

(뒷면) (옆면)

(앞면)

3cm	2014 0503	4cm	보안과제(), 일반과제() / 공개(), 비공개() 해양수산 연구기획사업 제1차년도 최종보고서 (건고덕13p) 3cm
	한국형 항만 및 어항 내진설계기술 정립기획연구 최종보고서 (건고덕 14p)		0.5cm <div>R&D / 2014-0503</div> 2.5cm9cm
			(건고덕31p)5cm
			한국형 항만 및 어항 내진설계기술 정립 기획연구 최종보고서
			(0.1cm)
			2015 . . .
			0.15cm(건고덕15p)
			(별 색바탕 : C50, M20, Y59, K0)
			주관연구기관 / 사단법인 한국지진공학회 위탁연구기관 / 특허법인 주원 2cm
			(건고덕 15.5p)
			(백색바탕)
5cm	2015 (건고덕13p)		
	한국해양과학기술진흥원 해양수산부 (건고덕 17p)		
3cm		(건고덕 25p)	
			해양수산부 (전문기관) 한국해양과학기술진흥원 (건고덕 20p)

제 출 문

해양수산부 장관 귀하
이 보고서를 "한국형 항만 및 어항 내진설계기술 정립 기획연구"기획과제의 보고서로 제출합니다.

2015. 05. 18.

주관연구기관명 :사단법인 한국지진공학회

주관연구책임자 : 김 동 수

연 구 원 : 최 재 순

" : 김 동 현

" : 이 진 선

" : 이 철 응

" : 김 동 욱

" : 이 태 형

" : 김 재 민

" : 김 성 렬

" : 허 정 원

" : 이 문 교

" : 권 오 규

" : 노 경 도

" : 신 희 수

" : 박 효 상

" : Nguen Duy Duan

" : 김 유 라

" : 이 시 훈

" : 박 승 찬

위탁연구기관명 : 특허법인 주원

위탁연구책임자 : 길 용 준

보고서 요약서

과제고유번호	20140503	해 당 단 계 연 구 기 간	2014.12.03. ~2015.06.02.	단 계 구 분	1차년도/ 1차년도
연 구 사 업 명	해양수산 연구기획사업				
연 구 과 제 명	한국형 항만 및 어항 내진설계기술 정립 기획연구				
연 구 책 임 자	김 동 수	해당단계 참 여 연구원수	총 : 19명 내부 : 19명 외부 : 명	해당단계 연 구 비	정부 : 60000천원 계 : 60000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 19명 내부 : 19명 외부 : 명	총연구비	정부 : 60000천원 계 : 60000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	사단법인 한국지진공학회		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 특허법인 주원		연구책임자 : 길 용 준		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	239
<div>가. 국내외 환경 분석 및 동향 조사</div> <div>○ 국내외 관련 기술 동향 및 기술수준 조사</div> <div>○ 국내외 정책추진 동향 및 관련 제도 조사</div> <div>나. SWOT분석</div> <div>다. 비전 설정 및 세부추진과제 도출</div> <div>○ 연구개발 추진방향 및 비전 정립</div> <div>○ 비전 달성을 위한 세부추진 과제 도출</div> <div>라. 연구개발 목표 및 범위 설정</div> <div>○ 세부추진과제 별 목표 및 연구내용 설정</div> <div>○ 세부추진과제 별 성과목표 및 지표 설정</div> <div>마. 연구개발 타당성 분석</div> <div>○ 정책적 타당성 분석(정부지원의 필요성 등)</div> <div>○ 기술적 타당성 분석(중복성 검토 등)</div> <div>○ 경제적 타당성 분석(경제성 분석 등)</div> <div>바. 연구개발 추진계획 수립</div> <div>○ 세부추진과제별 단계별 추진체계 및 로드맵 작성</div> <div>○ 소요예산 및 적정연구기간 산출</div> <div>사. RFP 및 최종보고서 작성</div> <div>○ 과제 공모용 제안요구서(RFP) 및 최종보고서 작성</div>					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	항만구조물, 내진설계, 신뢰성설계, 성능설계, 항만설계기준			
	영 어	Coastal Structure, Seismic Design, Reliability Based Design, Performance Based Design, Design code for Coastal Structures			

I. 제 목

한국형 항만 및 어항 내진설계기술 정립 기획연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1995년 일본 효고현 남부지진(고베지진)으로 인한 일본 최대 고베항에 대규모 피해가 발생하면서 기존 내진설계(유사정적/허용응력 설계법) 기준의 문제점이 제기되었다. 기존의 유사정적해석 및 허용응력 설계법으로는 고베지진과 같은 Level II 수준의 지진에 대하여 항만구조물 설계가 불가능한 사실이 지적되었으며, 이로 인하여 내진설계에 있어서 성능기반 설계기법의 필요성이 대두되었다. 이에 따라 외국의 항만내진설계는 지진 시 항만 시설물의 요구성능을 정의하고 성능 확보에 주안점을 두고 있다. 지진이 빈번한 일본의 경우 항만시설에 대해서 전 세계적으로 가장 선진화된 설계기준을 도입하여 적용하고 있으며, 2009년 기존 내진설계기준을 ‘성능기반설계(performance-based design)’로 전환하였다. 국제항해협회(INA, 2001)에서는 구조물의 피해 관점과 기능적 피해 관점을 종합하여 내진성능목표를 설정하고 그 수준에 맞는 성능기반내진설계를 실시하도록 하고 있다. 본 기획과제를 통해 실시한 경제성 분석 결과 성능기반내진설계를 도입한 경우, 건설 초기비용 및 수명주기비용이 절감됨을 알 수 있었다. 반면 국내 항만내진기준은 외국의 설계기준을 준용한 후 국내 실정에 맞는 검증작업이 이뤄지지 않았으며, 내진설계가 필요한 시설과 이들의 내진등급에 대한 정의가 불명확한바 이에 대한 연구를 통해 내진설계가 필요한 시설과 이들의 내진등급에 대한 분명한 정의를 규정하고, 실험적 검증기법을 통하여 국내 실정을 반영한 성능기반 항만 및 어항 내진 설계법 도입이 필요하다. 또한, 국내 내진설계기준간의 상이한 내용이 현업에서 혼란을 야기하고 있어 통일된 설계기준 및 성능평가를 위해 내진설계기술을 개선하는 것을 본 연구의 최종 목표로 하며, 본 연구에 대한 종합연구계획을 수립하고 타당성을 분석하는 것이 본 기획연구의 첫 번째 목표이다.

유럽, 미국, 일본 등의 선진국들은 90년대 후반에서 2000년대 후반까지 항만구조물의 설계에 한계상태설계법을 적용하고 있으며 최근의 중동, 아프리카 및 아시아 권에서 발주되는 항만 공사에서는 이미 유로코드를 기반으로 한 한계상태설계법을 적용할만큼 보편화 되어 있는 상황이다. 한계상태설계법은 태풍, 지진 등의 설계외력과 사용재료 및 설계조건에 잠재된 다양한 설계변수들의 불확실성과 발생확률을 고려하여 최적의 안전과 경제성을 담보할 수 있는 설계법으로 국내에서는 도로교설계기준이나 강구조 설계기준에 속속 채택되고 있다. 그러나 항만 및 어항 설계기준에는 아직까지 결정론적 설계기준에 머물러 있으며 2014년 개정판을 집필함에 있어 한계상태설계기준으로의 전환 필요성이 적극 제기되기도 하였다. 따라서, 항만구조물 설계기준의 한계상태기준을 개발하여 국제적 추세에 부응하고 자연재해에 대비한 안전하고 경제적인 설계를 도모하며 기존 항만시설물의 성능평가를 합리적으로 수행하여 국가 물류의 중추적 기능을 담당하고 있는 항만의 지속가능한 설계, 시공, 유지관리가 가능하도록 해야 할 것이다. 따라서, 본 과제의 또 하나의 목표인 항만시설의 신뢰성 기반 한계상태설계기준 개발을 위한 연구계획 수립과 타당성 분석을 본 기획연구의 두 번째 목표로 설정한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

가. 국내외 환경 분석 및 동향 조사

- 국내외 관련 기술 동향 및 기술수준 조사
- 국내외 정책추진 동향 및 관련 제도 조사
- 연안 및 항만 시설 보호를 위한 인프라 구축 현황 조사

나. SWOT분석

- 성능기반 내진설계 SWOT분석
- 신뢰성 설계 SWOT분석

다. 비전 설정 및 세부추진과제 도출

- 연구개발 추진방향 및 비전 정립
- 비전 달성을 위한 세부추진 과제 도출

라. 연구개발 목표 및 범위 설정

- 세부추진과제 별 목표 및 연구내용 설정
- 세부추진과제 별 성과목표 및 지표 설정

마. 연구개발 타당성 분석

- 정책적 타당성 분석(정부지원의 필요성 등)
- 기술적 타당성 분석(중복성 검토 등)
- 경제적 타당성 분석(경제성 분석 등)

바. 연구개발 추진계획 수립

- 세부추진과제별 단계별 추진체계 및 로드맵 작성
- 소요예산 및 적정연구기간 산출

사. RFP 및 최종보고서 작성

- 과제 공모용 제안요구서(RFP) 및 최종보고서 작성

IV. 연구개발결과

가. 연구과제 도출

- 항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 기술 개발
- 항만 및 어항 시설물 한계상태설계기준개발

나. 세부추진과제 도출

- 세부 추진과제 도출과정
 - 기술수요조사 → 추진과제 후보군 도출 → 우선순위 분석 → R&D 수요 및 추진 타당성을 고려하여 최종 세부추진과제 선정
- 세부 추진과제 (항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 기술 개발)
 - 내진등급, 내진성능 및 성능목표 선진화
 - 항만구조물 성능기반 내진설계를 위한 시간이력 입력지진파 작성기술 개발
 - 항만 및 어항지반조사 및 D/B 구축
 - 중력식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발
 - 잔교식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발
 - 방파제의 성능기반 내진설계기술 개발
 - 크레인과 파이프라인의 성능기반 내진설계 및 보강 기술 개발
 - 간극수의 동적거동을 고려한 유효응력 개념의 내진해석기법 정립
 - 성능기반내진설계기준 단면개발 및 경제성 분석
- 세부 추진과제 (항만 및 어항 시설물 한계상태설계기준개발)
 - 중력식 안벽구조물의 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개발
 - 잔교식 안벽구조물의 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개발
 - 널말뚝식 및 기타(타이로드식, 돌핀 등) 안벽구조물의 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개발
 - 깊은기초 신뢰성 설계법 및 설계기준서 개발
 - 지반조사 및 사면안정 신뢰성 설계법 및 설계기준서 개발
 - 설계조건(외력) 및 재료의 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개발
 - 성능 수준별 항만구조물 얕은기초 및 지반개량공법 설계 및 시공 기술 개발
 - 경사제 및 소파블록 피복제의 신뢰성 기반 항만 및 어항설계기준 개발
 - 직립제, 혼성제, 상부사면케이슨제의 신뢰성 기반 항만 및 어항설계기준 개발
 - 직립소파블록제, 소파케이슨제의 신뢰성 기반 항만 및 어항설계기준 개발

다. RFP 및 최종보고서 작성

- 항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 기술 개발 RFP 작성
- 항만 및 어항 시설물 한계상태설계기준개발 RFP 작성

V. 연구개발결과의 활용계획

가. 과제의 전략적 방향 및 실행 방안을 제시함으로써 본 과제 추진 시 대규모 예산 투입에 따른 예산 효율성과 연구개발 성공가능성 제고

나. 본 과제 추진과정 발생 문제점 최소화

- (1) 정부의 추진전략 취지와 다르게 연구가 변질되는 문제점 예방
- (2) 기존 수행사업의 성과분석을 통해 시행오차 최소화
- (3) 연구조직 운영의 기본방향 제시

다. 예산 집행의 효율성 확보

- (1) 본격적인 과제의 추진에 앞서 대규모 예산 투입에 따른 예산집행의 효율성과 연구개발 성공 가능성을 높임
- (2) 현장에 직접적으로 활용 가능한 실용적인 연구 결과물을 확보하기 위한 구체적인 연구 방향 수립과 실현 가능한 성과 목표물 설정

라. 국민, 정부, 기술자가 공감하는 성과도출 가능

- (1) 기술수요조사 결과를 바탕으로 한 성과물 위주의 연구 추진 전략 제시 및 수요자 중심의 기술개발 추진 가능

SUMMARY

I . Title

Planning Research of Establishment of Seismic Design Technology for Korean coastal structures

II. Object and Necessity of this Study

From the Hyogo-ken Nambu Earthquake in 1995 in Japan causing huge damages in Kobe port, which is the biggest ports in Japan, several problems were identified on the conventional seismic design code (quasi-static/ working stress design method). It was pointed out that the conventional quasi-static and working stress method are not suitable for design of the coastal structures for earthquakes of level II. Therefore, a need for performance-based design was recognized. So theseismic design codes for coastal structures in foreign countries defined the required performances and has been focusing on ensuring seismic performances.

Japan, one of the most earthquake-prone regions of the world, introduced the most advanced design criteria and has been applying this criteria to coastal structures. On top of that, Japan has changed their seismic design code into performance-based design code in 2009.

International Navigation Association (INA) suggests to set a performance-based goal considering both the structural and functional damages, and to provide performance-based design that meets this level.

On the other hand, the application of the foreign design criteria to Korean seismic design code for coastal structures, has not been properly verified considering domestic circumstances. Therefore, it is necessary to clearly define the structures that would need to be built according to the seismic design code and their seismic grade. It is also needed to introduce performance-based design code for coastal structures considering domestic circumstances in Korea through the experimental verification. Additionally, the ambiguities in Korean seismic design codes currently causes confusion in actual work-site. Therefore, this research ultimately aims to improve seismic design technology for unified design criteria and evaluation of seismic performance. Finally, establishment of the comprehensive research plan and feasibility analysis are the overall goals of this planning research.

From 1990's to late 2000s, limit state design method have been applied to design of harbor structures in Europe, U.S., and Japan. Recent harbor construction orders placed by African, Middle east and Southeast countries requires Euro code, BS code which are based on limit state design methodology. Limit state design have been developed to ensure safety and cost effectiveness for life-time by considering uncertainties and probability of design variables such as external loads, material properties, and design condition. The design codes for road bridges and steel

structures have adopted limit state design concept recently. However, Design code for harbor structures has not yet headed for that design stream. When the code was revised in 2014, most writers agreed that limit state design methodology should be adopted to harbor design as soon as possible. On the other hand, limit state design code for harbor structures should be developed quickly, to make sustainable design, construction and maintenance of harbor structures which support over 90% transportation volume. To this end, another target of this planning research is to establish master plan for limit state design code for harbor structures.

III. Contents and of Research

1. Review of Korean and International seismic design criteria and research trends

- Research of Korean and international technical trends and technology level
- Research of Korean and international political trends and related laws
- Research of current infra-structure status for protection of coastal structures

2. SWOT analysis

- SWOT analysis of performance-based design
- SWOT analysis of reliability-based design

3. Future vision and detailed sub-projects

- Future direction of R&D and vision
- Detailed sub-projects for vision achievement

4. Objectives and scope of R&D

- Objectives and contents of detailed sub-projects
- Performance objectives and index

5. Validity analysis of R&D

- Political validity analysis (Needs for governmental supports, etc.)
- Technical validity analysis (Redundancy examination, etc.)
- Economical validity analysis (Economic analysis, etc.)

6. Strategic plan for R&D

- Implementation stages and roadmap of detailed projects
- Calculation of necessary budget and appropriate research period

7. RFP and final report preparation

- Preparation of Request For Proposal (RFP) and final report

IV. Research Achievements

1. R&D Projects

- Development of performance-based seismic design technology for enhancing design code for coastal structures
- Development of limit state design for coastal structures

2. Detailed sub-projects

- Process
 - Survey on technology demand → Selection of candidates → Priority analysis → Selection of final detailed project considering R&D demand and validity
- Detailed sub-projects (Development of performance-based design technology for enhancing design code for coastal structures)
 - Enhancement of seismic classification, seismic performance, and performance objectives
 - Development of time-history artificial earthquake for performance-based design technology for design code for coastal structures
 - Geotechnical site Characterization of harbor site and D/B construction
 - Development of performance-based design technology of gravity quay walls
 - Development of performance-based design technology of landing piers
 - Development of performance-based design technology of breakwaters
 - Development of performance-based design and reinforcing technology of cranes and pipe lines
 - Establishment of liquefaction evaluation technique considering dynamic behavior of pore water, and effective stress analysis of earthquake
 - Development of performance-based design model and economical analysis
- Detailed sub-projects (Development of limit state design for coastal structures)
 - Development of reliability based design code for gravity type quay walls
 - Development of reliability based design code for pier type quay walls
 - Development of reliability based design code for sheet pile type and other quay walls (tie-rod, dolphin, etc.)
 - Development of reliability based design code and design manual for deep foundation
 - Development of geotechnical investigation and reliability based design for slope stability
 - Development of reliability based design code for design condition and materials
 - Development of design and construction technology of shallow foundations and soil improving methods at each performance stages

- Development of reliability based design code for coastal structures of rubble-mound breakwaters and dissipating block
- Development of reliability based design code for vertical type, composite type, tilted apron type breakwaters
- Development of reliability based design code for armor blocks on vertical breakwaters and perforated wall breakwaters

3. RFP and final report preparation

- RFP for development of performance-based seismic design technology for enhancing design code for coastal structures
- RFP for development of limit state design for coastal structures

V. Application Plan of Research Results

1. Enhancing the possibility of successful completion of R&D project, and efficiency of execution of the large budget via suggestion of the strategic direction and action plan

2. Minimization of problems in the process

- (1) Maintaining research objectives that agrees governmental purpose
- (2) Minimization of trial and error through result analysis on previously performed projects
- (3) Suggestions for management of research organization

3. Improve efficiency of execution of the budget

- (1) Prior to initiation of project, raise the efficiency of execution of the large budget and possibility of successful completion of R&D
- (2) Establishment of realizable objectives and concrete research schedule to achieve result applicable to actual work-site

4. Delivering results that nation, government and engineers agree

- (1) Suggestion of strategies for achievement of research objectives based on the survey on technology demand and demand concentrated technology development

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	15
1. The need to develop performance-based seismic design technology for enhancing design code for coastal structures	15
2. The need to develop limit state design for coastal structures	18
3. Object and Necessity of planning research	19
4. Forward method and schedule	21
Chapter 2. Analysis of trend	26
1. Analysis of political trends and related laws	26
2. Analysis of coastal structure seismic design trends	27
3. Analysis of coastal structure reliability-based design trends	39
4. Analysis of trends for each facilities (Performance based design)	45
5. Analysis of trends for each facilities (Reliability-based design)	54
6. Analysis of patent trends	62
Chapter 3. SWOT analysis	66
1. SWOT analysis of performance based seismic design	66
2. SWOT analysis of reliability based design	67
Chapter 4. Technology demand survey	69
1. The contents of technology demand survey questionnaire	69
2. Survey method of technology demand	69
3. Technology demand survey questionnaire	70
4. Technology demand survey analysis	73
Chapter 5. Selection of element technologies	84
1. Selection of element technologies	84
2. Element technologies of performance based seismic design	84
3. Element technologies of Reliability based design	113
Chapter 6. RFP and TRM	136
1. Definition of research period and scope	136
2. RFP of performance based seismic design	137
3. RFP of reliability based design	146
4. TRM of performance based seismic design	153

5. TRM of reliability based design	155
Chapter 7. Feasibility analysis	157
1. political feasibility	157
2. Technical feasibility	159
3. Economical feasibility	161
Chapter 8. Reference	168
Appendix1. Report on patent trend survey	171
Appendix2. Report on economic feasibility	217

목 차

제1장 개요	15
제 1절 항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 기술 개발의 필요성	15
제 2절 항만 및 어항 시설물 한계상태설계기준 개발의 필요성	18
제 3절 기획연구의 목표 및 필요성	19
제 4절 추진 방법 및 일정	21
제2장 동향분석	26
제 1절 정책동향 및 법·제도 분석	26
제 2절 항만구조물 내진설계 동향 분석	27
제 3절 항만구조물 신뢰성설계 동향 분석	39
제 4절 시설물별 동향 분석(성능기반 내진설계)	45
제 5절 시설물별 동향 분석(신뢰성설계)	54
제 6절 특허 동향 분석	62
제3장 SWOT분석	66
제 1절 성능기반 내진설계 SWOT분석	66
제 2절 신뢰성설계 SWOT분석	67
제4장 기술수요조사	69
제 1절 기술수요조사 내용 및 양식	69
제 2절 수요조사 방법	69
제 3절 기술수요조사서	70
제 4절 기술수요조사 분석	73
제5장 주요 요소기술 도출	84
제 1절 요소기술의 선정	84
제 2절 성능기반 내진설계 주요 요소기술	84
제 3절 신뢰성 설계 주요 요소기술	113
제6장 과제제안요청서(RFP) 및 기술지도(TRM)	136
제 1절 총 과제 기간 및 범위 정의	136
제 2절 성능기반 내진설계 과제제안요청서(RFP)	137
제 3절 신뢰성 설계 과제제안요청서(RFP)	146
제 4절 성능기반 내진설계 기술지도(TRM)	153
제 5절 신뢰성 설계 기술지도(TRM)	155

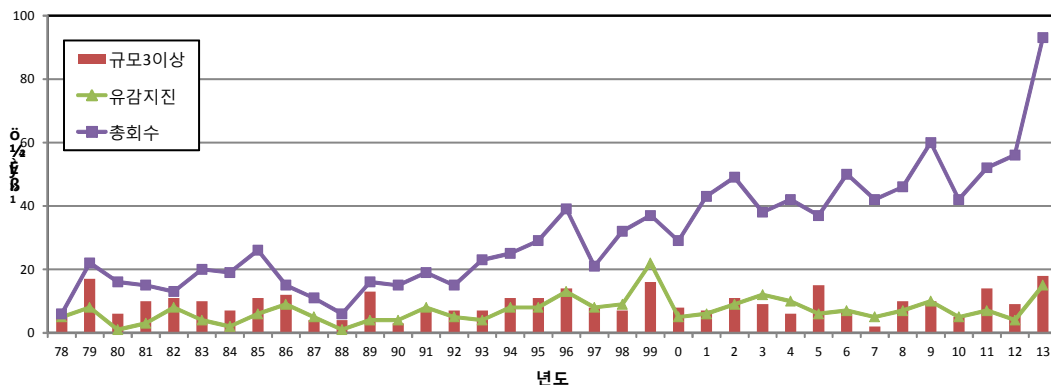
제7장 타당성 분석	157
제 1절 정책적 타당성	157
제 2절 기술적 타당성	159
제 3절 경제적 타당성	161
제8장 참고문헌	169
부록1. 특허 동향조사 보고서	172
부록2. 경제성 검토 보고서	218

제1장 개요

제1절 항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 기술 개발의 필요성

1. 재난에 안전한 사회 구축

- 가. 세월호 참사 이후 최근 판교 환풍구 붕괴 추락사고로 부각되고 있는 재난에 대한 ‘안전’ 문제에 있어서, 가장 큰 인명 및 재산피해를 야기할 수 있는 자연재난인 “지진”에 대한 대비는 국가적 차원에서 국가운영과 국민의 안전 확보 차원에서 반드시 대비하여야 할 중요한 사업이라 할 수 있음.
- 나. 최근 들어 2008년 중국 쓰촨성지진, 2011년 일본 동북부 지진 등 한반도 주변 지역 대형지진으로 인한 대규모 피해가 발생됨으로 인하여, 이에 영향을 받는 유라시아판 내에 위치한 한반도는 더 이상 지진의 안전지대로 안심하기 어려운 실정임.
- 다. 국내 지진계측 기록을 살펴보면 최근 국내에서도 지진 발생 빈도가 증가하고 규모 3.0 이상의 지진도 꾸준히 발생하고 있을 알 수 있음.

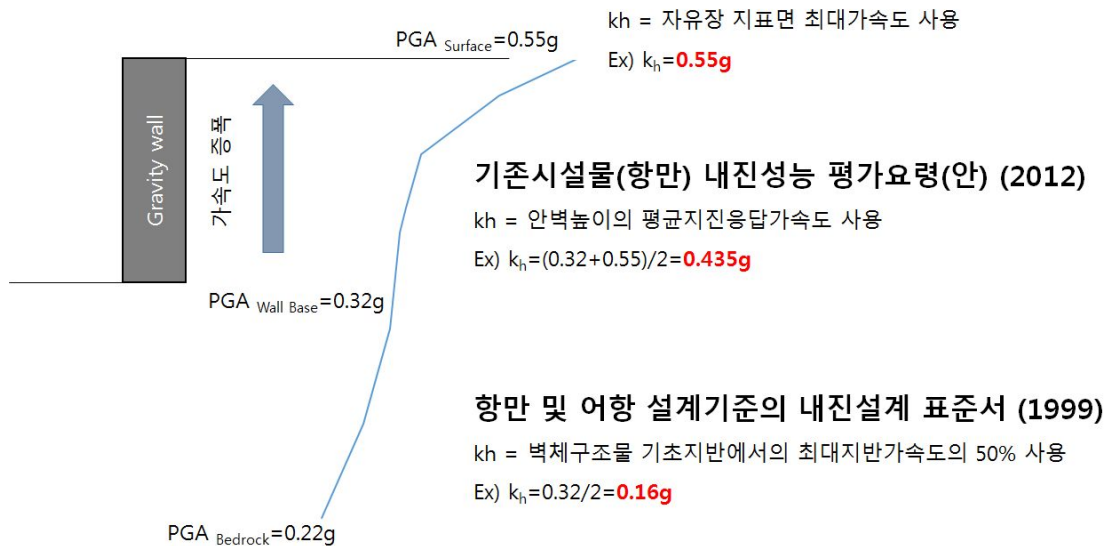


<그림 1.1-1> 한반도 지진발생 추이(출처 : 기상청)

2. 국내 항만설계기준의 설계지진가속도(k_h) 결정방법 상이

- 가. 현행 “항만설계기준”의 근간이 된 “항만 및 어항시설의 내진설계 표준서(1999)”와 “기존항만의 내진성능평가 및 향상요령(2012)”에서 중력식 안벽 등가정적 해석에서 적용하는 설계지진가속도(k_h) 결정 방법이 상이한 문제가 있음.
- 나. 2012년 평가방법이 1999년 표준서에 비하여 설계 지진가속도를 2-3배 상향 적용하고 있으며, 2000년 이후 등가정적 방법으로 내진설계가 이루어진 항만의 경우, 2012년 방법으로 내진성능을 평가 할 경우 불안정으로 나올 가능성이 높음.
- 다. 현행 설계기준의 정비는 국내실정을 반영한 충분한 연구 없이 외국기준을 무분별하게 도입하여 작성되고 있으므로 경우에 따라서는 이번과 같이 상이한 기준이 만들어 질 수 있는 개연성이 있음.
- 라. 서로 상이한 1999년 표준서와 2012년 성능평가 및 향상요령이 승인을 받아 현재 사용되고 있으므로, 기존항만의 내진성능 평가는 2012년 요령으로 신설 항만의 내진 설

계는 1999년 표준서로 수행할 수 밖에 없음. 두 기준의 차이에서 오는 부작용을 줄이기 위하여 적용 대상 시설물과 사업을 최소화 하고, 하루속히 국내실정에 맞는 설계 지진가속도를 결정방법을 마련하여 두 기준을 통일하여야 함.



<그림 1.1-2> 설계 기준에 따른 수평지진계수 산정 방법 비교 예시

<표 1.1-1> 현행 설계기준간의 설계지진 가속도(kh) 계수 산정 방법의 차이점

구 분	항만 및 어항시설의 내진설계표준서 (1999)	기존 항만의 내진성능평가 및 향상요령 (2012)	국내설계 관행
설계지진 가속도(k_h)	$\frac{1}{2} a_{max}$	평균지진응답가속도 $a_{average}$	$\frac{1}{2} a_{max}$
산정 위치	기초지반에서의 최대지반가속도	안벽높이의 평균지진응답가속도	자유장 지표면 최대지반가속도

3. 現 항만 및 어항구조물 내진설계기준의 문제점 대두

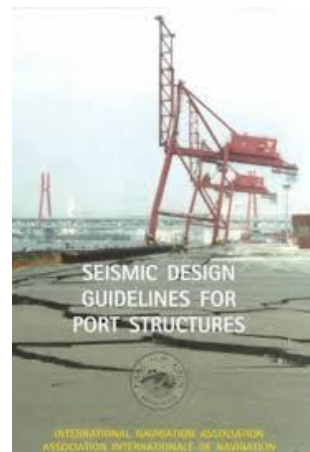
- 가. 1997년 건설교통부 주관으로 제정된 “내진설계기준연구(Ⅱ)”에 기반하여 항만 및 어항시설 내진설계 표준서를 1999년도에 제정. 하지만 최근 국내에서도 규모 5.0 이상 의지진이 발생하고 있어 최근의 상황변화를 반영하지 못하고 있음. 지금까지 축적된 내진설계 역량을 바탕으로 국제적 수준의 한국형 내진설계기준 확립이 필요.
- 나. 최근 “2014년 항만 및 어항 설계기준해설”에서도 대형 및 소규모 항만을 지진 시 역할과 상관없이 단순히 내진 I 및 II등급으로 구분하고 있음.
- 다. 지진하에서의 항만시설의 필요한 성능기준이 규정되어 있지 않음(성능기반 설계 불가)
- 라. 항만시설의 중요도, 지진시 역할을 재분류하여 경제적이고 효율적인 내진설계기준 정립 필요 (일본항만설계기준 - 일반, 특정긴급물자수송, 특정간선화물수송, 표준긴급물자수송)
- 마. 강진($M_w = 7.5$ 이상 등) 지역에 적합한 일본 및 미국의 기준을 토대로 제정

4. 내진 선진국의 성능기반 내진설계 도입 및 해외 시장에 적극 대응

- 가. 최근 지진의 발생규모 및 빈도가 점점 증가하고 있어 항만 및 어항시설에 대한 선진적인 내진설계가 요구되고 있음. 이에 따라 외국의 항만내진설계는 지진 시 항만 시설물의 요구성능을 정의하고 성능 확보에 주안점을 두고 있음.
- 나. 현재의 항만내진관련 기준들은 주로 유사정적설계법을 근간으로 허용응력설계를 하고 있음. (항만 및 어항 설계기준 '14, 기존항만 내진성능평가(안) '12, 항만 및 어항 내진 설계 표준서 '99 등)
- 다. 기존의 유사정적해석 및 허용응력설계법으로는 고베지진과 같은 Level II 수준의 지진에 대하여 항만 구조물 설계가 불가능
- 라. 성능기반 내진설계는 세계적인 추세에 상응하며, 지진이 빈번한 일본의 경우 항만시설에 대해서 전세계적으로 가장 선진화된 설계기준을 도입하여 적용하고 있음. 2009년 기존 내진설계기준을 '성능기반설계(performance-based design)'로 전환. "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan" (PARI, 2009)
- 마. 국제항해협회(INA, 2001)에서는 구조물의 피해 관점과 기능적 피해 관점을 종합하여 내진성능목표를 설정하고 그 수준에 맞는 성능기반내진설계를 실시하도록 지침.
- 바. 향후 예상되는 항만 시설물의 내진보강사업에 있어서, 건설비용을 크게 절감할 수 있을 것으로 기대되며 특히 이러한 기술력은 관련 산업계의 세계시장에서 경쟁력 확보에 기여할 수 있음.
- 사. 항만 및 어항에 대한 성능기반설계법을 도입하면 항만 및 어항의 내진성능을 정확히 예측할 수 있기 때문에 현행 설계법에 비해 최적의 설계단면 산정이 가능하여 과대 또는 과소한 항만 및 어항설계를 방지할 수 있음.



<그림 1.1-3> 일본의 항만 내진설계 표준서(PARI, 2009)



<그림 1.1-4> 국제항해협회 항만내진설계 가이드 (INA, 2001)

제2절 항만 및 어항 시설물 한계상태설계기준 개발의 필요성

1. 자연재해 및 설계 불확실성에 대비한 설계법

- 가. 항만은 국가 산업 및 경제활동에 있어 매우 중요한 기간시설이므로 자연재해에 대비한 충분한 안전성과 수명기간 동안 효율적인 유지관리가 필수적임
- 나. 지진, 태풍, 해일 등 자연재해의 불확실성은 매우 크며, 이를 항만구조물의 설계에 직접적으로 반영하지 못하는 기존의 결정론적 설계법은 과소설계 및 과다설계를 유발할 우려가 매우 큼
- 다. 자연재해의 관점에서 항만구조물의 과소설계 및 과다설계는 유지관리 비용의 증가를 초래할 수 있고 기능유지가 어려울 만큼의 붕괴가 발생했을 경우 재시공으로 인한 직접비용 및 해상물류 경제활동 위축으로 인한 막대한 간접비용의 손실이 예상되며 궁극적으로 국가경제의 치명적인 위험요소를 제공함
- 라. 따라서, 자연재해의 불확실성 요소를 항만구조물 설계에 직접 반영하는 신뢰성설계법은 국가 경제적 측면의 위험요소를 사전에 관리하는 핵심기술로서 인식되고 있음

2. 항만구조물 설계를 위한 선진국들의 한계상태설계기준 도입 추세

- 가. 세계 각국은 이미 항만구조물의 설계에 있어 신뢰성 이론을 도입하는 추세에 있으며, 유럽연합(EU), 북미경제권(NAFTA) 등의 경제블록을 중심으로 주도하고 있음
- 나. 유럽, 미국 등은 2000년 초반에 항만구조물 설계에 한계상태설계기준 도입하여 세계 항만 건설시장에서 기술적 우위를 확보하고 있음
- 다. 중국은 2000년에 항만구조물 신뢰성설계기준 개정판 제정하여 10여년 이상 설계에 반영하고 있음
- 라. 일본은 200억 이상의 연구비를 집중 투자하여 2007년에 전격적으로 한계상태기반의 항만설계기준으로 개정을 완료하였음
- 마. 우리나라의 경우 아직까지 한계상태기반 항만설계기준으로의 개정이 이루어지지 않고 있어 선진국 대비 10년 이상 설계기술이 뒤쳐진 상태임
- 바. 국제적 추세에 대응하여 신속하고 과감한 연구개발 투자를 통해 한계상태기반의 설계기준 마련이 필요하며, 이를 통해 항만구조물 신뢰성 설계분야에서 선진국 대비 경쟁력을 확보할 필요가 있음

3. 세계 항만 건설시장의 진출을 위한 교두보 확보

- 가. 중국이 제안한 아시아인프라투자은행(AIIB)이 성공적으로 출범하면 내륙의 물류는 물론 해운물류 기반시설에 대한 투자가 급격하게 이루어 질 것으로 예상됨
- 나. 중동, 아시아 등의 항만건설 시장에서 국제표준화기구의 원칙(ISO 2394, ISO 21650)을 따르는 신뢰성 기반 설계기법을 요구할 가능성이 높아짐
- 다. 국내 설계 및 시공사의 항만건설 분야 해외시장 진출을 위해서 국내 기술진들의 신뢰성 설계로의 기술 선진화가 필요하며, 이에 따라 신뢰성설계로의 여건마련을 위한 한계상태기반 신뢰성설계기준의 개발이 시급한 실정임
- 라. 본 과제의 성공적 추진으로 향후 5년 내에 선진국 수준의 신뢰성 설계기준이 제정되더라도 선진국대비 15년 이상 늦게 도입되므로 결코 지체할 수 없음

제3절 기획연구의 목표 및 필요성

1. 기획연구의 필요성

- 가. 본격적인 대형 과제의 추진에 앞서 대규모 예산 투입에 따른 예산 효율성과 연구개발 성공가능성을 높이기 위해서 과제의 전략적 방향 및 실행 방안을 제시할 기획연구는 필수적임
- 나. 본 과제 추진과정 발생 문제점 최소화
 - (1) 정부의 추진전략 취지와 다르게 연구가 변질되는 문제점 예방
 - (2) 기존 수행사업의 성과분석을 통해 시행오차 최소화
 - (3) 연구조직 운영의 기본방향 제시
- 다. 예산 집행의 효율성 확보
 - (1) 본격적인 과제의 추진에 앞서 대규모 예산 투입에 따른 예산집행의 효율성과 연구개발 성공 가능성을 높임
 - (2) 현장에 직접적으로 활용 가능한 실용적인 연구 결과물을 확보하기 위한 구체적인 연구 방향 수립과 실현 가능한 성과 목표물 설정
- 라. 국민, 정부, 기술자가 공감하는 성과를 얻기 위한 최선의 방법
 - (1) 성과물 위주의 연구 추진 전략 제시 및 수요자 중심의 기술개발 추진

2. 기획연구의 목표

- 가. 한국형 항만 및 어항 내진설계기술 및 신뢰성설계기준 정립을 위한 종합연구계획 수립 및 타당성분석
 - (1) 국내·외 관련 연구개발 동향 및 환경 분석
 - (가) 항만구조물 내진설계 및 신뢰성설계의 기술, 산업, 정책, 수요 현황 조사
 - (나) 항만구조물 내진설계 및 신뢰성설계의 국내외 기술개발 동향 조사
 - (다) 기 수행된 유사 연구과제와의 중복성 및 개선방향 검토
 - (2) 본 과제로 추진할 연구개발사업의 목표 설정 및 추진계획 수립
 - (가) 연구개발 최종목표 및 최종성과물 제시
 - (나) 설계실무자들의 의견을 반영한 연구내용 및 연구범위 설정
 - (다) 신뢰성 설계를 위한 현장자료 D/B화 방안 수립
 - (3) 연구개발 추진계획 수립
 - (가) 추진전략, 기술개발 로드맵(TRM), 추진체계 제시
 - (나) 소요예산, 연구기간 제시
 - (다) 연구개발 성과평가를 위한 정량·정성적 성과지표 및 평가방안 제시
 - (4) 연구개발 타당성 분석
 - (가) 연구개발사업 시행의 정책적, 기술적, 경제적 타당성 검토
 - (5) 정책제안 및 연구개발 제안 요구서
 - (가) 연구개발 제안요구서(RFP)
 - (나) 본 과제 추진을 위한 세부전략 제안

나. 연구개발과제의 핵심어(keyword)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	항만구조물	내진설계	신뢰성설계	성능설계	항만설계기준
영문	Coastal Structure	Aseismic Design	Reliability Based Design	Performance Based Design	Design Code for Coastal Structures

3. 기획연구의 내용 및 범위

가. 기획연구 내용 및 범위

<표 1.3-1> 세부목표 및 내용

세부목표	연구내용 및 범위
국내·외 환경 분석 및 동향 조사	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내·외 관련 기술 동향 및 기술수준 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 국내·외 논문, 특허 동향 및 전망 - 국내·외 기술수준 및 기술개발 역량 분석 ▪ 국내·외 정책추진 동향 및 관련 제도 조사 ▪ 연안 및 항만 시설 보호를 위한 인프라 구축 현황 조사
비전 설정 및 세부추진과제 도출	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연구개발 추진방향 및 비전 정립 ▪ 비전 달성을 위한 세부추진 과제 도출
연구개발 목표 및 범위 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세부추진과제 별 목표 및 연구내용 설정 ▪ 세부추진과제별 성과목표 및 지표 설정 ※ 재해 대응 구조물별 정량적 목표 성능 제시
연구개발 타당성 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정책적 타당성 분석(정부지원의 필요성 등) ▪ 기술적 타당성 분석(중복성 검토 등) ▪ 경제적 타당성 분석(경제성 분석 등)
연구개발 추진계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세부추진과제별 단계별 추진체계 및 로드맵 작성 ▪ 소요예산 및 적정연구기간 산출
RFP 및 최종보고서 작성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 과제 공모용 제안요구서(RFP) 및 최종보고서 작성

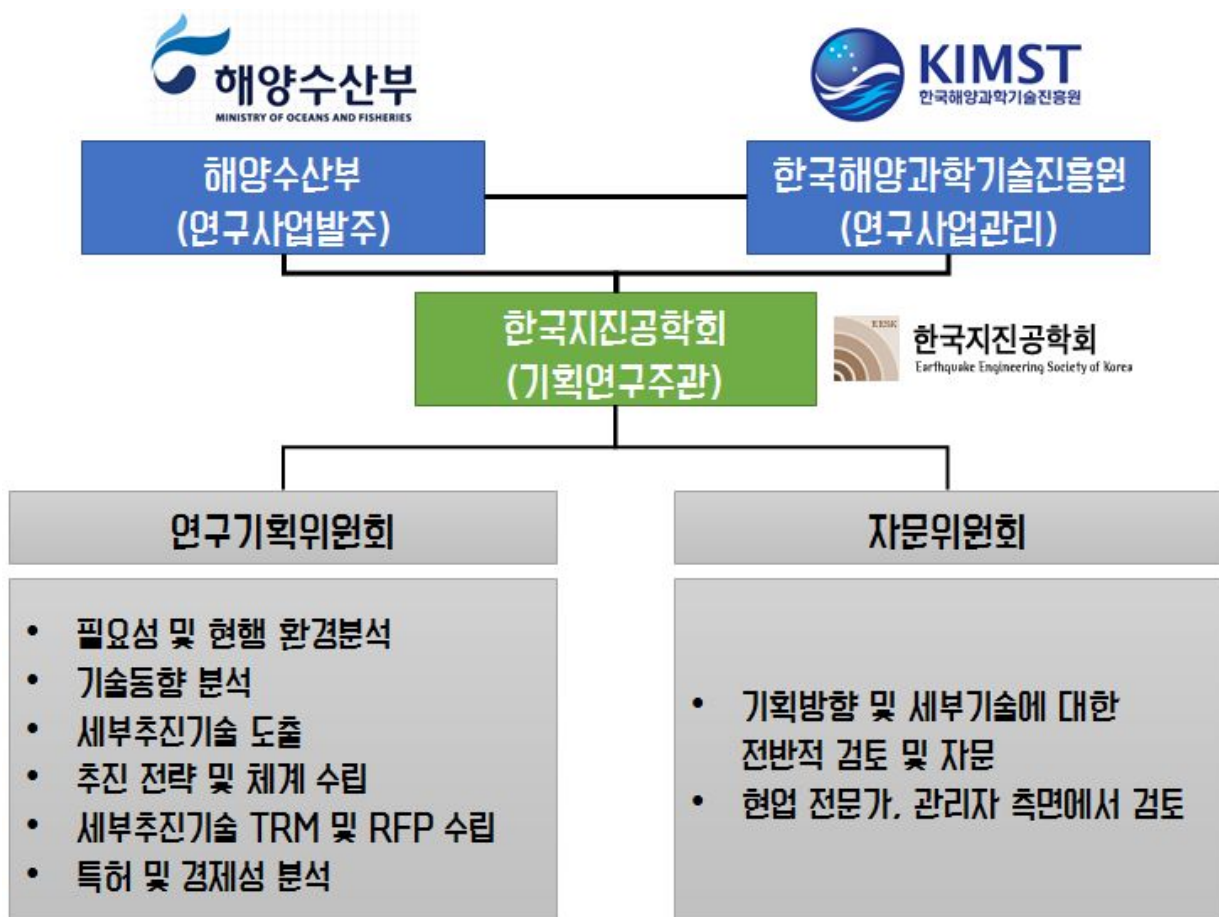
제4절 추진 방법 및 일정

1. 추진 전략 및 체계

가. 기본 추진 전략

- (1) 국제 항만 및 어항설계 시장에서 경쟁력을 가질 수 있도록 현행 설계기준이 선진화 될 수 있도록 기획 연구의 개발 목표를 명확하고 구체적으로 수립
- (2) 산·학·연·관 관련 전문가로 구성된 국내·외 인적자원을 최대한 활용하여, 개발 기술의 산업화와 실용화를 적극 유도할 수 있는 방안 마련
- (3) 기수행 연구개발 과제와 연계하여 기획연구를 분석·추진함으로써 연구개발사업의 중복성을 방지하고 연속성이 확보되도록 함
- (4) 수요자 입장의 의견 수렴 및 분석을 통해 연구개발 필요성 및 시급성 등에 대한 세부 검토 수행

나. 추진 체계



<그림 1.4-1> 기획과제 연구 추진체계

다. 연구기획위원회

- (1) 항만 및 어항 설계기준 개발에 있어 가장 핵심이 되는 목표인 “항만 및 어항 설계기준”, “성능기반 내진설계”, “신뢰성 설계”에 대한 이해와 실제 실무 경험, 기술, 정

- 책 및 산업과의 연계성을 고려하여 산·학·연·관 관련 전문가를 다양하게 구성
- (2) 연구기획위원회는 한국지진공학회를 중심으로 학계 (KAIST, 서경대, 군산대, 원광대, 강원대, 인천대, 건국대, 전남대, 동아대) 로 연구위원을 구성하였음.

<표 1.4-1> 참여연구위원

참여연구위원			
이름	소속	직급	세부 연구내용
김동수	한국지진공학회 (KAIST)	교수	과제 총괄, 내진
최재순	한국지진공학회 (서경대학교)	조교수	내진, 액상화
김동현	한국지진공학회 (군산대학교)	부교수	신뢰성 설계
이진선	한국지진공학회 (원광대학교)	조교수	내진, 수치해석
이철웅	한국지진공학회 (강원대학교)	교수	해양공학
김동욱	한국지진공학회 (인천대학교)	조교수	신뢰성 설계
이태형	한국지진공학회 (건국대학교)	부교수	내진공학
김재민	한국지진공학회 (전남대학교)	교수	입력지진파
김성렬	한국지진공학회 (동아대학교)	부교수	말뚝 및 해양공학
허정원	한국지진공학회 (전남대학교)	교수	신뢰성 설계
길용준	위탁 연구기관 (법무법인 주원)	변리사	특허 분석
김인배	위탁 연구기관 (법무법인 주원)	변리사	특허 분석
김기중	세니츠코퍼레이션	경제성 분석	경제성 분석

라. 자문위원회

- (1) 학계로만 구성된 참여연구위원의 단점을 보완하고 현업의 사안을 반영하기 위하여 건설 엔지니어링, 서영 엔지니어링, 한국가스공사 소속의 전문가 자문위원을 구성하였음.
- (2) 그 밖에 한국지질자원연구원, 시설안전관리공단, KIOST 소속의 각 분야 전문가와 리스스쿨루션, 포습 등의 컨설턴트 업체의 전문가도 참여하여 자문위원을 구성하였음.
- (3) 특허 분석 및 경제적 파급효과 분석을 위하여 법무법인 주원, 세니츠코퍼레이션의 전문가가 참여.

<표 1.4-2> 전문가 자문위원

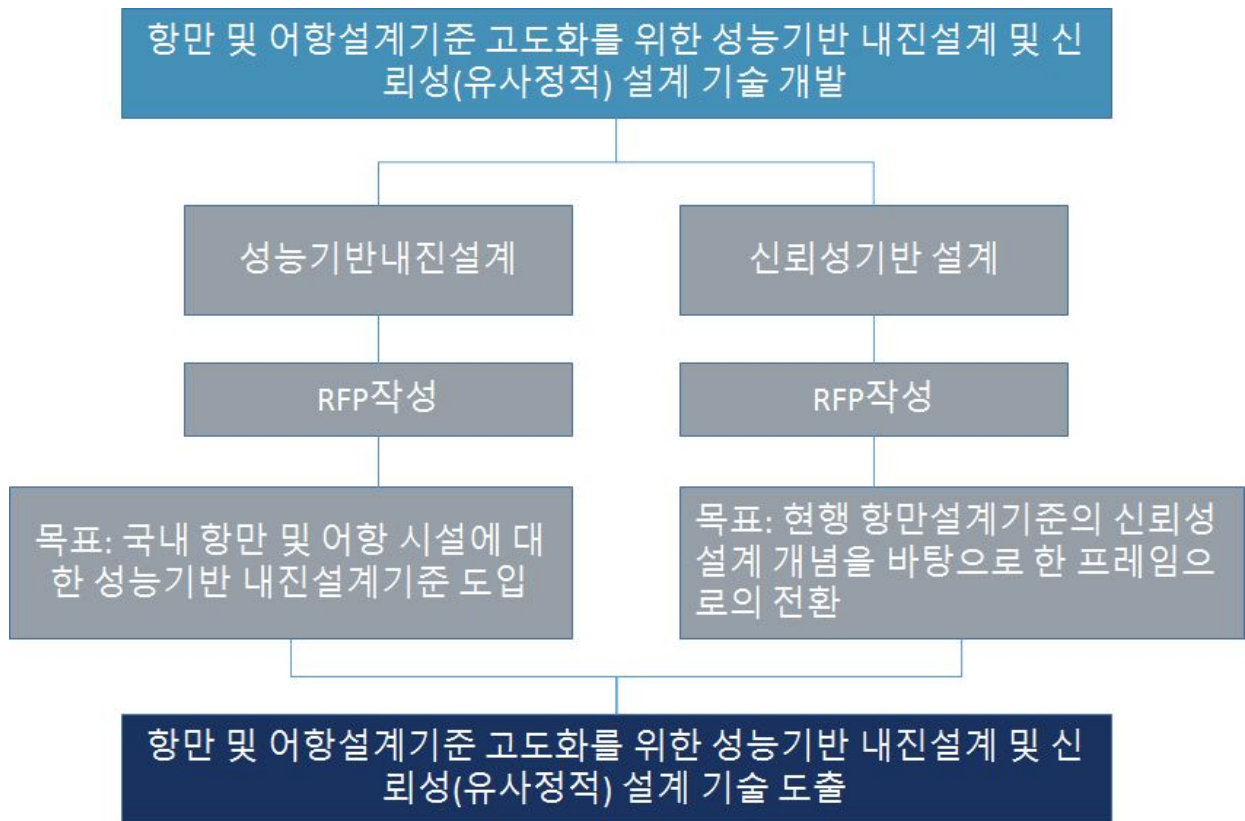
전문가 자문위원			
이름	소속	직급 및 학위	세부 연구내용
류혁근(단기)	서영 엔지니어링	부사장	항만설계
윤홍식(단기)	성균관대	교수, 공학 박사	지반운동
선창국(단기)	지질자원연구원	책임연구원, 공학 박사	내진(지반운동)
송병웅(단기)	다산 컨설턴트	이사, 공학 박사	일본동향
윤종구(단기)	포섭	대표, 공학 박사	내진(해석)
배정주(장기)	시설안전관리공단	처장, 공학 박사	정책 및 법규
윤길림(장기)	KIOST	영년직연구원, 공학 박사	신뢰성 설계
김준호(장기)	한국가스공사	연구원, 공학 석사	항만, 기계설비
박인준(장기)	한서대	교수, 공학 박사	내진, 액상화
김승우(장기)	리스크솔루션	대표, 공학 박사	신뢰성
안중선(장기)	건일 엔지니어링	부사장, 공학 석사	항만설계

2. 추진방법

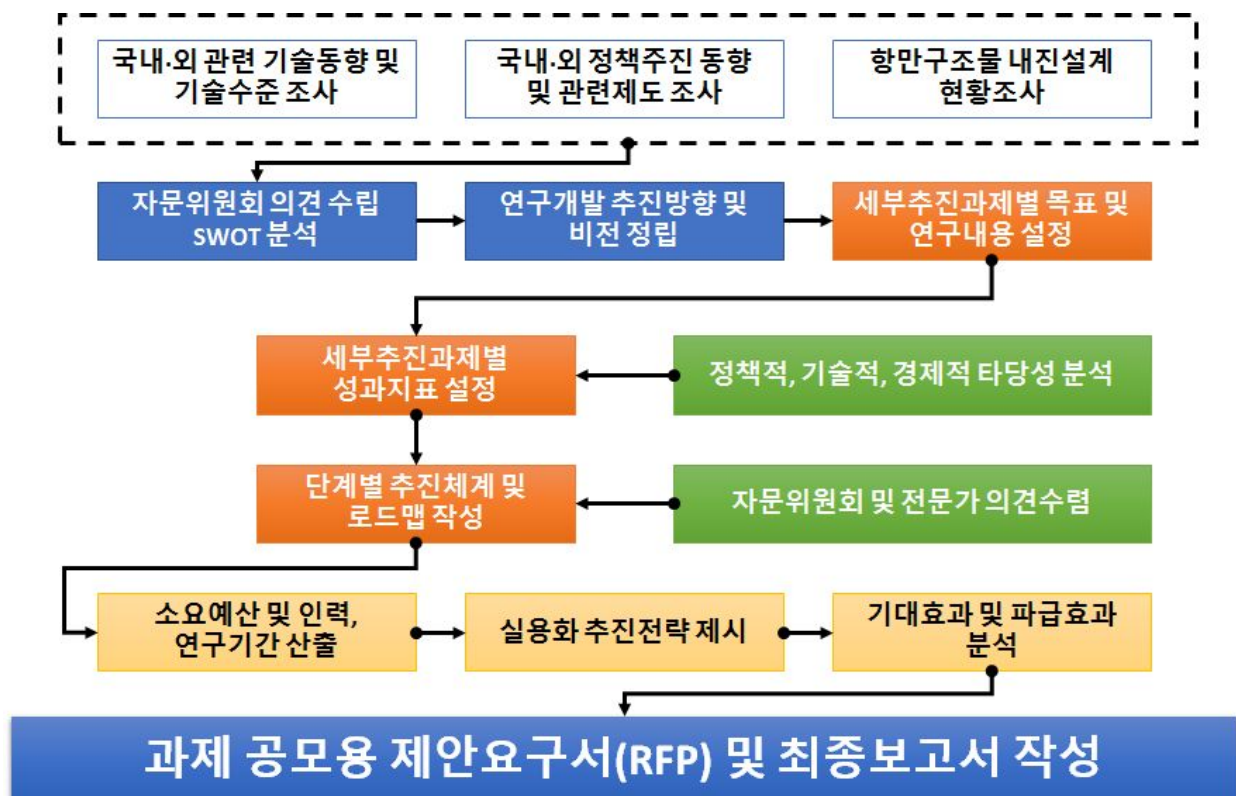
가. 연구 방법론

- (1) 연구추진의 과정은 연구목표에 따라 환경 분석 및 동향 파악, 전략적 목표 설정, 대상기술 검토 및 핵심기술 과제 선정, 세부실행계획 작성 등 크게 4단계로 구분할 수 있음.
- (2) 도출된 핵심 기술군에 대하여 시장분석, 기술동향분석, 특허 및 논문동향 분석 등을 수행하여 전략개발상품 도출에 활용함
- (3) 항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 및 신뢰성 설계기술 개발과 관련한 미래 비전 및 각 핵심 기술군에 대한 세부 목표를 설정하고, 이를 바탕으로 세부 추진 계획 및 TRM 을 도출함.
- (4) 참여 전문가로부터 도출된 내용들은 연구기획위원회 조정과 정립을 거쳐, 자문회의에서 검토하고 최종 확정함

나. 단계별 추진 방법



<그림 1.4-2> 연구 추진 계획



<그림 1.4-3> 세부 추진계획 및 방법

3. 추진 일정

<표 1.4-3> 추진 일정

구분	세부내용	비고
2014.11.24	과제 선정 평가	KIMST 주관
2014.12.10	기획 과제 협약	
2014.12.15	업무 분야 및 담당자 확정 설문조사 계획 작성 위탁연구 목표 논의 향후 과제 진행 일정 계획	1차 기획회의
2015.01.15	동향 파악 및 기술수준 조사 SWOT 분석 위탁연구 보고	2차 기획회의
2015.01.30	과제 기간 및 범위 논의 총괄연구 FLOW 작성 세부연구분야 도출 설문조사 항목 검토	3차 기획회의
2015.02.05	동향조사 발표 및 논의 자문위원 의견 검토 경제성 분석 위탁 업무 추가	4차 기획회의
2015.02.27	착수보고 과제 개요 소개 기획과제에 대한 해수부 주요 의견 협의	KIMST 주관 해수부 보고
2015.04.07	세부추진 과제 검토 및 조정	5차 기획회의
2015.04.24	TRM 조정 및 최종 보고 세부추진 과제 확정 최종 보고서 작성 관련 협의 핵심 과제별 RFP 작성 논의	6차 기획회의

제2장 동향분석

제1절 정책동향 및 법·제도 분석

1. 성능기반내진설계 국내·외 기술동향

가. 기술현황

- (1) 미국의 국가지진재해 경감 프로그램인 NEHRP는 장기적인 국가 지진 방재차원에서 다양한 프로젝트를 수행 중이며 이들 프로젝트의 성공적인 수행을 위한 우선전략과 제 중 하나로 성능기반내진설계(Performance-Based Design)를 채택하여 2000년대 들어 지속적인 연구를 수행하고 있음.
- (2) 일본에서는 1998년 공포된 개정 건축기준법에서부터 성능기반내진설계의 개념을 도입하여 구조물의 지진등급과 상정 지진하중에 대한 성능수준을 고려하는 성능목표를 제시하고 있음.
- (3) 국내에서는 1997년 지진공학회에 의해 ‘내진설계기준연구 II’가 작성되어 설계지진, 목표내진성능, 시설물의 등급, 표준설계스펙트럼 등을 규정하고 있음.

나. 기술수준

- (1) 미국에서는 붕괴방지, 인명안전, 즉시거주, 기능수행 등과 같은 이산화된 구조물의 성능수준을 채택하고 있으며, 향후 이산화된 성능수준을 연속적이고 정량화된(붕괴 확률) 성능수준으로 개선을 시도하고 있음.
- (2) 국내 주요시설물의 내진성능목표는 ‘내진설계기준연구 II’(1997)에 따라 작은 지진에 대해서는 기능수행수준, 큰 지진에 대해서는 붕괴방지수준을 목표로 하여 내진설계가 수행되고 있음.
- (3) 2009년 도출된 국가성능기준(안)(소방방재청)에서는 기능수행수준과 붕괴방지수준을 내진성능목표의 기본으로 하고 시설물관리 주체에 따라 지진피해수준을 제어할 수 있는 내진성능수준(즉시복구수준 및 인명보호수준)을 추가적으로 검토할 수 있도록 제안함.

다. 향후전망

- (1) 현행 내진설계기준은 설계지진에 대해 시설물에 상당한 피해가 발생하더라도 시설물 붕괴에 따른 인명손실을 최소화할 것으로 기대되나, 지진에 의한 인명피해가 적음에도 불구하고 시설물의 손상에 따른 과도한 재산피해로 복구에 상당한 어려움을 겪을 가능성이 큼. 현행 내진설계의 기본목표인 인명보호수준으로는 지진에 의해 구조물이 대규모로 붕괴되는 경우 사회기능의 조속한 회복을 기대할 수 없으므로, 시설물의 내진성능목표는 기존의 붕괴방지에서 지진피해를 제어할 수 있도록 세분화된 내진성능을 규정할 필요가 있음.
- (2) 그간 하중기반설계에서 설계하중 및 안전율을 통하여 만족도를 평가하던 설계방식에서 설계지진과 기능수행, 붕괴방지 등의 성능수준이 결합된 성능목표에 대한 구조물의 손상수준(damage criteria)을 정량적으로 명확히 규정할 필요가 있음.
- (3) 또한, 기존 설계에서는 규정된 성능목표를 달성할 수 있는 가능성을 확률적으로 정

의하고 있지 않아 설계 및 해석 결과의 신뢰성을 명확히 제시할 수 없음. 따라서 신
뢰성설계가 도입되어야 할 것으로 판단됨.

제2절 항만구조물 내진설계 동향 분석

1. 내진성능평가 (구조물 등급, 성능수준, 성능목표)

가. 기술현황

- (1) 국제항해협회(International Navigation Association 2001)와 일본 항만시설 표준설계 (PARI 2009), 국내 항만 및 어항 설계기준을 다음 <표 2.2-1>과 같이 비교하였다.

나. 기술수준

- (1) 해외 기준들과 달리 국내 기준은 2개의 내진성능수준으로 구조물을 구분하고 있어 지진재해 시 발생 피해 및 복구 예상이 어려움.
- (2) 국내 항만 및 어항설계기준은 붕괴방지 1등급 구조물의 변위기준이 수평변위 30cm와 같이 항구의 전반적인 스케일을 고려하지 못하는 획일적인 기준을 제시하고 있음.
- (3) 이에 반해 국제항해협회(INA)와 일본 항만시설 표준설계는 <표 2.2-2> 및 <표 2.1-3>과 같이 항만구조물을 지진응답에 기초하여 구조물 별 변위, 침하, 한계응력 상태, 변형률 등과 같은 공학적인 피해기준을 성능수준과 함께 정의하고 있음.

다. 향후전망

- (1) 국내 실제 피해사례가 전무함으로 인해 여러 종류의 항만시설물에 대한 획일적인 내진성능수준의 제공으로 항만시설물의 종류에 따라 다르게 발생 가능한 피해요소에 대한 언급이 전무함.
- (2) 국내 내진성능수준 또한 기능수행수준, 즉시복구수준, 인명보호수준, 붕괴방지수준 등 차세대 성능기반 설계기준에 부합하는 보다 세분화된 성능수준으로 개정되어야 할 것이며, 구조물 별 성능수준에 따른 설계법 및 피해기준이 제시되어야 함. 실제 지진피해사례를 통해 나타난 항만시설물 별 지진취약부 등을 명기하여 설계에 고려될 수 있도록 유도해야 함.
- (3) 내진성능수준에 따른 설계방법 소개가 별도로 되어 있지 않고 전반적인 내진설계법의 소개에 국한되어 있어, 설계 내진성능수준에 따라 실제 적용 가능한 설계방법에 대한 시행착오가 반복되고 실정임. 또한 타당성이 검증되지 않은 수치해석기법이 설계에 무분별하게 적용되고 있음. 구조물의 성능수준에 따른 설계법 및 이에 대한 검토법에 대한 명확한 언급이 있어야 함.

<표 2.2-1> 우리나라기준과 해외기준의 비교

국가	기준	내진등급	내진성능 수준	설계지진 (재현주기, 년)	설계스펙트럼
국제	국제항해 협회 (2001)	4개등급 Grade S Grade A Grade B Grade C	수준 I (사용가능) 수준 II (복구가능) 수준 III (붕괴임박) 수준 IV (붕괴)	L1(구조물의 설계수명 내 50%의 초과확률) L2(구조물의 설계수명 내 10%의 초과확률)	시설물 중요도 등급에 따른 부지응답해석
일본	항만시설 기준 (2009)	3개등급 특별설계 (긴급수송) 특별설계 (본선수송) 표준설계 (긴급수송)	즉시 기능수행/ 단시간내 기능수행/ 특정시간내 기능수행	L1(설계수명 동안 높은 확률로 일어나는 지반운동) L2(L1과 시나리오 지진 중 최대지반운동)	설계지진동(L1, L2)에 따른 해석법으로 설계지반운동 결정
한국	항만 설계기준(2014)	2개등급 내진I등급/ 내진II등급	기능수행/ 붕괴방지	50/100 500/1000	상위기준(1997)

<표 2.2-2> 중력식 안벽의 파괴 기준

피해구분		수준 I	수준 II	수준 III	수준 IV
중력식 안벽	정규화된 잔류 수평변위 (d/H) ¹⁾	1.5% ²⁾ 이하	1.5~5%	5~10%	10%이상
	바다 방향 잔류 기울기	3° 이하	3~5°	5~8°	8° 이상
호안	호안위에서의 부등침하	0.03~0.1m 이하	N/A ³⁾	N/A	N/A
	호안과 호안이 아닌 지역 사이의 부등침하	0.3~0.7m이 하	N/A	N/A	N/A
	바다 방향 잔류 기울기	2~3° 이하	N/A	N/A	N/A

<표 2.2-3> 안벽(qual wall)의 기능수행을 위한 파괴기준

안벽 종류	기준(구조물 변형, 응력상태)
중력식 안벽	- 세 가지 파괴 형태(활동, 전도, 전단)에 대해 안벽 최상부 수 평잔류변위 10cm 이내
널말뚝식 안벽	- 안벽 최상부 수평잔류변위 15cm 이내 - 앵커파일 내 응력이 항복응력을 초과할 확률이 명시된 값 이내

1) d : 벽 상단에서의 잔류 수평 변위 H : 중력벽의 높이
2) 대체 규정은 부등 수평변위의 측면에서 30cm이하로 제한됨
3) 적용할 수 없을 때 생략

2. 지반조사

가. 기술현황

- (1) 지반조사는 내진 설계 시 설계 지반운동 결정과 액상화 저항능력을 평가하기 위하여 필요하며 이를 위해서는 현장시험 및 채취된 시료를 이용하여 실내시험을 수행함.
- (2) 설계 지반운동 결정을 위하여 지반의 층상구조, 기반암 깊이, 각 층의 밀도, 변형률 크기에 따른 전단탄성계수 감쇠곡선 및 감쇠비 곡선 등을 조사함.
- (3) 액상화 평가를 위해서는 시추주상도, 지하수위, 표준관입시험의 N값, 콘관입시험의 값, 전단파 속도 주상도, 지층의 물리적 특성 등을 결정함.
- (4) 항만 및 어항시설의 설계를 위한 지반조사 방법은 이전까지의 지반공학적 측면에서 이루어진 지반조사와 큰 차별성을 두고 있지 않음.
- (5) 연약지반 및 보강작업이 이루어지는 항만 설계 지반에 대해서는 기존의 지반조사 방법을 개선해야 할 필요성이 있음.

나. 기술수준

국내 - 구조물 기초설계기준(한국지반공학회, 2008), 항만 및 어항 설계기준(해양수산부, 2014)

- (1) 지층 층상구조 및 입도분포 파악을 위한 표준관입시험은 구조물 등급과 관련 없이 수행할 것을 권장하고 있음.
- (2) 하지만, 이 외의 현장탄성파, 실내시험 및 경험에 의한 지반조사 방법은 <표 2.2-4> 과 같이 구조물 등급에 따라 최소 기준을 정하고 있음.
- (3) “구조물 기초설계기준”에서는 설계지반운동을 결정하기 위한 기준면을 보통암지반 ($V_s=760\text{m/s}$ 이상) 까지 시추를 시행하도록 하고 있으며 액상화 평가를 위해서는 상부 20m 까지의 수행을 명시하고 있음. 하지만, 항만 및 어항설계에서 액상화 위험성이 더욱 증가하기 때문에 경우에 따라 20m 이상 지반에 대해서도 액상화 평가를 위한 지반조사를 수행하도록 하고 있음.
- (4) 최근 개정된 항만 및 어항설계기준(2014) 에서의 내진설계를 위한 지반조사 내용은 대부분 지반공학 분야의 설계기준을 준용하여 사용하고 있으며 항만 시설에 대한 전문성이 부족한 실정임.

<표 2.2-4> 국내 설계기준의 구조물 등급별 지반조사 방법 최소 요구사항

적용 가능 구조물 등급	1등급 이상	2등급	소규모 2등급
구조물 기초설계기준 (한국지반공학회, 2008)	현장탄성파 실내시험	-	경험에 의한 방법
항만 및 어항 설계기준 (해양수산부, 2014)	현장탄성파 실내시험	현장탄성파	경험에 의한 방법

국외 - 국제항해협회 (INA, 2001), 일본 항만시설의 기술기준(일본항만협회, 2007), Eurocode 8 (CEN, 2008)

- (1) 일본의 경우 액상화 평가와 상관없이 내진설계를 위한 지반조사항목에 지반강도특성을 명시하고 있으며 진동횟수 및 진동주기에 따른 강도 변화를 강조하고 있음.
- (2) Eurocode 8 (CEN, 2008) 의 경우 중요도가 낮은 건물을 제외한 모든 등급의 지반조사에 간극수압평가가 가능한 CPT 실험을 수행하도록 하고 있으며 액상화 생략기준에는 Eurocode에서 명시한 보통암 지반($V_{s,30m}=800\text{m/sec}$ 이상) 의 가속도가 $0.15g$ 이하라는 조건을 함께 만족시켜야 하는 차이점을 보이고 있어 국내의 내진설계기준보다 좀 더 엄격한 기준을 명시하고 있음.
- (3) 또한, 구체적인 지반조사 자료가 없는 경우, Eurocode 기준으로 C 또는 D 등급의 지반종류에 대해서 지하수위가 얕고 PI 40 이상의 지반재료가 포함되어 있지 않는 경우, 다음 <표 2.2-5>와 같이 지반가속도에 따라 20m 깊이의 지반에 대하여 전단파속도 및 전단탄성계수를 감하여 사용하며, 지반가속도 $0.1g$ 이상일 경우에는 <표 2.2-5>와 같이 지진 가속도에 따라 감쇠비를 증가시켜 사용해야 함을 명시하고 있음.
- (4) 국제항해협회(INA) 에서는 1997년 PIANC/MarCom/WG34 작업을 통하여 항만 구조물의 내진설계를 위한 방법을 일관성 있게 제시하고자 하였으며 기존의 현장탄성파, 실내시험 및 경험에 의한 상관 관계를 이용하는 방법을 유지하면서 다음 <표 2.2-6>와 같이 해석방법 및 SSI 고려 유무에 따라 요구되는 지반조사기법 종류에 대하여 제안하였음.

