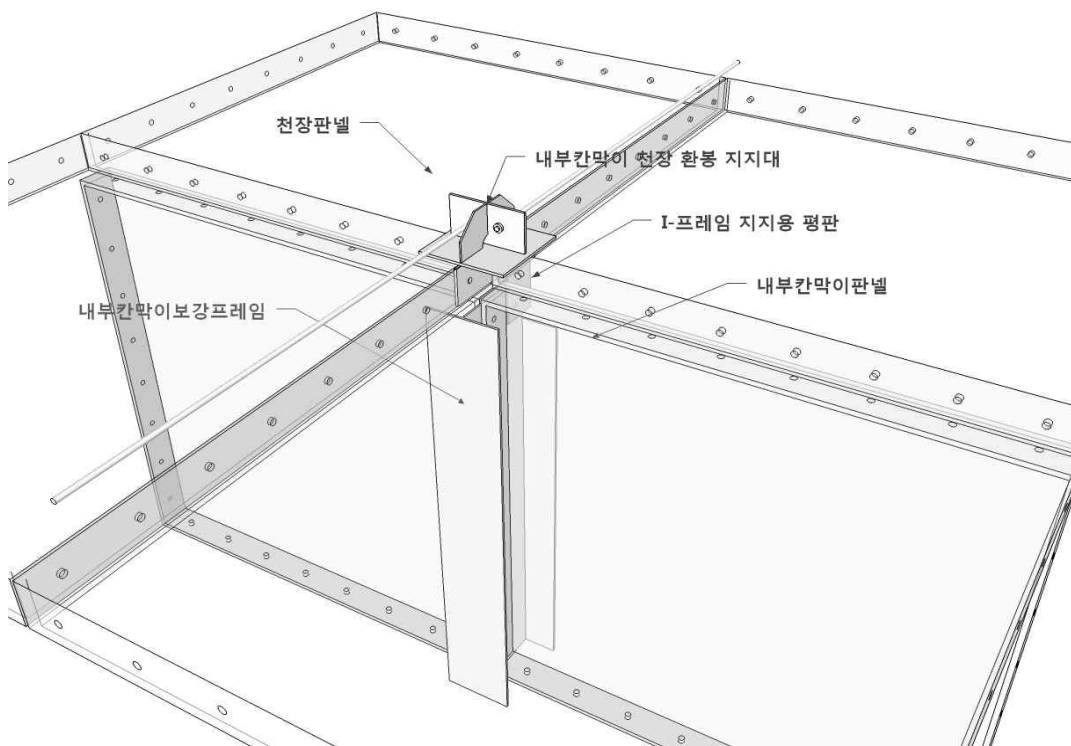
그림 12. I-프레임 지지용 평판

■ 내부칸막이 천장 환풍 지지대

천장 환풍 지지대는 칸막이가 설치되는 위치에 따라 4개의 천장판넬이 만나는 곳에 설치되며 물탱크 양 단부의 외부보강프레임 상단에 고정된 환풍을 내부칸막이 상단에서 잡아주는 역할을 한다(그림 13).



(a) 천장 환풍 지지대 제원 (예시)

