마찰로 지진을 이기자!

부산한번가고싶조

김유석 교수님 장홍석(4) 오현준(4) 임주원(4) 이창근(5)

19개년 관측 이후 한반도 역대 최대 규모 지진

가정 상황 2016년 9월 12일, 경상북도 경주시 남남서쪽 8km에서 규모 5.8지진 발생

피해 현황? 부상자 23명, 재산상 피해 5,120건

피해 유형? 지붕, 담장, 차량 파손과 건물 균열, 수도배관 파열 등

규모 5.8 경주 지진에 "큰 피해"가 없었던 이유는?

건물의 높이가 높을 수록 장주기화 고유진공수 ↓

건물의 강성이 높을 수록 고유 진공수 ↑

경주 지진 탁월 주기 0.1~0.3초 (0.1~0.16초)

일반 건물 고유 주기 0.4초 (0.2초 이상)

<경주 지진의 주기 영역>

0.1초 부근에서 가속도 응답이 탁월

0.2초 이상의 주기 영역에선 가속도 응답이 매우 작음

* 지진의 탁월 주기 ≠ 건물의 고유주기" 이면 건물이 받는 가속도 응답이 적어진다.
▶ 건물이 받는 피해가 적어진다.

목표 내진성능

① 지반 가속도 0.7g 수준에서 구조물의 파괴 유도 설계

"지진의 탁월 주기 = 건물의 고유 주기"이면 건물에 큰 피해 발생

지진하중 분석 결과 0.13 ~ 0.67초의 주기대역에서 최대 지진응답가속도발생

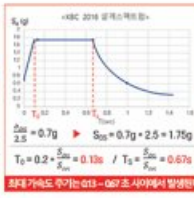
② 시공성과 경제성을 고려한 설계

시공성 → 5시간 이내 만족 ▶ 시공성 평가를 위해 2시간 이내 목표

경제성 → 2400만원 기준금액 평가 ▶ 경제성 평가를 위해 2000만원 이내 목표

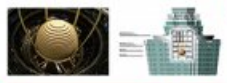
③ 구조해석 능력 외 도면화, 수량산출 및 내역작성

④ 구조물의 지진 시 거동 예측 능력 및 부재감도 평가



최대 가속도 주기는 0.13 ~ 0.67초 사이에서 발생한다.

사례, 타이페이 101 빌딩 (2003, 대만)



101층의 초고층 빌딩의 풍하중 저항 + 초고층 건물의 내진 설계 필요

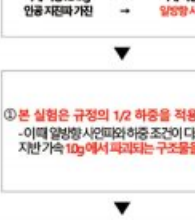
육상부 TMD(Tuned Mass Damper) 제진 시스템 사용 ▶ Mass를 이용하여 건물의 흔들림 제어

02. 모델 설명

[1층 중심코어 및 가새 설치]

내진 보강을 위하여 코어 및 가새를 통한 내진 보강

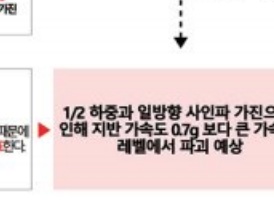
• 일면 전단력



일면 전단력 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4

전단력이 가장 크기 때문에 보강 필요

• 1층 보강 구성

	1층 중심코어 설치		1층 X,V자 가새 설치		
	중심 코어X	중심 코어O	가새 없음	V자 가새	X자 가새
MIDAS 응력분포도					
최대 응력	22.19 MPa	1.50 MPa	1.50 MPa	1.23 MPa	1.33 MPa
최대 변위	263.27 mm	43.06 mm	43.06 mm	40.77 mm	41.21 mm
분석	중심코어는 응력과 변위를 줄여주어 보강하는 효과가 있다.		<최대변위 및 응력 요율순> VX자 가새 > X자 가새 > 가새없음		

[1층 기둥 단부 실(띠철근) 보강]

