최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	국토교통기술혁신연구
공고번호	공고-제5호	총괄연구개발 식별번호		-
		연구개발과제번호		20CTAP-C157615-01

국가과학기술 표준분류						
	EI1105	50%	EI1102	30%	EI0402	20%

총괄연구개발명	국문	-
	영문	-
연구개발과제명	국문	기존 건축물 대비 층간 변위비 40% 저감 및 초기강성 20% 향상 가능한 저비용·고효율 제진보강 공법 개발
	영문	Developed a low-cost and high-efficiency vibration control reinforcing system capable of reducing drift-ratio by 40% and increase initial stiffness by 20%

주관연구기관	기관명	(재)한국건설생활환경시험연구원	사업자등록번호	317-82-03895
	주소	(우)28115 충북 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73	법인등록번호	254322-0013138

주관연구책임자	성명		김진우	직위	선임연구원	
	연락처	직장전화	043-210-8961	휴대전화	010-7447-3555	
		전자우편	kimjinwoo@kcl.re.kr	국가연구자번호	11865237	

연구개발기간	전체	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 9개월)
	1년차	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31(9개월)
	2년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12개월)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	370,000	12,400	111,600	-	-	-	-	382,400	111,600	494,000	-
1년차	160,000	5,400	48,600	-	-	-	-	165,400	48,600	214,000	-
2년차	210,000	7,000	63,000	-	-	-	-	217,000	63,000	280,000	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구기관	단국대학교 산학협력단	엄태성	교수	010-3296-9678	tseom@dankook.ac.kr	공동	대학
	(주)에이엠에스 엔지니어링	김재환	대표	010-7443-3257	kjh0999@empal.com	공동	중소기업
위탁연구기관	-	-	-	-	-	-	-
연구기관 외 기관	-	-	-	-	-	-	-

연구개발담당자 실무담당자	성명		김호룡	직위	선임연구원
	연락처	직장전화	043-210-8945	휴대전화	010-4582-8930
		전자우편	hrkim@kcl.re.kr	국가연구자번호	10853369

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

2022년 01월 07일

주관연구책임자 : 김 진 우 (직인)

주관연구기관의 장 : (재)한국건설생활환경시험연구원 조 영 태 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">국토교통기술촉진연구사업</td><td>총괄연구개발 식별번호</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="3">국토교통기술혁신연구</td><td>연구개발과제번호</td><td colspan="3">20CTAP-C157615-01</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술
표준분류</td><td>EI1105</td><td>50%</td><td>EI1102</td><td>30%</td><td>EI0402</td><td colspan="2">20%</td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명</td><td colspan="6">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">기존 건축물 대비 층간 변위비 40% 저감 및 초기강성 20% 향상 가능한
저비용·고효율 제진보강 공법 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 9개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 494,000 천원
(정부지원연구개발비 : 370,000 천원, 기관부담연구개발비 : 124,000천원</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[✔]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준(3단계)
종료시점 목표(7단계)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [ ] 자유공모 [✔]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">실용화</td></tr>
<tr><td rowspan="5">연구
개발
목표
및
내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">기존 건축물 대비 층간 변위비 40% 저감 및 초기강성 20% 향상 가능한
저비용·고효율 제진보강 공법 개발</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">이 연구는 내진성능이 취약한 노후화 국가 공공 건축물의 지진 안전성 향상을 목적으로, <u>샛기둥 지지 방식의 전단항복형 강재 댐퍼시스템</u>을 이용하여 기존건축물 대비 층간변위비 40% 저감과 초기강성 20% 향상이 가능한 저비용·고효율 내진보강공법을 개발하고, 실험과 해석을 통하여 단계별로 내진성능과 보강효과를 평가·검증하는 것을 목표로 함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="5">1. 전단항복형 강재댐퍼 유닛요소의 최적화 설계기법 개발 및 실물 성능검증
2. 전단항복형 강재댐퍼 모듈 시스템의 목표성능 설계기법 개발 및 실물 성능검증</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">1-1. 기존 건축물에 요구되는 내진보강량을 고려하여 댐퍼 유닛요소의 초기강성과 항복강도를 조절하는 맞춤형 최적설계기법 개발.
1-2. FEM해석과 구조실험을 통한 설계법 검증과 S-N곡선을 이용한 강재댐퍼의 보유 변형성능 검증.
2-1. 강재댐퍼와 주변 지지구조를 포함한 모듈시스템에 대하여, FEM해석을 통한 구성요소별 힘전달기구 분석.
2-2. 제진보강의 필수 조건인 기존 건축물의 손상 최소화를 위한 목표성능 설계법 정립.
2-3. 실험을 통한 설계법 및 모듈시스템內 댐퍼 성능 검증.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2년차</td><td>목표</td><td colspan="5">3. 모듈시스템과 기존 건축물 간 접합공법 개발 및 실물 성능검증
4. 제안 공법 적용 내진보강 한 건축물의 내진성능평가</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">3-1. FEM해석을 이용하여 댐퍼 성능이 최대로 발휘되고 시공성이 우수한 모듈시스템과 기존 건축물 간 접합상세와 설계방법 개발.
3-2. 구조실험을 통한 설계방법 및 성능 검증.
4-1. 댐퍼 모듈시스템의 내진성능 목표설정을 위한 기존 건축물의 내진성능평가.
4-2. 변수연구를 통한 댐퍼 최적화 설계기법 개발.
4-3. S-N곡선을 이용한 보유 변형성능과 요구 변형성능 비교 · 분석을 통한 해당 댐퍼의 변형성능 검증.</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발성과</td><td colspan="6">1. 시제품(데모단계) : 댐퍼 유닛, 모듈 시스템, 모듈 시스템과 기존 건축물 간 접합부
2. 구조성능 공인 시험성적서 : 댐퍼 유닛, 모듈 시스템, 접합부
3. 전단항복 강재댐퍼시스템의 시공 지침 개발
4. 전단항복 강재댐퍼시스템의 내진보강 최적 설계지침 개발</td></tr>
</table>

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
예상성과 (N/Y)	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	N	N

<table>
<tr><td>연구개발성과
활용방안 및
기대효과</td><td>■ 활용방안
[효율적 상용화] 상기의 단계적 검증을 통한 현장사용 가능성을 입증에 따른 효율적 상용화를 촉진함
[수요처 확대] 제안공법의 저비용·공간기능 확보·유지관리 용이 등의 장점에 따라 기술수요처의 확대가 예상됨 (공공 건축물, 학교건축물과 공공 시설물 ,민간 공공주택)
[평가인증제도 유도] 제진장치의 성능평가 및 인증을 위한 평가 인증제도를 유도함

■ 기대효과
[과학·기술적 측면] 단계별 성능검증에 따른 최적화 내진성능 확보와 건축의 사용성능 향상과 제진부재 평가인증제도 유도를 통한 제진 보강기술의 향상과 품질확보의 제고
[사회·경제적 측면] 저비용 내진보강 기술개발을 통한 내진보강시장의 확대와 활성화 유도와 교체성 우수에 따른 유지관리 비용 감소와 지진피해 복구시간 및 비용 절감
[정책적 측면] 내진보강에 막대한 국가예산이 투입되는 현 상황에서, 저비용 생산·시공 가능한 제진보강공법 개발로 가성비와 효율성 높은 기술의 보급과 상용화를 촉진함</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
비공개여부 및 사유</td><td>해당없음</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="3">연구개발성과의
등록·기탁 건수</td><td rowspan="2">논문</td><td rowspan="2">특허</td><td rowspan="2">보고서
원문</td><td rowspan="2">연구
시설·
장비</td><td rowspan="2">기술
요약
정보</td><td rowspan="2">소프트
웨어</td><td rowspan="2">표준</td><td colspan="2">생명자원</td><td rowspan="2">화합물</td><td colspan="2">신품종</td></tr>
<tr><td>생명
정보</td><td>생물
자원</td><td>정보</td><td>실물</td></tr>
<tr><td>5</td><td>4</td><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">연구시설·장비
종합정보시스템
등록 현황</td><td>구입기관</td><td>연구시설·
장비명</td><td>규격
(모델명)</td><td>수량</td><td>구입
연월일</td><td>구입가격
(천원)</td><td>구입처
(전화)</td><td>비고
(설치장소)</td><td>ZEUS
등록번호</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>국문핵심어
(5개 이내)</td><td>제진 보강</td><td>고효율</td><td>저비용</td><td>샛기둥 지지형식</td><td>전단항복형
강재댐퍼</td></tr>
<tr><td>영문핵심어
(5개 이내)</td><td>Vibration control reinforcing</td><td>High-efficiency</td><td>Low cost</td><td>Stud support type</td><td>Shear yield based steel damper</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 4

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 126

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 135

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 ····· 135

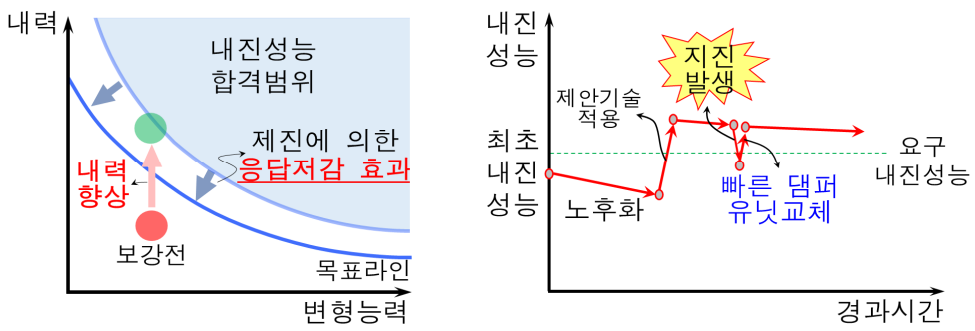
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 135

별첨자료(참고문헌 등) ····· 136

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

최종 목표



샛기둥 지지 형식 전단항복형 강재 댐퍼시스템을 이용하여

■ **층간 변위비 40% 저감** : (제진에 의한 **응답 저감 효과**)

■ **초기강성 20% 향상** : (내력향상에 의한 **내진 보강 효과**)

가능한 저비용·고효율 내진보강 공법 개발

세부 목표

1차 년도	연구 내용	**전단항복형 강재댐퍼 유닛요소의 최적화 설계기법 개발 및 실물 성능검증**
	세부 목표	■ **최적설계기법개발** : 초기강성/항복내력 설계식의 실험값 대비 오차 ±10% 미만
		■ **실물 성능검증 및 내구성능 검증** – 층간변위비 1/100 대응 반복변형성능 3회 이상 – KBC 2016 0306.13.6 감쇠장치의 시험(풍하중시험, 지진하중시험, 진동수 의존시험) 만족
	연구 내용	**전단항복형 강재댐퍼 모듈 시스템의 목표성능 설계기법 개발 및 실물 성능검증**
	세부 목표	■ **목표성능 설계기법 개발** : 댐퍼 항복시작 층간변위비 실험값 대비 오차±10%미만
		■ **실물 성능검증** : 유닛요소와 동일한 성능(초기강성/항복내력/내력상승)
2차 년도	연구 내용	**모듈 시스템과 기존 건축물의 접합공법 개발 및 실물 성능검증**
	세부 목표	■ **접합공법 및 재분배설계법 개발** : 기존 제진보강방법 대비 20% 공기단축
		■ **실물 성능검증** : 댐퍼 최대내력시 접합부 탄성상태 유지
	연구 내용	**제안 공법 적용 건축물의 내진성능 평가**
	세부 목표	■ **내진 성능** : 1) 댐퍼유닛요소 소성화 집중 2) 기존건축물 대비 층간변변위비 40% 저감, 초기강성 20% 향상
		■ **댐퍼 성능** : 보유변형성능 > 필요변형성능

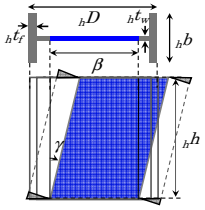
2) 연구개발과제의 년차별 목표

1차 년도

1. 전단항복형 강재댐퍼 유닛요소의 최적화 설계기법 개발 및 실물 성능검증 및 내구성능 검증

[연구방법]

■ 소성해석/FEM 해석 : 최적 설계법 개발
■ 유닛요소 구조 성능시험 : 구조성능 검증





[소성해석 및 유한요소해석]




[구조성능 시험]

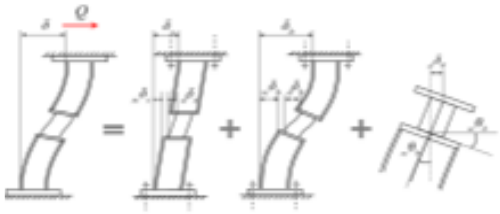
[세부목표]

■ 댐퍼유닛 최적설계기법 개발
■ 실물 구조성능 검증

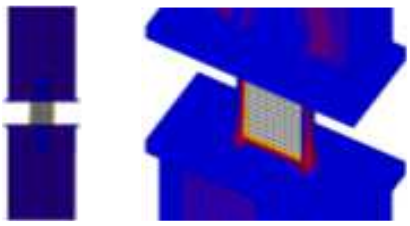
2. 모듈 시스템의 목표성능 설계기법 개발 및 실물 성능검증

[연구방법]

■ 변형이론/FEM 해석 : 성능 설계법 개발
■ 모듈 시스템 구조 성능시험 : 구조성능 검증



[모듈 시스템의 변형이론]



[FEM 해석]

[세부목표]

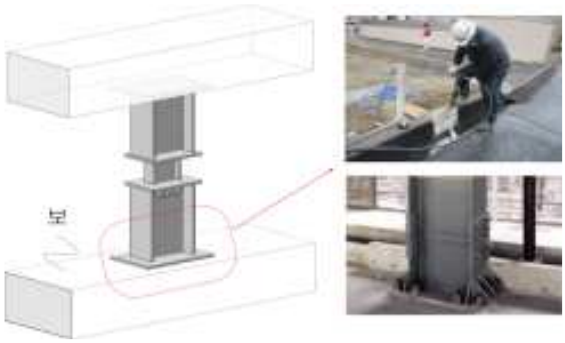
■ 모듈 시스템의 목표성능 설계법 개발
■ 실물 구조성능 검증

2차 년도

3. 모듈 시스템과 기존 건축물의 접합공법 개발 및 실물 성능검증

[연구방법]

■ 구조/시공 성능 향상 접합공법 개발
■ 앵커접합 재분배설계법 개발 및 실험 검증



[접합공법 예시]

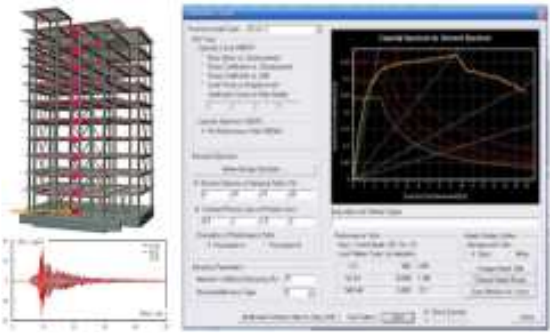
[세부목표]

■ 접합 공법/상세 및 설계법 개발
■ 실물 구조성능 실험 검증

4. 제안 공법 적용 건축물의 내진성능 평가

[연구방법]

■ 비선형 동적해석을 통한 내진성능평가
■ 제안공법의 내진보강효과 입증



[내진 성능평가]

[세부목표]

■ 제안 공법 내진성능 검증
■ 댐퍼성능 입증

구분	연구개발목표		핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
최종목표 (2021)	층간변위비		최종보고서	국외: 1/200rad [1] (일본/내진설계기준) 국내:1/100rad [2]	기존 건축물 대비 40% 저감 [3]	기존 건축물 대비 40% 저감 [3]	50
	초기 강성		최종보고서	-	기존 건축물 대비 20% 향상 [4]	기존 건축물 대비 20% 향상 [4]	50
1년차 (2020)	유닛요소 /모듈시스템 유한요소해석		최종보고서	- [5]	- [5]	- [5]	50
	유닛요소 /모듈 시스템 구조성능 실험	댐퍼유닛 초기강성	공인시험성적서	-	80,000kN/rad 이상	설계대비 오차 ±10%	10
		모듈 시스템 초기강성	공인시험성적서	-	100,000kN/rad 이상	설계대비 오차 ±10%	15
		댐퍼유닛 항복내력	공인시험성적서	-	100kN 이상	설계대비 오차 ±10%	10
		댐퍼유닛 내구성	공인시험성적서	-	풍하중 시험 2000회 반복 후 지진하중 3회 반복	KBC 2016 감쇠장치 내구성능 만족	-
		모듈 시스템 항복내력	공인시험성적서	-	100kN 이상	설계대비 오차 ±10%	15
2년차 (2021)	접합부 유한요소해석		최종보고서	-	-	-	25
	접합부 구조성능 실험		공인시험성적서	-	댐퍼 최대내력 시 탄성거동	설계대비 오차 ±10%	25
	제안 공법 적용 제진보강한 건축물의 내진성능평가		최종보고서	-	기존 건축물 대비 층간변위비 40% 저감 [3], 초기강성20% 향상 [4]	기존 건축물 대비 층간변위비 40% 저감 [3], 초기강성20% 향상 [4]	50

1) 일본 내진설계기준에서는 내외장재 등이 지진으로 탈락되는 것을 방지하기 위해 층간변형비를 1/200이하로 규정하고 있음.

2) KBC 2016에서는 중요도 [특]인 건축물에 대하여 층간변형비를 1/100이하로 규정하고 있음.

3) 본 연구에서 목표로 하는 층간 변위비의 저감은 기존 건축물의 구조특성과 제안 모듈시스템의 구조특성에 따라 상대적이므로, 본 연구에서는 기존 건축물의 특성을 선행 파악하여 제안 모듈 시스템의 요구 구조성능을 도출하여 설계반영 후 지진응답해석을 통해 표의 값을 도출 할 예정임. 또한, 실제 지진파 3개 이상을 입력하여 목표치에 대해 검증할 계획임.

4) 해외/국내에서 규정하는 초기강성 값은 없음. 단, 해외논문 조사에 따르면 강성비(신설하는 댐퍼시스템의 초기강성/기존 건축물의 초기강성)를 1.0 초과일 경우에 제진효과가 발휘되는 결과에 따라 본 연구에서는 1.2(20% 향상)로 목표값을 설정하였음. 이에 대해, 본 연구에서는 기존 건축물의 특성을 선행 파악하여 제안 모듈 시스템의 요구 구조성능을 파악하여 설계반영 후, 지진응답해석을 통해 표의 값을 도출할 예정임. 또한, 실제지진파 3개 이상을 입력하여 목표치에 대한 검증을 할 계획임.

5) 본 연구에서 이용하는 유한요소해석 프로그램 ABAQUS는 유한요소해석 프로그램 중 가장 많은 연구성과(논문)가 제출되었으며 신뢰성이 확보되어 있는 범용 프로그램임. 본 연구에서는 ABAQUS를 이용하여 Parametric study를 통하여 설계법 검증 및 최적화 응력전달 기구를 도출할 예정임.

6) 일본에서는 강재의 연성능력이 뛰어난 저항복점 강재로 제작된 전단항복형 강재댐퍼의 피로성능이 다수의 실험을 통해 추정값이 제안되어 있으며 표 중의 값은 전단항복형 강재댐퍼의 주요 인자인 기준화 판폭두께비 0.7의 값을 나타내고 있음.

7) 본 연구에서는 저비용의 일반강재를 사용하므로 표 중의 값은 연성능력이 뛰어난 저항복점강을 기준으로 1/2 이상의 값을 산정하였음.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

연구개발 수행내용	핵심기술 선행연구조사-1

연구결과

■ **강재댐퍼의 개요와 전단항복형 강재댐퍼의 적용형식**

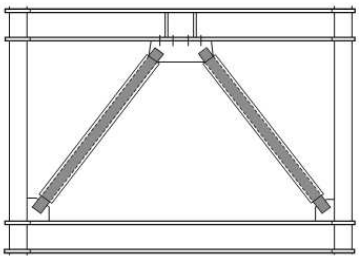
- 이력형 강재댐퍼는 댐퍼가 항복하는 형식에 따라 축항복형과 전단항복형으로 구분되며, 강재댐퍼는 댐퍼를 구성하는 강재가 축항복과 전단항복하여 소성변형을 반복하는 것으로 지진에너지를 흡수하고 기둥·보 등의 주요부위에 발생하는 응답 변위 및 작용력을 감소시켜, 기둥·보로 구성된 주요골조의 손상을 완화시킴

○ 축항복형 강재댐퍼

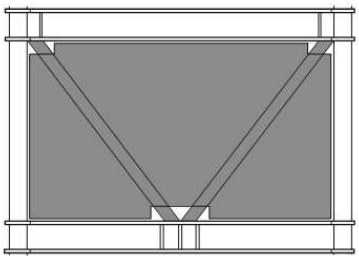
- 축항복형 강재댐퍼는 가새(브레이스)의 부재 축방향의 신축거동에 의해 지진에너지를 흡수하고, 좌굴 방지를 위해 브레이스의 외측을 강관 또는 모르타르 등을 이용하여 구속함
- 단점으로는 부재의 구성이 복잡하고, 지진으로 인한 내부의 손상정도를 파악할 수 없음

○ 전단항복형 강재댐퍼

- 전단항복형 댐퍼는 댐퍼를 지지하는 부재의 형식에 따라 브레이스 지지형식, 벽 패널 형식, 간주 지지형식 등이 있으며, 댐퍼의 전단소성변형을 통해 지진에너지를 흡수함
- 브레이스 지지형식은 보에 직접 접합되어 보에 발생하는 모멘트가 댐퍼에 직접 전달되며 보의 회전에 의해 댐퍼의 강성이 저하될 가능성이 있음. 또한, 댐퍼가 최대내력에 도달할 때까지 댐퍼를 지지하는 브레이스는 좌굴하지 않는 조건이 필요함
- 샛기둥 지지형식은 층고의 중앙에 배치되는 댐퍼와 이를 지지하는 간주가 상·하의 보에 접합되며 다른 지지형식과 비교하여 평면계획의 자유도가 높으며 지진 시에는 보에서 간주를 통해 댐퍼에 전단력이 작용하며, 이로 인해 댐퍼가 전단항복 후 소성변형하는 메커니즘을 갖음

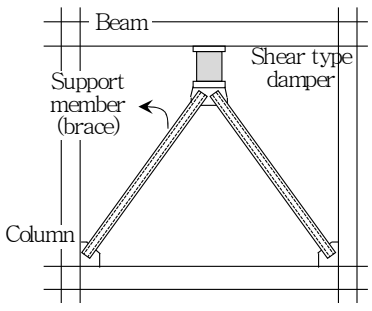


좌굴구속 브레이스

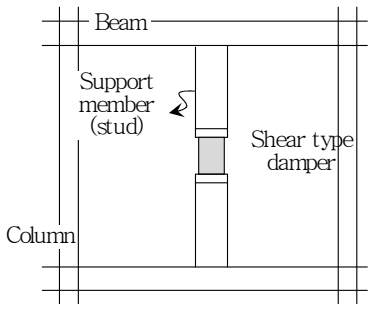


평강 브레이스

축항복형 강재댐퍼



브레이스 지지형식



샛기둥 지지형식

전단항복형 강재댐퍼

【참고문헌】

1. Kuwahara, S. et al. (2013) A Study on stiffening Capacity of Double-tube Members, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Vol.445, pp.151-158 (in Japanese).
2. Kawai, Y.et al. (2020) Shear Resistance Mechanisms of High-panelized Sheet Walls with Burring Holes, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Vol.85, pp. 275-285 (in Japanese).
3. Kim, J.W. et al. (2016) Mechanical Behavior of Shear Type Steel Damper Using Low Yield Strength Circular Hollow Section Supported by Stud Column, Journal of Structural Engineering, Vol.62B, pp.441-448. (in Japanese).

(계속)

연구개발 수행내용	핵심기술 선행연구조사-2

연구결과

■ **전단항복형 강재댐퍼에 사용하는 강재의 종류**

- 댐퍼의 변형성능과 강성의 확보를 위해 댐퍼의 형상은 상·하 엔드플레이트와 좌·우 플랜지로 둘러싸인 패널부로 구성된 H형 단면이 주로 사용됨
- 해외의 경우(일본), 댐퍼의 변형성능을 향상시키기 위하여 패널부에 비교적 연성이 큰 강재(SN강재 또는 저항복점 강재)를 사용하는 경우가 많음
- 다음의 표에 SN재와 저항복점강의 기계적 성질을 나타냄(일본 규격)

[표 SN강재와 저항복점강의 기계적 성질]

강재종류		항복강도 (N/mm^2)	인장강도 (N/mm^2)	항복비 (%)	연신율	
					시험편	(%)
SN강재	SN400B	235~355	400 ~ 510	80이하	5호	21이상
	SN490B	325~445	490 ~ 610	80이하	5호	21이상
저항복점 강재	LY100	80~120	200 ~ 300	60이하	1A호	50이상
	LY225	205~245	300 ~ 400	60이하	1A호	40이상

- 국내의 경우, 저항복점강은 제강회사에서 개발중이며 입수의 어려움이 있음
- 이에 따라, 국내에서 생산가능 한 SN강재와 동일하거나 기계적 성질이 비슷한 강재를 조사하였으며 다음의 표에 나타냄

[표 SN강재와 SS강재의 기계적 성질]

강재 종류	강재두께 (mm)	항복강도 (N/mm^2)	인장강도 (N/mm^2)	연신율 (%)
SN275A	6이상 40이하	275 이상	410 ~ 520	18
SN275B	6이상 40이하	275 이상 395 이하	410 ~ 520	18
SN275C	6이상 40이하	275 이상 395 이하	410 ~ 520	19
SS275	16 이하	275 이상	410 ~ 550	21

Note) 위표의 강재는 항복강도, 인장강도가 유사한 SN강재, SS강재를 기재함.

- KDS 41 31 00(건축물 강구조 설계기준)에 따른 분류에 따르면 건축구조용 압연강재인 SN강재는 특수모멘트골조, 중간모멘트골조, 특수중심가새골조, 편심가새골조, 좌굴방지가새골조 및 특수강판벽에서 사용하여야 하며, 국가공인기관에 의한 실험결과나 다른 합리적 기준에 의해 강재의 적합성을 입증할 수 있는 경우 및 앞에 언급하지 않은 지진력저항시스템에 대해서는 일반 구조용 압연 강재인 SS강재를 사용할 수 있음으로 기재되어 있음

(계속)

연구결과

- 위와 같은 구조용 강재 이외에 KS D 3501:2008 열간압연 연강판 및 강대에서는 일반용으로 분류된 SPHC강재가 있음
- SPHC강재는 1.2mm~14mm로 가공되어 판금가공이나 프레스 가공등의 굽힘가공이 용이한 특징이 있음
- 이에 대해 아래의 표에 SPHC강재에 대한 화학성분을 SS235강재와 비교하여 나타냄

[표 SS강재와 SPHC강재의 화학성분 비교]

(단위 : %)

종류	C	Si	Mn	P	S
SS235	0.25 이하	0.45 이하	1.40 이하	0.050 이하	0.050 이하
SS275					
SPHC	0.15 이하	-	0.60 이하	0.050 이하	0.050 이하

- 위의 표부터 SPHC강재는 일반압연강재 SS강재보다 탄소함유량 기준이 낮음
- 다음의 표에 기계적 성질을 요약함

[표 SPHC강재의 기계적 성질]

종류	인장강도 (N/mm^2)	연신율 (%)					
		두께 1.2~1.6mm	두께 1.6~2.0mm	두께 2.0~2.5mm	두께 2.5~3.2mm	두께 3.2~4.0mm	두께 4.0mm 이상
SPHC	270 이상	27 이상	29 이상	29 이상	29 이상	31 이상	31 이상

- SPHC강재는 일반강재로서 항복강도에 대한 규정은 없으나, 인장강도가 SS275(일반구조용 강재)와 유사하며 연신율은 약 1.3배~1.5배로 규정하고 있음
- 이러한 SPHC 강재는 제작 공정이 적고, 저렴하게 입할 수 있으며, 굽힘 가공성이 우수한 특징이 있음.
- 이에 따라 SPHC는 주로 자동차·전자·기계 부품 등의 용도로 사용됨
- 본 연구에서는 연성능력이 비교적 우수한 SPHC강재를 댐퍼유닛 및 댐퍼시스템의 댐퍼에 적용하여 해당강재의 댐퍼로서의 적용성에 대해 검토하고자 함

- 【참고문헌】

1. AIJ (2014) Recommended Provisions for Seismic Damping Systems applied to Steel Structures, Architectural Institute of Japan (in Japanese).
2. 한국산업규격 (2016) 일반구조용 압연강재(KS D 3503), 산업자원부 기술표준원
3. 국가건설기술센터 (2017) 건축물 강구조설계 기준(KDS 41 31 00), 국토교통부
4. 한국산업규격 (2008) 열간압연 연강판 및 강대(KS D 3501), 산업자원부 기술표준원

(계속)

연구결과

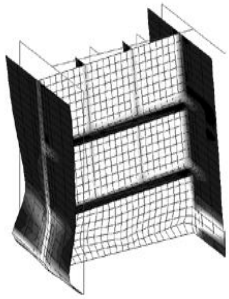
■ **전단항복형 강재댐퍼의 파괴형식**

- 선행연구에 따르면 H형 전단패널 댐퍼의 파괴형식으로는 패널부의 면외변형에 의한 전단좌굴, 플랜지 단부균열, 플랜지와 패널부(접합부) 균열, 플랜지의 국부좌굴이 있음


패널부의 전단좌굴


플랜지 단부균열


플랜지 · 패널부 균열

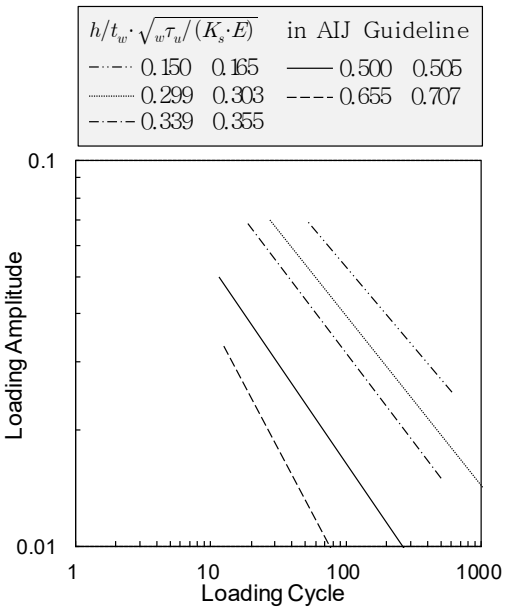

플랜지의 국부좌굴

- 패널부의 면외변형에 의한 전단좌굴 외의 파괴형식은 육안으로 관찰된 시점을 전후로 내력이 비교적 급격하게 저하하는 공통점이 있음
- 패널부의 면외변형에 의한 전단좌굴은 패널부에 전단변형 및 누적소성전단변형이 과대해지면 내력이 일시적으로 저하되어 다시 증가하는 현상의 pinching 현상을 동반함

■ **전단항복형 강재댐퍼의 보유변형성능에 영향을 미치는 주요인자 파악과 보유변형성능의 정량화**

- 일본 건축학회 강구조 제진설계지침에서는 일정진폭으로 반복재하 한 H형 전단패널 댐퍼(형상비:1.0, 패널부의 사용강재:SN재 또는 저항복점 강재)에 대해 실험데이터를 기반으로 Manson-Coffin법칙을 이용하여 재하진폭과 재하횟수의 관계 패널부의 판폭두께비, 형상비, 재료특성을 고려한 기준화 판폭두께비 $h/t_w \cdot \sqrt{{}_w\tau_u/(K_s \cdot E)}$ 로 분류하여 다음의 표와 그림과 같이 댐퍼의 보유변형성능을 제시하였음

Normalized width-thickness ratio	Experimental variable		Correlation coefficient
	C	m	R
$0.150 \le \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{{}_w\tau_u}{K_s \cdot E}} \le 0.165$	0.482	2.40	-0.980
$0.299 \le \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{{}_w\tau_u}{K_s \cdot E}} \le 0.303$	0.410	2.27	-0.986
$0.339 \le \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{{}_w\tau_u}{K_s \cdot E}} \le 0.355$	0.365	2.17	-0.998
$0.500 \le \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{{}_w\tau_u}{K_s \cdot E}} \le 0.505$	0.252	1.94	-0.978
$0.655 \le \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{{}_w\tau_u}{K_s \cdot E}} \le 0.707$	0.273	1.52	-0.977



【참고문헌】

1. AIJ (2014) Recommended Provisions for Seismic Damping Systems applied to Steel Structures, Architectural Institute of Japan (in Japanese).
2. Kim, J.W. et al. (2016) Mechanical Behavior of Shear Type Steel Damper Using Low Yield Strength Circular Hollow Section Supported by Stud Column, Journal of Structural Engineering, Vol.62B, pp.441-448. (in Japanese)

(계속)

연구개발 수행내용	핵심기술 선행연구조사-5

연구결과

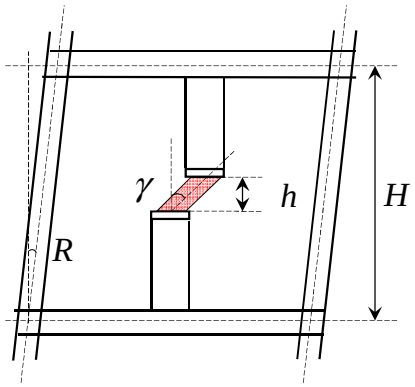
■ **강재댐퍼 유닛요소의 플랜지 국부좌굴을 방지하기 위한 조건**

- 건축물 강구조 설계기준(KDS 41 31 00)의 압축판 요소의 판폭두께비 제한값에서 지진력저항시스템의 부재는 웨브와 연속적으로 접합된 플랜지로 이루어져야 하며, 압축요소의 판폭두께비는 한계판폭두께비를 초과해서는 안된다고 명시하고 있음
- 위 사항과 신규격 강구조설계에 따라 실험체 설계 시 플랜지의 국부좌굴을 방지하기 위해 플랜지의 폭두께비가 플랜지의 폭두께비 제한값을 하회하도록 설계할 필요가 있음. 즉 플랜지에 대해 다음식을 만족할 수 있도록 설계해야함

$$\frac{b/2}{t_f}(\text{플랜지의 폭 두께비}) < \lambda_r = 0.64\sqrt{k_c E/F_y}(\text{플랜지의 폭두께비 제한값})$$

■ **강재댐퍼 유닛요소에 작용하는 변형량의 추종**

- 다음의 그림과 같이 수평력에 의해 임의 층에 층간 변형각이 발생한 상태를 고려함



R : 층간변형각

γ : 댐퍼의 변형각

h : 댐퍼의 높이

H : 층고

- 지진에 의한 최대 층간변형각 $R_{\max}$, 간주의 탄성변형에 의한 층간변형각 R_{stud}로 정의하면 댐퍼에 발생하는 변형각은 다음의 식으로 나타낼 수 있음

$$\gamma = \frac{H}{h}(R_{\max} - R_{stud})$$

- 지진에 의한 최대 층간변형각 $R_{\max}$, 간주의 탄성변형에 의한 층간변형각 R_{stud}로 정의하면 댐퍼에 발생하는 변형각은 다음의 식으로 나타낼 수 있음
- 여기에서, 층고 H=3200㎜, 댐퍼의 높이 h=220㎜, 지진에 의한 최대 층간변형각 $R_{\max}$=1/100, 간주의 탄성변형에 의한 층간변형각 R_{stud}=1/200로 가정하면 댐퍼에 발생하는 전단변형각은 다음과 같음

$$\gamma = \frac{3200}{220}\left(\frac{1}{100} - \frac{1}{200}\right) = 0.073 = 7\%$$

- 즉, 층간변형각 1/100일 경우 댐퍼에는 7%정도의 전단변형각이 발생하고, 층간변형각을 1/200일 경우 3%정도의 전단변형각이 발생함

【참고문헌】

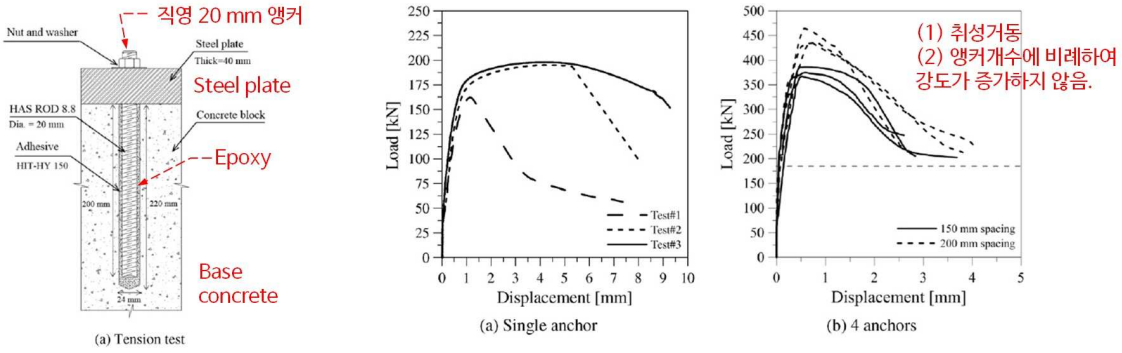
1. KDS 41 31 00 (2019) 건축물 강구조 설계기준, 국토교통부
2. 한국강구조학회 (2018) KS 신규격 강구조설계, 구미서관
3. Kim, J.W.et al. (2016) Elasto-Plastic Behavior of Shear Type Dmaper Using Low Yield Strength Circular Hollow Section, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)

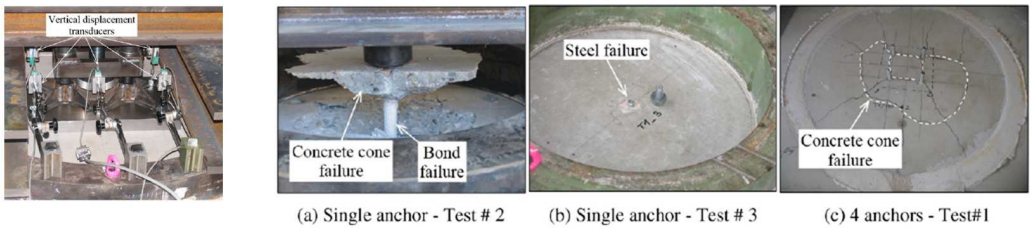
(계속)

■ **부착식앵커 거동에 관한 문헌조사**

콘크리트 부재에 매입하는 부착식앵커의 거동과 설계한계상태에 관해서는 과거 많은 연구가 이루어졌음. 다음에 Epackachi et al.이 수행한 부착식 앵커접합부의 거동을 나타냄

- 인장거동: 다음 그림은 부착식앵커의 인발실험 결과를 나타냄. 주로 콘크리트 취성파괴가 발생하며 앵커 간격이 작을수록 앵커 인장강도가 감소하는 경향이 있음. 즉, 앵커개수에 비례하여 접합부 전체의 인장강도가 증가하지는 않음



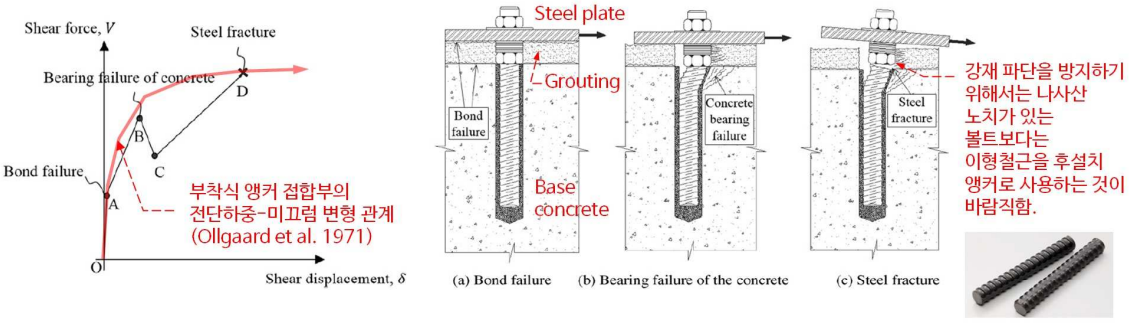


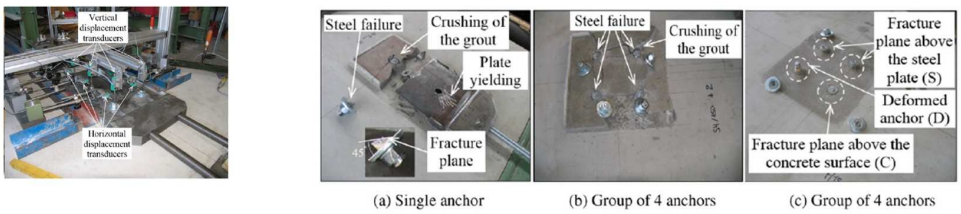
콘크리트 부착식앵커의 인장거동

연구결과

- 전단거동: 다음그림은 부착식앵커의 전단실험 결과나타내며, 다음과 특징이 있음

A점: 기존 콘크리트 표면과 앵커접합부의 베이스강판 사이 접촉면에서 부착파괴가 발생하며 강성저하가 발생함, B점 · C점: 콘크리트 표면 단부에서 부분적 지압파괴가 발생하며 강도가 급격히 감소함, D점: 이후 변형이 증가하면서 하중이 증가하여 최대강도에 도달함. 결국 앵커볼트의 전단항복 이후 나사산 골에서 균열이 발생하며 강재가 파단함





콘크리트 부착식앵커의 전단거동

(계속)

- 전단저항: 위와 같이 앵커강재의 전단항복 후 인장파단 거동을 보이는 부착식앵커의 전단강도 및 하중-변형 관계는 다음 그림으로 나타낼 수 있음
- 앵커접합부의 전단강도는 KDS 강구조 설계기준에서 제시한 스터드 전단연결재의 전단강도식을 사용하여 평가할 수 있음. 앵커접합부에 다수의 앵커가 동시에 설치되더라도 그림(좌)와 같이 앵커의 그룹효과에 의한 전단강도 저하가 없음
- 앵커접합부의 전단하중-슬립변형 관계는 Ollgaard, Slutter, and Fisher (1971, Shear strength of stud shear connectors in lightweight and normal-weight concrete, JSE, ASCE)가 제안한 모델과 유사한 거동을 나타냄

앵커 접합부의 전단강도 (KBC 2016)

$V_n = 0.5A_{sa}\sqrt{f_{ck}E_c} \le R_g R_p A_{sa} F_u = 0.75A_{sa}F_u$ for steel anchors

R_g = group effect, taken as 1.0 (without steel deck)

R_p = position effect, taken as 0.75

$(V_n = 0.8 \cdot 0.6A_{sa}f_{uta}$ for concrete anchors $)$

➔ 대부분 콘크리트 강도에 의하여 앵커 접합부 강도가 결정됨.

➔ 기존 학교건물의 콘크리트 강도가 작으므로, 강재앵커에 대한 전단강도 적용이 바람직!

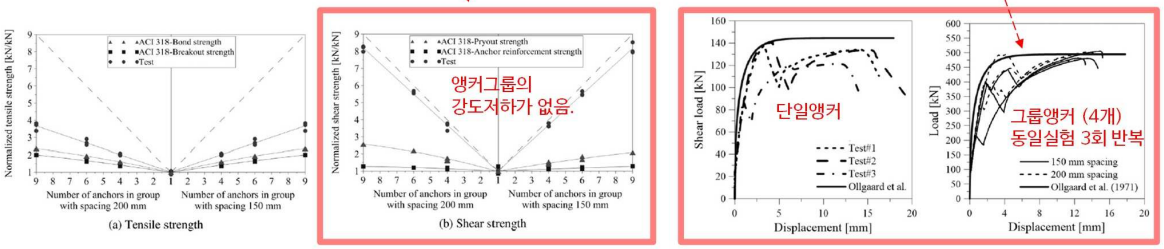
전단하중-미끄럼 변형 관계모델

Ollgaard, Slutter, and Fisher (1971), Shear strength of stud shear connectors in lightweight and normal-weight concrete, JSE, ASCE

$V = V_n\left(1 - \exp\left[1 - 0.71\delta\right]\right)^{0.4}$

➔ 단일 및 그룹 앵커 접합부에 대하여 비교적 정확한 거동 평가

➔ 접합면 부착파괴 이후 강성저하 과대 평가



강재항복 및 파괴를 보이는 콘크리트 부착식앵커의 전단강도 및 하중-변형 관계

연구결과

【참고문헌】

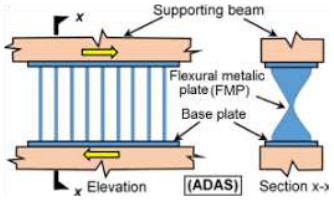
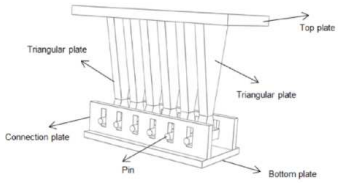
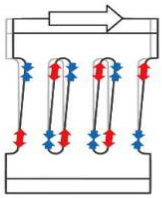
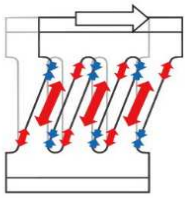
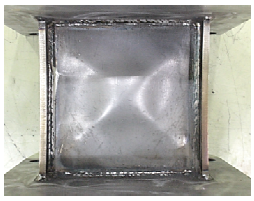
1. Epackachi et al. (2015) Behavior of adhesive bonded anchors under tension and shear loads, JCSR
2. 국가건설기술센터 (2017) 건축물 강구조설계 기준(KDS 41 31 00), 국토교통부
3. Ollgaard, Slutter, and Fishe (1971) Shear strength of stud shear connectors in lightweight and normal-weight concrete, JSE, ASCE

연구개발 수행내용	A-2 : 댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출 (유한요소해석을 이용한 모듈시스템의 최적화 응력전달 메커니즘 도출)

연구결과

【타 전단항복 강재댐퍼와의 비교】

- 댐퍼의 전단변형을 이용하여 지진에너지를 흡수하는 댐퍼는 대표적으로 ADAS댐퍼, 슬릿 댐퍼, 전단패널 강재댐퍼가 있으며, 각 댐퍼의 개요와 장단점을 다음의 표에 비교하여 나타냄
- 또한, 제안 기술인 전단패널 강재댐퍼의 단점에 대해 이를 극복하기 위한 연구수행 내용을 표기하여 나타냄

구분	ADAS/TADAS 댐퍼	슬릿 댐퍼	전단패널 강재댐퍼
개요	  - 댐퍼의 높이 방향에 따라 변단면을 가지는(역삼각형 또는 모레시계형)으로 구성된 슬릿이 약축방향으로 댐퍼의 폭방향에 배치되어 각 슬릿의 휨변형으로 지진에너지를 흡수함	  - 댐퍼를 구성하는 세장한 슬릿이 강축방향으로 병렬배치되어 댐퍼의 전단변형에 의해 각 슬릿의 신축변형(압축/인장)과 휨변형에 의해 지진에너지를 흡수함	  - 좌·우 플랜지와 패널부로 구성된 H형 단면내에서 패널부의 전단변형(플랜지의 구속)에 의해 지진에너지를 흡수함
장점	- 슬릿의 약축방향 거동 및 슬릿수에 따라 항복내력을 조절할 수 있음 - 댐퍼의 면외방향 거동에 강성확보가 가능	- 강축방향의 슬릿배치에 따라 비교적 고강성·고내력을 확보할 수 있음	- H형단면의 강축방향으로 변형하므로 강성확보가 가능
단점	- 강성확보에 대한 고려가 필요(슬릿수, 두께 등) - 변단면에 따른 응력집중에 의한 변형성능 확보 필요	- 슬릿 단부의 곡률부에 응력이 집중되어 이에 따른 곡률 등의 형상에 의한 변형성능 확보 필요 - 슬릿의 면외변형에 의한 성능저하에 대한 고려 필요	- 패널부의 두께가 얇은 경우 전단좌굴에 의해 변형성능이 저하될 가능성이 있음. 이에 대한 변형성능의 확보가 필요 **[연구수행내용 : B-1 댐퍼유닛 구조성능 평가 및 B-1 모듈시스템 구조성능 평가]**

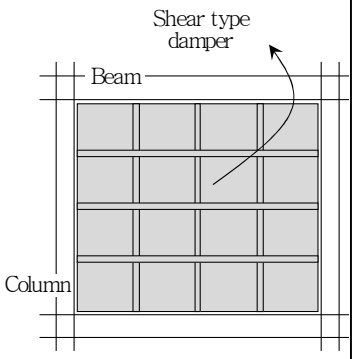
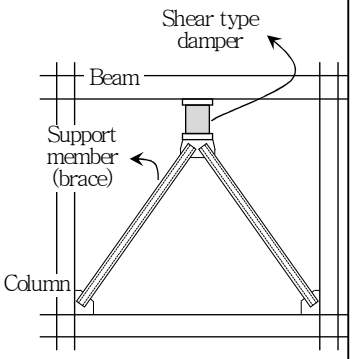
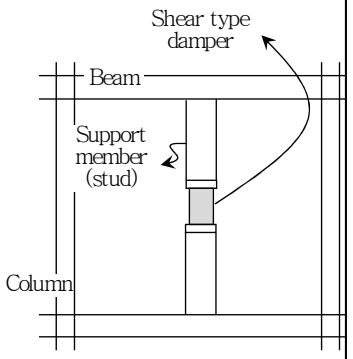
(계속)

연구개발 수행내용	A-2 : 댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출 (유한요소해석을 이용한 모듈시스템의 최적화 응력전달 메커니즘 도출)

연구결과

【댐퍼의 지지형식에 따른 특징 및 비교】

- 전단패널 지지형식에 따른 차이점 및 장단점을 다음의 표에 비교하여 나타냄
- 또한, 제안기술에 해당하는 간주지지형식의 단점에 대해 이를 극복하기 위한 연구수행 내용을 표기하여 나타냄

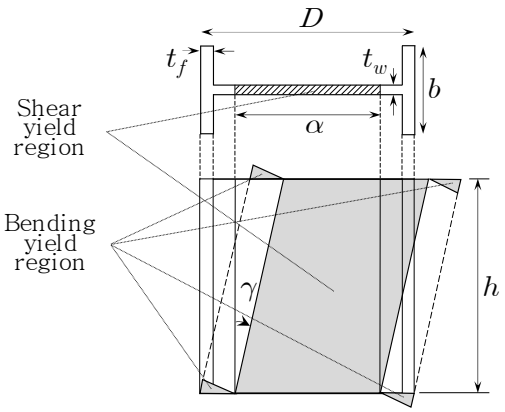
구분	전단패널벽 형식	브레이스 지지형식	간주지지 형식
개요	 - 기둥과 보로 둘러싸인 평면에 강판으로 구성된 전단패널벽이 배치됨 - 지진시 고강성의 전단패널벽에 응력이 집중하여 기둥과 보의 작용력 및 발생변위를 완화시킴	 - 브레이스 지지된 패널댐퍼가 보에 직접 접합되며 브레이스 단부는 기둥-보 접합부에 접합됨 - 지진시 탄성유지된 브레이스와 보에 발생하는 휨모멘트 및 전단력이 댐퍼에 전달됨	 - 층고의 중앙에 배치되는 댐퍼와 이를 지지하는 간주가 상·하의 보에 접합됨 - 지진 시에는 보에서 간주를 통해 댐퍼에 전단력이 작용하며, 이로 인해 댐퍼가 전단항복 후 소성변형하는 메커니즘을 갖음
장점	- 고강성 · 고내력을 확보할 수 있음	- 전단패널 형식과 비교하여 개구부의 확보가 가능하며 평면계획의 자유도가 높음 - 지진후, 댐퍼의 국소부위만 교체하므로 유지관리에 용이	- 전단패널벽 형식 및 브레이스 지지형식과 비교하여 평면계획의 자유도가 아주 높음 - 지진후, 댐퍼의 국소부위만 교체하므로 유지관리에 용이
단점	- 항복내력이 크기 때문에 재료적 열화가 발생한 건축물에 부적합 - 보강면적이 큼 - 개구부의 확보되지 않아 공사개소가 제한적 - 패널벽의 좌굴방지를 위해 리브보강이 필요함 - 누적소성배율의 확보가 필요	- 보의 회전에 의해 댐퍼의 강성이 저하될 가능성이 있음 - 댐퍼를 지지하는 브레이스의 탄성유지 조건이 필요하며 이에 따라 브레이스의 요구성능과 구성메커니즘이 수반됨 - 브레이스 단부에 위차하는 가셋플레이트의 탄성유지 설계 필요	- 댐퍼에 효율적 지진에너지 흡수를 위한 간주설계 필요**[연구수행내용 : B-1 모듈시스템 구조성능 평가]** - 내진보강 대상건물이 RC 구조물인 경우, 간주 단부와 기존 건축물간의 접합상세 필요**[연구수행내용 : B-1 접합부 구조성능 평가]**

연구개발 수행내용	A-1 : 댐퍼 유닛 설계기법 도출 (강재댐퍼 유닛요소의 소성해석·변형이론을 이용한 핵심 설계법 확립)

연구결과

■ **소성해석을 이용한 전소성전단내력의 설계식의 제시**

- 강재댐퍼 유닛요소의 전소성전단내력은 소성해석의 상계정리를 이용하여 산정함
- 수평력 Q에 의한 강재댐퍼의 붕괴메커니즘은 휨항복 영역과 전단항복 영역으로 구분하여 그림의 음영으로 표시된 부분이 소성화 부위이며, 단면내의 사선부분이 전단항복 한 부위(α), 그 양측이 휨항복 한 부위를 나타냄
- 그림 중 전단항복역영α가 0일 때 전단면이 휨항복하고, α가 댐퍼의 폭(D)과 같을때 전단면이 전단항복하는 메커니즘을 나타냄
- 전단항복 한 부위가 패널부의 폭 안에 존재하는 경우($\alpha \le D-2t_f$)와 플랜지 두께 안에 존재하는 경우($D-2t_f < \alpha \le D$)로 구분하여 가상 일의 원리를 이용하여 강재댐퍼 유닛요소의 설계식 을 얻을 수 있음



【전소성 전단내력의 설계식】

• α가 패널부의 폭안에 존재하는 경우

$$ {}_cQ_{p1} = {}_w\tau_y \cdot \alpha \cdot t_w + 2\,{}_w\sigma_y \cdot t_w \cdot \frac{1}{h} \cdot \left(\frac{D-2t_f-\alpha}{2} \right)^2 + 2 \cdot {}_f\sigma_y \cdot b \cdot t_f \cdot \frac{1}{h}(D-\alpha-t_f) $$

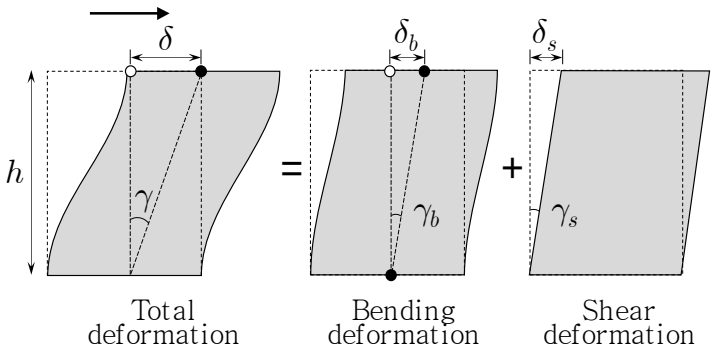
• α가 플랜지 두께 안에 존재하는 경우

$$ {}_cQ_{p2} = {}_w\tau_y \cdot (D-2t_f) \cdot t_w + {}_f\tau_y \cdot \{\alpha-(D-2t_f)\} \cdot b + 2\,{}_f\sigma_y \cdot b \cdot \left(\frac{D-\alpha}{2} \right)^2 $$

D=댐퍼의 폭, t_w=패널부의 판두께, t_f=플랜지의 판두께, h=댐퍼의 높이, γ=댐퍼의 전단변형각

■ **변형이론을 이용한 초기강성의 설계식 제시**

- 강재댐퍼 유닛요소의 초기강성은 휨변형과 전단변형을 고려하여 산정함
- 수평력 Q의 작용에 의한 강재댐퍼의 변형은 휨과 전단에 의한 변형으로 구분됨
- 댐퍼의 변형각 γ은 휨변형각 γ_b과 전단변형각 γ_s의 합이 되며, Q와 초기강성 ${}_cK$은 휨강성 K_b과 전단강성 K_s을 이용하여 강재댐퍼 유닛요소의 설계식을 얻을 수 있음



【초기강성의 설계식】

$$ Q = {}_cK \cdot \gamma $$

$$ {}_cK = \left(\frac{h^2}{12E \cdot I} + \frac{1}{G \cdot A_p} \right)^{-1} $$

E=탄성계수, I=단면2차모멘트, h=댐퍼의 높이, G=전단탄성계수, A_p=패널부의 단면적

(계속)

연구개발 수행내용	A-1 : 댐퍼 유닛 설계기법 도출 (강재댐퍼 유닛요소의 소성해석·변형이론을 이용한 핵심 설계법 확립)
연구결과	■ 최대내력의 설계식(참고문헌 인용) - 댐퍼의 최대내력은 일본 건축학회 을 이용하여 댐퍼의 최대내력을 산정함. $_dQ_u = \tau_{cr} \times t_w + d_w + 2\frac{M_{fu}}{L}$ - 여기에서, L:반곡점까지의 거리, τ_{cr} 과 M_{fu}는 각각 플랜지의 전소성 모멘트, 패널부의 최대응력도이며 다음 식을 이용하여 산정할 수 있음 $M_{fu} = \frac{b \times t_f^2}{4} \times \sigma_{fu}$ - 여기에서, b:플랜지의 폭, t_f:플랜지 두께, σ_{fu}:플랜지의 인장강도 임. $\tau_{cr} = \alpha_2 \times \left(\frac{h}{t_w} \times \sqrt{\frac{\tau_u}{\varkappa_s \times E}} \right)^{-\beta_2} \times \tau_u$ - 단, 위 식은 최대 변형각이 0.1~0.15rad으로 되는 전조 진폭시험결과로부터 얻어진 식이며,아래의 조건을 만족해야함 $0.288 \le \frac{h}{t_w} \times \sqrt{\frac{\tau_u}{\varkappa_s \times E}} \le 0.532$ - 식중의 기호는 E:영계수, τ_u: $\sigma_u/\sqrt{3}$, σ_u:인장응력도, α_2(0.629), β_2(0.620):시험변수를 나타냄(패널 강재 : SN400, SM490, LY100,LY225,LY235, 형상비 1.0의 경우) ※ 주의: 위 댐퍼의 최대내력의 산정식은 패널 강재 : SN400, SM490, LY100,LY225,LY235, 형상비 1.0의 경우를 나타내며, 적용범위에 대해 주의할 필요가 있음 【참고문헌】 1. AIJ (2014) Recommended Provisions for Seismic Damping Systems applied to Steel Structures, Architectural Institute of Japan (in Japanese).

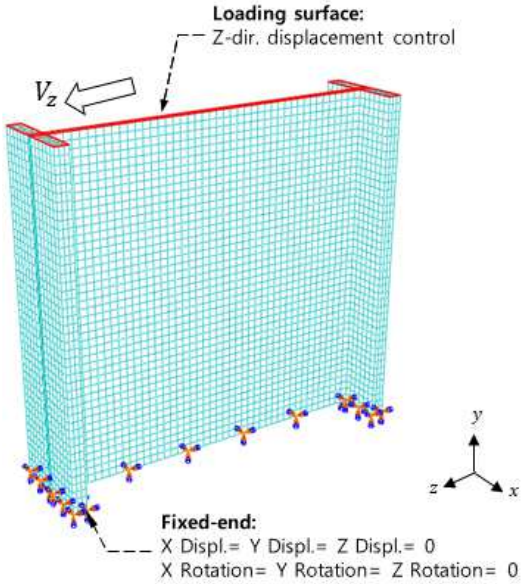
연구개발 수행내용	A-1 : 댐퍼 유닛 설계기법 도출 (유한요소해석을 이용한 댐퍼유닛요소의 최적화 응력전달 메커니즘 도출(형상비의 검증))

연구결과

강재댐퍼 유닛요소의 응력전달기구를 파악하여 최적화된 형상비를 결정하고 앞서 기술한 댐퍼유닛의 설계법의 검증을 위해 댐퍼의 형상비를 파라메터로 유한요소 해석을 실시하였음

■ **해석개요**

사용 프로그램	범용해석 프로그램 ABAQUS
사용 요소	3차원 응력-변형률관계를 따르는 입체요소(solid element)인 C3DR을 적용(8개 노드별3개의 자유도를 갖는 육면체 요소)
요소 분할	높이방향 : 5mm간격 두께방향 : 3등분
경계조건 및 하중조건	구조성능 시험조건과 동일 경계조건 : 하단부-완전고정, 상단부-가력방향 이외의 변위 및 회전구속 하중조건 : 단조재하(시험체의 면외방향으로 변위제어)



[유한요소 해석모델 개요]

○ 해석대상

단면형상	전체 폭 (mm)	플랜지 폭 (mm)	패널부 두께 (mm)	플랜지 두께 (mm)	높이 (mm)	형상비
H-238×60×4.5×9.0	238	60	4.5	9.0	220	1.0
					330	1.5
					440	2.0

Note 1) 표 중 형상비가 1.0인 시험체는 구조성능 시험에서의 시험체인 H-238×60×4.5×9.0(조립형 H형강)과 동일함

○ 재료 모델 특성

- 패널부에는 SS235, 플랜지에는 SM325강재의 항복응력도의 공칭값을 기반으로 강재의 진응
- 진소성변형도 관계는 완전탄소성 모델을 적용함(탄성계수 : 210GPa, 포아송비 : 0.3)
- 강재의 항복기준(yield criteria)으로는 Von Mises의 최대전단응력에 기반한 항복기준을 적용

(계속)

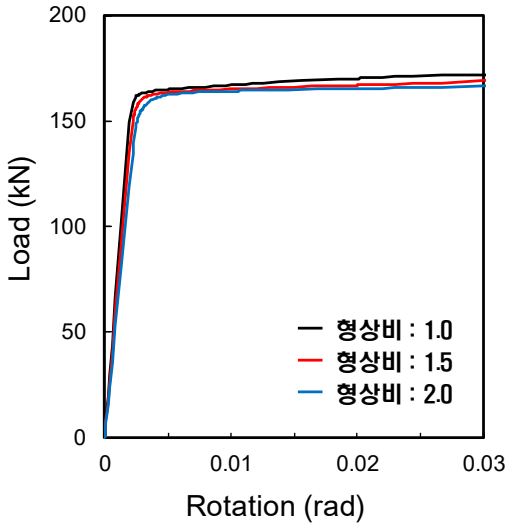
연구개발 수행내용	A-1 : 댐퍼 유닛 설계기법 도출 (유한요소해석을 이용한 댐퍼유닛요소의 최적화 응력전달 메커니즘 도출(형상비의 검증))

연구결과

■ **해석결과**

○ 하중-변위 관계

- 아래 그림에 해석결과의 하중-변형각 관계를 나타냄
- 댐퍼의 형상비카 커지면 초기강성과 내력이 감소하는 경향이 있음



[형상비에 따른 하중-변형각 관계]

○ 초기강성과 전소성 전단내력

- 해석결과로부터 도출한 초기강성과 전소성전단내력에 대해【강재댐퍼 유닛요소의 소성해석 · 변형이론을 이용한 핵심 설계법 확립】에서 제시한 설계값과 비교 · 검증함
- 전소성전단내력의 해석값은 설계값과 비교하여 최대 4%의 오차를 나타내었음
- 초기강성의 해석값은 설계값과 비교하여 최대 1%의 오차를 나타내었음
- 전소성전단내력의 해석값은 설계값과 비교하여 최대 4%의 오차를 나타내었음
- **해석결과에 따르면【1차년도 단위성과물 : 댐퍼유닛 설계기법 도출】에 대한 【질적성과지표 : 초기강성 및 항복내력 설계값대비 오차 ±10%이내】를 만족하고 있음**

해석모델	전소성 전단내력			초기강성		
	해석값 (kN)	설계값 (kN)	해석값/ 설계값	해석값 (kN/rad)	설계값 (kN/rad)	해석값/ 계산값
형상비 1.0	165.1	171.5	0.96	75868.3	74976.6	1.01
형상비 1.5	163.3	166.8	0.98	68534.7	68065.2	1.00
형상비 2.0	163.0	164.4	0.99	60583.3	60285.1	1.00

Note 1) 전소성 전단내력은 전단력과 평균전단변형각 관계에서 0.35% off-set법으로 산출함

Note 2) 초기강성은 전소성 전단내력에 대해 1/3값의 할선강성으로 산출한 값

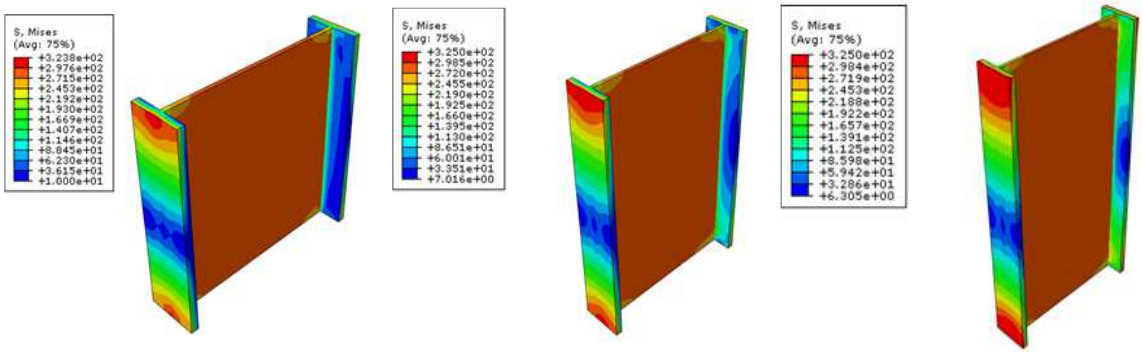
○ 응력전달 메커니즘

- 강재의 항복여부와 응력전달을 나타내는 인자인 Von mises stess분포를 나타냄
- 각 시험체는 플랜지 단부와 패널부 전면이 항복하였음
- 이에 따라 플랜지는 휨에 저항하고 패널부는 전단에 저항하는 것을 알 수 있음
- 형상비가 커지면 패널부 중앙에 분포하는 에 비교적 더 큰 응력이 집중하는 것을 확인함

(계속)

연구개발 수행내용	A-1 : 댐퍼 유닛 설계기법 도출 (유한요소해석을 이용한 댐퍼유닛요소의 최적화 응력전달 메커니즘 도출(형상비의 검증))

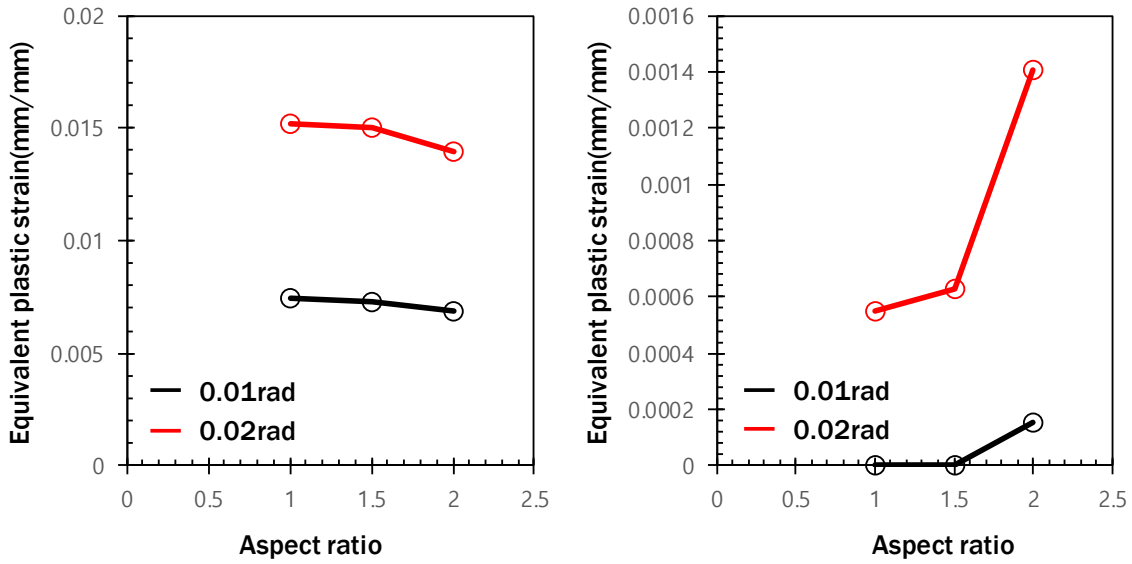
연구결과



형상비 1.0　　형상비 1.5　　형상비 2.0

[형상비에 따른 응력분포도]

- 각 시험체에 비교적 응력이 집중한 플랜지 단부와 패널부 중앙에 대해 강재의 균열에 영향을 끼치는 주 인자인 Equivalent plastic strain을 나타냄
- 각 실험체의 동일한 전단변형각에 대해 형상비가 커지면 패널부 중앙의 플랜지 단부의 Equivalent plastic strain은 약간 감소하는 반면, 플랜지 단부의 Equivalent plastic strain은 현저하게 증가하며, 전단변형각이 커짐에 따라 이러한 현상이 두드러짐



-패널부 중앙　　-플랜지 단부

[형상비에 따른 등가소성변형도 분포]

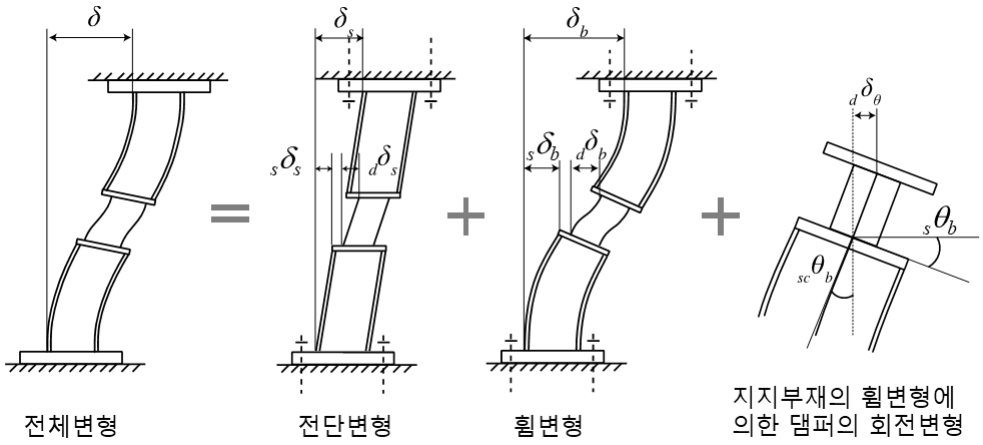
위와 같은 해석결과(응력분포와 변형도 분포)에 따라 댐퍼의 형상비가 커지면 플랜지 단부의 손상(균열)의 발생에 따른 댐퍼의 내력저하와 보유변형성능이 저하되는 결과를 토대로 댐퍼의 형상비를 1.0로 결정함

연구개발 수행내용	A-2 : 댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출 (변형이론을 이용한 모듈시스템 최적설계법 도출)

연구결과

■ **모듈시스템의 초기강성 설계식**

- 수평력 Q의 작용에 댐퍼 모듈 시스템의 변형은 다음의 그림과 같이 댐퍼의 휨변형과 전단변형, 샛기둥 부재의 휨변형과 전단변형, 샛기둥 부재의 휨변형에 의한 댐퍼유닛의 회전변위가 발생함



[수평하중에 대한 모듈시스템의 변형 개요]

- 이를 식으로 나타내면 수평력Q와 댐퍼 모듈시스템의 초기강성${}_mK$ 의 관계는 다음과 같음

$$Q = {}_mK \times R$$

$${}_mK = \left\{ \left(\frac{1}{{}_dK} \times {}_dh + \frac{1}{{}_sK} \times 2_sH + \frac{{}_sH^3 + {}_sH \times {}_dh^2}{2_sE \times {}_sI} \right) \times \left(\frac{1}{2 \times {}_sH + {}_dh} \right) \right\}^{-1}$$

여기서, ${}_dK$: 댐퍼 유닛 초기강성, ${}_dh$: 댐퍼유닛 높이, ${}_sH$:샛기둥 부재 한쪽 높이, ${}_sE$:샛기둥 부재 영계수, ${}_sE$: 샛기둥 부재 단면2차모멘트(강축), ${}_sK$: 샛기둥 부재의 초기강성을 나타냄

- 댐퍼의 초기강성${}_dK$은 【강재댐퍼 유닛요소의 소성해석 · 변형이론을 이용한 핵심 설계법 확립】에서 제시한 댐퍼유닛의 초기강성 설계식과 같으며, 샛기둥 부재의 초기강성를 식으로 나타내면 다음과 같음

$$Q = {}_sK \times {}_s\gamma$$

$${}_sK = \left\{ \frac{1}{{}_sE \times {}_sI} \times \left(\frac{{}_sH^2}{3} + \frac{{}_sH \times {}_dh}{4} \right) + \left(\frac{{}_sA_f + {}_sA_w/4}{{}_sA_f + {}_sA_w/6} \right) \times \frac{1}{{}_sG \times {}_sA_w} \right\}^{-1}$$

여기서, ${}_s\gamma$는 샛기둥 부재에 발생한 변위를 나타냄(${}_s\gamma = \frac{{}_s\delta/2}{{}_sH}$)

■ **샛기둥 부재의 탄성조건**

- 댐퍼유닛에 응력을 집중하기 위해 댐퍼모듈 시스템에서의 샛기둥 부재는 댐퍼 유닛이 최대내력에 도달 할 때 까지 탄성상태를 유지해야함
- 이 조건을 만족하는 댐퍼 유닛의 최대내력${}_dQ_u$과 샛기둥 부재의 탄성한계 내력${}_sQ_y$의 관계는 다음과 같음

$${}_dQ_u < {}_sQ_y = \frac{{}_sZ \times {}_s\sigma_y}{{}_sH + {}_dh/2}$$

여기서, Z_s과${}_s\sigma_y$는 샛기둥 부재의 단면계수(강축)과 항복응력도를 나타냄

(계속)

연구개발 수행내용	A-2 : 댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출 (변형이론을 이용한 모듈시스템 최적설계법 도출)

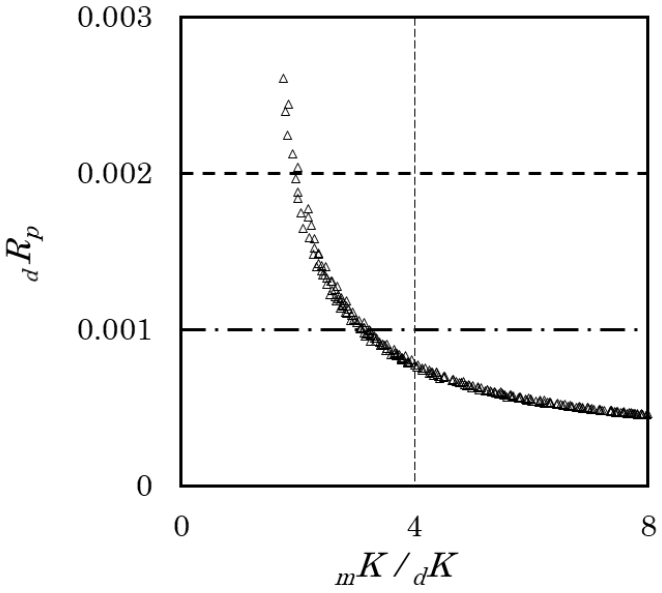
연구결과

■ **댐퍼 모듈 시스템의 설정(댐퍼 항복 시작 층간변위비 설정)**

- 위의 모듈시스템의 초기강성의 설계식과 댐퍼유닛의 전소성전단내력 설계식을 이용하여 댐퍼가 항복하는 층간변형각을 설정하여 샛기둥 지지부재의 단면크기를 결정함
- 이를 위한 가정한 댐퍼유닛과 샛기둥 부재는 다음과 같음

댐퍼유닛			샛기둥 부재	
높이 (mm)	전소성전단내력 (kN)	초기강성 (kN/rad)	높이 (mm)	강재종류
262	330.0	568549.3	1075mm	(구)SN490급

- 이 가정에 대해 샛기둥 부재(H형강 단면)의 단면제원을 변수로 하고 댐퍼유닛이 항복할 때의 층간변위비 ${}_dR_p$와 댐퍼유닛과 샛기둥부재의 초기강성비 ${}_mK/{}_dK$ 의 관계를 다음 그림에 나타냄



[댐퍼 항복시의 층간변위비와 댐퍼 및 샛기둥(간주)의 강성비 관계]

- 위 방법에 따라 표준 댐퍼유닛의 모델에 대해 위 그래프를 이용하여 댐퍼유닛이 항복할 때의 목표 층간변위비설정에 따른 샛기둥 부재의 단면크기를 결정함

연구개발 수행내용	A-2 : 댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출 (유한요소해석을 이용한 모듈시스템의 최적화 응력전달 메커니즘 도출)

【변형이론을 이용한 모듈시스템 최적설계법 도출】에 대한 정합성 검증과 더불어 강재댐퍼 모듈시스템의 응력전달기구와 댐퍼유닛과 그 주변에 인접하는 부재(요소)의 상호관계를 파악하여 최적화 응력전달 메커니즘을 도출하는 것을 목적으로 유한요소해석을 실시하였음

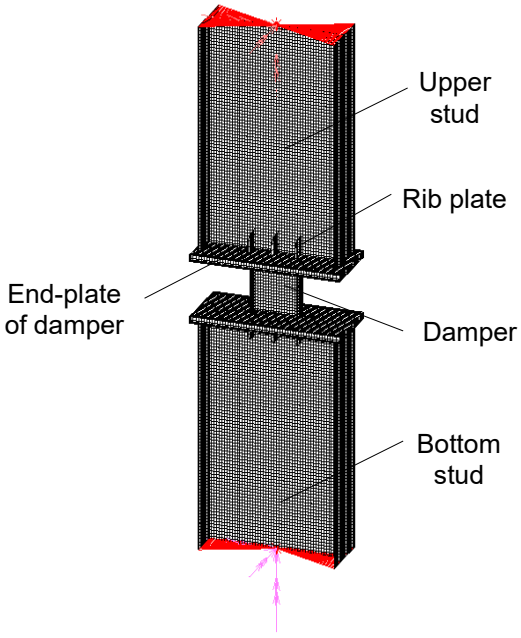
■ **해석개요**

사용 프로그램	범용해석 프로그램 ABAQUS
사용 요소	엔드플레이트 : 3차원 응력-변형률관계를 따르는 입체요소(solid element) 다른 부위 : 2차원 응력-변형률관계를 따르는 평면요소 (shell element)
구성 요소	댐퍼유닛, 엔드플레이트, 리브플레이트, 샛기둥(상·하)
요소 분할	댐퍼 유닛 : 570개 요소분할(플랜지:228개, 패널부:345개) 엔드플레이트 : 5376개 요소분할 리브플레이트 : 144개 요소분할 샛기둥 : 13432개 요소분할(플랜지:5840개, 웹:7592개)
경계조건 및 하중조건	경계조건 : 하단부-완전고정, 상단부-가력방향 이외의 변위 및 회전구속 하중조건 : 단조재하(시험체의 면외방향으로 변위제어)

연구결과

○ 해석대상

- 해석대상은 **【변형이론을 이용한 모듈시스템 최적설계법 도출】**의 연구결과에 따라 댐퍼유닛이 항복할 때의 목표 층간변위비를 약 1/1000rad으로 설정하여 샛기둥을 다음과 같이 설정하였음



댐퍼유닛		리브플레이트	엔드플레이트	샛기둥	
단면형상	형상비			단면형상	높이(㎜)
H-263×90×9×12	1.0	PL-16×90×75	PL-32×800×350	H-750×300×16×25	1086.5

(계속)

연구개발 수행내용	A-2 : 댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출 (유한요소해석을 이용한 모듈시스템의 최적화 응력전달 메커니즘 도출)

연구결과

○ 재료 모델 특성

- 댐퍼유닛의 패널부에는 SS235, 플랜지에는 SM325급 강재의 항복응력도의 공칭값을 기반으로 강재의 진응력-진소성변형도 관계를 tri-liner 모델을 적용함
  (탄성계수 : 210GPa, 포아송비 : 0.3)
- 샛기둥 부재, 리브플레이트, 엔드플레이트에는 SN490급 강재의 항복응력도의 공칭값을 기반으로 강재의 진응력-진소성변형도 관계를 perfect elasto-plasticity 모델을 적용함
  (탄성계수 : 210GPa, 포아송비 : 0.3)
- 강재의 항복기준(yield criteria)으로는 Von Mises의 최대전단응력에 기반한 항복기준을 적용

■ **해석결과**

○ 초기강성 및 전소성 전단내력

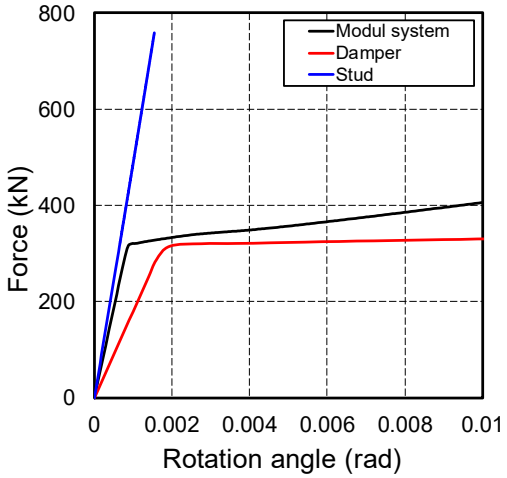
- 댐퍼유닛의 전소성전단내력은 332kN이며 초기강성은 강재댐퍼 모듈시스템은 374000kN/rad, 댐퍼유닛 180000kN/rad, 샛기둥부재 483000kN/rad임

전소성 전단내력 (kN)	초기강성(kN/rad)		
	댐퍼유닛	샛기둥	전체
332.0	180000	483000	374000

Note 1) 전소성 전단내력은 전단력과 평균전단변형각 관계에서 0.35% off-set법으로 산출함
Note 2) 초기강성은 전소성 전단내력에 대해 1/3값의 할선강성으로 산출한 값

○ 하중-변위 관계

- 댐퍼유닛은 내력이 330kN정도에서 소성화가 진행되며, 샛기둥 부재는 재하종료까지 탄성상태를 유지하고 있음
- 이에 따라 모듈시스템은 샛기둥 부재가 탄성상태를 유지하지만 댐퍼유닛의 소성화에 따라 bi-liner의 하중-변위를 나타냄
- 모듈시스템의 소성화는 모듈시스템의 회전각(층간변위비)이 약 0.0011rad정도에서 시작되었으며 1/1000rad으로 설정한 목표층간변위비와 유사한 값을 나타냄
  (모듈시스템의 소성화 시점은 0.2% off-set법을 이용하여 산정)



[수평력과 각부재의 변형각 관계]

- 위와 같은 결과로 **【변형이론을 이용한 모듈시스템 최적설계법 도출】**의 연구결과에 대한 적합성을 확인하였으며, **【구조성능 시험을 통한 모듈 시스템 내진성능 검증】**을 통해 실부재를 대상으로 검증할 예정임

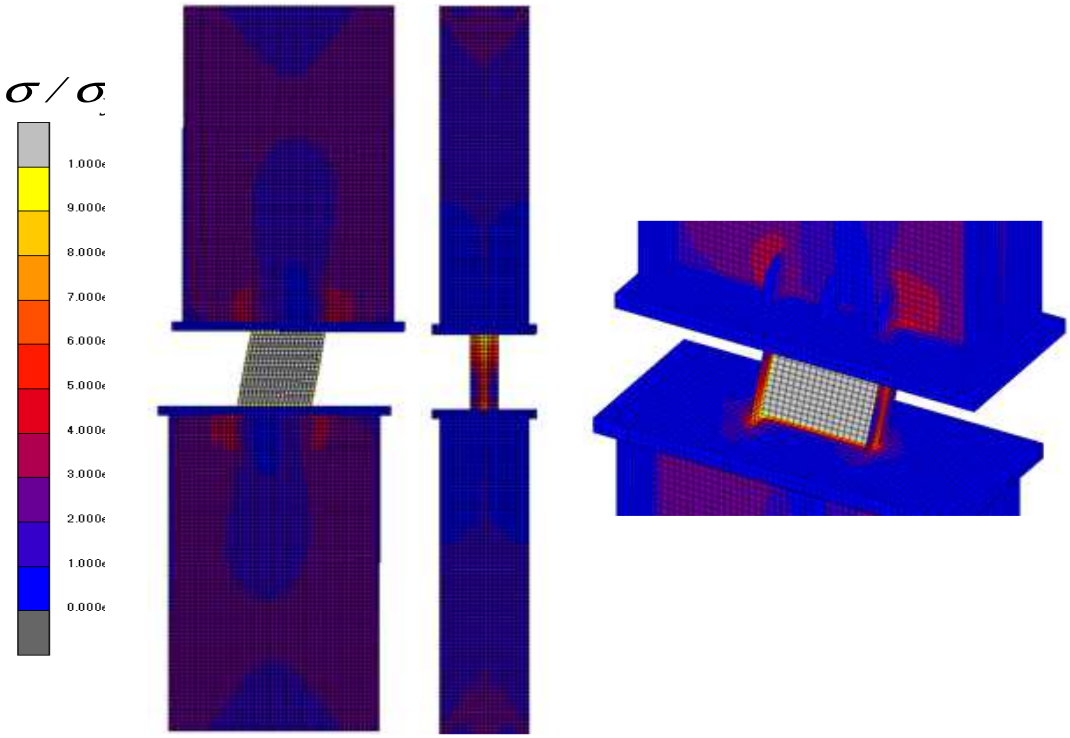
(계속)

연구개발 수행내용	A-2 : 댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출 (유한요소해석을 이용한 모듈시스템의 최적화 응력전달 메커니즘 도출)

연구결과

○ 응력전달 메커니즘

- 모듈시스템의 응력상태는 층간변위비가 1/50rad일때에 댐퍼를 제외한 다른 부위는 탄성상태를 나타내고 있음
- 이는 층간변위비가 최대 허용 층간변위비에 도달하였을 때(댐퍼가 최대내력에 도달하였을 때)에도 간주는 탄성상태를 유지하는 것을 나타냄
- 응력전달 경로는 샛기둥 단부→샛기둥 중앙부→리브 플레이트→엔드플레이트를 통해 댐퍼유닛에 하중이 전달되며 이에따라 댐퍼유닛이 에너지 소산을 함
- 탄성상태에서 응력이 집중되는 리브플레이트와 간주의 응력/항복응력의 값은 0.5이하이며, 댐퍼유닛의 플랜지 폭에 맞추어 배열한 리브플레이트가 샛기둥에서 댐퍼유닛에 응력을 전달하는데 효과적으로 판담됨



항복지표 샛기둥 댐퍼유닛

[층간변위비 1/50일때의 응력분포도]

연구개발 수행내용	A-3 : 댐퍼 접합부 설계기법 도출 (모듈 시스템과 기존 건축물의 접합공법 개발 (앵커접합부 설계기술 및 상세 개발))

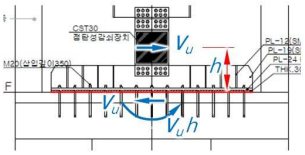
【요약】 간주형 전단항복댐퍼를 지지하는 모듈기둥(간주)과 기존 RC골조 사이를 연결부하는 앵커접합상세를 제안하고, 해석 및 실험을 통해 구조성능을 분석함. 이를 토대로 앵커접합부 설계방법 및 표준상세를 제안함.

