

[별지 14] 최종보고서 표준서식

최종보고서·요약서

I. 인쇄규격

1. 크기 : A4 신판(가로 210mm * 세로297mm)
2. 제본 : 좌철
3. 용지
 - 가. 표지 200g/m² 양면 아트지
 - 나. 내용 80g/m² 모조지
4. 인쇄방법
 - 가. 표지 : 바탕 백색,활자 흑색
 - 나. 내용 : 흑색 지정활자

II. 편집순서

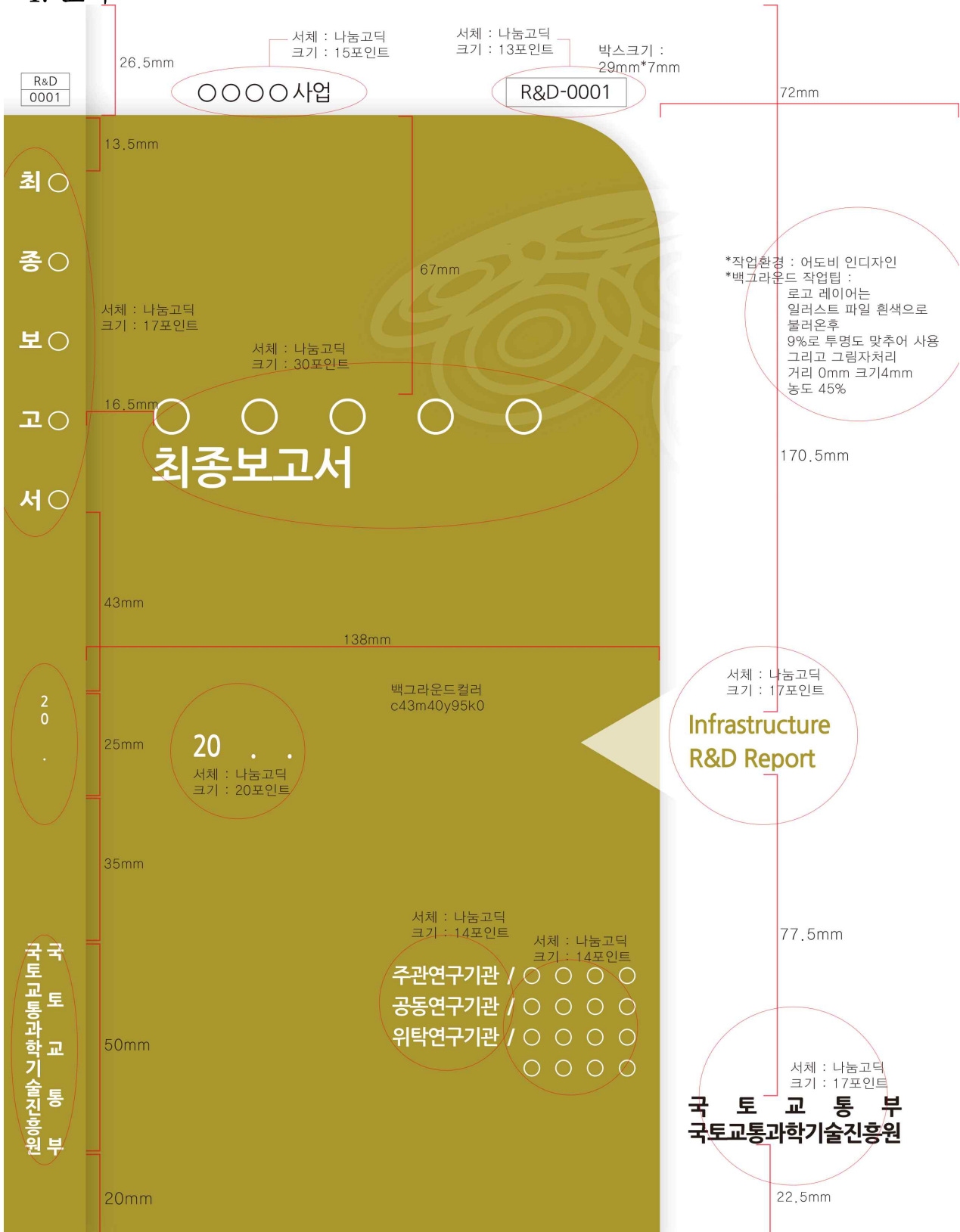
1. 표지
2. 제출문
3. 보고서 요약서
4. 요약문
5. 영문 요약서
6. 영문 목차
7. 목차
8. 본문
9. 뒷면지

III. 참고사항

전자조판 인쇄 시에는 이에 준한다.

