17CTA
P-C069
307-05

극 한 상 태 구 조 특 성 실 험 시 설 구 축 최 종 보 고 서

2018

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

Technology Advancement Research Program (TARP) R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통기술촉진연구사업 최종 보고서

R&D /
17CTAP-C069307-05

극한상태 구조특성 실험시설 구축 최종보고서

2019. 01. 04.

주관연구기관 / 서울대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘극한상태 구조특성 실험시설 구축’(연구개발 기간 : 2013.12.23. ~ 2018.10.22.) 과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2019 . 01. 04.

주관연구기관명 : 서울대학교 (대표자) 총장 직무대리 박 찬 욱 (인)

주관연구기관책임자 : 교수 조 재 열

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>17CTAP-C069307-05</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td colspan="2">2013.12.23.~ 2018.10.22.</td><td>단계구분</td><td>2단계 / 2단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="5">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="5">극한상태 구조특성 실험시설 구축</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">조 재 열</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 21 명
내부: 21 명
외부: 0 명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td colspan="2">정부: 16,446,000 천원
민간: 5,590,722 천원
계: 22,036,722 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 29 명
내부: 29 명
외부: 0 명</td><td>총 연구개발비</td><td colspan="2">정부: 16,446,000 천원
민간: 5,590,722 천원
계: 22,036,722 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">서울대학교 건설환경공학부</td><td colspan="3">참여기업명: -</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명: -</td><td colspan="3">상대국 연구기관명: -</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: -</td><td colspan="3">연구책임자: -</td></tr>
<tr><td colspan="4">○ 건축공사 완료 보고서
- 실시 설계 결과
- 건축 준공 결과
- 구축 전 과정에 대한 추진일정 및 소요예산 등
○ 실험 시설/장비 구축 완료 보고서
- 실험 시설/장비에 대한 실시 설계 결과
- 실험 시설/장비 구축 결과
(중속가스건, 고속가스건, 초고속가스건, 흡킨슨바, 자유낙하 실험시설, 극한온도실험시설, 5,000kN UTM, 급속재하실험시설, 팬들럼충격실험시설 등)
○ 실험 시설/장비 사전시험 결과
- 각 실험시설/장비 별 구축완료 후 사전시험 시행
- 각 실험시설/장비 별 매뉴얼 작성
○ 실험센터 시험운영 결과
- 주요 관련 실험시설 방문 조사 및 자문
- 전문가 및 장비전문업체 기술자문
- 실험시설 운영 규정 작성 연구
- 주요 실험시설/장비의 활용방안 연구
- 극한상태 실험기법 연구
- 실험센터 시험운영
○ 교육 및 홍보
- 실수요자 대상 홍보
- 전문가 초청 세미나 및 특강
- 장비 운영 및 사용법 사전 교육</td><td colspan="3">보고서 면수 : 300</td></tr>
</table>

국문요약문

연구의 목적 및 내용	인적·자연적 요인에 의해 건축/토목 구조물에 발생하는 극한하중(충돌, 충격, 극한온도 등)을 모사함으로써 구조물의 거동 및 성능을 평가할 수 있는 극한상태 구조특성 실험시설 구축 ○ 건축공사 ○ 실험 시설/장비 구축 (중속가스건, 고속가스건, 초고속가스건, 홉킨슨바, 자유낙하실험시설, 극한온도실험시설, 5,000kN UTM, 급속재하실험시설, 팬들럼충격실험시설 등) ○ 실험센터 시험운영 ○ 교육 및 홍보				
연구개발성과	○ 건축공사 완료 - 실시 설계 결과 - 건축 준공 결과 - 구축 전 과정에 대한 관리계획. 추진일정 및 소요예산 등 ○ 실험 시설/장비 구축 완료 - 실험 시설/장비에 대한 실시 설계 결과 - 실험 시설/장비 구축 결과 (중속가스건, 고속가스건, 초고속가스건, 홉킨슨바, 자유낙하실험시설, 극한온도실험시설, 5,000kN UTM, 급속재하실험시설, 팬들럼충격실험시설, 지반공학장비 등) ○ 실험 시설/장비 사전시험 ○ 실험센터 시험운영 ○ 교육 및 홍보 - 안전지침서 - 홍보 및 교육				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 해외 건설시장에서의 핵심소재 및 인프라 재료 기술 분야의 경쟁력 확보 ○ 테러에 의한 폭발, 충격이나 자연재해에 대비한 인프라 구조물의 성능기반 해석 및 설계 기술의 발전에 기여 ○ 신수요 창출이 가능한 극지 환경에서의 건설 기술 확보 ○ 다양한 극한상태 실험장비의 집중을 통한 연구 시너지 극대화 ○ 극한상태(하중, 온도 등)에서의 다양한 검증실험 수행, 신기술개발 지원 및 실용화 촉진이 가능하여 관련 분야 기술 경쟁력 제고에 기여				
핵심어 (5개 이내)	극한상태	성능실험시설	충격하중	극한온도	방호구조물

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	Establishment of structural performance testing facilities for extreme condition to evaluate the behavior and performance of structures by simulating the extreme load(collision, impact, extreme temperature, etc.) generated in architecture/civil structures by human and natural factors ○ Construction work ○ Establishment testing facilities/equipment (Middle/High/Hyper velocity propulsion impact machine, Split Hopkinson Pressure Bar, Drop weight impact tester, Extreme temperature chamber, 5,000 kN UTM, High speed hydraulic machine, Pendulum impact test facility, etc.) ○ Operation of testing center ○ Education and promotion
Results	○ Completion of construction work - Working design results - Building completion results - Management plan for the entire process such as schedule and budget ○ Completion of testing facility/equipment - Working design results for testing facility/equipment - Establishment result for testing facility/equipment (Middle/High/Hyper velocity propulsion impact machine, Split Hopkinson Pressure Bar, Drop weight impact tester, Extreme temperature chamber, 5,000 kN UTM, High speed hydraulic machine, Pendulum impact test facility, etc.) ○ Preliminary experiment for testing facility/equipment ○ Test operation of testing center ○ Education and promotion - Safety instructions - Promotion and education
Expected Contribution	○ Securing competitiveness in technology field of core materials and infrastructure material in overseas construction market ○ Contributing to the development of technology of performance-based analysis and design against explosion, impact by terrorism and natural disaster ○ Securing construction technology in polar environment which can generate new demands ○ Maximize the research synergy by concentrating various testing equipment for extreme condition ○ Expected to be possible to conduct various verification tests in extreme conditions(load, temperature, etc.) and to promote the development and commercialization of new technology, contributing to the enhancement of technological competitiveness

Keywords	Extreme condition	Performance testing facility	Impact load	Extreme temperature	Protective structure

〈 영문 목차 〉

1. Introduction ····· 1

2. Current status of Technology development ····· 8

3. Research Contents and Results ····· 40

4. Achievements of Objectives and Contribution ····· 262

5. Plan to Utilize R&D Achievements ····· 272

6. Information of International Scientific Technology ····· 275

7. Security Level of R&D Achievement ····· 279

8. Current Status of Research Equipments on NTIS ····· 280

9. Representative Research Results ····· 284

10. Managements of Laboratory Security ····· 287

11. Others ····· 287

12. References ····· 288

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ·····1

2. 국내외 기술 개발 현황 ·····8

3. 연구 수행 내용 및 성과 ·····40

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····262

5. 연구개발성과의 활용 계획 ·····272

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ·····275

7. 연구개발성과의 보안등급 ·····279

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ·····280

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·····284

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ·····287

11. 기타 사항 ·····287

12. 참고 문헌 ·····288

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

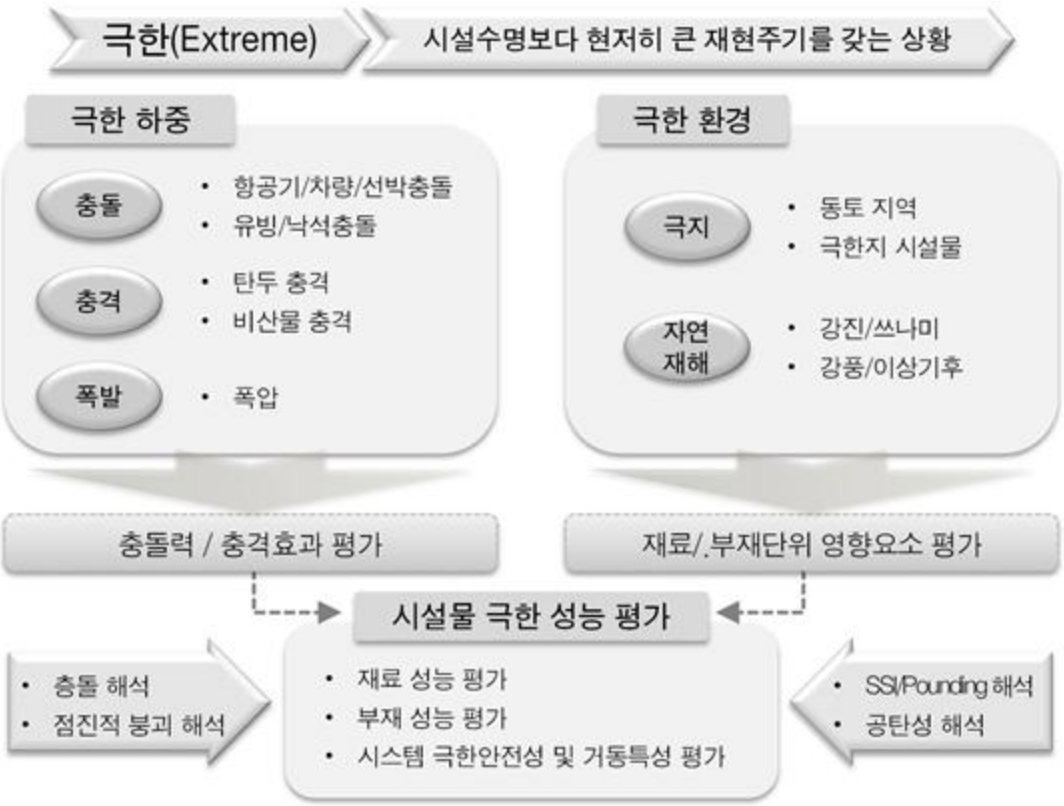
○ 이 사업의 목적은 극한상태(하중, 온도 등)를 모사하여 구조물(부재, 재료 등)의 거동 특성 분석, 성능평가 및 검증을 위한 대형 실험시설을 구축하는 데에 있음. 나아가 이 실험시설을 통해 국내에서는 불가능했던 극한상태 구조물 성능 평가 분야에서의 원천기술 개발 및 연구역량을 확보하기 위함이며 이를 달성하기 위한 세부목표는 다음과 같음