연구결과

■ 모듈시스템 앵커접합부의 설계 이슈

- 강재댐퍼를 기존 RC골조 부재에 설치하는 경우, 1) 앵커접합부에 작용하는 하중(소요강도)을 산정하고, 2) 앵커접합부의 공칭강도 계산, 3) 강도감소계수를 고려하여 앵커접합부의 안전성 검토 등의 단계에 따라 수행하여야 함
- 접합부 성능에서 주요 인자는 앵커 사이에 작용하는 부재력(인발력, 전단력 등)의 탄성 또는 비탄성 분포. 압축측 베이스강판 하부의 지압력 분포임
- 분포된 앵커 및 지압력 분포를 고려한 접합부 전체의 안전성 검토 방법. 단위앵커 별로 안전성을 검토할 경우 지나치게 보수적이거나 또는 앵커접합부 설계 자체가 불가할 수 있으므로, 전체 앵커접합부(앵커군)에 대한 안전성의 검토방법이 필요함
- 기존 RC부재는 콘크리트의 강도와 성능이 제한적이므로, 앵커 크기 및 성능이 우수하더라도 앵커접합부에서는 결국 콘크리트 파괴가 지배적인 설계한계상태가 되어 접합강도에 한계가 있을 수밖에 없음. 따라서 실제 설치 가능한 댐퍼 용량에 대한 적정성 검토가 필요함

(1) 소요강도



역량설계 개념을 적용, 댐퍼 최대하중에 대하여 앵커의 소요 전단력 및 전도모멘트 산정

댐퍼 최대 용량에 대한 제한이 필요할 수 있음.

(3) 앵커접합부 안전성 검토 예제

① 소요 전단력 및 전도모멘트

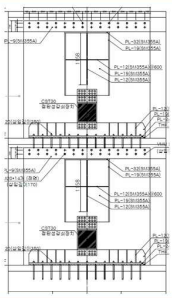
$V_u \approx 350$ kN and
$V_u h = 350 \cdot 1.2 = 420$ kN·m

② 앵커 개당 설계인발강도 (M20 케미컬앵커)

$\phi T_n = 50$ kN

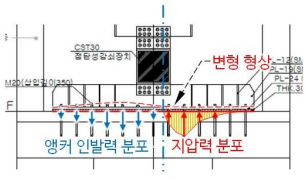
③ 설계 전도모멘트강도

$\phi M_n = 478$ kN·m (specimen3)

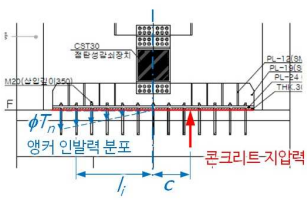


(2) 공칭강도

① 실제 앵커인발력 및 지압력 분포 (비탄성 분포)



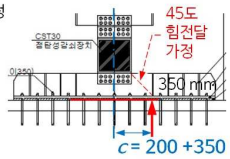
② 설계용 앵커인발력 및 지압력 분포 (탄성 분포)



③ 앵커 저항 전도모멘트강도 산정

$$\phi M_n = \sum_{i=1}^{N} \phi T_n \frac{l_i}{l_N}(l_i + c)$$

여기서, c는 힘전단 경로를 고려하여 결정



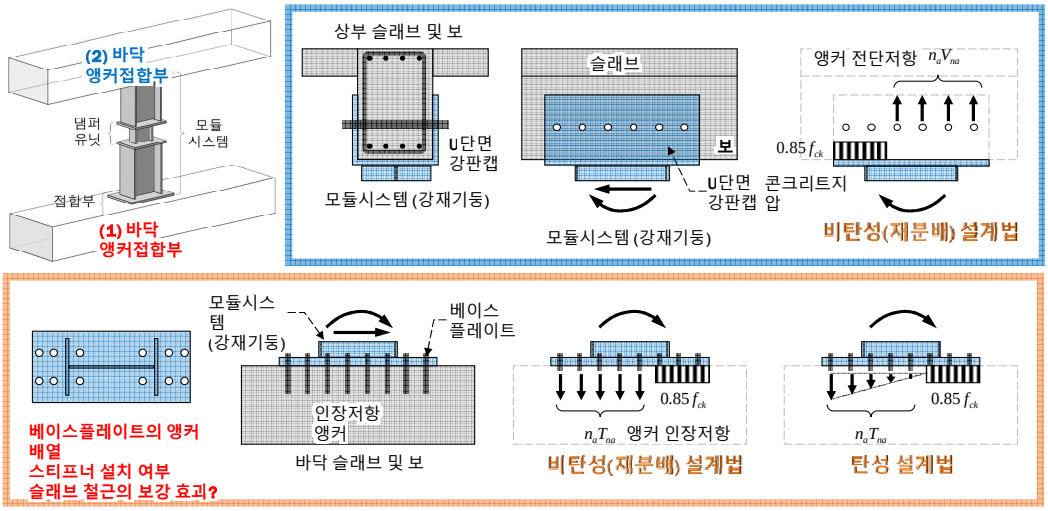
④ 안전성 검토 $\phi M_n \geq V_u h$

[앵커접합부 설계 절차 및 주요 이슈]

- 다음 그림은 본 과제에서 개발하고자 하는 샛기둥 지지형 전단항복댐퍼에 사용하는 앵커접합 상세를 예시하여 나타냄. 댐퍼 모듈시스템은 특성상 상부 RC보에 대한 앵커접합부와 바닥 RC보에 사용하는 앵커접합 상세를 구분하여 접합상세 및 설계법의 개발이 필요함. 특히 앵커접합부에서는 시공성능 및 구조성능과 관련하여 다음 사항에 대한 추가 검토가 필요함
- 상부 RC보와 연결되는 앵커접합부의 경우 부착식 앵커를 설치할 충분한 공간이 없으므로, 보단면을 관통하는 전단저항 앵커 상세 등 적절한 접합방법에 대한 검토가 요구됨
- 바닥 RC보와 연결되는 앵커접합부에는 앵커를 설치하기에 충분한 공간 확보가 가능하며, 접합부 성능을 최대로 확보하기 위해 베이스강판 치수, 앵커 배열,보강상세의 항목이 중요함

(계속)

연구개발 수행내용	A-3 : 댐퍼 접합부 설계기법 도출 (모듈 시스템과 기존 건축물의 접합공법 개발 (앵커접합부 설계기술 및 상세 개발))

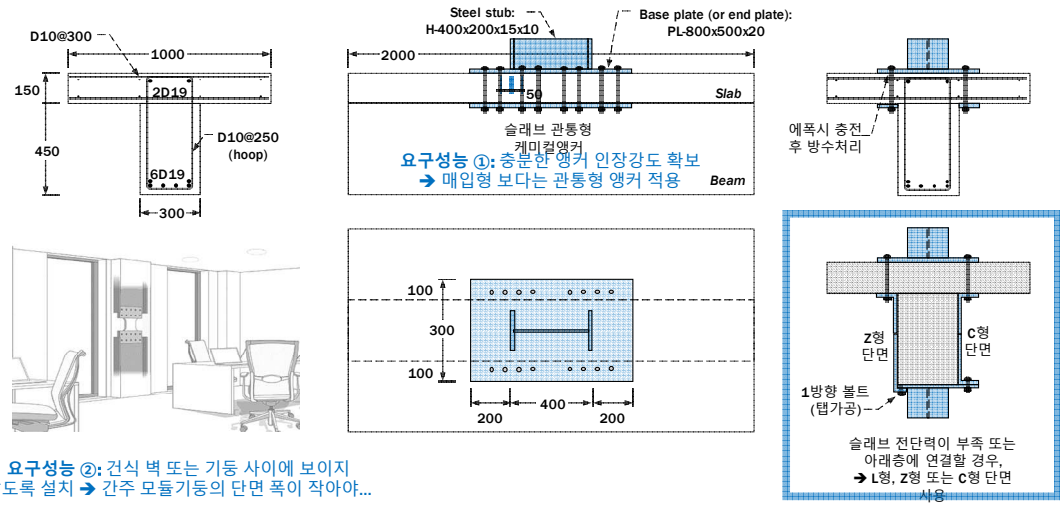


[샛기둥 지지형 전단항복댐퍼를 위한 앵커접합부 상세 및 설계방법 (예시)]

■ 베이스플레이트 및 관통앵커를 이용한 접합상세 제안

○ 접합 개념

- 댐퍼의 최대내력(200 kN)을 전달할 수 있는 관통형 앵커접합 상세를 다음 그림과 같이 제안함. 댐퍼 모듈시스템이 기둥과 기둥 사이 또는 내벽에 가려진 위치에 설치될 수 있는 크기임(폭 300㎜, 깊이 600㎜(슬래브 두께 150㎜ 포함))
- **앵커접합부는 댐퍼의 최대내력에 대해 탄성거동의 조건이 필요하지만, 기존의 콘크리트 부착식앵커의 인발저항강도는 휨모멘트에 의한 앵커 인장력보다 크게 작으므로 슬래브를 관통시켜 앵커볼트를 설치하여 상하에서 밀착조임으로 체결하는 관통형 앵커접합상세**를 가짐
- 샛기둥 부재의 좌우 플랜지 주변에 앵커볼트를 집중시켜 휨모멘트에 의한 인장력에 저항하고, 하부에는 베이스강판을 설치하여 플랜지(샛기둥 부재)의 인장력을 앵커볼트로 전달하여 앵커접합부의 슬래브 콘크리트를 횡보강함 또한 슬래브 하부에서도 슬래브 콘크리트 아래에 보조강판을 넣고 너트를 조임함으로써 앵커접합부 주변의 콘크리트를 횡보강함
- 여러 층에 걸쳐 동일한 위치에 수직 연속으로 설치되는 경우에는 슬래브 윗면에 설치되는 관통형 앵커접합부와 보 아랫면에 설치되는 앵커접합부를 일체화할 수 있는 접합상세를 적용함(그림 우측)



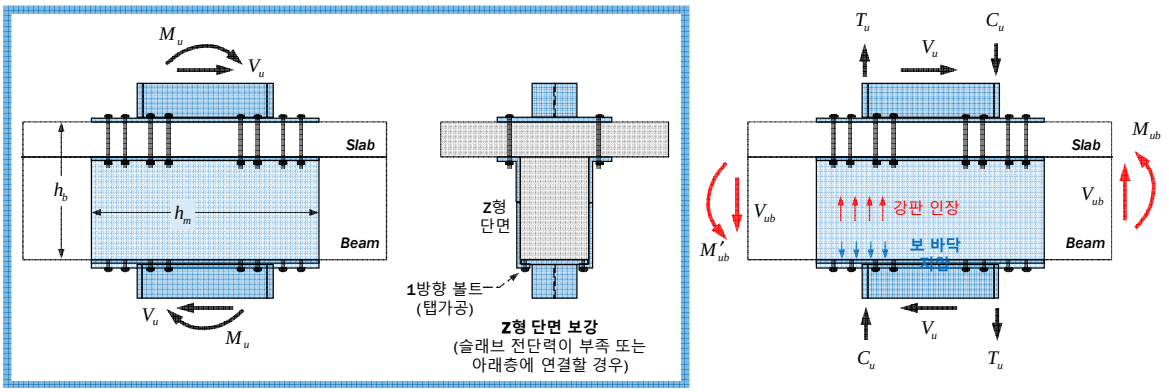
[슬래브 관통형 앵커접합 개념도]

(계속)

연구개발 수행내용	A-3 : 댐퍼 접합부 설계기법 도출 (모듈 시스템과 기존 건축물의 접합공법 개발 (앵커접합부 설계기술 및 상세 개발))

○ 최종 앵커접합 상세

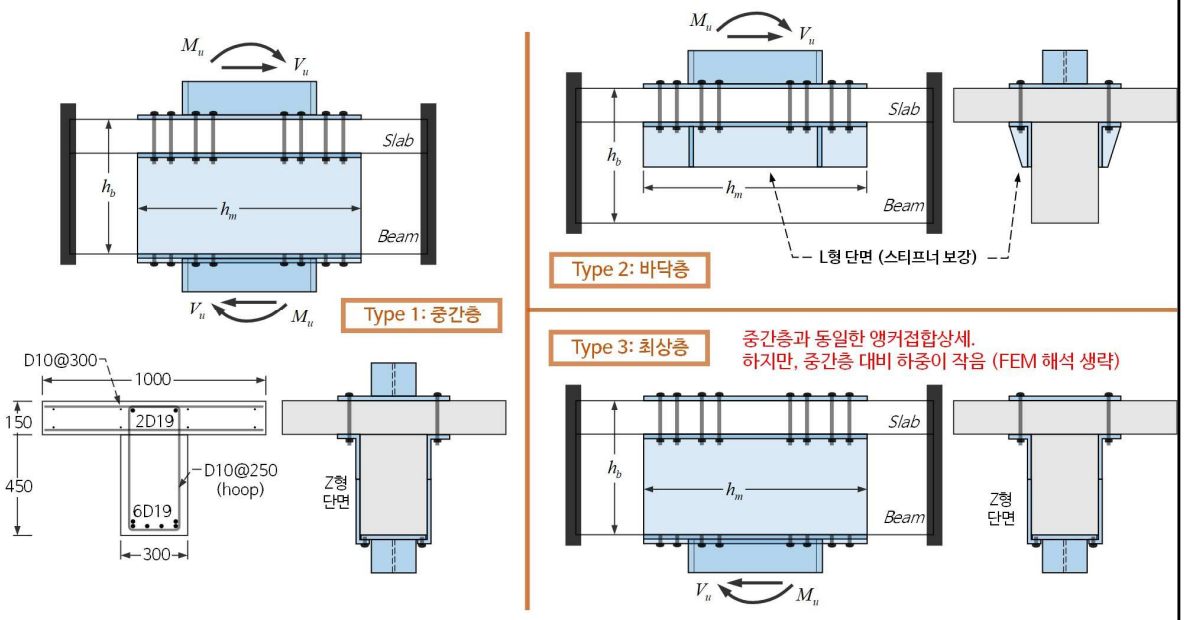
- 위의 기존 RC부재에 대한 안전성 검토에 대한 결과를 바탕으로, 다음 그림과 같이 바닥슬래브 상부의 앵커접합부와 보 아래 앵커접합부를 하나의 강재블록으로 일체화하여 기존 RC부재를 튜브 형태로 횡보강할 수 있는 방식으로 앵커접합 상세를 수정함
- **수정된 앵커접합 상세(이하 일체형 관통 앵커접합)**에서는 슬래브 상부에서 모듈부재의 플랜지 인장력이 슬래브 관통 앵커볼트를 통하여 RC보 하부 모듈부재 플랜지 압축력과 상쇄되므로, **슬래브 층리파괴를 방지할 수 있으며, RC보 하부의 앵커접합부에서 베이스강판과 보 콘크리트 사이에는 별도의 앵커접합이 불필요**함



[제안 앵커접합 상세 및 힘전달 기구: 일체형 관통 앵커접합]

연구결과

- 다음 그림은 일체형 관통 앵커접합 상세를 샛기둥 지지형 전단항복댐퍼가 상하층으로 연속되는 **중간층(Type 1)**, 위로만 설치되는 **바닥층(Type 2)**, 아래로만 설치되는 **최상층(Type 3)으로 구분**하여 개념화한 도면임.
- 바닥층(Type 2)의 경우 슬래브 하부에 L형 강재블록을 사용한 보강이 필요할 것으로 판단되며 최상층(Type 3)의 경우에도 슬래브 상부에 보조강판을 설치하여 앵커접합부의 콘크리트를 횡보강함



[설치 위치에 따른 일체형 앵커접합부 상세]

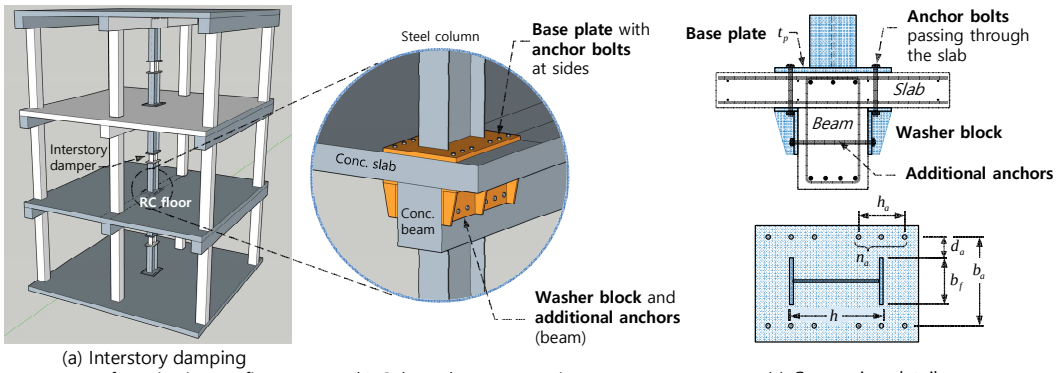
(계속)

연구결과

■ 앵커접합부의 베이스플레이트 설계이론

○ 일반 사항

- 댐퍼시스템의 하중을 기존 골조로 전달하는 간주 하부의 앵커접합부는 기본적으로 강기둥의 주각부 베이스플레이트 연결부(이하 베이스연결부)와 동일함. 여기에서는 제안된 베이스접합부 강도와 강성의 예측을 위한 기본 설계식을 유도하며, B-1의 실험 및 해석 결과를 바탕으로 보정함
- 아래 그림의 (c)와 같이 콘크리트 슬래브를 관통하는 고강도 앵커볼트를 이용하여 슬래브 아래의 강재블록에 베이스플레이트를 직접 고정함. 견고한 접합 성능을 확보하고 슬래브의 조기 콘크리트 균열 및 파손을 줄이기 위해, 관통앵커를 사용하여 강재블록을 콘크리트 보에 추가 고정함. 이 경우 접합 성능은 주로 베이스플레이트의 휨변형 모드에 의해 좌우되며, 베이스연결부의 강도 및 강성 방정식은 접합상세에 영향을 받는 베이스플레이트의 변형모드를 기반으로 제안함



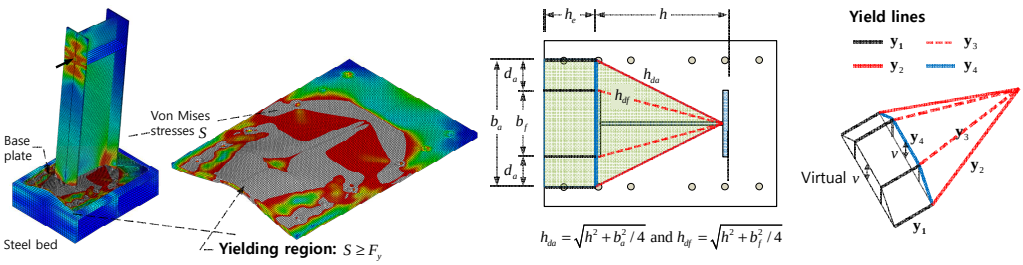
(a) Interstory damping system for seismic retrofit (b) Column base connection (c) Connection details

[내진보강을 위한 간주형 댐퍼시스템 및 베이스연결부 상세]

○ 베이스연결부 휨강도

- 베이스플레이트 휨항복에 의한 베이스연결부의 휨강도는 항복선이론을 기반으로 추정할 수 있음. 아래그림 (a)는 FEM을 통해 얻은 베이스플레이트의 변형 및 항복영역을 보여줌. 인장측에서 베이스플레이트의 휨항복은 기둥 플랜지 내부 및 그 바깥에서, 그리고 양측면의 앵커볼트 배열라인을 따라 발생함. 베이스플레이트의 항복메커니즘은 복잡하므로 항복선을 정확히 추적하기 어려움. 따라서 베이스플레이트의 항복메커니즘을 아래그림 (b)와 같이 4가지 유형의 항복선(y1 ~ y4)으로 단순화함(기둥 플랜지 바깥의 y1, 기둥 플랜지 내부의 y2 및 y3, 플랜지 방향을 따라 발생하는 y4).
- 아래그림 (b)와 같이 베이스연결부는 모멘트 M_{pl}을 받는 것으로 가정함. 인장측의 기둥 플랜지에서 가상변형 v(처짐)가 발생하면 변형메커니즘에 따라 베이스연결부의 회전을 대략 v/h로 가정할 수 있음(h = 기둥 단면깊이). 외부하중 M_{pl}이 한 외부 가상일 W_E는 다음과 같음

$$W_E = M_{pl}\frac{v}{h}$$



(a) Base plate yielding (finite element analysis) (b) Yield lines of base plate

[베이스플레이트의 항복메커니즘]

(계속)

연구결과

- 내부 가상일 W_I는 항복선 y1에서 y4를 따라 저장된 모든 소성변형에너지를 합산하여 다음과 같이 계산할 수 있음.

$$W_I = F_y t_p^2 \left(\frac{h_e}{d_a} + \frac{h_{da} + h_{df}}{2d_a} + \frac{b_a}{4h} \right) v$$

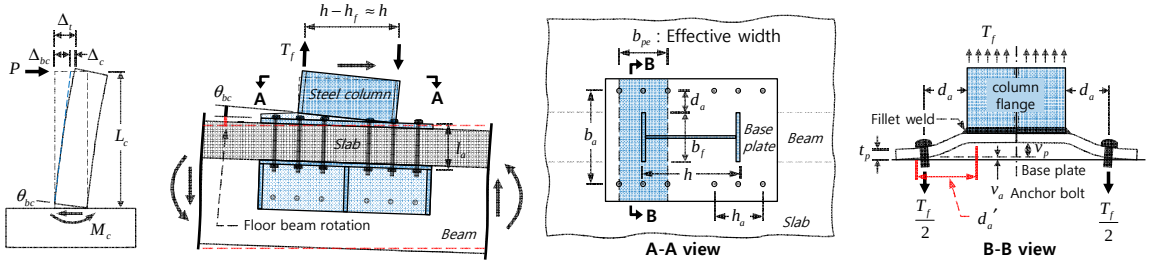
여기서, F_y = 베이스플레이트의 항복강도; t_p = 베이스플레이트의 두께; b_a = 기둥의 양쪽에 있는 앵커볼트 사이의 중심거리; d_a = 플랜지 가장자리에서 인접한 앵커볼트의 중심선까지의 거리; h_e = 기둥 플랜지 바깥으로 확장된 부분에 형성되는 항복선 y1의 길이변수; h_{da} 및 h_{df} = 기둥 플랜지 내에서 형성되는 대각선 항복선 y2 및 y3의 길이변수.

- 베이스플레이트 항복에 의한 베이스접합부 휨강도(M_{pl})는 외부일 W_E와 내부일 W_I를 같다고 놓고 풀어 다음과 같이 계산됨. 아래 식에서 h_e를 제외하고 모든 변수는 재료속성 및 접합상세로부터 결정됨. h_e는 실험 및 해석으로부터 결정함.

$$M_{pl} = F_y t_p^2 h \left(\frac{h_e}{d_a} + \frac{h_{da} + h_{df}}{2d_a} + \frac{b_a}{4h} \right)$$

○ 베이스연결부 초기 회전강성

- 아래그림은 기존건물의 바닥 슬래브와 보에 설치되는 베이스연결부의 변형을 나타냄. 인장측 기둥 플랜지의 총 수직처짐(v_f)은 앵커볼트의 축변형(v_a)과 베이스플레이트의 휨처짐(v_p)의 합으로 표현됨.



(a) Base connection under lateral loading (b) Base plate bending mode (one-way bending)

[항복 이전 초기 회전강성 평가를 위한 베이스플레이트 변형모드]

- 앵커볼트의 축변형(v_a)은 다음과 같이 계산됨.

$$v_a = \frac{T_f}{n_a} \frac{l_a}{EA_a}$$

여기서, T_f = 기둥 플랜지의 인장력으로 $M_c/(h-t_f) \approx M_c/h$; M_c = 베이스 레벨에서의 기둥 모멘트; n_a = 인장측에 사용된 앵커볼트의 총 개수; E = 강재 탄성계수; A_a = 단일 앵커볼트의 단면적; l_a = 앵커볼트의 길이.

- 베이스플레이트 실제 변형모드 및 힘전달은 복잡하지만, 베이스 연결부에 사용되는 앵커볼트가 양측에만 배치된다는 점을 감안할 때 베이스플레이트는 위 그림 (b)와 같이 플랜지 방향을 따라 일방향 휨변형으로 가정할 수 있음. 따라서 일방향 휨변형에 대한 베이스플레이트의 유효너비(b_{pe})를 가정하면, 베이스플레이트의 탄성변형(v_p)은 휨변형 및 전단변형의 합으로 계산됨

$$v_p = \frac{T_f \left(d_a' \right)^3}{\alpha E I_{pe}} + \frac{T_f d_a}{G A_{pe}}$$

(계속)

연구결과

- 여기서, I_{pe} = $b_{pe}t_p^3/12$; b_{pe} = 인장 플랜지 근처의 일방향 휨에 대한 베이스플레이트의 유효너비; G = 강재 전단탄성계수(= 0.385E); A_{pe} = [5/6]$b_{pe}t_p$. 긴 앵커로드가 콘크리트 기초에 매립되는 기존의 기둥 주각부의 경우 긴 앵커로드의 축변형이 크기 때문에 계수 α를 3으로 취함. 반면, 기존 콘크리트 슬래브를 관통하는 앵커볼트의 길이가 짧고 시공시 초기장력이 가해지는 제안된 베이스연결부의 경우 관통 앵커볼트의 축변형이 작음. 따라서 베이스플레이트 휨변형에 대한 앵커의 회전구속이 완전히 유지된다고 가정하여, α를 24로 취함(즉, 이중곡률 휨모드, 위 그림 (b) 참조). 다만, 두 회전구속 지점 사이의 거리는 d_a'으로 조정됨. 플레이트 변형(v_p) 및 베이스 회전변형 예측 정확도는 적절한 b_{pe} 및 d_a' 값 선정에 의해 좌우되며, 이들 값들은 실험 및 해석 연구를 통해 결정될 수 있음
- 인장측 기둥 플랜지의 상향 수직처짐 v_f(= v_a+v_p)는 다음과 같은 베이스연결부 회전 θ_{bc}(= v_f/h)를 만들어냄(위 그림 (a) 참조).

$$\theta_{bc} \approx \frac{v_f}{h} = \left(\frac{T_f}{n_a} \frac{l_a}{EA_a} + \frac{T_f \left(d_a'\right)^3}{24EI_{pe}} + \frac{T_f d_a}{GA_{pe}} \right) \frac{1}{h}$$

- 위 식에서 T_f = M_c/h를 대입하고 M_c를 θ_{bc}로 나누면, 베이스연결부의 초기 회전강성 k_i (즉, 베이스플레이트 항복 이전)는 다음과 같이 결정됨

$$k_i = \frac{M_c}{\theta_{bc}} = \frac{1}{\left(\frac{l_a}{n_a EA_a} + \frac{\left(d_a'\right)^3}{24EI_{pe}} + \frac{d_a}{GA_{pe}} \right) \frac{1}{h^2}}$$

- 위 식의 초기강성 k_i는 기존 기둥의 주각부와 다음 측면에서 다름. 첫째, 기둥에 압축하중이 없으므로 압축 접합면에서 콘크리트 변형이 k_i에 미치는 영향을 무시할 수 있음. 둘째, 기둥으로부터 전달되는 모멘트하중 M_c는 위 그림(a)와 같이 바닥보(슬래브 포함)가 저항하며, 이 과정에서 바닥 보에 회전변형이 발생함. 이러한 보 회전변형은 일반적으로 보에 적절한 유효강성을 할당하여 고려함

연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))

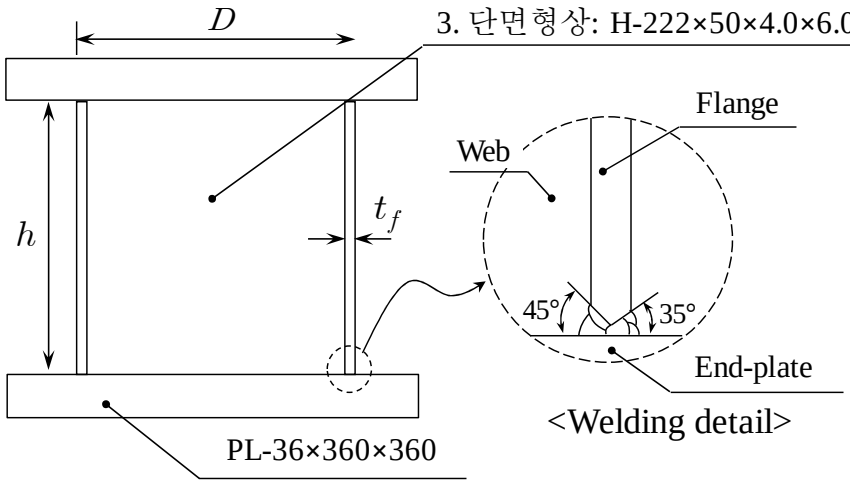
강재댐퍼의 핵심설계법에 대한 검증과 댐퍼가 가진 내진성능을 검증하기 위해 다음과 같은 재료시험과 구조성능 시험을 실시하였음

연구결과

■ **시험체 개요 (일정진폭 반복가력 실험)**

시험체 구성	H형강과 상·하 단부에 엔드플레이트
단면형상	1. H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강:패널부-SS235급, 플랜지 SM325급) 2. H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강:SS275) 3. H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:패널부와 플랜지-SPHC)
패널부의 형상비	1. H-238×60×4.5×9.0(조립형 H형강) : 1.0 2. H-200×50×4.5×7.0(열간압연 H형강) : 0.93 3. H-222×50×4.0×6.0(조립형 H형강) : 1.0
사용강재	1. H-238×60×4.5×9.0(조립형 H형강) : 패널부SS235급, 플랜지SM325 2. H-200×50×4.5×7.0(열간압연 H형강):SS275 3. H-222×50×4.0×6.0(조립형 H형강) : SPHC
접합방법	모든 실험체의 플랜지와 엔드플레이트는 완전용입용접, 이외의 접합부는 필릿용접함 ※ 플랜지와 엔드플레이트의 용접은 플랜지 양단의 외측을 2층 3패스로 용접하고 반대 측을 가우징 한 다음, 2층 2패스의 완전용입용접으로 상·하 엔드플레이트와 접합
사용용접봉	TIG용접용과 피복아크용접용 K-7(KS D 7104 : YFW-C50D)
시험체 갯수	위의 시험체에 대하여 각 3개씩 합계 9개

1. 단면형상:H-238×60×4.5×9.0(조립형 H형강)
2. 단면형상:H-200×50×4.5×7.0(열간압연 H형강)
3. 단면형상: H-222×50×4.0×6.0(조립형 H형강)



<Welding detail>

- 높이
  1. 단면형상:H-238×60×4.5×9.0 - 220mm
  2. 단면형상:H-200×50×4.5×7.0 - 200mm
  3. 단면형상:H-222×50×4.0×6.0 - 210mm

[실험체 상세]

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))

■ **시험체의 재료적 특성**

- 강재댐퍼 유닛요소의 각 부위의 재료적 특성을 파악하기 위해 인장소재 시험을 실시하였음
- 시험편은 패널부는 5호, 플랜지는 1A호의 아령형 형상으로 제작함(KS B 0801)

[댐퍼구성 부위의 인장소재 시험결과]

시험체 종류 (단면형상)	부위	두께 (mm)	사용강재	항복강도 (N/mm^2)	인장강도 (N/mm^2)	항복비	연신율 (%)
H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)	web	4.5	SS235 grade	220.9	324.0	0.74	47.6
	flange	9.0	SM325 grade	398.1	508.0	0.84	21.5
H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강)	web	4.5	SS275	365.8	499.9	0.76	32.4
	flange	7.0		339.4	489.0	0.72	34.7
H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강 SPHC)	web	4.0	SPHC	205.1	331.2	0.62	50.2
	flange	6.0		212.0	323.8	0.62	50.3

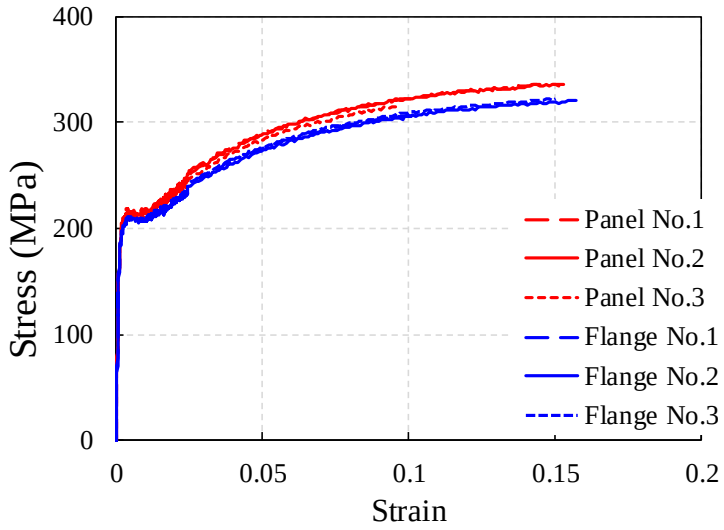
Note 1) 표 중의 web은 panel을 나타냄

Note 2) 표 중의 값은 각 부위에 대해 3편의 인장시험 결과값의 평균값을 나타냄

Note 3) 표 중의 항복강도는 0.2% off-set법을 이용하여 산출하였음

연구결과

- **위의 각 실험체의 인장소재 시험결과는 국내관련 기준의 항복강도, 인장강도, 연신율을 만족하고 있음.** 단, SPHC강재는 KS기준에서 항복강도의 규정이 없으며, 인장강도와 연신율에 대한 규정만 있음
- 다음의 그림에 SPHC강재에 대한 인장소재 시험결과를 나타냄



[SPHC강재의 인장소재 시험결과]

- 그림으로부터 확인할 수 있듯이, SPHC강재의 시험편은 부위별(패널부와 플랜지)로 유사한 응력-변형도 곡선을 나타내며 재료의 오차가 적음을 확인할 수 있음

(계속)

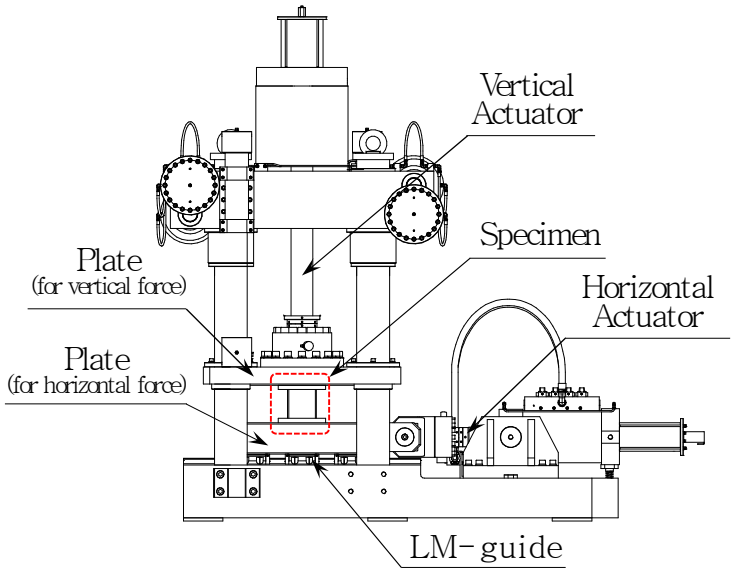
연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))

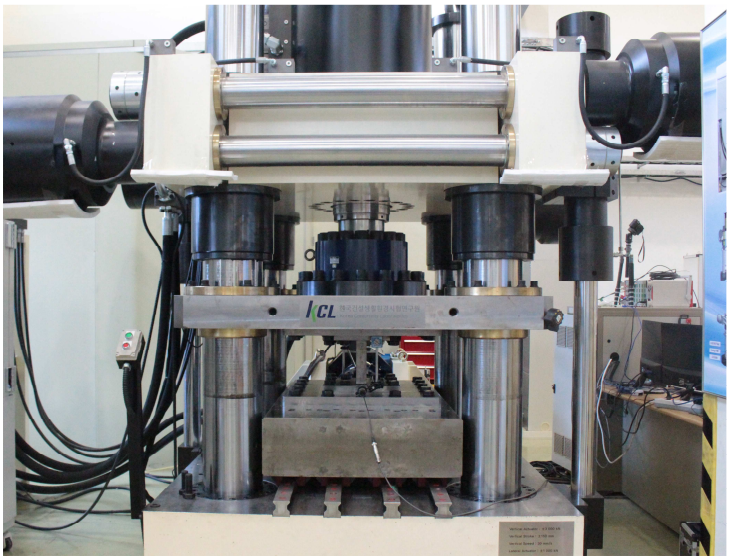
연구결과

■ **시험 개요(피로반복)**

- 시험개요는 다음의 표와 같음

재하 장치	- 아래 그림 참조
시험체 고정방법	- 실험체에 높이 방향으로 역대칭 모멘트가 분포하도록 강체회전이 발생하지 않는 수직 가력용 플레이트와 수평 가력용 플레이트에 고정하였음 - 실험체에 장기축력이 작용하지 않는 경우를 고려하여 수직 플레이트의 상부에 설치된 수직 엑츄에이터를 제어하여 수직 플레이트의 중량 등에 의한 축력이 실험체에 작용하지 않도록 하였음
재하방법	- 실험체에 발생하는 평균 전단변형각(수평변위를 실험체의 높이로 나눈값)이 3%, 5%, 7%의 일정진폭이 되도록 1,000kN의 수평 액츄에이터를 이용하여 반복가력 함
시험종료 조건	- 내력이 최대내력의 70% 이하로 저하될 때까지 반복재하를 실시하였음





[Test setup]

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))

■ 시험결과

○ 초기강성, 전소성 전단내력, 최대내력

- 각시험체의 시험결과에 대한 하중-변형각 관계로부터 도출한 초기강성, 전소성전단내력, 최대내력은 다음의 표와 같음

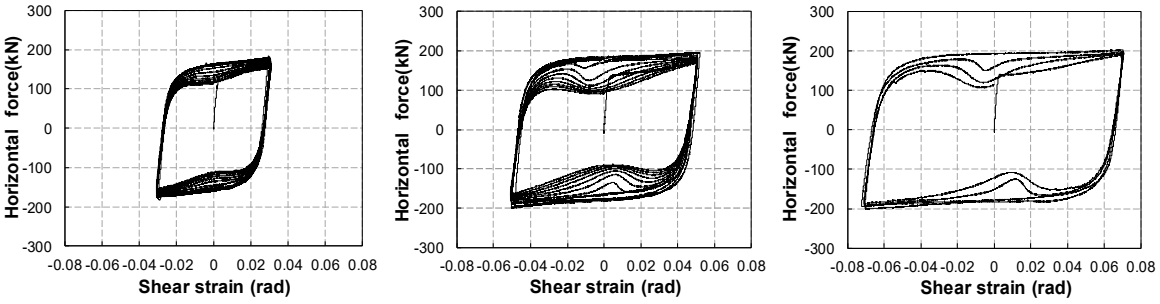
시험체 종류	재하진폭 (전단변형각)	초기강성 (kN/rad)	전소성전단내력 (kN)	최대내력 (kN/rad)
H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)	3%	82785.2	137.4	183.1
	5%	72444.0	138.9	196.5
	7%	70246.2	138.0	202.8
H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강)	3%	66786.9	182.3	235.0
	5%	57501.2	181.0	265.6
	7%	62502.2	170.7	264.9
H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강)	3%	54441.1	111.7	143.9
	5%	61440.7	125.2	170.0
	7%	56683.8	110.4	153.0

Note 1) 전소성 전단내력은 전단력과 평균전단변형각 관계에서 0.35% off-set법으로 산출함
Note 2) 초기강성은 전소성 전단내력에 대해 1/3값의 할선강성으로 산출한 값

연구결과

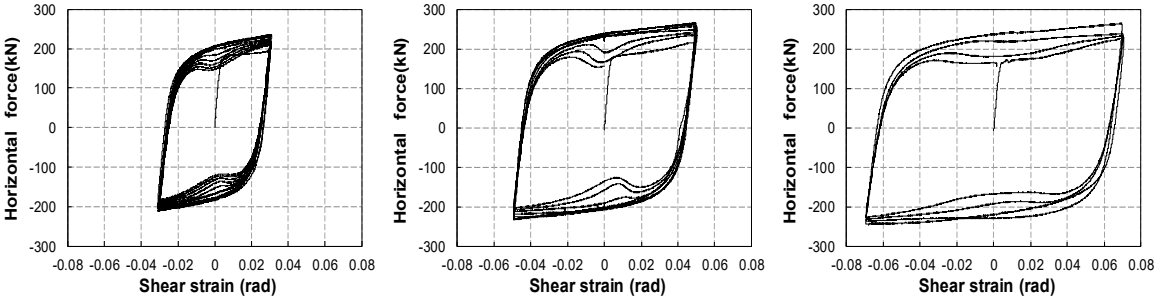
○ 이력곡선

- 모든 시험체(조립형 H형강, 열간압연 H형강)의 하중-변위 곡선은 재하진폭과 관계없이 2번째 사이클 정도에서 내력이 최대내력까지 상승하여 안정된 방추형의 이력곡선을 나타냄



재하진폭 3% 재하진폭 5% 재하진폭 7%

H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)

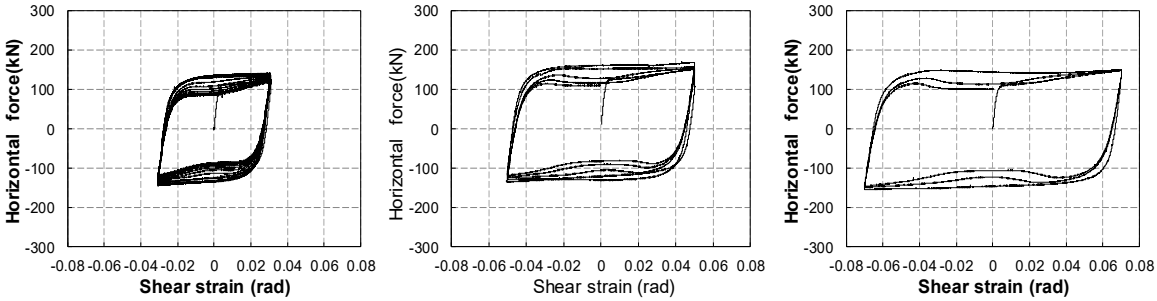


재하진폭 3% 재하진폭 5% 재하진폭 7%

[H-200×50×4.5×7.0(열간압연 H형강)]

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))



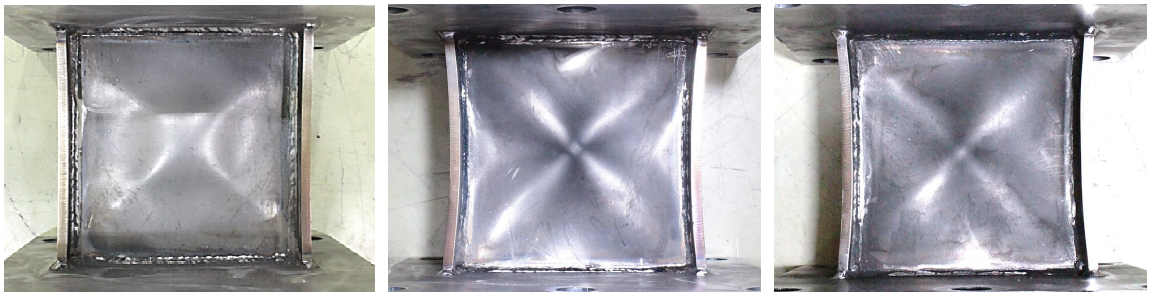
재하진폭 3% 재하진폭 5% 재하진폭 7%

[H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강)]

○ 파괴형식

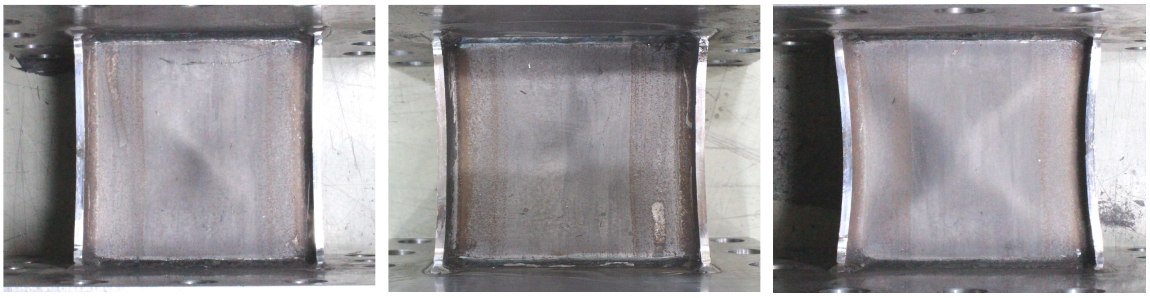
- 모든 시험체는 패널부의 면외변형이 발생하여 전단좌굴로 진전하여 내력이 저하하였으며, 다른 부위에 균열등의 파단은 발생하지 않았음

연구결과



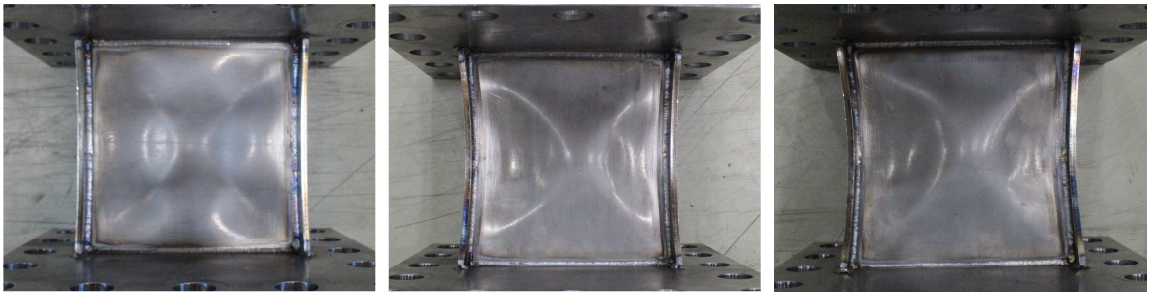
재하진폭 3% 재하진폭 5% 재하진폭 7%

[H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)]



재하진폭 3% 재하진폭 5% 재하진폭 7%

[H-200×50×4.5×7.0(열간압연 H형강)]



재하진폭 3% 재하진폭 5% 재하진폭 7%

[H-222×50×4.0×6.0(조립형 H형강)]

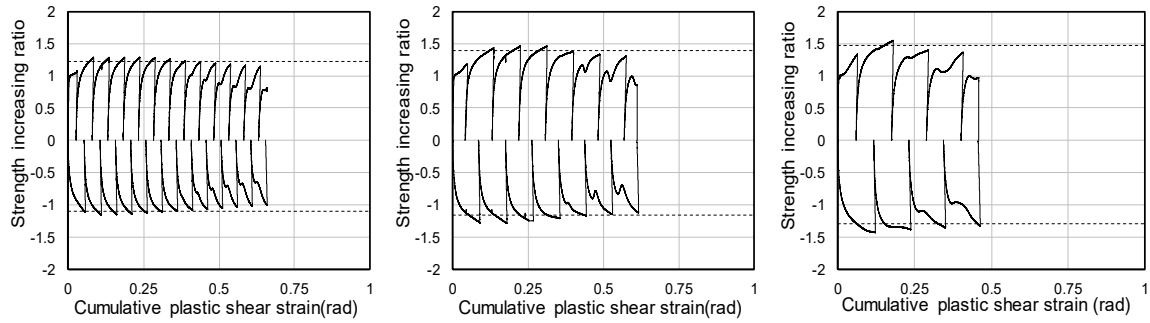
(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))

연구결과

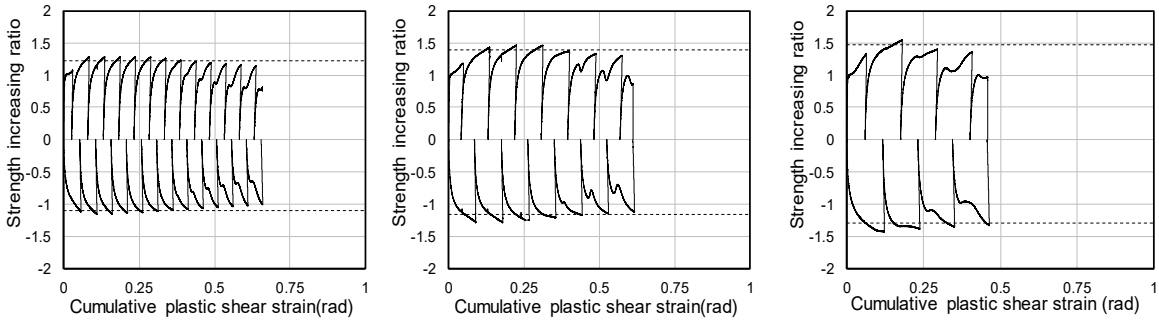
○ 내력상승률-누적 소성 전단변형각 관계

- 각 시험체에 대한 내력상승률과 누적전단소성변형각의 관계를 파악함
- 그림의 세로축은 각 사이클의 내력을 전소성 전단내력의 실험값으로 나눈 값(내력상승률)이며, 가로축은 이력곡선에서 내력을 +측과 -측으로 구분하여 평균 전단변형각을 +측으로 누적한 값임. 또한, 그림 중의 점선은 각 실험체 내력이 최대내력의 90%로 저하된 값임
- H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)은 1.31~1.47, H-200×50×4.5×7.0(열간압연 H형강)은 1.27~1.54, H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강)은 1.28~1.40의 내력상승률을 나타냄
- 모든 실험체는 재하진폭이 커지면 내력상승률은 증가하고 누적소선전단변형각이 감소하는 경향이 있음



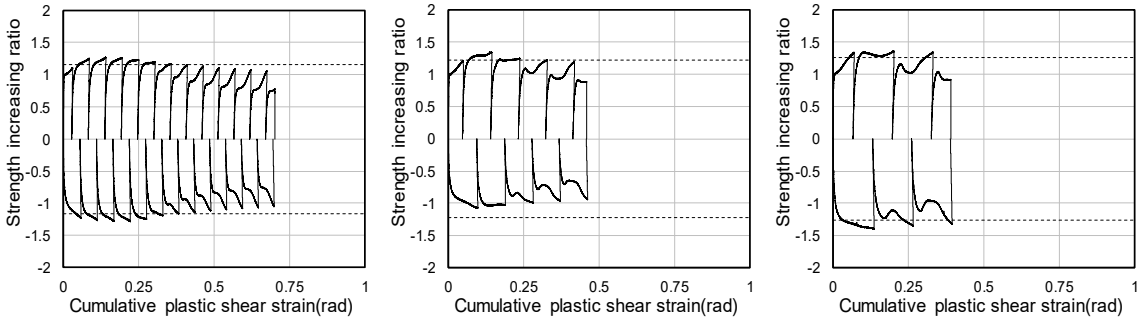
재하진폭 3% 재하진폭 5% 재하진폭 7%

[H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)]



재하진폭 3% 재하진폭 5% 재하진폭 7%

[H-200×50×4.5×7.0(열간압연 H형강)]



재하진폭 3% 재하진폭 5% 재하진폭 7%

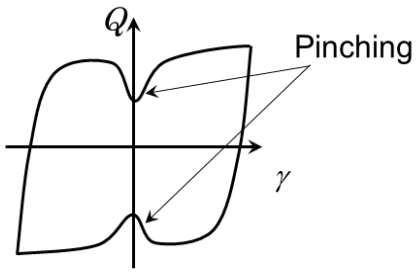
[H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강)]

- 모든 실험체는 전단변형각이 누적되어 패널부의 면외변형에 의해 다음 그림에 나타내는 핀칭현상이 발생하였음

(계속)

연구결과

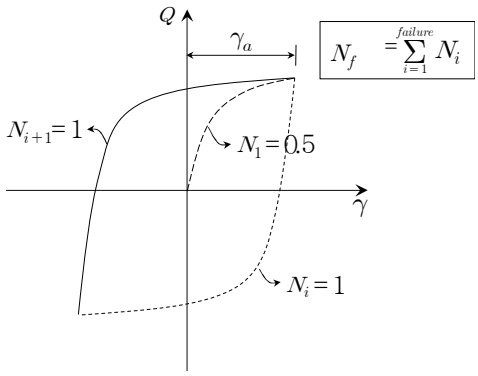
- ※핀칭현상 : 반복변형 또는 대변형에 의해 패널부 대각방향으로 tension field가 발생. tension field에 작용하는 하중의 방향이 바뀌는 구간(전단변형각이 0인 부근)에서 내력이 일시적으로 저하되는 현상



[핀칭현상 개요]

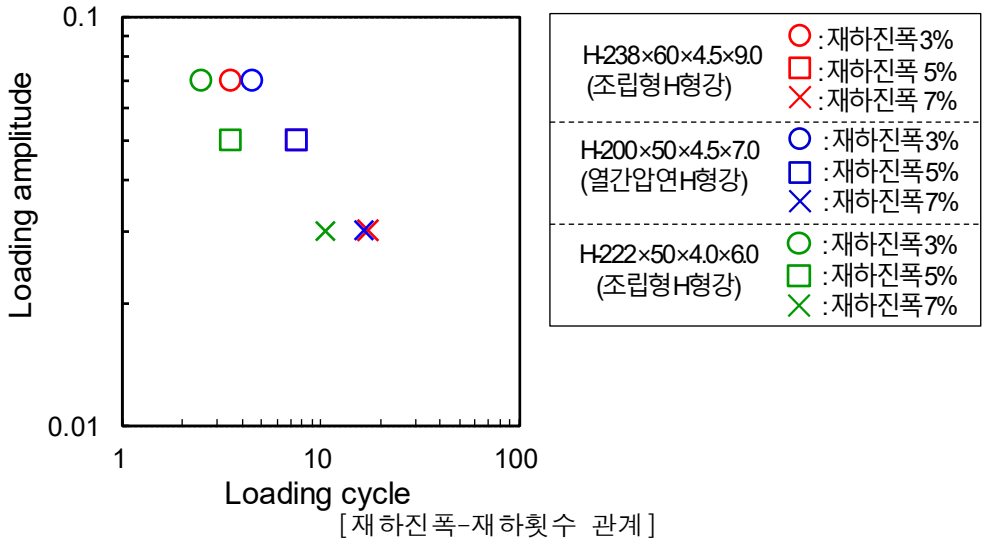
○ 보유변형성능

- Manson-Coffin법칙을 이용하여 다음 그림에서 정의하는 재하진폭-재하횟수(내력이 최대내력의 95%로 저하된 시점에서의 재하횟수)의 정의를 이용하여 각 시험체의 보유변형성능(재하진폭과 재하횟수)의 관계를 파악함



[재하진폭-재하횟수의 정의]

- 재하진폭은 전단변형각(3%, 5%, 7%)이며 재하횟수는 내력이 최대내력의 95%로 저하된 시점에서의 재하횟수를 나타내며, H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)과 H-200×50×4.5×7.0(열간압연 H형강)은 재하진폭이 커지면 재하횟수는 저하하며, 음의 선형관계를 나타냄



[재하진폭-재하횟수 관계]

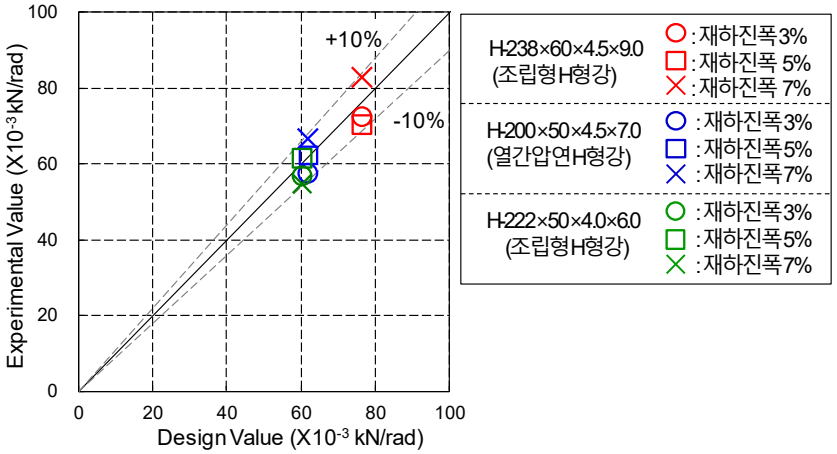
연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (유닛요소 설계기법 적합성 검토)

연구결과

【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증】의 시험결과를 이용하여 **【1차년도 단위성과물 : 댐퍼유닛 설계기법 도출】**에 대한 **【질적성과지표 : 초기강성 및 항복내력 설계값대비 오차 ±10%이내】**의 만족여부를 검증함

■ **전소성전단내력 설계식의 검토**

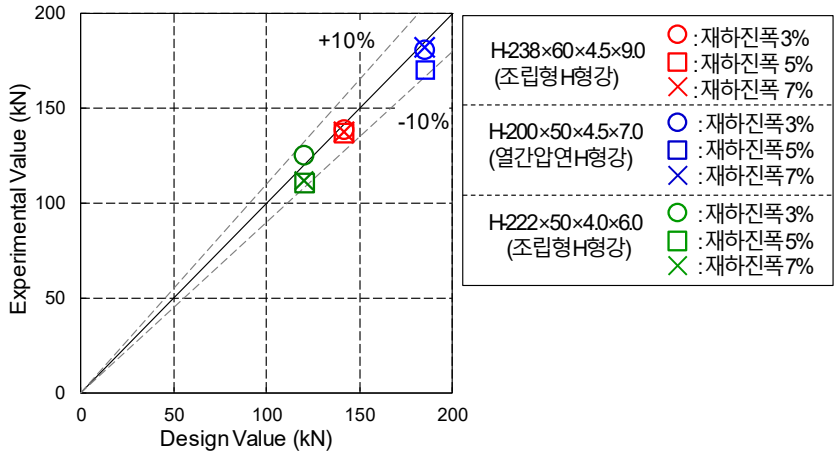
- 다음의 그림에 전소성전단내력에 대해 시험값와 설계값을 비교하여 나타냄 (그래프의 가로축: 설계값, 세로축 : 실험값)
- H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)의 경우 실험값은 설계값과 비교하여 최대 3%의 차이를 나타내며, H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강)의 경우 실험값은 설계값과 비교하여 최대 8%의 차이를 나타냄. H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강)의 경우 실험값은 설계값과 비교하여 최대 8%의 차이를 나타냄
- 이 결과는 **【1차년도 단위성과물 : 댐퍼유닛 설계기법 도출】**에 대한 **【질적성과지표 : 항복내력 설계값대비 오차 ±10%이내】**를 만족함.



[댐퍼 유닛요소 설계법(항복내력(전소성 전단내력)) 적합성 검토 (실험값와 설계값의 비교)]

■ **초기강성 설계식의 검토**

- 다음의 그림에 탄성강성에 대해 시험값와 설계값을 비교하여 나타냄 (그래프의 가로축: 설계값, 세로축 : 실험값)
- H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)의 경우 실험값은 설계값과 비교하여 최대 8%의 차이를 나타내며, H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강)의 경우 실험값은 설계값과 비교하여 최대 9%



[댐퍼 유닛요소 설계법(초기강성) 적합성 검토 (실험값와 설계값의 비교)]

(계속)

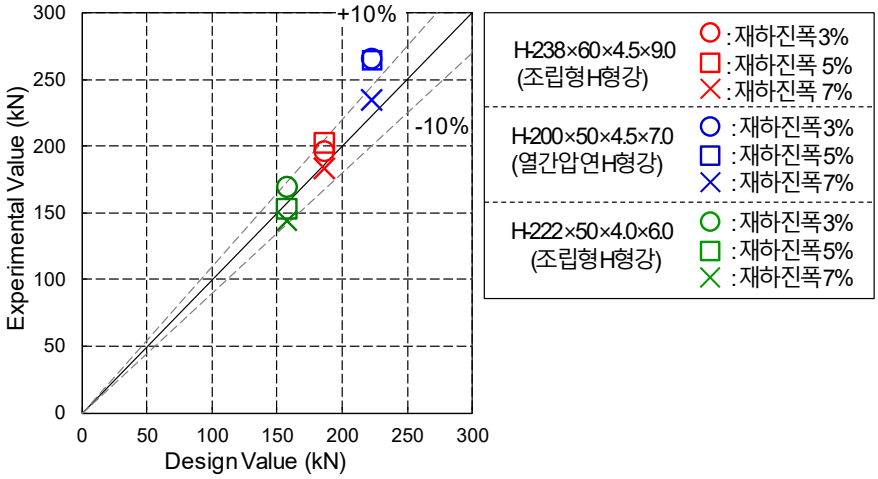
연구결과

의 차이를 나타냄. H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강)의 경우 실험값은 설계값과 비교하여 최대 9%의 차이를 나타냄

- 이 결과는 **【1차년도 단위성과물 : 댐퍼유닛 설계기법 도출】**에 대한 **【질적성과지표 : 초기강성 설계값대비 오차 ±10%이내】**를 만족함.

■ **최대내력 설계식의 검토**

- 다음의 그림에 최대내력에 대해 시험값와 설계값을 비교하여 나타냄 (그래프의 가로축: 설계값, 세로축 : 실험값)
- H-238×60×4.5×9.0 (조립형 H형강)의 경우 실험값은 설계값과 비교하여 최대 9%의 차이를 나타내며, H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강)의 경우 실험값은 설계값과 비교하여 최대 19%의 차이를 나타냄. H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강)의 경우 실험값은 설계값과 비교하여 최대 9%의 차이를 나타냄
- 이 결과는 **【질적성과지표 : 항복내력 설계값대비 오차 ±10%이내】에는 해당하지 않지만, 해당 댐퍼의 최대내력을 설계하는데 있어 높은 정확도를 나타내고 있음**



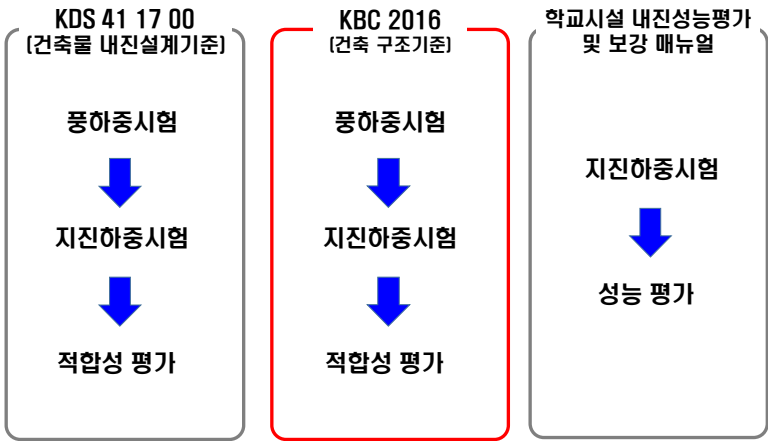
[댐퍼 유닛요소 설계법(최대내력) 적합성 검토 (실험값와 설계값의 비교)]

연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (댐퍼 유닛요소의 내구성 검증 시험)

연구결과

■ **시험 개요**

- KDS 41 1700(건축물 내진설계기준), KBC 2016(건축 구조기준), 학교시설 내진성능평가 및 보강매뉴얼에서는 댐퍼의 장치원형시험(변위의존형 댐퍼)에 대해 풍하중 및 지진하중으로 시험하여 적합성을 평가하는 방법을 제시하고 있음. 다음 그림에 이에 대한 개요를 나타냄.



[장치원형시험(변위의존형 댐퍼)의 개요]

- 본 연구에서는 댐퍼유닛의 내구성 검증에 대한 평가방법으로 KBC 2016 건축구조기준을 제시하였으며, 이하에 이에 대한 내용을 나타냄

【KBC 2016 :감쇠장치의 시험】

○ 일반사항

모듈시스템 설계에 적용된 감쇠장치의 힘－속도 또는 힘－변위관계와 감쇠특성은 이 조항에 규정한 장치원형 시험에 따라야 한다. 품질관리시험에 적용되는 감쇠장치의 제작과 품질관리 절차는 장치원형 시험과 똑같아야 한다.

○ 장치원형시험

설계에 사용된 감쇠장치의 종류와 크기별로 각각 2개의 실규모 감쇠장치에 대하여 이 조항에서 규정한 시험들을 실시하여야 한다. 구조물에 사용되는 장치의 종류와 크기별로 제조와 품질관리 절차가 동일하고, 동시에 책임구조기술자가 대표 크기에 대한 장치원형 시험을 허용한 경우에 한하여 각 종류별로 대표 크기의 감쇠장치만 장치원형 시험을 할 수 있다. 책임구조기술자가 허용하는 동시에 장치원형 시험과 제품시험에 관한 요구조건에 부합되지 않는다면 시험에 사용된 시험체는 구조물의 시공에 사용할 수 없다.

(1) **시험순서와 방법**

시험은 다음과 같은 일련의 순서에 따라 수행하며, 각 감쇠장치를 실제 설치하였을 때의 고정하중과 활하중의 효과를 고려하고, 온도환경을 반영하여야 한다. 지진하중시험에서는 최대예상지진에 대한 장치의 변위를 사용하여야 한다.

① **풍하중시험 :** 2,000회의 반복회수로 기본진동주기의 역수에 해당하는 진동수($f_1=1/T_1$)로 반복재하

② **지진하중시험 :** 최대예상 지진시 장치변위를 정현파 형태로 $1/T_{1M}$과 같은 진동수로 5회 반복시험. 여기서, 감쇠장치 특성이 작동온도에 따라 변하는 경우에는 온도범위를 포괄하는 최소한 3가지의 조건(최소온도, 상시온도, 그리고 최대온도)에서 지진하중시험을 수행

③ 진동수의존성 시험 : 감쇠장치가 진동수의존성이 있는 경우 풍하중시험과 지진하중시험을 진동수 $1/T_{1M}$과 $2.5/T_{1M}$에서 수행

(2) 시험의 생략

다음의 두 조건을 모두 만족하는 경우에는 감쇠장치의 장치원형 시험을 수행할 필요가 없다

(계속)

연구결과

① 책임구조기술자가 유사한 장치와 시험에 관한 모든 데이터를 열람할 수 있는 상태에서 시험의 생략을 허가

② 책임구조기술자가 해당 감쇠장치와 사전에 시험이 수행된 장치 사이의 유사성을 인정

(3) 하중－속도－변위특성 결정

감쇠장치의 하중－속도－변위특성은 앞서 규정된 장치원형 시험용 반복가력시험에 근거해야 한다. 감쇠장치의 유효강성은 식(0306.13.4)를 사용하여 각 진폭레벨에 대해 산정하여야 한다.

(4) 변위의존형 감쇠장치의 적합성

변위의존형 감쇠장치의 성능은 0306.13.6.2(1)에 규정된 시험에 근거하여 다음 조건이 모두 만족된다면 적절하다고 간주한다.

