

[국토교통 실험시설 · 장비 고도화 상세분석 및 구축계획 수립]

[부록] 성능개선 장비 상세분석 보고서

2014. 02. 28

목 차

제 1 장 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM	1
제 1 절 시설·장비 정의 및 목적	1
제 2 절 구축 필요성 및 시급성	3
제 3 절 활용분야 및 범위	13
제 4 절 국내외 관련 연구 동향	14
제 5 절 기존 시설·장비와 차별성	52
제 6 절 필요 장비 및 시설	62
제 7 절 시설·장비 구축계획	67
제 8 절 활용계획 및 기대효과	74
제 9 절 상세 예산(안)	75
제 2 장 국제기준 대응 비구조 요소 실험용 10g급 6자유도 진동대 구축	76
제 1 절 시설·장비 정의 및 목적	76
제 2 절 구축 필요성 및 시급성	78
제 3 절 활용분야 및 범위	93
제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향	95
제 5 절 기존 시설·장비와 차별성	120
제 6 절 필요 장비 및 시설	124
제 7 절 시설·장비 구축계획	126
제 8 절 활용계획 및 기대효과	133
제 9 절 상세 예산(안)	138
제 3 장 바람-파도-조류 복합 발생을 위한 바람발생장치	140
제 1 절 시설·장비 정의 및 목적	140
제 2 절 구축 필요성 및 시급성	141
제 3 절 활용분야 및 범위	142
제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향	143
제 5 절 기존 시설·장비와 차별성	157
제 6 절 필요 장비 및 시설	161
제 7 절 시설·장비 구축계획	162
제 8 절 활용계획 및 기대효과	167
제 9 절 상세 예산(안)	168
제 4 장 허리케인 3등급(풍속120mph)풍력에너지 개발 바람발생 시스템	170
제 1 절 시설·장비 정의 및 목적	170
제 2 절 구축 필요성 및 시급성	170
제 3 절 활용분야 및 범위	175
제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향	176
제 5 절 기존 시설·장비와 차별성	182

제 6 절 필요 장비 및 시설	185
제 7 절 시설·장비 구축계획	187
제 8 절 활용계획 및 기대효과	191
제 9 절 상세 예산(안)	192
제 5 장 대형 지반-구조물 실험을 위한 100m ³ 급 가변형 강성토조	194
제 1 절 시정·장비 정의 및 목적	194
제 2 절 구축 필요성 및 시급성	195
제 3 절 활용분야 및 범위	197
제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향	198
제 5 절 기존 시설·장비와 차별성	216
제 6 절 필요 장비 및 시설	220
제 7 절 시설·장비 구축계획	226
제 8 절 활용계획 및 기대효과	231
제 9 절 상세 예산(안)	233
제 6 장 국내 최초 600g-ton급 드럼형 센트리퓨지	235
제 1 절 시설·장비 정의 및 목적	235
제 2 절 구축 필요성 및 시급성	236
제 3 절 활용분야 및 범위	238
제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향	240
제 5 절 기존 시설·장비와 차별성	259
제 6 절 필요 장비 및 시설	262
제 7 절 시설·장비 구축계획	264
제 8 절 활용계획 및 기대효과	272
제 9 절 상세 예산(안)	276
제 7 장 6자유도 동시가력을 위한 고성능 Actuator 시스템	278
제 1 절 시설·장비 정의 및 목적	278
제 2 절 구축 필요성 및 시급성	279
제 3 절 활용분야 및 범위	282
제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향	283
제 5 절 기존 시설·장비와 차별성	317
제 6 절 필요 장비 및 시설	323
제 7 절 시설·장비 구축계획	329
제 8 절 활용계획 및 기대효과	334
제 9 절 상세 예산(안)	335
제 8 장 적재하중 100톤과 적재면적 140m ² 의 대용량·대형 진동대 시스템	337
제 1 절 시설·장비 정의 및 목적	337
제 2 절 구축 필요성 및 시급성	338
제 3 절 활용분야 및 범위	355

제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향	358
제 5 절 기존 시설·장비와 차별성	384
제 6 절 필요 장비 및 시설	387
제 7 절 시설·장비 구축계획	393
제 8 절 활용계획 및 기대효과	398
제 9 절 상세 예산(안)	401

표 차 례

<표 1-1> 주요구조물의 내진보강 가이드라인	8
<표 1-2> 고속철도 교량의 낙교방지장치 성능실험 기준	9
<표 1-3> 다기능 고속 대용량 구조 UTM의 세부 활용분야 및 범위	13
<표 1-4> MATS 시스템 성능	18
<표 1-5> 점성댐퍼 시험방법 및 판정기준	20
<표 1-6> 국외 실험장비 현황 비교	49
<표 1-7> 국내 실험장비 현황 비교	50
<표 1-8> 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM의 최소 요구 성능	62
<표 1-9> 최소 요구시설 및 장비	63
<표 1-10> 기존 하이브리드구조 실험센터 건물 및 규모	64
<표 1-11> 실험시설 구축 일정표	72
<표 1-12> 장비 성능개선 소요예산	75
<표 1-13> 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교	75
<표 2-1> 국내 5g이상 구현 가능한 진동대 현황	80
<표 2-2> 1.5g이상의 최대적재하중 30ton이상의 진동대 현황	80
<표 2-3> ICC-ES AC156 RRS Parameter	86
<표 2-4> 10g급 6자유도 진동대 장비의 세부 활용분야 및 범위.	93
<표 2-5> ICC-ES AC156 RRS Parameter	99
<표 2-6> 지진위험지역	100
<표 2-7> 지진위험지역	101
<표 2-8> 5g이상의 가속도를 구현 가능한 국내 6자유도 진동대 현황	104
<표 2-9> 1.5g이상의 최대적재하중 30ton이상의 진동대 현황	111
<표 2-10> 6자유도 진동대 현황	115
<표 2-11> 고성능 진동대 최소 추가 요구 장비	125
<표 2-12> 신설 및 개선 시 추정예산 비교	127
<표 2-13> 연차별 구축계획	130
<표 2-14> 국내 운전중 원자력발전소	137
<표 2-15> 국내 원자력 발전소 운전 현황	137
<표 2-16> 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교	139
<표 3-1> 해양에너지개발 실험시설 세부 활용분야 및 범위	143
<표 3-2> 최소 요구 장비 및 기능	161
<표 3-3> 제안 최소 요구 시설	162
<표 3-4> 최소 요구 장비 및 구축 방법	163
<표 4-1> 풍력 부문 기업 규모별 전주기적 차원에서의 애로사항	171
<표 4-2> 활용분야 및 실험영역	175
<표 4-3> 한국건설생활환경시험연구원	178

<표 4-4> 국내 기계/항공분야 주요 품동	179
<표 4-5> 국내외 장비수준	181
<표 4-6> 최소 요구 성능	185
<표 4-7> 최소 요구 사양	186
<표 4-8> 최소 요구 장비	186
<표 5-1> 국내외 장비수준	215
<표 5-2> 강성토조 시스템의 기능	220
<표 5-3> 실험동 사양	221
<표 5-4> 반력벽 사양	222
<표 5-5> 지반조성용 최소 요구사양	224
<표 5-6> 유압가력 장치 및 컨트롤 시스템 최소사양	225
<표 5-7> 기타 장비 최소 요구사양	225
<표 5-8> 1단계 실험시설 장비 성능개선 대상(보고서 226p. 표 3.5-72)	226
<표 5-9> 시설·장비 구축 방법	227
<표 6-1> Drum 원심모형시험기 특징	238
<표 6-2> 빙형 및 드럼형 센트리퓨지의 성능수준 비교	260
<표 6-3> 빙형 및 드럼형 센트리퓨지의 활용영역	261
<표 6-4> 최소 요구 성능	262
<표 6-5> 최소 요구 시설	263
<표 6-6> 최소 요구 장비	264
<표 7-1> 6자유도 고성능 Actuator 시스템의 세부 활용분야 및 범위	282
<표 7-2> 장비의 규격 및 사양	323
<표 7-3> 최소 요구시설 및 장비	325
<표 7-4> 장비 구축 방법	330
<표 7-5> 실험장비 구축 일정표	332
<표 8-1> 지역별 지진 발생 횟수 (기상청, 2014)	339
<표 8-2> 대형 진동대로의 성능개선에 필요한 최소 요구사항	389
<표 8-3> 대용량·대형 진동대 구축 방법	391
<표 8-4> 대형진동대로 개선에 필요한 최소 추가 요구 시설	391
<표 8-5> 대형진동대로의 성능개선에 필요한 최소 추가 요구 장비	382
<표 8-6> 대용량·대형 진동대 시스템 신설 및 기존 진동대 시스템 성능향상 시 추정예산 비교	394
<표 8-7> 대형진동대로 개선에 필요한 최소 추가 요구 시설	395

그 립 차 례

[그림 1-1] 대만 NCREE의 일체형 UTM (MATS: Multi Axis Testing System)	2
[그림 1-2] 초고층 빌딩(이미지: 서울DMC랜드마크) 및 초장대 교량(인천대교)	3
[그림 1-3] 최근 한반도 강진 발생 위치(iMBC)	4
[그림 1-4] 지진에 의한 교량붕괴 사례	4
[그림 1-5] 지진에 의한 건물붕괴 사례	4
[그림 1-6] A사의 교량받침 납품현황(최근 5년간)	4
[그림 1-7] B사의 교량받침 납품현황(최근 5년간)	4
[그림 1-8] 일체형 UTM을 활용한 Rubber Bearing 성능시험	5
[그림 1-9] MAURER-SOEHNE Friction Pendulum Sliding Bearing Test	6
[그림 1-10] 원자력발전소의 내진설계에 사용되는 면진장치 실험	6
[그림 1-11] RION-ANTIRION BRIDGE GREECE FIP Damper Test	7
[그림 1-12] 기존 공공시설물 내진보강 기본계획(소방방재청, 2011)	8
[그림 1-13] 기존 공공시설물 단계별 내진보강 기본계획(소방방재청, 2011)	9
[그림 1-14] 2,500kN STU 실험체	14
[그림 1-15] 4,500kN STU 실험체	14
[그림 1-16] STU 실험체 설치	14
[그림 1-17] 실험 시스템 구성 전경(측면)	15
[그림 1-18] 실험 시스템 구성 전경(정면)	15
[그림 1-19] 마찰판의 종류	16
[그림 1-20] 마찰진자받침 및 실험지그 설치	16
[그림 1-21] 실험 시스템 전경	17
[그림 1-22] 고성능 강재 인장강도 및 콘크리트 압축강도 실험	17
[그림 1-23] MATS 시스템 전경	18
[그림 1-24] 6자유도 시스템	18
[그림 1-25] BRB 성능 실험	19
[그림 1-26] Loading Command Model in Simulink	19
[그림 1-27] 점성댐퍼 형식	20
[그림 1-28] 점성댐퍼 형식	20
[그림 1-29] 댐퍼 정압시험 장비	21
[그림 1-30] 점성댐퍼 성능시험 장비	21
[그림 1-31] 대용량 UTM을 이용한 원형 구조물 성능 실험	22
[그림 1-32] EHDRB의 단면 구성	22
[그림 1-33] EHDRB의 거동 특성	23
[그림 1-34] EHDRB 성능 시험기 제원	24
[그림 1-35] EHDRB 성능시험기	24
[그림 1-36] 국내외 정적 UTM의 최대하중 비교	59
[그림 1-37] 국내외 동적 UTM의 최대하중 비교	59
[그림 1-38] 국내 정적 및 동적 UTM의 최대 스트로크 비교	60
[그림 1-39] 국내 5MN 이상 대용량 UTM의 로드속도 비교	60

[그림 1-40] 기존 반력구조물 제원	64
[그림 1-41] 기존 반력바닥 및 외부 반력패드	64
[그림 1-42] 20MN급 대용량 일체형 UTM(MATSU) 위치도	65
[그림 1-43] 기 운용중인 유압펌프 용량 및 하드라인	65
[그림 1-44] 기 운용중인 데이터 계측시스템	65
[그림 1-45] 기 운용중인 냉각시스템	66
[그림 1-46] 600kN급 오버헤드크레인	66
[그림 1-47] 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM의 구성도	67
[그림 1-48] 20MN급 일체형 UTM 설치 위치도	71
[그림 2-1] 빌딩용 수배전반	81
[그림 2-2] 효성의 245kV급 가스절연개폐장치	82
[그림 2-3] 히타치어플라이언스의 빌딩용 멀티 공조기와 대규모 업무용 공조시스템	82
[그림 2-4] 산업용 펌프시장의 규모(단위 : 억원, %)	83
[그림 2-5] 펌프시장 규모의 전망 (단위 : 억원)	83
[그림 2-6] 산업용 대형 펌프	83
[그림 2-7] ICC-ES AC156 required response spectrum	86
[그림 2-8] IEEE Std 693 High RRS, 0.5g	87
[그림 2-9] 가스절연개폐기	87
[그림 2-10] 가스절연개폐기 1BAY	87
[그림 2-11] 각 Zone에 따른 응답스펙트럼의 크기	88
[그림 2-12] 신울진 원전 1,2호기의 각 층에 따른 TRS 예	89
[그림 2-13] 3개의 배전반이 동일위치에 설치되는 경우	89
[그림 2-14] IEEE Std 382 Seismic qualification required input motion(RIM)	90
[그림 2-15] IEEE Std 382 Seismic qualification required response spectrum(RRS)	90
[그림 2-16] SESTEC Shake Table Performance Curve for X-axis(Horizontal)	91
[그림 2-17] SESTEC Shake Table Performance Curve for Z-axis(Vertical)	91
[그림 2-18] 설계스펙트럼가속도(건축구조설계기준)	96
[그림 2-19] 건축구조설계기준의 설계스펙트럼가속도(보통암지반(), 지진지역(1지역))	96
[그림 2-20] 전기통신설비의 내진 시험방법의 층응답스펙트럼	96
[그림 2-21] Sine beat test	97
[그림 2-22] IEEE Std 382 Seismic qualification required response spectrum (RRS)	98
[그림 2-23] IEEE Std 382 Seismic qualification required input motion (RIM)	98
[그림 2-24] ICC-ES AC156 required response spectrum	99
[그림 2-25] 지진위험지역	100
[그림 2-26] 각 Zone에 따른 응답스펙트럼의 크기	100
[그림 2-27] Zone 4의 RRS와 TRS	102
[그림 2-28] 지진방재연구센터 다지점가진 대용량 지진모사 실험장치 설치 평면도	129
[그림 2-29] 지진방재연구센터 다지점가진 대용량 지진모사 실험장치 상세도	129
[그림 2-30] 지진방재연구센터 고성능 진동대 설치(안)	129
[그림 2-31] 효성의 245kV급 가스절연개폐장치	135
[그림 2-32] 히타치어플라이언스의 빌딩용 멀티 공조기	135

[그림 2-33] 산업용 펌프시장의 규모 (단위:억원, %)	135
[그림 2-34] 펌프시장 규모의 전망 (단위 : 억원)	136
[그림 2-35] 산업용 대형 펌프	136
[그림 2-36] 국내 원자력 발전소 현황	137
[그림 3-1] 인하대학교 수조에서 조류발전 수리모형실험 수행 장면	144
[그림 3-2] 울돌목 시험조류발전소	145
[그림 3-3] 조류발전의 통수 성능 평가를 위한 평면 수리모형실험	145
[그림 3-4] 300kW 부유식 진자형 파력발전장치 수리모형실험 수행 장면	146
[그림 3-5] 산업자원부, 2007. 신재생에너지 RD&D전략 2030	147
[그림 3-6] 미국 해양에너지 분야 특허 등록 기술분야 추이(산업자원부, 2007. 신재생에너지 RD&D전략 2030)	148
[그림 3-7] 오레곤 주립대학교 실험시설에서 대형수리모형실험 수행 장면	148
[그림 4-1] 유럽의 해상풍력 발전 신규 설치 용량(2011-2030)	172
[그림 4-2] 해상풍력 발전 현황	173
[그림 4-3] 풍력발전기 풍동실험	177
[그림 5-1] 사면붕괴 및 부등침하	195
[그림 5-2] 지반조성용 가압토조의 구상도	198
[그림 5-3] 대형토조 시험 장치의 내부	199
[그림 5-4] 실험모형시험장치 계통도	199
[그림 5-5] 모형 토조 실험장비의 주요 구성	200
[그림 5-6] 강사기와 모형 토조	200
[그림 5-7] 실험조건별 사각형 강관 관입에 따른 강관 상부의 수평 변형률 추세	201
[그림 5-8] 실내모형 토조실험장치 개요 및 실험 전경	201
[그림 5-9] 모형토조 실험 전경	202
[그림 5-10] 대형 전단 토조 모식도	203
[그림 5-11] 내진보강 성능실험을 위한 토조재하 실험	204
[그림 5-12] 보강재의 최대 인발 저항 관계	205
[그림 5-13] 인발력 측정장비	206
[그림 5-14] 인발력 측정장치 모식도	206
[그림 5-15] 인발시험 후의 흙과 리브보강재 부착면의 전경	207
[그림 5-16] 반력벽 실험 예	222
[그림 5-17] 강사장치	223
[그림 5-18] 지반시험용 부대장비	223
[그림 5-19] 유압가력 장치 및 컨트롤 시스템	224
[그림 5-20] 현물 투자된 구조실험동 전경	228
[그림 5-21] 토조 위치 및 공간배치 모식도	229
[그림 6-1] 연약지반 조성 후 말뚝 관입 실험 사진	241
[그림 6-2] 대수심 지반의 슬라이딩 현상	241
[그림 6-3] 해양지반에서의 토석류 흐름 상사비 검증 실험	242

[그림 6-4] 토석류 재현 실험	243
[그림 6-5] 드럼센트리퓨지를 이용한 연약지반에 설치되는 Skirted 기초의 지반거동 특성 평가	243
[그림 6-6] 드럼센트리퓨지를 이용한 연약지반에 설치되는 Plate 앵커의 거동특성 평가	244
[그림 6-7] 초연약지반에 설치되는 파이프라인 거동 특성을 위한 지반 강도 특성 분석	245
[그림 6-8] 드럼센트리퓨지를 이용한 연약지반에 설치되는 파이프라인의 거동특성 평가	246
[그림 6-9] 연약지반에 설치되는 Skirted 기초의 인발 속도에 따른 지지력 특성 분석	246
[그림 6-10] 연약지반에 설치되는 복합형 기초의 VHM 지지력 특성 분석	247
[그림 6-11] 선행 설치 이력이 있는 연약지반에 설치되는 잭업(Jack-up) 구조물의 거동 특성 평가	248
[그림 6-12] 산사태로 인한 암석의 충격을 흡수재 평가 실험	249
[그림 6-13] 표면기초와 문힌기초의 거동 평가 수행	250
[그림 6-14] 단말뚝 및 군말뚝의 지지력 평가	250
[그림 6-15] Drum Centrifuge (Thomas Broadbent)	264
[그림 6-16] 프랑스 Actidyn 사에서 제안한 드럼 센트리퓨지 단면 및 부대장치	265
[그림 6-17] 1단계 기 구축 실험시설 개요 및 실험동 평면도	267
[그림 6-18] 장비 이동 및 설치를 위한 공간확보와 건축공사 평면도	267
[그림 6-19] 2013.03.26. 유지관리 리포트	269
[그림 6-20] 운영 및 관리계획	272
[그림 7-1] 6자유도 변위제어 시스템	279
[그림 7-2] 6자유도 구조실험 시스템	279
[그림 7-3] 준정적 실험의 개념도	284
[그림 7-4] 유사 동적실험의 개념도	285
[그림 7-5] 진동대 실험의 개념도	286
[그림 7-6] 진동대 실험 전경	286
[그림 7-7] 하이브리드구조실험의 개념도	287
[그림 7-8] 주요 부재의 하이브리드실험 예(교량 및 건축물)	287
[그림 7-9] 하이브리드구조실험 기법의 개념도	288
[그림 7-10] MOST experiment (부구조계 기법)	289
[그림 7-11] 한국철도기술연구원의 하이브리드실험시스템	290
[그림 7-12] MR댐퍼가 설치된 건축구조물의 하이브리드 시뮬레이션 개념도	291
[그림 7-13] TLD를 이용한 하이브리드실험의 개념도	291
[그림 7-14] Mini-Most를 이용한 하이브리드실험 모델	292
[그림 7-15] 진동대 실험(좌)과 미니모스트 실험(우)	292
[그림 7-16] 진동대 실험과 하이브리드실험 결과 비교	292
[그림 7-17] Experiment setup	293
[그림 7-18] Nonlinear hybrid test results	293
[그림 7-19] 콘크리트 실험체 형상	293
[그림 7-20] 철도차량 Bogie Frame 6자유도 실험	294
[그림 7-21] NEES 사업의 개념도	295
[그림 7-22] Shaking Table을 이용한 지진모사 실험	296
[그림 7-23] 교각(기둥)의 다자유도 성능 평가실험	297
[그림 7-24] 건물의 보-기둥 접합부 다자유도 구조실험	297

[그림 7-25] 교량 및 건물의 다양한 하중 모사용 시뮬레이터	298
[그림 7-26] 교량 및 건물의 다양한 하중 모사용 시뮬레이터 개념도	298
[그림 7-27] 2층 건물의 다자유도 내진성능 실험	298
[그림 7-28] 실모형 다층 건축물의 내진성능 평가실험	298
[그림 7-29] 고성능 Actuator를 조합하여 구성한 진동대 실험 시스템	299
[그림 7-30] 고성능 Actuator를 조합하여 구성한 진동대 구성도	299
[그림 7-31] 기존 하이브리드구조실험센터 건물 및 규모	325
[그림 7-32] 기존 반력구조물 제원	326
[그림 7-33] 기존 반력바닥 및 외부 반력패드 사진	326
[그림 7-34] 20MN급 대용량 일체형 UTM(MATSU) 위치도	326
[그림 7-35] 기 운용중인 유압펌프 용량 및 하드라인 사진	327
[그림 7-36] 기 운용중인 데이터 계측시스템	327
[그림 7-37] 기 운용중인 냉각시스템	328
[그림 7-38] 600kN급 오버헤드크레인	328
[그림 7-39] 기 운용중인 10MN급 로딩프레임	328
[그림 7-40] 6자유도 고성능 Actuator 시스템 구성도	329
[그림 8-1] 연도별 국내 지진발생 현황 (기상청, 2014)	339
[그림 8-2] 일본의 도심지역 지진 피해규모 예상(중앙일보, 2013)	339
[그림 8-3] 도심지역 지진발생시의 위험성	339
[그림 8-4] 지진재해대책법의 주요 내용	340
[그림 8-5] 지진재해대책법에 따른 재해우려 시설물	341
[그림 8-6] 국내 에너지원 별 발전비중 (한국전력, 2012)	341
[그림 8-7] 세계 원자력발전소 분포와 지진위험도 (Guardian, 2011)	342
[그림 8-8] 후쿠시마 원전사고 이후 국민 인식 조사 (박방주, 2012)	342
[그림 8-9] 발전원별 이산화탄소(CO2) 배출량 (IAEA, 2006)	343
[그림 8-10] 현재 운영/건설/계획/제안 중인 총 원전 기수 (삼성증권, 2010)	343
[그림 8-11] 2011~2015년 원자력 발전소 발주예상 물량 (삼성증권, 2010)	344
[그림 8-12] 발주국가의 다양성이 갖는 의미	344
[그림 8-13] 한국형 원자로의 구성	344
[그림 8-14] 층수별 지진피해 현황 (유홍식 등, 2014)	345
[그림 8-15] 조적조 저층 건축물의 지진피해 사례	346
[그림 8-16] RC조 저층 건축물의 지진피해 사례	346
[그림 8-17] 일본의 문화재 면진장치 적용사례	347
[그림 8-18] 이탈리아의 문화재 면진장치 적용사례	347
[그림 8-19] scale 내력벽식 구조물의 지진실험	349
[그림 8-20] 1/15scale 25층 탑상형 공동주택의 지진실험	349
[그림 8-21] 조적구조물의 구성 및 파괴거동 형태	351
[그림 8-22] 조적구조물의 해석방법	351
[그림 8-23] 기존 장비 성능개선을 통한 대용량·대형 진동대 시스템 구축 개념	355
[그림 8-24] 구조물 지진실험을 위한 옥외진동대	355
[그림 8-25] 지진방재연구센터 사장교 진동대 실험	355

[그림 8-26] 진동대 주요성능 지표	356
[그림 8-27] 일본 NIED에 설치된 진동대 실험 전경	357
[그림 8-28] San Diego에 설치된 야외 진동대	357
[그림 8-29] 지진모의실험 및 응답스펙트럼	358
[그림 8-30] 배관계통의 설치 모습과 응답스펙트럼	359
[그림 8-31] 진동대 전경 및 축소 모형 실험체 모습	359
[그림 8-32] 외부보강형 물탱크 실험 전경 및 센서 부착 위치	359
[그림 8-33] 가스개폐장치(GIS) 실험체 및 해석모형	360
[그림 8-34] 실험체 및 실험대상 별 가속도 응답	360
[그림 8-35] Laminar shear box	361
[그림 8-36] 일본의 E-Defense를 이용한 실구조물 내진성능평가 연구	361
[그림 8-37] 미국 SUNY Buffalo에서 수행한 2층 목조건축물의 실험 I	363
[그림 8-38] UCSD의 LHPOST를 이용한 실규모 기둥의 내진성능평가	363
[그림 8-39] 지진방재연구센터 확장플레이트(안)	389
[그림 8-40] SUNY Buffalo의 확장플레이트 설치 사례	390
[그림 8-41] 보관시설 공간배치 계획	391
[그림 8-42] 확장플레이트 설치형식	392
[그림 8-43] 공간배치 계획	395
[그림 8-44] 대용량·대형 진동대 시스템 구축 기대효과	400

제 1 장 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM

제 1 절 시절·장비 정의 및 목적

1. 정의

- 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM은 축방향 압축실험과 인장실험 및 피로실험을 주로 하는 일반 동적 UTM(Universal Testing Machine)에 초고속의 반복적인 수평력을 작용시킬 수 있는 3MN급의 고속 Actuator를 일체화한 장비를 의미하며, 대용량의 축력과 고속의 수평력을 동시에 작용시킬 수 있는 일체화된 UTM임
 - 일체형 UTM은 최대 20MN의 수직하중을 가한 상태에서 초고속(약 300mm/sec)의 수평 반복하중을 작용시켜 다자유도의 성능실험이 가능한 첨단 UTM임
 - 일체형의 UTM을 구성하고 있는 20MN급 UTM은 정적 20MN, 동적 12MN의 수직하중을 작용시킬 수 있는 국내 최대 용량의 실험 장비이며, 지금까지 이러한 용량의 장비가 필요한 실험들은 모두 외국의 실험시설에 의존함
 - 또한 9m 높이의 실험체를 실험할 수 있는 국내 최대 규모의 실험 장비로써 지금까지 외국의 실험시설에 의존했던 대형 부재 및 구조물의 실험들을 국내에서도 수행할 수 있는 실험 장비를 구축하고자 함
 - 현재 우리나라의 구조실험용 UTM은 정적 실험용으로는 10MN, 동적 실험용으로는 5MN이 최대 용량임. 하지만 건설 분야를 비롯한 여러 산업분야의 구조실험 수요는 점점 더 대용량의 장비를 요구하고 있으며, 이러한 실험을 뒷받침하기 위해서는 최소 본 장비 이상의 성능을 가진 UTM이 필요함
 - 수평방향의 3MN Actuator는 속도 의존성이 강한 구조체의 성능실험을 위하여 초고속의 성능을 구현할 수 있는 장비이며 현재 세계적으로 5개국 정도에서 보유하고 있으며 우리나라에서는 최초로 도입되는 장비임.
 - 일반적인 UTM(Universal Testing Machine)의 일축방향 하중제어와 더불어 수평방향의 하중을 동시에 작용시킬 수 있는 초고속의 유압가력기(Actuator)를 조합하여 수직방향과 수평방향의 하중을 동시에 도입함으로써 일반적인 일축방향의 UTM으로는 구현할 수 없는 다자유도의 실험을 비교적 쉽고 간단하게 수행할 수 있음.

2. 목적

- 수직하중과 수평하중을 동시에 작용시켜 첨단 다자유도 성능실험을 수행할 수 있는 세계 최고수준의 일체화된 UTM 구축
- 건설 분야의 고강도 구조부재 및 실모형 대형 구조체에 대한 강도와 내구성 평가 및 내진성능 평가를 위한 초고속의 실험장비 구축
- 원자력, 중공업, 철도, 기계분야 등 다양한 산업분야의 고강도 부재 및 구조체에 대한 기계적인 강도평가 및 내구성을 평가할 수 있는 실험장비 구축
- 기존의 소형 구조 UTM에서 수행하지 못하여 외국의 대형 실험시설에 의존했던 실험들을 국내에서도 비교적 간단하고 쉽게 할 수 있는 효과적인 실험장비 구축
- 초기에 많은 투자비용이 소요되는 일체형 초고속 대용량 UTM의 시스템 전반에 대한 신규구축보다는 기존의 대용량 유압펌프와 하드라인 및 부대시설을 활용하여 경제적으로 성능개선을 도모함으로써 효율을 극대화 할 수 있는 최고의 일체형 UTM 구축



[그림 1-1] 대만 NCREE의 일체형 UTM (MATS: Multi Axis Testing System)

제 2 절 구축 필요성 및 시급성

1. 구축 필요성

- 최근에 아이티, 칠레, 중국 등 전 세계적으로 대규모 지진으로 인한 인명 및 재산피해가 증가하고 있음. 우리나라도 과학적 지진관측을 시작한 1978년 이후 지진발생이 증가 추세에 있으며, 진도 5.0 이상의 지진 발생 횟수가 늘면서 한반도에서의 강진 발생 가능성이 더욱 커지고 있음. 이러한 지진기록 및 전문가에 의하면 우리나라도 지진의 안전지대가 아니라는 견해가 지배적임
- 원자력 발전소와 같은 국가 중요 시설물뿐만 아니라 고층건물에서 소규모 건축물에 이르기까지 다각적인 내진 대책마련이 필요하며, 특히 최근 들어 초고층 건축물이나 초장대 교량에 대한 시공이 증가하면서 지진뿐만 아니라 바람 등에 의한 구조물의 동적거동과 안전성 평가의 중요성이 매우 커지고 있음



[그림 1-2] 초고층 빌딩(이미지: 서울DMC랜드마크) 및 초장대 교량(인천대교)

- 구조물에 대한 지진의 피해를 최소화하기 위해서는 내진설계가 필수적이며 정확한 내진설계를 위해서는 주요 부재들에 대한 내진성능평가가 정확히 이루어져야 하며, 이를 위해서는 정확한 성능실험이 수반되어야 함
- 지진 발생 시 피해의 대부분은 건물 등 시설물의 붕괴로 이어지는데, 가장 중요한 대책 중의 하나가 시설물의 내진설계 및 내진보강임. 특히 2010년에 발생한 아이티 및 칠레의 지진피해 사례는 시설물 내진설계의 중요성을 잘 보여주는 사례로서, 국가에서는 이러한 사례를 통하여 기존 공공시설물의 내진보강 기본계획을 5년마다 수립하도록 의무화하였음



[그림 1-3] 최근 한반도 강진 발생 위치(iMBC)



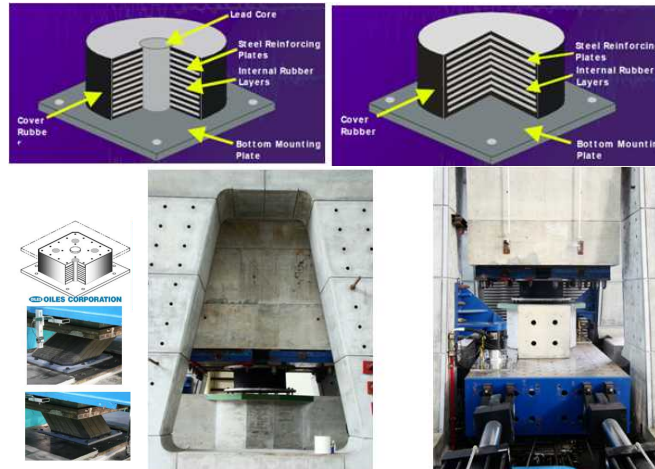
[그림 1-4] 지진에 의한 교량붕괴 사례



[그림 1-5] 지진에 의한 건물붕괴 사례

- SOC구조물의 내진등급 상향에 따른 교량 받침, 내진·면진 장치의 고용량화로 이들 제품에 대한 실증 성능평가 장비 필요
- 기존 국내 업체에서 보유한 일부 장비들은 자사 제품에 전용으로 제작되어 사용중이며 고속의 지진하중을 반영한 수직+수평 동시 가력에 한계가 많음
- 일반적으로 국내 시험장비의 용량·성능 부족과 업체간 기술보호 문제로 경쟁업체 시험장비 사용을 꺼려하여 국외 검증시험이 크게 증가하고 있음. 따라서 안전과 직결되는 2차 제품·장치들에 대해서는 국가적 차원에서 검인증을 할 수 있는 장비가 필요함
- * 국내 관련업체의 납품사례: 최근 5년간 실적을 보면 최대 8,000ton 용량까지 납품 사례가 있으나 대부분 2,000ton 이내로서 장비의 목표성능을 2,000ton으로 설정함

[그림 1-6] A사의 교량받침 납품현황(최근 5년간) [그림 1-7] B사의 교량받침 납품현황(최근 5년간)

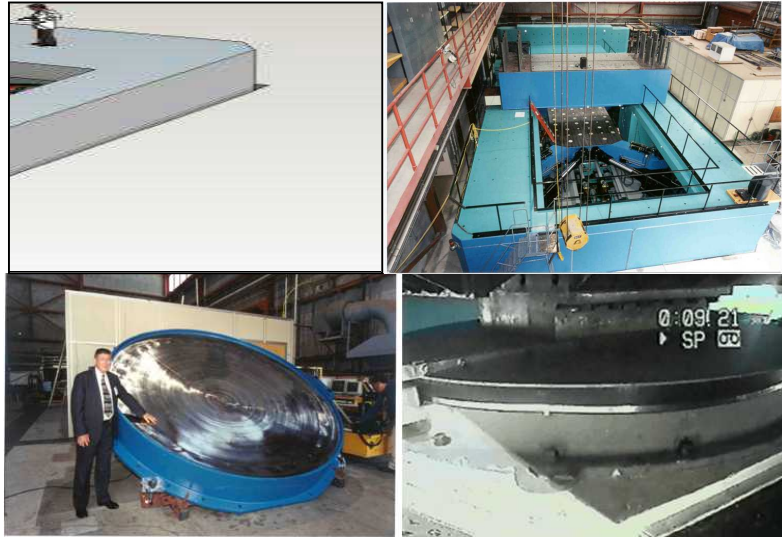


[그림 1-8] 일체형 UTM을 활용한 Rubber Bearing 성능시험

- 동적 12MN의 성능은 최근 극후판 고성능 강재 개발이 늘어나면서 과련 피로시험은 물론, STU(충격저감장치)와 같은 고성능 점성댐퍼 등의 성능시험에 활용
 - * 국내 최대 동적 UTM은 하이브리드시험센터 5MN으로, 거가대교 STU 전수시험을 수행하였으나 용량부족으로 최대 4.5MN까지만 검증함

- 기존 국내 장비들은 수평하중 용량이 1MN 이하의 작은 용량으로, 최근에 증가하고 있는 10~20MN 이상의 고성능 대용량 교량받침 등에 대해 상재하중을 받는 상태에서 횡하중 가력시 목표하는 시험성능 발휘가 불가능함
 - * 기존 장비로는 대용량 낙교방지장치, 댐퍼 등의 시험이 불가능
 - * 국내에서는 기존에 15MN의 마찰진자받침 성능시험에 대한 시험장비가 없어 작은 용량에 대해서 대체시험만 수행함
 - * 기타 교량 및 건축물 제진장치, 댐퍼성능 시험 등에 폭넓게 활용 필요

- 최근 다자유도(수직, 수평, 회전) 구현이 가능한 대용량 베어링이 증가하고 있으나 현재 국내에서는 시험이 가능한 장비가 전무
 - * 일체형 UTM에 기존 하이브리드구조시험센터에서 보유하고 있는 동적액츄에이터를 함께 구성하여 회전까지 고려할 수 있는 시스템 구축 가능



[그림 1-9] MAURER-SOEHNE Friction Pendulum Sliding Bearing Test

- o 원전구조물의 내진설계에 사용되는 면진장치의 경우, 중량의 상재하중을 탑재하여 실험을 수행하여야 하나, 성능실험을 위한 면진장치 보다 상재하중 중량물 제작비용이 크고 안전의 문제 등으로 실제 상재하중을 유압을 이용한 구현이 절실
- * 면진장치의 경우, 수평 지진가속도를 실시간 구현하여 실험을 수행하여야 하기 때문에 대용량 고속의 횡방향 액츄에이터가 함께 구비되어야 함
- * 현재 국내 시험장비로는 상재하중을 낮춰 낮은 용량의 면진장치만 시험하는 수준



[그림 1-10] 원자력발전소의 내진설계에 사용되는 면진장치 실험



[그림 1-11] RION-ANTIRION BRIDGE GREECE FIP Damper Test

- 3MN Dynamic Actuator는 동적 장비로는 세계적인 평균 이상의 장비이지만 속도 면에서는 평균 이하의 장비임. 하지만 최근에 추진하고 있는 우리나라의 기반시설물 보강방법에 대한 검증실험에서 요구하는 장비성능을 반영하여 가장 경제적인 장비사양으로 파악된 것이 하중용량 3MN, 최대속도 300mm/sec의 장비임.
- 소방방재청에서는 공공시설물의 내진보강 중장기 계획을 수립하기 위하여 2011년부터 2015년까지 5년 동안 시설물별로 내진성능평가 및 보강을 실시할 물량과 소요예산을 주요내용으로 하는 기본계획을 수립하여 진행 중에 있으며, 기본계획 기간의 내진보강 사업에 해당되는 시설물에 대해서는 우선순위를 정하여 진행 중에 있고, 2015년 이후에도 단계별로 5년씩, 총 5단계의 내진보강 계획을 수립하였음
 - * 소방방재청에서는 「지진재해대책법」 제15조 및 시행령 제11조에 근거하여 2010년 12월에 “기존시설물 내진보강 기본계획(11~15년)”을 수립하고 5년 단위로 추진 중에 있음.
 - * 특히 학교건물과 같은 공공건물의 내진성능이 취약하여 이에 대한 대책을 마련하여 추진 중에 있음.
 - * 전체 내진설계대상 시설물 31종 123,201개소 중 45,905개소(37%)는 내진성능확보(내진적용 29,104, 내진양호 15,385, 내진보강완료 1,416) 되었으나, 나머지 77,296개소(63%)는 내진보강이 필요한 것으로 파악됨.
 - * 내진보강이 가장 많이 필요한 시설물은 공공건축물(43,437개소), 학교시설물(15,851개소), 도로시설물(13,353개소) 순임.
 - * 내진보강이 필요한 시설물들의 대표 구조물에 대하여 다음 표와 같이 내진보강 가이드라인을 제시하였으며 이 중 교량받침, 낙교방지장치, 지진격리받침, 감쇠기 등의 성능을 확인하기 위해서는 하중용량 3,000kN 이상, 속도 300mm/sec 이상의 초고속 Actuator가 필요함.
 - * 최근 우리나라 기존 교량의 내진보강을 위하여 설계된 낙교방지장치의 성능이 하중용량은 약 2,500kN, 속도는 260mm/sec 이기 때문에 이에 대한 성능검증을 수행하기 위해서는 최소 제안사양 이상의 장비가 필요함.

<표 1-1> 주요구조물의 내진보강 가이드라인

주요구조물 및 액상화		내진보강 가이드라인
건축물		시스템 보강, 부재보강, 접합부보강 가이드라인
교량		교각, 교량받침, 낙교방지장치, 교대, 지진격리받침, 감쇠기 설치 등
지중구조물		슬래브 증가, 강판접착공법, 부재증설, 브레이싱 증설
상수도 및 매설관로	상수도 관로	관체 교체, 신축이음 추가설치·변경, 부분보수
	지하맨홀	슬래브 증가, 강판접착공법, 부재증설, 브레이싱 증설
댐	필댐	지반 물성치 개량, 간극 수압 조절, 제체 형상 변화,
	콘크리트댐	앵커공법, 부벽 설치공법, 그라우팅공법, 에폭시 주입공법
항만시설		활동·전도 보강, 말뚝 및 상부구조물 보강
기초구조물		기초개량, 기초단면 확대, 언더피닝공법, 앵커 정착공법
액상화		지하수위 저하공법, 진동다짐공법, 심부혼합공법
기타구조물		강화테 또는 보강 용접살 부착, 보수용접

- 이러한 정부의 시책에 따라 시설물에 대한 내진보강을 시행하기 위해서는 해당 구조물에 설치되는 보강 장치 및 시스템에 대한 충분한 성능검증이 사전에 담보되어야 하지만, 현실적으로 우리나라에서는 보강장치의 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정이며 최근에 교량 낙교방지장치 등과 같은 일부 보강장치를 국산화 하였지만, 그 성능을 평가할 수 있는 실험장비 및 시스템이 없어 대부분 외국의 실험시설에 의존함

시설명	연도	예산액 (단위: 백만원)				
		2011	2012	2013	2014	2015
국립중앙도서관	2011	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙박물관	2011	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙미술관	2011	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙과학관	2011	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙도서관	2012	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙박물관	2012	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙미술관	2012	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙과학관	2012	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙도서관	2013	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙박물관	2013	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙미술관	2013	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙과학관	2013	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙도서관	2014	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙박물관	2014	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙미술관	2014	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙과학관	2014	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙도서관	2015	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙박물관	2015	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙미술관	2015	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
국립중앙과학관	2015	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

[그림 1-12] 기존 공공시설물 내진보강 기본계획(소방방재청, 2011)

시설명	목적	합계 내진보강 기본계획				비고
		1단계	2단계	3단계	4단계	
1. 학교	100%	100%	100%	100%	100%	2,272
2. 연구소	100%	100%	100%	100%	100%	2,272
3. 공공기관	100%	100%	100%	100%	100%	2,272
4. 문화시설	100%	100%	100%	100%	100%	2,272
5. 의료시설	100%	100%	100%	100%	100%	2,272
6. 산업시설	100%	100%	100%	100%	100%	2,272
7. 기타	100%	100%	100%	100%	100%	2,272
합계	100%	100%	100%	100%	100%	2,272

[그림 1-13] 기존 공공시설물 단계별 내진보강 기본계획(소방방재청, 2011)

- 최근 한국철도시설공단에서 시행한 고속철도 교량의 내진보강공사에 적용된 낙교 방지장치에 대한 성능시험 및 판정은 다음 표와 같다. 6가지의 성능시험 중 가장 빠른 속도를 필요로 하는 성능시험을 수행하기 위해서는 300mm/sec 이상의 Dynamic Actuator가 필요함.

<표 1-2> 고속철도 교량의 낙교방지장치 성능시험 기준

검사항목	검사방법/조건	판정(측정)항목	판정기준	시험수량
정압시험	· 설계하중의 1.5배에 해당하는 입력으로 3분 유지	· 유체누출 · 물리적 결함확인	· 유체누출 · 실링 손상없음	전수시험
성능시험	· 하중-속도 관계측정, 최대속도에서 최대감쇠력 측정	· 최대속도 · 최대감쇠력	· 설계값의 ±15% 이내	전수시험
에너지 소산시험	· 최대속도로 설계지진 변위까지 왕복 10회 시험하여 이력곡선 면적(EDC)의 평균값을 측정	· 이력곡선면적(EDC)	· 설계값의 90% 이상	선별시험
내구성시험	· 전체 스트로크를 1800회 왕복하여 내구성시험	· 육안상 조사	· 유체누출 · 실링 손상없음	선별시험
마찰저항시험	· 시험속도 0.01mm/sec 이상 · 시험변위 허용이동량 · 반복사이클: 1회	· 발생 저항력	· 설계값의 10% 이내	선별시험
시례분석	· 시공실적 · 손상사례	· 실적유무 · 유체누출	· 실적유무 · 유체누출	

- 일부 시험의 경우에는 하이브리드구조시험센터에서 보유하고 있는 동적 5,000kN 장비를 이용하여 시험을 했지만, 최근 들어 낙교방지장치의 성능검증 기준이 더욱 엄격해져 국내에서는 성능시험이 불가능한 상황임. 이에 향후 진행되는 정부의 SOC 구조물 내진보강 사업의 성공적인 진행을 위해서는 해당 장치의 성능을 사전

에 검증할 수 있는 20MN급의 일체형 UTM을 조속히 갖추어야 함

- 2011년 일본 동북지방에서 발생한 최악의 지진에 의한 원자력발전소 사고 이후에 그 후유증이 여전히 남아있는 상황이며, 이러한 것을 이웃나라의 재앙만으로 생각하기 보다는 더 이상 우리나라도 지진에 대한 안전지대가 아니라는 인식하에 범 정부차원에서 그 대책을 마련하여 시행해오고 있음. 이 같은 정부의 노력과 보조를 같이하여 기존 SOC 구조물에 대한 내진보강 및 신설 구조물에 대한 내진설계가 강화되어 시행되고 있음
- 하지만 이러한 수요에 대한 대형 구조물의 내진성능 검증은 관련 기술개발 및 성능 검증에 대한 실험의 한계로 인하여 대부분 해석에 의한 검증이 주를 이루거나 실험을 한다고 하더라도 막대한 비용과 시간을 들여 외국에 의뢰해야만 하는 것이 현실임. 따라서 우리나라도 최신의 설계기술을 실험적으로 뒷받침할 수 있는 최신의 실험 장비인 “급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM”의 구축이 절실히 필요함
- 과거의 토목, 건축 등의 건설기술이 타 산업기술과의 융·복합을 통한 새로운 기술로 변화하고 있고 이에 따른 연구기반시설이 요구됨에 따라 건설관련 구조물 성능 실험 뿐만 아니라 원자력, 조선, 중공업 등 다양한 분야의 성능실험을 유기적으로 수행할 수 있는 국가적 차원의 실험 인프라를 확충할 필요가 있음. 이러한 면에서 급속 수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM은 그 활용도가 상당히 높을 것으로 예상되며 전반적인 산업분야에서 구조성능 검증용으로 조속히 구축하여 부가가치를 높일 필요가 있음
- 과거에는 실험 인프라의 규모 및 실험장비의 성능 부족으로 대형 구조물에 대한 성능실험 보다는 부재 단위의 성능실험을 수행한 후에 중첩하여 분석하였으나, 최근에는 실험장비의 성능개선 및 새로운 실험기법의 개발로 실물 크기의 구조물을 제작하여 다양한 종류의 실험을 수행하는 추세임. 이로써 구조물의 성능을 직접적이고 정확하게 파악할 수 있어 관련 기술개발이 더욱 용이하게 되었지만 현재의 실험 장비로는 기술발전의 속도를 뒷받침할 수 없게 됨에 따라 현실적으로 필요한 최고 성능을 갖춘 본 장비의 구축이 절실히 요구됨
- 하이브리드구조실험센터는 2003년에 기획되어 2009년에 완공되었으나, 당시 실험 장비의 요구사항 분석이 2004년도에 수행되어 실험장비의 기술수준이 현재 기준으로 약 10년이 경과함. 이러한 시간과 기술의 흐름을 감안하여 최근의 실험규모와 실험방법, 실험수요 등을 고려한 첨단 실험장비 개선이 절실함
- 상대적으로 연구 인프라가 취약한 중소기업, 대학 등의 연구지원을 위해서는 신규 연구 인프라를 확충하는 것 외에 기존 실험시설이 지속적으로 활용될 수 있도록 장비를 지속적으로 개선하고 추가로 확충하여 실험시설의 활용범위를 다양화할 필요가 있음. 즉 2단계 실험시설 구축 시 기존 1단계 실험시설에 대한 장비 업그레이드를 통하여 최근의 실험 동향을 반영한 최고 사양의 첨단 장비를 갖추는 필요가 있음

- 건설연구인프라 1단계 실험시설 6종이 2009년 완공되었으나 그 동안 건설 분야 시설물 등이 초대형화, 첨단화 되고 있는 여건에 맞추어 고사양화, 첨단화할 필요가 있으며, 실험장비 활용률을 제고하기 위해서는 시간경과 및 이에 따른 요구 성능 상향에 대응한 장비성능 업그레이드가 필수적임

2. 시급성

- 정부의 공공시설물 내진보강 중장기 계획에 따른 성공적인 사업수행을 위해서는 사전에 내진보강 구조 시스템에 대한 성능검증이 반드시 이루어져야 하며, 2014년 하반기부터 실질적으로 진행되는 공공구조물의 내진보강에 사용될 낙교방지장치나 교량받침 및 댐퍼 등의 성능실험을 수행하기 위해서는 실험장비의 조속한 구입, 설치가 필요함
- 현재 하이브리드구조실험센터에서 보유하고 있는 동적 5,000kN 장비를 이용해서는 일부 장치 및 구조물에 대한 실험만이 가능한 상황이며, 점점 더 대형화, 고속화의 성능을 요구하는 구조 시스템에 대한 성능검증 실험을 많은 비용과 긴 시간이 요구되는 외국의 실험시설을 이용하지 않고 경제적이고 효율적으로 진행하기 위해서는 실험장비의 조속한 설치가 요구됨
- 이와 같이 실험 장비의 조속한 구축을 통하여 우리나라에서 각 분야의 해당기술 개발을 위한 실험을 진행함으로써 관련 데이터를 확보하고 새로운 기술 및 제품을 개발하는 중장기적인 발판을 마련할 수 있음
- 건설연구인프라 1단계 실험시설 6종이 2009년에 완공되었으나 그 동안 건설 분야 시설물 등이 초대형화, 첨단화됨에 따른 요구 성능은 높아졌고 향후에는 더욱 높아질 것으로 예상되나, 실험 장비의 노후화 및 낮은 사양 등으로 인해 대규모 국가 예산이 투입된 연구시설의 활용률 저하가 우려되며, 다양한 기술개발 수요를 반영한 미래지향적 기술개발을 위한 실험장비의 확충이 시급함
- 정부차원의 국책연구과제 수행을 위한 관련 실험뿐만 아니라 대기업 및 중소기업의 기술개발과 제품개발을 위한 실험 수요가 대형화, 첨단화되고 있어 국가 차원의 경제적이고 시의 적절한 실험지원을 위해서 최대한 빠른 설치가 요구됨
- 다양한 공공, 공익적 기술개발 지원과 사회적 이슈 해결을 위해서는 정부주도의 연구 인프라 확충이 필요하며 건설기술의 실용화 촉진을 위한 관련 인프라의 공동 활용 촉진이 필요함. 다시 말해서 내구 연한이 도래하거나 현재 기술수준에 미치지 못하는 장비에 대한 조속한 교체 및 성능 업그레이드의 추진 지연 시 해외 실험시설에서의 성능실험이 불가피하고 이 경우에 관련 기술의 유출은 물론 외화낭비의 우려가 있음
- 최근 시설물의 대형화 및 첨단화에 따른 실 모형 구조 부재 및 구조물에 대한 성능

검증 실험 수요가 증가하고 있는 상황에서 일부 실험의 경우에는 하이브리드구조 실험센터에서 보유하고 있는 실험 장비를 활용하여 검증실험이 가능하나 그렇지 못한 대규모, 고성능 구조실험의 경우에는 여전히 해외에서 실험하는 사례가 많음. 따라서 이러한 실험들을 국내에서 수행하고 기술의 국산화 및 신기술의 해외유출을 방지하기 위해서 본 실험장비의 조속한 구축이 요구됨

- 발주처에서는 공인시험기관의 성적서를 제출하도록 하고 있으나 표준 시험기준 부재로 업체 자체 성적서로 대체되고 있거나 국외시험 또는 누락되는 경우가 많은 것으로 조사됨
- 국내 업체의 해외 수주가 늘고 있으나 국내에 제대로 된 시험장비 및 성능기준 부족으로 국제기준에 맞는 시험기준 및 시험장비 확보 필요

제 3 절 활용분야 및 범위

- 급속 수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM의 활용 분야는 크게 일반구조분야, 재료분야, 내진구조분야의 3분야로 분류함
 - 일반구조는 건설 분야를 비롯한 다양한 산업분야의 구조 부재 및 표준 시험편 등 규모가 크지 않은 보편화된 구조실험을 의미함
 - 재료분야는 각종 건설 재료들의 압축 및 인장강도 측정을 위한 실험분야를 의미하며 일반적인 UTM의 경우에 해당함
 - 내진구조분야는 구조물의 면진받침 및 교량의 낙교방지장치 등 기존 구조물의 내진보강과 신설 구조물의 내진설계에 반영되는 장치 및 구조시스템을 의미하며, 지진 시 순간적인 잠김을 유도하여 구조물의 극한상태 파괴를 방지하는 것을 의미함

<표 1-3> 다기능 고속 대용량 구조 UTM의 세부 활용분야 및 범위

분야	대표 실험 범위
일반구조분야	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 구조부재의 저속 정하중 실험과 고속 동적실험 ▪ 중소형 구조물의 휨 성능 및 압축 성능 등 일반 구조성능 실험 ▪ 강구조 용접부재의 피로실험 및 다양한 구조물의 반복 재하실험
재료분야	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 고강도 콘크리트 및 구조용 강재의 압축강도실험 ▪ 고강도 강재의 인장강도실험 ▪ 다양한 재료의 구조부재에 대한 휨강도 실험
내진구조분야	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지진 시 교량의 낙교를 방지하는 낙교방지장치의 성능 실험 ▪ 교량 받침 및 댐퍼 등의 동적 성능 실험 ▪ 지진파를 응용한 중소형 구조부재 및 면진제품의 성능 실험

제 4 절 국내의 관련 연구 동향

1. 연구개발 및 기술 동향

가. 국내 동향

□ 교량 낙교방지장치 개발 연구

- 본 연구에서는 Prototype 2,500kN과 4,500kN 실험체 각 1개와 Fast Movement Test(F.M.T)용 2,500kN 16개 및 4,500kN 8개의 실험체에 대한 실험을 수행함



[그림 1-14] 2,500kN STU 실험체



[그림 1-15] 4,500kN STU 실험체

- STU 실린더의 잠김 성능을 검증하기 위하여 5,000kN Dynamic UTM과 별도로 제작한 STU 실린더 설치용 지그를 이용하여 실험체를 설치함



[그림 1-16] STU 실험체 설치

- o Fast Movement Test는 구조물의 고속거동 시 STU의 작동성을 파악하기 위한 실험으로서 변위제어방식으로 실험을 진행하였으며, 제하속도는 2,500kN 실험체의 경우에는 2mm/sec, 4,500kN 실험체의 경우에는 4mm/sec로 제어하였다. 그리고 이때의 하중은 2,500kN 실험체의 경우에는 $\pm 2,350\text{kN}$, 4,500kN 실험체의 경우에는 $\pm 4,080\text{kN}$ 으로 하여 하중도달 시 최대변위의 크기를 파악함
- o Simulated Dynamic Test는 동적하중이 작용하는 동안에 STU의 잠김 성능을 파악하기 위한 실험으로서 하중제어방식으로 실험을 진행하였으며, 최대하중에서 발생하는 변위의 크기를 파악함
- o Overload Test는 사용 상태에서의 공칭하중을 초과하는 것에 대해 적절한 성능을 발휘할 수 있는지를 파악하기 위한 실험으로서, STU 공칭하중의 1.5배에 해당하는 하중이 작용했을 때 잠김 성능을 파악하고 STU 충전재의 누출여부를 파악함
- o Fatigue Test는 차량의 제동하중에 대해 충분한 피로성능을 발휘하는지를 파악하기 위한 실험으로서 차량 제동하중의 크기로 10만회를 반복함

□ 교량 면진받침 개발 연구

- o 본 실험에서 대상으로 하는 교량 면진받침의 내진성능 평가를 위한 실험을 수행하기 위하여 [그림 1-17]과 같이 시스템을 구성함
- o 연직하중을 재하하기 위하여 5,000kN Dynamic UTM을 사용하였고, 수평반복하중을 작용시키기 위하여 1,000kN Dynamic Actuator를 수평방향으로 설치하여 실험을 수행함



[그림 1-17] 실험 시스템 구성 전경(측면)



[그림 1-18] 실험 시스템 구성 전경(정면)

- o 본 실험에서는 수직방향의 압축실험(Ver. Comp)과 수직 및 수평방향의 동시 재하 실험(C&S)으로 나누어 실험함
- o 먼저 수직압축실험의 경우에는 하중제어방식으로 20kN/s의 일정한 속도로 하중을 작용시킨 후 일정한 하중단계에서 5분 동안 유지함. 수직 및 수평 동시 재하실험에서는 변위제어방식으로 실험을 수행하였으며, 도입하고자 하는 수직압축하중 상태

에서의 수직변위를 찾기 위하여, 각 실험체마다 사전에 하중제어를 통한 실험을 수행하여 본 실험에서 작용시키고자 하는 하중에서의 변위량을 찾은 후에 이때의 변위를 사용하여 변위제어방식으로 제어함

□ 교량 마찰진자받침 개발 연구

- 본 실험에서는 SSP와 UPE 형태의 마찰판을 싱글타입(FPS-S170)과 더블타입(FPS-D170)의 마찰진자받침에 부착하여 실험을 수행함



(a) SSP 마찰판



(b) UPE 마찰판

[그림 1-19] 마찰판의 종류



(a) 싱글타입(FPS-S170)



(b) 더블타입(FPS-D170)

[그림 1-20] 마찰진자받침 및 실험지그 설치

- 본 실험에서는 마찰진자받침의 성능을 평가하기 위하여 [그림 1-21]과 같이 실험 시스템을 구성함. 수직하중을 작용시키기 위하여 5,000kN Dynamic UTM을 사용하였고, 수평변위를 제어하기 위하여 1,000kN Dynamic Actuator를 수평방향으로 설치함
- 본 실험에서는 마찰진자받침의 형상에 따라 싱글타입과 더블타입으로 나누어 실험하였으며, 각 타입별로 5가지 종류의 실험을 수행함. 이 중에서 하중지지 성능실험의 경우에는 실험체와 수평방향의 유압가력기를 분리한 상태에서 실험하였으며, 온

도 의존성실험의 경우에는 실험체 주변을 보온용 비닐로 감싼 후에 온풍기를 이용하여 온도환경을 조절함



[그림 1-21] 실험 시스템 전경

□ 고성능 강재 인장강도 및 고강도 파일 압축강도 실험

- 최근에 개발되고 있는 고강도 강재 및 고성능 콘크리트 등의 강도 평가 및 성능 실험을 위해서는 고속 대용량의 UTM이 필요하지만 국내에서는 현재 하이브리드구조실험센터에서 보유하고 있는 5,000kN Dynamic UTM이 최고 성능의 장비임. 하지만 이 장비로도 실험하지 못하는 고강도 및 고성능의 재료실험을 상당부분 외국의 실험시설에 의존하고 있는 것이 현실임. 따라서 고강도, 고성능의 재료개발을 위한 기술적 뒷받침을 위해서는 초고속 수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 UTM을 조속히 구축해야 함



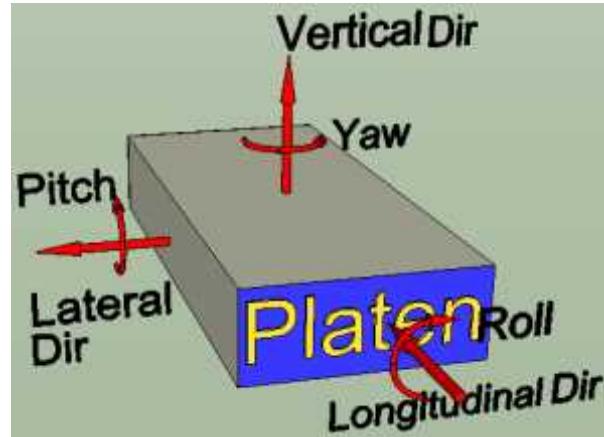
[그림 1-22] 고성능 강재 인장강도 및 콘크리트 압축강도 실험

나. 국외 동향

- Advanced Seismic Testing Using The Multi-Axial Testing System (MATS) In NCREE
 - Multi-Axial Testing System (MATA)는 NCREE에 있는 6자유도 내진성능 시스템임
 - A자 형태의 철근 콘크리트 프레임은 강합성 콘크리트 가로보로 연결되어 있고 철근 콘크리트 반력기초 시스템위에 고정됨
 - 상부 가로보와 하부 바닥사이에 설치할 수 있는 실험체의 크기는 높이가 5m이고 폭이 3.25m임
 - 최근에 점섬댐퍼 벽체, LRB 및 브레이싱된 기둥 좌굴실험 등의 다수 성능실험을 수행함
 - MATS는 개선된 하이브리드 지진 시뮬레이션 실험을 하기에 매우 효과적인 실험 시설임



[그림 1-23] MATS 시스템 전경

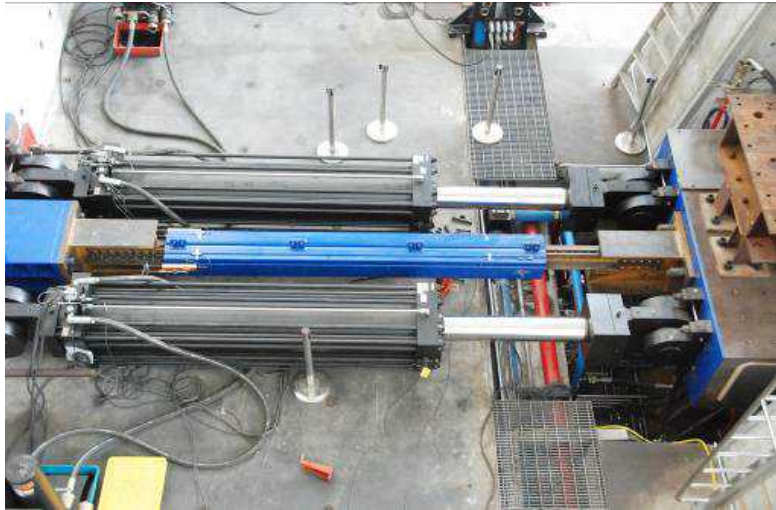


[그림 1-24] 6자유도 시스템

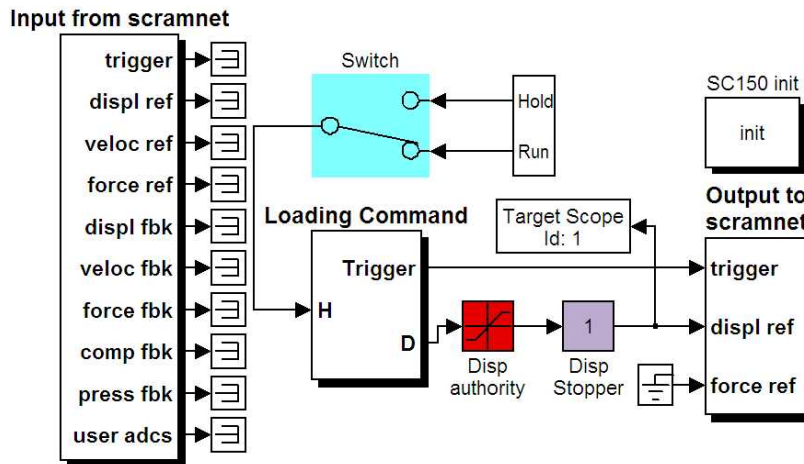
<표 1-4> MATS 시스템 성능

DOF	Type	Stroke	Velocity	Force
Longitudinal	Static	±1,200mm	±30mm/sec	+4.4MN, -3.54MN
	Dynamic	±500mm	±600mm/sec	±2MN
Lateral	Static	±100mm	±20mm/sec	±4MN
Vertical	Dynamic	+150mm	±60mm/sec	+30MN
	Static	+150mm	±10mm/sec	+60MN
Roll	Dynamic	±2°C	±0.06rad/sec	±8MN-meter
Pitch	Dynamic	±2°C	±0.05rad/sec	±27MN-meter
Yaw	Static	±2°C	±0.015rad/sec	±5.61MN-meter

기호가 "+" 방향을 나타냄.



[그림 1-25] BRB 성능 실험



[그림 1-26] Loading Command Model in Simulink

□ 내진보강 점성댐퍼 성능 실험

○ 시험의 목적

- 점성댐퍼(Viscous Damper)는 지진하중 등에 대한 큰 충격력을 부드럽게 수렴시켜 입력에너지를 효과적으로 흡수, 분산시키고 응답가속도와 변위를 효과적으로 제어하고, 온도변화에 따른 느린 변위 시에는 저항력을 최소화하는 장치로써 교량의 내진 성능 등의 구조적안정성을 확보하기 위한 중요한 부재임
- 따라서, 점성댐퍼에 대하여 전수시험과 샘플시험을 통하여 개별 제품의 연속성을 확인하고 특성 값이 설계조건에 적합한지를 확인함. 모든 시험의 과정에서 유체의 누출이 없어야 하며 물리적인 결함이 발견되지 않아야 함. 또한 시험 전·후 항복, 영구 변형, 뒤틀림 등의 현상이 발견되지 않아야 함
- 기 시공된 공급승인 시험성적서의 사전 성능검증은 단기간에 점성 댐퍼의 기본적인

성능을 확인할 수 있는 최소한의 요건이라 할 수 있으며, 고속철도 교량과 같이 장기간의 거동이 중요한 구조물에서는 단기간에 수행한 시험성적서 뿐만 아니라 장기 거동에 대한 면밀한 검토가 요구됨

- 점성댐퍼의 장기거동에 대한 성능검증(내구성 등)은 실내 시험만으로는 정확한 확인이 어려우므로 점성댐퍼의 실링재, 피스톤 재질, 오리피스 구조 등에 대한 구조검토와 더불어 시공실적이 풍부하며, 신뢰성이 입증된 제품을 선정하도록 하여야 함. 특히 제품 자체의 품질 문제로 인해 발생하는 누유 문제는 유지관리측면 뿐만 아니라 교량시스템의 내진성능에도 영향을 미칠 수 있으므로, 제품선정 시 국내외 누유사례 등에 대한 면밀한 검토를 통해 외부요인(시공불량, 설계오류, 설계지진을 초과하는 지진발생 등)이 아닌 제품 자체의 품질문제로 인해 누유 사례가 보고된 바 있는 제품들은 고속철도교량의 중요성 등을 감안하여 배제하도록 하여야 함에 목적이 있음

o 시험체

- 시험에 사용되는 시험체는 완제품 크기의 시험체임



[그림 1-27] 점성댐퍼 형식



[그림 1-28] 점성댐퍼 형식

o 시험 방법 및 판정

- 사전 성능검증을 통해 고속철도와 교량 등 장기간 거동에 대한 면밀한 검토가 요구됨

<표 1-5> 점성댐퍼 시험방법 및 판정기준

검사항목	검사방법/ 조건	판정 항목	판정기준
정압시험	<ul style="list-style-type: none"> 설계하중의 1.5배에 해당하는 압력으로 3분 유지 	<ul style="list-style-type: none"> 유체누출 물리적 결함확인 	<ul style="list-style-type: none"> 유체누출 실링 손상 없음
성능시험	<ul style="list-style-type: none"> 하중-속도 관계 측정, 최대속도에서 최대감쇠력 측정 	<ul style="list-style-type: none"> 최대속도 최대감쇠력 	<ul style="list-style-type: none"> 설계값의 ±15% 이내
에너지 소산시험	<ul style="list-style-type: none"> 최대속도로 설계지진변위까지 왕복 10회 시험하여 이력곡선 면적 (EDC)의 평균값을 측정 	<ul style="list-style-type: none"> 이력곡선 면적 (EDC) 	<ul style="list-style-type: none"> 설계값의 90% 이상
내구성 시험	<ul style="list-style-type: none"> 전체 스트로크를 1,800회 왕복하여 내구성시험 	<ul style="list-style-type: none"> 육안 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 유체누출 실링손상 없음
마찰저항 시험	<ul style="list-style-type: none"> 시험속도 : 0.01mm/sec 이상 시험변위 : 허용이동량 반복사이클 : 1회 	<ul style="list-style-type: none"> 발생 저항력 	<ul style="list-style-type: none"> 설계값의 10% 이내

○ 정압시험

- 설계 하중의 1.5배에 해당하는 압력으로 2시간 이상 유지
- 정압시험에 사용되는 장비는 'JARRET-STRUCTURES(France)의 시험장비를 이용함. 본 시험에 사용되는 장비는 설계하중을 재하 할 수 있도록 충분한 재하력을 가지고 있어야 하며, 완제품 시험체를 설치 할 수 있도록 충분한 공간을 확보할 수 있어야 함



[그림 1-29] 댐퍼 정압시험 장비

○ 성능시험

- 하중-속도 관계 측정, 최대속도에서 최대 감쇠력 측정



[그림 1-30] 점성댐퍼 성능시험 장비

○ 에너지 소산 시험

- 최대 속도로 설계지진변위까지 왕복 10회 시험하여 이력곡선 면적(EDC)의 평균값을 측정

○ 내구성 시험

- 전체 스트로크를 1,800회 왕복하여 내구성시험
- 댐퍼는 진폭이 최대 온도변위와 같아지는 1,800주기 동안 테스트함. (진폭 = ± 50 mm)
- 이 테스트의 목적 제품이 사이트에 설치된 동안 열효과에 의한 움직임 등에 버틸 수

있는지 확인하는 것임

- 댐퍼의 실행 사이클 수는 테스트 벤치에 설치된 카운터에 의해 계산됨

o 마찰저항 시험

- 시험속도 : 0.05mm/sec이상

- 시험변위 : 허용이동량

- 반복사이클 : 1회

□ 대형 강관구조물 강도실험

o 원형 강관과 같은 구조물은 상부와 하부 연결부가 힌지(Hinge)로 제작되는 구조실험 장비인 Actuator 보다는 안정적인 축방향력을 도입할 수 있는 UTM을 사용하면 안정적이면서도 비교적 간편하게 실험이 가능함. 특히 대형 구조물의 실험에서는 안전성과 경제성면에서 더욱 유리한 실험 수행이 가능함



[그림 1-31] 대용량 UTM을 이용한 원형 구조물 성능 실험

□ 초고감쇠 면진받침(EHDRB)

o 초고감쇠 면진받침 (EHDRB)은 고무와 철판의 적층으로 이루어진 받침 내부에 코어형 점성물질(Viscous Material)을 삽입하여 LRB, 종전의 HDRB의 온도의존성, 내구성, 반복하중에 대한 안정성 문제를 해결하는 동시에, 점탄성거동을 통해 보다 우수한 감쇠성능을 지닌 면진장치로써 내진기술 선진국인 유럽과 미국에서 최신키술로 인정받고 있음

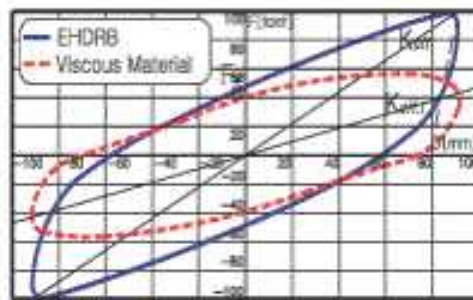
o EHDRB의 구성 및 역할



[그림 1-32] EHDRB의 단면 구성

- 보강철판 : 고무의 수직하중 지지능력을 극대화시킴
- 내부고무 : 수평방향 유연성 (Flexibility)을 제공. 교축 및 직각방향 회전에 대한 유연성 (Flexibility)을 제공
- 덮개고무 : 내부고무의 열화를 방지하여 사용수명을 연장
- 상하철판 : 고무에 전달되는 응력을 분산시킴
- 점성재료 : 속도의존성 재료로서 온도 신축에 쉽게 변형함. 상시 풍하중에 대해 강하게 저항하여 상시 교량의 사용성 확보. 지진시 금속보다 우수한 감쇠기능을 제공함. 받침 복원시 저항력 최소화

o EHDRB의 거동 특성



[그림 1-33] EHDRB의 거동 특성

- 수직하중 : 일반강재받침과 같이 거동함
- 풍하중 : 코어형 점성물질의 큰 강성으로 저항함
- 온도신축 : 수직하중의 5% 미만의 하중전달
- 회전 : 고무의 유연성으로 회전수용
- 지진하중 : 고무의 유연성으로 장주기화
- 코어형 점성물질의 큰 감쇠성능으로 지진력 저감

o EHDRB의 특성

- 경제성 : 받침의 일반기능과 감쇠기능을 위한 요소를 구분하여 매우 경제적인
- 온도영향 : 온도의존성이 종전의 HDRB보다 낮아 국내 사용환경에 적합함
- 적용성 : 한 개의 장치로 면진장치의 모든 기능이 가능하여 적용이 용이함
- 내구성 : 내구성이 우수하고 사용수명이 김. (30년 이상)
- 설계지진을 수차례 경험하여도 EHDRB와 교량의 손상이 전혀 없음.
- 유지관리 : 별도관리가 필요 없고 지진종료 후 보수없이 재사용이 가능하므로 반영구적임
- 내진성능 : 점탄성 특성으로 다양한 특성의 지진에 대해 우수한 성능을 발휘함

o EHDRB의 품질관리 시험 항목

- 수직압축시험 : 받침의 수직하중 지지능력 확인 (육안검사)
- 압축전단시험 : 받침의 유효강성 측정 (설계치와 비교)
- 전단파괴시험 : 받침의 에너지 소산능력 측정 (설계치와 비교)



[그림 1-34] EHDRB 성능 시험기 제원



[그림 1-35] EHDRB
성능시험기

다. 소결

- o 일반 UTM은 다양한 구조 부재의 압축강도 평가 실험과 케이블 및 강재의 인장강도 평가 실험 및 인장부재의 용접이음 등에 대한 피로강도 평가 실험 등 다양한 분야의 재료실험 및 구조실험에 활용됨
- o UTM을 이용하면 비교적 소형 부재에 대한 실험을 간단하게 수행할 수 있고 기둥의 좌굴강도 평가와 같이 불안정한 실험을 비교적 안전하게 수행할 수 있음. 그리고 구조부재 및 구조물에 대한 장기간의 반복 재하실험을 비교적 안정적으로 수행할 수 있어 대부분의 국내외 연구기관 및 실험시설에서 기본적으로 보유하고 있는 장비 중의 하나이며 어떤 장비보다도 그 활용도가 상당히 높은 것으로 파악됨
- o 국내에서 보유하고 있는 기존의 UTM에서는 초고속의 순간적인 잠김을 요구하는 낙고방지장치와 같은 장치의 성능 실험을 수행하기에는 무리가 있으며, 국외에서도 상위 5곳 정도의 실험실에서만 보유하고 있어 실험을 의뢰하여 끝마치기까지 상당한 시간과 비용이 소요됨. 따라서 이러한 국가적 낭비를 방지하기 위하여 우리도 세계적 규모의 첨단 실험 장비를 빠른 시일 내에 갖추어야 함


- 미국 AASHTO 기준에서 요구하는 교량 면진받침 성능실험을 위해서는 큰 힘의 수직하중뿐만 아니라 빠른 속도의 수평하중도 작용시켜야 하는데, 국내에 있는 기존의 UTM으로는 수직하중의 용량이 부족할 뿐만 아니라 빠른 속도의 수평하중을 재하할 수 있는 초고속 Actuator를 보유하고 있는 기관이 없음. 또한 대용량의 수직하중과 초고속의 수평하중을 동시에 재하하기 위해서는 실험장비의 설계에서부터 장비의 안정성을 담보할 수 있는 설계 및 제작이 이루어져야 함
- 따라서 기존의 일반적인 UTM 기능을 최대한 발휘하면서 고강도 대형 구조물의 실험을 수행할 수 있고 수평방향의 하중을 동시에 작용시켜 낙교방지장치 및 면진받침 등의 성능실험을 실질적이고 합리적으로 수행할 수 있는 장비의 구축이 필요함

2. 시설·장비 구축현황

가. 국내 현황

□ 10 MN UTM : RIST 강구조연구소

- 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능 구조시험기
- 위치: 인천시 송도
- 기타 보유장비 : 대용량 유압그립

장비명	10 MN UTM	보유기관	RIST 강구조연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 최대능력: 압축 10 MN, 인장 10 MN, 휨 ±2 MN • 시험범위: 압축 7 m, 인장 5 m, 휨 35 m • Max Stroke: 1,000 mm • Piston Speed: 100 mm/Min • Column 간격: 1.5 m X 3 m 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 10 MN 하중까지 소재물성실험 및 구조실험 가능 • 최대 폭 3 m, 길이 35 m인 실대형 및 축소 실험체의 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 및 건축 구조실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 • 기계 및 중장비의 성능실험 • 원자력 구조물의 성능실험 		
장비사진			

□ 3 MN UTM : RIST 강구조연구소

- 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능 구조시험기
- 위치: 인천시 송도
- 기타 보유장비 : 대용량 유압그립

장비명	3 MN UTM	보유기관	RIST 강구조연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조시험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 최대능력: 압축 3 MN, 인장 3 MN, 휨 ± 1.5 MN • 시험범위: 압축 5 m, 인장 5 m, 휨 10 m • Max Stroke: 400 mm • Piston Speed: 100 mm/Min • Column 간격: 1.2 m X 0.55 m 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 3 MN 하중까지 소재물성시험 및 구조시험 가능 • 최대 폭 1.2 m, 길이 10 m인 실대형 및 축소 실험체의 시험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 및 건축 부재시험 • 교량받침 및 교각의 성능시험 • 기계 및 중장비의 성능시험 • 원자력 구조물의 성능시험 		
장비사진			

□ 30 MN Cable Fatigue Testing Machine : RIST 강구조연구소

- 개요: 토목 및 건축에 사용되는 각종 케이블의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 소재물성시험기
- 위치: 인천시 송도
- 기타 보유장비

장비명	30 MN Cable Fatigue Testing Machine	보유기관	RIST 강구조연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 사용되는 각종 케이블의 구조성능 및 피로성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 최대능력: 인장 30 MN, 피로 18 MN • 주파수: ±5 mm 일 때 1 Hz (Under Loading) • 실험범위: 길이 5 m, 직경 0.53 m • Max Stroke: 500 mm 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 30 MN 하중까지 케이블 인장실험 가능 • 최대 18 MN 하중까지 케이블 피로실험 가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 케이블 강도실험 및 내구성 실험 • 기타 원형 또는 형강 부재 인장 및 피로실험 		
장비사진			

□ 15 MN Cable Leak-tightness Testing Machine : RIST 강구조연구소

- 개요: 토목 및 건축에 사용되는 각종 케이블의 누설방지 관련 정·동적 성능을 파악하기 위한 시험기
- 위치: 인천시 송도
- 기타 보유장비

장비명	15 MN Cable Leak-tightness Testing Machine	보유기관	RIST 강구조연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 사용되는 각종 케이블의 구조성능 및 피로성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 수직력: 최대 15 MN • 수평력: 최대 ±500 kN • Max Stroke: ±150 mm • 온도조절장치: 온도범위 70℃ (수직 수두 3 m) • 시험체 크기: 길이 5 m, 직경 0.43 m 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 온도범위 70℃에서 케이블 누설방지 실험 가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 및 건축 케이블 누설방지 실험 		
장비사진			

□ 2 MN Dynamic UTM : RIST 강구조연구소

- 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- 위치: 인천시 송도
- 기타 보유장비 : 대용량 유압그립

장비명	2 MN Dynamic UTM	보유기관	RIST 강구조연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 최대능력: 압축 2 MN, 인장 2 MN, 휨 ±0.5 MN • 시험범위: 압축 6 m, 인장 5.5 m, 휨 15 m • Max Stroke: 400 mm • 주파수: ±6 mm 일 때 5 Hz • Column 간격: 3 m X 2 m 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 2 MN 하중까지 피로실험 및 구조실험 가능 • 최대 폭 3 m, 길이 15 m인 실대형 및 축소 실험체의 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 및 건축 부재실험 및 구조실험 • 교량받침 및 교각의 내진성능실험 • 기계 및 중장비의 피로 내구성실험 • 원자력 구조물의 내진성능실험 		
장비사진			


□ 5 MN Dynamic UTM : 명지대학교 하이브리드구조실험센터

- 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- 위치: 경기도 용인
- 기타 보유장비 : 대용량 유압그립

장비명	5 MN Dynamic UTM	보유기관	명지대학교 Hystec
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 최대능력: 압축 5 MN, 인장 5 MN • 시험범위: 압축 5 m, 인장 4 m, 휨 30 m • Max Stroke: 500 mm • Piston Speed: 40 mm/s • 주파수: ±10 mm 일 때 1 Hz • Column 간격: 1.5 m X 0.75 m 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 5 MN 하중까지 정·동적 구조실험 가능 • 최대 폭 1.5 m, 길이 30 m인 실대형 및 축소 실험체의 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 및 건축 부재 및 구조실험 • 교량받침 및 교각의 내진성능실험 • 기계 및 중장비의 피로 내구성실험 • 원자력 구조물의 내진성능실험 		
장비사진			

□ 2.5 MN Dynamic UTM : 포스코 기술연구소

- 개요: 금속소재 및 구조부재의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- 위치: 경상북도 포항
- 기타 보유장비 : 대용량 유압그립

장비명	2.5 MN Dynamic UTM	보유기관	포스코 기술연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 소재물성실험 및 부재 단위 구조실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 최대능력: 압축 2.5 MN, 인장 2.5 MN • 시험범위: 압축 2.5 m, 인장 2.5 m • Max Stroke: 250 mm • Piston Speed: 120 mm/s • 주파수: ±10 mm 일 때 3 Hz • Column 간격: 0.75 m X 0.6 m 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 2.5 MN 하중까지 정·동적 구조실험 가능 • 최대 폭 0.75 m, 높이 2.5 m인 금속소재 및 구조부재의 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 금속소재의 인장 및 피로실험 • 콘크리트소재의 압축 및 피로실험 • 교량 및 건축 부재실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 		
장비사진			

□ Universal Railway Structure Testing Machine : 한국철도기술연구원

- 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 2축 만능구조시험기
- 위치: 경기도 의왕
- 기타 보유장비

장비명	Universal Railway Structure Testing Machine	보유기관	한국철도기술연구원
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 철도, 궤도, 건축 등 다양한 분야에서 모형 또는 실대형 크기의 실험체에 대한 정·동적 구조실험 및 성능검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 최대능력: 압축 2.5 MN, 인장 2.5 MN, 수평 0.5 MN • Vertical Loading 2.5 MN Actuator (Stroke 150 mm, ±1.5 mm에서 5 Hz) • Horizontal Loading 0.5 MN Actuator (Stroke 100 mm, ±5 mm에서 5 Hz) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 2.5 MN 하중까지 정·동적 구조실험 가능 • 수직하중 재하상태에서 최대 0.5 MN 하중까지 수평반복 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 철도구조물 정·동적 성능평가 시험 • 교량 및 건축 부재 및 구조실험 • 교량받침 및 교각의 내진성능실험 • 기계 및 중장비의 피로 내구성실험 		
장비사진			

□ 30 MN 납면진 받침시험기 : 유니슨이앤씨

- 개요: 내진보강부재 및 낙교방지장치의 정·동적 성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 2축 구조시험기
- 위치: 충청남도 천안
- 기타 보유장비

장비명	30 MN 납면진받침시험기	보유기관	유니슨이앤씨
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 사용되는 내진보강장치, 신축이음장치, 낙교방지장치 등의 내진성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Vertical Loading 30 MN Actuator • Horizontal Loading Actuator 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 30 MN 하중까지 수직력 재하실험 가능 • 수직하중 재하상태에서 수평반복 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 및 건축 부재실험 • 교량 및 건축 부재의 내진성능실험 • 교량받침 및 교각의 내진성능실험 • 원자력 구조물의 내진성능실험 		
장비사진			

□ 2 MN 피로시험기 : 유니슨이앤씨

- 개요: 내진보강부재 및 낙교방지장치의 정·동적 성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 1축 구조시험기
- 위치: 충청남도 천안
- 기타 보유장비

장비명	2 MN 피로시험기	보유기관	유니슨이앤씨
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 사용되는 내진보강장치, 신축이음장치, 낙교방지장치 등의 내진성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Vertical Loading 2 MN Actuator 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 2 MN 하중까지 인장, 압축 및 피로실험 가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 및 건축 부재실험 • 교량 및 건축 부재의 내진성능실험 • 교량받침 및 교각의 내진성능실험 • 원자력 구조물의 내진성능실험 		
장비사진			

□ ELASTOMERIC BRARING TESTING MACHINE : 동일고무벨트

- 개요: 내진보강부재의 정·동적 성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 2축 구조시험기
- 위치: 부산광역시 금정
- 기타 보유장비

장비명	ELASTOMERIC BRARING TESTING MACHINE	보유기관	동일고무벨트
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 사용되는 내진보강장치의 내진성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Vertical Loading 30 MN Actuator (Stroke 800 mm, Max Speed 4.7 mm/s) • Horizontal Loading 10 MN Actuator (Stroke 800 mm, Max Speed 10 mm/s) • Maximum Specimen Size: 2 m(W) x 2 m(D) x 1 m(H) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 30 MN 하중까지 수직력 재하실험 가능 • 수직하중 재하상태에서 최대 10 MN 하중까지 수평반복 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 고무관련 성능실험 • 교량 및 건축 부재의 내진성능실험 • 교량받침 및 교각의 내진성능실험 		
장비사진			

□ TRIAXIAL ELASTOMERIC BRARING TESTING MACHINE : 동일고무벨트

- 개요: 내진보강부재의 정·동적 성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 3축 구조시험기
- 위치: 부산광역시 금정
- 기타 보유장비

장비명	TRIAXIAL ELASTOMERIC BRARING TESTING MACHINE	보유기관	동일고무벨트
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 사용되는 내진보강장치의 내진성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Vertical Loading 2 MN Actuator (Stroke 300 mm, Max Speed 64 mm/s) • Horizontal Loading 750 kN Actuator (Stroke 600 mm, Max Speed 64 mm/s) • Vertical Loading 200 kN Actuator (Stroke 20 mm, Max Speed 64 mm/s) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 2 MN 하중까지 수직력 재하실험 가능 • 수직하중 재하상태에서 최대 0.75 MN 하중까지 수평반복 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 고무관련 성능실험 • 교량 및 건축 부재의 내진성능실험 • 교량받침 및 교각의 내진성능실험 		
장비사진			

나. 국외 현황


□ Multi-Axial Testing System(MATS) : NCREE in Taiwan

- o 개요: A자 형태의 철근 콘크리트 프레임과 강합성 콘크리트 가로보로 구성된 6자유도 내진성능 시스템으로 하이브리드 지진 시뮬레이션 실험을 수행하기에 효과적인 실험 장비임
- o 위치: Taiwan

장비명	Multi-Axial Testing System (MATS)	보유기관	NCREE in Taiwan
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 6자유도의 하이브리드 시뮬레이션 실험 및 면진장치 등의 성능 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Longitudinal Static +4.4MN, -3.54MN, ±1,200mm, ±30mm/sec • Longitudinal Dynamic ±2MN, ±500mm, ±600mm/sec • Lateral Static ±4MN, ±100mm, ±20mm/sec • Vertical Dynamic +30MN, +150mm, ±60mm/sec • Vertical Static +60MN, +150mm, ±10mm/sec • Roll Dynamic ±8MN-meter, ±2°C, ±0.06rad/sec • Pitch Dynamic ±27MN-meter, ±2°C, ±0.05rad/sec • Yaw Static ±5.61MN-meter, ±2°C, ±0.015rad/sec 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 수직하중 정적 60MN, 동적 30MN 까지 구조실험 가능 • 수평 길이방향으로 정적 4.4MN, 동적 2MN까지 구조실험 가능 • 6자유도 구조실험이 가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 및 건축 부재실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 • 기계 및 중장비의 성능실험 • 원자력 구조물의 성능실험 		
장비사진			


□ 30 MN UTM : Academy of Building Research Institute

- 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- 위치: Japan
- 기타 보유장비

장비명	30 MN UTM	보유기관	Academy of Building Research Institute
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 30 MN System • Crosshead Mounted Actuator • 13 Meter Test Space • Strong Floor Integration 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 30 MN 하중까지 구조실험 가능 • 최대 높이 13 m 실대형 및 축소 실험체의 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 및 건축 부재실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 • 기계 및 중장비의 성능실험 • 원자력 구조물의 성능실험 		
장비사진			

□ 20 MN UTM : China Academy of Sciences

- 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- 위치: China
- 기타 보유장비

장비명	20 MN UTM	보유기관	China Academy of Sciences
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 20 MN System • Crosshead Mounted Actuator • 10 Meter Test Space • Strong Floor Integration 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 20 MN 하중까지 구조실험 가능 • 최대 높이 10 m 실대형 및 축소 실험체의 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량, 건축 부재 및 구조실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 • 기계 및 중장비의 성능실험 • 원자력 구조물의 성능실험 		
장비사진			

□ 15 MN Dynamic UTM : Laboratorio Generalitat

- o 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- o 위치: Spain
- o 기타 보유장비

장비명	15 MN Dynamic UTM	보유기관	Laboratorio Generalitat
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 15 MN System • Crosshead Mounted Actuator • Strong Floor Integration to 10 Meter Specimen Length • 8 Meter Vertical Test Space 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 15 MN 하중까지 정·동적 구조실험 가능 • 최대 높이 8 m, 길이 10 m인 실대형 및 축소 실험체의 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량, 건축 부재 및 구조실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 • 기계 및 중장비의 성능실험 • 원자력 구조물의 성능실험 		
장비사진			

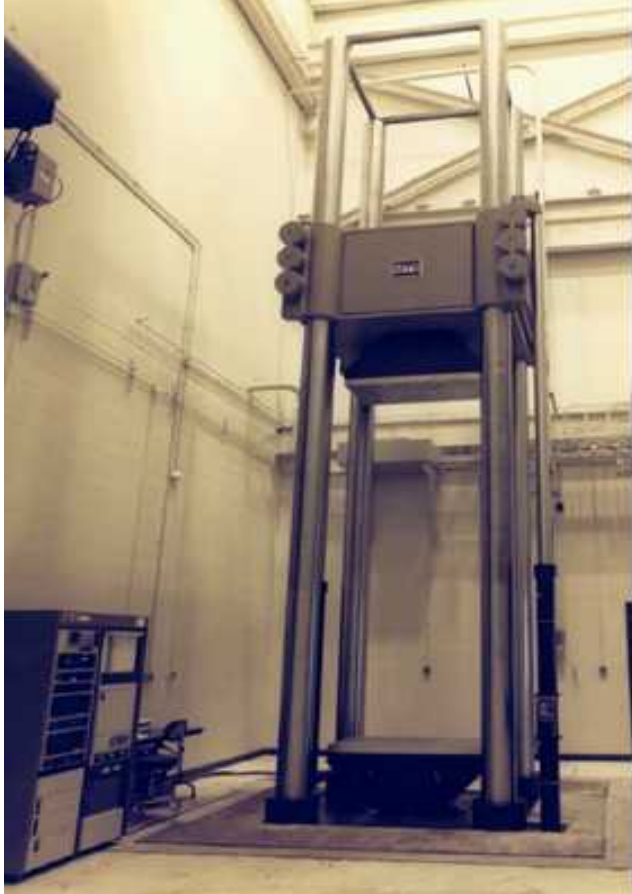
□ 15 MN Dynamic UTM : Centre for Frontier Engineering Research

- o 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- o 위치: Canada
- o 기타 보유장비

장비명	15 MN Dynamic UTM	보유기관	Centre for Frontier Engineering Research
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 15 MN System • Crosshead Mounted Actuator • Cold Chamber Integration • Strong Floor Integration 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 15 MN 하중까지 정·동적 구조실험 가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량, 건축 부재 및 구조실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 • 기계 및 중장비의 성능실험 • 원자력 구조물의 성능실험 		
장비사진			

□ 10 MN Dynamic UTM : Boeing Aircraft

- o 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- o 위치: Seattle
- o 기타 보유장비 : 대용량 압축판

장비명	10 MN Dynamic UTM	보유기관	Boeing Aircraft
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 10 MN Dynamic Capacity • Baseplate Mounted Actuator • Self Reaction Design 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 10 MN 하중까지 정·동적 구조실험 가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량, 건축 부재 및 구조실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 • 기계 및 중장비의 성능 실험 • 원자력 구조물의 성능실험 		
장비사진			


□ 10 MN Dynamic UTM : Ecole Polytechnique de Montreal

- o 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- o 위치: Canada
- o 기타 보유장비

장비명	10 MN Dynamic UTM	보유기관	Ecole Polytechnique de Montreal
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • ±10 MN Dynamic Capacity • Crosshead Mounted Actuator • 10 ft. x 3 ft Column Spacing 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 10 MN 하중까지 정·동적 구조실험 가능 • 최대 폭 3 m 실대형 및 축소 실험체의 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량, 건축 부재 및 구조실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 • 기계 및 중장비의 성능 실험 • 원자력 구조물의 성능실험 		
장비사진			

□ 5 MN UTM : University Laval - Quebec

- o 개요: 구조부재 및 중소형 구조물의 정적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- o 위치: Canada
- o 기타 보유장비

장비명	5 MN UTM	보유기관	University Laval - Quebec
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 부재 단위 구조실험 및 구조물 단위의 구조성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 1140 kip (5 MN) Compression • 800 kip (3.5 MN) Tension • Crosshead Mounted Actuator • 5 Meter Test Space • 6 ft. x 2.5 ft Column Spacing 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 5 MN 압축 및 3.5 MN 인장 구조실험 가능 • 최대 폭 1.8 m에 높이 5 m까지 실대형 및 축소 실험체의 실험가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 교량, 건축 부재 및 구조실험 • 교량받침 및 교각의 성능실험 • 기계 및 중장비의 성능 실험 • 원자력 구조물의 성능실험 		
장비사진			

□ 10 MN Horizontal UTM : Exxon

- 개요: 강관 파이프 및 케이블 등의 정적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- 위치: Houston
- 기타 보유장비

장비명	10 MN Horizontal UTM	보유기관	Exxon
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 파이프 및 케이블 등 부재의 성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 10 MN Horizontal Frame • Pipe and Cable Testing • Self Reaction Frame Design • Tension, Compression and Bending 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 10 MN 하중까지 인장, 압축 및 휨 실험 가능 • 실험장치가 수평으로 설치되어 있음 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 강관의 압축실험 • 케이블의 인장실험 • 교량 및 건축 부재실험 • 내진보강장치의 성능실험 		
장비사진			

□ 10 MN Horizontal UTM : US Bureau

- o 개요: 케이블 등의 정적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 만능구조시험기
- o 위치: Mines
- o 기타 보유장비

장비명	10 MN Horizontal UTM	보유기관	US Bureau
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 케이블 등 부재의 성능 검증 실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 10 MN Horizontal Frame • Cable Testing • Self Reaction Frame Design • Tension and Compression 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 10 MN 하중까지 인장 및 압축 실험 가능 • 시험장치가 수평으로 설치되어 있음 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 케이블 등의 인장실험 • 교량 및 건축 부재실험 • 내진보강장치의 성능실험 		
장비사진			

다. 소결

- 초고속의 수평하중과 대용량의 수직하중을 동시에 재하할 수 있는 일체형 UTM은 국내는 물론 세계적으로도 보유하고 있는 기관이 1곳 정도에 불과하며 그 희소성이 상당히 큰 것으로 파악됨
- 지금까지는 일축방향의 하중만 작용시키는 UTM이 일반적이었지만 가능하면 실제 구조물의 작용하중을 모사할 수 있는 다자유도 UTM의 수요가 증가하고 있는 추세임
- 세계적으로 30MN의 UTM이 정적 최대용량이며 본 사업에서 구축하고자 하는 “급속 수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM”은 동적용량으로 볼 때 세계 최고 수준의 일체형 시스템인 것으로 파악됨
- 고강도 강재의 용접부 피로성능 실험과 같이 장기간의 시간이 요구되는 실험의 경우에 시간 및 비용 절감 등의 경제적인 실험을 위하여 더욱 향상된 고속의 고성능 UTM이 필요함
- 초장대 교량 및 초고층 건축물의 건설에 따른 관련 성능 실험도 대형화되고 있는 추세이며 이러한 추세를 반영한 기술개발을 위하여 대용량의 부재를 실험할 수 있는 장비 구축이 필요함
- 지금까지 외국의 실험시설에 의존했던 대용량 낙교방지장치 및 교량 받침 등을 국내에서 수행하기 위해서는 20MN의 정적 수직하중과 2MN 이상의 동적 수평하중을 동시에 가할 수 있는 초고속 대용량 UTM이 필요함
- 극후판 및 고강도 강재의 용접부 등에 대한 인장강도 등을 평가하기 위해서는 현재 국내 최대용량인 5,000kN Dynamic UTM 이상의 대용량 UTM이 필요함
- 고강도 강재의 용접부 피로성능 실험과 같이 장기간의 시간이 요구되는 실험의 경우에 시간 및 비용 절감 등의 경제적인 실험을 위하여 초고속의 고성능 UTM이 필요함
- 기업체의 연구소에서 10MN 용량의 실험 장비를 보유하고 있지만 공공의 용도로 쉽게 사용하기에는 어려운 실정임
- 대형 시험체를 실험하는 경우에 기존의 UTM으로는 설치공간의 제약 때문에 불편하고 어렵기 때문에 상대적으로 넓은 설치 공간 및 작업공간을 확보할 수 있는 대형 UTM이 필요함

<표 1-6> 국외 실험장비 현황 비교

구분	장비명 (기관,국가)	규격, 규모		성능, 사양			비고
		최대 하중(MN) Stc./Dyn.	최대 변위 (mm)	피스톤 속도 (mm/s)	실험 최대높이 (m)	기동 폭 (m)	
1	30 MN UTM (Academy of Building Research Institute, Japan)	30/-	-	-	13	-	Static 전용
2	20 MN UTM (China Academy of Sciences, China)	20/(15)	-	-	10	-	부분 Dynamic
3	15 MN Dynamic UTM (Laboratorio Generalitat, Spain)	15/15	-	-	8	-	Dynamic
4	15 MN Dynamic UTM (Centre for Frontier Engineering Research, Canada)	15/15	-	-	-	-	Dynamic
5	10 MN Dynamic UTM (Boeing Aircraft, United States of America)	10/10	-	-	-	-	Dynamic
6	10 MN Dynamic UTM (Ecole Polytechnique de Montreal, Canada)	10/10	-	-	-	3	Dynamic
7	5 MN UTM (University Laval - Quebec, Canada)	5/5	-	-	5	1.8	Dynamic
8	10 MN Horizontal Frame UTM (Exxon, United States of America)	10/10	-	-	-	-	Dynamic
9	10 MN Horizontal Frame UTM (US Bureau, United States of America)	10/10	-	-	-	-	Dynamic
최고수준		30/15			13	3	
제안 장비 성능수준 (최고수준대비)		70/80(%)			70(%)	100(%)	

※ 최대하중을 “정적용량/동적용량”으로 나타내었으며, ()는 정적용량 대비 일반적인 동적용량을 추정된 값임

※ 기호 “-”는 장비 보유기관의 미공개로 알 수 없음

※ 다만 NCREE의 Multi-Axial Testing System(MATS)은 6자유도 진동대를 조합한 특수 실험장비로 본 비교 대상에서는 제외함

<표 1-7> 국내 실험장비 현황 비교

구분	장비명 (기관, 국가)	규격, 규모		성능, 사양			비 고
		최대 하중(MN) 수직/수평	최대변위 (mm) 수직/수평	속도 (mm/s) 수직/수평	실험 최대높이 (m)	기둥 폭 (m)	
1	10 MN UTM (RIST, 한국)	10/-	1,000/-	1.67/-	7	3	Static 전용
2	3 MN UTM (RIST, 한국)	3/-	400/-	1.67/-	5	1.2	Static 전용
3	5 MN Cable Leak-tightness Testing Machine (RIST, 한국)	5/1.0	300/100	-	-	-	Static 전용
4	2 MN Dynamic UTM (RIST, 한국)	2/-	400/-	120/-	6	3	Dynamic
5	5 MN Dynamic UTM (Hystec, 한국)	5/-	500/-	40/-	6	1.5	Dynamic
6	2.5 MN Dynamic UTM (POSCO 기술연구소, 한국)	2.5/-	250/-	120/-	2.5	0.75	Dynamic
7	Universal Railway Structure Testing Machine (한국철도기술연구원, 한국)	2.5/1.0	150/100	30/100	-	-	Dynamic
8	2 MN 피로시험기 (유니슨이앤씨, 한국)	2/-	500/-	-	-	-	Dynamic
최고수준		10/0.5	1,000/100	120/100	7	3	
제안 장비 성능수준(최고수준대비)		200/300 (%)	75/750(%)	70/300 (%)	130(%)	100 (%)	

3. 종합분석

- 국내에서 보유하고 있는 기존의 UTM에서는 초고속의 순간적인 잠김을 요구하는 낙교방지장치와 같은 장치의 성능 실험을 수행하기에는 무리가 있으며, 국외에서도 상위 5곳 정도의 실험실에서만 보유하고 있어 실험을 의뢰하여 끝마치기까지 상당한 시간과 비용이 소요됨. 따라서 이러한 국가적 낭비를 방지하기 위하여 우리도 세계적 규모의 첨단 실험 장비를 빠른 시일 내에 갖추어야 함
- 미국 AASHTO 기준에서 요구하는 교량 면진받침 성능실험을 위해서는 큰 힘의 수직하중뿐만 아니라 빠른 속도의 수평하중도 작용시켜야 하는데, 국내에 있는 기존의 UTM으로는 수직하중의 용량이 부족할 뿐만 아니라 빠른 속도의 수평하중을 재하할 수 있는 초고속 Actuator를 보유하고 있는 기관이 없음. 또한 대용량의 수직하중과 초고속의 수평하중을 동시에 재하하기 위해서는 실험장비의 설계에서부터 장비의 안정성을 담보할 수 있는 설계 및 제작이 이루어져야 함
- 따라서 기존의 일반적인 UTM 기능을 최대한 발휘하면서 고강도 대형 구조물의 실험을 수행할 수 있고 수평방향의 하중을 동시에 작용시켜 낙교방지장치 및 면진받침 등의 성능실험을 실질적이고 합리적으로 수행할 수 있는 장비의 구축이 필요함
- 초고속의 수평하중과 대용량의 수직하중을 동시에 재하할 수 있는 일체형 UTM은 국내는 물론 세계적으로도 보유하고 있는 기관이 1곳 정도에 불과하며 그 희소성이 상당히 큰 것으로 파악됨
- 세계적으로 30MN의 UTM이 정적 최대용량이며 본 사업에서 구축하고자 하는 “급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM”은 동적용량으로 볼 때 세계 최고 수준의 일체형 시스템인 것으로 파악됨
- 현재 세계적으로 UTM 실험이 가능한 최고높이는 13m이고 국내에서의 최고 실험높이는 7m로 본 일체형 UTM의 실험높이는 국내 최고높이로써 지금까지 수행하지 못했던 높이의 실험을 어느 정도 해소할 수 있을 것으로 파악됨
- 피로실험과 같이 장기간의 시간이 요구되는 경우에 시간 및 비용 절감 등의 경제적인 실험을 위하여 더욱 고성능의 UTM이 필요하며, 실험 규모도 대형화되고 있는 추세이기 때문에 이러한 추세를 반영한 기술개발을 위하여 대용량의 부재를 실험할 수 있는 장비 구축이 필요함
- 지금까지 외국의 실험시설에 의존했던 대용량 낙교방지장치 및 교량 받침 등을 국내에서 수행하기 위해서는 20MN의 정적 수직하중과 2MN 이상의 동적 수평하중을 동시에 가할 수 있는 초고속 대용량 UTM이 필요함
- 대형 시험체를 실험하는 경우에 기존의 UTM으로는 설치공간의 제약 때문에 불편하고 어렵기 때문에 상대적으로 넓은 설치 공간 및 작업공간을 확보할 수 있는 대형 UTM이 필요함

제 5 절 기존 시설·장비와 차별성

1. 장비의 중복성 검토(NTIS 검색)

가. 장비구축 자체 검토의견(종합)

총 4개의 관련 Keyword(구조 UTM, 고속 UTM, 대용량 UTM, 다기능 UTM)를 사용하여 장비의 중복성을 검토함.

