

E & C Tech

늘 품 내 진

» GFRPU에 의한 보강기술

- 구조물의 내력 보강 설계
- 기존 구조물의 내진성능 개선

» 제진 시스템

- LTMD 설계

» 계측기술 (구조물의 건전도 모니터링, SHM)

- 동적, 정적 응답계측 (가속도계, 스트레인게이지, 마이크론 등)
- 구조물의 주파수 및 모드형상 실측

1. 기술개요

1.1 기존 구조내력 보강 공법

- 에폭시 보강공법: 확실한 내력 개선이 어려움
- 강판보강공법: 시공과 적용이 어려우며 고비용
- CFRP 보강공법: 보강효과는 우수하나 접착성능의 저하와 박리가 우려되며, 고비용



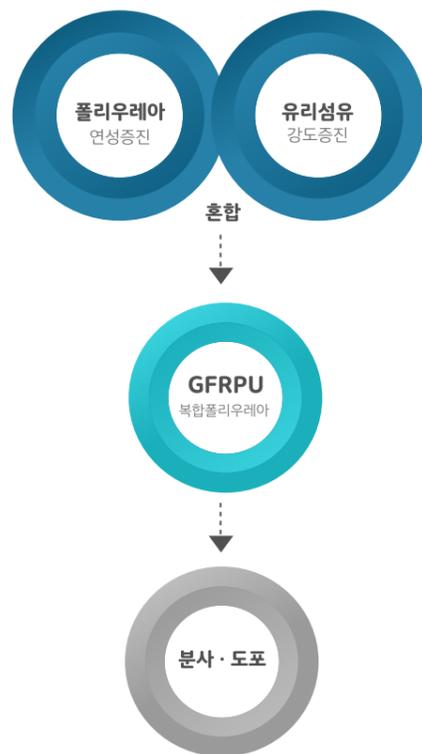
FRP 박리 현상

FRP 탈락방지 볼트

강판 부착공법

1.2 GFRPU 공법 개요

우수한 인성과 신장성을 지닌 폴리우레아와 강도 증진을 위한 유리섬유를 혼합한 복합재료(GFRPU) 분사 도포에 의한 시공의 용이함



2. 기술특징

2.1 GFRPU 재료 및 물리적 특성

- 분말형 Glass Fiber(300 μ m) Polyurea를 혼합한 복합탄성중합체(Composite Elastomer)
- 25MPa 이상의 인장강도(구조 내력 개선)
- Polyurea의 우수한 신축성 및 연성에 의한 내진성능 개선



2.2 GFRPU 공법의 특징

- Milled Glass Fiber와 Polyurea 혼합 후, 도포하는 시공의 용이성
- 개선된 인장강도(25MPa 이상)
- 지진 혹은 폭압 등에 저항할 수 있는 우수한 인성 및 연성
- Polyurea와 Milled Glass Fiber의 혼합장치 개발
- 철근콘크리트 외에 비구조체의 보강 (내진성능개선)
- 우수한 경제성 (공기 단축, 시공의 용이성, 인건비 절감 등)



체육관 시설 GFRPU 공법 적용 현장사진

3. 성능테스트 (보 힘 저항 능력)

