

최종보고서(일반과제용)							보안등급 일반[✓], 보안[]				
중앙행정기관명	국토교통부			사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업					
전문기관명	국토교통과학기술진흥원				내역사업명	사회이슈해결					
공고번호	공고-제2호			총괄연구개발 식별번호		-					
				연구개발과제번호		21CTAP-C152266-03					
국가과학기술 표준분류	EI1105		55%	EI1102		25%	EI0406		20%		
총괄연구개발명	국문	리히터 규모 7.0 이상 견딜 수 있는 필로티 구조용 다기능 지진동 저감장치 상용화 개발									
	영문	Commercialization of innovative seismic isolation device for pilots capable of withstanding 7.0 magnitude earthquake									
연구개발과제명	국문	리히터 규모 7.0 이상 견딜 수 있는 필로티 구조용 다기능 지진동 저감장치 상용화 개발									
	영문	Commercialization of innovative seismic isolation device for pilots capable of withstanding 7.0 magnitude earthquake									
주관연구기관	기관명	(주)펜타드				사업자등록번호	753-87-00901				
	주소	(우21127) 인천광역시 계양구 까치말로 19				법인등록번호	120111-0945496				
주관연구책임자	성명		지 용 수		직위		대표이사				
	연락처	직장전화	032-710-3354		휴대전화		010-8928-4941				
		전자우편	ysji@pentad.co.kr		국가연구자번호		11010505				
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31 (2년9개월)									
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31 (0년9개월)									
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31 (1년0개월)									
	3년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31 (1년0개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	20,020	180,080	-	-	-	-	620,020	180,080	800,100	-
1년차	134,000	4,470	40,230	-	-	-	-	138,470	40,230	178,700	-
2년차	135,000	4,500	40,500	-	-	-	-	139,500	40,500	180,000	-
3년차	331,000	11,050	99,350	-	-	-	-	342,050	99,350	441,400	-
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
						역할	기관유형				
공동연구기관	-	-	-	-	-	-	-				
위탁연구기관	인천대학교 산학협력단	허종완	부교수 (학부장)	032-835-8462	jongp24@inu.ac.kr	위탁	대학				
연구기관 외 기관	-	-	-	-	-	-	-				
연구개발담당자 실무담당자	성명		김 봉 식		직위		부장				
	연락처	직장전화	032-710-3354		휴대전화		010-8994-8827				
		전자우편	bskim@pentad.co.kr		국가연구자번호		11248283				

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

2022년 2월 23일

주관연구책임자 : 지 용 수 (직인)

주관연구기관의 장 : (주)펜타드 지 용 수 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업			총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명		사회이슈해결			연구개발과제번호		21CTAP-C152266-03	
국가과학기술표준분류		EI1105	55%	EI1102	25%	EI0406	20%	
총괄연구개발명		▪ 리히터 규모 7.0 이상 견딜 수 있는 필로티 구조용 다기능 지진동 저감장치 상용화 개발						
연구개발과제명		▪ 리히터 규모 7.0 이상 견딜 수 있는 필로티 구조용 다기능 지진동 저감장치 상용화 개발						
전체 연구개발기간		2019. 04. 19 - 2021. 12. 31 (2년9개월)						
총 연구개발비		총 800,100천원 (정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 200,100천원, 지방자치단체 : 0천원, 그 외 지원금 : 0천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[✓] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준(TRL 6) 종료시점 목표(TRL 8)	
연구개발과제 유형		지정공모 [✓] 자유공모 []						
연구개발과제 특성		실용화						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	▪ 리히터 규모 7.0 이상을 견딜 수 있는 필로티 구조물 다기능 지진동 저감장치 상용화 및 사업화						
	전체 내용	▪ 본 연구를 통해 상용화 개발되는 다기능 지진동 저감장치는 최근 경주(규모 5.8)와 포항(규모 5.4)에 리히터 규모 5.0 이상의 지진 발생시 가장 크고 많은 피해가 발생한 필로티 건축 구조물의 내진 성능을 리히터 규모 7.0 이상 견딜 수 있도록 내진보강 할 수 있는 면진장치이다. ▪ 본 연구를 통해 개발되는 핵심성과는 총 3가지로서 “다기능 지진동 저감장치 / 면진장치 시공공법 / 인증서 획득”이다. 첫째, 다기능 지진동 저감장치는 1차년도에 필로티 구조물의 특성을 고려한 기초설계 및 최적화 설계를 진행하며, 2차년도에는 건축구조기준, AASHTO, KS 등의 면진장치 시험규격을 준수하여 한국건설시험원(KCT), 한국화학융합시험연구원(KTR) 및 한국건설환경시험연구원(KCL) 등의 기관을 통해 많은 시험항목에 대한 공인시험성적서(확인서)를 확보할 계획이다. 그리고 유사환경에서의 성능을 평가하기 위해 필로티 구조물 축소 모형 시험을 계획하여 3차년도에는 실제 필로티 구조물 적용을 통해 실증 자료를 확보함으로써 과제 완료 직 후 매출을 달성할 수 있도록 할 것이다. 두 번째, 면진장치 시공 공법은 1차년도에 다양한 공법 조사와 건축사와의 협업을 통해 기초설계를 진행하며 2차년도에는 다기능 지진동 저감장치의 성능을 극대화 할 수 있는 시공 공법을 개발하여 표준공사시방서를 작성할 것이다. 그리고 3차년도에는 포항, 경주 등의 지역구와 각각의 유관기관 등의 협업을 통해 실제 필로티 구조물의 신축 현장에 본 연구를 통해 개발된 다기능 지진동 저감장치와 시공공법을 바탕으로 신축 건물에 실제로 적용함으로써 실증 현장 및 실적을 확보할 것이다. 그리고, 마지막 인증서 획득의 실질적인 업무추진은 2차년도부터 수행할 예정이며, 2차년도에 인증기관을 선정하고, 필요자료를 파악하여 수집하고 3차년도에는 실제 필로티 건축물 실증을 통해 다기능 지진동 저감장치 및 시공공법에 대한 인증서를 확보할 것이다.						

연구개발 목표 및 내용	1년차	목표	▪ 다기능 지진동 저감장치 요소 부품 최적화										
		내용	▪ 다기능 지진동 저감장치 상세 설계 및 형상 최적화 ▪ 설계 성능 구현 여부 검토 및 분석을 위한 시험 계획 및 수행 ▪ 구조해석을 통한 설계 변수 도출 및 최적화 ▪ 필로티 구조물 형식별 진동특성 조사 및 분석										
	2년차	목표	▪ 시제품 제작 및 성능시험 수행을 통한 상품성 향상										
		내용	▪ 면진장치&필로티 구조물 시공 공법 개발 ▪ 필로티 구조물 축소 모형 진동대 시험 계획 및 수행 (유사환경 성능 검증) ▪ 인증 확보 계획 수립 및 진행 (신기술, 신제품, 성능인증, 신뢰성 인증 등) ▪ 기존 공법 대비 성능 및 경제성 비교·분석 ▪ AASHTO, KS 등의 시험기준을 준수한 성능시험 계획 및 수행 ▪ 다기능 지진동 저감장치 필로티 구조물 적용에 대한 안전성 검토 (구조해석)										
	3년차	목표	▪ 다기능 지진동 저감장치 상용화 및 사업화										
		내용	▪ 실증 검증을 위한 테스트 베드 계획 및 수행 (실제 필로티 건축물 설치 적용) ▪ 인증 확보 및 원가 분석을 통한 사업화 계획 수립 ▪ 제작 원가 절감 방안 검토 (구성 부품 모듈화 계획) ▪ 개발 기술에 대한 기술 및 학술적 검증 자료 확보 (인증 및 사업화 활용 계획)										
연구개발성과		구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
										생명정보	생물자원	정보	실물
		성과(N/Y)	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N
연구개발성과 활용방안 및 기대효과		▪ 본 연구를 통해 개발되는 다기능 지진동 저감장치는 필로티 구조물에 최적화된 면진장치이다. 경주와 포항 지진의 사례에서 보면 내진설계 1등급을 반영한 건축물도 리히터 규모 5.0 이상 발생시 건물 외벽 또는 내벽의 균열까지 방지하기는 역부족이었으며 사후 복구가 필요하게 되었다. 그러나 면진장치인 다기능 지진동 저감장치를 적용한다면 사후 복구가 불필요하며 리히터 규모 7.0 이상에서도 견딜 수 있는 건축 구조물을 건설할 수 있어 강진이 발생하더라도 다기능 지진동 저감장치를 적용한 건축물은 기존 내진장치 대비 피해 규모 및 피해액을 최소화 할 수 있다. ▪ 현재 국내에서 가장 사회적으로 이슈화(Issue)되고 있는 항목 중에서 지진 다음으로 관심도가 높아지는 것이 원도심 또는 쇠퇴지역에 대한 도시재생이다. 도시재생에서 가장 중요한 것은 안전에 대한 확보일 것이다. 사회기반시설에 대한 안전을 확보해야 도시재생에 대한 효과가 극대화 될 수 있기 때문이다. 정부는 최근 매년 100곳에 대한 도시재생 뉴딜사업을 발표하였다. 도시 재생사업에 본 연구를 통해 개발된 다기능 지진동 저감장치 및 시공공법을 적용하여 노후 된 사회기반시설 및 건축물의 안전성을 확보할 수 있다.											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유		해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수		논문	특허	보고서 원문	연구 시설장비	기술 요약정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
									생명정보	생물자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황		구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)		다기능 지진동 저감장치		면진장치		필로티 건물		내진보강		지진			
영문핵심어 (5개 이내)		Multi Performance Seismic Isolator		Seismic Isolator		Pilotis Building		Earthquake Proof		Earthquake			

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
1) 연구개발과제의 최종 목표	6
2) 연구개발과제의 년차별 목표	6
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	7
1) 연구개발과제 수행 과정	7
(1) 연구개발 추진전략 · 방법	7
(2) 연구개발 추진체계	8
(3) 연구개발 추진일정	9
2) 연구개발과제 수행 내용 및 핵심연구결과	9
(1) 1차년도	9
(2) 2차년도	10
(3) 3차년도	10
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	11
1) 연구수행 결과	11
(1) 정성적 연구개발성과	11
(2) 정량적 연구개발성과	36
(3) 세부 정량적 연구개발성과	38
(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항 (해당 시 작성)	44
2) 목표 달성 수준	46
3) 성과정리	47
4. 목표 미달 시 원인분석	48

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	49
1) 면진장치 국내외 기술동향	49
2) 개발기술과 기존 또는 유사 기술과의 차별성 및 우수성	49
3) 개발기술로 예상되는 파급효과	51
(1) 기술성	51
(2) 경제성	51
(3) 유지관리성	51
(4) 사회적 파급효과	51
6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획	52
1) 연구개발성과 관리 계획	52
2) 연구개발성과 활용 계획	52
(1) 활용 방안	52
(2) 공공시장 진출	53
(3) 타 연구 응용	54

1. 연구개발과제의 개요

- 기상청 국가지진정보시스템 자료에 따르면 국내 지진 빈도와 강도는 지속적으로 증가하고 있는 추세로서, 지난 1978년부터 1998년까지 21년 동안 발생한 지진 횟수는 평균 19.2회였으나, 지난 1999년부터 2015년까지의 지진 발생 횟수는 평균 47.8회로 2배 이상 급증함. 특히 2013년도에는 지진 발생 횟수가 93회로 평년대비 높은 수치를 기록하기도 하였으며, 2016년 경주 지진과 2017년 포항 지진은 국내에서 지진 규모를 기록한 이래 최고 규모의 지진으로 기록됨. 특히 포항 지진으로 인한 시설물 피해는 총 2만 7317곳에서 피해액 약 551억 원이 발생하여 2016년 경주지진 110억 원의 5배가 넘는 피해액이 발생됨

리히터 규모별 지진의 영향		국내 역대 지진 규모 순위
리히터 규모	피해정도	① 규모 5.8 2016년 9월 12일 (경북 경주시 남서쪽) ② 5.4 2017년 11월 15일 (경북 포항시 북구) ③ 5.3(비공식) 1980년 1월 8일 (평안북도 의주 귀성) ④ 5.2 2004년 5월 29일 (경북 울진 해역) 5.2 1978년 9월 16일 (충북 속리산 부근) ⑥ 5.1 2016년 9월 12일 (경북 경주시 남서쪽) 5.1 2014년 4월 1일 (충남 태안 해역) ⑧ 5.0 2016년 7월 5일 (울산 동구 동쪽 해역) 5.0 2003년 3월 30일 (인천 백령도 해역) 5.0 1978년 10월 7일 (충남 홍성읍)
0 ~ 1.9	지진계 탐지 만 가능	
2.0 ~ 2.9	매달린 물체 흔들림	
3.0 ~ 3.9	도로 트럭의 진동과 비슷	
4.0 ~ 4.9	창문파손, 작은 물체 떨어짐	
5.0 ~ 5.9	가구 흔들림, 내장재 이탈	
6.0 ~ 6.9	구조물 피해 발생	
7.0 ~ 7.9	지표면 균열	
8.0 ~ 8.9	구조물 대부분 파괴	
9.0 이상	완전 파괴	

- 지진이 발생한 지역은 지질학적 변화가 일어나며 이러한 변화에 의해 생성된 진동과 같은 지진에너지는 지표면 상부 구조물에 전달되어 손상, 파손, 이탈 등의 물적 피해가 발생하게 되고 이로 인해 2차 사고로 인적 피해 또한 발생하게 된다. 따라서 1차 물적 피해를 최소화 한다면 2차 사고로 연결 되지 않아 인적 피해를 최소화 할 수 있게 됨



<그림-2> 국내 지진 피해 사례 (좌: 경주 지진 ⇨ 규모: 5.8 / 우: 포항 지진 ⇨ 규모: 5.4)

- 2017년 12월부터 변경된 건축법시행령은 2층 이상의 신축 건축물(200㎡ 이상)로 한정했기 때문에 기존 건물 및 일부 신축건물에는 적용되지 않는 한계가 있었으나 2018년 7월 23일 국토교통부의 “소규모건축구조기준 일부개정(안)”이 고시되면서 건축물에 대한 점검방식 및 절차 등의 기준을 구체화함으로써 건축물의 내진설계 적용 범위가 더욱 확대 및 개편되는 추세임



<그림-3> 국내 건축물 내진설계 의무 대상 확대 연혁

- 리히터 규모 6.0~6.5 지진을 견딜 수 있도록 내진 보강된 주요 공공시설물의 내진율은 다목적댐 및 송유관 100%, 원자로 98.3%, 철도 90.3% 도로 73.0%, 공항 64.3%, 병원 60.7%, 전기통신설비 41.7%, 공공건축물 30.7%, 학교 24.9% 등으로 평균 58.3%로 분석됨

기존 공공시설물 내진 성능 확보 현황



<그림-4> 국내 건축물 내진 보강률 (출처: 행정안전부, 2017)

- 정부청사나 도로, 철도 등 공공시설물의 내진율이 60% 근접한 것으로 나타났지만 전국 3만 2,846개 학교시설 가운데 지난해 말까지 내진 설계가 끝난 곳은 24.9%(8,163개)에 불과하여 학교 건물 4개 중 3개는 지진 피해 위험에 그대로 노출돼 있는 것으로 조사됨
- 정부는 최근 경주, 포항 등의 지진을 계기로 유치원과 초등학교 등의 내진 설계 완료 시기를 기존 2083년에서 49년을 앞당긴 2034년으로 맞췄지만 여전히 15년 이상 필요할 것으로 예측함
- 민간 소유의 건축물은 상황이 더욱 심각. 국토교통부에 따르면 지난해 말 기준 전국 민간 건축물의 내진율은 10.48%에 머무름
- 우리나라는 1988년부터 6층 이상의 모든 건축물에 내진 설계가 의무화됐고 2005년부터는 3층 이상 건축물로 확대하지만 1988년 이전 건축물과 1988~2005년 기간에 지어진 3~5층 건물에는 내진설계가 적용되지 않음. 즉, 1988년부터 내진 설계를 도입하였지만 기준이 느슨한 탓에 2005년 이전에 지어진 민간 건축물은 사실상 내진설계가 반영되지 않다고 봐도 무방함

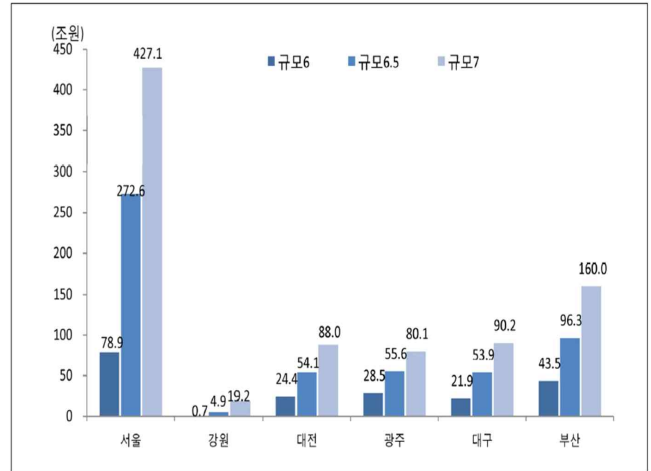
시설물별 내진설계 기준

(단위: 동, '15년 12월 기준)

구 분	전 체	내진대상	내진확보	내 진 율	
				내진대상	전체건축물
총 계	6,986,913	1,439,547	475,336	33.0%	6.8%
주 택	소 계	4,568,851	806,225	314,376	39.0%
	단독주택	4,168,793	445,236	143,204	32.2%
	공동주택	400,058	360,989	171,172	47.4%
주택외	소 계	2,418,062	633,322	160,960	25.4%
	학 교	46,324	31,638	7,336	23.2%
	의료시설	6,260	5,079	2,576	50.7%
	공공업무시설	42,077	15,003	2,663	17.7%
	기 타	2,323,401	581,602	148,385	25.5%

자료: 국토교통부('15.12) 재구성

국내 대형지진 발생시 건축물 피해액 예상



자료: 지진재해로 인한 사회 경제적 피해 예측 모델 개발(국민안전처, '15.4) 재구성

<그림-5> 국내 건축물 내진율 및 지진 발생에 따른 예상 피해액 (출처: 국토교통부, 2015)

- 실제로, 경주와 포항에서 규모 5.0이상 지진이 발생하여 5층 이하 소규모주택, 특히 필로티 구조의 피해가 가장 크게 발생함
- 필로티(Pilotis) 구조는 프랑스 건축가 “르 코리뷔지에(Le Corbusier)”가 제창한 건축양식으로서 지상 층에 보강벽 없이 기둥만을 설치하여 주차 공간 등과 같은 생활공간을 확보하기 위한 개방 구조물을 말함
- 필로티 구조를 아파트에 적용할 경우 기존 아파트 2~3층 높이가 1층이 되는 구조로 일반 아파트에 비해 조망과 채광이 유리하여 최근 설계 적용사례가 증가하는 추세임
- 국내 필로티 건축물은 전국 전체 건축물 710만 여동 중 3.3%인 24만 여동에 달하며, 이중 85%인 20만 여동이 아파트, 빌라 등의 주거용인 것으로 나타나 이에 대한 대책이 시급함

시·도명	전체 건축물	필로티 추정 건축물	비 율	필로티 추정 건축물 용도별 현황	
				주거용	비주거용
전 국	7,108,562	236,810	3.3%	200,588	36,222
서울특별시	612,345	46,608	7.6%	42,165	4,443
부산광역시	370,073	14,067	3.8%	10,622	3,445
대구광역시	254,118	15,869	6.2%	14,286	1,583
인천광역시	219,359	14,562	6.6%	12,206	2,356
광주광역시	141,642	5,754	4.1%	4,946	808
대전광역시	133,602	7,026	5.3%	6,153	873
울산광역시	135,314	10,712	7.9%	9,521	1,191
세종특별자치시	33,480	1,303	3.9%	1,188	115
경기도	1,143,256	44,040	3.9%	36,559	7,481
강원도	401,350	5,353	1.3%	3,751	1,602
충청북도	381,976	6,751	1.8%	5,344	1,407
충청남도	521,868	10,703	2.1%	8,826	1,877
전라북도	444,066	9,127	2.1%	7,619	1,508
전라남도	635,312	4,817	0.8%	3,338	1,479
경상북도	802,961	18,583	2.3%	16,078	2,505
경상남도	708,605	17,395	2.5%	14,561	2,834
제주특별자치도	169,235	4,140	2.4%	3,425	715

<그림-6> 지역별 필로티 건축물 현황 (출처: 국토교통부, 2017)

- 필로티(Pilotis) 건축물의 가장 큰 단점은 지진에 취약하다는 것으로서 벽체가 연속되지 않아 건물 상층부를 지탱할 힘이 약해 지진이 발생할 경우 필로티 구조는 기둥으로 받치고 있는 쪽이 좌우로 흔들리며 건물이 비틀거려 무너질 가능성이 높아짐. 또한 필로티 구조는 내진설계가 돼 있다 하더라도 일반 주택보다 지진으로 인한 붕괴 위험이 높아 면진에 대한 검토가 절대적으로 필요함



<그림-7> 필로티 구조의 취약점 발생에 따른 피해(파손) 부위

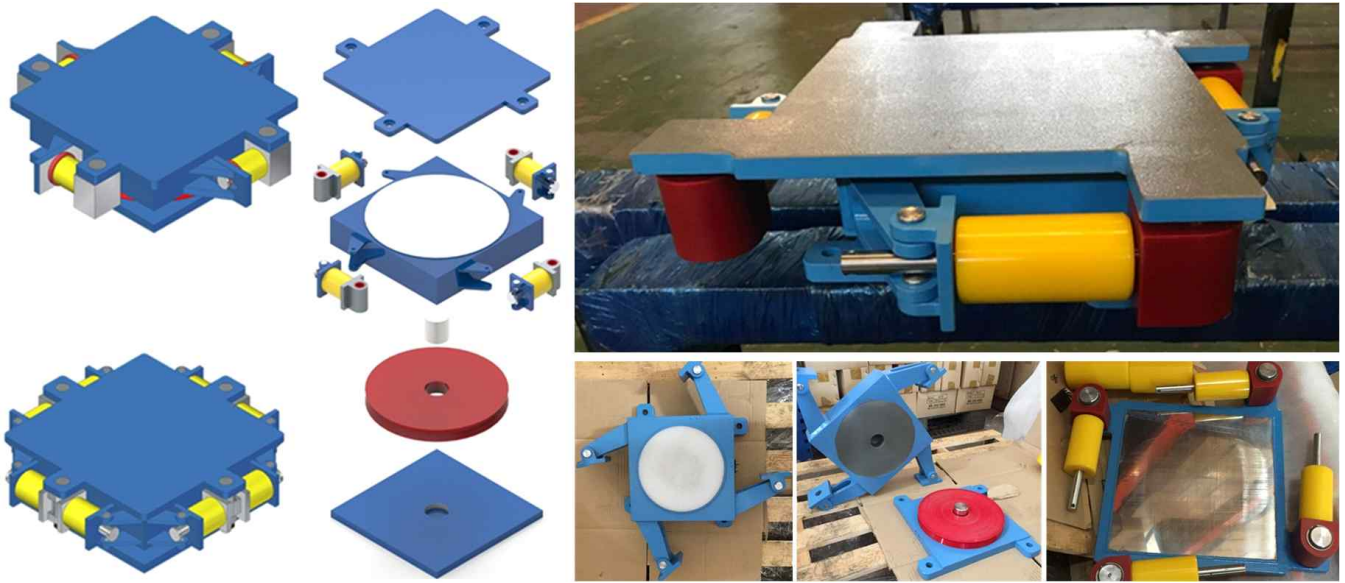
- 필로티 구조 건축물의 지진 발생에 대한 대비책으로 내진 또는 면진장치를 적용함으로써 피해를 최소화할 수 있음. 내진장치는 구조물의 변형이나 손상으로 지진에너지를 흡수 및 저항하는 시스템으로서 구조가 간단하여 적용범위가 넓지만 지진 손상 발생시 복구가 어려운 한계가 있으며, 면진장치는 구조물과 지반 사이에 면진 층을 적용하여 상부로 지진동이 전달되지 않도록 하는 시스템으로서 성능 측면에서 가장 우수한 것으로 볼 수 있지만 내진장치 대비 소요비용이 많이 들고 공정이 복잡한 단점이 있어 면진장치의 비용 저감 및 공정의 단순화가 필요함
- 내진과 면진구조의 선택은 수평력에 크게 좌우된다. 내진구조는 일정 수평력 이상 작용하게 되면 지지구조물의 크기가 비대해져 경제성에서 불리하게 되지만 면진구조는 이를 해결할 수 있으며, 내진구조는 대형지진 이후 손상을 피할 수 없지만 면진구조는 구조물 손상이 발생하지 않아 지속적인 재활용이 가능하므로 지진 대비책이 뛰어나 일본에서는 내진을 넘어 면진으로 전향하는 추세임



<그림-8> 내진과 면진 설계 적용 구간 및 추세 (출처 : SBS 8시 뉴스)

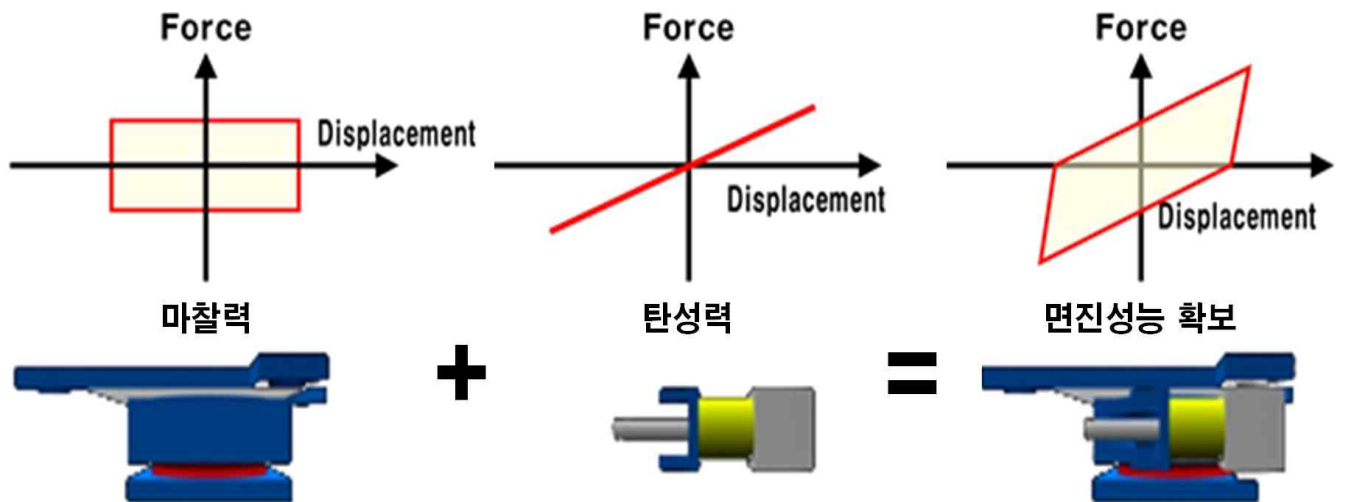
- 신청 기술(제품) “다기능 지진동 저감장치(MPS: Multi Performance System)”는 면진기술이 적용된 제품으로서 구조물의 상부와 하부 사이에 설치되어 상시에는 하중 전달 및 회전, 신축 등을 수용하며, 지진시에는 마찰과 복원스프링(MER Spring: Mass Energy Regulator Spring)의 복원력을 통해 지진응답을 감소시킴으로서 지진 발생에 대한 구조물 피해를 최소화할 수 있음

- 본 연구를 통해 상용화 개발되는 다기능 지진동 저감장치는 최근 경주(규모 5.8) 와 포항(규모 5.4)에 리히터 규모 5.0 이상의 지진 발생시 가장 크고 많은 피해가 발생한 필로티 건축 구조물의 내진 성능을 리히터 규모 7.0 이상 견딜 수 있도록 내진보강 할 수 있는 면진장치임



<그림-9> 다기능 지진동 저감장치 형상 및 프로토타입(Prototype) 제작품

- 다기능 지진동 저감장치는 기존의 마찰형 면진받침에서 복원력 기능을 갖는 MER 스프링의 위치를 기하학적으로 변경함으로써 기존 제품의 동일 용량 대비 크기가 축소되어 제작 및 시공시 매우 경제적이며 완벽한 면진기능을 보유한 면진장치임. 특히, 필로티(Pilotis) 형식 구조물의 상부구조와 하부구조 사이에 설치되어 상시에는 하중전달 및 신축을 원활히 수용하며, 지진 시에는 마찰과 스프링 복원력으로 지진응답을 감소시키는 역할을 수행함으로써 지진동을 소거 및 제거할 수 있는 지진 격리 장치임