- 관련 키워드를 통한 NTIS 검색 결과 현재 국내에 UTM 관련 장비가 다수 존재함
- 하지만 대부분의 경우 재료시험용 UTM이며 대용량 구조시험용 UTM은 특정 구조체 및 생산 제품의 성능 실험을 위한 전용 장비로 사용됨
- 면진받침 성능시험용 20MN 용량의 장비가 있지만 특정 제품의 전용으로 사용되고 있어 일반 구조 재료의 동적시험용으로 사용이 불가함
- 고속의 동적 반복실험이 가능한 동적 UTM으로는 하이브리드구조시험센터의 5,000kN UTM이 최고 사양의 장비이며, 이 정도의 사양으로는 현재 및 향후의 대용량 고속 실험수요에 대응하기에 부족한 것으로 판단됨
- 세계적으로 교량 받침 등의 성능시험이 가능한 다축 방향의 하중을 도입할 수 있는 장비는 없는 것으로 확인되었으며, 향후의 실험수요에 대비하기 위하여 우선적으로 구축해야 할 장비로 판단됨
- 위 결과를 토대로 제안 장비와 기존 장비의 중복성은 없는 것으로 판단됨

나. 국가연구시설장비 공동활용서비스 NTIS(<http://nfec.ntis.go.kr>) 검색 결과

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소)	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표성능 비교	구축 예정 장비 신청기관의 자체 검토의 견
1	5MN 대형구조재료 시험기(5MN testing machine) NFEC-2010-05-083 33	Shimadzu	계명대학교	2009	2,408	5MN Large-sized construction material tester	<ul style="list-style-type: none"> • Capacity : 5MN Force range • Main Size : 8200(H:Max) Column to Column : 3000mm 휨 · 압축 시험높이 : 5000mm Bending Span : 23000mm Actuator Stroke : 500mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 저속(4mm/s < 80mm/s) • 저용량(5MN < 20MN) • 고속실험 불가
2	고속인장충돌시험기 NFEC-2012-03-161 799	삼연기술	부산대학교	2011	430	High speed material testing system	<ul style="list-style-type: none"> • Loading frame <ul style="list-style-type: none"> - High Stiffness, Horizontal type - Size: Approx 13,000(L) × 1,500(W) × 2,800(H)mm • Dynamic Actuator 1set <ul style="list-style-type: none"> - Impact Force: 1,000kN - Stroke: 1,000mm - Testing Speed: 20m/sec이상 - Load Cell: ±2,000kN 	<ul style="list-style-type: none"> • 일방향 충돌시험장비 • 양방향 반복실험 불가

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소)	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표성능 비교	구축 예정 장비 신청기관의 자체 검토의 견
3	300톤 만능재료 시험기 NFEC-2009-01-069 945	삼연기술	한국건설기술 연구원	2008	150	3,000kN capacity universal testing machine	<ul style="list-style-type: none"> - Hydraulic Actuator를 Cross head 상부에 탑재 - Column 수 : 2 EA - 시험공간 : 3,000(L) * 1,400(W) * 2,000(H)mm - 최대시험조건 : 3,000kN 	<ul style="list-style-type: none"> • 저속(4mm/s < 80mm/s) • 저용량(3MN < 20MN) • 고속실험 불가
4	철도구조물 성능 시험기 NFEC-2009-07-073 867	삼연기술	한국철도기술 연구원	2009	1,188	Universal Railway Structure Testing Machine	<ul style="list-style-type: none"> • 정/동적 시험을 수행하는 시험설비로 2,500kN의 수직 Actuator, 500kN의 수평 Actuator 	<ul style="list-style-type: none"> • 철도구조물 전용 장비 • 저용량(2.5MN < 20MN) • UTM 장비가 아님
5	동적재료시험기와 정적가력시스템 NFEC-2009-10-073 825	삼연기술	부산대학교	2009	191	Dynamic Material Testing Machine and Static Loading	<ul style="list-style-type: none"> • 1,000kN 동적 및 정적하중 시험을 위한 Loading Frame 1 Set • 1,000kN 동적 유압서보 Actuator 1 Set • 유압식인장그립시스템, 압축시험용 지그 및 힘시험용 지그 1 Set 	<ul style="list-style-type: none"> • 저용량(1MN < 20MN) • Actuator 속도 부족 (100mm/s < 300mm/s) • 급속수평하중 실험 불가 • 일방향 UTM • 다자유도 대용량 실험 불가

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소)	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표성능 비교	구축 예정 장비 신청기관의 자체 검토의 견
						System	<ul style="list-style-type: none"> 정적 재하시험이 가능한 정적유압가력시스템 1 Set 	
6	스프링시험기 NFEC-2007-12-049 188	유응연 제작 소	한국철도기술 연구원	2007	381	Spring Tester	<ul style="list-style-type: none"> 최대하중 : 수직 40톤, 수평 10톤 - 장비형식 : 4 Column, UTM장비 - 동력전달 : 유압식 - 운전제어 : 자동제어방식 	<ul style="list-style-type: none"> 스프링 성능시험 전용 장비 구조물 성능시험 불가
7	100톤급 인장압축 시험기 NFEC-2013-05-179 107	한국기계연구 원	한국기계연구 원	2013	319	100tf Tension compression fatigue tester	<ul style="list-style-type: none"> - Max. Force : 1,000 kN - Stroke : ±125 mm - Frequency : 50 Hz - Load cell : 1,200 kN - Servo valve : 760 L/min @ 20 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> 저용량(1MN < 20MN) 재료시험용 피로시험기 구조물 성능시험 불가 다자유도 내진성능시험 불가
8	만능재료시험기 (4495) NFEC-1999-09-035 328	Instron	경기도지방중소 기업청	1998	390	Universal Testing Machine	<ul style="list-style-type: none"> - Force 1,200kN 	<ul style="list-style-type: none"> 저용량 (1.2MN < 20MN) 정적 UTM 고속 피로시험 불가

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소)	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표성능 비교	구축 예정 장비 신청기관의 자체 검토의 견
9	만능재료시험기 (SM3026) NFEC-2000-05-037 826	Wolpert Werkstoffpr uefmachine AG	기술표준원	1982	158	Universal Testing Machine	- Force 3,000kN - Exotensometer 200mm	<ul style="list-style-type: none"> • 저용량 (3MN < 20MN) • 재료시험용 UTM • 구조물 시험 불가 • 고속 피로시험 불가
10	자이언트 Actuator 시험장비 NFEC-2008-08-063 013	한국기계연구 원	한국기계연구 원	2008	299	Giant Actuator Test Equipment	- 외부 치수 : L 46 m × W 1.8 m × H 1.8 m - Test Load : max. 500 ton - 작동 Stroke : 13.5 m - 작동 속도: 최대 5mm/s	<ul style="list-style-type: none"> • 수리, 수문분야에 특화된 시험장비 • 구조물 시험에는 부적합 • 저속(5mm/s < 80mm/s)

2. 차별화 및 특성화 방안

가. 장비 구축 주안점

- 수행 가능한 실험의 범위를 세계적 수준의 첨단장비로 설정함
 - 세계적으로 초장대 교량 및 초고층 건축물 등의 대형 구조물에 대한 성능 실험을 위하여 실험장비도 대형화, 첨단화되는 추세를 반영하여 수직하중 20MN과 300mm/sec의 초고속 수평하중을 작용시킬 수 있는 일체화된 UTM 구축
 - 실험장비의 수요 예측에 따른 효율성을 확보하고 다방면으로 활용할 수 있는 운영 체계를 구축해야 함

- 예산 등 제한된 범위 내에서 최고 성능의 장비를 구축하는 것은 불가능하므로 다음의 요건을 고려하여 실험 장비를 구축함
 - 가장 수요가 많을 것으로 예상되는 분야의 실험을 집중적으로 수행할 수 있도록 구축해야 함
 - 대학 등 일반 연구기관에서 안전/인증에 큰 무리 없이 구축/활용 가능한 장비를 구축해야 함
 - 구축 후 활용/유지관리에 과도한 비용이 소요되지 않도록 구축해야 함

- 실험 장비의 효율을 극대화할 수 있는 설치 공간 확보가 필요함
 - 기존 실험시설에 실험 장비의 적절한 배치를 통해 다른 실험과의 상호 영향을 최소화 시켜야 함
 - 운영 효율성 확보를 위해 제어시설 및 보조 장치 등을 적절히 배치하여 공간 활용 및 작업 환경의 효율적인 배치가 이루어져야 함.
 - 실험 장비의 유지관리 및 실험 중 안전을 확보하기 위한 비상 통로 확보 등 공간배치를 고려할 필요가 있음
 - 실험 장비의 조립, 해체, 수리를 위한 공간 활용이 가능하도록 공간 확보를 고려할 필요가 있음
 - 고속, 대용량의 실험 장비이기 때문에 운영에 필요한 에너지 및 유압 펌프의 용량과 유압 배관 등의 용량이 충분한지를 사전에 충분히 검토할 필요가 있음
 - 향후 추가 장비 배치 및 실험 공간의 간섭, 실험 확장성 등을 고려한 공간 배치가 필요함

□ 실험 장비 운영의 안전성 확보가 필요함

- 실험 시 발생하는 소음이나 파편 등의 위험을 방지하기 위해 그물막 등 비산물질을 막을 수 있는 안전장치와 방음시설의 설치가 필요함
- 극한강도 평가 실험 시 발생할 수 있는 실험체의 파괴는 대형사고로 이어질 수 있으므로 안전벽 등의 안전시설 설치가 고려되어야 함
- 대형 실험 장비의 특성상 사소한 1차 사고는 2차의 대형사고로 이어질 수 있기 때문에 실험 시 이중의 안전장치를 설치할 수 있는 방안이 강구되어야 함

나. 차별성 및 특성화

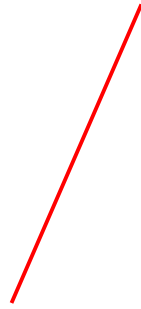
□ 국내 기존의 유사 실험 장비와 비교하여 최초 또는 월등한 성능을 가진 실험 장비로서 특히 대형 구조물 성능 실험과 고속의 반복 재하실험 및 다양한 구조실험을 수행할 수 있도록 특화된 국내 유일의 실험 장비이며 외국의 장비와 비교하여도 최고 수준의 실험 장비임

□ 관련분야의 다양한 실험 장비를 함께 보유하여 상승적 결합 효과가 기대됨

- 기존의 고속 동적 Actuator 및 대용량 정적 Actuator를 같이 활용함으로써 실험 장비의 응용분야가 상당히 넓어져 다양한 실험이 가능함
- 기존의 UTM에 대한 제한적 활용에서 탈피하여 다양한 기능을 수행할 수 있는 장비로 활용하고자 함

□ 국내 최대 및 세계 상위 수준의 실험장비 구축

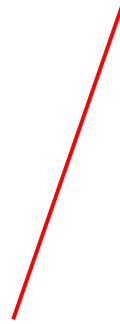
- 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM은 정적하중 및 동적하중 면에서 세계 최상위 수준의 구조용 UTM임
- 실험 장비의 최대 스트로크 자료가 공개되어 있는 국내의 UTM만을 비교해 볼 때 역시 최상위권의 사양을 확보함
- 실험 장비의 속도 데이터가 공개된 국내 5MN 이상 대용량 UTM의 최고속도는 40mm/sec이며 하이브리드구조실험센터에서 일체형으로 구축하고자 하는 20MN의 최고속도는 80mm/sec로 국내 최고사양임
- 이와 같이 국내외적으로 경쟁력 있는 최상위권의 장비를 구축함으로써 우리나라 건설 신기술 개발 및 신재료 개발의 발판이 되는 실험 장비를 보유할 수 있고, 지금까지 외국에 의존함으로써 겪었던 불편과 기술 유출 및 경제적 손실의 문제를 다소 해결할 수 있음



[그림 1-36] 국내의 정적 UTM의 최대하중 비교



[그림 1-37] 국내의 동적 UTM의 최대하중 비교



[그림 1-38] 국내 정적 및 동적 UTM의 최대 스트로크 비교



[그림 1-39] 국내 5MN 이상 대용량 UTM의 로드속도 비교

다. 소결

- 기존의 실험시설 내에 해당 장비를 설치함으로써 별도의 공간을 확보할 필요가 없어 경제적인 장비 구축이 가능함
- 실험 장비를 가동시키기 위한 유압펌프 및 유압배관의 경우에 기존 장비에 다소 업그레이드하여 작동이 가능하기 때문에 경제적이고 효율적인 장비 구축이 가능함
- 제한된 예산 범위 내에서 구축하는 장비이기는 하지만 다양한 분야의 수요를 충족시킬 수 있는 고효율의 장비구성이 될 수 있도록 구축함
- 기존의 일축실험 장비와 차별화될 수 있는 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN 급 일체형 대용량 UTM을 구축함으로써 활용성을 극대화시킴
- 정적 최대하중 20MN과 동적 최대하중 10MN 이상의 실험 용량을 확보하여 다양한 분야의 구조 및 재료실험이 가능하도록 구축함

제 6 절 필요 장비 및 시설

1. 최소 요구 성능

□ 목표성능수준

- 실험 장비의 목표성능은 가능한 세계 Top Class 수준을 목표로 하였으며 전문가 자문 등을 거쳐 제한된 예산범위 내에서 가장 효율적으로 구성할 수 있는 방법을 도출함
- 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM을 움직이는 유압펌프 및 하드라인 등의 동력 공급 장치도 기존에 하이브리드구조실험센터에서 보유 및 설치된 것들을 이용함

<표 1-8> 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM의 최소 요구 성능

구분	항 목	성능
수직하중 재하용 UTM (20 MN)	Nominal static load rating	20 MN, 275 bar
	Nominal dynamic load rating	12 MN, 210 bar / 80mm/sec
	Actuator stroke	750 mm
	Dimensions	Test Space Approx: - 9.0 m (without platens) / 7.0 m (with platens) Column Spacing : 1.0 m X 3.0 m (between columns)
	Transducer	Pressure Transducers for force measurement LVDT stroke transducer
	Controller	Supported maker
	Software	Supported maker
	Hardline	Pressure, Return, Drain distribution between HSM and test system
	Hose Stand	Included
수평하중 재하용 Actuator (3 MN)	Nominal max force rating	3,000 kN
	Nominal max velocity	300 mm/sec
	Actuator stroke	750 mm
	Performance test	10-30 cycles
	Durability test	157 mm/sec for 1800 cycles

2. 최소 요구 시설·장비 성능

- 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM을 설치하여 운용하기 위해서는 <표 1-9>과 같이 최소 요구시설 및 장비가 필요함
- 하이브리드구조실험센터에서는 이러한 최소 요구시설 및 장비를 이미 보유하고 있으며 그 사양을 더 자세하게 정리하면 다음과 같음

<표 1-9> 최소 요구시설 및 장비

구분	내용	비고
실험장비 설치 공간	<ul style="list-style-type: none"> • 실험장비 설치 공간 확보 (10mX5m 이상) • 실험체의 운반 및 설치를 위한 충분한 주변 공간 	<ul style="list-style-type: none"> • 50mX13m의 충분한 공간 확보
유압공급시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 실험 장비의 성능을 발휘할 수 있는 충분한 용량의 유압펌프(750gpm 이상) • 750gpm 이상의 유압을 전달할 수 있는 하드라인 	<ul style="list-style-type: none"> • 1,200gpm까지 공급할 수 있는 하드라인 확보
냉각시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 대용량의 유량을 단시간에 냉각시킬 수 있는 충분한 냉각탑 및 배관 	<ul style="list-style-type: none"> • 대용량 쿨링타워 2기 확보
계측시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 다채널 실험에 필요한 충분한 채널의 계측시스템(100채널 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamic 320채널 확보 • Static 190채널 확보
운반시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 실험장비 및 실험체를 운반하고 설치할 수 있는 오버헤드 크레인(100kN 이상) 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 300kN 오버헤드 크레인 2기 확보 • 지게차 및 고소작업차 등의 중장비 확보

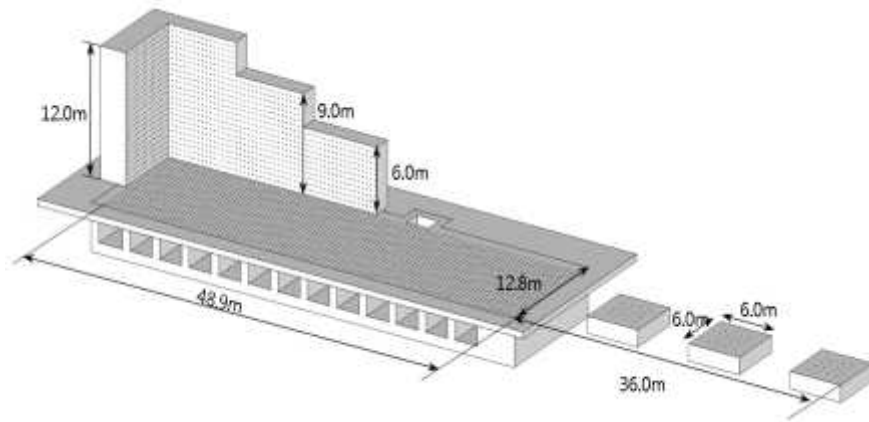
- 급속 수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM을 운영하기 위해서는 먼저 실험 장비를 설치할 수 있는 건물이 필요한데, 하이브리드구조실험센터에서는 다음과 같이 본 장비를 설치할 수 있는 기존의 대형 실험시설을 보유하고 있음

<표 1-10> 기존 하이브리드구조 실험센터 건물 및 규모



부지면적	약 10,264m ² (3,065평)
규모	지하 1층, 지상 3층
구조	지하 : 철근콘크리트, 지상 : 철골조
건축면적	1,654m ² (500평)
연면적	3,603m ² (1,090평)

- 건물 내부에는 일체형 대용량 UTM을 설치하여 폭넓게 사용하기 위한 반력바닥 구조물이 필요하며, 본 센터에서는 다음과 같은 규모의 반력바닥과 반력벽 구조물을 이미 보유하고 있어 신설 대비 상당한 경제적 효과를 얻을 수 있음



[그림 1-40] 기존 반력구조물 제원

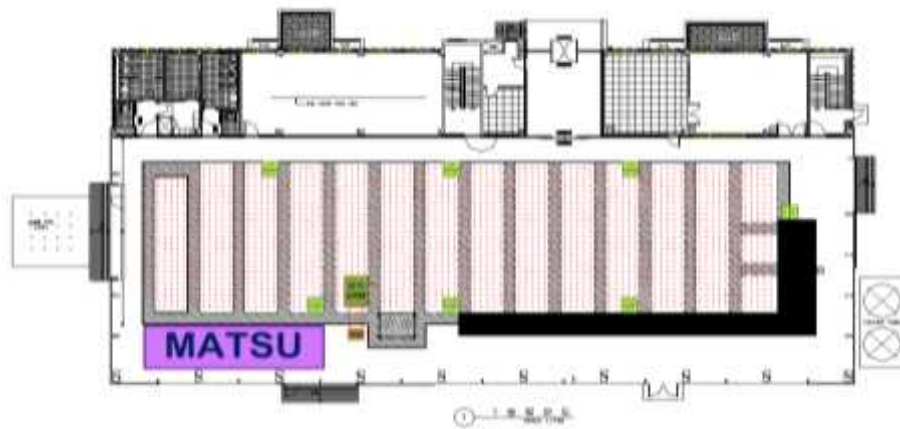


반력바닥



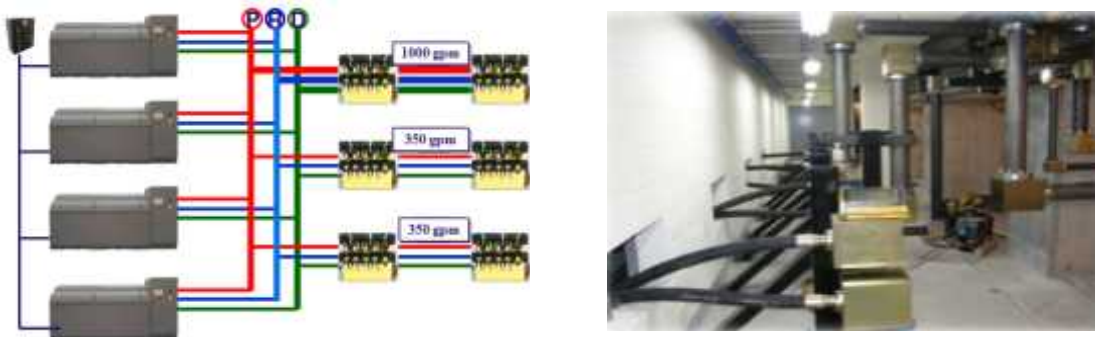
외부 반력패드

[그림 1-41] 기존 반력바닥 및 외부 반력패드



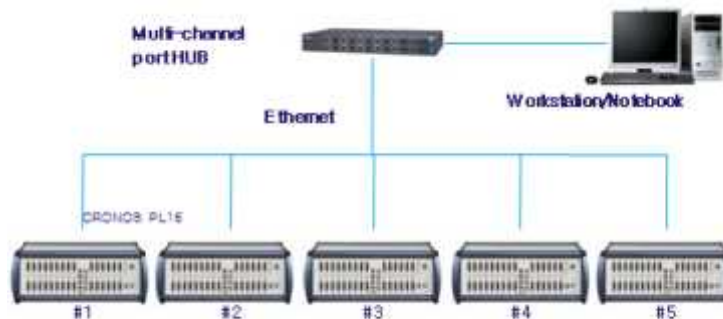
[그림 1-42] 20MN급 대용량 일체형 UTM(MATSU) 위치도

- o 일체형 대용량 UTM을 작동시키기 위해서는 750gpm 이상의 유압펌프와 유압을 UTM에 전달하는 하드라인(Hard line)이 필요한데 본 센터에서는 아래와 같이 충분한 용량의 유압공급시스템을 이미 보유하여 운용 중에 있음



[그림 1-43] 기 운용중인 유압펌프 용량 및 하드라인

- o 모든 실험을 수행함에 있어서 센서로 부터 데이터를 수집하기 위해서는 데이터 수집장치(DAQ)가 필요하며, 역시 본 센터에서는 다음과 같이 320개의 센서 데이터를 획득할 수 있는 충분한 채널의 계측시스템을 확보하고 있음



[그림 1-44] 기 운용중인 데이터 계측시스템

- 유압펌프에서 하드라인을 따라 공급되는 유압작동유의 온도를 낮추기 위해서는 다음과 같은 냉각탑 시스템을 설치해야 하는데 본 센터에서는 이미 충분한 용량의 냉각시스템을 보유하여 운용 중에 있음
- 건설 분야를 비롯한 대부분의 산업 분야에서 주로 수행하는 구조실험에서는 사람의 힘으로 운반하기 어려운 중량의 실험체를 대상으로 하는 경우가 많음. 이러한 중량의 실험체를 운반하고 설치하기 위해서는 오버헤드 크레인이 필수이며 본 센터에서는 다음과 같이 300kN 용량의 크레인 2기(총 600kN 용량)와 지게차, 고소작업차 등의 다양한 운반 장비를 확보하고 있음



[그림 1-45] 기 운용중인 냉각시스템



[그림 1-46] 600kN급 오버헤드크레인

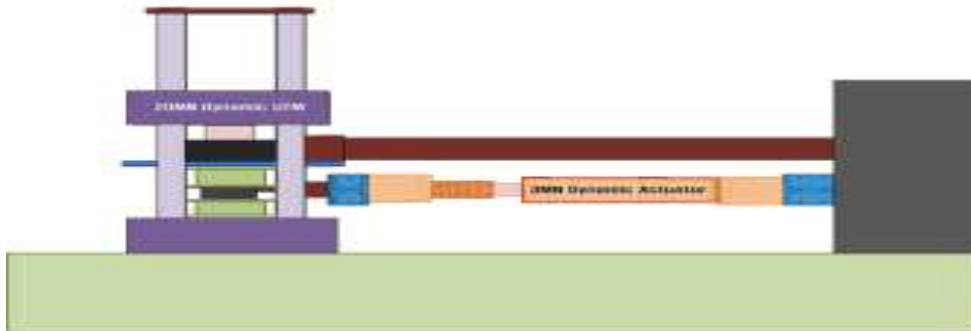
제 7 절 시설·장비 구축계획

1. 추진방법

□ 장비 구축계획의 기본방향

- 연구 인프라 동향 분석을 통한 장비 요구 성능 도출
- 실수요 그룹 및 유사 실험 전문가 의견 수렴을 통한 사양 상향
- 추가 장비 도입을 통한 실험시설의 활용성 극대화 및 특성화
- 최적의 장비 배치를 통한 구축비용 절감 및 활용성 극대화
- 구입 장비의 품질, 성능보증을 위한 엄정한 계약 체결
- 국내 수요기업의 시험 요구 성능을 최우선적으로 수렴하여 장비활용 극대화
- 기 구축된 기반시설과의 연계성을 통한 추가 도입장비에 필요한 예산 최소화
- 국내 유사장비의 철저한 분석을 통한 중복성 배제
- 가능한 예산범위 내에서 성능 극대화를 통해 국내 최대·최고 용량의 장비 구축

- “건설연구인프라 구축과제 1단계분석 및 2단계 기획 보고서(2011. 06. 22)”에 선정된 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM(대용량 UTM)을 운영하기 위해서는 대용량의 유압펌프 및 유압호스(또는 하드라인)와 컨트롤러, 그리고 UTM을 설치하여 운영하는데 필요한 주요 시설물 및 장비인 반력시스템과 재하프레임이 필요함. 하이브리드구조실험센터에서는 이러한 시설 및 대부분의 장비들을 1단계 건설연구인프라 구축사업을 통하여 보유하고 있기 때문에 상당 부분의 구축비용을 절감할 수 있음
- 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM을 신규로 구입하고 그 외 필요한 유압펌프 및 하드라인 등의 부대설비는 기존의 시설을 활용함
- 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM의 구성은 다음과 같음



[그림 1-47] 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM의 구성도

□ 제작 방안

- 본 실험장비의 국내 제작을 검토하였으나 완제품의 제작이 불가하여 일부만 국내 제작을 추진함
- 실험장비의 전체 구성품 중에서 국내 제작이 가능한 부분은 제작 후 해외 생산 부품과 국내에서 조립하여 전체 시스템을 구축할 예정임
- 본 실험장비는 독립적으로 사용할 목적으로 전체 시스템 구축을 위한 신규도입이 필요함
- 실험장비의 사용을 위한 반력벽 및 반력 Fixture는 국내에서 전체적으로 조달 가능하므로 국내 제작 및 공사 예정임
- 본 실험장비는 현재 구축된 Actuator 성능의 3배 이상이 필요한 사항으로 신규도입이 필요한 항목임

□ 기존설비 활용방안

- 실험장비의 전체 시스템 중에서 유압공급 시스템 (유압공급장치, 고용량 유압배관 등)은 현재 구축된 시설을 활용할 수 있으므로, 현 시설을 최대한 활용하면 전체 시스템 구축예산 대비 최대 30% 이상의 예산을 절감할 수 있음
- 기 구축된 실험장비에서 사용하고 있는 지그 및 Accessory를 공용으로 활용할 수 있는 방안을 마련하여 추가적인 예산절감 효과를 기대함
- 기 구축된 실험장비에서 사용하고 있는 반력상 및 반력벽을 이용할 수 있기 때문에 추가적인 예산절감 효과를 기대할 수 있음

□ 구축방안

- 본 실험 장비를 구축하게 되면 국내 최대 성능의 장비를 활용할 수 있다는 장점이 있기 때문에, 최소 요구 성능 보다는 계획된 성능을 구축하기 위해 기존 설비와의 호환성을 최대한 살려 가능한 예산 범위 내에서 시설 및 장비를 구축할 계획임
- 기 구축된 실험동 내부에 장비설치 공간을 확보하여 구조하중에 따른 지반공사 및 장비설치를 위한 내부공사가 병행되어야 함
- 구축 예정인 지반 상부에 실험 장비를 일체식으로 조립하기 위한 시공이 이루어져야 하며, 동하중 시험 시 장비 전복을 방지하기 위해 기존 구조물에 전복 방지 장치를 추가로 설치할 예정임
- 기 구축된 유압라인에서 증설이 필요한 부분은 사용자의 안전 및 시편 장착을 고려하여 가장 효율적인 방안을 모색하고 기존 유압라인을 최대한 활용할 예정임

□ 구매 방안

- 현재 검토 중인 예상 구매처는 기 구축된 장비를 최대한 활용하기 위하여 기존 장비 공급업체를 중심으로 검토 중임
- 예상 구매처는 MTS Systems Corporation 으로 미국 Minnesota 주에 소재함
- 본 실험장비의 가장 핵심적인 부품인 20MN 유압 Actuator 및 유압분배장치는 수입 제품으로 하되, Loading Frame의 구성품 중에서 Column, Base Plate 등 중량물은 수입 및 운송 방법을 고려하여 국내에서 제작하는 방안을 마련하고 있음
- 장비의 성능 확정 및 발주 후 제작기간은 약 12개월에서 14개월 정도를 예상하고 있으며 시험 수요기업의 일정 및 사업 계획상의 일정을 고려하여 조율 예정임
- 본 실험장비의 경우, 기 구축된 Actuator 제어기를 활용할 예정으로 단순 Actuator 조립품 및 유압분배기만 수입 예정임

2. 구축계획

가. 시설공사 계획

□ 지반공사

- 본 실험장비의 총 무게는 1,600kN으로 예상되며, 동하중 작용 시 약 2배 이상의 동하중이 작용할 것을 고려하여 4,000kN 정도의 Seismic Mass를 설치해야 함
- Seismic Mass를 시공하기 위해서 소요되는 바닥면적 만큼 기존 시험실 바닥을 해체하고, PIT를 확보하여 6m(길이) x 5m(폭) x 4m(깊이)의 철근 콘크리트 구조물을 시공하고 Load Frame의 Base Plate를 Seismic Mass와 일체시키는 제반공사 시행 예정임
- 본 시험장비는 기 구축된 반력상 및 반력벽을 이용할 예정으로 추가적인 지반공사는 필요 없음

□ 건축 및 전기공사

- 상기의 지반공사를 수행하기 위해서는 기 구축된 조립식 벽체 일부를 철거하고 장비설치를 위한 바닥면적을 확보할 계획임
- 동하중 작용 시 장비전복 방지장치를 설치하기 위해서 Crane 반력 구조체 일부에 대한 보강공사가 필요할 경우, 추가 공사 예정임
- 기 구축된 유압공급장치를 활용하기 때문에 추가적인 전기설비 보강은 필요 없음
- 기 구축된 유압공급장치를 활용하기 때문에 추가적인 건축 및 전기설비 보강은 필요 없음

□ 기타 고려사항

- 기 구축된 유압분배장치에서 분기되는 유압라인의 경로에 최대한 근접하게 장비를 설치할 경우, 추가적인 유압라인의 증설은 필요 없어 예산 절감이 가능함
- 기 구축된 유압라인에서 추가적인 유압분배장치를 설치하기 위한 경로를 효율적으로 배치함으로써, 추가적인 유압라인의 증설이 필요 없도록 배치할 예정임

나. 공간배치 계획

- 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM의 설치 위치



[그림 1-48] 20MN급 일체형 UTM 설치 위치도

□ 기 구축장비 설치 이전

- 지반공사가 필요한 본 실험장비의 설치위치를 확보하기 위하여 기 구축된 5,000kN 정적 UTM을 이전 설치할 계획임
- 설치 이전 예정인 5,000kN 정적 UTM 장비는 지반공사가 필요 없기 때문에 실험실 내에 공간배치 조정을 통해 활용할 계획임

□ 장비 설치 공간 확보

- 상기의 5,000kN 정적 UTM 설치장소 및 주변공간을 추가 확보하여 지반공사를 진행하며, 기 구축된 반력상 및 Crane 반력 구조체와의 간섭이 없도록 시공 예정임
- 기 구축된 유압분배장치와의 연결을 위한 공간은 실험장비 위치를 최적으로 고려하여 주변 장치와 간섭이 발생하지 않고 안전을 확보할 수 있는 공간을 고려하여 배치할 계획임

□ 기 구축 기반시설 활용

- 현재 구축된 반력상 및 반력벽을 활용할 수 있는 공간 내에서 이동설치가 가능한 형식으로 공간배치에 대한 추가적인 고려 대상이 아님

다. 구축일정

- 건축공사의 공정과 연차별 예산을 고려한 실험시설 구축 일정
- 단계별 실험시설 설치 일정 확립을 통한 작업 혼선의 최소화
- 실험시설 공간배치를 고려한 설치 순서 계획

<표 1-11> 실험시설 구축 일정표

구분	연구내용	2014년						2015년						비고
		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	
1	지반공사	■												
2	RC 베이스블럭 및 전기공사			■										
3	장비 설치					■								
4	시험 운전								■					
5	교육 및 완료											■		

라. 국산장비 대체 가능성 자체검토(비교견적 등 결과 국산대체장비가 있을 경우만 작성)

- 지금까지 5,000KN 이상의 대용량 동하중 시험에 대해서는 전적으로 외국의 실험 시설에 의존했기 때문에 대체할만한 완제품의 국산장비는 없는 것으로 파악됨
- MATSU 시스템을 구축하는데 필요한 시설공사 및 강구조물 제작, 설치에는 국산 장비 업체가 참여하여 기술력을 이전받을 수 있도록 추진할 계획임

3. 운영 및 관리계획

가. 유지관리 계획

구분	내용
주요활용 기관명(예상)	- 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야의 국·공립 연구소 및 대기업과 중소기업, 관련 분야 전공자
전담인력 확보여부(방안)	- 센터의 관련 분야 경험자를 장비책임자로 선정함. - 추가적인 인력을 채용하고 관련 분야 전문 인력을 해당 장비 실무자로 선정함.
운영비 확보여부(방안)	- 실험장비 관련 정부지원 사업을 통한 운영비 확보 - 외부 기관 및 기업체에서 의뢰하는 실험용역을 통한 운영비 확보

나. 안전사고예방 계획

- 센터 KOLAS 품질문서의 “안전관리 절차서”에 준하여 정기적으로 안전교육 및 시설과 실험 장비의 안전점검을 실시함
- 명지대학교에서 “재난 및 안전관리기본법 제6조 및 동법시행령 제5조”에 관련하여 시행 중인 “안전점검의 날” 행사에 매월 참여하여 정기적인 안전 점검 실시 및 안전사고예방 캠페인 행사 참여
- 명지대학교에서 정기적으로 소방, 전기 등의 분야별 안전사고예방 관련 안전점검을 실시함
- 센터의 시설과 장비 유지에 필요한 분야별 책임자는 외부기관에서 시행하는 안전과 장비 사용법 등의 관련 교육을 이수함
- 센터 내·외부에 경고표지판, 안전수칙, 안전용품 등을 비치하여 내부직원 및 외부방문객의 안전사고를 예방함
- 센터 내의 천정크레인과 같이 “한국산업안전보건공단”에서 선정한 “유해위험기계”에 대하여 완성검사 및 주기도래 검사를 해당 장비의 검사 주기에 준하여 실시함

다. 운영자 교육계획

- 하이브리드구조실험센터 KOLAS 품질문서의 “교육 및 자격관리”에 준하여 연간교육계획서를 작성하고 그 계획서에 준하여 직원들의 교육을 실시함
- 센터의 시설과 장비 유지에 필요한 분야별 책임자는 연 1회 이상 외부기관에서 시행하는 안전교육에 참여함
- 센터 KOLAS 품질문서의 “안전관리 절차서”에 준하여 분기별로 해당책임자가 내부직원에게 안전교육을 실시함
- 명지대학교에서 매월 시행 중인 “안전점검의 날” 행사에 참여함

제 8 절 활용계획 및 기대효과

1. 활용계획

- 고속 동적실험과 저속 정하중 실험에 적합한 듀얼 서보밸브 방식을 적용하여 지진이 발생했을 때의 구조물의 거동을 파악하여 내진보강에 활용
- 컨트롤러에 최대 16채널 이상의 외부 신호 입출력 포트 내장으로 외부 센서나 장비와 연동하여 실험이 가능하기 때문에 복잡한 하중이 작용하는 구조물을 대상으로 거동 및 성능을 파악하는 실험 및 연구개발에 활용
- 고속의 저하중 피로실험을 주로 하는 기계분야 및 소재 실험을 주로 하는 재료분야뿐만 아니라 다양한 구조물의 정적 및 동적 실험에 활용

2. 기대효과

- 급속수평하중 동시재하가 가능한 20MN급 일체형 대용량 UTM을 운영하기 위한 제반 시설과 부대 장비를 신규로 갖추기 위해서는 약 100억원 이상의 예산이 소요될 것으로 추정되는 반면에, 1단계 건설연구인프라 구축사업을 통하여 구축된 기존의 시설과 장비를 최대한 활용하여 개선할 경우에는 약 50억원의 예산으로도 가능할 것으로 추정되며, 개선 시에는 신설 대비 절반 이상의 예산절감 효과를 기대할 수 있음
- 고성능 대용량 UTM을 이용해야만 수행할 수 있는 구조부재 및 구조물 성능실험에 대하여 지금까지 많은 부분을 외국에 의존했기 때문에 실험에 필요한 직접비 외에도 운송, 검수 등의 각종 부대비용에 대한 부담이 컸으나, 본 실험 장비를 하이브리드구조실험센터에 추가 구축함으로써 해외 물류비용 등의 부대비용을 상당 부분 절감할 수 있음
- 최첨단의 고성능 실험 장비를 확보함으로써 자체 개발한 우리나라의 건설기술을 후진 개발도상국들에 수출하는 경제적 효과와 지금까지 우리가 해외 선진국에서 실험한 것과 같이 개발도상국들의 관련 실험을 우리나라에서 수주하여 진행함으로써, 경제적 효과 창출 및 부가가치가 높은 기술 수출에도 기여함

제 9 절 상세 예산(안)

1. 장비 성능개선 소요예산(안)

o (기간·사업비) '14~'15 / 5,000백만원(정부출연금)

(단위 : 백만원)

구분	계	'14	'15
정부	5,000	1,300	3,700

<표 1-12> 장비 성능개선 소요예산

구분	산출내역	비용(천원)	국산/외산	비고
20MN UTM	별첨 견적서 참조 (설치비용 포함)	4,784,000 (\$4,600,000)	일부 국산	구입
3MN 고속 Actuator				
일체형 강제 블럭				
유압공급시스템(HPU)	급속수평하중 동시재하 20MN급 일체형 대용량 UTM을 운영하기 위한 필수장비이며 기 보유중인 장비를 이용함.	-		기보유
유압분배시스템(HSM)		-		기보유
반력바닥 시스템 (Strong floor system)		-		기보유
반력벽 시스템 (Strong wall system)		-		기보유
제경비 (통관비, 관세 등)	장비 구입금액의 약 6.72%	216,000		
합 계		5,000,000		
국산화율(%)		50%		

※ 1 USD : 1,040원

2. 신규 시설구축 대비 예산 절감 효과

<표 1-13> 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교

구분	신규 시설구축 예산		장비 성능개선 예산	
	산출내역	비용(천원)	산출내역	비용(천원)
20MN UTM	별첨 견적서 참조	4,784,000	별첨 견적서 참조	4,784,000
3MN 고속 Actuator				
일체형 강제 블럭				
유압공급시스템(HPU)	기존의 해당 시스템을 구축하는데 소요된 금액을 기준으로 함.	1,800,000	초고속 20MN급 일체형 UTM을 운영하기 위한 필수장비이며 기 보유중인 장비를 이용함.	-
유압분배시스템(HSM)		1,000,000		-
반력바닥 시스템 (Strong floor system)		1,000,000		-
반력벽 시스템 (Strong wall system)		1,000,000		-
소 계		9,584,000		4,784,000
제경비 (통관비, 관세 등)	장비 구입금액의 약 4.5%	216,000	장비 구입금액의 약 4.5%	216,000
합 계		9,800,000		5,000,000
예산 절감액/비율(%)			4,800,000 / 49%	

제 2 장 국제기준 대응 비구조 요소 실험용 10g급 6자유도 진동대 구축

제 1 절 시설·장비 정의 및 목적

1. 정의

- 천정과 벽체, 전기 및 전력설비, 가스 및 상하수도 배관구조 등의 건축물 내외장 설비 및 건설기계, 철도, 조선 등의 기간산업분야 등 비구조 요소에 대한 내진성능검증 및 진동내구성 실험이 가능한 고성능의 6자유도 진동대 장비
- 건축구조물의 비구조 요소인 천정과 벽체, 소방, 배관, 덕트, 전기, 통신, 트레이설비의 내진성능 검증 및 건설기계, 철도, 조선분야의 각종 중요 기자재에 대한 진동내구성 실험을 수행할 수 있는 진동대 장비
- ICC-ES AC156 (Acceptance Criteria for Seismic Certification by Shake-Table Testing of Nonstructural Components), IEEE Std 693 (IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations), IEEE Std 382 (IEEE Standard for Qualification of Safety-Related Actuators for Nuclear Power Generating Stations), IEEE Std 344 (IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations), IEEE Std 323 (IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations) 등의 비구조 요소 관련 국제 시험 기준이 요구하는 조건을 만족할 수 있는 진동대 장비
- 적재하중 6 ton 이상의 규모를 갖는 시험대상에 대하여 가속도 10g 이상의 가진이 가능하고 최대 변위 180mm이상, 동작주파수 50Hz이상의 6자유도 진동대 장비
- 비구조 요소의 실제 설치조건을 모사할 수 있는 시험체 설치면적 2.5m × 2.5m 규모의 6자유도 진동대 장비

2. 목적

- 지진이 빈번한 일본 및 미국, 유럽과 달리 국내에서는 아직까지 건설 분야의 비구조 요소에 대한 시험검증방법이 체계화 되어 있지 않음. 천정, 외장벽체, 공기조화설비, 창호, 출입문 등에 대한 내진성능검증 수요는 증가하고 있으나 이를 검증할 기준 및 실험장비는 충분하지 않은 실정임. 또한, 국내에서 개발되고 있는 철도 및 건설기계, 조선, 해양 분야 비구조 요소에 대한 내진동, 진동내구성 실험 수요도 증가하고 있으나 중량의 대형구조물을 시험할 수 있는 장치는 확보되고 있지 않은 실정임

- 적재하중 1~3 ton 규모의 비구조 요소에 대한 시험은 국내에 기 설치된 진동대 장비를 활용하여 시험할 수 있으나, 3 ton 이상의 대형 설비에 대한 성능검증을 위한 진동대 장비는 없음. 최근 실구조물에 대한 시험검증에 대한 수요가 증가하면서 이러한 대형 구조물을 시험할 수 있는 장비의 확충이 시급함
- 건축구조물의 소방시설, 배관, 통신 및 전력설비 등의 규모가 큰 비구조 요소에 대한 내진성능 검증, 진동내구성 실험 수요에 대한 대응이 원활하게 이루어지고 있지 않고 있으며, 특히 원자력발전소, 초고층건물 등 층응답 가속도가 높은 위치에 설치되는 대형 설비 등은 시험 가능 하중 및 가속도 부족으로 현재 국내에서 내진시험이 어려운 실정임
- 국내 8개 원전에 적용한 한국표준형 OPR1000, UAE에 수주된 경수로 APR1400, 개발 예정인 APR+에 대한 내진기술개발 및 설계기준의 안정성 검증에 대한 관련 연구가 활발히 진행 중에 있으며 또한, 원전 내진설계 기준의 상향과 국내 원자력 발전소에 적용되는 기기 검증에 대한 기준이 강화되면서 보다 높은 수준의 가속도를 요구하는 내진성능 검증에 대한 수요 증가하고 있음
- 일반적인 비구조 요소의 내진성능을 검증하기 위한 시험방법은 IEEE Std 693과 ICC-ES AC156등의 기준이 대표적이며, 발전소 특히, 원자력발전소와 관련된 비구조 요소의 내진성능 검증에는 IEEE Std 344, IEEE Std 323, IEEE Std 382와 같은 기준을 적용시키고 있음. IEEE Std 382는 가장 보수성이 높은 시험방법 중의 하나로서 sine sweeping test인 RIM test를 적용하고 있으며 기계 및 전력설비의 경우 IEEE Std 382에 의한 시험을 더 선호하는 추세임. 그러나 시험하중이 3 ton 이상인 경우에는 국내에서 이러한 시험을 수행할 수 있는 장비가 없으며, 시험하중, 가진 주파수 범위 및 가속도를 하향하여 제한적으로 SGS와 한국산업기술시험원(KTL) 등에서 수행하고 있음
- 3 ton 이상의 시험체에 대해 3축(수평 2방향 및 수직 1방향)으로 내진성능 검증 및 진동내구성 검증실험을 수행할 수 있는 시설은 한국기계연구원과 한국철도기술연구원, 지진방재연구센터뿐이며 동일한 시험체에 대하여 IEEE Std 382 기준을 적용한 내진성능 검증실험을 수행할 수 있는 기관은 없는 실정임. 또한, 동일 하중 규모 이상의 시험체에 대하여 4g 이상의 충격파에 대한 시험을 수행할 수 있는 기관은 국내에는 전무한 실정임

제 2 절 구축 필요성 및 시급성

1. 구축 필요성

□ 필요성

- 비구조 요소에 대한 국제적 내진성능 실험기준의 요구조건 만족 필요
 - * 대표적인 비구조 요소 내진실험방법인 ICC-ES AC156 적용시 지반최대 가속도 3.0g (UBC, Zone 4, H-ratio =1.0) 기준의 90%~130%에서 안정적인 시험이 가능해야 함.
 - * 비구조에 연결된 2차 부재에 대해서는 2배 이상(6g)의 가속도 요구 → 7g 수준의 가속도 필요
 - * 최소 요구사양: 최대 적재상태(full payload)에서 7g 이상 구현이 필요
- 해외 강진지역에 대한 국내 기업들의 해외진출이 증가하고 있어 국제 내진성능기준을 만족시킬 수 있는 진동대 성능 필요
 - * 해외 사업 증가: 원전, 플랜트, SOC 등
 - * 설계지반가속도 0.5g SSE(Safe Shutdown Earthquake)에 대한 원자력발전소 중앙제어실의 FRS(Floor Response Spectrum)의 요구가속도는 설계에 따라 약 4.0g 이상.
 - * 시험시에 사용되는 인공지진파에 대한 30% 오차 적용시 5.2g 이상 요구됨
- 해외 건축기준(UBC: Uniform Building Code, CBC: California Building Code)에서는 최대 지진수준인 Zone 4 요구(최고층 층응답의 경우 최대가속도 3g 수준)
 - * 건축물 내부 비구조요소의 경우에는 최대가속도 4~ 6g 필요
 - * 현재 국내 장비 수준은 실험체가 설치되지 않은 상태에서 2~3g 수준으로 매우 낮음
- 해외 강진지역의 원자력발전소에 대한 설계지반가속도는 0.5g를 요구(국내 0.3g)
 - * IEEE 323과 IEEE 344 기준: SSE에 대한 FRS의 10% 여유를 권고함에 따라 0.5g SSE에 대한 MCR(Main Control Room)의 RRS의 ZPA는 약 3.85g 이상
 - * 가속도요구사항 30% 마진 적용 및 장비의 보호와 정교한 지진모사를 위해 10~20%의 성능을 향상할 경우 6g 필요
- 국제 시험기준을 만족하면서 장비의 내구성과 정밀한 지진모사실험을 위해서는 최대적재하중 6ton에 대해 7g의 가속도 구현이 가능한 고성능 진동대 필요
 - * 최대적재하중 6ton에 대해 7g를 구현하기 위해서는 bare table상태(실험체 미설치)에서 최소 10g 필요
 - * (국내) 현재 최대 규모는 기계연구원 및 지진방재연구센터의 6자유도 진동대(payload: 30ton, 최대가속도: 2g)
- 지진에 대한 구조물 동적실험 방법으로 국제 시험표준 등에서는 기록지진파 또는 인공지진파를 사용하여 시간이력실험(Time History Test)와 함께 정현파(sine test, sine sweeping, sine beat)실험도 허용하고 있음

* IEEE 기준 등에서는 정현파 실험에 지진하중의 2배 이상의 가진을 요구

- 6ton 용량의 필요성: 비구조 실험체의 경우 보통 2~3ton 내외이나 이를 주 구조체에 설치된 것과 같은 경계조건을 구현 위해서는 총 4~5ton 내외가 필요. 여기에 실험중 전도모멘트를 고려하면 안전을 위해 최대 6ton 용량의 진동대가 필요함

□ 국가 전략적 중요성

- 지진이 빈번한 일본 및 미국, 유럽과 달리 상대적으로 지진위험이 낮은 국내에서는 아직까지 건설 분야의 비구조 요소에 대한 시험검증방법이 체계화 되어 있지 않음. 이로 인하여 미국, 중동 등의 강진지역으로 수출하는 비구조 요소에 대한 내진성능 검증은 ICC-ES AC156, IEEE Std 382 등의 국제규격을 따르고 있는 실정임. 그러나 해당규격들을 만족할 수 있는 진동대 장비는 현재 국내에 존재하지 않으며 몇몇 기관에서 제한적으로 내진검증실험을 수행하고 있음
- 비구조 요소에 대한 국내 내진성능검증기준은 “전기통신설비의 내진 시험방법”밖에 없는 실정임. 국제수준의 진동기술력을 가지기 위해서는 고성능의 진동대가 필요하며 이를 바탕으로 실험데이터를 축적하고 진동검증기술을 발전시킨다면 독자적으로 비구조 요소에 대한 내진성능검증 기준을 제시할 수 있을 것으로 판단됨
- 세계적으로 비구조 요소에 대한 내진성능 검증요구가 증가하는 시점에서 국내 기업들이 시장경쟁성을 가지기 위해서는 국제기준을 만족하는 내진성능검증실험을 수행할 수 있는 환경이 필요함
- 현재 SGS와 한국산업기술시험원에서 보유중인 진동대는 IST(Germany)의 제품으로 최대적재하중은 2.5~3 ton이며 최대입력가속도는 6~8 g이고 최대변위는 180~200 mm이며 시료의 설치가능 면적은 2.5 m × 2.5 m임. 두 기관 모두 최대적재하중은 2 ton 이상이지만 2 ton 이상의 시료에 대해서는 장비노후화 및 안전 등의 이유로 실험을 수행하지 않음
- 현재 국내에 공동 활용이 가능한 6자유도 진동대 장비 중 5g이상의 실험이 가능한 장비는 <표 2-1>과 같이 한국표준과학연구원의 6-자유도 진동제시장치와 한국전력공사 전력연구원의 전력설비 내진검증용 6자유도 진동대, 창원대학교 6자유도 진동내구성평가 시험기 등이 있으나, 해당 장비들에 적용이 가능한 시료의 무게는 최대 2ton 이하이며, 설치면적이 2.5m × 2.5m를 초과하는 장비가 없어 그 용량 혹은 설치면적이 실제 원자력 발전소에 설치되는 기기나 초고층 빌딩에 설치되는 기기들의 무게와 부피에 비하여 충분하지 못함
- <표 2-2>는 국내 진동대 장비 중 최대적재하중이 30ton 이상, 최대가속도가 1.5g 이상인 장비들로 2ton이상의 대형 시료에 대하여 제한적으로나마 ICC-ES AC156, IEEE Std 382 등의 국제기준에 대응할 수 있는 장비임. 그러나 이 장비들의 최대가속도는 시료의 무게를 10ton 이하로 설정하더라도 3g를 넘어서지 못함. 또한 2g이

상의 성능을 보장할 수 있는 동작주파수 범위가 2~30Hz수준으로 좁아지므로 국제 기준에 대응하기에는 부족한 점이 많은 것으로 판단됨

<표 2-1> 국내 5g이상 구현 가능한 진동대 현황

기관	Size (m ²)	Payload (metric tonnes)	Acceleration (g)
전력연구원	6.25	2	9
창원대학교	3.15	1	8
한국표준과학연구원	1.44	0.5	10
SGS	6.25	3	5.5
한국산업기술시험원	6.25	2.5	10
한국산업기술시험원	1.44	1	5
한국기계연구원	?	2	6

<표 2-2> 1.5g이상의 최대적재하중 30ton이상의 진동대 현황

기관	Size (m ²)	Payload (metric tonnes)	Acceleration (g)
한국기계연구원	16	30	1.5
지진방재연구센터	16	30	1.5
한국철도기술연구원	16.81	30	1.7

- o 비구조 요소 중에서 그 규모가 큰 가스절연개폐기(GIS, Gas Insulated Switchgear) 나 건축물 내에 설치되는 고압 및 저압배전반, 원자력 발전소에 설치되는 E1급 배전반의 경우, 설치 조건과 동일하거나 유사한 환경에서 내진성능 검증을 실시하여야 하나 국내 실험 요건 특히, 장비 규모의 제약 등으로 인하여 전체 구조물에 대하여 시험하지 못하고 개별 부품수준에서 내진성능 검증을 실시한 후 해석적인 기법을 활용하여 검증하고 있음. 그 중에서도 부피가 크거나 무거운 시료의 경우는 부품별로 내진성능을 검증하는 것으로 대신하고 있는 실정임
- o 이처럼 진동대 규모와 용량이 충분하지 않으면, 실제와 동일한 설치조건에서의 내진성능을 검증하기 어려우며, 기기의 부품별 내진성능만을 검토한 채로 설치되게 됨. 하지만, 복잡한 기능이 연계되어 있는 경우에는 부품 개별 내진성능 검토 결과가 실제 설치상태에서의 내진성능 검증결과를 대신하기는 어려우므로 관련 연구자 및 전문가들로부터 조합된 기기의 내진성능이 가능한 고성능 진동대에 대한 요구

가 증가하고 있음

- 건설 분야에 비하여 원자력발전소에 설치되는 비구조 요소의 내진성능검증을 수행하기 위해서는 고성능의 진동 및 내진시험장비가 필요함. 현재는 발주기관에서도 이를 인지하고 해석에 의해 성능을 검증하는 경우가 대부분이어서 수요가 많지 않으며, 극히 일부 소수의 국가기관 및 민간기관에서 이러한 시험을 수행 중임. 또한 관련 시험기술의 중요도와 수준이 높기 때문에 지역의 시험기관이 장비를 신규로 구입하여 시장을 개척하기가 어려운 실정이며, 경제성이 떨어지는 산업으로 쉽게 시장 참여가 어려움
- 이러한 이유로 내진기기검증 관련 산업의 발전이 어렵고 국제적 경쟁력을 가진 시험기관이 나타나기 어려움. 이와 같은 상황은 결국 원자력 산업에서 관련 부품 및 제품의 개발을 저해하는 요인이 되므로 국가의 간접적인 지원으로 이를 뒷받침해 줄 필요성이 있음

□ 경제·산업적 중요성

- 천정과 벽체, 전기 및 전력설비, 가스 및 상하수도 배관구조 등을 비구조 요소로 분류할 수 있음
- 세계중전기 시장은 2011년 기준 6100억달러, 670조원 시장임. 경쟁력 분석에서 국내 중전기 업체의 가격경쟁력은 선진국 대비 85수준(중국 65)이며 기술력은 90(중국은 79)수준으로, 선진국 대비 가격경쟁력은 있지만 중국의 가격경쟁력이 월등히 높아 중국과의 경쟁력 확보에 대한 철저한 대비가 필요함
- 현대중공업은 2014년 2월 5일 대만과 자체개발한 가스절연개폐기의 수출계약을 성사하여 6년간 900만 달러 이상의 수익을 올리게 될 전망이며, LS산전도 이라크와 2억 9200달러 규모의 변전시설 프로젝트를 수주하였음. 사우디아라비아, 베네수엘라 등으로 중전기기를 수출하는 효성중공업은 최근 알제리와 카타르로 전력장비를 수출하여 2억달러 이상의 수익이 예상되고 있음



[그림 2-1] 빌딩용 수배전반



[그림 2-2] 효성의 245kV급 가스절연개폐장치

- 선진기업, 한국기업, 중국 및 인도기업의 중전기산업 3각 구도는 2016년 중국과 인도의 전력인프라 확대사업이 완료된 시점에서 국내기업에게 매우 불리해질 것으로 전망되고 있음에 따라, 중전기산업의 글로벌 경쟁력 향상을 위해서 기술기반 인프라와 핵심역량 확보를 위한 투자가 필요한 시점임. 중국과 인도를 제외하고 유럽과 북미가 가장 큰 중전기 시장임. 내진검증시험이 체계화 되어있는 유럽 및 북미시장으로의 진출을 위해서는 반드시 내진성능을 검증해야 함
- 최근 에너지 부족문제에 대한 인식이 높아지면서 고효율 냉난방공조기에 대한 수요가 늘고 있음. 초고층 구조물 및 기간시설의 주요한 비구조 요소인 상업용공조기 시장은 2010년에 전년도 대비 12% 성장하였으며 2011년에는 2010년도 대비 30% 증가하였음. 2012년도 업무용 공조시스템 시장의 규모는 약 41억 5483만 달러임. 업무용 공조 시스템은 빌딩이나 공장 등 건물, 시설에서 사용되는 공조 시스템으로 일반 가정용에 비하여 그 규모가 상당히 크며 모듈형으로 제작되어 몇 기에서 십수기의 공조기가 하나의 시스템을 이루기도 함
- LG, 삼성 등의 국내 공조기 기업들은 유럽, 북미지역 등의 내진성능검증절차가 확립된 지역으로의 수출 및 인도와 동남아 등의 강진지역으로의 수출을 위하여 공조기기의 내진성능을 확보해야 하며 복잡한 기기의 특성상 실험적인 방법으로 내진성능을 검증해야 할 필요가 있음



[그림 2-3] 히타치어플라이언스의 빌딩용 멀티 공조기와 대규모 업무용 공조시스템

- 효성에바라의 조사에 의하면 2011년 전체 펌프시장의 규모는 약 1조 134억 원이며 이 중 산업용 펌프는 30%인 3040억 원을 차지하는 것으로 추정되었음. 현재까지의 추세가 이어진다면 2016년경 펌프시장은 1조 3855억 까지 성장할 것으로 전망됨. 사업규모가 비교적 큰 산업용 및 발전소용 펌프시장의 경우 해외의 선진기업들과의 경쟁이 치열함. 대부분의 국내 펌프회사들은 시험평가설비 확충 및 자체보유기술 확보가 세계시장에서의 경쟁력 향상을 위해 반드시 필요한 것으로 지목하고 있음. 강진지역으로 수출되는 산업용 펌프나 원자력발전소등에 적용되는 펌프는 지역 조건 및 특성에 맞는 기준에 의거하여 내진성능을 검증하여야 함



[그림 2-4] 산업용 펌프시장의 규모(단위 : 억원, %)



[그림 2-5] 펌프시장 규모의 전망 (단위 : 억원)



[그림 2-6] 산업용 대형 펌프

- 그러나 국내시설에서 보유하고 있는 장비 규모의 제약 등으로 인하여 규모가 큰 장비 및 비구조 요소에 대하여 시험하지 못하고, 개별 부품수준에서 내진성능 검증을 실시한 후, 해석적인 기법을 활용하여 검증하거나 해외기관에 내진성능 검증 실험을 의뢰하고 있는 실정임. 특히 부피가 크거나 무거운 시료의 경우는 부품별로 내진성능을 검증하는 것으로 대신하고 있는 실정임. 하지만, 복잡한 기능이 연계되어 있는 경우에는 부품 개별 내진성능 검토 결과가 실제 설치상태에서의 내진성능 검증결과를 대신하기는 어려우므로 관련업체들로부터 조합된 기기의 내진성능이 가능한 고성능 진동대에 대한 요구가 증가하고 있음
- 현대경제연구원의 발표에 의하면 2012년 1월말 기준으로 원자력발전소는 세계 31개국에서 총 436기가 운전 중이며, 63기가 건설 중으로 향후 20년간 원전건설 시장 규모는 3,038억달러(최소)~1조 1,532억달러(최대), 연간 152억달러(최소)~577억달러(최대)로 전망됨
- 원자력 분야의 시장경제성의 확보를 위하여 국내 기술이 세계에서 인정받아야 할 필요가 있다. 이를 위해서는 국내에서 생산, 수출되는 모든 원자력 기기에 대한 내진성능을 실험적으로 평가 수행하여 증명해야 할 필요성이 증대되고 있음
- 국내 원자력 발전소 현황은 총 20기의 원전이 17,716 MW를 전기를 생산하고 있음. 원전 건설단가는 2,530천원/kW로 1기당 약 2.15조원이며, 이 중 발전소의 설비 중 3층 이상에 위치한 주요 비구조 요소의 비용을 전체 비용의 약 5%로 가정하면, 1,075억이며 이들 기기들의 내진성능 검토 비용을 5%로 가정하였을 경우 원자력 발전소 1기당 53억원이 됨. 또한 운전 중인 원전의 기기들의 교체 주기를 고려하면, 추가적인 내진성능 검토비용이 발생할 것으로 추정됨
- 이밖에도 통신기기 또는 주요 소방안전시설, 배관구조물, 덕트, 선로구조물 등의 옥외시설과 발전소 및 해양플랜트 등에 도입되는 안전 및 운용과 직결되는 비구조 요소들에 대한 내진성능 검증시험의 수요가 근래에 들어 크게 증가하고 있는 추세임
- 이러한 고부가가치의 비구조 요소를 강진지역으로 수출하기 위해서는 해당지역의 조건에 부합하는 내진성능검증절차를 수행할 필요가 있으며 현재 국내의 인프라가 부족하여 제한적인 검증을 수행하거나 해외기관에 의뢰하는 경우가 빈번함
- 또한 제품의 검증을 위하여 시제품을 제작하여 검토하여야 하므로, 해당 기기들을 해외에서 검증하고자 할 경우 물류비용이 추가될 뿐만 아니라 검증을 위한 이동기간이 추가로 소요될 수 있음. 또한 국내 기술팀이 해당기기의 검증을 수행하기 위해 해외기관으로의 파견이 불가피하므로 추가비용이 발생할 수도 있음
- 국내에서 국제규격에 맞는 비구조 요소에 대한 내진성능검증을 수행할 수 있을 경우 해외기관으로의 물류비용과 배송시간을 절약할 수 있으며, 담당기술자의 인건비와 시간낭비를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 모든 비용을 총괄하였을 때 해외기관대비 약 1/4~1/5수준의 비용이 소요될 것으로 예상되어 해당 업체의 부담

을 줄일 수 있음. 이는 가격경쟁력 및 기술경쟁력의 상승과 연결될 가능성이 큼. 또한 국내에서 실험을 직접 수행하면서 문제점을 파악하여야 관련 기술의 개발 및 발전을 도모할 수 있는 기회가 다양하게 주어질 것임

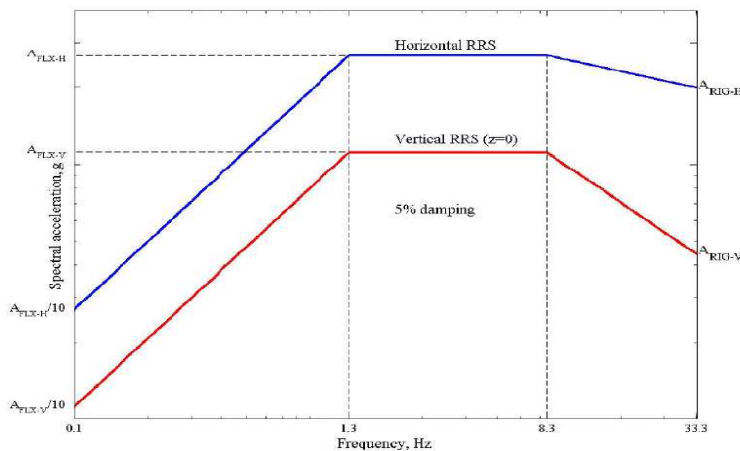
- 국내 업체들이 중전기, 공조시스템, 펌프 등의 시장에서 10%의 점유율을 유지한다고 가정 하였을 때 약 614억 달러의 매출을 올릴 수 있으며, 내진성능검증비용이 1%라고 가정하면 약 6억 달러의 규모임. 해외기관대비 성능검증 비용이 1/5이로 두면 대략 4.9억 달러수준의 기술비용을 절약할 수 있을 것으로 예상됨
- 뿐만 아니라 6톤이상 적재할 수 있는 10g급 고성능 진동대를 도입하게 되면 건설기계 및 차량의 진동내구성과 승차감과 관련된 기술 및 연구활동 또한 지원할 수 있게 됨
- The Freedonia Group은 세계건설기계의 수요가 2017년까지 연 17%증가하여 1890억 달러에 달할 것으로 예측하고 있음. 건설기계산업은 부가가치가 높고 고용창출 효과도 큰 국가기간산업이며 수입대비 수출이 많은 효자산업임. 국내 중공업업체들은 해외시장의 진출을 위하여 건설기계의 내구성 및 품질확보를 위한 휠로더, 파워팩 등의 부품단위에 대한 진동내구성시험은 수행하고 있음
- 그러나 국내의 진동대 장비로는 대형 건설기계의 캐빈과 같은 규모가 큰 구조물에 대한 진동내구성시험을 수행할 수 있는 장비는 국내에 없는 실정으로 국내 건설기계제작업체들은 해석적인 접근이나 해외기관에 의뢰하여 건설기계의 대형구조물에 대한 진동내구성을 검증하고 있음
- 따라서 해외시장개척을 위해 시험인증에 대한 요구가 증가하고 있으나 국내시설 및 장비의 한계로 인하여 원활한 기술지원이 이루어지고 있지 못한 실정임. 따라서 10g급 6자유도 진동대 장비를 도입하여 건설기계분야에 대한 기술지원이 가능하게 되면 1890억 달러에 달하는 세계시장에서 경쟁력을 확보할 수 있을 것임

□ 과학 기술적 필요성

- 진동대는 연구자가 원하는 지진 및 진동을 인공적으로 발생시킬 수 있는 기계적인 장치로서, 그 위에 빌딩, 교량, 등의 구조 모형을 설치하고 가진하여, 발생하는 동적 현상을 관찰하기 위한 장비임. 진동대를 이용한 실험법은 구조물의 동적 문제를 실험적으로 검증하는데 가장 효율적인 방법으로 인식되어 국내외 많은 연구자들이 활용하고 있으며, 각 산업분야에서도 진동대를 이용한 기기의 내진성능 검증을 실시하고 있음
- 진동대의 성능은 상부에 설치될 수 있는 구조물의 부피, 중량과 이를 가진하기 위한 진동대의 가속도, 속도, 변위 재현 한계로 평가됨. 진동대를 이용한 동적 실험기법이 개발된 후 이러한 장비의 한계를 극복하기 위하여 많은 연구와 노력들이 이루어졌으나 현재까지도 물리적인 한계로 인하여 제작할 수 있는 진동대의 크기와 이

를 일정 수준으로 진동시키기 위한 장비 능력이 제한적임. 즉, 모든 실험들이 그리 하듯이 실제와 동일한 지진파 및 층응답 진동을 구현하는 것에는 한계가 있음

- 일반적으로 비구조 요소에 적용하는 내진성능 기준인 ICC-ES AC156에서 제시하고 있는 RRS는 [그림 2-7]과 같음. 여기서 A_{FLEX-H} 의 최대값은 4.0g이며 A_{RIG-H} 의 최대값은 3.0g임. A_{FLEX-V} 와 A_{RIG-V} 는 각각 A_{FLEX-H} 의 67%, A_{RIG-H} 의 27%임. 표 1.1에서 소개된 5g이상의 가진이 가능한 장비의 경우 시료의 무게가 2ton을 초과하게 되면 ICC-ES AC156의 가장 가혹한 조건에 대한 실험이 불가능함. 표 1.2의 장비들 중 지진방재연구센터의 6자유도 진동대는 상부에 시료가 없을 경우에 3.0g가 보장되므로 시료의 무게가 무거울 경우에는 ICC-ES AC156의 최대기준을 적용하여 실험을 수행하기에는 어려울 것으로 판단됨. 따라서 2ton 이상의 시료에 대해 ICC-ES AC156의 가장 가혹한 조건에 대한 내진성능 및 진동내구성을 검증할 수 있는 장비는 국내에 없는 실정임



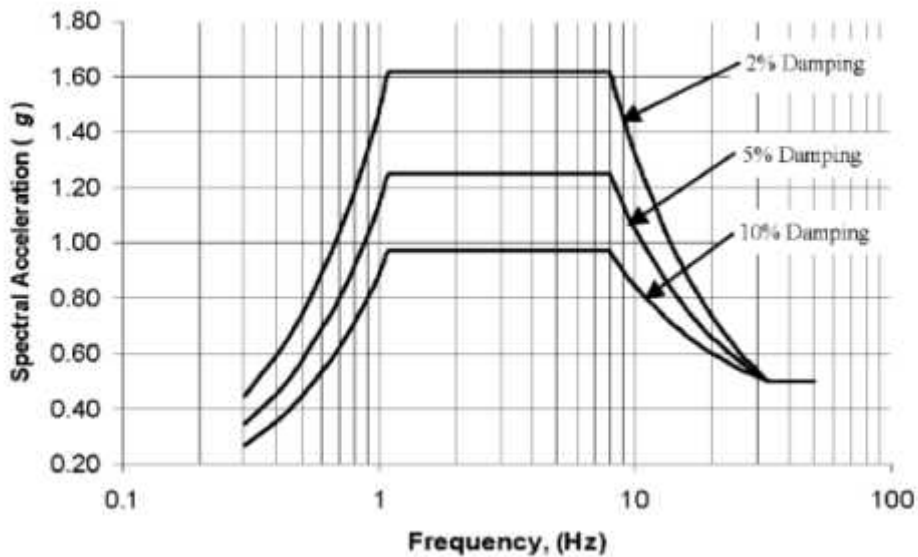
[그림 2-7] ICC-ES AC156 required response spectrum

<표 2-3> ICC-ES AC156 RRS Parameter

Test criteria	A_{FLEX-H}	A_{RIG-H}
ICC-ES AC156	4.0	3.0

- 소형의 고전압 변전설비를 요구에 따라 변전소를 구성하는 개폐기구 중에서도 높은 절연성을 갖는 가스절연개폐장치가 많이 채용되고 있으며, 현대중공업, 효성중공업 등의 중전기 기업들은 가스절연개폐장치의 해외진출을 추진하고 있음. 이러한 전력설비를 미국, 중동 등의 강진지역으로 수출 도모할 경우 해당 규정에 대한 내진성능검증절차를 수행할 필요가 있음. 일반적으로 가스절연개폐기는 [그림 2-8]과

같이 그 규모와 질량이 상당히 큰 관계로 BAY의 단위로 분리하여 내진성능검증실험을 수행하게 됨. 1BAY의 무게도 2ton 이상인 경우가 대부분으로 기존의 진동대 시설을 이용한 내진성능검증실험을 수행하기에는 무리가 있음. IEEE Std 693의 수평방향에 대한 고성능 RRS의 ZPA는 0.5g이고 수직은 수평방향의 80%를 사용하도록 제시하고 있음. 보다 보수적인 performance level은 RRS의 150%이므로 수평방향의 ZPA는 0.75g이고 수직은 0.6g임. IEEE Std 693에서 제시하고 있는 performance level에 대하여서도 실험 가능한 곳은 현재 한국기계연구원과 지진방재연구센터 두 시설뿐으로 늘어나는 수요를 감당하기에 벽찬 실정이며 보다 높은 기준을 적용하였을 경우 IEEE Std 693보다 높은 기준을 요구할 경우 수행할 수 있는 기관은 국내에 없을 것으로 판단됨



[그림 2-8] IEEE Std 693 High RRS, 0.5g

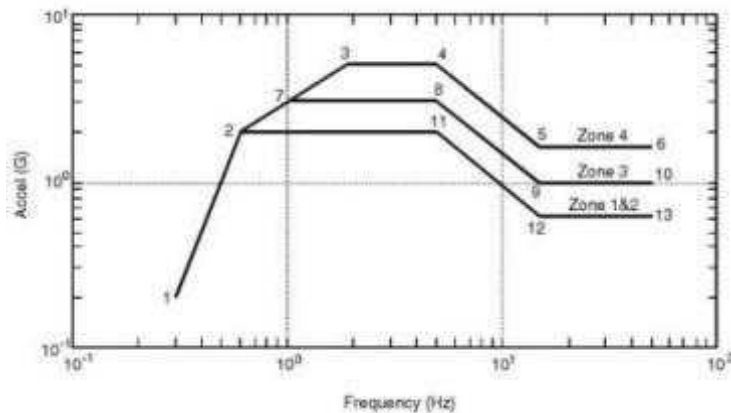


[그림 2-9] 가스절연개폐기



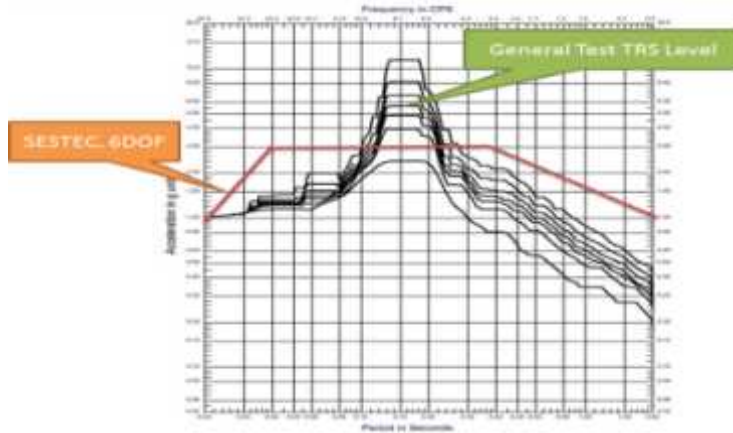
[그림 2-10] 가스절연개폐기 1BAY

- 통신용 비구조 요소가 지진 및 진동에 대한 성능검증을 수행할 경우 IEC 60028-2-57 또는 Telcordia GR-63-CORE를 만족하도록 하고 있다. IEC 60068-2-57에서는 일반적인 진동시험 방법을 제시하고 있으며 시험조건에 따라 ZPA가 0.5g~5g인 응답스펙트럼을 요구하고 있음. 5g이상의 가속도를 구현할 수 있는 진동대의 성능상의 최대적재하중은 3ton 이하이며 실제로 운용중인 적재하중은 2ton 이하이므로 규모가 큰 장비에 대하여 IEC 60068-2-57기준을 만족시킬 수 없음. 적재하중이 충분한 지진방재연구센터나 한국기계연구원의 6자유도 진동대는 구현 가능한 가속도가 낮으므로 기준을 충족시키지 못함
- Telcordia GR-63-CORE는 표준규격으로 채택되어 사용되어지고 있으며 지진의 예상규모에 따라 0부터 4단계로 구분하여 요구응답스펙트럼(RRS)을 적용하고 있음. 미국의 경우 서부 캘리포니아주를 Zone 4로 가장 강한 지진위험지역으로 구분하고 있음. 이는 UBC(Uniform Building Code)에서 구분하는 것과 같음. Telcordia GR-63-CORE는 [그림 2-11]과 같이 각 지역에 따라 RRS를 요구함. Zone 4의 경우 ZPA가 1.6g이고 200mm이상의 변위가 요구되고 있음. 2ton 이상의 시료에 대하여 이 기준을 만족할 수 있는 장비의 수가 부족하므로 늘어나는 수요를 충족시키기에는 부족한 것으로 판단됨



[그림 2-11] 각 Zone에 따른 응답스펙트럼의 크기

- 초고층 구조물에 설치되는 주요 기기 및 원자력 발전소에 적용되는 비구조 요소와 같이 내진성능의 평가가 반드시 이루어져야 하는 경우, 해당 기기가 설치조건과 동일한 조건으로 설치하여 해당 기기에 적용될 위치에서의 진동을 고려한 내진성능을 검증하여야 함.. 이 경우 기기가 설치된 층이 올라감에 따라 각 층의 기준 가속도는 [그림 2-12]의 신울진 원전 1,2호기의 각 층에 따른 TRS(test response spectrum)와 같이 원 지진파에 비하여 증폭되는데, 이러한 층응답 진동을 모사하기 위하여 고성능 진동대가 요구됨



[그림 2-12] 신울진 원전 1,2호기의 각 층에 따른 TRS 예

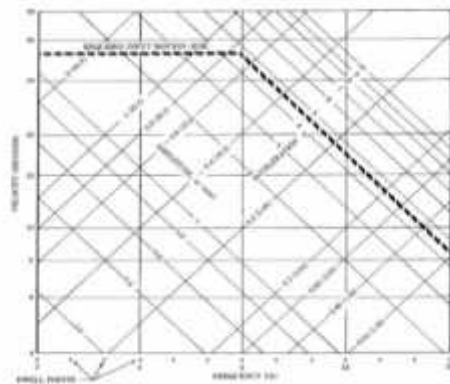
- 초고층 빌딩이나 원자력 발전소 및 주요구조물에 설치되는 기기들은 그 부피에 비하여 무게가 무거운 경우가 많음. 발전소 및 일반 구조물에 반드시 설치되는 배전반의 경우, 평균 중량이 약 1.6ton이나 1기의 배전반이 별도 배치되는 경우는 적으며, [그림 2-13]과 같이 수 개에서 십 수개의 배전반이 열반되어 함께 배치됨. 이러한 경우 현장설치 조건과 일치하도록 배치되어 내진시험을 행하도록 하는 것이 기본 원칙이나, 현재 국내 장비의 시료 설치 용량이나 설치 가능 부피로는 여러 장비를 함께 설치하여 내진성능 검증을 하는 것에 어려움이 있음



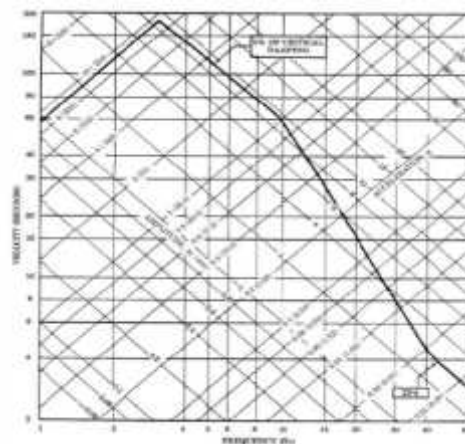
[그림 2-13] 3개의 배전반이 동일위치에 설치되는 경우

- 비구조 요소의 내진성능검증에는 IEEE Std 344, IEEE Std 323 또는 IEEE Std 382 등의 기준이 적용되고 있음. IEEE Std 382는 가장 보수성이 높은 시험방법 중의 하나로서 sine sweeping test인 RIM test를 적용하고 있으며, 기계 및 전력설비의 경우 IEEE Std 382에 의한 시험을 더 선호하는 추세임. 그러나 국내의 5g이상 구현가능한 진동대 중 2ton 이상의 대형 비구조 요소에 대하여 이러한 시험을 수행할 수 있는 시설은 없음. 대형 비구조 요소에 대한 국제기준 대응 내진검증실험을 제한적으로 수행할 수 있는 기관은 <표 2-2>에서 소개한 한국기계연구원(KIMM)과 지진

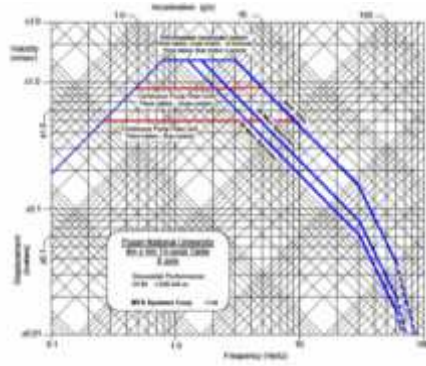
방재연구센터, 한국철도기술연구원 3곳이 있음. <표 2-2>의 장비들 중 가장 성능이 좋은 것으로 알려진 지진방재연구센터의 6자유도 진동대는 시료의 질량이 10ton 이하일 경우 2g이상의 성능을 발휘할 수 있으므로 제한적으로나마 국제기준에 대한 진동내구성 및 내진성능 검사를 실시할 수 있음. 그러나 IEEE Std 382와 같은 보수적인 국제기준들에 대한 성능검증은 수행할 수 없음. 원자력발전소의 설계 응답가속도를 결정하는 Reg. 1.60(Regulatory Guide 1.60.)에서는 33Hz이상을 ZPA로 정의하고 있음. 그러므로 IEEE Std 382에서 요구하는 RRS(required response spectrum)의 ZPA(Zero Period Acceleration)는 3.0g이임. 따라서 현재 국내에서 2ton이상의 시료에 대해 이와 같은 기준을 충족시킬 수 있는 장비는 없는 것으로 판단되며보다 가혹한 조건인 RIM test는 당연히 구현 불가능 함. [그림 2-14]와 [그림 2-15]는 IEEE Std 382에서 제시하고 있는 RIM test용 입력진동과 RRS입



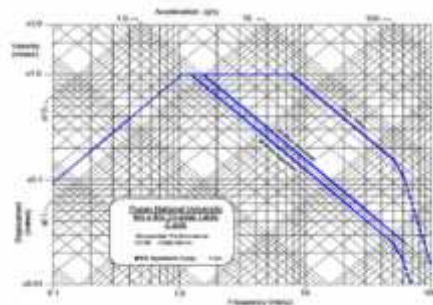
[그림 2-14] IEEE Std 382 Seismic qualification required input motion(RIM)



[그림 2-15] IEEE Std 382 Seismic qualification required response spectrum(RRS)



[그림 2-16] SESTEC Shake Table
Performance Curve for
X-axis(Horizontal)



[그림 2-17] SESTEC Shake Table
Performance Curve for Z-axis(Vertical)

2. 시급성

□ 국내외 현황

- 국내외 지진발생 빈도의 꾸준한 증가 및 지진피해에 대한 대처능력 향상의 필요성이 증가하고 있음
- 지진이 빈번한 일본 및 미국, 유럽과 달리 상대적으로 지진위험이 낮은 국내에서는 아직까지 건설 분야의 비구조 요소에 대한 시험검증방법이 체계화 되어 있지 않음. 따라서 미국, 중동 등의 강진지역으로 수출하는 비구조 요소에 대한 내진성능검증은 ICC-ES AC156, IEEE 382 등의 국제규격을 따르고 있는 실정임
- 초고층 빌딩의 상층부에 위치하게 되는 공조장치 또는 주요 소방안전시설, 배관구조물, 덕트, 선로구조물 등의 옥외시설과 발전소 및 해양플랜트 등에 도입되는 안전 및 운용과 직결되는 비구조 요소들에 대한 내진성능 검증시험의 수요가 근래에 들어 크게 증가하고 있는 추세임

- 중전기 업체들이 유럽, 북미 등 강진지역으로 진출하기 위하여 내진성능 검증이 반드시 필요함
- 전 세계적으로 건설기계의 수요가 증가하고 있으며 진동내구성 및 승차감에 대한 실험적 검증의 수요가 증가하고 있음
- 원자력발전소에 도입되는 비구조 요소는 내진성능에 대한 검증절차가 이루어져야 하지만 국내의 장비로는 국제기준을 만족시킬 수 없는 경우가 많음
- 고부가가치의 비구조 요소를 해외 강진지역으로 수출하기 위해서는 해당지역의 조건에 부합하는 내진성능검증절차를 수행할 필요가 있으며, 현재 국내의 인프라가 부족하여 제한적인 검증을 수행하거나 해외기관에 의뢰하는 경우가 빈번함

□ 시급성

- 국가 기간시설에 대한 내진성능검증 요구와 함께 중전기, 공조기기, 소방안전기기 등 고부가가치의 비구조 요소를 수출하기 위한 내진 및 내진동 성능검증시험의 수요가 증가하고 있으나, 구조물 및 비구조 요소에 대한 내진성능 검증은 실험의 한계로 인하여 대부분 해석검증이 또는 부품단위의 내진성능검증이 주를 이루고 있음
- 복잡한 기능이 연계되어 있는 경우에는 부품 개별 내진성능 검토 결과가 실제 설치 상태에서의 내진성능 검증결과를 대신하기는 어려움
- 해석검증이 가지는 신뢰성의 한계로 인한 실구조물 및 부품에 대한 진동내구성 및 내진성능 실험은 필수적임
- 고부가가치의 비구조 요소를 해외 강진지역으로 수출하기 위한 내진성능검증시험의 수요가 증가
- 일반적으로 비구조 요소의 진동내구성검증에는 IEEE Std 693과 ICC-ES AC156 등의 기준이 적용되며 발전소 특히, 원자력발전소와 관련된 비구조 요소의 내진성능 검증에는 IEEE Std 344, IEEE Std 323, IEEE Std 382와 같은 기준을 적용시키고 있음. IEEE Std 382는 가장 보수성이 높은 시험방법 중의 하나로서 sine sweeping test인 RIM test를 적용하고 있으며 기계 및 전력설비의 경우 IEEE Std 382에 의한 시험을 더 선호하는 추세임. 그러나 국내에서 이러한 시험을 수행할 수 있는 시설은 없으며 제한적으로 SGS, 한국산업기술시험원(KTL)에서 수행하고 있음
- 5ton 이상의 시험체에 대해 내진성능 검증 및 진동내구성 검증실험을 수행할 수 있는 시설은 2~3개의 시험기관뿐이며 동일한 시험체에 대하여 IEEE Std 382 등의 기준을 적용한 내진성능 검증실험을 수행할 수 있는 기관은 없음. 또한, 4g 이상의 충격파에 대한 시험을 수행할 수 있는 기관은 국내에는 전무함
- 내진 및 내진동 성능검증실험이 국내에서 이루어질 수 없다면 외국의 실험기관에

서 검증을 수행하여야 하며 이 때 발생하는 비용은 국내에서 수행하는 경우에 비교할 수 없을 정도로 고가임. 또한, 국내에서 실험을 직접 수행하면서 문제점을 파악하여야 관련 기술의 개발 및 발전을 도모할 수 있는 기회가 다양하게 주어질 것임

제 3 절 활용분야 및 범위

- 10g급 6자유도 진동대 장비를 활용하여 수행 가능한 실험 분야는 크게 내진성능검증실험 및 진동내구성검증실험으로 분류할 수 있음
 - 실험 대상은 건축구조물, 교량 및 원전구조물 등의 비구조 요소로, 지진에 의해 구조물이 붕괴되지 않았다 하더라도 비구조요소의 손상으로 제 기능을 발휘하지 못하여 경제적인 손실이 동반됨
 - * 건축물 천정 부착물, 배관, 스프링클러 시스템
 - * 건축물 바닥 마감재인 이중마루, 외벽 석재마감재
 - * 기타 기계, 전기, 전자 계통 설비 등
 - 내진성능검증실험은 시료의 설치조건과 구조물에서의 위치 및 지역 등을 고려하여 해당 상황에 알맞은 진동을 입력하여 지진하중 발생 시 시료의 건전성을 검토하는 것
 - 진동내구성검증실험은 건설기계, 조선, 자동차등에 적용 가능한 실험으로 발생 가능한 진동을 장시간 입력하여 해당 장비 및 기기의 내구성을 검토하는 것
 - 승차감조사는 건설기계, 차량 등의 승객이 진동으로 인하여 느끼는 불편함의 정도를 측정하는 것

<표 2-4> 10g급 6자유도 진동대 장비의 세부 활용분야 및 범위.

