

| 최종보고서(일반과제용)       |               |                                                                                                                   |                  |               |         |                 |                   |                |               | 보안등급              |    |
|--------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------|---------|-----------------|-------------------|----------------|---------------|-------------------|----|
|                    |               |                                                                                                                   |                  |               |         |                 |                   |                |               | 일반[✓], 보안[ ]      |    |
| 중앙행정기관명            | 국토교통부         |                                                                                                                   |                  | 사업명           | 사업명     |                 |                   | 국토교통기술촉진연구사업   |               |                   |    |
| 전문기관명              | 국토교통과학기술진흥원   |                                                                                                                   |                  |               | 내역사업명   |                 |                   | 국토교통기술혁신연구     |               |                   |    |
| 공고번호               | 공고-제2호        |                                                                                                                   |                  | 총괄연구개발 식별번호   |         |                 | -                 |                |               |                   |    |
|                    |               |                                                                                                                   |                  | 연구개발과제번호      |         |                 | 21CTAP-C152050-03 |                |               |                   |    |
| 국가과학기술<br>표준분류     | EI1102        |                                                                                                                   | 40%              | EI1105        |         | 30%             | EI0301            |                | 30%           |                   |    |
| 총괄연구개발명            | 국문            | 지반의 영향을 고려한 필로티형 공동주택의 내진보강기법 개발                                                                                  |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
|                    | 영문            | Development of seismic reinforcement method for piloti-type apartment complex with consideration of ground effect |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
| 연구개발과제명            | 국문            | 지반의 영향을 고려한 필로티형 공동주택의 내진보강기법 개발                                                                                  |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
|                    | 영문            | Development of seismic reinforcement method for piloti-type apartment complex with consideration of ground effect |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
| 주관연구기관             | 기관명           | (주)유경시스템                                                                                                          |                  |               | 사업자등록번호 |                 |                   | 109-81-48372   |               |                   |    |
|                    | 주소            | (우)07207 서울시 영등포구 양평로 149 선유도우림라이온스밸리 A동 901호                                                                     |                  |               | 법인등록번호  |                 |                   | 110111-1328651 |               |                   |    |
| 주관연구책임자            | 성명            | 김 성 진                                                                                                             |                  |               | 직위      |                 |                   | 상무             |               |                   |    |
|                    | 연락처           | 직장전화                                                                                                              | 02-3665-9685     |               |         | 휴대전화            |                   |                | 010-2201-0781 |                   |    |
|                    |               | 전자우편                                                                                                              | kimsj@ukyung.kr  |               |         | 국가연구자번호         |                   |                | 10834904      |                   |    |
| 연구개발기간             | 전체            | 2019. 04. 19 - 2021. 12. 31( 2 년 9 개월)                                                                            |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
|                    | 1년차           | 2019. 04. 19 - 2019. 12. 31( 1 년 9 개월)                                                                            |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
|                    | 2년차           | 2020. 01. 01 - 2020. 12. 31( 1 년 개월)                                                                              |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
|                    | 3년차           | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31( 1 년 개월)                                                                              |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
|                    | m년차           |                                                                                                                   |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
|                    | n년차           |                                                                                                                   |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
| 연구개발비<br>(단위 : 천원) | 정부지원<br>연구개발비 | 기관부담<br>연구개발비                                                                                                     |                  | 그 외 기관 등의 지원금 |         |                 |                   | 합계             |               | 연구개발비<br>외<br>지원금 |    |
|                    | 현금            | 현금                                                                                                                | 현물               | 현금            | 현물      | 현금              | 현물                | 현금             | 현물            |                   | 합계 |
| 총계                 |               |                                                                                                                   |                  | -             | -       | -               | -                 | 138,500        | 40,500        | 179,000           | -  |
| 1년차                | 134,000       | 4,500                                                                                                             | 40,500           | -             | -       | -               | -                 | 138,500        | 40,500        | 179,000           | -  |
| 2년차                | 135,000       | 4,500                                                                                                             | 40,500           | -             | -       | -               | -                 | 139,500        | 40,500        | 180,000           | -  |
| 3년차                | 331,000       | 11,100                                                                                                            | 99,900           | -             | -       | -               | -                 | 342,100        | 99,900        | 442,000           | -  |
| m년차                |               |                                                                                                                   |                  | -             | -       | -               | -                 |                |               |                   | -  |
| n년차                |               |                                                                                                                   |                  | -             | -       | -               | -                 |                |               |                   | -  |
| 공동연구기관 등           | 기관명           | 책임자                                                                                                               | 직위               | 휴대전화          |         | 전자우편            |                   | 비고             |               |                   |    |
|                    |               |                                                                                                                   |                  |               |         |                 |                   | 역할             | 기관유형          |                   |    |
| 공동연구기관             | 성균관대학교        | 김진구                                                                                                               | 교수               | 031-290-7563  |         | jkim12@skku.edu |                   | 공동             | 대학            |                   |    |
| 위탁연구기관             |               |                                                                                                                   |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
| 연구기관 외 기관          |               |                                                                                                                   |                  |               |         |                 |                   |                |               |                   |    |
| 연구개발담당자<br>실무담당자   | 성명            | 박 수 진                                                                                                             |                  |               | 직위      |                 | 차장                |                |               |                   |    |
|                    | 연락처           | 직장전화                                                                                                              | 02-3665-9685     |               |         | 휴대전화            |                   | 010-2331-3385  |               |                   |    |
|                    |               | 전자우편                                                                                                              | parksj@ukyung.kr |               |         | 국가연구자번호         |                   | 10139849       |               |                   |    |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 01 월 13 일

주관연구책임자 : 김 성 진 (직인)

주관연구기관의 장 : (주)유경시스템 이 영 제



국토교통과학기술진흥원장 귀하

## < 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

|                           |       |                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |     |                                  |  |     |
|---------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|-----|----------------------------------|--|-----|
| 사업명                       |       | 국토교통기술촉진연구사업                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        | 총괄연구개발 식별번호 |     | -                                |  |     |
| 내역사업명                     |       | 국토교통기술혁신연구                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        | 연구개발과제번호    |     | 21CTAP-C152050-03                |  |     |
| 국가과학기술 표준분류               |       | EI1102                                                                                   | 40%                                                                                                                                                                                                                                                                           | EI1105 |             | 30% | EI0301                           |  | 30% |
| 총괄연구개발명                   |       | 지반의 영향을 고려한 필로티형 공동주택의 내진보강기법 개발                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |     |                                  |  |     |
| 연구개발과제명                   |       | 지반의 영향을 고려한 필로티형 공동주택의 내진보강기법 개발                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |     |                                  |  |     |
| 전체 연구개발기간                 |       | 2019. 04. 19 - 2021. 12. 31( 2 년 9 개월)                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |     |                                  |  |     |
| 총 연구개발비                   |       | 총 801,000천원<br>(정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 201,000천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원) |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |     |                                  |  |     |
| 연구개발단계                    |       | 기초[ ] 응용[ ] 개발[ <input checked="" type="checkbox"/> ]<br>기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]        |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        | 기술성숙도       |     | 착수시점 기준( 5단계 )<br>종료시점 목표( 8단계 ) |  |     |
| 연구개발과제 유형                 |       | 지정공모 [ <input checked="" type="checkbox"/> ] 자유공모 [ ]                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |     |                                  |  |     |
| 연구개발과제 특성                 |       | 실용화                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |     |                                  |  |     |
| 연구<br>개발<br>목표<br>및<br>내용 | 최종 목표 |                                                                                          | 지반의 영향을 고려한 필로티형 공동주택의 내진보강기법을 개발하고 성능기반 설계법 제시를 목표로 함                                                                                                                                                                                                                        |        |             |     |                                  |  |     |
|                           | 전체 내용 |                                                                                          | - 연약지반 모델링기법 개발<br>- 필로티형 공동주택에 특화된 내진보강기법 개발<br>- 개발된 보강장치의 해석모델 및 최적화기법 개발<br>- 구조물 접합상세 및 시공 매뉴얼 개발                                                                                                                                                                        |        |             |     |                                  |  |     |
|                           | 1년차   | 목표                                                                                       | - 연약지반의 효과를 고려한 필로티구조의 내진성능평가기법 개발<br>- 필로티형 공동주택에 특화된 강재 기동형 감쇠장치 개발<br>- 개발된 감쇠장치의 해석모델 개발 및 성능실험                                                                                                                                                                           |        |             |     |                                  |  |     |
|                           |       | 내용                                                                                       | - 부지응답해석을 통한 지진기록 조정<br>- 지반의 비선형 모델링<br>- 기동형 강재이력댐퍼/강재 멀티슬릿댐퍼 개발<br>- 기동의 강판보강<br>- 기동형 댐퍼 및 멀티슬릿댐퍼의 해석모델 개발<br>- 개발된 댐퍼의 최적화 모델링 기법 개발                                                                                                                                     |        |             |     |                                  |  |     |
|                           | 2년차   | 목표                                                                                       | - 지반구조 상호작용을 고려한 필로티구조의 내진보강효과 검증<br>- 필로티구조의 내진보강 최적설계기법 개발<br>- 내진보강용 강재프레임의 형상개발 및 RC 골조실험을 통한 성능평가                                                                                                                                                                        |        |             |     |                                  |  |     |
|                           |       | 내용                                                                                       | - 개발된 기동형, 슬릿형 강재 감쇠장치의 해석모델 개발<br>- 예제 해석을 통한 내진보강 성능검증<br>- 부지응답해석을 통한 지진파 증폭<br>- BNWF 모델을 이용한 지반-구조 상호작용해석<br>- 지반조건에 따른 필로티형 건물의 내진보강효과 검증<br>- 개선된 T형강 강재프레임 개발<br>- 다양한 상세를 갖는 강재프레임의 유한요소 해석을 통한 내진성능 평가<br>- RC골조 설치실험을 통한 내진보강 성능검증<br>- 개발된 강재프레임의 설치상세 및 시공매뉴얼 개발 |        |             |     |                                  |  |     |
|                           | 3년차   | 목표                                                                                       | - 개선된 내진보강용 강재프레임의 골조실험을 통한 내진보강효과 검증<br>- 개발된 강재프레임의 예제 건물 적용을 통한 타당성 분석<br>- 강재프레임의 실무 적용을 위한 경제성 평가 및 시공매뉴얼 개발                                                                                                                                                             |        |             |     |                                  |  |     |
|                           |       | 내용                                                                                       | - 개선된 T형 강재프레임 보강기법 개발<br>- 해석/실험을 통한 성능검증<br>- 지반의 유한요소 모델링<br>- 지반구조 상호작용 해석<br>- 보강장치 최적 설치위치 및 최적물량 산정<br>- 설치상세 및 시공가이드라인 제시<br>- 개발된 보강기법의 공사비 산정                                                                                                                       |        |             |     |                                  |  |     |

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                     |              |                     |                 |                   |              |                       |              |              |     |     |    |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|-----|-----|----|
| 연구개발성과                      | - 필로티구조 내진보강기법 개발<br>: 기동형 강재이력댐퍼<br>: 강판형 슬릿댐퍼<br>: 조립식 강재프레임 보강장치<br>: 개발된 보강장치의 설치 상세 및 시공 기법 개발<br>- 지반효과를 고려한 내진보강 설계기법<br>: 연약지반의 효과 정량화<br>: 필로티건물 내진보강에 미치는 지반-구조 상호작용 평가<br>- 필로티건물 내진보강설계 최적화기법 개발<br>: 보강장치의 최적위치 선정<br>: 보강장치의 최적 물량 산정 |              |                     |                 |                   |              |                       |              |              |     |     |    |
| 연구개발성과<br>활용방안 및<br>기대효과    | - 필로티형 공동주택 건물의 저비용 고효율 내진보강<br>- 학교 및 관공서 내진보강<br>- 노후구조물 저비용 내진을 향상<br>- 내진 감쇠장치 수입 대체효과                                                                                                                                                          |              |                     |                 |                   |              |                       |              |              |     |     |    |
| 연구개발성과의<br>비공개여부 및 사유       | 해당없음                                                                                                                                                                                                                                                |              |                     |                 |                   |              |                       |              |              |     |     |    |
| 연구개발성과의<br>등록·기탁 건수         | 논문                                                                                                                                                                                                                                                  | 특허           | 보고서<br>원문           | 연구<br>시설·<br>장비 | 기술<br>요약<br>정보    | 소프트<br>웨어    | 표준                    | 생명자원         |              | 화합물 | 신품종 |    |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                     |              |                     |                 |                   |              |                       | 생명<br>정보     | 생물<br>자원     |     | 정보  | 실물 |
|                             | SCI-9                                                                                                                                                                                                                                               | 출원-3<br>등록-2 | 1                   |                 |                   | 3            |                       |              |              |     |     |    |
| 연구시설·장비<br>종합정보시스템<br>등록 현황 | 구입기관                                                                                                                                                                                                                                                | 연구시설·<br>장비명 | 규격<br>(모델명)         | 수량              | 구입<br>연월일         | 구입가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화)           | 비고<br>(설치장소) | ZEUS<br>등록번호 |     |     |    |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                     |              |                     |                 |                   |              |                       |              |              |     |     |    |
| 국문핵심어<br>(5개 이내)            | 내진보강                                                                                                                                                                                                                                                |              | 필로티구조               |                 | 감쇠장치              |              | 성능설계                  |              | 연약지반         |     |     |    |
| 영문핵심어<br>(5개 이내)            | Seismic<br>retrofit                                                                                                                                                                                                                                 |              | Piloti<br>structure |                 | Damping<br>device |              | Performance<br>design |              | Soft ground  |     |     |    |

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨자료

## 1. 연구개발과제의 개요

### 1) 연구개발과제의 최종 목표

- 
- 필로티형 공동주택의 내진보강 기법 제시
  - 필로티건물 내진보강에 미치는 연약지반의 효과 정량화
  - 개발된 시스템의 해석모델 및 최적설계기법 개발
  - 기존 구조물에 대한 설치 상세 및 시공 가이드라인 제시
  - 최적화를 통하여 기존 공법 대비 공사비 20% 절감
- 

### 2) 연구개발과제의 년차별 목표

---

#### ○ 1차년도

- 연약지반의 효과를 고려한 필로티구조의 내진성능평가기법 개발
- 필로티형 공동주택에 특화된 강재 기동형 감쇠장치 개발
- 개발된 감쇠장치의 해석모델 개발 및 성능실험

#### ○ 2차년도

- 내진보강용 강재프레임의 형상개발 및 RC 골조실험을 통한 성능평가
- 필로티구조의 내진보강 최적설계기법 개발
- 지반구조 상호작용을 고려한 필로티구조의 내진보강효과 검증

#### ○ 3차년도

- 개선된 내진보강용 강재프레임의 골조실험을 통한 내진보강효과 검증
  - 개발된 강재프레임의 예제 건물 적용을 통한 타당성 분석
  - 강재프레임의 실무 적용을 위한 경제성 평가 및 시공매뉴얼개발
-

| 구분            | 연구개발목표                                | 핵심 연구개발성과<br>(연구개발성과물)      | 현재 국내·외<br>기술수준   | 연구개발<br>목표치                | 목표치<br>설정 근거         | 가중치<br>(%) |
|---------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|------------|
| 1년차<br>(2019) | 필로티구조에<br>특화된 내진보강<br>기법 개발           | 기동형 강재댐퍼 형상                 | 보강전 대비<br>112%    | 보강전 대비<br>기동연성도<br>130% 증가 | KDS 41 건축물<br>내진설계기준 | 10         |
|               |                                       | 특허 및 논문                     |                   |                            |                      | 10         |
|               | 필로티 구조의<br>지반을 고려한<br>내진성능 평가기법<br>개발 | 논문                          |                   |                            |                      | 10         |
| 2년차<br>(2020) | 필로티구조용<br>내진보강 기법<br>개발               | 시공성이 향상된<br>강재프레임<br>내진보강기법 | 항복강도<br>43.2kN 이상 | 항복강도<br>50kN 이상            | KDS 41 건축물<br>내진설계기준 | 10         |
|               |                                       | 특허 및 논문                     |                   |                            |                      | 10         |
|               | 필로티구조<br>내진보강 설계<br>최적화기법 개발          | 소프트웨어 등록                    |                   |                            |                      | 10         |
|               |                                       | 논문                          |                   |                            |                      | 10         |
| 3년차<br>(2021) | 필로티구조용<br>내진보강 기법<br>개발               | 시공성이 향상된<br>강재프레임<br>내진보강기법 | 항복강도<br>43.2kN 이상 | 항복강도<br>50kN 이상            | KDS 41 건축물<br>내진설계기준 | 10         |
|               | 개발된<br>내진보강기법의<br>실용화기법 개발            | 경제성평가                       |                   |                            |                      | 10         |
|               |                                       | 시공매뉴얼                       |                   |                            |                      | 10         |

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

### 2.1 수행 일정

#### 1) 1차년도

| 일련<br>번호 | 연구내용                     | 연구수행 일정 (1차년도) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|----------|--------------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|          |                          | 1              | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1        | 계획수립 및 자료조사              |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2        | 부지응답해석을 통한<br>지진파 도출     |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 3        | 연약지반을<br>고려한<br>내진성능평가   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 4        | 기동형 강재댐퍼 형상<br>및 해석모델 개발 |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 5        | 기동형 강재댐퍼<br>보강효과 해석 검증   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 6        | 결과 분석 /<br>보완 설계         |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 7        | 시제품<br>및 RC 제작도면<br>작성   |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 8        | 시제품 및 RC 실험체<br>제작       |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 9        | 실험을 통한<br>성능평가           |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

#### 2) 2차년도

| 일련<br>번호 | 연구내용                        | 연구수행 일정 (2차년도) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|----------|-----------------------------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|          |                             | 1              | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1        | 계획수립 및 자료조사                 |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2        | 강재 프레임<br>보강기법 설계           |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 3        | 보강기법<br>해석 검증               |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 4        | 결과 분석 /<br>보완 설계            |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 5        | 실험체 설계 및 제작                 |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 6        | RC 골조 성능실험 및<br>결과 분석       |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 7        | 연약지반을<br>고려한<br>내진성능평가      |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 8        | 필로티구조<br>내진보강설계<br>최적화기법 개발 |                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

### 3) 3차년도

| 일련<br>번호 | 연구내용                        | 추진 일정 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|----------|-----------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|          |                             | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1        | 계획수립 및 자료조사                 |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2        | 필로티구조<br>내진보강설계<br>최적화기법 개발 |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 3        | 강재프레임 성능<br>개선안 도출          |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 5        | 도출된 개선안의<br>해석을 통한 성능검증     |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 9        | 시제품<br>및 RC 제작도면<br>작성      |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 10       | 시제품 및 RC 실험체<br>제작          |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 11       | 실험 및 데이터 정리<br>논문작성         |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 12       | 공사비 산정<br>및 사업성 검토          |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 13       | 구조체와의<br>연결상세<br>시공매뉴얼 개발   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 14       | 최종 보고서 작성                   |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

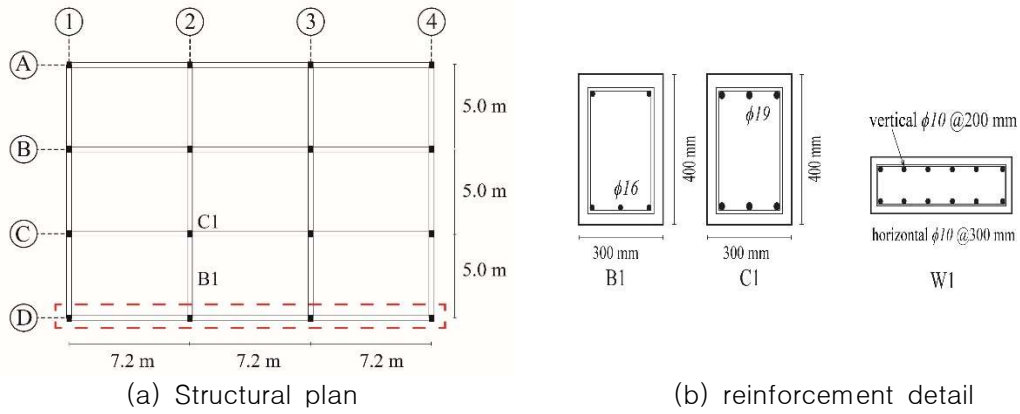
## 2.2 연구수행 내용

### 1) 지반조건에 따른 필로티구조의 내진보강 : 유한요소 모델

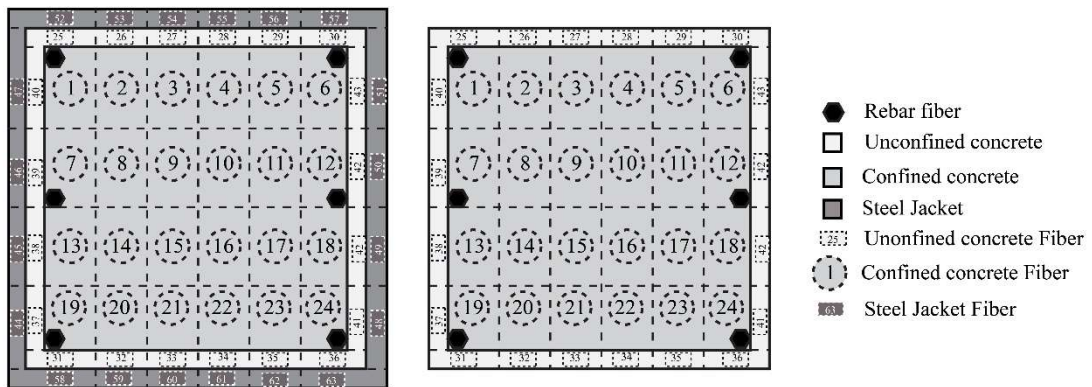
- 포항지진의 규모 (M 5.4)에 비하여 많은 건물에 과다한 손상이 발생한 이유는 해안에 근접한 포항이 퇴적층으로 구성된 연약지반이기 때문인 것으로 판단되고 있다. 따라서 내진보강의 효과를 정확하게 검증하기 위해서는 지반의 영향을 고려할 필요가 있으며, 본 연구에서는 지반-구조 상호작용 해석을 통하여 지반 조건에 따른 필로티구조의 내진보강 효과를 파악하였다.

#### (1) 해석모델의 설계

- 지반조건이 필로티구조의 내진성능 및 내진보강 효과에 미치는 영향을 파악하기 위하여 <그림 1.1>과 같은 평면을 가진 5층 해석모델을 설계하였다.
- 해석모델의 1층은 보와 기둥으로 구성되어 있고, 상부층은 전단벽으로 설계하였다. 설계하중은  $DL=4.1KN/m$ ,  $LL=2.5KN/m^2$  이다 콘크리트 압축강도 및 철근의 인장강도는 25 MPa and 413 MPa 이다.
- 해석모델은 내진설계기준이 적용 되기 전에 설계된 것으로 가정하고 중력하중만을 이용하여 설계하였으며, 현행 기준에 따른 내진성능을 가지도록 기둥을 강판으로 보강하였다.
- <그림 1.2>는 기둥 및 내진보강을 위한 강판을 fiber 로 모델링한 형상을 나타내며, 강판과 피복콘크리트는 20개, 코어 콘크리트는 24개의 fiber로 모델링하였다. 비선형 해석프로그램인 OpenSees를 사용하여 지진해석을 수행하였다.



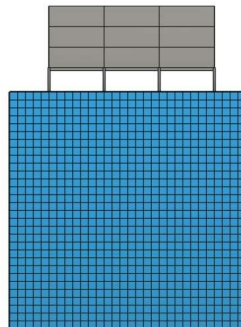
<그림 1.1> Soft first story analysis model structure



<그림 1.2> Fiber model for columns with and without steel jacket

## (2) 지반의 모델링

- 지반-구조 상호작용을 고려하기 위하여 <그림 1.3>과 같이 지반을 4절점 quadrilateral 요소로 모델링하였다. 지반은 수평으로 32 m 수직방향으로 30 m 모델링하였고, 그 밑으로는 무한 강성을 가지는 암반인 것으로 가정하였다. 전단파속도에 따라 지반조건을 B, D, E로 구분하였으며, soil unit weight,  $\gamma$ , shear wave velocity,  $V_S$ , Poisson's ratio,  $\nu$ , Shear modulus,  $G_0$ , friction angle,  $\phi$  등의 지반 파라미터 값들은 ASCE 7 및 ATC-40을 참고하였다 (표 1.1). 연약지반은 Opensees에 내장된 Pressure Depend Multi Yield (PDMY) 재료요소, Type B 지반은 Pressure Independ Multi Yield 재료를 사용하여 모델링하였다.



<그림 1.3> Illustration of the analysis model structure on 30m deep soil domain

<표 1.1> Soil material properties

| Soil Type | Material Type                 | $\gamma$<br>KN/m <sup>3</sup> | VS<br>m/s | G <sub>0</sub><br>MPa | $\phi$ | $\nu$ |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|--------|-------|
| Type B    | Pressure Depend Multi Yield   | 24                            | 1143      | 424.88                | –      | 0.20  |
| Type D    | Pressure Independ Multi Yield | 13                            | 305       | 650.00                | 29     | 0.30  |
| Type E    | Pressure Independ Multi Yield | 17                            | 152       | 150.00                | 30     | 0.35  |

- <표 1.2>는 지반의 강성을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우 해석모델의 1차 고유주기를 나타낸다. 지반 효과를 고려한 경우 건물의 주기가 길어지는 것으로 나타났으며, 연약지반 (Type D)에 위치한 경우 주기가 더욱 많이 증가하는 것을 알 수 있다.

<표 1.2> Fundamental periods, T<sub>s</sub>, of the model structure located on different soil types

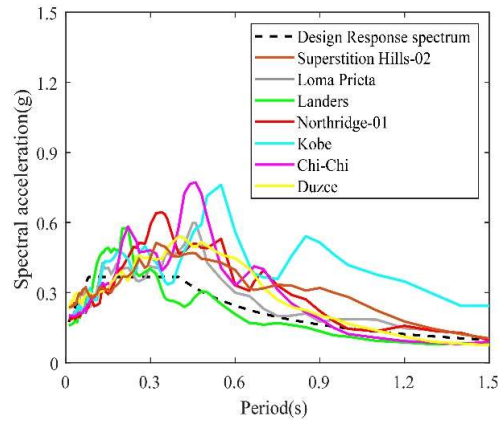
| Soil Type | Fixed base | Flexible base |
|-----------|------------|---------------|
| Type B    | 0.27       | 0.43          |
| Type D    | 0.27       | 0.57          |
| Type E    | 0.27       | 0.45          |

### (3) 해석에 사용된 지진

- 내진설계기준이 요구사항을 만족하기 위하여 PEER NGA database에서 7 개의 지진을 선정하고 <표 1.3>에 나타내었다. 그림 4는 현행 내진설계기준에 따라 site class B 설계스펙트럼에 맞추어 조정된 7개 지진의 응답스펙트럼을 나타낸다. <표 1.4>는 각 지반조건에 따른 설계스펙트럼가속도를 나타내며, <그림 1.5>는 압반 (site class A) 및 연약지반에 해당하는 설계스펙트럼을 나타낸다.

<표 1.3> Main characteristics of the selected earthquake records

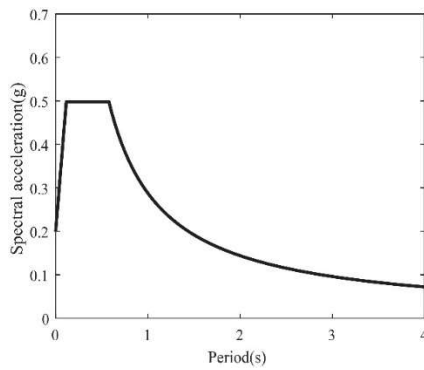
| No | RSN  | Earthquake Name         | Year | Magnitude | Arias Intensity (m/sec) | 5-95% Duration (sec) | PGA (g) | PGV (cm/sec) | PGD (cm) |
|----|------|-------------------------|------|-----------|-------------------------|----------------------|---------|--------------|----------|
| 1  | 725  | "Superstition Hills-02" | 1987 | 6.54      | 2.1                     | 13.7                 | 0.34    | 33.89        | 10.74    |
| 2  | 767  | "Loma Prieta"           | 1989 | 6.93      | 2.1                     | 11.4                 | 0.50    | 43.52        | 17.79    |
| 3  | 848  | "Landers"               | 1992 | 7.28      | 2.2                     | 10.6                 | 0.35    | 33.22        | 16.83    |
| 4  | 953  | "Northridge-01"         | 1994 | 6.69      | 4.5                     | 9.3                  | 0.44    | 59.81        | 13.98    |
| 5  | 1111 | "Kobe_Japan"            | 1995 | 6.9       | 3.4                     | 11.2                 | 0.47    | 39.49        | 11.85    |
| 6  | 1485 | "Chi-Chi-Taiwan"        | 1999 | 7.62      | 1.4                     | 11.3                 | 0.49    | 45.96        | 29.36    |
| 7  | 1602 | "Duzce-Turkey"          | 1999 | 7.14      | 3.7                     | 9                    | 0.78    | 62.90        | 19.67    |



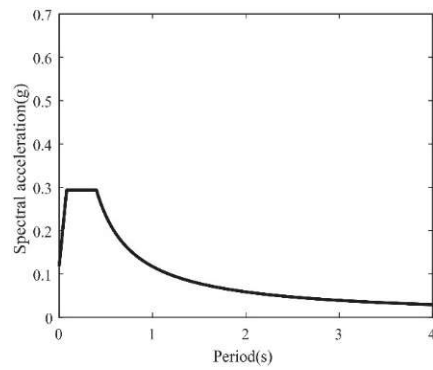
<그림 1.4> SRSS spectra of selected earthquake records scaled to DBE spectrum for site class B

<표 1.4> Design spectral acceleration parameters corresponding to different site classes

| Site Class   | $S_{DS}$ | $S_{D1}$ |
|--------------|----------|----------|
| Site Class B | 0.367    | 0.147    |
| Site Class D | 0.499    | 0.287    |
| Site Class E | 0.653    | 0.458    |



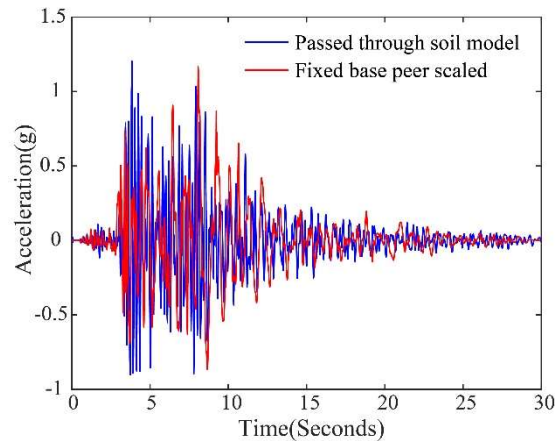
(a) Site class D



(b) Site class A (Hard Rock)

<그림 1.5> Design spectrum used for comparison of scaled earthquake records

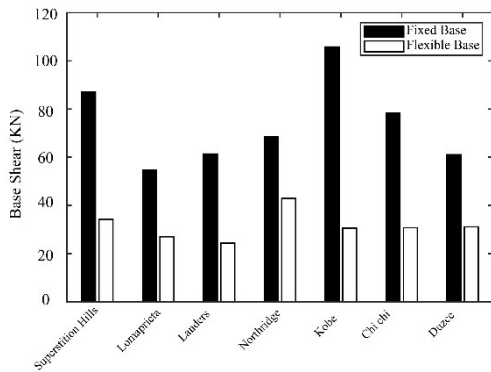
- <그림 1.6>은 지반조건 D에 해당하는 설계스펙트럼을 이용하여 scaling한 Northridge 지진과 암반에서 계측된 지진을 30m 두께의 지반 모델을 통과시켜 구한 지진을 비교한 것으로, 두 기록이 비교적 정확하게 일치하는 것을 알 수 있다.



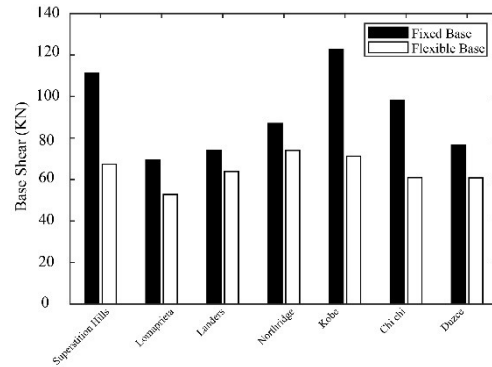
<그림 1.6> Comparison of the scaled Northridge record and the bed rock record passed through the soil medium

#### (4) 지진해석 결과

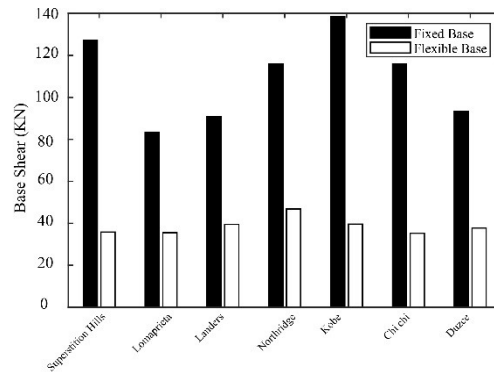
- 필로티-지반 해석모델에 대한 7개 지진을 이용한 비선형 동적해석을 수행하였다. <그림 1.7>은 다양한 지반조건에 따른 해석모델의 밀면전단력을 비교한 것으로, 지반의 영향을 고려할 경우 지반조건 B, D, E인 경우 밀면전단력은 각각 57.3%, 29.4%, 64.7% 감소하는 것으로 나타났다.



(a) Site class B



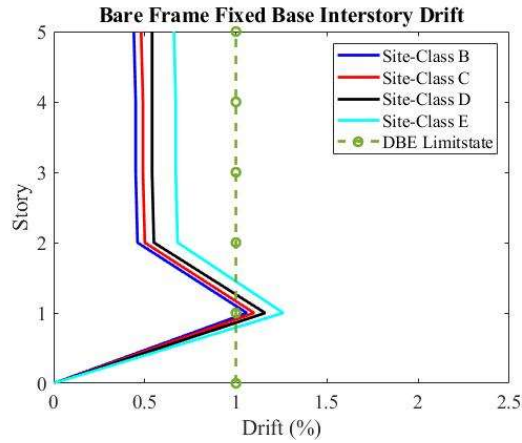
(b) Site class D



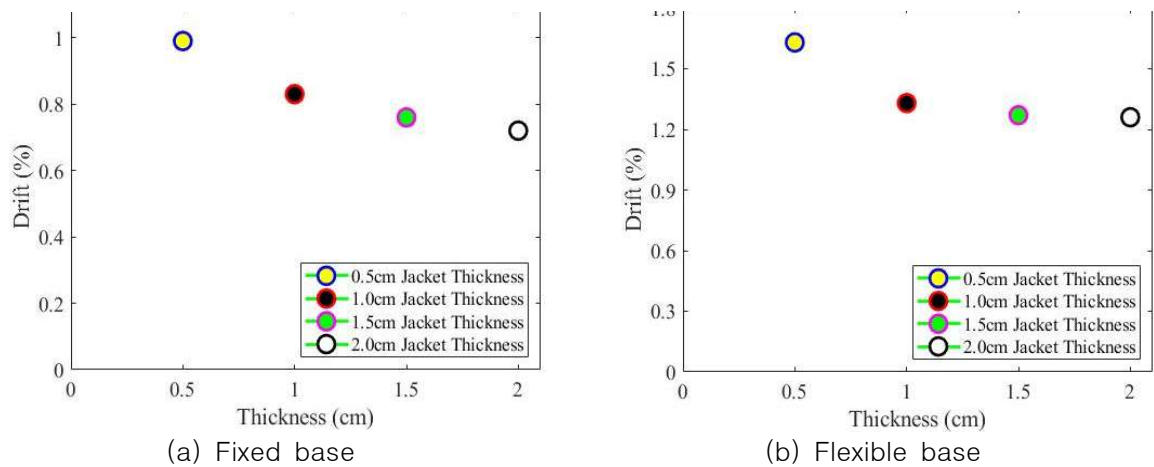
(c) Site class D

<그림 1.7> Base shear of the model structure with fixed and flexible base subjected to the seven earthquakes

- <그림 1.8>은 지반-구조 상호작용을 고려하지 않았을 때, 각 지반조건에 대하여 7개 지진에 의한 최대층간변위의 평균값을 나타낸 것으로, 모든 경우에 있어서 최대 층간변위가 한계 변위인 층고의 1%를 초과하는 것으로 나타났다.
- 해석모델의 내진성능을 향상하기 위하여 지반조건 B에서 모든 기둥을 두께 5~20mm 강판으로 보강하고 지진해석을 수행한 결과를 그림 9에 나타내었다. 지반구조 상호작용을 고려하지 않은 경우 5mm 두께의 강판으로 보강한 경우에도 한계상태인 1% 층간변위비를 만족하나, 지반을 동시에 모델링한 경우에는 20mm 강판으로 보강한 경우에도 한계상태를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.
- 이러한 결과는 지반-구조 상호작용의 영향을 고려하지 않고 내진보강 설계를 수행할 경우 충분한 내진보강이 이루어지지 않을 수 있다는 것을 의미한다.

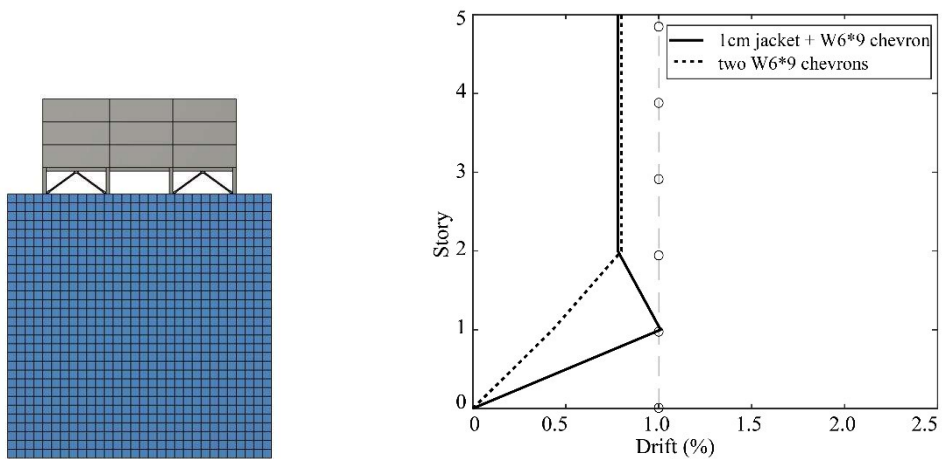


<그림 1.8> Maximum inter-story drift of the model structure with fixed base on different site conditions



<그림 1.9> Maximum inter-story drift with jacketing using steel plates with different thickness, site class B

- <그림 1.10>은 지반-구조 상호작용을 고려할 때 해석모델의 내진성능을 만족하기 위하여 10mm 강판+1개의 철골 가새로 보강한 경우 한계상태를 만족하는 것을 나타내며, 두 개의 가새로 보강한 경우 1층의 층간변위가 2층 보다 작아지는 것을 나타낸다.



(a) Location of chevron brace (b) Maximum inter-story drift  
<그림 1.10> Seismic retrofit of the model structure using steel jacket and chevron brace

## (5) 소결

- 현재 내진보강 실무에서는 노후 건물의 내진보강 설계 시 지반의 영향을 지반 증폭계수를 통하여 지진하중을 증가함으로써 간접적으로 고려하고 있으나, 지반 구조 상호작용을 고려할 경우 현행 내진보강 설계 결과는 충분한 내진성능을 확보하지 못할 수 있으므로, 안전한 내진보강 설계를 위해서는 지반의 영향을 보다 정확하게 고려하는 것이 필요하다.