<그림-10> 다기능 지진동 저감장치 성능구현 원리

- 경주와 포항 지진의 사례에서도 내진설계 1등급을 반영하여 내진장치 또는 보강을 수행한 아파트와 같은 건축물도 리히터 규모 5.0 이상 발생시 건물 외벽 또는 내벽에 균열이 발생하여 사후 복구를 수행하였음. 그러나 면진장치인 다기능 지진동 저감장치를 적용한다면 리히터 규모 7.0 이상에서도 견딜 수 있는 구조물을 건설할 수 있어 강진이 발생하여도 기존 내진장치 대비 피해 규모 및 피해액을 최소화할 수 있으며, 지진 이후 균열과 같은 구조물의 피해 발생이 없어 복구가 불필요함. 또한, 설치된 면진장치의 손상이 없어 지속적으로 재활용이 가능함. 추후 필로티 구조물 이외 고층 빌딩, 교량, 대형 변압기 등과 같은 국가기반시설 및 대형 구조물에도 적용할 수 있음

1) 연구개발과제의 최종 목표

구 분	내 용
최 종 목 표	리히터 규모 7.0 이상 견딜 수 있는 필로티 구조용 다기능 지진동 저감장치 상용화 및 사업화 : 리히터 규모 7.0 ⇨ 지반가속도 0.34g (1차년도 중간평가 평가위원 의견 반영)
세 부 목 표	1단계 (1차 년도) ⇨ 다기능 지진동 저감장치 요소 부품 최적화 2단계 (2차 년도) ⇨ 시제품 제작 및 성능시험 수행을 통한 상품성 향상 3단계 (3차 년도) ⇨ 다기능 지진동 저감장치 상용화 및 사업화

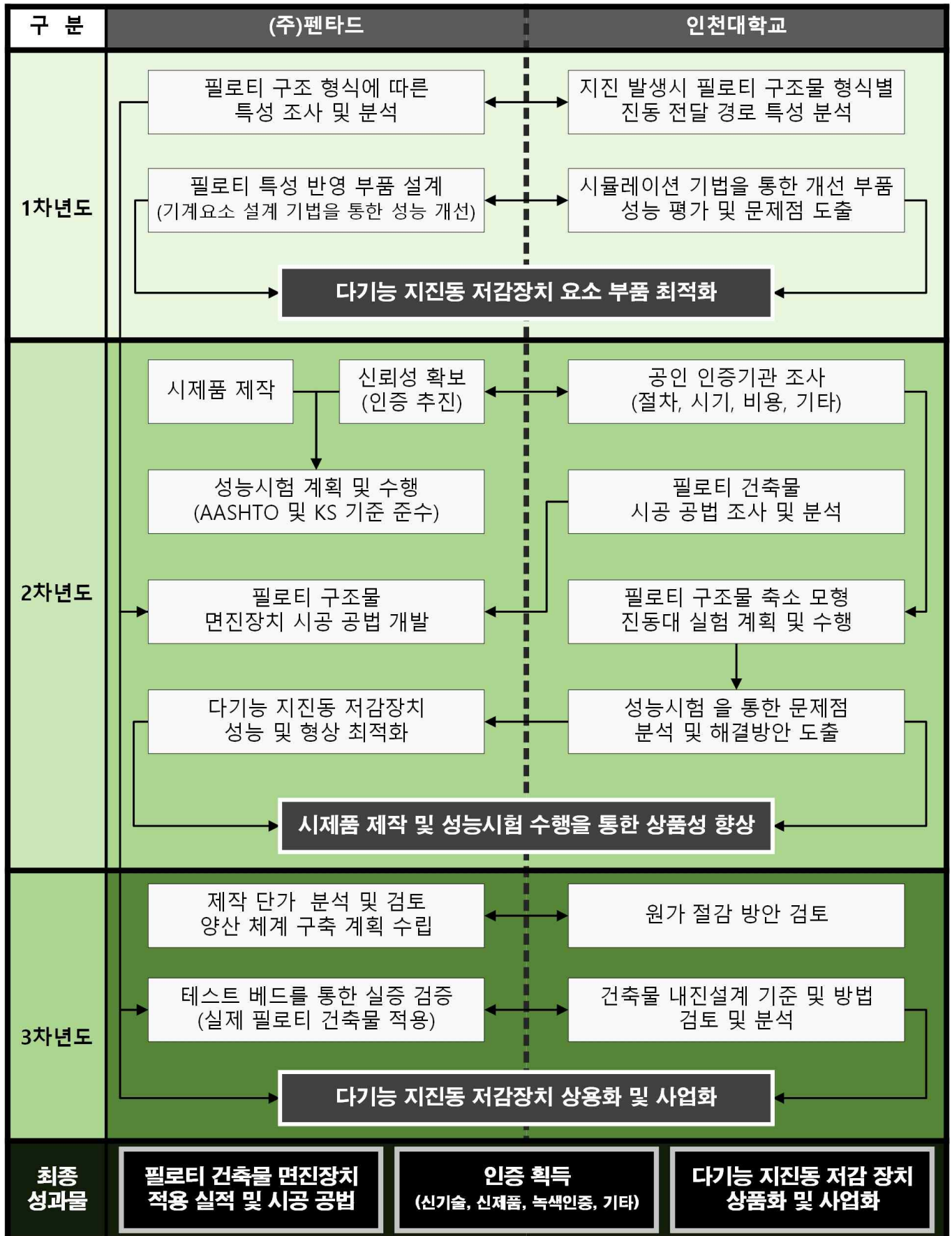
2) 연구개발과제의 년차별 목표

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	다기능 지진동 저감장치	유효강성 (설계치의 ±25% 이내)	±25%	±25%	건축구조 설계기준	30
		EDC (설계치의 -25% 이상)	-25%	-25%	건축구조 설계기준	40
		영구압출률 (MER 스프링 45% 이하)	45%	45%	KS M 3518	10
		복원률 (MER 스프링 90% 이상)	90%	90%	KS M 3518	20
	소계					100
2년차 (2020)	다기능 지진동 저감장치	유효강성 (설계치의 ±20% 이내)	±25%	±20%	건축구조 설계기준	20
		EDC (설계치의 -20% 이상)	-25%	-20%	건축구조 설계기준	40
		영구압출률 (MER 스프링 40% 이하)	45%	40%	KS M 3518	30
		복원률 (MER 스프링 95% 이상)	90%	95%	KS M 3518	10
	소계					100
3년차 (2021)	다기능 지진동 저감장치	유효강성 (설계치의 ±15% 이내)	±25%	±15%	건축구조 설계기준	5
		EDC (설계치의 -10% 이상)	25%	-10%	건축구조 설계기준	5
		크리프(Creep) 장기시험	10% 이하	8% 이하	AASHTO	5
	소계					100
	면진장치 시공공법	테스트 베드 실증 검증	-	5%	원가분석 보고서	40
		진동대 축소 모형실험	-	15% 이상	진동대 시험성적서	20
	인증서 획득	인증서	-	1건	획득여부	25
	소계					100

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

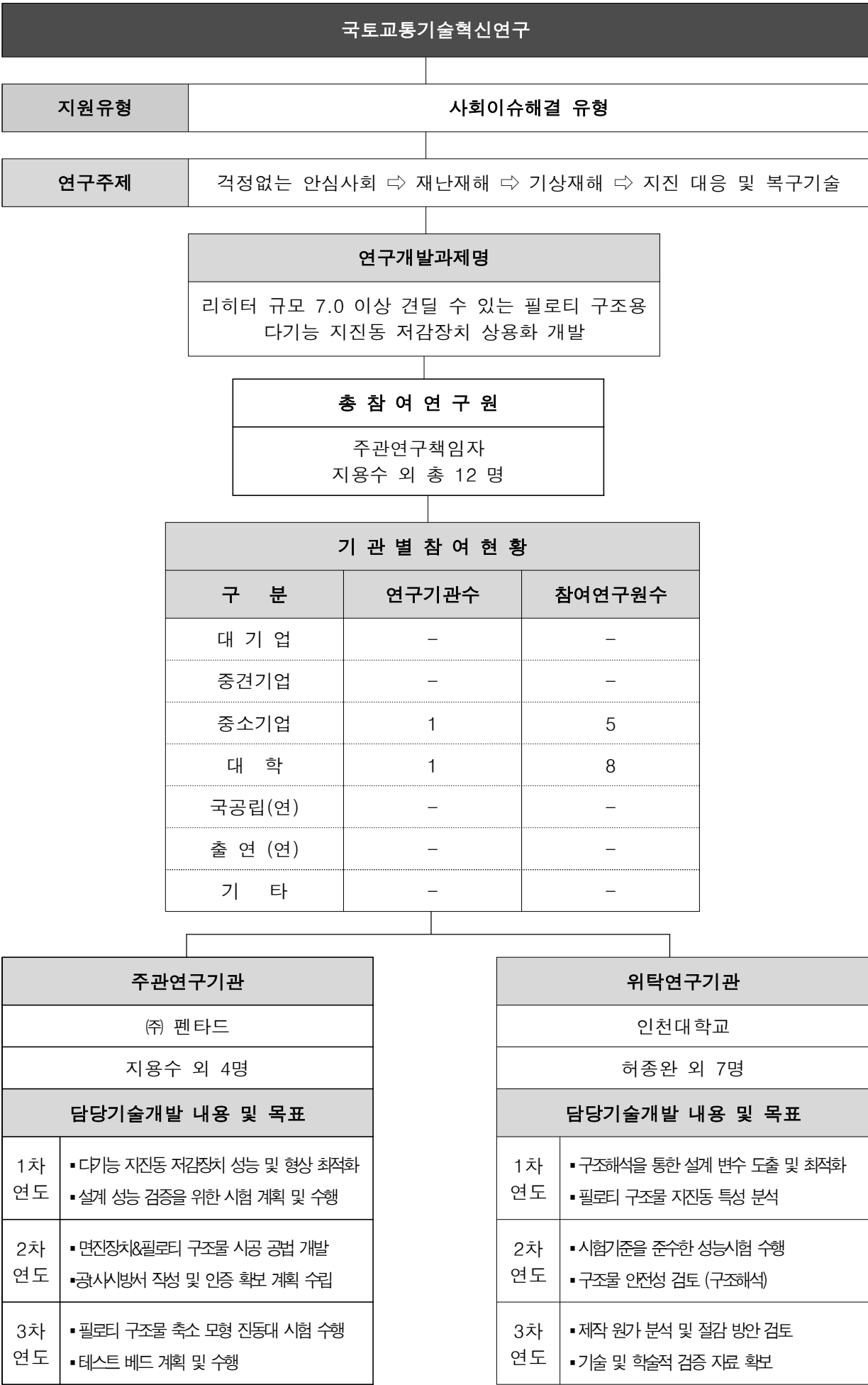
1) 연구개발과제 수행 과정

(1) 연구개발 추진전략 · 방법



<그림-11> 연구개발 추진 계획 및 최종 성과물

(2) 연구개발 추진체계



(3) 연구개발 추진 일정

구분	핵심성과물	연구 목표	추진일정											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1차년도 (2019)	다기능 지진동 저감장치	개발제품 개념정립	■	■	■	■	■							
		설계변수 도출		■	■	■	■		■	■				
		구조해석 수행							■	■	■	■	■	
		최적화 설계 변수 도출								■	■	■		
		재료물성 실험							■	■	■	■		
		상세설계 및 최적화										■	■	■
		성능시험 수행											■	■
2차 연도 (2020)	다기능 지진동 저감장치	시제품 제작	■	■	■	■								
		성능시험 수행				■	■	■	■	■				
		성능 최적화					■	■	■	■				
	면진장치 시공공법	시공공법 조사 및 분석								■	■	■	■	
		시공 공법 개발		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	인증서 획득	인증기관 조사	■	■	■	■	■							
		인증서 획득 추진					■	■	■	■	■	■	■	■
3차 연도 (2021)	다기능 지진동 저감장치	개발품 상품화	■	■	■	■	■	■						
		양산시스템 구축					■	■	■	■	■			
		시장진출 계획 수립								■	■	■	■	■
	면진장치 시공공법	진동대 시험			■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		테스트 베드 실증 검증						■	■	■	■	■	■	■
	인증서 획득	인증서 취득					■	■	■	■	■	■	■	■

2) 연구개발과제 수행 내용 및 핵심연구결과

(1) 1차년도

구분	핵심성과물	연구 목표	연구개발 수행 내용	핵심연구결과
1차년도 (2019)	다기능 지진동 저감장치	개발제품 개념정립	▪필로티 구조물의 형식별 특성 조사 및 분석	▪포항 지진시 피해 필로티 건축 물 조사 및 구조 해석 수행
		설계변수 도출	▪다기능 지진동 저감장치 설계 이론 정립	▪다기능 지진동 저감장치 구조 계산서 작성
		구조해석 수행	▪다기능 지진동 저감장치 거동 특성 분석	▪다기능 지진동 저감장치 FEM 상세 해석 기법 도출
		최적화 설계 변수 도출	▪구성 부품 설계 제원에 따른 성능 검토	▪유효강성, EDC, 영구압축률, 복원률 등의 공인시험기관 시 험성적서 확보
		재료물성 실험	▪적용 소재 조사 및 선정 소재 성능 발휘 특성 검토	
		상세설계 및 최적화	▪다기능 지진동 저감장치 형상 및 성능 최적화	▪다기능 지진동 저감장치 제작 도면 및 시제품 제작
		성능시험 수행	▪제품 설계 성능에 대한 성능 검토	▪공인시험기관의 면진장치 시험기 를 이용한 시제품 성능시험 수행

(2) 2차년도

구분	핵심성과물	연구 목표	연구개발 수행 내용	핵심연구결과
2차 연도 (2020)	다기능 지진동 저감장치	시제품 제작	▪ 제작 방법 검토 및 분석 ▪ 시제품(시험품) 제작	▪ 시제품 제작 (2건) ⇒ 포트(Pot) 타입 : 1건 디스크(Disk) 타입 : 1건
		성능시험 수행	▪ 성능 시험계획 수립 및 방법 습득 ▪ 성능 시험 수행 및 결과 분석	▪ 공인기관 성능시험 수행 ⇒ 시험성적서
		성능 최적화	▪ 성능시험 결과 반영 개선점 도출 ▪ 구조해석을 통한 성능 개선 검토 ▪ 해석결과 반영 성능시험 수행	▪ 다기능 지진동 저감장치 FEM 상세해석 수행 ⇒ 관련 논문 투고
	면진장치 시공공법	필로티시공공법 조사 및 분석	▪ 필로티 형식에 따른 시공 공법 검토 ▪ 필로티 구조 형식에 따른 지진 취약점 도출	▪ 건축사 검토서 (협업기관: (주)디아이종합건축사 사사무소)
		필로티구조물 면진장치 적용 시공 공법 개발	▪ 건축 설계 기준 조사 및 분석 ▪ 구조해석을 통한 안전성 분석 ▪ 다기능 지진동 저감장치 시공 공법 개발	▪ 다기능 지진동 저감장치 공사 및 시공 시방서
	인증서 획득	인증기관 조사	▪ 인증기관별 특성 분석 ▪ 필요자료 수집	▪ 녹색기술인증서 획득 ⇒ 제GT-20-00846호
		인증서 획득 추진	▪ 인증기관 선정 ▪ 신청자료 분석 및 수집	
	기타 (보고서)	FEM 상세 해석	▪ 개발제품 특성 분석	▪ 시제품 제작시 결과 반영
		사업성 자문회의	▪ 전문가(7인) 자문회의 수행	▪ 사업 타당성 확보
		경제성 분석	▪ 외부 전문기관 평가 의뢰	▪ 경쟁제품 대비 최대 ≒18% 경제성 높음

(3) 3차년도

구분	핵심성과물	연구 목표	연구개발 수행 내용	핵심연구결과
3차 연도 (2021)	다기능 지진동 저감장치	개발품 상품화	▪ 제작 원가 분석 및 절감 방안 도출 ▪ 표준 제작도면	▪ 필로티 구조물 적용에 따른 건 설물량 비교 분석 (보고서)
		양산시스템 구축	▪ 제작 방법 최적화 ▪ 구성 부품 모듈화	▪ 규격별 표준 제작도면 작성 ⇒ 구성 부품 구조 계산 완료
		시장진출 계획 수립	▪ 부품 생산 및 조립 공장 MOU 협약 ▪ 마케팅 전략 수립 ▪ 홍보물(영상, 브로셔) 제작	▪ 생산공장 MOU 협약 ⇒ 공공조달상생협력 사업 선정 ▪ 개발제품 홍보영상 제작
	면진장치 시공공법	필로티구조물 축소 모형실험	▪ 진동대 성능시험 계획 수립 ▪ 다기능 지진동 저감장치 적용 필로티 구조물 설계 ▪ 성능시험 수행 및 결과 분석	▪ 진동대 성능시험을 통한 다기능 지진동 저감장치 면진성능 검증
		테스트 베드 실증 검증 (실제 필로티 건축물 적용)	▪ 테스트 베드 부지 협의 및 선정 ▪ 필로티 설치 설계도면 작성 ▪ 구조해석을 통한 안전성 검토 ▪ 테스트 베드용 제품 제작 ▪ 실제 필로티 구조물 다기능 지 진동 저감장치 시공	▪ 필로티 건축물 테스트 베드 적용 ⇒ 경기도 부천시 심곡동 ▪ 다기능 지진동 저감장치 제원 ⇒ 1,000kN : 4EA 1,500kN : 6EA 3,000kN : 2EA
	인증서 획득	인증서 취득	▪ 인증 필요 서류 작성 및 제출 ▪ 인증 심사	▪ 혁신 제품 인증서 확보 ⇒ 제2021-300호

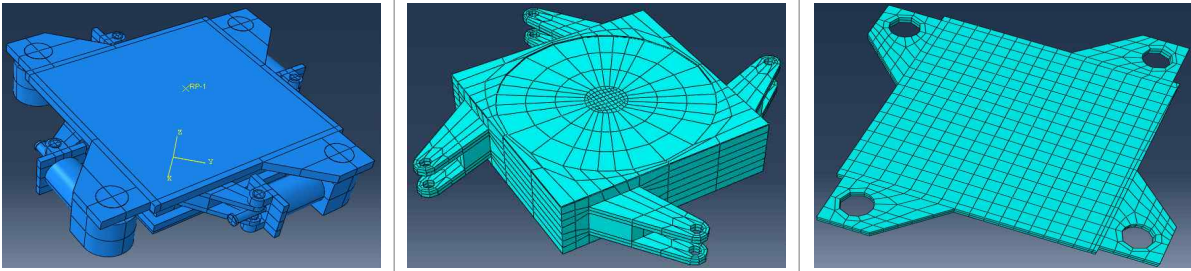
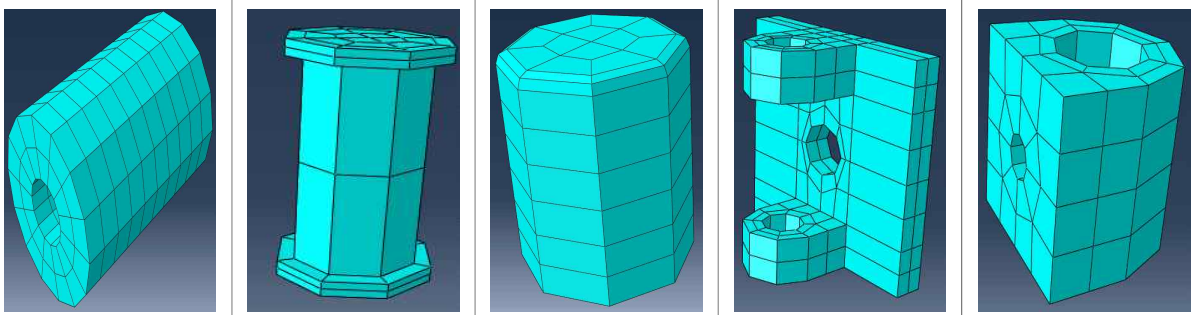
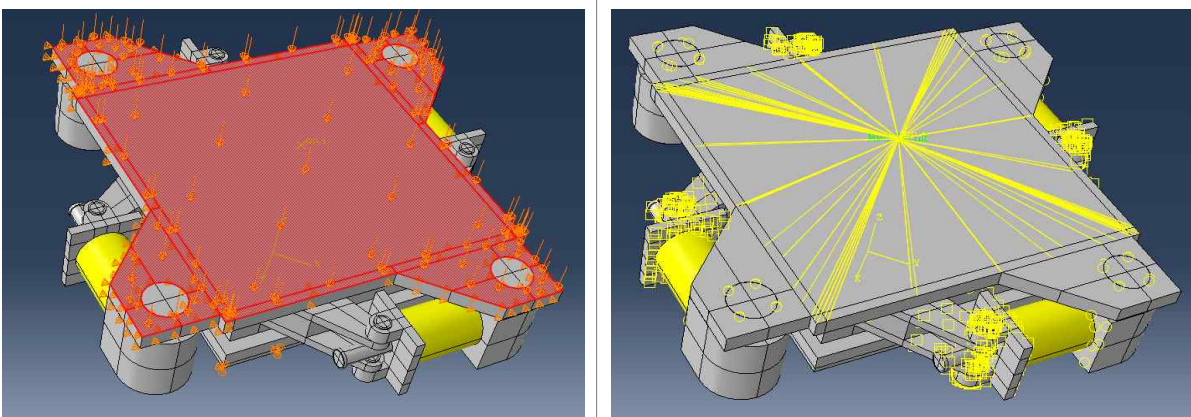
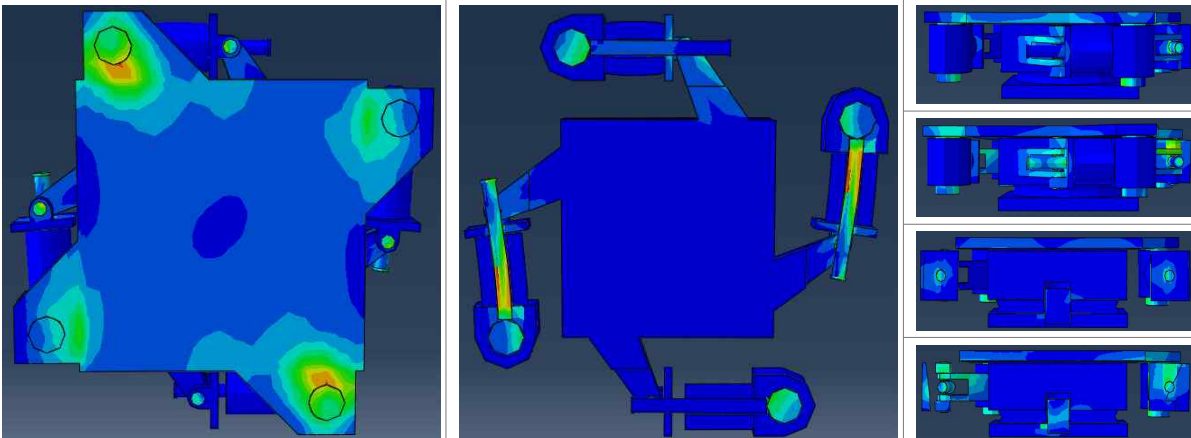
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

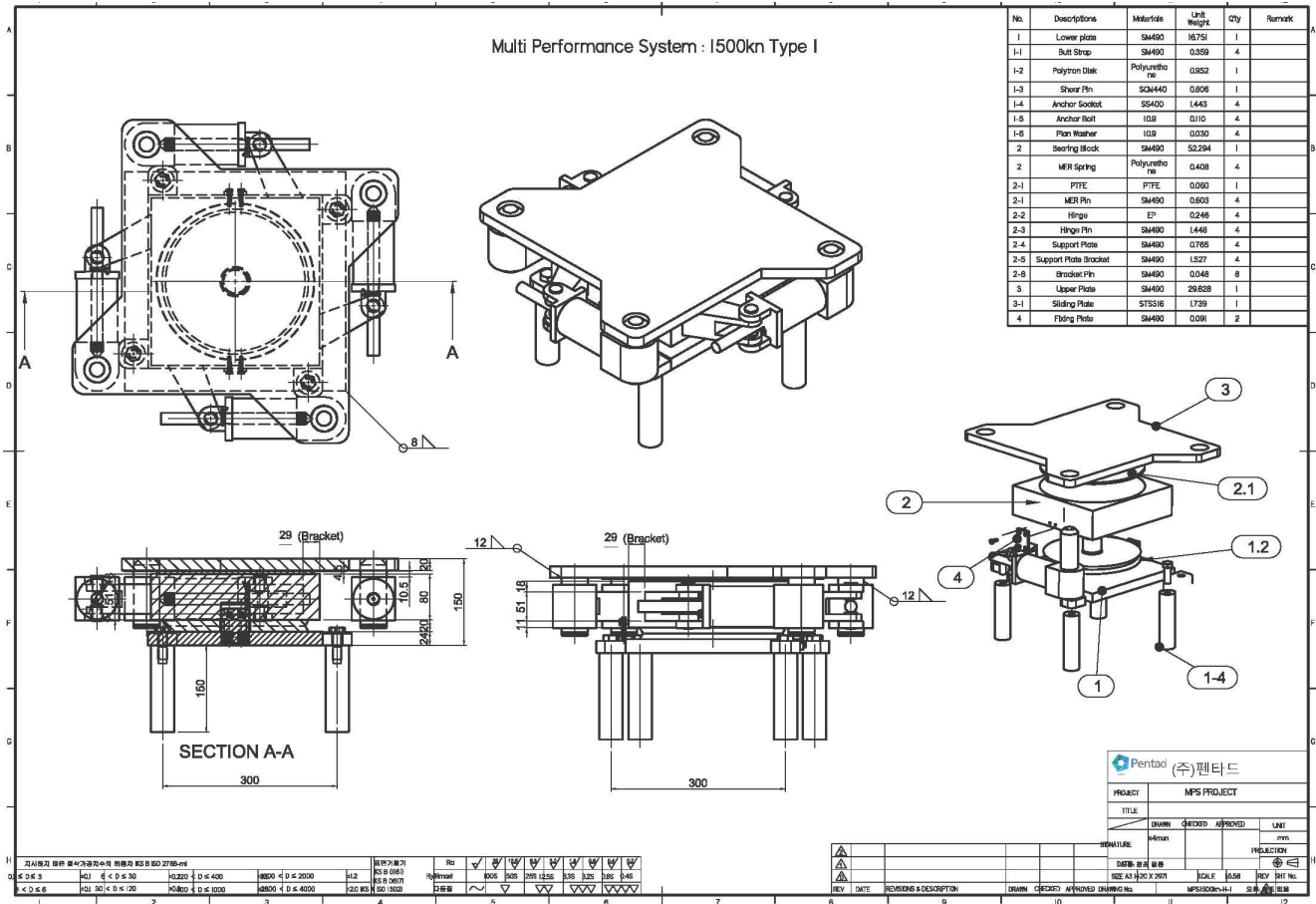
(1) 정성적 연구개발성과

① 다기능 지진동 저감장치(MPS) 최적화 및 상품화

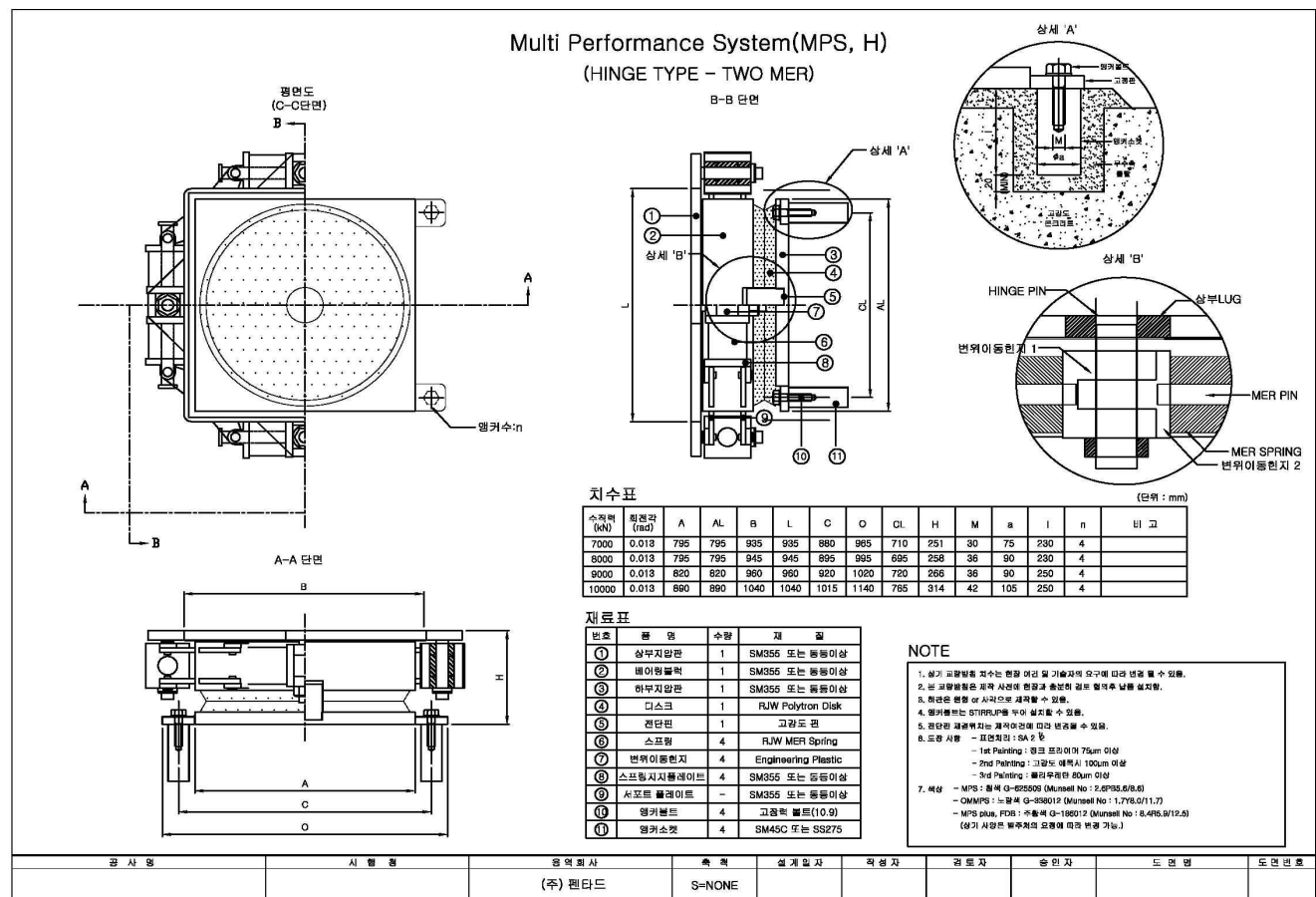
○ FEM 상세해석 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.5 ~ p.14)