분야	세부분야	실험영역
내진성능검증	비구조 요소	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초고층 건물 및 발전소, 철도구조물 등의 기반시설에 위치한 주요 비구조 요소를 대상으로 설계지진 또는 진동의 규모와 설치위치 등을 고려하여 내진성능 및 진동내구성 평가
진동내구성검증	비구조 요소	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해양플랜트, 선박 등에 적용되는 전력설비, 배관 등의 비구조 요소에 대한 진동내구성 검사
	건설기계 및 차량	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설기계 또는 차량 등의 주요 부품에 대한 진동내구성 검사
승차감조사	건설기계 및 차량	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자동차, 건설기계의 캐빈 등에 대한 승차감 조사

□ 사회·경제적

- 국내 시설을 이용한 내진성능검증을 통한 경제성 확보
 - 국내에서 내진성능검증이 불가능할 경우 해외 실험기관을 통한 내진성능 검증 필요
 - 내진성능 검증시 해외기관을 이용할 경우 높은 기술료, 시료의 이동, 환율변동 등으로 인하여 비경제적
- 사회기반시설 및 설비에 대한 안전성 확보
- 통신, 전력설비 등의 비구조 요소의 내진성능검증에 대한 기술 및 가격경쟁력 확보
- 해외사업수주를 통한 고용창출 및 국가인지도 상승
- 자동차, 조선, 건설기계 등의 산업 전반에 대한 진동실험 인프라 구축 가능

□ 기술적

- 내진성능실험의 수행을 통하여 비구조 요소 전반에 대한 관련 기술 개발 및 데이터 축적 가능
- 건축구조물의 비구조 요소를 포함한 건설기계, 자동차, 조선, 방위산업등의 산업전반에 대해서 세계 최고수준의 진동실험이 가능한 환경 구축
- 에너지사업에 대한 기술경쟁력 제고 및 진동관련 핵심기술의 연구개발 지원가능

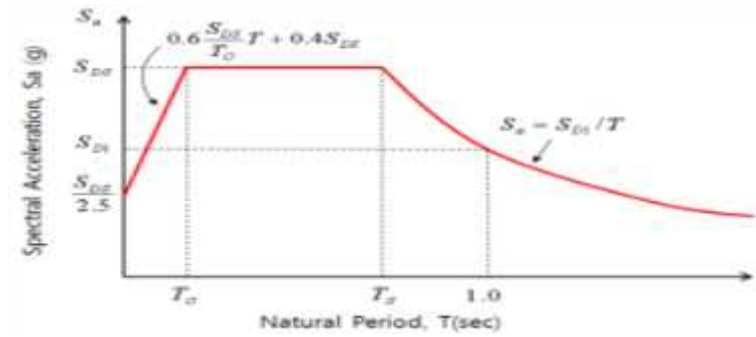
제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향

1. 연구개발 및 기술 동향

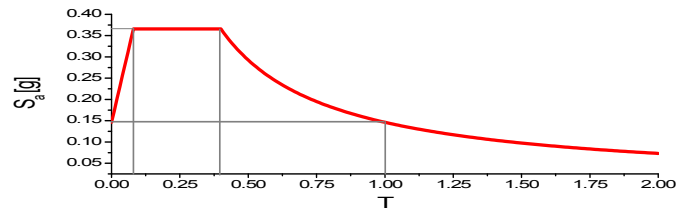
가. 국내 동향

□ 전기통신설비의 내진 시험방법

- 철탑시설물 및 선로구조물과 같은 옥외구조물과 통신장비, 전원설비, 부대설비 등을 대상으로 하는 내진성능 시험규정
- 수변전장치와 예비전원설비와 철탑시설물 및 선로구조물 등의 옥외구조물은 시험 검증 또는 해석검증을 적용하도록 하고 있다. 그 이유는 규모가 철탑, 선로구조물과 수변전장치 등은 국내 실험요건 특히, 장비의 제약 등으로 인하여 해석적인 검증을 허용하고 있는 것으로 판단됨
- 시험방법
 - 내진설계 검증을 위해 시험대상설비에 인가하여야 하는 최소 지진가속도의 주파수 함수인 요구응답스펙트럼은 지반과 동일한 높이 또는 지하에 설치되는 경우에는 지반응답스펙트럼을 사용
 - 건물의 지반보다 높은 층에 시설되는 설비는 해당 층의 층응답스펙트럼을 사용
 - 시험대상설비는 진동대 위에 실제 사용되는 형태와 동일하게 구성하여 설치
 - 진동주파수범위의 최저주파수는 1Hz 이하, 최고주파수는 50Hz 이상
 - 3축(X/Y/Z)가진을 기본으로 함.
- 지반응답스펙트럼은 건축구조설계기준의 설계스펙트럼가속도에 따라 작성하여 사용
- 층응답스펙트럼은 전기통신설비가 설치되는 해당 층에 대한 응답스펙트럼을 작성하여 사용하거나 [그림 2-20]의 층응답스펙트럼을 사용
- 설계스펙트럼가속도(건축구조설계기준)
 - [그림 2-18]은 건축구조설계기준의 설계스펙트럼가속도이며 [그림 2-19]는 건축구조설계기준에서 제시하고 있는 제 1 지진지역의 보통암 지반에서의 설계스펙트럼가속도임



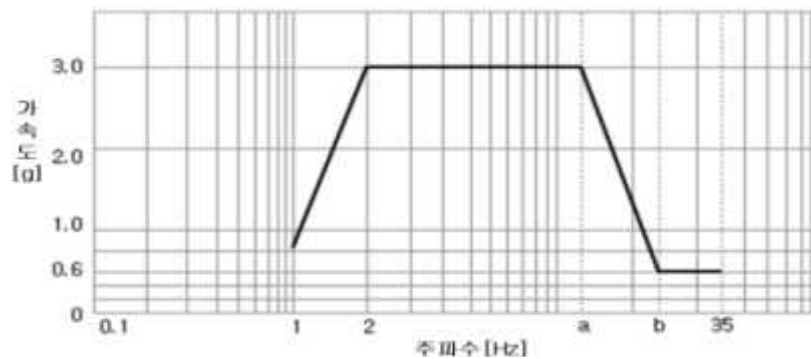
[그림 2-18] 설계스펙트럼가속도(건축구조설계기준)



[그림 2-19] 건축구조설계기준의 설계스펙트럼가속도[보통암지반(S_B), 지진지역(1지역)]

o 응답스펙트럼

- $g = 9.8\text{m/s}^2$
- $a = 35/3\text{Hz}$, $b = 2a$
- 감쇠율(damping ratio)은 2%를 적용.
- 1Hz에서 2Hz까지의 가속도 변화는 12dB/octave의 기울기를 갖도록 해야 함
- a에서 b까지의 변화는 로그리듬 단위에 의한 선형보간법을 적용해야 함
- 수직방향 진동에 대한 응답스펙트럼의 경우 영주기 가속도 (0.6g)를 최대50%까지 경감시켜 사용할 수 있음

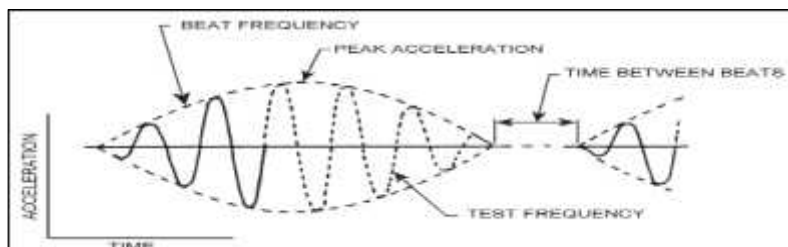


[그림 2-20] 전기통신설비의 내진 시험방법의 응답스펙트럼

- 가스절연개폐기, 선로구조물, 배전반 등의 규모가 큰 구조물 및 장비는 설치조건에 맞추어 내진성능 시험을 실시하여야 하나 국내 실험조건 특히, 장비의 제약 등으로 인하여 개별 내진성능 검증을 실시하고 있는 실정이며, 그 중에서도 부피가 크거나 무거운 장비의 경우는 부품별로 내진성능을 검증하는 것을 대신하고 있음. 하지만 부품별 내진성능 검토결과가 실제 설치 및 조립된 상태의 내진성능을 대신할 수 없으므로 관련 연구자 및 전문가들로부터 조합된 기기의 내진성능이 가능한 고성능 진동대에 대한 요구가 증가하고 있음

나. 국외 동향

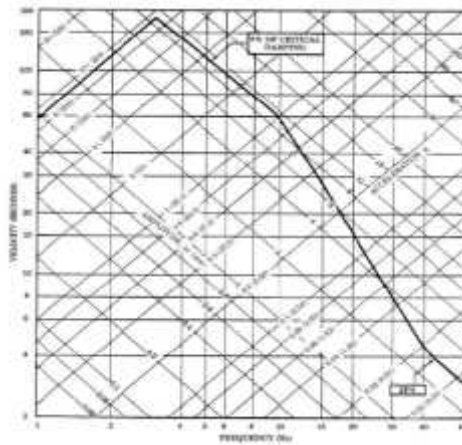
- IEEE Std 344 : IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations
 - 원자력 발전소와 관련된 비구조 요소의 내진성능검증에는 IEEE Std 344, IEEE Std 323 또는 IEEE Std 382 등의 기준이 적용되고 있음
 - IEEE Std 323과 IEEE Std 344는 원자력 발전소에 설치되는 E1급 장비의 내진성능 검증실험을 위한 규정으로 IEEE Std 344는 시험 방법에 대한 규정임
 - 실험 시료는 실제구조물에 설치되는 것과 동일한 조건으로 진동대에 설치되어야 하며 지진 실험 중 또는 실험이 끝난 후에 장비의 안전기능이 작동할 수 있음을 입증하여야 함을 명시하고 있음
 - 적절하게 모델링 할 수 없는 복잡한 구조물에 대해서는 해석적인 방법으로 내진성능을 평가할 수 없음
 - TRS(test response spectrum)는 RRS를 포락하여야 하며, 지진동은 3축으로 상호 독립적인 신호를 입력하여야 함
 - 강진지속시간은 10~15초, 주파수범위는 1~33Hz를 권장하고 있음
 - Sine-beat test는 [그림 2-21]과 같이 주파수 및 그 진폭의 정현파로 구성되어지고 첨두값은 RRS 첨두값의 1.5배를 사용함. 따라서 RRS의 peak값이 2g이상이고 시료의 무게가 2ton 이상인 경우 현재 국내기관이 보유중인 진동대 장비로는 실험이 어려운 실정임



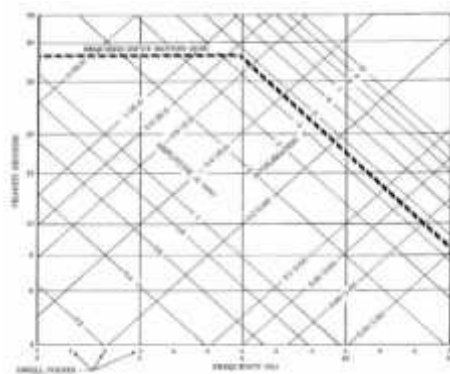
[그림 2-21] Sine beat test

□ IEEE Std 382 : IEEE Standard for Qualification of Safety-Related Actuators for Nuclear Power Generating Stations

- IEEE Std 382는 가장 보수성이 높은 시험방법 중의 하나로서 sine sweeping test인 RIM test를 적용하고 있으며 기계 및 전력설비의 경우 IEEE Std 382에 의한 시험을 더 선호하는 추세임. [그림 2-22]와 [그림 2-23] IEEE Std 382에서 제시하고 있는 RRS(required response spectrum)와 RIM test용 입력진동임
- [그림 2-22]와 [그림 2-23]의 내용을 종합하였을 때 2ton 이상의 비구조 요소에 대하여 IEEE Std 382규정을 적용한 내진성능시험을 수행하기 위해서는 동작주파수의 범위가 2~50Hz이상, 변위가 $\pm 250\text{mm}$ 이상, 최대적재하중이 2ton 보다 충분히 큰 6g이상의 6자유도 진동대 장비가 요구됨



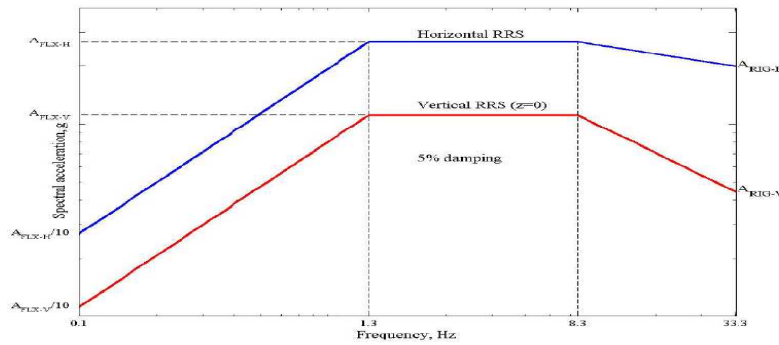
[그림 2-22] IEEE Std 382 Seismic qualification required response spectrum (RRS)



[그림 2-23] IEEE Std 382 Seismic qualification required input motion (RIM)

□ ICC-ES AC156 : Acceptance Criteria for Seismic Certification by Shake-table Testing of Nonstructural Components

- 비구조 요소에 대한 진동대 실험 기준으로 RRS는 [그림 2-24]과 같으며 감쇠비는 5%를 사용하고 있음



[그림 2-24] ICC-ES AC156 required response spectrum

<표 2-5> ICC-ES AC156 RRS Parameter

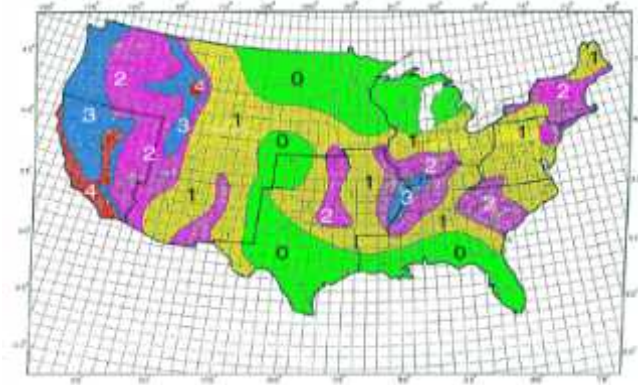
Test criteria	A_{FLEX-H}	A_{RIG-H}
ICC-ES AC156	4.0	3.0

- RRS수평 성분의 최대값은 <표 2-5>와 같음.
- 그러므로 ICC-ES AC156에서 제시하는 가장 가혹한 조건을 만족하기 위해서는 진동대 장비의 최대가속도가 4g이상이 되어야 함
- RRS 의 수직방향 성분은 각각 A_{FLEX-H} 의 67%, A_{RIG-H} 의 27%임
- 진동지속시간은 30초 이상, 강진지속시간은 20초 이상을 권장하고 있음

□ Telcordia GR-63-CORE : NEBSTM Requirements: Physical Protection

- Telcordia GR-63-CORE는 통신장비 및 통신용 비구조 요소에 대한 표준규격으로 채택되어 사용되어지고 있으며 지진의 예상규모에 따라 0부터 4단계로 구분하여 요구응답스펙트럼(RRS)을 적용하고 있음
- Zone1부터 Zone4까지의 지진위험지역을 UBC(Uniform Building Code)를 적용하여 구분하고 있음. Zone0은 지진위험이 없는 지역임

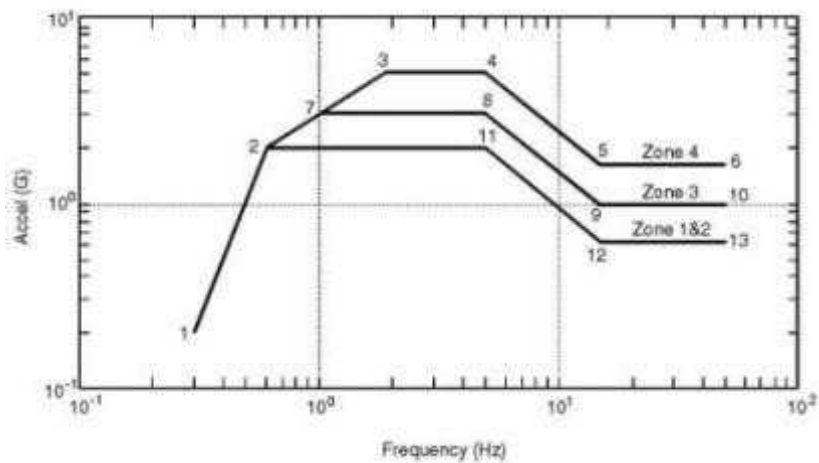
- o Telcordia GR-63-CORE는 지진위험지역에 따라 요구하는 RRS의 크기가 다름. Zone 4의 경우 ZPA가 1.6g이고 200mm이상의 변위가 요구되고 있음
- o 강진구간은 최대 진폭의 25%를 넘는 시간부터 25%이하의 진폭이 유지되기 시작하는 시간까지로 설정함



[그림 2-25] 지진위험지역

<표 2-6> 지진위험지역

Earthquake Risk Zone	Richter Magnitude	Modified Mercalli Index (MMI)	Low Frequency Ground Acceleration (g's)	Low Frequency Upper Building Floor Acceleration (g's)
0	< 4.3	V	< 0.05	< 0.2
1	4.3 - 5.7	V - VII	0.05 - 0.1	0.2 - 0.3
2	5.7 - 6.3	VII - VIII	0.1 - 0.2	0.3 - 0.4
3	6.3 - 7.0	VIII - IX	0.2 - 0.4	0.4 - 0.6
4	7.0 - 8.3	IX - XII	0.4 - 0.8	0.6 - 1.0



[그림 2-26] 각 Zone에 따른 응답스펙트럼의 크기

- 시험전에 1~50Hz범위의 0.2g수준의 가속도 정현파를 1 oct/min의 변화율로 주파수 소인시험을 하거나 최대가속도 0.2g 수준의 랜덤파형으로 가진하여 진동대와 시험체 사이의 전달함수를 구해 고유진동수와 감쇠계수를 판단하도록 해야 함. 지진 시험 후에도 동일한 절차로 공진탐색을 하여 시험체의 동특성 변화를 비교해야 함
- 시험과정은 모두 비디오로 녹화하여야 함
- 지진시험은 전기적 성능을 유지한 상태에서 3축 각 방향으로 가진해야 함

□ IEC 60028-2-57

- IEC 60068-2-57에서는 일반적인 진동시험 방법을 제시하고 있으며 시험조건에 따라 ZPA가 0.5g~5g인 응답스펙트럼을 요구하고 있음. ZPA가 1g인 경우의 속도는 65cm/s, 변위는 60mm 수준이 됨
- EC 60068-2-57에서는 시간이력의 포락함수는 정의하고 있지 않음
- EC 60068-2-57는 시험 전후로 주파수소인법에 의한 공진탐색시험을 요구하고 있으며, 시험 전과 후의 공진주파수가 달라졌을 경우의 원인과 조치 후 공진탐색시험을 다시 수행한 결과를 상세히 기록하도록 하고 있음
- 시험은 3축동시가진을 권장하고 있으며 시간이력의 RRS는 동일하되 형태가 다르게 제작되어야 하며 통계학적으로 독립성이 유지되어야 함. IEEE Std 344에서는 상관계수값이 0.3을 초과하지 않으면 독립성을 가진다고 정의하고 있음
- 지진시험중 시험체의 가동을 점검하여야 함

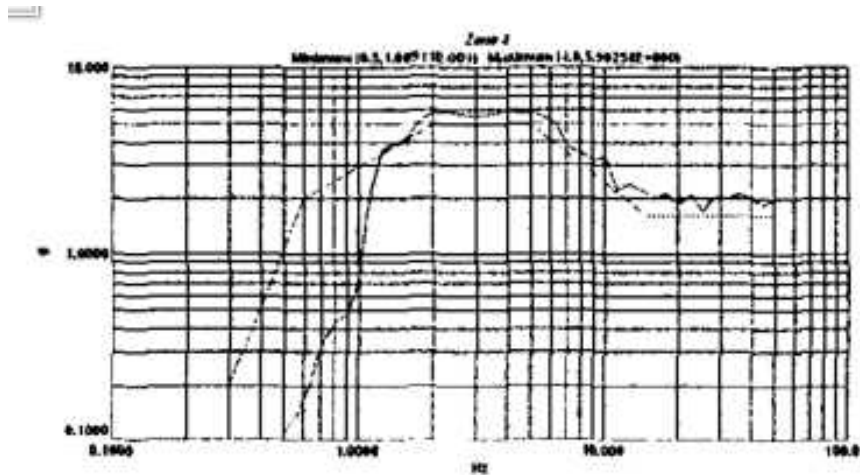
다. 소결

- 국외 기준들의 최대 요구사항을 정리하면 <표 2-7>과 같음. IEEE Std 344의 경우 표에는 따로 표시하지 않았으나 Sine-beat test의 진폭은 RRS 첨두값의 1.5배를 사용하도록 권장하고 있으므로 진동대 장비의 최대가속도가 클수록 좋음
- 최대가속도 6g, 최대변위 250mm를 만족하는 진동대 장비를 도입하게 되면 국제요구 기준을 만족할 수 있을 것으로 판단됨

<표 2-7> 지진위험지역

기준	최대가속도 [g]	최대변위 [mm]
Telcordia GR-63-CORE	1.6	200
IEC 60028-2-57	5	
ICC-ES AC156	4	
IEEE Std 382	6	250
전기통신설비의 내진 시험방법	0.6	

- o Telcodia GR-63-CORE의 RRS를 이용하여 합성된 시간이력은 저주파수 부분의 높은 진폭을 요구하게 되어 Zone 4의 경우 200mm를 초과하는 성능을 가진 진동대가 필요함. 따라서 현실적인 시험을 위해 High Pass Filter을 0.8Hz로 적용하면 1.2Hz 이상의 구간에서 시험용 TRS가 RRS를 포락하게 되며 변위는 100mm정도로 구현이 가능하게 됨



[그림 2-27] Zone 4의 RRS와 TRS

- o 180mm이상의 최대변위를 확보하게 되면 IEEE Std 382의 RIM test까지 수행할 수 있게 되어 국제기준이 요구하는 저주파 성분을 구현할 수 있음
- o 부품별 내진성능 검토결과가 실제 설치 및 조립된 상태의 내진성능을 대신할 수 없으므로 관련 연구자 및 전문가들로부터 조합된 기기의 내진성능이 가능한 고성능 진동대에 대한 요구가 증가하고 있음
- o 가스절연개폐기, 선로구조물, 배전반 등의 규모가 큰 구조물 및 장비는 설치조건에 맞추어 내진성능 시험을 실시하여야 하나 국내 실험조건 특히, 장비의 제약 등으로 인하여 개별 내진성능 검증을 실시하고 있는 실정이며, 그 중에서도 부피가 크거나 무거운 장비의 경우는 부품별로 내진성능을 검증하는 것을 대신하고 있음
- o 따라서 국내의 비구조 요소에 대한 내진성능검증기준은 “전기통신설비의 내진 시험방법”밖에 없는 실정임. 국제수준의 진동기술력을 가지기 위해서는 고성능의 진동대가 필요하며 이를 바탕으로 실험데이터를 축적하고 진동검증기술을 발전시킨다면 독자적으로 비구조 요소에 대한 내진성능검증 기준을 제시할 수 있을 것임. 세계적으로 비구조 요소에 대한 내진성능 검증요구가 증가하는 시점에서 국내 기업들이 시장경쟁성을 가지기 위해서는 국제기준을 만족하는 내진성능검증실험을 수행할 수 있어야 할 것임

- 비구조 요소의 내진성능시험에 대한 국제기준 중 하나인 IEEE Std 344에 의하면 여러 부품들의 조합으로 이루어진 장비들은 해석적인 방법으로 내진성능 검증을 대신할 수 없으며 실험을 통하여 그 성능을 검증할 것을 권고하고 있음
- 전 세계적으로 국가 기간시설에 대한 내진성능 검증의 수요가 증가하고 있으며, 특히 원자력발전소의 경우 모든 주요장비 및 비구조 요소들은 내진성능검증을 수행하여야 하는 경우가 대부분임
- 원자력 발전소에 도입되는 비구조 요소나 옥외에 설치되는 비구조 요소는 그 규모가 큰 경우가 많으므로 도입할 진동대 장비의 최대적재하중은 최소 5ton 이상이 되어야 할 것으로 판단됨
- 미국, 중동 등의 해외 강진지역으로 수출하는 국내 업체들의 시험수요도 늘어나고 있는 실정으로 규모와 최대가속도가 충분한 진동대의 도입이 시급한 실정임. 본 기관에서 요구하는 6ton 이상 10g급 6자유도 진동대는 이러한 수요와 요구를 충족시켜줄 수 있는 장비이며, 기존의 이동 가능한 3자유도 진동대 및 고정된 6자유도 진동대와 연계하여 선로구조물 등의 길이가 긴 구조물의 내진성능시험이 가능할 것으로 예상됨
- 내진 및 내진동 성능검증실험이 국내에서 이루어질 수 없다면 외국의 실험기관에서 검증을 수행하여야 하며 이 때 발생하는 비용은 국내에서 수행하는 경우에 비교할 수 없을 것임. 또한, 국내에서 실험을 직접 수행하면서 문제점을 파악하여야 관련 기술의 개발 및 발전을 도모할 수 있는 기회가 다양하게 주어질 것으로 판단됨

2. 시설·장비 구축현황

가. 국내 현황

□ 구현가속도 5g이상의 진동대

- 국가연구시설 장비관리 서비스에 등재된 고성능 진동대라 할 수 있는 것은 구현 가속도 5g 이상의 진동대를 기준으로 할 수 있음. 따라서 이러한 진동대의 크기 및 실험 가능 중량을 고려한 국내 주요 장비 현황은 <표 2-8>과 같음

<표 2-8> 5g이상의 가속도를 구현 가능한 국내 6자유도 진동대 현황

기관	Size (m ²)	Payload (metric tonnes)	Acceleration (g)
전력연구원	6.25	2	9
창원대학교	3.15	1	8
한국표준과학연구원	1.44	0.5	10
SGS	6.25	3	5.5
한국산업기술시험원	6.25	2.5	10
한국산업기술시험원	1.44	1	5
한국기계연구원	?	2	6

- 현재 SGS와 한국산업기술시험원에서 보유중인 진동대는 동일한 제작사에서 납품한 제품으로 성능이 유사함. 두 기관모두 최대적재하중은 2.5~3ton 이지만 2ton 이상의 시료에 대해서는 장비노후화 및 안전 등의 이유로 실험을 수행하지 않음
- 공동 활용이 가능한 6자유도 진동대 장비 중 5g이상의 실험이 가능한 장비는 <표 2-6>와 같이 한국표준과학연구원의 6-자유도 진동제시장치와 한국전력공사 전력연구원의 전력설비 내진검증용 6자유도 진동대, 창원대학교 6자유도 진동내구성평가 시험기 등이 있으나, 해당 장비들에 적용이 가능한 시료의 무게는 최대 2ton 이하이므로 원자력 발전소에 설치되는 기기나 초고층 빌딩에 설치되는 기기들의 무게에 비하여 충분하지 못함
- 현재 국내에서 보유중인 구현가속도가 5g이상의 진동대 중 창원대학교의 6자유도 진동내구성 평가시험기는 단독활용만 가능하도록 되어 있으며, 공동활용이 가능한 장비는 한국전력공사 전력연구원의 전력설비 내진검증용 6자유도 진동대와 한국표준과학연구원의 6자유도 진동대 장비뿐임
- 이들 중 한국표준과학연구원의 장비는 시료설치 면적이 1.2m×1.2m에 불과하여 배전반 1기의 시험도 어려울 수 있으며, 전력연구원의 고성능 진동대 또한, 그 용량이 2ton으로 고성능 진동대의 용량의 국제수준인 20ton의 1/10에 불과하여 충분한 용량과 성능이 확보된 고성능 진동대의 도입이 매우 시급한 실정임

□ 6자유도진동제시장치(한국표준과학연구원)

- 개요 : 인체에 미치는 진동을 연구하기 위하여 특수하게 설계 제작된 진동 재현장치로서 자동차 승차감 연구 및 전신 진동에 대한 인체 반응연구 등에 사용을 목적으로 하여 제작되었음
- 위치 : 대전
- 부대 시설 및 장비 : 6-자유도 IMS 측정 센서, 6-자유도 Force platform, 인체 피폭 진동 측정용 12축 진동측정장치 등

장비명	6-자유도 진동제시장치 (6-DOF Vibration Simulator)	보유기관	한국표준과학연구원
목적	인체에 미치는 진동을 연구		
규모/성능/사양	주파수범위: 1 Hz ~ 60 Hz 최대가속도: ±10 g 최대변위: 250 mm 최대적재하중: 500 kg 진동대 크기: 1.2 m * 1.2 m		
특징			
활용범위	자동차 승차감 연구 (자동차 시트 등) 전신 진동에 대한 인체의 반응연구		
비고	제작사(국가) :유응연제작소(대한민국)		
장비사진			

□ 6자유도 진동내구성평가 시험기(창원대학교 진동내구성 평가센터)

○ 개요 : 중앙정부를 비롯한 경상남도 및 창원시에서 32억원, 창원대에서 토지 및 건물과 현금 2억 5천만원, 볼보그룹코이아(주)에서 6억원의 현금 등 총 41억여원의 지원을 기반으로 2004년 구축되었으며, 진동·피로내구성 관련 산·학·연 네트워크를 바탕으로 동남권기업체의 진동·피로내구성 평가업무를 지원하고 있음. 이는 동남권역 및 국내의 진동·피로내구성 평가를 요구하는 자동차부품, 건설기계, 수송기계, 전자부품, 우주항공 및 기계부품소재분야의 수요에 적극 대응하며 동남권역 기업체의 경쟁력 제고에 핵심부분이 되고 있음

○ 위치 : 창원

장비명	6자유도 진동내구성평가 시험기	보유기관	창원대학교
목적	진동내구성 평가		
규모/성능/사양	주파수범위: 0 Hz ~ 50 Hz 최대가속도: ±8 g 최대적재하중: ±680 kg 진동대 크기: 1.5 m * 2.1 m		
특징			
활용범위	자동차부품, 건설기계, 수송기계, 전자부품, 우주항공 및 기계부품분야		
비고			
장비사진	  		

□ 6자유도진동시험대(한전 전력연구원)

- 개요 : 기기 및 구조물의 내진검증과 내진성능평가를 위해 6 자유도 진동시험대를 운영하고 있음. 한전 전력연구원이 보유한 6 자유도 진동시험대의 테이블 크기는 가로, 세로 2.5m 이며 시험체 최대 중량 2ton 에 대해 x축 수평방향으로 5g, y축 수평방향으로 6g, z축 수직방향으로 9g까지의 지진가속도를 구현할 수 있음.
- 위치 : 대전

장비명	내진검증용 6자유도 진동대	보유기관	한전 전력연구원
목적	기기 및 구조물의 내진검증과 내진성능평가		
규모/성능/사양	주파수범위: 0 Hz ~ 60 Hz 최대가속도: 세로 ±5g 가로 ±6g 연직 ±9g 최대적재하중: 2000 kg 진동대 크기: 2.5 m * 2.5 m		
특징			
활용범위	기계장비, 전력장비 등의 비구조 요소		
비고			
장비사진			


□ MAST(SGS)

- o 개요 : SGS에서 보유중인 진동대는 IST(Germany)의 제품으로 최대적재하중은 3ton이지만 2ton이상의 시료에 대해서는 실험을 수행하지 않고 있음. 최대입력가속도는 10g이고 최대변위는 180~200mm이며 시료의 설치가능 면적은 2.5m×2.5m임.
- o 위치 : 용인

장비명	MAST (Multi-Axial Shaking Test System)	보유기관	SGS
목적	기기 및 구조물의 내진성능평가		
규모/성능/사양	주파수범위: 0.1 Hz ~ 100 Hz 최대가속도: ±10g 최대적재하중: 3000kg 최대변위: ±180mm 진동대 크기: 2.5 m * 2.5 m		
특징			
활용범위	기계장비, 전력장비 등의 비구조 요소 및 건축 및 토목구조물		
비고	제조사(국적): IST(독일)		
장비사진			

□ 내진실험설비(한국산업기술시험원)


- o 개요 : 한국산업기술시험원에서 보유중인 6자유도 진동대는 IST(Germany)의 제품으로 3000kg급과 1000kg급이 있음. 3000kg급 6자유도 진동대는 SGS의 장비와 그 성능이 비슷하며 2ton이상의 시료에 대해서는 실험을 수행하지 않고 있음
- o 위치 : 서울

장비명	내진실험설비(3000kg)	보유기관	한국산업기술시험원(KTL)
목적	내진실험		
규모/성능/사양	주파수범위: 0 Hz ~ 60 Hz 최대가속도: ±10g 최대적재하중: 3000kg 최대변위: ±200mm 진동대 크기: 2.5 m * 2.5 m		
특징			
활용범위	원자력기기 성능검증		
비고	제조사(국적): IST(독일)		
장비사진			

장비명	내진실험설비(1000kg)	보유기관	한국산업기술시험원(KTL)
목적	내진실험		
규모/성능/사양	주파수범위: 0 Hz ~ 100 Hz 최대가속도: ±5g 최대적재하중: 1000kg 최대변위: 수평 ±200mm, 수직 ±150mm 진동대 크기: 1.2 m * 1.2 m		
특징			
활용범위	원자력기기 성능검증		
비고	제조사(국적): IST(독일)		
장비사진			

□ (6DOF)Vertical Excitation system(한국기계연구원)

- 개요 : 복잡한 가진 조건 하에서 산업기계의 신뢰성을 실험하기 위한장비임.
- 위치 : 대전

장비명	(6DOF)Vertical Excitation system	보유기관	한국기계연구원(KIMM)
목적	신뢰성 실험		
규모/성능/사양	주파수범위: 0.1 Hz ~ 100 Hz 최대적재하중: 2,000kg 6자유도 최대가속도: 수평 ±6g 수직 ±9g		
특징	복합적인 가진 조건하에서의 성능을 시험할 수 있는 시험 장비		
활용범위	산업기계의 신뢰성 시험		
비고			
장비사진			

□ 1.5g이상의 최대적재하중 30ton이상의 진동대.

- 국내기관이 보유중인 최대적재하중이 30ton 이상, 최대가속도가 1.5g이상인 6자유도 진동대 장비의 현황은 <표 2-9>와 같음. 적재하중이 충분하므로 10ton이하의 시료에 대해 2g이상의 가속도로 가진이 가능하여 제한적으로 국제규격에 대한 내진 성능실험이 가능함

<표 2-9> 1.5g이상의 최대적재하중 30ton이상의 진동대 현황

기관	Size (m ²)	Payload (metric tonnes)	Acceleration (g)
한국철도기술연구원	16.81	30	1.7
한국기계연구원	16	30	1.5
지진방재연구센터	16	30	1.5

□ 6자유도 진동대(한국철도기술연구원)

- 개요 : 진동/충격시험을 목적으로 개발되었으며 철도차량용 부품, 함정 탑재 장비 및 산업기계 전반에 걸친 진동 및 충격실험을 수행하고 있음.
- 위치 : 광명

장비명	6-자유도 진동대	보유기관	한국철도기술연구원
목적	지진파(지반가속도 이력) 모사		
규모/성능/사양	주파수범위: 0 Hz ~ 60 Hz 최대적재하중: 30,000kg 진동대 크기: 4.1 m * 4.1 m 최대가속도: ±0.8~1.7g 최대변위: ± 200~300mm		
특징	Sabio계열 6자유도 제어시스템 및 소프트웨어		
활용범위	토목/건축 (비)구조체의 내진성능 및 기계구성품 진동실험		
비고	제조사(국적): 케이엔알시스템(대한민국)		
장비사진			

□ 6자유도 진동대 시스템(한국기계연구원)

- 개요 : 전자.전기기기, 원자력발전소에 설치되는 각종 기기의 내진성능시험 및 기계, 건축, 토목, 선박(함정), 해양구조물 등 수송기계 및 부품에 대한 지동내구성 실험을 수행하고 있음.
- 위치 : 대전

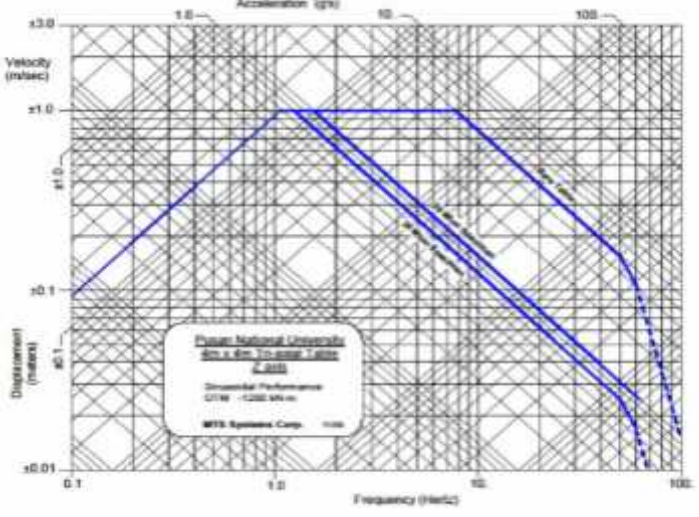

장비명	6자유도 진동대 시스템 (6 D.O.F Seismic Table)	보유기관	한국기계연구원 (KIMM)
목적	내진동시험		
규모/성능/사양	주파수범위: 0 Hz ~ 100 Hz 최대적재 하중: 30,000kg 진동대 크기: 4 m * 4 m 최대가속도: 수평 ±1.5g 수직 ±1.0g 최대속도: 수평 ±75cm/s 수직 ±50cm/s 최대변위: 수평 ±100mm 수직 ±67mm		
특징	진동/충격시험(KOLAS 시험기관 지정 철도차량용 부품 및 함정 탑재 장비 등의 진동 및 충격시험)		
활용범위	전자.전기기기, 원자력발전소에 설치되는 각종 기기의 내진성 능시험 및 기계, 건축, 토목, 선박(함정), 해양구조물 등 수송 기계 및 부품		
비고	제조사(국적): MTS(미국)		
장비사진			

□ 6자유도 진동대 시스템(지진방재연구센터)

○ 개요 : 6 DOF(자유도) 기록 지진파 등을 재현할 수 있으며, 질량이 큰 실험모형에 대한 내진실험 및 진동 내구성 검증 등에 활용가능한 장비로서, 2기의 이동배치가 가능한 3 DOF 진동대와 연계하여 저주파수 대변위 특성을 갖는 다중지지된 구조물에 대한 다중입력지진파의 모사가 가능한 장비임. 내진실험 연구, 진동내구성 검증 및 충돌실험 등에 활용가능하다. 적재하중에 따라 최대 3g의 가속도를 구현할 수 있음

○ 위치 : 양산

장비명	고정식 6DOF 진동대 (Table C)	보유기관	지진방재연구센터
목적	6 DOF(자유도) 기록 지진파 등을 재현할 수 있는 장비로		
규모/성능/사양	<p>주파수범위: 0 Hz ~ 100 Hz 최대적재하중: 30,000kg 진동대 크기: 4 m * 4 m 수평 3 축, 수직 3축 최대가속도: 수평 ±1.5g 수직 ±1.0g 최대속도: 수평 ±1.5ms 수직 ±1.0ms 최대변위: 수평 ±300mm 수직 ±150mm</p> <p>Shake Table Performance Curve for X-axis(Horizontal)</p>		

	<p style="text-align: center;">Shake Table Performance Curve for Z-axis(Vertical)</p> 
<p style="text-align: center;">특징</p>	<p>2기의 이동식 3자유도 진동대와 연계되어 모델의 구성 및 크기에 따라 이동배치가 가능한 장비로 저주파수 대변위 특성을 갖는 지진파의 모사를 위한 내진실험에 활용가능</p>
<p style="text-align: center;">활용범위</p>	<p>질량이 큰 실험모형에 대한 내진실험 및 진동 내구성 검증 등에 활용</p>
<p style="text-align: center;">비고</p>	<p>제조사(국적): MTS(미국)</p>
<p style="text-align: center;">장비사진</p>	

나. 국외 현황

- 초고층 빌딩 및 원자력 발전소의 시장이 확대되고 그 수요가 증가하고 있으며, 지반가속도에 비하여 증가되는 층응답 가속도의 구현에 대한 관심이 커지면서, 해외에서도 진동대의 신규 구축 또는 장비의 개선 등이 활발히 이루어지고 있음. 이에 국외에서 구축 중이거나 또는 구축이 완료된 진동대 장비 중 6자유도 진동대 현황을 조사하여 <표 2-10>에 나타내었음

<표 2-10> 6자유도 진동대 현황

Region	Country	Location	Size (m)	Payload (metric tonnes)	Acceleration(g)
Africa	Algeria	CGS Laboratory(inconstruction)	6.1 x 6.1	60	±1
Asia	China	China Academy of Building Research, Beijing	6.1 x 6.1	60	±1.5
Asia	China	Guangzhou University	3 x 3	20	±2.6
Asia	India	CPRI Bangalore, Karnataka	3 x 3	10	?
Asia	India	IISc, Bangalore	1 x 1	0.5	±3
Asia	India	SERC, Chennai(3of3), TamilNadu	3 x 3	10	?
Asia	India	Indira Gandhi Centre for Atomic Research(IGCAR), Chennai, Tamil Nadu	3 x 3	10	±1.5
Asia	Japan	NIED'E-Defence'Laboratory, MikiCity	20 x 15	1200	±0.9
Asia	Japan	Ishikawajima Harima Heavy Ind Corp.	4.5 x 4.5	35	±1.5
Asia	Japan	JDC Corp.	?	20	±1
Asia	Japan	Kajima Corp.Ltd.(1of2)	5 x 5	50	±2
Asia	Japan	Kumagai-Gumi Corp Ltd	5 x 5	64	±3
Asia	Japan	Kyoto University	5 x 3	14	±1
Asia	Japan	Kyoto University Disaster Prevention Research Centre	3.5 diameter	?	?
Asia	Japan	Nishimatsu Construction Corp	5.5 x 5.5	65	±2
Asia	Japan	NYK Corporation	2.6 x 2.6	20	±2
Asia	Japan	Okumura Corp.	?	60	±3
Asia	Japan	Penta-Ocean Construction Co. Ltd. (1 of 2)	?	60	±0.5

Region	Country	Location	Size (m)	Payload (metric tonnes)	Acceleration(g)
Asia	Japan	Penta-Ocean Construction Co. Ltd. (2 of 2)	?	60	±1
Asia	Japan	Public Works Research Institute(PWRI)	8 x 8	300	±2
Asia	Japan	Tobishima Corp Ltd	?	20	±1
Asia	Japan	Tokyu Const. Corp.	4 x 4	30	±1
Asia	Malaysia	Sabah University	1.5 x 1.5	?	?
Asia	Taiwan	National Center for Research in Earthquake Engineering	5 x 5	50	±1
Canada	Canada	University of British Columbia (EERF Lab)	4 x 4	30	?
Europe	France	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA), ZALEE(1 of 3)	6 x 6	100	±1
Europe	Greece	National Technical University of Athens	4 x 4	10	±2
Europe	Italy	ENEA	4 x 4	10	±3
Europe	Italy	Enel Hydro S.p.A.: business unit ISMES (1 of 3)	4 x 4	60	±3
Europe	Macedonia	Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology(IZIS), University of SS. Cyril and Methodius in Skopje(2 of 2)	1.4 x 2.5	8	±20
Europe	The Netherlands	European Space Agency(ESA) ESTEC Test Centre	5.5 x 5.5	22.5	±5
Europe	UK	University of Bristol(EERC)	3 x 3	17	±6
Asia	Pakistan	Earthquake Engineering Center, University of Engineering & Technology Peshawar	6.0 x 6.0	60	±1.5
USA	Alabama	NASA	3 x 4.5	1	?
USA	California	University of California at Berkeley	6.1 x 6.1	45	±1.5
USA	New York	University at Buffalo (State University of New York) (2 identical tables of 3)	3.6 x 3.6	50	±1.2
USA	Nevada	University of Nevada at Reno (6 axis table)	2.75 x 2.75	50	±2
USA	Nevada	Dynamic Certification Laboratories	2.0 diameter	4.5	±10
AVG.	-	-	27.4	74.6	±2.2

다. 소결

구분	보유기관 (장비명 또는 국가)	규격, 규모	성능, 사양	
		Size (m)	Payload (metric tonnes)	Acceleration(g)
국내	한국표준과학연구원 (6-자유도 진동제시장치)	1.2 x 1.2	0.5	±10
	창원대학교 (6자유도 진동내구성평가 시험기)	1.5 x 2.1	0.68	±8
	한전 전력연구원 (내진검증용 6자유도 진동대)	2.5 x 2.5	2	±5
	SGS (MAST)	2.5 x 2.5	3	±10
	한국산업기술시험원 (내진실험설비(3000kg))	2.5 x 2.5	3	±10
	한국산업기술시험원 (내진실험설비(1000kg))	1.2 x 1.2	1	±5
	한국기계연구원 ((6DOF)Vertical Excitation system)	?	2	±6
국외	European Space Agency(ESA) ESTEC Test Centre (The Netherlands)	5.5 x 5.5	22.5	±5
	University of Bristol(EERC) (UK)	3 x 3	17	±6
	Dynamic Certification Laboratories (USA, Nevada)	2.0 diameter	4.5	±10
최고수준	University of Bristol(EERC)	3 x 3	17	±6
	항목별 최고수준	5.5 x 5.5	22.5	±10
국외평균	국외 5g 이상 진동대 평균	14.1	14.7	±7

10g급 6자유도 진동대 최소요구수준

국외 최고수준대비	University of Bristol(EERC)	66.7%	35.3%	166.7%
	항목별 최고수준	30.3%	22.5%	100.0%
국외 5g이상 진동대 평균 대비		36.2%	40.9%	142.9%

- 진동대는 그 자체의 가진되는 성능으로 평가되기보다는 설치 면적, 설치되는 중량, 자유도, 구현 가속도 등에 의하여 종합적으로 평가될 수 있음. 상기 조사된 국외 6 자유도 진동대 현황으로부터 6자유도 진동대 실험 장비의 구조물 설치 면적은 평균 27.4 m² 이었으며, 최대 설치 중량은 평균 74.6 ton이고 최대가속도는 2.24g 인 것으로 조사되었음. 이 중 고성능 진동대라 할 수 있는 구현가속도 5g 이상인 진동대의 평균 구조물 설치 면적은 14.1 m²이며, 최대 설치 중량은 평균 14.7 ton임. 그러나 국내 최대 수준의 고성능 진동대인 한국전력공사 전력연구원의 전력설비 내진검증용 6자유도 진동대의 성능인 구조물 설치 면적 6.25m², 최대 설치 중량 2 ton

으로 국제 수준에 비해 부족한 것으로 판단됨.

- 이들 중 한국표준과학연구원의 장비는 시료설치 면적이 1.2m×1.2m에 불과하여 배전반 1기의 시험도 어려울 수 있으며, 전력연구원의 고성능 진동대 또한, 그 용량이 2ton으로 고성능 진동대의 용량의 국제수준인 20ton의 1/10에 불과함.
- 지진방재연구센터 및 한국기계연구원 등이 보유하고 있는 규모가 큰 6자유도 진동대 장비의 경우 10ton이하의 시료에 대해서 2g이상의 가속도를 구현할 수 있음. 그러나 IEE-382 또는 IEC 60068-2-57, ICC-ES AC156 등의 국제기준을 충족시키기에는 최대가속도가 낮으므로 제한적인 내진성능검증만이 수행 가능함.
- 그러므로 충분한 용량과 성능이 확보된 진동대의 도입이 매우 시급한 실정임. 적재하중이 6ton이상이고 최대변위가 180mm이상인 10g급 6자유도 진동대를 도입하게 될 경우 대부분의 내진성능검증과 관련된 국제기준을 만족시킬 수 있을 것으로 예상됨.

3. 종합분석

- 지진이 빈번한 일본 및 미국, 유럽과 달리 상대적으로 지진위험이 낮은 국내에서는 아직까지 건설 분야의 비구조 요소에 대한 시험검증방법이 체계화 되어 있지 않으며, 비구조 요소에 대한 내진성능검증은 ICC-ES AC156, IEEE Std 382 등의 국제규격을 따르고 있는 실정임.
- 일반적으로 비구조 요소의 진동내구성검증에는 IEEE Std 693과 AC156등의 기준이 적용되며 발전소 특히, 원자력발전소와 관련된 비구조 요소의 내진성능 검증에는 IEEE Std 344, IEEE Std 323, IEEE Std 382와 같은 기준을 적용시키고 있음. IEEE Std 382는 가장 보수성이 높은 시험방법 중의 하나로서 sine sweeping test인 RIM test를 적용하고 있으며 기계 및 전력설비의 경우 IEEE Std 382에 의한 시험을 더 선호하는 추세임.
- 최근 중국, 인도 등 신흥국의 성장과 유럽, 미국 등의 선진시장으로의 진출을 위해 빌딩용 수배전반, 가스절연개폐장치, 산업용 펌프 등의 대형 비구조 요소에 대한 내진성능 및 내진동 성능검증수요가 증가하고 있음. ICC-ES AC156, IEEE Std 382 등의 국제기준에서 요구하는 사항에 대응하기 위해서는 최대적재하중은 높을수록 좋으며 최대가속도는 6g이상일 필요가 있음.
- 진동대는 그 자체의 가진되는 성능으로 평가되기보다는 설치 면적, 설치되는 중량, 자유도, 구현 가속도 등에 의하여 종합적으로 평가됨. 국외 6자유도 진동대 실험 장비 중 고성능 진동대로 분류할 수 있는 최대가속도가 5g 이상인 진동대의 평균 설치 면적은 14.1 m²이며, 최대 설치 중량은 평균 14.7 ton으로 조사되었음. 그러나 국내 최대 수준의 고성능 진동대인 한국전력공사 전력연구원의 전력설비 내진검증용 6자유도 진동대의 성능인 구조물 설치 면적 6.25 m², 최대 설치 중량 2 ton으로

국제 수준에 비해 부족한 것으로 판단됨.

- 그러므로 충분한 용량과 성능이 확보된 진동대의 도입이 매우 시급한 실정임. 적재 하중이 6ton이상이고 최대변위가 180mm이상인 10g급 6자유도 진동대를 도입하게 될 경우 대부분의 내진성능검증과 관련된 국제기준을 만족시킬 수 있을 것으로 예상됨.
- 내진 및 내진동 성능검증실험이 국내에서 이루어질 수 없다면 외국의 실험기관에 의뢰하여 수행해야 하며 이 때 발생하는 비용은 국내에서 수행하는 경우와 비교하여 4배 이상이 될 것으로 추정됨. 국내에서 실험을 직접 수행하면 짧은 이동거리와 배송, 조립 등으로 발생하는 추가비용의 문제를 해결 할 수 있으며, 실험도중 파악된 문제점에 대하여 빠른 대처가 가능함. 또한 관련 기술의 개발 및 발전을 도모할 수 있는 환경을 제공할 수 있음.

제 5 절 기존 시설·장비와 차별성

1. 장비의 중복성 검토

가. 장비구축 자체 검토의견(종합)

장비의 중복성 검토결과	
○	목표 장비는 IEEE Std 382 또는 IEC 60068-2-57, ICC-ES AC156 등의 국제 기준이 요구하는 조건을 만족할 수 있는 적재하중 6ton, 가속도 10g 이상의 성능을 확보한 6자유도 진동대 장비로서 스트로크가 180mm이상, 동작주파수 50Hz이상이어야 함.
○	시험체 설치면적 2.5m×2.5m 규모의 6자유도 진동대 장비.
○	관련 키워드를 통한 NTIS 검색 결과 현재 국내 관련 장비 존재하지만 목표성능에 미치지 못함
○	신청기관 자체조사결과 목표설치면적과 목표가속도를 만족하는 장비가 존재하지만 최대적재하중이 3ton이 이하로서 국제기준의 요구조건을 만족하지 못함.
○	최대적재하중과 설치면적을 만족할 경우 목표가속도 미달.
○	위 결과를 토대로 제안 장비와 기존 장비의 중복성이 없으며 경제적임

신청기관 자체조사 결과

No.	기관	Size (m)	Payload (metric tonnes)	Acceleration (g)
1	전력연구원	2.5×2.5	2	9
2	창원대학교	1.5×2.1	1	8
3	한국표준과학연구원	1.2×1.2	0.5	10
4	SGS	2.5×2.5	3	5.5
5	한국산업기술시험원	2.5×2.5	2.5	10
6	한국산업기술시험원	1.2×1.2	1	5
7	한국기계연구원	?	2	6
8	한국기계연구원	4×4	30	1.5
9	지진방재연구센터	4×4	30	1.5
10	한국철도기술연구원	4.1×4.1	30	1.7

나. 국가연구시설장비 공동활용서비스 NTIS(<http://nfec.ntis.go.kr>) 검색 결과

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표 성능 비교	구축예정장비 신청기관의 자 체 검토의견
1	다지점 가진 대용량 지 진모사 시 험기 (없음)	Mts System Corporatio n	지진방재연구 센터	2009	8,875	지진모사 내진성능 진동내구 진동대	30ton 6자유도 1g	목표가속도 미달
2	지진모사용 진동대 (SHE-ST20 Ref)	삼덕엔지니 어링	연세대학교	2012	47원	지진모사 6자유도 진동대	면적 1m×1m 최대하중 200kg 최대변위 200mm 최대가속도 0.5g	목표가속도 미달 목표 설치면적 미달 목표하중 미달
3	6-자유도진 동대 (개발장비)	케이엔알시 스템	한국철도기술 연구원	2009	4,076	지진모사 진동대	면적 4.1m×4.1m 최대변위 ±300mm 최대하중 30ton 최대가속도: 1.7g 6자유도	목표가속도 미달
4	진동대 (없음)	대한공사	전북대학교	2005	35	진동대 내진성능		정보없음
5	6자유도진동 내구시험 기 (323.40 MAST)	Mts System Corporatio n	경일대학교	2011	1,320	6자유도	최대하중 ±6700kg 최대변위 ±125mm	목표 범위 미달 목표하중 미달

※ 검색키워드 : 6자유도, 진동대, 진동내구성, 내진성능, 지진모사

2. 차별화 및 특성화 방안

가. 연구장비 성능개선 주안점

- 시험시설에서 수행 가능한 성능평가의 범위를 세계적인 수준으로 설정하였음.
 - 본 실험시설은 현재 건축/토목 및 산업 전반적인 분야에 대한 국제적인 수준의 내진성능평가의 가능한가의 여부를 포함하여 본 시설의 활용성을 고려한 도입장비의 성능수준의 설정이 필요함
 - 목표 장비는 IEEE Std 382 또는 IEC 60068-2-57, ICC-ES AC156 등의 국제 기준이 요구하는 내진성능검증을 수행 할 수 있는 장비로 설정되어야 함
 - 실험시설의 지속성을 확보하고 호환성 및 연계성을 고려하여야 함
- 예산 등 제한된 범위 내에서 모든 장비를 구축하는 것은 제한된 범위 내에서 불가능하므로 다음의 요건을 고려하여 주요 실험시설/장비가 선정되어야 함
 - 구축 당시 또는 구축 후 활용/유지관리에 과도한 비용이 드는 것은 방지 하여야 함

- 기존의 시설을 활용하여 제한된 예산으로 최대의 성과를 얻을 수 있어야 함
- 세계최고수준의 내진성능검증을 수행할 수 있어야 함

□ 실험시설의 효율적인 공간 확보가 필요함

- 실험시설 간의 적절한 배치를 통해 동시에 실험을 수행 시 상호간 영향을 최소화 시켜야 함
- 운영 효율성 확보를 위해 제어장비, 지원 장비 등의 장비 간 연계를 고려하여야 함
- 실험시설 사용 시 많은 에너지가 소요될 수 있기 때문에 이를 고려한 에너지 효율적 설계배치가 고려되어야 함
- 기존의 장비와 연계하기위한 공간효율이 고려되어야 함

□ 실험시설의 안정성 확보가 필요함

- 진동대와 기초구조물간 사이의 공간이 넓으므로 낙하 및 실족에 의한 사고를 방지하기위한 노력이 필요함
- 진동대 실험의 특성상 시료의 전도 및 진동대의 발진 등을 대비할 수 있는 방안 고려되어야 함

나. 차별성(특성화)

□ 국내유일의 세계최고수준의 내진성능검증을 수행할 수 있는 장비임

- 국내 기존의 연구기관에 비해 최초 또는 월등한 성능을 가진 실험장비로 IEEE Std 382 또는 IEC 60068-2-57, ICC-ES AC156 등의 비구조 요소에 대한 국제기준이 요구하는 내진성능검증을 수행 할 수 있는 유일한 장비이며 외국시설의 장비와 비교하여도 최고수준의 실험 장비임
- 동일한 목표가속도를 가지는 외국의 장비인 Dynamic Certification Laboratories의 진동대와 비교하였을 때 규모와 최대적재하중의 부분에서 우수함
- 국외시설의 최고수준의 구현가속도를 만족하는 장비임
- 규모, 적재하중, 최대가속도를 종합하여 가장 우수한 것으로 평가되는 University of Bristol(EERC)의 진동대 장비와 비교하여 66.7%의 규모에 166.7%의 최대가속도 성능을 지니는 세계최고수준의 장비임

□ 기존의 진동대 장비와 연계하여 상승효과의 발생이 기대됨

- 기존의 이동 가능한 3자유도 진동대 2기 및 6자유도 진동대와 연계하여 다지점 가

진에 의한 지진모사가 및 내진성능평가 가능함

- 관련분야 연구 시 실험의 효율성 또한 증진될 것이며, 다양한 연구 성과의 도출을 기대할 수 있음

다. 소결

- 사전 기획연구에서 제시된 예산범위나 활용성 및 효율성 등을 고려하여 세계최고수준의 내진성능검증을 수행할 수 있는 최소 요구성능수준을 제시함
 - 건축구조물의 비구조 요소인 건축설비, 소방시설, 배관, 덕트, 전기, 통신, 트레이설비의 내진성능 검증 및 진동내구성 실험을 수행할 수 있는 진동대 장비
 - IEEE Std 382 또는 IEC 60068-2-57, ICC-ES AC156 등의 국제 기준이 요구하는 조건을 만족하도록 적재하중 6ton 정도의 규모에 가속도 10g 이상의 성능을 확보한 6자유도 진동대 장비
 - 스트로크가 180mm이상, 동작주파수 50Hz이상의 6자유도 진동대 장비
 - 비구조 요소의 실제 설치조건을 모사할 수 있는 시험체 설치면적 2.5m × 2.5m 규모의 6자유도 진동대 장비.
- 배정된 예산 범위 내에서 추진할 경우 현재 시점에서 제한된 예산범위 내에서 최대의 성과를 낼 수 있는 방안이 고려되어야 함
 - 기존의 유압펌프, 유압공급시스템, 냉각시스템, 대형진동대의 반력기초 등을 활용할 수 있음
 - 따라서 진동대 장비 구입에 모든 예산을 투입할 수 있어 제한된 예산으로 세계최고수준의 장비를 도입할 수 있음

제 6 절 필요 장비 및 시설

1. 최소 요구 성능

- 건축설비, 전력설비, 배관구조물 등의 비구조 요소를 포함하여 건설기계, 조선, 철도 등의 산업전반에 대해서 세계최고수준의 내진성능검증 및 진동내구성 실험이 가능한 6자유도 진동대 장비.
 - 대형 비구조 요소의 실제 설치조건을 모사할 수 있는 시험체 설치면적 2.5m × 2.5m 규모의 6자유도 진동대 장비
 - IEEE Std 382 또는 IEC 60068-2-57, ICC-ES AC156 등의 최고수준의 국제기준이 요구하는 조건을 만족할 수 있는 최대적재하중 6ton 규모를 진동대
 - 세계최고수준인 최대가속도 10g 이상의 성능을 확보한 6자유도 진동대 장비.
 - 스트로크가 180mm이상, 동작주파수 50Hz이상의 6자유도 진동대 장비

2. 최소 요구 시설·장비 성능

- 고성능 6자유도 진동대의 신규구입
 - 국제수준인 적재하중(payload) 6ton 규모 이상의 진동내구성 실험이 가능한 고성능 6자유도 진동대 장비
 - 전력설비 및 대형배관 등의 비구조 요소에 대한 내진검증 시험이 가능하도록 시험체 설치면적 2.5m × 2.5m 규모 이상의 대형 6자유도 진동대 장비
 - 적재하중 6ton 정도의 규모에서 가속도 10g 이상의 성능을 확보한 고성능 6자유도 진동대 장비

- 고성능 진동대 장비와 기존 장비를 제어하기 위한 컨트롤러 및 통합제어프로그램.
 - 고성능 진동대 제어를 위한 프로그램(software) 업그레이드
 - 진동대 data acquisition 및 test execution software upgrade

□ 장비성능개선을 통한 고성능 진동대 구축에 필요한 최소 추가요구 장비를 정리하면
아래 <표 2-11>과 같음

<표 2-11> 고성능 진동대 최소 추가 요구 장비

구 분	내 용	비 고
유압펌프 및 배관설비	MTS 502 HPU (또는 동등성능 이상의 것)	<ul style="list-style-type: none"> • 150GPM 이상의 HPU • 기존 배관에 Flexible 호스 연결시공 • 기존 펌프냉각장치 이용
고성능 진동대	Shaking Table	<ul style="list-style-type: none"> • 면적 : 2.5m×2.5m 이상 • 용량 : 6ton payload 이상
Controller & Software	MTS 469D controller and software	• MTS 진동대 통합 controller
	STEX Pro	• 진동대 data acquisition 및 test execution software upgrade

제 7 절 시설·장비 구축계획

1. 추진방법

- 일반적으로 고성능 진동대는 유압에 의해 작동되는 가력기(Hydraulic servo actuator)를 사용하게 되고 장비와 실험체를 가진하기 위하여 대규모 유압펌프를 필요로 함. 또한, 진동대는 진동을 발생시키는 그 운용 특성에 따라 견고하면서 무거운 지반 또는 반력 기초 구조물(reaction mass)에 설치되어야 함. 그러므로 고성능 진동대 장비를 구축하기 위해서는 진동대 규모에 대응하는 기초를 보유하는 시설 구축이 필요하게 되므로 설치에 많은 예산이 요구됨. 그러나, 지진방재연구센터는 기존 구축되어 있는 시설을 이용하므로 이 부분에 대한 예산이 필요하지 않음.
- 마찬가지로 기존 실험시설의 유압펌프 및 배관 등 유압공급 시스템과 대형 진동대 반력 기초를 활용할 수 있다면, 상대적으로 적은 예산으로도 효과적인 고성능 진동대 실험장비 구축이 가능할 것임. 국내 진동대 보유시설 중 지진방재연구센터에 구축된 진동대 설비는 추가적인 진동대의 설치가 가능한 장비의 유압공급 장치와 반력 기초 및 설치 공간을 보유하고 있는 것으로 알려져 있으며, 이를 적절히 활용할 수 있다면 효율적으로 고성능 진동대 장비의 구축이 가능할 것으로 판단됨.
- 지진방재연구센터에서 보유한 진동대 시스템은 총 3기의 진동대와 이들 모두를 최대 하중 수준(30 ~ 60 ton)에서 1g 가속도로 가진할 수 있도록 충분한 유압공급 시스템이 구축되어 있음. 4m×4m 크기의 6자유도 진동대는 고정설치 되어 있으나 5m×5m 크기의 3자유도 진동대 2기는 4m 간격으로 이동하여 설치하는 것이 가능할 것으로 판단됨.
- 그러므로 이동이 가능한 3자유도 진동대 2기를 이동하고 6ton 이상을 적재할 수 있는 10g급 6자유도 진동대의 설치 공간을 마련한다면, 별도의 추가설비 없이 고성능 진동대의 구축이 가능한 것으로 예상됨. 또한 기존의 진동대와 연계하여 다지점 가진 기능을 향상시킬 수 있어, 3경간 연속교의 모형실험까지도 가능함. 이러한 고성능 진동대의 구축에 있어 추가적인 반력 기초 시설 및 유압공급 장치의 설치가 요구되지 않아 상대적으로 저 예산으로 장비설치를 가능하게 하며, 국내에 세계적 수준의 고성능 진동대 실험장비를 보유하는 것이 가능하게 할 것으로 판단됨.
- 유사 규모의 진동대 실험시설을 신규로 구축하기 위해서는 약 86.76억의 연구비가 소요되는데 반하여 지진방재연구센터의 기존 실험장비를 활용하는 경우 약 56억이 소요되어, 약 35.46%의 예산절감 효과가 예상됨.

<표 2-12> 신설 및 개선 시 추정예산 비교

구 분	산 출 내 역	신설 시 추정예산(천원)	개선 시 추정예산(천원)	비 고
공사비	건축공사	350,000	-	기 보유
	토목공사	750,000	-	기 보유
	기계공사	200,000	-	기 보유
	전기공사	100,000	-	기 보유
장비 및 계 측기기	유압가력 배관장치	200,000	-	기 보유
	유압 공급 장치 및 냉각장치	1,170,000	-	기 보유
	진동대 구매	4,890,000	4,890,000	
	마운팅 설치공사	130,000	130,000	
	Base weldment	80,000	80,000	
	부대장치	500,000	-	기 보유
총 계		8,370,000	5,100,000	

* 건적금액인 \$4,500,000을 바탕으로 환율(1040원/\$)과 마운팅 설치공사 등의 기타비용 및 관세, 부가세, 통관수수료 등을 고려(4.5%로 가정)하여 산출한 가격임.

- o 기존 시설 및 장비와의 호환성을 고려할 때 진동대 시스템을 MTS에서 구입하는 것이 타당할 것임.
 - MTS이외의 업체를 통하여 장비를 구입할 경우 기존 장비와의 호환성 등의 문제가 발생할 가능성이 있음.
 - 타 기업으로부터 진동대 장비를 구입하게 되면 기존장비와의 호환성의 문제로 인하여 새로운 컨트롤러 및 유압공급장치를 구비해야 할 가능성이 있으므로 도입 자금이 지나치게 증가할 가능성이 있음.
 - 기존의 장비와 연동된 유지관리 및 보수의 효율성을 고려할 때 기 장비의 유지관리 계약을 맺은 MTS를 선택하는 것이 경제적인 것으로 예상됨.
- o 마운팅 설치공사, base weldment는 설계 및 시공능력검토 후 성능에 문제가 발생하지 않을 경우 MTS와 협의하여 국내업체에 제작 의뢰할 계획임.

2. 구축계획

가. 시설공사 및 공간배치계획

- 진동대 운용을 위한 필요 장비
 - 진동대 운용에 적합한 오일의 온도를 유지하기 위한 냉각기가 필요함
 - 진동대를 가동시키기 위해 유압 가력기와 유압펌프 등을 필요하며 진동대 운용시 발생하는 반력을 지지하기 위하여 견고하면서도 무거운 지반 또는 반력 기초 구조물에 설치되어야 함
 - 진동대 실험의 특성상 실험준비를 위하여 시료를 실험시설에서 조립 하는 경우가 많음. 따라서 시료의 보관을 위한 공간과 운반을 위한 크레인 등의 부가설비를 필요로 함

- 기존 실험시설의 장비 및 시설을 활용할 수 있다면 적은 예산으로 국외시설에서 보유하고 있는 최대가속도 5g 이상 진동대들의 평균인 7g를 초과하는 10g급의 6자유도 진동대 장비의 구축이 가능함

- 진동대 보유시설 중 지진방재연구센터에 구축된 진동대 설비는 추가적인 진동대의 설치가 가능한 장비의 유압공급 장치와 반력 기초 및 설치 공간을 보유하고 있음
 - 기존 실험시설의 유압펌프 및 배관 등 유압공급 시스템과 대형 진동대 반력 기초의 활용이 가능함
 - 기존의 3자유도 진동대 2기가 이동가능하므로 추가적인 진동대를 설치할 수 있는 공간이 있음

- 지진방재연구센터에서 보유한 진동대 시스템은 [그림 2-28] 및 [그림 2-29]와 같이 총 3기의 진동대와 이들 모두를 최대 하중 수준(30~60 ton)에서 1 g 가속도로 가진할 수 있도록 충분한 유압공급 시스템이 구축되어 있음

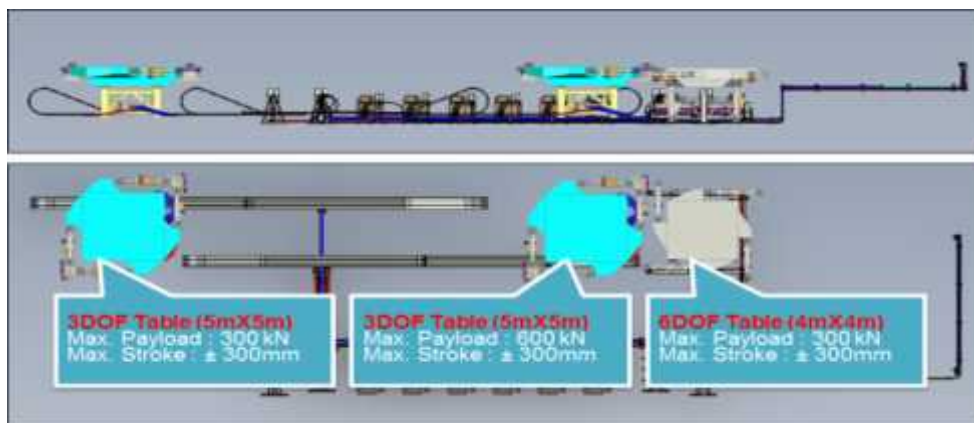
- 4m×4m 크기의 6자유도 진동대는 고정설치 되어 있으나 5m×5m 크기의 3자유도 진동대 2기는 4m 간격으로 이동하여 설치하는 것이 가능하므로, 3자유도 진동대 2기를 [그림 2-30]에서와 같이 이동한다면 6ton 이상의 최대적재하중을 가지는 10g 급 진동대의 설치 공간을 마련할 수 있음

- 별도의 추가설비 없이 고성능 진동대의 구축이 가능하며 기존의 진동대와 연계하여 다지점 가진 기능을 향상시킬 수 있어, 3경간 연속교의 모형실험까지도 가능하며 추

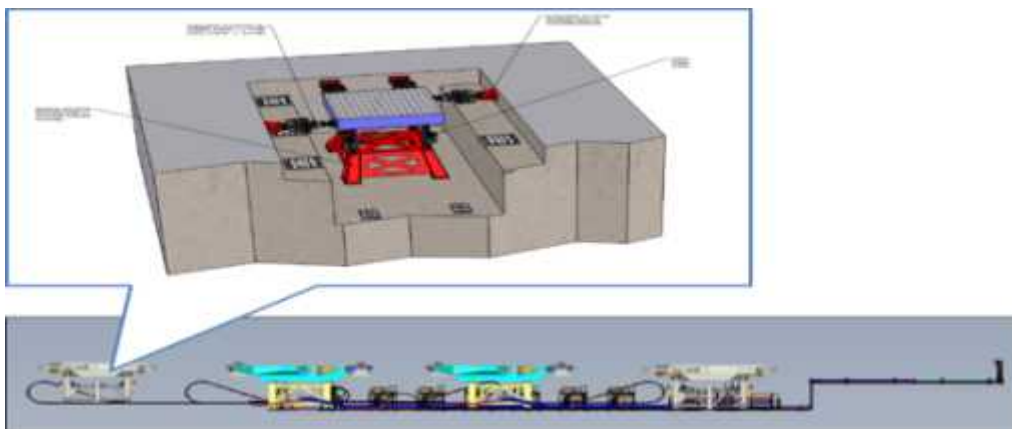
가적인 반력 기초 시설 및 유압공급 장치의 설치가 요구되지 않아 상대적으로 저 예산으로 국외시설에서 보유하고 있는 최대가속도 5g 이상 진동대들의 평균인 7g를 초과하는 10g급의 6자유도 진동대 장비의 구축이 가능함



[그림 2-28] 지진방재연구센터 다지점가진 대용량 지진모사 실험장치 설치 평면도



[그림 2-29] 지진방재연구센터 다지점가진 대용량 지진모사 실험장치 상세도



[그림 2-30] 지진방재연구센터 고성능 진동대 설치(안)

나. 구축일정

- 고성능 진동대 확보를 위한 구매 및 설치 등을 위하여 총 24개월의 구축기간과 약 55억원의 예산이 소요될 것으로 판단됨. 연차별 구축계획은 <표 2-13>과 같음

<표 2-13> 연차별 구축계획

구축내용	일정								비고
	1차년도				2차년도				
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
Actuator 제작 및 배송	■	■	■	■					
통관 및 설치						■	■		
신규장비 교육							■	■	
최종 테스트 및 시운전								■	

다. 국산장비 대체 가능성 자체검토(국산대체장비가 있을 경우만 작성)

구분	내 용				비 고
1	장비명 (모델명)	한글	진동대 상판	제작사	미정
		영문	Shake table plate	장비가격 (단위 : 백만원)	미정
	주요사양	2.5m ×2.5m			
	자체 검토의견	○ 설계검토후 국내제작이 가능할 경우 추진			
2	장비명 (모델명)	한글	유압 soft/hard line	제작사	미정
		영문	soft/hard-line	장비가격 (단위 : 백만원)	미정
	주요사양				
	자체 검토의견	○ 설계검토후 국내제작이 가능할 경우 추진			

3. 운영 및 관리계획

가. 유지관리 계획

진동대 장비의 유지관리 계획

- 기존 진동대 장비와 동일한 제조사의 제품으로 성능향상을 실시함에 따른 유지관리 체계의 연속성 및 효율성을 확보하고자 함
- 기존 장비구축업체와 동일한 MTS의 장비를 도입함에 따라 각 장비별 호환 가능한 소모성 부품의 재고 관리가 용이함. 따라서 부품교체 및 장비운용에 있어 규모의 경제가 성립됨. 이는 유지관리 비용의 절감으로 이어질 수 있음
- 지진방재연구센터 설립이후 다년간 축적된 기존 장비에 대한 지식 및 관리 노하우를 활용할 계획임

시설물의 유지관리 계획

- 신규 도입한 진동대분의 유지관리비가 추가로 발생할 것이 예상됨. 이는 장비구축업체인 MTS와 협의 하에 기존 장비의 유지계획에 추가하여 합리적으로 운영할 수 있을 것으로 예상됨

기존에 구축되어 있는 지진방재연구센터의 인력구성을 활용하기 때문에 전담인력의 추가확보 등은 요구되지 않음

나. 안전사고예방 계획

부산대학교 실험·실습실 안전관리규정 준수 및 자체 안전교육 실시

- 본 지진방재연구센터는 부산대학교 시설에 속하고 있음에 따라 부산대학교의 실험·실습실 안전관리규정을 준수해야함
- 따라서 실험·실습 및 연구활동을 수행할 때 발생할 수 있는 안전사고의 예방하기 위한 규정사항들을 사용자들에게 안내하고 있으며, 소속 기술자 및 연구원들도 이를 준수하도록 하고 있음
- 또한 실험 수행 전 실험실 사용자들에게 다음의 안전수칙들을 교육을 실시하고 있음
 - 실험센터 안전수칙
 - 작업자 안전수칙
 - 전동 지게차 이용수칙
 - 전동 리프트카 이용수칙
 - 크레인 이용수칙

- 안전 사다리 이용수칙
- o 안전교육 수행 후 이에 대한 확인서를 작성하도록 하여, 사용자가 안전에 각별히 주의하도록 노력하고 있음

다. 운영자 교육계획

- 본 지진방재연구센터는 시험기관 작겨에 관한 국제표준인 KS Q ISO/IEC 17025 요구사항 및 관련법규, 지진방재연구센터 내의 제반규정을 기본으로 하여 신뢰성 있는 시험품질 제공을 품질방침으로 정하고 있음
- 이를 위해 각 분야별 전문 기술인력 및 자원을 확보하여 전문적인 시험능력향상을 위해 지속적인 교육훈련을 제공하고 있음
- 주요 교육내용 및 계획
 - o 월 1회의 자체교육 실시 - 장비운용, 관련법규, 시험방법, 시험서작성 등
 - o 기술자 및 연구원의 연 1회 이상의 KOLAS 직무 교육 및 보수교육 실시
 - o 별도의 연구·교육팀을 운영하여 지속적인 운영교육의 방안 개선

제 8 절 활용계획 및 기대효과

1. 활용계획

- 내진성능검증을 위한 시험검증방법을 체계적으로 수립하기 위한 환경을 제공
 - 높은 수준의 지진 및 진동 실험이 가능하게 되므로 구조물에 대한 국내 내진설계 기술 및 진동내구성 분야의 기술 향상에 기여할 수 있으며, 관련 국내기준의 수준을 향상할 수 있음
 - 3층 이상의 층응답 가속도의 발현이 가능해짐에 따라 초고층 구조물 및 원자력 발전소에 설치되는 기기들의 내진성능검증 문제를 해결할 수 있는 중요한 요소로서, 해당 분야의 진동 실험결과 및 연구결과의 신뢰도와 적용성을 대폭 향상시킬 수 있음
- 건축구조물의 비구조 요소인 천정과 벽체, 소방, 배관, 덕트, 전기, 통신, 트레이설비의 내진성능 검증 및 건설기계, 철도, 조선분야의 각종 중요 기자재에 대한 내진성능 검증, 내구성 실험 수요에 대한 대응이 가능함
 - IEC 60068-2-57, ICC-ES AC156 등 비구조 요소에 대해 높은 성능을 요구하는 국제기준과 IEEE Std 344, 382 등의 원전관련 기기검증에 적용되는 기준 맞을 만족할 수 있는 진동대 장비를 보유하게 됨으로서 고성능의 진동대 실험을 필요로 하는 수요에 대응할 수 있음
 - 부가가치가 높은 비구조 요소인 중전기기 및 기타 전력장비, 소방안전기기, 공조기기 와 건축구조물의 주요기능을 담당하는 옥외구조물 등의 내진기술개발 및 설계기준의 안정성 검증 및 향상에 기여할 수 있음
- 기존 3기의 진동대 장비와 연계하여 전체 4개의 진동대 장비를 활용 가능하므로 세계적 수준의 실험시설을 보유하게 되는 효과가 있음
 - 현재 국외에서도 진동대 3~4개를 동시에 보유하여 관련 실험이 가능한 곳은 3~4군데 밖에 없는 실정임

2. 기대효과

- 10g급 6자유도 진동대를 본 기관에 구축할 경우
 - 유사 규모의 진동대 실험시설을 신규로 구축하기 위해서는 약 94.9억의 연구비가 소요되는데 반하여 지진방재연구센터의 기존 실험장비를 활용하는 경우 약 55억이 소요되어, 약 43.8%의 예산절감 효과가 예상됨

- 기 구축된 지진방재연구센터 설비를 활용하여 고성능 진동대를 구축하는 이러한 방안은 상대적으로 적은 예산으로도 고성능 진동대의 확보가 가능하며, 5 ton 이상의 시험체 중량에도 5g 이상의 가속도 발현이 가능하여 고성능 진동대의 수요 문제를 다소간 해결할 수 있어 국내 고성능 진동대 실험의 신뢰도를 향상 시킬 수 있을 것으로 판단됨. 또한, 시료의 면적 및 무게의 제한으로 인하여 불가피하게 해외 실험 시설의 이용을 고려했던 실험들에 대해서도 국내 실험이 가능할 것임

□ 경제·산업적인 측면

- 일반적으로 비구조 요소의 진동내구성검증에는 IEEE Std 693과 ICC-ES AC156 등의 기준이 적용되며 통신용 장비에는 IEC 60068-2-57와 Telcordia GR-63-CORE 등의 기준이 적용됨. 현재 국내시설이 보유하고 있는 6자유도 진동대 장비는 IEC 60068-2-57, ICC-ES AC156 등의 최고수준의 내진성능검증 실험을 수행하지 못하며 제한적인 내진성능검증이 가능한 실정임. 그러나 10g급 6자유도 진동대가 구축되면 일반적인 비구조 요소분야 국제기준에 대한 대응할 수 있는 환경을 구축할 수 있음
- 세계중전기기 시장은 2011년 기준 6100억 달러 시장으로 우리 기업은 선진국 대비 85% 수준의 가격과 90%수준의 기술을 보유하고 있는 것으로 조사되어져 있음
- 최근 에너지 부족문제에 대한 인식이 높아지면서 고효율 냉난방공조기에 대한 수요가 늘고 있다. 초고층 구조물 및 기간시설의 주요한 비구조 요소인 상업용공조기 시장은 2010년에 전년도 대비 12% 성장하였으며 2011년에는 2010년도 대비 30% 증가하였음. 2012년도 업무용 공조시스템 시장의 규모는 41억 5483만 달러에 달하였으며 앞으로도 6%이상의 꾸준한 성장이 예상되고 있음
- 효성에바라의 조사에 의하면 2011년 전체 펌프시장의 규모는 1조 134억 원이며 이중 산업용 펌프는 30%인 3040억 원을 차지하는 것으로 추정되었음
- 이러한 대형 비구조 요소를 강진지역으로 수출하거나 플랜트 및 원자력발전소등에 적용하기 위해서는 지역조건 및 특성에 맞는 기준에 의거하여 내진성능을 검증하여야 함
- 그러나 국내시설에서 보유하고 있는 장비 규모의 제약 등으로 인하여 규모가 큰 장비 및 구조물에 대하여 시험하지 못하고 개별 부품수준에서 내진성능 검증을 실시한 후 해석적인 기법을 활용하여 검증하거나 해외기관에 내진성능 검증 실험을 의뢰하고 있는 실정임. 그 중에서도 부피가 크거나 무거운 시료의 경우는 부품별로 내진성능을 검증하는 것으로 대신하고 있는 실정임. 하지만, 복잡한 기능이 연계되어 있는 경우에는 부품 개별 내진성능 검토 결과가 실제 설치상태에서의 내진성능 검증결과를 대신하기는 어려우므로 관련업체들로부터 조합된 기기의 내진성능이 가능한 고성능 진동대에 대한 요구가 증가하고 있음

- 대형 비구조 요소의 실험적 내진성능검증을 위하여 시제품을 제작하여 검토하여야 하므로, 해당 기기들을 해외에서 검증하고자 할 경우 물류비용이 추가될 뿐만 아니라 검증을 위한 이동기간이 추가로 소요될 수 있음. 따라서 6ton 이상의 10g급 진동대의 확보는 해당 비용의 해외유출을 절감할 수 있는 방안이 될 수 있음
- 지진위험이 높은 지역이나 내진검증시험이 체계화 되어있는 유럽 및 북미시장으로의 진출을 위해서는 반드시 내진성능을 검증해야 하며 본 기관으로 도입되는 6톤 이상 10g급의 6자유도 진동대 장비는 본기관의 연구기술 인력과 연계되어 중전기 등의 전력설비, 공조기, 산업용펌프 등의 대형 비구조 요소를 제작/판매하는 국내기업의 기술경쟁력 확보를 위한 훌륭한 환경을 제공할 것임
- 국내 업체들이 중전기, 공조시스템, 펌프 등의 시장에서 10%의 점유율을 유지한다고 가정 하였을 때 614억 달러의 매출을 올릴 수 있으며 내진성능검증비용이 1%라고 가정하면 6억 달러가 됨. 해외기관대비 성능검증 비용이 1/5이로 두면 4.9억 달러수준의 기술비용을 절약할 수 있을 것으로 예상됨
- 뿐만 아니라 6톤이상 적재할 수 있는 10g급 고성능 진동대를 도입하게 되면 건설기계 및 차량의 진동내구성과 승차감과 관련된 기술 및 연구활동 또한 지원할 수 있음



[그림 2-31] 효성의 245kV급 가스절연개폐장치



[그림 2-32] 히타치어플라이언스의 빌딩용 멀티 공조기



[그림 2-33] 산업용 펌프시장의 규모 (단위:억원, %)



[그림 2-34] 펌프시장 규모의 전망 (단위 : 억원)



[그림 2-35] 산업용 대형 펌프

- 한국수력원자력(주)에 따르면 국내에서는 2013년 4월 1일을 기준으로 5기의 원전이 건설 중에 있으며, <표 2-14>, <표 2-15>, [그림 2.36]와 같이 23기의 원전이 운전 중임
- 국내 원자력 발전소 현황은 총 20기의 원전이 17,716 MW를 전기를 생산하고 이는 전체 국내 발전량 중 34.1%를 점유하고 있음. 특히, 한국전력 컨소시엄이 총 400억 달러(약 47조원) 규모의 아랍에미리트연합(UAE) 원자력발전 사업 수주하여 NF쏘나타 100만대 또는 30만t급 초대형 유조선 180척 수출효과와 맞먹고, 10년간 11만 명의 고용 창출 효과를 발생시키고 있음
- 원전 건설단가는 2,530천원/kW로 국내 원자력 발전소의 수와 설비용량을 비교하였을 때, 1기의 가격은 약 2.15조임. 이 중 발전소의 설비 중 3층 이상에 위치한 기기의 비용을 전체 비용의 약 5%로 가정하면, 1,075억이며 이들 기기들의 내진성능 검토 비용을 5%로 가정하였을 경우 원자력 발전소 1기당 53억원이 소요될 것으로 판단됨
- 위의 산출방식을 근거로 하였을 때, 현재 건설 중인 원전에 적용될 3층 이상에 위치한 기기들의 내진성능 검토비용은 약 269억원으로 추정되며, 운전 중인 원전의 기기들의 교체 주기를 고려하면, 추가적인 내진성능 검토비용이 발생할 것으로 추정됨

<표 2-14> 국내 운전중 원자력발전소

구분	PWR(가압경수로)형	PHWR(가압중수로)형	합계
운전중원전	19기	4기	23기
설비용량	17,937MWe	2,779MWe	20,716MWe
소재지역	고리본부(6기):부산기장군 영광본부(6기):전남영광군 울진본부(6기):경북울진군 월성본부(1기):경북경주시	월성본부(4기):경북경주시	

<표 2-15> 국내 원자력 발전소 운전 현황

발전소 명칭	설비용량 (MWe)	발전량 (MWh, 2012년)	이용률 (% , 2011년)	가동률 (% , 2011년)	노형
고리1호기	587	2,699,989	87.93	87.77	PWR
고리2호기	650	5,008,400	98.84	97.93	PWR
고리3호기	950	7,146,838	90.68	90.99	PWR
고리4호기	950	9,160,337	92.87	93.92	PWR
신고리1호기	1000	7,455,109	100	100	PWR
신고리2호기	1000	5,703,367	-	2012. 7.20 가동	PWR
월성1호기	679	4,287,645	49.29	50.25	PHWR
월성2호기	700	5,786,755	99.58	100	PHWR
월성3호기	700	5,655,168	97.46	96.77	PHWR
월성4호기	700	6,316,592	94.31	93.78	PHWR
신월성1호기	1000	5,245,695	-	2012. 7.31 가동	PWR
울진1호기	950	6,930,343	99.66	99.66	PWR
울진2호기	950	8,717,777	80.03	79.94	PWR
울진3호기	1000	6,377,935	90.41	90.87	PWR
울진4호기	1000	0	69.35	68.88	PWR
울진5호기	1000	9,238,073	92.42	92.54	PWR
울진6호기	1000	8,118,433	92.91	93.24	PWR
영광1호기	950	8,039,727	101.05	100	PWR
영광2호기	950	8,735,939	92	91.18	PWR
영광3호기	1000	7,310,494	91.57	91.02	PWR
영광4호기	1000	8,103,551	91.23	91.38	PWR



[그림 2-36] 국내 원자력 발전소 현황

제 9 절 상세 예산(안)

1. 장비 성능개선 소요예산(안)

- MTS사의 견적금액인 \$4,500,000을 바탕으로 환율(1040원)과 마운팅 설치공사 등의 기타비용 및 관세, 부가세, 통관수수료 등을 고려(4.5%로 가정)하여 산출한 가격임
- 마운팅 설치공사, base weldment는 설계 및 시공능력검토 후 성능에 문제가 발생하지 않을 경우 MTS와 협의하여 국내업체에 제작 의뢰할 계획임

□ 총괄(연차별예산)

- (기간·사업비) '14~'15 / 5,100백만원(정부출연금)

(단위 : 백만원)

구분	계	'14	'15
정부	5,100	1,300	3,800

< 소요예산 상세총괄 >

구분	산출내역	비용(천원)	국산/외산	비고
장비 및 계측기기	진동대 구매	4,890,000	외산	설계, 1년 품질보증, 수직·수평 액추에이터, Hardline, 컨트롤러 등
	마운팅 설치공사	130,000	국산/외산	설계검토 후 MTS와 협의하여 국내업체에 제작 의뢰
	Base weldment	80,000	국산/외산	설계검토 후 MTS와 협의하여 국내업체에 제작 의뢰
	계	5,100,000		
합계		5,100,000		
국산화율(%)		- (-%)		국산화 미정

* MTS사의 견적금액인 \$4,500,000을 바탕으로 환율(1040원/\$)과 마운팅 설치공사 등의 기타비용 및 관세, 부가세, 통관수수료 등을 고려(4.5%로 가정)하여 산출한 가격임.

2. 신규 시설구축 대비 예산 절감 효과

- 신규로 진동대를 설치하기 위해서는 장비를 위한 시설부지 확보, 대형 유압공급 장치 설치, 초대형 철물제작, 유압배관설치 등에 많은 초기 투자비용이 필요한데 지진방재연구센터는 기존 장비를 활용 하는 방법으로 이를 해결할 수 있는 10g급 6자유도 진동대의 구축 방법을 제안하였음
- 유사 규모의 진동대 실험시설을 신규로 구축하기 위해서는 약 83.7억의 연구비가 소요되는데 반하여 지진방재연구센터의 기존 실험장비를 활용하는 경우 약 56억이 소요되어, 약 39%의 예산절감 효과가 예상됨

<표 2-16> 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교

구분	신규 시설구축 예산		장비 성능개선 예산	
	산출내역	비용(천원)	산출내역	비용(천원)
시설 공사	건축공사	350,000	건축공사	기존시설 활용
	장비 및 계측기기	750,000	장비 및 계측기기	기존시설 활용
	기계공사	200,000	기계공사	기존시설 활용
	전기공사	100,000	전기공사	기존시설 활용
	계	1,400,000		0
장비명	유압가력 배관장치	200,000	유압가력 배관장치	기존시설 활용
	유압 공급 장치 및 냉각장치	1,170,000	유압 공급 장치 및 냉각장치	기존시설 활용
	진동대 구매	4,890,000	진동대 구매	4,890,000
	마운팅 설치공사	130,000	마운팅 설치공사	130,000
	Base weldment	80,000	Base weldment	80,000
	부대장치	500,000	부대장치	기존시설 활용
	계	6,970,000		5,100,000
합계	8,370,000		5,100,000	
예산 절감액/비율(%)	- (-%)		3,270,000 (39%)	

* 2014년 3월 14일 MTS사의 견적금액인 \$4,500,000을 바탕으로 환율(1091원/\$, 기준일 2014년 3월 14일)과 마운팅 설치공사 등의 기타비용 및 관세, 부가세, 통관수수료 등을 고려(6%로 가정)하여 산출한 가격임.

제 3 장 바람-파도-조류 복합 발생을 위한 바람발생장치

제 1 절 시설·장비 정의 및 목적

1. 정의

- 바람발생장치는 해양에서 이용 가능한 에너지를 이용한 청정에너지 획득, 개발 및 안정된 구조물 설계를 위하여, 실제 해양환경과 유사한 파도, 바람, 조류를 발생시켜 구조물을 테스트하는 실험 장치를 의미함
 - 청정에너지 획득 및 개발은 파력, 풍력, 조력, 조류 등 해양에서 발생하는 외력을 에너지원으로 이용하여 발전하는 기술개발을 의미함
 - 안정된 구조물 설계는 이러한 발전장치를 탑재하는 구조물이 다양한 외력에서 안전하게 구동될 수 있는 설계를 위해 안정성을 테스트하는 것을 의미함
- 바람발생장치는 해양에서 이용 가능한 에너지를 이용한 청정에너지 획득, 개발 및 안정된 구조물 설계를 위하여, 실제 해양환경과 유사한 파도, 바람, 조류를 발생시켜 구조물을 테스트하는 실험 장치를 의미함
 - (Needs) 화석연료 사용으로 야기되는 기후변화에 대응하기 위해 청정에너지 획득 및 개발은 파력, 풍력, 조력, 조류 등 해양에서 발생하는 외력을 에너지원으로 이용하여 발전하는 기술개발이 국가적 및 전 세계적으로 요구되는 현실
 - (Purpose) 차후 개발될 장비의 설계안과 기개발된 장치를 실험해역에 배치하기 전에 성능테스트 필요
 - (Performance) 바람, 파도, 조류를 포함한 다양한 외력을 실제 해역의 환경에 유사하게 재현하여, 발전성과 구조물 안정성에 대한 신뢰성 있는 검증을 할 수 있는 복합 대형 실험시설

2. 목적

- 최근 국내외에서 활발하게 진행되고 있는 해양에너지 개발 장치의 성능과 안정성에 대한 신뢰성 있는 테스트를 수행하기 위한 실험시설 구축
- 해양에너지 발생하는 다양한 외력을 고려하여 실제상황과 스케일에 가까운 실험을 수행할 수 있는 시설 구축
- 기존 시설을 활용하여 파랑 뿐 아니라 바람과 흐름을 동시에 발생하는 시설로 개선하여 최고수준의 시설 구축

제 2 절 구축 필요성 및 시급성

1. 구축 필요성

- 기후변화협약에 따라 온실가스감축부담을 극복할 수 있는 청정재생 해양에너지의 수요가 증대하고 있음
- 현재 해상 풍력발전 관련 다수의 연구과제가 진행 중이거나 추진 중에 있으나, 파랑-흐름-바람의 상호작용에 대한 연구개발 및 연구 성과 등의 검증에 필요한 실험 시설이 국내에는 부재인 상태이기 때문에 시설구축의 필요성이 제기되고 있음
- 전반적으로 화석연료에 비해 신재생에너지의 효율이 낮아, 파력, 풍력, 조류 및 조력 등을 조합한 하이브리드형 발전 기술 개발이 세계적인 추세임
- 따라서 국내의 지역 특성에 따른 하이브리드형 에너지 채집 기술 개발을 위해 파랑, 조류, 바람을 동시에 고려할 수 있는 실험시설 구축이 절실함
- 해양에너지 발전장치의 설계 및 기개발된 장치의 실험 성능 검증이 필요하나, 사전에 축소 모형으로 성능 검증 이후 실험 테스트를 하는 것이 일반적임
- 그러나 국내 기존의 수리모형실험 수조에는 파랑-흐름-바람을 복합적으로 고려할 수 있는 시설이 없고, 규모도 크지 않아 scale effect로 인해 신뢰성이 떨어질 수 있음
- 따라서 대형 규모의 바람발생장치의 구축을 통해 신뢰성 있는 성능 검증과 설계안 도출이 필수적임

[추진근거 및 연계]

- 국정과제 (18대 대통령 인수위 국정과제 보고서)
 - 국정과제 13번 “해양 신성장동력 창출 및 체계적 해양관리”
 - 해양 신산업 육성을 위해 해양에너지·플랜트 관련 해양 R&D를 지속 추진하되, 해양 산업활성화를 위한 기반 확충
- 법정계획
 - 건설기술관리법에 따른 제5차 건설기술진흥기본계획(‘13~’17)
 - 건설기술의 실용화 촉진을 위한 대형 실험인프라 구축 및 공동활용
- 부처방침
 - 국토해양 R&D 발전전략(‘10년) 및 건설교통R&D 중장기계획(‘12)
 - R&D 성과창출 및 검증을 위한 연구시설·인력 등 R&D 인프라 구축 필요
 - 기술성과 검증을 통한 R&D 성공확률 제고 위한 분산공유 인프라 구축 2단계 사업 추진

2. 시급성

□ 문제점

- 세계는 온실 가스 주범인 화석연료 사용을 탈피하기 위해 유럽과 미국을 중심으로 해양에너지 개발이 활발하게 진행되고 있으며, 이에 대한 기술 발전과 특허량이 상당함
- 이들 대부분은 대형 실험 장치와 실험실 증인프라(test bed)를 갖추고 개발된 모형의 성능을 대형 실험시설에서 검증하고 실험실 테스트까지 수행하고 있는 실정임
- 국내 수리모형실험 관련 시설은 대학과 연구기관이 보유하고 있으나, 일부대학 및 기관(전남대학교, 한국건설기술연구원)을 제외하고는 수조의 크기가 중·대형 수리모형실험을 수행하기에 어려움이 있음
- 기존 구축된 시설은 수조의 크기와 파랑, 흐름, 바람 발생장치의 성능을 고려할 때, 중·대형 해양에너지 실험을 수행하기에 부적합하여 개선이 필요하나, 전반적으로 수정이 필요하여 경제적으로 어려움이 예상됨
- 2013년 해양수산부와 KIMST 주관 하에 해양과학기술원에서 파력-풍력 복합발전 장치 개발에 관련된 R&D 과제가 시작되었으나, 성능검증을 위해 적합한 대형 수리모형실험 시설이 없는 실정임
- 따라서 해외와의 기술 격차를 줄이고, 국내 연구과제와의 연계를 위해 복합목적의 대형 바람발생장치의 구축이 시급함

제 3 절 활용분야 및 범위

- 시설·장비의 활용 대상은 국내 대학, 관련 연구소, 및 에너지 개발 관련 기업체로 볼 수 있음
- 대학 및 연구소는 기초 기술연구 및 핵심 기술 개발을 위해 실험시설을 활용할 수 있음
- 기업체는 시제품 개발을 위한 성능 및 안전성 검증을 위해 활용할 것으로 예상됨
- 국내외 해상풍력발전 연구의 검증 및 개선을 위한 수리모형 실험 수행
- 풍력·파력·조류를 혼합한 하이브리드형 발전에 관련된 실험적 연구 수행
- 파력과 풍력을 동시에 고려한 해상풍력지지 구조물의 안정성에 관련된 실험적 연구 수행
- 개발된 장치의 발전 성능 검증을 위한 수리모형실험 수행

<표 3-1> 바람발생장치의 세부 활용분야 및 범위

분야	실험영역
발전 시스템 설계기술	<ul style="list-style-type: none"> 파력, 조력, 조류, 풍력 발전 시스템 설계 최적화 기술 해양에서 발생하는 외력 조건의 변화에 따른 발전량 테스트
부유체 설계기술	<ul style="list-style-type: none"> 파랑, 바람, 조류 등 외력 예측 및 평가 기술 부유체 거동해석 기술 계류시스템 동적해석 및 최적 설계기술 배열에 따른 파랑 및 구조물 상호작용 해석 기술
고정식 구조물 설계기술	<ul style="list-style-type: none"> 파랑 및 풍력 하중 안정성 평가기술 지반 안정성 해석 기술 진동 및 내진, 구조체 극한강도 구조해석 기술
환경영향 평가	<ul style="list-style-type: none"> 해역환경 및 연안환경에 미치는 영향 해석 기술 구조물 배치 및 배열에 따른 연안 환경 변화 예측 기술

제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향

1. 연구개발 및 기술 동향

가. 국내 동향

- 국내에서는 해양에너지 개발 장치로 조류, 조력, 파력 및 해상풍력 발전장치를 개발·연구가 진행되어 왔으나, 수리모형실험을 통한 검증 사례는 극히 드문 실정임
- 국내에서의 해상풍력 구조물의 복합 활용을 위한 R&D 수행 사례는 없었음
- 파력, 조류와 같은 해양에너지와 함께 해상에 설치되는 풍력발전시설의 경우, 유럽에서는 2030년까지 설치용량 기준 300GW의 해상풍력 단지가 개발될 것으로 전망하고 있으며, 해상풍력 비중이 지속적으로 증가하여, 육상풍력에 근접할 것으로 예상됨
- 한국의 경우 풍부한 해양에너지 자원을 바탕으로 시화호 조력발전소(254MW)가 올해 준공 예정이며, 울돌목 시험조류발전소(1MW급)가 현장실증실험을 종료한 바 있음. 또한 파력 에너지가 풍부한 제주 연근해에 파력발전(500kW급) 실증설비를 설치하고 있음

조류발전

- 조류발전 실험에 대한 국내 사례는 그리 많지 않고, 인하대학교 회류 수조를 이용

한 수리모형 실험 사례가 발표되었음(한국해양공학회지 2012년 8월)

- 회류수조에서 용수철을 이용한 동력계를 이용하여 수직축 터빈에 대한 성능 실험을 수행하였으며, 유속 1m/s 환경에서 터빈의 회전속도에 따른 마찰을 측정하여 토크를 계산하고, 성능곡선을 작성하였음



[그림 3-1] 인하대학교 수조에서 조류발전 수리모형실험 수행 장면

- 국내에서 개발된 조류발전 기술은 한국해양연구원이 2003년 울돌목에 설치한 소형 헬리컬 수차 방식의 조류발전시스템이 시초로써, 이를 확장하여 1MW급의 조류발전시스템이 울돌목에 건설되어 시험 운용하였음
- 2006년부터 부유식 조류발전 기술에 관한 연구가 진행되어 100kW급 실증 플랜트의 실해역 설치를 수행한 바 있으나 공유수면사용 상의 문제 등으로 운용이 중단된 상태임
- 2010년부터 4개년에 걸쳐 현대중공업 컨소시엄이 1MW급 수평축터빈을 사용한 고정식 조류발전시스템이 개발 중에 있으며, 기존의 울돌목 플랜트 시설을 활용하여 시운전을 계획하고 있다.
- 2011년에는 해양연구원 컨소시엄이 해양에너지 발전단지 (Tidal Farm) 구축에 적합한 형태의 한 기당 200kW급 능동제어형 수평축 조류발전시스템 개발 사업을 착수하여, 2015년에 실해역 설치를 목표로 현재 최적의 발전방식을 검토 중에 있음
- 따라서 실해역 실증의 전 단계에서 수리모형실험을 통한 면밀한 검증이 이루어져야 하는바 대형 규모의 수리모형실험의 수요가 증가할 것으로 예상됨
- 이를 위하여 흐름발생장치를 구비한 2차원 단면 수로 및 3차원 평면 수조가 필요하며, 실제 스케일에 가까운 실험을 위해 대형 수리모형실험 시설이 요구됨
- 필요한 계측 장비로는 파고계, 유속계, 에너지 발생계측을 위한 전력량 측정장치 등이 필수적으로 요구되며, 구조물의 안정성 해석을 위해 파력계, 파압계, 인장강도 계측기 등이 필요함



[그림 3-2] 울돌목 시험조류발전소

□ 조력발전

- 조력에너지 이용 극대화를 위한 조력발전 시스템 성능향상 기술 및 진동·소음 중심의 친환경성 평가기술을 개발하기 위해 해양과학기술원에서 연구 과제를 수행하였음
- 수문케이슨의 통수성능을 평가하기 위하여 해양환경모의실험장 내 평면개수로 에서 수리모형실험을 수행하였음
- 현장 규모 수문의 1/70 축척 모형 10개를 제작 및 설치하고, 수문 구조물 전·후면에는 에이프런(Apron) 구간을 설치하여, 실험유량 및 조위 조건을 변화시키면서 실험을 수행하였음
- 이를 위하여 3차원 평면수조에서 용량식 파고계를 이용하여 파고분포를 측정하였고, 유동가시화 실험을 수행하였음



[그림 3-3]조류발전의 통수 성능 평가를 위한 평면 수리모형실험

- 이를 위하여 3차원 평면수조에서 용량식 파고계를 이용하여 파고분포를 측정하였고, 유동가시화 실험을 수행하였음
- 우리나라는 1980년대에 가로림만을 중심으로 서해안 조력발전에 대한 개략 타당성 조사를 수행하였고, 2005년 가로림만(520 MW) 조력발전 타당성 정밀 조사를 시작으로 인천만, 강화만 지역의 해양특성 상세조사와 조력발전소 개념설계를 실시하여 조력발전 상용화기반을 구축하였음
- 시화호 조력발전소는 254MW 용량으로 Rance 조력발전소를 능가하는 세계 최대 규

모의 조력발전소이며, 조력발전시스템 성능 제고와 해양환경영향 분석 및 저감기술 개발을 위한 연구가 진행 중에 있음

- 이와 같이 현재 건설된 시화호, 그리고 향후 건설된 가로림만 등 조력발전 단지의 성능과 환경영향분석을 위해 넓은 해역을 다룰 수 있는 대형실험시설과 계측장비 (파고계, 유속계 등)가 요구됨.

□ 파력발전

- 국내에서 최초로 개발된 파력발전장치는 60kW급 부유식 진동수주형 파력발전기 (해양과학기술원, 2001)인 주전A호와 등부표용 부유식 소형파력발전기인 BBDB (해양과학기술원, 2006)로 실험해역에 설치되어 실증시험을 수행된 바 있음.
- 국내에서 현재 천해 연안역 적용에 유리한 착저식 발전장치가 주를 이루고 있으며, 케이슨을 이용한 진동수주형 및 수류식 발전방식과 단일공 또는 자켓형의 지지구조물을 이용한 월파형 발전장치가 개발되고 있음
- 최근, 한국해양과학기술원은 부유식 진자형 파력발전장치 개발하여 수리모형실험을 수행하여 발전효율과 파랑안정성 평가와 최적설계, 유압펌프의 성능평가와 최적설계, 계류안정성 평가와 최적설계 연구에 기여하였음



[그림 3-4] 300kW 부유식 진자형 파력발전장치 수리모형실험 수행 장면

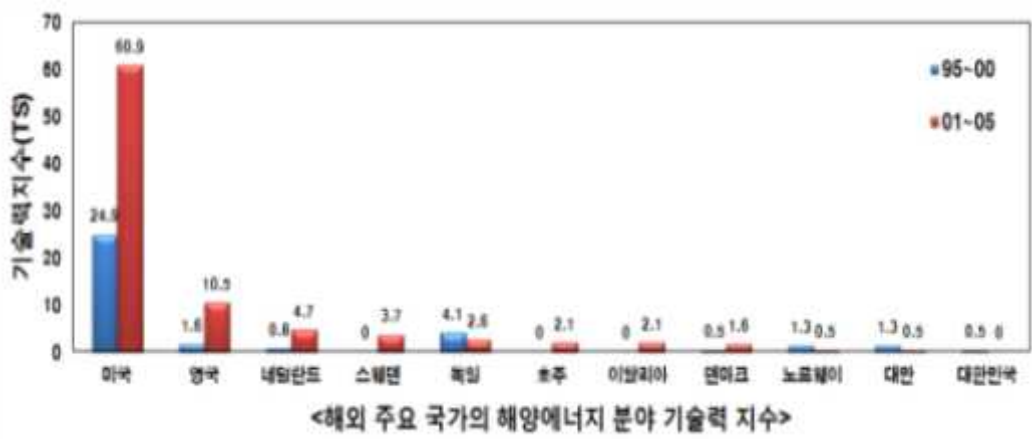
- 관동대학교 유수실 와류를 이용한 파력발전과 BBDB의 거동특성에 관련된 2차원 단면 수리모형실험을 수행한 바 있음
- 부유식 파력발전장치의 실험을 위해서는 파고계, 유속계뿐 아니라, 계류시스템의 안정성을 위해 장력계, 거동특성을 파악할 수 있는 계측기 혹은 영상처리장치를 필요로 함

□ 해상풍력 및 복합발전

- 한국해양과학기술원에서는 2010년 자체 기획연구를 통해 해역별 해양에너지 복합발전 개발(안)을 구상하였으며, 해역별 해양에너지 특성에 따라 서해안은 해상풍력-조류 및 해상풍력-조류 복합발전 개발안, 남서해안은 해상풍력-조류-파력 복합발전 개발안, 남동해안은 기존의 슬릿케이슨 방파제에 파력발전과 해상풍력을 동시에 수행하는 개발안, 동해안은 초대형 부유식 에너지 아일랜드에 해상풍력, 파력, 해수온도차, 바이오, 태양광을 동시에 할 수 있는 초대형 부유식 해양에너지 복합발전 개발안을 제안한 바가 있음
- 최근 한국해양과학기술진흥원과 해양수산부 지원 하에 해양과학기술원 주관으로 파력 및 해상풍력 복합발전 기술개발 관련 과제가 시작되어 향후 실증을 위한 수리 모형실험의 필요와 수요가 늘어날 것으로 전망됨

나. 국외 동향

- 해외에서는 국내보다 먼저 해양에너지 관련 연구와 실증테스트가 활발히 이루어져 왔음
- 분야별로는 조력발전에서는 한국과 일본, 조류발전에서는 미국, 독일과 노르웨이, 파력발전에서는 영국과 스웨덴, 해양온도차는 미국과 일본의 특허활동이 상대적으로 활발한 것으로 파악됨
- 특히 파력발전은 모든 국가에서 점유율이 높고, 한국, 미국, 유럽에서는 특히증가율도 높아 지속적인 성장가능성이 매우 큰 분야임



[그림 3-5] 산업자원부, 2007. 신재생에너지 RD&D 전략 2030



[그림 3-6] 미국 해양에너지 분야 특허 등록 기술분야 추이(산업자원부, 2007. 신재생에너지 RD&D전략 2030)

- 파력발전 실험 중 대표적으로 미국 오레곤 주립대학교 대형 수리모형실험시설에서 부유식 파력발전 실험을 2차원 대형단면수로 및 3차원평면실험을 수행하였음
- 이 실험에서 이미지 영상처리장치, 파고계, 유속계, 거동계측장치등을 이용하여, 발전성능, 안정성 및 거동 특성을 계측하였음



[그림 3-7] 오레곤 주립대학교 실험시설에서 대형수리모형실험 수행 장면

□ 해양에너지 복합 활용기술

- 국외에서는 독일 AWI(Alfred-Wegener-Institute)에서 해양에너지 복합 활용 기술과 관련하여 “First offshore aquaculture project as a multi-functional use of offshore wind farms(2000-2007)”이 수행된 바 있음
- 해양복합발전 단지 조성의 특허 국가별 출원 추이를 살펴보면, 미국이 43%로 가장 많으며, 유럽, 일본 한국의 순임

- 해양에너지의 낮은 효율의 단점을 보완하기 위하여 복합발전을 시도하는 경향이 뚜렷함


다. 소결

- 유럽 및 미국을 포함한 해외의 경우 해양에너지 관련 특허가 증가하고 있고, 개발된 장비를 실험실 실증실험을 수행하기 전에 대형수리모형실험 시설을 통해 성능 및 안정성을 주의 깊게 검토하고 있음
- 국내에서는 조력과 조류 및 일부 파력발전에 대한 수리모형실험을 수행한 적은 있으나, 해상풍력 및 복합 발전에 대한 수리모형실험을 수행한 사례가 없음
- 또한, 국내의 경우 대형 수리모형실험시설이 부족하고, 풍력, 조력, 파력 등을 복합적으로 고려할 수 있는 시설이 전무한 상태임
- 기존 구축된 시설은 수조의 크기가 충분이 크지 않고, 파랑, 흐름, 바람 발생장치의 성능을 고려할 때, 중·대형 해양에너지 실험을 수행하기에 부적합하여 개선이 필요하나, 전반적으로 수정이 필요하여 경제적으로 어려움이 예상됨
- 따라서 기존의 대형 수리모형실험 수행이 가능한 시설을 이용하여 추가적인 장비를 구축하여 성능을 개선하는 것이 경제적으로 바람직함

2. 시설·장비 구축현황

가. 국내 현황


장비명	해상풍력 2차원 단면 수로	보유기관	관동대학교 첨단해양공 간개발연구센터
목적	해양에너지 발전장치의 성능 및 안정성 테스트		
규모/성능/사양	수로제원: 30.0m(길이) × 1.5m(깊이) × 1.0m (폭) 조파기: piston type, stroke: 80cm, 최대파고 0.3m, 파주기 0.5~3sec 바람발생장치: Axial fan & motor, 최대풍속: 8.5 m/s		
특징	국내 유일하게 파랑 및 바람을 고려할 수 있는 2차원 단면 수로		
활용범위	파력발전 및 해상풍력 발전에 대한 2차원 수리모형실험		
비고	<ul style="list-style-type: none"> • 수조의 크기, 조파기 성능 및 최대풍속이 대형수리실험을 수행하기에 부적합 • 조파기와 바람발생장치의 전력 간섭으로 파와 바람발생을 동시에 수행하기 어려움 • 흐름발생장치가 구축되어 있지 않아 조력 및 조류 발전을 고려할 수 없음 		
장비 사진	<p> General Specs: 1) 2-D Irregular Wave Generator - Series Motor 구성형식 - Piston Type - 0.6(0) × 1.3(1) × 20.0(1)mm Size - 관동대 교정인증 (2014년 5월 20일) 2) Wind Tunnel - Axial Fan & Motor - Velocity : Max 8.5 m/s </p>		

장비명	해양공학수조 (3차원 평면수조)	보유기관	한국해양과학기술원
목적	해양에너지 발전장치의 성능 및 안정성 테스트		
규모/성능/사양	수조제원: 56m(길이) × 30m(폭) × 4.5m(깊이) 조파장치 성능: 최대파고 0.8m, 파주기 0.5~5.0sec 흐름발생장치 성능: 최대유속 0.5m/s at 2.5m water 바람발생장치 성능: 최대풍속 10m/s		
특징	해양에너지 발전장치 테스트용 심해용 3차원 평면수조		
활용범위	부유식 파력발전 및 해상풍력 발전에 대한 3차원 수리모형실험		
비고	<ul style="list-style-type: none"> • 조파기 성능 및 바람발생 폭이 대형수리실험을 수행하기에 부적합 • 조파기 및 수조가 심해용으로 설계되어 천해용 실험을 수행하기에 부적합 • 고정식 해양에너지 구조물 실험 수행에 어려움이 있음 		
장비 사진			

나. 국외 현황

<p>장비명</p>	<p>Multidirectional wave basin (3차원 평면수조)</p>	<p>보유기관 (국가)</p>	<p>National Research Council Canada (캐나다)</p>
<p>목적</p>	<p>해안환경, 해양에너지 발전장치의 성능 및 안정성 테스트</p>		
<p>규모/성능/사양</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 수조제원: 26.0m(길이) × 36.0m(폭) × 3.0m (깊이) • 조파기: 규칙파 및 불규칙파, 다방향 조파. 최대파고 0.7m • 흐름발생장치: 수중 노즐, 펌프, 순환 터널을 이용하여 발생 • 바람발생장치: 이동식 팬을 이용 		
<p>특징</p>	<p>해양에너지 발전장치 테스트용 3차원 평면수조</p>		
<p>활용범위</p>	<p>부유식 및 고정식 파력발전 및 해상풍력 발전에 대한 3차원 수리 모형실험</p>		
<p>비고</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 		
<p>장비 사진</p>			

장비명	Cantabira Coastal and ocean Basin (3차원 평면수조)	보유기관 (국가)	IH Cantabria (스페인)
목적	해안환경, 해양에너지 발전장치의 성능 및 안정성 테스트		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 수조제원: 30.0m(길이) × 44.0m(폭) × 4.0m (깊이) • 수조특징: 연안 및 심해용 수조 • 조파기: 규칙파 및 불규칙파, 다방향 조파. 최대파고 1.0m • 흐름발생장치: 최대 유량 18m³/s • 바람발생장치: 이동식 장비. 최대 풍속 20m/s 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 해양에너지 발전장치 테스트용 3차원 평면수조 • 복합발전(예: 파력+풍력, 조력+풍력 등) 장치 성능 테스트 가능 		
활용범위	부유식 및 고정식 파력, 조류, 해상풍력 및 복합 발전에 대한 3차원 수리모형실험		
비고	•		
장비 사진			

장비명	3차원 평면수조	보유기관 (국가)	Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) (네덜란드)
목적	해안환경, 해양에너지 발전장치의 성능 및 안정성 테스트		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 수조제원: 45.0m(길이) × 36.0m(폭) × 10.2m (깊이) 심해용 수조 • 조파기: 규칙파 및 불규칙파, 다방향 조파. • 흐름발생장치: 다층 흐름 발생장치 (6개층) • 바람발생장치: 폭 24m의 팬(이동식). 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 해양에너지 발전장치 테스트용 3차원 평면수조 • 복합발전(예: 파력+풍력, 조류+풍력 등) 장치 성능 테스트 가능 		
활용범위	부유식 및 고정식 파력, 조류, 해상풍력 및 복합 발전에 대한 3차원 수리모형실험		
비고	<ul style="list-style-type: none"> • 이동식 팬을 사용하여 바람의 정속 발생에 어려움이 있음 		
장비 사진			

장비명	3차원 평면수조	보유기관 (국가)	Norwegian University of Science and Technology (NTNU) (노르웨이)
목적	해안환경, 해양에너지 발전장치의 성능 및 안정성 테스트		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 수조제원: 80.0m(길이) × 50.0m(폭) × 10.0m (깊이) 심해용 수조 • MARINTEK이 운용 • 조파기: 규칙파 및 불규칙파, 다방향 조파. 최대파고 0.9m • 흐름발생장치: 최대유속 0.2m/s. 총별 유속변화 • 바람발생장치 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 해양에너지 발전장치 테스트용 3차원 평면수조 • 복합발전(예: 파력+풍력, 조력+풍력 등) 장치 성능 테스트 가능 		
활용범위	부유식 및 고정식 파력, 조류, 해상풍력 및 복합 발전에 대한 3차원 수리모형실험		
비고	<ul style="list-style-type: none"> • 바람발생장치, 흐름발생장치의 성능이 떨어짐 		
장비 사진			

다. 소결

- 국내 연구는 대부분 부유체 및 고정체 지지구조물 해석과 풍력발전을 위한 해석을 별개로 수행 중이나 파랑, 조류, 바람의 효과를 동시에 고려할 수 있는 연구가 필요함
- 또한, 기 구축된 시설은 조파기, 흐름발생장치, 바람발생장치의 성능이 scale effect 를 줄일 수 있는 중·대형 수리모형실험 수행에 어려움이 있음
- 기존 해외 바람발생장치(캐나다, 스페인 등)의 경우 휴대용 장비로 사용하고 있어 정속이 어려움
- 상기 현황을 고려할 때, 단면수로 및 평면수조의 크기 면에서 중·대형 실험을 수행할 수 있는 전남대학교 해안항만실험센터의 시설에 장비를 개선 및 추가함으로써 해상풍력발전 및 복합형 하이브리드 발전에 대한 연구 시설을 저비용으로 확보하는 것이 시급함

구분	장비명 (보유기관, 국가)	규격, 규모		성능, 사양	
		단면수로	평면수조	흐름발생장치	바람발생장치
국내	한국해양과학기술원	-	56m(길이) × 30m(폭) × 4.5m(깊이)	0.5m/s	10m/s
	관동대학교	30.0m(길이) × 1.5m(깊이) × 1.0m (폭)	-	-	8.5 m/s
국외	National Research Council Canada (캐나다)	-	26.0m(길이) × 36.0m(폭) × 3.0m (깊이)	유	유
	IH Cantabria (스페인)	-	30.0m(길이) × 44.0m(폭) × 4.0m (깊이)	최대 유량 18m ³ /s	20m/s
	MARIN (네덜란드)	-	45.0m(길이) × 36.0m(폭) × 10.2m (깊이)	유	유
	NTNU (노르웨이)	-	80.0m(길이) × 50.0m(폭) × 10.0m (깊이)	0.2m/s	유
최고 수준		150.0m(길이) × 5.0m(깊이) × 3.0m (폭) 이상	50.0m(길이) × 2.5m(깊이) × 5.0m (폭) 이상	1.0 m/s 이상	10m/s 이상
최소요구수준 (최고수준대비)		90%	90%	100%	100%

3. 종합분석

- 전남대학교 해안항만실험센터는 국내에서 보유중인 시설 중 규모면에서 최대라고 할 수 있으며, 이미 흐름발생장치를 단면수로에 보유하고 있고, 각종 계측장비를 보유하고 있어 추가 구축 및 구입에 필요한 비용을 절감할 수 있음
- 따라서 수조의 규격을 확장하는 것보다 기존에 중대형급 실험을 수행할 수 있는 시설에 추가로 장비를 구축하는 것이 타당함
- 해외 시설의 경우 수조 규모와 조파기 성능은 중대형 규모의 실험을 수행할 수 있으나, 바람발생장치의 경우 대부분 휴대용 장치를 사용하여 다른 실험시설과 간섭을 일으킬 수 있으나, 구축 예정 장비는 실외에 모터를 고정하고 덕트를 사용하여 정속성을 확보하여 기존의 어떤 시설보다 성능이 우수하다고 판단됨
- 해외 최고수준의 실험시설과 비교하여, 본 보고서에서 제시한 규모는 세계수준과 유사하며, 성능 면에서는 최고수준을 능가할 수 있음

제 5 절 기존 시설·장비와 차별성

1. 장비의 중복성 검토(NTS 검색)

가. 장비구축 자체 검토의견

총 5개의 관련 Keyword(해상풍력발전, 바람발생, 해양에너지, 파력발전, 조류발전 등)를 사용하여 장비의 중복성을 검토함.