① 관련분야의 기술경쟁력을 확보하기 위한 세계수준의 실험시설·장비 구축

② 실험수행 안전성, 효율성의 극대화를 위한 실험안전지침, 실험매뉴얼 작성

③ 국내외 대형실험센터와의 공동연구, 기술협력을 위한 네트워크 구축

④ 실험품질 관리 및 지속적인 연구활동을 위한 국제적 수준의 전문인력 양성



[그림 1] 극한상태 구조특성 실험시설 구축 목적

2. 연구개발의 필요성

가. 추진배경

- 현대의 구조 해석/설계 기술의 발전으로 초고층빌딩, 초장대교량과 같은 대규모 사회기반시설과 원자력발전소, 플랜트와 같은 첨단 구조물의 건설이 가능해 짐
- 해당 구조물이 가지는 사회경제적인 중요성을 고려하면 모든 외부 환경에 대한 구조물의 안전성을 보장할 수 있어야 함. 특히 태풍, 지진 등의 자연적 요인 및 차량/선박/항공기 등의 충돌과 같은 인적요인에 의해 발생하는 극한상태에서의 구조물의 안전성을 평가하는 것이 더욱 중요함
- 최근의 9.11 테러 및 동일본대지진의 사례를 고려하면 도시화로 인한 인구/사회 인프라의 집중 현상이 심화되고 있는 현 상황에서 극한상태에 의한 구조물의 손상 및 붕괴는 막대한 경제적 손실과 인명 피해를 야기함
- 중요 기반시설의 손상 및 붕괴를 막기 위해서는 극한상태에서 구조물에 가해지는 극한하중의 특성과 이에 따른 구조물의 성능 및 안전성 대한 연구가 필요하며 이를 위해서는 실제 극한하중을 모사할 수 있는 장비를 갖춘 실험시설이 필요함

나. 기술적 필요성

(1) 해외 건설시장에서의 경쟁력확보를 위한 독자적 기술개발 연구 필요

- 세계 수준 대비 국내 건설교통 기술수준은 평균 61.8%(최고수준 100 %), 최고기술보유국과의 기술격차는 평균 4.8년이며 하드웨어적인 시공기술에 비해 설계 등 소프트웨어 기술과 핵심소재 기술과 같은 기초, 원천 기술이 부족한 상황임
- 최근 미국, EU 등 선진국들은 건설산업을 전략적으로 육성하여 미래 핵심기술투자를 강화하고 있으며 미국의 경우 건설통합, 자동화, 재난재해 연구, 지속가능한 인프라 재료 기술개발 분야에 집중 투자를 하고 있음
- 국내 건설기술이 국제적 경쟁력을 갖추기 위해서는 건설기술수준의 향상이 요구되며 이를 위해 독자적인 건설 기술 개발을 위한 세계적 수준의 건설 분야 실험이 가능한 시설의 구축이 필수적으로 요구됨

(2) 성능기반설계에 대비한 해석 및 설계 기술의 정립 및 발전에 기여

- 성능기반설계는 지진에 의한 구조물의 손상/붕괴부터의 인명 보호와 피해 규모, 업무 방해, 정지 시간 등의 최소화를 위해 구조물의 성능에 대한 목표를 명시적으로 정의하고 확보하는 것을 목적으로 정립된 설계 패러다임으로 9.11 테러를 기점으로 테러에 의한 폭발, 충격 등을 받는 주요 구조물의 설계에 이를 도입하고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있음
- 성능기반설계는 클라이언트와 설계자에 따라 다양한 목표 성능이 정의되는 특성을 가지며 이 과정에서 목표 성능을 달성하기 위한 방법과 그에 대한 올바른 검증이 필수적으로 요구

됨

○ 극한상태 구조특성 실험시설의 장비를 이용한 다양한 종류의 극한상태의 모사를 통해 구조물의 극한상태에 대한 목표 성능에 따른 안전성을 검증함으로써 성능기반설계에 대비한 설계 및 해석 기술의 발전에 기여할 것으로 판단됨

(3) 극지 및 심해 환경에서의 구조물의 건설을 위한 기술 확보

○ 최근 중동 등의 극서지의 건설 수요가 증가하고 있으며, 남극과 같은 극한지의 지하자원의 파악 및 선점을 위해 많은 국가들의 기지 건설이 진행되고 있음

○ 채산성이 좋은 육상 및 연근해지역의 자원 개발이 대부분 완료됨에 따라 심해와 극지로 탐사 지역이 넓어지고 있고 이러한 극지 환경에서의 플랜트의 건설수요가 증가하고 있음

○ 극지 및 심해의 환경적인 영향을 현재의 설계기준과 시공 기술로 고려하는 것에는 한계가 존재하며, 이를 극복하고 증가하는 극지 및 심해 구조물의 건설 수요에 대응하기 위해서는 극한상태에서 구조물이 받는 영향과 이에 대한 안전성 평가와 관련된 연구 및 기술개발을 수행할 수 있는 실험시설의 구축이 필요함

(4) 다양한 충격실험장비 도입을 통한 연구 효율성의 극대화

○ 기존에 구축된 실험시설들은 개별적으로 연구 수요가 있는 기관에 독립적으로 분산 배치되어 있어 유기적인 연구가 용이하지 않으며 구축된 장비의 성능 또한 최고 수준에 미치지 못하여 효율적인 연구 수행 및 기술 개발에 한계가 존재함

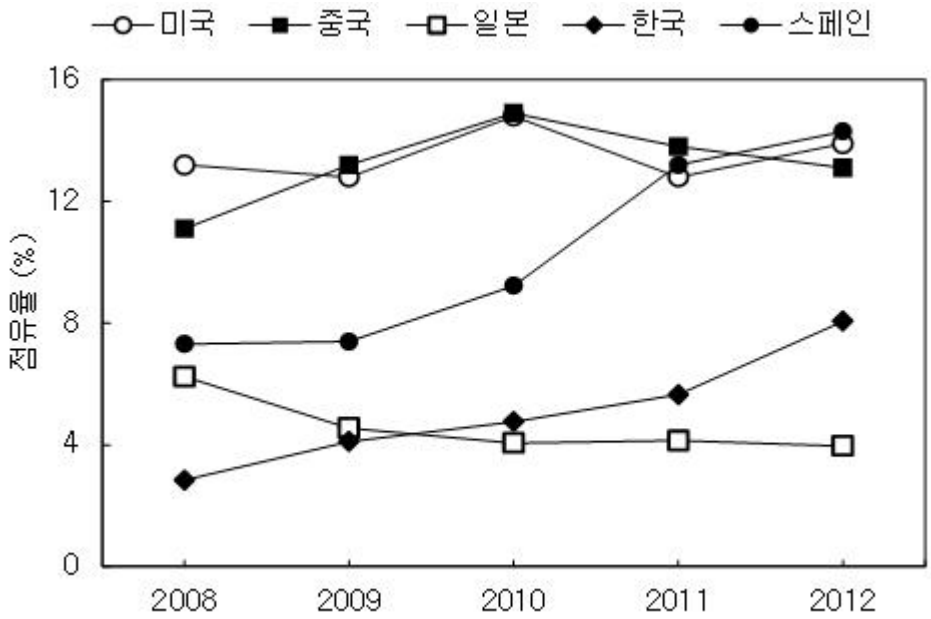
○ 다양한 형태의 극한상태를 모사할 수 있는 실험 장비들을 하나의 시설에 집중적으로 배치하고 세계적인 성능 수준의 장비로 구축함으로써 연구의 효율을 극대화하고 세계적 수준의 독자적 기술 개발의 기반을 마련할 수 있음

다. 경제・산업적 필요성(중요성)

(1) 국제사회에서의 기술경쟁력 확보를 위한 첨단・최신 실험시설 구축 필요

○ 건설산업은 국가 경제에 밀접한 영향을 미치며, 특히 해외건설업은 국내 인력의 해외 근로를 통한 고용 창출 효과와 임금과 영업이익 등으로 국내건설업에 직접적으로 유입되는 부가가치와 더불어 건설에 투입된 재화와 서비스의 수출 증대효과 및 해외건설업의 경험을 통해 발생되는 금융, 산업의 고부가가치화 등의 효과를 통해 우리나라 경제 전반에 긍정적인 영향을 미침

○ 미국의 ENR(Engineering News Records) 건설전문지에 따르면 해외건설시장에서 우리나라의 시장점유율은 2008년 이후 지속적으로 증가하고 있는 추세임