3.1 관찰내용

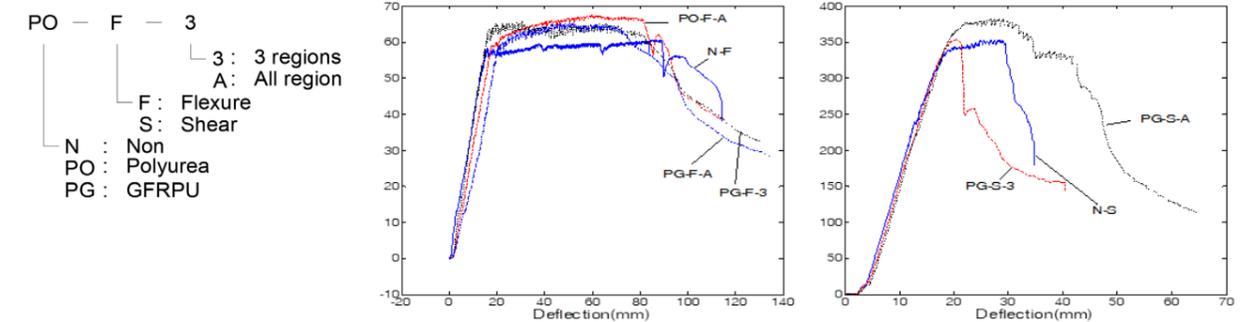
- 전면 도포 시 휨 내력 증진 (약 10% 증가)
- 전면 도포 시 휨 연성 증진 (약 14배 증가)
- 무보강 시에 휨 균열 발생 후, 철근의 항복 그리고 콘크리트 압괴 후 파괴
- GFRPU로 보강 시에 육안으로 내부 균열을 확인할 수 없으나 인장에 의한 콘크리트의 박리를 지연시키는 등 휨 연성의 증진효과가 관찰됨
- 궁극적으로 압축 축 콘크리트의 압괴로 파괴됨



4. 성능테스트 (전단강도 능력)

4.1 관찰내용

- 전면 도포 시 전단내력 증진 (약 10% 증가)
- 전면 도포 시 휨 연성 증진 (약 12배 증가)
- 휨 균열 발생 후에 전단 사인장 균열로 파괴
- GFRPU로 보강 시, GFRPU에 의한 콘크리트 보강으로 압축 스트럿 거동이 증진하여 전단내력이 증진됨
- 도포 면 내 휨균열과 사인장균열을 육안 확인 불가능하나, 궁극적으로 압축 축 콘크리트의 압괴로 파괴됨
- 3개소에 국부적으로 GFRPU에 의한 보강한 시험체에 압축스트럿의 파괴 즉 사인장 파괴가 관찰됨



Specimen	최대하중(kN)	하중비율	최대하중처짐 (mm)	최대모멘트 (kN·m)	모멘트 비율	피크 순간의 곡률 (mm/mm)	휨 연성 (kN·m)	연성 비율
N-F	60.69	-	96.4	27.3	-	4.2 × 10 ⁻⁶	1.51 × 10 ⁻⁵	-
PO-F-A	67.51	1.11	67.4	30.4	1.08	1.4 × 10 ⁻⁵	1.27 × 10 ⁻⁴	8.41
PG-F-3	65.65	1.08	31.9	29.5	1.08	6.0 × 10 ⁻⁶	5.74 × 10 ⁻³	-
PG-F-A	65.41	1.08	52.5	29.4	1.08	2.05 × 10 ⁻⁵	2.10 × 10 ⁻⁴	13.9
N-S	353.34	-	26.2	132.5	-	2.07 × 10 ⁻⁵	6.65 × 10 ⁻⁵	-
PG-S-3	353.27	1.0	14.27	132.5	1.0	2.48 × 10 ⁻⁵	7.32 × 10 ⁻⁴	11.0
PG-S-A	382.64	1.08	21.09	143.5	1.08	2.76 × 10 ⁻⁵	8.17 × 10 ⁻⁴	12.3

3. 성능테스트 (보 힘 저항 능력)



Fig 1. N-F [무보강]



Fig 2. PG-F-3 [3개소 보강]



Fig 3. PG-F-A [전면 보강]

4. 성능테스트 (전단강도 능력)

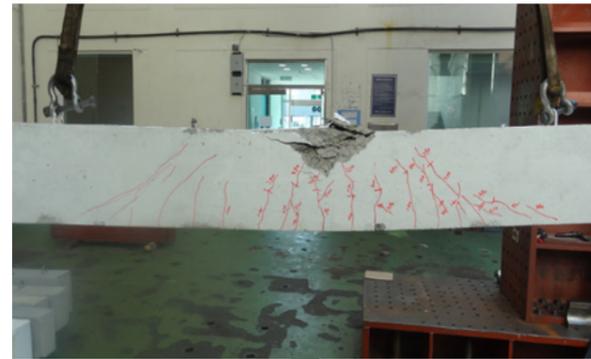


Fig 4. N-S [무보강]