## 2) 지반조건에 따른 필로티구조의 내진보강 : 스프링 모델

- 지반을 유한요소로 모델링하여 지반-구조 상호작용 해석을 수행하는 것은 지반의 효과를 보다 정확하게 고려할 수 있으나 해석에 많은 시간이 소요되며, 지반의 유한요소 모델링이 가능한 프로그램이 필요하여 범용성이 작은 단점이 있다.
- 본 연구에서는 지반을 수직 및 수평 스프링과 dashpot으로 모델링하는 Beam on Nonlinear Winkler Foundation (BNWF) 모델을 사용하여 필로티구조의 지반-구조 상호작용 해석을 수행하고, 지반조건에 따른 내진보강 효과를 검증하였다.

### (1) 지반의 BNWF 모델

- BNWF 모델은 <그림 2.1> 및 <그림 2.2>에 나타난 바와 같이 지반을 QzSimple1, PxSimple1, TzSimple1 등 세 종류의 스프링을 이용하여 지반의 탄소성 변형 및 감쇠특성을 모델링한다. <표 2.1>은 본 연구에서 사용된 지반특성 계수를 나타낸다.

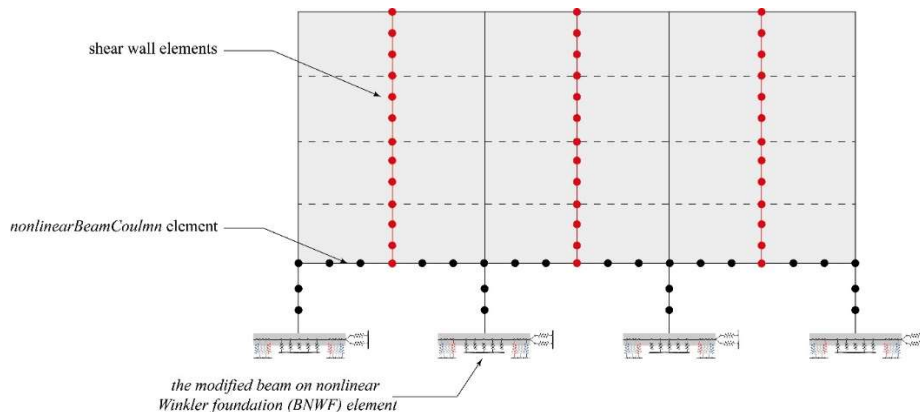
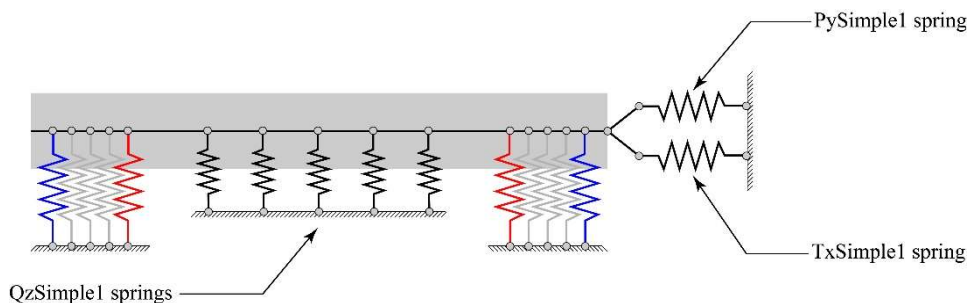
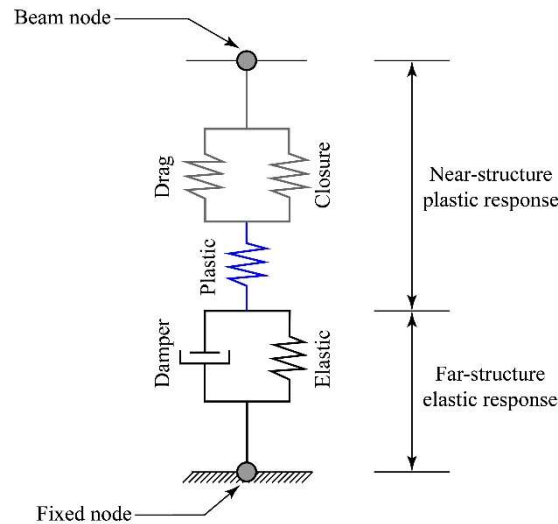


그림 2.1. Modeling of Soil Structure system



<그림 2.2> Schematic representation of BNWF model.



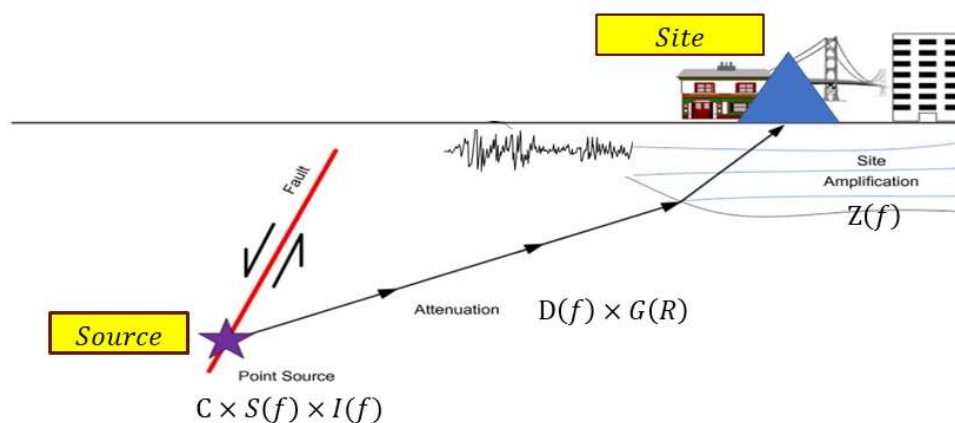
<그림 2.3> QzSimple1, PxSimple1, and TxSimple1 material models.

<표 2.1> Parameters of soil profiles

| Soil profile type | Average properties in zone of influence |                 |                                     |                 |
|-------------------|-----------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|
|                   | Shear wave velocity (m/sec)             |                 | Weight density (kN/m <sup>3</sup> ) |                 |
|                   | Range                                   | Selected number | Range                               | Selected number |
|                   | [760 - 1520]                            | 1140            | 22 <                                | 23.5            |
|                   | [360 - 760]                             | 560             | [19 - 22]                           | 20.5            |
|                   | [180 - 360]                             | 300             | [16 - 20]                           | 18              |
|                   | 180 >                                   | 150             | [14 - 18]                           | 16              |

## (2) 지반 증폭계수의 산정

- 암반 지역에서 발생한 지진은 상부 지반을 통과하며 증폭하며, 지반의 특성에 따라 증폭의 크기가 다르다.



<그림 2.4> 암반 지진의 증폭과정

- 본 연구에서는 지하 30m 깊이의 지반에 대한 지진 증폭계수를 산정하여 지반-구조 상호작용 해석을 위한 입력 지진으로 사용하였다.
- 지반의 증폭 효과는 지반의 깊이, 밀도, 강성 등에 따라 달라지며, 본 연구에서는 one-dimensional Square-Root-Impedance (SRI) method를 이용하여 암반 지진의 증폭계수를 산정하였다. 지반 깊이 z에서 지반의 진동수는 다음과 같이 구할 수 있다:

$$f = \frac{\bar{V}_s(f)}{4z}$$

여기서 평균 전단파속도는 다음과 같다.

$$\bar{V}_s(f) = z(f) \left[ \int_0^{z(f)} \left( \frac{1}{V_s(z)} \right) dz \right]^{-1}$$

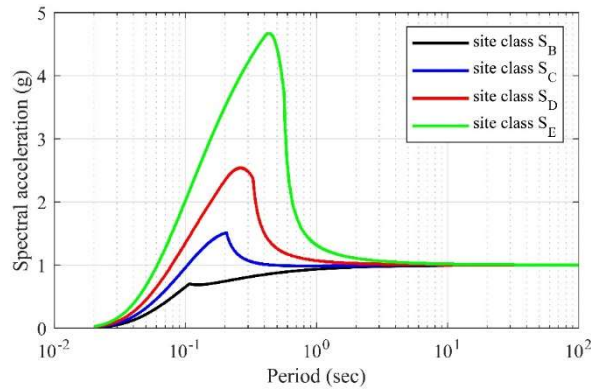
이를 이용하여 지진의 증폭계수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A(f) = \sqrt{\frac{\rho_{sc} V_{sc}}{\bar{\rho}(f) \bar{V}_s(f)}}$$

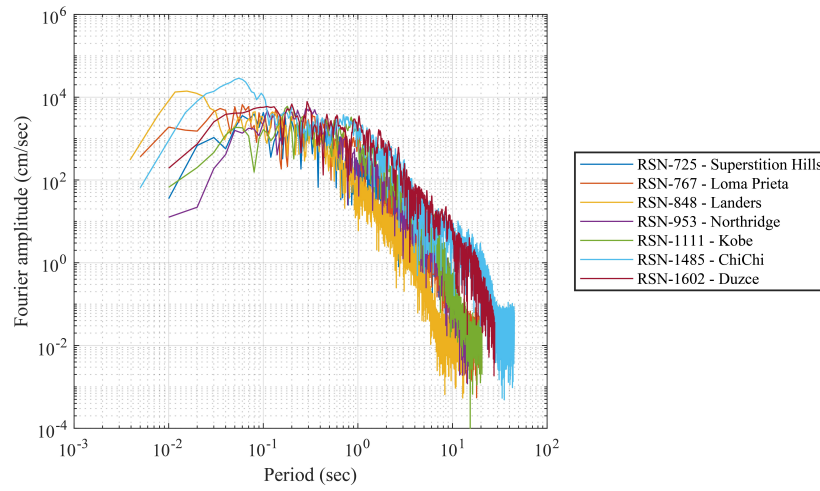
여기서 깊이 z에서의 지반의 평균 밀도는 다음과 같다.

$$\bar{\rho}(f) = \frac{1}{z(f)} \int_0^{z(f)} \rho(z) dz$$

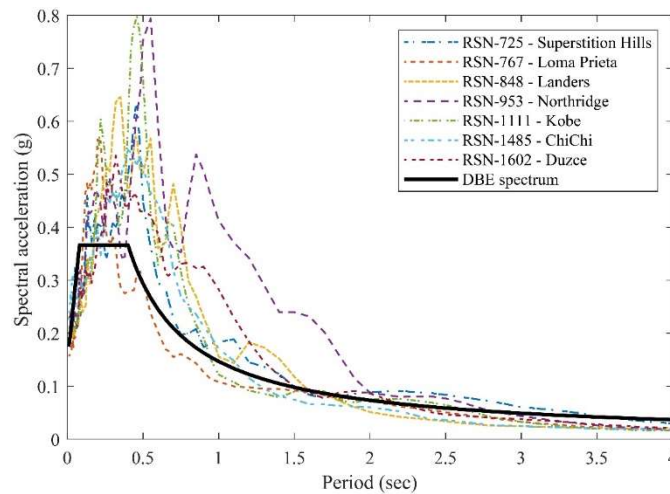
- 본 연구에서는 PEER NGA database에서 암반에서 계측된 7개의 지진을 선정하였으며, <표 2.1>에 나타낸 지반 계수를 이용하여 암반 상부 30m 지반에 대한 증폭계수를 <그림 2.5>에 나타내었다.
- <그림 2.6>은 증폭계수를 이용하여 증폭한 암반 지진기록의 Fourier transform을 나타내며, 이것의 inverse Fourier transform을 통하여 지반을 통과하며 증폭된 지진 가속도를 구할 수 있다. 그림 7은 암반 지반에 해당하는 DBE 수준의 설계스펙트럼과 설계스펙트럼으로 조정된 7개 지진의 응답 스펙트럼을 나타낸다.
- 국내 암반지진 수준으로 조정된 7개 지진을 각 지반 특성에 따라 Square-Root-Impedance (SRI) method를 이용하여 증폭된 지진을 산정하고 필로티구조의 지진해석에 적용하였다.



<그림 2.5> Amplification factor for different soil profile type.



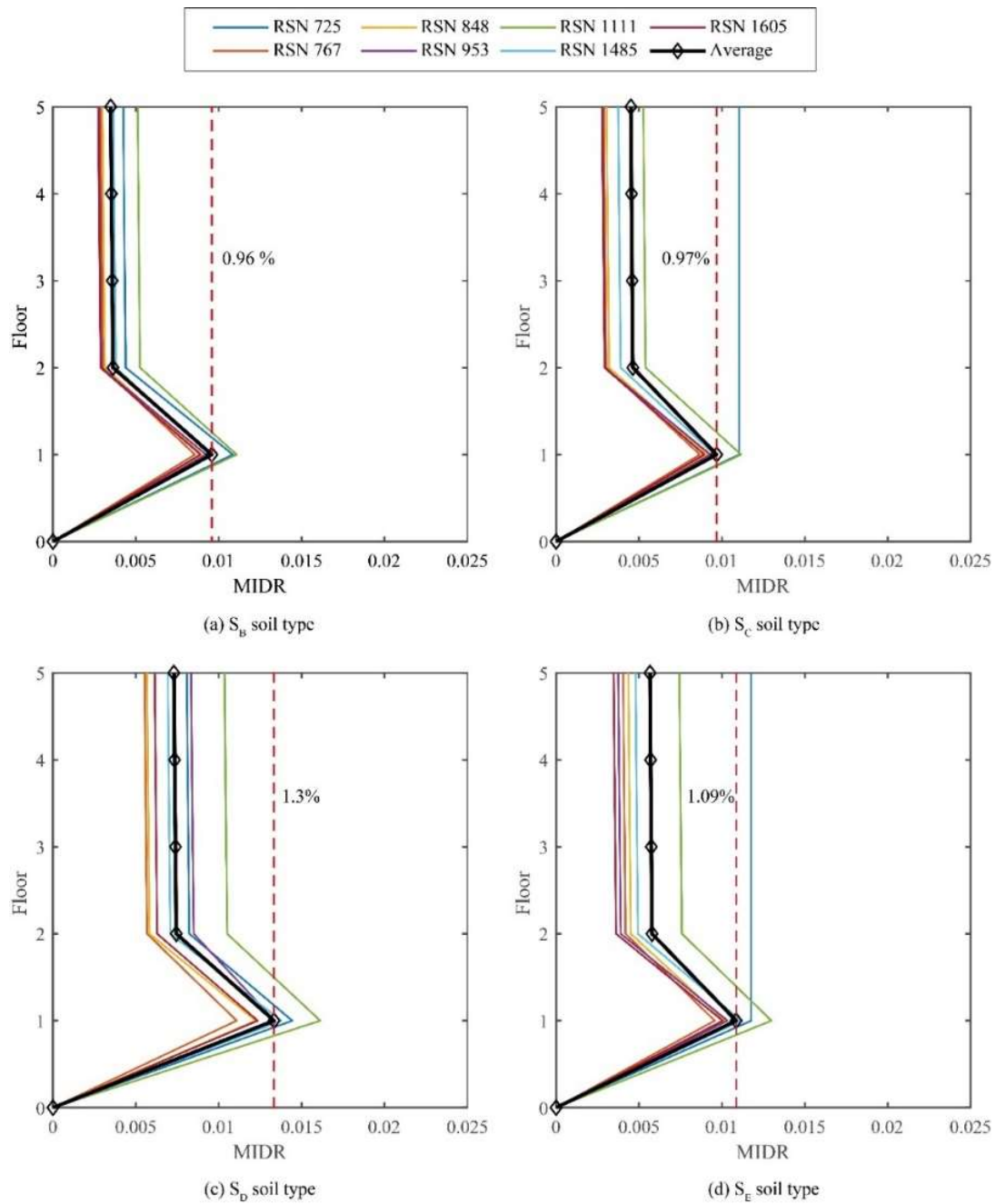
<그림 2.6> Fourier transforms of the selected earthquake records



<그림 2.7> DBE spectrum and SRSS spectra of seven earthquake ground motions.

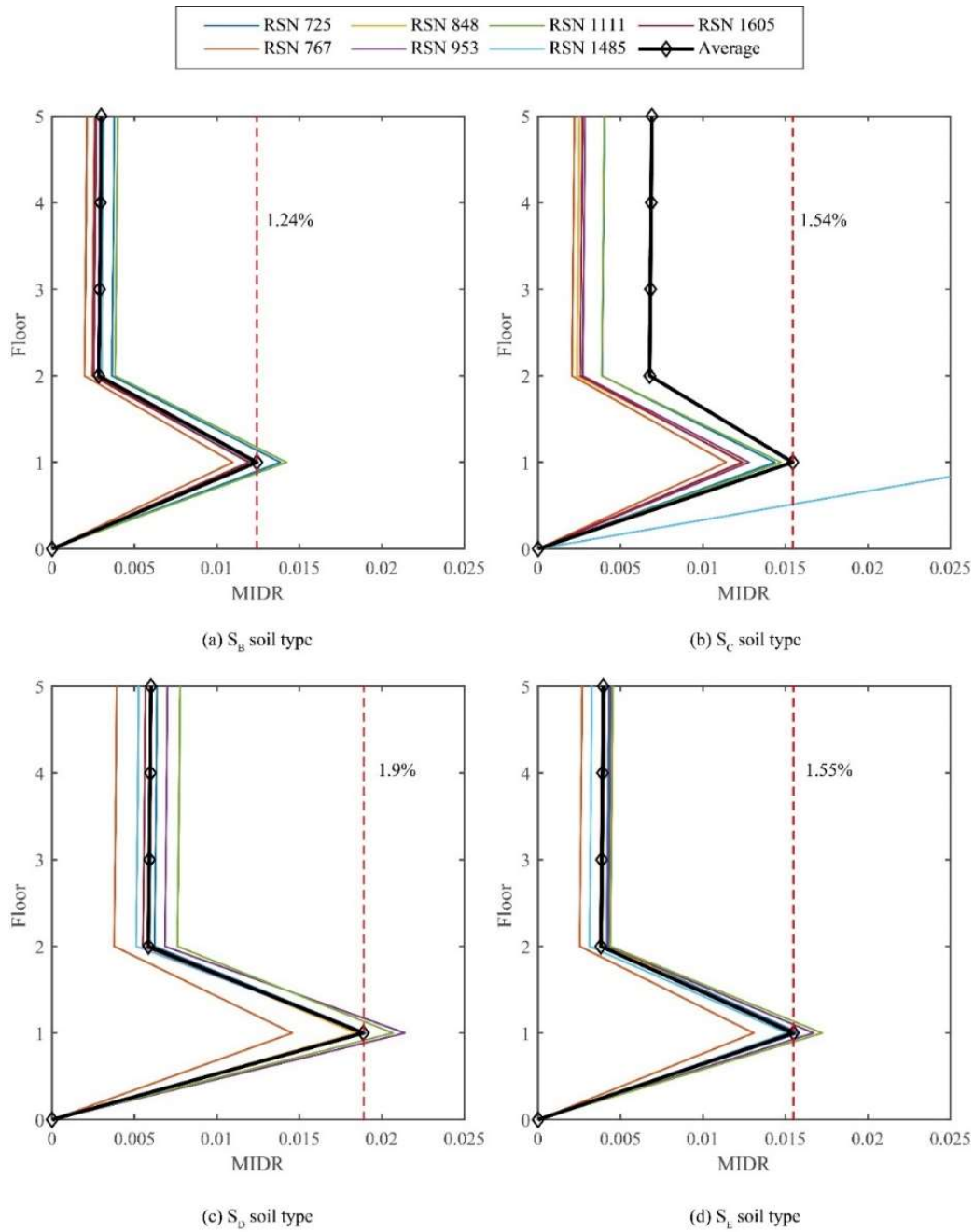
### (3) 지반 증폭을 고려한 해석모델의 지진해석

- <그림 2.8>은 지반 구조 상호작용을 고려하지 않을 경우 해석모델을 7개 지진을 이용하여 해석한 최대층간변위 결과이다. 다양한 지반 조건에 대하여 최대 층간변위비는 1.3%로 나타나, 한계상태 1.5%를 만족하는 것으로 나타났다.
- <그림 2.9>는 지반 구조 상호작용을 고려할 경우 해석모델을 7개 지진을 이용하여 해석한 최대층간변위 결과이다. Sb 지반을 제외하면 최대 층간변위비는 1.5%를 초과하는 것으로 나타나, 지반에 의한 증폭현상이 상당히 큰 것으로 나타났다.

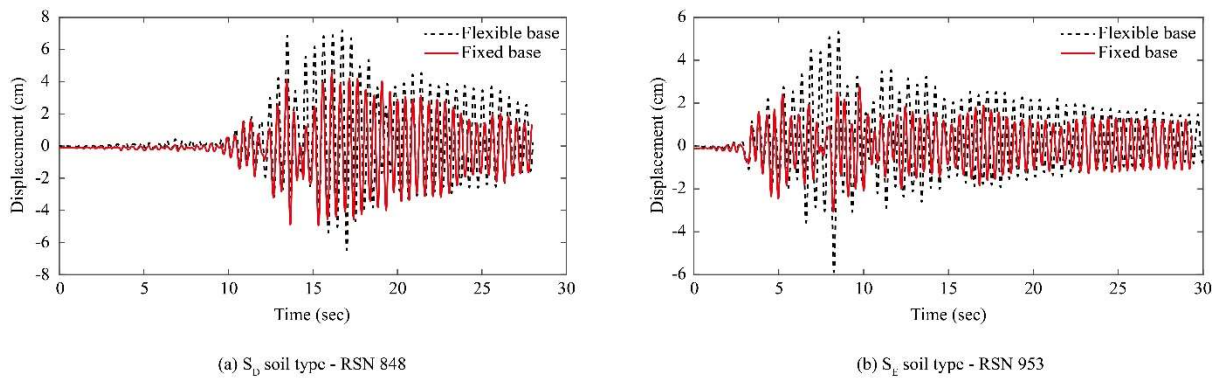


<그림 2.8> Maximum inter-story drift ratio of the building with fixed base for different soil types.

- <그림 2.10>은 두 개의 지반 조건에 대하여 지반-구조 상호작용을 고려하기 전후의 1층 변위의 시간이력을 나타낸다. 지반의 효과를 직접적으로 고려할 경우 층간변위가 증가하는 것을 알 수 있다.
- 해석결과에 따르면 지반-구조 상호작용을 고려할 경우 해석모델은 내진설계기준을 만족하지 못하여 내진보강이 필요한 것으로 나타났다.



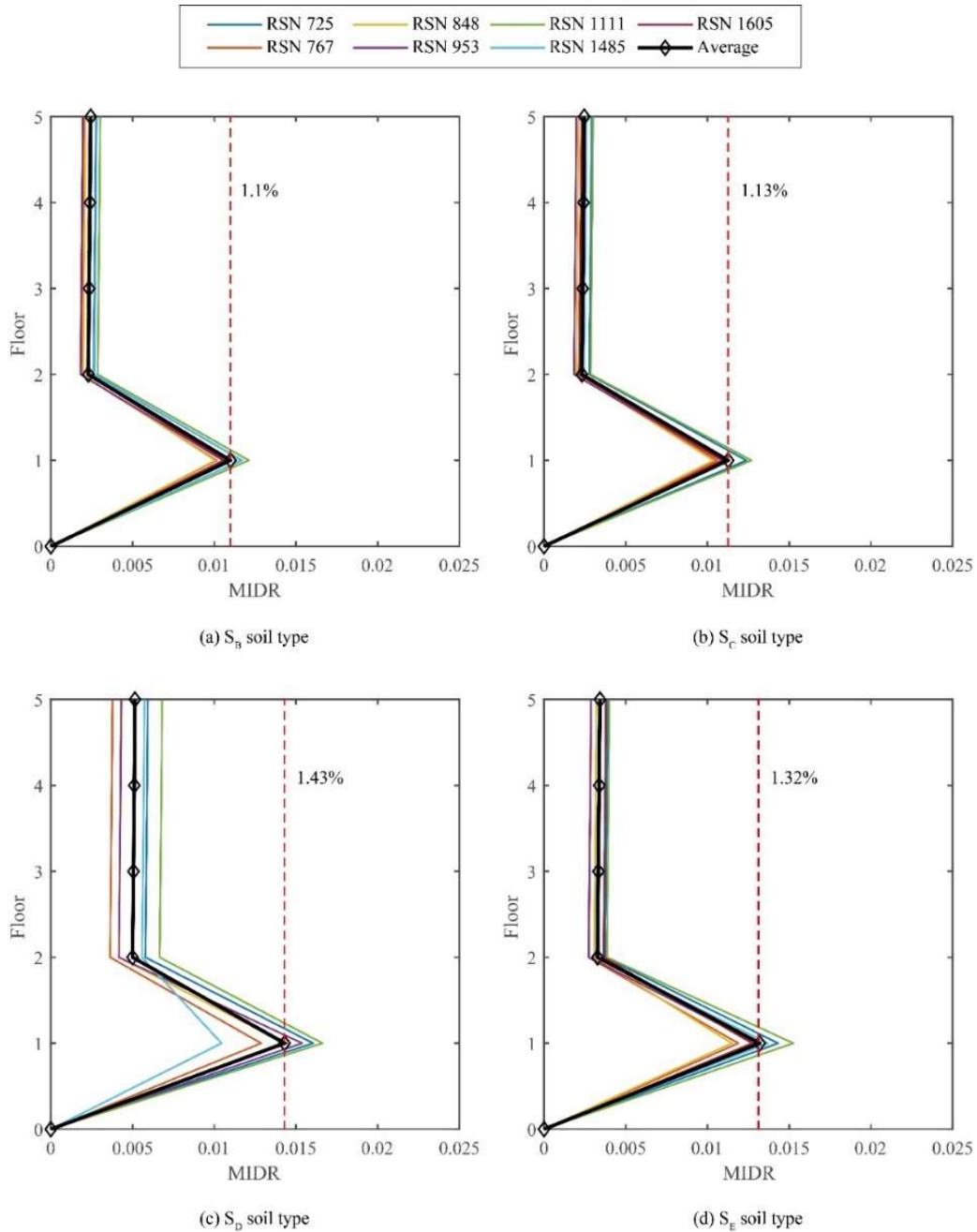
<그림 2.9> Maximum inter-story drift ratio of the building with flexible foundation for different soil profile types.



<그림 2.10> Time history of the first story displacement of the model structure with fixed and flexible base

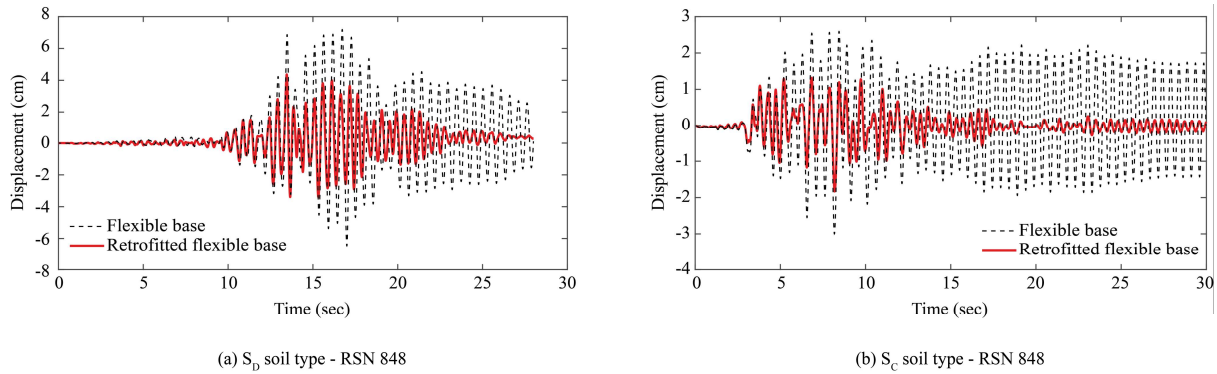
#### (4) 해석모델의 내진보강 후 지진해석 결과

- 필로티구조 해석모델의 내진보강은 일반적인 점탄성댐퍼를 사용하여 보강설계를 수행하였다. <그림 2.11>은 1층을 점탄성댐퍼로 내진보강한 해석모델의 지반-구조 상호작용을 고려한 해석결과를 나타내며, 모든 지반조건에 있어서 최대층간변위비 1.5%를 만족하는 것으로 나타났다.



<그림 2.11> Maximum inter-story drift ratio of retrofitted soil-structure system with flexible base for different soil types.

- <그림 2.12>는 SD 및 SE 지반조건에서 내진보강 전후 해석모델의 1층 변위의 시간이력을 나타낸 것으로, RSN 848 지진의 경우  $S_d$  지반에서 최대 층간변위가 7 cm에서 4cm로 감소하였으며,  $S_c$  지반에서는 3 cm에서 2 cm로 감소한 것을 알 수 있다.



<그림 2.12> Time history of the first story displacement of the model structure  
with flexible base after retrofit

### 3) 필로티구조의 내진보강 최적설계기법 개발

- 국내 필로티형 공동주택 중에 많은 수는 코어가 평면 상에서 비대칭적으로 위치하여 평면 비대칭성을 가지는 경우가 많이 있다. 이러한 경우 내진보강을 위한 적절한 보강 위치를 손쉽게 판단하기 어려우며, 설계자의 직관에 의지하여 결정할 경우 비경제적인 설계가 이루어질 수 있다.
- 본 연구에서는 평면 비대칭성을 가지는 필로티구조의 내진보강 최적 위치를 손쉽게 선정함으로써 경제성을 극대화 할 수 있는 해석기법을 개발하고, 평면 비대칭 필로티 예제건물을 이용하여 개발된 기법의 타당성을 검증한다.

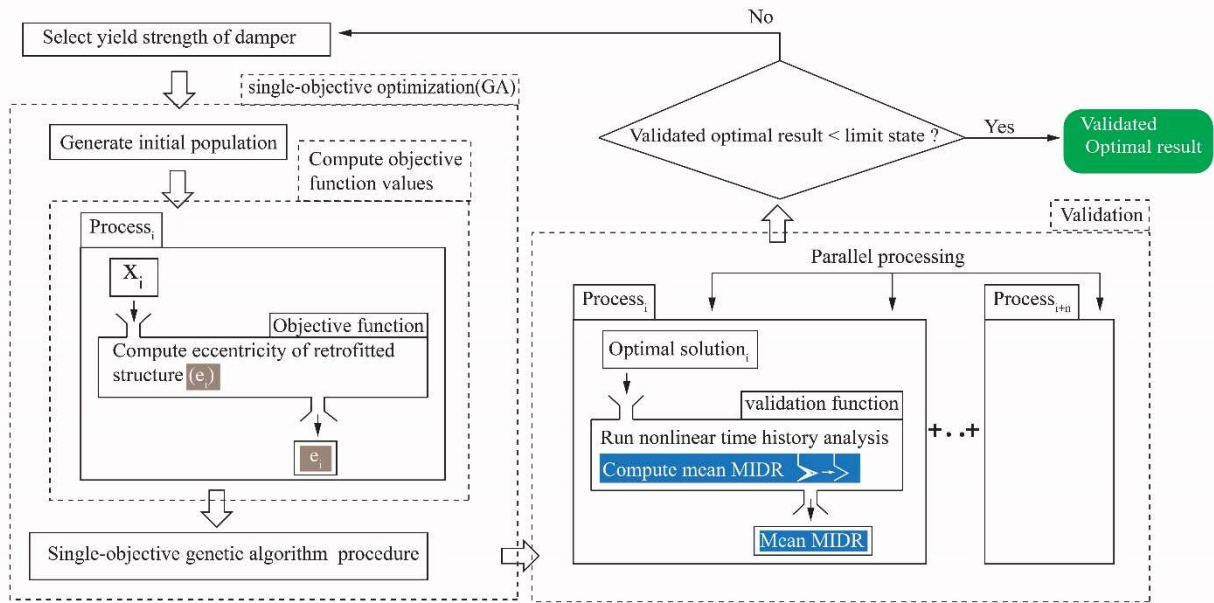
#### (1) 제안된 필로티구조의 내진보강 최적설계기법

- 본 연구에서는 내진보강 실무에 쉽게 적용할 수 있도록 평면 비정형 필로티구조의 질량중심과 강성중심이 일치하도록 내진보강장치를 설치하는 보강설계 절차를 개발하고 그 타당성을 검증한다.
- 주어진 내진보강장치의 강성 및 항복강도를 이용하여 질량중심과 강성중심이 일치 또는 최소화하는 보강 위치를 찾기 위하여 genetic algorithm의 unconstrained single objective optimization 기법을 적용하였으며, 다음과 같이 표현할 수 있다:

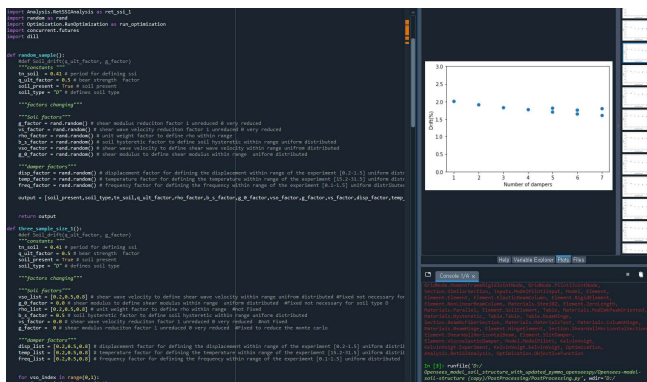
$$\text{Minimize: } f_1 = e_i$$

여기서  $f_1$ 은 목적함수이며,  $e_i$ 는 질량 및 강성 중심 사이의 거리이다.

- 이러한 방법은 지진해석을 수행하지 않고 건물의 형상 정보 및 강성만을 이용하여 최적위치를 1차 선정하고, 한계상태의 만족여부를 검증하는 단계에서만 비선형해석을 수행하므로, 지진응답을 바탕으로 보강장치의 1차 최적위치를 선정하고 검증하는 일반적인 최적화기법에 비하여 해석시간을 상당히 단축할 수 있다.
- <그림 3.1>은 평면비정형 필로티구조의 최적보강위치를 결정하기 위한 유전알고리즘 기반 최적화 절차를 나타낸다. 질량중심 및 강성중심이 일치하도록 내진보강장치를 설치한 후 비선형 해석을 통하여 한계상태의 만족 여부를 검토하고, 만족하지 않는 경우 보강 장치의 위치 및 개수를 재조정한다.



<그림 3.1> Single objective optimization procedure based on reducing eccentricity



## 소프트웨어 등록증

|               |                                                                                             |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 등록번호          | ASSET_0008675                                                                               |
| 등록일           | 2022년 01월 05일                                                                               |
| 등록구분          | 국가연구개발사업 성과물, 소프트웨어(기술상세정보)                                                                 |
| 등록기관          | 상원대학교 산학협력단<br>경기도 수원시 장안구 서부로 2066 산학협력센터 85261호                                           |
| 등록명           | 비정형 구조물 내진보강 최적설계 툴 (OSRAS:Optimization tool for Seismic Retrofit of Asymmetric Structures) |
| NTIS 소프트웨어 ID | 202112310028                                                                                |
| 과학기술번호        | 1615012211                                                                                  |
| 과제명           | 지반의 영향을 고려한 필로티형 공동주택의 내진보강기법 개발                                                            |

위와 소프트웨어는 국가연구개발사업을 통해 창출된 성과로서, 소프트웨어 분야 연구성과 관리·유통 전달기반에 등록되었음을 증명합니다.



2022년 01월 05일

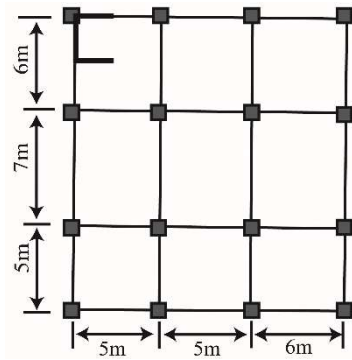
정보통신산업진흥원

출원번호 2021-01-01-000000000000

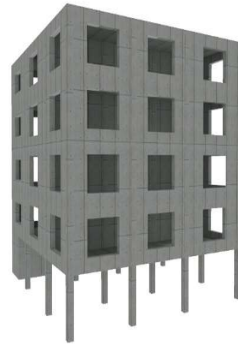
<그림 3.1-1> 비정형 구조물 내진보강 최적설계 툴(소프트웨어 등록)

## (2) 필로티구조 해석모델

- 개발된 최적설계기법을 검증하기 위한 해석모델은 코어가 한쪽에 치우쳐 설치된 5층 평면 비정형 필로티구조이다. <그림 3.2>는 해석모델의 구조 평면 및 3차원 형상을 나타낸다. 해석모델은 2kN/m<sup>2</sup> 및 2.5kN/m<sup>2</sup>의 고정하중 및 활하중을 사용하여 설계하였으며, 콘크리트 및 철근의 강도는 25MPa 및 400MPa이다. 1층은 기둥과 코어 전단벽으로 구성되어 있으며, 2층 이상은 200 mm 두께의 전단벽으로 설계하였다. 기둥의 크기는 450x450이며 10개의 HD16 철근으로 보강하였다. 슬래브의 두께는 250 mm이다.



(a) Structural plan

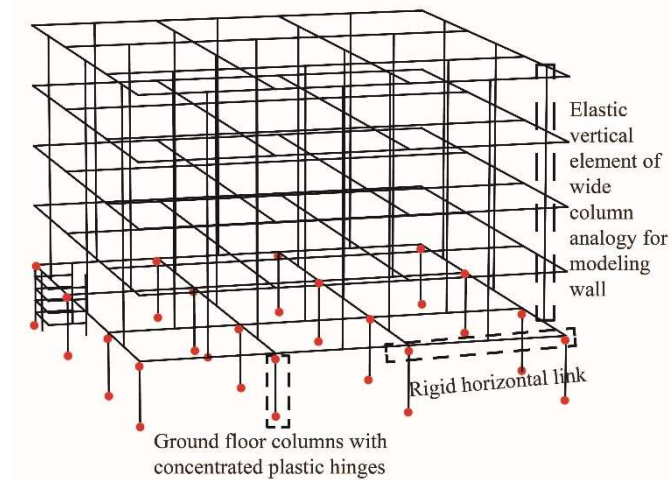


(b) 3D view

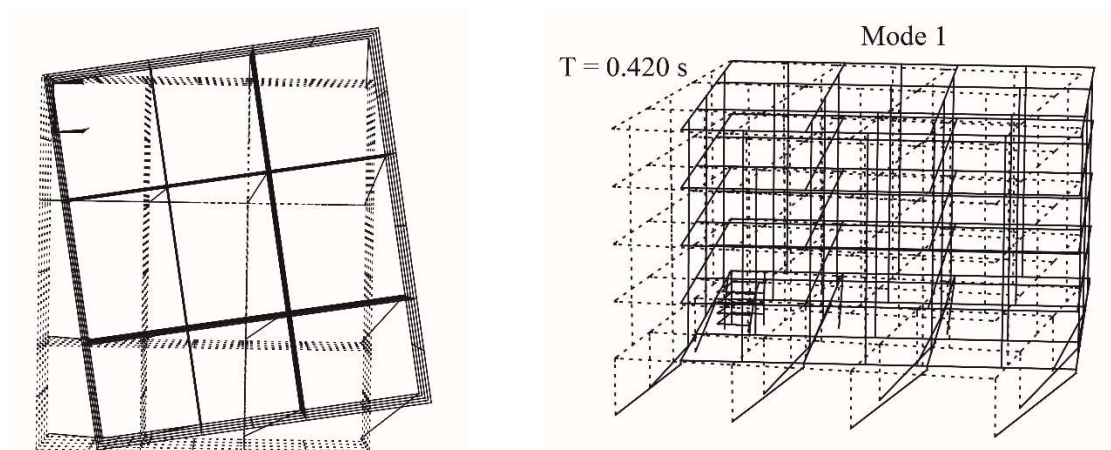
<그림 3.2> 5-story analysis model structure with soft first-story

### (3) 최적설계를 위한 필로티구조의 해석모델

- 해석모델의 비선형 해석을 이용한 genetic algorithm 기반 최적설계를 위하여 OpenSeesPy를 이용하였다. 해석시간을 단축하기 위하여 기둥을 fiber 모델이 아닌 집중 소성힌지모델로 모델링하였다. 해석시간을 단축하기 위하여 상부 전단벽 구조는 'wide-column analogy'를 사용하여 탄성적으로 모델링하였으며, 해석결과 상부 전단벽은 탄성적으로 거동하는 것으로 나타났다.