[그림 2] 세계 건설시장에서의 우리나라 점유율 추이

○ 하지만 상위의 중국, 미국, 스페인과 비교하면 점유율 차이는 4%이상으로 2012년을 기준으로 약 1.5배 정도의 격차를 보임. 중국의 상대적으로 낮은 인건비와의 경쟁에서 벗어나 미국, 유럽 여러 나라들의 시장 선점을 극복하기 위해서는 독자적인 건설기술의 개발/선점을 통해 건설시장을 선도하는 것이 필요함

○ 9.11 테러를 기점으로 극한상태에 의한 구조물의 안전성을 확보할 수 있는 설계에 대한 요구가 급증하고 있으며 특히 국내업체의 경쟁력이 높은 초고층 빌딩 및 플랜트 시장과 수출 확대를 정책적으로 지원하고 있는 원전시장에서 극한상태에서의 안전성에 대한 관심은 특히 증가할 것으로 예측됨

○ 극한상황에 대비한 건설기술을 확보하여 현재의 국내 건설기술의 수준을 한 단계 발전을 이루어냄과 더불어 세계 건설시장에서의 해외 업체와의 경쟁을 유리하게 이끌어 갈 수 있을 것으로 예상되며 선도 기술을 이용한 시장선점을 통한 상당한 규모의 경제적 이익 창출이 가능함

(2) 방호 시스템 관련 산업의 성장에 큰 기여

○ 극한상태에서의 구조물의 거시적인 거동 및 안전성에 대한 관심과 더불어 방폭문, 방폭콘크리트, 방폭창 등 구조물의 내충격 향상에 적용되는 방호 시스템에 대한 관심의 증가와 함께 관련 시장이 활성화가 진행되고 있음

○ 기존에는 주로 군용 시설에 적용되어 오던 방호 시스템은 향후 초고층 건물, 대규모 상업시설, 민간시설 등으로 확대되어 수요가 증가할 것으로 전망되며 방호 시스템의 소재 및 부재 수준의 성능 평가를 위해서는 충격실험을 통한 검증이 필수적이므로, 이를 위한 실험을 수행할 수 있는 시설이 필요함

라. 사회・문화적 필요성(중요성)

(1) 고급인력 양성 및 연구기반 조성을 통한 건설기술 강국으로의 진입

- ○ 세계 건설시장의 선두 그룹으로의 진입을 위해서는 단순한 연구지원에 의한 단기적인 기술 개발 수준에서 벗어나 장기적인 관점에서 세계수준의 연구 인프라를 확보함으로서 핵심기술의 수요자에서 공급자로의 전환이 필요함
- ○ 건설기술 연구 개발의 원활한 진행과 확산을 촉진할 수 있는 새로운 시스템 구축이 필요하며 이를 위한 새로운 연구 환경의 패러다임의 조성이 요구됨
- ○ 첨단 실험시설의 구축과 장기적인 지원을 통해 건설 기술 연구 기반의 조성과 관련 분야 고급 인력의 배출로 이어져 건설 기술 강국 도약의 기초를 이룰 수 있음

(2) 고령화 사회에 대비한 지속가능한 사회기반시설 구축

- ○ 세계 각국에서 고령화 사회로의 급속한 진입에 따른 현존 사회기반시설의 유지 및 보수 관리가 매우 중요한 문제로 부상하고 있음. 특히 미국의 경우 이미 과도한 유지 관리 비용으로 인한 사회적인 문제가 발생하고 있으며 적절한 유지 관리가 이루어지지 않아 2007년 실제 교량의 붕괴 사고가 발생함
- ○ 특히 현대의 교통 시스템은 차량・선박・항공기의 유기적인 결합을 통하여 물류 및 통행의 효율을 극대화 하도록 구성된다는 점을 감안하면 이러한 시스템 내에서 특히 교량과 같은 중추적인 사회기반시설의 파손은 전체 시스템의 효율에 영향을 미치고 사회에 막대한 경제적인 손실을 초래하게 됨
- ○ 충격・폭발 등과 같은 극한하중은 구조물의 붕괴와 같은 큰 피해를 야기할 수 있어 유지관리 비용의 급격한 증가를 초래하게 되므로 고령화 사회에 대비한 사회기반시설의 설계는 극한상태에서의 높은 안전성이 필요함
- ○ 실험시설 구축을 통해 극한상태에서 사회기반시설을 합리적으로 분석함으로써 고령화시대를 대비한 유지보수비용을 최소화할 수 있는 구조물의 설계가 가능하며 사회의 항구적인 발전에 기여할 수 있음

마. 정부지원의 필요성

(1) 연구 및 실험의 공공성

- ○ 극한상태와 관련된 재해의 방지 및 플랜트, 신에너지 개발 등과 같은 분야는 공공성이 높은 분야임에도 불구하고, 기술 선도국가가 시장을 독점할 가능성이 높음. 연구내용의 효율적인 관리, 원활한 실용화 및 사업화와 더불어 연구자체의 공공성의 보장을 위해서는 연구 주관기관과 더불어 정부의 지원이 필수적임
- ○ 사회 기여도가 높은 연구 및 실험의 수행이 가능함. 기존에 해외에서 수행하던 극한성능검

증실험을 국내 첨단 실험시설에서 가능하게 되어 선진국에서의 기술도입을 감소시키고 핵심 건설기술의 국내 자체 개발을 통한 개발기술의 해외유출을 방지함으로서 국가경쟁력 및 국가안보 확보에 도움이 됨

○ 대형실험시설은 하나의 기관이 자체적으로 구축하기에는 재원 조달이 상당히 어려우므로 정부 차원에서의 이러한 시설 구축을 위한 보조가 필요하며, 지역적 제약이 없는 동시/협업 시스템으로 전체 연구 공동체가 공동으로 공유하고 사용할 수 있는 연구체계를 조성하여 실험 시설의 사용 효과와 연구 발전 속도를 극대화할 필요가 있음

(2) 관련 법률 및 정부 정책과의 연계성

○ 국토교통부는 미래 여건변화에 대응하고 현행 과학기술정책 및 녹색성장 기조에 부합하는 효과적인 건설교통 연구개발의 수립 필요성이 대두됨에 따라 '건설교통 R&D 중장기계획(2013~2017)'을 수립함

○ 극한상태 구조특성 실험시설의 구축은 중장기계획 5대 목표 중 '인간중심의 사회 및 도시 구현', '미래경제가치 창출', '위험으로부터 안전하고 편안한 사회 건설'과 관련된 연구 수행에 기여가 가능함

○ 실험시설의 구축으로 인해 중장기계획에서 제안한 32대 중점추진분야 중 첨단 건설재료의 개발 및 성능 검증, 고효율 장수명 시공 및 유지관리 기술 개발, 지능형 시설물 개발을 위한 설계, 시공관련 기술 개발, 플랜트 관련 기술 개발, SOC 재난 및 안전관리 등 다양한 분야에 기여가 가능할 것으로 예상됨

○ '과학기술기본법' 중 연구개발에 필요한 시설·장비의 확충·고도화 및 공동활용의 추진과 관련 기관 지원에 대한 법령은 건설인프라 2단계 실험시설 구축에 대한 정부지원의 근거가 됨(표 1)

○ 국가 상위계획의 기여도가 높은 과제임. '박근혜정부 국정과제'의 4대 국정기조 및 14대 추진전략과 부합하며, 140개 국정과제 중 4개의 과제에 극한상태 구조특성 실험시설이 기여할 수 있음(표 2)

[표 1] 극한상태 구조특성 실험시설 구축 관련 과학기술기본법

〈법 제28조 연구개발 시설·장비의 고도화〉	〈시행령 제42조 연구개발 시설·장비의 고도화 추진〉
정부는 효율적이고 균형 있는 연구개발을 추진하기 위해 연구개발 시설과 장비 등을 늘리고 현대화하기 위한 시책을 세우고 추진해야 함	관계 중앙행정기관의 장은 연구개발 시설·장비 현황을 조사한 결과를 반영하여 계획을 수립하고, 국가연구개발사업에 대한 중·장기계획에 반영해야 함
정부는 연구개발 시설·장비의 고도화를 추진하기 위해 시행령 제42조에 따라 지원할 기관을 지정하고 운영에 필요한 경비를 지원할 수 있음	관계 중앙행정기관 장이 수립해야 하는 계획은 관련 연구개발 사업에 필요한 연구개발 시설·장비의 확충계획, 연구개발 시설·자이의 운영 및 공동 활용 계획, 연구개발 시설·장비의 고도화 계획임 과계행정기관장은 대학, 연구기관 및 기업에 연구개발 시설·장비의 확충 및 운영에 필요한 경비를 지원할 수 있음

[표 2] 극한상태 구조특성 실험시설이 기여 가능한 국정과제 목록

국정과제	극한상태 구조특성 실험시설 기여 내용
10. 교통체계・해운 선진화 및 건설 원전사업 해외 진출 지원	충돌・폭발 상황에 대비한 설계기술 연구 및 원천기술 확보가 가능하므로 해외건설시장 진출을 위한 고부가가치 기술 확보에 기여할 수 있음
11. 해양수산업의 미래산업화 및 체계적 해양영토 관리	극한온도 상태에서 실험수행이 가능하므로 극지환경에 적용 가능한 건물의 구조/재료 개발에 기여할 수 있음
13. 우주기술 자립으로 우주강국 실현	온도변화환경 및 우주 비산체에 대한 충돌해석이 가능하므로 우주환경에 적용할 수 있는 구조/재료의 개발에 기여할 수 있음
83. 총체적인 국가 재난관리 체계 강화	충돌・폭발 등을 유발하는 재해・재난에 내구성을 갖는 구조・재료의 개발이 가능하며, 예방적 재난관리에 기여할 수 있음