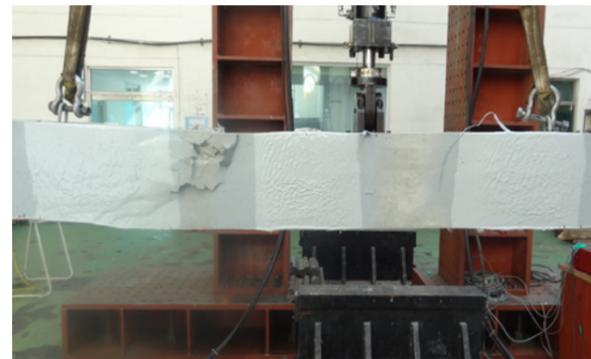


Fig 5. PG-S-3 [3개소 보강]



Fig 6. PG-S-A [전면 보강]

5. 성능테스트 (기둥 PUSH-OVER)



Fig 7. PUSH-OVER 링크 시험

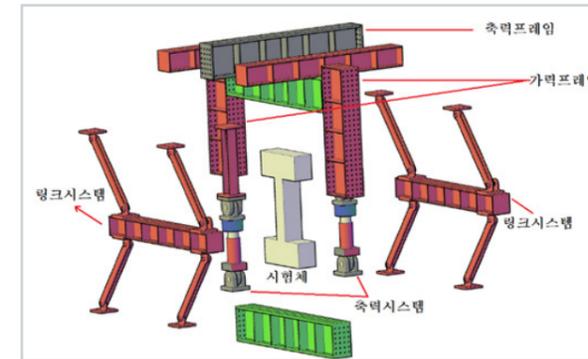


Fig 8. 링크 시험 세팅도

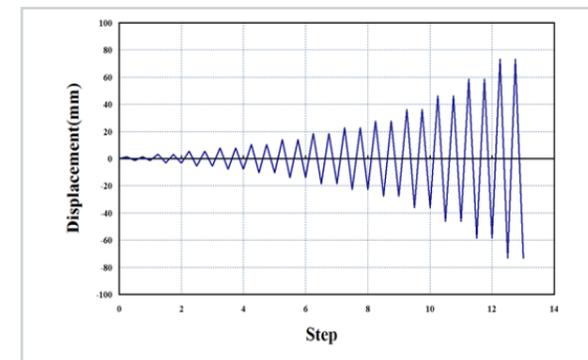


Fig 9. 시험 사이클 조건



Fig 10. N-C [무보강]



Fig 11. PG-E-C [단부 보강]



Fig 12. PG-A-C [전면 보강]

5.1 성능테스트 (준정적 실험, Quasi-static test)

- GFRPU에 의해 전단내력 및 연성 증진
- GFRPU에 의해 소성흔지 구간에 내력이 증진
- GFRPU에 의해 전면 보강하는 것이 보다 효과적임
- 내진성능개선에 효율적임

시험체명	시험결과			
	정(+)		부(-)	
	최대하중 (kN)	최대중시 변위(mm)	최대하중 (kN)	최대중시 변위(mm)
N-C	114.38	9.28	120.59	11.81
PG-E-C	120.15	12.67	130.36	12.43
PG-A-C	124.08	12.82	131.28	12.79

6. 성능테스트 (조적조 면외 강도 테스트)



Fig 13. 조적조 면외 강도 테스트



Fig 15. 격자형 보강



Fig 14. X형 보강



Fig 16. 전면 보강

6.1 성능테스트 (면외강도 실험, Out of Plane)

▶ 무보강 시험체 강도 계산

- 지진 발생 시 조적조 벽체는 면외 방향으로 힘을 받게 되며
휨균열 발생에 따른 전도가 발생 할 수 있음
- f'_m 은 형상비로 보정하여 계산 18.58(MPa)
- 아래 식을 적용하여 무보강 시험체의 면외 강도 계산
- 무보강 조적조의 면외 강도 계산 값은 $Q_{CL} = 336.15(kN)$

$$Q_{CL} = q_{in}A_{in} = \frac{0.7f'_m\lambda_2}{(h_m/t_m)} A_{in}$$

Q_{CL} : 조적채움벽의 면외강도(N)

q_{in} : 조적채움벽의 단위면적당 면외강도(MPa)