<그림 3.3> Analytical model of the case study structure



<그림 3.4> 1차모드 형상al mode shape of the model structure

- 해석모델의 1차 고유주기는 0.42s로 나타났다. <그림 3.4>는 1차모드형상을 나타내며, 심한 평면비대칭성으로 인하여 비틀림 모드가 1차모드인 것을 알 수 있다.

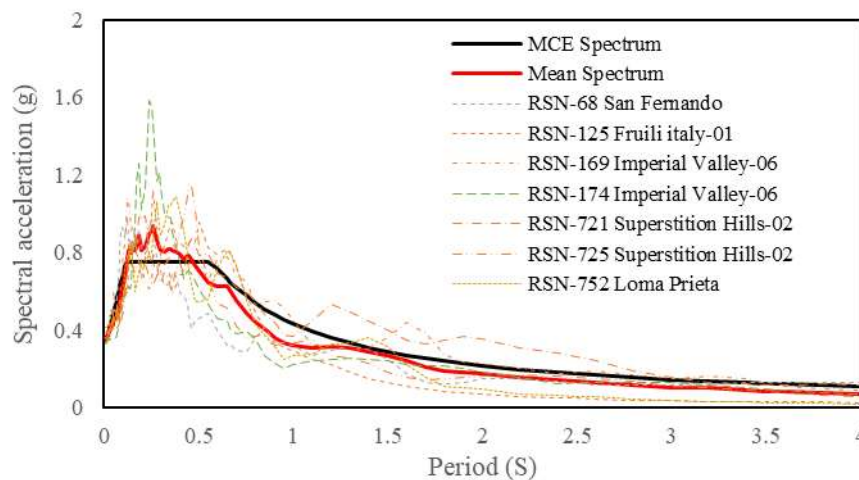
#### (4) 필로티구조 해석모델의 내진성능 평가

- 해석모델의 내진성능을 평가하기 위하여 <표 3.1>에 나타난 7개의 지진을 이용하여 비선형 동적해석을 수행하였다.

<표 3.1> List of the earthquake records used in the nonlinear dynamic analysis.

| Earthquake Name       | Station Name            | Magnitude | Sequence No. |
|-----------------------|-------------------------|-----------|--------------|
| Friuli Italy-01       | Tolmezzo                | 6.5       | 125          |
| Superstition Hills-02 | Poe Road (temp).        | 6.54      | 725          |
| Loma Prieta           | Capitola                | 6.93      | 752          |
| Superstition Hills-02 | Superstition hills      | 6.54      | 721          |
| SanFernando           | SanFernando             | 6.61      | 68           |
| Imperial Valley-06    | El Centro Array #11     | 6.53      | 174          |
| Imperial Valley-06    | El Centro Imp. Co. Cent | 6.54      | 721          |

- <그림 3.5>는 설계스펙트럼과 크기 조정된 7개 지진의 응답스펙트럼을 나타낸다.

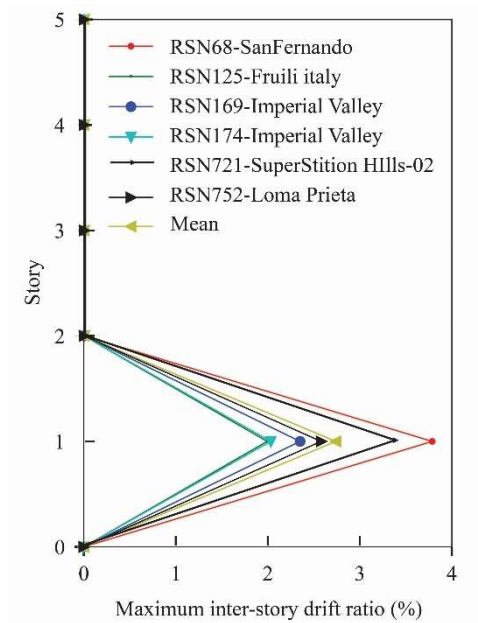


<그림 3.5> Target MCE design spectrum and the response spectra of the seven earthquake records

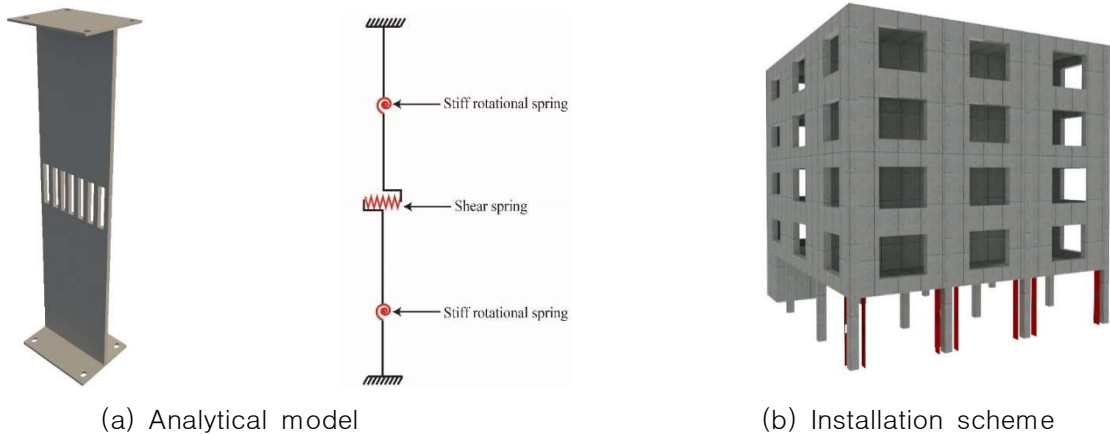
- <그림 3.6>은 7개 지진을 이용한 비선형 동적해석 결과 해석모델의 층간변위를 나타낸다. 1층이 약한 필로티형 구조의 특성에 따라 1층에 가장 큰 층간변위가 발생하는 것을 알 수 있다. 모든 지진에 대하여 최대 층간변위가 2~3.7% 발생하여 내진보강이 필요한 것으로 나타났다.

##### (5) 필로티구조 해석모델의 내진보강

- 해석모델의 내진보강을 위하여 적용된 보강 기법은 수직 강판의 중간 높이에 슬릿이 있는 강판 슬릿댐퍼이다. 지진에 의한 횡변위가 발생할 경우 강성과 강도가 작은 슬릿에 비선형 변형이 집중되어 에너지를 소산한다. <그림 3.7>은 슬릿댐퍼의 형상, 해석모델, 설치형상을 나타낸다.
- 적용된 강판형 슬릿 댐퍼는 기둥면에 인접하여 상부 보 및 하부 바닥슬래브 사이에 수직으로 설치하며, 댐퍼가 차지하는 공간이 작아 필로티건물의 차량 통행에 대한 방해를 최소화하는 것이 가능하다.



<그림 3.6> 해석모델의 최대층간변위



<그림 3.7> Steel slit dampers used in this study

- 슬릿댐퍼의 횡방향 변형에 대한 강성은 다음과 같다:

$$K_d = cn \frac{12EI}{l_o^3} = cn \frac{Etb^3}{l_o^3} \quad (1)$$

여기서  $c$  = stiffness coefficient 1.0,  $n$  = number of strips,  $t$  = thickness of strips,  $b$  = width of strips, and  $l_o$  = length of the vertical strip.

- 하나의 슬릿에 대한 항복모멘트는 다음과 같다:

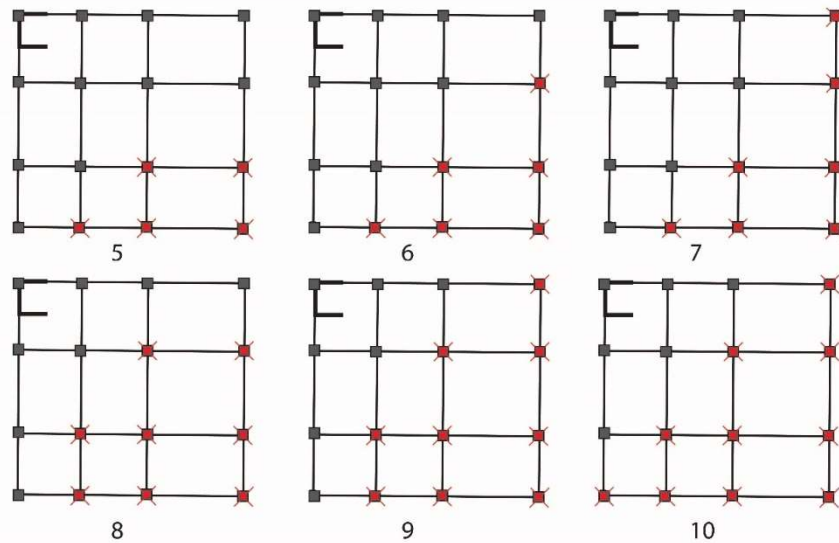
$$M_p = \sigma_y \frac{tb^2}{4} \quad (2)$$

$$P_y = \frac{n\sigma_y tb^2}{2l_o} \quad (3)$$

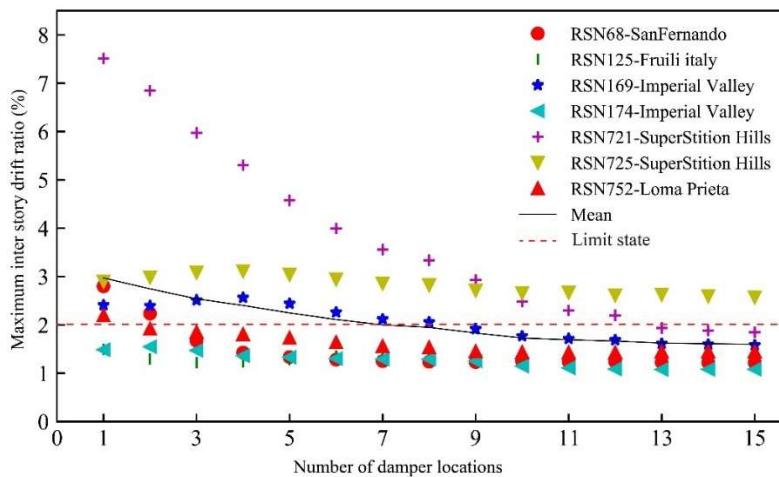
- slit damper의 항복강도  $P_y$  는 다음과 같다:

#### (6) 최적 내진보강량 및 보강 위치 결정

- <그림 3.8>은 genetic algorithm을 통하여 강성 및 질량중심 사이의 거리가 최소화 되는 슬릿 댐퍼의 다양한 위치 및 설치개수를 나타낸다. 하나의 설치 위치에 x, y 방향으로 두 개의 댐퍼를 설치하였다. 슬릿댐퍼의 항복강도는 300 kN으로 가정하였으며, 필요한 경우 다양한 크기의 댐퍼를 적용하는 것이 가능하다. 모든 경우에 있어서 보강장치는 강성이 큰 코어에서 먼 곳에 설치 되는 것을 알 수 있다.
- <그림 3.9>는 각 댐퍼 설치 경우에 대하여 지진 해석을 수행하고 최대 층간변위를 나타낸 그림으로, 8개 지점에 총 16개의 댐퍼를 설치한 경우 MCE 지진에 대한 한계상태인 층간변위비 2%를 만족하는 것으로 나타났다.

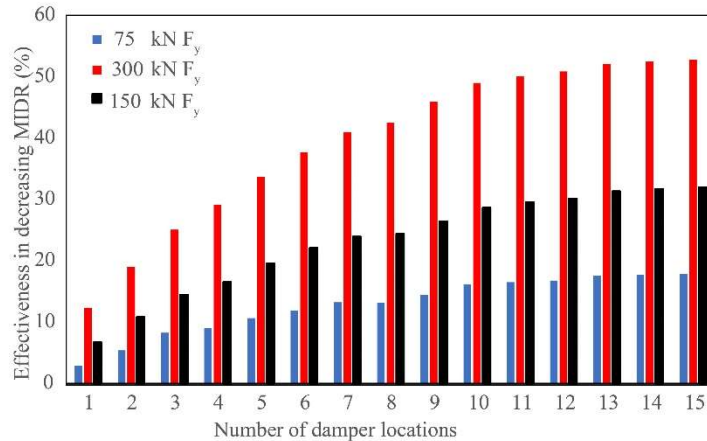


<그림 3.8> Optimal locations for each number of dampers based on eccentricity



<그림 3.9> Validation result for each number of optimally located dampers

- 질량 강성중심의 거리를 최소화하는 댐퍼의 최적 설치위치 산정 과정은 Intel ® Core i9-10850k @ 3.6 GHz PC에서 180초 소요 되며, 결정된 댐퍼 개수 및 설치 위치가 구조물의 한계상태를 만족하는지를 검증하는 과정은 340 mins 소요되었다.
- <그림 3.10>은 댐퍼의 세 가지 항복강도에 대하여 댐퍼의 개수가 증가함에 따라 내진보강 효과의 변화를 나타낸다. 댐퍼의 개수가 일정 한도 이상 증가하면 댐퍼의 보강 효과 증가율이 감소하며, 항복강도가 증가할수록 더 많은 수의 댐퍼가 설치될 때까지 보강 효과가 증가하는 것을 알 수 있다.



<그림 3.10> Decrease of mean MIDR of optimally retrofitted structure compared with that of the bare structure

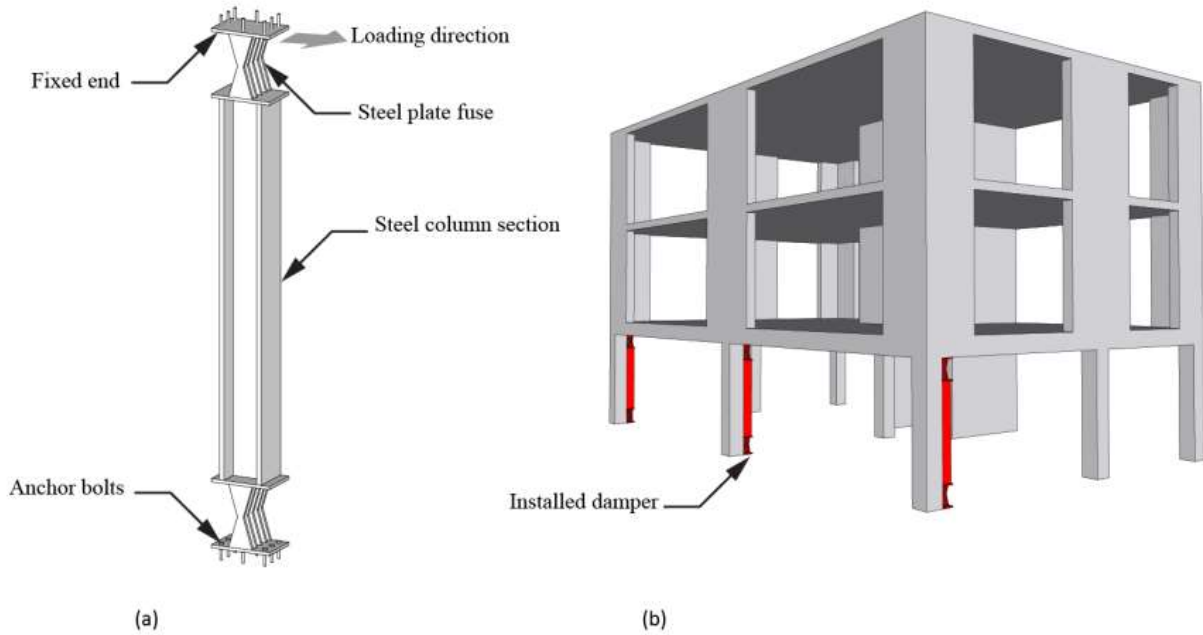
## (7) 소결

- 본 연구에서는 평면 비대칭성을 가지는 필로티구조의 내진보강 최적 위치를 손쉽게 선정하기 위하여 질량 및 강성중심의 거리를 최소화하는 보강 위치를 바탕으로 최적 설계를 수행하는 경제성을 극대화 할 수 있는 해석기법을 개발하고, 평면 비대칭 필로티 예제건물을 이용하여 개발된 기법의 타당성을 검증하였다.
- 해석결과에 따르면 비선형 동적해석을 통하여 최적 위치 및 보강량을 산정하는 일반적인 최적 설계 기법에 비하여 해석 시간을 대폭 단축하면서 최적 설계의 정확성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

## 4) 강재 기동형 댐퍼 개발

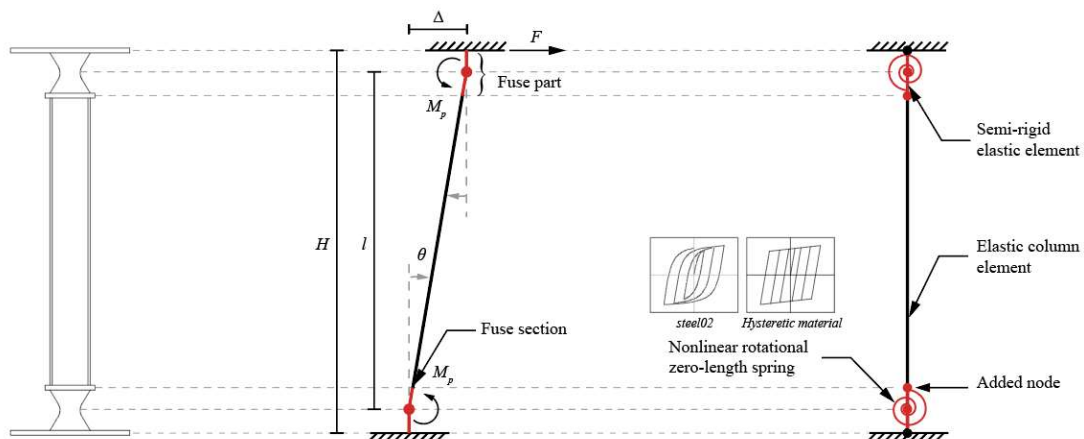
### (1) 개발된 댐퍼의 형상

- 개발된 기동형 댐퍼는 H형강 부재의 양 단부에 지진 시 이력거동을 통하여 에너지를 소산할 수 있는 다수의 나비형 강판을 용접하고, 필로티형 건물의 1층 기동에 근접하여 설치함으로써, 차량이나 거주자의 통행에 대한 제약을 최소화할 수 있는 보강장치이다 (그림 4.1).
- 기존에 개발된 ADAS 또는 TADAS 장치와 비교하여 강판의 강축으로 휨변형이 발생하여 더 높은 강도와 더 많은 에너지를 소산할 수 있으며, 기동형으로 개발되어 설치 면적을 최소화할 수 있는 장점이 있다.



<그림 4.1> Proposed retrofit scheme: (a) configuration; (b) installation scheme.

### (2) 개발된 댐퍼의 해석모델



<그림 4.2> Analysis model of the proposed damper.

- <그림 4.2>는 개발된 댐퍼의 free body diagram을 나타낸다. 기동형 댐퍼의 양단부 나비형 강판에 소성힌지가 발생한다고 가정하면, 댐퍼의 항복변위는 가상일의 법칙을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F \Delta = 2M_p \theta$$

여기서 F는 댐퍼의 항복강도,  $\Delta$ 는 항복변위, M은 나비형 강판의 항복모멘트,  $\theta$ 는 항복 회전각이다. 댐퍼의 회전각은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta(x) = \int M(x)/EI(x) dx$$

여기서 I(x)는 나비형 강판의 변단면이차모멘트로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I = \begin{cases} \frac{n}{12} t(w_2 - \frac{w_2 - w_1}{\frac{H-l}{2}} x)^3 & 0 \leq x \leq \frac{H-l}{2} \\ \frac{n}{12} t(w_1 - \frac{w_1 - w_2}{\frac{H-l}{2}} x)^3 & \frac{H-l}{2} \leq x \leq H-l \end{cases}$$

여기서 w1과 w2는 나비형 강판의 가장 작은 폭과 가장 큰 폭의 길이이다. 이를 이용하여 댐퍼의 항복 시 나비형 강판에 발생하는 회전각을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \begin{cases} \frac{3M_p(H-l)}{nEt(w_2 - w_1)} [(w_2 - \frac{w_2 - w_1}{\frac{H-l}{2}} x)^{-2} - w_2^{-2}] & 0 \leq x \leq \frac{H-l}{2} \\ \frac{3M_p(H-l)}{nEt(w_2 - w_1)} [2w_1^{-2} - w_2^{-2} - ((2w_1 - w_2) - \frac{w_1 - w_2}{\frac{H-l}{2}} x)^{-2}] & \frac{H-l}{2} \leq x \leq H-l \end{cases}$$

댐퍼의 횡변위는 양단에 위치한 나비형 강판의 변위  $\Delta_1$ , 그 사이 강재 기둥의 강체변위 및 탄성변위  $\Delta_2$ 를 합하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta = 2\Delta_1 + (2l - H)\theta + \Delta_2$$

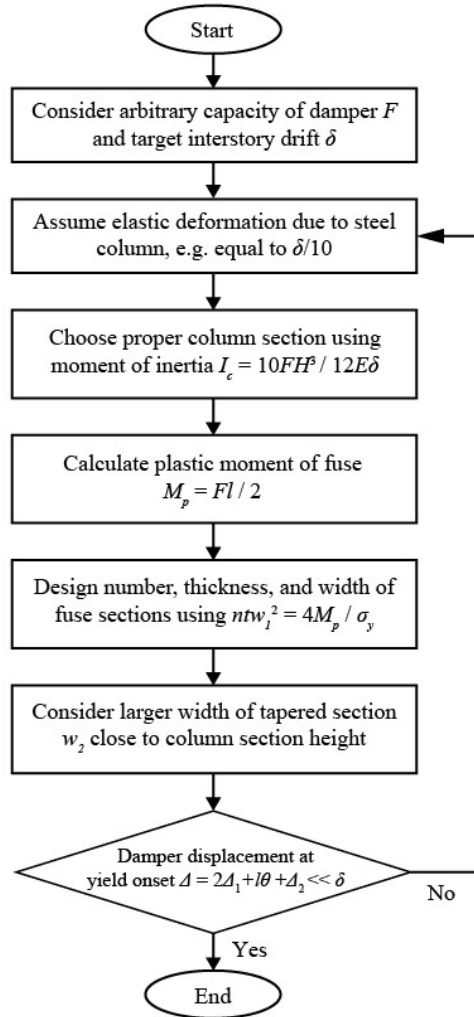
강재 기둥의 탄성변위  $\Delta_2$ 는 다음과 같다.

$$\frac{Fl^3}{12EI_c}$$

이러한 하중-변위 관계를 이용하여 댐퍼의 비선형 거동을 모델링할 수 있다.

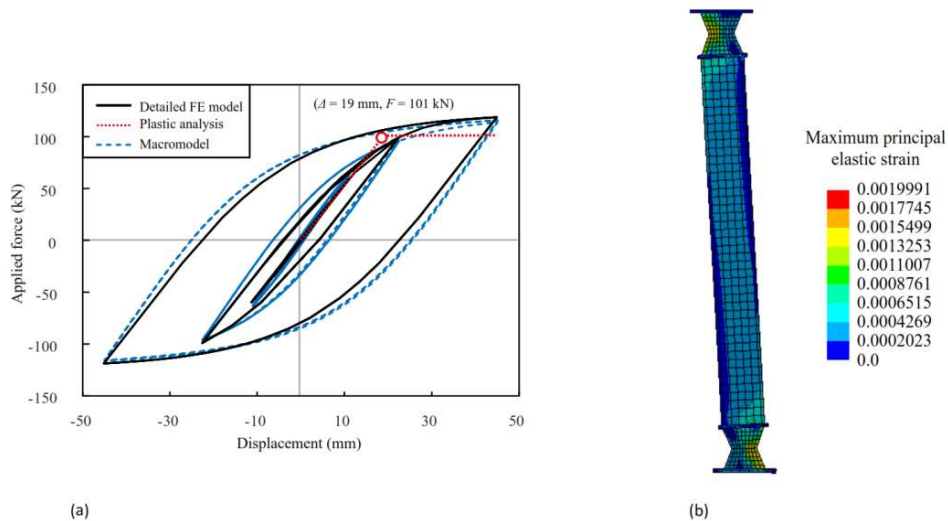
### (3) 개발된 댐퍼의 설계 절차

- 강재 기둥의 탄성 변위가 횡변위 한계값의 1/10, 그 이외에 발생하는 변위는 댐퍼의 회전에 의해 발생한다고 가정하고 나비형 강판의 크기 및 개수를 결정한다. 이러한 과정을 <그림 4.3>에 나타내었다.



<그림 4.3> Design procedure for the hysteretic-column damper

### (4) 개발된 댐퍼의 유한요소 해석을 통한 성능검증

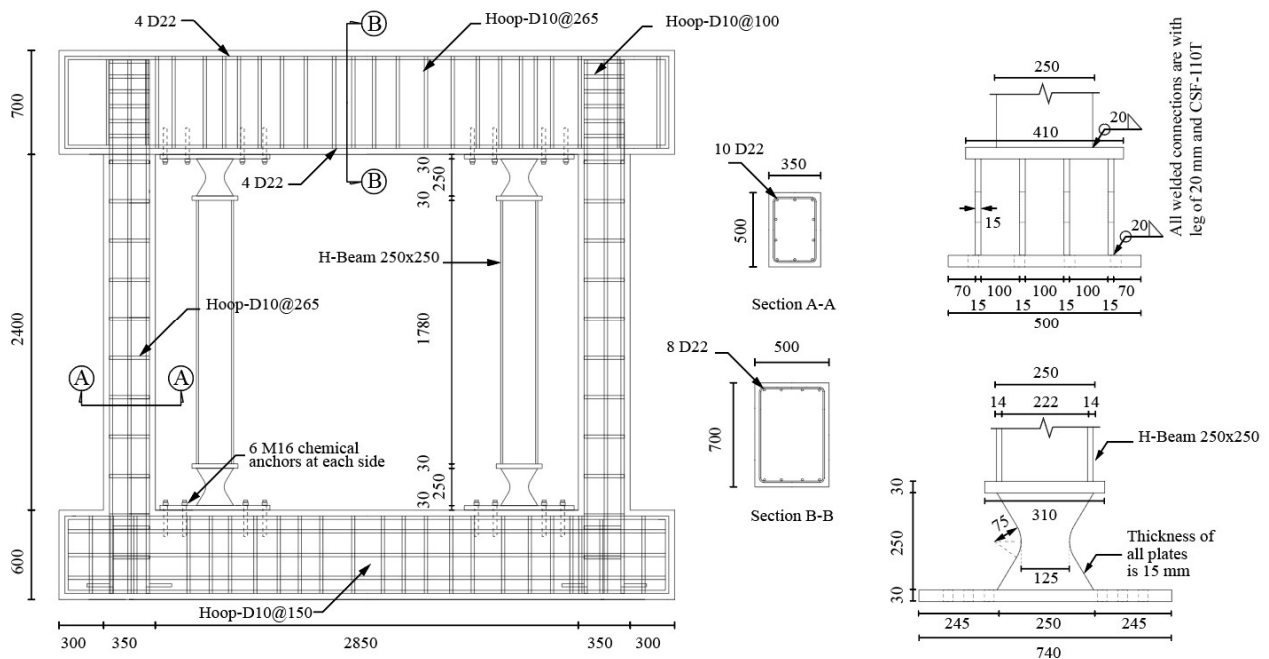


<그림 4.4> Hysteretic behavior of the damper: (a) Force-displacement curves; (b) FE meshes and the maximum principal elastic strains at 1.5% interstory drift ratio.

- 제안된 기동형 강재댐퍼의 에너지소산 성능을 검증하기 위하여 유한요소 프로그램인 ANSYS를 이용하여 반복하중에 대한 이력거동을 평가하였다. 댐퍼 부분은 1,970개의 quadratic 20-node SOLID 요소를 사용하여 모델링하였으며, 댐퍼 하부는 고정하고, 상부에 ASCE 41-16의 가력 protocol에 따라 변위 제어로 반복하중을 가하였다. 해석결과는 그림 4에 나타내었으며, 에너지 소산장치로서 안정적인 이력거동을 나타내었다.
- 구조해석을 위한 macromodel 해석은 비선형 해석프로그램인 OpenSees를 사용하여 수행하였으며, 유한요소 해석결과와 근사적으로 일치하는 것으로 나타났다 (그림 4.4a).

##### (5) 개발된 댐퍼의 RC 골조 성능실험

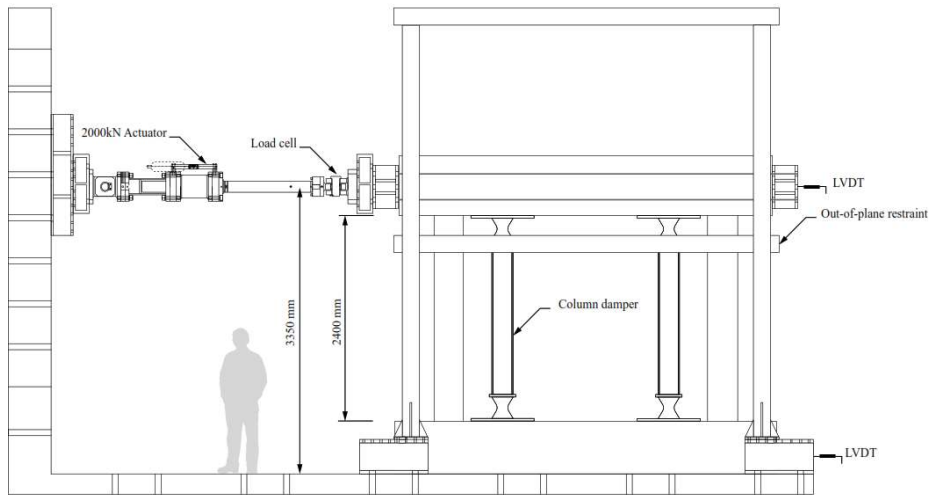
- 개발된 기동형 강재댐퍼의 내진보강 성능을 검증하기 위하여 1층 RC 골조에 두 개의 댐퍼를 설치하고 반복하중에 대한 내진성능을 평가하였다. 실험체의 제원 및 상세는 <그림 4.5> 및 <표 4.1>에 나타내었다. RC 골조 실험체는 필로티형 건물의 구조적 특성을 나타내도록 기둥에 비하여 보의 크기를 증가하여 설계하였다.
- 기동형 강재댐퍼의 에너지 소산이 발생하는 나비형 강판은  $t=15\text{mm}$  네 개의 강판으로 구성하였으며, 최대 및 최소 폭은 250mm 및 125mm 이다. 인장실험을 통하여 확인한 강재의 항복 강도는 304 MPa이다.



<그림 4.5> Details of tested one-story RC frame and applied column dampers

<표 4.1> Cross sectional details of the test frame

| Element    | Dimensions (mm×mm) | Longitudinal |        | Transverse   |
|------------|--------------------|--------------|--------|--------------|
| Column     | 350×500            | 10 D22       |        | D10 @ 265 mm |
| Lower stub | 1000×600           | 45 D22       |        | D10 @ 150 mm |
| Beam       | 500×700            | Top          | Bottom | D10 @ 265 mm |
|            |                    | 4 D22        | 4 D22  |              |

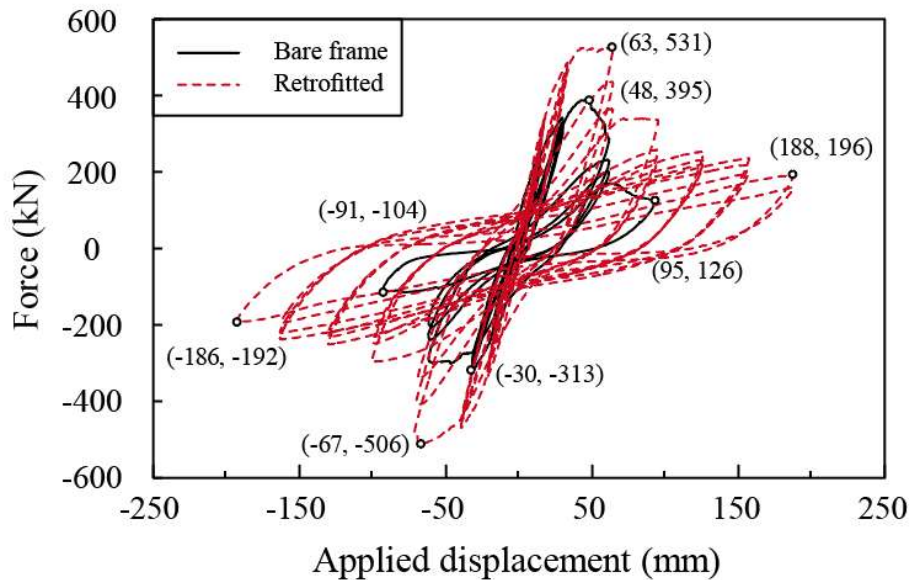


<그림 4.6> Configuration of test setup



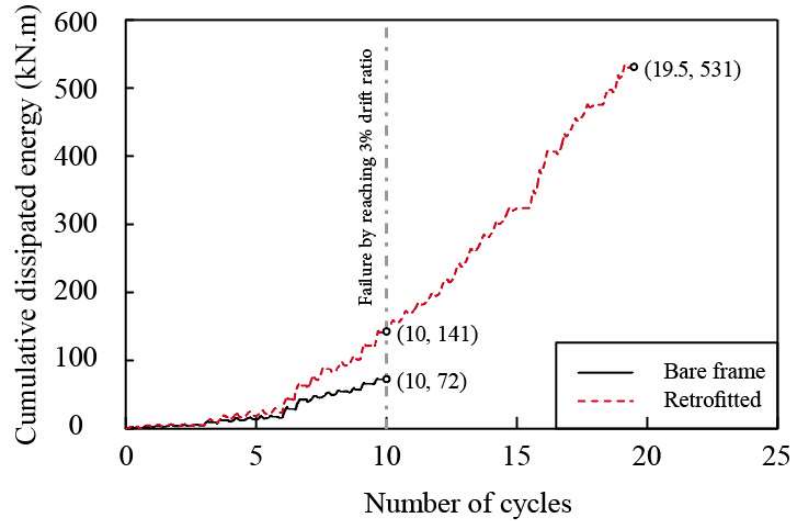
<그림 4.7> Test setup of RC frame retrofitted with column damper

- 기동형 댐퍼가 설치된 실험체 및 설치되지 않은 실험체 등 총 두 개의 RC 골조에 대한 반복가력 실험을 수행하고 그 결과를 비교하여 개발된 댐퍼의 내진보강 성능을 평가하였다. 2000 kN 유압식 가력기를 사용하여 ACI 374 가력 프로토콜에 따라 층간변위비가 약 6%에 도달할 때까지 변위 제어 반복가력 실험을 수행하였다.

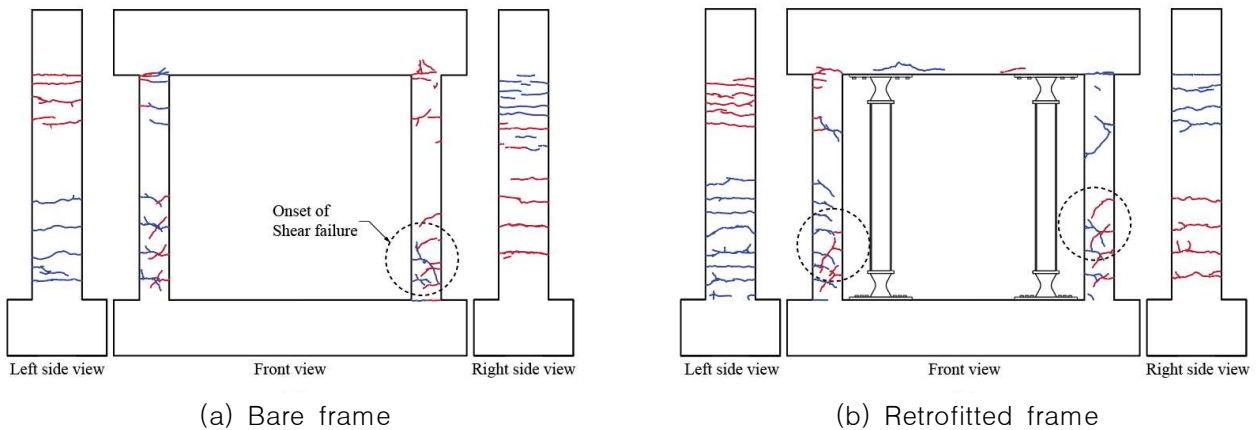


<그림 4.8> Results of cyclic loading tests for bare and retrofitted frames

- <그림 4.8>은 무보강 및 보강 실험체의 하중-변위 이력곡선을 나타낸다. 무보강 실험체의 경우 4번째 하중 사이클 횡변위 95mm에서 기둥의 전단파괴로 실험이 중단되었으며, 최대 강도는 395 kN로 나타났다. 보강 실험체의 경우 7번째 사이클까지 진행되었으며, 최대 변위는 188mm, 최대 강도는 531 kN으로 증가하였다.
- <그림 4.9>는 누적 에너지 소산량을 비교한 것으로, 약 3% 변위비에서 에너지 소산량은 보강 후 96% 증가한 것으로 나타났으며, 실험의 종료 시점에서는 약 740% 증가하였다.



<그림 4.9> Cumulative dissipated energy



<그림 4.10> Crack formation at the end of 2nd step corresponding to 1.0% drift ratio



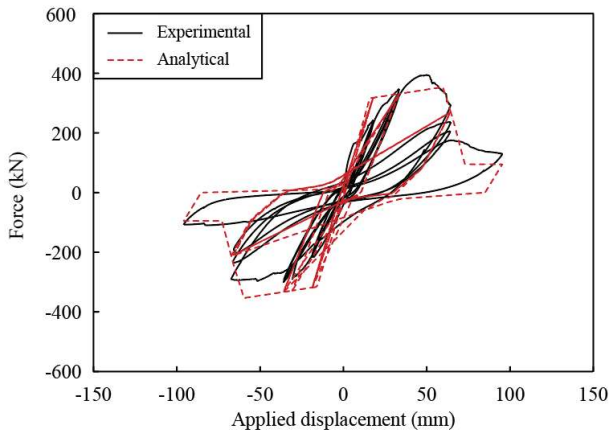
(a) Bare frame



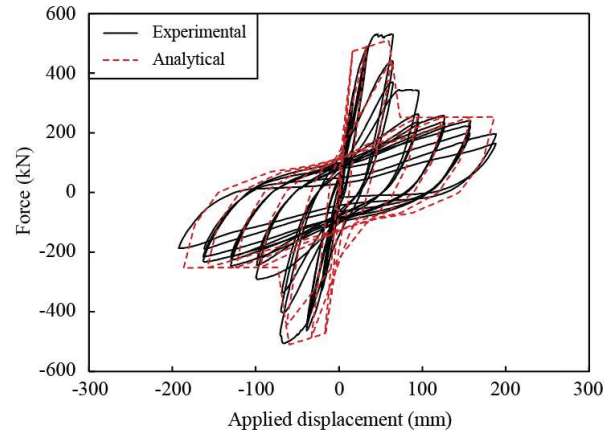
(b) Retrofitted frame.