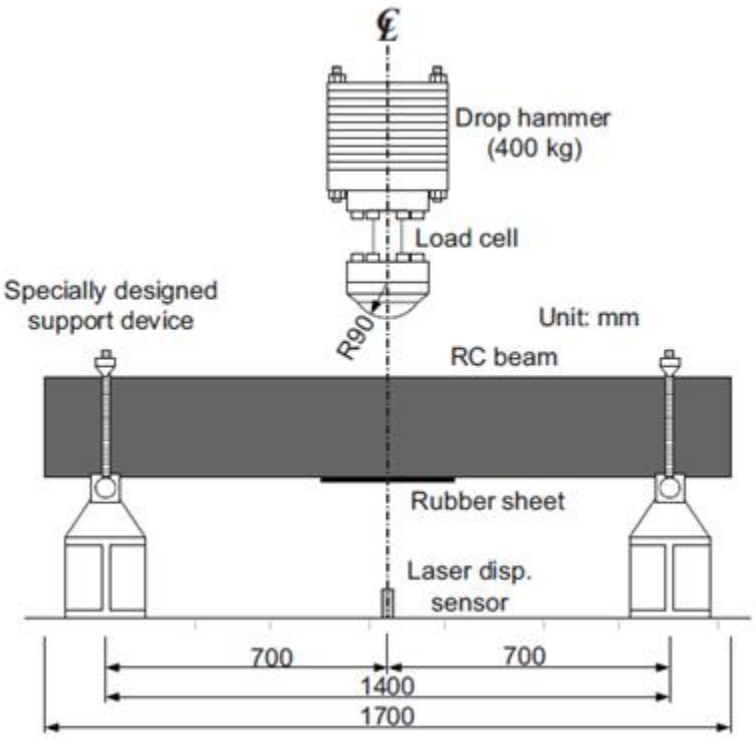
제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내외 관련분야 연구개발 및 기술 동향

가. 국내 동향

(1) 자유낙하실험시설

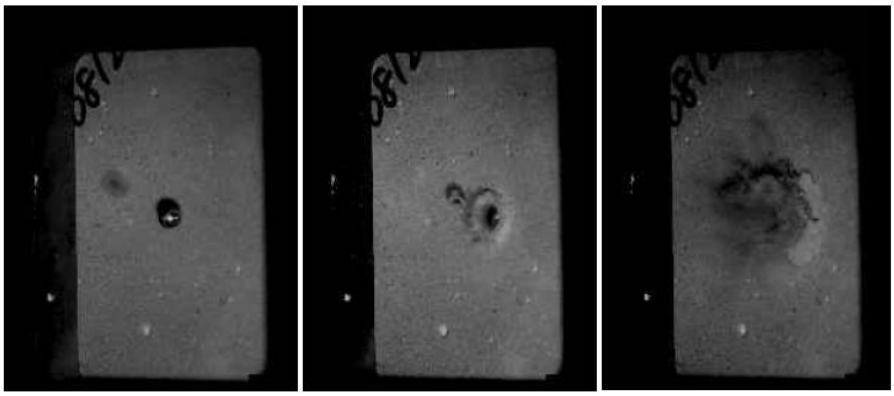
- 국내에서는 일반적으로 저속충격에 의한 철근콘크리트 구조물의 안전성 및 보강재에 의한 충격저항성능 향상정도의 평가를 위한 낙하충격시험이 주로 수행됨
- 원전격납건물 및 가스탱크에 주로 사용되는 프리스트레스트 콘크리트 구조물의 극한하중 평가를 위해서 지름이 1,400mm, 두께가 300mm 슬래브 실험체에 중량 1.3ton의 추를 높이 5m에서 낙하, 최대 13,000kN의 충돌하중에 대한 프리스트레스트 콘크리트 벽체의 강도 및 균열, 단면손실 등의 파괴양상을 규명함[68]
- 철근콘크리트 구조물 충격저항 성능을 향상시키기 위한 보강재료의 저항성능 평가가 수차례 수행됨. 각 연구에서는 보강재료로 FRP, CFRP, 폴리우레아, 강섬유 등을 사용하였으며, 장비 용량에 따라 경간 300~1,700mm, 두께 50~150mm의 시험체를 사용함[60, 61, 62, 67]



[그림 3] 자유낙하실험시설을 이용한 보 충격실험 개념도

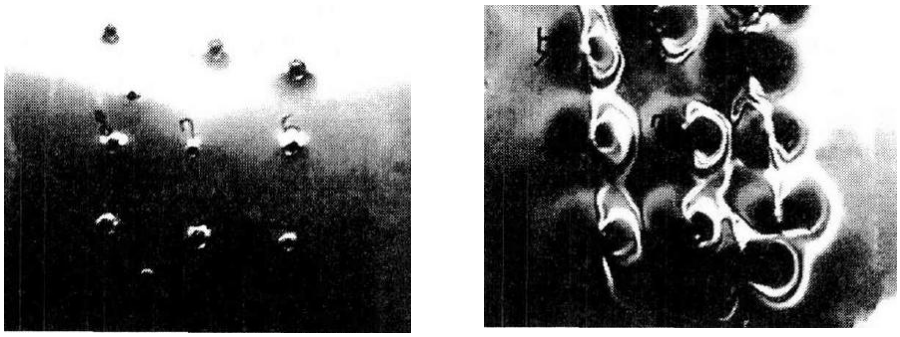
(2) 중고속충돌실험시설

- 국내에서는 재료의 내충격 성능이나 방탄 성능을 평가하기 위한 목적으로 주로 소형비상체(직경 4mm~10mm)에 대한 충격실험이 수행됨
- 섬유보강콘크리트의 내충격 성능평가를 위해서 고속 비상체를 이용한 충돌실험이 수행됨. 구체적으로는 직경 4mm의 철구(중량 0.26g)와 10mm의 철구 비상체(중량 4.07g)를 압축한 헬륨가스의 힘으로 콘크리트 시편에 충돌시키는 연구가 수행됨[58, 59]
- 섬유보강 모르타르의 충격파괴성상을 정량적으로 검토하기 위하여 직경 4mm, 질량 0.261g의 비상체를 약 350m/s의 충돌속도로 발사하여 충격을 가한 후의 내충격 성능을 평가하였고, AUTODYN을 통해 해석 결과와 비교 검증함[56]



[그림 4] 비상체충돌에 의한 콘크리트 시험체 파괴상황

- 장갑/방탄 소재 개발을 위해 티타늄 합금 적층재에 대한 고속 충격 실험이 수행되었다. 방호성능 측정을 위해 5.56mm 구형탄을 350~1,050m/s의 충돌에 대한 적층재의 성능을 평가함. 또한 동일한 실험 조건 하에서 알루미늄 5052-H34 합금 적층재의 탄도 충격에 대한 관통저항성과 파괴거동을 연구함[64, 65, 78]

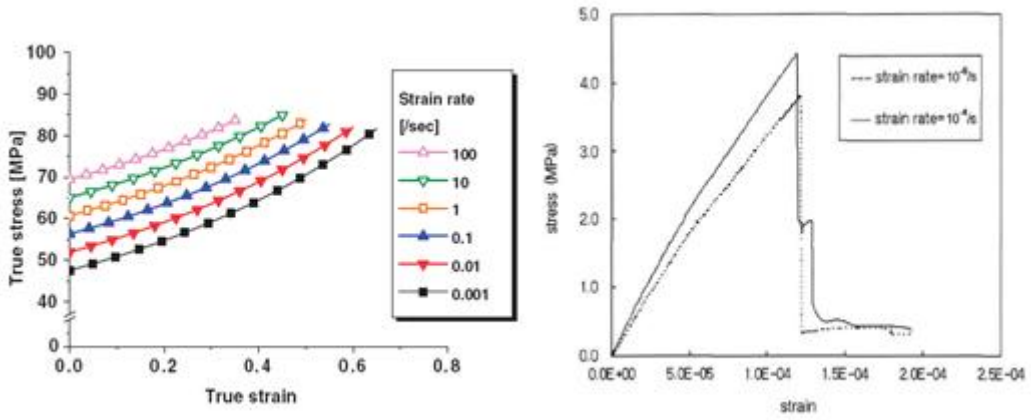


(a) 전면 (b) 후면

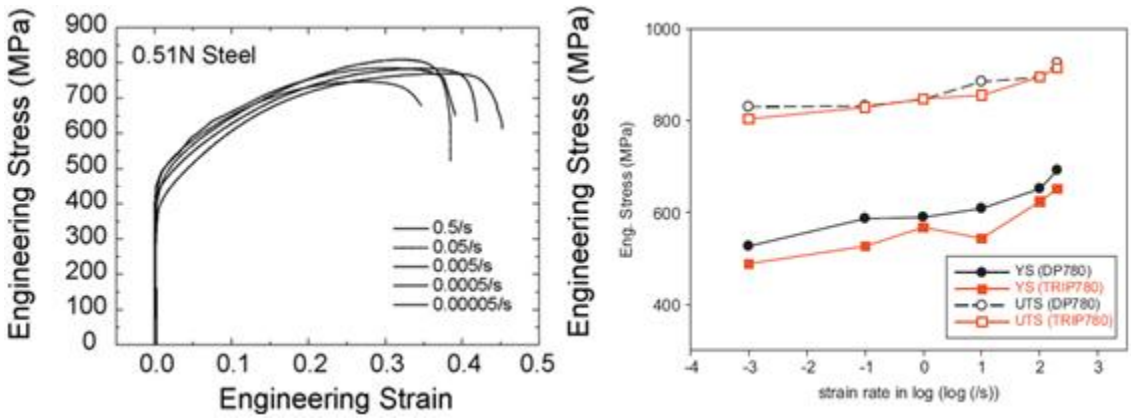
[그림 5] 비상체 충돌에 의한 AL 5052-H34 합금 실험 결과

(3) 급속재하실험시설

- 국내에서는 지진이나 차량의 충격에 의한 재료의 변형특성과 구조물의 거동을 파악하기 위한 급속재하실험이 수행됨
- 국내에서는 지진이나 충격하중과 같이 고변형률속도(High strain rate)의 하중에 의한 구조물의 거동을 정확히 파악하기 위해 탄-점소성모델과 축방향변형요소를 조합한 새로운 수치해석 기법을 개발하고 변형률속도(Strain rate) 범위 10^{-6}~1/s의 범위에서 기존의 실험결과와 비교, 검증하는 연구가 수행됨[63]
- 차량의 충돌 상황을 모사하기 위해 변형률속도의 범위를 0.001~100/s까지 변화시키며 Polymer의 재료 변형특성을 관측하고, 이를 해석하기 위해 개발된 FEGM방법을 실험결과와 비교하여 타당성을 검증하는 연구가 수행됨[30]