A_{in} : 조적채움벽 입면의 면적(mm²)

f'_m : 조적채움벽 압축강도의 하한값(MPa)

λ_2 : 벽체의 높이-두께 비(h_m/t_m)에 대한 계수

▶ 조적조 프리즘 강도 측정값

Prism compression	최대하중 (N)	최대하중 환산 (MPa)
1	261,454	15.43
2	250,078	14.77
3	350,306	20.69
4	409,344	24.17

Specimen	최대하중 (N)	최대하중시 변위 (mm)
X형 보강	643,666 (+91.48%)	3.30
격자형 보강	500,157 (+48.79%)	7.56
전면 보강	627,321 (+86.62%)	6.48

* 하중 값의 가로 내 퍼센트는 무보강 대비 하중 증가율

7. 성능테스트 (조적조 면내 강도 테스트)



Fig 17. 조적조 면내 강도 테스트

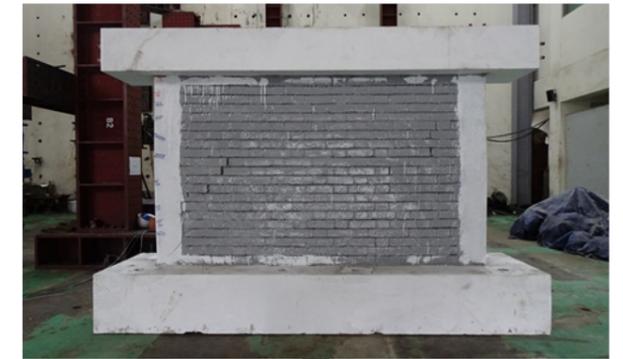


Fig 20. 1-ALL [1면 전면 보강]

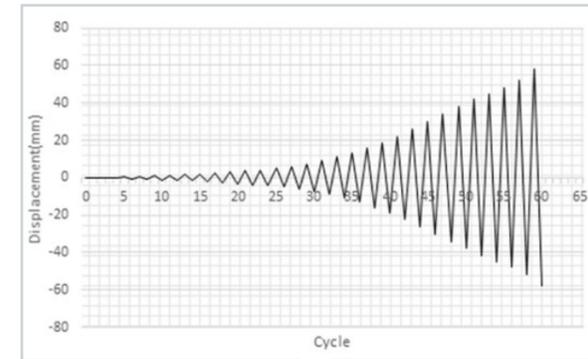


Fig 18. 시험 사이클 조건



Fig 21. 1-X [1면 X형 보강]



Fig 19. NONE [무보강]



Fig 22. 2-ALL [2면 전면 보강]

7.1 성능테스트 (면내강도 실험, In-Plane)

- GFRPU에 의해 전단내력 및 연성 증진
- GFRPU에 의해 최대휨저항능력 및 강성이 개선
- GFRPU에 의해 에너지 소산 능력 증진(최대 43%)
- GFRPU에 의해 2면 전면 보강하는 것이 보다 효과적임

Specimen	소산에너지 (kN-m)	최대하중 (kN)	최대하중 시 변위 (mm)
NONE	30.01	174.57	14.58
1-ALL	35.17	199.65	2.76
1-X	40.16	207.94	7.11
2-ALL	42.90	227.15	10.99