IV. 편집순서별 서식

1. 표지



73mm

서체 : 나눔고딕
크기 : 10포인트

서체 : 나눔고딕
크기 : 12.5포인트

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

2. 제출문

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "항복 거동을 이용한 신개념 기초 내진설계 기법 연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2016. 8. 25.

주관연구기관명 : 한국과학기술원

주관연구책임자 : 김 동 수

연구원 : 진 석 우

" : 김 수 린

" : 조 성 배

" : 김 재 현

" : 하 정 곤

" : 조 형 익

" : 성 준 태

" : 이 문 교

" : 조 영 규

" : 이 승 태

" : 정 영 훈

" : Munkhtsetseg

" : 고 길 완

" : 이 혜 립

" : 박 순 지

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제고유번호	030401	해 당 단 계 연구 기 간	2014.07.11. ~2016.07.10.	단 계 구 분	2차년도/ 2차년도
연구사업명	국토교통기술촉진연구사업				
연구과제명	최 상 위 과 제 명	항복 거동을 이용한 신개념 기초 내진설계 기법 연구			
	단위과제명				
연구책임자	김 동 수	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 16 명 내부 : 3명 외부 : 13명	총연구비	정부 : 400,000 천원 계 : 400,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국과학기술원 건설및환경공학과		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
가. 원심모형실험을 이용한 기초 항복거동 및 에너지소산 메커니즘 규명 ○ 수평 반복하중 실험을 통한 얇은기초 시스템의 항복거동 평가 ○ 지진 시, 얇은기초 시스템의 항복거동 및 구조물 지진하중 평가 ○ 기초 하부지반 원형현상에 따른 항복거동 및 에너지 소산 메커니즘 분석 나. 말뚝-기초판 결합 유무에 따른 지진 시 거동 특성 및 적용성 평가 ○ 말뚝이 지지층에 근입되었을 때, 말뚝 기초판 결합에 따른 지진 시 거동 평가 ○ 말뚝이 지지층에 근입되지 않았을 때, 말뚝 기초판 결합에 따른 지진 시 거동 평가 ○ 비결합 말뚝 시스템의 우수성 검증 다. 풍화토 지반에서의 기초 하부지반 항복 거동 특성 및 적용성 평가 ○ 풍화토 지반에 놓인 얇은 기초 시스템의 지진 시 거동 평가 ○ 풍화토 지반에서 말뚝-기초판 결합 유무에 따른 시스템의 지진 시 거동 평가 ○ 풍화토 지반에서 지진 시 상대적으로 적은 침하량이 발생함을 검증 라. 항복거동을 이용하는 신개념 기초 형태 제안 및 검증 ○ 항복거동을 이용한 신개념 기초 형태 제안 ○ 수평 반복하중 실험을 통한 다양한 기초 시스템의 항복거동 평가 ○ 지진 시, 다양한 기초 상부 구조물의 지진 하중 및 시스템 침하 평가 ○ 하부지지 패드와 전면기초가 분리된 말굽형 기초의 항복거동 검증					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	회전기초, 원심모형실험, 기초설계, 항복거동, 지진하중			
	영 어	Rocking foundation, Centrifuge test, Foundation design, Yielding behavior, Seismic load			