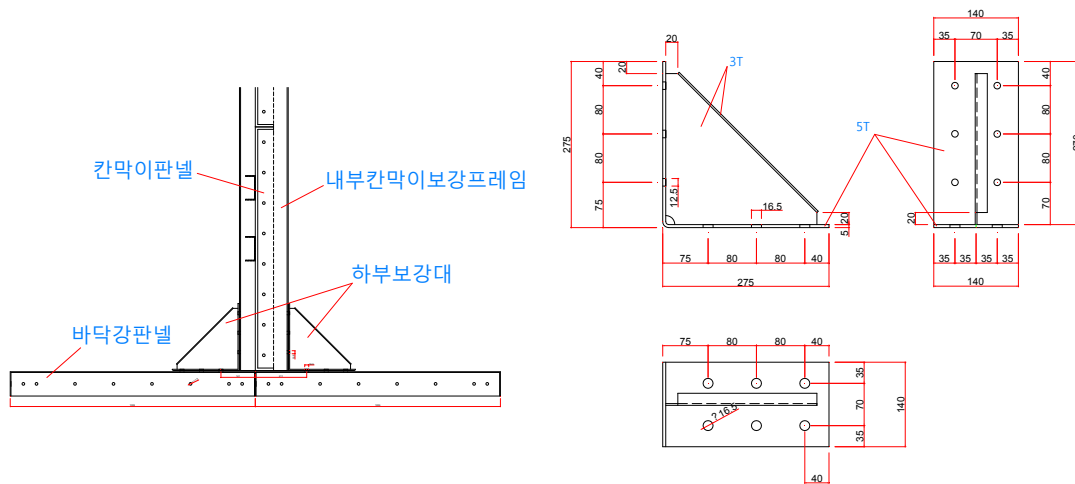


(b) 천장 환풍 지지대 조립 예

그림 13. 천장 환풍 지지대

■ 하부 보강대

하부 보강대는 칸막이용 I-프레임의 하부와 기초 강판넬의 B-type을 연결시키는 부재로써, I-프레임이 받는 수압이 바닥강판넬에 확실히 전달되도록 해야 하므로 제작과 설치 및 조립에 유의하여야 한다. I-프레임의 하부 플랜지와 기초강판넬에 볼트로 연결되며, 볼트 구멍 위치에 주의하여야 한다. 또한 삼각형 평판의 좌굴 방지를 위하여 반드시 단부에 보강판을 부착하여야 하며 모든 부재는 연속 필렛용접으로 한다.



(a) 하부 보강대 설치 예

(b) 하부 보강대 제원 (예시)

그림 14. 하부 보강대

내부칸막이보강시스템의 각 부재의 제작 개수는 다음과 같다.

표 4. 내부칸막이보강시스템 각 부재의 제작 개수

부재명	제작 개수
I-프레임	$n = \text{칸막이 폭} - 1$
I-프레임 지지용 평판	$n = \text{칸막이 폭} - 1$ (1개소 2판 1세트)
천장 환풍지지대	$n = \text{칸막이 폭} - 1$
하부 보강대	$n = (\text{칸막이 폭} - 1) \times 2$

3-3 코너보강프레임

코너보강프레임은 물탱크 4변의 각 모서리를 보강하여 수압으로 인한 뒤틀림이나 측판의 벌어짐 등을 막기 위한 보강재로써, 각 모서리부에 물탱크 높이별로 1m마다 판넬 플랜지 사이에 설치한다.

코너보강프레임은 T형 단면을 갖는 프레임과 측판 플랜지를 평판을 사용하여 T프레임을 감싸는 형태로 볼트 연결한다.(그림 15). 천장에 위치한 모서리부는 그림 16과 같이 제작하여 평판 하나로 연결한다. 그림 17, 18은 각 코너보강프레임의 조립도를 나타낸 것이다.

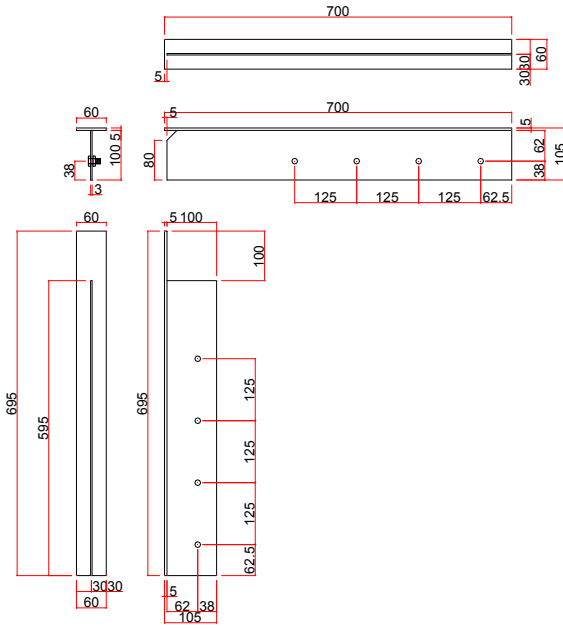


그림 15. 코너보강프레임 (예시)