<그림 4.11> Failure of RC frames at the end of 3rd step corresponding to 2.0% drift ratio

- <그림 4.10>과 <그림 4.11>은 두 번째 및 세 번째 하중 단계에서 RC 실험체에 발생한 균열을 나타낸 것으로, 무보강 실험체의 경우 기둥 하부에 큰 전단균열이 집중하여 발생하였으며, 보강 실험체의 경우 작은 균열이 보다 넓게 분포하여 발생한 것을 알 수 있다.
- <그림 4.12>는 실험결과 얻어진 하중-변위 이력곡선과 Opensees를 이용한 해석결과를 비교한 것으로, 해석결과와 실험결과가 비교적 일치하는 것으로 나타났다.

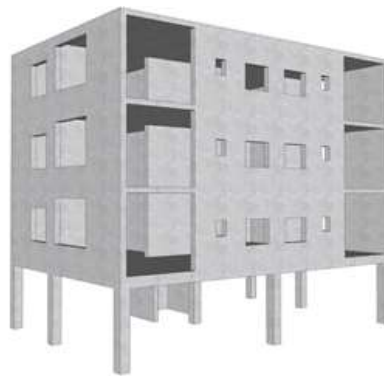


(a) Bare frame

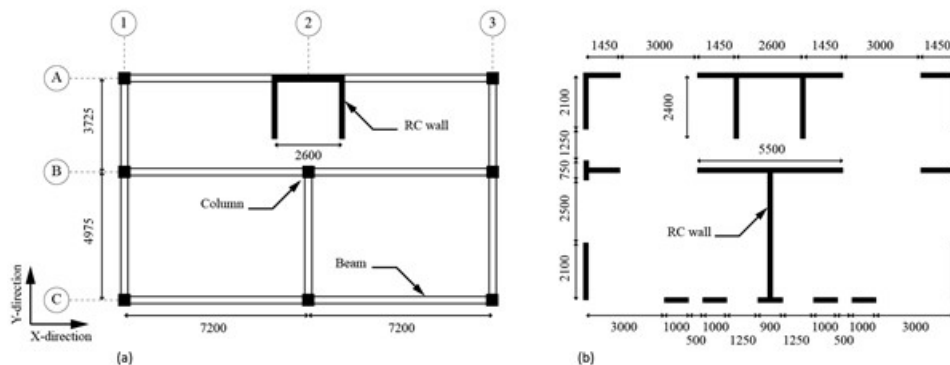


(b) Retrofitted frame

<그림 4.12> Comparison of experimental and analytical results



<그림 4.13> Three-dimensional view of the case study structure



<그림 4.14> Structural plan of the case study structure: (a) First story; (a) Second to fourth story

- 개발된 기동형 강재댐퍼의 적용성 및 내진보강 효과를 검증하기 위하여 필로티구조 해석모델에 대한 비선형 지진해석을 비선형 해석프로그램인 Opensees를 사용하여 수행하였다. 그림 13은 4층 실제로 존재하는 필로티구조 해석모델의 형상이며, <그림 4.14>는 1층과 상부층의 구조평면을 나타낸다. 1층은 RC 전단 코어와 8개의 기둥으로 구성되어 있으며, 상부층은 전단벽으로 구성되어 있는 전형적인 필로티형 공동주택의 구조 특성을 가지고 있다. 전단벽은 multilayer

shell element, 보는 fiber 요소, 기둥은 집중 힌지모델을 사용하여 모델링하였다.

- <그림 4.15>는 예제 건물의 1차 고유주기 및 모드형상을 나타내며, 비틀림 모드가 1차 모드이며, 1층에서 가장 큰 변형이 발생하는 것을 알 수 있다.

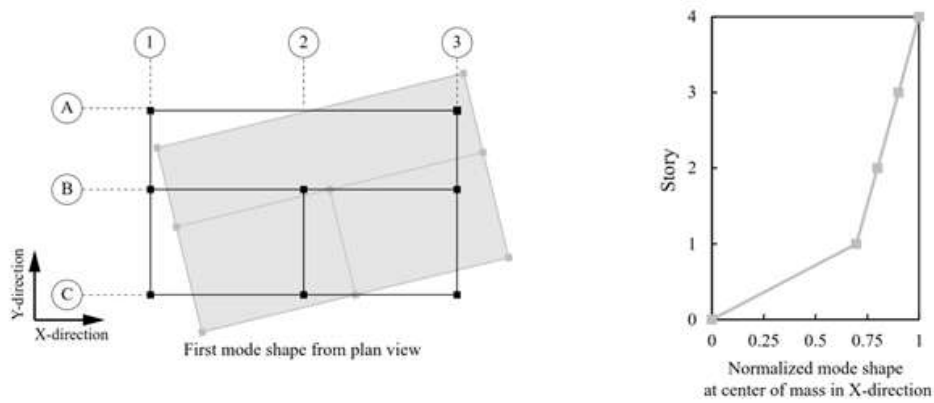
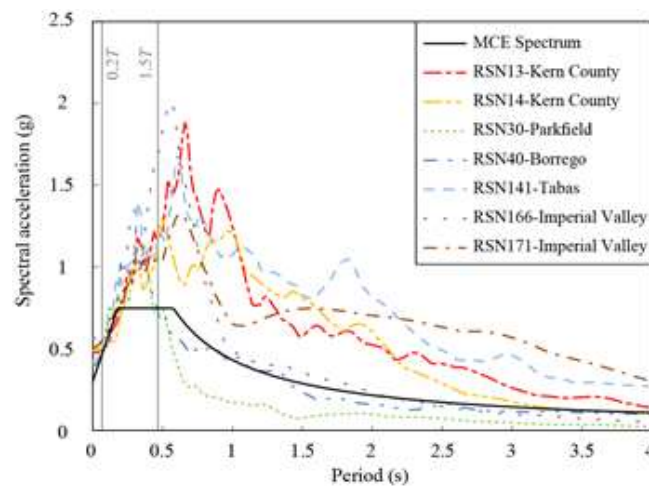
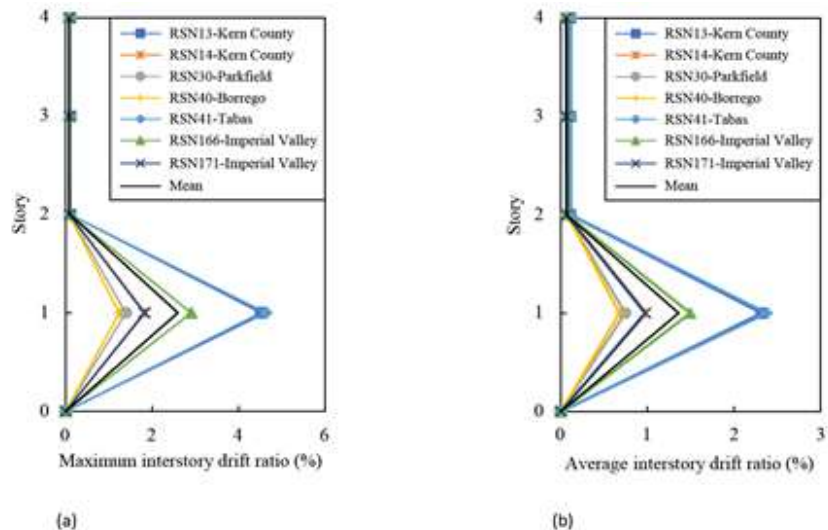


그림 4.15. Fundamental mode shape of the case study structure

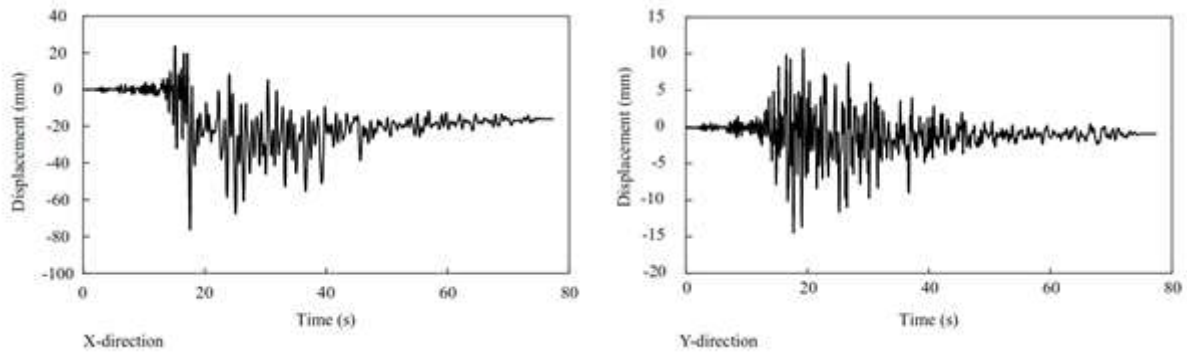


<그림 4.16> SRSS spectra of the seven earthquakes scaled to the MCE spectrum

- <그림 4.16>은 MCE 수준으로 크기 조정된 7개의 지진 가속도의 응답스펙트럼과 KDS 41 내진설계기준의 설계스펙트럼을 나타낸다. 그림 4.17은 7개 지진을 이용한 비선형 동적해석결과의 평균값을 최대층간변위가 발생하는 1층 코너기둥의 상부 및 질량중심에서 나타낸 것으로, 비보강 구조에서는 약 2%의 층간변위비가 발생하는 것으로 나타났다.

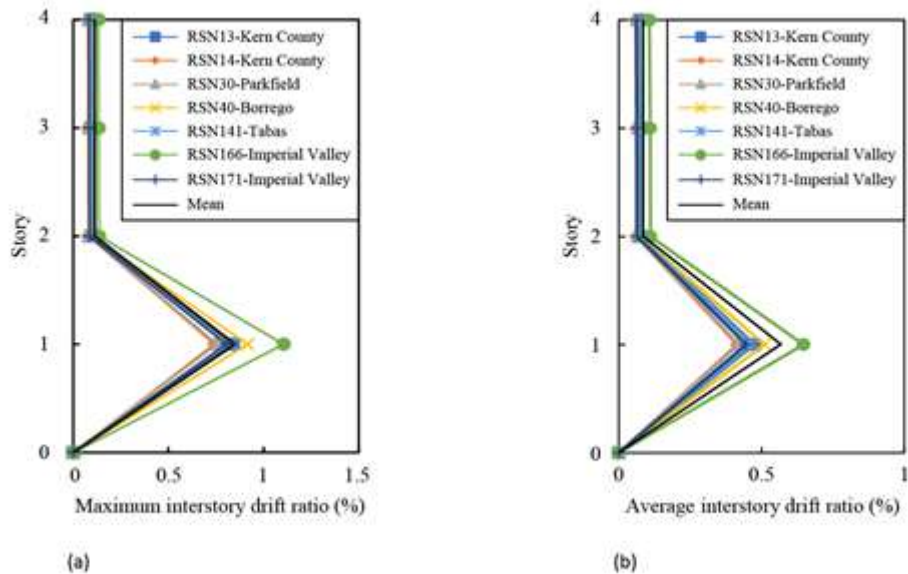


<그림 4.17> Inter-story drift ratios of the case study structure before retrofit: (a) Maximum interstory drift ratio; (b) interstory drift ratio at center of mass

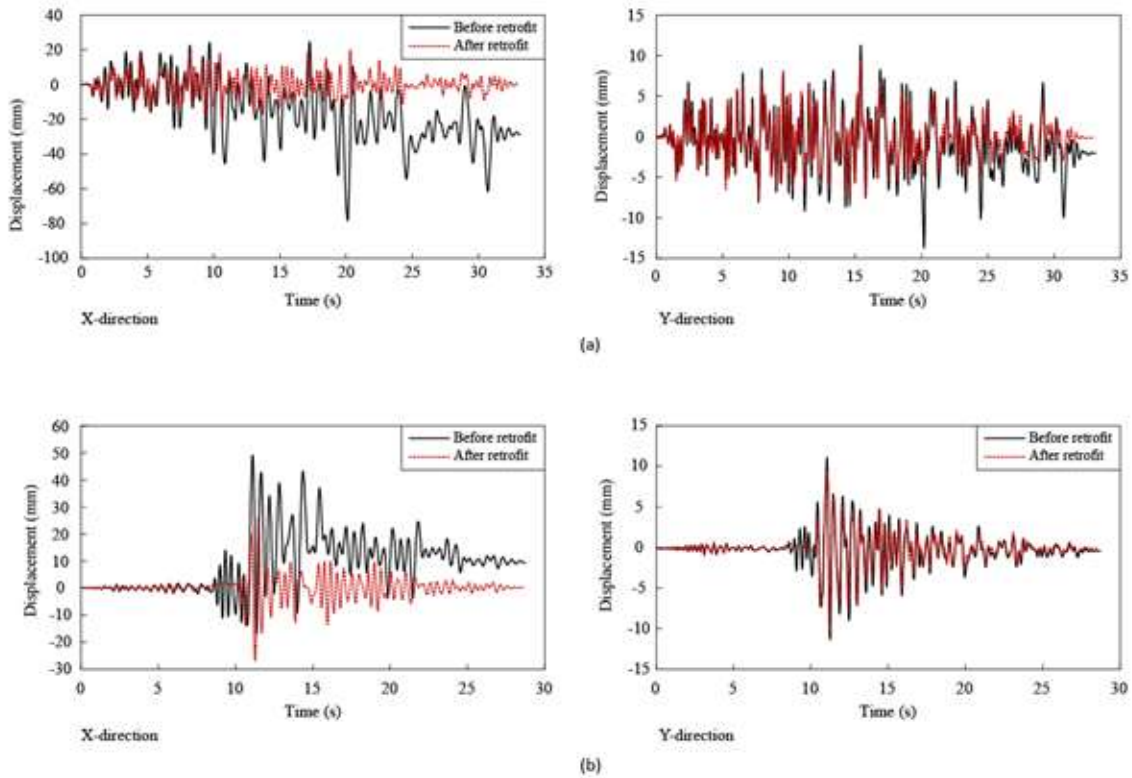


<그림 4.18> Roof displacement time history at the center of mass (RSN13-Kern County earthquake)

- <그림 4.18>은 RSN13-Kern County 지진에 의한 지붕층 변위를 나타낸 것으로, 비대칭성이 있는 x 방향으로 큰 최대변위 및 잔류변위가 발생한 것을 알 수 있다.
- <그림 4.19>는 1층 전면 기둥 옆에 기둥형 강재댐퍼를 한 개씩 총 세 개 설치한 보강 모델의 7개 지진에 대한 해석결과를 나타낸 것으로, 1층에서의 최대 층간변위가 층고의 0.8%, 질량중심에서의 평균 층간변위가 0.5%로 비보강 모델에 비하여 1/2 이하로 감소한 것으로 나타났다.
- <그림 4.20>은 네 개 지진에 대한 보강 전후 해석모델의 질량중심에서 지붕층 최대변위의 시간이력을 나타낸 것으로, 보강 후 최대변위 및 잔류변위가 감소하는 것으로 나타났다.

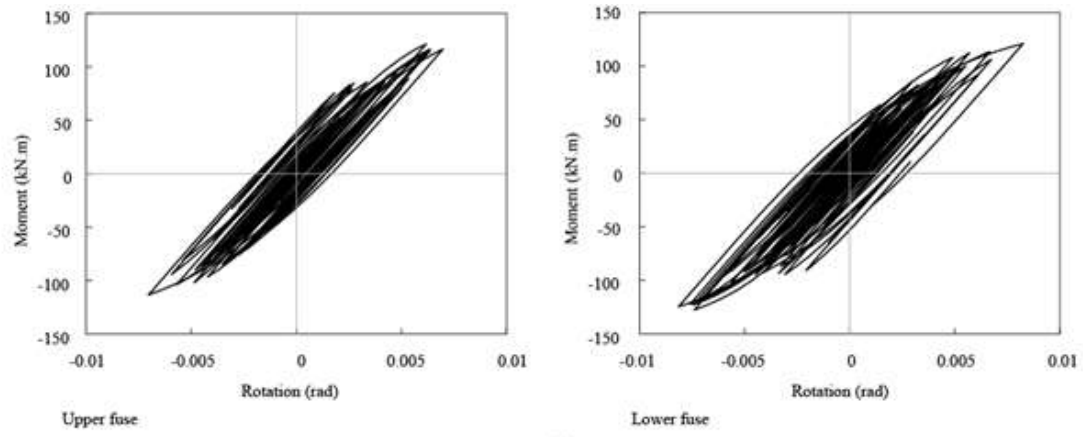


<그림 4.19> Inter-story drift ratio of the case study structure after retrofit: (a) Maximum inter-story drift ratio; (b) Inter-story drift ratio at the center of mass.

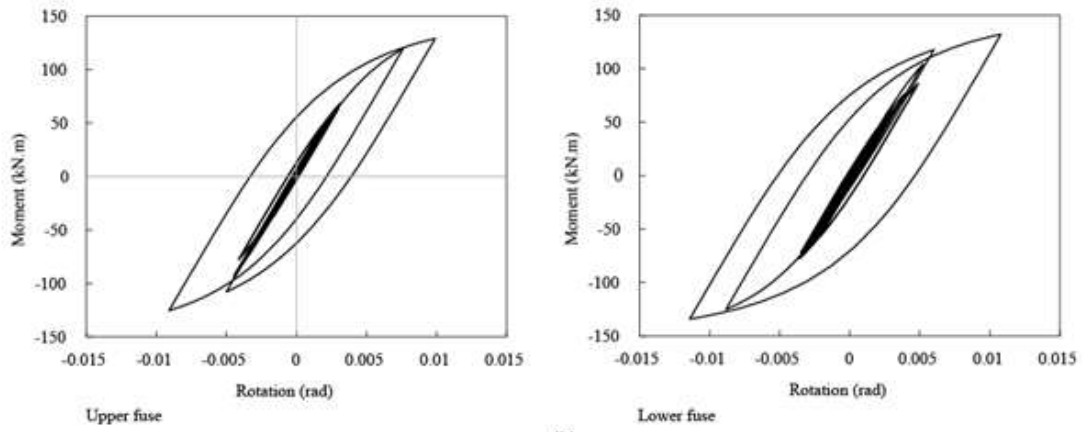


<그림 4.20> Roof displacement time histories at the center of mass: (a) RSN141-Tabas; (b) RSN166-Imperial Valley.

- <그림 4.21>은 두 개 지진에 대한 강재 기둥 상하부 나비형 감쇠장치의 이력거동을 나타낸 것으로, 안정적인 이력거동을 통하여 지진 에너지를 지속적으로 소산하는 것을 알 수있다. 그림 22는 전체 건물의 누적 에너지 소산량을 나타낸 것으로, 보강 전에는 1층 기둥의 소성변형에 의한 에너지 소산량이 크게 나타났으나, 보강 후에는 강재 댐퍼에서 가장 많은 에너지가 소산되고, 기둥의 에너지 소산량, 즉 손상이 대폭 감소하는 것으로 나타났다.

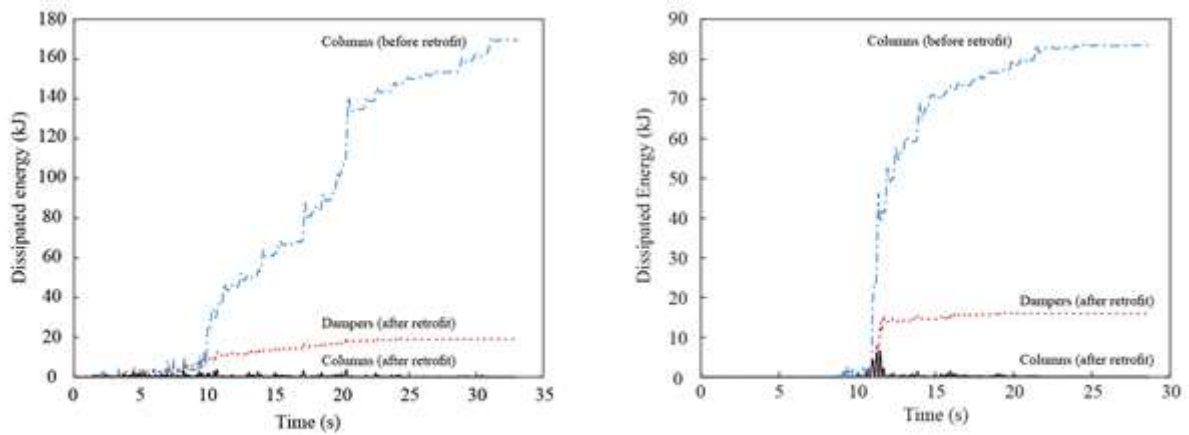


(a)

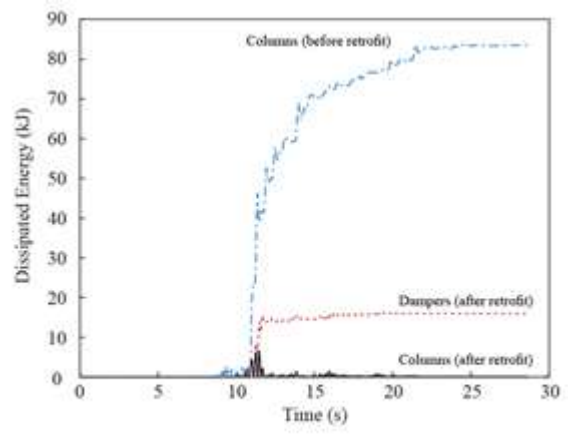


(b)

<그림 4.21> Hysteretic behavior of the seismic fuses subjected to the earthquake ground motions: (a) RSN141-Tabas; (b) RSN166-Imperial Valley.



(a)



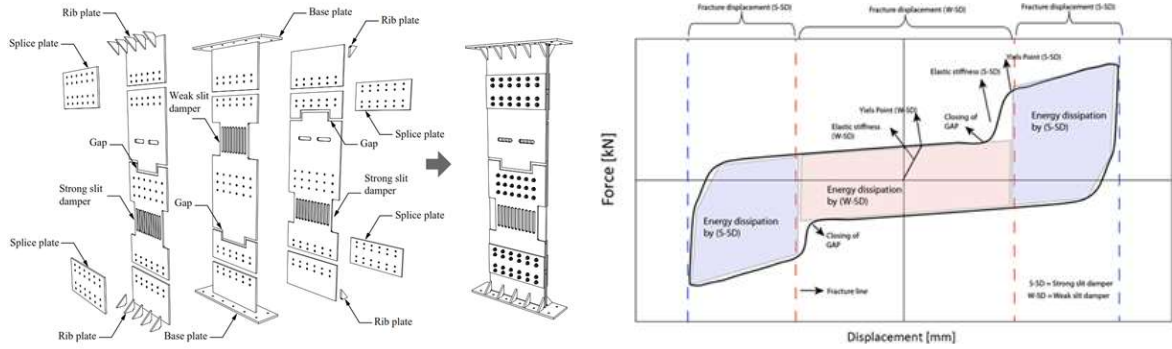
(b)

<그림 4.22> Cumulative energy dissipation in columns and dampers before and after retrofit: (a) RSN141-Tabas; (b) RSN166-Imperial Valley.

## 5) 강판 슬릿 댐퍼 개발(1차년도)

### (1) 개발된 댐퍼의 형상

- 본 연구에서는 기존의 강재 슬릿댐퍼에 추가적인 슬릿 부를 배치함으로써 에너지소산 성능을 향상하고, 수직강판을 이용하여 각 슬릿부가 파단하는 것을 방지하여 큰 변위에서도 댐퍼의 성능을 발휘할 수 있도록 개선한 장치이다. <그림 5.1>은 본 연구에서 개발된 강판 슬릿댐퍼의 형상 및 이력곡선을 나타내고 있다.



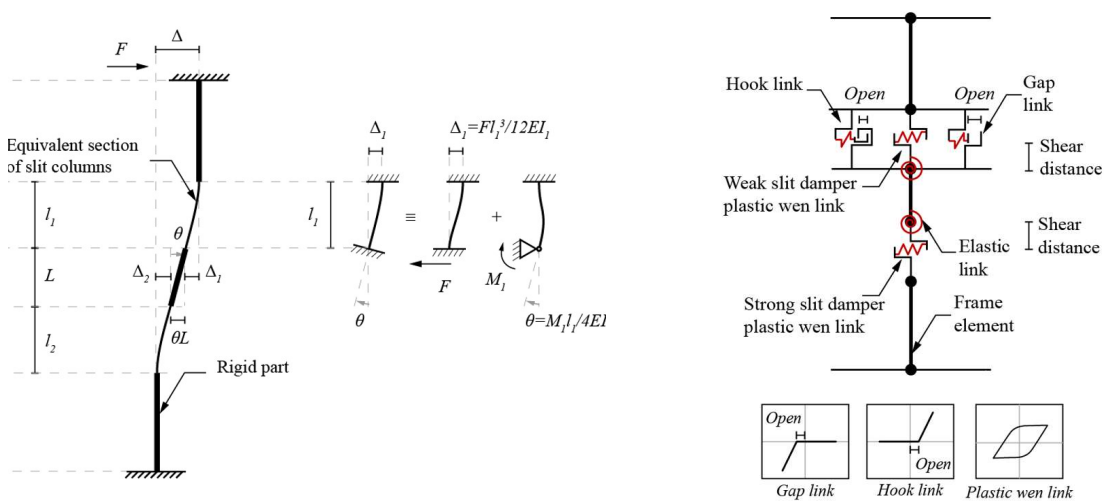
(a) Configuration

(b) Hysteretic behavior

<그림 5.1> Multi-slit dampers

### (2) 개발된 댐퍼의 해석모델

- <그림 5.2>는 개발된 강판 슬릿댐퍼의 해석모델을 나타내며, 상하부 강판은 강제거동을 한다고 가정하고, 슬릿이 존재하는 부분에 모든 변형이 집중하는 것으로 가정하고 해석모델을 유도하였다.
- 비선형거동을 보이는 슬릿 부분은 plastic wen model을 사용하여 모델링하고 강판부는 탄성 elastic link 요소를 사용하여 모델링하였다.



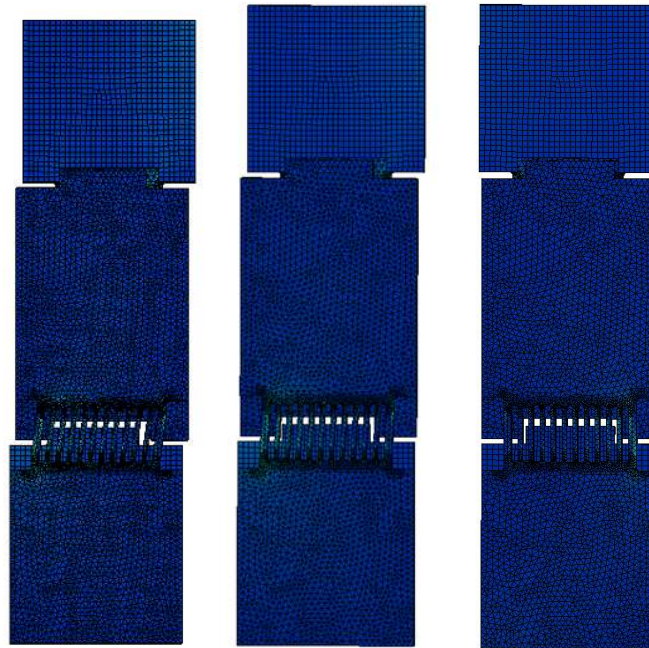
(a) Configuration

(b) Hysteretic behavior

<그림 5.2> 개발된 댐퍼의 해석모델

### (3) 개발된 댐퍼의 유한요소 해석

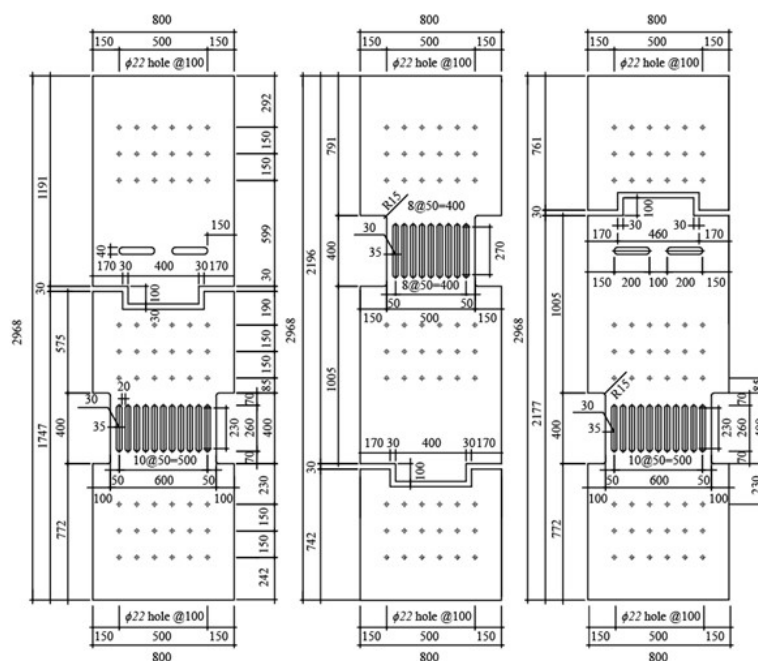
- <그림 5.3>는 강판 슬릿댐퍼의 형력에 대한 유한요소해석결과를 나타내며, 해석모델 유도 시 가정한대로 횡변위가 증가할수록 슬릿이 있는 부분에 변형 및 응력이 집중하며, 층간변위 3% 이상의 변위에도 슬릿이 파단하지 않고 안정적인 소성변형을 보이는 것을 알 수 있다.



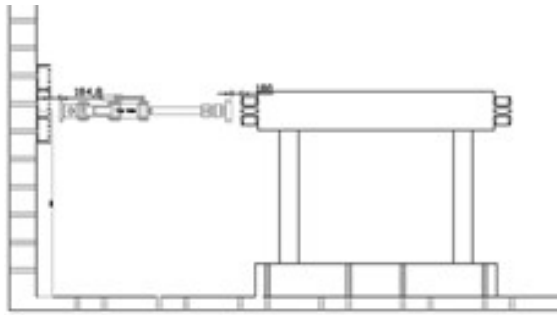
<그림 5.3> 개발된 댐퍼의 유한요소해석

### (4) 개발된 댐퍼의 반복가력실험

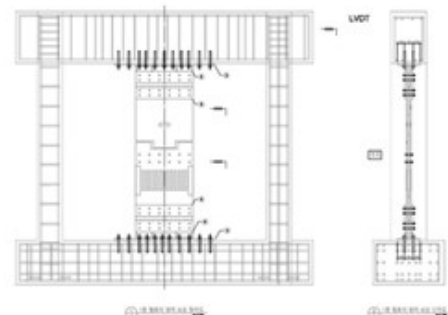
- <그림 5.4>는 강판 슬릿댐퍼 실험체의 크기 상세를 나타내고, <그림 5.5>는 RC frame 반복가력실험의 Test setup을 나타낸다. RC 실험체는 필로티건물의 구조적 특성을 반영하여 기둥에 비하여 보를 크게 설계하였다. <그림 5.6>은 실험체 설치형상의 사진을 나타낸다. 가해진 변위 이력은 기둥형 강재댐퍼의 실험에 적용된 값을 동일하게 적용하였다.



<그림 5.4> 강판 슬릿댐퍼 실험체 상세



(a) Test setup



(b) Test specimen

<그림 5.5> 강판 슬릿댐퍼의 RC frame 설치 실험



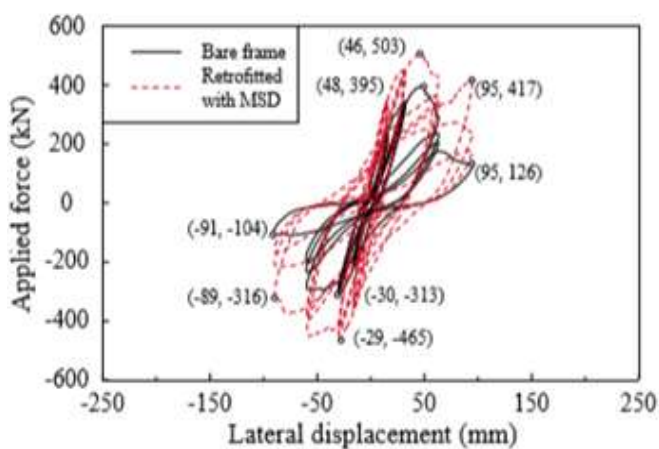
(a) 댐퍼 설치형상



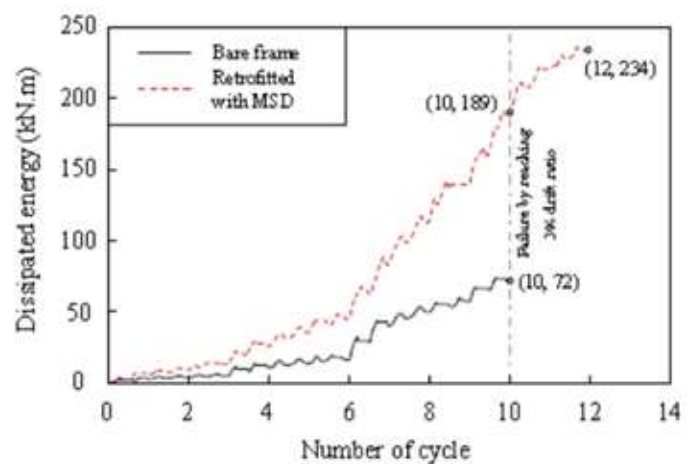
(b) 실험 후 댐퍼 형상

<그림 5.6> 강판 슬릿댐퍼의 RC frame 설치 형상

- <그림 5.7>은 강판 슬릿댐퍼의 RC frame 반복가력실험 결과를 나타내며, 댐퍼가 설치되기 전에 비하여 댐퍼가 설치된 후 최대강도는 1.3배, 에너지소산량은 3.3배 증가한 것으로 나타났다.



(a) 댐퍼 설치 전후의 이력거동



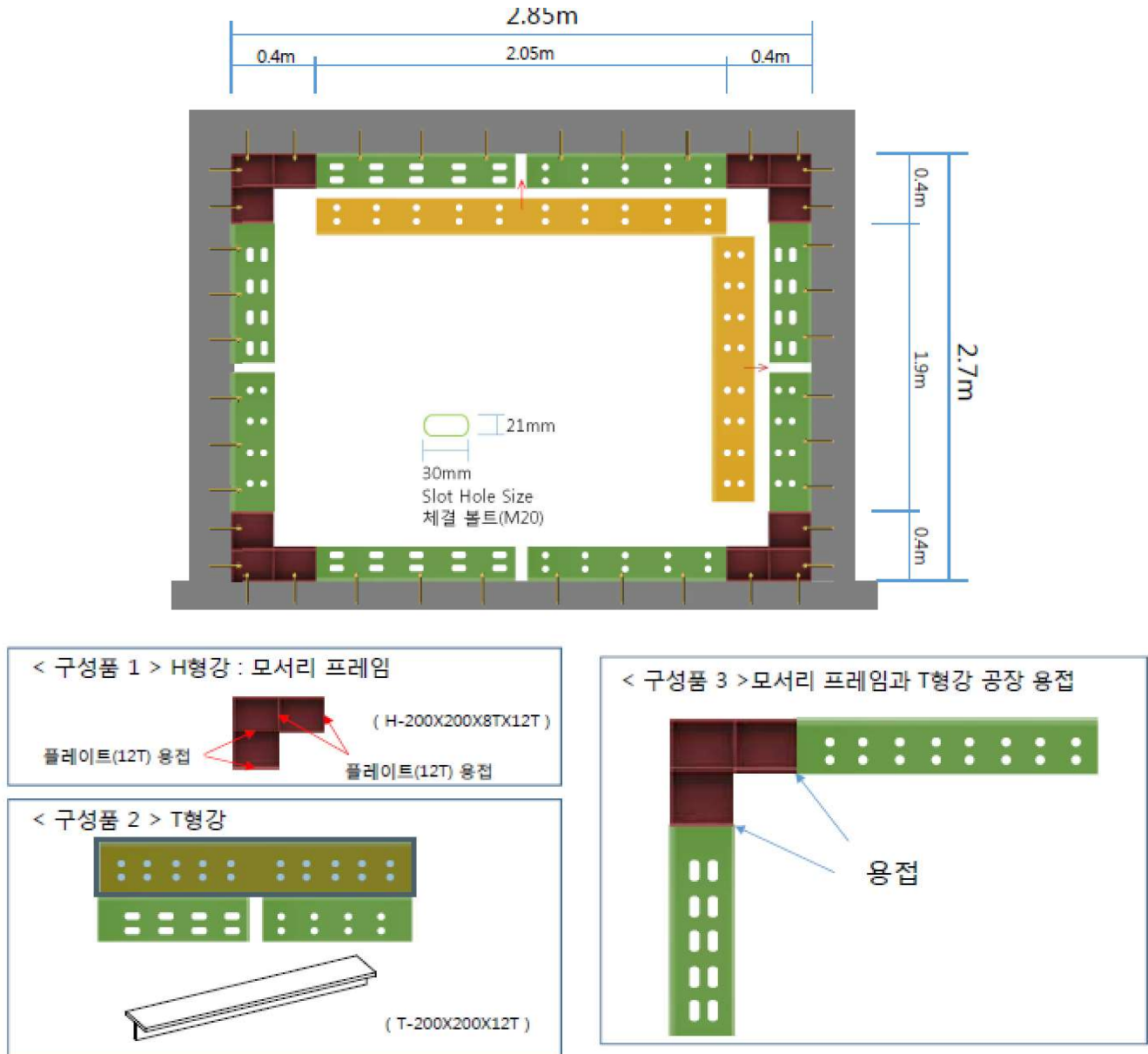
(b) 실험체의 에너지소산량

<그림 5.7> 강판 슬릿댐퍼의 RC frame 반복가력실험 결과

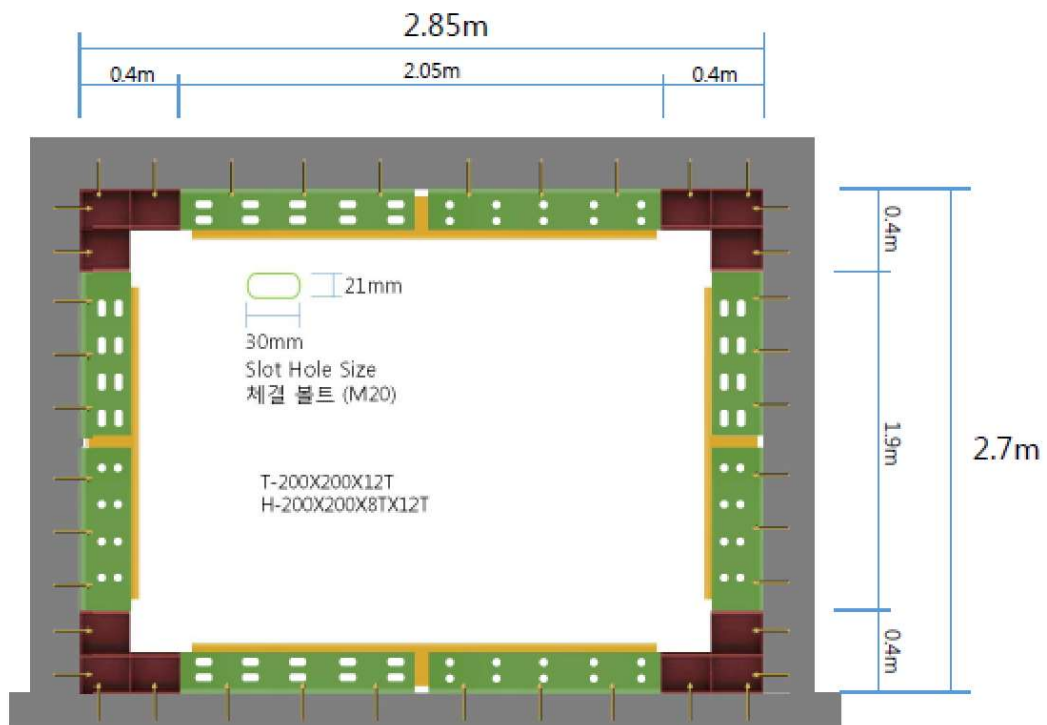
## 6) 강재 프레임 보강장치 개발 (2차년도)

### (1) 개발된 프레임의 형상

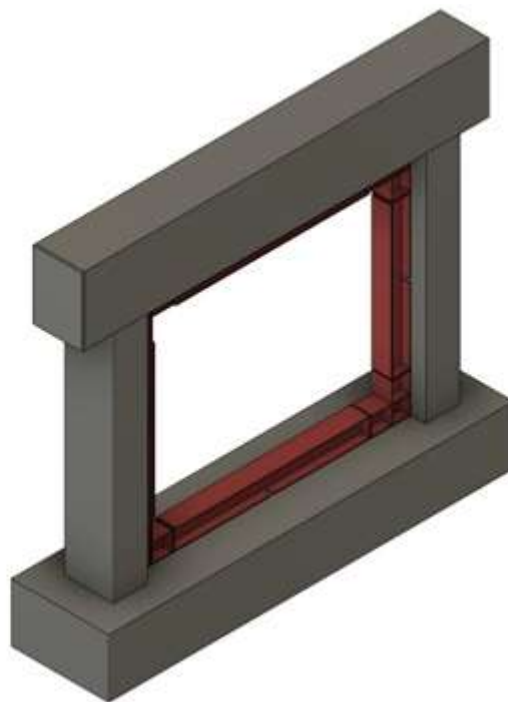
- 건물의 내진보강에 사용되는 기존의 강재프레임은 공장에서 완성된 형태의 프레임을 용접 제작하여 현장에서 설치하므로, 크레인 등 중장비가 필요하고 기존 건물과 강재프레임 사이에 빈공간이 발생하여 보강효과가 감소한다.
- 본 연구에서는 여러 개의 T형강을 현장에서 조립하여 설치함으로써 중장비가 불필요하며, 기존 건물과 오차 없이 밀착하여 설치 가능한 강재프레임 보강기법을 개발하였다 (그림 6.1~3).