4. 요약문

요 약 문

I. 제 목

항복 거동을 이용한 신개념 기초 내진설계 기법 연구

II. 연구개발과제 개요

사회 기반 시설은 국민들의 안정적인 삶에 매우 중요한 구조물들로 높은 안정성이 요구되며, 근래에 들어 지진의 발생빈도가 높아짐에 따라 안정적인 내진설계가 매우 중요하다. 현행 내진 설계기준에서는 하부 기초의 안전율을 크게 고려하여 기초의 하부지반이 아닌 상부 구조물에서 지진 하중을 저항하도록 하여 구조물에서 항복이 발생하도록 유도하고 있다. 이러한 현행 설계 기법은 하부 기초를 필요 이상으로 과다 설계하고 있으며 하부 지반에서 전달되어 오는 지진 에너지를 감쇠 없이 그대로 상부 구조물에 전달하게 되므로 상부 구조물 또한 과다 설계하고 있는 실정이다. 따라서 기초 지반의 항복(yielding) 현상을 실험적으로 검증 및 분석하여 그 결과를 바탕으로 현행 내진 설계 기준을 개선하고 새로운 기초 형식을 개발하여 경제적이고 안전한 설계 기술을 정립할 필요가 있다.

기초의 항복 거동을 이용하는 회전 기초(Rocking Foundation)개념은 현행 내진 설계 기준이 가지고 있는 기초 및 상부 구조물의 막대한 건설비용과 예측 불가능한 대형 지진에 대한 안정성 확보 등 다양한 현행 설계의 문제를 해결할 수 있는 획기적인 설계 개념으로 선도적 연구를 통해서 그 효과가 증명되어 오고 있다. 그러나 기초의 축소 설계 시 유발 될 수 있는 정적 안정성 부족 및 지진 시 발생하는 기초 침하 및 수평 변위, 그리고 지진 후 보강 기법 등에서 해결해야 할 부분들이 남아 있어 실제 시공에 활용되기에는 다소 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 실제 시스템의 복잡한 응답 현상인 지진 시 지반-기초-구조물 상호작용(Soil-Foundation-Structure Interaction, SFSI)을 경제적이고 효과적으로 모사할 수 있는 원심모형시험기를 사용하여 축소모형실험을 수행하였으며, 원심모형실험의 결과를 바탕으로 항복거동을 이용하는 기초-지반-구조물 시스템의 에너지 소산 메커니즘 및 허용 침하량을 평가하였다. 또한 말뚝-기초관 결합 유무에 따른 지진 시 거동을 평가하였고, 이를 바탕으로 현행 설계 기준의 문제점을 보완할 수 있도록 항복거동을 이용하는 신개념 내진설계 형태를 제안 및 검증하였다.

III. 연구개발 수행내용 및 결과

가. 원심모형실험을 이용한 기초 항복거동 및 에너지소산 메커니즘 규명

- 수평 반복하중 실험을 통한 얇은기초 시스템의 항복거동 평가
- 지진 시, 얇은기초 시스템의 항복거동 및 구조물 지진하중 평가
- 기초 하부지반 원형현상에 따른 항복거동 및 에너지 소산 메커니즘 분석

나. 말뚝-기초판 결합 유무에 따른 지진 시 거동 특성 및 적용성 평가

- 말뚝이 지지층에 근입되었을 때, 말뚝 기초판 결합에 따른 지진 시 거동 평가
- 말뚝이 지지층에 근입되지 않았을 때, 말뚝 기초판 결합에 따른 지진 시 거동 평가
- 상부 구조물 지진하중과 시스템 수직침하에서 항복거동을 반영할 수 있는 비결합 말뚝 시스템의 우수성 검증

다. 풍화토 지반에서의 기초 하부지반 항복 거동 특성 및 적용성 평가

- 풍화토 지반에 놓인 얇은 기초 시스템의 지진 시 거동 평가
- 풍화토 지반에서 말뚝-기초판 결합 유무에 따른 시스템의 지진 시 거동 평가
- 풍화토 지반에서도 항복거동이 발현되어 상부 구조물 지진하중을 제한되며, 지진 시 상대적으로 적은 침하량이 발생함을 검증

라. 항복거동을 이용하는 신개념 기초 형태 제안 및 검증

- 항복거동을 이용한 신개념 기초 형태 제안
- 수평 반복하중 실험을 통한 다양한 기초 시스템의 항복거동 평가
- 지진 시, 다양한 기초 상부 구조물의 지진 하중 및 시스템 침하 평가
- 하부지지 패드와 전면기초가 분리된 말굽형 기초의 항복거동 검증