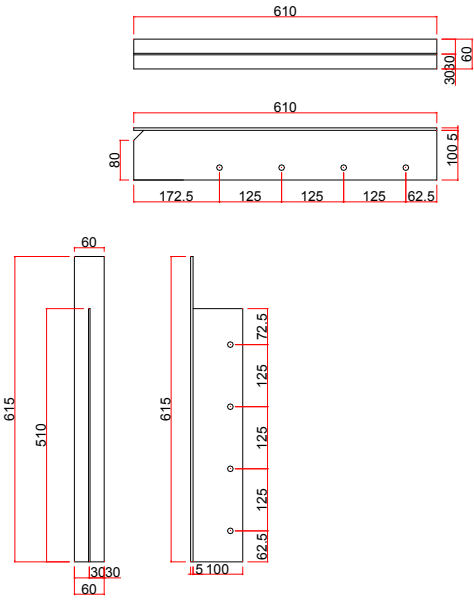


그림 16. 코너보강프레임 천장용 (예시)

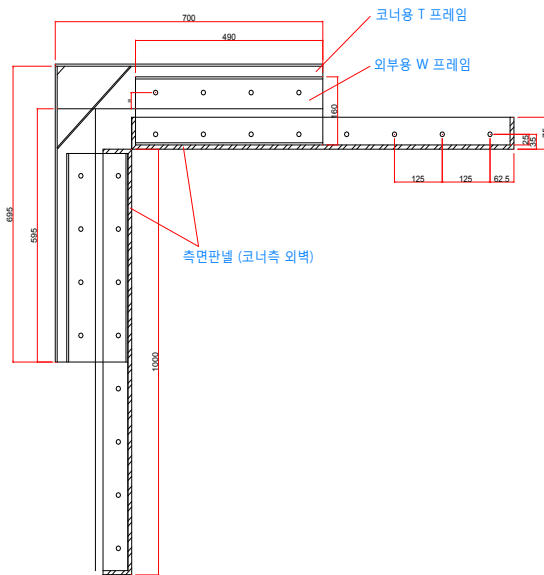


그림 17. 코너보강프레임 조립도

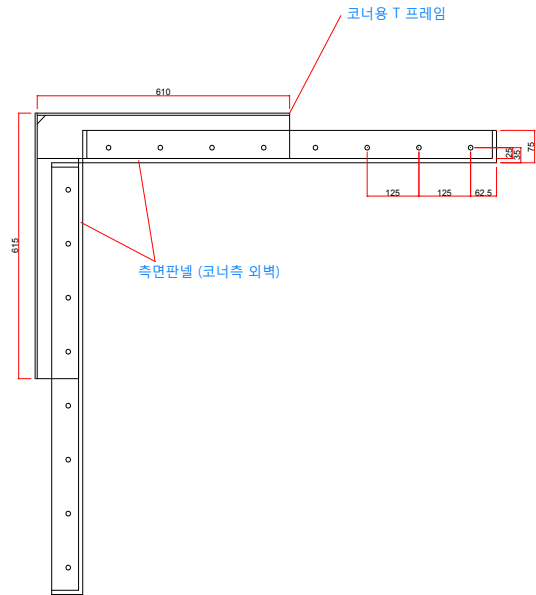


그림 18. 코너보강프레임 천장용 조립도

3-4 천장 환풍

천장 환풍은 각 외부보강프레임의 상단에 설치되어 물탱크 천장을 가로질러 반대편 외부보강프레임에 연결된다. 물탱크의 수위에 따라 적절한 규격을 선정하여 설치하며, 현장 조건이나 물탱크 규격에 따라 강봉 또는 와이어를 1줄 또는 2줄을 사용한다. 천장 환풍은 그림 19와 같이 물탱크의 양단(외부보강프레임 상단)에 고정하며, 내부칸막이가 설치되는 경우에는 반드시 내부칸막이 상단의 환풍지지대에 고정해야 한다. 그림 20에 2줄 연결 시의 고정방법을 도시하였으며, 수위가 낮거나 특별한 경우에는 그림 21과 같이 1줄로 연결한다.