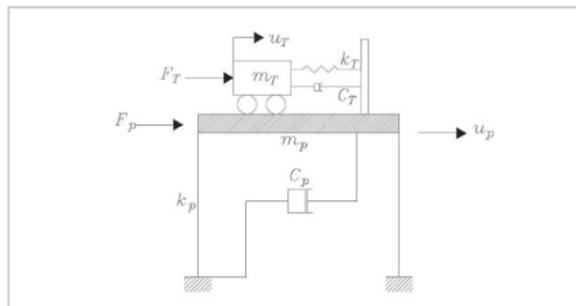
1. 기술개요

1.1 LTMD (Lever-Type Tuned Mass Damper)

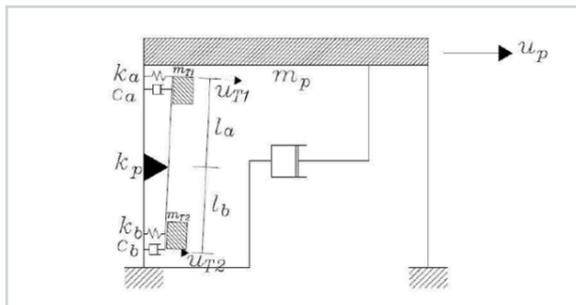
- ▶ 기본개념
 - 특정층에 설치하는 TMD로부터 층간변위를 구속조건으로 사용하여 동적응답을 제어하는 제진시스템
 - 층간변위를 구속조건으로 기존 저층 구조물의 내진보강용으로 적용가능
- ▶ 장점
 - 가새나 전단벽 등에 의한 보강은 추가적인 기초시공이 필요하지만 LTMD는 독립적인 기초시공이 불필요함
 - 구조물의 내외부 구분없이 설치 가능
 - 가새 보강 등과 달리 외관에 영향을 미치지 않음
- ▶ 설계
 - TMD의 물성치로부터 LTMD의 각종 파라미터 설계
 - TMD 연구와 적용사례로부터 TMD의 적정성이 검증된 바, LTMD의 설계도 적정하리라 판단됨



기존 가새 보강 Y형 제진 장치 철판브레이스 보강



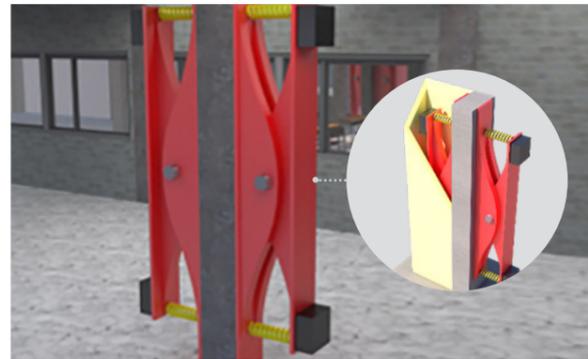
기존 TMD 설계도



LTMD 설계도

2. 기술특징

2.1 LTMD 기술 소개



LTMD / LTMD 적용 단일 기둥에 설치



LTMD 적용 예시 [인근 기둥에 설치, 마감 전]



LTMD 적용 예시 (인근기둥에 설치, 마감 후)

