

20TBIP-  
C144315  
-03

국토교통기술사업화지원사업 최종보고서

R&D / 20TBIP-C144315-03

# 규모 8.5의 지진에도 견딜 수 있는 혁신적인 하이브리드 지진격리장치의 상용화 기술개발

최종보고서

2021. 02. 04.

주관연구기관 / (주)에스코알티에스  
공동연구기관 / 인천대학교

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

규모 8.5의 지진에도 견딜 수 있는 혁신적인  
하이브리드 지진격리장치의 상용화 기술개발

최종보고서

2020

국토교통과학기술진흥원

R  
&  
D  
사업  
본부

## 제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘규모 8.5의 지진에도 견딜 수 있는 혁신적인 하이브리드 지진격리장치의 상용화 기술개발’(연구개발 기간 : 2018.04.01. ~ 2020.12.31.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2021 . 02 . 04 .

주관연구기관명 : (주)에스코알티에스  
공동연구기관명 : 인천대학교 산학협력단

(대표자) 조영철 (인)  
(대표자) 옥우석 (인)



주관연구기관책임자: 이찬영  
공동연구기관책임자: 허종완

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에  
동의합니다.

## 보고서요약서

|                   |                       |                                                  |                                |                        |                                                                           |
|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 과제 고유 번호          | 20TBIP-C14<br>4315-03 | 해당 단계<br>연구 기간                                   | 2018. 04. 01 -<br>2020. 12. 31 | 단계구분                   | 3차년도                                                                      |
| 연구사업명             | 중사업명                  | 국토교통기술사업화지원사업                                    |                                |                        |                                                                           |
|                   | 세부사업명                 | 국토교통기술사업화지원사업                                    |                                |                        |                                                                           |
| 연구과제명             | 대과제명                  |                                                  |                                |                        |                                                                           |
|                   | 세부과제명                 | 규모 8.5의 지진에도 견딜 수 있는 혁신적인 하이브리드 지진격리장치의 상용화 기술개발 |                                |                        |                                                                           |
| 연구책임자             | 이찬영                   | 해당단계<br>참여연구원 수                                  | 총: 32 명<br>내부: 32 명<br>외부: 0 명 | 해당단계<br>연구비            | 정부: 564,000 천원<br>민간: 376,000 천원<br>정부외: 천원<br>상대국: 천원<br>계: 940,000 천원   |
|                   |                       | 총 연구기간<br>참여연구원 수                                | 총: 45 명<br>내부: 45 명<br>외부: 0 명 | 총 연구비                  | 정부: 1,200,000천원<br>민간: 800,000 천원<br>정부외: 천원<br>상대국: 천원<br>계: 2,000,000천원 |
| 연구기관명 및<br>소속 부서명 | (주)에스코알티에스            |                                                  |                                | 공동연구기관명<br>인천대학교 산학협력단 |                                                                           |
| 국제공동연구            | 상대국명:                 |                                                  |                                | 상대국 연구기관명:             |                                                                           |
| 위탁연구              | 연구기관명: (주)테크노베이션파트너스  |                                                  |                                | 연구책임자: 이상원             |                                                                           |

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 연구개발성과의<br>보안등급 및<br>사유 | 일반 |
|-------------------------|----|

### 9대 성과 등록·기탁번호

| 구분           | 논문 | 특허 | 보고서<br>원문 | 연구시설<br>· 장비 | 기술요약<br>정보 | 소프트<br>웨어 | 화합물 | 생명자원     |          | 신품종 |    |
|--------------|----|----|-----------|--------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
|              |    |    |           |              |            |           |     | 생명<br>정보 | 생물<br>자원 | 정보  | 실물 |
| 등록·기<br>탁 번호 | 6  | 4  |           |              |            | 1         |     |          |          |     |    |

### 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

| 구입기관 | 연구시설<br>· 장비명 | 규격<br>(모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화) | 비고<br>(설치장소) | NTIS<br>등록번호 |
|------|---------------|-------------|----|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|      |               |             |    |       |              |             |              |              |
|      |               |             |    |       |              |             |              |              |

|                                             |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| 요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) | 보고서 면수    86 |
|---------------------------------------------|--------------|

## 요약문

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                            |                   |                          |                                      |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 연구의<br>목적 및 내용            | <p>본 연구에서는 지진 규모 8.5에서도 구조물이 견딜 수 있는 새로운 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 개발을 통한 실용화 완성 및 사업화를 추진한다. 사업화를 위한 기본 연구단계로 마찰형 하이브리드 지진격리장치를 개발하고 최적화된 구조형상, 유효성 검증, 성능검증의 단계를 거친다. 먼저 새로운 개념의 지진격리장치에 대한 개념 및 기본 설계를 통해 선정된 설계파라미터의 영향과 최적화된 구조형상을 결정한다. 이를 위해 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 활용하여 3차원 정밀 해석을 수행하고 해석결과의 비교·분석을 통해 설계의 유효성을 검증한다. 해석결과를 토대로 안정적인 구조형상의 지진격리장치를 선정하고 최적화를 위해 실질적인 성능검증을 위해 실험형 모형을 제작하여 구조실험을 수행한다. 구조적 성능 검증 수행 후 지진격리장치의 현장 적용을 위해 OPENSEES 프로그램을 활용한 수치해석 모델을 개발하여 비선형 동적해석을 수행하고 설계 가이드라인을 완성한다. 실용화를 위한 단계로는 타당성 검토, 마케팅 전략수립, 실적확보, 사업화 단계로 구분할 수 있다. 마찰형 하이브리드 지진격리장치에 대한 제품화 및 실용화를 위해 테스트베드를 구축하여 유사환경에서의 실제 성능검증을 수행하고 신기술 신청을 통한 공인인증을 수행한다. 또한 사업화를 위하여 성능이 검증된 제품의 시공성, 경제성 등을 분석하여 마케팅 전략을 수립하고 제품을 판매하여 상용화 실적을 확보한다. 최종적으로 제품의 대량 생산을 통한 국내·외 시장에서의 사업화를 달성한다.</p> |                            |                   |                          |                                      |
| 연구개발성과                    | <p>본 연구를 통해 새로운 개념의 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 실용화 및 사업화를 달성하기 위해 총 4단계를 통해 연구를 진행하였다. 먼저 1단계에서는 기존 면진받침으로 활용되던 시제품의 문제점을 보완하고 성능을 향상시킨 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 설계를 정립하였다. 2단계로는 최적화된 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 시험체를 제작하고 구조실험을 수행하여 실질적인 성능을 검증하여 실용화방안을 모색하였다. 3단계에서는 성능이 검증된 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 제품화를 위하여 현장 적용 가능성에 대한 추가적인 연구를 수행하고 기술제품의 상용화를 위한 전략을 수립하였다. 4단계로는 실용화된 완제품의 생산을 통하여 기술 제품화 및 사업화를 달성하고 매출액 1억원 이상을 달성하기 위한 계획을 수립하였다. 전문 컨설팅 회사와 마케팅 전략을 수립하고 활용하여 제품홍보를 수행하였으며 제품화된 기술에 대한 유통망을 확보하여 대기업, 중소기업 등의 업체와 기술이전 및 협약 등 기술실시계약을 달성하였다.</p>                                                                                                                                                                                                                                                  |                            |                   |                          |                                      |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | <p>연구에서 개발된 하이브리드 지진격리 장치는 적층고무 형식의 특성을 반영하여 변위가 발생하더라도 제자리로 돌아오려는 복원성능이 우수하다. 자연재해 중 하나인 지진과 같은 외력이 발생하더라도 변형을 제어하고 구조물의 붕괴 및 파손을 막을 수 있다. 이는 구조물을 지속적으로 활용 가능하게 만들어 유지·보수비용 절감효과를 기대할 수 있다. 또한 제품의 특성상 다양한 형태로 제작 가능하여 현장 맞춤형 제작 및 설치가 가능하고 면진장치의 적층을 통하여 변위 조절이 가능함으로 현장 상황에 맞게 활용 가능하다. 본 개발기술은 우수한 복원력 및 현장 맞춤형 기술로 실용화 및 사업화의 성공을 기대할 수 있다.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                            |                   |                          |                                      |
| 국문핵심어<br>(5개 이내)          | 하이브리드<br>지진격리장치                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 면진받침                       | 복원력               | 성능검증                     | 실용화 및 사업화                            |
| 영문핵심어<br>(5개 이내)          | Hybrid Earthquake Isolator                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Seismic Isolation Bearings | Dynamic Stability | Performance Verification | Practicalization & Commercialization |

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

## < 목 차 >

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1. 연구개발과제의 개요 .....         | 1  |
| 2. 연구수행내용 및 성과 .....        | 6  |
| 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ..... | 80 |
| 4. 연구개발성과의 활용 계획 등 .....    | 85 |

# 1. 연구개발과제의 개요

## 가. 연구 개발의 목적

### (1) 최종 연구 목표

- 본 연구는 규모 8.5의 지진에서도 견딜 수 있는 새로운 개념의 획기적인 마찰형 하이브리드 지진격리 장치의 실용화 및 사업화를 달성함

표 1 연구 개발의 목표

| 구분    | 내용                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 최종 목표 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 8.5 규모의 지진에서도 견딜 수 있는 새로운 마찰형 하이브리드 지진격리 장치의 실용화 완성 및 사업화 추진</li> </ul>                                                                                                                                  |
| 세부 목표 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1단계 세부목표(F-1): 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 최적화 완성</li> <li>▪ 2단계 세부목표(F-2): 시험체 제작 및 실대형 모형 구조실험 수행</li> <li>▪ 3단계 세부목표(F-3): 개발 시스템의 성능 검증 및 적용성 평가</li> <li>▪ 4단계 세부목표(F-4): 실용화된 완제품의 대량 생산 및 사업화 추진</li> </ul> |

### (2) 세부 연구 목표

- 1단계(F-1, 시스템개발): 기존에 시제품의 문제점을 보완하고 성능을 향상시킨 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 설계(안)정립을 위하여 장치에 대한 개념을 정립하고 설계변수에 의한 단면형상 선정 및 개념설계를 완성함
  - 기존 제작된 지진격리장치의 내진성능 향상을 위해 규모 8.5의 지진에서도 견딜 수 있는 새로운 개념의 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 개념을 정립함
  - 지진격리장치를 구성하는 부속품에 활용되는 폴리우레탄, 고무, 철판 재료의 실험을 수행하여 도출된 결과 분석을 통하여 재료의 물리적 성능을 확보함
  - 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 실용화를 위하여 3차원 정밀 유한요소 해석을 수행하여 장치의 거동을 재현하고 검증함
  - 유한요소 해석 결과의 비교·분석을 통하여 단면의 유효성과 타당성을 검토하고 최적화 설계변수를 선정하며 정형화된 설계수식을 개발함
- 2단계(F-2, 성능검증): 최적화된 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 실대형의 시험체 제작하고 구조실험을 수행하여 실질적인 성능을 검증하여 실용화 방안을 모색함
  - 우수한 내진성능과 구조적 안정성을 갖는 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 요구 성능확보를 위하여 상세 설계 시 선정된 구조 현상에 부합하고 설계 변수를 반영한 시험체를 제작함
  - 신뢰성 높은 실대형 구조실험을 위하여 지진격리장치를 장착한 구조물에 대하여 기술적 협의와 전문가 자문을 실시하고 정확한 실대형 구조실험을 위하여 국내외 실험 자료를 수집하여 실험을 위한 준비 작업을 수행함
  - 요소기술 시험체와 요소기술이 장착된 구조물 시험체에 대한 실험을 수행하고 실험 결과 분석을 통해 실질적 성능을 검증함으로써 새로운 지진격리장치의 기술 실용화를 위한 공학적 근거를 마련함

- 3단계(F-3, 시스템구축): 성능이 검증된 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 제품화를 위하여 현장 적용 가능성에 대한 추가적인 연구를 수행하고 기술 제품의 상용화를 위한 전략을 수립함
  - 내진 성능과 구조적 안전성이 향상된 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 규격화된 제품의 생산을 위하여 최적화 구조형상의 시스템을 구축함
  - 마찰형 하이브리드 지진격리장치가 장착된 프레임 구조물을 설계하고 해석모델을 제작하여 실제 지진데이터를 활용한 추가적인 비선형 동적해석 수행으로 장치의 현장 적용 가능성을 검증함
  - 최종적인 성능검증이 완료된 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 제품화를 위하여 체계화된 설계기법을 제시하고 설계예제, 설계 매뉴얼 등의 가이드라인을 작성함
  - 실질적인 현장 적용성을 검증하기 위하여 테스트베드와 같은 실제 환경에서의 기술에 대한 구조적 안전성, 내진성능 등의 우수한 성능과 시공성·경제성·유지관리성 등을 분석함
  - 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 전략적인 상용화 방안을 모색하고 차별화된 장치의 신기술, 우수제품 등의 공인인증을 신청하고 기술실증을 완성하여 완제품을 생산함
- 4단계(F-4, 사업화단계): 실용화된 완제품의 대량 생산을 통하여 사업의 최종목표인 기술 제품화 및 사업화를 달성하고 사업완료 후 목표 연간 매출액 1억 원 이상을 달성을 위한 계획을 수립함
  - 제품화된 기술의 사업화 활성화를 위해 전문 컨설팅 회사와 마케팅 전략을 수립하고 활용하여 제품홍보를 수행함
  - 제품화된 기술에 대한 유통망을 확보하여 대기업, 중소기업 등의 업체와 기술이전 및 협약 등 기술실시계약을 달성함
  - 현장실적 확대를 위해 민간, 관공서, 공공기관 등을 대상으로 기술 상용화 실적을 확보함
  - 검증된 제품에 대하여 지속적인 공사실적 증가로 대량 생산을 통한 매출 증대로 국내의 기술사업화를 달성하며 추가적으로 대기업 공사 참여 방식으로 해외 시장을 개척함

표 2 단계별 연구 개발의 목표

| 단계  | 세부목표<br>일련번호 | 세부 목표 정의                                |
|-----|--------------|-----------------------------------------|
| 1단계 | F-1-1        | ▪ 마찰형 하이브리드 지진격리 면진 받침의 개념정립            |
|     | F-1-2        | ▪ 받침의 최적화된 단면 결정을 위한 설계 변수(파라미터) 분석     |
|     | F-1-3        | ▪ 부속품의 규격을 결정하기 위한 재료실험 및 결과분석          |
|     | F-1-4        | ▪ 최적화된 형상을 결정하기 위한 3차원 정밀해석 수행          |
|     | F-1-5        | ▪ 해석결과의 비교·분석을 통한 최적화 설계 변수 검토          |
|     | F-1-6        | ▪ 마찰형 하이브리드 면진 받침 시스템 개발 및 상세설계 실시      |
| 2단계 | F-2-1        | ▪ 상세 설계시 선정된 설계 변수를 반영한 시험체 제작          |
|     | F-2-2        | ▪ 면진 받침을 장착한 구조물에 실험용 구조실험에 관한 자료 수집    |
|     | F-2-3        | ▪ 제작된 시험체의 성능 검증을 위한 거동예측 해석 수행 및 결과 분석 |
|     | F-2-4        | ▪ 제작된 시험체 받침을 장착한 구조물 실험과 결과 분석         |
| 3단계 | F-3-1        | ▪ 시험체의 내진 성능 향상을 위한 최적화 시스템 구축          |
|     | F-3-2        | ▪ 최적화된 시스템의 성능 입증을 위한 공인기관 장치 실험 수행     |
|     | F-3-3        | ▪ 면진 받침을 상용화하기 위한 설치 및 설계 기법의 체계화       |
|     | F-3-4        | ▪ 현장적용을 통한 성능의 검증과 실용화 방안의 마련           |
| 4단계 | F-4-1        | ▪ 사업화 완성을 위한 국내외 시장 개척 및 마케팅 전략 수립      |

## 나. 연구 개발의 필요성

### (1) 사회 경제적 측면

- 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 지진재해 대응과 예방을 위한 대책이 필요한 실정임
  - 전 세계적으로 환태평양 조산대를 중심으로 일본, 중국, 미국 등의 다양한 국가에서 규모 8.0~8.9 정도의 강진이 발생하여 막대한 인적 및 물적 피해가 발생함
  - 우리나라는 2000년대로 접어들어 지진의 발생 빈도는 급증하고 있으며 이러한 자연재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는 방재(Disaster Prevention) 기술개발이 시급함
  - 1978~1998년까지는 평균 19.2회의 지진이 발생하였지만 1999~2016년까지는 평균 58.9회의 지진이 발생하였으며 이중 규모 3.0 이상의 지진은 379회,有感 횟수는 271회 발생함
  - 2017년 11월 15일에 경북 포항시 북구 북쪽 9km 지역에서 규모 5.4의 지진이 발생하였으며 이는 지난 2016년 9월 12일에 발생한 규모 5.8 경주 지진에 이어 우리나라에서 발생한 지진 중 역대 2번째로 큰 규모임
  - 우리나라도 지진으로부터 안전하지 못하다는 인식이 점차 증가하고 있으며 자연재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는 방재 기술에 대한 국가의 관심이 급증하고 있음
  - 내진설계는 지진과 같은 자연재해로부터 안전한 도시를 구축하는 미래도시에 대한 수요 및 활용도가 증대되고 있는 현실임
- 지진피해 저감을 위한 신제품 개발로 인한 국내 기술력 향상이 필요함
  - 해외 선진국 대비 부족한 면진받침 장치에 대한 연구를 통해 우수한 성능의 내진설비를 개발하고 상용화 단계를 거쳐 해외 기술선진국과의 기술 격차를 줄일 수 있음
  - 해외 선진국에서는 내진설계에 대한 지속적인 연구로 다양한 면진받침 장치가 연구되었으나 국내에서는 다양한 연구를 진행하고 있지만 우수한 성능의 면진 장치를 상용화하지 못하는 실정임(※일본의 경우에는 면진 시장 규모가 연간 6조원에 달하며 기술개발에 막대한 예산을 투자함)
  - 국내에서는 원전용 면진 받침의 성능이 가장 우수한 편이지만 일반적으로 규모 6.5~7.3정도에 지진에서 견딜 수 있는 성능을 가지고 있어서 내수용뿐만 아니라 일본과 같은 다른 국가에 제품을 판매하기 위해서는 내진 성능의 향상이 요구됨(※일본의 경우에는 8.0 규모의 지진까지 요구)
  - 아울러 면진 받침을 현장 구조물에 설치하는데 공사에 들어가는 비용과 시간을 절약하는 시공 기술의 발전이 더불어 필요함
- 내진 관련 기술 제품 판매 시장의 확대와 사업화로 인한 대규모 수익창출이 가능함
  - 정부에서는 공공시설물 안전 확보를 위해 11년부터 내진설계가 적용되지 않은 기존 공공시설물에 대한 내진보강 1단계(11~15년) 사업을 추진하여 왔으며 16년부터 2단계(16년~20년) 사업을 추진하고 있음
  - 국민안전처의 내진보강(면진포함) 추진 결과 1단계 예산은 11년에 332억 원, 14년에는 4배가 증가한 1,654억 원 집행되었으며 2단계 기간중에 연평균 2,156억 원 집행될 것으로 전망되며 향후에도 국고 지원에 있어서 꾸준히 증가할 것으로 예상됨
  - 국내 시설물에 대한 공사현장에서의 내진보강(면진포함) 적용률은 2011년 37.3%에서 2018년도에 46%까지 꾸준히 증가하였으며 향후 2020년까지 49.4%에 육박할 것으로 예상됨
  - 경주와 포항 지진으로 인하여 지진재해에 대한 방재에 국민적 관심이 증대되는 가운데 내진 분야에서 정부와 민간의 투자가 활발할 것으로 판단되며 향후 이 분야에서의 국내외 시장이 빠른 규모로 성장할 것이며 사업화로 인한 대규모 수익창출이 가능하다고 판단됨

## (2) 기술적 측면

- 현재 상용화된 기술 제품의 문제점 해결이 가능한 기술을 개발함
  - 기존 지진격리장치인 LRB(Lead Rubber Bearing)는 스톱퍼(이탈방지턱)를 별도로 추가 시공하지 않으면 과다 변위 발생 시 부품의 전단파괴로 인한 낙교의 위험을 가지고 있으므로 사용성 측면에서 지진력에 저항하는 내진 성능에 한계가 있음
  - 상하부의 곡률을 이용하여 수평강성(복원력 포함)을 구현하는 FPS(Friction Pendulum System)은 구조적으로 수직단차를 줄일 수는 있으나 완전히 제거하기는 어려움
  - 신축 이음장치의 수직 이탈로 인해 차량 이동에 장애를 초래 할 수 있으며 소음의 원인이 되며 더 나아가 신축이음 장치 거동에도 문제가 될 수 있어 새로운 대안이 필요한 실정임
  - 본 제품인 마찰형 하이브리드 지진격리장치는 기존에 사용된 LRB와 FPS 장치에서 일반적으로 발생하는 전단파괴와 수직단차의 문제점을 해결하여 지진에 견딜 수 있는 저항성을 높이며 안정성 확보와 내진 성능을 향상시키는 획기적인 제품이라고 판단됨
- 다양한 측면에서 우수하고 독창성을 갖는 지진피해 저감 기술을 개발함
  - 마찰형 하이브리드 지진격리장치는 폴리우레탄과 PTFE와 같은 특수 소재를 적용한 마찰재를 이용하여 모든 하중조건과 설계 면압을 수용가능하게 제작됨
  - 하이브리드 지진격리장치는 손상 발생시 교체가 용이하며 부속품들의 물성치와 규격을 자유롭게 변경 가능하여 목표 성능의 수위를 쉽게 조절하며 제품간의 조립이 가능하여 다층으로 사용할 경우 허용하는 수평(전단) 변위량도 쉽게 조절 가능함
  - Engineering Plastic(EP) 마찰재는 기존 제품에서 사용되는 납심에 비해 경량으로 현장에서 작업시간을 줄일 수 있고 안전관리에 보다 효과적으로 대처 가능하며 성능도 우수함
  - 하이브리드 지진격리장치는 조립 완료 후 Bolt나 체결장치 없이 운반 가능하며 시공이 끝난 후 체결을 해제하는 별도의 공정이 필요 없어 공사시간 단축의 장점이 있음
  - 상부 하중을 중앙 및 외곽 지지부가 같이 지지하는 구조인 본 기술은 허용된 전단 변위를 초과하는 경우 FPS와 달리 수직 단차가 발생하지 않고 안정성 확보에 용이함
  - 납의 사용이 불필요하기 때문에 기존에 활용되는 납심의 비싼 원가를 절감할 수 있으며 강재의 가공을 최소화하여 제품의 제작에 소요되는 시간과 비용을 절약 가능함
  - 본 기술제품은 수용 변위에 대하여 사이즈를 최소화하여 현장에서의 시공 및 설치가 매우 용이하고 Fixing Plate의 제거와 중량의 감소로 인해 한 번에 많은 수량을 운반할 수 있음
  - 기존 기술의 주재료인 납을 활용하지 않고 친환경 경량 소재인 엔지니어링 플라스틱 마찰재를 활용하여 선적과 관련된 탄소 배출 감소, 납 중독 등의 환경적 문제를 해결할 수 있음

## 다. 연구 개발의 범위

### (1) 1단계: 기술 정립

- 마찰형 하이브리드 지진격리장치에 대한 상세설계 완성 및 유한요소 해석을 실시하여 최적화를 달성함
  - 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 개념을 정립하고 반침의 최적화된 단면을 결정하기 위한 설계 변수(파라미터)를 분석한 후 최적의 단면을 결정하여 시스템 개발을 완료한 후 실험을 위한 상세설계를 완성함
  - 부속품의 물성치와 규격을 결정하기 위한 재료실험을 수행하여 얻어진 결과를 분석하고 최적화된 형상을 결정하기 위하여 3차원 정밀유한요소 해석을 실시함

(2) 2단계: 기술 성능검증

- 마찰형 하이브리드 지진격리용 면진 받침에 대한 구조 실험 수행 및 결과 분석을 수행함
  - 상세설계에서 선정된 설계 변수를 반영하여 시험품을 제작하고 제작된 면진 받침의 성능을 입증하기 위하여 하중재하 실험을 수행하고 얻어진 결과를 분석하여 요구 성능의 확보 여부를 판단함
  - 면진 받침을 설치한 구조물들의 구조실험에 관련된 자료를 수집하고 제작된 시험품을 적용한 구조물 실험과 얻어진 결과를 분석함

(3) 3단계 : 기술 최적화 및 구축

- 마찰형 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 실용화된 완성품 실용화 방안 마련 및 사업화를 달성함
  - 최적화된 시스템의 일반적인 구조물과 시설물 내에서 목표 성능의 달성 여부를 확인하기 위하여 수치해석 프로그램을 사용하여 비선형 동적 해석을 수행함
  - 면진 받침의 상용화를 위한 시공 및 설계 기법의 체계화를 수행함

(4) 4단계: 기술 실용화 및 사업화

- 마찰형 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 실용화된 완성품 실용화 방안 마련 및 사업화를 달성함
  - 구축된 최적화 시스템에 대하여 현장 적용을 통한 성능의 검증과 실용화 방안을 마련함
  - 제품 판매를 위한 기술 실증을 완성하고 완제품 생산한 이후에 제품 판매를 위한 유통망 구축과 제품화·사업화를 달성함



그림 1 연구 개발의 범위

## 2. 연구수행내용 및 성과

### 가. 연구 개발 추진 전략 및 방법

#### (1) 연구 개발 추진 전략

- 1단계(F-1, 시스템개발): 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 설계변수에 따른 구조형상의 유효성 검증을 위하여 연구목표에 부합하는 새로운 개념의 지진격리장치에 대한 제품개발을 위하여 개념정립, 설계변수에 따른 구조해석을 수행하여 모델을 선정함
  - 1단계 연구에서는 해석을 통해 도출된 최적화 마찰형 하이브리드 지진격리장치 모델에 대한 설계의 유효성을 검토할 수 있을 것으로 판단됨
  - 본 기술은 주관기관이 보유한 기존 기술을 근거로 대략적인 기본 단면형상은 설정되어 있지만 성능이 향상된 지진격리장치에 대한 최적단면형상은 설정되어 있지 않으므로 최적형상을 선정하기 위하여 여러 가지 설계 변수를 선정하여 해석을 통해 제시함
  - 주관기관의 30여년 이상의 면진장치의 설계에 대한 경력과 공동기관 인천대학교는 면진장치에 대한 이론적 배경과 유한요소에 대한 지식과 경험을 활용하여 연구목표를 달성함
- 2단계 (F-2, 성능검증: 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 구조 성능검증을 위해 시험체를 제작하고 실험형 구조실험을 실시하여 도출된 결과 분석을 통하여 우수한 성능을 입증함
  - 2단계 연구에서는 마찰형 하이브리드 지진격리장치 실험을 위해 전문가 자문, 자료 수집 등 구체적 수행방법을 구축하여 시험체를 제작함
  - 제작된 하이브리드 지진격리장치가 규모 8.5에 견딜 수 있는 내진 성능 달성을 위하여 실험형 구조실험을 통한 성능 검증 연구를 수행함
  - 주관 및 공동 연구기관의 구조실험에 대한 기술과 인프라를 활용하여 연구를 수행함
- 3단계(F-3, 시스템구축): 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 타당성 검토를 위해 장치가 적용된 프레임 구조물에 대한 비선형 동적해석을 수행하고 현장 실용화를 위한 설계 가이드라인을 작성하며 제품화를 위해 테스트 베드를 실시하여 신기술을 획득함
  - 3단계 연구에서는 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 설계가이드라인을 정립함으로써 구조성능, 시공방법 등의 최적화 확립을 통한 설계 체계화가 가능하다고 판단됨
  - 해석 및 실험적 방법을 활용한 현장적용 가능성 검증을 통하여 사회기반시설과 국가주요 시설 등에 대한 시스템의 적용성, 시공성 등의 기준을 제시함
  - 연구를 수행하는 주관기관의 상용화 제품을 근거로 실질적인 시스템 정립에 대한 노하우와 공동연구기관의 비선형 해석에 대한 연구수행 능력으로 연구목표를 달성함
- 4단계(F-4, 사업화단계): 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 사업화를 위해 마케팅전략을 수립하고 판매 유통망을 확보하여 제품 상용화를 위한 공사 계약 및 실시하며 국내·외 시장을 대상으로 매출액을 향상시킴
  - 4단계 연구에서는 사회적으로 지진 규모와 빈도 증가에 따라 안전의식이 높아짐으로써 기술 수요와 정부차원의 대책이 급증하고 있는 실정이므로 이를 기회로 사업화를 추진함
  - 기존 면진장치의 구조적안정성, 시공성, 친환경성, 경제성 등의 단점을 보완하고 장점을 유지할 수 있는 기술이므로 사업적 우위와 매출 증대를 위해 신기술을 확보함
  - 주관기관은 이전에 제품 생산과 사업화 경험을 바탕으로 실질적인 기술개발이 가능하고 발주업체와 공사계약 체결 등을 통해 제품화하여 현장에 적용 가능하므로 연구기간동안 연구목표 달성이 가능하다고 판단됨



그림 2 연구 개발 추진 단계별 전략

## (2) 연구 개발 추진 방법

- 본 연구의 사업화를 위한 기본 연구 추진 단계는 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 개발, 최적화된 구조형상, 유효성 검증, 성능검증의 단계로 표현할 수 있음
  - 새로운 개념의 지진격리장치에 대한 개념 및 기본 설계를 통해 선정된 설계파라미터의 영향과 최적화된 구조형상을 결정하기 위하여 선행적으로 3차원 정밀 유한요소 해석을 수행하며 해석 결과의 비교·분석을 통한 설계의 유효성을 검증함
  - 해석결과 안정적인 구조형상의 지진격리장치를 선정하여 안정적인 결과를 도출하였지만 보다 최적화된 실질적인 단면 및 구조 형상이 필요하므로 실대형의 모형을 제작하여 구조실험을 수행함
  - 구조적 성능이 검증된 지진격리장치의 현장 적용 가능성 검증을 위하여 OpenSEES 프로그램을 활용한 프레임 모델을 개발하여 비선형 동적해석을 수행하여 설계가이드 라인을 완성함
- 실용화를 위한 단계는 현장적용을 위한 타당성 검토, 마케팅 전략 수립, 공사현장 적용, 제품화와 사업화 단계로 표현함
  - 기술에 대한 제품화 및 실용화를 위해서는 공인인증이 필요하므로 테스트베드를 통한 유사환경에서의 실제 성능 검증을 수행하여 신기술을 신청을 통한 최종적인 성능을 인증함
  - 사업화를 위하여 성능이 검증된 제품의 시공성, 경제성 등을 분석하여 타당성을 검토하고 마케팅 전략을 수립을 통한 제품을 판매하여 상용화 실적을 확보함
  - 최종적으로 완제품의 대량 생산을 통하여 국내·외 시장에서의 사업화를 달성함

표 3 연구 개발 추진 방법

| 단계      | 일련번호  | 추진방법                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1<br>단계 | F-1-1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>국내외 지진격리용 면진 반침의 논문, 특허, 연구보고서와 같은 참고문헌의 수집 및 조사</li> <li>KCS, AASHTO, ASCE 등과 같은 국내·외 시방서에서 제시된 반침의 설계 기준을 비교·평가함</li> </ul>                                                                                                                                       |
|         | F-1-2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>면진 반침을 구성하는 부속품(마찰부, 전단핀, 탄성지지부 등)들의 규격들을 설계변수로 규정하고 이러한 규격의 비율에 따른 마찰력, 강성, 복원력 등과 같은 거동에 미치는 영향력을 분석함</li> <li>마찰부와 지지부에 사용되는 탄성 고무의 물성치를 고려한 한-변위 거동 변화를 분석함</li> </ul>                                                                                          |
|         | F-1-3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>면진 반침에서 복원력을 제공하는 탄성체(폴리우레탄, 고무패드 등)의 인장력 혹은 전단력을 주어 재료 실험을 수행하고 결과를 분석하여 물리적인 성질을 파악함</li> <li>마찰부재로 활용되는 PTFE, 지지부의 강판적층 고무 반침의 전단강도 재료 실험을 수행함</li> </ul>                                                                                                        |
|         | F-1-4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>재료 실험에서 얻어진 물성치를 활용하여 3차원 정밀 유한요소해석모델을 제작하고 ABAQUS 프로그램을 사용하여 정적 혹은 반복 하중 이력을 가하여 해석을 수행함</li> <li>부속품의 규격과 마찰면의 조건을 변화시켜 다양한 해석 모델을 제작하고 해석을 수행함</li> </ul>                                                                                                        |
|         | F-1-5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>해석을 수행한 후 각각의 유한요소해석 모델별로 얻어진 하중-변위 이력곡선들을 복원력과 에너지 소산성 측면에서 비교·분석을 수행함</li> <li>설계 변수가 복원력과 에너지 성능에 미치는 영향력을 고려하여 최적화된 모델을 선정함</li> </ul>                                                                                                                          |
|         | F-1-6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>해석 결과를 토대로 부속품 규격, 물성치, 마찰면 특성등과 연관된 설계 변수의 최적화 조건을 산출하고 이를 반영하여 내진 성능이 향상된 시험체 개발을 위한 상세설계를 실시함</li> <li>설계 변수가 개발된 반침의 거동에 미치는 영향력을 평가하는 정형화된 수식을 개발함</li> </ul>                                                                                                  |
| 2<br>단계 | F-2-1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>마찰 접촉면의 면적, 마찰 접촉면의 상태, 폴리우레탄의 물성치, 강판적층 고무 지지대 상태, 부속품들의 규격 등을 설계 변수로 설정하여 구조 실험을 위한 시험체 모델을 제작함</li> <li>하중 전단변위를 조절하기 위하여 면진 반침을 1단에서 3단까지 쌓아올린 시험체도 제작함</li> </ul>                                                                                              |
|         | F-2-2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>정확한 실험 결과를 얻기 위하여 실험 방법에 대한 기술적 협의와 전문가 자문을 실시함</li> <li>면진 반침을 설치한 실험대형 구조물에 대한 국내외 실험 자료를 수집함</li> </ul>                                                                                                                                                          |
|         | F-2-3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>지반 가속도 이력이 가능한 진동대(Shaking Table)에 시험체를 올려놓고 구조물의 자중을 대신하여 하중을 가하거나 질량 물체를 올린후 가속도를 주어 국부적인 동적 실험을 수행함</li> <li>정적 하중재하 실험과 가속도를 사용한 동적 하중재하 실험의 결과에서 측정된 하중-변위 이력 곡선을 비교하여 시험체별 성능을 평가하고 목표 내진 성능을 달성 여부를 확인함</li> </ul>                                           |
|         | F-2-4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>일정한 비율로 축소된 면진 반침을 교량과 빌딩과 같은 구조물 모델을 제작하여 하부와 진동대 사이에 설치하여 지반 가속도를 가하여 동적 구조 실험을 수행함</li> <li>시험체 반침에 발생하는 전단하중-변위 측정뿐만 아니라 구조물에 발생하는 변위와 가속도를 측정하여 손상(Damage) 발생 여부를 파악함</li> </ul>                                                                               |
| 3<br>단계 | F-3-1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>구조 실험을 통한 시험체의 성능 검증을 통해 최적화된 시험체 모델을 제작하고 아울러 교량과 빌딩과 같은 실제 구조물에 설치하였을 때 정착부와 연결부에 응력 집중을 최소화하여 규모 8.5에 지진에도 견디는 우수한 시스템을 구축함</li> <li>면진 반침과 구조물 연결부와 같은 취약부에 손상 방지를 위한 세밀한 구조검토를 수행하고 내진 성능 보장에 대한 추가적인 연구를 수행함</li> </ul>                                       |
|         | F-3-2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>구조 실험을 통하여 성능이 입증되고 설치 시 취약부에 단점을 보완한 최적화된 시스템에 대하여 다양한 조건하에 물리적인 성능을 평가하기 위하여 비선형 동적 해석을 수행함</li> <li>비선형 동적 해석은 OPENSEES 프로그램을 사용하여 비선형 수치해석 모델을 제작하고 다양한 지반 가속도 데이터를 사용하여 해석을 수행하고 수치해석 모델에 발생하는 변위와 가속도를 측정하여 구조물의 손상을 평가하며 구조물 내 면진 반침 시스템에 성능을 입증함</li> </ul> |
|         | F-3-3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>제품의 규격과 성능을 결정하는 사항들을 선별하고 성능이 표준화된 제품 제작을 위한 표준화 도면, 설계기준, 시방서, 단가 산출서, 유지관리 계획서 등과 같은 지침서들을 개발함</li> <li>최적화된 면진 반침 시스템에 상용화를 위하여 완제품 제작과 현장에 실용화를 위하여 시공시에 적용할 수 있는 설계 예제, 시공 매뉴얼과 같은 가이드라인을 제작함</li> </ul>                                                      |
|         | F-3-4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>제품을 실제 현장에 테스트 베드 형태로 설치 시에 전도, 활동, 지지력, 감쇠효과 등의 외적 안정성을 검토하고 사용성과 경제성 등을 분석함</li> <li>완제품을 대량 생산할 수 있는 설비를 구축하고 판매를 위한 기술실증(신기술, 제품인증, 품질인증, 우수제품 등)을 획득함</li> </ul>                                                                                               |
| 4<br>단계 | F-4-1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>유통망 구축을 위하여 국내에 업체와의 기술이전 및 협약 등의 계약을 성사시키고 민간, 공기업, 관공서와, 공공기관과의 공사계약을 체결하고 판매를 위한 적극적인 홍보를 시작함</li> <li>전문 컨설팅 회사를 통하여 판매 마케팅 전략을 수립하고 대기업 공사에 참여하는 방식으로 시장을 개척하여 사업화를 위한 본격적인 체계를 마련하고 매출액을 향상시킴</li> </ul>                                                      |

## 나. 연구 개발 추진 체계

| 연구개발과제                                                 |                                                  |                                                         |       |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| 과제명                                                    | 규모 8.5의 지진에도 견딜 수 있는 혁신적인 하이브리드 지진격리장치의 상용화 기술개발 |                                                         |       |
| 기 관 별 참 여 현 황                                          |                                                  |                                                         |       |
| 구 분                                                    | 기관수                                              | 인원수                                                     | 총인원 수 |
| 산 업 계                                                  | 1                                                | 19                                                      | 29    |
| 대 학                                                    | 1                                                | 10                                                      |       |
| 주 관 연 구 기 관                                            |                                                  | 공 동 연 구 기 관                                             |       |
| (주)에스코알티에스                                             |                                                  | 인천대학교                                                   |       |
| 참 여 연 구 원                                              |                                                  | 참 여 연 구 원                                               |       |
| 주관연구책임자 이찬영 외 18명                                      |                                                  | 공동연구책임자 허종완 외 9명                                        |       |
| 담당연구개발내용                                               |                                                  | 담당연구개발내용                                                |       |
| - 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 최적화 완성<br>- 개발 시스템의 성능 검증 및 적용성 평가 |                                                  | - 시험체 제작 및 실험형 모형 구조실험 수행<br>- 실용화된 완제품의 대량 생산 및 사업화 추진 |       |

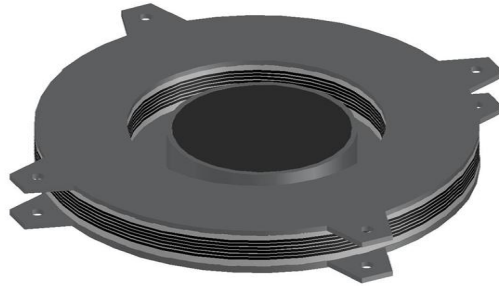
## 다. 연구 개발 추진 일정

| 세부개발목표<br>(연구수행 Activity) | Activity별<br>정량적 성과 | 1차년도 |     |     |     | 2차년도 |     |     |     | 3차년도 |     |     |     |
|---------------------------|---------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
|                           |                     | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 |
| 참고문헌/설계기준 조사              |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 설계변수의 영향력 분석              |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 재료의 물성지 특성 파악             | 특허출원 1건             |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 재료실험 수행                   |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 재료 실험결과 분석                |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 유한요소 해석 준비 수행             |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 해석 결과 분석 및 검토             |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 상세설계 실시                   | 설계도면 1건, S/W 1건     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 정형화된 설계 수식 개발             | 사양서 1건              |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 시험체 모델 제작                 | 시험체제작 20개           |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 적층 받침 모델 제작               |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 자료 수집 및 전문가 자문            | 기술자문 5건             |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 구조 실험 수행                  | 신규채용 1명             |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 결과 분석 및 성능평가              | 특허출원 1건             |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 동적 구조실험 수행                |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 구조물 손상여부 평가               |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 우수 먼진 시스템 구축              | 지침서 1건              |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 내진성능보강 추가연구               |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 비선형 동적 해석 수행              |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 해석결과 분석 및 성능검증            |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 상용지침서 개발                  | 정책제안 1건             |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 시공 가이드라인 제작               | 특허등록 1건             |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 테스트베드 설치                  | 테스트베드 3건            |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 현장성능 실험                   |                     |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 안정성 검토                    | 신규채용 1명             |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 기술실증 시행                   | 신기술지정 1건            |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 완제품 생산                    | 현장적용 3건             |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 기술협약 수행                   | 기술실시계약 3건           |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 제품홍보 및 유통망 구축             | 홍보책자발간 1건           |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 제품의 사업화 달성                | 공사체결 4건, 제품화사업화 2건  |      |     |     |     |      |     |     |     |      |     |     |     |

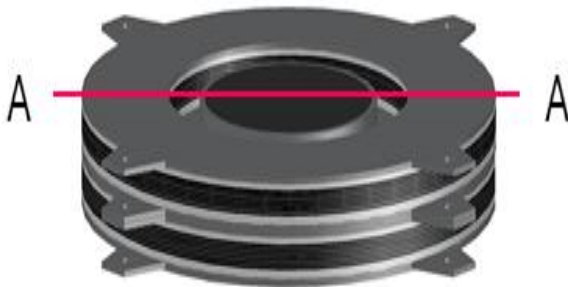
## 가. 연구 개발의 내용

### (1) 1차 년도

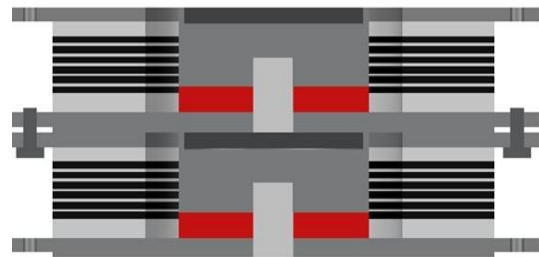
- 기존에 등록된 특허를 기반으로 제작된 마찰형 하이브리드 지진격리장치 시제품들에 대한 복원력, 에너지 소산 능력 및 감쇠 효과의 향상으로 내진 성능을 개선하며, 기술활용 시 발생 가능한 단점들을 보완하고자 개발 기술의 개념과 특성을 재정립함
- 규모 8.5 지진에도 견딜 수 있는 혁신적인 하이브리드 지진격리장치(RFB 면진 받침, Rubber Friction Bearing)는 마찰력을 활용하여 감쇠 시스템을 형성하고 복원력을 고무가 담당하여 두 개의 부속품들이 일체화 형태로 결합된 면진 받침 장치임
- 수평 전단력에 의해 거동할 때 감쇠 성능을 담당하는 마찰력은 특수소재인 마찰재를 적용하여 발생시키고, 철판과 고무를 적층한 지지대를 바깥쪽 외곽에 설치하여 지진 발생시 수평 전단력에 대응한 변위 발생량 조절이 가능함
- 시스템 장치 내부의 원형 지지대는 전단 하중에 의하여 허용되는 범위 이상의 변위 발생을 억제하는 스톱퍼 작용을 하여 받침에 발생하는 파손을 방지하고 여러 층으로 적층 가능하므로 받침의 높이 조절이 간편하며 허용 수평(전단) 변위량을 쉽게 조절 가능함
- 중앙부에 설치되는 부속품의 교체가 간단하여 설치장소나 현장여건 변화에 따라 허용 지지 하중 및 수평 변위를 쉽게 조절 가능함



(a) 하이브리드 지진격리장치 3차원 구조형상



(b) 적층(2단)형 하이브리드 지진격리장치

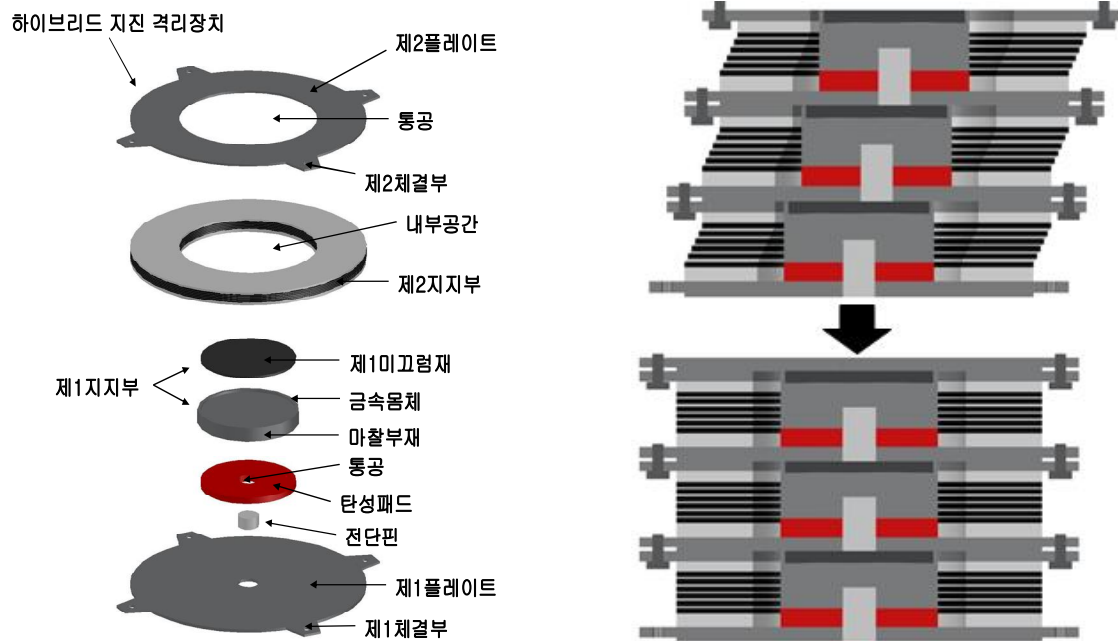


(c) 하이브리드 지진격리장치의 중앙 A-A 단면도

그림 3 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 구조형상

- 하이브리드 지진격리장치는 제 1 플레이트의 중앙부에 설치된 제 1 지지부를 가지며 제 1 지지부는 상부구조물의 하중을 제 2 지지부와 분담하여 지지하면서 상부 구조물의 수평변위시 마주 보는 면과 마찰을 일으켜 수평방향 진동을 감쇠시키는 역할을 하는 것으로 구성됨
- 면진 받침 장치에서 구조물 자중에 대한 진동 감쇠력은 주로 탄성(고무)패드에서 발생하고 이러한 성능을 향상시키기 위해서 일반 고무가 아닌 재료의 구성 비율에 따라 탄성과 경질의 성질을 자유롭게 조절이 가능한 폴리우레탄 고무를 탄성복원 용도로 사용함