① **풍하중시험** : 누출, 항복, 파손을 포함하는 손상 징후가 없음

② **지진하중시험과 진동수의존성 시험** :

㈎ 임의 회차의 반복재하시 변위 원점에서의 최대 · 최소하중이 특정 진동수와 온도에서 수행된 모든 반복재하로부터 산정된 각각 평균치의 15% 이내

㈏ 임의 회차의 반복재하시 최대예상지진 장치변위에서의 최대 · 최소하중이 특정 진동수와 온도에서 수행된 모든 반복재하로부터 산정된 각각 평균치의 15% 이내

㈐ 임의 회차의 반복재하시 감쇠장치의 이력곡선 면적이 특정 진동수와 온도에서 수행된 모든 반복재하로부터 산정된 평균치의 15% 이내

㈑ 변위 원점과 최대예상지진 장치변위 각각에서의 최대 · 최소하중의 평균치와 이력

■ **시험을 위한 기본 가정**

- 위의 KBC 2016 : 감쇠장치의 시험에 대해서는 풍하중 시험과 지진하중시험의 순서로 이루어 지며, 각 시험에 대해 진동수와 최대예상 지진시 장치변위를 가정하여야 함. 이에 대해 다음과 같이 가정하였음

○ 풍하중 시험의 진동수 설정

- 기본 가정에 대해, 제안 댐퍼시스템이 설치되는 기존 구조물의 구조형식은 4층으로 구성된 RC구조물이며, 각 층의 층고는 3.2m임
- 고유주기의 계산은 KDS 41 1700: 건축물 내진설계 기준(고유주기 약산법)에 기재된 다음의 식을 이용하여 산정하였음

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

- 여기에서, C_t와 x는 구조형식별 상수로, 철근콘크리트 모멘트 골조에 대해 각각 0.0466, 0.9로 제시되어 있음. 또한, h_n은 건축물의 밑면으로부터 최상층까지의 전체높이(m)를 나타내며 본 실험에서는 3.2m×4층=12.8m로 상정함. 이에 따라 산정한 고유주기는 다음과 같음

$$T_a = 0.0466 \times 12.8^{0.9} = 0.46(s)$$

- 건축물의 진동수는 고유주기의 역수로, 다음식과 같이 2.16Hz로 산정함

$$f_1 = 1/T_a = 1.16(Hz)$$

○ 풍하중에 대한 장치변위 설정

- 풍하중에 의한 장치변위(변형각)은 풍하중에 의한 허용층간변형각에서 상 · 하 간주의 탄성변형에 의한 층간변형각, 간주가 접합되는 상 · 하 보의 탄성변형에 의한 층간변형각, 간주-기존건축물 간 접합부의 앵커볼트 탄성변형에 의한 층간변형각, 간주 단부 엔드플레이트 탄성변형에 의한 층간변형각이 발생하여 댐퍼에 발생하는 변형각이 감소되는 것을 고려하여 다음식과 같이 산정하였음

$$\gamma = \frac{H}{h}(R_{\max} - R_S - R_G - R_A - R_{EP})$$

$$= \frac{3200}{210}(1/500 - 1/1000 - 1/4000 - 1/3000 - 1/3000) = 0.00127rad$$

(계속)

연구결과

- 여기에서,각 기호 및 가정한 층간변형각은 다음과 같음
  · γ: 댐퍼에 발생하는 변형각
  · H:층고(=3200㎜)
  · h:댐퍼높이(=210㎜)
  · $R_{\max}$: 풍하중에 의한 허용 층간변형각
    note 1) :국내 기준에서 풍하중에 의한 층간변위 제한에 관한 지표는 없음
    note 2) :CEN EC 1/3에 따르면 H/500이하로 규정되어 있음(H:건축물 높이)
    note 3) :The National Building Code of Canada에 따르면 상세해석을 하지 않는 한 H/500이하로 규정되어 있음(H:건축물 높이)
    위 가정 값은 상기의 note를 만족함.
  · R_S:상 · 하 간주의 탄성변형에 의한 층간변형각(=1/500rad)
  · R_G: 간주가 접합되는 상 · 하 보의 탄성변형에 의한 층간변형각(=1/4000rad)
  · R_A: 간주-기존건축물 간 접합부의 앵커볼트 탄성변형에 의한 층간변형각(=1/3000rad)
  · R_{EP}: 간주 단부 엔드플레이트 탄성변형에 의한 층간변형각을 나타냄((=1/3000rad))

○ 지진하중에 대한 장치변위 설정

- 지진하중에 의한 장치변위(변형각)은 풍하중의 경우와 유사하게 지진하중에 의한 허용층간변형각에서 상 · 하 간주의 탄성변형에 의한 층간변형각, 간주가 접합되는 상 · 하 보의 탄성변형에 의한 층간변형각, 간주-기존건축물 간 접합부의 앵커볼트 탄성변형에 의한 층간변형각, 간주 단부 엔드플레이트 탄성변형에 의한 층간변형각이 발생하여 댐퍼에 발생하는 변형각이 감소되는 것을 고려하여 다음식과 같이 산정하였음

$$\gamma = \frac{H}{h}(R_{\max} - R_S - R_G - R_A - R_{EP})$$

$$= \frac{3200}{210}(1/100 - 1/200 - 1/2000 - 1/2000 - 1/2000) = 0.05rad$$

  · γ: 댐퍼에 발생하는 변형각
  · H:층고(=3200㎜)
  · h:댐퍼높이(=210㎜)
  · $R_{\max}$: 지진하중에 의한 허용 층간변형각
  · R_S:상 · 하 간주의 탄성변형에 의한 층간변형각(=1/200rad)
  · R_G: 간주가 접합되는 상 · 하 보의 탄성변형에 의한 층간변형각(=1/2000rad)
  · R_A: 간주-기존건축물 간 접합부의 앵커볼트 탄성변형에 의한 층간변형각(=1/2000rad)
  · R_{EP}: 간주 단부 엔드플레이트 탄성변형에 의한 층간변형각을 나타냄((=1/2000rad))

■ **시험체 개요**

- 위 내용에 대한 실험체는 다음과 같음

실험체 단면형상	No.1 시험체 - 단면형상 : H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강:SS275) - 강종 : SS275 - 높이: 200㎜ - 패널부의 형상비 : 0.97 - 패널부 보강유무 : 보강없음 No.2 시험체 - 단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC) - 강종 : SPHC - 높이: 210㎜ - 패널부의 형상비 : 1.0 - **패널부 보강유무 : 십자형 스티프너 보강**
비고	No.1 시험체는 일정진폭 반복가력 실험에서의 2. H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강:SS275) 실험체와 동일함 No.2 시험체는 일정진폭 반복가력 실험에서의 3. H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:패널부와 플랜지-SPHC) 실험체에 대해 패널부에 십자형 스티프너를 보강한 시험체임

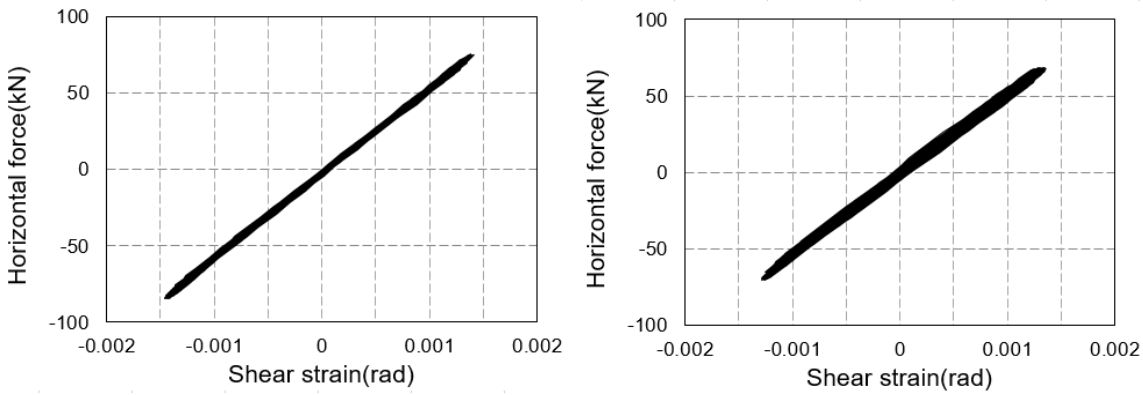
(계속)

연구결과

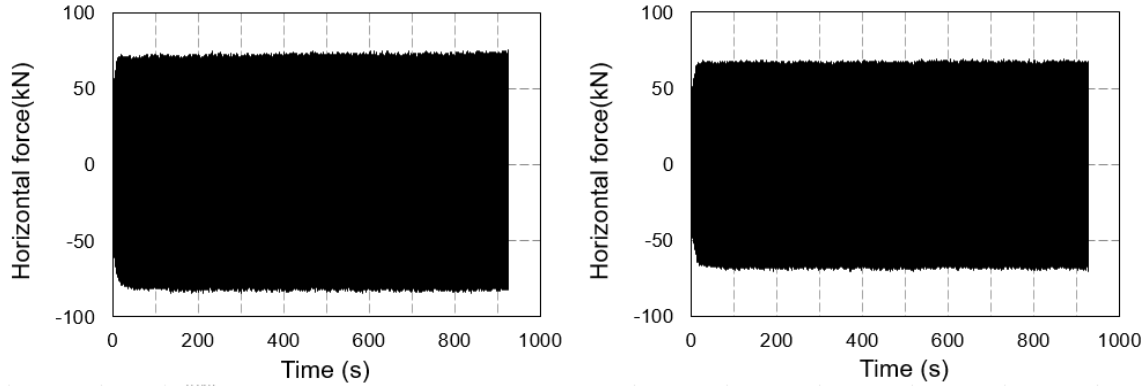
■ 시험결과

○ 풍하중 시험

- 다음 그림에 각 시험체에 대한 하중-변형각 관계, 하중-시간이력 관계, 시험후 시험체 상태를 나타냄



좌 : No.1 시험체 (단면형상 : H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강:SS275))
우 : No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))
[하중-변형각 관계]



좌 : No.1 시험체 (단면형상 : H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강:SS275))
우 : No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))
[하중-시간이력 관계]



좌 : No.1 시험체 (단면형상 : H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강:SS275))
우 : No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))
[풍하중 시험후 시험체 상태]

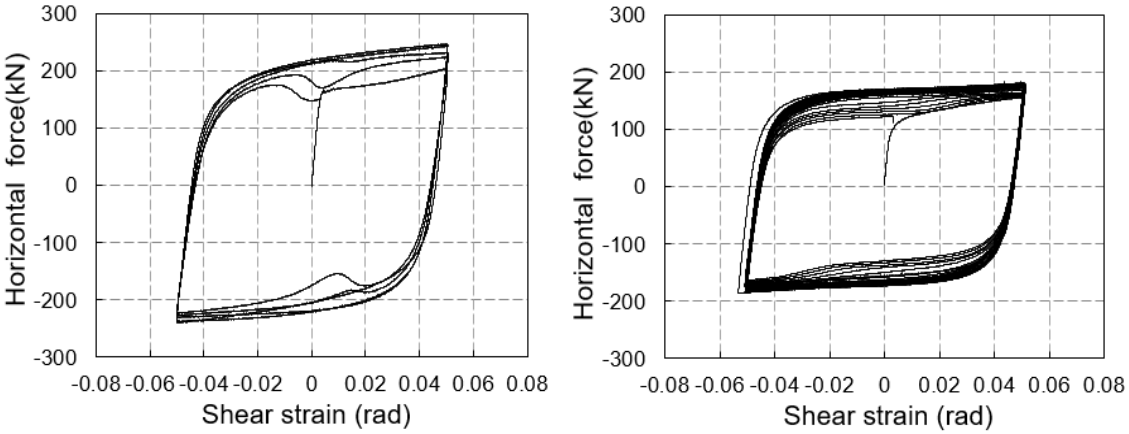
- 위 결과로부터 두 시험체는 풍하중 시험 종료시 까지 균열 및 좌굴 등의 손상에 의한 내력 저하가 발생하지 않고 탄성상태를 유지하는 것을 확일 할수 있음. 이에 따라 두 시험체는 **풍하중 시험에 대한 적합성을 만족하고 있음**

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (댐퍼 유닛요소의 내구성 검증 시험)

○ 지진하중 시험

- 다음 그림에 각 시험체에 대한 하중-변형각 관계를 나타냄
- 두 실험체는 공통적으로 내력저하가 발생하기 전까지 방추형의 이력곡선을 나타냄
- No.1 시험체 (단면형상 : H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강))가 No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))와 비교하여 동일한 전단변형각에서 더 높은 내력값을 나타내고 있으나, No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))가 비교적 더 안정적인 이력곡선의 형태를 나타냄
- 두 시험체의 종국거동은 패널부의 면외변형에 의한 내력저하로 나타남



좌 : No.1 시험체 (단면형상 : H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강:SS275))
우 : No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))
[하중-변형각 관계]

연구결과

- 다음의 표에 초기강성과 전소성전단내력의 실험값을 계산값과 비교하여 나타냄
- 두 시험체의 초기강성에 대한 실험값과 계산값의 비는 각각 0.89, 1.13으로【1차년도 단위성과물 : 댐퍼유닛 설계기법 도출】에 대한 【질적성과지표 : 초기강성 설계값대비 오차 ±10%이내】를 약간 상회하지만, 양호한 평가를 나타내고 있음
- 두 시험체의 전소성전단내력에 대한 실험값과 계산값의 비는 각각 0.90,0.94으로**【1차년도 단위성과물 : 댐퍼유닛 설계기법 도출】**에 대한 **【질적성과지표 : 전소성전단내력 설계값대비 오차 ±10%이내】**를 만족하고 있음

[초기강성과 전소성전단내력의 실험값과 설계값의 비교]

시험체 종류	초기강성 (kN/rad)			전소성전단내력 (kN)		
	실험값	계산값	실험값/계산값	실험값	계산값	실험값/계산값
No.1 시험체 단면형상:H-200×50×4.5×7.0 열간압연 H형강 : SS275	54490.2	61379.4	0.89	166.3	185.1	0.90
No.2 시험체 단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 조립형 H형강:SPHC	67668.8	60019.9	1.13	113.1	120.4	0.94

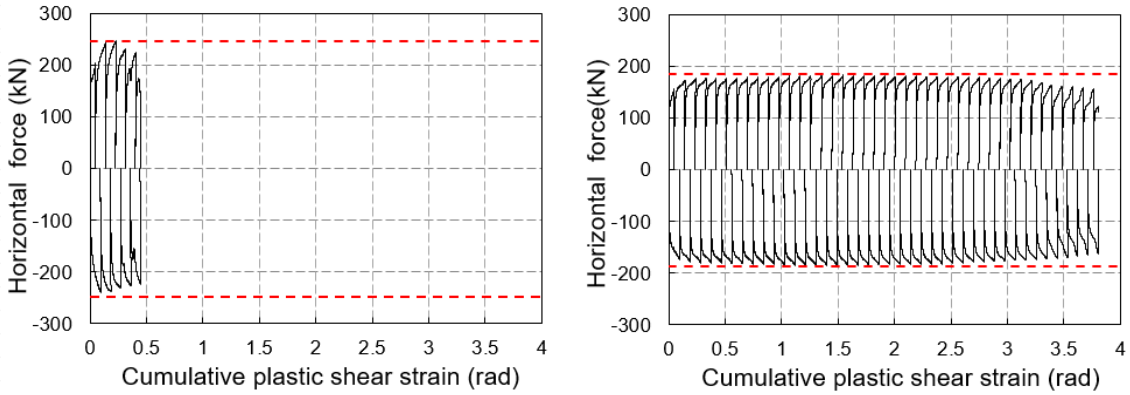
- 다음 그림에 각 시험체에 대한 하중-누적소성전단변형각 관계를 나타냄
- 그림의 세로축은 각 사이클의 내력을 나타내며, 가로축은 이력곡선에서 내력을 +측과 -측으로 구분하여 평균 전단변형각을 +측으로 누적한 값임. 또한, 그림 중의 점선은 각 실험체의 최대내력을 나타냄

(계속)

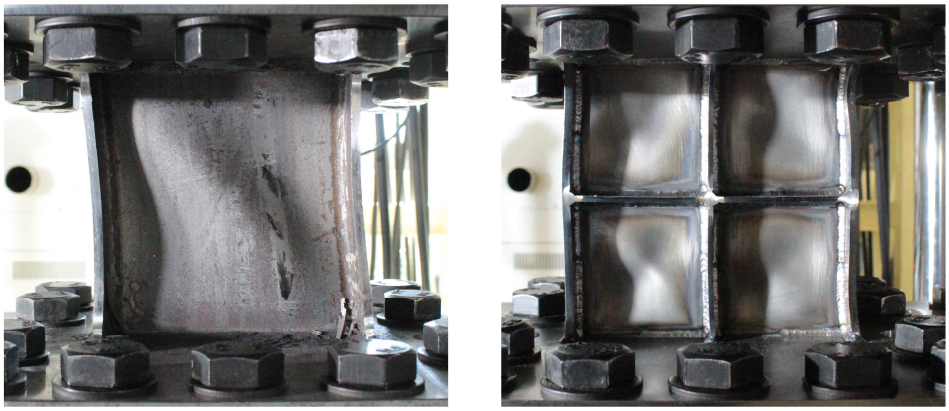
연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (댐퍼 유닛요소의 내구성 검증 시험)

연구결과

- 다음 그림에 각 시험체에 대한 하중-누적소성전단변형각 관계, 시험후 시험체 상태를 나타냄
- No.1 시험체 (단면형상 : H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강))는 3cycle에 최대내력에 도달하여, 패널부의 면외변형에 의해 내력이 저하됨
- No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))는 14cycle에 최대내력에 도달하여 패널부의 면외변형에 의해 내력이 저하되었으나, No.1시험체와 비교하여 완만한 내력저하를 나타냄



좌 : No.1 시험체 (단면형상 : H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강:SS275))
우 : No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))
[하중-누적소성전단변형각 관계]



좌 : No.1 시험체 (단면형상 : H-200×50×4.5×7.0 (열간압연 H형강:SS275))
우 : No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))
[지진하중 시험후 시험체 상태]

- 두 시험체 중 패널부에 **스티프너를 보강한 No.2 시험체 (단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC))는 지진하중 시험에 대한 적합성을 만족하고 있음**
- 위 결과로부터, 패널부에 스티프너를 보강한 경우, 댐퍼의 변형능력향상을 확인할 수 있으며, 이 경향에 대해서는 다음의 유한요소해석에서 검토함

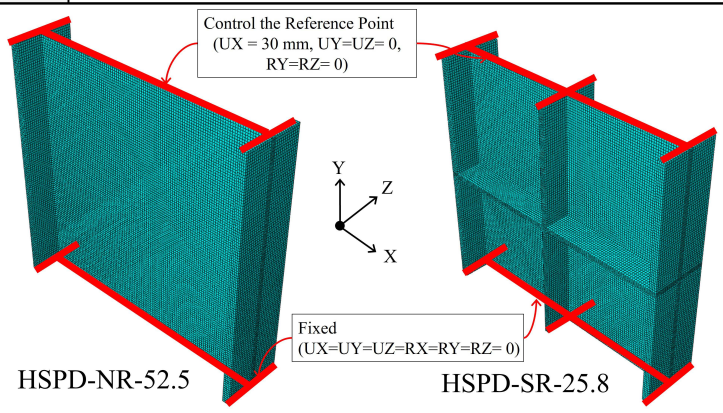
연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (유한요소 해석을 이용한 댐퍼 유닛요소의 스티프너 보강효과 검증)

연구결과

강재댐퍼 유닛요소에 대한 패널부의 스니프너 보강유무에 따른 응력전달 메커니즘을 파악하기 위해 댐퍼패널부의 스티프너 보강유무를 파라메터로 유한요소 해석을 실시하였음

■ **해석개요**

사용 프로그램	범용해석 프로그램 ABAQUS
사용 요소	3차원 응력-변형률관계를 따르는 입체요소(solid element)인 C3DR을 적용(8개 노드별3개의 자유도를 갖는 육면체 요소)
요소 분할	최대크기 2mm
재료특성	구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험)-2에서 나타내는 SPHC강재의 인장소재 시험결과를 진응력-대수변형율로 치환하여 다직선의 근사값을 입력함 (포아송비 : 0.3)
소성역 구성방정식	von Mises의 항복조건과 등방경화법칙을 적용하였으며, 전단좌굴을 고려하여 대변형(large deformation) 옵션을 활성화
경계조건 및 하중조건	구조성능 시험조건과 동일 경계조건 : 하단부-완전고정, 상단부-가력방향 이외의 변위 및 회전구속 하중조건 : 단조재하(시험체의 면외방향으로 변위제어)



-스티프너 보강없음 -스티프너 보강

[해석모델 개요]

■ **해석대상**

○ 해석대상

- 해석대상은 【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험)-4】에서 나타내는 단면형상:H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC) 실험체와 【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (내구성 검증 실험) - 3】에서 나타내는 단면형상 : H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강:SPHC, 스티프너 보강)한 시험체이며, 두 시험체는 스티프너 보강유무를 제외한 파라메터가 동일한 시험체임

단면형상 (강종)	전체 폭 (mm)	플랜지 폭 (mm)	패널부 두께 (mm)	플랜지 두께 (mm)	높이 (mm)	스티프너 보강유무
H-222×50×4.0×6.0 (SPHC)	222	50	4.0	9.0	210	없음
						십자형 스티프너 (4분절)

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (유한요소 해석을 이용한 댐퍼 유닛요소의 스티프너 보강효과 검증)

연구결과

■ **해석결과**

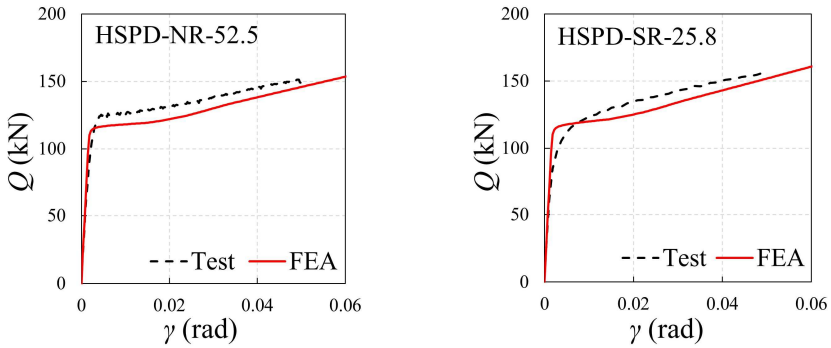
○ 실험결과와의 비교(하중-변위 관계)

- 다음의 표에 해석결과로부터 산출된 전소성 전단강도와 초기강성을 실험결과와 비교하여 나타냄. 각 실험체에 대해 전소성 전단강도의 해석값과 실험값의 비는 0.93, 1.03으로 나타났으며, 초기강성의 해석값과 실험값의 비는 1.09, 1,00으로 해석결과는 실험결과와 비교하여 유사한 대응을 나타냄

[해석결과와 실험결과의 비교(전소성전단내력, 초기강성)]

실험체	전소성전단내력 (kN)			초기강성 (kN/rad)		
	해석값	실험값	실험값/해석값	해석값	실험값	실험값/해석값
스티프너 무보강	115.9	125.2	0.93	67026.4	61440.7	1.09
스티프너 보강	116.6	113.1	1.03	67336.2	67668.8	1.00

- 다음의 그림에 해석결과로부터 얻은 하중-변형각관계를 실험결과와 비교하여 나타냄. 단, 실험결과는 일정진폭으로 반복가력(진폭:5%) 및 지진하중시험으로 가력한 각 실험체에 대해 1/4 사이클까지의 결과를 나타냄
- 해석결과는 스티프너의 보강 유무에 관계없이 실험결과를 미소하게 하회하는 경향을 나타내며, 평균전단변형각이 커짐에 따라 그 차이가 작아지는 것을 할 수 있음

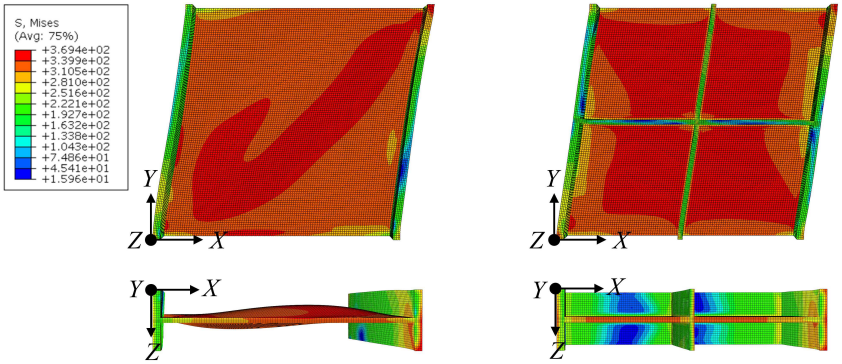


-스티프너 보강없음 -스티프너 보강

[하중-변형각관계(실험값과의 비교)]

○ 응력 및 변형도 분포

- 다음 그림에 각 해석모델의 von Mises 응력 분포를 나타내는데(γ= 0.14 rad), 응력값이 해당 강재의 항복강도 이상일 경우 소성상태에 도달하였음을 의미함
- 두 해석모델 모두 패널부에 소성화가 집중되었으며 전형적인 전단변형 상태를 나타냄
- 전단변형각이 커짐에 따라 스티프너를 보강하지 않은 해석모델의 면외방향은 점차 증가하는 반면, 스티프너를 보강한 해석모델은 면외방향의 변형이 미미한 것을 확인할 수 있음



-스티프너 보강없음 -스티프너 보강

[응력 분포(변형각:0.14rad)]

(계속)

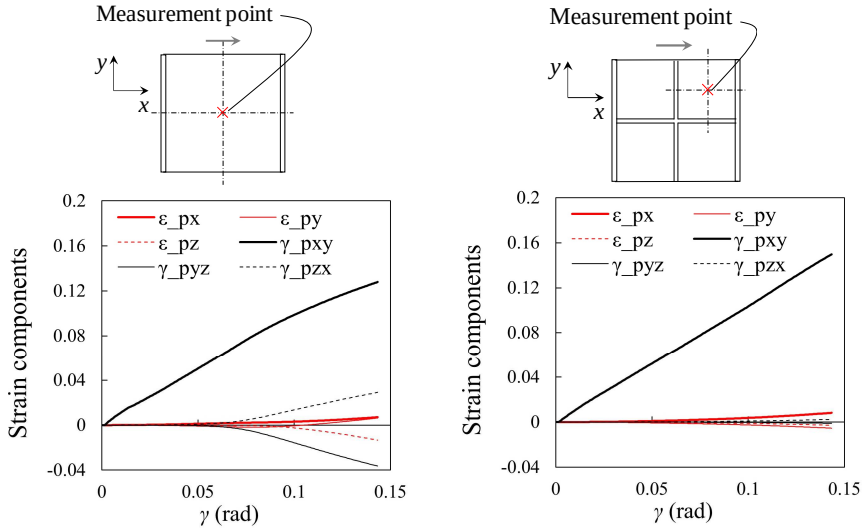
연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (유한요소 해석을 이용한 댐퍼 유닛요소의 스티프너 보강효과 검증)

연구결과

- 실험체의 스티프너 보강 유무에 따른 패널부의 변형도 분포를 파악하기 위해 다음의 식으로 나타나는 등가소성변형률 ϵ_{eq}을 구성하는 각 방향의 소성변형률 성분을 분석함

$$\epsilon_{eq} = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{\epsilon_{px}^2 + \epsilon_{py}^2 + \epsilon_{pz}^2 + \frac{1}{2}\left(\gamma_{pxy}^2 + \gamma_{pyz}^2 + \gamma_{pzx}^2\right)}$$

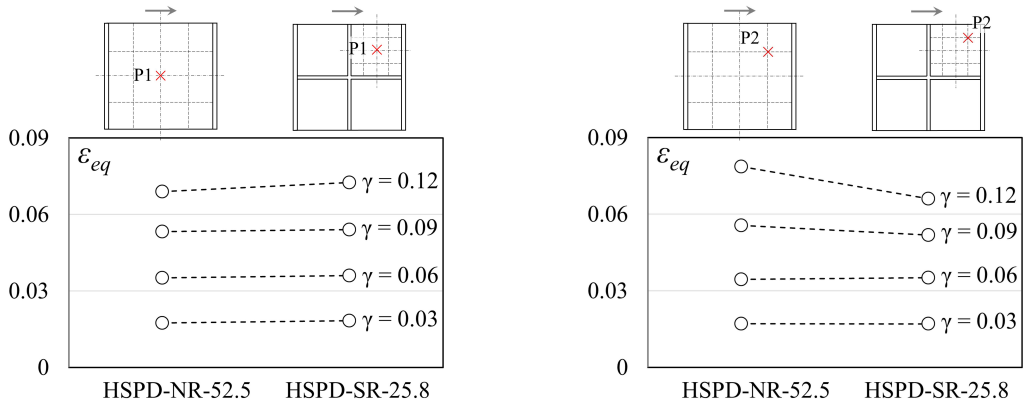
- 여기서, ϵ_{pi}는 i방향의 축소성변형률, γ_{pij}는 ij방향의 전단 소성변형률을 나타냄
- 다음 그림에 각 해석모델에 대해 γ에 따른 패널부 중앙의 각 방향 소성변형률의 추이를 나타냄
- 스티프너를 보강하지 않은 해석모델에서는 변형각이 0.07rad 이상에서 면외방향의 전단소성변형률(γ_{pyz}, γ_{pzx})가 증가하며, 면내방향의 전단소성변형률 γ_{pxy}에 비교하여 현저히 작은 값임을 확인 할수 있으며, 이는 순수 전단에 가까운 거동을 나타내며 이러한 경향은 스티프너를 보강한 해석모델에서 뚜렷이 나타나는 것을 확인할 수 있음



-스티프너 보강없음 -스티프너 보강

[패널부 중앙의 소성변형율 분포]

- 다음 그림에 변형각에 따른 패널부 내의 등가소성변형률ϵ_{eq} 분포와 패널부의 판폭두께비의 상관관계를 나타냄. 측정부위는 그림내에 병기한 것과 같이 패널부의 중앙(P1)과 패널부 중앙을 기점으로 전단변형에 의해 인장이 발생하는 방향의 중심(P2)임
- 두 해석모델의 P1 위치에 발생하는 등가소성변형률은 스티프너의 보강 유무에 관계없이 거의 같은 값을 나타냄. 한편, P2 위치에 발생하는 등가소성변형률은 변형각이 커짐에 따라 패널부의 판폭두께비가 큰 스티프너를 보강하지 않은 해석모델이 더 큰 값을 나타내며, P3 위치는 이와 반대의 경향을 나타내고 있음. 이러한 결과는 스티프너 보강에 의해 패널부의 판폭두께비가 감소함에 따라 전단변형에 의해 발생되는 인장영역 비율이 작아지는 것을 의미함

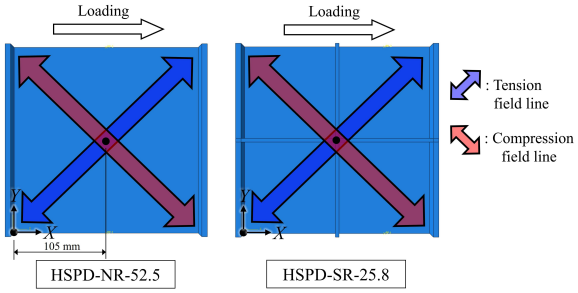


P1 (패널부 중앙) P2 (인장역역)

[등가소성변형율 분포]

(계속)

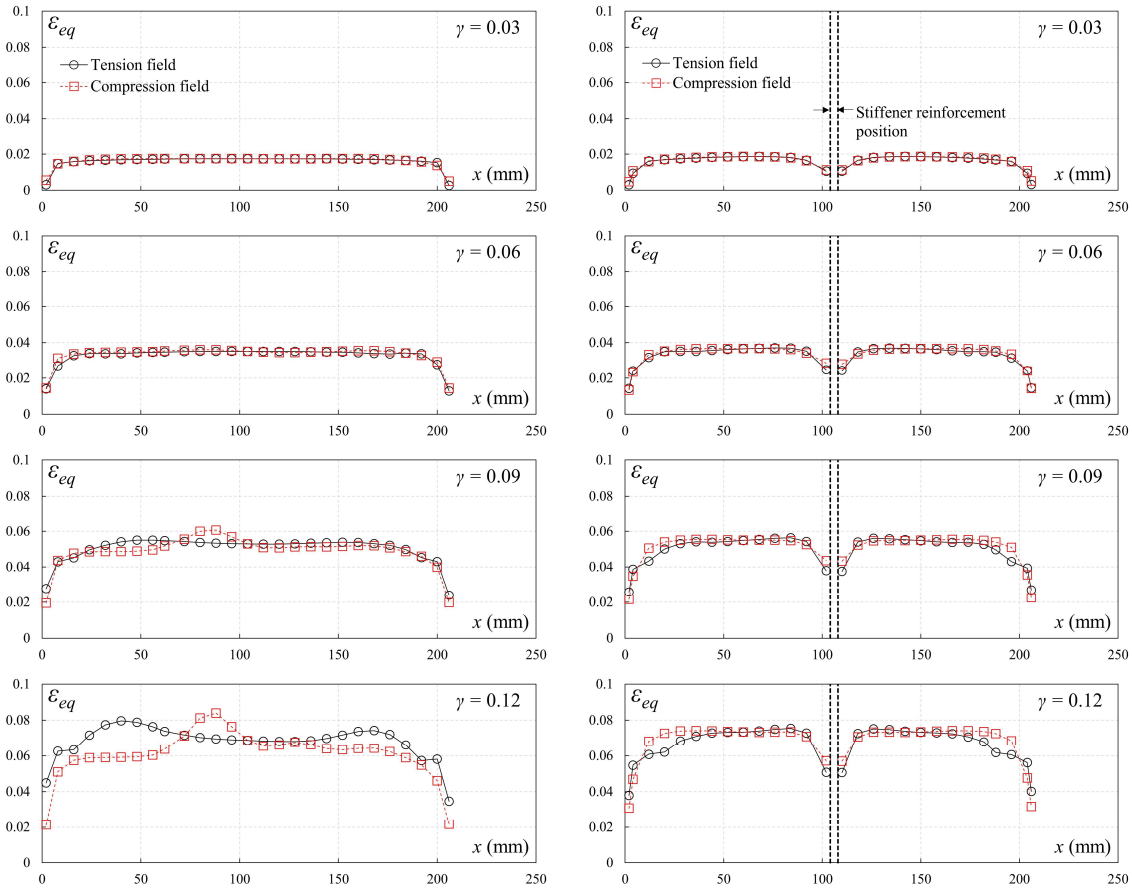
연구개발 수행내용	B-1 : 댐퍼유닛 구조성능 평가 (유한요소 해석을 이용한 댐퍼 유닛요소의 스티프너 보강효과 검증)



[인장영역과 압축영역의 정의]

- 아래의 그림에 위의 그림에서 정의하는 인장영역과 압축영역에 위치하는 절점으로부터 산출한 등가소성변형률 분포를 나타낸다. 각 해석모델은 변형각=0.06rad이하에서 인장역역과 압축영역의 등가소성변형률이 동일한 분포를 나타내며 최대 등가소성변형률이 거의 같은 값임
- 스티프너를 보강하지 않은 모델은 변형각=0.09rad 이후에서 면외방향의 변형에 따른 패널부의 기하학적 변형으로 인해 등가소성변률의 분포가 인장영역과 압축영역의 불규칙적으로 발생함
- 반면, 스티프너가 보강된 해석모델은 변형각=0.09rad 이후에서도 패널부 전영역에 대해 비교적 균등한 등가소성변형률의 분포를 나타내며 인장영역과 압축영역에서 거의 동일한 등가소성변형률이 분포하고 있음
- 위의 해석결과를 요약하면, H형 전단패널 댐퍼의 패널부의 판폭두께비가 커지면 전단변형에 의해 발생되는 인장영역 비율이 커지며, 전단변형각의 증가에 따라 패널부의 인장영역과 압축영역의 변형도가 불규칙적으로 발생하는 것임
- 이는 **패널부의 판폭두께비가 커지면(스티프너를 보강하지 않으면) 패널부의 전단좌굴이 조기에 발생하는 것을 시사**함

연구결과



스티프너를 보강하지 않은 경우 스티프너를 보강한 경우

[인장영역과 압축영역의 등가소성변형률 분포]

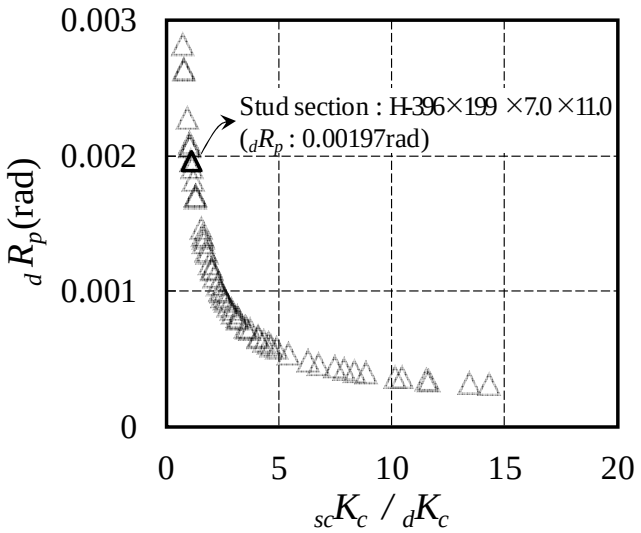
연구개발 수행내용	B-1 : 모듈시스템 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 모듈 시스템 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))

연구결과

간주지지된 강재댐퍼의 모듈시스템에 대한 핵심설계법의 검증과 모듈시스템이 가진 내진성능을 검증하기 위해 다음과 같은 구조성능 시험을 실시하여 댐퍼유닛의 구조성능 시험결과와 비교검증하였음

■ **시험체 설계**

- **【강재댐퍼 유닛요소의 소성해석·변형이론을 이용한 핵심 설계법 확립】**과 **【강재댐퍼 유닛요소의 소성해석·변형이론을 이용한 핵심 설계법 확립】**에서의 **연구결과를 바탕으로 간주부재를 설계**함
- 다음 그림에 댐퍼 유닛이 전소성 상태에 도달 할 때의 층간변위비와 강재댐퍼와 간주의 초기강성의 관계를 나타냄
- 그림은 댐퍼유닛에 대해【유닛요소 시작품 설계안 도출】에서 제시한 댐퍼(단면형상:H-222×50×4×6, 높이 210mm, 강종 SHPC, 스티프너 보강)를 기준으로, 간주에 대해서는 KS D 3502에서 제시하는 열간압연 형강의 단면제원표를 참고하여 간주의 강성을 변수로 플로팅 한 그래프임
- 본 실험에서는 층간변형각 약 1/500rad(정산값:1/507.6rad)에서 댐퍼가 전소성 상태에 도달하도록 간주의 단면을 H-396×199×7.0×11.0로 선정함



[댐퍼가 전소성상태에 도달할때의 층간변위비와 댐퍼와 간주의 강성비 관계]

- 선정한 간주 단면에 대해 댐퍼가 최대내력에 도달할때에 간주가 탄성상태를 유지하는 다음의 식이 만족하는 것을 확인해야함

$$ {}_dQ_{\max} < {}_{sc}Q_y = \frac{{}_{sc}Z_x \times {}_{sc}\sigma_y}{{}_{sc}H + {}_dh/2} $$

- 여기에서, $_dQ_{\max}$:댐퍼의 최대내력, $_{sc}Q_y$:간주의 항복내력, $_{sc}Z_x$:간주의 단면1차모멘트(강축), $_{sc}\sigma_y$:간주의 항복응력, $_{sc}H$:한쪽간주의 높이, $_dh$:댐퍼의 높이를 나타냄
- 위 식에 대해 【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증】의 실험결과와 해당댐퍼의 칫수를 대입하고 설계한 간주의 각 제원을 입력하면 다음과 같이 위 식을 만족하는 것을 확인할 수 있음

$$ {}_dQ_{\max} = 170kN < {}_{sc}Q_y = \frac{1010000mm^3 \times 275N/mm^2}{1095mm + 105mm} = 231.5kN $$

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 모듈시스템 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 모듈 시스템 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))

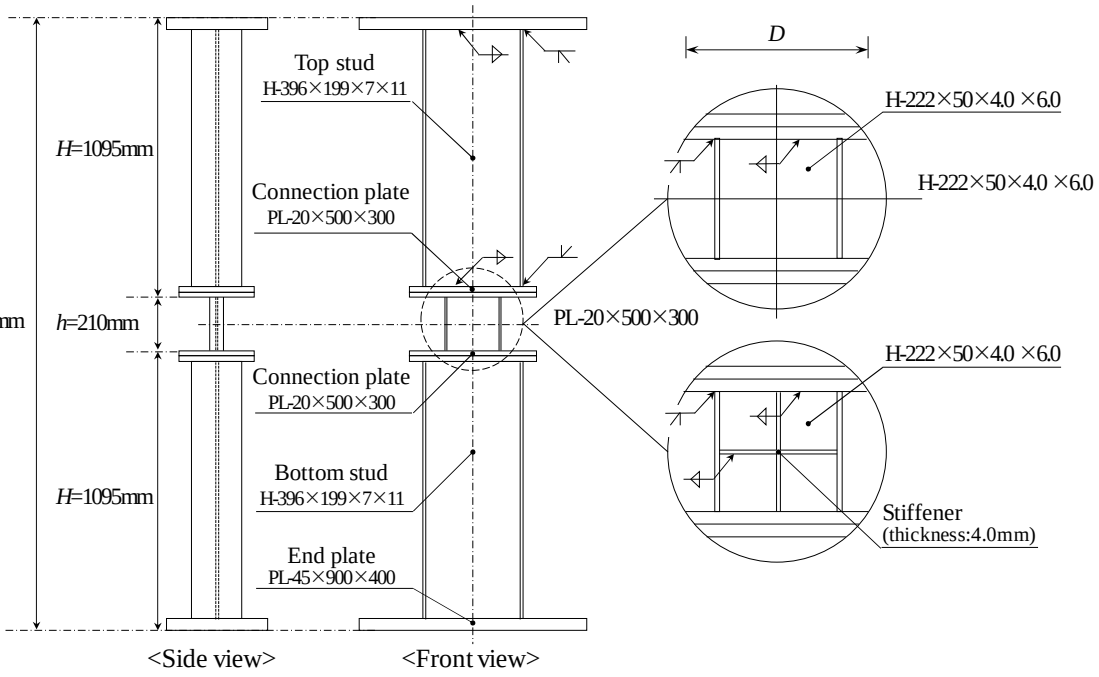
연구결과

■ **시험체 개요 (일정진폭 반복가력 실험)**

- 다음의 표와 그림에 실험체 형상과 실험체 일람을 나타냄
- 시험변수는 댐퍼에 대해 스티프너의보강유무와 간주 지지유무로 실험체는 댐퍼 유닛 실험체와 댐퍼가 간주에 의해 지지되는 실험체로 구성됨
- 여기에서 댐퍼는 **【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험)】**과 **【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (내구성 검증 실험)】**에서의 단면형상 : H-222×50×4.0×6.0(조립형 H형강), 강종:SPHC, 높이:210mm의 댐퍼에 대해 패널부에 스티프너를 보강한 시험체와 보강하지 않은 시험체이며, 동일한 댐퍼로 간주지지된 모듈시스템 시험체에서의 댐퍼의 역학특성과 비교함
- 간주가 지지된 시험체의 댐퍼는 댐퍼유닛 실험체와 동일한 댐퍼 제원이며, 간주의 단면은 H-396×199×7.0×11.0, 한쪽 높이 1,050mm, 강종은 SS275임
- 댐퍼와 간주의 양단에는 플레이트가 용접되어 있으며, 각 플레이트를 고력볼트를 이용하여 기계식 접합으로 댐퍼와 간주를 접합함

[시험체 일람]

시험체	댐퍼		간주
	기본제원	스티프너 보강	단면
무보강 댐퍼	- 단면형상 :H-222×50×4.0×6.0 (조립형 H형강) - 강종 : SPHC - 높이: 210㎜ - 패널부의 형상비 : 1.0	무보강	간주없음
무보강 댐퍼 간주지지		십자형 스티프너 보강	H-396×199×7×11
스티프너보강 댐퍼		무보강	간주없음
스티프너보강 댐퍼 간주지지		십자형 스티프너 보강	H-396×199×7×11



[실험체 상세]

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 모듈시스템 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 모듈 시스템 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))

연구결과

■ 시험체의 기계적 성질

- 실험체를 구성하는 강재의 기계적 성질을 파악하기 위하여 인장시험을 실시함
- 시험편은 댐퍼와 간주에 대해 KS B 0801[21]에 따라 5호의 판형으로 각 3개의 시험편을 제작함. 여기에서 댐퍼의 인장시험결과는 **【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험)】**에 기재된 단면형상 : H-222×50×4.0×6.0(조립형 H형강)의 인장시험결과와 동일한 결과를 나타냄
- 다음의 표에 실험체 각 부위의 인장소재 실험결과를 요약함. 표중의 값은 각각의 평균값을 나타내며 항복응력은 0.2%셋 강도로 산출한 값이며, 각 부위에 대한 인장소재 시험결과는 KS D 3501:2008의 최저 인장강도와 연신율을 만족함

[표 인장소재 시험결과]

부재	부위	강종	항복응력 (N/mm2)	최대응력 (N/mm2)	항복비	연신율 (%)
댐퍼	패널(스티프너)	SPHC	205.1	331.2	0.62	50.2
	플랜지		212.0	343.8	0.62	50.3
간주	웹	SS 275	333.5	495.3	0.68	37.8
	플랜지		303.9	479.2	0.63	38.5

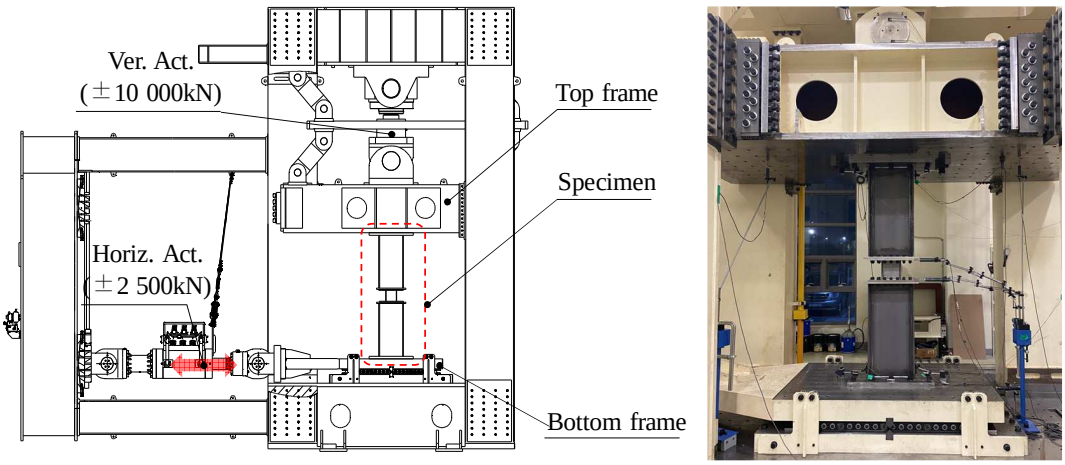
■ 가력방법

○ 댐퍼유닛

- **【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험)】**에 나타내는 댐퍼에 전단변형각 5%의 일정진폭 반복가력 시험임(**【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험)】** 참조)

○ 모듈시스템

- 아래의 그림에 모듈시스템 시험체에 사용하는 재하장치와 시험체 설치 개요를 나타냄
- 시험체 양단(간주)의 엔드플레이트를 상부 프레임과 하부프레임에 고정하여 댐퍼 유닛의 경우와 동일하게 실험체에 상부프레임의 중량 등에 의한 축력이 작용하지 않도록 수직 엑츄에이터를 제어함
- 재하 방식은 시험체의 변형각(실험체의 수평변위를 실험체의 전체높이로 나눈값)이 1%의 일정진폭이 되도록 2,500kN의 수평엑츄에이터를 이용하였으며, 실험체의 내력이 최대내력의 80%이하로 저하될 때까지 반복재하함



[재하장치및 시험체 설치 개요]

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 모듈시스템 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 모듈 시스템 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))

연구결과

■ **시험결과**

○ 초기강성, 전소성 전단내력

- 각시험체의 시험결과에 대한 하중-변형각 관계로부터 도출한 댐퍼의 전소성전단내력 및 초기강성은 다음의 표와 같음
- 모든 실험체에서의 댐퍼에 대한 전소성전단내력의 실험값과 계산값의 비는 0.94~1.04으로 모듈시스템내에서의 댐퍼의 전소성전단내력은 댐퍼유닛과 동일하게 **【1차년도 단위성과물 : 댐퍼유닛 설계기법 도출】**에 대한 **【질적성과지표 : 전소성전단내력 설계값대비 오차 ±10%이내】**를 만족하고 있음
- 모든 실험체에서의 댐퍼에 대한 초기강성의 실험값과 계산값의 비는 1.02~1.13으로 모듈시스템내에서의 댐퍼의 초기강성은 **【1차년도 단위성과물 : 댐퍼유닛 설계기법 도출】**에 대한 **【질적성과지표 : 초기강성 설계값대비 오차 ±10%이내】**를 만족하고 있음

[댐퍼에 대한 전소성전단내력과 초기강성의 실험값과 계산값의 비교]

시험체	댐퍼 전소성전단내력 (kN)			댐퍼 초기강성 (kN/rad)		
	실험값	계산값	실험값/계산값	실험값	계산값	실험값/계산값
무보강 댐퍼	125.2	120.4	1.04	61440.7	60019.9	1.02
무보강 댐퍼 간주지지	118.0		0.98	53405.9		0.89
스티프너보강 댐퍼	113.1		0.94	67668.8		1.13
스티프너보강 댐퍼 간주지지	127.2		0.94	63164.9		1.05

- 각시험체의 시험결과에 대한 하중-변형각 관계로부터 도출한 간주 및 모듈시스템의 초기강성은 다음의 표와 같음
- 모든 실험체에서의 간주 및 모듈시스템에 대한 초기강성의 실험값과 계산값의 비는 0.94~1.04으로 간주 및 모듈시스템의 초기강성은 설계값의 10%이내임

[간주 및 모듈시스템에 대한 초기강성의 실험값과 계산값의 비교]

시험체	간주 초기강성 (kN/rad)			모듈시스템 초기강성 (kN/rad)		
	실험값	계산값	실험값/계산값	실험값	계산값	실험값/계산값
무보강 댐퍼	-	-	-	-	-	-
무보강 댐퍼 간주지지	59858 (63873)	66598	0.90 (0.96)	60967	60070	1.01
스티프너보강 댐퍼	-	-	-	-	-	-
스티프너보강 댐퍼 간주지지	68451 (60993)	66598	1.03 (0.92)	64388	60070	1.07

Note : 간주 초기강성의 실험값란의 ()안의 값은 하부간주, ()가 없는 값은 상부간주의 초기강성을 나타냄

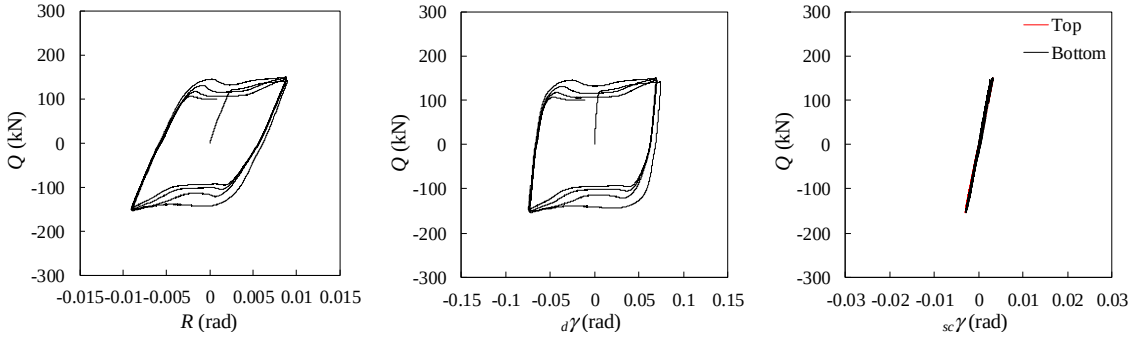
(계속)

연구결과

■ 시험결과

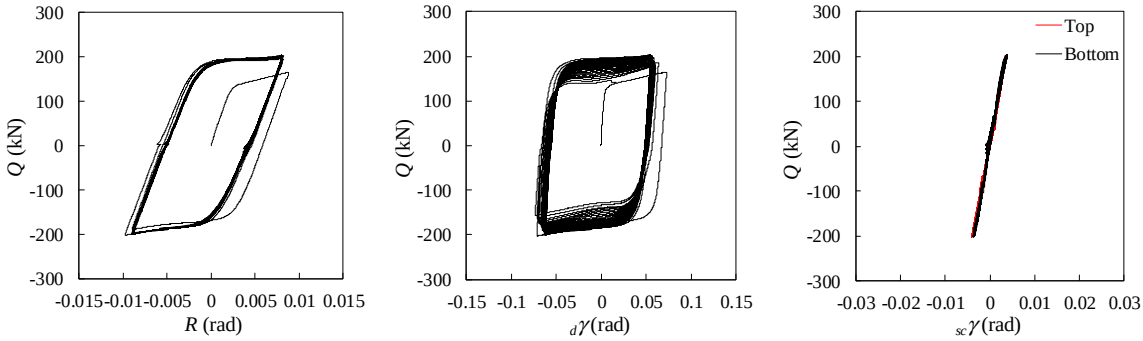
○ 하중-변형각 관계

- 다음 그림에 모듈시스템의 댐퍼에 스티프너를 보강하지 않은 경우와 보강한 경우의 하중-변형각 관계를 나타냄. 좌측이 모듈시스템의 전체, 중간이 댐퍼부, 우측이 간주에 대한 하중-변형각 관계임
- 아래의 그림으로부터 댐퍼의 스티프너 보강유무에 관계없이, 댐퍼부에서는 내력이 저하되기 이전에 안정된 방추형의 이력곡선을 나타내며, 간주는 실험종료시까지 탄성거동을 함
- 이상의 결과로부터 간주에 지지된 댐퍼 실험체는 댐퍼부분에서 큰 변형을 나타내며 에너지를 흡수하는 것을 확인할 수 있음
- 또한, 댐퍼가 전소성 상태에 도달할 때의 층간변형각은 댐퍼에 스티프너 무보강의 경우와 보강의 경우는 각각 0.00206rad, 0.00214rad으로 설계값(0.00197rad)과 비교하여 1.09배, 1.05배를 나타냄. 이는 **【1차년도 단위성과물 : 댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출】**에 대한 **【질적성과지표 : 댐퍼 항복시작 층간변위비 실험값 대비 오차 ±10%이내】를 만족함**



모듈 시스템전체 댐퍼부 간주

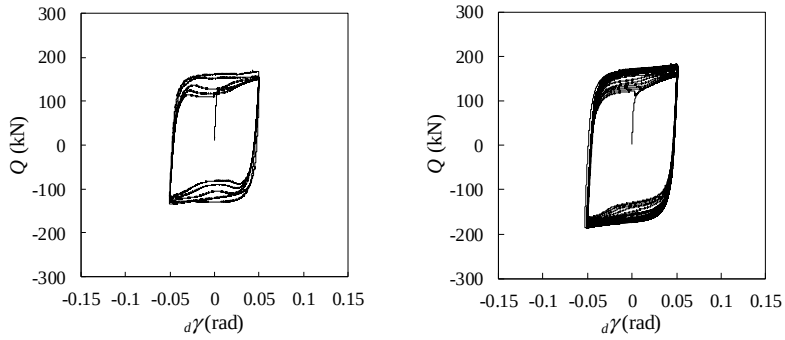
[모듈시스템의 하중-변형각 관계(댐퍼에 스티프너 보강없음)]



모듈 시스템전체 댐퍼부 간주

[모듈시스템의 하중-변형각 관계(댐퍼에 스티프너 보강)]

- 다음 그림에 모듈시스템의 댐퍼의 비교 대상인 댐퍼유닛에 대한 하중-변형각 관계를 나타냄

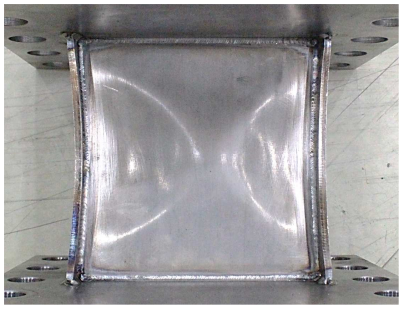


스티프너 무보강 스티프너 보강

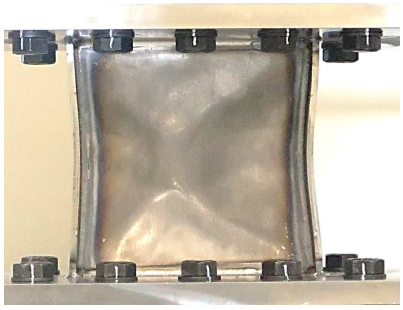
[댐퍼유닛의 하중 변형각 관계]

(계속)

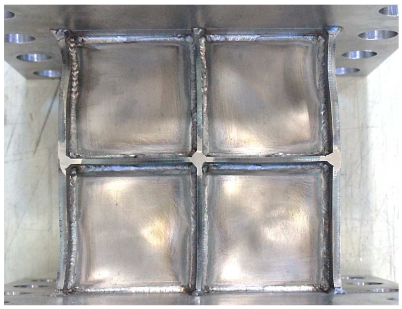
- 위 결과로부터 댐퍼의 스티프너의 보강유무와 간주지지의 유무에 관계없이, 댐퍼부 및 댐퍼유닛에서는 내력이 저하되기 이전에 안정된 방추형의 이력곡선을 나타냄
- 다음의 그림에 각 실험체의 파괴형식을 나타냄. 간주지지의 유무와 댐퍼의 스티프너 보강유무에 관계없이 모든 실험체는 패널부의 면외변형이 발생하여 내력이 저하함



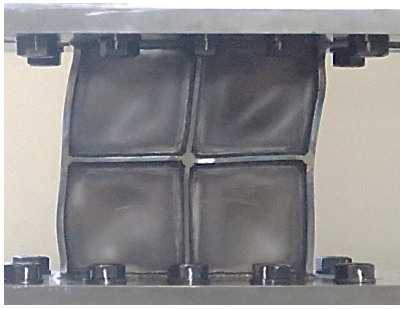
댐퍼유닛(스티프너 무보강)



모듈시스템(스티프너 무보강)



댐퍼유닛(스티프너 보강)



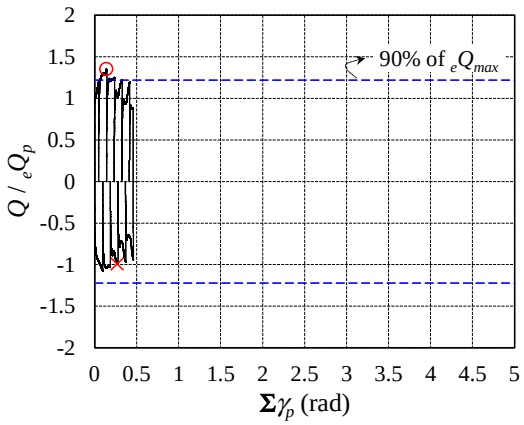
모듈시스템(스티프너 보강)

[파괴형식]

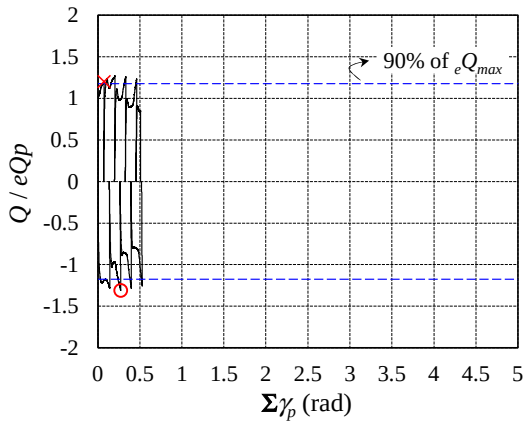
연구결과

○ 내력상승률-누적 소성전단변형각 관계

- 댐퍼의 내력상승률과 누적 소성전단변형각의 관계를 나타냄
- 그림은 댐퍼 유닛 또는 간주지지된 댐퍼 실험체의 댐퍼부에 대한 전단력과 평균전단변형각의 관계로부터 y축에 각 사이클의 내력을 전소성전단내력의 실험값으로 나눈 값(내력상승률)를 나타내며, x축에는 모듈 시스템의 댐퍼부 및 댐퍼유닛에 대한 하중-변형각 관계에서 하중를 정방향 가력 측과 부방향 가력 측으로 구분하고 평균 전단변형각 에 대해 탄성변형각을 제거하여 누적한 값임
- 그림 중의 ○기호는 최대내력에 도달한 시점, ×기호는 댐퍼의 패널부에 면외방향 변형의 발생이 육안으로 관찰된 시점이며, 점선은 각 실험체의 내력이 최대내력의 90%로 저하된 값을 나타냄



댐퍼 유닛

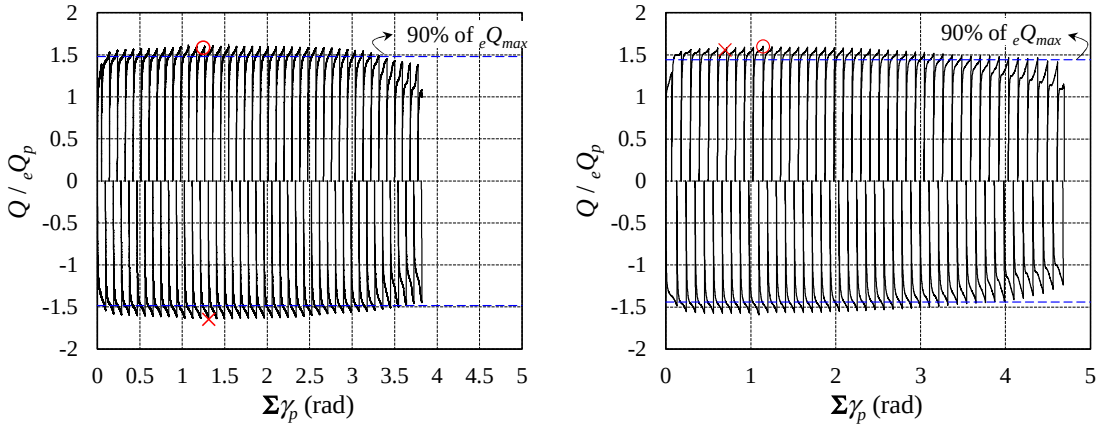


모듈시스템에서의 댐퍼

[내력상승률과 누적 소성전단변형각의 관계(스티프너 무보강)]

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 모듈시스템 구조성능 평가 (구조성능 시험을 통한 모듈 시스템 내진성능 검증 (일정진폭 반복가력 실험))



댐퍼 유닛 모듈시스템에서의 댐퍼

[내력상승률과 누적 소성전단변형각의 관계(스티프너 무보강)]

연구결과

- 스티프너를 보강하지 않은 댐퍼유닛과 모듈시스템 실험체의 댐퍼는 최대 내력상승률은 각각1.35,1.30이며, 간주 지지유무에 따른 내력상승율의 차이는 미미함
- 두 시험체 모두 2사이클에서 최대내력에 도달하였으며, 최대내력 근방에서 핀칭현상이 발생하였으며 최대내력 도달 이후 급격하게 내력이 저하함
- 스티프너를 보강한 댐퍼유닛과 모듈시스템 실험체의 댐퍼의 최대 내력상승률은 각각 1.64,1.60이며, 스티프너를 보강하지 않은 시험체와 비교하여 약 1.2배의 최대내력 상승율을 나타냄
- 스티프너를 보강하지 않은 시험체와 동일하게 간주 지지유무에 따른 내력상승률의 차이는 미미한 경향을 나타내며, 이 실험체들은 각각 14사이클, 11사이클에서 최대내력에 도달하였으며, 최대내력 이후 스티프너를 보강하지 않은 시험체와 비교하여 충분한 전단변형이 누적되었으며 완만하게 내력이 저하하는 경향을 확인할 수 있음

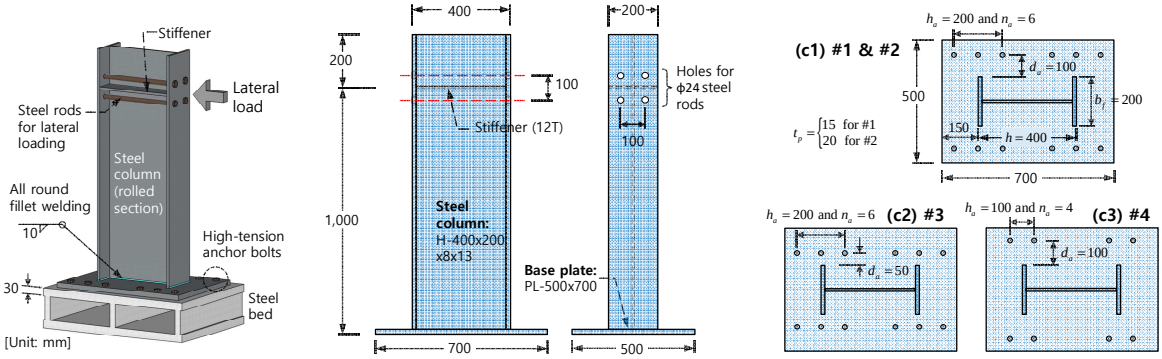
- **이상의 결과로부터 모듈시스템 내의 댐퍼는 초기강성, 전소성전단내력, 이력거동, 변형성능 등의 역학 특성에 대해 댐퍼유닛과 거의 유사한 성능**을 나타내며, 이는 **【1차년도 단위성과물 : 댐퍼유닛, 모듈시스템 구조성능평가】**에 대한 **【질적성과지표 : 모듈시스템 내 댐퍼 유닛요소와 동일한 성능 만족】을 만족하는 것으로 판단**됨

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 베이스플레이트 구조성능 실험)

연구결과

■ **실험체 상세 및 재료**

- 베이스플레이트 두께와 앵커상세가 다른 4개의 기둥 베이스접합부에 대하여 횡하중 가력시험을 하였음. 아래 그림 (a)와 (b)는 기둥 베이스연결부의 형상과 치수를 보여줌. 캔틸레버 기둥의 전체 높이는 1,200㎜(기저판 두께 포함)이고 바닥에서 가력점까지의 전단경간길이는 1,000㎜임. 기둥에는 전체 높이 h = 400 ㎜, 플랜지 너비 b_f = 200 ㎜, 웨브 두께 t_w = 8 ㎜, 플랜지 두께 t_f = 13 ㎜의 열간압연 강재 단면을 사용하였고, 베이스플레이트로는 폭 500㎜, 길이 700㎜, 두께 t_p = 15㎜ 및 20㎜의 강판을 사용함



(a) Configuration (b) Steel column (c) Base plate and anchor details

[기둥 실험체 및 베이스플레이트 상세]

- 아래 표는 고려된 테스트 변수를 나타님. 베이스플레이트 두께 및 앵커배열이 주요 실험변수로 고려됨. 이러한 실험변수는 실험체 이름 #1 T15-L200-D100, #2 T20-L200-D100, #3 T15-L200-D50, #4 T15-L100-D100에서 확인할 수 있음. #1 ~ #4의 숫자는 각 표본에 순차적으로 지정된 식별번호이고, T15 및 T20은 베이스플레이트 두께 15㎜ 및 20㎜를 나타냄. L200 및 L100은 3개 또는 2개의 앵커볼트가 일렬로 정렬되는 앵커배열 길이(각각 h_a = 200㎜ 및 100㎜)를 나타내며, D100 및 D50은 플랜지 가장자리로부터 인접한 앵커볼트의 중심선까지의 거리(d_a = 100㎜ 및 50㎜)를 나타냄.

[실험변수 및 재료강도]

Specimen		Base plate		Anchor bolts (M18)				Steel column	
#	Name	F_y (MPa)	t_p (mm)	F_u (MPa)	n_a 1)	h_a 1) (mm)	d_a 1) (mm)	F_y (MPa)	Dimensions (mm)
1	T15-L200-D100	319	15	1,048	6	200	100	Flange 319; Web 328	H-400×200×8×13
2	T20-L200-D100	358	20	1,048	6	200	100		
3	T15-L200-D50	319	15	1,048	6	200	50		
4	T15-L100-D100	319	15	1,048	4	100	100		

- 기존 기둥 주각부 베이스연결부의 휨강도와 회전강성은 압축 접합면에서 콘크리트 변형의 영향을 크게 받음. 그러나 이 연구에서는 인장 접합면에서 베이스플레이트의 휨변형을 보다 명확하게 인식하기 위해, 모든 실험체를 강재 지그 위에서 실험하였음. 실제로 제안된 기초접합은 축방향 압축하중이 큰 기존의 기초접합부와 달리 축방향 하중을 받지 않으므로 압축 접합면에서 발생할 수 있는 콘크리트 변형이 베이스연결부 거동에 미치는 영향으크지 않음.
- 실험체에 사용된 강재의 항복강도는 위 표에 나타냈음

■ 가력 및 측정

- 가력을 위한 실험셋팅은 아래 그림과 같음. 기둥 아래의 베이스플레이트는 고장력볼트(M18)를 사용하여 하부 지그의 강판(두께 30㎜)에 장력을 도입하여 연결하였음. 500kN 액

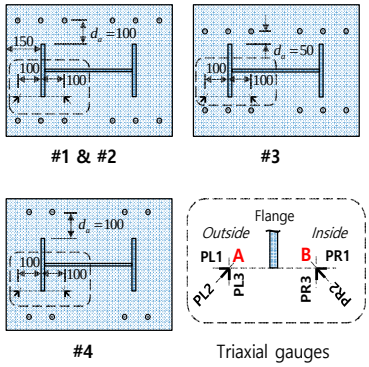
(계속)

추에이터가 횡하중 가력을 위해 사용됨. (전단경간길이 L = 1,000㎜). 실험체는 탄성영역에서 한 번, 항복 시점에서 한 번, 총 두 번 하중을 제하한 다음 파손될 때까지 단조가력하였음. 제안된 베이스연결부는 기둥 모멘트를 전달하는 동안 탄성 상태를 유지해야 하므로 실험체는 대부분 단조가력으로 실험하였음.