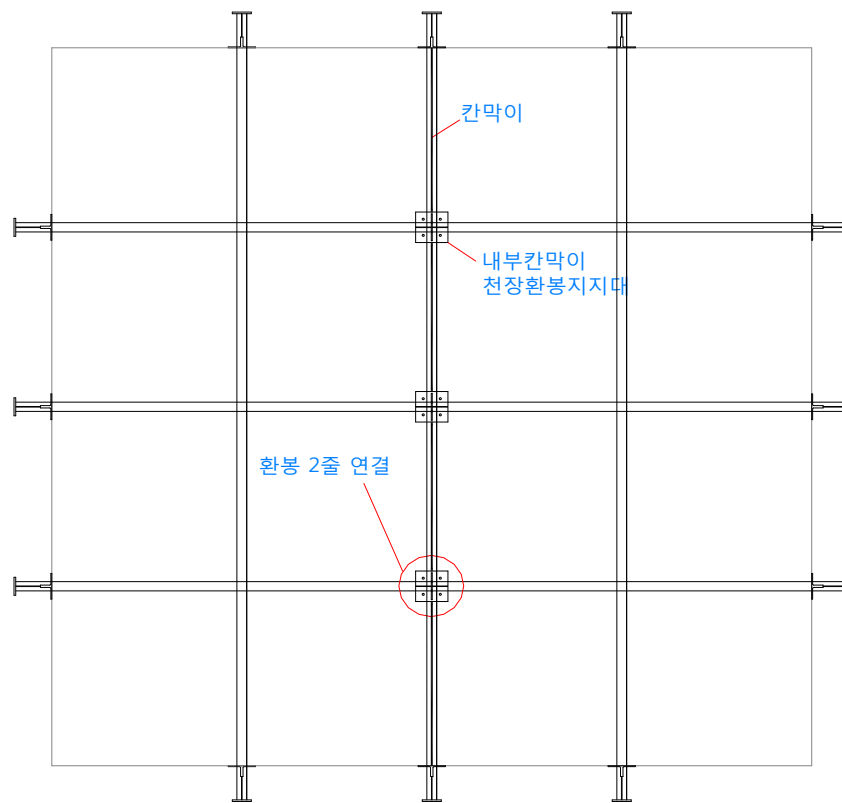


그림 19. 천장 환풍 설치 (예시, 4m x 4m 물탱크)