층 전단력이 가장 큰 1층 기둥의 취성파괴 방지를 위한 보강

① 기둥의 일체화	② 띠철근 배근
일체화의 이유 - 접합부에서 파괴를 일으키지 않기 위함 - 기둥을 상부까지 일체화 시켜 접합부와 조립식 형태로 설계	띠 철근의 효과 : 수평력에 대한 전단 보강 기둥 주철근 좌굴 방지 내부의 띠철근을 외부로 돌출시켜 기둥의 취성파괴를 막아주는 역할

[기둥 일체화 거동]

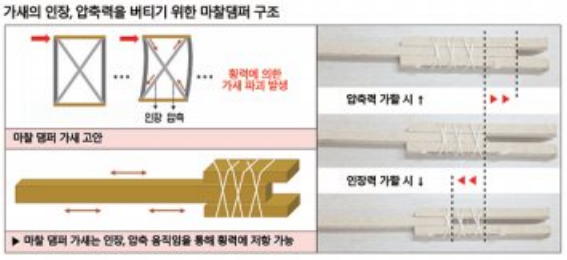
기둥부재를 일체화함으로써 접합부에서의 파괴 방지

①	②	③
Ix = Iy = 832mm⁴	Ix = Iy = 832mm⁴	Ix = 2048mm⁴, Iy = 288mm⁴
비용 : 40(백만원) -웨지 효율성이 좋음 -편심 하중 우려 없음	비용 : 40(백만원) -①안과 x,y축 성능 동일 -웨지 효율성이 좋지 않음	비용 : 40(백만원) -기둥 편심 하중 우려 -약축은 ① 대안에 불리

▶ ①안이 동일비용(40백만원)에서 성능이 제일 유리함으로 채택

[마찰 댐퍼 가새]

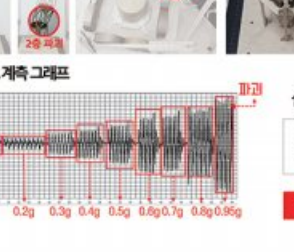
가새의 인장, 압축력을 버티기 위한 마찰댐퍼 구조



[마찰 댐퍼 슬래브]

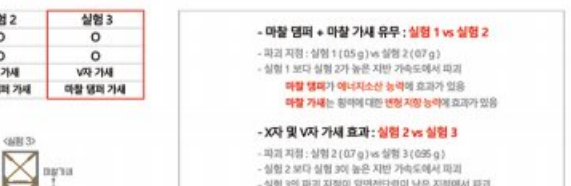
지반 가속도 0.7g에서 파괴를 유도하는 제진 장치 고임실을 슬래브 하단에 부착하여 타 부재 간섭 방지

• 슬래브와 댐퍼 구성



• 댐퍼 구조

[마찰 실험]



03. 실험

실험 구성

	실험 1	실험 2	실험 3
중심 코어	O	O	O
마찰 댐퍼	X	O	O
1층 가새	X자 가새	X자 가새	V자 가새
보강 가새	일반 MDF	마찰 댐퍼 가새	마찰 댐퍼 가새

실험 시 고려 사항

- 본 실험에 사용하는 Shaking Table은 일방향 사인파만 가진할 수 있다.
- Shaking Table의 최대 적재 하중은 20kg이다.

▶ 실험 조건 한계 상황 확인

▼

Shaking Table의 한계 상태를 고려해야함

대회 규정		본 실험
적재 하중:24kg	→	적재 하중:13kg
인공지진파 가진	→	일방향 사인파 가진

▼

① 본 실험은 규정의 1/2 하중을 적용
-이력 일방향 사인파와 하중 조건이 다르기 때문에 지반 가속 1.0g 에서 파괴되는 구조물을 목표한다.