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

가. 공공적 성과

- 새로운 기초 형태 제안 및 검증을 통한 국내 내진설계 기술 선진화
- 지진 재난 안정성 확보를 통한 안전한 사회 구축

나. 기술적 성과

- 기초 항복거동 평가를 위한 정적 및 동적 원심모형실험 절차 개발 및 활용
- 풍화토 지반에서 기초 항복거동을 이용한 기초 설계 적용성 검증
- 말뚝-기초판 결합 유무에 따른 말뚝기초의 지진 시 거동 평가를 통해서 비결합 말뚝 기초의 적용성 검증
- 항복거동을 이용하는 분리된 말굽형 기초 형태의 제안 및 검증
- 다양한 기초 시스템의 수평반복하중 및 지진하중에 대한 원심모형실험 결과 D/B 구축

다. 학술적 성과

- 기초 회전거동으로 인한 하부지반의 원형 현상 규명
- 기초 회전각과 전도 모멘트 관계로부터 에너지 소산 메커니즘 규명
- 지진 시, 항복거동으로 인한 상부 구조물의 지진하중 제한 현상 검증
- 비결합 말뚝 기초 시스템에서 항복거동으로 상부구조물 지진하중 저감 현상
- 비결합 말뚝 기초 시스템의 지진 시 침하량 저감 효과 규명
- 풍화토 지반에서 얇은기초와 비결합 말뚝기초의 항복거동 현상 검증
- 풍화토 지반에서 얇은기초의 지진 시 영구 침하량 평가
- 얇은기초와 말굽형 기초 시스템의 정적 및 동적 거동 평가
- 분리된 말굽형 기초의 항복거동 현상 평가 및 장점 규명

다. 정량적 성과

- SCI 3건, 비SCI 3건, 국내외 학술대회 8건, 국내특허출원 2건
(심사중 논문 포함)

V. 연구목표 달성 및 효과

가. 연구목표 달성

- 기초 시스템 항복거동 평가를 위한 원심모형실험 절차 수립 및 검증
 - 기초 항복거동 평가를 위한 원심모형실험 절차를 수립 및 검증하여, 내진 설계법 개발 및 검증을 위한 원심모형실험 기법의 국산화
- 복잡한 기초 시스템 항복거동 메커니즘 규명을 통한 내진설계 기술력 증가
 - 기초 항복거동 메커니즘을 규명하여 다양한 형태의 활용방안 제시
 - 풍화토 지반에서 항복거동의 적용성, 비결합 말뚝기초 시스템의 우수성 등을 실험적으로 검증하여 내진설계 기술력 확보
- 다양한 기초 시스템의 수평반복하중 및 지진하중에 따른 거동 D/B 구축
 - 얇은기초, 말뚝기초, 말굽형 기초 등 다양한 기초 시스템의 거동에 대한 D/B를 구축하여 향후 수치해석 검증 및 설계기준 검증을 위한 보완 자료로 활용 가능
- 항복거동을 이용하는 신개념 기초 형태 제안 및 검증
 - 기초 하부지반의 항복거동을 이용하여 지진 시 상부 구조물의 지진하중을 줄이고, 기초 시스템의 침하량을 허용 범위내로 제한 할 수 있는 경제적이고 안전한 기초 형태 제안 및 검증

나. 연구결과 기대효과

- 내진설계 기술 체계 정비와 국가 사회의 지속적 성장 기반 확립
 - 국내내진성능평가 및 설계기술 선진화
 - 국내외에서 지반지진공학 전문과와 내진 설계 전문가에 대한 고용 창출 효과 기대
- 국내 내진성능평가 및 설계 기술의 신뢰성 및 경쟁력 확보
 - 내진설계가 건설프로젝트 성공을 좌우할 수 있는 해외 건설시장에서 경쟁력 확보
- 안전하고 경제적인 기초 내진 설계를 통한 국민의 안전한 삶에 기여
 - 최근 국내 지진발생빈도 증가에 따라 지진의 위험성이 증대되는 시점에서 방재성능을 고려한 신개념 설계법 확보를 통해 국민의 안전한 삶에 기여