[그림 6] Strain rate에 따른 응력-변형률 곡선

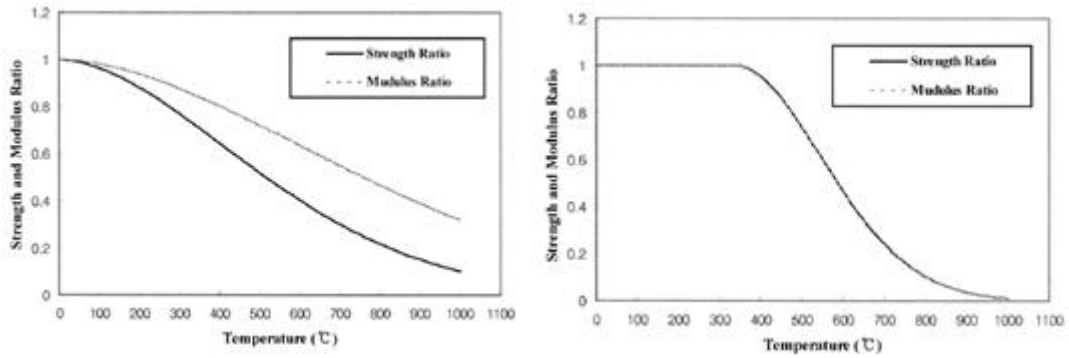


[그림 7] Strain rate에 따른 강재의 응력-변형율 곡선, 응력변화곡선

- 구조물에서 사용되는 고강도 강재의 변형률속도의 변화에 따른 변형양상을 관측하기 위한 연구가 수행됨. 변형률속도의 범위는 0.00005~500/s로 준정적거동부터 차량충돌을 모사 가능한 범위까지 수행되며, 공통적으로 변형률속도가 증가함에 따라 인장강도가 증가하는 경향을 보임[23, 24]

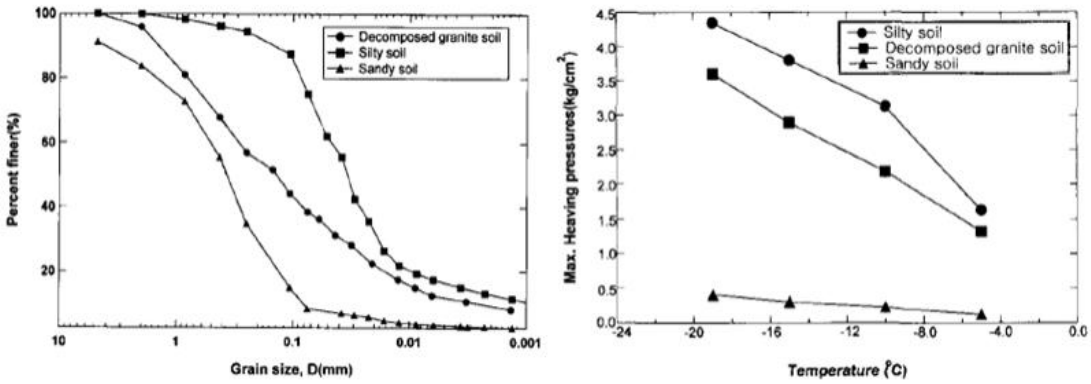
(4) 극한온도실험시설

- 국내에서는 극저온 상태에서의 콘크리트의 재료시험평가와 고온상태에서의 원전구조물의 지반과 재료적 특성변화를 분석하고, 지반공학 분야에서 중요한 동토지반 관련연구로 동상현상, 동결, 융해현상에 관한 연구가 수행됨
- 한국해양과학기술원에서는 세계 남극연구를 주도하는 G-7진입이라는 목표를 가지고 극지공학시험 개발 센터의 수립을 계획하고 있으며 2014년 완공될 계획인 장보고 기지를 활용하여 얼음활주로, 오일샌드 확보를 위한 영구동토지역의 파이프라인 건설, 이를 위한 극지에서의 운영 및 관측장비 개발연구 등 극지와 관련된 다양한 분야의 연구를 추진하고 있음
- 화학적 개량을 실시한 지반, 방사성 핵폐기물의 지중 처분 등에 의해서 지반이 고온 환경에 놓이는 경우, 점토의 공학적 특성의 변화를 관측하기 위한 연구가 국내에서 수행됨. 20~100℃의 온도변화에서 점토의 간극비, 전단발생시 유효응력 등을 관측한 결과, 시료의 종류에 따라 압밀의 촉진 간극비의 감소현상이 다르다는 것이 확인된 바 있음[53]
- 극저온을 경험한 콘크리트의 역학적 성질의 변화를 측정하기 위하여 -20~60℃의 온도구간을 경험한 콘크리트 공시체의 일축압축강도시험을 수행하여 극저온 온도이력 반복회수가 증가할수록 콘크리트의 압축강도와 탄성계수는 감소하다가 일정한 값에 수렴한다는 결과를 얻음[66]



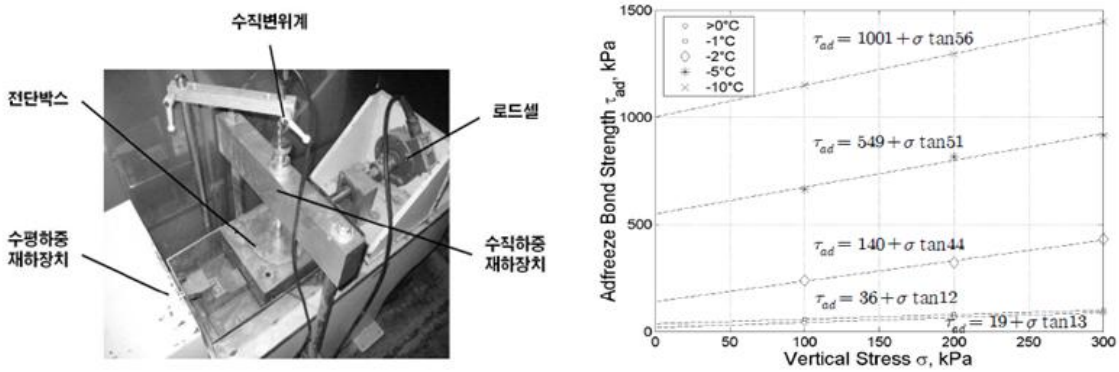
[그림 8] 온도에 따른 콘크리트, 강재의 강도비, 탄성계수비 변화 곡선

- 원자로 격납구조물에서의 설계 하중을 초과하는 온도 하중작용 시 구조물의 안전성을 평가하기 위해 기하학적, 재료적 비선형성을 고려하여 구조물 거동 해석을 실시하는 연구가 수행 중이며, 200℃이하에서는 온도하중을 무시하는 것이 안전 보수성 측면에서 유리하고 300℃이상에서는 콘크리트의 재료적 손상을 유발시키기 때문에 온도하중의 고려가 필수적이라는 결과를 얻음[55]
- 지하구조물 및 동결지반 위에 건설되는 도로 등의 사용성 및 안정성에 대한 평가를 위해 동결온도, 지반의 종류 및 포화도에 따른 동상팽창압 특성을 분석한 연구가 수행됨. 실내 동상시험장비를 이용하여 약 -25℃까지 온도를 조절해 가며 실험을 수행한 바 있으며, 세립분 함량이 많고 온도가 낮을 때 동상팽창압이 커지는 것을 확인함[80]



[그림 9] 시료의 입도분포 및 온도에 따른 동상팽창압

○ 영하 18℃에서 동결, 영상 18℃에서 융해시킨 흙을 이용하여 반복삼축시험을 수행한 연구가 수행되었고, 소성적인 성질이 큰 점토를 많이 함유하고 있는 흙에서 점착력의 감소 및 전단탄성계수의 감소가 크게 발생하는 것을 확인함[81]



[그림 10] 극저온용 직접전단시험기와 온도에 따른 전단시험 결과

○ 최저 -30℃의 온도조건에서 시험이 가능한 동결토용 직접전단시험기를 사용하여 서로 다른 온도조건에서 알루미늄(구조물)과 동결토 사이의 동착강도를 평가한 결과 온도가 낮아질수록 동착강도가 크게 평가되는 것을 확인함[66]