<그림 6.1> 강재프레임의 형상 및 구성 요소

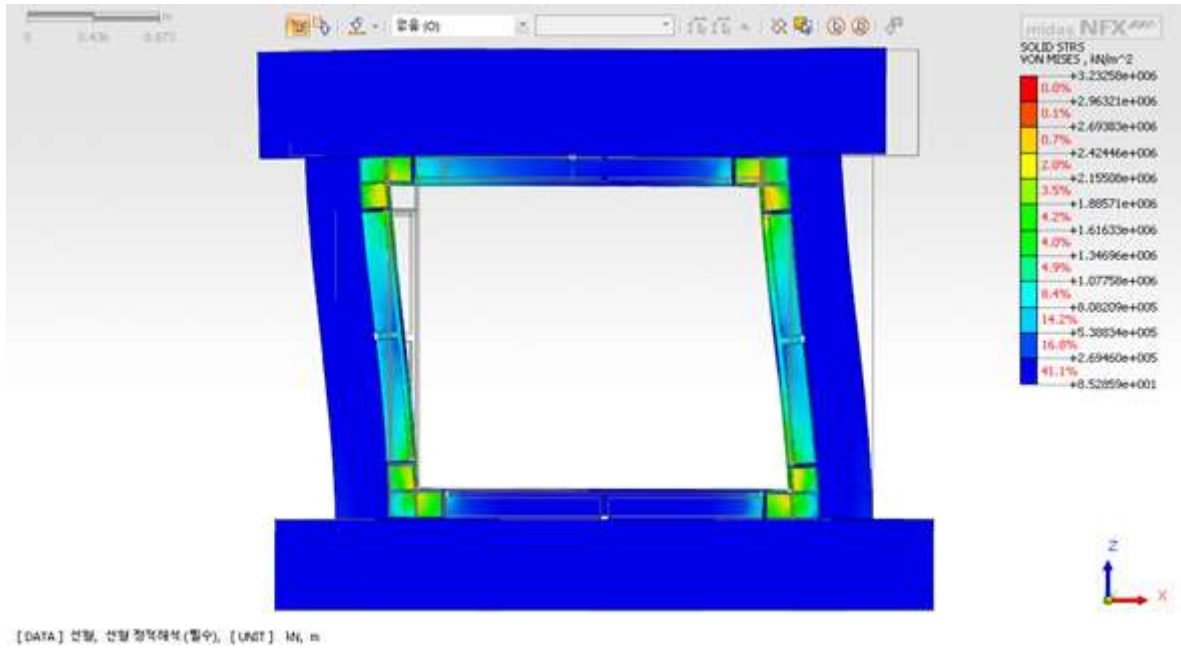


<그림 6.2> 조립된 강재프레임 형상

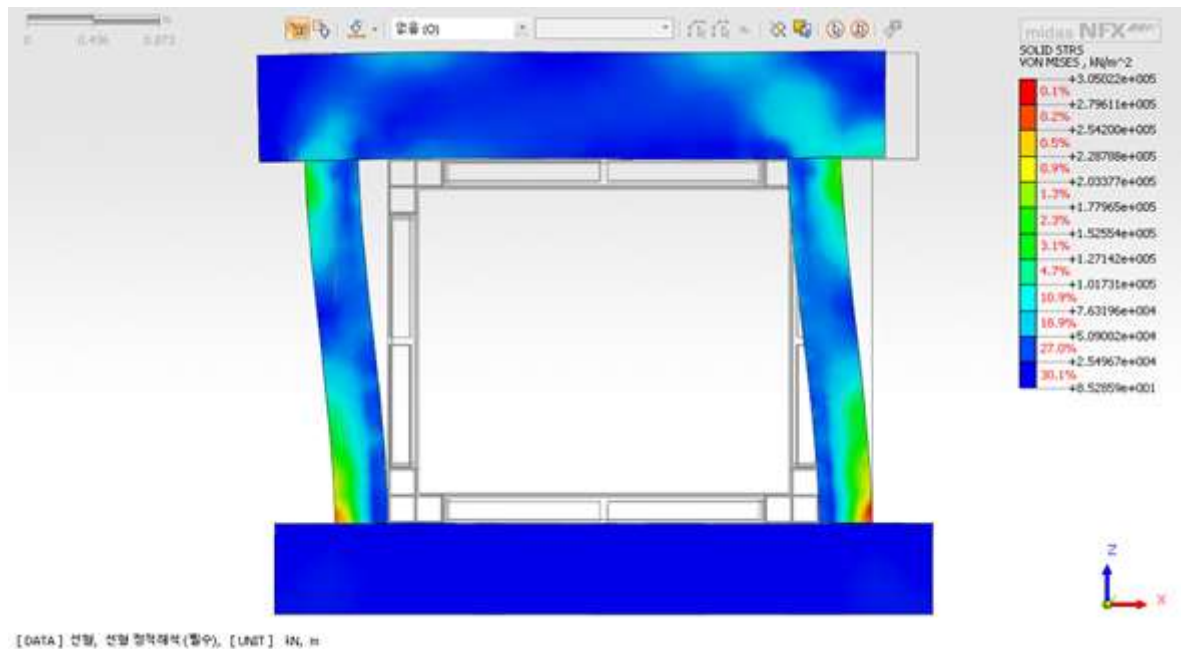


<그림 6.3> RC 구조 설치형상

- <그림 6.4>는 유한요소 해석프로그램인 MIDAS를 이용하여 최대 층간변위 2.5%에서 각 요소에 발생하는 응력을 표시한 것으로, 선택된 크기의 강재 프레임을 적용할 경우 보-기둥 접합부에서 항복이 발생하며, RC 기둥 하부에 큰 응력이 발생하는 것으로 나타났다.



(a) 강재 프레임의 응력분포

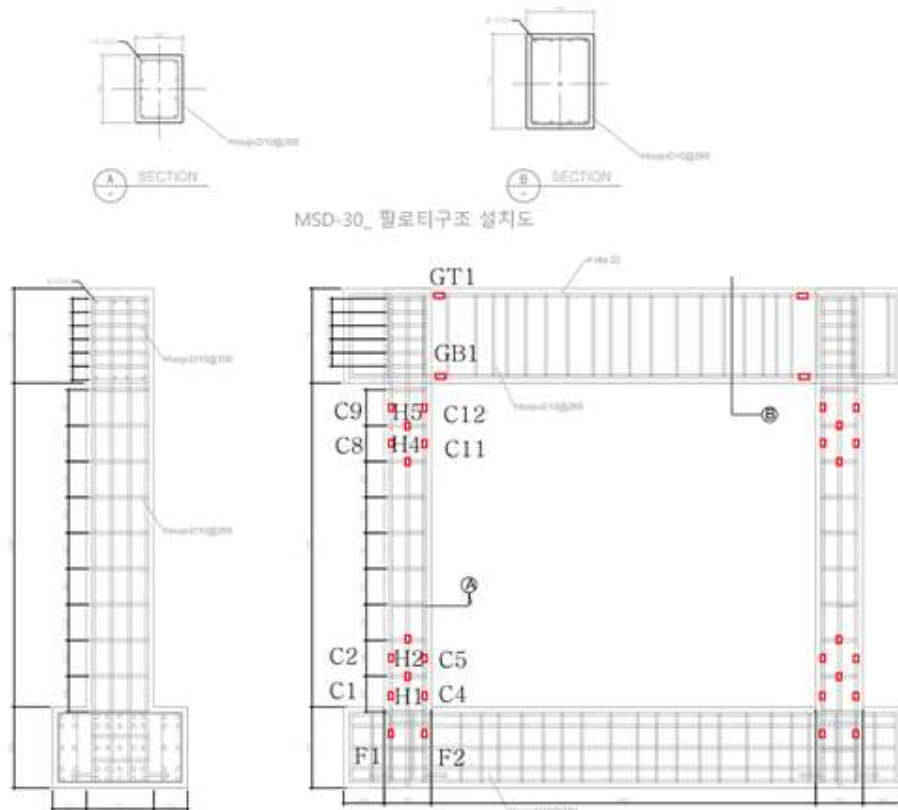


(b) RC 골조의 응력분포

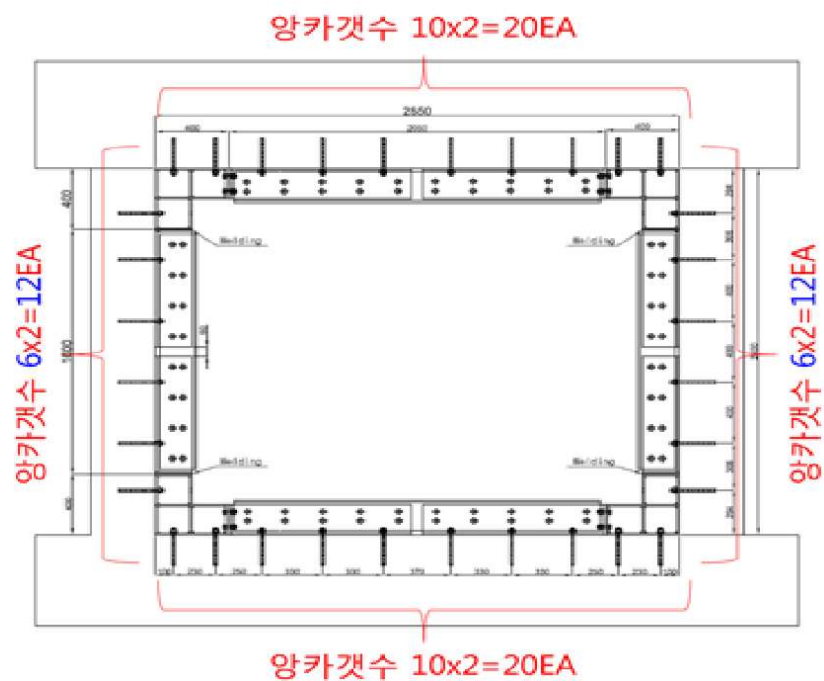
<그림 6.4> 유한요소 해석을 통한 최대변위에서의 응력분포

## (2) 개발된 프레임의 성능실험

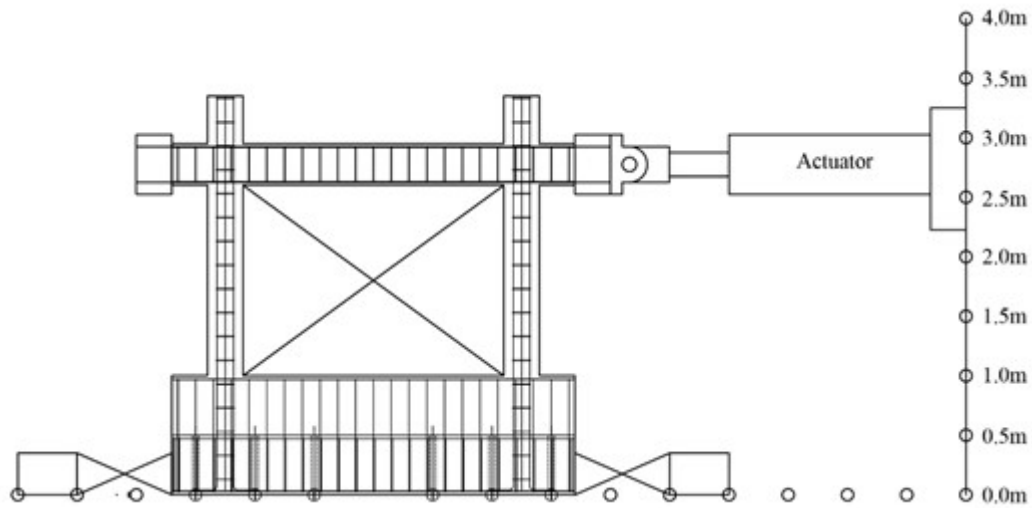
- 개발된 T 형강 강재프레임의 내진성능을 검증하기 위하여 1층 RC 골조의 내진보강에 적용하고, 보강 전후 내진성능을 비교하였다.
- RC 골조 실험체는 필로티 구조의 성능을 나타내기 위하여 기둥에 비하여 보가 매우 크게 설계하였다 (그림 6.5). <그림 6.6>은 강재 프레임으로 보강된 RC 실험체를 나타낸다.
- <그림 6.7>과 <그림 6.8>은 반복가력 실험을 위한 test setup 및 하중 protocol을 나타낸다.



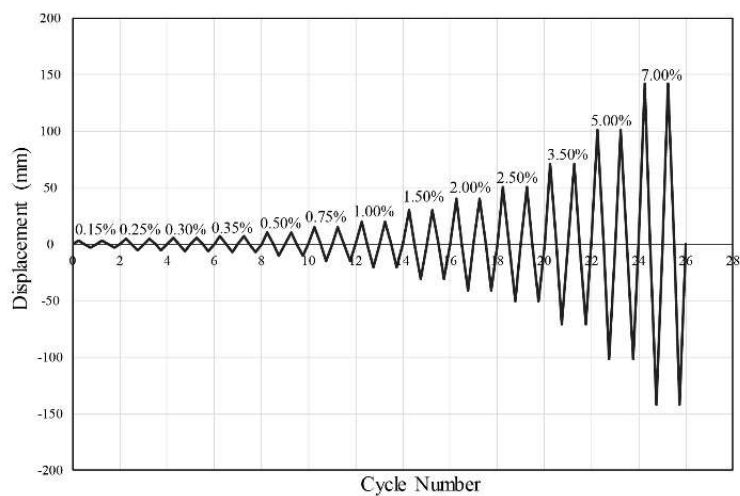
<그림 6.5> 성능실험을 위한 RC 실험체



<그림 6.6> 보강된 RC 실험체



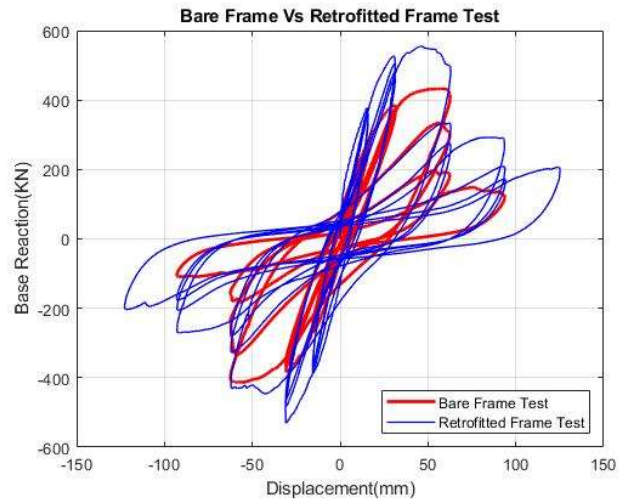
<그림 6.7> 반복하중 실험을 위한 test setup



<그림 6.8> History of the cyclic loading

### (3) 개발된 프레임의 반복가력 성능실험 결과

- <그림 6.9>는 개발된 T 형강 강재프레임을 1층 RC 골조의 내진보강에 적용하고, 보강 전후 하중-변위 곡선을 비교한 것으로, 보강 후 강성 및 최대 강도, 연성도가 다소 증가한 것으로 나타났다.
- 최대강도는 보강 전 약 430 kN에서 보강 후 550 kN 으로 약 25% 증가하였으며, 최대 변위는 92cm에서 128cm으로 약 40% 증가한 것으로 나타났다.
- <그림 6.10>은 보강된 실험체의 파괴형상을 나타내며, RC 기둥의 휨-전단파괴와 강재프레임의 T형강-H형강 용접부의 파괴로 인하여 강도가 급격하게 저하되어 이에 대한 보완이 필요한 것으로 나타났다.



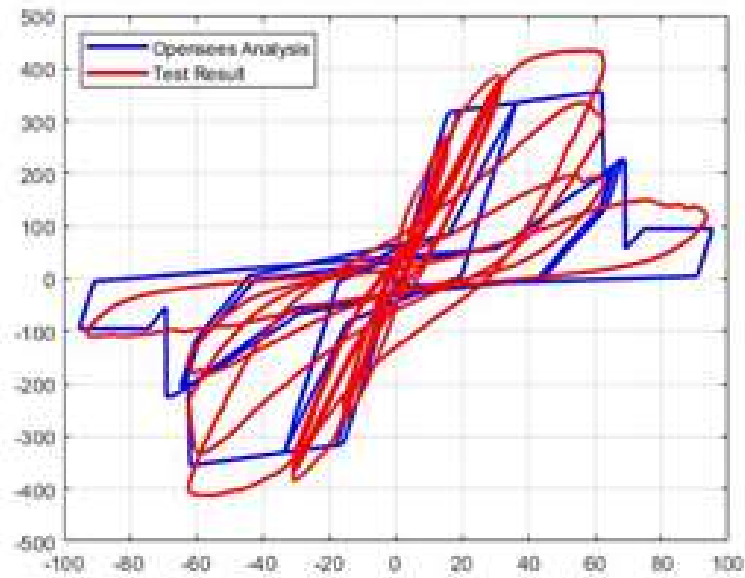
<그림 6.9> Load-displacement relationships obtained from the Bare and Retrofitted Frame test



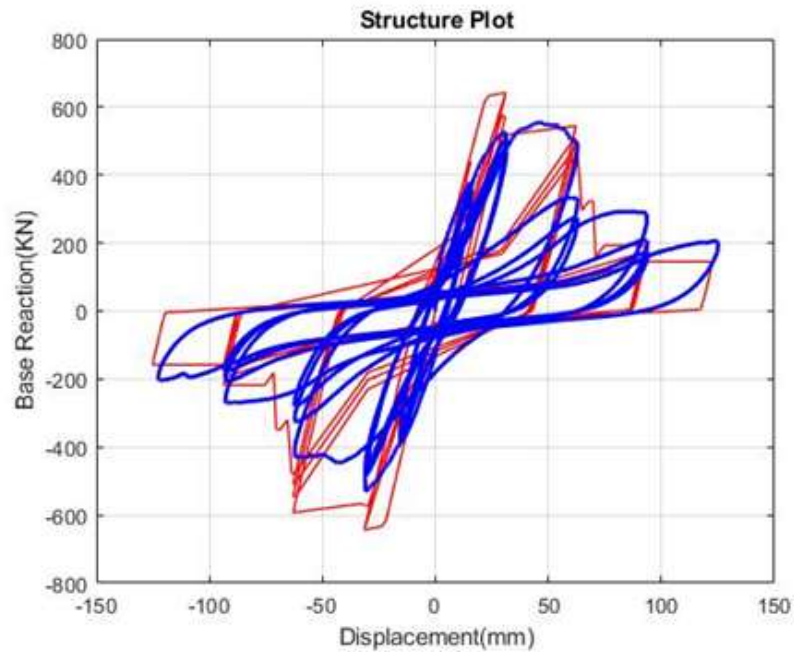
<그림 6.10> 실험체 파괴형상

#### (4) 개발된 프레임의 해석모델 개발

- 본 연구에서 개발된 강재프레임은 접합부를 제외한 보와 기둥을 두 개의 T 형강을 볼트를 이용하여 상하로 결합하여 제작하며, 해석의 편의를 위하여 동일한 단면 특성을 가지는 H형강으로 모델링하였다.
- 실험체의 해석은 비선형 해석프로그램인 OpenSees를 이용하여 수행하였으며, 비선형 거동은 강도 저감형 집중힌지 모델인 Modified Ibarra-Medina-Krawinkler Deterioration Model을 사용하여 해석하였다.
- <그림 6.11>과 <그림 6.12>는 실험 결과와 해석 결과를 비교한 것으로, 개발된 해석모델은 실험체의 이력곡선을 적절하게 표현하는 것으로 나타났다.



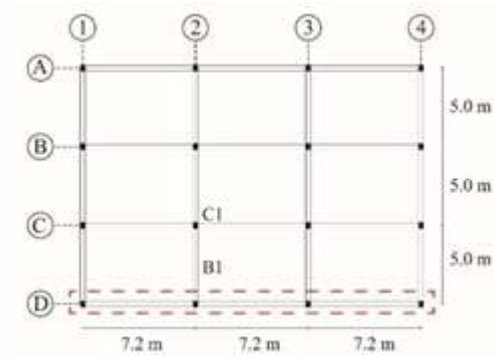
<그림 6.11> 무보강 실험체의 실험결과 및 해석모델의 비교



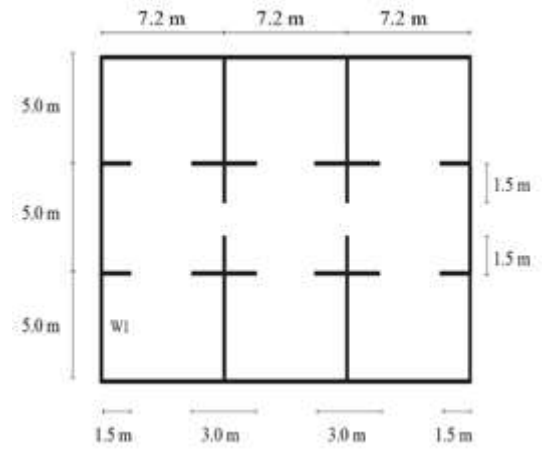
<그림 6.12> 보강 실험체의 실험결과 및 해석모델의 비교

##### (5) 예제모델 해석을 통한 적용성 검토

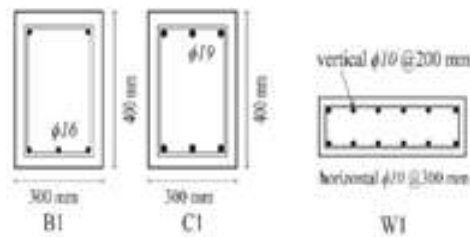
- 본 연구에서 개발된 강재프레임의 내진보강 실무 적용성을 검증하기 위하여 <그림 6.13>과 같은 5층 필로티형 건물에 적용하고 보강 전후 내진성능을 평가하였다.



(a) Structural plan (1층)



(b) Locations of shear walls in the upper stories (2~5층)



(c) Member size and rebar

<그림 6.13> Example structure used for application of the proposed retrofit system

- 해석 모델의 내진성능이 부족한 경우 <그림 6.14>와 같이 본 연구를 통하여 개발된 강재프레임을 해석모델의 1층에 설치하여 내진성능을 향상하였다. <표 6.1>은 내진성능평가에 사용된 7개 지진의 특성을 나타내며, 국내 설계지진 (Design basis earthquake) 스펙트럼으로 scaling하여 해석에 사용하였다.

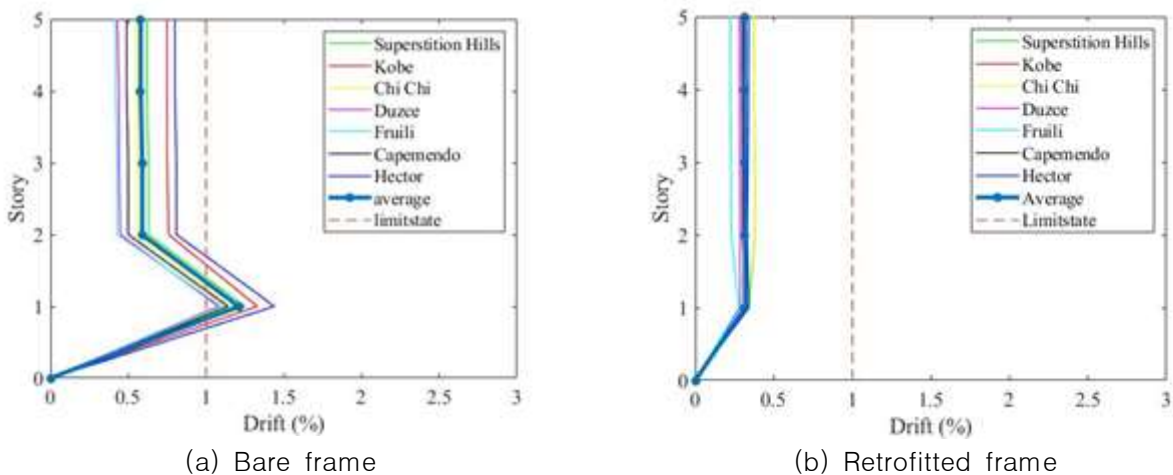


<그림 6.14> 해석모델의 내진보강

<표 6.1> Ground motion records used in the analysis.

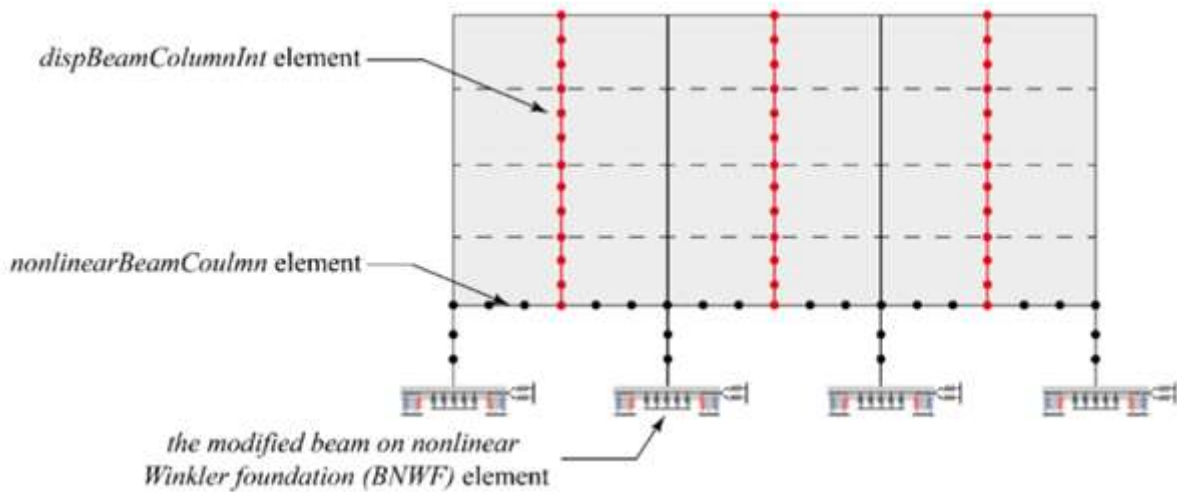
| Ground motion         | RSN* | Station         | Magnitude | Rupture distance (km) | PGA (g) | PGV (cm/s) | Year |
|-----------------------|------|-----------------|-----------|-----------------------|---------|------------|------|
| Superstition Hills-02 | 725  | Poe Road (temp) | 6.54      | 11.16                 | 0.47    | 33.14      | 1987 |
| Kobe Japan            | 1111 | Nishi-Akashi    | 7.08      | 7.08                  | 0.51    | 40.31      | 1995 |
| Chi-Chi Taiwan        | 1485 | TCU045          | 7.62      | 26                    | 0.55    | 63.24      | 1999 |
| Duzce Turkey          | 1602 | Bolu            | 7.14      | 12.02                 | 0.71    | 58.03      | 1999 |
| Fuili Italy 01        | 125  | Tolmezzo        | 6.5       | 15.82                 |         |            | 1976 |
| Cape Mendocino        | 828  | Petrolia        | 7.01      | 8.18                  |         |            | 1992 |
| Hector Mine           | 1787 | Hector          | 7.13      | 11.66                 |         |            | 1999 |

- <그림 6.15>는 해석 모델의 내진성능을 평가하기 위하여 7개 지진을 이용한 비선형 시간이력 해석을 수행하고 각 층의 최대층간변위를 나타낸 것이다. 보강 전 해석모델의 해석결과 7개 지진에 의한 1층 최대층간변위가 한계상태인 층고의 1%를 초과하는 것으로 나타나 본 연구에서 개발된 강재프레임을 중간 경간에 설치하여 내진보강을 수행하였다.
- 1층 가운데 경간에 강재프레임을 설치한 경우 모든 지진에 대하여 최대 층간변위가 한계상태를 만족하는 것으로 나타났다 (그림 6.15(b)).



<그림 6.15> Maximum inter-story drifts of the model structure with fixed base before and after retrofit

- 지반-구조 상호작용의 효과를 고려하기 위하여 <그림 6.16>과 같이 지반을 다수의 스프링으로 모델링하는 BNWF (beam on nonlinear Winkler foundation) 모델을 적용하여 건물을 모델링하였다.
- 지반의 영향을 고려한 지진해석을 수행하기 위하여 암반노두 (bed rock)에서 측정된 지진기록을 Fourier transform <표 6.2>는 지반구조 상호작용해석에 사용된 지반 특성을 나타낸다. 적용된 전단파속도는 연약지반에 해당하는 값으로 가정하였다.

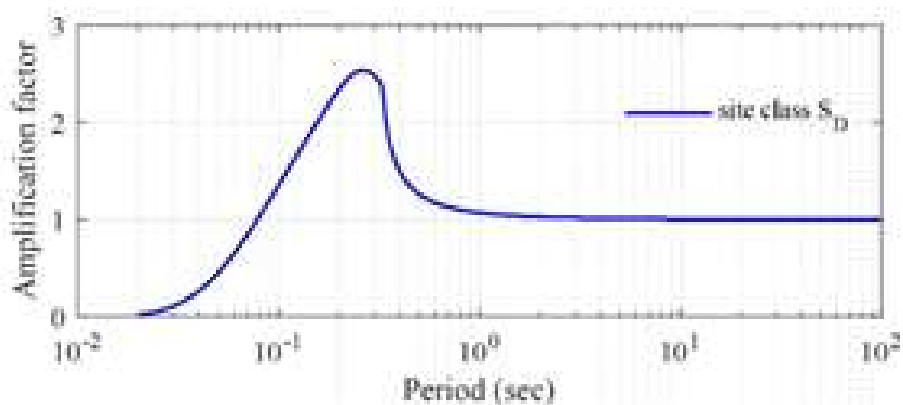


<그림 6.16> 해석모델의 입면 및 지반구조 상호작용 모델링

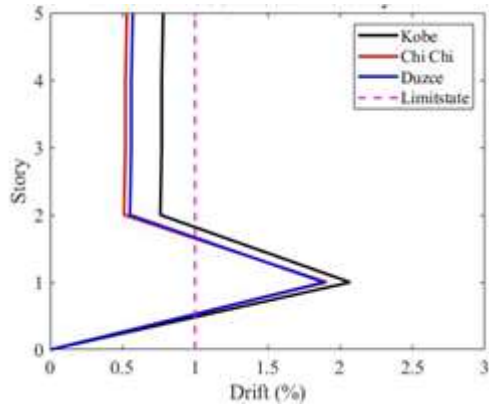
<표 6.2> Parameters for selected soil profile

| Shear wave velocity<br>(m/sec) range | Selected<br>Shear wave<br>velocity | Weight density (KN/m <sup>3</sup> )<br>range | Selected<br>Weight<br>density |
|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| [180-360]                            | 300                                | [16-20]                                      | 0.213                         |

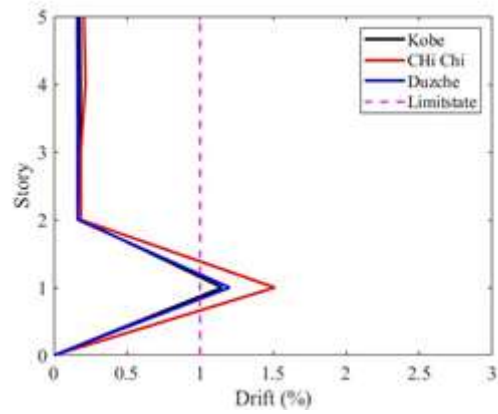
- <그림 6.17>은 Square-Root-Impedance (SRI) method를 이용하여 구한 지반의 증폭계수를 나타낸다. 암반 지진기록을 Fourier transform 하여 증폭계수를 곱한 후 다시 역변환 (Inverse transform)하여 자반에 의하여 증폭된 지진기록을 구할 수 있다.
- 증폭된 지진기록을 이용하여 해석모델의 지진해석을 수행한 결과를 <그림 6.18>에 나타내었다. <그림 6.18(a)>는 보강 전 해석결과를 나타내며, 지반의 효과를 고려하기 전과 비교할 때 (그림 6.15(a)) 층간변위가 증가하는 것으로 나타났다. 1층 가운데 경간을 강재프레임으로 보강한 경우에도 최대층간변위는 한계상태를 초과하는 것으로 나타났다 (그림 6.18(b)).



<그림 6.17> Amplification factors for earthquake records



(a) Bare frame



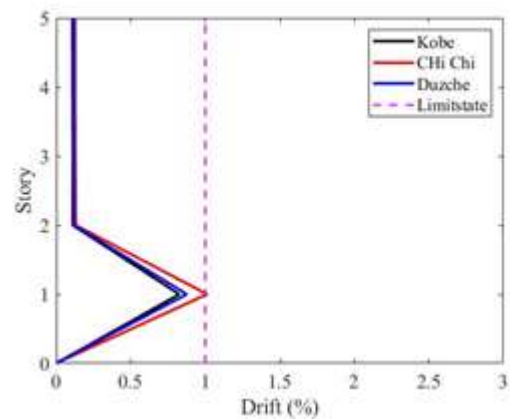
(b) Retrofitted frame

<그림 6.18> Maximum inter-story drifts of the model structure with flexible base

- <그림 6.19>는 해석모델 1층 두 공간에 제안된 강재프레임을 설치한 경우의 해석결과를 나타내며, 지반의 효과를 고려한 경우에도 최대층간변위가 한계상태를 만족하는 것으로 나타났다.
- 연약지반에 위치한 해석모델에 있어서 지반의 효과를 고려하여 내진성능을 평가할 경우 고려하지 않은 경우에 비하여 지진응답이 증가하는 것으로 나타났으며, 결과적으로 한계상태를 만족하기 위해서는 보다 많은 수의 강재프레임이 필요하였다.



(a) Steel frame locations

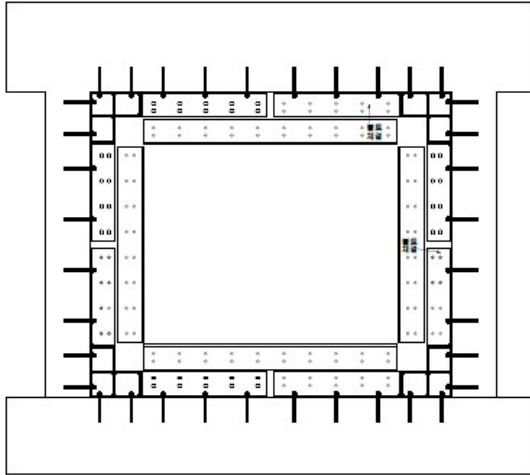


(b) Maximum inter-story drift

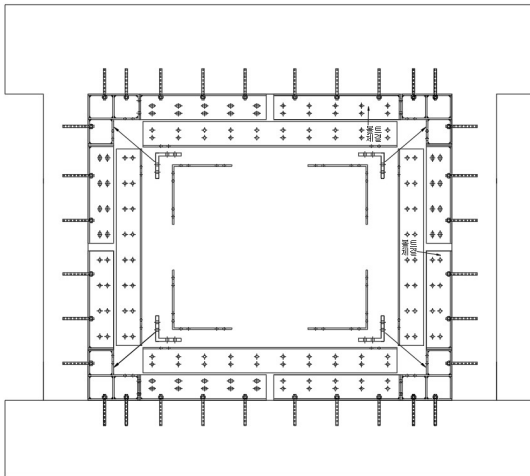
<그림 6.19> Two-bay retrofit scheme of the model structure with flexible base

## 7) 강재 프레임 보강장치 개발 (3차년도)

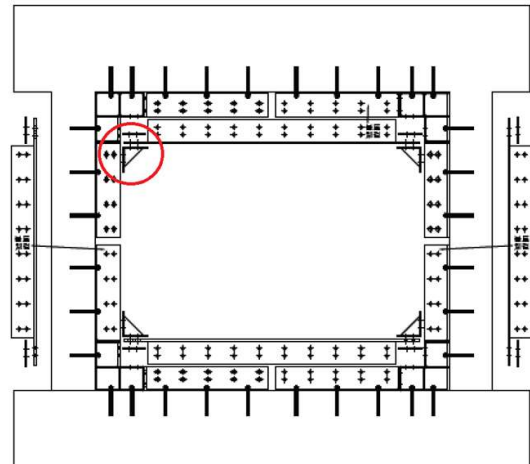
- 2차년도에 개발된 T형강 강재프레임의 성능실험 결과 모서리 부재와 중간 부재의 접합부 용접 부위가 조기 파괴 되는 것으로 나타나 (6장 그림 6.10), 3차년도에는 접합부 용접부위를 보강 하기 위해서 “ㄱ”플레이트 보강 및 삼각형 강판으로 보강한 2개의 실험체에 대한 반복가력 성능실험을 수행하였다.
- <그림 7.1>은 2차년도 실험체와 코너 부분이 보강된 3차년도 실험체(1안, 2안)의 제작도면을 나타낸다.