<표 2.2-5> 20m 이내 지반에서의 평균 감쇠비, 전단파 및 전단탄성계수 평균 보정 계수
(Eurocode 8, 2004)

Ground Acceleration ratio $a \cdot S$	Damping ratio	$\frac{v_s}{v_{s, \max}}$ 4)	$\frac{G}{G_{\max}}$ 5)
0.10	0.03	0.90(± 0.07)	0.80(± 0.10)
0.20	0.06	0.70(± 0.15)	0.50(± 0.20)
0.30	0.10	0.60(± 0.15)	0.36(± 0.20)

4) $v_{s, \max}$: 저변형률(<10-5) 에서의 평균전단파속도, 360m/s 미만

5) G_{\max} : 저변형률에서의 전단탄성계수

<표 2.2-6> 해석방법에 따른 조사기법 요구 (국제항해협회(INA), 2001)

해석방법	대상구조물	문헌조사	지반조사방법					
			현장실험			실내실험		
			PT ⁶⁾	GT ⁷⁾	Index	Static	Cyclic/ Dynamic DT ⁸⁾ LT ⁹⁾	
간편법 (Simplified)	부지응답		■	■	■			
	액상화		■	■	■			
	SSI ¹⁰⁾	Quay wall/Breakwaters, Piled wharf	■	■	■	■		
동적 간편법 (Simplified dynamic)	부지응답		■		■		■	
	액상화	현장실험기반	■	■	■			
		실내실험기반	■		■			■
	SSI	Quay wall/ Breakwaters	■	■	■	■		■
		Piled wharf	■	■	■	■	■	■
동적해석법 (Dynamic)	부지응답	SSI 모델 미포함	■	■				
		SSI 모델 포함	■		■		■	
	액상화	SSI 모델 미포함	■	■	■	■	■	■
		SSI 모델 포함	■	■	■	■	■	■
	SSI		■	■	■	■	■	■

■ : 필수 ■ : 설계 조건에 따라 선택

6) PT : 관입시험 (Penetration Test)

7) GT : 탄성파실험 (Geophysical Test)

8) DT : 변형특성 실험 (Pre-failure/Deformation Test)

9) LT : 액상화거동 실험 (Failure/Liquefaction Test)

10) SSI : 지반-구조물 상호작용 (Soil-Structure Interaction)

다. 향후전망

- (1) 항만시설의 경우 대체로 연약한 강도·강성을 갖는 토사지반에 위치하고 있으며 이를 보강하기 위하여 쇄석 및 드레인 공법, DCM 등의 보강작업을 통하여 지반 강도를 증가시켜 설계하고 있음.
- (2) 설계전 지반조사를 통하여 부지특성 및 액상화 가능성을 평가한 후 보강작업을 수행하지만 보강작업 이후에는 동적특성의 지반조사가 이뤄지지 않아 신뢰성 있는 동적 거동평가가 어려운 실정임.
- (3) 시료 채취가 가능한 일반 토사지반 외에도 입자가 큰 쇄석, DCM 보강 후의 지반 등의 비선형 거동을 평가하여 항만시설물의 완공 이후 지진 시 거동평가를 좀 더 면밀히 수행할 필요가 있음.
- (4) 현재까지는 비틀전단, 진동삼축 등의 실내시험 시료 크기가 제한적이기 때문에 시료 크기에 따른 비선형 거동의 차이점을 명확히 분석할 필요가 있음.
- (5) 기존 항만 시설에서의 실험을 통한 지반물성 및 층상구조 D/B 조사 및 이를 바탕으로 모형실험을 통한 지반 동적 물성 평가가 필요하며 이를 바탕으로 보다 신뢰성 있는 지반 내진 설계가 가능할 것으로 기대됨.

3. 설계지반운동

가. 기술현황

- (1) 지진재해대책법에 의거, 내진설계의 기초가 되는 국가지진위험지도는 국민안전처 주관으로 5년마다 공표하여야 함
- (2) 이에 따라, '09.3 ~ '12.8 (3년 6개월)기간 '소방방재청 자연재해저감 기술개발 사업단' 주관으로 '13년 12월 국가 지진위험지도를 공표함
- (3) 기존 점지진원에 의한 위험지도를 면적지진원에 근거한 위험지도로 수정함
- (4) 일부지역을 제외하고 대부분의 지역에서 지진가속도가 하향 조정됨
- (5) 등재해스펙트럼(설계응답스펙트럼) 작성을 위한 추가연구 진행 중
※ 지진가속도 분석 등을 통한 설계지반운동 표시방법 고도화기술 개발('13.5.1~'15.4.30)

나. 기술수준

- (1) 현시점에서 한반도 지진원(활성단층)에 대한 구체적인 연구결과가 반영되어 있지 않은 실정
- (2) 활성단층 및 단층형태에 대한 정보 부족으로 확률론적 지진재해분석(PSHA, Probabilistic Seismic Hazard Analysis) 및 시나리오기반(Scenario-based) 성능기반 내진설계 적용이 어려운 실정임
- (3) 현 기술수준 하에서는 지진강도 기반(Intensity-based) 성능기반 내진설계 적용이 필요함

다. 향후전망

- (1) 국민안전처 주관 “국가활성단층 정비기획단”의 정책방향에 따라, 향후 한반도 지진원(활성단층)에 대한 구체적인 정보 적용 가능
- (2) 추가연구 반영에 따른 등재해스펙트럼(설계응답스펙트럼)의 변경 예상
- (3) 국가지진위험지도 및 등재해스펙트럼은 법령에 따라 5년 주기로 갱신될 수 있음

- (4) 확정된 상위설계개념(국가지진위험지도, 등재해스펙트럼)을 바탕으로 한 항만의 성능 기반 내진설계용 설계스펙트럼에 대한 연구 필요(CMS, Conditional Mean Spectrum)

4. 입력지진파

가. 기술현황

- (1) 1999년 제정·공표된 “항만 및 어항시설의 내진설계 표준서”를 기반으로, 2개의 서로 다른 입력지진파(장·단주기 지진 : Hachinohe, Ofunato)의 사용을 기본하며, 경우에 따라 설계응답스펙트럼을 타겟으로 작성된 인공지진파를 추가로 사용하고 있는 실정임
- (2) 국내 발생가능 지진의 규모, 단층, 감쇠, 하부지반특성 등을 고려하지 않고 단순히 장·단주기 영역을 커버할 수 있는 지진을 선택하여 사용하고 있는 중

나. 기술수준

- (1) 1999년 표준서 제정 당시 일반적으로 사용되던 설계/해석기법인 주파수영역 선형 및 등가선형 해석을 위한 단순 입력지진파의 결정방법(장·단주기 지진)이 아직까지 적용되고 있는 실정임
- (2) 성능기반 설계를 위한 시간영역 비선형 해석 시, 입력지진의 주파수 특성 외 여러 가지 영향요소(지속시간, 진동반복 회수 등)를 고려한 입력지진 선정이 필요함
- (3) 최근 주요구조물(원자력 발전소 등)의 경우 타겟 스펙트럼을 만족할 수 있는 약 5 ~ 10개의 실지진파 기록을 조합하여 입력지진으로 사용하는 방안이 제안되고 있으나, 일반적인 토목구조물의 설계에는 적용되고 있지 않음

다. 향후전망

- (1) 현시점에서 컴퓨터와 지진해석 프로그램의 성능 향상속도를 감안시, 향후 10년내 현재 주파수영역 선형/등가선형 해석은 시간영역 비선형 해석으로 완전히 대체될 것으로 판단됨
- (2) 이에 따라, 국가지진위험지도와 등재해스펙트럼(설계응답스펙트럼)을 기반으로 한 입력지진 선정방법에 대한 연구가 선행되어 일선 기술자들이 손쉽게 적용할 수 있는 입력지진 군(群)을 제공할 필요가 있음
- (3) 또한, 입력지진에 따른 구조물 별 지진응답 특성을 고려한 입력지진 군(群) 선정절차 또한 제시되어야 함

5. 액상화

가. 기술현황

- (1) 국내의 경우, 항만 및 어항시설 내진설계표준서에 액상화 예비평가, 간이평가, 상세평가로 구분됨. 이는 Seed와 Idriss의 등가응력개념에 기초한 액상화 평가이론을 국내 적용을 위해 보완한 것임. 그 내용을 요약하면, 예비평가는 지반조사자료를 기초로 간이평가 대상을 선정하는 것으로 되어 있으며 이후 간이평가는 표준관입시험, 콘관입시험, 전단파속도를 획득할 있는 탄성파시험의 결과를 이용하도록 제안되었으

며 특히, 국내 지진피해사례가 많이 없음을 고려하여 지진시 지반응답해석을 동반하는 것으로 제안됨. (김수일 등, 2001, 연구논문을 응용). 상세평가의 경우, 3회이상의 실내진동시험을 수행하여 이를 통해 액상화 저항능력비 산정곡선을 도출하여 액상화 상세평가를 수행하는 것으로 되어 있음. 미국 및 일본과는 달리 지진규모 6.5를 기준으로 한 것이 특징임.

- (2) 최근, 기존 시설물의 지반 및 기초 내진성능평가요령(2012)에서는 액상화 간이평가 후 허용안전율이 1.5 이하일 때 추가적으로 수행되는 국내의 실내진동시험을 통한 액상화 상세평가가 액상화 안전율 미확보시 이를 확보하기 위한 도구로 이용되고 경우가 증가하고 있음이 알려지게 되어 간이평가지 액상화 안전율이 1 이하인 경우에는 액상화 대책을 강구하고 액상화 안전율이 1-1.5인 경우, 상세평가를 수행하는 것으로 보완됨. 그러나, 이 요령이 아직까지 기준검토 인증을 받지 못하고 있는 실정임.
- (3) 일본의 항만 내진설계기준에서는 액상화 안전율이 아닌 액상화 발생가능성을 4단계로 액상화 발생가능성이 조금이라도 있는 경우에는 실내진동시험을 수행하도록 되어 있으며 액상화 발생가능성은 균등계수에 따른 입도분포, 표준관입저항치, 그리고 세립분 함유량 등 흙의 성질과 지진가속도를 비교하여 산정가능하도록 도표화되어 있다.
- (4) 액상화 상세평가지 이용되는 실내시험을 살펴보면, 국내는 진동삼축시험의 수행이 일반적인 반면, 일본의 경우에는 진동삼축시험과 비틀전단시험, 진동전단시험 등 다양한 시험이 수행되고 있다.

나. 기술수준

- (1) 국내 기술수준은 미국 및 일본의 기준을 준용한 수준으로 볼 수 있다. 다만, 국내의 지진자료가 부족한 점을 고려하여 액상화 평가지 지진증폭을 효과적으로 예측할 수 있는 1차원 등가선형 지반응답해석의 이용을 보완한 점이 특징이다.
- (2) 이에 반해, 미국의 경우에는 1970년 전후로 개발된 Seed와 Idriss의 이론을 근간으로 제안된 액상화 간이평가법을 이용하고 있다. 특히, 내진설계기준의 대부분이 Demand와 Capacity 즉, 설계요구사항과 성능사항으로 구분하고 있는 실정이다.
- (3) 최근에는 액상화 평가법의 개발보다는 지진하중하에서의 수치해석을 통해 액상화 발생여부도 함께 고려하는 연구에 보다 집중되어 있으며 이때, 유효응력개념의 해석모델의 이용이 일반화되어 가고 있다.
- (4) 일본의 경우, 액상화 평가안전율을 산정하는 응력비교개념의 액상화 간이평가법들이 대부분이지만, 앞서 언급한 바와 같이 항만시설의 경우에는 액상화 발생가능성을 4단계로 구분하여 실내진동시험과 연계하도록 되어 있다. 이에 반해 액상화 평가안전율을 산정하는 응력비교개념은 미국과 유사한 기준(건축물), 실내시험결과를 종합하여 개발된 기준(도로) 등 시설물 관리주체별로 특성에 맞는 평가법을 이용하고 있는 실정이다.
- (5) 미국 및 일본의 액상화 연구는 실제 피해사례가 다수 존재하기 때문에 연구진행에 많은 도움을 주고 있으나 국내의 경우, 좋은 기자재와 해석기법을 보유하더라도 이를 국내 사례와 비교할 수 없는 수준의 자료만을 갖고 있기 때문에 연구진척이 미진한 실정이다. 다만, 최근 진동대시험소(부산대), 원심모형시험센터(KAIST, K-water) 등 대형 모의시험장비를 보유하여 현장과 유사한 실험을 수행할 수 있게 된 바 있다.

다. 향후전망

- (1) 최근 전세계적으로 예기치 못한 자연재해 피해사례를 보면, 선진국은 이러한 자연재해에 대해 일정수준 이상의 대처능력을 보유하고 있는 반면, 후진국이나 개발도상국에 지진이 발생하는 경우, 그 피해규모가 엄청난 것으로 나타나게 된다. 비록 국내의 경우, 17세기 이후 지진규모 6이상의 지진이 발생하지 않은 바 있으나 최근의 자연재해가 예기치 못한 곳에서 발생하는 것과 같이 지진 또한 언제 국내 어느 지역에서 발생할지 모르는 상황이기 때문에 이에 대한 대책을 고도화할 필요가 있다. 특히, 액상화는 항만의 지역적 특성 상 연안의 연약지반을 매립하는 경우가 일반적이므로 지진시 그 피해가 크게 확대될 가능성이 높으므로 항만시설의 경우에 대해서는 내진대책이 철저하게 이루어져야 한다.

6. 연구동향

[실험 연구동향]

가. 기술현황

- (1) 대형연구시설의 개념 : 과학기술분야에서 뛰어난 성능을 갖추고 첨단연구 분야에 활용됨으로써 해당 분야에서 중요한 영향력을 발휘할 수 있는 대규모 연구시설 (Large-scale Research Facilities)을 의미
 - (가) 대형 구축비용 또는 규모에서 의해 좌우되는 기준을 나타내며, 이외에도 복잡성, 위험도, 기간 등과 같은 요인들이 함축되어 있는 기준을 의미
 - (나) 연구시설 일반 연구건물 또는 이동수단과는 구별되는, 특수한 기능 및 환경을 구현하는 장비를 갖추고 있거나 특수지역으로 이동할 수 있는 설비를 갖춘 편의적이고 독립적 연구공간을 의미
- (2) 대형연구시설 환경을 건설R&D에 도입함으로써 연구자원 활용 극대화 및 연구결과의 공유시스템 구축을 통해 건설 R&D 질적 수준 높여주고 있는 사례를 분석하고자 한다.

나. 기술수준

- (1) 국내·외 대형연구실험시설



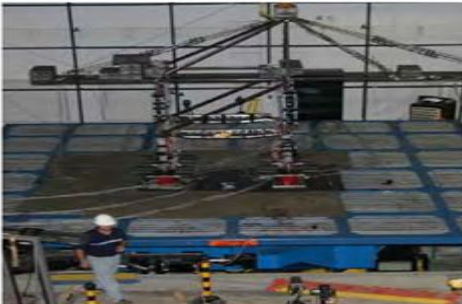

<표 2.2-7> 국내·외 대형연구실험시설

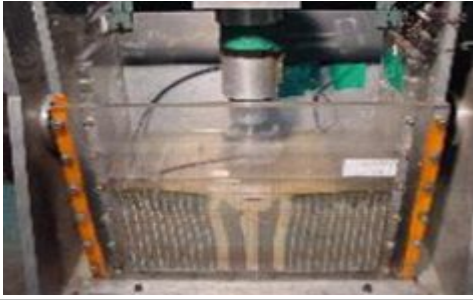

국가	기관	내용
미국	NEES	<ul style="list-style-type: none"> 지진 시 피해를 예방하거나 최소화 할 수 있는 인프라 설계 및 구축 기법의 향상과 혁신을 주도하기 위해 조직된 기관이다. 지반 원심모형 연구, 진동대 실험, 실 대형 구조실험, 쓰나미 실험 및 현장 실험 등 14곳의 분산 공유 형 실험실로 이루어져 있다.

일본	E-Defense	<ul style="list-style-type: none"> 독립 행정법인 방재 과학기술 연구소가 소관하고 있는 대형 구조물의 진동 파괴 실험을 실시하는 세계 최대의 내진 실험 시설이다.
	PWRI	<ul style="list-style-type: none"> 토목기술의 향상과 사회 자본의 효율적인 정비를 목적으로 하고 있다. 츠쿠바 중앙 연구소, 한랭지 토목 연구소(CERI), 수재해 리스크 관리 국제센터(ICHARM), 구조물 유지관리 연구센터(CAESAR)의 4개 연구 부서로 이루어져 있다.
	PARI	<ul style="list-style-type: none"> 항만 및 공항 개발에 관한 조사, 연구 및 기술 개발을 통해 항만 및 공항 개발의 효율성을 향상시키는 것을 목적으로 한다. 해안 및 해양공학 분야, 해양 정보 분야, 연안 및 하구 생태계, 지반 공학 분야, 지진 재해, 구조 공학 분야, 새로운 기술 개발 분야 등 7가지로 이루어져 있다.
한국	KOCED	<ul style="list-style-type: none"> 분산공유형 건설연구인프라는 건설기술의 교육과 연구에 필수적인 6종의 최신 대형건설연구 실험시설로 구성되어 있으며 이 시설들은 전국적으로 고르게 분포된 대학에 분산되어 건설되었다.

(2) 내진설계 관련 실험 동향

<표 2.2-8> 국내·외 내진설계 관련 시험 동향

실험	실험내용	
대형실험		
	면진시스템이 적용된 실제 크기 구조물 실험(E-Defense)	발파를 통한 실험대형 안벽 거동 평가 PARI의 13개 기관
모형실험		
	1/20 크레인 지진 시 거동 평가 NEES at Buffalo	지진 시 말뚝 기초 거동 평가 PWRI

원심모형 실험		
	연약지반 개량공법 평가 NEES at UC Davis	DMC 보강 평가 KAIST

다. 향후전망

- (1) 선도국의 대형 진동대 및 원심모형시험을 활용한 실험 연구 증가
- (2) 현재까지 대형 실험 장비 부족, 최근 토목관련 대형실험시설 구축(KOCED)
- (3) 부산대(대형 진동대), KAIST(원심모형시험기) 구축 및 활용
- (4) 항만 및 어항시설 관련 실험 사례 부족 및 해외 연구사례 준용 문제
- (5) 국가적 차원에서의 연구 지원 및 실험연구가 매우 필요함
- (6) 성능기반내진설계를 위한 성능수준별 검증실험 방법 및 절차 구축이 필요

[수치해석 (FLAC) 연구동향]

가. 기술현황

- (1) 과거 컴퓨터 성능과 해석기법의 부족으로 인하여 일부 연구영역에서만 적용된 시간영역 (재료·기하)비선형 해석기법은 최근 10여년간 비약적인 컴퓨터 성능발전에 힘입어 실무 영역으로 확장 단계에 올라서 있음
- (2) FLAC(Fast Lagrangian Analysis Continua, Itasca Consulting, 美)은 지반공학(내진설계) 분야에서 가장 널리 사용되고 안정성을 인정받은 해석 패키지임
- (3) FLAC의 경우 기본 알고리즘이 양해법과 유한차분법을 이용한 초기치 편미분방정식의 풀이 기법으로 구성됨에 따라, 시간영역 비선형 해석을 이용한 지진시 거동해석에 적합한 방식이라 할 수 있음
- (4) FLAC의 경우 성능기반 내진설계를 위한 표준 설계코드로 적용되고 있는 추세임

나. 기술수준

- (1) 지난 10여년간 실지진 피해기록 또는 동적 원심모형시험 결과를 이용한 수치해석의 검증작업이 효과적으로 수행되었음
- (2) 최근들어 지반-기초-구조물 상호작용에 대한 연구가 진행되고 있는 것으로 파악됨

다. 향후전망

- (1) 현재 컴퓨터 성능 발전속도를 감안시, 내진해석의 매우 많은 분야에서 적용이 확대될 것으로 판단됨

[수치해석 (FLIP)연구동향]

가. 기술현황

- (1) 80년대를 전후로 컴퓨터의 발달과 함께 수치해석기법의 이용이 급증하게 되었으며 내진해석에서도 지진시 지반 내 간극수의 거동을 포함하여 해석하는 유효응력개념의 해석법 개발연구가 시작되었다.
- (2) 이후, Finn모델의 개발을 시작으로 일본 항만 내진해석용 FLIP프로그램, 미국의 DSC모델과 같은 유효응력해석 모델이 연구발표된 바 있다. 이들 유효응력해석모델을 이용한 수치해석기법의 개발은 Finn모델의 경우, 유한차분법을 이용한 해석프로그램으로 널리 알려진 FLAC 프로그램에 적용되어 매개변수의 단순화 등 여러 부분에 있어서 발전을 거듭해 왔고 일본의 경우, FLIP연구회를 통해 FLIP프로그램의 매개변수 산정에 대한 검토연구가 계속되어 현재는 매개변수 산정이 매우 간편화되어 있는 실정이다.
- (3) FLAC프로그램은 상용프로그램으로 그 이용에 불편이 없는 반면 FLIP프로그램의 경우에는 이를 이용하기 위해서는 FLIP연구회에 먼저 가입해야 하는 절차 상의 문제점이 있다.

나. 기술수준

- (1) 국내의 경우, 항만 내진해석을 위한 수치해석이 대부분 전응력개념의 프로그램 이용이 일반적이며 이는 기존 항만 및 어항시설 내진설계 표준서에서 전응력 위주의 해석예가 수록된 것에도 일정부분 영향을 받은 것으로 보인다.
- (2) 이에 반해 일본의 경우, FLIP프로그램이 여러 연구발표성과와 함께 검증되어 21세기부터는 실제 설계기준서에서도 이에 대한 내용이 상당부분 많이 언급되어 있으며 현재 일본 항만 내진해석시에는 이 프로그램의 이용이 절대적이다.
- (3) Finn모델을 이용한 FLAC프로그램의 경우, FLIP프로그램이나 DSC모델과 같이 진동하중 하에서는 비배수상태시 발생하는 소성일 또는 누적소성변형이 간극수압과 관계가 있다는 이론과는 달리, 간극수압을 배수상태시의 체적변형률과 연계하여 규명하기 때문에 직접적이지 못하다는 지적이 있어 이에 대한 신뢰성이 높지 않다는 의견도 없지는 않으나 매개변수 산정이 매우 간편하여 실제 현장에서의 이용은 확대되고 있는 실정이다.
- (4) 국내의 경우, 상기 3개의 프로그램을 이용한 연구성과가 발표된 점으로부터 이를 이용할 수 있는 기반은 형성되어 있는 실정이나 실제 현장에서의 이용으로는 이어지지 못하고 있다.

다. 향후전망

- (1) 전세계적으로 항만시설뿐만 아니라 대부분의 중요 시설에 대한 내진해석을 위해 수치해석프로그램이 이용되는 경우가 급증하고 있다. 특히, 항만시설의 경우, 연안의 연약지반을 매립하여 건설하는 경우가 많은 관계로 액상화 발생가능성을 평가하는 시방규정과 지진하중과 같은 급작한 동하중이 재하될 경우에는 지반 내부의 간극수의 움직임을 정확하게 예측하는 것이 무엇보다도 중요하며 이를 위해 유효응력해석법의 적용이 반드시 동반되어야 한다.

- (2) 국내 에서도 유효응력해석에 대한 연구성과가 있는 만큼 일정부분 이에 대한 기반조성은 되어 있는 상태이지만, 현재의 내진설계시방에서는 이에 대한 자세한 내용이 거의 전무한 상태이다. 따라서, 향후 이에 대한 연구를 통해 항만시설에 대한 내진해석시 유효응력모델을 이용한 수치해석이 일반화될 수 있도록 독려할 필요가 있으며 이와 관련하여 국내 이용빈도가 높은 수치해석 프로그램에 적절한 유효응력모델을 탑재하여 항만 내진해석을 위한 국내 수치해석 프로그램의 개발도 병행할 필요가 있다.

제3절 항만구조물 신뢰성설계 동향 분석

1. 유럽의 신뢰성설계기준

가. 기술현황

- (1) 유로코드(Eurocode)는 유럽표준화위원회(CEN, European Committee for Standardization)에서 각 회원국들이 독립적으로 사용하던 설계 기준을 하나의 표준화된 기술규칙으로 제정한 것으로, 1991년부터 1999년 사이에 예비표준서(ENVs)에 대한 개정작업을 거친 후 2009년 최종판(EN)을 발간, 유럽연합 각 회원국들에게 2010년부터 사용을 의무화함.

나. 기술수준

- (1) Level I, Level II 기반 부분안전계수(partial safety factor)를 사용하는 한계상태설계법(Limit State Design) 임.
- (2) 기본 원리 및 재료별로 구분하여 EN 1990 ~ EN 1999까지 총 10개의 표준서로 구성
- (3) 방파제 등과 같은 항만 구조물의 신뢰성기반 설계기준식에 필요한 부분안전계수들은 PIANC의 Breakwater with vertical and inclined concrete walls와 Analysis of rubble mound breakwaters(1992)에 제시.
- (4) 방법론적으로 저항 및 하중에 대한 두 개의 부분안전계수, 즉, 저항계수와 하중계수만을 사용하는 LRFD(Load Resistance Factor Design)를 따르고 있음.
- (5) 목표신뢰도지수는 신뢰지수 2.33, 1.65, 1.28, 0.84, 그리고 0.25로 여러가지를 사용하고 있으며 신뢰성기반 설계를 적용한 구조물의 형식 및 파괴모드는 다음 표와 같음.

<표 2.3-1> 적용구조물의 형식 및 파괴모드

분야	구조형식	파괴모드	
		완료	미완료
방파제	경사식	수리학적 안전성으로 피복재에 대한 Hudson, Van der Meer 공식별, 사석재, TTP, Cube, Accropode 형식별 세굴	
	케이슨식	활동, 전도 및 기초 지반 안전성 세굴	

다. 향후전망

- (1) 설계자들이 어떤 목표수준을 선택할지 곤란하고 미국의 CEM 보다 하중계수나 저항 계 수가 크기 때문에 이에 대한 선정 비교 기준이 있어야 함.
- (2) 표에 포함되지 않은 항만구조물이나 관련 파괴모드들에 대하여는 점차 보완 확대해 갈 것으로 예상됨.

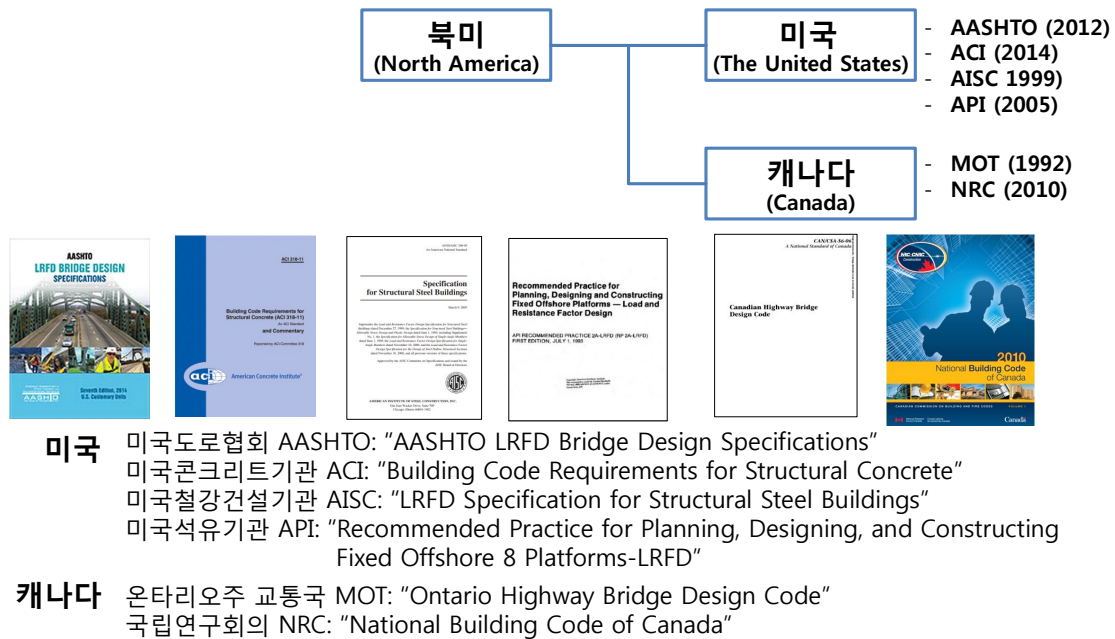
2. 북미의 신뢰성설계기준

가. 기술현황

- (1) 1950년대 전후, Freudenthal(1947)과 Pugsley (1955)에 의해 신뢰성 분석 기법이 발표되면서 미국, 캐나다 등에서도 신뢰성 기반 구조물설계 기준에 관한 연구가 활발히 진행됨. 그 이후, 신뢰성에 근거한 설계법이 시행되고 있지만, 모든 지반구조물에 대하여 완성되지는 않음.

나. 기술수준

- (1) 북미에서 개발, 사용 중인 하중저항계수설계법의 개발을 위해서는 합리적인 하중계수와 저항계수의 결정이 필수적이며, 하중계수에 비해 저항계수는 지역적인 가변성이 크고 구조물별 불확실성이 큰 차이를 보이므로 현재 기준에서 제시되고 있는 저항계수의 수정이 필요함.
- (2) 현재 신뢰성 분석 기법은 아주 높은 수준까지 도달하여 정교한 최적 저항 및 하중계수를 도출하기 위한 틀이 합리적으로 개발됨.
- (3) 신뢰성 있는 저항계수 도출을 위해서는 양질의 데이터베이스 구축하여 저항의 불확실성에 대한 정량적인 통계분석이 수행되고, 면밀한 신뢰성 분석을 거쳐 정확한 저항계수가 도출되어야 함. 하지만, 지반정수에 대한 불확실성을 규명하는데 각 기관 및 연구자들 간에 이견이 많아 이에 대한 consensus가 필요함.
- (4) 허용응력설계법은 다른 저항산출식에 대해서도 동일한 안전율을 제안하여 편리한 반면, LRFD는 각각의 설계법 마다 신뢰성 분석을 통하여 저항계수를 산정해야 하는 단점이 있음.
- (5) 북미지역 한계상태설계법은 설계개념과 사용지역을 기준으로 다음 그림과 같이 분류할 수 있음.



<그림 2.3-1> 북미 신뢰성에 기반한 시방서 및 설계기준서 현황

다. 향후전망

- (1) 북미 지역에서도 토목구조물에 대한 신뢰성 분석 연구가 활발하게 연구되고 있으며, 연구 결과에 의해 시방서 및 설계기준이 계속 업데이트 되고 있음.
- (2) 합리적인 하중 및 저항에 대한 불확실성 분석과 정교한 신뢰성분석을 수행하여 저항계수를 산정할 경우, 안전성과 경제성을 모두 만족하는 최적설계가 가능하기 때문에 앞으로 지반조사의 체계화, 합리적인 말뚝 설계법 개발, 각 설계법에 맞는 저항계수 산정 등 많은 연구가 필요함.

3. 중국 및 홍콩의 신뢰성설계기준

가. 기술현황

- (1) 중국은 아시아 지역 국가로서는 비교적 빠르게 신뢰성설계법을 건축과 토목구조물 설계에 도입하였음. 1985년에 건축구조물을 대상으로 신뢰성 이론을 적용한 설계기준을 처음 도입한 이후, 7년간의 연구결과를 토대로 1992년에 항만을 포함한 토목구조물에 신뢰성 기반 설계기준을 제정하여 의무규정으로 적용하고 있음. 현재는 2000년에 개정된 "Technical Codes for Port Engineering"이 항만설계 시 적용됨.

나. 기술수준

- (1) 중국의 항만설계기준은 구조물을 중요도에 따라 3개의 등급으로 구분하고, 그에 따른 중요도 계수가 설계기준식에 공통적으로 적용된다는 특징을 갖고 있음.
- (2) 일본과 마찬가지로 안벽과 방파제 등 주요 구조물 형식에 대해 하중과 저항성분에 해당하는 부분계수가 파괴모드별로 구체적으로 제시되어 있으며, 말뚝기초와 사면을 포함한 지반구조물에 대해서도 지반정수에 강도지수(Strength Index) 개념이 적용된

부분안전계수가 제시됨.

- (3) 타국에 비해 부분안전계수를 월등히 큰 값을 사용하는 실정이며 경제적 최적설계를 위해서는 보다 진보된 신뢰성설계법으로의 개정이 필요해 보임.

다. 향후전망

- (1) 현재까지의 중국 항만설계기준 발전상황을 고려하면 부분안전계수의 획기적인 변화를 통한 경제적 설계법으로의 전환은 쉽게 이루어지지 않을 것으로 보임.

4. 일본의 신뢰성설계기준

가. 기술현황

- (1) 일본의 경우, 2003년부터 2007년까지 5년간 추진한 신뢰성설계법 관련 연구를 토대로 항만설계기준이 개정됨.
- (2) 개정된 일본의 항만설계기준은 성능기반설계법(Performance Based Design, PBD)의 형태로 신뢰성설계법을 도입하였음.

나. 기술수준

- (1) 일본의 항만설계기준에서는 시설의 종류별로 목적과 요구 성능을 구체적으로 규정하고 있으며, 설계기준식에 적용되는 하중계수와 하중조합, 구조부재에 대한 재료계수와 구조물계수의 표준값 등을 구체적으로 제시하고 있음.
- (2) 말뚝을 포함한 사면안정, 지반개량체 등 지반 구조물에 대해서도 운용조건과 한계상태 조건별로 목표신뢰도지수(목표파괴확률)와 부분계수의 표준값을 제시하고 있음.
- (3) 이와 같이 제시된 부분계수는 설계자의 판단에 따라 조정이 가능하며, 구체적인 성능조사를 위한 Level I, Level II, Level III 방법을 제시하고 있음. 아울러 LCC(Life Cycle Cost) 분석을 통한 최적설계방법도 참조할 수 있도록 제시됨.
- (4) 그러나, 내진설계에 대해서는 잔교식 등 극히 일부분의 구조형식을 제외하고 대부분은 부분안전계수가 제시되어 있지 않고 기존의 설계법을 따르도록 되어 있음.

다. 향후전망

- (1) 내진설계를 위한 부분안전계수를 차기 설계기준 개정 때 보완할 것으로 판단됨.
- (2) 경사식 방파제의 피복식 설계를 위한 부분안전계수도 개정 시 추가할 것으로 예상됨.

5. 국내 타구조물 신뢰성설계기준

가. 기술현황

- (1) (도로교설계기준) 국내에서는 2009년 하반기에 시작된 도로교 설계기준 기준화 작업을 시행하여 다수 전문가와 연구자가 참여하는 자문회의 및 공청회 등을 거쳐서 2012년에 '도로교설계기준 한계상태설계법'을 제정함
- (2) (도로교설계기준_하부구조) 지반분야의 한계상태설계법에 대한 집단연구로는 2005년 건설교통부 국가 R&D 사업의 일환으로 "LRFD 기초구조물 설계를 위한 저항계수

- 결정 연구(한국건설기술연구원, 2008)”과제를 수행함
- (3) (강구조설계기준) 2009년 하중저항계수설계법(LRFD)을 채택한 “건축구조설계기준(KBC2009)”과 “하중저항계수설계법에 의한 강구조설계기준(한국강구조학회, 2009)”이 제정된 후 강구조설계기준의 개정판(2014)이 출간됨
 - (4) 2012년 개정된 콘크리트구조기준은 강도설계법을 따르고 있으며 한계상태설계법으로의 전면적인 전환은 이루어지지 않았음

나. 기술수준

- (1) (도로교설계기준) 지난 2003년부터 2008년까지 서울대학교의 교량설계핵심기술연구단, 한국건설기술연구원, 한국도로공사 등이 참여한 “교량해석 및 설계 선진화 연구”를 통하여 국내 환경을 반영한 새로운 도로교 설계기준의 제정을 위한 기반을 마련함
- (2) (도로교설계기준) ‘설계기준 제정에 따른 경과 조치’로서 급격한 설계기준의 변화에 대한 업계의 혼란 방지와 기술자들에 대한 교육과 홍보를 위하여 약 3년간의 유예기간을 가진 후 2015년부터 전면 시행 예정임
- (5) (도로교설계기준) 한계상태의 정의와 하중조합, 강교 및 하부구조를 포함한 대부분의 내용은 북미에서 적용하는 하중저항계수설계법(AASHTO LRFD Specifications, 2004)을 준용함
- (6) (도로교설계기준) 콘크리트 부재는 유럽기준(Eurocode 2)에서 적용하고 있는 형식인 부분안전계수법(PSF: partial safety factor)을 기반으로 작성함
- (7) (도로교설계기준) 지역성(locality)과 국내현황의 반영이 필요한 부분들에 대해서는 국내자료의 조사와 그동안의 연구성과에 기초하여 세부내용을 작성함
- (8) (도로교설계기준) 기존의 도로교설계기준에서 사용하던 3축 표준트럭하중인 DB24 보다 무거운 4축의 KL-510 하중이 새롭게 제안되었으며, 이와 함께 극한, 사용 및 극한상황 한계상태 등이 정의되고 이에 따른 하중 조합 등을 새로이 제시함
- (9) (도로교설계기준_하부구조) 지반분야와 관련된 하부구조에 대한 설계기준은 AASHTO LRFD Specifications(2004년, 3판)을 기본으로 하고 저항계수를 포함한 일부내용은 2007년 출판된 4판을 준용하고 있음
- (10) (도로교설계기준_하부구조) 이 연구 성과를 토대로 타입강관말뚝과 현장타설말뚝의 저항계수는 도로교설계기준 해설편(대한토목학회, 2008)에 신규 반영되었고, 구조물기초설계기준 및 동해설편(한국지반공학학회, 2008, 2009)에는 하중저항계수설계법의 기본 개념과 국외 저항계수를 소개하여 국내 기술자들이 기초구조물 설계에 하중저항계수설계법을 적용할 수 있는 근거를 마련함
- (11) (도로교설계기준_하부구조) 하부구조와 직접 관련이 있는 지반공학 분야에 대한 한계상태설계법의 적용은 국외에서도 아직 관련 연구가 진행 중임을 감안하여 활용할 것을 권고함
- (12) (강구조설계기준) 1986년 미국의 AISC-LRFD 초판이 발행된 이후 1996년 도로교표준시방서(부록)에 하중저항계수설계편이 수록되었으나 실질적으로 사용되지 않으면서 지속적으로 허용응력설계법이 강구조설계에 적용됨
- (13) (강구조설계기준) 교량, 건축물의 강구조물 설계시 기존의 허용응력설계법 대신 국

제설계표준의 한계상태설계법인 하중저항계수법을 채택함으로써 제한적이지만 설계법의 국제표준화에 대한 대응과 설계품질의 신뢰성을 확보함

- (14) (강구조설계기준) 제정된 “하중저항계수설계법에 의한 강구조설계기준(한국강구조학회, 2009)”은 최근의 연구와 실험결과를 반영하고, 골조의 안정성, 플레이트 거더 및 곡선박스거더교의 휨설계, 피로 및 파단에 대해서 많은 내용을 개정하였음

다. 향후전망

- (1) (도로교설계기준) 다년간의 기반 연구를 통한 한계상태설계법의 제정으로 국제표준화 및 설계기술 경쟁력확보를 위한 토대는 마련되었으나, 추가적인 개정 및 보완작업을 진행함으로써 건설구조물 설계선진화에 필수적인 국제설계기준과의 정합성 확보 및 국내설계실무를 충분히 반영하여야 함
- (2) (도로교설계기준_하부구조) 하부구조와 직접 관련이 있는 지반공학 분야에 대한 한계상태설계법의 적용을 위한 관련 기반 및 추가연구가 진행되어야 함
- (3) (강구조설계기준) 기반연구가 충분히 이루어지지 않은 시점에서 한계상태설계법인 하중저항계수법으로의 변환에 따른 설계기준의 보완 및 개정이 필요하고, 관련 기반 및 응용 연구가 진행되어야 함
- (4) (콘크리트설계기준) 도로교 설계기준의 콘크리트 부분에 대한 내용을 반영하는 개정작업이 추후 진행될 것으로 사료됨

6. 항만구조물 신뢰성설계 국내 기술동향

가. 기술현황

- (1) 항만구조물 신뢰성설계법에 관한 연구는 해양수산부 연구과제로 5년간(2006~2011년) 추진한 실적이 있음.

나. 기술수준

- (1) 당해 과제에서 수행한 연구의 범위는 방파제(케이슨식, 경사식)와 안벽(케이슨식, 잔교식)등 대표적 구조형식에 대한 상시, 파랑시 및 지진시에 대한 신뢰성설계법임.
- (2) 신뢰성설계법의 이론적 내용인 Level I, Level II, Level III 방법을 모두 제시하였고 구조형식별 한계상태를 정의하고 이를 사례 구조물에 적용하여 신뢰성평가를 수행하였음.
- (3) 목표신뢰도지수를 설정하기 위해 결정론적 설계법에 의한 기존 항만구조물의 신뢰도 수준을 평가하였으며 생애주기총비용(LCC) 최적화를 통해 구조형식별 하중별 최적 신뢰도수준을 제시함.
- (4) 신뢰성설계법의 도입을 위한 부분안전계수를 제시한 부분은 경사식방파제의 피복석 안정성, 케이슨식 안벽의 활동, 전도, 지지력, 직선활동, 원호활동, 지반침하, 잔교식의 경우 파일의 응력 안정성 등임.

<표 2.3-2> 신뢰성설계 표준서의 신뢰성설계법 개발 현황

분야	구조형식	파괴모드	
		완료	미완료
방과제	경사식	수리학적 안정	
	케이슨식	활동	전도, 지지력, 직선활동, 원호활동
안벽	케이슨식	활동, 전도, 지지력, 직선활동, 원호활동	
	잔교식	응력	인발

다. 향후전망

- (1) 당해 과제에서 완료하지 못하여 향후 개발이 필요한 부분은 케이슨식 방과제에서는 활동 이외의 한계상태에 대한 부분안전계수와 케이슨 이외의 구조형식(예: 블록식, 셀블럭식, 혼성식, 등)에 대한 각종 한계상태의 부분안전계수이며 안벽에서는 케이슨과 잔교식을 제외한 다른 구조형식(예: 블록식, 널말뚝식, 사향식 잔교, 등)에 대한 부분안전계수임.
- (2) 또한, 당해 과제에서 개발이 완료된 부분안전계수는 내진설계 규정(항설 2014)이 변경됨에 따라 재산정해야 할 필요가 있음.

제4절 시설물별 동향 분석(내진설계)

1. 방과제 및 해안제방

가. 기술현황

- (1) 국내의 기술동향을 정리하면 다음과 같음.
 - (가) “항만 및 어항시설 내진설계 표준서(1999)”에 방과제 및 제방은 흙 구조물로 다루고 있음
 - (나) 내진기준은 2등급 붕괴방지수준으로 규정
 - (다) 설계지진하중은 설계 수평지진계수(k_h)의 50%수준으로 산정
 - (라) 등가정적해석(진도법)에 기초한 활동의 안정성 검토는 가정된 파괴형상의 도심에 재하한 설계지진하중에 대한 안전율(F_s) 산정을 통해 수행 함
 - (마) 활동에 대한 허용안전율은 1.0으로 함
 - (바) 원지반은 액상화에 대해서 안전해야 함
- (2) 일본의 기술동향을 정리하면 다음과 같음.
 - (가) “항만 시설 기술상의 기준 • 동해설(2007)” 등에 최근 관련내용이 정리되어있음
 - (나) 신뢰성설계(한계상태설계)방법을 통한 항만 내진설계의 선진화가 진행되고 있음
 - (다) 레벨1지진동에 대해서 방과제의 활동, 전도 및 기초지반의 지지력에 대한 안정성을 평가하여야함

- (라) 지진시 파괴에 관한 내진성능평가의 경우에는 동적해석법 등의 상세법을 통해 변형량 등을 직접 평가해 성능이 확보되고 있는지를 평가하는 것이 가능한데 진도법 등의 간이법으로도 가능함
- (마) 레벨1지진동¹¹⁾을 입력지진동으로 해서 1차원 지진응답해석을 통해 얻어진 방파제 바닥면의 가속도 시간이력의 최대치 a_{max} 와 중력 가속도 g 의 비로서 작용 진도 (수평지진계수= a_{max}/g)를 산정함

$$\text{여기서, 진도 } k_{hd} = \frac{a_{max}}{g} \quad (a_{max} \leq 0.2), \quad k_{hd} = \frac{1}{3} \left(\frac{a_{max}}{g} \right)^{1/3} \quad (a_{max} > 0.2g)$$

- (바) 힘의 균형에 기초해 내진설계시 다음의 식을 통해 할 수가 있음

$$(\text{활동안정성}) \quad \gamma_a(k_{hd} W_d + 2P_{d_{ud}}) \leq \mu_d W_d'$$

$$(\text{전도안정성}) \quad \gamma_a(a_1 k_{hd} W_d + 2a_2 P_{d_{ud}}) \leq a_3 W_d'$$

여기서 k_{hd} 는 설계수평지진계수, γ_a 는 구조해석계수

여기서 구조해석계수를 제외한 모든 부분계수는 1.00, 구조해석계수는 활동에 대해 1.2, 전도에 대해 1.1로 정함

- (사) 레벨2지진동에 대한 방파제는 침하를 막을 수 없으므로 침하량을 문제로 할 경우 외에는 검토할 필요가 없는 경우가 많으며 침하량의 예측에 대해서는 1차원의 해석결과에서 간단하게 실시하는 방법이 제안되고 있어 침하량 예측치의 필요 정밀도에 따라서는 간단한 방법으로 대응하는 것도 가능함
- (아) 레벨2지진동¹²⁾에 대한 우발상태에서의 내진설계시 지진동에 대한 수치해석법(변형량이나 손상 정도를 구체적으로 평가할 수 있는 방법)을 적용할 수 있음
- (자) 방파제의 내진해석에 사용하는 방법은 진도법(레벨1지진동) 수정진도법(레벨1지진동), 지반-구조물계 지진응답해석법(레벨1지진동 및 레벨2지진동) 등이 있음.

(3) 미국의 기술동향을 정리하면 다음과 같음.

- (가) “ASCE-TCLEE guidelines (Werner, 1998)” 등에 최근 관련내용이 정리되어있음
- (나) 성능수준을 기초로하고 구조물의 중요도 및 경제성과 관련하여, 사용성 수준을 고려하는 OLE(Operating Level Earthquake) 수준과 붕괴수준을 고려하는 CLE(Contingency Level Earthquake) 수준으로 구분
- (다) OLE 및 CLE 수준에 대한 지진하중은 평균재현주기 72년과 평균재현주기 475년을 각각 적용
- (라) 미국의 항만 내진설계기준은 구조물의 내진수준정도에 따라 경제성, 불확실성, 그리고 방파제 및 제방의 액상화와 변위한계 등을 고려한 내진설계의 수행을 제시하고 있으며 특히, 구조물의 중요성에 따른 내진해석 및 설계법이 다양하게 정리되어 있음
- (마) 방파제의 내진해석에 사용하는 방법은 간편해석법(Simplified analysis), 간편 동해석법(Simplified dynamic analysis), 동해석법(Dynamic analysis)으로 분류됨
- (바) 해석방법을 간단히 정리하면 다음과 같음

11) 레벨1지진동: 기술기준대상시설을 설치하는 지점에서 발생하는 것으로 예상되는 파랑 중에서 지진동의 재현기간과 당해 시설의 설계공용기간과의 관계에서 당해 시설의 설계공용기간 중에 발생할 가능성이 높은 것을 의미.

12) 레벨2지진동: 기술기준대상시설을 설치하는 지점에서 발생하는 것으로 예상되는 파랑 중에서 최대 규모의 강도를 가진 것을 의미.

<표 2.4-1> 방파제 내진해석방법

	Method	Design Parameters	Output Parameters
Simplified analysis	Pseudo-static method	<ul style="list-style-type: none"> · k_e: equivalent seismic coefficient · k_t: threshold seismic coefficient 	Threshold limit
Simplified dynamic analysis	Newmark type method	Empirical equations: <ul style="list-style-type: none"> · a_{max}: peak acceleration · v_{max}: peak velocity 	Displacement
Dynamic analysis	FEM/FDM	<ul style="list-style-type: none"> · Time histories of earthquake motions at bottom · For equivalent linear analysis: $G/G_0 - \gamma$ & $D - \gamma$ curves · For non-linear geotechnical analysis: Undrained cyclic properties and G, K: shear and bulk modulus 	Response/failure modes Peak and residual displacements

나. 기술수준

- (1) 당해 과제에서 수행한 연구의 범위는 방파제(직립제 및 경사제)와 제방등 대표적 외곽시설에 대한 지진시 내진성능수준 기반의 설계법제시
- (2) 시설물 내진 성능수준 및 등급을 재정립해야 함. 이를 통해 안정성과 경제성을 동시에 만족하는 내진 설계법을 제시
- (3) 이를 통해 국내 내진설계법인 결정론적 허용응력설계법의 과다 설계를 보완하고, 확률론적 한계상태 내진설계를 조기에 적착하게 되므로 안정성 확보와 최적 설계를 동시에 추구하는 연구수행
- (4) 지진시 방파제 및 제방의 대변위(Large deformation)로 인한 파괴특성을 예측하고 그 파괴의 주요 영향인자를 설계에 반영할 수 있는 첨단 시험법들을 개발 적용함으로써 선진국형 내진설계법의 선도적 도입가능성을 높임
- (5) 원지반의 동적특성을 현장에서 편리하고 정밀하게 계측할 수 있는 시험장비 및 기법 개발 관련 연구수행
- (6) 지진시 항만구조물의 허용변위를 통해 안전하고 경제적인 설계를 위해서는 내진성능수준 기반 설계법과 합리적인 실험법 그리고 지반의 과잉간극수압 분석을 기초로한 동적 유효응력해석법관련 연구가 필수적으로 수행되어야 함

다. 향후전망

- (1) 동남아 및 중동 각국들이 항만 구조물 내진 설계시 성능수준 및 확률론적 설계기준을 제안 혹은 준비하고 있으나, 아직은 Eurocode의 내진설계를 차용하는 초보적인 단계에 있는바 국내에서도 조속히 관련 연구를 시작하면 항만 및 어항 내진설계 분야에 충분한 국제경쟁력을 확보할 수 있음
- (2) 관련 연구를 통해 위험관리(risk management)를 정량적으로 수행할 수 있어 재해/

- 사고에 대한 대비비용을 최적화 할 수 있음
- (3) 최종적으로 항만 내진설계 기술을 선점하여 해외 항만 설계 프로젝트 수주에 있어 경쟁력을 확보할 수 있는 기회 임

2. 중력식 안벽

가. 기술현황

- (1) 국내 : 1999년 제정된 “항만 및 어항시설의 내진설계 표준서”에 기반한 유사정적 설계 (허용응력, 극한강도 설계법)를 시행 중
- (2) 허용 잔류변위 등 성능기반 설계를 위한 개념적인 표현은 존재하나, 이에 대한 근거 또는 구체적으로 평가할 수 있는 해석 방법에 대한 제시는 하지 못하고 있는 실정임
- (3) 또한, 유사정적 해석시 지진하중 조합에 필요한 지진시 동토압의 적용절차가 매우 모호하며, 최근 동향인 허용변위에 따른 지진계수 변화 정도를 반영하지 못하고 있는 실정
- (4) 국외 : 고베지진(1995) 피해조사 결과에 대한 대비책으로, 지진크기가 큰 경우(Level-2 Earthquake)에 대하여 성능기반 내진 설계를 실시 할 수 있도록 전환 됨(일)
- (5) 국외 : 국제항회협회(PIANC)에서는 2002년 “Seismic Design Guidelines for Port Structures”를 발간, 성능기반 항만 설계에 대한 기본적인 개념을 제공함
- (6) 미국 : 몇몇 주정부 및 항만 관리 기관에서 성능기반 설계를 개념적으로 도입하고 있으나, 통일된 기준 제정을 위하여 NIST주관 연구개발 계획을 수립(NIST GCR 12-917-19 Program Plan for the Development of Seismic Design Guidelines for Port Container, Wharf, and Cargo Systems, 2012) 시행할 예정에 있음

나. 기술수준

- (1) 중력식 안벽의 성능기반 내진설계를 위해서는 대상 구조물의 지진시 거동을 실제와 가장 유사한 방법으로 재현할 수 있거나, 많은 수의 피해조사 자료를 확보하여야 함
- (2) 현시점에서 상기 요구사항을 충족시킬 수 있는 실험적인 방법은 동적원심모형시험임
- (3) 또한, 상기 요구사항을 충족시킬 수 있는 해석적인 방법은 양해법을 적용한 시간영역 유한차분(요소)기법 임
- (4) 선진국(美, 日)의 경우 상기 두가지 기법을 적용하여 중력식 안벽구조물의 지진시 거동을 액상화 거동을 포함하여 시뮬레이션 가능한 단계임
- (5) 우리나라는 최근 2-3년간 건조 사질토 지반의 지진시 거동에 대하여 현재 동적원심 모형 시험과 수치해석간의 검증작업을 시행해 왔으며, 향후 여러 연구과제를 통하여 포화 지반 및 지반-구조물-기초상호작용에 대한 검증이 시행될 예정임

다. 향후전망

- (1) 성능 기반 설계를 위해서는 성능 요구수준을 정의할 수 있는 사회적인 합의가 필요함
- (2) 사회적인 합의의 대상은 엔지니어, 시설물의 운영주체(소유주), 시설물 임차인 등 다양한 이해관계자들의 공통된 합의를 도출하여야 함
- (3) 성능기반 내진설계로 전환하는 것을 계기로 기존 중력식 안벽구조물의 내진성능평가 및 보강방안도출이 효율적으로 진행 가능할 것으로 예상됨

- (4) 또한, 극한수준의 지진에 대한 대처가 가능한 수준의 설계 및 보강이 이루어짐에 따라 국가 인프라 시설의 비상시 안전한 운영보장 및 경제적인 보강사업 예산 집행이 가능할 것으로 판단됨

3. 널말뚝식 안벽

가. 기술현황

- (1) 국내 널말뚝식 안벽은 대규모 항만시설에서는 그 사례가 많지 않은 실정이며 일본의 경우에도 비슷한 실정이다. 그러나, 소규모 어항에서는 국내외적으로 건설사례가 있는 만큼 유지관리 측면이나 향후 내진보강 등을 위해 이에 대한 연구가 계속되고 있는 실정이다.

나. 기술수준

- (1) 소규모 어항중심이다보니 국내의 경우, 내진해석을 수행한 사례를 찾아 보기 힘든 반면, 일본의 경우, 피해사례가 매우 많아 이에 대한 연구가 일정수준 이상이며 특히, FLIP을 이용한 해석사례가 주를 이루고 있다. 특히, 널말뚝의 경우에는 지진시 널말뚝이 파괴되는 경우, 그 복구가 매우 힘드므로 가급적 말뚝 두부나 지표근처에 설치되는 앵커의 파괴를 우선하도록 설계 및 시공보완을 수행하고 있으며 이에 대해서도 별도의 내진설계시방이 수립된 바 있다.

다. 향후전망

- (1) 국내의 경우, 대부분 기존 항만 시설을 확충하거나 대규모 항만 중심으로 건설될 것으로 예상되어 이에 대한 내진대책연구는 기존 시설의 보강이나 파괴시 복구가 용이한 곳으로 파괴를 유도하는 대책이 유효할 것으로 판단된다. 따라서, 이러한 대책이 마련될 수 있도록 수치해석 프로그램의 신뢰성과 정확성을 높이는 연구가 필요하다.

4. 잔교식 안벽 및 시버스(Sea Berth)

가. 기술현황

- (1) 지진대비 항만구조물보강기법 및 신형안벽개발(1999년~2003년, 해양수산부) 과제를 통해 잔교식 안벽의 모델링 방법 및 내진안벽 개발을 수행하였음. 그러나, 기존 항만 구조물의 내진성능 평가 및 보강대책 마련이 연구의 목적이며, 잔교식 안벽의 성능 기반 내진설계법에 대한 연구는 수행되지 않았음.
- (2) 내진설계법의 경우 항만 및 어항시설의 내진설계표준서(해양수산부, 1999)에서 잔교식 안벽을 포함한 국내 항만구조물 내진설계기준을 마련함. 이후 작성된 항만 및 어항설계기준(해양수산부, 2005; 2014)은 이전의 항만 및 어항시설의 내진설계표준서(1999) 및 일본 항만 및 어항설계기준의 설계절차를 대부분 따르고 있음.

나. 기술수준

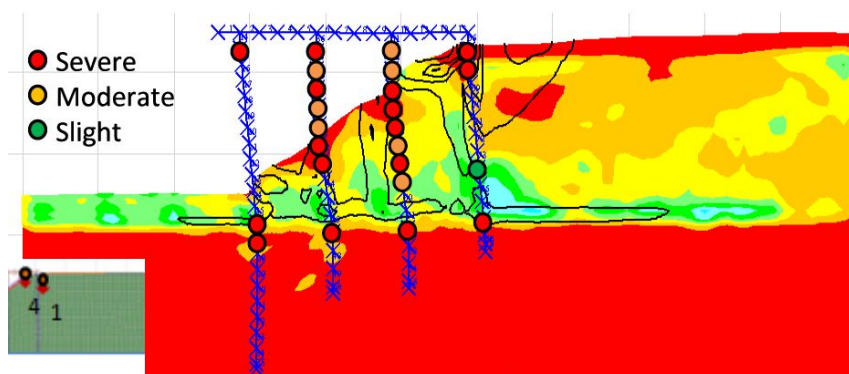
- (1) 잔교식 안벽의 과거 지진피해 사례에서 기초 또는 배면지반의 변형에 의한 손상이 많이

발생하고 있음. 이러한 손상을 평가하려면 동적 지반변형을 평가할 수 있는 정밀 동적 수치해석 방법을 수행하는 것이 필요함. 국외에서는 동적수치해석을 수행하여 지반변형에 의한 성능수준 영향을 평가하고 있음(Smith et al, 2004; Na et al, 2009).

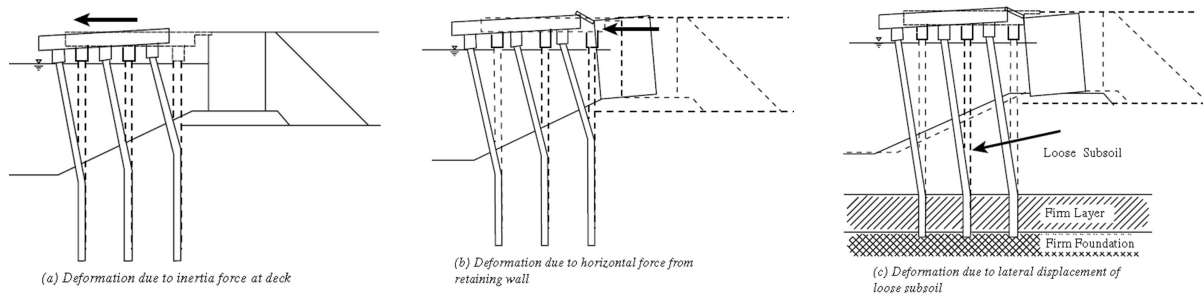
- (2) 현재, 국내 실무 설계에서는 일반적으로 탄성응답스펙트럼 방법을 적용하고 있음. 이 방법은 반응수정계수(R)를 통해 설계하중을 산정하고 구조물이 설계하중 이상의 강도를 갖도록 함. 이 방법은 하중을 대상으로 하기 때문에 하중기반 설계법이라 할 수 있음.
- (3) 이에 반해 일본 및 미국 등에서는 변위기반 성능평가법을 도입하고 있음. 그리고, 변위기반 성능평가를 위하여 <그림 2.4-1>과 같이 동적수치해석 등을 통해 잔교식 안벽의 동적변위 및 말뚝의 항복을 평가하는 등 성능기반 내진설계를 수행하고 있음.
- (4) 이 방법을 국내에 적용하려면 국내외 특성에 적합한 잔교식 안벽의 수치모델링 기법을 개발하고 모형실험의 정량적 결과 등을 이용하여 개발된 기법을 검증하는 것이 중요함

다. 향후전망

- (1) 국내의 경우 지반변형의 영향을 평가하기 위하여 동적수치해석을 수행하고는 있지만 해석결과의 신뢰성이 매우 낮은 상태임. 그러므로, 국내 지진 및 지반 특성에 적합한 입력변수 및 모델링 방법을 정립하는 것이 필요함.
- (2) 잔교식 안벽의 파괴유형은 <그림 2.4-2>와 같이 ① 사면의 강성이 크고 안정된 상태인 경우(상판의 지진 관성력에 의한 말뚝 두부 파괴), ② 제방 또는 중력식 안벽의 상부 변위가 과다하게 발생하는 경우(상판은 바다쪽으로 밀림), 그리고, ③ 기초지반이 느슨한 경우(제방의 변위에 의해 말뚝이 바다쪽으로 밀림)의 3가지로 나누어짐. ①번 유형의 파괴형태는 기존의 내진설계법에서 주로 다루고 있음. 향후 내진설계 연구방향은 ② 및 ③번 유형과 같이 제방의 변위가 잔교식 안벽에 미치는 영향을 분석하는 것이 중요해지고 있음. 이미, 1989년 Loma Prieta (CA)지진시에 Oakland 항에서 이러한 거동이 관찰된 바 있으며, 1995년 일본 Kobe지진에서 다시 이러한 파괴모드를 고려하는 것이 중요하다는 것이 알려짐. 그러므로, 동적수치방법 등을 수행하여 지반변위의 영향을 고려하는 내진성능기반 설계법을 개발하는 것이 필요함



<그림 2.4-1> 잔교식 안벽의 성능기반 내진설계



<그림 2.4-2> 잔교식 안벽의 파괴유형 (출처 : PIANC, 2001)

5. 파이프라인

가. 기술현황

항만 및 어항시설의 파이프라인에 대한 내진설계기준은 국내외를 통틀어 없음.

나. 기술수준

- (1) American Lifeline Alliance의 Seismic Design and Retrofit of Piping Systems (2002)에서 원자력발전소, 화학공정시설, 가스 및 송유관, 터미널 등에 사용되는 파이프에 대한 내진기준을 제시함. 하지만, 항만의 파이프라인에 대한 기준은 없음.
- (2) Eurocode 8에서는 지상 및 매설 파이프라인에 대한 내진설계기준을 제시함. 하지만, 항만의 파이프라인에 대한 기준은 없음.
- (3) 항만의 내진설계 및 내진성능평가와 관련된 논문이 발표되었으나, 항만의 파이프라인에 대한 논문은 없음.

다. 향후전망

- (1) 항만 및 어항시설의 파이프라인에 대한 내진설계규정이 없으므로 도입이 필요함.
- (2) 기존의 파이프라인 내진설계기준을 항만 및 어항시설에 적용하는 방향으로 진행하는 것이 효율적임
- (3) 내진설계기준 정립과 동시에 내진보강기준 마련을 위한 연구가 함께 진행되는 것이 바람직함

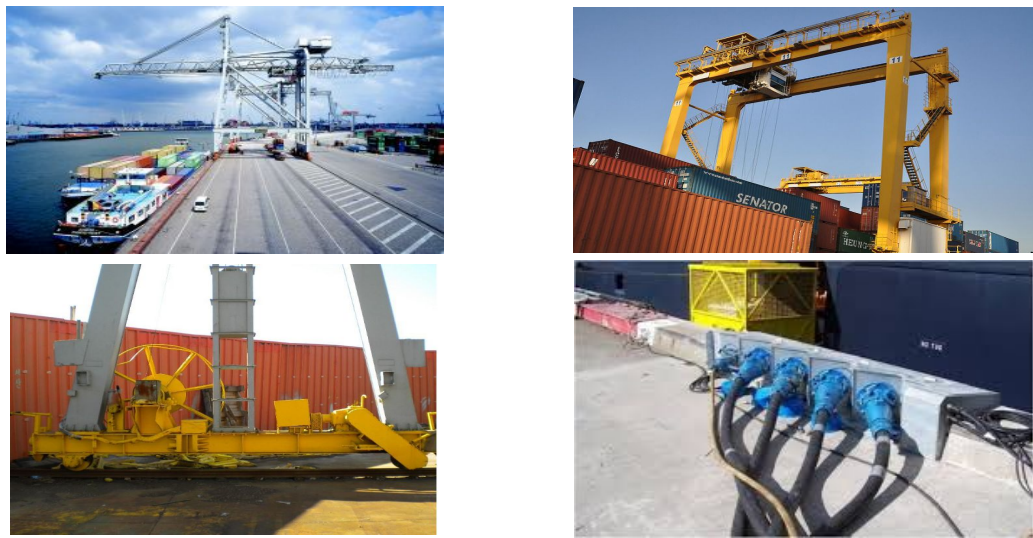
6. 부두측 및 야드 크레인

가. 기술현황

- (1) 크레인의 내진설계기술은 부두측 크레인(dockside crane), 야드 크레인(yard cranes), 크레인 레일 기초(crane rail foundation), 전력공급 및 제어 시스템(power and control systems)을 통합적으로 고려하여 개발될 필요가 있음. (<그림 2.4-3> 참조)
- (2) 크레인의 내진설계기준 개발에 대한 국내 연구 추진실적이 없음.
- (3) 국제적인 공통 기준으로 사용될 수 있는 PIANC 설계기준이 2002년 발간되었으며, 크레인 구조물의 내진설계에 대한 내용이 포함되어 있음.
- (4) 일본은 국토교통성 주관으로 2003년부터 2007년 까지 5년동안 연구프로그램을 통하여 개발된 기준인 2007년 ‘항만시설의 기술기준 및 해설’의 ‘제4편 - 제7장 화물처리시설-2.2절’

에 크레인의 내진성능목표, 지진응답해석 방법, 성능기준 검토를 위한 변위한계 등이 제시되어 있음.

- (5) 미국에서는 2005년부터 2014년까지 10년간 연구결과를 바탕으로 2014년 발간된 ASCE/COPRI 61-14에 크레인의 내진성능목표, 지진응답해석 방법, 성능기준 검토를 위한 변위한계 등이 제시되어 있음.
- (6) 2014년 발간된 미국의 항만내진설계기준인 ASCE/COPRI 61-14는 신뢰성설계 방법 중 Level I에 해당하는 LRFD 방법을 채택하고 있음. 또한 이 기준은 세 가지 지진 수준 (OLE (72년 재현주기), CLE (475년 재현주기), DE (ASCE 7 규정 지진규모)) 수준의 설계지진에 대해 내진성능확보(OLE-‘minimal damage’, CLE-‘controlled and repairable damage’, DE-‘life safety protection’)를 목표로 하고 있음.
- (7) ASCE/COPRI 61-14에서는 크레인에 대한 내진성능확보를 위해 OLE에 대해 레일게이지 무변동, CLE에 대해 허용 레일게이지 변동량으로 12.7mm(0.5 inch)를 제시하고 있음.