- 구축하고자 하는 해양에너지 개발을 위한 복합 실험장비는 바람, 파랑, 조류 발생에 있어서 scale effect를 최소화 할 수 있는 대형 규모 실험을 수행할 수 있어야 함
- 따라서 조파할 수 있는 파고에 비교하여 풍속과 유속도 그에 상응하는 성능을 갖추어야 외력에 대한 영향을 복합적으로 고려할 수 있음
- 관련 키워드를 통한 NTIS 검색 결과 현재 국내 관련 장비가 거의 존재하지 않고, 일부에서만 보유하고 있는 기관이 더러 있음
- 특히, 외력 발생장치는 세 가지 모두를 보유하고 있는 경우가 거의 없고, 주로 파랑을 발생시키거나, 이에 더하여 흐름발생장치를 보유한 경우가 대부분임
- 기존의 장비들은 대부분 소형이고, 해양의 외력을 복합적으로 고려할 수 있는 시설을 보유하고 있는 기관이 없음
- 또한 조파기의 성능과 수조의 크기 등을 고려할 때 대형 수리모형실험을 수행할 수 있는 곳이 충분하지 않음
- 위 결과를 토대로 제안 장비와 기존 장비의 중복성은 없음

나. 국가연구시설장비 공동활용서비스 NTIS(<http://nfec.ntis.go.kr>) 검색 결과

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소) 활용목적분야	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표 성능 비교 (2~3개)	구축예정장비 신청기관의 자체 검토의견
1	풍력발전설비 성능평가시스템 용 7MW급 유도전동기	Abb	한국전기연구원	2012	531	해상풍력 발전		-풍력발전을 위한 전기설비 성능평가 -단독활용만 가능
2	풍력발전단지 시뮬레이션 및 풍력발전터빈 에뮬레이션 시스템	LBM	한국전력공사 전력연구원	2012	667	해상풍력 발전		-풍력발전 터빈 성능검증 -단독활용만 가능
3	바람발생장치	동현씨스텍	한국과학기술원	2010	33.7	바람발생	최대풍속 10m/s	-바람발생영역이 작아 중형 2차원수로에서만 이용가능
4	바람발생장치	부영기계	울산대학교	2009	45.0	바람발생	최대풍속 10m/s	-학교내 소규모 수조내 설치하여 단독활용만 가능 -큰 파랑과 동시에 모사 불가능
5	해양환경 모의 실험장 조파 장치 시스템	세원기연	한국해양과학기술원	2010	264	파력발전		-조석과 파랑만을 고려하여 해상풍력 고려가 불가능

2. 차별화 및 특성화 방안

가. 장비 구축 주안점

- 실험시설에서 수행 가능한 성능평가의 범위를 세계적 수준으로 설정함
 - 1절에서 기술한바 세계적 수준은 실험시설의 규모도 대형일 뿐 아니라, 다양한 외력 즉, 파랑, 바람, 조류의 발생 규모도 실제 스케일에 근접할 수 있도록 설계된 시설을 의미함
 - 다만, 바람 발생의 경우 세계적 수준의 실험시설에서도 정속성에 문제점이 있어, 이 부분이 개선되면 세계적 수준 이상의 시설을 구축할 수 있음
 - 바람발생장치의 경우 육상의 재생에너지 장치에 비해 외력의 규모가 크기 때문에 극한의 환경을 고려한 실험시설에서 장치의 성능 및 안정성 검증이 필요함
 - 따라서 본 실험시설은 일반적인 상태에서 발생할 수 있는 작은 규모의 파랑, 바람 및 조류의 규모 뿐 아니라, 폭풍해일과 같은 극한상태의 외력 즉 고파랑, 강풍을 동반한 환경에서의 구조성능평가를 수행할 수 있는 신뢰성 있는 성능평가가 가능한 시설을 구축해야 함
 - 그러나 국내의 실험시설들은 시설 규모와 외력발생규모가 충분히 크지 않아, 장치의 성능 및 안정성 검증에 대한 실험 수행을 위해서는 1/50 ~1/100 규모의 소형 스케일 실험을 수행할 수밖에 없고, 이러한 scale effect 로 인한 오차를 개선하기 어려운 실정임
 - 그러므로 해양에서 발생하는 다양한 외력들의 연계 고려하고, 이에 따른 적절한 실험 스케일 설정이 가능한 규모의 시설(대형)을 구축해야 함
 - 또한, 국내에서 뿐 아니라 해외에서도 실험결과를 신뢰할 수 있는 높은 질의 실험 시설을 구축하여 국내외 기업에서 요구하는 성능 인증이 가능한 수준의 실험시설을 구축하는 것을 목표로 함

- 우선순위를 고려하여 주요 실험시설/장비가 선정되어야 함
 - 가장 수요가 많을 것으로 예상되는 장비를 우선 구축해야 함
 - 대학 등 일반 연구기관에서 안전/인증에 큰 무리 없이 구축/활용 가능한 장비를 구축해야 함
 - 장비의 유지 보수에 있어서 시간적, 경제적 제한을 최소화 할 수 있는 장비를 구축해야 함

□ 실험시설의 안정성 확보가 필요함

- 대형실험시설의 특성상 안전사고의 위험성을 최소화 할 수 있는 시스템 구축이 필요함

나. 차별성 및 특성화

- 국내 기존의 연구기관에 비해 규모 및 외력 재현 면에서 월등한 성능을 가진 실험 시설로 특히 해안공학 분야에서 유일한 대형 규모의 시설이며 해외의 최고 시설에 가장 근접할 수 있는 시설임
- 관련분야의 다양한 계측장비를 함께 보유하여 시스템적으로도 최고의 시설로 구축함
 - 국내에 없었던 복합발전까지 실험 수행이 가능한 시설로 기대함
 - 관련분야 연구 시 실험의 효율성 또한 증진될 것이며, 다양한 연구 성과의 도출을 기대할 수 있음

다. 소결

- 국내 기존의 실험시설은 규모와 성능 면에서 다양한 해양에너지 개발 장치의 성능 검증이 어려움
- 구축하고자 하는 장비는 국내에서 규모면에서나 실험 면에서 그 사례가 없어 관련 연구 성과 도출에 큰 기여를 할 수 있음
- 해외에서도 해양에너지개발을 위한 대형 복합 실험시설이 흔하지 않아, 기술격차를 단기간에 최소화 할 수 있음
- 따라서 수조의 규모와 계측장비의 질을 높여 단기간에 세계수준의 실험시설을 구축할 수 있을 것으로 기대함
- 이를 위하여, 파랑, 바람, 흐름 등의 외력 발생 성능을 최대화 하여 단독 및 복합발전 시설의 성능 검증에 있어서 선도할 수 있도록 해야 할 필요가 있음

제 6 절 필요 장비 및 시설

1. 최소 요구 성능

- 바람발생장치의 경우 해외의 시설처럼 휴대용 팬으로 제작되면 일정한 풍향과 풍속조절이 어렵기 때문에, duct를 이용한 고정식 장치가 요구됨
- 큰 전력이 요구되는 모터를 사용하기 때문에 타 장비와의 간섭을 최소화 할 수 있는 시설 구축이 요구됨
- 실외 모터 및 blower 설치하고, 덕트를 이용해서 2차원 수로와 3차원 수조에 연결하여 공간을 최소화 하고 2차원, 3차원 실험에 적용할 수 있는 시설 확보가 요구됨
- 3차원 수조에서는 바람의 방향 조절이 가능한 시설 확보 필요
- 대형수리모형실험 수행을 위해 최대파고, 최대 풍속, 최대유속이 그에 상응하는 성능이 요구됨
- 2차원 단면 수로의 경우 최대파고 1m, 풍속 10m/s, 최대유속 1m/s 이상이 요구됨
- 3차원 평면수조의 경우 최대파고 0.5m, 풍속 10m/s, 최대유속 0.5m/s 이상이 요구됨
- 바람과 흐름 모두 정속성을 확보할 수 있어야하며, 변동풍 및 변동류 재현이 가능하여야 하며, 평면수조의 경우 바람의 방향을 조절할 수 있어야 함

2. 최소 요구 시설·장비 성능

<표 3-2> 최소 요구 장비 및 기능

구분	내용	비고
3차원 평면수조	조파기	<ul style="list-style-type: none"> • 수조규모 : 50m × 50m • 재현파고(규칙파 기준) : 50cm 이상 • 재현주기(규칙파 기준) : 0.5~6.0sec 범위 • 다양한 불규칙파 스펙트럼(TMA, Johnswap, Bretschneider-Mitsuyasu 등) 재현 가능 • 지진해일 재현 가능
	바람발생장치 ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> • 풍속 10m/sec 이상(정속성 확보) • 유속의 시간적 변화가 가능한 변동류 재현(조석 효과)
	흐름발생장치	<ul style="list-style-type: none"> • 유속 0.5m/sec 이상(정류성 확보) • 변동류 재현 가능
2차원 단면수로	조파기	<ul style="list-style-type: none"> • 수조규모 : 100m × 2m × 3m • 재현파고(규칙파 기준) : 100cm 이상 • 재현주기(규칙파 기준) : 0.5~8.0sec 범위 • 다양한 불규칙파 스펙트럼(TMA, Johnswap, Bretschneider-Mitsuyasu
	바람발생장치 ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> • 풍속 10m/sec 이상(정속성 확보) • 변동풍 재현 가능
	흐름발생장치	<ul style="list-style-type: none"> • 유속 1m/sec 이상(정류성 확보) • 유속의 시간적 변화가 가능한 변동류 재현(조석 효과)

- 1) 바람발생장치는 외부에 모터 및 블로어를 설치하고 덕트를 이용하여 3차원 평면수조 및 2차원 단면수조에 연결
- * 바람발생장치는 정속의 바람을 발생시켜 해양풍력발전을 위한 수로모형실험장비로서, 실험구간에서 10m/s 이상의 정속성 확보 필요
 - * 흐름발생장치는 정속의 유체흐름을 발생시켜 조석에 의한 효과를 재현하는 장비로서 유속 1m/s 이상의 정류성 확보 필요

<표 3-3> 제안 최소 요구 시설

내용		비고
3차원 평면수조	조파기	폭 30m 이상 (일방향 조파기 또는 다방향 조파기)
	바람발생장치	폭 5m 이상
	흐름발생장치	순방향 및 역방향 가능 펌프
2차원 단면수로	조파기	구동장치 : 전기서보모터 유효 Stroke : 1.5m 이상
	바람발생장치	단면수로 상부 밀폐형 구조 추가
	흐름발생장치	순방향 및 역방향 가능 펌프 Guide vane 및 정류장치
계측기	파고계	30 sets
	파압계	20 sets
	유속계	3차원 유속계 5 sets 2차원 유속계 10 sets 1차원 유속계 5 sets
	파력계, 장력계	2 sets
	풍속계	1차원 10 sets 2차원 10 sets
	에너지 생성관련 측정장치	1 set
	기타 관련 계측 장비	1 set

제 7 절 시설 · 장비 구축계획

1. 추진방법

- 장비 구축에 있어서 기존 시설을 이용함으로써 예산 절감 효과를 기대할 수 있음
- 국내 최대 시설이며 대형실험에 적합한 파랑을 조파할 수 있는 전남대학교 해안항만실험센터의 조파시설을 이용함으로써, 80%이상의 예산 절감 효과를 기대할 수 있음
- 또한, 바람발생장치를 2차원 및 3차원 수조에 모두 적용하시 위하여 덕트를 이용하여 두 수조에서 사용할 수 있게 함

- 바람 및 흐름발생장치의 경우 국산으로 구매가 가능하나 계측장비는 국내 업체가 없는 관계로 해외 수입이 불가피함

<표 3-4> 최소 요구 장비 및 구축 방법

구분	장비명	구축 방법	비 고
3차원 평면수조	조파기	기 보유	-
	흐름발생장치	신규 구입	국산 도입
	바람발생장치	신규 구입	국산 도입
2차원 단면수로	조파기	장비 개선	국산 도입
	바람발생장치	신규 구입	국산 도입
	흐름발생장치	장비 개선	국산 도입
계 측 기	파고계	신규 구입	해외 도입
	파압계	신규 구입	해외 도입
	유속계	신규 구입	해외 도입
	파력계	신규 구입	해외 도입
	풍속계	신규 구입	해외 도입
	에너지 측정장치	신규 구입	해외 도입
	장력계	신규 구입	해외 도입
	기타 관련 계측 장비	신규 구입	해외 도입
중장비	포크레인 1식	기 보유	-
	스키드로우 1식	기 보유	-
	지게차 1식	기 보유	-

2. 구축계획

가. 시설공사계획

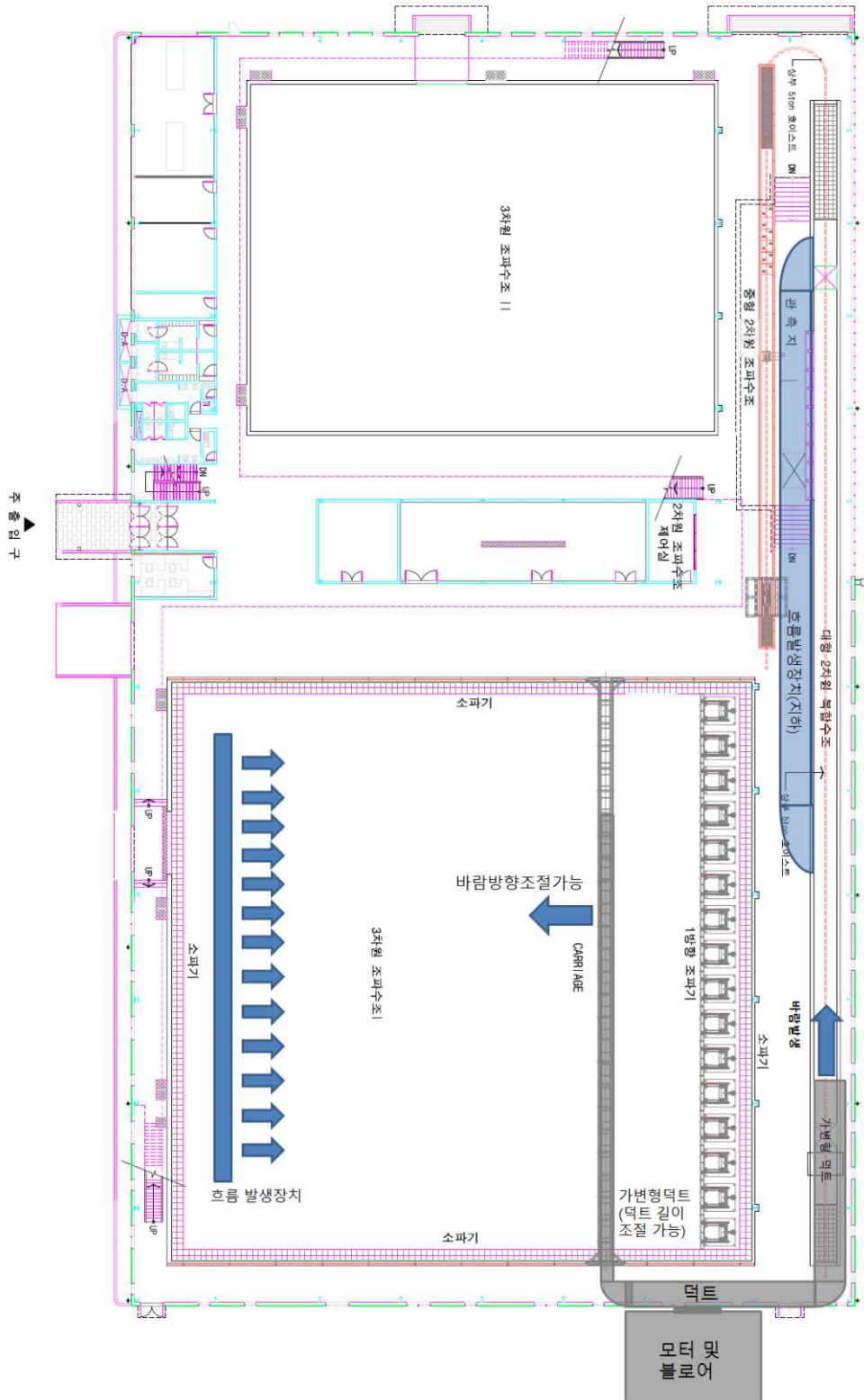
- 기존의 조파시설에 바람발생장치를 설치하고 흐름 발생장치를 개선함
- 바람발생장치 모터 및 블로어를 건물 외부에 설치하고 덕트를 이용하여 수조에 연결함으로써 1대의 바람발생장치로 2대의 효과를 기대할 수 있음
- 기존의 흐름발생장치에 전기공사와 설비공사를 통해 정속성을 보장할 수 있는 장비로 개선함²
- 시설 구축 후 해양에너지 실험을 수행하기 위한 계측장비를 도입함

나. 공간배치 계획

- 시설 확장에 대한 비용을 절감하기 위하여 공간 변화를 최소화할 수 있도록 함
- 따라서 공간을 확장하는 대신 바람발생장치의 모터를 건물 외부에 설치하고 덕트를 이용하여 2차원 단면 수로와 3차원 평면 수로로 연결함
- 바람발생장치의 개력적인 설치 계획은 평면도에 있음
- 흐름발생장치는 기존에 설치되어 있는 2차원 대형 수로를 개선하여 정속성을 확보

함으로써, 공간 확장 없이 시설을 개선함

- 바람발생장치에 관련한 공간배치계획은 다음의 평면도와 같음



다. 구축일정

연차	연구내용	추진일정(월별 또는 분기별)												연구비 (백만원)	비중 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1차년도	바람발생장치/흐름발생장치 설계													400	21
	바람발생장치/흐름발생장치 시설공사														
2차년도	바람발생장치/흐름발생장치 시설공사													1,000	53
	장비구매 (파압계, 파력계, 장력계, 풍 속계, 전력량 측정장비, 유속계, 파고계)													500	26

라. 국산장비 대체 가능성 자체검토(국산대체장비가 있을 경우만 작성)

구분	내 용				비 고
1	장비명 (모델명)	한글		제작사	
		영문		장비가격 (단위 : 백만원)	
	주요사양				
	자체 검토의견		○ 국산장비 대체 가능 여부와 대체가 어려운 경우 그 이유에 대하여 상세히 기술		

3. 운영 및 관리계획

가. 유지관리 계획

- 조파기, 흐름발생장치 및 바람발생장치는 높은 출력과 정밀도를 요구되고, 고장시 수리비가 비싸기 때문에 지속적인 유지관리가 요구됨
- 조파기, 바람발생장치 및 흐름발생장치는 6개월마다 성능을 점검하여 고장여부와 수리 필요여부를 체크해야함. 예상되는 비용은 연간 5000만원임

나. 안전사고예방 계획

- 대형 규모의 실험실의 경우, 수조내에서 모형 및 장비 설치와 장비 작동시 안전사

고가 일어날 수 있으며, 발생시 심각한 인적 사고가 야기될 수 있음

- 따라서 종사자들에게 정기적으로 안전사고 예방 교육을 실시하고, 일지를 만들어 기록하는 것이 필요함
- 또한, 공사현장에서 사용하는 안전모, 고글, 안전화 및 장갑을 비치하여 수조내 작업시 착용할 수 있도록 함

다. 운영자 교육계획

- 장비의 운영은 고장 방지에 직결되므로, 정기적으로 기술자와 연구원을 대상으로 하는 장비 운영 교육을 실시하며, 일지를 작성하여 관리함
- 새로운 장비 도입 시에도 납품회사의 인원이 장비 운영에 대한 교육을 실시할 수 있도록 하며, 자체적으로 사용지침을 작성 및 비치하여 유사시에 참고할 수 있도록 함

제 8 절 활용계획 및 기대효과

1. 활용계획

- 국내외 해상풍력발전 연구의 검증 및 개선을 위한 수리모형 실험 수행
- 풍력·파력·조류를 혼합한 하이브리드형 발전에 관련된 실험적 연구 수행
- 파력과 풍력을 동시에 고려한 해상풍력지지 구조물의 안정성에 관련된 실험적 연구 수행
- 개발된 장치의 성능 검증을 위한 수리모형실험 수행

2. 기대효과

- 해상풍력, 조류 및 파력발전 기술개발을 위한 실험 및 연구인프라 확보, 해양에너지 개발을 위한 설계기준 제정 및 구조물 통합 설계, 시공, 유지관리 기술 확보 및 보급, 해양에너지 기기 인증 및 프로젝트 인증 능력 보유, 경제적이고 효율적인 신형식 해양에너지 구조물 개발 등에 광범위하게 활용될 것임
- 해상풍력, 조류 및 파력발전 장치 등의 성능 검증과 인증 등을 통해 해양에너지 관련 산업의 조기 활성화와 국내외 시장 진출 및 선점에 기여할 것임

제 9 절 상세 예산(안)

1. 장비 성능개선 소요예산(안)

- “건설연구인프라 구축과제 1단계분석 및 2단계 기획 보고서(2011. 06. 22)”의 해양 에너지분야 실험시설을 기존의 실험시설을 이용하여 개선할 경우의 추정 소요예산은 다음과 같음.

□ 총괄(연차별예산)

- (기간·사업비) '14~'15 / 1,900백만원(정부출연금)

(단위 : 백만원)

구분	계	'14	'15
정부	1,900	400	1,500

< 소요예산 상세총괄 >

구분	산출내역	비용(천원)	국산/외산	비고
장비명	2차원 단면수로 및 조파기	-	외산	기존시설 활용
	3차원 평면수조 및 조파기	-	외산	기존시설 활용
	바람발생장치	1,100,000	국산	신규구입
	흐름발생장치	300,000	국산	신규구입
	계	1,400,000		
장비명	파고계		외산	신규구입
	파압계		외산	신규구입
	유속계		외산	신규구입
	파력계		외산	신규구입
	풍속계		외산	신규구입
	에너지 측정장치		외산	신규구입
	기타 관련 계측 장비		외산	신규구입
	계	500,000		
합계		1,900,000		
국산화율(%)		74%		

2. 신규 시설구축 대비 예산 절감 효과

< 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교 >

구분	신규 시설구축 예산		장비 성능개선 예산	
	산출내역	비용(천원)	산출내역	비용(천원)
장비명	2차원 단면수로 및 조파기	4,000,000	2차원 단면수로 및 조파기	기존시설 활용
	3차원 평면수조 및 조파기	6,200,000	3차원 평면수조 및 조파기	기존시설 활용
	바람발생장치	1,100,000	바람발생장치	1,100,000
	흐름발생장치	300,000	흐름발생장치	300,000
	계	11,600,000		2,000,000
장비명	파고계		파고계	추가구입
	파압계		파압계	추가구입
	유속계		유속계	추가구입
	파력계		파력계	신규구입
	풍속계		풍속계	신규구입
	에너지 측정장치		에너지 측정장치	신규구입
	기타 관련 계측 장비		기타 관련 계측 장비	추가구입
	계	800,000		500,000
합계	12,400,000		1,900,000	
예산 절감액/비율(%)	10,500,000 (85%)			

제 4 장 허리케인 3등급(풍속120mph)풍력에너지 개발 바람발생 시스템

제 1 절 시설·장비 정의 및 목적

1. 정의

- 구축 계획중인 신재생에너지 실험 시스템은 대규모 풍력발전단지 풍력단지 효율적 배치 실험을 위한 세계 최대 규모(12m(폭)×40m(길이)) 시험부 크기를 가지는 실험 시스템임
- 기 확보된 최대 규모의 풍동실험 시설을 활용하면 적은 비용으로 대규모 풍력발전단지 효율성 평가 실험 및 풍환경 평가가 가능함
- Wall of wind 구축시 Category 3등급 수준의 허리케인 풍속 조건(120mph급)의 재현이 가능하며, 이를 활용하여 소형풍력발전기 출력 성능실험, 건물 외장재 및 창호 파괴 실험, 교통안내 표지판 안정성 평가 실험 등 다양한 산업 시설물의 대한 안정성 평가 등이 가능함

2. 목적

- 신재생 에너지(풍력)과 관련하여 개별 풍력발전기 출력성능 평가 실험 및 인증과 관련된 업무 지원 및 대규모 풍력발전단지 전체 효율 평가에 활용 가능한 실험시설 구축

제 2 절 구축 필요성 및 시급성

1. 구축 필요성

- 소형풍력발전기 성능평가와 관련된 실험시스템 구축 필요성
 - 국내외 기술/산업/정책 동향 분석에 따르면 전세계적으로 탄소저감과 관련하여 조력, 태양열, 풍력발전에 대한 수요가 급격히 증가하고 있으며, 이들 새로운 에너지 기반 발전기지를 구축하는 기술의 개발이 시급한 실정임
 - 풍력 산업에는 소기업(50인미만)이 27.1%, 중기업(50-299인)이 41.7%를 차지해 중소기업이 전체 기업의 68.7%를 차지하고 있음
 - 성장기 제품을 공급하는 대기업과는 달리 소기업은 기술개발기의 제품을 중기업은

시장도입기의 제품을 많이 생산 공급하고 있음. 이는 소기업은 기술개발 지원과 사업 초기에 사업화 및 사업 안정을 지원이 필요하며, 중기업에게는 시장도입기에 요구되는 설비 자산 체계 구축이나, 양산에 대한 지원, 그리고 시장 확보 지원 등이 크게 요구됨

- 풍력 산업의 기술 수준은 세계 최고 기술과 상당한 기술 격차(73%수준)가 있으며, 중국에 대해서도 기술적 우위(97.5% 수준)를 확보하지 못하고 있는 것으로 나타남 이는 국내 풍력 업체들의 기술 확보 필요성이 크다는 걸 의미함
- 전반적으로 설비나 인력 부족이 큰 가운데 기업 규모별 전주기적 차원에서의 애로사항을 살펴보면 실증과 관련된 부분에서 두드러진 애로사항이 있는 것으로 나타남, 주요 애로사항은 아래와 같음
 - 각종 실증 장비와 인력 부족
 - 실증기술 부족 및 시험체계 표준화 미흡
 - 테스트베드의 구축 미흡

<표 4-1> 풍력 부문 기업 규모별 전주기적 차원에서의 애로사항

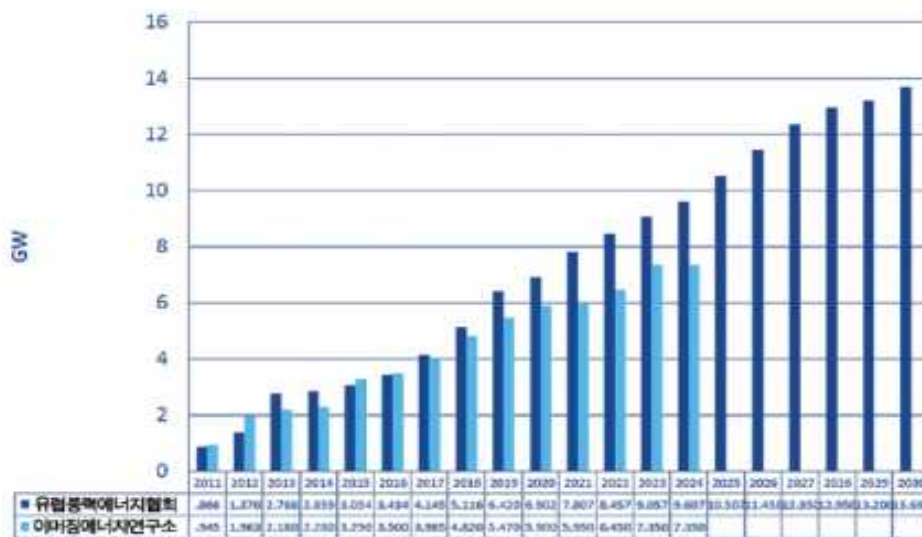
(5점 만점)

구분		기업규모				전체 평균
		중소기업		대기업		
		소기업	중기업			
인력	생산기능인력 부족	3.5	3.4	3.6	3.9	3.7
	전문기술인력 부족	3.3	3.4	3.2	3.8	3.6
	연구개발인력 부족	3.1	3.5	2.8	2.5	2.7
자금	연구개발 자금 부족	4.1	4.1	4.1	1.9	2.7
	개발 기술의 사업화 자금 부족	3.9	3.9	3.9	1.9	2.7
	원자재 및 부품 구입 자금 부족	3.4	3.6	3.2	1.8	2.4
	설비 투자 자금 부족	3.8	4.0	3.7	2.1	2.7
기술	원천 및 핵심 기술 부족	3.2	3.3	3.1	3.9	3.6
	수요기업의 공동연구 및 기술협력 부족	3.4	3.2	3.5	3.6	3.5
	관련시장동향 및 기술 등의 정보제공 부족	3.9	3.5	4.7	3.2	3.7
부품	부품 모듈화 부족	3.2	3.2	3.3	3.7	3.5
	핵심 부품의 해외 의존	3.3	3.5	3.2	4.0	3.8
	안정적인 부품 및 원부자재 확보 어려움	3.6	3.5	3.7	3.4	3.5
실증	각종 실증 장비와 인력 부족	3.6	3.8	3.4	3.7	3.7
	실증기술 부족 및 시험체계 표준화 미흡	3.5	3.7	3.3	3.8	3.7
	테스트베드의 구축 미흡	3.7	3.9	3.6	4.1	4.0
시장	개발 기술의 상용화/사업화 어려움	3.7	3.6	3.9	3.4	3.5
	수요기업의 구매 기피	3.5	3.4	3.5	2.5	2.8
	수요기업의 과도한 납품 단가 인하 요구	3.9	4.0	3.9	2.8	3.2

- 풍력발전기 개발에는 최소 5년의 시간이 소요되며, 제품으로 시장에서 인정받기 위해서는 2년 이상의 실제 필드에서 검증 과정이 필요하여, 작은 내수 시장은 풍력 참여기업의 적극적인 투자를 주저하게 됨
- Wall of wind generator 구축을 통해 필요로 하는 자연바람을 구현하여 1~2일의 짧은 기간을 통해 풍력발전기 성능 평가 및 인증이 이루어진다면 열악한 중소기업의 기술 및 가격 경쟁력 강화에 큰 도움이 될 수 있음
- 소형풍력발전기 시장의 활성화 및 중소기업 육성을 위해서는 실증을 위한 풍력발전기 성능 평가 실험시설이 필수적이며, 국내 신재생에너지(풍력) 산업의 경쟁력 확보를 위해서는 반드시 필요한 실험 시설임

□ 해상풍력발전단지 효율 평가에 관한 필요성

- 전 세계적으로 2008년말 기준으로 해상풍력발전단지의 설비용량은 총 27,000MW이고, 유럽풍력에너지협회(EWEA)의 보고서에 의하면 2020년 연간 7GW의 해상 풍력 발전설비가 신규로 설치되고, 누적 해상풍력 설치용량은 2020년 40GW, 2030년에 150GW에 이를 것으로 예측함



[그림 4-1] 유럽의 해상풍력 발전 신규 설치 용량(2011-2030)

- 국내 시장 역시 해양에너지 개발과 관련된 많은 연구 및 상용화가 해상풍력발전 위주로 진행되고 있으며, 정부는 제1차 국가에너지 기본계획을 통해 2030년까지 총 1차 에너지 중 11%를 신재생에너지로 충당할 계획을 가지고 있음
- 이에 따라 2010년도에 지식경제부는 “국내 해상풍력 중형 발전플랜트 타당성 조사

연구”에서 서해안에 10.2조원의 예산이 투입되는 최대 규모의 서남해안 2,5GW의 용량의 대단위 해상풍력단지를 골자로 해상풍력로드맵을 발표하였음

- 국내 풍력산업은 시장형성기로 2011년 말 풍력발전 누적 설비용량이 0.4GW에 불과했지만 정부는 총발전량 중 풍력발전 비중을 2010년 0.2%에서 2020년 9.4%로 증대시킬 계획으로 풍력산업을 제2의 조선산업으로 육성할 계획임
- 2012년부터 의무할당제(RPS)가 시행 예정됨에 따라 해상풍력에 대한 연구 및 개발도 더욱 활발해지고 있음. 또한 단위 면적당 전력 생산량 증가와 발전단가의 저감을 위해 대형화되고 있고, 육상풍력에서 해상풍력으로 전환되고 있음[그림 3-2]
- 풍력발전단지의 경우 각각의 풍력발전기의 설치 간격 및 위치에 따라 그림자 효과 등의 간섭이 발생하며, 이러한 간섭효과는 전체 발전량의 약 40%까지 큰 손실을 발생시키기도 함. 풍력발전단지의 최적 단지 설계가 필수 불가결한 기술임



[그림 4-2] 해상풍력 발전 현황

□ 전문가 및 자문위원 평가 의견

- 전문가 및 자문위원 평가 의견으로 극한상태 구조 특성 실험시설 중 태풍, 쓰나미 등 자연재해를 모사한 극한 하중에 대한 구조물 거동 평가의 필요성이 언급됨.
- Wall of wind generator 설치하면 category 3등급 허리케인의 재현이 가능하여 극한상태의 풍하중 재하가 가능하며 다양한 산업시설물에 적용이 가능함
- 해상 풍력 성능 검증과 인증 등을 통해 해양 에너지 관련 산업의 조기 활성화와 국내 및 해외시장 진출 및 선점을 통한 국가 경제의 녹색성장에 기여
- 해상 풍력 기술 개발을 위한 실험 및 연구 인프라 확보, 해양에너지 개발을 위한 설계기준 제정 및 구조물 통한 설계, 시공, 유지관리 기술 확보 및 보급 등에 광범위하게 활용(2단계 건설연구인프라실험시설 구축 기획연구 보고서 pp. 199~200)

2. 시급성

□ 문제점

- 다양한 기술개발 Needs를 반영한 미래지향적 기술개발을 위한 공동연구장비 확충 필요
- 건설연구인프라 1단계 실험시설이 09년 완공되었으나, 그동안 건설분야의 산업 환경이 변화하여 새로운 신규 실험에 대한 요구가 높아지고 있으나, 현재 제한된 범위 내에서 대응하고 있음
- 풍력발전기 성능 평가에 관련하여 실증단지를 구축한 강원대의 경우 현재 휴지중이며, 국제 규격(IEC-61400)을 만족하는 성능 평가 시 성능 평가 기간 및 비용이 크게 발생하여 활용성이 떨어짐

□ 시급성

- 2010년도 “국내 해상풍력 중형 발전 플랜트 타당성 조사 연구”에서 서해안에 10.2 조원의 예산이 투입되는 최대 규모의 서남해안 2.5GW 용량의 대단위 해상풍력발전단지를 계획하고 현재 진행 중에 있음
- 또한 기술혁신 촉진을 위해 해상풍력 R&D 비중이 확대되고 있으며, 최근 2년(11~12) 간 산업통상부 협약 과제 중 76.8%(77,259백만원)이 해상풍력과 관련된 과제임
- 과제를 수행중인 기관에서 개발된 풍력발전기에 대한 성능 평가 등이 필수적인 수행해야되는 연구 내용이나, 현재 대응할만한 시설 및 장비가 전무한 실정임
- 국내 유일한 실증 단지(강원대)는 현재 여러 가지 이유로 휴지 중에 있으며, 출력 성능에 관한 국내 인증은 이루어지지 못하고 있는 실정임
- 현재 사회적 요구에 미치지 못하는 장비에 대한 조속한 교체 및 성능 업그레이드의 추진 지연시 해외 실험시설에서의 성능 시험이 불가피하고 이 경우 관련 기술의 유출은 물론 외화 낭비가 우려
- 최근 신재생 에너지(풍력) 분야의 대두로 인하여 풍력발전기 성능 평가에 관한 수요가 급증하고 있으나, 국내에 구축된 제한된 실험 시설 규모가 이에 미치지 못하여 해외에서 실험을 수행하고 인증을 받는 사례가 있음

제 3 절 활용분야 및 범위

- 신재생에너지(풍력) 시험시설을 통해 수행 가능한 시험 분야는 크게 출력성능평가, 단지효율평가, 안정성 평가의 3분야로 분류함
 - 출력성능 평가는 개별 풍력발전기의 풍속 및 부하 조건에 따른 발전성능 평가에 관한 시험을 수행하는 것을 의미함
 - 단지효율평가는 다수의 축소된 풍력발전기의 설치 간격 및 조건에 따른 전체 효율 평가 시험을 수행하는 것을 의미함
 - 안정성 평가는 다양한 분야의 실물 크기의 시설물(방풍벽, CCTV, 도로표지판, 창호 및 유리 등)의 내풍 안정성 평가에 관한 시험을 수행하는 것을 의미함

<표 4-2> 활용분야 및 시험영역

분야	시험 영역
출력성능	(3×3 wall of wind 구축시) 최대 직경 9m의 1:1 풍력발전기 출력 성능 평가 기동 풍속 확인 및 정격 출력 성능 평가 태풍 등 위험 풍속 조건하에서 정지 기능 평가
효율평가	세계 최대 규모 시험실 규모의 풍력발전단지 효율 평가 시험 (시험부 폭 12m, 시험부 길이 40m) 풍력발전기 설치 위치의 국부 풍속 측정 및 후류 모사 시험
안정성 평가	1:1 실물 산업시설물의 안정성 평가 시험 극한 내풍속 조건하에서 재료/구조 성능 평가 시험 국내 최대 규모의 안정성 평가 시험

제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향

1. 연구개발 및 기술 동향

가. 국내 동향

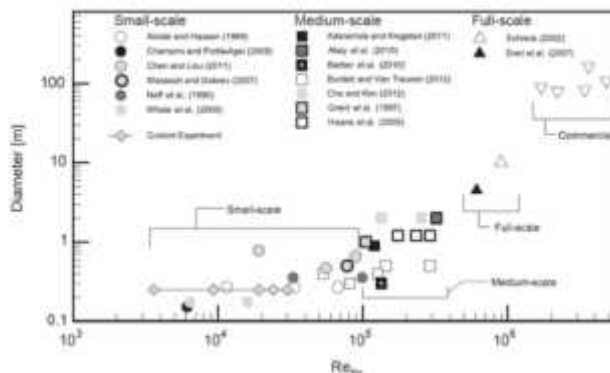
- 정부는 2015년까지 세계 5대 신재생에너지 강국으로 도약하기 위해 정부 6조원, 민간 33조원 등 총 40조원을 투자하기로 결정
- 태양광과 풍력을 제2의 반도체·조선산업으로 육성해 세계시장 점유율을 15%로 끌어올리기로 하고 대통령 직속 녹색성장위원회에서 국가전략을 마련
- 차세대 태양전지, 해상용 대형풍력 등 10대 핵심원천기술 개발에 1조 5000억원을 지원하는 등 연구개발(R&D) 및 사업화에 2015년까지 3조원을 지원하기로 계획
- 이와 함께 학교, 우체국, 산업단지, 공장 등에 신재생에너지 설비를 집중 설치하는 10대 그린 프로젝트를 추진하고, 서남해안권에 100MW급 해상풍력 실증단지 구축 등 해상풍력 톱-3 로드맵을 수립해 2015년까지 해상풍력을 글로벌 3강 수준으로 집중 육성
- 국내 풍력발전 설비에 대한 체계적인 기술개발은 1990년대 초 정부 지원으로 시작됨, 2001년 초에 시작된 2종의 750kW급을 출발점으로 본격적인 상업용 풍력발전설비 기술을 개발하였으나, 기술적·경제적 한계로 상용화에 실패함
- 한진산업 등은 독일 전문업체로부터 설계 및 부품을 도입하여 1.5MW급을 조립·제작하여 상업운전을 수행하고 있음
- 2007년부터 현대중공업과 삼성중공업은 독자적인 R&D 투자로 상업용 MW급 풍력발전설비를 개발하였으며, 이와 같은 기술축적으로 국내 풍력발전 시스템은 2011년에 세계시장 진입을 시작으로 2020년 세계 5위, 2030년 세계 1위의 시장주도국이 목표로 하고 있음
- 이러한 정부정책에 힘입어 해상 풍력 산업은 지난 10년동안 비약적으로 발전하였으며, 국내 두산중공업, 대우조선해양, 삼성중공업 등의 다양한 업체가 국내 풍력산업 발전에 기여를 하고 있음. 해상풍력발전단지를 위한 대형 풍력 이외에도 kW급 소형풍력발전기 개발에 수많은 중소 업체가 참여하고 있고 개발된 제품에 대한 성능 평가 및 기술 지원을 필요로 하고 있음
- 실적 등이 필요로 하는 엄격한 시장 특성상 해상 풍력 경험이 있는 유럽 업체들이 주도를 하고 있으며, 성능 평가 역시 주로 해외에서 이루어지고 있음
- 국내에서 소형풍력발전기 시스템의 경우 강원대에 위탁하여 일부 필드 테스트가 이루어지고 있으나, 장시간 설치하여 특성 풍속 조건을 만족하는 데이터가 측정되어야하므로 시간 및 비용적인 면에서 상당한 부담을 가지고 있으며, 다수 업체의

요구에 대한 대응에 한계가 있음

- 신재생에너지(풍력) 평가를 위해서는 효율적인 단지 배치 및 주변 지형에 대한 영향이 효과적으로 판단되어야 하며, 이를 위해서는 풍력발전기 개별 성능 평가에 대한 부분뿐만 아니라 합리적인 풍황 분석 및 평가를 통한 효율적인 단지 배치가 사업의 성과를 좌우함
- 풍력발전기의 성공 여부는 풍력발전단지의 위치, 규모 및 레이아웃에서 좌우되며, 200대 풍력발전기로 구성된 단지에서 풍속이 0.1m/s 증가하면 kWh당 0.1\$로 계산할 때 단지의 발전가치를 2천만 달러이상 증대할 수 있는 효과가 있음
- 이에 풍력발전기 구성 재료의 고성능화, 효율적인 설계기술 개발과 더불어 시험기술의 개발 및 풍황분석을 통한 풍력에너지 자원 평가 등이 뒷받침 되어야 함
- 소형풍력발전기 평가를 위한 시설이 구축되고, 대규모 해상풍력발전단지 효율성 평가에 대한 실험 장비가 갖추어진다면, 국내 업체의 기술력 상승으로 해외시장 진출이 확대되며, 경제적 효과와 더불어 국가경제력 제고 및 건설기술발전에 기여할 수 있음

나. 국외 동향

- 풍동실험시설을 이용하여 수행된 풍력발전기 풍동실험에 관한 연구는 [그림 3-4]에 나타나 있음. 축소된 실험 모형의 경우 레이놀즈수의 영향(McTavish et al., 2013)으로 인해 상사하기 어려운 출력 성능과 관련된 실험은 제한적일 수밖에 없음. 이러한 이유로 대부분의 풍력발전기 풍동실험의 경우는 small-scale 조건하에서 wake의 특성을 파악하고 교란된 wake가 미치는 영향을 평가하기 위한 연구가 진행되었음
- 대부분의 연구가 2000년 이후에 진행되었으며, 대부분 제한된 범위 내에서 기존 풍동실험시설을 이용하여 실험이 진행되었음. 또한 풍력단지에 관한 실험은 더욱 제한적이며, 일부 연구자 (Kang et al, 2010, Cal et al, 2010)들에 의해 진행되었음
- 캐나다의 NRC의 Low Speed Aerodynamic Laboratory의 대형풍동(폭 9m, 높이 9m)에서 1:1 풍력발전기 풍동실험이 수행된 적이 있음(2002, 2007)



[그림 4-3] 풍력발전기 풍동실험

다. 소결

- 실물 스케일의 풍력발전기 풍동실험은 실험시설의 제약으로 1kW급 미만의 초소형 풍력발전기에 국한하여 일부 실험이 진행된 사례가 있으며, 전세계적으로 관련 연구는 미흡한 실정임
- 풍력발전단지에 대한 풍동실험은 최근에 몇몇 연구자들에 의해 소규모 단지(3X3배열)배치 등을 통해 진행된 사례가 있음
- 실물 스케일의 풍력발전기 출력성능평가와 관련된 연구 및 기존 시설을 활용한 대규모 풍력발전단지 배치 및 효율에 관한 연구는 제한된 시설 등의 영향으로 거의 수행되지 않았으나, 현재 전세계적으로 풍동실험 수요가 급증하고 있음
- 신재생에너지와 관련된 실험시설 구축시 관련 분야의 전문가 육성 및 연구의 주도권을 장악할 수 있고, 현재 준비 중인 국내업체의 기술력 상승에도 기여하며 해외 동반 진출도 가능하다고 판단됨.

2. 시설·장비 구축현황

가. 국내 현황

- 풍력발전단지 배치를 위한 장비는 구축된 사례가 없으며, Wall of Wind의 경우 단일 팬으로 구성된 건물 커튼월 풍력 실험 시설이 한국건설생활환경시험연구원(KCL)에 구축되어 있음. (최대 풍속 35m/s-토출부 기준)

<표 4-3> 한국건설생활환경시험연구원

장 비 명	풍력기(Wind Generator)
보유기관	한국건설생활환경시험연구소(KCL)
장비 사양	최대 35m/s, Steel propeller guard, 8-cylinder engine Fan diameter : 3500mm, Remote control(15m 이내) 전체 장비 무게 : 1.5톤 이하 시료설치용 대형 스틸 챔버(Test Chamber)
장비 사진	


- 기존의 건설용 풍동은 건설사 2곳, 대학 6곳, 기타 2곳에서 보유하고 있으며, 실내 풍동실험시설로 풍력발전기 실험을 수행하기에는 풍속 및 설치 여건이 불가능한 조건임, 주요 풍동시설의 실험구간의 폭과 높이는 아래와 같음
 - 현대건설 : 4.5m×2.5m
 - 대우건설 : 3m×2m
 - TE솔루션 : 8m×2.5m
 - CKP풍공학연구소 : 4m×2.2m
 - 전북대학교 대형풍동실험센터 : 12m×2.5m, 5m×2.5m
 - 전북대학교 : 1.5m×1.2m
 - 한양대학교 : 3m×2m
 - KAIST :1.0m×1.0m
 - 경일대학교 : 0.7m×1.0m
 - 서울대학교 :1m×1.5m
- 국내 기계/항공분야의 주요 풍동은 한국항공우주연구원, 현대자동차, 국방과학연구소, 공군사관학교 등이 보유하고 있음. 주요 용도가 항공기 및 차량이기 때문에 최대풍속은 현대자동차 55m/s, 항공용풍동 120m/s로 충분하나, 풍력발전기 실험을 수행하기에는 풍동의 크기 제약을 많이 받음

<표 4-4> 국내 기계/항공분야 주요 풍동

기관명	한국항공우주연구원	현대자동차	국방과학연구소	공군사관학교
설계	미국 Sverdrup	캐나다 Aiolos	캐나다 Aiolos	미국 Sverdrup
시공	현대중공업	-	-	미국 Sverdrup
실험구간 폭 높이 길이	4.0m 3.0m 10.0m	17.0m 9.0m 26.6m	3.0m 2.3m 8.8m	4.5m 3.0m 10.0m
최대풍속	120m/s	55m/s	120m/s	92m/s
주요용도	항공기	차량	항공기	항공기
완공년도	1998	1999	1998	1997
송풍기 직경 모터용량	7m 4100kW	8.4m 2550kW	- 2400kW	- -

나. 국외 현황

- 최근 전 세계적인 수요에 의해 기존의 풍동실험시설을 이용한 신재생에너지 평가 실험이 수행되고 있으며, 멀티 팬 배치를 통한 허리케인 모사 풍동실험시설등이 Florida International University에서 최근 2012년 8월에 건설이 완료되어 다양한 연구가 진행 중에 있음. 최대 풍속 160mph의 허리케인 category 5 등급의 풍속 모사가 가능하며, 이를 이용하여 극한 하중 상태의 건축물 외장재 풍동실험, 커튼월 및 유리창호 실물 실험 및 풍력발전기 출력성능 실험 등의 실험이 가능하며, 다양한 분야에 활용이 가능함.

장 비 명	Wall of wind generator
보유기관	Florida International University
장비 사양	<p>12 electric fans, Maximum flow : 240,000 CFM at 700HP (only 1 fan) 2,880,000 CFM at 8000HP (12 fans) category 5 hurricane Open return, subsonic wind tunnel facility</p> <p>6 electric fans, Maximum flow : 131 to 155 mph category 3-4 hurricane</p>
장비 사진	

다. 소결

- 신재생에너지 평가와 관련한 실험시설은 최근 건설 완료된 FIU(Florida International University)의 12개의 팬으로 구성된 Wall of wind generator를 제외하고는 기존의 풍동실험시설을 일부 활용하는 수준에서 연구들이 진행되고 있음. 국내 단일팬을 이용한 간단한 외부 시설시설은 유리 창호 업체 등에서 일부 가지고 있으나, 대부분 최대 풍속이 팬 입구에서 바로 앞단에서만 일부 재현되며, 자연 경계층 생성을 위한 기류는 모사하지 못하고 있는 현실임.
- 국내에서 현장 실증을 통한 풍력발전기 성능 평가를 제외하고는 실내 풍동실험을 통한 출력성능 인증과 관련된 실험은 불가능한 여건이며, 구축된 사례가 없음

<표 4-5> 국내외 장비수준

구분	보유기관 (장비명 또는 국가)	규격, 규모	성능, 사양
국내	한국건설생활환경시험연구소 (Wind generator)	3.5m 단일팬	최대 풍속 35%
국외	Florida International University (Wall of Wind)	2×6 Multi Fan (Total 12 turbine)	2,880,000 CFM at 8000HP (12 fans), 160mph
최고수준			
최고요구수준 (최고수준대비)	Wall of Wind generator	3×3 (Total 9 turbine)	약 40% (80%)

3. 종합분석

- Wall of wind generator 장비의 경우 국외 최고 수준은 허리케인 5등급 모사가 가능한 수준이나, 본 연구에서는 최대 출력 성능 평가가 25%에서 이루어지는 풍력발전기 수요를 반영하기 위해 최소 수준의 비율을 80%(약 40%)로 제시하였음.
- 대부분 상용 풍력발전기의 경우 블레이드가 회전할 경우 일정 직경을 가지는 원형의 형태로 설치되게 되며, 이를 반영하여 실험의 효율을 높이기 위하여 본 연구에서는 3*3(총 9기) 배치를 가지는 형태를 제시함
- 또한 폐쇄율 효과(Blockage effect)로 인하여 시험부보다 상당히 제한된 규모(시험부의 5%이내)로 진행하였던 기존 실내 풍동실험의 한계를 극복하고자 오픈 형태의 시험부를 제시하여, 풍력발전기 블레이드의 직경을 최대화하였음
- 기존의 대형 풍동실험시설과 연계하여 신재생에너지 실험시설을 구축할 경우 신재생에너지 평가 부분에 있어서 연구의 주도권을 갖출 수 있으며, 구축된 신재생 에너지 실험 시설은 다양한 산업시설물에 적용이 가능함

제 5 절 기존 시설·장비와 차별성

1. 장비의 중복성 검토(NTS 검색)

가. 장비구축 자체 검토 의견

- 총 3개의 관련 Keyword(풍력발전기, 풍동, 풍동실험(시험))를 사용하여 장비의 중복성을 검토함
- 신재생에너지(풍력) 분야 평가를 하기 위한 풍동은 전무한 상황이며, 기존의 일부 건설용 풍동에서 1kW급 미만의 작은 풍동실험을 진행한 사례가 있으나, 대부분 폐쇄율 효과 등으로 출력성능 결과를 인정받지 못하고 있음
- 위 결과를 토대로 제안 장비와 기존 방지의 중복성은 없는 것으로 나타남

나. 국가연구시설장비 공동활용서비스 NTIS(<http://hfec.ntis.go.kr>) 검색 결과

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소)	취득 년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Keyword	대표 성능비교 (2~3)	구축예정장비신청기관의 자체검토의견
1	풍동장치	애니텍	한국철도기술연구원	2005	30	풍동	최대 풍속 30m/s	<ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지 전파 양상 분석 및 농도 측정을 위한 소형 풍동 - 풍력발전기 실험용으로 부적합 - 예정장비와 중복성 없음
2	풍동시험장비	한성환 경기연	(주)일광	2009	32	풍동시험		<ul style="list-style-type: none"> - 공조시스템에 활용하는 Lab Scale의 소형 풍동 시스템 - 예정장비와 중복성 없음
3	소형 풍력발전기 성능평가 장치	Kistler	한국기계전기전자시험연구원	2012	815	풍력발전기		<ul style="list-style-type: none"> - 기계적인 회전력에 따른 발전기의 시험 평가 시스템 - 풍동실험이 아닌 기계적인 성능 평가 - 예정장비와 중복성 없음

2. 차별화 및 특성화 방안

가. 장비 구축 주안점

- 총 실험시설에서 수행 가능한 성능평가의 범위를 세계적 수준으로 설정함
 - 본 실험시설은 신재생 에너지(풍력) 분야에 대한 출력성능 평가를 포함하여 향후 실험시설의 활용성을 고려한 성능수준 설정이 필요함
 - 실험시설의 지속성을 확보하고, 호환성과 연계성을 고려할 수 있는 운영체계를 구축해야 함

- 예산 등 제한된 범위 내에서 모든 실험 수요에 대응할 수 있는 사양 구축은 불가능하므로 다음의 요건을 고려하여 주요 실험 시설/장비가 구축되어야 됨
 - 가장 수요가 많은 것으로 예상되는 장비를 우선 구축함
 - 대학 등 일반 연구기관에서 안전/인증에 큰 무리 없이 구축/활용 가능한 장비를 구축 해야함
 - 구축 후 활용/유지관리에 과도한 비용이 드는 것은 방지 하여야 함

- 실험시설의 효율적인 공간 확보가 필요함
 - 실험시설 간의 적절한 배치를 통해 동시에 실험을 수행 시 상호간 영향을 최소화 시켜야 함
 - 풍력발전기의 조립 및 설치가 용이해야하며, 하부에 바닥 철판 등을 설치하여 충분한 지지가 가능하게 설계되어야 함
 - 실험시설 사용시 많은 전기적 출력이 필요하기 때문에 이를 고려한 효율적인 설계 배치가 되어야 함

- 실험시설의 안정성 확보가 필요함
 - 극한 풍속 조건하 풍동실험시 구조물의 파괴로 인한 위험을 고려하여 설계가 되어야 함
 - 실험실 특성상 전기의 사용량이 많이 때문에 방수 및 전기 안전시설에 대한 주의가 필요로 함
 - 시험부의 경우 오픈된 형태의 야외 실험 시설이므로 극한 풍속 조건이 미치는 영향을 고려하여 시험부 끝단에서 가이드 베인 등의 부대 시설이 필요로 함
 - 실험 시설의 기기 사용시 유의 사항과 경고문을 부착하여 실험자 뿐만 아니라 방문

자의 경각심을 높일 필요가 있음

나. 차별성 및 특성화

- 신재생에너지에 특화된 풍동실험시설은 국내에서 최초로 시도되는 실험 시설이며, 국외의 경우 허리케인을 모사하는 실험 시설의 성능에 약 80% 수준에 이르는 고성능 풍동실험 시설임
- 기 구축한 실험 장비를 포함하여 다양한 실험장비를 함께 보유하여, 상승적 결합 효과 발생이 기대됨
- 풍력발전기 성능 평가를 비롯하여 창호, 건축물 외장재 및 도로시설물 등 태풍 등의 피해를 받는 다양한 산업 분야의 실험의 수요에 대응이 가능함

다. 소결

- 신재생에너지(풍력) 분야 실험시설의 성능을 극대화 하고, 풍력발전기 설치 및 조립의 편의성을 극대화한 야외실험시설 구축
- 국외 실험 시설의 수준의 약 80%의 성능을 가지는 고성능 신재생에너지 풍동실험 시설 구축
- 향후 다양한 분야의 활용을 염두에 둔 풍량 및 풍속 설계 및 확장성 고려
- 기 구축된 시험부를 활용시 대규모 풍력발전단지 효율 평가 실험 등이 가능함

제 6 절 필요 장비 및 시설

1. 최소 요구 성능

- 축소된 모형에 대한 실험을 상사비가 클수록 실제 자연 현상 및 구조물의 동일한 상사를 만족하는 것이 어려움. 특히 풍력발전기 출력 성능 평가 및 구조물의 파괴 등과 같은 안정성에 관련된 부분은 실제 형상에 가까운 구조물을 실험하는 시설이 필요로 함.
- 대형풍동실험시설의 저속시험부를 활용할 경우 부대 관련 장비를 구입할 경우 상대적으로 적은 비용으로 신재생에너지 실험시설 구축이 가능하며, 시험부 면적으로는 세계 최대 규모로 대규모 풍력발전단지 효율 평가 실험이 가능함.
- 기존의 시험부를 이용하여 풍력발전단지 효율 평가 실험은 일부 수행된 사례가 있어 보다 기술적으로 달성이 가능하며, 경제성과 효율성을 고려하면 신재생 에너지 실험시설 구축을 위해서는 <표 4-6>과 같은 사항이 최소로 요구됨.
- 또한 wall of wind generator를 추가로 구축시에는 극한상태의 건축물 외장재 및 지붕의 영향 평가 및 다양한 분야에 활용이 가능하며, 실내 신재생에너지 실험시설의 결과에 대한 기술적인 백업도 동시에 가능함.

<표 4-6> 최소 요구 성능

내용	비고
풍동 시험부	<ul style="list-style-type: none"> • 경계층 풍동 (해상 풍속 프로파일 모사) • 충분한 유로 길이 확보 및 시험부 크기 (폭 12m, 길이 40m, 대규모 풍력발전 단지 모사를 위한 큰 규모 필요) • 대규모 턴테이블(풍향 모사)
신재생 에너지 실험시설 (Wall of wind generator)	<ul style="list-style-type: none"> • 3×3 배열로 이루어진 Fan & Motor • Category 3 Hurricane condition 재현 가능 • 극한 풍하중(태풍, 허리케인 등)상태 재현 가능 • 경계층 생성을 위한 부대 시설 필요

2. 최소 요구 시설·장비 성능

- 기존의 전북대학교 대형풍동실험센터에서 보유한 저속시험부는 길이 40m, 폭 12m의 대규모 풍력발전단지 배치 실험을 위해서는 추가적인 시설 확장이 필요 없이 추가적인 센서 구입으로 곧바로 대응가능한 장점이 있음(풍동 유로의 길이를 고려한 시험부 면적은 세계 최대 규모). 또한 기존 시설을 이용할 경우 약 25억원의 신규 설치 비용을 줄일 수 있음.
- 추가로 Wall of wind generator를 구축할 경우 극한상태의 건축물 외장재 성능 평가 실험 및 풍력발전기 출력 성능 평가 실험 이외에도 다양한 산업분야의 니즈에 대응이 가능하며, 최소 요구 시설의 사양은 <표 4-7>과 같음

<표 4-7>최소 요구 사양

구분	비고
시험부 크기	<ul style="list-style-type: none"> • 12m(폭)×40(m) 길이, 13m/s • 세계 4위권의 풍동실험시설 (활용 가능한 시험부 면적은 세계 최대)
시험부 턴테이블	<ul style="list-style-type: none"> • 11m(시험부의 폭의 90%) • 시험시 바람입사각의 변화를 줄 수 있는 360도 회전 턴테이블 • 최대 하중 2ton
신재생 에너지 실험시설 (Wall of wind generator)	<ul style="list-style-type: none"> • 3×3 배열로 이루어진 Fan & Motor • Category 3 Hurricane condition 재현 가능 • 극한 상태의 풍하중 재현 가능 • 경계층 생성을 위한 부대 시설 필요 • 제어를 위한 controller 별도 요구

- 신재생에너지 평가와 관련된 실험을 위해서는 대규모 풍력발전단지 모사에 따른 동시계측을 위한 부대 장비가 필요함. 측정을 위한 기본적인 장비로는 풍속, 풍압, 기류의 흐름가시화 등을 확인하기 위한 장비가 필요하며, 대규모 풍력발전단지 실험을 위한 최소 요구장비는 <표 4-8>과 같음. 기존의 기 구축된 일부 장비와의 연동을 통해 비용을 50%이상 절감이 가능함.

<표 4-8> 최소 요구 장비

내용	비고
신재생 에너지 실험 시스템 측정 장비	<ul style="list-style-type: none"> • 128채널 다점풍속계 (대규모 Wind farm 풍력발전기 풍동실험 가능) • 모형에 최대한 가깝게 설치가 가능하고, 최대 2000Hz 속도로 측정 가능한 3차원 풍속 및 난류강도 측정 시스템 (Cobra Probe) • 유동장 가시화 장비 고도화 (풍력발전기 배치에 따른 그림자 효과 등을 눈으로 확인 가능)

제 7 절 시설·장비 구축계획

1. 추진방법

장비 구축계획의 기본방향

- 신규 실험 수요에 따른 장비 요구 성능 도출
- 실수요 그룹 및 유사 실험 전문가 의견 수렴을 통한 사양 상향
- 최적의 장비 배치를 통한 구축비용 절감 및 활용성 극대화
- 기존 실험시설의 장비 및 시설의 활용을 통한 성능 극대화
- 납품된 장비의 품질 보증을 위한 엄정한 계약 체결

- 본 사업의 원활한 추진을 위하여 신재생에너지 실험시설 건설을 담당할 조직으로 전북대학교내의 대형공동실험센터를 지정함
- 사업의 효율적인 추진을 위하여 다음의 몇 가지 추진전략방침을 정하고 이를 바탕으로 진행
 - 신속한 의사결정
 - 독립적인 행정 및 회계 처리
 - 시간계획에 따른 단계별 점검
 - 전문기술이 요구되는 부분은 자문 및 외주 처리
 - 국내외 자문 그룹을 활용한 사전점검 시스템 구축

2. 구축계획

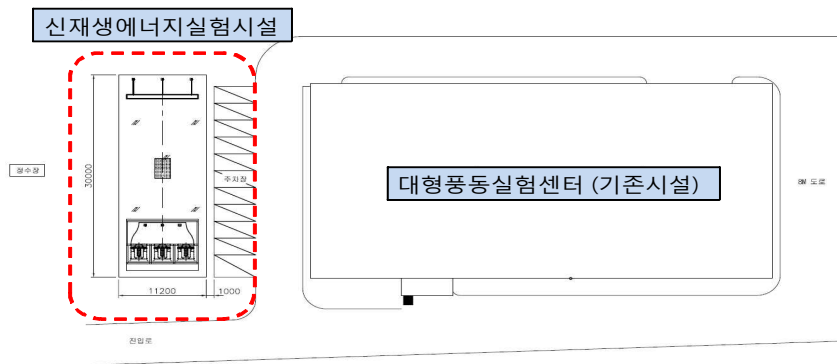
가. 시설공사계획

공동실험시설의 부지를 확보함에 있어 아래와 같은 원칙을 적용하였음

- 기존 실험시설과 근접하여 접근성 및 공동 활용이 가능한 곳
- 주위에 실험 환경을 방해할 만한 시설이 없는 곳
- 기존 주차장 공간을 그대로 활용 가능한 곳

신재생에너지(풍력) 실험시설 배치 계획

- 기존 대형공동실험시설 주차장을 공유하는 위치에 배치할 계획이며, 전체 시험부는 폭 11.2m 높이 30m의 규모로 구축할 예정임



나. 공간배치 계획

- 신재생실험시설의 주된 기능인 연구 및 실험이 이루어지는 공간과 이를 직접 지원해줄 수 있는 공간으로 분리하여 이에 따른 배치를 계획함
- 공간 분할 계획
 - 실험구간 : 신재생에너지실험시설과 직접적으로 관련된 팬&모터, 제어실 등과 같은 공간
 - 연구구간 : 연구실, 회의실, 자료실, 전산실 등과 같은 공간 (기존 시설 공유)
 - 지원구간 : 창고, 준비실, 전시실, 전기실, 기계실 등 공간 (기존 시설 공유)
- 공간 배치 계획시 각 기능을 지닌 공간간의 중복을 방지하고, 차량과 사람들의 원활한 접근을 위한 동선을 계획
- 제한된 예산 범위를 고려하여 연구구간 및 지원구간은 기존 실험시설을 공유하여 활용을 극대화 할 수 있는 공간으로 배치
- 풍력발전기 설치시 충분한 공간이 필요로 하게 되므로, 대형 장비의 운반 및 차량 및 지게차 통행 등이 직접적으로 가능하도록 공간을 배치함, 또한 하부에 고정을 위한 일정 간격의 결합부분을 염두에 두고 실험체의 결합 및 향후 확장이 가능하게 계획

다. 구축일정

- 건축공사의 공정과 연차별 예산을 고려한 실험시설 구축 일정
- 단계별 실험시설 설치 일정을 고려하여 작업 혼선의 최소화

□ Wall of wind generator

- 전체 구축 일정의 대부분을 차지하는 주요 장비이며, 바닥 공사 완료 후 3×3 배열의 모터 지지 구조물을 제작에 맞춰 주문 제작
- 전체 건축 일정은 철골 구조물로 대부분 공장에서 제작되어 현장에서 조립하게 되며, 토목 및 건축 공사 일정과 병행해서 빠른 진행이 가능
- 모니터 주문 및 거치대 제작에 약 5개월이 소요될 예정임
- 설계 및 제작 시기는 빠른 편이지만 풍량 및 풍속에 대한 시험운전 소요시간이 많이 소요됨

구축내용	일정								비고
	1차년도				2차년도				
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
wall of wind simulator (입찰안내서 작성, 기초공사, 지지구조물, 건축공사, 팬&모터 설치)	■	■	■	■	■	■	■	■	
시험가동 및 성능 평가					■	■	■	■	
계측 장비 구축			■	■	■	■	■	■	
성능 평가 보고서 작성 및 장비 구축 완료								■	

라. 국산장비 대체 가능성 자체검토

구분	내 용				비 고
1	장비명 (모델명)	한글	팬 & 모터	제작사	동양매직 외
		영문	Axial Fan & AC Motor	장비가격 (단위:백만원)	130
	주요사양	6,800CMM×80mmAq, AC 380V, 200kW			
	자체검토의견	국산 팬과 모터로도 충분한 성능 구현이 가능하며, 기 구축된 많은 풍동실험시설이 국산 팬 모터를 사용한 사례가 있음			

3. 운영 및 관리계획

가. 유지관리 계획

- 각 세부 실험시설이 움직이기에는 한계가 있으므로, 연구단을 중심으로 컨소시엄을 구성하여 공동 관심사에 대한 역량을 결집하며, 컨소시엄에서 공동으로 운영해야 할 사항은 아래와 같음
 - 국민, 정부, 언론을 상대로 한 홍보활동
 - NEES 등과 같은 외국 네트워크와의 국제협력
 - 실험시설을 이용한 지속적인 신규 연구과제의 도출
 - 네트워크 망의 운영 및 조정
 - 국공립연구소 및 기업연구소로의 컨소시엄 확대
 - 실험 스케줄 조정
 - 실험 자료의 공유를 위한 전자도서관 운영
 - 정기적인 학술교류 시행(혹은 학술발표회시 일정 세션을 운영)

- 실험시설의 크게 제약으로 인하여 상당 수요의 풍력발전기 성능평가가 현재 이루어지지 않았으며, 향후 에너지기술평가원과의 협조를 통해 성능인증기관으로 지정될 경우 다수의 신재생에너지(풍력분야) 실험이 가능하다고 판단됨

- 시스템 구축 형태는 다르나 기본 구조는 기존 대형풍동실험시설과 동일하므로 현재 운영 중인 인력 및 시스템으로 대응이 가능함

- 전력계측 및 출력성능 평가기관 지정과 관련해서는 관련 전공(전기) 전문가와의 협업을 통한 준비가 필요함

제 8 절 활용계획 및 기대효과

가. 활용계획

- 신재생에너지와 관련된 실험 분야뿐만 아니라 다양한 산업 분야에 활용이 가능하다고 판단되며, 기존에 수행한 실험 이외에 추가적으로 활용 가능한 분야는 아래에 같음
 - 극한상태(허리케인, 태풍 등)의 풍하중 재현을 통한 건축물 안정성 평가
 - 신재생에너지 관련된 실험 분야에 다양하게 활용(풍력발전단지 배치 및 풍력에너지 추정에 활용)
 - 풍력발전기 출력 성능 평가 실험(Wall of wind generator 구축 시 에너지기술평가원 등과 협업 후 성능평가 기관으로 활용 가능)
 - 방풍벽 및 방풍막 성능 실험
 - 커튼월 및 건물 외장재 실물 규모의 내구성 실험 가능
 - 도로 시설물(전광판, 안내표지판 등)에 대한 안정성 평가 실험
 - 옥외 설치 시설물(간판, CCTV 등)에 대한 안정성 평가 실험

나. 기대효과

- 신재생에너지 중 풍력에너지 단지 배치에 따른 풍력에너지 평가 및 풍력발전기 출력성능 평가를 위한 실험시설 구축을 기존의 실험시설과 장비를 최대한 활용하여 개선하는 경우에는 23.9억원의 예산이 소요될 것으로 추정되어, 개선 시에는 신설 대비 약 53%의 예산절감 효과를 기대할 수 있음
- 구축되는 신재생에너지 측정 시스템은 향후 풍동 유로 내에 열선 추가 설치 등이 이루어질 경우 온도성층에 따른 영향 평가 등의 다른 분야의 환경영향 평가 등에도 다양한 분야에 활용이 가능함
- 폐쇄율 등의 영향으로 극히 제한된 범위에서 수행되던 풍력발전기 출력성능실험의 한계를 뛰어넘어 산업분야에서 필요로 하는 니즈에 상당부분 대응이 가능하며, 다양한 형식의 풍력발전기 성능 개선과 개발에 기여할 수 있음

제 9 절 상세 예산(안)

1. 장비 성능개선 소요예산(안)

□ 총괄(연차별 예산)

- 대형풍동 시험부 및 턴테이블은 기존의 실험시설을 이용(약 23.9억원 추정)하고 신규 시스템 구축을 위한 추정 소요예산을 아래에 나타냄
- (기간·사업비) '16~'17 / 2,390백만원(정부출연금)

(단위 : 백만원)

구분	계	'16	'17
정부	2,390	1,300	1,090

< 소요예산 상세총괄 >

구분	산출내역	비용(천원)	국산/외산	비고
Wall of wind generator	Fan & AC motor (9EA), 지지구조물	1,287,000	국산	신규 구축
	Inverter box (AC 380V, 200kW)	297,000	국산	신규 구축
	Contraction body, guide frame	165,000	국산	신규 구축
	건축 및 토목공사 바닥면적 : 13m×30m 철골 및 샌드위치 건축물 풍력터빈 지지판(SS400,30mm)	220,000	국산	신규 구축
	Control box (풍속제어반) 및 조정실,	11,000	국산	신규 구축
	전력계 (WT1800)	40,000	외산	신규 구축
	계	2,020,000		
대형풍동 실험시설	폭 12m, 길이 40m	2,000,000	국산	기존시설 활용
	턴테이블	500,000	국산	기존시설 활용
	계	2,500,000		
부대장비 (계측기)	다점풍속계 측정 시스템	262,536	외산	
	3축 열선풍속계(cobra probe)	69,000	외산	
	유동가시화 장비 (High-speed camera, PIV software)	247,510	외산	
	계	579,046		
합 계		5,099,046		
국산화율(%)		87.9		

< 신규 시설 구축 대비 장비 성능개선 예산 비교 >

구분	신규 시설구축예산		장비 성능개선 예산	
	산출내역	비용(천원)	산출내역	비용(천원)
Wall of wind generator	Fan & AC motor (9EA), 지지구조물	1,287,000	Fan & AC motor (9EA), 지지구조물	1,287,000
	Inverter box (AC 380V, 200kW)	297,000	Inverter box (AC 380V, 200kW)	297,000
	Contraction body, guide frame	165,000	Contraction body, guide frame	165,000
	건축 및 토목공사	220,000	건축 및 토목공사	220,000
	Control box (풍속제어반) 및 조정실,	11,000	Control box (풍속제어반) 및 조정실,	12,000
	전력계 (WT1800)	40,000	전력계 (WT1800)	40,000
	계	2,020,000	계	2,021,000
대형풍동 실험시설	폭 12m, 길이 40m	2,000,000	폭 12m, 길이 40m	0
	턴테이블	500,000	턴테이블	0
	계	2,500,000	계	0
부대장비 (계측기)	다점풍속계 측정 시스템	262,536	다점풍속계 측정 시스템	132,000 ¹⁾
	3축 열선풍속계(cobra probe)	69,000	3축 열선풍속계(cobra probe)	69,000
	유동가시화 장비 (High-speed camera, PIV software)	247,510	유동가시화 장비 (High-speed camera, PIV software)	168,000 ²⁾
	계	579,046	계	369,000
합 계	5,099,046	합계	2,390,000	
예산 절감액/비율(%)	2,709 / 53.2%			

1) 다점풍속계 64채널은 구축되어 있음

2) 유동가시화 장비 중 고성능 레이저, 옵티컬 및 스모그제네레이터는 구축 완료되어 있음

제 5 장 대형 지반-구조물 실험을 위한 100m³ 급 가변형 강성토조

제 1 절 시정·장비 정의 및 목적

1. 정의

- 건설 구조물과 지반의 상호거동을 파악하기 위한 대형 지반구조물 실험 시스템
- 실대형 실험과 소규모 모형실험 및 다양한 크기(사이즈 변형 가능)의 실험이 가능하도록 자유롭게 변화시킬 수 있는 가변형 토조 시스템

2. 목적

- 대형 지반구조물 실험 시스템분야는 사회간접자본시설(SOC:Social Overhead Capital)의 확충에 따라 필수적으로 수반되는 각종 구조물들의 기초 및 주변지반의 안정성 확보를 위해 지반의 상호거동과 특성을 연구하는 분야
- 이를 위해 각종 현장시험 및 실내시험을 통해 지반의 정적, 동적 특성치를 좀더 신뢰성 있게 산출하고 설계 시 이를 반영함으로써 최적 설계가 가능하게 되며, 특히 외부 하중에 의한 지반의 변형특성 및 하중전이 관계의 규명은 각종 구조물의 설계 및 안정성 평가분야에 필수적이나, 자연상태의 지반은 불균질성이 크고, 위치에 따라 특성이 다르기 때문에 그 거동이 대단히 복잡하여 타 분야에 비해 아직도 많은 개척의 여지가 있는 영역임
- 최근에는 차량 및 발파진동, 지진, 진동기계 등에 의한 동적응답해석 및 안전성 평가 등 다양한 분야가 연구되고 있으며, 이러한 연구결과를 토대로 각종 설계기준, 지침 등의 개정 및 수립도 아울러 수행되어야 할 것으로 판단됨
- 대형 지반구조물 상호작용을 평가할 수 있는 실험시설은 대형 토조(강성, 연성)와 함께 반력벽 시스템 및 진동대 시스템이 있어야 하므로, 분산공유형 건설연구인프라운영 기준 1단계 해당 실험시설에 대형 토조와 일부 장비를 추가하면 예산을 절감하면서 필요한 실험 수요를 만족시킬 수 있음
- 적용분야는 대단히 방대하여 모든 시설물들을 안전하게 지지할 수 있는 기초구조물과 터널, 댐, 사면, 옹벽 등 중요 지반구조물에 대한 합리적이고 효율적인 지반조사, 해석, 설계, 시공 및 유지관리 기술의 개발과 연약지반 개량, 보수 및 보강, 지반오염 등 매우 광범위 함
- 절/성토, 토류벽, 기초, 터널 등 주요 지반구조물에 대한 모형실험 또는 실규모실험의 수행이 가능하도록 충분한 기반 설비를 갖춘 지반실험동과 야외 실험용 site를 제공하는 것을 목적으로 하고 있음

제 2 절 구축 필요성 및 시급성

1. 구축 필요성

- 지반은 다양한 구성요소로 이루어져 있으며 구성요소의 분포가 고르지 않아서 작은 축소 모형 실험이나 균질한 지반을 가정할 수 밖에 없는 수치해석으로는 실제 지반 거동의 평가에 한계가 있기 때문에 실제 상황을 모사한 부지 조성과 기초공사를 실시하여 장기간에 걸친 모니터링을 통해 지반 거동 메커니즘을 밝히는 현장 시험이 필수적
- 또한, 지반은 균질하지가 않아 축소모형실험을 통한 결과 값을 도로건설이나 건축물 설계에 적용할 경우 부등침하에 의한 사면붕괴로 인명피해가 발생할수도 있어 신뢰성 높은 계측값과 현장적용이 가능한 다양한 형태의 지반연구 항목을 도출할 수 있는 실험시설의 구축이 필요함



[그림 5-1] 사면붕괴 및 부등침하

- 과거의 토목, 건축 등의 건설기술이 타 산업기술과의 융·복합을 통한 새로운 기술로 변화하고 있고 이에 따른 연구기반시설이 요구됨에 따라, 건설관련 구조물 성능 실험 뿐만 아니라 원자력, 조선, 중공업 등 다양한 분야의 성능실험을 수행할 수 있는 국가적 차원의 실험 인프라를 확충함
 - 과거에는 실험 인프라의 규모 및 실험장비의 성능 부족으로 대형 구조물에 대한 성능실험 보다는 부재 단위의 성능실험을 수행한 후에 조합하여 분석하였으나, 최근에는 실험장비의 성능개선 및 새로운 실험기법의 개발로 실물 구조물을 그대로 제작하여 다양한 종류의 성능실험을 수행함
 - 태양광과 풍력을 제2의 반도체, 조선 산업으로 육성해 세계시장 점유율을 15%로 끌어올리기로 한 대통령 직속 녹색성장위원회의 국가전략을 성공적으로 실현하기 위

해서는 이들 산업에 필요한 경쟁력 있는 최첨단의 기술이 필요하며, 최첨단의 상품화 기술 개발을 위해서는 본 실험기법과 같은 최첨단의 실험기술을 적용한 성능실험을 수행하여야 함

- 향후에는 사회기반시설의 신설보다는 기존 구조물의 유지관리 및 보강방법에 대한 사회적 수요가 클 것으로 예상되며 이에 필요한 제품 및 구조물에 대한 성능실험을 최신 실험장비와 실험기법으로 수행함으로써 실질적이고 경제적인 대책을 마련할 수 있음
- o 대형 지반구조물 실험 시스템(이하 강성토조라 함.)은 지반과 구조물의 상호작용(외력이 작용하는 구조물의 거동에 대한 지반의 반응이나 거동에 따른 구조물의 상호복합적인 거동)을 실험적으로 규명하기 위한 실험장비 시스템으로 지반 위에 건설되는 구조물의 실제 거동을 실험적으로 파악하고자 하는 경우에 꼭 필요한 장비임
- 강성토조는 현장시료를 사용한 실물 및 축소 구조물의 정량적 모사 실험을 위해서 필요하며, 최근 송·배전선로의 지중화사업이 증가함에 따라 소요되는 공사비 또한 증가하고 전력사업이 경쟁시대로 변모하는 상황이기에 합리적이고 효율적인 설계와 공법개발의 필요성 및 도심지 미관의 저해요소를 사전에 감소시키기 위한 일환으로도 지중화 사업의 필요성이 증대하고 있음
- 이에 경제적이고 시공성 향상을 위한 지중 송·배전관련 신공법의 개발을 위해 여러 종류의 시험조건과 매설깊이 및 다짐도 등을 다르게 하여 실내 토조실험, 수치해석 및 현장실증실험이 필요함

2. 시급성

- 내구연한이 도래하거나 현재 기술수준에 미치지 못하는 장비에 대한 조속한 교체 및 성능업그레이드의 추진 지연시 해외 실험시설에서의 성능시험이 불가피하고 이 경우 관련 기술의 유출은 물론 외화낭비가 우려됨
- o 최근 시설물 대형화 및 첨단화에 따른 실규모 부재에 대한 검증실험 수요가 증가하고 있으나 국내에 구축되어 운용되고 있는 장비의 용량이 이에 미치지 못하여 해외에서 실험을 수행하는 사례 증가하고 있음
- o 현재 국내에 보유중인 토조시스템은 한국건설기술연구원에 1.4m × 1m × 2m 크기의 토조와 50t의 하중으로 변위 제어가 가능한 방식으로 설계되어 있으며, 철도기술연구원이 보유하고 있는 토조는 9m × 1.5m × 2m의 크기와 철도하중의 특성을 고려하여 25t까지의 하중에 대해 최대 2Hz 까지의 진동수 제어가 가능하도록 설계되어 있음
- o 이러한 국내 토조관련 시설들은 대부분 특정 지반구조물에 대한 모형시험이 가능하도록 일정한 크기의 토조와 이에 맞는 재하장치를 갖추고 있어 관련 연구자들이

소요 목적에 따라 다양한 형태와 크기의 지반구조물 모형에 대해 시험을 수행하기에는 상당한 어려움이 있음

- 따라서 크기를 자유롭게 변화시켜 다양한 형태의 크기변화와 상재하중 및 수평하중의 변화가 가능한 가변형 토조시스템의 구축이 시급함

□ 급격한 경제발전과 증대되고 있는 국토균형개발에 대한 요구는 공항, 항만, 고속도로, 산업단지 및 배후 주거단지 등 대규모 사회기반시설의 지속적인 확충을 필요로 하고 있음

- 이들 사회기반시설의 핵심을 이루는 주요 지반구조물의 안정성과 사용성을 확보하는 것은 매우 중요한 현안이라 할 수 있으며, 이를 위해서는 모형시험 또는 실규모 시험의 수행을 통해 각종 지반구조물의 거동특성을 정확히 파악하고 이해하는 것이 필수 불가결함

제 3 절 활용분야 및 범위

- 강성 토조의 제작과 일부 장비의 개선에 따른 기존의 대형 구조실험 장비를 활용함으로써 경제적인 대형 토조 시스템을 구축할 수 있음
- 지반실험 분야의 경우에는 지반구조물의 모형실험이 가능하도록 토조를 두는데 이는 형태와 모양이 변경가능 하도록 구성하여야 하며, 가력장비가 토조 상부에 올 수 있도록 프레임이 구성되어 있어야 하고 흙을 나를 수 있는 운반수단이 배치되어야 함
- 기존의 3면 반력바닥 시스템을 이용하여 구성함
- 지반실험동(대형토조)
 - 절/성토, 토류벽, 기초, 터널 등 주요 지반구조물에 대한 모형시험
 - 실내 실규모시험 수행을 위한 기반 설비 제공
 - 지반 구조물 상호작용 모사 시험 구간(교량 및 건물 하부구조)
 - 지반환경실험

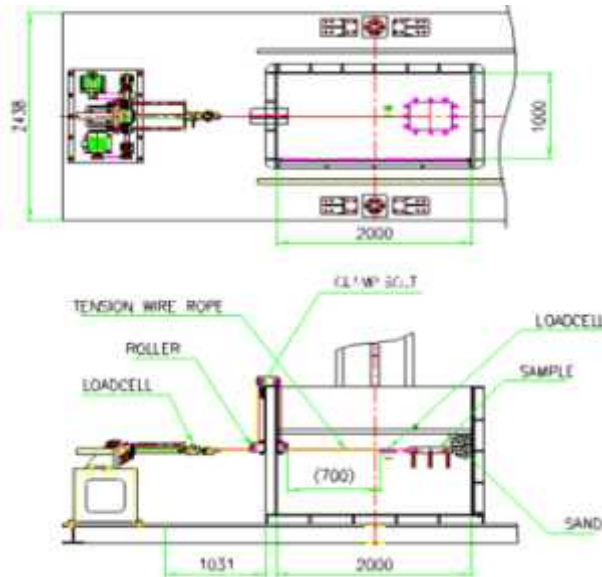
제 4 절 국내의 관련 연구장비 동향

1. 연구개발 및 기술 동향

가. 국내 동향

□ 대형 토조 장치

- 말뚝 수평인발을 위한 대형 토조 장치는 모형지반이 조성되는 토조와, 모형지반을 특정밀도로 조성하기 위한 다짐장치, 횡방향 하중 재하를 위한 인발장치와 시험체 체결을 위한 와이어 및 가이드(도르래) 시스템, 그리고 하중 및 변위 계측 시스템으로 구성



[그림 5-2] 지반조성용 가압토조의 구상도

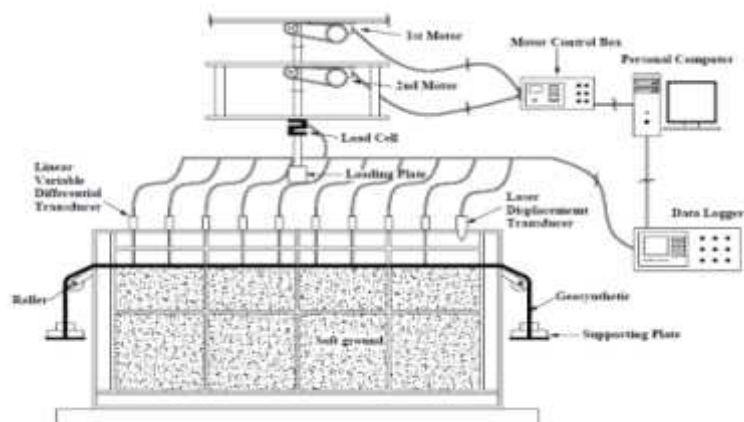
- 모형실험에서 사용하는 토조는 무한히 넓은 현장의 지반 상태를 재현하지 못하고 제한된 크기의 모형 지반을 조성할 수 있어 실내 토조 실험에서는 제한된 크기의 토조로 인해 모형실험 결과가 현장 계측치와 다른 결과(chamber size effect)가 발생
- 콘크리트 부유식 해상인프라 건설기술 개발을 위하여 석션기초 기술 개발이 이루어지고 있음. 연구에서는 석션기초 말뚝 모형에 계획된 규격 및 여러 선행 연구들의 결과를 바탕으로 토조의 규격을 2.0m × 1.0m × 1.5m (가로×폭×높이)로 결정하고, 그에 상응하는 부피의 흙+물과 상부하중에 견딜 수 있게 철(steel)로 제작된 대형토조를 사용함
- 시료의 상태를 육안으로 관찰하기 위해 한 쪽 벽면은 특수아크릴로 제작되었으며, 토조 내 급수를 위해 바닥에 두 개의 급수관을 설치, 배수를 위해 양쪽 토조 벽면에

배수구를 설치하여 급수관과 배수구에서의 막힘(plugging) 현상을 방지하기 위해 시료와 직접 닿는 입·배수구에는 다공질 세라믹필터를 삽입하였음



[그림 5-3] 대형토조 시험 장치의 내부

- 초연약지반 표층처리를 위하여 강성재(대나무 망), 비강성재(지오텍스타일, 지오그리드)로 표층처리공법을 적용한 연약지반의 지지력 개량효과의 메커니즘을 조사하고 표층처리 보강재의 정성적인 거동 및 지지력 개량 효과에 미치는 영향인자를 분석하기 위하여 국내 연약지반 현장을 모사할 수 있는 연약지반 실내모형 토조장치를 제작하였으며, 모형토조부분과 단계하중증분을 위한 재하장치, 계측정치로 구성됨
- 수치해석을 통한 경계조건을 조사하여 토조의 크기를 길이 200cm, 높이 100cm, 폭 50cm로 결정하였으며, 토조의 전면판은 연약지반의 조성 및 지반의 거동관측을 용이하게 하기 위해 25mm 두께의 아크릴판으로 투명하게 제작, 후면판은 지반조성 시 모형토조의 배부름현상을 방지하기 위해 두께 15mm의 아크릴판과 두께 7mm의 스테인리스(stainless steel)판을 일체로 결합시켜 제작한 후, 사각 스테인리스파이프로 보강하였음



[그림 5-4] 실험모형시험장치 계통도

□ 사각형 강관을 이용한 비개착 시공에 따른 지반거동의 분석

- 장비의 상사조건으로는 기하학적인 상사조건(1/10 축소)만을 고려하였으며, 장비는 토조, 굴착장치, 계측장치 및 강사기로 구분
- 가로 1.35 m, 세로 0.8 m, 높이 1.00 m로 제작된 토조의 외부를 그림과 같이 투명 아크릴과 알루미늄 프레임으로 구성하여, 토사에 의한 토조의 변형을 방지할 뿐만 아니라 실험 중에 모래지반의 거동을 관찰하기가 용이하도록 하였음

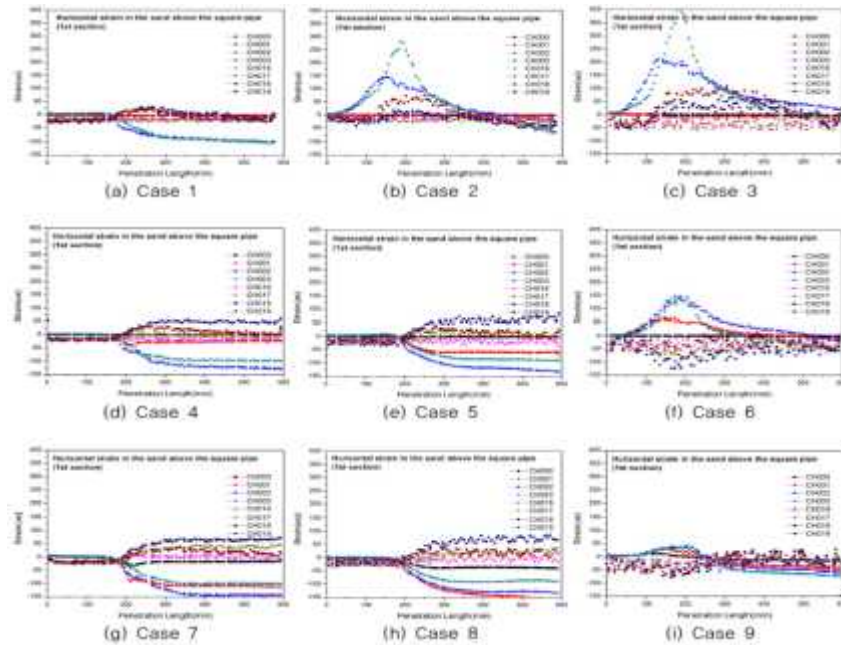


[그림 5-5] 모형 토조 실험장비의 주요 구성



[그림 5-6] 강사기와 모형 토조

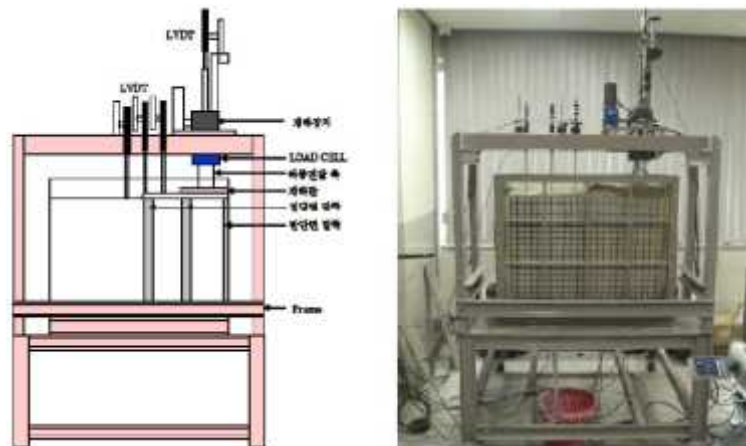
- 토조 전면의 굴착장치는 정확한 수평방향의 관입을 도모하기 위해 설치한 선형 가이드 베어링(linear guide bearing)의 상부에 장착되어, 0~700 mm/min의 관입속도 범위 내에서 전기모터에 의해 정밀한 굴착실험이 이루어지도록 하였음
- 토피고가 클수록 강관의 관입은 강관 상부의 수평 변형률에 큰 영향을 미치나, 강관 하부의 수평 변형률과 측면부의 수직 변형률에 미치는 영향은 상대적으로 감소하는 것으로 나타남



[그림 5-7] 실험조건별 사각형 강관 관입에 따른 강관 상부의 수평 변형률 추세

□ 순환골재를 재활용한 친환경 지반 개량 공법 개발

- 순환골재를 재활용한 친환경 지반개량공법의 최적 설계기법 제시를 위하여 실내모형토조실험을 실시하여 순환골재를 활용한 다공질 콘크리트 말뚝공법으로 개량된 연약지반의 안정성을 정량적으로 분석·평가하는 공법의 성능평가에 적용
- 실내모형토조실험은 장기간에 걸쳐 개량지반의 압밀거동과 변형거동을 계측하고 그 결과들을 분석하여 개발된 공법에 의한 연약지반의 측방유동에 대한 보강효과와 활동파괴에 대한 전단보강효과를 규명하고 안정성을 평가하기 위하여 실시



[그림 5-8] 실내모형 토조실험장치 개요 및 실험 전경

- 모형토조의 크기는 폭 0.15m × 가로 0.75m × 높이 0.7m 의 크기로 제작하였으며, 모형토조의 각 면은 두께 2cm의 투명 아크릴판 재질로 조립 및 해체가 가능하도록 하였음
- 측면부에는 투명 메쉬 판을 부착하여 지반의 변형거동을 관찰할 수 있게 하였으며, 모형토조 벽면의 마찰에 의한 영향을 줄이기 위해 토조 벽면에 오일을 바르고 부드럽고 얇은 비닐 랩을 부착하였음



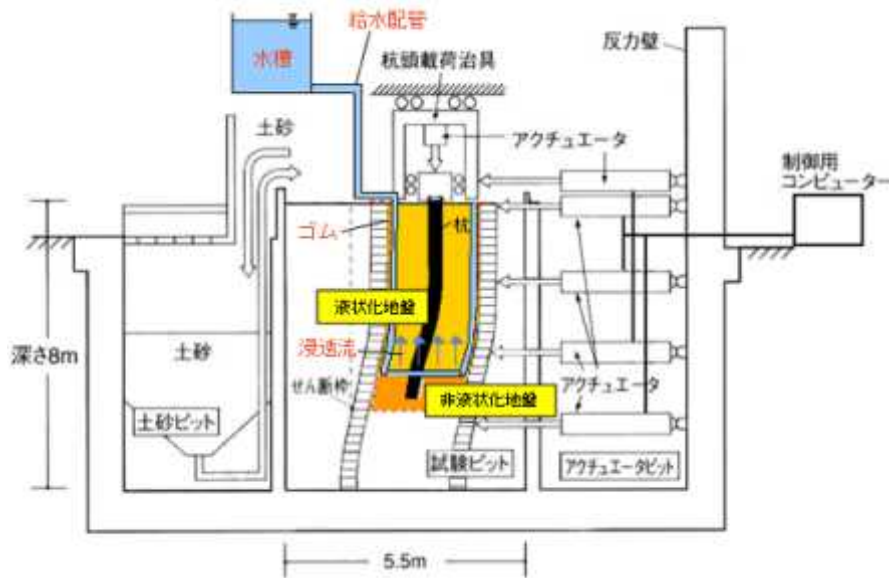
[그림 5-9] 모형토조 실험 전경

나. 국외 동향

□ 대형 토조 장치

- 토조의 벽면이 강성체(rigid wall)인 경우 토조의 크기 효과를 무시하기 위해서는 토조의 직경이 관입체 직경의 200배 이상, 토조의 벽면이 변위를 허용하는 연성체 (flexible wall)인 경우 토조의 직경이 관입체 직경의 약 20배 이상 되어야 토조의 크기 효과가 무시될 수 있다고 보고함
- 직경이 다른 두 개의 관입체와 가압토조를 이용한 모형실험을 통해 정규압밀(NC) 상태의 조밀한 모래 지반에서는 토조의 직경이 관입체 직경의 약 50배 이상, 과압 밀(OC)상태의 조밀한 모래 지반에서는 약 100배 이상 되어야 토조의 크기 효과가 나타나지 않다는 것으로 보고함

- 수치해석을 통해 모래 지반에서 콘 저항(cone resistance)에 대한 토조의 크기 효과를 조사한 결과, 토조의 크기 효과는 지반의 응력상태나 상대밀도와 같은 지반조건과 관입체의 직경 대비 토조의 직경 비에 영향을 받으며, 조밀한 모래 지반의 경우 토조의 직경이 콘 직경의 100배 이상일 때 토조의 크기 효과가 최소화할 수 있다는 연구결과를 나타냄

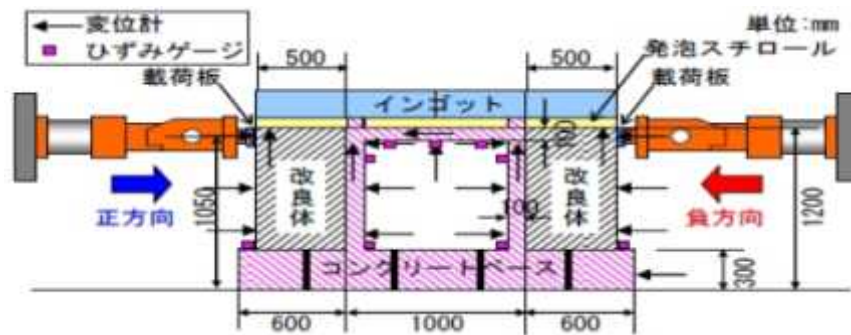


[그림 5-10] 대형 전단 토조 모식도

- 점성흙개량체를 이용한 지하 구조물의 내진보강 효과에 관한 토조재하시험에 의한 검토
 - 일본의 가지마건설 등은 말뚝 기초 주변 지반을 고체화·개량화하는 말뚝 기초 내진 보강 공법의 연구를 진행해 왔으며, 지하 구조물 적용에 대해서도 검토하였음
 - 개량흙의 강도가 작은 점성 토지반을 대상으로 우선 기중 모형재하시험을 실시해 개량체에 의한 보강 효과와 파괴 거동을 분석 하였으며, 토조재하시험을 통해 지반과의 상호작용을 고려했을 경우 개량체의 보강효과나 파괴 거동 특성 등에 대해서도 분석하였음
 - 또한 개량체의 인장연화 특성을 고려한 소성 FEM 해석이 토조재하시험의 지반, 개량체 및 구조물의 변형 거동을 보다 재현할 수 있는 것으로 나타나 합리적인 설계 방법의 해석 방법으로 검토됨
 - 구조물의 내부에 충분한 공간을 확보할 수 있는 경우에는, 안쪽으로부터 삭공해 전단 보강철근을 삽입해 전단 보강하는 공법이 이용되는 경우도 있었으나, 안쪽의 한 면만으로는 휨보강은 어려우며, 통상의 지하 구조물에서는 내부에는 협소한 작업

스페이스 밖에 확보할 수 없어 시공상의 제약이 큼

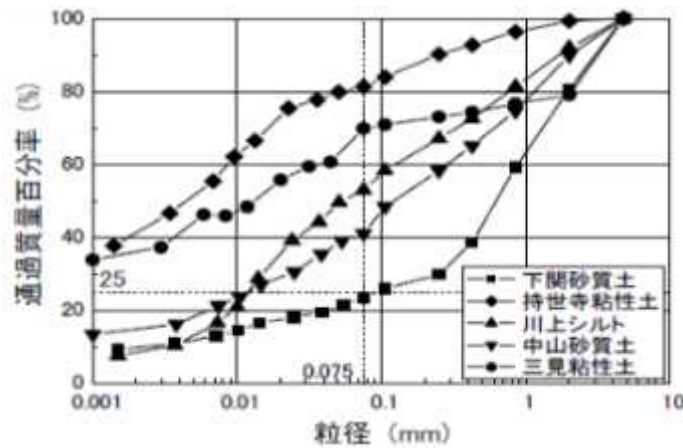
- 근래에는 지하 구조물의 주변 지반을 개량하는 지하 구조물의 내진 보강이 검토되고 있어 실제 발전소 시설의 중요 토목 구조물에 적용되고 있는 말뚝 기초 구조물의 고압 분사 교반 공법에 따르는 고체화 개량체를 이용한 새로운 내진 보강 공법을 제안해, 실규모 말뚝 기초 모형을 이용한 수평재하시험 및 그 수치 시뮬레이션으로 이 공법의 내진 보강 효과를 확인하고 있음
- 지하 구조물에 대해서도, 고체화 개량체에 내진 보강 공법의 적용 검토를 실시하고 있으나, 설계 방법의 확립 등 지하 구조물에의 적용 검토를 한층 더 진행해 가기 위해서는, 재하시험 등에 의해 고체화 개량체에 의한 보강효과나 고체화 개량체의 파괴 거동 등을 실제로 확인할 필요성이 있음