VI. 연구성과 활용계획

- 현재 국내의 설계기준은 국외 선도그룹에 비해 미비한 실정이며, 유럽의 신뢰성 설계 기준에 대한 국내 적용의 문제점이 대두되고 있어 유관 기관과 건설시공사와의 적극적인 협업을 통하여 국내 실정에 맞는 기술 개발 및 설계기술 발전 도모 가능.
- 국내·외 대형 토목 구조물 설계·시공에 대한 수요를 고려할 때, 본 연구팀의 연구 성과들이 적극 활용 될 수 있으며, 산업체와의 공동 연구를 통하여 향후 기술 검증 및 효율적인 기술이전을 유도. 향후 국내 건설 시장의 확대 및 국내 기술 세계화 유도.
- 지진 시 경제적이고 안정적인 내진설계 기술을 확보하고 창의적인 설계개념을 도입함으로써 미래지향적 설계기법을 개발하고 현행 내진설계 기준의 문제점을 보완할 수 있음.
- 본 연구과제에서 수행된 실험 자료는 추후 KOCED 건설연구인프라운영원 사이트에 공개되어 일반 산,학,연 관계자들간의 자료 공유를 통하여 기초연구자료 활용이 기대됨.

5. 영문 요약서

SUMMARY

I. Title

Developement of seismic design technology using yielding behavior of shallow foundation during earthquake

II. Object and Necessity of this Study

Infrastructures the very important structures for the stable life of nation are required to have high stability. In recent as the number of earthquakes increases, seismic design become a significant issue. The current seismic design for shallow foundations induces the plastic hinging at superstructure, not the foundation by considering high factor of safety of foundation during earthquakes and makes excessive design of foundation and superstructure because the earthquake energy is only dissipated at the superstructure without any attenuation at the foundation. Thus experimental verification and analysis of foundation and ground yielding characteristics is essential and from the results shallow foundation type and seismic design need to be improved for economical and safe seismic design.

Rocking foundation concept using the yielding characteristics of foundation that can solve the various problems of current seismic design such as excessive design of superstructure, huge construction cost and safety securing from the strong earthquakes is innovative seismic design and these effects of rocking foundation concept has been proved through the leading research. However, the problems induced by small size of foundation such as insufficient of static stability, permanent deformation of foundation during earthquake preclude application to real construction and it has to be solved.

In this study, geo-technical centrifuge tests which can easily simulate the whole system behaviors during earthquake by considering the SFSI (Soil-Foundation-Structure Interaction) condition was conducted, from the test results, energy dissipation mechanism of soil-foundation-structure system and permitted settlement were evaluated. Also, seismic behavior of pile foundation was evaluated according to combination of pile and mat foundation and the improved seismic design and types of shallow foundation using yielding characteristics was suggested and verified through the results.

III. Contents of Research and Development

1. Identification of mechanisms about foundation yielding and energy dissipation behavior using a centrifuge tests

- Evaluation of yielding behavior of shallow foundation system using slow cyclic tests
- Evaluation of yielding behavior of shallow foundation system and structural seismic load during earthquake
- Analysis about yielding behavior and energy dissipation mechanism by rounding phenomena of soil under the foundation

2. Evaluation of seismic behaviors and applicability about disconnected pile foundation (by presence of pile and pile cap)

- Comparison of seismic behaviors between connected and disconnected pile foundation (End-bearing pile foundation)
- Comparison of seismic behaviors between connected and disconnected pile foundation (Floating pile foundation)
- Evaluation about advantages of disconnected pile foundation in views of structural seismic load and system settlement

3. Evaluation of applicability about foundation yielding behavior on the weathered soil condition

- Evaluation of seismic behaviors for shallow foundation systems on weathered soil condition
- Evaluation of seismic behaviors for disconnected pile foundation systems on weathered soil condition
- Verification about yielding behavior on weathered soil to reduce seismic load and less settlements during earthquake

4. Development and verification about the improved foundation types using foundation yielding behaviors

- Development of the improved foundation types using yielding behaviors
- Evaluation of yielding behaviors about various foundation types by slow cyclic tests
- Evaluation of structural seismic load and permanent settlements about various foundation types during earthquake
- Verification about applicability of yielding behavior for the disconnected horseshoe type foundation