(a) 2차년도 실험체



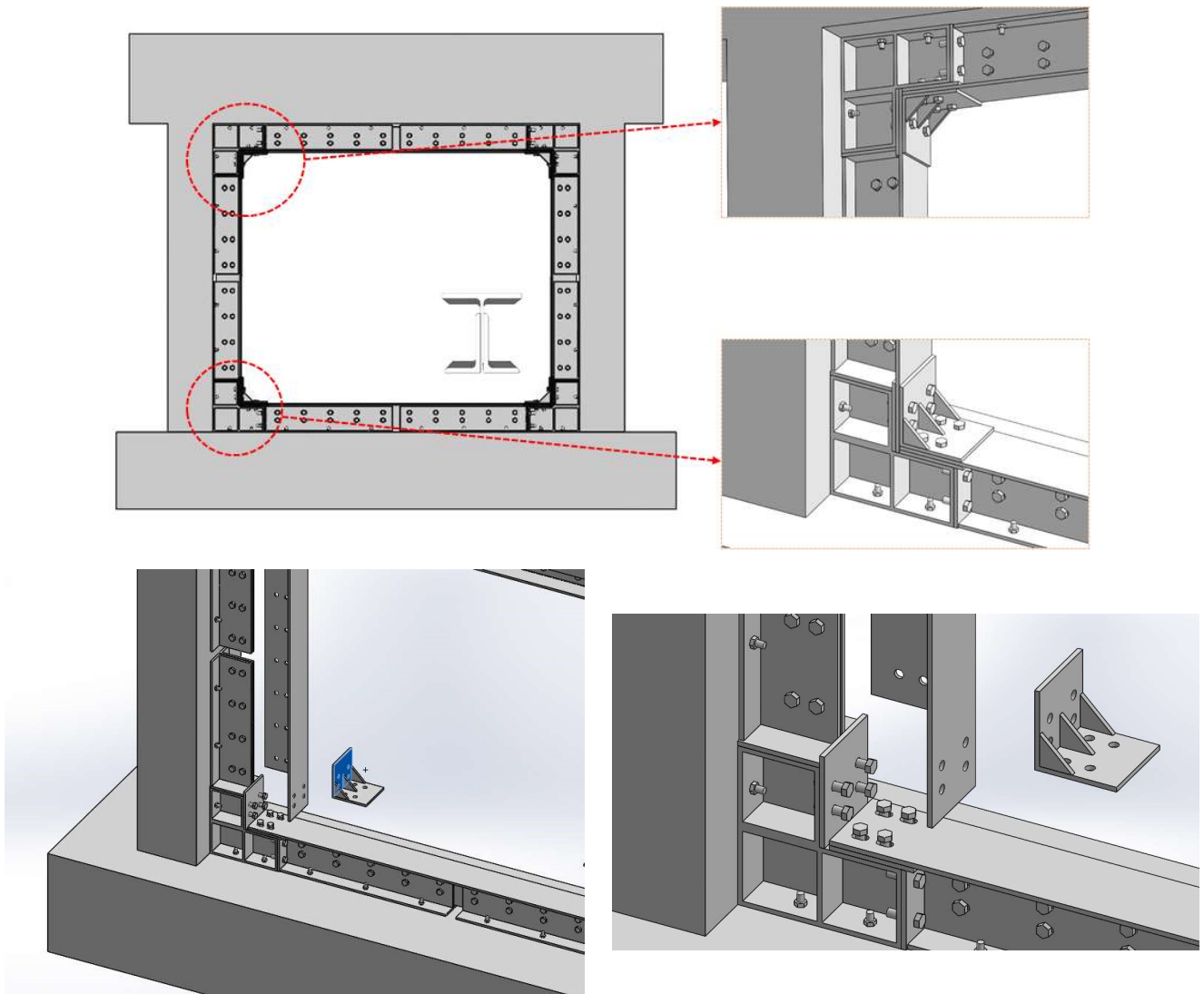
(c) 3차년도 실험체(1안)



(c) 3차년도 실험체(2안)

<그림 7.1> 강재프레임 제작도면

- 3차년도 실험체(1안)은 2차년도에 제작하였던 T형강 강재프레임에 “ㄱ”플레이트 2중으로 설치하여 모서리 부분을 보강하였으며, 3차년도 실험체(2안)은 T형강과 L형강을 이용하여 시공시 설치 용이하게 프레임을 제작하였고, 각 코너부에 사보강재를 체결하여 강성보강을 하였다.



<그림 7.2> 3차년도 실험체(2안)-T/L형강 강재프레임 보강형상

- <그림 7.3>는 2차년도에 개발된 T형강 강재프레임의 성능실험 결과 모서리 부재와 중간 부재의 접합부 용접부위가 조기 파괴된 형상과 (그림 7.3(a)), 3차년도에 삼각형 강판으로 보강한 실험체 형상을 나타낸다.



(a) 보강 전 프레임 파괴형상 (2차년도)



(b) “ㄱ”으로 보강된 보기둥 접합부  
(3차년도 실험체 (1안))



(c) 삼각형 stiffnesser로 보강된 보기둥  
접합부(3차년도 실험체(2안))

<그림 7.3> 보강된 3차년도 강재프레임 실험체

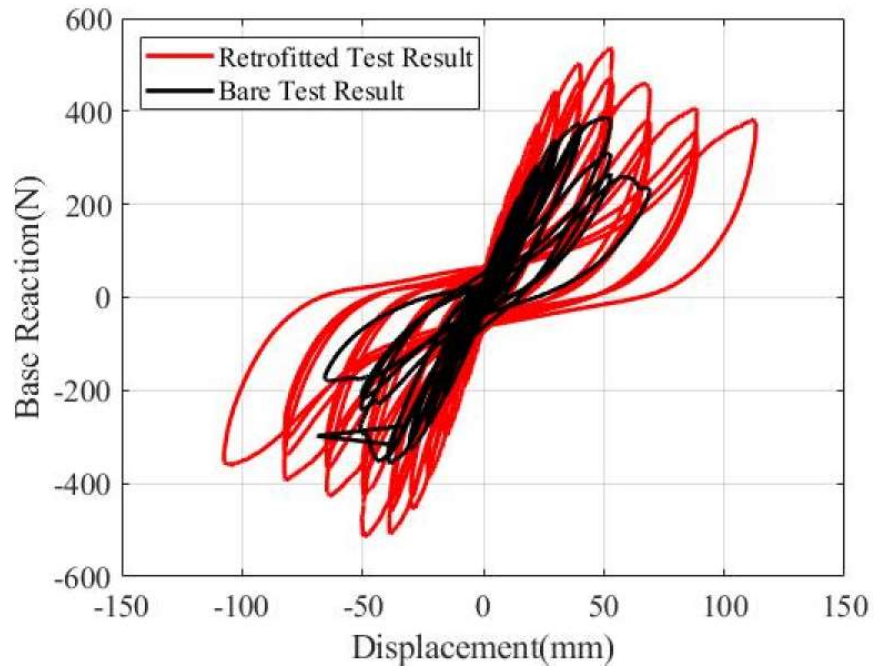


(a) Loading step 1 및 step 9의 T/L형강 강재 프레임 실험사진(1안)



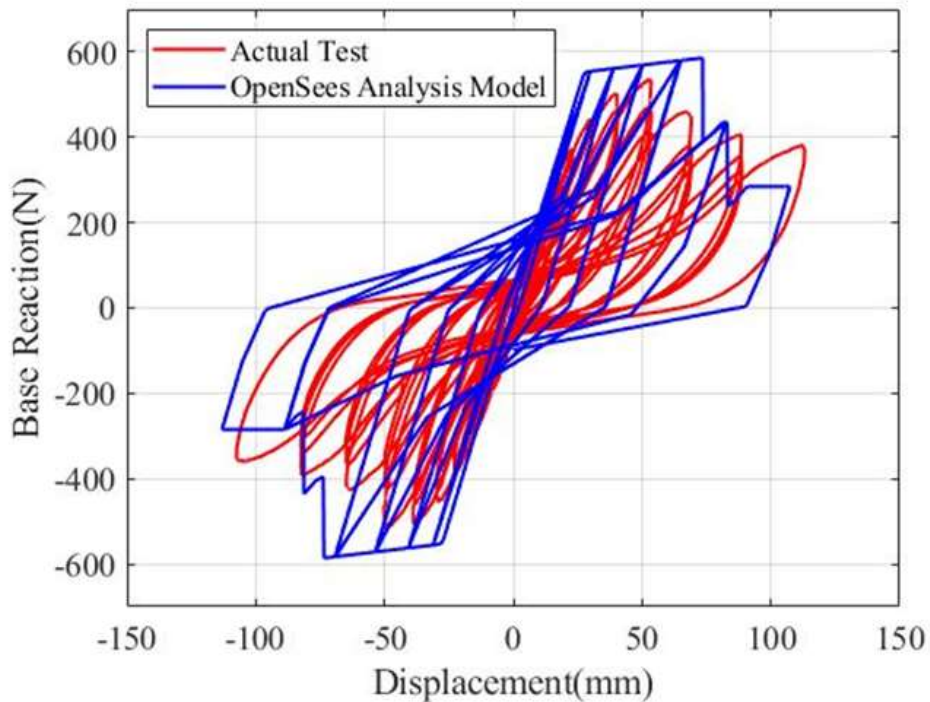
(b) Loading step 1 및 step 9의 3차년도 실험체(2안)-T/L형강 강재프레임 실험사진  
<그림 7.4> 3차년도 실험체(2안)-T/L형강 강재프레임 실험사진

- 반복하중에 의한 성능실험은 2차년도 실험과 동일한 loading protocol을 사용하여 수행하였으며, <그림 7.4>은 Loading step 1 및 step 9의 강재프레임 실험사진 나타낸다.
- <그림 7.5>는 동일한 재료로 타설한 비보강 RC 프레임 및 강재프레임으로 보강된 실험체의 실험결과로 구한 하중-변위 곡선을 나타낸다. 비보강 RC 골조에 비하여 강도 및 연성도가 향상된 것을 알 수 있으며, 2차년도 실험에 비하여 “ㄱ” 형상 보강, 삼각형 stiffner로 코너 보강된 실험체는 보다 큰 연성도를 보이는 것으로 나타났다. 실험이 완료되어 RC 골조의 기둥이 완전히 파괴된 이후에도 “ㄱ” 형상 보강, 삼각형 stiffner로 보강된 강재프레임은 손상되지 않아 목적인 보강 효과를 달성한 것으로 나타났다.



<그림 7.5> 3차년도 실험체(2안)-T/L형강 강재프레임의 RC frame 반복가력실험 결과

- 2차년도 실험과 동일하게 실험체의 해석은 비선형 해석프로그램인 OpenSees를 이용하여 수행하였으며, 비선형 거동은 강도 저감형 집중힌지 모델인 Modified Ibarra-Medina-Krawinkler Deterioration Model을 사용하여 해석하였다.
- <그림 7.6>는 실험 결과와 비선형 해석모델을 이용한 해석 결과를 비교한 것으로, 개발된 해석모델은 실험체의 이력곡선을 적절하게 표현하는 것으로 나타났다. 이를 이용하여 강재프레임을 이용한 노후 구조물의 보강설계가 가능하다.

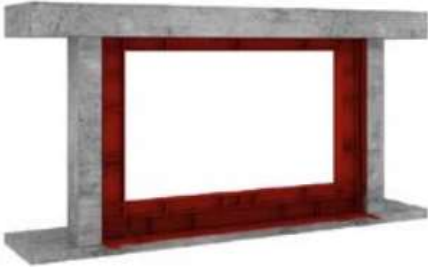


<그림 7.6> 3차년도 실험체(2안)-T/L형강 강재프레임(2안)의 실험결과 및 비선형 해석모델을 이용한 예측

## 8) 경제성 검토

### (1) 내진보강기법

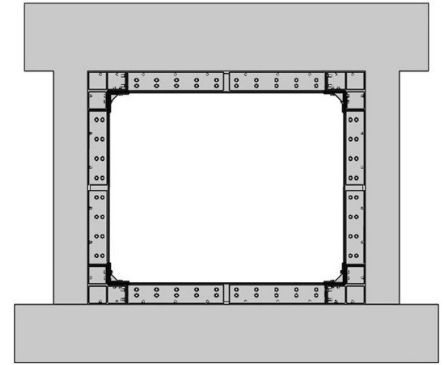
- 개발된 내진보강기법의 경제성 분석을 위해 기존 내진보강기법은 특허를 보유하고 있는 이중프레임 보강공법을 선정하였고, 개발된 제품은 최적설계기법에서 검증된 강판 슬릿댐퍼를 선정하였다.



<그림 8.1> 기존 내진보강기법  
(이중프레임 보강공법)



<그림 8.2> 개발 내진보강기법  
(강판 슬릿댐퍼)



<그림 8.3> 개발 내진보강기법  
(T/L형강 강재프레임(2안))

### (2) 내진보강기법 공사비 산정 (1개소 기준)

- 기존 내진보강기법 공사비는 실제 공사(이중프레임 보강공법)에 적용되었던 금액을 토대로 산정하였으며, 개발 내진보강기법은 자재비, 제작비, 공사비를 산정하였다.

– 기존 내진보강기법 (이중프레임 보강공법)

: 35,465,129원 (자재비+제작비+공사비)

– 개발 내진보강기법 (강판 슬릿댐퍼)

: 13,932,939원 (자재비+제작비+공사비)

\*강판슬릿댐퍼(1개소) 제작비 원가 산출표

| 품명              | 규격          | 단위 | 수량 | 단가           | 금액         | 백분율 |
|-----------------|-------------|----|----|--------------|------------|-----|
| 강판슬릿댐퍼          |             | EA | 1  | 4,500,000    | 4,500,000  | 79% |
| Engineering Fee | Damper Test | 식  | 1  | 1,212,507    | 1,212,507  | 21% |
|                 |             |    |    | 소 계          | 5,712,507  |     |
|                 |             |    |    | 부가세 10%      | 571,251    |     |
|                 |             |    |    | 9%           | 565,538    |     |
|                 |             |    |    | 소득세 23%      | 1,445,264  |     |
|                 |             |    |    | 합 계          | 8,294,560  |     |
|                 |             |    |    | 한 개소당 제작비 원가 | 10,782,929 | 공개  |

\*강판슬릿댐퍼(1개소) 시공비 원가 산출표

| 품명     | 규격           | 단위 | 수량 | 단가           | 금액        | 백분율 |
|--------|--------------|----|----|--------------|-----------|-----|
| 설치비    | 특수인부, 4인, 1일 | 인  | 4  | 300,000      | 1,200,000 | 38% |
| 설치 자재비 | Achor 외      | 식  | 1  | 500,000      | 500,000   | 16% |
| 마감     | 설치부 및 디자인 마감 | 식  | 1  | 500,000      | 500,000   | 16% |
| 장비비    | 5ton 크레인     | 식  | 1  | 650,000      | 650,000   | 21% |
| 기타 경비  | 폐기물처리비       | 식  | 1  | 300,000      | 300,000   | 10% |
|        |              |    |    | 한 개소당 시공비 원가 | 3,150,000 |     |

\*강판슬릿댐퍼(1개 기준) 직접공사비 원가 산출표

| 품명  | 규격     | 단위 | 수량 | 단가             | 금액         | 백분율 |
|-----|--------|----|----|----------------|------------|-----|
| 제작비 | 강판슬릿댐퍼 | 식  | 1  | 10,782,929     | 10,782,929 | 77% |
| 시공비 | 강판슬릿댐퍼 | 식  | 1  | 3,150,000      | 3,150,000  | 23% |
|     |        |    |    | 한 개소당 직접공사비 원가 | 13,932,929 |     |

- 개발 내진보강기법 (T/L형강 강재프레임)
- : 32,570,929원 (자재비+제작비+공사비)

\*T/L형강 강재프레임(1개소) 제작비 원가 산출표

| 품명              | 규격   | 단위 | 수량 | 단가        | 금액         | 백분율 |
|-----------------|------|----|----|-----------|------------|-----|
| T/L형강 강재프레임     |      | EA | 1  | 9,500,000 | 9,500,000  | 89% |
| Engineering Fee | Test | 식  | 1  | 1,212,507 | 1,212,507  | 11% |
| 소 계             |      |    |    |           | 10,712,507 |     |
| 부가세 10%         |      |    |    |           | 1,071,251  |     |
| 9%              |      |    |    |           | 1,060,538  |     |
| 소득세 23%         |      |    |    |           | 2,710,264  |     |
| 합 계             |      |    |    |           | 15,554,560 |     |
| 한 개소당 제작비 원가    |      |    |    |           | 20,220,929 | 공개  |

\*T/L형강 강재프레임(1개소) 시공비 원가 산출표

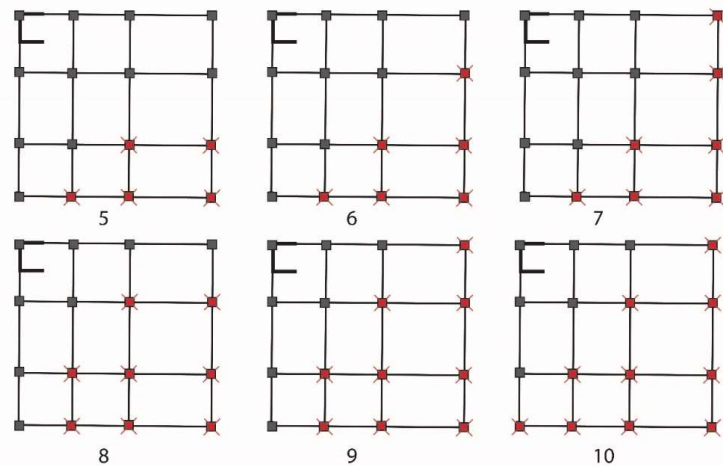
| 품명           | 규격           | 단위 | 수량 | 단가        | 금액         | 백분율 |
|--------------|--------------|----|----|-----------|------------|-----|
| 설치비          | 특수인부, 4인, 7일 | 인  | 28 | 300,000   | 8,400,000  | 68% |
| 설치 자재비       | Achor 외      | 식  | 1  | 2,000,000 | 2,000,000  | 16% |
| 마감           | 설치부 및 디자인 마감 | 식  | 1  | 1,000,000 | 1,000,000  | 8%  |
| 장비비          | Ston 크레인     | 식  | 1  | 650,000   | 650,000    | 5%  |
| 기타 경비        | 폐기물처리비       | 식  | 1  | 300,000   | 300,000    | 2%  |
| 한 개소당 시공비 원가 |              |    |    |           | 12,350,000 |     |

\*T/L형강 강재프레임(1개 기준) 직접공사비 원가 산출표

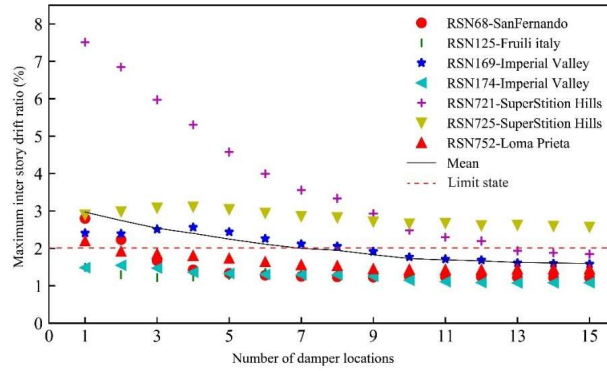
| 품명             | 규격          | 단위 | 수량 | 단가         | 금액         | 백분율 |
|----------------|-------------|----|----|------------|------------|-----|
| 제작비            | T/L형강 강재프레임 | 식  | 1  | 20,220,929 | 20,220,929 | 62% |
| 시공비            | T/L형강 강재프레임 | 식  | 1  | 12,350,000 | 12,350,000 | 38% |
| 한 개소당 직접공사비 원가 |             |    |    |            | 32,570,929 |     |

### (3) 내진보강기법 설치 개소

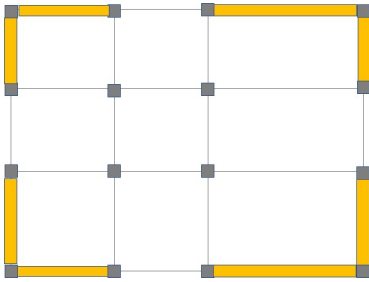
- 필로티형 건물에 내진보강기법을 적용하여 설치 개소를 선정하였다. 기존 내진보강기법은 필로티형 코너부에 적용하였으며, 개발 내진보강기법은 평면비정형 필로티구조의 최적보강위치를 결정하기 위한 유전알고리즘 기반 최적화 절차를 통해 도출된 보강 장치 위치 및 개수를 적용하였다. 질량중심 및 강성중심이 일치하도록 내진보강장치를 설치한 후 비선형 해석을 통하여 한계상태의 만족 여부를 검토하고, 만족하지 않는 경우 장치의 위치 및 개수를 재조정하는 절차를 거쳐 산출된 결과이다.



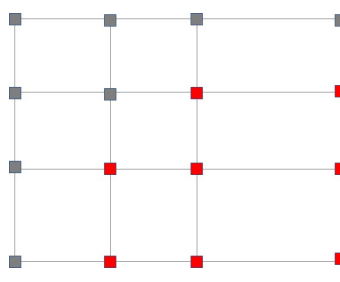
<그림 8.4>Optimal locations for each number of dampers based on eccentricity



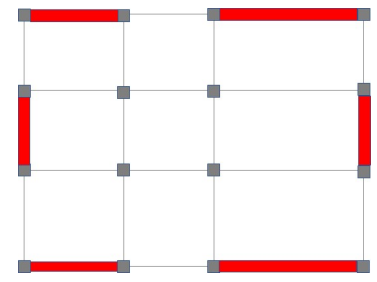
<그림 8.5> Validation result for each number of optimally located dampers



<그림 8.6> 기존 내진보강공법  
(이중프레임 보강공법) 적용위치



<그림 8.7> 개발 내진보강공법  
(강판 슬릿댐퍼) 적용위치



<그림 8.8> 개발 내진보강공법  
(T/L형강 강재프레임(2안))  
적용위치

- 기존 내진보강기법 (이중프레임 보강공법)  
: 8개 설치
- 개발 내진보강기법 (강판 슬릿댐퍼)  
: 8개소, 댐퍼 16개 설치
- 개발 내진보강기법 (T/L형강 강재프레임)  
: 6개소

#### (4) 내진보강장치 공사비 산정

| 구 분                        | 설치 개소 | 공사비 (1개소)(원) | 총 공사비(원)    |
|----------------------------|-------|--------------|-------------|
| 기존 내진보강공법<br>(이중프레임 보강공법)  | 8개소   | 35,465,129   | 283,721,032 |
| 개발 내진보강공법<br>(강판 슬릿댐퍼)     | 16개소  | 13,932,939   | 222,927,024 |
| 개발 내진보강공법<br>(T/L형강 강재프레임) | 6개소   | 32,570,929   | 195,425,574 |

- 필로티형 건물에 내진보강공법을 적용하였을 경우, 기존 내진보강공법은 필로티형 취약부분에 설치하였으며, 개발 내진보강공법(강판 슬릿댐퍼, T/L형강 강재프레임)은 유전알고리즘 기반 최적화 절차를 통해 위치 및 개수를 선정하여 설치하였다.
- 기존 내진보강공법(이중프레임 보강공법)과 개발 내진보강공법(강판 슬릿댐퍼, T/L형강 강재프레임)의 공사비를 비교하였을 경우 약 22%, 30%의 공사비를 저감할 수 있음을 확인하였다.
- 향후 감쇠장치의 혼합사용 및 개체수량 감소에 대한 정량적 실증을 위하여, 개발된 최적설계기법을 적용하여 단일 감쇠장치를 적용할 경우와 여러 장치를 혼합하여 적용하는 경우의 감쇠장치 개수 및 비용을 최소화할 수 있는 설계기법을 개발할 예정이며, 실제 내진보강 프로젝트에 적용하여 개발된 설계기법의 타당성을 검증하고자 한다.

## 9) 시공성 검토 및 시공메뉴얼

### 1.1 T/L형강 내진 프레임 구조물 설치 개요

T형강 내진 프레임 구조물은 기존 H형강을 주 소재로 사용하고 있는 내진 프레임의 단점을 보완하고, T형강과 L형강의 장점을 더해 강성의 향상과 시공의 효율을 향상시킨 내진 보강 시스템이다.

T형강과 L형강을 겹쳐서 설치하여 두께가 증가함으로써 관성모멘트가 상승하는 효과가 발생한다. 따라서 구조물의 횡강성이 증가함으로써 횡변위 제어에 효과적이다.

그림 1.1과 같이 L형강을 콘크리트 구조체에 후시공앵커를 사용하여 체결하고 강성 증가를 위해서 T형강을 추가로 볼트 체결한다.

또한, 기존 구조체의 보의 건전성을 조사하여 후시공 앵커 능력이 발휘될 수 있는지를 확인해야 하며 접합부의 변형은 장치의 T/L형강 내진 프레임에 큰 영향을 미치기 때문에 접합되는 보는 충분한 강성과 강도가 발휘될 수 있도록 조치해야 한다. 적용 가능한 콘크리트의 압축강도는 원칙적으로 13.5MPa이상으로 한다.

설치범위에 관하여는 특별히 제한을 두지 않지만, 건물외부에 설치하는 경우에는 비, 바람 등에 노출되지 않도록 하며 또한 감쇠요소와 연결요소를 구성하는 강재에 열화가 발생하지 않도록 대책을 강구할 필요가 있다. 또한 연결요소와 구조체와의 접합부에는 변형이 생기는 것에 의해 응력전달 손실이 되지 않도록 한다. 접합방법은 특별히 제한을 두지 않는 것으로 하지만, 일반적으로 그림 1.2와 같이 후시공앵커를 이용하여 T/L형강 내진 프레임 연결요소를 직접 구조체에 접합하는 방식이 사용된다. 또한, 특별한 접합방법을 적용하는 경우에는 본 공법의 설계·시공 지침에 위배되지 말아야 하며 T/L형강 내진 프레임 구조물의 성능이 발휘될 수 있는 방법이어야 한다. 내진보강을 실시하는 대부분의 건물이 20년 이상 경과하여 중성화나 콘크리트압축강도의 저하 또는 철근부식에 의한 콘크리트의 탈락 등으로 지진력의 전달이 미흡할 수 있으므로 설치 전에 이를 반드시 확인하고 필요할 경우 보수 또는 보강을 통해 구조체의 건전성을 확보하고 구조체가 충분한 강성과 강도를 가질 수 있도록 한다.

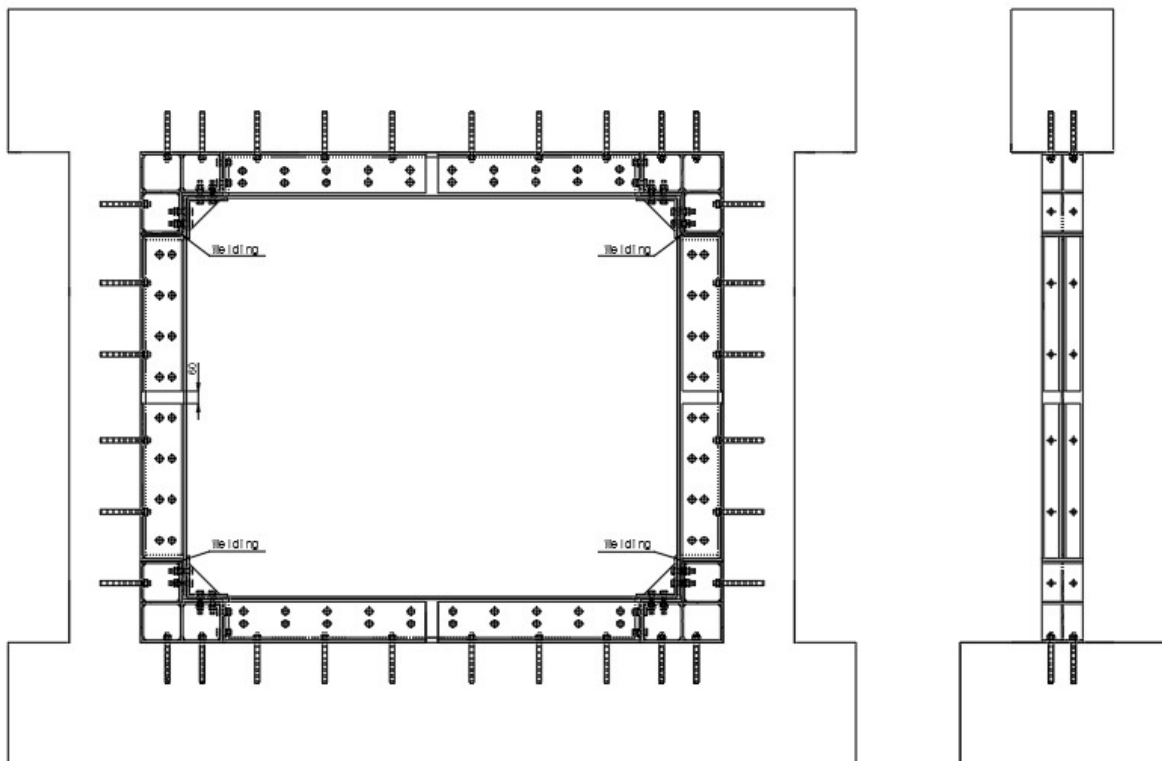


그림 1.1 T형강-L형강 내진 프레임 구조 및 설치

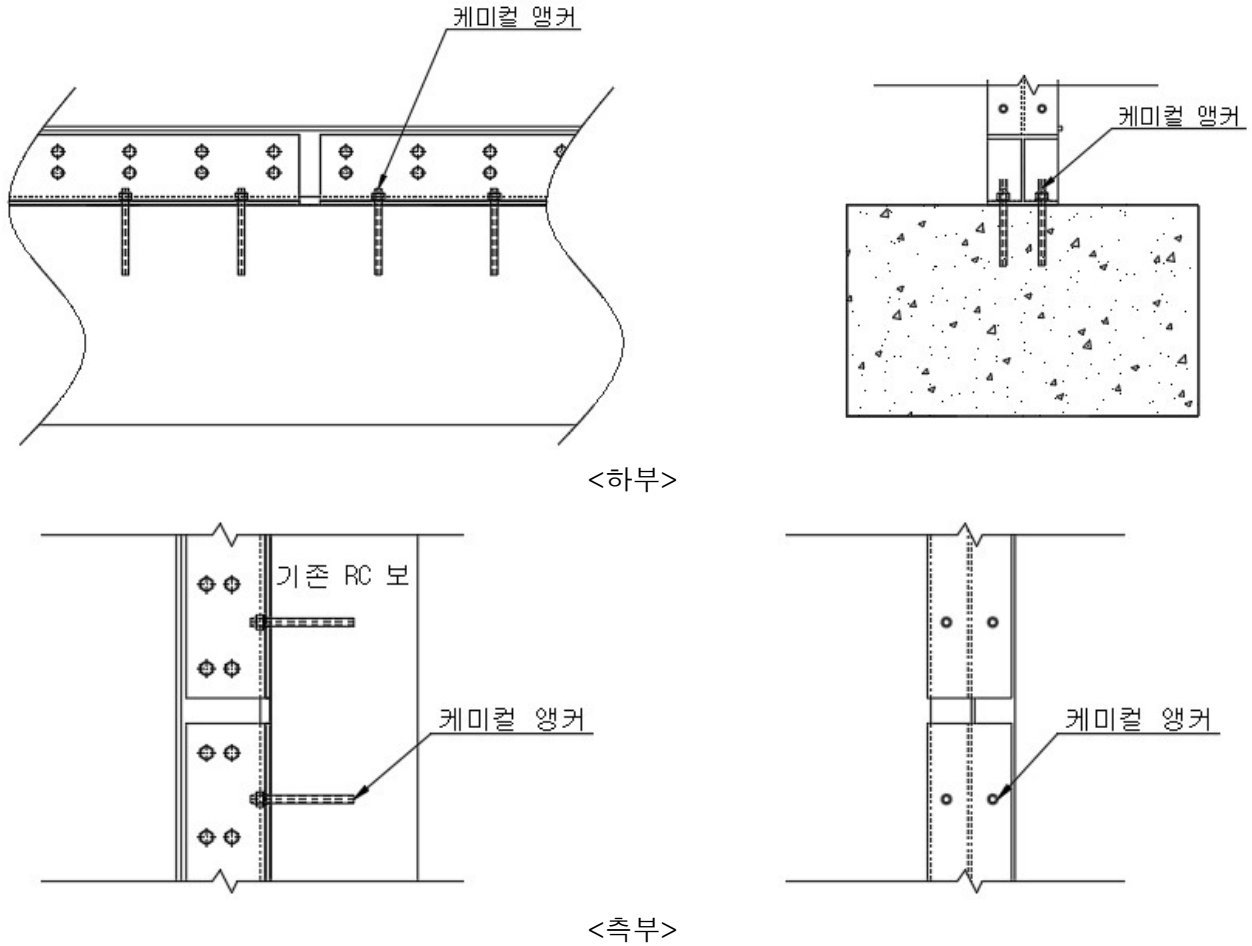


그림 1.2 접합의 예

## 1.2 T/L형강 내진 프레임 구조물 제작

### 1.2.2 제작

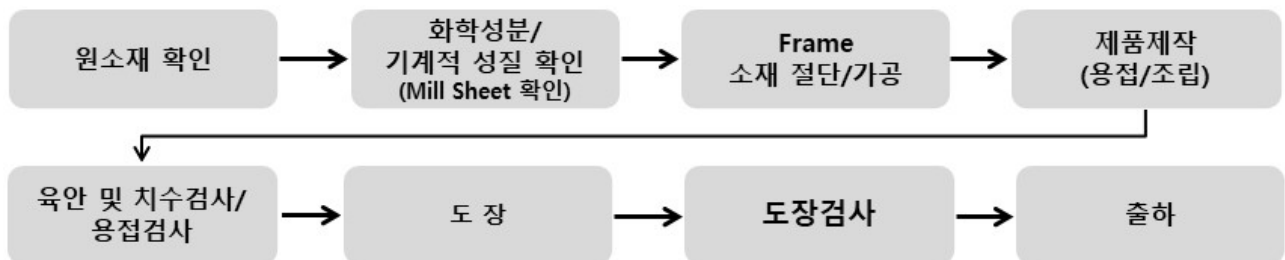


그림 1.3 작업공정 개요도

- T/L형강 내진프레임 구조물은 제작 시 수반되는 변형을 최소화하고, 현장 맞춤 부분을 최소화 할 수 있도록 설계시 도면에 반영 및 작업하여야 한다.
- 해당도면에 의거하여 전체 길이에  $-5\text{mm}$  여유 길이로 절단한다.
- 해당도면에 의거하여 레이저 플라즈마 등의 장비를 이용하여 가공한다.
- 절단된 소재를 파레트 또는 박스에 담아 공정에 투입한다.
- T/L형강 내진프레임 구조물의 용접부는 변형을 최소화 하도록 제작하여야 한다.

### 1.3 T/L형강 내진 프레임 구조물 시공

#### 1.3.1 시공 주체

이 공법을 이용한 감리는 모든 건축구조기술사가 수행한다. 다만 구조 설계자는 본 매뉴얼에서 정하는 범위를 벗어난 경우에 한해서는 제품공급업체와 협의하여 정하는 것으로 한다. 최초 감리 시 (주)유경시스템의 감리자문을 받는 것으로 한다.

#### 1.3.2 시공계획서와 시공절차

T/L형강 내진 프레임 구조물을 사용한 공사는 공법의 효과를 충분히 얻을 수 있도록 시공계획서를 작성해야 한다. 내진보강에 T/L형강 내진 프레임 구조물을 사용하는 경우에는 기존 설계도서 및 현황조사 등을 근거하여 작성된 시공계획서에 따라 시공절차를 계획한다. 기존 건물을 사용하면서 시공이 되는 경우도 있으므로 시공계획서에는 시공 기간, 시공 장소, 시공 순서, 공사 종별로 시공 관리 항목 및 역할 분담 등 일반적인 항목 이외에, 장비의 운반 경로와 저장위치, 작업 장소 등을 기재하여야 한다. 구체적인 항목에 대해서는 기타 내진보강에서 행해지고 있는 벽체보강이나 브레이스보강에 준거하여 적절하게 계획한다. T/L형강 내진 프레임 구조물을 기존 건물의 내진보강에 이용하는 경우의 시공절차를 그림 1.4 및 그림 1.5에 나타내었다.