[그림 5-11] 내진보강 성능실험을 위한 토조재하 실험

- 지하 구조물의 내진 설계에서는, 지진에 의한 지반의 전단 변형에 기인하는 지반과 구조물의 상호작용력을 주된 외력으로 하는 구형 단면의 지하 구조물을 생각했을 경우에, 이 상호 작용력으로서 정·저판에 작용하는 접선 방향의 힘이나 측벽에 작용하는 수직력이라는 수평 방향으로 작용하는 힘과 측벽의 접선 방향으로 작용하는 연직 방향으로 작용하는 힘 등을 생각할 수 있음
 - 연구에서는, 구형 단면의 지하 구조물을 대상으로 토조재하시험을 실시하여, 토조 내의 지반에 응력 단면 변형을 일으키게 한 지반과 구조물의 상호작용력에 의한 지하 구조물 모형 및 점성토, 흙의 고체화, 개량체 모형의 변형, 파괴 거동을 조사한 결과를 나타내었음
- 고화 처리토를 적용한 강제 보강 옹벽에 있어서 보강재의 인발 저항 특성과 설계 방법
- 강제 보강 옹벽 공법에 있어서 보강재와의 마찰 저항이 작고 틈막이재로서 부적격한 점성토나 실트를 고화 처리하여 이용하는 것이 바람직하나, 고화 처리에 특유의 점착력의 증가 효과를 반영하는 설계 방법은 아직 확립되어 있지 않음

- 그 설계를 위한 기초적인 데이터를 얻는 것을 목적으로 보강재 인발을 위한 시험 장치를 제작하여 흙시료·상재압·고화재 첨가량·양생 시간·보강재 길이·보강재 종류 등의 제약 조건을 바꾼 실험을 하였으며, 보강재가 인발 저항에 미치는 고화 처리 효과를 요인별로 조사하였음
- 고화 처리토의 1축 압축 강도와 고화 처리 흙속의 보강재의 최대 인발 저항의 관계를 검토하여 이것을 기초로 한 소요 보강재를 설계하였음



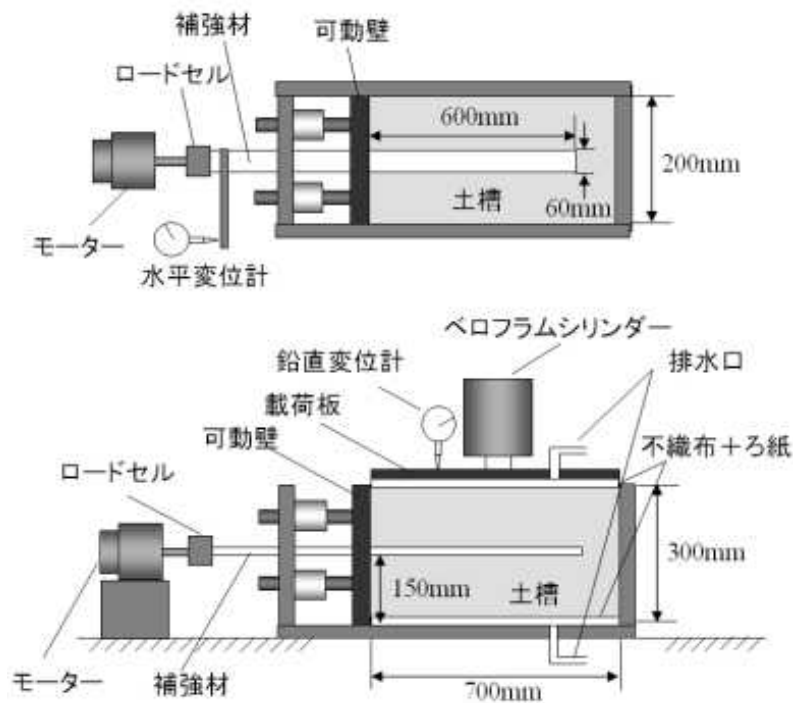
[그림 5-12] 보강재의 최대 인발 저항 관계

- 이 공법의 보강 메커니즘은 벽면공에 작용하는 토압의 압력에 대하여 틈막이재에 부설한 인장 보강재와 틈막이재 사이에 생기는 인발 저항력에 의하여 방토벽의 효과를 발휘하기 때문에 이 공법으로는 보강재 사이에 마찰 저항을 기대할 수 있는 사질토계의 지반 재료가 사용됨
- 강재 보강 옹벽 공법에 있어서 고화 처리토는 규정 값 이상의 강도 정수를 갖는 재료로서 정해져 있으며, 현행의 설계법에서는 보강재의 인발 저항은 흙과 강재 사이의 마찰 저항에 기인한 것을 기본 원리로 하고 있음
- 원래 점착력을 가진 틈막이재의 사용을 전제로 하고 있지 않고 점착력이 발생하는 고화 처리토의 역학 특성이 설계에 충분히 반영되지 않기 때문에 지금까지 다양한 틈막이재로부터의 보강재의 인발 저항 특성이 검토되고 있지만 고화 처리토에 있어서 보강재가 인발 저항의 발생 메커니즘이나 그 영향 요인이 해명되지 않고 있음
- 강재 보강 옹벽 공법에 고화 처리토를 이용한 경우의 합리적인 설계를 위해서는 이 점을 명확하게 하는 것이 중요하며 이번 연구는 제약 조건 하에 있어서 고화 처리토로부터의 보강재가 인발 저항 특성을 파악하기 위해 흙의 밀도나 함수비 등을 관리한 토조로부터 일정한 속도로 보강재를 인발하고 그 때의 인발 하중을 정밀하게 측정하는 장치를 제작하고 이것을 이용하여 흙의 시료, 고화재, 보강재, 양생 조건,

보강재가 인발 조건을 여러 가지로 바꾸고 고화 처리토로부터의 보강재를 인발하는 시험을 실시하였음

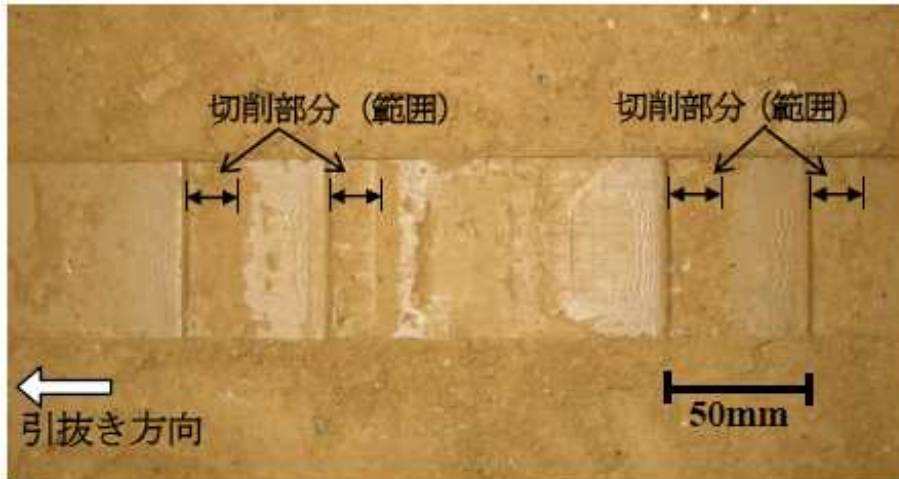


[그림 5-13] 인발력 측정장비



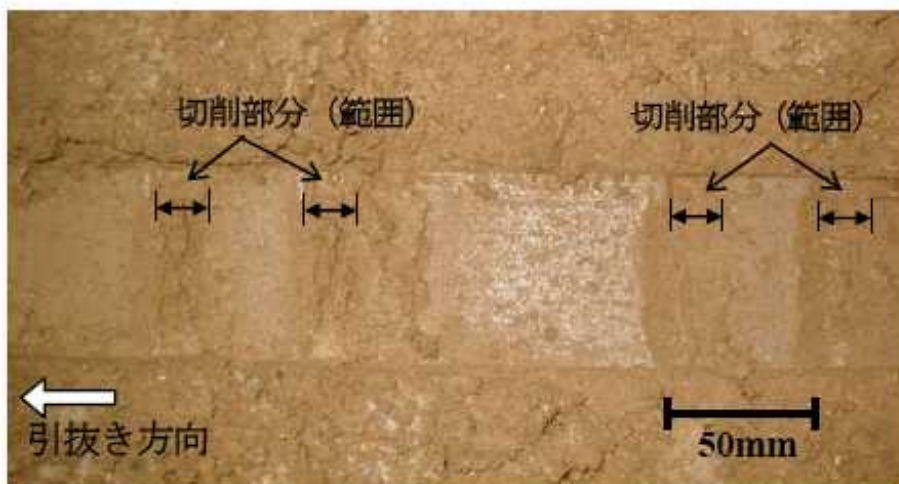
[그림 5-14] 인발력 측정장치 모식도

- 이러한 시험 결과에 근거하여 고화처리토로부터의 평활 및 리브 보강재의 전형적인 인발 거동을 검토하였으며, 고화처리토나 보강재의 최대 인발 저항에 영향을 미치는 요인으로서 주로 상재압, 고화재 첨가량, 양생 시간 등의 각 요인의 영향을 종합적으로 검토하였음



(a) 固化処理土

(Test No.3-6 : $Q_c=50 \text{ kg/m}^3$, $\sigma_v=0 \text{ kPa}$, $\Delta L \approx 20\text{mm}$)



(b) 未処理土

(Test No.3-1 : $Q_c=0 \text{ kg/m}^3$, $\sigma_v=50 \text{ kPa}$, $\Delta L \approx 20\text{mm}$)


[그림 5-15] 인발시험 후의 흙과 리브보강재 부착면의 전경

다. 소결


- 가변형 강성토조는 현장시료를 사용한 실물 및 축소 구조물의 정량적 모사 실험에 필요한 실험 장비로써 가능한 실구조물에 대한 실험을 통하여 거동을 파악하는 것이 실질적이고 안정한 결과를 확보할 수 있으므로 현장 적용에 보다 유리한 결과를 산출할 수 있음
- 지반위에 건설되는 구조물의 실제 거동을 실험적으로 파악하고자 하는 경우에 꼭 필요한 장비로써 선진 외국의 실질적인 실험규모에 비해 우리나라는 매우 작은 규모로 주로 축소모형 실험을 하고 있는 실정임
- 국외의 연구 동향을 보면, 토조의 벽면이 강성체(rigid wall)인 경우 토조의 크기 효과를 무시하기 위해서는 토조의 직경이 관입체 직경의 200배 이상, 토조의 벽면이 변위를 허용하는 연성체(flexible wall)인 경우 토조의 직경이 관입체 직경의 약 20배 이상 되어야 토조의 크기 효과가 무시될 수 있다고 보고됨
- 직경이 다른 두 개의 관입체와 가압토조를 이용한 모형실험을 통해 정규압밀(NC) 상태의 조밀한 모래 지반에서는 토조의 직경이 관입체 직경의 약 50배 이상, 과압밀(OC)상태의 조밀한 모래 지반에서는 약 100배 이상 되어야 토조의 크기 효과가 나타나지 않다고 보고하고 있음
- 특히 지반관련 연구 R&D 선도 및 기술개발에 가변형 강성토조를 사용함으로써 현장시료를 사용한 실물 및 축소 구조물의 정량적 모사 실험이 가능하고 실구조물에 대한 실험을 통하여 거동을 파악하는 것이 실질적이고 안정한 결과를 확보할 수 있어 신뢰성 높은 DATA와 실제현장 적용에 유리함
- 가장 큰 장점은 다양한 크기의 모형실험을 효율적으로 수행할 수 있는 가변형의 조립식 토조를 갖추고 있다는 것과 이러한 가변형 강성토조의 설치에 관련 연구자들이 시험대상 또는 목적에 따라 적절한 시험조건을 손쉽게 구현하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단됨
- 또한 가변형 강성토조는 실험동 내부에 설치되어 외부 기상여건 등에 영향을 받지 않는 안정된 조건하에서 전천후로 이용가능하며, 특히 기계화된 지반조성용 장비와 충분한 용량의 재하장치를 제공함으로써 각종 지반구조물에 대한 경제적이고 신속한 시험수행이 가능할 것으로 판단됨

2. 시설·장비 구축현황


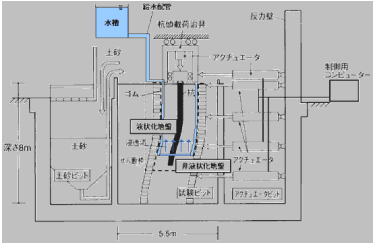
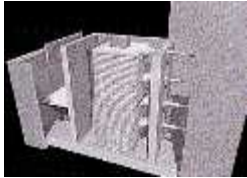
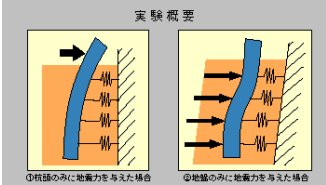
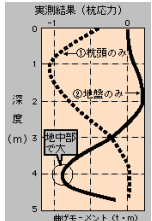
가. 국내 현황


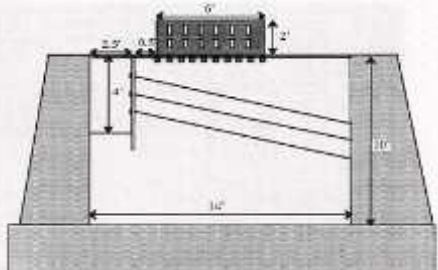
장비명	조립식 토조 박스(Laminar Shear Box)	보유기관	부산대학교 지진방재센터 (SESTEC)
목적	진동대를 이용한 지진모사 실험시 모형지반을 이용한 실험을 효율적으로 수행하기 위해 제작한 토조		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Container Mass: 960 kg (40 layers, 24 kg/layer) ▪ Volume of soil That can be contained: 3.87 m³ ▪ Max. mass of soil That can be contained: 7,740 kg ▪ 3D Rectangular ▪ Size: 1.9 m(W) x 1.1 m(D) x 1.8 m(H) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 최대한 가볍고 견고한 금속성 소재를 사용 ▪ 가운데 일부분을 육안 또는 촬영장비로 활용할 수 있게 투명한 재질로 제작함 ▪ 토조 최상층은 모형지반조사 및 구조물 설치를 위해 보조장치가 설치됨 ▪ 폭, 길이 및 높이를 원하는 크기로 변형가능 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 특수형태의 모형실험 토조의 국산화를 위한 시스템 개발 ▪ 진동대를 이용한 지반 지진 모사실험에 필수적인 장비 ▪ 지진시 지반의 동적거동 및 지반-구조물 상호작용 해석에 관한 연구 		
비고			
장비 사진			

장비명	종합모형토조 시험(Multi-functional Laboratory Model Test Equipment)	보유기관	한국건설기술연구원
목적	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지반공학 관련 각종 토류 구조물(옹벽, 사면, 성토체, 연약지반 등)에 대해 각종 실내 축소 모형실험을 수행할 수 있도록 하기 위해, 수직하중과 인발하중을 동시에 재하할 수 있도록 제작한 토조시험장치 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 토조(l*w*h=1400*1000*2000) ▪ 수직하중(최대 40 tonf) 재하장치 ▪ 인발하중(최대 10 tonf) 재하장치 ▪ 콘트롤러, 토조이송장치 등 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 재하장치는 50 tonf 하중을 변위 제어방식으로 재하 ▪ 소규모 지반구조물 모형 거동특성 파악에 활용 		
활용범위	<p>각종 토류 구조물에 대한 모형실험, 말뚝인발시험 등</p>		
비고			
장비 사진			

장비명	저온용다기능토조(Low-Temperature Chamber)	보유기관	한국건설기술연구원
목적	동토환경을 실험실규모로 구현하여 지반의 거동을 확인하기 위한 동토연구에서 활용도가 매우 높은 장비임 대형 냉동 챔버 내 활용가능한 저온용 다기능 토조 시스템으로 극한의 온도조건에서 지반 응력분포, 지반 거동, 온도 변화, 말뚝 재하 시험 등의 용도로 이용 가능함		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -40℃ 이하의 극저온 상태에서 각종 모형 토조실험을 수행할 수 있는 다기능 토조 ▪ 저온에 따른 우레탄 이중 단열시스템 구비(1차원 온도해석) ▪ 실험실용 응력재하 실험 설비 ▪ 챔버작업시 작업성을 개량한 토조 이송 설비 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 저온환경에서의 토질시험이 가능함 ▪ 극한온도 조건에서 지반 동상 및 동결융해 거동해석실험 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 온도 변화에 따른 구조물 거동 확인 실험 ▪ 극한지 및 동토지역 구조물 거동 규명 실험 ▪ 동결, 융해 반복에 의한 사면의 안정성 연구 ▪ 온도 변화에 따른 계측 모니터링 설비의 성능평가 		
비고			
장비 사진			

나. 국외 현황

장비명	대형 전단 토조	보유기관 (국가)	타케나카건설(주)
목적	지진에 의한 지반의 수평 변형이 건물의 항 기초에 주는 영향을 해명하기 위해, 항에 전해지는 지진 동 하중이나 항 자체의 조건을 자유롭게 바꾸고 모의 실험할 수 있는 실험 시설		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> ■지반을 넣었던 전단 토조 (깊이 8m, 직경 2.5m 각) ■전단 토조를 수평에 작동시키는 4 대의 액추에이터 (30, 50, 80, 120t) ■항두에 하중을 두기 위한 「항두재하 지그」 ■항두를 수평에 작동시키는 2 대의 「액추에이터」 (30t) ■액추에이터를 컨트롤 할 수 있는 「제어용 컴퓨터」 ■액상화 발생용의 수조와 급배 수관 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> ■건물이 흔들리는 외력뿐만 아니라, 지반 변형에 의한 외력이나 건물의 중량을 재하하면서 실험한 것에 의하고, 지진시의 건물에 대한 영향을 보다 정확하게 재현할 수 있음. ■지반 조건을 자유롭게 설정할 수 있음. ■항 자체의 조건도 자유롭게 바꾸고 실험할 수 있음. 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> ■동일조건으로 반복 실험이 가능하고, 정밀도가 높은 데이터를 얻을 수 있음. ■액상화의 정도를 조정할 것이 가능. ■토조에 충전된 흙을 제외한 것만으로, 지반중의 항 부분도 간단하게 조사할 수 있음. 		
비고	<ul style="list-style-type: none"> ■대형전단 토조는 당시의 토조 크기가 50m³ 여서 최신 장구경화된 석션파일의 실험이 불가능하며, 현장실험과 동일한 크기의 실험토조가 필요함. 		
장비 사진	    		

장비명	가변형 토조	보유기관 (국가)	University of Illinois (미국)
목적	지진에 의한 지반의 수평 변형이 건물의 항 기초에 주는 영향을 해명하기 위해, 항에 전해지는 지진 동 하중이나 항 자체의 조건을 자유롭게 바꾸고 모의 실험할 수 있는 실험 시설		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> ▪가변형 토조의 경우 크기를 1.2m × 1m × 0.8m ~ 4.8m × 4.2m × 3m까지 변화가능 ▪강사장치는 10t 용량 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> ▪주로 토류구조물에 대한 소형 실규모시험을 주목적으로 하고 있어 별도의 재하장치를 가지고 있지 않음 ▪강사장치는 10t 용량의 이동식 crane으로 연결되어 있어 토사의 낙하위치와 낙하고를 조절할 수 있도록 설계되어 있으며, 토사운반은 콘베이어벨트 시스템을 이용하는 방식을 채택 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪동일조건으로 반복 실험이 가능하고, 정밀도가 높은 데이터를 얻을 수 있음. ▪액상화의 정도를 조정할 것이 가능. ▪토조에 충전된 흙을 제외한 것 만으로, 지반중의 항 부분도 간단하게 조사할 수 있음. 		
비고			
장비 사진	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center; font-size: small;">Figure 3.1. Section of Testing Rig with Proposed Test Shear</p>		

<p>장비명</p>	<p>Geotechnical Laminar Box</p>	<p>보유기관 (국가)</p>	<p>Structural Engineering and Earthquake Simulation Laboratory at Buffalo</p>
<p>규모/성능/사양</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 5 meters long X 2.75 meters wide ▪ Maximum capacity of 82.5 cubic meters ▪ Two 110 kips dynamic actuators ▪ A level ring for assembling and testing a vertical soil column ▪ A sloped ring that allows the testing of a soil column with a 2-degree incline 		
<p>장비 사진</p>			

다. 소결

- 국외 최고수준은 Illinois 대학의 토조크기 4.8 × 4.2 × 3.0 (m), 국내는 1.9 × 1.1 × 1.8 (m) 수준으로 지진파에 의한 지진모사 실험시 모형지반을 위해 제작한 토조로써 가력장치가 구축되어 있지 않으며, 가력장치가 추가로 구축된 토조의 크기는 더 작은 실정임
- 국내 수준은 국외수준과 비교하여 첨단 연구장비가 열악한 상황이며, 최근 석션파일의 장구경 및 장대화에 따라 기존 장비로는 현장과 동일한 실험이 불가능하여 관련 연구 및 기술개발이 저조한 상태임

<표 5-1> 국내외 장비수준

구분	장비명 (보유기관, 국가)	규격, 규모(토조크기)		성능, 사양(가력장치)	
		W × D(m)	H(m)	수평(tonf)	수직(tonf)
국내	조립식 토조박스 (부산대학교)	1.9 × 1.1	1.8	-	-
	종합모형토조시험 (한국건설기술연구원)	1.4 × 1.0	2.0	10	40
	저온용다기능토조 (한국건설기술연구원)	미공개	미공개	-	-
국외	대형 전단 토조 (타케나카건설(주))	2.5 × 2.5	8	30, 50, 80, 120	30 × 2EA
	가변형 토조 (University of Illinois)	4.8 × 4.2	3	-	-
최고수준	대형 토조	4.8 × 4.2	8	120	60
	최소요구수준 (최고수준대비)	4.0 × 7.0 (139)	4 (50)	200 (167)	100 (167)

3. 종합분석

- 지반위에 건설되는 구조물의 실제 거동을 실험적으로 파악하고자 하는 경우에 꼭 필요한 장비로써 선진 외국의 실질적인 실험규모에 비해 매우 작은 규모로 주로 축소모형 실험을 하고 있는 실정임
- 강성토조는 현장시료를 사용한 실물 및 축소 구조물의 정량적 모사 실험에 필요한 실험 장비로써 가능한 실구조물에 대한 실험을 통하여 거동을 파악하는 것이 실질적이고 안정한 결과를 확보할 수 있어 현장 적용에 유리함
- 국내 현황은 토조관련 연구장비가 열악한 상황이며, 기존 구축된 장비로는 현장여건과 동일한 실험이 불가능하여 지반관련 연구 및 기술개발이 어려운 상태임

제 5 절 기존 시설·장비와 차별성

1. 장비의 중복성 검토(NTS 검색)

가. 장비구축 자체 검토의견

- 지반과 구조물의 상호작용(외력이 작용하는 구조물의 거동에 대한 지반의 반응이나 거동에 따른 구조물의 상호 복합적인 거동)을 실험적으로 규명하기 위한 실험장비 시스템이 필요함
- 이를 위해 크기변형이 가능한 가변형 강성토조의 구축이 필요함
- 관련 키워드를 통한 NTIS 검색 결과 현재 국내 관련 장비가 다수 존재함
- 기존 장비의 경우 토조의 크기가 소형이거나 크기변형이 불가능하여 다양한 실험이 불가능하며, 수직 및 수평재하장치의 부재로 구조실험이 불가능함
- 위 결과를 토대로 제안 장비와 기존 장비의 중복성은 없음

나. 국가연구시설장비 공동활용서비스 NTIS(<http://nfec.ntis.go.kr>) 검색 결과

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소) 활용목적분야	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표 성능 비교 (2~3개)	구축예정장비 신청기관의 자체 검토의견
1	연약지반 실내모형 토조장치 (개발장비)	에코션	한국건설기술 연구원	2007-08	39	토조	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모형 토조 부분과 단계 하중 증분을 위한 재하장치, 계측장치로 구분 ■ 토조의 크기를 길이 200cm, 높이 100cm, 폭 50cm 크기로 제작 	-현장지반의 구현으로는 불가능한 소형장비
2	토조시스템	부산종합 기계	부산대학교	2009-06	79	토조	<ul style="list-style-type: none"> ■ 폭 2.0m, 너비 1.2m, 높이 2.55m 이상으로 제작 ■ 지진파로 인한 전단거동을 위해 58층 이상으로 분할되어 있음 	-재하장치가 없어 구조실험이 불가능함

3	인공강우장비 (DIK6000)	Daiki	국립식량과학원	2011-05	294	토조	<ul style="list-style-type: none"> ▪Main body, 제어판, 강우량 및 시간조절, 정량급수조, 빗물 발생기 ▪강우에 따른 토양 유실시 강우강도, 강우지속시간, 비탈면 경사, 지반조건에 따른 유실원인을 분석 	-인발시험 및 축력시험이 불가능함
4	배수 실드터널 수압/토압 모형실험장치	뉴원시스템	한국건설기술연구원	2013-06	44	토압	<ul style="list-style-type: none"> ▪다양한 현장조건에서 실드터널 라이닝의 간극수압, 변형률, 토압 및 배수 조건시 유출되는 유량을 측정 ▪배수 및 비배수 조건에서 실드터널 라이닝에 작용하는 압력 및 내부 응력 측정 실험장치 	-터널에 작용하는 수압을 측정하는 것으로 소형시험에 사용됨
5	사각토조 반단면 말뚝재하 시스템()	동아시험기	명지전문대학 산학협력단	2007-04	30	말뚝	<ul style="list-style-type: none"> ▪말뚝 개량지반의 압밀 및 침하거동 분석 ▪모형토조, 가압장치, 하중제어장치, 하중재하 시스템, 하중제어 프로그램, 계측장치로 구성됨 	-침하거동을 측정하는 것으로 소형시험에 사용됨

2. 차별화 및 특성화 방안

가. 장비 구축 주안점

- 실험시설에서 수행 가능한 성능평가의 범위를 세계적 수준으로 설정함
 - 본 실험시설은 현재 국내 기존장비들의 성능으로 불가능한 실험이 가능하며, 향후 실험의 대형화를 고려한 성능수준 설정이 필요함
 - 실험시설의 지속성을 확보하고, 크기변화의 호환성을 고려할 수 있는 운영체계를 구축하여야 함

- 실험시설의 효율적인 공간 확보가 필요함
 - 대형토조의 진·출입 및 강사장치의 효율적 사용을 위하여 최소한의 공간 확보가 필요함
 - 운영 효율성 확보를 위해 실험시설, 제어시설 등을 적절히 배치하여 시설 간 연계를 고려하여야 함
 - 대형토조의 조립, 해체, 수리할 경우 공간 활용이 가능하도록 공간 확보를 고려하여야 함
 - 향후 추가장비 배치 등 실험 확장성을 고려한 공간 배치가 필요함

- 실험시설의 안정성 확보가 필요함
 - 대형토조의 조립, 해체를 위해 20t 이상의 crane이 배치되어 있어야 하며, 토조의 이동시 안정을 위하여 5t 이상의 지게차가 필요함
 - 실험의 준비단계에서 실험까지 안전사고의 위험이 있으므로 장비사용시 유의사항과 경고문을 부착하여 실험자 뿐만 아니라 입회자의 경각심을 높일 필요가 있음

나. 차별성 및 특성화

- 국내 보유중인 기존 연구장비에 비하여 월등한 성능을 가진 실험시설로 특히 토조 크기는 대형화 및 첨단화에 따른 실규모 부재에 대한 검증이 가능하며, 국외의 시설/장비와 비교하여도 최고 수준의 실험시설임
- 지반관련 분야의 다양한 크기 실험이 가능하며 수직/수평 가력장치를 함께 보유하고 있어 상승적 결합 효과 발생이 기대됨

다. 소결

- 지반아래에 매설되는 구조물의 실제 거동을 파악하고자 하는 경우에 꼭 필요한 장비로써 국내의 경우 선진 외국의 실험규모에 비하여 주로 축소모형 실험을 통한 결과 값을 사용하고 있는 실정임
- 강성토조는 현장시료를 사용한 실물 및 축소 구조물의 정량적 모사 실험에 필요한 실험 장비로써 가능한 실구조물에 대한 실험을 통하여 거동을 파악하는 것이 실질적이고 안정적인 결과를 확보할 수 있어 현장 적용에 유리함
- 국내 현황은 토조관련 연구장비가 열악한 상황이며, 기존 구축된 장비로는 현장여건과 동일한 실험이 불가능하여 지반관련 연구 및 기술개발이 어려운 상태이므로 배정된 예산 범위 내에서 시급성이 높은 장비들을 구축할 것을 제안함

제 6 절 필요 장비 및 시설

1. 최소 요구성능

- 대형 지반구조물 실험 시스템은 지반과 구조물의 상호작용(외력이 작용하는 구조물의 거동에 대한 지반의 반응이나 거동에 따른 구조물의 상호 복합적인 거동)을 실험적으로 규명하기 위한 실험장비 시스템으로 지반 위에 건설되는 구조물의 실제 거동을 실험적으로 파악하고자 하는 경우에 꼭 필요한 장비로 현재 국내에서 구축되어 있는 장비는 대부분 3.5m³의 작은 토조 용량으로 축소모형의 실험에 주로 사용되어지고 있음.
- 대형 지반구조물 실험시설의 가장 큰 특징은 다양한 크기의 모형시험을 효율적으로 수행할 수 있는 가변형의 조립식 토조를 갖추고 있다는 점이며, 이러한 가변형 토조의 설치에 관련 연구자들이 시험대상 또는 목적에 따라 적절한 시험조건을 손쉽게 구현하는 데 큰 도움을 주게 됨. 또한 외부 기상여건 등에 영향을 받지 않는 안정된 조건하에서 전천후로 이용가능하며, 특히 기계화된 지반조성용 장비와 충분한 용량의 재하장치를 제공함으로써 각종 지반구조물에 대한 경제적이고 신속한 시험 수행이 가능하다는 큰 장점을 지니고 있음.
 - 대형 지반구조물 실험을 위한 토조 용량은 최소 100m³ 이상은 되어야 하며, 다양한 조건(토질 및 크기)에 적용가능한 가변형 토조시스템을 구축
 - 대형 지반구조물 실험에 필요한 실험시스템은 그 설계를 위한 기초적인 데이터를 얻는 것을 목적으로 보강재 인발을 위한 시험 장치와 고성능, 고용량의 가력장치와 이에 적합한 반력벽이 필요함.

<표 5-2> 강성토조 시스템의 기능

구분	비 고
Global Top 10 규모와 성능	<ul style="list-style-type: none"> • 100m³ 용량의 대규모 토조 • 세계 3위 규모의 지반구조물시스템 실험시설
DAQ System	<ul style="list-style-type: none"> • 다수의 Data(Contact, non-contact) 수집 및 처리 • LabVIEW를 활용한 통합형 측정 시스템 구축
배수조건 제어	<ul style="list-style-type: none"> • 투수 시 지반-구조물 상호작용 연구 • 동적하중 작용 시 배수조건별 지반-구조물 거동 특성 연구
원격제어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 원격제어 실험수행 가능
정·동적 하중 제어	<ul style="list-style-type: none"> • 구조물 기초의 복합하중에 의한 지반의 거동특성 규명 • 동적하중 하의 지반거동에 의한 구조물 영향 정도의 정량적 평가
가변형 토조 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 조건(토질, 크기)에 적합 • 사용목적에 맞는 경제적 시험 수행

2. 최소 요구 시설·장비 성능

가. 최소 요구시설

□ 실험동

- 대형 지반구조물 실험시설은 최대 4m × 4m × 7m 규모의 시험을 동시에 수행할 수 있는 충분한 시험공간 및 준비공간을 제공할 수 있어야 하므로 최소한 넓이 30m × 20m, 높이 10m 이상의 내부공간을 갖추어야 함. 그리고, 시험을 위해 필요한 건설장비(지게차, 포크레인 등)의 자유로운 진입이 가능하도록 가로 5m, 높이 5m의 개폐형 출입구를 갖추어야 하며, 시험용 토사 및 대형 시험장비의 운반이 용이하도록 내부공간 전체를 수용할 수 있는 용량 20t 이상의 이동식 crane을 갖추어야 함. 특히 이용자의 안전을 위해 충분한 환기시설을 갖추어야 함
- 실험동은 100m³ 용량의 대형토조의 이동 및 설치, 유압펌프실, 시편보관실, 연구지원 시설, 크레인 등을 갖추 수 일정 면적 및 높이를 갖는 실험동이 필요함
- 유압펌프실은 유압을 사용하는 장치에 유압을 제공하는 대용량 펌프가 위치하며, 시편 보관실은 예약시험, 진행중인 시험, 종료된 시험의 실험체를 보관할 수 있는 실험 실험. 연구지원시설은 연구시설 상주인원의 사무공간, 회의실, 샤워실 등으로 구성됨

<표 5-3> 실험동 사양

구 분	사 양
실험동	<ul style="list-style-type: none"> • 건축면적 : 600m² 이상 • 건축층고 : 10m 이상 • 유압펌프실, 시편보관실, 연구지원 시설 등 공간 확보

□ 반력벽

- 반력벽은 대형 구조물 시험에서 수평가력 시 반력을 받도록 설계되어 있는 벽을 말하며, 100m³ 용량의 강성토조 실험이 가능한 반력벽의 크기와 용량을 가져야 함

<표 5-4> 반력벽 사양

구분	사양
반력벽	<ul style="list-style-type: none"> • L 자형 • 7m x 2m x 8m , 10m x 2m x 8m • 반력 바닥과 일체형 • Actuator 설치용 Hole 보유 • 철근콘크리트 사용(2000kN 용량)



[그림 5-16] 반력벽 실험 예

나. 최소 요구장비

□ 대형토조

- 실험동 내에 설치될 대형토조는 다양한 크기 및 종류의 지반구조물 모형에 대한 시험이 가능하도록 내부공간을 1m × 1m × 1m ~ 4m × 4m × 7m 까지 자유롭게 변환시킬 수 있어야 하며, 토조의 벽체는 충분한 강성을 갖추어야 한다. 따라서 본 실험시설의 토조는 단위 size의 강재프레임 블록들을 정착 조립시키는 방식으로 제작되어야 함
- 본 대형강성 토조는 시험의 조건에 맞추어서 변화를 줄 수 있는 조립식 토조로 설계 제작하며, 시험 준비를 원활히 할 수 있도록 토조는 유압 등을 이용한 이송 장치를 갖추어야 함
- 토조의 전면은 투명창으로 제작 하여 시험에 따른 토조내의 거동 상태를 관찰이 용이하여야 하며, 투명창은 2중 구조로 제작하여 내부가 잘 보이지 않을 경우는 거칠어진 투명창의 교환으로 내부를 잘 볼 수 있도록 조립식 창으로 제작 되어야 함

□ 지반조성용 장비

- 지반조성에 필요한 토사운반장치는 1m³/min 이상의 이송능력을 가진 토사이송용 펌프와 이에 연결되는 이송라인으로 구성된다. 이송라인의 흡입구과 토출구는 실험동 내의 토사 임시보관구역, 강사장치, 토조 간을 상호 연결시킬 수 있어야 한다. 따라서 이에 필요한 충분한 유연성과 길이를 갖추어야 함
- 토사의 운반 및 낙하를 위한 강사장치는 3m³ 이상의 용적을 가져야 하며, 낙하위치와 낙하고의 자유로운 조절이 가능하도록 이동식 크레인에 연결되어야 한다. 실험용 토사의 건조를 위한 열풍건조장비는 100,000kcal/hr 이상의 열용량을 갖추어야 하며, 실험지반의 다짐을 위한 소형 다짐장비는 1500kgf 이상의 타격력 또는 동등 이상의 다짐능력을 갖추어야 함
- 강사장치는 시험 조건을 만족 할 수 있도록 강사 높이 및 강사 다짐을 일정하게 할

수 있도록 강사기의 높낮이를 조절 할 수 있어야 하며, 강사기의 이송 속도에 따른 시료의 퇴적 높이 차를 일정하게 하기 위하여 모터 구동을 이용한 강사기의 이송 방식이어야 함. 강사기의 강사 구멍은 슬라이드 구조로 제작되어야 하며, 시료의 유실이 없도록 하여야 함.



[그림 5-17] 강사장치

- o [그림 5-18]은 각각 본 실험시설에 구비될 토사이송용 펌프와 시료건조장비 및 소형다짐장비의 대표적인 예를 보여 주고 있으며, 이러한 지반조성 관련 장비들은 현재 국내에서 상용으로 판매되고 있으므로 별다른 어려움 없이 확보할 수 있을 것으로 판단됨.



(a) 모래이송용 펌프



(b) 시료건조 장비



(c) 소형다짐장비

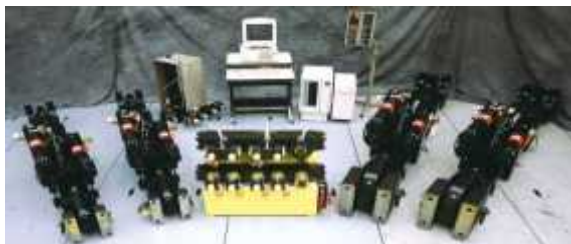
[그림 5-18] 지반시험용 부대장비

<표 5-5> 지반조성용 최소 요구사항

내용		최소 요구사항
토조	이동식벽체	<ul style="list-style-type: none"> • 1m x 0.5m x 1m • 반력벽에 롤러 고정 • 고정된 반력벽의 수평 방향으로 이동하며 토조 크기 변화 가능
	조립식벽체	<ul style="list-style-type: none"> • 0.25m x 1m(최소) • 4m x 7m(최대) • 최소 규모의 벽체를 볼트 접합하여 다양한 규모의 벽체 조립 가능
시료 조성장치 및 다짐 장비	자동강사장치	<ul style="list-style-type: none"> • 토조 상부 크레인을 통해 수평 이동 가능 • 개폐율 및 강사고를 조정하여 35~80% 사이로 상대 다짐도 조정 • 더 조밀한 다짐을 원하는 경우 인력 및 소형 다짐 장비 사용 가능

□ 유압가력 장치 및 컨트롤 시스템

- o 토조를 이용한 모형시험시 하중재하를 위해 필요한 재하장치는 Actuator와 Loading Frame으로 구성됨. Actuator는 일반적인 용도의 시험이 가능하도록 최소 200t 이상의용량을 갖추어야 하며, 동적시험을 위해 10Hz까지의 진동수 제어가 가능한 동재하 기능을추가로 갖추어야 함
- o Loading frame은 사용되는 Actuator의 용량에 맞는 충분한 반력을 제공할 수 있어야 하며, Actuator의 탈착 및 위치이동이 가능한 형식으로 제작. 또한 사용되는 토조의 최대 크기인 4m × 4m × 7m를 충분히 수용할 수 있어야 함
- 대형 지반구조물 실험에 필요한 실험시스템은 그 설계를 위한 기초적인 데이터를 얻는 것을 목적으로 보강재 인발을 위한 시험 장치와 고성능, 고용량의 유압가력장치와 컨트롤 시스템 구축
- 100kN, 500kN, 2,000kN 용량의 정적 유압가력장치와 50kN, 500kN, 1,000 kN 용량의 고성능 동적 유압가력장치를 3축 동시시험이 가능한 3 Station System Software로 구성



(a) 고성능 액추에이터



(b) 펌프



(c) 컨트롤러



(d) 소프트웨어

[그림 5-19] 유압가력 장치 및 컨트롤 시스템

<표 5-6> 유압가력 장치 및 컨트롤 시스템 최소사양

구분	내용	최소 요구사항
유압가력 장치 (Actuator)	Static Actuator	<ul style="list-style-type: none"> Capacity : 100kN, 500kN, 2,000 kN Stroke : ±250~±1,000 mm 개수 : 3개
	Dynamic Actuator	<ul style="list-style-type: none"> Capacity : 50kN, 500kN, 1,000 kN Stroke : ±100~±1,000 mm Amp. Frequency : 0 ~ 100 Hz 개수 : 3개
컨트롤 시스템	컨트롤러 및 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> Channel - 3 Station MTS FlexTest Handset Transducer Interface Card Uninterruptible Power Supply System Software
	펌프 및 부대장비	<ul style="list-style-type: none"> Hydraulic Service Manifold(180 GPM)

다. 기타장비

- 실험동 내부에는 기본적인 제어와 운용을 위한 control실과 각종 자재의 보관을 위한 보관창고가 설치되어야 하며, 모형시험 및 실내 실규모시험에 필요한 하중계, 변위계, 토압계, 간극수압계, Data acquisition system 등의 각종 계측장비를 구비하여야 함. 단, 이러한 계측장비들은 구조분야의 실험시설과 공용으로 사용할 수 있으며, 시험과정의 효율적인 기록과 보존을 위해 디지털 캠코더 등의 각종 영상기기를 추가로 구비하여야 함
- 대형 지반구조물 시험에 필요한 기타장비로는 크레인, 미니백호 및 지게차, 데이터 로그 및 계측장비로 구성됨
 - 크레인은 토조 상부에서 수평 및 수직방향 이동이 가능한 10ton과 20ton 용량이 필요하며, 시료조성 및 토조이동, 시험체 설치에 필요한 0.35m³ 용량의 미니백호와 5ton 용량의 지게차, 고성능 데이터로그, LVDT, 가속도계 등의 정밀 계측장비가 필요함

<표 5-7> 기타 장비 최소 요구사항

구분	내용	최소 요구사항
기타 장비	크레인	<ul style="list-style-type: none"> 10, 20 ton 토조 상부에서 수평 방향 이동이 가능
	미니 백호 또는 지게차	<ul style="list-style-type: none"> 미니 백호 : 0.35m³ 전동지게차 5 ton
	LVDT	<ul style="list-style-type: none"> ±100 ~ 500 mm 구조물 또는 지반의 수평 및 수직 변위 측정용
	Static Strain Measuring Equipment	<ul style="list-style-type: none"> Measuring Speed: 1000 Channel per second Data processing using Built-in Functions
	Dynamic Strain Measuring Equipment	<ul style="list-style-type: none"> Simultaneous Data Sampling Rate: 100 Hz max LAN interface. FFT Analysis, Histogram, X-Y graph
	Force Transducer	<ul style="list-style-type: none"> ±0 ~ 2000 kN 전단 하중 및 수직 하중 측정
	Pore Pressure	<ul style="list-style-type: none"> 0 ~ 300 kPa
	Accelerometer	<ul style="list-style-type: none"> 0.1 ~ 1000 Hz

제 7 절 시설·장비 구축계획

1. 추진방법

- 대형 지반구조물 상호작용을 평가할 수 있는 실험시설은 대형 토조(강성, 연성)와 함께 반력벽 시스템 및 진동대 시스템이 있어야 하므로, 기존 1단계 해당 실험시설에 대형 토조만 추가하면 예산을 절감하면서 실험 수요를 만족시킬 수 있음
- 전문가 및 자문의견 결과, 지반-구조물 실험시설의 경우에는 1단계 해당 실험시설에 필요한 장비만을 추가하는 것으로 추진
- 1단계 실험시설 장비 성능개선 수요조사 및 자문위원들의 자문결과, 아래 표와 같이 꼭 필요한 대상 장비로 조사됨

<표 5-8> 1단계 실험시설 장비 성능개선 대상

구분	실험장비명	비고
1	구조분야 실험장비	고성능 Actuator, 대용량 UTM, 대형 진동대
3	재료분야 실험장비	실시간 입도 분석기 등
3	해양에너지 개발 수리모형실험시설	풍하중 발생 장치
4	대형 토조	대형 강성/연성 토조
5	기타 분야	

- “건설연구인프라 구축과제 1단계 분석 및 2단계 기획 보고서(2011. 06. 22)”에 기술된 최소 요구 시설 및 장비 중 반력벽과 재하프레임도 1단계 건설연구인프라 구축 사업을 통하여 첨단건설재료실험센터에서 보유하고 있음
- 모래시료 조성장치와 점토시료 조성장치, 일부 유압가력장비만 신규로 구입하고 그 외 제반 실험장비는 기존의 실험 장비를 활용함

<표 5-9> 시설·장비 구축 방법

구분	시설 및 장비명	구축 방법
실험동	구조실험동	기 보유
반력 시스템	반력벽 및 프레임	기 보유
강성토조	토조 이동시스템	신규 구입
	가변형 강성토조	신규 구입
시료 조성장치	자동 강사 장치	신규 구입
	다짐장비	신규 구입
유압가력 장치(Actuator)	Static Actuator	기 보유 및 신규 구입
	Dynamic Actuator	기 보유 및 신규 구입
컨트롤 시스템	유압 및 하중 컨트롤러	신규 구입
	해석 소프트웨어	신규 구입
	자료 수집 및 네트워크	신규 구입
기타 장비	LVDT	일부 구입
	Static Strain Measuring Equipment	기 보유 및 신규 구입
	Dynamic Strain Measuring Equipment	기 보유 및 신규 구입
	Force Transducer	일부 구입
	Pore Pressure	신규 구입
	Accelerometer	기 보유 및 신규 구입
	크레인	기 보유 및 일부 개선
	미니 백호, 지게차	기 보유 및 일부 개선
	기타 공구	기 보유

2. 구축계획

가. 시설공사계획

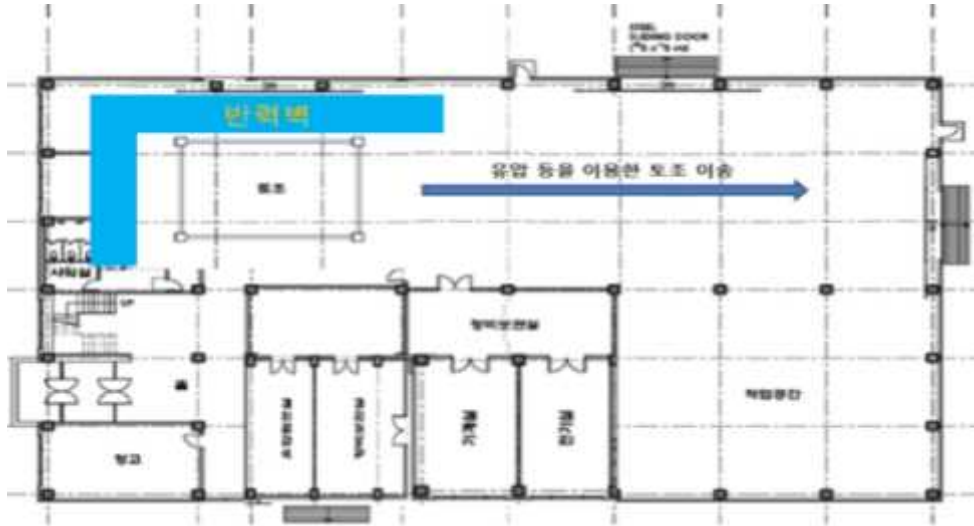
- 대형 지반구조물 실험시설은 최대 4m × 4m × 7m 규모의 두 가지 모형시험을 동시에 수행할 수 있는 충분한 시험공간 및 준비공간을 제공할 수 있어야 한다. 따라서 최소한 넓이 30m × 20m, 높이 10m 이상의 내부공간을 갖추어야 함
- 시험을 위해 필요한 건설장비(지게차, 포크레인 등)의 자유로운 진입이 가능하도록 가로 4m, 높이 4m의 개폐형 출입구를 갖추어야 하며, 시험용 토사 및 대형 시험장비의 운반이 용이하도록 내부공간 전체를 수용할 수 있는 용량 20t 이상의 이동식 crane을 갖추어야 함. 기타 기본적인 전기시설, 급수시설, 압력시설(compressor 및 압력배관)을 갖추어야 하며, 특히 이용자의 안전을 위해 충분한 환기시설이 필요함
- 대형 지반구조물 실험에 필요한 시설은 계명대학교 첨단건설재료실험센터 현물 투자된 구조실험동을 활용할 계획으로 건축, 토목, 기계, 전기 등의 시설공사와 반력벽 등의 공사금액을 절감할 수 있음.
- 하지만 기존 10톤 크레인의 용량부족과 토조의 시료조성 시 분진발생 문제를 해결하기 위한 공간의 필요에 따라 20톤 크레인의 추가설치와 토조 시료조성 공간 확보를 위한 시설보강공사 필요.



[그림 5-20] 현물 투자된 구조실험동 전경

나. 공간배치 계획

- 대형 지반구조물 실험시설은 최대 4m × 4m × 7m 규모의 시험을 동시에 수행할 수 있는 충분한 시험공간 및 준비공간을 제공할 수 있어야 하며, 기타 기본적인 전기실, 유압펌프실, 장비보관실 등을 독립적으로 갖추어야 함, 특히 강사장치에 의한 토조 시료조성시 분진에 의한 이용자의 안전과 장비의 보존을 위해 환기시설을 갖추어야 함.
- 본 대형강성 토조는 시험의 조건에 맞추어서 변화를 줄 수 있는 조립식 토조로 시험 준비를 원활히 할 수 있도록 토조는 유압 등을 이용한 이송 장치를 갖추어야 함.



[그림 5-21] 토조 위치 및 공간배치 모식도

다. 구축일정

연차	연구내용	추진일정(월별 또는 분기별)												연구비 (천원)	비중 (%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1차년도	크레인 및 보강공사														150,000	6
	토조 및 강사장치														400,000	17
	유압가력 장치 및 컨트롤러														810,000	34
2차년도	다짐장비 및 준비장치														300,000	13
	자료수집 및 네트워크														200,000	8
	계측용 장비														400,000	17
	부대장비														110,000	5

라. 국산장비 대체 가능성 자체검토(국산대체장비가 있을 경우만 작성)

구분	내 용				비 고
1	장비명 (모델명)	한글	액츄에이터	제작사	(주)삼연기술
		영문	Actuator	장비가격 (단위 : 백만원)	310
	주요사양	<ul style="list-style-type: none"> Static Actuator : 100kN, 500kN, 2,000kN(±250~±1,000 mm) Dynamic Actuator : 50kN, 500kN, 1,000kN(±100~±1,000 mm) 			
	자체 검토의견	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유압가력시스템에서 유압공급장치와 컨트롤러, 소프트웨어만 외산으로 구축하면 액츄에이터의 경우 국산장비로도 외산장비의 성능을 발휘할 수 있음. 			

3. 운영 및 관리계획

가. 유지관리 계획

- 유지관리비는 장비구매가의 3% 선에서 추정하였는데 이는 초기 구입시의 계약에서 유지관리 계약을 하는 경우에 변경될 수 있음.

세 부 내 용	추 정 예 산
계측기/검교정비	20백만원/년
토조 및 강사장치 유지보수비	30백만원/년
재하장치 유지보수비	50백만원/년
기타장비 유지보수비	20백만원/년

나. 안전사고예방 계획

- 실험실 안전사고 예방의 기본방향
- 실험시설 사용자의 안전 우선
 - 건물 주위 보행자 및 건물에 접근하는 주변 학생, 교직원 등의 안전
 - 실험작업을 계측 및 제어할 수 있는 최적의 Control Room 공간 확보
 - 유치대학에서 기본적인 구조실험동으로서 활용할 수 있도록 공간배치
 - 유치대학의 지역 특성에 따른 실험동 규모의 최적화
 - 실험동 주변 소음 및 분진 최소화
- 실험실에서 사용자가 실험·실습, 연구활동을 수행할 때 발생할 수 있는 안전사고를 예방하기 위하여 필요한 세부사항을 규정 및 관리
- 안전관리조직체계 및 그 직무에 관한 규정 정립
 - 실험실 안전관리담당자의 지정 및 그 책임과 권한의 부여
 - 주기적 안전교육의 실시
 - 실험실 안전표식의 설치 또는 부착
 - 실험실사고 또는 중대 사고 발생 시 긴급대처방안과 행동요령 정립
 - 사고조사 및 후속대책수립 정립

다. 운영자 교육계획

- 장비를 운영하는 기술자 및 연구원에 대한 담당 실험장비의 관리 및 운영책임자 지정과 교육을 통한 효율적 관리
- 장비운영의 효율적 관리를 위하여 전문교육기관에 위탁교육 실시
 - 장비 매뉴얼 작성 교육
 - 안전사고 예방 및 대체요령 교육
 - 국제공인시험기관(KOLAS) 운영요령에 따른 장비의 유지관리 및 운영시스템 교육

제 8 절 활용계획 및 기대효과

1. 활용계획

- 대형 강성토조를 구축한다는 것은 지반 공학적으로 매우 중요한 의미를 가지며, 기존의 모형실험에서 가장 제약을 많이 받은 토조의 크기가 거대해 짐에 따라 활용할 수 있는 지반공학적 실험의 다양화와 보다 현장 조건에 부합하는 결과를 산출할 수 있음
- 또한, 모형실험을 위한 준비단계에서 가장 큰 비용을 차지하는 부분이 토조의 제작이며, 실험이 완료 후의 토조의 재활용성도 떨어지므로 경제적 손실은 큼. 따라서 대형 강성토조를 구축으로 다양한 지반공학적 실험을 위한 토조의 활용성은 크게 증가 할 것으로 예상됨.
- 현재 건설교통기술의 거점센터 육성을 통한 지속적인 R&D인프라 강화 및 R&D인력양성 등의 정부 정책들이 계획되어 진행되어 지고 있으며 이러한 과제들은 연구수행 과정에 있어서 「분산공유형 건설연구인프라 구축」 과제 결과로 구축된 분산공유 6대 실험시설에 우선적으로 실험을 하여 성과 도출을 권장하고 있음. 따라서, 타 기관의 연계협력을 통한 실험도 충분히 원활하게 이루어 질 것이다. 대형 강성토조를 활용으로 가능한 연구들은 다음과 같음.
 - 현장조건을 고려한 지반 구조물 시공 및 실험 과정의 재현 실험에 활용
 - 지진에 따른 구조물의 동적 거동 모사실험에 활용
 - 다양한 경계조건 및 변수에 따른 반복실험(Parametric study)에 활용
 - 실제 지반에 시공된 말뚝기초의 경우 주변마찰력이 하중의 대부분을 크게 분담하고, 나머지 하중을 선단 지지하는 것으로 판단되는 바 말뚝지지력평가로 하중전이

특성을 고려하여 말뚝기초 설계 및 시공에 활용

- 실내모형실험을 통하여 기존의 이론식 및 실험치와 비교하여 기존의 이론식 적용에 따른 오류를 상당부분 감소시키며 이론식 적용에 있어서의 신뢰성 제고를 이룸
- 경사말뚝의 거동해석에 대해서는 이론적으로 정립된 것이 없으므로 모형실험에 의하여 경사말뚝 거동 및 극한 지지력 산정
- 단일말뚝 뿐만 아니라 무리말뚝의 인발저항력을 정확하게 산정하여 지반의 상대밀도, 말뚝의 간격 및 배열의 변화 등 다양한 조건에서 활용가능
- 시공이 간단하고 채시공이 가능한 석션 파일의 인발저항력을 산정하여 해양항만구조물에 적용하여 시간과 공사비용을 크게 줄일 수 있으며 장래의 기초말뚝 및 부력앵커의 지지능력 연구에 유용
- 국내의 다양한 지반조건을 반영하여 건축물에 작용하는 지지하중으로 인한 지반의 거동을 파악하여 경제적 내진설계의 수행이 가능하며 얇은 기초에 의한 지반의 침하에 대한 거동분석이 가능
- 지하굴착에 따른 토체내의 변형형태를 예견하여 도시지역 내에서 거대한 빌딩과 급속한 운송시설 등 여러 형태의 지하굴착에 활용
- 사면을 재현하여 인공강우 실험 등을 통해 산사태 발생과의 상관관계를 규명할 수 있으며 강우강도, 강우지속시간, 비탈면 경사, 지반조건에 따른 파괴 원인을 분석하여 산사태를 예측가능
- 대구경말뚝의 거동분석, 말뚝공법의 발달로 개발된 복합말뚝의 거동분석을 파악하여 대규모 구조물을 안전하게 지지하며 공사비와 공기를 획기적으로 축소가 가능

2. 기대효과

- 선진 외국의 실질적인 실험규모에 비해 우리나라는 매우 작은 규모로 주로 축소모형 실험을 하고 있는 실정임. 토조의 벽면이 강성체(rigid wall)인 경우 토조의 크기 효과의 제약을 줄일 수 있는 대형 강성 토조의 구축으로 실제 현장조건을 최대한 고려할 수 있는 실험 결과를 산출하여 설계 및 시공에 보다 안정적이고 경제적인 자료를 제시 할 수 있음.
- 대형 지반구조물 상호작용 평가 실험시설을 신설하기 위해서는 약 70.9억원의 예산이 소요될 것으로 추정되는 반면에 기존의 실험시설과 장비를 최대한 활용하여 개선할 경우에는 약 23.7억원의 예산이 소요될 것으로 추정되며, 개선 시에 신설대비 66.5%의 예산절감 효과가 있음.

제 9 절 상세 예산(안)

1. 장비 성능개선 소요예산(안)

□ 총괄(연차별예산)

○ (기간·사업비) '16~'17 / 2,370백만원(정부출연금)

(단위 : 백만원)

구분	계	'16	'17
정부	2,370	1,360	1,010

< 소요예산 상세총괄 >

구분	산출내역	비용(천원)	국산/외산	비고
장비명	토조 이동시스템	100,000	국산	신규 구입
	가변형 강성토조	200,000	국산	신규 구입
	자동 강사 장치	200,000	국산	신규 구입
	다짐장비 및 준비장치	300,000	국산	신규 구입
	Static Actuator	90,000	국산	기 보유 및 신규 구입
	Dynamic Actuator	220,000	국산	기 보유 및 신규 구입
	유압 및 하중 컨트롤러	400,000	외산	신규 구입
	해석 소프트웨어	100,000	외산	신규 구입
	자료 수집 및 네트워크	200,000	외산	신규 구입
	LVDT	30,000	외산	일부 구입
	Static Strain Measuring Equipment	100,000	외산	기 보유 및 신규 구입
	Dynamic Strain Measuring Equipment	150,000	외산	기 보유 및 신규 구입
	Force Transducer	50,000	외산	일부 구입
	Pore Pressure	50,000	외산	신규 구입
	Accelerometer	20,000	외산	기 보유 및 신규 구입
	크레인	50,000	국산	기 보유 및 신규 구입
	미니 백호, 지게차	110,000	국산	기 보유 및 신규 구입
	계	2,370,000		
장비명	Static Actuator (100kN, 500kN, 2,000kN)	-	국산	기 보유
	기타 공구	-	국산	기 보유
	계			
시설명	실험동	-	국산	기존시설 활용
	반력벽 및 프레임	-	국산	기존시설 활용
	계	-		
합계		2,370,000		
국산화율(%)		53.2		

2. 신규 시설구축 대비 예산 절감 효과

< 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교 >

구분	신규 시설구축 예산		장비 성능개선 예산		
	산출내역	비용(천원)	산출내역	비용(천원)	
장비명	토조 이동시스템	100,000	토조 이동시스템	100,000	
	가변형 강성토조	200,000	가변형 강성토조	200,000	
	자동 강사 장치	200,000	자동 강사 장치	200,000	
	다짐장비 및 준비장치	300,000	다짐장비 및 준비장치	300,000	
	Static Actuator	90,000	Static Actuator	90,000	
	Dynamic Actuator	220,000	Dynamic Actuator	220,000	
	유압 및 하중 컨트롤러	400,000	유압 및 하중 컨트롤러	400,000	
	해석 소프트웨어	100,000	해석 소프트웨어	100,000	
	자료 수집 및 네트워크	300,000	자료 수집 및 네트워크	200,000	
	LVDT	50,000	LVDT	30,000	
	Static Strain Measuring Equipment	150,000	Static Strain Measuring Equipment	100,000	
	Dynamic Strain Measuring Equipment	200,000	Dynamic Strain Measuring Equipment	150,000	
	Force Transducer	50,000	Force Transducer	50,000	
	Pore Pressure	50,000	Pore Pressure	50,000	
	Accelerometer	30,000	Accelerometer	20,000	
	크레인	200,000	크레인	50,000	
	미니 백호, 지게차	150,000	미니 백호, 지게차	110,000	
	계	2,790,000		2,370,000	
	시설명	실험동	4,000,000	실험동	-
		반력벽 및 프레임	300,000	반력벽 및 프레임	-
계		4,300,000		-	
합계		7,090,000		2,370,000	
예산 절감액/비율(%)		4,720,000 (66.5)			

제 6 장 국내 최초 600g-ton급 드럼형 센트리퓨지

제 1 절 시설·장비 정의 및 목적

1. 정의

□ 드럼형 원심모형 시험기

- 원심모형시험은 인위적으로 중력가속도를 부여함으로써 실제 지반 및 구조물에 가해지는 응력상태를 재현할 수 있는 첨단 실험장비임
- 불확실성이 높은 지반공학 분야의 다양한 문제에 대한 실험적 접근과 이론적 규명이 가능하며, 국내·외 대규모 지반구조물에 대한 안정성 평가가 가능함
- 600g-tons 규모의 드럼형 원심모형 시험기는 3000kg 의 모형에 200g의 중력장을 적용시킬 수 있어, 활동영역이 광범위하며 장기간 거동 연구가 필요한 산사태, 토석류, 해저사면안정, 연약지반 압밀 등의 현상을 분석하는 데에 있어 최적의 실험장비임
- 드럼형 원심모형 시험기는 원주 방향의 면적을 토조로 사용하여 총 4.4m 의 길이를 모델링 할 수 있으며 이는 최대 880m (200g 적용시)의 활동 영역을 모사할 수 있음
- KOCED 1단계 구축 시 도입된 빔(Beam) 형식의 원심모형시험기는 최대 2,400kg의 모형에 100g의 중력장을 적용할 수 있는 240g-tons 규모임에 반해 성능 개선 시 도입될 드럼형 원심모형 시험기는 600g-tons 규모로 시간 상사법칙에 의해 장기간 거동이 중요한 지반문제에 대해 실험 소요시간을 획기적으로 단축시킬 수 있음

2. 목적

- 국내에 기 구축된 바 있는 빔(Beam) 형식의 원심모형시험기에서는 토조 크기가 제한적이므로 강우, 홍수 등에 의해 발생하는 사면 및 제방 안정성, 토석류(debris-flow) 등과 같이 활동 영역이 긴 현상을 모형실험으로 수행하기 어려움
- 또한, 빔 형식 원심모형시험기의 적용 가능 중력장의 한계(100g)로 인하여 장기간 거동이 핵심적인 지반문제에 대한 적용성에 한계가 있음
- 드럼형 원심모형시험기가 설치될 경우, 기존 빔 형식 원심모형시험기와 더불어 지반 전 분야에 걸친 모형실험이 수행가능하게 되어 국내 모형실험 분야에 중요한 연구적 기반을 제공함

- 드럼형 원심모형시험기는 아래와 같이 다방면의 연구에 적용 가능함
 - 100m 이상의 긴 활동영역이 필요한 제방, 사면 및 토석류의 홍수 시 안정성 평가
 - 200g의 중력장을 가하여 정규압밀 지반을 모사할 수 있는 연약지반 안정성 평가
 - 100m 이상의 깊은 대수심에 대하여 최대 880m의 지반에 대해 다양한 실험 가능

제 2 절 구축 필요성 및 시급성

1. 구축 필요성

□ 빔형식 원심모형시험기의 제한적 활용

- KOCED 1단계 구축 시 도입된 빔(Beam) 형식의 원심모형시험기는 최대 2,400kg의 모형에 100g의 중력장을 적용할 수 있는 240g-tons 규모로 적용 가능한 중력장과 토조 크기의 한계로 인하여 장기간 거동이 중요한 지반 문제나 광범위한 지반 모사가 필요한 문제에 대해 활용에 제한이 있음

□ 지반공학 전 분야에 걸친 모형시험 수행 가능

- 성능 개선 시 도입될 드럼형 원심모형 시험기는 600g-tons 규모로 시간 상사법칙에 의해 장기간 거동이 중요한 지반문제에 대해 실험 소요시간을 획기적으로 단축시킬 수 있어 지반공학 분야의 다양한 연구 수행 가능
- 또한, 총 4.4m의 길이를 모델링 할 수 있으며 이는 최대 880m (200g 적용)의 활동영역을 모사할 수 있어 활동영역이 광범위한 산사태, 토석류, 해저사면안정 등과 같은 지반분야로 연구 확장이 가능함
- 기존 빔 형식 원심모형시험기와 더불어 드럼형 원심모형시험기가 설치될 경우, 지반공학 전 분야에 걸친 모형실험이 수행가능하게 됨
- 국내 모형시험 분야 전반에 선도적인 연구 기반을 제공할 수 있음

□ 연구인프라 확장 가능

- 드럼형 원심모형시험기는 빔형 원심모형시험기에 비해 작은 규모로 고중력장을 모사할 수 있어 운용이 비교적 간편하고 실험준비시간이 짧으며 소규모 인력으로 실험이 가능하여, 이를 통해 상대적으로 연구인프라가 취약한 중소기업, 대학 등의 연구지원이 가능함
- 2단계 실험시설 기획시 실험시설로 구축하지 않고 기존 1단계 실험시설에 장비를 추가하여 운용하면, 실험수요를 창출하고 장비활용률을 제고하는 데에 시너지작용을 할 수 있음

2. 시급성

□ 국내 원심모형시험기 현황과 드럼형 시험기 구축의 무한한 잠재력

- 드럼형 원심모형시험기는 국내에 전무한 실정이며, 현재 대우건설기술연구소, KAIST 및 수자원공사 연구원(K-water)에 빔(Beam) 형식의 원심모형시험기가 설치, 운영되고 있음
- 대부분 국가에서 지반관련 연구에 대규모 원심모형실험시설을 적용하고 있음. 국내에서도 분산공유 1단계 사업에서 구축된 [지오센트리퓨지 실험시설]을 적극 활용해야 할 것임
- 드럼형 원심모형시험기는 이와 같은 토조 크기의 제약을 극복하며 빔형 원심모형 시험기보다 2배 이상의 중력장을 안정적으로 구현할 수 있음. 드럼형 원심모형시험기는 해외의 관련 연구기관에서 많은 기관에서 보유하고 있으며 특히, 선도기관인 영국 Cambridge대학, 호주 UWA COFS에서 빔 형식과 함께 드럼형 원심모형시험기를 함께 보유하고 있음
- 1단계 사업을 통해 기 구축된 장비 운용 노하우를 가지고 있는 기관에 드럼형 장비가 조속히 구축될 경우, 다양한 지반공학 분야 연구 수요를 모두 흡수할 수 있는 폭발적인 잠재력을 지니게 됨
- 이를 통해 해외의 선도적인 연구기관들과 수 년 내 어깨를 견줄 수 있는 초석이 됨

□ 지반공학 미래지향적 핵심어 예측과 신속한 대비

- 지반공학의 전 분야에 걸친 다양한 연구수요를 반영한 미래지향적 공동연구장비 확충 필요
- 세계적인 기후변화에 의하여 최근 홍수 발생 및 규모가 현저히 증가하고 있으며 홍수로 인한 산사태, 토석류 등에 국가적인 대비가 필요하며, 드럼형 원심모형시험기는 관련 분야 연구에 중요한 수단을 제공함
- 드럼형 원심모형시험기는 광범위한 해저사면 및 해저 공간을 모델링할 수 있어 전 세계적인 해양 공간 활용과 수요 증대에 대한 연구 기반을 제공함
- 미래의 기후변화에 따른 방재 및 극한상태에 대한 연구, 해양 공간 활용 연구 등을 위해서 건설기술 및 지반공학분야는 이제 연구를 위한 연구가 아닌, 공공·공익적 기술개발 지원과 사회적 이슈 해결을 위해 필수적인 분야가 되고 있음
- 이를 위해 정부주도의 지반공학 분야 연구 인프라 확충이 절실하며 건설기술의 실용화 촉진을 위한 관련 인프라의 공동활용 촉진 필요
- 지반공학 분야의 드럼 원심모형시험기의 수요는 급진적으로 증가할 것으로 예상되며, 이 2단계 사업의 추진이 지연시 해외 선도 연구시설에서의 시험이 불가피하고

이 경우 관련 기술의 유출은 물론 외화낭비 우려됨

- 이러한 잠재적 미래 수요를 대비하기 위하여 조속히 국내 최초의 드럼형 원심모형 시험기가 도입되어야 함

제 3 절 활용분야 및 범위

1. 드럼형 원심모형시험기의 특징 및 장점

- 드럼형 원심모형시험기 도입 시 기존 시설인 빔(beam) 형식 원심모형시험기에 비해 다음 표 1.3.1과 같은 장점이 있음.

<표 6-1> Drum 원심모형시험기 특징

특 징	장 점
Beam 타입 원심모형시험기에 비해 작은 규모	<ul style="list-style-type: none"> - 운용이 비교적 간편해 실험준비시간이 짧음 - 소규모 인력으로 실험 가능 - 장시간 실험이 가능하여 연약지반과 같이 장시간 압밀과정이 필요할 실험에 용이
고응력장(200g) 모사	<ul style="list-style-type: none"> - 대형 구조물 모사 가능 - 높은 상사비로 연약지반 압밀시간 단축 - 높은 상사비 적용으로 넓은 실험 공간 확보
넓은 모형지반 조성	<ul style="list-style-type: none"> - 긴 활동영역에서 나타나는 지반관련 문제 모사가능 - 동일 지반에 다수의 실험 수행가능: 매개변수 연구 수행 가능
드라이브 Shaft 와 Central shaft 의 분리	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 교체를 위한 실험 중단과정 없이 실험 수행가능: 실험 시간 단축, 복잡한 실험 프로세스 구현, 반복실험 시 지반 균질성 확보

2. 지반공학 전 분야에 걸친 다양한 활용 분야

□ 사면, 댐 분야

- 활동 면이 긴 사면의 파괴 거동 메커니즘 규명
- 토석류와 같이 홍수 시 발생하는 사면활동에 대한 거동 특성 평가
- 해저사면 파괴와 연계한 쓰나미 발생 메커니즘 연구

□ 연약지반 분야

- 중장기 실험이 필요한 압밀 및 지반개량 거동 특성 평가
- 성토와 같은 단계적 하중 프로세스 모사 실험
- PVD, DCM, Sand drain, Sand mat, Geogrid mat 보강 공법 등의 적용성 평가

□ 기초구조물

- 복잡한 하중을 받는 기초구조물의 설계
- 반복 하중을 받는 구조물의 설계
- 대형 구조물의 지지력 평가

□ 해양 구조물

- 심해에 설치되는 하부 기초의 거동평가
- 복잡한 하중 프로세스 구현
- 동일지반에 다중 실험구현이 가능하여 반복적 Parameter study
- Suction 기초, pipeline, jack-up leg, Anchor-chain, 해저면 사면 붕괴 등

□ 지반환경

- 지반내 오염물질의 이동 및 확산거동 평가용이
- 지반내 오염수 투수 및 확산 과정

□ 폭발물

- 주요 사회기반시설 테러 안전성 규명

□ 신공법 개발

- 새로운 설계 기법의 검증 실험
- 신재생에너지 기술 등

제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향

1. 연구개발 및 기술 동향

가. 국내 동향

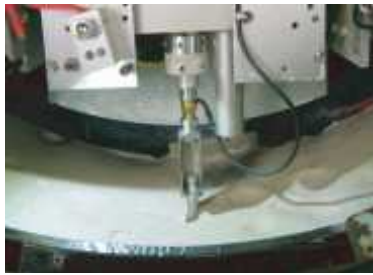
- 해당 사항 없음(국내에서 보유하고 있는 해당 연구장비 없음)
 - 드럼형 원심모형시험기는 국내에 전무한 실정임
 - 빔형 원심모형시험기는 현재 대우건설기술연구소, KAIST 및 수자원공사 등에 설치, 운영되고 있음

나. 국외 동향

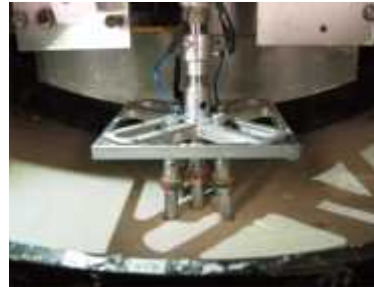
- 해외의 선도적인 드럼형 원심모형시험시설에서는 연약지반 정규압밀 실험, 토석류, 사면파괴 시 지반의 거동 평가, 대수심 및 해양지반 실험, 다양한 톨킷을 이용한 건설 과정 모사 등의 연구가 아래와 같이 수행되고 있음

- 연약지반 정규압밀 실험 가능
 - 원심력장에서 연약지반을 조성이 가능하기 때문에 모든 깊이에 대하여 OCR=2 의 과압밀 점토지반을 조성. 단말뚝과 군말뚝의 끝단 조건(열림/단함)에 따라 축방향 하중에 대한 변위거동을 분석함³⁾
 - 실험 샘플에 대해 넓은 면적을 가지고 있어서 동일하게 조성된 지반에 많은 갯수의 단/군말뚝에 대한 실험 수행이 가능. 알루미늄으로 제작된 모형 말뚝을 각각 단말뚝, 군말뚝을 설치함. 군말뚝의 경우 말뚝간격/말뚝직경 비율을 각각 2, 3, 4로 변화시키면서 연구를 수행함
 - 연약지반에 설치된 단/군말뚝 각각의 축하중에 대한 저항성과 변형에 대한 저항성(강성)을 말뚝 끝단의 면적비, 간격비가 미치는 영향을 평가함. 본 연구를 통해 PCC말뚝(주조 콘크리트 파이프형 말뚝)을 사용한 지반개량의 효과성을 검증함

3) Xu, X., Lehane, B.M., Gaudin, C., Zhang, T., & Liu, H.L. (2006). Centrifuge studies of single and group displacement piles in clay. Physical Modeling in Geotechnics - 6th ICPMG, 895-900



(a) 단말뚝 관입 실험



(b) 균말뚝 관입 실험

[그림 6-1] 연약지반 조성 후 말뚝 관입 실험 사진

□ 토석류, 사면파괴, 해저사면 문제 등

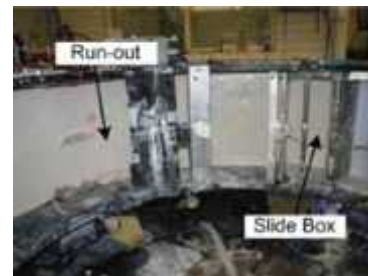
- o Boylan(2010) 은 UWA 대학에 위치한 드럼형 센트리피지를 이용하여 대수심 지반의 슬라이딩 현상을 재현함. 모형모델의 크기는 깊이 45mm, 너비 300mm, 그리고 길이가 3.48m로 100g의 중력장에서 실험수행 시 깊이 4.5m, 너비 30m, 길이가 348m 인 실제 해양 지반을 모사할 수 있음.4)
- o 드럼형 센트리피지는 높은 중력장을 장시간 재현할 수 있으며 이로부터 정규압밀 연약지반 조성이 가능함. T-bar 관입시험을 이용하여 모형지반의 비배수 전단강도 측정 결과 깊이별 유사한 비배수 전단강도 값이 계측되었음을 확인함.
- o 포화된 연약지반 위로 점토의 슬라이딩 발생 시 과잉간극수압이 발생하며 그동안 하부지반의 압밀과정이 진행됨. 이 압밀 과정 후 기존의 상태보다 더 낮은 함수비와 간극비를 갖는 지반상태가 되며 이로부터 더 큰 강도값을 갖게 됨을 평가함.



(a)UWA 드럼센트리피지



(b) 실험 단면



(c) 모형지반 및 토류 장치

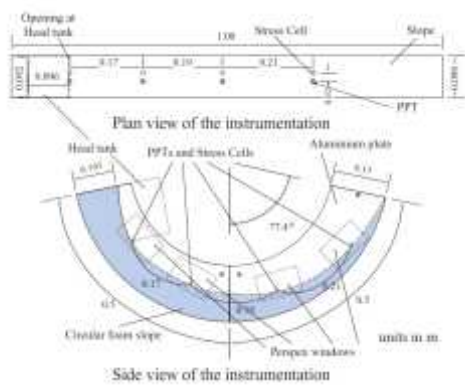
[그림 6-2] 대수심 지반의 슬라이딩 현상

- o Gue(2010)은 해양지반에서의 토석류 흐름에 관한 드럼형 센트리피지 실험을 수행함. 깊이 0.105m, 길이 1m 의 포화지반을 조성한 후 30, 40, 50, 60g의 중력장 상태

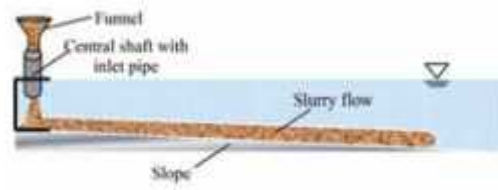
4) N.Boylan, C.Gaudin, D.J.White & M.F. Randolph (2010) Modelling of submarine slides in the geotechnical centrifuge, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics (7th ICPMG), 1095-1100

에서 유량과 유속을 평가함. 상사비를 고려하면 이는 30, 40, 50, 60m 의 긴 현장지반을 모사할 수 있으며 중력장 상태에서 지반을 조성하기 때문에 정규압밀의 지반 조성이 가능함.⁵⁾

- 지반의 슬라이딩에 따라 과잉간극수압이 발생하는데 다른 중력장 상태에서 시간에 대한 상사비를 적용 시 모두 동일한 시간부터 과잉간극수압이 발현됨을 관찰함.
- 지반의 흐름에 대한 시간 상사비 N^2 , 흐름 거리에 대한 상사비 N^3 을 적용하면 모든 중력장 상태에서 시간 대 거리의 비율이 선형임을 확인하였으며 기울기, 즉 지반의 흐름 속도가 동일함을 확인함.



(a) Slurry 흐름 장치 및 실험 단면



(b) 실험 현상 모식도

[그림 6-3] 해양지반에서의 토석류 흐름 상사비 검증 실험

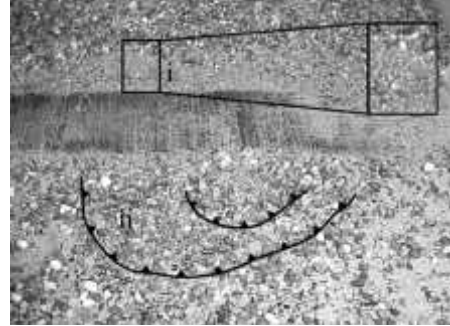
- Bowman(2010)은 토석류 현상을 드럼형 센트리퓨지에서 수행하였으며 토석류가 발생하는 경사에 대해 길이 600mm, 폭 200mm 의 경사를 알루미늄으로 재현함. 200g의 중력장에서 실험을 수행할 계획이며 이는 길이 120m, 폭 40m 의 경사를 재현할 수 있음. 본 실험에 앞서 40g에서 예비실험을 수행하였으며 토석류의 점성은 상사비를 고려하지 않고 물을 사용함.⁶⁾
- 실험 결과로부터 토석류의 현상을 초고속 카메라로 관찰할 수 있었으며 토석류로 인한 지반 입자의 재배치를 직접 관찰함. 이는 실제 토석류 현장에서 관찰한 현상과 동일함을 알 수 있었음.
- 한편 상사비를 고려하지 않고 물을 사용하였기 때문에 빠른 수압 변화, 빠른 유속으로 인하여 초고속 카메라를 이용하였음에도 불구하고 계측 시간이 매우 짧아 본 실험에서는 점성을 고려하여 토석류를 재현해야 함을 확인함.

5) C.S.Gue, K.Soga, M.D. Bolton and N.I. Thusyanthan (2010) Centrifuge modeling of submarine landslide flows, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics (7th ICPMG), 1113-1118

6) E.T.Bowman, J.Laue, B.Imre, A.Zweidler & S.M.Springman (2006) Debris flows in a geotechnical centrifuge, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics (6th ICPMG), 311-316



(a) 토석류 실험 모습



(b) 토석류 후 지반 입자의 재배열 모습

[그림 6-4] 토석류 재현 실험

□ 대수심 및 해양지반 실험

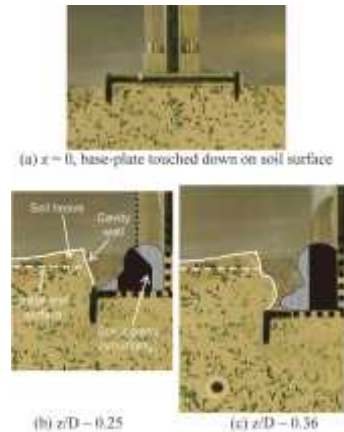
- 심해 연약지반에 설치되는 Skirted 기초의 지지력 평가를 위해 원심모형실험이 수행됨. 드럼센트리퓨지를 이용하여 전면이 유리로 된 토조에 정규 압밀로 연약지반을 조성하였으며, Skirt 기초를 반단면으로 제작하여 연약지반에서의 기초 지지력 계수 및 지반 파괴 메커니즘을 실험적으로 확인.⁷⁾
- 드럼센트리퓨지를 이용해 100g 환경에서 4일간 슬러리 상태의 점토를 정규압밀시켜 지반 조성. 지반 물성 평가를 위해 T-bar 실험을 추가로 실시하였으며, 기초의 하중 변위 실험 및 카메라와 벽면 유리를 통해 지반 파괴 메커니즘 확인.



(a) Skirted 기초 실험 전경
(카메라, 사각 토조)



(b) Skirted 기초 모델
(반 단면, 전 단면)

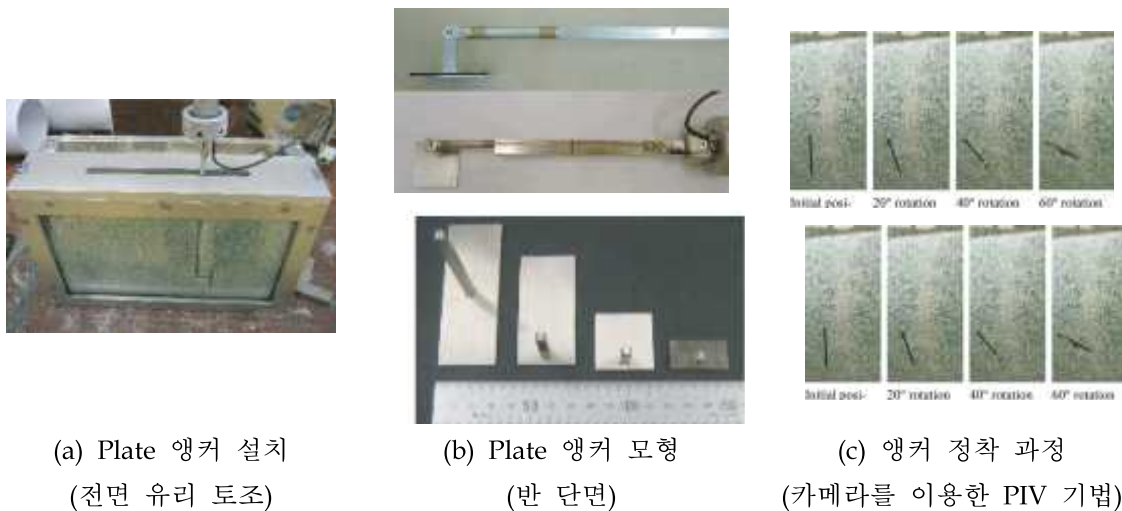


(c) 기초 관입에 의한 지반 파괴
(카메라를 이용한 PIV 기법)

[그림 6-5] 드럼센트리퓨지를 이용한 연약지반에 설치되는 Skirted 기초의 지반거동 특성 평가

7) Gourvenec, S. & O'Loughlin, C.D. (2006) Drum centrifuge tests of shallow skirted foundations on soft clay, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics (6th ICPMG), 645-650

- 심해 연약지반에 석션 관입 기법을 이용해 Plate 앵커를 목표심도에 관입할 때, Plate의 정착 깊이를 산정하는 연구를 드럼형 센트리퓨지를 통해 연구함. 일반적으로 석션 관입을 통해 Plate 앵커를 목표 심도에 관입 시킬 때, 지반교란과 설치 후 앵커가 정착하기 위해 회전하여 발생하는 정착 깊이 감소가 문제시 됨. 지반 교란의 경우, 시간 경과 시 압밀과정을 통해 본래의 강도를 회복하나, 정착 깊이의 감소는 앵커의 지지력을 줄이는 효과가 있기 때문에 이에 대한 연구를 진행 함⁸⁾
- UWA의 드럼형 센트리퓨지를 이용해 100g 환경에서 점토 슬러리를 4일간 압밀하여 약 120mm 높이의 정규 압밀 된 점토지반을 조성함. 지반 비배수 전단강도는 T-bar를 이용하여 측정되었으며, 깊이에 따라 $su = su_0 + 0.7z$ (kPa)인 지반임을 확인
- 전면이 유리로 되어 있어 앵커의 거동을 2차원적으로 확인 할 수 있도록 함. 전면 에 Canon S50 카메라를 설치하여 실험 중 앵커의 거동을 연속적으로 촬영하였음. 앵커는 1g 상태에서 지표면으로부터 90mm 깊이까지 관입하였으며, 100g 환경에서 앵커 인발 실험 실시. 실험변수는 앵커의 크기(L/B), Padeye 편심 길이로 설정하여 각각 앵커의 정착 깊이를 확인함
- 앵커의 회전 및 정착과정에서 발생하는 하중(전단, 수직, 모멘트)을 토대로 흙의 소성론에 근거한 파괴면을 제시하였음. 최종적으로 앵커의 정착 깊이 감소 효과를 최소화하기 위하여 Padeye 편심 길이를 사용앵커 폭 이상으로 사용하도록 제안함



[그림 6-6] 드럼센트리퓨지를 이용한 연약지반에 설치되는 Plate 앵커의 거동특성 평가

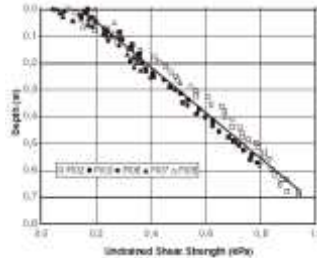
- 매우 연약한 점성토 지반에 설치되는 파이프라인의 거동을 분석하기 위해 원심모형실험이 수행 됨. 깊이에 따라 목표 비배수 전단강도가 커지는 지반을 모사하기

8) O'Loughlin, C.D., Lowmass, A., Gaudin, C. & Randolph, M.F. (2006) Physical modelling to assess keying characteristics of plate anchors, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics(6th ICPMG), 659-665

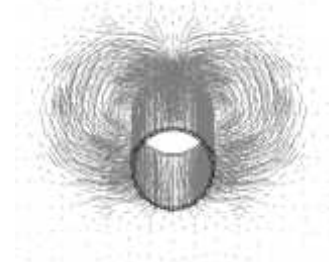
위해 드럼형 센트리퓨지가 사용 됨. 점토를 이용해 정규 압밀된 모형지반을 조성하고, T-bar를 통해 깊이에 따른 비배수 전단강도를 계측하여 목표 모형지반에 대한 특성(함수비-비배수전단강도-액성한계 관계)을 분석하고, 파이프라인-지반 상호작용에 대한 연구를 수행9)



(a) T-bar



(b) 깊이에 따른 비배수 전단강도 (T-bar 이용)



(c) T-bar 관입에 의한 지반 변형 특성 (수치해석)

[그림 6-7] 초연약지반에 설치되는 파이프라인 거동 특성을 위한 지반 강도 특성 분석

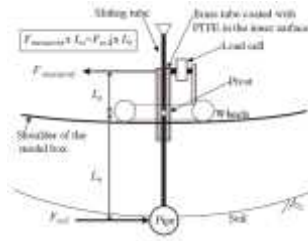
- o 심해 석유, 가스 추출을 위한 파이프라인은 자원 추출 중 큰 온도변화에 영향을 받으며, 이에 따른 수축/팽창 거동으로 구조물이 해저면에서 수평방향으로 변위를 유발시킴. 구조물의 좌굴파괴를 막기 위해 지반-파이프라인 상호작용에 의한 거동평가가 수행됨¹⁰⁾
- o Cambridge 대학의 Mk 소형 드럼형 센트리퓨지를 이용하여 지반-파이프라인 상호 거동 연구가 수행되었음. 드럼형 센트리퓨지 챔버에 거치될 수 있는 곡면형 토조가 활용되었으며, 반복적으로 파이프라인에 수평하중을 재하 할 수 있는 시스템을 구축하여 원심모형실험 가속 중 파이프라인 모형에 반복적으로 수평변위를 유발시킴 (최대 11inch 변위 유발 가능)
- o 100g 환경에서 슬러리 상태의 점토를 주입하고 정규압밀을 유도함. 최종 압밀이 완료되면 실험을 종료하고, 파이프라인 모형과, 하중 재하 장치를 설치 후, 15g 환경에서 수평하중 재하 실험을 실시함
- o 실험을 통해 하중-변위관계를 도출하고, 파이프라인의 수평 거동메커니즘을 분석하였으며, 원심모형실험 결과는 현장 실험 결과와 비교되었음

9) Oliveira, J.R.M.S., Almeida, M.S.S., Marques, M.E.S. & Almeida, M.C.F. (2006) Undrained strength of very soft clay soils used in pipeline studies in the centrifuge, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics(6th ICPMG), 1355-1360

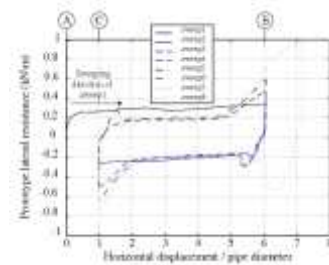
10) Cheuk, C.Y. & Bolton, M.D. (2006) A technique for modelling the lateral stability of on-bottom pipelines in a small drum centrifuge, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics(6th ICPMG), 715-721



(a) 파이프라인 실험 시스템
(전면 유리 토조)



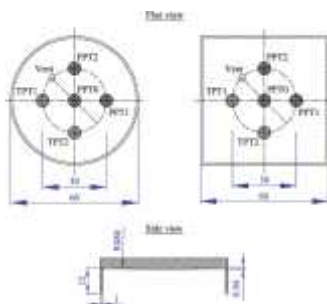
(b) 수평하중 재하시스템



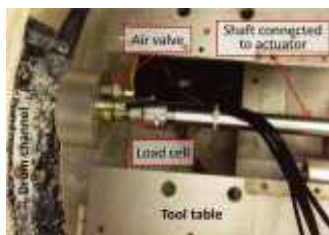
(c) 수평하중-변위 관계

[그림 6-8] 드럼센트리퓨지를 이용한 연약지반에 설치되는 파이프라인의 거동특성 평가

- o 일부 과압밀 된 점성토에 설치된 Skirted 기초의 인발 속도에 따른 지지력을 드럼 센트리퓨지를 활용하여 평가함. 원형 및 사각형 skirted 기초에 대해 인발하중이 재하 되었을 때 발생하는 석션압과 이에 따른 지지력 향상 정도를 평가하였음. 최종 적으로 흙의 빠른 속도로 하중이 재하 되었을 때 점성 효과를 고려한 기초의 Backbone 곡선을 도출¹¹⁾
- o UWA 1.2m 반경의 드럼형 센트리퓨지를 사용하여 200g 환경에서 실험이 실시되었 음. 정규압밀을 위해 4일간 슬러리를 압밀하여 최종 120mm 가량의 약간 과압밀 된 정규압밀 모형지반을 조성하고 T-bar를 통해 지반 물성을 평가하였음
- o 지반 압밀 후, 모형 기초는 1g에서 설치되었으며, 200g 환경에서 다양한 속도로 기 초가 인발 됨. 인발동안 기초 변위, 간극수압 분포, 지지력을 각각 계측하여 인발 속도에 따른 기초의 거동특성을 확인함
- o 하중 속도에 따른 정규화 곡선을 통해, 실험 수행 조건 내에서 흙의 점성을 고려한 Backbone 곡선식을 제안함



(a) 원형 및 사각형 Skirted 기초 모형 단면



(b) 기초 설치 시스템

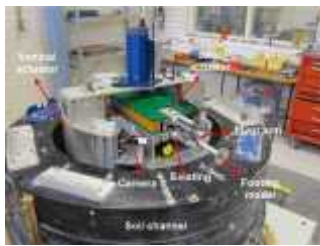


(c) 기초 인발후 지반 파괴 형상

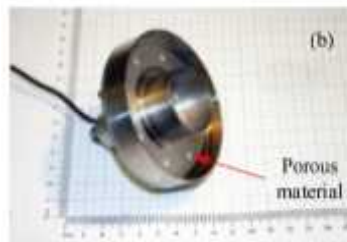
[그림 6-9] 연약지반에 설치되는 Skirted 기초의 인발 속도에 따른 지지력 특성 분석

11) Li, X., Gaudin, C., Tian, Y. & Cassidy, M.J. (2014), Rate effects on the uplift capacity of skirted foundations on clay, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics(8th ICPMG), 473-479

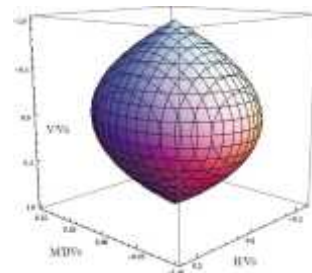
- 심해 자원 채취를 위한 구조물 설치를 위해 석션기초와 Skirted 기초가 결합된 복합형 기초가 활용될 수 있음. 특히 심해 기초는 해양환경하중에 의한 복합하중이 재하되며, 조합하중을 고려한 복합형 기초의 지지력을 평가하는 연구가 드럼형 센트리피지를 통해 수행 됨. 12)
- UWA 기관에서 드럼형 센트리피지 실험 중, 연직, 수평, 모멘트 하중을 개별적으로 재하 할 수 있는 시스템을 구축하고 In-flight 상태에서 지지력 실험을 수행 함.
- 정규압밀 된 점토지반은 조성하고, 하중 방향에 따른 지지력을 평가하여 최종적으로 조합하중에 대한 Yield Surface 곡선을 도출함.