나. 국외 동향

(1) 자유낙하실험시설

○ 국내 연구와 유사하게 저속충돌에 의한 철근콘크리트 구조물의 안전성을 평가하는 연구가 수행되었으며 실험체의 크기에 따른 크기효과(Size effect)의 정량적인 분석을 위한 연구가 수행됨

○ 차량 충돌과 같은 저속충돌에 의한 철근콘크리트 구조물의 안전성 평가를 위해 보 및 슬래

브 실험체에 충격하중을 가하여 발생 거동(응력, 처짐, 균열) 및 파괴양상에 대한 연구가 수행되었으며[11, 16, 20, 31], 유리 섬유, 폴리에틸렌 섬유의 첨가에 의한 구조물의 거동 차이를 분석한 연구가 수행됨[21]. 시험체는 장비 용량에 따라 경간 1,000~1,500mm, 두께 100~300mm의 크기를 사용하였음

○ 충격하중에 의한 철근콘크리트 구조물의 거동은 실험체의 상사에 따른 크기효과(size effect)에 영향을 받으며 그 정도는 정적하중의 경우보다 더 크게 나타남. 이에 대한 정량적인 분석을 위해 지름 75~600mm, 콘크리트의 강도 27~100MPa 범위의 콘크리트 원형 공시체에 충격하중을 가하여 하중 및 변형률 속도에 따른 콘크리트의 강도 및 처짐과 공시체 크기와의 관계를 분석하는 연구가 수행됨[42, 49]



[그림 11] 크기효과에 대한 연구[42, 49]에서 사용한 콘크리트 시험체

(2) 중고속충돌실험시설

○ 국외에서는 주로 우주항공분야에서 발생할 수 있는 비상체와 구조물의 충돌시험이 수행됨. 국내 연구와는 다르게 소형발사체를 이용한 우주환경에서의 초고속(3~7km/s) 충돌이 주로 모사되었으며, 항공기 엔진의 구조물 충돌을 모사하는 대형발사체 실험이 수행됨

○ 항공 및 우주선에서 사용되는 신소재의 충격 저항능력 평가를 위해 Graphite / Epoxy 판에 대하여 다양한 두께의 박판과 관형 모델을 시편으로 사용하여 고속 충격 실험이 수행됨. 지름 1.75mm, 길이 1.88mm 의 비상체를 3~7.5km/sec의 속도로 합성재료 적층판에 충격시킨 결과, 합성재료의 충격저항에 있어서 합성 적층판의 소재 배치보다도 전체적인 탄성계수가 훨씬 더 지배적인 인자인 것으로 나타남[12, 60]

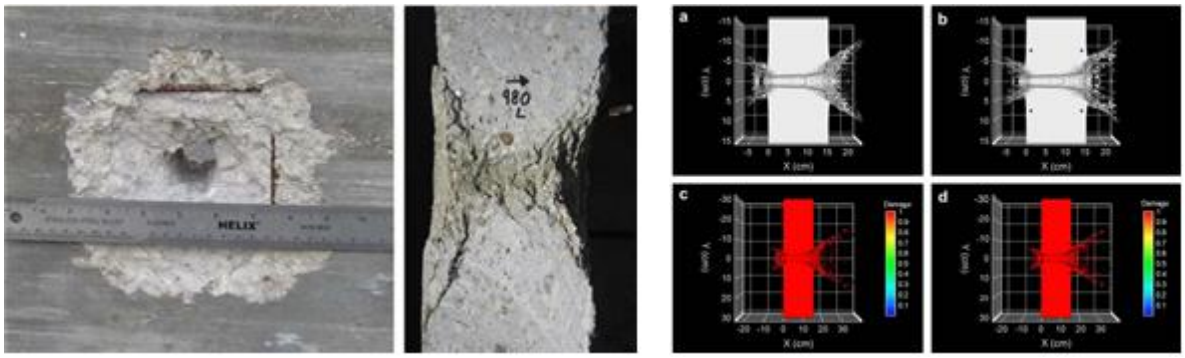
○ 우주선의 재료로 주로 사용되는 Graphite Fiber Reinforced PEEK 적층판에 3~7km/s의 고속 충격을 가한 후 2차 잔해물(Secondary debris plume)이 구조물 손상에 미치는 영향을 평가함. 그 결과 2차 잔해물은 구조물 내부에서 국부적 손상을 가져와 구조물 강성과 좌굴 강도를 50%까지 저감시키는 등 가장 치명적인 구조적 피해를 입히는 요소로 나타남[51, 52]

○ 미국 Sandia 연구소에서는 원전 안전성 증대를 위한 실규모 충돌 연구를 다수 수행하였는데, 실규모 F4 Phantom 전투기를 210m/s속도로 두꺼운 콘크리트 블록에 충돌시키는 실험을 수행하여 비행기의 Loading time history 분석 모델 도출에 활용함



[그림 12] Sandia National Lab. 실규모 전투기 충돌 실험

○ Military Operations in Urban Terrain (MOUT)에서 사용되는 콘크리트 슬래브에 대하여 막대형 탄환 (91% W-Ni-Co, 지름 6.25mm, 길이 94.6mm)을 2.2km/s로 발사하여 충격 실험을 수행하고 파괴 거동을 수치 해석 결과와 비교함[14, 45]

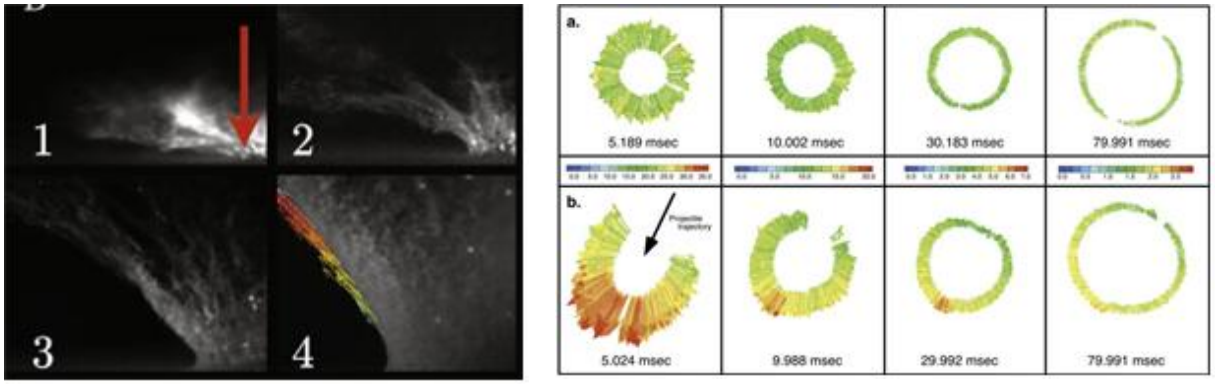


(a) (b)

[그림 13] (a) 콘크리트 슬래브의 충격 실험 결과 (b) 해석 결과

○ 태양계 내의 행성들의 복잡한 지질학적 형성 과정을 이해하기 위해서 충격 속도 및 충격 위치, 충격각과 분화구의 크기에 대한 실험적 연구를 수행하고, 고속 충격시 다양한 충격각에 대한 전토층의 분출물 속도 분포를 평가함. 이 실험에서는 0.07g의 발사체를 4.8~5.3km/s의 속도로 발사하였으며, 이 때 PTV (Particle Tracking Velocimetry) 기술을 사용하여 운석 충돌로 인한 분출물의 거동을 실시간으로 분석함. 또한 3-D Particle image velocimetry를 이용, 운석 간 충격으로 인해 발생하는 분출물의 실시간 거동을 3차원으로 분석함[3, 13,

22, 59]

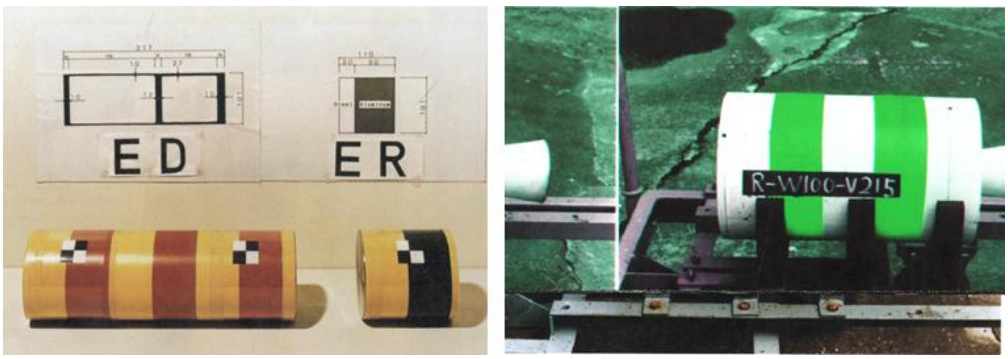


(a) (b)

[그림 14] (a) 2차원 PTI 촬영 결과 (b) 3차원 PIV를 이용한 분출물 거동 분석

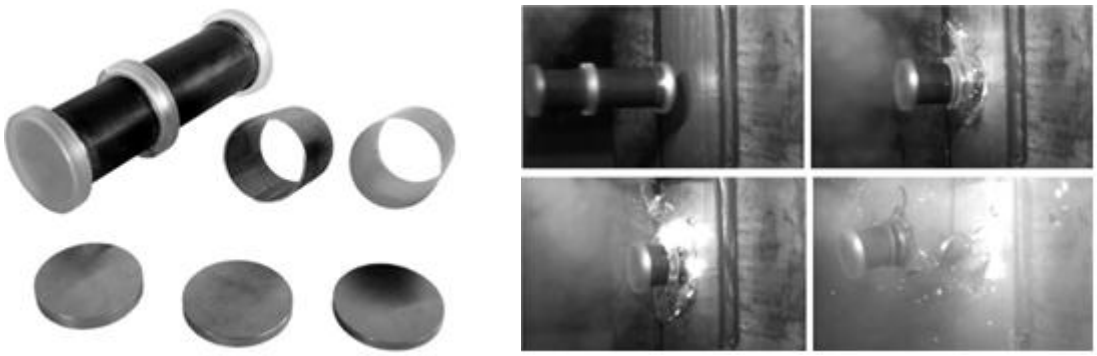
○ 행성의 분출구 형성 메커니즘을 연구하기 위하여 4.6~5.1km/h의 충격 속도의 Steel projectile과 마른 상태/젖은 상태의 사암과의 충돌 실험을 수행함[23]