- 기둥 횡변위와 베이스플레이트의 수직처짐은 LVDT로 측정하였음(아래 그림 (a) 참조). 횡하중과 횡변위가 증가함에 따른 강재에 발생하는 변형률을 추적하기 위해 베이스플레이트 표면에 3축 변형률 게이지를 부착하였음(아래 그림 (b) 참조)



(a) Test setup and LVDT measurements



(b) Triaxial strain gauges on base plates

[실험셋업 및 측정 계획]

연구결과

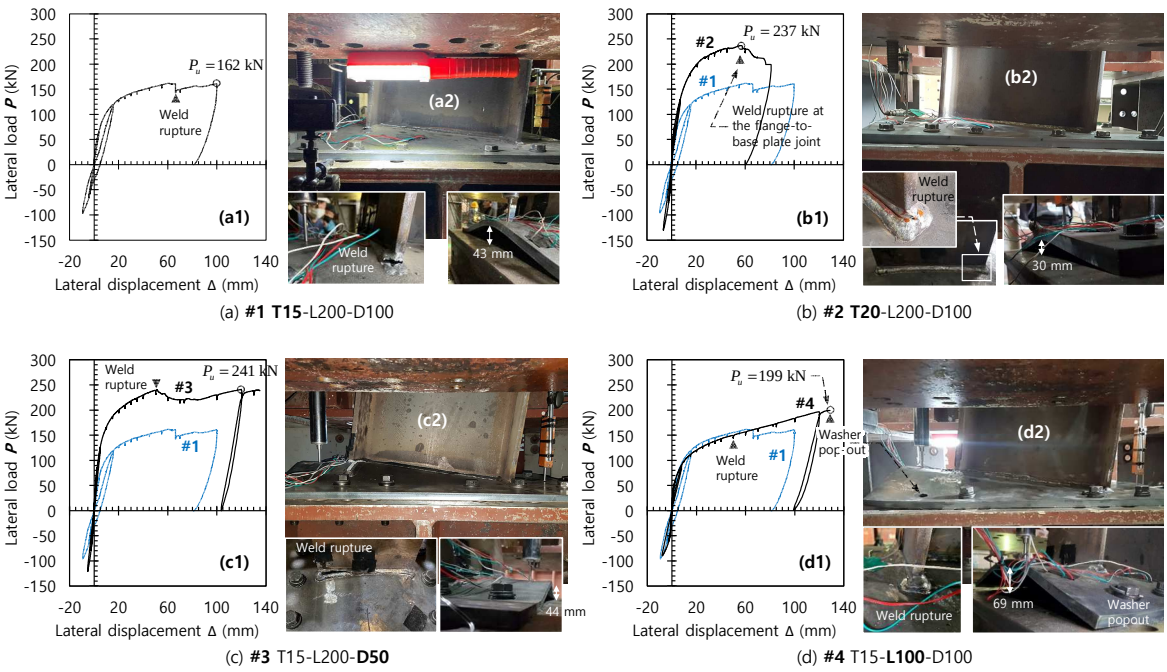
■ **실험 결과**

○ 하중-변형 관계 및 파괴모드

- 다음 그림은 각 실험체의 횡방향 하중-변형 관계 및 파괴모드를 보여줌. P는 액츄에이터에 의한 횡하중이고 Δ는 가력점의 횡변위입니다. 최대하중(P_u)과 파괴모드는 각각 원과 회색 삼각형으로 표시하였음. 실험변수가 베이스연결부 구조성능에 미치는 영향을 명확히 하기 위해 실험체 #2, #3, #4의 P-Δ 곡선을 실험체 #1의 P-Δ 곡선과 비교하였음
- 모든 실험체에서 하중-변형 관계 및 파괴모드는 베이스플레이트 두께 및 앵커 접합상세에 관계없이 유사했음
- 베이스플레이트의 휨항복 이전에는 강건한 탄성거동이 나타났고, 항복 후 경화거동은 인장측의 플랜지 모서리에서 용접파열이 발생할 때까지 이어졌음
- 얇은 베이스플레이트(즉, t_p= 15㎜)가 있는 실험체 #1, #3, #4의 경우 플랜지-베이스플레이트 용접 조인트에서 용접파열이 발생한 후에도 강도가 유지되거나 증가했음
- 반면, 두꺼운 베이스플레이트(즉, t_p = 20㎜)를 가진 실험체 #2의 경우 변형이 증가함에 따라 용접파열이 악화되면서 강도가 저하되었음
- 모든 실험체에서 베이스플레이트는 인장측에서 상향 수직처짐이 발생했고 베이스연결부는 기둥 웨브의 용접선을 따라 거의 선형으로 기울어졌음(다음 그림 (a2), (b2), (c2), (d2) 참조)
- 인장측의 앵커볼트가 구속조건을 제공함에 따라 베이스플레이트는 다소 복잡한 변형모드를 보였음
- 주요 파괴모드는 인장 플랜지의 가장자리에서 시작된 용접파열이었음. 그러나 인장플랜지 양쪽에 2개의 앵커볼트만 있는 실험체 #4에서는 앵커볼트의 축방향 및 휨변형이 조금 발생하였음. 그 결과 최종적으로 볼트머리 아래에 쌓인 스프링와셔가 튀어나오면서 시험이 종료되었음(다음 그림 (d2))

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 베이스플레이트 구조성능 실험)



(a) **#1 T15**-L200-D100 (b) **#2 T20**-L200-D100

(c) **#3** T15-L200-**D50** (d) **#4** T15-**L100**-D100

[하중-변형 관계 및 파괴모드]

연구결과

○ 설계변수의 영향

- 위 그림 (b)는 베이스연결부 구조성능에 대한 베이스플레이트 두께의 영향을 보여줌. 두꺼운 베이스플레이트의 사용으로 인해 실험체 #2(t_p= 20㎜)의 강성, 항복강도 및 최대강도가 실험체 #1(t_p= 15㎜)보다 크게 증가했음-(위 그림 (b1) 참조)
- 인장측의 베이스플레이트 휨변형은 두꺼운 베이스플레이트를 가진 실험체 #2에서 크게 감소되었지만 실험체 #1과 #2의 베이스플레이트 변형모드와 거의 동일했음(위 그림 (b2) 참조)
- 위 그림 (c)는 플랜지 가장자리와 앵커볼트 사이 거리(d_a)가 베이스연결부 구조성능에 미치는 영향을 보여줌
- d_a = 50㎜인 실험체 #3의 강도 및 강성은 d_a = 100㎜인 실험체 #1에 비해 크게 증가했음. (위 그림 (c1) 참조). 그러나 감소된 d_a는 실험체 #3의 기둥 플랜지-베이스플레이트 접합부에서 조기 용접파괴를 유발했음
- 위 그림 (d)는 앵커 배치가 베이스연결부 구조성능에 미치는 영향을 보여줌. 흥미롭게도 배열길이 h_a = 100㎜ 내에 두 개의 앵커볼트가 배치된 실험체 #4의 구조성능은 세 개의 앵커볼트가 h_a = 200㎜ 내에 배치된 실험체 #1의 성능과 거의 비슷했음
- 이는 **앵커성능이 기둥의 플랜지 인장력을 전달할만큼 충분히 크다면 앵커 배열길이 h_a가 베이스연결부 구조성능에 미치는 영향이 제한적임**을 나타냄

○ 베이스플레이트 변형률

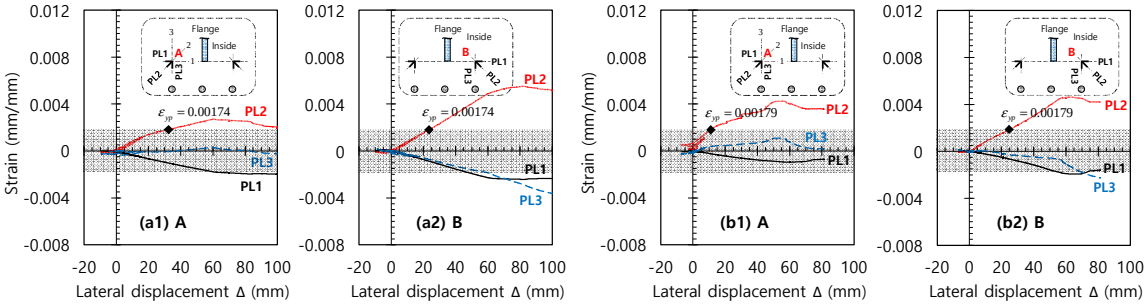
- 다음 그림은 기둥 플랜지 내부와 외부에서 3축 변형률게이지로 측정한 베이스플레이트 변형을 보여줌. 변형률게이지의 위치(즉, A 및 B로 표시)와 방향(즉, PL1, PL2 및 PL3으로 표시)은 아래 그림을 참고함.
- 아래 그림에서 베이스플레이트 항복변형률(0.00174 및 0.00179㎜/㎜)보다 작은 탄성영역은 음영으로 표시함
- 베이스플레이트 변형률은 게이지 방향에 따라 인장(또는 양) 및 압축(또는 음) 변형률이 발생되었음. 대각선 방향의 PL2는 인장 변형률로 항복 변형률보다 큰 반면, 직교 방향의 PL1과 PL2는 대부분 압축 변형률이었으며 PL1이 항복 변형률을 초과한 실험체 #3을 제외

(계속)

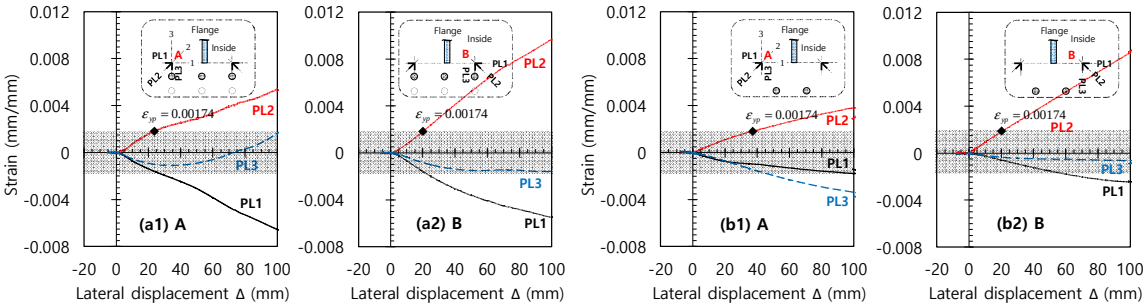
연구결과

하고는 대부분 탄성상태를 유지하였음. 인장 및 압축 변형률은 각각 변형률게이지 방향으로 베이스플레이트의 볼록 및 오목 휨방향을 나타냄. 아래 그림에서 측정된 변형률은 베이스 플레이트의 굽힘 모드가 방향(즉, PL1, PL2 및 PL3)에 따라 다르다는 것을 보여줌

- 아래 그림 (a1) 및 (d1)에서 알 수 있는 바와 같이, 앵커 배열길이가 h_a=100 mm인 실험체 #4의 A 지점에서의 베이스플레이트 변형률은 h_a = 200 mm인 실험체 #1의 변형률과 유사했음. 또한, 이는 이 연구에서 테스트한 상세 범위 내에서 베이스플레이트의 휨거동에 대한 h_a의 영향이 크지 않음을 시사함



(a) **#1 T15**-L200-D100 (b) **#2 T20**-L200-D100



(c) **#3 T15**-L200-D50 (d) **#4 T15**-L100-D100

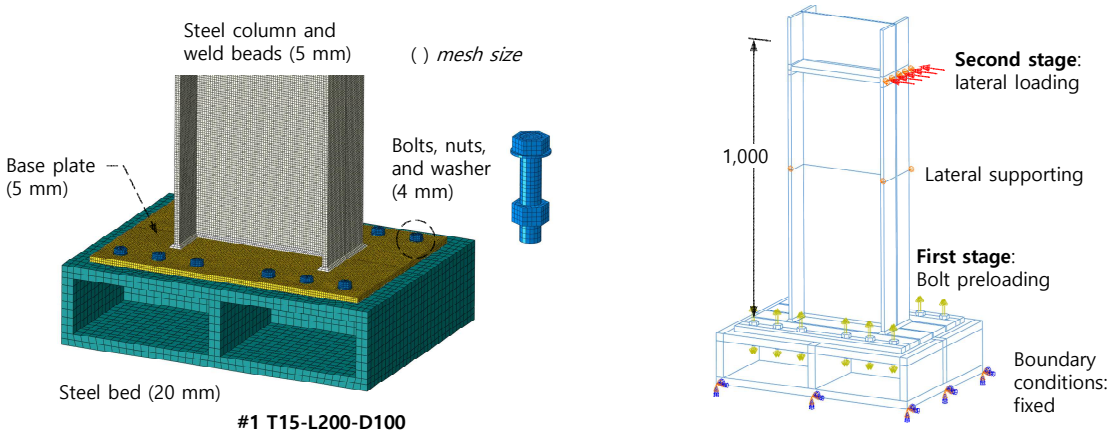
[기둥 플랜지 내부 및 외부에서 측정된 베이스플레이트 변형률]

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (유한요소해석을 이용한 베이스플레이트 구조성능 실험의 고찰)

연구결과

■ **해석 모델링**

- 기둥 베이스연결부의 유한요소해석 모델링은 ABAQUS 6.14를 사용하여 이행하였음. 재료실험에서 측정된 항복강도(F_y)와 극한강도(F_u)를 사용하여 강판의 재료거동을 정의하였고, 다축응력에서의 거동을 고려하기 위해 Von Mises 항복기준을 적용하였음.
- 고장력볼트의 경우 측정된 응력-변형률 곡선을 기반으로 응력-변형률 거동을 삼선형 관계로 모델링하였으며, 나사산 부분의 면적 감소를 직접 모델링하는 대신 항복강도와 극한강도를 순강도 $0.75F_y$ 및 $0.75F_u$로 줄여 모델링하였음. 아래 그림 (a)는 실험체의 ABAQUS 모델링 이미지를 보여줌
- 모든 강재요소는 C3D8R 요소로 모델링되었음. 기둥(하단부 용접비드 포함)과 베이스플레이트의 경우, 베이스플레이트와 기둥 플랜지의 두께 방향 휨모드를 고려하기 위해 요소크기를 4mm 또는 5mm로 미세하게 분할하였음. 볼트머리, 너트, 와셔를 포함하는 앵커볼트의 모델링에도 동일한 요소크기를 적용하였음. 용접접합부의 접합면은 'tie'로 설정하였음. 또한 압축에 의한 접촉 지압거동, 전단에 의한 마찰거동, 인장력에 의한 분리거동을 설명하기 위해 강재간 접촉면은 'interaction'을 적용하였음. 마찰계수는 강재 접합면에 대해 μ = 0.33으로 가정함



[유한요소해석을 위한 ABAQUS 모델링]

- 위 그림 (b)에서 보듯이 하중은 두 단계로 적용되었음. 첫 번째 단계에서 고장력볼트에 장력을 도입하였음. 밀착조임으로 시공된 고장력볼트는 설계시 초기장력이 없는 것으로 고려하지만, 볼트를 조이는 과정에서 어느정도 장력이 도입됨
- 이 연구에서는 AISC 360-16에 명시된 설계장력 T_o의 18%에 해당하는 135MPa 초기응력을 앵커볼트에 적용하였음. 이후 하중단계에서는 앵커볼트의 장력은 일정하게 유지시켰음. 두 번째 단계에서는 하중 지점(즉, 베이스플레이트 바닥에서 1,000mm 높이)에 횡변위를 제어하면서 횡하중을 가했음. 위 그림 (b)와 같이 스티프너 설치 위치에 라인하중으로 횡하중을 가하였음. 해석하는 동안 기하비선형이 고려되었음

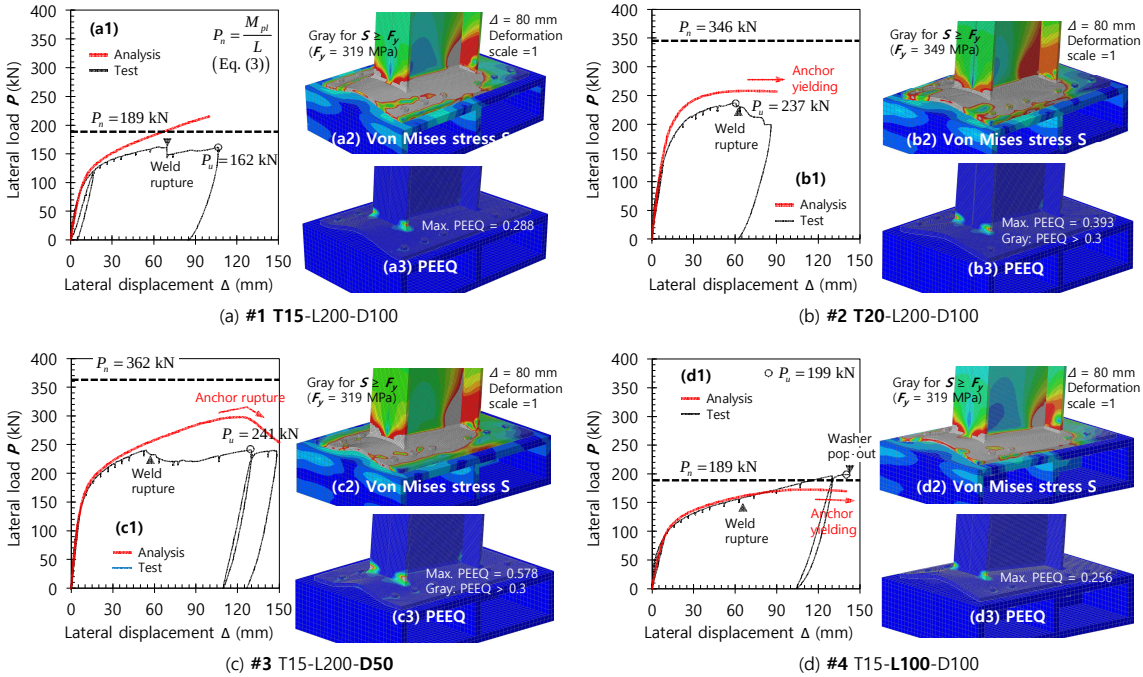
■ **해석 및 실험 결과 비교**

- 아래 그림은 해석과 시험에 의한 하중-변형(P-Δ) 관계를 비교함. 변형형상(스케일 계수 = 1.0), Von Mises 응력(S), 베이스 연결부의 등가 소성 변형률(PEEQ)이 그림에 표시되었음. 해석에서 실험체 #1과 #2는 항복 이후 P-Δ곡선이 약간 과대평가되었음. 전반적으로 해석결과는 실험 결과와 잘 일치함

(계속)

연구결과

- 그러나 해석에서 기둥 플랜지-베이스플레이트 용접부에 발생된 파괴를 직접 모델링하지 않기 때문에, 항복 후 경화거동 동안 예측된 P-Δ 곡선과 측정된 P-Δ 곡선 사이의 차이는 변형이 증가함에 따라 커짐. 실험체 #1 T15-L200-D100(아래 그림 (a1) 참조)의 경우 예측된 항복 후 경화거동은 약 Δ = 100㎜까지 계속되었음
- 반면 실험체 #2 T20-L200-D100 및 실험체 #3 T15-L200-D50(아래 그림 (b1) 및 (c1) 참조)의 경우 예측된 항복 후 경화거동은 앵커볼트의 항복 및 넥킹으로 제한되었음. 이는 베이스플레이트의 휨항복 메커니즘과 이에 따른 베이스연결부 휨강도(즉, P_u = 237kN 및 241kN)가 실험체 #2 및 #3에서 완전히 발현되지 않았음을 의미함
- 모든 실험체에서 등가소성변형률(PEEQ)은 플랜지-베이스플레이트 용접부에 집중되었음. (아래 그림 (a3), (b3), (c3), (d3) 참조)
- 그러나 플랜지 가장자리에서의 PEEQ 최댓값은 접합상세에 따라 다르며, 베이스플레이트 두께를 증가시킨 실험체 #2(즉, t_p = 20 ㎜)와 앵커볼트를 더 가깝게 배치한 실험체 #3에서 PEEQ 최댓값이 훨씬 크게 나타났음
- 이 두 실험체는 실험에서도 용접파단이 비교적 일찍 발생하였고 이후 강도저하가 더 현저하게 나타났음



(a) **#1 T15**-L200-D100 (b) **#2 T20**-L200-D100

(c) **#3** T15-L200-**D50** (d) **#4** T15-**L100**-D100

[해석 및 실험 결과 비교]

■ 베이스플레이트 강도 및 초기 회전강성 평가

○ 베이스연결부 강도

- 계산된 베이스연결부의 강도P_n을 실험 및 해석 결과와 비교하였음. 계산된 강도P_n은 다음과 같이 결정됨

$$P_n = \frac{M_{pl}}{L}$$

- 여기서, L = 1,000㎜이고 M_{pl} = 베이스플레이트 휨항복에 의한 베이스연결부 휨강도. 위 그림 (a3), (b3), (c3), (d3)에서 볼 수 있듯이, 모든 실험체에서 베이스플레이트 항복은 기둥 플랜지를 바깥의 자유단까지 확산됨

(계속)

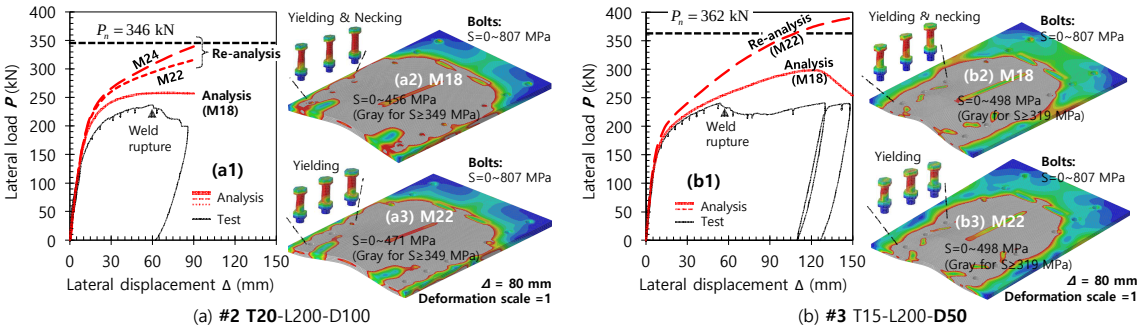
연구결과

- 따라서 M_{pl}을 계산할 때 기둥 플랜지 바깥 확장된 부분의 항복선길이 h_e 150㎜로 취하였음
- 각 실험체의 계산된 강도 P_n은 아래 표 및 위 그림에서 가로 점선으로 표시됨

[베이스플레이트 휨항복에 의한 베이스연결부 강도 산정]

Specimen		Base plate		Connection details						Connection strengths M_{pl}		
#	Name	F_y (MPa)	t_p (mm)	h (mm)	b_a (mm)	d_a (mm)	h_e (mm)	h_{da} (mm)	h_{df} (mm)	Theoretical		Test
										M_{pl} (kN-m)	P_n (kN)	P_u (kN)
1	T15-L200-D100	319	15	400	400	100	150	447	412	189	189	162
2	T20-L200-D100	358	20	400	400	100	150	447	412	346	346	237
3	T15-L200-D50	319	15	400	300	50	150	427	412	362	362	241
4	T15-L100-D100	319	15	400	400	100	150	447	412	189	189	199

- 실험체 #1 T15-L200-D100(위 그림 (a1) 참조)의 경우, 계산된 강도 P_n(= 189 kN)은 분석에 의한 것보다 작지만 실험강도P_u(= 162 kN)보다 큼. 이는 플랜지와 베이스플레이트 용접부의 조기 파단으로 인해 실험체 #1의 베이스연결부 강도가 완전히 발현되지 않았음을 나타냄. 그러나 실험에서 용접파열 후 강도저하가 무시할 수 있었던 실험체 #4 T15-L100-D100의 경우 계산강도 P_n(= 189kN)가 실험강도(P_u = 199kN)와 잘 일치함. 앵커볼트의 항복 및 넥킹이 항복 후 경화거동에 의한 강도 증가를 제한하기 때문에 실험체 #4의 해석강도가 계산강도 P_n를 약간 하회함
- 실험체 #2 T20-L200-D100 및 실험체 #3 T15-L200-D50(위 그림 (b1) 및 (c1) 참조)의 경우 계산강도 P_n(= 346kN 및 362kN)이 실험강도 P_u보다 큼. 이러한 강도 차이는 불충분한 앵커성능과 관련되었을 수 있음. 실험체 #2 및 #3의 경우 인장측 앵커로서 6개의 고장력 M18 볼트(최대 인장강도 F_u = 1,048 MPa, 직경 d_b = 18 mm, 단면적 A_b = 254 mm2)를 사용했음. 이러한 앵커볼트의 인장성능은 기둥 항복시 플랜지의 인장력 T_f를 감당하기에 충분하도록 설계되었지만 유한요소해석에서는 앵커볼트의 직경이 베이스플레이트의 항복메커니즘을 완전히 발현시키기에 충분하지 않은 것으로 나남. 아래 그림 (a2) 및 (b2)에서 보듯이 실험체 #2 및 #3의 해석결과에서는 M18 앵커볼트가 항복 및 넥킹에 의해 큰 소성변형을 겪는 것으로 분석됨



(a) **#2 T20**-L200-D100 (b) **#3** T15-L200-**D50**

[앵커볼트 크기를 증가시킨 재해석 결과: 실험체 #2 및 #3]

- 추가 분석을 위해 앵커를 M22 또는 M24 볼트로 교체하여 실험체 #2 및 #3을 재해석했음. 위 그림은 M18, M22, M24 앵커볼트를 사용한 실험체 #2, #3의 해석결과를 비교한 것임. 앵커를 M22 또는 M24 볼트로 증가시키면, 항복 후 경화거동에 의한 강도 증가가 크게 발생하여 해석 최대강도가 계산강도 P_n에 도달하거나 초과하며, 앵커 단면적이 증가함에 따라 앵커 손상(즉, 네킹)이 크게 완화됨. 두꺼운 베이스플레이트(t_p = 20㎜)가 있는 실험체 #2의 경우, M22 볼트는 여전히 베이스플레이트의 전체 항복 강도를 달성하기에 충분하지 않았으며 M24 볼트를 사용할 때에 계산강도 P_n(= 346kN)에 도달함. (위 그림 (a1) 참조). 앵커볼트의 크기가 증가하더라도 베이스플레이트의 항복모드는 거의 변하지 않았음

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (유한요소해석을 이용한 베이스플레이트 구조성능 실험의 고찰)

연구결과

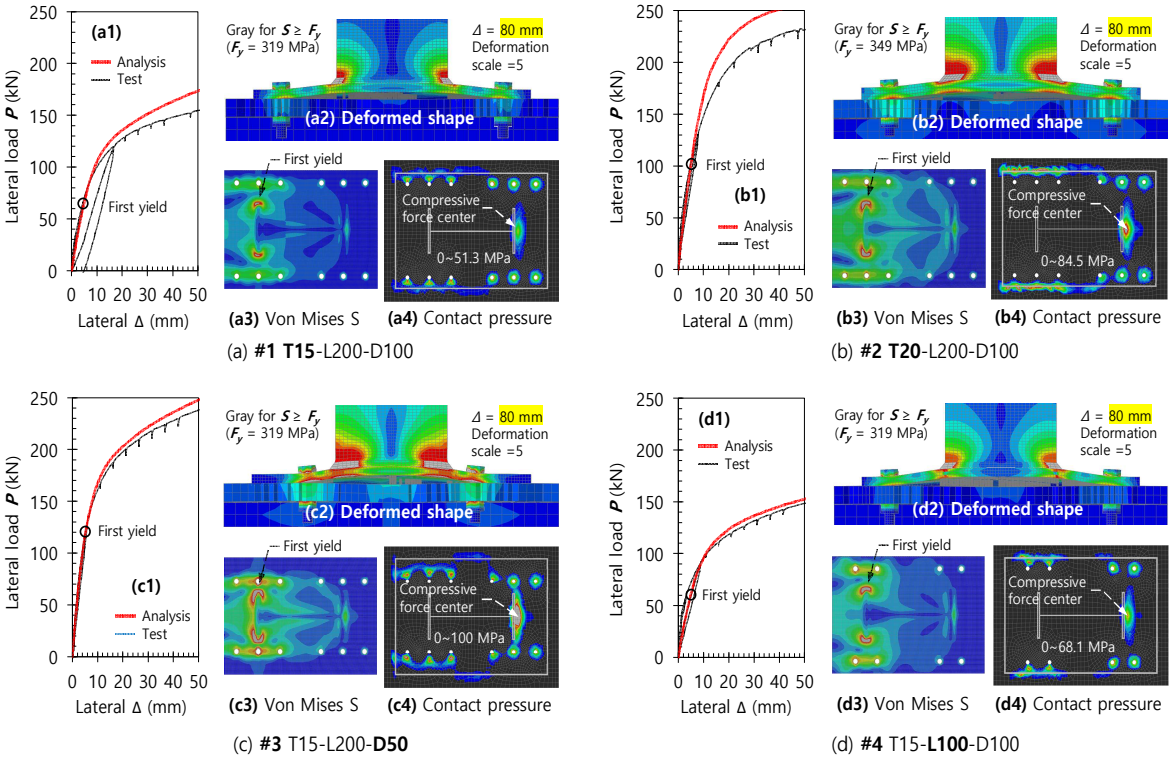
○ 항복 이전 초기 회전강성

- 여기에서는 항복 전 초기 거동에서의 회전 강성을 조사하였음. 아래 그림은 베이스플레이트에 첫항복이 발생하는 시점에서 변형형상(스케일 계수 5)과 베이스플레이트의 Von Mises 응력(S) 및 지그 강판의 접합면 지압압력 분포를 보여줌.
- 조사 결과 다음 사항을 추론할 수 있음

(1) 압축측의 접합면 지압응력은 대부분 플랜지면으로부터 t_p만큼 떨어진 위치에 집중됨(아래 그림 (a4), (b4), (c4) 및 (d4) 참조).
이는 초기 탄성거동 중 베이스연결부 회전변형을 $\theta_{bc} = v_f/[h+t_p]$로 취할 수 있음을 보여줌. 이에 대해 계산 편의를 위해 베이스연결부의 회전변형을 $\theta_{bc} = v_f/h$로 근사화함

(2) 항복이 시작될 때 베이스플레이트의 휨 변형모드는 이중곡률에 의한 이방향 휨임(즉, α = 24, 아래 그림 (a2), (b2), (c2) 및 (d2) 참조) 모든 실험체에서 베이스플레이트의 기울기가 0인 양단부 사이 지점거리 d_a'는 플랜지 가장자리에서 앵커볼트 중심선까지의 거리인 d_a보다 큼. 여기에서는 해석결과를 토대로 $d_a' = [d_a+3t_p]$로 근사화함

(3) 아래 그림 (a3), (b3), (c3), (d3)에서 볼 수 있듯이, 베이스플레이트 응력은 길이 앵커 주변보다 플랜지 가장자리에 더 집중됨. 이는 베이스플레이트의 탄성 휨변형이 앵커 주변의 곡률보다는 플랜지 가장자리 주변의 곡률에 의해 지배되며 결과적으로 베이스연결부의 초기강성이 앵커볼트의 개수와 배열(h_a)에 의해 크게 영향을 받지 않을 수 있음을 나타냄. 이는 실험 및 해석 결과에 의해서 입증됨.
즉, 앵커 개수와 배열은 실험체 #1과 #4 사이에 다르지만 두 실험체의 항복 이전 초기거동은 거의 동일함. 그 대신, 해석 및 실험은 베이스연결부 초기 회전강성이 플랜지 가장자리와 인접한 앵커볼트 사이의 거리인 d_a와 더 관련되었음을 보여줌.
따라서, 일방향 휨거동에 대한 베이스플레이트의 유효폭을 근사적으로 $b_{pe} = 2d_a$로 취하였음

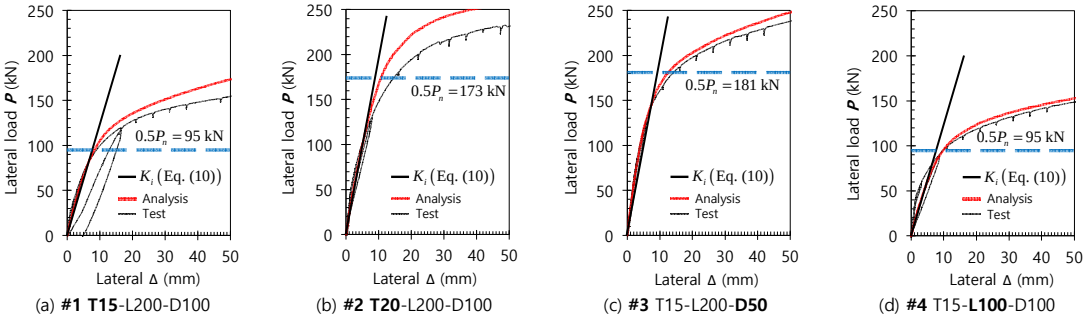


[베이스플레이트 첫항복 시점의 해석 결과 분석]

(계속)

연구결과

- 아래 그림에서 각 실험체의 계산 초기강성 k_i는 원점으로부터 시작된 직선으로 그려짐. k_i를 계산하기 위해 사용한 변수는 아래 표에 정리하였음. 아래 그림에서 보는 바와 같이 계산 초기강성은 실험 및 해석결과와 잘 일치함



(a) **#1 T15**-L200-D100 (b) **#2 T20**-L200-D100 (c) **#3** T15-L200-**D50** (d) **#4** T15-**L100**-D100

[계산 초기강성과 실험 및 해석 결과 비교]

■ 베이스플레이트 설계 권고사항

- **【2차년도 단위성과물 : 댐퍼 접합부설계기법 도출】**에 대한 **【질적성과지표 : 댐퍼 유닛 최대 내력시 접합부 탄성유지】)의 만족을 위해 베이스플레이트 설계권고사항에 다음과 같은 내용을 도출함**
- 앞서 조사 및 분석한 바와 같이, 제안된 베이스연결부의 구조성능은 베이스플레이트와 앵커접합상세의 영향을 크게 받음. 따라서 모듈시스템을 지지하는 베이스연결부의 설계는 이 연구에서 실험 및 해석을 통해 검증한 범위로 제한되어야 함. 여기에서 권장하는 사항은 다음과 같음

(1) 상세 권고사항:

베이스플레이트 두께 t_p = 15㎜의 경우, 50㎜ ≤ d_a ≤ 100㎜ 및 100㎜ ≤ h_a ≤ 200㎜를 사용하며, 앵커볼트 M18 이상이어야 함.

베이스플레이트 두께 t_p = 20㎜의 경우 d_a = 100㎜ 및 h_a = 200㎜ 사용하며, 앵커볼트는 M24 이상이어야 함

(2) 설계강도 제한:

베이스연결부가 위에서 설명한 상세 구조제한의 범위에서 설계되더라도, 실험 및 해석에서 확인된 바와 같이 베이스플레이트 항복메커니즘이 완전히 발현되기 전에 기둥 플랜지-베이스플레이트 용접부가 조기에 파괴될 수 있음. 이는 베이스연결부가 탄성범위에서 거동하도록 저감된 강도를 기반으로 베이스연결부를 설계함으로써 피할 수 있음. 즉, 베이스연결부에 작용하는 소요강도가 계산에 의한 공칭강도의 50%를 이하가 되도록 설계함.

$$M_u \le \phi\left(0.5M_{pl}\right)$$

여기서, M_u = 베이스연결부의 모멘트 요구강도, M_{pl} = 베이스연결부의 공칭 휨강도, ϕ= 베이스플레이트 항복에 대한 강도감소계수(= 0.9).

(3) 설계강도 평가식:

위의설계 및 상세 권장 사항이 충족되면, 베이스연결부의 휨강도(M_{pl}) 및 초기 회전강성(k_i)을 다음과 같이 계산할 수 있음.

$$M_{pl} = F_y t_p^2 h\left(\frac{h_e}{d_a} + \frac{h_{da}+h_{df}}{2d_a} + \frac{b_a}{4h}\right), \qquad k_i = \frac{1}{\left(\frac{l_a}{n_a E A_a} + \frac{\left(d_a+3t_p\right)^3}{24EI_{pe}} + \frac{d_a}{GA_{pe}}\right)\frac{1}{h^2}}$$

여기서, h_e = 기둥 플랜지 면에서 베이스 플레이트 가장자리까지의 거리로서 150㎜ 이하; I_{pe} = $b_{pe}t_p^3/12$; A_{pe} = $[5/6]b_{pe}t_p$; 및 b_{pe} = $2d_a$.

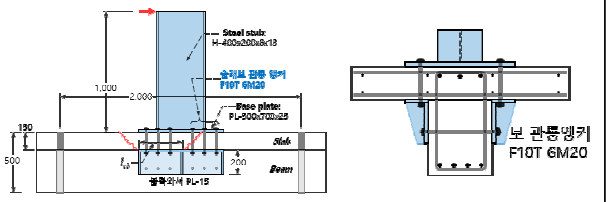
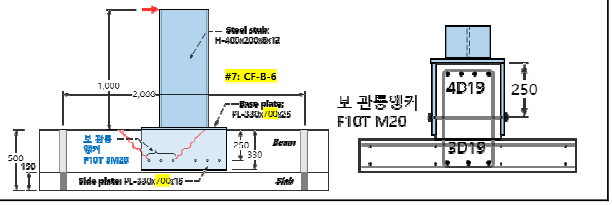
- 위 (1)~(3)에 따른 베이스연결부 설계의 적합성은 위 그림에서 확인할 수 있음. 즉, 위 그림에서 모든 실험체는 하중이 계산강도 $0.5P_n$(가로점선)의 50% 미만일 때 용접파열 없이 대부분 탄성거동을 보였으며, 계산 초기강성 k_i는 실험 및 해석 결과와 매우 잘 일치함

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 관통앵커 구조성능 실험)

연구결과

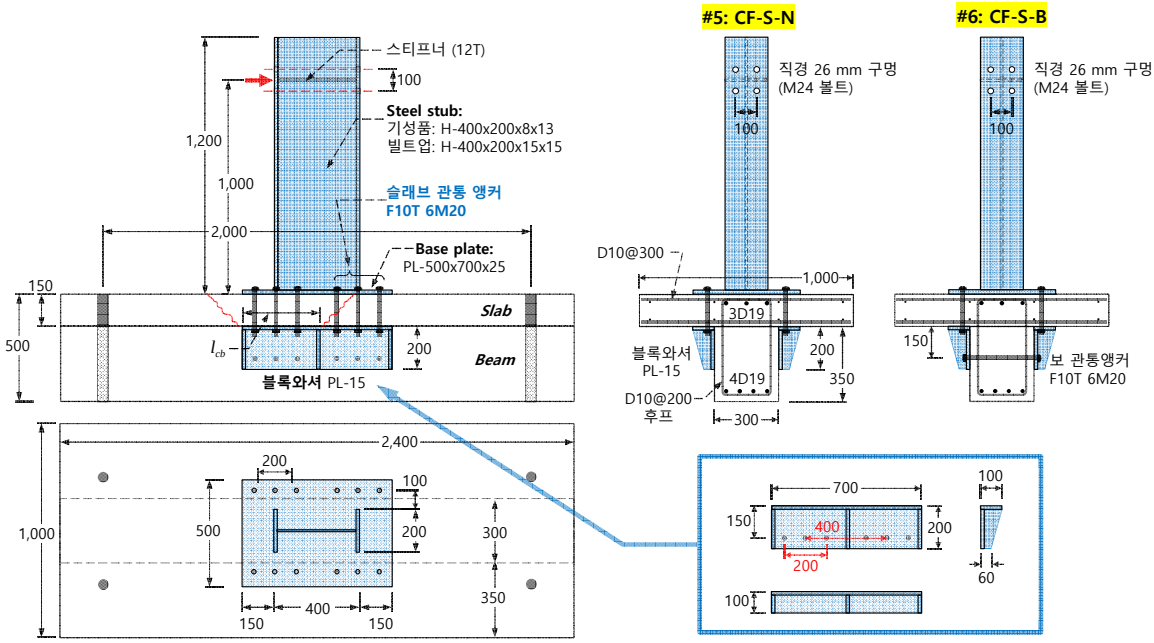
■ 실험체 상세

- 수평 RC부재에 설치된 베이스연결부의 구조성능을 평가하기 위해 구조실험을 수행함. 아래 표와 같이 바닥보 앵커접합 실험체 #5 및 #6, 천장보 앵커접합 실험체 #7A, #7B 및 #8를 관통앵커 주변에서 콘크리트 파괴가 발생하도록 실험을 계획하였음.

구분	검증 목표	주요 변수	실험체명	상세, 이미지
바닥보 접합부: 2개	앵커접합부 콘크리트 파괴강도: **슬래브파괴**	보 웨브 앵커 설치 여부	**#5: CF-S-N** **#6: CF-S-B**	
천장보 접합부: 2개	앵커접합부 콘크리트 파괴강도: **보파괴**	보 웨브 앵커 개수	**#7-A: CF-B-6** **#7-B: CF-B-6** **#8: CF-B-10**	

[콘크리트 바닥에 관통앵커 접합부의 구조실험 계획]

- 바닥보 앵커접합 실험체 #5 CF-S-N 및 #6 CF-S-B의 형상, 치수 및 상세는 아래 그림과 같음. 두께 150 mm, 폭 1,000 mm의 슬래브를 갖는 T형 보 위에 켄텔레버 H형 강재기둥(즉, 댐퍼를 지지하는 모듈부재)을 베이스플레이트(PL-500x700x25)와 관통앵커(2-6M20, 슬래브 관통)를 사용한 앵커접합으로 연결하였음. 슬래브 하부에 강재로 제작된 블록와셔를 설치하였으며, 특히 실험체 #6은 보를 관통하는 6M20 앵커를 추가로 설치하여 앵커접합부의 저항성능을 추가로 확보함



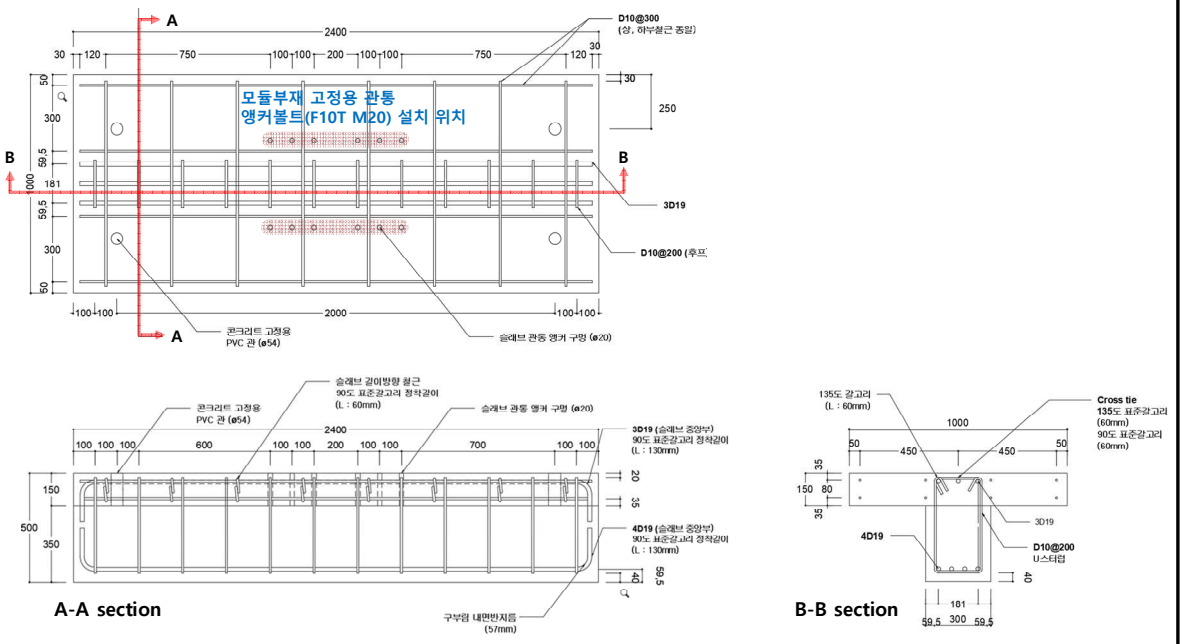
[바닥보 접합 실험체에 사용된 베이스연결부 앵커접합 상세 (실험체 #5 및 #6)]

- 실험체 #5 및 #6에 사용된 바닥 RC보(슬래브 포함)의 배근상세는 아래 그림과 같음. 실험체 #5 및 #6은 동일한 RC보 치수 및 배근상세를 가지며, #6에는 보의 측면을 관통하는 앵커 6M20이 추가로 설치됨. RC 보에는 휨철근으로 3D19 및 4D19을 각각 단면 상부와 하부에 배치하였고, 전단철근으로 U형 D10 스터럽을 200 mm 간격으로 배치하였음

(계속)

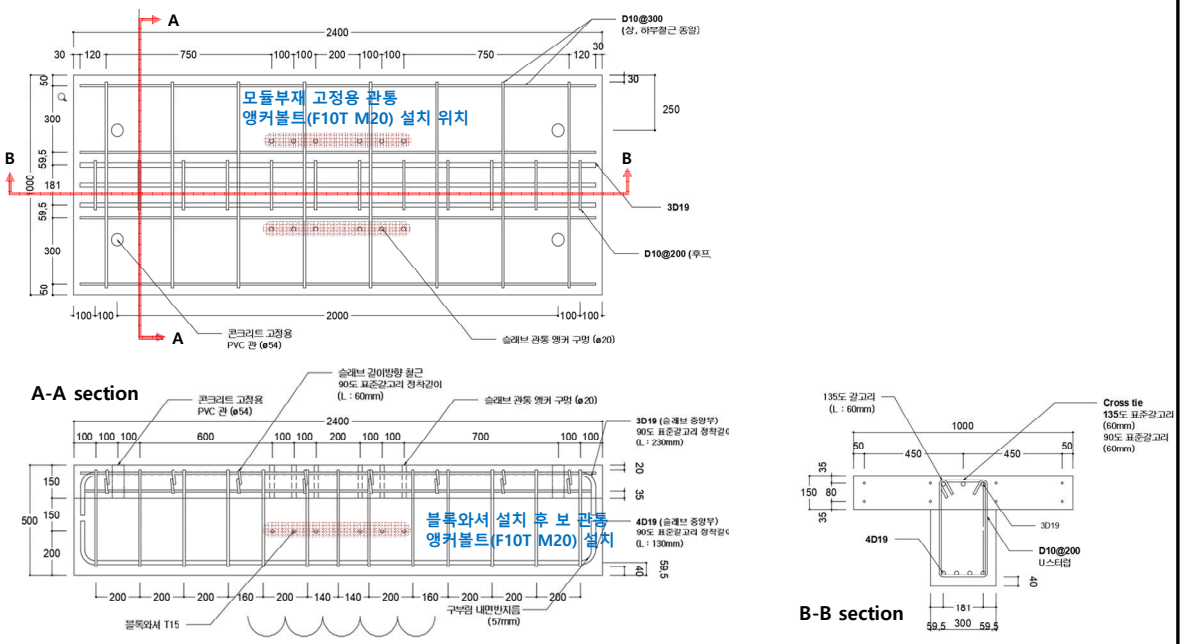
연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 관통앵커 구조성능 실험)

- 슬래브 휨철근으로는 단면 상부 및 하부에 각각 4개의 D10 철근을 배치함



[실험체 #5의 바닥 RC보 배근상세 및 관통앵커 배치]

연구결과



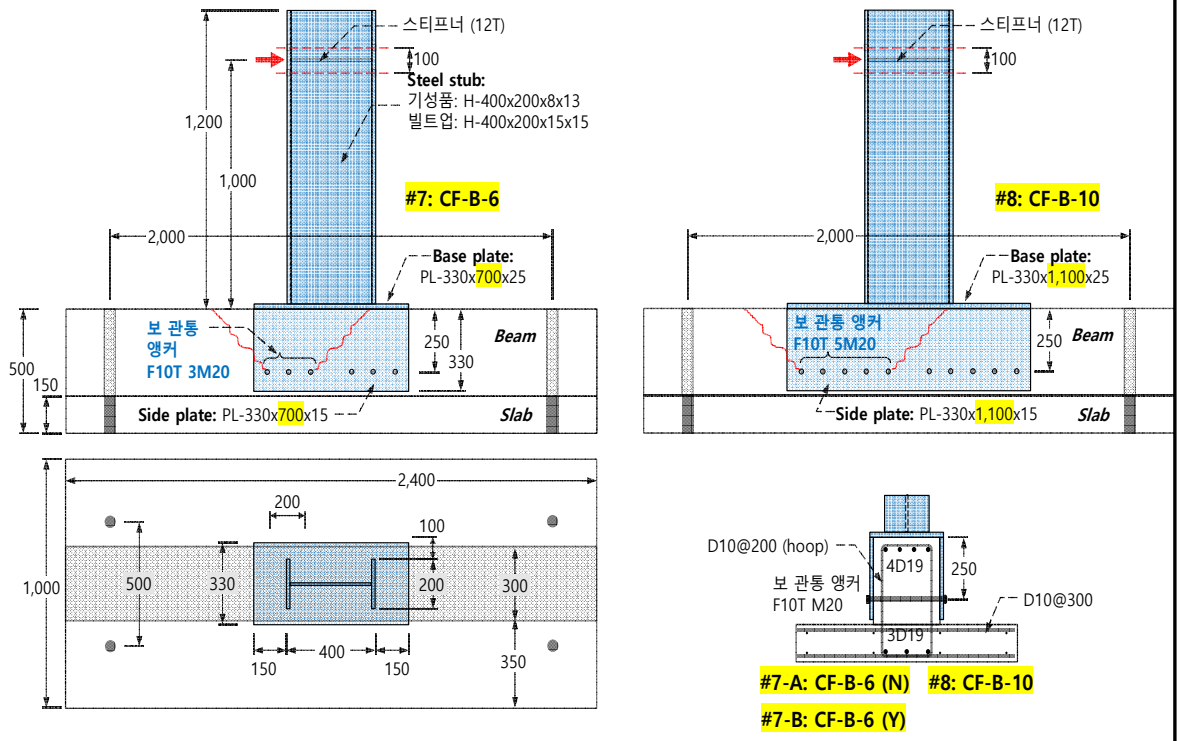
[실험체 #6의 바닥 RC보 배근상세 및 관통앵커 배치]

- 천장보 앵커접합 실험체 #7A CF-B-6, #7B CF-B-6 및 #8 CF-B-10의 형상, 치수 및 상세는 아래 그림과 같음. 슬래브가 있는 T형단면 RC보에 H단면 기둥을 관통앵커접합으로 연결하여 실험체를 제작하였음. RC보 및 기둥의 단면치수 및 배근상세는 바닥보 접합 실험체 #5 및 #6에 사용된 것과 동일함. 다만, 천장보 접합 조건을 고려하여 RC보를 뒤집어 슬래브가 바닥으로 향하도록 앵커접합부를 제작하였음. T형 보단면의 웨브폭(300 mm)에 맞추어 베이스플레이트의 폭을 줄이고(즉, PL-330x700x25 사용), 측강판(PL-330x700x15)을 용접한 U단면으로 보 콘크리트를 감싸도록 실험체를 제작하였음. 강재기둥과 RC보는 보 웨브를 관통하는 앵커(#7A 및 #7B의 경우 6M20, #8의 10M20)를 사용하여 연결함

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 관통앵커 구조성능 실험)

- 실험체 #7A와 #7B는 동일하게 6개의 관통앵커(6M20)를 사용하지만, #7A에는 앵커 구멍 내부에 에폭시를 주입하였고 #7B에는 에폭시를 주입하지 않았음. 실험체 #8의 경우 관통앵커 개수를 10개로 증가시켰음



[실험체 #7A, #7B 및 #8의 치수 및 앵커접합 상세]

연구결과

■ **실험체 제작**

- 베이스플레이트 및 와셔블록 가공, 강재기둥 용접, RC보 및 슬래브 배근, 거푸집 공사, 콘크리트 타설, 관통앵커 설치, 앵커접합부 시공 등 실험체 제작과정은 다음과 같음.



<Base Plate – Side Plate 용접>



<Side Plate 치수 확인>





<블록와셔 제작>



<강재 조립 사진>

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 관통앵커 구조성능 실험)

연구결과



<전체적인 철근 배치>



<슬래브 단부 갈고리>



<슬래브 철근 치수 확인>



<보 Stirrup 상부 치수 확인>



<보 Stirrup 하부 치수 확인>



<타설 전 거푸집 제작>



<각 실험체 타설>









<바닥보 - Base Plate 조립>



<바닥보 - 블록와셔 조립>



<보 – Plate 에폭시 접합>



<#5, #6, #7-1, #8 실험체>



[콘크리트 천공, 베이스플레이트 및 강재 설치, 관통앵커 체결]

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 관통앵커 구조성능 실험)

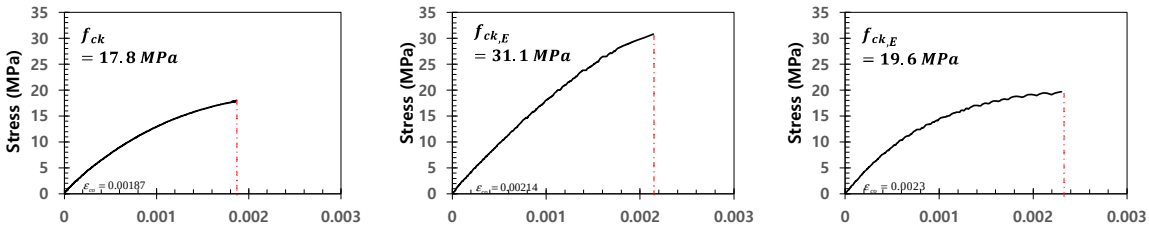
연구결과

■ **재료강도**

- 실험체에 사용된 콘크리트 압축강도는 아래 표 및 그림과 같음

[실험체 콘크리트의 재료특성]

실험체	#5, #6, #7A	#7B	#8	비고
압축강도 f_{ck}	17.8 MPa	31.1 MPa	19.6 MPa	3개 공시체 평균 #7B는 추가제작



[콘크리트 압축시험 결과: 응력-변형률 관계]

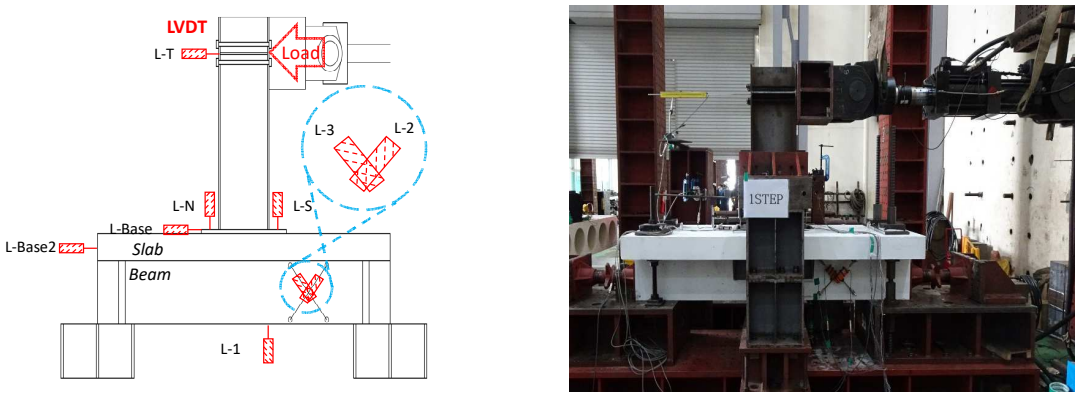
- H형강, 강판, 철근 및 앵커볼트의 강재 항복강도 및 극한강도는 아래 표와 같음

[각 부위 강재의 재료특성]

구분	항복강도	인장강도	비고
H형강	웨브(8T) 328 MPa 플랜지(13T) 319 MPa	웨브(8 mm) 472 MPa 플랜지(13 mm) 463 MPa	3개 평균 3개 평균
베이스플레이트, 강재블록 등 강재	15T 341 MPa 20T 374 MPa 25T 335 MPa	15T 490 MPa 20T 476 MPa 25T 505 MPa	3개 평균 1개 3개 평균
철근	D10 488 MPa D19 473 MPa	D10 567 MPa D19 595 MPa	2개 평균 3개 평균
관통앵커	M20 939 MPa	M20 1048 MPa	2개 평균

■ **실험셋팅, 가력 및 계측계획**

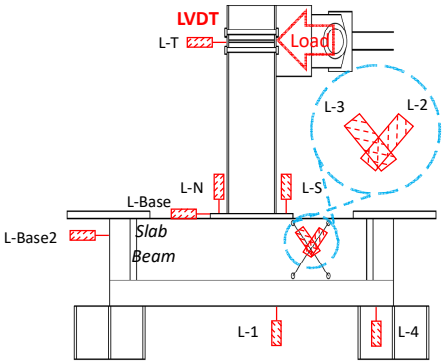
- 바닥보 앵커접합 실험체 #5, #6과 천장보 앵커접합 실험체 #7A, #7B, #8의 실험셋팅은 아래 그림과 같음. RC보의 좌우 단부를 직경 45 mm 강봉 2개를 사용하여 실험실 바닥에 고정시킨 상태에서, 강재기둥 상부를 횡방향으로 변위제어 가력하는 방법으로 실험을 수행함



[바닥보 접합 실험체 #5 및 #6 실험셋팅 및 계측계획]

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 관통앵커 구조성능 실험)



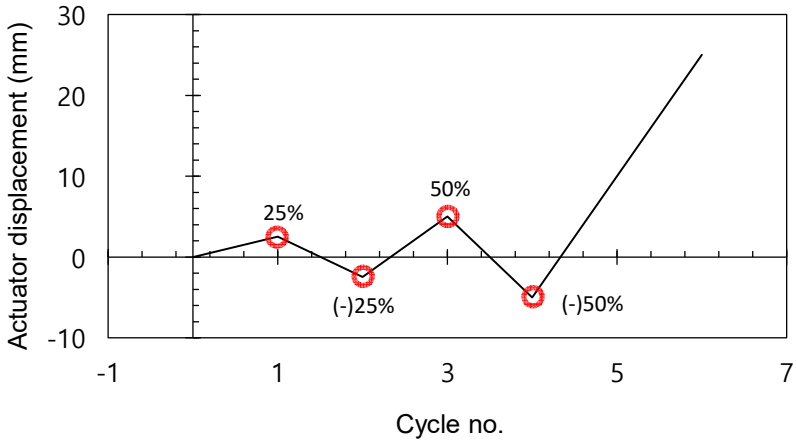




[천장보 접합 실험체 #7A, #7B 및 #8 실험셋팅 및 계측계획]

연구결과

- 모듈시스템을 연결하는 베이스연결부는 탄성거동을 하도록 설계해야 하므로, 실험체는 단조가력을 통하여 앵커접합부의 구조성능을 평가하였음. 다만, 탄성거동을 하는 동안 제하(unloading) 및 재재하(reloading)에 의한 영구변형이 누적되지 않아야 하므로, 이를 조사하기 위하여 탄성범위에서 2차례 하중을 제거하거 역방향으로 가력함



[엑츄에이터 가력 계획(항복하중의 25% 및 50% 수준에서 역방향 가력)]

■ 실험결과

○ 바닥보 앵커접합 실험체 #5 및 #6

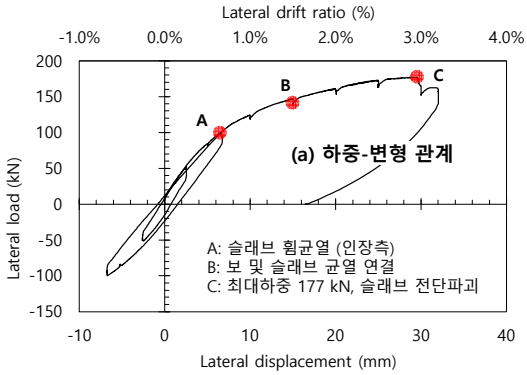
- 다음 그림은 슬래브에만 관통앵커를 설치(인장측 6M20 설치)한 #5 실험체의 하중-변형 관계와 파괴모드를 보여줌. 약 100 kN 하중에서 인장측 앵커 주변을 중심으로 슬래브의 휨균열이 뚜렷하게 관찰되었고, 이후 급격하게 강성이 감소하기 시작하였음. 약 140 KN에서 보의 전단균열(대각균열)과 슬래브의 휨균열이 서로 연결되었고, 결국 C점에서 최대하중 177 kN에 도달한 이후 슬래브에 사인장전단균열이 발생하여 파괴되었음

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 관통앵커 구조성능 실험)

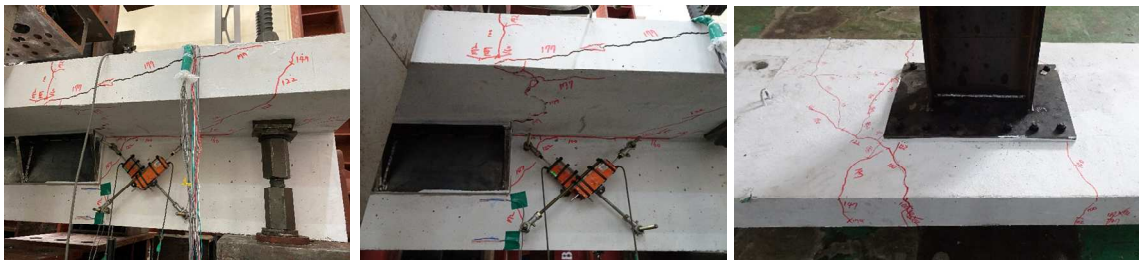
연구결과

- 다음 그림에서 보듯이 콘크리트 슬래브 및 보의 균열과 파괴는 베이스플레이트 및 강재블록 바깥부분에서 발생하였는데, 이는 베이스플레이트와 강재블록이 접합면 콘크리트를 구속함에 따라 균열이 억제되었기 때문으로 판단됨.
- 실험 내내 앵커접합부의 베이스플레이트는 변형이 크지 않았고, 기둥 플랜지-베이스플레이트 용접부에서도 어떠한 균열 또는 파괴가 관찰되지 않았음





(b) 실험 종료 후 사진



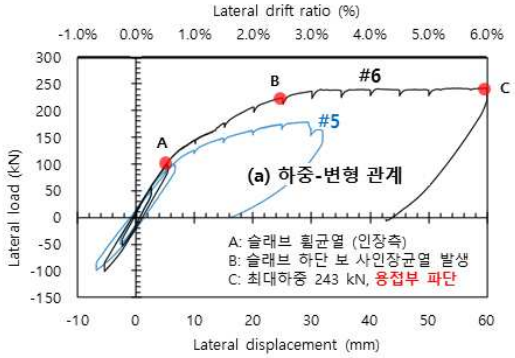
(c) RC 보 및 슬래브 균열 및 파괴모드

[하중-변형 관계 및 파괴모드: 실험체 #5]

- 다음 그림은 슬래브와 보에 관통앵커를 설치(슬래브 인장앵커 6M20 및 보 2면 전단앵커 3M20 설치)한 #6 실험체의 하중-변형 관계와 파괴모드를 보여줌. 비교를 위하여 실험체 #5의 하중-변형 관계를 동일한 그래프에 나타내어 비교하였음
- 약 100 kN 하중에서 인장측 앵커 주변을 중심으로 슬래브의 휨균열이 뚜렷하게 관찰되었고, 이후 강성이 점진적으로 감소하였음. 약 200 KN에서 슬래브 하부에서 보의 전단균열(대각균열)이 관통앵커 주변에서 발생하였음. 이후 강도가 더 이상 증가하지 않는 거동이 발생하였고, 결국 C점에서 최대하중 243 kN에 도달한 이후 실험을 종료하였음.
- 다음 그림의 파괴모드에서 보듯이 슬래브 및 보의 콘크리트 균열 및 손상은 크지 않았음. 그럼에도 불구하고 BC구간에서 강도가 더 이상 증가하지 않은 이유는 다음과 같음
  (1) 앞에서 분석한 바와 같이, 앵커접합부에서 베이스플레이트가 충분한 강도를 발휘하기 위해서는 앵커볼트의 직경이 충분히 커야함. 앞선 실험 및 해석 연구에 따르면 베이스플레이트 두께가 20 mm일 경우 최소 M24 앵커볼트가 필요하지만, 실험체 #6에 사용된 앵커볼트는 M20으로서 너무 작음. 그 결과 의도한 베이스플레이트 항복메커니즘이 발현되지 못한 상태에서 베이스플레이트 변형이 증가하였음. (아래 그림 (b) 참조)
  (2) 베이스플레이트 변형이 증가함에 따라 기둥 플랜지-베이스플레이트 용접부에 파단이 발생하였고, 그 결과 앵커접합부의 강도가 더 이상 증가하지 못하였음.
- 위와 같이 베이스플레이트에서 변형이 증가하고 용접파단이 발생된 것과 달리, 콘크리트 보 및 슬래브에서는 균열이외에 뚜렷한 손상이 발생하지는 않았음. 이는 실험체 #6과 같이 슬래브와 보에 동시에 관통앵커를 설치할 경우 횡하중 200 kN 이상의 강건한 앵커접합부 거동을 확보할 수 있음을 가리킴

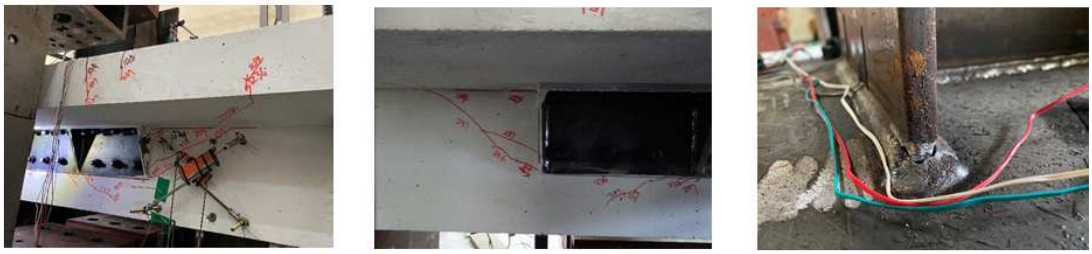
(계속)

- 특히, 아래 그림 (a)에서 보듯이 슬래브에만 관통앵커를 설치한 #5비교하여 #6은 초기강성 및 최대하중이 증가하였음





(b) 실험 종료 후 사진



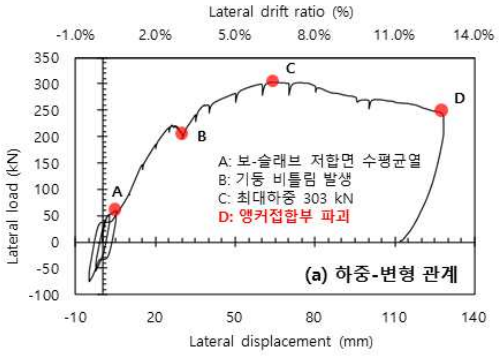
(c) RC 보 및 슬래브 균열, 기둥 플랜지-베이스플레이트 용접부 파단

[하중-변형 관계 및 파괴모드: 실험체 #6]

연구결과

○ 천장보 앵커접합 실험체 #7a, #7b 및 #8

- 다음 그림은 에폭시 충전 없이 관통앵커(6M20)를 시공한 실험체 #7A의 하중-변형 관계와 파괴모드를 보여줌. 약 60 kN에서 보-슬래브 접합면에서 수평균열이 발생하였고, 약 200 kN에서는 H형강 기둥에 비틀림변형이 발생함. 최대하중 303 KN에 도달한 이후 앵커 주변에서 시작된 보의 사인장균열로 인해 강도가 점진적으로 저하되었으며, 결국 보 전단파괴 발생함. 전형적인 앵커접합부 콘크리트 파괴이며, 콘크리트를 감싸는 U형 강재는 파괴 없음





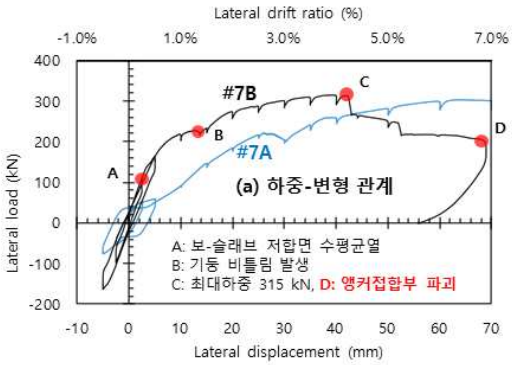
(b) 실험 종료 후 사진



(c) 앵커접합부 콘크리트 파괴 (RC 보 전단파괴)

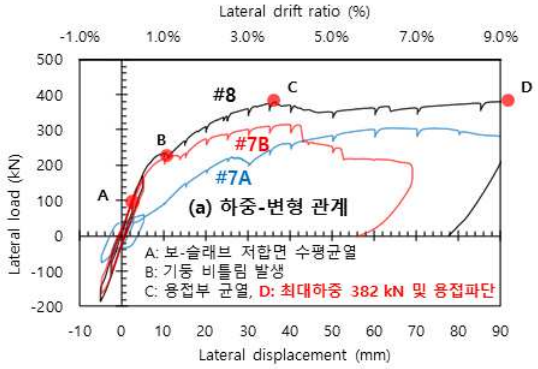
[하중-변형 관계 및 파괴모드: 실험체 #7A (에폭시 충전없이 앵커 시공)]

(계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 관통앵커 구조성능 실험)
연구결과	- 다음 그림은 콘크리트 구멍에 에폭시를 충전하여 관통앵커(6M20)를 시공한 실험체 #7B의 하중-변형 관계와 파괴모드를 보여줌. 약 100 kN에서 보-슬래브 접합면에서 수평균열이 발생하였고, 약 220 kN에서는 H형강 기둥에 비틀림변형이 발생함. 최대하중 315 KN에 도달한 이후 앵커 주변에서 시작된 보의 대각균열로 인해 강도가 점진적으로 저하되었으며, 결국 보 전단파괴 발생. 전형적인 앵커접합부 콘크리트 파괴이며, 콘크리트를 감싸는 U형 강재는 파괴 없음 - 다음 그림 (a)에는 비교를 위하여 에폭시를 충전하지 않은 #7A와 에폭시를 충전하여 앵커를 시공한 #7B의 하중-변형 관계를 보여주는데, #7B의 초기강성이 #7A에 비해 크게 개선되었음. 이는 관통앵커 시공시 구멍 유격이 있을 경우 앵커접합부의 구조성능이 현저히 저하될 수 있음을 나타냄 - 다음 그림 (c)에서 앵커 주변의 균열을 살펴보면, 앵커 몸체와 콘크리트 사이 지압에 의한 콘크리트 압괴는 전혀 발생하지 않았음. 즉, U형 강재가 앵커 주변의 콘크리트을 횡구속한 결과, 관통앵커 전체가 일체화된 거동을 통해 RC보로 기둥 인장력을 전달하는 것으로 판단됨. (즉, 강건한 앵커접합부 거동 확보) - 보 스터럽의 변형률을 살펴본 결과, 항복변형률을 크게 초과하는 변형이 발생하였으며, 보 휨철근 또한 항복변형률에 도달하였음. 베이스플레이트 또한 부분적으로 항복변형률에 도달하였음   (b) 실험 종료 후 사진  (c) 앵커접합부 콘크리트 파괴 (RC 보 전단파괴) [하중-변형 관계 및 파괴모드: 실험체 #7B (에폭시 충전 앵커 시공)] - 다음 그림은 관통앵커 개수를 10개로 증가시킨 실험체 #8의 하중-변형 관계와 파괴모드를 보여줌. 약 100 kN에서 보-슬래브 접합면에서 수평균열이 발생하였고, 약 220 kN에서는 H형강 기둥에 비틀림변형이 발생함. 최대하중 382 KN에 도달한 이후 기둥 플랜지-베이스플레이트 용접부에서 파단이 발생하여 파괴됨. 앵커 주변에서 대각균열일 발생하였으나, 파괴때까지 균열폭이 크게 증가하지는 않았음 - 다음 그림 (a)에는 관통앵커 6개를 사용한 #7A 및 #7B의 하중-변형 관계와 관통앵커 10개를 사용한 #8의 하중-변형 관계를 비교하는데, #8은 #7B와 유사한 초기강성을 보였으나 최대하중은 382 kN으로 크게 증가하였고, 파괴모드는 앵커접합부 콘크리트파괴가 아닌 베이스플레이트 용접파단으로 바뀌었음. 이는 관통앵커의 개수와 적절한 상세설계를 통하여 앵커접합부의 강도를 크게 향상시킬 수 있음을 나타냄 (계속)

연구개발 수행내용	B-1 : 접합부 구조성능 평가 (모듈시스템과 기존건축물간의 관통앵커 구조성능 실험)

- 아래 그림 (c)에서 앵커 주변의 균열을 살펴보면, 앵커 몸체와 콘크리트 사이 지압에 의한 콘크리트 압괴는 전혀 발생하지 않았으며, 앵커 주변의 대각균열 또한 그 폭이 크게 증가하지 않았음. 그 대신 기둥 플랜지와 용접된 베이스플레이트에는 변형이 크게 발생되었음
- RC보의 휨철근 및 스터럽은 주로 탄성변형률의 범위임





(b) 실험 종료 후 사진



(c) 앵커접합부 콘크리트 균열 및 베이스플레이트 용접파단

[하중-변형 관계 및 파괴모드: 실험체 #8]

연구결과

■ 결론 및 시사점

- 바닥보 앵커접합 실험체와 천장보 앵커접합 실험체 모두 강건한 콘크리트 앵커접합부 거동을 나타냄
- **【2차년도 단위성과물 : 댐퍼 접합부설계기법 도출】**에 대한 **【질적성과지표 : 댐퍼 유닛 최대내력시 접합부 탄성유지】)의 만족을 위한 내용은 다음과 같음**

(1) 바닥보 앵커접합 상세:

실험체 #6의 상세를 표준상세로 사용할 수 있음. 다만, 슬래브 바닥의 베이스플레이트는 20 mm 이상 사용하며, 슬래브 관통앵커의 직경은 M24 이상으로 증가시켜야 함

(2) 천장보 앵커접합 상세:

실험체 #7B 및 #8의 상세를 표준상세로 사용할 수 있음. 관통앵커 시공시 유격은 반드시 에폭시 등 충전제로 메워야 하며, 스터럽 등 기존 RC보의 전단철근이 충분하지 않을 경우 별도 전단보강을 수행하여야 함

연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛 요소의 시작품 설계안 도출)

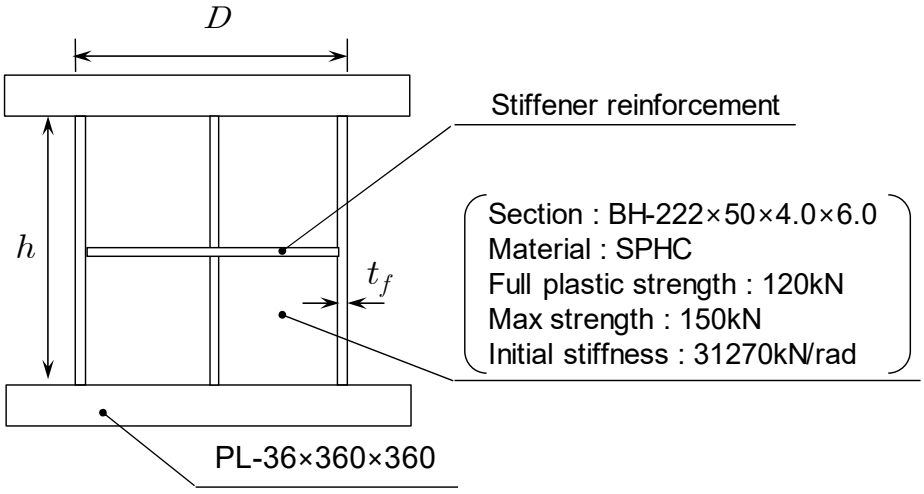
연구결과

■ **댐퍼 유닛 시작품 설계안 도출**

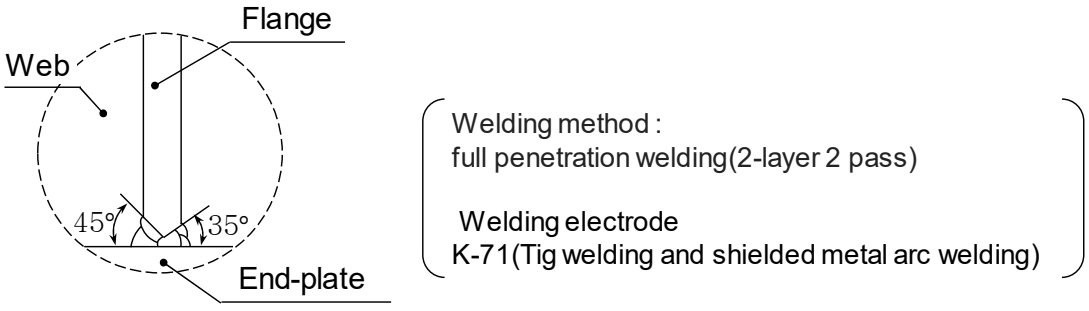
○ 댐퍼 유닛 요소단면 형상 도출

- **【강재댐퍼 유닛요소의 소성해석·변형이론을 이용한 핵심 설계법 확립】**과 **【구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증】**의 연구결과를 바탕으로 댐퍼유닛요소의 시작품 설계안을 도출함
- 댐퍼유닛의 구성은 패널부, 좌·우 플랜지, 엔드플레이트로 구성됨
- 댐퍼유닛의 강재종류는 SPHC(산세처리강판 P/O판)을 사용함(규격 : KS D 3501)
- 댐퍼의 변형성능의 향상을 위하여 패널부에 스티프너를 용접하여 보강함
- 좌·우 플랜지의 단부와 엔드플레이트는 완전용입용접으로 접합함(플랜지 개선 후 2층2패스로 용접함)
- 다른 부위는 필렛용접으로 접합함
- 용접봉은 K-71을 사용하며 TIG (GTAW) 용접 후 피복아크용접함 (용접봉 규격 KS D 7104 : YFW-C50DX)
- 댐퍼의 전소성전단내력은 120kN이며, 최대내력은 150kN임
- 댐퍼의 초기강성은 31,270kN/rad임

※댐퍼의 내력과 초기강성의 조절이 필요할 경우, 【강재댐퍼 유닛요소의 소성해석·변형이론을 이용한 핵심 설계법 확립】의 연구내용을 바탕으로 댐퍼의 단면형상과 높이를 조절하여 가변성을 갖도록함.