(a) VHM 실험 시스템
연직(V), 수평(H), 모멘트(M)



(b) 복합형 기초 모형



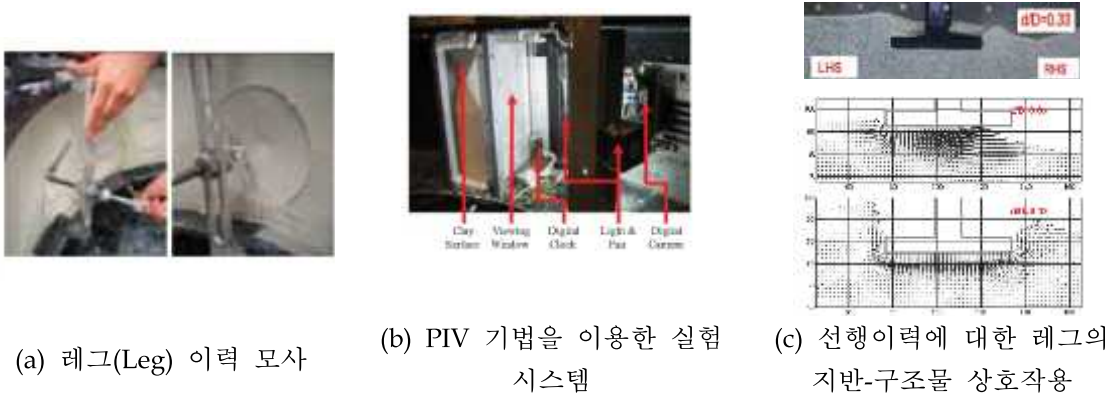
(c) 3차원 Yield surface
(조합하중)

[그림 6-10] 연약지반에 설치되는 복합형 기초의 VHM 지지력 특성 분석

- 잭업(Jack-up) 시스템이 설치 이력이 있는 해양 공간에 추가로 기초가 설치될 때, 선행 이력이 기초의 거동에 미치는 영향을 확인하는 연구가 수행됨¹³⁾
- 선행 이력으로 레그(Reg)의 형상이 남아있는 지반을 모사하여 인근에 기초구조물이 설치될 때, 선행 이력의 영향을 확인함. 드럼형 센트리피지를 이용하여 점성토를 300g 환경에서 선행 압밀하여 조성하였으며, 1g 상태에서 레그의 형상을 임의로 만들어 냄
- 250g 상태에서 본 실험이 수행되었으며, 선행이력 위치에서 구조물 크기의 1배 위치에 떨어진 곳에서 관입시험이 수행 됨. 이 때, 수직, 수평, 모멘트 하중을 계측하여 변위에 따른 거동 특성을 평가함
- PIV(Particle Image Velocimetry) 기법을 활용하여 선행 이력이 새로운 레그의 관입 거동에 미치는 영향을 시각적으로 분석 평가하였음

12) Cheng, N., Gaudin, C., Cassidy, M.J. & Bienen, B. (2014), Centrifuge study of the combined bearing capacity of a hybrid foundation system, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics(8th ICPMG), 487-492

13) Kong, V.W., Cassidy, M.J. & Gaudin, C. (2010). Jack-up reinstallation near a footprint cavity, Proc. of Int. Conf. of Physical Modeling in Geotechnics(7th ICPMG), 1033-1038

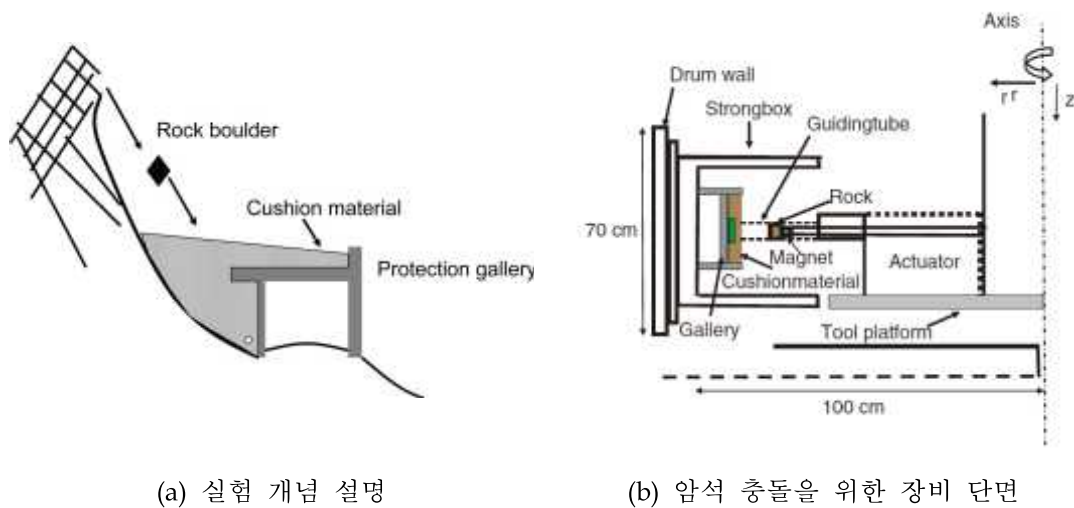


[그림 6-11] 선행 설치 이력이 있는 연약지반에 설치되는 잭업(Jack-up) 구조물의 거동 특성 평가

□ 다양한 건설 과정 및 Tool kit 사용

- Chikatamarla et al.(2006) 는 산사태로 인한 암석의 충격을 흡수재에 대하여 드럼 센트리퓨지를 이용하여 성능을 평가하였음. 빔 형태의 센트리퓨지에 비해 관입 장비 및 기타 장비 교체가 용이한 드럼형 센트리퓨지에서는 지반 모델에 동일 충격장이 가해지고 있는 상태에서 암석의 충격 장비 교체가 용이하고 다양한 지반 모델을 동시에 조성할 수 있음¹⁴⁾
- 구조물 모형에 압전센서, 변형률 게이지, 로드셀, 가속도계 등을 통하여 충격 방지재를 통하여 감소된 에너지를 측정하고 약 10개의 충격 흡수재를 동일한 실험을 통하여 효율성을 평가하였음
- 충격방지재의 성능은 충격 가속도의 감소 시간을 증가시켜 에너지의 분산을 유도함. 또한 신재료의 사용으로 구조물에 작용하는 하중을 감소시키며 에너지 흡수를 통하여 변형을 최소화 시키는 것으로 평가함
- 드럼형 센트리퓨지는 원심력장의 중앙부에 다양한 장비 교체가 용이하고 빔형태의 센트리퓨지에 비해 소규모의 실험이 용이하여 연구목적의 다양한 변수 실험이 가능함

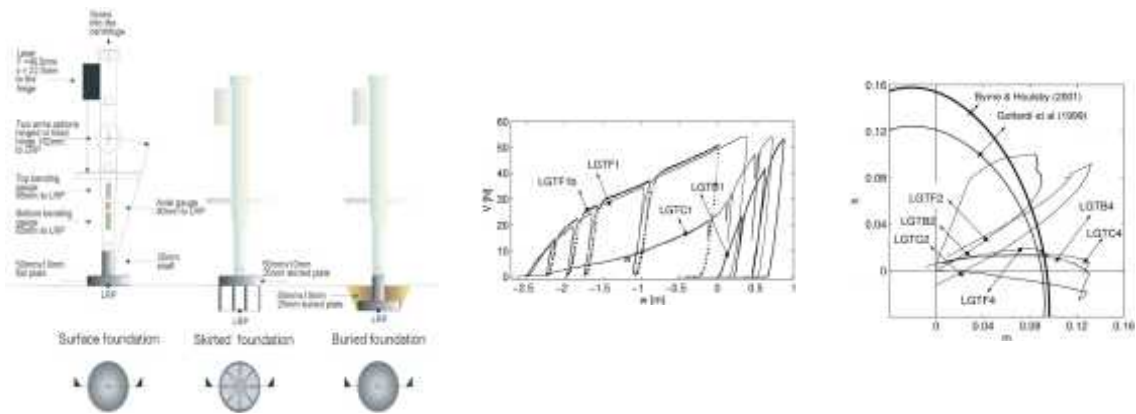
14) R. Chikatamarla, J.Laue & S.M. Springman. (2006). Modelling of rockfall on protection galleries. Physical Modeling in Geotechnics - 6th ICPMG, 331-336



[그림 6-12] 산사태로 인한 암석의 충격을 흡수재 평가 실험

- o Govoni et al. (2006) 는 드럼 센트리피지를 이용하여 표면기초와 묻힌기초의 거동 평가를 수행하였음. 드럼 센트리피지는 인위적 중력장 생성 중 포화 사질토 조성이 가능하며 넓은 면적으로 인하여 다양한 모형모형을 동일 지반모델에서 동시에 수행이 가능함¹⁵⁾
- o 수직하중 및 휨 거동 평가가 수행되었으며 표면기초, 묻힌기초, Skirted 기초에 대하여 총 21번의 실험을 중력장 변화 없이 동일한 지반에서 평가를 하였음. 또한 지반의 상재하중 효과를 평가하기 위하여 다양한 수직 깊이로 기초를 관입 후 휨 거동 평가를 위한 하중 재하기로 관입기를 교체함. 이 때에도 중력장 변화 없이 장비의 교체가 가능하다는 점은 드럼 센트리피지의 장점으로 다양한 시공 현상 모사가 가능함
- o 이로부터 다양한 기초의 수직 하중을 평가한 후 휨 거동 평가를 통하여 한계상태에 대한 하중 조합을 구한 후 하중 경로를 획득하였음

15) L.Govoni, S.Gourvenec, G.Gottardi and M.J.Cassidy. (2006). Drum centrifuge tests of surface and embedded footings on sand. . Physical Modeling in Geotechnics - 6th ICPMG, 651-657



(a) 말뚝 실험 모형 모델 (b) 단말뚝 관입 하중-침하 관계 (c) 회전-수평 하중 응력 경로

[그림 6-13] 표면기초와 묻힌기초의 거동 평가 수행

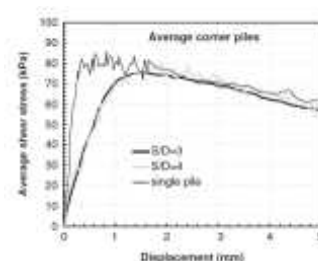
- o C.Gaudin and B.M. Lehane (2006) 는 드럼 센트리피지를 이용하여 단말뚝 및 군말뚝의 지지력 평가를 수행하였음. 드럼 센트리피지는 장비를 멈추지 않은 채로 다양한 장비를 교체할 수 있는 점이 장점으로 단말뚝 및 군말뚝의 설치 시 중력장에 따른 인발력 평가를 수행하였음¹⁶⁾
- o Ng 상태의 중력장에서 관입한 단말뚝의 인발력은 1g 상태의 군말뚝(말뚝 5EA)의 인발력과 유사한 값이 측정되었음. 빔형태의 센트리피지에 비하여 넓은 모형지반을 갖고 있기 때문에 한번의 지반 모델 조성으로부터 5번의 실험 수행이 가능함



(a) 군말뚝 모형



(b) 분리형 로드셀



(c) 단말뚝 및 군말뚝 하중-침하 곡선

[그림 6-14] 단말뚝 및 군말뚝의 지지력 평가

16) C.Gaudin and B.M. Lehane (2006). Centrifuge modeling of pile groups in sand. Physical Modeling in Geotechnics - 6th ICPMG, 835-840

다. 소결

□ 해외연구동향 파악 및 드럼형 원심모형시험장비의 활용성

- 기존 선행 실험 수요 조사 결과, 드럼형 원심모형시험장비, 센트리퓨지는 지반분야에 다양하게 적용되고 있는 것으로 나타났으며, 적용 사례를 통해 다음과 같은 장점을 가지고 있는 것으로 분석됨
 - 대단위, 대단면에 대한 축소 모형실험이 가능하여 해저사면 붕괴와 같이 활동면이 넓은 연구에 유용하게 활용이 될 수 있음
 - 고속회전으로 높은 축소비로 지반을 모사할 수 있기 때문에 연약지반과 같이 압밀과정이 필요한 경우 지반 조성에 소요되는 시간을 크게 단축시킬 수 있으며 ($1/N^2$, N은 축소비), 장시간 실험이 가능하기 때문에 장기거동 파악에도 유용하게 활용될 수 있음. 높은 축소비는 대형구조물에 대한 모사를 가능하게 하며 해양 구조물과 같이 대규모 구조물 거동 특성 평가에 유용할 수 있음
 - Tool Box 도입으로 드럼 센트리퓨지 회전 중에도 실험 장비를 교체할 수 있는 장점이 있음. 이는 복잡한 시공과정의 모사가 요구되는 실험에 대해 탁월한 이점이 될 수 있음
 - 넓은 모형지반 (드럼 센트리퓨지 둘레에 해당하는)으로 넓은 실험공간이 확보되어 다양한 매개변수 실험을 수행할 수 있음. 이는 설계 변수를 최소화 할 수 있는 장점이 있어 신뢰성 높은 연구결과를 도출 할 수 있음

□ 드럼형 원심모형시험장비의 장점과 수요

- 선행 연구 사례 조사를 통해, 대단위 면적 확보, 장시간 실험 가능, 높은 축소비, 시공 공정 모사, 연약지반 모사 등이 빙형 센트리퓨지에 비해 장점이 있음을 확인. 또한, 빙형 센트리퓨지에 비해 낮은 실험 비용으로 국내 수요가 증가 될 수 있을 것으로 판단됨
- 해외 연구 사례를 통해 국내에 드럼형 센트리퓨지의 도입 시 다음과 같은 연구 분야의 창출이 가능할 것으로 기대됨
 - 대단위 활동 : 단시간 강우에 의한 사면 토석류 거동 분석
 - 높은 축소비 : 초고층 구조물의 지반-기초 상호작용, 연약지반 지반 개량 관련
 - 장시간 실험 가능 : 연약지반 압밀 특성 평가, 반복하중에 영향을 받는 해양 구조물 거동
 - In-flight Tool kit 교체 : 제방 축조, 말뚝 시공, 댐 건설, 터널, 발파와 같은 단계 시공
 - 대단면 : 해양 구조물 거동 평가, 신공법 평가 (기존 공법과 상호 비교), 신기술 검증 등

□ 드럼 센트리퓨지와 건설 분야의 미래

- 해외 센트리퓨지를 운영 중인 기관의 경우, 대부분 빔형과 드럼형 센트리퓨지를 함께 보유하고 있으며, 각각의 이점을 극대화 시켜 연구를 활발히 진행해 나가고 있음. 특히, 단일 기관에서 지반과 관련된 다양한 연구가 가능함으로써 한 국가의 연구 거점으로 자리매김하고 있음. 또한, 민관이 상호 공조하여 깊이 있는 연구를 수행해 나가고 있음
- 해외 센터의 실험 환경을 고려할 때, 국내의 드럼 센트리퓨지 도입으로 건설 분야 R&D 역량을 향상 시킬 수 있을 것으로 판단하며, 향후 세계 수준의 연구역량을 갖출 것으로 기대함

2. 시설·장비 구축현황

가. 국내 현황

- 해당 사항 없음(드럼형 원심모형시험기는 국내에 전무한 실정임)

나. 국외 현황

- 국외의 선도적인 연구기관에서는 다음 표들과 같이 드럼형 센트리퓨지를 보유하고 있음
- 각 표에 장비 개요와 보유기관, 주요 성능 등을 함께 기재함


- Drum centrifuge (University of Western Australia - Centre for Offshore Foundation Systems, 호주)

<p>장비명</p>	<p>Drum centrifuge</p>	<p>보유기관 (국가)</p>	<p>University of Western Australia - Centre for Offshore Foundation Systems (호주)</p>
<p>목적</p>	<p>원심 중력장을 가하여 실제 지반의 응력상태 모사</p>		
<p>규모/성능/사양</p>	<p>Diameter(m) : 1.2 Acceleration(g) : 400 Payload(kg) : 300 Capacity(g · ton) : 120</p>		
<p>특징</p>	<p>해양 및 대수심의 지반공학적 문제에 많은 연구를 수행하고 있음</p>		
<p>활용범위</p>	<p>해양 구조물 및 대수심 지반 공학 지반-구조물 상호작용 해양 케이블 및 파이프 라인 안정성 관입실험을 통한 지반 물성 평가</p>		
<p>비고</p>			
<p>장비 사진</p>			


□ Drum centrifuge (Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH), 스위스)

<p>장비명</p>	<p>Drum centrifuge</p>	<p>보유기관 (국가)</p>	<p>Swiss Federal Institute of Technology Zurich (스위스)</p>
<p>목적</p>	<p>원심 중력장을 가하여 실제 지반의 응력상태 모사</p>		
<p>규모/성능/사양</p>	<p>Diameter(m) : 2.2 Acceleration(g) : 440 Payload(kg) : 2000 Capacity(g-ton) : 880</p>		
<p>특징</p>	<p>40개의 데이터 계측 채널 지반내의 응력 분포 계측 가능 카메라로 사진 촬영 가능</p>		
<p>활용범위</p>	<p>계절 변화에 따른 사면 안정성 평가 연약지반 개량 공법 개발 수위 변화에 따른 제방 안정성 평가</p>		
<p>비고</p>	<p>Thomas Broadbent 社 제작 (UK)</p>		
<p>장비 사진</p>			

- Drum centrifuge (Alberto Luiz Coimbra Institute-Graduate School and Reserach in Engineering (COPPE), 브라질)

장비명	Drum centrifuge	보유기관 (국가)	Alberto Luiz Coimbra Institute-Graduate School and Reserach in Engineering, 브라질
목적	원심 중력장을 가하여 실제 지반의 응력상태 모사		
규모/성능/사양	Diameter(m) : 1.0 Acceleration(g) : 450 Payload(kg) : 200 Capacity(g · ton) : 90		
특징	회전축 각도 조정 가능		
활용범위	해양 파이프라인 안정성 관입실험을 통한 지반 물성평가 해양 점토지반 안정성, 지지력 평가		
비고	APV Baker 社 제작 (UK)		
장비 사진			

□ Mini drum centrifuge (Schofield Centre, University of Cambridge, 영국)

장비명	Mark II minidrum centrifuge	보유기관 (국가)	Schofield Centre, University of Cambridge, 영국
목적	원심 중력장을 가하여 실제 지반의 응력상태 모사		
규모/성능/사양	Diameter(m) : 0.74 Acceleration(g) : 471 Payload(kg) : Capacity(g · ton) :		
특징	이중 동축 회전축 구조		
활용범위	지반의 다양한 물성 평가 다양한 지반구조물의 거동 특성 평가		
비고	드럼의 내, 외각이 독립적으로 회전 가능 토양 모델의 회전을 멈추지 않고 중앙부 실험장치 조작 가능		
장비 사진			

다. 소결

- o 국내에는 드럼형 지오센트리퓨지가 존재하지 않으며, 해외 선도적 연구기관에서는 아래와 같은 성능수준을 가지는 드럼 원심모형시험장비를 운용중임

구분	장비명 (보유기관, 국가)	규격, 규모	성능, 사양		
		지름 (m)	Acceleration (g)	Payload (kg)	Capacity (g · ton)
국내	전무함				
국외	Drum centrifuge (University of Western Australia – Centre for offshore foundation systems, 호주)	1.2	400	300	120
	Drum centrifuge (Swiss Federal Institute of Technology Zurich-ETH, 스위스)	2.2	440	2000	880
	Drum centrifuge (Alberto Luiz Coimbra Institute-Graduate School and Reserach in Engineering - COPPE, 브라질)	1.0	450	200	90
	Mark II minidrum centrifuge (University of Cambridge, 영국)	0.74	471	N/A	N/A
최고 수준	드럼센트리퓨지의 규격 및 성능, 사양은 최고수준의 개념이 존재하지 않음. 규모의 경우 스위스 장비가 가장 크고 대용량임.				
		2.2	440	2000	880
최소요 구수준 (최고수준 대비)		0.74	200	750	150
		(최고수준 대비 33.6%)	(최고수준 대비 45.4%)	(최고수준 대비 37.5%)	(최고수준 대비 17.5%)

- 드럼센트리퓨지의 규격 및 성능, 사양은 최고수준의 개념이 존재하지 않으며, 사용 목적에 적합한 성능 설정이 중요함
- Global Top 10 규모와 성능을 가지는 요구수준을 만족하는 드럼형 원심모형시험장비를 구축하고자 함
- 이를 위해 $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ 용량 이상의 대규모 지반을 구현(Length 1445m, Width 130m, Depth 85m)하고 200g 이상의 높은 중력장을 구현하는 최소 요구 수준을 설정하고자 함

3. 종합분석

- 지반공학 분야에서의 원심모형시험장비는 현장과 동일한 응력조건 하에서 다양한 지반 및 구조물의 거동을 모사할 수 있는 첨단 장비임
- 국내에는 빙형 원심모형시험장비가 운용되고 있으며, 빙형에서 구현하기 힘든 중장기 거동, 복잡한 하중 또는 반복하중을 받는 구조물의 거동, 심해저에서의 기초거동 등을 효과적으로 모사할 수 있는 드럼형 장비의 도입이 절실한 상태임
- 이 분야의 세계적인 선도적 연구기관인 영국 University of Cambridge와 호주 University of Western Australia 에서는 모두 빙형과 드럼형 센트리퓨지를 함께 운영하고 있으며, 스위스와 브라질에서도 드럼형 장비를 이용한 연구를 활발하게 진행하고 있음
- 지반공학의 전분야에 걸친 다양한 연구수요를 반영한 미래지향적 연구장비 확충이 필요하며 이 분야의 미래지향적 핵심어를 예측하고 신속하게 대비해야 함
- 미래의 기후변화에 따른 방재 및 극한상태에 대한 연구, 해양 공간 활용 연구 등을 위해서 건설기술 및 지반공학분야는 이제 연구를 위한 연구가 아닌, 공공·공익적 기술개발 지원과 사회적 이슈 해결을 위해 필수적인 분야가 되고 있음
- 이에 미래 기술의 트렌드를 선도하고 관련연구수요를 흡수하기 위해 국내에 조속히 Global Top 10 규모와 성능을 가지는 드럼형 원심모형시험 장비를 도입해야 함

제 5 절 기존 시설·장비와 차별성

1. 장비의 중복성 검토(NTS 검색)

가. 장비구축 자체 검토의견

- 국내에는 드럼형 원심모형시험 장비가 전무함.
- 해외의 원심모형시험 분야 선도적인 연구기관에서는 빙형과 드럼형 시험장비를 함께 운영하고 있음
- 본 사업은 국정과제 16번 및 83번 즉, 국가 과학기술 혁신역량 강화와 총체적인 국가 재난관리체계 강화와 부합하며, 특히 세계 최초, 최고 기술개발을 위한 기초인프라 강화를 통한 기초, 창의연구 지원확대 방향에 부합
- 건설기술관리법에 따른 제5차 건설기술진흥기본계획('13~'17)에 따라 건설기술의 실용화 촉진을 위한 대형 실험인프라 구축 및 공동활용 방침에 부합
- 해당 부처의 R&D 발전전략('10년) 및 건설교통R&D 중장기계획('12)에 따라 기술성과 검증을 통한 R&D 성공확률 제고 위한 분산공유 인프라 구축 2단계 사업이 추진되고 있음
- 이에 1단계에서 구축된 빙형과 2단계의 드럼형 원심모형실험시설을 함께 운영하게 된다면, 모든 지반공학 분야에 대한 연구적 접근이 가능하며, 본 연구시설 장비 인프라 구축을 통해 관련 분야의 연구활성화가 기대됨

나. 국가연구시설장비 공동활용서비스 NTIS(<http://hfec.ntis.go.kr>) 검색 결과

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소) 활용목적분야	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표 성능 비교 (2~3개)	구축예정장비 신청기관의 자체 검토의견
1	지오센트리퓨지 장비 일체 (C72-2)	Actidyn	한국과학기술원	2009	3225	센트리퓨지, 원심모형, 지반구조물 모형, 드럼, Geotechnical centrifuge testing equipment	회전반경 5m, 최대용량 240g-tons (2400kg at 100g), 최대가 속도 130g	1단계 사업으로 구축된 빙 유형 지오센트리퓨지

2. 차별화 및 특성화 방안

가. 장비 구축 주안점

- 국내에 기 구축된 빙형 원심모형시험 장비(지오센트리퓨지)는 축소모형에 원심중력장을 적용시켜 실제와 동일한 응력장을 구현하는 실험원리가 동일함
- 그러나, 지반공학 분야 내에서 빙형과 드럼형 센트리퓨지는 그 활용 영역과 성능수준이 상이함
- 본 사업을 통해 1단계에서 기 구축된 빙형 시험장비와 연구분야 및 운용역량 측면에서 최대의 시너지를 낼 수 있는 성능수준을 가지는 드럼형 장비를 도입하고자 함

나. 차별성 및 특성화

- 드럼형 원심모형시험장비는 1단계에서 기 구축된 빙형 장비와 성능수준과 그 활용영역이 상이함<표 6-2>

<표 6-2> 빙형 및 드럼형 센트리퓨지의 성능수준 비교

	구분	1단계에서 기 구축된 빙형 원심모형시험장비	2단계 구축을 위한 드럼형 원심모형시험장비
지오센트리퓨지 본체의 성능수준	회전반경	5.0m	0.7~0.9m
	기타	Payload크기 1.2m×1.2m×1.2m	Twin Concentric Shaft technology (TCS)
	최대 모델적재 중량	2,400kg	3,000kg
	최대 용량	240g-tons	600g-tons
	최대 가속도	130g	200g
DAQ 시스템	기본 사항	NI PXI DAQ system (conditioning 장비 포함), NI LabVIEW 기반 통합 소프트웨어	200G Drum Tool Table
	채널 수	192 - 확장 가능 (64 V, 64 SG, 32 L, 62 A)	32

- 드럼형 지오센트리퓨지는 다음 <표 6-3>과 같이 드럼형 장비의 장점을 최대한 살릴 수 있는 활용 영역을 선정하여 특성화 하고자 함

<표 6-3> 빙형 및 드럼형 센트리퓨지의 활용영역

구분	1단계에서 기 구축된 빙형 원심모형시험장비	2단계 구축을 위한 드럼형 원심모형시험장비
활용영역	<ul style="list-style-type: none"> - 지반구조물의 방재성능 평가: 집중호우에 의한 하천 제방 붕괴위험도, 다양한 지반구조물의 동적거동특성 및 내진성능 평가 - 대형 사회기반시설의 기초구조물 성능 평가: 초장대교량, 초고층빌딩 기초 성능 평가, 새로운 개념의 기초 설계에 대한 실험적 검증 - 해양 구조물: 다양한 형태의 해양구조물의 지지력 평가, 관입거동 모사, 계류시설, 풍력기초설계 - 기타: 지반환경, 냉한지 지반거동, 굴착, 지반보강, 지반개량 	<ul style="list-style-type: none"> - 사면, 댐 분야: 활동 면이 긴 사면의 파괴 메커니즘 - 연약지반 분야: 증장기 실험이 필요한 압밀 및 지반개량 거동 특성 평가 - 지반보강 공법: PVD, DCM, Sand drain, Sand mat, Geogrid mat 등의 적용성 평가 - 기초 구조물: 복잡한 하중을 받는 기초구조물 및 반복 하중을 받는 구조물의 설계 가능. 대형 구조물의 지지력 평가에 활용 - 해양 구조물: 심해에 설치되는 하부기초의 거동평가, 복잡한 하중 프로세스 구현, 동일지반에 다중 실험구현 - 지반환경: 지반내 오염물질의 이동 및 확산거동 및 지반내 오염수 투수 및 확산 과정 평가 가능

다. 소결

- 국내에는 드럼형 원심모형시험 장비가 전무함, 최초 도입을 추진하고자 함
- 기 구축된 빙형 시험기와 함께 원심모형시험을 수행하게 될 경우 모든 지반공학적인 문제에 대한 실험적 연구가 가능함
- 빙형 및 드럼형 지오센트리퓨지를 같은 실험시설에서 활용하여 그 활용성을 극대화하고 지반공학분야 전반의 연구수요를 창출하는 데 기여할 것으로 기대됨

제 6 절 필요 장비 및 시설

1. 최소 요구 성능

- 원심모형시험기는 대표적인 지반 공학적인 문제를 증명하고, 교육하는 데 있어서 매우 효과적이고 경제적인 방법임
- 짧은 회전 팔과 드럼을 이용하는 작은 규모의 드럼 원심모형시험기는 상대적으로 대형 원심모형시험기보다 더욱 경제적이고, 빠르게 실험을 수행 가능
- 드럼 원심모형시험기는 상대적으로 팔의 길이가 작기 때문에 안정성 확보에 용이함
- 세계적으로 영국, 미국, 일본, 호주 등에는 최소 1대 이상의 드럼 원심모형시험기를 보유 하고 있으며, 이를 통한 연구 및 교육이 활발히 이루어지고 있음
- 드럼 원심모형시험기는 상대적으로 팔의 길이가 짧기 때문에 높은 중력장의 구현을 통해서 $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ 용량 이상의 대규모 지반을 구현할 필요가 있음
- 원심모형시험 수행 시, 다양한 건설 과정 및 지반 조성 과정을 모사하기 위해서는 추가 적인 건설 기술이 필요함(Twin Concentric Shaft technology).
- 드럼 원심모형시험기 구축을 위한 최소 요구 사항은 <표 6-4>와 같음

<표 6-4> 최소 요구 성능

구분	비고
Global Top 10 규모와 성능	<ul style="list-style-type: none"> • $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ 용량 이상의 대규모 지반을 구현 (Length 1445m, Width 130m, Depth 85m) • 200g 이상의 높은 중력장 구현
Twin Concentric Shaft technology (TCS)	<ul style="list-style-type: none"> • 원심모형시험기의 토조 회전 중 계측 및 관입장치 교체 • Main centrifuge drive shaft 와 second central shaft 의 분리
다채널 DAQ	<ul style="list-style-type: none"> • 32ch 200G Drum Tool Table

2. 최소 요구 시설·장비 성능

- 총 길이 1.0m이상의 드럼형 원심모형시험기의 설치를 위해서는 모델 조성 및 이동을 위한 공간을 포함하여 약 4m x 4m 이상의 여유 공간이 필요
- 드럼 원심모형시험기는 빠른 속도로 회전하는 장비로써, 시험기 하부 기초 바닥에 큰 진동이 유발 되므로 철근 콘크리트로 이루어진 단단한 바닥 조건 사용

- 드럼 원심모형시험 시 사용되는 토조는 높은 무게를 가지므로 이동 및 설치를 위해서는 크레인과 지게차의 이용이 필수적
- 드럼 원심모형시험기의 사용을 위해서는 원격으로 장비를 조절하고, 센서의 측정값을 평가하는 연구 지원 시설 필요
- 전력 공급 장치는 실험 장비 및 시설에 전력을 공급하는 시설로 강한 동력원을 이용하는 드럼 원심모형시험의 사용 시 안정적인 전력 공급 장치 설치
- 해양 지반 등 다양한 조건의 시험을 수행하기 위해서는 물과 공기의 공급이 필수적이며, 이를 위해서 유압 펌프가 함께 설치되어야 함
- 드럼 원심모형시험 시 문제가 발생할 경우에 많은 피해 발생이 우려되므로, 비상등을 비롯한 추가 안전시설이 요구됨
- 드럼 원심모형시험기 구축을 위한 최소 요구 시설은 <표 6-5>와 같음

<표 6-5> 최소 요구 시설

내용		비고
설치 공간		<ul style="list-style-type: none"> • 드럼형 • 4m x 4m 여유 공간 (토조 이동 공간 보유) • 철근콘크리트 바닥 사용
부대장치	크레인	• 기존 실험 공간과의 시료 및 실험 토조 이동
	미니 백호 또는 지게차	• 1 ton
	기타 공구	• 기본 소요 공구

- 다양한 지반 공학적 문제에 대한 효과적인 연구 및 교육을 위해서는 소규모의 드럼 원심모형시험기 필요
- 최근 세계적으로 건설된 드럼형 원심모형시험기는 전체길이가 1.0m 이상으로 경제성과 활용성을 고려할 경우 총 지름 1.4m (중심으로부터의 중력장 거리 : 0.7m) 정도의 드럼 원심모형시험기 건설 필요
- 높은 중력장에서도 다양한 계측을 위해서는 안정성이 확보된 다채널 DAQ 시스템 확보 필요.
- 드럼 원심모형시험을 위한 소규모 실험 공구 및 장비 필요
- 드럼 원심모형시험기 구축을 위한 최소 요구 장비는 <표 6-6>과 같음

<표 6-6> 최소 요구 장비

구분	내용	비고
원심모형시험기 (Centrifuge)	드럼형 원심모형시험기 (Drum Centrifuge)	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum Acceleration : 600g at 0.7m radius • Drum channel volume : 0.42m³ (4.4m circumferential, width 0.35m, depth 0.27m) • Capacity : 750kg at 600g, 450 g-tonne • Twin Concentric Shaft technology (TCS)



[그림 6-15] Drum Centrifuge (Thomas Broadbent)

제 7 절 시설 · 장비 구축계획

1. 추진방법

가. 장비구축

해외도입

- 국내에는 드럼형 원심모형시험장비 및 국산대체장비가 전무한 상태임
- 드럼형 센트리퓨지 구축을 위한 관련기술이 전무한 상태임
- 이에 주요장비를 외산으로 도입하고자 함

장비구축, 전체구축

- 본 드럼형 원심모형시험장비는 시스템 단위 구축 또는 일부 구축이 아닌 장비 전체 구축이 필요함

신규도입

- 국내 최초로 드럼형 지오센트리퓨지를 신규 도입
- 기 구축된 빔형 원심모형시험 시설을 최대한 활용, 부대장비 및 시료를 공유함

나. 시설공사

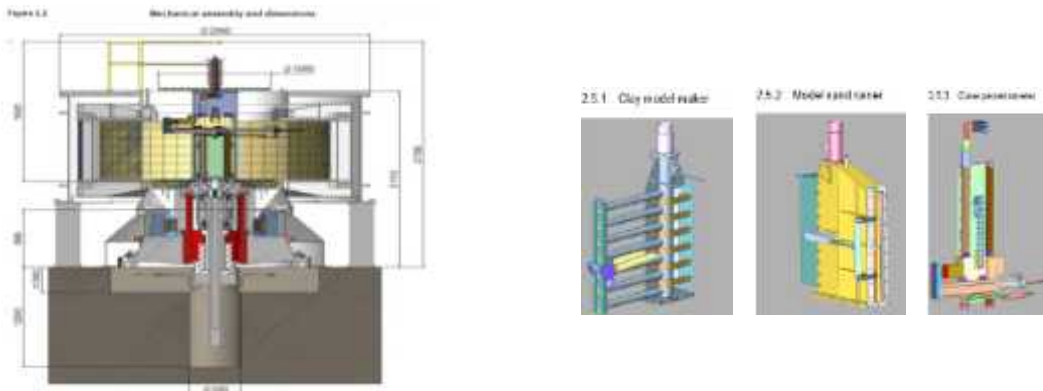
- 1단계에서 구축된 지오센트리퓨지실험시설을 활용하여 장비만 추가 구축
- 요구되는 동일한 성능을 만족하면서 지반공학 전 분야에 걸친 실험수요에 대응
- 기존설비 활용을 통하여 구축예산은 29% 절감할 수 있음

다. 구축방법

- 영국의 Broadbent사와 프랑스 Actidyn사는 원심모형시험 분야의 선도 연구기관의 드럼형 센트리퓨지들을 제작하고, 지속적으로 원심모형시험 기술을 발전시키고 있는 세계적 기업임
- 최소요구성능을 갖추기 위한 장비의 성능목표를 설정하고 이에 따라 위의 두 기업으로 부터 견적서 및 계획서를 제출받음
- 두 예상 구매처에서 제안한 드럼형 센트리퓨지의 기본적인 정보 및 성능, 선택사항, 견적 등을 검토함
- 이 중 영국의 Broadbent의 경우, 견적 상의 모델의 최대 중량이 750kg, payload가 450g-ton으로, 요구되고 있는 최소 성능에 근접한 성능을 보유하고 있어, 도입시 업그레이드 된 모델이 필요할 것으로 판단됨
- 이에 비해, 프랑스 Actidyn사의 견적 검토 결과 payload가 600g-ton으로 그 성능이 뛰어나고, 옵션, 부대장비 등에 대한 설명이 구체적임
- 또한, Actidyn사는 기존 1단계 사업 시 구축된 빔 센트리퓨지를 제작한 업체로서, 현 센트리퓨지 센터와의 협력 및 설치용이성 면에서 많은 장점을 가질 것으로 예상됨

□ 프랑스 Actidyn사 구매 및 장비 구축의 경우

- 제안한 드럼형 지오센트리퓨지의 단면 및 부대장비



[그림 6-16] 프랑스 Actidyn사에서 제안한 드럼 센트리퓨지 단면 및 부대장치

o 드럼형 센트리퓨지 기본사양

4.1 Basic system	Range, dimension		
	Acceleration Range, at nominal radius	10 to 200	g
	Nominal radius	0.90	m
	Radius at mounting drum surface	1.1	m
	Depth of soil in the drum	0.4	m
	Height of soil in the drum	0.7	
	Circumference of the soil model at the top	4.4	m
	Circumference of the soil model at the bottom	6.9	m
	Stress ratio to the elastic limit (min.)	1 to 2.5	
	Centrifuge performance		
	Speed range	30 to 450	Rpm
	Acceleration stability in % of set g's	0.5	%
	Acceleration accuracy	± 0.5	g
	Vibration at drum surface (max)	0.3	g _{rms}
	Satellite table performance		
	Speed range	30 to 500	Rpm
	Position command resolution	0.01	°
	Position command format	0 to 359.99	°
	Payload max (tools)	100	Kg
	Axis torque	80	N.m
Payload			
Payload at 200 g	3,000	Kg	
Acceptable imbalance	30,000	N	
g x force	600,000	g x kg	
4.2 Electrical slip rings Drum axis	Total Quantity		
		36	
	Signal line		
		30	
	Dielectric strength	150	V _{oc}
	Intensity (max.)	1	A
	Dynamic resistance (RMS)	10	mΩ
	Power line AC + ground		
	5+1		
Line current max.	10	A	
Line voltage max.	410	VAC	
4.3 Fiber Optic Rotary joint Drum axis	Optical passages		
		2	
	Network modem	Ethernet	
	Transmission rate	1	Gbit/s
	16		

o 설치조건

Installation criteria	Dimensions		
	Overall diameter	2600	mm
	Overall height	3000	mm
	Inner drum diameter	2200	mm
	Usable drum height	700	mm
	System total weight	6000	kg
	Electrical mains supply		
	Installed power (max.)	35	kVA
	Line voltage (other line voltage on request)	380/410	V
	Frequency	60 to 50	Hz
	Environmental		
	Operating temperature	15 to 40	°C
Relative humidity (noncondensing)	20 to 80	%	

2. 구축계획

가. 시설공사계획

□ 기존시설 및 부대 장비 이용

- 드럼형 센트리퓨지는 1단계에서 구축된 지오센트리퓨지 실험센터 실험동의 지반공학실험실 (약 50 m²)을 활용할 예정임
- 이를 통해 예산절감 가능

개요	대지	1,980m ² (600평)
	연면적	3,194m ² (968평)
규모	지하	1층, 지상 5층
	실험동	모델 제작 및 실험 공간 센트리퓨지 챔버, 모델제작실
연구동	지하 1층	전기실, 공조기계실
	지상 1층	장비제어 및 연구 공간 제어실, 전산실, 자료실, 숙소
	지상 2층	공유 연구환경 및 교육 시설 강의실, 회의실, 연구실

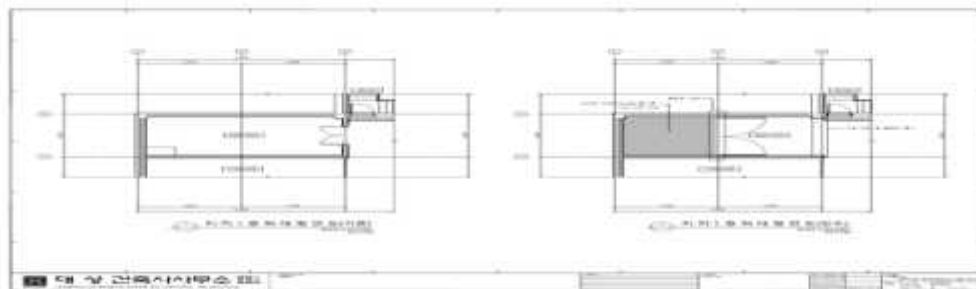


[그림 6-17] 1단계 기 구축 실험시설 개요 및 실험동 평면도

나. 공간배치 계획

□ 장비 이동 및 설치를 위한 공간확보와 건축공사

- 지오센트리퓨지 실험센터 실험동의 지하1층, 지반공학실험실에 장비 설치 예정
- 장비의 이동 및 설치를 위해 기존 출입문과 바닥콘크리트 일부를 철거 및 마감하고, 중간방호벽 및 문을 설치함
- 소방시설 및 급수 배관시설을 이설함



[그림 6-18] 장비 이동 및 설치를 위한 공간확보와 건축공사 평면도

다. 구축일정

연차	연구내용	추진일정(월별 또는 분기별)												연구비 (백만원)	비중 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1차 년도	장비 및 시설 세부건적													-	
	기존 출입문 및 바닥콘크리트 일부철거, 마감													23	
	중간방호벽 설치													24	
	시설공사 - 소방시설 및 급수 배관시설 이설													17	
	장비 제작 및 납품													1,076	
2차 년도	장비 제작 및 납품													857	
	주요 장비 설치													73	
	부대 장비 설치													-	
	점검 및 시험													-	

라. 국산장비 대체 가능성 자체검토(국산대체장비가 있을 경우만 작성)

- 2014년 현재 국내에는 드럼형 원심모형시험장비 및 국산대체장비, 그리고 시설 구축을 위한 관련기술이 전무한 상태임
- 주요장비를 외산으로 도입하고자 함

구분	내 용				비 고
1	장비명 (모델명)	한글		제작사	
		영문		장비가격 (단위 : 백만원)	
	주요사양				
	자체 검토의견				

3. 운영 및 관리계획

가. 유지관리 계획

1단계 실험 시설 유지관리 현황

- 지난 5년간 (2009년~2013년) 1단계 실험 시설 (Beam type 원심모형시험기 및 진동대) 의 유지보수 현황은 총 2건으로 약 2년 주기로 실험장비 공급사인 Actidyn 의

기술자로부터 직접 점검 및 수리를 받고 있음

구분	기간	금액(원)	내용
1	2011.08.31	28,627,920	원심모형시험기 점검 및 수리
2	2013.03.26	31,443,818	원심모형시험기 점검 및 수리



[그림 6-19] 2013.03.26. 유지관리 리포트

- 기존 Beam type 의 원심모형시험기는 대형 실험시설로써 장비의 특성상 국산화가 어렵고 점검 및 수리 또한 국산에서 대행 할 수 있는 업체가 없는 실정임. 예상치 못한 문제 발생시 해외 공급사로부터 기술자가 파견되어야 하기 때문에 기간 및 비용이 경제적이지 못함
- 1단계 실험 시설 구축 후 지속적인 유지관리 지원이 이어지지 않아 수리 및 유지관리 비용을 전액 실험센터의 수입으로부터 지불하고 있으며 실험시설의 상시 관리를 위한 인건비 또한 센터의 수입으로부터 지불하고 있음

□ 장비성능개선 후 유지관리 계획

- 계획 중인 드럼 센트리퓨지는 국내 도입 현황이 전무한 실정임. 따라서 도입 시 장비의 국산화 가능성은 매우 낮으며 해외 공급업체로부터 장비 일체를 도입할 계획. 따라서 구축 초기 단계에서는 해외 공급업체로부터의 기술자 파견에 의한 유지관리가 불가피함
- 하지만 드럼 센트리퓨지는 비교적 소규모의 실험 장비로써 점검 및 수리 업체의 국산화 가능성이 높음. 또한, 계약 및 설치 시 공급업체의 기술자로부터 정기 점검 항목 및 방법에 대한 리스트를 요청하여 기본적인 점검에 대하여 실험센터에 상주하는 기술자가 대행할 수 있도록 계획 예정
- 실험센터의 기술자 및 정기 점검 비용에 대한 정부차원의 지원이 시급함. 대형실험장비는 과학기술 분야의 국가 경쟁력을 향상 시킬 수 있으며 지난 1단계 실험장비

구축으로 인하여 선진국의 기술 수준에 근접한 상황임

- 하지만 지속적인 지원이 없어 운영 인력 및 지속적인 점검 및 유지관리에 어려움이 있음. 정부 차원에서 운영인력 및 비용에 대하여 추가적인 지원이 있다면 장비의 노후화를 지연시키며 과학기술 분야의 경쟁력을 지속시킬 수 있을 것으로 기대됨

나. 안전사고예방 계획

- 기존 실험시설이 위치하고 있는 KAIST 에서는 학생, 연구원 및 직원 등 연구활동 종사자에게 실험실 안전에 대한 교육을 정기적으로 학기 중 매월 1회 이상 실시하고 있음. 실험실의 다양한 분야를 보다 정확하고 전문적인 사항을 알리기 위해 각 분야별 외부 전문가를 초빙하여 실험실 정기 안전교육, 응급처치교육, 소방안전교육을 실시하고 있음
- 기본인명구조술인 심폐소생술과 자동제세동기 사용법, 하임리히법 등 응급처치교육에 대해 여름, 겨울방학 중 각 1회씩 실시하고 있어 안전사고에 대한 대처요령을 교육하고 있음
- 매학기 초, 연 2회씩 해당 연구 실험실을 출입하기 위한 안전지식의 습득여부를 평가하기 위해 온라인 안전인증평가를 실시하고 있으며 이를 통해 연구, 실험종사자의 안전의식을 고취시키고 온라인 교육체제의 확립을 통해 업무효율성을 증대시키고 있음
- 유치기관인 KAIST에서는 안전 불감증과 적당주의는 대형 사고를 초래할 수 있어 우리사회 전반에 걸쳐 재난 발생 가능성이 있는 위험요소 등을 월 1회 자율적으로 점검 활동에 참여하여 스스로가 안전점검의 중요성을 인식하고 이해하도록 함으로써 재난을 사전에 방지하고자 매월 4일(공휴일인 경우 익일)을 안전점검의 날로 지정하고 있음

KAIST 안전교육의 종류				
구분		대상	교육방법	교육주기
신규교육	학생	신입생	집합교육	신입생 오리엔테이션 시
	연구원	신규채용 연구원	집합교육	매월 마지막 주(위탁교육, 6hr) 매분기 마지막 주(자체교육, 2hr)
안전점검의 날 행사		전 구성원	온라인교육	매월 4일
정기교육		연구활동종사자	집합교육	월 1회 이상(학기 중)
온라인안전인증평가		연구활동종사자	온라인교육	반기 1회(3월, 9월)
온라인안전교육		연구활동종사자	온라인교육	매월 상시
응급처치교육		연구활동종사자	집합교육	여름, 겨울방학 중(각 1회)

연구활동종사자 교육·훈련의 시간 및 내용 ¹⁷⁾			
교육과정	교육대상	교육시간	교육내용
정기 교육/훈련	연구활동종사자	반기별 6시간 이상	연구실 안전환경 조성 법령에 관한 사항 연구실내 유해·위험요인에 관한 사항 안전한 연구개발활동에 관한 사항 물질안전자료에 관한 사항 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항
신규채용 등에 따른 교육/훈련	신규채용된 연구활동종사자(계약직 포함)	8시간 이상	연구실 안전환경 조성 법령에 관한 사항 연구실내 유해·위험요인에 관한 사항 보호장비 및 안전장치 취급/사용에 관한 사항 연구실 사고사례/사고예방 대책에 관한 사항 안전표지에 관한 사항 물질안전자료에 관한 사항 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항
	대학·연구기관 등에 채용된 자 외의 자로서 신규로 연구개발활동에 참여하는 연구활동종사자(대학생·대학원생 등)	2시간 이상	
특별안전 교육/훈련	중대 연구실사고 발생 및 연구내용 변경 등의 경우 연구주체의 장이 필요하다고 인정하는 연구활동종사자	2시간 이상	연구실내 유해·위험요인에 관한 사항 안전한 연구개발 활동에 관한 사항 물질안전자료에 관한 사항 그 밖에 연구실 안전관리에 관한 사항

다. 운영자 교육계획

- 1단계 분산공유형 구축사업에 의한 빔 형태의 원심모형시험기는 강원대 및 대우건설 기술연구소에서 기 보유하고 있었지만 노후 되었거나 회사보유시설로 대학 및 중소기업에서 사용하기 어려운 단점이 있음. 따라서 다수의 실험 의뢰 대상자들이 원심모형실험에 대하여 접근하기 어려웠음. 분산공유형 실험시설 구축사업으로부터 구축된 KOCED 지오센트리퓨지 실험센터는 이같은 단점을 보완하고자 정부차원에서 KAIST 에 구축하였으며 대학, 연구소 및 중소기업이 기존시설보다 경제적 이고 자유롭게 이용할 수 있도록 하였음
- 다수의 실험 의뢰 대상자들은 원심모형시험기를 처음 접하기 때문에 운영자 및 사용자에게 대한 안전 및 실험관련 교육이 정기적으로 필요함. 따라서 본 실험센터에서는 장비를 운영하는 기술자 외에도 실험 의뢰 대상자들을 대상으로 Training Workshop 계획을 갖고 있음
- Training Workshop 에서는 원심모형실험의 원리 및 활용성, 모형지반의 조성 방법, 물성 평가, 센서 계측, 지진과 같은 동적실험 방법 및 신호 계측, 분석에 대하여 세미나 형식으로 이뤄질 계획임. 또한, 기존에 실험센터를 이용하였던 전문가들을 초청하여 특정 실험에서의 노하우를 공유할 수 있는 기회를 마련하고자 함.

17) 관련근거 : 연구실안전환경조성에관한법률 시행규칙 제9조 제1항 관련

Training Workshop을 통해 향후 실험 의뢰자들의 수요 조사를 할 수 있으며 이를 통해 실험센터의 홍보 자료로도 활용될 것으로 기대됨

- 드럼 센트리퓨지는 빔 형태의 센트리퓨지에 비해 높은 중력장을 재현하므로 상대적으로 작은 모형 모델을 제작하여 실제 현장을 모사할 수 있음. 따라서 소규모의 실험 및 연구 목적으로 다양한 교육 프로그램을 계획할 수 있으므로 향후 산업계 및 교육계에서 큰 활용이 기대됨



[그림 6-20] 운영 및 관리계획

제 8 절 활용계획 및 기대효과

1. 활용계획

□ 드럼형 원심모형시험기의 장점

- 드럼형은 빔형 시험기에 비해 작은 규모로, 운용이 비교적 간편히 실험준비시간이 짧고 소규모 인력으로도 실험이 가능함
- 작은 규모의 실험장비로 400g 수준의 고응력장 모사가 가능하므로 대형 건설구조물의 거동 모사에 편리하며, 높은 상사비 적용을 통해 장기거동문제, 연약지반의 압밀문제 등의 연구에 적합
- 드럼형 장비는 기술적으로 드라이브 Shaft와 Central shaft가 분리되어 있어, 장비 교체를 위한 실험 중단과정이 없이 실험을 수행할 수 있고, 복잡한 실험 단계를 구현하고 반복실험 시에 지반의 균질성을 확보할 수 있음

□ 활용분야

- 위와 같은 드럼형 원심모형시험기의 장점을 바탕으로 지반공학 분야에서의 활용 분야는 다음과 같이 요약할 수 있음
 - 사면, 댐 분야: 활동 면이 긴 사면의 파괴 메커니즘을 규명하고, 토석류와 같이 홍수 시 발생하는 사면활동에 대한 거동 특성 평가가 가능

- 연약지반 분야: 중장기 실험이 필요한 압밀 및 지반개량 거동 특성 평가를 짧은 시간 안에 수행할 수 있고, 성토와 같은 단계적 하중 프로세스를 모사할 수 있음
- 지반보강 공법: PVD, DCM, Sand drain, Sand mat, Geogrid mat 등의 적용성 평가가 가능함
- 기초 구조물: 복잡한 하중을 받는 기초구조물 및 반복 하중을 받는 구조물의 설계 가능. 대형 구조물의 지지력 평가에 활용
- 해양 구조물: 심해에 설치되는 하부 기초의 거동평가, 복잡한 하중 프로세스 구현, 동일지반에 다중 실험구현이 가능하여 반복적 Parameter study, Suction 기초, pipeline, jack-up leg, Anchor-chain, 해저면 사면 붕괴 등 다양한 연구에 활용
- 지반환경: 지반내 오염물질의 이동 및 확산거동 및 지반내 오염수 투수 및 확산 과정 평가 가능
- o 기 구축된 빔형 시험기와 함께 원심모형시험을 수행하게 될 경우 모든 지반공학적 문제에 대한 실험적 연구가 가능함

□ 해외 선도적 연구기관과의 협업 및 연구노하우 습득

- o 지오센트리퓨지 실험센터는 드럼형 원심모형시험장비를 선도적으로 구축하고 운영해 오고 있는 영국 Cambridge 대학의 Schofield Centre, 스위스 ETH, 호주 COFS 등과 학문적 교류를 수행해 오고 있음
- o 국내에 드럼형 시설이 구축될 경우 이 기관들과의 폭넓은 상호 연구교류 및 이해가 활성화 될 것으로 기대되며, 이를 통해 연구 및 운영 노하우를 습득하고 발전시켜 나갈 수 있음

□ 시험장비 운영 및 교육

- o 빔형 원심모형시험시설이 위치하고 있는 KAIST의 지오센트리퓨지 시험센터에서는 독립적인 장비 운영방침과 운영자 교육에 대한 계획이 수립되어 있음
- o 이를 바탕으로 드럼형 시험장비 구축 시 체계적이고 지속적인 운영 및 교육이 가능함
- o KAIST에서는 정부 주도, 지자체 주도, 기관 주도의 안전사고예방을 위한 정기적인 점검과 교육이 의무적으로 실시되고 있음

2. 기대효과

□ 기술적 효과

- o 센터 운용 및 실험 관련 기술 개발
 - 기존 Beam형 원심모형실험시설과의 실험데이터 비교 및 상호 연계를 통해 건설 관

련 기초분야의 연구 및 기술개발 속도를 극대화 시킬 수 있음

- 실험 규모가 기존 Beam 유형 원심모형시험기에 비해 축소되어 소규모 인력으로 다수의 실험이 수행가능 해 지며, 이를 통해 실험 수요가 증대 됨
- Beam 유형 및 드럼형 원심모형시험기를 동시에 운용할 수 있어 실험 일정을 유기적으로 변경이 가능함
- 기존 실험 장비에 대한 실험적 노하우를 드럼형 원심모형실험에 적용하여 단기간 내에 실험 장비를 효율적으로 운용
- 실험 센터의 활성화로 다방면의 실험 수행 기법을 습득하고, 이를 통해 의뢰기관의 요구조건에 맞는 실험이 가능해짐

o 제한된 실험의 확장

- 기존의 Beam 원심모형실험에서 수행하기 어려웠던 실험들이 가능해 짐으로써 국내 건설 관련 연구 분야의 폭을 넓힐 수 있음
- 중장기 거동 평가가 필요한 연약지반관련 실험이 용이해 짐으로써 압밀 프로세스를 동반하는 지반개량과 같은 연구를 수행할 수 있음
- 조성된 지반의 면적이 크고, 원심모형실험 중 실험장치의 교체가 가능해져 다양한 Parametric 실험을 수행할 수 있음. 이를 통해 동일 모형에 대해 구조물-지반 간의 거동 영향인자를 좀 더 명확히 확인 할 수 있고, 특히, 해양 구조물과 같이 다양한 외부하중을 받는 시설물에 대한 실험적 검증이 용이
- 긴 사면의 파괴나 지반 내 오염물 침출수 흐름과 같이 대단위 면적에서 발생하는 지반관련 제반 문제에 대한 연구의 수행이 용이해 짐
- 홍수 시 발생하는 토석류의 거동에 대한 연구가 가능
- 제방의 축조 공정이나 기초 설치 과정 등을 실험적으로 모사할 수 있어 공정에 따른 해석 기법과 설계 기술 확보 가능
- 다양한 구조물 형식의 극한하중에 대한 해석 기법 검증이 용이해 짐

o 국제적인 연구역량 강화

- 국내 최초의 드럼형 원심모형시험기 도입으로 그간 수행하지 못했던 건설 관련 기초 분야의 연구 범위를 확장함으로써, 해외 기술 수입에 의존해 왔던 건설 기술을 자체적으로 개발 및 검증할 수 있어 건설기술의 내수화가 가능
- 해외 건설 기술개발 관련 연구 과제를 유치함으로써 국내 건설 분야 연구 능력 신장

o 신기술 개발 및 검증 강화

- 최근 수요가 증가하고 있는 초고층, 초장대 교량과 같은 대형 구조물의 기술 개발 검증 실험이 용이해져 국내 기술 개발을 강화
- 신재생에너지 사업과 같이 새로운 건설 기술 패러다임에 맞춰 다양한 연구가 가능해 짐

□ 경제적 효과

○ 기존시설의 활용

- 대형 지반구조물 상호작용 평가 실험시설을 신설하기 위해서는 대략 29억원의 예산이 소요될 것으로 추정되는 반면에 기존의 실험시설과 장비를 최대한 활용하여 개선하는 경우에는 약 20억원의 예산이 소요될 것으로 추정되는 바 약 29%의 예산절감 효과가 있음

○ 장비의 소형화

- 대규모 실험을 축소하여 실험을 실시 할 수 있어 실험에 드는 비용을 절감
- 하나의 모형지반에 반복실험이 가능해져 불필요한 인력의 소모를 줄일 수 있음
- 기존 장비에 비해 운용이 간편해 동기간 내 실험 수행율이 높아짐

○ 건설기술 기초연구의 선진화

- 국내 최초 드럼형 원심모형시험기의 도입으로 그간 해외 주도적으로 수행되어 온 연구 과제를 국내에서 자체적으로 수행함으로써 국내 기술의 세계적 경쟁력을 갖추
- 국내 건설기술의 검증을 통한 기술력의 제고와 경쟁력 향상으로 해외 시장 진출용이
- 해외 원심모형실험 관련 연구과제의 유치를 통한 국내 연구개발 능력 신장

제 9 절 상세 예산(안)

1. 장비 성능개선 소요예산(안)

총괄(연차별예산)

o (기간·사업비) '16~'17 / 2,070백만원(정부출연금)

(단위 : 백만원)

구분	계	'16	'17
정부	2,070	1,140	930

비고 : Actidyn 사 (프랑스) 소요예산 견적, 선박운송 및 설치비 포함, DAQ 시스템 및 PIV 시스템 제외

Actidyn (프랑스) 소요예산 견적

< 소요예산 상세총괄 >

구분	산출내역	비용(천원)	국산/외산	비고
장비명	지름 2.2m 드럼 센트리퓨지	1,134,000 (768,000EUR)	외산	1EUR=1,476 (2014.03.11. 기준) 25% Discount (Kind Contribution) DAQ 시스템, PIV 시스템 제외
	시료 조성기 (Clay, Sand)	65,000 (44,000EUR)	외산	
	관입기 및 Multi-function tool	695,000 (468,000EUR)	외산	
	계	1,894,000		
운송 및 설치	선박 운송비	39,000 (26,000EUR)	외산	보험 포함
	설치비용	73,000 (50,000EUR)		주전력 케이블 제외 크레인 사용 제외 기술자 임금 제외
	계	112,000		
시설명	시설 보강 공사비	64,000	국산	기존시설 활용 및 변경
	계	64,000		
합계		2,070,000		
국산화율(%)		4.9		

2. 신규 시설구축 대비 예산 절감 효과

□ 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교 - Actidyn (프랑스)

< 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교 >

구분	신규 시설구축 예산		장비 성능개선 예산	
	산출내역	비용(천원)	산출내역	비용(천원)
장비명	지름 2.2m 드럼 센트리퓨지	1,623,600 (1,100,000EUR)	지름 2.2m 드럼 센트리퓨지	1,134,000 (768,000EUR)
	시료 조성기 (Clay, Sand)	91,512 (62,000EUR)	시료 조성기 (Clay, Sand)	65,000 (44,000EUR)
	관입기 및 Multi-function tool	956,448 (648,000EUR)	관입기 및 Multi-function tool	695,000 (468,000EUR)
	계	2,671,560	계	1,894,000
운송 및 설치	선박 운송비	38,376 (26,000EUR)	선박 운송비	39,000 (26,000EUR)
	설치비용	73,800 (50,000EUR)	설치비용	73,000 (50,000EUR)
	계	112,176	계	112,000
시설명	가설공사	5,000	가설공사	5,000
	토공사및 지정공사	4,500	출입문 철거 및 설치	20,000
	철근콘크리트공사	25,000	중간방호벽 및 문설치	15,000
	석공사	15,000	바닥콘크리트철거 및 마감	5,000
	방수공사	3,000	소방시설 위치변경	5,000
	금속공사	2,500	급수 및 배관이설	2,500
	미장공사	1,500	사대보험	1,500
	창호공사	6,000	기타 관리비	6,500
	도장공사	1,500	이윤	3,500
	수장공사	2,500		
	지붕및 흡통공사	1,500		
	부대공사	3,500		
	설비공사	25,000		
	전기공사	35,000		
계	131,500	계	64,000	
합계	2,915,236	합계	2,070,00	
예산 절감액/비율(%)	845,236 (29%)			

제 7 장 6자유도 동시가력을 위한 고성능 Actuator 시스템

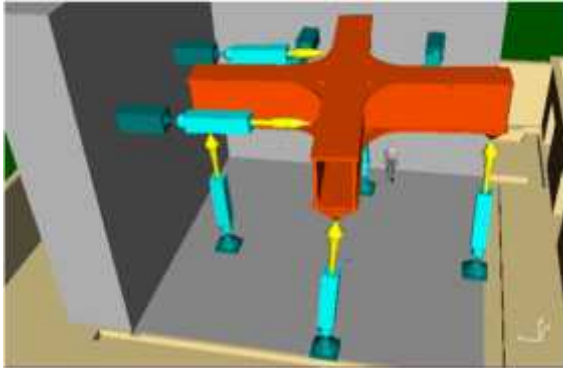
제 1 절 시설·장비 정의 및 목적

1. 정의

- 6자유도 동시가력을 위한 고성능 Actuator 시스템은 건설 분야의 교량, 건축물을 비롯한 다양한 산업분야에서 6자유도 변위성분을 갖는 실구조물의 거동을 파악할 목적으로 8개의 고성능 Actuator를 동시에 가력하여 구조물의 거동을 파악할 수 있는 시스템을 의미함
- 지진발생 시 발생하는 지진파와 같은 하중을 구현하기 위해서는 빠른 속도의 고성능 Actuator가 필요함
- 구조물의 유사 동적실험(Pseudo Dynamic Test)이나 실험과 해석을 동시에 연동하여 수행할 수 있는 하이브리드구조실험에도 활용할 수 있음

2. 목적

- 6자유도의 변위성분을 갖는 실물 모형 구조물의 거동을 파악하기 위하여 실제에 가깝게 모사하여 실험할 수 있는 장비 구축
- 건설 분야 등의 축소모형 내진성능 실험뿐만 아니라 실 모형 구조물의 내진성능 평가 실험 수요에 대응할 수 있는 장비 구축
- 원자력, 중공업, 철도, 기계설비 등 전 산업분야의 대규모 시설물에 대한 기계적인 성능 검증 및 내구성 실험 수요에 대응할 수 있는 장비 구축
- 초장대 교량, 초고층 건축물 등의 중요 사회기반시설물에 대한 내구성 및 지진 발생 시 안정성 확보를 위한 실험 수요에 대응할 수 있는 장비 구축
- 초기에 많은 투자비용이 소요되는 초대형 구조실험시설 및 장비의 신규 구축에 따른 비용을 절감하고 기존 장비의 성능개선을 통하여 저비용 고효율의 장비구축
- 기존 타 구조실험시설의 장비 내구 연한 도래에 따른 대체 실험장비로 활용하여 재 투자 비용을 절감할 수 있는 장비 구축



[그림 7-1] 6자유도 변위제어 시스템



[그림 7-2] 6자유도 구조실험 시스템

제 2 절 구축 필요성 및 시급성

1. 구축 필요성

- 2011년 일본 동북지방에서 발생한 최악의 지진에 의한 원자력 발전소 사고 이후에 그 후유증이 여전히 남아있는 상황이며, 이러한 것을 이웃나라의 재앙만으로 생각하기 보다는 더 이상 우리나라도 지진에 대한 안전지대가 아니라는 인식하에 범 정부차원에서 그 대책을 마련하여 시행해오고 있음
- 이 같은 정부의 노력과 보조를 같이하여 기존 SOC 구조물에 대한 내진보강 및 신설 구조물에 대한 내진설계가 강화되어 시행되고 있음. 하지만 이러한 수요에 대한 대형 구조물의 내진성능 검증은 관련 기술개발 및 성능검증에 대한 실험의 한계로 인하여 대부분 해석에 의한 검증이 주를 이루거나 실험을 한다고 하더라도 막대한 비용과 시간을 들여 외국에 의뢰해야만 하는 것이 현실임. 따라서 우리나라도 최신의 설계기술을 실험적으로 뒷받침할 수 있는 최첨단의 실험장비 구축이 절실히 필요함
- 특히 지진의 6자유도 거동을 실제와 같이 모사하기 위해서는 진동대를 이용하여 실험하는 것이 바람직하지만 진동대를 구조물의 크기에 맞추어 건설하는 데는 한계가 있음
- 그리고 진동대의 경우에는 초기에 막대한 구축비용이 소요되며 유지관리도 Actuator 시스템에 비하여 상대적으로 어려운 실정임
- 따라서 8개의 고성능 Actuator를 이용하여 6자유도 실험이 가능한 시스템을 구축하는 방법이 있는데, 이와 같이 구축할 경우에는 진동대에 비하여 저렴한 비용으로 구조물의 크기에 제약을 받지 않으면서 대용량의 6자유도 시스템을 구축할 수 있음
- 특히 초기에 고성능의 대용량 Actuator를 이용하여 기본 6자유도 시스템을 구축하

게 되면 그 후에 구조물의 크기가 바뀐다고 해도 Actuator를 제외한 6자유도 구성 블럭 만을 구조물의 크기에 맞게 제작하면 상대적으로 쉬운 방법으로 6자유도 실험 수행이 가능함

- 과거의 토목, 건축 등의 건설기술이 타 산업기술과의 융·복합을 통한 새로운 기술로 변화하고 있고 이에 따른 연구기반시설이 요구됨에 따라, 건설관련 구조물 성능 실험 뿐만 아니라 원자력, 조선, 중공업 등 다양한 분야의 성능실험을 유기적으로 수행할 수 있는 국가적 차원의 실험 인프라를 확충할 필요가 있으며, 이러한 면에서 6자유도 동시가력을 위한 고성능 Actuator 시스템은 그 활용도가 상당히 높을 것으로 예상되고, 특히 구조물의 실제거동을 효과적으로 모사하는데 있어 꼭 필요한 실험 시스템임
- 과거에는 실험 인프라의 규모 및 실험장비의 성능 부족으로 대형 구조물에 대한 성능실험 보다는 부재 단위의 성능실험을 수행한 후에 조합하여 분석하거나, 또는 구조물에 작용하는 6자유도 성분이 실제 거동을 구현하지 못하여 실제 구조물의 거동을 직접적으로 분석하기에는 한계가 있었음
- 세계적으로 실제 구조물에 대한 구조거동을 실험적으로 직접 분석할 수 있는 실험 기법이 개발되고 일부 적용되고 있는 것이 현실이며, 우리나라도 이러한 세계적인 건설기술 수요에 대응하기 위해서는 적절한 성능을 갖춘 6자유도 고성능 Actuator 시스템 구축이 절실히 요구됨
- 하이브리드구조실험센터는 2003년에 기획되어 2009년에 완공되었으나, 당시 실험장비의 요구사항 분석이 2004년도에 수행되어 실험장비의 기술수준이 현재 기준으로 약 10년이 경과함. 이러한 시간과 기술의 흐름을 감안하여 최근의 실험규모와 실험방법, 실험 수요 등을 고려한 실험장비 개선이 절실함
- 상대적으로 연구인프라가 취약한 중소기업, 대학 등의 연구지원을 위해서는 신규 연구인프라를 확충하는 것 외에 기존 시험시설이 지속적으로 활용될 수 있도록 장비개선 및 추가 확충으로 실험분야를 다양화할 필요가 있음. 즉 2단계 실험시설 구축 시 기존 1단계 실험시설에 장비만 추가하거나 개선하면 가능한 실험수요가 폭 넓게 도출됨
- 건설연구인프라 1단계 실험시설 6종이 2009년 완공되었으나 그 동안 건설 분야 시설물 등이 초대형화, 첨단화 되고 있는 여건에 맞추어 고사양화, 첨단화할 필요가 있으며 장비 활용률을 제고하기 위해서는 시간경과 및 이에 따른 요구 성능 상향에 대응한 성능 업그레이드가 필수임

2. 시급성

- 정부의 공공시설물 내진보강 중장기 계획에 따른 성공적인 사업 수행을 위해서는 사전에 내진보강 구조 시스템에 대한 성능 검증이 반드시 이루어져야 하며, 2014년 하반기부터 실질적으로 진행되는 공공구조물의 내진보강에 적용될 보강기술에 대한 검증 실험을 경제적으로 수행하기 위해서는 기존 실험장비의 조속한 개선이 필요함
- 실질적인 구조물의 6자유도 거동을 정확하게 파악하기 위해서는 진동대의 크기 및 용량에 대한 한계 때문에 구조물을 무작정 축소하여 진동대 실험을 수행하기 보다는 대상 실험 구조물의 크기에 맞추어 6자유도 실험을 수행할 수 있는 실험방법의 개발과 시스템 구축이 시급함
- 초기 구축 당시에 교량 및 대변위 구조물의 실험에 적합한 장비들로 구성된 기존의 하이브리드구조실험센터 실험 장비와 조합하여 사용하면, 점점 더 대형화, 고속화의 성능을 요구하는 구조 시스템에 대한 성능 검증 실험을 비교적 간단하고 쉽게 수행할 수 있는 시스템을 구축할 수 있음
- 또한 많은 비용과 긴 시간이 요구되는 외국의 실험시설을 이용하기 보다는 우리나라도 경제적이고 효율적으로 다자유도 성능 실험을 수행할 수 있는 시스템을 갖추어 최첨단의 구조성능 실험을 수행할 수 있음. 따라서 6자유도 실험 시스템 구축은 외화 낭비 방지나 국가적인 첨단기술 개발 면에서 매우 중요하고 시급한 과제라 할 수 있음
- 건설연구인프라 1단계 실험시설 6종이 2009년에 완공되었으나 그 동안 건설 분야 시설물 등이 초대형화, 첨단화됨에 따른 요구 성능은 높아졌고, 향후에는 더 높아질 것으로 예상되나, 실험 장비의 노후화 및 낮은 사양 등으로 인해 대규모 국가 예산이 투입된 연구시설의 활용률 저하가 우려되며, 다양한 기술개발 수요를 반영한 미래지향적 기술개발을 위한 실험장비의 확충이 시급함
- 최근 시설물의 대형화 및 첨단화에 따른 실모형 구조 부재 및 구조물에 대한 성능 검증 실험 수요가 증가하고 있는 상황에서 일부 실험의 경우에는 하이브리드구조 실험센터에서 보유하고 있는 실험 장비를 활용하여 검증실험이 가능하나 그렇지 못한 대규모, 고성능 구조실험의 경우에는 여전히 해외에서 실험하는 사례가 많음. 따라서 이러한 실험들을 국내에서 수행하고 기술의 국산화 및 신기술의 해외유출을 방지하기 위해서 본 실험장비의 조속한 구축이 요구됨

제 3 절 활용분야 및 범위

- 6자유도 동시가력을 위한 고성능 Actuator 시스템은 크게 일반 구조실험 분야와 다자유도 구조실험 및 하이브리드구조실험 분야로 분류함.
 - 일반 구조실험은 건설 분야를 비롯한 다양한 산업분야의 구조 부재 및 구조물에 대한 보편화된 구조실험을 의미함.
 - 다자유도 구조실험 분야는 여러 개의 Actuator를 조합하여 구조물의 실제 거동을 모사할 수 있는 동적 실험을 의미함.
 - 하이브리드구조실험 분야는 장시간 교량 및 초고층 건물 등에 발생하는 거동을 규명하기 위하여 고성능의 Actuator 여러 개를 조합한 실험 시스템과 컴퓨터 시뮬레이션을 연동하여 실시간으로 예측할 수 있는 최첨단의 실험을 의미함.

<표 7-1> 6자유도 고성능 Actuator 시스템의 세부 활용분야 및 범위

분야	실험 범위
일반구조실험	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 구조부재의 저속 정하중 실험과 고속 동적실험 ▪ 기존에는 교량 및 대변위 구조물의 실험에 적합한 장비들로 구성되었지만 상대적으로 변위가 작은 건축물 등의 구조성능을 평가하기 위한 실험 ▪ 축력이 작용하는 건물 기둥 및 교각 등의 전단강도 평가 실험
다자유도 구조실험	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 실모형 기둥 또는 내진 파일의 휨 및 비틀 강성 평가 실험 ▪ 건물의 보-기둥 접합부에 대한 구조성능 평가 실험 ▪ 진동이나 바람 하중 등의 동적하중을 모사하기 위한 실험
하이브리드구조실험	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 장시간 교량의 지간별 원격지 실시간 구조실험 ▪ 초고층 건물의 주요 부재에 대한 구조실험과 구조해석에 의한 실시간 하이브리드구조실험

제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향

1. 연구개발 및 기술 동향

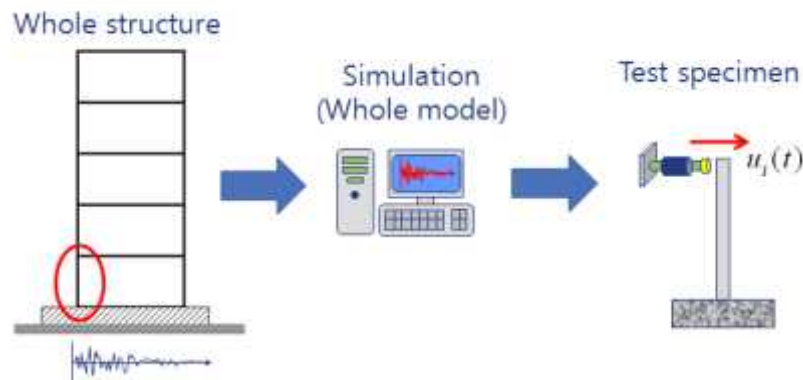
□ 관련 기술의 개요

- 지진, 바람과 같은 동적하중에 대한 구조물의 비탄성거동을 평가하기 위한 기존의 실험방법으로는 크게 준정적 실험(quasi-static test), 유사 동적실험(pseudo-dynamic test), 그리고 진동대 실험(shaking table test)으로 나눌 수 있음
- 준정적실험의 경우, 일반적인 반복특성을 갖는 이상화된 변형이력을 가정하여 실험을 수행하게 되므로 실험체의 에너지 소산능력을 실제 지진하중에 대한 내진성능과 직접적으로 비교하기는 어려움
- 비탄성 내진성능 평가를 위한 가장 실제적이고 신뢰할 수 있는 실험방법인 진동대 실험은 실제 지진에 가까운 지반운동을 모사할 수 있지만, 대상 구조물의 크기, 중량, 그리고 강도가 진동대의 성능에 따라 크게 제약을 받기 때문에 대형 구조물의 경우에는 실제 크기로 실험이 불가능함
- 따라서 축소모형실험을 수행하게 되는데, 이 경우 크기효과(size effect)로 인한 실험오차가 커지고 실험부재와 나머지 구조계간의 상호작용에 의한 오차를 보정하기 어려워 실제 거동과약에 큰 오류가 발생할 수도 있음
- 유사 동적실험은 준정적 실험과 진동대 실험의 문제점을 개선하여 실제 구조물의 내진성능을 보다 정확하게 평가하기 위해 개발된 실험방법임
- 유사 동적실험은 부구조계기법과 수치시뮬레이션을 적용하여 지진하중에 대한 운동방정식으로부터 실험체의 변위응답을 계산한 후, Actuator를 제어하고 실험체로부터 얻어진 복원력(restoring force)을 수치해석모델에 전달시킴
- 이 과정을 반복적으로 수행하면서 다양한 수치적분법을 사용하여 대상 실험체의 비선형 시간이력응답을 얻음. 유사 동적실험은 진동대 실험을 대신하여 내진성능을 평가하기 위한 훌륭한 대체 방법으로 사용되지만 많은 자유도를 갖는 구조물의 경우에는 Actuator의 변위제어 오차와 실험오차에 대한 수치적 계산의 민감도 때문에 누적오차로 인한 해(solution)의 불안정성이 발생할 수 있음
- 또한 기존 유사 동적실험의 경우에는 실험, 수치해석 시간 및 이들 간 통신시간이 오래 걸려 관성력의 영향을 반영하지 못함

□ 준정적 실험(Quasi-Static Test)

- 의사정적실험이라고도 불리며 구조물의 내진성능 평가를 위한 가장 일반적인 방법임

- 주로 기둥부재의 성능평가만을 위해 주로 사용되어 왔으며, 구조물의 하중-이력, 비탄성 에너지 소산능력과 파괴상태를 비교, 평가하기에 가장 경제적이고 유용한 실험 기법임
- 지진과 같은 특정 하중에 의한 구조물의 성능보다는 구조부재 자체의 탄소성 및 극한강도를 평가하는 기법임
- 수치해석에 의한 변위이력 해석 값으로 Actuator를 제어
- 단조증가 변위를 반복적으로 재하(cyclic load)하여 재료 특성 및 구조부재의 거동을 평가
- 전체구조물이나 부분구조물의 거동은 정해진 힘이나 이력에 좌우되며 대부분 기존의 구조실험 시설을 이용하여 구조물의 거동을 비교적 자세하게 관찰할 수 있으나 구조물의 동적 특성을 반영할 수 없는 문제를 가지고 있음. 따라서 유사 동적실험이나 하이브리드실험을 수행하기 전 구조물의 고유성능을 평가하기 위하여 먼저 수행함
- 실험체의 복원력을 고려할 수 없음

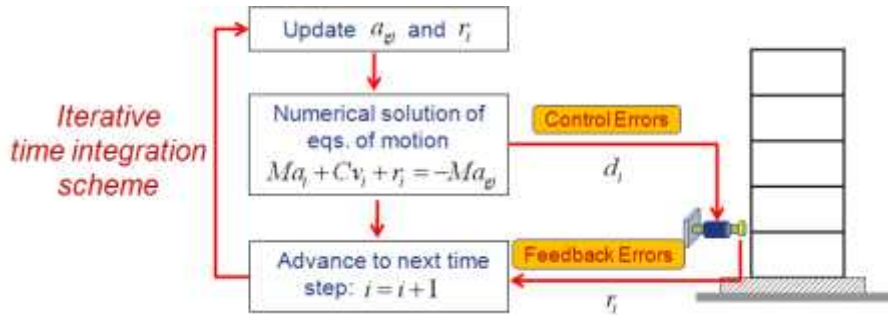


[그림 7-3] 준정적 실험의 개념도

□ 유사 동적실험(Pseudo-Dynamic Test)

- 유사 동적실험은 1969년 일본의 Hakuno에 의해서 최초로 실험기법의 기본적인 개념이 발표됨. 그 이래로 1975년 일본의 Takanashi에 의해서 처음으로 지진하중에 대한 구조물의 비탄성 거동을 연구하기 위하여 디지털 컴퓨터를 이용한 유사 동적 실험기법이 개발됨
- 대형 구조물의 내진성능 평가에 널리 사용됨
- 지진가속도를 유효하중으로 고려한 운동방정식을 반복적으로 수행
- 운동방정식을 풀어 변위를 구조물에 제어하고 이 때 실제 구조물에서 측정된 복원력을 운동방정식에 하중으로 대입

- 저렴한 비용으로 보다 정확한 실험결과를 얻을 수 있으나 관성력을 고려할 수 없음.
- 실제 크기의 모형을 실험할 수 있어서 크기효과(size effect)를 최소화할 수 있는 장점은 있으나 빠른 속도의 동적하중을 가할 수 없어서 재하속도(rate of loading)가 대부분 실제의 1/100 정도에 불과함
- 실험오차가 수치해석 과정에 전파되어 positive damping 또는 negative damping 등의 현상이 발생할 수 있으며, 특히 negative damping은 고차모드의 응답을 증폭시켜서 수치해석을 불안정하게 함
- 수치적분법으로는 초기에 주로 central difference method와 같은 explicit time integration scheme을 주로 사용하였으나 최근에는 α method 또는 α -OS method와 같은 implicit scheme 사용(해의 안정성, 오차 전파 특성에 유리함)



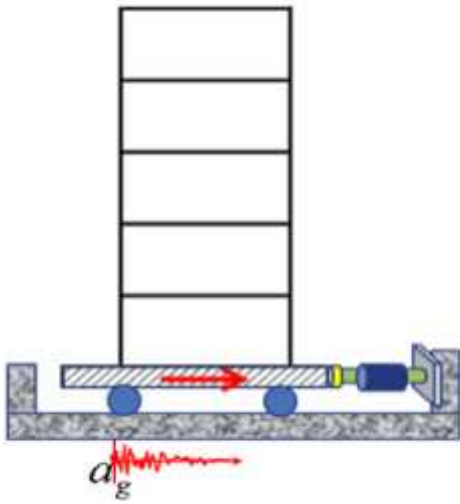
[그림 7-4] 유사 동적실험의 개념도

□ 진동대 실험(Shaking Table Test)

- 실제 지진가속도로 구조물을 가진함
- 지진에 의한 지반운동을 그대로 반영하기 때문에 가장 실제에 가까운 거동을 모사할 수 있어, 구조물의 동적 영향을 가장 잘 평가할 수 있음
- 진동대의 크기와 용량에 제한을 받음(고가의 구축비용/ 진동대 크기의 한계/ 모형의 크기 제한)
- 초고층 건물이나 교량 등의 내진실험 시 축소모형에 따른 크기효과로 실험결과의 오차가 큼
- 부분 구조부재의 실험 시 경계조건 구현이 어려워 구조계 전체의 영향을 반영하기 어려움
- 유압가력기를 이용하여 실제 지진과 같은 가속도로 구조물에 지진을 가함
- 실제 지진 가속도로 실제 구조물과 동일한 크기의 실험체를 실험하는 것이 가장 이상적이나 유압 가력기의 용량에 한계가 있기 때문에 실험체의 질량과 실험 가속도를 동시에 만족시키는 것은 거의 불가능함. 또한 구조부재나 부분구조를 실험 할

경우 전체 구조에 속해 있을 때와 동일한 경계조건을 구현하기가 어려워 실제의 거동을 모사하기가 불가능하기 때문에 대체 실험기법이 필요함

- 최근에는 다자유도 진동대 실험과 부분구조물을 이용한 진동대 실험에 대한 연구도 활발히 진행됨



[그림 7-5] 진동대 실험의 개념도



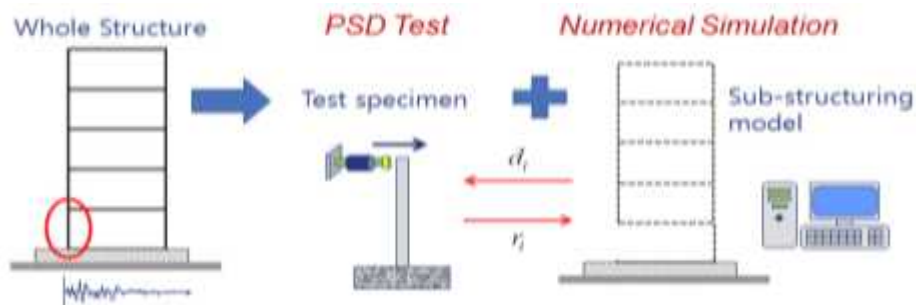
[그림 7-6] 진동대 실험 전경

□ 하이브리드구조실험(Hybrid Structural Test)

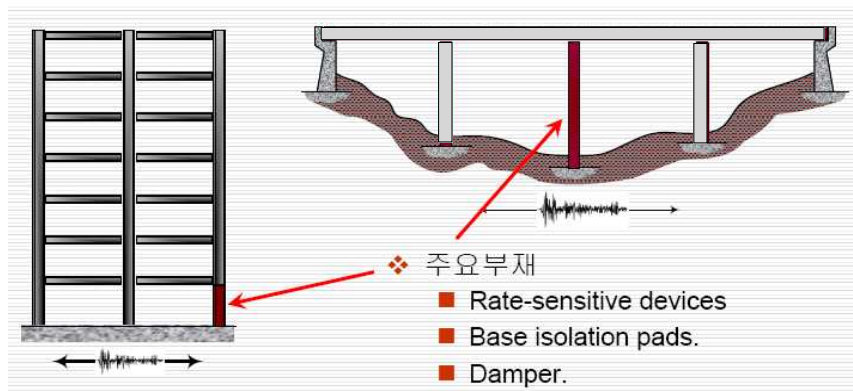
- 하이브리드구조실험은 실제 구조물의 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 가상의 수치해석을 결합하여 이들을 반복적으로 연동시켜 수행하는 실험을 말함.
- 지진에 의한 구조물의 동적 거동을 실험적으로 평가하기 위한 가장 좋은 방법은 실험물과 동일한 모형을 진동대 위에 설치하고 실제 지반운동과 동일하게 구조물을 흔들어 주는 것임. 그러나 전체 구조계를 진동대 실험에 적합한 크기로 축소하면 너무 작은 모형이 되어 크기효과에 의한 오차가 커지게 되며 반대로 진동대를 충분한 크기로 만들기에는 너무 큰 비용이 소요됨
- 따라서 대부분의 경우에는 전체 구조계의 축소모형을 사용하여 진동대 실험을 수행하게 됨. 이때 축소모형의 축소율이 너무 작아져서 크기효과에 의한 오차가 매우 커지게 됨. 만일, 이를 피하기 위하여 부재 또는 부분 구조계 단위의 실제 크기의 실험체를 사용할 경우에는 전체 구조계와 실험 부재의 경계에서의 상호작용 등과 같은 환경을 모사하는 것이 매우 어려움
- 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 1970년대 중반부터 미국과 일본을 중심으로 개발되어 오던 유사 동적실험기법을 IT기술을 활용하여 더욱 발전시킨 방법이 하이브리드실험기법임. 하이브리드실험기법은 진동대 실험으로 지진에 의한 구조물의 실제 거동을 평가하기 어려운 대형 구조물을 IT기술과 부구조계기법 등을 활용

하여 수치시뮬레이션과 기존의 유사 동적실험을 계량하여 보다 실제에 가까운 거동을 평가하기 위하여 제안된 실험기법임

- 하이브리드실험기법은 크기효과를 최소화하기 위해 부구조계기법(sub-structuring technique)을 이용하여 전체 구조계 중에서 실험적 검증이 요구되는 특정 구조부재에 대해서는 실험크기(full-scale) 모델로 실시간 동적실험을 수행하고 나머지 구조시스템에 대하여는 수치해석프로그램으로 해석하여 실험과 수치해석을 실시간으로 연동시킴으로써 대형 구조물의 탄소성내진거동을 보다 정확하게 평가하기 위한 획기적인 실험기법임. 일반적으로 변형속도(strain rate)에 민감한 부재는 실험을 통해 거동을 평가하며, 나머지 구조물의 동적거동은 수치해석을 통하여 계산함
- 하이브리드실험을 구현하기 위해서는 실제 재하속도에 가까운 빠른 속도로 가진을 할 수 있는 가력기, 수치적분의 오차를 최소화한 부구조계 해석기법, 빠른 연산이 가능한 초고속 정보통신망 등이 필요하며, 최근 들어 실험장비, 해석이론 및 IT기술 등의 발달에 힘입어 원격지의 실험장비와 서버를 연동하는 실시간 또는 고속 하이브리드실험에 관한 연구가 시작됨
- 하이브리드실험기법은 발전된 IT기술을 활용하여 기존의 유사 동적실험을 대폭 개선한 차세대 내진실험기법으로 실제에 보다 가까운 실험결과를 얻을 수 있어 향후 보다 앞선 내진기술을 연구하는데 꼭 필요한 실험기법이라 할 수 있음



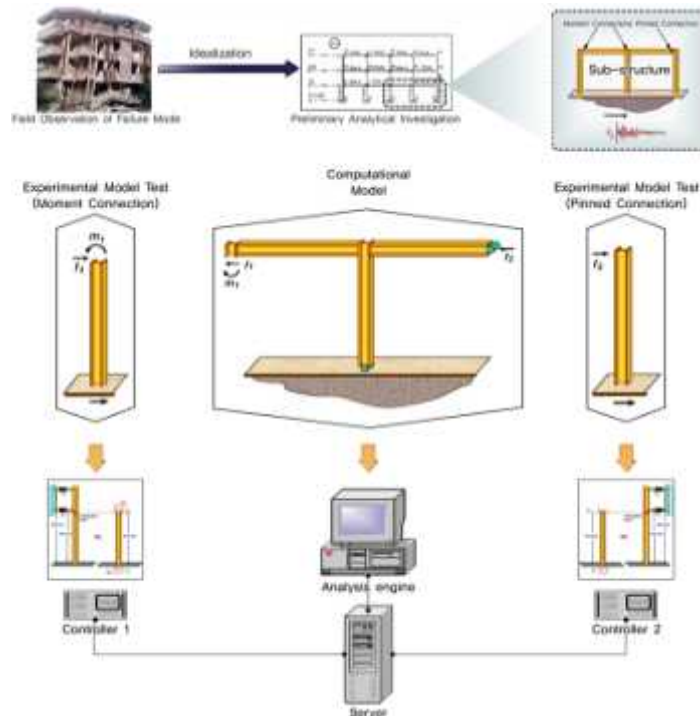
[그림 7-7] 하이브리드구조실험의 개념도



[그림 7-8] 주요 부재의 하이브리드실험 예(교량 및 건축물)

□ 부구조계기법(sub-structuring technique)

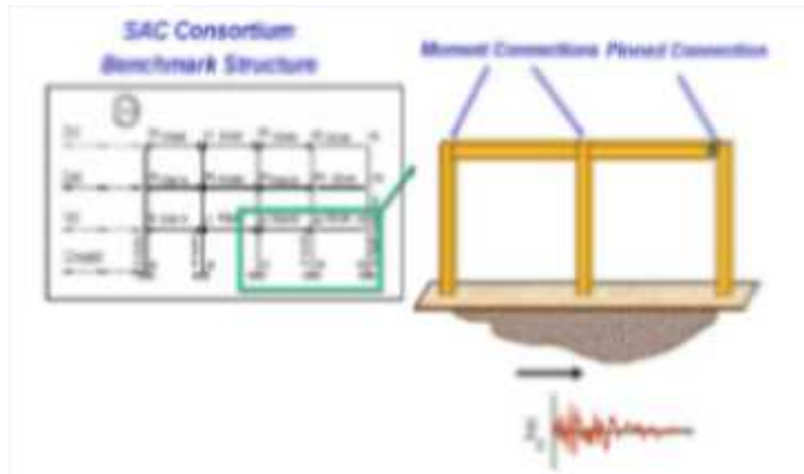
- o 전체 대상구조물의 거동에 중요한 영향을 미치는 부재는 실험으로, 나머지 구조계는 수치모델로 해석하는 것으로 1985년 Dermizakis와 Mahin에 의하여 처음 시도된 이후 Nakashima, Shing 등이 수치적분으로 implicit scheme을 적용하였음
- o Pinto 등은 다지점 가진을 받는 교량구조물의 실험에 적용하였고, 최근에도 오차를 최소화하는 수치적분법에 대한 연구로 implicit 또는 explicit integration method에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있음



[그림 7-9] 하이브리드구조실험 기법의 개념도

- o 크고 복잡한 실제 구조물(structural model)의 지진에 의한 영향을 정확히 평가하기 위해서는 전체 구조물을 실제와 동일한 크기로 제작하여 진동대 실험을 수행해야 하지만 실험시설의 여건상 실제와 동일한 크기로 실험을 할 수 없으므로 전체 구조계의 거동을 평가하고자 한다면 전체를 축소하여 실험을 해야 함
- o 그러나 축소모형으로 실험하기에는 모형의 크기가 실제에 비하여 매우 작아지므로 크기효과에 의한 오차가 매우 커지게 됨. 또한 중요한 기둥만 떼어내서 실험하기에는 그 기둥이 실제 구조물 내에서 받고 있던 경계조건과 같은 환경을 재현하기가 불가능함
- o 따라서 부분구조기법을 이용하여 전체 구조물에서 일부분을 떼어낸 후, 실제 크기로 제작된 기둥에 대해서는 직접 실험을 하는 동시에 나머지 부분은 컴퓨터에 의한 수치해석으로 그 거동을 모사할 수 있음

- 뿐만 아니라 과거에 비하여 성능이 대폭 향상된 유압장비들을 사용하고 계측장비와 수치해석 컴퓨터를 광통신을 이용하여 연결함으로써 실험의 결과가 수치해석의 입력으로, 그리고 수치해석의 결과가 다시 실험의 제어 신호로 연동되도록 하여 보다 실제에 가까운 거동을 모사할 수 있음
- 이를 더 확장하면, 한 구조물에 대해서 여러 실험시설에서 각각의 부분 구조계를 실험하고 전체를 수치시물레이션으로 처리하여 실제 크기의 구조물을 실험하는 효과를 모사할 수 있음



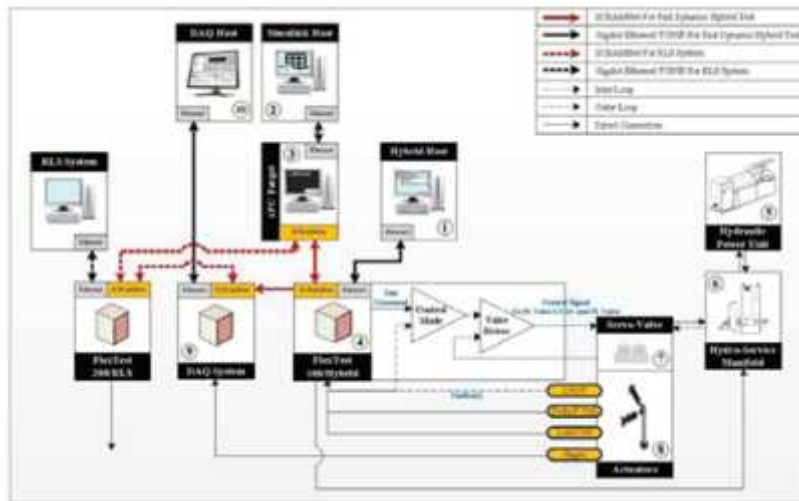
[그림 7-10] MOST experiment (부구조계 기법)

가. 국내 동향

- 국내에서도 2004년부터 시작된 KOCED(Korea Construction Engineering Development) 사업의 일환으로 하이브리드실험기법에 대한 초기 연구가 진행됨
- NEES의 축소모형 시스템을 벤치마킹하여 하이브리드실험의 가능성을 확인하는 수준의 연구가 진행되었으나 국외의 실험기술에 비하면 매우 초보적인 수준에 그치고 있음
- 하이브리드실험에 대한 국내의 연구는 미국, 일본 등에서 연구되고 있는 내용을 벤치마킹하여 초기 실험시스템을 구현하고 있는 단계이며, 아직까지는 대부분의 기존의 준정적 실험, 유사 동적실험 및 진동대 실험에 의한 구조물의 내진성능을 평가하고 있는 수준임
- 현재 KOCED 사업의 일환으로 구축된 명지대학교 하이브리드구조실험센터에서 고속 하이브리드실험이 가능한 실험장비 등을 갖추고 있으며, 미약하나마 꾸준한 연구가 진행되고 있음
- 유사 동적실험은 주택공사의 주택연구소에서 이한선 등에 의해 최초로 수행되었음. 단자유도와 2자유도 철골 실험체와 1/2축소 2층 철골실험체 그리고 1/3 축소 3층 P.C 실험체에 대한 유사 동적 실험을 실시하였으며, 진동대 실험을 통해 결과를 검

증함. 이에 대한 분석으로 다자유도 시스템에 대한 실험은 고차모드 오차가 크기 때문에 등가 단자유도 시스템으로 변환시켜야 한다는 결론을 얻음

- 김남식(1994), 정영수(2001)는 각각 기초분리에 의한 진동감소효과를 실험적으로 분석, 축소 원형 콘크리트 교각에 대한 유사 동적을 실험함으로써 유사 동적실험기법의 효율성 및 타당성을 분석함(지반분야의 활용)
- 서울산업대학교(2008)에서는 지진하중하의 교량구조 시스템의 해석과 실험을 위해서 계산과 실험 시뮬레이션을 통합한 소프트웨어 체제를 개발함. 개발한 하이브리드 시뮬레이션 소프트웨어 체제를 이용하여 대규모 네트워크로 분산된 실험 또는 전산장비에 참여하고 있는 교량구조시스템에 대한 지진응답을 평가함
- 김재관(2004)은 인터넷을 이용한 원격 유사 동적실험 기법을 개발하여 해석과 실험을 서로 다른 지역에서 수행하여 실험의 효율성과 이동성과 보안성에 대한 장점을 부각시켰음
- 한국철도기술연구원에서는 2006년부터 현재까지 ‘Fast 동적 하이브리드 실험 시스템’, ‘실시간 하이브리드 시스템을 이용한 실대형 강 뼈대구조물의 3자유도 동적실험’, ‘하이브리드 실험을 위한 1 또는 3자유도에 대한 제어기법’에 대한 연구를 진행함

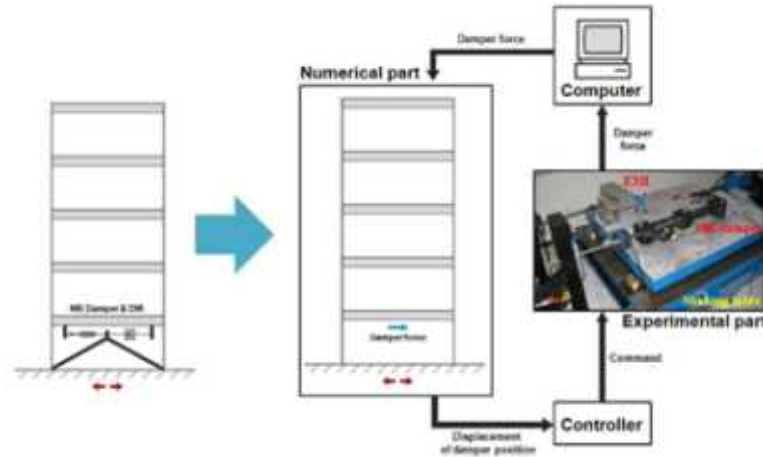


[그림 7-11] 한국철도기술연구원의 하이브리드실험시스템

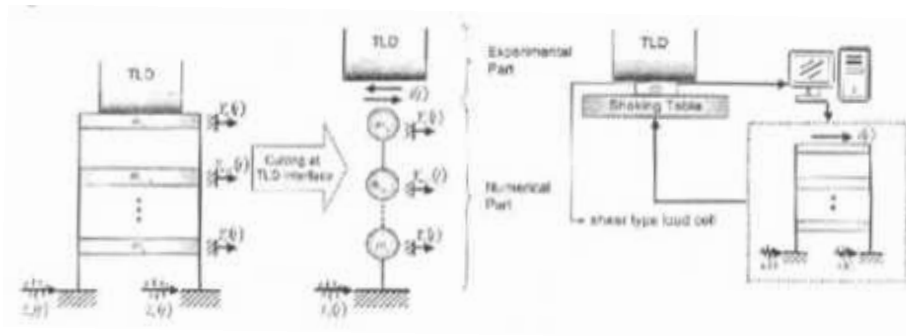
- 단국대 및 한국과학기술원(2009)에서는 대형 MR감쇠기가 설치된 건축구조물의 실시간 하이브리드 실험을 수행하였음. 실험 크기 5층 건물에 강제진동을 주어 준 능동제어 실험결과와 해석결과를 비교하여 준 능동제어 알고리즘의 성능을 평가함에 있어 실시간 하이브리드 실험이 합리적임을 증명함
- 동조 액체 감쇠기(TLD)가 설치된 건축구조물의 지진응답 제어를 하이브리드 실험 기법을 이용하여 분석하였음. TLD와 연계된 전체구조물을 TLD와 구조물의 경계면

에서 분리하면, TLD 실험부와 구조물 수치해석부로 나뉘지고 진동대에 설치된 TLD에 전단형 로드셀을 장착하여 가진되는 동안 로드셀의 경계면 하중응답은 제어컴퓨터에 피드백 되면서 수치해석부본인 상부층의 하중으로 실시간 가진하게 됨

- o 여기서 수치해석부의 구조물은 TLD에서 측정한 제어력으로 제어됨. 이 실험을 통해 하이브리드 실험의 실제 제어가 설치된 구조물의 응답을 하이브리드 실험을 통하여 검증 할 수 있음을 나타냄



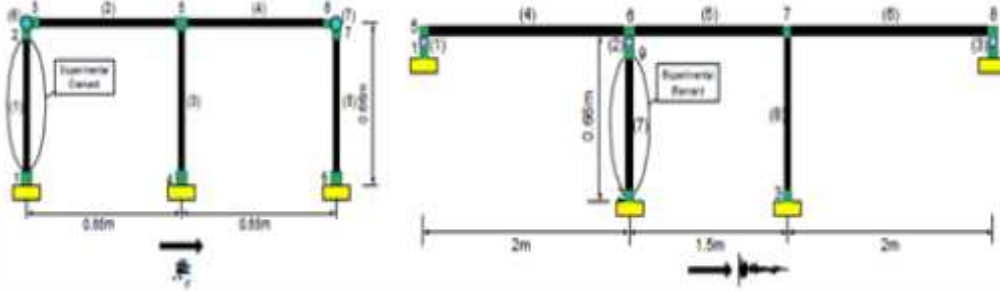
[그림 7-12] MR댐퍼가 설치된 건축구조물의 하이브리드 시뮬레이션 개념도



[그림 7-13] TLD를 이용한 하이브리드실험의 개념도

- o 명지대학교에서는 2006년부터 미니모스트 시스템을 이용한 하이브리드 실험 및 소형뼈대모형, 비선형 구조물의 하이브리드 실험을 진행함. 건축구조물과 교량 모델에 대해 미니모스트 시스템을 이용한 하이브리드 실험을 하여 시간간격, 감쇠특성, 변형률비 효과 등 추가적인 연구 방향을 논하여 향후 하이브리드 실험의 개선방향을 정립하였음. 그 후 미니모스트 시스템을 개선하여 유압가력기 시스템에 적용하여 하이브리드 실험을 수행함
- o 평면 뼈대 모형을 하이브리드 실험에 적용하여 진동대 실험 결과와 비교 검증한 결

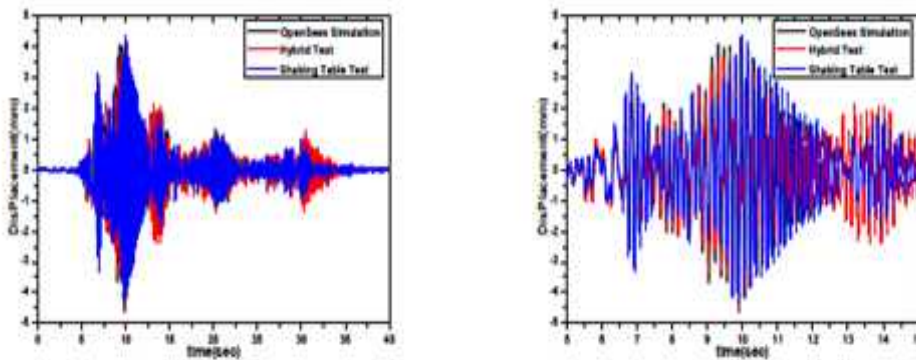
과 하이브리드실험이 지진하중에 의한 구조물의 성능 및 거동평가에 있어 진동대 실험과 유사 동적실험의 단점을 충분히 보완할 수 있을 것으로 판단됨. 또한 비선형 모델의 하이브리드실험과 진동대 실험의 비교 검증을 통해 하이브리드실험이 실제지진에 대한 구조물의 구조적인 특성과 거동을 얼마나 정확히 모사할 수 있는 지에 대해 평가함



[그림 7-14] Mini-Most를 이용한 하이브리드실험 모델



[그림 7-15] 진동대 실험(좌)과 미니모스트 실험(우)

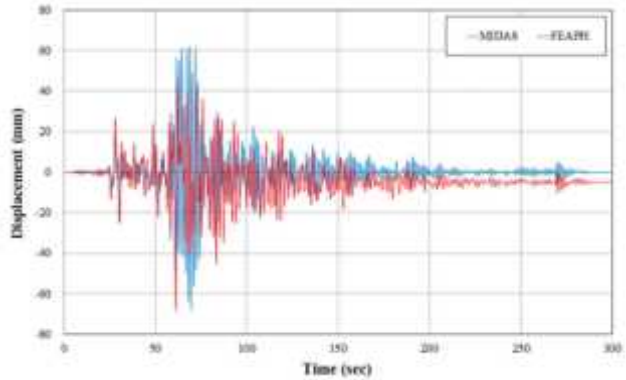


[그림 7-16] 진동대 실험과 하이브리드실험 결과 비교

- 나옥빈 박사(2012)는 구조 동적실험을 위한 실시간 하이브리드 최적 제어프로그램으로 새롭게 개발된 실시간 하이브리드 제어프로그램(FEAPH)을 활용하여 동적 실험을 수행하고 정확성을 검증함. 그 결과, 동일한 조건하에서 기존의 OpenSees프로그램을 사용하였을 때보다 속도개선이 있다고 평가함

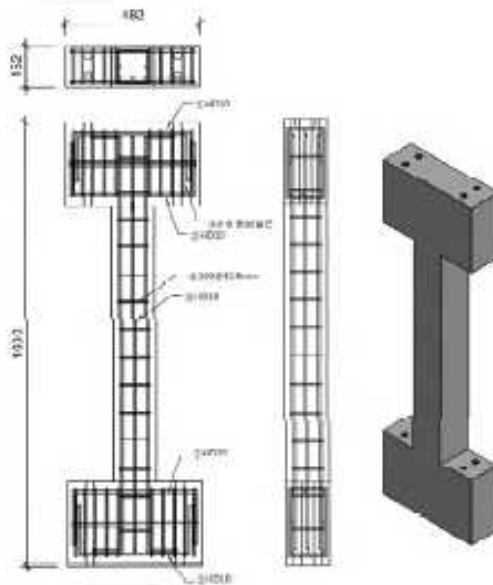


[그림 7-17] Experiment setup



[그림 7-18] Nonlinear hybrid test results

- 나옥빈 박사(2013)는 강구조물에 비해 더 복잡한 비선형 거동을 하는 콘크리트 구조물에 실시간 하이브리드 실험기법을 적용한 결과, 실시간 하이브리드 실험기법은 콘크리트 구조물의 동적거동 예측에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단함



[그림 7-19] 콘크리트 실험체 형상

□ 철도차량의 Bogie Frame 피로실험

- 8개의 Actuator를 이용한 철도차량 Bogie Frame 성능평가 실험
- 기존 시스템에서는 500kN/250mm의 Dynamic Actuator 2개와 250kN/250mm Dynamic Actuator 6개로 구성
- 우리나라 고속철도 차량 개발에 활용

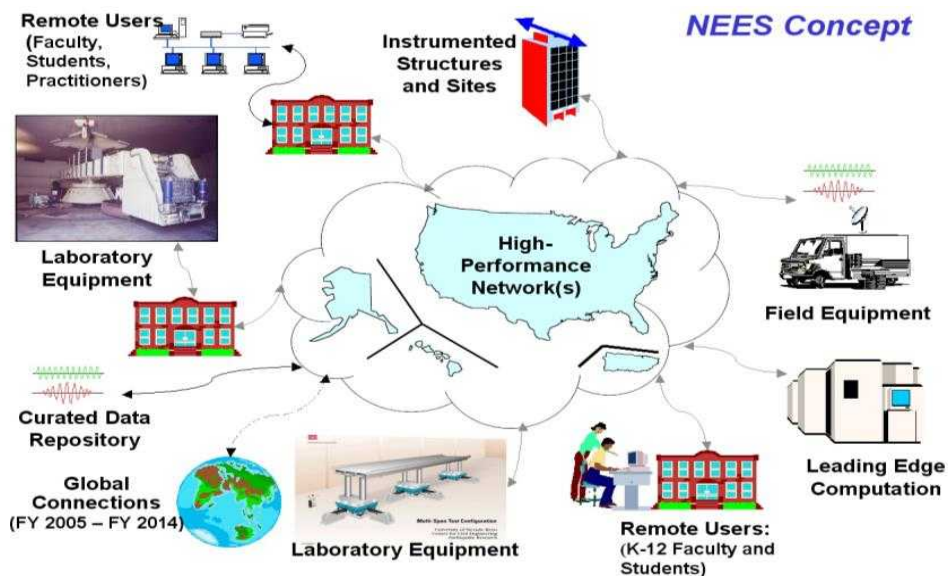


[그림 7-20] 철도차량 Bogie Frame 6자유도 실험

나. 국외 동향

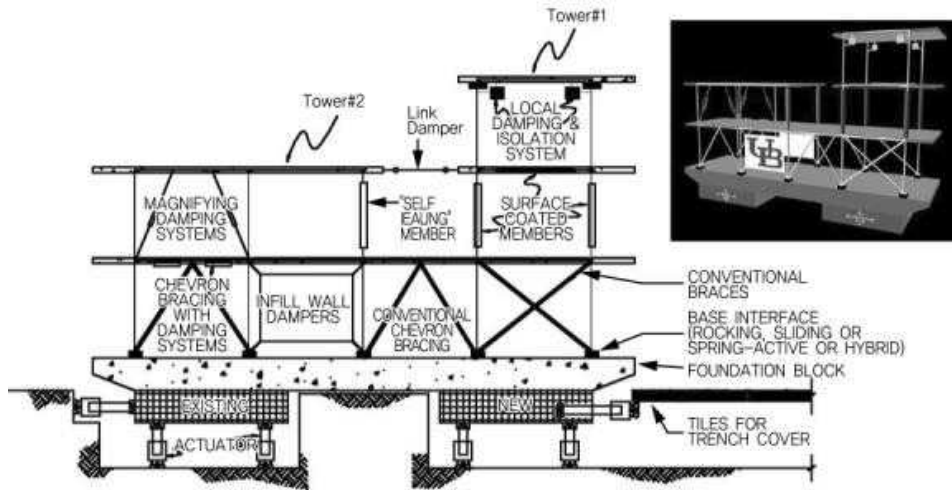
- 지진과 관련한 국외의 연구동향을 살펴보면, 미국, 일본 등 선진국의 경우 지진 발생의 위험지역에 위치한 지리적 여건 때문에 오래전부터 준정적 실험과 의사 동적 실험 등 기초적인 연구가 진행되어 내진성능 평가를 위한 실험기술과 관련 장비기술 등을 보유하고 있음
- 이러한 원천기술들을 바탕으로 1990년대 후반부터는 유사 동적실험을 초고속 연구 전산망인 그리드 시스템을 이용하여 장소와 시간에 구애받지 않고 여러 실험시설에서 수치해석과 실험을 분산시켜 연동할 수 있는 하이브리드실험 또는 분산하이브리드실험(distributed hybrid test)기법의 연구를 시작함
- 이러한 하이브리드실험기법에 관한 본격적인 연구는 미국에서 1999년 NSF(National Science Foundation)의 지원을 받아 시작한 지진공학관련 국가적인 실험장비 연계형 연구사업인 NEES(Network for Earthquake Engineering Simulation)사업의 일환으로 진행됨
- 버클리대학교, 일리노이대학교, 리하이대학교 등을 중심으로 본격적인 첨단 하이브리드 실험을 구현하기 위한 기술개발이 이루어져 왔으며, 실제 크기의 부재에 대한 실험을 성공적으로 수행해 오고 있음

- o 최근에는 일본의 E-Defence(3-D Full Earthquake Testing Facility), 대만의 NCREE(National Center for Research on Earthquake Engineering) 등에서 활발한 연구가 진행되고 있으며 이들 국가들은 자신들이 개발한 하이브리드실험의 기술을 가지고 국가 간 공동연구를 통해 지진관련 기술개발을 활발히 진행하고 있음. 이러한 기술개발을 통해 하이브리드실험에 대한 국제적인 수요를 상당부분 흡수하고 있음
- o 한편 실시간 하이브리드 시스템에 대한 개념은 Nakashima(2001)에 의해 제안됨. Jung(2005)은 U. Colorado에 실시간 하이브리드실험 시스템을 개발하였고, 그 후 단자유도 모델과 2자유도 모델에 대한 비선형 거동실험을 성공적으로 수행함
- o 1975년 : Takanashi 등에 의해서 처음 개발
 - On-line 컴퓨터 제어 실험
 - Explicit 수치적분법
 - 실험속도 매우 느림
- o 1984년 : Mahin과 Shing에 의해 유사 동적실험 개발
 - Implicit 수치적분법 개발
 - 실험속도 느림
- o 2004년 : Colorado 대학에서 FHT(Fast Hybrid Test) 개발
 - 고속 하이브리드실험
 - Implicit 수치적분법 적용



[그림 7-21] NEES 사업의 개념도

- o SUNY Buffalo는 Dual Shake Table(3.6m×3.6m)에서 최대 40m까지 실물 크기의 건축 또는 교량 구조 모형을 X축 가력기(21ton 2개), Y축 가력기(21ton 2개), Z축 가력기(25ton 4개)를 사용하여 3축을 가력할 수 있고 최대 50ton 실험체에 대해서 진동대를 활용한 지진모사 및 구조물의 실시간 하이브리드실험을 할 수 있도록 함.