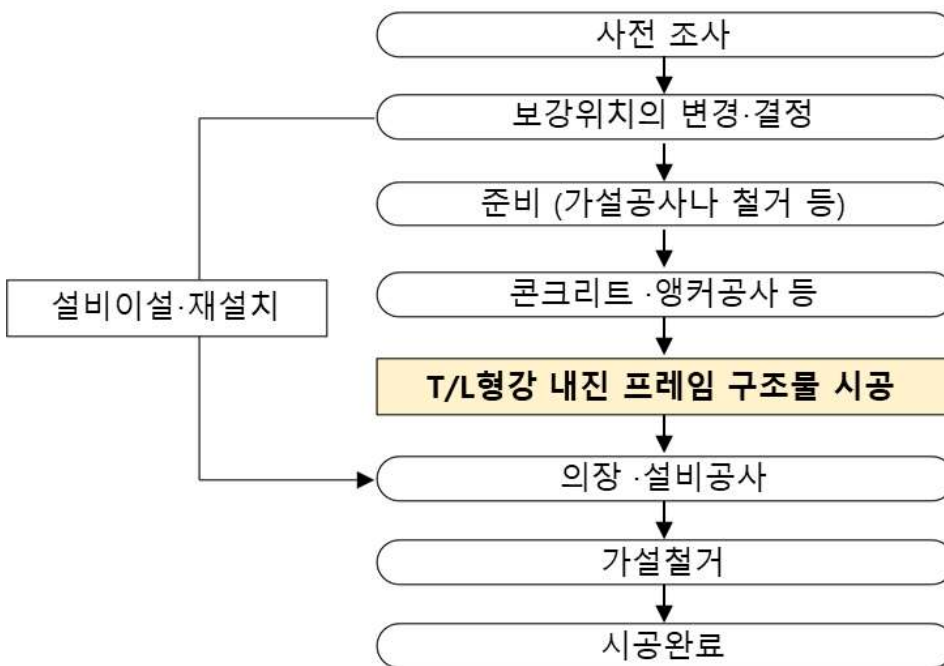


그림 1.4 T형강 내진 프레임 구조물 시공 절차

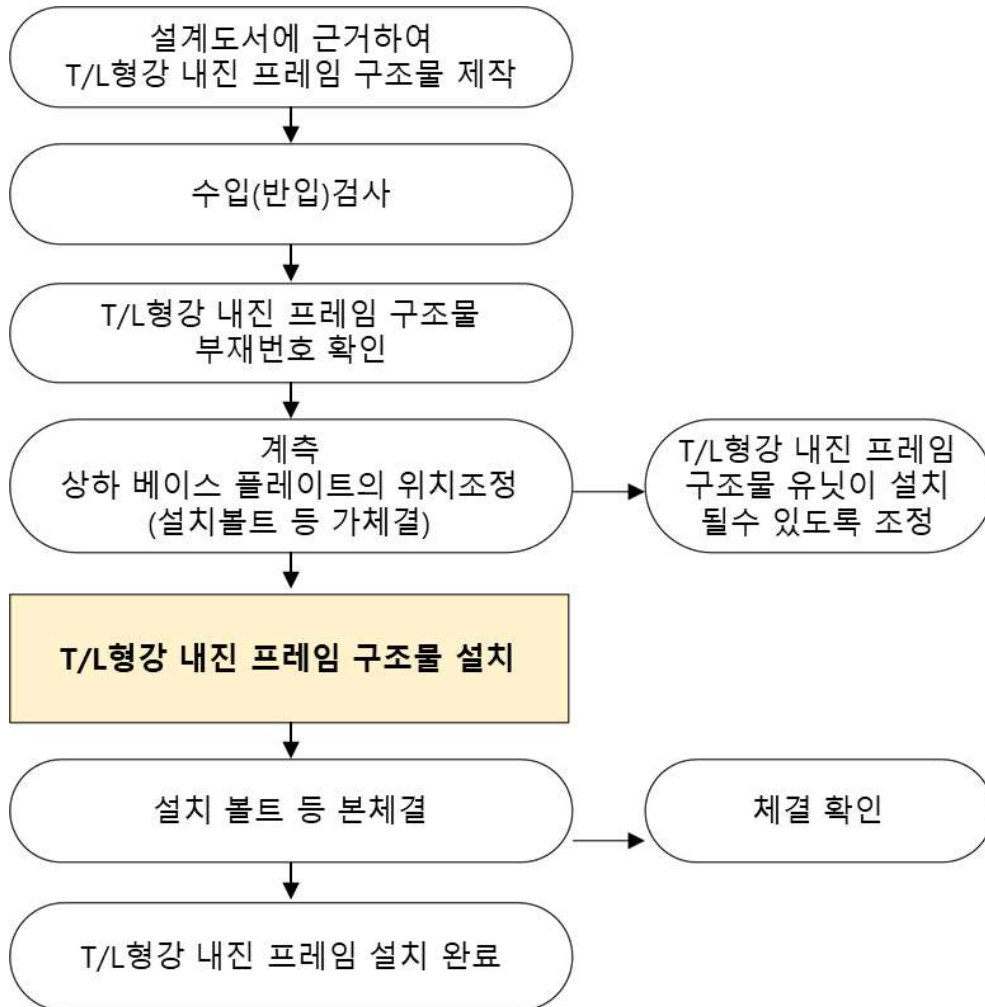


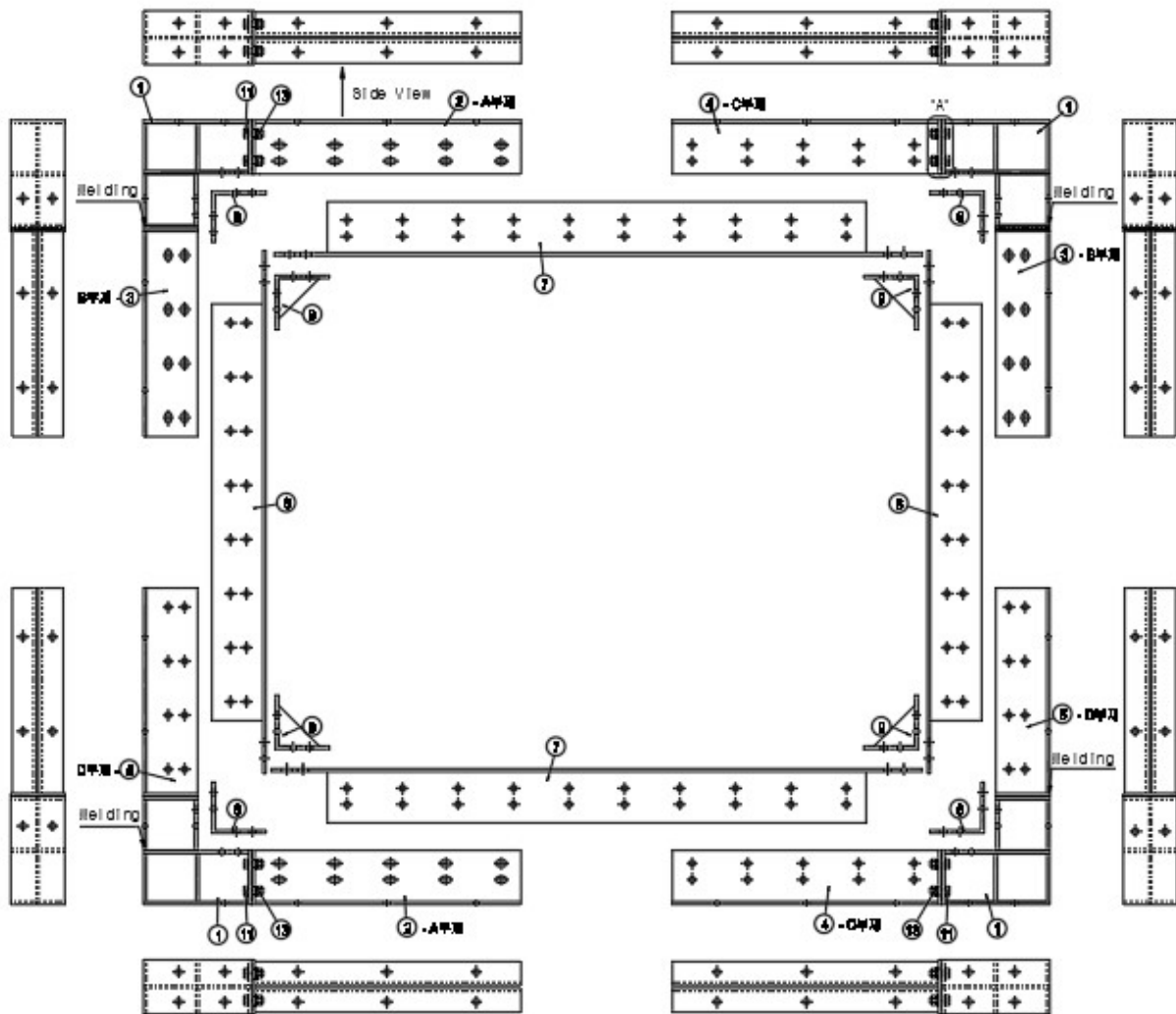
그림 1.5 내진보강공사 시 T/L형강 내진 프레임 구조물의 시공 공정

## 1.4 재료

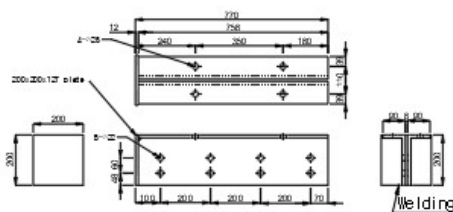
### 1.4.1 시공 시 시험·검사 확인 사항

#### (1) T/L형강 내진 프레임의 치수, 외관검사

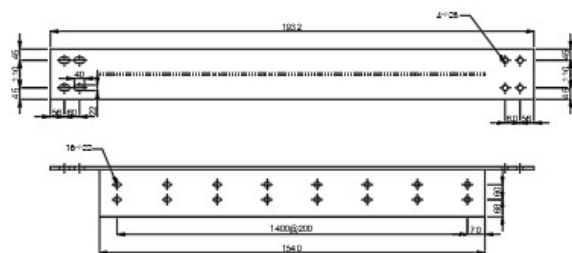
T/L형강 내진 프레임의 치수, 외관에 대해서 실측 또는 외관검사에 의한 표 1.1의 규격치를 만족한지 여부를 확인하고 만족하지 않은 것에 대해서는 재 제작을 행한다. T/L형강 내진 프레임의 치수와 외관은 그림 1.6와 같다.



부속 1. 단면도 및 상세



5 T형강 D부재  
제작 수량 : 2EA



6 체결형 T형강 좌우 부재  
제작 수량 : 2EA

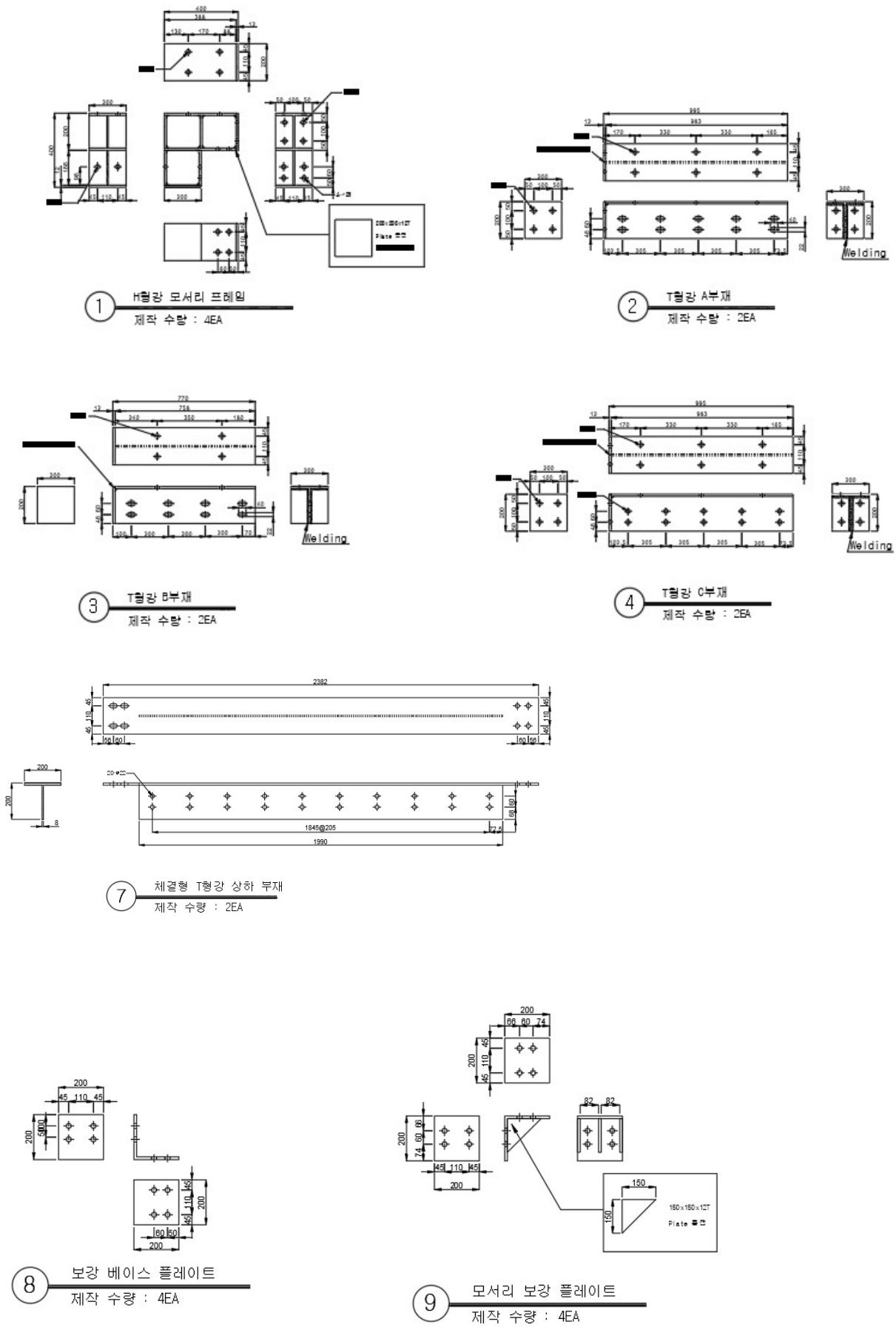


그림 1.6 T/L형강 내진 프레임 상세

표 1.1 내진 프레임 구조물 상세설명

| No | 부위            | 치수 (mm)                        | 재질    |
|----|---------------|--------------------------------|-------|
| 1  | H형강 모서리 프레임   | H-200 x 200 x 8t x 12t-400L    | SS275 |
| 2  | L형강 A부재       | L-200 x 90 x 13t x 995L        | SS275 |
| 3  | L형강 B부재       | L-200 x 90 x 13t x 770L        | SS275 |
| 4  | L형강 C부재       | L-200 x 90 x 13t x 995L        | SS275 |
| 5  | L형강 D부재       | L-200 x 90 x 13t x 770L        | SS275 |
| 6  | 체결형 T형강 좌우 부재 | T-200 x 200 x 8t x 12t x 2000L | SS275 |
| 7  | 체결형 T형강 상하 부재 | T-200 x 200 x 8t x 12t x 2402L | SS275 |
| 8  | 보강 베이스 플레이트   | 12T                            | SS275 |
| 9  | 보강 플레이트       |                                | SS275 |

(2) 모서리 프레임, T/L형강 부재

모서리 프레임, T/L형강 부재의 재질에 대해서는 강재검사성적서(밀 시트)를 확인한다.

(3) 용접봉 강도

접합에 사용되는 용접봉의 항복강도 760N/mm<sup>2</sup> 동등 이상의 제품을 사용하며 관련 성적서 (밀 시트)를 확인하게 한다.

## 1.4.2 케미컬 수지

구조용 보강재와 콘크리트 구조체의 일체성을 위하여 시공되는 앵커볼트 고정에 사용될 에폭시 수지는 규격 및 물성에 부합하는 제품이어야 한다.

## 1.4.3 앵커볼트

(1) 구조안전진단결과에 따라 요구되는 하중을 안전하게 지지할 수 있는 구조적 적합성을 고려하여 선정한다.

(2) 제조사의 시공매뉴얼을 참조하여 시공한다.

## 1.4.4 고장력볼트

(1) 고장력 볼트 세트의 구성은 고장력볼트 1개, 너트 1개, 평washer 2개, 스프링 washer 1개로 구성한다.

(2) 고장력 볼트 세트의 종류는 KS B 1010에 적합한 것 중 세트를 구성하는 부품의 기계적 성질에 따라 표 1.2와 같이 1종, 2종 및 4종으로 한다. 또한 토크계수값에 따라서 각각 A(표면윤활처리)와 B(방청유 도포상태)로 분류하고, 세트를 구성하는 부품은 기계적 성질 등의 특성 및 품질을 만족해야 한다.

표 1.2 고장력 볼트의 종류와 등급

| 기계적 성질에<br>따른 세트의 종류 |     | 적용하는 구성부품의 기계적 성질에 따른 등급 |     |     |
|----------------------|-----|--------------------------|-----|-----|
|                      |     | 고장력 볼트                   | 너트  | 와셔  |
| 1종                   | A1) | F8T                      | F8  | F35 |
|                      | B2) |                          |     |     |
| 2종                   | A1) | F10T                     | F10 |     |
|                      | B2) |                          |     |     |
| 4종                   | A1) | F13T                     | F13 |     |
|                      | B2) |                          |     |     |

주) 1) 토크계수값이 A는 표면윤활처리

2) 토크계수값이 방청용 도포상태

(3) 토크계수값은 표 1.3의 규정에 적합해야 한다.

표 1.3 토크계수값

| 구 분         | 토크계수값에 따른 세트의 종류 |             |
|-------------|------------------|-------------|
|             | A                | B           |
| 토크계수값의 평균값  | 0.110~0.150      | 0.150~0.190 |
| 토크계수값의 표준편차 | 0.010 이하         | 0.013 이하    |

(4) 고장력볼트의 길이는 조임길이에 표 1.4의 길이를 더한 것을 표준으로 하여 KS B 1010의 부표 1(마찰접합용 고장력 육각 볼트)중에서 가장 가까운 것을 사용한다.

표 1.4 조임길이에 더하는 길이

| 고장력 볼트의 호칭 | 조임길이에 더하는 길이 |
|------------|--------------|
| M16        | 30           |
| M20        | 35           |
| M22        | 40           |
| M24        | 45           |
| M27        | 50           |
| M30        | 55           |

(주) 1) 조임길이는 접합판 두께의 합이다.

2) 조임길이에 더하는 길이는 너트 1개, 와셔 2장 두께와 나사피치 3개의 합이다.

(다만, TS볼트의 경우에는 위 값에서 와셔 1장 두께를 뺀 길이를 적용한다.)

(5) 공사현장의 반입검사

시공자는 반입 시에 외관, 종류, 등급, 지름, 길이, 로트 번호 등에 대하여 확인한다.

또 반입된 고장력볼트가 그 고장력볼트에 관한 제작자 검사증명서와 일치하고 발주 시의 조건을 만족하는 것인가를 확인한다.

## 1.5 시공

### 1.5.1 시공조건 확인

#### (1) 현장여건 파악

현장에서 공사를 시행하거나 보강재를 설치하는데 필요한 여건의 적합성 여부를 판단하여 필요한 요구사항을 협의한다.

#### (2) 설계도서 검토

공사시행 전 설계 도서를 검토하고 적합성 여부를 판단하여 필요한 요구사항을 확인, 협의한다.

(3) 공사착수 전 당해 시공의 공사범위 등에 대하여 공사 전 협의를 준용하여 검토, 확인한다.

### 1.5.2 작업 준비

#### 1.5.2.1 일반사항

본 시방은 T/L형강 내진 프레임 구조물의 현장시공에 적용한다. 본 시방서에 기재되어 있지 않은 사항은 설계자와 시공자가 협의하여 감독관이 결정하는 것으로 한다.

#### 1.5.2.2 가설, 양중 및 표면처리

(1) 내진 프레임 구조물이 설치될 대상 구조물의 보, 기둥에 먹줄 작업한다.

(2) 먹줄을 기준으로 커팅작업을 실시한다.

(3) 커팅이 완료된 시공부위의 미장면을 햄머 드릴 등을 사용 치핑작업을 실시한다.

(4) 치핑 완료된 표면의 먼지 기타 이물질 등을 에어리스 또는 에어펌프를 이용하여 완전 제거한다.

(5) 시공부위는 시공에 지장이 없도록 장애물을 제거하고 미리 충분한 안전 조치를 한다.

(6) 안전한 양중작업을 위한 계획을 미리 세운다.

(7) 강재가 부착될 콘크리트면은 구체표면이 나타날 때까지 표면마감재(미장, 도장, 기타마감재) 및 레이탄스, 거푸집박리제, 기타 오염물질 등을 그라인더로 완벽하게 제거하여 신규접착제 도포에 지장이 없도록 한다.

(8) 콘크리트면과 부착될 보강재 면은 녹 및 기타 이물질을 샌드 브라스팅, HAND GRINDER 나 동등 이상의 방법에 의해 완벽하게 제거한다.

#### 1.5.2.3 철근(케미컬)앵커 삽입 설치

설치 전 철근, 배근탐사를 통해 앵커 설치위치에 대한 철근의 간섭 유무를 확인 후 앵커 설치 위치도를 감독관에게 제출 승인 후 시공한다. 이때 앵커 설치의 위치가 변경될 때에는 앵커설치 변경 위치도를 철근, 배근 탐사자가 작성 후 구조검토를 통해 구조안전 확인 후 시공하도록 한다.

(1) 설계도에 의한 앵커 설치 간격을 엄수하여 철근(케미컬)앵커 설치 예정 위치를 표시한다.

(2) 표시된 설치 위치에 전동드릴을 사용 앵커 홀을 천공한다. 앵커 홀의 천공 깊이 및 철근앵커의 길이 등은 설계도에 준하여 천공한다.

- (3) 앵커 홀 내부의 먼지 등을 에어리스 또는 에어펌프를 사용 깨끗이 제거한다.
- (4) 앵커 고정용 수지를 앵커 홀 내부에 주입한 후 철근(케미컬)앵커를 서서히 회전하면서 밀어 넣어 고정한다.
- (5) 기둥 및 보를 따라 사각 형태로 설치된 철근 앵커는 일정한 앵커 간격 및 설치된 전체 앵커가 사각형태의 일정한 직선 형상을 유지하여야 한다.

#### 1.5.2.4 T/L형강 내진 프레임 절단 및 가공

##### (1) 일반

별도의 특기시방에 정하는 바가 없는 일반사항은 국토교통부 제정 표준시방서에 준하며, 시공자는 시공에 임하기전 시공 상세도에 따라 현도를 작성한 후 가공에 들어간다.

##### (2) 절단

- ① T형강의 절단은 T형강의 형상, 치수를 고려하여 최적의 방법으로 한다.
- ② T형강의 절단은 절단면이 정확 평활하고 뒤틀림, 거칠지 않도록 유의하여야 하며, 정밀도가 확보될 수 없는 것에 대해서는 그라인더 등으로 수정한다.
- ③ 전단절단을 하는 경우 강판 두께는 13mm이하로 한다.

##### (3) 구멍 뚫기

- ① 구멍 뚫기를 해야 하는 부재표면에 직각도를 유지하고 정규 위치에 작업해야 한다.
- ② 판 두께가 13mm이하일 경우는 전단 구멍 뚫기가 가능하다.

##### (4) 용접

- ① 모든 부재의 용접은 가용접과 가조임으로 치수, 모양의 정확을 기하고 과도한 구속이 생기지 않도록 한다.
- ② 가용접은 최소 한도로 하며, 용접에 앞서 모재의 용접면과 그 주변은 들뜬 스케일, 슬래그, 녹, 기름, 수분 그 외 용접에 지장을 초래하는 것은 제거한다.
- ③ 기온이 0℃이하의 경우는 용접을 해서는 안 되며, 바람이 강한 날은 바람막이를 해야 한다.
- ④ 특기시방서상 별도의 명기가 없는 용접에 대한 일반사항은 국토교통부 제정 표준시방서에 따른다.

#### 1.5.2.5 앵커볼트 설치

- (1) 앵커볼트 설치는 도면상 명기된 위치에 실시하되 만일 철근이 걸리는 부분은 미리 RE-BAR LOCATOR로 위치를 확인한 후 내력에 지장을 주지 않는 가장 접한 부위에 설치한다.
- (2) 앵커볼트를 매립하기 위한 천공의 길이나 직경은 사용될 앵커시스템의 매뉴얼을 참조하여 실시한다.

## 1.5.2.6 고장력볼트의 시공

### (1) 마찰접합

- ① 마찰접합은 고장력 볼트세트를 사용한다.
- ② 고장력볼트 마찰접합부의 마찰면은 규정된 미끄럼계수가 반드시 확보되어야 한다.
- ③ 마찰접합의 고장력볼트는 규정된 볼트축력이 도입되도록 적절한 방법으로 조임한다.

### (2) 마찰면의 준비

- ① 접합부 마찰면의 밀착성 유지에 주의하고, 모재접합 부분의 변형, 뒤틀림, 구부러짐, 이음 판의 구부러짐 등이 있는 경우에는 마찰면이 손상되지 않도록 교정한다. 볼트구멍 주변은 절삭 남김, 전단 남김 등을 제거한다. 마찰면에는 도료, 기름, 오물 등이 없도록 충분히 청소하여 제거하며, 들뜬 녹은 와이어브러시 등으로 제거한다.
- ② 마찰면인 강재의 표면과 고장력볼트 구멍 주변을 정리하고, 구멍을 중심으로 지름의 2배 이상 범위의 녹, 흑피 등을 슛 블라스트 또는 샌드 블라스트로 제거한다.

### (3) 볼트구멍의 어긋남 수정

- ① 접합부 조립 시에는 겹쳐진 판 사이에 생긴 2mm 이하의 볼트구멍의 어긋남은 리머로서 수정하여도 된다.
- ② 구멍의 어긋남이 2mm를 초과하는 때의 처리는 접합부의 안전성 검토를 포함하여 담당원과 협의하여 정한다.

### (4) 볼트조임

#### ① 일반조건

고장력볼트의 조임은 표 1.5 에 명시한 표준볼트 장력을 얻을 수 있도록 이음부의 군(群)마다 1차 조임, 금매김, 본조임의 순으로 한다. 조임은 토크관리법 또는 너트회전법에 따른다.

표 1.5 고장력볼트의 설계볼트장력 및 표준볼트장력

| 볼트의 등급     | F10T |     |     |     |     |     |
|------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 고장력볼트의 호칭  | M16  | M20 | M22 | M24 | M27 | M30 |
| 설계볼트장력(kN) | 106  | 165 | 200 | 237 | 310 | 375 |
| 표준볼트장력(kN) | 117  | 182 | 220 | 261 | 330 | 408 |

- ② 고장력볼트의 조임은 고장력볼트에 이상이 없는 것을 확인한 후 볼트의 머리밑과 너트 밑에 와셔를 끼우고 너트를 회전시켜서 조인다.
- ③ 세트를 구성하는 와셔 및 너트에는 바깥쪽과 안쪽이 있으므로 볼트 접합부에 사용할 때에는 반대로 사용하지 않도록 한다.
- ④ 고장력볼트의 조임작업은 부재의 밀착에 주의하여 중앙에서 단부의 순서로 조임을 하고 1차 조임, 금매김 및 본조임의 3단계로 작업한다.
- ⑤ 고장력볼트의 조임 및 검사에 사용되는 기기 중에서 토크렌치와 축력계의 정밀도는 3% 오차범위가 되도록 충분히 정비된 것을 이용한다.

(5) 1차 조임

조임은 프리세트형 토크렌치, 전동 임팩트렌치 등을 사용하여 표 1.6에 명시한 토크 값으로 너트를 회전시켜 조인다.

표 1.6 1차 조임토크

| 고장력볼트의 호칭      | M16 | M20, M22 | M24 | M27 | M30 |
|----------------|-----|----------|-----|-----|-----|
| 1차 조임토크 값(N.m) | 100 | 150      | 200 | 300 | 400 |

(6) 금매김

1차 조임 후에 볼트, 너트, 와셔 및 부재에 금매김을 한다.

(7) 본조임

토크관리법에 의한 본조임은 표준볼트장력을 얻을 수 있도록 조정된 조임기기를 이용하여야 한다. 조임기기의 조정은 매일 조임작업 전에 하는 것을 원칙으로 한다.

너트 회전법에 의한 본조임은 1차 조임 완료 후를 기점으로 해서 너트를 120°(M12 는 60°) 회전시킨다. 다만 볼트의 길이가 볼트호칭의 5배를 넘는 경우의 너트 회전량은 공사시방서에 따른다.

(8) 볼트조임 후 검사

① 일반사항

볼트조임 후 검사는 연결면의 처리, 연결이음부의 두께 차이, 볼트구멍의 엇갈림, 볼트 조임 상태 등을 제 규정에 맞추어 시공했는지 확인해야 한다.

### 1.5.2.6 녹막이칠 및 마감

- (1) 녹막이칠은 KS M 6030 2종(광명단 조합페인트)품질규격에 맞는 제품으로 사용한다.
- (2) 보강재의 노출부위는 산화방지를 위하여 녹막이칠을 시행한다.
- (3) 앵커볼트설치 부위 등 설치부위가 노출되어 미관을 해치는 경우 PLASTIC CAP으로 마감한다.

### 1.5.2.7 신구접착제 도포

- (1) 콘크리트 모체는 깨끗하고 물기가 고여 있지 않는 건조한 상태에서 도포하도록 한다.
- (2) 저속의(400~600RPM)속도로 3분 정도 규정된 혼합비에 맞추어 균일한 혼합물이 되도록 충분히 혼합한다. 혼합 시에는 가사 시간을 고려하여 작업할 수 있는 양만 혼합한다.
- (3) 브러쉬, 롤러, 스프레이 등을 이용하여 모체가 충분히 적셔줄 수 있도록 도포한다.
- (4) 신구접착제가 제품 사양에 표기된 건조시간을 참조하여 완전 건조하기 전에 모르타르를 그라우팅 하도록 한다.

### 1.5.2.8 시공 완료

- (1) 현장 정리, 검수 후 시공 완료한다.

### 1.5.2.9 보양 및 청소

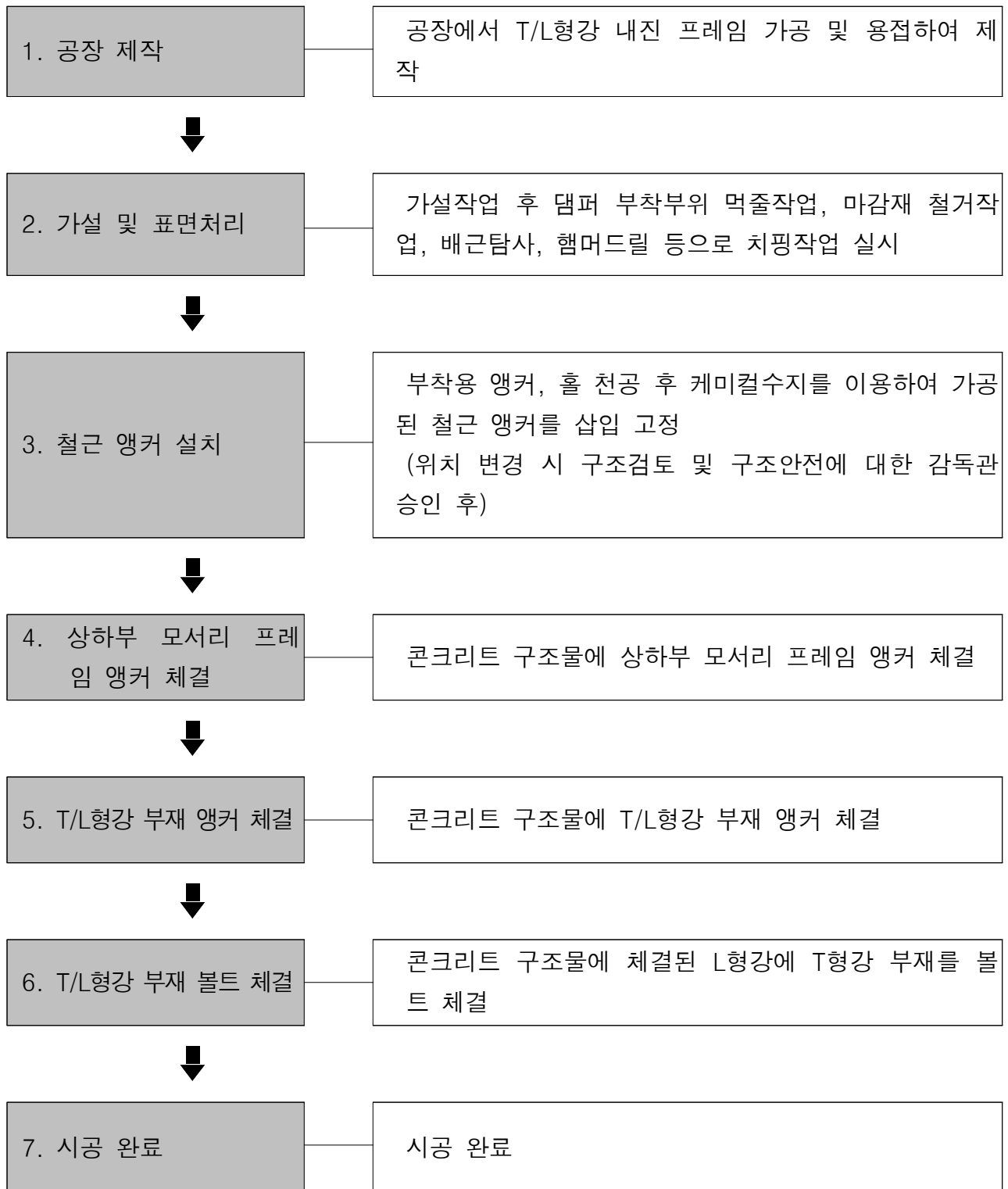
#### (1) 보양

- ① 동절기 공사에 있어서 예기치 못한 기후 변화로 인한 급격한 온도 저하 현상이 있을 경우 에폭시 접착제의 급격한 점도 상승으로 인한 접착력 저하 현상 및 경화 정지 현상이 일어날 수 있으므로 기온이 영하로 떨어질 경우 가설 난방 등을 이용하여 양생에 문제가 없도록 조치하여야 한다.

#### (2) 청소

- ① 시공 부위 주변의 오염된 부분 등을 깨끗이 제거한다.
- ② 시공 중 발생된 일반폐기물 및 산업폐기물 등은 산업폐기물 전문 처리업체에 위탁하여 적법 절차에 의하여 처리한다.

### 1.5.3 시공공정도



### 1.5.4 보수 및 재시공

- (1) 시공 중에 과실로 인한 손상이 발생 시에는 신품과 동등이상의 제품으로 교체 및 보수하여 처리한다.
- (2) 설계도서 및 시공계획서에서 규정한 시공 품질이 현저히 확보되지 못하여 감독관으로부터 재시공 요구가 있을 때에는 품질규정에서 제시한 동등이상의 품질로 재시공을 한다.

### 1.5.5 검수

제품에 대한 검수는 육안 및 치수검사, 용접검사, 가조립검사, 도장검사를 수행해야 한다.

#### (1) 육안 및 치수 검사

- 제품의 치수와 외관을 검사한다.
- 언급되지 않은 치수공차는 일반공차를 적용한다.
- 제품의 수량을 검사한다.

#### (2) 용접검사

- 용접부의 크랙, 용접 불량, 용접 덧살의 과잉이나 부족, 언더 컷, 오버 랩, 스파터 및 다른 결함이 있는지 검사한다.

#### (3) 가조립검사

- 가조립 후, 제품의 치수를 검사한다.
- 언급되지 않은 치수공차는 일반공차를 적용한다.

#### (4) 도장검사

- 도료, 도장 방법 그리고 관련 조건은 지정한 도장 사양을 따른다.

### 1.5.6 현장품질관리

제품의 상태, 현장 환경조건, 표준시방서에 의한 시공 상태를 확인하고 문제점을 CHECK 한다.

### 1.5.7 현장 뒷정리

설치 후 현장에서 발생한 잔재 및 쓰레기는 담당자와 협의하여 현장 내 지정된 장소로 운반하며 장비 및 잉여 자재의 보관, 관리를 철저히 하여 후속작업에 지장이 없도록 한다.

### 1.5.8 완성품 관리

공사를 완료하면 당해 시공자는 감독관의 입회 하에 감독관의 지시에 따라 최종 정리하여 보강구조물을 발주자 또는 감독관(대리인)에게 인도하여 관리하도록 한다.

## 10) 사업성 검토

### (1) 생산 계획

| 구분         |             | ( 2025 년)<br>개발 종료 후 3년 | ( 2028 년)<br>개발 종료 후 5년 | ( 2031 년)<br>개발 종료 후 7년 |
|------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 국<br>내     | 시장점유율(%)    | 24                      | 38                      | 45                      |
|            | 판매량(단위: 동)  | 78                      | 136                     | 176                     |
|            | 판매단가(원)     | 33,000,000              | 33,000,000              | 33,000,000              |
|            | 국내매출액(백만원)  | 2,600                   | 4,500                   | 5,813                   |
| 해<br>외     | 시장점유율(%)    | 2.4                     | 7.6                     | 11.25                   |
|            | 판매량(단위: 동)  | 8                       | 28                      | 44                      |
|            | 판매단가(\$)    | 39,600                  | 39,600                  | 39,600                  |
|            | 해외매출액(백만\$) | 0.3168                  | 1.1088                  | 1.7424                  |
| 당사 생산능력(동) |             | 100                     | 200                     | 400                     |

### (2) 사업화를 위한 비즈니스 모델

#### 가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

##### - 일반 현황

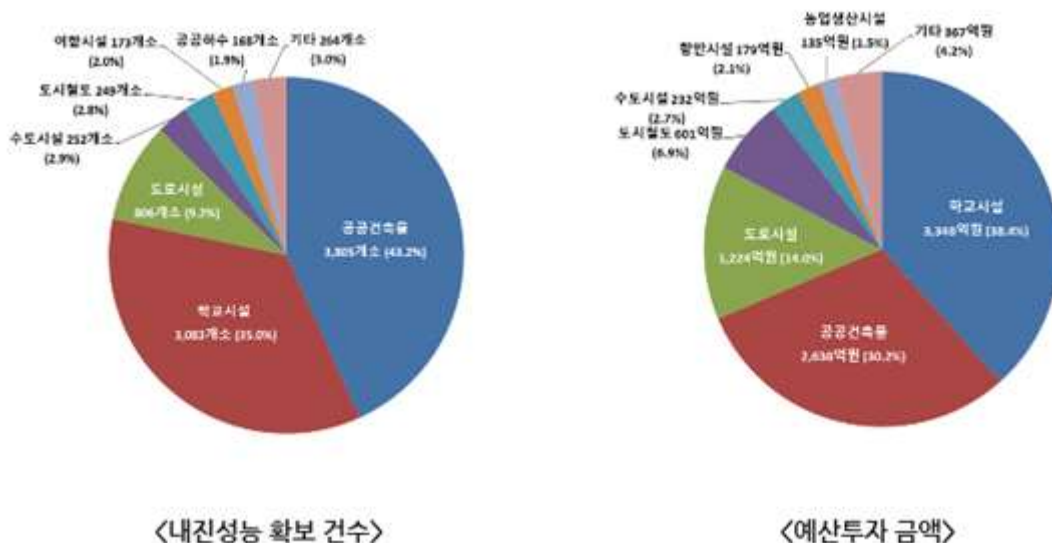
- 2016년 9월 12일 국내 지진계측이래 가장 강한 규모 5.8의 경주 지진은 지속시간이 10초 이내로 짧은 편이었지만 640여 차례의 크고 작은 여진들로 경주, 울산, 대구 및 부산지역뿐만 아니라, 서울 일부지역까지도 상당한 진동이 전파되어 국민들의 불안감이 고조되었다.
- 2017년 11월 15일 경북 포항시에서 규모 5.4의 국내에서 두 번째로 강한 지진이 발생하였으며 강진 지속시간은 약 4초~6초로 짧았으나 그 피해의 규모는 9.12 경주지진과는 비교할 수 없을 만큼 심각하였음. 최대지반가속도가 0.26g로 경주지진에 비해 훨씬 작은 규모지만 진원의 깊이가 9km로 얕고 인구밀집도가 높은 지역에서 발생하여 실제 시민들이 느끼는 진동과 피해는 더 컸으며, 지금까지 국내에서 발생한 지진 중 최대의 피해를 유발하였다.
- 지진 피해의 확산은 국내 전체 건축물 700만동 중 내진이 확보된 건축물 47만동과 같은 낮은 내진율(6.8%)과 지진에 취약한 필로티 원룸 건축물의 밀집지역에 진원이 위치하였기 때문이다.

– 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 본 연구에서는 연약지반 특성을 고려하여 주거용 필로티 건축물을 대상으로 국내외 지진에 대한 비선형 해석을 통해 내진성능평가를 수행하였다. 해석 결과를 바탕으로 취약부위를 파악하고 슬릿 강판, 강재/PC 프레임을 이용하여 대상건물의 내진성능을 확보하고자 한다.
- 추정되는 내진시장규모 국내 3,330억, 해외 6,705억 중 필로티형 공동주택의 시장규모로 환산하였을 경우 연간 국내 300억원, 해외 670억 수준임. 그동안 학교나 관공서의 내진보강을 위하여 다양한 에너지소산장치들이 적용되어왔으나, 아파트 인방보형 댐퍼 등 내진보강 효과가 불분명하거나, 점탄성/점성댐퍼 등 전량 수입에 의존하여 가격이 비싸고 국내 기술발전에 도움이 되지 못하는 경우 등을 고려할 경우 초기 진입 시 2~10%의 시장 점유가 가능할 것으로 예상된다.
- 2015년 법개정을 통해 3층 이상 또는 500m<sup>2</sup> 이상인 모든 건물에 대해 내진설계를 의무화했지만 내진설계가 적용된 건물은 전체 6.8%에 불과했고 공공시설물의 내진율은 40.9%, 민간 건축물의 내진율은 30.3%로 나타났다. 따라서 2017년 내진서계 적용 대상은 2층 또는 200m<sup>2</sup> 이상 건물로 확대하는 건축법이 시행되었으며, 내진보강대책은 기존 공공시설물 내진보강 기본계획(2단계 2016-2020년)에 따라 수행되었다. 1단계 내진보강 기본계획 수립 이후 기존 공공시설물 내진율은 지속적으로 증가하는 추세이다.