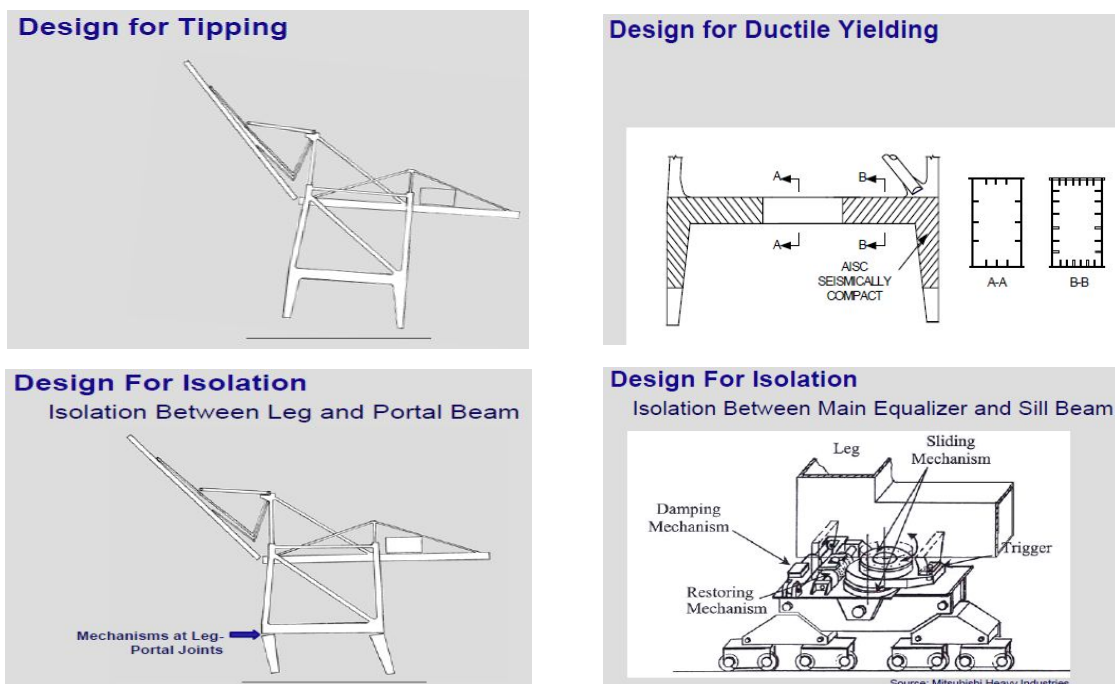


<그림 2.4-3> 크레인 시스템의 내진설계 대상 구조물

나. 기술수준

- (1) 일본 항만내진설계기준(2007년) 및 PIANC의 내진설계기준(2002년)은 크레인 기초가 지진에 잘 저항하고 지진에 의한 크레인 레일의 간격(레일게이지)이 지진발생 후에도 허용변위 이내이 있으면 크레인의 내진성능을 확보할 수 있다는 근거에 기반하여, 크레인 자체의 내진설계뿐만 아니라 지진 시 레일게이지의 확보를 위한 부두의 내진설계기준에 대한 개발이 주로 이루어졌음.
- (2) PIANC와 같은 국제적인 표준으로 사용될 수 있는 지침에서도 크레인의 내진설계는 부두의 내진설계에 비해 상대적으로 비중이 낮게 취급되어 2000년대 후반에도 크레인의 내진설계 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있음(NIST GCR 12-917-19, 2012).
- (3) 크레인 자체의 내진성능 확보를 위해 국제적인 기술수준은 다음과 같은 세 가지 방안을 실현하는 데 집중되어 있음. (<그림 2.4-4> 참조)
 - (가) 크레인의 기울어짐(tipping) 하중에 저항하기 위한 브레이싱 등 설치
 - (나) 외부 보강재(stiffener)를 추가하여 응력지중 단면의 연성거동이 가능하도록 보강

- (다) 크레인 지지부 또는 프레임 내부에 지진격리장치(seismic isolation) 시스템 추가
- (4) 외국에서는 신규 크레인뿐만 아니라 기존 크레인의 내진성능평가 절차, 내진성능 향상을 위한 보수/보강 방안 및 설계방법이 제시되고 있음.
- (5) 또한 강진지역 항만의 내진성능 향상에 매우 효과적인 지진격리장치 개발과 제품개발을 위한 연구도 진행되고 있음.
- (6) 국내 법규(어촌.어항법(2014년 개정), 항만법(2014년 개정), 지진재해대책법(2013년 개정) 등)에 크레인을 하역을 위한 기능시설로 분류되어 있음. 국내 어항.항만에 대한 내진설계기준에서 크레인에 대한 구체적인 내진성능 목표, 내진설계 방법 등이 제공되고 있지 않음. 또한 국내의 크레인 내진설계에 대한 연구는 거의 없는 실정인어서, 크레인의 내진설계에 대한 국내 기술수준은 매우 낮은 실정임,



<그림 2.4-4> 크레인 구조물의 내진성능 향상 방법 (TCLEE Conference, 2009)

다. 향후전망

- (1) 채래식 항만 크레인(레일게이지 15m 내외)은 지진시 한쪽이 쉽게 들리기 때문에 크레인 프레임에 작용되는 유효지진력은 수평최대지반가속도 0.20g에 대한 수평력을 초과하지 않음, 하지만, 최근 건설되는 점보 크레인(레일게이지 30m 내외)은 쉽게 들리지 않는 안정된 시스템으로서, 지진에 의한 효과가 크레인 프레임에 그대로 전달됨. 따라서 현대식 점보 크레인이 지진에 대해 훨씬 취약한 구조형식이므로 크레인의 내진성능 확보를 위한 연구가 전 세계적으로 활발하게 수행되고 있음.
- (2) 따라서 국내에서도 국제적인 기술개발 동향에 부응하고 세계시장 진출을 위해 크레인의 내진설계기술개발이 체계적으로 수행되어야 할 것으로 판단됨.
- (3) 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 2012년 발간한 기술동향보고서에 따르면 항만 크레인의 내진설계 기술 향상을 위해 추가로 기술개발이 필요한 분야는 다음과 같음

- (가) 신설 및 기존 크레인에 모두 적용될 수 있는 지진에 의한 과도한 운동에 저항하기 위한 크레인 설계 방법
 - (나) 지진의 수직성분이 크레인의 응답에 미치는 영향
 - (다) 부두와 크레인의 상호작용에 의한 두 구조물의 기본고유주기 변동 및 이 상호작용이 지진 시 두 구조물의 성능에 미치는 영향을 이해하기 연구
- 위와 같은 연구를 수행하기 위해 다음과 같은 연구항목을 설정하여 추진하고 있음.
- (가) 내진성능기준의 범위 정의
 - (나) 하역시스템의 시설물별 기대성능 정의 (부두측 크레인, 야드 크레인, 레일기초, 전기공급시스템, 크레인 제어시스템 등)
 - (다) 하역시스템의 시스템 기대성능 정의
 - (라) 전문가 검토 및 자문
 - (마) 하역시스템에 대한 내진설계기준 작성 및 발간
- (4) 기존 항만의 크레인은 성능기반 설계관점에서 볼 때 탄성변형이 확보되어야 하는 OLE 설계지진에 대해 항복이 발생하고 붕괴방지 성능이 확보되어야 하는 CLE 설계지진에 대해 붕괴가 발생할 가능성이 매우 높은 것으로 알려져 있음(<그림 2.4-5> 참조). 따라서 새로운 성능기반 내진설계기준 뿐만 아니라 기존 크레인의 내진성능 평가 및 보수/보강 기술에 대한 연구가 매우 시급한 것으로 판단됨.



<그림 2.4-5> 기존 크레인 구조물의 예상 내진성능 (TCLEE Conference, 2009)

제5절 시설물별 동향 분석(신뢰성설계)

1. 방파제 및 해안제방

가. 기술현황

- (1) 현행 ‘항만 및 어항설계기준(해양수산부, 2014)’은 방파제 및 해안제방에 대한 구조적 안정성 해석을 안전율에 근거한 결정론적설계법(현행 설계법)으로 수행함(<그림 3.2.1-1>).
- (2) ‘항만구조물의 신뢰성 설계법 개발 연구보고서(국토해양부, 2011)’는 방파제에 대한

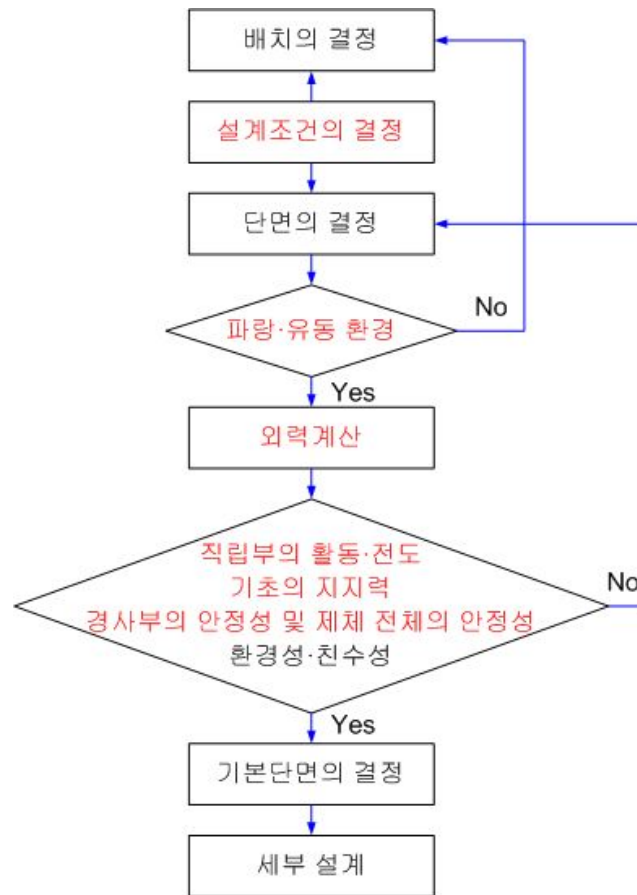
신뢰성 설계법의 설계과정을 개발하였음. 방파제의 기본 구조형식인 경사제와 혼성제의 대표과괴모드에 대해 부분안전계수와 목표과괴확률을 제시하여 신뢰성 설계의 틀을 마련함.

나. 기술수준

- (1) 방파제의 일반적인 설계는 <그림 2.5-1>의 절차를 따르며, 현행 설계법과 신뢰성 설계법 모두 동일함. 하지만 신뢰성 설계법은 적색으로 표현된 내용을 확률론적 방법론으로 변경해야함.
- (2) <표 2.5-1>은 현행 설계법과 신뢰성 설계법에서 설계단계별 설계조건 및 검토기준을 비교한 것임. 현행 설계법은 상수를 사용하여 안전율(또는 허용치 등) 개념으로 설계하는 반면 신뢰성 설계법은 변수를 사용하여 확률(또는 부분안전계수 등) 개념으로 설계함.
- (3) 대표적인 신뢰성 설계법은 전통적인 Level techniques (Level 1, 2, 3)와 이를 기초한 비용최적설계(LCC) 그리고 확률과정에 의한 최초통과확률법(first-passage probability)이 있음.
- (4) 신뢰성 설계법은 과괴확률을 산정하는 반면 또 다른 확률설계법인 성능설계법(performance-based design method)은 구조물의 변위를 산정함.

다. 향후전망

- (1) ‘항만구조물의 신뢰성 설계법 개발 연구보고서(국토해양부, 2011)’는 신뢰성설계법의 개념수립 및 설계과정을 정립한 연구임. 이를 확장하여 <표 2.5-2>와 같은 세부적인 방파제 구조형식과 구조적 안정성 검토요소에 따른 적용연구의 수행이 필요함.
- (2) 해역별(동해, 남해, 서해) 설계변수의 특징을 정립하고 적합한 분포함수의 종류를 제시해야 함(기존 연구에서 미수립된 설계변수-조위, 폭풍해일, 해수면 상승, 기후변화 등).
- (3) 방파제 형식별(경사제, 직립제, 혼성제, 소파블록제, 중력식 특수방파제) 요소안정성(피복재 침식/파손, 저단소면과괴, 해저면 세굴, 처오름, 월파, 활동, 전도, 제체 직선활동, 사석마운드 지지력, 기초지반 지지력, 원호활동 등) 검토에 따른 목표과괴확률과 부분안전계수를 제시해야 함.
- (4) 연구과제 종료와 동시에 신뢰성설계 기반의 항만 및 어항 설계기준이 제시되어야 함. 연구과제의 진행결과와 동시에 설계기준 수립(안)을 동시에 보고해야 함.
- (5) 항만 및 어항 설계 및 시공과 관련된 전문기술자들 실제적 참여로 공학적 합의도출.



<그림 2.5-1> 방파제의 설계순서(항만 및 어항 설계기준·해설 2014)

<표 2.5-1> 현행 설계법과 신뢰성 설계법의 설계조건 및 검토기준 비교

설계단계		설계조건 및 검토기준	
		현행 설계법	신뢰성 설계법
설계조건 결정		상수 (재현기간별 빈도값)	확률분포
파랑·유동 환경		결정론적 해석	확률적 해석
외력계산		상수 (재현기간별 빈도값)	확률분포
요소 안정성 검토	직립부의 활동·전도	안전율	파괴확률(부분안전계수) /활동량(초과확률)
	기초의 지지력	허용치	파괴확률(부분안전계수)
	원호활동	허용치	파괴확률(부분안전계수)
	경사부의 안정성 (피복재의 침식, 파손)	허용치(안전율개념)	파괴확률(부분안전계수)
	저단소면의 침식	허용치	파괴확률(부분안전계수)
	해저면 세굴	허용치	파괴확률(부분안전계수)
	처오름 및 월파	허용치	파괴확률(부분안전계수)
시스템 안정성 검토	시스템 안정성	검토안함	파괴확률(부분안전계수)

<표 2.5-2> 방파제 신뢰성 설계 과업범위

종류		설계변수 통계특성	한계상 태 ⁴	목표 파괴확률	안정성 검토요소	부분안전계수	
						하중계수	저항계수
경사제 (호안포함)		파랑 ¹³⁾ 수위 ¹⁴⁾ 경험계수, 피복재 크기 및 비중, 제체 사면 경사각, 침투계수, 지반정수 ¹⁵⁾ .	초기하 계 사용한 계 수리한 계 극한하 계	중요도, 사용연수 등급구분 (상중하 또는 항만/어 항 구분)	피복재 침식/파손, 저단소면침식, 해저면 세굴, 처오름, 월파, 상부콘크리트 활동 및 전도, 제체 직선활동, 원호활동	각 하중 설계변수 의 안전계수 또는 하중 안전계수	각 저항 설계변수의 안전계수 또는 저항 안전계수
직립제		파랑, 수위, 수평파력, 양력, 마찰계수, 케이슨 및 블록 중량, 지반정수	초기하 계 사용한 계		활동, 전도, 사석마운드 지지력, 기초지반 지지력, 사석마운드 직선활동, 원호활동		
혼성제							
소파블록 피복제		파랑, 수위, 수평파력, 양력, 마찰계수, 케이슨 및 블록 중량, 지반정수, 경험계수, 피복재 크기 및 비중, 제체 사면 경사각, 침투계수, 지반정수.			활동, 전도, 사석마운드 지지력, 기초지반 지지력, 사석마운드 직선활동, 원호활동, 피복재, 침식/파손		
중력 식 특수 방파 제	직립 소파 블록제	직립제, 혼성제 동일			활동, 전도, 사석마운드 지지력, 기초지반 지지력, 사석마운드 직선활동, 원호활동		
	소파 케이슨제	직립제, 혼성제 +형상					
	상부 사면 케이슨제	직립제, 혼성제 동일					

13) 파랑: 파고, 주기, 파형경사, 주파향, 방향분산계수, 폭풍 지속시간,

14) 수위: 수심, 조위, 폭풍 및 지진 해일고, 해수면 상승,

15) 지반정수: 지질특성 값, 불확실성계수(전단저항, 점착력, 단위중량),

2. 계류시설

가. 기술현황

- (1) 계류시설에는 주요구조물로 중력식안벽, 잔교식 안벽 등이 있고 현재는 자주 사용되지 않지만 널말뚝식, L형, 셀식 등의 안벽이 있다. 이 중에서 현재 중력식과 잔교식의 신뢰성설계법은 개발된 상태이며 나머지 구조형식은 미개발 상태이다.
- (2) 일본의 설계기준에서도 중력식과 잔교식 그리고 널말뚝식에 대한 신뢰성설계법이 제시되고 있는 상태이다.
- (3) 유럽의 설계기준은 항만구조물에 대한 별도의 기준이 없고 육상구조물의 설계법을 따르도록 되어 있다.

나. 기술수준

- (1) 안벽의 신뢰성설계는 부분안전계수에 의한 안정설계법이 주를 이루고 있으며 목표파괴수준에서 제시된 부분안전계수를 사용하여 안전성을 확보하도록 한다.
- (2) 안벽의 피해사례에서 볼 수 있듯이 구조물의 파괴는 전파보다는 측방변위에 의한 파괴나 이를 동반한 침하파괴가 대부분이다. 이에 대한 설계를 위해서는 변위기반 신뢰성설계법이 필수적이다 아직까지 허용변위에 대한 논란이 많은 것이 사실이다.
- (3) 유럽의 PIANC나 일본의 설계기준에서는 안벽의 허용변위에 대한 기준이 마련되어 있으나 구조물의 규모나 국가별 처한 상황, 지진의 특성 등에 따라 많이 영향을 받기 때문에 국내 기준으로의 도입을 위해서는 면밀한 검토가 필요하다.

다. 향후전망

- (1) 우리나라에 대한 안벽의 신뢰성설계법 도입은 안정성 한계상태에 대한 도입이 가장 시급하며 이를 위해 내진설계 기준을 근거로한 지진계수의 확률분포를 정밀하게 추정하고 이를 근거로 지진시 부분안전계수를 목표수준별로 제시하는 것이 필요하다. 특히 지진위험도 분포도가 개정된 만큼 여기에 맞는 지진계수의 확률분포 재산정을 통한 부분안전계수 조정이 필요하다.
- (2) 안벽의 변위기반 신뢰성설계법은 내진설계 분야에서 어느 정도 허용변위에 대한 기준이 확립된 이후에 신뢰성설계의 도입이 가능하다.

3. 깊은기초

가. 기술현황

- (1) 깊은 기초구조물에 대한 연구는 국내외에서 활발하게 이루어졌으나, 신뢰성 분석에 필요한 신뢰성 분석기법은 충분하게 개발되어 있지만, 각 기관 및 연구자들의 지반정수 불확실성 평가에 대한 일관성이 결여되어 각 기준마다 상이한 저항계수를 제시하고 있음. 또한 설계식별로 다른 저항계수를 제시해야 하지만, 제한된 설계식에 대해서만 저항계수가 산정되었음.

나. 기술수준

- (1) 국내에서는 기초분야 선행연구가 몇가지 이루어 졌지만(표 2.5-3), 아직 국외 연구수준에 못 미침.
- (2) 그동안의 연구 노력과 시기적인 필요성에 의해 국내에서도 2012년 도로교설계기준 한계상태설계법이 제정된 것이며, 2014년 부분개정을 거쳐 올해인 2015년 전면 시행을 앞두고 있음.
- (3) 유럽 건설설계표준위원회는 ISO의 부속 기술위원회인 TC 250에 유로코드(Eurocode)를 제정하면서 기초구조물의 설계와 관련된 Eurocode 1을 포함하여, 소요 안전을 확보를 위해서 부분안전계수법을 도입하였음.
- (4) 호주의 AUSTROADS 교량설계기준은 깊은 기초의 시공에 관한 저항계수를 제시하고 있으며, 호주 표준(Australian Standard 2159)에서는 지반의 특성 및 시험법, 타입 조건 등에 관한 적절한 저항계수 선정 방법을 제시하고 있음.
- (5) 미국의 경우, 미연방에서 발주하는 모든 공사에 LRFD를 적용하도록 하고 있으며, 각 주(州)정부별로 지반분야에 대해서는 성공적인 LRFD 정착 및 발전을 위하여 웹기반의 데이터베이스를 현장시험 결과를 공유하여 활용할 수 있도록 개발하여 운용하고 있음.

<표 2.5-3> 국내 지반분야 한계상태설계 관련 연구과제 현황 (강원대학교, 2014)

연구 지원기관	과제명	수행기간
국토연구원	민간투자사업의 성능제한형 방식 도입에 관한 연구	2002
해양수산부	차세대 항만설계기술 개발	2001~2005
건설교통부	기초구조물 LRFD 저항계수 개발	2004~2006
해양수산부	항만구조물 신뢰성 설계법 개발	2006~2010
건설교통부	성능중심의 건설기술기준 작성지침 개발	2006~2007
건설교통부	성능중심의 건설기준 정비 및 표준화	2007~2008
한국연구재단	연약지반개량공법에 관한 LRFD 연구	2010~2013
한국도로공사	한계상태설계법 도로교 설계기준 설계실무편람 개발	2011
한국토지주택공사	말뚝기초의 설계법 선진화 및 시공법 다양화	2011
국토해양부	표준화를 위한 구조물기초 설계기준의 정비방안 연구	2011~2014

다. 향후전망

- (1) 국내 교량 하부구조를 포함하는 지반분야는 미국의 AASHTO LRFD의 2004년 및 2007년 기준을 차용한 수준으로서, 지역적 특수성이 중요하다는 측면을 고려해본다면 향후 시급히 개선해야 될 많은 과제를 안고 있는 실정임.
- (2) 국내에는 신뢰성 평가에 필요한 지반정수의 축적된 데이터가 제한적이며 체계적이지 않음. 또한 충분한 시험을 위한 비용과 신뢰할 수 있는 시험 결과 도출의 어려움이 라는 제약적 조건으로 신뢰성 분석을 위한 데이터를 확보하기가 쉽지 않음.

4. 연약지반개량

가. 기술현황

- (1) 연약지반 개량의 경우 공법이 다양하게 있으나, 몇가지 공법에 대한 신뢰성 설계 또는 품질 관리 및 확보에 대한 성능중심의 설계에 대한 기준 및 연구가 존재함.

나. 기술수준

- (1) 일본은 국토교통성의 인증을 받아 국제적인 설계기준(CDIT, 2002)인 "The Deep Mixing Method"를 발간함.
- (2) 유럽은 유럽표준위원회(CEN)에서 제정한 EN 14679(CEN, 2003) "Execution of Special Geotechnical Work-Deep Mixing"을 Eurocode를 설계기준으로 이용하고 있음.
- (3) 미국은 플로리다주 교통국과 연방 교통국이 공동으로 준비한 "A Compendium of Ground Modification Techniques"을 설계기준으로 참고하고 있음. 심층혼합처리공법의 설계기준의 주요 구성항목은 공법의 적용범위, 설계 검토항목, 품질관리 및 품질확보로 구성됨.
- (4) 한국의 설계기준은 일본의 설계기준을 도입하여 적용하고 있기 때문에 설계절차와 검토 항목 등에 관한 설계개념의 큰 틀은 거의 유사함.
- (5) 국내에서는 전남대학교에서 2010년 항만구조물로 심층혼합처리법(DCM)-기초를 갖는 안벽구조물에 대하여 FOSM(First Order Second Moment)에 신뢰성 분석 Levels II와 III 기법을 결합한 복합기법을 적용한 신뢰성분석 및 신뢰성설계에 대한 연구를 하였음.

다. 향후전망

- (1) 국내에서는 심층혼합처리 지반의 내적안정이나 품질시험 및 품질관리 방법에 관한 사항이 누락되어 있어 향후 설계기준 개정과정에서 국내 실정에 맞는 설계기준이 반영되어야 할 것임.
- (2) 우선, 각 연약지반개량 공법별 요구 성능에 관한 정의를 내리고, 이에 대한 신뢰성 기법 적용이 필요함.

5. 지반조사 및 지반특성화

가. 기술현황

- (1) 지반조사는 일반적으로 대상 항만 시설의 구조와 규모 및 중요성 등에 따라 조사의 범위와 항목, 수량 등이 결정되며, 국가별로 이에 관한 기준과 지침은 다소 다른 형태로 제시됨.

나. 기술수준

- (1) 북미와 유로코드, 일본의 항만설계기준 등에서는 지반조사 시 신뢰성 설계 적용을 위한 지반정수의 산정과 통계특성을 확인할 수 있도록 충분한 개수의 조사와 시험을 실시하도록 추천하고 있음. 특히, 유로코드에서는 이에 관한 최소 시험수량까지 시험 항목별로 구체적으로 제시하고 있음.
- (2) 또한, 현장조사와 실내의 시험결과로부터 신뢰성 설계에 적용되는 설계지반정수를 결정하는 과정에 대해서도 상세히 소개하고 있음. 구체적으로는 각종 조사와 시험값을 이용하여 지반정수를 추정할 수 있는 이론식과 경험식, 분석방법 등을 소개하고 있으

며, 설계기준식에 적용되는 특성값(characteristic value)을 결정하는 방법(조사자료의 통계특성을 고려한 방법)도 구체적으로 제시하고 있음.

- (3) 국내 항만설계기준의 경우, 지반조사 범위와 항목, 수량 등에 관한 부분은 일본의 그것과 유사하게 제시되어 있고, 지반정수를 추정하는 방법에 대해서도 소개하고 있으나 실제 설계적용에 필요한 지반 특성값을 결정하는 방법에 관해서는 다루지 않고 있음.

다. 향후전망

- (1) 국내 항만설계기준 역시 국제표준화 의무규정에 따라 신뢰성 기반 설계법을 도입하는 방향으로 완전 개정되어야 함. 이를 위해서는 기본적으로 지반의 불확실성을 정량화 할 수 있도록 조사방법과 수량 등에 관한 기준을 우선적으로 정립할 필요가 있으며, 유로코드와 일본 등과 같이 지반 특성값을 결정하기 위한 통계분석 기법 등도 기준에 반영되도록 하여야 함.

6. 지반지지력 및 사면안정

가. 기술현황

- (1) 사면과 기초(지반지지력)의 안정해석에 관한 국내 항만설계기준은 아직까지 안전율 개념을 적용하는 결정론적설계법을 사용하고 있으나, 유로코드를 포함한 국외 주요 항만설계기준(중국, 일본 등)에서는 대부분 신뢰성에 근거한 한계상태설계법을 적용함.

나. 기술수준

- (1) 유로코드와 일본의 설계기준에서는 안정해석 조건을 극한한계상태(Ultimate Limit State)와 사용한계상태(Serviceability Limit State)로 구분하며, 중국의 경우 구조물을 중요도에 따라 3개의 등급으로 구분하고 그에 따른 중요도 계수를 사용하도록 규정한다는 특징이 있음.
- (2) 유로코드를 포함하여 중국과 일본 등의 항만설계기준에서는 국가별 기술적 숙련도와 지역적 경험 등이 반영된 목표신뢰도지수가 제시됨. 이는 다양한 사례의 D/B를 토대로 하여 신뢰성해석과 비교연구를 수행하여 얻어진 결과임.
- (3) 또한, 설계기준식에 적용되는 부분계수는 이와 같이 얻어진 목표신뢰도지수에 상응하여 하중과 지반정수에 반영되도록 개발되었음.

<표 2.5-4> 국가별 항만설계 지반지지력 및 사면안정 해석 분야 기준 비교

구 분	유로코드	중국 항만설계기준	일반 항만설계기준
개정 기준년	2002년	2000년	2007년
설계법	한계상태설계법	한계상태설계법	한계상태설계법 (성능기반설계법)
한계상태	극한한계(ULS) / 사용한계(SLS)	구조물 중요도로 구분 (I, II, III등급)	극한한계(ULS) / 사용한계(SLS)
활동 파괴면	평면/원호/기타	원호/비원호	평면/원호

설계 기준식	특정하지 않음 (Mogenstern & Price법, Bishop법 권고)	간이 Bishop법 추천	Fellenius 해석법 추천 (두꺼운 사질토의 경우 간이 Bishop법 추천)
목표 신뢰지수	3.8	2.5 ~ 4.0	3.3 ~ 3.6 (방파제) 2.89 ~ 3.31 (안벽)
부분계수	<ul style="list-style-type: none"> • 하중계수 ; 영구 1.0, 변동 1.3 • 재료에 대한 부분계수 ; 유효전단강도와 비배 수전단강도로 구분 	<ul style="list-style-type: none"> • 하중계수 ; 미고려 (1.0 적용) • 재료에 대한 부분계수 ; 강도지수 개념을 도입 하여 다양하게 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 하중계수 ; 1.1 ~ 1.3 • 재료에 대한 부분계 수 ; 1.1

제6절 특허 동향 분석

1. 특허 분석 목적

항만 및 어항에 관한 내진기술을 개발함에 있어, 항만 및 어항의 외곽시설, 계류시설, 지원시설에 대한 내진설계 및 내진 분석기술과 항만 및 어항의 내진보강기술에 대한 특허동향분석을 실시함 이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여, 전략적인 연구개발 계획 수립에 활용할 수 있도록 함으로써, 중복연구를 방지하고, 본 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 객관적인 특허정보를 제공함

2. 특허 분석 범위¹⁶⁾

본 분석에서는 한국, 미국, 일본 및 유럽 공개/등록특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술트리에 부합하는 유효특허를 추출하였고, 2015년 1월(검색일 기준)까지 출원공개 된 유효특허 총 3,156(건)을 분석대상으로 함

16) 출원일 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2013~2014년 상반기에 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 ~2012년 까지의 데이터로 한정함.

<표 2.6-1> 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	웹스	1995.01 ~ 현재 (2015.01)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

※ 분석구간: 한국, 미국, 일본, 유럽 - 2013년 상반기까지 정량분석 진행(출원년도 기준)

3. 기술분류 체계

본 분석에서는 과제의 기술자료 및 기획위원의 자문회의를 통해 기술분류를 확립하여 분석을 수행하였음

<표 2.6-2> 분석대상 기술분류

분류	소분류	핵심기술 여부	기술 정의
항만 및 어항 관련 내진기술	기술 1	O	항만 및 어항의 외곽시설, 계류시설, 지원시설에 대한 내진설계, 내진 분석기술
	기술 2	O	항만 및 어항의 내진 보강기술

4. 핵심 키워드 도출

본 제안기술과 관련하여 자문위원이 1차 제공한 항만 및 어항 내진설계기준 정립 과제 문서의 키워드를 바탕으로, 핵심 키워드를 도출하였음

<표 2.6-3> 핵심 키워드

구분	키워드
국문	항만, 어항, 해안, 항구, 해양, 바다, 방파제, 파제제, 등대, 갑문, 잔교, 안벽, 피어, 접안, 계선안, 구조물, 내진, 지진, 설계, 분석, 해석, 평가, 보강, 예측
영문	port, harbor, sea, breakwater, pier, quay, wharf, lighthouse, lock, crane, buiding, structure, construction, seismic, aseismic, earthquake, resist, design, analysis, evaluat, predict

5. 특허기술동향조사 분석 방법

가. 시장매력도 분석

시장매력도 분석에서는 조사대상국인 한국, 일본, 미국 및 유럽에서의 주요 시장국 기술 개발 활동 현황과 기술 시장 성장단계 파악을 통해 국가별 현황을 분석함. 또한 IP로 본 주요 시장국을 분석하고, 주요 경쟁자들의 시장확보력 및 기술력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 주요 경쟁자 현황을 분석함. 또한 특허점유율과 특허증가율을 토대로 항만 및 어항 관련 내진기술 분야의 최근 Hot trend를 분석함

나. IP 부상도 분석

IP 부상도 분석에서는 조사대상국인 한국, 일본, 미국 및 유럽에서의 국가별 출원증가율 및 최근 구간 점유율 분석을 통하여 항만 및 어항 관련 내진기술 분야의 최근 부상하고 있는 정도인 IP 부상도를 분석함

다. IP 장벽도 분석

IP 장벽도 분석에서는 항만 및 어항 관련 내진기술 분야에 대한 IP 장벽도 및 기술경쟁력 분석을 통해 이 기술 분야의 연구 및 개발을 진행할 경우 넘어야할 IP 장벽의 정도를 분석함

바. 결론 및 시사점

<표 2.6-4> 특허평가지표

특허평가지표	평가점수				
평가기준및정의	1	2	3	4	5
· IP부상도 - 정량적분석(유효특허대상)	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
· IP장벽도 - 정성적분석(핵심특허대상)	매우 높음	높음	보통	낮음	매우 낮음

- 가. 특허분석결과, 한국의 경우 이 기술 분야에 관한 관심도가 최근 높아지고 있으며, 기술의 성숙도 역시 높지 않은 것으로 판단됨
- 나. 이와 비교하여 미국, 일본의 경우 종래부터 기술에 대한 연구 개발이 활발히 진행되어 왔으며, 현재는 종래에 비하여서는 기술의 성숙도가 쇠퇴기에 접어든 것으로 판단됨
- 다. 한국에서의 출원인 국적의 비율이 내국인에 비하여 외국인이 높지 아니하므로 외국에서 기술 진입이 활발한 편은 아닌 것으로 판단됨
- 라. 또한, 기존에 출원된 기술에 의한 기술 장벽이 높지 않은 것으로 판단됨
- 마. 이에 따라, 한국의 특성에 맞는 기술 개발 및 권리화가 용이한 것으로 분석되며, 이는 기술의 성숙도에 비하여 낮은 특허장벽을 갖는 분야로 판단될 수 있음
- 바. 따라서, 기술의 패러다임의 진보가 요구되는 것이 아닌 기존의 해외 기술을 한국의 자연환경 특성에 맞게 수정 및 보완하는 방향으로 기술 발전이 이루어질 것이라는 예측이 가능함

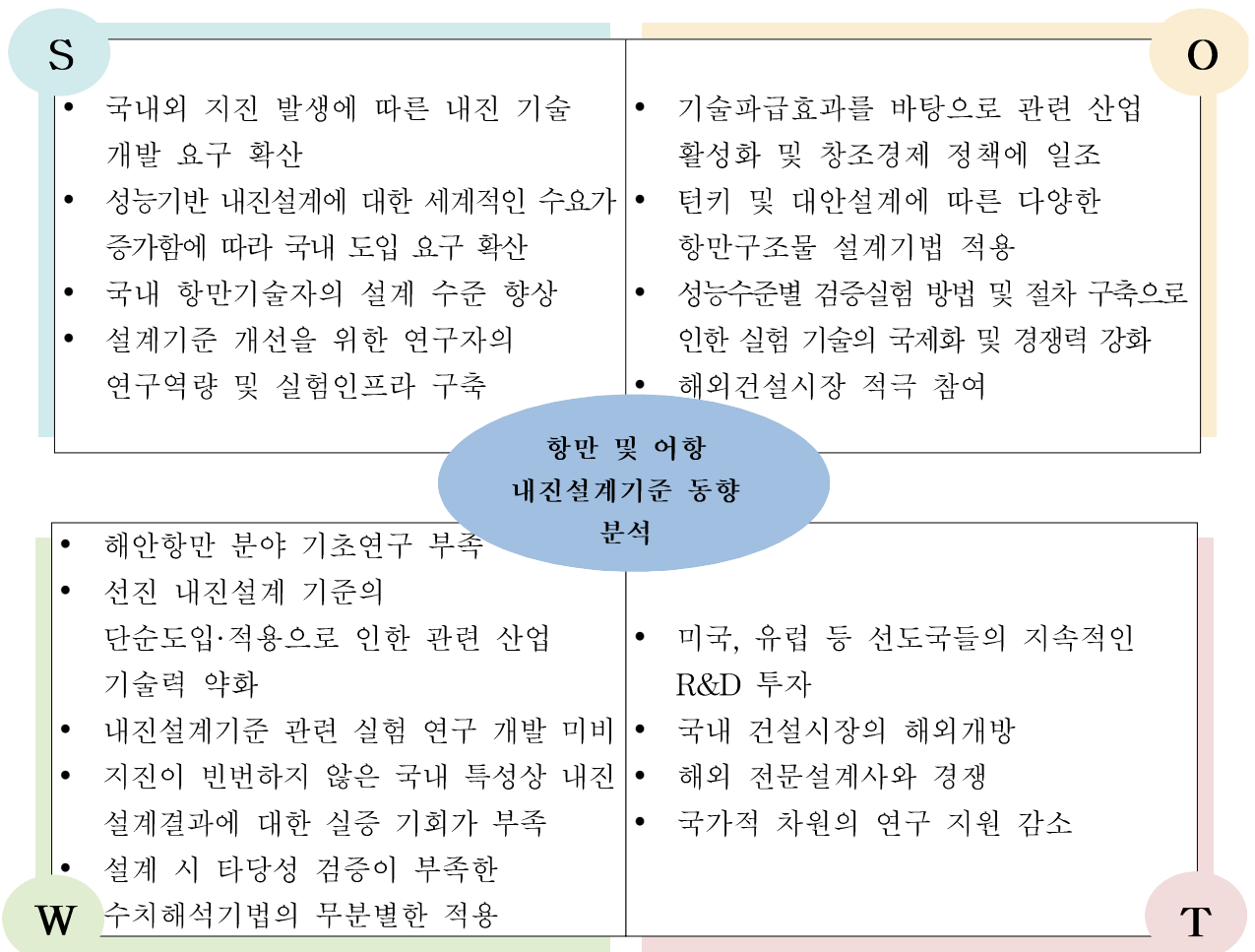
제3장 SWOT분석

제1절 내진설계 SWOT분석

우리나라는 환태평양 지진대에 속하지 않아 대규모 지진 발생 가능성이 상대적으로 낮은 국가에 속하지만 기상청 자료에 따르면 지진의 발생 추이가 계속 증가하고 있으며 최근 10년간 규모 5.0 이상의 지진이 2회 이상 발생하였다. 최근 일본의 동일본 지진 외에 전 세계적으로 빈번한 지진활동에 따라 내진 설계 기준이 강화되면서 동시에 비약적인 발전이 이뤄지고 있으며, 이와 함께 국내 항만구조물에 대한 내진설계 기준의 재정립 필요성이 대두되고 있다. 현재까지 수행된 국내 설계기준 개정 및 정립을 위한 기초연구는 유럽 및 미국 등에 비하여 부족한 것으로 판단된다. 이에 따라 우리나라의 항만설계기준 역시 국외 기준을 대부분 준용하고 있으며, 국내 항만 및 어항설계기준은 2014년 개정판이 출판되었으나, 여전히 허용응력설계법에 기반하여 세계적인 추세에 부응하지 못하고 있는 실정이다. 설계기준 개정 및 우리나라 항만 및 어항시설 건설업의 세계화를 위해서는 항만내진설계에 대한 성능기반설계 도입 및 기존시설에 대한 내진성능평가 기준 등이 마련돼야 하며, 지속적인 기초연구의 투자가 필요할 것이다. 「한국형 항만 및 어항 내진설계기술 정립」 과 관련된 동향분석을 통하여 얻은 SWOT분석은 <표 3.1-1> 및 <그림 3.1-1>과 같다.

<표 3.1-1> SWOT분석

SWOT	내용
강점(S)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 지진 발생에 따른 내진 기술 개발 요구 확산 • 성능기반 내진설계에 대한 세계적인 수요가 증가함에 따라 국내 도입 요구 확산 • 국내 항만기술자의 설계 수준 향상 • 설계기준 개선을 위한 연구자의 연구역량 및 실험인프라 구축
약점(W)	<ul style="list-style-type: none"> • 해안항만 분야 기초연구 부족 • 선진 내진설계 기준의 단순도입·적용으로 인한 관련 산업 기술력 약화 • 내진설계기준 관련 실험 연구 개발 미비 • 지진이 빈번하지 않은 국내 특성상 내진 설계결과에 대한 실증 기회가 부족 • 설계 시 타당성 검증이 부족한 수치해석기법의 무분별한 적용
기회(O)	<ul style="list-style-type: none"> • 기술과급효과를 바탕으로 관련 산업 활성화 및 창조경제 정책에 일조 • 터키 및 대안설계에 따른 다양한 항만구조물 설계기법 적용 • 성능수준별 검증실험 방법 및 절차 구축으로 인한 실험 기술의 국제화 및 경쟁력 강화 • 해외건설시장에서의 경쟁력 확보
위협(T)	<ul style="list-style-type: none"> • 미국, 유럽 등 선도국들의 지속적인 R&D 투자 • 국내 건설시장의 해외개방 • 해외 전문설계사와 경쟁 • 국가적 차원의 연구 지원 감소



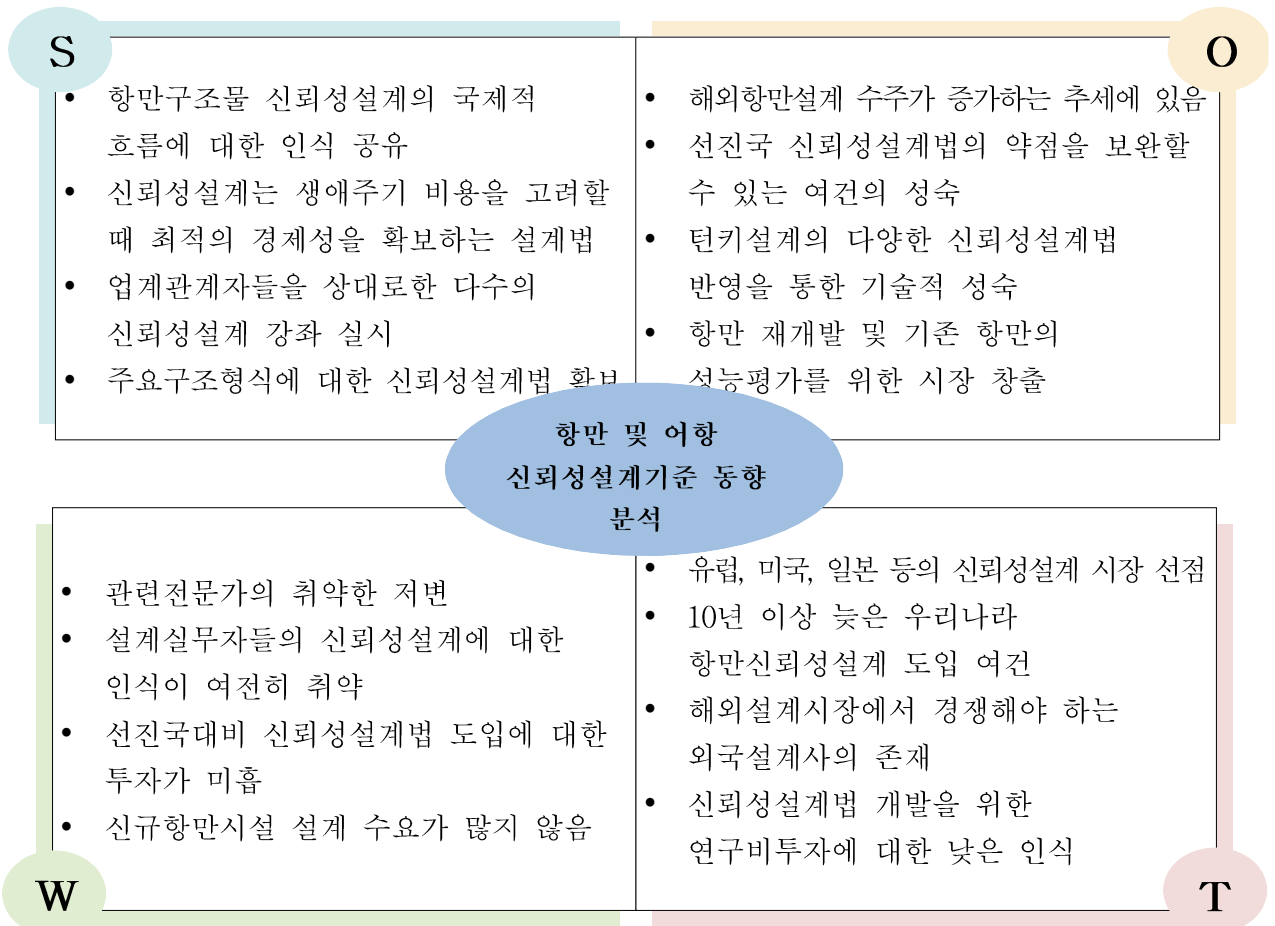
<그림 3.1-1> 항만 및 어항 내진설계기준 정립 및 국내 항만분야 동향 SWOT 분석

제2절 신뢰성설계 SWOT분석

항만구조물 신뢰성설계법의 도입은 생애주기 총비용의 최적화 측면에서 유럽, 미국 등 선진국을 중심으로 발전되어 왔으며 아시아권에서도 중국, 일본 등이 오래전부터 설계기준에 도입한 실정이다. 우리나라도 2006년부터 5년간 항만구조물 신뢰성설계법에 대한 연구가 진행된 바 있으나 연구규모의 축소와 후속 연구의 단절로 아직까지 설계기준으로의 진전이 더딘 실정이다. 이미 국제적으로 대부분의 선진국에서 적용하고 있는 신뢰성설계법을 도입하는데 있어서 더 이상은 늦출 수 없다는 공감대가 관계는 물론 업계와 학계에서도 형성된 상황이기 때문에 어떤 방식으로 연구를 추진하느냐가 효율적인 결과를 얻고 또 이를 바탕으로 항만구조물의 설계기준을 신뢰성설계법으로 성공적으로 전환하느냐를 결정짓는 중요한 요소라고 할 수 있다. 이에 현 상황에 대한 냉철한 분석이 필요하며 아래의 표에 SWOT분석을 제시하였다.

<표 3.2-1> SWOT분석

SWOT	내용
강점(S)	<ul style="list-style-type: none"> • 항만구조물 신뢰성설계의 국제적 흐름에 대한 인식 공유 • 신뢰성설계는 생애주기 비용을 고려할 때 최적의 경제성을 확보하는 설계법 • 업계관계자들을 상대로한 다수의 신뢰성설계 강좌 실시 • 주요구조형식에 대한 신뢰성설계법 확보
약점(W)	<ul style="list-style-type: none"> • 관련전문가의 취약한 저변 • 설계실무자들의 신뢰성설계에 대한 인식이 여전히 취약 • 선진국대비 신뢰성설계법 도입에 대한 투자가 미흡 • 신규항만시설 설계 수요가 많지 않음
기회(O)	<ul style="list-style-type: none"> • 해외항만설계 수주가 증가하는 추세에 있음 • 선진국 신뢰성설계법의 약점을 보완할 수 있는 여건의 성숙 • 턴키설계의 다양한 신뢰성설계법 반영을 통한 기술적 성숙 • 항만 재개발 및 기존 항만의 성능평가를 위한 시장 창출
위협(T)	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽, 미국, 일본 등의 신뢰성설계 시장 선점 • 10년 이상 늦은 우리나라 항만신뢰성설계 도입 여건 • 해외설계시장에서 경쟁해야 하는 외국설계사의 존재 • 신뢰성설계법 개발을 위한 연구비투자에 대한 낮은 인식



<그림 3.2-1> 항만 및 어항 내진설계기준 정립 및 국내 항만분야 동향 SWOT 분석

제4장 기술수요조사

제1절 기술수요조사 내용 및 양식

항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 요소기술 도출과 연구개발 내용 및 범위 설정을 위해 관련분야 산업계, 학계, 연구 분야 종사자들을 중심으로 설계기준 고도화 관련 기술수요조사를 실시하였다.

본 기획연구의 기술수요조사를 위한 기술수요조사서의 양식은 4.3내용과 같으며, 기술수요조사서는 수요자의 인적사항, 성능기반 내진설계, 신뢰성 기반 설계로 구성되어 있다. 기술수요조사서 상의 “성능기반 내진설계”는 성능기반 내진설계기술 정립의 필요성, 대상 구조물의 성능기반 내진설계 적용 순서 결정 및 부족한 국내 지진자료를 보완하기 위한 모형 실험과 수치해석에 관한 기술개발 중요도 분석 및 수요자가 성능기반 내진설계기준 개발에 관한 연구개발테마를 제안할 수 있는 문항으로 구성되어 있다. “신뢰성 기반 설계”는 신뢰성기반 항만설계기준의 필요성, 연구 착수 시기 분석 및 수요자가 신뢰성기반 항만설계기준 개발에 관한 연구개발테마를 제안할 수 있는 문항으로 구성되어 있다. 기술수요조사는 본 연구의 참여 연구진의 의견에 국한되지 않기 위해 다수의 국내 전문가 및 관련분야 종사자를 자문위원으로 구성하여 의견을 수렴하고 조사서 항목의 내용을 검토 받았다.

제2절 수요조사 방법

수요조사는 3절의 기술수요조사서를 이용하여 수요조사 대상자에 전자우편 및 직접 인터뷰 등의 방법으로 진행되었다. 수요조사 시 항만설계 및 시공 경험자와 관련 전공 교수 및 대학원 학생, 관련 연구소 연구원을 대상으로 하여 수요조사 결과의 신뢰도 및 전문성을 높일 수 있도록 하였다. 수요조사 모집단 목표 규모는 약 100명으로 설계하여 90% 회수율을 얻었다. 도출된 결과를 바탕으로 자문단과 유기적인 분석과 검토를 수행하여 세부과제를 도출하였다.

제3절 기술수요조사서

한국형 항만 및 어항 내진설계기술 연구테마 발굴 설문조사

본 설문조사는 한국 지진공학회에서 수행하고 있는 한국해양과학기술진흥원의 해양수산연구기획사업 [한국형 항만 및 어항 내진설계기술 정립 기획연구]의 연구테마발굴 자료로 활용될 예정입니다. 바쁘시더라도 국내 내진설계기술이 향상될 수 있도록 성심껏 답변 부탁드립니다.

2015년 3월

한국과학기술원 김동수 배상

1. 인적사항 (선택사항)

성 명		소 속	
연락처		직위/직급	

1. 귀하의 소속기관 구분을 선택해 주시기 바랍니다. ()

① 설계회사 ② 건설회사 ③ 연구소 ④ 학교

2. 귀하가 해당 업무에 근무하신 경력을 선택하여 주시기 바랍니다. ()

① 5년 이하 ② 5년이상~10년미만 ③ 10년이상~20년미만 ④ 20년이상

2. 성능기반 내진설계

3. 항만 및 어항에 대한 국내 내진설계는 안전율에 기반한 설계를 수행하여 지진발생 후 구조물의 성능수준을 고려하지 못하고 있습니다. 이에 반해, 국외에서는 지진에 대한 구조물의 성능수준을 정한 후 이를 만족하도록 설계하는 구조물 성능기반 내진설계(Performance Based Design)법을 적용하는 추세입니다. 성능기반 내진설계 기술 정립의 필요성을 어떻게 생각하십니까? ()

① 매우 필요하다 ② 필요하다 ③ 보통 ④ 필요없다 ⑤ 매우 필요없다

4. 성능기반 내진설계는 구조물의 항복을 허용하면서도 지진 발생 이후의 목표 성능수준을 만족하도록 설계하게 됩니다. 성능기반 내진설계를 수행할 경우 기존의 안전율기반 내진설계와 비교하여 경제성(시공 및 지진 후 복구비용 등)을 어떻게 생각하십니까? ()

① 매우 경제적이다 ② 경제적이다 ③ 보통 ④ 비경제적이다 ⑤ 매우 비경제적이다.

5. 국외(미국 및 일본 등) 내진설계 기술과 국내 내진설계 기술력 차이는 어느 정도라고 생각하십니까? ()

① 5년 이상 ② 3-4년 ③ 1-3년 ④ 1년 이내 ⑤ 차이가 없다

6. 항만 및 여항시설 중 성능기반 내진설계가 필요한 시설은 무엇이라고 생각하시는지 중요하다고 생각하시는 순서대로 3가지 이상 선택해 주십시오. (, , ,)

① 중력식 안벽 ② 잔교식 안벽 ③ 하역시설(크레인 등) ④ 방파제 및 해안제방 ⑤ 파이프라인
⑥ 물양장 ⑦ 방조제 ⑧ 방사제 ⑨ 호안

6-1 6번 문항 이외 내진설계가 시급히 필요한 시설이 있다면 적어주시기 바랍니다.
(), (), (), ()

7. 성능기반 내진설계를 위해서는 국내 지진자료가 부족하기 때문에 모형실험 및 수치 해석 등을 통해 구조물의 지진거동을 모사하는 것이 필요합니다. 아래 각 분야에서 기술개발이 중요하다고 생각하시는 순서대로 3가지를 선택해 주시기 바랍니다.

7-1. 정책동향 및 법·제도 (, ,)

① 성능에 기반을 둔 목표내진성능 정의
② 수송기능 위주의 시설물 내진등급 재정의
③ 내진성능평가를 위한 검증방법 예시 및 절차 수립
④ 구조물 별 허용변위량 정립
⑤ 기타 제안가능 ()

7-2 설계지진 운동 분야 (, ,)

① 현행 설계응답스펙트럼의 개선
② 실무에 활용가능한 설계 지진파의 제시
③ 내진성능 수준별 설계지진운동 정립
④ 국내 활성단층 분석을 통한 설계지진 운동 개선
⑤ 기타 제안가능 ()

7-3 내진성능 검증을 위한 모형실험 기술 분야 (, ,)

① 모형체 정밀 제작 기술 (상사법칙)
② 지반 및 구조물의 동적 거동 계측 기술
③ 동적하중 모사기술
④ 동적 수치해석 검증을 위한 다양한 항만 구조물 동적 실험 결과 DB
⑤ 기타 제안가능 ()

7-4 내진성능 검증을 위한 동적 수치해석 기술 분야 (, ,)

① 액상화 등 유효응력해석 모델링 기술
② 동적 입력 물성값 산정기술
③ 입력 지진하중 산정 기술
④ 요소망 작성 및 구조물 모델링 기술
⑤ 기타 제안가능 ()

7-5 동적 물성값 산정을 위한 지반 조사기술 분야 (, ,)

- ① 내진보강된 지반의 동적물성 산정기술
- ② 지반 비선형 거동의 산정기술
- ③ 지반 액상화 평가기술
- ④ 지반 동적특성에 대한 DB 구축
- ⑤ 기타 제안가능 ()

8. 항만 및 여항시설의 내진설계 시 애로 사항이 있으시면 적어주시기 바랍니다. (복수 제안도 가능함)

예) 표준설계스펙트럼, 설계지진계수(k_h) 등

- ① ()
- ② ()

9. 성능기반 내진설계 기술 정립을 위해 본인이 제시할 수 있는 연구개발테마(안)가 있으시면 적어주시기 바랍니다. (복수 제안도 가능함)

예) 내진성능수준의 정립, 유사정적 설계법의 정립 등

- ① ()
- ② ()

3. 신뢰성 기반 설계

11. 선진국(유럽, 미국 및 일본 등)에서는 이미 항만설계기준을 신뢰성기반으로 제정하여 사용하고 있습니다. 우리나라도 세계적인 추세에 맞춰 신뢰성기반 항만설계기준을 제정할 필요가 있다고 보신다면 다음 중 몇 년 안에 도입이 필요하다고 생각하십니까?

- ① 2년 이내 ② 3년 이내 ③ 4 년 이내 ④ 5년 이상

12. 신뢰성기반 항만설계기준을 도입한다면 다음 중 어떤 방식이 적합하다고 보십니까?

- ① 모든 구조형식으로 전면적 도입 ② 사용빈도가 높은 주요구조물 적용 후 전체로 확대

13. 신뢰성기반 항만설계기준 개발을 위한 연구추진방법을 어떻게 하는 것이 바람직하다고 보십니까?

- ① 소규모 과제로 10년의 기간에 분산 추진 ② 대형 과제로 3년~5년간 규모로 집중 추진

14. 신뢰성기반 항만설계기준 개발을 위해 본인이 제시할 수 있는 연구개발테마(안)가 있으시면 적어주시기 바랍니다. (복수 제안도 가능함)

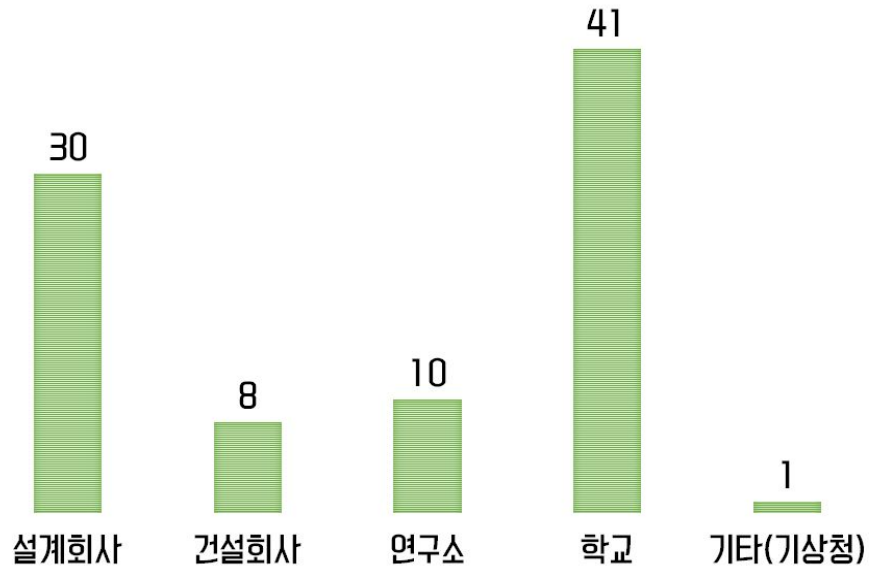
- ① ()
- ② ()

* 본 설문지의 결과는 향후 해양과학기술진흥원의 연구과제 발굴에 포함될 예정입니다. 적극적인 참여를 부탁드립니다. (TEL 042-350-7219)

제4절 기술수요조사 분석

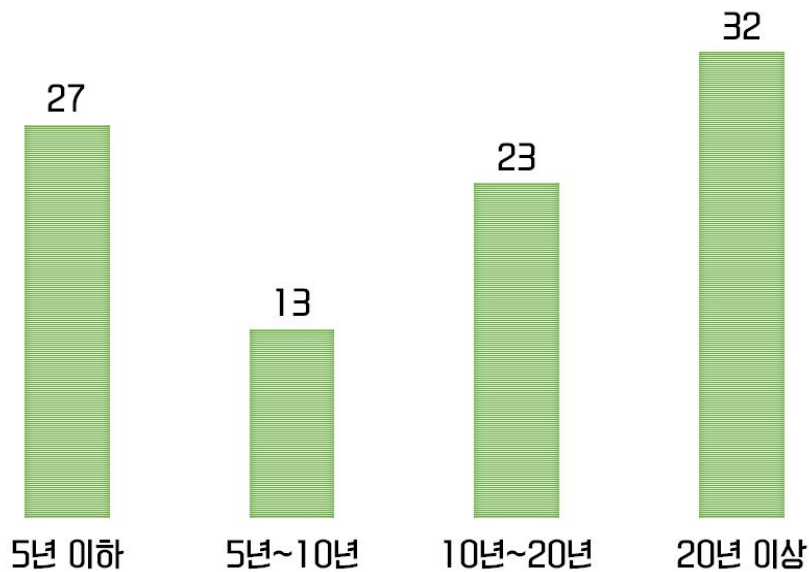
1. 수요자 분석

가. 설문 응답자는 총 90명으로서, 이중 학계 46%(41명), 설계회사 33%(30명), 연구소 11%(10명) 등으로 구성됨.



[설문 응답자의 소속 기관 유형]

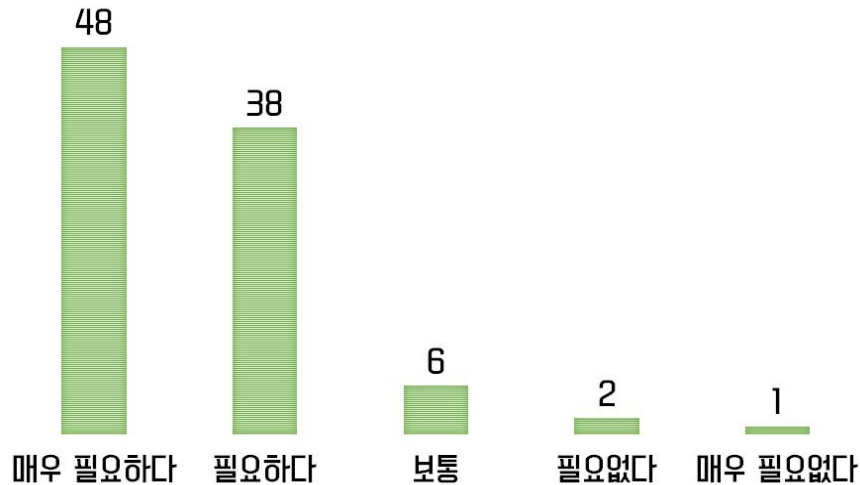
나. 응답자가 해당업무에 근무한 경력은 10년 이상이 58%(55명), 5년 이상이 72%(68명)를 차지하여 설문내용에 대한 이해도가 매우 높기 때문에 조사결과의 신뢰도가 높음



[설문 응답자의 해당 분야 근무 경력]

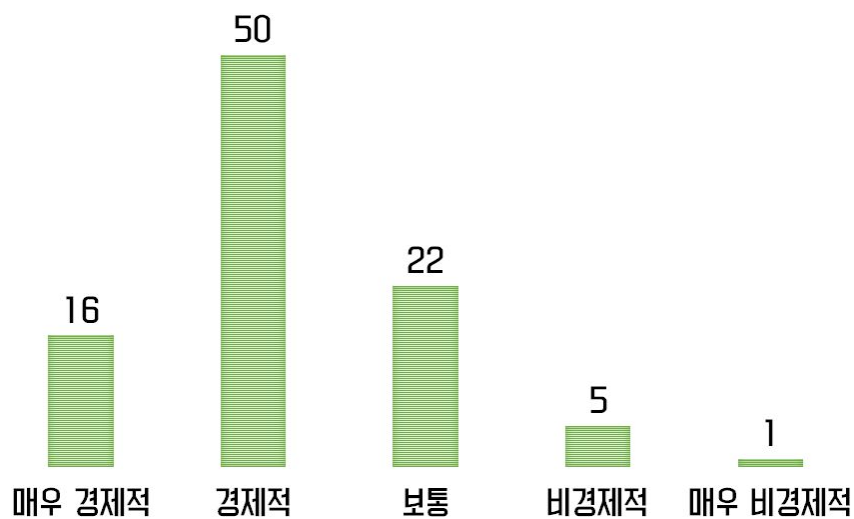
2. 성능기반 내진설계 개발 시급성 및 타당성 분석

가. 국내 성능기반 내진설계 기술의 개발이 필요하다는 응답이 91%(86명)이고, 이중 매우 필요하다는 응답이 51%(48명)로서 대부분의 응답자가 본 과업의 추진이 매우 시급하다고 인식하고 있음.



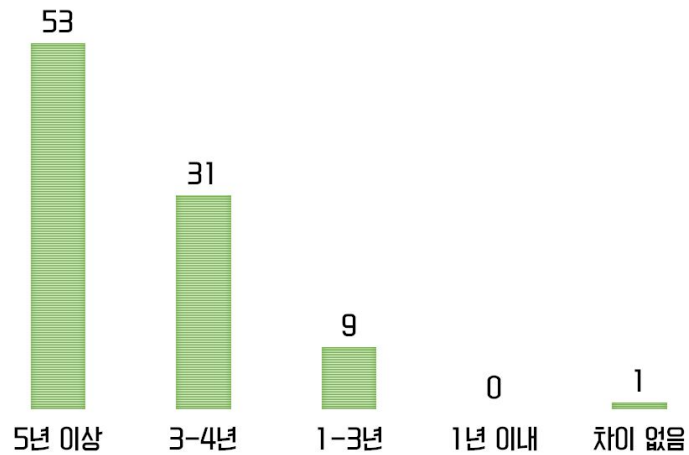
[성능기반 내진설계 기술개발의 필요성]

나. 성능기반 내진설계의 경제성(시공 및 지진후 복구비용 등)은 기존의 안전율 기반 내진설계법과 비교하여 설문자의 70%(66명)가 경제적이라고 응답했으며, 이중 17%(16명)는 매우 경제적이라고 응답하였음. 응답자 대부분이 현재의 내진설계기준에 의해 내진설계 및 시공비용이 과대하다고 인식하고 있으며, 성능기반 내진설계법을 정립하게 되면 구조물의 내진성능수준은 만족시키면서 전체적인 비용을 감소시킬 수 있을 것으로 응답함.



[성능기반 내진설계 기술개발의 경제성]

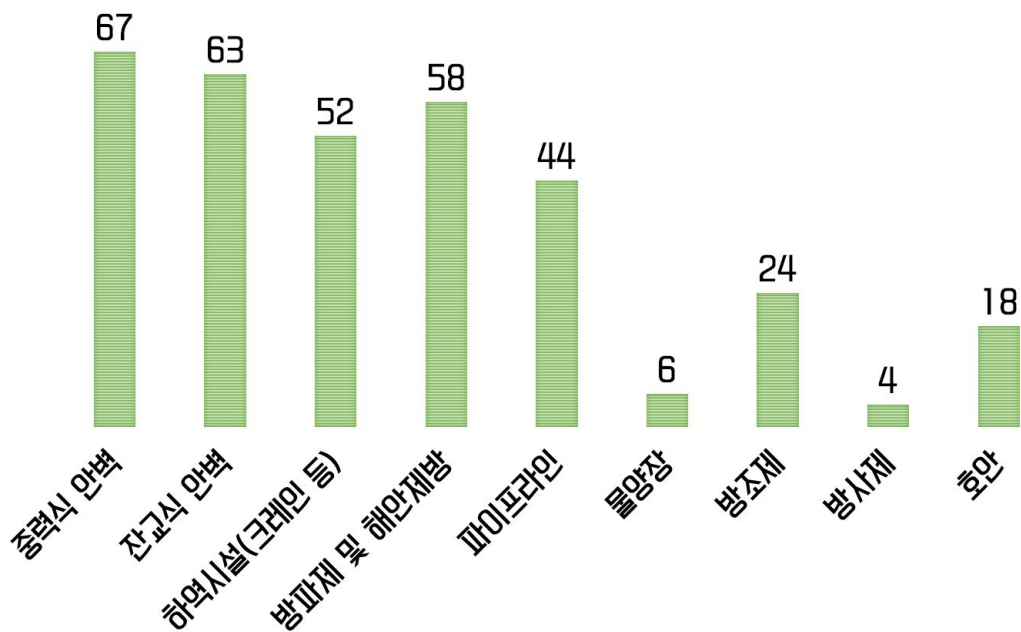
다. 국내와 국외(미국 및 일본 등)의 내진설계 기술력 차이는 5년 이상이 53%(53명), 3~4년이 31%(31명)로 응답하여, 대부분의 응답자가 국내 기술력이 국외 선진국에 비하여 떨어진다고 응답함.



[국내와 국외 내진설계 기술력 차이]

3. 성능기반 내진설계 수요기술 중요도 분석

가. 항만 및 여객시설 중 성능기반 내진설계가 시급한 구조물의 종류에 대하여, 중력식 안벽(67명, 응답자의 20%), 잔교식 안벽(63명, 응답자의 19%), 방파제 및 해안제방(58명, 응답자의 17%), 크레인 등 하역시설(52명, 응답자의 15%)의 4가지 구조물이 전체 응답자의 71%를 차지함. 그리고, 4가지 구조물에 대한 응답비율 차이는 4% 이내로 크지 않음. 그러므로, 우선 본 4가지 구조물을 대상으로 세부 과제를 도출하는 것이 필요함

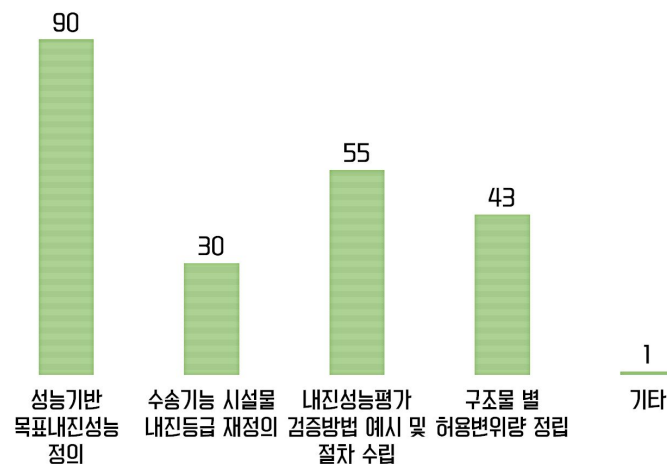


[성능기반 내진설계가 시급한 구조물의 종류]

나. 세부 과제를 도출하기 위하여 5가지 분야로 나눈 후 각 분야에서 추진가능한 세부과제를 제시한 후 중요성에 대하여 조사함.

(1) 정책동향 및 법-제도 분야

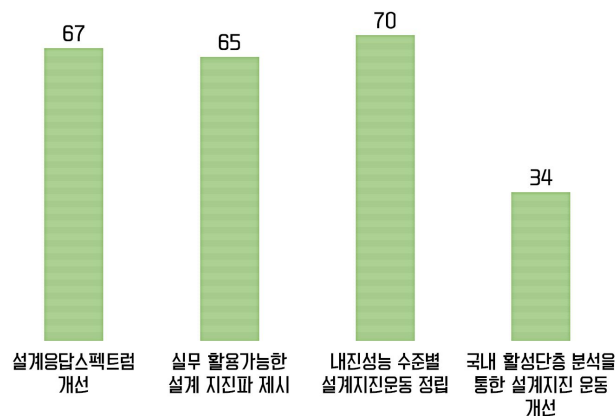
응답자의 41%(90명)가 ‘성능에 기반을 둔 목표내진성능 정의’가 중요하다고 응답함. 즉, 구조물별 내진등급, 내진성능, 성능목표를 정립하는 것이 가장 필요하다고 응답함. 그리고, 응답자의 25%(55명)는 ‘내진성능평가를 위한 검증방법 예시 및 절차수립’을 선택하여 실무자들이 쉽게 접근할 수 있는 예제가 필요하다고 응답함. 그리고, 응답자의 20%(43명)는 ‘구조물별 허용변위량 정립’이 필요하다고 응답하여, 목표내진성능을 정의한 후 구조물별 구체적인 허용변위량을 결정하는 것이 필요하다고 응답함.