[그림 7-22] Shaking Table을 이용한 지진모사 실험

- o Lehigh University와 University of Colorado는 고속의 유압시스템을 이용한 고속 하이브리드실험 시스템을 개발하고 있으며, 특히 Colorado 대학의 경우에는 실시간 하이브리드실험을 위한 전용 구조해석 툴을 개발하여 실제 구조물에 대한 지진모사실험을 수행함.
- o UC Berkely에서는 유사 동적실험을 위한 다양한 실험기법 알고리즘을 가지고 있으며, 한 개 또는 Multiple Sub-Structures를 실험할 수 있을 뿐만 아니라, Real-Time, Near-Real-Time 및 Slow Test를 실험할 수 있게 되어 있음. Berkeley 대학은 Colorado 대학과 별도로 지진에 대한 수치시물레이션 해석 툴을 개발하였으며 해석 프로그램과 실험 장비를 직접적으로 통신할 수 있는 통신 툴까지 개발하여 서로 연동시키고 있음.

□ 교각 또는 기둥 다자유도 성능 실험

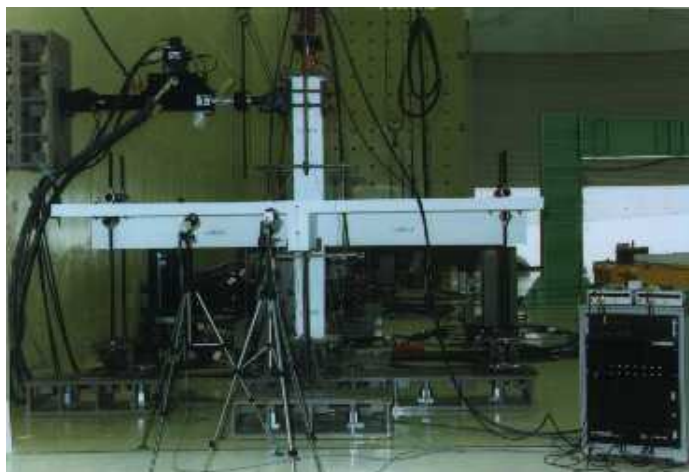
- 실모형 기둥 또는 내진파일의 휨과 전단 및 비틀 강성 평가실험에 활용



[그림 7-23] 교각(기둥)의 다자유도 성능 평가실험

□ 보-기둥 접합부에 대한 다자유도 구조실험

- 건물의 보-기둥 접합부에 대한 다자유도 구조성능 실험에 활용



[그림 7-24] 건물의 보-기둥 접합부 다자유도 구조실험

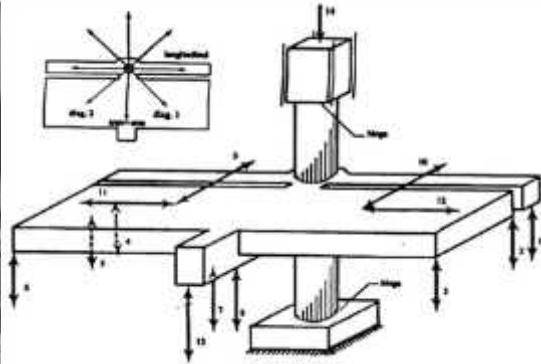
□ 교량 및 건물의 다양한 동적하중 모사를 위한 시뮬레이터

- 교량의 차량 하중 및 건물의 바람, 태풍 효과 및 진동, 온도변화 등의 동적 하중을 구현하기 위한 다자유도 시뮬레이터 구성
- 14 채널의 Actuator로 구성된 반복실험 시스템

- 지진하중에 대한 내진성능 및 손상, 신뢰성 평가에 활용



[그림 7-25] 교량 및 건물의 다양한 하중 모사용 시뮬레이터



[그림 7-26] 교량 및 건물의 다양한 하중 모사용 시뮬레이터 개념도

□ 다층 구조물의 내진성능 실험

- Actuator 4개를 이용한 2층 구조의 내진성능 평가 실험



[그림 7-27] 2층 건물의 다자유도 내진성능 실험

□ 실모형 건축물의 내진성능 평가 실험

- 건물의 층별 변위제어를 위하여 다양한 Actuator를 설치하여 실모형 건축물에 대한 내진성능 평가실험을 수행



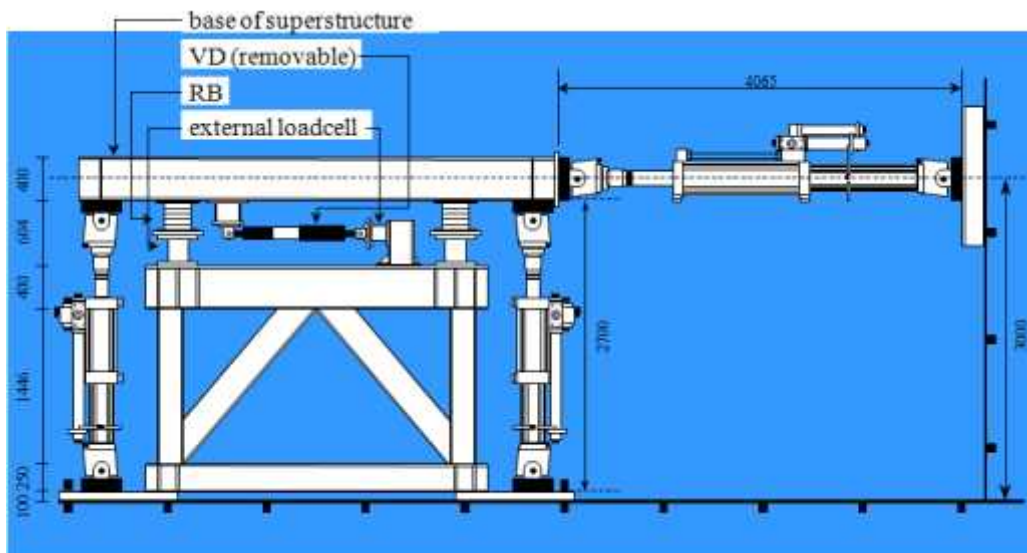
[그림 7-28] 실모형 다층 건축물의 내진성능 평가실험

□ 고성능, 대용량 진동대 실험

- 고성능, 대용량의 Actuator를 이용하여 일반적인 진동대 보다 빠른 속도로 실제 크기의 구조물에 대한 내진성능 평가실험 수행
- 현재까지 발생했던 대부분의 지진과 하중을 구현할 수 있는 유압가력시스템
- 하중 2,000kN 이상, 속도 300mm/sec 이상



[그림 7-29] 고성능 Actuator를 조합하여 구성한 진동대 실험 시스템



[그림 7-30] 고성능 Actuator를 조합하여 구성한 진동대 구성도

다. 소결

- 우리나라는 고속철도나 기계 산업분야에서는 다자유도 구조실험이 다양하게 진행되고 있지만 건설 분야에서는 외국에 비하여 다자유도 실험의 활용도가 낮은 수준임
- 단일 Actuator를 이용하여 단자유도의 실험을 여러 번 수행한 후에 그 결과를 중첩시키는 기존의 실험방법과는 달리 여러 대의 Actuator를 설치하여 다자유도를 구현함으로써 구조물의 실제거동을 실험적으로 모사할 수 있어 다양한 분야에서 6자유도 실험시설템을 갖추어 현장에서 활용하고 있음
- 진동대 실험은 실제에 가까운 빠른 지반운동을 모사할 수 있는 반면에 구축비용이 매우 고가이며 일반적인 구조실험을 수행할 수 없지만, 고성능 Actuator를 이용하여 6자유도 시스템을 구축하게 되면 대형 구조물에 대한 6자유도 실험을 상대적으로 쉽게 할 수 있을 뿐만 아니라 개별 Actuator를 다양한 실험에 폭넓게 활용할 수 있음
- 일반적인 규모의 진동대 실험시설에서는 실제에 가까운 규모의 모형실험이 불가능하기 때문에 축소하여 실험할 수 밖에 없으며, 이와 같이 Size-Effect에 의한 실험오차가 크게 발생함
- 선진 외국에서는 실제 크기의 대형 구조물에 다양한 방법으로 고성능 Actuator를 설치하여 구조물의 실제 6자유도 거동을 파악할 수 있는 방법을 축적하고 있으며 구조물의 실제 거동을 규명하는데 매우 다양하게 활용하고 있음
- 따라서 우리도 구축비용이 진동대에 비하여 상대적으로 저렴하고 다양한 분야의 다양한 실험에 폭넓게 활용할 수 있으며 신뢰성도 확보할 수 있는 6자유도 Actuator 시스템을 적극적으로 활용할 필요가 있음

2. 시설·장비 구축현황

가. 국내 현황

□ 반력구조물과 유압가력시스템 : RIST 강구조연구소

○ 개요: 강구조연구소는 건축과 토목분야에서 철강재의 수요확대를 위한 연구 활동을 위해 건설된 연구소로서 주로 수행하고 있는 실험은 교량기초용 벽강관, 항만용 강판셀, 고성능강, 고장력 볼트, 박판재 등 철강재의 특성에 대한 실험임.

○ 위치: 인천시 송도

○ 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	반력구조물과 유압가력시스템	보유기관	RIST 강구조연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (I형 RC벽, 길이 20 m, 높이 12 m, 두께 3 m) • Strong Floor (PC셀, 길이 37 m, 폭 20 m, 두께 1.5 m) • 1,000 kN Dynamic Actuator (Stroke 400 mm, 180 gpm, 1 ea) • 500 kN Dynamic Actuator (Stroke 400 mm, 90 gpm, 1 ea) • 100 kN Dynamic Actuator (Stroke 400 mm, 30 gpm, 2 ea) • 3,000 kN Static Actuator (Stroke 600 mm, 30 gpm, 2 ea) • 2,000 kN Static Actuator (Stroke 600 mm, 30 gpm, 2 ea) • 1,000 kN Static Actuator (Stroke 400 mm, 30 gpm, 1 ea) • 500 kN Static Actuator (Stroke 400 mm, 30 gpm, 1 ea) • Total 570 gpm Hydraulic Power Unit (190 gpm×3 ea) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 실대형 실험체의 구조실험이 가능한 대형 반력벽과 반력바닥 • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기 다수 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트, 초고층건축물 및 초장대 교량 등의 실대형 구조실험 • 초장대 교량, 초고층 건축물 등의 내진실험 • 대형기계 및 중장비의 완제품 또는 부분제품의 성능실험 • 원자력 구조물의 구조성능 및 내진성능 실험 		
장비사진			


□ 반력구조물과 유압가력시스템 : 한국건설기술연구원

- 개요: 한국건설기술연구원은 건설과 국토관리 분야의 원천기술 개발을 통한 건설 산업 발전을 도모하는 연구 활동을 위해 건설된 연구소로서 주로 수행하고 있는 실험은 50m 장지간 교량 실물 실험체와 8m 높이의 실물 교각 등의 실험이 가능한 실험시설임.
- 위치: 경기도 고양
- 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	반력구조물과 유압가력시스템	보유기관	한국건설기술연구원
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 신태형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (I형 RC벽, 길이 13 m, 높이 10.3 m, 두께 2.75 m) • Strong Floor (PC셀, 길이 34 m, 폭 10.8 m, 두께 0.75 m) • 1,000 kN Dynamic Actuator (Stroke 500 mm, 90 gpm, 2 ea) • 500 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 4 ea) • 250 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 2 ea) • 3,500 kN Static Actuator (Stroke 500 mm, 30 gpm, 2 ea) • Total 360 gpm Hydraulic Power Unit (180 gpm×2 ea) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 신태형 실험체의 구조실험이 가능한 대형 반력벽과 반력바닥이 구축되어 있음. • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기를 다수 보유하고 있음. 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트, 건축물 및 초장대 교량 등의 신태형 구조실험 • 초장대 교량, 초고층 건축물 등의 내진실험 • 대형기계 및 중장비의 완제품 또는 부분제품의 성능실험 • 원자력 구조물의 구조성능 및 내진성능 실험 		
장비사진			

□ 반력구조물과 유압가력시스템 : 한국기계연구원

- 개요: 한국기계연구원은 국가 기계기술의 발전을 도모하는 연구 활동을 위해 건설된 연구소로서 주로 수행하고 있는 실험은 철도차량 대차프레임 및 차체 성능실험, T-50개발시험, 대형복합구조물실험, 건설 중장비 성능실험 등의 다자유도 실험이 가능한 실험시설임.
- 위치: 대전광역시 유성
- 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	반력구조물과 유압가력시스템	보유기관	한국기계연구원
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 중공업, 기계, 원자력, 항공 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (I형 RC벽, 길이 25 m, 높이 8 m, 두께 1 m) • Strong Floor (PC셀, 길이 25 m, 폭 12 m, 두께 1 m) • 1,000 kN Dynamic Actuator (Stroke 150 mm, 90 gpm, 2 ea) • 1,000 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 2 ea) • 500 kN Dynamic Actuator (Stroke 150 mm, 15 gpm, 2 ea) • 500 kN Dynamic Actuator (Stroke 150 mm, 15 gpm, 1 ea) • 250 kN Dynamic Actuator (Stroke 150 mm, 15 gpm, 2 ea) • 100 kN Dynamic Actuator (Stroke 150 mm, 15 gpm, 2 ea) • 50 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 2 ea) • 50 kN Dynamic Actuator (Stroke 150 mm, 15 gpm, 2 ea) • 250 kN Static Actuator (Stroke 150 mm, 15 gpm, 1 ea) • 100 kN Static Actuator (Stroke 150 mm, 15 gpm, 1 ea) • 50 kN Static Actuator (Stroke 150 mm, 15 gpm, 1 ea) • Total 600 gpm Hydraulic Power Unit (150 × 3 ea, 75 × 2 ea) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 실대형 실험체의 구조실험이 가능한 대형 반력벽과 반력바닥 • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기 다수 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 철도차량 및 대형복합구조물 등의 실대형 및 축소실험체 구조실험 • T-50과 같은 항공기 구조실험 • 대형기계 및 중장비의 완제품 또는 부분제품의 성능실험 • 원자력 구조물의 구조성능 및 내진성능 실험 		
장비사진			

□ 반력구조물과 유압가력시스템 : 현대건설기술연구소

- 개요: 현대건설기술연구소의 실험시설은 25m 장지간 교량 실물 실험체와 7m 높이의 실물 교각 등의 실험이 가능한 실험시설임.
- 위치: 경기도 용인
- 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	반력구조물과 유압가력시스템	보유기관	현대건설기술연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (L형 RC벽, 길이 27 m, 높이 8 m, 두께 2 m) • Strong Floor (RC셀, 길이 27 m, 폭 12 m, 두께 1 m) • 500 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 2 ea) • 200 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 2 ea) • 100 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 30 gpm, 2 ea) • 1,994 kN Static Actuator (Stroke 500 mm, 30 gpm, 2 ea) • 1,013 kN Static Actuator (Stroke 500 mm, 30 gpm, 2 ea) • Total 570 gpm Hydraulic Power Unit (190 gpm×3 ea) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 실대형 실험체의 구조실험이 가능한 대형 반력벽과 반력바닥 • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기 다수 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트, 건축물 및 초장대 교량 등의 실대형 구조실험 • 초장대 교량, 초고층 건축물 등의 내진실험 • 원자력 구조물의 구조성능 및 내진성능 실험 		
장비사진			

□ 반력구조물과 유압가력시스템 : 대우건설기술연구소

- o 개요: 대우건설기술연구소의 실험시설은 36m 장지간 교량 실물 실험체와 11m 높이의 실물 교각 등의 실험이 가능한 실험시설임.
- o 위치: 경기도 수원
- o 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	반력구조물과 유압가력시스템	보유기관	대우건설기술연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (I형 RC벽, 길이 14 m, 높이 12 m, 두께 2.5 m) • Strong Floor (PC셀, 길이 39 m, 폭 17.5 m, 두께 1.5 m) • 500 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 2 ea) • 1,994 kN Static Actuator (Stroke 500 mm, 15 gpm, 2 ea) • 1,013 kN Static Actuator (Stroke 500 mm, 15 gpm, 6 ea) • 649 kN Static Actuator (Stroke 500 mm, 15 gpm, 2 ea) • Total 300 gpm Hydraulic Power Unit (150 gpm×2 ea) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 실대형 실험체의 구조실험이 가능한 대형 반력벽과 반력바닥 • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기 다수 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트, 건축물 및 초장대 교량 등의 실대형 구조실험 • 초장대 교량, 초고층 건축물 등의 내진실험 • 대형기계 및 중장비의 완제품 또는 부분제품의 성능실험 • 원자력 구조물의 구조성능 및 내진성능 실험 		
장비사진			

□ 반력구조물과 유압가력시스템(한양대학교 초대형구조실험동)

- 개요: 한양대학교 초대형 구조실험동은 토목과 건축관련 연구 활동을 위해 건설된 대학교 부설연구소로서 건설, 기계, 철도차량 등의 성능실험이 가능함.
- 위치: 경기도 안산
- 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 동적계측장비, 천정크레인

장비명	반력구조물과 유압가력시스템	보유기관	한양대학교 초대형구조 실험동
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (I형 RC벽(T형), 길이 11 m, 높이 8 m, 두께 1 m) • Strong Floor (PC셀, 길이 11 m, 폭 11 m, 두께 0.6 m) • 1,000kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 2 ea) • 500kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 1 ea) • 250kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 90 gpm, 2 ea) • 100kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 30 gpm, 2 ea) • 2,000kN Static Actuator (Stroke 250 mm, 30 gpm, 1 ea) • 180 gpm Hydraulic Power Unit 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 실물 실험체의 구조실험이 가능한 반력벽과 반력바닥 구축 • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기 다수 보유 • 다수의 유압가력기를 작동하는데 필요한 대용량 유압펌프 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트, 건축물 및 초장대 교량 등의 축소실험체 구조실험 • 기계 및 중장비의 완제품 또는 부분제품의 성능실험 • 원자력 구조물의 구조성능 및 내진성능 실험 		
장비사진			


□ 실대형 통합성능 시험시스템 : 한국철도기술연구원

- 개요: 철도, 궤도, 교반 및 교량의 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 실험장비
- 위치: 경기도 의왕
- 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	실대형 통합성능 시험시스템	보유기관	한국철도기술연구원
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 철도 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 피로성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (I형 RC벽, 길이 23.5 m, 높이 8 m, 두께 2 m) • Strong Floor (PC셀, 길이 45.5 m, 폭 14.4 m, 두께 1.2 m) • 재하용 이동프레임 (자주식) • 500kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 240 mm/s, 12 ea) • 250kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 1,600 mm/s, 4 ea) • 250kN Dynamic Actuator (Stroke 750 mm, 1,000 mm/s, 4 ea) • 250kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 200 mm/s, 4 ea) • 5,000kN Static Actuator (Stroke 750 mm, 2 ea) • 2,000kN Static Actuator (Stroke 750 mm, 1 ea) • 180 gpm Hydraulic Power Unit 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 철도 전용 대용량의 자주식 프레임과 다수의 유압가력기 보유. • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기 다수 보유 • 다수의 유압가력기를 작동하는데 필요한 유압펌프 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 철도관련 완제품 또는 부분제품의 성능실험 • 기계 및 중장비의 완제품 또는 부분제품의 성능실험 		
장비사진			

□ 철도차량 Bogie Frame 피로시험기 : 현대로템

- 개요: 철도, 자동차 등의 차체나 차축 등에 대한 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 실험장비
- 위치: 경상남도 창원
- 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	철도차량 Bogie Frame 피로시험기	보유기관	현대로템 창원공장
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 철도 자동차, 항공 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 피로성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Strong Floor • 500kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 6 ea) • 250kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 2 ea) • 8축 피로실험용 Dynamic Actuator • Hydraulic Power Unit 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 철도관련 실대형 실험체의 성능실험이 가능한 대용량의 자주식 프레임과 다수의 유압가력기가 내장되어 있음. • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기를 다수 보유하고 있음. • 다수의 유압가력기를 작동하는데 필요한 유압펌프를 보유하고 있음. 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트, 초고층건축물 및 초장대 교량 등의 축소실험체 구조실험 • 기계 및 중장비의 완제품 또는 부분제품의 성능실험 		
장비사진			

□ 6자유도 Vertical Excitation System : 볼보건설기계

- 개요: 자동차와 중장비 등의 실대형이나 축소모형 등에 대한 내진성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 실험장비
- 위치: 경상남도 합천
- 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	6자유도 Vertical Excitation System	보유기관	볼보건설기계 연구소
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차, 중장비 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 시료 무게 : 220 kN • 운용 주파수 범위: 0.01 ~ 50 Hz • 수직축 최대 가속도(최대무게 시료 시험시): 5 G • 전후축 최대 가속도(최대무게 시료 시험시): 2.7 G • 좌우축 최대 가속도(최대무게 시료 시험시): 1.3 G • Hydraulic Power Unit 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 및 중장비 관련 실대형 실험체의 내진실험 가능 • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기 다수 보유. • 다수의 유압가력기를 작동하는데 필요한 유압펌프 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차의 실대형 또는 축소모형 실험체 내진실험 • 기계 및 중장비의 완제품 또는 부분제품의 내진성능실험 		
장비사진			

□ 6자유도 Multi-Axial Simulation System : 전북자동차기술원

- 개요: 자동차, 중장비 등에 대한 정·동적 구조성능을 파악하기 위한 실험을 추가 장치 없이 장비 자체만으로 비교적 쉽게 파악할 수 있는 실험장비
- 위치: 전라북도 군산
- 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 동적계측장비, 천정크레인

장비명	6자유도 Multi-Axial Simulation System	보유기관	전북자동차기술원
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 철도 자동차, 항공 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 피로성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 시료 무게 : 20 kN • Table Size : 2.5m x 2.0m • 수직축 최대 속도 : 1.5 m/sec • 가로축 최대 속도 : 1.2 m/sec • 운용 주파수 범위: 0.01 ~ 50 Hz • 수직축 최대 가속도(최대무게 시료 시험시): 5 G • 가로축 최대 가속도(최대무게 시료 시험시): 4.5 G • 180 gpm Hydraulic Power Unit 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 및 중장비 관련 실대형 실험체의 내진실험 가능 • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기 다수 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차의 실대형 또는 축소모형 실험체 내진실험 • 기계 및 중장비의 완제품 또는 부분제품의 내진성능실험 		
장비사진			

나. 국외 현황

□ 반력구조물과 유압가력시스템 : University of Buffalo, SUNY

o 개요: Dual Shake Table(3.6m × 3.6m)에서 최대 40m까지 실물 크기의 건축 또는 교량 구조 모형을 유압가력기를 사용하여 3축을 가력할 수 있으며 최대 50ton 실험체에 대해서 지진모사 및 실시간 하이브리드 실험 등의 다자유도 실험이 가능한 실험시설임.

o 위치: United States of America, New York

o 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	반력구조물과 유압가력시스템	보유기관	University of Buffalo, SUNY
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (길이 19.5 m, 높이 9 m, 두께 0.6 m) • Strong Floor A (길이 24 m, 폭 11.8 m, 두께 0.6 m) • Strong Floor O (길이 18.3 m, 폭 12.2 m, 두께 2.5 m) • Dual Shake Table (3.6 m x 3.6 m, 445 kN, 2 ea) • T=180 kN / C=100 kN Dynamic Actuator (Stroke 2,000 mm, 250 gpm, 4 ea) • T=2,002 kN / C=2,669 kN Static Actuator (Stroke 1,219 mm, 3 ea) • Total 1,020 gpm Hydraulic Power Unit (185 gpm×4 ea, 140 gpm×2 ea) 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 실대형 실험체의 구조실험이 가능한 대형 반력벽과 반력바닥. • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기 다수 보유 • 다수의 유압가력기를 작동하는데 충분한 유량의 유압펌프 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트, 초고층건축물 및 초장대 교량 등의 실대형 구조실험 • 초장대 교량, 초고층 건축물 등의 내진실험 		
장비사진			

□ 반력구조물과 유압가력시스템 : Lehigh University

- 개요: 면적 372m²의 Strong Floor와 L형의 Multi-Directional Reaction Wall이 설치되어 있고 각종의 진보된 센서들을 보유하고 있어 지진모사 및 실시간 하이브리드 실험 등의 다자유도 실험이 가능한 실험시설
- 위치: United States of America, Pennsylvania
- 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	반력구조물과 유압가력시스템	보유기관	Lehigh University
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (길이 32 m, 높이 15.2 ~ 6.1 m) • Strong Floor (길이 30.5 m, 폭 12.2 m) • 2,680 kN Dynamic Actuator (Stroke 1,500 mm, 20 mm/s, 3 ea) • 2,050 kN Dynamic Actuator (Stroke 960 mm, 25 mm/s, 2 ea) • 1,500 kN Dynamic Actuator (Stroke 960 mm, 35 mm/s, 4 ea) • 1,500 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 35 mm/s, 2 ea) • 1,050 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 50 mm/s, 2 ea) • 670 kN Dynamic Actuator (Stroke 600 mm, 80 mm/s, 2 ea) • 580 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 60 mm/s, 8 ea) • 1,000 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 35 mm/s, 2 ea) • 130 kN Dynamic Actuator (Stroke 250 mm, 35 mm/s, 2 ea) • Total 600 gpm Hydraulic Power Unit 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 실대형 실험체의 구조실험이 가능한 대형 반력벽과 반력바닥 • 다자유도 실험에 필요한 고성능의 정·동적 유압가력기 다수 보유 • 다수의 유압가력기를 작동하는데 충분한 유량의 유압펌프 보유 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트, 초고층건축물 및 초장대 교량 등의 실대형 구조실험 • 초장대 교량, 초고층 건축물 등의 내진실험 		
장비사진			


□ 반력구조물과 유압가력시스템 : University of California, Berkeley

- o 개요: Reconfiguration Reaction Wall(Tall Wall Type)이 구축되어있고 다양한 Pseudo Dynamic Testing Method 알고리즘을 보유하고 있어 다자유도 실험에 유리한 실험시설
- o 위치: United States of America, California
- o 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

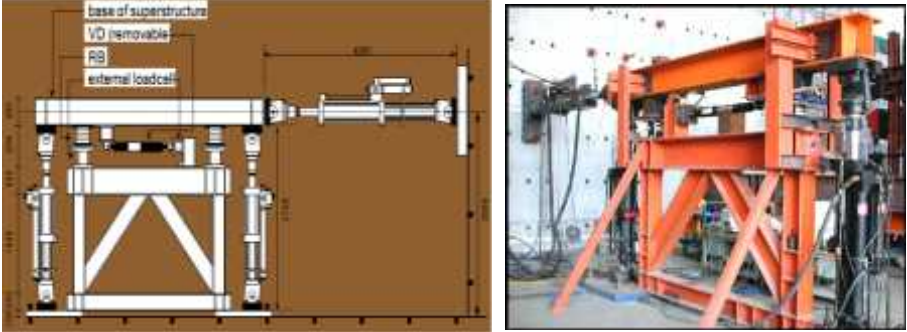
장비명	반력구조물과 유압가력시스템		보유기관	University of California, Berkeley
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 			
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (조합 최고높이 13 m, 블록 24개 조합) • Strong Floor (길이 18 m, 폭 6 m) • 1,000 kN Dynamic Actuator (Stroke 508 mm, 508 mm/s, 2 ea) • 667 kN Dynamic Actuator (Stroke 1,016 mm, 508 mm/s, 2 ea) • 1,560 kN Dynamic Actuator (Stroke 600 mm, 375 mm/s, 1 ea) • 530 kN Dynamic Actuator (Stroke 900 mm, 175 mm/s, 2 ea) • 530 kN Dynamic Actuator (Stroke 500 mm, 500 mm/s, 2 ea) • T=270kN, C=380kN Dyn. Actuator (Stroke 500mm, 500mm/s, 2ea) • 330 kN Dynamic Actuator (Stroke 300 mm, 750 mm/s, 1 ea) • 310 kN Dynamic Actuator (Stroke 300 mm, 750 mm/s, 1 ea) • 170 kN Dynamic Actuator (Stroke 2,500 mm, 1,125 mm/s, 2 ea) • T=60 kN, C=90 kN Dyn. Act. (Stroke 250 mm, 1,250 mm/s, 2 ea) • 50 kN Dynamic Actuator (Stroke 375 mm, 625 mm/s, 2 ea) • 961 kN Static Actuator (Stroke 1,829 mm, 19 mm/s, 3 ea) • T=3,110 kN, C=4,180 kN Static Actuator (Stroke 300 mm, 25 gpm, 2 ea) • T=1,500 kN, C=2,000 kN Static Actuator (Stroke 500 mm, 25 gpm, 2 ea) • T=1,500 kN, C=2,000 kN Static Actuator (Stroke 250 mm, 25 gpm, 2 ea) • 1,070 kN Static Actuator (Stroke 600 mm, 25 gpm, 1 ea) • 530 kN Static Actuator (Stroke 900 mm, 25 gpm, 2 ea) • 270 kN Static Actuator (Stroke 900 mm, 25 gpm, 1 ea) • Total 320 gpm Hydraulic Power Unit (80 gpm×4 ea) 			
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 다자유도 실험에 필요한 정·동적 유압가력기를 다수 보유하고 있음. 			
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜트, 초고층건축물 등의 실대형 및 축소실험체 구조실험 			
장비사진				

□ MAST System : University of Minnesota

- o 개요: The Multi-axial Subassemblage Testing System과 Reaction Wall, Strong Floor가 설치되어 있고 각종의 진보된 센서들을 보유하고 있어 지진모사 및 실시간 하이브리드 실험 등의 다자유도 실험이 가능한 실험시설
- o 위치: United States of America, Minnesota
- o 기타 보유장비 : 다채널 디지털컨트롤러, 고성능 동적계측장비, 대형 천정크레인

장비명	MAST(Multi-axial Subassemblage Testing) System	보유기관	University of Minnesota
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 실대형 및 축소모형 실험체를 대상으로 구조특성 및 내진성능 검증실험에 활용 		
규모/성능/사양	<ul style="list-style-type: none"> • Reaction wall (L자형, 길이 10.7m x 10.7 m, 높이 10.7, 두께 2.1 m) • Strong Floor (길이 10.7 m, 폭 10.7 m, 1.67 m) • Total System Capacity <ul style="list-style-type: none"> - Vertical Forces: ±5,900 kN - Lateral Forces: ±3,900 kN - Lateral Displacements: ±406 mm - Vertical Displacements: ±508 mm - Subassemblage size (W x L x H): 6.1 m x 6.1 m x 8.7 m • 1,960 kN Dynamic Actuator (Stroke 812 mm, 4 ea) • 1,470 kN Dynamic Actuator (Stroke 1,016 mm, 4 ea) • 980 kN Dynamic Actuator (Stroke 500 mm, 4 ea) • 190 gpm Hydraulic Power Unit 		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 실대형 실험체의 구조실험이 가능한 대형 반력벽과 반력바닥이 구축되어 있음. • 다자유도 실험에 필요한 고성능의 정·동적 유압가력기를 다수 보유하고 있음. 		
활용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 플렌트, 초고층건축물 및 초장대 교량 등의 실대형 및 축소실험체 구조실험 • 초장대 교량, 초고층 건축물 등의 내진실험 		
장비사진			

□ MAST System : NCREE in Taiwan

장비명	A System for Multi-axial Subassemblage Testing (MAST)
보유기관	NCREE in Taiwan
장비 사양	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vertical Force : ± 250 kN (± 250 mm), 2 sets ▪ Lateral Force : ± 250 kN (± 250 mm), 1 set
장비 사진	

□ A System for Cyclic Tests of Large Scale Buckling Restrained Braced Frames : NCREE in Taiwan

장비명	A System for Cyclic Tests of Large Scale Buckling Restrained Braced Frames
보유기관	NCREE in Taiwan
장비 사양	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Horizontal : ± 500 kN (± 250 mm), 4 sets
장비 사진	

다. 소결

- 초장대 교량 및 초고층 건축물의 건설에 따른 관련 성능 실험도 대형화, 첨단화되고 있는 추세이며 이러한 추세를 반영한 기술개발을 위하여 대용량의 부재에 대하여 실제 거동을 모사할 수 있는 장비 구축이 필요함
- 기존에는 고속의 실험장비보다는 대용량의 동적 실험장비들로 구성함으로써 최근 교량 및 건축구조물 등의 내진설계와 내진보강을 위한 구조성능실험에서는 기존 실험 장비를 설계한 10년 전 보다 더 고성능의 장비사양이 요구됨
- 가능하면 실 모형의 실험체를 대상으로 하는 최근의 경향을 반영하여, 6자유도의 실 모형 구조실험을 수행하기 위해서는 한 번에 10개 이상의 유사한 성능을 가진 Actuator가 필요함
- 케이블 등의 반복적인 피로실험에서 시간 및 비용 절감 등의 경제적인 실험을 위하여 더 고속의 고성능 Actuator가 필요함
- 그 동안 건설 분야의 시설물 및 장비 등이 초대형화, 첨단화 되고 있는 상황에서 이들 시설물의 검증실험을 위해서는 실험수요에 맞는 실험장비의 개선이 필요함
- 예를 들어, 교량의 낙교방지장치로 사용되는 STU의 고속실험을 위한 고성능의 유압가력기가 필요함. 현재 국내에서는 본 센터의 1,000kN Actuator가 최고속이지만 STU의 공칭하중(1,500kN)을 충족하지 못함
- 다자유도 실험을 하기 위해서는 같은 사양의 Actuator를 4개 이상 확보하는 것이 설치 및 단면력 도입에 유리함
- 소규모의 실험에서도 불가피하게 긴 stroke의 Actuator와 Loading Frame을 사용함으로써 과도한 소모성 비용이 발생함. 따라서 실험에 적합한 stroke의 장비와 Loading Frame을 구성하는 것이 경제적인 실험 수행에 유리함

3. 종합분석

- 6자유도의 변위성분을 갖는 실물 모형 구조물의 거동을 파악하기 위하여 실제에 가깝게 모사하여 실험할 수 있는 장비 구축이 필요함
- 건설 분야 등의 축소모형 내진성능 실험뿐만 아니라 실 모형 구조물의 내진성능 평가 실험 수용에 대응할 수 있는 장비 구축이 필요함
- 원자력, 중공업, 철도, 기계설비 등 전 산업분야의 대규모 시설물에 대한 기계적인 성능 검증 및 내구성 실험 수요에 대응할 수 있는 장비 구축이 필요함
- 초장대 교량, 초고층 건축물 등의 중요 사회기반시설물에 대한 내구성 및 지진 발생 시 안정성 확보를 위한 실험 수요에 대응할 수 있는 장비 구축이 필요함

- 초기에 많은 투자비용이 소요되는 초대형 구조실험시설 및 장비의 신규 구축에 따른 비용을 절감하고 기존 장비의 성능개선을 통하여 저비용 고효율의 장비구축이 필요함
- 기존 타 구조실험시설의 장비 내구 연한 도래에 따른 대체 실험장비로 활용하여 재 투자 비용을 절감할 수 있는 장비 구축이 필요함

제 5 절 기존 시설·장비와 차별성

1. 장비의 중복성 검토(NTIS 검색)

가. 장비구축 자체 검토의견(종합)

총 3개의 관련 Keyword(고성능 Actuator, 다자유도 Actuator, 하이브리드구조실험)를 사용하여 장비의 중복성을 검토함.

- 관련 키워드를 통한 NTIS 검색 결과 현재 국내에 고성능 Actuator 장비가 다수 존재함.
- 하지만 대부분의 경우 일반 구조실험용 Actuator이며 다자유도 및 하이브리드구조실험용 Actuator 시스템을 보유하고 있는 기관은 없는 것으로 파악됨.
- 기존의 고성능 Actuator를 활용하여 다자유도 Actuator 시스템을 외형적으로 구성할 수도 있지만 이 시스템을 구동하는 운영시스템과의 호환성 문제가 발생할 수 있음.
- 다자유도 Actuator 시스템을 구성하기 위해서는 대상 구조물의 크기 및 용도 등을 고려한 시스템의 크기 및 기능을 종합적으로 고려하여 전반적인 설계가 필요함.
- 세계적으로 다양한 분야의 실험에서 구조물의 실제 거동을 그대로 모사할 수 있는 다자유도 가력시스템을 이용하는 추세이기 때문에 실질적인 기술개발을 위해서 우선적으로 구축해야 할 장비로 판단됨.
- 위 결과를 토대로 제안 장비와 기존 장비의 중복성은 없는 것으로 판단됨.

나. 국가연구시설장비 공동활용서비스 NTIS(<http://nfec.ntis.go.kr>) 검색 결과

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소)	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표성능 비교	구축예정장비 신청기관의 자체 검토의 견
1	실대형 통합성능 시험시스템 NFEC-2010-05-08 3419	MTS	한국철도기 술연구원	2009	9,254	The Fully Integrated Test Equipment for Railroad Infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> • 자주식 재하용 로딩프레임 • 동적 유압가력기 : 24개 • 정적 유압가력기 : 3개 	<ul style="list-style-type: none"> • 철도관련 전용 실험장 비 • 구조물의 다자유도 실 험에는 부적합함.
2	서스펜션부시3축 내구시뮬레이터 NFEC-2010-12-12 7825	MTS	자동차부품 연구원	2008	505	3ch Elastomer Durability Testing System	<ul style="list-style-type: none"> • T-slot Base Plate • Portal Frame for Vertical Loading • Side Loading Fixture for Horizontal Loading • Maximum Frequency: 50Hz • Vertical Dynamic Force: 50 kN • Horizontal Dynamic Force: 25 kN 	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차부품 성능실험 전용장비 • 대체로 저용량(50kN 이하)의 Actuator로 구 성 • 대용량 구조물의 6자 유도 고속실험에는 부 적합
3	4CH 건설기계 부 품 피로시험기 NFEC-2012-09-17 0534	MTS	한국건설기 계산업협 회	2012	940	4CH Fatigue Testing System	<ul style="list-style-type: none"> • 250kN Actuator (2CH) <ul style="list-style-type: none"> - Force capacity : ± 250 kN - Displacement : ± 125 mm • 500kN Actuator (2CH) <ul style="list-style-type: none"> - Force capacity : ± 500 kN - Displacement : ± 125 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 건설기계 피로실험 전 용장비 • 구조물의 6자유도 실 험에는 부적합

4	2축 유압내구시험기 NFEC-2011-01-13 5790	MTS	창원대학교	2009	805	2ch hydraulic durability testing system	<ul style="list-style-type: none"> • 1,000kN Actuator System - Force Rating : ±1,000 KN - Displacement : ±125 mm • 100kN Actuator System - Force Rating : ±100 KN - Displacement : ±125 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 2채널의 피로시험기 • 6자유도 구조시험에는 부적합
5	다축내구시험기 (323) NFEC-2007-10-01 9337	MTS	울산테크노파크 자동차부품혁신센터	2005	2,390	Multi axial simulation table	<ul style="list-style-type: none"> • Single & Dual Table • 시험물 허용 무게 : 680 Kg • 내구시험 주파수 : 50 Hz • 테이블 크기 : 1.5 m × 2.1 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차분야의 다축 소형 피로시험기 • 고속 대용량 다자유도 시험에는 부적합
6	11CH 유압식 내구시험기 NFEC-2007-10-00 6428	MTS	전북자동차기술원	2006	1,153	11 CH. Hydraulic Durability Testing System	<ul style="list-style-type: none"> • 동적유압가력기: 11개 • T-slot Base Plate • Portal Frame • Fixture - Vertical Fixture(3) - Side Fixture(4) 	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차분야의 소형 다자유도 시험장비 • 대용량의 구조물 다자유도 시험에는 부적합
7	4채널유압 내구시험기 NFEC-2007-10-01 5132	MTS	전북자동차기술원	2005	655	4 CH. Hydraulic Durability Testing System	<ul style="list-style-type: none"> • 동적유압가력기: 3개 • 로터리유압가력기: 1개 • T-slot Base Plate • Fixture - Vertical Fixture(1) - Side Fixture(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차분야의 4채널 피로시험 장비 • 구조물의 대용량, 고속 다자유도 시험에는 부적합

8	3축 내구 시험기 NFEC-2013-05-17 9126	Saginomiya	일진 기술연구소	2012	638	Dynamic Servo 3ch Actuator System	<ul style="list-style-type: none"> • 동적유압가력기: 3개 	<ul style="list-style-type: none"> • 제품개발에 특화된 3채널 피로시험기 • 구조물의 6자유도 고속실험에는 부적합
9	3축 내구시험기 NFEC-2011-02-14 2913	MTS	경북하이브리드부품연구원	2008	479	3ch. Hydraulic Durability Testing System	<ul style="list-style-type: none"> • 유압가력기 : 100 kN, 25 kN • 동적 변위 : ± 125 mm • 측정높이 : 142 ~ 1,308 mm • 베드사이즈 : 4 x 3 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 기계부품 개발에 특화된 3채널 피로시험기 • 구조물의 6자유도 고속실험에는 부적합
10	다축내구시험기 (SM3026) NFEC-2011-11-15 1178	MTS	경일대학교	2011	412	Multi Axial Endurance Test Machine System	<ul style="list-style-type: none"> • 동적유압가력기: 3개 • Portal Frame • Side Mounting Fixture • Reaction Fixture 	<ul style="list-style-type: none"> • 정형화된 3축 피로시험기 • 구조물의 종류에 따라 다변화되는 구조물의 6자유도 실험에는 부적합

2. 차별화 및 특성화 방안

가. 장비 구축 주안점

- 수행 가능한 성능실험의 범위를 세계적 수준으로 설정함
 - 본 실험장비는 국내에서의 실험수요에 대한 부응과 관련 산업분야의 기술 개발 지원을 위한 연구 인프라 구축 면에서 최첨단의 장비로 구축할 필요가 있음
 - 실험장비의 수요 예측에 따른 효율성을 확보하고 다방면으로 활용할 수 있는 운영체계를 구축해야 함

- 예산 등 제한된 범위 내에서 최고 성능의 장비를 구축하는 것은 불가능하므로 다음의 요건을 고려하여 실험 장비를 구축함
 - 가장 수요가 많을 것으로 예상되는 분야의 실험을 집중적으로 수행할 수 있도록 구축해야 함
 - 대학 등 일반 연구기관에서 안전/인증에 큰 무리 없이 구축/활용 가능한 장비를 구축해야 함
 - 구축 후 활용/유지관리에 과도한 비용이 소요되지 않도록 구축해야 함

- 실험 장비의 효율을 극대화할 수 있는 설치 공간 확보가 필요함
 - 기존 실험시설에 실험 장비의 적절한 배치를 통해 다른 실험과의 상호 영향을 최소화 시켜야 함
 - 운영 효율성 확보를 위해 제어시설 및 보조 장치 등을 적절히 배치하여 공간 활용 및 작업 환경의 효율적인 배치가 이루어져야 함
 - 실험 장비의 유지관리 및 실험 중 안전을 확보하기 위한 비상 통로 확보 등 공간배치를 고려할 필요가 있음
 - 실험 장비의 조립, 해체, 수리를 위한 공간 활용이 가능하도록 공간 확보를 고려할 필요가 있음
 - 고속 Actuator를 조합한 대용량의 실험 장비이기 때문에 운영에 필요한 에너지 및 유압 펌프의 용량과 유압 배관 등의 용량이 충분한지를 사전에 충분히 검토할 필요가 있음
 - 향후 추가 장비 배치 및 실험 공간의 간섭, 실험 확장성 등을 고려한 공간 배치가 필요함

□ 실험 장비 운영의 안전성 확보가 필요함

- 실험 시 발생하는 소음이나 파편 등의 위험을 방지하기 위해 그물막 등 비산물질을 막을 수 있는 안전장치와 방음시설의 설치가 필요함
- 극한강도 평가 실험 시 발생할 수 있는 시험체의 파괴는 대형사고로 이어질 수 있으므로 안전벽 등의 안전시설 설치가 고려되어야 함
- 대형 실험 장비의 특성상 사소한 1차 사고는 2차의 대형사고로 이어질 수 있기 때문에 실험 시 이중의 안전장치를 설치할 수 있는 방안이 강구되어야 함

나. 차별성 및 특성화

□ 국내 기존의 고성능 Actuator와 비교하여 더 우수한 성능을 가진 Actuator로 조합한 다자유도 구조실험 시스템으로서 대형 구조물의 6자유도 성능 실험과 고속의 반복 재하실험 및 다양한 구조실험을 수행할 수 있도록 특화된 국내 유일의 실험 장비이며 외국의 장비와 비교하여도 최고 수준의 실험 장비임

□ 관련분야의 다양한 실험 장비를 함께 보유하여 상승적 결합 효과가 기대됨.

- 기존의 고속 동적 Actuator 및 대용량 정적 Actuator를 같이 활용함으로써 실험 장비의 응용분야가 상당히 넓어져 다양한 실험이 가능함
- 기존의 단일 Actuator를 이용하는 단순 성능실험에서 탈피하여 다양한 기능을 수행할 수 있는 장비로 활용하고자 함

다. 소결

- 기존의 실험시설 내에 해당 장비를 설치함으로써 별도의 공간을 확보할 필요가 없어 경제적인 장비 구축이 가능함
- 실험 장비를 가동시키기 위한 유압펌프 및 유압배관의 경우에 기존 장비에 다소 업그레이드하여 작동이 가능하기 때문에 경제적이고 효율적인 장비 구축이 가능함
- 제한된 예산 범위 내에서 구축하는 장비이기는 하지만 다양한 분야의 수요를 충족시킬 수 있는 고효율의 장비구성이 될 수 있도록 구축함
- 기존의 1축 Actuator를 이용한 실험과의 차별화를 통하여 다자유도 실험이 가능한 실험 장비를 구축함으로써 활용성을 극대화시킴
- 국내 최고 성능의 Actuator를 확보하여 다양한 분야의 구조 및 재료실험이 가능하도록 구축함

제 6 절 필요 장비 및 시설

1. 최소 요구 성능

□ 목표성능수준

- 실험 장비의 목표성능은 가능한 세계 Top Class 수준을 목표로 하였으며 전문가 자문 등을 거쳐 제한된 예산범위 내에서 가장 효율적으로 구성할 수 있는 방법을 도출함
- 고성능 다자유도 실험을 위해서 다양한 용량의 여러 대의 고성능 장비가 필요함
- 고성능 진동대 구현 및 구조부재의 내진실험을 위해서 대용량, 고성능 장비가 필요함

<표 7-2> 장비의 규격 및 사양

구분	성능
100 kN Actuator (2ea)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fatigue rated force capacity : ±100 kN ▪ Double amplitude displacement, 500 mm (±250 mm) ▪ Type : Double Ended / Double Acting design for balaced dynamic performance ▪ Custom Actuator design with high performance cushions to allow dynamic testing of large components. ▪ Hydrostatic bearing design ▪ Coaxially mounted full stroke linear variable displacement transducer (LVDT) ▪ Non-Linearity of LVDT : 0.5% of full range ▪ Lifting & Pad ▪ 90 gpm (340 lpm) servo-valve ▪ 90 gpm (340 lpm) servo-valve manifold assembly ▪ Operating Pressure : 210 bar ▪ Type : 4 port, 3 stage
250 kN Actuator (2ea)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fatigue rated force capacity : ±250 kN ▪ Double amplitude displacement, 500 mm (±250 mm) ▪ Type : Double Ended / Double Acting design for balaced dynamic performance ▪ Custom Actuator design with high performance cushions to allow dynamic testing of large components. ▪ Hydrostatic bearing design ▪ Coaxially mounted full stroke linear variable displacement transducer (LVDT) ▪ Non-Linearity of LVDT : 0.5% of full range ▪ Lifting & Pad

구분	성능
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 180 gpm (680 lpm) servo-valve ▪ 180 gpm (680 lpm) servo-valve manifold assembly ▪ Operating Pressure : 210 bar ▪ Type : 4 port, 3 stage
<p>500 kN Actuator (2ea)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fatigue rated force capacity : ±500 kN ▪ Double amplitude displacement, 500 mm (±250 mm) ▪ Type : Double Ended / Double Acting design for balaced dynamic performance ▪ Custom Actuator design with high performance cushions to allow dynamic testing of large components. ▪ Hydrostatic bearing design ▪ Coaxially mounted full stroke linear variable displacement transducer (LVDT) ▪ Non-Linearity of LVDT : 0.5% of full range ▪ Lifting & Pad ▪ 180 gpm (680 lpm) servo-valve ▪ 180 gpm (680 lpm) servo-valve manifold assembly ▪ Operating Pressure : 210 bar ▪ Type : 4 port, 3 stage
<p>1,000 kN Actuator (2ea)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fatigue rated force capacity : ±1,000 kN ▪ Double amplitude displacement, 500 mm (±250 mm) ▪ Type : Double Ended / Double Acting design for balaced dynamic performance ▪ Custom Actuator design with high performance cushions to allow dynamic testing of large components. ▪ Hydrostatic bearing design ▪ Coaxially mounted full stroke linear variable displacement transducer (LVDT) ▪ Non-Linearity of LVDT : 0.5% of full range ▪ Lifting & Pad ▪ 180 gpm (680 lpm) servo-valve ▪ 180 gpm (680 lpm) servo-valve manifold assembly ▪ Operating Pressure : 210 bar ▪ Type : 4 port, 3 stage

2. 최소 요구 시설·장비 성능

- 6자유도 동시가력을 위한 고성능 Actuator 시스템을 설치하여 운용하기 위해서는 <표 7-3>과 같은 최소 요구시설 및 장비가 필요함
- 하이브리드구조실험센터에서는 이러한 최소 요구시설 및 장비를 이미 보유하고 있으며 그 사양을 더 자세하게 정리하면 다음과 같음

<표 7-3> 최소 요구시설 및 장비

구분	내용	비고
실험장비 설치 공간	<ul style="list-style-type: none"> • 실험장비 설치 공간 확보 (10mX10m 이상) • 실험체의 운반 및 설치를 위한 충분한 주변 공간 	<ul style="list-style-type: none"> • 50mX13m의 충분한 공간 확보
유압공급 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 실험 장비의 성능을 발휘할 수 있는 충분한 용량의 유압펌프(750gpm 이상) • 750gpm 이상의 유압을 전달할 수 있는 하드라인 	<ul style="list-style-type: none"> • 1,200gpm까지 공급할 수 있는 하드라인 확보
냉각시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 대용량의 유량을 단시간에 냉각시킬 수 있는 충분한 냉각탑 및 배관 	<ul style="list-style-type: none"> • 대용량 쿨링타워 2기 확보
계측시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 다채널 실험에 필요한 충분한 채널의 계측시스템(100채널 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamic 320채널 확보 • Static 190채널 확보
운반시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 실험장비 및 실험체를 운반하고 설치할 수 있는 오버헤드 크레인(200kN 이상) 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 300kN 오버헤드크레인 2기 확보 • 지게차 및 고소작업차 등의 중장비 확보
로딩프레임 및 실험지그	<ul style="list-style-type: none"> • 구조물의 다자유도 실험 편의를 위한 대용량 (5,000kN 이상) 로딩프레임 • 실험체 설치에 필요한 각종 지그 	<ul style="list-style-type: none"> • 5,000kN 용량의 로딩프레임 2세트 확보 • 4년 이상의 각종 실험 수행을 통한 다양한 지그 확보

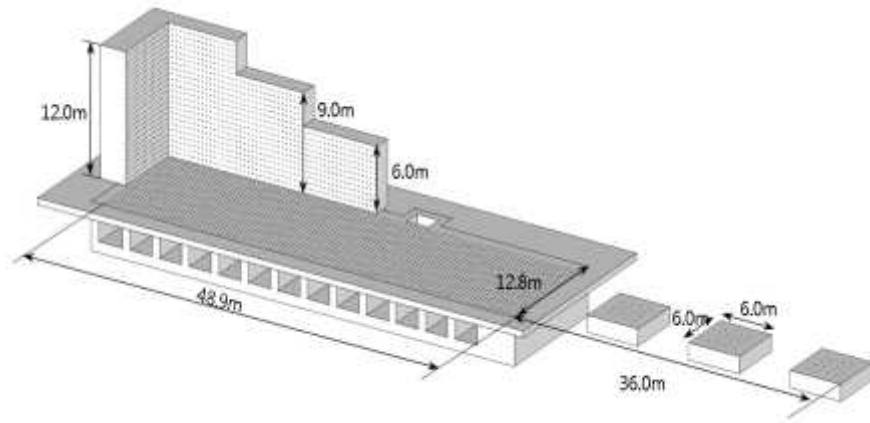
- 6자유도 동시가력을 위한 고성능 Actuator 시스템을 운영하기 위해서는 먼저 실험장비를 설치할 수 있는 건물이 필요한데, 하이브리드구조실험센터에서는 다음과 같이 본 장비를 설치할 수 있는 기존의 대형 실험시설을 보유하고 있음



부지면적	약 10,264m ² (3,065평)
규모	지하 1층, 지상 3층
구조	지하 : 철근콘크리트, 지상 : 철골조
건축면적	1,654m ² (500평)
연면적	3,603m ² (1,090평)

[그림 7-31] 기존 하이브리드구조실험센터 건물 및 규모

- 건물 내부에는 6자유도 고성능 Actuator 시스템을 설치하여 폭넓게 사용하기 위한 반력바닥 구조물이 필요하며, 본 센터에서는 다음과 같은 규모의 반력바닥과 반력벽 구조물을 이미 보유하고 있어 신설 대비 상당한 경제적 효과를 얻을 수 있음



[그림 7-32] 기존 반력구조물 제원

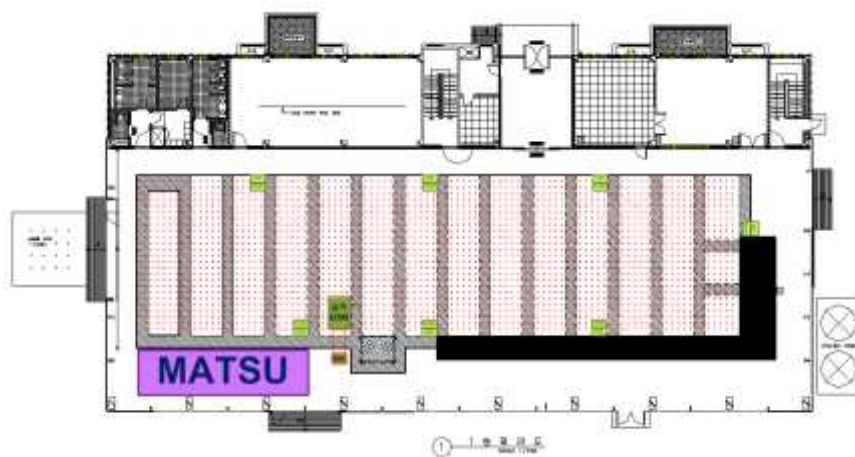


반력바닥



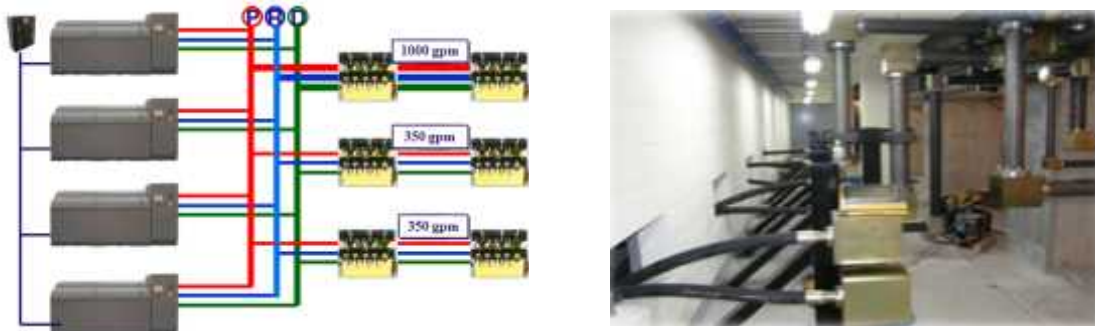
외부 반력패드

[그림 7-33] 기존 반력바닥 및 외부 반력패드 사진



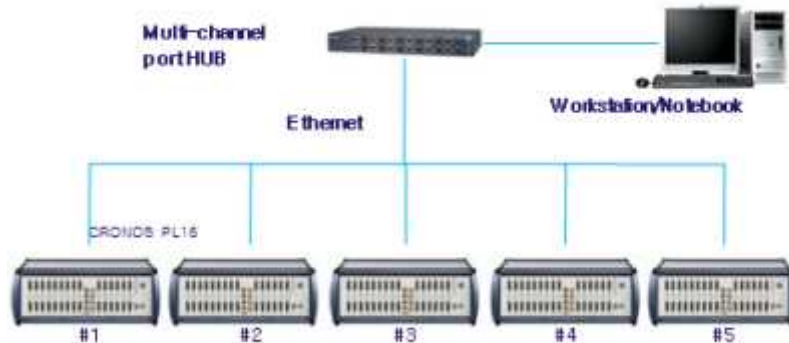
[그림 7-34] 20MN급 대용량 일체형 UTM(MATSU) 위치도

- 6자유도 고성능 Actuator 시스템을 작동시키기 위해서는 750gpm 이상의 유압펌프와 유압을 UTM에 전달하는 하드라인(Hard line)이 필요한데 본 센터에서는 아래와 같이 충분한 용량의 유압공급시스템을 이미 보유하여 운용 중에 있음



[그림 7-35] 기 운용중인 유압펌프 용량 및 하드라인 사진

- 모든 실험을 수행함에 있어서 센서로 부터 데이터를 수집하기 위해서는 데이터 수집장치(DAQ)가 필요하며, 역시 본 센터에서는 다음과 같이 320개의 센서 데이터를 획득할 수 있는 충분한 채널의 계측시스템을 확보하고 있음



[그림 7-36] 기 운용중인 데이터 계측시스템

- 유압펌프에서 하드라인을 따라 공급되는 유압작동유의 온도를 낮추기 위해서는 다음과 같은 냉각탑 시스템을 설치해야 하는데 본 센터에서는 이미 충분한 용량의 냉각시스템을 보유하여 운용 중에 있음
- 건설 분야를 비롯한 대부분의 산업 분야에서 주로 수행하는 구조실험에서는 사람의 힘으로 운반하기 어려운 중량의 실험체를 대상으로 하는 경우가 많음. 이러한 중량의 실험체를 운반하고 설치하기 위해서는 오버헤드 크레인이 필수이며 본 센터에서는 다음과 같이 300kN 용량의 크레인 2기(총 600kN 용량)와 지게차, 고소작업차 등의 다양한 운반 장비를 확보하고 있음



[그림 7-37] 기 운용중인 냉각시스템



[그림 7-38] 600kN급 오버헤드크레인

- 구조물의 다자유도 대용량 실험 시스템을 비교적 쉽게 구성하기 위해서는 실험장비를 설치할 수 있는 대용량의 로딩프레임이 필요함. 본 센터에서는 5MN 용량의 로딩프레임 2세트 확보하고 있으며 경우에 따라 조합할 경우에 10MN 용량의 3차원 로딩프레임으로 활용할 수 있음.



[그림 7-39] 기 운용중인 10MN급 로딩프레임

제 7 절 시설·장비 구축계획

1. 추진방법

□ 장비 구축계획의 기본방향

- 연구 인프라 동향 분석을 통한 장비 요구 성능 도출
- 실수요 그룹 및 유사 실험 전문가 의견 수렴을 통한 사양 상향
- 추가 장비 도입을 통한 실험시설의 활용성 극대화 및 특성화
- 최적의 장비 배치를 통한 구축비용 절감 및 활용성 극대화
- 구입 장비의 품질보증을 위한 엄정한 계약 체결

- “건설연구인프라 구축과제 1단계분석 및 2단계 기획 보고서(2011. 06. 22)”에 선정된 고성능 Actuator를 운영하기 위해서는 대용량의 유압펌프와 유압호스(또는 하드라인) 및 컨트롤러와 재하프레임 및 반력벽도 건설해야 하지만, 하이브리드구조 실험센터에서는 1단계 건설연구인프라 구축사업을 통하여 이미 이러한 시설 및 장비들을 보유하고 있음
- 고성능 Actuator 및 다자유도 재하 블록만을 신규로 구입하고 이를 운영하는데 필요한 제반 시설 및 장비는 기존의 것을 활용함



[그림 7-40] 6자유도 고성능 Actuator 시스템 구성도

<표 7-4> 장비 구축 방법

구분	장비명	구축 방법
고성능 Actuator	100kN Dynamic Actuator (2ea)	신규 구입
	250kN Dynamic Actuator (2ea)	
	5000kN Dynamic Actuator (2ea)	
	1,000kN Dynamic Actuator (2ea)	
유압 공급 시스템	Accumulator	신규 구입
	720 GPM 유압펌프	기 보유
유압 분배 시스템	720 GPM 유압호스 또는 하드라인	기 보유
컨트롤 시스템	유압 및 하중 컨트롤러	기 보유
	해석 소프트웨어	기 보유
	자료 수집 및 네트워크	기 보유
재하시스템	5,000kN 재하프레임(Loading Frame)	기 보유
	반력바닥(Strong Floor)	기 보유
	반력벽(Strong Wall)	기 보유
	다자유도 재하 블록	신규 구입

□ 제작 방안

- 본 실험장비의 국내 제작을 검토하였으나 완제품의 제작이 불가하여 일부만 국내 제작을 추진함
- 실험장비의 전체 구성품 중에서 국내 제작이 가능한 부분은 제작 후 해외 생산 부품과 국내에서 조립하여 전체 시스템을 구축할 예정임
- 본 실험장비는 독립적으로 사용할 목적으로 전체 시스템 구축을 위한 신규도입이 필요함
- 실험장비의 사용을 위한 반력벽 및 반력 Fixture는 국내에서 전체적으로 조달 가능하므로 국내 제작 및 공사 예정임
- 본 실험장비는 현재 구축된 Actuator 성능의 3배 이상이 필요한 사항으로 신규도입이 필요한 항목임

□ 기존설비 활용방안

- 실험장비의 전체 시스템 중에서 유압공급 시스템 (유압공급장치, 고용량 유압배관 등)은 현재 구축된 시설을 활용할 수 있으므로, 현 시설을 최대한 활용하면 전체 시스템 구축예산 대비 최대 30% 이상의 예산을 절감할 수 있음

- 기 구축된 실험장비에서 사용하고 있는 지그 및 Accessory를 공용으로 활용할 수 있는 방안을 마련하여 추가적인 예산절감 효과를 기대함
- 기 구축된 실험장비에서 사용하고 있는 반력상 및 반력벽을 이용할 수 있기 때문에 추가적인 예산절감 효과를 기대할 수 있음

□ 구축방안

- 본 실험 장비를 구축하게 되면 국내 최대 성능의 장비를 활용할 수 있다는 장점이 있기 때문에, 최소 요구 성능 보다는 계획된 성능을 구축하기 위해 기존 설비와의 호환성을 최대한 살려 가능한 예산 범위 내에서 시설 및 장비를 구축할 계획임
- 기 구축된 유압라인에서 증설이 필요한 부분은 사용자의 안전 및 시편 장착을 고려하여 가장 효율적인 방안을 모색하고 기존 유압라인을 최대한 활용할 예정임

□ 구매 방안

- 현재 검토 중인 예상 구매처는 기 구축된 장비를 최대한 활용하기 위하여 기존 장비 공급업체를 중심으로 검토 중임
- 예상 구매처는 MTS Systems Corporation 으로 미국 Minnesota 주에 소재함
- 장비의 성능 확정 및 발주 후 제작기간은 약 12개월에서 14개월 정도를 예상하고 있으며 시험 수요기업의 일정 및 사업 계획상의 일정을 고려하여 조율 예정임
- 본 실험장비의 경우, 기 구축된 Actuator 제어기를 활용할 예정으로 단순 Actuator 조립품 및 유압분배기만 수입 예정임

2. 구축계획

가. 시설공사 계획

- 기 구축된 유압 공급 장치를 활용하기 때문에 추가적인 전기설비 보강은 필요 없음
- 기 구축된 유압 공급 장치를 활용하기 때문에 추가적인 건축 및 전기설비 보강은 필요 없음
- 기 구축된 유압분배장치에서 분기되는 유압라인의 경로에 최대한 근접하게 장비를 설치할 경우, 추가적인 유압라인의 증설은 필요 없어 예산 절감이 가능함
- 기 구축된 유압라인에서 추가적인 유압분배장치를 설치하기 위한 경로를 효율적으로 배치함으로써, 추가적인 유압라인의 증설이 필요 없도록 배치할 예정임

나. 공간배치 계획

□ 장비 설치공간 확보

- 기존의 반력바닥과 반력벽을 활용하여 7자형 반력벽이 맞닿는 코너에 6자유도 가력 시스템을 구성함
- 기 구축된 유압분배장치와의 연결을 위한 공간은 실험장비 위치를 최적으로 고려하여 주변 장치와 간섭이 발생하지 않고 안전을 확보할 수 있는 공간을 고려하여 배치할 계획임
- 현재 구축된 반력상 및 반력벽을 활용할 수 있는 공간 내에서 이동설치가 가능한 형식으로 공간배치에 대한 추가적인 고려 대상이 아님

다. 구축일정

- 건축공사의 공정과 연차별 예산을 고려한 실험시설 구축 일정
- 단계별 실험시설 설치 일정 확립을 통한 작업 혼선의 최소화
- 실험시설 공간배치를 고려한 설치 순서 계획

<표 7-5> 실험장비 구축 일정표

구분	연구내용	'16년						'17년						비고
		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	
1	실험장비 설계													
2	발주 및 구입													
3	장비 설치													
4	시험 운전													
5	교육 및 완료													

라. 국산장비 대체 가능성 자체검토(비교견적 등 결과 국산대체장비가 있을 경우만 작성)

- 지금까지 고속의 동하중 시험에 대해서는 전적으로 외국의 실험 시설에 의존했기 때문에 대체할만한 완제품의 국산장비는 없는 것으로 파악됨.
- 고성능 다자유도 Actuator 시스템을 구축하는데 필요한 시설공사 및 강구조물 제작, 설치에는 국산장비 업체가 참여하여 기술력을 이전받을 수 있도록 추진할 계획임.

3. 운영 및 관리계획

가. 유지관리 계획

구 분	내 용
주요활용 기관명(예상)	- 건설, 기계, 원자력 등 다양한 분야의 국·공립 연구소 및 대기업과 중소기업, 관련 분야 전공자
전담인력 확보여부(방안)	- 센터의 관련 분야 경험자를 장비책임자로 선정함. - 추가적인 인력을 채용하고 관련 분야 전문 인력을 해당 장비 실무자로 선정함.
운영비 확보여부(방안)	- 실험장비 관련 정부지원 사업을 통한 운영비 확보 - 외부 기관 및 기업체에서 의뢰하는 실험용역을 통한 운영비 확보

나. 안전사고예방 계획

- 센터 KOLAS 품질문서의 “안전관리 절차서”에 준하여 정기적으로 안전교육 및 시설과 실험 장비의 안전점검을 실시함
- 명지대학교에서 “재난 및 안전관리기본법 제6조 및 동법시행령 제5조”에 관련하여 시행 중인 “안전점검의 날” 행사에 매월 참여하여 정기적인 안전 점검 실시 및 안전사고예방 캠페인 행사 참여
- 명지대학교에서 정기적으로 소방, 전기 등의 분야별 안전사고예방 관련 안전점검을 실시함
- 센터의 시설과 장비 유지에 필요한 분야별 책임자는 외부기관에서 시행하는 안전과 장비 사용법 등의 관련 교육을 이수함
- 센터 내·외부에 경고표지판, 안전수칙, 안전용품 등을 비치하여 내부직원 및 외부방문객의 안전사고를 예방함
- 센터 내의 천정크레인과 같이 “한국산업안전보건공단”에서 선정한 “유해위험기계”에 대하여 완성검사 및 주기도래 검사를 해당 장비의 검사 주기에 준하여 실시함

다. 운영자 교육계획

- 하이브리드구조실험센터 KOLAS 품질문서의 “교육 및 자격관리”에 준하여 연간교육계획서를 작성하고 그 계획서에 준하여 직원들의 교육을 실시함
- 센터의 시설과 장비 유지에 필요한 분야별 책임자는 연 1회 이상 외부기관에서 시행하는 안전교육에 참여함
- 센터 KOLAS 품질문서의 “안전관리 절차서”에 준하여 분기별로 해당책임자가 내부직원에게 안전교육을 실시함
- 명지대학교에서 매월 시행 중인 “안전점검의 날” 행사에 참여함

제 8 절 활용계획 및 기대효과

1. 활용계획

- 최대 8채널의 Actuator를 연동하여 실험할 수 있는 최첨단의 다자유도 실험을 통하여 건설, 원자력 및 플랜트 산업 등에 필요한 구조성능실험에 활용
- 고속 동적실험과 저속 정하중 실험에 적합한 듀얼 서보밸브 방식을 적용하여 지진이 발생했을 때의 구조물 거동을 파악하여 내진보강에 활용
- 컨트롤러에 최대 16채널 이상의 외부 신호 입출력 포트 내장으로 외부 센서나 장비와 연동하여 실험이 가능하기 때문에 복잡한 구조물을 조합하여 실제 거동을 확인할 수 있음
- 고속의 저하중 피로실험을 주로 하는 기계분야와 소재의 물성실험을 주로 하는 재료분야 뿐만 아니라 다양한 구조물의 다자유도 실험에 활용
- 실규모 실험체에 대한 대형 다자유도 실험이 가능하게 되므로 구조물에 대한 최첨단의 실험기법 및 건설기술의 향상에 기여할 수 있고 관련 국내 기술의 수준 향상에 기여함
- 최첨단의 하이브리드 구조실험 기법 개발 및 기술의 현장 적용에 활용

2. 기대효과

- 6자유도 고성능 Actuator 시스템을 운영하기 위한 제반 실험시설과 부대 실험 장비를 신설로 갖추기 위해서는 약 84.7억원(제경비 포함)의 예산이 소요될 것으로 추정되는 반면에, 기존의 실험시설과 장비를 최대한 활용하여 개선할 경우에는 약 32억원(제경비 포함)의 예산만으로도 가능할 것으로 판단되며, 개선 시에는 신설 대비 약 62%의 예산절감 효과를 기대할 수 있음
- 고성능 Actuator 시스템으로 해야 하는 구조물 성능 실험에 대하여 지금까지 많은 부분을 외국에 의존하여 실험에 필요한 직접비 외에도 운송, 검수 등의 각종 부대비용에 대한 부담이 컸으나, 본 실험 장비를 하이브리드구조실험센터에 추가 구축함으로써 해외 물류비용 등의 부대비용을 상당 부분 절감할 수 있음
- 최첨단의 고성능 실험 장비를 확보함으로써 자체 개발한 우리나라의 건설기술을 후진 개발도상국들에 수출하는 경제적 효과와 지금까지 우리가 해외에서 실험한 것과 같이 개발도상국들의 관련 실험을 우리나라에서 수주하여 진행함으로써 경제적 효과 창출 및 부가가치가 높은 기술 수출에도 기여함

제 9 절 상세 예산(안)

1. 장비 성능개선 소요예산(안)

o (기간·사업비) '16~'17 / 3,200백만원(정부출연금)

(단위 : 백만원)

구분	계	'16	'17
정부	3,200	2,000	1,200

구분	장비명	비용(천원)	국산/외산	비고
고성능 Actuator	100kN Dyn. Act. 2ea	2,517,000 (\$2,420,000)	외산	구입
	250kN Dyn. Act. 2ea		외산	구입
	500kN Dyn. Act. 2ea		외산	구입
	1,000kN Dyn. Act. 2ea		외산	구입
유압공급시스템	유압공급시스템	다자유도 Actuator를 운영하기 위한 필수장비이며 기 보유중인 장비 이용.	국산	일부증설
	720 GPM 유압펌프			기보유
유압분배시스템	유압분배시스템			기보유
컨트롤 시스템	컨트롤 시스템	Actuator 견적에 포함	외산	일부증설
	해석 소프트웨어			
	자료 수집 및 네트워크			
재하시스템	재하시스템	다자유도 Actuator를 운영하기 위한 필수장비이며 기 보유중인 장비 이용.		기보유
	3,000kN 축력도입 Actuator			기보유
	최소규모 반력바닥			기보유
	최소 규모 반력벽			기보유
	다자유도 재하 블럭	569,750	국산	구입
부대 비용	제경비(통관비, 관세 등)	113,250		
합 계		3,200,000		
국산화율(%)		30%		

※ 1 USD : 1,040원

2. 신규 시설구축 대비 예산 절감 효과

< 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교 >

구분	장비명	신규 장비 예산(천원)	개선 장비 예산(천원)	비 고
고성능 Actuator	100kN Dyn. Act. 2ea	2,662,000	2,662,000	구입
	250kN Dyn. Act. 2ea			
	500kN Dyn. Act. 2ea			
	1,000kN Dyn. Act. 2ea			일부증설
유압공급시스템	유압공급시스템	1,000,000	-	기보유
	720 GPM 유압펌프			기보유
유압분배시스템	유압분배시스템	1,000,000	-	기보유
컨트롤 시스템	컨트롤 시스템	Actuator 견적에 포함	Actuator 견적에 포함	일부증설
	해석 소프트웨어			
	자료 수집 및 네트워크			
재하시스템	재하시스템	300,000	-	기보유
	3,000kN 축력도입 Actuator	500,000	-	기보유
	최소규모 반력바닥	1,000,000	-	기보유
	최소 규모 반력벽	1,000,000	-	기보유
	다자유도 재하 블럭	271,800	271,800	구입
소 계		7,733,800	2,933,800	
부대 비용	제경비(통관비, 관세 등)	773,380	266,200	
합 계		8,507,180	3,200,000	
예산 절감액/비율(%)		5,307,180 / 62.4%		

제 8 장 적재하중 100톤과 적재면적 140m²의 대용량·대형 진동대 시스템

제 1 절 시설·장비 정의 및 목적

1. 정의

- 대용량·대형 진동대 시스템은 실구조물에 준하는 크기의 대형 구조물이 설치가능하고 이에 대해서 지진모사가 가능한 진동대를 의미함
- 진동대는 연구자가 원하는 지진 및 진동을 인공적으로 발생시킬 수 있는 기계적인 장치를 말함
- 대용량은 최대 적재하중(full pay-load) 120톤, 일반 적재하중(nominal pay-load) 100ton의 진동대 시스템을 의미함
- 대형은 실험체 적재면적 140m²(20x7m)의 진동대 시스템을 의미함
- 이러한 규모의 대용량·대형 진동대 시스템은 세계 4위권의 진동대 시스템임.
- 또한 다음과 같은 주요 사양을 포함하고 있음
 - 최대가속도(maximum acceleration): 1g
 - 최대변위(maximum stroke): ±300mm
 - 진동수 영역(operation frequency range): 0.1~60 Hz

2. 목적

- 대용량·대형 진동대 시스템 실험시설의 목적은 다음과 같음
 - (Needs) 지진재해대책법 발효 이후, 국가중요시설(원자력 발전소, 공공기관 등) 및 다중이용시설(학교시설, 컨벤션센터 등), 초고층 구조물, 저층 조적식구조, 교량 등 또는 대형전기장비 및 배관시설과 원전관련시설 등에 대한 내진성능 평가문제가 대두되고 있음
 - 사용가능한 실험시설의 용량과 크기의 제약에 따라 구조물에 상사비를 적용한 실험을 수행하고 있음. 그러나 재료적/구조적 특성에 따라 현실적으로 적용가능한 상사비가 제약되고 있음
 - 따라서 토목·건축구조물의 실구조물에 준하는 대형스케일의 구조모형에 대한 내진성능 검증과 평가 및 지진방재 관련 연구개발 수요가 발생하고 있음
 - (Purpose) 실구조물에 준하는 크기와 비율의 대형 구조물의 지진실험 및 내진성능

평가 실험과 면진/제진시스템에 대한 성능검증이 가능하여 기존에 국내에서 불가능했던 기술검증에 활용할 수 있는 시스템을 도입하고자 함

- 초대형 장비의 신규구축에 따른 비용을 절감하고 기존장비의 성능개선을 통한 저비용 고효율의 장비구축 기회를 마련하고자 함
- (Performance) 토목·건축구조물 및 원전관련 구조물과 시설물, 그리고 대형시설물에 대한 지진시 거동 및 동적거동 평가가 가능한 국내 최대의 적재하중 100톤과 적내면적 140m²의 대용량·대형 진동대 시스템 실험시설을 목표로 함

제 2 절 구축 필요성 및 시급성

1. 구축 필요성

- 2013년 국내 지진발생 93회, 기상관측 이래 ‘최다’ (기상청, 2014)
 - 2014년 1월 기상청에서 발표한 자료에 따르면, 2013년 국내 지진(규모 2.0 이상) 발생 횟수는 총 93회로 계기 관측을 시작한 1978년 이후 가장 많이 발생함. 이는 디지털 방식의 지진관측을 시작한 1999년부터 2012년까지의 지진발생 연평균 횟수인 44.5회 보다 약 2배 더 많이 발생한 것임
 - 2013년 발생한 가장 큰 규모의 지진은 4월 21일 전남 흑산도 해역과 5월 18일 인천 백령도 해역에서 각각 발생한 규모 4.9 지진으로 계기 관측 이후 6번째로 큰 규모
 - 지역별로는 서해에서 52회로 가장 많았으며, 동해에서 15회, 북한지역에서 7회 등이 발생하였음
 - 특히 백령도 해역, 보령 해역, 흑산도 해에서 잇달아 발생한 지진은 국민의 불안을 가중시켰으며, 대규모 지진의 전조 가능성이 거론되고 있음
 - 이에 따라 국내 지진발생 가능성 및 그 피해에 대한 관심이 높아지고 있으며, 원자력발전소를 포함한 사회 기반시설 및 공공건물에 대한 내진설계에 많은 관심이 모아지고 있음
 - 지진재난은 빈번하게 발생하지는 않지만, 급격한 도시화 및 산업화에 따른 밀집현상에 의해 지진피해규모는 점점 증가하고 있음. 따라서 이에 대한 각별한 대비가 요구됨



[그림 8-1] 연도별 국내 지진발생 현황 (기상청, 2014)

<표 8-1> 지역별 지진 발생 횟수 (기상청, 2014)

구분	경기	강원	경북	충남	충북	전남	전북	경남	제주	북한	서해	남해	동해	합계
(a) 2013	1	0	6	1	3	1	0	2	0	7	52	5	15	93
(b) 평균 ('78~'12)	0.43	1.29	3.60	1.83	0.71	0.63	0.83	1.09	0.06	6.14	6.14	2.60	3.97	29.3
(a)/(b)	2.3	0.0	1.7	0.6	4.2	1.6	0.0	1.83	0.0	1.14	8.5	1.9	3.8	3.2



[그림 8-2] 일본의 도심지역 지진 피해규모 예상(중앙일보, 2013)

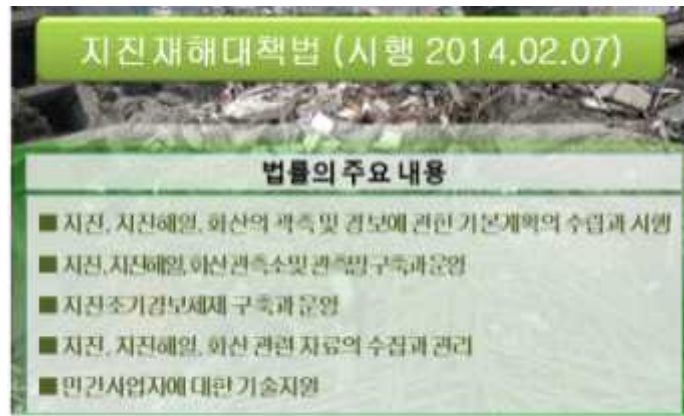


[그림 8-3] 도심지역 지진발생시의 위험성

- 지진재해대책법 시행에 따른 각종 시설물에 대한 내진성능 검증 및 내진대책 강구
 - 이 법은 지진과 지진해일로 인한 재해로부터 국민의 생명과 재산 및 주요 기간시설

을 보호하기 위하여 지진과 지진해일의 관측·예방·대비 및 대응, 내진대책과 지진 재해를 줄이기 위한 연구 및 기술개발 등에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 함

- 지진대책법이 시행됨에 따라 구조물에 대한 내진설계기준을 제·개정하여, 기존 시설물의 내진성능에 대한 평가 및 보강대책을 수립하고, 공공시설과 저층건물 등의 내진대책을 강구하도록 하고 있음. 또한 재해를 입을 우려가 있는 시설을 지정하고, 이에 대한 내진설계기준을 정하고 이행하도록 하고 있음



[그림 8-4] 지진재해대책법의 주요 내용

□ 전기통신설비의 내진 시험법 제정 → 검증할 수 있는 실험시설의 부재

- 2009년에 제정된 전기통신설비의 내진 시험방법은 시험대상설비의 통신장비와 전원설비 중 정류기는 시험검증을 적용하며, 수변전장치, 예비전원설비, 이중마루 및 옥외설비는 시험검증 또는 해석검증을 적용하도록 하고 있음
- 내진설계 검증을 위해 시험대상설비에 인가하여야하는 최소 지진가속도의 주파수 함수인 요구 응답스펙트럼은 지반과 동일한 높이 또는 지하에 설치되는 설비는 지반응답스펙트럼을 사용하며, 건물의 지반보다 높은 층에 시설되는 설비는 해당 층의 층응답스펙트럼을 사용하도록 함
- 시험대상 설치는 진동대 위에 실제 사용되는 형태와 동일하게 구성하여 설치하고, 기능시험과 관련이 없는 구성품은 실물과 유사한 모형으로 구성할 수 있도록 규정하고 있음
- 이와 같이 실제 사용되는 형태와 구성을 반영하기 위해서는 실험가능한 진동대 시스템의 용량 및 크기의 제약이 존재해서는 안 됨. 그러나 국내실정은 연구장비의 부재에 따라 대형 설비의 경우 정확한 검증이 불가능한 실정이며, 높은 비용과 시간을 소모하여 국외시설을 이용하고 있는 실정임



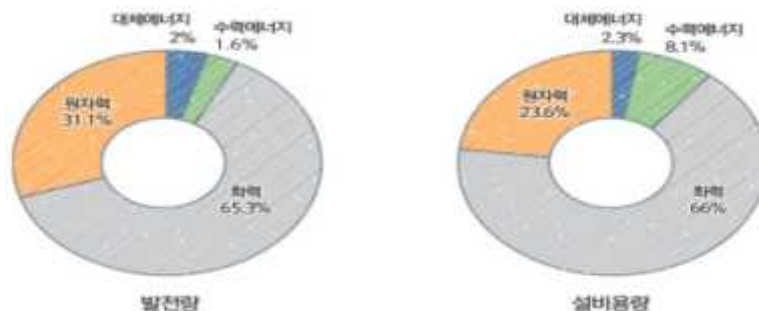
[그림 8-5] 지진재해대책법에 따른 재해우려 시설물

□ 상기 설명한 정부의 규정에 따라 국내·외에서 내진성능 평가 및 검증연구의 대상이 되는 주요 시설물은 다음과 같음

- 원전격납구조물 및 주요설비
- 학교 및 공공시설과 같은 저층구조물
- 토목 및 건축 구조물
- 액체 및 고압가스저장소
- 전기통신설비
- 각종 문화재

□ 원전격납구조물 및 주요설비의 내진성능의 중요성 대두

- 국내 원자력 발전소 현황은 총 20기의 원전이 17,716 MW를 전기를 생산하고 있으며, 이는 총 국내 발전량 중 31.1%를 점유하고 있는 것으로 우리나라의 여러 여건상 전력수급의 대부분을 원자력발전소에 의지하고 있음을 알 수 있음.

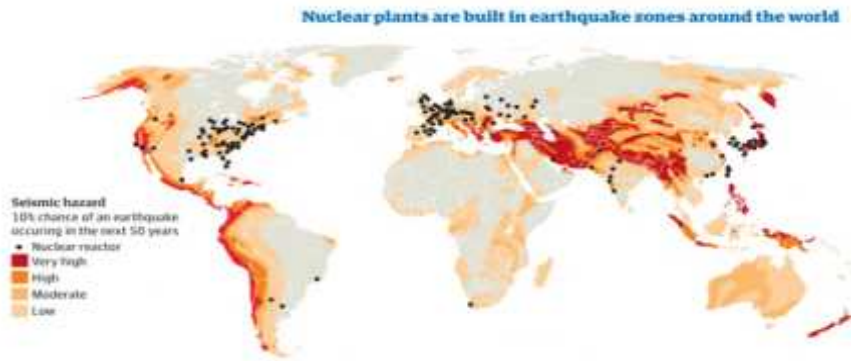


[그림 8-6] 국내 에너지원 별 발전비중 (한국전력, 2012)

- 그러나 최근 후쿠시마 원전사태를 필두로 지난 수십년간 원전구조물의 내진, 내폭

성능과 관련한 안전상의 문제가 심각히 대두 중이며, 이에 따른 원전구조물의 구조적 내진성능 검증 및 확보가 절실히 요망됨

- 일본 후쿠시마 원자력 발전소 폭발사고로 인한 경제적 피해 추정액은 최소 5조 5,045억 엔에서 최대치는 일본 정부 1년 예산의 절반에 육박하는 48조 엔에 이르는 것으로 보고되었음
- 실제로 현재 세계 원자력발전소 중 다수가 지진 위험도에 노출되어 있음. 이는 국내 원전구조물도 예외는 아니며 이에 대한 조속한 대책이 요구됨

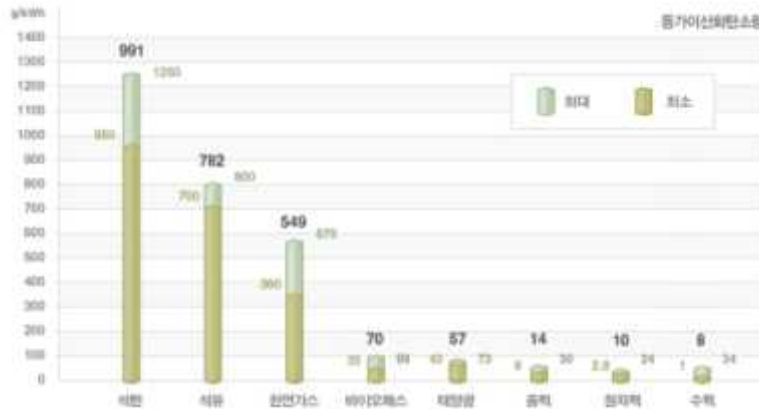


[그림 8-7] 세계 원자력발전소 분포와 지진위험도 (Guardian, 2011)

- 계속된 원전사고로 인한 사회적 불안감을 해소하기 위한 원전시설물의 내진성능 검증이 절실함. 최근 조사 결과 '후쿠시마 원전 사고는 원자력 발전소 안전에 대한 경각심을 높이는 데 기여하였다'라는 질문에 86.3%의 응답자들이 동의하였으며, '후쿠시마 원전 사고는 원자력 발전을 하지 말아야 한다는 쪽으로 나의 생각을 바꾸게 했다.'라는 문항에 38.9%가 동의하여 사고 이후 원전에 대한 부정적 인식이 높아졌음을 확인할 수 있음
- 격납구조물의 내진·내폭에 대한 안전성과 초장기적인 사용성을 확보하여 원전구조물에 대한 부정적인 인식을 친환경적이고 안전한 시설물로 변화시킬 필요가 있음. 실제로 원전은 다른 발전원에 비하여 이산화탄소(CO₂) 배출량이 매우 미소하여 친환경적인 에너지원임. 따라서 국가 차원에서 국내 원전시설에 대한 안전성 확인과 국민들의 불안감을 해소하기 위한 방안이 촉구됨



[그림 8-8] 후쿠시마 원전사고 이후 국민 인식 조사 (박방주, 2012)



[그림 8-9] 발전원별 이산화탄소(CO₂) 배출량 (IAEA, 2006)

□ 한국형 원자로 수출을 통한 신 수출산업 육성

- 2010년에 한국전력 컨소시엄이 총 400억달러(약 47조원) 규모의 아랍에미리트연합(UAE) 원자력발전 사업을 수주하여 국내 경제에 밀거름이 되고 있음. 현재 파악된 바에 의하면 국내·외를 통틀어 상용원전의 경우 2030년까지 469기의 신규원전이 건설될 예정이고 시장규모는 1,200조에 달할 것으로 예상됨
- 한국전력 컨소시엄이 수주한 아랍에미리트연합(UAE) 원자력발전 사업의 경우, NF 쏘나타 100만대 또는 30만t급 초대형 유조선 180척 수출효과와 맞먹고, 10년간 11만명의 고용 창출 효과를 발생시킴
- 이와 같이 한국형 원자로 수출사업은 국가경제발전 및 새로운 고용창출 기대효과가 매우 큰 고부가가치 산업임
- 제 42차 비상경제대책회의(지식경제부, 2010.01.01)에서 논의된 원전사업의 장기 vision에 따르면, 우리나라는 원전을 신 수출산업으로 육성하고 2030년까지 80여기의 원전을 수출하여 신규 원전의 20%를 점유함으로써 원전 3대 선진국으로 도약하는 것을 목표로 하고 있음



[그림 8-10] 현재 운영/건설/계획/제안 중인 총 원전 기수 (삼성증권, 2010)

- 2011~2015년에 원자력 발전소 발주예상 물량을 살펴보면 발주국가가 매우 다양함을 확인할 수 있음. 이러한 발주국가의 다양성은 기후조건, 지형, 지반조건 및 사회적 인식의 다양성을 의미하며, 곧 설계기준 및 요구 내진성능의 다양성을 의미함. 따라서 국가적으로 원전을 신 수출산업으로 육성하기 위해서는 각 국가의 다양한 내진성능을 만족여부를 평가할 수 있는 평가시설을 구축이 우선시 되어야 함

예상발주국가	규모	사업자선정시기
터키	2기	2011하반기
리투아니아	1-2기	2011상반기
루마니아	1기	미정
핀란드	1기	2011하반기
폴란드	2기	2013
에르센티나	1기	2011상반기
남아프리카공화국	2기	2012-2014
사우디아라비아	2기	2012
말레이시아	1기	2013
멕시코	1기	2013
인도	4-6기	미정

주목해야 할 점

➢ 발주국가의 다양성

[그림 8-11] 2011~2015년 원자력 발전소 발주예상 물량 (삼성증권, 2010)



[그림 8-12] 발주국가의 다양성이 갖는 의미

- 원자력 발전소는 단순히 원자력 발전소를 구성하는 원자로 건물뿐만 아니라 터빈, 발전기, 제어실 장비, 연료저장소, 배관, 모니터링 시스템 등 다양한 시설물로 구성되어 있음. 이러한 시설물들 모두 매우 높은 내진 성능을 확보하고 있어야 함. 따라서 국내 원전기술이 세계적으로 인정받기 위해서는 각 국가의 내진설계 기준에 만족여부를 평가할 수 있어야 함

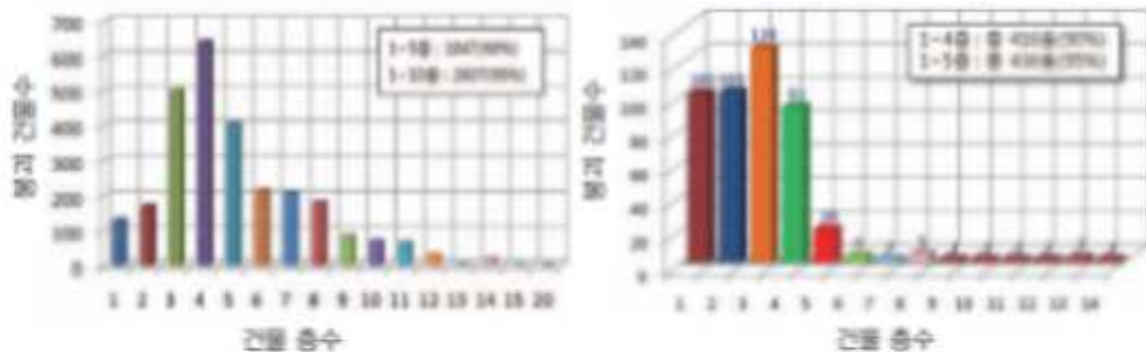


[그림 8-13] 한국형 원자로의 구성

- 현재 국내외에 건설된 원자력 발전소의 안전성 확보와 그에 따른 기술력 향상을 위해서는 관련 실험을 통한 실증적인 연구가 매우 필요함. 이를 위해 그 추정 피해액의 극히 작은 예산으로 관련 기술의 개발에 도움이 된다면 실험환경 마련에 주저하지 않아야 할 것임
- 이와 같이 기술력과 안전성에 있어 매우 중요한 원자력 발전소 격납구조물 및 그에 적용되는 제어기기, 냉각계통, 배관, 모니터링 시스템 등 여러 구성품에 대한 내진 성능 검증을 수행하고 국내·외에서 기술력을 인정받기 위해서는 조건에 따른 내진 실험을 수행할 수 있는 대용량·대형 진동대 시스템이 필수적임

□ 내진성능이 취약한 학교 및 공공시설과 같은 저층구조물

- 일본의 고베지진(1995)에서 전체 붕괴 건물 수에 대한 10층 이하 건물의 비율이 약 95%로 조사되었고, 5층 이하의 저층구조물은 약 68%를 차지하는 것으로 나타남
- 또한 대만지진 (1999)에서는 전체 460개동의 건축물 중 5층 이하의 건축물 피해동수는 436개동으로 95%를 차지하고 있음
- 저층 건축물이 지진피해가 심각한 이유는 저층 건축물의 내진성능확보가 부족한 점도 있지만, 대부분의 지진에서 지진파의 탁월주기가 1초 미만으로 고유주기가 짧은 저층 건축물에서 응답이 크게 증가하는 현상이 발생하기 때문인 것으로 파악됨 (유홍식 등, 2014)



(a) 일본 고베지진 (1995)

(b) 대만 지진(1999)

[그림 8-14] 층수별 지진피해 현황 (유홍식 등, 2014)

- 국내에서 전체 건축물의 동수에 비해 저층 건축물의 동수가 차지하는 비율은 약 97.5%, 규모 6.0이상의 지진 발생 시에는 약 80%의 저층 건축물에서 지진피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 보고되고 있음 (유홍식 등, 2014)
- 1970~90년대 건축된 저층 구조물은 내진설계가 이루어지지 않아 그 피해의 우려가 더 큰 현실임

- 정부에서도 이러한 시급성에 발 맞춰 지진재해대책법 시행령을 고시하고 기존 공공시설물의 내진보강 기본 계획을 5년 마다 수립하도록 의무화 하고 있음



[그림 8-15] 조적조 저층 건축물의 지진피해 사례



[그림 8-16] RC조 저층 건축물의 지진피해 사례

- 향후 발생가능성이 높은 저층 건축물의 지진피해를 최소화하고 이에 대한 평가를 수행하기 위해서는 실구조물에 근접한 규모의 실험을 통해 평가가 이루어져야 함
 - 저층 건축물은 높이에 비해 바닥면의 면적이 상대적으로 넓기 때문에 실험 모형을 대상으로 내진성능 평가 시 요구되는 진동대 시스템의 면적이 넓음. 따라서 지진방재연구센터에서 보유하고 있는 장비보다 대용량·대형의 진동대 시스템이 요구됨
- 각종 문화재 보호를 위한 면진장치 개발 및 성능 평가요구
- 현대 건축물과 달리 문화재의 경우 지진에 매우 취약한 구조를 갖고 있음. 외국의 사례를 보더라도 각종 문화재에 대한 면진장치 적용 및 내진성능을 확보하여 소중한 문화유산을 보호할 필요가 있음
 - 미국 샌프란시스코의 시청사옥은 1906년 발생한 지진에 의해 붕괴되었으나, 1912년 재건축되었고, 1989년 발생한 Loma Prieta 지진 때 다시 손상을 입음. 그리고 2000년도에 1.05억 달러를 들여 보수보강을 실시하였음

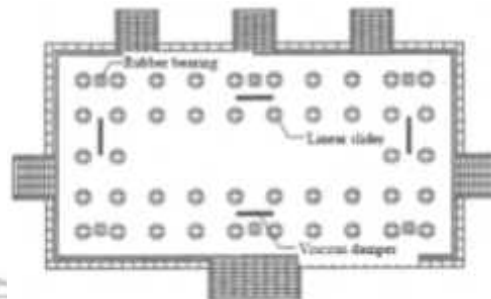
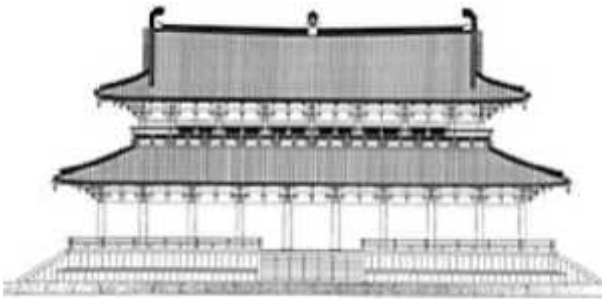


<지진으로 붕괴된 미국 샌프란시스코 시청 (1906)>



<미국 샌프란시스코 시청의 면진장치 적용 내용 및 보수보강 내용>

- 일본의 경우에도 목조건물양식의 문화재에 면진장치를 적용하여, 지진재해에 대해서 보호하고 있음



[그림 8-17] 일본의 문화재 면진장치 적용사례

- 이탈리아는 많은 문화재를 보유한 만큼, 그 문화재의 보존과 보호에도 높은 관심을 갖고 있음. 예로 베주비우스 화산폭발로 분출된 물질들에 의하여 오랜 기간 묻혀 매우 부서지기 쉬운 Ercolano에서 발굴된 Roman ship에 적용된 면진시스템을 예로 들 수 있음



[그림 8-18] 이탈리아의 문화재 면진장치 적용사례

- 이탈리아는 SVPC (Seismic Vibrations Passive Control)를 이용하여 지진으로부터 문화재를 보호하고 있으며, 해당 분야에서 실질적인 세계적 선두주자임. 역사적 가

치가 있는 건물들에 대해서는 이미 SVPC를 이용한 내진성능의 주요 개수가 완료된 상태임. 하지만 이 분야에서 SVPC 시스템의 적용은 여전히 상당한 연구개발의 노력이 요구됨

- SVPC 시스템은 개별 요소의 개발 뿐만 아니라 전체 시스템의 작동성능 평가도 매우 중요함. 따라서 시스템 레벨에서의 평가가 가능하도록 충분한 성능과 크기가 확보된 대용량·대형 진동대 시스템이 필요함

□ 현재 국내실정에 비추어 볼 때 현실적인 제약이 존재하고 있음

- 국내 대용량/대형 진동대의 부재
- 적용가능한 상사법칙의 제한
- 해석적 접근의 한계

□ 대형 구조물의 내진성능평가의 현실적인 제약 I - 국내 대용량·대형 가진장비의 부재

- 이러한 대형 구조물의 내진성능평가를 위한 검증실험은 구조물의 대형화에 따라 실험크기의 구조물로 실험을 수행할 경우, 실험실의 공간제약과 실험기기의 가력성능 등의 한계로 인하여 현실적인 제약이 존재함
- 부산대 지진방재연구센터에서 보유하고 있는 다지점가진 대용량 지진모사 실험장비는 현재 국내에서 국가연구시설장비로 등록(www.ntis.go.kr)되어 공동 활용이 가능한 진동대 장비 중 단일기기로 국내 최대 규모의 장비임
- 그러나 이 장비의 실험체 설치 가능 면적은 5 x 5m (25m²)이고, 최대 가속도 수준에서 60톤 중량의 구조물에 대한 실험이 가능한 장비임. 따라서 매우 제한된 조건에서의 일부 소형 구조물의 실험실험은 가능하나, 대형 구조물에 대한 실험실험에는 어려움이 있음
- 따라서 현재 장비 설치 이후 다수의 대규모 실험 모델에 대한 진동대 실험이 수행되었으나, 대부분 아래 그림과 같이 구조물의 부재 단위 및 제한된 규모의 실험대형 구조물에 대한 실험이 주를 이루고 있음



공공건축물 내진성능평가를 위한 진동대 실험



2층 필로티 구조물의 내진성능 실험

□ 대형 구조물의 내진성능평가의 현실적인 제약 II - 상사법칙의 제한

- 실험 가능한 실험모형의 크기 및 용량의 제약에 따라, 구조물의 내진성능 평가를 위해서는 상사법칙에 따른 축소모형을 적용하는 것이 필연적이거나, 해석적인 검증을 수행하는 것이 현실임
- 그러나 대형구조물의 주를 이루고 있는 철근콘크리트 구조물의 경우, 콘크리트의 굽은 골재의 입도 및 선택 가능한 철근의 직경이 제한적이기 때문에 정확한 상사법칙을 적용하기 어려움
- 이에 따라 축소모형에서는 실제 구조물에 사용된 콘크리트의 굽은 골재 입도를 개략적인 기하학적 상사비에 맞추어 줄인 마이크로 콘크리트를 사용하여 실험시의 제약을 극복하는 방법이 많이 시행되고 있음 (Farrar et al., 1994; 배성용 등, 1994)
- 그러나 이러한 상사법칙은 탄성범위 내에서 유도되어 실제 구조물과 축소모형에서 사용된 재료의 비선형적 관계를 효과적으로 모사하기 매우 어려움. 또한 내진성능 평가와 같은 동적인 문제에서는 부과질량의 크기에 영향을 주어 결과적으로 응답에 영향을 미치게 됨 (조재열, 2010)
- 또한 최근 국외의 연구에서는 마이크로 콘크리트를 사용한 축소모형의 진동대실험에서 재료비선형에 따른 거동을 정확하게 모사하기 매우 어렵다고 보고한 바 있음 (Zhang et al., 2000)
- 따라서 이러한 상사법칙의 한계를 극복하기 위해 좀 더 정확한 상사법칙 적용을 위한 연구가 많은 연구자들을 통하여 진행되고 있으나, 내진성능평가 및 대책마련에 대한 시급성에 비추어봤을 때 현실적인 적용에는 다소 어려움이 있을 것으로 판단됨
- 현재까지 부산대학교 지진방재연구센터의 대형 진동대 실험장비를 이용하여 수행된 여러 실험들 중에서 상사비를 적용하여 실험한 대표적인 예는 고려대학교 이한선 교수팀과 부산대학교 지진방재연구센터가 2011년부터 2012년까지 공동으로 수행한 콘크리트 구조물[그림 8-19]와 [그림 8-20]은 내진실험임

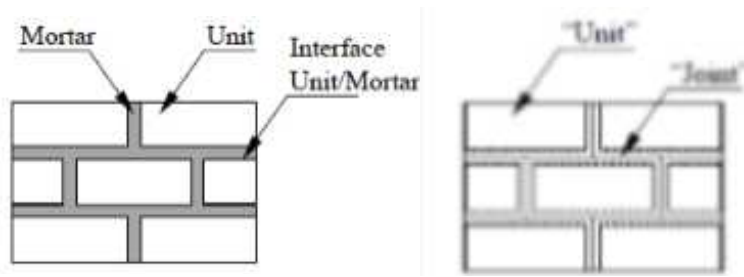


[그림 8-19] scale 내력벽식 구조물의 지진실험

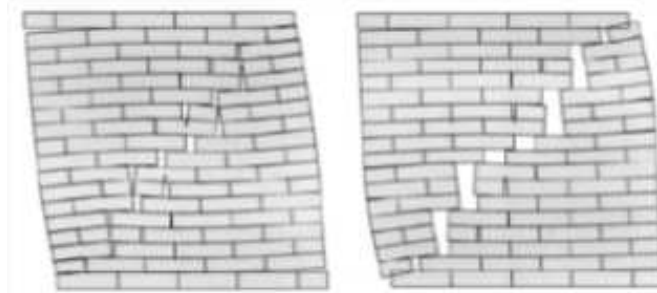


[그림 8-20] 1/15 scale 25층 탑상형 공동주택의 지진실험

- 이 연구에서는 일반적으로 수급이 가능한 재료를 사용하여 최대 1/15의 축소율을 가진 구조물 모형을 제작하여 실험하였고, KBC 기준과 비교한 다층 구조물의 내진 성능을 검증하는데 그 결과를 활용함. 이러한 결과는 국내에서도 축소 모형에 대한 실험의 가능성과 활용도를 제시한 것으로 판단됨
 - 그러나 구조물의 상사비를 결정하고 실험체를 설계하는 단계에서 지진방재연구센터 진동대의 크기 및 적재하중 용량의 제한으로 인하여 초기 목표하였던 구조물에 비하여 층수를 낮추어 설계하여야만 하였고, 질량비를 조정하여 왜곡된 축소모델에 대한 상사비를 적용하여 실험을 수행할 수밖에 없었음. 또한 실험에 사용된 철근은 상사비에 근거하여 실물크기 철근의 항복하중과 상응하도록 열처리하여 사용하였으나, 골재는 1/15 축소율을 고려하기 힘들고 시공성이 저하되기 때문에 설계 강도와 골재크기가 상사비에 따라 유사한 수준인 굵은모래, 레미탈 등으로 대체 사용하여 콘크리트를 구성하였음
 - 이러한 축소모형 실험의 문제점과 어려움들은 향후 진행될 연구들에서도 반복될 것으로 예상됨. 그러므로 대형 실구조물에 대한 지진실험 수요에 대응하고 다양한 내진실험 및 진동내구성 실험을 수행하기 위해서는 현재 구축된 장비보다 더욱 높은 용량과 더 큰 실험체가 수용가능한 대용량·대형 진동대 시스템 구축이 필수적임
- 대형 구조물의 내진성능평가의 현실적인 제약 III - 해석적 접근의 한계
- 실제 구조물을 대표할 수 있는 적절한 축소 실험체의 제작 및 실험적 검증이 어려운 경우, 이에 대한 대안으로 해석적 내진성능평가가 수행될 수 있음
 - 유한요소해석법의 발전과 이를 활용할 수 있는 해석도구의 발전에 따라 강구조물과 같이 재료의 성질이 균일하고 각 부재의 연결이 단순한 경우 혹은 비교적 단순한 형태의 철근콘크리트 구조의 경우에는 해석적인 방법에 의한 접근이 매우 용이한 수준임
 - 그러나 조적구조물의 경우에는 구조물을 구성하는 각 요소가 매우 넓은 다양성을 가짐. 예를 들어 자연석을 사용할 경우 석재의 크기변수는 비교적 좁은 분포를 가질 수 있으나, 형상에 대한 변수는 매우 넓은 분포를 나타낼 수 있음. 또한 각 석재들을 연결하는 접착제의 경우 재료의 역학적 성질을 해석적으로 모사하기에 매우 복잡한 특성을 가짐
 - 또한 조적구조물의 경우 파괴거동 특성이 개별 석재의 파괴뿐만 아니라 석재간의 접착력 상실에 따른 분리에 의해서도 나타날 수 있음. 따라서 조적구조물은 균일한 형상의 단면이나 균일한 강성을 갖는 재료로 모사할 수 없으며, 정확한 거동을 해석적으로 모사하기 위해서는 석재간의 상호작용을 모사할 수 있는 연결요소를 적용하여 해석을 수행해야 함



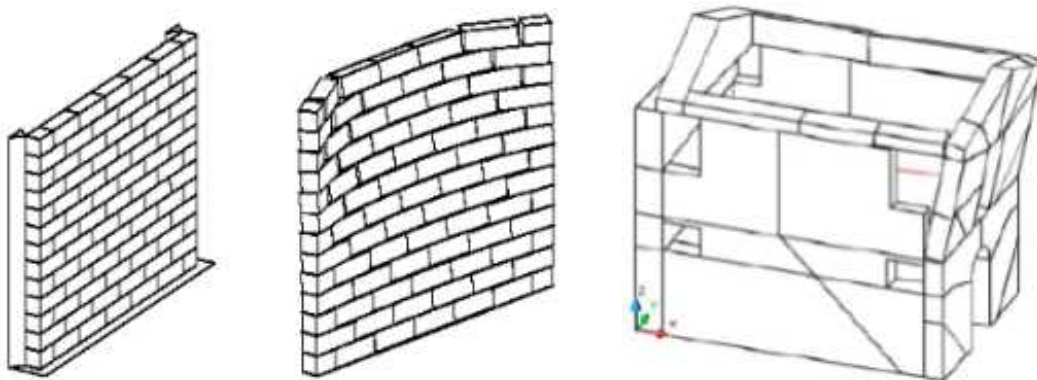
(a) 조적구조물의 구성



(b) 조적구조물의 파괴거동 형태

[그림 8-21] 조적구조물의 구성 및 파괴거동 형태

- 그러나 이러한 해석방법은 제한된 크기와 요소수를 갖는 단위 구조에 대한 해석모형에서는 적용이 가능하나, 실구조물과 같이 구조물의 형상이 복잡하고, 크기가 큰 경우에는 석재간의 상호작용을 해석적으로 모사하는 것이 현실적으로 불가능함. 따라서 이러한 경우 석재간의 상호작용은 무시하고, 비교적 균일한 단면과 재료특성을 갖는 단순화된 형태로 실구조물에 대한 해석을 수행하고 있음.