- 마찰력은 받침의 이력-거동에 추가의 강성을 제공하여 에너지 소산 능력이 향상되지만 지진 발생 후 시스템에 잔류 변형을 발생시켜서 원형으로 복원하는데 추가의 유지·보수 작업이 요구되어 고무에서 발생하는 복원력을 고려하여 마찰계수 조정함
- 마찰부재 위에 설치되는 제 1 미끄럼재는 비 점착성과 낮은 마찰계수를 지닌 테프론(폴리테트라플루오로에틸렌, PTFE)으로 제작하지만 다른 낮은 마찰계수를 가진 엔지니어링 플라스틱 재료도 활용하여 면진 받침 시스템에서 마찰력을 적절하게 조정함
- 면진 받침에 전달되는 하중을 지지하고 시스템에 감쇠 성능을 제공하는 제 2 지지부는 강판과 고무가 층층이 겹치는 형태로 제작이 되며 성능 향상 및 파손 방지를 위하여 본 과제에서는 제조과정과 접착방법을 개선함



(a) 하이브리드 지진격리장치의 구성도      (b) 하이브리드 지진격리장치의 복원 거동  
그림 4 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 경계 조건

- 하이브리드 지진격리장치의 비즈니스 모델 분석을 수행하여 개념 정립을 정립하고 상용화 기술에 대한 가치 창조와 수익 창출을 위한 방안을 모색함
- 하이브리드 지진격리장치의 사업화 추진 현황을 분석하기 위해 주관기관의 사업화 추진경위를 분석하고 상용화 대상 기술에 대한 개요, 내용, 우수성 및 효과를 분석함
- 비즈니스모델을 9개의 구성요소로 분류하고 수립하여 각각의 분야에서 발생할 수 있는 사업화 애로요인과 문제점을 도출하며 이를 해결하기 위해 비즈니스모델 구성요소별로 검토 및 분석을 수행함
- 고객 세분화 검토 결과 국내 공공시설물과 민간건축물 적용 실적을 바탕으로 추후 해외 판로 확보를 위한 레퍼런스를 확보함
- 가치제안 검토 결과 마찰력을 활용하여 감쇠 시스템을 형성하고 복원력을 고무가 담당하면서 두 개의 부속품들이 일체화 형태로 결합된 하이브리드 지진격리용 면진받침 장치의 안전성, 경제성, 시공용이성 및 친환경성 등의 우수성을 입증함
- 유통채널 검토 결과 하이브리드 지진격리장치의 상용화를 위해서는 해당 기술의 건설신기술을 조기 확보하여 기술 유통의 유리한 고지를 선점하는 것이 중요할 것으로 분석되었고 기존 기술의 친환경성, 경제성 등의 단점을 보완하고 내진성능, 구조적 안정성 등 면진장치가 갖출 수 있는 기술로서 건설신기술 등록 시 시장에서의 우위 선점이 가능할 것으로 분석됨

- 또한, 신기술 실적을 바탕으로 민간, 공공기관, 지자체 건설공사를 수주한 대기업·중견기업·중소기업과 전략적 제휴 및 기술이전을 바탕으로 기술 유통 필요할 것으로 분석됨
- 고객관계 및 핵심파트너십 검토 결과 다수의 시공실적을 통해 고객과의 신뢰성이 형성에 기반하여 신규 시장진출이 가능하며, 고객의 니즈에 맞추어 맞춤형 기술적용이 가능하다는 점에서 신규 고객발굴이 가능할 것으로 분석됨
- 매출구조 검토 결과 하이브리드 지진장치 고정비용을 예상하고 이에 따라 과제 종료 이후 동 기술의 투자금액에 따라 우수한 매출액과 영업이익이 창출될 것으로 분석됨
- 핵심자원 검토 결과 권리성 정도가 A등급으로 평가되어 매우 우수하고 국내외 최신 기술 동향을 반영하고 있으며 선도하는 정도가 우수하여 기술성이 BBB등급으로 평가되었으며 향후 비즈니스에 활용 가치가 매우 우수하여 활용성은 A등급으로 평가됨
- 핵심활동 검토 결과 향후 규모 8.5 지진에도 견딜 수 있는 하이브리드 지진격리장치의 실용화 및 사업화를 위해서는 성능인증 및 지침서 개발 등이 필수적인 요소로 분석됨

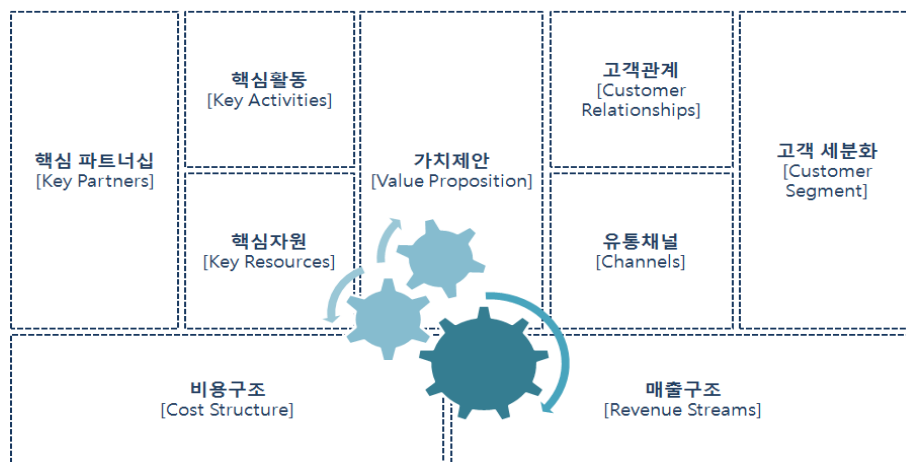
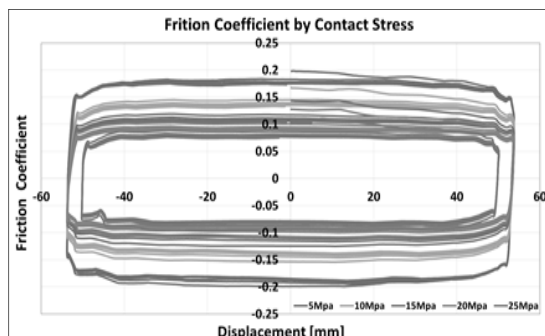
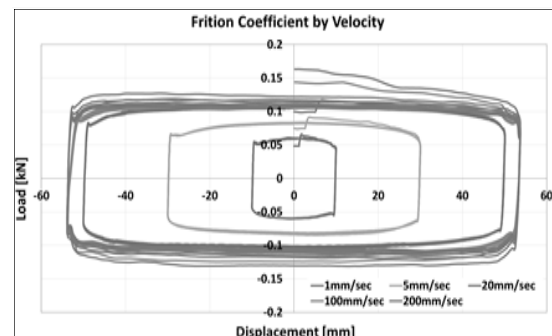


그림 5 비즈니스모델 수립을 위한 9 Block Model

- 하이브리드 지진격리장치의 최적화된 거동 특성과 형상(단면)을 확보하기 위하여 재료의 물성치 특성을 파악하고 설계 변수를 분석함
- 하이브리드 지진격리장치를 구성하는 핵심 부품인 ESM(Esco Sliding Material)의 동적 비선형 특성을 확인하고 재료의 물성을 파악함
- ESM의 마찰계수는 속도와 접촉압력에 따라 변하는 비선형 특성을 나타내며 이러한 특성은 속도가 증가함에 따라 마찰계수가 증가하는 양상을 나타내고 접촉압력이 증가함에 따라 마찰계수가 감소하는 양상을 나타냄



(a) 면압에 따른 마찰계수

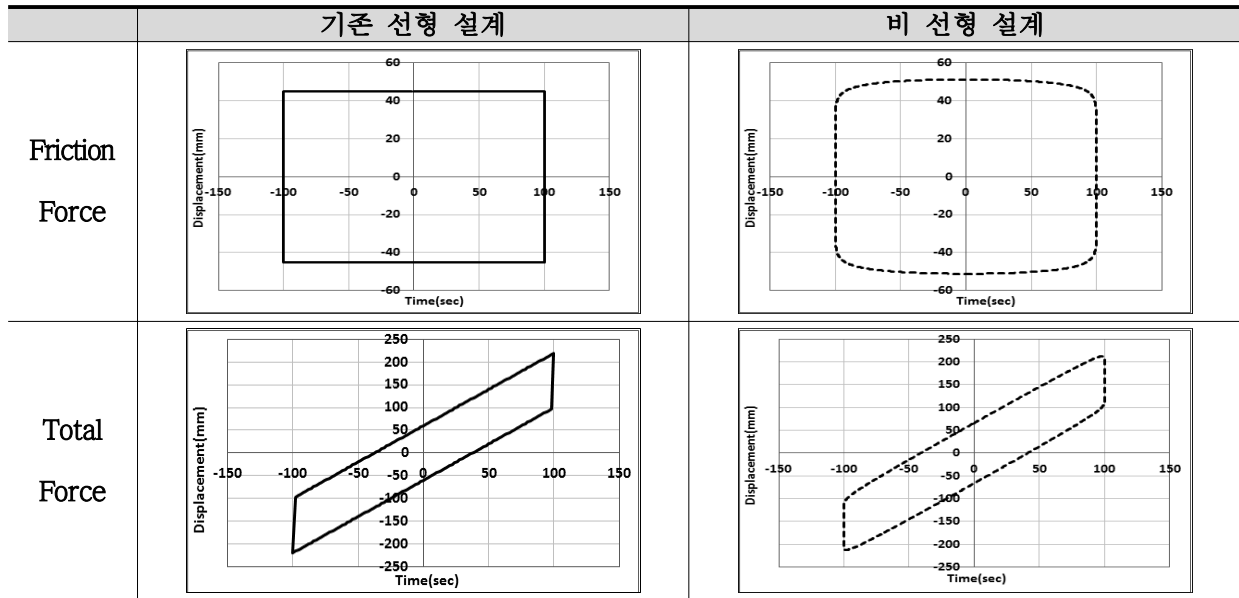


(b) 속도에 따른 마찰계수

그림 6 ESM의 면압 및 속도에 따른 마찰계수 특성

- 또한,  $\mu(v) = \alpha + \beta(v)$ 와 같은 마찰 방정식에 의한 마찰계수를 정의하고 non-linear cure fitting을 통해 모사한 마찰계수 실험 결과를 비교하여 응력에 의한 마찰계수 특성을 검토함
- 마찰계수는 점착응력, 속도, 거동거리에 의존하는 것으로 분석되었고 하이브리드 지진격리 장치의 동적 비선형 거동을 예측하기 위하여 주요 해석변수인 마찰재의 마찰계수에 대한 비선형 거동방정식을 기존 문헌과 추가적인 시험을 통해 유도함

표 4 비선형 거동방정식을 적용한 설계 예측



- 부품의 물성치, 규격, 부속품들의 성능을 결정하기 위하여 고무와 마찰재의 재료 시편에 인장하중, 압축하중 등을 가하여 재료의 특성을 확인하는 재료실험을 수행함
- 고무의 물리적 특성을 확인하기 위해 KS M 6518 : 2016 규정을 참고하여 0.4MPa, 0.9MPa의 하중에 대한 재료 성능 실험을 수행하여 신장률, 영구압축줄임률, 인장강도를 측정함
- 0.45MPa의 하중을 재하한 경우 신장률  $4.8 \times 10^2$ , 영구압축줄임률 13%, 인장강도 21.8MPa의 결과를 나타냈고 0.45MPa의 하중을 재하한 경우 신장률  $7.2 \times 10^2$ , 영구압축줄임률 13%, 인장강도 13.6MPa의 결과를 나타내어 먼진반침의 예상 성능에 부합하는 고무 재료의 성능을 확인함



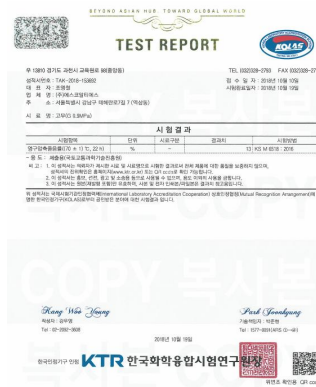
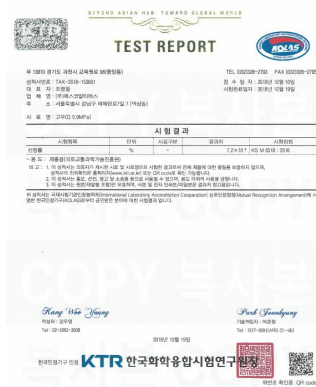
(a) 0.45MPa 신장율



(b) 0.45MPa 영구압축줄임률



(c) 0.45MPa 인장강도



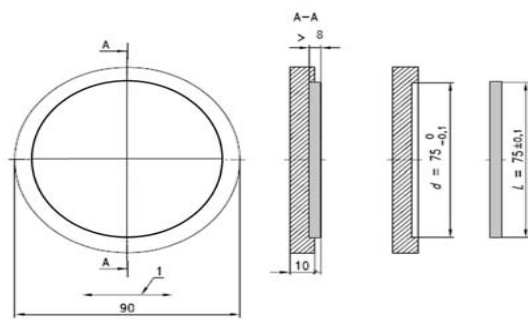
(d) 0.90MPa 신장율

(e) 0.90MPa 영구압축줄음률

(f) 0.90MPa 인장강도

그림 7 공인시험기관(KTR) 시험성적서

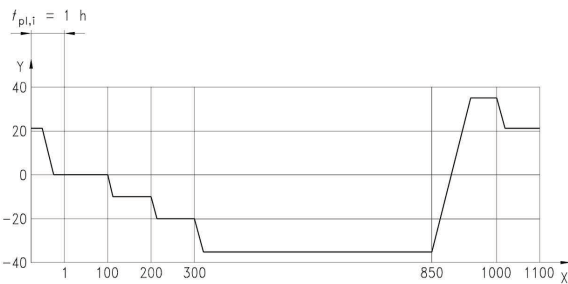
- 마찰재의 동적 비선형 특성을 확인하기 위해 BS EN 1337-2 규정을 참고하여 시험하였으며, 직경 $\phi 75\text{mm}$ , 두께 8mm의 시편을 사용하여 내구성능시험을 수행함
- 0.4mm/s의 일정한 속도와 단계별 온도 변화(0, -10, -20, -35, 35, 21℃)로 시험하는 Type-A와 2mm/s의 일정한 속도에 일정한 온도(21℃)를 유지하며 시험하는 Type-B로 구분하고, Type-A 11회, Type-B 10회를 반복하여 총 21회 반복시험으로 최종 이동거리 10,242m에 대해 시험을 수행함
- Type-A의 시험에서 온도변화에 따라 마찰계수의 변화를 확인하였으나 온도에 따른 규칙적인 변화는 확인할 수 없었고 누적이동거리에 따라 마찰계수가 증가함을 확인하였고 Type-B의 시험은 Type-A의 결과와 유사하게 누적이동거리에 따라 정적마찰계수가 증가하는 것을 확인함



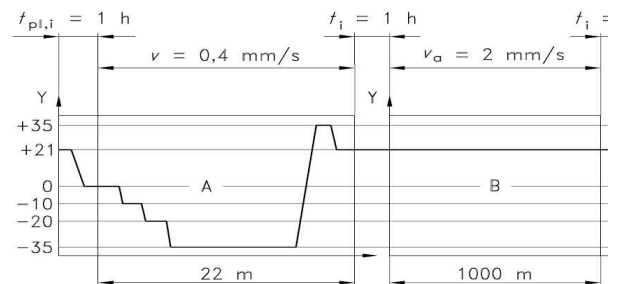
(a) 시험시편규격



(b) 시험장비 전경



(c) A-Type 사이클 별 온도변화 그래프 모식도



(d) Type간 시험속도, 이동거리, 온도변화 그래프 모식도

그림 8 재료실험 시편, 장비 및 결과

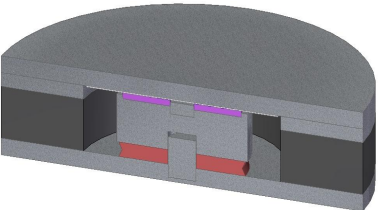
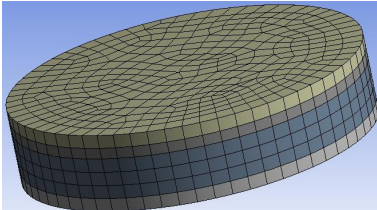
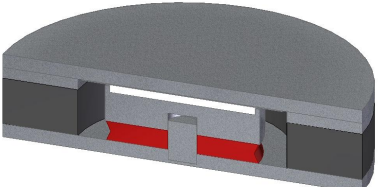
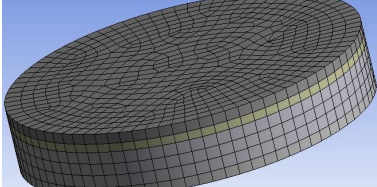
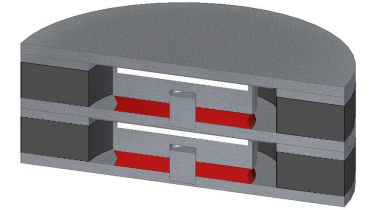
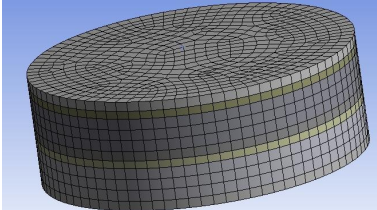
- 개발된 면진 받침에 전단하중-변위 이력 거동을 예측하고 최적화 설계변수 검토를 위하여 재료실험에서 얻어진 물성치를 활용하여 3차원 유한요소해석 모델을 제작하고 상용해석 프로그램을 사용하여 정밀한 해석을 수행하고 결과를 분석함
- 이전에 특허 등록과 기초 연구 단계에서 시제품 제작을 위하여 단순한 방법으로 유한요소 해석을 수행하였으나 해석 결과의 정확성과 신뢰성을 확보하지 못하여 검증된 상용 해석 프로그램을 사용하여 정밀한 유한요소해석을 수행하여 면진받침의 정확한 거동을 예측함
- 탄성패드 및 고무의 경우에는 응력-변형률 수치를 프로그램에서 제공하는 Nonlinear Hyperelastic Material Model을 사용하여 하중-변위 거동을 유한요소해석을 통하여 모사함

표 5 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 해석에 사용된 재료 물성치

| Classification      |       | Density   | Young's Modulus | Poisson's Ratio |
|---------------------|-------|-----------|-----------------|-----------------|
|                     |       | t/mm3     | MPa             | -               |
| Steel               |       | 7.85E-009 | 205,000         | 0.300           |
| Engineering Plastic |       | 1.22E-009 | 2,000           | 0.420           |
| Rubber              | 0.45G | 3.74E-011 | 1.3437          | 0.493           |
|                     | 0.90G |           | 2.6874          |                 |
|                     | 1.10G |           | 3.2846          |                 |

- 면진받침을 구성하는 부품은 Steel, Engineering Plastic, Rubber로 구성되어 있으며, 각 재료의 역학적 물성치는 표 5와 같음
- Rubber의 경우에는 전단탄성계수(G)에 따라 Case Study를 진행하였으며, 이에 따른 탄성계수는  $E = 2G(1 + \nu)$  식에 따라 계산하였음. 여기서, E는 탄성계수(Young's Modulus),  $\nu$ 는 포아송비(Poisson's Ratio)임
- 해석에서 사용한 모델은 표 6과 같이 3가지로 구분되어 있으며, 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 용량 및 수용 변위에 따라 구분하였음

표 6 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 해석 모델

| Classification                            | 3D Model                                                                            | Analysis Model                                                                        |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 200t RFB<br>(설계변위 : 50mm)                 |  |  |
| 500t RFB<br>(설계변위 : 50mm)                 |  |  |
| 500t RFB - Second Floor<br>(설계변위 : 100mm) |  |  |

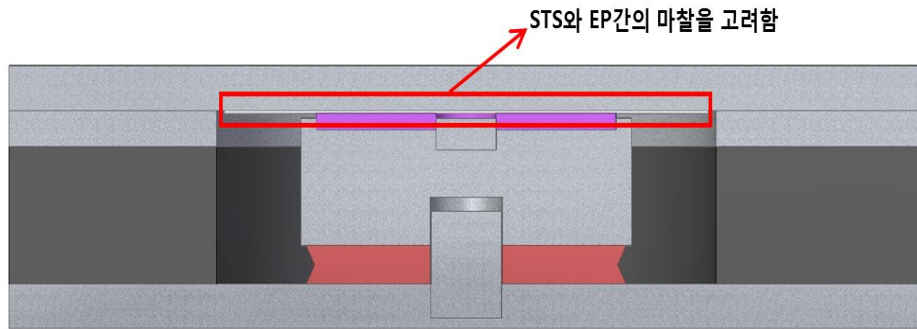
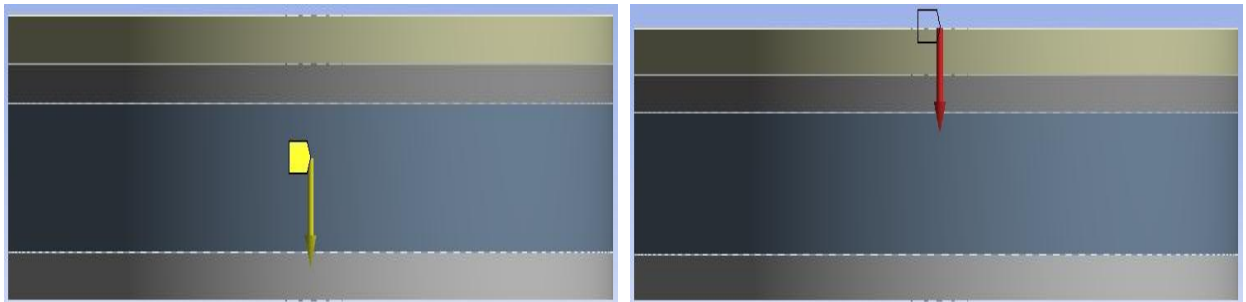


그림 9 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 STS와 EP의 마찰 조건

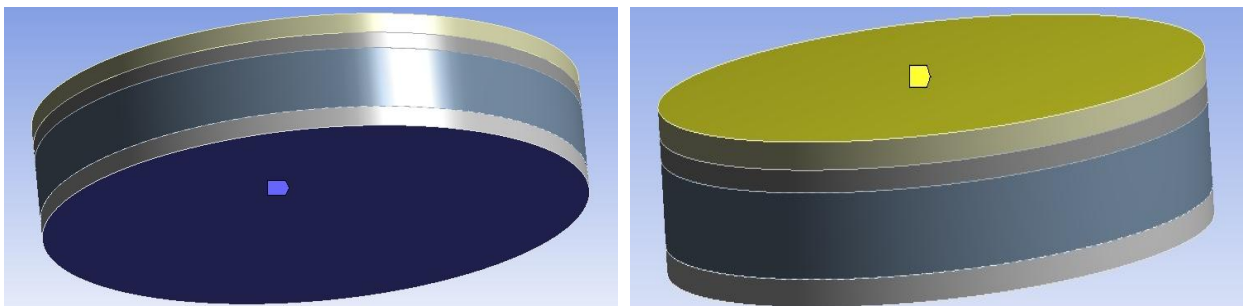
- 철판의 경우에는 일반적인 Plasticity Material Model을 사용하여 재료적 성질을 모사(Simulation)하며 Tie를 사용하여 고무와 접착하는 형식으로 적층하여 모형화함
- 제 1 미끄럼층의 경우에는 재료의 전단 마찰 실험으로 얻어진 마찰계수를 사용하여 Surface Interaction 방법을 사용하여 표면에 발생하는 마찰력을 모사함
- 그림 9와 같이 STS와 EP간 마찰을 고려하였으며, 마찰계수는 0.045, 0.060, 0.063을 사용하고 STS와 EP의 접촉 부분을 제외한 모든 부분은 Bonded 기능을 사용함
- 외측 적층 고무 단면에 강재 Plate가 들어가 있으나, 해석에서는 크게 영향이 없으므로 해석에서 제외함



(a) 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 자중 적용 (b) 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 고정 하중

그림 10 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 하중 조건

- 각각의 부속품들은 모두 3차원 솔리드 요소를 사용하여 모형화하며 각각의 지지부에서 작용하는 자중을 고려하여 등분포 압축하중을 재하하여 해석을 수행함



(a) 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 고정단 (b) 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 변위제어

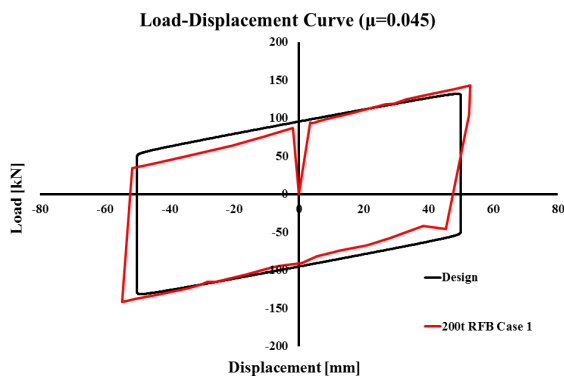
그림 11 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 경계 조건

- 그림11 (a)와 같이 면진 받침 하부에 Fixed Support 조건을 사용함. 장치의 용량을 상부 하중으로 재하시킨 후 (b)와 같이 변위 제어를 진행함(1층의 경우 설계 변위 50mm를 제어하였으며, 2층의 경우 설계 변위 100mm를 제어함)
- 부속품의 규격과 재료의 물성치를 설계 변수로 적용하여 다양한 유한요소해석모델을 제작하고 해석을 수행하여 면진 받침에 전단하중-변위 이력곡선을 모사하고 각 모델별로 얻어진 이력곡선에서 강도 성능, 복원 성능, 에너지 소산 성능, 파괴모드 등을 비교·평가함
- 용량 200t 기준 설계 변위 50mm 일 때, 마찰계수 0.045를 사용하여 설계 및 해석을 진행하고 설계 이론으로 산출된 설계 히스테리시스와 해석으로 산출된 히스테리시스 결과와 비교하여 설계 이론에 대해 검증함
- 용량 500t 기준 설계 변위 100mm 일 때의 성능을 확인하기 위해 설계 및 해석을 진행하고 최대 요구 성능 450kN을 산출된 히스테리시스 결과를 통해 확인함

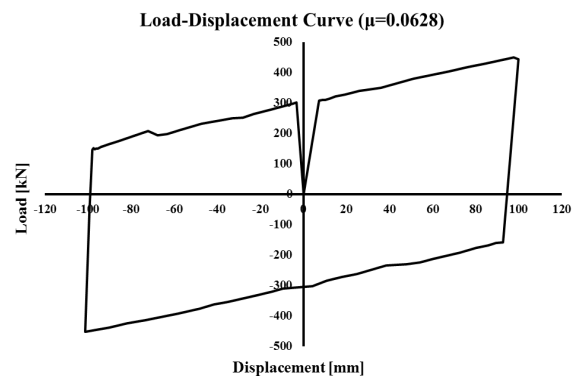
표 7 하이브리드 지진격리용 면진 받침의 각 해석 모델(Case Study)

| Classification |     | Displacement | Shear Modulus | Friction Coefficient |
|----------------|-----|--------------|---------------|----------------------|
| Capacity       | No. | mm           | MPa           | -                    |
| 200t           | 1   | 50           | 0.45          | 0.045                |
|                | 2   |              |               | 0.060                |
|                | 3   |              | 0.90          | 0.045                |
|                | 4   |              |               | 0.060                |
|                | 5   |              | 1.1           | 0.045                |
|                | 6   |              |               | 0.060                |
| 500t           | 7   |              | 0.45          | 0.045                |
|                | 8   |              |               | 0.060                |
|                | 9   |              | 0.90          | 0.045                |
|                | 10  |              |               | 0.060                |
|                | 11  |              | 1.1           | 0.045                |
|                | 12  |              |               | 0.060                |

- 표 7과 같이 12가지의 조건에 대해 해석을 진행함. Case Study는 장치의 용량, Rubber의 전단탄성계수 및 STS와 Engineering Plastic 사이의 마찰계수를 변수로 선정하여 구성함

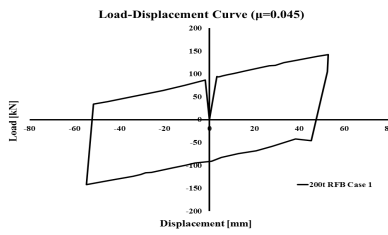


(a) 설계 및 해석 결과 비교

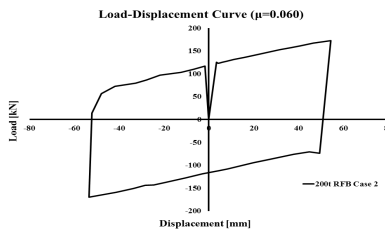


(b) 2층 500t에 대한 해석 결과

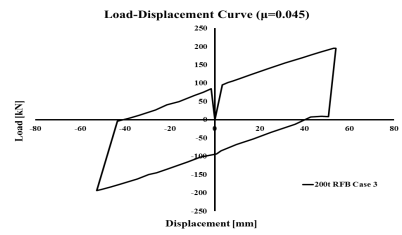
그림 12 하이브리드 지진격리장치의 유한요소 해석 결과



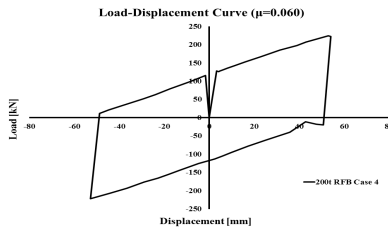
(a) Case 1 해석결과



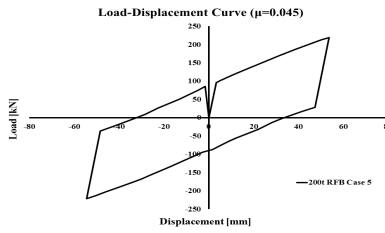
(b) Case 2 해석결과



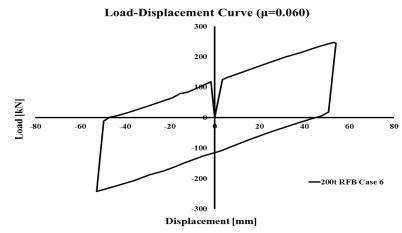
(c) Case 3 해석결과



(d) Case 4 해석결과

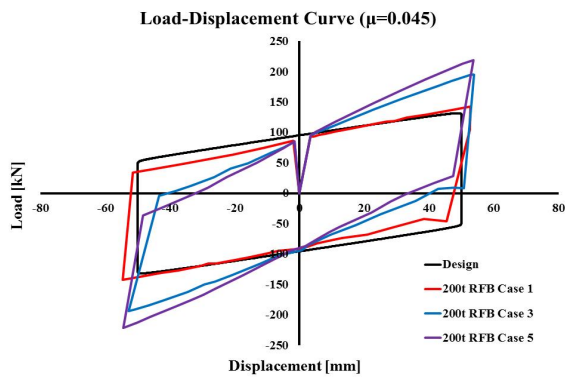


(e) Case 5 해석결과

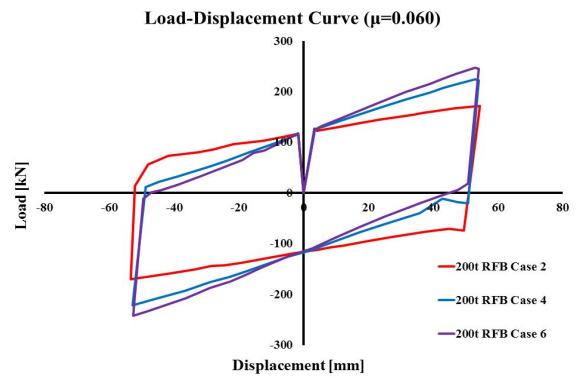


(f) Case 6 해석결과

그림 13 하이브리드 지진격리장치의 설계 변수에 따른 해석 결과(200t 기준)

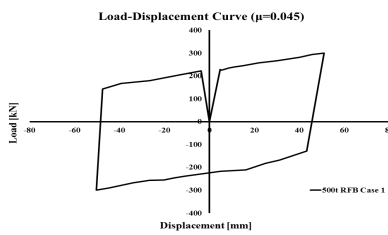


(a) 마찰계수 0.045에 따른 해석결과 비교

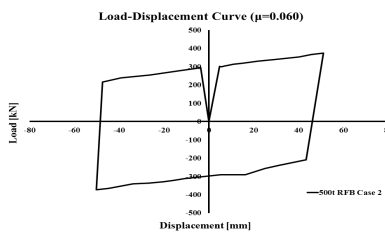


(b) 마찰계수 0.060에 따른 해석결과 비교

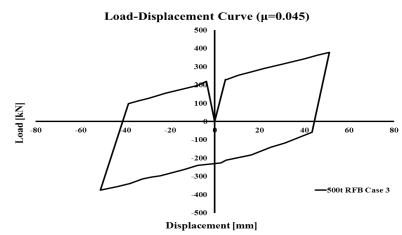
그림 14 하이브리드 지진격리장치의 마찰계수 및 전단탄성계수별 해석결과(200t 기준)



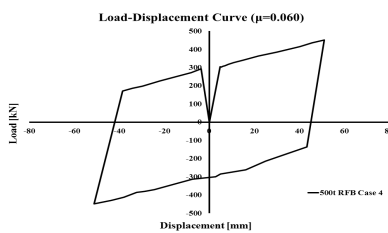
(a) Case 7 해석결과



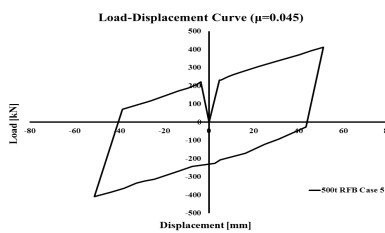
(b) Case 8 해석결과



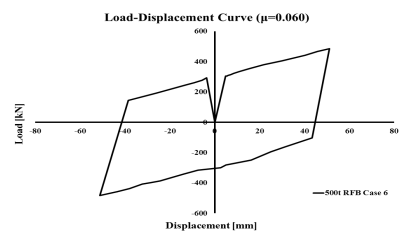
(c) Case 9 해석결과



(d) Case 10 해석결과

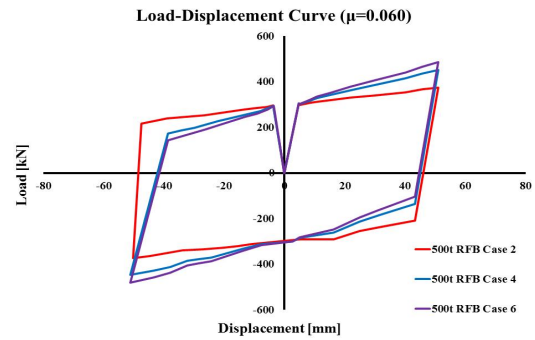
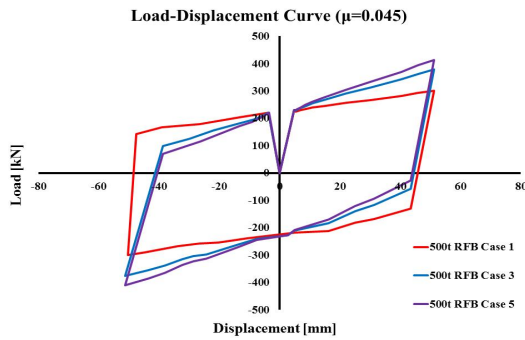


(e) Case 11 해석결과



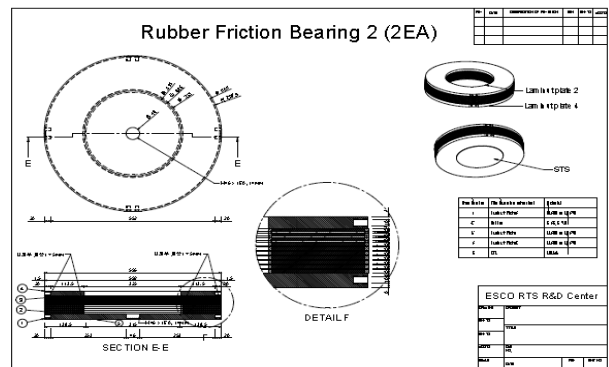
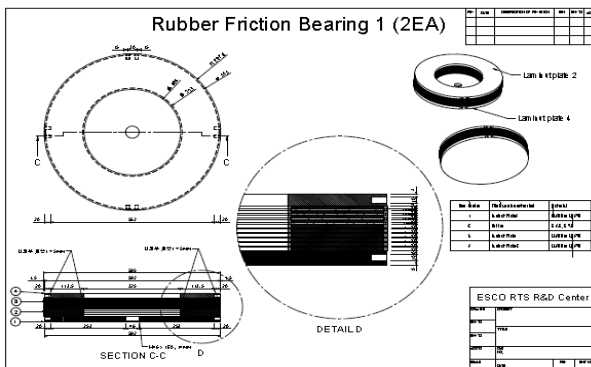
(f) Case 12 해석결과

그림 15 하이브리드 지진격리장치의 설계 변수에 따른 해석 결과(500t 기준)

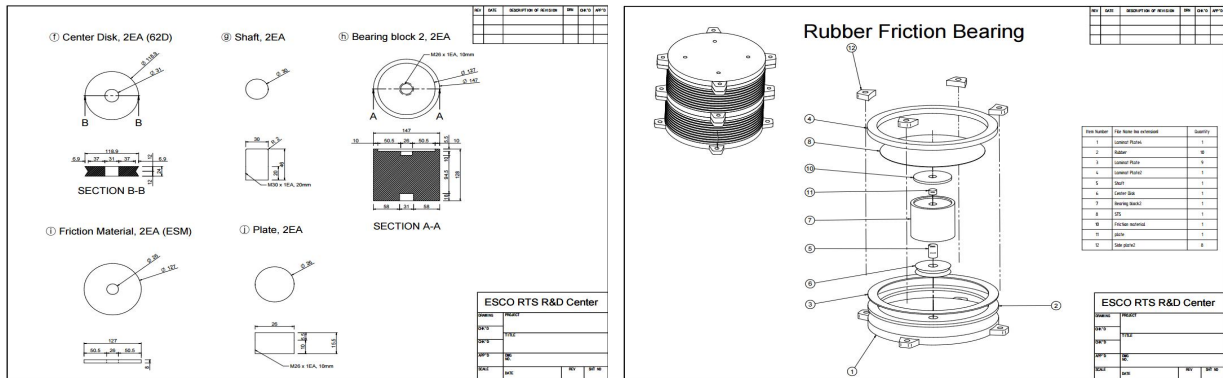


(a) 마찰계수 0.045에 따른 해석결과 비교 (b) 마찰계수 0.060에 따른 해석결과 비교  
그림 16 하이브리드 지진격리장치의 마찰계수 및 전단탄성계수별 해석결과(500t 기준)

- 하이브리드 지진격리장치의 이론적 설계와 해석 결과를 비교했을 때 오차율은 낮으며 상부 고정하중이 증가함에 따라 작용 하중 및 변위가 증가하는 것을 볼 수 있음
- 하이브리드 지진격리장치의 요구성능을 해석적으로 검증한 결과 상부 고정하중 200ton 기준으로 동일한 마찰계수에 대한 전단탄성계수 증가는 기울기 증가로 인한 최대 강도 성능의 증가를 나타내고 먼진 받침의 거동특성은 안정적인 성능을 나타냄
- 또한, 상부 고정하중을 500ton으로 증가시킨 경우에도 최대 강도 성능은 200ton의 경우에 비해 약 2배 정도 증가되고 유사한 거동특성을 나타내며 안정적인 결과를 보여줌
- 탄성(고무)패드, 마찰부재, 강판적층 고무받침 플레이트 등 제안된 장치를 구성하는 부속품들의 물성치와 규격 등을 설계 변수로 산정하여 모델을 제작하고 해석 결과를 바탕으로 성능 검증을 위한 실험용 시험체(Specimen)의 상세 설계를 실시함
  - 해석 결과를 토대로 요구 성능을 만족시키는 모델들을 선별하고 장치를 구성하는 부속품들의 물성치와 규격을 선정하여 최적의 단면을 가지는 시스템을 개발하고 시험체 제작을 위하여 시험체에 상세설계를 수행함
  - 실험과 해석을 바탕으로 상세설계를 수행하여 설계의 효율성을 확보하고 제품의 표준화와 규격화를 위하여 새로운 설계기법을 개발함
  - 설계 변수에 따른 거동특성의 영향력을 정확히 예측하기 위하여 정형화된 수식과 부속품들의 규격표를 개발하고 설계의 편의를 도모하기 위하여 Matlab을 사용하여 설계 소프트웨어(Software, SW)를 개발함



(a) STS판 미적용 지진격리장치 (b) STS판 적용 지진격리장치  
그림 17 하이브리드 지진격리장치의 설계 도면

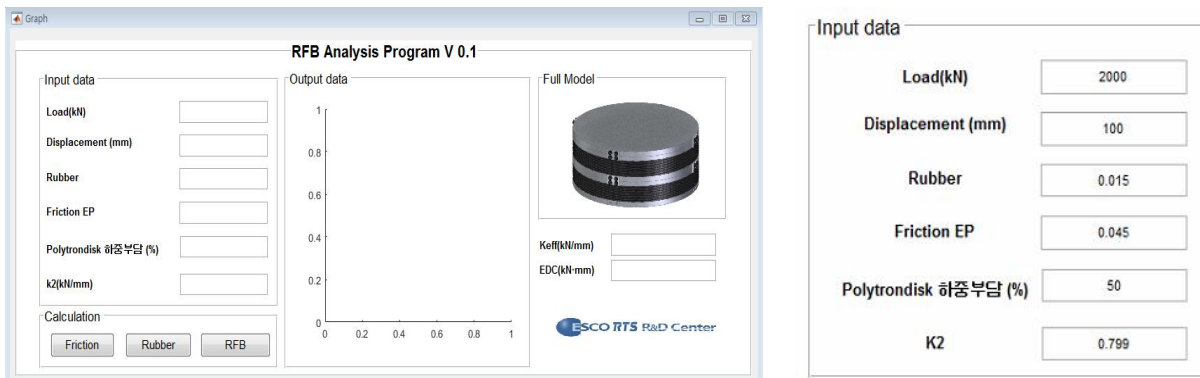


(a) 지진격리장치 요소 부품

(b) 하이브리드 지진격리장치 구성도

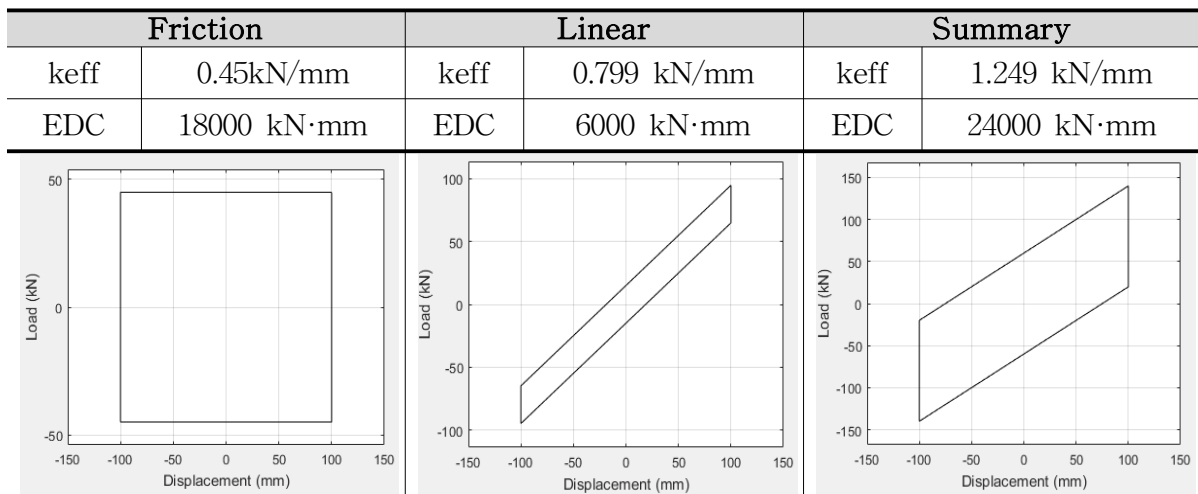
그림 18 하이브리드 지진격리장치의 구성부품 설계 도면

- RFB 면진장치 설계 Software는 다양한 설계 변수(Load(kN): 수직하중, Displacement(mm): 설계변위, Rubber: 고무의 항복력, Friction EP: Engineering plastic 마찰계수, Polytron disk 하중부담(%): 수직하중에 대한 Disk의 하중 분담율, k2(kN/mm): 고무의 수평강성)를 입력하여 성능(keff(kN/mm): 유효강성, EDC(kN·mm): 한 Cycle당 소산된 에너지량)을 결과 값으로 도출 가능함