프로그램	▪ 적용 프로그램 : ABAQUS				
해석모델					
					
경계조건					
해석결과					
	▪ 응력은 주로 Hinge Pin, Hinge, Bracket Pin, MER Pin 부품에서 발생하였으며 최대응력은 Bracket Pin과 MER Pin에서 발생함 ▪ 수평 방향에 대한 직각 방향과 45° 방향으로 변위 하중을 부여하여 진행되었으며 직각 방향과 45° 방향 모두 부재의 파단 또는 파괴 없이 안정적인 거동을 보임				

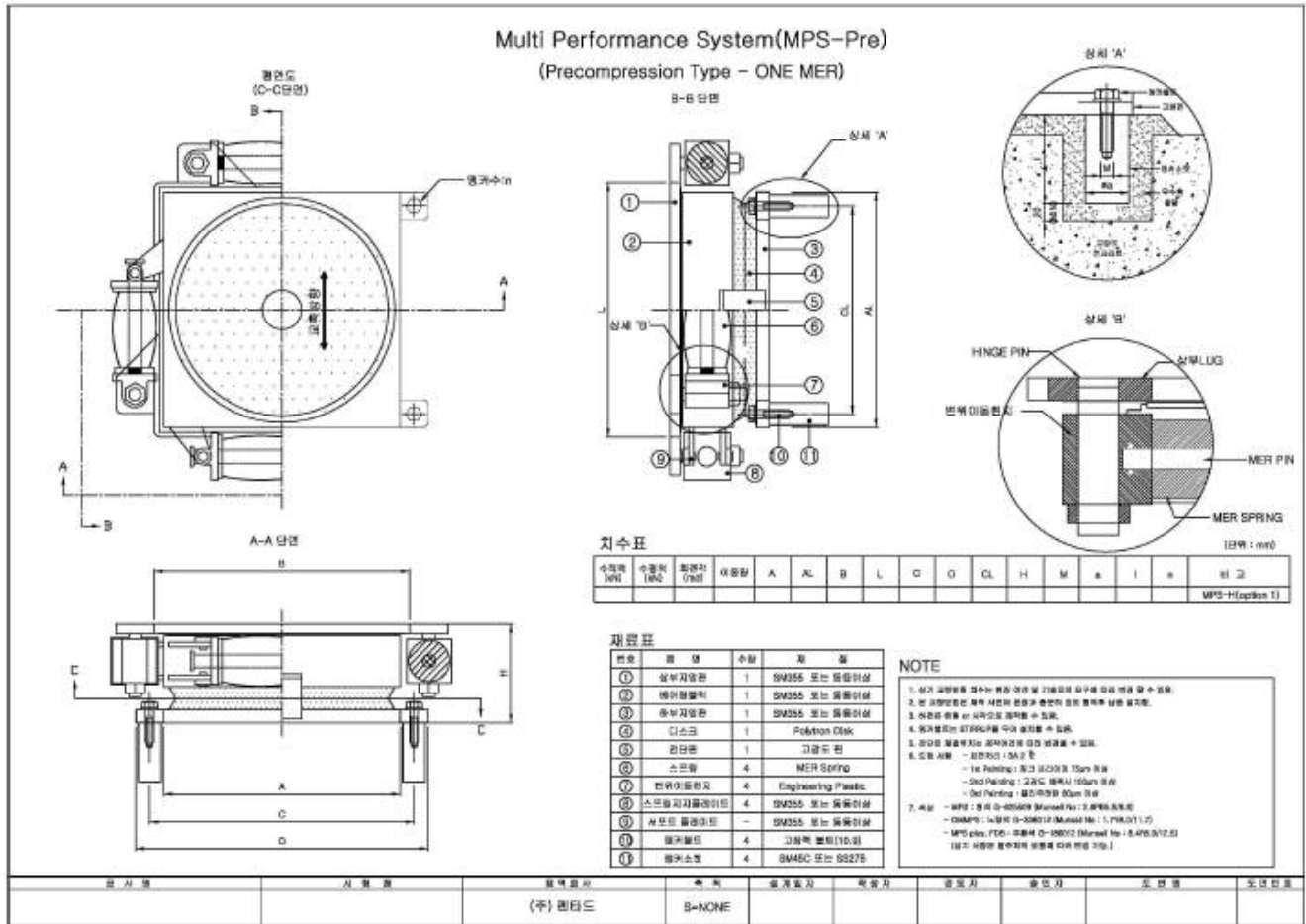
다기능 지진동 저감장치(MPS) 1-MER Type



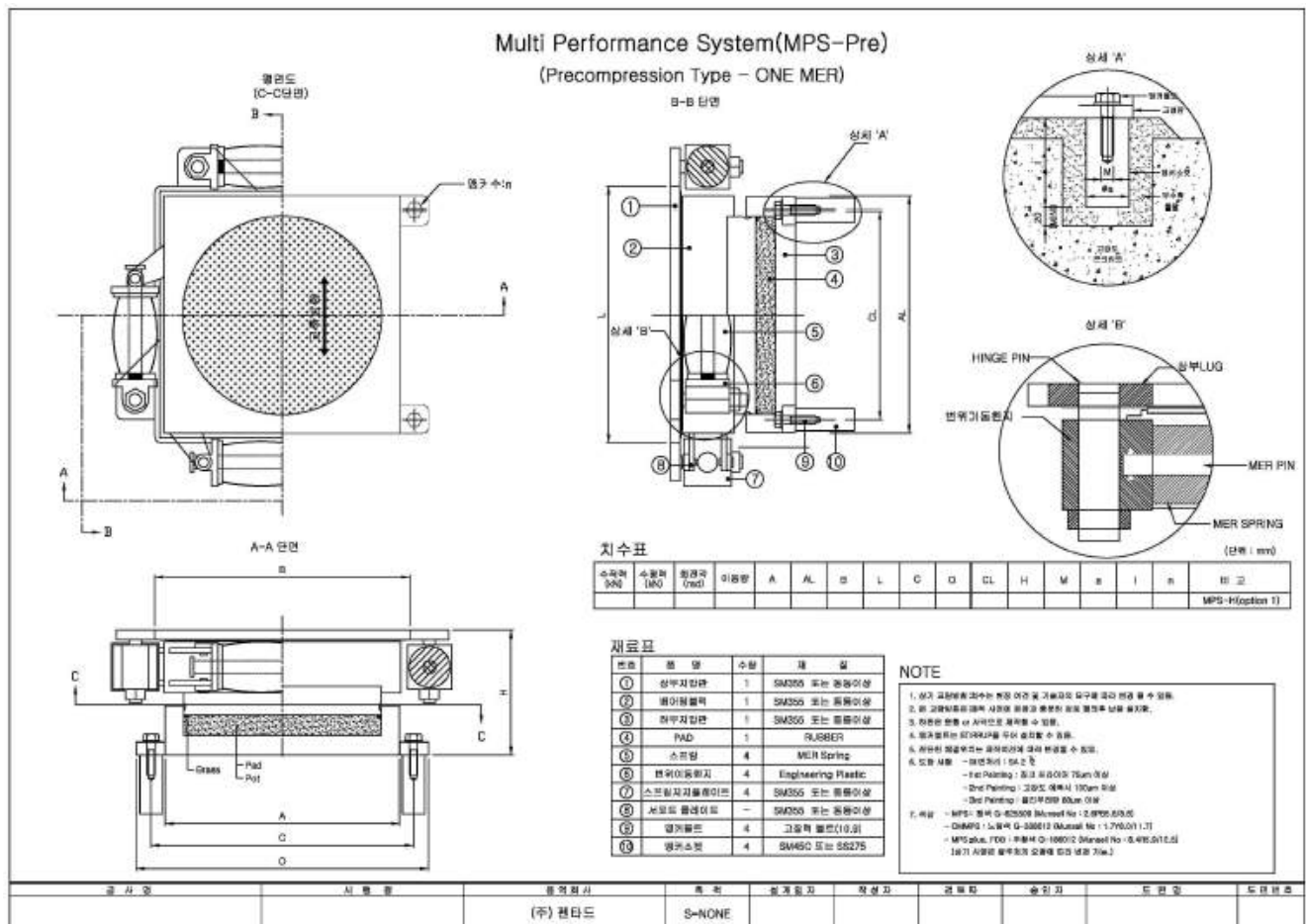
다기능 지진동 저감장치(MPS) 2-MER Type

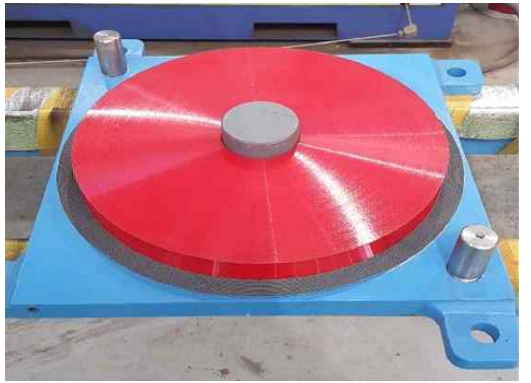
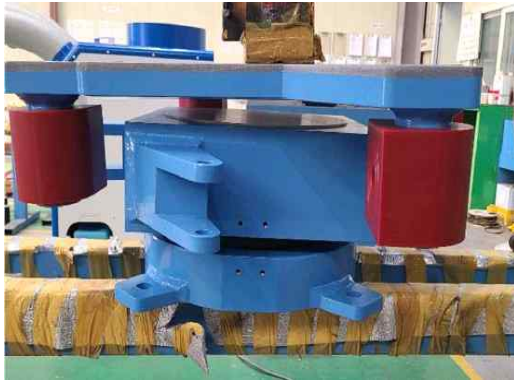


다기능 지진동 저감장치(MPS) Pre-Compression&Disk Type



다기능 지진동 저감장치(MPS) Pre-Compression&Pot Type



1차 시제품	1MER Type		
	2MER Type		
2차 시제품	Pre- Compression Type		 
3차 시제품	Disk Type		
	Pot Type		

② 다기능 지진동 저감장치(MPS) 성능 검증

○ 구조해석 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.28 ~ p.55)

해석개요

▪ 적용 프로그램 : MIDAS-GEN

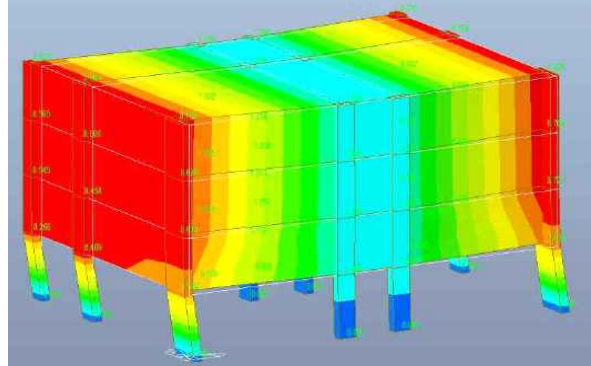
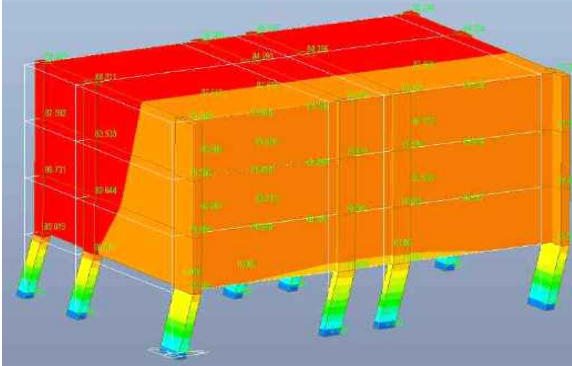
▪ 연구개발 중인 면진시스템의 우수성을 입증하기 위하여 면진시스템 미적용 필로티 구조물 및 면진시스템 적용 필로티 구조물에 대한 해석 및 비교·분석을 수행함

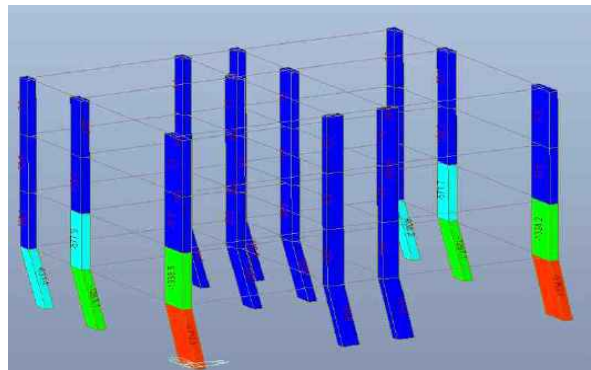
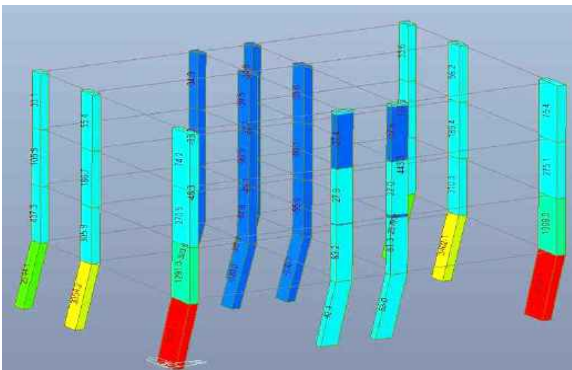
해석모델

필로티 구조물 모델링

지진파 (El Centro)

해석결과





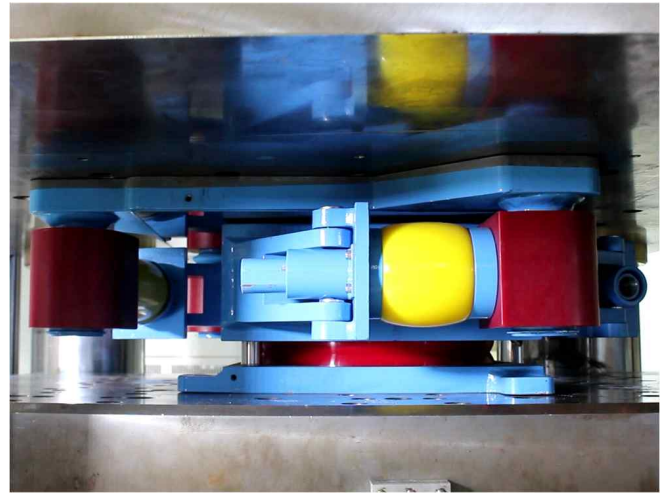
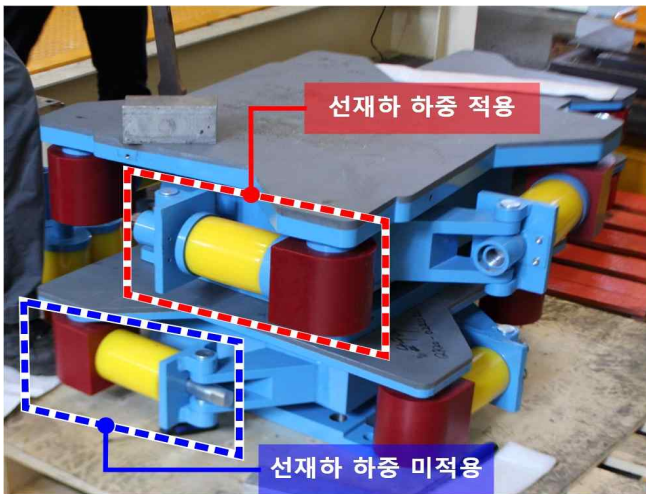
구분		전단력 (kN)	모멘트 (kN·m)
비면진 설계 (MPS 미적용)	X-Direction	187.2	357.8
	Y-Direction	49.6	94.2
면진 설계 (MPS 적용)	X-Direction	278.6	457.9
	Y-Direction	97.7	182.9

▪ 다기능 지진동 저감장치(MPS)를 적용하지 않은 필로티 건축물은 최대 약 10배 이상 가속도가 증폭되어, 해석결과 분석결과 실제로는 리히터 규모 7.0 이상의 지진 발생시 구조물이 붕괴되었다고 판단할 수 있음

▪ 다기능 지진동 저감장치(MPS)가 설치된 필로티 구조물에서 X 및 Y방향 모두 감소된 전단력 및 모멘트 결과값을 나타냈으며, 약 1.2~2.0배의 차이가 발생하는 것으로 분석되며, 이러한 결과는 다기능 지진동 저감장치가 설치되지 않은 필로티 구조물에 비해 적용된 필로티 구조물이 보다 안전하다고 할 수 있는 근거가 될 수 있음

○ 성능 및 내구성 향상

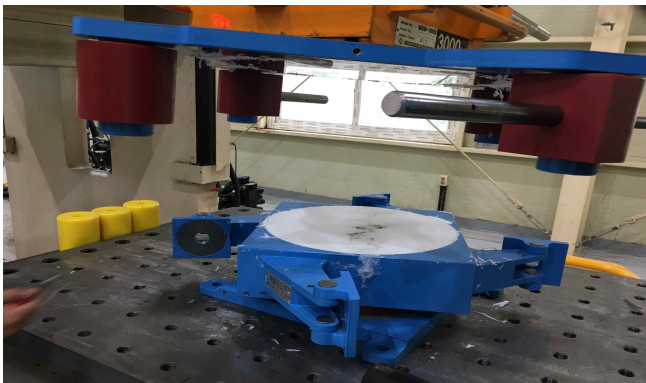
다기능 지진동 저감장치(MPS) 부품 개선을 통한 성능 향상



- 프리 컴프레션(Pre-Compression) 방식의 선 재하 하중 적용
 - 특허명 : 선 재하 하중식 면진장치용 완충부 및 상기 완충부를 구비한 선재하 하중식 면진장치
 - 특허등록번호 : 10-2097752 (연구과제 성과 등록)
- MER 스프링 선 재하 하중 적용에 따른 미복원영역 제거 가능
 - 복원률(성과지표) 향상 ⇨ 최종성과목표 달성
- MER 스프링 선재하 하중 적용에 따른 다기능 지진동 저감장치 성능 개선
 - 유효강성, EDC ⇨ 최종성과목표 달성

다기능 지진동 저감장치(MPS) 내구성 향상

개선 전



개선 후



- 기존 마찰재 : 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)
- 변경 마찰재 : 초고분자량 폴리에틸렌(UHMW-PE)
- 개선전 : 장기거동 가정 내구성 시험 결과(100 회 왕복) ⇨ 마찰판 마모 발생
- 개선후 : 마찰판 교체 ⇨ 장기거동 가정 내구성 시험 결과(100 회 왕복) ⇨ 마찰판 마모 발생 없음

완제품 및 성능시험 현황

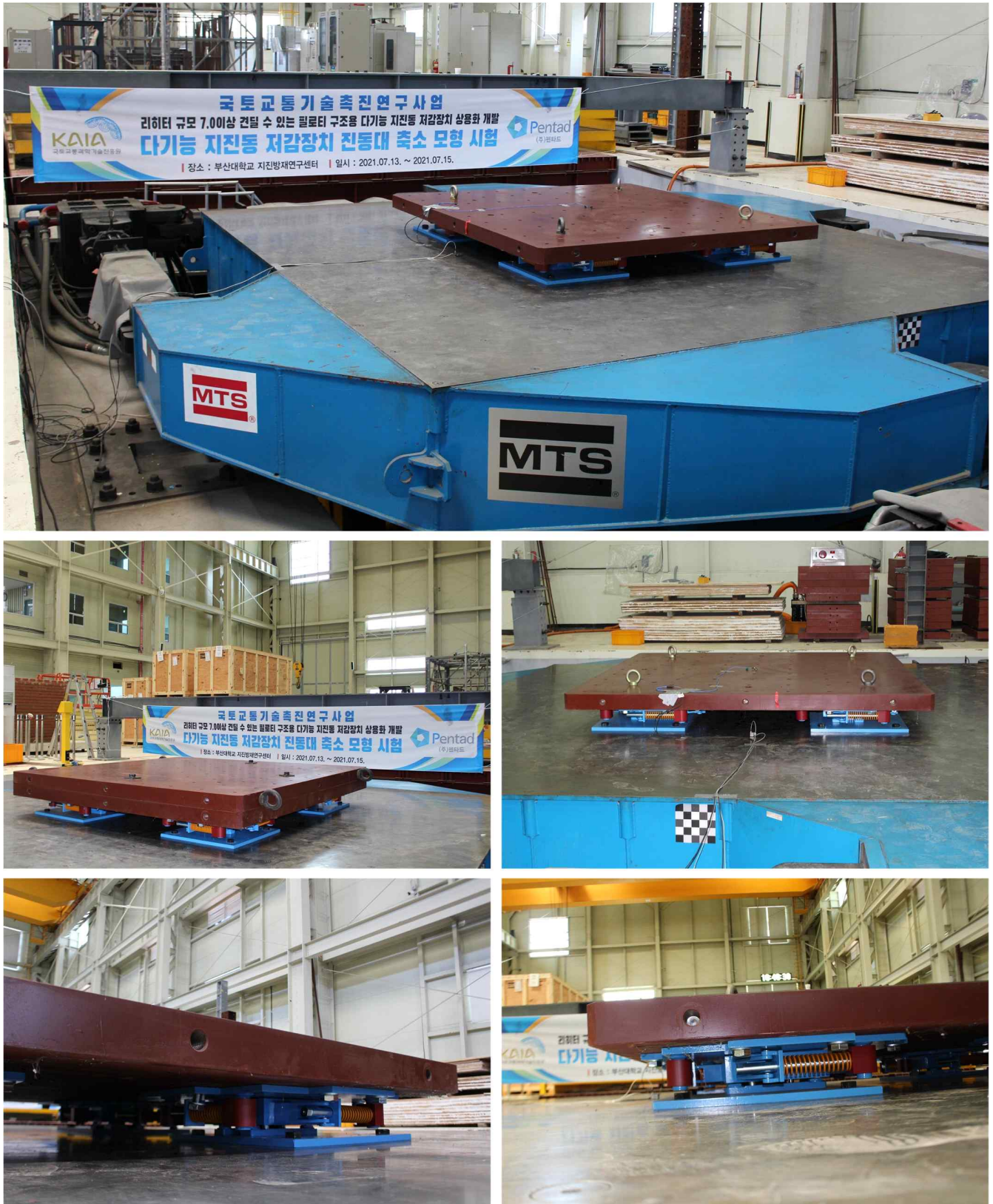


테스트베드(현장시험) 적용 완제품 성능 시험

구분	규격	설계값	시험값	결과	기준 (성과목표)
유효강성 (kN/mm)	1,000 kN	2.296	2.776	-6.15%	±15%이내
	1,500 kN	3.667	3.529	-3.76%	
	3,000 kN	7.269	6.671	-8.11%	
EDC (kN·mm)	1,000 kN	19,100	22,881	19.80%	-10%이상
	1,500 kN	30,200	31,089	2.94%	
	3,000 kN	60,800	55,738	-8.33%	

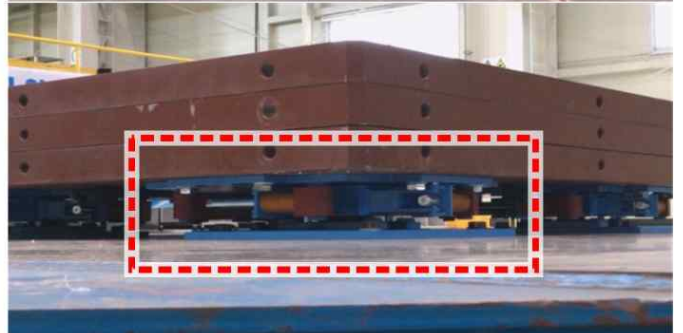
- 다기능 지진동 저감장치 (MPS) 목표 성능 지표
 - 유효강성 : ±15%이내 ⇨ 설치 제품 기준(성과목표) 만족
 - EDC : -10%이상 ⇨ 설치 제품 기준(성과목표) 만족
- 테스트베드(현장시험) 적용 대상 완제품 성능시험 결과 : 목표 성능 지표 만족
 - ⇨ 양산시스템 운용시 다기능 지진동 저감장치 성능 및 품질 관리 체계 수립

1차 시험



- 기간 : 2021.07.13. ~ 2021.07.15.
- 장소 : 부산대학교 지진방재연구센터
- 시험결과
 - 성과목표 : 비면진 시스템 대비 최대 가속도 15% 이상 저감
 - 시험결과 : 성과목표 (15% 이상 저감) 달성 실패
 - 보완사항 : 성능 개선을 통한 2차 진동대 시험 계획 및 수행

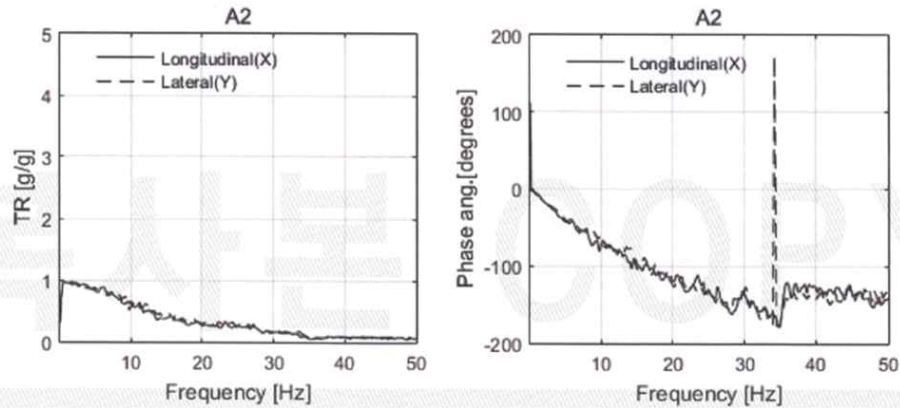
2차 시험



공진탐색결과

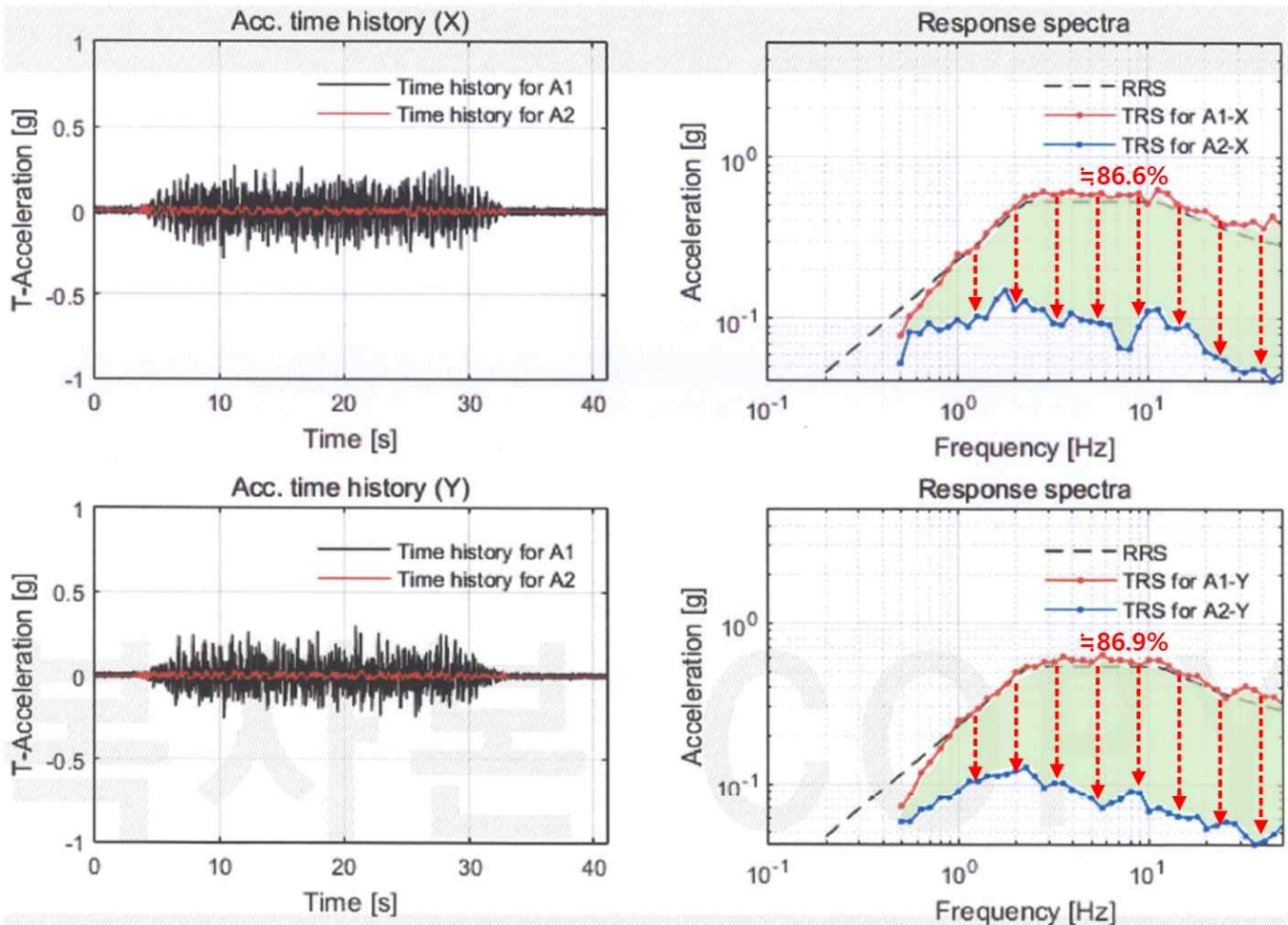
UUT Name	Location	Predominant resonance frequency (Hz) ^{주2)}		Remark
		Side-to-side (Longitudinal, X)	Front-to-back (Lateral, Y)	
MPS (다기능지진동 저감장치)	A2	N/A	N/A	-

주2) 공진탐색범위 이외에 공진주파수가 있을 경우 확인이 불가함.