(a) 단위 구조에 대한 상세해석

(b) 전체 구조물에 대한 간략해석

[그림 8-22] 조적구조물의 해석방법

- 그러나 현재 보유하고 있는 규모의 가진 장비에서는 이러한 간략해석을 이용한 평가방법에 대한 검증이 사실상 불가능함. 해석적 검증이 가지는 신뢰성의 한계로 인한 실구조물에 대한 대형 지진모사 실험은 필수적임

- 따라서 향후 상대적으로 내진성능이 취약한 조적조 저층 건축물과 RC조 저층건축물에 대한 내진성능 평가 및 대책마련이 시급한 실정에서, 간략해석에만 의존하는 것이 아닌 실구조물에 근접한 대형 실험을 통한 실질적이 검증이 요구될 것으로 전망됨
- 또한 현재까지는 다소 연구가 부족했던 국내 조적조 건축 문화재에 대한 면진장치 및 내진대책에 대한 새로운 연구가 가능할 것으로 판단됨

□ 저비용·고효율의 대용량·대형 진동대 시스템 구축 시급

- 초고층 건축물 및 교량 등 대형 SOC구조물의 수요와 공급이 증가하고, 자연재해대책법 등에 의거하여 건축물 및 대형 SOC구조물의 내진실험 요구가 증가하고 있으나, 상기 설명한 실험의 어려움 등으로 인하여 고층건축물, 대형 SOC구조물에 대한 내진실험은 극히 제한적일 수밖에 없는 현실임
- 이러한 제한적 조건은 원자력발전소와 같이 사고발생 시 극단의 피해를 야기하는 중요구조물에 대한 실증적인 내진검증이 이루어질 수 없다는 점에서 심히 우려되는 부분임
- 그러나 이러한 연구자 및 전문가들의 요구에 부응하기 위하여 신규로 초대형 진동대를 구입·설치하는 것은 초기에 많은 비용이 요구될 뿐만 아니라 장기적으로 장비와 시설의 유지관리 측면에서도 지속적인 비용이 요구됨
- 관련 연구자들에게는 국가적으로 대형 연구장비인프라의 확충이라는 측면에서 초대형 진동대를 신규로 구축하는 것이 환영받을 만한 일이나 활용도 및 유지관리 측면을 고려하여 국내 실정에 맞는 수준의 효율적인 진동대 시스템을 설치하는 것이 요구됨
- 따라서 지진방재연구센터에서 보유하고 있는 장비를 보강하여, 현재까지 불가능했던 대형 SOC 구조물에 대한 내진실험이 가능하게 할 필요가 있음. 이는 신규시설을 구축하는 것에 비해 초기 투입 비용측면에서 매우 경제적이며, 지난 5년동안에 쌓아온 장비운영 노하우에 의한 유지관리 효율측면에서도 매우 우수할 것으로 판단됨

2. 시급성

□ 문제점

- 다양한 기술개발 Needs를 반영한 미래지향적 기술개발을 위한 공동연구장비의 확충 및 보강필요
- 지진방재연구센터는 건설인프라 1단계 사업에 따라 2009년에 완공되었음. 이후 5년 동안 토목·건축분야 뿐만 아니라, 원전 및 각종 전기설비관련 분야에서 내진성능

검증 및 연구개발을 수행하였음. 그 동안 건설분야 시설물 등이 초대형화·첨단화됨에 따라 내진성능의 평가 요구성능이 높아지고 있으나, 현재 보유하고 있는 장비의 낮은 사양 등으로 인해 대규모 국가 예산이 투입된 연구시설의 활용률 저하가 우려됨

□ 시급성

- 다양한 공공·공익적 기술개발 지원과 사회적 이슈 해결을 위해서는 정부주도의 연구인프라 보강이 필요하며 건설기술의 실용화 촉진을 위한 관련 인프라의 공동활용 촉진이 필요함
- 내구연한이 도래하거나 현재 기술수준에 미치지 못하는 장비에 대한 조속한 교체 및 성능업그레이드의 추진 지연 시 해외 실험시설에서의 성능시험이 불가피하고 이 경우 관련 기술의 유출은 물론 외화낭비가 우려됨
- 최근 시설물의 대형화 및 첨단화에 따른 실규모 구조물에 대한 검증실험 수요가 증가하고 있으나 국내에 구축되어 운용되고 있는 장비의 용량이 이에 미치지 못하여 해외에서 실험을 수행하는 사례가 발생할 수 있음
- 각 종 기계장비의 발전속도가 빠르게 증가함에 따라 연구자가 선택할 수 있는 장비의 요구성능도 비례하게 증가하고 있음. 그러므로 증가하는 연구장비에 대한 미래 수요를 충족시키기 위해 지속적인 장비보강이 요구됨

□ 국가차원의 우선적 예산 지원의 이유

- 정부는 지진재해대책법 시행에 따라 지진과 지진해일로 인한 재해로부터 국민의 생명과 재산 및 주요 기간시설을 보호하고, 지진과 지진해일의 관측·예방·대비 및 대응, 내진대책과 지진재해를 줄이기 위한 연구 및 기술개발 등에 필요한 사항을 규정하고 이에 대한 기반확립에 집중하고 있음
- 기상청에서 발표한 자료에서 확인할 수 있듯이 2013년 발생한 지진횟수는 93회로 1999년부터 2012년까지의 지진발생 연평균 횟수인 44.5회 보다 약 2배 더 많이 발생하였음. 이러한 증가추세는 향후에도 계속될 것으로 예측되고 있는 실정임. 따라서 국가차원의 지진방재연구가 수행되어야하며 이를 위한 연구 인프라 구축이 시급함
- 지식경제부 ‘원자력발전 기술개발사업’은 원전 증설 및 선진화를 통한 안정적 전력 공급과 원전 해외진출을 모색하고 있으며, 교육과학기술부의 ‘원자력기술 개발사업’은 미래 원자력시스템 개발 장기 추진계획에 따라 원자력 기술 경쟁력 제고 및 세계 원전시장을 주도할 핵심기술 확보를 목표로 하고 있음
- 한국전력 컨소시엄이 총 400억달러(약 47조원) 규모의 아랍에미리트연합(UAE) 원자력발전 사업 수주하여 NF쏘나타 100만대 또는 30만t급 초대형 유조선 180척 수

출효과와 맞먹고, 10년간 11만명의 고용 창출 효과를 발생시킴

- 최근 세계적인 토목·건축 시설물은 도시의 밀집화와 구조물의 경제성 확보를 위한 대형화가 큰 추세임. 따라서 대형 시설물에 대한 설계 및 시공방법 뿐만 아니라 이에 대한 안전성 평가 방법도 큰 화두임
- 지진방재실험센터에서 추진하고자 하는 대용량·대형 진동대 시스템 구축은 이러한 정부의 정책방향 뿐만 아니라 산업계의 수요와 일치하는 것으로, 시스템 구축 이후 국내 내진성능평가 분야에서 탁월한 성과와 연구능력 향상으로 이어질 수 있음.
- 목표로 하는 대용량·대형 진동대 시스템은 세계 4위권 수준의 시설로서 국제적인 경쟁력을 확보하고 있는 우수한 연구시설로 건립하고자 함
- 만약, 이러한 실험이 국내에서 이루어질 수 없다면 외국의 실험기관에서 검증을 수행하여야 하며 이 때 발생하는 비용은 국내에서 수행하는 경우에 비교할 수 없을 것임. 또한, 국내에서 실험을 직접 수행하면서 문제점을 파악하여야 관련 기술의 개발 및 발전을 도모할 수 있는 다양한 기회가 기대됨

□ 전문가 자문의견

- 실험 수요조사 결과, 대형실험시설의 신규 구축과 별도로 기존 실험시설에 실험 장비를 추가 도입하여 해결할 수 있는 실험수요가 매우 많은 것으로 나타남
- 특히, 교량, 건축물 등이 대형화 되면서 케이블, 내진관련 장치 등도 대형화 되고 있어, 이들 장치에 대한 실증검증을 위해서는 장비의 극한성능까지 검증할 수 있는 고용량 유압가력기와 대형의 진동대 등의 확충이 요구됨
- 전문가의 평가의견에 따르면, 초고층 건축물, 초장대 교량, 원자력발전소를 비롯한 플랜트, 부유식 구조물은 상당 부분 상용화 단계에 있으며, 현 수준에서의 기술 발전을 위해서는 보다 정밀한 성능 평가가 실험적으로 이루어질 필요가 있음
- 따라서 실제 크기 구조부재 및 구조물을 실험할 수 있는 대형 실험시설, 실제 하중을 모사할 수 있는 실험시설(다축, 진동, 고속 또는 충격 하중, 화재), 기존 건설재료가 저탄소 건설재료로 대체되었을 때의 성능평가 및 외부환경 영향 파악을 위한 실험시설이 필요할 것으로 나타남
- 기획연구 보고서에 따르면, 대형 진동대 실험장비는 지진 및 진동과 관련한 연구를 위해 그 필요성이 매우 크고, 진동대 실험은 구조물의 동적거동을 평가하는데 가장 효과적인 방법이나 일반적으로 진동대 시험 장비의 크기가 작기 때문에 상사비에 의해 축소된 모형에 대하여 실험을 진행하게 되므로 실제구조물과 동일한 거동을 모사하는데 어려움이 있음을 언급하고 대형 진동대 장비의 설치가 필수적임을 보고하였음
- 그러나 대형 진동대 실험장비 설치를 위해서는 장비를 위한 넓은 시설부지 확보,

대형 유압공급장치 설치, 초대형 철물제작, 유압배관설치 등에 많은 초기 투자비용이 필요하며, 이에 반하여 국내 연구자들의 열악한 연구여건으로는 실제 실험 수요가 많지 않을 것으로 예상되므로 저조한 가동률로 자체 운영이 어려울 가능성이 있음을 보고하였음

- 따라서 결과적으로 지진방재연구센터의 기존 장비 성능향상을 통하여 대용량·대형 진동대 시스템 구축 방법을 제안하였음



[그림 8-23] 기존 장비 성능개선을 통한 대용량·대형 진동대 시스템 구축 개념

제 3 절 활용분야 및 범위

□ 활용분야 및 범위

- 진동대는 연구자가 원하는 지진 및 진동을 인공적으로 발생시킬 수 있는 기계적인 장치임
- 진동대 장비 위에 빌딩, 교량 등의 구조물 모형을 설치하고 지진파를 가진하여 발생하는 동적 현상을 관찰하기 위한 실험에 주로 사용되고 있음
- 진동대를 이용한 실험방법은 구조물의 동적 문제를 실험적으로 검증하는데 가장 효율적인 방법으로 인식되어 많은 연구자들이 활용하고 있음. 아래 [그림 8-24]은 국외 초대형 옥외 진동대의 실험 예이며, [그림 8-25]는 지진방재연구센터에서 수행한 길이 28m, 주탑 높이 10m의 사장교에 대한 다지점 가진 실험 예임



[그림 8-24] 구조물 지진실험을 위한 옥외진동대



[그림 8-25] 지진방재연구센터 사장교 진동대 실험

- 진동대의 성능은 상부에 설치될 수 있는 구조물의 크기, 중량과 이를 가진하기 위한 진동대의 가속도, 속도, 변위 재현 한계로 평가됨. 진동대를 이용한 동적 실험 기법이 개발된 후 이러한 장비의 한계를 극복하기 위하여 많은 연구와 노력들이 이루어졌으나, 현재까지도 물리적인 한계로 인하여 제작할 수 있는 진동대의 크기와 이를 일정 수준으로 진동시키기 위한 장비 능력이 제한적임



[그림 8-26] 진동대 주요성능 지표

- 빌딩과 교량과 같은 대형 구조물에 대한 진동대 실험에서는 일반적으로 상사비가 적용된 축소모형에 의한 실험을 수행함. 이 경우 상사비 적용에 따른 역학적, 기하학적 특성이 실험하고자 하는 원형과 축소모형에서 일정한 비율의 관계를 가지고 있어야 하는데, 진동대의 크기가 작아 큰 상사비가 적용되어야 하는 경우 이러한 관계를 밝히기가 쉽지 않음. 특히, 축소되는 구조물의 질량을 재료적·구조적 상사비를 만족하면서 동시에 구현하기는 매우 어려우며, 콘크리트와 같이 단면이 복잡하고 비선형 거동 특성이 중요한 구조물에서는 일정 수준 이상의 상사를 적용하는 것이 현실적으로 어려움
- 그러므로 대형 구조물에 대하여 적정 수준의 상사비를 적용한 동적 실험을 수행하기 위해서는 일정 규모 이상의 실험면적을 갖고 이에 대응하는 실구조물 중량체에 대한 실험이 가능하도록 비교적 큰 규모의 진동대 장비가 요구됨
- 전문가의 평가의견에 따르면, 초고층 건축물, 초장대 교량, 원자력발전소를 비롯한 플랜트, 부유식 구조물은 상당 부분 상용화 단계에 있으며, 현 수준에서의 기술 발전을 위해서는 보다 정밀한 성능 평가가 실험적으로 이루어질 필요하다는 의견을 제시함.
- 국외의 대표적인 대용량·대형 진동대 구축 사례인 일본의 NIED 진동대[그림 8-27]와 미국 San Diego의 야외 진동대[그림 8-28]에서 볼 수 있듯이 일반적으로 대형 진동대는 유압에 의해 작동되는 가력기(hydraulic servo actuator)를 사용하게 되고 거대한 장비와 실험체를 가진하기 위하여 대규모의 유압펌프가 필요. 또한, 진동대는 진동을 발생시키는 그 운영 특성에 따라 견고하면서 무거운 지반 또는 반력 기초 구조물(reaction mass)에 설치되어야 함. 그러므로 대용량·대형 진동대 시스템을 구축하기 위해서는 진동대 규모에 대응하는 기초를 보유하고 있는 시설 구축이 요구하게 되므로 설치에 많은 예산이 요구됨



[그림 8-27] 일본 NIED에 설치된
진동대 실험 전경



[그림 8-28] San Diego에 설치된 야외
진동대

- 지진방재연구센터에 구축된 실험장비의 최대 실험가능 면적은 국제적 수준임. 그러므로 기존 연구시설의 유압펌프 및 배관 등 유압공급시스템과 대형 진동대 반력 기초를 활용할 수 있다면, 상대적으로 적은 예산으로도 효과적인 대용량·대형 진동대 실험장비 구축이 가능할 것임

□ 사회·경제적 기대효과

- 국가·민간 R&D 실험지원 및 정부 정책 마련에 활용
 - 기존 및 신규 구조물의 지진 안전성 평가 및 내진 대책 수립
 - 재해 시나리오에 기반한 현실성 있는 지진재해 대책 수립 가능
 - 기존 구조물의 지진 안전성 평가에 따른 재해 시나리오 마련
- 원자력 발전소 및 원자력 시스템 개발에 따른 기술 경쟁력 제고
 - 격납구조물의 내진성능 검증
 - 제어기기, 냉각계통, 배관, 모니터링 시스템 등 원자력 시스템의 요소 검증
 - 세계 원전시장을 주도할 핵심기술 확보
- 실구조물에 기초한 구조물의 정확한 동적거동 분석 및 내진성능 확보 대책 마련

□ 기술적 기대효과

- 지진재해 대비 시설물의 평가 및 관련 설계기술 확보 가능
- 대형 구조물에 대한 상사법칙 적용을 최소화한 실구조물 수준의 모형을 통한 동적 거동 분석으로 구조물에 대한 이해증진 및 실증자료 확보 가능 및 한계상태설계에 대비한 설계 및 해석 기술의 발전에 기여.국내 유일의 세계 4위권 대용량·대형 진동대 시스템 구축을 통한 내진분야의 기술경쟁력 제고 기반 마련 및 국내 기술자립

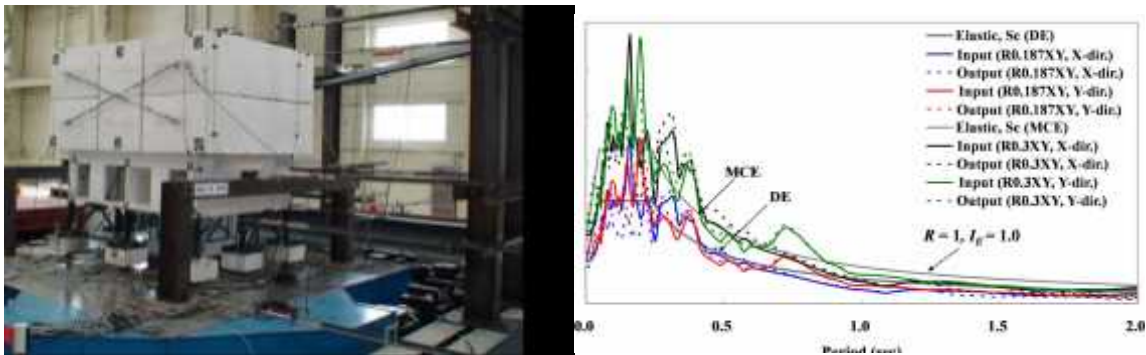
제 4 절 국내외 관련 연구장비 동향

1. 연구개발 및 기술 동향

가. 국내 동향

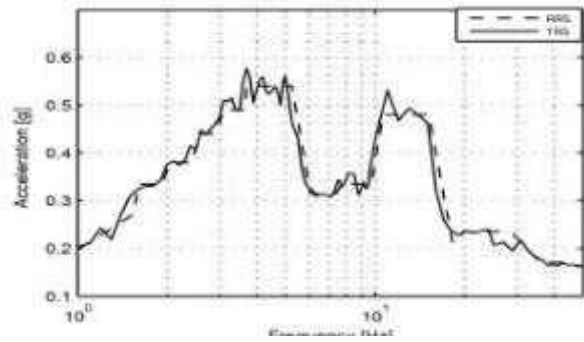
□ 진동대를 이용한 국내 내진연구 사례

- 국내에서는 일반적으로 진동대를 이용한 토목·건축 구조물의 내진성능 평가 및 제진/면진 장치의 평가, 그리고 배관 및 전기 등의 설비의 내구성 테스트가 주를 이루고 있음
- 최근 국내에서 수행된 진동대를 이용한 연구를 살펴보면 다음과 같음
- 황경란과 이한선(2013)은 연층, 약층, 비틀림 비정형을 가진 필로티형 저층 RC 집합주택의 비탄성 비틀림 응답을 예측하기 위해 정적 소성 메커니즘 해석을 수행하였으며, 기 수행된 진동대 실험결과와 비교하여 소성 메커니즘 해석을 검증함. 진동대는 지진방재연구센터의 폭과 길이가 5m인 3자유도 진동대가 사용되었고, 실험체는 1/5 스케일로 축소된 실험체를 대상으로 하였음



[그림 8-29] 지진모의실험 및 응답스펙트럼

- 정진환 등(2013)은 다지점 진동대를 이용한 원자력발전소 배관계통의 내진성능실험에서 실제 원전 구조물에 적용되고 있는 배관계통의 일부를 모사한 실험체에 대하여 2기의 대형 진동대를 동시에 사용하는 수평가진 실험을 수행하였으며, 배관의 동특성 실험결과 및 발생 응력에 대한 분석을 수행함. 진동대는 지진방재연구센터에 설치된 2 기의 진동대를 이용하였으며, 실험배관계통의 하단부와 상단부를 각기 다른 진동대에 연결하여 실험을 수행함. 실험체의 전체 길이는 17.8m로 제작되었음



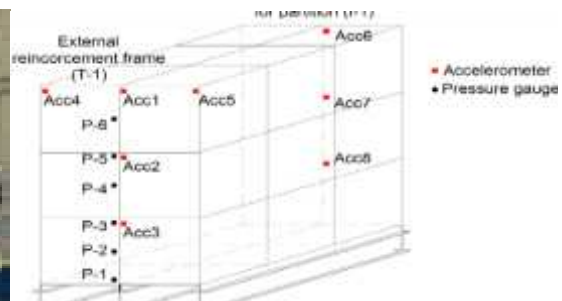
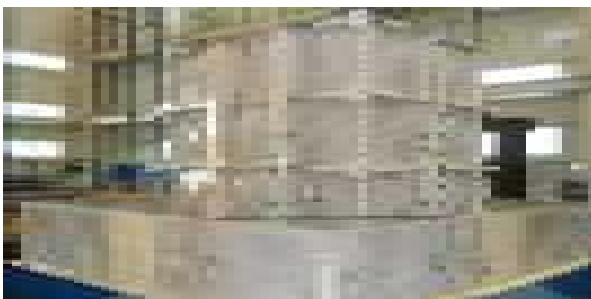
[그림 8-30] 배관계통의 설치 모습과 응답스펙트럼

- 이슬기 등(2013)은 전통한옥과 신한옥의 가진 크기에 따른 동적응답특성 평가를 위하여, 전통한옥과 신한옥의 축소 모형에 대한 진동대 실험을 수행함. 또한 접합부의 마찰특성을 고려한 구조해석 모형을 구축하여 한옥 구조물의 비선형 거동을 구현하고, 이를 실험결과와 비교분석함. 실험체는 1/15 스케일로, 길이 624mm, 폭 340mm, 높이 226mm로 제작되었음. 실험은 소규모 진동대를 이용하여 진행됨



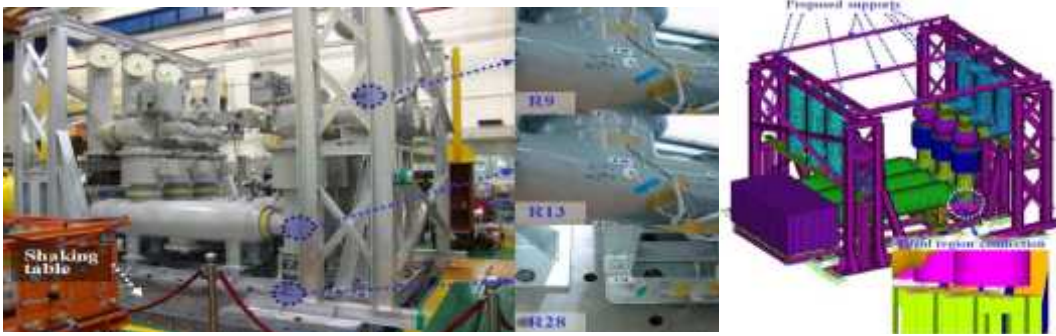
[그림 8-31] 진동대 전경 및 축소 모형 실험체 모습

- 박세준 등(2013)은 진동대 실험을 통한 외부보강형 판넬 조립식 물탱크의 내진성능평가 실험에서 일본의 물탱크 설계기준에서 제시하는 지진시 변동수압에 따라 외부보강시스템과 내부칸막이 보강시스템을 설계하였으며, 진동대 실험을 통하여 외부보강프레임의 구조적 응답을 측정하고 설계식과 비교 분석함. 실험은 지진방재연구센터의 폭과 길이가 5m인 3자유도 진동대가 사용되었고, 실험체의 크기는 폭 2m, 길이 3m, 그리고 높이 3m를 대상으로 하였음



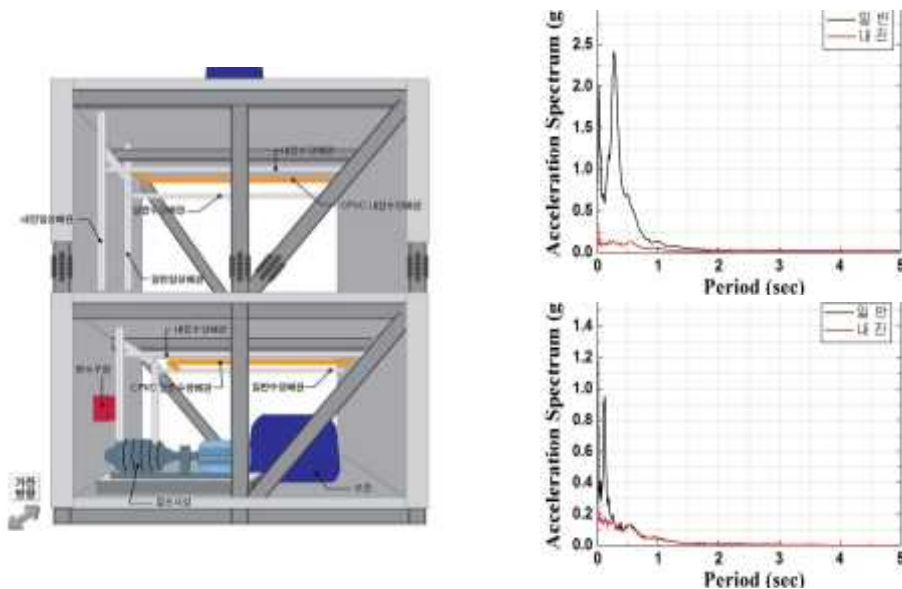
[그림 8-32] 외부보강형 물탱크 실험 전경 및 센서 부착 위치

- o 김유경 등(2013)은 245kV 가스개폐장치(GIS)의 내진성능 실증을 위한 시험 및 해석 연구에서 실험여건의 한계에 따라 GIS 시스템 중 일부를 실험적으로 모사하고, 해석적인 평가로 이를 보완하는 연구를 수행함. 시험방법은 IEEE-693 기준에 의거하여 내진시험을 수행하였음. 한국기계연구원의 폭과 길이가 4m인 진동대를 이용하여 실험을 수행함



[그림 8-33] 가스개폐장치(GIS) 실험체 및 해석모형

- o 남민준 등(2012)은 진동대 실험을 통한 스프링클러 설비의 내진성능 평가에서 일반 설비와 내진설계된 설비를 동시에 시공하고 각 내진성능을 평가하였음. 또한 시설물의 거동특성을 파악하기 위하여 시설별 변위응답, 가속도 응답, 가속도 응답스펙트럼을 통한 시설물에 대한 내진성능을 평가하였음. 실험에 사용된 실험체는 지상 2층 철근콘크리트 철골조 구조물을 대상으로 하였고, 지반조건은 S_D , 지역계수는 0.22, 중요도 계수는 일반적으로 지진에 가장 취약한 저층건축물로 가정하였음. 사용된 지진파는 El-Centro 지진파를 적용하였고, 지진방재연구센터의 폭과 길이가 5m인 3자유도 진동대가 사용되었음



[그림 8-34] 실험체 및 실험대상 별 가속도 응답

- 김진만 등(2012)은 1g 진동대 실험을 이용한 지반-스톤칼럼의 상호작용 거동에 관한 연구에서 스톤칼럼으로 개량된 연약점토지반의 내진성능을 평가하기 위해 1g 진동대 실험을 수행함. 실험에는 지진방재연구센터의 폭과 길이가 5m인 3자유도 진동대가 사용되었고, laminar shear box는 40층 표준으로 폭 1.2m, 길이 2m, 그리고 높이 1.8m로 제작됨



[그림 8-35] Laminar shear box

나. 국외 동향

□ 진동대를 이용한 국외 내진연구 사례

- Lindt 등(2011)은 다층 목조주택의 내진안전성 평가를 위해 7층 건축물에 대한 내진성능 평가를 수행함. 내진성능 평가에는 진도 6.7 규모로 가진하였음. 실험체의 중량은 약 500톤 정도 규모였음. 사용된 진동대는 일본 방재과학기술연구소 고베효고지진연구센터에 있는 세계 최대규모의 E-Defense (Earthquake- Defense) 진동대를 이용함 (CSU News, 2009). 이 진동대는 일본 NIED에서 운용중인 폭 20m, 길이 15m 크기이고 최대 적재용량이 1,200 ton인 6자유도 진동대 장비임. 또한 2010년에도 일본의 E-Defense 장비를 이용하여 면진장치에 대한 성능평가를 위해서 4층 규모의 철근콘크리트 구조물에 대한 내진성능평가가 수행됨
- 이 외에도 Motamed 등(2013)은 일본 E-Defense 진동대를 이용하여 폭 5m, 길이 16.1m, 높이 4m의 지반과 파일을 모사한 실험체를 제작하여, 지진발생시 지반과 파일의 상호작용과 내진성능에 대한 연구를 수행함.



(a) 7층 규모(중량 500톤)의 목조 주택에 대한 내진성능 평가

[그림 8-36] 일본의 E-Defense를 이용한 실구조물 내진성능평가 연구



(b) 면진장치 성능평가를 위한 4층 규모의 철근콘크리트 구조에 대한 내진성능 평가



(c) 실제 지반과 파일을 모사한 실험체의 내진성능 평가

[그림 8-36] 일본의 E-Defense를 이용한 실구조물 내진성능평가 연구(계속)

- o NEES (Network for Earthquake Engineering Simulation) 시설에 포함된 미국 Buffalo 대학의 Structural Engineering and Earthquake Simulation Laboratory (SEESL)에서는 기본 폭 3.6m, 길이 3.6m의 진동대 2 기를 폭 6.3m, 길이 17.2m의 확장 플레이트를 이용하여 대형 진동대화하여 실구조물에 대한 내진성능 평가시험을 수행함. 2기의 진동대를 합친 최대 적재하중은 100톤이고, 실험체를 동일한 위상으로 가진할 수 있음. 주로 저층 목조건축물에 대한 실험 등 다양한 실구조물에 대한 연구를 수행하고 있음.



[그림 8-37] 미국 SUNY Buffalo에서 수행한 2층 목조건축물의 실험 I

- o Restrepo 등(2014)은 University of California, San Diego의 Large High-Performance Outdoor Shake Table (LHPOST)를 이용하여, Caltrans 내진설계기준에 따라 설계된 실 규모의 원형 철근콘크리트 교량의 기둥에 대한 내진성능 평가를 수행하였음. LHPOST 진동대는 야외에 설치된 진동대로서, 폭 7.6m, 길이 12.2m 크기의 적재하중 2000톤의 용량을 가짐. Restrepo 등이 수행한 연구의 대상 실험체는 직경 1.2m, 기초 바닥판을 제외한 높이 7.2m의 기둥으로 총 중량 261톤의 실험체임.



[그림 8-38] UCSD의 LHPOST를 이용한 실규모 기둥의 내진성능평가

다. 소결

- o 상기에서 살펴본 바와 같이 현재 국내에서 주로 진행되고 있는 내진실험은 주로 축소 모형에 의존한 실험이 주를 이루고 있음.
- o 이는 국내 대용량·대형 진동대 시스템의 부재로 인한 당연한 결과임.
- o 반면 국외의 경우, 일본과 미국 등의 대용량·대형 진동대 시스템을 이용한 실구조물에 대한 내진성능 평가 연구가 활발하게 진행되고 있음.

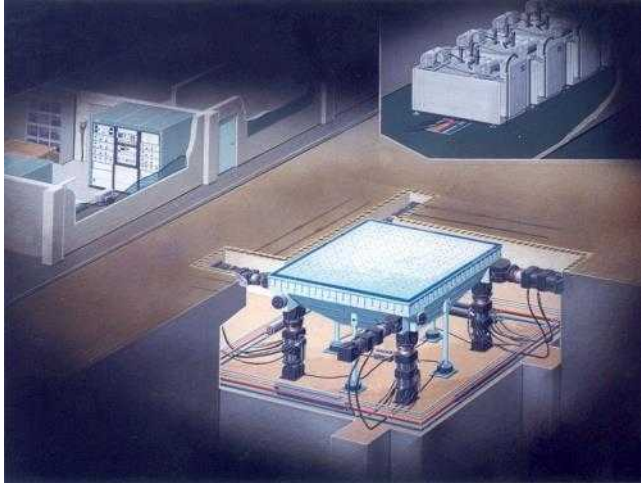
- 국내외 지진발생 빈도의 꾸준한 증가 및 지진피해에 대한 대처능력 향상 필요.
- 원자력 발전을 포함한 사회 기반시설 및 공공건물에 대한 내진설계에 대한 필요성 증가와 이를 뒷받침하기 위한 기술력 향상 필요.
- 지진재난 발생에 따른 전력, 교통, 생활시설 등의 피해 등 심각한 2차 피해를 줄이기 위한 정부의 자연재해대책법에 따라 내진설계기준을 제·개정하여, 기존 공공시설물에 대하여 내진보강 사업을 추진하고, 신규 시설물에는 내진성능을 의무화하는 등 지진으로 인한 피해를 최소화하기 위한 노력을 증가.
- 이 같은 정부의 노력과 보조를 같이하여, 국내 지진방재분야의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 건설 산업의 고도화 등으로 인하여 건설 가능한 초고층빌딩, 대형 SOC구조물 등의 내진성능검증 요구도 증가하고 있음.
- 그러므로 국내에도 국외 수준에 근접한 대용량·대형 진동대 시스템의 설치가 시급함.

2. 시설·장비 구축현황

가. 국내 현황

□ 대형 6자유도 진동대 (한국기계연구원)

- 개요: 기계시스템 및 각종 기계의 진동에 대한 성능 검증 및 평가 고찰을 목표로 하여 핵심 기계요소들에 대한 동적특성을 실험적으로 연구
- 위치: 대전
- 기타 보유장비
 - 소형 2자유도 진동대
 - 주파수특성 분석기

장비명	대형 6자유도 진동대	보유기관	한국기계연구원
목적	- 기계요소들에 대한 동적특성 실험		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 16m ² - 최대 적재하중: 30톤 - 자유도: 6		
특징	- 최대 가속도: 1.5g (X, Y, Z-axis) - Frequency Range: 0.1~50Hz		
활용범위	- 기계시스템 및 핵심 기계요소의 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진			

□ 소형 2자유도 진동대 (한국기계연구원)

- 개요: 기계시스템 및 각종 기계의 진동에 대한 성능 검증 및 평가 고찰을 목표로 하여 핵심 기계요소들에 대한 동적특성을 실험적으로 연구
- 위치: 대전
- 기타 보유장비
 - 대형 6자유도 진동대
 - 주파수특성 분석기

장비명	소형 2자유도 진동대	보유기관	한국기계연구원
목적	- 기계요소들에 대한 동적특성 실험		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: $4m^2$ - 최대 적재하중: 0.5톤 - 자유도: 2		
특징	- 최대 가속도: 8.0g (X, Y-axis) - Frequency Range: 0.1~100Hz		
활용범위	- 기계시스템 및 핵심 기계요소의 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진			

□ 1축 진동대 (현대건설 기술개발원)

- 개요: 토목·건축 구조물의 내진성능 검증 및 평가 고찰을 목표로 하여 핵심 구조요소들에 대한 동적특성을 실험적으로 연구
- 위치: 경기도 용인시
- 기타 보유장비
 - 2축 진동대

장비명	1축 진동대	보유기관	현대건설 기술개발원
목적	- 토목·건축구조물에 대한 동적특성 실험		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 15m ² - 최대 적재하중: 30톤 - 자유도: 1		
특징	- 최대 가속도: 1.0g - Frequency Range: 30Hz		
활용범위	- 토목·건축구조물의 내진성능 및 핵심 구조요소의 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진	-		

□ 2축 진동대 (현대건설 기술개발원)

- 개요: 토목·건축 구조물의 내진성능 검증 및 평가 고찰을 목표로 하여 핵심 구조요소들에 대한 동적특성을 실험적으로 연구
- 위치: 경기도 용인시
- 기타 보유장비
 - 1축 진동대

장비명	2축 진동대	보유기관	현대건설 기술개발원
목적	- 토목·건축구조물에 대한 동적특성 실험		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 4m ² - 최대 적재하중: 5톤 - 자유도: 2		
특징	- 최대 가속도: 1.0g - Frequency Range: 50Hz		
활용범위	- 토목·건축구조물의 내진성능 및 핵심 구조요소의 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진	-		

□ 6자유도 진동대 (한국철도기술연구원)

- 개요: 토목·건축 구조물의 내진성능 실험 및 기계구성품 진동실험. 국토해양부에서 수행한 '철도기술선진화연구기반조성' 과제를 통하여 시설 구축.
- 위치: 경기도 의왕시
- 기타 보유장비
 - Hydrostatic 방식의 저마찰 mass-rig
 - 제어소프트웨어

장비명	6자유도 진동대	보유기관	한국철도기술연구원
목적	- 토목·건축구조물에 대한 동적특성 실험		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 16.8m ² - 최대 적재하중: 30톤 - 자유도: 6		
특징	- 최대 가속도: ±0.8~1.7g - Frequency Range: 0.1~60Hz		
활용범위	- 지진파(지반가속도 이력) 모사 장비 - 토목/건축구조물 및 기계 구성품의 진동실험 - 축소모형실험 및 유사 동적실험 - 최대 6-자유도 제어가능		
비고	-		
장비 사진			

□ 1자유도 수평 진동대 (연세대학교)

○ 개요: 기후변화에 따라 풍하중, 지진, 폭풍과 같은 극한 하중이 지반과 구조물에 반복적으로 가해지는 현상이 빈번히 발생되고 있음. 따라서, 이러한 극한 상황을 모사하여 지반, 구조, 관, 포장재, 수로 등의 성능을 검토할 수 있는 실험기자재. 본 장비는 대규모 토목, 건축 구조물에 대한 실험장비가 아니고 재료 검토와 소규모 사이즈의 모형 실험, 부재 사이즈 수준(1m 미만) 실험 장비임. '선도연구센터지원'사업의 '기후변화에 따른 사면구조물의 위험도 평가 및 재해 적응기술 개발'과제를 통하여 장비구축.

○ 위치: 서울

장비명	1자유도 수평 진동대	보유기관	연세대학교
목적	- 지반, 구조, 관, 포장재, 수로 등의 내진성능 검토		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 2.3m ² - 최대 적재하중: 2톤 - 자유도: 1		
특징	- 최대 가속도: 1.1g - Frequency Range: 0~50Hz		
활용범위	- 소규모 토목·건축 구조물의 내진성능 평가 - 지반, 관, 포장재, 수로 등의 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진			

나. 국외 현황

□ 확장형 진동대 (The State University of New York at Buffalo, 미국)

○ 개요: 13m² 면적의 6 자유도 진동대 2개 중 하나는 이동이 가능하여 2개의 진동대 이블의 중심간격을 최대 100ft 까지 이격이 가능함. 2개의 진동대를 합친 최대 적재 중량은 100ton이고 시험체를 동일한 위상으로 가진이 가능함. 강재프레임으로 제작된 parking frame system을 이용하여 트렌치안에서 진동대를 이동할 수 있게 되어 있음.

○ 위치: 미국 Buffalo

○ 기타 보유장비 (※시스템을 구성하는 부속 장비 또는 관련 설비 등을 기술)

- 폭 6.3m, 길이 7m의 확장플레이트 2개
- 폭 3.2m, 길이 6.3m의 링크플레이트 1개
- 구조실험용 반력벽

장비명	확장형 진동대	보유기관 (국가)	SUNY Buffalo (미국)
목적	- 실구조물 규모의 대형 실험체에 대한 내진성능 검증수요 충족		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 16.8m ² (비확장) / 108m ² (확장) - 최대 적재하중: 50톤 (비확장) / 100톤 (확장) - 자유도: 6		
특징	- 최대 가속도: ±1.15g - Frequency Range: 0.1~50Hz		
활용범위	- 실 대형 구조물에 대한 내진성능 검증		
비고	-		
장비 사진			

□ 다지점 가진 진동대 (University of Nevada at Reno, 미국)

- 개요: Reno의 실험동은 1992년 설립되었고, 1995년 Federal Emergency Management Agency의 재원으로 두 개의 450kN의 진동대를 갖추면서 1999년 대략 780m²로 확장. NEES program에 의해 기존의 1축방향의 진동대는 2축방향 진동대로 Upgrade, 3번째의 새로운 진동대를 설치. 19m² 면적의 진동대에 최대 135톤까지 적재할 수 있음. 각각의 진동대는 독립적으로 구동되고, 2개의 진동대를 동일한 위상으로 가진하여 하나의 큰 진동대와 같이 사용할 수도 있음.
- 위치: 미국 Nevada, Carson city
- 기타 보유장비

장비명	다지점 가진 진동대	보유기관 (국가)	University of Nevada, Reno (미국)
목적	- 다지점 대형 구조물에 대한 내진성능 검증수요 충족		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 19.3m ² - 최대 적재하중: 45톤 - 자유도: 2		
특징	- 최대 가속도: ±1.0g - 최대 속도: 1m/sec		
활용범위 비고	- 다지점 대형 구조물에 대한 내진성능 검증		
장비 사진			

□ Large High-Performance Outdoor Shake Table (University of California, San Diego, 미국)

○ 개요: UCSD의 Large High-Performance Outdoor Shake Table (LHPOS)는 캠퍼스에서 15km 떨어진 Camp Eliot Field Station에 설치되어 있음. 진동대는 기존 Soil pit와 대규모 laminar soil box와 연계되어 있어 세계 최대급의 지반진동 모의실험이 가능.

○ 위치: 미국 California

○ 기타 보유장비

- Soil pit

- Laminar soil box

장비명	Large High-Performance Outdoor Shake Table	보유기관 (국가)	University of California, San Diego (미국)
목적	- 실험체 높이의 제한을 해소한 세계 최대급의 내진실험 가능		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 92.7m ² - 최대 적재하중: 2000톤 - 자유도: 1		
특징	- Frequency Range: 0~20Hz - 최대 속도: 1.8m/sec		
활용범위	- 고층 구조물 내진실험 - 지반진동 모의실험		
비고	-		
장비 사진			

□ 6자유도 진동대 (University of California, Berkeley, 미국)

o 개요: UC Berkely는 4000ft2 부지를 대학외부 Richmond Field Station에 위치한 PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center)부지로 제공하였으며, 이 시설은 주요 핵심기관과 원격회의 시스템으로 연계되어 있음. 수평 가진기의 길이는 10ft-6in.이고 수직 가진기는 8ft-8in.이다. 진동대의 제어장치 (MTS 460 컨트롤러)는 3축의 병진 및 회전운동에 대해 closed loop control motion을 제공. 구동 시 테이블 아래의 피트의 공기는 가압되어 테이블과 시험체의 총 중량은 가압공기와 대기의 차이에 의하여 균형을 유지.

o 위치: 미국 California

o 기타 보유장비

- 지오센트리퓨지 시스템
- 반력벽 시스템

장비명	Large High-Performance Outdoor Shake Table	보유기관 (국가)	University of California, San Diego (미국)
목적	- 실험체 높이의 제한을 해소한 세계 최대급의 내진실험 가능		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 37.2m ² - 최대 적재하중: 45톤 - 자유도: 6		
특징	- 최대 수평가속도: 1.5g - Frequency Range: 20Hz		
활용범위	- 지오센트리퓨지 시스템과 반력벽 시스템을 통한 다자 연계 연구		
비고	-		
장비 사진			

□ 6자유도 진동대 (일본토목연구소, 일본)

- 개요: 대규모 지진시의 지진동을 재현하여 지진 및 각종 토목구조물의 내진성능을 조사, 연구하기 위한 대규모 6자유도 진동대 설비를 갖추고 있음. 효고현 부지진(최대속도: 수평 138cm/s, 최대변위 : 수평42cm)과 같은 대규모 지진동을 재현가능.
- 위치: 일본 삿포로

장비명	6자유도 진동대	보유기관 (국가)	일본토목연구소 (일본)
목적	- 구조물에 대한 내진성능 평가		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 64m ² - 최대 적재하중: 100톤 - 자유도: 6		
특징	- 최대 수평가속도: ±2.0g (수평) / ±1.0g (수직) - Frequency Range: 50Hz		
활용범위	- 대형 토목구조물에 대한 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진			

□ 진동대 (일본 방재과학기술 연구소 (NIED), 일본)

- 개요: 1970년 대형내진 실험시설을 개설하여 다양한 분야에서 내진성능 향상에 많은 공헌. 1986년부터 시설의 성능을 개선함으로써 강진관측에서 기록된 지진동기록을 보다 정확하게 재현하게 되었고 구조물의 파괴 메커니즘의 규명, 보다 큰 장주기 구조물의 거동특성의 확인 등 보다 폭 넓은 연구가 가능하도록 기반을 구축.
- 위치: 일본 고베

장비명	진동대	보유기관 (국가)	일본 방재과학기술 연구소 (일본)
목적	- 구조물에 대한 내진성능 평가		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 218m ² - 최대 적재하중: 500톤 - 자유도: 1		
특징	- 최대 수평가속도: 500~940gal - Frequency Range: 50Hz		
활용범위	- 토목구조물에 대한 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진			


□ E-Defense (일본 방재과학기술 연구소 (NIED), 일본)

- 개요: 새로운 내진기술을 개발하기 위하여 고배 규모의 지진을 3차원으로 모사할 수 있고 실물크기의 모델을 실험할 수 있는 3차원 진동과괴실험시설(E-defense)을 2005년 초 완공.
- 위치: 일본 미키

장비명	E-Defense	보유기관 (국가)	일본 방재과학기술 연구소 (일본)
목적	- 실물 크기의 구조물에 대한 내진성능 평가		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 300m ² - 최대 적재하중: 1200톤 - 자유도: 6		
특징	- 최대 수평가속도: 1~1.5g		
활용범위	- 대형 토목·건축구조물에 대한 내진성능 평가 - 각 종 대형 문화재에 대한 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진			

□ 6자유도 진동대 (일본 KAJIMA 건설, 일본)

- 개요: 일본 KAJIMA 건설에는 6자유도의 진동대가 설치되어 있어 어떠한 형태의 진동도 재현할 수 있음. 이 시스템은 144채널의 data acquisition system과 process system을 갖추고 있어 고속으로 센서의 데이터를 처리할 수 있음.
- 위치: 일본
- 기타 보유장비
 - Data acquisition system
 - Data process system

장비명	6자유도 진동대	보유기관 (국가)	KAJIMA 건설 (일본)
목적	- 토목·건축 구조물에 대한 내진성능 평가		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 25m ² - 최대 적재하중: 50톤 - 자유도: 6		
특징	- 최대 수평가속도: 2.0g		
활용범위	- 토목·건축구조물에 대한 내진성능 평가 - 내진실험과 데이터 계측의 통합 처리 시스템		
비고	-		
장비 사진			


□ 진동대 (Earthquake Engineering Research Center, 영국)

- o 개요: 1987년, 영국의 주요 지진피해를 방지하기 위한 연구를 지원하기 위하여 EPSRC (Engineering and Physical Research Council)의 진동대가 University of Bristol에 설치됨.
- o 위치: 영국

장비명	진동대	보유기관 (국가)	Earthquake Engineering Research Center (영국)
목적	- 토목·건축 구조물에 대한 내진성능 평가		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 9m ² - 최대 적재하중: 15톤 - 자유도: 6		
특징	- 최대 수평가속도: 1.2g		
활용범위	- 토목·건축구조물에 대한 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진			

□ 6자유도 진동대 (The University of British Columbia, 캐나다)

- o 개요: 기존의 일축 진동대를 다축 진동대로 성능을 개선하였으며, 진동 테이블의 크기는 4m×4m, 알루미늄 재질의 셀 구조. 시험체는 533mm 간격의 격자 배치된 앵커 시스템을 통하여 테이블에 설치됨.
- o 위치: 캐나다

장비명	진동대	보유기관 (국가)	The University of British Columbia (캐나다)
목적	- 토목·건축 구조물에 대한 내진성능 평가		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 16m ² - 최대 적재하중: 30톤 - 자유도: 6		
특징	-		
활용범위	- 토목·건축구조물 및 각종 설비의 내진성능 평가		
비고	-		
장비 사진			

- 6자유도 진동대 (National Center for Research on Earthquake Engineering, 대만)
 - 개요: 토목·건축 구조물의 내진성능 검증 및 평가 고찰을 목표로 하여 핵심 구조요소들에 대한 동적특성을 실험적으로 연구
 - 위치: 대만

장비명	6자유도 진동대	보유기관 (국가)	National Center for Research on Earthquake Engineering (대만)
목적	- 토목·건축 구조물에 대한 내진성능 평가		
규모/성능/사양	- 최대 적재면적: 25m ² - 최대 적재하중: 50톤 - 자유도: 6		
특징	- 최대 가속도: 1.0g - 최대 속도: 1m/sec (종방향) / 0.6m/sec (횡방향) / 0.5m/sec (수직방향)		
활용범위 비고	- 토목·건축구조물 및 각종 설비의 내진성능 평가		
장비 사진			

다. 소결

- 상기에서 살펴본 바와 같이 현재 국내장비는 진동대의 적재하중 및 적재면적이 비교적 소형장비가 주를 이루고 있음. 적재면적의 경우 지진방재연구센터를 제외할 경우 최대 적재면적은 한국철도기술연구원의 16.8m²가 최대 규모임. 적재하중의 경우에는 한국기계연구원, 현대건설 기술개발원, 한국철도기술연구원이 보유하고 있는 진동대가 30톤으로 최대 용량임
- 반면 국외의 경우, 일본의 E-Defense가 적재면적 300m²으로 최대 규모를 가지는 것으로 조사됐고, 미국 UCSD의 LHPOST가 적재하중 2000톤으로 최대 용량을 가지는 것으로 조사됨. 이 외에도 미국의 SUNY Buffalo의 확장형 진동대가 확장 시 적재면적 108m², 적재하중 100톤으로 비교적 큰 규모를 가지는 것으로 나타남
- 국내·외 장비 비교결과, 국내의 장비수준은 국외에 비하여 매우 부족한 실정임
- 따라서 첨단 연구 장비의 부재는 향후 토목·건축분야의 내진설계 뿐만 아니라 정부에서 신 수출산업으로 육성하고자 하는 원자력 발전을 포함한 사회 기반시설 및 공공건물에 대한 내진 안전성 확보에 대한 수요를 충족시킬 수 없을 것으로 판단됨
- 이는 해당분야의 연구공백으로 이어질 수 있으며, 최종적으로 국가 기술력의 경쟁력 상실로 이어질 수 있음
- 그러므로 국가 차원에서 국외수준에 근접한 대용량·대형 진동대 시스템 구축에 적극 투자하여 국내에도 국외 수준에 근접한 대용량·대형 진동대 시스템의 설치가 시급함

구분	장비명 (보유기관, 국가)	규격, 규모	성능, 사양	자유도
		적재면적(m ²)	적재하중(톤)	
국내	대형 6자유도 진동대 (한국기계연구원)	16	30	6
	1축 진동대 (현대건설 기술개발원)	15	30	1
	2축 진동대 (현대건설 기술개발원)	4	5	2
	6자유도 진동대 (한국철도기술연구원)	16.8	30	6
국외	확장형 진동대 (SUNY Buffalo, 미국)	16.8/108	50/100	6
	다지점 가진 진동대 (UN Reno, 미국)	19.3	45	2
	LHPOST (UCSD, 미국)	92.7	2000	1
	6자유도 진동대 (UC Berkeley, 미국)	37.2	45	6
	6자유도 진동대 (일본토목연구소, 일본)	64	100	6
	진동대 (NIED, 일본)	218	500	1
	E-Defense (NIED, 일본)	300	1200	6
	6자유도 진동대 (KAJIMA 건설, 일본)	25	50	6
	진동대 (EERC, 영국)	9	15	6
	6자유도 진동대 (UCBC, 캐나다)	16	30	6
	6자유도 진동대 (NCREE, 대만)	25	50	6
	최고수준	3DOF 이상 대용량·대형 진동대 시스템 (E-Defense 제외)	108	100
E-Defense		300	1200	6
최소요구수준 (최고수준대비)	3자유도 이상 대용량·대형 진동대 시스템 (E-Defense 제외)	140 (140%)	100 (100%)	3 (50%)
	E-Defense	140 (46.7%)	100 (5%)	6 (50%)

3. 종합분석

- 내진성능 평가 실험 시 필요한 진동대의 크기와 적재용량은 실험체의 크기 및 중량에 의해 전적으로 결정되므로 성능 결정 시 두 가지 측면을 동시에 고려하고, 기존 장비의 성능향상을 통한 비용절감 등을 고려하여 최대 진동대 크기 140m²에 적재용량 100톤으로 성능을 제안함
 - 국내 최대 크기는 한국철도기술연구원의 16.8m²이며, 국외 최대 크기는 일본 NIED의 300m²임. 또한 국내 최대 적재용량은 30톤이며, 국외 최대 적재용량은 UCSD의 2000톤임
 - 기존에 수행된 국내외 연구의 성능 요구 수준과 국외 장비와의 경쟁력 등을 분석하면 진동대의 크기는 150m² 내외, 적재용량은 100~120톤 정도의 성능이 적절하다고 판단됨
 - 그러나 대형 진동대를 신규로 구축할 경우 대형 진동대 장비를 위한 공간 및 시설 등을 새롭게 구축하여야 하므로 초기비용 등이 많이 요구됨. 기본적으로 필요한 시설 및 장비는 다음과 같으며 시설을 위한 부지구입 비용을 제외하고도 소요 예상비용은 150억원 정도임
 - 신규시설공사(건축/토목/기계/전기공사)에 따른 각종 공사비: 34억여원
 - 장비(유압배관, 유압공급장치 및 냉각장치) 및 계측기기(대형진동대, 제어기): 116억여원
 - 따라서 비용효율성 측면을 고려하여 기존 장비의 성능향상을 통하여 목표로 하는 대용량·대형 진동대 시스템을 구축하는 것이 바람직하다고 판단됨
 - 대형 진동대를 기존 시설 및 장비를 활용하여 성능개선 시 필요한 요구사항은 진동대 장비의 일부 부품의 업그레이드(유압 actuator의 성능향상) 비용 및 통합제어를 위한 제어기(controller), 그리고, 두 진동대를 연결하여 확장하기 위한 확장플레이트 제작비와 확장플레이트를 상시 보관하기 위한 보관시설이 필요 할 뿐이며, 그 비용은 개략적으로 다음과 같음
 - 확장플레이트(extension Plate) 제작, 설계비 및 확장플레이트 상시 보관을 위한 보관 시설 공사비: 10억여원
 - 진동대 성능개선을 위한 부품 업그레이드, 통합제어기 업그레이드: 26억여원
 - 따라서 기존 장비와의 호환성 및 기존 진동대 설치 지점간 거리를 고려하여 최대 진동대 크기 140m²에 적재용량 100톤으로 성능을 설정함

제 5 절 기존 시설·장비와 차별성

1. 장비의 중복성 검토(NTS 검색)

가. 장비구축 자체 검토의견

- 총 4가지의 키워드로 검색 - 진동대, 내진성능시험, 동적응답, 면진
 - 관련 키워드로 NTIS 검색 결과 현재 국내 관련 장비가 소수 존재함
 - 기존 장비의 경우 소규모의 실험만이 가능하여, 본 제안서에서 목표로 하는 대용량·대형 진동대 시스템의 성능에는 부합하지 못함
 - 위 결과를 토대로 제안 장비와 기존 장비의 중복성이 없음을 확인함

나. 국가연구시설장비 공동활용서비스 NTIS(<http://hfec.ntis.go.kr>) 검색 결과

No	장비명 (모델명)	제작사	설치기관 (설치장소) 활용목적분야	취득년도	장비가격 (백만원)	중복검색 Key word	대표 성능 비교 (2~3개)	구축예정장비 신청기관의 자체 검토의견
1	6-자유도 진동대	케이엔알시스템	한국철도기술연구원	2009	4,076.8	진동대, 면진	16.8m ² /30톤	-대형구조실험용으로 부적합 -예정장비와 중복성 없음
2	지진모사용 진동대	삼덕엔지니어링	연세대학교	2012	47.9	진동대	1.0m ² /0.2톤	-대형구조실험용으로 부적합 -예정장비와 중복성 없음
3	진동대	대한공사	전북대학교	2005	35.0	진동대, 동적응답	-m ² /-톤	-대형구조실험용으로 부적합 -예정장비와 중복성 없음
4	1자유도 수평 진동대	케이엔알시스템	연세대학교	2013	178.2	진동대, 동적응답	2.3m ² /2.0톤	-대형구조실험용으로 부적합 -예정장비와 중복성 없음
5	다지점 가진 대용량 지진 모사 시험기	MTS	부산대학교	2009	8,875.5	진동대, 내진성 능시험	25m ² /30톤	-본 연구센터 보유장비 -예정장비와 중복성 없음

2. 차별화 및 특성화 방안

가. 장비 구축 주안점

- 실험 시설에서 수행 가능한 성능평가의 범위를 세계적 수준으로 설정함
 - 본 실험시설은 현재 토목·건축분야 뿐만 아니라 원전구조물 및 원전시설물 그리고 각 종 대형 설비분야에 대한 내진성능 평가를 포함하여 향후 실험시설의 활용성을 고려한 성능수준 설정이 필요함
 - 실험시설의 지속성을 확보하고, 호환성과 연계성을 고려할 수 있는 운영체계를 구축해야 함

- 예산 등 제한된 범위 내에서 모든 장비를 새로 구축하는 것은 불가능하므로 다음의 요건을 고려하여 실험시설·장비가 선정되어야 함
 - 가장 수요가 많을 것으로 예상되는 장비를 우선 구축해야함
 - 대학 등 일반 연구기관에서 큰 무리없이 구축·활용 가능한 장비를 구축해야 함
 - 장비 및 시설 구축 시 소요되는 비용을 최소화 하기 위하여, 기존 장비를 활용 또는 성능향상을 통한 목표 요구성능 확보가 가능한 안을 우선시해야 함
 - 구축 후 활용·유지관리에 과도한 비용이 드는 것은 방지해야 함

- 실험시설의 효율적인 공간확보가 필요함
 - 기존 시설과의 적절한 배치를 통해 동시에 실험을 수행 시 상호간 영향을 최소화 시켜야함
 - 운영 효율성 확보를 위해 실험시설, 제어시설 등을 적절히 배치하여 시설 간 연계를 고려하여야 함
 - 대용량·대형 구조물 실험시설의 특성상 안전을 위한 충분한 용량의 설비확보를 고려할 필요가 있음
 - 실험 기기의 조립·해체·수리할 경우 공간 활용이 가능하도록 공간 확보를 고려할 필요가 있음
 - 향후 추가장비 배치 및 성능향상 등 실험 확장성을 고려한 공간 배치 및 장비선택이 필요함

□ 실험시설의 안전성 확보가 필요함

- 진동실험 시 발생할 수 있는, 실험체의 전도·파괴·분리 등의 위험을 방지하기 위해 안전 구조물의 설치가 필요함
- 실험시설의 기기가 위험하기 때문에 기기 사용 시 유의 사항과 경고문을 부착하여 실험자 뿐 아니라 방문자의 경각심을 높일 필요가 있음

나. 차별성 및 특성화

- 국내 기존의 연구기관에 비해 최초의 성능을 가진 대용량·대형 진동대 시스템으로 특히 실구조물에 준하는 크기의 토목·건축구조물 뿐만 아니라 원전 구조물 및 원전 시설물, 그리고 각종 배관과 전기시설 등의 대형 시설물에 대한 3자유도 내진성능 평가 및 시험이 가능한 시설임. 국외의 시설·장비와 비교하여도 충분한 경쟁력 확보가 가능한 높은 수준의 실험시설임
- 기존에 국내에서 불가능하였던 대형 구조물에 대한 내진실험이 가능하게 되어 관련분야 연구 시 실험의 효율성과 신뢰성이 증진 될 것임
- 다양한 연구성과의 도출을 기대할 수 있고, 응용분야에 대한 파급효과 기대

다. 소결

□ 예산 활용의 효율성과 유지관리성 등을 고려하여 권장 최소 요구성능 수준을 다음과 같이 제시함

- 기존에 수행된 국내외 연구의 성능 요구 수준과 국외 장비와의 경쟁력 등을 분석하면 진동대의 크기는 150m² 내외, 적재용량은 100~120톤 정도의 성능이 적절하다고 판단됨
- 본 진동대 시스템의 최대 적재하중(full pay-load) 120톤, 일반 적재하중(nominal pay-load) 100톤이고, 실험체 설치가능 면적 140m²(7 x 20 m)으로 동일한 수준임

□ 비용효율성을 고려한 장비확보

- 한정된 제원에서 높은 비용효율성과 향후 장비운용 및 유지관리의 효율성을 고려하여 기존에 본 센터가 보유하고 있는 3기의 진동대 중 2기의 진동대 (A: 적재하중 30톤, 적재면적 25m² / B: 적재하중 60톤, 적재면적 25m²)를 동일 용량의 진동대로 성능을 향상시킴(A, B: 적재하중 60톤, 적재면적 25m²)
- 실험체 설치가능 면적은 기존 진동대에 확장 플레이트(적재면적 140m²)를 설치하여 두 개의 진동대를 통합된 하나의 진동대로 구성할 수 있도록 함
- 통합된 2기의 진동대를 동일한 신호로 가진할 수 있도록 기존의 컨트롤러를 교체함

제 6 절 필요 장비 및 시설

1. 최소 요구 성능

□ 장비 성능개선을 위한 기존시설의 활용

- 국외 대표적 초대형 진동대 구축 사례인 일본의 NIED 진동대와 미국 San Diego의 야외 진동대에서 볼 수 있듯이 일반적으로 대형 진동대는 유압에 의해 작동되는 가력기(hydraulic servo actuator)를 사용하게 됨. 거대한 장비와 실험체를 가진하기 위하여 대규모의 유압펌프가 필요함. 또한, 진동대는 진동을 발생시키는 그 운영 특성에 따라 견고하면서 무거운 지반 또는 반력 기초 구조물(reaction mass)에 설치되어야 함
- 그러므로 대형 진동대 장비를 구축하기 위해서는 진동대 규모에 대응하는 기초를 보유하고 있는 시설 구축이 요구하게 되므로 기본적으로 설치에 많은 예산이 요구됨



일본 NIED에 설치된 진동대(E-Defense)

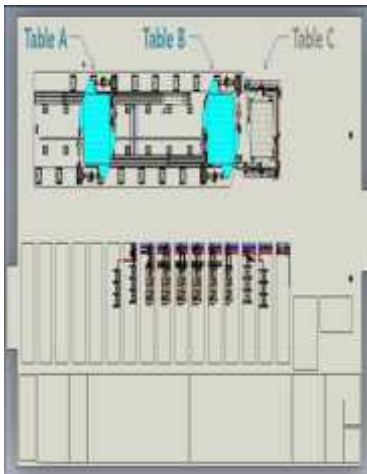


미국 UC San Diego에 설치된 야외 진동대(LHPOST)

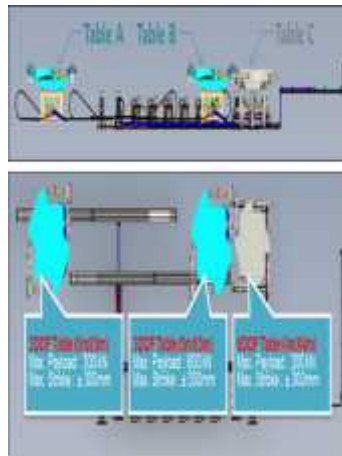
- 그러므로 기존 연구시설의 유압펌프 및 배관 등 유압공급 시스템과 대형 진동대 반력 기초를 활용할 수 있다면, 상대적으로 적은 예산으로도 효과적인 대형 진동대 실험장비 구축이 가능함. 상기 국내 진동대 시설 및 장비구축 현황 조사결과에 의하면 지진방재연구센터에 구축된 실험장비의 최대 실험가능 면적은 국제적 수준을 갖고 있는 것으로 나타남. 따라서 지진방재연구센터에 기 설치된 진동대 장비의 유압공급 장치와 반력 기초를 적절히 활용할 수 있다면 효율적으로 대형 진동대 장비의 구축이 가능할 것으로 판단됨

□ 장비구성 기본 계획

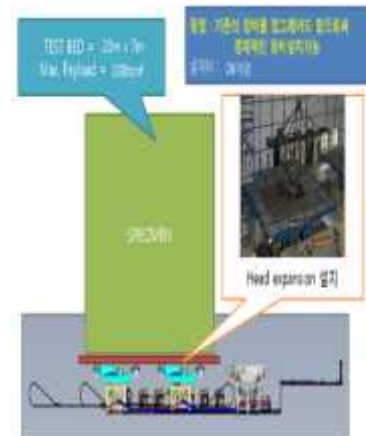
- 지진방재연구센터에서 보유한 진동대 시스템은 그림(a)와 그림(b)와 같이 총 3기의 진동대와 이들 모두를 최대 하중 수준에서 1g 가속도로 가진할 수 있도록 충분한 유압공급시스템이 구축되어 있음
- 4m×4m 크기의 6자유도 진동대는 고정 설치되어 있으나 5m×5m 크기의 3자유도 진동대 2기(Table A, Table B)는 4m 간격으로 이동하여 설치하는 것이 가능함
- 구축된 진동대 제어시스템은 2기 이상의 진동대를 동일하게 가진 하도록 제어하는 것이 가능함
- 그러므로 이동이 가능한 현재수준의 3자유도 진동대 2기를 그림(c)에서와 같이 통합하여 사용할 경우 최대 90톤 용량의 실험이 가능함



그림(a) 지진방재연구센터
다지점가진 대용량 지진모사
실험장치 설치 평면도



그림(b) 지진방재연구센터
다지점가진 대용량 지진모사
실험장치 상세도

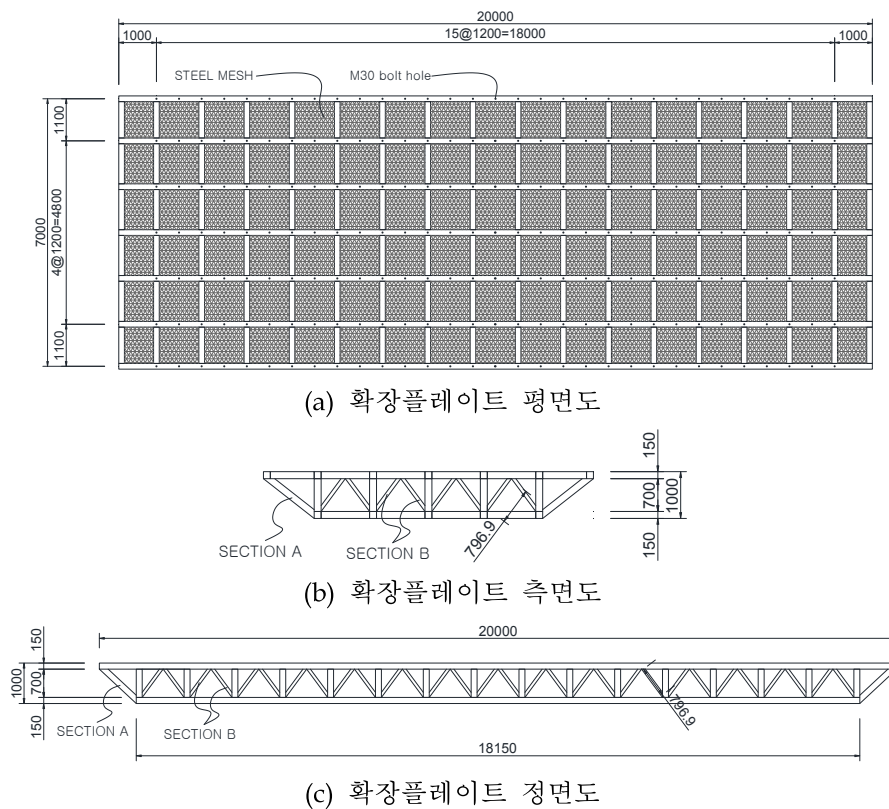


그림(c) 지진방재연구센터
확장플레이트 설치(안)

- 30톤 용량으로 설치된 진동대(Table A)를 60톤으로 업그레이드 하는 경우 최대 120톤 적재가 가능하며, 확장플레이트의 무게를 고려할 경우 100톤 하중과 140m² 이상의 면적을 갖는 실험체에 대한 내진실험이 가능함
- 이러한 장비 성능향상은 추가적인 유압공급장치 및 반력 기초 시설이 요구되지 않아 상대적으로 적은 예산으로 고효율의 장비설치를 가능하게 하며, 국내에 세계적인 수준의 대형 진동대 실험장비를 보유하는 것이 가능하게 할 것으로 판단됨
- 경제적인 방법으로 세계 4위권의 지진모사 실험장비를 구축하고자 대형 진동대 장비비의 성능개선에 필요한 최소한의 요구사항을 정리하면 아래와 같음

<표 8-2> 대형 진동대로의 성능개선에 필요한 최소 요구사항

구분	비고
실험체 적용가능 면적 및 용량	<ul style="list-style-type: none"> • 20m×7m, 100ton • 세계 4위권의 지진모사실험장비
확장플레이트	<ul style="list-style-type: none"> • 20m×7m • 시험시 작용하는 하중에 견딜 수 있는 플레이트 • 조립설치가 가능한 형식
진동대 A 성능향상	<ul style="list-style-type: none"> • 성능이 동일한 2기의 진동대 요구 • 진동대 B와 동일한 성능으로 향상 (Actuator upgrade)
통합 Controller	<ul style="list-style-type: none"> • 통합된 진동대를 위한 controller 별도 요구
확장플레이트 보관시설	<ul style="list-style-type: none"> • 확장플레이트 보관 공간 확보 • 외부환경으로부터 확장플레이트 보호 • 확장플레이트의 이동의 용이성(Crane)



[그림 8-39] 지진방재연구센터 확장플레이트(안)

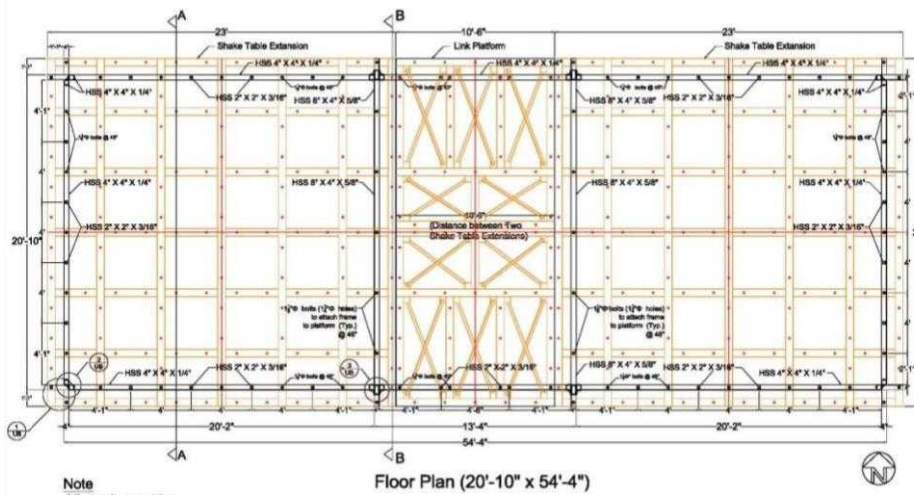
- o 부산대학교 기존 장비를 활용하는 이러한 방법은 이미 미국의 SUNNY Buffalo에서 6자유도 진동대 2기를 이용하여 [그림 8-40]과 같이 하나의 진동대로 통합하여 활용한 사례가 있어 기술적으로 달성이 가능함



(a) 6자유도 진동대 2기



(b) 확장플레이트 설치 전경



(c) 확장플레이트 설치 및 2기의 진동대 통합 시의 도면

[그림 8-40] SUNY Buffalo의 확장플레이트 설치 사례

- 상기와 같이 지진방재연구센터의 진동대 2기를 연결하여 140m²이상의 실험면적을 확보하기 위한 확장플레이트가 설계·제작되어야 함. 또한, 통합된 2기의 진동대를 동시에 제어하기 위한 추가 제어기 및 프로그램이 설치되어야 함. 그리고 대형 진동대가 사용되지 않는 경우 확장플레이트를 보관하기 위한 보관시설 구축이 요구됨. 기존 장비 및 시설을 고려한 구축방법은 <표 8-3>과 같음

<표 8-3> 대용량·대형 진동대 구축 방법

구분	장비명	구축 방법
유압 공급 장치 및 냉각장치	MTS 502 HPU, Piping	기 보유
	Water Cooling Tower	기 보유
확장플레이트	Expansion plate	신규 구입
	Base plate	신규 구입
	Bolt 연결 구조	신규 구입
진동대 성능향상	Actuator, Controller upgrade	기존장비개선
통합 Controller	MTS 469D	기존장비개선
	STEX Pro.	신규 구입
확장플레이트 설치 공간	진동대 주변 설치공간	기 확보
확장플레이트 보관시설	구조물	신규 구입
	보관용 Jig	신규 구입
	장비이동용 Crane	신규 구입

2. 소 요구 시설·장비 성능

□ 장비 성능개선 시 최소 요구시설

- 대형 진동대를 기존 시설 및 장비를 활용하여 성능개선 시 필요한 요구시설은 진동대 장비를 확장하여 사용하기 위한 확장플레이트의 상시 보관시설(subspace)이 필요함
- 대형 진동확장플레이트의 원활한 사용과 유지관리를 위한 최소 요구 시설은 <표 8-6>과 같음

<표 8-4> 대형진동대로 개선에 필요한 최소 추가 요구 시설

구분	내용	비고
확장플레이트 보관시설	보관시설	• Area : 32m×25m • 방수 및 방풍
	보관용 Jig	• 플레이트 하단 버팀용 Jig
	장비이동용 Crane	• 확장플레이트 및 장비 이동용 Crane



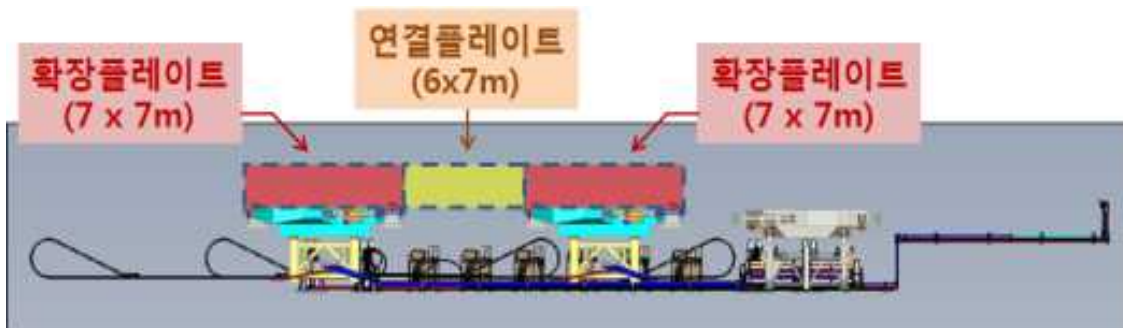
[그림 8-41] 보관시설 공간배치 계획

□ 비 성능개선 시 최소 요구장비

- 두 진동대(Table A, Table B)를 동일사양으로 성능향상하기 위한 장비
 - Table A의 actuator를 Table B와 동일한 성능으로 성능향상
 - 최대 성능향상을 위한 accumulator bank 추가설치
- 두 진동대(Table A, Table B)를 확장하여 대형 진동대화하기 위한 장비
 - 확장플레이트(expansion plate) 제작
 - Base Plate 및 연결 bolt구조 필요
- 확장된 대형 진동대(multi-table)를 위한 제어프로그램
 - 대형진동대 제어를 위한 프로그램(software) 업그레이드
 - 진동대 data acquisition 및 test execution software upgrade
- 장비성능개선을 통한 대형진동대 구축에 필요한 최소 추가요구장비를 정리하면 아래의 <표 8-7>과 같음

<표 8-5> 대형진동대로의 성능개선에 필요한 최소 추가 요구 장비

구분	내용	비고
확장플레이트	Expansion plate	<ul style="list-style-type: none"> • Area : 20m×7m • Structure Type : Truss
	Base plate 및 연결 bolt 구조	<ul style="list-style-type: none"> • 실험체와 확장플레이트의 연결을 위한 Base plate 필요 • 확장플레이트와 Base plate의 체결을 위한 bolt 구조 필요
진동대 A 성능향상	Actuator 교체	<ul style="list-style-type: none"> • 진동대 B와 동일한 성능의 Actuator 설치 • MTS 469D Controller upgrade
	Accumulator bank	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum performance 향상을 위한 accumulator bank 추가 설치
Multi Table 제어프로그램	MTS 469D software	<ul style="list-style-type: none"> • MTS 진동대 Software upgrade
	STEX Pro	<ul style="list-style-type: none"> • 진동대 data acquisition 및 test execution software upgrade



[그림 8-42] 확장플레이트 설치형식

제 7 절 시설·장비 구축계획

1. 추진방법

- 기본방향
 - 연구 인프라 동향 분석을 통한 장비 요구성능 도출
 - 실수요 그룹 및 유사 실험 전문가 의견 수렴을 통한 사양결정
 - 기존 장비 성능향상을 통한 저비용·고효율 실험시설 확충
 - 최적 설계를 통한 구축비용 절감 및 장비의 범용성 확보
 - 납품된 장비의 품질보증을 위한 엄정한 계약 체결

- 예산의 효율적 사용을 위한 기존 진동대 시스템과의 호환성을 여부를 판단, 기존 진동대 시스템의 성능향상을 통하여 최소 요구성능을 만족하고자 함

- 기존 진동대 시스템 및 기타 실험시설들을 활용하고 진동대의 성능향상 및 확장용 플레이트 구입 등을 추가 구축함으로써 요구되는 동일한 성능을 만족하면서 실험수요에 대응하고, 신규 구축 대비 구축예산을 약 80% 정도 절감할 수 있음

- 신규 구축 시 최소 요구사양 및 예상비용
 - 대형 진동대를 신규로 구축할 경우 대형진동대 장비를 위한 공간 및 시설 등을 새롭게 구축하여야 하므로 초기비용 등이 많이 요구됨. 기본적으로 필요한 시설 및 장비는 다음과 같으며 시설을 위한 부지구입 비용을 제외하고도 소요 예상비용은 150억원 정도임
 - 신규시설공사(건축/토목/기계/전기공사)에 따른 각종 공사비 : 34억여원
 - 장비(유압배관, 유압공급장치 및 냉각장치) 및 계측기기(대형진동대, 제어기) : 116억여원

- 장비 성능개선 시 최소 요구사양 및 예상비용
 - 대형 진동대를 기존 시설 및 장비를 활용하여 성능개선 시 필요한 요구사양은 진동대 장비의 일부 부품의 업그레이드(유압 Actuator의 성능향상) 비용 및 통합제어를 위한 제어기(controller), 그리고, 두 진동대를 연결하여 확장하기 위한 확장플레이트 제작비와 확장플레이트를 상시 보관하기 위한 보관시설이 필요 할 뿐이며, 그 비용은 개략적으로 아래와 같음

- 확장플레이트(Extension Plate) 제작, 설계비 및 확장플레이트 상시 보관을 위한 보관 시설 공사비 : 10억여원
- 진동대 성능개선을 위한 부품 업그레이드, 통합제어기 업그레이드 : 26억여원

<표 8-6> 대용량·대형 진동대 시스템 신설 및 기존 진동대 시스템 성능향상 시 추정예산 비교

구분	내용	신설 시 추정예산(원)	개선 시 추정예산(원)	비고
공사비	건축공사	7억	-	기 보유
	토목공사	20억	-	기 보유
	기계공사	5억	-	기 보유
	전기공사	2억	-	기 보유
	확장플레이트 보관시설	-	5억	신규공사
장비 및 계측기기	유압가력 배관장치	6억	-	기 보유
	유압 공급 장치 및 냉각장치	35억	-	기 보유
	확장플레이트	-	5억	신규 구입
	진동대 구매 또는 개선	60억	26억*	장비개선
	통합 Controller			장비개선
	부대장치	15억	-	기 보유
총 계		150억	36억	

* 2014년 3월 MTS사의 견적금액을 환율(1,091원/\$, 기준일 2014년 3월 14일)을 고려한 가격임.

2. 구축계획

가. 시설공사계획

- 본 사업에서 목표로 하는 대용량·대형 진동대 시스템 구축을 위하여 필요한 주요 시설물과 장비는 다음과 같음
 - o 진동대 A의 성능향상을 위한 actuator 교체 및 통합 controller 설치
 - o 확장플레이트 및 연결플레이트 설계 및 제작
 - o 확장플레이트 보관을 위한 보관시설 구축 및 전기설비 확장
 - o 확장플레이트 이동용 상부크레인 추가 설치
- 보관시설의 구축내용
 - o 보관시설에 소요되는 공간부지는 지진방재연구센터에서 기 보유. 따라서 부지 매입

에 대한 절차 및 비용은 소요되지 않음

- 기존 공간과의 보관시설 간에 장비 이동이 가능하도록 상부크레인을 추가 설치할 계획
- 전기 및 공동시설은 기존의 설비를 활용할 예정임

□ 보관시설 건축비 및 추가 상부크레인, 그리고 진동대 장비 성능향상 비용을 제외한 모든 비용은 최소화할 예정

□ 진동대 시스템 성능향상을 위한 유압가력기의 제작, 구매 등을 위하여 총 24개월의 구축기간과 약 36억원의 연구비가 소요될 것으로 판단됨

□

<표 8-7> 대형진동대로 개선에 필요한 최소 추가 요구 시설

구분	내용	비고
확장플레이트 보관시설	보관시설	• Area : 32m×25m • 방수 및 방풍
	보관용 Jig	• 플레이트 하단 버팀용 Jig
	장비이동용 상부크레인	• 확장플레이트 및 장비 이동용 상부크레인

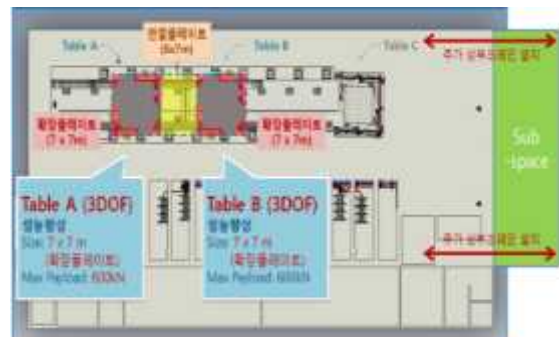
나. 공간배치 계획

□ 공간배치 주요 목표

- 확장플레이트 보관시설의 활용성 확보
- 보관시설 이용시 기존 실험시설간 간섭이 최소화될 수 있도록 배치
- 기존 전기와 공동설비의 확장이 용이하도록 위치 선정
- 시험체 및 확장플레이트 운반 동선 최적화



현재 공간 배치 및 진동대 사양



향후 공간배치 계획 및 성능향상 사양

[그림 8-43] 공간배치 계획

다. 구축일정

- 건축공사의 공정과 연차별 예산을 고려한 실험시설 구축일정
- 단계별 실험시설 설치 일정 확립을 통한 작업 혼선의 최소화
- 실험 장비배치를 고려한 설치 순서 계획

연차	연구내용	추진일정(월별 또는 분기별)												비고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1차년도	Actuator 제작 및 배송													
	통관 및 설치(1/2)													
	확장플레이트 설계(1/2)													
	확장플레이트 제작(1/2)													
	보관용시설 설계													
2차년도	통관 및 설치(2/2)													
	확장플레이트 설계(2/2)													
	확장플레이트 제작(2/2)													
	보관용시설 구축													
	보관용 Jig 제작 및 설치													
	부대장비 설치													
	최종 테스트 및 시운전													

라. 국산장비 대체 가능성 자체검토(국산대체장비가 있을 경우만 작성)

구분	내 용				비 고
1	장비명 (모델명)	한글	확장 플레이트	제작사	엔타이어세이프
		영문	Extension plate	장비가격 (단위 : 백만원)	500
	주요사양	- 조립 후 전체 면적 140m ² 의 강재 트러스 구조			
	자체 검토의견	○ 설계 검토 후 국내제작이 가능할 것으로 판단됨.			

진동대의 대형화를 위한 확장플레이트 국산화

- 성능향상에 필요한 일부 장비를 국산화하고자 함
- 각형강관을 주재료로 이용하여 제작되는 확장플레이트의 경우, 성능향상에 필요한 설계조건에 만족한다면 국내기술을 이용한 제작이 가능하다고 판단됨
- 따라서 이에 대한 제작을 국내 업체에서 수행할 계획임

3. 운영 및 관리계획

가. 유지관리 계획

진동대 장비의 유지관리 계획

- 기존 진동대 장비와 동일한 제조사의 제품으로 성능향상을 실시함에 따른 유지관리체계의 연속성 및 효율성을 확보하고자 함
- 기존 장비구축업체와 동일한 MTS의 장비로 성능을 향상시킴에 따라 각 장비별 호환 가능한 소모성 부품의 재고 관리가 용이함. 따라서 부품교체 및 장비운용에 있어 규모의 경제가 성립됨. 이는 유지관리 비용의 절감으로 이어질 수 있음
- 지진방재연구센터 설립이후 다년간 축적된 기존 장비에 대한 지식 및 관리 노하우를 활용할 계획임

시설물의 유지관리 계획

- 확장플레이트 보관시설의 유지관리비 및 확장플레이트의 유지관리비 그리고 추가 상부크레인의 유지관리비가 추가로 발생할 것으로 예상됨. 이는 기존의 지진방재연구센터의 유지관리계획안에 반영하여 합리적으로 운영될 수 있도록 할 예정임
- 그 외에 2기의 진동대를 통합 운영 시 발생할 수 있는 설정변경에 대한 관리비용이 추가로 발생가능하나, 이는 실수요자가 부담하도록 실험비용에 반영하고자 함

기존에 구축되어 있는 지진방재연구센터의 인력구성을 활용하기 때문에 전담인력의 추가확보 등은 요구되지 않음

나. 안전사고예방 계획

부산대학교 실험·실습실 안전관리규정 준수 및 자체 안전교육 실시

- 본 지진방재연구센터는 부산대학교 시설에 속하고 있음에 따라 부산대학교의 실험·실습실 안전관리규정을 준수해야함
- 따라서 실험·실습 및 연구활동을 수행할 때 발생할 수 있는 안전사고의 예방하기 위한 규정사항들을 사용자들에게 안내하고 있으며, 소속 기술자 및 연구원들도 이를 준수하도록 하고 있음
- 또한 실험 수행 전 실험실 사용자들에게 다음의 안전수칙들을 교육을 실시하고 있음
 - 실험센터 안전수칙
 - 작업자 안전수칙
 - 전동 지게차 이용수칙

- 전동 리프트카 이용수칙
- 크레인 이용수칙
- 안전 사다리 이용수칙
- o 안전교육 수행 후 이에 대한 확인서를 작성하도록 하여, 사용자가 안전에 각별히 주의하도록 노력하고 있음.

다. 운영자 교육계획

- 본 지진방재연구센터는 시험기관 작계에 관한 국제표준인 KS Q ISO/IEC 17025 요구사항 및 관련법규, 지진방재연구센터 내의 제반규정을 기본으로 하여 신뢰성 있는 시험품질 제공을 품질방침으로 정하고 있음
- 이를 위해 각 분야별 전문 기술인력 및 자원을 확보하여 전문적인 시험능력향상을 위해 지속적인 교육훈련을 제공하고 있음
- 주요 교육내용 및 계획
 - o 월 1회의 자체교육 실시 - 장비운용, 관련법규, 시험방법, 시험서작성 등
 - o 기술자 및 연구원의 연 1회 이상의 KOLAS 직무 교육 및 보수교육 실시
 - o 별도의 연구·교육팀을 운영하여 지속적인 운영교육의 방안 개선

제 8 절 활용계획 및 기대효과

1. 활용계획

- o 실규모 실험체에 대한 대형 지진실험이 가능하게 되므로 구조물에 대한 국내 내진 설계 기술의 향상에 기여할 수 있으며, 관련 국내기준의 수준을 향상시킬 수 있음
- o 국외시설에서만 가능하였던 대형 지진실험을 국내에서 가능토록 하여 국내 연구자들의 편의를 증진할 수 있고, 불필요한 비용지출을 막을 수 있음
- o 기존 이론 및 해석적인 방법에 의하여 검증하던 과정을 실스케일에 의한 실험을 수행함으로써 상사비에 따른 오차를 줄이고 보다 정확한 해석 및 거동 특성을 분석하는데 기여할 수 있음
- o 가능한 실규모의 실험을 통하여 성능 검증을 수행하는 원자력 발전소 및 설비 등에 대한 내진실험을 수행하여 원자력 시설에 대한 안전성을 확보하고 관련 기술의 개발 및 기술수준을 향상하는데 기여할 수 있음

- 최대 120톤 하중 구조, 140m² 이상의 면적을 갖는 실험체에 대하여 지진실험이 가능하게 함으로서 관련 기술분야를 선도할 수 있음
- 1970~90년대 건축된 저층 구조물 또는 50년 이상된 문화재들의 내진·면진 성능을 보강·확보하기 위한 연구기반 마련
- 국내 원전 및 수출형 원전관련 분야에서 도입되는 기술 및 기기, 부품 등에 대한 대형 지진실험을 가능하게 하여, 기존 외국 시험기관에서 수행하던 비용을 절감하고 대체할 수 있음. 또한, 이를 통한 국내 내진시험 및 관련분야의 기술을 향상할 수 있는 기회를 제공함
- 또한 연구시설로서의 역할뿐만 아니라 연 1회 이상의 대형 진동대를 활용한 세미나, 경진대회, 그리고 강좌 등을 개최하여 참가자(고등학생, 대학생, 대학원생 등)들에게 내진분야에 대한 교육 설비로서의 역할도 수행할 계획임

2. 기대효과

- 국내 유일의 실구조물에 준하는 대형 내진실험 가능
 - 1970~90년대 주로 건축되었던 저층 주택/건물 등의 실험 가능
 - 목조구조물(문화재)등의 실험/낮은 축소 비율 모형 실험이 가능
 - 고층구조물의 scale비율을 낮출 수 있음 -> 보다 정확한 실거동 예측가능
 - 원자력 발전소 격납구조물 및 각 종 대형 제어기와 설비에 대한 검토 가능
 - 파급효과
 - 지진에 취약한 건물(1970~90년대 건축구조물, 문화재 건축물)들의 내진 취약도 산정 및 보강에 대한 직접적 연구 가능
 - 해외 실험시설에 의존 하거나, 해석에 의존하던 내진성능평가를 국내에서 실험데이터를 확보함으로써 data base구축 가능
 - 원자력 발전소 사업 경쟁력 확보가능
- 국가·민간 R&D 실험지원 및 정부 정책 마련에 활용
 - 기존 및 신규 구조물의 지진 안전성 평가 및 내진 대책 수립
 - 재해 시나리오에 기반한 현실성 있는 지진재해 대책 수립 가능
 - 기존 구조물의 지진 안전성 평가에 따른 재해 시나리오 마련

□ 저비용·고효율의 대용량·대형 진동대 시스템 구축

- 신설 실험시설 구축비용이 구축되는 부지에 대한 비용을 제외하고도 약 150억인데 비하여 기존실험 시설을 활용하여 구축할 경우 약 36억으로써, 기존실험 시설을 활용할 경우 약 80%의 예산절감 효과가 있음
- 국내 업체가 개발된 관련기술에 대하여 성능을 인증받고 시험을 수행하기 위하여 외국의 시설을 이용할 경우 소요되는 비용을 절감할 수 있으며, 실제 2013년 지진방재연구센터에서 수행한 외국검증 대체 실험의 경우 관련비용을 1/5 수준으로 줄여 실험업체가 비용을 절감하는 효과를 얻은 바가 있음

□ 내진설계 분야의 선도기술 확보

- 지진재해 대비 시설물의 평가 및 관련 설계기술 확보 가능
- 대형 구조물에 대한 상사법칙 적용을 최소화한 실구조물 수준의 모형을 통한 동적 거동 분석으로 구조물에 대한 이해증진 및 실증자료 확보 가능 및 한계상태설계에 대비한 설계 및 해석 기술의 발전에 기여
- 국내 유일의 세계 4위권 대용량·대형 진동대 시스템 구축을 통한 내진분야의 기술 경쟁력 제고 기반 마련 및 국내 기술자립

□ 진동대 성능향상 기술의 노하우 축적

- 실험 가능한 실대형 실험체의 적재하중이 100ton 이상으로 증대됨으로서 실험 가능한 구조물의 범위가 매우 확대됨
- 두 기의 동일한 진동대를 연결하기 위한 확장플레이트를 설계 및 제작하고, 두 기의 진동대에서 발생하게 되는 부가 하중을 산정함에 있어, 장비제조사에 해외 기술력을 참고하여 국내 기술을 선진화할 수 있을 것으로 예상됨
- 제품개발 관련 국외 성능시험을 국내에서 수행하고 대체할 수 있는 시험분야의 인정기술을 확보할 수 있는 바탕을 마련함으로써 관련 시험분야 기술력 확보와 그에 따른 국내 많은 개발업체의 검증비용을 절감할 수 있는 기회를 제공할 수 있음



[그림 8-44] 대용량·대형 진동대 시스템 구축 기대효과

제 9 절 상세 예산(안)

1. 장비 성능개선 소요예산(안)

□ 전체 소요예산 : 36억원 (정부출연 100%)

- 장비성능개선을 위한 소요예산은 2014년 MTS사의 견적금액 및 국내 확장플레이트 제작 업체의 견적을 토대로 작성함

□ 총괄(연차별예산)

- (기간·사업비) '16~'17 / 3,600백만원(정부출연금)

(단위 : 백만원)

구분	계	'16	'17
정부	3,600	2,200	1,400

< 소요예산 상세총괄 >

구분	산출내역	비용(천원)	국산/외산	비고
장비명	진동대 성능향상 및 통합 controller	2,600,000	외산	장비개선
	확장플레이트	500,000	국산	신규구입
	계	3,100,000	-	-
시설명	확장플레이트 보관시설	500,000	국산	신규공사
	계	500,000	-	-
합계		3,600,000	-	-
국산화율(%)		27.8%	-	-

2. 신규 시설구축 대비 예산 절감 효과

□ 예산 절감액: 114억원 → 절감비율: 76%

- 최소 요구성능을 만족하기 위한 신규시설 구축 대비 기존 장비 성능개선의 예산 비교결과는 아래와 같음
- 신규 시설 구축 예산은 최소 요구성능의 진동대 1기를 구매하는 예상가임

< 신규 시설구축 대비 장비 성능개선 예산 비교 >

구분	신규 시설구축 예산		장비 성능개선 예산	
	산출내역	비용(천원)	산출내역	비용(천원)
장비명	유압가력 배관장치	600,000	유압가력 배관장치	-
	유압공급장치 및 냉각장치	3,500,000	유압공급장치 및 냉각장치	-
	확장플레이트	-	확장플레이트	500,000
	진동대 구매 및 통합 controller	6,000,000	진동대 개선 및 통합 controller	2,600,000
	부대장치	1,500,000	부대장치	-
	계	11,600,000	계	3,100,000
시설명	건축공사	700,000	건축공사	-
	토목공사	2,000,000	토목공사	-
	기계공사	500,000	기계공사	-
	전기공사	200,000	전기공사	-
	확장플레이트 보관시설	-	확장플레이트 보관시설	500,000
	계	3,400,000	계	500,000
합계		15,000,000		3,600,000
예산 절감액/비율(%)		- (-%)		11,400,000 (76.0%)