IV. Research Accomplishments

1. Public Accomplishment

- Advancement of domestic seismic design technology by development and verification of the improved foundation types.
- Build safe society through disaster prevention
- Ensure the safety of domestic infrastructures

2. Technical Accomplishment

- Develop static and dynamic centrifuge tests for evaluation of foundation yielding behaviors
- Verify the applicability about economical seismic design using yielding behaviors on the weathered soil condition
- Verify the applicability about economical seismic design using disconnected pile foundation
- Develop and verify the improved foundation type using yielding behavior
- Construct database (D/B) for various foundation yielding behaviors performed by geo-centrifuge tests

3. Academic Accomplishment

- Identification about foundation yielding behaviors by soil rounding phenomena
- Identification about earthquake energy dissipation by relationship between foundation rotation angle and overturning moments
- Verification about structural seismic load limitation by foundation yielding
- Evaluation of seismic load reduction by foundation yielding on the disconnected pile foundation
- Identification of settlement reduction effect about the disconnected pile foundation
- Verification about yielding behaviors of shallow foundation on weathered soil condition
- Evaluation about less permanent settlement for shallow foundation on weathered soil condition
- Evaluation of yielding behaviors for various foundation types under slow cyclic and earthquake loading condition
- Identification of advantages for disconnected horseshoe type foundation

4. Quantitative Accomplishment

- SCI Journal : 3, Non-SCI Journal : 3, Domestic and International Conference : 8, Domestic Patent Pending : 2 cases.
(Including under review publications)

V. Research Achievements and Impacts

1. Research Achievements

- **Development and verification about centrifuge tests procedure to evaluate foundation yielding behaviors**
 - Localization about the centrifuge tests procedure to evaluate the foundation yielding behavior and improve domestic seismic design technology
- **Improve the seismic design technology by identification about foundation yielding mechanisms**
 - Suggestion about the applicable method to using the foundation yielding behaviors
 - Ensuring the seismic design advancement through verification about shallow foundation on weathered soil and disconnected pile foundation behavior
- **Construct database (D/B) the yielding behaviors of various foundation types under slow cyclic and dynamic loading using geo-centrifuge test**
 - Build geo-centrifuge tests results database (D/B) about behaviors of various foundations like shallow, pile, horseshoes and etc.
 - Amplification for verification about numerical models and design codes
- **Development and verification about the improved foundation types using yielding behaviors**

2. Potential Impacts

- **Ensure reliability and competitiveness of seismic performance evaluation and design technology**
- **Establish foundation for sustainable growth and Improve seismic design technologies**
- **Contribute to a safe life of the people through safe and economical foundation seismic design**

VI. Plan to make practical application of results

- To establish Dynamic Geo-Centrifuge testing procedure and obtain the reliable seismic load considering foundation yielding behavior
- To advance the seismic design method with the improved foundation system using yielding behavior

Chapter 1. Introduction

1. Necessity of research development	1
2. Definition of research development	3
3. Background of foreign and domestic research development	5
(1) Domestic trend of research and technology	5
(2) Foreign trend of research and technology	8
4. Current status of the proposed research and development in related fields ..	11

Chapter 2. The Contents and Results 13

1. The strategies and methodology of research	13
(1) Centrifuge test	13
(2) KAIST Dynamic Geo-Centrifuge	14
(3) Scaling law	19
(4) Evaluation of In-Flight soil properties (S-CPT)	20
(5) Definition of behavior of dynamic centrifuge tests for evaluating Soil-Foundation-Structure Interaction (SFSI)	22
2. The procedure and theory of research	23
(1) Theoretical background	23
(2) Domestic and foreign trend of research	28
3. The results of research	31
(1) Verification of energy dissipation and foundation yielding behavior mechanisms via centrifuge tests (Part 1)	31
1) Static centrifuge tests for evaluating foundation yielding behavior mechanism (Horizontal slow cyclic loading)	31
2) Dynamic centrifuge tests for evaluating foundation yielding behavior mechanism (Seismic Loading)	44
(2) Evaluation of seismic behaviors and applicability about disconnected pile foundation (by presence of pile and pile cap connection) (Part 2)	56
1) Evaluation of connection effect between pile and pile cap for pile	