- 다기능 지진동 저감장치 고유진동수 : 공진탐색범위 이외에 존재 함 (1Hz 이하)

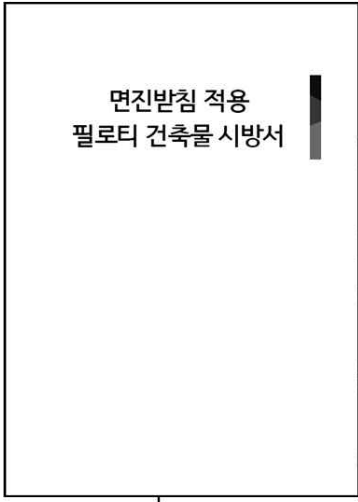
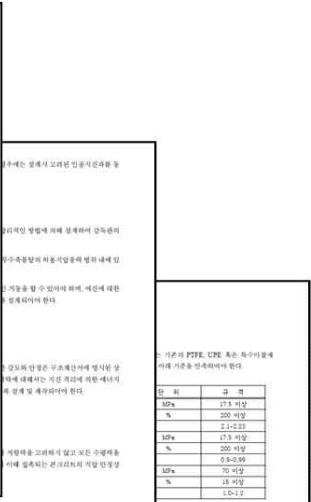
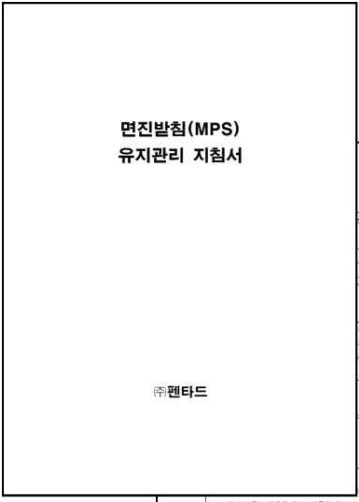
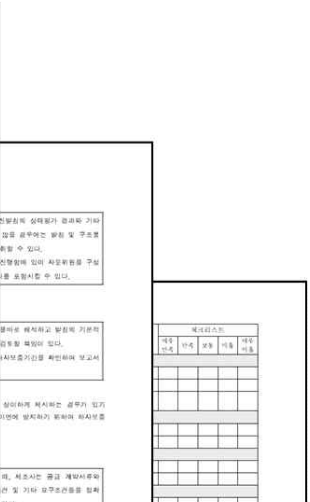
가속도 시간이력과 응답스펙트럼 분석 결과



- 기간 : 2021.12.09. ~ 2021.12.13.
- 장소 : 부산대학교 지진방재연구센터
- 시험결과
 - 성과목표 : 비면진 대비 최대 가속도 15% 이상 저감
 - 시험결과 : 가속도 약 86% 저감 ⇨ 성과달성

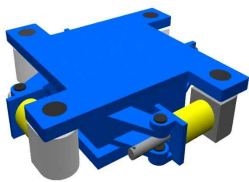
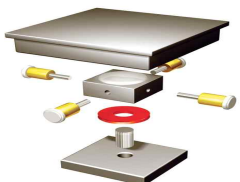
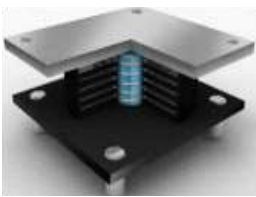
③ 다기능 지진동 저감장치(MPS) 사업화

○ 시공 시방서 및 유지관리 지침서 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.100 ~ p.147)

다기능 지진동 저감장치			
공사 시방서		유지관리 지침서	
면진받침 적용 필로티 건축물 시방서  		면진받침(MPS) 유지관리 지침서  	
4.3.3 필요수량 (3) 용량에 따른 지진동 저감장치(MPS)의 설치수량 지진동 저감장치(MPS)의 설치수량은 "Guidance Specifications for Seismic Isolation Design(4th Edition)" 19.4.2.1에 의한다.		유지관리 지침서 유지관리 지침서 유지관리 지침서	

- 다기능 지진동 저감장치 전문 공사 시방서 및 유지관리 지침서 개발
- 시공 및 품질에 대한 표준 관리 체계 구축 ⇨ 표준화를 통한 시공성 향상 기대

○ 경제성 분석 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 : p.149 ~ p.208)

구조물 면진장치 제품 형식에 따른 경제성 분석									
구분		개발제품		비교제품					
형상									
		복원 스프링 방식		진자 방식		탄성고무 방식			
모델명		MPS		EQS		FPS		LRB	
규격		1000kN		1000kN		1000kN		1000kN	
제 품 수 명		40년		40년		40년		40년	
원가 항목	취득원가	3,011,308	3,639,749	82.73%	3,287,071	91.61%	3,067,648	98.16%	
	폐계원가	-1,948	-3,959	49.20%	-2,517	77.39%	-1,878	103.73%	
	합계	3,009,360	3,635,790	82.77%	3,284,554	91.62%	3,065,770	98.16%	

- 기존 타사 경쟁 제품 대비 최대 약 18% 경제성이 높은 것으로 분석됨 ⇨ 평가기관 : 한국종합경제연구원

전문가(7인) 자문회의를 통한 사업성 평가 (AHP 분석기법 활용)					
순위	사업화 고려 항목		AHP 분석 결과		
			가중치	AHP 평가점수	중점 고려 항목
1	안전성	형식승인	0.0401	0.0251	내구성
		개발 제품 내구성	0.1907	0.1345	
		품질관리시스템	0.0785	0.0597	
		기술인증보유	0.0652	0.0495	
	소계		0.3746	0.2689	
2	기술성	기술수준	0.0866	0.0378	성능
		제품성능	0.1088	0.0477	
		기술 확장성	0.0392	0.0267	
		기술의 유용성	0.0453	0.0196	
	소계		0.2798	0.1318	
3	시공성	시공공법(난이도)	0.0465	0.0325	시공공법
		시공기간	0.0300	0.0124	
		시공비용(추가)	0.0313	0.0128	
		시공환경	0.0342	0.0227	
	소계		0.1420	0.0804	
4	경제성	제품 원가 절감	0.0263	0.0218	제작원가
		건축자재 절감	0.0267	0.0171	
		구조물 내진 보강 비용 절감	0.0328	0.0057	
		유지관리 비용 절감	0.0268	0.0188	
	소계		0.1126	0.0633	
5	시장성	시장규모(환경)	0.0169	0.0108	마케팅 전략
		수요예측(고객수요)	0.0247	0.0042	
		개발 제품 인지도	0.0287	0.0022	
		마케팅 전략	0.0207	0.0138	
	소계		0.0910	0.0311	
합계			1.0000	0.5754	AHP ≥ 0.5

※ AHP 평가점수 : 0.57 ⇨ 사업화 타당성 확보 (0.5이상 사업화 타당성 검증 가능)

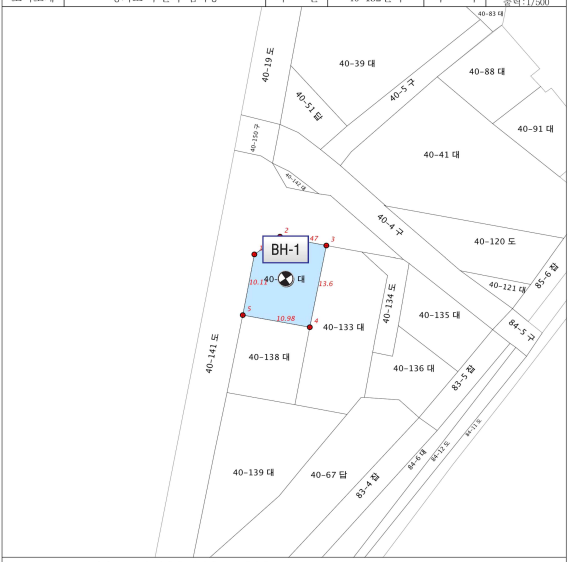
- AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석 기법을 활용하여 국토교통기술촉진연구사업 연구과제명 “리히터 규모 7.0이상 견딜 수 있는 필로티 구조용 다기능 지진동 저감장치 상용화 개발”에 대하여 사업 가능성을 종합적으로 평가함
- 자문위원들의 사업성 평가와 관계없이 다기능 지진동 저감장치의 필로티 구조물 적용에 대한 사업성 평가를 요청한 결과 약 58% 수준으로 사업화 가능성이 있는 것으로 검토됨

녹색기술 인증서	SOC 기술마켓 혁신기술 인증서
녹색기술 인증서 인 증 번 호 : 제 GT-20-00846호 기 관 명 : (주)펜타드 대 표 자 명 : 지용수, 이창숙 주 소 : 인천광역시 계양구 까치말로 19 (작전동) 기 술 명 칭 : 다기능 지진동 저감장치 분 류 번 호 : T050604 『저탄소 녹색성장 기본법』 제32조 및 『녹색인증제 운영요령』 제27조에 의거하여 위의 기술을 녹색기술로 인증합니다. 최초인증일자 : 2020.03.19 유효기간 : 2020.03.19 ~ 2023.03.18 중소벤처기업부장관인	SOC-EX-2021-1-0099 「SOC기술마켓 혁신기술」 인증서 기술(제품 또는 공법)명: 다기능 지진동 저감장치(MPS) 업체명: (주)펜타드 대표자명: 지용수 지정기간: 2021-04-07 ~ 2024-04-07 지정내용: SOC기술마켓 공동검증심의결과에 따른 인증서 발급 위 기술을 SOC 기술마켓 운영규정 제 15조에 따라 위와 같이 혁신기술로 인증 합니다. 2021년 04월 07일 SOC 공공기관 협의체

혁신제품 인증서	상생협력제품 확인서
인증번호 제 2021 - 300 호 혁신제품 지정 인증서 01 기 업 명 (주)펜타드 사업자등록번호 753 - 87 - 00901 02 주 소 인천광역시 계양구 까치말로 19(작전동) 03 혁신제품명 지진과 같은 진동 또는 충격 에너지를 소산 및 제거할 수 있는 먼진장치 04 지정기간 2021년 6월 1일부터 2024년 5월 31일까지 위 제품은 「조달사업에 관한 법률 시행령」 제33조제1항제3호 및 「혁신제품 지정 및 구매촉진 등에 관한 규정」 제10조제1항에 의거하여 혁신제품으로 지정되었음을 인증합니다. 2021년 6월 1일 SOC 공공기관 협의체 중소벤처기업부장관인	상생협력제품 확인서 확 인 번 호 20-AA0022 유 효 기 간 2020.10.12 ~ 2023.10.11 세 부 품 명 교량방침(3012171601) 제 품 명 먼진 기술을 적용한 다기능 지진동 저감장치 (MPS: Multi Performance System) 규 격 명 후면 참조 주 관 기 업 명 (주)펜타드(753-87-00901) 대 표 자 명 지용수 주 소 인천광역시 계양구 까치말로 19 (작전동) 협 력 기 업 명 (주)에스코알티에스(214-81-45395) 「중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률」 제20조의2 및 「공공조달 상생협력 지원제도 운영요령」 제15조에 의거하여 위의 제품을 상생협력제품으로 확인합니다. 2020.10.23 중소벤처기업부장관인

④ 테스트 베드 (현장시험) 계획 및 수행

○ 테스트 베드 부지선정 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.378 ~ p.379)

지적도		토지대장																																											
Page 1 of 1 문서확인번호 : 1613-8863-3548-2335 지적도 등본 발급번호: 202141190002680589 지리시각: 14시 45분 34초 발급자: 경부24 토지소재: 경기도 부천시 심곡동 지번: 40-132번지 축척: 1:7000 (원: 1:7000)  지적도등본에 의하여 작성한 등본입니다. 이 도면등본으로는 지적측량에 사용할 수 없습니다. 2021년 02월 21일 경기도 부천시 본 등본서는 인터넷으로 발급하였으며, 경부24(gov.kr)의 인터넷발급문서진위확인 제를 통해 원·본조 여부를 확인할 수 있습니다. (발급일로부터 90일내) 도면 위에 적힌 QR코드도 진위확인(경부24 앱 또는 스캐너를 문서확인 프로그램)을 통해 확인할 수 있습니다.		Page 1 of 1 문서확인번호 : 1613-8862-4979-4194 토지대장 <table border="1"> <tr> <td>건물번호</td> <td>410810000-10000-0132</td> <td>도면번호</td> <td>1-1</td> <td>발급번호</td> <td>202141190-00389-0587</td> </tr> <tr> <td>토지소재</td> <td>경기도 부천시 심곡동</td> <td>비고</td> <td>1-1</td> <td>지리시각</td> <td>14시 45분 34초</td> </tr> <tr> <td>지번</td> <td>40-132</td> <td>속책</td> <td>수서</td> <td>발급자</td> <td>인터넷발급</td> </tr> <tr> <td>지목</td> <td>면적(㎡)</td> <td>사유</td> <td>반출일자</td> <td>소유자</td> <td>주 소</td> </tr> <tr> <td>(08)</td> <td>*148.0</td> <td>(51) 2016년 07월 04일</td> <td>2020년 12월 14일</td> <td>경기도 부천시</td> <td>경부24 (14시 45분 34초)</td> </tr> <tr> <td>대</td> <td>부천시 원미구에서 행정관할구역변경</td> <td>(03) 소유권이전</td> <td>이월승</td> <td>501115-2-*****</td> <td>501115-2-*****</td> </tr> <tr> <td colspan="6">--- 이하 여백 ---</td> </tr> </table> 토지대장에 의하여 작성한 등본입니다. 2021년 2월 21일 경기도 부천시		건물번호	410810000-10000-0132	도면번호	1-1	발급번호	202141190-00389-0587	토지소재	경기도 부천시 심곡동	비고	1-1	지리시각	14시 45분 34초	지번	40-132	속책	수서	발급자	인터넷발급	지목	면적(㎡)	사유	반출일자	소유자	주 소	(08)	*148.0	(51) 2016년 07월 04일	2020년 12월 14일	경기도 부천시	경부24 (14시 45분 34초)	대	부천시 원미구에서 행정관할구역변경	(03) 소유권이전	이월승	501115-2-*****	501115-2-*****	--- 이하 여백 ---					
건물번호	410810000-10000-0132	도면번호	1-1	발급번호	202141190-00389-0587																																								
토지소재	경기도 부천시 심곡동	비고	1-1	지리시각	14시 45분 34초																																								
지번	40-132	속책	수서	발급자	인터넷발급																																								
지목	면적(㎡)	사유	반출일자	소유자	주 소																																								
(08)	*148.0	(51) 2016년 07월 04일	2020년 12월 14일	경기도 부천시	경부24 (14시 45분 34초)																																								
대	부천시 원미구에서 행정관할구역변경	(03) 소유권이전	이월승	501115-2-*****	501115-2-*****																																								
--- 이하 여백 ---																																													

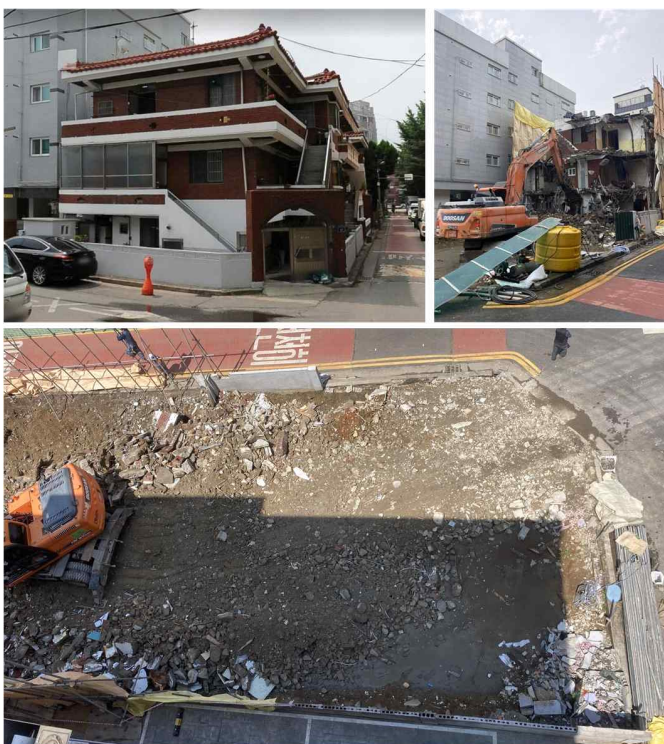
<https://www.gov.kr/mw/EgovPageLink.do?link=e2pdfwebviewer/viewerGov24&optNoUi=true&optLang=k...> 2021-02-21

<https://www.gov.kr/mw/EgovPageLink.do?link=e2pdfwebviewer/viewerGov24&optNoUi=true&optLang=k...> 2021-02-21

▪ 다기능 지진동 저감장치 테스트 베드(현장시험) 위치 ⇨ 경기도 부천시 심곡동 40-132

테스트 베드 부지 현황

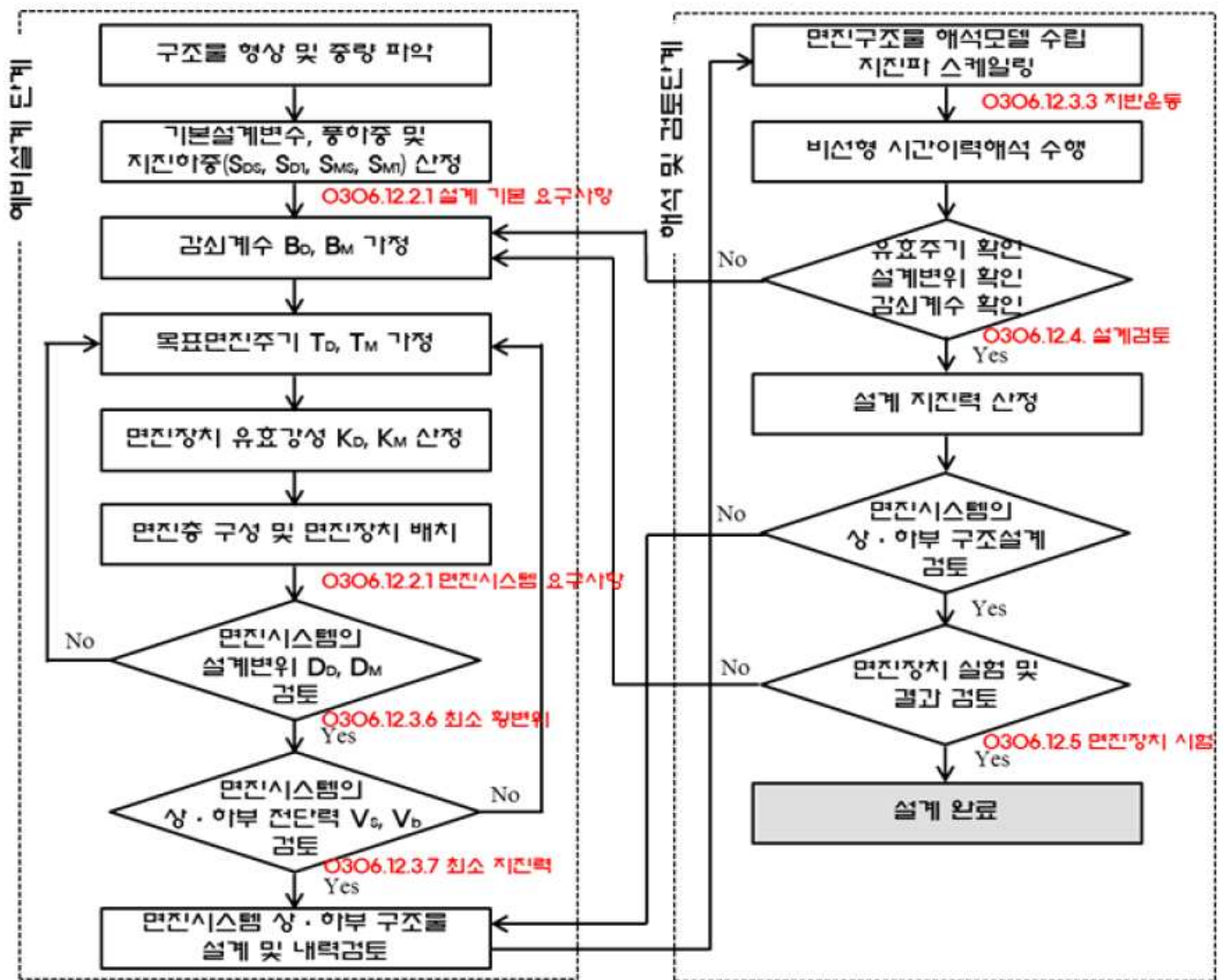
기존 건축물 (철거)



지반조사 및 기초공사



면진 건축물 구조 설계 절차 (건축구조기준 KBC 2016)



구조계산서

면진구조해석

부지응답해석

발주처

전 건축사사무소

TEL 032) 653-1060

FAX 032) 656-6535

구 조 계 산 서

STRUCTURAL DESIGN AND ANALYSIS

심곡동 40-132 외 1필지 근/생 및 다가구주택 신축공사

2021. 04

1. 위 건축물에 대하여 건축법 제 38조 및 건축법 시행령 제 32조(구조안전의 확인)에 따라 기술사법에 의거 등록한 건축구조기술사가 구조계산을 수행하여 구조안전성을 확인하였습니다. 본 구조설계계산서는 계산서에 포함된 설계조건을 기초로 구조안전성을 확인한 것이므로 계산서내의 설계조건에 유의하시기 바라며, 시공자는 하중의 증가, 단면의 변경 등에 불합리한 계산서 부분에 대하여 사전에 확인받을 받아 구조설계 계산서를 최종 확정 후 시공하시기 바랍니다.

2. 건축법 시행령 제 41조의 3 규정에 의거, 본 구조설계 계산서 외의 구조설계서에 대한 검토 및 서명 분야에 필요한 경우에는 당해 구조기술사에게 별도 명력을 요청하시기 바랍니다.

3	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-
REV.	수정일자	수정내용	설계자	검토자	승인자	발주처

설 계 자	검 토 자	승 인 자
2021. 04 장 지 선	2021. 04 김 근 재	2021. 04 서 대 원

DS 도시건설방재기술원(주)

구조기술사 사무소 / 인천전진 전문기관

서울시 동대문구 장현로 64 501호 (잠인동)

TEL : (02)2246-4457 Fax : (02)2215-4459

대표이사 / 건축구조기술사 서 대 원

부천 심곡동 면진구조해석

Peer Review 의견서

- 부천 심곡동 40-132외 1필지 다가구주택 신축공사 -

*부천 심곡동 40-132외 1필지 다가구주택의 구조설계를 위한 면진해석모델 및 해석 결과에 대한 검토 결과, 설계기준(KDS 41 17 00)에서 요구하는 다음의 내용을 적정하게 따르고 있음을 확인하였다.

- 다 음 -

- 면진장치에 대한 모델링 및 해석방법
- 적용된 지반운동의 적정성
- 면진장치 횡변위 제한기준의 만족 여부
- 면진장치의 구조안전성(전도, 인장 등) 검토 및 결과의 적정성

2021 년 04월

공학박사 지 용 수

부천 심곡동 부지응답해석

Peer Review 의견서

- 부천 심곡동 40-132외 1필지 근/생 및 다가구주택 신축공사 -

*부천 심곡동 40-132외 1필지 근/생 및 다가구주택의 구조설계를 위한 지반가속도 선형, 부지응답해석모델 및 해석 결과에 대한 검토 결과, 설계기준(KDS 41 17 00)에서 요구하는 다음의 내용을 적정하게 따르고 있음을 확인하였다.