[정책동향 및 법-제도 분야의 중요기술]

(2) 설계지진 운동분야

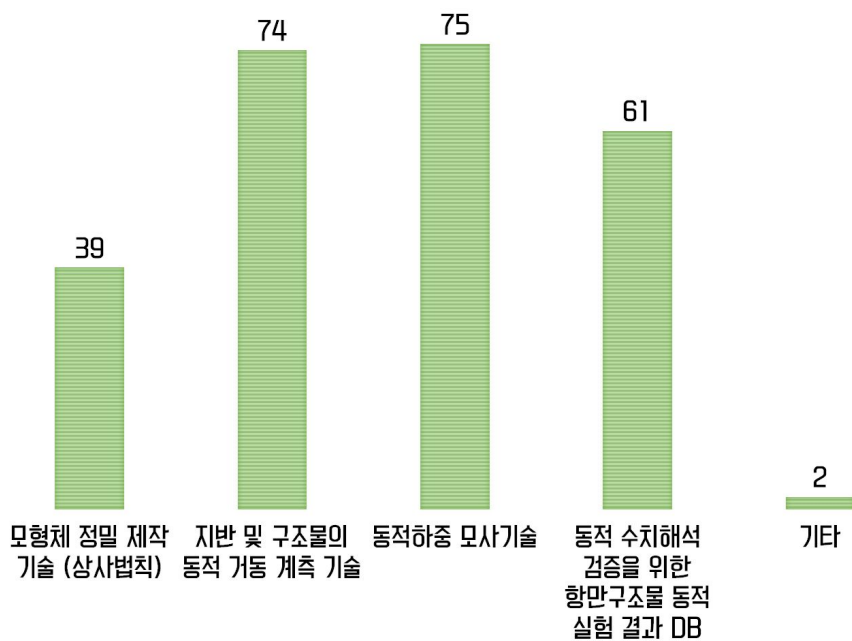
설계지진 운동분야에서 중요하다고 생각하는 기술은 ‘내진성능 수준별 설계지진운동 정립(70명, 응답자의 30%)’, ‘현행 설계응답스펙트럼의 개선(67명, 응답자의 28%)’, ‘실무에 활용가능한 설계 지진파의 제시(65명, 응답자의 28%)’ 순으로 나타남



[설계지진 운동 분야의 중요기술]

(3) 내진성능 검증을 위한 모형실험 분야

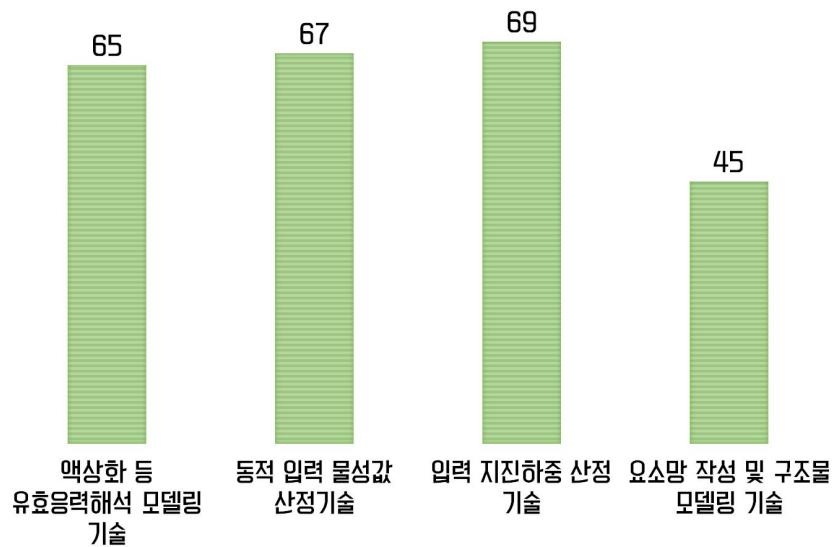
응답자의 30%(75명)가 ‘동적하중 모사기술’이 가장 중요하다고 응답함. 그리고, ‘지반 및 구조물의 동적거동 예측기술(74명, 응답자의 29%)’, ‘동적 수치해석 검증을 위한 다양한 항만구조물 실험결과DB(61명, 응답자의 24%)’ 순으로 응답함. 국내 항만구조물의 지진피해 사례가 없기 때문에 내진 기술개발 및 검증을 위해서는 동적하중 모사기술이 가장 중요하다고 응답하였으며 이와 함께 검증시 필요한 예측기술, 항만구조물 실험결과 DB 구축이 중요하다고 응답함. 실험결과 DB는 원형구조물의 지진거동을 모사할 수 있는 실험이 되어야 하며, 모형실험 대상은 다양한 구조물 즉, 응답자들이 중요하다고 생각하는 중요구조물인 중력식 안벽, 잔교식 안벽, 방파제 및 해안제방에 대하여 수행하는 것이 필요함.



[모형실험 분야의 중요기술]

(4) 내진성능 검증을 위한 동적 수치해석 분야

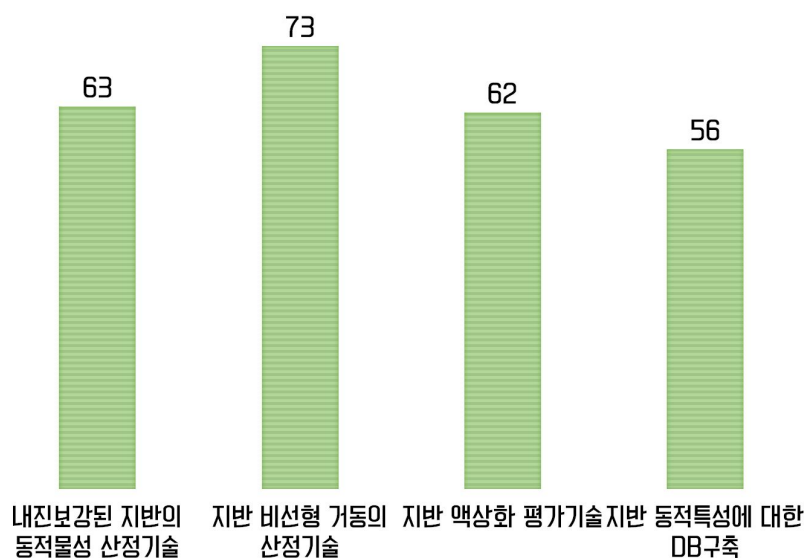
응답자의 28%(69명) ‘입력 지진하중 산정 기술’ 개발이 가장 중요하다고 응답함. 그리고, ‘동적 입력물성값 산정기술(67명, 응답자의 27%)’, ‘액상화 등 유효응력해석 모델링 기술’ 개발(65명, 응답자의 26%)이 가장 중요하다고 응답함. 즉, 내진성능 검증을 위해서는 동적 수치해석에 필요한 동적 입력물성값 및 입력 지진하중 산정기술을 정립하는 것이 중요하며 항만구조물의 기초 및 배면지반이 물로 포화되어 있기 때문에 동적 지진하중이 가해졌을 때 지반 액상화 및 지반의 유효응력 변화를 신뢰성있게 모사하는 것이 중요하다고 응답함. 그러므로, 동적 수치해석 기술 개발에서 특히 유효응력해석 모델링 기술을 개발하는 것이 중요함.



[동적 수치해석 분야의 중요기술]

(5) 동적 물성값 산정을 위한 지반조사 기술분야

응답자의 29%(73명)가 ‘지반 비선형거동의 산정기술’ 개발이 가장 중요하다고 응답함. 그리고, ‘내진보강된 지반의 동적물성산정 기술(63명, 응답자의 25%)’, ‘지반 동적 특성에 대한 DB구축(56명, 응답자의 22%)’ 순으로 응답함. 항만구조물의 지반은 일반적으로 연약하기 때문에 모래다짐말뚝, 사석재, 그라우팅 등으로 보강되어 있지만 보강된 지반의 동적물성값이 전혀 제시되어 있지 않음. 그러므로, 실무 설계에서는 대략적인 값을 가정하고 있으며, 이는 내진설계의 불확실성을 높혀 항만구조물의 내진안정성을 확보할 수 없음. 그러므로, 내진보강 지반의 동적물성산정 기술에 대한 과제가 필요한 것으로 판단됨



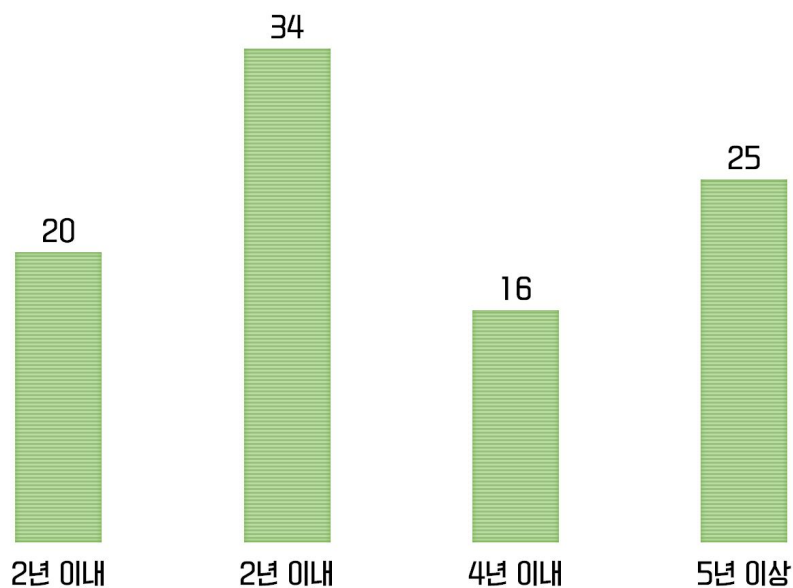
[동적 물성값 산정을 위한 지반조사 기술분야의 중요기술]

(6) 항만 및 어항시설의 내진설계 시 애로사항 및 연구개발 테마에 대한 주관식 응답결과

- (가) 정책동향 및 법-제도 분야에서 국내 내진설계기준이 과대설계되고 있다는 의견이 제시됨. 그리고, 국내 설계 기준서별로 내용이 상이하여 통일된 기준 마련이 시급하며, 일본 및 미국기준을 따르지 말고 국내 실정에 적합한 내진설계기준의 정립이 시급하다는 의견이 많음. 그리고, 현재의 기능수행수준 및 붕괴방지수준의 구분에 대한 문제점이 많이 제기되어 내진성능수준의 재정립 및 성능기반 내진설계기술 개발의 시급성이 제시됨.
- (나) 설계지진 운동분야의 경우 국내 지진규모에 맞는 표준설계스펙트럼의 정립 및 설계 지진과의 정립의 필요성이 제시됨
- (다) 설계관련 내용으로서 동수압의 과다산정 문제, 잔교식 안벽의 모델링, 옹벽 및 사면의 설계지진가속도 산정문제 등 기존 유사정적설계법에 대한 문제가 많이 제기됨. 그리고, 내진설계 절차가 복잡하여 실무자들을 위한 내진설계 절차 정립이 필요하다는 의견이 제기됨. 즉, 현재 수행되고 있는 유사정적설계법이 서로 상충되고 설계기술이 정립되지 못하여 혼란을 겪고 있으므로 유사정적설계법 정립의 시급성이 제시됨

4. 신뢰성 기반 설계 개발 시급성 분석

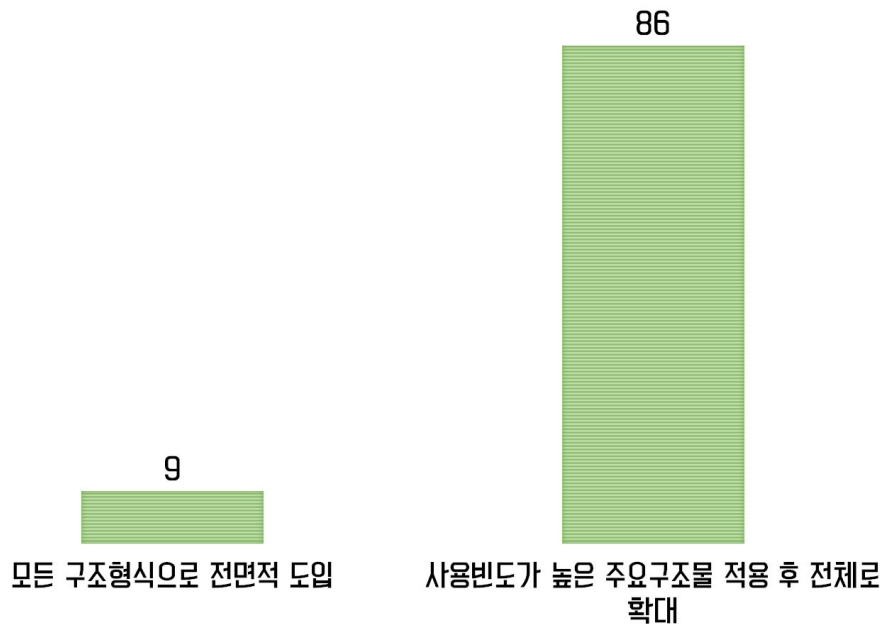
가. 신뢰성 향만설계기준의 도입시기에 대한 조사에서 응답자의 57%가 3년 이내에 도입해야 한다고 응답하고 신뢰성 기준의 제정이 매우 시급하다고 응답함



[신뢰성기반 설계기준의 도입시기]

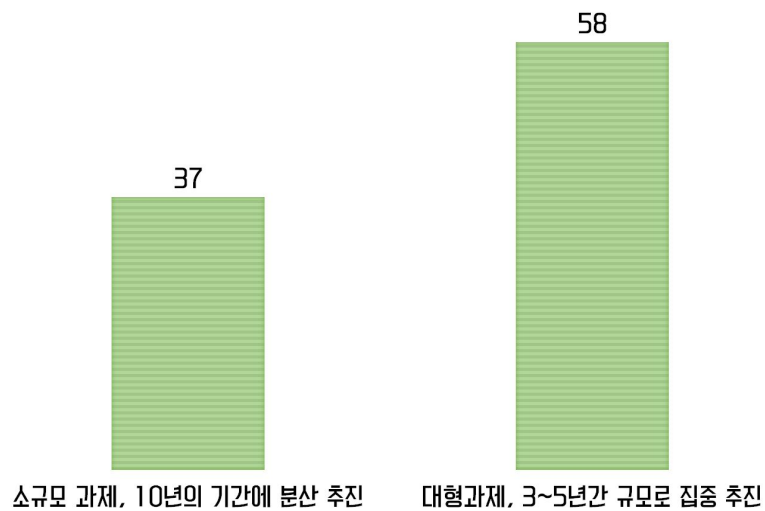
5. 신뢰성 기반 설계 연구 추진방법 분석

가. 신뢰성 기반 향만설계기준의 도입방식의 경우 우선 사용빈도가 높은 주요구조물에 적용 후 전체로 확대하는 것이 좋다는 의견이 응답자의 91%를 차지함



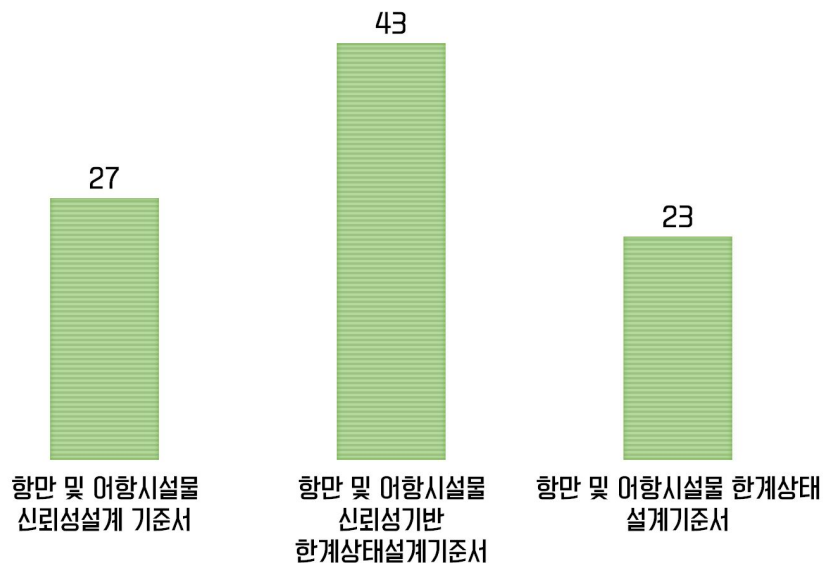
[신뢰성기반 설계기준의 도입방법]

나. 신뢰성기반 항만설계기준 개발을 위한 연구추진방법은 대형과제로 단기간 집중 추진하는 것이 좋다는 의견이 더 많았으며 이는 신뢰성 기반 항만설계기준 개발이 시급하다는 것을 의미하고 있음.



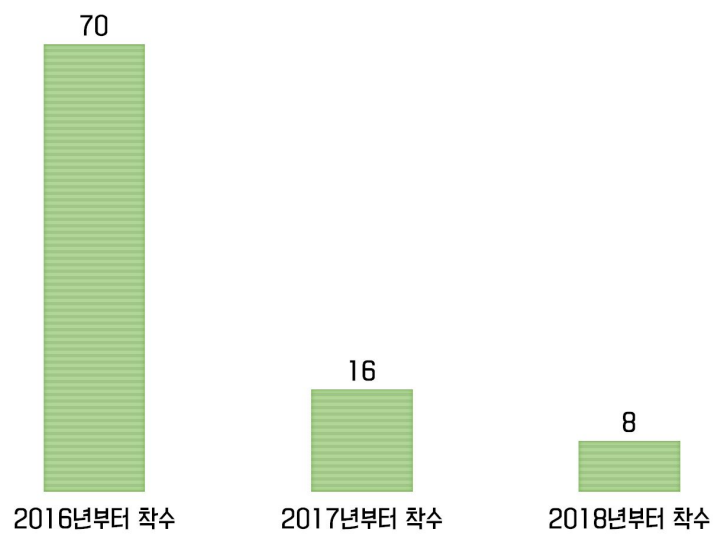
[신뢰성기반 연구추진방법]

다. 항만구조물 설계기준을 새롭게 개정한다면 항만 및 어항시설물 신뢰성기반 한계상태 설계기준서가 정합함을 보여주고 있음



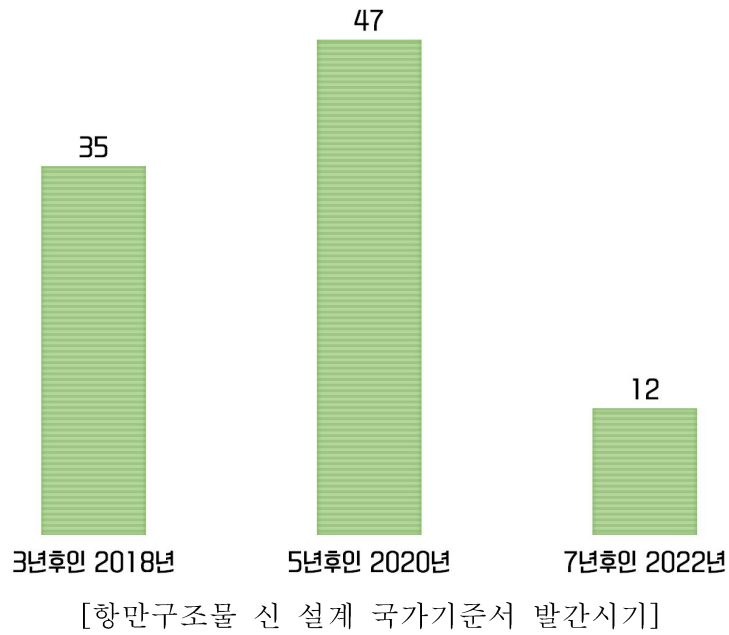
[항만구조물 설계기준 개정 방법]

라. 항만구조물 신설계기준 연구착수는 2016년에 시작해야 한다는 의견이 압도적으로 많았으며 이 결과는 현업에서 느끼는 필요성이 매우 큼을 보여주고 있음.

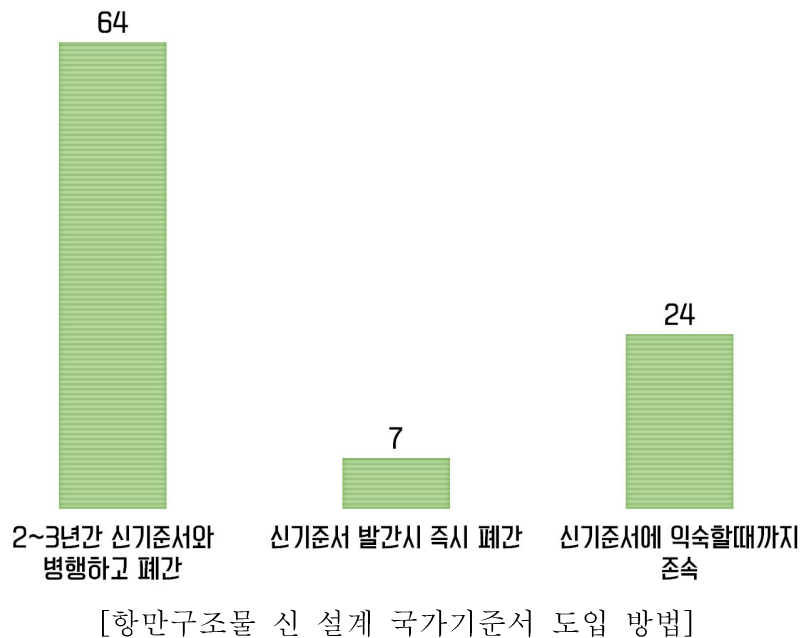


[항만구조물 신 설계기준 연구 착수시기]

마. 항만구조물 신설계 국가기준서 발간시기는 5년후인 2020년이 가장 적절하다는 답변이 제일 우세하였으며 이는 신뢰성 기반 설계기준의 개정이 시급함에도 불구하고 현업에서 충분히 이해하고 적용할 수 있도록 해야 한다는 점을 보여주고 있음.



바. 항만구조물 신설기준서 발간시 기존의 안전율 개념 기준서와 일부 기간 동안은 병행하는 것이 바람직하다고 응답함. 다음으로는 신기준서에 익숙할 때까지 존속시키자는 대답이 많았음. 이는 아직까지 현업에서는 신뢰성 기반의 설계기준이 아직 익숙치 않다는 점을 보여주고 있으며 신설기준서 발간시 현업에 충분히 이해시켜야 한다는 점을 알 수 있음.



사. 신뢰성 기반 항만설계기준 개발 시 애로사항 및 연구개발 테마에 대한 주관식 응답결과

- (1) 우리나라 실정에 적합한 구조물별 허용 변위량 및 피해정도 정립 목표신뢰지수의 설정
- (2) 신뢰성설계기준은 우리 항만 및 어항설계기준을 틀이 전반적으로 전환되는 계기가될

것이므로 설계기준전반에 신뢰성설계기준 개념이 도입을 우선하는 과제를 먼저 수행하고 구조물별 또는 기술분야별 (지반, 구조 등) 신뢰성설계기준화 과제는 관련분야의 국내 신뢰성설계기준화 동향과 정부의 예산사정에 맞추어 항만 및 어항설계기준에도 Timely Manner로 수행하는 것이 좋을것으로 사료됨.

- (3) 설계기준서에 제시된 방법만으로도 바로 실무에 적용할 수 있는 상세한 설계기준 필요
기존 설계기준서와의 개념 충돌에 대한 대응책 필요 (단계별 개발계획시 설계기준충돌 문제에 대한 대응책 필요)
- (4) 항만시설 취약도 분석 및 효율적인 복구 대책 항만시설 피해에 따른 주변 수송 체계에 미치는 영향의 정량화 기법 개발

제5장 주요 요소기술 도출

제1절 요소기술의 선정

제 4절에서 제시된 기술수요조사 결과를 바탕으로 제시된 요소 기술 중 기획과제 자문단과의 협의 및 검토를 통해 <표 5.1-1>,<표 5.1-2>와 같이 성능기반 내진설계 및 신뢰성 설계 각각 9개, 10개의 주요 요소기술을 산정하였으며, 이에 대한 RFP를 도출하고자 한다.

<표 5.1-1> 성능기반 내진설계 주요 요소기술

요소기술
<ul style="list-style-type: none"> • 내진등급, 내진성능 및 성능목표 선진화 • 항만구조물 성능기반 내진설계를 위한 시간이력 입력지진파 작성기술 개발 • 항만 및 어항지반조사 및 D/B 구축 • 중력식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발 • 잔교식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발 • 방파제의 성능기반 내진설계기술 개발 • 크레인과 파이프라인의 성능기반 내진설계 및 보강 기술 개발 • 간극수의 동적거동을 고려한 액상화 평가기술 및 유효응력 개념의 내진해석기법 정립 • 성능기반내진설계기준 단면개발 및 경제성 분석

<표 5.1-2> 신뢰성 설계 주요 요소기술

요소기술
<ul style="list-style-type: none"> • 중력식 안벽구조물의 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개발 • 잔교식 안벽구조물의 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개발 • 널말뚝식 및 기타(타이로드식, 돌핀 등) 안벽구조물의 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개발 • 깊은기초 신뢰성 설계법 및 설계기준서 개발 • 지반조사 및 사면안정 신뢰성 설계법 및 설계기준서 개발 • 설계조건(외력) 및 재료의 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개발 • 성능 수준별 항만구조물 얕은기초 및 지반개량공법 설계 및 시공 기술 개발 • 경사제 및 소파블록 피복제의 신뢰성 기반 항만 및 어항설계기준 개발 • 직립제, 혼성제, 상부사면케이슨제의 신뢰성 기반 항만 및 어항설계기준 개발 • 직립소파블록제, 소파케이슨제의 신뢰성 기반 항만 및 어항설계기준 개발

제2절 성능기반 내진설계 주요 요소기술

1. 내진등급, 내진성능 및 성능목표 선진화

가. 기술개발 목표

(1) 내진설계가 필요한 시설과 이 시설들의 내진 등급, 내진성능, 성능목표에 대한 분명

한 정의를 규정 및 성능기반 내진설계기준 제시

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 현행 국내 항만 구조물은 1999년에 마련된 내진설계표준서에 맞춰 분류되어 관리되고 있음. 최근 국내에서도 지진 발생 빈도가 증가하는 상황임.
- (나) 내진 선진국인 미국 및 일본의 항만내진설계시 성능기반내진설계가 도입되어 있으나 우리나라에는 성능기반내진설계에 대한 설계기준이 정립되어 있지 않음.
- (다) 국내 항만 및 어항설계기준은 붕괴방지 1등급 구조물의 변위기준이 수평변위 30cm와 같이 항구의 전반적인 스케일을 고려하지 못하는 획일적인 기준을 제시하고 있음. 또한 기존구조물의 내진성능평가 시 기능수행 및 붕괴방지 수준만을 고려하게 되어 있어 항구의 기능적 중요도에 따른 경제적 내진보강에 어려움이 있음.

(2) 국외 동향

- (가) 미국의 국가지진재해 경감 프로그램인 NEHRP는 장기적인 국가 지진 방재차원에서 다양한 프로젝트를 수행 중이며 이들 프로젝트의 성공적인 수행을 위한 우선전략과제 중 하나로 성능기반내진설계(Performance-Based Design)를 채택하여 2000년대 들어 지속적인 연구를 수행하고 있음
- (나) 국제항해협회(International Navigation Association; INA)
항만구조물을 중요도에 따라 등급을 분류하고 있음 (Grade S, Grade A, Grade B, Grade C). 항만구조물을 지진응답에 기초하여 구조물별 변위, 침하, 한계응력상태, 변형률 등과 같은 공학적인 피해기준을 성능수준과 함께 정의하고 있음.
- (다) 일본 (PARI, 2009)
기존 건축 구조물과 달리 항만에 요구되는 성능과 재해 시 성능복구시간에 따라 특별내진설계안벽(긴급수송용), 특별내진설계안벽(본선수송용), 표준내진설계안벽(긴급수송)으로 항만 및 어항시설에 적합한 등급을 좀 더 세부적으로 분류하고 있음. 또한, 1998년 공포된 개정 건축기준법에서부터 성능기반내진설계의 개념을 도입하여 구조물의 지진등급과 상정 지진하중에 대한 성능수준을 고려하는 성능목표를 제시하고 있음.

다. 기술개발 필요성

(1) 항만 및 어항 구조물의 내진등급 정의 필요

- (가) 국내의 항만 및 어항에서 내진설계가 필요한 시설과 이들의 내진등급에 대한 정의가 불명확한바 이에 대한 연구를 통해 내진설계가 필요한 시설과 이들의 내진등급에 대한 분명한 저의 규정 필요
- (나) 설계 가속도 정의 필요

(2) 항만 및 어항 구조물에 적합한 내진성능 규정 필요

- (가) 기존 건축 구조물과 달리 항만 및 어항 구조물의 역할에 적합한 내진성능 규정 필요

예) 특별내진설계안벽(긴급수송용), 특별내진설계안벽(본선수송용), 표준내진설계안벽(긴급수송)

(나) 구조물 별 성능수준에 따른 설계방법 및 성능 한계 피해기준 제시 필요

(3) 성능수준이 결합된 성능목표 규정 필요

(가) 설계지진과 기능수행, 붕괴방지 등의 성능수준이 결합된 성능목표에 대한 구조물의 손상수준에 대하여 정량적 규정이 필요

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 내진설계기준 도입(1) <ul style="list-style-type: none"> - 외국의 성능기반 항만설계기준 자료수집 및 적용실태, 개선점 분석 - 국내 항만설계기준상 내진기법 수집 및 적용실태, 개선점 분석 ○ 내진등급 정립(1) <ul style="list-style-type: none"> - 국가 지진방재계획 상 항만별 방재역할 분석 - 지진시 방재역할에 따른 항만 및 어항 분류
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 내진설계기준 도입(2) <ul style="list-style-type: none"> - 국내 항만 및 어항 설계에 적용할 성능기반 내진설계법 제안 - 국가 지진방재계획 수집 및 분석 ○ 내진등급 정립(2) <ul style="list-style-type: none"> - 지진시 방재역할에 따른 내진등급 부여 - 등급별 설계가속도 정립 ○ 내진성능 정립(1) <ul style="list-style-type: none"> - 시설물별 지진 시 유지성능 정의
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 내진성능 정립(2) <ul style="list-style-type: none"> - 구조물별 중요성 및 허용변위량 정립 - 구조물별 발생변형량 산정기법 제시 ○ 성능목표 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 지진 크기에 적합한 등급 및 성능수준에 적합한 목표 정립 ○ 전문가 의견 협의 <ul style="list-style-type: none"> - 설계사, 항만운행사, 항만설계 및 현장 전문가 등으로부터 자문의견 도출

마. 최종성과물

(1) 성능기반 내진설계 내진등급, 내진성능, 성능목표 기준(안)

바. 기대효과

(1) 성능기반 내진설계를 위한 지진 시 성능 정의 및 검증방법 정립.

- (2) 다른 시기의 해외 기준을 준용하여 발생하였던 국내 관련 설계기준과의 차이점을 해결하고 일관성을 유지하는 데에 초석이 될 것으로 기대됨.
- (3) 국내 항만설계기준의 국제화 도모 및 항만분야 종사자들의 설계 및 시공시 발생하는 혼란 해소.

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

(1) 400(백만원) / 3년

아. 기술개발 로드맵



2. 항만구조물 성능기반 내진설계를 위한 시간이력 입력지진과 작성기술 개발

가. 기술개발 목표

(1) 항만구조물의 성능기반 내진설계를 위한 입력지진과 작성기법 및 가이드라인 개발

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 현 국내 항만 및 어항 내진설계기준은 입력 지진파 작성에 대한 명시적인 절차가 제공되지 않아서, 일본에서 계측된 장주기 지진파(Hachinohe)와 단주기 지진파(Ofunato)의 가속도 시간이력을 관용적으로 사용하거나 설계응답스펙트럼에 기반한 인공지진파를 작성하여 내진설계에 적용하고 있음
- (나) 일본의 Hachinohe/Ofunato 가속도 시간이력은 국내 가속도설계응답스펙트럼에 부합하지 않아 일관된 성능평가가 어려운 단점이 있음
- (다) 설계응답스펙트럼에 기반한 인공지진파는 지속시간, PSD함수, 변위-속도-가속도 관계에 대한 세부적인 가이드라인이 제시되지 않아, 실무 설계자에 따라 과다 설계

(액상화 및 잔류변위) 또는 과소 설계를 초래할 수 있으므로, 국가기간시설물의 일관된 성능확보에 장애가 될 수 있음

(라) 입력지진과 작성방법이 항만시설물의 내진성능 평가에 미치는 영향에 대한 국내 연구 추진실적이 없음

(2) 국외 동향

(가) 미국의 경우 등재해스펙트럼(Uniform Hazard Spectrum)을 만족시키는 실지진기록의 조합을 통하여 응답이력 해석을 실시하도록 규정하고 있음 (FEMA P-58)

(나) 성능기반 내진설계를 위한 변위 평가를 위해서는 랜덤 생성 인공지진과 보다는 실측 지진파를 수정한 입력지진파를 사용하는 것이 합리적인 결과를 도출하는 것으로 평가되고 있음

(다) 구조물의 비선형 응답이력해석에 한하여 여러 지진이력 특성치와 잔류변위와의 상관관계 분석을 통하여 가장 합리적인 실지진기록 조합을 찾기 위한 연구가 진행중임

(라) 실측 지진파를 수정한 설계용 지진파 작성시 실측 지진파의 위상각을 최대한 유지하는 것이 매우 중요한 것으로 인식되고 있음

(마) 입력지진과 작성방법이 항만시설물의 내진성능 평가에 미치는 영향에 대한 연구 추진실적이 거의 없음

다. 기술개발 필요성

(1) 성능기반 내진설계를 위해서는 현 내진설계기준에서 제시되어 있지 않은 입력지진파의 작성방법에 대한 내진설계기준이 정립되어야 함

(2) 입력지진파의 작성방법에 대한 내진설계기준이 정립을 위해서는 다음 항목에 대한 연구가 반드시 필요함: (1) 실측 지진파에 기반한 성능기반 내진설계 입력지진파 작성방법, (2) 랜덤생성 인공지진파에 기반한 성능기반 내진설계 입력지진파 작성방법, (3) 비선형 응답이력해석을 위한 방형별 입력지진파 조합방법

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
----	---------

1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실측 지진파에 기반한 입력지진파 작성방법 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 실측 지진파 선정 방법 - 설계가속도스펙트럼에 부합시키기 위한 실측 지진파 수정 방법 - 사용 가능한 프로그램 조사 ○ 랜덤생성 인공지진파에 기반한 입력지진파 작성방법 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 랜덤 지진파 선정 방법 - 설계가속도스펙트럼에 부합시키기 위한 랜덤 지진파 수정 방법 - 사용 가능한 프로그램 조사 ○ 성능기반 입력지진파 작성기법(안) 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 실측 지진파 선정 방법 - 랜덤 지진파 선정 방법 - 설계가속도스펙트럼에 부합시키기 위한 실측 지진파 수정 방법 - 설계가속도스펙트럼에 부합시키기 위한 랜덤 지진파 수정 방법
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 암반조건(S_B 지반)에 대한 표준 설계 입력지진파 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 실측 지진파에 기반한 입력지진파 (1) 작성 - 랜덤생성 인공지진파에 기반한 입력지진파 (1) 작성 ○ 지진파 작성방법이 항만구조물의 응답에 미치는 영향 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 입력지진파 (1)을 활용한 자유장지반의 지진응답 수치해석 수행 - 입력지진파 (1)을 활용한 자유장지반의 지진응답 원심모형시험 수행
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 암반조건(S_B 지반)에 대한 표준 설계 입력지진파 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 수치해석 결과와 원심모형시험 결과를 반영한 개선사항 도출 - 실측 지진파에 기반한 입력지진파 (1) 개선 - 랜덤생성 인공지진파에 기반한 입력지진파 (1) 작성 ○ 성능기반 내진설계를 위한 입력지진파 작성기법 및 가이드라인 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 실측 지진파 또는 랜덤 지진파 선정 방법 - 설계가속도스펙트럼에 부합시키기 위한 실측 지진파 또는 랜덤 지진파 수정 방법 - 입력지진파 작성 사례집

마. 최종성과물

- (1) 성능기반 내진설계를 위한 입력지진파 작성기법 및 가이드라인
- (2) 입력지진파 작성 사례집
- (3) 암반조건(S_B 지반)에 대한 표준 설계 입력지진파

바. 기대효과

- (1) 국내 항만시설물의 내진설계에 사용되는 입력지진파의 불확실성 저감
- (2) 내진설계기술의 향상으로 고급 기술인력 양성 및 국내 건설기업의 해외진출을 위한 설계 기술력 제고
- (3) 성능기반 설계법을 정립하여 목표 내진성능 수준을 만족시킬 수 있는 항만 구조물을

시공함으로써 국가 사회기반 시설의 안정성 확보

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

(1) 450(백만원) / 3년

아. 기술개발 로드맵

		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종성과물
성능기반 내진설계	입력지진파	실측지진파에 기반한 입력지진파 작성 방법 조사 랜덤생성 인공지진파에 기반한 입력지진파 작성방법 조사 성능기반 입력지진파 작성기법(안) 개발	입력지진파 (1)을 활용한 자유장지반 지진응답 수치해석 지진파 작성방법이 항만구조물의 응답에 미치는 영향 분석	실측지진파/랜덤지진파 선정방법 실측지진파/랜덤지진파 수정방법 성능기반 내진설계를 위한 입력지진파 작성기법 및 가이드라인 개발			성능기반 내진설계를 위한 입력지진파 작성기법 및 가이드라인 입력지진파 작성사례집
			실측지진파 기반한 입력지진파 (1) 작성 랜덤지진파 기반한 입력지진파 (1) 작성 암반조건(SB 지반)에 대한 표준 설계 입력지진파 작성	수치해석 결과를 반영한 개선사항 도출 입력지진파 (1) 개선 암반조건(SB 지반)에 대한 표준 설계 입력지진파 개선			암반조건(SB 지반)에 대한 표준 설계 입력지진파

3. 항만 및 어항지반조사 및 D/B 구축

가. 기술개발 목표

- (1) 항만 구조물 및 하부지반에 관한 지반조사 기준 개선
- (2) SCP, DCM, 쇄석 등 지반 보강작업 이후의 지반 조사 및 D/B구축

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) “구조물 기초설계기준”에서는 설계지반운동을 결정하기 위한 기준면을 보통암지반 ($V_s=760\text{m/s}$ 이상) 까지 시추를 시행하도록 하고 있으며 액상화 평가를 위해서는 상부 20m 까지의 수행을 명시하고 있음. 하지만, 항만 및 어항설계에서 액상화 위험성이 더욱 증가하기 때문에 경우에 따라 20m 이상 지반에 대해서도 액상화 평가를 위한 지반조사를 수행하도록 하고 있음.
- (나) 지층 층상구조 및 입도분포 파악을 위한 표준관입시험은 구조물 등급과 관련 없이 수행할 것을 권장하고 있음. 현장탄성파, 실내시험 및 경험에 의한 지반조사 방법은 아래 표와 같이 구조물 등급에 따라 최소 기준을 정하고 있음.

국내 설계기준의 구조물 등급별 지반조사 방법 최소 요구사항

적용 가능 구조물 등급	1등급 이상	2등급	소규모 2등급
구조물 기초설계기준 (한국지반공학회, 2008)	현장탄성파 실내시험	-	경험에 의한 방법
항만 및 어항 설계기준 (해양수산부, 2014)	현장탄성파 실내시험	현장탄성파	경험에 의한 방법

(2) 국외 동향

- (가) 일본의 경우 액상화 평가와 상관없이 내진설계를 위한 지반조사항목에 지반강도특성을 명시하고 있으며 진동횟수 및 진동주기에 따른 강도 변화를 강조하고 있음
- (나) Eurocode 8 (CEN, 2008) 의 경우 중요도가 낮은 건물을 제외한 모든 등급의 지반조사에 간극수압평가가 가능한 CPT 실험을 수행하도록 하고 있으며 액상화 생략 기준에는 Eurocode에서 명시한 보통암 지반($V_s, 30m=800m/sec$ 이상) 의 가속도가 $0.15g$ 이하라는 조건을 함께 만족시켜야 하는 차이점을 보이고 있어 국내의 내진설계기준보다 좀 더 엄격한 기준을 명시하고 있음
- (다) 구체적인 지반조사 자료가 없는 경우, Eurocode 기준으로 C 또는 D 등급의 지반종류에 대해서 지하수위가 얕고 PI 40 이상의 지반재료가 포함되어 있지 않는 경우 지반가속도에 따라 20m 깊이의 지반에 대하여 전단파 속도 및 전단탄성계수를 감하여 사용하며, 지반가속도 $0.1g$ 이상일 경우에는 지진 가속도에 따라 감쇠비를 증가시켜 사용해야 함을 명시하고 있음
- (라) 국제항해협회(INA)에서는 1997년 PIANC/MarCom/WG34 작업을 통하여 항만 구조물의 내진설계를 위한 방법을 일관성 있게 제시하고자 하였으며 기존의 현장탄성파, 실내시험 및 경험에 의한 상관 관계를 이용하는 방법을 유지하면서 해석방법 및 SSI 고려 유무에 따라 요구되는 지반조사기법 종류에 대하여 제안하였음

다. 기술개발 필요성

(1) 항만 및 어항시설의 설계를 위한 지반조사 방법 개선 필요

- (가) 항만 및 어항시설의 설계를 위한 지반조사 방법은 이전까지의 지반공학적 측면에서 이루어진 지반조사와 큰 차별성을 두고 있지 않음.

(2) 지반보강 이후 지반조사 방법 개선 필요

- (가) 연약지반의 경우 Sand compaction 및 DCM 등의 보강작업이 이루어지지만 보강 전의 지반조사 자료만으로 설계를 수행하고 있음. 보강 후의 지반조사가 이뤄지지 않아 신뢰성 있는 내진설계가 이뤄지지 않고 있음. 따라서 보강된 지반의 특성 파악을 위한 지반조사 방법 개선이 필요.

(3) 항만 및 어항 설계 시 사용되는 재료의 동적 거동 평가 필요

- (가) 항만 및 어항 시설물 설계시 사용되는 쇄석등의 재료는 동적 거동 파악이 이뤄지지 않고 있음. 지진 시 지반의 비선형 거동 파악은 동적 거동 예측 및 SSI 분석에 매우 필수적인 요소임. 따라서, 항만 및 어항 시설물에 사용되는 주 재료에 대한 동적 거동(예: G/G_{max} , Damping 등) 특성을 파악하여 설계 시 하용할 수 있는 대표적 곡선을 제시하는 것이 필요함.

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 지반조사 조사기법 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 선진 지반조사 조사기법 분석 (일본항만협회, EUROCODE 8 등) - 국내 지반조사 현황 파악 및 개선 필요성 도출 (항만 및 어항설계 기준, 구조물기초설계기준 등)
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ SCP, DCM, 쇄석 등 지반 보강작업 이후의 지반 조사 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 지반 보강작업 이후의 지반조사 현황 분석 - 지반 보강작업 이후의 지반조사 제안 <ul style="list-style-type: none"> • 기존 항만에서의 실험을 통한 D/B 결정 • 모형 실험을 통한 지반 동적 물성 평가 ○ 항만 구조물 및 지반조건에 부합한 지반조사 기준 개선(1) <ul style="list-style-type: none"> - 항만 구조물 및 지반조건에 부합한 지반조사 기준 개선 필요성 정량화 <ul style="list-style-type: none"> • 항만 구조물 및 지반조건 특성 분석 • 국내외 항만구조물 및 지반에 관한 지반조사 사례 분석 • 국내외 항만구조물 및 지반에 관한 지반조사 문제점 파악
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 쇄석 등 항만 시설 주 재료에 대한 동적거동 특성 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 항만 시설에 사용된 주 재료 분석 - 동적 거동 특성 파악 <ul style="list-style-type: none"> • 진동삼축, G/Gmax, Damping 등 ○ 항만 구조물 및 지반조건에 부합한 지반조사 기준 개선(2) <ul style="list-style-type: none"> - 항만 구조물 및 지반에 관한 지반조사기법 개선안 제시 <ul style="list-style-type: none"> • 항만 및 어항 설계 및 시공자에 대한 설문조사 및 의견수렴 • 구조물 및 지반 별 필요 지반조사기법 및 생략기준 제시

마. 최종성과물

- (1) 항만 및 어항 지반조사 기준(안) - 보강지반 지반조사 방법, 쇄석 등의 동적 거동 특성

바. 기대효과

- (1) 항만 및 어항 시설의 지반물성 및 층상구조 조사 기준 확립
(2) 항만 및 어항 시설의 지반물성 및 층상구조 D/B 구축 가능
(3) 신뢰성 있는 지반 내진 설계 가능

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 700(백만원) / 3년

아. 기술개발 로드맵

		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종성과물
성능기반 내진설계	항만 및 어항 지반조사 기준 개선			<ul style="list-style-type: none"> • 선진지반조사조사 기법분석 • 국내지반조사현황 파악및개선필요성 도출 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외지반보강작업이후지반조사현황 분석 • 기존항만에서의실험을 통한D/B구축 • 모형실험을 통한지반동적물성평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내항만시설주재료 분석 • 동적거동특성파악 	항만 및 어항 지반조사 기준
				<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 지반조사 조사 기법 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 해석및지반보강작업이후의지반조사제안 • 항만구조물및지반조건특성분석 • 국내외항만구조물및지반관련지반조사사례분석및문제점파악 	<ul style="list-style-type: none"> • 항만및어항설계및사공자에대한설문조사및의견수렴 • 구조물및지반별필요지반조사기법및생략기준제시 	
					<ul style="list-style-type: none"> • 항만 구조물 및 지반 조건에 부합한 지반 조사 기준 개선(1) 	<ul style="list-style-type: none"> • 항만 구조물 및 지반 조건에 부합한 지반 조사 기준 개선(2) 	

4. 중력식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 중력식(케이슨) 안벽의 지진시 거동특성을 분석하여, 성능기반 내진설계 기준 제정을 위한 성능 요구수준 기초자료로 활용

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 최근 증가하고 있는 강진에 대하여 현재 사용되고 있는 허용응력 설계법은 대형화 되고 있는 항만 시설물의 지진시 안전을 보장이 어려움
- (나) 1999년 제정된 “항만 및 어항시설의 내진설계 표준서”에 기반한 유사정적 설계(허용응력, 극한강도 설계법)를 시행 중
- (다) 허용 잔류변위 등 성능기반 설계를 위한 개념적인 표현은 존재하나, 이에 대한 근거 또는 구체적으로 평가할 수 있는 해석 방법에 대한 제시는 하지 못하고 있는 실정임
- (라) 또한, 유사정적 설계 시 하중 조합에 필요한 지진시 동토압의 적용절차가 매우 모호하며, 최근 동향인 허용변위 및 설계지진가속도에 따른 지진계수 변화 정도를 반영하지 못하고 있는 실정임

(2) 국외 동향

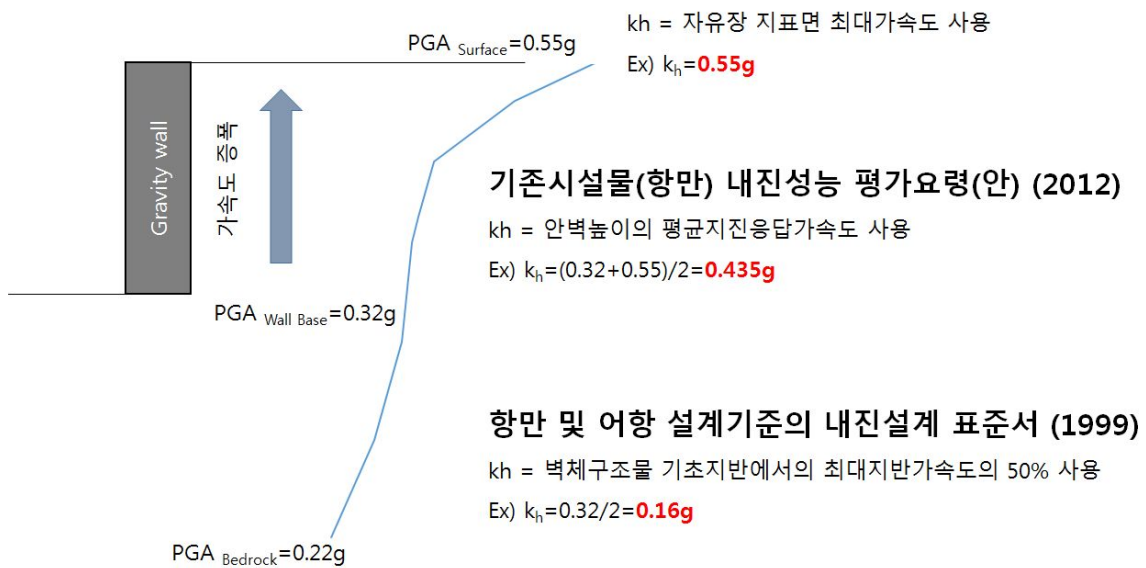
- (가) 일본의 경우 고베지진(1995) 피해조사 결과에 대한 대책으로, 지진크기가 큰 경우 (Level-2 Earthquake)에 대하여 성능기반 내진 설계를 실시 할 수 있도록 전환 됨
- (나) 미국의 경우 일부 주정부 및 항만 관리 기관에서 성능기반 내진설계를 개념적으로 도입하고 있으나, 통일된 기준 제정을 위하여 NIST주관 연구개발 계획을 수립(NIST GCR 12-917-19 Program Plan for the Development of Seismic Design Guidelines for Port Container, Wharf, and Cargo Systems, 2012), 시행할 예정에 있음

(다) 세계 각국은 완성도 높은 설계기준 제정을 위하여 원심모형실험을 포함한 다양한 연구를 수행하여 자국의 지진특성 및 항만 구조물 형식에 적합한 내진설계 기술을 개발하고 있음

다. 기술개발 필요성

(1) 설계지진가속도(k_h) 결정방법 상이

- (가) 현행 “항만설계기준”의 근간이 된 “항만 및 어항시설의 내진설계 표준서(1999)”와 “기존항만의 내진성능평가 및 향상요령(2012)”에서 설계지진가속도 결정 방법이 각각 상이한 문제가 있음.
- (나) 구체적으로, 2012년 평가방법에서는 1999년 표준서에 비하여 2-3배 상향된 설계 지진가속도를 적용하도록 규정됨. 따라서, 2000년 이후 내진설계가 이루어진 항만의 경우, 현 시점에서 내진성능을 평가 시 지진시 안정성 확보가 불가능 할 것으로 예상됨.



[현행 설계기준들의 상이한 설계지진계수(k_h) 도출 방법]

- (2) 신뢰성 있는 설계/해석 기법의 정립필요
- (3) 기존 항만구조물의 성능강화 및 기능 향상 시급

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
----	---------

1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 중력식 안벽형식 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 하부지반조건 포함 ○ 지진시 거동특성 분석을 위한 연구방법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 수치해석 프로그램 선정 - 실험로드맵(원심모형실험) 작성 - 수치해석 검증 로드맵 수립 ○ 유사정적 예비실험 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 중력식 표준단면 결정 - 중력식 안벽에 대하여 유사정적모사실험 평가 - 정적(Static)상태에서의 변위-토압 관계 분석 - 허용범위 내에서의 토압 분포 및 크기 비교 ○ 유사정적설계법의 개선사항 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 설계기준, 중력식 안벽 모델링기법 등 조사 - 표준단면에 대한 유사정적설계의 수행 - 유사정적설계법의 개선 필요사항 도출 ○ 성능기반설계 문헌조사 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 기준 정리 분석 - 성능기반 설계법 및 동적수치해석 기법 조사
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유사정적 검증실험 <ul style="list-style-type: none"> - 중력식 안벽에 대한 동적(Dynamic) 토압 평가 - 지진가속도를 이용한 유사정적토압과의 비교 - 지진 시 구조물의 변위-토압 관계 분석 - 유사정적 해석 방법의 타당성 분석 및 유효설계지진계수(kh) 분석 ○ 유사정적설계법 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 수치해석 프로그램 선택 및 비교 - 실험 결과를 이용한 수치해석 검증(Calibration) <ul style="list-style-type: none"> • 입력 변수 범위 및 지반모델 검증 • 지반의 동적물성 입력변수 검증 (G/Gmax, Damping 등) ○ 성능기반설계법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 변위기반 성능 평가를 위한 동적수치해석 기법의 분석 - 중력식 안벽의 탄소성 모델링 기법 분석 - 수치해석 모델링 기법의 검증 - 수치해석 기법으로 표준단면에 대한 내진성능평가

3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 검증실험(1) <ul style="list-style-type: none"> - 중력식 안벽에 대한 지진 시 거동 평가 - 발생변형량 계산방법 비교분석 - 입력지진파의 영향 검토(Parametric Study) ○ 유사정적설계법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 유효설계지진계수(kh) 산정 방법 제안 - 유사정적설계방법 및 절차 정립 - 동적원심모형실험 절차 정립 - 수치해석모델링 및 해석 절차 정립 - 중력식안벽 대표단면에 대한 유사정적 설계법을 활용한 설계에 작성 - 설계 메뉴얼 작성 ○ 성능기반설계법 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 성능기반 설계절차 작성 - 내진성능평가를 위한 동적 수치해석 기술 제안
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 검증실험 (2) <ul style="list-style-type: none"> - 성능기반 설계법의 개발에 이용함 - 성능기반 설계법을 적용한 모형체 제작 (목표 성능수준 적용) - 성능기반내진설계 지진 시 허용변형량 제시 - 지반조건 변화에 따른 목표성능의 만족여부 검증 ○ 성능기반설계법 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 설계입력 변수에 대한 민감도 분석(1) - 성능기반 검증실험(1) 결과를 활용하여 지진강도에 따른 성능기반 설계결과의 검증 - 수치해석 모델링 및 입력변수 산정기술 개발
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반설계법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 설계입력 변수에 대한 민감도 분석(2) - 성능기반 검증실험(2) 결과를 활용하여 지반조건에 따른 성능기반 설계결과의 검증 - 설계 메뉴얼 작성

마. 최종성과물

- (1) 중력식 안벽의 구조 모델링 기법, 입력물성값의 결정, 설계지진 운동의 입력 등을 포함한 유사정적설계법을 정립하고 설계예제 및 지침 작성
- (2) 중력식 안벽의 동적 수치해석을 위한 동적 지반물성값 결정, 구조 모델링 방법 정립 등 성능기반 내진설계법을 정립하고 설계예제 및 지침 작성
- (3) 중력식 안벽에 대한 원심모형실험 결과의 D/B를 구축하여 향후 내진설계 및 보강기술 개발에 이용함

바. 기대효과

- (1) 중력식 안벽의 내진설계방법 정립으로 실무 설계에서의 어려움 해결
- (2) 내진설계기술의 향상으로 고급 기술인력 양성 및 국내 건설기업의 해외진출을 위한 설계 기술력 제고
- (3) 성능기반 설계법을 정립하여 목표 내진성능 수준을 만족시킬 수 있는 항만 구조물을 시공함으로써 국가 사회기반 시설의 안정성 확보

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1300(백만원) / 5년

아. 기술개발 로드맵

		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종성과물
성능기반 내진설계	중력식 안벽	표준단면 결정	실험 결과를 이용한 수치해석 검증 (Calibration)	성능기반 설계절차 작성	지진강도에 따른 내진성능 설계 검증	지반조건에 따른 내진성능 설계 검증	중력식 안벽 성능기반 내진설계법 중력식 안벽 원심모형실험 D/B
		성능기반설계 문헌조사				입력변수 민감도 분석	
		성능기반검증실험 (I)	표준단면에 대한 내진성능평가 (수치해석)	성능기반검증실험 (II)	성능기반검증실험 (III)		
		성능기반검증실험(II)	변위기반 성능 평가 위한 동적수치해석 기법 분석	변형량 계산방법 비교 분석, 입력지진파 영향 검토	성능기반 설계 단면 검증	성능기반설계법 정립 설계 매뉴얼 작성	
		유사정적상태 모사 실험 및 검증 (Static)	동적 거동 평가 (Dynamic)				설계지진계수(k_h) 산정방법 정립
		한계상태 정적하중 평가	정적모사거동 VS PGA 유사정적 동적거동	설계지진계수(k_h) 상정방법 정립 설계지진계수(k_h) 위치 정립			

5. 잔교식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 잔교식 안벽의 응답스펙트럼 설계법 및 성능기반 내진설계 기술 개발

나. 기술개발 현황 및 수준

- (1) 국내 동향

- (가) 국내 잔교식 안벽의 내진설계를 수행할 때 미국 및 일본의 기준들이 혼용되고 있으며, 응답스펙트럼 설계법의 잔교식 안벽 구조 모델링에 대한 정립된 가이드라인이 없어 실무 설계자들이 어려움을 겪고 있음
- (나) 과거 지진피해 사례를 살펴보면 잔교식 안벽의 기초 또는 배면지반의 변형에 의한

손상이 많이 발생하고 있음. 이와 같은 지반변형의 영향을 평가하기 위해서는 동적 수치해석 기법의 적용이 필요하나 국내에서는 입력지진파, 구조 모델링 그리고 지반 동적물성값의 산정 등에 대해 정립된 기준이 없는 실정임

(2) 국외 동향

- (가) 국외에서는 잔교식 안벽에 대하여 동적수치해석 등을 수행하여 지반변형이 잔교식 안벽의 안정성에 미치는 영향을 설계에 반영하고 있음
- (나) 원심모형실험 등을 수행하여 자국의 지진특성 및 항만 구조물 형식에 적합한 내진설계 기술을 개발하고 있음
- (다) 미국 및 일본 등에서는 최근 성능기반 내진설계법을 도입하여 구조물별 목표성능 수준을 정하고 성능기반 내진설계를 수행하여 목표성능을 만족하도록 설계하고 있음
- (라) 성능기반 내진설계방법의 경우 동적수치해석, 비선형비탄성 pushover 해석 등을 통해 잔교식 안벽의 변위기반 내진성능평가를 수행하고 있음

다. 기술개발 필요성

- (1) 설계 실무자들의 내진설계 및 내진보강기법 설계에 대한 혼란을 방지하기 위해 잔교식 안벽의 구조모델링 기법, 응답스펙트럼 설계법에 대한 정립이 시급함
- (2) 과거 지진피해 사례조사에서 지반변형에 의한 손상이 많이 발생하였기 때문에, 이를 평가할 수 있는 동적수치해석 모델링 기법의 정립이 필요함
- (3) 국외 성능기반 내진설계법의 적용이 확대됨에 따라 국내에서도 관련 설계법을 개발하고 보급하는 것이 시급함
- (4) 국내의 경우 내진설계기술 개발을 위한 항만구조물 지진거동 관측자료가 없으므로 원심모형실험을 수행하여 내진설계 기술 개발 및 검증을 위한 실험자료 구축이 필요함

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 설계법 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 잔교식 안벽형식을 조사하여 표준단면 결정 - 국외 성능기반 설계법을 분석하여 설계 필요사항 도출 - 성능기반 설계를 위한 동적 수치해석 기술 조사 ○ 응답스펙트럼 설계법의 개선사항 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 설계기준, 잔교식 안벽 모델링기법 등 조사 - 표준단면에 대한 응답스펙트럼 해석의 수행 - 응답스펙트럼 설계법의 개선 필요사항 도출 ○ 성능기반설계 문헌조사 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 기준 정리 분석 - 성능기반 설계법 및 동적수치해석 기법 조사

2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 검증실험(1) <ul style="list-style-type: none"> - 실험체 제작, 입력지진결정 등 - 표준단면 검증실험을 수행하여 응답스펙트럼설계법의 검증에 이용 - 말뚝기초 고정점 위치, 지반 모델링 기법 결정 ○ 응답스펙트럼 설계법 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 성능기반 검증실험(1) 결과를 활용함 - 설계입력변수(말뚝 구조 모델링 기법, 기초 고정점 위치, 지반 모델링 기법 등)의 민감도 분석 ○ 성능기반설계법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 변위기반 성능 평가를 위한 동적수치해석 기법의 분석 - 잔교식 말뚝의 탄소성 모델링 기법 분석 - 수치해석 기법으로 표준단면에 대한 내진성능평가
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 검증실험(2) <ul style="list-style-type: none"> - 성능기반 설계법의 개발에 이용함 - 성능기반 설계법을 적용한 모형체 제작 (목표 성능수준 적용) - 지진강도 증가에 따른 목표 성능의 만족여부 검증 ○ 응답스펙트럼 설계법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 검증실험 결과를 활용하여 구조모델링 및 표준단면에 대한 응답스펙트럼 설계결과의 적용성 검증 - 응답스펙트럼 해석·설계 지침 작성 ○ 성능기반설계법 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 성능기반 설계절차 작성 - 내진성능평가를 위한 동적 수치해석 기법 검증 및 설계절차 제안
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 검증실험 (3) <ul style="list-style-type: none"> - 성능기반 설계법의 개발에 이용함 - 성능기반 설계법을 적용한 모형체 제작 (목표 성능수준 적용) - 지반조건 변화에 따른 목표성능의 만족여부 검증 ○ 성능기반설계법 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 설계입력 변수에 대한 민감도 분석(1) - 성능기반 검증실험(2) 결과를 활용하여 지진강도에 따른 성능기반 설계결과의 검증 - 수치해석 모델링 및 입력변수 산정기술 개발
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반설계법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 설계입력 변수에 대한 민감도 분석(2) - 성능기반 검증실험(3) 결과를 활용하여 지반조건에 따른 성능기반 설계결과의 검증 - 설계 메뉴얼 작성

마. 최종성과물

(1) 잔교식 안벽의 구조 모델링 기법, 입력물성값의 결정, 설계지진 운동의 입력 등을 포

- 합한 응답스펙트럼 설계법을 정립하고 설계예제 및 지침 작성
- (2) 잔교식 안벽의 동적 수치해석을 위한 동적 지반물성값 결정, 구조 모델링 방법 정립 등 성능기반 내진설계법을 정립하고 설계예제 및 지침 작성
- (3) 잔교식 안벽에 대한 원심모형실험 결과의 D/B를 구축하여 향후 내진설계 및 보강기술 개발에 이용함

바. 기대효과

- (1) 잔교식 안벽의 내진설계방법 정립으로 실무 설계에서의 어려움 해결
- (2) 내진설계기술의 향상으로 고급 기술인력 양성 및 국내 건설기업의 해외진출을 위한 설계 기술력 제고
- (3) 성능기반 설계법을 정립하여 목표 내진성능 수준을 만족시킬 수 있는 항만 구조물을 시공함으로써 국가 사회기반 시설의 안정성 확보

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1000(백만원) / 5년

아. 기술개발 로드맵

		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종성과물
성능기반 내진설계	잔교식 안벽	잔교식 안벽 표준단면 결정	성능기반 설계를 위 한 동적 수치해석 기법 개발	성능기반 설계절차 작성 동적 수치해석 기법 검증	지진강도에 따른 내진성능 설계 검증	지반조건에 따른 내진성능 설계 검증 입력변수 민감도 분석	잔교식 안벽 성능기반 내진설계법 잔교식 안벽 원심모형실험 D/B
		성능기반설계 조사	성능기반검증실험 (I)	성능기반검증실험 (II)	성능기반검증실험 (III)		
		↓	표준단면 실험/ 말뚝 고정점 위치, 지반 모델링 등 응답 스펙트럼 설계법 검증	지진강도 증가에 따 른 목표성능의 만족 여부 검증	지반조건 변화에 따 른 목표성능의 만족 여부 검증/ 성능기 반 설계단면 검증	성능기반설계법 정립 설계 매뉴얼 작성	
		국외 성능기반설계 법 및 동적 수치해석 기법 분석					
		응답스펙트럼 해석 을 위한 잔교식 안벽 모델링 기법 분석	응답 스펙트럼 해석	표준단면에 대한 내진성능평가 (동적 수치해석)			잔교식 안벽 구조 모델링 기법 잔교식 안벽 응답스펙트럼 해석·설계 지침
		↓	↓	↓			
		응답스펙트럼 설계 개선사항 도출	검증실험(I) vs 잔교식 안벽 응답 스펙트럼 해석	잔교식 안벽 구조 모델링 기법 응답스펙트럼 해석·설계 지침			

6. 방파제의 성능기반 내진설계기술 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 방파제의 유사정적설계법 및 성능기반 내진설계 기술 개발

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) “항만 및 어항시설 내진설계 표준서(1999)”에 방파제 및 제방은 흙 구조물로 다루고 있음
- (나) 내진기준은 2등급 붕괴방지수준으로 규정
- (다) 설계지진하중은 설계 수평지진계수(k_h)의 50%수준으로 산정
- (라) 등가정적해석(진도법)에 기초한 활동의 안정성 검토는 가정된 파괴형상의 도식에 재하한 설계지진하중에 대한 안전율(F_s) 산정을 통해 수행 함

(2) 국외 동향

- (가) “항만 시설 기술상의 기준 • 동해설(2007)” 등에 최근 관련내용이 정리되어있음
- (나) 레벨1지진동에 대해서 방파제의 활동, 전도 및 기초지반의 지지력에 대한 안정성을 평가하여야함
- (다) 지진시 파괴에 관한 내진성능평가의 경우에는 동적해석법 등의 상세법을 통해 변형량 등을 직접 평가해 성능이 확보되고 있는지를 평가하는 것이 가능한데 진도법 등의 간이법으로도 가능함
- (라) “ASCE-TCLEE guidelines (Werner, 1998)” 등에 최근 관련내용이 정리되어있음
- (마) 성능수준을 기초로하고 구조물의 중요도 및 경제성과 관련하여, 사용성 수준을 고려하는 OLE(Operating Level Earthquake) 수준과 붕괴수준을 고려하는 CLE(Contingency Level Earthquake) 수준으로 구분
- (바) 미국의 항만 내진설계기준은 구조물의 내진수준정도에 따라 경제성, 불확실성, 그리고 방파제 및 제방의 액상화와 변위한계 등을 고려한 내진설계의 수행을 제시하고 있으며 특히, 구조물의 중요성에 따른 내진해석 및 설계법이 다양하게 정리되어 있음
- (사) 방파제의 내진해석에 사용하는 방법은 간편해석법(Simplified analysis), 간편 동해석법(Simplified dynamic analysis), 동해석법(Dynamic analysis)으로 분류됨

다. 기술개발 필요성

- (1) 항만설계 실무자들의 내진설계 및 내진보강기법 설계에 대한 혼란을 방지하기 위해 방파제의 유사정적설계법에 대한 정립이 시급함
- (2) 국내의 경우 내진설계기술 개발을 위한 항만구조물 지진거동 관측자료가 없으므로 원심모형실험을 수행하여 내진설계 기술 개발 및 검증에 위한 실험자료 구축이 필요함
- (3) 기존 방파제의 내진 성능수준 고도화 및 방파제 내진기능 향상 시급

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
----	---------

1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 설계법 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 방파제형식을 조사하여 표준단면 결정 - 국외 성능기반 설계법을 분석하여 설계 필요사항 도출 - 성능기반 설계를 위한 동적 수치해석 기술 조사 ○ 유사정적 설계법의 개선사항 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 설계기준, 방파제 모델링기법 등 조사 - 표준단면에 대한 유사정적해석의 수행 - 유사정적 설계법의 개선 필요사항 도출 ○ 성능기반설계 문헌조사 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 기준 정리 분석 - 성능기반 설계법 및 동적수치해석 기법 조사
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 검증실험(1) <ul style="list-style-type: none"> - 실험체 제작, 입력지진결정 등 - 표준단면 검증실험을 수행하여 유사정적해석법의 검증에 이용 - 지반변형의 영향 등을 분석 ○ 유사정적 설계법 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 유사정적 검증실험(1) 결과를 활용함 - 설계입력변수(입력지진 하중)의 민감도 분석 ○ 성능기반 설계법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 변위기반 성능 평가를 위한 동적수치해석 기법의 분석 - 방파제의 탄소성 모델링 기법 분석 - 수치해석 모델링 기법의 검증 - 수치해석 기법으로 표준단면에 대한 내진성능평가
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 검증실험(2) <ul style="list-style-type: none"> - 성능기반 설계법의 개발에 이용함 - 성능기반 설계법을 적용한 모형체 제작 (목표 성능수준 적용) - 지진강도 증가에 따른 목표 성능의 만족여부 검증 ○ 유사정적설계법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 검증실험 결과를 활용하여 구조모델링 및 표준단면에 대한 유사정적 설계결과의 적용성 검증 - 유사정적 해석·설계 지침 작성 ○ 성능기반설계법 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 성능기반 설계절차 작성 - 내진성능평가를 위한 동적 수치해석 기술 제안