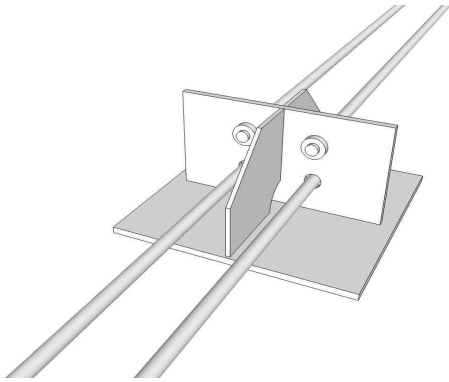


그림 20. 2줄 연결 시

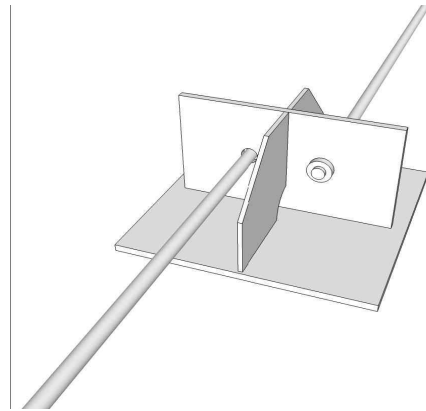


그림 21. 1줄 연결 시

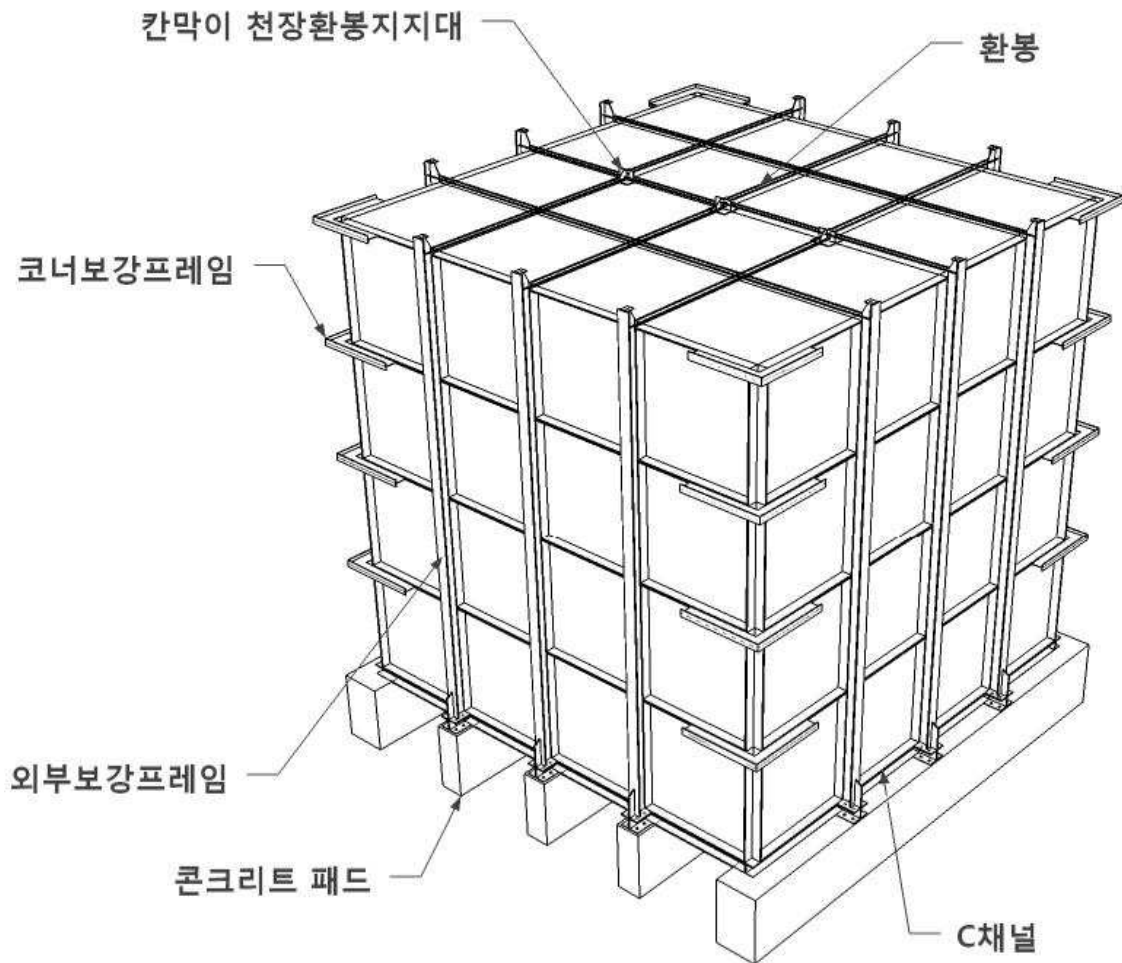


그림 22. NICE 물탱크 전체 조립 예 (4x4 물탱크)

4. 기타 부속품

4-1 SMC 판넬

판넬의 재질은 SMC를 주원료로 하여 프레스 금형에 의해 제작된 제품으로 식용수 저장 시 유해하지 않아야 한다. 판넬을 측판, 상판, 저판, 맨홀, 드레인판으로 구분되며 각 변의 길이(1000×2000mm, 1000×1500mm, 1000×1000mm, 1000×500mm, 500×500mm)를 기준으로 하여 탱크의 규격에 따라 호환성 있게 적용한다. 탱크 높이 및 적용부위에 따라 작용하는 하중이 다르므로 위치별 판넬 두께를 다르게 해야 한다.

4-2 맨홀

잠금 장치가 부착된 것으로 내부 청소 및 보수가 가능하도록 출입이 용이하고 빗물이 유입되지 않는 구조로 하며, 안전을 위하여 시건장치를 한다.

4-3 사다리

충분한 하중과 부착의 견고성이 있어야 하며 위생상 무해한 제품이어야 하고 스테인레스 재질 (STS 304)의 $\varnothing 31.8 \times 1.2t$ 의 파이프를 사용하나 물탱크의 높이에 따라 그 직경을 달리한다.