foundation system during earthquake (End-bearing pile)	56
2) Evaluation of connection effect between pile and pile cap for floating pile foundation system during earthquake	67
(3) Applications of foundation yielding behavior on the weathered soil (Part 3)	75
1) Evaluation of dynamic behavior of shallow foundation on the weathered soil condition	75
2) Evaluation of connection effect between pile and pile cap for floating pile foundation system during earthquake on the weathered soil condition	84
(4) Development of improved shallow foundation using yielding characteristics (Part 4) ..	91
1) Evaluation of rocking behavior of improved shallow foundation via horizontal slow cyclic tests	92
2) Evaluation of dynamic behavior of improved shallow foundation via seismic tests	103
Chapter 3. Outcomes of Research and Application	115
1. The outcomes of research	115
2. Main outcomes of theory and technology	118
3. The Case of application and execution of technique	120
4. The market outlook of research outcomes	121
Chapter 4. The Accomplishments and Impacts	122
1. Final achievement of research development	122
2. Technical impacts of research development	124
3. Economical impacts of research development	125
4. Strategic impacts of research development	126
Chapter 5. The Utilization of Research and Necessity of Additional Research Development	127
1. The application plan of research development	127
2. The necessity of additional research development	127
References	128

7. 목차

목 차

제1장 연구개발과제 개요	1
1절 연구개발의 목적 및 필요성	1
2절 연구개발의 정의, 범위	3
3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황	5
1. 국내 기술 및 산업 동향	5
2. 해외 기술 및 산업 동향	8
4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치	11
 제2장 연구개발 수행 내용 및 결과	13
1절 연구수행 전략 및 방법론	13
1. 원심모형시험	13
2. KAIST 동적원심모형시험기	14
3. 상사 법칙	19
4. In-Flight 지반 물성 평가 (S-CPT)	20
5. 지반-기초-구조물 상호작용 평가를 위한 동적원심모형실험의 거동 정의	22
2절 연구수행과정 및 내용(이론적, 실험적)	23
1. 이론적 배경	23
2. 국·내 외 연구동향	28
3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등	31
1. 원심모형실험을 이용한 기초 항복거동 및 에너지소산 메커니즘 규명 (Part 1) ..	31
가. 기초 항복거동 메커니즘 분석을 위한 정적 원심모형실험(수평 반복하중) ...	31
나. 기초 항복거동 메커니즘 분석을 위한 동적 원심모형실험 (지진 하중)	44
2. 말뚝-기초판 결합 유무에 따른 지진 시 영향 평가 (Part 2)	56
가. 말뚝-기초판 결합 유무에 따른 지진 시 영향 평가 (선단지지 말뚝)	56
나. 지지층까지 근입되지 않은 말뚝기초의 기초판 결합 유무에 따른 지진 시 영향 평가	67
3. 풍화토 지반에서의 기초 하부 지반 항복 거동 적용성 평가 (Part 3)	75
가. 풍화토 지반에서 얇은 기초의 지진 시 거동 평가	75
나. 풍화토 지반에서 말뚝-기초판 결합 유무에 따른 지진 거동 평가	84
4. 항복거동을 이용하는 신개념 기초 설계 형태 제안 및 검증 (Part 4)	91
가. 느린 수평반복하중 실험을 통한 개선된 형태의 얇은 기초 회전거동 특성 평가	92

나. 지진 실험을 통한 개선된 형태의 얇은 기초 동적거동 특성 평가	103
제3장 최종 연구성과 및 적용실적	115
1절 최종 연구 성과	115
2절 주요 연구성과(학술적 성과 및 기술적 성과)	118
3절 기술 실시 및 적용사례	120
4절 기술개발 성과의 국내외 시장 전망	121
 제4장 연구목표 달성 및 효과	 122
1절 연구개발 최종목표 달성도	122
2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석	124
3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석(시장창출, 고용창출 등)	125
4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석	126
 제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성	 127
1절 연구성과 향후 활용방안	127
2절 추가연구 필요성 등	127
 참고문헌	 128