- 다 음 -

- 선정된 지반운동기록의 지반조건 적정성
- 선정된 지반운동기록의 스펙트럼 크기 적정성
- 부지응답해석모델 및 사용프로그램의 적정성검토
- 해석결과 지진파에 대한 최소응답스펙트럼 크기의 적정성
- 면진구조 해석을 위한 지진파 조정주기 범위의 적정성

2021년 04월

토질 및 기초기술사 이 준

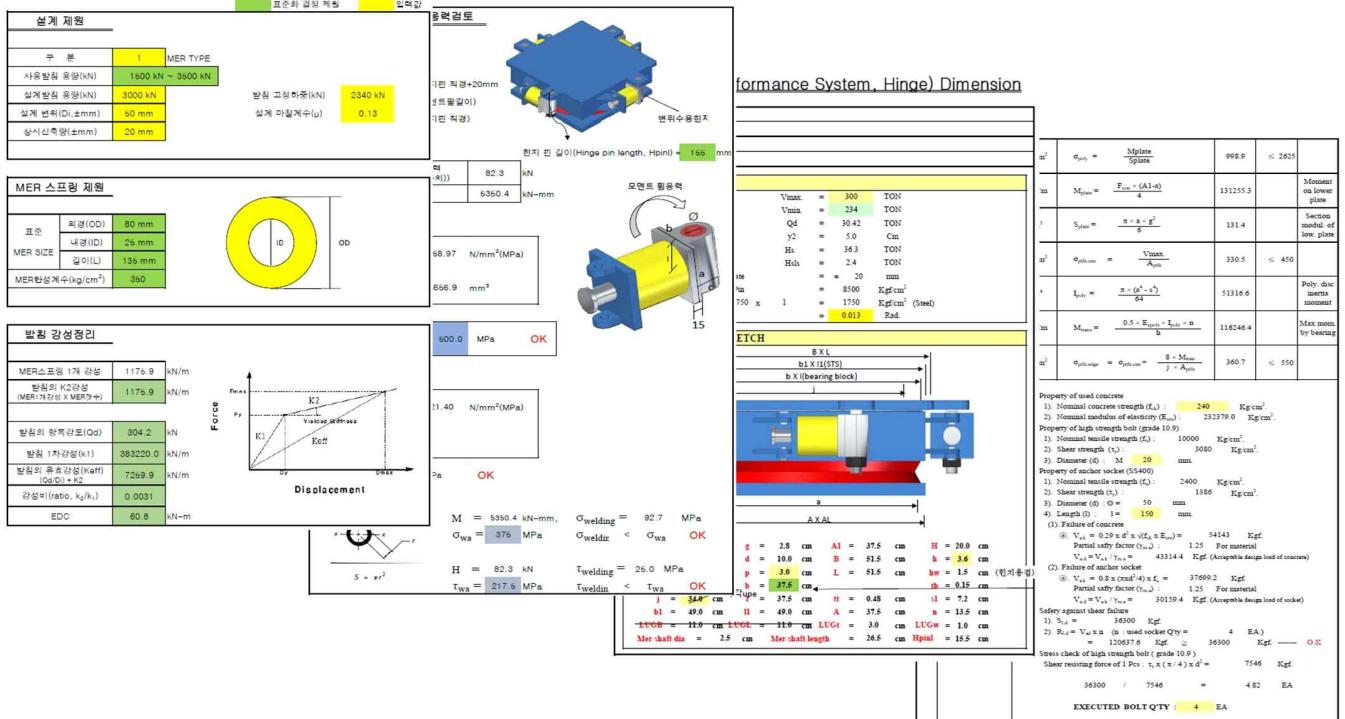
자력번호 : 161

- 26 -

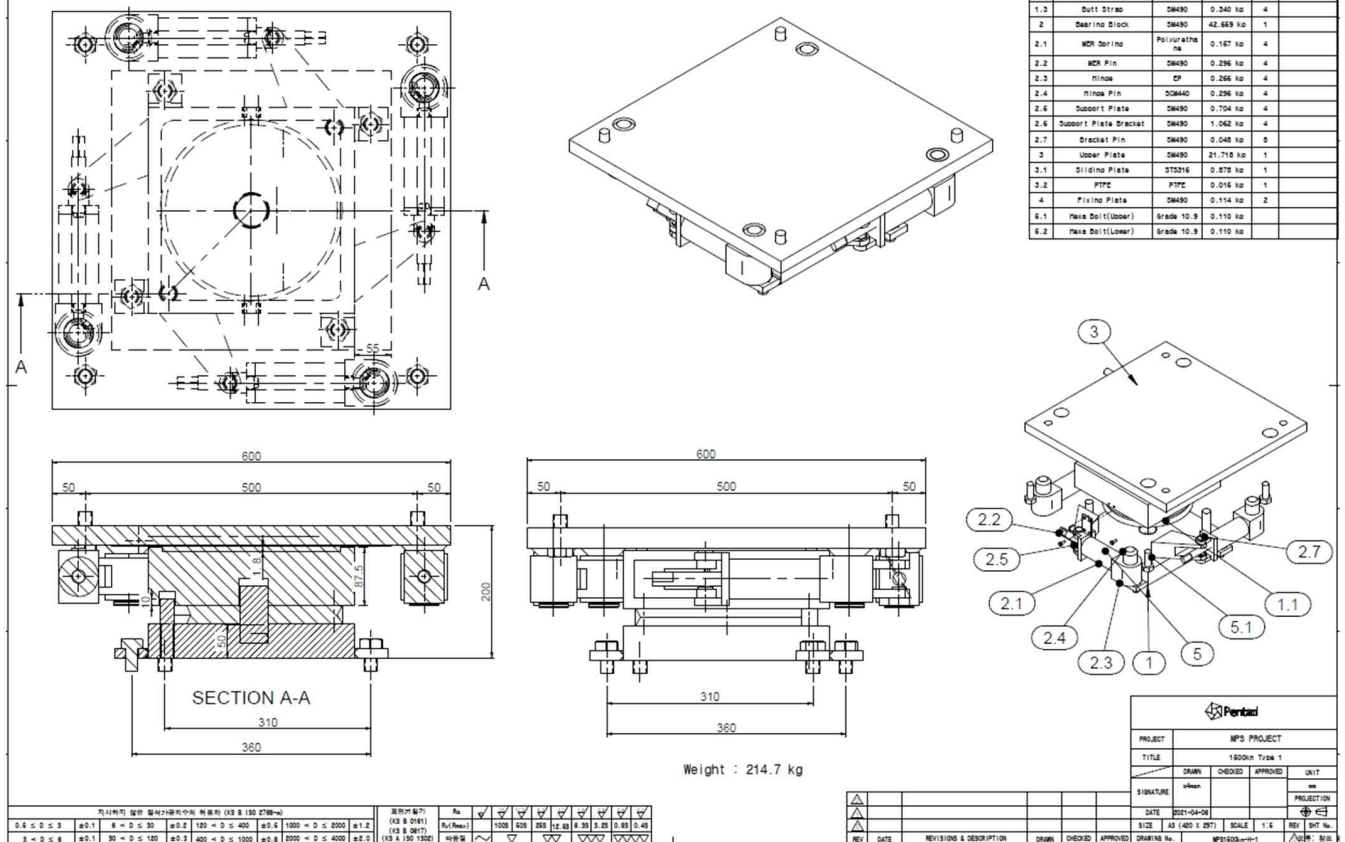
○ 다기능 지진동 저감장치 설계 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.882 ~ p.905)

구분	수직용량	설계변위	유효강성	EDC	수량
1	1,000 kN	±50mm	2,958 kN/mm	19.1 kN·m	6 EA
2	1,500 kN	±50mm	3,667 kN/mm	30.2 kN·m	4 EA
3	3,000 kN	±50mm	7,269 kN/mm	60.8 kN·m	2 EA

MPS(Multi Performance System) Standard Dimension



Multi Performance System : 1500kn Type 1





▪ 면진장치 적용 건축물 : 특수건축물 및 다중이용건축물의 건축구조분야 전문심의 필요
⇨ 건축법 시행령 제6조의3, 국토교통부고시 제2018-777호

다기능 지진동 저감장치(면진장치) 적용 필로티 건축물 구조 안전 심의 신청 및 결과

제출
서류

구조안전 및 내진설계 확인서(5층 이하의 건축물 등)			
1) 공사명	부천 삼곡동 40-132 외 1필지 근/생 및 다가구주택 신축공사		
2) 대지위치	부천시 삼곡동 40-132 외 1필지 / 지역계수 (0.22)		
3) 용도	제2종근생활시설 / 다가구주택		
4) 종요도	종요도 (2)		
5) 규모	연면적 654.56 m ²	층수 (높이)	지하 -층 / 지상5층 (18.65 m)
6) 사용설계기준	건축구조기준 / KDS 41 00 00 (국토교통부, 2019)		
7) 구조계획	철근콘크리트구조		
8) 지반 및 기초	지반분류 S ₄ 지하수위 G.L. -6.1 m 기초 형식 기초 지내력 기초 설계지내력 fe= 20 t/m ² 파일기초 적용파일직경= φp = 300 mm		
9) 내진설계 개요	해석법 등가정적해석법, 시간이력해석법 동요도계수 I _E = 1.0 건물유류 중량 W = 13,974.6 kN		
10) 기본 지진력 저항시스템	X 방향 Y 방향 1-b.철근콘크리트 보틀전단력 1-b.철근콘크리트 보틀전단력 반용수정계수 C _{sa} = 0.015h _{lx} (면진설계기준 적용) C _{sy} = 0.1247 지진응답계수 C _{sa} = 0.1247 C _{sy} = 0.1247 일면전단력 V _{sa} = 1,686.5 kN V _{sy} = 1,686.5 kN 근사고유주기 T _{sa} = 1.365 sec T _{sy} = 1.362 sec 최대층간변위 Δ _{u,pl} max 0.916 mm Δ _{y,pl} max 0.976 mm		
11) 내진설계 주요결과	특별지진하중 적용 여부 면외아웃 유 항력저항 수직요소의 불연속 유		
12) 구조요소 내진설계 검토사항	건축비구조요소 내부 비구조벽체 및 칸막이벽, 외측 비구조벽체 부재 및 부착물, 표면 마감재, 천장, 부가물 및 장식을 공사단계에서 확인이 필요한 비구조요소 기재 기계·전기 비구조요소 일반기계, 배관시스템, HVAC시스템 장비, 일반전기, 전기조명기구		
14) 특이사항	면진시스템 적용		

「건축법」 제48조 및 같은 법 시행령 제32조에 따라 대상 건축물의 구조안전 및 내진설계 확인서를 제출합니다.

작성일자: 2021년 4월 1일 설계자: 건축사 김시봉 주 소: 동대문구 장한로 64, 501호 연락처: 02) 2246-4457

구조계획서

부천시 삼곡동 40-132 외 1필지 근/생 및 다가구주택 신축공사

구조계획서

1.2 건물 개요

1.3 구조 개요

1.4 사용기준 및 참고문헌

1.5 기타 사항

구조계산서

부천시 삼곡동 40-132 외 1필지 근/생 및 다가구주택 신축공사

구조계산서

2021. 04.

DS 도시건설방재기술원(주)

구조상세도면

면진용 바닥 구조상세도면

2021. 04.

구조
안전
심의
결과

건축위원회 구조전문위원회 심의 주요결과

[8면 안건]			
운영기관	부천시	심의일자	2021. 6. 2. ~ 6. 4. (3일간)
건축종별	[O] 신축, [] 증축, [] 대수선, [] 기타		
건축주	성명(법인명)	이창숙	
대지위치	경기도 부천시 삼곡동 40-132 외 1필지		
대지현황	지번 삼곡동 40-132	관련지번	삼곡동 40-138
대지면적(㎡)	286	용도지역	제2종 일반주거지역
건축물현황	건축면적(㎡) 171.08	건폐율(%) 59.81	층수 지하 : 지상 : 5층
	주요도 다가구주택(2가), 근생활시설	구조 철근콘크리트구조	건축물 동수 1
	최고높이(m) 19.85	용적률(%) 228.86	연면적 합계(㎡) 654.56
구 분	주요 심의결과		
심의내용	(구조)분야 사전검토 의견 1. 구조안전 및 내진설계 확인서에 설계자 확인을 포함 바람. 2. 구조도면은 기둥위치, 전이부의 배치 및 개구부가 명확히 표현 되도록 보완하시기 바람. 특히 기둥 중심과 편심으로 배치되는 전이부는 상세시수를 기입하여 구조설계자의 의도를 시공자가 정확히 반영하도록 보완바람. 3. 면진시스템을 설계 적용하였는데, 1)설계지진전진, 2)면진 시스템을 구조해석, 3)내진공학전문가 검증(2인 이상) 수행 주체와 4)사용된 면진장치 및 구조해석 프로그램을 설명바람. 4. 면진장치에 대한 유지관리(점검기간, 자격 등) 필요 시 건물소유주 또는 관리주체에 관련내용을 명확히 전달하여 지속적인 구조안전이 확보되도록 조치 바람. 5. 건축계획 심의시 구조분야 지적사항 및 지적사항에 대한 조치사항이 적정하게 반영되었는지를 확인할 것(반영전후자료를 제출할 것.) 6. 유리건물의 기초저면에서 소요지내력 fe=200 kPa를 확보하고 있는지 전문가인 토질 및 기초기술사가 작성한 소요내력 검토서를 제출할 것. 7. 도면에 면진장치에 대한 정확한 사양을 명기하고 동일한 제품의 사양서를 제출하여 구조검토를 진행한 사양의 제품을 정확히 시공되도록 조치할 것. 8. 최종 착공도서의 구조도면에는 구조기술사가 구조도면을 검토하고 모든 도서에 서명 날인한 도서를 제출하고 이를 기준으로 시공할 것. 9. 본 건축물은 구조감리협력 대상으로 착공시에 구조감리협력에 따른 계약서를 제출하고 구조감리협력은 구조설계의 의도가 충분히 반영되도록 조치할 것. 10. 착공이후 구조 물량 점검을 위한 VC를 진행할 경우 구조안전심의를 별도로 다시 받을 것.		

11. 감리(구조감리협력 포함)는 구조설계에 대한 조치사항이 적정하게 도서에 반영이 되었는지 공사 착공시에 반드시 검토하고 조치결과서를 착공도서에 추가할 것. 12. 내진설계 해석법을 등가정적해석을 적용하였는데, 기준에 맞게 동적해석을 실시할 것. 13. 전이부와 전이기둥은 특별지진하중을 적용하여 설계하고, 특별지진하중이 포함된 하중조합을 제시할 것. 14. 전이부와 전이기둥은 설비와의 간섭을 고려하여 구조안전성 확보할 것. 15. 면진장치가 1층 기둥 상부와 2층도 하부에 위치하는데, 이는 불안정한 구조물로 1층 기둥 하부와 기초면에 위치하는 것이 바람직할 것으로 판단됨. 16. 면진장치의 성능임중 보고서를 첨부할 것. 17. 면진장치의 허용 변위를 제시할 것. 18. 1층 기둥의 상·하단부 지지조건과 설계 방법에 대하여 설명하고 기초에 전달된 반력을 제시할 것. 19. 면진장치 사용에 따른 해석시 상부층 지진하중 적용 방법(중요도계수, 반용수정계수 등)을 제시할 것. 20. 본 건물은 특수 구조공법인 면진구조로 공사중 관계전문기술자(원구조기술자)의 협력에 성실한 시공이 필수 있도록 할 것.
(구조)분야 심의 의견 1. 구조감리협력자는 조치사항이 적정하게 반영되었는지 반드시 확인하고 도서(구조도면)에 서명날인후 날인도서를 기준으로 시공이 적정하게 이루어 지는지 확인할 것. 2. 면진장치가 설치되는 1층 기둥에 대해서는 충분한 내력을 확보할 수 있도록 시공시 주의하도록 하고, 특히 면진장치가 설치되는 1층 기둥 결합부에 시공되는 앵커는 설치 후 반드시 앵커성능을 확인하도록 할 것.
[] 원안 의결 [O] 조건부 의결 [] 재검토 의결 [] 무결 * 작성기준(건축위원회 심의기준 9.3 관련) • 원안 의결 : 상정안건에 대하여 수정없이 원안대로 의결 • 조건부 의결 : 상정안건에 별도의 내용을 추가하거나 제외하는 등의 일부 조건을 부여하여 건축사가 반영하도록 하는 의결 • 재검토 의결 : 상정안건에 다시 검토 보완하여 추후 위원회에서 다시 심의하도록 의결 • 무결 : 상정안건이 건축법률 등에 위반되거나 심의요건이 불충분하여 부결시키기로 의결 (단, '건축위원 심의기준' 2.3 가목에서 하위규정 사유에 해당하여야 함)

다기능 지진동 저감장치 적용에 따른 필로티 건축물 구조 안전 심의 결과 : 조건부 의결

※ 조건부 의결 : 상정안건에 별도의 내용을 부가하거나 제외하는 등의 일부 조건을 부여하여 건축사가 반영하도록 하는 의결

건축
허가서

확인번호:12L1-OFK1-1R8-PAQO-VMRB #첨부	
건축 · 대수선 · 용도변경 허가서	
관련지번	지목
강기도 무천시 신흥동 40 - 138	대

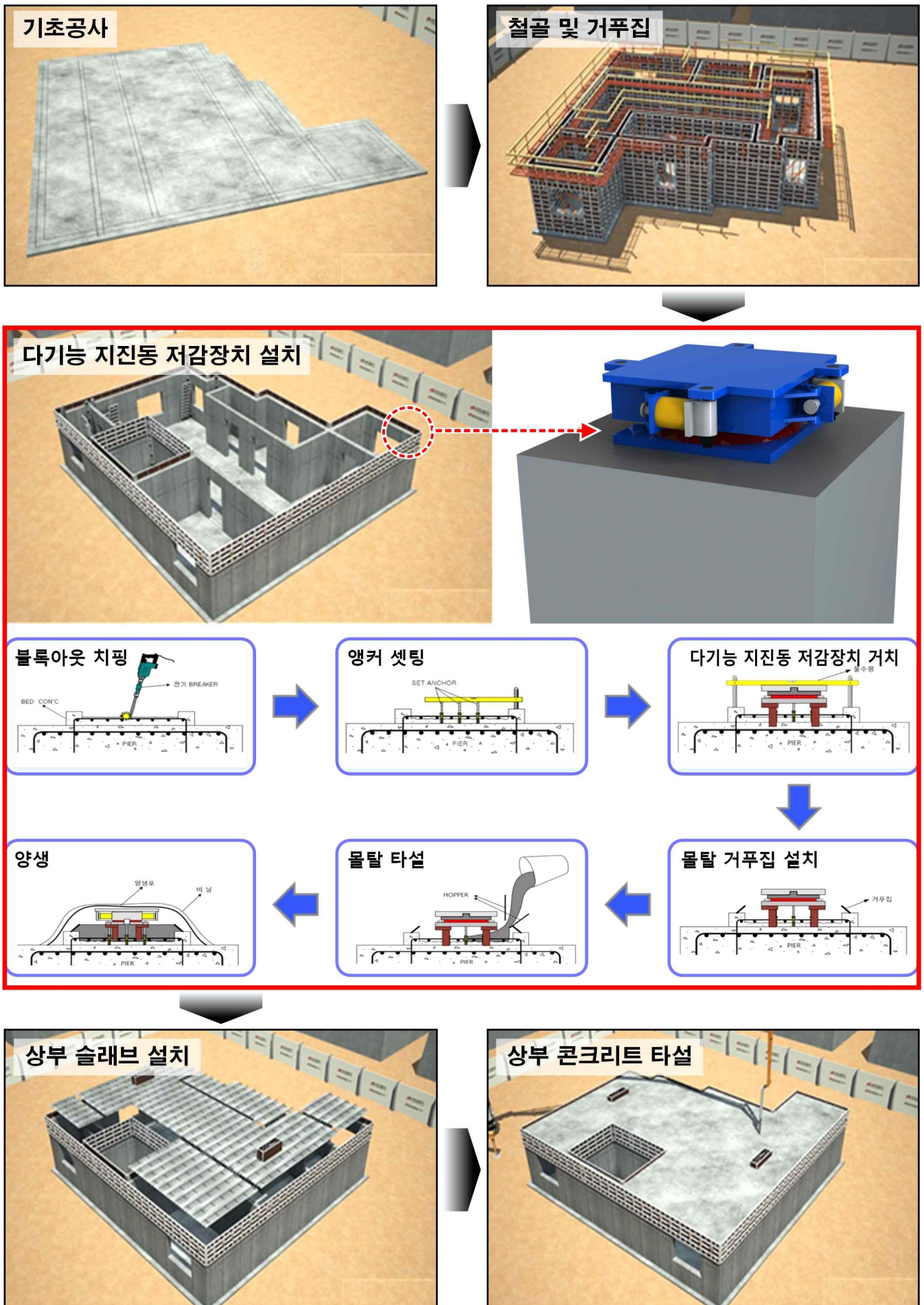
착공
신고
필증

[illegible]

- 30 -

○ 다기능 지진동 저감장치 테스트 베드 수행 (필로티 건축물 설치)

다기능 지진동 저감장치 시공 절차



테스트 베드 시공 현황



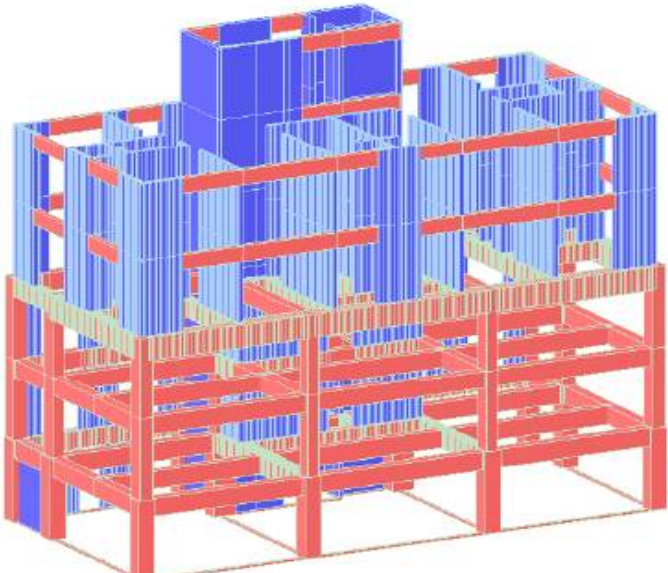
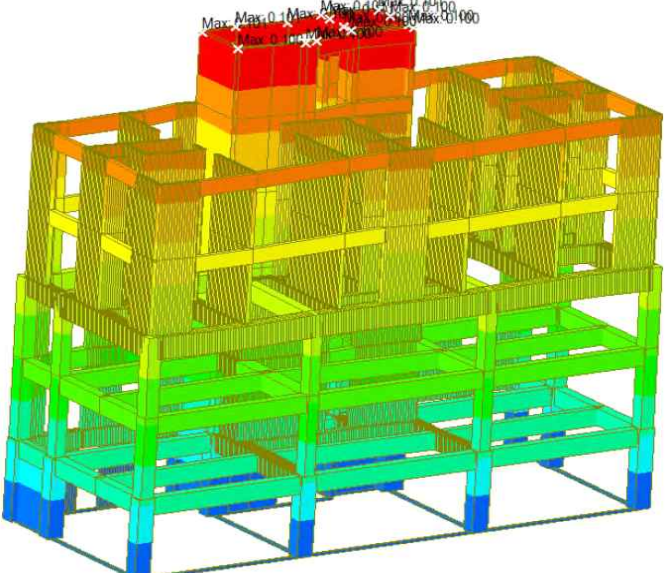
다기능 지진동 저감장치 적용 필로티 구조 건축물 현황 (테스트 베드 수행 완료)



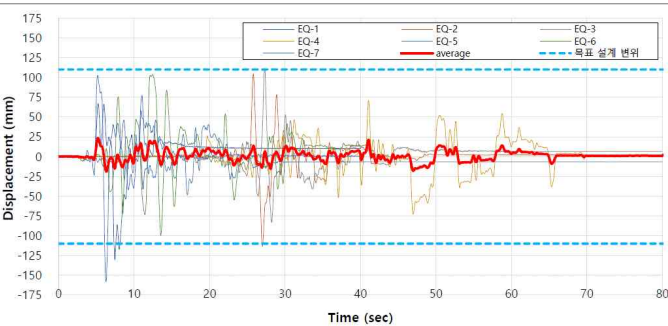
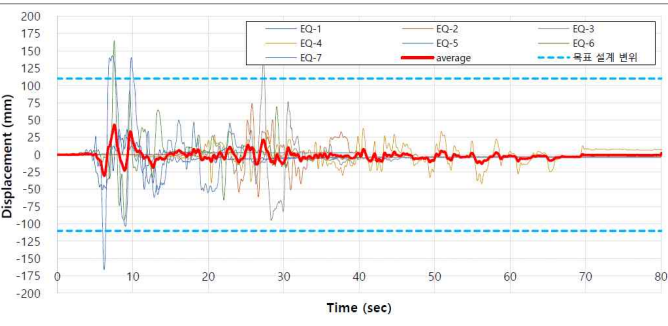
○ 리히터 규모 7.0이상(지반 가속도 0.34g) 강진에 대한 필로티 구조물 면진효과 분석
(상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.907 ~ p.1135)

지진하중				
구분	적용기준		비고	
최대지반가속도	0.35			
단주기 설계스펙트럼 가속도	0.70000 (내진등급 : C)		$0.33 \leq S_{DC} < 0.50 \Rightarrow$ D등급	
주기 1초의 설계스펙트럼 가속도	0.42000 (내진등급 : D)		$0.20 \leq S_{D1} \Rightarrow$ D등급	
지진력 저항시스템에 대한 설계 변수	내력벽 시스템 철근콘크리트 보통 전단벽	X-Dir	반응수정계수	4.0
			시스템 초과강도계수	2.5
			변위증폭계수	4.0
		Y-Dir	반응수정계수	4.0
			시스템 초과강도계수	2.5
			변위증폭계수	4.0

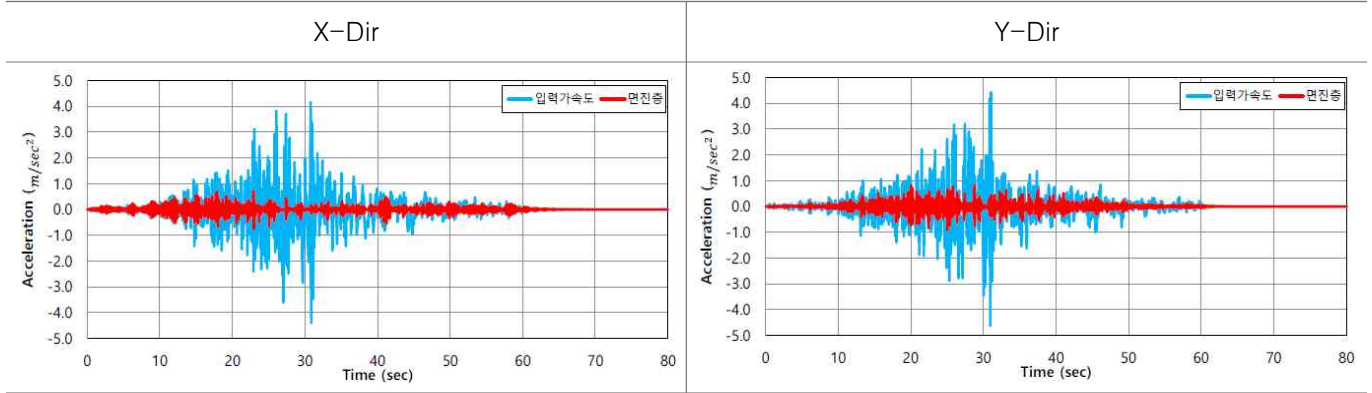
※ 건축물 내진설계기준 (KDS 41 17 00) 적용

해석모델	해석개요
	

면진층 시간이력에 따른 변위 분석 결과

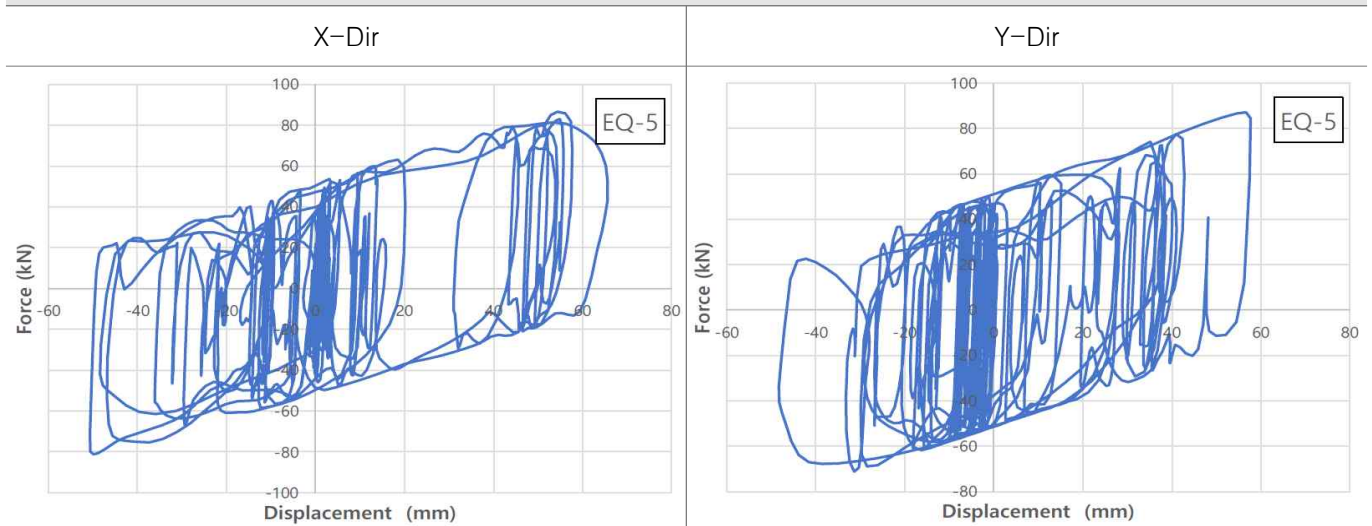
X-Dir	Y-Dir
	
▪ X 방향 최대변위 평균 : 88.56 ~ 101.71mm	▪ Y 방향 최대변위 평균 : 83.50 ~ 94.02mm

면진층 응답 가속도와 압력지진파 분석 결과



■ 설계고려지진 : 평균 90% 감소 / 최대고려지진에서: 평균 93% 감소 ⇒ 면진장치에 의한 지진하중 감소효과 확인

면진장치 이력거동 분석 결과



분석결론

질량/강성	■ PGA=0.35g에 대해서 면진상부층 질량 중심 및 면진층의 강성 중심 편심률은 일반적인 허용 기준인 3%내에 있는 것으로 검토되어 편심에 의한 영향은 무시할 수 있는 수준인 것으로 판단됨
응답변위	■ 풍하중 ⇒ 풍하중에 대한 면진층의 층간변형각은 0.0003~0.0019%로 층간변위 제한값 (1.5%) 내에 있는 것으로 확인되어 풍하중에 대한 면진층의 안전성에 문제는 없는 것으로 판단됨 ■ 응답 변위 ⇒ PGA=0.35에 대하여 면진층 응답변위는 목표변위 이내로 나타났으며, 면진층 응답변위가 면진받침 최대변위(110mm) 이내에 있는 것으로 나타나 변형에 대한 구조물의 안전성에 문제는 없는 것으로 판단됨 ■ 면진상부층 층간변위 ⇒ 면진 상부층의 층간변위는 X 방향 0.031~0.051%, Y 방향 0.056~0.103%로, 즉시거주 수준의 층간변위 제한값 0.5% 내에서 여유가 있는 것으로 확인되어 면진 상부층의 안전성에는 문제가 없는 것으로 판단됨
응답가속도	■ 면진 장치의 적용으로 면진하부층 가속도 값에 비해 78.2~85.9% 정도 감소한 것으로 면진성능이 충분히 발휘된 것으로 판단됨