(a) 개발된 Software의 Interface

(b) Software Input Data



(c) Software Output Data 예시

그림 19 지진격리장치 설계를 위해 개발된 Software

## (2) 2차 년도

- 실험을 통한 성능 검증을 위하여 상세설계에서 완성된 RFB 면진 받침 모델들을 직접 시험체로 제작하고 실험을 위한 준비 작업을 수행함
  - 하이브리드 면진 받침에 작용하는 다양한 하중에 대한 구조적 안정성 확보를 위해 구조계산을 수행하여 면진받침을 구성하는 요소부재의 형상, 단면, 치수 등의 세부적인 설계 단면을 확보하고 설계의 유효성을 검증함
  - 면진 받침의 물성은 설계조건, 디폴트값에 대해 구조계산을 수행하여 강성, 주기, 에너지 소산, 감쇠 값 등을 산정함
  - 면진 받침을 구성하는 부품인 Friction material의 지압, Rubber와 Polytron disk의 조합강성 및 처짐량, Polytron disk의 최대 회전각, Side Plate의 모재 파괴 및 지압, Center shaft의 전단, 지압 및 휨 등에 대해 안정성 검토를 수행하여 설계를 수행하였으며 모두 허용범위 내의 결과를 나타냄

### Summary of Rubber Friction Bearing 1.0 Ver.

| 1. Design condition       |       |                    |                           |       |              |                        |        |          |                              |        |            |                |             |           |             |                 |        |      |             |
|---------------------------|-------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|------------------------|--------|----------|------------------------------|--------|------------|----------------|-------------|-----------|-------------|-----------------|--------|------|-------------|
| Load                      |       | Polytron<br>하중부담비율 | Load(Polytron)            |       | Displacement |                        | 고무층 개수 | 변형률      | SF                           |        | 포아송 비      | Total<br>수직 강성 | 수직 강성       |           | 회전강         | Friction coeff. |        | 충 개수 | 변위 발생       |
| 지진시                       | 상시    |                    | 지진시                       | 상시    | 지진시          | 상시                     |        |          | Polytron                     | Rubber |            |                | Polytron    | Rubber    |             | EP              | Rubber |      |             |
| 60 kN                     | 46 kN | 95%                | 57 kN                     | 44 kN | 100 mm       | 0 mm                   | 10 EA  | 100%     | 1                            | 1.63   | 0.493      | 20,000N/mm     | 45,462N/mm  | 2,010N/mm | 0.013 rad   | 13.30%          | 1.5%   | 2 EA | NO          |
|                           |       |                    |                           |       | 200 mm       | 0 mm                   |        |          | 0.99                         | 1.63   |            | 47,472N/mm     | 95.8%       | 4.2%      | 0.745 °     | 35 MPa          |        |      |             |
| 2. Default value          |       |                    |                           |       |              |                        |        |          |                              |        |            |                |             |           | 3. Property |                 |        |      | Total check |
| Center shaft 지름 안전율       |       | 1.5                | Center shaft 지압 높이 여유     |       | 10 mm        | 전단탄성계수(Rubber)         |        | 0.45 MPa | Polytron Disk 개수             |        | 2 EA       | Keff           | 131 N/mm    | OK        |             |                 |        |      |             |
| Ec 결정계수(a)                |       | 0.5                | Rubber 변위 발생시 여유          |       | 10 mm        | Middle plate 외경 여유     |        | 10 mm    | Middle plate(steel) 내부 높이 여유 |        | 5 mm       | Qd             | 7,626 N     |           |             |                 |        |      |             |
| Side plate X방향 길이 결정 계수   |       | 3                  | Side plate Y방향 길이 결정 계수   |       | 2.5          | Bolt 지름 여유             |        | 0 mm     | Friction material 두께         |        | 8 mm       | Period         | 1.36 sec    |           |             |                 |        |      |             |
| Laminate plate 3 두께 결정 여유 |       | 5 mm               | Laminate plate 4 두께 결정 여유 |       | 5 mm         | Side plate 2 두께 최소값    |        | 10 mm    | Polytron Disk 탄성계수           |        | 70 MPa     | EDC            | 6,101 kN/mm |           |             |                 |        |      |             |
| Δ L                       |       | 440 mm             | STS 두께                    |       | 1.5 mm       | Friction material 내외경비 |        | 0.2      | 시험 속도                        |        | 100 mm/sec | k2             | 92 N/mm     |           |             |                 |        |      |             |
| Contact stress            |       | 5 MPa              |                           |       |              |                        |        |          |                              |        |            | k1             | 9,533 N/mm  |           |             |                 |        |      |             |
|                           |       |                    |                           |       |              |                        |        |          |                              |        |            | Damping        |             |           | 18.59%      |                 |        |      |             |

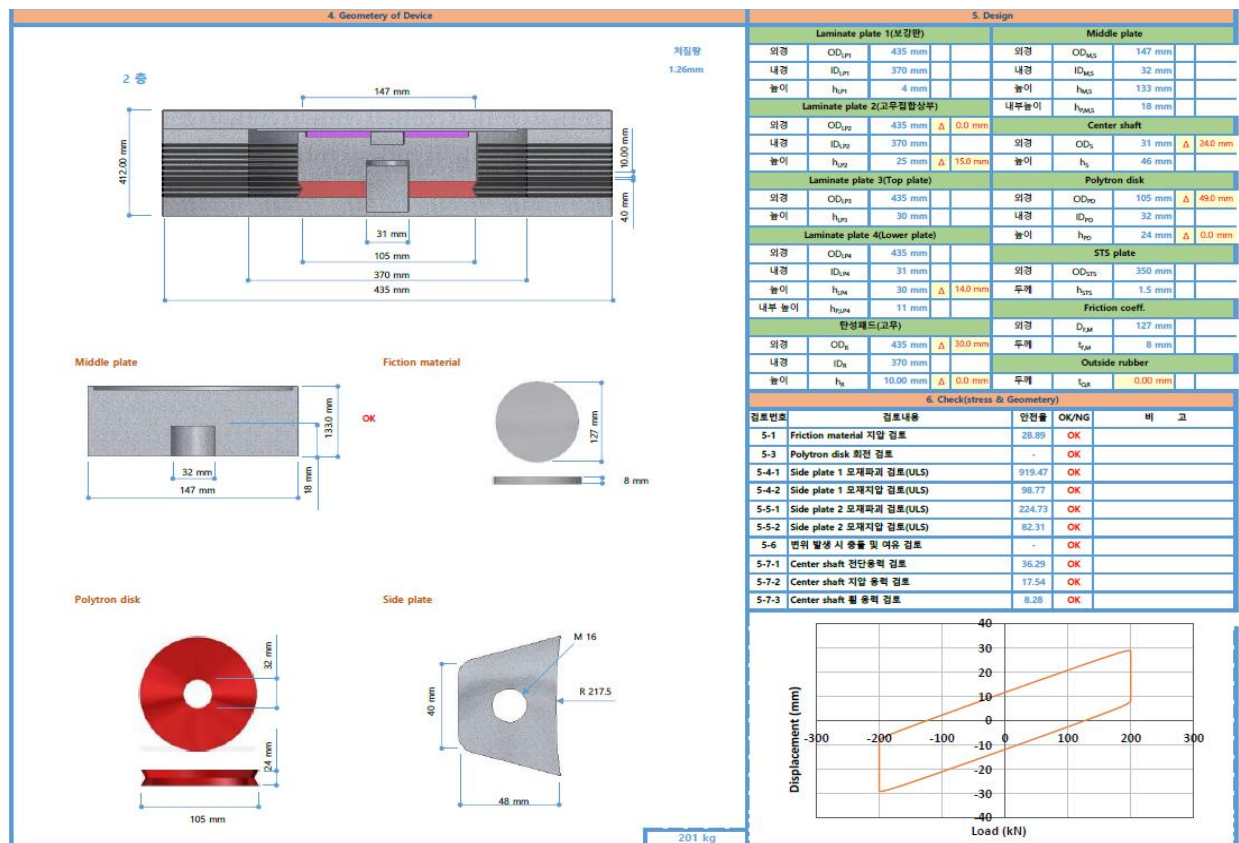


그림 20 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 구조계산

표 8 장치에 활용된 재료의 물성치

| EP   |                           | 폴리우레탄 |                           | Steel |                           | Rubber(0.45MPa) |                           | Rubber(0.90MPa) |                           |
|------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| 밀도   | 1220.00 kg/m <sup>3</sup> | 밀도    | 1050.00 kg/m <sup>3</sup> | 밀도    | 7833.00 kg/m <sup>3</sup> | 밀도              | 1170.00 kg/m <sup>3</sup> | 밀도              | 1170.00 kg/m <sup>3</sup> |
| 탄성계수 | 1378.95 MPa               | 탄성계수  | 42.50 MPa                 | 탄성계수  | 199947.95 MPa             | 탄성계수            | 1.344 MPa                 | 탄성계수            | 2.687 MPa                 |
| 팽창비  | 0.40                      | 팽창비   | 0.40                      | 팽창비   | 0.29                      | 팽창비             | 0.493                     | 팽창비             | 0.493                     |
| 항복력  | 37.92 MPa                 | 항복력   | 0.00 MPa                  | 항복력   | 262.001 MPa               | 항복력             | 0.000 MPa                 | 항복력             | 0.000 MPa                 |
| 최종대력 | 0.00 MPa                  | 최종대력  | 0.00 MPa                  | 최종대력  | 358.527 MPa               | 최종대력            | 0.000 MPa                 | 최종대력            | 0.000 MPa                 |
| 연신율  | 0.00%                     | 연신율   | 0.00%                     | 연신율   | 0.00%                     | 연신율             | 0.00%                     | 연신율             | 0.00%                     |
| 마찰계수 | 0.133                     |       |                           |       |                           |                 |                           |                 |                           |

- 마찰면의 면적과 마찰계수, 탄성패드의 물성치와 규격, 철판이 적층된 고무 지지대의 물성치와 규격 등을 설계 변수로 두어 다양한 시험체 모델을 주문 제작함
- 하이브리드 면진 받침의 외부는 고무와 스틸의 적층 구조로써 압축 변형시 고무 측면의 팽출 현상을 억제하여 내하력을 증가시키고 잔류 변형을 최소화하기 위한 복원력을 제공함
- 내부 중공부는 붉은색의 폴리우레탄 디스크와 보라색의 ESM(Esco Sliding Material)은 마찰재로써 마찰을 줄여주어 지진 시 감쇠 성능을 발휘하고, 붉은색의 폴리우레탄 디스크는 수직 하중에 저항하고 회전 변위를 수용함
- 효율적인 성능발현을 위하여 1개의 받침 모델뿐만 아니라 전단하중에 대한 변위를 조절하기 위해 면진장치를 2단으로 쌓아올린 적층 구조로 면진 받침 모델을 제작함

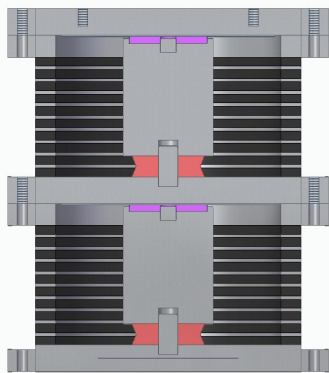
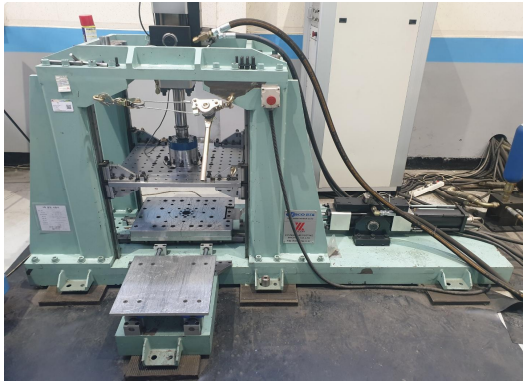


그림 21 면진장치의 단면도    그림 22 면진장치의 입면도    그림 23 그림 23 제작된 RFB 실험체 전경

- 면진장치의 특성실험을 위해 2축 동적실험기를 활용하여 전단특성실험을 수행함
- 실험체는 전단탄성계수 0.45MPa 장치를 1~5번 0.90MPa 장치를 6~10번으로 지정하고, 설계수직하중인 60kN을 재하한 상태에서 설계변위인  $\pm 50\text{mm}$ 를 속도 100mm/s로 6회 반복 가력 하여 6회 반복 가력 중 2번째부터 6번째 이력곡선 각각을 평균하여 계산함
- 실험체 상태점검을 위해 실험 시작 전/중/후에 육안으로 형상 및 손상에 대한 외관검사를 수행함



(a) 2층 동적 실험기 전경



(b) 수직하중 재하 전경



(c) 전단시험 전경

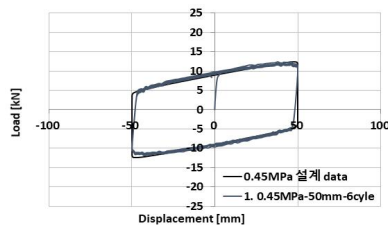
그림 24 하이브리드 면진장치 거동 시험 장비 및 수행 전경

표 9 RFB 면진장치 실험 case

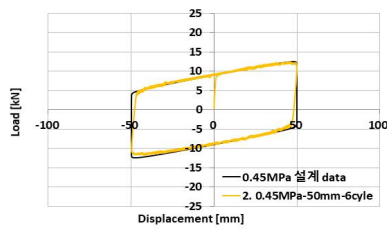
| 실험 case | 전단탄성계수 (MPa) | 수직 하중 (kN) | 변위 (mm) | 속도 (mm/s) | Cycle | 파형        |
|---------|--------------|------------|---------|-----------|-------|-----------|
| case 1  | 0.45         | 60         | ± 50    | 100       | 6     | Sine Wave |
| case 2  |              | 60         | ± 50    | 100       | 6     |           |
| case 3  |              | 60         | ± 50    | 100       | 6     |           |
| case 4  |              | 60         | ± 50    | 100       | 6     |           |
| case 5  |              | 60         | ± 50    | 100       | 6     |           |
| case 6  | 0.90         | 60         | ± 50    | 100       | 6     |           |
| case 7  |              | 60         | ± 50    | 100       | 6     |           |
| case 8  |              | 60         | ± 50    | 100       | 6     |           |
| case 9  |              | 60         | ± 50    | 100       | 6     |           |
| case 10 |              | 60         | ± 50    | 100       | 6     |           |

표 10 0.45MPa RFB 면진장치 전단특성 시험결과

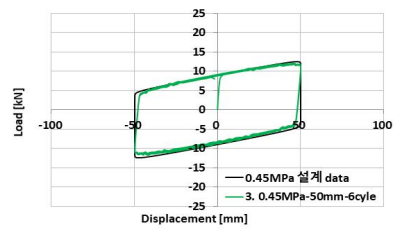
| 설계값  | $Q_d$ (kN) |      | $k_2$ (kN/mm) |      | $k_{eff}$ (kN/mm) |      | EDC (kN·mm) |       |
|------|------------|------|---------------|------|-------------------|------|-------------|-------|
|      | 8.96       |      | 0.081         |      | 0.248             |      | 1769.31     |       |
| 구분   | 실험값        | 오차율  | 실험값           | 오차율  | 실험값               | 오차율  | 실험값         | 오차율   |
| 1    | 9.55       | 6.2  | 0.08          | -1.3 | 0.24              | -3.3 | 1728.36     | -2.4  |
| 2    | 9.25       | 3.1  | 0.07          | -6.6 | 0.24              | -3.3 | 1684.48     | -5.0  |
| 3    | 9.29       | 3.6  | 0.08          | -1.3 | 0.23              | -7.8 | 1592.74     | -11.1 |
| 4    | 8.98       | 0.2  | 0.07          | -2.5 | 0.230             | -7.8 | 1563.52     | -13.2 |
| 5    | 8.66       | -3.5 | 0.08          | -1.3 | 0.23              | -7.8 | 1601.89     | -10.5 |
| Avr. | 9.15       | 2.0  | 0.07          | -2.5 | 0.23              | -6.0 | 1634.20     | -8.3  |



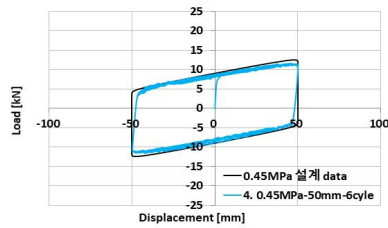
(a) 1번 실험체 하중-변위 이력곡선



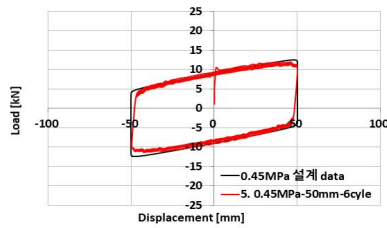
(b) 2번 실험체 하중-변위 이력곡선



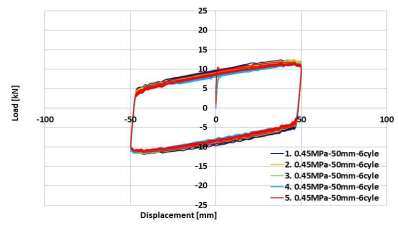
(c) 3번 실험체 하중-변위 이력곡선



(d) 4번 실험체 하중-변위 이력곡선



(e) 5번 실험체 하중-변위 이력곡선



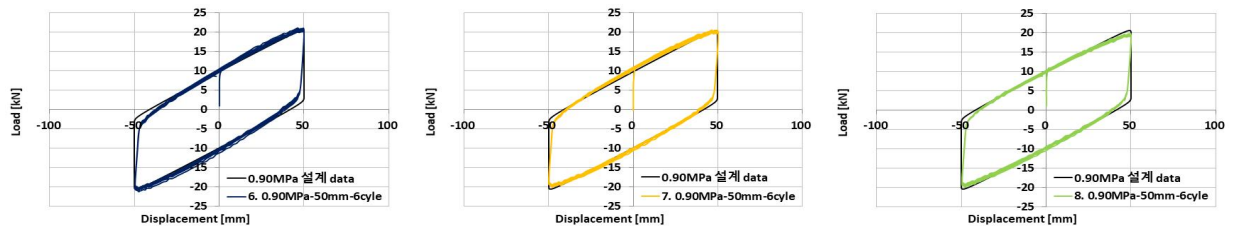
(f) 전체 실험체 하중-변위 이력곡선

그림 25 0.45MPa 실험체의 하중-변위 이력곡선

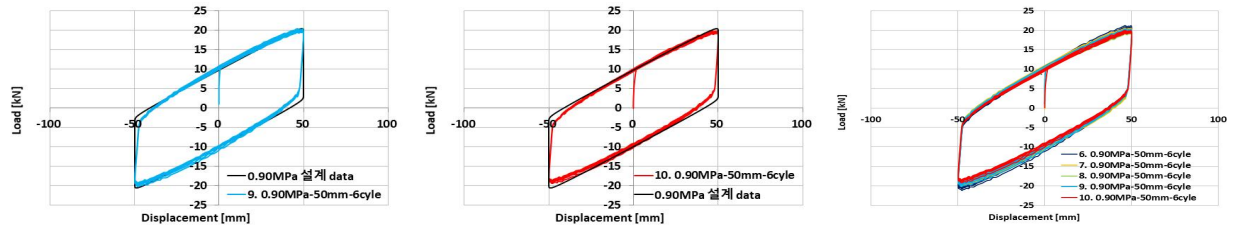
- 전단탄성계수 0.45MPa의 RFB 면진장치의 전단특성시험의 결과를 도출하여 각각의 하중-변위 이력곡선은 설계데이터와 함께 도식하여 비교분석을 수행함
- $Q_d$ 의 경우 각각의 실험체에서 최대 6%의 설계값과 오차가 발생하였고 평균적으로는 2%의 오차가 발생함.  $k_2$ 의 경우 설계치보다 최대 -6%의 낮은 실험 결과값이 나타났으며,  $k_{eff}$ 는  $k_2$ 값과 유사하게 최대 -8%의 오차가 발생함. 이는 가압성형과정에서 발생된 고무 두께의 변화로 인해 발생한 결과로 예상됨
- 전단탄성계수 0.90MPa의 RFB 면진장치의 전단특성시험결과는 표10과 같으며, 각각의 하중-변위 이력곡선은 설계데이터와 함께 도식하여 비교 분석함

표 11 0.90MPa RFB 면진장치 전단특성 시험결과

| 설계값  | Qd (kN) |      | k <sub>2</sub> (kN/mm) |     | k <sub>eff</sub> (kN/mm) |     | EDC (kN·mm) |       |
|------|---------|------|------------------------|-----|--------------------------|-----|-------------|-------|
|      | 9.86    |      | 0.23                   |     | 0.38                     |     | 1945.65     |       |
| 구분   | 실험값     | 오차율  | 실험값                    | 오차율 | 실험값                      | 오차율 | 실험값         | 오차율   |
| 6    | 9.86    | 0.0  | 0.249                  | 7.6 | 0.410                    | 7.3 | 1848.410    | -5.3  |
| 7    | 10.07   | 2.1  | 0.241                  | 4.6 | 0.400                    | 5.0 | 1873.500    | -3.9  |
| 8    | 10.46   | 5.7  | 0.232                  | 0.9 | 0.390                    | 2.6 | 1795.150    | -8.4  |
| 9    | 10.59   | 6.9  | 0.235                  | 2.1 | 0.400                    | 5.0 | 1816.410    | -7.1  |
| 10   | 9.72    | -1.4 | 0.237                  | 3.0 | 0.380                    | 0.0 | 1721.340    | -13.0 |
| Avr. | 10.14   | 2.8  | 0.239                  | 3.7 | 0.396                    | 4.0 | 1810.960    | -7.4  |



(a) 6번 실험체 하중-변위 이력곡선 (b) 7번 실험체 하중-변위 이력곡선 (c) 8번 실험체 하중-변위 이력곡선



(d) 9번 실험체 하중-변위 이력곡선 (e) 10번 실험체 하중-변위 이력곡선 (f) 전체 실험체 하중-변위 이력곡선

그림 26 실험체의 하중-변위 이력곡선

- $Q_d$ 의 경우 9번 실험체에서 가장 큰 오차율이 발생하였으며 설계값에 비해 7% 높게 나타났으나 평균값으로는 설계치에 비해 3%의 미소한 오차율이 발생함
- $k_2$ ,  $k_{eff}$ 의 경우 0.45MPa 실험체와는 달리 설계치보다 7%크게 나타났으며 평균값은 설계치에 비해 5%의 오차가 발생하였고 EDC의 경우에는 설계치에 비해 낮게 나타났으며, 10번 실험체에서 -13%의 큰 오차율이 발생함
- EDC를 제외한 모든 특성지표에서 오차율이 10%미만 이며, 이는 면진장치 설계시 마찰재의 비선형 코드를 반영함으로써 면진장치의 상세설계에 대한 신뢰도가 높아졌다고 판단됨
- 전단탄성계수 0.45MPa, 0.90MPa 면진장치의 실험 모두 실험 전, 중, 후 육안을 통한 외관검사를 실시하였으며 장치의 손상 및 변형은 발생하지 않음을 확인하였고 설계용량에 대해 충분한 성능을 발휘한다고 판단됨
- RFB 면진장치에 대한 진동대 시험을 사전 예측하기 위해 유한요소해석 프로그램인 MIDAS를 사용하여 면진해석을 수행함
- 모델링은 상부 mass를 Plate 요소를 사용하여 모델링하였고 RFB 면진장치의 중앙점에 대하여 Plate의 요소분할을 하였으며, General Link 기능을 사용하여 면진장치를 적용함

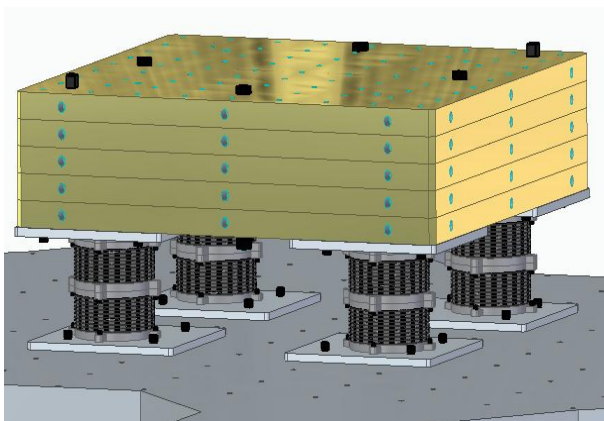


그림 27 RFB 면진장치 진동대 모델

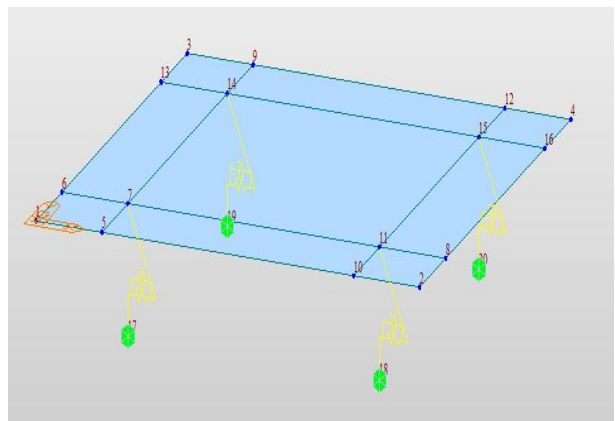


그림 28 유한요소해석 모델링

- RFB 면진장치에 대한 물성치는 전단탄성계수에 따라 2가지 경우(0.45MPa, 0.90MPa)로 나누어 해석을 진행함
- 입력 지진파는 가속도 시간이력 데이터를 이용하여, 수평 2축방향(X,Y방향)으로 지진력을 부여하였고 사용한 지진기록은 인공지진파 3개, 기록지진파 3개를 0.5g 수준으로 최대 가속도 값을 조정함
- 전단탄성계수 0.45MPa의 면진장치의 실험 결과 중 인공지진파의 저감율은 66~67%로 고르게 측정되었으며, 기록지진파는 El centro 지진의 해석결과중 X축(45%)을 제외하면 저감율은 57~65%로 측정되었음
- 전단탄성계수 0.90MPa의 면진장치의 실험 결과 중 인공지진파의 저감율은 57~61%로 고르게 측정되었으며, 기록지진파는 El centro 지진의 해석결과중 X축(10%)을 제외하면 저감율은 34~53%로 측정되었음

표 12 0.45MPa RFB 면진시스템 해석 결과

| 구분           |   | Acceleration PGA (g) |       |     | Displacement (mm) |        |
|--------------|---|----------------------|-------|-----|-------------------|--------|
|              |   | Max                  | Min   | 저감율 | Max               | Min    |
| Artificial 1 | X | 0.17                 | -0.16 | 66% | 8.02              | -17.15 |
|              | Y | 0.17                 | -0.16 | 66% | 10.78             | -15.61 |
| Artificial 2 | X | 0.16                 | -0.16 | 67% | 9.30              | -13.68 |
|              | Y | 0.17                 | -0.16 | 67% | 11.23             | -15.18 |
| Artificial 3 | X | 0.17                 | -0.17 | 66% | 13.90             | -15.62 |
|              | Y | 0.16                 | -0.16 | 67% | 13.71             | -14.51 |
| El centro    | X | 0.22                 | -0.27 | 45% | 105.64            | -56.35 |
|              | Y | 0.19                 | -0.19 | 61% | 32.12             | -37.72 |
| San F        | X | 0.16                 | -0.17 | 66% | 19.61             | -9.27  |
|              | Y | 0.15                 | -0.21 | 57% | 54.23             | -2.10  |
| James        | X | 0.19                 | -0.17 | 62% | 19.17             | -34.97 |
|              | Y | 0.15                 | -0.21 | 57% | 54.23             | -2.11  |

표 13 0.90MPa RFB 면진시스템 해석 결과

| 구분           |   | Acceleration (g) |       |       | Displacement (mm) |        |
|--------------|---|------------------|-------|-------|-------------------|--------|
|              |   | Max              | Min   | 저감율   | Max               | Min    |
| Artificial 1 | X | 0.21             | -0.19 | 58.62 | 6.00              | -10.45 |
|              | Y | 0.20             | -0.21 | 58.28 | 10.58             | -9.14  |
| Artificial 2 | X | 0.20             | -0.20 | 60.22 | 7.18              | -8.28  |
|              | Y | 0.19             | -0.19 | 61.45 | 5.14              | -6.82  |
| Artificial 3 | X | 0.20             | -0.21 | 57.49 | 11.50             | -9.70  |
|              | Y | 0.20             | -0.20 | 59.29 | 7.65              | -9.50  |
| El centro    | X | 0.40             | -0.45 | 10.12 | 71.36             | -58.28 |
|              | Y | 0.26             | -0.33 | 34.43 | 40.29             | -23.54 |
| San F        | X | 0.23             | -0.21 | 53.27 | 10.97             | -16.66 |
|              | Y | 0.21             | -0.31 | 38.76 | 35.32             | -11.31 |
| James        | X | 0.26             | -0.22 | 49.00 | 12.64             | -22.48 |
|              | Y | 0.21             | -0.31 | 38.76 | 35.32             | -11.31 |

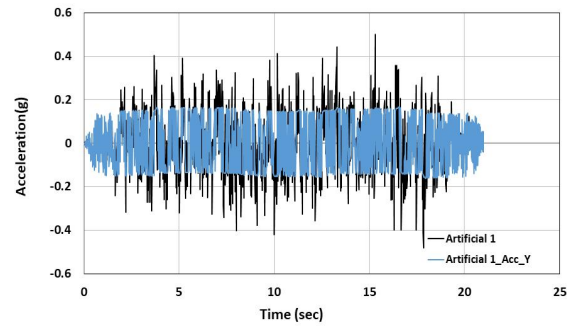
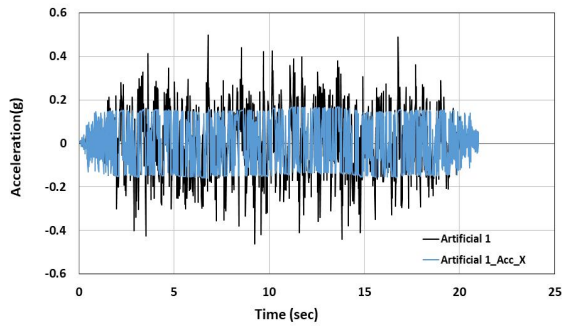


그림 29 0.45MPa 인공지진파1 해석 결과

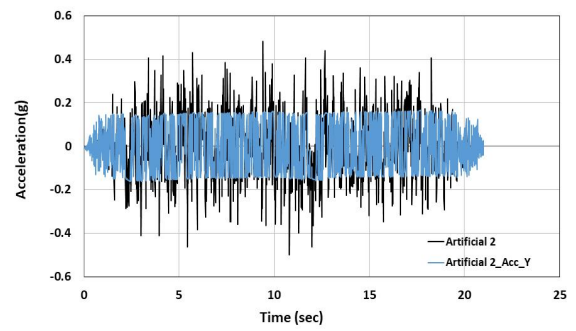
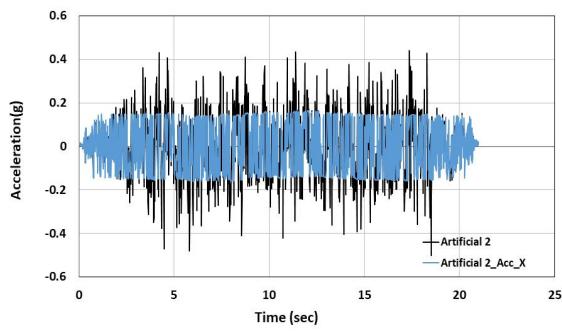


그림 30 0.45MPa 인공지진파2 해석 결과

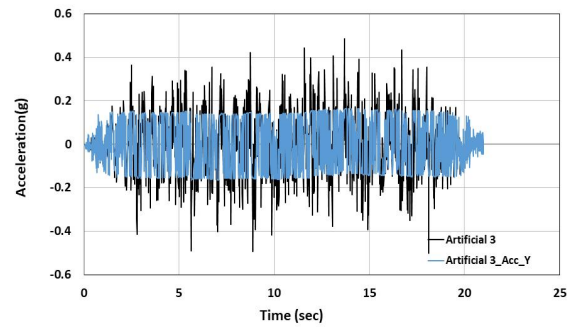
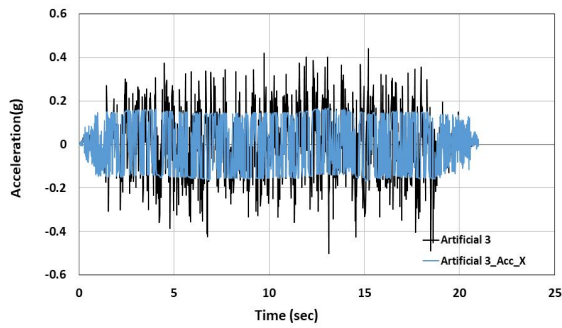


그림 31 0.45MPa 인공지진파3 해석 결과

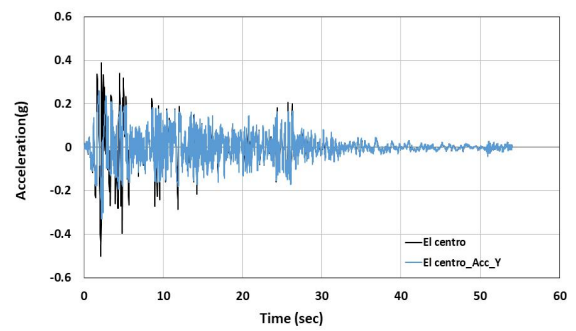
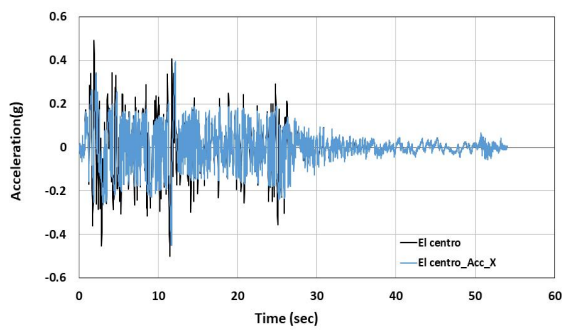


그림 32 0.45MPa Elcentro 지진파 해석 결과

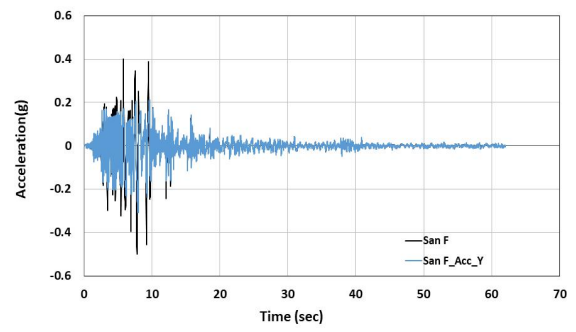
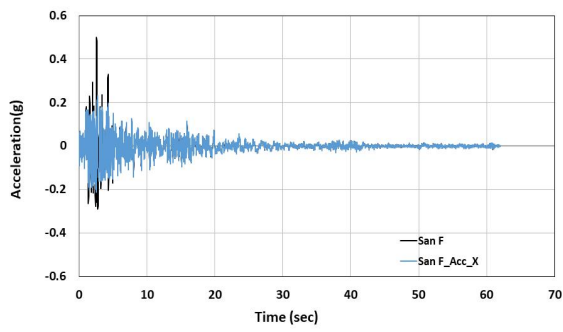


그림 33 0.45MPa San F 지진파 해석 결과

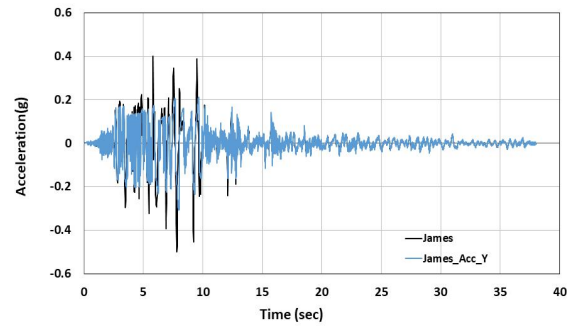
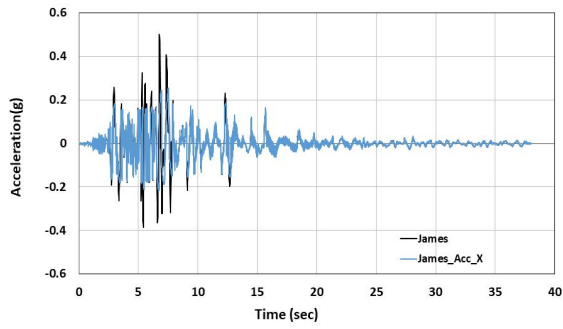


그림 34 0.45MPa James 지진파 해석 결과

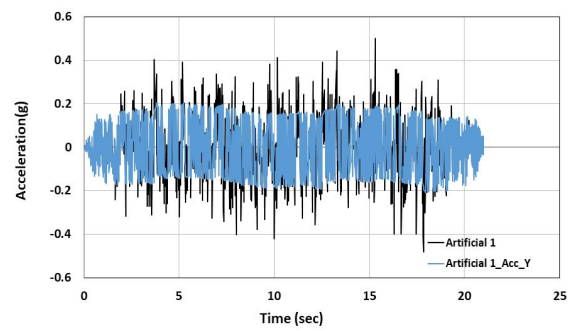
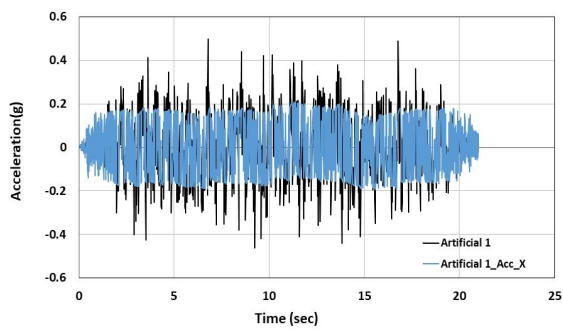


그림 35 0.90MPa 인공지진파1 해석 결과

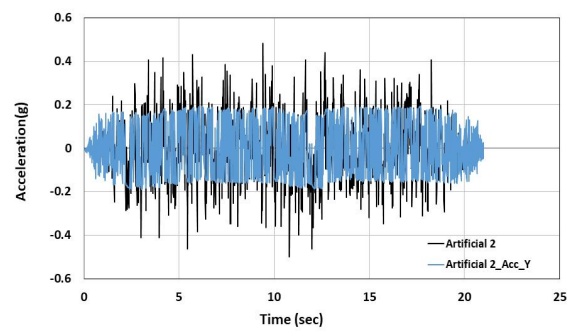
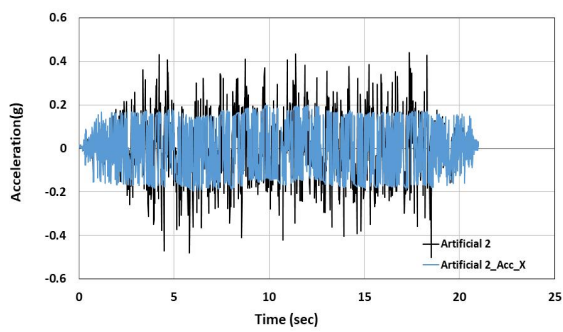


그림 36 0.90MPa 인공지진파2 해석 결과

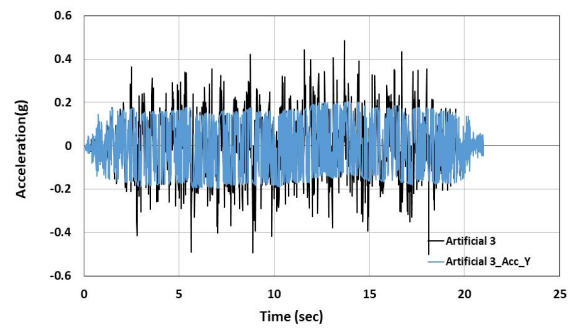
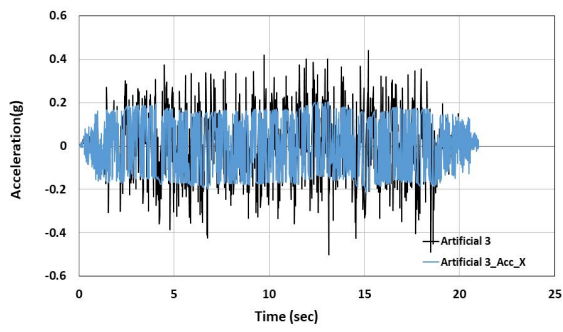


그림 37 0.90MPa 인공지진파3 해석 결과

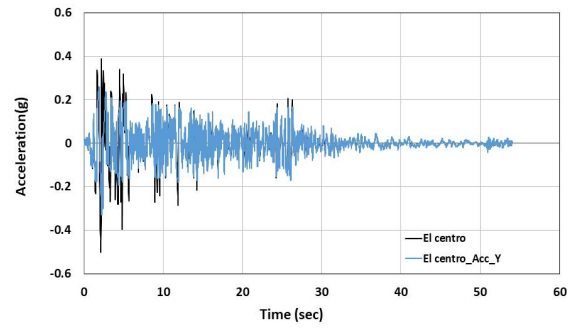
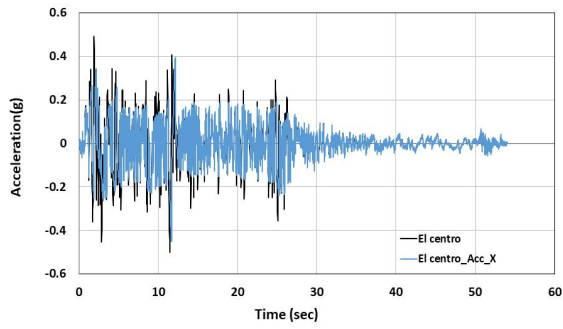


그림 38 0.90MPa Elcentro 지진파 해석 결과

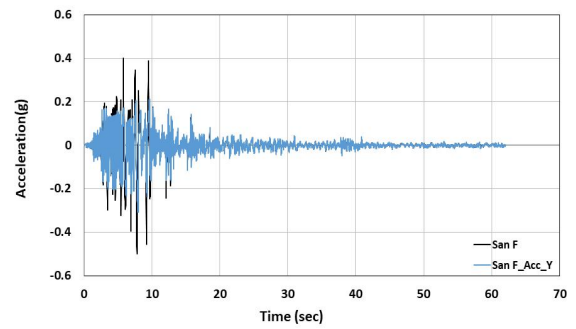
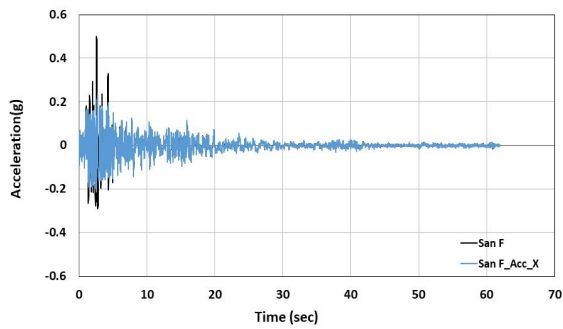


그림 39 0.90MPa San F 지진파 해석 결과

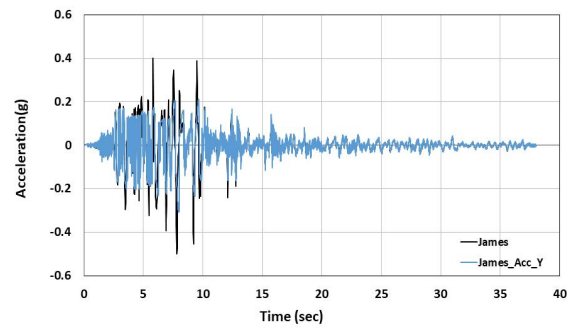
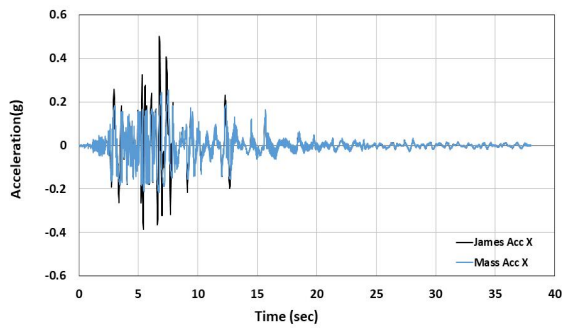


그림 40 0.90MPa James 지진파 해석 결과

- 면진받침의 성능 실험을 실시하고 각 시험체 모델별로 하중-변위 곡선을 산출하고 목표 내진 성능의 달성 여부를 확인함
  - 각각의 시험체 모델별로 기본적인 특성을 파악하기 위하여 동일한 압력, 재하속도, 하중 변위 이력을 시험체에 가하여 실험을 실시하고 면진 받침에서 발생하는 전단하중-변위 이력곡선을 도출함



(a) 면진장치 설치



(b) Mass체결을 위한 상판결합



(c) 상부 질량체 결합



(d) 계측장비 설치

그림 41 구조물 실험체의 설치 모습

- 면진 받침의 동적인 거동을 확인하기 위하여 진동대 위에 면진 받침을 설치하고 구조물의 자중을 대신하는 무게추를 올려놓은 후 이전에 발생한 지반 가속도를 사용하여 실험을 수행함
  - 시험체가 주관기관이 보유한 시험기의 스펙을 초과하는 성능을 보유하므로 외부 기관에서 보유한 2축 동적시험기(진동대)를 대여의 방식으로 실험을 수행함(※부산대학교 지진방재센터 진동대)
  - 이전에 제작한 시제품 모델과 비교하여 성능의 향상 여부를 확인하고 내진 성능 목표의 달성 여부를 확인하고 품질인증을 위한 시험보고서를 인증기관에 요청함
- 일정한 규모로 축소된 면진 받침을 교량과 빌딩과 같은 구조물과 설비장치와 같은 시설물에 설치하여 진동대를 사용하여 동적 실험을 수행함