4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반 검증실험 (3) <ul style="list-style-type: none"> - 성능기반 설계법의 개발에 이용함 - 성능기반 설계법을 적용한 모형체 제작 (목표 성능수준 적용) - 지반조건 변화에 따른 목표성능의 만족여부 검증 ○ 성능기반설계법 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 설계입력 변수에 대한 민감도 분석(1) - 성능기반 검증실험(2) 결과를 활용하여 지진강도에 따른 성능기반 설계결과의 검증 - 수치해석 모델링 및 입력변수 산정기술 개발
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반설계법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 설계입력 변수에 대한 민감도 분석(2) - 성능기반 검증실험(2) 결과를 활용하여 지반조건에 따른 성능기반 설계결과의 검증 - 설계 메뉴얼 작성

마. 최종성과물

- (1) 방파제의 구조 모델링 기법, 입력물성값의 결정, 설계지진 운동의 입력 등을 포함한 유사정적설계법을 정립하고 설계예제 및 지침 작성
- (2) 방파제의 동적 수치해석을 위한 동적 지반물성값 결정, 구조 모델링 방법 정립 등 성능기반 내진설계법을 정립하고 설계예제 및 지침 작성
- (3) 방파제에 대한 원심모형실험 결과의 D/B를 구축하여 향후 내진설계 및 보강기술 개발에 이용함

바. 기대효과

- (1) 방파제의 내진설계방법 정립으로 실무 설계에서의 어려움 해결
- (2) 선진국 수준의 방파제 내진설계기술 개발
- (3) 항만 내진설계기술을 선점하여 해외 항만 설계 프로젝트 수주에 있어 경쟁력을 확보

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1000(백만원) / 5년

아. 기술개발 로드맵

		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종성과물
성능기반 내진설계	방파제	방파제 표준단면 결정	성능기반 설계를 위한 동적 수치해석 기법 개발	성능기반 설계절차 작성 동적 수치해석 기법 검증	지진강도에 따른 내진성능 설계 검증	지반조건에 따른 내진성능 설계 검증 입력변수 민감도 분석	방파제 성능기반 내진설계법 방파제 원심모형실험 D/B
		성능기반설계 조사	성능기반검증실험 (I)	성능기반검증실험 (II)	성능기반검증실험 (III)		
		국외 성능기반설계법 및 동적 수치해석 기법 분석	표준단면 실험/지반변형, 지반 모델링 등 유사정적 설계법 검증	지진강도 증가에 따른 목표성능의 만족 여부 검증	지반조건 변화에 따른 목표성능의 만족 여부 검증/성능기반 설계단면 검증	성능기반설계법 정립 설계 매뉴얼 작성	
		유사정적 해석을 위한 방파제 모델링 기법분석	유사정적 해석	표준단면에 대한 내진성능평가 (동적 수치해석)			방파제 구조 모델링 기법 방파제 유사정적 해석·설계 지침
		유사정적 설계 개선사항 도출	검증실험(1) vs 방파제 유사정적 해석	방파제 구조 모델링 기법 유사정적 해석·설계 지침			

7. 크레인과 파이프라인의 성능기반 내진설계 및 보강 기술 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 부두측 크레인과 파이프라인의 유사정적설계법과 성능기반 내진설계 및 보강 기술 개발

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 국내 법규(어촌.어항법(2014년 개정), 항만법(2014년 개정), 지진재해대책법(2013년 개정) 등)에 크레인을 하역을 위한 기능시설로 분류되어 있으나, 국내 어항.항만에 대한 내진설계기준에서 크레인에 대한 구체적인 내진성능 목표, 내진설계 방법 등이 제공되고 있지 않음
- (나) 크레인 및 파이프라인의 내진해석 모델링에 대한 정립된 가이드라인이 없어 실무 설계자들이 어려움을 겪고 있음
- (다) 크레인 및 파이프라인에 대한 내진설계기준 개발에 대한 국내 연구 추진실적이 없음

(2) 해외 동향

- (가) 국제적인 공통 기준으로 사용될 수 있는 PLANC 설계기준(2002년)에 크레인 구조물의 내진설계에 대한 내용이 포함되어 있음
- (나) 일본은 국토교통성 주관으로 2003년부터 2007년 까지 5년 동안 연구프로그램을 통하여 개발된 기준인 ‘항만시설의 기술기준 및 해설’(2007년)에 크레인의 내진성능목표, 지진응답해석 방법, 성능기준 검토를 위한 변위한계 등이 제시되어 있음
- (다) 미국에서는 2005년부터 2014년까지 10년간 연구결과를 바탕으로 발간된 ASCE/COPRI 61-14(2014년)에 크레인의 내진성능목표, 지진응답해석 방법, 성능기준 검토를 위한 변위한계 등이 제시되어 있음

- (라) 미국의 항만내진설계기준인 ASCE/COPRI 61-14(2014년)는 신뢰성설계 방법 중 Level I에 해당하는 LRFD 방법을 채택하고 있음. 또한 이 기준은 세 가지 수준(OLE, CLE, DE)의 설계지진에 대해 내진성능확보(OLE-‘minimal damage’, CLE-‘controlled and reparable damage’, DE-‘life safety protection’)를 목표로 하고 있음
- (마) ASCE/COPRI 61-14에서는 크레인에 대한 내진성능확보를 위해 OLE에 대해 레일게이지 무변동, CLE에 대해 허용 레일게이지 변동량으로 12.7mm(0.5 inch)를 제시하고 있음
- (바) 항만 및 어항시설의 파이프라인에 대한 국제적으로 통일된 내진설계기준은 없음
- (사) American Lifeline Alliance의 Seismic Design and Retrofit of Piping Systems (2002)에서 원자력발전소, 화학공정시설, 가스 및 송유관, 터미널 등에 사용되는 파이프에 대한 내진기준을 제시하고 있지만, 항만의 파이프라인에 대한 기준은 없음
- (아) Eurocode 8에서는 지상 및 매설 파이프라인에 대한 내진설계기준을 제시함. 하지만, 항만의 파이프라인에 대한 기준은 없음

다. 기술개발 필요성

- (1) 지진재해대책법에 의거하여 항만 및 어항시설의 내진설계가 요구되고, 이에 따라 항만 및 어항시설의 파이프라인에 대한 내진설계기준이 정립되어야 함
- (2) 재래식 항만 크레인(레일게이지 15m 내외)에 비해 현대식 점보 크레인(레일게이지 30m 내외)이 지진에 대해 훨씬 취약한 구조형식이므로, 국가 기간시설물인 부두측 크레인의 내진성능 확보를 위한 연구가 전 세계적으로 활발하게 수행되고 있음. 따라서 국내에서도 국제적인 기술개발 동향에 부응하고 세계시장 진출을 위해 부두측 크레인의 내진설계기술개발이 체계적으로 수행되어야 함

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유사정적설계 개선사항 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 건축물 또는 강구조물 내진설계기준의 유사정적해석기법을 부두측 크레인의 내진설계에 적용하기 위한 절차 정립 - 대표 크레인(레일게이지 15m 내외 재래식 크레인, 레일게이지 30m 내외 점보 크레인)에 대한 유사정적해석 수행 - 기존 파이프라인 내진설계기준을 항만/어항에 적용하기 위한 유사정적해석기법 정립 - 대표적인 파이프라인에 대한 유사정적해석 수행 ○ 성능기반설계 문헌조사 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 부두측 크레인 및 파이프라인 내진설계기준 조사 - 국내외 부두측 크레인 및 파이프라인 내진보강기준 조사 - 국내외 부두측 크레인 및 파이프라인 내진성능평가방법 조사 - 국내외 부두측 크레인 및 파이프라인 내진성능평가방법 조사 - 항만 및 어항에 설치된 크레인의 구조적 특징 분석 - 항만 및 어항에 설치된 파이프라인의 구조적 특징 분석

4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유사정적설계법 개선 <ul style="list-style-type: none"> - 크레인 구조체의 비선형 거동 및 크레인 한쪽 들림 등의 비선형 거동 고려 방법 - 부두와 크레인의 상호작용 고려 방법 - 지반과 파이프라인의 상호작용 고려 방법 - 대표 크레인 및 파이프라인에 대한 비선형 동적해석 수행 - 동적해석 결과를 활용하여 유사정적설계법 개선 - 설계입력변수(크레인/파이프라인의 종류, 부두의 형식, 레일기초의 종류, 입력지진 특성 등)의 민감도 분석 ○ 성능기반설계법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 크레인 레일게이지 변동량에 대한 성능목표 설정 - 파이프라인의 상대변위에 대한 성능목표 설정 - 변위기반 성능 평가를 위한 유사정적해석 및 동적수치해석 기법의 분석 - 수치해석 기법으로 표준단면에 대한 내진성능평가 - 기존 시설물의 내진성능 보강 방법 제안: (1) 기존 크레인의 연성증대를 위한 보강기술, (2) 기존 크레인의 지진격리 기술, (3) 기존 파이프라인의 내진성능 보강 기술
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유사정적설계법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 구조모델링 및 표준단면에 대한 비선형 동적설계 결과의 적용성 검증 - 구조모델링 및 표준단면에 대한 유사정적 설계 결과의 적용성 검증 - 설계 메뉴얼의 작성 ○ 성능기반설계법 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 수평 및 수직 성분을 동시에 고려한 유사정적 및 동적 지진해석 수행 - 수직지진의 크기가 내진성능에 미치는 영향 분석 - 방향별 지진해석 조합방법 - 성능기반 설계절차 작성 - 내진성능평가를 위한 유사정적 수치해석 기술 제안 - 내진성능평가를 위한 동적 수치해석 기술 제안 - 내진보강 구조물에 대한 수치해석 결과를 바탕으로 내진보강해석 가이드라인 개발 - 크레인 및 파이프라인에 대한 내진성능평가절차서 작성 - 크레인 및 파이프라인에 대한 성능기반설계기준서 작성

마. 최종성과물

- (1) 부두측 크레인 및 파이프라인의 구조 모델링 기법, 입력물성값의 결정, 설계지진 운동의 입력 등을 포함한 유사정적설계법을 정립하고 설계예제 및 지침 작성
- (2) 부두측 크레인 및 파이프라인의 구조 모델링 기법, 입력물성값의 결정, 설계지진 운

- 동의 입력 등을 포함한 동적설계법을 정립하고 설계예제 및 지침 작성
- (3) 부두측 크레인 및 파이프라인의 성능기반 내진설계기준 개발
- (4) 부두측 크레인 및 파이프라인의 내진보강절차서 개발

바. 기대효과

- (1) 부두측 크레인 및 파이프라인의 내진설계방법 정립으로 실무 설계에서의 어려움 해결
- (2) 내진설계기술의 향상으로 고급 기술인력 양성 및 국내 건설기업의 해외진출을 위한 설계 기술력 제고
- (3) 성능기반 설계법을 정립하여 목표 내진성능 수준을 만족시킬 수 있는 항만 구조물을 시공함으로써 국가 사회기반 시설의 안정성 확보

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 900(백만원) / 3년

아. 기술개발 로드맵

		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종성과물
성능기반 내진설계	크레인/ 파이프라인			크레인/파이프라인 내진설계절차 정립	크레인/파이프라인 동적해석	크레인/파이프라인 동적해석 적용성 검증	부두측 크레인 및 파 이프라인 유사정적설 계법 정립
				대표적인 크레인/ 파이프라인에 대한 유사정적해석	동적해석결과와 유 사정적해석결과 비교	크레인/파이프라인 유사정적해석 적용성 검증	
				유사정적설계 개선사항 분석	유사정적설계법 개선	유사정적설계법 정립	
				국내외 내진설계기 준 조사	성능목표 설정	방향별 지진해석 조합방법	부두측 크레인 및 파 이프라인 성능기반 내진설계법 정립
				국내외 내진성능평 가방법 조사	동적해석/유사정적 해석 결과 분석	동적해석/유사정적 해석 기술 정립	
				성능기반설계 문헌조사	성능기반설계법 개선	성능기반설계법 개발	

8. 간극수의 동적거동을 고려한 유효응력 개념의 내진해석기법 정립

가. 기술개발 목표

- (1) 국내 적합한 액상화 평가기법(액상화 예비평가, 간이평가, 상세평가)의 재정립
- (2) 국내 지반 및 지진특성을 고려한 한국형 유효응력개념의 내진해석기법 정립

나. 기술개발 현황 및 수준

- (1) 국내 동향

(가) 국내의 경우, 항만 및 어항시설 내진설계표준서에 액상화 예비평가, 간이평가, 상세

평가로 구분됨. 이는 Seed와 Idriss의 등가응력개념에 기초한 액상화 평가이론을 국내 적용을 위해 보완한 것임. 그러나 Seed와 Idriss가 제안한 이론은 세계적으로 6.5 이상의 지진피해자료와 실내시험 등을 토대로 제안된 것으로 중약진 지역의 국내 지진 및 지반특성을 적절하게 반영하고 있다고 보기 힘들. 이러한 이유로 지진 자료가 부족한 국가에서는 실내동적시험 등을 통해 자국의 지반특성 및 지진특성을 고려한 적용성 검토 연구를 통해 자국 실정에 맞는 액상화 평가기법을 선정하고 있음.

- (나) 현행 액상화 평가에 관한 시방을 보면, 간이평가시 허용안전율은 1.5이고 상세평가시 허용안전율은 1.0으로 일반적으로 간이평가수행 후, 허용안전율 미충족시 상세평가를 수행하도록 규정되어 있음. 그러나, 간이평가시 허용안전율 1.5는 중약진지대의 유럽지역에서 사용하는 허용안전율 1.25보다 다소 과다하여 이에 대한 재정립의 요구가 현업에서 크게 대두됨.
- (다) 최근, 기존 시설물의 지반 및 기초 내진성능평가요령(2012)에서는 액상화 간이평가 후 허용안전율이 1.5 이하일 때 추가적으로 수행되는 국내의 실내진동시험을 통한 액상화 상세평가가 액상화 안전율 미확보시 이를 확보하기 위한 도구로 이용되고 경우가 증가하고 있음이 알려지게 되어 간이평가시 액상화 안전율이 1 이하인 경우에는 액상화 대책을 강구하고 액상화 안전율이 1~1.5인 경우, 상세평가를 수행하는 것으로 보완됨. 그러나, 이 요령이 아직까지 기준검토 인증을 받지 못하고 있는 실정임.
- (라) 이상과 같이 현행 액상화 평가에 관한 내진시방이 2원화되고 있으며 이에 대한 국내 적용성 여부가 보완되지 않은 상태이므로 이에 대한 보완연구가 시급한 실정임.
- (마) 국내에서는 연세대학교 김수일, 박인준, 최재순 등을 중심으로 유효응력개념의 내진 해석이 수행된 바 있으나 이는 미국의 Desai 교수, 캐나다의 Finn교수, 일본의 Iai 교수 등의 연구사례에 대한 분석연구 수준으로 국내 순수기술로 개발된 내진해석 기법은 전무한 실정임.
- (바) 국내 수치해석 소프트웨어 개발회사들이 내진해석분야에 대한 관심이 고조되고 있으며 현재 전응력 개념의 내진해석은 가능한 수준임.

(2) 국외 동향

- (가) 일본의 항만 내진설계기준에서는 액상화 안전율이 아닌 액상화 발생가능성을 4단계로 액상화 발생가능성이 조금이라도 있는 경우에는 실내진동시험을 수행하도록 되어 있으며 액상화 발생가능성은 균등계수에 따른 입도분포, 표준관입저항치, 그리고 세립분 함유량 등 흙의 성질과 지진가속도를 비교하여 산정가능하도록 도표화되어 있음.
- (나) 미국의 경우, Seed와 Idriss의 방법을 사용하고 있으나 내진시방에 지표면 최대 및 유효 가속도에 관한 규정이 포함되어 이 방법의 이용이 원활한 반면, 국내의 경우, 기반암에서의 가속도 기준만을 규정하고 있는 관계로 이 방법을 수정하여 사용하고 있는 실정임.
- (다) 80년대 전후로 컴퓨터의 발달과 함께 수치해석기법의 이용이 급증하게 되었으며 내진해석에서도 지진시 지반 내 간극수의 거동을 포함하여 해석하는 유효응력개념

의 해석법 개발연구가 시작됨. 이후, Finn모델의 개발을 시작으로 일본 항만 내진 해석용 FLIP프로그램, 미국의 DSC모델과 같은 유효응력해석 모델이 연구발표됨. 이들 유효응력해석모델을 이용한 수치해석기법의 개발은 Finn모델의 경우, 유한차분법을 이용한 해석프로그램으로 널리 알려진 FLAC 프로그램에 적용되어 매개변수의 단순화 등 여러 부분에 있어서 발전을 거듭해 최근 국내 연구진에서도 이용빈도가 높아지고 있는 실정이며 일본의 경우, FLIP연구회를 통해 FLIP프로그램의 지속적인 보완이 계속되어 최근에는 항만 및 어항시설의 내진해석에 매우 유용하게 이용되고 있는 실정임.

다. 기술개발 필요성

- (1) 설계 실무자들의 액상화 평가기법의 세부지침에 대한 내용이 2원화되어 국내 실정을 반영한 액상화 평가기법의 정립이 시급함
- (2) 국내의 경우, 액상화 피해자료가 전무하므로 실내진동시험과 같은 실험연구를 통해 실제 국내 지반 및 지진특성을 고려한 액상화 평가기법이 정립될 필요가 있음.
- (3) 과거 항만 및 어항시설의 지진피해 사례조사에서 지반 내 간극수압의 영향으로 인한 지반변형에 의한 손상이 많이 발생하였기 때문에, 이를 평가할 수 있는 유효응력개념의 내진해석기법의 정립이 필요함. 특히, 현재 유효응력개념의 내진해석이 가능한 범용프로그램은 국외프로그램으로 국내의 소프트웨어의 발전을 위해서도 한국형 유효응력해석기법의 개발이 시급함.
- (4) 국외 성능기반 내진설계법의 적용이 확대됨에 따라 국내에서도 관련 설계법을 개발하고 보급하는 것이 시급함.
- (5) 국내의 경우 내진설계기술 개발을 위한 항만구조물 지진거동 관측자료가 없으므로 원심모형실험, 진동대시험 등과 같은 지진모의시험을 수행하여 내진설계 기술 개발 및 검증을 위한 실험자료 구축이 필요함.

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 액상화 평가기법 문헌조사 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 액상화 평가기법 비교분석 - 한국형 액상화 평가기법 개발을 위한 중점연구 사항 도출 ○ 유효응력해석기법에 대한 문헌조사 <ul style="list-style-type: none"> - 국외의 Finn모델(FLAC), FLIP 프로그램에 대한 문헌조사 - 각 해석기법에서의 유효응력해석모델 파라미터 비교분석

2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액상화 평가를 위한 실내시험 <ul style="list-style-type: none"> - 실지진하중 모사가 가능한 한국형 정현하중 조합모델 개발 - 실내진동시험의 수행 - 기존 및 새로운 정현하중 조합모델을 이용한 실내실험결과 비교분석 ○ 한국형 액상화 평가기법 개발 1 <ul style="list-style-type: none"> - 액상화 예비평가를 위한 액상화 평가생략기준 재정립 ○ 국외 유효응력해석기법 사례연구 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 항만 및 어항시설 피해사례에 대한 유효응력해석 수행 - Finn모델 및 FLIP 해석결과 간의 비교분석
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유효응력해석기법 파라미터 산정을 위한 실내실험 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 주문진 표준사를 대상으로 한 실내진동실험의 수행 - 간극수압관련 파라미터의 산정 및 비교 ○ 한국형 액상화 평가기법 개발 2 <ul style="list-style-type: none"> - 한국형 액상화 간이평가 기법 정립 및 검증 - 액상화 간이평가를 위한 매뉴얼 작성 ○ 한국형 유효응력해석기법 개발 1 <ul style="list-style-type: none"> - 한국형 유효응력해석기법 개발을 위한 국내 유한요소해석 프로그램의 적용가능성 검토
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한국형 유효응력해석기법 개발을 위한 파라미터의 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 현장지반조사결과와 실내진동실험결과를 이용한 간극수압 관련 파라미터 간의 상관관계 연구 ○ 한국형 액상화 평가기법 개발 3 <ul style="list-style-type: none"> - 한국형 액상화 상세평가 기법 정립 및 적용성 검토 - 액상화 상세평가를 위한 매뉴얼 작성 - 액상화 평가예제 수록 ○ 한국형 유효응력해석기법 개발 2 <ul style="list-style-type: none"> - 한국형 유효응력해석기법 개발을 위한 간극수압 관련 파라미터의 산정 및 검증
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한국형 유효응력해석기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 해외 항만 및 어항시설 피해사례에 대한 수치시뮬레이션을 통한 해석기법의 적용성 검토 - 한국형 유효응력해석기법 매뉴얼 작성

마. 최종성과물

- (1) 유효응력개념의 내진해석을 위한 실내동적시험의 수행 및 유효응력개념의 입력파라미터의 결정, 구조 모델링 방법 정립 등 한국형 유효응력개념의 내진설계가 가능한 해석기법을 정립하고 설계예제 및 매뉴얼 작성
- (2) 실내진동실험 및 항만 및 어항시설에 대한 지진모의실험 결과들의 D/B를 구축하여 향후 내진설계 및 보강기술 개발에 이용함

바. 기대효과

- (1) 항만 및 어항시설의 지형학적 특성 상 지진시 액상화 발생가능성이 매우 높으므로 국내 적합한 액상화 평가기법의 정립을 통해 신설 시설물의 기초 및 지반의 내진설계 또는 현행 시설물 기초 및 지반의 내진안정성 평가 및 대책마련에 효과적으로 이용될 수 있음.
- (2) 내진설계기술의 향상으로 고급 기술인력 양성 및 국내 건설기업의 해외진출을 위한 설계 기술력 제고
- (3) 보다 신뢰성 있는 유효응력개념의 수치해석기법을 기초로 한 한국형 내진해석 프로그램을 정립하여 목표 내진성능 수준을 만족시킬 수 있는 항만 및 어항 시설물을 시공함으로써 국가 사회기반 시설의 안정성 확보함과 동시에 건설관련 설계분야 소프트웨어 산업의 발전에 기여함.

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1200(백만원) / 5년

아. 기술개발 로드맵

		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종성과물
성능기반 내진설계	액상화 및 유효응력 해석	<p>국내외 액상화 평가 기법 문헌조사</p> <p>↓</p> <p>• 국내외 액상화 평가 기법 비교분석 • 한국형 액상화 평가 기법 개발을 위한 중점연구사항 도출</p>	<p>액상화 평가를 위한 실내실험</p> <p>↓</p> <p>• 실시간하중모사가 가능한한국형정현 하중조합모델 • 실내진동실험수행</p> <p>한국형 액상화 평가 기법 개발1 [액상화 예비평가를 위 한 액상화 평가생략기준 제정]</p>	<p>한국형 액상화 평가 기법 개발2 [한국형 액상화 간 이평가 기법정립 및 검증, 액상화 간이평 가를 위한 매뉴얼 작 성]</p>	<p>한국형 액상화 평가 기법 개발3 [한국형 액상화 상 세평가 기법 정립, 액상화 상세평가 매 뉴얼 작성, 액상화 평가예제 수록]</p>		<p>국내 액상화 평가기 법 정립을 위한 실험 수행 및 평가예제 및 지침 작성</p> <p>실내진동실험 및 지 진모의실험 결과 D/B구축</p>
		<p>유효응력해석기법 문헌 조사</p> <p>↓</p> <p>• 국외의(Fnn, Rsp)프로 그램문헌조사 • 각해석기법에서의 유효응력해석모델 파라미터비교분석</p>	<p>국외 유효응력해석 기법 사례연구</p> <p>↓</p> <p>• 국외 항만및어항시 설피해사례에 대한 유효응력해석수행 • Fnn모델및Rsp해석 결과간의비교분석</p>	<p>• 실내진동실험 • 간극수압관련파라 미터산정및비교</p> <p>↓</p> <p>유효응력해석기법 파라미터 산정을 위 한 실내실험</p> <p>한국형 유효응력해 석기법 개발1 [한국형 유효응력해석 기법 개발을 위한 국내 유한요소해석 프로그램 의 적용가능성 검토]</p>	<p>• 현장지반조사결과, 실내진동시험결과 를이용간극수압관 련파라미터사관관 계연구</p> <p>↓</p> <p>한국형 유효응력해 석기법 개발을 위한 파라미터 산정</p> <p>한국형 유효응력해 석기법 개발2 [한국형 유효응력해석 기법 개발을 위한 간극 수압관련 파라미터의 산 정 및 검증]</p>	<p>한국형 유효응력해 석기법 개발3 [해석기법의 적용성 검토, 한국형 유효응 력해석기법 매뉴얼 작성]</p>	<p>유효응력개념의 내진 해석을 위한 해석기 법 정립 및 매뉴얼 작성</p>

9. 성능기반내진설계기준 단면개발 및 경제성 분석

가. 기술개발 목표

- (1) 개발된 성능기반내진설계기준에 적합한 대표단면 및 예제 작성, 기존 설계법과의 경제성 비교 분석 (VE)

나. 기술개발 현황 및 수준

- (1) 국내 동향

- (가) '13년도 9월 기준 내륙과 바다를 잇는 물류거점인 항만시설에 대한 내진설계 비율이 매우 취약한 것으로 조사됨. (지난해 9월 새누리당 이운룡 의원이 해양수산부로부터 입수한 자료에 따르면 666개 항만시설 가운데 내진성능이 확보된 비율은 59.6%에 불과한 것으로 조사.)
- (나) 국내 항만 및 어항설계기준은 2014년 개정판이 출판되었으나, 허용응력설계법에 기반하여 세계적인 추세에 부응하지 못하고 있는 실정이다. 또한 신뢰성설계법이 전면적으로 도입되지 못하고 부록에 실린 상태이며 본격적인 후속 사업을 통해 선진국과 같은 신뢰성설계법의 전면도입을 시급히 추진해야 함.
- (다) 선진 내진설계 기준을 현업실무자들의 의견 반영 없이 단순도입, 적용시키고 있어 관련 산업의 기술력 향상에 이바지하기 어려운 실정임.

(2) 국외 동향

- (가) 일본의 경우 항만 및 어항설계기준이 신뢰성 설계기법으로 개정되었으며 각 구조물에 따른 설계 예제 및 검증 방법이 제시되어 있어 현업 실무자들의 혼란을 방지하고 있음.
- (나) 미국의 경우 ASCE/COPRI 61-14 와 LRFD 에 의해 신뢰성 설계기법을 활용하여 항만 및 어항 시설물을 내진설계하고 있으며 성능기반내진설계를 반영하여 각 구조물에 대한 변형률 한계를 제시하고 있음.

다. 기술개발 필요성

- (1) 현업 실무자들에 의견이 반영된 설계기준 개정 마련
- (2) 공공재에 대한 정부차원의 항만 안정성 확보

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만 및 어항 구조물의 설계 현황 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 항만 시설의 설계 현황 파악 및 단면 수집 - 대표단면 설정 ○ 현업 실무자 공청회 ○ 국내 실정에 맞는 설계방법 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 내진설계시 현업 실무자들의 문제점 파악 - 혼란 해소를 위한 해결방법 분석 (예제, 절차서, 수치해석프로그램 등)
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능기반의 대상구조물 내진설계 대표단면 예제 및 설계단면 완성 <ul style="list-style-type: none"> - 동해석 및 실 대형시험을 통해 검증된 내진설계기준을 토대로 성능기반의 내진설계 표준예제 및 설계단면
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 설계법과 경제성 분석 (VE) <ul style="list-style-type: none"> - 작성된 설계단면의 경제성 분석 및 해외 설계기준과의 비교 분석

5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대표단면 예제에 대하여 현업 실무자간의 설계 방법 교육 및 의견수렴 ○ 성능기반의 대상구조물 내진설계 대표단면 예제 및 설계단면 완성 <ul style="list-style-type: none"> - 동해석 및 실 대형시험을 통해 검증된 내진설계기준을 토대로 성능기반의 내진설계 표준예제 및 설계단면
------	--

마. 최종성과물

- (1) 현행 항만 및 어항 시설물의 대표단면 설정
- (2) 개정된 성능기반내진설계 기반의 예제 및 표준설계단면 제시
- (3) 성능기반내진설계 기반의 표준설계단면 경제성 분석 (VE)

바. 기대효과

- (1) 향후 예상되는 항만 시설물의 내진보강사업에 있어서, 건설비용을 크게 절감할 수 있을것으로 기대되며 특히 이러한 기술력은 관련 산업계의 세계시장에서 경쟁력 확보에 기여할 수 있음.
- (2) 현업에서 혼란을 겪는 문제를 해소하고 항만 및 어항 설계기준이 반영된 신뢰성 있는 예제 및 설계단면 활용 가능

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1050(백만원) / 4년

아. 기술개발 로드맵

		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종성과물
성능기반 내진설계	성능기반내진설계기준 단면개발 및 경제성 분석		항만 및 어항구조물의 설계 현황 파악 ↓ 국내항만시설의설계 현황파악및단면수집 대표단면 설정 ↓ 현업 실무자 공청회 ↓ 국내실정에맞는설계 방법조사 내진설계시현업실무 자들의문제점조사	동해석 및 실험을 통 해 검증된 내진설계 기준을 이용 ↓ 성능기반의 대상 구 조물 별 내진설계 대 표단면 예제 및 설계 단면 완성	기존 설계법과 경제 성 분석 (VE) ↓ 작성된 설계단면의 경제성 분석 및 해외 설계기준과의 비교 분석	대표단면 예제에 대 한 현업 실무자간의 설계방법 교육 및 의 견수렴 ↓ 성능기반의 대상구 조물 내진설계 대표 단면 예제 및 설계단 면 작성	현행항만및어항시설물 의대표단면 설정 ↓ 개정된 성능기반내진 설계 기반의 예제 및 표준설계단면 제시 ↓ 성능기반내진설계 기 반의 표준설계단면 경제성 분석

제3절 신뢰성 설계 주요 요소기술

1. 중력식 안벽구조물의 신뢰성기반 한계상태 설계기준 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 결정론적 방법으로 제정된 현행 항만 및 어항 설계기준(2014)을 국제적 추세에 부응하
기 위하여 신뢰성 기반 설계기준으로 개발함.

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 2006~2011년 동안 항만구조물 신뢰성설계법 개발 연구를 통하여 중력식 항만 계류 시설에 대한 신뢰성설계법을 개발한 바 있음.
- (나) 위 과제에서 케이슨식 안벽구조물에 대한 Level I, II, 및 III 신뢰성설계법을 개발하고 LCC 분석을 통해 최적 신뢰도지수를 산정함.
- (다) 최적신뢰도지수에 의한 부분안전계수를 제시하여 Level I 신뢰성설계가 가능하도록 함.
- (라) 그러나, 여기에서는 케이슨식 안벽구조물에 대한 신뢰성설계법만을 다루었으며 중력식구조물 중에 다른 형식인 L형 안벽, 콘크리트 블록식 안벽, 셀블럭식 안벽, 등에 대한 신뢰성설계법은 다루어지지 않음.

(2) 국외 동향

- (가) 일본은 2007년 항만설계기준을 개정하였으며 여기에서 중력식 안벽의 부분안전계수를 이용한 신뢰성설계를 할 수 있게 되었다.
- (나) 유럽에서는 2009년 EN 1990~EN1999 의 최종판을 완성하여 유럽각국에서 부분안전계수 기반 신뢰성설계가 가능하도록 하였다.
- (다) 중국은 1992년부터 모든 항만구조물의 신뢰성기반 설계가 가능하도록 설계기준을 개정하였으며 2010년 개정판이 현재까지 적용되고 있다.

다. 기술개발 필요성

- (1) 항만시설 신뢰성설계 기준의 국제적 추세에 대응
- (2) 항만건설산업의 해외시장 진출을 위한 기술적 토대 확보.
- (3) 태풍 및 지진의 대형화로 인한 자연재해의 피해저감 필요.

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중력식 안벽 구조물의 중요도 및 목표성능 결정 <ul style="list-style-type: none"> - 구조요소 및 하부기초의 한계상태별 합리적 성능수준 결정 ○ 안정성평가를 위한 한계상태 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 극한한계, 사용한계 조건에 대한 한계상태식(설계기준식) 정립 ○ 설계확률변수 결정 및 확률특성 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 설계기준식에 적용되는 확률변수에 대한 확률통계특성 분석 ○ 기존 연구결과의 보완점 분석 ○ prototype 구조설계안 결정

2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ FORM 해석을 통한 한계상태별 중력식 안벽 구조물의 신뢰성해석 ○ 구조요소 및 하부기초의 파괴모드별 부분안전계수 산정 ○ 한계상태별 설계변수에 대한 특성값 적용 기준 정립 ○ 설계실무자에 의한 부분안전계수 검증(결정론적 설계법과 비교)
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부분안전계수와 설계변수 특성값 적용기준에 대한 설계실무전문가 그룹의 의견수렴 ○ 하부기초를 포함한 구조물 파괴모드별 부분안전계수 및 설계변수 특성값 적용기준 결정 ○ 잠정안(interim report) 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 중력식 안벽구조물의 신뢰성기반 항만설계기준(안)개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 잠정안(interim report)에 의한 실규모 안벽구조물 설계 및 검토 ○ 설계시 문제점 도출 및 계수 조정 ○ 잠정안(interim report) 보완
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만 및 어항 설계기준 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 중력식 안벽 설계기준 집필진 구성 - 잠정안(interim report)을 반영한 설계기준 작성 - 전문가 및 실무자 자문회의 ○ 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개정 <ul style="list-style-type: none"> - 중력식 안벽 설계기준 및 신뢰성설계 사례집 출간

마. 최종성과물

- (1) 중력식 안벽구조물의 신뢰성기반 설계기준
- (2) 중력식 안벽구조물의 신뢰성설계 사례집

바. 기대효과

- (1) 국제수준의 중력식 안벽구조물 신뢰성설계법 개발을 통한 기술력제고
- (2) 국내 건설사의 해외 항만개발 프로젝트 참여시 기술력 제고
- (3) 자연재해 대비 중력식 안벽구조물의 안전성 향상
- (4) 생애주기 차원의 총비용(LCC)저감을 통한 경제적 항만설계 가능

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1200(백만원) / 5년

2. 잔교식 안벽구조물의 신뢰성기반 한계상태 설계기준 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 결정론적 방법으로 제정된 현행 항만 및 어항 설계기준(2014)을 국제적 추세에 부응

하기 위하여 신뢰성 기반 설계기준으로 개발함.

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 2006~2011년 동안 항만구조물 신뢰성설계법 개발 연구를 통하여 잔교식 항만 계류시설에 대한 신뢰성설계법을 개발한 바 있음.
- (나) 위 과제에서 두 종류의 구조물에 대한 Level I, II, 및 III 신뢰성설계법을 개발하고 LCC 분석을 통해 최적 신뢰도지수를 산정함.
- (다) 최적신뢰도지수에 의한 부분안전계수를 제시하여 Level I 신뢰성설계가 가능하도록 함.
- (라) 그러나, 여기에서는 횡잔교, 돌제식 잔교 두가지에 대해서만 말뚝의 응력기준 안전성 설계만을 다루었으며, 그 외의 형식인 직항식, 사항식 등에 대한 신뢰성설계법이나 다른 한계상태인 말뚝의 인발, 상부구조물의 변위 등에 대한 신뢰성설계법을 다루지 않았다.

(2) 국외 동향

- (가) 일본은 2007년 항만설계기준을 개정하였으며 여기에서 중력식 안벽의 부분안전계수를 이용한 신뢰성설계를 할 수 있게 되었다.
- (나) 유럽에서는 2009년 EN 1990~EN1999 의 최종판을 완성하여 유럽각국에서 부분안전계수 기반 신뢰성설계가 가능하도록 하였다.
- (다) 중국은 1992년부터 모든 항만구조물의 신뢰성기반 설계가 가능하도록 설계기준을 개정하였으며 2010년 개정판이 현재까지 적용되고 있다.

다. 기술개발 필요성

- (1) 항만시설 신뢰성설계 기준의 국제적 추세에 대응
- (2) 항만건설산업의 해외시장 진출을 위한 기술적 토대 확보.
- (3) 태풍 및 지진의 대형화로 인한 자연재해의 피해저감 필요.

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
----	---------

1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 잔교식 안벽 구조물의 중요도 및 목표성능 결정 <ul style="list-style-type: none"> - 말뚝기초를 포함한 구조요소 및 흙막이부의 한계상태별 합리적 성능수준 결정 ○ 안정성평가를 위한 한계상태 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 말뚝기초를 포함한 구조부재의 한계상태조건에 대한 한계상태식(설계기준식) 정립 ○ 설계확률변수 결정 및 확률특성 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 설계기준식에 적용되는 확률변수에 대한 확률통계특성 분석 ○ 기존 연구결과의 보완점 분석 ○ prototype 구조설계안 결정
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 잔교식 안벽 구조물의 신뢰성해석을 위한 개선된 형태의 FORM 해석기법(응답면 기법 등) 도입 및 개발 ○ 개선된 형태의 FORM 해석을 통한 한계상태별 잔교식 안벽 구조물의 신뢰성해석 ○ 말뚝 및 구조요소, 흙막이부의 파괴모드별 부분안전계수 산정 ○ 한계상태별 설계변수에 대한 특성값 적용 기준 정립 ○ 설계실무자에 의한 부분안전계수 검증(결정론적 설계법과 비교)
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부분안전계수와 설계변수 특성값 적용기준에 대한 설계실무전문가 그룹의 의견수렴 ○ 하부기초를 포함한 구조물 파괴모드별 부분안전계수 및 설계변수 특성값 적용기준 결정 ○ 잠정안(interim report) 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 잔교식 안벽구조물의 신뢰성기반 항만설계기준(안)개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 잠정안(interim report)에 의한 실규모 잔교식 안벽구조물 설계 및 검토 ○ 설계시 문제점 도출 및 계수조정 ○ 잠정안(interim report)보완
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만 및 어항 설계기준 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 잔교식 안벽 설계기준 집필진 구성 - 잠정안(interim report)을 반영한 설계기준 작성 - 전문가 및 실무자 자문회의 ○ 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개정 <ul style="list-style-type: none"> - 잔교식 안벽 설계기준 및 신뢰성설계 사례집 출간

마. 최종성과물

- (1) 잔교식 안벽구조물의 신뢰성기반 설계기준
- (2) 잔교식 안벽구조물의 신뢰성설계 사례집

바. 기대효과

- (1) 국제수준의 중력식 안벽구조물 신뢰성설계법 개발을 통한 기술력제고
- (2) 국내 건설사의 해외 항만개발 프로젝트 참여시 기술력 제고
- (3) 자연재해 대비 중력식 안벽구조물의 안전성 향상
- (4) 생애주기 차원의 총비용(LCC)저감을 통한 경제적 항만설계 가능

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1000(백만원) / 5년

3. 널말뚝식 및 기타(타이로드식, 돌핀 등) 안벽구조물의 신뢰성기반 한계상태 설계기준 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 결정론적 방법으로 제정된 현행 항만 및 어항 설계기준(2014)을 국제적 추세에 부응하기 위하여 신뢰성 기반 설계기준으로 개발함.

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 널말뚝식, 타이로드식 및 돌핀 식 안벽구조물에 대한 신뢰성설계법은 국내에서 개발된 사례를 찾을 수 없음.

(2) 국외 동향

- (가) 일본은 2007년 항만설계기준을 개정하였으며 여기에서 중력식 안벽의 부분안전계수를 이용한 신뢰성설계를 할 수 있게 되었다.
- (나) 유럽에서는 2009년 EN 1990~EN1999 의 최종판을 완성하여 유럽각국에서 부분안전계수 기반 신뢰성설계가 가능하도록 하였다.
- (다) 중국은 1992년부터 모든 항만구조물의 신뢰성기반 설계가 가능하도록 설계기준을 개정하였으며 2010년 개정판이 현재까지 적용되고 있다.

다. 기술개발 필요성

- (1) 항만시설 신뢰성설계 기준의 국제적 추세에 대응
- (2) 항만건설산업의 해외시장 진출을 위한 기술적 토대 확보.
- (3) 태풍 및 지진의 대형화로 인한 자연재해의 피해저감 필요.

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
----	---------

1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 널말뚝식 안벽 구조물의 중요도 및 목표성능 결정 <ul style="list-style-type: none"> - 널말뚝을 포함한 구조요소의 한계상태별 합리적 성능수준 결정 ○ 안정성평가를 위한 한계상태 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 극한한계, 사용한계 조건에 대한 한계상태식(설계기준식) 정립 ○ 설계확률변수 결정 및 확률특성 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 설계기준식에 적용되는 확률변수에 대한 확률통계특성 분석 ○ 기존 연구결과의 보완점 분석 ○ prototype 구조설계안 결정
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 널말뚝 해석방법별 신뢰도 분석기법 ○ FORM 해석을 통한 한계상태별 널말뚝식 안벽 구조물의 신뢰성해석 ○ 파괴모드별 부분안전계수 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 널말뚝 해석방법별 부분안전계수 산정 ○ 한계상태별 설계변수에 대한 특성값 적용 기준 정립 ○ 설계실무자에 의한 부분안전계수 검증(결정론적 설계법과 비교)
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부분안전계수와 설계변수 특성값 적용기준에 대한 설계실무전문가 그룹의 의견수렴 ○ 구조물 파괴모드별 부분안전계수 및 설계변수의 특성값 적용기준 결정 ○ 잠정안(interim report) 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 널말뚝식 및 기타 안벽구조물의 신뢰성기반 항만설계기준(안)개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 잠정안(interim report)에 의한 실규모 널말뚝식 및 기타 안벽구조물 설계 및 검토 ○ 설계시 문제점 도출 및 계수조정 ○ 잠정안(interim report)보완
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만 및 어항 설계기준 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 널말뚝식 및 기타 안벽 설계기준 집필진 구성 - 잠정안(interim report)을 반영한 설계기준 작성 - 전문가 및 실무자 자문회의 ○ 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개정 <ul style="list-style-type: none"> - 널말뚝식 및 기타 안벽 설계기준 출간

마. 최종성과물

- (1) 널말뚝식 및 기타 안벽구조물의 신뢰성기반 설계기준
- (2) 널말뚝식 및 기타 안벽구조물의 신뢰성설계 사례집

바. 기대효과

- (1) 국제수준의 중력식 안벽구조물 신뢰성설계법 개발을 통한 기술력제고
- (2) 국내 건설사의 해외 항만개발 프로젝트 참여시 기술력 제고

- (3) 자연재해 대비 중력식 안벽구조물의 안전성 향상
- (4) 생애주기 차원의 총비용(LCC)저감을 통한 경제적 항만설계 가능

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 800(백만원) / 5년

4. 깊은기초 신뢰성기반 한계상태 및 설계기준서 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 항만 구조물의 깊은기초에 대한 신뢰성기반 한계상태 설계기준 개발함

나. 기술개발 현황 및 수준

- (1) 국내 동향

(가) 기초분야의 경우 국내에서는 처음으로 도로교설계기준이 2015년부터 한계상태설계법으로 전면 개정됨. 이는 미국의 AASHTO LRFD의 기준을 차용한 수준으로 신뢰성 기반의 한계상태설계를 위한 기본적인 토대는 마련하였다는 측면에서 의미가 있으나, 국내의 지역적 가변성을 고려하지 못하는 등 향후 시급히 개선해야 하는 과제 또한 안고 있음.

- (2) 국외 동향

(가) 유럽의 경우 유로코드(Eurocode)를 제정하면서 기초구조물의 설계와 관련된 Eurocode 1을 포함하여 부분안전계수를 도입하였음. 미국은 미연방에서 발주하는 모든 공사에 기초설계 시 LRFD를 적용하도록 하고 있으며, 각 주(州)정부별로 웹기반의 데이터베이스 및 현장시험 결과를 공유하여 활용할 수 있도록 개발하여 운영하고 있음. 그러나 깊은기초의 경우 기초형식과 적용 공법 및 설계식 등에 따라 서로 다른 저항계수(혹은 부분안전계수)가 제시될 필요가 있으나 현재까지는 제한된 수준임.

다. 기술개발 필요성

- (1) 허용응력 개념의 설계에서 신뢰성 설계(성능기반 설계)로의 전환 요구

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 신뢰성 설계기준 조사·분석 ○ 항만 및 어항시설물 깊은기초의 신뢰성 기반 설계기준 기본방향 및 적용범위 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 깊은기초의 용도별 성능규정 및 성능조건별 한계상태 정의 - 한계상태식 적용 설계변수의 불확실성 및 통계특성 분석

2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 깊은기초에 대한 신뢰성 기반 설계기준 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 지역적 가변성 및 기술적 숙련도가 반영된 깊은기초의 성능 기반 설계기법 제시 (축방향 지지력 중심의 기초 형식별/용도별 목표신뢰도수준, 하중·저항계수 등)
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 깊은기초 분야 신뢰성설계기준(잠정안) 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 신뢰성 기반 설계기준서(잠정안) 작성 - 항만설계, 깊은기초 관련 전문가 자문 및 의견수렴
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 깊은기초 분야 신뢰성 기반 설계기준(잠정안) 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 횡방향 지지력 중심의 목표신뢰도수준, 하중·저항계수 검증 및 보정
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 깊은기초 분야 신뢰성설계기준서 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 항만설계 관련 전문가 자문 및 의견수렴 ○ 신뢰성 기반 설계 사례집 작성

마. 최종성과물

- (1) 국내 지역적 가변성과 기술적 숙련도가 고려된 신뢰성 기반 깊은기초의 설계지침
- (2) 깊은기초 분야 신뢰성 기반 설계기준서 및 설계사례집

바. 기대효과

- (1) 국제표준화 요구에 능동적으로 대처할 수 있는 신뢰성 기반 항만 및 어항시설 깊은 기초의 설계 여건 마련
- (2) 구조물 성능에 대한 정량화를 통해 항만 및 어항시설에 대한 체계적이고 효율적인 관리 및 경제성 확보 가능

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 800(백만원) / 5년

5. 지반조사 및 사면안정 신뢰성기반 한계상태 설계기준 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 항만구조물 기초, 토류구조물에 대한 신뢰성 기반의 한계상태설계 적용을 위한 지반 조사 및 지반특성화 방법 기준정립, 설계기준 개발
- (2) 신뢰성 기반의 사면안정 해석 및 설계기법 개발

나. 기술개발 현황 및 수준

- (1) 국내 동향
 - (가) 현재 적용하고 있는 항만및어항설계기준 상의 지반조사의 범위와 항목, 수량 등에 관한 부분은 일본의 항만설계기준과 유사한 측면이 있음. 그러나 조사결과로부터

변동성 범위를 고려하여 실제 설계적용에 필요한 지반 특성값을 결정하는 방법에 대해서는 별도로 제시하지 않고 있어, 설계 시 설계자의 주관적인 판단에 따라 설계지반정수가 결정되는 실정임. 사면의 안정해석은 안전율 개념을 적용하는 결정론적 설계법을 적용하도록 하고 있음.

(2) 국외 동향

(가) 북미와 유로코드, 일본의 항만설계기준 등에서는 지반조사 시 신뢰성 설계 적용을 위한 지반정수의 산정과 통계특성을 확인할 수 있도록 충분한 개수의 조사와 시험을 실시하도록 추천하고 있으며, 지반조사 결과로부터 설계지반정수를 결정하는 과정에 대해서도 상세히 기술하고 있음. 사면의 안정해석에 관해서는 주로 신뢰성에 근거한 한계상태 설계법을 적용하도록 하고 있으며, 이를 위해 국가별 기술적 숙련도와 지역적 경험 등이 반영된 목표신뢰도지수와 부분안전계수를 제시하고 있음.

다. 기술개발 필요성

(1) 신뢰성 설계를 위한 지반조사의 수행체계에 관한 기준 정립 요구

(2) 국내 지역적 특성·경험이 고려된 사면의 안정해석에 관한 신뢰성 기반의 설계기법 정립 요구

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 신뢰성 설계기준 조사·분석 및 기본방향 수립 ○ 지반조사 수행체계에 대한 기준 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 조사범위, 시험항목, 수량 등 최소기준 제시 - 지반정수에 대한 지반특성값 적용 기준 제시
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사면안정해석에 관한 신뢰성 설계법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 사면의 안정해석방법에 관한 국내 지역적 특성 및 경험이 반영된 신뢰성 기반 설계기법 제시 (목표신뢰도수준, 부분안전계수 등)
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지반조사 및 사면안정 분야 신뢰성설계기준(잠정안) 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 신뢰성 기반 설계기준(잠정안) 작성 - 항만설계 관련 전문가 자문 및 의견수렴
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지반조사 및 사면안정 분야 신뢰성 기반 설계기준(잠정안) 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 목표신뢰도수준, 부분안전계수 검증 및 보정
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지반조사 및 사면안정 분야 신뢰성설계기준서 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 항만설계 관련 전문가 자문 및 의견수렴 ○ 신뢰성 기반 설계 사례집 작성

마. 최종성과물

(1) 신뢰성 설계 적용을 위한 지반조사 수행체계

- (2) 국내 지역적 특성 및 경험 등이 고려된 신뢰성 기반 사면안정 해석방법 및 설계지침
- (3) 지반조사 및 사면안정 분야 신뢰성 기반 설계기준서 및 설계사례집

바. 기대효과

- (1) 국제표준화 요구에 능동적으로 대처할 수 있는 신뢰성 기반 항만 및 어항시설 토류구조물 설계 여건 마련

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 700(백만원) / 5년

6. 항만구조물 설계조건(외력) 및 재료의 신뢰성기반 한계상태 설계기준 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 결정론적 방법으로 제정된 현행 항만 및 어항 설계기준(2014)을 국제적 추세에 부응하기 위하여 신뢰성 기반 설계기준으로 개발함.

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 2006~2011년 동안 항만구조물 신뢰성설계법 개발 연구를 통하여 파력, 지진력 등 일부에 대한 신뢰성설계법을 개발한 바 있음.
- (나) 그러나, 파랑, 지진력, 지반, 흐름, 조석 등의 설계조건을 정함에 있어 신뢰성설계법을 적용하기 위한 통계학적 설계조건 설정방법을 제시하지 않음.
- (다) 또한 항만구조물 대상시설의 재료 선정시 요구성능에 대한 기준과 확률적인 물성값 설정 방법을 제시하지 않음.

(2) 국외 동향

- (가) 일본은 2007년 항만설계기준을 개정하였으며 여기에서 설계조건(외력)의 확률론적 결정방법을 제시함으로써 구조물 설계를 위한 외력을 신뢰성설계법에 기반하여 제시할 수 있도록 하였음.
- (나) 유럽에서는 2009년 EN 1990~EN1999 의 최종판을 완성하여 유럽각국에서 부분안전계수 기반 신뢰성설계가 가능하도록 하였음.
- (다) 중국은 1992년부터 모든 항만구조물의 신뢰성기반 설계가 가능하도록 설계기준을 개정하였으며 2010년 개정판이 현재까지 적용되고 있음.

다. 기술개발 필요성

- (1) 항만시설 신뢰성설계 기준의 국제적 추세에 대응
- (2) 항만건설산업의 해외시장 진출을 위한 기술적 토대 확보.
- (3) 태풍 및 지진의 대형화로 인한 자연재해의 피해저감 필요.

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설계조건(외력 등) 및 재료의 확률론적 산정법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 바람과 풍압력의 확률론적 산정법 - 파랑, 조석 및 흐름의 확률론적 산정법 - 지반 물성과 지반의 액상화에 대한 확률론적 산정법 - 지진 및 지진력의 확률론적 산정법 - 재료의 성능조사 기본사항 정의 및 목표성능의 설정 - 강재 및 콘크리트 특성값의 확률론적 산정법 및 방식법의 개요 - 역청재료, 석재, 목재 및 기타재료에 대한 일반사항
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설계조건(외력 등) 및 재료의 확률론적 산정법 실무 적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 바람과 풍압력의 확률론적 산정법 실무자 평가 - 파랑, 조석 및 흐름의 확률론적 산정법 실무자 평가 - 지반 물성과 지반의 액상화에 대한 확률론적 산정법 실무자 평가 - 지진 및 지진력의 확률론적 산정법 실무자 평가 - 재료의 성능조사 기본사항 정의 및 목표성능에 대한 실무자 평가 - 강재 및 콘크리트 특성값의 확률론적 산정법 실무자 평가 - 역청재료, 석재, 목재 및 기타재료에 대한 일반사항의 실무자 평가
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설계조건(외력 등) 및 재료의 확률론적 산정법 잠정안(interim report) 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 바람과 풍압력의 확률론적 산정법 잠정안 작성 - 파랑, 조석 및 흐름의 확률론적 산정법 잠정안 작성 - 지반 물성과 지반의 액상화에 대한 확률론적 산정법 잠정안 작성 - 지진 및 지진력의 확률론적 산정법 잠정안 작성 - 재료의 성능조사 기본사항 정의 및 목표성능에 대한 잠정안 작성 - 강재 및 콘크리트 특성값의 확률론적 산정법 잠정안 작성 - 역청재료, 석재, 목재 및 기타재료에 대한 일반사항의 잠정안 작성
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 잠정안(interim report)에 의한 설계조건 산정 사례 작성 ○ 설계시 문제점 도출 및 계수조정 ○ 잠정안(interim report)보완
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만 및 어항 설계기준 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 설계조건(외력 등) 및 재료에 대한 설계기준 집필진 구성 - 잠정안(interim report)을 반영한 설계기준 작성 - 전문가 및 실무자 자문회의 ○ 신뢰성기반 항만 및 어항 설계기준 개정 <ul style="list-style-type: none"> - 설계조건(외력 등) 및 재료의 설계기준 출간

마. 최종성과물

(1) 설계조건 및 재료의 신뢰성기반 설계기준

(2) 설계조건 및 재료의 신뢰성설계 사례집

바. 기대효과

- (1) 국제수준의 신뢰성설계법 개발을 통한 기술력제고
- (2) 국내 건설사의 해외 항만개발 프로젝트 참여시 기술력 제고
- (3) 자연재해 대비 항만구조물의 안전성 향상
- (4) 생애주기 차원의 총비용(LCC)저감을 통한 경제적 항만설계 가능

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1000(백만원) / 5년

7. 성능 수준별 항만구조물 얇은기초 및 지반개량공법 설계 및 시공 기술 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 변화하는 다양한 환경하중에 대하여 경험적인 설계요소를 탈피하여 정량적인 성능 수준에 부합되는 얇은기초 및 지반개량공법 합리적인 설계 기술 개발 및 이에 부합하는 시공 기술 개발

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 얇은 기초를 대상으로 수행된 성능기반 설계에 관한 연구가 없음
- (나) 얇은 기초의 경우, 파괴보다는 부등침하나 균등침하에 대한 문제가 많이 발생하고 있음
- (다) 현재 가장 많이 사용되고 있는 대표 지반개량공법인 동다짐공법, 지반그라우팅, 성토공법, 치환공법 등에 관한 신뢰성 연구가 제한적임

(2) 국외 동향

- (가) 미국과 유럽중심으로 신뢰성에 근거하여 1970년대부터 지속적으로 연구가 수행중임. 지반분야에서는 유럽을 중심으로 활발히 개발되어 현재 북미, 일본, 중국으로 확대되는 추세임.

다. 기술개발 필요성

- (1) 설계기준의 선진화/체계화를 위하여 많은 선진국들이 성능기반 설계법을 도입

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
----	---------

1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 얽은기초 파괴 메커니즘 및 피해사례 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 파괴시 물리적 현상을 반영하는 합리적인 저항식 결정 ○ 해안항만시설 기초구조물 하중특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 파괴시 물리적 현상을 반영하는 합리적인 저항식 결정
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 얽은기초 관련 해외 기준 수집 및 분석 ○ 합리적인 성능 수준에 대한 정의 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 파괴(극한)관점과 변형(사용성)관점에서의 성능 수준 결정
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능별 하중조건별 얽은기초의 한계상태 정의 <ul style="list-style-type: none"> - 구조물별 하중조건에 따른 합리적 한계상태 정의 ○ 다양한 지반개량공법에 반영되는 변수(지반정수)의 불확실성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 설계를 위한 지반정수 결정에 관한 확률론적인 근거 제공 ○ 설계지침 마련
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설계지침 수정 및 검증: 최적 신뢰성 분석 기법 선정 및 해석 <ul style="list-style-type: none"> - 얽은기초 및 지반개량공법의 설계안에 대한 개선 및 검증
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종 설계 계수 산정 및 제안 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 한계상태를 동시에 고려하는 interaction diagram 설계표 도출 - 목표 성능수준에 대한 합리적 지반개량공법 제안

마. 최종성과물

- (1) 지반개량 공법별 성능기반 설계 지침 및 실행 가이드라인
- (2) 목표 성능 수준별 얽은기초 설계 지침 및 실행 가이드라인

바. 기대효과

- (1) 목표 성능 수준에 맞는 합리적 표준화된 항만구조물 하부구조(얽은기초) 및 지반개량 설계 근거 및 시공 근거 확립

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1000(백만원) / 5년

8. 경사제 및 소파블록 피복제의 신뢰성 기반 한계상태 설계기준 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 항만 및 어항 설계기준(해수부, 2014)은 결정론적 설계법 기반으로 작성되어 있어 기후변화를 포함한 급변하는 해양환경 대응이 어려울 뿐만 아니라 국제 설계표준 기준으로 부적합하여 신뢰성 기반으로 항만 및 어항 설계기준을 개발하고자 함

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 항만구조물 신뢰성설계법에 관한 연구는 해양수산부 연구과제로 5년간(2006-2011) 수행한 실적이 있음. 해당 과제에서는 항만구조물에 적용할 수 있는 신뢰성 설계기법 개발에 중점을 둠.
- (나) 위 과제에서 경사식 방파제의 대표적 파괴모드인 피복재 침식(erosion)에 대한 연구를 수행함. 적용된 신뢰성 설계법은 Level 1, 2, 3와 성능설계가 있으며 최종적으로 Level 1방법이 실무자에게 적합한 것으로 평가됨.
- (다) 구조물의 중요도에 따른 목표신뢰도지수(또는 목표파괴확률)를 산정하기 위해 기존 항만구조물을 평가하고 비용최적화(LCC) 방법을 적용함.
- (라) 국내 타구조물 신뢰성설계기준으로는 도로교설계기준(2012)과 강구조설계기준(2014)이 있음.

(2) 국외 동향

- (가) 항만구조물에서 신뢰성설계기준을 채택하고 있는 국가는 유럽, 미국, 일본, 중국, 스페인 등이며 설계기준 형식을 갖춘 국가(일본, 중국, 스페인)가 있는 반면 연구개발 단계인 국가(유럽, 미국)도 있음.
- (나) 유럽은 Eurocode(2009)로 일반구조물에 대한 신뢰성설계 수준이 높은 반면 항만구조물에 대한 신뢰성설계는 PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses) Working Group 12의 일부 보고서와 저널논문에 국한되어 있음.
- (다) 미국은 대표적인 항만구조물 설계매뉴얼인 미육군공병단의 CEM (Coastal Engineering Manual 2006)에 신뢰성 설계가 일부 소개되고 있음. 이 자료는 미국 자체적으로 개발한 것이 아니며 유럽의 PIANC 보고서를 인용하여 정리한 것임.
- (라) 일본, 중국, 스페인은 신뢰성 기반 설계기준을 독자적으로 발행하여 현업에 사용하고 있음. 일본은 OCDI에서 발행한 Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan (2009)이 있고 스페인은 Puertos del Estado에서 출판한 Recommendations for Maritime Structures (ROM 1.1, 2008), 그리고 중국은 Technical Codes for Port Engineering (2000)을 사용하고 있음.

다. 기술개발 필요성

- (1) 기후변화와 급변하는 해양환경에 대응하기 위해 신뢰성 기반 설계기법이 시급히 요구됨.
- (2) 기존 안전율 기반 설계기법으로 구조물의 사용수명 동안 기능성, 안전성, 사용성을 관리하는 것은 어려움. 이에 신뢰성 기반 설계기법은 설계, 시공, 유지보수로 이어지는 생애주기 동안 구조물의 평가를 가능하게 함.
- (3) 사회기반시설인 항만구조물의 위기관리 대응능력이 향상됨.
- (4) 중동, 아시아 등의 건설시장에서 국제표준화기구의 원칙(ISO 2394, ISO 21650)을 따르는 신뢰성 기반 설계기법을 요구할 가능성이 높아짐.
- (5) 아시아 기술경쟁국인 일본과 중국은 이미 신뢰성 기반 설계기법 기준을 발행하여 현업에

활용하고 있음. 경쟁적 우위를 차지하기 위해 시급히 현 설계기준을 신뢰성 기반으로 개정해야함.

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만구조물의 중요도에 따른 목표성능 및 한계상태 결정(항만 및 어항 설계자의 엔지니어링 합의도출) <ul style="list-style-type: none"> - 구조물의 중요도(등급) 결정 - 구조물별 한계상태 결정 - 설계/시공된 자료수집(중요도, 피해사례, 복구사례 등) - 안정성 검토요소 결정(피복재 침식, 범 파괴, 월파, 처오름, 상치활동, 전도, 저면활동, 제체 직선활동, 기초지반 지지력 등) - 한계상태별 합리적 성능수준(파괴확률 및 신뢰도지수) 결정 - 항만 산학연 전문가 그룹에 의한 설계 코드결정(일본, 미국, 유럽) ○ 기존 수행된 과업에서 항만 및 어항 설계기준으로 사용될 자료 추출 <ul style="list-style-type: none"> - 엔지니어링 컨센서스(토의를 통합 합의) 포함되어야 함 ○ 각 설계변수 결정 및 통계적 특성치 분석 및 정리 ○ 각 한계상태함수, 설계방정식, 코드 검증 방법론 수립 ○ FORM 예비해석
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ FORM에 의한 신뢰성 해석 ○ 구조요소 및 하부기초의 파괴모드별 부분안전계수 산정 ○ 한계상태별 설계변수에 대한 특성값 적용 기준 정립 ○ 부분안전계수 검증 및 보정 <ul style="list-style-type: none"> - 해안/항만 설계 전문가 토의 - 공학적인 코드검증 방법에 따른 부분안전계수 검증 및 보정 - 기존 방파제 적용 및 피드백 분석
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부분안전계수 1차 결정 ○ 설계변수 특성값 적용기준 제시 ○ 1차 결정된 부분안전계수 사용하여 설계사례검토(설계사) ○ 부분안전계수 조정 및 최종결정 ○ 항만 및 어항 엔지니어 전문가 그룹 검토 ○ 신뢰성 설계기준 잠정안(interim report) 개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발된 신뢰성설계기준에 의한 prototype 설계 및 시공검토 <ul style="list-style-type: none"> - 최소 실시설계에 상응하는 규모로 수행해야 함 ○ 설계 및 시공 검토 시 제기된 문제점 개선

5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만 및 어항 설계기준 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 각 분야 항만전문가의 세부그룹 자문 - 각 분야 집필 및 편집 수행 ○ 항만 및 어항 설계기준 개정 및 신뢰성설계 사례집 출간
------	---

마. 최종성과물

- (1) 경사식 및 소파블록 피복제의 신뢰성 기반 항만 및 어항 설계기준 최종 출판
- (2) 실시설계 규모의 prototype 설계사례집 출판

바. 기대효과

- (1) 기후변화와 급변하는 해양환경에 대응할 수 있는 신뢰도기반 항만 및 어항 설계기준 마련
- (2) 구조물의 생애주기 동안 기능성, 안전성, 사용성을 관리할 수 있는 설계기준 개발
- (3) 국제표준화기구의 기본이론에 근거한 설계기준 마련으로 해외설계 및 시공 수주 용의
- (4) 국제적인 기술경쟁력 우위로 해외건설 활성화 효과

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1000(백만원) / 5년

9. 직립제, 혼성제, 상부사면케이슨제의 신뢰성 기반 한계상태 설계기준 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 항만 및 어항 설계기준(해수부, 2014)은 결정론적 설계법 기반으로 작성되어 있어 기후변화를 포함한 급변하는 해양환경 대응이 어려울 뿐만 아니라 국제 설계표준 기준으로 부적합하여 신뢰성 기반으로 항만 및 어항 설계기준을 개발하고자 함

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 항만구조물 신뢰성설계법에 관한 연구는 해양수산부 연구과제로 5년간(2006-2011) 수행한 실적이 있음. 해당 과제에서는 항만구조물에 적용할 수 있는 신뢰성 설계기법 개발에 중점을 둠.
- (나) 위 과제에서 경사식 방파제의 대표적 파괴모드인 피복제 침식(erosion)에 대한 연구를 수행함. 적용된 신뢰성 설계법은 Level 1, 2, 3와 성능설계가 있으며 최종적으로 Level 1방법이 실무자에게 적합한 것으로 평가됨.
- (다) 구조물의 중요도에 따른 목표신뢰도지수(또는 목표파괴확률)를 산정하기 위해 기존 항만구조물을 평가하고 비용최적화(LCC) 방법을 적용함.
- (라) 국내 타구조물 신뢰성설계기준으로는 도로교설계기준(2012)과 강구조설계기준(2014)이 있음.

(2) 국외 동향

- (가) 항만구조물에서 신뢰성설계기준을 채택하고 있는 국가는 유럽, 미국, 일본, 중국, 스페인 등이며 설계기준 형식을 갖춘 국가(일본, 중국, 스페인)가 있는 반면 연구개발 단계인 국가(유럽, 미국)도 있음.
- (나) 유럽은 Eurocode(2009)로 일반구조물에 대한 신뢰성설계 수준이 높은 반면 항만구조물에 대한 신뢰성설계는 PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses) Working Group 12의 일부 보고서와 저널논문에 국한되어 있음.
- (다) 미국은 대표적인 항만구조물 설계매뉴얼인 미육군공병단의 CEM (Coastal Engineering Manual 2006)에 신뢰성 설계가 일부 소개되고 있음. 이 자료는 미국 자체적으로 개발한 것이 아니며 유럽의 PIANC 보고서를 인용하여 정리한 것임.
- (라) 일본, 중국, 스페인은 신뢰성 기반 설계기준을 독자적으로 발행하여 현업에 사용하고 있음. 일본은 OCDI에서 발행한 Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan (2009)이 있고 스페인은 Puertos del Estado에서 출판한 Recommendations for Maritime Structures (ROM 1.1, 2008), 그리고 중국은 Technical Codes for Port Engineering (2000)을 사용하고 있음.

다. 기술개발 필요성

- (1) 기후변화와 급변하는 해양환경에 대응하기 위해 신뢰성 기반 설계기법이 시급히 요구됨.
- (2) 기존 안전율 기반 설계기법으로 구조물의 사용수명 동안 기능성, 안전성, 사용성을 관리하는 것은 어려움. 이에 신뢰성 기반 설계기법은 설계, 시공, 유지보수로 이어지는 생애주기 동안 구조물의 평가를 가능하게 함.
- (3) 사회기반시설인 항만구조물의 위기관리 대응능력이 향상됨.
- (4) 중동, 아시아 등의 건설시장에서 국제표준화기구의 원칙(ISO 2394, ISO 21650)을 따르는 신뢰성 기반 설계기법을 요구할 가능성이 높아짐.
- (5) 아시아 기술경쟁국인 일본과 중국은 이미 신뢰성 기반 설계기법 기준을 발행하여 현업에 활용하고 있음. 경쟁적 우위를 차지하기 위해 시급히 현 설계기준을 신뢰성 기반으로 개정해야함.