○ 변형 가능한(Deformable) 항공기 엔진으로 인한 콘크리트의 국부적 손상을 평가함. Small-scale (1/7.5), Intermediate-scale (1/2.5), Full scale (1/1) 로 나누어 상사율을 적용하여 GE-J79 엔진의 모형을 제작하여 (각 3.6kg, 100kg, 1,700kg의 비상체) 100m/s~250m/s의 속도로 충격 실험을 수행함[50]



[그림 15] 축소 스케일 및 강도에 따른 비행기 엔진 모사

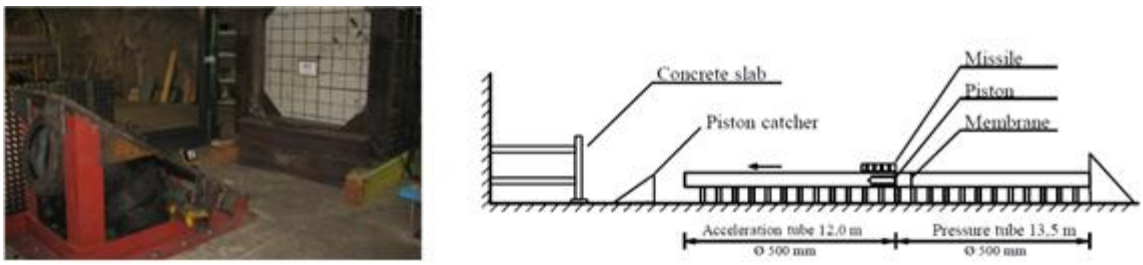
○ UHPC를 적용한 콘크리트 셀 구조에 대한 고질량-저속 충격 실험들이 진행됨. UHPC 패널에 대하여 Phantom F4 Ge-J79 엔진의 축소 모델을 비상체로 이용 (질량 1.5kg, 비상체 속도 194.7m/s~368.6m/s), 충격 실험을 수행한 결과 모든 파괴 모드에 대해서 UHPC가 기존의 콘크리트에 비해 향상된 성능을 보임. 구체적으로는 동일 충격에너지에 대해 피해 정도가 확연히 줄어들고 방탄 한계 속도가 100m/s 이상 향상 되었으며 콘크리트 구조물의 에너지 흡수율 역시 110% 만큼 증가함[43]



(a) (b)

[그림 16] (a) 변형 가능한 축소 엔진 (b) UHPC 슬라브와 충격 후 연속 사진

○ VTT에서는 엔진 충격 실험을 수행하여 콘크리트 슬라브의 Punching과 Bending 거동을 평가함. 이 때 사용된 미사일의 무게는 50kg였으며 충격 속도는 최대 166m/s임[17]

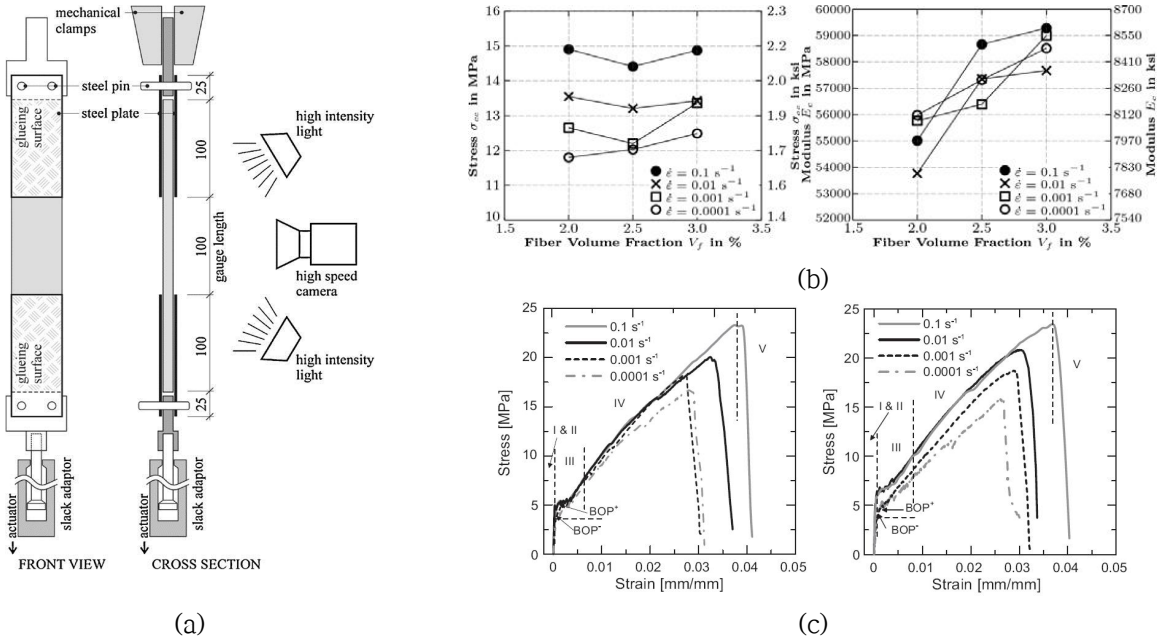


[그림 17] 미사일 충격 실험을 위한 비상체 발사 장치

(3) 급속재하실험시설

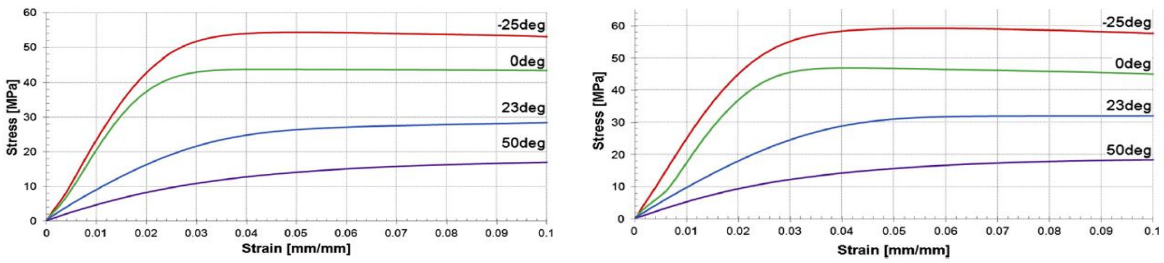
○ 해외에서는 주로 지진, 차량충돌, 파도 등에 의한 동적하중을 모사하기 위해서 급속재하실험을 수행하였으며, 하중의 변형률속도에 따른 재료의 거동 분석을 분석하는 연구가 이루어짐

○ 지진, 차량충돌 등의 동적하중 재하시 구조물의 안전성을 평가하기 위해서 하중의 변형률속도에 따른 콘크리트의 인장강도 특성에 대한 연구가 수행됨[58]. 최근에는 일반 콘크리트 외에 FRC, TRC 등 섬유보강콘크리트에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 0.0001~50/s 변형률속도의 하중을 시험시편이 파괴될 때까지 동적으로 가하여 재료의 거동을 분석하는 연구가 수행됨[47, 57]



[그림 18] (a) 직접인장시험도 (b) Fiber 함유량 별 응력, 탄성계수 변화 곡선 (c) Strain rate에 따른 콘크리트 응력-변형률 곡선

○ Polymer matrix composites, Polyurea, Fiber와 같은 재료들에 대하여 준정적 상태부터 차량 충돌까지 모사 가능한 2×10^{-4}~388/s의 변형률속도에서 재료의 파괴까지 인장거동을 관측한 연구가 수행됨[2, 19, 35, 41, 64]. 또한, Polymer의 경우 변형률속도와 온도가 인장거동에 미치는 영향에 대한 연구가 진행됨[4]



[그림 19] 온도변화에 따른 Polymer의 응력-변형률 곡선

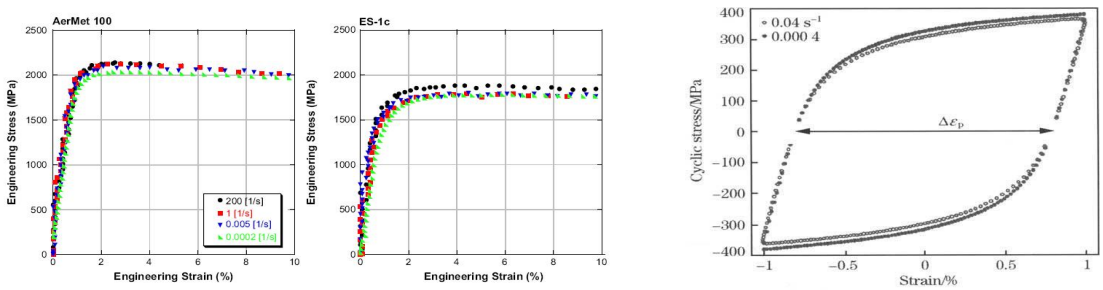
○ 자동차 재료로 많이 사용되는 AerMet, DP강재 등 고강도 강재의 안전성 및 성능평가를 위해 차량충돌을 모사할 수 있는 변형률속도인 0.0002~1,000/s의 범위로 하중을 재하하여 고강도 강재의 파괴까지의 거동을 관측하고 해석하는 연구가 수행됨[9, 48]