그림 42 면진장치 진동대 시험 모델



그림 43 실험을 위한 위한 2축 동적 시험기

- 실험은 일정한 규모로 축소된 면진 받침을 교량과 빌딩과 같은 구조물과 설비장치와 같은 시설물에 설치하여 진동대를 사용하여 동적 실험을 수행함
- 국내외에서 발생한 실제 지진에 대한 지반가속도를 사용하여 진동대 위에 설치된 구조물과 시설물들에 대한 동적 구조 실험을 수행하였으며 진동대 정반 위에 4개의 면진장치가 설치하고 상부질량은 5개의 강재로 구성된 질량체(총 24.420ton)를 결합함
- 내진성능실험에 사용된 2축 동적 시험기는 그림 40과 같으며 사용된 진동대는 3 자유도 진동대(Table B) 장비(미국, MTS Systems Corporation)이고 진동대 시스템의 규격 및 사양은 및 조립 순서는 표 14와 같음

표 14 진동대 시스템의 규격 및 사양

|                           |                                                |
|---------------------------|------------------------------------------------|
| Max. Loading              | 60,000kg                                       |
| Table Size                | 5.0m × 5.0m                                    |
| Control Axes              | 3 DOF (Translational 2 axes, Rotational 1axes) |
| Max. Displacement         | X-Axis = ± 300mm, Y-Axis = ± 200mm             |
| Max. Velocity             | H = 1000mm/s                                   |
| Max. Acceleration         | ±3.0g(at bare table)                           |
| Frequency Range           | (01-60)Hz                                      |
| Excitation Mechanism      | Electro-hydraulic Servo, 3 Variable control    |
| Control Software          | MTS 469D                                       |
| Feedback Data Acquisition | 64 Channels (Sampling rate - 512Hz)            |

- 진동대 실험 방법은 가속도 시간이력 데이터를 이용하여, 수평 2축방향(X,Y방향)으로 지진력을 부여하였고 사용한 지진기록은 인공지진파 3개, 기록지진파 3개를 0.5g 수준으로 최대 가속도 값을 조정함
- 전단탄성계수 0.45MPa의 면진장치의 실험 결과는 표 15에 나타냈으며 그래프 중 입력지진파는 주황색 선으로 나타내었고, 상부 질량체에서 측정된 응답가속도는 파란색으로 나타냄
- 인공지진파의 경우 비교적 적은 변위가 발생하였으며 저감율은 60~71%로 측정되었으며, 기록지진파의 경우 비교적 큰 변위가 발생하였으며 그에 따라 저감률은 68~79%로 높게 측정되었음

표 15 0.45MPa의 면진장치의 실험 결과

| 전단탄성계수  | 지진파          | 구분    |     | Ground  | Mass 상부 | 저감율    |
|---------|--------------|-------|-----|---------|---------|--------|
| 0.45Mpa | Artificial 1 | AccX  | Max | 0.562   | 0.184   | 67.260 |
|         |              |       | Min | -0.470  | -0.171  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.425   | 0.166   | 60.941 |
|         |              |       | Min | -0.521  | -0.161  |        |
|         |              | Disp. | X   | -30.007 |         |        |
|         |              |       | Y   | 18.892  |         |        |
|         | Artificial 2 | AccX  | Max | 0.523   | 0.181   | 65.392 |
|         |              |       | Min | -0.602  | -0.168  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.591   | 0.167   | 71.743 |
|         |              |       | Min | -0.587  | -0.177  |        |
|         |              | Disp. | X   | -23.191 |         |        |
|         |              |       | Y   | -19.372 |         |        |
|         | Artificial 3 | AccX  | Max | 0.534   | 0.171   | 67.978 |
|         |              |       | Min | -0.547  | -0.151  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.484   | 0.191   | 60.537 |
|         |              |       | Min | -0.550  | -0.161  |        |
|         |              | Disp. | X   | 19.126  |         |        |
|         |              |       | Y   | 17.430  |         |        |
|         | Elcentro     | AccX  | Max | 0.632   | 0.171   | 72.943 |
|         |              |       | Min | -0.500  | -0.204  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.630   | 0.201   | 68.095 |
|         |              |       | Min | -0.483  | -0.165  |        |
|         |              | Disp. | X   | -79.365 |         |        |
|         |              |       | Y   | -87.240 |         |        |
|         | James        | AccX  | Max | 0.549   | 0.172   | 68.670 |
|         |              |       | Min | -0.639  | -0.231  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.546   | 0.164   | 69.963 |
|         |              |       | Min | -0.549  | -0.167  |        |
|         |              | Disp. | X   | 59.390  |         |        |
|         |              |       | Y   | 46.255  |         |        |
|         | San F        | AccX  | Max | 0.704   | 0.144   | 79.545 |
|         |              |       | Min | -0.417  | -0.164  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.619   | 0.177   | 71.405 |
|         |              |       | Min | -0.437  | -0.154  |        |
|         |              | Disp. | X   | -71.565 |         |        |
|         |              |       | Y   | -30.371 |         |        |

표 16 0.90MPa의 면진장치의 실험 결과

| 전단탄성계수  | 지진파          | 구분    |     | Ground  | Mass 상부 | 저감율    |
|---------|--------------|-------|-----|---------|---------|--------|
| 0.90Mpa | Artificial 1 | AccX  | Max | 0.591   | 0.203   | 65.651 |
|         |              |       | Min | -0.532  | -0.175  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.464   | 0.208   | 55.172 |
|         |              |       | Min | -0.492  | -0.195  |        |
|         |              | Disp. | X   | 19.399  |         |        |
|         |              |       | Y   | 16.534  |         |        |
|         | Artificial 2 | AccX  | Max | 0.549   | 0.188   | 65.756 |
|         |              |       | Min | -0.588  | -0.183  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.579   | 0.182   | 68.566 |
|         |              |       | Min | -0.621  | -0.187  |        |
|         |              | Disp. | X   | -17.310 |         |        |
|         |              |       | Y   | -13.608 |         |        |
|         | Artificial 3 | AccX  | Max | 0.506   | 0.185   | 63.439 |
|         |              |       | Min | -0.665  | -0.186  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.502   | 0.193   | 61.554 |
|         |              |       | Min | -0.606  | -0.193  |        |
|         |              | Disp. | X   | 18.973  |         |        |
|         |              |       | Y   | 15.088  |         |        |
|         | Elcentro     | AccX  | Max | 0.632   | 0.376   | 40.506 |
|         |              |       | Min | -0.495  | -0.399  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.618   | 0.329   | 46.764 |
|         |              |       | Min | -0.435  | -0.402  |        |
|         |              | Disp. | X   | -69.438 |         |        |
|         |              |       | Y   | 102.285 |         |        |
|         | James        | AccX  | Max | 0.574   | 0.255   | 55.575 |
|         |              |       | Min | -0.582  | -0.215  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.612   | 0.273   | 55.392 |
|         |              |       | Min | -0.514  | -0.343  |        |
|         |              | Disp. | X   | 66.037  |         |        |
|         |              |       | Y   | 48.272  |         |        |
|         | San F        | AccX  | Max | 0.773   | 0.184   | 76.197 |
|         |              |       | Min | -0.437  | -0.206  |        |
|         |              | AccY  | Max | 0.574   | 0.278   | 51.568 |
|         |              |       | Min | -0.434  | -0.331  |        |
|         |              | Disp. | X   | 65.297  |         |        |
|         |              |       | Y   | 30.748  |         |        |

- 인공지진파의 경우 비교적 적은 변위가 발생하였으며 저감율은 61~68%로 측정되었으며, 기록지진파의 경우 비교적 큰 변위가 발생하였으며 San F의 X방향 저감률 76%를 제외하면 저감률은 40~55%로 낮게 측정되었음
- 이러한 결과는 전단 탄성계수가 높아짐으로써 강성 또한 증가하게 되어 저감률이 낮아진 현상으로 판단됨

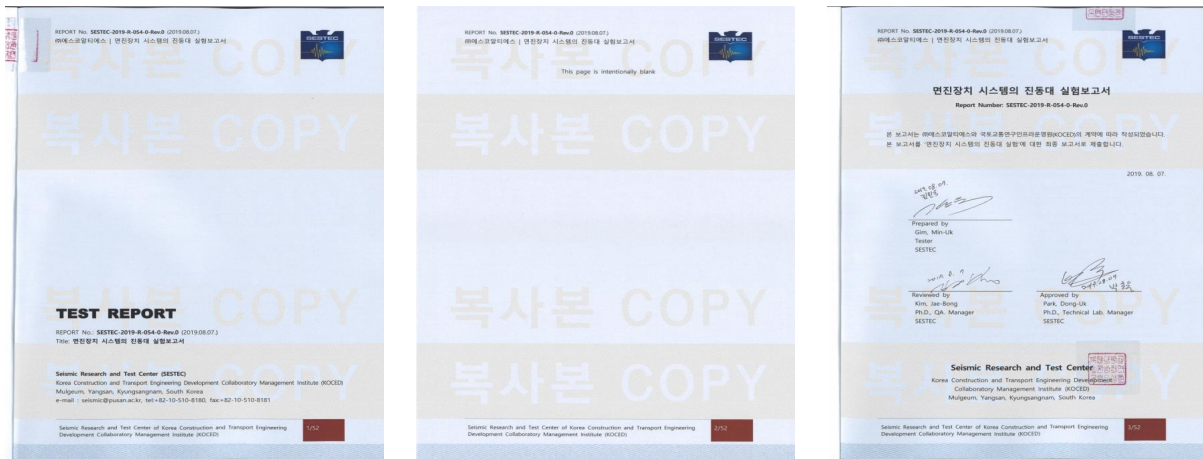
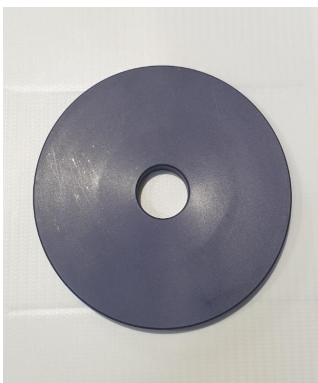


그림 44 공인시험기관(부산대지진방재연구센터) 보고서

### (3) 3차 년도

- RFB 면진 받침 시험체의 성능 및 특성 검증을 위하여 RFB를 구성하는 핵심 부품인 ESM 마찰재에 대한 성능을 검증하기 위하여 마찰 실험을 수행함
- RFB 면진장치의 감쇠효과를 담당하는 마찰재의 마찰계수를 실험적으로 확인하고 실험 결과를 통해 유사한 결과 값을 나타내는 마찰재를 RFB 면진장치에 적용시켜 장치특성 오차율을 줄이고자 ESM 마찰 실험을 수행함
- 진동대 시험용 내진성능향상 RFB에는 20개의 마찰재가 사용되고 여분으로 5개를 추가 제작하였고 진동대 시험용 규모 8.5 RFB에는 10개의 마찰재가 사용되어지며 여분으로 2개를 추가 제작함
- ESM은 선반가공을 통해 마찰면이 육안상 매끄럽도록 가공하였고 마찰실험을 통해 편차가 큰 마찰재는 장치 특성의 오차율을 줄이기 위해 제외하였으며 마찰실험을 위해 Steel Zig를 제작하여 ESM을 결합한 후 실험을 수행함



(a) 제작된 ESM 마찰재



(b) Zig에 결합된 ESM 마찰재

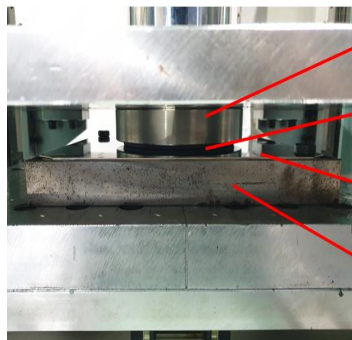


(c) 2축 동적 실험기

그림 45 ESM 마찰 실험 시편 및 실험 장비

- ESM 마찰 실험은 Steel zig에 ESM을 결합한 후 시험기 상부에 결합하고 하부지그와 STS판은 볼트체결을 하여 시험기 하부에 설치하며 실험 수행 전 마찰재 및 STS판 표면의 이물질을 제거하기 위해 알콜을 이용하여 닦아냄
- 진동대 시험용 내진성능향상 RFB를 위한 ESM 마찰 실험은 마찰재의 안정을 위해 예비시험으로 수직하중 85kN을 제하한 후  $\pm 50\text{mm}$  변위를 100mm/s의 속도로 30cycle 작용시켰으며, 이후 동일한 조건으로 6cycle 실험한 data를 이용하여 마찰계수를 산출함

- 진동대 시험용 규모 8.5 RFB를 위한 ESM 마찰 실험은 마찰재의 안정을 위해 예비시험으로 수직 하중 50kN을 제하한 후  $\pm 50\text{mm}$  변위를 100mm/s의 속도로 30cycle 작용시켰으며, 이후 본 실험은 동일한 조건으로 6cycle 실험한 data를 이용하여 마찰계수를 산출함



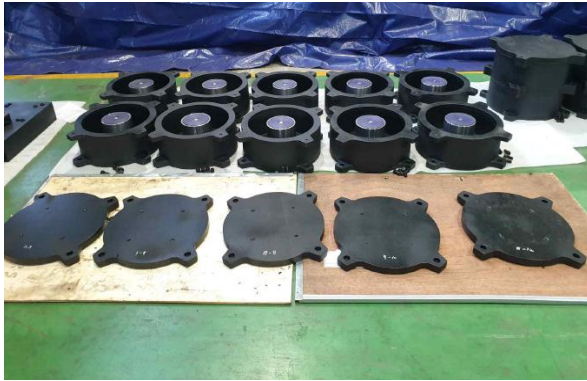
| 마찰재            | 실험 case   | 수직하중 (kN) | 변위 (mm)  | 속도 (mm/s) | Cycle   | 파형        |
|----------------|-----------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|
| 진동대 시험용        | Case 1~25 | 85        | $\pm 50$ | 100       | 30<br>6 | Sine Wave |
| 규모 8.5 진동대 시험용 | Case 1~12 | 50        | $\pm 50$ | 100       | 30<br>6 | Sine Wave |

그림 46 ESM 마찰 실험 시편 및 실험 장비

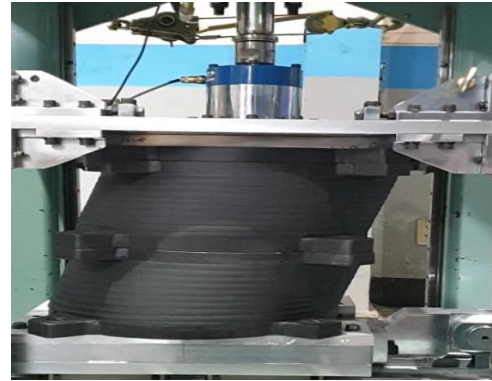
- 진동대 시험용 내진성능향상 RFB를 위한 ESM 마찰 실험은 동일한 원재료에서 마찰재를 취득하더라도 제품간 오차가 발생할 수 있기 때문에 마찰실험을 통해 실험적으로 확인한 후 면진장치에 적용하는 것이 장치의 특성치에 대한 오차를 줄일 수 있을것으로 예상됨
- 또한, 25개의 마찰재중 4번, 6번, 18번에서 10%이상의 마찰계수 편차가 나타났으므로 상기 3개를 제외한 마찰재를 진동대 시험용 RFB 장치에 적용시켜야 한다고 판단됨
- 진동대 시험용 규모 8.5 RFB를 위한 ESM 마찰 실험은 ESM 마찰재의 제작시 선반을 이용한 단면가공 공정이 있으며 기계 가공으로 인한 단면의 조도가 균질하지 않아 마찰재 간의 마찰계수 편차가 발생한 것으로 보이며 이러한 편차는 단면의 정밀가공을 통해 줄일 수 있을 것으로 예상됨
- 또한, 12개의 시편 중 1번, 5번 마찰재의 마찰계수가 비교적 높게 나타나는 것을 확인하였으며, 규모 8.5 진동대 시험용 RFB 장치에 1번, 5번 마찰재는 제외하여야 한다고 판단됨

- RFB 면진 받침 시험체의 내진 성능 향상을 위한 최적화 시스템 구축을 위하여 진동대 시험을 수행하기 전에 RFB 면진 받침 제품의 규격화를 위한 내진성능향상 RFB 및 규모 8.5 RFB 전단특성 실험 연구를 선행적으로 수행함
- 내진성능향상 RFB 및 규모 8.5 RFB 전단특성 실험은 기존의 장치에 비해 내진성능이 향상된 RFB 면진장치를 제작하고 공인기관 시험을 통한 제품의 성능을 검증하고 실험을 통해 산출된 RFB 면진장치의 특성값은 장치 안전성을 진동대 실험 전 사전평가하기 위해 수행하는 면진 해석에 적용함
- 내진성능향상 RFB 전단특성 실험은 고무 전단탄성계수 0.45MPa, 0.90MPa에 대하여 각각 5case 씩 총 10case의 장치를 제작하고 규모 8.5 RFB 전단특성 실험은 1.15Mpa에 대하여 1set로 총 5case의 장치를 제작하며 두 실험 모두 2축 동적 실험기를 사용하여 장치 특성과악을 위해 전단특성실험을 수행함
- 내진성능향상 RFB 전단특성 실험은 실험간 RFB 장치와 실험기 정반의 슬립을 방지하기 위하여 알루미늄 재질의 지그를 제작하여 상하판에 결합하여 설계 수직 하중 90kN을 제하 한 상태에서  $\pm 100\text{mm}$  변위를 속도 100mm/s로 6회 반복 가력하며, 특성치 계산은 6회 반복 가력 중 2번째부터 6번째 이력곡선 각각을 평균하여 계산하고, 실험 시작 전, 중, 후 육안을 통한 면진장치의 형상 및 손상에 대한 외관검사를 수행함
- 규모 8.5 RFB 전단특성 실험은 설계수직하중인 50kN을 제하한 상태에서  $\pm 100\text{mm}$  변위를 속도 100mm/s로 6회 반복 가력 하고 실험 시작 전, 중, 후 육안을 통한 면진장치

의 형상 및 손상에 대한 외관검사를 수행함



(a) RFB 장치 전단특성 실험 실험체



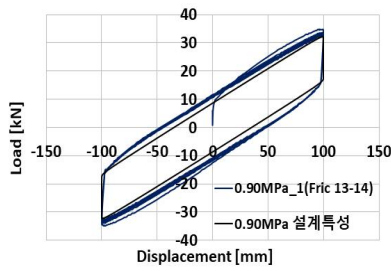
(b) RFB 장치 전단특성 실험

그림 47 RFB 면진 받침 실험체 및 전단특성 실험

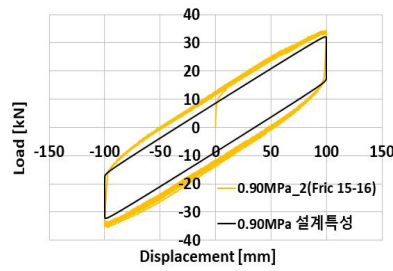
표 17 RFB 면진 받침 실험체 및 전단특성 실험 Case

| 실험 종류                 | 전단탄성계수<br>(MPa) | 실험case   | 수직하중<br>(kN) | 변위<br>(mm) | 속도<br>(mm/s) | Cycle | 파형           |
|-----------------------|-----------------|----------|--------------|------------|--------------|-------|--------------|
| 내진성능향상 RFB<br>전단특성 실험 | 0.45            | Case 1~5 | 90           | $\pm 100$  | 100          | 6     | Sine<br>Wave |
|                       | 0.90            |          |              |            |              |       |              |
| 규모 8.5 RFB<br>전단특성 실험 | 1.15            | Case 1~5 | 50           | $\pm 100$  | 100          | 6     | Sine<br>Wave |

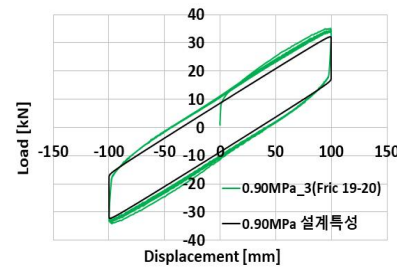
- 내진성능향상 RFB 전단특성 실험결과 0.45MPa 실험체의 경우 3번 실험체의 전단특성 값이 다른 실험체에 비해 평균 대비 높은 오차율을 보였고 Qd는 낮고 k2는 높게 나타난 것으로 보아 외부적층구조와 중공부를 구성요소간의 높이 차이로 발생한 결과로 예상되며 3번 RFB 장치를 제외한 1,2,4,5번 시험체를 사용하여 진동대실험을 수행함
- 0.90MPa 실험 결과 가장 큰 편차율은 2번 실험체에서 Qd는 높고 k2는 낮게 나타났으며 RFB 2번 장치를 진동대 실험 진행시 제외하여야 한다고 판단됨
- 실험전, 중, 후 0.45MPa, 0.90MPa 실험체 모두에서 외관의 육안검사를 실시하였으며 눈에 보이는 장치손상 및 파괴는 발생하지 않음
- 규모 8.5 RFB 전단특성 실험결과 1번 장치를 기준으로 오차율을 계산하였으며, Qd는 2번, k2와 keff는 3번, EDC는 2번 장치에서 가장 큰 오차율이 나타났으며, 장치거동에 영향을 미칠수 있는 3번 장치를 제외하고 1,2,4,5번을 설치한후 진동대 실험을 수행해야 할 것으로 판단됨
- 실험그래프의 0~ 100mm 구간에 하중이 미소하게 감소되는 경향이 나타났고, 이는 상부 지그와 실험기 간의 슬립으로 인해 발생한 결과로 예상됨
- 장치 실험 전, 중, 후 외관의 육안검사를 실시하였으며 눈에 띄는 손상은 발생하지 않았다. 실험 종료 후 장치를 분해하여 내부의 마찰재 및 Disk 또한 육안검사를 수행하였고 외관과 마찬가지로 손상은 발생하지 않음



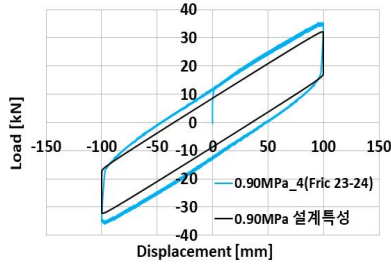
(a) 1번 실험체 하중-변위 이력곡선



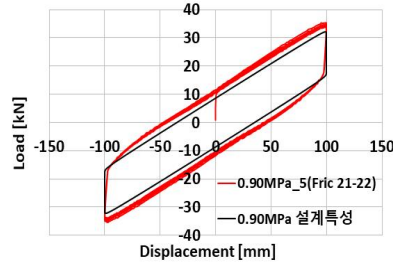
(b) 2번 실험체 하중-변위 이력곡선



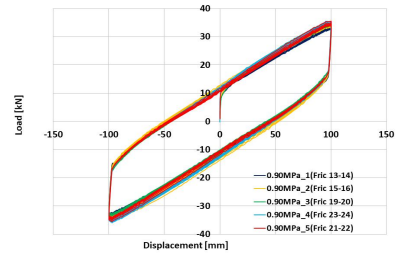
(c) 3번 실험체 하중-변위 이력곡선



(d) 4번 실험체 하중-변위 이력곡선

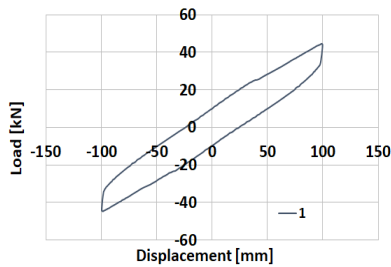


(e) 5번 실험체 하중-변위 이력곡선

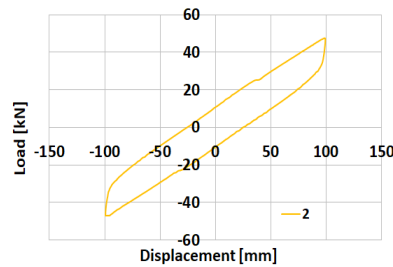


(f) 전체 실험체 하중-변위 이력곡선

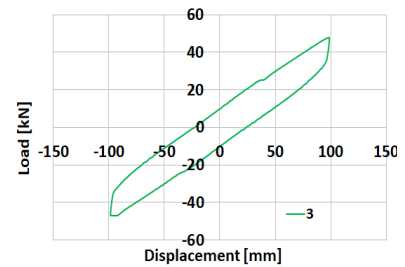
그림 48 내진성능향상 RFB 장치 실험 결과



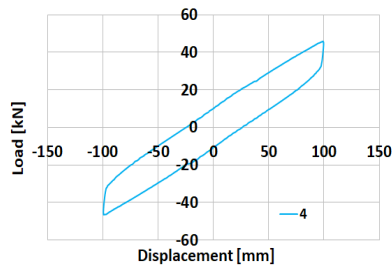
(a) 1번 실험체 하중-변위 이력곡선



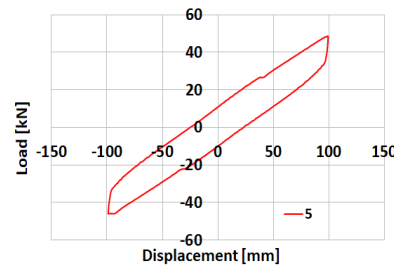
(b) 2번 실험체 하중-변위 이력곡선



(c) 3번 실험체 하중-변위 이력곡선



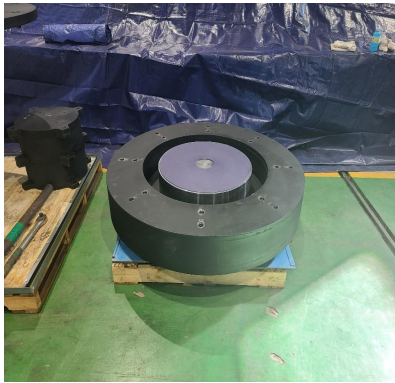
(d) 4번 실험체 하중-변위 이력곡선



(e) 5번 실험체 하중-변위 이력곡선

그림 49 규모 8.5 RFB 장치 실험 결과

- 추가적으로 국내 최대 수직용량인 RFB 30,000kN 장치의 압축 및 전단 특성 실험을 수행함
- RFB 30,000kN 장치 외부는 고무와 스틸판의 적층구조로 되어 있으며 지진발생시 고무 탄성력을 이용하여 복원력을 발휘하고, 내부중공부에는 Polyurethane 소재인 Disk를 전단편에 결합하여 수직하중을 지지하고 회전을 수용하는 역할을 하며, 중공부 상부에 Engineering plastic 소재인 ESM을 결합하고 상판 하부에 STS판을 용접결합하여 마찰을 통한 감쇠 성능을 발휘하는 실험체를 제작하여 압축 및 전단 특성 실험을 수행함



(a) RFB 30,000kN 실험체



(b) 압축실험



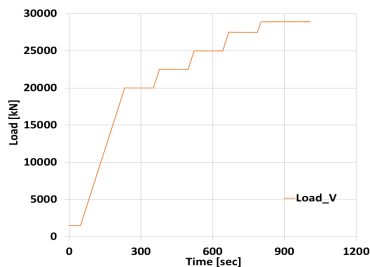
(c) 전단실험

그림 50 RFB 30,000kN 장치 실험체 및 실험

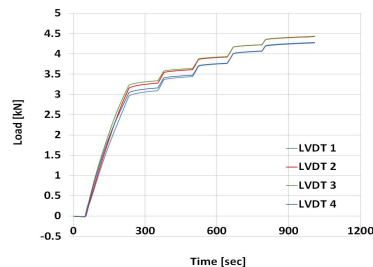
표 18 30,000kN RFB 면진 받침 실험 Case

| 실험 종류                         | 전단탄성계수 (MPa) | 실험case | 수직하중 (kN) | 하중속도 (kN/s) | 단계 | 하중유지 (sec) |
|-------------------------------|--------------|--------|-----------|-------------|----|------------|
| 30,000kN RFB 장치 압축 및 전단 특성 실험 | 0.45         | Case 1 | 3000      | 100         | 5  | 120        |

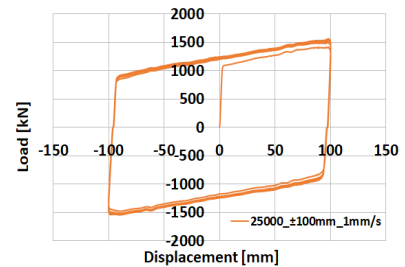
- RFB 30,000kN 장치 압축 및 전단 특성 실험결과 외부형상이 원형에서 사각형으로 변경되어도 RFB 면진장치의 특성발현 및 외관손상에 대해서는 문제가 없다고 판단됨
- 또한, 동일한 실험조건에서 가력방향만 변경하여 실험해본결과 특성치 값 간 최대 편차율은 10% 이내로 방향에 따른 영향은 미비한 것으로 보임



(a) 압축시험 시간-하중



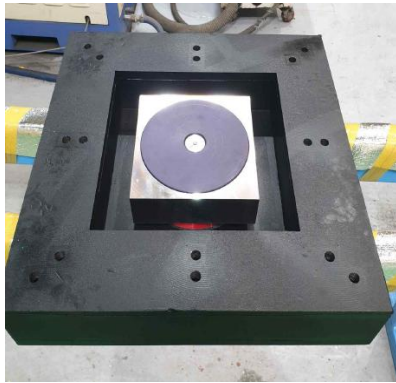
(b) 압축시험 시간-LVDT



(c) 전단특성실험 하중-변위

그림 51 RFB 30,000kN 장치 실험 결과

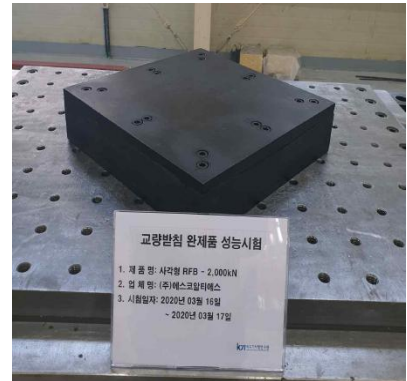
- 사각형 RFB 실험은 기존 원형의 외관을 가지는 RFB와 동일한 구조를 가지고 고무 전단탄성계수는 0.45MPa를 활용한 1개의 장치를 제작하고 15,000kN 용량의 2축 동적 실험기를 사용하여 특성실험을 수행함
- 사각형 RFB 특성시험결과 시험 속도가 증가함에 따라 Qd, keff, EDC가 감소하는 경향이 나타났으며, 이는 고무의 영향보다 마찰재의 마찰계수 변화로 인해 발생한 결과로 예상됨
- 사각형 단면의 모서리부분이 취약할 것으로 예상하여 동일한 속도 및 변위에서 가력방향을 0°, 45°로 변경하여 특성실험을 수행하였으며, 사각형 RFB 장치의 전단특성 편차율은 10% 이내로 나타났으며 상부구조물의 가력 방향에 따른 장치의 영향은 없다고 할 수 있음



(a) 사각형 RFB 실험체



(b) 변위가력방향 0° 실험

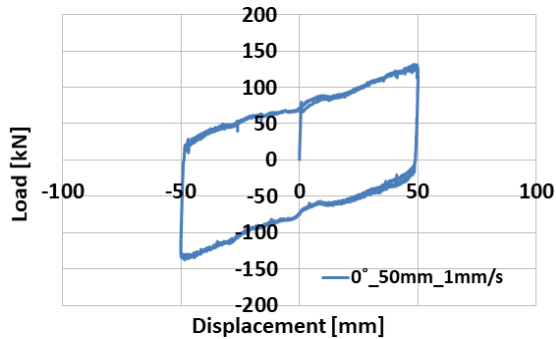


(c) 변위가력방향 45° 실험

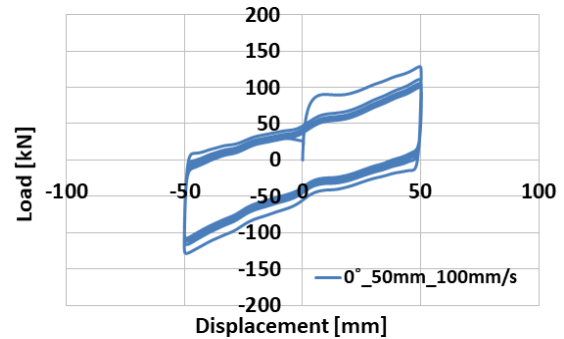
그림 52 사각형 RFB 장치 실험체 및 실험

표 19 사각형 RFB 면진 받침 실험 Case

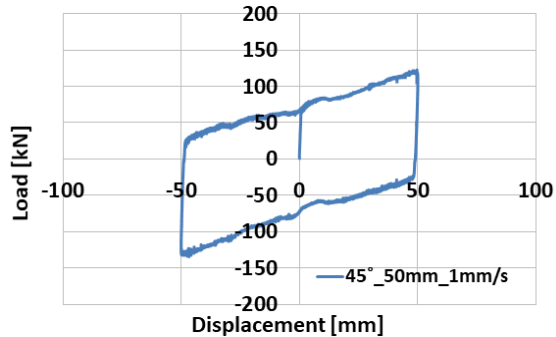
| 실험 종류               | 가력방향 | 실험case | 속도<br>(mm/s) | 수직하중<br>(kN) | 변위<br>(mm) | Cycle |
|---------------------|------|--------|--------------|--------------|------------|-------|
| 사각형 RFB 장치 특성<br>실험 | 0°   | Case 1 | 1            | 2000         | ± 50       | 6     |
|                     |      | Case 2 | 100          |              |            |       |
|                     | 45°  | Case 3 | 1            |              |            |       |
|                     |      | Case 4 | 100          |              |            |       |



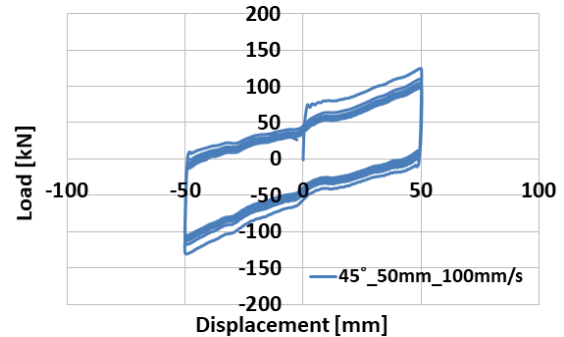
(a) 변위가력방향 0° 저속시험결과



(b) 변위가력방향 0° 고속시험결과



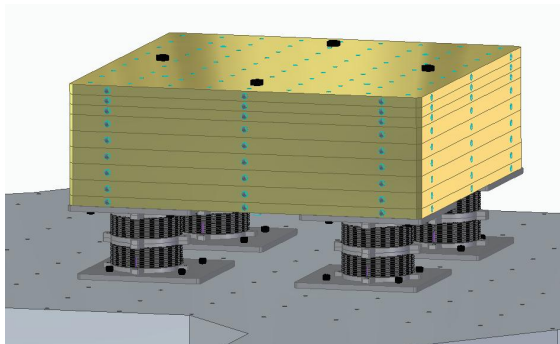
(c) 변위가력방향 45° 저속시험결과



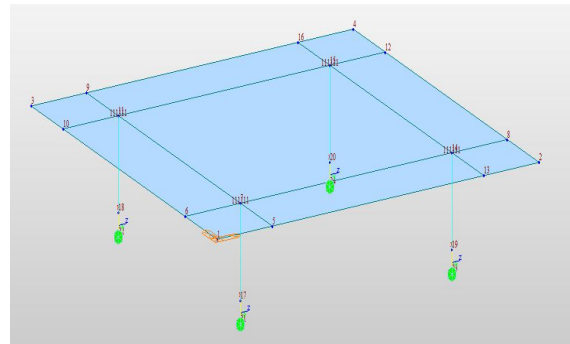
(d) 변위가력방향 45° 고속시험결과

그림 53 사각형 RFB 장치 실험 결과

- 실험 결과를 토대로 제작된 시험체에 발생한 문제점을 해결하고 성능 목표를 만족하는 최적화된 면진받침의 완성도를 평가하기 위해 추가적인 사전 유한요소 해석을 수행함
  - 하이브리드 지진격리장치의 상용화 기술개발 관련하여 RFB 장치의 진동대 실험을 수행 전 사전 장치거동 및 응답가속도를 예측하기 위해 유한요소 해석을 수행함
  - 진동대 정반 위에 4개의 RFB 면진장치를 설치하고, 9개의 steel plate(내진성능향상, 총 36ton) 적층한 시험체에 대하여 모델링을 수행함
  - 모델링은 그림 42과 같이 상부 mass를 Plate 요소를 사용하여 모델링하고, RFB 면진장치의 중앙점에 대하여 Plate의 요소분할을 하였으며, General Link 하단부는 고정조건을 부여함



(a) 내진성능향상 진동대 모델



(b) 유한요소해석 모델링(내진성능향상)

그림 54 사전 유한요소 해석 모델

- RFB 면진장치에 대한 물성치는 전단탄성계수에 따라 내진성능향상 진동대모델은 0.45MPa, 0.90MPa로, 규모 8.5 진동대 모델은 0.90MPa로 나누어 해석을 진행하고 Force Type의 Hysteretic System의 기능을 사용하였으며 장치특성시험의 결과를 입력함
- 내진성능향상 진동대모델의 입력지진파는 PGA 0.6g의 크기를 가지는 6가지 인공지진파를 수평 2축방향(X,Y방향)으로 부여함

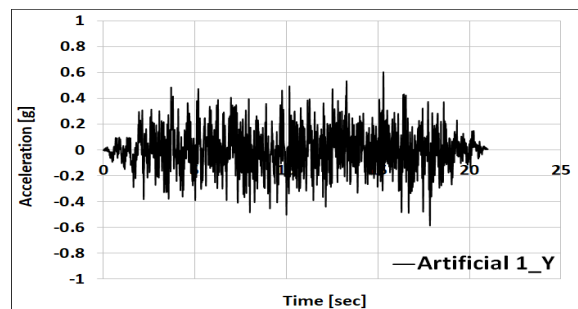
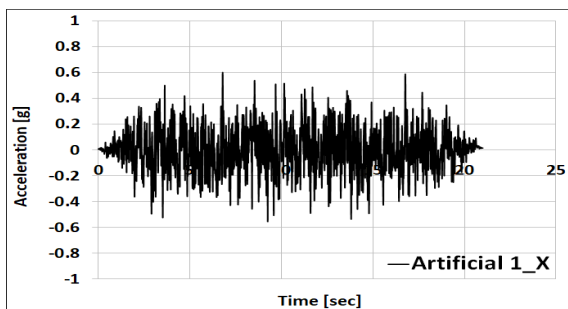


그림 55 내진성능향상 인공지진파 1

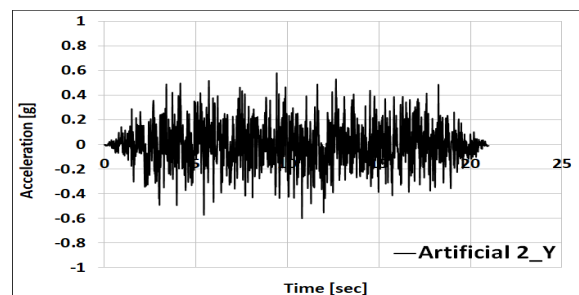
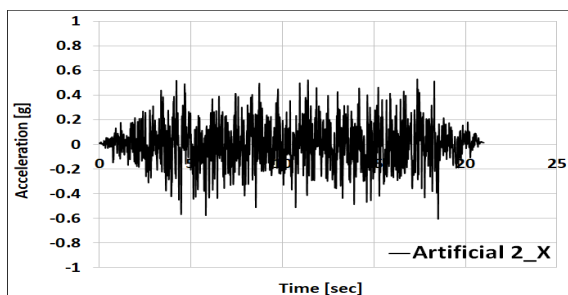


그림 56 내진성능향상 인공지진파 2

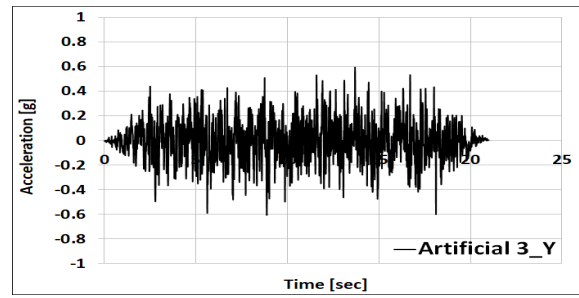
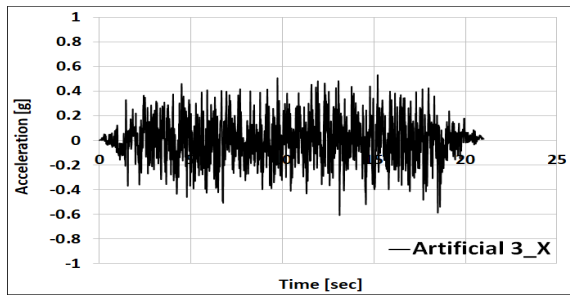


그림 57 내진성능향상 인공지진파 3

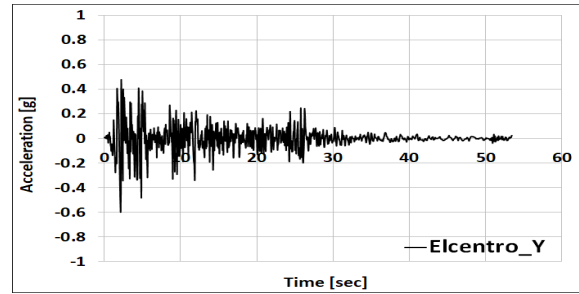
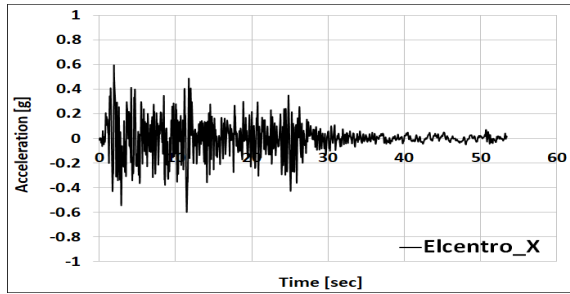


그림 58 내진성능향상 Elcento 지진파

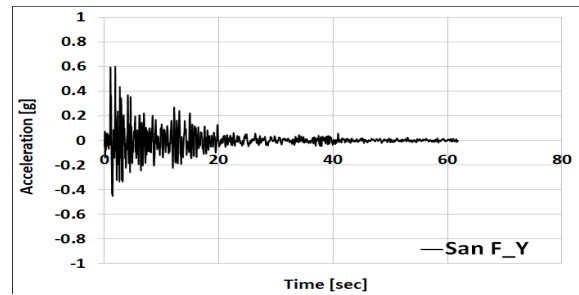
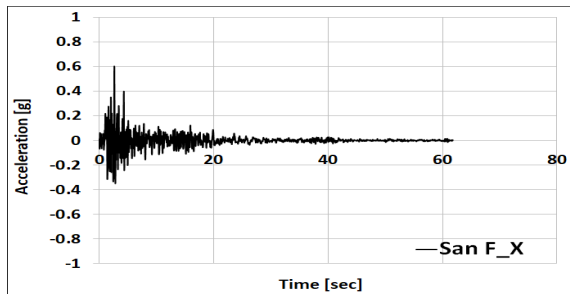


그림 59 내진성능향상 San F 지진파

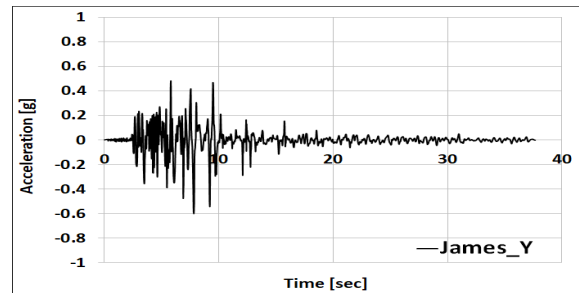
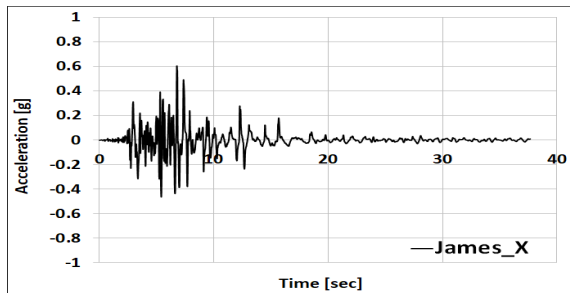


그림 60 내진성능향상 James 지진파

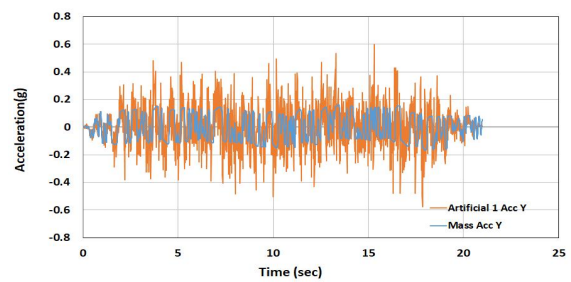
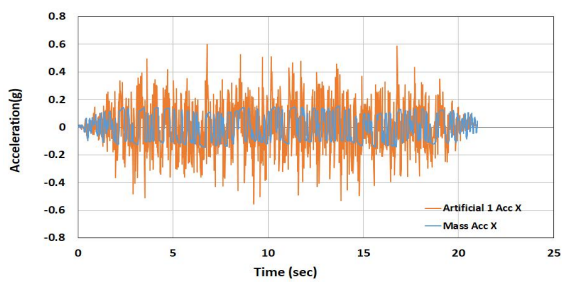


그림 61 0.45MPa 내진성능 향상 인공지진파1 해석 결과

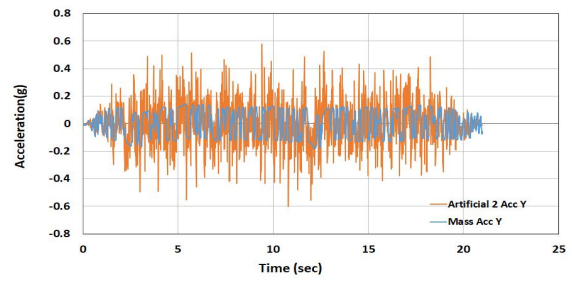
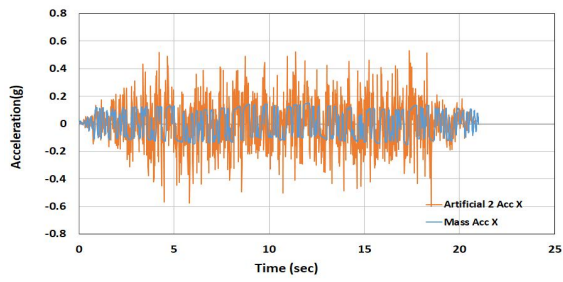