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
----	---------

1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만구조물의 중요도에 따른 목표성능 및 한계상태 결정(항만 및 어항 설계자의 엔지니어링 합의도출) - 구조물의 중요도(등급) 결정 - 구조물별 한계상태 결정 - 설계/시공된 자료수집(중요도, 피해사례, 복구사례 등) - 안정성 검토요소 결정(저면활동, 전도, 사석마운드와 기초지반 지지력, 직선활동 등) - 항만 산학연 전문가 그룹에 의한 설계 코드결정(일본, 미국, 유럽) - 한계상태별 합리적 성능수준(파괴확률 및 신뢰도지수) 결정 ○ 기존 수행된 과업에서 항만 및 어항 설계기준으로 사용될 자료 추출 - 엔지니어링 컨센서스(토의를 통한 합의) 포함되어야 함 ○ 각 설계변수 결정 및 통계적 특성치 분석 및 정리 ○ 각 한계상태함수, 설계방정식, 코드 검증 방법론 수립 ○ FORM 예비해석
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ FORM에 의한 신뢰성 해석 ○ 구조요소 및 하부기초의 파괴모드별 부분안전계수 산정 ○ 한계상태별 설계변수에 대한 특성값 적용 기준 정립 ○ 부분안전계수 검증 및 보정 - 해안/항만 설계 전문가 토의 - 공학적인 코드검증 방법에 따른 부분안전계수 검증 및 보정 - 기존 방파제 적용 및 피드백 분석
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부분안전계수 1차 결정 ○ 설계변수 특성값 적용기준 제시 ○ 1차 결정된 부분안전계수 사용하여 설계사례검토(설계사) ○ 부분안전계수 조정 및 최종결정 ○ 항만 및 어항 엔지니어 전문가 그룹 검토 ○ 신뢰성 설계기준 잠정안(interim report) 개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발된 신뢰성설계기준에 의한 prototype 설계 및 시공검토 - 최소 실시설계에 상응하는 규모로 수행해야 함 ○ 설계 및 시공 검토 시 제기된 문제점 개선
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만 및 어항 설계기준 보완 - 각 분야 항만전문가의 세부그룹 자문 - 각 분야 집필 및 편집 수행 ○ 항만 및 어항 설계기준 개정 및 신뢰성설계 사례집 출간

마. 최종성과물

- (1) 직립제, 혼성제, 상부사면케이슨제의 신뢰성 기반 항만 및 어항 설계기준 최종 출판
- (2) 실시설계 규모의 prototype 설계사례집 출판

바. 기대효과

- (1) 기후변화와 급변하는 해양환경에 대응할 수 있는 신뢰도기반 항만 및 어항 설계기준 마련
- (2) 구조물의 생애주기 동안 기능성, 안전성, 사용성을 관리할 수 있는 설계기준 개발
- (3) 국제표준화기구의 기본이론에 근거한 설계기준 마련으로 해외설계 및 시공 수주 용의
- (4) 국제적인 기술경쟁력 우위로 해외건설 활성화 효과

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 1000(백만원) / 5년

10. 직립소파블록제, 소파케이슨제의 신뢰성 기반 한계상태 설계기준 개발

가. 기술개발 목표

- (1) 항만 및 어항 설계기준(해수부, 2014)은 결정론적 설계법 기반으로 작성되어 있어 기후변화를 포함한 급변하는 해양환경 대응이 어려울 뿐만 아니라 국제 설계표준 기준으로 부적합하여 신뢰성 기반으로 항만 및 어항 설계기준을 개발하고자 함

나. 기술개발 현황 및 수준

(1) 국내 동향

- (가) 항만구조물 신뢰성설계법에 관한 연구는 해양수산부 연구과제로 5년간(2006-2011) 수행한 실적이 있음. 해당 과제에서는 항만구조물에 적용할 수 있는 신뢰성 설계기법 개발에 중점을 둠.
- (나) 위 과제에서 무공케이슨 방파제의 대표적 파괴모드인 활동(sliding)과 전도(overturning)에 대한 연구를 수행함. 유공케이슨 방파제인 소파케이슨제의 연구는 수행되지 않음. 적용된 신뢰성 설계법은 Level 1, 2, 3와 성능설계가 있으며 최종적으로 Level 1방법이 실무자에게 적합한 것으로 평가됨.
- (다) 구조물의 중요도에 따른 목표신뢰도지수(또는 목표파괴확률)를 산정하기 위해 기존 항만구조물을 평가하고 비용최적화(LCC) 방법을 적용함.
- (라) 현재 한국해양과학기술원에서 소파케이슨제의 외력(수평파력과 양력) 산정공식을 위한 수리실험을 수행 중에 있으며, 2016년 말에 과제 종료예정임. 제한된 조건에서 적용할 수 있는 Takahashi et al. (1994) 공식이 현업에서 사용되고 있음.
- (마) 국내 타구조물 신뢰성설계기준으로는 도로교설계기준(2012)과 강구조설계기준(2014)이 있음.

(2) 국외 동향

- (가) 항만구조물에서 신뢰성설계기준을 채택하고 있는 국가는 유럽, 미국, 일본, 중국, 스페인 등이며 설계기준 형식을 갖춘 국가(일본, 중국, 스페인)가 있는 반면 연구개발 단계인 국가(유럽, 미국)도 있음.
- (나) 유럽은 Eurocode(2009)로 일반구조물에 대한 신뢰성설계 수준이 높은 반면 항만구조물에 대한 신뢰성설계는 PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses) Working Group 12의 일부 보고서와 저널논문에 국한되어 있음.
- (다) 미국은 대표적인 항만구조물 설계매뉴얼인 미육군공병단의 CEM (Coastal Engineering Manual 2006)에 신뢰성 설계가 일부 소개되고 있음. 이 자료는 미국 자체적으로 개발한 것이 아니며 유럽의 PIANC 보고서를 인용하여 정리한 것임.
- (라) 일본, 중국, 스페인은 신뢰성 기반 설계기준을 독자적으로 발행하여 현업에 사용하고 있음. 일본은 OCDI에서 발행한 Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan (2009)이 있고 스페인은 Puertos del Estado에서 출판한 Recommendations for Maritime Structures (ROM 1.1, 2008), 그리고 중국은 Technical Codes for Port Engineering (2000)을 사용하고 있음.

다. 기술개발 필요성

- (1) 기후변화와 급변하는 해양환경에 대응하기 위해 신뢰성 기반 설계기법이 시급히 요구됨.
- (2) 기존 안전율 기반 설계기법으로 구조물의 사용수명 동안 기능성, 안전성, 사용성을 관리하는 것은 어려움. 이에 신뢰성 기반 설계기법은 설계, 시공, 유지보수로 이어지는 생애주기 동안 구조물의 평가를 가능하게 함.
- (3) 사회기반시설인 항만구조물의 위기관리 대응능력이 향상됨.
- (4) 중동, 아시아 등의 건설시장에서 국제표준화기구의 원칙(ISO 2394, ISO 21650)을 따르는 신뢰성 기반 설계기법을 요구할 가능성이 높아짐.
- (5) 아시아 기술경쟁국인 일본과 중국은 이미 신뢰성 기반 설계기법 기준을 발행하여 현업에 활용하고 있음. 경쟁적 우위를 차지하기 위해 시급히 현 설계기준을 신뢰성 기반으로 개정해야함.

라. 연차별 연구내용

연도	주요 연구내용
----	---------

1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만구조물의 중요도에 따른 목표성능 및 한계상태 결정(항만 및 어항 설계자의 엔지니어링 합의도출) - 구조물의 중요도(등급) 결정 - 구조물별 한계상태 결정 - 설계/시공된 자료수집(중요도, 피해사례, 복구사례 등) - 안정성 검토요소 결정(저면활동, 전도, 사석마운드와 기초지반 지지력, 직선활동 등) - 한계상태별 합리적 성능수준(파괴확률 및 신뢰도지수) 결정 - 항만 산학연 전문가 그룹에 의한 설계 코드결정(일본, 미국, 유럽) ○ 기존 수행된 과업에서 항만 및 어항 설계기준으로 사용될 자료 추출 - 엔지니어링 컨센서스(토의를 통한 통합 합의) 포함되어야 함 ○ 각 설계변수 결정 및 통계적 특성치 분석 및 정리 ○ 각 한계상태함수, 설계방정식, 코드 검증 방법론 수립 ○ FORM 예비해석
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ FORM에 의한 신뢰성 해석 ○ 구조요소 및 하부기초의 파괴모드별 부분안전계수 산정 ○ 한계상태별 설계변수에 대한 특성값 적용 기준 정립 ○ 부분안전계수 산정 ○ 부분안전계수 검증 및 보정 - 해안/항만 설계 전문가 토의 - 공학적인 코드검증 방법에 따른 부분안전계수 검증 및 보정 - 기존 방파제 적용 및 피드백 분석
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부분안전계수 1차 결정 ○ 설계변수 특성값 적용기준 제시 ○ 1차 결정된 부분안전계수 사용하여 설계사례검토(설계사) ○ 부분안전계수 조정 및 최종결정 ○ 항만 및 어항 엔지니어 전문가 그룹 검토 ○ 신뢰성 설계기준 잠정안(interim report) 개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발된 신뢰성설계기준에 의한 prototype 설계 및 시공검토 - 최소 실시설계에 상응하는 규모로 수행해야 함 ○ 설계 및 시공 검토 시 제기된 문제점 개선
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항만 및 어항 설계기준 보완 - 각 분야 항만전문가의 세부그룹 자문 - 각 분야 집필 및 편집 수행 ○ 항만 및 어항 설계기준 개정

마. 최종성과물

- (1) 직립소파블록제, 소파케이슨제의 신뢰성 기반 항만 및 어항 설계기준 최종 출판
- (2) 실시설계 규모의 prototype 설계사례집 출판

바. 기대효과

- (1) 기후변화와 급변하는 해양환경에 대응할 수 있는 신뢰도기반 항만 및 어항 설계기준 마련
- (2) 구조물의 생애주기 동안 기능성, 안전성, 사용성을 관리할 수 있는 설계기준 개발
- (3) 국제표준화기구의 기본이론에 근거한 설계기준 마련으로 해외설계 및 시공 수주 용의
- (4) 국제적인 기술경쟁력 우위로 해외건설 활성화 효과

사. 세부과제 규모 (총 연구비/소요기간)

- (1) 7000(백만원) / 5년

제6장 과제제안요청서(RFP) 및 기술지도(TRM)

제1절 총 과제 기간 및 범위 정의

1. 총 과제 기간 및 범위 정의

“항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 기술 개발” 및 “항만 및 어항 시설물 한계상태설계기준개발”을 위한 연구 과제는 설계기준 수준(Level 1¹⁷⁾, Level 2¹⁸⁾)에 따라 총 2단계로 다음과 같이 진행되는 것이 적절하다. 총 2단계의 연구기간은 10년을 제안하며 이는 미국의 “ASCE/COPRI 61-14” 연구기간과 동일하다. 단계별 연구기간, 대상 구조물 및 최종 성과물은 다음과 같다.

연구 진행 단계	구분	내용
1단계	1-1 (3년)	대상구조물
		• 중력식 안벽, 잔교식 안벽, 크레인
	1-2 (2년)	최종성과물
		• 설계기준 Draft 제시 • 현행 설계기준과 비교하여 선택 사용하도록 권장
2단계	2 (5년)	대상구조물
		• 널말뚝식 안벽, Pipeline, 외곽시설 + 액상화, 지반조사, 입력지진과
		최종성과물
		• 단면 예제 제시 및 경제성 분석 • Level 1 성능기반설계기준(안) • 1-1, 1-2 단계 대상 구조물 동일 • 단면 예제 제시 및 경제성 분석 • Level 2 성능기반설계기준(안) • 재난 시 예비, 대응, 복구를 위한 System 설정 • 기존 시설물 성능평가·보수보강 방법

성능기반 내진설계 및 신뢰성 설계 방법은 확률론적 방법을 기반으로 하여 경제성을 고려한 최적의 설계방법을 도출하는 것이 목표이므로 1단계 연구과정 이후에도 추후 정기적으로 수정·보완되어야 하며, 항만 및 어항 시설에 대하여 각 개별 시설물의 설계 기준 외에 항만의 역할에 따라 전체 시스템의 신뢰성 설계가 매우 중요하므로 2단계 후속 연구가 필요하다.

본 과제에서 제안하는 RFP 및 TRM 은 1단계에 해당하는 연구 내용이며 “항만 및 어항 설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 및 신뢰성(유사정적) 설계 기술 개발”의 최종 목표를 위해서는 1단계 연구 뿐만 아니라 2단계의 후속 연구가 진행되어야 한다.

17) Level 1 설계기준 : LRFD 설계기준과 동일하게 볼 수 있음

18) Level 2 설계기준 : 신뢰도지수 설계기준으로서, 개별 시설물에 대한 신뢰성 확보뿐만 아니라, 항만을 하나의 시스템으로 보고 신뢰성설계를 수행하는 목표를 가짐

제2절 성능기반 내진설계 과제제안요청서(RFP)

사 업 명	첨단항만물류기술개발		
과 제 명	항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 기술 개발		
연구기간	2016~2021	정부지원금	80억

1. 연구개발 필요성

가. 항만 시설에 대한 성능기반 내진설계 기준의 중요성

- (1) 1995년 일본 효고현 남부지진(고베지진)으로 인한 고베항의 대규모 피해 발생
 - 1995년도 당시 피해금액 기준 110억 달러(약 11조)의 항만시설 피해 발생
 - 지진으로 인해 고베항의 항만기능이 완전 상실되어 반사이익으로 우리나라 부산항의 물류량이 급증하여 2000년대 초반에는 세계 3위 수준까지 상승
- (2) 現 항만 및 어항구조물 내진설계기준의 문제점
 - 1997년 건설교통부 주관으로 제정된 “내진설계기준연구(Ⅱ)”에 기반하여 항만 및 어항시설 내진설계 표준서를 1999년도에 제정. 지금까지 축적된 내진설계 역량을 바탕으로 국제적 수준의 한국형 내진설계기준 확립이 필요.
 - 최근 “2014년 항만 및 어항 설계기준해설”에서도 대형 및 소규모 항만을 지진 시 역할과 상관없이 단순히 내진 I 및 II등급으로 구분하고 있음.
 - 항만시설의 중요도, 지진시 역할을 재분류하여 경제적이고 효율적인 내진설계 기준 정립이 필요 (일본항만설계기준의 분류 - 일반, 특정긴급물자수송, 특정간선화물수송, 표준긴급물자수송)
 - 지진하에서의 항만시설의 필요한 성능기준이 규정되어 있지 않음(성능기반 설계 불가)
 - 강진($M_w = 7.5$ 이상 등) 지역에 적합한 일본 및 미국의 기준을 토대로 제정
 - 유사정적기법을 활용한 안전율 기반의 설계 지침제공 (시간영역 비선형 해석을 이용한 변위기반 성능 설계법 도입필요)
- (3) 성능기반 내진설계 도입 필요성
 - 최근 전세계적으로 지진의 발생규모 및 빈도가 점점 증가하는 추세로 항만 및 어항시설에 대한 선진적인 내진설계가 요구되고 있음. 이에 따라 외국의 항만내진설계는 지진 시 항만 시설물의 요구성능을 정의하고 그에 따른 성능 확보에

- 주안점을 두고 있음.
- 현재의 항만내진관련 기준들은 주로 유사정적설계법을 근간으로 허용응력설계를 하고 있음. (항만설계기준(2014), 기존항만 내진성능평가(안)(2012), 항만 및 어항 내진설계 표준서(1999) 등)
 - 기존의 유사정적해석 및 허용응력설계법으로는 고베지진과 같은 Level II 수준의 지진에 대하여 항만 구조물 설계가 불가능
 - 성능기반 내진설계는 세계적인 추세이며, 지진이 빈번한 일본의 경우 항만시설에 대해서 전세계적으로 가장 선진화된 설계기준을 도입하여 적용하고 있음
 - 2009년 기존 내진설계기준을 ‘성능기반설계(performance-based design)’로 전환. "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan" (PARI, 2009)
 - 국제항해협회(INA, 2001)에서는 구조물의 피해 관점과 기능적 피해 관점을 종합하여 내진성능목표를 설정하고 그 수준에 맞는 성능기반내진설계를 실시하도록 지침.
 - 이상과 같은 성능기반 내진설계는 향후 항만 시설물의 내진보장에 있어서 안전성과 경제성을 만족시킬 수 있을 것으로 기대되며 특히 이러한 기술력은 관련 산업계의 세계시장에서 경쟁력 확보에 기여할 수 있음.
 - 항만 및 어항에 대한 성능기반설계법을 도입하면 항만 및 어항의 내진성능을 정확히 예측할 수 있기 때문에 현행 설계법에 비해 최적의 설계단면 산정이 가능하여 과대 또는 과소한 항만 및 어항설계를 방지할 수 있음

나. 국내 항만설계기준의 설계지진가속도(k_h) 결정방법 상이

- 현행 “항만설계기준”의 근간이 된 “항만 및 어항시설의 내진설계 표준서(1999)”와 “기존항만의 내진성능평가 및 향상요령(2012)”에서 중력식 안벽 등가정적 해석에서 적용하는 설계지진가속도(k_h) 결정 방법이 상이한 문제가 있음.
 - 기존항만의 내진성능평가 및 향상요령 (2012)
: 안벽 높이의 평균지진응답가속도 사용
 - 항만 및 어항 설계기준의 내진설계 표준서 (1999)
: 벽체 구조물 기초지반 최대지반속도의 50%
- 2012년 평가방법이 1999년 표준서에 비하여 설계 지진가속도를 2-3배 상향 적용하고 있으며, 2000년 이후 등가정적 방법으로 내진설계가 이루어진 항만의 경우, 2012년 방법으로 내진성능을 평가 할 경우 불안정으로 나올 가능성이 높음.
- 현행 설계기준의 정비는 국내실정을 반영한 충분한 연구 없이 외국기준을 무분별하게 도입하여 작성되고 있으므로 경우에 따라서는 이번과 같이 상이한 기준이 만들어 질 수 있는 개연성이 있음.
- 서로 상이한 1999년 표준서와 2012년 성능평가 및 향상요령이 승인을 받아 현재

사용되고 있으므로, 두 기준의 차이에서 오는 부작용을 줄이기 위하여 하루속히 국내실정에 맞는 설계지진가속도를 결정방법을 마련하여 두 기준을 통일하여야 함.

다. 실험D/B 구축 및 실험검증에 의한 성능기반 내진설계법 도입 필요

- 현재의 항만내진관련 기준들은 주로 유사정적설계법을 근간으로 허용응력설계를 하고 있음. ('14항만설계기준, '12기준항만 내진성능평가(안), '99항만 및 어항 내진설계 표준서 등)
- 국내 항만구조물의 지진 피해사례에 대한 자료가 거의 없으므로 이로부터 설계법 검증 및 성능평가가 불가능함. 따라서 신뢰성 있는 동적해석법 및 설계기준을 개발 및 검증하기 위해 실험 D/B구축을 통한 정략적 거동평가 필요함.
- 실험적 검증의 중요성
 - 동적해석법의 모델 및 결과의 정량적 평가를 위해서는 실험적 검증 자료를 바탕으로 동적해석법을 평가할 필요가 있음.
 - 항만 시설물의 특성 및 국내시설물 환경을 고려한 실험적 검증 실시
 - 국내 대표 항만시설물의 지진 시 거동특성 반영
 - 국내 대표 항만시설물의 하부지반조건 반영
- 동적해석법에 의한 성능기반설계법
 - 현재의 항만내진기준에 일부 소개된 경험식은 지진시 사례를 단순 통계처리한 방법임.
 - 동적해석법에 근거한 성능기반설계법을 도입하면 항만의 내진성능을 정확히 예측할 수 있기 때문에 현행 설계법에 비해 최적의 설계단면 산정이 가능하고 과대 또는 과소한 항만설계를 방지할 수 있음.
 - 성능기반 내진설계 기법의 보급을 위한 신뢰성 있는 수치해석 절차의 정립
- 지반거동의 영향을 많이 받는 항만구조물의 내진성능 평가를 위해서는 현장의 구속압 조건과 지반 비선형성을 효과적으로 반영할 수 있는 동적 원심모형실험이 1g진동대 실험에 비하여 신뢰성 있는 D/B구축이 가능함.

2. 연구개발 현황 및 수준

가. 현재까지 추진된 항만 및 어항의 내진설계기술 개발

- (1) 건설교통부, "내진설계기준연구(Ⅱ)" (1997년)
- (2) 해양수산부, "항만 및 어항시설의 내진설계표준서" (1999년)
- (3) 지진대비 항만구조물보강기법 및 신형안벽개발 (1999년~2003년, 해양수산부)
- (4) 항만구조물 신뢰성설계법 개발 (2006년~2011년, 국토해양부)
- (5) 기존항만 내진성능평가 및 향상 (2012, 국토해양부)
- (6) 해상풍력 지지구조물 설계기준 및 콘크리트 지지구조물 개발 (2012년~2018년, 해양수산부)

나. 국내 대형건설연구 실험시설을 이용한 내진연구사례

- (1) 지오 센트리퓨지 활용 - KAIST, K-water 연구소
 - 기존댐의 내진성능 평가 및 향상요령 보완(2008~2010)
 - 원전 기초지반 및 격납건물의 설계 지진하중 산정을 위한 동적 원심모형시험 기술(2010~2012)
 - 동적원심모형 시험을 이용한 석조 건축문화재 지진거동 특성평가(2011)
 - 말뚝기초 건축물에서 지진하중 저감효과 평가를 위한 동적원심모형실험(2012)
 - 원심모형실험을 이용한 지반구조물의 방재성능평가(2009~2014)
 - 원심모형시험을 이용한 수리시설물 안전성능평가기술 개발 (2013년~2015년)
- (2) 1g 진동대 활용 - 부산대학교
 - 3경간 교량상부모형의 충돌실험(2013)
 - 원자력 발전소 배관계통 진동대 실험(2011)
 - 1/25 scale의 25층 콘크리트 공동주택 건물 진동대 실험(2011)

다. 현 향만 및 어항구조물 내진설계기준 “향만 및 어항시설의 내진설계 표준서” (2009)

- (1) 1997년 건설교통부의 “내진설계기준연구(Ⅱ)”에 기반하여 제정
- (2) 설계지진 규모
 - 중간정도의 지진규모(모멘트 규모 약 $M_w = 5.0 \sim 5.5$)를 채택
- (3) 시설물별 내진설계 등급
 - I, II 등급 구분
- (4) 내진설계 성능 규정
 - 시설물의 지진시 거동특성을 반영하지 않는 기능수행, 붕괴방지의 두 단계 규정
- (5) 현 기준의 문제점
 - 지진하에서의 필요한 성능수준이 규정되어 있지 않음(성능기반 설계 불가)
 - 강진($M_w = 8.0$ 이상)을 포함하는 일본 및 미국의 기준을 토대로 제정
 - 유사정적기법에 기반한 설계 지침제공 (시간영역 비선형 해석기반 설계법 도입필요)
 - 중간정도 지진규모에 대비하기 위한 한국형 향만시설에 적합하지 않음
 - 내진설계가 안된 기존 향만 및 어항에 대한 내진평가 및 보강기준 필요
 - 특히, 안벽 등 접안시설 외 부대시설에 대한 구체적인 규정 미비
 - “기존향만의 내진성능평가 및 향상요령(2012)”와 중력식 안벽 등가정적 해석에서 적용하는 설계지진가속도(kh) 결정 방법이 상이함

3. 연구개발 목표

- 내진설계가 필요한 시설과 이들의 내진등급 및 성능에 대한 분명한 정의를 규정하고, 국내 실정을 반영한 연구를 통해 국내 항만내진기준에 성능기반설계법을 도입하는 것을 본 연구의 최종 목표로 한다.

각 세부 연구개발 목표는 다음과 같음.

- 내진설계가 필요한 시설과 이 시설들의 내진 등급, 내진성능, 성능목표에 대한 분명한 정의 규정 및 성능기반 내진설계기준 제시
- 항만 및 어항지반조사 및 D/B 구축
- 항만구조물의 성능기반 내진설계를 위한 입력지진과 작성기법 및 가이드라인 개발
- 중력식 안벽의 유사정적설계법 및 성능기반 내진설계 기술 개발
- 잔교식 안벽의 응답스펙트럼설계법 및 성능기반 내진설계 기술 개발
- 방파제의 유사정적설계법 및 성능기반 내진설계 기술 개발
- 부두측 크레인과 파이프라인의 유사정적설계법과 성능기반 내진설계 및 보강 기술 개발
- 원심모형실험을 활용한 항만 및 어항 시설물의 실험 결과 D/B 확보
- 실험결과를 이용한 동적 수치해석 검증 및 절차 확립
- 개발된 성능기반내진설계기준에 적합한 대표단면 및 예제 작성
- 국내 지반 및 지진특성을 고려한 한국형 유효응력개념의 내진해석기법 정립

4. 연구개발 내용

세부과제	연구개발 내용 및 범위	정량목표	수행기간 (참여연차)	예산 (억)
내진등급, 내진성능 및 성능목표 선진화	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 설계기준 분석 및 성능기반 내진설계기준 도입 ○ 성능기반 내진설계를 위한 내진등급, 내진성능, 성능목표 정립 ○ 현장 전문가 등으로부터 자문의견 도출 	○성능기반 내진설계 내진등급, 내진성능, 성능목표 기준(안) 작성	3년 (1년차)	4
항만구조물 성능기반 내진설계를 위한 시간이력 입력지진과 작성기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실측 및 인공지진파에 기반한 입력지진파 작성방법 분석 ○ 실측 및 인공 지진파에 기반한 암반조건(S_B 지반) 표준 설계 입력지진파 작성 ○ 원심모형실험 및 수치해석을 활용한 지진파 작성방법 영향 요소 분석 ○ 성능기반 내진설계를 위한 입력지진파 작성기법 및 가이드라인 개발 	○입력지진파 작성기법 및 가이드라인	3년 (1년차)	4.5
항만 및 어항지반조사 및 D/B 구축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 지반조사 조사기법 분석 ○ 항만 구조물 및 하부지반조건에 부합한 지반조사 기준 개선안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 항만 구조물 및 지반에 관한 지반조사 기준 개선 필요성 정량화 ○ SCP, DCM, 쇄석 등 지반 보강작업 이후의 지반 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 현장 및 실내실험 수행을 통한 지반 동적 물성 D/B 구축 - 항만 시설 주 재료에 대한 동적거동 특성 파악 	○보강지반(SCP, DCM, 쇄석 등) 지반 물성 D/B 구축 및 동적 거동 특성 제시	3년 (1년차)	7
중력식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유사정적 모사(Pseudo-Static) 및 동적거동 평가(Dynamic) 비교 및 분석 ○ 유효설계지진계수(k_h) 적용위치 및 산정방법 제안 ○ 중력식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 변위기반 성능 평가를 위한 동적수치해석 기법의 개발 - 실험 결과를 이용한 수치해석 검증(Calibration) - 검증실험 결과를 활용하여 지진강도 및 지반조건 변화에 따른 성능기반 설계결과 검증 - 성능기반내진설계 지진 시 허용변형량 제시 ○ 중력식 안벽의 지진 시 거동 D/B 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 원심모형실험 등을 통해 중력식 안벽의 정량적 지진거동 D/B 구축 ○ 성능기반 내진설계 예제 및 지침 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ○중력식 안벽의 유사정적 설계방법, 동적원심모형실험 및 수치해석 모델링 절차 작성 ○중력식 안벽의 성능기반 내진설계법을 정립하고 설계예제 및 지침 작성 ○중력식 안벽에 대한 원심모형실험 결과의 D/B를 구축 	5년 (1년차)	13

<p>잔교식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 잔교식 안벽의 응답스펙트럼 설계기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 설계기준 분석을 통한 개선사항 도출 - 설계입력변수(말뚝-지반 모델링 기법, 기초 고정점 위치, 지진하중 등) 민감도 분석 - 검증실험(원심모형실험 등)을 통한 설계결과의 적용성 검증 ○ 잔교식 안벽의 성능기반 내진설계기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 변위기반 성능 평가를 위한 동적수치해석 기법의 개발 - 잔교식 안벽의 수치모델링 기법 및 입력변수 산정기술 개발 - 검증실험 결과를 활용하여 지진강도 및 지반조건 변화에 따른 성능기반 설계결과 검증 - 성능기반 내진설계 절차 작성, 동적 수치해석 기술 제안 ○ 잔교식 안벽의 지진거동 D/B구축 <ul style="list-style-type: none"> - 원심모형실험 등을 통해 잔교식 안벽의 정량적 지진거동 D/B를 구축함 - 지진강도 증가 및 지반조건 변화에 따른 잔교식 안벽의 지진거동 분석 ○ 성능기반 내진설계 예제 및 지침 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 잔교식 안벽의 동적해석·설계 ○ 잔교식 안벽의 내진설계예제 ○ 잔교식 안벽의 원심모형실험 D/B를 통한
<p>방파제의 성능기반 내진설계기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방파제의 유사정적 설계기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 설계기준 분석을 통한 개선사항 도출 - 설계입력변수(입력지진하중 등) 민감도 분석 - 검증실험(원심모형실험 등)을 통한 구조모델링 및 표준단면에 대한 적용성 검증 ○ 방파제의 성능기반 내진설계기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 변위기반 성능 평가를 위한 수치모델링 기법 및 입력변수 산정기술 개발 - 검증실험 결과를 활용하여 지진강도 및 지반조건 변화에 따른 성능기반 설계결과 검증 - 성능기반 내진설계 절차 작성 ○ 방파제의 지진거동 D/B구축 <ul style="list-style-type: none"> - 원심모형실험 등을 통해 방파제의 정량적 지진거동 D/B 구축 - 지진강도 증가 및 지반조건 변화에 따른 방파제의 지진거동 분석 ○ 성능기반 내진설계 예제 및 지침 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방파제의 동적해석·설계 ○ 방파제의 내진설계예제 ○ 방파제의 원심모형실험 D/B를 통한
<p>크레인과 파이프라인의 성능기반 내진설계 및 보강 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 크레인과 파이프라인의 유사정적 설계기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 크레인 구조체의 비선형 거동 및 크레인 한쪽 들림 등의 비선형 거동 고려 방법 - 설계입력변수 민감도 분석 - 표준단면에 대한 비선형 동적설계 및 유사정적 설계 결과 적용성 검증 ○ 크레인과 파이프라인의 성능기반설계기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 크레인 및 파이프라인 상대변위에 대한 성능목표 설정 - 변위기반 성능 평가를 위한 유사정적해석 및 동적수치해석 기법 분석 - 기존 시설물의 내진성능 보강 방법 제안 - 크레인 및 파이프라인에 대한 성능기반설계기준서 및 내진성능평가절차서 작성 ○ 성능기반 내진설계 예제 및 지침 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부두측 크레인 파이프라인 설계해석 ○ 부두측 크레인 파이프라인 내진설계예제

<p>간극수의 동적거동을 고려한 유효응력 개념의 내진해석기법 정립</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실내 진동시험을 통한 항만 및 어항시설 기초지반의 유효응력개념 동적 물성 산정 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 실지진하중 모사가 가능한 한국형 정현하중 조합모델 개발 - 기존 및 새로운 정현하중 조합모델을 이용한 실내진동실험결과 비교분석 ○ 현장 및 실내 진동실험결과 간의 상관관계 도출을 통한 유효응력해석의 입력 파라미터 산정 및 해석 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 시추조사결과를 이용한 유효응력해석 입력 파라미터 산정 - 국외 항만 및 어항시설 피해사례에 대한 유효응력해석 수행 ○ 한국형 유효응력해석기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 간극수압 관련 파라미터의 산정 및 검증 - 국외 피해사례에 대한 수치시뮬레이션을 통한 해석기법의 적용성 검토 - 한국형 유효응력해석기법 매뉴얼 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ○유효응력 내진해석 실내동적 ○유효응력 내진설계 해석기법 설계예제
<p>성능기반내진설계기준 단면개발 및 경제성 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 항만 시설의 설계 현황 파악 및 단면 수집, 대표단면 설정 ○ 내진설계시 현업 실무자들의 문제점 파악 (예제, 절차서, 수치해석프로그램 등) ○ 작성된 설계단면의 경제성 분석 및 해외 설계기준과의 비교 분석 ○ 대표단면 예제에 대하여 현업 실무자간의 설계 방법 교육 및 의견수렴 ○ 성능기반의 대상구조물 내진설계 대표단면 예제 및 설계단면 완성 	<ul style="list-style-type: none"> ○성능기반 예제 및 ○실무자간

5. 연구개발 최종성과물

가. 3차년도 성과물

- (1) 성능기반 내진설계를 위한 입력지진파
 - 암반조건(S_B 지반)에 대한 표준 설계 입력지진파, 작성기법 및 가이드라인
- (2) 동적토압 산정을 위한 유사정적 방법의 신뢰성 검증
 - 설계지진계수(k_h) 산정방법 정립(위치 및 크기)
- (3) 중력식 안벽, 잔교식 안벽, 방파제 성능기반 설계법
 - 중력식 안벽, 방파제 : 성능기반 설계법 잠정안, 유사정적 해석 방법
 - 잔교식 안벽 : 응답스펙트럼 해석법 잠정안

나. 5차년도 성과물

- (1) 보강지반(SCP, DCM, 쇄석 등) 지반 물성 D/B 구축 및 동적 거동 특성 제시
- (2) 유사정적설계법 정립, 설계예제 및 지침 작성
 - 중력식 안벽, 방파제, 부두측 크레인 및 파이프라인
- (3) 잔교식 안벽의 응답스펙트럼 설계법 정립, 설계예제 및 지침 작성
- (4) 성능기반 내진설계법
 - 중력식 안벽, 잔교식 안벽, 방파제, 부두측 크레인 및 파이프라인
- (5) 중력식 안벽, 잔교식 안벽, 방파제에 대한 원심모형실험 결과의 D/B를 구축
- (6) 성능기반내진설계 기반의 표준설계단면
- (7) 한국형 유효응력개념의 내진 해석기법 정립, 설계예제 및 매뉴얼 작성

6. 연구개발 기대효과

가. 기술적 측면

- (1) 성능기반 내진설계를 위한 지진 시 성능 정의 및 검증방법 정립
- (2) 선진국 수준의 항만구조물 내진설계기술 개발
- (3) 항만 및 어항 시설의 지반물성 및 층상구조 조사 기준 확립
- (4) 항만 및 어항 시설의 지반물성 및 층상구조 D/B 구축 가능
- (5) 국내 항만시설물의 내진설계에 사용되는 입력지진파의 불확실성 저감

나. 경제적 측면

- (1) 내진설계기술 향상으로 인한 고급 기술인력 양성 가능
- (2) 국내 건설기업의 해외진출을 위한 내진설계 기술력 제고
- (3) 향후 항만 시설물의 내진보강사업 시 건설비용 절감 기대

- (4) 한국형 내진해석 프로그램을 정립으로 인한 건설관련 설계 소프트웨어 산업 발전 가능

다. 사회적 측면

- (1) 국내 항만설계기준의 국제화 도모 및 항만분야 설계 및 시공 시 발생하는 혼란 해소.
 (2) 1999년 표준서, 2012년 성능평가 및 향상요령 상이점 해결로 인한 실무 혼란 해소
 (3) 주요 항만구조물 내진설계방법 정립으로 실무 설계에서의 어려움 해결
 (4) 국내 항만 구조물에 성능기반 설계법 적용으로 인한 국가 사회기반 시설의 안정성 확보

7. 연차별 소요 예산(안)

(단위 : 억)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
합계	15	15	15.5	17.5	17	80

제3절 신뢰성 설계 과제제안요청서(RFP)

사 업 명	첨단항만물류기술개발					
과 제 명	항만 및 어항 시설물 한계상태설계기준개발					
연구기간	2016~2021		정부지원금		90억	

1. 연구개발 필요성

가. 기술동향 및 국·내외 기술수준에서의 중요성

(1) 신뢰성 기반 설계법 도입 필요성

- 항만은 국가 산업 및 경제활동에 있어 매우 중요한 기간시설이므로 자연재해에 대비한 충분한 안전성과 수명기간 동안 효율적인 유지관리가 필수적임
- 지진, 태풍, 해일 등 자연재해의 불확실성은 매우 크며, 이를 항만구조물의 설계에 직접적으로 반영하지 못하는 기존의 결정론적 설계법은 과소설계 및 과다설계를 유발할 우려가 매우 큼
- 자연재해의 관점에서 항만구조물의 과소설계 및 과다설계는 유지관리 비용의 증가를 초래할 수 있고 기능유지가 어려울 만큼의 붕괴가 발생했을 경우 재시공으로 인

한 직접비용 및 해상물류 경제활동 위축으로 인한 막대한 간접비용의 손실이 예상되며 궁극적으로 국가경제의 치명적인 위험요소를 제공함

- 따라서, 자연재해의 불확실성 요소를 항만구조물 설계에 직접 반영하는 신뢰성설계법은 국가 경제적 측면의 위험요소를 사전에 관리하는 핵심기술로서 인식되고 있음

(2) 선진국의 항만구조물 한계상태설계기준 도입

- 세계 각국은 이미 항만구조물의 설계에 있어 신뢰성 이론을 도입하는 추세에 있으며, 유럽연합(EU), 북미경제권(NAFTA) 등의 경제블록을 중심으로 주도하고 있음
- 유럽, 미국 등은 2000년 초반에 항만구조물 설계에 한계상태설계기준 도입하여 세계 항만 건설시장에서 기술적 우위를 확보하고 있음
- 중국은 2000년에 항만구조물 신뢰성설계기준 개정판 제정하였음
- 일본은 200억 이상의 연구비를 집중 투자하여 2007년에 전격적으로 한계상태기반의 항만설계기준으로 개정을 완료하였음

(3) 국내 실정

- 우리나라의 경우 아직까지 한계상태기반 항만설계기준으로의 개정이 이루어지지 않고 있어 선진국 대비 10년 이상 설계기술이 뒤쳐진 상태임
- 국제적 추세에 대응하여 신속하고 과감한 연구개발 투자를 통해 한계상태기반의 설계기준 마련이 필요하며, 이를 통해 항만구조물 신뢰성 설계분야에서 선진국 대비 경쟁력을 확보할 필요가 있음

나. 경제적·산업적 측면에서의 중요성

(1) 세계 항만 건설시장의 진출을 위한 교두보 확보

- 중국이 제안한 아시아인프라투자은행(AIIB)이 성공적으로 출범하면 내륙의 물류는 물론 해운물류 기반시설에 대한 투자가 급격하게 이루어 질 것으로 예상됨
- 중동, 아시아 등의 항만건설 시장에서 국제표준화기구의 원칙(ISO 2394, ISO 21650)을 따르는 신뢰성 기반 설계기법을 요구할 가능성이 높아짐
- 국내 설계 및 시공사의 항만건설 분야 해외시장 진출을 위해서 국내 기술진들의 신뢰성 설계로의 기술 선진화가 필요하며, 이에 따라 신뢰성설계로의 여건마련을 위한 한계상태기반 신뢰성설계기준의 개발이 시급한 실정임
- 본 과제의 성공적 추진으로 향후 5년 내에 선진국 수준의 신뢰성 설계기준이 제정되더라도 선진국대비 15년 이상 늦게 도입되므로 결코 지체할 수 없음

2. 연구개발 현황 및 수준

가. 국외 한계상태설계기준 동향 및 연구개발 동향

(1) 설계기준개발 동향

- 미국은 유럽의 PIANC 및 일본에서 개발한 신뢰성설계법을 집대성하여 CEM(Coastal Engineering Manual) 6장에 Reliability based design of coastal structures편을 제정하였음(2006)
- 유럽의 경우 방파제 등과 같은 항만 구조물의 신뢰성기반 설계기준식에 필요한 부분안전계수들이 PIANC 주관으로 연구개발 되었으며, Breakwater with vertical and inclined concrete walls와 Analysis of rubble mound breakwaters(1992)에 제시됨
- 중국은 1985년에 건축구조물을 대상으로 신뢰성 이론을 적용한 설계기준을 처음 도입한 이후, 7년간의 연구결과를 토대로 1992년에 항만을 포함한 토목구조물에 신뢰성 기반 설계기준을 제정하여 의무규정으로 적용하고 있음. 2000년 개정판이 현재 까지 사용되고 있음
- 일본은 2003년부터 2007년까지 5년간 추진한 신뢰성설계법 관련 연구를 토대로 2007년 항만설계기준이 신뢰성설계법으로 개정됨

(2) 연구개발 동향

- 하중 및 저항계수를 포함한 합리적인 부분안전계수 개발을 위하여 신뢰성 분석 연구가 활발하게 연구되고 있으며, 연구 결과에 의해 시방서 및 설계기준이 계속 업데이트 되고 있음
- 이에 따라 아직까지 개발되지 않은 항만구조물 형식이나 관련 파괴모드들에 대하여는 점차 보완이 확대될 것으로 예상됨

나. 국외 한계상태설계기준 동향 및 연구개발 동향

(1) 도로 및 강구조 분야

- 도로교설계기준의 경우 2009년 하반기 부터 설계기준 기준화 작업을 시행하여 다 수 전문가와 연구자가 참여하는 자문회의 및 공청회 등을 거쳐 2012년에 ‘도로교설계기준 한계상태설계법’을 제정하였으며, ‘설계기준 제정에 따른 경과 조치’로서 급격한 설계기준의 변화에 따른 업계의 혼란 방지와 기술자들에 대한 교육과 홍보를 위하여 약 3년간의 유예기간을 가진 후 2015년부터 전면 시행 예정임
- 강구조설계기준은 2009년 하중저항계수설계법(LRFD)을 채택한 “건축구조설계기준(KBC2009)”과 “하중저항계수설계법에 의한 강구조설계기준(한국강구조학회, 2009)”이 제정된 후 2014년에 강구조설계기준 개정판이 출간됨
- 교량, 건축물의 강구조물 설계시 기존의 허용응력설계법 대신 국제설계표준의 한계상태설계법인 하중저항계수법을 채택함으로써 제한적이지만 설계법의 국제표준화에 대한 대응과 설계품질의 신뢰성을 확보함
- 2012년 개정된 콘크리트설계기준은 강도설계법을 따르고 있으며, 한계상태설계법으로의 전면적인 전환은 이루어지지 않았음
- 개정된 콘크리트설계기준은 콘크리트의 사용성과 내구성에 관련된 최근 연구성과

의 반영과 고강도 콘크리트 및 철근에 대한 적용범위 확대를 고려하였으며, 부록에 성능조사와 관련된 내용을 수록함으로써 성능기반설계의 도입을 위한 토대구축과 기존 구조물에 대한 안전성평가 방법을 포함하였음

(2) 항만 분야

- 2006년부터 2011년까지 한국해양연구원 주관으로 “항만구조물 신뢰성설계법 개발” 연구가 추진되었음
- 그러나 당초 소요 연구비(300억원)에 비하여 현저하게 삭감된 연구비(32억원) 지원으로 연구내용 축소가 불가피하였고, 이에 따라 일부 주요 형식의 항만구조물에 대해서만 제한적으로 설계법이 개발됨
- 선행연구에서 개발된 연구성과는 방파제(케이슨식, 경사식)와 안벽(케이슨식, 잔교식)등 대표적 구조형식에 대한 상시, 파랑시 및 지진시에 대한 신뢰성설계법임
- 신뢰성설계법의 도입을 위한 부분안전계수는 경사식방파제의 피복석 안정성, 케이슨식 안벽의 활동, 전도, 지지력, 직선활동, 원호활동, 지반침하, 잔교식의 경우 파일의 응력 안정성 등의 한계상태식에 제시됨
- 상기 선행연구에서 완료하지 못한 케이슨 이외의 방파제 구조물형식(예: 블록식, 셀블럭식, 혼성식 등)과 케이슨과 잔교식을 제외한 안벽 구조물형식(예: 블록식, 널말뚝식, 사향식 잔교 등), 그리고 지반 및 기초 구조물(예: 얕은기초, 깊은기초, 사면안정, 연약지반 등)에 대한 신뢰성설계법은 추가 개발이 필요함

3. 연구개발 목표

가. 설계조건 및 재료의 확률론적 산정법 정립

- (1) 성능설계기준의 목표 및 방향 개발
- (2) 재료의 확률론적 특성 정립
- (3) 설계조건 결정방법 개발
 - (가) 확률론적 방법에 의한 설계파고의 산정방법
 - (나) 지진확률을 고려한 지진하중 산정방법
 - (다) 조위, 풍속 등의 확률론적 산정방법

나. 계류시설의 한계상태설계기준서 개발(선진국 대비 95%)

- (1) 중력식 안벽(케이슨식, 블록식, 셀블럭식 등) 신뢰성설계법
- (2) 잔교식 안벽(직향식, 사향식, 돌체식, 횡잔교 등) 신뢰성설계법
- (3) 널말뚝식 및 기타형식 안벽(돌핀 등) 신뢰성설계법
- (4) 계류시설 구조 및 기초의 신뢰성설계법

다. 외곽시설의 한계상태설계기준서 개발(선진국 대비 95%)

- (1) 경사제(소파블럭 피복제) 신뢰성설계법

- (2) 직립제(혼성제, 상부사면케이슨 등)의 신뢰성설계법
- (3) 직립소파블럭 및 소파케이슨의 신뢰성설계법
- (4) 외곽시설 구조 및 기초의 신뢰성설계법

라. 기초시설의 한계상태설계기준서 개발(선진국 대비 95%)

- (1) 사면안정의 신뢰성설계법
- (2) 얕은기초 및 지반개량의 신뢰성설계법
- (3) 깊은기초의 신뢰성설계법

마. 한계상태설계기준서 및 설계사례집 개발

- (1) 항만 및 어항시설물 한계상태설계기준서개발
- (2) 항만 및 어항시설물 한계상태설계기준서개발

4. 연구개발 내용

세부과제	연구개발 내용 및 범위	정량목표	수행기간/ 참여연차	예산(억)
재료 및 하중의 한계상태설계기준서 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설계조건 및 재료의 확률론적 산정법 정립 <ul style="list-style-type: none"> - 바람과 풍압력의 확률론적 산정법 - 파랑, 조석 및 흐름의 확률론적 산정법 - 지반물성 및 지진력의 확률론적 산정법 - 재료의 성능조사 기본사항 정의 및 목표성능의 설정 - 강재 및 콘크리트 특성값의 확률론적 산정법과 방식법의 개요 - 역청재료, 석재, 목재 및 기타재료에 대한 일반사항 	관련기준서 개발 관련설계사례집 발간	5년/1,2,3,4,5년차	10억
계류시설의 한계상태설계기준서 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 계류시설의 한계상태설계기준서 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 계류시설의 중요도 및 목표성능 결정 - 계류시설별 안정성평가를 위한 한계상태 개발 - 계류시설별 설계확률변수 결정 및 확률특성 제시 - FORM 해석을 통한 한계상태별 계류시설의 신뢰성해석법 개발 - 구조요소·하부기초의 파괴모드별 부분안전계수 산정 - 설계실무자에 의한 부분안전계수 검증 - 계류시설 한계상태설계기준서 및 설계사례집 출간 	관련기준서 개발 관련설계사례집 발간	5년/1,2,3,4,5년차	30억

외곽시설의 한계상태설계 기준서 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 외곽시설의 한계상태설계기준서 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 외곽시설의 중요도 및 목표성능 결정 - 외곽시설별 안정성평가를 위한 한계상태 개발 - 외곽시설별 설계확률변수 결정 및 확률특성 제시 - FORM 해석을 통한 한계상태별 계류시설의 신뢰성해석법 개발 - 구조요소·하부기초의 파괴모드별 부분안전계수 산정 - 설계실무자에 의한 부분안전계수 검증 - 외곽시설 한계상태설계기준서 및 설계사례집 출간 	관련기준서 개발 관련설계사 레집 발간	5년/1,2,3,4, 5년차	25억
기초시설의 한계상태설계 기준서 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기초시설의 한계상태설계기준서 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 지반조사 수행체계에 대한 기준 정립 - 기초설계의 불확실성 변수 평가 - 지반개량공법에 반영되는 지반정수의 불확실성 평가 - 사면안정해석에 관한 신뢰성설계법 정립 - 얕은 기초의 신뢰성설계법 개발 - 깊은 기초의 신뢰성설계법 개발 - 지반개량설계의 신뢰성설계법 개발 - 기초시설 한계상태설계기준서 및 설계사례집 출간 	관련기준서 개발 관련설계사 레집 발간	5년/1,2,3,4, 5년차	25억

5. 연구개발 최종성과물

가. 항만 및 어항 시설물 한계상태설계기준서 개발

- (1) 설계조건 및 재료의 확률론적 산정법 개발
- (2) 계류시설의 한계상태설계기준서 개발
- (3) 외곽시설의 한계상태설계기준서 개발
- (4) 기초시설의 한계상태설계기준서 개발

나. 항만 및 어항 시설물 한계상태설계사례집 개발

- (1) 외력조건 및 재료조건 설계사례(대표적 외력조건 및 재료조건 포함)
- (2) 계류시설의 한계상태설계사례(안벽 2가지 타입)
- (3) 외곽시설의 한계상태설계사례(방파제 2가지 타입)
- (4) 기초시설의 한계상태설계사례(기초 3가지 타입)

6. 연구개발 기대효과

가. 국제적 설계기준을 만족하는 국내 항만·어항 설계기준 마련으로 설계경쟁력 강화

- (1) ISO 2394 General principles on reliability of structures 만족하여 수출효과

- (가) 구조물의 확률설계
- (2) ISO 21650 Actions from waves and currents on coastal structures 만족하여 수출효과
 - (가) 외력조건 산정 시 모든 불확실성을 고려함
- (3) 국제적 항만설계수준 확보를 통한 국내 항만기술자의 설계기술력 향상

나. 기후변화와 고령화에 효과적으로 대응할 수 있는 경제적 항만 및 어항 시설물 설계

- (1) 기후변화 대응 위한 구조물 생애주기기반 비용최적설계
- (2) SOC 고령화에 대응하는 성능해석 도구로 활용
- (3) 리스크 기반 자산관리로 확대 활용 가능

다. 자연재해대비 성능설계를 통한 항만물류 시설의 안전성 수준 확보

- (1) 극한재난사상에 대한 불확실성 고려로 인한 구조물의 파괴범위 산정
- (2) 사용한계상태, 수리가능한계상태, 극한한계상태에 따른 선택적 성능설계 가능하여 국가 주요 시설물의 재해대응 방안 효과
- (3) 항만시설물의 일정한 성능 확보로 항만물류의 안정성 확보

라. AIIB(아시아인프라투자은행)를 통한 세계 항만건설시장 진출의 기술 교두보 확보

- (1) 아시아 항만건설시장의 기술적 우위 확보
- (2) 국제설계기준 확보를 통한 AIIB 항만인프라 투자제안 활용
- (3) 설계경쟁력에 따른 한중일 공동 항만건설 프로젝트의 주도적 역할 기대

7. 연차별 소요 예산(안)

(단위 : 억)

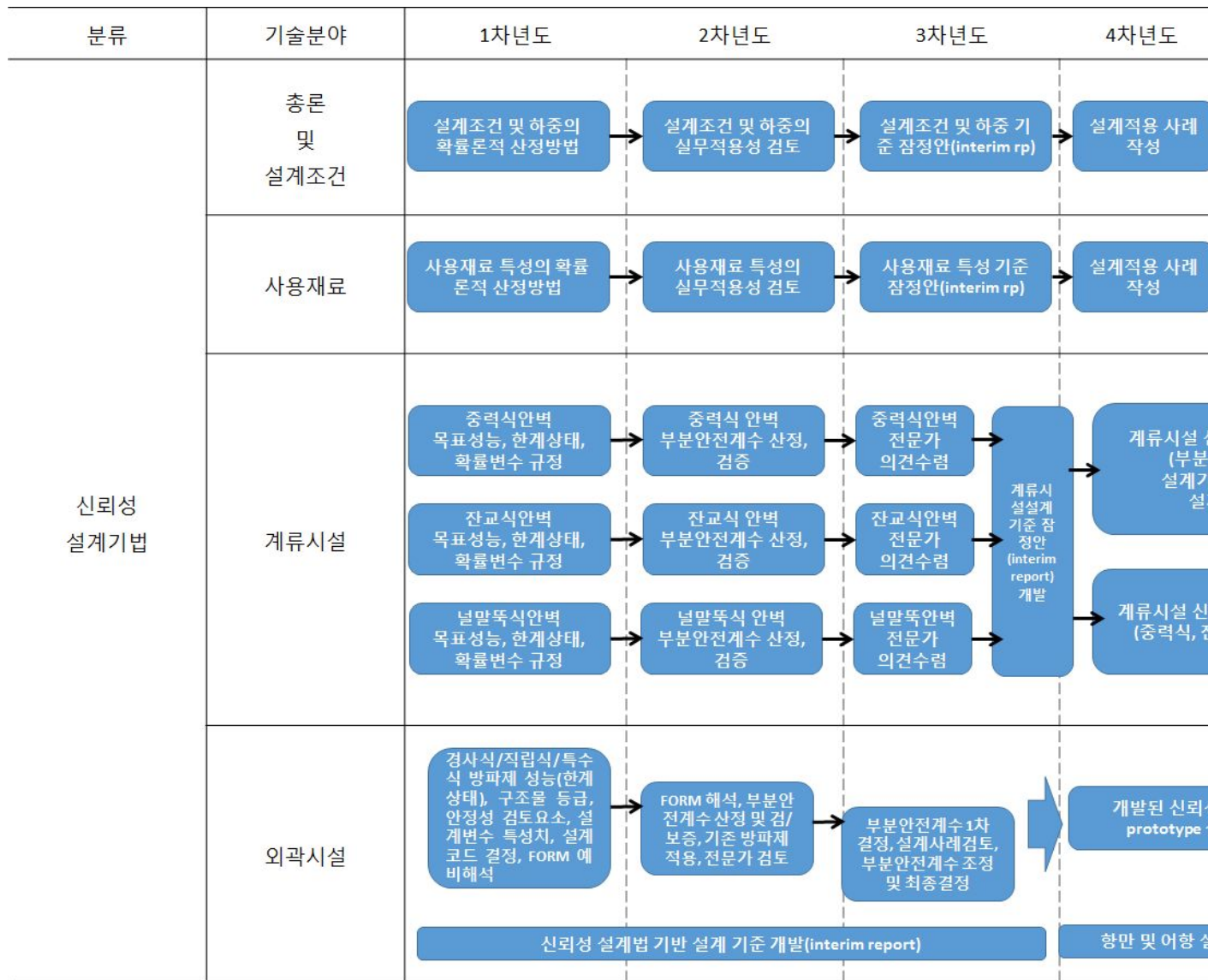
구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
합계	20	20	20	15	15	90

제4절 성능기반 내진설계 기술지도(TRM)

분류	기술분야	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종성과물
성능기반 내진설계	총론	성능기반 내진설계 기준 도입 내진등급정립	내진성능정립 성능목표정립 전문가의견 협의				<ul style="list-style-type: none"> 성능기반 내진설계 내진 등급, 내진성능, 성능목표 기준(안)
	지반조사			국내외 항만부지 지반조사 기법 분석 항만 구조물 및 지반조건에 부합한 지반조사 기준 개선	항만부지 DCM, SCP 보강 지반조사 및 D/B 구축 항만 시설 주 재료 동적 거동 특성 파악		<ul style="list-style-type: none"> 보강지반(SCP, DCM, 쇄석 등) 지반 물성 D/B 구축 및 동적 거동 특성 제시
	단면작성 및 경제성분석		항만 및 어항 구조물의 설계 현황 파악 국내 실정에 맞는 설계방법 조사 현업 실무자 공청회	성능기반의 대상 구조물 별 내진설계 대표단면 예제 및 설계 단면 완성	기존 설계법과 비교 및 경제성 분석	성능기반의 대상 구조물 별 내진설계 최종 대표단면 예제 및 설계단면 완성	<ul style="list-style-type: none"> 성능기반 내진설계 내진등급, 내진성능, 성능목표 기준(안)
	입력 지진파	실측 지진파에 기반한 입력지진파 작성 방법 조사 랜덤생성 인공지진파에 기반한 입력지진파 작성방법 조사 성능기반 입력지진파 작성기법(안) 개발	암반조건(S_B 지반)에 대한 표준 설계 입력 지진파 작성 지진파 작성방법이 항만구조물의 응답에 미치는 영향 분석	암반조건(S_B 지반)에 대한 표준 설계 입력 지진파 개선 성능기반 내진설계를 위한 입력지진파 작성기법 및 가이드라인 개발			<ul style="list-style-type: none"> 성능기반 내진설계를 위한 입력지진파 작성 기법 및 가이드라인 입력지진파 작성 사례집 암반조건(S_B 지반)에 대한 표준 설계 입력지진파
	액상화 및 동해석 검증	국내외 액상화 평가 기법 문헌조사 유효응력해석기법에 대한 문헌 조사	액상화 평가를 위한 실내실험 한국형 액상화 평가 기법 개발1 국외 유효응력해석기법 사례연구	유효응력해석기법 파라미터 산정을 위한 실내실험 한국형 액상화 평가 기법 개발 2 한국형 유효응력해석 기법 개발1	한국형 유효응력해석 기법 개발을 위한 파라미터 산정 한국형 액상화 평가 기법 개발 3 한국형 유효응력해석 기법 개발2	한국형 유효응력해석 기법 개발 3	<ul style="list-style-type: none"> 국내 항만 부지 액상화 평가기법 및 예제 작성 유효응력개념의 내진 해석을 위한 실내동적 실험 D/B 유효응력개념의 내진 설계가 가능한 해석기법 정립 및 예제 작성

분류	기술분야		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
성능기반 내진설계	중력식 안벽	유사정적해석	표준단면 결정	실험 결과를 이용한 수치해석 검증	설계지진계수(k_h)상정방법 정립		
			유사정적상태 모사실험 및 검증(Static) [한계상태 정적하중 평가]	동적 거동 평가(Dynamic) [정적모사거동 vs PGA 유사정적 vs 동적거동]	설계지진계수(k_h) 위치 정립		
		성능기반설계	성능기반설계 문헌조사	표준단면에 대한 내진 성능평가(수치해석) [변위기반 성능평가위한 동적수치해석 기법 분석]	성능기반 설계절차 작성	지진강도에 따른 내진성능 설계 검증	지반
			성능기반검증실험(1) [성능기반검증실험]		성능기반검증실험(2) [변형량 계산방법 비교 분석, 입력지진파 영향 검토]	성능기반검증실험(3) [성능기반 설계 단면 검증]	입력 성능 설
	잔교식 안벽	응답스펙트럼 해석	표준단면 결정 응답스펙트럼 해석을 위한 잔교식 안벽 모델링 기법 분석 [응답스펙트럼 설계 개선사항 도출]	응답스펙트럼 해석 검증실험(1) VS 잔교식 안벽 응답스펙트럼 해석	응답스펙트럼 해석, 설계 지침 잔교식 안벽 구조 모델링 기법		
		성능기반설계	성능기반설계 문헌조사	성능기반설계를 위한 동적 수치해석 기법 개발	성능기반 설계절차 동적수치해석 기법 검증	지진강도에 따른 내진성능 설계 검증	지반
			국외 성능기반설계법 및 동적 수치해석 기법 분석	성능기반검증실험(1) [표준단면 실험/말뚝 고정점 위치, 지반 모델링 등 응답스펙트럼 설계법 검증]	성능기반검증실험(2) [지진강도 증가에 따른 목표 성능의 만족여부 검증] 표준단면에 대한 내진성능 평가[동적 수치해석]	성능기반검증실험(3) [지반조건 변화에 따른 목표성능의 만족여부 검증/성능기반 설계단면 검증]	입력 성능 설
	방파제	유사정적해석	표준단면 결정 유사정적 해석을 위한 방파제 모델링 기법 분석 [유사정적 설계 개선사항 도출]	유사정적 해석 검증실험(1) VS 방파제 유사정적 해석	방파제 구조 모델링 기법 유사정적 해석, 설계 지침		
		성능기반설계	성능기반설계 문헌조사	성능기반 설계를 위한 동적 수치해석 기법 개발	성능기반 설계절차 동적 수치해석 기법 검증	지진강도에 따른 내진성능 설계 검증	지반
			국외 성능기반설계법 및 동적 수치해석 기법 분석	성능기반검증실험(1) [표준단면 실험/지반변형, 지반 모델링 등 유사정적 설계법 검증]	성능기반검증실험(2) [지진강도 증가에 따른 목표 성능의 만족여부 검증] 표준단면에 대한 내진성능 평가[동적 수치해석]	성능기반검증실험(3) [지반조건 변화에 따른 목표성능의 만족여부 검증/성능기반 설계단면 검증]	입력 성능 설
	크레인 및 파이프라인	유사정적해석			크레인/파이프라인 내진 설계절차 정립 대표적인 크레인/파이프라인에 대한 유사정적해석 유사정적 설계 개선사항 분석	크레인/파이프라인 동적해석 동적해석결과와 유사정적해석결과 비교 유사정적 설계법 개선	크레인 정적 유사
		성능기반설계			국내외 내진설계 기준조사 국내외 내진성능 평가 방법 조사 성능기반설계 문헌조사	성능목표 설정 동적해석/유사정적 해석 결과 분석 성능기반설계법 개선	방향 동적 성능

제5절 신뢰성 설계 기술지도(TRM)



분류	기술분야	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
신뢰성 설계기법	지반조사 및 사면안정	<div>지반조사 수행체계 기준 정립</div> <div>사면안정 신뢰성 설계법 기본방향 수립</div>	<div>사면안정 신뢰성 설계법 정립</div>	<div>지반조사, 사면안정 신뢰성설계기준 (잠정안) 작성</div> <div>전문가 자문 및 의견수렴</div>	<div>신뢰성설계기준 (잠정안) 수정·보완</div> <div>목표신뢰수준 및 부분안전계수 보정</div>	<div>신뢰성설계기준 (잠정안) 수정·보완</div> <div>목표신뢰수준 및 부분안전계수 보정</div>
	깊은기초	<div>깊은기초 신뢰성 설계법 기본방향 수립</div> <div>용도별 성능규정, 성능조건별 한계상태 정의</div> <div>설계변수 불확실성, 통계특성 분석</div>	<div>깊은기초 신뢰성 설계법 정립</div> <div>축방향지지력 중심 하중·저항계수 산정</div>	<div>깊은기초 신뢰성설계기준 (잠정안) 작성</div> <div>전문가 자문 및 의견수렴</div>	<div>신뢰성설계기준 (잠정안) 수정·보완</div> <div>축방향지지력 중심 하중·저항계수 보정</div>	<div>신뢰성설계기준 (잠정안) 수정·보완</div> <div>축방향지지력 중심 하중·저항계수 보정</div>
	얕은기초	<div>얕은기초 신뢰성 설계법 기본방향 수립</div> <div>용도별 성능규정, 성능조건별 한계상태 정의</div> <div>설계변수 불확실성, 통계특성 분석</div>	<div>얕은기초 신뢰성 설계법 정립</div> <div>축방향이 지배적인 얕은기초 지지력 에 대한 하중·저항계수산정</div>	<div>얕은기초 신뢰성설계기준 (잠정안) 작성</div> <div>전문가 자문 및 의견수렴</div>	<div>신뢰성설계기준 (잠정안) 수정·보완</div> <div>축방향이 지배적인 얕은기초 지지력 에 대한 하중·저항계수산정</div>	<div>신뢰성설계기준 (잠정안) 수정·보완</div> <div>축방향이 지배적인 얕은기초 지지력 에 대한 하중·저항계수산정</div>
	지반개량공법	<div>대표지반개량공법 신뢰성 설계법 기본방향 수립</div> <div>공법별 용도별 성능 규정, 성능조건별 한계상태 정의</div> <div>설계변수 불확실성, 통계특성 분석</div>	<div>대표지반개량공법 신뢰성 설계법 정립</div> <div>대표지반개량공법 에 대한 하중·저항계수산정</div>	<div>대표지반개량공법 신뢰성설계기준 (잠정안) 작성</div> <div>전문가 자문 및 의견수렴</div>	<div>신뢰성설계기준 (잠정안) 수정·보완</div> <div>대표지반개량공법 에 대한 하중·저항계수산정</div>	<div>신뢰성설계기준 (잠정안) 수정·보완</div> <div>대표지반개량공법 에 대한 하중·저항계수산정</div>

제7장 타당성 분석

제1절 정책적 타당성

1. 정부 정책 방향과의 부합성

가. 국정목표 달성을 위한 기술혁신

- (1) 안전과통합의 사회 : 재난·재해예방 및 체계적관리
 - (가) 자연재해(지진)으로부터 안전한 사회구축
- (2) 행복한 통일시대의 기반구축
 - (가) 통일시대 항만물류 기반시설 선진설계기준 정립필요

나. 부처별 국가 기본계획간 연계 추진

- (1) “제5차 건설기술진흥기본계획”, 국토교통부, 2012
 - (가) 건설 단계별 ‘소프트’역량 강화
- (2) “기존 공공시설물 내진보강 기본계획”, 소방방재청, 2011
 - (가) 항만 접안시설 보강예산액 : 4,048,000백만원 (기존 기준 적용시)

다. 경제혁신을 위한 기술개발

- (1) 경제적이고 선진화된 성능기반내진설계 적용
 - (가) 해외설계기준과의 상이성으로 인하여 해외 진출이 어려운 실정
 - (나) 현행 설계기준의 선진화로 해외 시장 진출 및 인력 양성
 - (다) 신기술 적용으로 인한 창조경제 실현 가능
- (2) 한계상태기반설계법으로 총생애주기비용 최적화 설계
 - (가) 항만시설의 총생애주기비용 최적설계로 국가예산 경제적 집행
 - (나) 항만시설의 보수, 보강, 점검 등 항만 자산관리의 합리성 제고

라. R&D 혁신 및 미래산업 원천기술 확보로 인한 역동적 창조경제 실현

- (1) 기후변화 및 항만시설의 대형화로 인한 대응 핵심기술 개발 필요
- (2) 교통 등의 사회기반시설의 안전진단 및 신기술 개발로 재난 안전확보 및 산업육성

마. 창조경제 선도를 위한 해외 항만건설시장 진출 유도

- (1) 유럽, 미국 등 선진국에 국한된 동남아, 중동 항만건설시장 진출을 위한 설계기술 선진화

2. 정부투자의 필요성

가. 국내 항만설계기준의 설계지진가속도(k_h) 결정방법 상이

- (1) 현행 “항만설계기준”의 근간이 된 “항만 및 어항시설의 내진설계 표준서(1999)”와 “기존항만의 내진성능평가 및 향상요령(2012)”에서 중력식 안벽 등가정적 해석에서

적용하는 설계지진가속도 결정 방법이 상이한 문제가 있음.

- (2) 2012년 평가방법이 1999년 표준서에 비하여 설계 지진가속도를 2-3배 상향 적용하고 있으며, 2000년 이후 등가정적 방법으로 내진설계가 이루어진 항만의 경우, 2012년 방법으로 내진성능을 평가 할 경우 불안정으로 나올 가능성이 높음.

나. 동적해석법에 의한 성능기반내진설계법 도입 필요

- (1) 현재의 항만내진관련 기준 ('항만설계기준(2014), '기존항만 내진성능평가(안)(2012), 항만 및 어항 내진설계 표준서(11999) 등)은 유사정적하중하에서 항만구조물이 허용응력을 만족시키는 허용응력 설계법을 근간으로 하고 있음.
- (2) 일본 등 선진국에서는 항만내진의 성능기반설계(최종 설계 단면에서 예상지진에 의하여 발생 가능한 영구변위량이 성능목표를 만족하는지 검토하는 기법)을 행하고 있음. 이에 따라 우리나라 항만내진기준도 성능기반설계법을 도입할 필요가 있음.
- (3) 이에 따라 우리나라에서도 항만내진기준을 신뢰성 있는 동적해석법에 근거한 성능기반설계법으로 전환할 필요가 있음. 동적해석법에 근거한 성능기반설계법을 도입으로 강진에 대한 최적의 설계 가능.

다. 선진국의 항만구조물 한계상태설계기준 도입

- (1) 유럽, 미국 등의 선진국은 2000년 초반에 항만구조물 한계상태설계기준을 도입 세계 항만 건설시장에서 기술적 우위를 확보함
- (2) 중국도 2000년 항만구조물 신뢰성설계기준 개정판을 제정하였으며 일본은 200억 이상의 연구비를 집중투자하여 2007년 전격적으로 항만설계기준을 한계상태기반으로 도입하였음
- (3) 우리나라는 선진국에 비해 10년이상 설계기술이 뒤쳐진 만큼 신속하고 과감한 연구개발 투자를 통해 항만구조물 신뢰성 설계분야에서 선진국 대비 경쟁력을 확보할 필요가 있음

라. 세계 항만 건설시장의 진출을 위한 교두보 확보

- (1) 중국이 제안한 아시아인프라투자은행(AIIB)이 성공적으로 출범하면 내륙의 물류는 물론 해운물류 기반시설에 대한 투자가 급격하게 이루어 질 것으로 예상됨
- (2) 동남아, 중동 지역의 항만건설 시장 진출을 위해 국내 설계, 시공사의 한계상태기반 신뢰성설계기준을 수립하여 기술진들의 기술력 향상이 시급한 실정임
- (3) 본 과제의 성공적 추진으로 향후 5년 내에 선진국 수준의 신뢰성 설계기준이 제정되더라도 선진국대비 15년 이상 늦게 도입되므로 결코 지체할 수 없음
- (4) 단기 3년간 과감한 투자로 신뢰성설계기준 잠정안(draft)을 만들고 2년 동안 다각적인 실증설계를 통한 설계법 조정을 통해 독자적 설계기준을 만들어야 함

3. 정부투자의 필요성 근거

가. 지진재해대책법 제15조 및 시행령 제11조 : 지진재해대책법은 해양수산부장관이 항만 및 어항 시설에 대한 내진설계 및 보강기술을 정하도록 하고 있으므로 정부예산을

투입하여 본 사업을 수행하여야 함.

- (1) 항만 및 어항시설은 공공재로 정부차원에서 시설의 안전성을 도모할 필요가 최근 기후변화로 인한 자연재해의 급증에 대한 대책도 정부차원에서 시행되어야 함.

나. 항만법 제29조

- (1) 해양수산부장관은 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 그 밖에 대통령령으로 정하는 항만 시설에 대하여 기술기준을 정하여 고시할 수 있다.