▶ 1/2 하중과 일방향 사인파 가진으로 인해 지반 가속도 0.7g 보다 큰 가속도 레벨에서 파괴 예상

규정에 유사한 실험 목표 구성

▼

② 마찰댐퍼의 유무를 통한 댐퍼의 성능 효과 확인

▶ 댐퍼를 통한 에너지 소산 능력 확인

▼

③ 2번에서 취약부 보강을 통해 지반 가속도 1.0g 에서 파괴되는 구조물 재설계

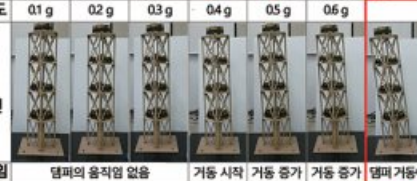
▶ 취약부 보강을 통한 정확한 내진 설계 도입

실험 1 : [일반 MDF가새 + 중심코어(o) + 1층 X자 가새 + 마찰댐퍼(x)구조]

재하하중	총 하중 : 13kg (슬래브 하중분산배치 3kg, 옥상부하중 4kg)						하중 조건	0.1 g - 1.0 g 사인파 순차적 가진
지반가속도	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g	0.5 g (파괴)			
실험 사진								목표 치 미달
구조물 변위	변위 0단계	변위 0단계	변위 0단계	변위 1단계	변위 2단계 , 1층 기둥 휨힘 파괴			

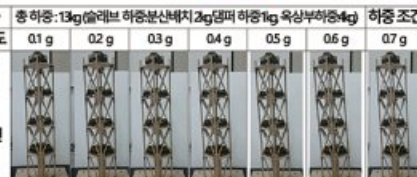
0.1g-0.3g 범위에서는 구조물 변위 변화 없음 --> 사인파 0.5 g 에서 변위가 가장 크며 1층 기둥 휨힘 파괴

실험 2 : [마찰댐퍼 가새 + 중심 코어(o) + 1층 X자 가새 + 마찰댐퍼(o) 구조]

재하하중	총 하중 : 13kg (슬래브 하중분산배치 3kg 댐퍼 하중 1kg 옥상부하중 4kg)							하중 조건	0.1 g - 1.0 g 사인파 순차적 가진
지반가속도	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g	0.5 g	0.6 g	0.7 g (파괴)		
실험 사진									목표 치 미달
댐퍼 움직임	댐퍼의 움직임 없음			거동 시작	거동 증가	거동 증가	댐퍼 거동이 가장 크며, 댐퍼 파괴X		
구조물 변위	변위 0단계	변위 0단계	변위 0단계	변위 1단계	변위 2단계	변위 3단계	변위 4단계, 1층 기둥 휨힘 파괴		

사인파 0.4 g 부터 변위와 댐퍼 거동 시작 -> 사인파 0.7 g 에서 변위와 댐퍼 거동이 가장 크며 1층 기둥 휨힘 파괴

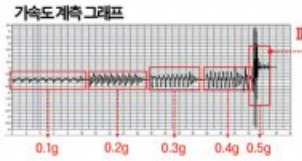
실험 3 : [마찰댐퍼 가새 + 중심 코어(o) + 1층 V자 가새 + 마찰댐퍼(o) 구조]

재하하중	총 하중 : 13kg (슬래브 하중분산배치 3kg 댐퍼 하중 1kg 옥상부하중 4kg)								하중 조건	0.1 g - 1.0 g 사인파 순차적 가진
지반가속도	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g	0.5 g	0.6 g	0.7 g	0.8 g	0.95 g (파괴)	
실험 사진										목표 치 미달
댐퍼 움직임	댐퍼의 움직임 없음			거동 시작	거동 증가	거동 증가	거동 동일	거동 증가	거동 가장 크며, 파괴	
구조물 변위	변위 0단계	변위 0단계	변위 0단계	변위 1단계	변위 2단계	변위 3단계	변위 2단계	변위 3단계	변위 4단계, 2층 파괴	

사인파 0.4 g 부터 변위와 댐퍼 거동 시작 --> 사인파 0.7g에서 마찰댐퍼 작용 극대화 --> 사인파 0.95 g 에서 파괴

실험1 파괴양상

가속도 계측 그래프



실험 분석

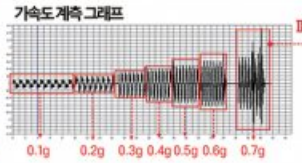
- 사인파 0.5 g 가진 시 1차 모델 파괴
- 기둥의 휨힘 현상으로 인한 파괴 발생 댐퍼를 통해 지진에너지를 상쇄시킬 요소 필요
- MDF 일반 가새에서 변형 발생 가새에서 발생되는 변형에 저항할 요소 필요