그림 62 0.45MPa 내진성능 향상 인공지진파2 해석 결과

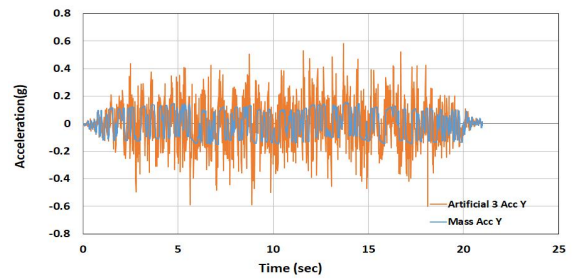
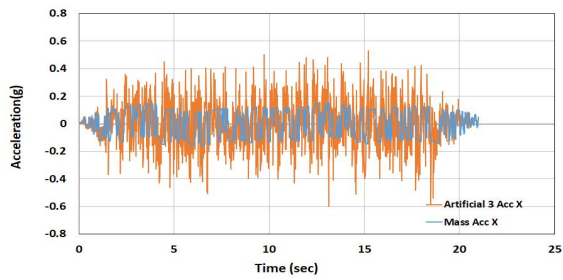


그림 63 0.45MPa 내진성능 향상 인공지진파3 해석 결과

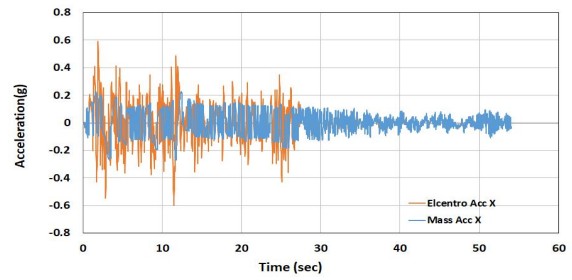
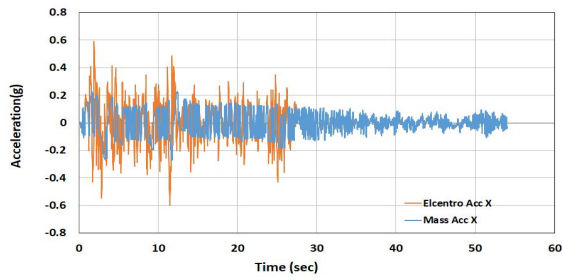


그림 64 0.45MPa 내진성능 향상 Elcentro 지진파 해석 결과

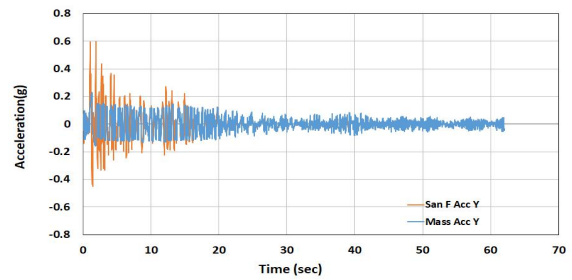
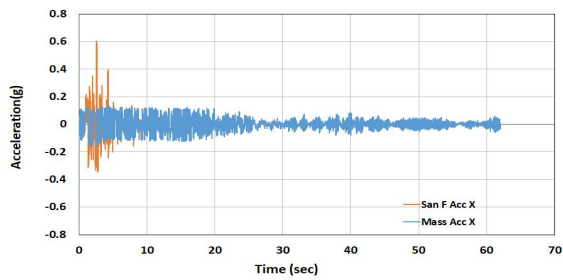


그림 65 0.45MPa 내진성능 향상 San F 지진파 해석 결과

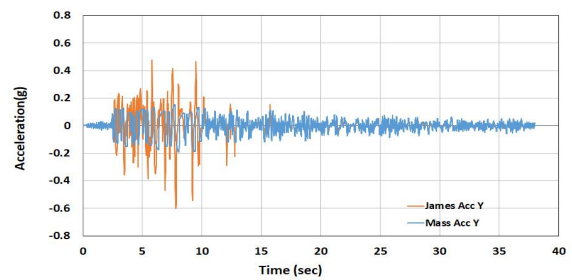
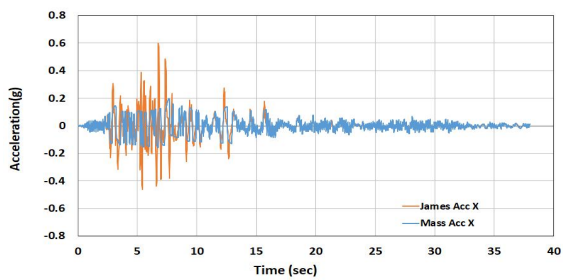


그림 66 0.45MPa 내진성능 향상 James 지진파 해석 결과

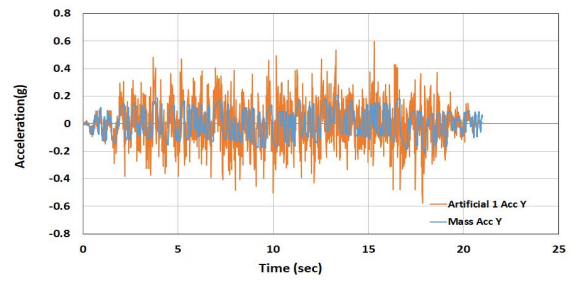
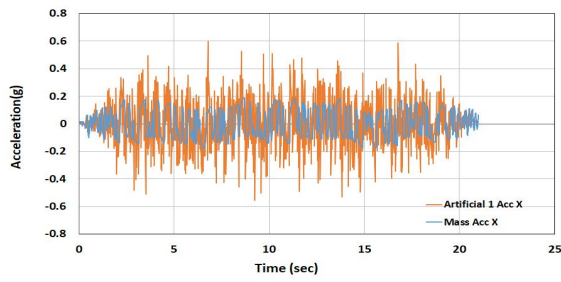


그림 67 0.90MPa 내진성능 향상 인공지진파1 해석 결과

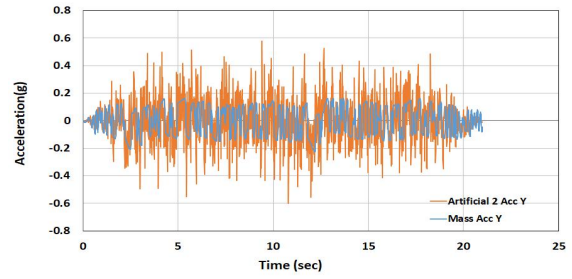
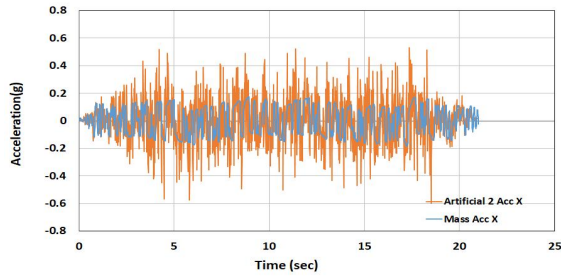


그림 68 0.90MPa 내진성능 향상 인공지진파2 해석 결과

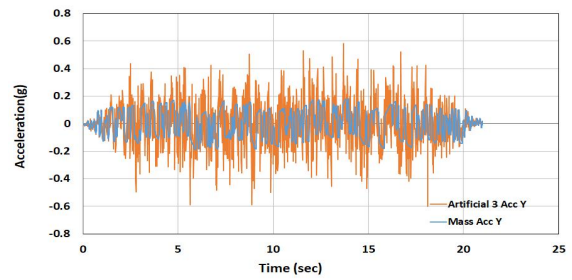
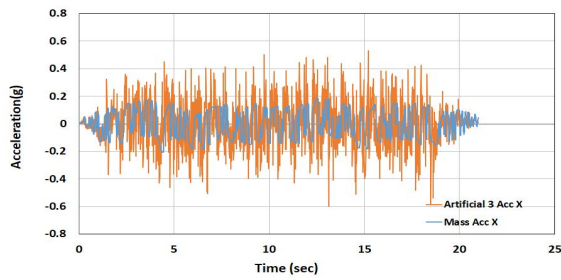


그림 69 0.90MPa 내진성능 향상 인공지진파3 해석 결과

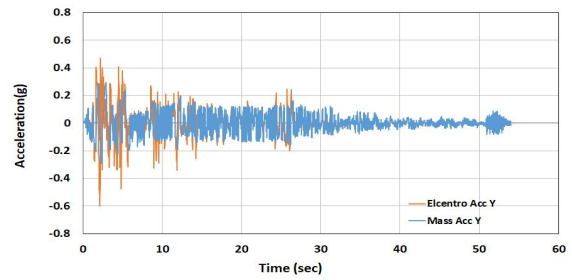
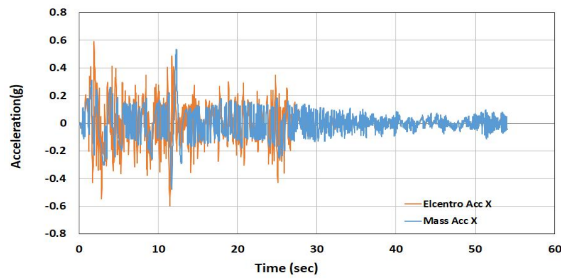


그림 70 0.90MPa 내진성능 향상 Elcentro 지진파 해석 결과

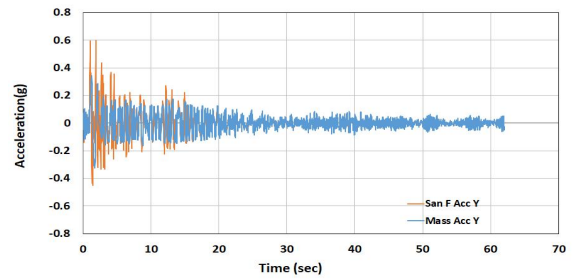
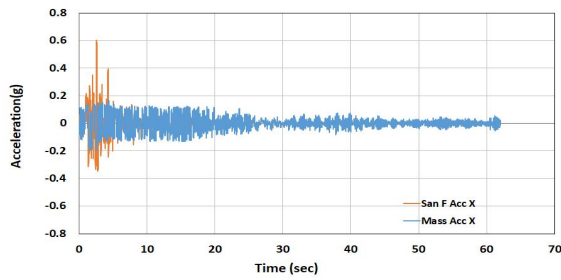


그림 71 0.90MPa 내진성능 향상 San F 지진파 해석 결과

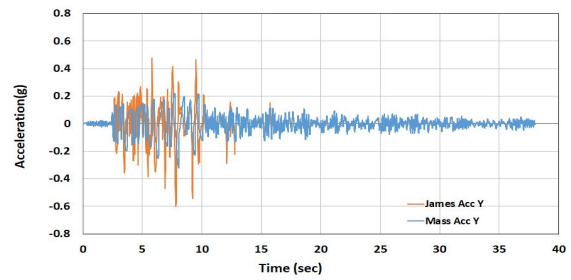
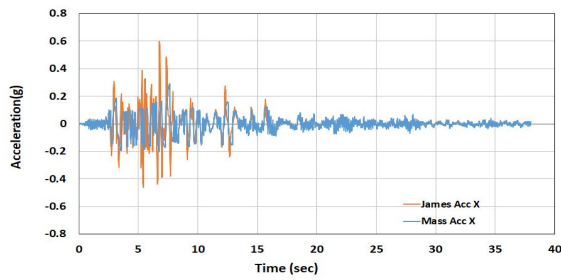


그림 72 0.90MPa 내진성능 향상 James 지진파 해석 결과

- 내진성능 향상 면진장치의 해석 결과는 응답가속도는 0.14g~0.18g의 결과가 나타났으며 이는 70%이상의 가속도 저감율이고 변위의 경우 25mm~58mm로 설계변위 내에서 거동하는 것으로 확인함
- 실험 결과를 토대로 제작된 시험체에 발생한 문제점을 해결하고 성능 목표를 만족하는 최적화된 면진받침의 완성도를 평가하기 위해 추가적인 진동대시험을 수행함
  - 면진 받침의 동적인 거동을 확인하기 위하여 진동대 위에 면진 받침을 설치하고 구조물의 자중을 대신하는 무게추를 올려놓은 후 이전에 발생한 지반 가속도를 사용하여 실험을 수행함
  - 시험체가 주관기관이 보유한 시험기의 스펙을 초과하는 성능을 보유하므로 외부 기관에서 보유한 2축 동적시험기(진동대)를 대여의 방식으로 실험을 수행함(※부산대학교 지진방재센터 진동대)
  - 이전에 제작한 0.45MPa과 0.90MPa 시제품 모델과 비교하여 성능의 향상 여부를 확인하고 내진 성능 목표의 달성 여부를 확인하고 품질인증을 위한 시험보고서를 인증기관에 요청함
  - 진동대 실험 방법은 가속도 시간 이력 데이터를 이용하여, 수평 2축 방향(X,Y방향)으로 지진력을 부여하였고 사용한 지진기록은 인공지진파 3개, 기록지진파 3개를 0.6g 수준으로 최대 가속도 값을 조정하여 활용함
  - 또한, 추가적인 초과 성능 검증을 위해 0.9MPa의 경우 1.8g 수준의 인공지진파를 활용하여 진동대 시험을 수행함
  - 0.6g 수준의 인공지진파 작용시 실제 진동대 table에서 측정된 PGA는 0.7g 수준으로 측정되었으며 0.45MPa의 경우 응답가속도는 0.2g 수준으로 70% 감쇠 효과가 나타났으며 0.90MPa의 경우 0.3g 수준으로 약 42%의 감쇠 효과가 나타남
  - 계측 지진파의 경우 진동대 table에서 0.8g~0.9g 수준의 가속도가 측정되었으며 0.45MPa의 경우 응답가속도는 0.2~0.3g 수준으로 75%의 감쇠 효과가 나타났으며 0.90MPa의 경우 0.5g 수준으로 약 60%의 감쇠 효과를 보임
  - 1.8g 수준의 인공지진파 작용시 실제 진동대 table에서 측정된 PGA는 2.1g 수준으로 측정되었으며 응답가속도는 0.8g 수준으로 45%의 감쇠 효과가 나타남



(a) 먼진장치 설치



(b) Mass체결을 위한 상판결합



(c) 상부Mass적층



(d) 계측장비 설치

그림 73 구조물 실험체의 설치 모습

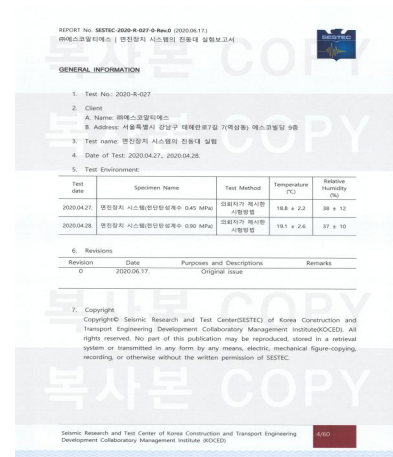
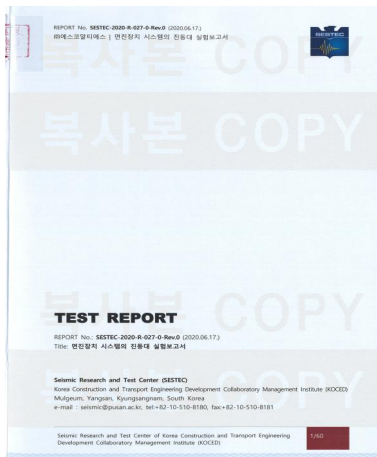


그림 74 공인시험기관(부산대지진방재연구센터) 보고서

표 20 0.45MPa의 먼진장치의 실험 결과 (0.6g)

| 전단탄성계수  | 지진파          | 구분    |   | Peak value |        |
|---------|--------------|-------|---|------------|--------|
|         |              |       |   | Input      | Output |
| 0.45Mpa | Artificial 1 | Acc.  | X | 0.73       | 0.20   |
|         |              |       | Y | 0.67       | 0.20   |
|         |              | Disp. | X | 47.74      | 30.94  |
|         |              |       | Y | 38.71      | 40.54  |
|         | Artificial 2 | Acc.  | X | 0.82       | 0.23   |
|         |              |       | Y | 0.78       | 0.22   |
|         |              | Disp. | X | 35.06      | 46.91  |
|         |              |       | Y | 34.58      | 38.59  |
|         | Artificial 3 | Acc.  | X | 0.76       | 0.22   |
|         |              |       | Y | 0.74       | 0.21   |
|         |              | Disp. | X | 46.36      | 39.30  |
|         |              |       | Y | 41.27      | 41.10  |
|         | Elcentro     | Acc.  | X | 0.72       | 0.30   |
|         |              |       | Y | 0.79       | 0.29   |
|         |              | Disp. | X | 91.51      | 107.60 |
|         |              |       | Y | 62.21      | 85.74  |
|         | James        | Acc.  | X | 0.90       | 0.20   |
|         |              |       | Y | 0.79       | 0.24   |
|         |              | Disp. | X | 46.91      | 56.08  |
|         |              |       | Y | 62.91      | 61.37  |
|         | San F        | Acc.  | X | 0.91       | 0.21   |
|         |              |       | Y | 0.93       | 0.29   |
|         |              | Disp. | X | 28.68      | 60.79  |
|         |              |       | Y | 65.42      | 100.90 |

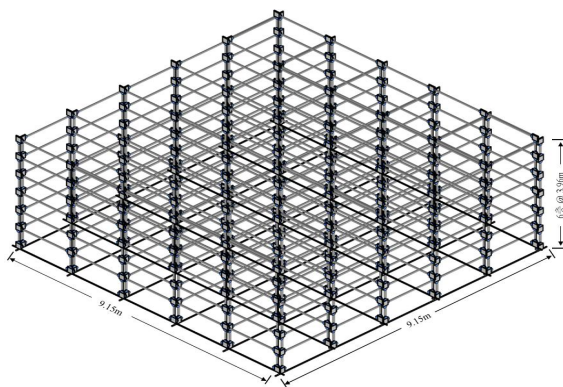
표 21 0.90MPa의 먼진장치의 실험 결과 (0.6g)

| 전단탄성계수  | 지진파          | 구분    |   | Peak value |        |
|---------|--------------|-------|---|------------|--------|
|         |              |       |   | Input      | Output |
| 0.90Mpa | Artificial 1 | Acc.  | X | 0.70       | 0.26   |
|         |              |       | Y | 0.69       | 0.28   |
|         |              | Disp. | X | 47.81      | 29.15  |
|         |              |       | Y | 38.73      | 36.20  |
|         | Artificial 2 | Acc.  | X | 0.79       | 0.26   |
|         |              |       | Y | 0.79       | 0.31   |
|         |              | Disp. | X | 35.26      | 29.27  |
|         |              |       | Y | 46.88      | 40.87  |
|         | Artificial 3 | Acc.  | X | 0.79       | 0.26   |
|         |              |       | Y | 0.75       | 0.27   |
|         |              | Disp. | X | 46.21      | 32.10  |
|         |              |       | Y | 39.21      | 41.47  |
|         | Elcentro     | Acc.  | X | 0.66       | 0.257  |
|         |              |       | Y | 0.74       | 0.45   |
|         |              | Disp. | X | 91.47      | 149.40 |
|         |              |       | Y | 61.84      | 98.08  |
|         | James        | Acc.  | X | 0.92       | 0.32   |
|         |              |       | Y | 0.79       | 0.38   |
|         |              | Disp. | X | 46.66      | 69.91  |
|         |              |       | Y | 62.23      | 76.25  |
|         | San F        | Acc.  | X | 0.96       | 0.25   |
|         |              |       | Y | 0.95       | 0.46   |
|         |              | Disp. | X | 28.63      | 51.78  |
|         |              |       | Y | 65.41      | 97.69  |

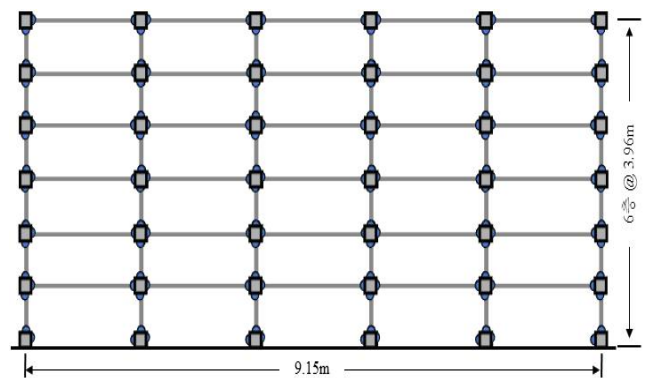
표 22 0.90MPa의 면진장치의 실험 결과 (1.8g)

| 전단탄성계수  | 지진파          | 구분    |   | Peak value |        |
|---------|--------------|-------|---|------------|--------|
|         |              |       |   | Input      | Output |
| 0.90Mpa | Artificial 1 | Acc.  | X | 2.11       | 0.88   |
|         |              |       | Y | 2.07       | 0.74   |
|         |              | Disp. | X | 63.65      | 76.59  |
|         |              |       | Y | 71.25      | 57.83  |

- 하이브리드 면진 받침 장치의 다양한 구조물과 시설물에 대한 적용성과 내진성능을 평가하기 위하여 선행적으로 건물에 대하여 수치해석 모델을 제작하고 지반 가속도를 활용한 비선형 동적 해석을 수행하며 해석 결과 분석을 통해 목표 성능인 8.5 규모의 지진에서 안정성 확보 여부를 판단함
- 비선형 동적 해석 분야에서 정확성이 검증된 OpenSEES 프로그램을 사용하여 수치해석 모델을 제작하고 해석 및 실험에서 적용된 지반 가속도 데이터를 활용하여 해석을 수행함
- 하이브리드 면진받침 유무에 따른 내진 성능평가를 위해 면진받침이 설치된 프레임 구조물과 면진받침이 설치되지 않은 프레임 구조물에 대한 설계를 수행함

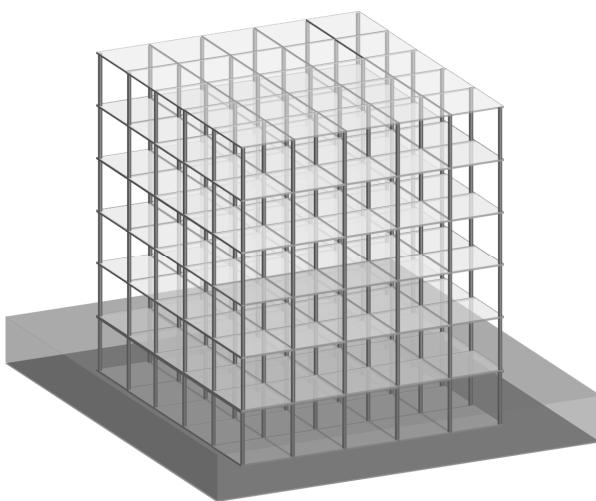


(a) 프레임 구조물 3차원도

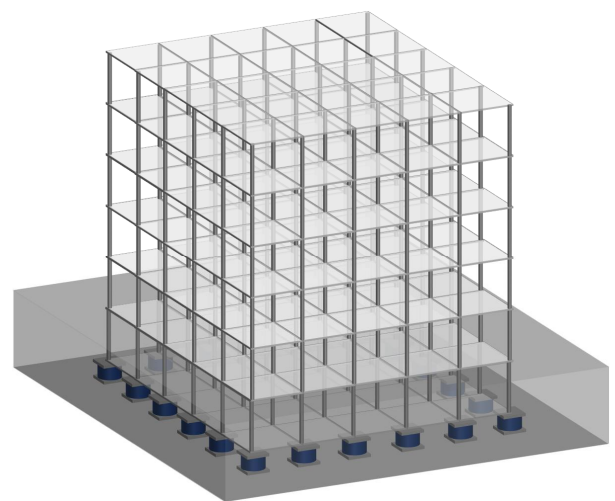


(b) 프레임 구조물 입면도

그림 75 수치해석에 활용한 프레임 구조물 설계



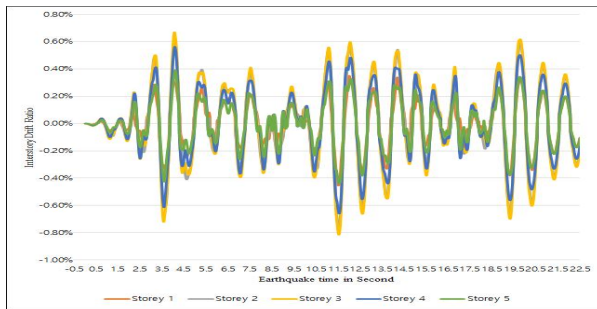
(a) 하이브리드 지진격리 장치 미적용 모델



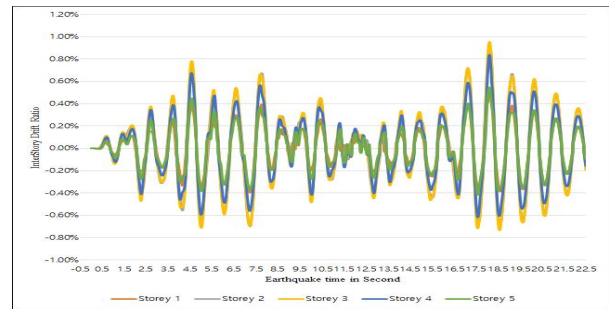
(b) 하이브리드 지진격리 장치 적용 모델

그림 76 하이브리드 지진격리장치 유무에 따른 프레임 구조물의 해석 모델

- 수치해석 모델에서 구조물 내에 설치된 면진 받침은 실험에서 얻어진 전단하중-변위 이력 곡선의 재현이 가능한 재료모델을 활용한 1차원 스프링 요소로 모형화하고 지반과 구조물 사이에 유연한 비선형 스프링 형태로 해석 모델에 설치함
- 보와 기둥과 같은 부재가 만나는 부분에 자중에서 치환된 집중 질량을 가하여 가속도 발생 시 부재력이 발생하도록 해석 모델을 제작함
- 프레임 구조물은 지상으로 5층, 지하로 1층(기둥간격: 3.9624m, 층 높이: 9.144m)로 구성되고 보와 기둥 사이는 용접 접합으로 간주하였으며, 치수가 457.2mm x 457.2mm이고 강철 쉘의 두께가 22.3mm인 CFT(Concrete Filled steel Tube)기둥으로 설계함
- 건물 프레임의 모든 보와 기둥은 Nonlinear Beam Column 요소 명령을 사용하여 모델하였고 바닥 부재 간의 강성 거동을 시뮬레이션하기 위해 Rigid diaphragm도 고려되었으며, 보와 기둥의 고정 오프셋을 고려함
- 지반의 거동을 시뮬레이션하는 데는 PySimple1 재료가 사용되었으며 이 재료의 특성은 주변 노드와 고정노드 사이의 길이를 0으로 고려하는 Zero-length element가 사용함
- 실험에서 얻어진 하이브리드 면진 받침의 전단하중-변위 이력 거동을 선형적 강성(Linear Stiffness) 모형으로 이상화하며 프로그램에서 제공하는 1차원 비선형 재료모델을 사용하여 수치해석을 통한 거동을 재현함
- 면진받침이 설치된 프레임 구조물과 면진받침이 설치되지 않은 프레임 구조물에 대한 예비 모달해석을 수행하여 지배적인 모드 형상을 나타내는 1차 모드에 대한 고유진동수를 각각 1.186과 1.017 rad/s로 측정함
- 면진받침 설치 유무 및 종류에 따라 3가지(0.45Mpa RFB, 0.90Mpa RFB, No RFB), 최대 지반가속도 크기에 따라 2가지(0.5g, 1.8g), 지진과 종류에 따라 11가지(Artificial 1~8, El centro, James, San F)를 해석변수로 선정하여 총 66개의 모델에 대한 해석을 수행함
- 면진받침 설치 유무에 따라 성능평가를 위해 각 수치해석 모델에 해석을 수행하는 동안에 손상 발생 여부를 판단하기 위하여 부재에 응력, 변위, 부재력, 반력, 가속도를 측정할 수 있는 기록(Record) 기능을 추가함
- 각각의 수치해석 모델을 대상으로 발생된 변위와 응력이 설계기준에 부합한지 여부를 적용하여 성능 목표에 달성 여부를 판단함
- 변위의 경우 모든 변수에 따른 해석결과는 구조물의 층이 높아질수록 변위도 증가하는 결과를 보여주며 최대변위 240mm로 허용범위 이내에 포함되는 결과를 나타냄
- 각 변수에 따라 구조물 3층과 5층의 가속도데이터를 비교한 결과 층이 높아질수록 증가하는 결과를 보여주어 적합한 해석결과가 도출되었다고 판단됨
- 구조물은 지진하중 발생시 전 층에 걸쳐서 2% 미만의 허용 최대 층간변위만을 허용하므로 해석결과 도출된 x방향 및 Z방향 층간범위 비는 11개의 지진하중이 작용한 No RFB, 0.45MPa RFB, 0.90MPa RFB 모델에서 모두 만족하는 결과를 도출함
- 지진에 대하여 초당 층간 변위비를 검토한 결과 모든 변수에서 층간 변위비는 2%안에 포함되는 안정적인 결과를 나타냄

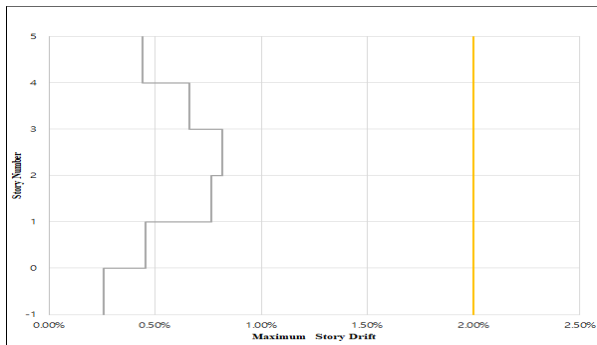


(a) x 방향

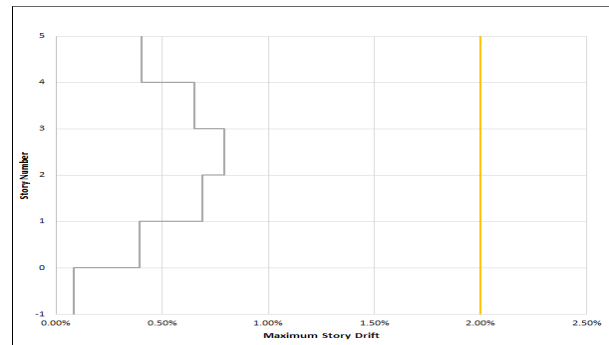


(b) z 방향

그림 77 지진의 지속시간에 따른 층간변위(No RFB)

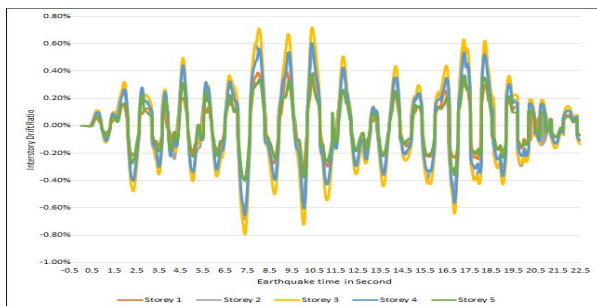


(a) x 방향

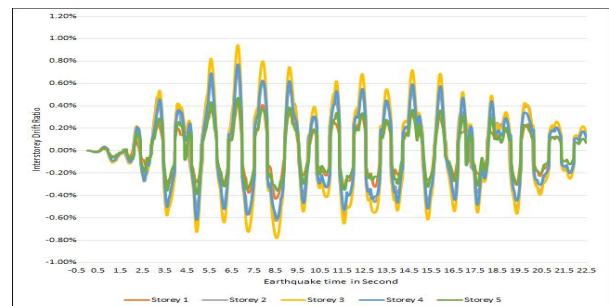


(b) z 방향

그림 78 구조물 층 높이에 따른 최대 층간변위 비(No RFB)

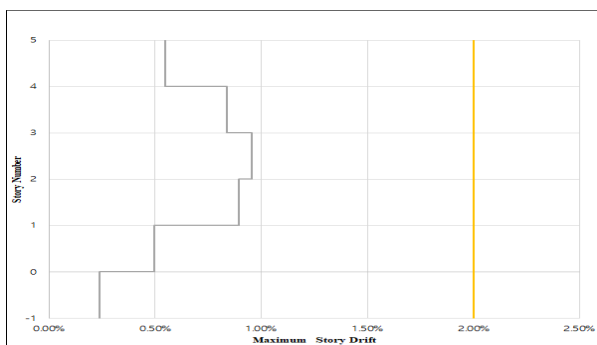


(a) x 방향

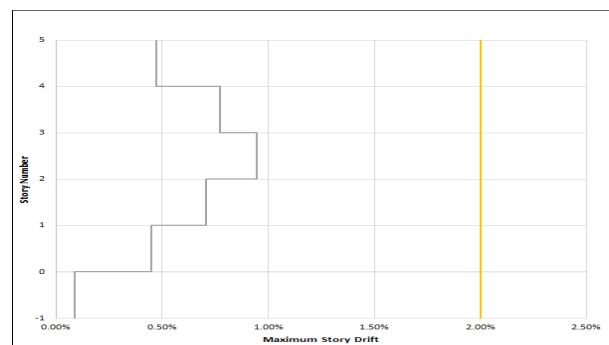


(b) z 방향

그림 79 지진의 지속시간에 따른 층간변위(0.45MPa RFB)



(a) x 방향



(b) z 방향

그림 80 구조물 층 높이에 따른 최대 층간변위 비(0.45Mpa RFB)

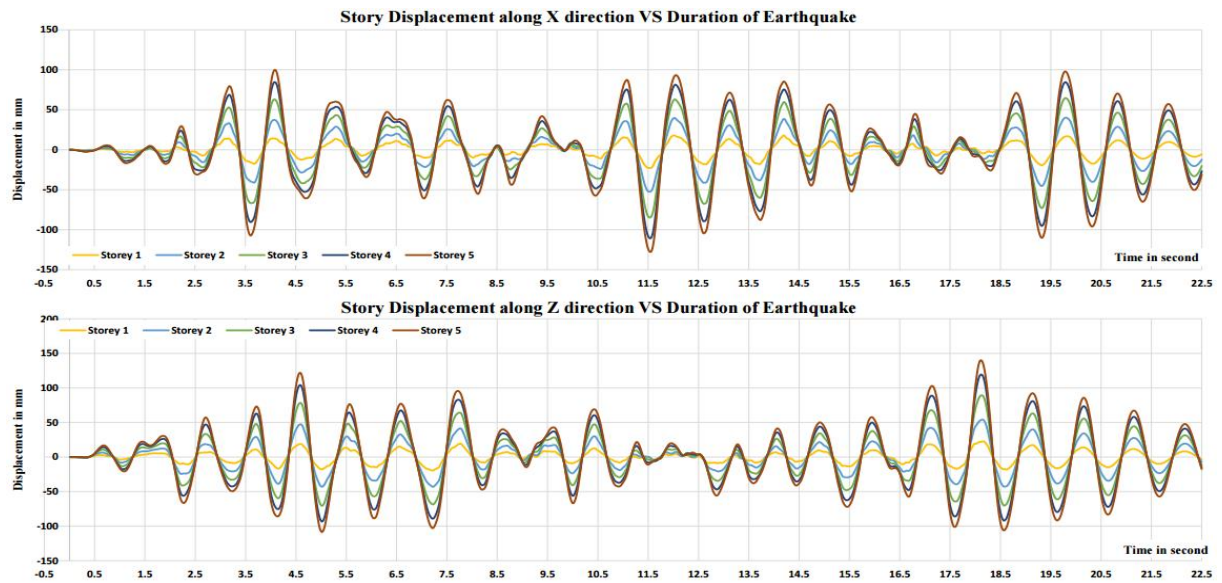


그림 81 지진의 지속시간에 따른 X방향 및 Z방향의 층 변위(No RFB)

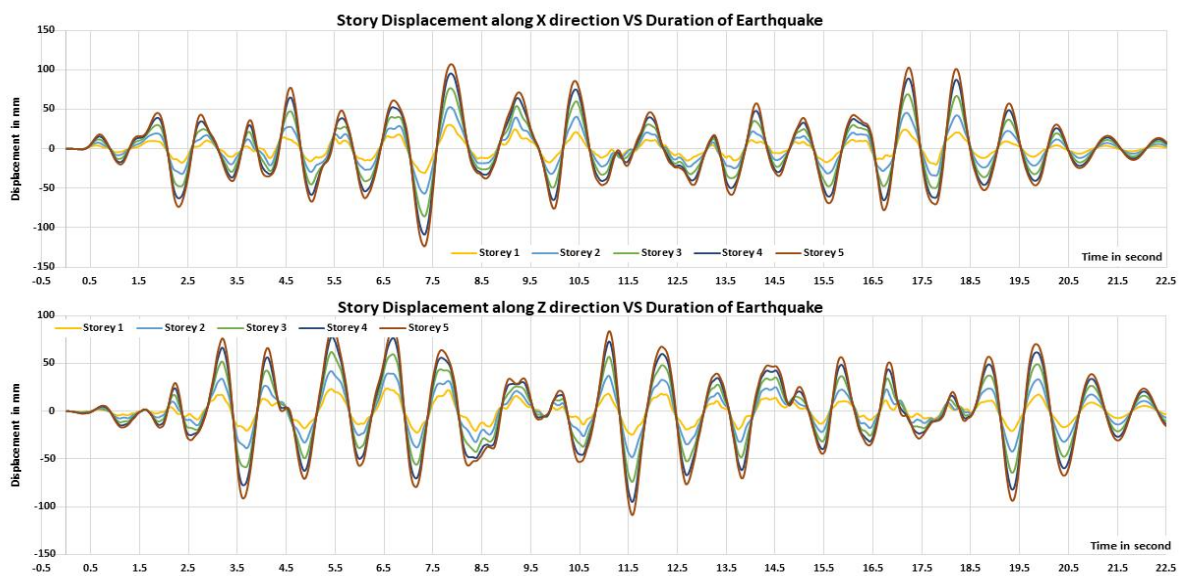


그림 82 지진의 지속시간에 따른 X방향 및 Z방향의 층 변위(0.45Mpa RFB)

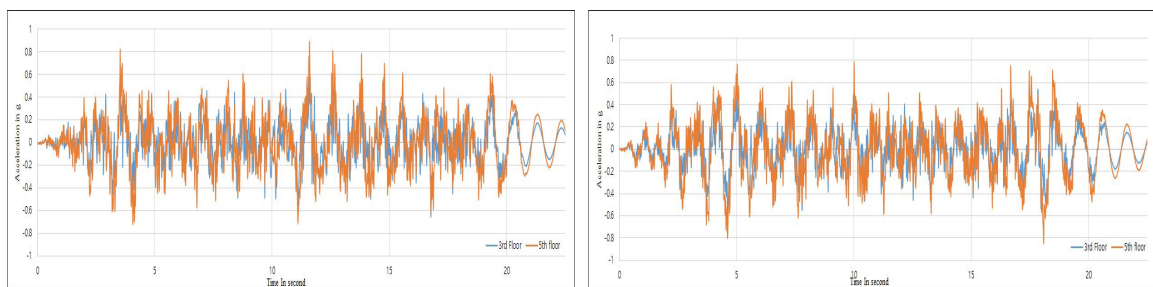


그림 83 지진의 지속시간에 따른 X방향 및 Z방향의 가속도(No RFB)

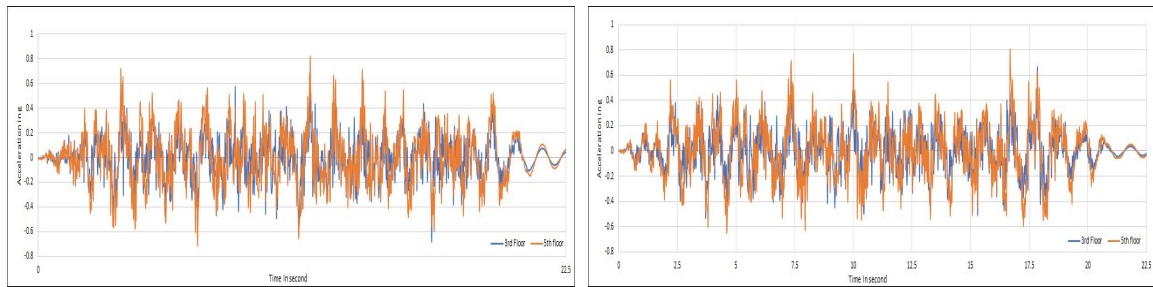


그림 84 지진의 지속시간에 따른 X방향 및 Z방향의 가속도(0.45Mpa RFB)

- 하이브리드 지진격리장치의 교량 구조물에 대한 적용성과 내진 성능을 평가하기 위하여 하이브리드 지진격리장치가 적용된 교량구조 형식, 기초 종류, 입력지진 크기 변경에 따른 교량의 안전성 검토를 수행함
- 하이브리드 면진 받침의 교량 구조물에 대한 적용성 평가를 위하여 교량 모델에 적용하였을 때 받침지지력을 검토하였으며, 받침의 교축·교직 방향에 대한 수평 변위를 산출하고 설계허용 변위와 비교를 수행함

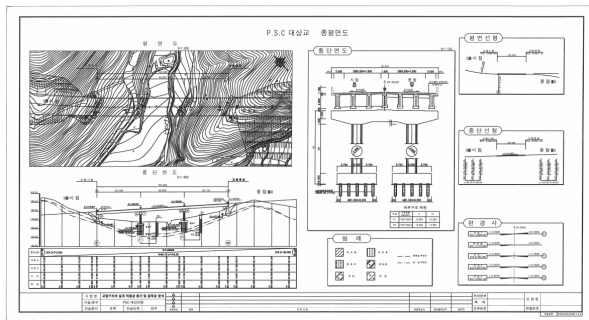


그림 85 PSC 대상교량 도면

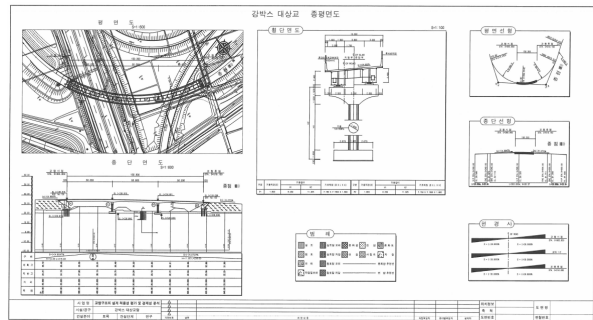


그림 86 Steel Box 대상교량 도면

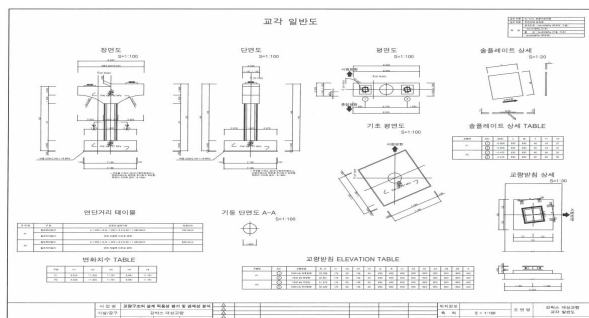


그림 87 PSC 대상교량 교각 일반도

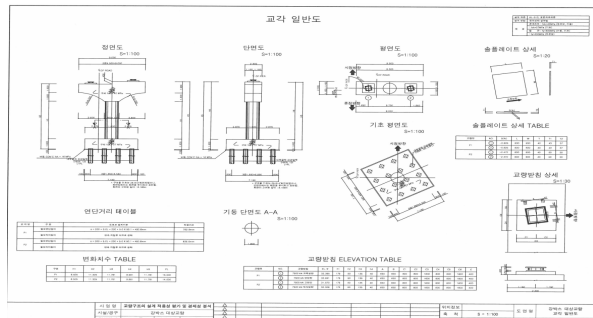


그림 88 Steel Box 대상교량 교각 일반도

- 적용 교량형식은 상부 구조형식에 따라 콘크리트 계열의 PSC Beam 형식과 Steel Box Girder 형식을 선정하고 기초형식은 상부형식별 직접기초와 말뚝기초를 적용하였으며 지반 종류는 기초 형식에 따라 직접기초의 경우 Soil Type-II를 적용하였고 말뚝기초의 경우 Soil Type-IV를 적용함
- 지진가속도는 도로교 설계기준에 따르며 설계 지진과 초과지진을 구분하여 적용(지진구역계수: 0.11, 위험도 계수: 1.4, 가속도 계수(설계 지진: 0.154g, 초과 지진: 설계지진의 2배)한 인공 지진파를 이용하여 면진해석을 수행함