<Damper detail>



<Welding detail>

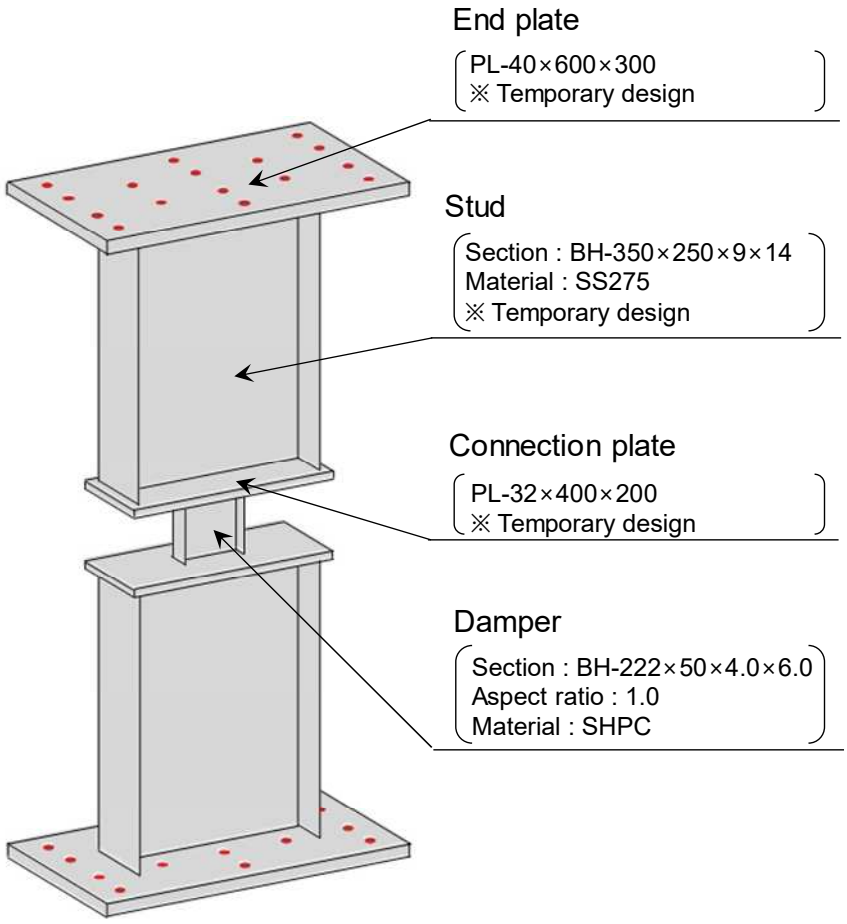
연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (모듈시스템의 시작품 설계안 도출)

연구결과

■ **모듈시스템 시작품 설계안 도출**

○ 모듈시스템의 형상 도출

- 진행중인 **【전단항복형 강재댐퍼 유닛요소의 최적화 설계기법 개발 및 실물 성능검증】**과 **【변형이론을 이용한 모듈 시스템 최적설계법 도출】**, **【구조성능 시험을 통한모듈 시스템 내진성능 검증】**의 연구결과를 바탕으로 댐퍼모듈시스템 시작품 설계안을 도출하고 있음
- 다음그림에 시작품설계안의 예시를 나타냄
- 댐퍼모듈시스템은 댐퍼유닛과 샛기둥 부재, 엔드플레이트, 접합 플레이트로 구성됨
- 댐퍼유닛은 【유닛요소 시작품 설계안 도출】에서 나타낸 댐퍼유닛과 동일함
- 댐퍼유닛과 샛기둥 부재는 2장의 접합플레이트를 맞대어 기계식 접합으로 조립함
- 샛기둥 부재는 열간압연 H형강을 사용함
- 상 · 하 샛기둥 부재와 엔드플레이트는 완전용입용접으로 접합함



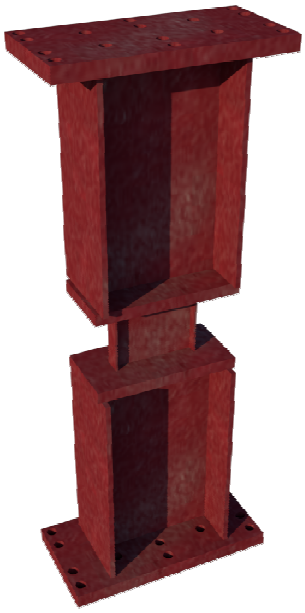
연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 설계)

연구결과

■ **시작품 설계**

○ 모듈시스템 설계

- 강재댐퍼 유닛요소의 구조성능 시험 결과를 통하여 시작품 설계를 실시함
- 강재댐퍼는 SPHC 강재를 사용하였으며, 태러부, 좌 · 우 플랜지, 엔드플레이트로 구성
- 좌 · 우 플랜지 단부와 앤드플레이트는 완전용입으로 용접하여 접합을 실시하였으며, 다른 부위는 필렛용접으로 접합
- 샛기둥의 부재는 열간압연 H형강(BH-350×250×9×14)으로 사용함
- 상부 및 하부 샛기둥과 엔드플레이트는 완전용입으로 용접하여 접합을 실시함
- 댐퍼 유닛과 샛기둥 부재의 접합은 상 · 하부에 접합플레이트를 맞대어 기계식 접합으로 조립하도록 설계함
- 아래 그림은 모듈 시스템을 모식화한 것을 나타냄



[모듈 시스템 모식도]



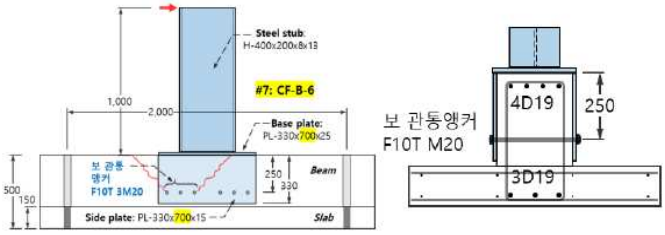
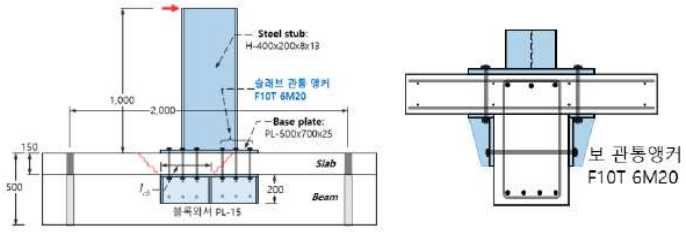
(a) 강재댐퍼

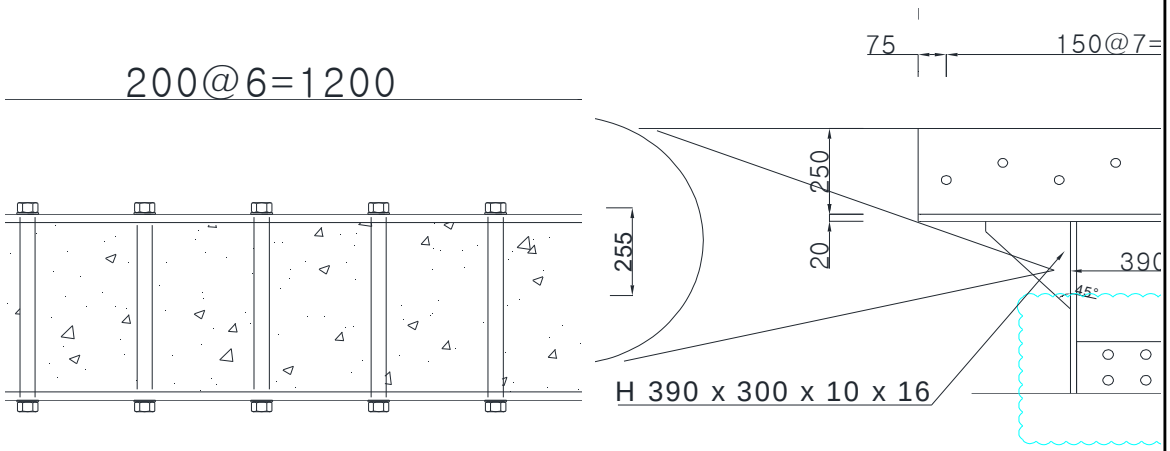


(b) 샛기둥

[모듈 시스템 사진]

(계속)

연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 설계)
연구결과	○ 상부 접합부 설계 - 댐퍼유닛의 최대내력을 200kN으로 가정하여 설계를 실시 - 상부 접합부는 샛기둥에 ㄷ자형 플레이트를 접합하여 상부보에 관통시켜 접합하도록 설계를 실시함 - 플레이트는 330×700×25를 사용하여 보 관통앵커는 F10T M20으로 설계함  [상부 접합체 도면] ○ 하부 접합부 설계 - 여러 층에 걸쳐 동일한 위치에 수직 연속으로 설치되는 경우 슬래브 상부에 설치되는 관통형 앵커와 보 아랫면에 설치되는 앵커 접합부를 일체화가 되도록 설계를 실시함 - 베이스 플레이트의 두께는 상부 접합부와 마찬가지로 25㎜로 제작하였으며 보 관통앵커는 F10T M20을 6개 설치하여 고정하는 상세로 설계를 실시하였음  [하부 접합체 도면] ■ **자문의견** - **현장 시공전문가, 대학교수 및 구조기술사 협의회를 통하여 시작품에 대하여 자문을 실시**하였음 - 기성품의 판재 또는 H형 강재를 사용함으로 제작상에는 문제가 없음 - 샛기둥의 경우 실제 구조물에 적용할 경우, 무게가 상당히 커 운반하는 대형장비와 설치에 필요한 장비가 요구됨 - 하부 접합부를 슬래브 관통앵커와 보 관통앵커로 시공한 경우 지하층 유무에 따라 시공이 불가능한 경우가 발생할 수 있음 - 하부 접합부 시공시 하부층의 마감재를 철거하고 재설치하는 부대공사비용이 발생할 수 있음 - 성능 검증을 실시하였으나 실제 구조물에 적용한 경우 샛기둥이 길어 좌굴이 발생할 가능성이 있음 - 댐퍼는 고정되어 있는 상태에서 샛기둥만으로 실제 구조물에 적용시 높이에 따른 대응이 어려움 - 하부접합부 설치를 위한 구멍 천공시 철근 간섭을 피하기 위한 형상이 필요할 것으로 사료됨 - 모듈 시스템 하부 플레이트의 크기가 커 이동중에 불편함이 초래되거나 별도의 마감 대책이 필요할 것으로 판단됨

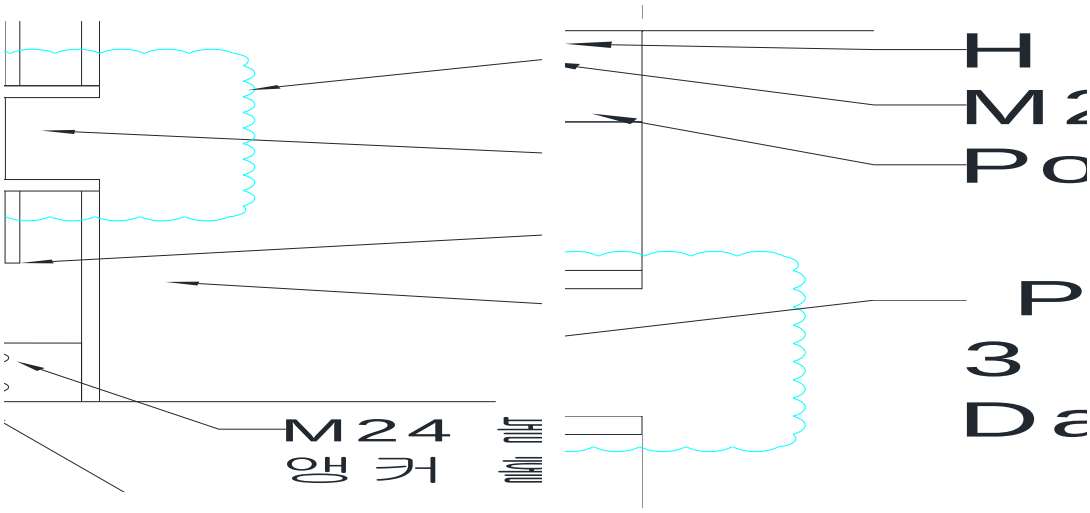
연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시제품 설계)
연구결과	**【요약】 [댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 설계]의 시작품에 대해 자문의견을 피드백하여 시제품을 다음과 같이 개선함** ■ **시제품 설계** ○ 시작품에 대한 개선사항 도출 - 하부 접합부 시공시 마감재 철거 및 부대공사 비용을 줄이기 위하여 케미칼 앵커만으로 하부 접합부를 고정하는 방법으로 개선함 - 댐퍼가 부담하는 전단강도(200kN) 이상을 하부 접합체에서 받는 앵커 인발하중(M24=61kN(개))으로 대체하여 댐퍼가 부담하는 전단강도 이상으로 설계를 실시함 - 상부 접합체, 중앙댐퍼 및 하부 접합체 3가지의 부재로 나누어 시공이 간편하며 무게를 줄일수 있도록 설계를 실시하였음 - 모듈 시스템 하부 블레이트의 크기를 벽체의 두께와 비슷한 길이로 변경하여 설계함. - 샛기둥의 좌굴을 방지하기 위하여 스티프너 및 부재 접합 개선으로 좌굴을 방지하도록 설계함 - 현장조건에 대응하기 위하여 상부 접합부와 하부 접합부는 길이변화에 대응할 수 있도록 설계를 실시함 ○ 상부 접합부 설계 - 상부 접합부는 ㄷ자형 강재 1200*250 15T 2EA와 엔드플레이트 1200*340 20T를 용접 접합으로 고정하도록 설계함 - 상부 보의 고정은 관통형이 아닌 양방향에 케미컬 앵커 M20으로 접합할 수 있도록 설계함 - 현장 조건에 대응할 수 있도록 상부 접합부와 샛기둥을 용접으로 접합하여 설계함 - 상부 천공은 앵커의 길이 확보를 위하여 엇모배치로 설계함 - 상부 접합체 샛기둥에 앵커 구멍을 천공하여 댐퍼와 접합할 수 있도록 설계함  (a) 평면도 (b) 정면도 [상부 접합체 도면]

(계속)

연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시제품 설계)

○ 댐퍼 설계

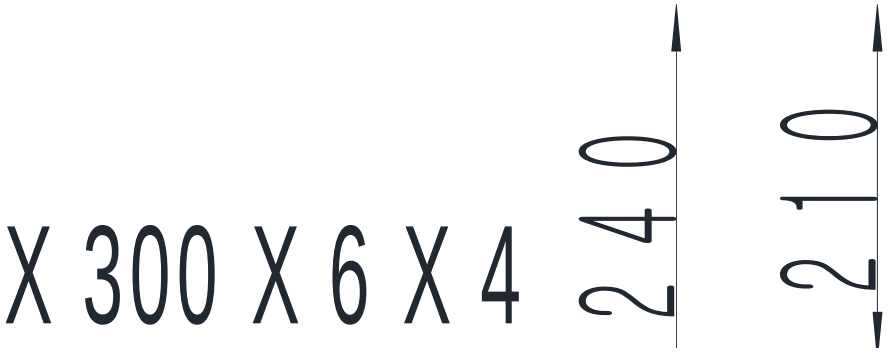
- 강재댐퍼에 엔드플레이트 390*300 30T 2EA을 Fillet 용접 접합으로 구성하도록 설계함
- 용접한 강재댐퍼 상.하에 부재 H-390*300*10*16(SM275, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)을 용접으로 구성하도록 설계함
- 강재댐퍼 상.하에 스티프너를 각각 4EA를 용접 접합을 하여 댐퍼와 부재의 접합성을 증대시킬수 있도록 설계함



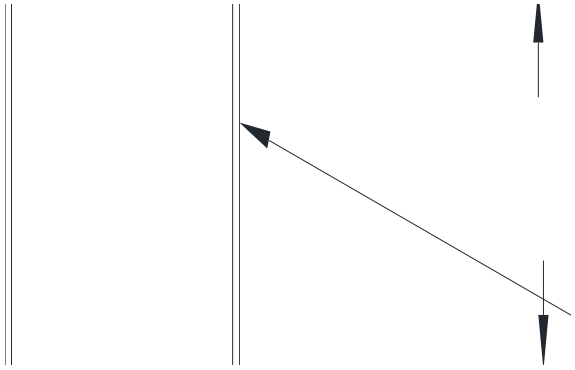
(a) 정면도 (b)측면도

[강재 댐퍼 설계도면]

연구결과



(a) 평면도 (b) 정면도



(c) 입면도

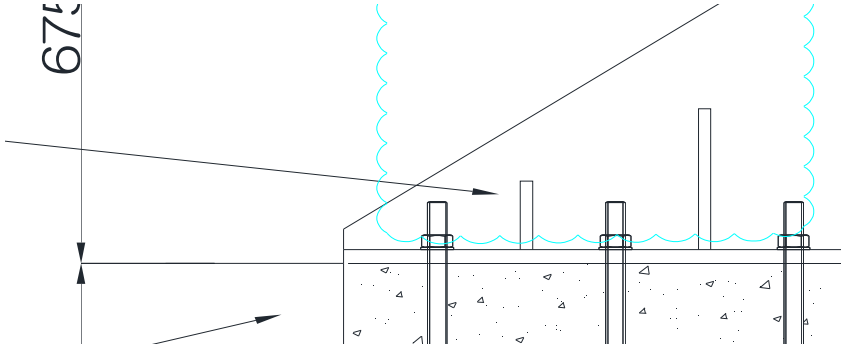
[댐퍼 설계도면]

(계속)

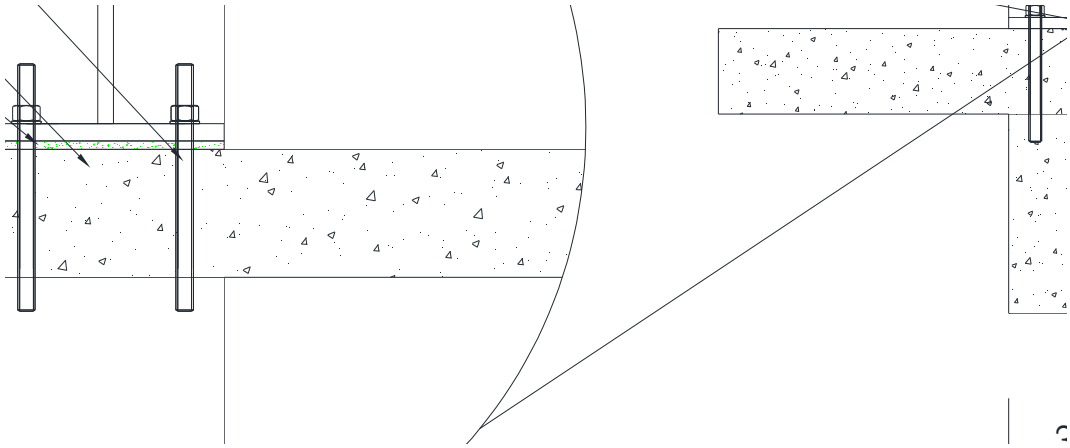
연구결과

○ 하부 접합부 설계(CASE Ⅰ)

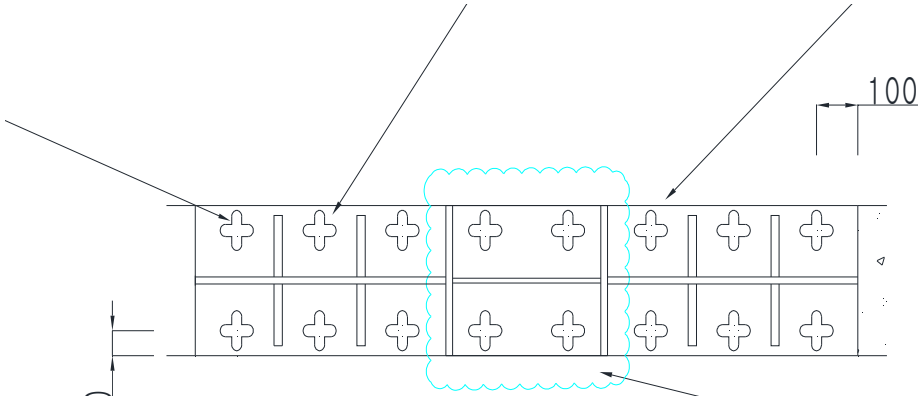
- 앤드플레이트 300*1600 20T에 케미컬 앵커(M20) 들어갈 앵커홀을 200@7간격으로 설계함
- 앤드플레이트에 샛기둥 H-390*300*10*16 Fillet 용접으로 고정하도록 설계함
- 하단 부재에 스티프너로 용접접합으로 보강하여 좌굴 방지하도록 설계함
- 하단 부재와 댐퍼 부재를 접합하기 위해 플레이트를 358*300 5T 및 300*300 5T 부분에 고장력 볼트(M24)로 연결할 수 있도록 상·하부 접합체에 100@3 간격으로 구멍을 뚫도록 설계함
- 케미칼 앵커로 고정시에 하부 슬래브 철근 간섭을 고려하여 +형태로 구멍을 뚫도록 설계함



(a) 정면도



(b) 측면도



(c) 평면도

[하부 접합체 도면]

(계속)

연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시제품 모식도)

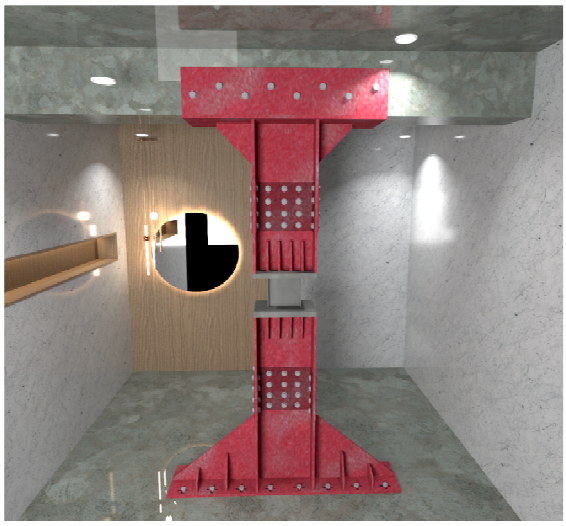
○ 시제품 모식도

- 시제품은 상부 접합체, 강재 댐퍼 및 하부 접합체 총 3가지의 부재로 계획하였으며, 각각 부재에 대한 그림은 아래와 같음

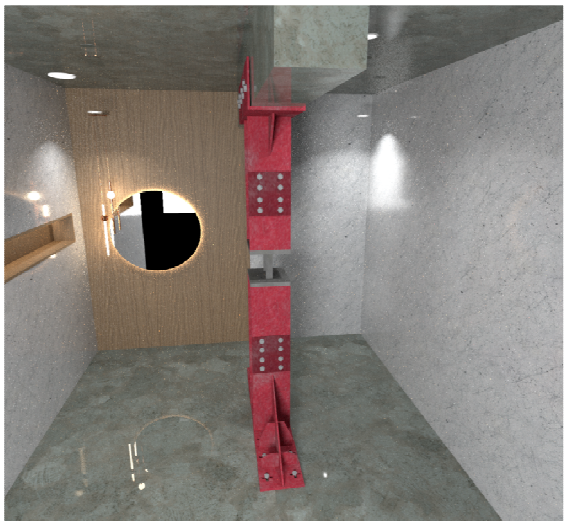


[2차 시제품 도면]

연구결과



(a) 정면도 사진



(b) 측면도 사진

[2차 시제품 사진]

연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시제품 제작)

연구결과

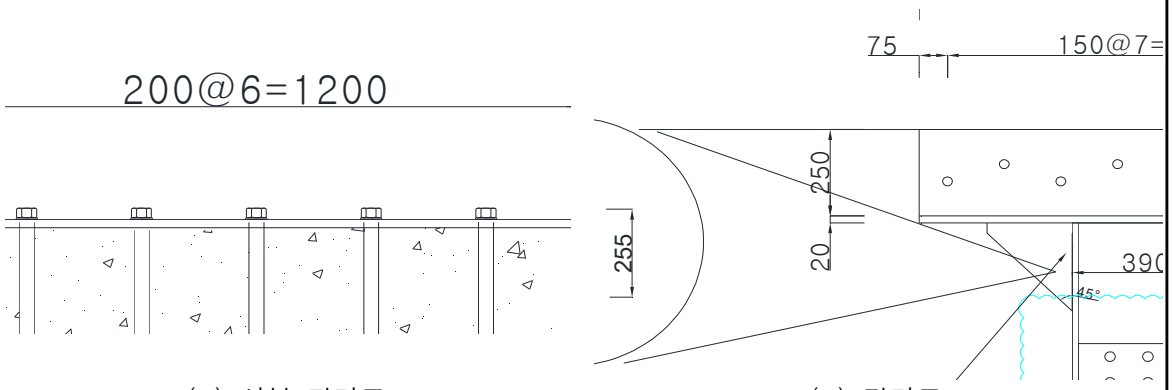
■ **시제품 제작**

○ 상부 접합체

① 상부 ㄷ자형 철물(SM275, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택) 1200*250 15T 2EA와 엔드플레이트 (SM275, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)1200*340 20T를 용접 접합과 상단 보와 강한 접착을 위해 케미컬앵커 M20으로 접합할 수 있도록 150@8 간격으로 상, 하부에 앵커 홀 천공을 실시한다

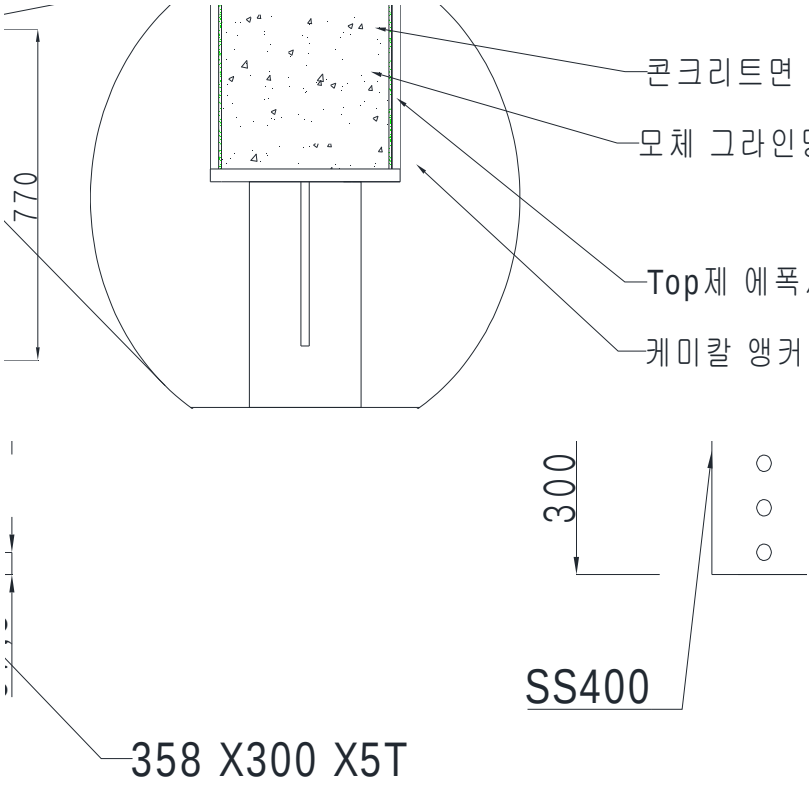
② ㄷ자형 철물과 상단 부재 H-390*300*10*16(SM275, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)을 Fillet 용접으로 고정한 후 스티프너로 추가 고정한다

③ 상단 부재와 댐퍼 부재를 접합하기 위해 358*300 5T, 300*300 5T 각각2EA(SM275, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)를 볼트(M24)가 들어갈 수 있도록 상부, 하부 접합체에 100@3 간격으로 천공을 실시한다



(a) 상부 평면도 (b) 정면도

[상부 접합체 설계도면]



[상부 접합체 측면도]

(계속)

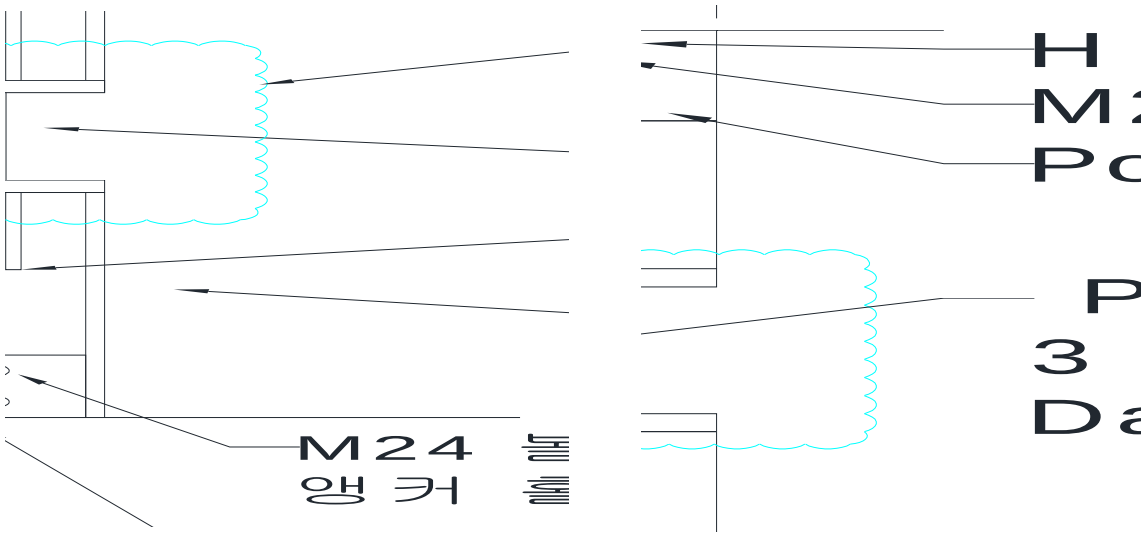
연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시제품 제작)

○ 강재 댐퍼

① 강재 댐퍼(SPHC, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)H390*300*4*6에 엔드플레이트(SPHC 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)390*300 30T 2EA을 Fillet 용접 접합을 한다

② 용접한 강재댐퍼 상.하에 부재 H-390*300*10*16(SM275, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)을 용접으로 고정을 한다

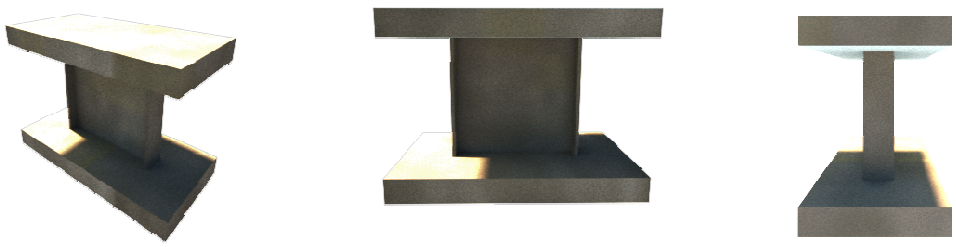
③ 강재댐퍼 상.하에 스티프너(SPHC, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)를 각각 4EA를 용접 접합을 하여 댐퍼와 부재의 접합성을 증대시키도록 한다



[강재 댐퍼 도면]

연구결과





[강재 댐퍼 모식도]

(계속)

연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시제품 제작)

○ 하부접합체

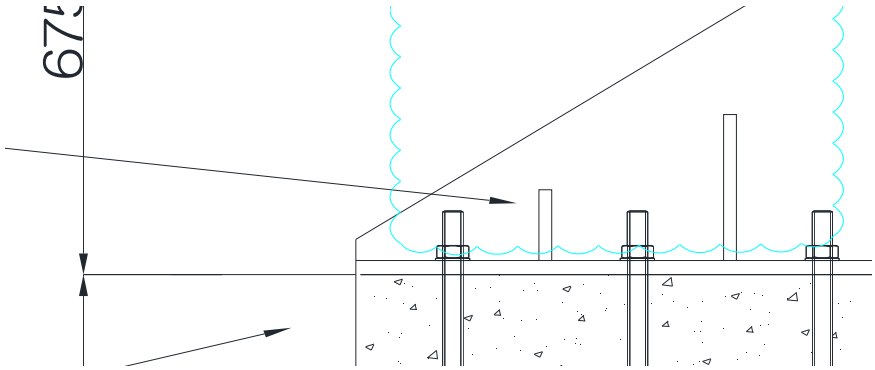
① 앤드플레이트(SM275, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)300*1600 20T에 케미컬 앵커(M20) 들어갈 앵커홀을 200@7간격으로 실시한다

② 앤드플레이트에 하단 부재 H-390*300*10*16(SM275, 현 SS275(구 SS400) 둘 중에 선택)을 Fillet 용접으로 고정을 한다

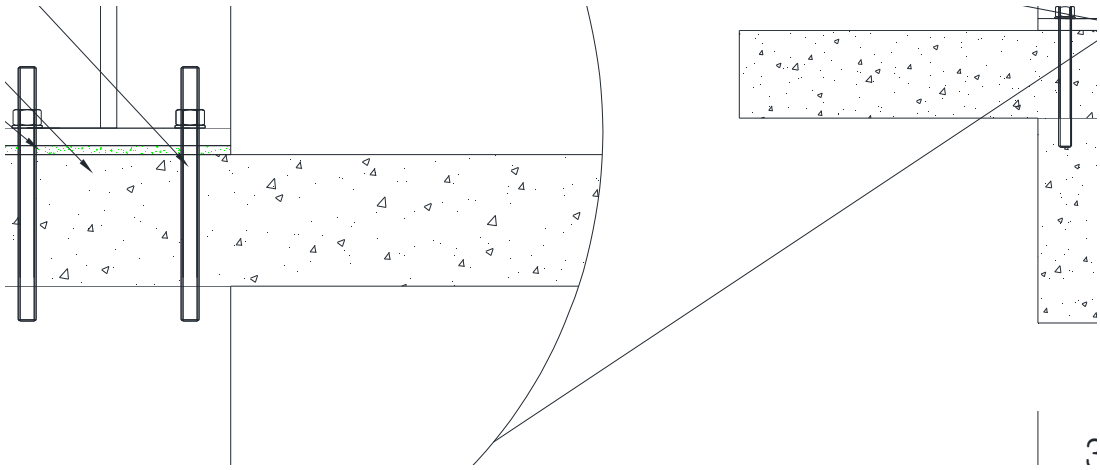
③ 하단 부재에 스티프너로 용접접합으로 보강을 실시한다

④ 하단 부재와 댐퍼 부재를 접합하기 위해 플레이트를 358*300 5T 및 300*300 5T (SM275 각 2EA) 볼트(M24)가 들어갈 수 있도록 상부, 하후 접합체에 100@3 간격으로 구멍을 뚫어 제작한다

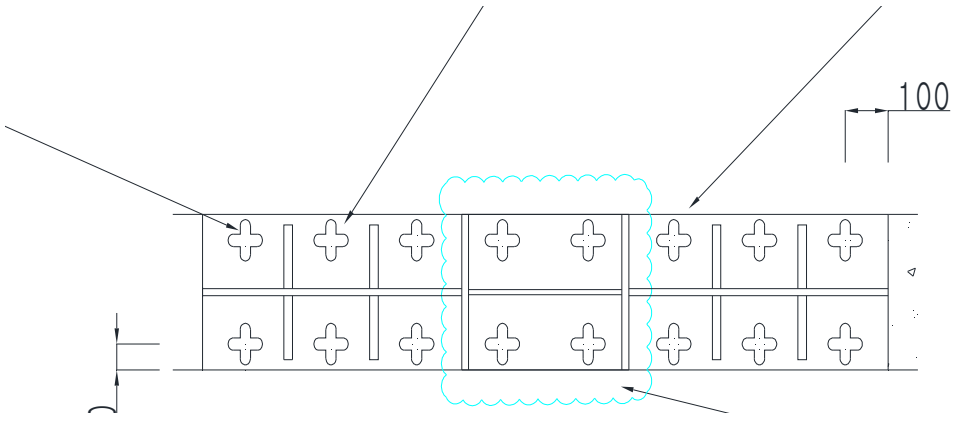
연구결과



[하부 접합체 정면도]



[하부 접합체 측면도]



[하부 접합체 평면도]

(계속)

연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시제품 제작)

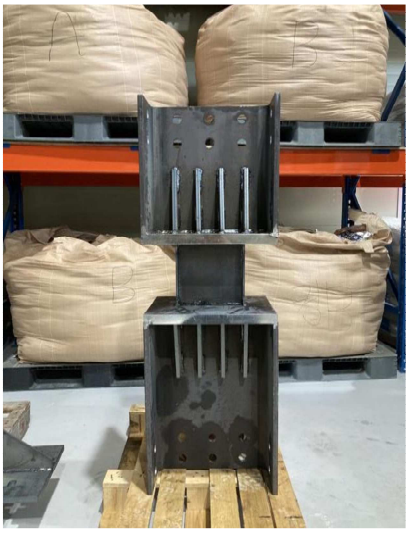



(a) 상부 접합체




(b) 하부 접합체

연구결과

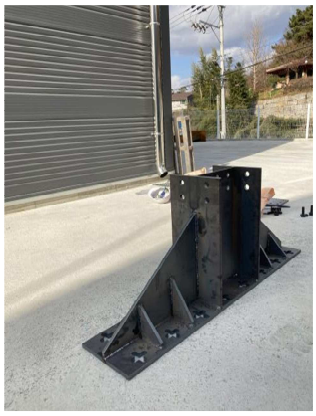



(c) 댐퍼

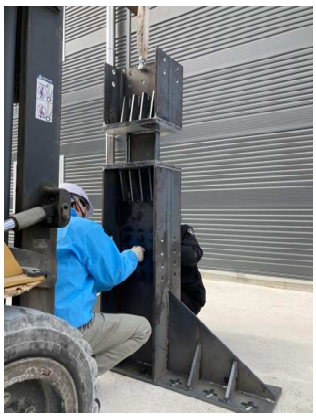
[2차 시제품]

【댐퍼 유닛 모듈시스템, 접합부, 내진성능평가】의 시작품 및 시제품 제작에 있어서 각 부재의 칫수를 실측한 결과, **【질적성과지표인 제작 오차 ±5% 미만(접합부 제작오차 ±10% 미만)】**을 만족하였음

연구개발 수행내용	B-2 댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품 (댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시제품 설치)
연구결과	■ 시제품 설치

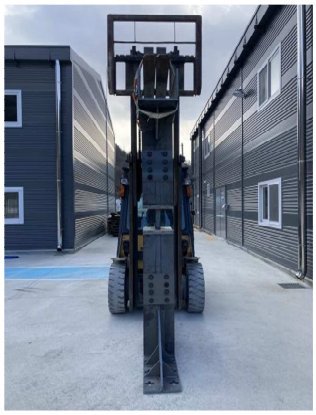
(a) 하부 접합체 설치

(b) 하부 접합체와 강재 댐퍼 접합




(c) 상부 접합체 접합

(d) 완성 사진

[시제품 설치 과정]

연구개발 수행내용	C-1 : 설계지침서 (전단항복형 강재댐퍼 유닛 및 모듈시스템 해석방법)

【요약】 전단항복형 강재댐퍼가 사용된 건축물의 내진성능평가 절차 및 모델링 방법을 정립하고, 예제건물에 대한 내진성능평가를 통해 제안된 전단항복형 강재댐퍼의 내진성능 향상 효과를 입증하였음. 이를 토대로 전단항복 강재댐퍼시스템을 이용한 내진보강 설계지침을 개발하였음

■ 모델링 방법 및 내진성능평가 절차

○ 일반사항

- 제안된 강재댐퍼가 적용된 건축물의 내진해석을 위해서는 기존 구조물 및 모듈시스템(즉, 강재댐퍼 및 지지부재)에 대한 적절한 모델링 및 해석 방법이 필요함. 특히 기존 구조물과 모듈시스템을 연결하는 접합부의 모델링에 주의를 기울여야 함. 또한 의도한 내진성능 향상 효과를 달성하기 위해서는 개별 모듈시스템의 설치 위치와 용량에 대한 면밀한 검토가 필요함.
- 이 연구에서는 전단항복 강재댐퍼 모듈시스템이 적용된 건축물에 대하여 다음 (1) 모델링 및 예비해석, (2) 주기해석, 및 (3) 본해석 절차에 따라 내진성능평가를 수행하도록 제안함

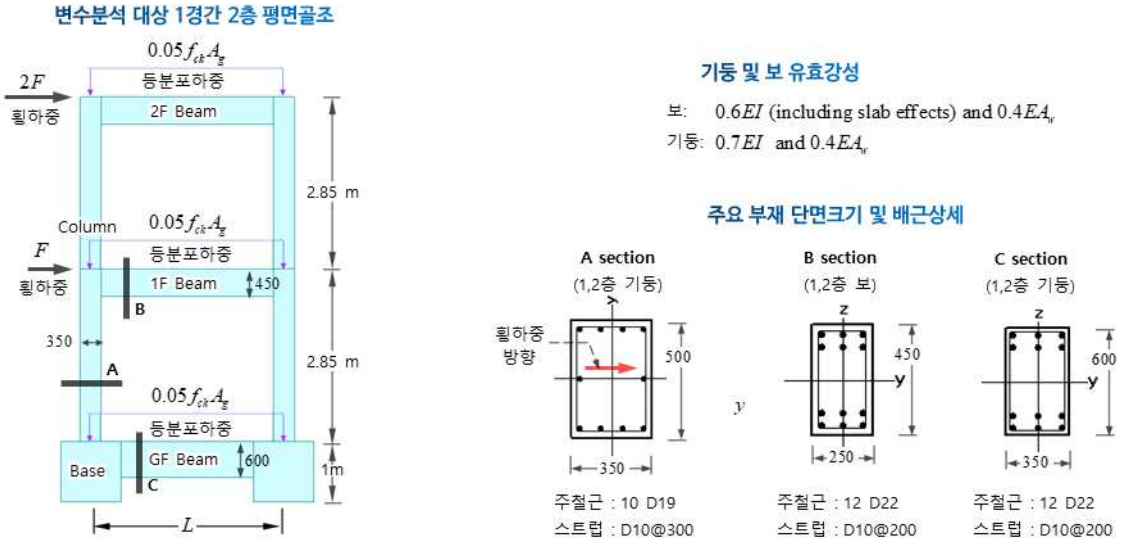
○ 1단계: 모델링 및 예비해석

- 비선형정적해석(pushover analysis)를 통해 모듈시스템의 설치 위치와 댐퍼성능의 적절성을 판단하는 단계로서 다음 1-6단계 절차에 따라 진행함
- 명확한 기술을 위하여, 2층 평면골조를 대상으로 midas-Gen을 이용한 모델링 방법 및 해석절차를 기술하였음

1단계-① : 기존 건축물 현황조사 및 탄성모델링

연구결과

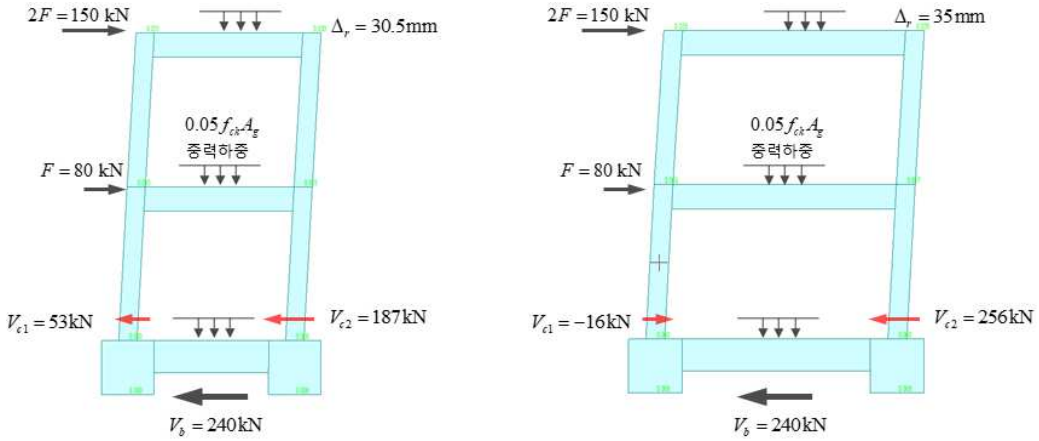
- 아래 그림과 같이 평가대상 기존 건축물의 구조재료 및 형식, 재료강도, 부재 치수, 배근상세를 조사하고, 이를 토대로 탄성모델링을 수행함



[평가대상 기존 건축물의 현황조사 및 탄성모델링]

- 기존 건축물에 대한 탄성해석을 수행하여, 모델링의 적정성을 확인함. 즉, 고유치해석을 통해 진동주기, 모드형상, 질량참여율 등 동특성의 적합성을 확인하고, 아래 그림과 같이 등가정적지진하중조합에 대한 탄성해석에 의한 건축물 변형형상과 부재력 등의 적정성을 판단함

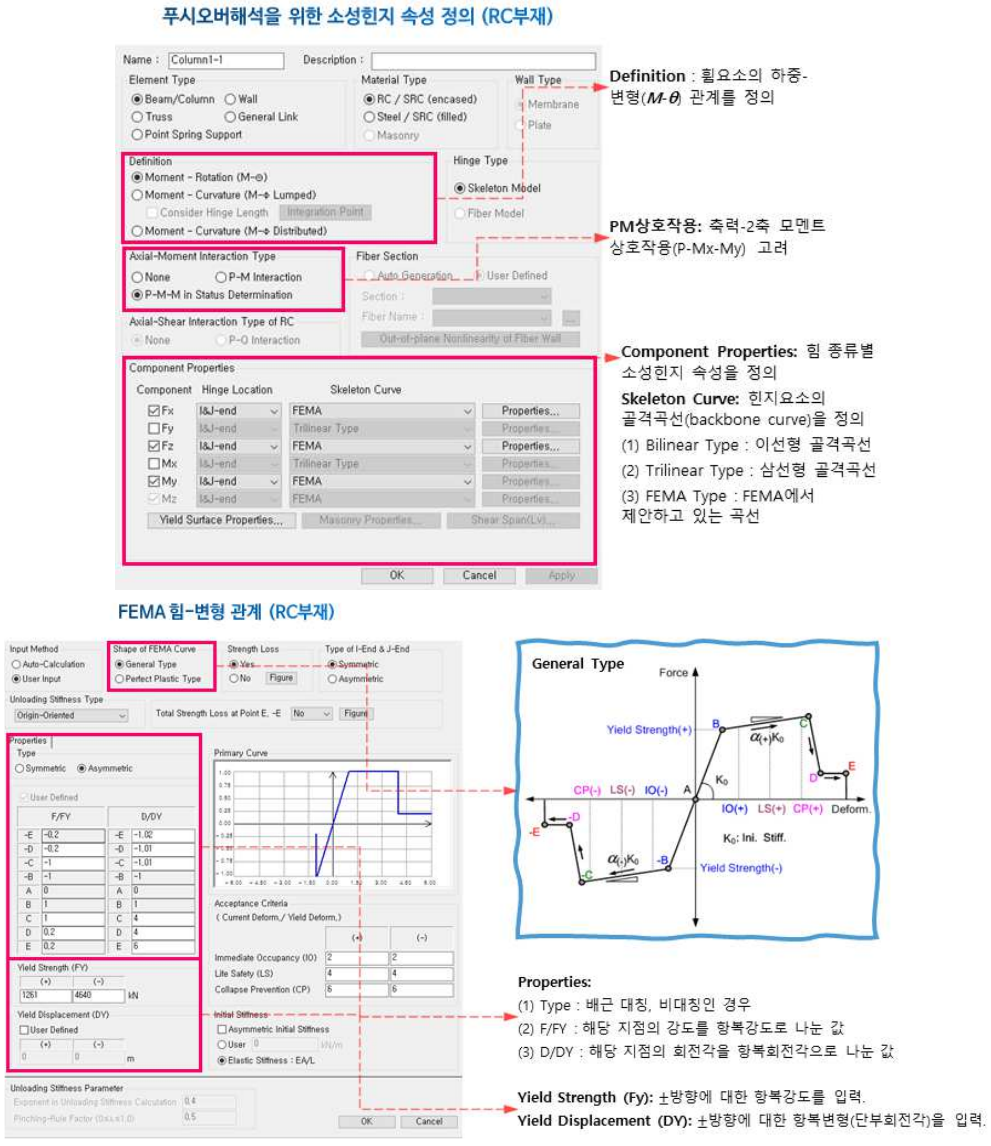
(계속)



[등가정적지진하중에 대한 탄성해석: 변형형상 및 부재력 검토]

1단계 ② : 기존 건축물의 비선형모델링

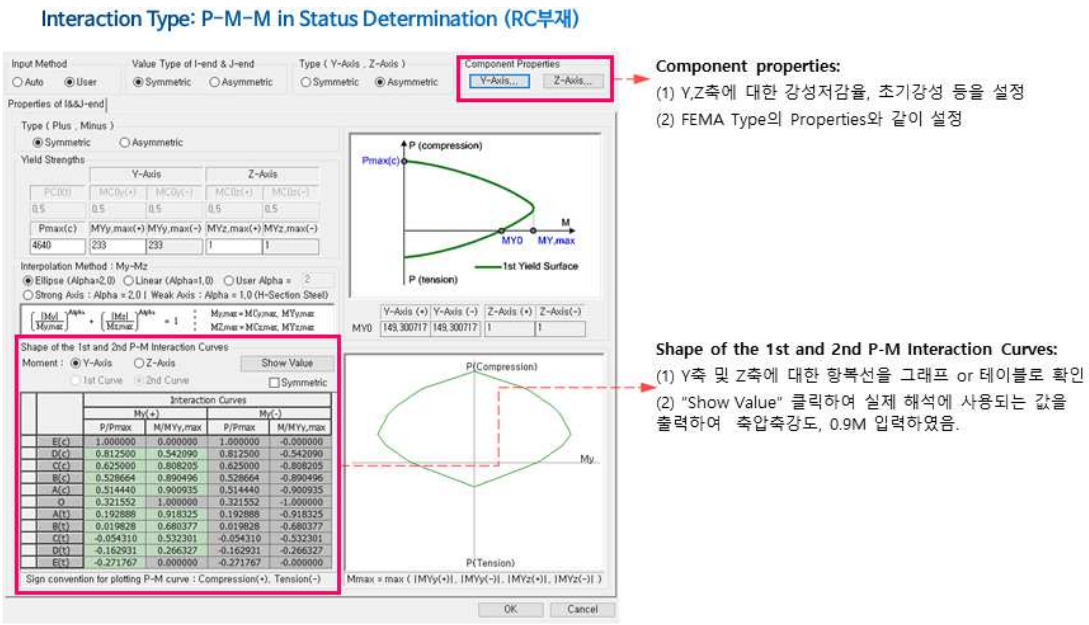
- 내진성능평가요령에 제시된 방법 및 절차에 따라 기둥, 보, 벽체 등 기존 건축물 구조부재에 대한 비선형 모델링을 수행함. 내진성능에 영향이 미치는 조적채움벽, 조적허리벽 등 비구조재 또한 비선형모델링에 포함해야 함



[RC부재의 비선형 모델링: 소성힌지(모멘트힌지) 속성 정의 (midas-Gen)]

(계속)

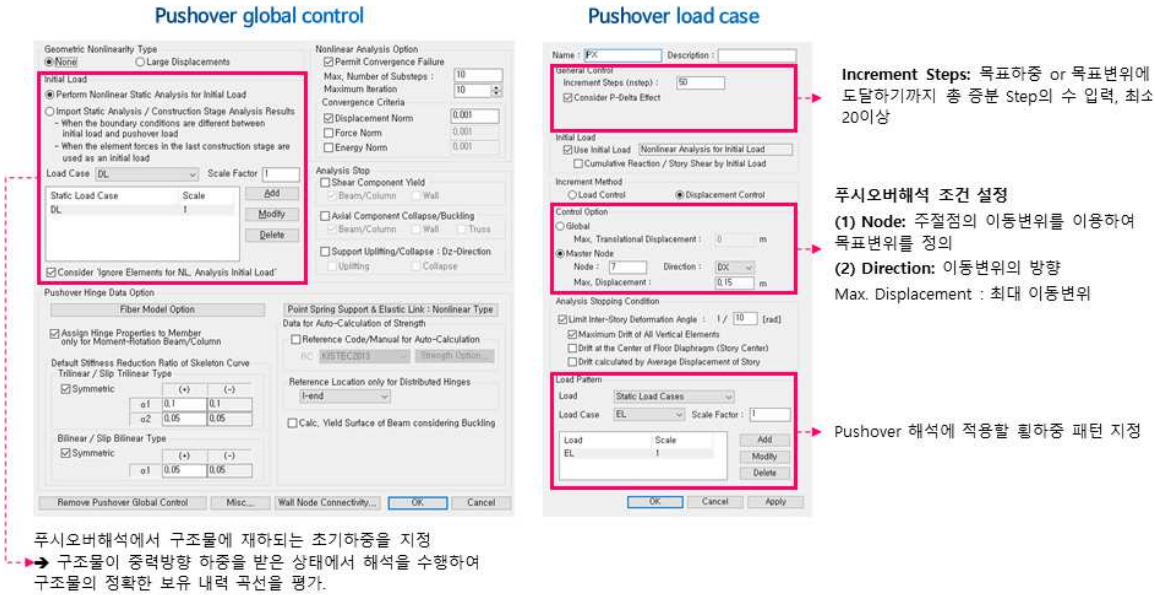
- 유효강성: 균열을 고려한 유효강성 적용
- 소성힌지 모델링: 앞의 그림에 예시된 바와 같이 모멘트힌지, 전단힌지 등 소성힌지를 정의하고 힘-변형 관계를 입력함. 휨항복 부재의 모멘트힌지는 항복 이후 내진성능평가요령에 규정된 허용소성변형 내에서 항복후 연성거동(post-yield ductilie behavior)을 모델링하며, 전단힌지는 전단강도 도달 직후 강도가 급격히 저하되는 취성거동으로 모델링함
- 기둥 소성힌지의 경우, 아래 그림과 같이 PM상호작용을 고려해야 함



[기둥 부재의 PM상관도 정의 (midas-Gen)]

1단계-③ : 비선형정적해석 및 결과 분석

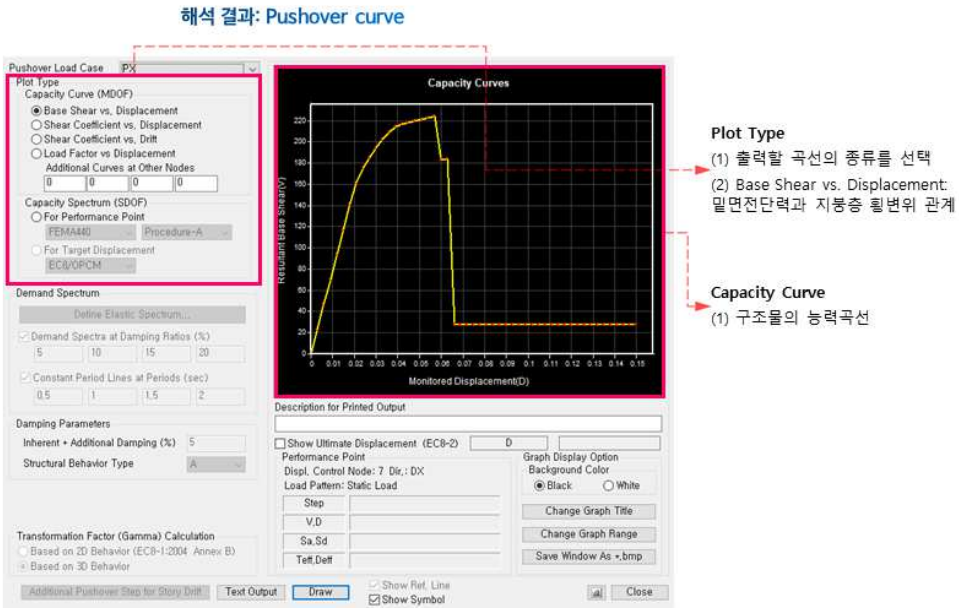
- 등가정적지진하중 등 일정한 횡하중패턴에 대하여 비선형정적해석을 수행하고, 그 결과를 분석하여 보강전 기존 건축물의 초기강성, 강도 및 변형능력을 확인함
- 비선형정적해석을 위한 설정은 아래 그림을 참고함



[비선형정적해석을 위한 해석조건 설정(midas-Gen)]

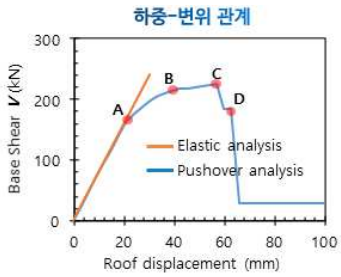
(계속)

- 해석결과로서 다음 그림과 같이 밑면전단력-지붕층변위 관계의 성능곡선(capacity curve)를 출력하고, 해석에 의한 초기강성 및 강도가 탄성해석에 의한 결과에 부합하는 것인지 확인함



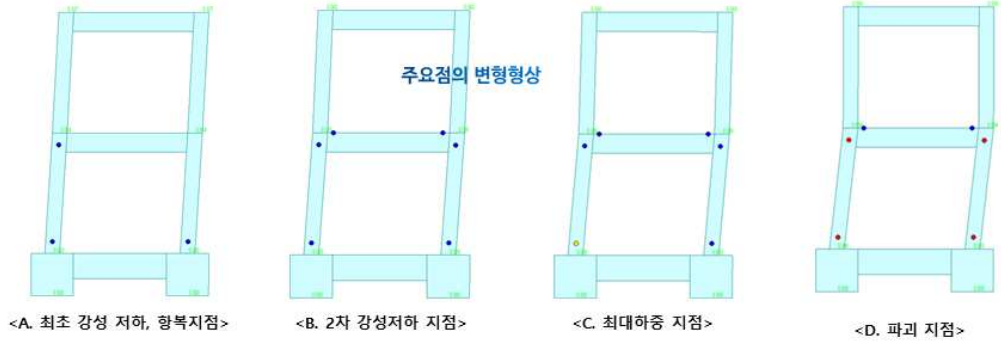
[비선형정적해석에 의한 성능곡선(midas-Gen)]

- 아래 그림과 같이 강성이 급격하게 변하는 점들을 중심으로 강도 및 변형을 검토하고, 주요 파괴모드(즉, 기둥 및 보 휨항복, 기둥 전단파괴 등)를 확인함. 또한 각 단계별 건축물 변형형상을 확인하여 모듈시스템 설치 위치 및 성능을 결정하기 위한 기초자료로 활용함



주요점의 파괴모드

주요점	횡변위 (Δ)	강도 (kN)	단계별 특징
A	21 mm	161.8	왼쪽 기둥, 오른쪽 기둥 하단부 항복
B	36 mm	209.0	1층 기둥 및 보 항복
C	57 mm	224.3	1층 왼쪽 기둥 하단부 파괴
D	63 mm	183.9	1층 기둥 파괴



[비선형정적해석 결과 분석: 파괴모드 및 변형형상 검토]

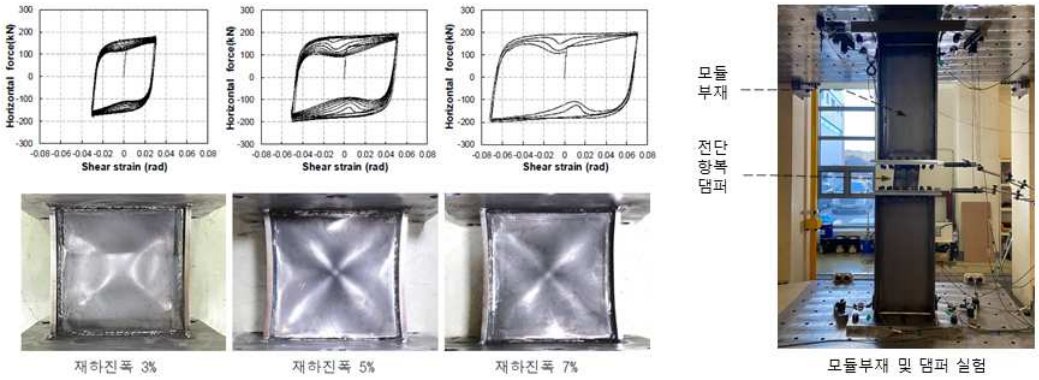
1단계-④ : 전단항복 강재댐퍼 모델링

- 아래 그림은 전단항복형 강재댐퍼시스템을 보여주는데,층 중간에 100 ~ 200 kN 용량의 강재댐퍼와 이를 지지하는 상하 모듈부재(강재기둥)으로 구성됨. 전단항복 강재댐퍼는 재하진폭에 관계없이 일정한 항복하중을 보이며, 반복하중에 대하여 에너지소산성능이 우수한 이력곡선을 나타냄

(계속)

C-1 : 설계지침서
(전단항복형 강재댐퍼 유닛 및 모듈시스템 해석방법)

- 설계에서 의도하는 대로 전단항복형 강재댐퍼의 거동을 확보하기 위해서는 댐퍼 대비 모듈부재의 치수 및 단면휨강성이 매우 커야 함. 강재댐퍼의 적정 크기로는 높이 200 ㎜, 너비 200 ㎜ 수준이 적당하며, 이를 지지하는 모듈부재는 단면높이가 최소 400 ㎜ 이상 되는 것이 바람직함

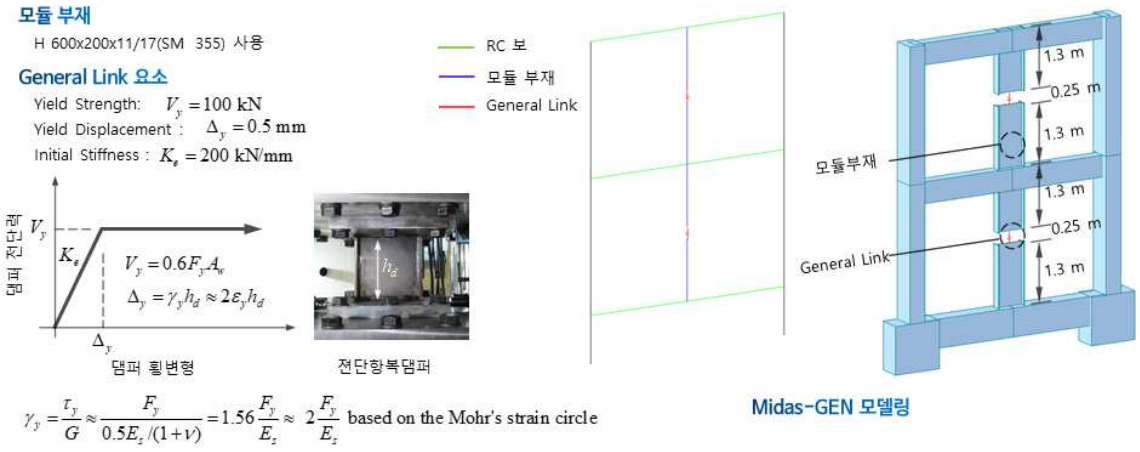


[전단항복형 강재댐퍼시스템: 강재댐퍼 및 모듈부재]

- 다음 그림은 전단항복형 강재댐퍼시스템의 모델링 방법을 보여줌. 댐퍼를 지지하는 상하 모듈부재는 수직 기둥요소로 모델링하며, 강재댐퍼는 면내 전단에만 저항하는 링크요소(midas-Gen의 경우 general link 요소 사용)로 모델링함. 전단댐퍼의 힘-변형관계는 탄성-완전소성(elastic perfectly plastic) 거동으로 모델링하며, 이때 항복강도(V_y) 및 항복변형(Δ_y)은 근사적으로 다음과 같이 정의됨(정교한 평가식은 설계지침에 제시됨)

$$V_y = \frac{1}{\sqrt{3}} F_y A_w \quad 및 \quad \Delta_y = \gamma_y h_d \approx 2\varepsilon_y h_d$$

여기서, F_y= 댐퍼 강재의 1축 항복강도; A_w= 강재댐퍼의 웨브 면적(즉, 양단부 플랜지 면적 제외); γ_y= 댐퍼 강재의 전단항복변형률; ε_y= 댐퍼 강재의 항복변형률; h_d = 강재댐퍼의 높이

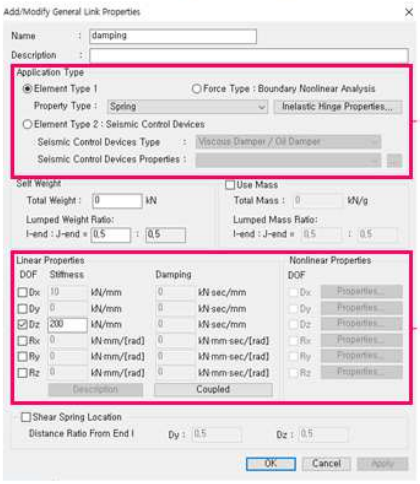


[강재댐퍼 및 모듈부재의 모델링]

- midas-Gen에서 general link 요소를 사용하여 강재댐퍼를 모델링하는 경우, 6개의 자유도 중 댐퍼가 설치된 면내전단에 대하여 비선형 속성을 보여해야 함. 나머지 5개 자유도에 대해서는 모두 링크요소 강성을 0에 가까운 작은 값을 부여하여 힘전달이 이루어지지 않도록 해야 함.
- midas-Gen에서 general link 요소를 사용하여 링크요소를 모델링하는 과정을 다음 그림에 나타냈음. 탄성-완전소성거동으로 모델링되는 강재댐퍼의 비선형 모델링 입력값은 (1) 초기 탄성강성, (2) 항복강도, (3) 항복변형 세 가지임

(계속)

General Link Properties (탄성강성 입력)

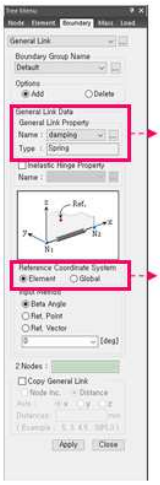


Element Type
적용방식에 따른 구체적인 연결요소로 타입을 설정

Spring
6개 성분별로 선형탄성인 Stiffness만을 가지며 소성힌지나 비선형 모델링하기 위해서는 Inelastic Hinge Properties 로 사용가능

Element Type
(1) 개별 스프링의 유무와 강성 및 감쇠를 입력
(2) 유효강성이 매우 크면 비선형 해석시 발산하기 쉽기 때문에 적절한 값을 입력해야 함.

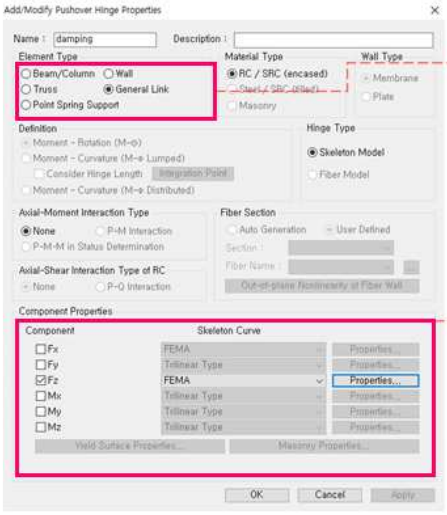
General Link 생성



General Link Data
Properties에서 설정한 Name 및 Type을 선택

Reference Coordinate System
(1) Element: 요소좌표계를 기준으로 입력.
(2) Global: 전체좌표계를 기준으로 입력.

General Link 소성힌지속성

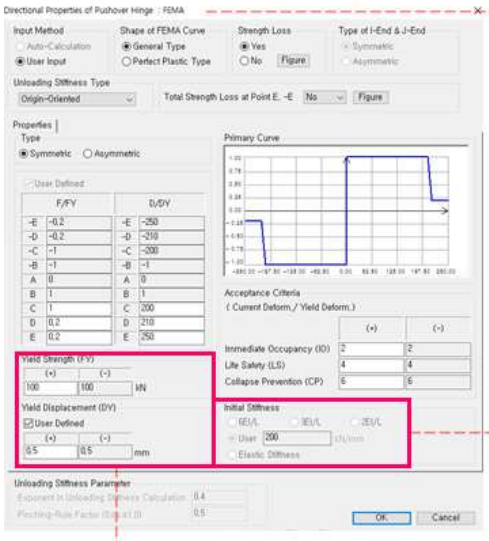


Element Type
General Link 범용 연결요소 선택

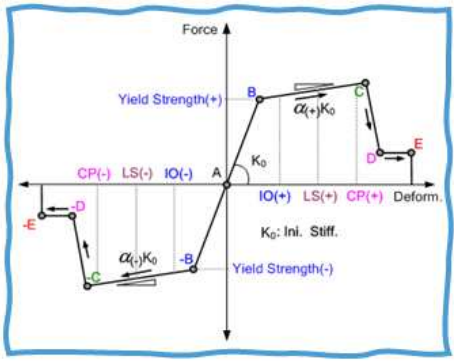
Component Properties
6개 힘 성분별 소성힌지 속성 정의

Skeleton Curve
힌지요소의 골격곡선(backbone curve)을 정의
(1) Bilinear Type : 이선형 골격곡선
(2) Trilinear Type : 삼선형 골격곡선
(3) FEMA Type : FEMA에서 제안하고 있는 곡선

General Link 소성힌지속성



FEMA 힘-변형 관계: General type



Initial Stiffness
초기강성 값을 탄성 모델링 General Link Properties의 초기강성과 동일하게 맞춤

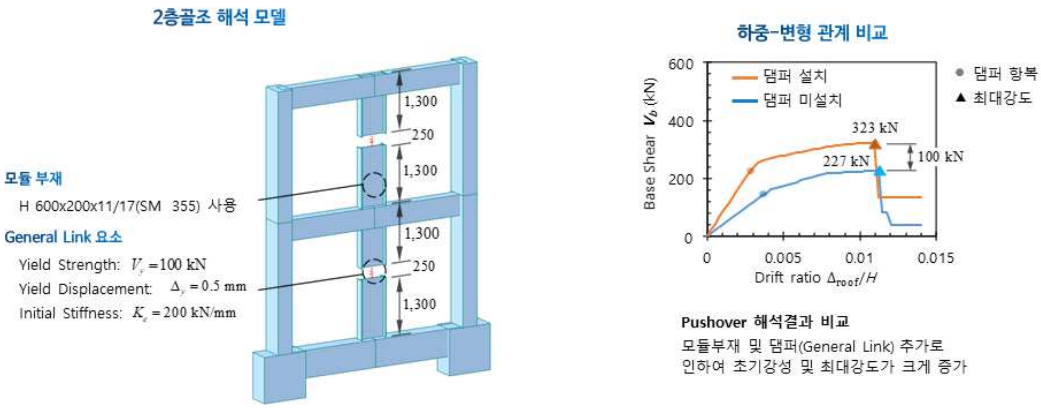
Yield Strength (Fy): ±방향에 대한 항복강도 V_y 입력
Yield Displacement (DY): ±방향에 대한 항복변형 Δ_y 입력

[midas-Gen의 general link를 이용한 강재댐퍼의 비선형 모델링]

(계속)

1단계-⑤ : 모델링 적합성 평가

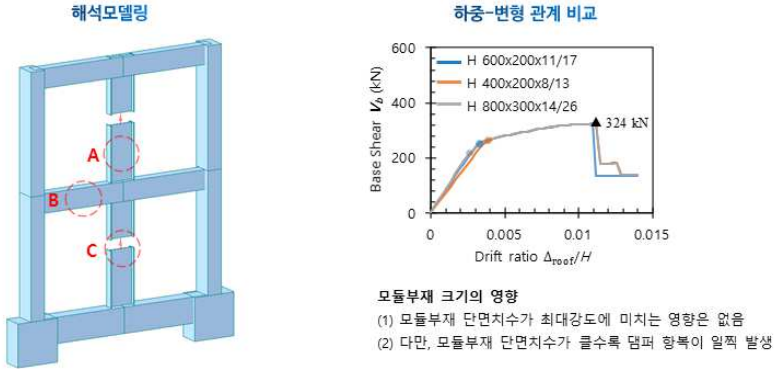
- 등가정적지진하중 등 일정한 횡하중패턴에 대하여 비선형정적해석을 수행하고, 그 결과를 분석하여 모듈시스템에 의한 강성 및 강도 향상 효과를 확인하고 강재댐퍼에 소성변형이 발생되는지 여부를 확인함
- 다음 그림은 모듈시스템 설치 전후의 푸시오버곡선을 비교하여 나타냄. 초기강성이 및 항복강도가 설계의도에 부합되게 증가하는지 여부를 확인함으로써 강재댐퍼 및 모듈시스템의 모델링 적정성 여부를 판단할 수 있음

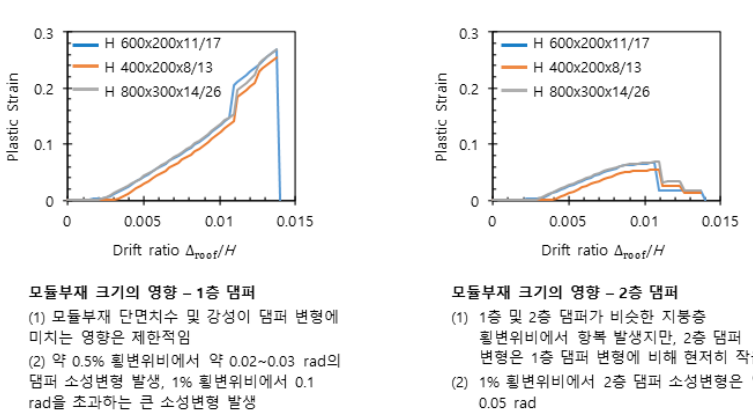


[비선형정적해석을 통한 강재댐퍼 및 모듈시스템 모델링 적정성 검토]

- 아래 그림은 강재댐퍼를 상부 및 하부에서 지지하는 모듈부재의 단면크기에 따른 비선형정적해석 결과 차이를 비교하는데, 다음 사항을 확인할 수 있음.
- 모듈부재 단면치수가 증가할수록, 전체 건축물의 초기강성이 일부 증가하고 댐퍼 항복이 일찍 발생하지만, 모듈부재의 크기는 최대강도에는 거의 영향을 미치지 않음

A 모듈부재 치수	H 600x200x11/17	H 400x200x8/13	H 800x300x14/26
B RC보 강성	보 강성 1배	보 강성 0.5배	보 강성 2배
C 댐퍼 강성/강도	Link 초기강성 1배	Link 초기강성 2배	Link 초기강성 3배





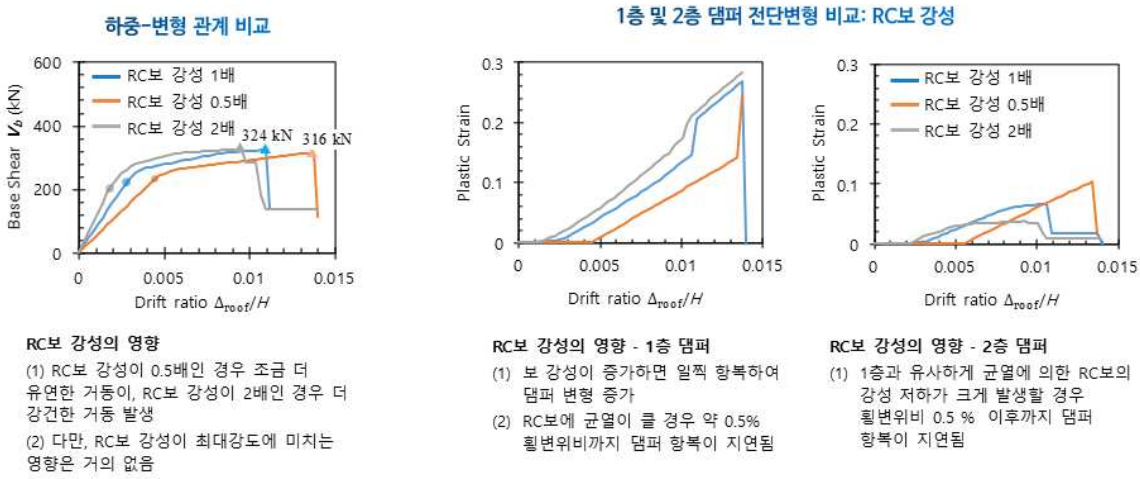
[모듈부재 단면크기 변화에 따른 영향 분석]

(계속)

- 다음 그림은 모듈시스템이 연결되는 RC바닥보의 강성이 전체 건물 및 댐퍼요소의 응답에 미치는 영향을 나타냄

(1) RC바닥보의 강성이 증가할수록 모듈시스템이 설치된 전체 건물의 초기강성은 증가하지만 최대강도는 거의 변화가 없음. (기둥항복 시스템)

(2) RC바닥보의 강성이 클수록 강재댐퍼가 일찍 항복하고 소성변형이 증가함

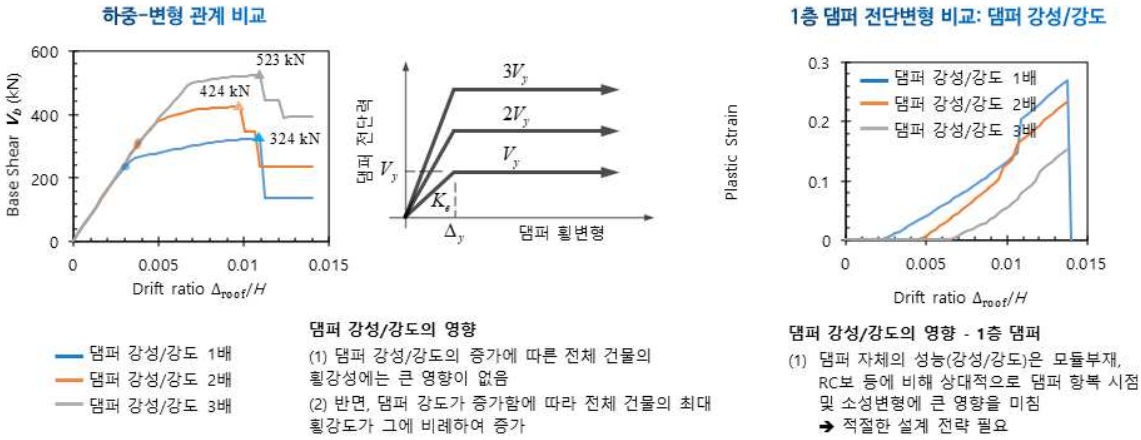


[RC바닥보 강성이 미치는 영향 분석]

- 다음 그림은 모듈시스템을 구성하는 강재댐퍼의 강성 및 강도가 전체 건물 및 댐퍼요소의 응답에 미치는 영향을 보여줌. (단, 강재댐퍼는 항복강도에 관계없이 항변변형률이 일정한 것으로 가정하였음)

(1) 전체 건물의 초기강성은 댐퍼요소의 강성/강도에 거의 영향을 받지 않음. 반면 건물 최대강도는 댐퍼요소의 강성/강도가 증가할수록 비례하여 크게 증가함

(2) 댐퍼요소의 강성이 증가할수록 댐퍼항복이 지연되고 소성변형이 감소함

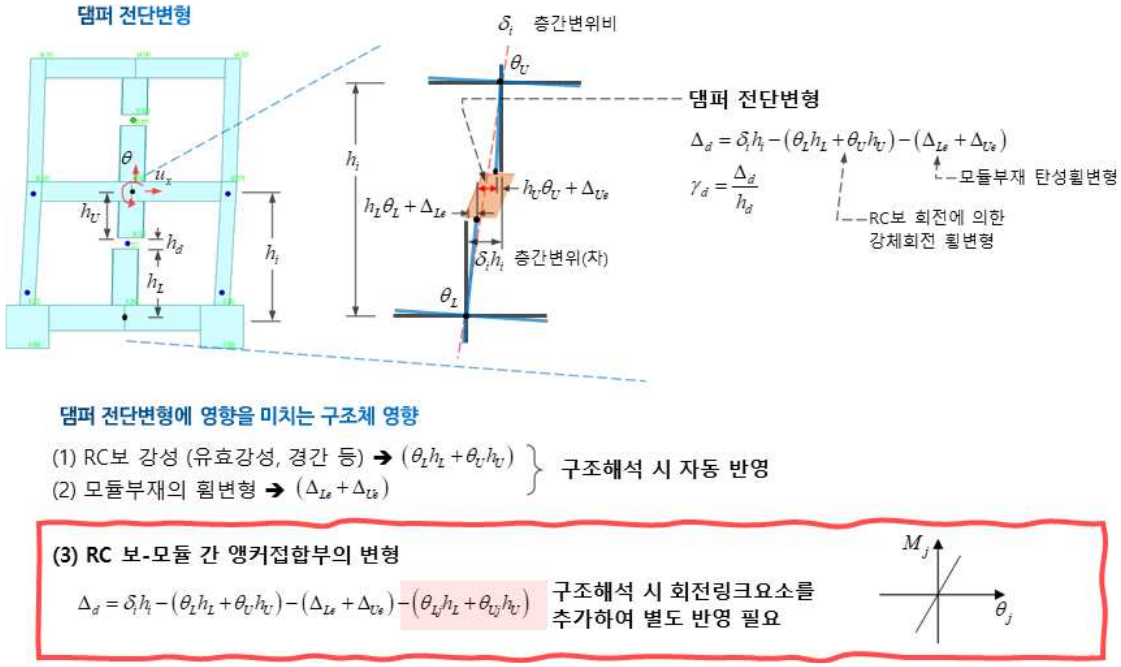


[강재댐퍼의 강성 및 강도가 미치는 영향 분석]

1단계-⑥ : 앵커접합부 모델링

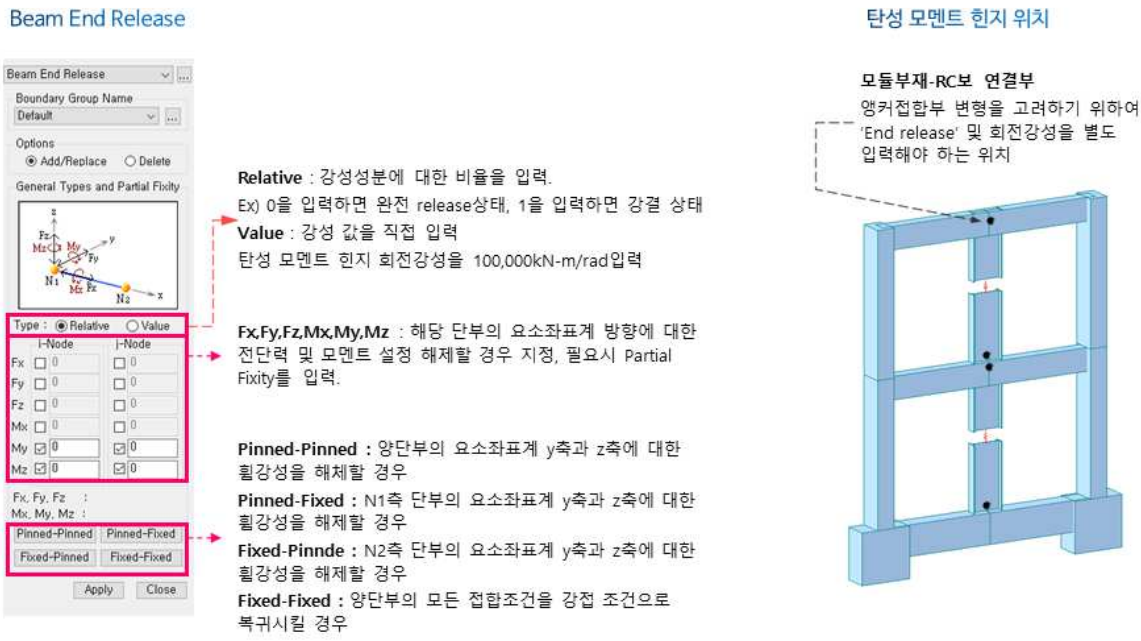
- 다음 그림은 모듈시스템 내부의 댐퍼변형에 영향을 미치는 사항들을 개념적으로 보여줌. 댐퍼변형은 (1) RC 바닥보/천장보의 회전변형, (2) 댐퍼 상하 모듈기둥의 횡변형, (3) 모듈기둥-RC 바닥보/천장보 앵커접합부 회전변형에 의해 감소함. 이 중 RC 바닥보/천장보의 회전변형과 모듈기둥의 횡변형은 모델링에 이미 반영된 사항으로서 구조해석 즉시 자동으로 고려되지만, 앵커접합부의 회전변형(아래 그림의 θ_U 및 θ_L)은 별도 회전스프링을 통한 모델링이 필요함

(계속)



[모듈기둥-RC바닥보/천장보 앵커접합부의 회전변형]

- 이러한 모듈기둥-RC바닥보/천장보 앵커접합부에 발생하는 추가적인 회전변형은 아래 그림에서 보는 바와 같이 'beam end release' 기능을 사용하여 고려할 수 있음. 즉, 그림에서 보는 바와 같이 면내전단에 의한 모듈기둥 휨모멘트에 대하여 다음과 같이 정의되는 회전강성 k_i를 입력(탄성모멘트힌지) 함



[모듈기둥 앵커접합부 회전강성 모델링: Beam end release (midas-Gen)]

RC바닥보의 경우, $k_i=\dfrac{h^2}{\dfrac{l_a}{n_a E A_a}+\dfrac{(d_a+3t_p)^3}{24EI_{pe}}+\dfrac{d_a}{GA_{pe}}}$

(계속)

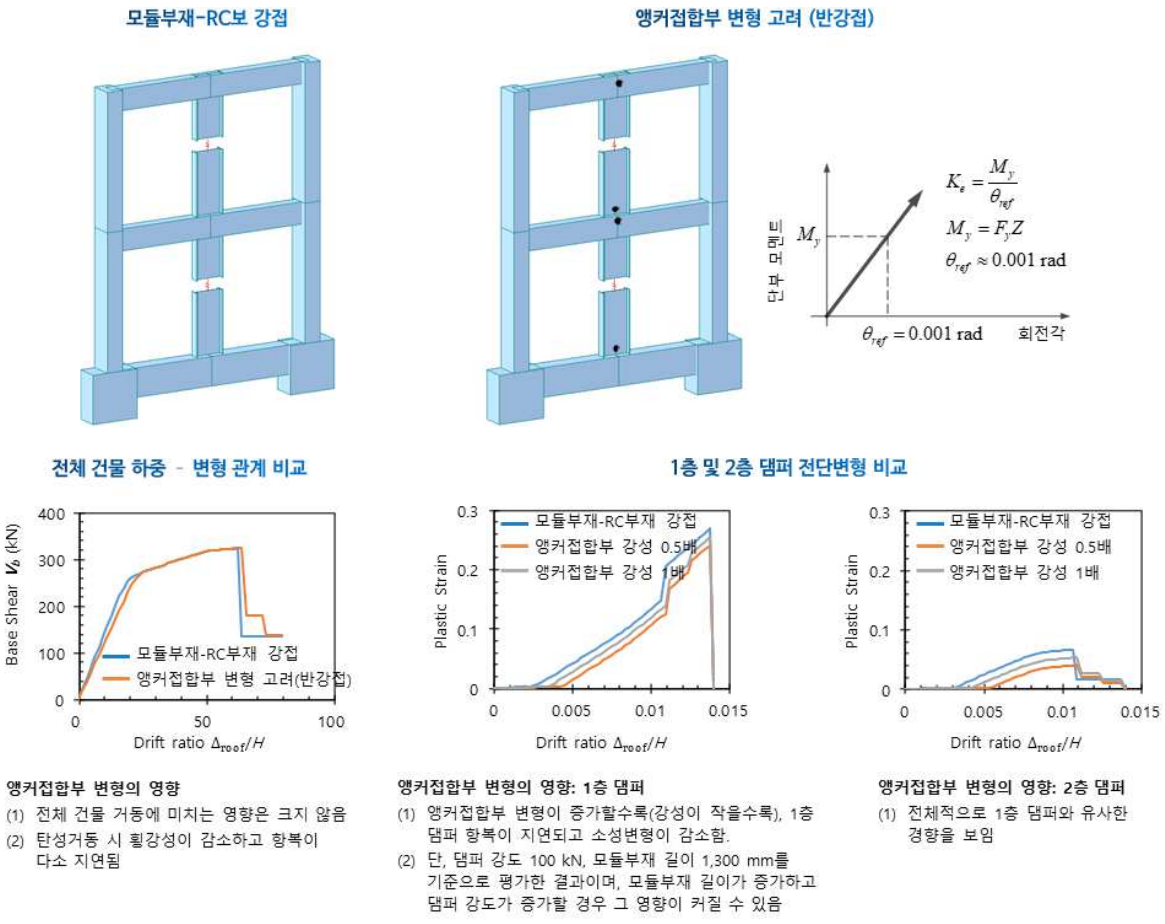
RC천장보의 경우, $k_i = \dfrac{h^2}{\dfrac{l_a}{n_a E A_a} + \dfrac{(d_a + 3t_p)^3}{3EI_{pe}} + \dfrac{d_a}{GA_{pe}}}$

여기서, n_a = 인장측에 사용된 앵커볼트의 총 개수; E = 강재 탄성계수; A_a = 단일 앵커볼트의 단면적; l_a = 앵커볼트의 길이; d_a = RC바닥보의 경우 모듈기둥 플랜지 가장자리로부터 인접합 앵커 중심선까지의 거리를 사용하고, RC천장보의 경우 모듈기둥 플랜지 가장자리로부터 측면강판 중심까지의 거리를 사용; t_p= 앵커접합부에서 베이스플레이트 두께; G = 강재 전단탄성계수(= $0.385E$); I_{pe} = $b_{pe}t_p^3/12$; A_{pe} = $[5/6]b_{pe}t_p$; 및 b_{pe} = $2d_a$.