실험 보완 사항

- 마찰 댐퍼를 이용하여 지진에너지 소산
- 마찰 댐퍼 가새를 이용하여 층 변형력 저항

실험2 파괴양상

가속도 계측 그래프



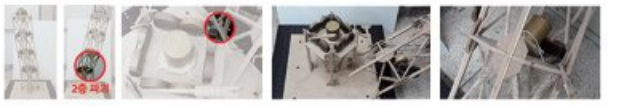
실험 분석

- 사인파 0.7 g 가진 시 2차 모델 파괴
- 마찰 댐퍼가 작용하여 0.4 g ~ 0.6 g 변형 감소 지진에너지 소산 효과 발생
- 기둥 휨힘 현상이 발생 1층 부분에서의 추가 보강 필요

실험 보완 사항

- V자 가새를 이용하여 1층 부분 보강
- 버트레스 형태(사다리꼴)을 변형하여 기둥 보강
- 기둥 휨힘 파괴 방지를 위한 지지대 추가 설치

실험3 파괴양상



가속도 계측 그래프

실험 분석

- 사인파 0.95 g 가진 시 3차 모델 파괴
- 밑면을 보강하여 파괴 지점을 2층으로 유도 층 전단력이 보다 작은 층으로 유도

---> 목표 지반 가속도 1.0 g 에 근접 -- O.K

04. 최종 설계안

시공성

구분 \ 시간	0시간						1시간						2시간	
	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분	30분	40분	50분	60분	10분	20분
1.기둥 부재 절단														
2.기둥 제작														
3.슬라브 제작 및 천공														
4.마찰 댐퍼 제작														
5.마찰 가새 제작														
6.슬라브 댐퍼 설치														
7.구조체 설치														
8.하중 재하														
9.마찰 가새 설치														
10.접합부 및 최종 보강														

여유시간 20분 / 종료 190분

여유 시간 포함 총 190분 --- 5시간 규정 내 O.K ---> 여유시간 제외 총 170분 --- 목표 2시간 근접 O.K

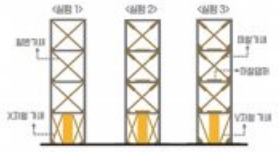
경제성

재료	부재	단가(백만원)	수량	비용(백만원)
MDF Strip	기둥	10	26	260
	마찰 가새		14	140
	V자형가새		4	40
소계			40	400
MDF Plate	슬라브	100	4	400
	마찰 댐퍼		1	100
	내진 코어		1	100
소계			6	600
연결	마찰 댐퍼	10	26	260
	마찰 가새		12	120
	기둥 보강		4	40
소계			40	400
접착제	접합부	200	2	400
합계				1820

총 비용 1820 백만원 , 규정 2400 백만원 이내, 목표 2000 백만원 이내 OK

구조성

	실험 1	실험 2	실험 3
중심 코어	O	O	O
마찰 댐퍼	X	O	O
1층 가새	X자 가새	X자 가새	V자 가새
보강 가새	일반 MDF	마찰 댐퍼 가새	마찰 댐퍼 가새



- 마찰 댐퍼 + 마찰 가새 유무 : 실험 1 vs 실험 2
  - 파괴 지점 : 실험 1 (0.5 g) vs 실험 2 (0.7 g)
  - 실험 1 보다 실험 2가 높은 지반 가속도에서 파괴
  - 마찰 댐퍼가 에너지소산 능력에 효과가 있음
  - 마찰 가새는 횡력에 대한 변형 저항 능력에 효과가 있음
- X자 및 V자 가새 효과 : 실험 2 vs 실험 3
  - 파괴 지점 : 실험 2 (0.7 g) vs 실험 3 (0.95 g)
  - 실험 2 보다 실험 3이 높은 지반 가속도에서 파괴
  - 실험 3의 파괴 지점이 일면전단력이 낮은 지점에서 파괴
  - V자 가새가 일면 전단력 저항에 효과가 있음

→ 실험 3 모델 채택