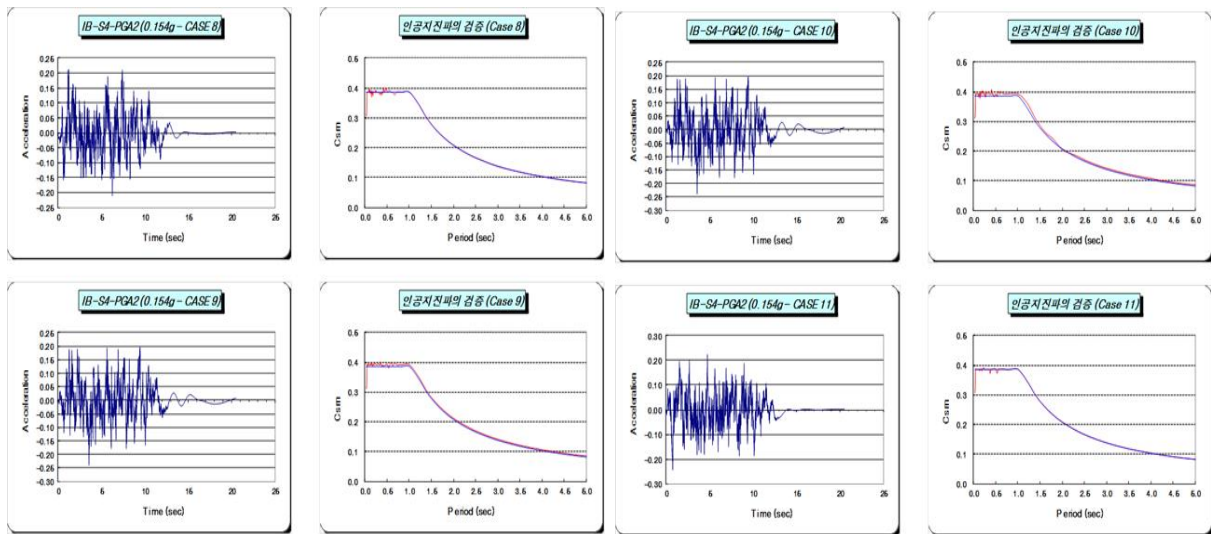
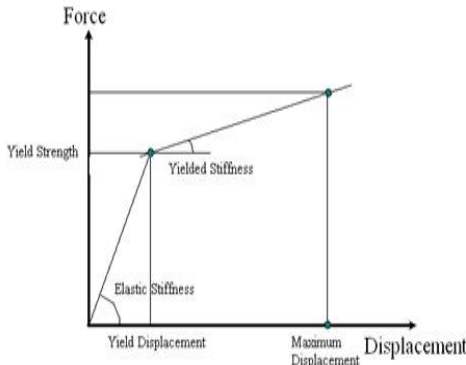
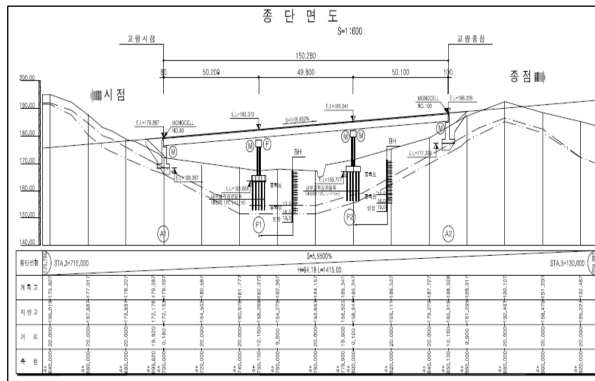


그림 89 교량 수치해석에 활용한 입력 인공지진파

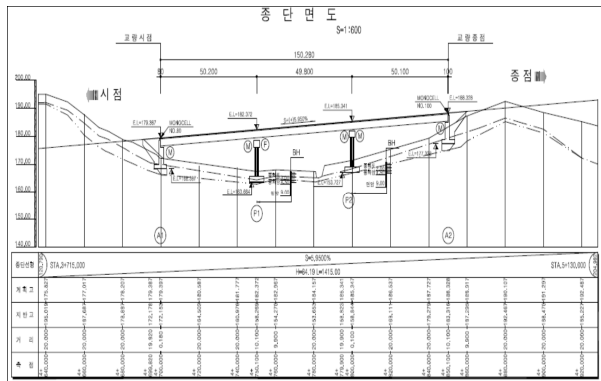
표 23 교량 수치해석에 적용된 먼진받침 특성

|  | 구분                      | 말뚝기초<br>Soil Type - IV | 직접기초<br>Soil Type - II |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                                                    | 1차강성( $k_1$ , kN/m)     | 151183.0               | 147303.0               |
|                                                                                    | 2차강성( $k_2$ , kN/m)     | 1217.0                 | -                      |
|                                                                                    | 유효강성( $k_{eff}$ , kN/m) | 1599.0                 | 1260.0                 |
|                                                                                    | 항복강도(kN)                | 120.0                  | 63.0                   |

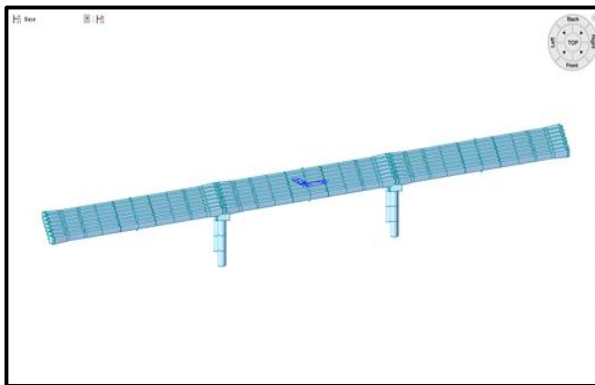
- 탄성력과 탄성변위의 경우 두 개의 직교축에 대하여 독립적으로, 직교 지진력의 경우 부재의 각각의 주축에 대한 설계지진력은 지진력을 조합\*하여 받침 지진력을 검토함
  - \* 하중 경우 1은 종방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)에 횡방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)의 30%를 합하고, 하중 경우 2는 횡방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)에 종방향축의 해석으로부터 구한 탄성지진력(절대값)의 30%를 합하여 조합함
- 구조부재 및 연결부의 설계 지진력은 하부구조 상단으로부터 기둥이나 교각의 하단까지 설계 경우에 대하여 적용하며, 도로교 설계기준의 하중조합에 따라 최대하중을 구하여 하부구조 설계지진력을 산정함
- PSC beam 교량은 기존 설계된 교량을 선정하고 경간 조건 등을 고려하여 Midas 프로그램으로 모델링을 수행하였으함
- 상부구조는 상시해석을 통하여 알 수 있는 고정하중 반력과 2차 고정하중을 각각의 주형을 모델링한 프레임 요소에 단위길이 당의 하중과 질량으로 재하하여 구조해석을 수행하고 하부구조는 콘크리트로 구성된 교각으로 각각의 단면적에 따라 프로그램내에서 자동으로 계산된 질량을 사용함



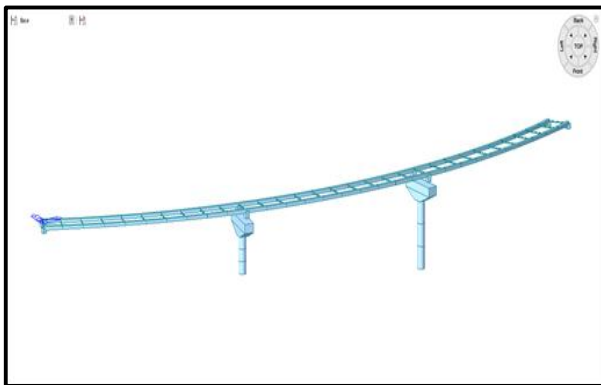
(a) 말뚝기초: Soil Type - IV



(b) 직접기초: Soil Type - II



(c) PSC beam 교량 해석 모델링



(d) Steel box Girder 교량 해석 모델링

그림 90 기초와 교량 종류에 따른 단면도 및 해석 모델링

- 말뚝기초(Soil Type - IV)가 적용된 PSC beam 교량에 대한 반침 지진력, 반침 수평변위, 교각 상단 및 하단 단면력 등의 해석 결과는 아래와 같음

표 24 반침지진력(kN)

| 구분   |       | RFB(0.154g) |       |       |       | RFB(0.308g) |       |       |       |
|------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
|      |       | 교축방향        |       | 교직방향  |       | 교축방향        |       | 교직방향  |       |
| A1   | B1~B7 | 216.1       | 75.6  | 122.5 | 176.4 | 465.8       | 97.0  | 120.7 | 366.9 |
| P1-L | B1~B7 | 190.7       | 120.3 | 69.6  | 218.3 | 413.9       | 126.2 | 95.7  | 434.8 |
| P1-R | B1~B7 | 190.8       | 121.4 | 70.8  | 218.6 | 413.9       | 126.0 | 93.5  | 435.0 |
| P2-L | B1~B7 | 190.8       | 121.9 | 67.7  | 218.5 | 414.0       | 126.8 | 96.0  | 435.1 |
| P2-R | B1~B7 | 190.7       | 121.0 | 68.7  | 218.2 | 414.0       | 126.4 | 94.3  | 434.6 |
| A2   | B1~B7 | 216.1       | 75.8  | 122.5 | 177.0 | 465.6       | 97.9  | 121.3 | 366.9 |

표 25 반침지진력 하중조합(kN)

| 구분   |       | R   | RFB(0.154g) |       |        |       | RFB(0.308g) |       |        |       | 허용  | 판정 |
|------|-------|-----|-------------|-------|--------|-------|-------------|-------|--------|-------|-----|----|
|      |       |     | COMBO1      |       | COMBO2 |       | COMBO1      |       | COMBO2 |       |     |    |
| A1   | B1~B7 | 0.8 | 316.0       | 160.7 | 234.1  | 248.8 | 627.5       | 258.9 | 325.5  | 495.1 | 630 | OK |
| P1-L | B1~B7 | 1.0 | 211.5       | 185.8 | 126.7  | 254.4 | 442.6       | 256.6 | 219.9  | 472.7 | 630 | OK |
| P1-R | B1~B7 | 1.0 | 212.0       | 187.0 | 128.0  | 255.0 | 441.9       | 256.5 | 217.7  | 472.8 | 630 | OK |
| P2-L | B1~B7 | 1.0 | 211.1       | 187.4 | 124.9  | 255.0 | 442.8       | 257.3 | 220.2  | 473.1 | 630 | OK |
| P2-R | B1~B7 | 1.0 | 211.3       | 186.5 | 125.8  | 254.5 | 442.3       | 256.8 | 218.5  | 472.5 | 630 | OK |
| A2   | B1~B7 | 0.8 | 316.0       | 161.1 | 234.1  | 249.6 | 627.6       | 260.0 | 326.3  | 495.4 | 630 | OK |

표 26 받침 수평변위(mm)

| 구분   |       | RFB(0.154g) |      |      |      | RFB(0.308g) |      |      |       |
|------|-------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|-------|
|      |       | 교축방향        |      | 교직방향 |      | 교축방향        |      | 교직방향 |       |
| A1   | B1~B7 | 82.2        | 9.6  | 8.4  | 47.6 | 291.0       | 21.4 | 18.5 | 206.3 |
| P1-L | B1~B7 | 61.0        | 18.6 | 7.8  | 81.9 | 246.3       | 23.5 | 11.4 | 268.5 |
| P1-R | B1~B7 | 61.0        | 18.9 | 7.8  | 82.1 | 246.3       | 23.5 | 11.4 | 268.8 |
| P2-L | B1~B7 | 61.0        | 18.9 | 7.7  | 82.1 | 246.2       | 23.6 | 11.4 | 268.8 |
| P2-R | B1~B7 | 61.0        | 18.6 | 7.7  | 81.8 | 246.2       | 23.5 | 11.4 | 268.6 |
| A2   | B1~B7 | 82.2        | 9.6  | 8.4  | 47.9 | 291.0       | 21.3 | 18.5 | 206.3 |

표 27 받침 수평변위 조합(mm)

| 구분   |       | RFB(0.154g) |      |        |      | RFB(0.308g) |       |        |       | 허용  | 판정 |
|------|-------|-------------|------|--------|------|-------------|-------|--------|-------|-----|----|
|      |       | COMBO1      |      | COMBO2 |      | COMBO1      |       | COMBO2 |       |     |    |
| A1   | B1~B7 | 84.7        | 23.9 | 33.0   | 50.5 | 296.6       | 83.3  | 105.8  | 212.7 | 300 | OK |
| P1-L | B1~B7 | 63.3        | 43.2 | 26.1   | 87.5 | 249.7       | 104.0 | 85.3   | 275.6 | 300 | OK |
| P1-R | B1~B7 | 63.3        | 43.5 | 26.1   | 87.8 | 249.7       | 104.2 | 85.3   | 275.9 | 300 | OK |
| P2-L | B1~B7 | 63.4        | 43.5 | 26.0   | 87.7 | 249.6       | 104.2 | 85.3   | 275.9 | 300 | OK |
| P2-R | B1~B7 | 63.4        | 43.2 | 26.0   | 87.4 | 249.6       | 104.1 | 85.3   | 275.6 | 300 | OK |
| A2   | B1~B7 | 84.7        | 24.0 | 33.0   | 50.8 | 296.6       | 83.2  | 105.8  | 212.7 | 300 | OK |

표 28 교각 하단 단면력(kN)

| 구분 |   | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|---|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    |   | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    |   | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | L | 1,702       | 1,202    | 16,109    | 6,291     | 725      | 1,770    | 6,974     | 9,287     | 2,750       | 1,850    | 27,077    | 9,667     | 1,450    | 3,181    | 13,434    | 16,680    |
|    | R | 1,701       | 1,202    | 16,106    | 6,291     | 724      | 1,770    | 6,964     | 9,287     | 2,750       | 1,850    | 27,073    | 9,667     | 1,446    | 3,181    | 13,412    | 16,680    |
| P2 | L | 1,710       | 1,190    | 16,178    | 6,225     | 724      | 1,772    | 6,967     | 9,294     | 2,745       | 1,863    | 27,038    | 9,730     | 1,446    | 3,184    | 13,414    | 16,695    |
|    | R | 1,711       | 1,190    | 16,182    | 6,225     | 725      | 1,772    | 6,979     | 9,294     | 2,747       | 1,863    | 27,046    | 9,730     | 1,451    | 3,184    | 13,439    | 16,695    |

표 29 교각 하단 단면력 하중조합(kN)

| 구분 |   | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|---|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    |   | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    |   | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | L | 1,920       | 1,733    | 18,201    | 9,077     | 1,236    | 2,131    | 1,807     | 1,174     | 3,185       | 2,805    | 31,107    | 14,671    | 2,275    | 3,737    | 21,557    | 19,580    |
|    | R | 1,919       | 1,733    | 18,195    | 9,077     | 1,234    | 2,131    | 11,795    | 11,174    | 3,183       | 2,805    | 31,096    | 14,671    | 2,271    | 3,737    | 21,533    | 19,580    |
| P2 | L | 1,927       | 1,721    | 18,268    | 9,013     | 1,237    | 2,129    | 11,820    | 11,161    | 3,179       | 2,818    | 31,062    | 14,739    | 2,269    | 3,743    | 21,525    | 19,614    |
|    | R | 1,929       | 1,721    | 18,276    | 9,013     | 1,238    | 2,129    | 11,833    | 11,161    | 3,182       | 2,818    | 31,077    | 14,739    | 2,275    | 3,743    | 21,552    | 19,614    |

표 30 교각 상단 단면력(kN)

| 구분 |   | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|---|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    |   | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    |   | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | L | 1,634       | 1,147    | 1,473     | 6,064     | 703      | 1,711    | 654       | 8,986     | 2,746       | 1,764    | 2,095     | 9,314     | 1,366    | 3,062    | 1,338     | 16,105    |
|    | R | 1,634       | 1,147    | 1,470     | 6,064     | 700      | 1,711    | 647       | 8,986     | 2,745       | 1,764    | 2,087     | 9,314     | 1,362    | 3,062    | 1,316     | 16,105    |
| P2 | L | 1,641       | 1,137    | 1,483     | 5,999     | 701      | 1,711    | 646       | 8,992     | 2,741       | 1,777    | 2,090     | 9,381     | 1,362    | 3,064    | 1,315     | 16,118    |
|    | R | 1,642       | 1,137    | 1,487     | 5,999     | 703      | 1,711    | 656       | 8,992     | 2,742       | 1,777    | 2,094     | 9,381     | 1,366    | 3,064    | 1,339     | 16,118    |

표 31 교각 상단 단면력 하중조합(kN)

| 구분 |   | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|---|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    |   | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    |   | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | L | 1,845       | 1,661    | 1,669     | 8,759     | 1,193    | 2,055    | 1,096     | 0,805     | 3,156       | 2,683    | 2,496     | 14,145    | 2,190    | 3,591    | 1,966     | 18,899    |
|    | R | 1,844       | 1,661    | 1,664     | 8,759     | 1,190    | 2,055    | 1,088     | 10,805    | 3,154       | 2,683    | 2,482     | 14,145    | 2,186    | 3,591    | 1,942     | 18,899    |
| P2 | L | 1,852       | 1,650    | 1,677     | 8,697     | 1,193    | 2,052    | 1,091     | 10,792    | 3,149       | 2,696    | 2,484     | 14,216    | 2,184    | 3,597    | 1,942     | 18,932    |
|    | R | 1,853       | 1,650    | 1,684     | 8,697     | 1,196    | 2,052    | 1,102     | 10,792    | 3,152       | 2,696    | 2,496     | 14,216    | 2,189    | 3,597    | 1,968     | 18,932    |

- 직접기초(Soil Type - II)가 적용된 PSC beam 교량에 대한 받침 지진력, 받침 수평변위, 교각 상단 및 하단 단면력 등의 해석 결과는 아래와 같음

표 32 받침지진력(kN)

| 구분   |       | RFB(0.154g) |       |       |       | RFB(0.308g) |       |       |       |
|------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
|      |       | 교축방향        |       | 교직방향  |       | 교축방향        |       | 교직방향  |       |
| A1   | B1~B7 | 178.5       | 81.7  | 121.8 | 145.0 | 257.4       | 91.2  | 122.2 | 211.8 |
| P1-L | B1~B7 | 149.1       | 125.7 | 66.6  | 161.4 | 226.1       | 125.7 | 90.6  | 234.3 |
| P1-R | B1~B7 | 148.8       | 127.0 | 67.3  | 161.0 | 226.2       | 127.5 | 92.5  | 234.9 |
| P2-L | B1~B7 | 146.0       | 126.7 | 68.8  | 161.1 | 226.2       | 127.9 | 94.5  | 234.7 |
| P2-R | B1~B7 | 146.1       | 125.5 | 65.3  | 161.4 | 226.1       | 126.0 | 91.5  | 234.5 |
| A2   | B1~B7 | 178.4       | 81.5  | 121.8 | 145.1 | 257.4       | 89.7  | 122.2 | 211.4 |

표 33 받침지진력 하중조합(kN)

| 구분   |       | R   | RFB(0.154g) |       |        |       | RFB(0.308g) |       |        |       | 허용  | 판정 |
|------|-------|-----|-------------|-------|--------|-------|-------------|-------|--------|-------|-----|----|
|      |       |     | COMBO1      |       | COMBO2 |       | COMBO1      |       | COMBO2 |       |     |    |
| A1   | B1~B7 | 0.8 | 268.8       | 156.5 | 219.2  | 211.8 | 367.5       | 193.4 | 249.3  | 298.9 | 630 | OK |
| P1-L | B1~B7 | 1.0 | 169.1       | 174.2 | 111.3  | 199.1 | 253.3       | 196.0 | 158.4  | 272.0 | 630 | OK |
| P1-R | B1~B7 | 1.0 | 168.9       | 175.3 | 111.9  | 199.1 | 254.0       | 198.0 | 160.4  | 273.1 | 630 | OK |
| P2-L | B1~B7 | 1.0 | 166.6       | 175.0 | 112.6  | 199.1 | 254.6       | 198.3 | 162.4  | 273.1 | 630 | OK |
| P2-R | B1~B7 | 1.0 | 165.6       | 173.9 | 109.1  | 199.0 | 253.5       | 196.4 | 159.3  | 272.3 | 630 | OK |
| A2   | B1~B7 | 0.8 | 268.7       | 156.3 | 219.1  | 212.0 | 367.5       | 191.4 | 249.3  | 297.9 | 630 | OK |

표 34 받침 수평변위(mm)

| 구분   |       | RFB(0.154g) |      |      |      | RFB(0.308g) |      |      |      |
|------|-------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
|      |       | 교축방향        |      | 교직방향 |      | 교축방향        |      | 교직방향 |      |
| A1   | B1~B7 | 48.4        | 7.5  | 8.3  | 27.9 | 113.1       | 13.5 | 12.2 | 79.9 |
| P1-L | B1~B7 | 26.6        | 9.7  | 6.0  | 34.7 | 89.4        | 15.6 | 11.3 | 97.5 |
| P1-R | B1~B7 | 26.6        | 9.9  | 6.0  | 34.5 | 89.4        | 15.9 | 11.3 | 98.0 |
| P2-L | B1~B7 | 26.4        | 10.1 | 6.0  | 34.5 | 89.3        | 15.9 | 11.3 | 98.1 |
| P2-R | B1~B7 | 26.4        | 9.9  | 6.0  | 34.7 | 89.3        | 15.6 | 11.3 | 97.6 |
| A2   | B1~B7 | 48.4        | 7.4  | 8.3  | 28.0 | 113.1       | 13.5 | 12.2 | 79.5 |

표 35 받침 수평변위 조합(mm)

| 구분   |       | RFB(0.154g) |      |        |      | RFB(0.308g) |      |        |       | 허용  | 판정 |
|------|-------|-------------|------|--------|------|-------------|------|--------|-------|-----|----|
|      |       | COMBO1      |      | COMBO2 |      | COMBO1      |      | COMBO2 |       |     |    |
| A1   | B1~B7 | 50.9        | 15.9 | 22.8   | 30.2 | 116.8       | 37.5 | 46.1   | 83.9  | 300 | OK |
| P1-L | B1~B7 | 28.4        | 20.1 | 13.9   | 37.6 | 92.8        | 44.9 | 38.1   | 102.2 | 300 | OK |
| P1-R | B1~B7 | 28.4        | 20.2 | 13.9   | 37.5 | 92.8        | 45.3 | 38.1   | 102.8 | 300 | OK |
| P2-L | B1~B7 | 28.2        | 20.5 | 13.9   | 37.5 | 92.7        | 45.3 | 38.1   | 102.9 | 300 | OK |
| P2-R | B1~B7 | 28.2        | 20.3 | 13.9   | 37.7 | 92.7        | 44.9 | 38.1   | 102.3 | 300 | OK |
| A2   | B1~B7 | 50.9        | 15.8 | 22.8   | 30.2 | 116.8       | 37.3 | 46.1   | 83.6  | 300 | OK |

표 36 교각 하단 단면력(kN)

| 구분 |   | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|---|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    |   | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    |   | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | L | 1,285       | 1,069    | 12,465    | 5,622     | 575      | 1,679    | 5,495     | 8,753     | 1,685       | 1,407    | 15,592    | 7,368     | 881      | 2,160    | 7,897     | 11,311    |
|    | R | 1,284       | 1,069    | 12,461    | 5,622     | 575      | 1,679    | 5,494     | 8,753     | 1,684       | 1,407    | 15,587    | 7,368     | 879      | 2,160    | 7,892     | 11,311    |
| P2 | L | 1,282       | 1,059    | 12,446    | 5,567     | 577      | 1,669    | 5,504     | 8,699     | 1,682       | 1,393    | 15,518    | 7,297     | 878      | 2,146    | 7,865     | 11,237    |
|    | R | 1,283       | 1,059    | 12,451    | 5,567     | 576      | 1,669    | 5,503     | 8,699     | 1,683       | 1,393    | 15,524    | 7,297     | 880      | 2,146    | 7,867     | 11,237    |

표 37 교각 하단 단면력 하중조합(kN)

| 구분 |   | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|---|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    |   | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    |   | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | L | 1,457       | 1,573    | 14,114    | 8,247     | 961      | 2,000    | 9,234     | 10,439    | 1,949       | 2,055    | 17,961    | 10,761    | 1,386    | 2,582    | 12,574    | 13,521    |
|    | R | 1,456       | 1,573    | 14,109    | 8,247     | 960      | 2,000    | 9,232     | 10,439    | 1,948       | 2,055    | 17,954    | 10,761    | 1,384    | 2,582    | 12,568    | 13,521    |
| P2 | L | 1,455       | 1,559    | 14,097    | 8,177     | 961      | 1,986    | 9,238     | 10,369    | 1,946       | 2,037    | 17,877    | 10,668    | 1,383    | 2,564    | 12,520    | 13,426    |
|    | R | 1,456       | 1,559    | 14,101    | 8,177     | 961      | 1,986    | 9,238     | 10,369    | 1,947       | 2,037    | 17,884    | 10,668    | 1,385    | 2,564    | 12,524    | 13,426    |

표 38 교각 상단 단면력(kN)

| 구분 |   | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|---|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    |   | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    |   | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | L | 1,269       | 1,043    | 971       | 5,462     | 552      | 1,588    | 548       | 8,404     | 1,564       | 1,346    | 1,482     | 7,107     | 809      | 2,046    | 846       | 10,855    |
|    | R | 1,268       | 1,043    | 970       | 5,462     | 551      | 1,588    | 542       | 8,404     | 1,563       | 1,346    | 1,477     | 7,107     | 807      | 2,046    | 836       | 10,855    |
| P2 | L | 1,266       | 1,033    | 977       | 5,412     | 552      | 1,578    | 548       | 8,353     | 1,557       | 1,334    | 1,468     | 7,043     | 805      | 2,036    | 834       | 10,787    |
|    | R | 1,267       | 1,033    | 979       | 5,412     | 552      | 1,578    | 551       | 8,353     | 1,558       | 1,334    | 1,472     | 7,043     | 806      | 2,036    | 843       | 10,787    |

표 39 교각 상단 단면력 하중조합(kN)

| 구분 |   | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|---|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    |   | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    |   | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | L | 1,435       | 1,519    | 1,136     | 7,984     | 933      | 1,900    | 840       | 10,043    | 1,806       | 1,959    | 1,736     | 10,363    | 1,278    | 2,450    | 1,290     | 12,987    |
|    | R | 1,433       | 1,519    | 1,133     | 7,984     | 932      | 1,900    | 833       | 10,043    | 1,805       | 1,959    | 1,728     | 10,363    | 1,276    | 2,450    | 1,279     | 12,987    |
| P2 | L | 1,431       | 1,507    | 1,141     | 7,918     | 932      | 1,888    | 841       | 9,976     | 1,798       | 1,945    | 1,719     | 10,279    | 1,272    | 2,436    | 1,275     | 12,899    |
|    | R | 1,432       | 1,507    | 1,145     | 7,918     | 932      | 1,888    | 845       | 9,976     | 1,800       | 1,945    | 1,725     | 10,279    | 1,273    | 2,436    | 1,285     | 12,899    |

- 말뚝기초(Soil Type - IV)가 적용된 Steel box Girder 교량에 대한 받침 지진력, 받침 수평 변위, 교각 상단 및 하단 단면력 등의 해석 결과는 아래와 같음

표 40 받침지진력(kN)

| 구분 |    | RFB(0.154g) |       |       |       | RFB(0.308g) |       |       |       |
|----|----|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
|    |    | 교축방향        |       | 교직방향  |       | 교축방향        |       | 교직방향  |       |
| A1 | B1 | 134.9       | 63.4  | 94.5  | 109.9 | 267.2       | 113.5 | 158.2 | 211.6 |
|    | B2 | 222.1       | 104.2 | 154.4 | 185.3 | 453.0       | 193.2 | 265.2 | 360.4 |
| P1 | B1 | 390.0       | 111.4 | 168.3 | 405.5 | 693.0       | 181.4 | 138.0 | 694.5 |
|    | B2 | 368.8       | 110.9 | 150.6 | 391.0 | 676.8       | 192.6 | 132.2 | 682.8 |
| P2 | B1 | 359.4       | 83.9  | 82.8  | 392.8 | 636.8       | 98.0  | 126.9 | 681.2 |
|    | B2 | 337.9       | 88.8  | 100.2 | 374.1 | 614.1       | 106.4 | 137.7 | 670.4 |
| A2 | B1 | 136.6       | 57.8  | 92.0  | 134.2 | 269.8       | 109.2 | 167.4 | 243.2 |
|    | B2 | 224.0       | 101.2 | 151.1 | 222.2 | 457.3       | 185.6 | 282.4 | 416.2 |

표 41 받침지진력 하중조합(kN)

| 구분 |    | R   | RFB(0.154g) |       |        |       | RFB(0.308g) |       |        |       | 허용  | 판정 |
|----|----|-----|-------------|-------|--------|-------|-------------|-------|--------|-------|-----|----|
|    |    |     | COMBO1      |       | COMBO2 |       | COMBO1      |       | COMBO2 |       |     |    |
| A1 | B1 | 0.8 | 204.1       | 120.4 | 168.7  | 161.1 | 393.3       | 221.2 | 297.9  | 307.0 | 800 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 335.5       | 199.6 | 276.2  | 270.6 | 665.7       | 376.6 | 501.4  | 522.9 | 800 | OK |
| P1 | B1 | 1.0 | 440.5       | 233.0 | 285.2  | 438.9 | 734.3       | 389.7 | 345.9  | 748.9 | 800 | OK |
|    | B2 | 1.0 | 413.9       | 228.1 | 261.2  | 424.3 | 716.4       | 397.4 | 335.2  | 740.6 | 800 | OK |
| P2 | B1 | 1.0 | 384.2       | 201.7 | 190.6  | 417.9 | 674.8       | 302.3 | 317.9  | 710.5 | 800 | OK |
|    | B2 | 1.0 | 367.9       | 201.0 | 201.5  | 400.7 | 655.4       | 307.5 | 321.9  | 702.3 | 800 | OK |
| A2 | B1 | 0.8 | 205.2       | 122.6 | 166.2  | 189.4 | 400.0       | 227.6 | 310.4  | 344.9 | 800 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 336.6       | 209.8 | 272.9  | 315.7 | 677.5       | 388.0 | 524.4  | 589.8 | 800 | OK |

표 42 받침 수평변위(mm)

| 구분 |    | RFB(0.154g) |       |       |        | RFB(0.308g) |        |        |        |
|----|----|-------------|-------|-------|--------|-------------|--------|--------|--------|
|    |    | 교축방향        |       | 교직방향  |        | 교축방향        |        | 교직방향   |        |
| A1 | B1 | 96.30       | 39.80 | 45.70 | 61.10  | 285.70      | 126.20 | 136.30 | 227.20 |
|    | B2 | 93.60       | 39.80 | 44.30 | 61.00  | 283.60      | 126.10 | 134.70 | 227.10 |
| P1 | B1 | 95.60       | 17.30 | 15.70 | 103.10 | 295.10      | 47.50  | 46.80  | 293.10 |
|    | B2 | 92.00       | 17.30 | 14.40 | 103.10 | 291.90      | 47.40  | 45.40  | 292.90 |
| P2 | B1 | 73.80       | 14.00 | 15.50 | 98.20  | 256.90      | 38.50  | 45.80  | 285.40 |
|    | B2 | 70.40       | 13.90 | 16.60 | 98.10  | 250.80      | 38.50  | 47.50  | 285.20 |
| A2 | B1 | 96.20       | 42.60 | 60.00 | 96.00  | 287.60      | 122.40 | 152.70 | 262.80 |
|    | B2 | 93.50       | 42.60 | 60.60 | 96.00  | 285.60      | 122.40 | 153.30 | 262.70 |

표 43 받침 수평변위 조합(mm)

| 구분 |    | RFB(0.154g) |       |        |        | RFB(0.308g) |        |        |        | 허용  | 판정 |
|----|----|-------------|-------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|-----|----|
|    |    | COMBO1      |       | COMBO2 |        | COMBO1      |        | COMBO2 |        |     |    |
| A1 | B1 | 110.01      | 58.13 | 74.59  | 73.04  | 326.59      | 194.36 | 222.01 | 265.06 | 350 | OK |
|    | B2 | 106.89      | 58.10 | 72.38  | 72.94  | 324.01      | 194.23 | 219.78 | 264.93 | 350 | OK |
| P1 | B1 | 100.31      | 48.23 | 44.38  | 108.29 | 309.14      | 135.43 | 135.33 | 307.35 | 350 | OK |
|    | B2 | 96.32       | 48.23 | 42.00  | 108.29 | 305.52      | 135.27 | 132.97 | 307.12 | 350 | OK |
| P2 | B1 | 78.45       | 43.46 | 37.64  | 102.40 | 270.64      | 124.12 | 122.87 | 296.95 | 350 | OK |
|    | B2 | 75.38       | 43.33 | 37.72  | 102.27 | 265.05      | 124.06 | 122.74 | 296.75 | 350 | OK |
| A2 | B1 | 114.20      | 71.40 | 88.86  | 108.78 | 333.41      | 201.24 | 238.98 | 299.52 | 350 | OK |
|    | B2 | 111.68      | 71.40 | 88.65  | 108.78 | 331.59      | 201.21 | 238.98 | 299.42 | 350 | OK |

표 44 교각 하단 단면력(kN)

| 구분 | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | 1,171       | 265      | 9,817     | 2,086     | 330      | 992      | 2,980     | 9,059     | 1,947       | 352      | 16,789    | 2,292     | 304      | 1,711    | 2,481     | 14,856    |
| P2 | 907         | 205      | 12,304    | 2,009     | 164      | 1,044    | 2,201     | 11,648    | 1,833       | 306      | 23,581    | 2,905     | 301      | 1,732    | 3,905     | 9,801     |

표 45 교각 하단 단면력 하중조합(kN)

| 구분 | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | 1,270       | 562      | 10,711    | 4,804     | 681      | 1,071    | 5,925     | 9,685     | 2,038       | 866      | 17,534    | 6,749     | 888      | 1,817    | 7,518     | 15,543    |
| P2 | 957         | 518      | 12,964    | 5,503     | 437      | 1,105    | 5,892     | 12,250    | 1,923       | 826      | 4,753     | 8,846     | 851      | 1,823    | 10,979    | 20,673    |

표 46 교각 상단 단면력(kN)

| 구분 | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | 1,030       | 254      | 1,265     | 788       | 324      | 922      | 465       | 3,019     | 1,771       | 333      | 2,277     | 1,145     | 260      | 1,587    | 362       | 5,356     |
| P2 | 893         | 167      | 913       | 617       | 164      | 869      | 241       | 1,975     | 1,590       | 239      | 1,798     | 967       | 259      | 1,490    | 360       | 3,456     |

표 47 교각 상단 단면력 하중조합(kN)

| 구분 | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | 1,127       | 531      | 1,405     | 1,694     | 632      | 998      | 845       | 3,255     | 1,850       | 809      | 2,385     | 2,751     | 792      | 1,687    | 1,045     | 5,699     |
| P2 | 943         | 428      | 985       | 1,210     | 432      | 920      | 514       | 2,160     | 1,668       | 686      | 1,906     | 2,004     | 736      | 1,561    | 899       | 3,747     |

- 직접기초(Soil Type - II)가 적용된 Steel box Girder 교량에 대한 받침 지진력, 받침 수평 변위, 교각 상단 및 하단 단면력 등의 해석 결과는 아래와 같음

표 48 받침지진력(kN)

| 구분 |    | RFB(0.154g) |       |       |       | RFB(0.308g) |       |       |       |
|----|----|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
|    |    | 교축방향        |       | 교직방향  |       | 교축방향        |       | 교직방향  |       |
| A1 | B1 | 106.5       | 59.2  | 83.9  | 89.0  | 158.2       | 71.5  | 102.5 | 123.6 |
|    | B2 | 173.4       | 96.6  | 137.8 | 146.3 | 264.7       | 118.0 | 168.4 | 207.0 |
| P1 | B1 | 317.1       | 119.7 | 153.9 | 320.2 | 444.6       | 140.3 | 158.8 | 433.0 |
|    | B2 | 301.5       | 115.9 | 132.7 | 305.5 | 427.3       | 158.8 | 138.2 | 418.8 |
| P2 | B1 | 301.7       | 83.9  | 76.3  | 316.2 | 416.0       | 85.9  | 98.6  | 415.4 |
|    | B2 | 283.8       | 85.8  | 86.5  | 298.1 | 396.0       | 93.4  | 113.7 | 400.5 |
| A2 | B1 | 107.9       | 58.7  | 84.3  | 102.0 | 159.6       | 76.3  | 113.7 | 145.9 |
|    | B2 | 179.0       | 99.4  | 139.1 | 168.2 | 267.5       | 125.0 | 191.0 | 247.4 |

표 49 받침지진력 하중조합(kN)

| 구분 |    | R   | RFB(0.154g) |       |        |       | RFB(0.308g) |       |        |       | 허용  | 판정 |
|----|----|-----|-------------|-------|--------|-------|-------------|-------|--------|-------|-----|----|
|    |    |     | COMBO1      |       | COMBO2 |       | COMBO1      |       | COMBO2 |       |     |    |
| A1 | B1 | 0.8 | 164.5       | 107.3 | 144.7  | 133.4 | 236.1       | 135.7 | 187.4  | 181.3 | 800 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 268.3       | 175.5 | 237.2  | 219.1 | 394.0       | 225.1 | 309.7  | 302.9 | 800 | OK |
| P1 | B1 | 1.0 | 363.2       | 215.8 | 249.0  | 356.1 | 492.2       | 270.1 | 292.2  | 475.0 | 800 | OK |
|    | B2 | 1.0 | 341.3       | 207.5 | 223.1  | 340.3 | 468.7       | 284.4 | 266.3  | 466.4 | 800 | OK |
| P2 | B1 | 1.0 | 324.6       | 178.7 | 166.8  | 341.3 | 445.5       | 210.5 | 223.3  | 441.1 | 800 | OK |
|    | B2 | 1.0 | 309.7       | 175.2 | 171.6  | 323.8 | 430.0       | 213.5 | 232.5  | 428.5 | 800 | OK |
| A2 | B1 | 0.8 | 166.4       | 111.5 | 145.8  | 149.4 | 242.1       | 150.0 | 201.9  | 211.0 | 800 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 275.9       | 187.3 | 240.9  | 247.5 | 405.9       | 248.9 | 339.0  | 356.0 | 800 | OK |

표 50 받침 수평변위(mm)

| 구분 |    | RFB(0.154g) |       |       |       | RFB(0.308g) |       |       |        |
|----|----|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|--------|
|    |    | 교축방향        |       | 교직방향  |       | 교축방향        |       | 교직방향  |        |
| A1 | B1 | 53.50       | 22.30 | 23.00 | 29.10 | 130.90      | 56.00 | 58.60 | 88.60  |
|    | B2 | 53.40       | 22.30 | 22.40 | 29.10 | 128.50      | 56.00 | 57.30 | 88.50  |
| P1 | B1 | 51.30       | 8.30  | 9.50  | 47.60 | 131.30      | 22.10 | 20.80 | 122.80 |
|    | B2 | 50.40       | 8.30  | 9.50  | 47.50 | 128.30      | 22.10 | 21.10 | 122.90 |
| P2 | B1 | 35.30       | 4.20  | 8.30  | 46.60 | 109.90      | 18.40 | 17.60 | 114.50 |
|    | B2 | 34.40       | 4.20  | 9.10  | 46.50 | 106.50      | 18.40 | 19.10 | 114.40 |
| A2 | B1 | 54.70       | 22.70 | 32.60 | 49.50 | 132.10      | 55.20 | 73.90 | 124.10 |
|    | B2 | 54.40       | 22.70 | 32.70 | 49.50 | 129.70      | 55.20 | 74.60 | 124.10 |

표 51 받침 수평변위 조합(mm)

| 구분 |    | RFB(0.154g) |       |        |       | RFB(0.308g) |       |        |        | 허용  | 판정 |
|----|----|-------------|-------|--------|-------|-------------|-------|--------|--------|-----|----|
|    |    | COMBO1      |       | COMBO2 |       | COMBO1      |       | COMBO2 |        |     |    |
| A1 | B1 | 60.40       | 31.03 | 39.05  | 35.79 | 148.48      | 82.58 | 97.87  | 105.40 | 350 | OK |
|    | B2 | 60.12       | 31.03 | 38.42  | 35.79 | 145.69      | 82.55 | 95.85  | 105.30 | 350 | OK |
| P1 | B1 | 54.15       | 22.58 | 24.89  | 50.09 | 137.54      | 58.94 | 60.19  | 129.43 | 350 | OK |
|    | B2 | 53.25       | 22.55 | 24.62  | 49.99 | 134.63      | 58.97 | 59.59  | 129.53 | 350 | OK |
| P2 | B1 | 37.79       | 18.18 | 18.89  | 47.86 | 115.18      | 52.75 | 50.57  | 120.02 | 350 | OK |
|    | B2 | 37.13       | 18.15 | 19.42  | 47.76 | 112.23      | 52.72 | 51.05  | 119.92 | 350 | OK |
| A2 | B1 | 64.48       | 37.55 | 49.01  | 56.31 | 154.27      | 92.43 | 113.53 | 140.66 | 350 | OK |
|    | B2 | 64.21       | 37.55 | 49.02  | 56.31 | 152.08      | 92.43 | 113.51 | 140.66 | 350 | OK |

표 52 교각 하단 단면력(kN)

| 구분 | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | 832         | 289      | 7,166     | 2,256     | 325      | 796      | 2,806     | 6,753     | 1,386       | 316      | 11,826    | 2,424     | 306      | 1,230    | 2,646     | 10,131    |
| P2 | 804         | 178      | 10,667    | 1,708     | 140      | 831      | 1,849     | 9,261     | 1,188       | 222      | 14,664    | 2,072     | 168      | 1,060    | 2,231     | 11,291    |

표 53 교각 하단 단면력 하중조합(kN)

| 구분 | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | 929         | 528      | 8,008     | 4,282     | 575      | 883      | 4,955     | 7,430     | 1,477       | 685      | 12,620    | 5,463     | 722      | 1,325    | 6,194     | 10,858    |
| P2 | 846         | 427      | 11,222    | 4,487     | 381      | 884      | 5,049     | 9,773     | 1,239       | 540      | 15,334    | 5,459     | 525      | 1,127    | 6,631     | 11,912    |

표 54 교각 상단 단면력(kN)

| 구분 | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | 753         | 280      | 992       | 512       | 296      | 735      | 404       | 2,395     | 1,235       | 302      | 1,421     | 921       | 279      | 1,068    | 395       | 3,771     |
| P2 | 820         | 155      | 793       | 576       | 156      | 696      | 198       | 1,584     | 1,057       | 200      | 1,064     | 907       | 184      | 881      | 253       | 2,624     |

표 55 교각 상단 단면력 하중조합(kN)

| 구분 | RFB(0.154g) |          |           |           |          |          |           |           | RFB(0.308g) |          |           |           |          |          |           |           |
|----|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|    | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           | 교축방향        |          |           |           | 교직방향     |          |           |           |
|    | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단    | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1 | 842         | 501      | 1,113     | 1,230     | 522      | 819      | 702       | 2,549     | 1,318       | 623      | 1,540     | 2,052     | 649      | 1,158    | 821       | 4,047     |
| P2 | 867         | 364      | 853       | 1,051     | 402      | 743      | 436       | 1,756     | 1,112       | 464      | 1,140     | 1,695     | 501      | 940      | 573       | 2,897     |

- 교량 형식(PSC beam, Steel box girder)별, 기초형식(말뚝기초, 직접기초)별로 신개념 면진장치 RFB의 적용성에 대해 Midas를 통해 검토를 진행한 결과 설계 가속도(국내기준, 0.154g) 내에서 작용하는 수평 및 수직 하중에 대해 신개념 면진장치 RFB 적용시 하중 및 변위가 허용 값을 만족함
- 또한, 초과 가속도(0.308g) 내에서 작용하는 수평 및 수직 하중에 대해 신개념 면진장치 RFB 적용시 하중 및 변위가 허용 값을 만족함
- 추가적으로 하이브리드 지진격리장치의 교량 구조물에 대한 적용성과 내진 성능을 평가하기 위하여 교량구조 형식, 면진 받침 종류, 입력지진 크기를 변경하여 수치해석 모델을 완성하고 기존 면진 받침과 하이브리드 면진 받침의 적용에 따른 교량의 상부 및 하부 구조의 안전성 검토를 수행함
- 교량구조 형식은 PSC Beam교와 강교를 선정하고 기초 종류(직접기초, 말뚝기초)를 선정하였으며 설계지진가속도와 초과지진가속도를 만족하는 인공지진파를 생성하여 면진 받침의 종류(POT, EQS, RFB)에 대한 수치해석을 수행함

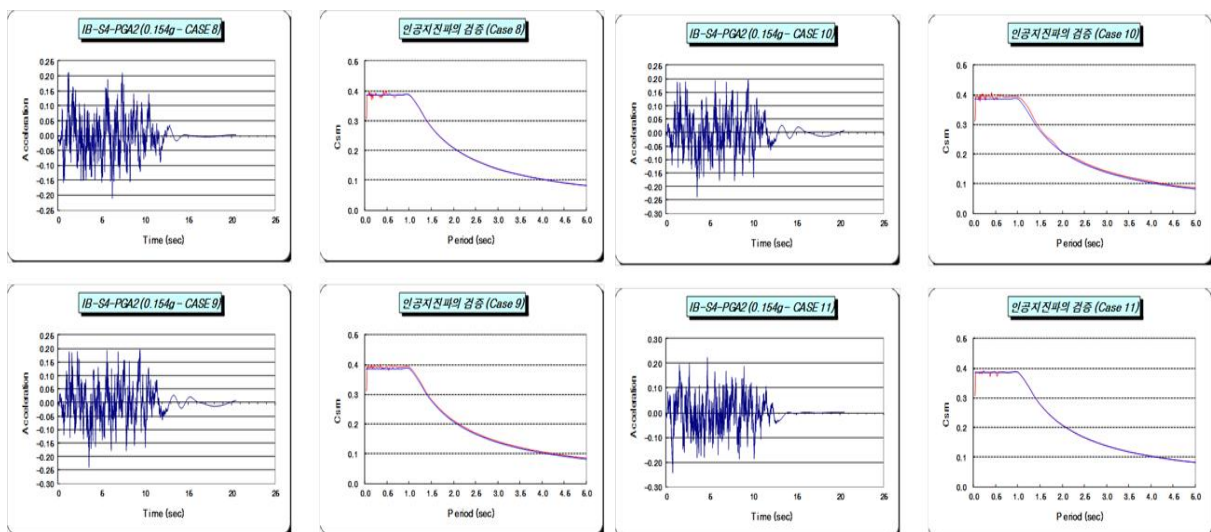


그림 93 교량 수치해석에 활용한 입력 인공지진파

표 56 수치해석을 위해 선정된 교량 제원 및 도면

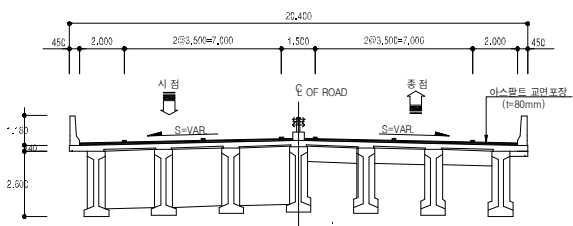
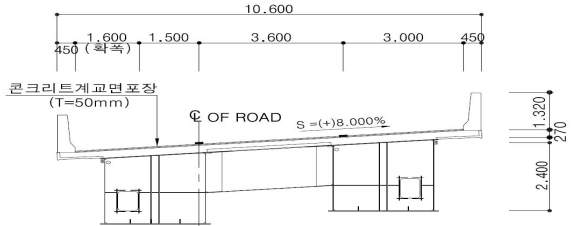
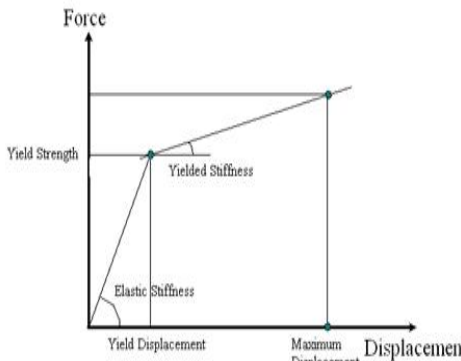
| PSC Beam교                                                                                                                                                            | 강교                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 교량명: 한티교 S2, S3<br>교량 형식: BiCon 거터교<br>바닥판 전장 : 50.000 m<br>거터 전장 : 49.800m<br>설계 지간 : 48.900m<br>교량 폭원 : 20.400m(1.200+6@3.000+1.200)<br>교량 형고 : 2.840m (바닥판 두께 포함) | 교량명: 이서JCT5교<br>교량 형식: HDBox 거터교<br>교량 연장: 50.120+50.000+50.120=150.240m<br>교량 폭원: B=10.60 m<br>교량 형고: GB=2.50m H=1.80~2.40 m<br>설계 속도: 60.0km/h<br>곡률 반경: R=160.0m |
|                                                                                     |                                                                                   |