- 아래 그림은 모듈기둥-RC 바닥보/천장보 앵커접합부의 회전강성이 전체 건물 및 댐퍼요소의 응답에 미치는 영향을 보여줌(단, 앵커접합부 회전강성은 댐퍼 항복 시 0.001 rad의 회전변형을 유발하는 값으로 입력하였음)

(1) 앵커접합부의 초기강성이 전체 건물의 강성 및 강도에 미치는 영향은 크지 않음. 단, 모듈기둥 길이가 증가하고 댐퍼 강도가 증가할 경우 영향이 증가할 수 있음

(2) 앵커접합부의 회전강성이 작을수록 댐퍼요소의 항복이 지연되고 소성변형이 감소함



[모듈기둥 앵커접합부 회전강성의 영향 분석]

○ 2단계 : 주기해석

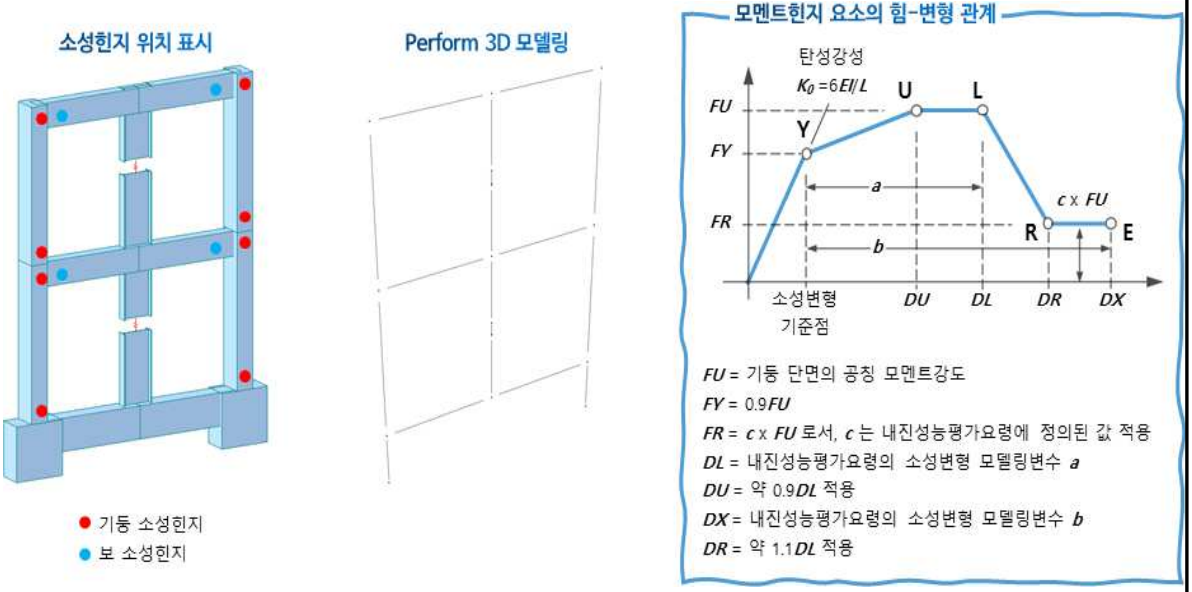
- 비선형주기해석(nonlinear cyclic analysis)를 통해 모듈시스템의 에너지소산 효과를 검증하는 단계로서, '1단계: 모델링 및 예비해석' 의 해석모델을 사용하여 횡하중 반복가력에 대한 비선형 주기해석을 수행함. 만약 비선형 주기해석에 의해 댐퍼에 의한 에너지소산능력 향상효과가 예측과 다를 경우, 모델링 점검 및 모듈시스템 재설계 등이 필요함

(계속)

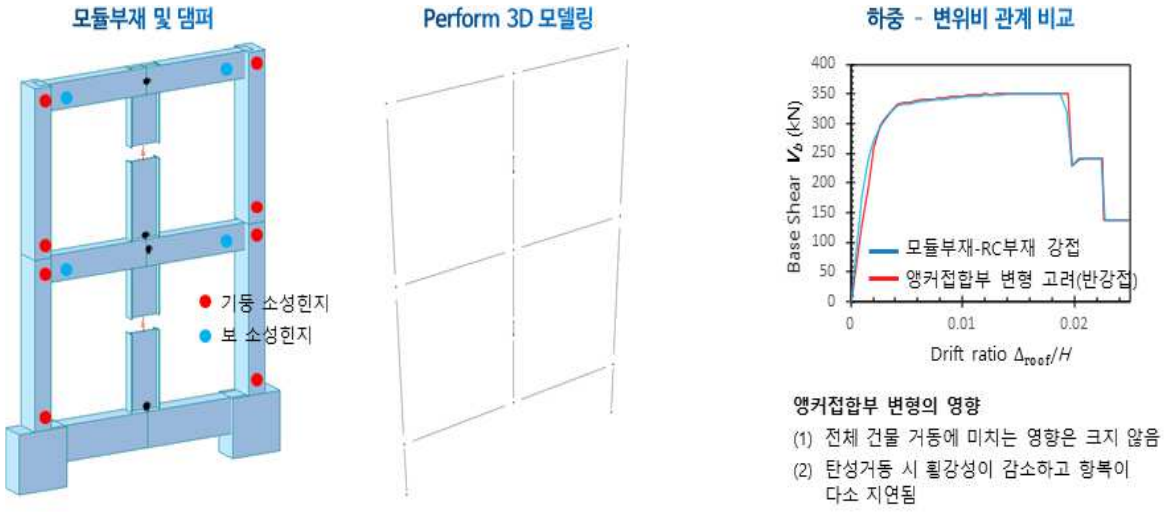
- 명확한 기술을 위하여, 2층 평면골조를 대상으로 Perform 3D를 이용한 모델링 방법 및 해석절차를 기술함

2단계-① : 비선형 모델링 확인

- 아래 그림에 나타낸 것과 같이, 기존 건물의 보, 기둥, 벽체와 모듈시스템의 댐퍼요소, 모듈기둥, 앵커접합부에 대한 적정한 모델링 수행함
- 1단계 예비해석에서 더하여 각 부재의 이력모델링(hysteresis modeling) 변수들이 결정되어야 함(예를 들어, 에너지소산계수 κ 등)



[기존 건축물 및 부재의 비선형 모델링]

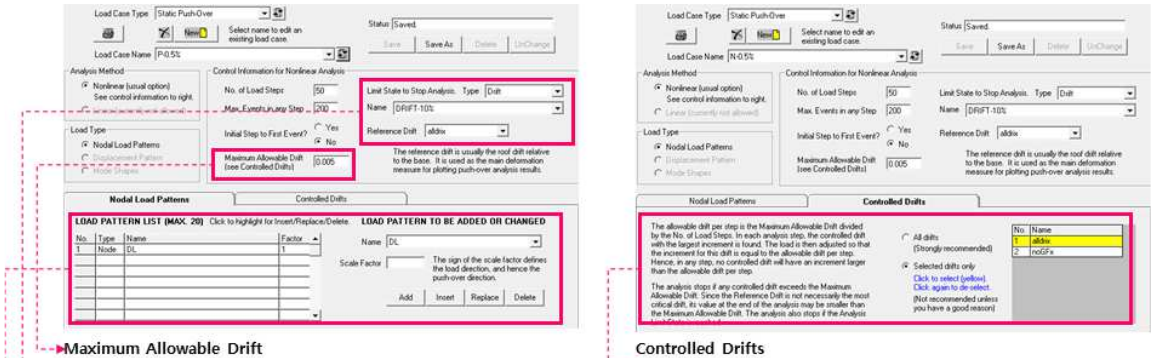


[댐퍼, 모듈부재 및 앵커접합부 모델링]

2단계-② : 주기해석변수 입력

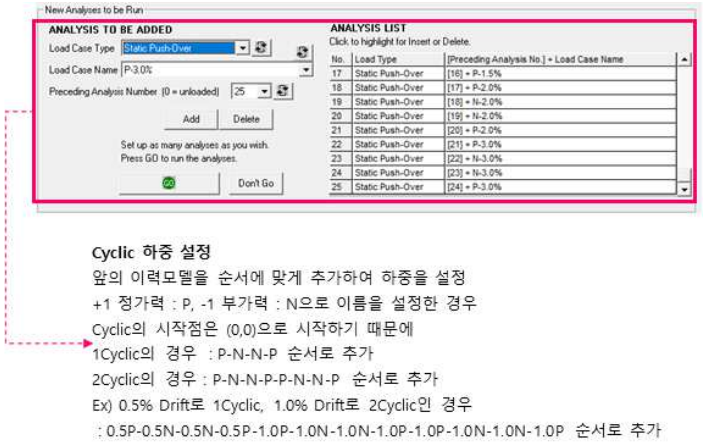
- 아래 그림에 나타낸 바와 같이, 비선형 주기해석을 위한 횡하중패턴, 변위제어자유도 등 해석조건을 순차적으로 입력함

(계속)



[주기해석을 위한 변수 설정 (Perform 3D)]

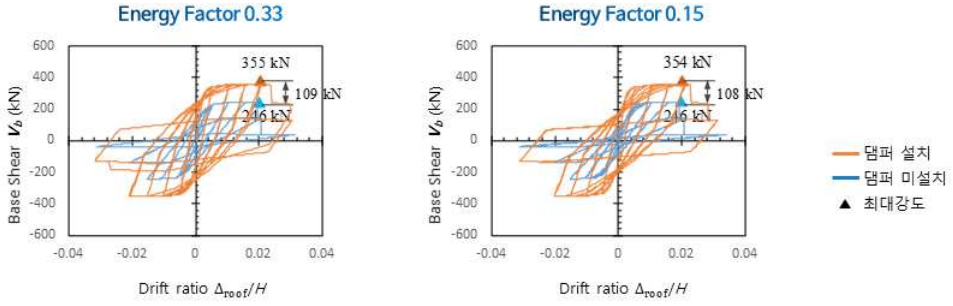
- 아래 그림은 주기해석을 위한 재하단계별 변위이력 입력방법을 나타냄



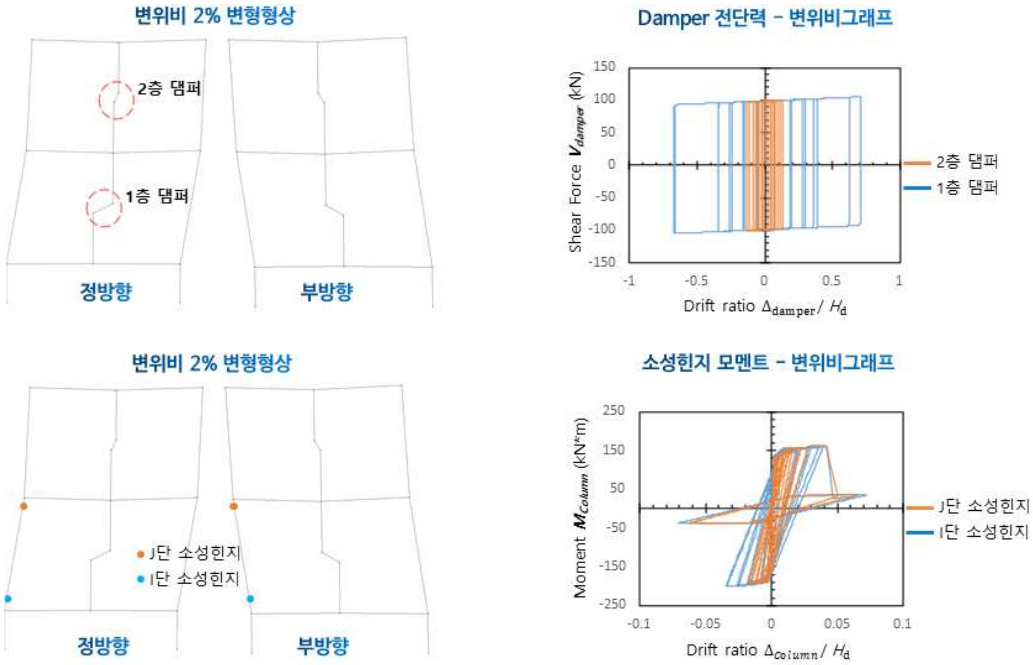
[주기해석을 위한 재하단계별 변위이력 입력(Perform 3D)]

2단계-③ : 모듈시스템에 의한 에너지소산능력 향상 효과 점검

- 모듈시스템의 설치 이전 및 이후의 비선형 주기해석 결과를 비교하여, 모듈시스템의 설치로 인한 에너지소산량 향상 효과를 검토함. 즉, 건물 및 부재의 변형형상을 그려 예측대로 댐퍼가 작동하는지 확인해야 하며, 댐퍼요소 및 RC부재 모멘트힌지요소의 힘-변형 관계를 확인하여 비선형요소들의 이력모델이 적절하게 모델링되었는지 검토해야 함
- 다음 그림에서 보듯이 모듈시스템에 의한 에너지소산능력 향상 효과는 전체 건물수준에서 주기거동에 의한 이력루프의 면적 증가로 확인할 수 있으며, 또한 부재수준에서도 강재댐퍼의 이력루프에서 확인할 수 있음



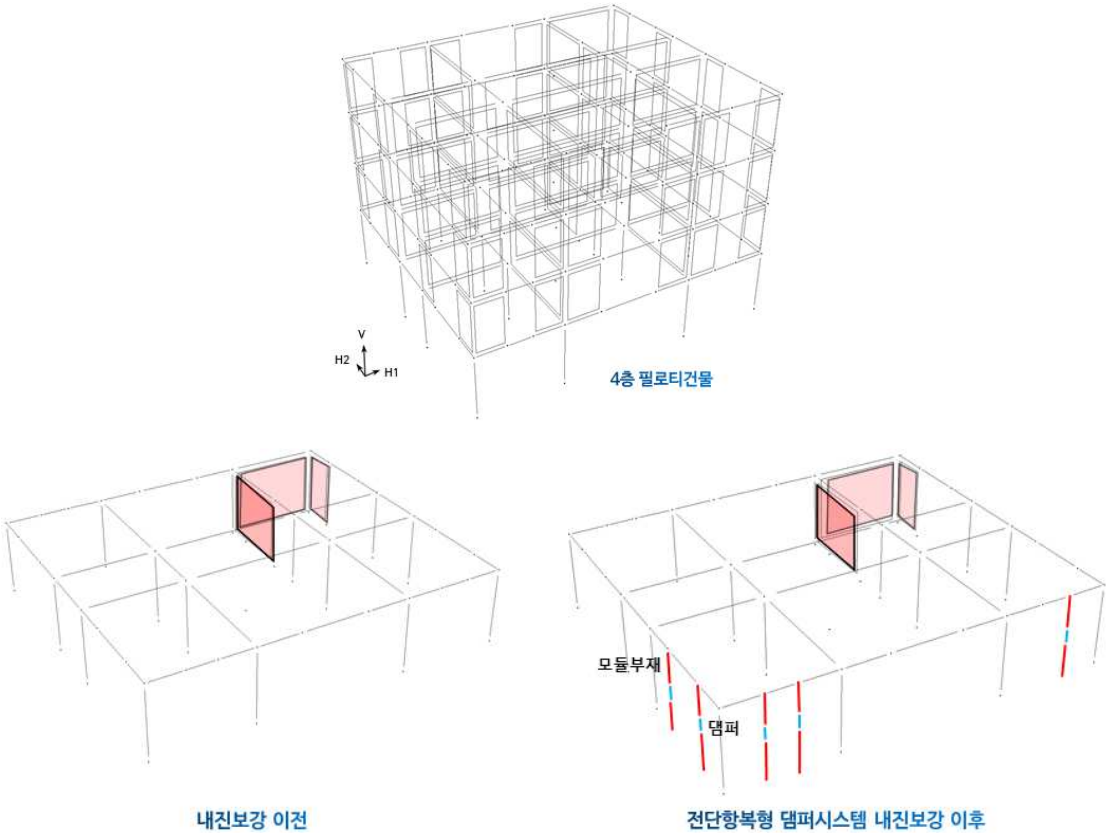
(계속)



[모듈시스템에 의한 에너지소산 향상 효과 확인 (Perform 3D)]

○ 3단계: 본 해석

- 3단계에서는 마지막으로 실제 지진파에 대한 비선형시간이력해석을 수행하여 모듈시스템에 의한 지진응답의 감소 효과를 확인하고 목표 내진성능 만족 여부를 평가하는 단계임
- 명확한 기술을 위하여, 아래 그림의 4층 필로티건물을 대상으로 Perform-3D를 이용한 해석 방법 및 절차를 기술함



[해석 대상 4층 필로티건물 (Perform 3D)]

(계속)

3단계-① : 지진파 정보 입력

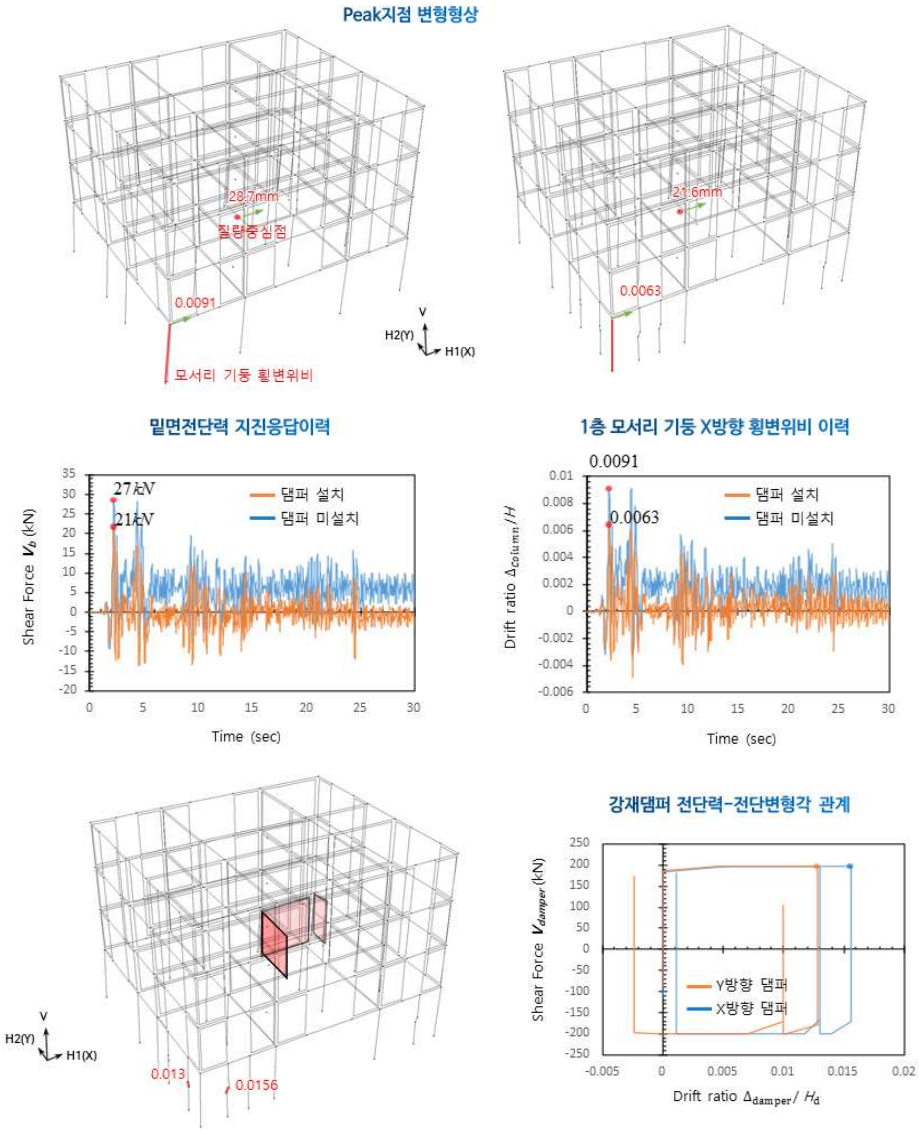
- 다음 그림에서 보는 바와 같이 비선형동적해석을 위한 지반가속도 데이터를 입력함



[비선형시간이력해석을 위한 지진파 입력(Perform 3D)]

3단계-② : 결과 확인 및 목표 내진성능 만족 여부 판정

- 비선형동적해석을 수행하고, 아래 그림과 같이 최대지진응답 크기, 건물 변형형상, 댐퍼 및 부재 지진응답 등을 확인하여 모듈시스템으로 보강된 건물의 내진성능을 평가함



[비선형시간이력해석 결과 확인 및 내진성능평가(Perform 3D)]

(계속)

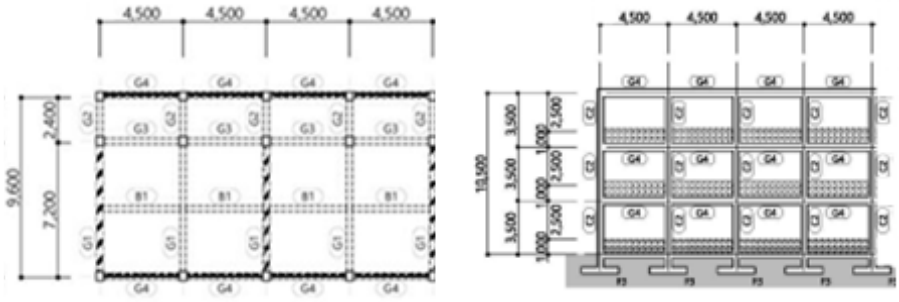
연구개발 수행내용	C-1 : 설계지침서 (강재댐퍼 보강 건축물의 해석(댐퍼시스템의 내진성능 향상 효과 검증))

【요약】 전단항복형 강재댐퍼 유닛 및 모듈시스템 해석방법에 따라 3층 예제건물에 대하여 내진성능을 평가하고, 전단항복 강재댐퍼시스템에 의한 내진성능 향상 효과를 분석하였음

연구결과

■내진보강 대상 건물 개요

- 구조형식 : 철근콘크리트
- 준공년도 : 1990년
- 건물 높이 : 10.5m, 층고 : 3.5m
- 층수 : 지상 3층, 지하 0층
- 재료강도 : 콘크리트 15 MPa, 철근 240 MPa
- 건물 평면도 및 구조단면도는 아래와 같음. 기둥 경간은 장변방향 4,500 mm, 단변방향 7,200 mm 및 2,400 mm임.
- 단변방향으로는 9,000 mm 간격으로 3개의 조적채움벽이 7,200 mm (1.0B, 압축강도 $f_m{}'$= 6.2 MPa, 줄눈 채움상태 양호) 경간 위치에 설치되어 있음. 장변방향으로는 각층마다 높이 1,000 mm의 조적허리벽이 설치되어 있으며 이들 조적허리벽은 기둥과 이격되어 있음(즉, 건물 지진거동에 영향을 미치지 않음)



[대상 건물의 평면도 및 입면도]

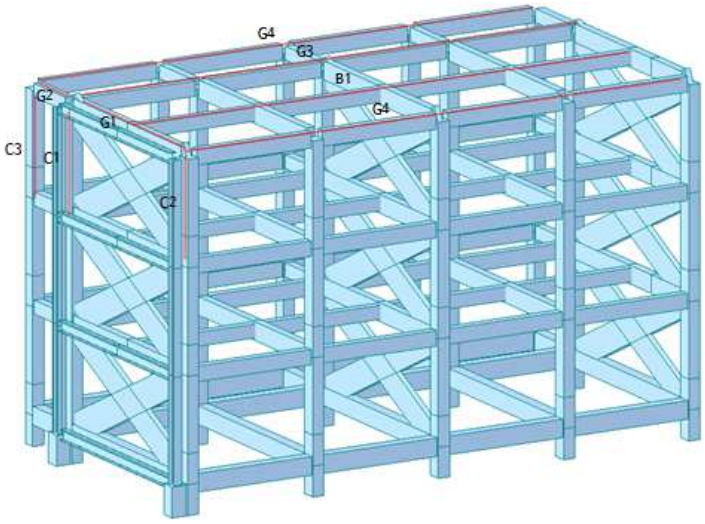
- 대상 건물에 사용된 기둥(C1, C2, C3)과 보(G1, G2, G3, G4, B1)의 단면크기와 배근상세는 다음과 같음. (단, Y방향 철골프레임은 내진보강 이전 사후 증축을 통해 단변방향(Y방향)으로 설치된 구조물임)

구분	부재 이름	부재 크기(mm)	주철근	전단철근
기둥	C1	400X500	10-D19	D10@300
	C2			
	C3	400X450	6-D19	
보	G1	300X600	양단부 : 6-D19 중앙부 : 2-D19	양단부 : D10@150 중앙부 : D10@300
	G2	300X450	양단부 : 2-D19 중앙부 : 2-D19	양단부 : D10@300 중앙부 : D10@300
	G3	300X500	양단부 : 3-D19 중앙부 : 2-D19	
	G4			
	B1	300X450		
Y방향 철골프레임	SM275	H-340X250X9/14	-	-

[주요 부재의 치수 및 배근상세]

- 내진보강 이전 건물의 midas-Gen 모델링 이미지는 다음과 같음. 기둥 및 보는 보기둥요소로 모델링하였고, 슬래브는 강막(rigid diaphragm)으로 고려하였음. 단변방향의 조적채움벽은 건축물 내진성능평가요령에 따라 X형 대각 스트럿으로 모델링하였음. 반면, 기둥과 이격되어 설치된 조적허리벽은 모델링에 포함하지 않고, 하중효과로만 고려하였음

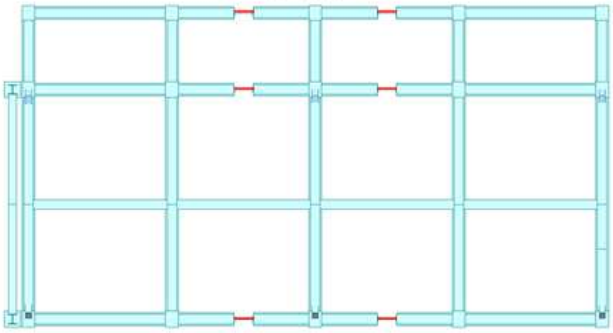
(계속)



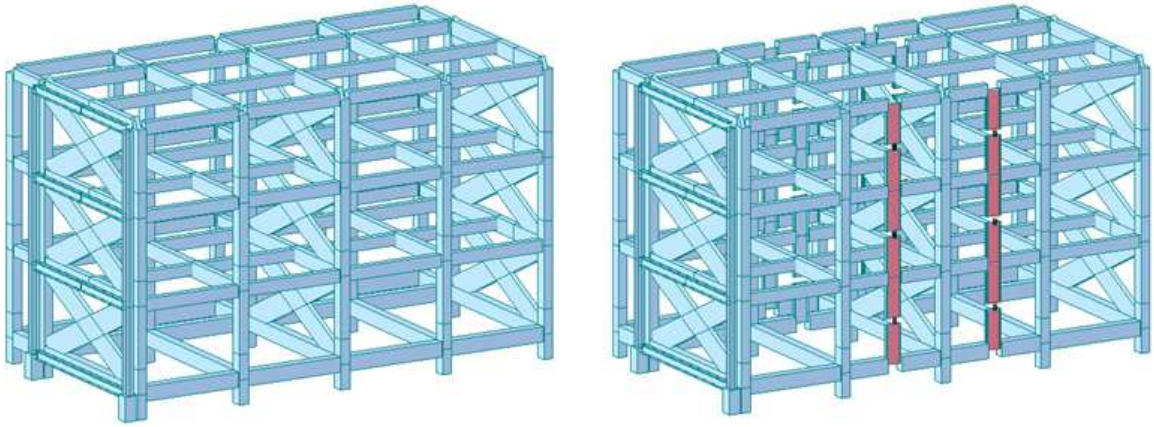
[보강 이전 기존 건물의 midas-Gen 해석모델 (조적허리벽 제외)]

■ **전단항복 모듈시스템 내진보강 계획**

- 보강 이전 건물에 대한 내진성능 평가 결과, 대상 건물은 장변방향으로는 RC모멘트골조 이외에 별다른 횡력저항시스템이 없어 내진성능이 부족한 것으로 평가됨. 이와 달리, 채움벽이 설치된 단변방향의 경우 채움벽이 전체 건물의 횡력저항성능을 향상시켜 내진성능이 양호한 것으로 판정됨
- 따라서 이 예제에서는 내진성능이 부족한 것으로 평가된 장변방향에 대하여 '간주형 전단항복 모듈시스템' 을 설치하여 내진보강을 하는 것으로 계획함. 모듈시스템은 아래 그림에서 보듯이 편심거동이 유발되지 않도록 건물 중앙부에 층별 6개를 설치함



[간주형 모듈시스템 설치 위치(각 층 평면도)]



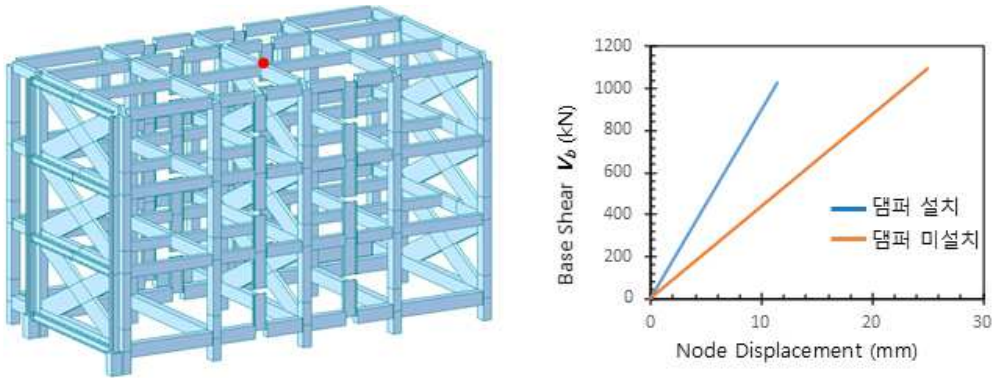
[간주형 댐퍼설치 전/후 구조해석 모델링(midas-Gen)]

(계속)

- 모듈시스템을 구성하는 전단항복댐퍼 및 모듈기둥의 제원은 다음과 같음.
  (1) 전단항복댐퍼 항복강도 100 kN
  (2) 모듈기둥 단면크기 H-400x200x8x13
  (3) 모듈기둥-기존구조물 앵커접합부 강성: 165 kN-m/rad (즉, 댐퍼 항복강도 도달시 0.001 rad 의 회전변형이 모듈기둥 하부에 발생)

■ 구조 모델링 및 모듈시스템 설치로 인한 강성 증가 확인

- 이 예제건물에서는 모듈시스템이 설치된 건물의 모델링을 수행하고, 등가정적지진하중에 대한 탄성해석을 통해 모듈시스템 설치에 따른 강성 증가 효과를 조사하였음
- 조적채움벽을 포함한 기존 RC골조와 전단항복댐퍼, 모듈기둥, 앵커접합부를 포함한 모듈시스템의 모델링은 4-1에 소개한 모델링 방법 및 절차에 따랐음
- 간주형 모듈시스템은 해당 위치에서 보 경간을 줄여 전체 건물의 초기 횡강성 증가에 기여함. 아래 그림은 모듈시스템 설치 전후의 강성을 비교하여 보여줌. 그림에서 보듯이 모듈시스템 설치에 의해 강성이 크게 증가함을 확인할 수 있느넨, 이는 모듈시스템이 설치된 장변방향의 중앙부에서 보 경간이 감소함에 따라 모멘트골조의 횡강성이 크게 증가하기 때문임



[간주형 모듈시스템 설치 전후의 횡강성 비교]

- 아래 표는 간주형 모듈시스템 설치로 인한 초기 횡강성 증가효과를 비교한 것으로, **이 과제에서 목표로한 40%를 초과하여 약 51% 강성 증가 효과**를 확인하였음. 이는 간주형 모듈시스템을 설치를 통하여 에너지소산능력을 향상시키는 것 이외에도 전체 구조물의 횡력저항시스템의 성능을 보강하는 효과도 얻을 수 있음을 의미함

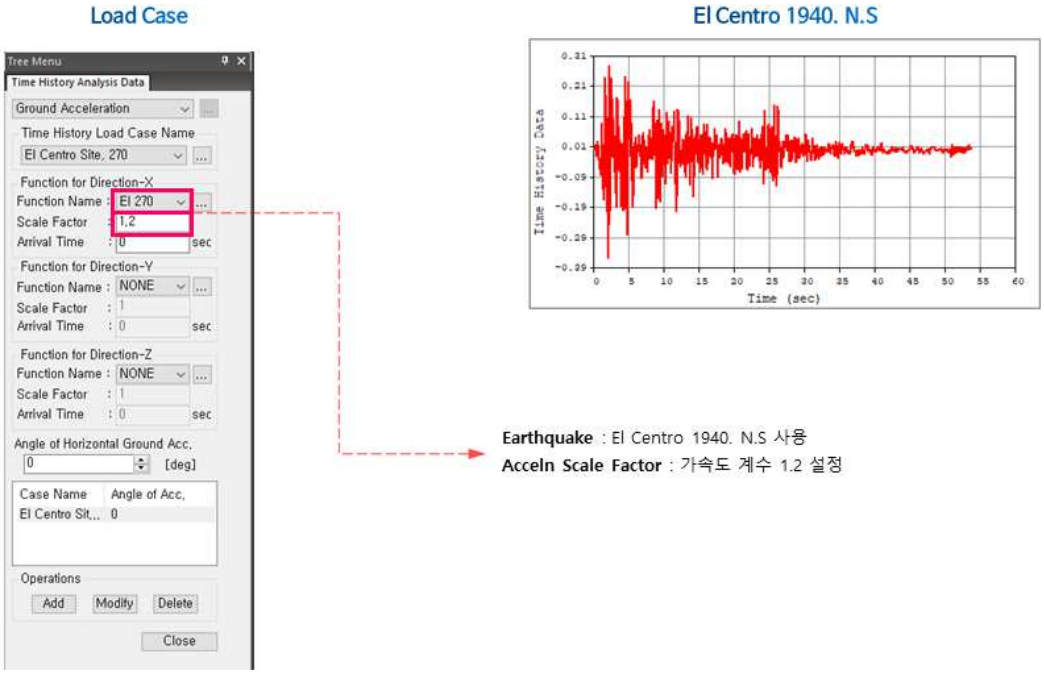
	Base Shear (kN)	지붕층 변위 (mm)	강성 증가 효과
댐퍼설치	1027.45	11.5	감쇠시스템 설치시 51% 증가
댐퍼 미설치	1095.53	25	

[간주형 모듈시스템에 의한 예제건물 강성 증가 효과]

■ 모듈시스템에 의한 내진성능 향상 효과 확인 (비선형동적해석)

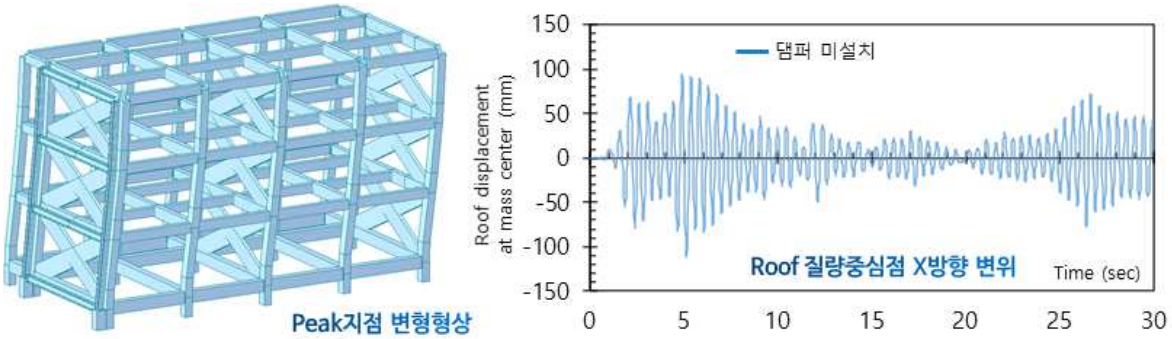
- 실제 지진파에 대한 시간이력해석을 통해 댐퍼의 내진성능 향상효과를 검증하였음. 해석에 사용된 지진파는 El Centro 1940 N-S 지진파로서 아래와 같이 입력하였음
- 이 예제에서는 댐퍼의 이력 에너지소산에 의한 지진응답 감소 효과를 보다 명확하게 보여주기 위하여 지진파의 크기를 1.2배로 스케일링하였음. 또한 명확한 분석을 위해 지진파는 내진성능이 부족한 장변방향(X방향)으로만 가하였음

(계속)



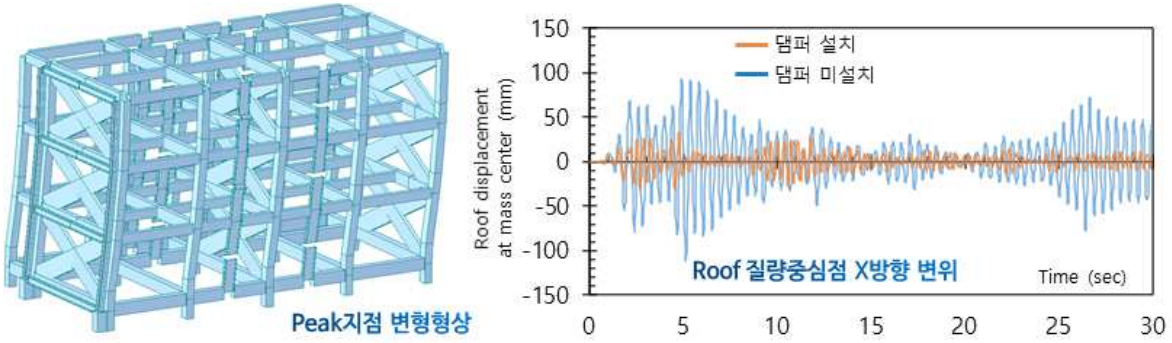
[입력 지진파: El Centro 1940 N-S]

- 다음 그림은 **모듈시스템 설치 이전 동적해석 결과**를 보여줌. 약 5초 경과 후 지붕층 질량중심점에서 Δ_{roof}= 111 mm의 X방향 변위가 발생됨. 1층 아래 기초로부터 지붕층까지의 높이는 H= 11,000 mm로서 지**진파로 인해 발생된 횡변위비는** $\delta = \Delta_{roof}/H$ **= 1.01%**임.



[보강 이전 지진파 해석 결과: 최대 지붕층변위 111 mm]

- 다음 그림은 **모듈시스템 설치 이후의 동적해석 결과**를 보여줌. 약 4초 경과 후 지붕층 질량중심점에서 Δ_{roof}**= 32 mm의 X방향 변위가 발생됨. 횡변위비** $\delta = \Delta_{roof}/H$ **= 0.29%로서 보강 이전 대비 70%의 변위 감소 효과가 있음**

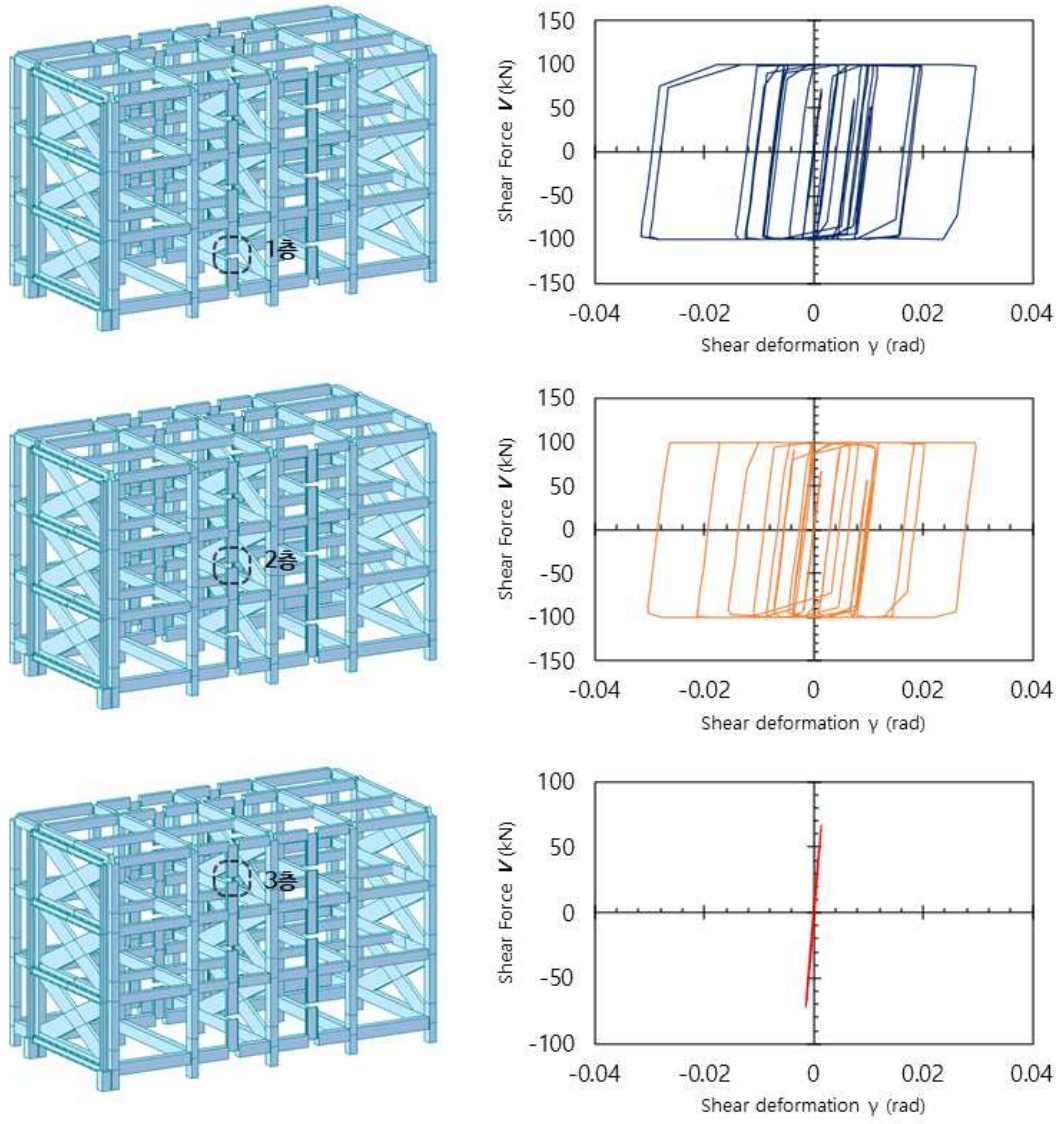


[모듈시스템 설치 이후 지진파 해석 결과: 최대 지붕층변위 32 mm]

(계속)

연구개발 수행내용	C-1 : 설계지침서 (강재댐퍼 보강 건축물의 해석(댐퍼시스템의 내진성능 향상 효과 검증))

- 1층, 2층 및 3층 댐퍼에 발생된 힘-변형 이력은 아래와 같음. 1층 및 2층 댐퍼는 항복 이후 큰 이력거동을 보이며 많은 지진에너지를 흡수하였고, 3층 댐퍼는 거의 탄성상태에서 거동하였음. **특히, 1층 및 2층 댐퍼가 거의 동등한 수준으로 에너지소산이 풍부한 이력거동을 보였는데, 이는 간주형 모듈시스템이 정형 모멘트골조 시스템에 효과적인 보강 방법임을 의미함**



[1층, 2층, 3층 전단항복댐퍼의 힘-변형 관계]

■ **결과**

- **전단항복형 강재댐퍼 유닛 및 모듈시스템 해석방법에 따라** 3층 예제건물에 대하여 내진성능을 평가한 결과, **대상 건물은 본 과제의 최종목표인 기존 건축물 대비 층간변위비 40%저감 및 초기강성 20%을 만족**함
- 이는 설**계지침서에서 제시하는 설계방법 및 절차에 따라 기존 건축물을 내진보강하면 위와 같은 내진성능 향상 가능한 방법임을 시사**함

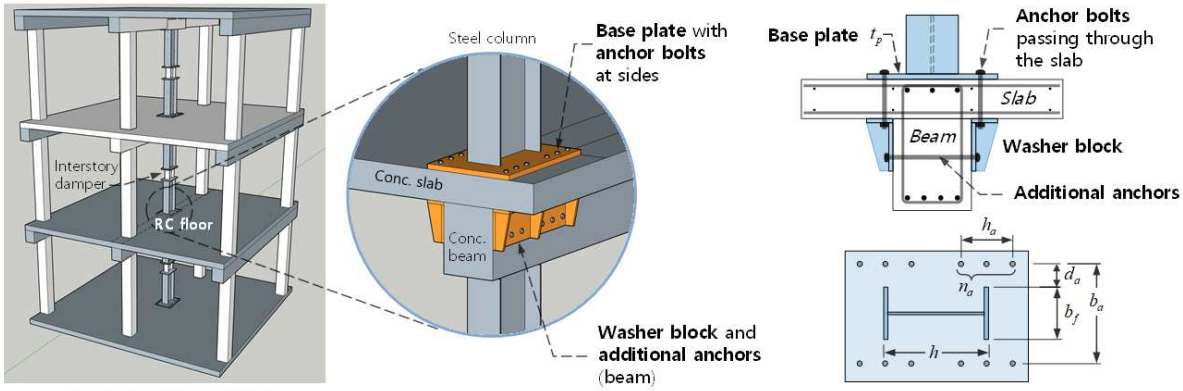
연구개발 수행내용	C-1 : 설계지침서 (강재댐퍼 보강 건축물의 설계방법 설계 지침서)

연구결과

■ 일반사항

○ 적용범위

(1) 이 설계지침은 전단항복형 강재댐퍼 모듈시스템(이하 모듈시스템)을 사용한 기존 건축물의 내진보강 설계에 적용한다. 모듈시스템은 전체 구조물의 강성 및 강도를 일정 범위에서 증진시키면서 지진에 의한 에너지소산을 향상시키는 보강방법으로 사용한다



(a) Interstory damping system for seismic retrofit (b) Column base connection (c) Connection details

[전단항복형 강재댐퍼 모듈시스템을 이용한 내진보강]

(2) 이 설계지침에 규정된 모듈시스템은 원칙적으로 철근콘크리트 모멘트골조로 시공된 기존 건축물의 내진보강에 적용한다. 철근콘크리트 모멘트골조와 벽체가 병용된 경우에도 적용할 수 있다

(3) 이 지침에서 규정하지 않은 사항은 「학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼」 (이하 학교매뉴얼), 「기존 건축물 내진성능평가요령」(이하 평가요령), 「기존 건축물 내진성능향상요령」(이하 향상요령) 및 「건축구조기준」 (이하 설계기준)에 따른다

○ 내진성능평가 및 보강설계 절차

(1) 이 지침의 B에 따라 기존 건물의 내진성능평가를 수행하여 내진보강 필요 여부를 평가하고, 모듈시스템의 설치 위치와 소요 성능을 산정한다.

(2) 이 지침의 C에 따라 모듈시스템을 구성하는 강재댐퍼 및 지지부재에 대한 구조설계(댐퍼 설계, 지지부재 단면설계, 접합부 설계 등)을 수행한다.

(3) 이 지침의 D에 따라 기존 건축물, 모듈시스템 및 접합부에 대하여 비선형 모델링을 정의하고, 비선형 정적해석, 주기해석, 및 동적해석을 수행하여 보강된 건물의 내진성능을 평가한다.

(4) 전체 건물 및 개별부재의 목표 내진성능 만족 여부를 평가하고, 필요할 경우 모듈시스템의 위치, 개수 등을 조정하여 재평가한다.

(5) 모듈시스템의 최대성능을 바탕으로 이 지침의 E에 따라 기존 구조와의 앵커접합부를 설계한다.

■ 기존 건축물의 해석 및 평가

(1) 보강 이전 기존 건물의 내진성능평가는 평가요령에 따른다. 또는 학교매뉴얼 4.2 선형해석평가를 사용할 수 있다

(2) (1)의 결과에 대한 상세평가가 필요한 경우, 평가요령 또는 학교매뉴얼의 비선형절차에 따른다

(계속)

(3) (1)과 (2)에 따라 대상 건물의 내진보강 필요 여부를 판정한다. 평가요령의 선형 또는 비선형 평가절차를 따르는 경우 평가요령의 판정기준에 따른다. 학교매뉴얼의 선형해석평가를 사용하는 경우에는, 전체 건물의 층별 보유강도비를 평가하고 층별 보유강도비가 1.0 보다 작은 경우 보강이 필요한 것으로 판정한다

■ 모듈시스템 설계

○ 일반사항

(1) 보강 이전 건물의 내진성능평가 결과와 모듈시스템에 대한 기존 실험/해석자료(최대강도 등)에 근거하여 모듈시스템 용량 및 설치 위치를 결정한다. 모듈시스템은 비선형정적해석에 의한 건물 변형형상을 조사하여 댐퍼 소성변형이 효과적으로 유발되는 위치에 설치한다.

(2) 모듈시스템의 용량, 설치 위치 및 개수를 결정할 때에는 대상 건물 및 부재의 현장조사 결과를 반영하여야 한다. 개별 모듈시스템의 최대용량은 모듈시스템이 연결되는 기존 구조부재가 저항할 수 있는 보유성능보다 작아야 한다

(3) 모듈시스템의 배치는 평면상 대칭으로 각 방향 최소 2개소 이상 배치하여 편심이 최소화되도록 한다. 모듈시스템의 용량, 설치 위치 및 개수는 책임구조기술자에 의하여 확인되어야 한다.

(4) 중력하중은 기존 구조가 전담하여야 하며, 모듈시스템은 지진하중만을 분담하도록 설계한다. 층 바닥과 천장에서 앵커접합에 의해 일체화된 기존 구조물과 모듈시스템은 지진하중에 대한 저항성능을 분담하도록 설계한다

○ 전단항복형 강재댐퍼 설계

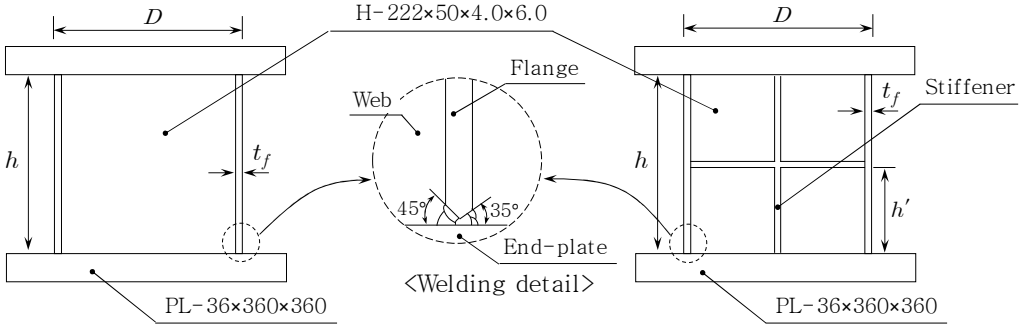
(1) 전단항복형 강재댐퍼는 다음 구조제한을 만족해야 한다

가. 댐퍼의 설계전단강도는 200 kN 이하이어야 한다

나. 댐퍼에 사용되는 강재의 항복강도(열간압연연강판 SPHC)는 KS D 3501 : 2008 열간 압연연강판 및 강대의 최저인장강도와 연신율을 만족해야 한다

다. 강재댐퍼의 표준 형상 및 주요치수는 다음과 같다

- 댐퍼의 높이 : 210 ㎜
- 댐퍼 패널부의 폭 : 210 ㎜
- 댐퍼 형상비 : 1.0
- 댐퍼 패널부의 두께 : 4.0
- 댐퍼 플랜지의 폭과 너비 : 패널부의 전단변형에 의한 플랜지의 국부좌굴의 방지를 위해 플랜지의 폭두께비 $(b/2)/t_f$가 플랜지의 폭두께비 제한값 $\lambda_r = 0.64\sqrt{k_c E/F_y}$을 하회하도록 설계해야 한다



[전단항복 강재댐퍼의 표준상세]

(계속)

라. 댐퍼의 용접상세는 플랜지와 엔드플레이트는 휨인장 · 압축을 받는 부위이므로 완전용입 용접으로 하며, 그 외 접합부는 필릿용접으로 한다.

마. 댐퍼의 변형성능이 요구되는 경우 패널부에 스티프너를 보강하여 변형성능을 확보할 수 있다. 이때, 스티프너는 댐퍼의 강종과 같은 강종을 사용하며 두께는 패널부의 두께보다 더 큰 값을 사용한다. 또한, 스티프너에 분절된 패널부는 상 · 하 · 좌 · 우가 대칭이 되도록 설계해야 한다.

(2) 위 구조제한을 만족하는 강재댐퍼의 항복강도($_cQ_p$)와 초기강성은 다음과 같이 산정할 수 있다.

가. 항복강도(전소성전단강도)

- 전단항복영역이 패널부의 폭 안에 존재하는 경우

$$_cQ_{p1} = {}_w\tau_y \cdot \alpha \cdot t_w + 2 {}_w\sigma_y \cdot t_w \cdot \frac{1}{h} \cdot \left(\frac{D - 2t_f - \alpha}{2} \right)^2 + 2 \cdot {}_f\sigma_y \cdot b \cdot t_f \cdot \frac{1}{h} (D - \alpha - t_f)$$

- 전단항복영역이 플랜지 두께 안에 존재하는 경우

$$_cQ_{p2} = {}_w\tau_y \cdot (D - 2t_f) \cdot t_w + {}_f\tau_y \cdot \{\alpha - (D - 2t_f)\} \cdot b + 2 \cdot {}_f\sigma_y \cdot b \left(\frac{D - \alpha}{2} \right)^2$$

여기서, α= 전단항복영역계수; $_w\sigma_y$ 및 $_f\sigma_y$ = 각각 웨브와 플랜지의 항복응력; $_w\tau_y$ 및 $_f\tau_y$= 각각 웨브와 플랜지의 전단항복응력이다.

- 최종 항복강도는 위 식의 전단항복영역계수 α를 변수로 최소로 되는 값을 산출하여 각 경우의 산정값 중 작은 값을 채택한다.

$$_cQ_p = \min\{{}_cQ_{p1}, {}_cQ_{p2}\}$$

나. 초기강성

$$Q = {}_cK \cdot \gamma$$

$$_cK = \left(\frac{h^2}{12EI} + \frac{1}{GA_p} \right)^{-1}$$

여기서, E 및 G= 각각 탄성계수와 전단단성계수; I = 단면2차모멘트; h= 댐퍼 높이; A_p= 웨브(이하, 패널부)의 단면적이다.

○ 모듈기둥 설계

(1) 강재댐퍼를 지지하는 상하 모듈기둥은 다음 구조제한을 만족하도록 설계한다.

가. 켄틸레버 거동을 가정한 모듈기둥의 횡강성(K_c)은 댐퍼 설계횡강성(K_{dp}) 2배 이상이어야 한다

나. 모듈기둥은 H형강으로 제작하며, 단면의 전체높이(h) 및 플랜지 너비(b_f)는 각각 댐퍼 단면의 전체높이(h_d) 및 플랜지 너비(b_d)의 2배 이상이어야 한다. 또한 모듈기둥 단면의 플랜지 및 웨브 폭두께비는 설계기준에 제시된 조밀판요소 허용 폭두께비(λ_p) 이하이어야 하며, 스티프너를 사용하여 국부적인 응력집중에 안전하도록 설계한 경우에 한하여 비조밀요소 허용 폭두께비(λ_r)까지 사용할 수 있다

(2) 강재댐퍼와 모듈기둥간 연결은 단부강판을 이용한 전인장조임 볼트접합으로 한다. 단부강판을 이용한 볼트접합 상세는 설계기준 또는 AISC Design Guide 4에 따른다

■ 모듈시스템 적용 구조물의 내진성능 향상 효과 검증

○ 일반사항

(1) 기존 구조물에서 보, 기둥, 벽체 등 구조부재의 선형 또는 비선형 모델링은 평가요령, 학교매뉴얼의 관련 규정에 따른다. 내진성능에 영향을 미치는 비구조재(조적채움벽, 조적

(계속)

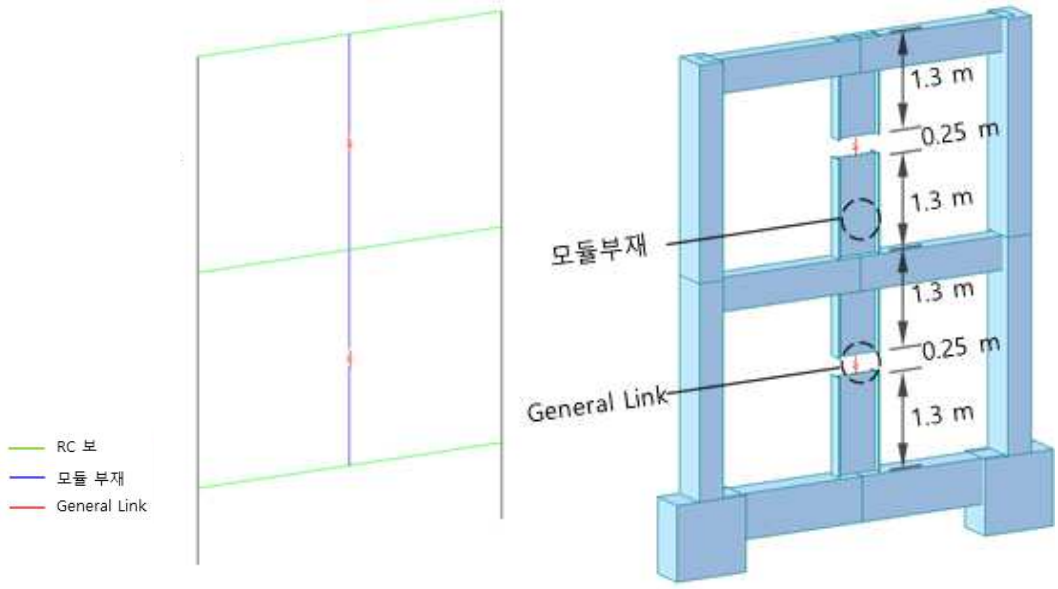
허리벽 등)는 모델링에 포함되어야 한다

(2) 비선형 모델링의 경우, 보와 기둥은 양단부에 모멘트힌지요소를 갖는 보기둥요소(유효강성 적용)로 모델링하며, 휨항복 이전 전단파괴가 예상되는 경우 적절한 전단힌지요소를 포함해야 한다. 벽체의 비선형 모델링에는 섬유요소모델을 사용한다

(3) 모듈시스템 및 앵커접합부의 모델링은 이 지침의 [모듈시스템 및 앵커접합부 모델링]에 따른다.

○ 모듈시스템 및 앵커접합부 모델링

(1) 강재댐퍼는 전단링크로 모델링한다. 강재댐퍼의 힘-변형 관계는 탄성-완전소성 거동으로 모델링하며, 실험에 의해 검증된 에너지소산에 부합하도록 이력거동을 모델링한다. 전단링크의 초기강성 및 항복강도는 각각 이 지침의 C.2에 정의된 횡강성과 전소성전단강도를 적용한다



[강재댐퍼 및 모듈부재의 모델링]

(2) 강재댐퍼를 지지하는 상하 모듈기둥은 탄성 기둥요소로 모델링한다.

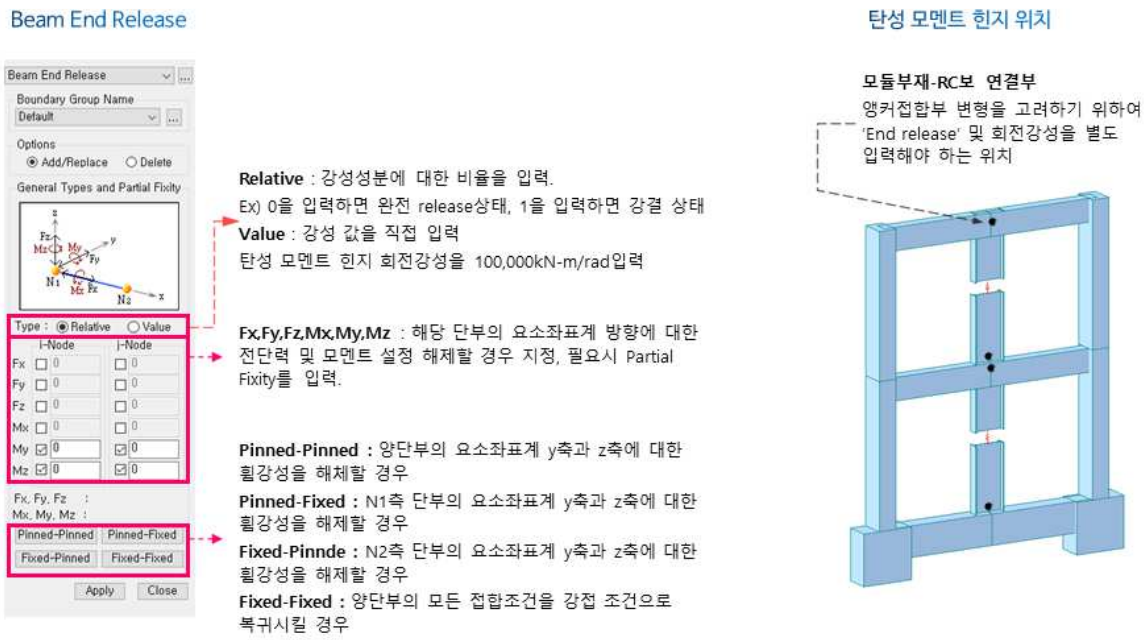
(3) 모듈기둥과 기존 구조물의 접합부에는 앵커접합부의 회전변형을 고려할 수 있도록 탄성 모멘트힌지를 사용하여 모델링한다. 탄성 모멘트힌지의 회전강성(K_i)은 앵커접합부 적용하고자하는 구조상세를 바탕으로 다음 값을 적용한다

RC바닥보의 경우, $$k_i = \frac{h^2}{\frac{l_a}{n_a E A_a} + \frac{(d_a + 3t_p)^3}{24 E I_{pe}} + \frac{d_a}{G A_{pe}}}$$

RC천장보의 경우, $$k_i = \frac{h^2}{\frac{l_a}{n_a E A_a} + \frac{(d_a + 3t_p)^3}{3 E I_{pe}} + \frac{d_a}{G A_{pe}}}$$

여기서, n_a = 인장측에 사용된 앵커볼트의 총 개수; E = 강재 탄성계수; A_a = 단일 앵커볼트의 단면적; l_a = 앵커볼트의 길이; d_a = RC바닥보의 경우 모듈기둥 플랜지 가장자리로부터 인접합 앵커 중심선까지의 거리를 사용하고, RC천장보의 경우 모듈기둥 플랜지 가장자리로부터 측면강판 중심까지의 거리를 사용; t_p= 앵커접합부에서 베이스플레이트 두께; G = 강재 전단탄성계수(= $0.385E$); I_{pe} = $b_{pe} t_p^3/12$; A_{pe} = $[5/6] b_{pe} t_p$; 및 b_{pe} = $2d_a$.

(계속)



[모듈기둥 앵커접합부 회전강성 모델링: Beam end release (midas-Gen)]

○ 모델링 적정성 검증

(1) 모듈시스템을 포함한 전체 구조물의 해석모델에 대하여 탄성해석, 비선형정적해석 및 비선형주기해석을 수행하여 모델링의 적정성을 확인해야 한다. 상세한 모델링 검증 방법 및 절차는 이 보고서의 4.1에 따른다

○ 내진성능 향상 효과 검증

(1) 실제 지진파에 대한 비선형동적해석을 수행하여 모듈시스템에 의한 내진보강 효과를 검증한다. 비선형동적평가 절차와 방법은 평가요령 및 학교매뉴얼의 관련 규정에 따른다. 내진성능 향상 효과 확인 방법과 절차는 이 지침서의 [전단항복형 강재댐퍼 유닛 및 모듈시스템 해석방법]에 따른다

■ 모듈시스템의 앵커접합부 설계

○ 일반사항

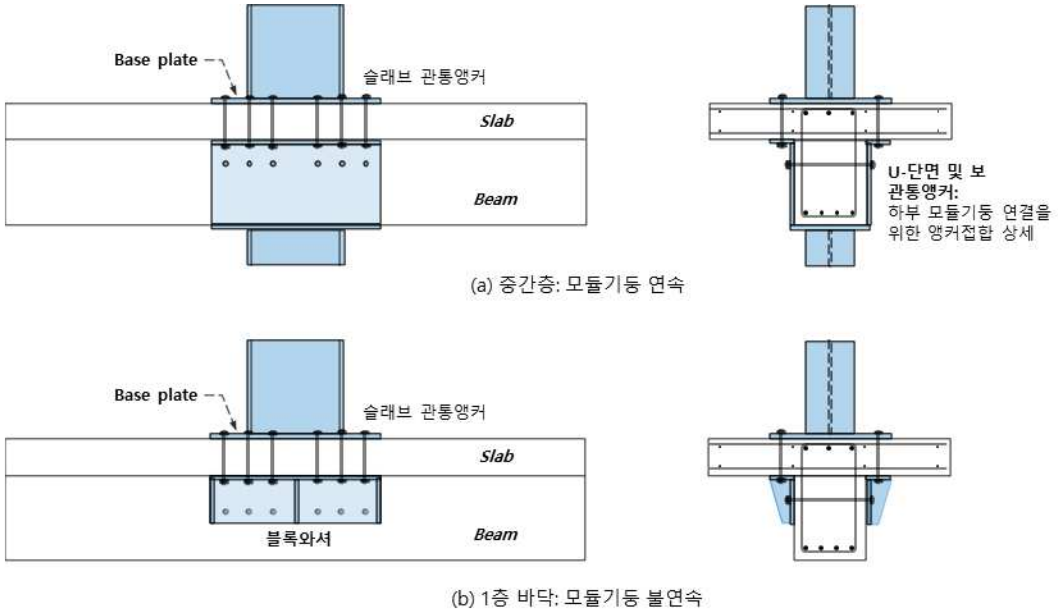
(1) 모듈시스템과 기존 구조물을 연결하는 앵커접합부는 댐퍼 이력거동에 의해 에너지소산이 발생하는 동안 탄성영역에서 안정적으로 거동하도록 설계되어야 한다

(2) 강건한 앵커접합부 구조성능 확보를 위하여, 앵커는 기존 구조물의 슬래브 또는 보를 관통하도록 설치한다. 또한 앵커는 F10T 고장력볼트를 사용하며, 앵커 주변 콘크리트는 적합한 형상의 강재요소를 사용하여 횡구속하여야 한다

○ 댐퍼 하부 모듈기둥의 앵커접합부

(1) 댐퍼 아래 모듈기둥과 바닥슬래브를 연결하는 앵커접합부에서는 슬래브 상부의 베이스플레이트와 슬래브 하부의 U단면(또는 강재블록)을 사용하여 앵커 주변 콘크리트를 횡구속하여야 한다

(계속)

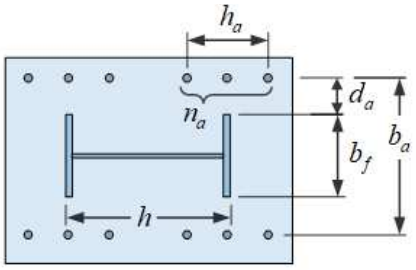


[댐퍼 하부 모듈기둥 앵커접합부: 관통앵커 및 베이스플레이트]

(2) 앵커접합부의 구조상세는 실험 및 해석을 통해 검증된 다음 범위로 제한된다.

가. 베이스플레이트 두께 t_p = 15㎜의 경우, 50㎜ ≤ d_a ≤ 100㎜ 및 100㎜ ≤ h_a ≤ 200㎜를 사용하며, 앵커볼트 M18 이상이어야 한다

나. 베이스플레이트 두께 t_p = 20㎜의 경우 d_a = 100㎜ 및 h_a = 200㎜ 사용하며, 앵커볼트는 M24 이상이어야 한다



[베이스플레이트 및 앵커 배치]

(3) 앵커접합에 사용되는 베이스플레이트는 50% 저감된 강도를 기반으로 설계한다. 즉, 댐퍼를 지지하는 모듈기둥 하부에 작용하는 모멘트 소요강도가 계산에 의한 베이스플레이트 공칭강도의 50%를 이하가 되도록 설계한다

$$M_u \le \phi\left(0.5M_{pl}\right)$$

여기서, M_u = 모듈기둥 하부의 모멘트 소요강도, M_{pl} = 베이스플레이트의 공칭 휨강도, ϕ= 베이스플레이트 항복에 대한 강도감소계수(= 0.9)이다

(4) (1)~(3)의 설계 및 구조상세 요구조건이 충족되는 경우, 베이스플레이트의 휨강도(M_{pl})는 다음과 같이 계산한다

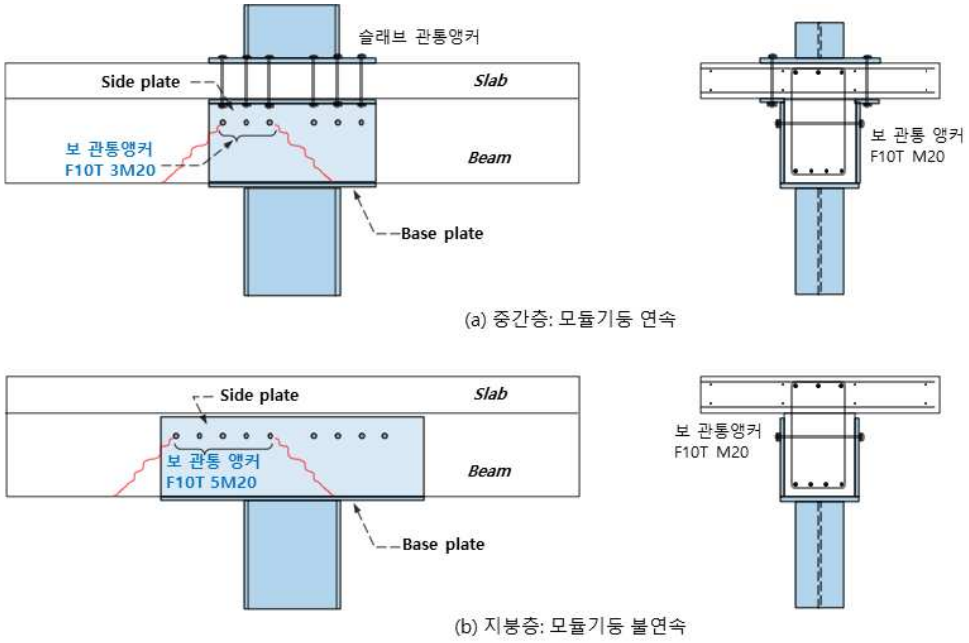
$$M_{pl} = F_y t_p^2 h\left(\frac{h_e}{d_a} + \frac{h_{da} + h_{df}}{2d_a} + \frac{b_a}{4h}\right)$$

여기서, h_e = 기둥 플랜지 면에서 베이스 플레이트 가장자리까지의 거리로서 150㎜ 이하; I_{pe} = $b_{pe} t_p^3/12$; A_{pe} = $[5/6]b_{pe} t_p$; 및 b_{pe} = $2d_a$.

(계속)

○ **댐퍼 상부 모듈기둥의 앵커접합부**

(1) 댐퍼 상부 모듈기둥과 천장보를 연결하는 앵커접합부에서는 U형 강재단면으로 앵커 주변 콘크리트를 횡구속하여야 한다



[댐퍼 상부 모듈기둥 앵커접합부: 관통앵커 및 U단면 상세]

(2) 앵커 주변 콘크리트를 횡구속하는 강재의 두께는 이 지침의 E.1에 따라 결정된 베이스플레이트 소요 두께 이상이어야 한다. 또한 보에 설치되는 관통앵커로는 M20을 사용하며, 모듈기둥이 연속되는 중간층에서는 최소한 6개를 사용하고 모듈기둥이 불연속인 지붕층에서는 최소한 10개를 사용한다. 관통앵커 수평간격은 100 ㎜ 이상으로 한다

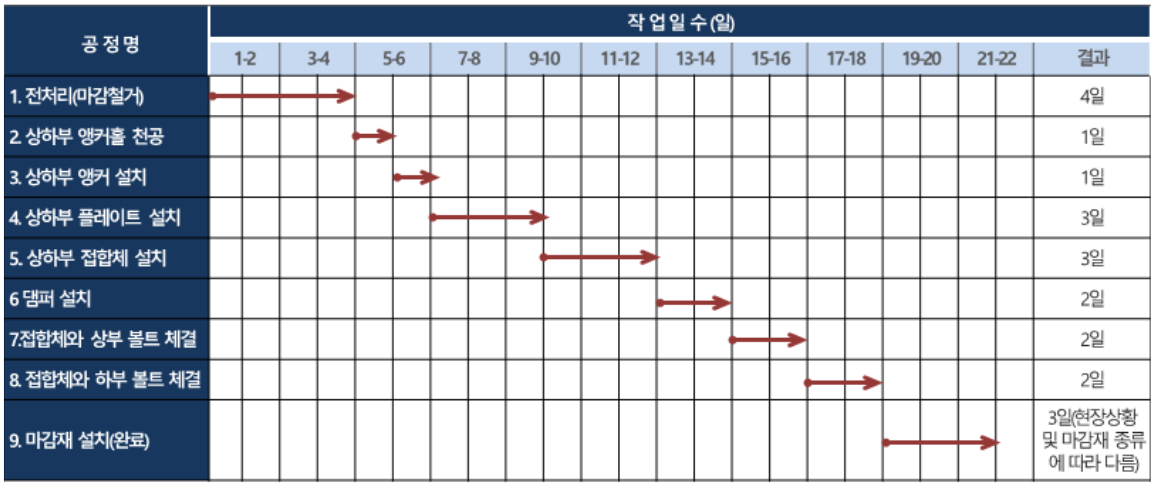
연구결과

■ 시공성 분석

(1) 개발 기술



(2) 비교기술



【개발기술】과 비교기술의 예상 공정표를 토대로 분석한 결과 **【개발기술이 비교기술에 비해 시공성이 28% 증가】**하였음.

■ 경제성 분석

구분	개발공법	a 공법	b공법
제품 가격(원/set)주)	15,000,000	20,500,000	22,000,000
경제성 분석	100%	137%	146%

*) 개발공법의 댐퍼 가격은 예상가격임

*) 출처 : 한국물가정보지 2022년 2월 기준

주) 제품 가격은 set 당 가격을 의미하며, 설치비 제외

【개발공법】과 a공법 및 b공법을 물가정보지를 토대로 경제성을 분석한 결과 **【개발공법이 비교공법인 a공법 및 b공법에 비해 37% 및 46% 저렴】**하게 나타남.