3. LTMD 적용 예시



외부 기둥 양쪽 설치 마감 전



외부 기둥 양쪽 설치 마감 후



LTMD 설치 후 건물 외관 마감 전



내부 복도 기둥 양쪽 설치 마감 전

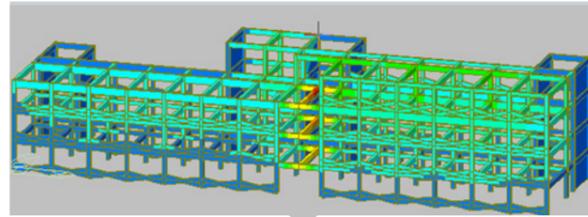


내부 복도 기둥 양쪽 설치 마감 후

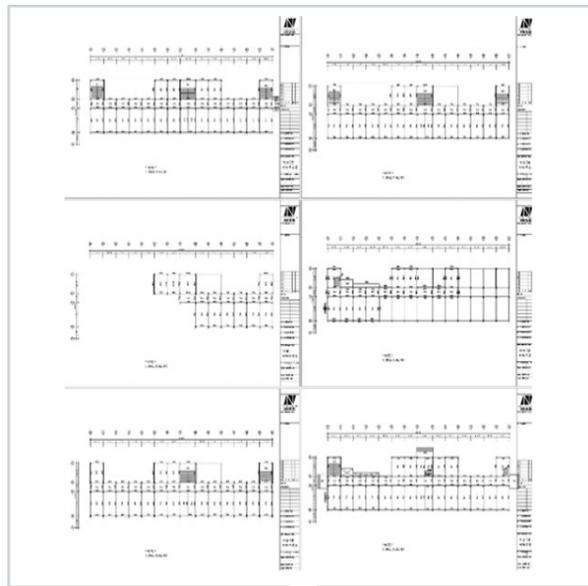


LTMD 설치 후 건물 외관 마감 후

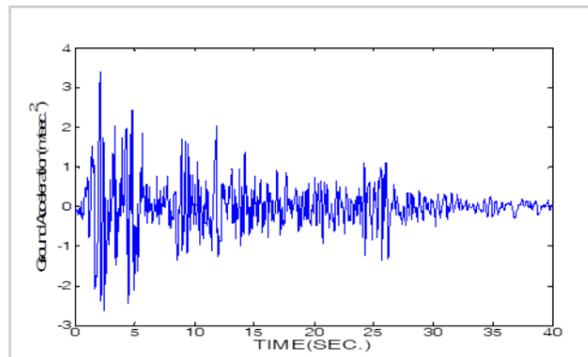
3. LTMD 적용 예시



적용 학교건물 모델링



적용 건물 도면

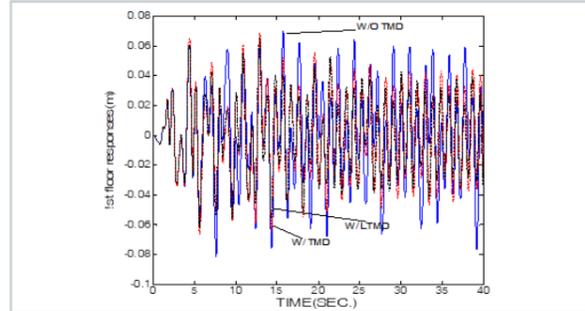


적용 지진 데이터 The N-S component of El Centro grade (1940)