표 57 교량 수치해석에 적용된 면진받침 특성

|  | 구분               | POT    | EQS      | RFB      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|----------|----------|
|                                                                                    | 1차강성(k1, kN/m)   | -      | 151183.0 | 147403.0 |
|                                                                                    | 2차강성(k2, kN/m)   | -      | 1476.0   | -        |
|                                                                                    | 유효강성(keff, kN/m) | 10E+09 | 2976.0   | 1260.0   |
|                                                                                    | 항복강도(kN)         | -      | 120.0    | 63.0     |

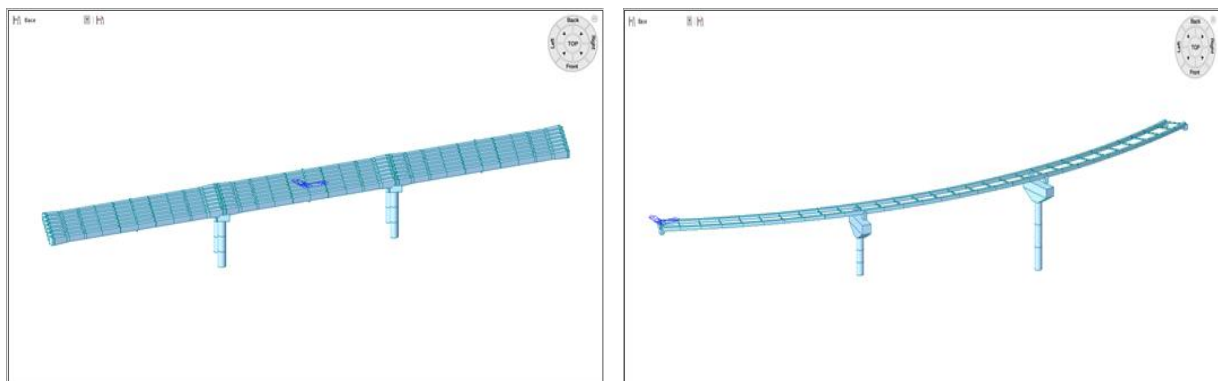


그림 94 교량의 수치해석 모델

- 작용하중(작용질량)은 상부구조의 경우 상시해석을 통하여 알 수 있는 고정하중 반력과 2차 고정하중을 각각의 주형을 하부구조의 경우 콘크리트로 구성된 교각으로 각각의 단면적에 따라 프로그램내에서 자동으로 계산된 질량을 사용함
- 직접기초(Soil Type - IV), 설계지진력이 적용된 PSC beam 교량 상부구조에 대한 받침 지진력, 받침 수평변위, 교각 하단 및 상단 단면력 등의 해석 결과는 아래와 같음(상세 결과는 해석보고서 참고)

표 58 받침지진력(kN)

| 구분 |    | POT  |     |      |     | EQS   |       |       |       | RFB   |       |       |       |
|----|----|------|-----|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    |    | 교축방향 |     | 교직방향 |     | 교축방향  |       | 교직방향  |       | 교축방향  |       | 교직방향  |       |
| A1 | B1 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 120.0 | 79.7  | 118.4 | 148.9 | 178.7 | 79.5  | 122.1 | 145.4 |
|    | B2 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 120.0 | 80.6  | 118.3 | 148.9 | 178.5 | 82.8  | 121.7 | 144.7 |
| P1 | B1 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 156.3 | 126.0 | 62.2  | 165.5 | 149.4 | 125.4 | 60.0  | 161.6 |
|    | B2 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 156.0 | 126.4 | 64.2  | 165.3 | 148.9 | 125.4 | 61.7  | 161.2 |
| P2 | B1 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 156.2 | 125.5 | 69.3  | 165.7 | 146.3 | 126.4 | 70.6  | 161.1 |
|    | B2 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 156.2 | 125.5 | 66.9  | 165.7 | 146.2 | 126.3 | 69.2  | 161.1 |
| A2 | B1 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 120.0 | 74.3  | 118.1 | 148.5 | 178.3 | 77.5  | 121.9 | 145.0 |
|    | B2 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 120.0 | 80.1  | 118.2 | 148.9 | 178.4 | 82.6  | 121.6 | 144.9 |

표 59 받침지진력 하중조합(kN)

| 구분 |    | R   | POT    |      | EQS    |        | RFB    |        | POT  |    | EQS |    | RFB |    |
|----|----|-----|--------|------|--------|--------|--------|--------|------|----|-----|----|-----|----|
|    |    |     | COMBO1 |      | COMBO1 |        | COMBO1 |        | 허용   | 판정 | 허용  | 판정 | 허용  | 판정 |
| A1 | B1 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 194.42 | 155.50 | 269.08 | 153.95 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 194.36 | 156.61 | 268.77 | 157.81 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
| P1 | B1 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 174.98 | 175.65 | 268.63 | 152.05 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 175.27 | 175.95 | 167.39 | 173.89 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
| P2 | B1 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 176.95 | 175.19 | 170.17 | 174.97 | 5000 | OK | 310 | OK | 630 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 176.22 | 175.24 | 167.42 | 174.67 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
| A2 | B1 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 194.30 | 148.50 | 164.54 | 173.65 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 194.32 | 155.94 | 268.62 | 151.29 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |

표 60 받침수평변위(mm)

| 구분 |    | POT    |      |       |      | EQS   |      |      |       | RFB   |      |       |       |
|----|----|--------|------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|
|    |    | 교축방향   |      | 교직방향  |      | 교축방향  |      | 교직방향 |       | 교축방향  |      | 교직방향  |       |
| A1 | B1 | 103.99 | 0.00 | 17.48 | 0.00 | 52.70 | 6.70 | 9.20 | 25.60 | 48.70 | 7.50 | 8.60  | 28.10 |
|    | B2 | 103.70 | 0.00 | 17.55 | 0.00 | 52.50 | 6.70 | 9.10 | 25.50 | 48.50 | 7.50 | 8.30  | 28.00 |
| P1 | B1 | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 30.00 | 8.80 | 5.90 | 32.70 | 26.70 | 9.70 | 5.80  | 34.80 |
|    | B2 | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 29.80 | 8.80 | 6.00 | 32.70 | 26.60 | 9.60 | 5.90  | 34.70 |
| P2 | B1 | 94.83  | 0.00 | 8.27  | 0.00 | 29.70 | 8.90 | 6.10 | 26.40 | 10.10 | 6.00 | 34.40 | 161.1 |
|    | B2 | 94.92  | 0.00 | 8.24  | 0.00 | 29.80 | 8.90 | 6.00 | 26.40 | 10.10 | 5.90 | 34.50 | 161.1 |
| A2 | B1 | 104.20 | 0.00 | 17.70 | 0.00 | 52.40 | 6.60 | 9.00 | 25.00 | 48.30 | 7.40 | 8.10  | 27.90 |
|    | B2 | 104.24 | 0.00 | 17.69 | 0.00 | 52.50 | 6.60 | 9.10 | 25.10 | 48.40 | 7.40 | 8.20  | 28.00 |

표 61 받침 수평변위 조합(mm)

| 구분 |    | POT    |      | EQS    |       | RFB    |       | POT   |    | EQS |    | RFB |    |
|----|----|--------|------|--------|-------|--------|-------|-------|----|-----|----|-----|----|
|    |    | COMBO1 |      | COMBO1 |       | COMBO1 |       | 허용    | 판정 | 허용  | 판정 | 허용  | 판정 |
| A1 | B1 | 109.24 | 0.00 | 55.46  | 14.38 | 51.28  | 15.93 | 250.0 | OK | 120 | OK | 300 | OK |
|    | B2 | 108.96 | 0.00 | 55.23  | 14.35 | 50.99  | 15.90 | 250.0 | OK | 120 | OK | 300 | OK |
| P1 | B1 | 0.00   | 0.00 | 31.77  | 18.61 | 51.28  | 15.93 | 50.0  | OK | 90  | OK | 300 | OK |
|    | B2 | 0.00   | 0.00 | 31.60  | 18.61 | 50.99  | 15.90 | 50.0  | OK | 90  | OK | 300 | OK |
| P2 | B1 | 97.31  | 0.00 | 31.53  | 18.77 | 28.43  | 20.15 | 200.0 | OK | 90  | OK | 300 | OK |
|    | B2 | 97.39  | 0.00 | 31.60  | 18.77 | 28.20  | 20.42 | 200.0 | OK | 90  | OK | 300 | OK |
| A2 | B1 | 109.50 | 0.00 | 55.10  | 14.10 | 28.27  | 20.31 | 250.0 | OK | 120 | OK | 300 | OK |
|    | B2 | 109.54 | 0.00 | 55.23  | 14.13 | 50.73  | 15.77 | 250.0 | OK | 120 | OK | 300 | OK |

표 62 교각 하단 단면력(kN)

| 구분   | POT      |          |           |           | EQS      |          |           |           | RFB      |          |           |           |
|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|      | 교축방향     |          |           |           | 교축방향     |          |           |           | 교축방향     |          |           |           |
|      | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1-L | 4,770    | 2,100    | 49,151    | 11,085    | 1,319    | 1,035    | 12,786    | 5,440     | 1,285    | 1,069    | 2,465     | 5,622     |
| P1-R | 4,766    | 2,100    | 49,132    | 11,085    | 1,318    | 1,035    | 12,778    | 5,440     | 1,284    | 1,069    | 2,461     | 5,622     |
| P2-L | 510      | 760      | 4,709     | 3,984     | 1,316    | 1,037    | 12,766    | 5,443     | 1,282    | 1,059    | 2,446     | 5,567     |
| P2-R | 522      | 760      | 4,775     | 3,984     | 1,317    | 1,037    | 12,771    | 5,443     | 1,283    | 1,059    | 12,451    | 5,567     |

표 63 교각 하단 단면력 하중조합(kN)

| 구분   | POT      |          |           |           | EQS      |          |           |           | RFB      |          |           |           |
|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|      | COMB1    |          |           |           | COMB1    |          |           |           | COMB1    |          |           |           |
|      | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1-L | 5,009    | 3,133    | 51,616    | 6,546     | 1,496    | 1,536    | 4,447     | 8,048     | 1,457    | 1,573    | 14,114    | 8,247     |
| P1-R | 5,007    | 3,133    | 51,602    | 16,546    | 1,494    | 1,536    | 14,438    | 8,048     | 1,456    | 1,573    | 14,109    | 8,247     |
| P2-L | 975      | 1,517    | 9,380     | 7,989     | 1,492    | 1,538    | 14,429    | 8,058     | 1,455    | 1,559    | 14,097    | 8,177     |
| P2-R | 980      | 1,517    | 9,407     | 7,989     | 1,493    | 1,538    | 14,433    | 8,058     | 1,456    | 1,559    | 4,101     | 8,177     |

표 64 교각 상단 단면력(kN)

| 구분   | POT      |          |           |           | EQS      |          |           |           | RFB      |          |           |           |
|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|      | 교축방향     |          |           |           | 교축방향     |          |           |           | 교축방향     |          |           |           |
|      | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1-L | 4,748    | 2,089    | 866       | 10,919    | 1,299    | 1,007    | 937       | 5,281     | 1,269    | 1,043    | 971       | 5,462     |
| P1-R | 4,744    | 2,089    | 862       | 0,919     | 1,297    | 1,007    | 928       | 5,281     | 1,268    | 1,043    | 970       | 5,462     |
| P2-L | 469      | 722      | 507       | 3,828     | 1,296    | 1,008    | 927       | 5,282     | 1,266    | 1,033    | 977       | 5,412     |
| P2-R | 481      | 722      | 565       | 3,828     | 1,297    | 1,008    | 931       | 5,282     | 1,267    | 1,033    | 979       | 5,412     |

표 65 교각 상단 단면력 하중조합(kN)

| 구분   | POT      |          |           |           | EQS      |          |           |           | RFB      |          |           |           |
|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|      | COMB1    |          |           |           | COMB1    |          |           |           | COMB1    |          |           |           |
|      | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1-L | 4,986    | 3,112    | 940       | 16,256    | 1,467    | 1,480    | 1,102     | 7,783     | 1,435    | 1,519    | 1,136     | 7,984     |
| P1-R | 4,983    | 3,112    | 945       | 6,256     | 1,464    | 1,480    | 1,091     | 7,783     | 1,433    | 1,519    | 1,133     | 7,984     |
| P2-L | 923      | 1,471    | 692       | 7,735     | 1,463    | 1,481    | 1,088     | 7,789     | 1,431    | 1,507    | 1,141     | 7,918     |
| P2-R | 929      | 1,471    | 723       | 7,735     | 1,465    | 1,481    | 1,096     | 7,789     | 1,432    | 1,507    | 1,145     | 7,918     |

- 말뚝기초(Soil Type - IV), 설계지진력이 적용된 PSC beam 교량에 대한 받침 지진력, 받침 수  
평변위, 교각 하단 및 상단 단면력 등의 해석 결과는 아래와 같음(상세 결과는 해석보고서 참고)

표 66 받침지진력(kN)

| 구분 |    | POT  |     |      |     | EQS   |       |       |       | RFB   |       |       |       |
|----|----|------|-----|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    |    | 교축방향 |     | 교직방향 |     | 교축방향  |       | 교직방향  |       | 교축방향  |       | 교직방향  |       |
| A1 | B1 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 120.0 | 65.5  | 119.6 | 180.5 | 216.4 | 76.2  | 122.5 | 176.4 |
|    | B2 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 120.0 | 64.6  | 119.7 | 180.1 | 216.1 | 75.0  | 122.5 | 176.7 |
| P1 | B1 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 206.3 | 118.7 | 64.9  | 235.3 | 190.8 | 119.9 | 67.6  | 218.4 |
|    | B2 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 206.1 | 118.6 | 65.4  | 235.2 | 190.7 | 120.2 | 69.2  | 218.5 |
| P2 | B1 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 206.1 | 121.4 | 69.0  | 235.3 | 190.8 | 121.5 | 69.6  | 218.3 |
|    | B2 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 206.1 | 121.0 | 65.8  | 235.5 | 190.7 | 121.9 | 67.3  | 218.5 |
| A2 | B1 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 120.0 | 64.0  | 119.7 | 179.9 | 216.1 | 75.1  | 122.5 | 176.6 |
|    | B2 | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 0.0 | 120.0 | 64.1  | 119.6 | 180.1 | 216.1 | 75.6  | 122.4 | 177.2 |

표 67 받침지진력 하중조합(kN)

| 구분 |    | R   | POT    |      | EQS    |        | RFB    |        | POT  |    | EQS |    | RFB |    |
|----|----|-----|--------|------|--------|--------|--------|--------|------|----|-----|----|-----|----|
|    |    |     | COMBO1 |      | COMBO1 |        | COMBO1 |        | 허용   | 판정 | 허용  | 판정 | 허용  | 판정 |
| A1 | B1 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 194.85 | 149.57 | 316.44 | 161.39 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 194.90 | 148.29 | 316.00 | 159.94 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
| P1 | B1 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 225.74 | 189.31 | 315.94 | 159.99 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 225.71 | 189.10 | 211.08 | 185.41 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
| P2 | B1 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 226.77 | 192.01 | 214.19 | 187.07 | 5000 | OK | 310 | OK | 630 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 225.82 | 191.64 | 211.70 | 186.97 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
| A2 | B1 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 194.87 | 147.52 | 211.09 | 186.60 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |
|    | B2 | 0.8 | 0.00   | 0.00 | 194.85 | 147.63 | 316.03 | 160.14 | 0.0  | OK | 310 | OK | 630 | OK |

표 68 받침수평변위(mm)

| 구분 |    | POT    |      |       |      | EQS   |       |       |       | RFB   |       |      |       |
|----|----|--------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|    |    | 교축방향   |      | 교직방향  |      | 교축방향  |       | 교직방향  |       | 교축방향  |       | 교직방향 |       |
| A1 | B1 | 173.31 | 0.00 | 28.94 | 0.00 | 84.60 | 8.70  | 11.30 | 44.90 | 82.40 | 9.60  | 9.00 | 47.90 |
|    | B2 | 172.82 | 0.00 | 28.99 | 0.00 | 84.30 | 8.70  | 10.80 | 44.70 | 82.20 | 9.60  | 8.40 | 47.70 |
| P1 | B1 | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 63.00 | 16.50 | 8.80  | 79.50 | 61.10 | 18.70 | 7.80 | 82.00 |
|    | B2 | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00 | 62.90 | 16.50 | 8.80  | 79.40 | 61.00 | 18.60 | 7.80 | 81.90 |
| P2 | B1 | 163.64 | 0.00 | 8.11  | 0.00 | 62.90 | 16.70 | 8.80  | 79.50 | 61.00 | 18.90 | 7.80 | 82.00 |
|    | B2 | 163.78 | 0.00 | 8.04  | 0.00 | 63.00 | 16.70 | 8.80  | 79.60 | 61.00 | 18.90 | 7.70 | 82.10 |
| A2 | B1 | 173.65 | 0.00 | 29.19 | 0.00 | 84.10 | 8.70  | 10.20 | 44.60 | 82.20 | 9.60  | 8.00 | 47.80 |
|    | B2 | 173.72 | 0.00 | 29.19 | 0.00 | 84.30 | 8.70  | 10.70 | 44.80 | 82.20 | 9.60  | 8.30 | 47.90 |

표 69 받침 수평변위 조합(mm)

| 구분 |    | POT    |      | EQS    |       | RFB    |       | POT   |    | EQS |    | RFB |    |
|----|----|--------|------|--------|-------|--------|-------|-------|----|-----|----|-----|----|
|    |    | COMBO1 |      | COMBO1 |       | COMBO1 |       | 허용    | 판정 | 허용  | 판정 | 허용  | 판정 |
| A1 | B1 | 181.99 | 0.00 | 87.99  | 22.17 | 85.10  | 23.97 | 250.0 | OK | 120 | OK | 300 | OK |
|    | B2 | 181.52 | 0.00 | 87.54  | 22.11 | 84.72  | 23.91 | 250.0 | OK | 120 | OK | 300 | OK |
| P1 | B1 | 0.00   | 0.00 | 65.64  | 40.35 | 84.60  | 23.82 | 50.0  | OK | 90  | OK | 300 | OK |
|    | B2 | 0.00   | 0.00 | 65.54  | 40.32 | 63.44  | 43.30 | 50.0  | OK | 90  | OK | 300 | OK |
| P2 | B1 | 166.07 | 0.00 | 65.54  | 40.55 | 63.27  | 43.43 | 200.0 | OK | 90  | OK | 300 | OK |
|    | B2 | 166.20 | 0.00 | 65.64  | 40.58 | 63.34  | 43.50 | 200.0 | OK | 90  | OK | 300 | OK |
| A2 | B1 | 182.41 | 0.00 | 87.16  | 22.08 | 63.51  | 43.30 | 250.0 | OK | 120 | OK | 300 | OK |
|    | B2 | 182.48 | 0.00 | 87.51  | 22.14 | 84.60  | 23.94 | 250.0 | OK | 120 | OK | 300 | OK |

표 70 교각 하단 단면력(kN)

| 구분   | POT      |          |           |           | EQS      |          |           |           | RFB      |          |           |           |
|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|      | 교축방향     |          |           |           | 교축방향     |          |           |           | 교축방향     |          |           |           |
|      | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1-L | 7,949    | 3,323    | 81,916    | 7,541     | 1,755    | 1,252    | 6,623     | 6,556     | 1,702    | 1,202    | 16,109    | 6,291     |
| P1-R | 7,943    | 3,323    | 81,884    | 7,541     | 1,753    | 1,252    | 6,612     | 6,556     | 1,701    | 1,202    | 16,106    | 6,291     |
| P2-L | 546      | 863      | 5,100     | 4,536     | 1,758    | 1,250    | 6,651     | 6,545     | 1,710    | 1,190    | 16,178    | 6,225     |
| P2-R | 571      | 863      | 5,235     | 4,536     | 1,758    | 1,250    | 6,654     | 6,545     | 1,711    | 1,190    | 16,182    | 6,225     |

표 71 교각 하단 단면력 하중조합(kN)

| 구분   | POT      |          |           |           | EQS      |          |           |           | RFB      |          |           |           |
|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|      | COMB1    |          |           |           | COMB1    |          |           |           | COMB1    |          |           |           |
|      | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1-L | 8,346    | 4,736    | 86,006    | 25,009    | 1,998    | 1,821    | 18,964    | 9,540     | 1,920    | 1,733    | 18,201    | 9,077     |
| P1-R | 8,341    | 4,736    | 85,978    | 25,009    | 1,995    | 1,821    | 18,947    | 9,540     | 1,919    | 1,733    | 18,195    | 9,077     |
| P2-L | 1,216    | 1,952    | 11,835    | 10,295    | 1,999    | 1,818    | 18,987    | 9,526     | 1,927    | 1,721    | 18,268    | 9,013     |
| P2-R | 1,229    | 1,952    | 11,902    | 10,295    | 2,001    | 1,818    | 18,996    | 9,526     | 1,929    | 1,721    | 18,276    | 9,013     |

표 72 교각 상단 단면력(kN)

| 구분   | POT      |          |           |           | EQS      |          |           |           | RFB      |          |           |           |
|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|      | 교축방향     |          |           |           | 교축방향     |          |           |           | 교축방향     |          |           |           |
|      | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1-L | 7,912    | 3,311    | 1,408     | 17,300    | 1,681    | 1,196    | 1,522     | 6,314     | 1,634    | 1,147    | 1,473     | 6,064     |
| P1-R | 7,906    | 3,311    | 1,386     | 17,300    | 1,678    | 1,196    | 1,513     | 6,314     | 1,634    | 1,147    | 1,470     | 6,064     |
| P2-L | 507      | 829      | 518       | 4,377     | 1,683    | 1,194    | 1,528     | 6,303     | 1,641    | 1,137    | 1,483     | 5,999     |
| P2-R | 533      | 829      | 643       | 4,377     | 1,684    | 1,194    | 1,527     | 6,303     | 1,642    | 1,137    | 1,487     | 5,999     |

표 73 교각 상단 단면력 하중조합(kN)

| 구분   | POT      |          |           |           | EQS      |          |           |           | RFB      |          |           |           |
|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
|      | COMB1    |          |           |           | COMB1    |          |           |           | COMB1    |          |           |           |
|      | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 | 교축<br>전단 | 교직<br>전단 | 교축<br>모멘트 | 교직<br>모멘트 |
| P1-L | 8,308    | 4,709    | 1,513     | 24,599    | 1,917    | 1,745    | 1,728     | 9,199     | 1,845    | 1,661    | 1,669     | 8,759     |
| P1-R | 8,302    | 4,709    | 1,495     | 24,599    | 1,913    | 1,745    | 1,715     | 9,199     | 1,844    | 1,661    | 1,664     | 8,759     |
| P2-L | 1,163    | 1,907    | 773       | 9,999     | 1,918    | 1,742    | 1,731     | 9,185     | 1,852    | 1,650    | 1,677     | 8,697     |
| P2-R | 1,176    | 1,907    | 846       | 9,999     | 1,920    | 1,742    | 1,734     | 9,185     | 1,853    | 1,650    | 1,684     | 8,697     |

- 직접기초(Soil Type - IV), 설계지진력이 적용된 PSC beam 교량 하부구조에 대한 교대의 안정 및 응력 검토, 단면 휨 설계, 교각의 안정 및 응력 검토, 단면 설계 등의 해석 결과는 아래와 같음(상세 결과는 해석보고서 참고)

표 74 하부구조(직접기초) A1 교대의 설계도면

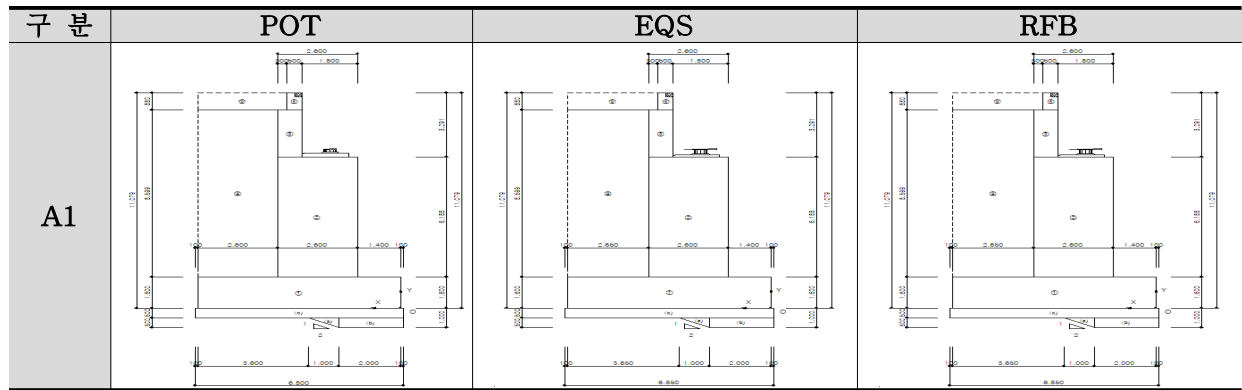


표 75 하부구조(직접기초) A1 교대의 안정검토 및 응력검토

(단위 : mm)

| 구 분    |                |        | 편심량   |       |       | 허용폭   | 비 고 |
|--------|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-----|
|        |                |        | POT   | EQS   | RFB   |       |     |
| 전<br>도 | 극한한계상태 I - 가설시 | ST1C01 | 892   | 875   | 875   | 2,494 | O.K |
|        | 극한한계상태 I - 공용중 | ST1F03 | 1,265 | 1,265 | 1,265 | 2,494 | O.K |
|        | 극한한계상태 I - 공용중 | ST1F11 | 1,418 | 1,412 | 1,412 | 2,494 | O.K |
|        | 극단한계상태 I - 가설시 | EX1C01 | 1,803 | 1,781 | 1,781 | 2,660 | O.K |
|        | 극단한계상태 I - 가설시 | EX1C11 | 2,545 | 2,515 | 2,515 | 2,660 | O.K |
|        | 극단한계상태 I - 공용중 | EX1F03 | 2,143 | 2,181 | 2,264 | 2,660 | O.K |

표 76 하부구조(직접기초) A1 교대의 단면 휨 설계(POT)

| 단면위치 |    | 깊이    | dc   | Req. As            | 사용철근량              | Mu            | Mr            | 안전도   |
|------|----|-------|------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|-------|
|      |    | H(mm) | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | (mm <sup>2</sup> ) | (N.mm)        | (N.mm)        |       |
| 전면자판 | 극한 | 1600  | 100  | 1150.9             | 3096.8             | 615,746,225   | 1,630,613,342 | 2.648 |
| 후면자판 | 극한 | 1600  | 100  | 1533.4             | 3096.8             | 817,825,017   | 1,630,613,342 | 1.994 |
| 벽체   | 극한 | 2600  | 100  | 2033.0             | 5139.2             | 1,815,824,770 | 4,536,775,426 | 2.498 |
| 홍벽   | 극한 | 800   | 100  | 476.6              | 1588.8             | 119,336,258   | 391,918,715   | 3.284 |

표 77 하부구조(직접기초) A1 교대의 단면 휨 설계(EQS)

| 단면위치 |    | 깊이    | dc   | Req. As            | 사용철근량              | Mu            | Mr            | 안전도   |
|------|----|-------|------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|-------|
|      |    | H(mm) | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | (mm <sup>2</sup> ) | (N.mm)        | (N.mm)        |       |
| 전면자판 | 극한 | 1600  | 100  | 1155.2             | 3096.8             | 618,006,546   | 1,630,613,342 | 2.639 |
| 후면자판 | 극한 | 1600  | 100  | 1492.4             | 3096.8             | 796,197,632   | 1,630,613,342 | 2.048 |
| 벽체   | 극한 | 2600  | 100  | 1948.2             | 3575.2             | 1,740,633,361 | 3,174,847,309 | 1.824 |
| 홍벽   | 극한 | 800   | 100  | 407.0              | 1588.8             | 102,010,038   | 391,918,715   | 3.842 |

표 78 하부구조(직접기초) A1 교대의 단면 휨 설계(RFB)

| 단면위치 |    | 깊이    | dc   | Req. As            | 사용철근량              | Mu            | Mr            | 안전도   |
|------|----|-------|------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|-------|
|      |    | H(mm) | (mm) | (mm <sup>2</sup> ) | (mm <sup>2</sup> ) | (N.mm)        | (N.mm)        |       |
| 전면자판 | 극한 | 1600  | 100  | 1150.9             | 3096.8             | 615,746,225   | 1,630,613,342 | 2.648 |
| 후면자판 | 극한 | 1600  | 100  | 1533.4             | 3096.8             | 817,825,017   | 1,630,613,342 | 1.994 |
| 벽체   | 극한 | 2600  | 100  | 2033.0             | 5139.2             | 1,815,824,770 | 4,536,775,426 | 2.498 |
| 홍벽   | 극한 | 800   | 100  | 476.6              | 1588.8             | 119,336,258   | 391,918,715   | 3.284 |

표 79 하부구조(직접기초) 교각의 설계도면

| 구 분 | POT | EQS | RFB |
|-----|-----|-----|-----|
| A1  |     |     |     |

표 80 하부구조(직접기초) 기초 1 교각의 안정검토 및 응력검토

| 구 분 |         |            |        | POT         | EQS         | REB         | Qa(N/mm²) | 비 고 |
|-----|---------|------------|--------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----|
|     |         |            |        | Qmax(N/mm²) | Qmax(N/mm²) | Qmax(N/mm²) |           |     |
| 전도  | 기초<br>1 | 교축직<br>각방향 | ST1O05 | 0.435       | 0.486       | 0.486       | 1.231     | O.K |
|     |         |            | ST3O02 | 0.408       | 0.303       | 0.303       | 1.231     | O.K |
|     |         |            | ST3O10 | 0.306       | 0.303       | 0.303       | 1.231     | O.K |
|     |         |            | ST3O02 | 0.408       | 0.435       | 0.435       | 1.231     | O.K |
|     |         |            | EX1O01 | 0.653       | 0.576       | 0.576       | 2.736     | O.K |
|     |         |            | EX1O01 | 0.653       | 0.466       | 0.466       | 2.736     | O.K |
|     |         |            | EX1O05 | 0.582       | 0.466       | 0.466       | 2.736     | O.K |
|     |         |            | EX1O01 | 0.653       | 0.576       | 0.576       | 2.736     | O.K |
|     |         | 교축방<br>향   | ST1B09 | 0.310       | 0.380       | 0.380       | 2.736     | O.K |
|     |         |            | ST3B01 | 0.387       | 0.391       | 0.391       | 2.736     | O.K |
|     |         |            | ST3B09 | 0.387       | 0.363       | 0.363       | 2.736     | O.K |
|     |         |            | ST3B03 | 0.409       | 0.391       | 0.391       | 2.736     | O.K |
|     |         |            | EX1B01 | 0.407       | 0.494       | 0.494       | 1.231     | O.K |
|     |         |            | EX1B01 | 0.341       | 0.411       | 0.411       | 1.231     | O.K |
|     |         |            | EX1B05 | 0.246       | 0.302       | 0.302       | 1.231     | O.K |
|     |         |            | EX1B02 | 0.341       | 0.411       | 0.411       | 1.231     | O.K |

표 81 하부구조(직접기초) 기둥 상단의 단면 설계(POT)

| 단면위치      |    |       | Puse  | Pu(N)      | Pn(N)       | 안전도    | 비고  |
|-----------|----|-------|-------|------------|-------------|--------|-----|
| 교축직각방향    | 극한 | 축력최대  | 0.012 | 22,724,000 | 140,943,244 | 6.202  | O.K |
|           |    | 모멘트최대 | 0.012 | 21,039,000 | 131,682,571 | 6.259  | O.K |
|           |    | 편심최대  | 0.012 | 10,767,000 | 116,815,315 | 10.849 | O.K |
| 교축방향      | 극한 | 축력최대  | 0.012 | 22,720,000 | 151,578,751 | 6.672  | O.K |
|           |    | 모멘트최대 | 0.012 | 16,380,000 | 151,578,751 | 9.254  | O.K |
|           |    | 편심최대  | 0.012 | 11,404,000 | 151,578,751 | 13.292 | O.K |
| 합성<br>부재력 | 극한 | 축력최대  | 0.012 | -          | -           | -      | O.K |
|           |    | 모멘트최대 | 0.012 | -          | -           | -      | O.K |
|           |    | 편심최대  | 0.012 | -          | -           | -      | O.K |

표 82 하부구조(직접기초) 기둥 상단의 단면 설계(EQS)

| 단면 위치     |    |       | Puse  | Pu(N)      | Pn(N)      | 안전도   | 비고  |
|-----------|----|-------|-------|------------|------------|-------|-----|
| 교축직각방향    | 극한 | 축력최대  | 0.013 | 22,371,000 | 67,992,928 | 3.039 | O.K |
|           |    | 모멘트최대 | 0.013 | 16,716,000 | 59,010,342 | 3.530 | O.K |
|           |    | 편심최대  | 0.013 | 11,827,000 | 56,353,376 | 4.765 | O.K |
| 교축방향      | 극한 | 축력최대  | 0.013 | 22,371,000 | 67,992,928 | 3.039 | O.K |
|           |    | 모멘트최대 | 0.013 | 16,072,000 | 67,992,928 | 4.231 | O.K |
|           |    | 편심최대  | 0.013 | 11,184,000 | 67,992,928 | 6.079 | O.K |
| 합성<br>부재력 | 극한 | 축력최대  | 0.013 | 22,371,000 | 67,992,928 | 3.039 | O.K |
|           |    | 모멘트최대 | 0.013 | -          | -          | -     | O.K |
|           |    | 편심최대  | 0.013 | -          | -          | -     | O.K |

표 83 하부구조(직접기초) 기둥 상단의 단면 설계(RFB)

| 단면 위치     |    |       | Puse  | Pu(N)      | Pn(N)      | 안전도   | 비고  |
|-----------|----|-------|-------|------------|------------|-------|-----|
| 교축직각방향    | 극한 | 축력최대  | 0.013 | 22,371,000 | 67,992,928 | 3.039 | O.K |
|           |    | 모멘트최대 | 0.013 | 16,716,000 | 59,010,342 | 3.530 | O.K |
|           |    | 편심최대  | 0.013 | 11,827,000 | 56,353,376 | 4.765 | O.K |
| 교축방향      | 극한 | 축력최대  | 0.013 | 22,371,000 | 67,992,928 | 3.039 | O.K |
|           |    | 모멘트최대 | 0.013 | 16,072,000 | 67,992,928 | 4.231 | O.K |
|           |    | 편심최대  | 0.013 | 11,184,000 | 67,992,928 | 6.079 | O.K |
| 합성<br>부재력 | 극한 | 축력최대  | 0.013 | 22,371,000 | 67,992,928 | 3.039 | O.K |
|           |    | 모멘트최대 | 0.013 | -          | -          | -     | O.K |
|           |    | 편심최대  | 0.013 | -          | -          | -     | O.K |

- 먼진받침으로 개발된 RFB 제품 단가(용량별)의 신뢰성을 검토하고, 기존 먼진받침과의 비교를 통해 경제적 효과를 검토함.
- 현재 납품 중 인 자사먼진받침 EQS의 설계가와 이번 과제를 통해 개발된 신개념 먼진받침 RFB 산정 단가를 비교하여 경제성을 확인함.
- 용량 3000ton을 기준으로 설계가 비교시 자사제품(EQS) 대비 약 18.4% 까지 원가를 낮출 수 있을 것으로 판단됨.

표 84 제품 단가 산정 근거

[illegible]

표 85 제품단가비교(3000ton 용량)

(단위 : 원)

| 구분      | EQS(면진)    | RFB(면진)    |                              |
|---------|------------|------------|------------------------------|
| 3000ton | 55,922,000 | 45,583,000 | 기존자사제품(EQS)<br>대비 약 18.4% 저렴 |

- 면진받침으로 개발된 RFB 제품의 교량구조 설계 적용성에 대한 평가를 위해 교량구조 형식에 따른 면진받침의 적용성 및 하부구조 계획의 효율성을 검토하고 적용받침에 따른 공사비 산정을 통해 경제적 효과를 검토함
- 내진받침, 기존면진받침, 신개발 면진받침(RFB)을 설계 적용성 검토 대상 교량 모델에 적용하였을 때 받침지지력을 검토하며, 이때 허용 수평력은 받침의 제원을 참고한다. 또한 받침의 교축·교직 방향에 대한 수평변위를 산출하고 설계허용변위와 비교하여 적용성 평가를 수행함.
- 교량상부형식/기초형식별로 구분하여 각각의 경우에 대하여 설계된 도면으로부터 수량을 산출하며, 여기에 적용된 내진받침, 기존 면진받침, 신개발 면진받침(RFB)이 포함된 공사비를 산출함.

표 86 PSC Beam교 직접기초(설계가속도) 공사비 산출

(단위:백만원)

| 구분 | POT(내진) | EQS(면진) | RFB(면진) | 비고 |
|----|---------|---------|---------|----|
| 교대 | 529     | 531     | 532     |    |
| 교각 | 464     | 439     | 422     |    |
| 받침 | 110     | 215     | 186     |    |
| 계  | 1,103   | 1,185   | 1,140   |    |

표 87 PSC Beam교 말뚝기초(설계가속도) 공사비 산출

(단위:백만원)

| 구분 | POT(내진) | EQS(면진) | RFB(면진) | 비고 |
|----|---------|---------|---------|----|
| 교대 | 535     | 533     | 530     |    |
| 교각 | 1317    | 945     | 859     |    |
| 받침 | 110     | 215     | 186     |    |
| 계  | 1,962   | 1,693   | 1,575   |    |

표 88 Steel box교 직접기초(설계가속도) 공사비 산출

(단위:백만원)

| 구분 | POT(내진) | EQS(면진) | RFB(면진) | 비고 |
|----|---------|---------|---------|----|
| 교대 | 260     | 259     | 259     |    |
| 교각 | 196     | 147     | 142     |    |
| 받침 | 48      | 68      | 57      |    |
| 계  | 504     | 474     | 458     |    |

표 89 Steel box교 말뚝기초(설계가속도) 공사비 산출

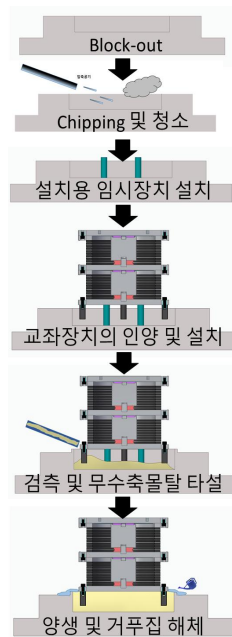
(단위:백만원)

| 구분 | POT(내진) | EQS(면진) | RFB(면진) | 비고 |
|----|---------|---------|---------|----|
| 교대 | 395     | 395     | 395     |    |
| 교각 | 404     | 301     | 305     |    |
| 받침 | 48      | 68      | 57      |    |
| 계  | 847     | 764     | 757     |    |

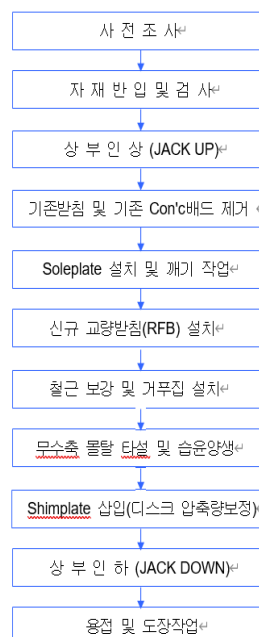
- 본 연구에서 개발된 RFB 지진격리장치 제품의 상용화 및 실용화를 위하여 RFB 지진격리 받침 교량 설치 매뉴얼을 완성함
  - RFB 지진격리받침의 체계적이고 합리적인 시공으로 소요의 품질을 확보하기 위하여 신설 시공 중에 적용되는 기준, 시공방법 및 시공절차에 대하여 매뉴얼을 작성함
  - 신설 교량에 RFB 지진격리 받침의 설치를 위해 설치 흐름도를 작성함
  - Block-out, Chipping 및 청소, 설치용 임시장치 설치, 교좌장치의 인양 및 설치, 거푸집 설치, 검측 및 무수축 몰탈 타설, 양생 및 거푸집 해체에 대한 세부 설치 공정을 작성함
  - FCM(캔틸레버 공법), MSS (이동식 지보공법), LIM (연속 압출 공법), Beam 가설 공법, 강교 등 상부 공법별 RFB 설치시 유의사항 및 기타 유의사항을 명시함
  - 또한, 교체공사 시에 양질의 품질 및 원활한 시공이 이루어지도록 RFB 지진격리받침 보수 시공(받침교체)과 관련하여 유의점 및 체크사항을 기술함
  - 지진격리 받침 교체 교량에 RFB 지진격리 받침의 설치를 위해 설치 흐름도를 작성함
  - 상부인상(Jack up), 기존 받침 및 기존 Con'c 배드 제거, Soleplate 설치 및 깨기, 신규 교량받침(RFB) 설치, 철근 보강 및 거푸집 설치, 검측 및 무수축 몰탈 타설, 양생 및 거푸집 해체, 상부인하(Jack down), 용접 및 도장에 대한 세부 설치 공정을 작성하고 계측관련 유의사항 및 예시를 명시함



(a) 설치 흐름도



(b) 세부설치공정



(a) 설치 흐름도



(b) 세부설치공정

그림 95 신설교량 설치 매뉴얼

그림 96 교체설교량 설치 매뉴얼

- 하이브리드 지진격리장치의 현장적용을 통한 실질적인 성능검증을 수행하고 제품 판매를 위한 기술 실증과 완제품을 완성하여 기술 실용화 방안을 마련함
  - 제안 기술의 성능 실증을 위하여 동두천~연천, 홍성~송산 등의 실제 건설 현장에 면진 장치 시스템을 설치하여 실질적인 시공성·경제성·구조적 안정성을 검토하기 위한 기반을 마련함
  - 공사체결 4건, 현장적용 3건을 달성하여 다양한 공사현장 특성에 따라 적합한 형태로 면진 받침 완제품을 제작하고 시공 현장에 적용하여 제품을 실용화를 달성함
  - 하이브리드 지진격리장치의 사업적 우위, 기술의 우수성 입증, 신뢰성 인증 및 확보를 위하여 녹색인증을 획득함
  - ‘친환경 건축물’로 친환경 관련 인증을 받은 제품의 수요가 증가하고 있는 최근 건축물 시장의 주요 트렌드에 부합하는 신개념 지진격리장치 RFB는 기존 LRB 장치의 납을 대체하는 플라스틱 마찰부재를 활용한 제품으로 건설기술의 친환경성을 달성 가능하므로 녹색인증 기술로 인증됨
- 전문 컨설팅 회사를 통하여 실용화 기술제품에 대한 독자적인 마케팅 전략을 수립하여 판매를 위한 판로의 유통망을 구축하고 국내·외 시장 개척으로 사업화를 달성하며 대량 생산을 통한 매출액을 확보함
  - 하이브리드 지진격리장치에 대하여 사업 타당성 분석, 목표 시장 발굴, 해외 진출 전략 수립, 사업추진 계획 수립 등을 수행하여 마케팅 전략을 수립하고 사업 환경 분석, 경쟁 환경 분석, 목표시장 분석, 사업화 전략 수립 등을 수행하여 비즈니스 전략을 수립함
  - 제품에 대한 판로의 유통망 구축을 위해 국내 대형 건설사 및 중소기업과의 기술이전 및 협약 등의 기술실시계약을 수행함
  - 민간, 공기업, 관공서, 공공기관 등의 기관들과 공사계약을 체결하고 판매를 위한 제품의 안전성 및 경제성에 대한 전략적인 홍보를 수행함

\*. 수정보완 사항

1. 특허, 매출액 등 본 연구과제와의 연관성 입증

- 본 연구를 통해 총 3건의 특허를 출원하여 이중 2건의 특허가 등록되었다.