- 필로티 건축물에 본 연구를 통해 개발된 면진장치 다기능 지진동 저감장치(MPS) 적용에 따른 면진효과 및 내진성능 평가를 위해 전체 면진 모델에 대한 경계비선형 시간이력해석 (Time-History Analysis)을 수행하여 성능을 검증함
- 시간이력해석에는 7개의 관측 지진파를 사용하였으며, 각각의 해석결과의 평균값을 산정하여 검토함
⇒ 검토 조건은 PGA=0.35g에 대한 검토를 실시함

(2) 정량적 연구개발성과

○ 유효강성 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.57 ~ p.65)

구분	목표치	연구성과	달성률	비고
1차년도 (2019)	±25% 이하	-23.29%	100%	-
2차년도 (2020)	±20% 이하	-6.8%	100%	설계 : 5.83 kN/m 시험 : 5.436kN/m
3차년도 (2021)	±15% 이하	-6.8%	100%	2차년도 조기달성

○ EDC (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.57 ~ p.65)

구분	목표치	연구성과	달성률	비고
1차년도 (2019)	-25% 이상	-4.41%	100%	-
2차년도 (2020)	-20% 이상	+19.5%	100%	설계 : 36,000kN·m 시험 : 43,011kN·m
3차년도 (2021)	-10% 이상	+19.5%	100%	2차년도 조기달성

○ 영구 압축 줄음률 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.57 ~ p.65)

구분	목표치	연구성과	달성률	비고
1차년도 (2019)	45% 이하	41.8%	100%	시험기관 : 케이씨티시험연구원
2차년도 (2020)	40% 이하	12.2%	100%	시험기관 : 한국건설생활환경시험연구원

○ MER 스프링 복원률 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.57 ~ p.65)

구분	목표치	연구성과	달성률	비고
1차년도 (2019)	90% 이상	93.99%	100%	시험기관 : 케이씨티시험연구원
2차년도 (2020)	95% 이상	99.77%	100%	시험기관 : 한국건설생활환경시험연구원

○ 크리프시험 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.66 ~ p.67)

구분	목표치	연구성과	달성률	비고
폴리우레탄 디스크	8% 이하	7.27%	100%	-

○ 진동대 시험 : (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.87 ~ p.98)

구분	목표치	연구성과	달성률	비고
최대 가속도	15% 이상 저감 (비면진 대비)	≒ 86%	100%	최대가속도 감소율 비교

○ 내진 VS 면진구조 건설물량 비교 분석 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.1137 ~ p.1286)

구분	목표치	연구성과	달성률	비고
기존 구조물 대비 공사비 증가분	+5% 이내	콘크리트: -6%	100%	면진장치 적용에 따른 재료비 감소
		철근: -11%		

○ 특허 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.1288 ~ p.1314)

구분		목표치	연구성과	달성률	비고
출원	1차년도 (2019)	1	2	200%	－
	2차년도 (2020)	1	2	200%	－
	3차년도 (2021)	－	1	100%	－
	소계	2	5	250%	－
등록	1차년도 (2019)	－	－	－	－
	2차년도 (2020)	1	2	200%	－
	3차년도 (2021)	1	2	200%	－
	소계	2	4	200%	－

○ 논문 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.1316 ~ p.1402)

구분		목표치	연구성과	달성률	비고
SCI	1차년도 (2019)	－	－	－	－
	2차년도 (2020)	1	1	100%	－
	3차년도 (2021)	1	1.5	150%	－
	소계	2	2.5	125%	－
비SCI	1차년도 (2019)	1	1.5	200%	－
	2차년도 (2020)	1	2	200%	－
	3차년도 (2021)	－	－	－	－
	소계	2	3.5	200%	－

○ 인증서 (상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.366 ~ p.376)

구분	목표치	연구성과	달성률	비고
1차년도 (2019)	-	-	-	-
2차년도 (2020)	-	1	100%	-
3차년도 (2021)	1	2	200%	-
합계	1	3	300%	-

녹색기술(GT-20-00846), SOC 기술마켓 혁신 기술(SOC-EX-2021-1-0099), 혁신제품(2021-300)

(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	Performance Analysis of Bridge using Structural Health Monitoring: Seong-Su Bridge Case-study	Journal of urban science	Mosbeh R. Kaloop	1	대한민국	인천대학교 도시과학 연구원	비SCIE	2019. 06.30	2287-9153	100%
2	초탄성 형상기억합금 보강판을 활용한 보-기둥 접합부의 내진성능 평가 실험	한국복합신소재 구조학회 논문집	김영찬	40	대한민국	한국복합신소재 구조학회	비SCIE	2019. 08.31	2093-5145	50%
3	초탄성 형상기억합금 및 폴리우레탄을 활용한 자동복원감쇠장치의 반복하중에 대한 성능평가	한국복합신소재 구조학회 논문집	조한민	2	대한민국	한국복합신소재 구조학회	비SCIE	2020. 04.21	2093-5145	100%
4	리히터 규모 7.0의 지진에 대응하는 MPS 면진받침의 필로티 구조물에 대한 내진성능평가-비선형 동적 해석	대한토목학회 논문집(국문)	조한민	1	대한민국	대한토목학회	비SCIE	2021. 01.12	1015-6348	100%
5	Experimental investigation of smart shear dampers with re-centering and friction devices	Journal of Building Engineering	Nadia M. Mirzai	35	대한민국	MDPI	SCIE	2021. 03	2076-3417	50%
6	Seismic collapse assessment of steel plate shear walls considering the mainshock-aftershock effects	Journal of Constructional Steel Research	Seyed Alireza Jalali		대한민국	ELSEVIER SCI LTD	SCIE	2021. 07.01	00143-974X	100%
7	Mathematical sustainability assessment framework of earthquake-induced steel building population	Steel and Composite Structures	Junwon Seo	41	대한민국	TECHNO-PRESS	SCIE	2021. 11	1229-9367	100%

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표일시	장소	국명
1	World Symposium on Smart Materials and Applications	Time Series Analysis for a Box Steel Girder using Strain Monitoring System and Model Identification	Mosbeh R. Kaloop	2019. 07.06	국외	중국
2	World Symposium on Smart Materials and Applications	Prestressed Continuous Bridge Evaluation using Structural Health Monitoring System	Woo Hyun Ban	2019. 07.06	국외	중국
3	10th International Symposium on Steel Structures	Thermal Performance of Steel Eccentrically Braced Frames Subjected to Fire Conditions	Jong Wan Hu	2019. 11.14	국내	대한민국
4	10th International Symposium on Steel Structures	Force-displacement relationship of a butterfly-shaped beams based on gene expression programming	Alireza Farzam pour	2019. 11.14	국내	대한민국

□ 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	선재하 하중식 면진장치용 완충부 및 상기 완충부를 구비한 선재하 하중식 면진장치	대한 민국	(주)펜타드	2019. 07.29	10-2019- 0091577	(주)펜타드	2020. 03.31	10- 2097752	100%	-
2	특허	균열방지형 전단키	대한 민국	(주)펜타드	2020. 02.24	10-2020- 0022406	(주)펜타드	2021. 01.08	10- 2203241	100%	-
3	특허	계단식으로 굴곡 변형가능한 앵커 조립체를 갖춘 전단키	대한 민국	(주)펜타드	2021. 07.22	10-2021- 0096533	-	-	-	100%	-
4	특허	이종소재의 복합적 변형에 기반한 자동복원댐퍼	대한 민국	인천대학교 산학협력단	2019. 06.21.	10-2019- 0074292	인천대학교 산학협력단	2021. 02.01.	10- 2212598	100%	-
5	특허	판구조의 잔류변형 저감형 댐퍼	대한 민국	인천대학교 산학협력단	2020. 06.02	10-2020- 0066484	인천대학교 산학협력단	2021. 07.22	10- 2283043	100%	-

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
1	√	-	-	√	-	-	-	-	-	√	-
2	√	-	-	√	-	-	-	-	-	√	-
3	√	-	-	√	-	-	-	-	-	√	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	Applied Engineering, Materials and Mechanics III	2019.07.26	Jong Wan Hu	2019.07.26	ISBN(978-3-0357-1479-1)	Jong Wan Hu	100%

☐ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호
-	-	-	-	-

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		
1	기술	중소벤처기업부	녹색기술	GT-20-00846	2020.03.19	대한민국
2	기술	SOC 공공기관 협의체	SOC 기술마켓 혁신 기술	SOC-EX-2021-1-0099	2021.04.07	대한민국
3	제품	SOC 공공기관 협의체	혁신제품	2021-300	2021.06.01	대한민국

☐ 표준화

○ 국내 표준

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

○ 국제 표준

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	다기능 지진동 저감장치 (MPS)	2021.09.	(주)펜타드	경기도 부천시 심곡동	테스트 베드	3년	-	-

☐ 현장 적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
1	다기능 지진동 저감장치(MPS)	2021.12.	민간	(주)펜타드	경기도 부천시 심곡동

□ 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			건축물 면진장치 국산화 (다기능 지진동 저감장치: MPS)		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		4년		
	소요예산(천원)		1,000,000		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			-	1,000,000	3,000,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	-	5%	20%
		국외	-	-	0.1%
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		▪ 교량 면진장치 : 성능인증서 확보 (2021년) ▪ 대형서고, 통신설비, 전력설비 등의 면진설계 적용			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
			-	100,000	500,000
	수 출		-	-	100,000

☐ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)			합계(명)
			2019년	2020년	2021년	
1	국토교통기술촉진연구사업	(주)펜타드	1	-	-	1
합계			1	-	-	1

☐ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	-
		생산인력	-
	개발 후	연구인력	1
		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	계약업 체 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
-	-	-	-	-	-	-	-

☐ 정책 활용 내용

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

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (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	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

☐ 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)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

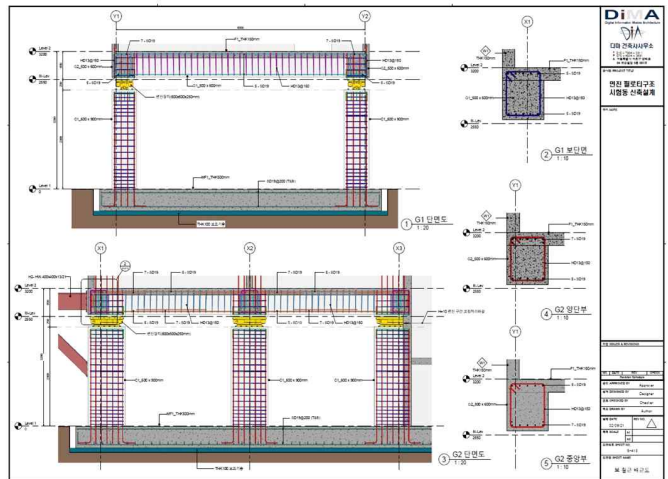
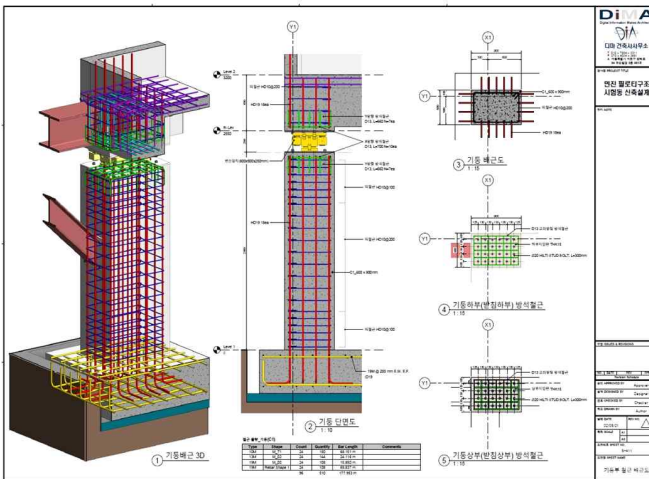
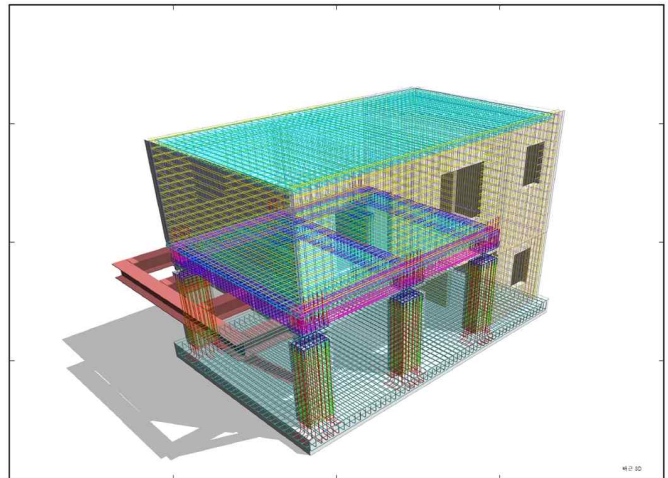
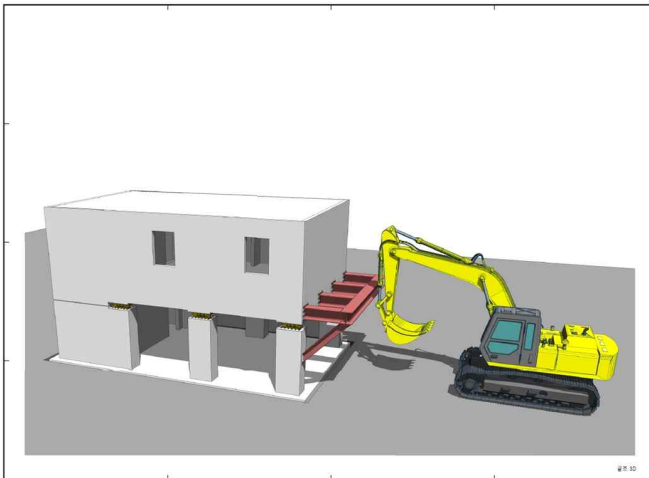
[그 밖의 성과] (해당 시 작성)

○ 해당없음

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항 (해당 시 작성)

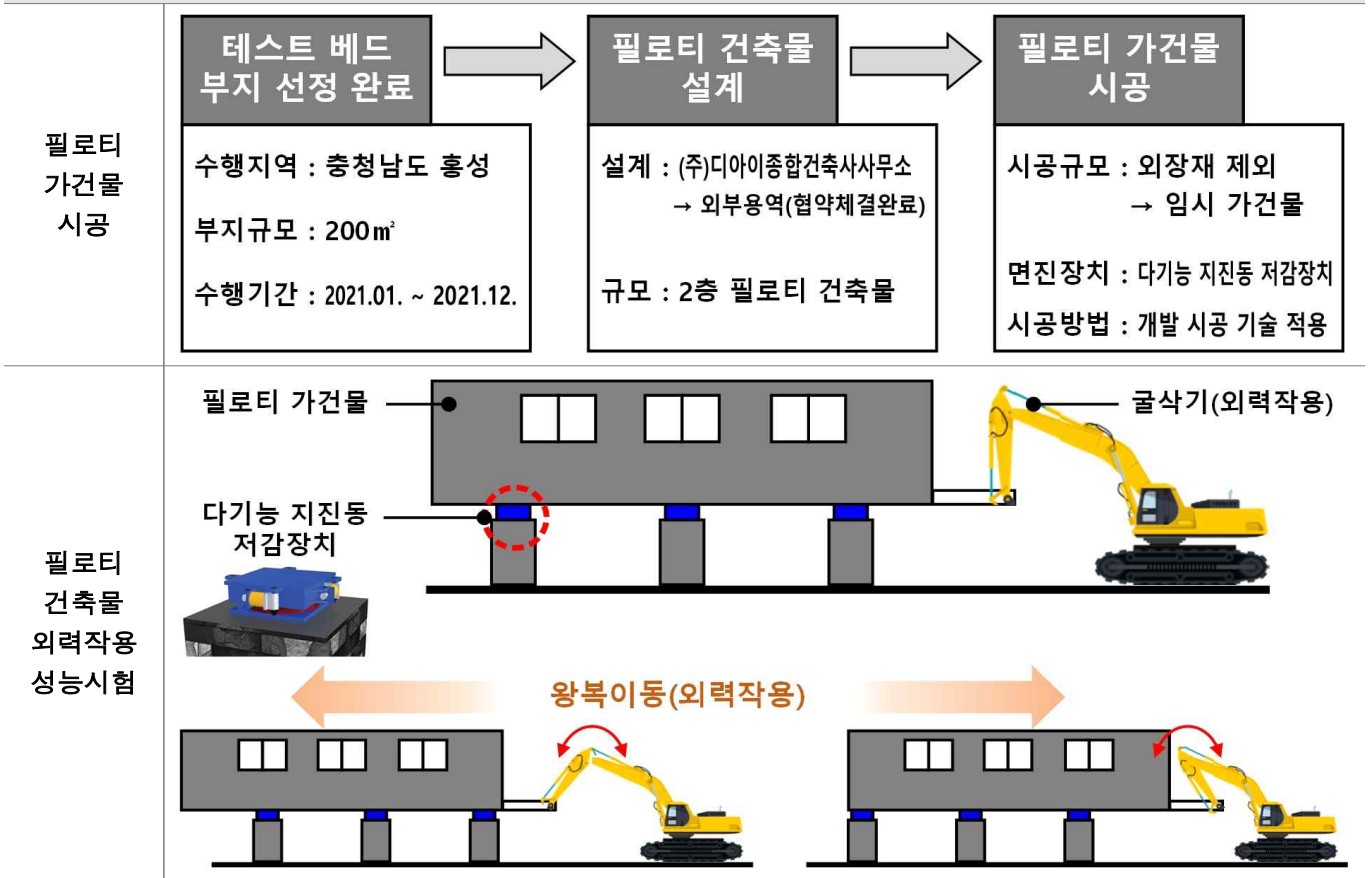
○ 다기능 지진동 저감장치 BIM (Building Information Modeling) 설계 자료 확보
(상세내용 ⇨ 성과점검기준표 및 증빙자료집 : p.00 ~ p.00)

연진장치 BIM 설계 자료



- 2차년도 평가시 테스트 베드 이원화 계획 수립 ⇨ “ii” 안 선정
 - i. 실제 필로티 건축물 추진 실패 ⇨ 필로티 구조 가건물 건설 ⇨ 성능시험 ⇨ 테스트 베드 실적 확보
 - ii. 실제 필로티 건축물 추진 성공 ⇨ 다기능 지진동 저감장치 설치 ⇨ 테스트 베드 실적 확보
- 실제 필로티 건축물 대상의 테스트 베드 실패를 가정하여 필로티 구조의 소형 가건물 건설을 통한 다기능 지진동 저감장치 성능시험을 계획하여 추진 중이었으나, 실제 필로티 건축물에 적용할 수 있는 테스트 베드가 형성됨
- 다기능 지진동 저감장치가 적용된 필로티 구조 가건물 설계에 있어 BIM(Building Information Modeling) 설계를 진행함으로써 BIM 설계 자료를 추가로 확보함

테스트 베드 변경 요청시 제안 내용 (2차년도 중간평가지 제안)



○ 다기능 지진동 저감장치 적용 범위 확장 (교량 지진격리받침 활용)

인증명	성능인증서
인증품목	교량 지지격리받침 면진용 다기능 지진동 저감장치
인증번호	21-GGZ0279

21-GGZ0279

성능인증서

○ 제조업체명 : (주)펜타드

○ 대표자명 : 이광숙, 지음수

○ 소재지 : 인천광역시 계양구 까치앞로 19 (죽점동)

○ 수급공종 : 충청남도 공산군 복수면 복수공단길 51

○ 인증품목 : 교량 지진격리받침 면진용 다기능 지진동 저감장치 [MPS-1MER-1000kN 등 총 17종]

○ 성능검사규격기준 : 회사제시 규격

○ 인증유효기간 : 2020. 07. 22. ~ 2023. 07. 21.

○ 인증품목의 용도 : 공공기관 납품용

「중소기업제품 구매촉진 및 판촉지원에 관한 법률」 제16조 및 같은 법 시행규칙 제11조4항에 따라 위와 같이 성능인증을 합니다.

2021년 06월 21일

중소벤처기업부장관

[별지 제3호서식]

종합평가보고서

1. 신청제품

업체명	펜타드	대표자	지음수
사업자번호	753-87-00001	전화번호	032-713-3354
이메일			bikim@pentad.co.kr
제품명	(국문) 교량 지진격리받침 면진용 다기능 지진동 저감장치 (영문) MPS (Multi Performance System)		
제품기술 (신청구)	특허 사정확 제공		
본사 주소	경기도 부천시 원종로 66번길 36, 펜타드 빌딩 4층		
수령공정주소	충청남도 공산군 복수면 복수공단길 51		
총합원수	원원 0명	사무원 1명	기술직 4명
자문관 (4명)	2		주생산관
총 매출 (약한)	{의견년도} 8.5 {공인실적, 제책} -	총 수출 (약한)	{의견년도} {공인실적, 제책} -
신청제품 매출 (약한)	{의견년도} 1.5 {공인실적, 제책} -	신청제품 수출 (약한)	{의견년도} {공인실적, 제책} -
주거래처 (공공기관 등)	한국도로공사, 철도공사, 한국토지주택공사, 지방자치단체		
	신청제품 주 수요처		
	한국도로공사, 철도공사		

2. 심사 경과 및 결과

신청일	2020-02-10	접수일	2020-02-19
구분	일시	점수	결과
제1차 심사	2020-04-16	74.3	계합
제2차 심사	2020-05-13		결과
제3차 심사	2020-05-13		결과
제4차 심사	2020-05-28		결과
제5차 심사	2020-07-08		결과
제6차 심사	2020-07-08		결과
제7차 심사	2020-07-08		결과
제8차 심사	2020-07-08		결과
제9차 심사	2020-07-08		결과
제10차 심사	2020-07-08		결과
제11차 심사	2020-07-08		결과
제12차 심사	2020-07-08		결과
제13차 심사	2020-07-08		결과
제14차 심사	2020-07-08		결과
제15차 심사	2020-07-08		결과
제16차 심사	2020-07-08		결과
제17차 심사	2020-07-08		결과
제18차 심사	2020-07-08		결과
제19차 심사	2020-07-08		결과
제20차 심사	2020-07-08		결과
제21차 심사	2020-07-08		결과
제22차 심사	2020-07-08		결과
제23차 심사	2020-07-08		결과
제24차 심사	2020-07-08		결과
제25차 심사	2020-07-08		결과
제26차 심사	2020-07-08		결과
제27차 심사	2020-07-08		결과
제28차 심사	2020-07-08		결과
제29차 심사	2020-07-08		결과
제30차 심사	2020-07-08		결과
제31차 심사	2020-07-08		결과
제32차 심사	2020-07-08		결과
제33차 심사	2020-07-08		결과
제34차 심사	2020-07-08		결과
제35차 심사	2020-07-08		결과
제36차 심사	2020-07-08		결과
제37차 심사	2020-07-08		결과
제38차 심사	2020-07-08		결과
제39차 심사	2020-07-08		결과
제40차 심사	2020-07-08		결과
제41차 심사	2020-07-08		결과
제42차 심사	2020-07-08		결과
제43차 심사	2020-07-08		결과
제44차 심사	2020-07-08		결과
제45차 심사	2020-07-08		결과
제46차 심사	2020-07-08		결과
제47차 심사	2020-07-08		결과
제48차 심사	2020-07-08		결과
제49차 심사	2020-07-08		결과
제50차 심사	2020-07-08		결과
제51차 심사	2020-07-08		결과
제52차 심사	2020-07-08		결과
제53차 심사	2020-07-08		결과
제54차 심사	2020-07-08		결과
제55차 심사	2020-07-08		결과
제56차 심사	2020-07-08		결과
제57차 심사	2020-07-08		결과
제58차 심사	2020-07-08		결과
제59차 심사	2020-07-08		결과
제60차 심사	2020-07-08		결과
제61차 심사	2020-07-08		결과
제62차 심사	2020-07-08		결과
제63차 심사	2020-07-08		결과
제64차 심사	2020-07-08		결과
제65차 심사	2020-07-08		결과
제66차 심사	2020-07-08		결과
제67차 심사	2020-07-08		결과
제68차 심사	2020-07-08		결과
제69차 심사	2020-07-08		결과
제70차 심사	2020-07-08		결과
제71차 심사	2020-07-08		결과
제72차 심사	2020-07-08		결과
제73차 심사	2020-07-08		결과
제74차 심사	2020-07-08		결과
제75차 심사	2020-07-08		결과
제76차 심사	2020-07-08		결과
제77차 심사	2020-07-08		결과
제78차 심사	2020-07-08		결과
제79차 심사	2020-07-08		결과
제80차 심사	2020-07-08		결과
제81차 심사	2020-07-08		결과
제82차 심사	2020-07-08		결과
제83차 심사	2020-07-08		결과
제84차 심사	2020-07-08		결과
제85차 심사	2020-07-08		결과
제86차 심사	2020-07-08		결과
제87차 심사	2020-07-08		결과
제88차 심사	2020-07-08		결과
제89차 심사	2020-07-08		결과
제90차 심사	2020-07-08		결과
제91차 심사	2020-07-08		결과
제92차 심사	2020-07-08		결과
제93차 심사	2020-07-08		결과
제94차 심사	2020-07-08		결과
제95차 심사	2020-07-08		결과
제96차 심사	2020-07-08		결과
제97차 심사	2020-07-08		결과
제98차 심사	2020-07-08		결과
제99차 심사	2020-07-08		결과
제100차 심사	2020-07-08		결과

- 교량 지지격리받침 면진용 다기능 지진동 저감장치 : 성능인증서 확보
 ⇒ 연구 과정 중 확보된 각종 시험성적서, 인증 및 기술자료 등을 활용하여 교량 면진받침 모델 추가 개발
- 교량 구조용 면진받침 활용 가능 : 다기능 지진동 저감장치 사업영역 확장

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 다기능 지진동 저감장치 성능 및 형상 최적화	○ 최적화 및 상품화 - FEM 상세해석 기법 도출 및 수행 - 제작 도면 및 구조 계산서 작성 ○ 성능시험 수행 - 유효강성, EDC, 영구압축률, 복원률 등의 공인시험기관 시험 성적서 확보 (정량적 성과 기준 만족) - 다기능 지진동 저감장치(MPS) 완제품 시험성적서 확보 ○ 시제품 제작 - 포트(Pot) 타입 / 디스크(Disk) 타입 / 테스트 베드 적용	100%
○ 면진장치 시공공법 개발	○ 필로티 구조 면진장치 시공공법 조사 및 분석 - 건축사 검토서 (협업기관: (주)디아이종합건축사사무소) ○ 필로티 구조 면진장치 적용 시공 공법 개발 - 다기능 지진동 저감장치 전용 공사 및 공사 시방서 개발 ○ 테스트 베드 실증 검증 (실제 필로티 건축물 적용) - 테스트 베드 수행 (경기도 부천시 심곡동)	100%
○ 인증 획득	○ 녹색기술 인증서 획득 - 인증번호 : 제GT-20-00846호 ○ SCO 기술마켓 혁신기술 인증서 획득 - 인증번호 : SOC-EX-2021-1-0099 ○ 혁신제품 인증서 획득 - 인증번호 : 제2021-300호	100%
○ 사업화 계획	○ 사업성 자문회의 - 전문가 7인 자문회의 수행 : 사업 타당성 확보 ○ 경제성 분석 - 외부 전문기관 평가 : 경쟁제품 대비 최대 약 18% 경제성 높음 ○ 공공조달 상생협력기업 선정 - 상생협력제품 확인번호 : 20-AA0022 ※ 상생협력지원제도 : 기업 간 상생협력을 통해 기술력은 있으나 생산, 품질, 공정기술 등의 역량이 부족한 중소기업의 공공조달시장 진출을 지원하기 위한 과제 ⇒ 다기능 지진동 저감장치 양산을 위한 공장 및 설비 확보	100%