4-4 밀봉재 (씰링재)

위생상 무해한 재질로 온도 변화에 이상이 없고 판넬과 동일한 수명을 갖는 내구성과 복원력이 우수한 테이프 형상의 제품(곰팡이 이끼가 끼지 않는 무독성 물질)이어야 한다.

4-5 배관재

입구, 출구 드레인 오버플로우, 소화구의 피팅은 적절한 재질의 것을 규격에 따라 선택 사용한다.

4-6 환기구용 판넬

물탱크의 천장 판넬에는 환기구용 판넬이 포함되어야 하며 적절한 위치에 규격에

따라 설치한다.

4-7 볼트

각 부재들을 조립할 때, 강재와 강재를 연결하는 볼트는 반드시 고장력 볼트를 사용하여야 한다.

4-8 내부천장지지대

천장판넬과 작업자 및 장비의 중량을 지지할 수 있도록 적절한 간격으로 지지대를 설치하여야 한다. 지지대는 파이프나 앵글 등을 적절한 규격에 맞추어 설치한다.

5. 추가 사항

■ 코너부 상부 환풍지지대

그림 23과 같이 물탱크가 설치될 지하실 등의 구조나 형태에 따라 물탱크의 벽면을 계단식으로 배치하여 조립해야 될 경우가 있다. 이때 코너부에는 외부보강프레임을 설치할 수 없어 천장의 환풍이나 와이어를 고정시킬 부재가 없는데, 이를 위하여 코너부 상부 천장판넬에 코너부 상부 환풍지지대를 설치한다(그림 24). 코너부 상부 환풍지지대는 길이 500mm의 앵글로 한쪽면의 볼트 구멍 4개로 천장 판넬과 연결되며, 다른 면의 볼트 구멍에 환풍이나 와이어를 고정시킨다.

현장의 상황에 따라서 부재들을 적절히 가공하여 설치하되, 천장의 환풍이나 와이어는 칸막이부 위에 설치되는 천장 환풍 지지대를 중심으로 양쪽이 별도로 지지되어야 함을 원칙으로 한다.

코너부 상부 환봉지지대

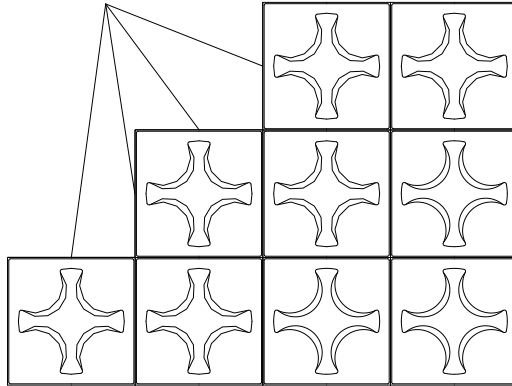


그림 23. 계단식 벽면을 갖는 물탱크 평면도 (예시)

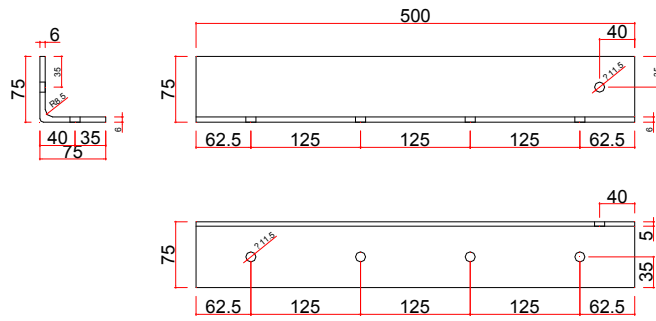


그림 24. 코너부 상부 환봉 지지대 (예시)

6. 시험 및 검사

각 자재는 사양에 준하여 휨 및 균열이 없어야 하며 조립 설치된 상태에서 만수시험, 누수 시험 등에 이상이 없어야 하고 수압 변형은 탱크 높이의 1/100 이내이어야 한다.

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설교통RnD정책인프라사업의 저장식수의 부식오염방지와 내진성능향상을 위한 고수위 SMC 물탱크용 외부보강시스템 개발 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.