<그림 9.1> 연도별 내진율 및 내진보강대책 추진 현황



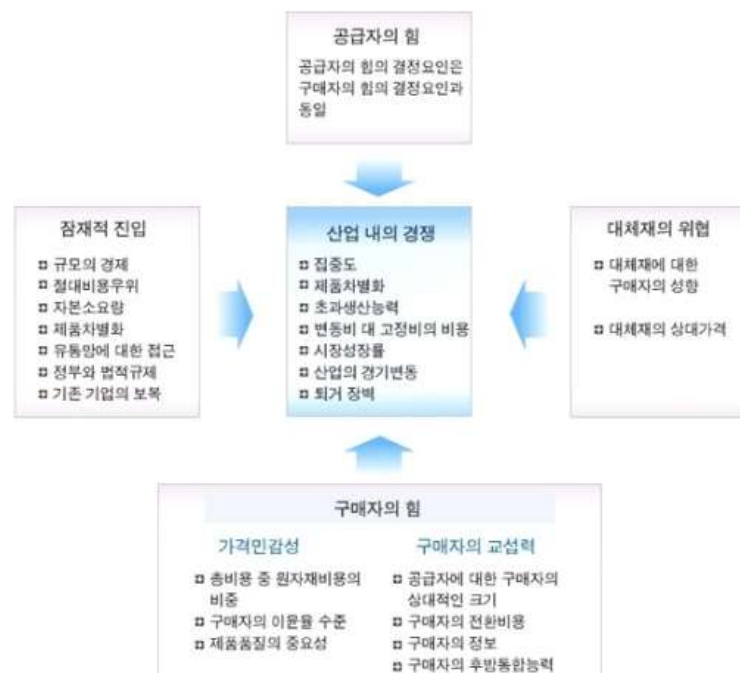
## 나. 사업화 모형의 목표 및 핵심경쟁 요인

### – 사업화 모형의 목표

- 국내 법령의 강화를 통한 내진시장의 확대 가능성과 경쟁제품의 신뢰성 하락 및 기존 제품대비 낮은 자재비, 시공성 등으로 필로티형 공동주택 내진보강 시장을 장악하고자 한다.
- 다양한 형태의 최적화된 내진보강 시스템을 개발하여 적용대상 특성에 맞도록 설계하였다.

### – 핵심경쟁 요인

- 현재 산업동향과 산업의 역동성, Life Cycle 분석 및 경쟁사 분석 등을 통하여 산업의 핵심성 공요인을 파악하고 경쟁우위 확보를 위한 핵심역량 강화 및 사업방향 등의 전략대안을 도출이 필요하다.
- 필로티형 공동주택 지반영향이 고려된 내진해석기법, 내진보강시스템 최적화, 원가 절감에 따른 가격 경쟁력 강화 등을 통해 기존 시장에서 경쟁우위 창출이 필요하다.



다. 목표 시장 구조

- 경쟁 기업 현황 및 당사 전략

< 국내·외 주요시장 경쟁사 >

| 구 분      |          | 제품명                                                                                             | 판매가격(천원) |
|----------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 기존<br>제품 | Damptech | V-BRACING     | 40,000   |
|          | 브리텍      | 오일 댐퍼 토글 시스템  | 40,000   |
| 개발<br>제품 | (주)유경시스템 | T/L형 내진보강시스템                                                                                    | 33,000   |

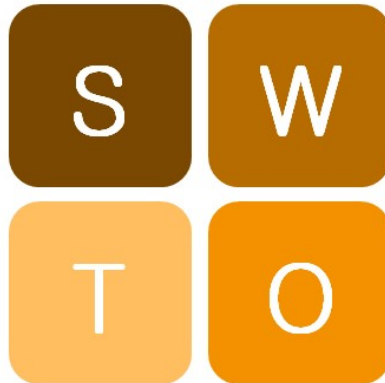
| 구분       | 업체별 전략                                                                                                             | 강점                                                                   | 약점                                                                                                                                     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Damptech | <ul style="list-style-type: none"> <li>90년대부터 축적된 기술과 Know-how를 기반으로 대규모 생산체계를 구축, 안정된 품질로 생산</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>제품개발 선진기업</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>해외기업이므로 제품에 문제 발생이 즉각적인 조치가 어려움</li> <li>성능 대비 고가임</li> </ul>                                   |
| 브리텍      | <ul style="list-style-type: none"> <li>꾸준한 기술개발을 통한 고효율의 점성댐퍼 생산</li> <li>토글형 시스템을 적용하여 기존 제품들과의 차별성 강조</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>관련 시장에 선진입</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>필로티형 공동주택건물에 적용이 어려움(주차공간 확보 등)</li> <li>적용된 damping material의 내구성 문제 시 유지관리의 어려움 발생</li> </ul> |
| (주)유경시스템 | <ul style="list-style-type: none"> <li>현장시공성의 용이</li> <li>타사와 비교하여 낮은 공사비</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>최적설계기법으로 공사비 절감 가능</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>낮은 초기 브랜드 인지도</li> <li>초기 미약한 유통조직과 판매망</li> </ul>                                              |

One Strength

- ✓ 연약지반 특성이 고려된 해석기법
- ✓ 필로티 구조를 대상으로 내진보강시스템 최적화 설계가 가능함.
- ✓ 동일한 환경위 지진 발생 시 마찰댐퍼의 회전량을 증폭시켜 감쇠 능력을 극대화 할 수 있는 댐퍼 개발이 가능함.

Four Threats

- ✓ 기존 면진 시스템 판매 업체들과의 경쟁
- ✓ 초기 시장진입 장벽



Two Weaknesses

- ✓ 낮은 초기 브랜드 인지도
- ✓ 초기 미약한 유통조직과 판매망

Three Opportunities

- ✓ 내진 시장의 지속적인 확대 가능성
- ✓ 기술관련 지식재산권 확보
- ✓ 포항지진 이후 필로티 구조물 내진보강 필요성 확대

< 주요 경쟁사 분석 >

## 라. 수익 확보 전략

- 그린 스마트 미래학교 사업은 한국판 뉴딜 대표 과제로서 2021년부터 5년간 총 18.5조원의 사업비를 투입하여 '40년 이상 경과된 노후건물' 중 2,835동을 미래학교로 조성 예정이다.

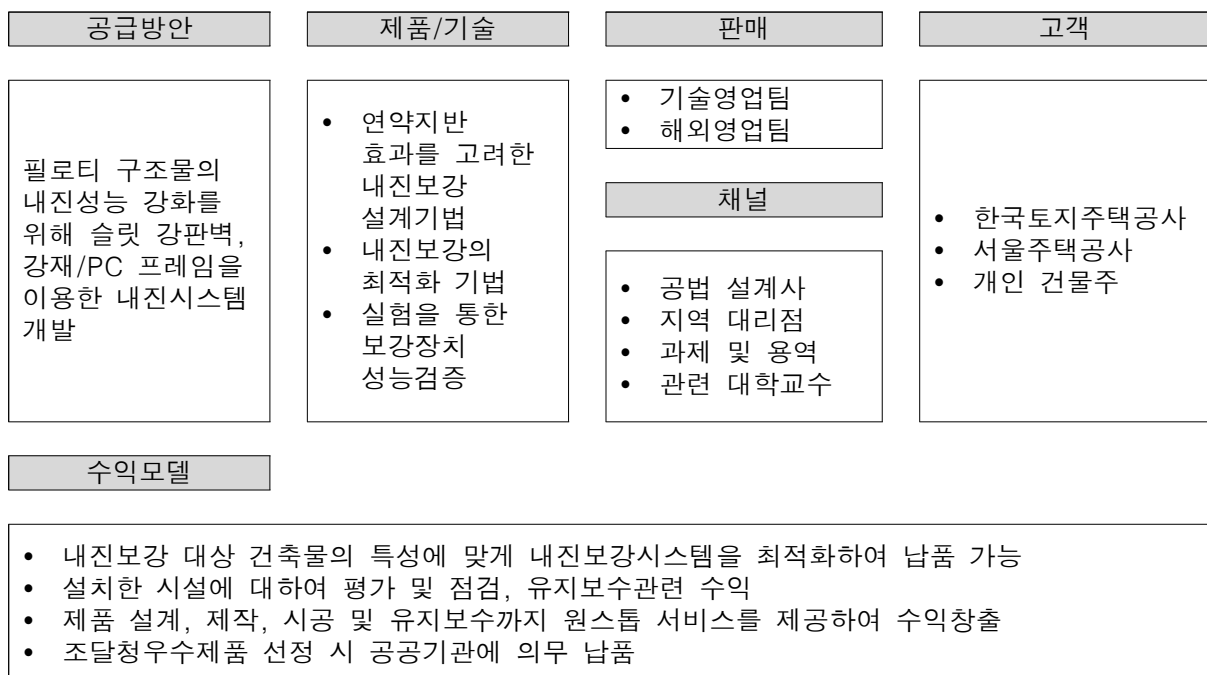


| 연도    | 40년 이상 경과 |        |
|-------|-----------|--------|
|       | 건물 수(동)   | 면적(m²) |
| 2020년 | 7,980     | 1,633  |
| 2025년 | 11,294    | 2,430  |
| 2030년 | 14,286    | 3,021  |
| 2040년 | 18,608    | 3,907  |
| 2045년 | 23,582    | 4,962  |
| 2050년 | 29,707    | 6,658  |

<그림 9.2> 40년 이상 경과 학교시설 현황 추계

- 2011년 37.3%에 불과했던 공공시설 내진율은 2018년부터 50% 이상 증가하였다. 2017년 4.02배, 2018년 5.49배, 2019년 6.02배로 포항 지진 이후 예산이 크게 증가되었다. 행정안전부는 2016년부터 진행한 2단계 기존 공공시설물 내진보강 기본계획 추진 기간이 올해로 종료됨에 따라 현재까지 진행된 내진보강 사업 결과를 토대로 2021년부터 2015년까지 진행되는 '3단계 기본계획'을 수립할 예정이다.
- 내진보강 예산을 2025년까지 연평균 10%씩 증가한다고 가정하였을 때 내진보강시스템 적용 또한 증가할 것으로 예상된다.
- 주요 고객군: 아래 목표 비즈니스 모델 참조
- 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안 : 아래 목표 비즈니스 모델 참조

### [목표 비즈니스 모델]



### (3) 사업화 방안

#### – 사업화 일정

- 제품개발  
: 필로티형 내진보강시스템 개발(2019~2021년)
- 양산제작  
: 당사 공장에서 내진보강시스템 제작(2022년~)
- 국내외 판로 계획  
: 국내-우수연구개발 혁신제품 신청/등록을 통한 공공기관 납품  
-공법 설계사와 영업을 통해 설계 반영  
: 해외-해외 안전, IoT 및 건축 박람회 참여를 통한 홍보

#### – 인력 계획



## 10) 결론

- 본 연구에서는 강재 기동형 댐퍼, 강판형 댐퍼, 조립식 강재 모멘트골조 등 필로티구조에 적용 가능한 내진보강 장치의 형상을 개발하고, 개발된 보강장치를 기존 구조물의 보강 설계에 적용하기 위하여 비선형 해석모델을 개발하였다.
- 내진보강에 대한 연약지반의 효과를 유한요소해석 및 비선형 스프링 모델을 이용하여 규명하였으며, 지반-구조 상호작용을 고려하기 전후의 해석결과에 따르면, 연약 지반의 효과를 직접적으로 고려할 경우 층간변위가 증가하여 보다 많은 양의 보강이 필요한 것으로 나타났다.
- 평면 비대칭성을 가지는 필로티구조의 내진보강 최적 위치를 손쉽게 선정하기 위하여 질량 및 강성중심의 거리를 최소화하는 보강 위치를 바탕으로 최적 설계기법을 개발하였으며, 평면 비대칭 필로티 건물 해석결과에 따르면 비선형 동적해석을 통하여 최적 위치 및 보강량을 산정하는 일반적인 최적설계 기법에 비하여 해석 시간을 대폭 단축하면서 최적 설계의 정확성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.
- 본 연구를 통하여 개발된 세가지 보강 장치의 내진보강 성능을 검증하기 위하여 필로티구조 특성을 형상화한 1층 RC 실험체에 설치하고 반복가력실험을 수행하였으며, 실험결과에 따르면 보강장치가 설치 되지 않은 실험체에 비하여 보강된 실험체의 강성, 강도, 연성도, 에너지소산량이 증가된 것으로 나타났다.
- 현재 연구과제에서는 필로티형 공동주택에 적용 가능한 내진보강기법에 국한되었으나, 다양한 건축구조물에 적용 가능하도록 지속적인 연구를 도모할 예정이다.

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

---

- 필로티구조 내진보강기법 개발
    - 기둥형 강재이력댐퍼
    - 강판형 슬릿댐퍼
    - 조립식 강재프레임 보강장치
    - 개발된 보강장치의 설치 상세 및 시공 기법 개발
  - 지반효과를 고려한 내진보강 설계기법
    - 연약지반의 효과 정량화
    - 필로티건물 내진보강에 미치는 지반-구조 상호작용 평가
  - 필로티건물 내진보강설계 최적화기법 개발
    - 보강장치의 최적위치 선정
    - 보강장치의 최적 물량 산정
- 

##### (2) 정량적 연구개발성과

---

- 특허등록
    - 2건 (계획 1건)
  - 특허출원
    - 3건 (계획 3건)
  - SCI 논문게재
    - 9건 (계획 6건)
  - 학술발표
    - 5건 (계획 -건)
  - 시제품 제작
    - 3건 (계획 3건)
  - 현장검증
    - 3건 (계획 -건)
  - 소프트웨어
    - 3건 (계획 2건)
-

### (3) 세부 정량적 연구개발성과

#### [과학적 성과]

#### □ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명                                                                                                 | 학술지명                                         | 주저자명         | 호       | 국명 | 발행기관             | SCIE 여부<br>(SCIE/비SCIE) | 게재일     | 등록번호<br>(ISSN) | 기여율 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|---------|----|------------------|-------------------------|---------|----------------|-----|
| 1  | Soil-structure interaction effect on seismic retrofit of a soft first-story structure               | Structures                                   | Nasab<br>김진구 | 32      | 미국 | Elsevier         | SCIE                    | 2021.06 | 2352-0124      | 100 |
| 2  | Full-scale tests of two-story RC frames retrofitted with steel plate multi-slit dampers             | Steel and Composite Structures               | 자비단<br>김진구   | 39(5)   | 한국 | Techno Press     | SCIE                    | 2021.04 | 1229-9367      | 100 |
| 3  | Steel hysteretic column dampers for seismic retrofit of soft-first-story structures                 | Steel and Composite Structures               | 자비단<br>김진구   | 37(3)   | 한국 | Techno Press     | SCIE                    | 2021.02 | 1229-9367      | 100 |
| 4  | Seismic Retrofit of RC buildings using self-centering PC Frames with friction dampers               | Engineering Structures                       | Eldin<br>김진구 | 208     | 미국 | Elsevier         | SCI                     | 2020.09 | 0141-0296      | 100 |
| 5  | Seismic retrofit of framed buildings using self-centering PC frames                                 | Journal of Structural Engineering            | Eldin<br>김진구 | 146(10) | 미국 | ASCE             | SCI                     | 2020.02 | 0733-9445      | 100 |
| 6  | Experimental and numerical sensitivity assessment of viscoelasticity for polymer composite material | Scientific Reports                           | 자비단<br>김진구   | 10(1)   | 미국 | Nature           | SCIE                    | 2020.01 | 2045-2322      | 100 |
| 7  | Seismic retrofit of structures using rotational friction dampers with restoring force               | Advances in Structural Engineering           | Naeem<br>김진구 | 23(16)  | 홍콩 | SAGE             | SCIE                    | 2020.03 | 1369-4332      | 100 |
| 8  | Parameterized seismic life-cycle cost evaluation method for building structures                     | Structure and Infrastructure Engineering     | Eldin<br>김진구 | 17(3)   | 미국 | Taylor & Francis | SCIE                    | 2021.01 | 1573-2479      | 100 |
| 9  | Development of seismic retrofit devices for building structures                                     | International Journal of High-Rise Buildings | 김진구          | 8(3)    | 한국 | CTBUH Korea      | 비SCI                    | 2019.09 | 2234-7224      | 100 |

## □ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭           | 발표 내용                                                                 | 발표자 | 발표 일시      | 장소     | 국명 |
|----|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|------------|--------|----|
| 1  | 17WCEE          | Development of double slit dampers for seismic retrofit of structures | 김진구 | 2020.09.15 | online | 일본 |
| 2  | 한국지진공학회 봄 학술포럼  | 내진보강용 강재프레임 성능실험                                                      | 김진구 | 2021.03.19 | online | 한국 |
| 3  | 한국지진공학회 봄 학술포럼  | 다목적 최적설계를 이용한 내진보강장치의 최적 물량 및 최적 설치위치 결정                              | 김진구 | 2021.03.19 | online | 한국 |
| 4  | 한국지진공학회 가을 학술포럼 | PC골조를 이용한 필로티형 구조물의 내진보강                                              | 김진구 | 2020.09.25 | online | 한국 |
| 5  | 한국지진공학회 가을 학술포럼 | 지반을 고려한 필로티 구조물의 내진성능평가                                               | 김진구 | 2020.09.25 | online | 한국 |

## □ 기술 요약 정보

| 번호 | 연도 | 기술명 | 요약 내용 | 기술 완성도 | 등록 번호 | 활용 여부 | 미활용사유 | 연구개발기관 외 활용 여부 | 허용방식 |
|----|----|-----|-------|--------|-------|-------|-------|----------------|------|
|    |    |     |       |        |       |       |       |                |      |

## □ 보고서 원문

| 번호 | 연도 | 보고서 명 | 발간일 | 등록 번호 |
|----|----|-------|-----|-------|
|    |    |       |     |       |

## □ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

| 번호 | 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명 | 등록/기탁 번호 | 등록/기탁 기관 | 발생 연도 |
|----|------------------------|----------|----------|-------|
|    |                        |          |          |       |

## [기술적 성과]

## □ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

| 번호 | 구분 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재) | 국명 | 출원           |            |                 | 등록           |            |            | 기여율 | 활용 여부 |
|----|----|--------------------------|----|--------------|------------|-----------------|--------------|------------|------------|-----|-------|
|    |    |                          |    | 출원인          | 출원일        | 출원번호            | 등록인          | 등록일        | 등록번호       |     |       |
| 1  | 특허 | 기동형이력댐퍼                  |    | (주)유경시<br>스템 | 2019.10.04 | 10-2019-0122758 | (주)유경시<br>스템 | 2020-10-05 | 10-2164646 |     |       |
| 2  | 특허 | T형강 내진 프레임 구조물           |    | (주)유경시<br>스템 | 2020.07.28 | 10-2020-0093664 | (주)유경시<br>스템 | 2021.06.10 | 10-2265916 |     |       |
| 3  | 특허 | T형강과 L형강을 이용한 내진 프레임 구조물 |    | (주)유경시<br>스템 | 2021.11.23 | 10-2021-0162001 |              |            |            |     |       |

## ○ 지식재산권 활용 유형

| 번호 | 제품화 | 방어 | 전용실시 | 통상실시 | 무상실시 | 매매/양도 | 상호실시 | 담보대출 | 투자 | 활용 예정 | 기타 |
|----|-----|----|------|------|------|-------|------|------|----|-------|----|
|    |     |    |      |      |      |       |      |      |    |       |    |

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명                                                                                                    | 창작일        | 저작자명         | 등록일        | 등록번호              | 저작권자명        | 기여율 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|------------|-------------------|--------------|-----|
| 1  | 최적화기법을 이용한 필로티 구조물 내진보강 해석 툴(PSROT)<br>PSROT: Piloti Structure Retrofit Optimization Tool               | 2020.10.14 | 성균관대학교 산학협력단 | 2020.10.16 | C-2020-03579<br>2 | 성균관대학교 산학협력단 | 100 |
| 2  | 지반을 고려한 퍼지 이론 기반의 구조물 내진성능평가 시스템<br>Seismic fuzzy performance evaluation tool of soil-structure systems | 2020.09.04 | 성균관대학교 산학협력단 | 2020.10.21 | C-2020-03679<br>3 | 성균관대학교 산학협력단 | 100 |
| 3  | 비정형 구조물 내진보강 최적설계 툴                                                                                     | 2021.12.01 | 성균관대학교 산학협력단 | 2021.01.11 | C-2022C00449<br>1 | 성균관대학교 산학협력단 | 100 |

□ 신기술 지정

| 번호 | 명칭 | 고시일 | 보호기간 | 지정번호 |
|----|----|-----|------|------|
|    |    |     |      |      |

□ 기술 및 제품 인증

| 번호 | 인증 분야 | 인증기관 | 인증 내용 |      | 인증 획득일 | 국가명 |
|----|-------|------|-------|------|--------|-----|
|    |       |      | 인증명   | 인증번호 |        |     |
|    |       |      |       |      |        |     |

□ 표준화

○ 국내표준

| 번호 | 인증구분 | 인증여부 | 표준명 | 표준인증기구명 | 제안주체 | 표준종류 | 제안/인증일자 |
|----|------|------|-----|---------|------|------|---------|
|    |      |      |     |         |      |      |         |

○ 국제표준

| 번호 | 표준화단계 구분 | 표준명 | 표준기구명 | 표준분과명 | 의장단 활동여부 | 표준특허 추진여부 | 표준개발 방식 | 제안자 | 표준화 번호 | 제안일자 |
|----|----------|-----|-------|-------|----------|-----------|---------|-----|--------|------|
|    |          |     |       |       |          |           |         |     |        |      |

## [경제적 성과]

### □ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명                | 출시/제작일     | 제작업체명    | 설치장소     | 이용분야                                                                | 사업화<br>소요 기간 | 인증기관<br>(해당 시) | 인증일<br>(해당 시)                 |
|----|---------------------|------------|----------|----------|---------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|-------------------------------|
| 1  | 기동댐퍼/슬릿댐퍼           | 2019.09.09 | (주)유경시스템 | (주)토탈이앤씨 | 필로티<br>구조물의<br>기동에<br>설치되어<br>지진발생시<br>구조물이<br>받게되는<br>에너지를<br>소산시킴 |              | (주)토탈이앤씨       | 2019-09-09<br>~<br>2019-09-16 |
| 2  | T형강 내진 프레임<br>구조물   | 2020.08.13 | (주)유경시스템 | (주)토탈이앤씨 | 필로티형<br>내진보강                                                        |              | (주)토탈이앤씨       | 2020-08-13                    |
| 3  | T/L형강 내진 프레임<br>구조물 | 2021.06.01 | (주)유경시스템 | (주)토탈이앤씨 | 필로티형<br>내진보강                                                        |              | (주)토탈이앤씨       | 2021-07-13<br>~<br>2021-07-14 |

### □ 현장적용

| 번호 | 적용기술명 | 적용일 | 발주기관명 | 적용 연구개발기관명 | 적용현장명(장소) |
|----|-------|-----|-------|------------|-----------|
|    |       |     |       |            |           |

### □ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 이전 유형 | 기술 실시 계약명 | 기술 실시<br>대상 기관 | 기술 실시<br>발생일 | 기술료   |         |
|----|----------|-----------|----------------|--------------|-------|---------|
|    |          |           |                |              | 발생 연도 | 발생액(천원) |
|    |          |           |                |              |       |         |

### □ 사업화 투자실적

| 번호 | 연도 | 투자 자금 성격* | 추가 연구개발 투자(천원) | 설비 투자(천원) | 기타 투자(천원) | 합계(천원) |
|----|----|-----------|----------------|-----------|-----------|--------|
|    |    |           |                |           |           |        |

### □ 사업화 현황

| 번호 | 사업화 방식 | 사업화 형태 | 지역 | 사업화명 | 내용 | 업체명 | 매출액        |            | 매출<br>발생 연도 | 기술<br>수명 |
|----|--------|--------|----|------|----|-----|------------|------------|-------------|----------|
|    |        |        |    |      |    |     | 국내<br>(천원) | 국외<br>(달러) |             |          |
|    |        |        |    |      |    |     |            |            |             |          |

### □ 매출 실적(누적)

| 번호 | 사업화명 | 발생 연도 | 매출액    |        | 합계 | 산정 방법 |
|----|------|-------|--------|--------|----|-------|
|    |      |       | 국내(천원) | 국외(달러) |    |       |
|    |      |       |        |        |    |       |
| 합계 |      |       |        |        |    |       |

## □ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

| 성과                             |             |                                                                       | 필로티형 건물에 적용가능한 내진보강시스템 |           |           |
|--------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| 사업화 계획                         | 사업화 소요기간(년) |                                                                       | 1                      |           |           |
|                                | 소요예산(천원)    |                                                                       | 50,000                 |           |           |
|                                | 예상 매출규모(천원) |                                                                       | 현재까지                   | 3년 후      | 5년 후      |
|                                |             |                                                                       | -                      | 4,500,000 | 5,813,000 |
|                                | 시장 점유율      | 단위(%)                                                                 | 현재까지                   | 3년 후      | 5년 후      |
|                                |             | 국내                                                                    | -                      | 38.0      | 45.0      |
|                                |             | 국외                                                                    | -                      | 7.6       | 11.3      |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 |             | 필로티형 건물 및 학교, 공공건물에 적용할 내진보강시스템 개발<br>댐퍼개발 보다는 시공이 간편하고 고효율의 보강 개발 예정 |                        |           |           |
| 무역 수지 개선 효과(천원)                | 수입대체(내수)    |                                                                       | 현재                     | 3년 후      | 5년 후      |
|                                |             |                                                                       |                        | 2,250,000 | 2,906,500 |
|                                | 수 출         |                                                                       | -                      | 924,000   | 1,452,000 |

## □ 고용 창출

| 번호 | 사업화명                   | 사업화 업체명  | 고용창출 인원(명) | 합계(명) |
|----|------------------------|----------|------------|-------|
|    |                        |          | 2020년      |       |
| 1  | 필로티형 건물에 적용가능한 내진보강시스템 | (주)유경시스템 | 2          | 2     |
| 합계 |                        |          | 2          | 2     |

## □ 고용 효과

| 구분    |      |      | 고용 효과(명) |
|-------|------|------|----------|
| 고용 효과 | 개발 전 | 연구인력 | 4        |
|       |      | 생산인력 | 5        |
|       | 개발 후 | 연구인력 | 5        |
|       |      | 생산인력 | 10       |

## □ 비용 절감(누적)

| 번호 | 사업화명 | 발생 연도 | 산정방법 | 비용 절감액(천원) |
|----|------|-------|------|------------|
| 1  |      |       |      |            |
| 2  |      |       |      |            |
| 합계 |      |       |      |            |

## □ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

| 구분    | 사업화명                   | 수입 대체     | 수출 증대   | 매출 증대     | 생산성 향상              | 고용 창출<br>(인력 양성 수, 명) | 기타 |
|-------|------------------------|-----------|---------|-----------|---------------------|-----------------------|----|
| 해당 연도 | 필로티형 건물에 적용가능한 내진보강시스템 | -         | -       | -         | -                   | 2                     |    |
| 기대 목표 | 필로티형 건물에 적용가능한 내진보강시스템 | 2,250,000 | 924,000 | 4,500,000 | 제작공장 증축으로 인한 생산성 향상 | 5                     |    |

☐ 산업 지원(기술지도)

| 번호 | 내용 | 기간 | 참석 대상 | 장소 | 인원(명) |
|----|----|----|-------|----|-------|
|    |    |    |       |    |       |
|    |    |    |       |    |       |

☐ 기술 무역

(단위 : 천원)

| 번호 | 계약 연월 | 계약 기술명 | 계약 업체명 | 계약업체 국가 | 총 계약액 | 기 징수액 | 해당 연도 | 징수액 | 향후 예정액 | 수출/수입 |
|----|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|-----|--------|-------|
|    |       |        |        |         |       |       |       |     |        |       |

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

| 번호 | 구분<br>(법률/시행령) | 활용 구분<br>(제정/개정) | 명 칭 | 해당 조항 | 시행일 | 관리 부처 | 제정/개정 내용 |
|----|----------------|------------------|-----|-------|-----|-------|----------|
|    |                |                  |     |       |     |       |          |

☐ 정책활용 내용

| 번호 | 구분<br>(제안/채택) | 정책명 | 관련 기관<br>(담당 부서) | 활용 연도 | 채택 내용 |
|----|---------------|-----|------------------|-------|-------|
|    |               |     |                  |       |       |

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

| 번호 | 구 분<br>(설계 기준/설명서/지침/안내서) | 활용 구분<br>(신규/개선) | 설계 기준/설명서/<br>지침/안내서 명칭 | 반영일 | 반영 내용 |
|----|---------------------------|------------------|-------------------------|-----|-------|
|    |                           |                  |                         |     |       |

☐ 신진연구자 채용

| 번호 | 채용 연구개발기관명 | 채용일        | 근로기간 | 채용인원(명) | 채용인원 중 청년인력(명) |
|----|------------|------------|------|---------|----------------|
| 1  | (주)유경시스템   | 2021.06.14 | 6개월  | 1       |                |

☐ 전문 연구 인력 양성

| 번호 | 분류 | 연도 | 현황(명) |    |    |    |    |   |     |     |     |     |    |
|----|----|----|-------|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|
|    |    |    | 학위별   |    |    |    | 성별 |   | 지역별 |     |     |     |    |
|    |    |    | 박사    | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
|    |    |    |       |    |    |    |    |   |     |     |     |     |    |

☐ 산업 기술 인력 양성

| 번호 | 연도 | 프로그램명 | 프로그램 내용 | 교육 기관 | 교육 개최 횟수 | 총 교육 시간 | 총 교육 인원 |
|----|----|-------|---------|-------|----------|---------|---------|
|    |    |       |         |       |          |         |         |

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

| 번호 | 연도 | 중앙행정기관명 | 사업명 | 연구개발과제명 | 연구책임자 | 연구개발비(천원) |
|----|----|---------|-----|---------|-------|-----------|
|    |    |         |     |         |       |           |

☐ 국제화 협력성과

| 번호 | 구분<br>(유치/파견) | 기간 | 국가 | 학위 | 전공 | 내용 |
|----|---------------|----|----|----|----|----|
|    |               |    |    |    |    |    |

☐ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|----|-------|-----|----|-----|
|    |       |     |    |     |

☐ 포상 및 수상 실적

| 번호 | 종류 | 포상명 | 포상 내용           | 포상 대상    | 포상일        | 포상 기관         |
|----|----|-----|-----------------|----------|------------|---------------|
| 1  | 수상 | 기술상 | 소음진동 기술발전<br>기여 | (주)유경시스템 | 2021.11.25 | 한국소음진동<br>공학회 |

[인프라 성과]

☐ 연구시설·장비

| 번호 | 구축<br>기관 | 연구시설/<br>연구장비명 | 규격<br>(모델명) | 개발여부<br>(○/×) | 연구시설·장비<br>종합정보시스템*<br>등록여부 | 연구시설·장비<br>종합정보시스템*<br>등록번호 | 구축일자<br>(YY.MM.DD) | 구축비용<br>(천원) | 비고<br>(설치 장소) |
|----|----------|----------------|-------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|---------------|
|    |          |                |             |               |                             |                             |                    |              |               |

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

|   |  |
|---|--|
| ○ |  |
| - |  |
| ○ |  |
| - |  |

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

|   |  |
|---|--|
| ○ |  |
| - |  |
| ○ |  |
| - |  |

<참고 1> 연구개발성과 실적 증빙자료 예시

| 성과유형                | 첨부자료 예시                                               |
|---------------------|-------------------------------------------------------|
| 연구논문                | 논문 사본(저자, 초록, 사사표기를 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가) |
| 지식재산권               | 지식재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)       |
| 제품개발(시제품)           | 제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료                               |
| 기술이전                | 기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등                      |
| 사업화<br>(상품출시, 공정개발) | 사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등 |

<참고 2> 「국가연구개발혁신법」 시행령 제33조 제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

| 구분 | 대상             | 등록 및 기탁 범위                                                                                                            |
|----|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 등록 | 논문             | 국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자문 포함)                                                                            |
|    | 특허             | 국내외에 출원 또는 등록된 특허정보                                                                                                   |
|    | 보고서원문          | 연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문                                                                                         |
|    | 연구시설<br>· 장비   | 국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상(부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동 활용이 가능한 모든 연구시설·장비                                           |
|    | 기술요약정보         | 연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보                                                                             |
|    | 생명자원 중<br>생명정보 | 서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질체정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보                                             |
|    | 소프트웨어          | 창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보                                                                                             |
| 기탁 | 표준             | 「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보(소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함) |
|    | 생명자원 중<br>생물자원 | 세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원                   |
|    | 화합물            | 합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보                                                                                         |
|    | 신품종            | 생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보                                                                                 |

## 2) 목표 달성 수준

| 연구 개발 목표                      | 달 성 내 용                                                                | 달성도(%) |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------|
| ○ 보강 후 연성도 130% 이상으로<br>증가 목표 | ○ 기동형 강재댐퍼<br>- 충분한 강도를 보유한 상태에서 보강 후 최대변위가 약 55mm에서 188mm로 증가         | 100    |
|                               | ○ 강판 슬릿댐퍼<br>- 충분한 강도를 보유한 상태에서 보강 후 최대변위가 약 55mm에서 89mm로 증가           | 100    |
|                               | ○ 조립식 강재프레임 보강기법<br>- RC 골조의 최대 변위는 보강 전 92cm에서 보강 후 128cm으로 약 140% 증가 | 100    |
| ○ 보강 후 강도 50kN 이상 증가 목<br>표   | ○ 기동형 강재댐퍼<br>- 보강 후 최대강도가 395 kN에서 531 kN으로 증가                        | 100    |
|                               | ○ 강판 슬릿댐퍼<br>- 보강 후 최대강도가 395 kN에서 503 kN으로 증가                         | 100    |
|                               | ○ 조립식 강재프레임 보강기법<br>- 최대강도는 보강 전 약 430 kN에서 보강 후 550 kN으로 약 250 kN 증가  | 100    |

#### 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

##### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

---

○

-

○

-

---

##### 2) 자체 보완활동

---

○

-

○

-

---

##### 3) 연구개발 과정의 성실성

---

○

-

○

-

---

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

---

### ○ 노후구조물 저비용 내진을 향상

- 현재 국내 구조물의 내진설계 적용 비율은 구조물 종류에 따라 5 ~ 50 % 정도로 매우 미흡한 상태이며, 특히 주택을 포함한 건축물의 내진율이 매우 낮은 상태임. 하지만 현행 건축물 내진보강 관련 기술의 수준은 단기간에 내진율을 크게 높이기에는 기술적 비용적 측면에서 매우 부족한 상태임.
- 본 연구를 통하여 개발된 고효율 저비용 내진보강기법을 적용하여 노후 건물에 대한 내진보강을 수행함으로써 국내 구조물의 내진율을 획기적으로 개선.

### ○ 내진보강기법의 다변화

- 국내 내진보강기법은 건물의 기능이 우선적으로 중요시되는 공공건물이나 학교 위주로 개발되어 왔으며, 건물의 외관이나 사업성, 거주성 등이 주요한 요소인 민간건물의 내진보강에 적용하기에는 크기나 비용, 성능면에서 적절하지 않음.
- 본 연구를 통하여 소형으로 제작 가능하고 높은 에너지소산 효율을 가지는 새로운 형태의 감쇠장치를 개발함으로써, 국내 내진보강기술의 저변을 확대할 수 있음.

### ○ 수입 감쇠장치의 대체효과

- 최근 몇 년간 고속철도 교량의 내진보강을 위한 점성댐퍼의 수입액이 연간 2천억 이상 되는 것으로 알려져 있으며, 건물의 내진보강 분야에서도 점탄성댐퍼 등 보강 효과가 우수한 수입 제품들이 많이 적용되고 있음.
- 본 연구를 통하여 개발된 고성능 감쇠장치는 기존 수입 보강장치들에 비하여 동일한 성능에 저비용 생산이 가능하므로 수입 대체효과가 기대됨.

### ○ 자연재해에 대한 대비

- 우면산 산사태로 인근 주택 및 아파트가 손상된 사건과 잦은 대형 화재로 인한 인명피해로, 산사태나 홍수 등 기후변화에 따른 자연재해에 대한 관심이 높아지고 있으며, 본 연구를 통하여 개발된 보강장치를 이용하여 자연재해가 우려되는 지역의 구조물 일체성 및 안전성을 향상할 수 있을 것으로 기대됨.
-

## 6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

---

### ○ 필로티형 건물의 저비용 고효율 내진보강

- 강성보강이나 제진장치 보강 등 기존의 내진보강기법들은 학교나 관공서 위주로 개발되었으며, 필로티형 공동주택에 적용될 경우 설치가 불가능하거나 보강 효율이 낮음.
- 본 연구를 통하여 개발된 필로티형 공동주택의 내진보강기법은 증가된 강성으로 비정형성을 해소하고, 감쇠력을 부가하여 내진보강 효과를 극대화하고, 최적화기법을 적용하여 최소 물량을 최적 위치에 보강함으로써 내진보강 소요 비용을 최소화할 수 있음.
- 부실시공 등으로 기둥의 내력이 부족한 경우 기둥의 강판보강과 함께 슬릿강판벽 또는 강재/PC 프레임 등으로 강성을 부가
- 특히 비정형성으로 인하여 작은 변위에서도 큰 손상이 발생하는 필로티구조의 특성을 고려하여 강성보강과 함께 에너지 소산능력이 최대화된 감쇠장치를 개발하여 내진보강 효과를 극대화함.

### ○ 학교 및 관공서의 저비용 내진보강 대안 제시

- 본 연구를 통하여 개발된 내진보강 시스템은 기존의 보강기법에 비하여 작은 크기, 저비용, 고효율의 장점이 있어, 필로티형 공동주택뿐 아니라, 학교 및 관공서, 사무실건물의 내진보강에도 손쉽게 적용할 수 있음.

### ○ 최적화를 통한 내진보강의 저비용화

- 본 연구를 통하여 개발된 내진보강 시스템은 강성, 감쇠력, 복원력 등 다양한 보강요소가 유기적으로 결합되어 있으며, 최소의 비용으로 목표 성능수준을 확보하기 위해서는 각 보강 요소의 조합, 대상 구조물의 동적인 특성, 목표성능 등 다양한 설계변수를 고려한 합리적 설계가 필수임.
  - 이러한 다양한 변수를 동시에 고려하여 보강장치의 최적의 조합을 도출하기 위해서는 체계적인 접근방법이 필요하며, 본 연구에서는 유전자알고리즘을 적용하여 주어진 성능목표를 만족하면서도 개발된 제품의 제작 및 설치비용을 최소화할 수 있는 최적화기술을 개발할 예정임.
  - 건물이 연약지반에 위치한 경우 지반의 영향을 고려한 내진성능 및 최적 보강기법은 그렇지 않은 경우와 매우 다를 가능성이 있으며, 본 연구를 통하여 필로티형 건물의 내진성능에 미치는 연약지반의 영향을 규명하고, 지반의 효과를 고려한 최적 내진보강 설계기법을 개발함.
  - 개발된 최적화기술은 내진보강설계 실무자가 쉽게 사용할 수 있도록 윈도우 환경에서 MIDAS GEN이나 PERFORM 3D와 같은 범용 프로그램과 연동하여 구동 가능한 프로그램으로 개발함.
-

< 별첨 >

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

## 주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘지반의 영향을 고려한 필로티형 공동주택의 내진보강기법 개발’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.