특허 ‘다층마찰코어 탄성받침’은 RFB장치를 개선한 부문에 대한 장치특허로서, 기존장치와의 차이는 고무탄성체 내부의 중공부에 서로 마찰을 일으킬 수 있는 마찰판을 층상으로 삽입하여 코어를 형성한 구조를 가지는 것이 특징으로 하며, RFB보다 제품의 규격을 줄여줄수 있는 장점이 있다. 그림 97과 같이 RFB와 유사한 구조로서 본 연구 과정에서 파생기술 특허이다.

특허 ‘압축조절식 자동복원댐퍼’는 면진장치 RFB의 적용시 변위제어에 대한 보완적 성능을 확보하기 위한 기술로서 댐퍼 감쇠원리를 RFB와 같은 마찰감쇠를 적용하였고, 그림 98과 같이 교량 및 건축물 등 면진 대상구조물에 적용시 본 기술과의 조합을 목적으로 본 연구과제중 도출한 기술로서 특허를 통해 기술권리를 확보하였으며, 상기 사항을 통해 본 연구과제와의 연관성을 설명할 수 있다.

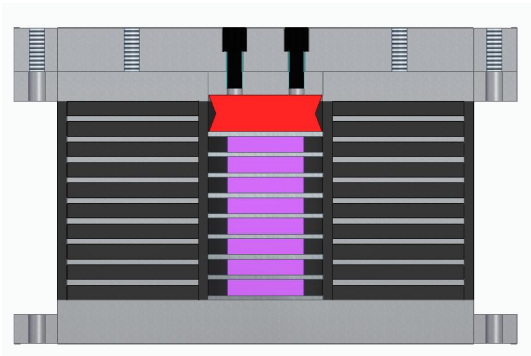


그림 97 다층마찰코어탄성받침 단면도

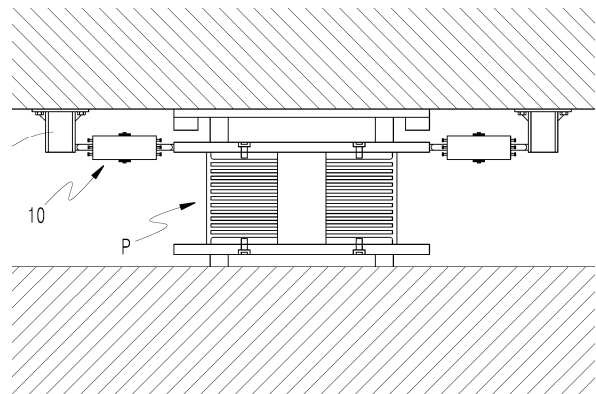


그림 98 압축조절식 자동복원댐퍼 설치개념도

- 본 연구를 통해 개발한 RFB의 매출은 총 4건(총매출액 80,659천원)으로서 한국철도시설공단, 부산지방국토관리청 발주 사업 현장에 납품한 건으로서 해당 매출에 대한 현장시공사와의 건설공사 하도급 계약서를 통하여 입증이 가능하다.

2. 수직처짐에 대한 검토가 이루어져야 하고, 마찰면에 작용하는 면압의 분석 결과 필요

- Polyurethane disk와 Rubber 두가지 재료를 통해 수직하중에 저항하는 지진격리받침 RFB의 설계 진행시, 처짐에 대해 동일하게 거동할 수 있도록 고려하여야 한다. 재료별로 각기 다른 탄성계수를 가지고 있고, 즉시 및 장기 처짐량이 다르기 때문에 제품 설계시 고려되어야 한다. 이를 위해 자사가 2012년부터 진행하고 있는 크리프 시험 분석 결과를 이용하였다. 해당 시험 결과를 분석하여 처짐의 경향을 파악하여 식을 도출하였으며, 이를 통해 즉시처짐을 파악하였고, 장기처짐의 영향을 고려하여 설계시 적용하였다. 이는 다년간 시험을 통해 축적한 주관기관의 고유기술로 본 연구과제에 이를 적용하였다.

Polyurethane disk와 Rubber 두 재료간 처짐이 동일하게 발생하도록 설계, 제작함으로써 제품의 면압 분포(마찰면 포함)가 두 부재에 균일하게 발생하도록 하였으며, 본 연구의 공인기관 성능시험 결과의 이력거동 분석을 통해 이를 입증할 수 있다.

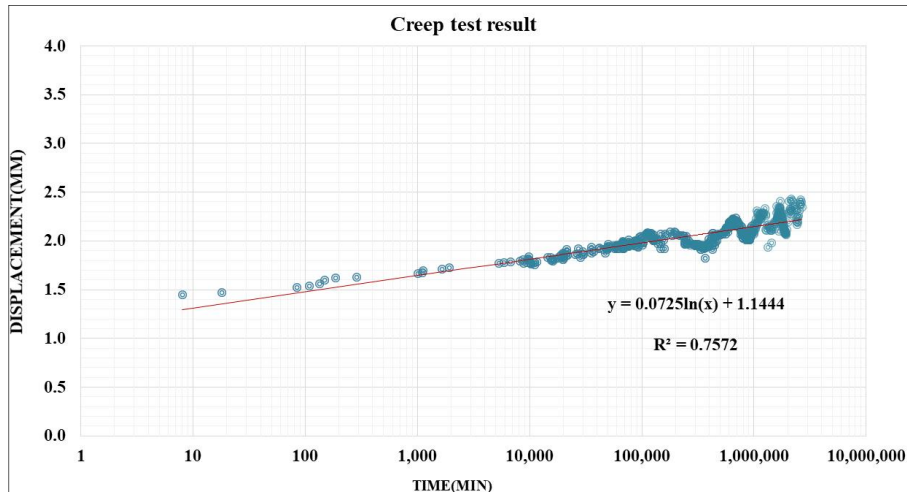


그림 99 Creep test results

3. 마찰 소재의 내구성 시험은 국내 성능기준이 있음에도 CUAP 규격을 적용하였으므로 향후 사업화를 위해서는 시장에서 요구하는 시험 규격을 적용한 결과 제시 필요

- 국내 도로교설계기준에서 마찰 소재 내구성 시험 항목은 누적거리 1.6km에 대한 검증을 요구하고 있다. 이에 비해 자사가 수행한 CUAP 코드의 경우 누적거리 10km 이상에 대한 검증이 필요하다. 국내 기준에 비해 상당히 극한 조건으로 시험을 진행하였고, 공인기관의 보고서를 통해 검증을 마친 상태이다. 최근 국내 시장에서도 마찰 소재의 내구성능 기준을 높이고 있고, 실제 CUAP 규격 시험을 요구하는 경우가 늘어나고 있는 실정이다. 철도 교량받침(내진)의 경우 CUAP 규격 시험 제시하고 있어 이에 대한 기준을 만족 해야 설계에 반영이 가능한 상황으로서 본 연구에서 적용한 CUAP 규격 시험은 사업화에 있어서 매우 적절한 결과이다.

4. 규모 8.5 지진 관련 적용가능 사장 등 사업화 방안에 대한 구체적 계획 보완 필요

- 국내 지진 발생 가능 규모는 점점 커지고 있는 실정이다. 실제 2016년 경주 지진의 경우 규모 5.5의 강진이 발생하여 많은 피해가 발생했다. 더 이상 지진안전구역이 아니라는 점에 있어서 보다 큰 지진규모에 저항 할 수 있는 제품을 개발할 필요는 충분하다고 생각된다.

국외의 경우 강진 지역이 많이 존재한다. 가까이는 일본, 동남아 등이 있고, 남미 지역의 에콰도르와 같은 나라에서는 규모6.0 이상의 강진이 빈번히 발생하고 있다. 에콰도르의 경우, 자사가 보유한 면진장치 중 하나인 EPI(Esco Pendulum Isolator)를 수출한 이력을 가지고 있다. 이를 바탕으로 RFB(Rubber Friction Bearing)의 타깃 시장을 남미 지역을 잡고 있으며, 빠른 시일 내에 수출을 목표로 하고 있다.

더해서, 건축물 시장 진출을 모색하고 있다. 교량 구조물의 면진은 대부분 보편화 되어 사용되고 있는 반면, 건축물 면진은 극히 일부만 적용되었고 사례가 많지 않은 실정이다. 건축물에 적용하기 위해서는 설계시 몇몇 조건 변경이 필요하지만, 개념은 동일하여 적용에는 문제없을 것으로 보인다. 현재 건축 구조물에 친환경 자재의 사용이 지속적으로 늘어나고 있다. 이에 맞춰 녹색인증 획득(2020.09.03)을 통해 친환경 면진시스템을 내걸어 건축물 시장에 뛰어들 예정이다.

## 나. 연구 개발의 성과

### (1) 특허출원

| 특허출원 1 |                                            |
|--------|--------------------------------------------|
| 출원일자   | 2018. 10. 12                               |
| 출원번호   | 10-2018-0122094 (접수번호 1-1-2018-1008295-86) |
| 출원인 명칭 | 주식회사 에스코알티에스(1-1999-032986-5)              |
| 국명     | 대한민국                                       |
| 발명의 명칭 | 다층마찰 코어 탄성받침                               |
| 특허출원 2 |                                            |
| 출원일자   | 2019. 01. 07                               |
| 출원번호   | 10-2019-0001849 (접수번호 1-1-2019-0018803-71) |
| 출원인 명칭 | 주식회사 에스코알티에스(1-1999-032986-5)              |
| 국명     | 대한민국                                       |
| 발명의 명칭 | 다층마찰 코어 탄성받침                               |
| 특허출원 3 |                                            |
| 출원일자   | 2019. 01. 15                               |
| 출원번호   | 10-2019-0005173 (접수번호 1-1-2019-0049071-72) |
| 출원인 명칭 | 인천대학교 산학협력단(2-2004-021729-6)               |
| 국명     | 대한민국                                       |
| 발명의 명칭 | 압축조절식 자동복원댐퍼                               |

### (2) 특허등록

| 특허등록 1 |              |
|--------|--------------|
| 등록일    | 2019. 03. 02 |
| 등록번호   | 10-1962219   |
| 특허권자   | 주식회사 에스코알티에스 |
| 국명     | 대한민국         |
| 발명의 명칭 | 다층마찰 코어 탄성받침 |
| 특허등록 2 |              |
| 출원일자   | 2020. 02. 20 |
| 등록번호   | 10-2081658   |
| 특허권자   | 인천대학교 산학협력단  |
| 국명     | 대한민국         |
| 발명의 명칭 | 압축조절식 자동복원댐퍼 |

## (3) 국내논문

|   |                                |                                                                                             |   |    |               |           |            |           |
|---|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|---------------|-----------|------------|-----------|
| 1 | 논문명                            | Cyclic Behavior of Superelastic Shape Memory Alloys (SMAs) under Various Loading Conditions |   |    |               |           |            |           |
|   | 학술지명                           | 주저자명                                                                                        | 호 | 국명 | 발행기관          | SCI 여부    | 게재일        | 등록번호      |
|   | 도시과학(Journal of Urban Science) | 허종완                                                                                         | 1 | 한국 | 인천대학교 도시과학연구원 | 국내 일반 학술지 | 2018.06.30 | 2287-9153 |
| 2 | 논문명                            | 다양한 하중 조건에 대한 초탄성 형상기억합금의 주기적 거동 특성 분석                                                      |   |    |               |           |            |           |
|   | 학술지명                           | 주저자명                                                                                        | 호 | 국명 | 발행기관          | SCI 여부    | 게재일        | 등록번호      |
|   | 한국복합신소재 구조학회 논문집               | 조한민                                                                                         | 3 | 한국 | 한국복합신소재 구조학회  | 국내 전문 학술지 | 2018.09.17 | 2288-0232 |

## (4) 국외논문

|   |                                                                      |                                                                                                                                               |   |       |                                         |           |            |                                                                                     |
|---|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------|-----------------------------------------|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 논문명                                                                  | Effect of Soil Classification on Seismic Behavior of SMFs considering Soil-Structure Interaction and Near-Field Earthquakes                   |   |       |                                         |           |            |                                                                                     |
|   | 학술지명                                                                 | 주저자명                                                                                                                                          | 호 | 국명    | 발행기관                                    | SCI 여부    | 게재일        | 등록번호                                                                                |
|   | SHOCK AND VIBRATION                                                  | Shahrokh Shahbazi                                                                                                                             | 1 | 미국    | HINDAWI LTD                             | 국외 SCI    | 2018.08.13 | 4193469                                                                             |
| 2 | 논문명                                                                  | Particle Swarm Optimization Algorithm-Extreme Learning Machine (PSO-ELM) Model for Predicting Resilient Modulus of Stabilized Aggregate Bases |   |       |                                         |           |            |                                                                                     |
|   | 학술지명                                                                 | 주저자명                                                                                                                                          | 호 | 국명    | 발행기관                                    | SCI 여부    | 게재일        | 등록번호                                                                                |
|   | Applied Sciences-Basel                                               | Mosbeh R. Kaloop                                                                                                                              | 1 | 스위스   | MDPI AG                                 | 국외 SCI    | 2019.08.07 | 2076-3417                                                                           |
| 3 | 논문명                                                                  | Prestressed Continuous Bridge Evaluation using Structural Health Monitoring System                                                            |   |       |                                         |           |            |                                                                                     |
|   | 학술지명                                                                 | 주저자명                                                                                                                                          | 호 | 국명    | 발행기관                                    | SCI 여부    | 게재일        | 등록번호                                                                                |
|   | IOP Conference Series : Materials Science and Engineering            | 반우현                                                                                                                                           | 1 | 영국    | IOP Publishing                          | 국제 일반 학술지 | 2019.02.26 | 1757-899X                                                                           |
| 4 | 논문명                                                                  | Gene Expression Programming Application for Prediction of Ultimate Axial Strain of FRP-Confined Concrete                                      |   |       |                                         |           |            |                                                                                     |
|   | 학술지명                                                                 | 주저자명                                                                                                                                          | 호 | 국명    | 발행기관                                    | SCI 여부    | 게재일        | 등록번호                                                                                |
|   | Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS | Iman Mansouri                                                                                                                                 | 1 | 크로아티아 | Portal of Scientific Journal of Croatia | 국제 일반 학술지 | 2018.06.07 | <a href="https://doi.org/10.13167/2018.16.6">https://doi.org/10.13167/2018.16.6</a> |

|   |                                |                                                                                                    |   |    |              |           |            |                                                                                                     |
|---|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|--------------|-----------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | 논문명                            | Seismic Behavior Investigation of the Steel Multi-story Moment Frames with Steel Plate Shear Walls |   |    |              |           |            |                                                                                                     |
|   | 학술지명                           | 주저자명                                                                                               | 호 | 국명 | 발행기관         | SCI 여부    | 게재일        | 등록번호                                                                                                |
|   | Steel and Composite Structures | Iman Mansouri                                                                                      | 1 | 한국 | Techno-press | 국제 일반 학술지 | 2020.09.26 | <a href="https://doi.org/10.12989/scs.2020.37.1.000">https://doi.org/10.12989/scs.2020.37.1.000</a> |

(5) 시험체 제작

| 번호 | 시험체명               | 년도   | 개수 | 제작업체명  | 설치장소  | 이용분야 |
|----|--------------------|------|----|--------|-------|------|
| 1  | 진동대 시험용 RFB [0.5g] | 2019 | 10 | 대주 ENG | 대주ENG | 장치실험 |
| 2  | EQS-R              | 2019 | 2  | 씨에스이엔지 | 대주ENG | 장치실험 |
| 3  | 다층마찰코어탄성받침         | 2019 | 1  | 씨에스이엔지 | 대주ENG | 장치실험 |
| 4  | 3000ton RFB        | 2020 | 1  | 대주 ENG | 대주ENG | 장치실험 |
| 5  | 사각형 RFB            | 2020 | 1  | 씨에스이엔지 | 대주ENG | 장치실험 |
| 6  | 진동대 시험용 RFB [0.6g] | 2020 | 20 | 씨에스이엔지 | 대주ENG | 장치실험 |
| 7  | 진동대 시험용 RFB [1.8g] | 2020 | 20 | 대주 ENG | 대주ENG | 장치실험 |

(6) 소프트웨어

| 번호 | 소프트웨어명                                     | 등록연월일      | 구분      | 등록번호           |
|----|--------------------------------------------|------------|---------|----------------|
| 1  | 다층마찰 코어 탄성받침 해석프로그램 (RFB Analysis Program) | 2018.12.10 | 응용 프로그램 | 110111-0734049 |

(7) 설계도면

| 번호 | 도면명                     |
|----|-------------------------|
| 1  | Rubber Friction Bearing |

(8) 사양서

| 번호 | 사양서명                                             | 년도   |
|----|--------------------------------------------------|------|
| 1  | 고무 마찰형 지진격리받침 RFB(Rubber Friction Bearing) 특별시방서 | 2018 |

## (9) 인력양성(석사)

| 번호 | 성명  | 취득학위 | 인력양성지원기간                    | 학위취득일   | 비고 |
|----|-----|------|-----------------------------|---------|----|
| 1  | 반우현 | 석사   | 2018. 04. 01 ~ 2020. 02. 14 | 2020.02 |    |
| 2  | 안대웅 | 석사   | 2018. 04. 01 ~ 2020. 02. 14 | 2020.02 |    |
| 3  | 이치원 | 석사   | 2018. 04. 01 ~ 2020. 02. 14 | 2020.08 |    |

## (10) 인력양성(박사) (1)

| 번호 | 성명  | 취득학위 | 인력양성지원기간                    | 학위취득일   | 비고 |
|----|-----|------|-----------------------------|---------|----|
| 1  | 조한민 | 박사   | 2018. 04. 01 ~ 2019. 08. 16 | 2019.08 |    |

## (11) 신규채용 (2)

| 번호 | 성명  | 직급  | 근속기간                        | 비고 |
|----|-----|-----|-----------------------------|----|
| 1  | 배정명 | 연구원 | 2017. 12. 18 ~ 2020. 11. 06 |    |
| 2  | 김정빈 | 사원  | 2019. 10. 21 ~ 현재           |    |

## (12) 기술자문

| 번호 | 성명  | 소속                            | 자문내용                       | 횟수 | 년도   |
|----|-----|-------------------------------|----------------------------|----|------|
| 1  | 임진선 | 삼우아이앤씨                        | 3차원 정밀해석 자문                | 1  | 2018 |
| 2  | 이상열 | 안동대학교                         | 하이브리드 지진격리 장치 설계 자문        | 2  | 2018 |
| 3  | 강주원 | 영남대학교                         | 하이브리드 지진격리 장치 구조 검토 자문     | 2  | 2019 |
| 4  | 김용기 | 한국건설기술연구원                     | 하이브리드 지진격리 장치 실험 자문        | 1  | 2019 |
| 5  | 황인주 | 한국건설기술연구원                     | 하이브리드 지진격리 장치 실험 자문        | 2  | 2019 |
| 6  | 서준원 | South Dakota State University | 건축 및 교량 구조물 설계 및 적용성 검토 자문 | 6  | 2020 |

## (13) 지침서

| 번호 | 지침서명               | 년도   |
|----|--------------------|------|
| 1  | RFB 지진격리 받침 설치 매뉴얼 | 2020 |

## (14) 해석모델

| 번호 | 해석명                                       | 개수 | 년도   |
|----|-------------------------------------------|----|------|
| 1  | Rubber Friction Bearing 요구 성능 검증 해석       | 12 | 2018 |
| 2  | Rubber Friction Bearing 구조물적용 시험 사전 예측 해석 | 8  | 2019 |
| 3  | Rubber Friction Bearing 진동대 사전 해석         | 10 | 2020 |
| 4  | Rubber Friction Bearing 내진성능 향상 해석        | 8  | 2020 |
| 5  | Rubber Friction Bearing 건물 적용성 검토 해석      | 66 | 2020 |
| 6  | Rubber Friction Bearing 교량 적용성 검토 해석      | 24 | 2020 |

## (15) 정책제안

| 번호 | 회의명                   | 일시         | 기관                    | 제안기관  | 협조자             |
|----|-----------------------|------------|-----------------------|-------|-----------------|
| 1  | 국토교통기술사업화지원사업 과제 정책제안 | 2020.09.14 | 한국건설기술연구원<br>국가건설기준센터 | 인천대학교 | 인천방재연구센터<br>- 5 |

## (16) 현장적용

| 번호 | 발주기관명     | 시공업체명       | 적용현장명                                | 공사<br>시작일        | 공사<br>종료일  | 공사금액(천원) |
|----|-----------|-------------|--------------------------------------|------------------|------------|----------|
| 1  | 한국철도시설공단  | 에스코알티<br>에스 | 서해선(홍성~송산)<br>복선전철 제7공구<br>노반신설 기타공사 | 2017.06.21       | 2019.06.26 | 3,471    |
| 2  | 부산지방국토관리청 | 에스코알티<br>에스 | 웅상-무거<br>1 국도건설공사                    | 2020.09.30       |            | 21,403   |
| 3  | 부산지방국토관리청 | 에스코알티<br>에스 | 밀양강 안인지구<br>하천정비공사                   | 2020.12.18.(계약일) |            | 15,000   |

## (17) 테스트베드

| 번호 | 발주기관명           | 시공업체명          | 적용현장명                                | 공사<br>시작일  | 공사<br>종료일  | 점검일        |
|----|-----------------|----------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| 1  | 한국철도시설공단        | (주)에스코<br>알티에스 | 서해선(홍성~송산)<br>복선전철 제7공구<br>노반신설 기타공사 | 2020.07.20 | 2020.07.20 | 2020.12.22 |
| 2  | 수원순환도로<br>주식회사  | (주)에스코<br>알티에스 | 수원외곽순환 북부 도로<br>민간투자사업               | 2017.10.30 | 2020.06.20 | 2020.12.30 |
| 3  | 대전광역시<br>건설관리본부 | (주)에스코<br>알티에스 | 대전산업단지<br>서측진입도로 (한샘대교)              | 2019.12.23 | 2021.12.14 | 2020.12.30 |

## (18) 신기술 지정(녹색인증)

| 번호 | 명칭           | 출원일        | 고시일        | 보호기간       | 지정번호         |
|----|--------------|------------|------------|------------|--------------|
| 1  | 친환경 지진격리 시스템 | 2020.09.03 | 2020.09.03 | 2023.09.02 | GT-20-00933호 |

## (19) 홍보책자발간

| 번호 | 책자명           | 발간일          |
|----|---------------|--------------|
| 1  | RFB Catalogue | 2020. 07. 20 |

## (20) 기술실시계약

| 번호 | 계약명     | 실시기업명  | 계약<br>체결일  | 기술사용<br>시작일 | 기술사용<br>종료일    | 징수<br>일자      | 징수<br>금액     | 계약<br>유형 |
|----|---------|--------|------------|-------------|----------------|---------------|--------------|----------|
| 1  | 마찰 고무받침 | (주)큐디엔 | 2020.12.17 | 2021.01.01  | 특허 존속기간<br>만료일 | 2022.01<br>예정 | 총매출액<br>의 2% | 경상       |
| 2  | 마찰 고무받침 | (주)자돌  | 2020.12.10 | 2021.01.01  | 특허 존속기간<br>만료일 | 2022.01<br>예정 | 총매출액<br>의 2% | 경상       |
| 3  | 마찰 고무받침 | (주)모든택 | 2020.12.10 | 2021.01.01  | 특허 존속기간<br>만료일 | 2022.01<br>예정 | 총매출액<br>의 2% | 경상       |

## (21) 공사체결

| 번호 | 발주기관명     | 시공업체명       | 적용현장명                                | 공사<br>시작일        | 공사<br>종료일  | 공사금액(천원) |
|----|-----------|-------------|--------------------------------------|------------------|------------|----------|
| 1  | 한국철도시설공단  | 에스코알티<br>에스 | 서해선(홍성~송산)<br>복선전철 제7공구<br>노반신설 기타공사 | 2017.06.21       | 2019.06.26 | 3,471    |
| 2  | 한국철도시설공단  | 에스코알티<br>에스 | 동두천~연천 복선전철<br>제2공구 노반신설<br>기타공사     | 2017.11.20       | 2021.11.30 | 40,785   |
| 3  | 부산지방국토관리청 | 에스코알티<br>에스 | 웅상-무거<br>1 국도건설공사                    | 2020.09.30       |            | 21,403   |
| 4  | 부산지방국토관리청 | 에스코알티<br>에스 | 밀양강 안인지구<br>하천정비공사                   | 2020.12.18.(계약일) |            | 15,000   |

## (22) 사업화/제품화

| 번호 | 발주기관명    | 시공업체명       | 적용현장명                                | 공사<br>시작일  | 공사<br>종료일  | 공사금액(천원) |
|----|----------|-------------|--------------------------------------|------------|------------|----------|
| 1  | 한국철도시설공단 | 에스코알티<br>에스 | 서해선(홍성~송산)<br>복선전철 제7공구<br>노반신설 기타공사 | 2017.06.21 | 2019.06.26 | 3,471    |
| 2  | 한국철도시설공단 | 에스코알티<br>에스 | 동두천~연천 복선전철<br>제2공구 노반신설<br>기타공사     | 2017.11.20 | 2021.11.30 | 40,785   |

## (23) 매출액

| 번호 | 발주기관명     | 적용 현장명                         | 금액 (천원) |
|----|-----------|--------------------------------|---------|
| 1  | 한국철도시설공단  | 서해선(홍성~송산) 복선전철 제7공구 노반신설 기타공사 | 3,471   |
| 2  | 한국철도시설공단  | 동두천~연천 복선전철 제2공구 노반신설 기타공사     | 40,785  |
| 3  | 부산지방국토관리청 | 웅상-무거 1 국도건설공사                 | 21,403  |
| 4  | 부산지방국토관리청 | 밀양강 안인지구 하천정비공사                | 15,000  |

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 3-1. 목표

##### 가. 최종 성과 목표 및 성과물

| 구분(년도)          | 사업화 목표                                                                           | 성과 달성 확인 방법                                                                                                                                                                                                             | 성과물                                                                                                                                                                                     |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1차 년도<br>(2018) | <ul style="list-style-type: none"> <li>(F-1) 마찰형 하이브리드 지진격리장치의 최적화 완성</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>개발제품의 개념정립의 경우 전문가 자문의 방법으로 평가</li> <li>설계 변수 분석 및 설계 변수 검토의 경우 연구결과를 확인하여 평가</li> <li>재료실험 및 3차원 유한요소 해석의 경우 결과를 분석하여 평가</li> <li>설계도면의 경우 설계도면, 사양서 등의 보고서를 확인하여 평가</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 출원 2건</li> <li>논문 등재(국내) 1건</li> <li>S/W 개발 1건</li> <li>해석모델 개발 10개</li> <li>설계도면 1건</li> <li>사양서 1건</li> <li>신규채용 1명</li> </ul>              |
| 2차 년도<br>(2019) | <ul style="list-style-type: none"> <li>(F-2) 시험체 제작 및 실험대형 구조실험 수행</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>실험체 제작 및 실험에 관한 자료 수집의 경우 전문가 자문으로 평가</li> <li>개발된 시험체를 확인하여 평가</li> <li>실험 수행의 경우 실험 결과를 검토하여 성과 달성 검토</li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 출원 1건</li> <li>특허 등록 1건</li> <li>국내 논문 투고 1건</li> <li>시험체 제작 12개</li> <li>학위 인력배출 4명(석사 3, 박사 1)</li> <li>신규채용 1명</li> </ul>                  |
| 3차 년도<br>(2020) | <ul style="list-style-type: none"> <li>(F-3) 개발 시스템의 성능검증 및 적용성 평가</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>비선형 동적 해석수행의 해석모델, 해석결과를 분석하여 평가</li> <li>설계 기법 체계화, 성능 검증 및 실용화 방안 등은 지침서, 현장 적용 확인, 테스트베드 작성 및 수행 여부로 평가</li> </ul>                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 등록 1건</li> <li>국외 논문 2건</li> <li>지침서 1건</li> <li>해석모델 10개</li> <li>정책 제안 1건</li> <li>현장 적용 3건</li> <li>테스트베드 3건</li> <li>신기술 신청 1건</li> </ul> |
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>(F-4) 실용화된 완제품의 생산 및 사업화 추진</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>완제품 생산의 경우 홍보 책자 및 기술계약, 공사 체결 등의 방법으로 평가</li> <li>사업화 추진의 경우 제품화 및 사업화 달성을 통한 매출 실적 등을 평가</li> </ul>                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>홍보책자 발간 1건</li> <li>기술실기 계약 3건</li> <li>공사 체결 4건</li> <li>제품화 및 사업화 2건</li> <li>매출액 100억</li> </ul>                                              |

## 나. 성과 목표에 따른 평가 방법

| 성과<br>목표  | 단위<br>성과 | 세부목표<br>일련번호  | 정성적(질적)평가    |            | 정량적(양적)평가                                |                                                    |
|-----------|----------|---------------|--------------|------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|           |          |               | 성과지표         | 측정방법       | 성과지표                                     | 측정방법                                               |
| 성과<br>목표A | A-1      | F-1-1<br>세부목표 | 특허전략수립       | 전문가자문      | 특허출원<br>논문게재                             | 특허출원건수<br>논문게재건수                                   |
|           |          |               | 비즈니스전략수립     | 전문가자문      |                                          |                                                    |
|           | A-2      | F-1-2<br>세부목표 | 이론정립         | 연구결과확인     | 특허출원<br>논문게재                             | 특허출원건수<br>논문게재건수                                   |
|           |          |               | 요구성능향상       | 연구결과확인     |                                          |                                                    |
|           | A-3      | F-1-3<br>세부목표 | 재료특성과악       | 재료실험결      | 특허출원<br>논문게재                             | 특허출원건수<br>논문게재건수                                   |
|           |          |               | 요구성능향상       | 실험결과확인     |                                          |                                                    |
|           | A-4      | F-1-4<br>세부목표 | 거동특성과악       | 구조해석결과분석   | 해석모델제작<br>논문게재                           | 해석모델제작개수<br>논문게재건수                                 |
|           |          |               | 요구성능향상       | 구조해석결과분석   |                                          |                                                    |
|           | A-5      | F-1-5<br>세부목표 | 거동특성과악       | 연구결과확인     | 특허출원<br>논문게재                             | 특허출원건수<br>논문게재건수                                   |
|           |          |               | 변수영향력분석      | 연구결과확인     |                                          |                                                    |
|           | A-6      | F-1-6<br>세부목표 | 설계효율성확보      | 설계기준부합여부확인 | 설계도면(SW포함)<br>시양서<br>인력양성                | 도면건수<br>개발건수<br>학위배출/신규채용명수                        |
|           |          |               | 설계기법개발       | 연구결과확인     |                                          |                                                    |
| 성과<br>목표B | B-1      | F-2-1<br>세부목표 | 요구성능확보       | 구조검토       | 시험체제작<br>특허출원                            | 시험체제작개수<br>특허출원건수                                  |
|           | B-2      | F-2-2<br>세부목표 | 요구성능향상       | 실험결과분석     | 기술지문<br>시험체제작                            | 기술지문건수<br>시험체제작개수                                  |
|           |          |               | 요구성능확보       | 품질인증       |                                          |                                                    |
|           | B-3      | F-2-3<br>세부목표 | 거동예측         | 구조해석결과분석   | 논문게재                                     | 논문게재건수                                             |
| 성과<br>목표C | B-4      | F-2-4<br>세부목표 | Mockup test  | 품질인증       | 인력양성<br>논문게재                             | 학위배출/신규채용명수<br>논문게재건수                              |
|           | C-1      | F-3-1<br>세부목표 | 내진성능향상       | 연구결과확인     | 설계·시공지침서<br>논문등재<br>신기술지정                | 설계·시공지침서건수<br>논문등재건수<br>신기술지정건수                    |
|           | C-2      | F-3-2<br>세부목표 | 제품성능검증       | 품질인증       | 해석모델제작<br>논문등재                           | 해석모델제작개수<br>논문등재건수                                 |
|           | C-3      | F-3-3<br>세부목표 | 구조물적용성 평가    | 구조검토       | 설계·시공지침서<br>정책제안<br>특허등록                 | 설계·시공지침서건수<br>정책제안건수<br>특허등록건수                     |
|           | C-4      | F-3-4<br>세부목표 | 제작비 및 공사비 분석 | 연구결과확인     | 설계결과현장적용<br>테스트베드                        | 현장적용건수<br>테스트베드건수                                  |
| 성과<br>목표D | D-1      | F-4-1<br>세부목표 | 마케팅전략수립      | 전문가자문      | 제품홍보<br>기술실시계약<br>공사체결<br>제품화 사업화<br>매출액 | 홍보책자발간횟수<br>기술실시계약건수<br>공사체결건수<br>제품화 사업화건수<br>매출액 |

## 3-2. 목표 달성여부

### 가. 질적 성과

- 가중치에 대한 목표 달성치는 달성치 건수에 목표 가중치를 곱하여 산출함  
: 달성치(건수) X 목표치(가중치) = 달성치(가중치)

- 1차년도 필수 성과목표 달성 여부

- 연구기간 내에 성과목표 달성을 위하여 연구를 성실히 수행하여 질적 성과 목표를 100% 이상 달성함

| 구분  |                  |          | 건수                         |             | 가중치  |      | 비고   |      |     |
|-----|------------------|----------|----------------------------|-------------|------|------|------|------|-----|
|     |                  |          | 목표치                        |             | 달성치  |      |      | 목표치  | 달성치 |
| A-1 | 개발 제품의 개념정립      | 특허전략수립   | 1건                         |             | 1건   |      | 0.24 | 0.24 | -   |
|     |                  | 비즈니스전략수립 | 1건                         |             | 1건   |      | 0.23 | 0.23 |     |
| A-2 | 설계 변수 분석         | 이론정립     | 1건                         |             | 1건   |      | 0.29 | 0.29 | -   |
|     |                  | 요구성능향상   | 기존                         | 목표          | 100% | 0.38 | 0.38 |      |     |
|     |                  |          | 산형설계                       | 비산형설계       |      |      |      |      |     |
| A-3 | 재료실험 및 결과분석      | 재료특성과악   | 3건                         |             | 6건   |      | 1.63 | 3.26 | -   |
|     |                  | 요구성능향상   | 기존                         | 목표          | 100% | 1.25 | 1.25 |      |     |
|     |                  |          | 16km                       | 10 km       |      |      |      |      |     |
| A-4 | 3차원 정밀해석 수행      | 거동특성과악   | 1건                         |             | 1건   |      | 0.29 | 0.29 | -   |
|     |                  | 요구성능향상   | 기존                         | 목표          | 100% | 0.24 | 0.24 |      |     |
|     |                  |          | 500ton 100mm MaxLoad 380kN | 최대하중 20% 향상 |      |      |      |      |     |
| A-5 | 최적화 설계 변수 검토     | 거동특성과악   | 1건                         |             | 1건   |      | 0.19 | 0.19 | -   |
|     |                  | 변수영향력분석  | 1건                         |             | 1건   |      | 0.19 | 0.19 |     |
| A-6 | 시스템 개발 및 상세설계 실시 | 설계효율성 확보 | 1건                         |             | 1건   |      | 0.29 | 0.29 | -   |
|     |                  | 설계기법개발   | 1건                         |             | 1건   |      | 0.38 | 0.38 |     |
| 합계  |                  |          |                            |             |      | 5.6  | 7.23 |      |     |

- 2차년도 필수 성과목표 달성 여부

- 연구기간 내에 성과목표 달성을 위하여 연구를 성실히 수행하여 질적 성과 목표를 100% 이상 달성함

| 구분  |                      |             | 건수           |              |              |      | 가중치  |      | 비고 |
|-----|----------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------|------|------|----|
|     |                      |             | 목표치          |              | 달성치          |      | 목표치  | 달성치  |    |
| B-1 | 면진받침 구조 검토           | 요구성능확보      | 재료특성반영       | 응력검토         | 100%         |      | 1.92 | 1.92 | -  |
|     |                      |             | 고무 및 마찰특성 반영 | 강재/EP 안정성 검토 |              |      |      |      |    |
| B-2 | 면진받침의 지진 모사 시험       | 요구성능향상      | 설계 오차 10% 이내 |              | 설계 오차 10% 이내 |      | 1.54 | 1.54 | -  |
|     |                      | 요구성능확보      | EDC          | -25% 이상      | -25% 이상      | 1.06 | 1.06 |      |    |
|     |                      |             | Keff         | ±20% 이내      | ±20% 이내      |      |      |      |    |
|     |                      |             | 수직재하시험       | 육안검사         | 육안검사         |      |      |      |    |
| B-3 | 면진받침에 대한 3차원 정밀해석 수행 | 거동예측        | 입력           | 목표           | 입력           | 목표   | 1.25 | 1.25 | -  |
|     |                      |             | 0.5g         | 0.3g         | 0.5g         | 0.3g |      |      |    |
| B-4 | 면진받침에 대한 구조물 적용 시험   | Mockup test | 입력           | 목표           | 입력           | 목표   | 1.73 | 1.73 | -  |
|     |                      |             | 0.5g         | 0.3g         | 0.5g         | 0.3g |      |      |    |
| 합계  |                      |             |              |              |              |      | 7.5  | 7.5  |    |

• 3차년도 필수 성과목표 달성 여부

- 연구기간 내에 성과목표 달성을 위하여 연구를 성실히 수행하여 질적 성과 목표를 100% 이상 달성함

| 구분  |                     |              | 건수             |      |      |      | 가중치        |            | 비고 |
|-----|---------------------|--------------|----------------|------|------|------|------------|------------|----|
|     |                     |              | 목표치            |      | 달성치  |      | 목표치        | 달성치        |    |
| C-1 | 제품의 완성도평가           | 내진성능 향상      | 입력             | 목표   | 입력   | 목표   | 1.72       | 1.72       |    |
|     |                     |              | 0.6g           | 0.3g | 0.6g | 0.3g |            |            |    |
| C-2 | 제품의 규격화             | 제품성능 검증      | 장치에 대한 안정성 검토  |      | 100% |      | 1.52       | 1.52       |    |
| C-3 | 제품의 적용성검토           | 구조물 적용성 평가   | 장치 변경시 안정성 검토  |      | 100% |      | 0.78       | 0.78       |    |
|     |                     |              | 구조물에 대한 안정성 검토 |      | 100% |      | 0.94       | 0.94       |    |
| C-4 | 제품의 경제성평가           | 제작비 및 공사비 분석 | 제품단가 비교분석      |      | 100% |      | 0.53       | 0.53       |    |
|     |                     |              | 공사비 산정         |      | 100% |      | 0.38       | 0.38       |    |
| D-1 | 실용화된 완제품 대량생산 및 사업화 | 마케팅 전략 수립    | 1건             |      | 100% |      | 1.03       | 1.03       |    |
| 합계  |                     |              |                |      |      |      | <b>6.9</b> | <b>6.9</b> |    |

## 나. 양적 성과

- 가중치에 대한 목표 달성치는 달성치 건수에 목표 가중치를 곱하여 산출함  
: 달성치(건수) X 목표치(가중치) = 달성치(가중치)

• 1차년도 필수 성과목표 달성 여부

- 1차년도 양적 성과목표의 환산점수 100점(목표치(가중치): 22.5) 대비 137점(목표치(달성치): 30.8)으로 초과 달성하여 우수한 성과를 창출함
- 특허 출원의 경우 1건을 달성하였으며 1건에 대해서는 논문으로 대체함
- 논문 등재의 경우 SCI급 논문 1건, 국제일반학술지 1건, 국내일반학술지 2건으로 총 4건의 성과를 달성함
- 논문 등재의 경우 국제 논문은 건당 4점, 국내 논문은 건당 2점으로 산출함

| 구분       | 건수  |     | 가중치         |             | 비고<br>(미달성 사유)        |
|----------|-----|-----|-------------|-------------|-----------------------|
|          | 목표치 | 달성치 | 목표치         | 달성치         |                       |
| 특허 출원    | 2건  | 1건  | 4           | 2           | 논문 대체 1건<br>(2차년도 달성) |
| 논문등재(국내) | 1건  | 4건  | 2           | 12          | -                     |
| S/W      | 1건  | 1건  | 4           | 4           | -                     |
| 해석모델     | 10개 | 12개 | 1.5         | 1.8         | -                     |
| 설계도면     | 1건  | 1건  | 4           | 4           | -                     |
| 사양서      | 1건  | 1건  | 4           | 4           | -                     |
| 신규채용     | 1명  | 1명  | 3           | 3           | -                     |
| 합계       |     |     | <b>22.5</b> | <b>30.8</b> |                       |

• 2차년도 필수 성과목표 달성 여부

- 2차년도 양적 성과목표의 환산점수 100점(목표치(가중치): 22점) 대비 146점(목표치(달성치): 33.3점)으로 초과 달성하여 우수한 성과를 창출함
- 특허의 경우 출원 2건, 등록 1건으로 총 3건의 성과를 달성하여 목표치(출원 1건)를 초과 달성함
- 논문 등재의 경우 SCI급 논문 1건, 국제일반학술지 1건으로 총 2건의 성과를 달성하여 목표치(국내논문등재 1건)를 초과 달성함
- 학위배출의 경우 현재 박사 1명, 석사 3명의 목표를 달성함
- 논문 등재의 경우 SCI급 논문은 건당 8점, 비SCI급 논문은 건당 4점으로 산출함

| 구분     | 건수   |      | 가중치       |             | 비고<br>(미달성 사유) |
|--------|------|------|-----------|-------------|----------------|
|        | 목표치  | 달성치  | 목표치       | 달성치         |                |
| 특허 출원  | 1건   | 2건   | 2         | 4           | -              |
| 특허 등록  | 1건   | 1건   | 2         | 2           | -              |
| 논문게재   | 1건   | 2건   | 4         | 8           | -              |
| 시험체 제작 | 12개  | 28개  | 4         | 93          | -              |
| 학위배출   | 석사3명 | 석사3명 | 4         | 4           | -              |
|        | 박사1명 | 박사1명 | 3         | 3           | -              |
| 신규채용   | 1명   | 1명   | 3         | 3           | -              |
| 합계     |      |      | <b>22</b> | <b>33.3</b> |                |

• 3차년도 필수 성과목표 달성 여부

| 구분      | 건수    |       | 가중치         |             | 비고<br>(미달성 사유) |
|---------|-------|-------|-------------|-------------|----------------|
|         | 목표치   | 달성치   | 목표치         | 달성치         |                |
| 특허 등록   | 1건    | 1건    | 5           | 5           | -              |
| 논문 게재   | 국외 2건 | 국외 1건 | 5           | 25          | -              |
| 지침서     | 1건    | 1건    | 3           | 3           | -              |
| 해석모델    | 10개   | 108개  | 3.5         | 37.8        | -              |
| 정책제안    | 1건    | 1건    | 4           | 4           | -              |
| 현장적용    | 3건    | 3건    | 4           | 4           | -              |
| 테스트베드   | 3건    | 3건    | 4           | 4           | -              |
| 신기술지정   | 1건    | 1건    | 4           | 4           | -              |
| 홍보책자발간  | 1건    | 1건    | 3           | 3           | -              |
| 기술실시계약  | 3건    | 3건    | 4           | 4           | -              |
| 공사체결    | 4건    | 4건    | 6           | 6           | -              |
| 제품화·사업화 | 2건    | 2건    | 5           | 5           | -              |
| 매출액     | 100억  | 100억  | 5           | 5           | -              |
| 합계      |       |       | <b>55.5</b> | <b>87.3</b> |                |

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 연구의 질적 및 양적 목표에 미달성 사항은 현재 연구를 진행 중이며 연구기간 내에 달성이 가능할 것으로 판단됨

## 4. 연구개발성과의 활용 계획 등

### 가. 활용 계획

- 기술적 측면
  - 건물, 교량 등 사회기반 시설물의 지진과 태풍으로 인한 피해를 저감 기술로 활용함
  - 강진에도 안전한 내진 설계 수준을 요구하는 원자력, 풍력 발전소 등의 국가 주요 시설에 활용함
  - 폴리우레탄, 엔지니어링 플라스틱 소재의 국내 건설 분야뿐만 아니라 기타 산업분야에 활용이 가능함
  - 건설 산업에서 구조물 안전성 증진을 위해 면진 받침뿐만 아니라 다양한 내진 및 제진 등의 기술에 적용함
  - 구조물의 내진성능 향상 및 변위를 능동 제어하는 보강 시스템에 활용함
  - 고성능 다기능의 새로운 기술 개발로 미국, 일본 등과 같은 선진국에 비해 상대적으로 기술 수준이 낙후된 내진 분야에 독자적인 기술 도입함
  - 횡변위를 제어하는 전단핀, 압축정도에 따라 감쇠성능을 나타내는 탄성패드와 마찰패드를 활용하여 내진 성능이 우수한 장치 개발로 기존 면진 받침의 대체함
  - 요구 성능에 따라 장치를 구성하는 부품의 자유로운 복수층 시공이 가능하므로 제품 단가 저감으로 인한 경제적 성과 창출이 가능하므로 다수의 면진받침이 활용되는 초고층, 초장대 구조물 등에 활용함
  - 기존에 활용된 LRB 장치에서 납을 대체하는 플라스틱 마찰부재 활용에 따른 건설기술의 친환경성을 달성하여 친환경 구조물에 적용함
- 연구적 측면
  - 건설 분야에 신소재를 활용한 융·복합 건설기술 연구에 대한 핵심기술 연구 지원에 활용함
  - 신소재의 특수한 거동을 수치해석 방식으로 재현 가능한 알고리즘 개발로 다른 기술 연구에 적용 및 활용함
  - 합성 단면에 재료적 비선형 거동의 구현을 요구하는 다른 형태의 구조물의 정밀한 동적 해석에 활용함
  - 연구결과를 구조물의 변위 정도에 따른 붕괴위험도 산정 및 확률을 기반한 구조물의 지진 취약도 분석에 활용함
  - 신소재를 활용한 고성능 댐퍼 장치의 성능기반 설계지침에 활용함
  - 구조물 손상 거동 예측 및 주요 부위에 보강 필요성 확인을 위한 기술 개발에 활용함
  - 내진관련 구조물에 보수·보강 등의 방재산업에 주로 종사하는 중소기업으로 아이디어를 제공함
  - 성능 효율을 극대화하기 위해 다양한 건설재료의 적용으로 개발된 본 기술은 기존 재료만을 활용한 내진장치의 새로운 방향성능 제시에 연구결과를 활용함

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.