다. 본 연구사업은 국가의 항만 및 어항 내진설계기술을 수립하고자 실시하는 사업으로 민간이 추진하기 어려운 과제임.

라. 본 연구사업은 국가의 항만 및 어항 설계기준을 한계상태기반으로 개정하고자 추진하는 것으로 항만법에 의거 해양수산부장관이 주체가 되어 설계기준을 개발해야 한다.

제2절 기술적 타당성

1. 기존 연구사업과의 중복 및 연계성 검토

가. 제안 과제에 대하여 각각 기존 연구사업과의 연관성을 검토하였으며, 검토 결과를 아래 표에 요약하여 제시하였음

<표 7.2-1> 항만 및 어항설계기준 고도화를 위한 성능기반 내진설계 기술 개발 과제 중복성 검토

기존 연구과제		차별성
과제명 (발주처/주관기관)	유사내용	
지진가속도 분석 등을 통한 설계지반운동 표시방법 고도화기술 개발 (소방방재청/서울대학교, KAIST)	내진설계기준개선	○ 지진가속도 분석 등을 통한 설계지반운동 표시방법 고도화기술 개발 - 기 수행된 과제는 내진설계시 일반적인 지반에 대한 분류 체계 및 설계응답스펙트럼을 개선하는 연구과제임. 이는 내진설계시 주어지는 지진하중만을 위한 연구로 제한되어 있어 성능기반내진설계를 위한 허용변형량 및 설계방법 검증등의 내용은 포함되어 있지 않음. 따라서, 계획하고 있는 연구과제와는 차별성이 뚜렷함.

<표 7.2-2> 항만 및 어항시설물 한계상태설계기준서 개발 과제 중복성 검토

기존 연구과제		차별성
과제명 (발주처/주관기관)	유사내용	

<p>항만구조물 신뢰성설계법 개발 (해양수산부/한국해양연구 원)</p>	<p>신뢰성설계 방법</p>	<p>○ 연구대상 구조물의 확장</p> <p>- 기 수행된 연구과제는 방파제 2종류(사석경사제, 직립제)와 안벽 2종류(중력식, 잔교식)에 대해서만 제한적으로 신뢰성설계법을 개발하였으나 본 과제에서는 항만 및 어항 설계기준에서 제시하는 대부분의 구조물을 대상으로 하여 명실상부한 항만구조물 신뢰성설계기준을 개발할 수 있도록 함</p> <p>○ 한계상태설계기준의 개발</p> <p>- 기 수행된 연구과제는 최종목표가 항만구조물 신뢰성설계 표준서를 제정하는 것으로 설계기준의 개정이 불가능하였으나 본 과제는 이보다 한단계 더 나아가 “항만 및 어항 시설물 한계상태설계기준” 개발을 목표로 함으로 설계기준 개정이 가능함</p>
---	-----------------	---

2. 기술동향 및 국·내외 기술수준에서의 타당성

가. 성능기반 내진설계

- (1) 최근의 지진 발생규모 및 빈도에 대응하기 위하여 항만 및 어항시설에 대한 선진 내진설계기준 도입이 필요함. 이에 따라 외국의 항만내진설계는 지진 시 항만 시설물의 요구성능을 정의하고 성능 확보에 주안점을 두고 있음.
- (2) 현재의 항만내진관련 기준들은 주로 유사정적설계법을 근간으로 허용응력설계를 하고 있음. 기존의 유사정적해석 및 허용응력설계법으로는 고베지진과 같이 규모가 큰 지진에 대하여 항만 구조물 설계가 사실상 불가능하므로 성능기반 내진설계의 필요성이 대두됨
- (3) 이에따라, 우리나라도 신속하고 과감한 연구개발 투자를 통한 성능기반 내진설계 기준 개발 및 도입이 필요하며, 이를 통해 선진국 대비 경쟁력 확보가 필요함.

나. 신뢰성 설계

- (1) 지진, 태풍, 해일 등 자연재해의 불확실성은 매우 크며, 이를 항만구조물의 설계에 직접적으로 반영하지 못하는 기존의 결정론적 설계법은 과소설계 및 과다설계를 유발할 우려가 매우 크므로 신뢰성 기반 설계법 도입이 시급함
- (2) 자연재해의 불확실성 요소를 항만구조물 설계에 직접 반영하는 신뢰성설계법은 국가 경제적 측면의 위험요소를 사전에 관리하는 핵심기술로서 인식되고 있음
- (3) 세계 각국은 이미 항만구조물의 설계에 있어 신뢰성 이론을 도입하는 추세에 있으며, 유럽연합(EU), 북미경제권(NAFTA) 등의 경제블록을 중심으로 주도하고 있으므로 국제적 추세에 대응하여 신속하고 과감한 연구개발 투자를 통해 한계상태기반의 설계기준 마련이 필요하며, 이를 통해 항만구조물 신뢰성 설계분야에서 선진국 대비 경쟁력을 확보할 필요가 있음

3. 특허분석 결과에 따른 기술적 타당성

- 가. 특허분석결과, 한국의 경우 이 기술 분야에 관한 관심도가 최근 높아지고 있으며, 기술의 성숙도 역시 높지 않은 것으로 판단됨
- 나. 이와 비교하여 미국, 일본의 경우 종래부터 기술에 대한 연구 개발이 활발히 진행되어 왔으며, 현재는 종래에 비하여서는 기술의 성숙도가 쇠퇴기에 접어든 것으로 판단됨
- 다. 한국에서의 출원인 국적의 비율이 내국인에 비하여 외국인이 높지 아니하므로 외국에서의 기술 진입이 활발한 편은 아닌 것으로 판단됨 또한, 기존에 출원된 기술에 의한 기술 장벽이 높지 않은 것으로 판단됨
- 라. 이에 따라, 한국의 특성에 맞는 기술 개발 및 권리화가 용이한 것으로 분석되며, 이는 기술의 성숙도에 비하여 낮은 특허장벽을 갖는 분야로 판단될 수 있음
- 마. 따라서, 기술의 패러다임의 진보가 요구되는 것이 아닌 기존의 해외 기술을 한국의 자연환경 특성에 맞게 수정 및 보완하는 방향으로 기술 발전이 이루어질 것이라는 예측이 가능함

제3절 경제적 타당성

1. 한국형 항만 및 어항 내진설계기술 정립을 위한 경제성 분석

가. 분석 방법

- (1) 안전과통합의 사회 : 재난·재해예방 및 체계적관리
 - (가) 자연재해(지진)으로부터 안전한 사회구축
- (2) 행복한 통일시대의 기반구축
 - (가) 통일시대 항만물류 기반시설 선진설계기준 정립필요

나. 분석 방법

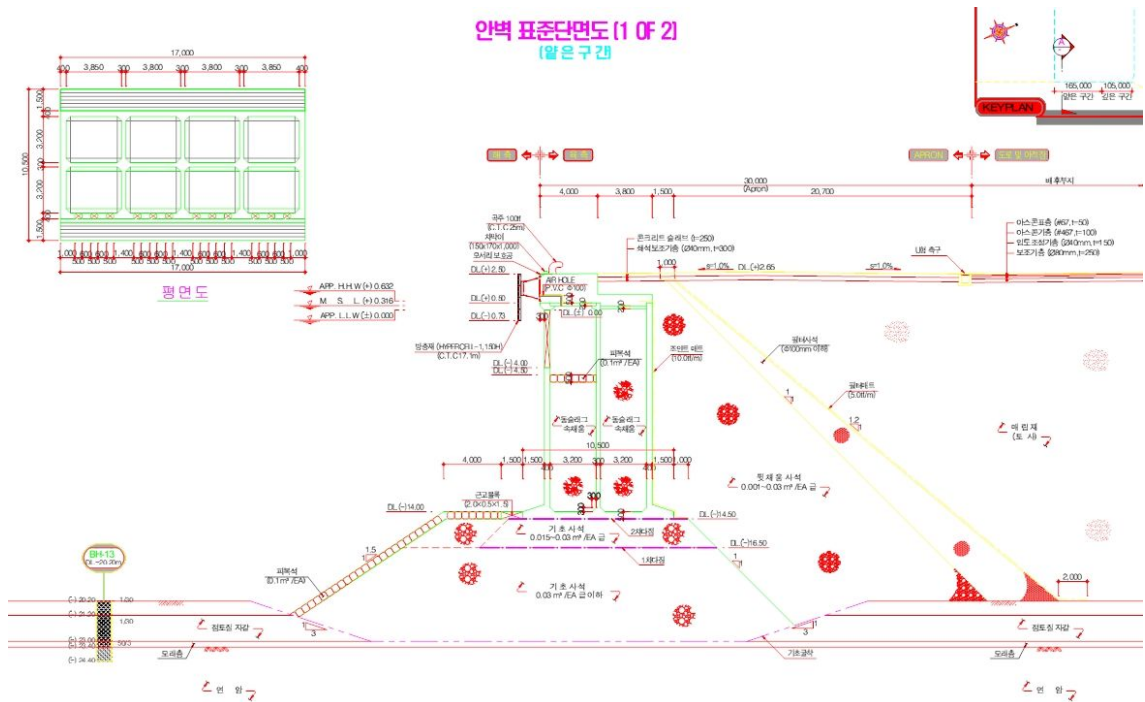
본 연구를 수행하기 위하여 먼저 LCC 구성항목을 도출하고, LCC 분석 프로세스를 구축하였다. 그 후 LCC 분석을 위한 기본 전제조건을 수립하고, 신뢰성·성능기반 설계법에 의한 구조물 공사비를 추정하여 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성을 검토하였다. LCC 분석을 위해서는 LCC를 구성하고 있는 각각의 비용항목에 대한 공사비 및 관련 수량 자료가 필요하다. 이러한 자료는 기 완공된 해양 및 항만구조물의 실적자료를 분석함으로써 획득할 수 있다. 그러나 현재 해양 및 항만구조물의 유지관리에 관한 실적자료를 획득하기가 곤란하여 LCC 분석 시 참고문헌을 활용하였다. 또한 다양한 LCC 분석 시나리오를 수립하여 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비 변동에 따른 LCC의 추정이 가능하도록 반영하였다. 본 연구에서는 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성을 검토하기 위하여 ○○신항(1-2단계) 남항부두 3번선석 축조공사 중 집안시설을 LCC 분석대상으로 선정하였다.

다. 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성 검토

(1) 분석대상 현황

(가) 대상 구조물

기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법을 활용한 해양 및 항만구조물의 LCC 검토를 위하여 분석대상은 ○○신항(1-2단계) 남항부두 3번선석 축조공사 실시설계용역 중 접안시설공으로 선정하였다. 분석대상은 그림 1과 같으며, LCC 분석기간은 항만편람에서 제시하고 있는 50년을 적용하였다.



<그림 7.3-1> 분석대상

(나) 분석대상의 공사비 분석

분석대상인 접안시설 공사비는 표 7과 같이 일반구간과 해수유통로 구간으로 구성 되어 있으며, 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법의 LCC 비교·검토를 위하여 일반구간과 해수유통로 구간 공사비를 합친 전체 접안시설 공사비를 초기공사비로 적용하였다.

<표 7.3-1> 접안시설 공사비

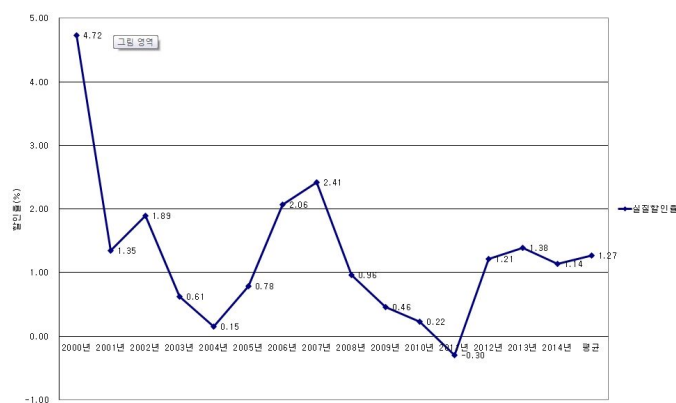
구 분	공사비(억원)	초기공사비 적용 여부
-----	---------	-------------

구 분		공사비(억원)	초기공사비 적용 여부
일반구간	기초공	58.9	○
	구체공	46.6	○
	상부공	8.3	○
	채하공	3.6	○
소계		117.5	-
해수유통로 구간	파일기초공	3.0	○
	상부공	1.2	○
소계		4.3	○
계		121.8	-

(2) LCC 분석을 위한 전제조건 및 가정사항

(가) 할인율

할인율은 물가상승률을 고려하지 않은 명목할인율과 물가상승률을 고려한 실질할인율로 구별되며, LCC 분석에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 LCC 분석 시 합리적인 분석을 위하여 과거의 이력을 반영한 평균 실질할인율을 적용하지만, 해양 및 항만 구조물이라는 공공투자사업에 있어 보다 공신력 있는 할인율을 적용하기 교통시설 투자평가지침(국토교통부, 2013)에서 제시한 5.5%를 적용하였다. 참고로 최근 15년간(2000년~2014년) 실질할인율은 그림 2와 같다.



<그림 7.3-2> 15년간 실질할인율 변동추이

(나) 유지관리비

일반적으로 유지관리비는 점검·순회비와 직접유지관리비(일반관리비, 보수비, 보강비 등)의 합으로 나타낼 수 있다. 점검·순회비는 ‘안전점검 및 정밀안전진단 대가(비용산정) 기준’에 의해 산정할 수 있지만 본 연구의 분석대상은 점안시설이라는 동일규격의 구조물이므로 대안간 비용차이가 없으므로 고려하지 않았다. 직접유지관리비는 정확한 추정을 위해서 과거의 유지보수 실적자료 등에 근거하여 결정되

어야 하지만 해양 및 항만구조물에 대한 실적자료가 부족한 관계로 선행연구인 ‘항만 민간투자사업 유지보수비 추정모형 구축’에서 제시하고 있는 연간 0.6%를 적용하였다.

(다) 파괴손실비

파괴손실비(C_F)는 다음 식 4와 같이 파괴에 의한 최대 손실비용(C_f)에 단위 년 파괴확률(P_f)을 곱하여 산정할 수 있다.

$$C_F = C_f \cdot P_f \quad \text{식 1}$$

C_f 는 파손시 단위 복구비용과 단위 운영손실비용을 합산한 비용이다. 본 연구에서 단위 복구비용은 기존 김홍연 등(2008)의 연구결과를 참고하여 초기공사비의 150%로 가정하였으며, 단위 운영손실비용은 단위 복구비용의 150%로 가정하였다. 파괴손실비 산정시 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법의 P_f 는 윤길림 등(2010)의 연구결과를 참고하여 0.0816%로 동일하게 가정하였다. 이와 같이 P_f 를 동일하게 가정한 이유는 향후 개발될 신뢰성·성능기반 설계법이 기존 설계법과 동등 이상의 구조안전성 성능을 확보하는 최소 요구조건을 반영한 것이다.

(3) LCC 분석 시나리오

LCC 분석의 전제조건은 구조물의 파괴확률을 동일하게 가정하는 것과 같이 대안간 동등 이상의 성능이 확보된 시나리오를 개발하는 것이다. 시나리오는 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 감소하는 경우와 동일한 경우, 증가하는 경우의 세 가지로 구분할 수 있다. 여기서 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 동일한 경우와 증가하는 경우는 경제성 검토의 의미가 없으므로 제외하고, 감소하는 경우에 대하여 10가지 경우의 시나리오를 수립하였다. 수립한 LCC 분석 시나리오는 표 8과 같다.

<표 7.3-2> LCC 분석 시나리오($P_f=0.0816\%$)

(단위 : 억원)

구 분	기존 설계법 공사비	신뢰성·성능기반 설계법 공사비
Case 1	121.8	120.5
Case 2		119.3
Case 3		118.0
Case 4		116.8
Case 5		115.6
Case 6		114.4
Case 7		113.2
Case 8		112.0
Case 9		110.7
Case 10		109.5

(4) 시나리오에 따른 LCC 분석결과

(가) Case 1

Case 1에 대한 LCC 분석결과 표 9와 같이 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 1% 감소하였을 때 신뢰성·성능기반 설계법의 LCC는 기존 설계법 대비 1% 감소하는 것으로 분석되었다. 분석기간 50년 동안 연간 평균 유지관리비는 0.26억원, 연간 평균 파괴손실비용은 0.13억원으로 분석되어 공사비 대비 약 0.3% 수준인 것으로 나타났다.

<표 7.3-3> LCC 분석결과(할인율 5.5%, Case 1)

(단위 : 억원)

구 분	기존 설계법	신뢰성·성능기반 설계법
초기공사비	121.8	120.5
유지관리비	13.0	12.9
파괴손실비	6.7	6.6
LCC	141.4	140.0
LCC 절감률	-	1%(▼)

(나) Case 5

Case 5에 대한 LCC 분석결과 표 10과 같이 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 5% 감소하였을 때 신뢰성·성능기반 설계법의 LCC는 기존 설계법 대비 5% 감소하는 것으로 분석되었다. 분석기간 50년 동안 연간 평균 유지관리

비는 0.25억원, 연간 평균 파괴손실비용은 0.13억원으로 분석되어 공사비 대비 약 0.3% 수준인 것으로 나타났다.

<표 7.3-4> LCC 분석결과(할인율 5.5%, Case 5)

(단위 : 억원)

구 분	기존 설계법	신뢰성·성능기반 설계법
초기공사비	121.8	115.6
유지관리비	13.0	12.4
파괴손실비	6.7	6.3
LCC	141.4	134.3
LCC 절감률	-	5%(▼)

(다) Case 10

Case 10에 대한 LCC 분석결과 표 11과 같이 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 10% 감소하였을 때 신뢰성·성능기반 설계법의 LCC는 기존 설계법 대비 10% 감소하는 것으로 분석되었다. 분석기간 50년 동안 연간 평균 유지관리비는 0.23억원, 연간 평균 파괴손실비용은 0.12억원으로 분석되어 공사비 대비 약 0.3% 수준인 것으로 나타났다.

<표 7.3-4> LCC 분석결과(할인율 5.5%, Case 10)

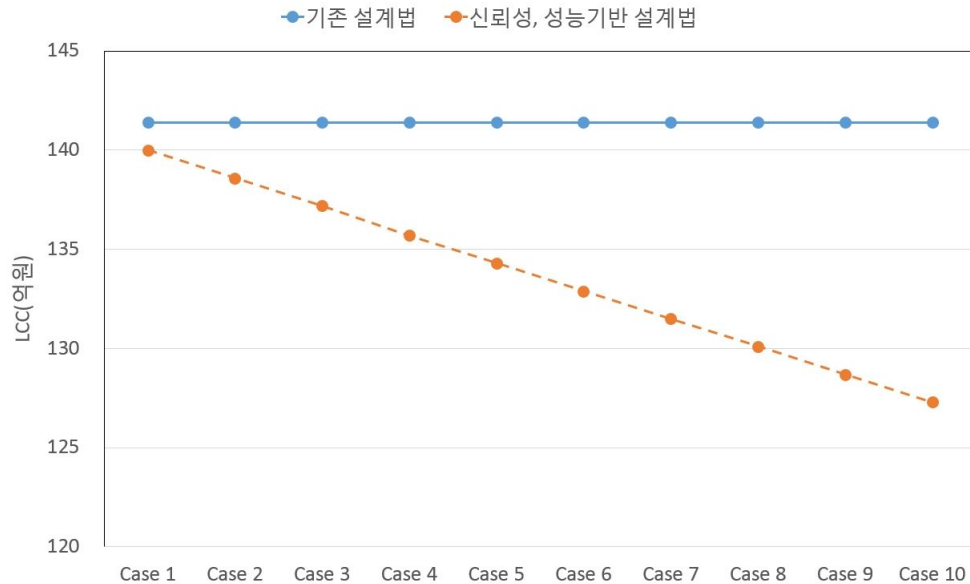
(단위 : 억원)

구 분	기존 설계법	신뢰성·성능기반 설계법
초기공사비	121.8	109.5
유지관리비	13.0	11.7
파괴손실비	6.7	6.0
LCC	141.4	127.3
LCC 절감률	-	10%(▼)

(라) 종합결과

상기의 LCC 분석 시나리오에 대한 분석결과 그림 3과 같이 시나리오별 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 1%씩 감소함에 따라 LCC 또한 동일한 비율로 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 LCC의 주요 비용구성요소인 유지관리비 및 파괴손실비가 공사비에 대한 효율로 산정되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 모든 시나리오에서 신뢰성·성능기반 설계법의 유지관리비 및 파괴손실비의 합은 공사비 대비 연간 0.3% 수준으로 분석되어 기존 선행연구에 나타난 불변가 기준 연간 0.6% 수준과 비교하여 적절한 것으로 판단된다. 그리고 시나리오 작성시

LCC 산출의 또다른 주요 변수인 파괴확률을 동일하게 가정하였으나, 추후 본 기획 과제가 심화되는 경우 유지보수비 및 피해액 추정을 위한 실적자료와 LCC의 주요 매개변수인 파괴확률과 초기공사비에 대한 상관관계 연구결과 등이 추가로 확보되어야 신뢰성·성능기반 설계법의 정립에 있어 보다 정확하고 합리적인 경제성 검토가 가능할 것으로 판단된다.



<그림 7.3-3> 시나리오별 LCC 분석결과

다. 경제성 분석 결과에 따른 경제적 타당성

- (1) 시나리오 Case 1에서 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 1% 감소할 때 LCC는 1% 감소하였으며, 유지관리비용과 파괴손실비용은 분석기간 50년 동안 공사비 대비 연간 0.3% 수준인 것으로 분석되었다.
- (2) 시나리오 Case 2~Case 10에서 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 추가로 1%씩 감소할 때마다 LCC 또한 추가로 1%씩 감소하였으며, 유지관리비용과 파괴손실비용은 분석기간 50년 동안 공사비 대비 연간 0.3% 수준을 유지하는 것으로 분석되었다.
- (3) 시나리오 Case 1~Case 10에서 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비와 LCC가 동일한 비율로 감소한 것은 해양 및 항만구조물의 LCC를 구성하는 주요 비용구성항목들이 모두 초기공사비에 대한 효율로 산정되어지기 때문인 것으로 판단된다. 파괴손실비용 산정시 파괴확률의 변동에 따라 비용이 다르게 산정되어질 수는 있으나 이는 현 시점에서 판단하기 곤란하므로 추후 본 과제를 진행함에 따라 파괴확률과 초기공사비의 상관관계에 대한 연구가 추가로 진행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 유지관리비용 및 파괴손실비용이 공사비에 대한 효율로 산정되어 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성 검토에 크게 영향을 미치지 못하는바 해양 및 항만구조물에 대한 운영 및 유지관리 실적자료 연구 또한 추가로 진행되어 보다 정확하고 합리적인 경제성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

제8장 참고문헌

- 김동현. (2005). 소파케이슨방파제의 기대활동량 산정방법” 한국해양해양공학회지, Vol.17, No.4, pp.213 - 220.
- 김동현, 윤길림. (2009) 부분안전계수를 이용한 케이슨식안벽의 신뢰성설계법, 한국 해양해양공학회논문집, 제 21권, 3호, pp. 224-229.
- 김동현, 윤길림. (2009) 케이슨식 안벽의 신뢰성해석을 위한 중요도추출법의 적용, 한국해양공학회논문집, Vol. 21, No. 5, pp. 405-409.
- 김동현, 윤길림. (2009) 부분안전계수를 이용한 케이슨식안벽의 신뢰성설계법, 한국 해양해양공학회논문집, Vol. 21, No. 3, pp. 224-229.
- 김동현, 윤길림. (2011). 생애주기비용을 이용한 잔교식안벽의 신뢰도지수 최적화, 한국해양해양공학회논문집, Vol. 23, No. 6, pp. 422-428.
- 김상연, 박종배, 박용부, 김동수 (2014). 동적 원심모형실험에 의한 점성토 지반에 근입된 말뚝지지 기초의 응답 스펙트럼 분석. 5(2), 115-120
- 김성렬, 황재익, & 김명모. (2006). 지진시 배면지반 조건이 중력식 안벽의 하중성 분에 미치는 영향. 한국지반공학회논문집, 22(1), 15-23.
- 김성렬, 정충기, 장인성, & 김명모. (2004). Newmark 변위법을 이용한 중력식 안벽의 지진 변위 산정. 한국지반공학회논문집, 20(8), 123-133.
- 김성렬, 권오순, & 김명모. (2003). 지진시 중력식 안벽에 작용하는 하중성분의 모델링. 한국 지반공학회논문집, 19(2), 107-121.
- 김승우, 서경덕, 이철웅, 박동현. 2009. 국내 항만의 방파제 피복블록의 신뢰성 해석, 한국해양해양공학회논문집, 21(1), 15-29.
- 김승우, 서경덕. 2009. 국내 케이슨 방파제의 활동에 대한 신뢰성 해석 및 부분안전계수 산정, 한국해양해양공학회논문집, 심사중
- 김영진, 김동현, 이기남, (2013). 박우선, 부산 및 인천항만 안벽구조물의 지진취약도 예측, 한국해양해양공학회, Vol. 25, No. 6, pp. 412-421.
- 김영진, 김동현, 박우선. (2014). 크레인을 고려한 케이슨식 안벽의 지진취약도 해석, 한국연안방재학회, Vol. 1, No. 2, pp. 65-71.
- 유무성, 황재익, 김성렬, & 김명모. (2004). 과잉간극수압 발생을 고려한 중력식 안벽구조물의 동적해석. 대한토목학회 학술대회, 5418-5423.
- 유무성, 황재익, 김성렬, & 김명모. (2004). 과잉간극수압 발생을 고려한 중력식 안벽구조물의 동적해석. 대한토목학회 학술대회, 5418-5423.
- 윤길림, 김동현, 김홍연 (2008) 안벽구조물의 신뢰성해석, 한국해양해양공학회논문집, Vol. 20, No. 5, pp. 498-509.
- 윤길림, 강오람, 김동현 (2008) VE/LCC기법의 항만구조물 설계적용 사례분석연구, 한국해양해양공학회논문집, Vol. 20, No. 4, pp. 390-400.
- 이상근, 김동현. (2011). 응답면기법을 이용한 잔교식 안벽의 신뢰성해석, 한국해양 해양공학회논문집, Vol. 23, No. 6, pp. 407-413.

- 이철웅, 2002a. 혼성제 직립 케이슨의 활동에 대한 파괴확률, 한국해안·해양공학회지, 제 14권 제 2호, 한국해안·해양공학회, pp.95-107.
- 이철웅, 2002b. 기대충건설비 최소화기법에 의한 혼성제 직립 케이슨의 최적설계, 대한토목학회논문집, 제 22권, 제 6-B호, pp.819-831.
- 이철웅, 2003. 월파에 대한 경사식 해안구조물의 신뢰성 해석, 한국해안·해양공학회지, 제 15권, 제 4호, pp.214-223.
- 이철웅, 2007a. 피복재의 부분안전계수 산정, 한국해안·해양공학회지, 제 19권 제 4호, 한국해안·해양공학회, pp.336-344.
- 이철웅, 2007b. 신뢰성 설계법의 개요, 제1회 항만구조물 신뢰성 설계법 기술교육 Workshop 자료집, pp.3-24.
- 조효남, 임종권, 최영민, 박경훈 (2008) 기반시설물의 생애주기비용분석, 구미서관.
- 황재익, & 김명모. (2005). 뒤채움지반에서의 과잉간극수압 발생이 중력식 안벽구조물의 동적특성에 미치는 영향 분석. 한국지반공학학회논문집, 21(1), 123-131.
- 건설교통부 (1997) 내진설계기준 II.
- 해양수산부 (2005) 항만 및 어항 설계기준.
- A.H.S. Ang & W.H. Tang (1975) Probability concepts in engineering planning and design, vol.I & II, basic principles, John Wiley & Sons, Inc.
- Al Atik, L., & Sitar, N. (2010). Seismic earth pressures on cantilever retaining structures. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 136(10), 1324-1333.
- Bray, J. D., & Travarasrou, T. (2009). Pseudostatic coefficient for use in simplified seismic slope stability evaluation. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 135(9), 1336-1340.
- Burcharth, H.F. (1992) Reliability evaluation of a structure at sea, Workshop Proc. 23th. Int. Coast. Engrg. Conf., ASCE, pp. 470-517
- Burcharth, H.F., and Sorensen, D. (1998) Design of vertical wall caisson breakwaters using partial safety factor, Proc. 26th. Int. Coast. Engrg. Conf., ASCE, pp. 2138-2151.
- Burcharth, H.F., Sorensen, D., and Christiani, E. (1994) On the evaluation of failure probability of monolithic vertical wall breakwaters, Wave Barriers in deepwaters, pp. 458-469.
- Burcharth, H. F., Bernal, A., Blazquez, R., Dickenson, S. E., Ferritto, J., Finn, W. L., & Sugano, T. (2001). Seismic design guidelines for port structures.
- Conti, R., Madabhushi, G. S. P., & Viggiani, G. M. B. (2012). On the behaviour of flexible retaining walls under seismic actions. Géotechnique, 62(12), 1081-1094.
- Goda, Y., Tabata, T., & Yamamoto, S. (2002). Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan. The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan.
- Ha, J. G., Lee, S. H., Kim, D. S., & Choo, Y. W. (2014). Simulation of soil - foundation - structure interaction of Hualien large-scale seismic test using dynamic centrifuge test. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 61, 176-187.
- Iai, S. (2001). Seismic Performance-Based Design for Port Structures and Simulation

Techniques. In International Workshop on Earthquake Simulation in Geotechnical Engineering, 1-12.

- Jo, S. B., Ha, J. G., Yoo, M., Choo, Y. W., & Kim, D. S. (2014). Seismic behavior of an inverted T-shape flexible retaining wall via dynamic centrifuge tests. *Bulletin of earthquake engineering*, 12(2), 961-980.
- Jo, S. B., Ha, J. G., Yoo, M., Choo, Y. W., & Kim, D. S. (2014). Seismic behavior of an inverted T-shape flexible retaining wall via dynamic centrifuge tests. *Bulletin of earthquake engineering*, 12(2), 961-980.
- Kim, M. K., Lee, S. H., Choo, Y. W., & Kim, D. S. (2011). Seismic behaviors of earth-core and concrete-faced rock-fill dams by dynamic centrifuge tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(11), 1579-1593.
- Nakamura, S. (2006). Reexamination of Mononobe-Okabe theory of gravity retaining walls using centrifuge model tests. *Soils and foundations*, 46(2), 135-146.
- Park, H. J., & Kim, D. S. (2013). Centrifuge modelling for evaluation of seismic behaviour of stone masonry structure. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53, 187-195.
- T. Nagao & S. Fujimori (2007) A study on the estimation of failure probability of pile-supported wharves against a level one earthquake ground motion by using first order second moment method, Technical note of national institute for land and infrastructure management.
- ISO (1998) ISO 2394: General Principles for Reliability based Design.

부록1. 특허 동향조사 보고서

Confidential

「항만 및 어항 내진 기술」에 관한 특허동향조사 보고서

2015. 01.

특허법인 주원

제 출 문

본 문건을 『항만 및 어항 내진기술』에 관한 특허동향조사 보고서로서 제출합니다.

2015년 01월 15일

작성기관 : 특허법인 주원 (인)

작성자 : 길 용 준 변리사 (인)

김 인 배 변리사 (인)

목 차

I. 개요	1
1. 분석 배경 및 목적	1
2. 분석 범위	3
II. 시장 매력도 분석	8
1. 국가별 현황	8
2. Hot Trend 분석	27
3. 소결	28
III. IP 부상도 분석	29
1. 국가별 출원증가율	29
2. 최근 구간 점유율 분석	30
3. IP 부상도 종합결론	31
3-1. IP 부상도 판단 결과	31
3-2. IP 부상도 항목별 판단 기준표	31
IV. IP 장벽도 분석	32
1. 핵심특허 리스트	32
2. IP 장벽도 및 기술경쟁력 분석	33
2-1. 내진설계, 내진분석 기술(기술 1)	33
2-2. 내진보강 기술(기술 2)	35
3. IP 장벽도 종합분석 결과	38
V. 결론 및 시사점	40
[별첨] 핵심특허 문헌	

1. 분석 배경 및 목적

1-1. 분석 배경

최근 국내 지진 발생 빈도가 증가하였고 규모 5.0 이상의 지진도 꾸준히 발생하고 있음

1995년 일본 효고현 남부지진 발생 이후 우리나라에서는 1997년 한국지진공학회가 설립되었고 이를 통해 건설교통부 주관으로 “내진설계기준연구(Ⅱ)”가 작성배포되었음

이는 성능수준설계개념에 기초한 미국의 설계기준을 준한 것으로 설계지반운동, 지반분류, 시설물별 내진성능수준의 선정 등과 같은 상위개념의 내진설계기준이 정립됨.

이후 2000년대 초반까지 시설물별 소관부처에서는 이를 기초로 하여 시설물별 내진설계기준을 재정립함.

다만, 국내 항만구조물 내진설계기준은 중간정도의 지진규모를 채택하면서도 강진을 포함하는 일본의 내진설계기준과 미국의 기준을 반영하여 제정되어 있어, 한국형 항만시설에 적합한 내진설계기준이 미비함.

따라서 지진하에서의 필요한 성능규정이 되어 있지 않는 등의 일부 국내현실에 부적합한 규정들이 존재하며, 특히 지원시설에 대해 설계자 임의판단에 의한 설계가 되고 있음

또한 어항 등 상대적으로 중요도가 적은 시설에 대한 내진설계기준이 없으며, 기존 항만 및 어항에 대한 내진평가 및 보강기준이 미비함. 이에 따라 어항 등에 대한 과대한 설계가 실시되고 기존 시설에 대한 임의판단에 의한 보강이 되고 있음

특히 최근의 세계적인 항만내진설계추세인 동해석기반 성능설계법을 포함하고 있지 아니함에 따라 과대 또는 과소한 설계가 실시되고 있음

따라서 국내의 항만 및 어항의 여건에 적합하면서도 성능기반설계법에 기반한 세계적인 한국형 내진설계기술을 개발하여 안전하면서도 경제적인 항만 및 어항 건설기법을 개발할 필요가 있음

1-2. 분석 목적

본 보고서에서는 항만 및 어항에 관한 내진기술을 개발함에 있어, 항만 및 어항의 외곽시설, 계류시설, 지원시설에 대한 내진설계 및 내진 분석기술과 항만 및 어항의 내진보강기술에 대한 특허동향분석을 실시함

이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여, 전략적인 연구개발 계획 수립

에 활용할 수 있도록 함으로써, 중복연구를 방지하고, 본 연구개발과
제 수행의 타당성에 대한 객관적인 특허정보를 제공함

2. 분석 범위

2-1. 분석대상 및 검색범위¹⁾

본 분석에서는 한국, 미국, 일본 및 유럽 공개/등록특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술트리에 부합하는 유효특허를 추출하였고, 2015년 1월(검색일 기준)까지 출원공개된 유효특허 총 3,156(건)을 분석 대상으로 함

【표1】 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	웹스	1995.01 ~ 현재 (2015.01)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

분석구간: 한국, 미국, 일본, 유럽 - 2013년 상반기까지 정량분석 진행(출원년도 기준)

1) 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2013~2014년 상반기에 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 ~2012년 까지의 데이터로 한정함.

2-2. 분석대상 기술 및 검색식 도출

(1) 기술분류 체계

본 분석에서는 과제의 기술자료 및 기획위원의 자문회의를 통해 기술분류를 확립하여 분석을 수행하였음

【표2】 분석대상 기술분류

분류	소분류	핵심기술 여부	기술 정의
항만 및 어항 관련 내진기술	기술 1	0	항만 및 어항의 외곽시설, 계류시설, 지원시설에 대한 내진설계, 내진 분석기술
	기술 2	0	항만 및 어항의 내진 보강기술

(2) 핵심 키워드 도출

본 제안기술과 관련하여 자문위원이 1차 제공한 항만 및 어항 내진 설계기준 정립 과제 문서의 키워드를 바탕으로, 핵심 키워드를 도출하였음

【표3】 핵심 키워드

구분	키워드
국문	항만, 어항, 해안, 항구, 해양, 바다, 방파제, 파제제, 등대, 갑문, 잔교, 안벽, 피어, 접안, 계선안, 구조물, 내진, 지진, 설계, 분석, 해석, 평가, 보강, 예측
영문	port, harbor, sea, breakwater, pier, quay, wharf, lighthouse, lock, crane, buiding, structure, construction, seismic, aseismic, earthquake, resist, design, analysis, evaluat, predict

(3) 검색식의 도출

본 보고서에 사용된 검색식은 위 방법을 통해 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술분류를 포함할 수 있는 검색식을 작성하였으며, 자문위원의 검토를 반영하여 최종 검색식을 완성함

【표4】 검색식 및 검색 건수

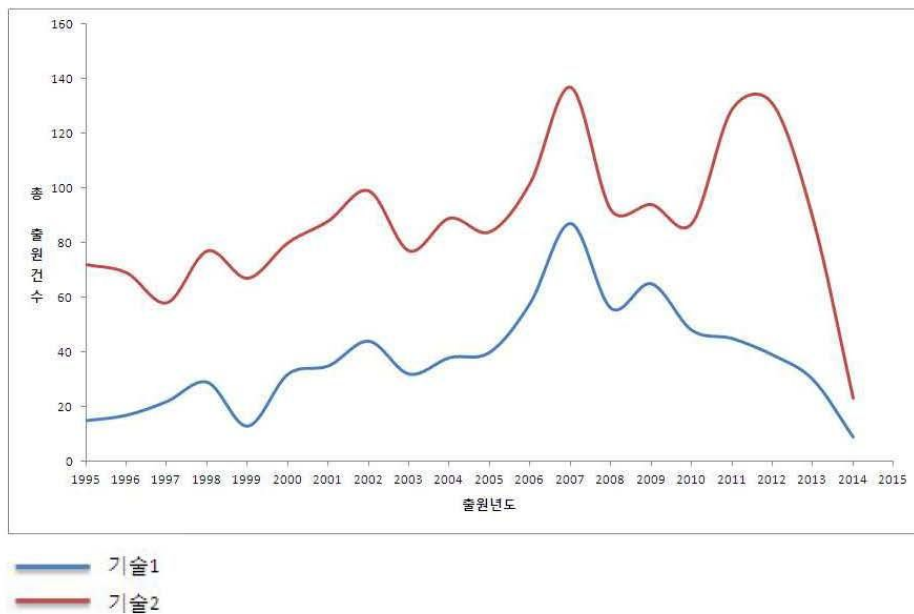
분류	검색식	검색 건수				
		KIPO	USPTO	JPO	EPO	합계
기술 1	((바다* 근해* 정박* 항만* 어항* 해안* 항구* 해양* 바다* 방파제* 파제제* 등대* 안벽* 잔교* 돌핀* 띄어* 접안* 계선안* 크레인* port* harbor* sea* breakwater* pier* quay* wharf* lighthouse* lock* crane*) and (내진* 지진* 먼진* 액상화* seismic* aseismic* (earthquake* and resist*)) and (설계* 분석* 평가* 예측* design* analysis* evaluat* predict*))	41	756	51	41	889
기술 2	((바다* 근해* 정박* 항만* 어항* 해안* 항구* 해양* 바다* 방파제* 파제제* 등대* 안벽* 잔교* 돌핀* 띄어* 접안* 계선안* 크레인* port* harbor* breakwater* pier* quay* wharf* lighthouse* lock* crane*) and (내진* 지진* 먼진* 액상화* seismic* aseismic* (earthquake* and resist*)) and (보강* 강화* 시공* 장치* 장비* 설비* 공사* reinforce* construct* work* device* apparatus* equipment* facility*))	202	1332	517	216	2267

2-3. 유효특허 선별 기준

항만 및 어항 관련 내진 기술의 Raw Data에 이하의 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용함

【표5】 유효특허 선별 기준

분류	소분류	기준
항만 및 어항 관련 내진기술	기술 1	· 내진 설계, 측정, 예상 기술 중 항만 및 어항 관련 내진 기술에 한정함 · IPC에 기반한 비 관련분야 기술을 제거함
	기술 2	· 내진 보강 기술 중 항만 및 어항 관련 내진 기술에 한정함 · IPC에 기반한 비 관련분야 기술을 제거함



2-4. 특허기술동향조사 분석 방법

(1) 시장매력도 분석

시장매력도 분석에서는 조사대상국인 한국, 일본, 미국 및 유럽에서의 주요 시장국 기술개발 활동 현황과 기술 시장 성장단계 파악을 통해 국가별 현황을 분석함. 또한 IP로 본 주요 시장국을 분석하고, 주요 경쟁자들의 시장확보력 및 기술력, 주력기술분야에 대한 파악을 통하여 주요 경쟁자 현황을 분석함. 또한 특허점유율과 특허증가율을 토대로 항만 및 어항 관련 내진기술 분야의 최근 Hot trend를 분석함

(2) IP 부상도 분석

IP 부상도 분석에서는 조사대상국인 한국, 일본, 미국 및 유럽에서의 국가별 출원증가율 및 최근 구간 점유율 분석을 통하여 항만 및 어항 관련 내진기술 분야의 최근 부상하고 있는 정도인 IP 부상도를 분석함

(3) IP 장벽도 분석

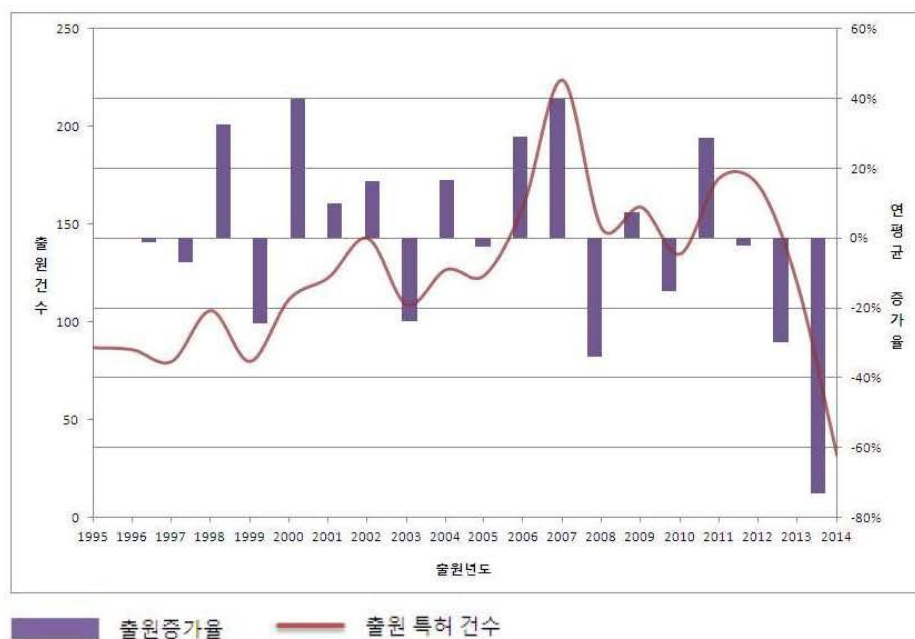
IP 장벽도 분석에서는 항만 및 어항 관련 내진기술 분야에 대한 IP 장벽도 및 기술경쟁력 분석을 통해 이 기술 분야의 연구 및 개발을 진행할 경우 넘어야할 IP 장벽의 정도를 분석함

1. 국가별 현황

1-1. 주요시장국 기술개발 활동현황

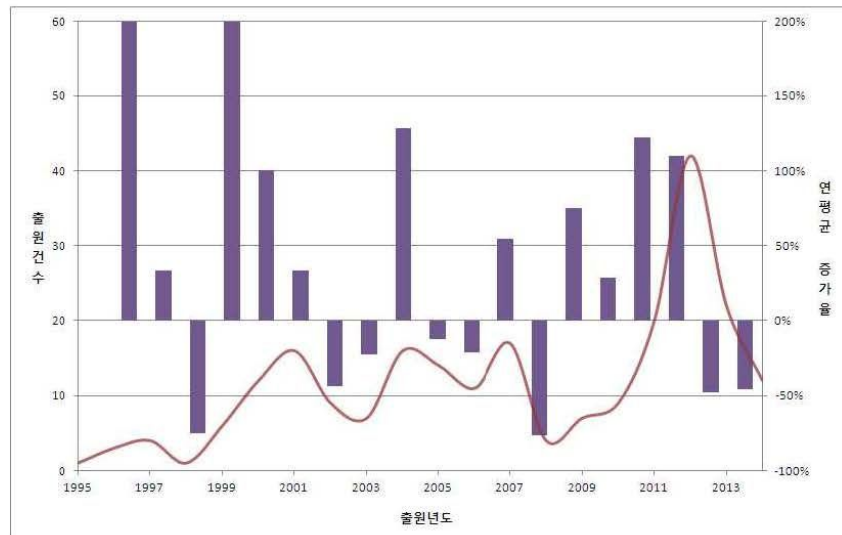
(1) 주요시장국 연도별 특허동향

1-1) 전체



분석 유효 구간인 2012년까지의 증가율을 살펴보면 출원건수 증가율이 0 % 이상이므로 최근 출원건수의 증가가 유지되고 있음

1-2) 한국

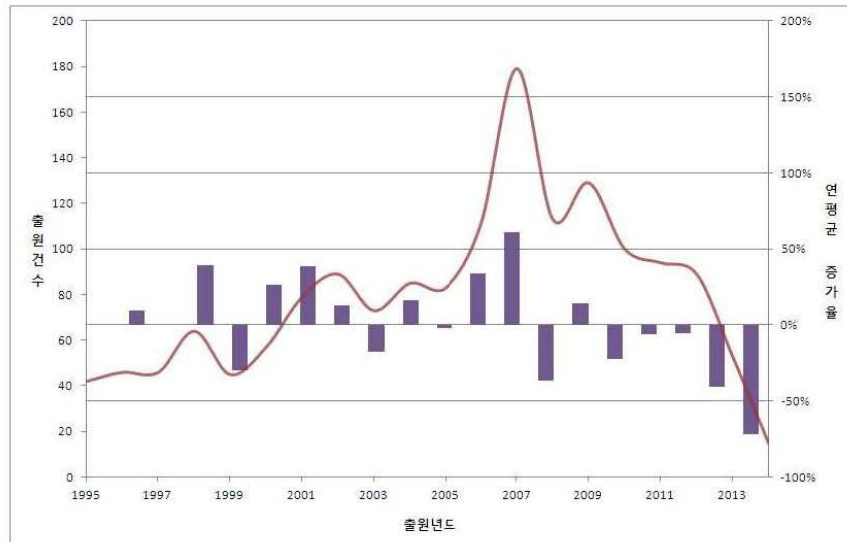


한국에서의 출원건수 증가율은 1990년대 후반부터 급격한 출원 증가를 나타냄과 아울러 2010년을 기점으로 최근 출원건수의 증가세를 보이는 것으로 분석됨

이는 내진관련 기술에 관한 출원 건수가 점진적으로 증대되고 있다는 것을 의미함

또한, 한국에서의 이 기술 분야에 대한 관심도가 높아지고 있다는 것으로 판단할 수 있음

1-3) 미국

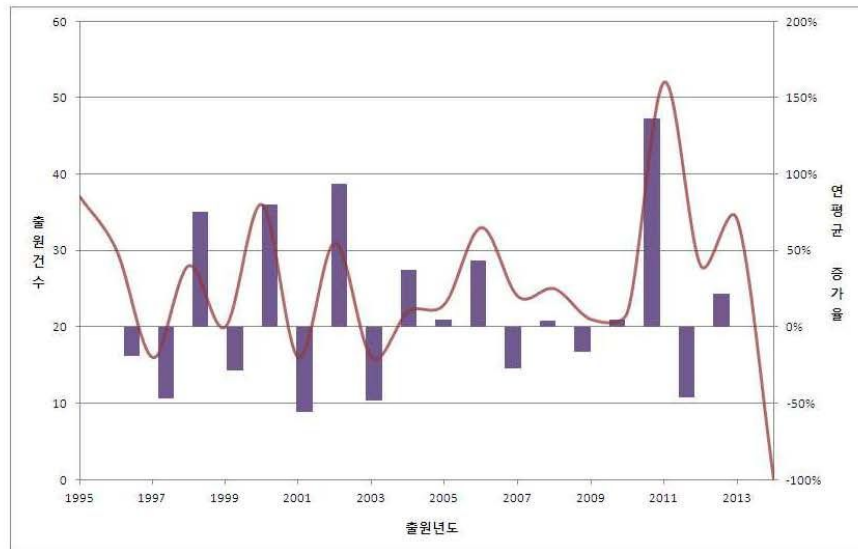


미국에서의 출원 건수 증가율은 1990년대 후반 이후 증가율을 평균 이상으로 유지하고 있는 것으로 분석됨

특히 2007년도에는 최대 출원 건수 증가율을 보이고 있으며, 이후의 출원 건수도 0 % 이상의 수치를 유지하고 있음

이는 이 기술 분야에 대한 관심도가 최근 지속적으로 유지되고 있다는 것으로 판단할 수 있음

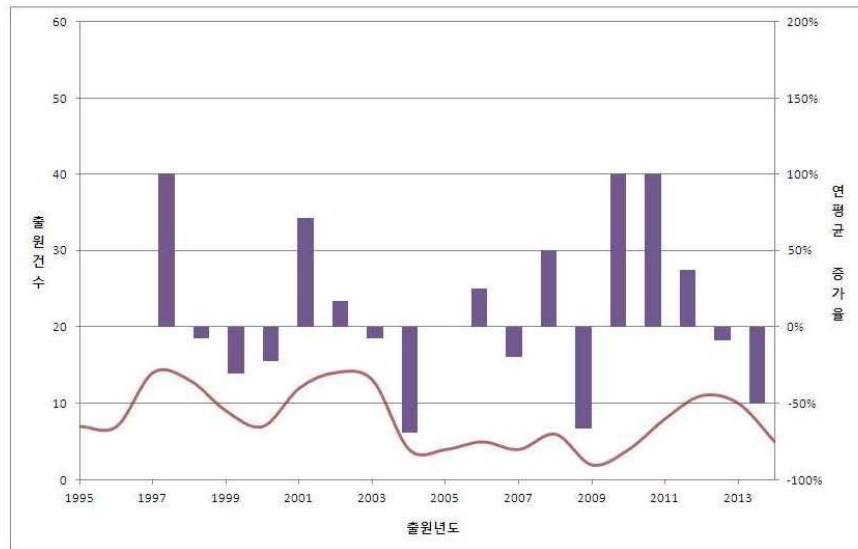
1-4) 일본



일본에서의 특허출원 건수는 0 % 이상의 건수를 계속적으로 유지하여 오고 있음

이는 이 분야에서의 기술 관심도가 일본에서는 종래부터 높았었던 것으로 판단할 수 있음

1-5) 유럽



유럽에서의 출원 건수는 경쟁국에 비하여 높지 않다고 분석됨

이는 유럽에서의 이 분야 기술에 대한 관심도가 경쟁국에 비해 상대적으로 낮다는 것으로 판단할 수 있음

1-6) 분석

출원연도(등록연도)에 따라 특허출원건수를 시계열적으로 표현한 선형 그래프로써, 출원국가별로 연도별 동향을 나타낸 것은 특정시장에서의 출원활동을 분석하기 위함임²⁾

한국의 경우 항만 및 어항에 관한 내진 기술에 대한 관심도가 최근 높아진 것으로 판단됨

미국의 경우 항만 및 어항에 관한 내진 기술에 대한 관심도가 90년대 말부터 상승되어 현재 이에 대한 관심도가 유지되고 있는 것으로 판단됨

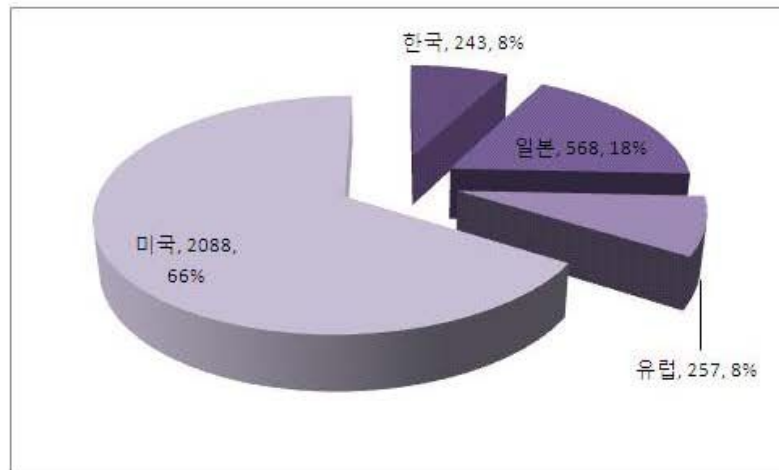
일본의 경우 이 기술분야에 대한 관심도가 종래부터 높았었던 것으로 판단됨

유럽의 경우 경쟁국들에 비하여 이 기술분야에 대한 관심도가 높지 않는 것으로 판단됨

2) 점은 특허출원 후 1년 6개월이 경과하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 전체 데이터에 반영되지 못하기 때문에 최근연도의 출원건수가 감소하는 것으로 나타나지만, 실제로 출원건수가 감소한 것으로 분석할 수 없다.

(2) 주요시장국 내·외국인 특허출원 현황

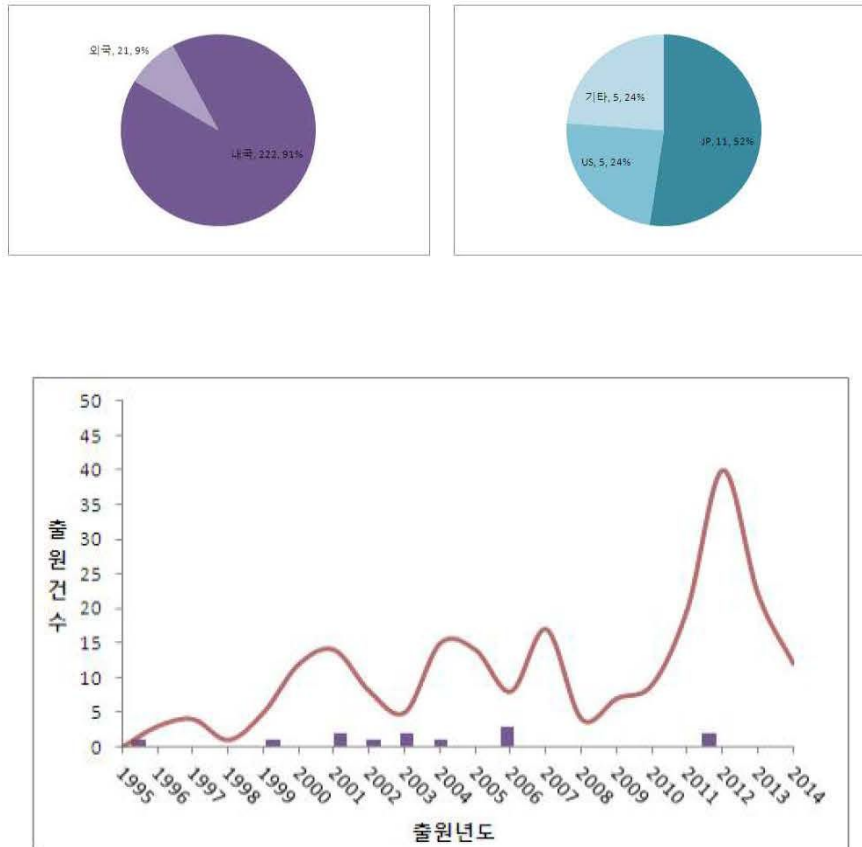
2-1) 전체



상기 그래프는 각국에서의 내국인과 외국인을 구분하지 않고, 출원인의 수만을 나타낸 것임

항공 및 어항 관련 내진 기술에 대한 특허출원의 출원인의 수는 미국에서의 출원인 수가 가장 많은 것으로 분석됨

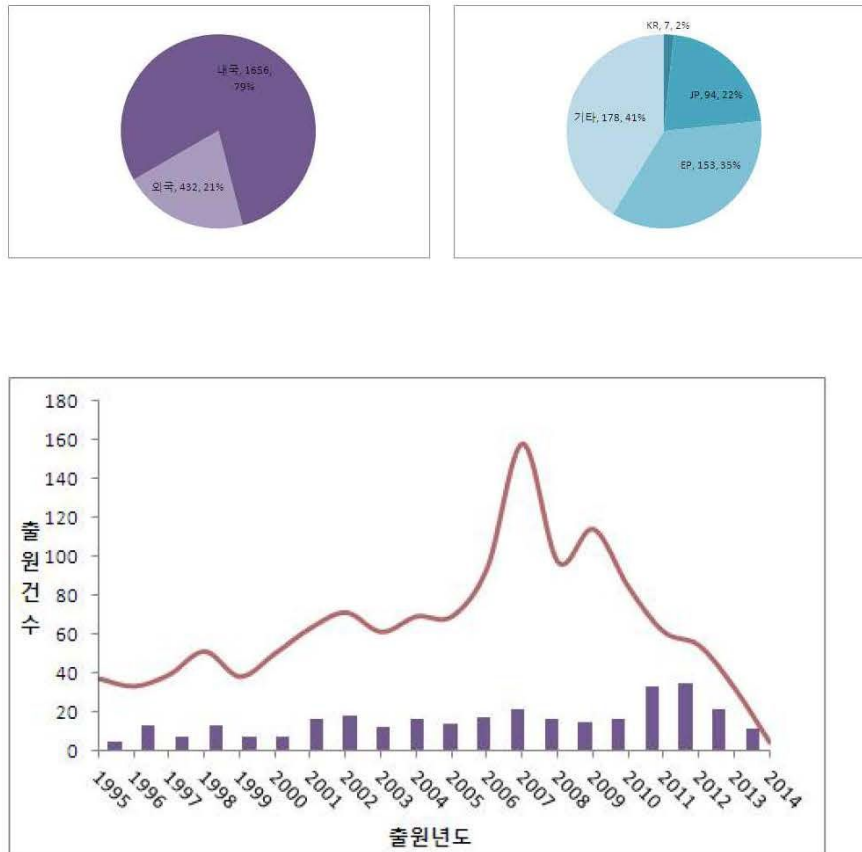
2-2) 한국



한국에서의 전체 출원 중 외국인이 차지하는 비중은 21.9%인 것으로 분석됨

이 중 일본인이 전체 외국인의 52%를 차지하여 가장 높은 비중을 차지하였으며, 그 뒤로 미국인이 24%의 비중을 나타냄

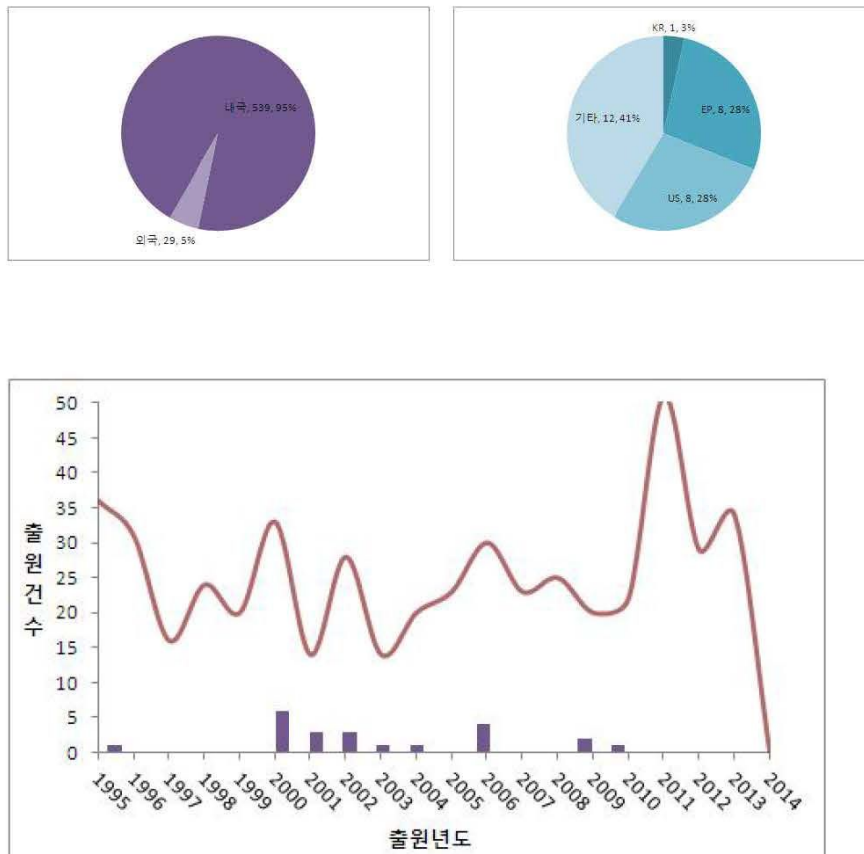
2-3) 미국



미국의 전체 특허출원 중 외국인이 차지하는 비중은 21%인 것으로 분석됨

이 중 유럽인이 차지하는 비중이 35% 가장 높았으며, 이어서 일본인이 차지하는 비중이 22%인 것으로 분석됨. 이는 유럽에서의 미국과 유럽의 공동출원인의 비중이 높은 것에 기인함

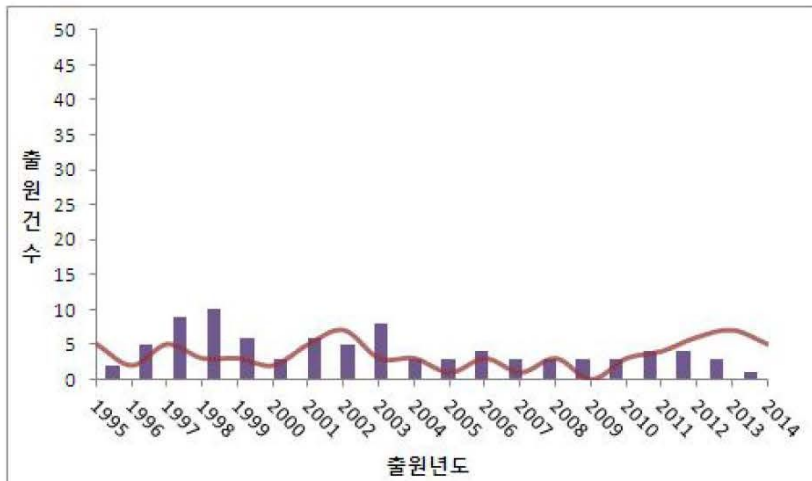
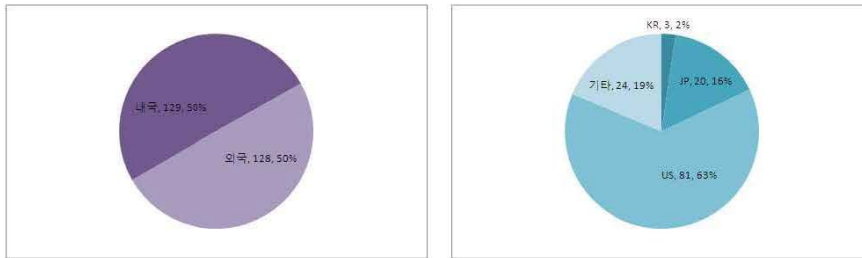
2-4) 일본



일본에서의 출원인 분석은 출원인의 국적이 누락되어 있어 기초출원에 대한 우선권 주장의 건수를 이용하여 분석함

일본에서의 외국인에 의한 출원은 5 %에 불과하며 외국인 중에서의 주요 출원인을 특정할 수 없이 균등한 분포를 나타냄. 이는 일본에서의 외국 기술의 유입이 적다는 것을 의미함

2-5) 유럽



유럽에서의 특허출원인의 외국인 비중은 내국인의 비중과 큰 차이가 없는 것으로 분석됨

미국인이 81%로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 이는 이 분야 기술에 대한 유럽에서의 외국 의존도가 높다는 것을 의미함

2-6) 분석

대부분의 기술은 내국인이 리드를 하는 것이 일반적이나, 그럼에도 불구하고, 외국인이 리드하는 기술의 경우, 그 이유를 환경적 혹은 정책적 측면에서 반드시 살펴보아야한다. 이러한 경우에 분석하는 것이 바람직함

상기 그래프는 출원국가별로 출원인 국적의 분포를 원형그래프로 구현하고, 출원연도에 따라 내·외국인의 특허출원건수 추이를 나타낸 것임

여기서 특허출원국가는 특허가 출원된 특허청이 소재하고 있는 국가를 말하는 것으로 특정시장에서 권리활동을 나타내는 지표임

출원인국적은 어느 시장에 출원했는지 간에 출원된 특허기술을 보유하고 있는 자의 국적으로, 기술보유국을 의미함. 출원인국적을 내국인과 외국인으로 구분하여 분석하면, 해당 출원국가에서 자국기술력이 우세한지, 외국기술에 대한 의존도가 높은지를 파악할 수 있음. 또한 내·외국인의 출원건수 변화추이를 연도별로 살펴보면 특정시장에서의 외국기술 유입상황을 파악할 수 있음

유럽을 제외하고는 내국인의 비중이 외국인보다 높고, 외국인의 비중이 20% 이하의 범위에 머무르고 있으므로 해외로의 진출 또는 해외에서의 내국으로의 진출이 활발하지 않은 분야의 기술인 것으로 판단할 수 있음

이는 어항 및 항만에 관한 내진 기술은 자연 환경적 요소에 기인한 발명에 속하므로 개별 국가의 특성이 고려된 특허기술의 발명이 대부분인 것에 기인함

즉, 외국의 기술을 그대로 도입하여 사용하는 것이 제한적인 것으로 파악될 수 있음

특허출원의 경우 자국에서의 출원 내용과 동일한 발명을 출원할 수 밖에 없으므로 자국에서의 개발 내용을 그대로 도입하는 것이 유효하지 않은 분야의 기술인 것으로 판단할 수 있음

1-2. 기술시장 성장단계 파악



(1) 의미

각 출원구간으로 구분하여 출원건수(특허건수)와 출원인수(특허권자수)를 2차원 버블차트로 구현한 그래프임. 버블의 크기는 출원인수(특허권자수)임

출원건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고, 출원인수의 증가는 시장의 신규진입자가 증가하는 것을 의미하며, 이는 해당기술분야의 시장이 커지고 있다는 것을 의미함

태동기 단계에서는 출원인과 출원건수가 활발하게 진행되는 단계로써 연구활동이 활발한 것을 판단할 수 있으며, 성숙기 단계는 출원건수 및 출원인의 증가율이 낮아지면서 시장진입자들이 빠져나가는 단계임. 쇠퇴기 단계는 출원인 뿐 아니라 출원건수도 감소하여 해당기술의 시장이 위축되는 단계로 해석할 수 있음. 회복기 단계는 원천기술을 이용하여 현 시장에 맞는 기술들이 다시 개발되어 새로운 아이

디어와 함께 시장이 재형성되는 단계로 볼 수 있음

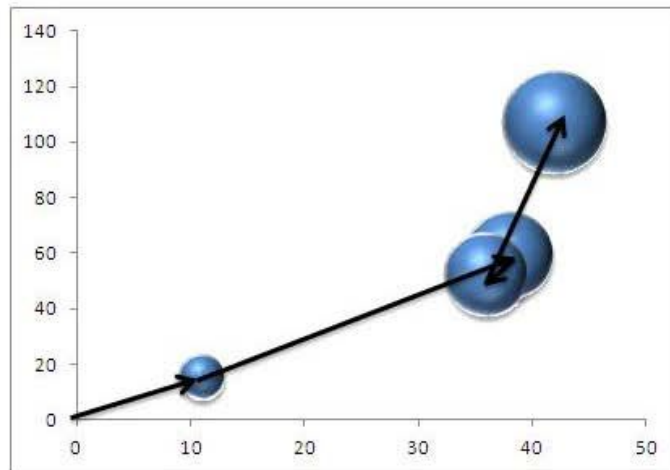
모든 출원국은 속지주의 원칙, 즉 동일한 발명에 대하여 상이한 국가에서 획득한 특허는 각각 독립적으로 해당국가의 법률에 따라 존속·소멸한다는 원칙³⁾에 따라 독립적으로 권리의 효력이 발생하기 때문에, 해당출원국가에 특허출원한다는 것은 해당 시장에서 권리를 이행하려는 의지가 있다고 볼 수 있음

이에 출원국가별로 해당기술의 시장 및 개발현황을 비교해봄으로써, 어느 시장이 활발한지, 기술개발형성이 어디까지 진행되었는지 판단할 수 있음. 주요 시장국과 우리나라의 상황을 비교해 보고, 우리나라보다 기술개발단계가 앞서있는 시장국을 파악하여, 현재 기술개발과 기술시장에 진입하기 위한 기술적인 강점은 무엇이며, 기회요인이 어떤 것들이 있는지 연구기획시 주도면밀하게 분석해야 할 것임