3) 성과정리

구분	핵심 성과물 (CTE)	단위 성과물		성과점검기준								양적성과 현황	
				질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치 (%)	해당 기관	예산 (백만원)	목표치	달성치
A	다기능 지진동 저감장치	A-1	유효강성	설계치의 $\pm 15\%$ 이내	$\pm 15\%$ 이내	-6.8%	건축구조 설계기준	공인 성적서	10	주관	130	특허 : 출원 2 건 등록 2 건 논문(SCI) : 2건 논문(비SCI) : 2 건 설계도면 : 3 건 시제품 : 2 건 시공시방서 : 1 건 브로셔 : 1 건 홍보영상 : 1 건 테스트베드 : 1 건 인증서 : 1 건	특허 : 출원 5 건 등록 4 건 논문(SCI) : 2.5 건 논문(비SCI) : 2.5 건 설계도면 : 3 건 시제품 : 2 건 시공시방서 : 1 건 브로셔 : 1 건 홍보영상 : 1 건 테스트베드 : 1 건 인증서 : 3 건
		A-2	EDC	설계치의 -10% 이상 (Energy Dissipated per Cycle)	-10% 이상	19.5%	ASSHTO	공인 성적서	10	주관	130		
		A-3	영구 압출률	MER 스프링 영구 압출률 40% 이하	40% 이하	12.2%	KS M 3518	공인 성적서	10	주관	85		
		A-4	복원률	MER 스프링 복원률 95% 이상	95% 이상	99.77%	KS M 3518	공인 성적서	10	주관	85		
		A-5	크리프(Creep) 장기시험	폴리우레탄 디스크 설계 하중 재하 24시간 이후 계측 시작 장기 크리프(Creep) 8%이하	8% 이하	7.27%	ASSHTO	공인 성적서	10	주관	50		
B	면진장치 시공공법	B-1	진동대 축소 모형실험	비면진 대비 최대 가속도(g) 15% 이상 저감	15% 이상	86%	진동대 시험	시험 보고서	15	주관 위탁	120		
		B-2	테스트베드 실증 검증	기존 구조물 대비(비면진 구조물) 공사비 증가분 5% 이내	5% 이내	-6%	원가 분석	보고서 작성	20	주관 위탁	120		
C	인증서 획득	C-1	인증서	NET, NEP, CE, 녹색인증, 성능인증, 한국지진공학회, 한국면진제진협회, etc. 등	1건	3건	인증서 획득	인증서	15	주관 위탁	80		
계									100		800	-	-

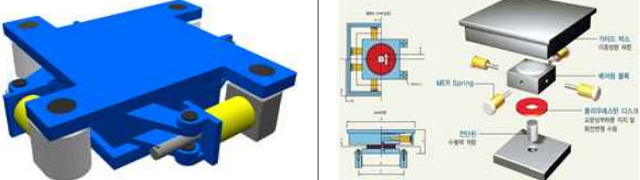
4. 목표 미달 시 원인분석

○ 해당사항 없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

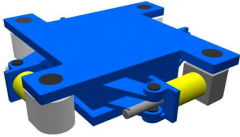
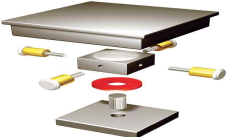
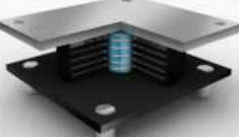
1) 면진장치 국내외 기술동향

- 국내 면진장치 기술은 국외에 비해 기술개발 기간은 짧은 편이나 실험실 수준의 검증단계를 지나서 실제로 기술을 적용하는 상용화 및 사업화 단계에 진입한 상태임

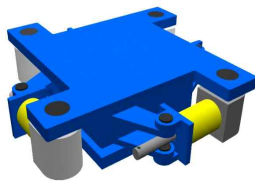
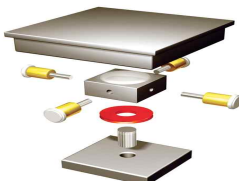
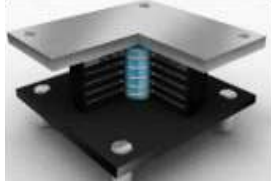
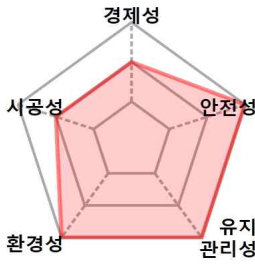
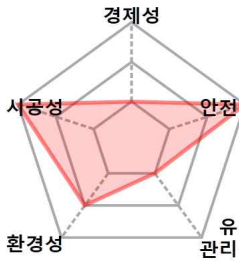
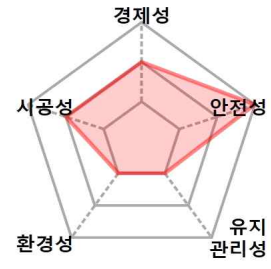
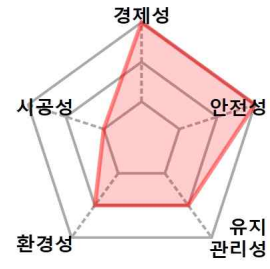
마찰재&스프링 형식	적층 고무 형식	미끄럼형식
		

- 국내 주요업체로는 유니슨이테크(주), DRB동일(주), (주)에스코알티에스 등이 있으며, 이외에도 삼영엠텍(주), (주)브리텍, (주)엠피기술산업, (주)삼일테크 등의 소규모업체들도 제품을 생산 및 판매하고 있음
- 국내에서도 지진발생시 내부 중요 시스템을 안전하게 보호하고 작동시키기 위해 반도체공장, 전산센터, 박물관 등에서 면진장치를 적용하는 사례들이 증가하고 있으며 정부중심의 공공기관 70여 곳에서도 면진장치를 적용하는 등 시장이 확대되고 있어 면진시장의 지속적인 성장이 전망됨
- 면진장치는 강진 다발지역인 일본을 중심으로 기술이 발전되어 현재는 일본이 세계 최고의 기술력을 보유하고 있는 것으로 분석됨
- 일본에서는 약 5천동 이상의 건축물에 면진장치가 적용되어 세계 최대 면진 시장이 형성되어 있으며 자국 내 면진장치 시장규모는 연간 4,000억엔 수준으로 추정됨
- 미국에서는 환태평양지대내에 위치한 서부지역을 중심으로 면진장치 적용이 증가하고 있으며 내륙지역임에도 지진 다발국가인 중국도 지진에 따른 인명피해가 증가하면서 면진장치 사용이 증가하고 있는 추세임

2) 개발기술과 기존 또는 유사 기술과의 차별성 및 우수성

경제성 비교 (원자재 절감, 수직용량 1350kN기준)				
구분	MPS	EQS	LRB	FPS
형상				
강재	130 kg	210 kg	165 kg	140 kg
스테인레스강	1.5 kg	1.5 kg	3.5 kg	23 kg
폴리우레탄	2.5 kg	2.5 kg	12 kg	-
엔지니어링플라스틱	4 kg	0.5 kg	-	2 kg
납	-	-	3.5 kg	-
총 무게	138 kg	214.5 kg	180.5 kg	165 kg
건설재료 감소율	기준	36% 감소	24% 감소	16% 감소

- MPS의 건설재료 물량은 EQS 대비 약 36%, LRB 대비 약 24%, PENDULUM 대비 약 16%의 건설재료 물량 절감효과가 있음
- MPS는 상판, 하판 등의 규격을 축소하고 최적의 부품 배치를 통해 성능은 유지하면서 원자재 물량을 16%~36% 절감함으로써 기존기술대비 제작비용 10% 이상 저감을 통해 경제성을 확보함

기술평가 (Value Engineering)				
기술명	MPS (개발기술)	EQS	LRB	FPS
형상개요				
경제성	좋음 (4)	보통 (3)	좋음 (4)	높음 (5)
환경성	높음 (5)	좋음 (4)	보통 (3)	좋음 (4)
유지관리성	높음 (5)	보통 (3)	보통 (3)	좋음 (4)
시공성	좋음 (4)	높음 (5)	좋음 (4)	보통 (3)
안전성	높음 (5)	높음 (5)	높음 (5)	높음 (5)
평 균	4.6	4.0	3.8	4.2
기술평가 (VE)	가치혁신형	성능향상형	기능강조형	비용절감형
				

구 분	기술명	평가결과	평가내용
경제성	MPS	좋음 (4)	▶ EQS 대비 크기가 축소되어 원자재 및 제작비 절감
	EQS	보통 (3)	▶ 기존기술대비 크기가 가장 크기 때문에 경제성 낮음
	LRB	좋음 (4)	▶ 구조가 간단하여 스프링 방식대비 경제적 이지만 진자방식 대비 낮음
	FPS	높음 (5)	▶ 구조가 간단하여 원자재 및 제작비 절감 절감효과 높음
환경성	MPS	높음 (5)	▶ 원자재 절감 및 환경 유해 물질 최소화를 통한 환경성 높음
	EQS	좋음 (4)	▶ MPS 대비 원자재 및 제작비용 증대에 환경성 낮음
	LRB	보통 (3)	▶ 납, 화학고무 등의 환경유해물질 사용에 따른 환경성 낮음
	FPS	좋음 (4)	▶ 일부 부품 화학재료(PP, PE, Etc.) 사용에 따른 환경성 낮음
유지관리성	MPS	높음 (5)	▶ 모든 부품이 육안관리가 가능하며 부품 교체가 용이함
	EQS	보통 (3)	▶ 육안관리가 불가하며 구성 부품이 일체화 되어 있어 유지관리가 불리함
	LRB	좋음 (4)	▶ 외부 육안관리는 가능하나 탄성패드 내부 점검이 불가함
	FPS	좋음 (4)	▶ 제품 내부의 일부 부품에 대한 육안관리가 가능하지만 부품 교체가 어려움
시공성	MPS	좋음 (4)	▶ 구성 부품의 구조 및 조립이 간단하여 시공순서 및 방법이 단순함
	EQS	높음 (5)	▶ 구성 부품이 일체화 되어 있어 시공방법이 단순함
	LRB	좋음 (4)	▶ 구성 부품의 구조 및 조립이 간단하여 시공순서 및 방법이 단순함
	FPS	보통 (3)	▶ 구성 부품이 분리되어 있어 시공순서 및 방법이 유사기술대비 복잡함

구 분	기술명	평가결과	평가내용
안전성	MPS	높음 (5)	▶ 공인시험기관 성능시험을 통해 안전성을 검증 받음
	EQS	높음 (5)	▶ 공인시험기관 성능시험을 통해 안전성을 검증 받음
	LRB	높음 (5)	▶ 공인시험기관 성능시험을 통해 안전성을 검증 받음
	FPS	높음 (5)	▶ 공인시험기관 성능시험을 통해 안전성을 검증 받음

▪ 개발기술 다기능 지진동 저감장치(MPS)는 복원 스프링 방식으로서 기존기술(EQS)의 단점을 보완 및 개선하여 기술가치평가(VE: Value Engineering) 수행결과 가치혁신형으로 평가되어 유사 기술(제품)대비 기술적으로 우수한 것으로 평가됨

3) 개발기술로 예상되는 파급효과

(1) 기술성

- 교량, 건축물, 대형 변압설비 등의 사회기반 시설(SOC)의 지진에 대한 안전성 증대 및 피해 예방이 가능한 방재기술임
- 미국, 일본 등과 같은 면진장치 관련 기술 선진국 대비 낙후된 기술 분야에 대한 국내 기술력 향상이 가능한 기술임

(2) 경제성

- 기존 면진장치 대비 구성 부품에 대한 크기가 대폭 축소됨에 따라 원자재, 가공, 이송, 설치 등의 비용이 감소되어 경제성이 높은 기술임
- 지진 발생시 구조물 파손과 유지 및 관리에 소비되는 비용 절감이 가능한 기술임
- 기존 면진제품 대비 상판의 크기가 대폭 축소됨에 따라 제작 및 설치에 필요한 원자재비용, 가공비용, 이송비용, 설치비용 등이 감소되어 경제성이 높다. 또한 도장 면적이 축소됨에 따라 환경성 또한 높음
- 요구 성능에 따라 장치를 구성하는 부품의 제원을 쉽게 설계가 가능하며 핵심부품을 모듈화(module)하여 생산 단가를 절감할 수 있어 높은 성과 창출이 가능함

(3) 유지관리성

- 다기능 지진동 저감장치의 핵심 부품인 MER 스프링과 베어링 블록이 평행하게 배치되어 있어 모든 구성 부품들이 육안으로 식별이 가능함에 따라 시설(장치) 점검이 간단하여 유지관리성이 높은 기술임
- 다기능 지진동 저감장치는 크기가 작고 무게 또한 가벼워 기존 면진장치 대비 콤팩트(compact)하게 제작이 가능함에 따라 면진장치 교체 또는 설치 높이 및 공간이 낮아 기존 제품 적용이 어려운 곳에도 적용이 가능한 면진장치임

(4) 사회적 파급효과

- 국내 지진 발생 빈도와 국민의 정서, 내진등급 상향 조정 등의 다양한 상황을 고려할 경우 구조물의 면진장치 수요는 폭발적으로 증가될 것으로 사료됨. 이러한 수요 증가에 따른 원활한 공급을 위해 양산시스템은 대형화 될 것이기 때문에 일자리 창출이 가능해질 것임
- 도시기반 시설에 대한 지진 안전성을 확보할 수 있어 대국민에 대한 신뢰도 향상을 기대할 수 있으며 현재 사회이슈로 대두되고 있는 원도심, 쇠퇴지역 등의 지진에 대한 안전성을 확보할 수 있음
- 순수 국내 면진장치 기술을 확보함으로써 수출 증대 및 수입 대체 효과를 기대할 수 있으며 지속적인 개발을 통해 기술경쟁력이 상승할 경우 높은 개런티(guarantee)를 받고 기술 수출 또한 가능함

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

1) 연구개발성과 관리 계획

핵심성과	성과내용	성과유형	활용계획
다기능 지진동 저감장치	■ 면진장치 상품화 : 다기능 지진동 저감장치 (MPS: Multi Performance system)	장비·장치	■ 필로티 건축물외에 교량과 같은 토목 구조물 또는 대형서고, 변압기 등의 구조물에 활용 가능하도록 제품의 범용성을 확대함
면진장치 시공 공법	■ 실제 필로티 건축물 시공 : 테스트 베드 시공 실적 확보 (특수구조건축물 구조 안전 심의 대응 가능)	공법·기법	■ 필로티 건축물에 설치된 다기능 지진동 저감장치에 대해 시간경과에 따른 외관 및 성능 유지에 대한 지속적인 모니터링을 통해 내구성을 검증 및 평가함
인증서 획득	■ 녹색기술인증서, SOC 기술마켓 혁신 기술 인증서, 혁신제품 인증서, EPC 성능인증서(교량받침)	기타 (인증서)	■ 본 연구를 통해 확보된 각종 인증서를 바탕으로 건설신기술(NET) 및 신제품(NEP)을 계획 및 추진하여 공공시장 진출에 대한 기초자료를 확보함

2) 연구개발성과 활용 계획

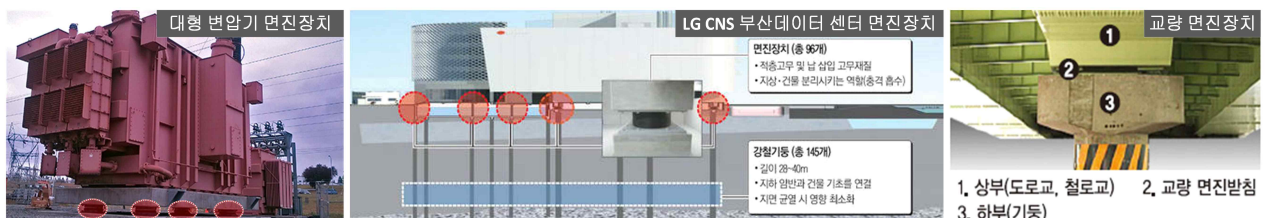
(1) 활용 방안

- 국내 지진 발생 빈도와 규모는 최근 지속적으로 증가하고 있음
- 경주와 포항 지진의 사례에서도 내진설계 1등급을 반영한 건축물도 리히터 규모 5.0 이상 발생시 건물 외벽 또는 내벽의 균열까지 방지하기는 역부족이었으며 사후 복구가 필요하게 되었음. 그러나 면진장치인 다기능 지진동 저감장치를 적용한다면 사후 복구가 필요 없으며 리히터 규모 7.0 이상에서도 견딜 수 있는 구조물을 건축할 수 있어 강진이 발생할 경우 다기능 지진동 저감장치는 기존 내진장치 대비 피해 규모 및 피해액을 최소화 할 수 있음



<그림-26> 강진 대비를 위한 면진장치의 필요성 (출처 : SBS 8시 뉴스)

- 신청기술 다기능 지진동 저감장치(MPS)는 친환경적인 면진장치로서 대형 변압기, 건축물, 교량 등의 사회간접자본(SOC) 시설 대상으로 지진에 대한 안전성을 향상시킬 수 있는 기술임



<그림-27> 대형 변압기 면진장치 / LG CNS 부산 데이터센터 면진장치 / 교량 면진장치

- 현재 국내에서 가장 사회적으로 이슈화(issue)되고 있는 것 중에서 지진 다음으로 관심도가 높아지는 것이 원도심 또는 쇠퇴지역에 대한 도시재생임. 도시재생에서 가장 중요한 것은 안전에 대한 확보임. 사회기반시설에 대한 안전을 확보해야 도시재생에 대한 효과가 극대화 될 수 있음. 정부는 최근 쇠퇴 지역 대상으로 매년 100곳에 대한 도시재생 뉴딜사업을 발표함. 도시 재생사업에 신청기술인 다기능 지진동 저감장치 적용을 통해 노후 된 사회기반시설 및 건축물의 안전성을 확보할 수 있음



<그림-28> 지진 대비 안전성 향상을 위한 원도심 및 쇠퇴지역 도시재생 사업

(2) 공공시장 진출

○ LH 한국토지주택공사 / SH 서울주택도시공사

- 필로티(Pilotis) 건축물 내진보강을 위한 면진시스템
- 건축물 면진장치 적용
 - : 지진규모 7.0 이상 견딜 수 있는 건축물 시공 가능
- 내진장치 : 강한 외부 진동 또는 외력작용 후 보수(보강) 필요
- 면진장치 : 구조물 및 면진장치 손상 없음 (재활용 가능)



<그림-29> 건축물 면진장치 적용 개요

국내 건축물 면진장치 적용 사례			
적용 지역	건축물명	적용연도	지진 규모
김포	김포 고촌 힐스테이트	2008	규모 6.0 기준
서울	WIN&P 타워	2012	규모 6.0 기준
서울	국립현대미술관	2013	규모 6.0 기준
부산	LG CNS 데이터센터	2013	규모 8.0 기준
하남	KDB전산센터	2019	규모 7.0 기준

○ 한국도로공사

- 교량받침(교좌받침)



<그림-30> 교량 면진시스템 적용 예시

○ 철도공사(KORAIL)

- 철도역사 면진장치 적용
: 지진 발생시 또는 사후 역사 구조물 피해 최소화 가능



<그림-31> 철도역사 면진장치 적용 개요

○ 지방자치단체(공공기관) : 시설물 내진보강을 위한 면진장치 적용

- 원도심 및 쇠퇴지역의 강진 대비 대책 (도심재생사업)
: 노후 건축물의 내진등급 상향 적용 가능 (구조 안전성 확보)

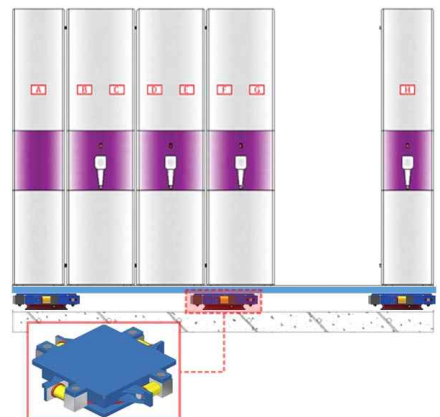


<그림-32> 노후 주택 및 원도심 쇠퇴지역 설비 등의 구조물 내진 보강 (면진시스템 적용)

3) 타 연구 응용

○ 전력, 통신설비 및 대형 서고 등의 면진장치

- 지진 후 블랙아웃(Blackout)을 최소화한 안정적인 전력 설비 운영 가능
- 외부 진동에 의한 통신 단절현상 최소화 및 장비보호 가능
- 외부 진동에 의한 중요 문화재, 서책 등의 낙상 방지



<그림-33> “전력설비 / 통신설비 / 대형서고”적용 개요

※ 최종평가 수정·보완 사항

[별첨-1] 면진받침(다기능 지진동 저감장치) 적용에 따른 건축물 고유 진동수 변화 비교

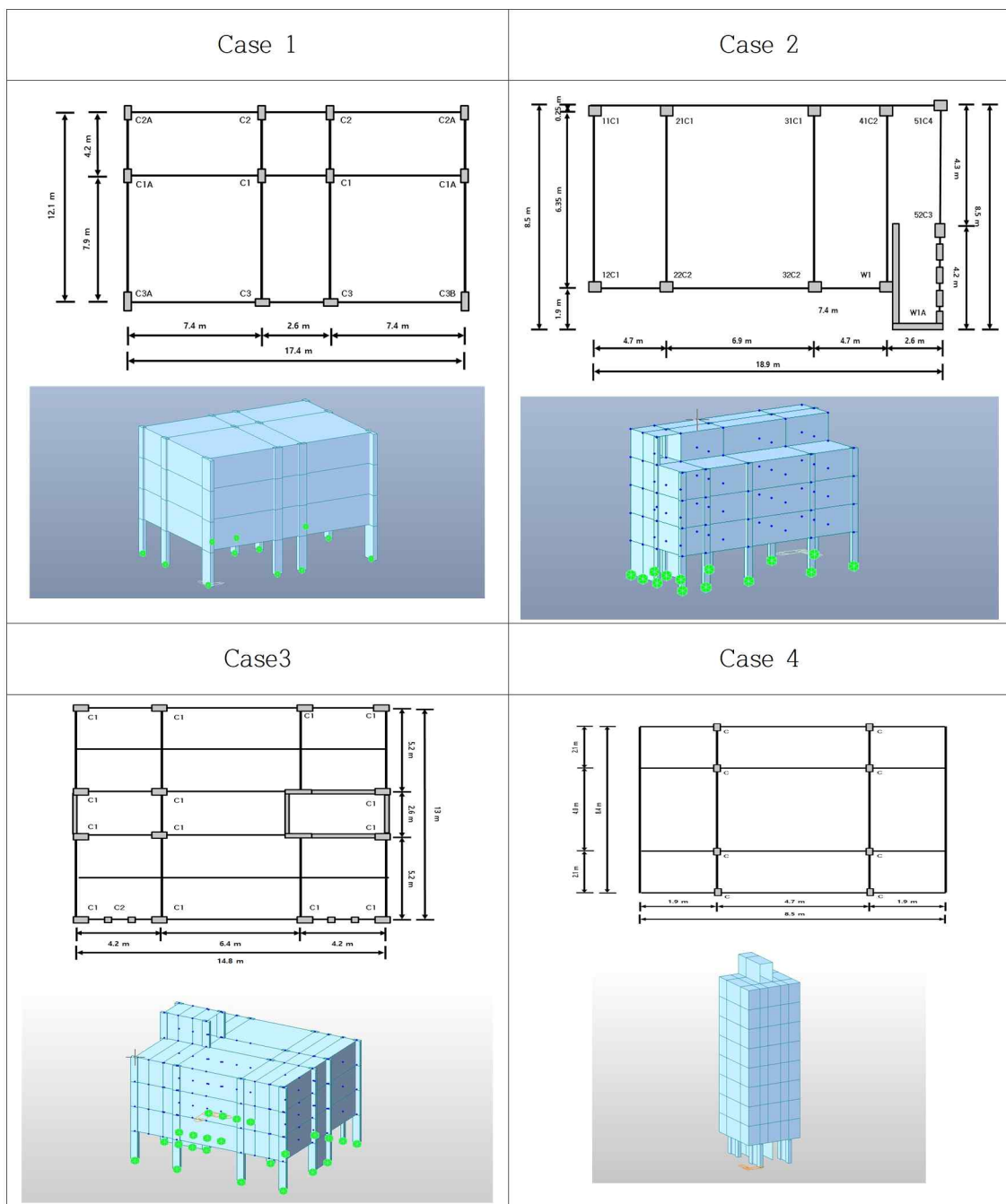
⇒ 상세내용 : 성과증빙자료 참조

1. 개요

본 연구에서는 연구개발 중인 면진시스템의 우수성을 입증하기 위하여 면진시스템 미적용 필로티 구조물 및 면진시스템 적용 필로티 구조물에 대한 해석 및 비교·분석을 수행한다. 따라서 1차년도 연구범위에 해당하는 면진시스템이 적용되지 않은 필로티 구조물에 대한 해석을 수행하여 지진에 대한 구조물의 영향을 검토한다.

2. 구조해석

2.1 대상 구조물



2.2 Input Data

2.2.1 Ground Acceleration

본 연구의 목표성능인 리히터 규모 7.0에 대응하는 지반 가속도는 한국수력원자력에서 정의하고 있는 규모 환산식을 적용하였다. 수식은 아래와 같으며 규모에 따른 지반 가속도는 표 2.2에서 나타내고 있다.

$$\begin{aligned} \text{진도-규모 환산식: } & \text{규모} = 1 + \text{진도} \times 2/3 \\ \text{지반 가속도 - 진도 환산식: } & \text{진도} = 3 \times \text{Log}(\text{지반 가속도}) + 1.5 \end{aligned}$$

표 2.2 지반 가속도 별 지진에 대한 리히터 규모

지반 가속도	0.2g	0.3g	0.4g
진도 환산	8.38	8.91	9.28
규모 환산	6.58	6.94	7.19

리히터 규모 7.0은 약 0.35g의 지반 가속도를 가지며 이를 적용하기 위해 그림 2.3과 같이 El centro의 지반 가속도를 0.35g로 치환하였다.

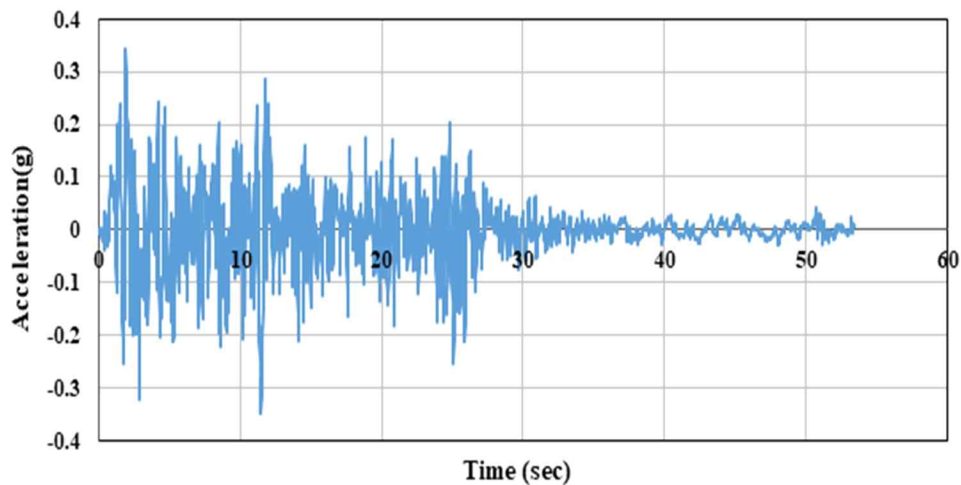


그림 2.3 El centro 입력지진파

2.4 해석결과

2.4.1 변위 및 단면력

구 분	변위(mm)		전단력(kN)		모멘트(kN-m)	
	X	Y	X	Y	X	Y
Case 1	89.9	21.08	8370.85	8259.11	16397.4	14692.3
Case 2	48.1	115.02	1805.84	1941.89	3541.33	3681.71
Case 3	7.605	5.104	218.75	65.91	415.21	123.52
Case 4	68.13	6.06	1583.16	447.44	3120.63	890.47

2.4.2 고유진동수

구분	Case-1		Case-2	
	면진 미적용	면진 적용	면진 미적용	면진 적용
Mode	Frequency (cycle/sec)	Frequency (cycle/sec)	Frequency (cycle/sec)	Frequency (cycle/sec)
1	4.1715	2.7810	3.5648	2.3765
2	6.9418	4.9584	7.1443	5.1031
3	8.3398	5.5599	11.0948	7.3965
4	29.5572	17.3866	15.6618	9.2128
5	30.7231	14.6300	16.0189	7.6280
6	30.8112	19.2570	16.2757	10.1723
7	44.5437	26.2022	18.7534	11.0314
8	44.8916	28.0573	18.9997	11.8748
9	53.9921	31.7601	19.1910	11.2888
10	54.8932	30.4962	20.8580	11.5878

구분	Case-3		Case-4	
	면진 미적용	면진 적용	면진 미적용	면진 적용
Mode	Frequency (cycle/sec)	Frequency (cycle/sec)	Frequency (cycle/sec)	Frequency (cycle/sec)
1	8.6783	5.7855	2.9715	1.9810
2	11.1799	7.9856	4.9882	3.5630
3	11.5685	7.7123	7.1608	4.7739
4	28.2556	16.6209	11.9504	7.0296
5	31.9978	15.2371	21.8394	10.3997
6	34.3967	21.4980	23.9391	14.9619
7	36.9230	21.7194	26.1054	15.3561
8	43.9357	27.4598	33.7219	21.0762
9	44.2139	26.0082	37.8611	22.2712
10	54.9765	30.5425	48.5551	26.9751

압축 크리프 시험 및 WLF식을 이용한 수명예측

(1) 폴리우레탄 압축 크리프 시험

폴리우레탄 시편의 다양한 온도 조건에서 압축 크리프 특성 변화를 관찰하기 위하여 아래와 같은 시험을 계획한다.