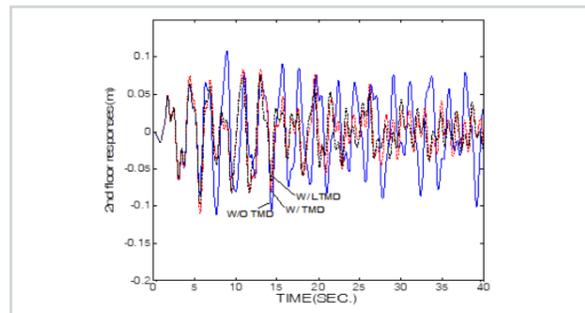
3.1. 관찰내용

- TMD 설치로 동적응답이 감소
- LTMD의 설치는 보다 많은 동적응답을 감소시킴

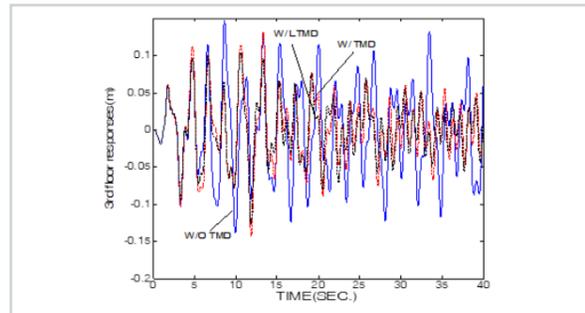
4. LTMD 적용 결과



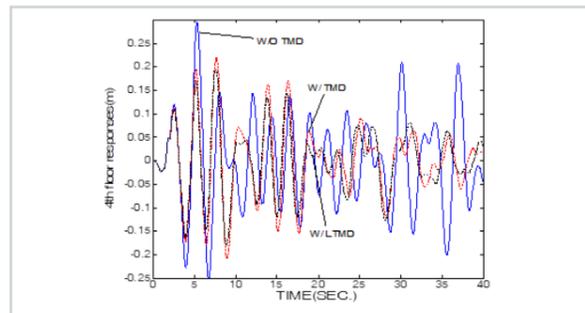
1층 변위 결과 비교



2층 변위 결과 비교



3층 변위 결과 비교



4층 변위 결과 비교

1. 구조물 건전도 평가

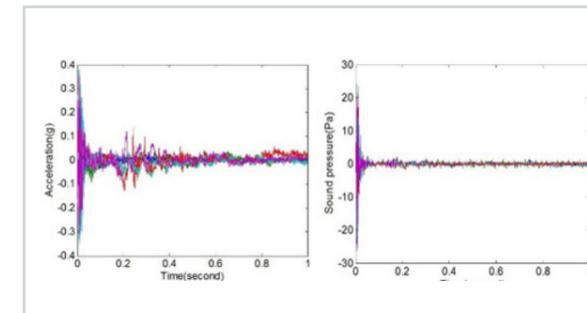
▶ 구조물의 응답 계측

- 계측센서: 가속도계, 스트레인게이지, 마이크로폰 등
- Impact Hammer test
- 실시간, 장·단기간 계측
- 계측 데이터 해석: 구조물의 구조성능평가, 손상탐지 등
- 구조물의 구조성능 등 유지관리

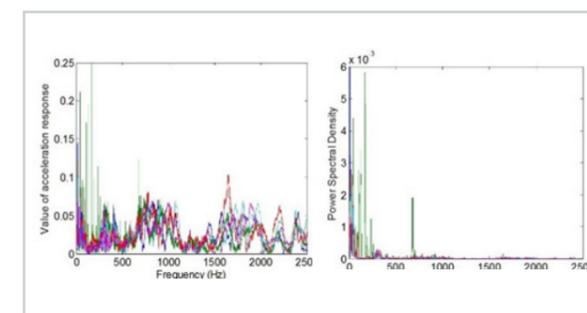
▶ 구조물의 주파수 및 모드형상 등 측정

- ▶ 중고층 구조물, 장기간 구조물, 교량 등의 성능평가

3. 계측데이터

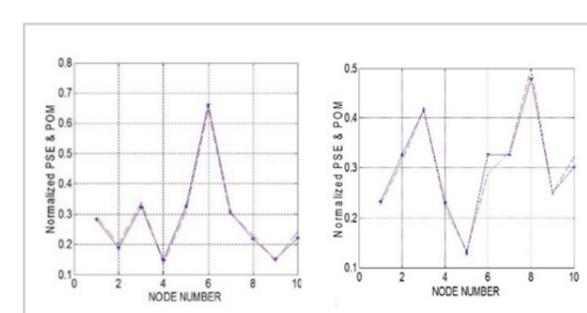


가속도계 및 마이크로폰 측정 결과



FRF 변환주파수

PSE 변환주파수



정규화된 PSE 및 POM 곡선(가속도계, 마이크로폰)