3) 정보분석(개정판), 한국발명진흥회, '07

(2) 나라별 현황

1) 한국

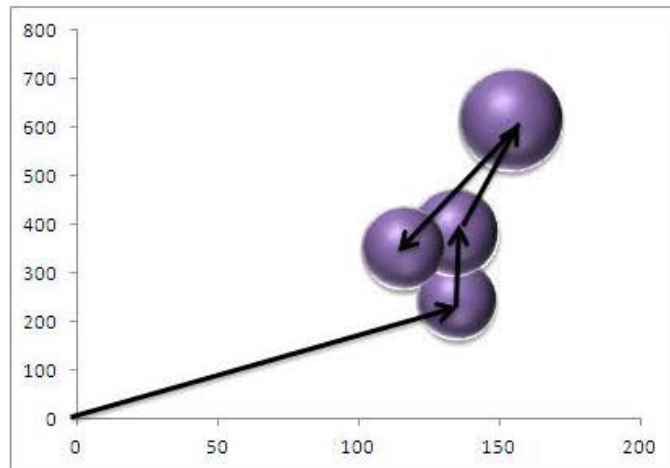


한국의 경우 이 기술분야의 성장기에 속하는 것으로 분석됨

기간별로 구분된 출원인 수, 출원 건수 및 특허권자수가 지속적으로 증대되고 있으며, 출원인 수 역시 증대되는 것으로 분석됨

따라서, 한국에서의 항만 및 어항에 관한 내진 기술에 대한 연구 및 개발과 특허권리화가 성장기의 초입에 진입한 것으로 판단됨

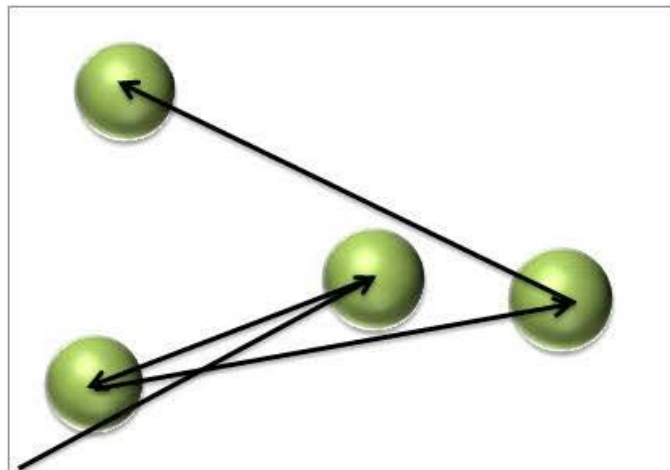
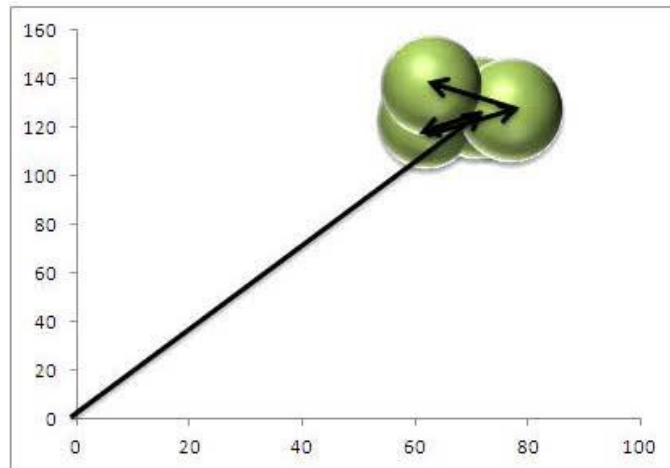
2) 미국



미국의 경우 이 기술분야의 쇠퇴기에 해당되는 것으로 분석됨

출원 수, 출원인 수 및 특허출원건수가 모두 감소하는 것으로 분석되며, 이후 회복기에 진입할 것인지의 여부는 2012년 이후의 데이터가 공개되는 2016년 이후에 판단이 가능함

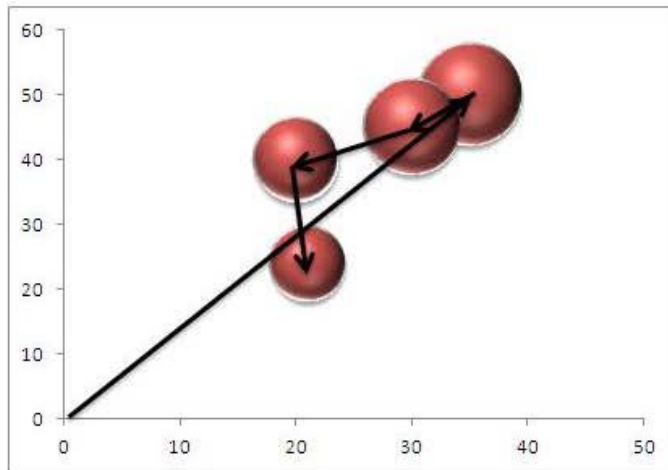
3) 일본



일본의 경우 이 기술분야의 성숙기에 접어든 것으로 분석됨

지속적인 연구 개발 활동이 이루어지고 있으나, 출원건수, 출원인 수 및 특허권자의 수가 정체상태를 형성하고 있음

4) 유럽



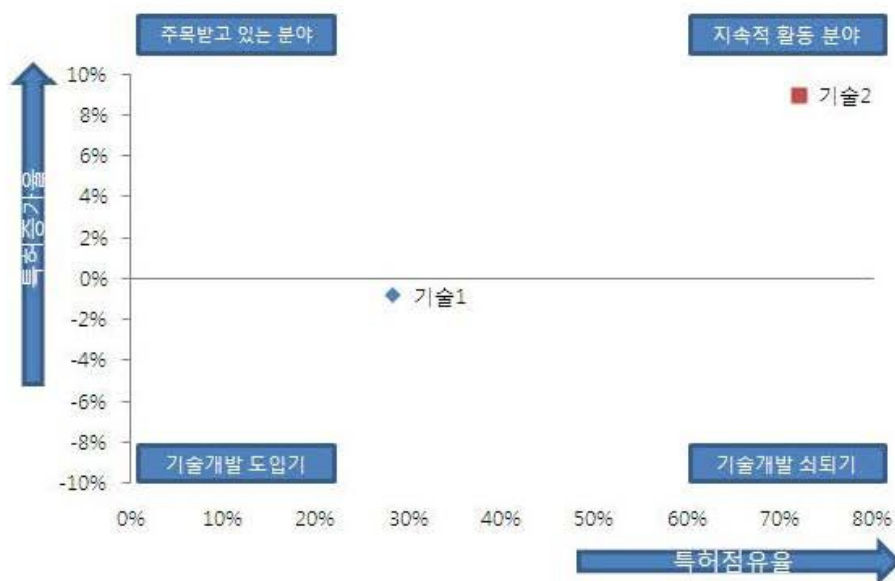
유럽의 경우 이 기술분야의 쇠퇴기에 있는 것으로 분석됨

쇠퇴기에 접어든 이후 회복기로 진입하지 못하고 쇠퇴기의 영역에 머무르고 있음

또한, 쇠퇴기까지의 과정이 많은 건수를 보이지 않은 과정을 거쳐왔으므로 유럽은 이 기술분야에 대한 연구, 개발 및 권리화가 활발하지 아니한 것으로 판단할 수 있음

2. Hot Trend 분석

Hot Trend분석이란, 특허 출원증가율과 특허점유율을 바탕으로 분석해 볼 때, 세부기술분야별 우선순위를 결정함에 있어 객관적인 데이터를 제공함을 목적으로 함



항만 및 어항의 내진 설계, 분석 기술(기술 1)의 경우 03~07년 대비 08~12년 증가율이 -1%에 있어, 기술개발 도입기에 있는 것으로 분석됨

항만 및 어항의 내진 보강 기술(기술 2)의 경우 03~07년 대비 08~12년 증가율이 9%에 있어, 지속적 활동분야에 있는 것으로 분석됨

3. 소결

항만 및 어항에 관한 내진 기술은 자국민 대비 외국인의 출원의 비중이 높지 않아 외국에 대한 기술의존도가 낮고, 외국에서의 내국으로의 기술진입도가 낮은 것으로 판단됨

이는 이 기술분야가 각국의 자연 환경적 특성에 기인하여 연구 및 개발되는 분야의 기술에 해당하는 것에 기인하는 것으로 판단됨

항만 및 어항에 관한 내진 기술의 기술 성숙도는 한국을 제외한 나머지 국가는 쇠퇴기에 접어든 것으로 판단됨

이 중 미국과 일본의 경우 성장기에 활발한 연구 개발이 이루어진 이후 쇠퇴기에 접어들었으나 유럽의 경우 활발한 연구 개발이 이루어진 것은 아니었다고 판단됨

한국의 경우 이 기술분야에 대한 성장기에 있는 것으로 판단됨

기술 1과 기술 2로 구분하여 분석한 기술 관심도의 지위는 기술 1의 경우 많은 연구개발이 수행되지 아니한 분야로서 기술 도입기의 지위에 있는 것으로 판단되고, 기술 2의 경우 지속적인 연구 개발이 수행되어 온 것으로 판단됨

1. 국가별 출원증가율

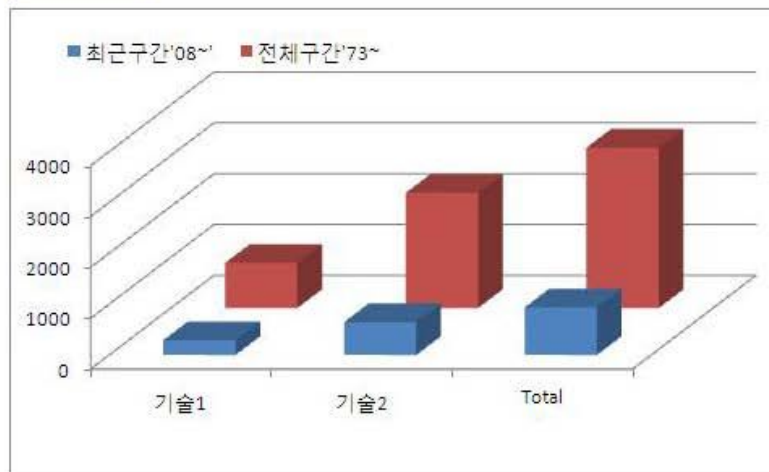
	이전구간	최근구간	증가율
	'03 ~ '07	'08 ~	
한국	62	85	37 %
일본	116	150	29 %
유럽	32	33	3 %
미국	531	525	- 1 %
Total	741	793	7 %



최근과 이전구간 대비 출원 증가율을 살펴보면, 한국과 일본은 이전구간 대비 37%, 29% 증가 양상을 보였으나, 유럽과 미국은 출원 건수의 변화가 없는 것으로 분석됨

2. 최근 구간 점유율 분석

	최근구간	전체구간	점유율
	'08 ~	'73 ~	
기술 1	292	889	33 %
기술 2	645	2267	28 %
Total	937	3156	30 %



전체구간 대비 최근 구간에서의 출원점유율을 살펴보면, 기술 1 및 기술 2의 최근 구간이 점유하는 비중이 통상적인 비중인 것으로 판단됨

이는 최근부터 급격히 비중이 높아져온 기술이 아닌 종래부터 기술에 대한 관심도가 유지되어 온 것으로 판단할 수 있음

3. IP 부상도 종합결론

3-1. IP 부상도 판단 결과

NEPSA 중 특허평가지표	평가점수				
평가기준 및 정의	1	2	3	4	5
· IP 부상도 - 정량적분석 (유효특허대상)	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음

3-2. IP 부상도 항목별 판단 기준표

출원증가율 <이전구간대비증가율>		최근 출원점유율 <최근구간 출원점유율>		IP 부상도 종합결론 T= (X+Y) / 2
(X)		(Y)		
5	증가율 80% 이상	5	점유율 80% 이상	2.0
4	증가율 60%이상 ~ 80%미만	4	점유율 60%이상 ~ 80%미만	
3	증가율 20%이상 ~ 60%미만	3	점유율 40%이상 ~ 60%미만	
2	증가율 0%이상 ~ 20%미만	2	점유율 20%이상 ~ 40%미만	
1	증가율 0% 미만	1	점유율 20% 미만	

1. 핵심특허 리스트4)

연번	세부 기술	특허번호	출원일자	출원인	권리 상태	발명의 명칭
1	기술1	10-1019422	2010.08.23	한국전력공사	등록	내진설계방법
2	기술1	10-0518777	2003.09.05	한국원자력연구소	등록	지진 안전성 평가시스템 및 그 방법
3	기술1	2013-0091204	2013.07.31	야하기 컨스트럭션	공개	건물의 내진 보강 구조 및 내진 보강 구조의 내진설계 방법
4	기술1	2014-0058116	2012.11.06	유노빅스이앤씨(주)	공개	기계·전기·소방 비구조요소에 설치되는 내진설계용 최적 내진장치 선정 시스템 및 방법
5	기술1	2014-0135136	2014.10.25	신동열	공개	내진규모 산정을 포함하는 구조물 내진설계 방법 및 그 시스템
6	기술1	10-1443312	2013.04.19	현대건설 주식회사	등록	토목건축구조물의 설계방법 및 그 설계방법에 의하여 제조된 토목건축구조물
7	기술1	10-0921706	2009.03.18	(주)대영구조기술단	등록	노후된 건축 구조물의 내진보강장치 및 안전진단장치
8	기술 1	10-1477464	2014.09.16	충남대학교	등록	기존 건축물의 내진보강을 위한 슬릿 끼움벽의 내진성능 예측 방법
9	기술 2	10-1472811	2013.10.11	메트로타입씨 주식회사	등록	강판 오픈 프레임 내진보강 방법
10	기술 2	10-0809065	2006.06.02	건설기술연구원	등록	기존교량의 내진보강공법
11	기술 2	2013-0051183	2011.11.09	동국대학교	공개	내진 보강 구조물 및 이를 이용한 내진 보강 방법
12	기술 2	2014-0105152	2013.02.22	한국교통대학교	공개	내진 보강용 벽체와 벽체의 시공방법
13	기술 2	2014-0132513	2013.05.08	원주대학교	공개	내진 보강용 FRP 패널 및 그 제조방법과 내진 보강용 FRP 패널을 이용한 시공방법
14	기술 2	10-1418689	2011.12.21	경기대학교	등록	내진 설계를 위한 시공성이 개선된 철근콘크리트 기둥의 띠철근 배근 방법
15	기술 2	10-1087630	2011.11.30	주식회사 위드콘	등록	콘크리트 구조물의 내진 보강구조 및 보강방법
16	기술 2	10-0498248	2002.09.02	김원기	등록	콘크리트 기둥의 내진성능향상 보강방법 및 그에 의해 보강된 콘크리트 기술
17	기술 2	10-0645447	2005.10.31	한국전력공사	등록	폴리형 지진진동 저감장치
18	기술 2	10-1466683	2013.11.01	동국대학교	등록	외부재를 활용한 리모델링 내진보강 접합구조 및 이를 이용한 건물 리모델링 시공방법
19	기술 2	10-1348738	2013.07.17	에프알앤디건설(주)	등록	크레인 내진 보강 구조물
20	기술 2	10-1338165	2012.07.27	한국해양과학기술원	등록	실린더형 무인잠수경의 유지보수를 위한 회전기능을 갖는 방진 이동대차

- 4) IP 분석을 위한 핵심특허 리스트는 본 기술이 국내 향만 등에 적합한 내진설계기준 정리를 위한 점을 고려하여, 국내 공개 및 등록된 유효특허로 한정함. 또한, 장벽도 분석을 위한 세부 내용 분석이므로 분석일 기준 공개 건까지 포함함.

2. IP 장벽도 및 기술경쟁력 분석

2-1. 내진설계, 내진분석 기술(기술 1)

(1) IP 장벽도 및 기술경쟁력 분석

조사대상 기술 1		특허장벽⑤				
설계, 분석, 예측, 진단 기술	기술요소	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
	① 내진 설계, ② 내진 해석, ③ 내진 감시, ④ 내진 안전 진단, ⑤ 내진보강부재의 성능 예측	☑				

연번	세부 기술	특허번호	출원일자	출원인	권리 상태	발명의 명칭
1	기술1	10-1019422	2010.08.23	한국전력공사	등록	내진설계방법
기술 요소	① 내진 설계 ② 내진 해석 - 응답스펙트럼을 이용함					
2	기술1	10-0518777	2003.09.05	한국원자력연구소	등록	지진 안전성 평가시스템 및 그 방법
기술 요소	① 내진 감시 - 내진 감시 모듈, 데이터 입력 모듈, 데이터 평가 모듈을 포함함 - 내진 감시 모듈이 3축 시간이력 지진데이터를 계속함 - 데이터 입력 모듈을 이용하여 기존 데이터를 입력함 - 내진 평가 모듈이 지진데이터와 계속된 데이터를 비교하여 안전성을 평가함					
3	기술1	2013-0091204	2013.07.31	야하기 컨스트럭션	공개	건물의 내진 보강 구조 및 내진 보강 구조의 내진설계 방법
기술 요소	① 내진 설계 - 콘크리트 구조체에 별도의 보강체를 결합하여 내진설계를 수행함 - 보강체의 결합에 있어, 철합부의 면적, 콘크리트의 압축강도, 앵커철근의 인장내력의 3가지 요소를 고려함					
4	기술1	2014-0058116	2012.11.06	유노비스이엔씨(주)	공개	기계·전기·소방 비구조요소에 설치되는 내진설계용 최적 내진장치 선정 시스템 및 방법
기술 요소	① 내진 설계 - 데이터 전송 단말, 내진 장치 선정, 데이터 저장 장치를 구비함 - 내진 장치 선정 구조는 구조물의 지역계수, 지반종류 데이터를 기반으로 내진설계범위를 도출함					
5	기술1	2014-0135136	2014.10.25	신동열	공개	내진규모 산정을 포함하는 구조물 내진설계 방법 및 그 시스템
기술 요소	① 내진 설계 - 내진력을 산정하는 단계, 요구지반가속도를 산정하는 단계, 지진규모를 산정하는 단계를 포함하여 내진설계를 수행함					

6	기술1	10-1443312	2013.04.19	현대건설 주식회사	등록	토목건축구조물의 설계방법 및 그 설계방법에 의하여 제조된 토목건축구조물
기술 요소	① 내진 설계 - 비선형 정적중분하중해석 분석 단계, 고강도 부재 복합적용 단계, 강성저하부분 분석 단계, 강성저하 분석 단계, 지연유 도부위를 결정하는 단계 및 지연유도 부위에 고강도 부재 적용 단계를 포함하는 내진 설계를 수행함					
7	기술1	10-0921706	2009.03.18	(주)대영구조기 술단	등록	노후된 건축 구조물의 내진보강장치 및 안전진단장치
기술 요소	① 내진 안전 진단 - 고정부재에 연결된 와이어의 전류 이상을 측정하여 노후 건축 구조물의 내진을 보강하고 안전을 진단함					
8	기술 1	10-1477464	2014.09.16	충남대학교	등록	기존 건축물의 내진보강을 위한 슬릿 끼움벽의 내진성능 예측 방법
기술 요소	① 내진 보강 부재의 성능 예측 - 내진보강을 위한 콘크리트 끼움벽의 전단응력, 중간변위를 고려하여 끼움벽의 내진 성능을 예측함					

(2) IP 장벽도 및 기술경쟁력 분석 결과

내진설계, 내진분석과 관련된 기술 중 항만 및 어항에 특화된 기술
은 전문한 상태임

항만, 육지 등에 범용적으로 적용 가능한 내진 설계 기술이 출원되
었으며, 핵심특허의 기술요소는 “① 내진 설계, ② 내진 해석, ③ 내
진 감시, ④ 내진 안전 진단, ⑤ 내진보강부재의 성능 예측”으로 구
분될 수 있음

국내 항만 및 어항에 특성을 고려한 기술요소를 추출하고 이에 관
한 설계 및 분석 방법의 특허출원에 대한 IP 기술 장벽은 높지 않은
것으로 판단됨

5) 경쟁력상황과 유사 상황을 고려하여 결정함.

2-2. 내진보강 기술(기술 2)

(1) IP 장벽도 및 기술경쟁력 분석

조사대상 기술 1		특허장벽 ⁶⁾				
보강기술	기술요소	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
	① 내진 보강 구조, ② 내진 보강 장치		☑			

연번	세부 기술	특허번호	출원일자	출원인	권리 상태	발명의 명칭
9	기술 2	10-1472811	2013.10.11	메트로티엔씨 주식회사	등록	강판 오픈 프레임 내진보강 방법
기술 요소	① 내진 보강 구조 - 양카, 장착판, 무수축 몰탈, 마감, 조합물, 앵글을 포함하는 내진 보강 구조					
10	기술 2	10-0809065	2006.06.02	건설기술연구원	등록	기존교량의 내진보강공법
기술 요소	① 내진 보강 구조 - 상부구조물에 체결되는 케미컬 앵커, 케미컬 앵커의 도장 구조를 포함하는 내진 보강 구조					
11	기술 2	2013-0051183	2011.11.09	동국대학교	공개	내진 보강 구조물 및 이를 이용한 내진 보강 방법
기술 요소	① 내진 보강 구조 - 수직부재, 수평부재를 포함하는 내진 보강 구조					
12	기술 2	2014-0105152	2013.02.22	한국교통대학교	공개	내진 보강용 벽체와 벽체의 시공방법
기술 요소	① 내진 보강 구조 - 골재, 판재를 포함하는 내진 보강 구조를 갖는 벽체					
13	기술 2	2014-0132513	2013.05.08	원주대학교	공개	내진 보강용 FRP 패널 및 그 제조방법과 내진 보강용 FRP 패널을 이용한 시공방법
기술 요소	① 내진 보강 구조 - 파형부가 형성된 코어, 보강부를 포함하는 내진 보강 구조를 갖는 FRP 패널					
14	기술 2	10-1418689	2011.12.21	경기대학교	등록	내진 설계를 위한 시공성이 개선된 철근콘크리트 기둥의 띠철근 배근 방법
기술 요소	① 내진 보강 구조 - 철근콘크리트 기둥의 내진 보강 구조					
15	기술 2	10-1087630	2011.11.30	주식회사 위드콘	등록	콘크리트 구조물의 내진 보강구조 및 보강방법

기술 요소	① 내진 보강 구조 - 기둥 사이에 내진보강재가 설치되는 내진 보강 구조					
16	기술 2	10-0498248	2002.09.02	김원기	등록	콘크리트 기둥의 내진성능향상 보강방법 및 그에 의해 보강된 콘크리트 기술
기술 요소	① 내진 보강 구조 - 알칼리 저항성 유리섬유를 이용한 내진 보강 구조					
17	기술 2	10-0645447	2005.10.31	한국전력공사	등록	폴리형 지진진동 저감장치
기술 요소	① 내진 보강 장치 - 지진 진동을 저감시키기 위한 저감장치					
18	기술 2	10-1466683	2013.11.01	동국대학교	등록	피씨부재를 활용한 리모델링 내진보강 접합구조 및 이를 이용한 건물 리모델링 시공방법
기술 요소	① 내진 보강 구조 - 건물의 리모델링시 사용되는 피씨부재를 이용한 내진 보강 접합 구조					
19	기술 2	10-1348738	2013.07.17	에프알엔디전설 (주)	등록	크레인 내진 보강 구조물
기술 요소	① 내진 보강 구조물 - 항만 등에 사용되는 크레인에 대한 내진 보강 구조물					
20	기술 2	10-1338165	2012.07.27	한국해양과학기술원	등록	실린더형 무인잠수정의 유지보수를 위한 회전기능을 갖는 방진 이동대차
기술 요소	① 내진 보강 구조물 - 무인잠수정의 유지보수를 위한 이동대차의 내진보강 구조물					

(2) IP 장벽도 및 기술경쟁력 분석 결과

내진 보강 구조에 관한 기술 중 항만 및 어항에 특화된 기술은 크레인 내진 보강 구조물 및 실린더형 무인잠수정의 유지보수를 위한 회전기능을 갖는 방진 이동대차에 관한 2건에 불과함

이외에는 항만, 육지 등에 범용적으로 적용 가능한 건축 구조물에 관한 내진 보강 구조 또는 구조물이 출원되었으며, 핵심특허의 기술

6) 경쟁력상황과 유사 상황을 고려하여 결정함.

요소는 “① 다수의 부재를 이용한 내진 보강 구조 , ② 단일 부재로 형성된 내진 보강 구조물 ”으로 구분될 수 있음

국내 항만 및 어항에 특성을 고려한 기술요소를 추출하고 이에 관한 보강 구조 및 구조물에 관한 특허출원의 IP 기술 장벽은 높지 않은 것으로 판단됨

3. IP 장벽도 종합분석 결과

구분	IP장벽도/점수				
	매우높음/1	높음/2	보통/3	낮음/4	매우낮음/5
기술 1				0	
기술 2			0		
종합결론			0		

특허평가지표 중 IP 장벽도는 보통 또는 보통에서 다소 낮은 수준인 것으로 평가되었음

내진 설계기술과 관련하여, 항만 및 어항에 특화된 설계 기술에 관한 IP 장벽이 존재하지 않고, 설계 기술은 방법에 관한 특허임을 고려하여 보았을 때, 국내 항만 및 어항의 특성을 고려한 IP를 창출하고 이에 관한 특허등록을 유도하는 것이 용이할 것으로 판단됨

범용적으로 사용되는 내진 설계 기술의 측면에 있어서도, 항만 및 어항에 한정된 내진 설계 기술보다는 높은 수준의 IP 장벽이 존재하는 것으로 파악되나, 방법에 관한 특허임을 고려하면 설계, 분석, 예측, 진단에 관한 방법 특허의 창출이 높은 수준은 아닌 것으로 판단됨

내진 보강기술과 관련하여, 몇몇 항만 및 어항의 부대시설에 사용되는 내진 보강기술이 존재하지만, 특허 장벽의 개수가 소수이므로 해

당 부대시설은 물론 항만 및 어항의 구조물에 관한 내진 보강기술에 관한 특허장벽은 높지 않은 것으로 판단됨

다만, 항만 및 어항에 한정되지 않은 범용적으로 사용될 수 있는 구조물에 대한 내진 보강기술은 기술장벽의 수준이 다소 높은 편이므로 IP 창출 전략에 있어, 항만 및 어항에 한정된 기술과 범용적으로 사용되는 기술의 기술 권리화 전략의 이분화를 피하여야 할 것으로 판단됨

특허평가지표	평가점수				
평가기준및정의	1	2	3	4	5
· IP부상도 － 정량적분석(유효특허대상)	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
· IP장벽도 － 정성적분석(핵심특허대상)	매우 높음	높음	보통	낮음	매우 낮음

특허분석결과, 한국의 경우 이 기술 분야에 관한 관심도가 최근 높아지고 있으며, 기술의 성숙도 역시 높지 않은 것으로 판단됨

이와 비교하여 미국, 일본의 경우 종래부터 기술에 대한 연구 개발이 활발히 진행되어 왔으며, 현재는 종래에 비하여서는 기술의 성숙도가 쇠퇴기에 접어든 것으로 판단됨

한국에서의 출원인 국적의 비율이 내국인에 비하여 외국인이 높지 아니하므로 외국에서의 기술 진입이 활발한 편은 아닌 것으로 판단됨

또한, 기존에 출원된 기술에 의한 기술 장벽이 높지 않은 것으로 판단됨

이에 따라, 한국의 특성에 맞는 기술 개발 및 권리화가 용이한 것으로 분석되며, 이는 기술의 성숙도에 비하여 낮은 특허장벽을 갖는 분

야로 판단될 수 있음

따라서, 기술의 패러다임의 진보가 요구되는 것이 아닌 기존의 해외 기술을 한국의 자연환경 특성에 맞게 수정 및 보완하는 방향으로 기술 발전이 이루어질 것이라는 예측이 가능함

부록 2. 경제성 검토 보고서

한국형 항만 및 어항
내진설계기술 정립을 위한
경제성 검토
객원연구 보고서

2015. 05.

세니츠코퍼레이션
김기중

목 차

1. 개요	1
1.1. 연구 개요 및 목적	1
1.2. 연구 동향	1
1.3. 연구 방법	6
2. LCC 분석기법	7
2.1. 비용추정 방안분석	7
2.2. LCC 분석 프로세스 구축	8
3. 기존 설계법과 신뢰성 · 성능기반 설계법의 경제성 검토	12
3.1. 분석대상 현황	12
3.2. LCC 분석을 위한 전제조건 및 가정사항	13
3.3. LCC 분석 시나리오	14
3.4. 시나리오에 따른 분석결과	15
4. 결론	18

참고문헌

1. 개요

1.1. 연구 개요 및 목적

본 연구는 새롭게 정립한 한국형 항만 및 어항 내진설계기술에 대하여 경제적 측면에서 기존의 설계법과 비교하고자 하였다. 이를 위하여 신뢰성·성능기반 설계법 적용에 대한 비용산정 방안에 대하여 살펴보고, LCC(Life cycle cost) 분석기법을 활용하여 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성을 추정하였다. 특히 LCC 분석을 통하여 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법이 구조안전성 측면에서 동일한 성능을 가지는 조건으로 신뢰성·성능기반 설계법에 의한 구조물 공사비 변동에 따른 경제성을 분석하고자 하였다. 또한 구조물 공사비의 변동이 LCC에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

1.2. 연구 동향

1.2.1. 국내·외 주요 지진재난 사례

1995년 1월 일본에서 발생한 고베지진이나 동년 5월 사할린 지진에서와 같이 지진재해의 경우는 지진 자체에 의한 피해보다 폭발이나 화재 등 2차적 피해가 심각하다고 할 수 있다. 특히 고베지진에서는 액상화 현상이 발생하여 구조물에 대한 피해를 크게 증가시켰다. 액상화에 의한 피해는 지표상의 모든 구조물에서 다양한 형태로 나타날 수 있고, 주로 부분 침하에 의한 파괴와 구조물의 침하경사 등으로 나타난다. 그 결과 구조물의 본체는 거의 피해를 입지 않았는데도 전체적으로 침하 또는 경사 등으로 구조물로서의 기능을 상실하게 되는 것이다. 이러한 현상은 구조물에 큰 충격을 주며 약한 강도의 지진에서도 피해가 대형화된다. 한국방재협회(2010)에 의하면 비교적 최근에 발생한 국외 대형 지진재난은 표 1과 같으며, 국내 주요 지진현황은 표 2와 같다. 또한 해양수산부(2001)에 의하면 연도별 주요 항만구조물의 지진피해 사례는 표 3과 같다. 지진재난에 의한 인명피해와 사회경제적 피해를 나누어 생각해 보면 인명피해는 지진에 대한 대비가 부족한 국가에서 주된 피해 양상으로 나타나며, 그 동안의 지진재난을 살펴보면 내진설계 등의 지진재난 대비로 인명피해는 크게 줄일 수 있는 것을 알 수 있다. 그러나 지진재난에 대한 대비가 비교적 충실하더라도 사회적 발전과 지역적 특성에 의한 사회경제적인 피해가 막대함을 알 수 있다.

표 1 국외 주요 지진재난 사례

주요 지진	발생시기	규모	특 징	교 훈
Mexico	1985.9	8.1	<ul style="list-style-type: none"> • 약 10,000명 사망, 약 200동 이상의 고층건물 붕괴 • 연약지반의 영향 	<ul style="list-style-type: none"> • 지반특성의 중요성
Armenia	1988.12	6.8	<ul style="list-style-type: none"> • 약 60,000명 사망 및 실종, 70억불 이상의 경제적 손실 • 급속한 도시화, 내진설계 무시와 부실시공으로 인한 구조물 피해 	<ul style="list-style-type: none"> • 내진설계의 중요성
Loma Prieta	1989.1	7.1	<ul style="list-style-type: none"> • 62명 사망, 약 83억불의 재산손실 • 초기 화재진압 실패, 사회기반시설 파괴(2차 재해) 	<ul style="list-style-type: none"> • 내진설계 및 2차 재해에 대한 인식
Northridge	1994.1	6.8	<ul style="list-style-type: none"> • 58명 사망, 미국 역사상 최대 경제손실 • 진원이 도심, 예상을 초과한 지반운동 • 사회기반시설 파괴(2차 재해) 	<ul style="list-style-type: none"> • 사회기반시설 및 라이프라인 내진설계 • 기존 구조물의 내진성능 향상
고베	1995.1	7.2	<ul style="list-style-type: none"> • 6,432명 사망, 일본 역사상 최대 경제손실 • 도시직하형 지진, 예상을 초과한 지반운동 • 사회기반시설 파괴(2차 재해) 	<ul style="list-style-type: none"> • 내진설계 및 지진재해에 대한 대응방안의 변화 필요
Izmit	1999.8	7.4	<ul style="list-style-type: none"> • 15,657명 사망, 27,233명 부상, 막대한 구조물 및 재산손실 • 내진설계 무시와 안전불감증 	<ul style="list-style-type: none"> • 내진설계 및 지진재해 대응방안 확립
Chichi	1999.9	7.6	<ul style="list-style-type: none"> • 2,400명 사망, 11,000여명 부상, 주요 구조물 붕괴 • 도시기능 마비, 내진규정의 재정비 미완료 	<ul style="list-style-type: none"> • 내진설계 및 지진재해 대응방안 확립
후쿠오카	2005.3	7	<ul style="list-style-type: none"> • 사망 1명, 700여명 부상, 신칸센 철도 운행 중단 • 규모 6.0 이상의 대지진확률 1,000년에 1회 미만으로 예측 	<ul style="list-style-type: none"> • 한반도 전역 영향 • 내진설계 및 지진재해 대응방안 확립

표 2 국내 주요 지진재난 사례

지진명	발생연도	규 모	피해상황
쌍계사	1936	5.0	가옥파괴
홍성	1978	5.0	가옥반파
영월	1996	4.5	가옥균열
흑산도 해상	2003	4.7	-
백령도 해상	2003	5.0	-
울진 해상	2004	5.2	-

표 3 항만구조물의 지진재난 사례

주요 지진	발생시기	규모	피해상황
Chi-chi, Taiwan	1999.9	7.7	• 북쪽터미널 : 액상화, 지반침하, 사면활동, 탱크의 sloshing 파손 등
Gulf of Aqaba, Egypt, Jordan, Israel	1995.11	7.2	• 일반적 : 약한 액상화, 표면균열 등 • 해안시설 : 액상화로 인한 선박 접안시설 피해 등 • 다른 항만시설 : 옹벽 파열, 기둥의 비틀림 등
Costa Rica	1991.04	7.4	• 남쪽 부두지역 : 액상화, 건축물 파괴 및 이동 등 • 항만 : 해안선 수위 상승(1m) • 콘크리트 기둥 및 철길 : 부분적 손상
Loma Prieta California, USA	1989.10	6.9	• 해안 건축물 : 구조적 피해 • 터미널 : 파일 손상, 제방 이동, 지역 침하, 균열 등 • 파일 말뚝 : 콘크리트 균열, 파일 부분 손상 • 액상화 : 터미널 지역 부분적 발생
Niyagiken- Oki, Japan	1978.06	7.6	• 중력식 안벽 : 표면 경사(0.6m) • 쉬트파일 격벽 : 표면 슬라이딩(1.2m) • 콘크리트 블록 옹벽 : 슬라이딩, 경사, 균열 • 여객 터미널 제방 : 제방 이동

1.2.2. 신뢰성 설계 및 성능기반 내진설계도입 관련 연구동향

안벽구조물을 포함한 항만구조물의 한계상태 또는 신뢰성 해석에 대한 국내·외 연구는 지리·기후적 여건상 항만시설이 많고 자연재해 빈도가 높은 일본에서 많이 이루어져 왔다. Yoneyama 등(2000)은 파괴된 중력식 안벽 재료로부터 정확한 목표신뢰도지수를 얻기 위한 파괴확률 평가 및 지진하중에 대한 하중계수(load factor)를 산정하였다. 그리고 Nagao 등(2001)은 안벽구조물의 신뢰성 설계법 적용에 관한 연구 및 일계신뢰도법(First Order Reliability Method: FORM)에 의해 산정된 파괴확률과 생애주기비용(LCC)과의 관계를 고찰한 바 있다. 또한, 동북아 3개국(한·중·일) 항만국장회의 공동연구의 결과로서 안벽구조물의 목표신뢰도지수와 확률변수에 대한 모델 및 건설된 10개 중력식 안벽의 전도 및 활동 저항에 대한 부분안전계수가 연구되었다(해양수산부, 2004). Ozaki 등(2005)은 안벽과 방파제의 파괴 시 손실비용과 복구비용을 고려하여 기대 총비용을 조사하여 기대 총비용이 최소가 되는 최적신뢰도지수를 찾아내었다. 그리고, 코드보정을 통하여 부분계수를 결정하였다. Nagao 등(2005)은 LCC 분석을 통하여 최적 파괴확률을 결정하고 안벽과 방파제의 수심 및 목표파괴확률 관계를 평가하였다. Ozaki 등(2007)은 방파제의 파력효과를 고려하지 않은 원호활동 파괴에 대한 목표안전수준을 연구하였다. 그의 연구에서는 기대 총비용의 최소치를 기존 설계법의 평균 안전수준과 비교한 결과 기존 설계법의 안전수준이 매우 높음을 확인하였고 최적 안전수준에 기초한 부분계수를 제안하였다. 또한, Houlshby 등(1999)은 연직 및 수평력과 모멘트 등 편심 및 경사하중이 작용하는 점토지반 위의 해상시설 기초의 파괴문제에서 소성 경계이론으로 문제를 해결하는 것은 불충분함을 발견하고 정밀 해를 찾고자 노력하였다. Duncan(1999)은 방대한 자료나 많은 시간과 노력 없이도 안정성과 침하 등 기존의 지반공학 문제에 신뢰성 개념을 보다 단순한 방법으로 적용할 수 있음을 나타내었다. Burcharth 등(2000)은 직립방파제 기초의 다양한 파괴모드와 PIANC(Permanent International Association of Navigation Congresses)에서 규정하는 기초의 파괴확률별 안전계수를 소개하였다. Martinelli 등(2000)은 직립식 방파제의 확률론적 해석을 두 가지 측면 즉, 실제 방파제 사례의 위험도 분석 및 너울장벽의 확률론적 설계에 있어 기초지반 분석 등에 대하여 연구한바 있다. Fenton 등(2005)은 랜덤필드 이론을 이용하여 지반의 변동성과 지반조사 정도의 함수로써 침하신뢰성의 특정한 수준을 달성하기 위해 요구되는 저항계수를 해석적으로 결정하였다. 국내에서 안벽구조물의 신뢰성 해석과 관련해서는 김동현 등(2003)이 케이슨식 안벽의 신뢰성 해석 시 동적토압의 위상차를 고려하기 위한 개선된 연구결과를 발표하였다. 그리고, 정평기 등(2005)은 가치공학

(Value Engineering;VE) 이론을 기초로 LCC 이론을 포함한 설계 시 다단계 의사결정방법론을 제시하고 안벽구조물에 대하여 검증함으로써 최적화 설계방법을 정립하고자 하였다. 최근에는 안종필 등(2006)이 퍼지신뢰성 이론에 기반하여 안벽구조물의 LCC를 분석하고 가치분석 모델을 연구하였다. 김영상(2006)은 심층혼합처리공법(DCM)으로 보강된 안벽 기초지반의 내적 안정성을 신뢰성 방법으로 해석하였다. 또한, 김동현 등(2007)은 지진 시 잔교식 안벽의 신뢰성 해석을 통하여 강관말뚝의 응력 및 최대변위에 대한 파괴확률을 계산하고 그로부터 지진위험도를 평가하였다.

한편 지진이 빈번한 일본의 경우 항만시설에 대해서 전 세계적으로 가장 선진화된 설계기준을 도입하여 적용하고 있다. 2009년 기존 내진설계기준을 '성능기반설계(performance-based design)'로 전환하였으며, 목적과 성능요구조건은 모두 법령으로 명시되어 있다. 영국을 포함한 대다수의 유럽연합은 2010년 Eurocode(ECS 1991:1992)를 중심으로 일반 토목 및 항만구조물에 대한 설계기준을 신뢰성 설계법인 부분안전계수에 의한 한계상태설계법을 시행하고 있으며, 미국은 CEM(Coastal Engineering Manual 2002:2006)을 5년마다 개정하면서 신뢰성 설계법을 점차적으로 수록하고 있다.

1.2.3. 연구개발의 필요성

1995년 일본 효고현 남부지진(고베지진)으로 인한 일본 최대 고베항에 대규모 피해가 발생하면서 기존 내진설계(유사정적/허용응력 설계법) 기준의 문제점이 대두되었다. 1995년 당시 피해금액 기준은 항만시설에 대하여 110억 달러(약 11조)에 달하며, 포트아일랜드와 록쿠아일랜드의 항만시설이 파괴되어 기능을 완전히 상실하였다. 이와 같이 기존의 유사정적해석 및 허용응력 설계법으로는 고베지진과 같은 Level II 수준의 지진에 대하여 항만구조물 설계가 불가능한 사실이 지적되었으며, 이로 인하여 내진설계에 있어서 성능기반 설계기법의 필요성이 대두되었다. 국내 항만 및 어항설계 기준은 2014년 개정판이 출판되었으나 허용응력 설계법에 기반한 것으로 세계적인 추세에 부응하지 못하고 있는 실정이다. 또한 신뢰성 설계법이 전면적으로 도입되지 못하고 부록에 실린 상태이며, 본격적인 후속사업을 통해 선진국과 같은 신뢰성 설계법 및 성능기반 내진설계 도입이 시급한 실정이다. 이에 본 연구에서는 신뢰성·성능기반 설계법 적용에 대한 비용산정 방안에 대하여 살펴보고, LCC(Life cycle cost) 분석기법을 활용하여 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성을 추정하고자 하였다.

1.3. 연구 방법

본 연구를 수행하기 위하여 먼저 LCC 구성항목을 도출하고, LCC 분석 프로세스를 구축하였다. 그 후 LCC 분석을 위한 기본 전제조건을 수립하고, 신뢰성·성능기반 설계법에 의한 구조물 공사비를 추정하여 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성을 검토하였다.

LCC 분석을 위해서는 LCC를 구성하고 있는 각각의 비용항목에 대한 공사비 및 관련 수량 자료가 필요하다. 이러한 자료는 기 완공된 해양 및 항만구조물의 실적자료를 분석함으로써 획득할 수 있다. 그러나 현재 해양 및 항만구조물의 유지관리에 관한 실적자료를 획득하기가 곤란하여 LCC 분석 시 참고문헌을 활용하였다. 또한 다양한 LCC 분석 시나리오를 수립하여 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비 변동에 따른 LCC의 추정이 가능하도록 반영하였다.

본 연구에서는 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성을 검토하기 위하여 ○○신항(1-2단계) 남항부두 3번선석 축조공사 중 접안시설을 LCC 분석대상으로 선정하였다.

2. LCC 분석기법

2.1. 비용추정 방안 분석

2.1.1. 비용추정의 기본방향

일반적으로 해양 및 항만구조물은 자연지형과 사회적 여건에 영향을 많이 받는 시설특성으로 인하여 각 시설물별 O&M의 편차가 크게 발생하게 되므로 LCC의 정확한 산출을 위하여 기본 자료 수집 및 분석에 많은 시간과 노력이 요구된다. 해양 및 항만구조물의 O&M에 대한 실적 자료가 부족한 시점에서 수행되는 비용추정은 실제 투입비용과 비교할 때 필연적으로 오차가 수반되며, 본 연구에서는 이 오차를 고려하여 비용추정 방안을 분석하였다.

2.1.2. LCC 구성항목 도출

LCC 구성항목의 도출은 분석대상인 접안시설의 건설 및 운영유지에 소요되는 비용발생 항목을 구체화함으로써 합리적인 LCC 분석이 가능하도록 한다. 접안시설의 경우에 있어서 LCC 구성항목을 요약하면 표 4와 같다. 이는 수명주기단계와 LCC 비용자료의 발생을 고려하여 분류한 것으로 대분류는 주로 수명주기단계에 따른 분류이고, 중분류 및 소분류는 단계별 비용발생 항목을 고려한 것이다.

표 4 접안시설 LCC 구성항목

대분류	중분류	소분류
초기공사비	공사비	<ul style="list-style-type: none"> • 기초공/구체공/상부공/재하공 • 파일기초공/상부공
유지관리비	일반관리비	<ul style="list-style-type: none"> • 인건비 • 일반경비 등
	점검·순회비	<ul style="list-style-type: none"> • 점검비/순회비
	보수/보강비	<ul style="list-style-type: none"> • 균열보수비 • 단면복구비 • 철근방청비 등
파괴손실비	복구비	-
	운영손실비	-
해체·폐기비	철거·폐기비	-
	철거 후 재활용 비	-

2.1.3. LCC 구성항목별 비용산정 방식

해양 및 항만구조물의 LCC 구성항목별 비용산정 방식은 표 5와 같다.

- 초기공사비 : 분석대상 시설물의 공사비 내역에 의한 추정
- 유지관리비 : 해양 및 항만구조물의 연구논문 및 설계기준에 의한 추정
- 파괴손실비 : 해양 및 항만구조물의 연구논문 및 설계기준에 의한 추정
- 해체·폐기비 : 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법에 의한 구조물의 해체·폐기비는 동일하다고 가정

표 5 LCC 구성항목별 비용산정 방식

LCC 구성항목		비용산정 방식
초기공사비	공사비	• 대상 시설물의 내역에 의한 추정
유지관리비	일반관리비	• 해양 및 항만구조물의 연구논문 및 설계기준에 의한 추정
	점검·순회비	
	보수비	
	보강비	
파괴손실비	복구비	• 해양 및 항만구조물의 연구논문 및 설계기준에 의한 추정
	운영손실비	
해체·폐기비		• 해체·폐기비는 실질할인율이 4% 이상이 되면 현재가치는 비교적 작은 수치로 나타나므로 동일하다고 가정

2.2. LCC 분석 프로세스 구축

2.2.1. 확정적 LCC 분석 프로세스

LCC 분석에 있어서 확정적 접근방법은 LCC 분석을 위한 입력변수의 불확실성, 변동성을 고려하지 않는 간단한 접근방법이다. 본 LCC 분석을 위한 모델은 NIST BridgeLCC 프로그램 개발을 위한 모델로 미국 NIST의 Ehlen/Marshall(1996)의 LCC 분석모델이다.

$$PVLCC=IC+PVOMR+PVD$$

식 1

여기서, PVLCC = 현재가치의 총기대비용

IC = 초기비용

PVOMR = 유지관리비용

PVD = 처리비용

$$PVLCC = \sum_{k=0}^N \frac{C_k}{(1+i)^k} \quad \text{식 2}$$

여기서, C_k = k년에 발생하는 모든 비용

i = 할인율

N = LCC 고려시 공용기간

식 1은 목적에 맞게 적절하게 변형되어 적용하고 있으며, Frangopol(1997)의 연구를 보면 개념적으로 LCC는 다음의 항목을 포함하고 있다.

$$LCC = C_I + C_M + C_F - B \quad \text{식 3}$$

여기서, C_I = 초기 건설비용

C_M = 수명기간동안의 유지관리비용

C_F = 파괴비용(시설물 붕괴 또는 재건설시 발생할 수 있는 직·간접비용)

B = 재활용에 따른 이익비용

식 1 및 식 2, 식 3의 차이점은 LCC 산정식에 파괴비용의 고려 여부이다. 이러한 파괴비용이 고려되는 경우는 Frangopol(1997) 연구 외에도 Ang 등(1998)의 연구에서 찾아볼 수 있으며 최소 LCC를 갖는 최적 성능 설계 및 성능 개선에 대한 의사결정기법에 사용되는 모델이다. 본 연구에서의 확정적 LCC 분석절차는 다음과 같다.

- LCC 분석조건 설정 : 해양 및 항만구조물에 대한 기존 문헌조사를 통하여 분석기간을 설정하고 할인율을 적용한다.
- 비용관련 자료 : LCC 구성항목별 비용항목을 구성하고, 비용의 현재가치화 시점을 선정한다. 그 후 비용발생 기준시점을 통일하고, 각종 비용의 발생시기 및 발생률을 선정한다.

- 확정적 LCC 산정 : 총 비용은 현재가치 환산방법(발생시점이 서로 다른 비용을 모두 현재가치로 환산)을 적용하여 동일시점의 현재가치로 환산한다.

2.2.2. 확률적 LCC 분석 프로세스

LCC 분석에 있어서 확률적 접근방법은 LCC 분석을 위한 입력변수의 불확실성, 변동성을 고려한 접근방법이다. 이러한 확률적 접근방법은 비용항목의 발생가능성 뿐만 아니라 비용항목이 발생 가능한 전체 범위에서 비용을 시뮬레이션 기법에 의해 해석하기 때문에 보다 합리적일 수 있다.

전술한 확정적 방법은 LCC 분석시 단지 최확치(또는 평균치/기대치) 하나만 가지고 수행하며 LCC 분석결과도 확정적으로 하나만 얻어진다. 이러한 절차에 의해 얻어지는 프로젝트 LCC의 불확실성은 상당히 클 수밖에 없으며 민감도 분석이라고 하는 방법으로 이러한 불확실성을 어느 정도 고려한다. 그러나 비용 추정에 있어서의 비용 발생에 대한 불확실성은 반영하지 못하기 때문에 결과 자체의 신뢰도가 높지 못하다.

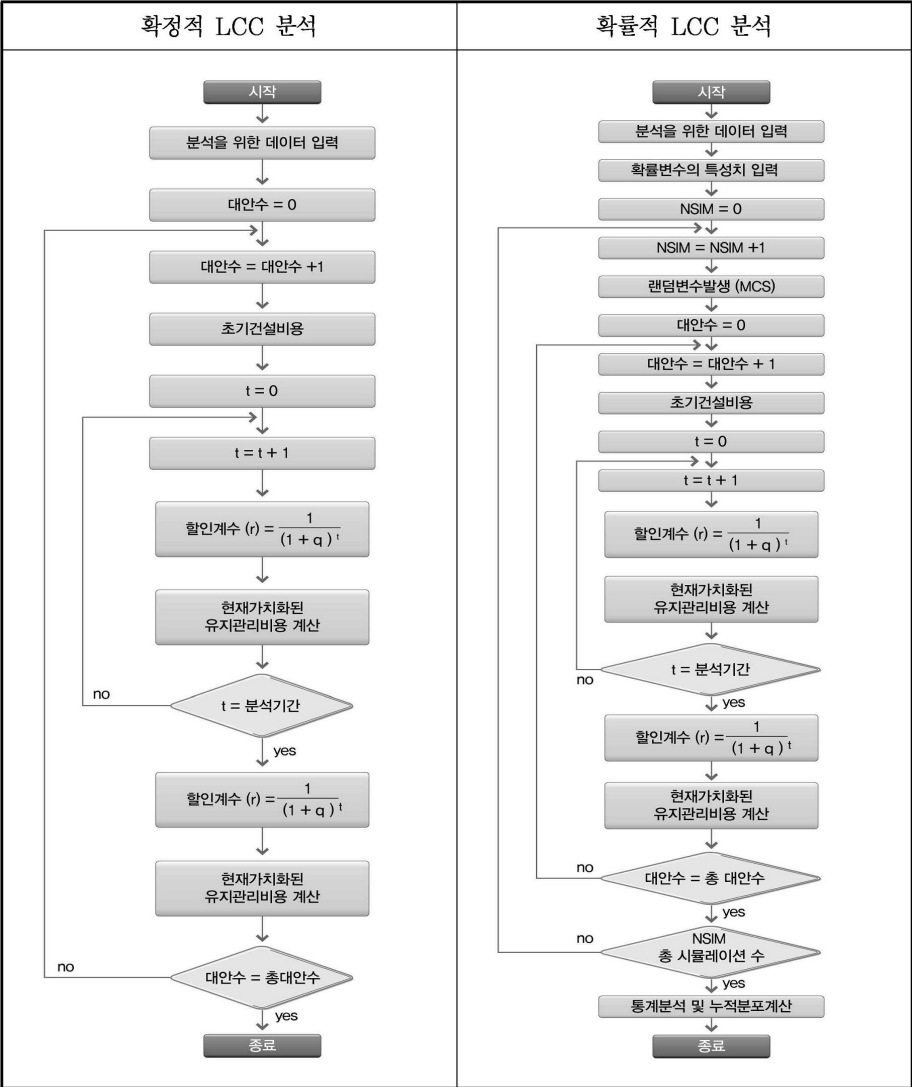
확률적 접근방법은 발생하는 비용에 대한 제반 변수를 확률적으로 모델링하여 적용하기 때문에 보다 과학적이며 합리적인 방법이 될 수 있다. 단, 비용 추정에 있어서의 확률 모델과 변동성을 어느 정도 합리적으로 고려할 수 있는가가 관건이다. 이러한 확률적 접근방법은 향후 비용 발생이 예상되는 위험도를 관리함으로써 미래에 발생할 수 있는 비용요소를 최소화할 수 있는 대응 방안을 수립하는 것에 매우 효과적인 방법이다.

확률적 접근방법은 불확실성 및 비용요소의 발생확률을 고려하기 때문에 합리적이며 일종의 위험도분석 개념이므로 위험요소(Risk)의 발생확률을 저감시켜 비용요소를 최소화할 수 있는 의사결정을 도와주는 등의 장점을 갖지만, 복잡한 확률모형 정립과 시뮬레이션을 위한 많은 시간이 필요하며, 통계적 기초이론에 대한 일정수준의 식견을 요구하는 등 다소간의 어려움도 있다. 본 연구에서는 접안시설에 대한 LCC 분석시 다양한 시나리오를 제시함으로써 확률적 접근방법은 배제하였다.

2.2.3. LCC 분석 프로세스의 적용

LCC 분석 프로세스는 표 6에서와 같이 확정적 LCC 분석 프로세스와 확률적 LCC 분석 프로세스의 두 가지로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 대상시설에 대한 LCC 구성항목을 도출하고, 확정적 LCC 분석 프로세스를 적용하여 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성을 분석하였다.

표 6 LCC 분석 프로세스 분류



3. 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성 검토

3.1. 분석대상 현황

3.1.1. 대상 구조물

기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법을 활용한 해양 및 항만구조물의 LCC 검토를 위하여 분석대상은 ○○신항(1·2단계) 남항부두 3번선석 축조공사 실시설계용역 중 접안시설 공으로 선정하였다. 분석대상은 그림 1과 같으며, LCC 분석기간은 항만편람에서 제시하고 있는 50년을 적용하였다.

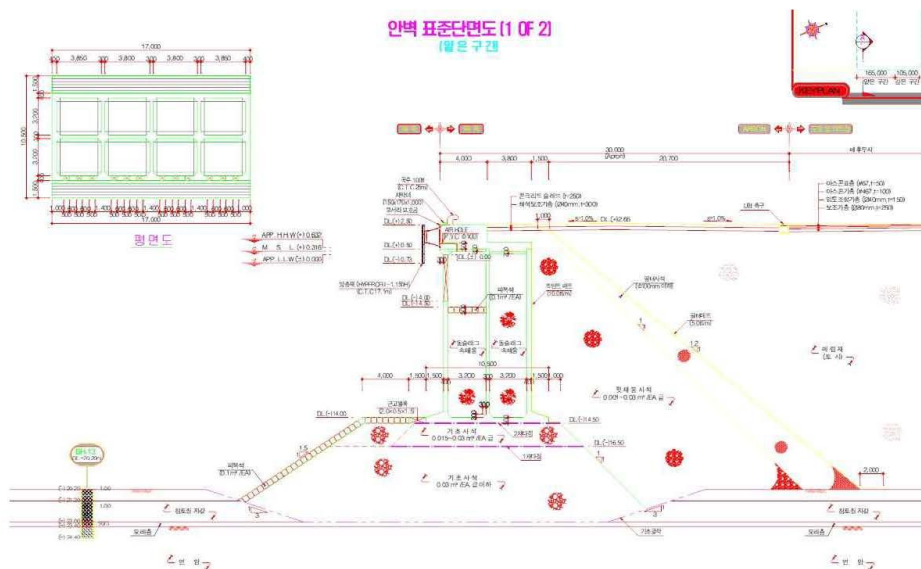


그림 1 분석대상

3.1.2. 분석대상의 공사비 분석

분석대상인 접안시설 공사비는 표 7과 같이 일반구간과 해수유통로 구간으로 구성되어 있으며, 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법의 LCC 비교·검토를 위하여 일반구간과 해수유통로 구간 공사비를 합친 전체 접안시설 공사비를 초기공사비로 적용하였다.

표 7 점안시설 공사비

구 분		공사비(억원)	초기공사비 적용 여부
일반구간	기초공	58.9	○
	구체공	46.6	○
	상부공	8.3	○
	재하공	3.6	○
소계		117.5	-
해수유통로 구간	파일기초공	3.0	○
	상부공	1.2	○
소계		4.3	○
계		121.8	-

3.2. LCC 분석을 위한 전제조건 및 가정사항

3.2.1. 할인율

할인율은 불가상승률을 고려하지 않은 명목할인율과 불가상승률을 고려한 실질할인율로 구별되며, LCC 분석에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 LCC 분석 시 합리적인 분석을 위하여 과거의 이력을 반영한 평균 실질할인율을 적용하지만, 해양 및 항만구조물이라는 공공투자사업에 있어 보다 공신력 있는 할인율을 적용하기 교통시설 투자평가지침(국토교통부, 2013)에서 제시한 5.5%를 적용하였다. 참고로 최근 15년간(2000년~2014년) 실질할인율은 그림 2와 같다.

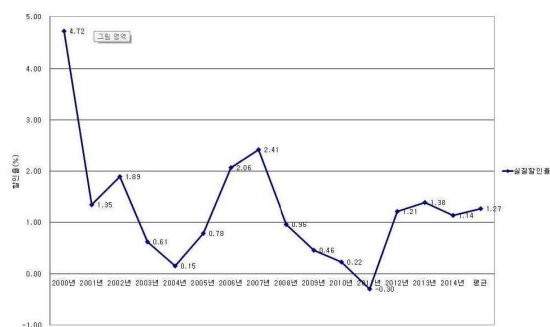


그림 2 최근 15년간 실질할인율 변동추이

3.2.2. 유지관리비

일반적으로 유지관리비는 점검·순회비와 직접유지관리비(일반관리비, 보수비, 보강비 등)의 합으로 나타낼 수 있다. 점검·순회비는 '안전점검 및 정밀안전진단 대가(비용산정) 기준'에 의해 산정할 수 있지만 본 연구의 분석대상은 집안시설이라는 동일규격의 구조물이므로 대안간 비용차이가 없으므로 고려하지 않았다. 직접유지관리비는 정확한 추정을 위해서 과거의 유지보수 실적자료 등에 근거하여 결정되어야 하지만 해양 및 항만구조물에 대한 실적자료가 부족한 관계로 선행연구인 '항만 민간투자사업 유지보수비 추정모형 구축'에서 제시하고 있는 연간 0.6%를 적용하였다.

3.2.3. 파괴손실비

파괴손실비()는 다음 식 4와 같이 파괴에 의한 최대 손실비용(C)에 단위 년 파괴확률(P_f)을 곱하여 산정할 수 있다.

$$C_F = C_f \cdot P_f \quad \text{식 4}$$

C_f 는 파손시 단위 복구비용과 단위 운영손실비용을 합산한 비용이다. 본 연구에서 단위 복구비용은 기존 김홍연 등(2008)의 연구결과를 참고하여 초기공사비의 150%로 가정하였으며, 단위 운영손실비용은 단위 복구비용의 150%로 가정하였다. 파괴손실비 산정시 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법의 P_f 는 윤길림 등(2010)의 연구결과를 참고하여 0.0816%로 동일하게 가정하였다. 이와 같이 P_f 를 동일하게 가정한 이유는 향후 개발될 신뢰성·성능기반 설계법이 기존 설계법과 동등 이상의 구조안전성 성능을 확보하는 최소 요구조건을 반영한 것이다.

3.3. LCC 분석 시나리오

LCC 분석의 전제조건은 구조물의 파괴확률을 동일하게 가정하는 것과 같이 대안간 동등 이상의 성능이 확보된 시나리오를 개발하는 것이다. 시나리오는 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 감소하는 경우와 동일한 경우, 증가하는 경우의 세 가지로 구분할 수 있다. 여기서 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 동일한 경우와 증가하는 경우는 경제성 검토의 의미가 없으므로 제외하고, 감소하는 경우에 대하여 10가지 경우의 시나리오를 수립하였다. 수립한 LCC 분석 시나리오는 표 8과 같다.

표 8 LCC 분석 시나리오(=0.0816%)

(단위 : 억원)

구 분	기존 설계법 공사비	신뢰성·성능기반 설계법 공사비
Case 1	121.8	120.5
Case 2		119.3
Case 3		118.0
Case 4		116.8
Case 5		115.6
Case 6		114.4
Case 7		113.2
Case 8		112.0
Case 9		110.7
Case 10		109.5

※ 주) 기존 설계법의 공사비는 모든 경우에서 동일하며 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비는 Case 1부터 Case 10까지 1%씩 감소하는 것으로 가정

3.4. 시나리오에 따른 LCC 분석결과

3.4.1. Case 1

Case 1에 대한 LCC 분석결과 표 9와 같이 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 1% 감소하였을 때 신뢰성·성능기반 설계법의 LCC는 기존 설계법 대비 1% 감소하는 것으로 분석되었다. 분석기간 50년 동안 연간 평균 유지관리비는 0.26억원, 연간 평균 파괴손실비용은 0.13억원으로 분석되어 공사비 대비 약 0.3% 수준인 것으로 나타났다.

표 9 LCC 분석결과(할인율 5.5%, Case 1)

(단위 : 억원)

구 분	기존 설계법	신뢰성·성능기반 설계법
초기공사비	121.8	120.5
유지관리비	13.0	12.9
파괴손실비	6.7	6.6
LCC	141.4	140.0
LCC 절감률	-	1%(▼)

3.4.2. Case 5

Case 5에 대한 LCC 분석결과 표 10과 같이 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 5% 감소하였을 때 신뢰성·성능기반 설계법의 LCC는 기존 설계법 대비 5% 감소하는 것으로 분석되었다. 분석기간 50년 동안 연간 평균 유지관리비는 0.25억원, 연간 평균 파괴손실비용은 0.13억원으로 분석되어 공사비 대비 약 0.3% 수준인 것으로 나타났다.

표 10 LCC 분석결과(할인을 5.5%, Case 5)

(단위 : 억원)

구 분	기존 설계법	신뢰성·성능기반 설계법
초기공사비	121.8	115.6
유지관리비	13.0	12.4
파괴손실비	6.7	6.3
LCC	141.4	134.3
LCC 절감률	-	5%(▼)

3.4.3. Case 10

Case 10에 대한 LCC 분석결과 표 11과 같이 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 10% 감소하였을 때 신뢰성·성능기반 설계법의 LCC는 기존 설계법 대비 10% 감소하는 것으로 분석되었다. 분석기간 50년 동안 연간 평균 유지관리비는 0.23억원, 연간 평균 파괴손실비용은 0.12억원으로 분석되어 공사비 대비 약 0.3% 수준인 것으로 나타났다.

표 11 LCC 분석결과(할인을 5.5%, Case 10)

(단위 : 억원)

구 분	기존 설계법	신뢰성·성능기반 설계법
초기공사비	121.8	109.5
유지관리비	13.0	11.7
파괴손실비	6.7	6.0
LCC	141.4	127.3
LCC 절감률	-	10%(▼)

3.4.4. 종합결과

상기의 LCC 분석 시나리오에 대한 분석결과 그림 3과 같이 시나리오별 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 1%씩 감소함에 따라 LCC 또한 동일한 비율로 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 LCC의 주요 비용구성요소인 유지관리비 및 파괴손실비가 공사비에 대한 비율로 산정되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 모든 시나리오에서 신뢰성·성능기반 설계법의 유지관리비 및 파괴손실비의 합은 공사비 대비 연간 0.3% 수준으로 분석되어 기존 선행연구에 나타난 불변가 기준 연간 0.6% 수준과 비교하여 적절한 것으로 판단된다.

그리고 시나리오 작성시 LCC 산출의 또다른 주요 변수인 파괴확률을 동일하게 가정하였으나, 추후 본 기획과제가 심화되는 경우 유지보수비 및 피해액 추정을 위한 실적자료와 LCC의 주요 매개변수인 파괴확률과 초기공사비에 대한 상관관계 연구결과 등이 추가로 확보되어야 신뢰성·성능기반 설계법의 정립에 있어 보다 정확하고 합리적인 경제성 검토가 가능할 것으로 판단된다.

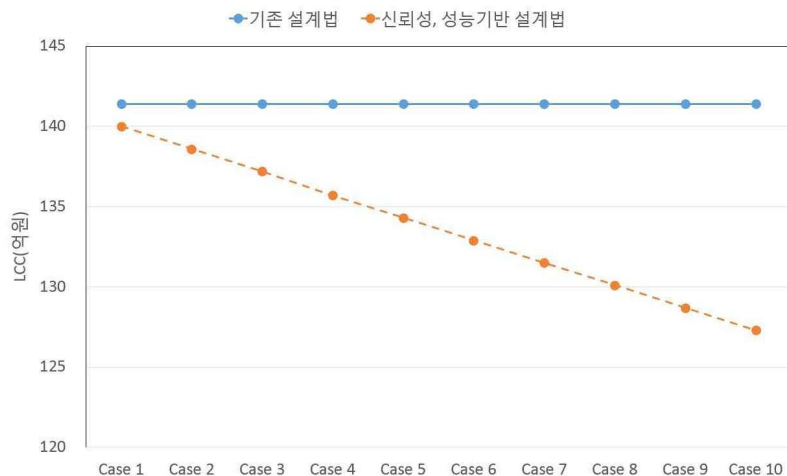


그림 3 시나리오별 LCC 분석결과

4. 결론

신뢰성·성능기반 설계법을 활용한 해양 및 항만구조물에 대하여 기존 설계법과 신뢰성·성능기반 설계법의 구조물을 대상으로 하여 LCC 분석을 수행하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같이 도출할 수 있다.

- 1) 시나리오 Case 1에서 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 1% 감소할 때 LCC는 1% 감소하였으며, 유지관리비용과 파괴손실비용은 분석기간 50년 동안 공사비 대비 연간 0.3% 수준인 것으로 분석되었다.
- 2) 시나리오 Case 2~Case 10에서 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비가 추가로 1%씩 감소할 때마다 LCC 또한 추가로 1%씩 감소하였으며, 유지관리비용과 파괴손실비용은 분석기간 50년 동안 공사비 대비 연간 0.3% 수준을 유지하는 것으로 분석되었다.
- 3) 시나리오 Case 1~Case 10에서 기존 설계법 대비 신뢰성·성능기반 설계법의 공사비와 LCC가 동일한 비율로 감소한 것은 해양 및 항만구조물의 LCC를 구성하는 주요 비용구성항목들이 모두 초기공사비에 대한 요율로 산정되어지기 때문인 것으로 판단된다. 파괴손실비용 산정시 파괴확률의 변동에 따라 비용이 다르게 산정되어질 수는 있으나 이는 현 시점에서 판단하기 곤란하므로 추후 본 기획과제를 진행함에 따라 파괴확률과 초기공사비의 상관관계에 대한 연구가 추가로 진행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 유지관리비용 및 파괴손실비용이 공사비에 대한 요율로 산정되어 신뢰성·성능기반 설계법의 경제성 검토에 크게 영향을 미치지 못하는 바 해양 및 항만구조물에 대한 운영 및 유지관리 실적자료 연구 또한 추가로 진행되어 보다 정확하고 합리적인 경제성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 국토교통부, “교통시설 투자평가지침(안)”, 2013
- [2] 국토교통부, “항만편람”, 2011
- [3] 국토연구원, “항만 민간투자사업 유지보수비 추정모형 구축”, 2010
- [4] 인하대학교, 김홍연, “중력식 안벽의 신뢰성 설계를 위한 목표파괴확률 및 부분안전계수 결정 연구”, 2010
- [5] 한국지반공학회, 윤길립, 윤여원, 김홍연, “안벽기초 구조물의 신뢰성설계를 위한 목표파괴확률 결정”, 2010
- [6] 한국방재협회, 조원철 외 28인, “재난관리 및 제도일반 I”, 2010
- [7] 한국지반공학회, 김홍연, 윤길립, 윤여원, “안벽 설계변수의 신뢰성 해석과 생애주기비용 분석”, 2008
- [8] 한국도로공사 기술심사실, “고속도로 LCC분석 매뉴얼(교량편)”, 2004
- [9] 해양수산부, “지진대비 항만구조물 보강기법 및 신형안벽개발(Ⅲ)”, 2001

주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 해양수산 연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.