표 1. 폴리우레탄 압축 크리프 시험 계획

압축 응력	시험 온도	시험 시간	비고
24.5 MPa	25 ℃	1,000 h 동안 연속 시험	압축 하중 제어, 압축 변위 측정, 외관 관찰
	55 ℃		
	70 ℃		

아래 그림의 폴리우레탄 시편을 사용하여 정해진 시험 온도, 압축 응력에 따라 크리프 시험을 진행한다.



그림 1. 폴리우레탄의 압축 크리프 시편 및 시험 전경

일반적으로 고분자는 점탄성 소재로 임의 온도에서 일정한 하중이나 압축력이 장시간 가해질 경우 크리프 변형이 발생한다. 전형적인 크리프 변형 곡선은 아래 그림과 같다.

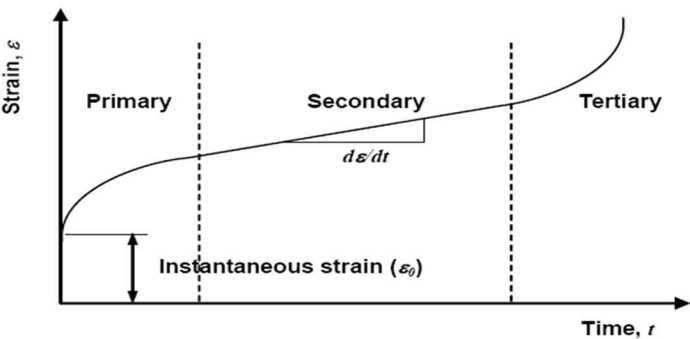


그림 2. 고분자 소재의 일반적인 크리프 변형 곡선

그림에서와 같이 크리프 곡선은 일반적으로 제 1단계(primary stage), 제 2단계(secondary stage) 및 제 3단계(tertiary stage)로 구성된다. 크리프 영향을 고려할 때는 제 2단계 크리프를 기준으로 사용하는 것이 보통인데, 제 2단계에서는 곡선의 기울기(크리프 속도)가 거의 일정하므로 실험값의 신빙성이 높고 해석도 용이하기 때문이다. 고분자의 점탄성 성질은 온도에 따른 변화와 시간에 따른 변화가 유사한 형태를 보이며 이를 시간-온도 중첩(Time-Temperature Superposition) 현상이라 한다. 고온에서 특성 변화가 느린 속도(장시간 경과한 후) 시험과 유사한 결과를 보인다. TTS를 이용하여 여러 온도에서 측정한 유변 성질(log-log scale)을 특정 온도를 기준으로 수평으로 이동시켜 하나의 곡선으로 표현할 수 있으며, 고온에서 단기간에 측정하여 장시간에 걸친 시험을 유추할 수 있다. 이때 WLF(William-Landel-Ferry) equation에 의해 가속계수의 역수 a_T 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\text{Log } a_T = \frac{-C_1(T - T_0)}{C_2 + T - T_0}$$

여기에서 a_T :이동인자 T_0 :기준온도(Kelvin)
 T :온도(Kelvin) C_1, C_2 :상수

(2) WLF식을 이용한 수명예측



그림 3. 압축 크리프 시편 및 시험 전경

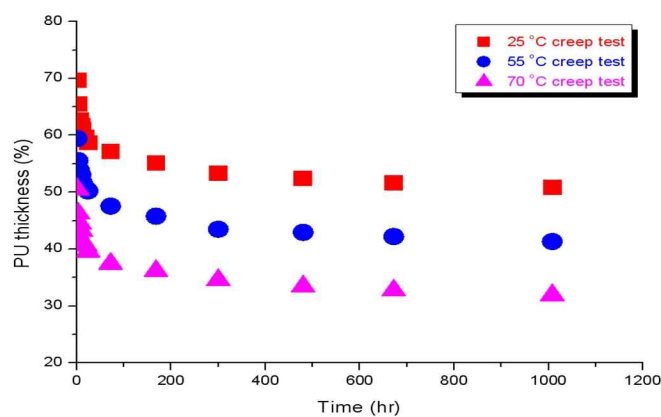


그림 4. 압축 크리프 시험 결과

시간 변화에 따른 폴리우레탄의 두께가 비선형적인 그래프로 나타나 있어 WLF equation을 이용한 이동인자를 적용할 수 없기에 X, Y축을 아래 그림과 같이 Log Scale로 변환하여 직선 형태로 재작성하였다. 시험 결과의 정확성을 높이기 위해 변형 속도가 일정하게 나타나는 제 2단계(secondary stage) 영역을 선택하였다.

기준온도를 중심으로 아래 그림과 같이 이동시키고, 기준온도의 마스터 커브를 작성하였다. 이렇게 얻어진 마스터 커브로부터 로그시간을 독립변수로 하고 폴리우레탄의 두께를 종속변수로 하는 회귀분석을 실시한 결과 ISO 11346에서 정한 고분자 소재의 고장 지점인 50 %에 도달하는 시간이 36.9년인 것으로 예측되었다.

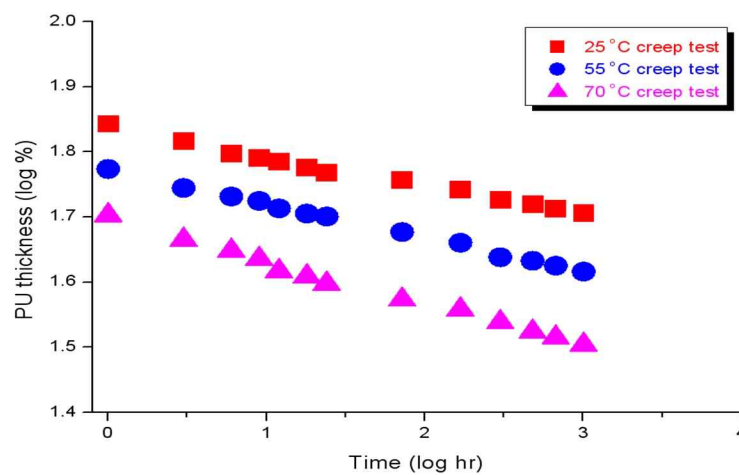


그림 5. 압축 크리프 시험 결과(Log Scale변환)

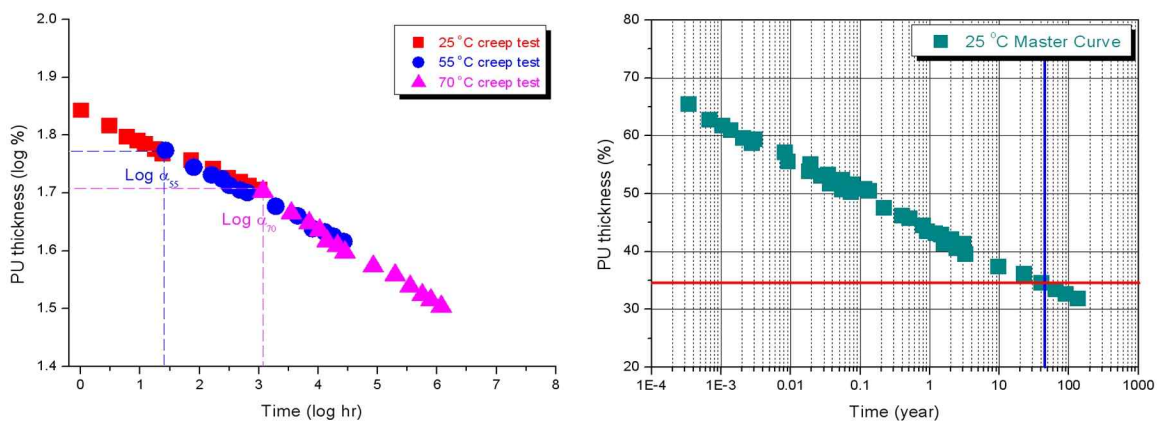


그림 6. WLF 이동 후 기준온도의 마스터 커브

[별첨-3] 유지보수를 위한 Jack up 작업 브라켓 구조 계산서

【 브라켓 및 내민받침 : 필로트 건축물 】

★ 단면제원 및 설계가정

$$f_{ck} = 24 \text{ MPa}, f_y = 400 \text{ MPa}, k_1 = 0.85, \phi_f = 0.85, \phi_v = 0.8$$

단 면 폭 (b) = 1100 mm

단면높이 (h1) = 600 mm

피 폭 (h') = 80 mm

유효높이 (d) = 420 mm

외단깊이 (h2) = 500 mm

전 단 력 (Vu) = 1500 KN

$$a = 200 \text{ mm}, d = 420 \text{ mm}$$

$$a / d (= 0.476) \leq 1 \rightarrow \text{Bracket으로 설계}$$

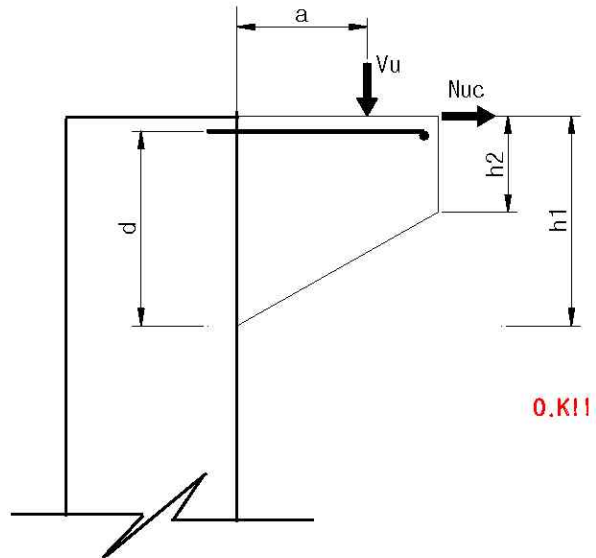
$$\text{지압면의 외단깊이} \geq 0.5d, 500 \geq 0.5 \times 420$$

1) 설계 단면력 산정

$$V_u = 1500 \text{ KN}$$

$$N_{uc} = 0.20 \times 1500 = 300 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \times a + N_{uc} \times (h - d) = 1500 \times 200 + 300 \times (600 - 420) \\ &= 354 \text{ KN-m} \end{aligned}$$



0.K!!

2) 전단마찰철근(Avf)의 설계 (콘.시 109) : 전단마찰철근이 전단면에 수직인 경우

$$\begin{aligned} V_{n_max} &\leq 0.2 \times f_{ck} \times b_o \times d, 5.6 \times b_o \times d \\ &\leq 0.2 \times 24 \times 1100 \times 420 = 2217.6 \text{ KN} \\ &\leq 5.6 \times 1100 \times 420 = 2587.2 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\phi V_{n_max} = 0.80 \times 2217.6 = 1774.08 \text{ KN} \geq V_u (=1500 \text{ KN})$$

0.K!!

$$\begin{aligned} A_{vf} &= V_u / \phi_v \times f_y \times \mu \quad (\phi_v=0.80, \mu=1.0\lambda, \lambda=1.0 ; \text{굳은 콘크리트에 새로 친 콘크리트}) \\ &= 1500 / (0.80 \times 400 \times 1) = 4687.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3) 휨모멘트 철근(Af)의 설계

$$M_u = V_u \times a_v + N_{uc}(h - d) = 1500 \times 200 + 300 (600 - 420) = 354 \text{ KN-m}$$

$$a = A_f \times f_y / 0.85 \times f_{ck} \times b \quad : (\text{콘크리트환산단면})$$

$$M_n = M_u / \phi = A_f \times f_y \times (d - a/2) \rightarrow \text{위의 } a \text{를 대입하여 } A_f \text{를 이차방정식으로 푼다.}$$

$$\begin{aligned} A_f &= \{d - \sqrt{[d^2 - 4 \times M_u / (1.7 \times f_{ck} \times b \times \phi)]}\} / [2 \times f_y / (1.7 \times f_{ck} \times b)] \\ &= 2625.242 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4) 수평인장 철근 (A_n)의 설계

$$Nuc = 0.20 \times 1500 = 300 \text{ KN}$$

$$A_n = Nuc / (\phi \times f_y) = 937.5 \text{ mm}^2$$

5) 주인장철근 (A_s)의 산정

주인장철근의 단면적은 ($A_f + A_n$)과 ($2/3 A_{vf} + A_n$) 중 큰값을 취한다 .

$$\rightarrow A_s = 4062.5 \text{ mm}^2$$

$$A_{s(\min)} = 0.04 \times (f_{ck} / f_y) \times b \times d$$

$$= 0.04 \times (24 / 400) \times 1100 \times 420 = 1108.8 \text{ mm}^2$$

- 사용 철근 :	1단 D25 - 5EA = 2534 mm ²	(피복 : 80 mm)
	2단 D25 - 5EA = 2534 mm ²	(피복 : 280 mm)
	5068 mm ²	

$$\text{Use } A_s \geq 4062.5 \text{ mm}^2, 1108.8 \text{ mm}^2$$

O.K!!

6) 폐쇄 스톱, 띠 철근 (A_h)의 산정

$$A_h = 0.5 \times (A_s - A_n) = 0.5 \times (4062.5 - 937.5) = 1562.5 \text{ mm}^2$$

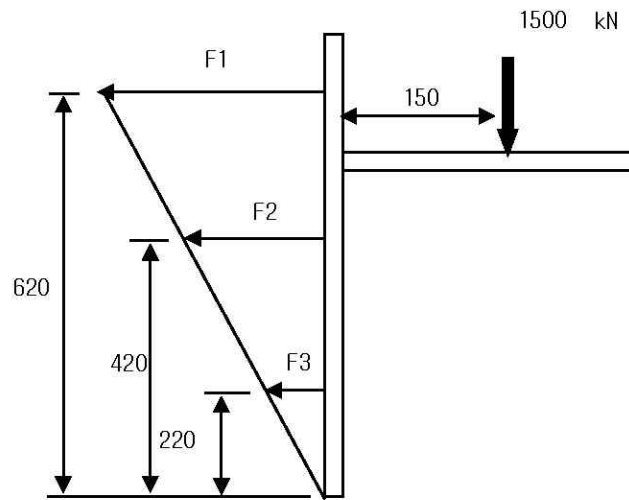
$$\text{- 사용 철근 : D22 - 5EA = 1936 mm}^2$$

$$\text{철근의 배치 범위 : } 2/3 d = 2/3 \times 420 = 280 \text{ mm 구간에 1 단 설치}$$

$$\blacktriangleright \text{사용철근량 (1단) : D22 - 5EA = 1936 mm}^2 \geq 1562.5 \text{ mm}^2$$

O.K!!

▶ 연단보강 삼입철근에 발생하는 인장력 검토



$$1500 \times 150 = 5 \times [F1 \times 620 + F2 \times 420 + F3 \times 220]$$

$$1500 \times 150 = \frac{5 \times F1}{620} (620^2 + 420^2 + 220^2)$$

$$\therefore F1 = 45.8 \text{ kN}$$

$$\therefore \text{철근 1개에 발생하는 인장력} = 45.8 \text{ kN} < \text{허용인장력 (제품특성)} \quad 100.0 \text{ kN} \quad \text{O.K!!}$$

一. 원가조사보고서(본문)

본 원가조사는 (주)펜타드의 위촉에 의하여 “다기능 지진동 저감장치(MPS)”에 관한 경제성효과(LCC)원가분석으로 본 원가조사를 실시함에 있어서 귀사에서 제시한 사양을 근거로 하여 기획재정부 계약예규에 의한 일반적 원가계산방식과 절차를 적용하여 산출하였으며 그 결과는 다음과 같습니다.

- 다 음 -

단위 : 원/면

구 분		신청제품	비 교 제 품					
모 델 명		MPS	EQS		FPS		LRB	
규 격		1000KN	1000KN		1000KN		1000KN	
제품 수명 (내용연수)		40년	40년		40년		40년	
원가 항목	취 득 가	3,011,308	3,639,749	82.73%	3,287,071	91.61%	3,067,648	98.16%
	사 용 가							
	폐 기 가	-1,948	-3,959	49.20%	-2,517	77.39%	-1,878	103.73%
	합 계	3,009,360	3,635,790	82.77%	3,284,554	91.62%	3,065,770	98.16%

주) 1. 본 금액은 부가가치세가 포함된 금액 기준임

2020. 9 .

재단법인 한국종합경제연구원

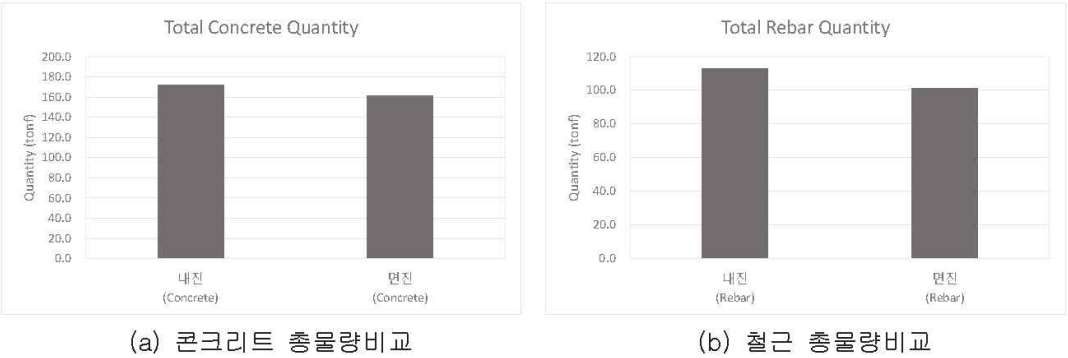
이 사 장 권 형 남
책임연구원/이 사 전 대 훈
선임연구원/원 가 분 석 사 이 승 후
연구원/원 가 분 석 사 홍 민 공
연구보조원/원 가 분 석 사 김 경 희

6. 내진구조 VS 면진구조 부재물량비교

6.1 물량비교

6.1.1 총물량

아래 [그림 6.1.1], [표 6.1.1] 은 은 내진구조와 면진시스템을 적용한 면진구조의 콘크리트 및 철근의 총물량비교이다. 그림 및 표에서 나타낸 바와 같이 내진구조에 비해 면진구조의 경우 콘크리트는 6%, 철근은 11%의 감소효과가 있는 것으로 나타났다



[그림 6.1.1] 면진구조와 내진구조 총물량 비교

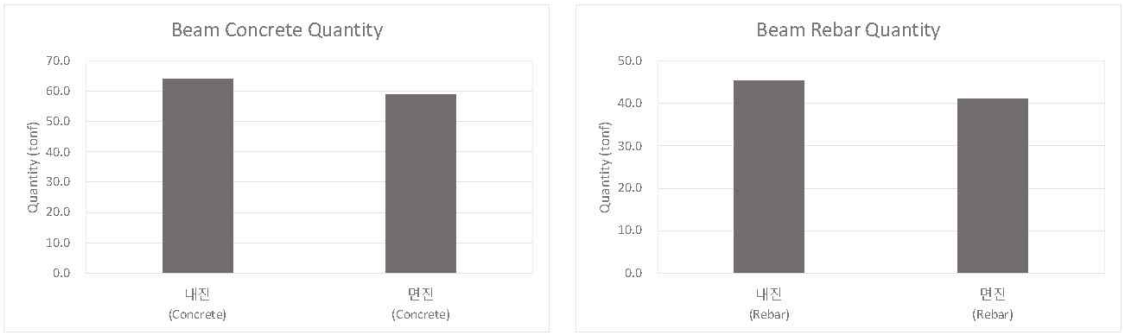
[표 6.1.1] 면진구조와 내진구조 총물량 비교

(단위 : tonf)

구 분	내 진	면 진	Ratio
Concrete	172.1	161.2	0.94
Rebar	113.0	101.0	0.89

6.1.2 Beam Quantity

아래 [그림 6.1.2], <표 6.1.2> 는 내진구조와 면진시스템을 적용한 면진구조의 보 부재의 콘크리트 및 철근의 물량비교이다. 그림 및 표에서 나타낸 바와 같이 내진구조에 비해 면진구조의 보부재는 콘크리트 8%, 철근은 9%의 감소효과가 있는 것으로 나타났다



(a) 보 부재 콘크리트 총물량비교

(b) 보 부재 철근 총물량비교

[그림 6.1.2] 면진구조와 내진구조 보 부재 물량 비교

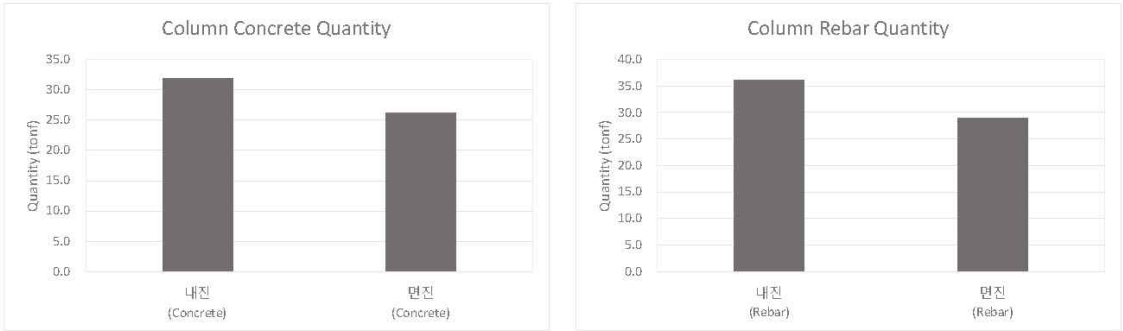
[표 6.1.2] 면진구조와 내진구조 보 부재 물량 비교

(단위 : tonf)

구 분	내 진	면 진	Ratio
Concrete	64.0	58.9	0.92
Rebar	45.4	41.1	0.91

6.1.3 Column Quantity

아래 [그림 6.1.3], <표 6.1.3> 는 내진구조와 면진시스템을 적용한 면진구조의 기둥 부재의 콘크리트 및 철근의 물량비교이다. 그림 및 표에서 나타낸 바와 같이 내진구조에 비해 면진구조의 기둥 부재는 콘크리트 18%, 철근은 20%의 감소효과가 있는 것으로 나타났다.



(a) 기둥 부재 콘크리트 총물량비교

(b) 기둥 부재 철근 총물량비교

[그림 6.1.3] 면진구조와 내진구조 기둥 부재 물량 비교

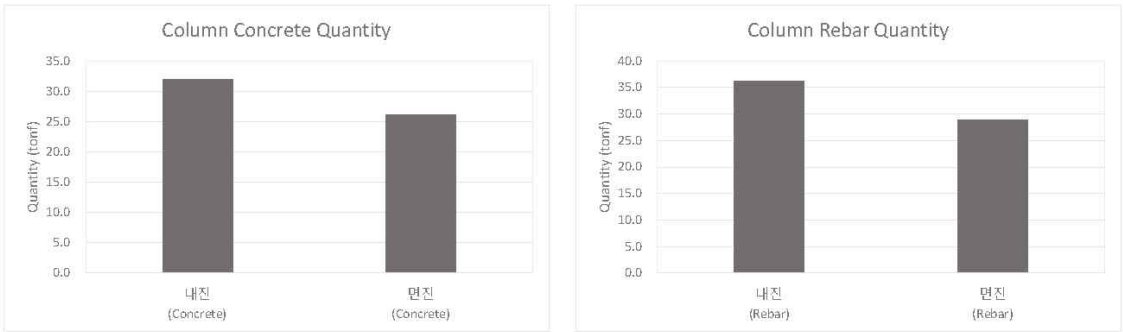
<표 6.1.3> 면진구조와 내진구조 기둥 부재 물량 비교

(단위 : tonf)

구 분	내 진	면 진	Ratio
Concrete	31.9	26.2	0.82
Rebar	36.1	28.8	0.80

6.1.4 Wall Quantity

아래 [그림 6.1.2], <표 6.1.4> 는 내진구조와 면진시스템을 적용한 면진구조의 벽체의 콘크리트 및 철근의 물량비교이다. 그림 및 표에서 나타낸 바와 같이 내진구조에 비해 면진구조의 벽체 부재는 콘크리트는 동일하였으며, 철근은 2%의 감소효과가 있는 것으로 나타났다.



(a) 벽체 콘크리트 총물량비교

(b) 벽체 철근 총물량비교

[그림 6.1.4] 면진구조와 내진구조 벽체 물량 비교

<표 6.1.4> 면진구조와 내진구조 벽체 물량 비교

(단위 : tonf)

구 분	내 진	면 진	Ratio
Concrete	60.8	60.8	1.00
Rebar	23.5	23.1	0.98

6.1.5 Slab Quantity

슬래브의 경우 내진구조와 면진구조의 부재는 동일한 고정하중, 사용하중에 의해 설계되므로 물량의 감소는 없었다.

6.2 재료비 비교

6.2.1 Total Cost

투입물량에 대하여 재료비를 비교한 결과는 [그림 6.2.1]과 <표 6.2.1>에 나타난 바와 같다. 그림 및 표에서 나타난 바와 같이 내진구조에 비해 면진구조의 경우 콘크리트는 6%, 철근은 11%의 감소효과가 있는 것으로 나타났다.



(a) 콘크리트 총 재료비 비교

(b) 철근 총 재료비 비교

[그림 6.2.1] 면진구조와 내진구조 총 재료비 비교

<표 6.2.1> 면진구조와 내진구조 총 재료비 비교

구분	내진	면진	Ratio
Concrete	₩ 5,226,918	₩ 4,898,094	0.94
Rebar	₩ 105,655,000	₩ 94,411,625	0.89

- 거래가격 2021년 6월호, p.115, 24MPa (슬럼프 15cm, 서울) 기준
- 거래가격 2021년 6월호, p.49, SD400 (고장력철근) 기준

6.3 감소효과 분석

5장에서 면진시스템을 적용한 시간이력해석결과에서 입력가속도에 비해 응답가속도는 80% 이상 감소하는 효과가 있었으나 물량의 감소효과는 콘크리트는 6%, 철근은 11%의 감소하여 물량감소 효과는 크지 않았다.

이는 현재 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00 : 2019)에서 면진구조의 반응수정계수를 최대 2 까지로 제한하고 있으며, <표 5.5.5>에 기술한 바와 같이 최소전단력 기준을 정하여 해석결과에 따라 감소된 밀면전단력을 사용하는 것을 제한하고 있기 때문에 사용된 전단력의 크기가 탄성해석결과와 큰 차이가 없기 때문으로 판단된다.

그러나, 시간이력해석결과에서 제시한 바와 같이 지진가속도의 감소효과가 80% 이상 발생하므로 건물의 지진하중에 대한 안전성은 크게 향상되었음을 예상할 수 있다.

7. 결론

본 과업은 필로티형 중저층 거주용 건축물에 면진구조를 적용하고 이에 따른 골조 물량의 변화를 파악하고자 하였다. 5층 다가구주택을 대상으로 구조설계를 수행하였으며, 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00 : 2019)에 따라 내진구조와 면진구조로 구분하여 설계하였다. 구조해석은 MIDAS Gen을 사용하였으며, 내진구조는 탄성해석을 수행하였다.

면진구조는 먼저 암반지반의 지진파형을 구하여, 부지응답해석을 수행하여 면진구조에 적용되는 입력 지진하중을 산정하였다. 산정된 지진이력은 면진구조의 시간이력해석에 사용되었다. 면진장치는 면진상 부구조의 중심과 면진장치의 강심이 일치하도록 배치하여 비틀림에 대한 영향을 최소화하도록 최적설계 하였으며, 면진장치 배치 후, 면진장치는 경계비선형 요소로 모델링 하였으며, 산정된 지진이력에 의한 시간이력해석을 X, Y방향에 대해 DBE수준, MCE수준에 대해 각각 7회, 총 28회 수행하였다.

해석결과를 기준으로 부재산정 및 구조설계를 수행하였고, 내진구조와 면진구조의 골조 물량을 산출하고 이를 비교하였다.

내진구조와 면진구조의 물량을 비교한 결과 물량의 감소효과는 콘크리트는 9%, 철근은 11%의 감소하여 물량감소 효과는 크지 않았다. 이는 현재 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00 : 2019)에서 면진구조의 반응수정계수를 최대 2 까지로 제한하고 있으며, <표 5.5.5>에 기술한 바와 같이 최소전단력 기준을 정하여 해석결과에 따라 감소된 밀면전단력을 사용하는 것을 제한하고 있기 때문에 사용된 전단력의 크기가 탄성해석결과와 큰 차이가 없기 때문으로 판단된다.

그러나, 시간이력해석결과에서 제시한 바와 같이 지진가속도의 감소효과가 80% 이상 발생하므로 건물의 지진하중에 대한 안전성은 크게 향상되었음을 예상할 수 있다.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘리히터 규모 7.0 이상 견딜 수 있는 필로티 구조용 다기능 지진동 저감장치 상용화 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.