(계속)

연구결과

■ 특기시방서

○ 일반 사항

- 적용 범위

본 시방서는 전단항복형 강재댐퍼 연결부재의 제작 및 시공에 대하여 적용한다. 단, 공사시방서에서 정하는 바와 이 시방서의 기준이 상충되거나 모호할 경우에는 이 시방서를 따른다

① 전항의 공사를 시공하는데 있어서 본 시방서에서 정하지 않은 사항은 건축관계 법령 및 국토교통부 건축공사표준시방서에 따른다

② 특별한 조사, 연구 등에 따라 이 시방서의 전부 또는 일부를 적용하지 않을 경우에는 제진구조설계 책임기술자 및 감독자의 승인을 받아 시행하여야 한다

- 참조 규격

다음 기준은 이 시방서에 명시되어 있는 범위 내에서 이 시방서의 일부를 구성하는 것으로 본다

한국산업규격(K.S.)	국토교통부 관련 시방서 및 기준
- KS D 3503 일반 구조용 압연강재 - KS D 3501 열간압연 연강판 및 강대 - KS D 3515 용접 구조용 압연 강재 - KS D 7104 연강, 고장력강 및 저온용 강용 아크 용접플럭스코어선 - KS B 1010 마찰 접합용 고장력 6각 볼트·6각 너트·평 와셔의 세트	- 건축공사표준시방서(KCS 41) - 표준시방서(KCS 41) - 건축구조기준(KDS 41)

- 품질 보증

(1) 일반 사항

품질시방서에 명기된 사항, 작업보고서, 시험성적서, 각종 증명서 및 발주자의 품질보증 계획을 포함 발주자의 품질보증 시스템의 요구사항에 따른다

(2) 자격요건

1) 공급원 및 제조업자의 자격요건

본 공사에 사용되는 주재료에 대하여 충분한 물량을 보유하고 있거나 생산시설을 보유하고 있어, 균일한 재질과 특성을 지닌 재료를 공사가 지연되지 않게 공급할 수 있는 공급원으로부터 구입한다

2) 시공사의 자격요건

시공사는 본 공사에 사용하는 공법의 신기술을 보유하고 있거나, 유사한 보수 · 보강공사 경험이 3년 이상인 전문 건설업체로서 발주처가 승인한 시공업체이어야 한다

3) 작업원의 자격요건

전단항복형 강재댐퍼 설치 작업원은 전문기술인으로써 발주처가 승인한 자격 인증 절차에 따라 인증된 작업원에 한하여 작업을 할 수 있다

(계속)

(3) 품질보증

설계도면 및 시방서의 내용이 제조업자의 설치 지침 또는 보증 조건과 상이할 경우에는 이를 즉시 발주처에 알려야 한다. 이를 이행하지 않을 때는 설계도면, 시방서 및 보증 조건에 이의가 없는 것으로 간주한다

(4) 재료의 적합성

공인 시험기관에서 시행한 시험 결과치를 참고하여, 본 절에 명기된 전단항복형 강재댐퍼 재료에 대해 내진의 적합성을 검증한다

- 공사 전 협의

(1) 공사를 착수하기 전에 설계도면과 시방서에 대한 이해를 명확히 하기 위해 내진보강 공사와 밀접하게 관련된 모든 관계자들 간에 작업회의를 실시한다

(2) 회의중에 결정된 사항 및 불일치된 사항 등을 기록하고, 감독자를 포함한, 모든 회의 참석자에게 회의록을 배부한다. 다음 사항을 참고하여 작업에 관련된 방법 및 절차를 검토한다

- 내진보강이 수행될 구조물의 부재에 대해 사전에 작업된 사항을 확인하고 검토한다.
- 설계도면, 시방서 및 기타 계약서의 작업 규정을 검토한다
- 검사 및 시험 절차 등을 검토한다
- 작업이 지연되지 않도록 재료, 장비 및 인원 등을 검토한다

연구결과

- 운반, 보관, 취급

(1) 운반

- 재료는 공장에서 반출할 때의 용기를 개봉하지 않고 제조회사명, 상표, 제품설명, 번호, 분류, 등급 등이 표기된 상태로 현장에 반입한다
- 재료는 시공 준비가 되어 있지 않거나 충분한 보관 시설이 완비되기 전에는 반입하지 않는다
- H형강 운반시에는 H형강의 변형이 안일어나게 조심스럽게 취급을 하며, 결속 시 흔들림 없이 결속을 해야 한다
- 제품이 오염 되지 않도록 주의를 해야한다

(2) 보관 및 취급

- 공사가 중단되지 않도록 충분한 소요량(설계량의120% 이상)을 반입한다
- 강재 적재를 할 때 강재의 표면 및 충격을 방지하기 위해 바닥면과 어느 정도 높이 위로 적재를 해야 한다
- 주변 지형 및 지반상황에 따라 문제가 발생 할 수 있어 가급적 공터나 주변 사물이 없는 곳에 적재를 해야 한다
- 작업으로 인해 이동을 할 경우 전문가 및 안전요원을 배치하여 안전하게 이동을 해야 한다

(계속)

연구결과

■ **재료**

○ 일반 사항

- 명시된 내진보강에 적합한 재료로서 구조물 설계에 필요한 인장강도와 항복강도 등 설계서에 명시된 제품에 따른다

○ 강재 적용 범위

- 댐퍼 및 앤드플레이트 : SPHC(KS D 3501 열간 압연 강판 및 강대)
- 접합체 부재및 엔드플레이트 : SS275(KS D 3503 일반 구조용 압연강재) 또는 SM275(KS D 3515 용접 구조용 압연 강재)
- 고장력 볼트 : (KS B 1010 마찰접합용 고장력 6각 볼트, 6각 너트, 평와셔 세트)

○ 재료 성질

- 각 부재의 재료특성은 KS D 3501 열간압연 연간팡 및 강대에서 제시하는 기준값을 만족하는 것으로 한다

[접합체 및 앤드플레이트 기계적 성질]

구분	항복점 또는 항복강도(N/㎟)	인장강도 (N/㎟)	강재의 두께(㎜)	연신율 (%)
	40 초과 100 이하			
SS275	245이상	410 ~ 550	강판, 강대, 평강의 두께 5 초과 16 이하	18 이상
			강판, 강대, 평강의 두께 16 초과 40 이하	21 이상

[접합체 및 앤드플레이트 기계적 성질]

구분	항복점 또는 항복강도(N/㎟)	인장강도 N/㎟	연신율	
	강재의 두께(㎜)			
	40 초과 75 이하		강재의 두께(㎜)	%
SM275A SM275B SM275C SM275D	255 이상	410~550	5 초과 16 이하 16 초과 40 이하	18 이상 22 이상

[댐퍼의 기계적 성질]

구분	인장강도 (N/㎟)	연신율(%)					
		두께 1.2㎜ 이상 1.6㎜ 미만	두께 1.6㎜ 이상 2.0㎜ 미만	두께 2.0㎜ 이상 2.5㎜ 미만	두께 2.5㎜ 이상 2.7㎜ 미만	두께 3.2㎜ 이상 4.0㎜ 미만	두께 4.0㎜이상 (추가)
SPHC	270 이상	27 이상	29 이상	29 이상	29 이상	31 이상	31 이상

(계속)

연구결과

○ 고장력볼트

[고장력 볼트의 기계적 성질]

볼트의 기계적 성질에 따른 등급	사이즈 (M24)	항복 강도 (N/㎟)	인장 강도 (N/㎟)	최소 인장 하중 (kN)	축력(kN)	연신율 (%)	단면 수축률 (%)
F10T	352.5	900 이상	1,000~1,200	352.5	222.1~301.4	14 이상	40 이상

[너트의 기계적 성질]

너트의 기계적 성질에 따른 등급	경도		보증 하중
	최소	최대	
F10	HRC 95	HRC 35	볼트 인장 하중(최소)과 같다.

[종류, 등급의 토크 계수값]

세트의 종류		사용하는 구성 부품의 기계적 성질에 따른 등급		
기계적 성질에 따른 종류	토크 계수값에 따른 종류	볼트	너트	와셔
2종	A	F10T	F10	F35
	B			

[토크 계수값]

구분	토크 계수값에 따른 종류	
	A	B
토크 계수값의 평균값	0.110~0.150	0.140~0.190
토크 계수값의 표준 편차	0.010 이하	0.013 이하

○ 용접봉

[연강 및 고장력강용 선 용착금속의 기계적 성질]

선의 종류	인장 강도 (N/㎟)	항복점 또는 항복강도 (N/㎟)	연신율 (%)	시험 온도 (℃)	샤르파 흡수 에너지 (J)
YFW-C50DX	490 이상	390 이상	22 이상	0	47 이상

○ 케미컬 앵커

- 아래 표는 케미컬 앵커 규격에 따른 천공직경, 설치 깊이, 혀용 인발하중을 나타낸 것으로 앵커 천공시 규준을 따른다.

[케미컬 앵커 규격]

앵커 규격	천공 직경(㎜)	설치깊이(㎜)	허용 인발하중(kN)
M10	12	90	13.8
M12	14	110	20
M16	18	125	28
M20	22	170	44.4
M24	28	210	61
M27	30	240	61
M30	35	270	74.5

(계속)

연구결과

■ 시공

○ 일반사항

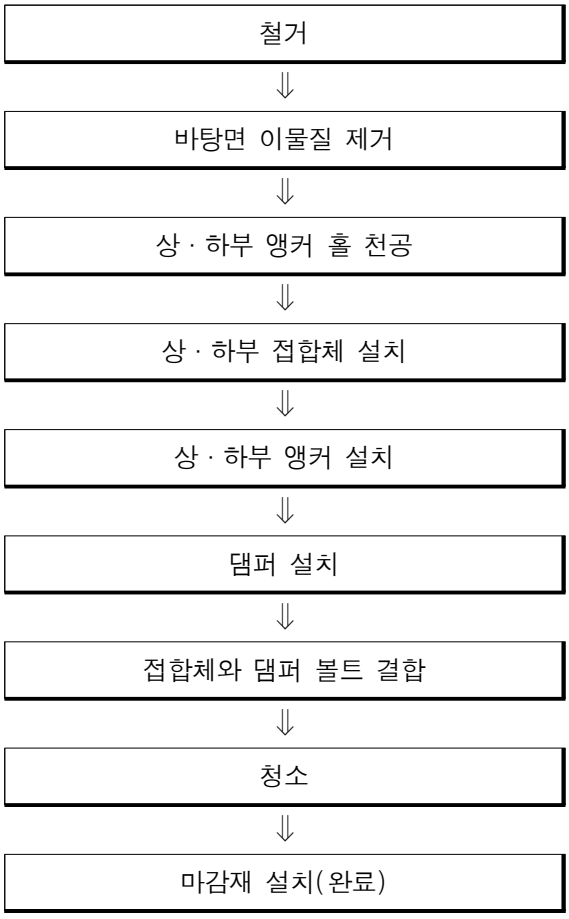
- 시공자는 제진장치의 제작을 발주할 때 설계도서나 특기시방서에 규정된 적합한 품질이 확보되도록 제작자와 충분한 협의를 갖고 제작관리를 실시한다
- 시공자는 시공 또는 보관 중 충격, 열 및 화학물질에 의해 성능이 저하되는 일이 없이 철저히 관리하여야 한다
- 시공자는 시공계획서에 기재된 시공순서에 따라 제진장치 및 관련 부위를 시공하며 시공 공정이 지연되는 일이 없도록 순서에 따라 사전 준비하여야 한다

○ 시공관리(일반사항)

- 시공전 미리 현장답사를 하여 실측을 하여 자재의 규격을 파악한다
- 시공은 품질관리와 공정관리를 철저히 계획한 후 실시해야 한다
- 자재반입경로 등 현장 주변을 파악하여 장비 투입 및 계획을 수리하여야 한다
- 철거 후 재설치 되는 부분에 대해서는 사전 현장 사진 등 기록물을 남겨두어 공사 완료 후 완벽하게 복구가 될 수 있도록 관리한다

○ 시공순서

[전단항복형 강재댐퍼 시공 공정도]



(계속)

연구개발 수행내용	D-1 시공 지침서 (전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 시공 지침서)
연구결과	(1) 철거 ① 설치할 장소에 대하여 먹매김을 실시한 후 바닥 및 천정면의 정리를 실시한다. 이때, 바닥 및 천정면은 평활한 수평도를 유지할 수 있도록 실시한다 ② 시공 전 미리 실측한 내용과 철거 후 변경된 내용 있는지 비교를 한다 ③ 철거 완료 후 작업에 방해될 수 있는 요철 및 잔해들을 제거 및 청소 한다  [철거작업] (2) 상 하부 보 케미컬앵커 홀 천공 ① 설계도면을 확인을 하여 작업을 할 위치를 확인 후 천공 홀 작업 준비를 한다 ② 상부 보에 케미컬 앵커 설치 위치를 확인 후 규정된 직경과 깊이로 천공한다 ③ 천공 후 에어집진기 등으로 앵커 홀을 2~3회 반복 청소한다 ④ 하부 보와 바닥면도 상부 보와 같은 방식으로 천공홀 작업을한다  [천공 홀 작업 순서] (3) 상부 보 접합체 설치 ① 설치 위치에 상부 보 접합체를 고정 후 체인블럭을 이용하여 케미컬 앵커를 삽입한다 (인양작업은 현장마다 달라질 수 있음.) ② 설치 위치에 상부 보 접합체를 고정 후 천공자리에 케미컬 앵커를 삽입한다 ③ 삽입한 케미컬 앵커 구멍에 앵커 수지를 충전한 후 고정 한다 ④ 설치된 상부에 설치된 ㄷ자형 철판 주위를 실링작업을 하여 고정한다 ⑤ 실링작업 후 접합체와 보 주변에 에폭시를 주입하여 고정한다  [상부 접합체 설치 과정 작업] (계속)

(4) 하부 보 접합체 설치

① 설치 위치에 하부 보 접합체를 고정 후 체인블럭을 이용하여 케미컬 앵커를 삽입한다 (인양작업은 현장마다 달라질 수 있음)

② 하부 부위도 상부보와 마찬가지로 설치 위치에 하부 보 접합체를 고정 후 천공자리에 케미컬 앵커를 삽입한다

③ 앵커 수지를 천공 구멍에 충전한 후 고정한다

④ 접합체를 설치 후 하부 보에 보강철물을 케미컬 앵커로 고정한다

⑤ 설치된 상부에 설치된 ㄷ자형 철판 주위를 실링작업을 하여 고정한다

⑥ 실링작업 후 접합체와 바닥면 및 보 주변에 에폭시를 주입하여 고정한다



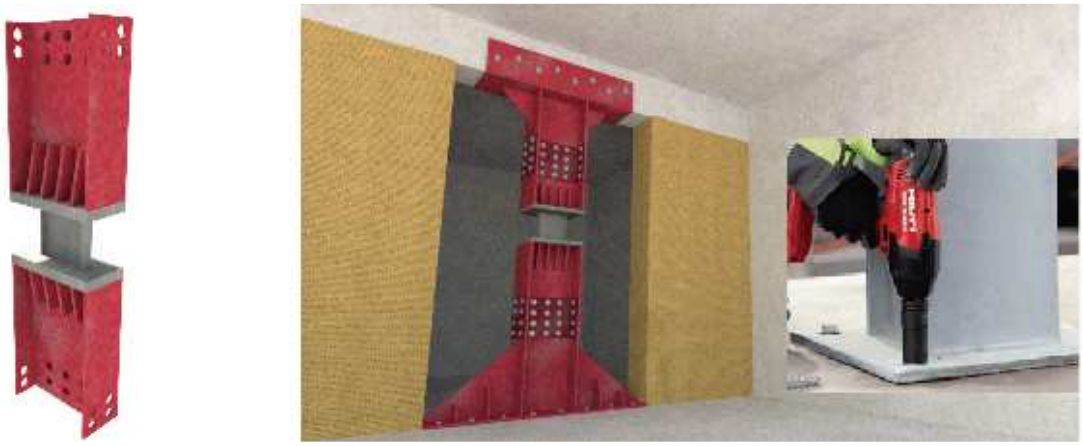
[하부 접합체 설치 과정 작업]

연구결과

(5) 댐퍼 설치

① 미리 제작된 댐퍼를 가져와 시공 부위에 결합한다

② 접합체 사이에 철판을 접합을 시킨 후 볼트접합으로 보강 후 철판을 이용하여 접합체 사이를 보강한다



[댐퍼 형상과 댐퍼 설치 작업 과정]

(6) 청소

- 작업 시 생기는 먼지 및 폐기물을 전문 처리업체에 위탁을 하여 처리한다.

(7) 마감

- 마감재 설치가 필요한 경우 기존 형태로 마감하는 것으로 하되, 동일 제품이 없는 경우 설계도서를 토대로 발주부서와 협의해서 마감 재료를 정한다

(계속)

연구결과

■ 현장시공 관련 CHECK LIST

○ 사전구조체의 손상에 대한 검토사항

점 검 사 항	상태	
	양 호	불 량
- 시공 부분 주변에 균열 및 손상이 되어 있는지 확인 하였는가?		
- 시공 부분 철거 시 주요 부재 침하가 되는지 조사 하였는가?		
- 시공 부분 또는 근처에 노후 부위 있는지 확인을 하고 시공 시 구조체에 문제 가능성이 있는지 확인 및 대책을 준비하였는가?		
- 시공시 설비에 손상이 가해지는지 조사를 하였는가?		
- 도면과 다르게 불법 및 구조변경이 되었는지 확인 하였는가?		
- 시공전 강도조사를 충분히 실시 하였는가?		
- 구조검토를 충분히 검토를 하였는가?		
- 시공전 수평변위(기울기)를(을) 측정을 하였는가?		
- 시공전 수직변위(부재처짐)를(을) 측정을 하였는가?		
- 시공부위 및 주변에 화재 및 폭발 위험성이 있는 요소가 있는지 조사를 하였는가?		
- 시공전 누수 관련에 문제가 생기는지 조사하였는가?		
- 시공담당자들이 시공메뉴얼 및 구조상태를 충분히 숙지하였는가?		
- 시공장소가 피난시설에 근접되어 있는 경우 시설 이용에 문제가 생기는지 점검은 하였는가?		

(계속)

연구결과

■ 현장시공 관련 CHECK LIST

○ 시공중 발생되는 문제점 및 대책방안

문제점	대책방안
- 시공장소로 장비 및 소모품 운반시 문제가 생겨 인명피해 등 생길 수 있음	- 장비 사용전에 안전점검을 하고 소모품도 사용을 할 시에는 소모품의 상태를 체크 - 장비를 운반할때 안전 책임자와 최소인원만 배치를 하여 운반을 진행
- 시공자의 부주의로 안전장비 미착용을 하여 사고가 발생	- 공사시작전 시공자 및 관리자들을 모아서 안전교육을 실시 - 시공시에도 시공자들이 안전장비를 사용하는지 계속 확인하며 미착용으로 강행할 시 작업에서 배제
- 기계장비 상태 불량(전선, 안전장치 등)	- 기계장비의 전선이 불량인 상태로 작업진행 시 작업을 중단하고 전선상태가 양호한 장비로 교체 - 장비에 안전장치(칼날튐방지 등)를 장착이 되어있는지 확인 후 사용
- 시공시 유해가스 및 먼지 발생으로 인명피해 문제 발생	- 시공장소에 창이 있는 경우 창문을 열어 작업환기를 진행하고 심해지면 바로 작업중단, 적정 환경이 되어지면 작업을 다시 진행 - 밀폐된 공간인 경우 일산화탄소 감지기를 준비를 하며 마스크 및 고글을 착용 후 작업을 진행, 만약 기준치 이상시 작업을 중단을 하며 문제가 발생한 인원이 생길 경우 황급히 장소를 나와 안전 수칙에따라 행동.
- 공사 관계자가 아닌 민간인이 작업 현장에 들어와 사고 발생	- 시공전 시공공간에 민간인이 쉽게 다가갈 수 있는 공간이면 전방주변에 작업중 표시를 사람들이 크게볼 수 있게 통제 팻말 등을 준비하고 설치 - 시공작업공간 주변 입구 및 사람이 다닐 수 있는 통로를 안전테이프로 입구통제
- 낙하 및 추락 문제(크레인 등으로 장비 및 재료 운반시, 창 또는 개방되는 공간)	- 작업시 장비 및 재료를 인양작업시 크레인등을 사용하면 주변 통제하고 신호수 배치 - 신호수는 사람 및 차량 집입통제하고 작업장소주변에 안전망과 같은 가설 장비를 설치를 하여 피해예방
- 볼트 접합불량으로 인해서 댐퍼가 분해 또는 쓰러지는 상황이 생기면 인명 및 건축물 파손 문제가 발생	- 볼트 접합을 시행시 불량 부품이 발견되면 곧바로 처분을 하며 접합이 확실히 되어 있는지 검사 실시. - 캐미컬앵커대한 시공이 적절히 접합이 되어 있는지 확인 후 부족하거나 미체결 되어 있으면 기존에 체결한부분을 정리 및 청소를 하여 다시 시공을 진행

(계속)

연구개발 수행내용	D-1 시공 지침서 (전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 시공 지침서)

연구결과

■ 현장품질관리 CHECK LIST

○ 시공 전 품질관리

점 검 사 항	상태	
	양 호	불 량
1. 작업준비		
- 작업준비 상태는 철저한가?		
- 접합체 및 댐퍼 적재할 수 있는 공간이 준비되었는가?		
2. 재료의 반입		
- 접합체와 댐퍼의 규격이 맞는 재료로 왔는가?		
- 접합체 및 댐퍼가 도면이랑 일치하는가?		
- 접합체 및 댐퍼의 변형이 있는지 확인을 했는가?		
- 접합체 및 댐퍼의 용접 상태를 확인 했는가?		

○ 시공 중 품질관리

점 검 사 항	상태	
	양 호	불 량
- 철거 후 벽면, 상단 보, 바닥 면에 요철 및 방해되는 요소가 있는가?		
- 철거 후 상단 보와 바닥 면이 수평으로 되어 있는가?		
- 상단 접합체 천공 홀 위치가 도면과 일치 하는가?		
- 상단 접합체 부착할 위치가 도면과 일치 하는가?		
- 상단 접합체에 앵커 삽입 후 고정이 잘되어 있는가?		
- 하단 접합체 천공 홀 위치가 도면과 일치 하는가?		
- 하단 접합체 부착할 위치가 도면과 일치 하는가?		
- 하단 접합체에 앵커 삽입 후 고정이 잘되어 있는가?		
- 댐퍼의 위치가 중앙에 시공을 했는가?		
- 볼트접합을 할 때 고정을 제대로 했는가?		
- 댐퍼와 접합체의 간격이 설계도서에 맞게 시공이 되었는가?		
- 오시공에 대한 조치는 적절히 이루어졌는가?(오시공이 있을 때)		

○ 시공 후 품질관리

점 검 사 항	상태	
	양 호	불 량
- 시공 후 수평 및 수직이 맞는가?		
- 변형이 생겼는가?		
- 용접시공 부위에 변형이 생겼는가?		
- 볼트접합 부위에 문제가 생겼는가?		

【강재댐퍼 내진보강 시공지침】의 시공 지침서는 **【질적성과지표인 전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 시공 방법 시공지침서】**을 만족하였음

(계속)

연구개발 수행내용	D-1 시공 지침서 (전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 유지관리 방법)

연구결과

■ **유지관리 지침서**

○ 적용 범위

- 본 유지관리 지침서는 “기존 건축물 대비 층간 변위비 40% 저감 및 초기강성 20% 향상 가능한 저비용·고효율 제진보강 공법(전단항복형 강재댐퍼 제진공법)”에 활용된 강재댐퍼의 유지관리 방법에 대해 제안한다
- 이외 제안하지 않는 내용에 대해서는 철골공사유지관리 규준에 따른다

■ **강재댐퍼 결함의 원인과 유형**

- 강재댐퍼의 경우 강재가 주로 사용되기 때문에 대부분 도장의 파손과 용접부위의 균열이나 녹발생, 체결볼트의 풀어짐이나 녹발생, 철골부재의 균열 등이 있으며, 이러한 결함은 부재에 심각한 손상을 초래하여 내진성능 향상의 역할을 수행하지 못하므로 상시적인 점검이 필요하다

○ 결함원인

- 강재와 댐퍼에 발생되는 균열, 볼트풀림, 부식 등의 결함은 균열의 경우 피로나 초과응력, 하중의 증대 등에 따라 발생하고 볼트풀림의 경우 강재와 접합판의 균열, 볼트의 축력저하 등으로 발생하며, 부식은 주로 대기 중 노출이나 누설전기에 의하여 발생한다

○ 강재댐퍼에 나타나는 결함유형

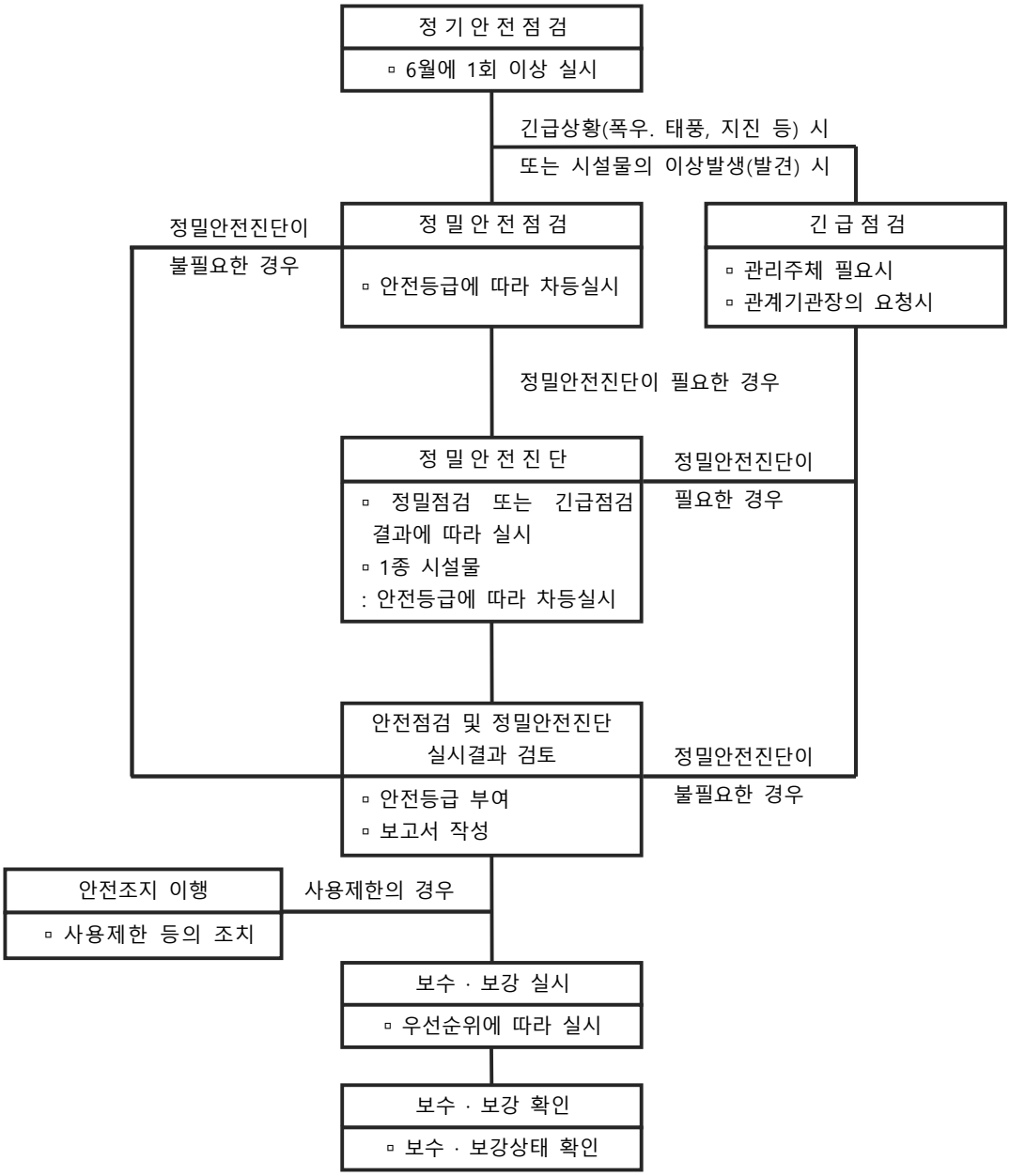
[강재댐퍼 결함유형]

결함유형	내 용	조사위치
균열	강재댐퍼의 균열은 강재 자체에 발생하거나 용접 단면측에 발생함	부재표면, 용접부
볼트풀림	볼트의 부식이 진행되거나 축력이 저하되면 볼트풀림이나 균열이 발생함	고력볼트 체결부
부식	장기간 자연환경에 노출되면 부식 발생은 폐연적이므로 강재 표면이나 연결부 및 접합부 등에서 부식이 발생함.	부재표면, 용접부, 케미컬 앵커

(계속)

연구결과

■ 점검 종류 및 실시 주기



[점검 종류 및 실시주기]

[안전점검, 정밀안전진단 및 성능평가의 실시시기]

안전등급	정기안전점검	정밀안전점검		정밀안전진단	성능평가
		건축물	건축물 외 시설물		
A등급	반기에 1회 이상	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상	5년에 1회 이상
B · C 등급		3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상	
D · E 등급	1년에 3회 이상	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	

(계속)

○ 정기점검
- 정기점검은 손상의 조기 발견을 도모하기 위해 정기적으로 실시하는 육안 점검을 말한다
- 정기점검은 2년에 1회 이상 실시한다

○ 정밀점검
- 정밀점검은 적정한 점검장비를 통해 구조물의 안정성을 확보하기 위해 정기적으로 실시하는 점검을 말한다
- 정밀점검은 5년에 1회 이상 실시한다

○ 긴급점검
- 긴급점검은 태풍, 집중 호우, 폭설 등의 재해가 발생한 경우 실시하는 정밀점검을 말한다
- 긴급점검은 해당 재해가 발생한 경우 관리주체의 판단에 따라서 비정기적으로 실시한다

○ 추적조사
- 추적조사는 계측기 또는 인력을 이용해 강재댐퍼 시스템의 장기 거동을 관찰하고 그 원인을 해소하기 위함을 목적으로 실시한다
- 강재댐퍼 시스템의 손상 원인을 위의 점검 및 진단을 통해서도 파악할 수 없는 경우, 또는 손상을 장기간 관측할 필요성이 있는 경우에 비정기적으로 실시한다

연구결과

■ **점검 항목 및 사용장비**

○ 점검 종류 및 사용장비
- 아래 표는 정기점검, 정밀점검, 긴급점검 및 추적조사에 따른 점검 장비를 나타 및 점검 내용에 따라 사용되는 장비를 나타낸 것이다
- 전단항복형 강재댐퍼 점검시 아래 표와 같은 점검장비를 사용하도록 한다

[점검종류에 따른 점검장비]

점검종류	점검장비
정기점검	육안 점검 및 일상적인 휴대 장비/접근 장비 이용
정밀점검	일상적 휴대장비, 접근장비 및 간단한 비파괴 점검장비
긴급점검	일상적 휴대장비, 접근장비 및 비파괴 점검장비를 포함한 각종 정밀 계측 장비
추적조사	비파괴 점검장비 및 계측 장비

(계속)

[점검내용에 따른 점검장비]

점검내용	점검장비
표면균열 탐지	자기입자 탐사기, 초음파 탐사기, 염료 침투법, 와동전류법
내부 결함 탐지	초음파 탐사기, AE장비, 방사선 투과기
용접부 결함	방사선 투과기, 초음파 탐사기
피로 균열 탐사	자기입자 탐사기, 염료 침투법, 초음파 탐사기
응력부식 탐사	자기입자 탐사기, 염료 침투법
투께 검사	초음파 탐사기, 방사선 탐사기

연구결과

○ 정기점검

- 정기점검은 손상의 조기 발견을 도모하기 위해 정기적으로 실시하는 육안 점검을 말하며, 2년에 1회 이상 실시한다. 전단항복형 강재댐퍼의 경우 댐퍼에 발생되는 균열, 강재 균열, 볼트풀림, 도장파손에 대하여 측정한다

[정기점검 종류]

정검종류	유형	점검항목	정검장비
육안점검	댐퍼 균열	- 댐퍼표면에 균열발생 상태 - 접합부의 균열발생 상태	확대경, 줄자 사진기를 이용한 육안관측
	강재 균열	- 상·하부 접합재에 대한 균열발생 상태	
	볼트풀림	- 댐퍼와 상·하부 볼트의 조임력이 풀린 상태 - 모재와 접합부의 밀착상태	
	부식	- 부재표면의 부식발생 상태 - 접합부의 부식발생 상태	
	도장파손	- 부재표면의 부식상태 발생 - 접합부의 도장파손 상태	

○ 정밀점검

- 정밀점검은 육안검사로 측정하기 어려운 부분을 전문적인 점검장비를 통해 구조물의 안정성을 확보하기 위해 정기적으로 실시하는 점검을 말하며, 5년에 1회 이상 실시한다
- 전단항복형 강재댐퍼의 정밀점검은 자기탐상검사, 방사선 투과법 및 초음파 탐상법을 이용하며 댐퍼표면 균열, 용접부 결함, 강재 부식 및 케미컬 앵커 파손 상태에 대하여 측정한다

(계속)

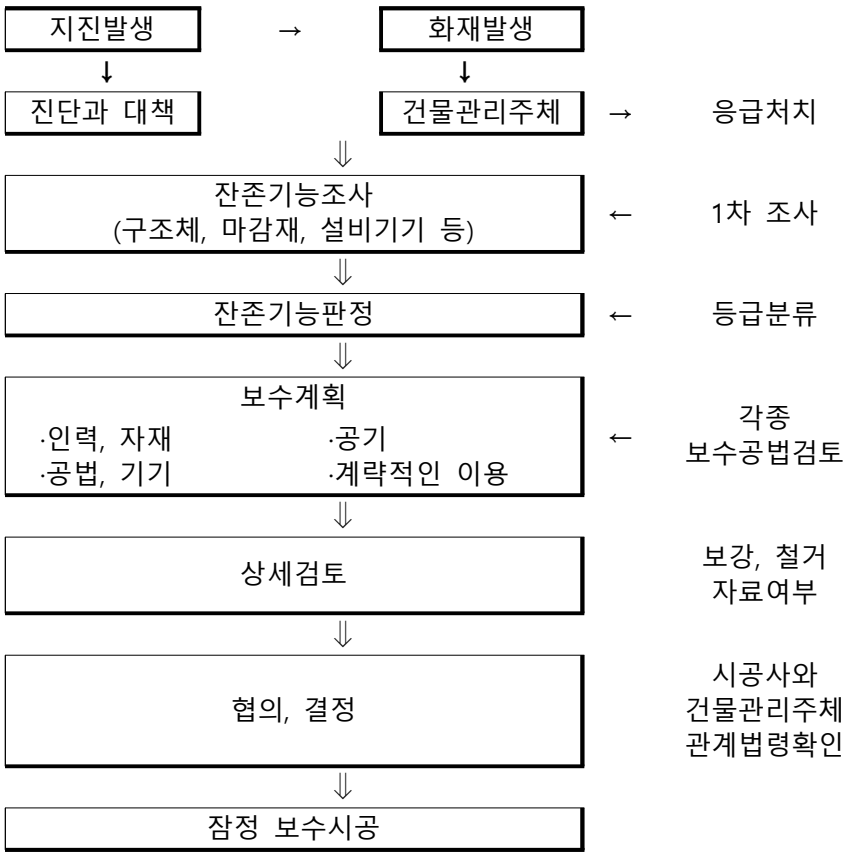
[정밀점검 종류]

정검종류	유형	점검항목	정검장비
자기탐상검사	댐퍼표면 균열	- 강재의 균열 언더컷 발생 여부 - 누수여부	휴대용 자분 탐상기
방사선 투과법	용접부 결함	- 용착금속부 균열 여부 - 용접부 피트 발생 여부 - 용접부 블로우 홀 발생 여부	X-ray, γ-ray 장비
	강재 부식	- 강재의 내부 부식상태	
	케미컬 앵커 파손	- 케미컬 앵커 파손 상태	
초음파 탐상법	용접부 결함	- 용접부의 목두께 확보 여부 - 용접 적정소요길이 확보 여부	초음파 탐상기

연구결과

■ **지진 후 점검 방법**

- 아래 그림은 지진피해점검 흐름도를 나타낸 것으로 응급처지, 1차 조사, 등급분류, 각종 보수공법 검토, 보강, 철거 자료여부 및 시공사와 건물관리주체 관계법령확인 후 보수시공을 실시한다
- 아래 표는 지진피해에 따른 등급분류를 나타낸 것으로 피해등급에 따라 무피해, 소파, 중파, 대파, 반괴 및 전괴 총 5등급으로 나눠 등급분류를 실시한다



[지진피해점검 흐름도]

(계속)

연구결과

[지진피해 등급분류(Classification of Earthquake-Damage Level)]

피 해 등 급		피 해 상 황
0	무피해 · 경미	- 기둥 · 보 · 내력벽 등의 구조체, 비내력벽 등의 2차부재 모두 손상이 대부분 없거나 있어도 경미한 것
I	소 파	- 구조체의 손상은 비교적 경미하지만 2차 부재에 휨 또는 전단균열이 있는 것. 구조내력상은 지장이 없다고 생각되나 건물 사용상 2차 부재의 보수가 필요하다고 생각되는 것
II	중 파	- 구조체에 휨 또는 전단균열이 보이고, 더욱이 2차 부재와 함께 굴뚝 · 연결복도 등 부속 부분에 파괴가 보이는 것. 부분적인 구조체의 보수 또는 보강이 필요하다고 생각되는 것
III	대 파	- 구조체에 휨 또는 전단파괴가 보이고 내력이 현저히 저하되었다고 생각되는 것. 대규모의 보수 · 보강 또는 철거가 필요하다고 생각되는 것
IV	반 괴	- 건물의 상당 부분이 거의 원형을 회복할 수 없을 정도로 파괴된 것
	전 괴	- 건물 전체가 원형을 거의 회복할 수 없을 정도록 파괴되어 건물 전체 또는 일부가 붕괴한 것, 철거가 필요하다고 생가되는 것

■ **피해상황 분류 및 대책**

- 아래 표는 지진피해 상황에 따른 강재댐퍼의 대책을 나타낸 것이며, 지진발생시 건물의 피해여부 및 강재댐퍼의 손상여부에 따라 아래 표와 같이 보수 · 보강을 실시한다
- 지진으로 인해 피해상황에 대하여 구조물의 붕괴, 댐퍼의 손상 여부등을 면밀하게 파악하고 점검해야 한다
- 지진 피해를 받은 건물의 내진 성능 진단 및 판정도는 이전의 기존 건물의 진단 및 판정 기법을 적용한다
- 설계지진의 1/3 정도의 지진을 경험할 경우 비선형 거동한 강재댐퍼의 변형정도에 따라 교체여부 판단한다. 교체시 아래 그림과 같이 완제품인 강재댐퍼와 상하부 접합부에 연결된 볼트를 풀고 교체를 실시한다

[지진피해 상황에 따른 대책]

분 류	대 책
도 괴 (전괴 또는 반괴)	- 기둥 · 내력벽 등이 붕괴, 건물 전체 또는 일부가 파손되는 경우 강재댐퍼는 철거한 후 내진성능평가를 재실시한다.
도 파	- 기둥이 휨 또는 전단에 의해 파괴되어 건물의 일부가 연직하중에 대한 내력을 잃는 경우 강재댐퍼의 손상여부를 판단하여 다른 개소에 재설치한다. - 부분적으로 기둥 · 내력벽의 전단파괴 또는 기둥의 압축파괴를 일으키지만 건물 전체로는 연직 · 수평 모두 내력의 저하는 현저하지 않은 경우 강재댐퍼의 손상여부를 판단하여 댐퍼를 교체하거나 샛기둥을 교체하여 보수 · 보강을 실시하도록 한다.
소 파	- 구조체, 특히 보 · 기둥에 육안으로 쉽게 보이는 휨 또는 전단균열을 일으키는 경우 강재댐퍼의 손상여부를 판단하여 댐퍼를 교체한다. - 마감부위에 결함이 발생한 경우 마감부위를 재설치한다.
무 피 해	- 자세히 보면 균열이 조금 있는 경우 보수공사는 불필요하다. - 강재댐퍼의 경우 손상이 있는 경우 교체를 실시한다.

(계속)

연구개발 수행내용	D-1 시공 지침서 (전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 유지관리 방법)
연구결과	 [댐퍼 교체 모식도] **【강재댐퍼 내진보강 시공지침】**의 시공 지침서는 **【질적성과지표인 전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 유지 관리방법(댐퍼유닛 교체 판정을 위한 상시점검, 지진후 점검방법 포함) 시공지침서】**을 만족하였음

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 저비용 고효율의 댐퍼유닛 개발

- 강재 댐퍼는 해외기술(저항복점 강재) 및 고가의 일반구조용 등의 국산강재가 사용되고 있음
- 이에 대해 **본 연구에서는 저가로 입수가능한 일반용 열간압연 강재(SPHC)를 이용하여 댐퍼를 적용하여 구조실험과 유한요소해석을 통해 구조성능을 검증**하였음
- 또한, 댐퍼의 패널부에 **십자형 스티프너를 보강하는 방법을 검토하여, 항복내력과 초기강성을 유지하며 변형성능이 대폭 증가하는 방안을 도출**하였음

○ 댐퍼유닛과 샛기둥(간주)의 상호작용을 고려한 모듈시스템 개발

- 기존 기술은 품질확보와 유지관리가 어려운 내력벽증설 내진보강공법과 가새형(브레이스)보강 내진보강공법이 주를 이루는 상황에서 **공간기능 확보와 교체가 용이하여 유지관리성능이 우수한 모듈시스템을 개발**하였음
- 이에 대해 **댐퍼유닛과 간주의 초기강성 등의 상호작용을 고려하여 설계법을 제시하였고, 구조실험과 유한요소해석을 통해 정합성을 입증**하였음

○ 취약 부위인 댐퍼모듈시스템과 기존건축물 간 접합부의 상세 및 공법 개발

- 노후화에 의한 재료강도 및 구조성능이 저하된 기존 건축물과 제진보강의 접합부위는 취약한 부위이며 지진발생 시 응력집중에 의해 손상의 가능성이 큼
- 본 연구에서는 위의 **댐퍼유닛 또는 모듈시스템의 용량 및 강성에 적합한 접합상세 및 접합공법(설계법 포함)을 건물내 위치별(최저층, 중간층, 최상층)로 개발하였으며, 유한요소해석과 구조실험을 통해 구조성능을 검증·입증**하였음

○ 효율적 내진보강 설계 및 시공성 확보를 위한 설계지침서/시공지침서 제시

- 최근 급증하는 지진위험성 증가와 이에 따른 공공 건축물의 내진안전성 향상이 요구되고 공공 건축물 대한 내진보강 예산 투입 현 상황에서 위와 같은 **저비용 고효율의 내진보강공법을 개발하고 합리적인 내진보강 설계 및 시공성 제고를 위해 설계 지침서와 시공 지침서를 제시**하였음
- 최종적으로 제시한 **설계지침서를 토대로 예제 건축물에 대해 지진응답실험을 통해 제안기술의 목표성능을 검증**하였음

(2) 정량적 연구개발성과

○ 질정성과지표 : 댐퍼유닛 설계기법 도출 댐퍼유닛 구조성능 평가(내구성능 검증포함)

- 초기강성 및 항복 내력의 설계값 **질적성과지표(실험값 대비 오차 ±10%)**에 대해 변형이론을 이용한 초기강성 설계식을 제시하였고, 재하진폭, 댐퍼의 강종 등을 실험변수로 한 **댐퍼유닛의 일정진폭 반복가력실험(실험체:9개)과 내구성검증실험(실험체:2개)를 통해 모든 실험체는 위의 질적 성과지표를 만족하는 것을 확인**하였음
- **댐퍼 유닛의 내구성검증**에 대해 KBC 2016에서 제시하는 감쇠장치의 시험(풍하중 재하후, 지진하중재하)의 실험에 대해 2개의 시험체(스티프너 보강유무)를 제작하여 수행하였으며, 시험체 중, **스티프너를 보강한 시험체가 성능을 만족**하였음(단, 스티프너를 보강하지 않은 시험체는 연구 분석 및 비교용으로 제작함)

○ **질정성과지표 : 댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출**

- 댐퍼 항복시작 층간변위비 설계값 **질적성과지표(실험값 대비 오차 ±10% 미만)**에 대해 변형이론을 이용한 댐퍼유닛과 간주의 변위비와 소성해석을 이용한 댐퍼의 전소성전단내력관계를 이용하여 목표층간변위비의 설계방법을 제시하였고, **모듈시스템의 일정진폭 반복가력실험(실험체:2개)을 통해 모든 실험체는 위의 질적 성과지표를 만족하는 것을 확인**하였음
- 또한, **위 실험결과의 댐퍼의 이력거동에 대해 댐퍼유닛의 일정진폭반복가력 실험결과와 비교하여 질적성과지표(모듈시스템 내 댐퍼 유닛 요소와 동일한 성능 만족)임을 확인**하였음

○ **질정성과지표 : 댐퍼 접합부 설계기법 도출 및 구조성능평가(모듈시스템의 베이스플레이트)**

- 모듈시스템과 기존 건축물 간 접합부의 중요 구성요소인 **모듈시스템의 베이스플레이트와 앵커볼트에 대해 유한요소해석을 통한 항복선이론을 적용하여 검토**하였음
- 베이스플레이트 두께와 엥커볼트의 간격을 변수로 4개의 시험체(비교대상 포함)를 제작한 구조성능 실험에서는 베이스플레이트가 두껍고, 엥커볼트의 간격이 좁은 시험체 2개가 **질적성과지표(접합부 최대내력 댐퍼 내력 대비 20% 초과 및 댐퍼 최대내력시 탄성상태 유지)**를 만족하였음
- 또한, 시**험결과를 추적하는 유한요소 해석을 통해 설계법에 대한 정합성 검증과 베이스 플레이트의 설계 권고사항을 도출**하였음

○ **질정성과지표 : 댐퍼 접합부 설계기법 도출 및 구조성능평가(접합부의 관통앵커 접합)**

- 취약부위인 접합부에 대해 유한요소해석을 통해 접합부 상세 및 공법(슬래브 관통형)을 건물내 위치별(최저층, 중간층, 최상층)로 제시하였음
- 구조성능 실험에서는 최하층과 최상층에 적용되는 접합부에 대해 관통앵커의 위치 및 베이스플레이트의 크기를 실험변수로 5개의 시험체를 제작하여 구조성능평가를 수행하였음
- 시험결과로서 2개의 시험체는 **질적성과지표(접합부 최대 내력 댐퍼 내력 대비 20% 초과 및 댐퍼 최대내력시 탄성상태 유지)**를 만족하였음

○ **질정성과지표 : 시공지침 및 설계지침**

- 위 실험결과를 이용하여 댐퍼와 모듈시스템에 대해 시작품 설계안을 도출하였으며, 이를 바탕으로 시작품을 제작하였음. **제작한 시제품은 각부위(부재)의 설계칫수에 대해 질적성과지표(제작 오차 ±5% 미만)를 만족**하였음
- 제안기술을 반영한 설계지침을 제시하여, 이를 바탕으로 한 예제 건축물에 대해 지진응답해석을 실시하여 **본 과제의 최종목표(기존건축물 대비 초기강성 20%향상과 층간변위비 40%이상 저감)**를 만족하는 것을 확인하였음

○ **양적성과지표**

- 연구 내용에 대해
  1) **논문** : **비SCI논문 3건**, **SCI논문 2건**으로 **목표 비SCI논문 2건, SCI논문 1건 대비 초과달성**하였으며, <u>**추가로 SCI논문 2건을 제출하여 심사 중**</u> 임
  2) **S/W등록** : 1건 달성하여 목표 0건 대비 초과달성하였음
  3) **특허출원 및 등록** : **출원 3건**, **등록 1건**으로 **목표 출원 1건, 등록 1건 대비 초과달성**함
  4) **시제품 제작** : **3건 달성**하여 **목표 3건을 만족**하였음
  5) **지침서 작성** : **2건**(설계, 시공 지침서) 달성하여 **목표 2건을 만족**하였음

위와 같이 **모든 양적성과지표를 달성하였으며, 초과달성**하였음

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	일정진폭 변형을 받는 H형 전단패널 강재댐퍼의 역학특성에 관한 실험 연구	한국강구조학회논문집	김호룡	32권 5호	대한민국	한국강구조학회	비SCIE	2020.10.15	1226-363X	100
2	얇은 절곡단면을 사용한 콘크리트 충전형 합성부재를 위한 관통볼트 단부강판모멘트접합부의 거동	한국강구조학회논문집	엄태성	32권 6호	대한민국	한국강구조학회	비SCIE	2020.12.31	1226-363X	100
3	스티프너 보강 유무에 따른 H형 전단패널 강재댐퍼의 역학특성	한국강구조학회논문집	박해용	제33권 제5호	대한민국	한국강구조학회	비SCIE	2021.10.28	1226-363X	100
4	Flexural tests of concrete-encased composite girders with high-strength steel angle	Journal of Constructional Steel Research	Lim, Jong-Jin	182	-	Journal of Constructional Steel Research	SCIE	2021.03.26	0143-974X	100
5	Behavior of End-Plate Connection with Oversize Holes and Plate Washers for Column Splice	Journal of Structural Engineering	Lim, Jong-Jin	147(12)	미국	American Society of Cicil Engineers	SCIE	2021.12.01	0733-9445	50
6	Behavior of Column Base Connections under Lateral Loading in Interstory Damping System	Journal of Constructional Steel Research	Tae-Sung Eom	심사중	미국	Journal of Constructional Steel Research	SCIE			50
7	Mechanical characteristics of H-shaped shear panel damper fabricated by SPHC steel according to stiffener reinforcement and stud support installation	Structures	Jinwoo Kim	심사중	미국	Structures	SCIE			100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명

□ 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 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	접합부 응력집중을 최소화하는 전단항복형 강재댐퍼를 활용한 제진보강 시스템	대한민국	(주)에이엠에스 엔지니어링	2020.12.15	10-2020-0175587	-	-	-	100	-
2	특허	건물 외부 장착 방식의 내진 보강 공법 및 구조체	대한민국	(주)에이엠에스 엔지니어링	2021.07.01	10-2021-0086620	(주)에이엠에스 엔지니어링	2021.10.28	10-2321433-0000	100	-
3	특허	내진 보강을 위한 감쇠장치 고정장치	대한민국	단국대학교 산학협력단	2021.11.25	10-2021-0164736	-	-	-	100	-

ㅇ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
2	√	√								√	
3	√	√								√	

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	H형 전단패널 댐퍼 설계 프로그램	2020.10.07.	(재)한국건설생활환경시험연구원	2020.10.15.	C-2020-035476	(재)한국건설생활환경시험연구원	100

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

□ 표준화

ㅇ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

ㅇ 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 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	모듈시스템의 상부간주	2021-11-18	우진정밀	(주)에이엠에스 엔지니어링 기업부설 연구소	기존 건축물 내진보강	-	-	-
2	댐퍼유닛	2021-11-18	우진정밀	(주)에이엠에스 엔지니어링 기업부설 연구소	기존 건축물 내진보강	-	-	-
3	모듈시스템의 하부간주	2021-11-18	우진정밀	(주)에이엠에스 엔지니어링 기업부설 연구소	기존 건축물 내진보강	-	-	-

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 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 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (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			제안 기술의 사업화로 관련 내진공법분야의 국·내외 시장확보 및 기술실시/이전을 통한 매출향상 도모		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		5년		
	소요예산(천원)		300,000		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			0	7,000	10,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	-	5.0	10.0
		국외	-	-	3.0
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		다양한 단면형상을 갖는 저비용 고효율 제진장치 개발		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
				7,000	10,000
	수 출		-	-	50,000

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			년	년	
합계					

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	3
		생산인력	-
	개발 후	연구인력	4
		생산인력	-

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 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 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	졸업	2022		2			√		√				

□ 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 (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

[인프라 성과]

□ 연구시설・장비

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

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○ 댐퍼 설계 프로그램 저작권 등록(등록 번호 : C-2020-035476)

- 설계 프로그램의 저작권 등록을 통하여 건축물에 지진에너지에 의한 건축물의 손상 및 붕괴를 방지하기 위한 H형 전단패널 강재댐퍼 설계에 활용할 수 있음.
- 상기 프로그램은 설계 시 단면형상 치수 기입만으로 강재댐퍼의 휨에 의한 변형과 전단에 의한 변형으로 인한 탄성강성값을 산정할 수 있으며, 사용 강재 종류에 따라 주어진 전단변형각에 따른 웨브 및 플랜지 내에 항복 부위를 산정하여 전소성 전단내력을 산정할 수 있음.
- 이러한 기능은 강재댐퍼의 탄성강성 및 전소성 전단내력을 엔지니어가 보다 손쉽게 산정하여 설계 및 항복내력을 예상할 수 있음.

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항 (해당사항 없음)

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 전단항복형 강재댐퍼 유닛요소의 최적화 설계기법 개발 및 실물 성능검증	- 소성해석·변형이론을 이용한 핵심 설계법 확립 - 구조성능 시험을 통한 댐퍼유닛요소 내진성능 검증 - 유한요소해석을 이용한 댐퍼유닛요소의 최적화 응력전달 메커니즘 도출을 위해 댐퍼 유닛의 FEM해석 모델 구축 및 적합성 검증 - 유닛요소 설계법 적합성 검토를 위해 소성해석/변형이론에 의한 전단항복댐퍼 거동과 실험 및 FEM해석 결과 비교를 통한 검증 - 핵심기술 선행연구 조사 - 유닛요소에 대한 내진성능 검증을 통한 설계안 도출 - 유닛요소에 대한 설계안을 토대로 시작품 제작	100
○ 전단항복형 강재댐퍼 모듈 시스템의 목표성능 설계기법 개발 및 실물 성능검증	- 변형이론을 이용한 모듈 시스템 최적설계법 도출 - 구조성능 시험을 통한 모듈시스템 내진성능 검증 - 유한요소해석을 이용한 강재댐퍼 모듈시스템의 응력전달기구와 댐퍼유닛 의 인접 부재(요소)의 상호관계 파악 및 최적화 응력전달 메커니즘을 도출 - 구조성능 시험을 통한 모듈시스템 설계법 적합성 검토 - 모듈시스템 교체성 확보를 위한 지지부재와 기계식 접합의 시작품 설계안 도출 - 모듈시스템 시작품 설계안을 토대로 시작품 제작	100
○ 모듈 시스템과 기존 건축물의 접합공법 개발 및 실물 성능검증	- 모듈시스템과 기존건축물 간 접합부의 중요 구성요소인 베이스플레이트와 엥커에 대해 응력재분배 설계를 통한 설계법제시와 구조실험 및 FEM해석을 통해 적합성을 검토 - 최하층·중간층·최하층의 구조형식별 접합상세 및 공법을 개발하고 구조성능 실험 및 유한요소해석을 통해 검증함	100
○ 제안 공법 적용 건축물의 내진성능 평가	- 전단항복형 강재댐퍼가 사용된 건축물의 내진성능평가 절차 및 모델링 방법을 정립하고, 예제건물에 대한 내진성능평가를 통해 제안된 전단항복형 강재댐퍼의 내진성능 향상 효과를 입증 - 이를 토대로 전단항복 강재댐퍼 모듈시스템을 이용한 내진보강 설계지침을 개발함 - 또한, 시공 및 유지관리 지침을 개발하여 시공성과 품질확보를 제고함	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당사항 없음)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 관련분야의 기여정도

【내진성능 및 내진성능 평가】

- 본 연구에서는 취약한 기존건축물에 대해 맞춤식으로 보강할수 있는 댐퍼유닛 및 모듈 시스템의 설계기법과 더불어 취약부위인 댐퍼모듈시스템과 기존건축물 간 접합상세를 개발하여 구조성능실험과 유한요소 해석을 통해 그 내진성능을 검증하였음
- 제안기술에 대한 설계 지침서의 개발로 인해 제안기술을 활용한 내진성능평가방법의 가이드라인을 제시하였음
- 위와 같은 주요 결과를 활용하여 합리적이고 효율적인 내진보강 및 이에 대한 내진성능평가가 가능할 것으로 사료됨

【내진보강의 품질확보 및 시공성능】

- 품질확보와 유지관리가 어려운 내력벽 증설 내진보강 공법과 가새형 제진 보강공법이 주로 이용되는 기존 공법은 교체와 유지관리가 매우 어렵고 이에 따른 비용증가와 공간기능 저하에 따른 미관·통풍·채광의 문제점을 가지고 있음
- 위와 같은 문제점을 해결할 수 있는 제안 기술은 샛기둥 지지방식이므로 공간확보가 가능하여 미관·통풍·채광에 유리함
- 지진발생시 손상되는 강재댐퍼만을 교체하여 유지관리가 용이하며, 각부재를 분절하여 기계식 접합하므로 시공성능의 향상을 도모함

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

내용	활용 방안
효율적 상용화	본 연구에서는 단계적 검증을 통해 효율적 상용화를 촉진함 ▪ 최적화 설계기법 개발의 Cross-check를 통한 설계기법의 신뢰성 입증 ▪ 구조성능 시험을 통한 제안 제진시스템의 정량적 보유성능파악 ▪ 제안공법 적용 최적화 지진응답 해석을 이용한 내진성능 검증과 댐퍼 유닛의 보유변형성능과 필요변형성능 비교를 통한 현장 사용 가능성을 입증
제안 공법 기술 수요처 확대	제안 내진보강공법은 저비용·공간기능 확보·유지관리 용이 등의 장점이 있으며 이에 따른 기술수요처의 확대가 예상됨 ▪ 낮은 내진율의 공공 건축물 (2016년 기준 35%) ▪ 중요도가 높은 학교건축물과 공공시설물 ▪ 주거환경 향상을 필요로 하는 민간 공공주택
제진부재 평가인증제도 유도	본연구개발을 통해 제진장치의 성능평가 및 인증(시험규격·표준 전무)을 위한 평가 인증제도를 유도함 ▪ 구조성능 시험평가를 통한 제진부재의 정량적 내진성능평가 항목 제시 ▪ 시험방법론 분석과 시험결과 분석을 통한 필수 요소 도출
제안 기술 사업화	▪ 참여기업의 주요사업 분야인 내진공법 분야에 시장확보가 가능 ▪ 기존 시설물에 대한 내진보강공법에 적극적으로 참여하여 판로를 개척함과 동시에 협력업체를 활용하여 기술실시 및 이전을 통하여 매출향상을 도모
지식재산권의 보호 및 타 연구연계	▪ 자체적으로 특허 출원 및 등록을 통한 지식재산권 보호할 예정 ▪ 본연구에서 도출된 TRL3~7단계의 체계적인 결과를 활용하여 기술사업화 과제에 제출할 예정

< 별첨 >

별첨 자료
1. 참고문헌(연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용에 포함)
2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

< 성과점검기준표(실적) >

1. 총괄

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물			성과점검기준								양적성과 현황				
						질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	해당 기관	예산 (백만원)	목표치	달성치	시스템 내 성과 입력		가중치
																완료	미완료	
주관+공동	A	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 설계기법	A-1	댐퍼 유닛 설계기법 도출	①	초기강성 및 항복 내력 실험값 대비 오차 ±10%	1건	100%	설계안 도출 여부	댐퍼 유닛 최적 설계안 보고서	10	KCL+단국대	17	논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 2건 시제품 : 3건	논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 2 건 시제품 : 3건 S/W : 1건	논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 2 건 시제품 : 3건 S/W : 1 건	–	10
					②	초기강성 및 항복 내력 설계값 대비 오차 ±10%	1건	100%	구조성능 실험	구조성능 검증 실험 및 보고서	5	KCL+단국대	15					5
			A-2	댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출	①	댐퍼 항복시작 층간변위비 실험값 대비 오차 ±10% 미만	1건	100%	설계안 도출 여부	댐퍼 모듈시스템 최적 설계안 보고서	10	KCL+단국대	15					10
					②	댐퍼 항복시작 층간변위비 설계값 대비 오차 ±10% 미만	1건	100%	구조성능 실험	구조성능 검증 실험 및 보고서	5	KCL+단국대	20					5
			A-3	댐퍼 접합부 설계기법 도출	①	접합부 최대 내력 댐퍼 내력 대비 20% 초과	1건	100%	설계안 도출 여부	댐퍼 접합부 최적 설계안 보고서	5	KCL+단국대+AMS	10					5
					②	댐퍼 유닛 최대 내력 시 접합부 탄성 유지	1건	100%	구조성능 실험	구조성능 검증 실험 및 보고서	5	KCL+단국대+AMS	20					5
주관	B	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 내진성능 평가	B-1	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 구조성능 평가	①	KBC 2016 감쇠장치 내구성능 만족	1건	100%	구조성능 실험	댐퍼 유닛 구조성능(내구성능 포함) 공인 시험성적서	5	KCL	8					5
					②	모듈시스템 내 댐퍼 유닛 요소와 동일한 성능 만족	1건	100%	구조성능 실험	댐퍼 모듈시스템 구조성능 공인 시험성적서	5	KCL	8					5
					③	접합부 최대 내력 댐퍼 내력 대비 20% 초과	1건	100%	구조성능 실험	댐퍼 접합부 구조성능 공인 시험성적서	5	KCL	10					5
			B-2	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품	①	제작 오차 ±5% 미만	1건	100%	시작품 실물	댐퍼 유닛 시작품	5	KCL	23					5
					②	제작 오차 ±5% 미만	1건	100%	시작품 실물	댐퍼 모듈시스템 시작품	5	KCL	23					5
					③	제작 오차 ±10% 미만	1건	100%	시작품 실물	댐퍼 접합부 시작품	5	KCL	23					5
공동	C	강재댐퍼 내진보강 설계 지침	C-1	설계 지침서	①	전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 해석방법 설계 지침서	개발 완료	100%	전문가 검증	전문가 자문 및 설문 (자문회의 개최 및 지침서 적용성 평가)	5	단국대	49.4	논문(비SCI) : 1건 논문(SCI) : 1건	논문(비SCI) : 1건 특허 : 출원 1건	논문(비SCI) : 1건 논문(SCI) : 2건	–	5
					②	강재댐퍼 보강 건축물의 해석 및 설계 방법 설계 지침서	개발 완료	100%	전문가 검증	전문가 자문 및 설문 (자문회의 개최 및 지침서 적용성 평가)	10	단국대	65					10
공동	D	강재댐퍼 내진보강 시공 지침	D-1	시공 지침서	①	전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 시공 방법 시공 지침서	개발 완료	100%	전문가 검증	전문가 자문 및 설문 (자문회의 개최 및 지침서 적용성 평가)	5	AMS	81.6	특허 : 출원 1건 등록 1건	특허 : 출원 2건 등록 1건	특허 : 출원 3건 등록 1건	–	5
					②	전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 유지관리 방법 (댐퍼유닛 교체 판정을 위한 상시점검, 지진후 점검방법 포함) 시공 지침서	개발 완료	100%	전문가 검증	전문가 자문 및 설문 (자문회의 개최 및 지침서 적용성 평가)	10	AMS	106					10
계						–	–	100%	–	–	100	–	494	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문(SCI) : 1건 논문(비SCI) : 3건 시제품 : 3건 S/W : 0건	특허 : 출원 3건 등록 1건 논문(SCI) : 2건 논문(비SCI) : 3건 시제품 : 3건 S/W : 1건	특허 : 출원 3건 등록 1건 논문(SCI) : 2건 논문(비SCI) : 3건 시제품 : 3건 S/W : 1건	논문(SCI) : 2건 (심사중)	100

2. 1차연도

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준									양적성과 현황				
						질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	해당 기관	예산 (백만원)	목표치	달성치	시스템 내 성과 입력		가중치
																완료	미완료	
주관+공동	A	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 설계기법	A-1	댐퍼 유닛 설계기법 도출	①	초기강성 및 항복 내력 실험값 대비 오차 ±10%	1건	100%	설계안 도출 여부	댐퍼 유닛 최적 설계안 보고서	10	KCL+ 단국대	17	논문(비SCI) : 1건 S/W : 0건	논문(비SCI) : 1건 S/W : 1건	논문(비SCI) : 1건 S/W : 1건	-	10
					②	초기강성 및 항복 내력 설계값 대비 오차 ±10%	1건	100%	구조성능 실험	구조성능 검증 실험 및 보고서	5	KCL+ 단국대	15					5
			A-2	댐퍼 모듈시스템 설계기법 도출	①	댐퍼 항복시작 층간변위비 실험값 대비 오차 ±10% 미만	1건	100%	설계안 도출 여부	댐퍼 모듈시스템최적 설계안 보고서	10	KCL+ 단국대	15					10
					②	댐퍼 항복시작 층간변위비 설계값 대비 오차 ±10% 미만	1건	100%	구조성능 실험	구조성능 검증 실험 및 보고서	5	KCL+ 단국대	20					5
주관	B	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 내진성능 평가	B-1	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 구조성능 평가	①	KBC 2016 감쇠장치 내구성능 만족	1건	100%	구조성능 실험	댐퍼 유닛 구조성능(내구성능 포함) 공인 시험성적서	5	KCL	8					5
					②	모듈시스템 내 댐퍼 유닛 요소와 동일한 성능 만족	1건	100%	구조성능 실험	댐퍼 모듈시스템 구조성능 공인 시험성적서	5	KCL	8					5
공동	C	강재댐퍼 내진보강 설계 지침	C-1	설계 지침서	①	전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 해석방법 설계 지침서	개발 완료	100%	전문가 검증	전문가 자문 및 설문 (자문회의 개최 및 지침서 적용성 평가)	5	단국대	49.4	논문(비SCI) : 1건	논문(비SCI) : 1건	논문(비SCI) : 1건	-	5
공동	D	강재댐퍼 내진보강 시공 지침	D-1	시공 지침서	①	전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 시공 방법 시공 지침서	개발 완료	100%	전문가 검증	전문가 자문 및 설문 (자문회의 개최 및 지침서 적용성 평가)	5	AMS	81.6	특허 : 출원 1건	특허 : 출원 1건	특허 : 출원 1건	-	5
계						-	-	100%	-	-	50	-	214	특허 : 출원 1건 논문(비SCI) : 2건 S/W : 0건	특허 : 출원 1건 논문(비SCI) : 2건 S/W : 1건	특허 : 출원 1건 논문(비SCI) : 2건 S/W : 1건	-	50

3. 2차연도

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준									양적성과 현황				
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	해당 기관	예산 (백만원)	목표치	달성치	시스템 내 성과 입력		가중치
																완료	미완료	
주관+공동	A	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 설계기법	A-3	댐퍼 접합부 설계기법 도출	①	접합부 최대 내력 댐퍼 내력 대비 20% 초과	1건	100%	설계안 도출 여부	댐퍼 접합부 최적 설계안 보고서	5	KCL+단국대+AMS	10	논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 1건 시제품 : 3건	논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 1건 시제품 : 3건	논문(SCI) : 건 논문(비SCI) : 1건 시제품 : 3건	-	5
					②	댐퍼 유닛 최대 내력 시 접합부 탄성 유지	1건	100%	구조성능 실험	구조성능 검증 실험 및 보고서	5	KCL+단국대+AMS	20					5
주관	B	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 내진성능 평가	B-1	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 구조성능 평가	③	접합부 최대 내력 댐퍼 내력 대비 20% 초과	1건	100%	구조성능 실험	댐퍼 접합부 구조성능 공인 시험성적서	5	KCL	10					5
			B-2	댐퍼 유닛, 모듈시스템, 접합부 시작품	①	제작 오차 ±5% 미만	1건	100%	시작품 실물	댐퍼 유닛 시작품	5	KCL	23					5
					②	제작 오차 ±5% 미만	1건	100%	시작품 실물	댐퍼 모듈시스템 시작품	5	KCL	23					5
					③	제작 오차 ±10% 미만	1건	100%	시작품 실물	댐퍼 접합부 시작품	5	KCL	23					5
공동	C	강재댐퍼 내진보강 설계 지침	C-1	설계 지침서	②	강재댐퍼 보강 건축물의 해석 및 설계 방법 설계 지침서	개발 완료	100%	전문가 검증	전문가 자문 및 설문 (자문회의 개최 및 지침서 적용성 평가)	10	단국대	65	논문(비SCI) : 건 논문(SCI) : 1건	논문(비SCI) : 건 논문(SCI) : 2건 특허 : 출원 1건	논문(비SCI) : 1건 논문(SCI) : 2건	-	10
공동	D	강재댐퍼 내진보강 시공 지침	D-1	시공 지침서	②	전단항복형 강재댐퍼유닛 및 모듈시스템 유지관리 방법 (댐퍼유닛 교체 판정을 위한 상시점검, 지진후 점검방법 포함) 시공 지침서	개발 완료	100%	전문가 검증	전문가 자문 및 설문 (자문회의 개최 및 지침서 적용성 평가)	10	AMS	106	특허 : 출원 0건 등록 1건	특허 : 출원 1건 등록 1건	특허 : 출원 2건 등록 1건	-	10
계						-	-	100%	-	-	40	-	174	특허 : 출원 0건 등록 1건 논문(SCI) : 1건 논문(비SCI) : 1건 시제품 : 3건	특허 : 출원 2건 등록 1건 논문(SCI) : 2건 논문(비SCI) : 2건 시제품 : 3건	특허 : 출원 2건 등록 1건 논문(SCI) : 2건 논문(비SCI) : 2건 시제품 : 3건	-	50

첨부 1. 성과 증빙-논문(비SCI)

논문 1

Journal of Korean Society of Steel Construction
Vol.32, No.5, pp.321-330, October, 2020

ISSN(print) 1226-363X ISSN(online) 2287-4054
DOI http://dx.doi.org/10.7781/kjoss.2020.32.5.321

일정진폭 변형을 받는 H형 전단패널 강재댐퍼의 역학특성에 관한 실험 연구

김호룡[1] · 김성보[2] · 엄태성[3] · 김재환[4] · 김진우[5*]
[1]선임연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 내진센터, [2]교수, 충북대학교, 토목공학부, [3]부교수, 단국대학교 건축공학과,
[4]대표이사, AMS 엔지니어링, [5]선임연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 내진센터

Experimental Study on Mechanical Characteristics of H-Type Shear Panel Steel Damper Under Constant Amplitude Deformation

Kim, Ho Ryong[1], Kim, Sung Bo[2], Eom, Tae Sung[3], Kim, Jae Hwan[4], Kim, Jin Woo[5*]
[1]Senior Researcher, Seismic Safety Center, Korea Conformity Laboratories, Cheongju, 28115, Korea
[2]Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea
[3]Associate Professor, Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin, 16890, Korea
[4]CEO, AMS Engineering Co., Ltd., Daejeon, 34077, Korea
[5]Senior Researcher, Seismic Safety Center, Korea Conformity Laboratories, Cheongju, 28115, Korea

Abstract - In this study, a constant-amplitude cyclic loading test was conducted to confirm the mechanical characteristics of the H-shaped shear panel damper using SS235 grade on the panel part. As a result, all specimens show a stable spindle-shaped hysteresis curve, and the strength was deteriorated due to the out-of-plane deformation on the panel part. It was confirmed that the calculation formula of elastic stiffness and full plastic shear strength using deformation theory and plastic analysis were evaluated well compared with the experimental results. Also, the AIJ guideline classifies the experimental data of H-type shear panel dampers(panel material: SN steel or Low-yield-point steel) under a constant amplitude deformation into normalized plate width ratio of the panel and shows a fatigue curve based on Manson-coffin's law. In this study, the fatigue performance of the specimen (normalized plate width ratio: 0.500) was identified, and it was confirmed that it was less than the fatigue curve of the normalized plate width ratio suggested in the AIJ guidelines.
Keywords - Shear type damper, H-shaped section, Constant-amplitude cyclic loading test, Elasto-plastic behavior, Deformation capacity

1. 서 론

지진에 의한 건축물의 내진 안전성을 향상시키는 방법으로 제진장치를 이용한 제진공법의 개발 및 연구가 다수 수행되고 있다[1]-[6]. 제진공법은 건축물내에 지진에너지 흡수부재(제진장치)를 적절하게 배치하는 것으로 지진에 의한 건축물의 응답속도 및 응답변위를 제어한다. 지진에너지 흡수부재의 한 종류인 강재를 이용한 이력형 댐퍼는 강재의 소성변형에 의해 지진에너지를 흡수하며 기둥·보 등의 주요부재에 발생하는 작용력을 감소시킨다. 이 때문에 이력형 댐퍼는 주요부재보다 높은 강성으로 선행항복하여 소성변형할 수 있는 성능이 요구되며 이러한 성능을 예측하고 검증하는 것이 중요하다. 이력형 댐퍼는 강재가 항복하는 형식에 따라 축항복형과 전단항복형으로 분류되며[7], 이 중 전단항복형 댐퍼의 설치개요를 Fig. 1에 나타냈다. 전단항복형 댐퍼는 댐퍼를 지지하는 부재의 형식에 따라 브레이스 지지형식, 벽 패널 형식, 간주 지지형식 등이 있으며[8]-[10], 댐퍼의 전

Note -Discussion open until April 30, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on September 14, 2020; revised September 25, 2020; approved on October 05, 2020.
Copyright © 2020 by Korean Society of Steel Construction
*Corresponding author.
Tel. +82-43-210-8961 Fax. +82-43-210-8919
E-mail. kimjinwoo@kcl.re.kr

실시하여 댐퍼의 요구변형성능을 도출하고 보유변형성능과의 비교를 통해 댐퍼로서의 적용 가능성을 검토하는 내용의 후속 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(20CTAP-C157615-01)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌(References)

[1] Malley, J.O., and Popov, E.P. (1983) *Design Considerations for Shear Links in Eccentrically Braced Frames*, UCB/EERC-83/24, Earthquake Engineering Research Center (University of California, Berkeley), USA.
[2] Tsai, K.-C., Hsiao, P.-C., Lin, S.-L., and Lin, K.-C. (2006) Overview of the Hybrid Tests of a Full Scale 3-Bay 3-Story CFT/BRB Frame, *Proceedings of the 4th International Symposium of Steel Structures*, KSSC, Korea, pp.73-84.
[3] Oh, S.H., Choi, K.Y., and Ryu, H.S. (2012) Structural Performance Evaluations of Steel Hysteretic Damper in Series for High-Rise Shear Wall System, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No.4, pp.371-382 (in Korean).
[4] Youn, I., Kim, C.H., Do, C.G., and Jang, W. (2017) A Study on the Structural Performance of Steel Plate Damper, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.29. No.2, pp.159-167 (in Korean).
[5] Shin, H.-M., Lee, H.D., and Shin, K.J. (2018) Seismic Performance Evaluation of Building with Piloti Using Steel Stilt Damper, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.30. No.5, pp.265-276 (in Korean).
[6] Jung, S.J., Jang, J.H., Choi, S.W., and Choi, J.H. (2019) Effect of Gap Between Cover-Plates of Buckling Resistance Steel Damper, *Proceedings of 2019 Annual Conference Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.51-52 (in Korean).
[7] Architectural Institute of Japan (2014) *Recommended Provisions for Seismic Damping Systems applied to Steel Structures*, AIJ, Japan (in Japanese).
[8] Kuwahara, S., Tada, M., Yoneyama, T., and Imai, K. (2013) A Study on Stiffening Capacity of Double-Tube Members, *Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)*, Architectural Institute of Japan, Vol.445, No.445, pp.151-158 (in Japanese).
[9] Kawai, Y., Tohnai, S., Kaibara, H., Sato, A., and Ono, T. (2020) Shear Resistance Mechanisms of High-Panelized Sheet Walls with Burring Holes, *Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)*, Architectural Institute of Japan, Vol.85, pp. 275-285 (in Japanese).
[10] Kim, J., Kuwahara, S., Hatanaka, Y., Miyagawa, K., Kitamura, W., and Kinoshita, T. (2016) Mechanical Behavior of Shear Type Steel Damper Using Low Yield Strength Circular Hollow Section Supported by Stud Column, *Journal of Structural Engineering B*, Architectural Institute of Japan, Vol.62B, pp.441-448 (in Japanese).
[11] Miyama, T., Tanaka, K., Meng, L., and Hirasawa, M. (1994) Study of the Passive Control Building with Low Yield Point Steel Damper: Part 3, The Cyclic Loading Test of Shear Type Dampers, *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan: B, Stuctures I*, AIJ, pp.1043-1044 (in Japanese).
[12] Sato, T., Wada, A., Okuta, K., Kuribayashi, H., Inaba, T., and Maeda, Y. (1999) Dynamic Loading Test of Shear Panel Using Low-Yield-Point Steel, *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan: B-2, Structures II*, AIJ, pp.941-942 (in Japanese).
[13] Shimawaki, Y., Ohi, K., Takanashi, K., Kondo, H., Tanaka, K., and Sasaki, Y. (1996) Study on the Vibration Properties of a Steel Building Model with Hysteresis Dampers: Part 1, The Cyclic Loading Test of Shear Type Damper Using Low Yield Point Steel, *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan: C-1, Structures III*, AIJ, pp.795-796 (in Japanese).
[14] Tanaka, K., Sasaki, Y., and Yoneyama, S. (1999) An Experimental Study on Hysteretic Performance of Shear Panel Dampers Using Different Strength Type of Steel Under Static Loading, *Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)*, Architectural Institute of Japan, Vol.64, No.520, pp.117-124 (in Japanese).
[15] Tamai, H. (2015) On Damage Factor of Shear Panel

논문 2

Journal of Korean Society of Steel Construction
Vol.32, No.6, pp.405-416, December, 2020

ISSN(print) 1226-363X ISSN(online) 2287-4054
DOI http://dx.doi.org/10.7781/kjoss.2020.32.6.405

얇은 절곡단면을 사용한 콘크리트 충전형 합성부재를 위한 관통볼트 단부강판모멘트접합부의 거동

엄태성[1] · 임종진[2*] · 이정민[3]
[1]부교수, 단국대학교, 건축학부, [2]차장, 센텍스, [3]석사과정, 단국대학교, 건축학부

Behavior of End Plate Moment Connection with Through Bolts for Concrete Filled Composite Members with Thin-Walled Sections

Eom, Tae Sung[1], Lim, Jong Jin[2*], Lee, Jung Min[3]
[1]Associate Professor, Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin, 16890, Korea
[2]Manager, Senvex, Seoul, 07726, Korea
[3]Graduate Student (Master's Course), Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin, 16890, Korea

Abstract - This study investigated the behavior of a bolted end plate moment connection for the beam-column joint of filled composite members. To increase the moment resistance at the joint with bolt arrangement limited, U-shaped end plate and high-strength through bolts were used for the connection. Cyclic loading tests of three exterior beam-column connections were performed to investigate the behavior of the proposed end plate connection. Bolt arrangement and the use of the panel zone stiffener were considered as the test parameters. The tests showed that the U-end plate moment connection secured a robust moment transfer at the joint, without significant deformations of the end plate and through bolts. However, the ductility was limited due to the premature rupture at the welded joint to the end plate and low-cycle fatigue failure of thin-walled plate in the beam (i.e. inelastic local buckling and subsequent rupture). The effective stiffness of the specimens were reduced by the slip of through bolts, whereas the panel zone stiffener alleviated stiffness reduction. Based on the test results, design and detailing recommendations of the end plate connection for filled composite members with thin-walled sections were suggested.
Keywords - Bolted joint, End plate, Moment connection, Beam-column joint, Composite structure, Concrete filled composite member

1. 서 론

최근 얇은 절곡단면이 사용된 충전형 합성부재(composite members with thin-walled sections, Fig. 1 참조)의 사용이 증가하고 있다. 이들 합성부재는 부재 자체의 우수한 구조성능에도 불구하고(즉, 강관에 의한 내부 콘크리트 횡보강), 보-기둥 접합부에서 강도, 연성 등 내진성능 확보에 주의가 필요하다. 보-기둥 접합부에서 보의 휨모멘트는 기둥 강관에 대하여 면외방향 인발력으로 작용한다. 따라서 보와 기둥 강판의 용접부에서는 응력 집중과 그로 인한 인장 파단이 발생하기 쉽다[1][2]. 또한 기둥 강관에 발생하는 면외변형은 보 모멘트가 기둥으로 전달되는 것을 저해하며 접합부의 강도 및 강성을 감소시킨다. 따라서 보-기둥 접합부에서는 슬래브를 포함한 수평 부재를 위한 하중전달 경로를 마련하고 주기하중에 대하여 연성거동을 확보하기 위한 접합상세에 주의가 필요하다. 예를 들어, 기둥 강관 내부에서 힘 전달의 연속성을 확보하기 위하여 보를 관통시키거나 다이아프램을 설치하는 등 관통형 보강상세를 사용하여 접합부를 보강하는 것이 필요할 수 있다.

강관합성기둥 접합부의 내진성능에 관하여 다수의 실험연구가 국내에서 수행되었다. Oh *et al.*[3]은 수평강판과 수직강판을 내다이어프램으로 사용한 각형강관기둥의 외부접합부에 대한 주기하중실험을 수행하였다. 실험 결과, 내다

Note -Discussion open until June 30, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 20, 2020; revised November 17, 2020; approved on November 18, 2020.
Copyright © 2020 by Korean Society of Steel Construction
*Corresponding author.
Tel. +82-2-2629-3187 Fax. +82-2-2629-3110
E-mail. jjim@senkuzo.com

Fig. 8에서 보듯이 모든 실험체는 정모멘트에 대하여 초기부터 슬립이 발생하며 강성이 저하되었다. 이러한 강성 저하는 관통볼트를 이용하는 단부강판접합부의 힘전달기구와 관련된다. Fig. 10에서 보듯이 횡하중이 증가함에 따라 관통볼트에는 인장변형률이 발생되는데, 이러한 인장변형률은 부착성능이 크지 않은 관통볼트의 전체 길이에서 거의 균일하게 발생한다. 이러한 관통볼트의 인장변형률은 기둥면에 다음과 같은 정착슬립(anchorage slip, Δ_{bs})을 발생시킨다.

$$\Delta_{bs} = \varepsilon_b h_c \quad (4)$$

여기서, ε_b = 관통볼트의 인장변형률, h_c = 기둥의 단면깊이이다. 예를 들어, EC1에서 관통볼트는 항복변형률(= 0.00455 mm/mm)에 도달하였는데, 이는 관통볼트에 Δ_{bs} = 0.0045 mm/mm × 500 mm = 2.27 mm의 슬립을 유발한다.