2. 계측센서



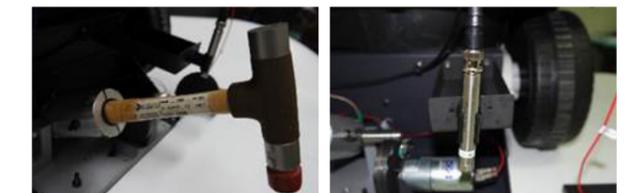
가속도계

데이터로거



Impact Hammer

스트레인게이지



Impact Hammer

마이크로폰



시스템 제어 컴퓨터 및 리모트 컨트롤

데이터 로거

거리측정기

임팩트해머

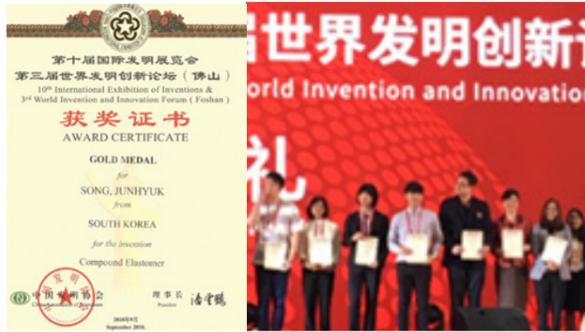
마이크로폰

가속도계 트레일러

해머제어 모터

계측용 대차

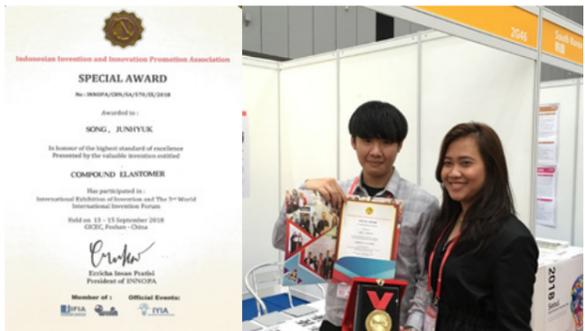
중국국제발명전시회 금상



스마트 시설안전 경진대회 대상 (국토부장관상)



국제전시회 인도네시아 특별상



독일국제발명 전시회 금상



강원대학교 표창장



강원대학교 공과대학장상



건축구조경진대회 한국토지주택공사 시상상

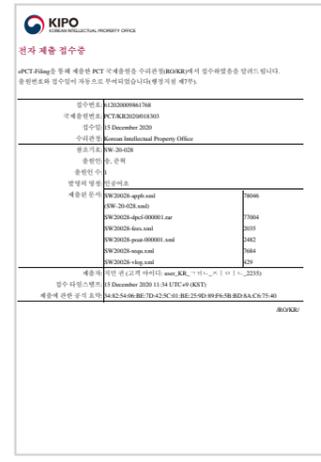


대회명	수상명	수상 기관
독일국제발명전시회	금상	IFIA
중국국제발명전시회	금상	IFIA
중국국제발명전시회	특별상	INNOPIA(인도네시아)
건축구조경진대회	한국토지주택공사 시상상	건축구조기술사회
강원대학교 표창장	표창장	강원대학교 창업지원단
실사구시 창업경진대회	최우수상 (강원지방중소벤처기업청장상)	강원중소벤처기업청
건설·시설안전경진대회	대상 (국토부장관상)	한국시설안전공단
국립대학 창업 콘테스트	최우수상 (강원대학교 총장상)	강원대학교
Glap Final Demoday	대상 (강원창조경제혁신센터)	강원창조경제혁신센터

5. 지식재산권



복합탄성중합체 조성물 및 그 시공방법 및 그 시공장치



인공어초



공동 주택의 횡진동을 저감하기 위한 내진 보강 제어 장치



복합탄성중합체 조성물과 구조보강용 층 그리고 복합탄성중합체의 시공방법



건축 구조를 보강재 분사장치 및 이를 이용한 건축 구조를 보강재 도포방법



복합 탄성중합체가 도포된 철근콘크리트 벽체

특허명	출원번호	등록번호
복합탄성중합체 조성물 및 그 시공방법 및 그 시공장치	10-2018- 0103500	10-1942962
건축 구조물 보강재 분사장치 및 이를 이용한 건축 구조물 보강재 도포방법	10-2018- 0105379	10-1959387
복합탄성중합체 조성물과 구조보강용 층 그리고 복합탄성중합체의 시공방법	PCT/KR2019/015915	PCT 출원
복합탄성중합체 조성물과 구조보강용 층 그리고 복합탄성중합체의 시공방법	10-2019-0147628	출원 중
구조성능 평가를 위한 무선계측시스템	10-2015-0117225	10-1709407
복합 탄성중합체가 도포된 철근콘크리트 벽체	10-2019-0039318	10-2199312
공동 주택의 횡진동을 저감하기 위한 내진 보강 제어 장치	10-2018-0067426	10-1975572

정확한
설계로
모두의 안전을
책임집니다.

구조·내진·보강기술 전문회사
늘품내진이앤씨
NEULPUM

CONTACT DETAILS

강원도 춘천시 강원대학길 1 공학 6호관
211호

Tel. 010. 8757. 0320
Email. songww1989@naver.com
neulpumenc.co.kr