이러한 정착 슬립은 기둥면에서 합성보에 추가적인 회전변형(δ_{bs})을 만드는데, 이는 다음과 같다(Fig. 13 참조).

$$\delta_{bs} \simeq \frac{\Delta_{bs}}{h_U + 0.5h_{sc}} \quad (5)$$

식 (5)에서 δ_{bs}는 정착 슬립의 위치를 보 U단면 하부 플랜지로 두고 회전 중심을 상부 콘크리트 슬래브의 중심으로 가정하여 계산한 값이다. EC1에 대하여 계산한 정착 슬립에 의한 회전변형은 δ_{bs} = 2.27/(450 + 90) = 0.00421 rad (또는 변위비 0.421 %)으로 상당히 큰 값인데, 부방향 항복변위비(≈ 1.5 %)의 약 30 % 수준에 해당한다. 다만, 정착 슬립에 의한 접합부 강성 저하는 부방향 제하에서는 거의 관찰되지 않았다. 그 이유는 기둥 강관을 관통하여 내부 콘크리트에 정착시킨 관통 슬래브 철근이 정착 슬립에 의한 보 회전변형을 저감시켰기 때문으로 판단된다.

보-기둥 접합부에서 어느 정도의 정착 또는 부착 슬립은 피하기 어렵다. 정착 또는 부착 슬립은 강재 보를 관통시키는 경우에도 발생할 수 있고[11][12], 또한 철근콘크리트 보-기둥 접합부에서도 흔히 관찰된다. 따라서 단부강판접합부 설계 시에는 (1) 관통볼트 길이를 작게 하여 슬립을 줄이고 (2) 하중 제하시 변형 복원이 가능하도록 탄성상태에서 거동하도록 설계하는 것이 바람직하다.

6. 결 론

이 논문에서는 얇은 절곡강판을 이용한 충전형 합성접합부(즉, U단면 합성보-짧각 강관합성기둥 접합부)를 위한 단부강판접합 상세를 제안하고, 반복가력실험을 통하여 내진성능을 평가하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

(1) '강한 접합부(rigid joint)' 거동을 보이도록 설계된 U형 단부강판을 고장력 관통볼트로 접합한 단부강판접합부는 파도한 접합부 변형없이 합성보의 전모멘트를 기둥으로 전달하였다.
(2) 강건한 단부강판접합부 거동과 달리, 얇은 절곡강판으로 제작된 합성보의 U단면은 웨브와 플랜지에서 주기거동 동안 비탄성 국부좌굴 및 용접부 파단을 수반한 저주파피로에 의하여 일찍 파괴되었다. 그 결과 합성 보-기둥 접합부의 연성 수준은 중간모멘트골조 요구성능 이하로 나타났다.
(3) 얇은 절곡강판의 비탄성 국부좌굴에도 불구하고 U단면 합성보의 소성휨강도에 근거한 접합부의 공칭강도(기둥 휨강도)는 실험강도와 잘 부합하였다. 다만, 합성보의 정방향 휨강도에 기여하는 슬래브의 유효폭은 기둥면에 직각으로 맞닿은 너비로 한정되었고, 부방향 휨강도에 기여하는 슬래브 인장철근은 기둥 관통을 관통하여 심부 콘크리트에 직접 정착된 철근만이 유효하였다.
(4) 기둥을 관통하여 설치한 관통볼트에는 주기거동 내내 인장변형 및 정착 슬립이 발생하였고, 그 결과 보-기둥 접합부의 항복 이전 유효강성이 감소하였다. 다만, 패널 존 스티프너로 보강된 실험체는 강성 저하가 상대적으로 크지 않았다.
(5) 모든 실험체에서 반복가력 실험동안 단부강판의 변형은 거의 없었고, 보 단부에 변형이 집중되었다. 이에 따라, U형 단부강판의 형상, 용접 보 단면의 형상, 볼트 설치위치에 따른 단부판의 항복선 메커니즘에 대한 추후 연구가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 지원(20CTAP-C157615-01)에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌(References)

[1] Mirghaderi, S.R., Torabian, S., and Keshavarzi, F. (2010) I-Beam to Box-Column Connection by a Vertical Plane Passing Through the Column, *Engineering Structures*,

첨부 1. 성과 증빙-논문(비SCI)

논문 3

Journal of Korean Society of Steel Construction
Vol.33, No.5, pp.285-294, October, 2021

ISSN(print) 1226-363X ISSN(online) 2287-4054
DOI https://doi.org/10.7781/kjoss.2021.33.5.285

스티프너 보강 유무에 따른 H형 전단패널 강재댐퍼의 역학특성

박해용[1] · 김호룡[2] · 김성보[3] · 엄태성[4] · 김진우[2*]

[1]연구교수, 부산대학교 지진방재연구센터, [2]선임연구원, 한국건설생활환경시험연구원 내진센터,
[3]교수, 충북대학교 토목공학과, [4]교수, 단국대학교 건축학부

Mechanical Characteristics of H-Type Shear Panel Steel Damper with Reinforcement of Stiffener

Park, Hae Yong[1], Kim, Ho Ryong[2], Kim, Sung Bo[3], Eom, Tae Sung[4], Kim, Jin Woo[2*]

[1]Research Professor, Seismic Research and Test Center, Pusan National University, Yangsan, 50612, Korea
[2]Senior Researcher, Seismic Safety Center, Korea Conformity Laboratories, Cheongju, 28115, Korea
[3]Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea
[4]Professor, School of Architecture, Dankook University, Yongin, 16890, Korea

Abstract - In this study, H-shaped shear panel dampers were tested under cyclic loading of a constant displacement amplitude to investigate the effects of stiffener reinforcement on damper performance. Test results showed that although both specimens with and without stiffeners exhibited stable spindle-shaped hysteresis curve, deformation capacity against cycle loading was significantly enhanced in the specimen with stiffeners. For further investigation on the damper performance, nonlinear finite element analysis was performed. The analyses showed that the specimen with stiffeners exhibited a stable plastic behavior, maintaining a uniform distribution of plastic strains; however, in the specimen without stiffener, plastic strains were nonuniformly distributed at the tension and compression fields as out-of-plane deformations increased.

Keywords - H-type shear panel damper, Stiffener reinforcement, Deformation capacity, Plastic strain, Out-of-plane deformation

1. 서 론

구조물의 지진피해를 경감하기 위하여 구조물 내에 지진에너지 흡수부재를 설치하고 그 부재의 지진에너지 소산을 통해 구조물의 응답을 수동적으로 제어하는 제진구조가 있다[1]. 이러한 수동적인 제어는 일반적으로 금속 또는 마찰계의 변위에 의존하는 지진에너지 흡수부재(변위 의존형 댐퍼)가 주로 사용된다[2]-[4].

변위 의존형 댐퍼의 일종인 전단항복형 강재댐퍼는 상·하앵글 플레이트와 좌·우 플랜지로 둘러싸인 패널부로 구성된 H형 단면(이하 H형 전단패널 댐퍼)이 주로 사용되며, 이에 해당하는 연구사례로 Kim *et al.*[5]은 소성이론을 이용한 전소성 전단내력과 휨변형과 전단변형을 고려한 초기강성식을 제안하였으며 패널부에 SS235급, 플랜지에 SM325급 강재를 적용한 H형 전단패널부에 대해 재하변위를 변수로 한 일정진폭 재하실험을 실시하여 제안식의 정합성 검증과 댐퍼의 탄·소성 역학특성에 대해 검토하였다. 또한 Manson-Coffin 법칙을 이용한 재하진폭과 재하횟수의 관계에 대해 H형 전단패널 댐퍼의 실험데이터를 기반으로 작성된 일본건축학회(Architectural Institute of Japan) 강구조계진설계지침의 피로곡선과 비교·검토하였다.

이러한 H형 전단패널 댐퍼는 댐퍼를 지지하는 부재의 형식에 따라 브레이스 지지 형식, 벽 패널 형식, 간주 지지 형식 등으로 구조물에 배치되며, 강재가 전단항복한 다음 소성변형을 반복하는 것으로 지진에너지를 흡수하여 기둥, 보 등과 같은 주요부재에 발생하는 응답변위 및 작용력을 감소시켜 구조물의 손상을 완화한다. 지진 종료까지 댐퍼가 효율적으로 거동하기 위해서는 댐퍼의 변형성능을 확보하는 것이 중요하며 그 성능을 향상시키기 위하여 패널부에 비교적

Note.-Discussion open until April 30, 2022. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 09, 2021; revised on September 15, 2021; approved on September 15, 2021.
Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction
*Corresponding author.
Tel. +82-43-210-8961 Fax. +82-43-210-8919
E-mail. kimjinwoo@kcl.re.kr

방향의 변형에 따른 패널부의 기하학적 변형으로 인해 ε_{eq}의 분포가 인장영역과 압축영역의 불규칙적으로 발생하였다. 반면, 스티프너가 보강된 HSPD-SR-25.8 모델은 γ = 0.09 rad 이후에서도 패널부 전영역에 대해 비교적 균등한 ε_{eq} 분포를 나타내며 인장영역과 압축영역에서 거의 동일한 ε_{eq}가 분포하고 있음을 확인할 수 있다.

상기의 해석결과를 요약하면, H형 전단패널 댐퍼의 패널부의 판폭두께비가 커지면 전단변형에 의해 발생되는 인장영역 비율(Fig. 10)이 커지며, 전단변형각의 증가에 따라 패널부의 인장영역과 압축영역의 변형도가 불규칙적으로 발생하는 것이다(Fig. 12). 이는 패널부의 판폭두께비가 커지면 패널부의 전단좌굴이 조기에 발생하는 것을 시사한다. 다만, 이 결과는 단조재하에 대한 해석결과이므로 향후 반복재하에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 연강(SPHC 강재)으로 제작된 H형 전단패널 댐퍼를 대상으로 스티프너의 보강에 따른 댐퍼의 변형능력 향상효과를 답습하기 위해 일정진폭 반복가력실험을 수행하였다. 또한 비선형 유한요소해석을 실시하여 스티프너의 유무에 따른 패널부의 응력 및 소성변형를 분포를 분석하였고, 댐퍼의 역학특성을 파악하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 실험결과에 따른 하중-변형 관계는 스티프너 보강 유무에 관계없이 안정적인 방추형의 이력특성을 나타내었으며, 패널부의 변외방향 좌굴에 의해 내력저하가 발생하였다. H형 전단패널 댐퍼의 전소성 전단강도와 초기강성은 저자가 선행연구를 통해 제안한 산정식을 통해 유사하게 도출할 수 있음을 확인하였다.

(2) 스티프너를 보강한 댐퍼의 내력상승률(Q_{max}/Q_y)은 1.63으로 나타났으며, 무보강 댐퍼의 내력상승률(= 1.36)에 비해 높게 나타났다. 또한 스티프너 보강은 패널부의 판폭두께비를 감소시킴에 따라 전단좌굴을 억제하고, 이를 통해 댐퍼의 변형능력을 향상시키는 결과를 확인하였다. 이러한 경향은 비선형 유한요소해석을 통해 추가적으로 분석되었다.

(3) 해석결과로부터 무보강 댐퍼(패널부의 판폭두께비가 큰 경우)는 스티프너를 보강한 댐퍼(패널부의 판폭두께비가 작은 경우)와 비교하여 전단변형에 의해 발생되는 인장영역 비율이 커지며, 전단변형각의 증가에 따라 패널부의 인장영역과 압축영역의 변형도가 불규칙적으로 발생하는 것을 확인하였다.

본 연구의 결과는 특정 강재 및 패널부의 판폭두께비에 대한 것이므로 이에 대한 영향을 보다 정량적인 경향을 도출하기 위해 다양한 강재 및 판폭두께비의 변화에 대한 실험 및 해석연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(20CTAP-C157615-01)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌(References)

[1] Soong, T.T., and Dargush, G.F. (1997) *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, John Wiley & Sons, UK.
[2] Whittaker, A.S., Bertero, V.V., Thompson, C.L., and Alonso, L.J. (1991) Seismic Testing of Steel Plate Energy Dissipation Devices, *Earthquake Spectra*, Sage, Vol.7, No.4, pp.563-604.
[3] Tsai, K.-C., Chen, H.-W., Hong, C.-P., and Su, Y.-F. (1993) Design of Steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction, *Earthquake Spectra*, Sage, Vol.9, No.3, pp.505-528.
[4] De la Llera, J.C., Esguerra, C., and Almazán, J.L. (2004) Earthquake Behavior of Structures with Copper Energy Dissipators, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, John Wiley & Sons, Vol.33, No.3, pp.329-358.
[5] Kim, H.R., Kim, S.B., Eom, T.S., Kim, J.H., and Kim, J.W. (2020) Experimental Study on Mechanical Characteristics of H-Type Shear Panel Steel Damper Under Constant Amplitude Deformation, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.32, No.5, pp.321-330 (in Korean).
[6] Nakashima, M., Iwai, S., Iwata, M., Takeuchi, T., Konomi, S., Akazawa, T., and Saburi, K. (1994) Energy Dissipation Behavior of Shear Panels Made

첨부 2. 성과 증빙-논문(SCI)

논문 1

Journal of Constructional Steel Research 182 (2021) 106650

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Constructional Steel Research

Flexural tests of concrete-encased composite girders with high-strength steel angle

Jong-Jin Lim [a], Jin-Yong Kim [a], Jin-Won Kim [b], Tae-Sung Eom [c,*]

[a] Senwx, Beodeunuru-ro 19-gil, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07226, Republic of Korea
[b] POSCO Global R&D Center, 100 Sandaiwahak-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Republic of Korea
[c] Dept. of Architectural Engineering, Dankook Univ., 152 Jukjeon-ro, Gyeonggi-do, 448-701, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:
Received 7 December 2020
Received in revised form 7 March 2021
Accepted 9 March 2021
Available online 26 March 2021

Keywords:
Steel angle
High-strength steel
Composite beam
Strain compatibility analysis
Composite structure

ABSTRACT

This study investigated the flexural behavior of concrete-encased steel angle girders (PSRC girders). Inside the concrete section, high-strength steel angles (F_y = 605 MPa) with unequal legs were used as longitudinal reinforcement, and diagonal and vertical members were bolt-connected to the longitudinal angles as transverse ties. Flexural tests were performed for three PSRC girder specimens with different reinforcement details. The tests showed that the PSRC girders all developed the peak loads exceeding the nominal strengths; however, the ductility was limited as rupture occurred near bolt holes in the longitudinal angles. Overall, the concrete damage and cracking of the PSRC girders were comparable to those in conventional reinforced concrete beams, and cover spalling and bond deterioration along the longitudinal angles were not severe. The strength, stiffness, and ductility estimated in accordance with current design codes were compared with the test results. Given the investigation results, the application and design considerations of PSRC girders were discussed.

© 2021 Published by Elsevier Ltd.

1. Introduction

Fig. 1 shows the concrete-encased steel angle girder (prefabricated steel-reinforced concrete girder or PSRC girder) using steel angles as longitudinal and transverse reinforcements [5,6]. Compared to conventional concrete-encased steel beams, the PSRC girder may be more efficient in resisting bending because high-strength steel angles are placed along the perimeter of the concrete section. Besides, by making up a Pratt or Warren truss with longitudinal, diagonal, and vertical angles, the PSRC girder can resist working loads without temporary props during construction. By using steel forms (thickness 1.6– 2.3 mm) engaging with vertical angles, on-site concrete formwork may be minimized (see Fig. 1).

The applicability of PSRC members (i.e., concrete-encased steel angle members) to columns has been experimentally and analytically investigated by many Korean researchers [4–13]. For example, Kim et al. [10] performed the eccentric compressive tests of PSRC columns with high-strength steel angles (F_y = 806 MPa – 914 MPa) and high-strength concrete (f'_c = 94 MPa – 184 MPa). The results showed that the flexural strength and flexural stiffness of the PSRC columns were greater than those of the conventional concrete-encased H-section columns. In addition, the composite action between the high-strength steel and concrete was accurately predicted by a strain-compatibility analysis. Kim et al. [12,13] investigated the compressive behavior of concentrically and eccentrically loaded PSRC columns. Longitudinal steel angles and transverse ties (i.e., flat bars or Z-shaped bars) were connected by bolting, without welding. The results showed that reduction in the cross section of steel angles due to hole drilling significantly affected the strengths of the PSRC columns. Eom et al. [6] investigated the compressive behavior of PSRC columns with high-strength cold-formed steel angles. The stress-strain behavior of the cold-formed angle changed locally near the bent corner due to the strain-hardening behavior and residual plastic strains. However, the overall behavior of the PSRC columns was reasonably estimated based on the stress-strain behavior before cold-forming. Even under pure compression, the strength and stiffness were deteriorated by reduction in the cross-sectional area due to hole drilling, as reported in the literature [12,13].

Unlike the previous studies that mostly dealt with the axial compressive behavior of concentrically or eccentrically loaded PSRC columns, Eom et al. [4] investigated the flexural strength, ductility, and failure mode of PSRC columns. The tests showed that as crushing and spalling occurred early at the concrete cover, bond deterioration developed along the top and bottom longitudinal angles. Ultimately, rupture occurred not only at the longitudinal angles, but also the transverse bars welded on the angle surface.

The PSRC girder in Fig. 1 that is developed to use as large-scale girders in warehouse buildings, is different from the previous one, as follows. First, high-strength steel angles fabricated by cold-forming

* Corresponding author.
E-mail addresses: jwkim104@posco.com (J.-W. Kim), tseom@dankook.ac.kr (T.-S. Eom).

https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106650
0143-974X/© 2021 Published by Elsevier Ltd.

Acknowledgment

This work was supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (20CTAP-C157615) funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport of Korea.

References

[1] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete*, ACI 318–19, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019.
[2] American Institute of Steel Construction, *Specification for Structural Steel Building*, ANSI/AISC 360–16, Chicago, Illinois, 2016.
[3] American Society of Civil Engineers / Structural Engineering Institute, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, ASCE/SEI 41–17, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2017 (623p).
[4] T.S. Eom, H.J. Hwang, H.G. Park, C.N. Lee, H.S. Kim, Flexural test for steel-concrete composite members using prefabricated steel angles, J. Struct. Eng. 140 (4) (2014), 04013098.
[5] T.S. Eom, J.Y. Yang, D.Y. Kim, J.J. Lim, S.H. Lee, Experimental investigation of bolted end-plate angle splice in encased composite columns, Eng. Struct. 190 (2019) 31–40.
[6] T.S. Eom, J.J. Lim, J.W. Kim, Axial compressive behavior of concrete-encased high-strength steel angle columns, J. Struct. Eng. 147 (4) (2021) https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002908.
[7] H.J. Hwang, T.S. Eom, H.G. Park, S.H. Lee, Axial load and cyclic load tests for composite columns with steel angles, J. Struct. Eng. 142 (5) (2016), 04016001.
[8] H.J. Hwang, T.S. Eom, H.G. Park, S.H. Lee, H.S. Kim, Cyclic loading test for beam-column connections of concrete-filled U-shaped steel beams and concrete-encased steel angle columns, J. Struct. Eng. 141 (11) (2015), 04015020.
[9] C.S. Kim, H.J. Hwang, Numerical investigation on load-carrying capacity of high-strength concrete-encased steel angle columns, International Journal of Concrete Structures and Materials 12 (2018) 11, https://doi.org/10.1186/s40069-018-0238-7.
[10] C.S. Kim, H.G. Park, K.S. Chung, I.R. Choi, Eccentric axial load capacity of high-strength steel-concrete composite columns of various sectional shapes, J. Struct. Eng. 140 (4) (2014).
[11] C.S. Kim, H.G. Park, H.J. Lee, I.R. Choi, K.S. Chung, Eccentric axial load test for high-strength composite columns of various sectional configurations, J. Struct. Eng. 143 (8) (2017), 04017075.
[12] H.J. Kim, H.J. Hwang, H.G. Park, D.K. Kim, Concentric axial load test for composite column using bolt-connected steel angles, Eng. Struct. 214 (2020) 110650.
[13] H.J. Kim, H.J. Hwang, H.G. Park, Eccentric-axial-load test for composite columns using bolt-connected steel angles, J. Struct. Eng. 146 (9) (2020), 04020178.

논문 2

Check for updates

ASCE

Behavior of End-Plate Connection with Oversize Holes and Plate Washers for Column Splice

Jong-Jin Lim[1]; Seung-Hwan Lee[2]; and Tae-Sung Eom[3]

Abstract: This study investigated the behavior of end-plate connections for column splices with construction tolerance. To adjust misalignment between upper and lower columns, oversize holes were drilled on the end plate and plate washers were then placed to bridge over the oversize holes under the head or nut. Six columns with the misaligned connection in the plastic hinge region were tested under cyclic loads. Test variables considered were misalignments, end-plate details (i.e., thickness and stiffener), and the flexural capacity of columns. The test results showed that although plastic deformations occurred significantly near the connection with misalignment, the connection performance of the columns was good; prying action and plate deformation at the connection were minimized although the connection strength of the end plate was only 60% of the required strength because the plate washers provided additional resistance. In addition, slip deformation on the faying surface was negligible due to the preloads of fully tightened bolts. The stiffened end plate was effective in reducing the required thickness of end plate, whereas the shim plate between the top and bottom end plates slightly degraded the slip resistance. The force-transfer mechanism at the end-plate connection under axial compression was investigated and verified through finite-element analysis. **DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003101.** © *2021 American Society of Civil Engineers.*

Author keywords: Bolted connection; End-plate connection; Oversize hole; Plate washer; Column splice; Cyclic load; Construction tolerance; Finite-element analysis.

Downloaded from ascelibrary.org by Tsinghua Eom on 09/22/21. Copyright ASCE. For personal use only; all rights reserved.

Introduction

Friction-type connections using high-tension bolts are popular for column splices to secure a robust connection performance without slip. However, the required number of bolts increases. Furthermore, if the centerlines of splicing columns do not coincide each other or the sections of the upper and lower columns are different in size, filler or shim plates need to be used. For large-scale buildings with long span and large story height, misalignment between splicing columns can increase although construction tolerance is controlled in accordance with steel construction specifications. In this case, tension-type connections, such as the end-plate connection in Fig. 1 (Lim et al. 2019), can be advantageous because the clearance between bolts and oversized or slotted holes may absorb the misalignment.

Fig. 1 shows a construction site where misalignments and erection errors between the existing composite columns and the newly installed steel columns of the superstructure were adjusted by the end-plate connection with oversize holes and plate washers. Such an end-plate connection can be used as an alternative splice method in construction sites where friction-type connections are difficult to use or not feasible.

For the end-plate connection with oversize holes and plate washers (Fig. 1), end plates with a required thickness are placed at the end of the upper and lower columns by welding. To adjust misalignment between the splicing columns, oversized, or long-slotted holes with a diameter larger than the size of the bolt head or nut are installed on one end plate. For the other end plate, standard holes with little clearance are used so that slip at the joint can be minimized. To secure sufficient contact area for bolt-tightening around the oversize holes, thick and wide plate washers are placed on top of the end plate under the head or nut. As the misalignment between the splicing columns increases, the oversize holes need to be increased in size. In such case, the plate washers bridging over the oversize holes are critical for connection performance because they secure bearing area for tightening bolts and at the same time reduce plate deformation due to prying action.

According to Allan and Fisher (1965), Shoukry and Haisch (1970), Frank and Yura (1981), Heistermann et al. (2013), Schneider and Teerasarbwong (2002), and Dusicka and Lewis (2010), oversized or long-slotted holes may have adverse effects on the connection performance of slip-critical joints. Thus, the *Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints* by Kulak et al. (2001) provides the following recommendations for the design and detailing of bolted connections with oversized and slotted holes:

1. The slip resistance at the joints should be decreased by 15% for oversize or short-slotted holes and 30% for long-slotted holes as the clamping force is reduced.
2. For oversize holes, hole diameters should not exceed the bolt diameter plus 3.2 mm (1.8 in.) to 9.5 mm (3/8 in.), depending on the bolt diameter.
3. Hardened washers need to be inserted under both the bolt head and nut if the oversize holes are placed in the outside plies of the connection; multiple washers to make up the thickness are not allowed.
4. Excessive deformation should not occur under working loads.

However, the design guide by Kulak et al. (2001) considers oversize holes of limited size (i.e., not greater than the bolt diameter

[1]Manager, Senwx Co., Ltd., Beodeunuru-ro 19-gil, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07226, Korea. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5406-0816. Email: double317@naver.com; jjim@senkuro.com
[2]CEO, Senwx Co., Ltd., Beodeunuru-ro 19-gil, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07226, Korea. Email: shlee@senkuro.com
[3]Professor, Dept. of Architectural Engineering, Dankook Univ., 152 Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 16890, Korea (corresponding author). ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6349-5093. Email: tseom@dankook.ac.kr

Note. This manuscript was submitted on October 24, 2020; approved on April 13, 2021; published online on September 20, 2021. Discussion period open until February 20, 2022; separate discussions must be submitted for individual papers. This paper is part of the *Journal of Structural Engineering*, © ASCE, ISSN 0733-9445.

Downloaded from ascelibrary.org by Tsinghua Eom on 09/22/21. Copyright ASCE. For personal use only; all rights reserved.

of the columns was good without excessive prying action and plate deformation at the joint.

- For the stiffened end-plate connection, the strength was slightly higher although the end plate was thinner; however, due to stress concentration at the column flange-to-stiffener weld joint, the column flange ruptured early. For the specimen with the shim plates inserted between the end plates, sliding on the interface was slightly increased; however, overall, the connection behavior was not deteriorated by the shim plates.
- Although the columns were connected with misalignments, the end-plate connection with oversize holes and plate washers showed the robust behavior. According to the tests, misalignments of 6–9 mm for 400 × 400 mm column sections did not deteriorate the connection performance, regardless of whether such misalignments were unidirectional or bidirectional.
- Design equations for the end-plate connection for column splice under axial compression were proposed by modifying the existing theory for beam-to-column moment connections. The results of numerical investigations showed that the force-transfer mechanisms such as the yield mechanism of the end plate, bearing pressure on the interface under the column section, and resistance of high-tension bolts were consistent with the design assumptions.

The findings of this study should be applied to column splices subjected to axial compression and bending. For column splices under axial tension of which force-transfer mechanisms such as yield lines and the prying action of end plate are different from those under axial compression, further study is required.

Appendix. Modified Yield Line Mechanism Parameter Y'_p

Fig. 17 shows the yield lines on the unstiffened end plate and plate washers. Plate washers are shown overlapping as shaded over the end plate. Five yield lines that vertically develop along the tensile flange are denoted as Lines *a*–*e*. Among the five, three yield lines, namely Lines *a*, *d*, and *e*, denoted as dashed lines, cross over the plate washers. Given that the plate washers are made of the same material and thickness as those of the end plate, for a given virtual rotation δ, the internal strain energy W_{ipw} stored on the plate washers along the Yield lines *a*, *d*, and *e* can be calculated as follows:

$$W_{ipw} \approx F_{yp}\frac{b_p t_p^2}{4}\left[\left(\frac{h_{sE}-p_{fe}}{p_{fe}}\right)\delta+\left(\frac{h_{sE}+p_{fi}}{p_{fi}}\right)\delta+\left(2\frac{h_{sE}-s}{s}+1\right)\delta\right]$$
$$= F_{yp}\frac{b_p t_p^2}{2}\left[\frac{1}{2}\frac{h_{sE}}{p_{fe}}+\frac{1}{2}\frac{h_{sE}}{p_{fi}}+\frac{h_{sE}}{s}-\frac{1}{2}\right]\delta \quad (14)$$

Eq. (14) is the simplified one formulated by taking the length of the Yield lines *a*, *d*, and *e* of the plate washers as b_p (i.e., same as the end plate width). By adding the contribution of the plate washers [i.e., Eq. (14)] to the first term of Y_p for unstiffened end plate in Table 1, the modified yield line mechanism parameter including the contributions of the end plate and plate washers can be determined as Y'_p of Table 1.

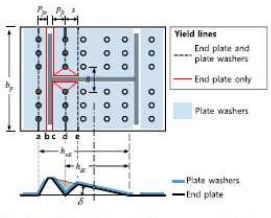


Fig. 17. Modified yield line mechanism parameter Y'_p including contributions of end plate and plate washer.

Data Availability Statement

All data, models, and code generated or used during the study appear in the published article.

Acknowledgments

This work was supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (20CTAP-C157615), funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport of Korea, and the National Research Foundation of Korea (2019R1F1A1059248).

References

AISC. 2016a. *Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications*. AISC 358-16. Chicago: AISC.
AISC. 2016b. *Seismic Provisions for structural steel building*. AISC 341-16. Chicago: AISC.
AISC. 2016c. *Specification for structural steel building*. AISC 360-16. Chicago: AISC.
Allan, R. N., and J. W. Fisher. 1965. *Behavior of bolted joints with oversize or slotted holes*. Fritz Engineering Laboratory Rep. No. 318.3. Bethlehem, PA: Lehigh Univ.
Chaboche, J. L. 1986. "Time-independent constitutive theories for cyclic plasticity." *Int. J. Plast.* 2 (2): 149–188. https://doi.org/10.1016/0749-6419(86)90010-0.
Dassault Systemes Simulia Corp. 2014. *Abaqus/CAE user's guide v. 6.14*. Providence, RI: Dassault Systemes Simulia Corp.
Dusicka, P., and G. Lewis. 2010. "High-strength steel bolted connections with filler plates." *J. Constr. Steel Res.* 66 (1): 75–84. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2009.07.017.
Fisher, J. M., and L. A. Kloiber. 2006. *Steel design guide 1: Base plate and anchor rod design*. 2nd ed. Chicago: AISC.
Frank, K. H., and J. A. Yura. 1981. *An experimental study of bolted shear connections*. Federal Highway Administration, Rep. No. FHWA/RD-81/148. Washington, DC: USDOT.
Heistermann, C., M. Veljkovic, R. Simões, C. Rebelo, and L. Simões da Silva. 2013. "Design of slip resistant lap joints with long open slotted holes." *J. Constr. Steel Res.* 82 (Mar): 223–233. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.11.012.
Kulak, G. L., J. W. Fisher, and J. H. A. Struik. 2001. *Guide to design criteria for bolted and riveted joints*. 2nd ed. Chicago: AISC.

첨부 2. 성과 증빙-논문(SCI)

논문 3_심사중

Journal of Constructional Steel Research
Behavior of Column Base Connections under Lateral Loading in Interstory Damping System
--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Research Paper
Keywords:	Base plate; Base connection; Rotational stiffness; Yield line theory; Seismic retrofit; Damping system
Corresponding Author:	Jinwoo Kim, Ph.D Korea Conformity Laboratories Cheongju-si, Chungbuk KOREA, REPUBLIC OF
First Author:	Tae-Sung Eom, Ph.D
Order of Authors:	Tae-Sung Eom, Ph.D
	Han-Tae Yoo, Bachelor
	Jong-Jin Lim, Ph.D
	Jinwoo Kim, Ph.D
Abstract:	In this study, the performance of a base plate connection developed as part of an interstory damping system for seismic retrofit was investigated. Unlike conventional base connections transferring column forces to the foundation by embedded anchor rods, the base connection in this study transfers column forces to the floor structure by slab-penetrating anchor bolts placed at sides. Four column base connections with different anchor details were tested under lateral loading. Test results showed that the strength and deformation of the base connections were significantly affected by plate thickness and anchor details. The force transfer mechanism at the base connections was further investigated through finite element analysis. The rotational stiffness and flexural strength of the base connections were evaluated using the elastic bending theory and yield line theory, respectively. The validity of the proposed method was verified by comparisons with test and analysis results. Based on the results, design and detailing recommendations of the base connection are given.
Suggested Reviewers:	Tae-Soo Kim, Ph.D Professor, Hanbat National University tskim@hanbat.ac.kr He is proficient in finite element analysis and has extensive knowledge about the behavior of base plates.
	Hae-Yong Park, Ph.D Research professor, Pusan National University haeyoung@pusan.ac.kr He has extensive knowledge of steel damper systems, and has performed numerous experimental evaluations on main members.
Opposed Reviewers:	

Powered by Editorial Manager® and ProduXion Manager® from Aries Systems Corporation

Manuscript File — Click here to view linked References

Behavior of Column Base Connections under Lateral Loading in Interstory Damping System

Tae-Sung Eom[1], Han-Tae Ryu[2], Jong-Jin Lim[3], Jinwoo Kim[4,*]

[1] Prof., School of Architecture, Dankook Univ., 152 Jukjeon-ro, Yongin-si, Gyeonggi-do, 16890, South Korea

[2] Graduate Student, School of Architecture, Dankook Univ., 152 Jukjeon-ro, Yongin-si, Gyeonggi-do, 16890, South Korea

[3] Manager, Senvex Co. Ltd, Beodeunaru-ro 19-gil, Yeongdeungpo-gu, Seoul, 07226, South Korea

[4] Senior Researcher, Seismic Safety Center, Korea Conformity Laboratories, 73, Yangcheong 3-gil, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, South Korea

* Corresponding author: kimjinwoo@kcl.re.kr

Abstract

In this study, the performance of a base plate connection developed as part of an interstory damping system for seismic retrofit was investigated. Unlike conventional base connections transferring column forces to the foundation by embedded anchor rods, the base connection in this study transfers column forces to the floor structure by slab-penetrating anchor bolts placed at sides. Four column base connections with different anchor details were tested under lateral loading. Test results showed that the strength and deformation of the base connections were significantly affected by plate thickness and anchor details. The force transfer mechanism at the base connections was further investigated through finite element analysis. The rotational stiffness and flexural strength of the base connections were evaluated using the elastic bending theory and yield line theory, respectively. The validity of the proposed method was verified by comparisons with test and analysis results. Based on the results, design and detailing recommendations of the base connection are given.

beyond the column flange, as depicted in **Fig. 1 (c)**; and h_{df} and h_{da} = lengths of the yield lines y2 and y3, respectively.

As depicted in **Fig. 2**, the rotation at the yield line y4 can be approximately taken as a constant value $\theta_4 = v/h$. Thus, the strain energy W_{I4} stored along the yield line y4 is computed as follows.

$$W_{I4} = m_p \theta_4 b_a = \frac{F_y t_p^2}{4} \cdot \frac{v}{h} \cdot b_a = F_y t_p^2 \left(\frac{b_a}{4h}\right) v \quad \text{(A6)}$$

where, b_a = center-to-center distance between anchor bolts at both sides of the column.

The total internal virtual work W_I done by the base plate is then calculated by summing W_{I1}, W_{I2}, W_{I3}, and W_{I4}.

$$W_I = W_{I1} + W_{I2} + W_{I3} + W_{I4} = F_y t_p^2 \left(\frac{h_a}{d_a} + \frac{h_{da}+h_{df}}{2d_a} + \frac{b_a}{4h}\right) v \quad \text{(A7)}$$

DATA AVAILABILITY

All data, models, and code generated or used during the study appear in the submitted article.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (20CTAP-C157615), funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport of Korea, and the National Research Foundation of Korea (NRF-2018R1A6A1A070258).

REFERENCES

[1] Fisher, J. M. and Kloiber, L. A. *Base Plate and Anchor Rod Design. AISC Steel Design Guide 1. 2nd ed.*, Chicago, IL: American Institute of Steel Construction, 2006.

[2] AISC (2016a). *Specification for structural steel buildings*. ANSI/AISC 360-16. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction.

[3] AISC (2016b). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 341-16). Chicago, IL: American Institute of Steel Construction.

첨부 2. 성과 증빙-논문(SCI)

논문 4_심사중

Manuscript

Click here to view linked References

Structures

Mechanical characteristics of H-shaped shear panel damper fabricated by SPHC steel according to stiffener reinforcement and stud support installation

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Research Paper
Keywords:	Hot rolled steel plate; H-shaped shear panel damper; Stud support; Stiffener reinforcement; Mechanical characteristics
Corresponding Author:	Hae-Yong Park, Ph.D Research Center for Non Destructive Testing GmbH KOREA, REPUBLIC OF
First Author:	Jinwoo Kim, Ph.D
Order of Authors:	Jinwoo Kim, Ph.D
	Tae-Sung Eom, Ph.D
	Sung-Bo Kim, Ph.D
	Hae-Yong Park, Ph.D
Abstract:	In this study, cyclic loading tests were conducted at a constant deformation amplitude to investigate the mechanical characteristics of an H-shaped shear panel damper (HSPD)[1] fabricated with the use of SHPC steel. Two experimental conditions were established according to the test parameters for the damper unit and damper system (damper supported by studs). For each experimental condition, two types of HSPDs were applied according to the presence or absence of stiffener reinforcement. The experimental results of the damper supported by studs showed that the elastoplastic behavior of the damper part was similar to that of the damper unit. Additionally, it was shown that the stud maintained its elastic state until the end of the test. Furthermore, it was found that when the damper was reinforced with a stiffener, the plastic deformation capacity of the damper was improved significantly compared with the case in which the stiffener was not reinforced. The effect of the stiffener reinforcement was also investigated based on nonlinear finite element analysis. The plastic strain distribution of the HSPD panel was evaluated based on the analyzed results that tracked the load–deformation relationship of the experimental results. As a result, the HSPD panel part was segmented by the stiffener and the width-to-thickness ratio was reduced so that the distribution of the plastic deformation values in the panel was relatively stable, and the deformation in the out-of-plane direction could be suppressed. The results showed that the shear buckling for the same shear deformation could be delayed according to the effect of the width-to-thickness ratio of the panel which was reduced by the reinforcement of the stiffener. [1] HSPD: H-shaped shear panel damper; FE: Finite element.
Suggested Reviewers:	Sang-Hoon Oh, Ph.D Professor, Pusan National University osh@pusan.ac.kr He is an expert in this field.
	Tae-Soo Kim, Ph.D Professor, Hanbat National University tskim@hanbat.ac.kr He is an expert in this field.
Opposed Reviewers:	

Powered by Editorial Manager® and ProduXion Manager® from Aries Systems Corporation

Mechanical characteristics of H-shaped shear panel damper fabricated by SPHC steel according to stiffener reinforcement and stud support installation

Jinwoo Kim[a], Tae-Sung Eom[b], Sung-Bo Kim[c], Hae-Yong Park[d,*]

[a] Seismic Safety Center, Korea Conformity Laboratories, Republic of Korea

[b] School of Architecture, Dankook University, Republic of Korea

[c] School of Civil Engineering, Chungbuk National University, Republic of Korea

[d] Seismic Research and Test Center at Pusan National University, Republic of Korea

[*] Corresponding author: haeyong@pusan.ac.kr (Hae-Yong Park)

Abstract

In this study, cyclic loading tests were conducted at a constant deformation amplitude to investigate the mechanical characteristics of an H-shaped shear panel damper (HSPD)[1] fabricated with the use of SHPC steel. Two experimental conditions were established according to the test parameters for the damper unit and damper system (damper supported by studs). For each experimental condition, two types of HSPDs were applied according to the presence or absence of stiffener reinforcement. The experimental results of the damper supported by studs showed that the elastoplastic behavior of the damper part was similar to that of the damper unit. Additionally, it was shown that the stud maintained its elastic state until the end of the test. Furthermore, it was found that when the damper was reinforced with a stiffener, the plastic deformation capacity of the damper was improved significantly compared with the case in which the stiffener was not reinforced. The effect of the stiffener reinforcement was also investigated based on nonlinear finite element analysis. The plastic strain distribution of the HSPD panel was evaluated based on the analyzed results that tracked the load–deformation relationship of the experimental results. As a result, the HSPD panel part was segmented by the stiffener and the width-to-thickness ratio was reduced so that the distribution of the plastic deformation values in the panel was relatively stable, and the deformation in the out-of-plane direction could be suppressed. The results showed that the shear buckling for the same shear deformation could be delayed according to the effect of the width-to-thickness ratio of the panel which was reduced by the reinforcement of the stiffener.

Keywords: Hot rolled steel plate; H-shaped shear panel damper; Stud support; Stiffener reinforcement; Mechanical characteristics

[1] HSPD: H-shaped shear panel damper; FE: Finite element.

5. Conclusions

In this study, a cyclic loading test was performed at a constant amplitude to understand the mechanical characteristics according to the stud support installation and stiffener reinforcement for the H-shaped shear panel damper (HSPD) made of hot-rolled steel plate SPHC steel. In addition, the plastic strain distribution of the HSPD panel was analyzed using nonlinear FE analysis according to the stiffener reinforcement. The main results of this study are as follows:

(1) The load–deformation relationship according to the experimental results showed stable spindle hysteresis regardless of the stud support installation and stiffener reinforcement. The ratio of the experimental results to the calculated values according to the equations proposed in previous studies by these authors ranged from 0.94 to 1.06 for the full plastic shear strength ($_eQ_p/_cQ_p$), and from 0.89 to 1.13 for the initial stiffness (K_e/K_c), The validity of the equations was confirmed.

(2) The damper system was designed such that the flexural yield strength of the stud exceeded the expected maximum shear strength of the HSPD. From the test results, it was confirmed that most of the damage concentrated on the damper, and the stud support maintained its elastic behavior until the test termination.

(3) It was confirmed that the stiffener reinforcement effectively improved the maximum strength and amount of cumulative plastic deformation of the HSPD. The strength increase ratio ($_eQ_{max}/_cQ_p$) of the damper was approximately 1.2 times greater in the reinforced specimen than in the nonreinforced specimen. The cumulative plastic deformation angle ($\Sigma\gamma_p$) of the nonreinforced specimen was 0.252 on average, and the average of the reinforced specimen was 7.125. Based on the test results, it is considered that stiffener reinforcement suppressed shear buckling by reducing the panel width-to-thickness ratio of the panel part, and thus improved the deformation capacity of the HSPD and allowed sufficient strain hardening.

(4) The FE analysis results showed that the part of the tensile region generated by shear deformation of the damper was larger for the nonreinforced HSPD than for the HSPD with stiffener, and as the shear deformation increased, deformations of the tension and compression fields of the panel part were generated irregularly. This phenomenon caused the early occurrence of the out-of-plane deformation of the damper panel.

Author contributions

Jinwoo Kim: Methodology, data curation, formal analysis, validation, writing, review, and editing. **Tae-Sung Eom**: Conceptualization, investigation, validation, and resources. **Sung-Bo Kim**: Methodology, investigation, supervision, validation. **Hae-Yong Park**: formal analysis, investigation, validation, writing –original draft preparation.

Acknowledgments

This work was supported by the Korean Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport of Korea (20CTAP-C157615).

첨부 3. 성과 증빙-공인 시험성적서

공인 시험성적서 1-1

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

TEST REPORT

의 뢰 자 : (재)한국건설생활환경시험연구원 오창
주 소 : 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 73

접 수 번 호 : M213-20-14099
접 수 일 자 : 2020-09-15
발 급 일 자 : 2020-10-14
용 도 : 과제제출용
쪽 번 호 : 1/2

의뢰자제시시료명 : H 형 전단패널 강재댐퍼

의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시험장소	현장시험 (주소: 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73)
시험일자	2020-09-18
입회자	(재)FITI 시험연구원 윤용채
평가자	(재)한국건설생활환경시험연구원 김호룡
시험결과	다음장 참조

FITI 시험연구원장

※ 문서 확인 번호 : BXC9-UPMW-Q7YT ※
(홈페이지에 접속 후 "성적서확인"메뉴에서 문서 확인 번호를 통해 위 변조 여부를 확인할 수 있습니다.)

e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용도로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

접수번호 : M213-20-14099
쪽 번 호 : 2/2

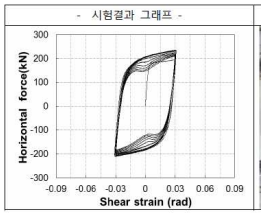
01. 전소성 전단내력과 탄성강성 (의뢰자제시시험법)

#1-1 시험 조건 및 방법					
댐퍼 높이 (mm)	진폭 (mm)	진폭 (%)	시험 속도 (mm/s)	전소성 전단내력 설계값 (kN)	탄성강성 설계값 (kN/rad)
200.0	6.0	3.0	0.1	184.6	61 379.4
- 최대 내력의 70 % 까지 일정 진폭 반복 재하 시험하였음. - 전소성 전단내력은 0.35 % 오프셋 방법을 이용하여 산출하였음. - 탄성강성은 전소성 전단내력의 1/3 값의 할선강성으로 산출하였음.					
#1-2 시험 결과					
전소성 전단내력(kN)		탄성강성(kN/rad)		반복횟수	
182.3		66 786.9		14	

주) 시험장비 : 인장압축시험기 1 000 kN (교정일자 : 2019.09.30)
길이변위계 200 mm (교정일자 : 2019.09.30)
길이변위계 50 mm (교정일자 : 2019.12.11)
길이변위계 50 mm (교정일자 : 2019.12.11)

** 시험 결과 기록 완료 **

- 시험결과 그래프 -



- 시험사진 -



e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용도로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

공인 시험성적서 1-2

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

TEST REPORT

의 뢰 자 : (재)한국건설생활환경시험연구원 오창
주 소 : 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 73

접 수 번 호 : M213-20-14100
접 수 일 자 : 2020-09-15
발 급 일 자 : 2020-10-14
용 도 : 과제제출용
쪽 번 호 : 1/2

의뢰자제시시료명 : H 형 전단패널 강재댐퍼

의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시험장소	현장시험 (주소: 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73)
시험일자	2020-09-18
입회자	(재)FITI 시험연구원 윤용채
평가자	(재)한국건설생활환경시험연구원 김호룡
시험결과	다음장 참조

FITI 시험연구원장

※ 문서 확인 번호 : AZUB-8RKZ-WFJA ※
(홈페이지에 접속 후 "성적서확인"메뉴에서 문서 확인 번호를 통해 위 변조 여부를 확인할 수 있습니다.)

e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용도로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

접수번호 : M213-20-14100
쪽 번 호 : 2/2

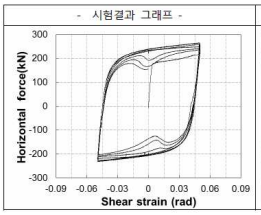
01. 전소성 전단내력과 탄성강성 (의뢰자제시시험법)

#1-1 시험 조건 및 방법					
댐퍼 높이 (mm)	진폭 (mm)	진폭 (%)	시험 속도 (mm/s)	전소성 전단내력 설계값 (kN)	탄성강성 설계값 (kN/rad)
200.0	10.0	5.0	0.1	184.6	61 379.4
- 최대 내력의 70 % 까지 일정 진폭 반복 재하 시험하였음. - 전소성 전단내력은 0.35 % 오프셋 방법을 이용하여 산출하였음. - 탄성강성은 전소성 전단내력의 1/3 값의 할선강성으로 산출하였음.					
#1-2 시험 결과					
전소성 전단내력(kN)		탄성강성(kN/rad)		반복횟수	
181.0		57 501.2		7	

주) 시험장비 : 인장압축시험기 1 000 kN (교정일자 : 2019.09.30)
길이변위계 200 mm (교정일자 : 2019.09.30)
길이변위계 50 mm (교정일자 : 2019.12.11)
길이변위계 50 mm (교정일자 : 2019.12.11)

** 시험 결과 기록 완료 **

- 시험결과 그래프 -



- 시험사진 -



e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용도로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

첨부 3. 성과 증빙–공인 시험성적서

공인 시험성적서 2–1

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청3길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

TEST REPORT

의 뢰 자 : (재)한국건설생활환경시험연구원 오창
주 소 : 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73

접 수 번 호 : M213-20-17245
접 수 일 자 : 2020-11-11
발 급 일 자 : 2020-12-07
용 도 : 과제제출용
쪽 번 호 : 1/2

의뢰자제시시료명 : 전단패널 강재댐퍼_H형 열간압연

의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시험장소	한국건설생활환경시험연구원 오창지원
시험일자	2020-11-11
시험장비	인장압축시험기 1 000 kN (교정일자 : 2020.10.05) 길이변위계 200 mm (교정일자 : 2020.10.05) 길이변위계 50 mm (교정일자 : 2020.10.06) 길이변위계 50 mm (교정일자 : 2020.10.06)
입회자	(재)FITI 시험연구원 윤용채
명가자	(재)한국건설생활환경시험연구원 김호룡
시험결과	다음장 참조

FITI 시험연구원장

※ 문서 확인 번호 : QZPM-XV51-GH1Y ※
(홈페이지에 접속 후 "성적서확인"메뉴에서 문서 확인 번호를 통해 위 변조 여부를 확인할 수 있습니다.)

e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 무단 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청3길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

접수번호 : M213-20-17245
쪽 번 호 : 2/2

01. 풍하중 시험 (건축구조기준(KBC 2016)) : 육안판정

진폭(rad)	진동수(Hz)	반복횟수	육안판정
0.001 27	2.16	2 000	항복, 파손을 포함하는 손상 징후 없음

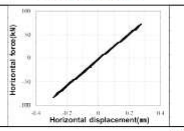
02. 지진하중 시험 (건축구조기준(KBC 2016))

파형	진폭(rad)	진동수(Hz)	반복횟수	변위 원점에서의 하중(kN)			이력곡선 면적
				횟수	최소	최대	(kN·mm)
정현파	0.001 27	2.16	5	1	-205	215	6 808
				2	-221	219	7 509
				3	-219	213	7 407
				4	-205	180	6 972
				5	-174	148	6 375

** 시험 결과 기록 완료 **

풍하중 시험

- 시험결과 그래프 -

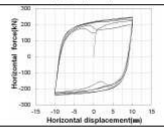


- 시험사진 -



지진하중 시험

- 시험결과 그래프 -



- 시험사진 -



e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 무단 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

공인 시험성적서 2–2

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청3길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

TEST REPORT

의 뢰 자 : (재)한국건설생활환경시험연구원 오창
주 소 : 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73

접 수 번 호 : M213-20-17242
접 수 일 자 : 2020-11-11
발 급 일 자 : 2020-12-07
용 도 : 과제제출용
쪽 번 호 : 1/2

의뢰자제시시료명 : 전단패널 강재댐퍼_Build H형

의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시험장소	한국건설생활환경시험연구원 오창지원
시험일자	2020-11-11
시험장비	인장압축시험기 1 000 kN (교정일자 : 2020.10.05) 길이변위계 200 mm (교정일자 : 2020.10.05) 길이변위계 50 mm (교정일자 : 2020.10.06) 길이변위계 50 mm (교정일자 : 2020.10.06)
입회자	(재)FITI 시험연구원 윤용채
명가자	(재)한국건설생활환경시험연구원 김호룡
시험결과	다음장 참조

FITI 시험연구원장

※ 문서 확인 번호 : RHEJ-A6RJ-M11X ※
(홈페이지에 접속 후 "성적서확인"메뉴에서 문서 확인 번호를 통해 위 변조 여부를 확인할 수 있습니다.)

e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 무단 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청3길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

접수번호 : M213-20-17242
쪽 번 호 : 2/2

01. 풍하중 시험 (건축구조기준(KBC 2016)) : 육안판정

진폭(rad)	진동수(Hz)	반복횟수	육안판정
0.001 27	2.16	2 000	항복, 파손을 포함하는 손상 징후 없음

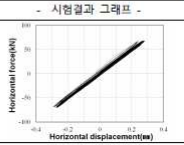
02. 지진하중 시험 (건축구조기준(KBC 2016))

파형	진폭(rad)	진동수(Hz)	반복횟수	변위 원점에서의 하중(kN)			이력곡선 면적
				횟수	최소	최대	(kN·mm)
정현파	0.001 27	2.16	5	1	-156	162	5 722
				2	-164	164	6 209
				3	-167	165	6 284
				4	-168	165	6 294
				5	-169	166	6 303

** 시험 결과 기록 완료 **

풍하중 시험

- 시험결과 그래프 -

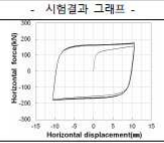


- 시험사진 -



지진하중 시험

- 시험결과 그래프 -



- 시험사진 -



e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 무단 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

첨부 3. 성과 증빙-공인 시험성적서

공인 시험성적서 3-1

fiti

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

TEST REPORT

의 뢰 자 : (재)한국건설생활환경시험연구원 오창
주 소 : 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 73

접 수 번 호 : M213-20-17360
접 수 일 자 : 2020-11-13
발 급 일 자 : 2020-12-31
용 도 : 과제제출용

의뢰자제시시료명 : Build H 형 전단패널 강재댐퍼 모듈시스템(스티프너 O) 쪽 번 호 : 1/2

의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시험장소	현장시험 (주소: 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73)
시험일자	2020-11-27
입회자	(재)FITI 시험연구원 윤용재
평가자	(재)한국건설생활환경시험연구원 김호룡
시험결과	다음장 참조

FITI 시험연구원장

※ 문서 확인 번호 : CRFB-EU41-PENC ※
(홈페이지에 접속 후 "성적서확인"메뉴에서 문서 확인 번호를 통해 위 번호 여부를 확인할 수 있습니다.)

e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

fiti

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

접수번호 : M213-20-17360
쪽 번 호 : 2/2

01. 전소성 전단내력, 탄성강성과 최대내력 (의뢰자제시시험법)

#1-1 시험 조건 및 방법

간주크기 (mm)	간주높이 (mm)	댐퍼높이 (mm)	진폭	시험속도 (mm/s)	전소성 전단내력 설계값(kN)	탄성강성 설계값(kN/rad)	최대내력 설계값(kN)
500x200x10x16	2 100.0	208.7	24.0 mm (1/100 rad)	0.1	119	59 140	154

- 진폭은 층간변위비 1/100 rad 로 진행하였음.
- 최대 내력의 90 % 까지 일정 진폭 반복 재하 시험하였음.
- 전소성 전단내력은 0.35 % 오프셋 방법을 이용하여 산출하였음.
- 탄성강성은 전소성 전단내력 실험값에 대해 1/3 값의 할선강성으로 산출하였음.

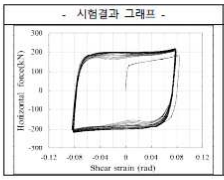
#1-2 시험 결과

전소성 전단내력(kN)	탄성강성(kN/rad)	최대내력(kN)	반복횟수
129	64 081	217	19

주) 시험장비 : 인장압축시험기 (교정일자 : 2019.12.12)
길이변위계 10 mm (교정일자 : 2020.10.05)
길이변위계 50 mm (교정일자 : 2019.12.11)
길이변위계 100 mm (교정일자 : 2019.12.11)

** 시험 결과 기록 완료 **

- 시험결과 그래프 -



- 시험사진 -



e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

공인 시험성적서 3-2

fiti

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

TEST REPORT

의 뢰 자 : (재)한국건설생활환경시험연구원 오창
주 소 : 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 73

접 수 번 호 : M213-20-17359
접 수 일 자 : 2020-11-13
발 급 일 자 : 2020-12-31
용 도 : 과제제출용

의뢰자제시시료명 : Build H 형 전단패널 강재댐퍼 모듈시스템(스티프너 X) 쪽 번 호 : 1/2

의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시험장소	현장시험 (주소: 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73)
시험일자	2020-11-26
입회자	(재)FITI 시험연구원 윤용재
평가자	(재)한국건설생활환경시험연구원 김호룡
시험결과	다음장 참조

FITI 시험연구원장

※ 문서 확인 번호 : S33U-RAXM-YC7W ※
(홈페이지에 접속 후 "성적서확인"메뉴에서 문서 확인 번호를 통해 위 번호 여부를 확인할 수 있습니다.)

e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

fiti

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

접수번호 : M213-20-17359
쪽 번 호 : 2/2

01. 전소성 전단내력, 탄성강성과 최대내력 (의뢰자제시시험법)

#1-1 시험 조건 및 방법

간주크기 (mm)	간주높이 (mm)	댐퍼높이 (mm)	진폭	시험속도 (mm/s)	전소성 전단내력 설계값(kN)	탄성강성 설계값(kN/rad)	최대내력 설계값(kN)
500x200x10x16	2 100.0	208.7	24.0 mm (1/100 rad)	0.1	119	59 140	154

- 진폭은 층간변위비 1/100 rad 로 진행하였음.
- 최대 내력의 90 % 까지 일정 진폭 반복 재하 시험하였음.
- 전소성 전단내력은 0.35 % 오프셋 방법을 이용하여 산출하였음.
- 탄성강성은 전소성 전단내력 실험값에 대해 1/3 값의 할선강성으로 산출하였음.

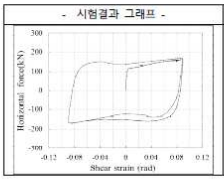
#1-2 시험 결과

전소성 전단내력(kN)	탄성강성(kN/rad)	최대내력(kN)	반복횟수
116	53 549	167	2

주) 시험장비 : 인장압축시험기 (교정일자 : 2019.12.12)
길이변위계 10 mm (교정일자 : 2020.10.05)
길이변위계 50 mm (교정일자 : 2019.12.11)
길이변위계 100 mm (교정일자 : 2019.12.11)

** 시험 결과 기록 완료 **

- 시험결과 그래프 -



- 시험사진 -



e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

첨부 3. 성과 증빙–공인 시험성적서

공인 시험성적서 4

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

TEST REPORT

의 뢰 자 : (재)한국건설생활환경시험연구원 오창
주 소 : 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 73

접 수 번 호 : M255-21-02015
접 수 일 자 : 2021-04-19
발 급 일 자 : 2021-06-30
용 도 : 연구개발용

의뢰자제시시료명 : 댐퍼 모듈시스템 접합부(바닥보)-보측면 관통 앵커(우) 쪽 번 호 : 1/3

의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

■ 시 험 결 과 ■

시험장소	현장시험 (경기도 안산시 상록구 사동 1271 한양대학교친환경건축연구센터신관 302 (주)토탈이엔씨)
시험일자	2021-04-19
시험장비	압축시험기 1 000 kN (교정일자 : 2020. 04. 16)
입회자	(재)FITI 시험연구원 융용채
평가자	(재)한국건설생활환경시험연구원 김호룡, (주)토탈이엔씨 김상학 차장
시험결과	다음장 참조

FITI 시험연구원장

※ 문서 확인 번호 : R9RF-PBMK-67M8 ※
(홈페이지에 접속 후 "성적서확인"메뉴에서 문서 확인 번호를 통해 위 변조 여부를 확인할 수 있습니다.)

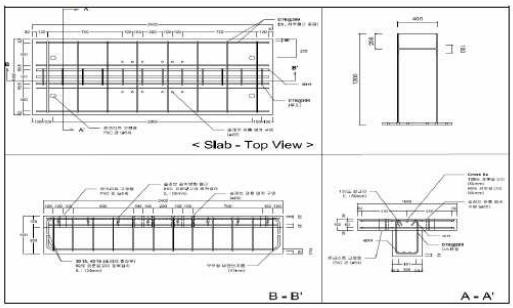
e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

접수번호 : M255-21-02015
쪽 번 호 : 2/3

01. 최대내력 (의뢰자제시시험법) : kN

#1-1 시험체 상세



#1-2 시험 조건 및 방법

구분	STEP				
	1	2	3	4	5
변위(mm)	+2.5	-2.5	+5.0	-5.0	+5 mm 단위로 증가
목표하중(kN)	+50.0	-50.0	+100.0	-100.0	-

- 시험속도 : 0.05 mm/s
- STEP 1~4 : 목표하중 및 변위 중 높은 값에 도달할 때 까지 가력
- STEP 5 : +5 mm 단위로 제품 파괴시까지 가력

#1-3 시험 결과

최대내력(kN)
177

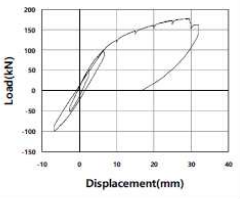
** 시험 결과 기록 완료 **

e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

접수번호 : M255-21-02015
쪽 번 호 : 3/3

- 시험 결과 그래프 -



- 시험 현황 -



- 시험 종료 후 현황 -



e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

첨부 3. 성과 증빙–공인 시험성적서

공인 시험성적서 5

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

TEST REPORT

의 뢰 자 : (재)한국건설생활환경시험연구원 오창
주 소 : 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 73

접 수 번 호 : M255-21-02015-01
접 수 일 자 : 2021-04-19
발 급 일 자 : 2021-06-30
용 도 : 연구개발용

의뢰자제시시료명 : 댐퍼 모듈시스템 접합부(바닥보)-보측면 관통 앵커(유) 쪽 번 호 : 1/3

의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

■ 시 험 결 과 ■

시험장소	현장시험 (경기도 안산시 상록구 사동 1271 한양대학교친환경건축연구센터신관 302 (주)토탈이엔씨)
시험일자	2021-04-19
시험장비	압축시험기 1 000 kN (교정일자 : 2020. 04. 16)
입회자	(재)FITI 시험연구원 윤용채
평가자	(재)한국건설생활환경시험연구원 김호룡, (주)토탈이엔씨 김상학 차장
시험결과	다음장 참조

FITI 시험연구원장

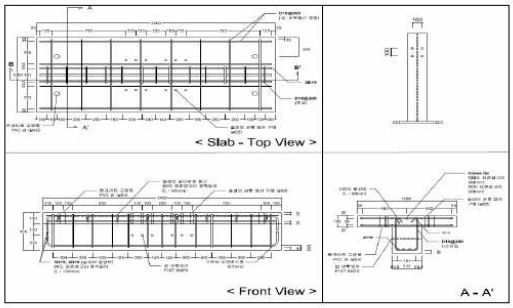
※ 문서 확인 번호 : E6WT-MYJ2-MEVI ※
(홈페이지에 접속 후 "성적서확인"메뉴에서 문서 확인 번호를 통해 위 변조 여부를 확인할 수 있습니다.)

e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

01. 최대내력 (의뢰자제시시험법) : kN

#1-1 시험체 상세



#1-2 시험 조건 및 방법

구분	STEP				
	1	2	3	4	5
변위(mm)	+2.5	-2.5	+5.0	-5.0	+5 mm 단위로 증가
목표하중(kN)	+50.0	-50.0	+100.0	-100.0	-

- 시험속도 : 0.05 mm/s
- STEP 1~4 : 목표하중 및 변위 중 높은 값에 도달할 때 까지 가력
- STEP 5 : +5 mm 단위로 제품 파괴시까지 가력

#1-3 시험 결과

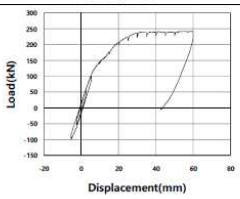
최대내력(kN)
242

** 시험 결과 기록 완료 **

e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

(28115) 충북 청주시 청원구 오창읍 양청 3 길 21
Tel : 043-711-8875 Fax : 043-711-8804

- 시험 결과 그래프 -



- 시험 현황 -



- 시험 종료 후 현황 -



e-DOCUMENT SERVICE
이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전제제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
이 성적서는 FITI 와 사전 서면 동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 무관함을 알려 드립니다.

첨부 4. 성과 증빙-특허 출원 1

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2020.12.15
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2020-0175587 (접수번호 1-1-2020-1362508-89) (DAS접근코드 BC6A)
출원인 명칭	(주)에이엠에스 엔지니어링(1-2005-006952-0)
대리인 성명	특허법인 도담(9-2018-100162-9)
발명자 성명	김재환 김선웅 김진우 김호룡 엄태성
발명의 명칭	접합부 응력집중을 최소화하는 전단항복형 강재댐퍼를 활용한 제진보강 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특

첨부 4. 성과 증빙-특허 출원 2

관인생략

출원번호통지서

출원일자	2021.07.01
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호	10-2021-0086620 (접수번호 1-1-2021-0762661-38) (DAS접근코드D979)
출원인 명칭	(주)에이엠에스 엔지니어링(1-2005-006952-0)
대리인 성명	특허법인 도담(9-2018-100162-9)
발명자 성명	김재환 김선웅 김진우 김호룡 엄태성
발명의 명칭	건물 외부 장착 방식의 내진 보강 공법 및 구조체

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

첨부 4. 성과 증빙-특허 출원 3

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2021.11.25
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(KPA210693)
출 원 번 호	10-2021-0164736 (접수번호 1-1-2021-1365586-89) (DAS접근코드1B1D)
출원인 명칭	단국대학교 산학협력단(2-2005-016634-4) 외 2명
대리인 성명	특허법인 한얼(9-2020-100061-3)
발명자 성명	엄태성 허무원 류한태 김진우 김호룡 김재환 김선웅
발명의 명칭	내진 보강을 위한 감쇠장치 고정장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

첨부 5. 성과 증빙-특허 등록



특허증

CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number 제 10-2321433 호

출원번호 Application Number 제 10-2021-0086620 호

출원일 Filing Date 2021년 07월 01일

등록일 Registration Date 2021년 10월 28일

발명의 명칭 Title of the Invention

건물 외부 장착 방식의 내진 보강 구조체

특허권자 Patentee

(주)에이엠에스 엔지니어링(160111-*******)

대전광역시 유성구 지족로364번길 19, 성훈프라자 804호 (지족동)

발명자 Inventor

등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2021년 10월 28일

QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요

특허청장

COMMISSIONER,

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

김 용 래

특허청

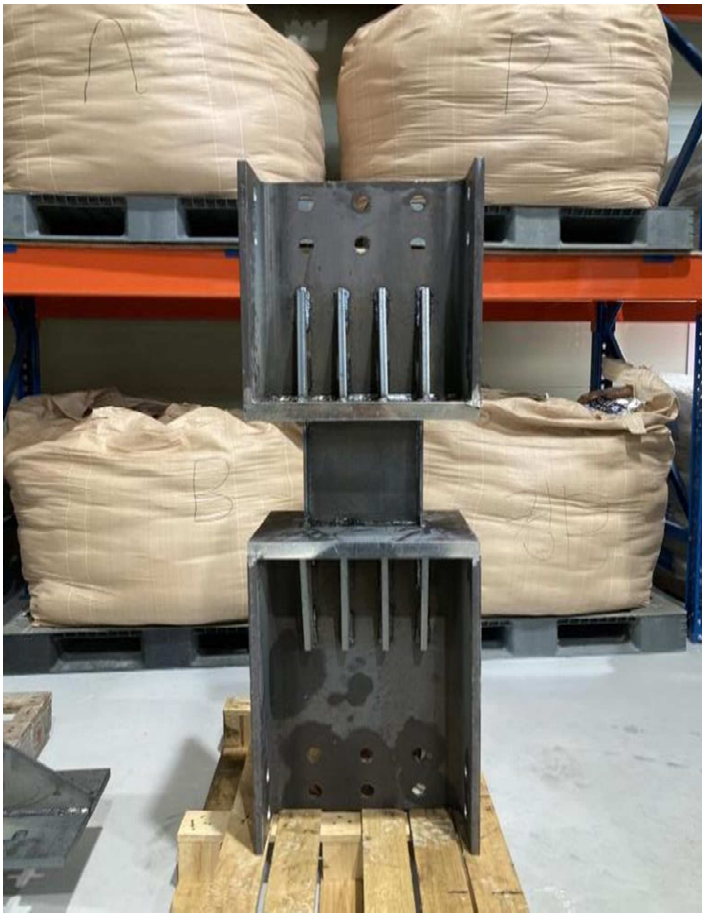
Korean Intellectual Property Office

첨부 6. 성과 증빙-시제품 제작(상부 접합체)





첨부 6. 성과 증빙-시제품 제작(댐퍼)





첨부 6. 성과 증빙-시제품 제작(하부 접합체)





첨부 7. 성과 증빙-저작권 등록(소프트웨어)

제 C-2020-035476 호

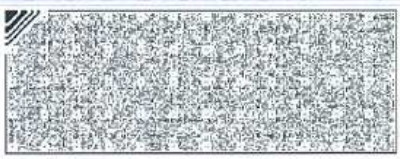
저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	H형 전단패널 댐퍼 설계 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	재단법인 한국건설생활환경시험연구원 오창 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길
4. 생년월일(법인등록번호)	254322-0013138
5. 창작연월일	2020년10월07일
6. 공표연월일	2020년10월07일
7. 등록연월일	2020년10월15일
8. 등록사항	저작자 : 재단법인 한국건설생활환경시험연구원 오창, 창작 : 2020.10.07, 공표 : 2020.10.07

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2020년 10월 15일

한국저작권위원회


첨부 8. 성과 증빙-논문(학술발표대회)

논문 1

간주 지지형 H형 전단패널 강재댐퍼의 전소성 상태에 대한 목표 층간변위비 설정방법

The method of setting the target story drift ratio for the full plastic state of the H-type shear panel steel damper supported by a stud

김 호 룡[1] · 엄 태 성[2] · 김 재 환[3] · 김 성 보[4] · 김 진 우[5]*
Kim, Ho Ryong, Eom, Tae Sung, Kim, Jae Hwan, Kim, Sung Bo, Kim, Jin Woo

ABSTRACT : In this study, we propose a method to set the story drift ratio when the damper reaches the full plastic state for the H-type shear panel steel damper supported by stud, Therefore, the full plastic shear strength based on the collapse mechanism of the H-type shear panel steel damper and the stiffness considering the bending deformation and shear deformation of the damper and the support member were calculated, The story drift ratio when the damper reaches the full plastic state is presented by using the relationship between the stiffness ratio of the damper and the support member and the story drift ratio, In order to verify this method, we conducted a loading test on an H-type shear panel steel damper supported by a stud and confirmed the consistency of the proposed method.

1. 서 론

지진에너지 흡수부재의 한 종류인 H형 전단패널 강재댐퍼는 전단항복 후 반복소성변형에 의해 지진에너지를 흡수하여 기둥·보 등의 주요부재에 발생하는 작용력을 감소시킨다. 댐퍼를 지지하는 형식에 따라 간주 지지형식, 브레이스 지지형식 등이 있으며 본 연구에서 대상으로 하는 간주 지지형식은 층고의 중앙에 배치되는 댐퍼와 이를 지지하는 간주가 상하의 보에 접합되며 지진 시에는 보에서 간주를 통해 댐퍼에 전단력이 작용하며, 이로 인해 댐퍼가 전단항복 후 소성변형하는 메커니즘을 갖는다[1].

본 연구에서는 간주 지지된 H형 전단패널 강재댐퍼(이하, 강재댐퍼)를 대상으로 댐퍼가 전소성 상태에 도달할 때의 층간변위비를 설정하는 방법을 제안하고 가력실험을 통해 이를 검증하고자 한다.

2. 전소성 전단내력, 초기강성 및 층간변위비 산정

강재댐퍼의 전소성 전단내력을 산정하는 방법은 선행연구를 참조하였으며[1], 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 전소성 전단내력 $_pQ_y$은 소성이론과 가상일의 원리를 이용하여 댐퍼가 수평력 Q에 의해 전소성 상태에 도달할 때에는 휨항복 영역과 전단항복 영역으로 구분된다. 이때 전단항복 한 부위가 패널부의 폭 안에 존재하는 경우와 플랜지 두께 안에 존재하는 경우를 고려하여 이중 최소값을 선택하여 산정한다.

그림 1에 간주 지지된 강재댐퍼의 변형상태를 나타낸다. 전체변형은 휨에 의한 변형 δ_b(간주와 댐퍼의 휨변형의 합), 전단에 의한 변형 δ_s(간주와 댐퍼의 전단변형의 합)과 간주의 휨변형에 의한 댐퍼의 회전변형 $_p\theta_b$으로 구분된다. 즉, 간주 지지된 강재댐퍼의 초기강성은 수평력 Q와 휨변형각(각 부재의 높이에 대한 휨변형의 비), 전단변형각(각부재의 높이에 대한 전단변형의 비)의 관계를 이용하여 나타낼 수 있으며, 표 1에 각 부재에 대한 초기강성을 정리하여 나타낸다.

표 1. 각 부재의 초기강성 산정식

부재	초기 강성식
H형 전단패널 강재댐퍼	$_pK_i = \left(\frac{h^2}{12\cdot E\cdot I_p} + \frac{1}{\zeta G\cdot A_p}\right)^{-1}$, $(Q = {}_pK_i\delta_i,\ \zeta = \frac{6^2}{5})$ 여기서, $_pK_i$=댐퍼의 초기강성, $_pE$=탄성계수, I=단면2차모멘트, $_pG$=전단탄성계수, $_pA_p$=웨브의 단면적, ζ=댐퍼 변형각, $_pb$=댐퍼 수평 변위, h=댐퍼 높이
간주 (지지 부재)	$K_i = \left(\frac{1}{nE\cdot I_c}\cdot\left(\frac{H^2}{3} + \frac{H^2\cdot h}{4}\right) + \left(\frac{{}_nA_w + {}_nA_f\cdot\frac{d}{6}}{{}_nA_w + {}_nA_f\cdot\frac{d}{3}}\right)\cdot\frac{1}{{}_nG\cdot{}_nA_w}\right)^{-1}$ $(Q = {}_nK_i\cdot{}_n\delta_i,\ {}_n\delta_i = \frac{nH}{R})$ 여기서, $_nK_i$=간주의 초기강성, $_nE$=간주의 탄성계수, $_nI_c$=단면 2차모멘트, H=간주 높이, $_nA_f$=간주 플랜지의 단면적, $_nA_w$=간주 웨브의 단면적, $_nG$=간주 전단탄성계수, $_n\gamma$=간주 변형각, $_n\delta_i$=댐퍼 수평변위
간주지지 H형 전단패널 강재댐퍼	$K_s = \left(\left(\frac{1}{{}_pK_i}\cdot h + \frac{1}{{}_nK_i}\cdot 2H + \frac{H^2\cdot h + H\cdot h^2}{2\cdot E\cdot I}\right)\left(\frac{1}{2H+h}\right)\right)^{-1}\cdot$ $(Q = K_s\cdot R,\ R = \frac{2}{2H+h})$ 여기서, K_s=간주지지 된 댐퍼의 초기강성, R=층간변위비, δ_i=간주 지지된 댐퍼의 수평변위

* 교신저자(Corresponding Author, kimjinwoo@kcl.re.kr)
1) (재)한국건설생활환경시험연구원 선임연구원
충북대학교 방재공학협동과정학과 박사과정
2) 단국대학교 건축공학과 부교수, 공학박사
3) AMS 엔지니어링 대표이사, 공학박사
4) 충북대학교 토목공학과 교수, 공학박사
5) (재)한국건설생활환경시험연구원 선임연구원, 공학박사

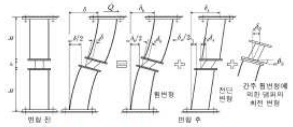


그림 1. 간주 지지형 H형 전단패널 강재댐퍼의 변형상태

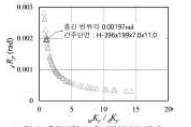


그림 2. 층간변위비-초기강성비의 관계

그림 2에 강재댐퍼의 댐퍼가 전소성상태에 도달할 때의 층간변위비 $_pR_y$와 강재댐퍼와 간주의 초기강성비 $_pK_i/_nK_i$의 관계의 일례를 나타낸다. 그림은 댐퍼의 제원(단면형상 : H-222×50×4.0×6.0, 높이 : 208mm, 강종 SHPC, 전소성 전단내력 계산값 : 119kN)을 고정으로 하고 KS D 3503[2]와 표1을 참조하여 산정한 간주의 강성을 변수(단면형상 : H형강, 강종 : SS275)로 나타낸 그래프이다. 이 그림을 바탕으로 3장에서는 $_pR_y$가 0.002rad 근방의 간주의 단면을 선택하여 가력실험하였다.

3. 실험개요 및 결과

그림 3에 실험체와 재하장치의 개요를 나타낸다. 실험체는 2장에서 검토한 단면제원 및 강종의 댐퍼와 단면형상 H-396×199×7.0×11.0, 한쪽 높이 1,050mm의 간주로 구성되며 시험체에 역대칭 모멘트가 분포하도록 간주의 양단부를 재하장치에 고정하였다. 재하방법은 2,500kN의 수평 액츄에이터를 이용하여 최대내력의 70% 이하로 저하될 때 까지 층간 변형각 0.01rad으로 일정진폭 반복가력 하였다. 또한, 실험체에 장기축력이 작용하지 않는 경우를 고려하여 수직 액츄에이터를 제어하였다.

그림 4에 실험체의 하중-변위 관계를 나타낸다. 그림으로부터 댐퍼는 안정된 방추형의 이력곡선을 나타내며 재하 종료까지 간주는 탄성거동하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5에 실험결과로부터 얻은 각 부재의 초기강성, 댐퍼의 전소성 전단내력, 댐퍼가 전소성 상태에 도달할 때의 층간변형비를 2장에서 산출한 계산값과 비교하여 나타낸다. 댐퍼의 전소성 전단내력의 실험값은 댐퍼의 하중-변위 곡선의 1cycle에서 0.35% off-set내력으로 산출한 값이며 각 부재의 탄성강성은 댐퍼의 전소성 전단내력 실험값에 대해 1/3값의 할선강성으로 산출한 값이다.

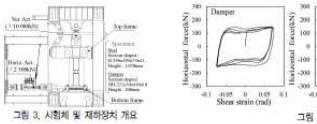


그림 3. 시험체 및 재하장치 개요

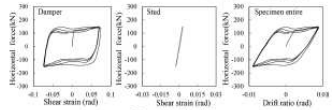


그림 4. 하중-변위 관계

각 부재의 탄성강성의 실험값과 계산값의 비는 댐퍼 93%, 간주 93%, 전체 101%이며, 댐퍼의 전소성전단내력 실험값과 계산값의 비는 99%이다. 또한, 댐퍼가 전소성상태에 도달할 때의 층간변위비에 대한 실험값과 계산값의 비는 120%로 2장에서 산출한 방법으로 실험결과를 양호하게 평가하고 있는 것을 확인할 수 있다.

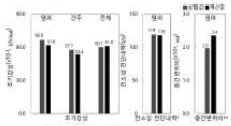


그림 5. 실험 결과와 계산 결과의 비교

5. 결 론

본 연구에서는 간주 지지된 H형 전단패널 강재댐퍼를 대상으로 댐퍼가 전소성 상태에 도달할 때의 층간변위비를 설정하는 방법을 제안하였고 가력실험을 통해 이를 검증하였다.

참고문헌

김호룡, 김성보, 엄태성, 김재환, 김진우 (2020) 일정진폭 변형을 받는 H형 전단패널 강재댐퍼의 역학특성에 관한 실험 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제32권, 제5호, pp.321-330.

국가기술표준원(2021) KS D 3502 열간 압연 형강의 모양치수·무게 및 그 허용차

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(20CTAP-C157615-01)에 의해 수행되었습니다.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '기존 건축물 대비 층간 변위비 40% 저감 및 초기강성 20% 향상 가능한 저비용·고효율 제진보강 공법 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.