○ 지진하중을 모사할 수 있는 변형률속도인 0.1~10/s 로 하중을 재하하여 콘크리트의 인장강도, 전단강도 등의 재료적 특성을 규명하는 연구가 수행됨. 실험 결과 변형률 속도가 증가함에 따라 인장, 전단강도가 증가하는 경향이 나타남[1]

○ 빌딩이나 선박에 이용되는 고강도 강재의 경우 지진, 파도 등으로 인한 Cyclic load로 인한

피로에 대한 안전성 확보가 요구됨. 이를 위해 4×10^{-5}~0.12/s의 변형률속도로 Cyclic load를 재하하여 피로파괴에 대한 변형률속도의 영향을 평가하는 연구가 수행됨[36]

○ 최근에는 실험을 통한 검증 이외에도 상용 혹은 개발한 해석 프로그램을 통한 해석 결과와 기존 실험 결과를 비교하는 연구도 활발히 수행되고 있음[63]



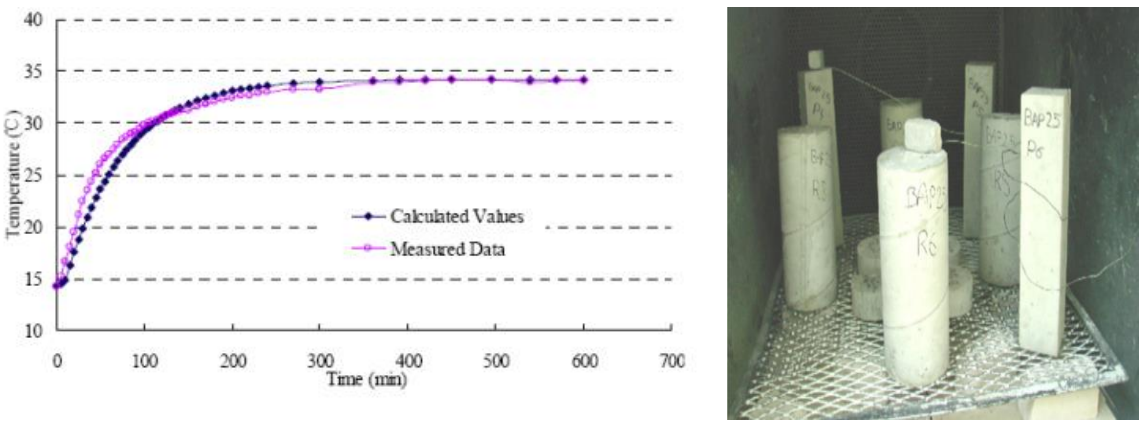
(a) (b)

[그림 20] (a) 강재의 종류와 Strain rate에 따른 강재의 응력-변형률 곡선 (b) Strain rate에 따른 강재의 Cyclic load에 의한 응력-변형률 곡선

(4) 극한온도실험시설

○ 구조물의 내화성능평가를 위해 강재, 콘크리트가 혼합된 실물 구조물에 화재상황을 발생시킨 후 시간, 온도에 따른 구조물의 거동을 관측하면서 구조물의 안전성, 내화성에 대한 수준을 검사하는 실험이 수행되었고, 실험결과와 해석프로그램의 비교, 분석 연구 또한 수행됨[55, 67]

○ 콘크리트의 온도 응답을 예측하기 위해서 콘크리트 내부에 장착된 온도센서의 데이터와 콘크리트의 온도응답 모델과 비교함. 소규모 온도 챔버를 사용하여 0~35℃ 온도범위를 구현함[25]



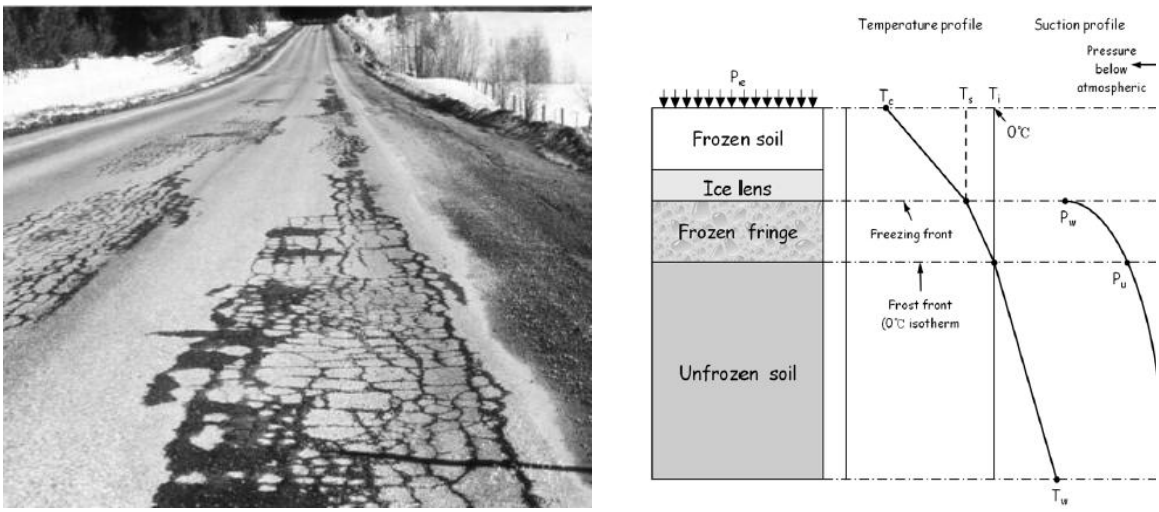
(a) (b)

[그림 21] (a) 시간별 콘크리트 온도응답 (b) 소규모 온도챔버내 콘크리트 시편

○ 동결지반에서의 동착강도를 평가하기 위해 다양한 방법을 적용한 연구가 수행되었으며, 최근에는 직접전단시험, 동결토용 삼축시험기를 활용한 삼축시험을 통한 동결지반의 동착강도, 전단특성 연구가 이루어지고 있음 [34, 38, 39, 86]

○ 동결•융해작용에 의한 구조물 손상 가능성이 있기 때문에 동결•융해에 관한 연구가 활발히 수행되었으며, 이를 통해 동결•융해를 받은 점토는 균열로 인해 투수성이 증가되고, 이는 액성한계와 관련이 있음을 확인함[37]. 또한 압밀응력에 의해 간극비가 감소하는데도 불구하고 수평, 연직의 투수계수는 증가함을 확인하였으며[10], 동결•융해 과정에서 지반의 점착력이 감소하고 전단저항각의 변화가 거의 없으며, 첫 번째 Cycle에서 동결-융해의 영향이 가장 크게 발현됨[61]

○ 동상 가능성 평가를 위하여 Segregation potential을 정의하고 흙의 기본물성치와 경험적 상관관계식을 제시하여 동상 가능성 평가 방법을 제시하는 연구가 수행됨[30]. 또한 지반의 특성에 따른 동상가능성 및 부피변화의 차이에 대한 연구가 수행됨[34]



(a) (b)

[그림 22] (a) Freeze-thaw damage (b) 동결작용을 받는 지반의 모식도

다. 소결

(1) 자유낙하실험시설

○ 자유낙하실험시설을 이용한 연구는 저속충돌에 의한 철근콘크리트 구조물의 거동을 분석하는 것에 초점을 맞추어 진행됨

○ 국내의 경우 보강재에 의한 내충격성능의 향상 정도를 실험을 통해 분석하였으며 국외의 경우 낙하충격을 통해 실험체에 가해지는 충격하중, 처짐 등의 거동을 산정하는 식의 개발에 대해 중점적으로 연구가 수행됨

○ 각 연구들에서 사용된 보 및 슬래브 실험체의 크기는 경간 1.5m, 두께 300mm 미만이고 국・내외 모두 전반적으로 소규모 시험 장비를 이용한 실험이 진행됨

○ 국외 연구 결과에서 크기효과(Size Effect)에 의한 영향이 크게 분석되었다는 것을 감안하면 소규모 시험체를 사용한 실험의 결과에 대한 신뢰성에 의문이 제기되는 상황이며 대형 시험체를 사용하는 실험장비의 필요성이 대두되고 있음

(2) 중고속충돌실험시설

○ 국내에서는 주로 저속충격에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 상태이나, 실제 소구경 화기 등에 의한 고속충격에 대한 연구는 그 특수성으로 인하여 미미한 실정임. 그에 따라 충돌속도 400m/s 미만의 비상체 충돌 후 시험체의 거동특성을 규명하는 방식의 연구가 소재/재료 수준에서 이루어지고 있음

○ 반면 해외에서는 50kg 이상의 비상체를 발사할 수 있는 실험시설이나 7km/s 이상의 충격속도를 발휘하는 초고속충돌실험시설 등을 활용하여 실물 비행기나 제트엔진의 충격 실험을 모사하고 항공기/우주선에서 발생 가능한 초고속 충돌을 재현하는 등 비상체 충돌 실험에 관한 다양한 분야의 연구가 진행되고 있음

(3) 급속재하실험시설

○ 국내외 공통적으로 변형률속도에 따른 재료의 거동 분석에 대한 연구가 급속재하실험을 통해 활발하게 진행되고 있음. 작용하중은 주로 지진, 차량충돌, 파도 등을 모사하고 있으며 국내의 경우 국외에 비해 실험사례가 부족한 실정임

○ 국내의 경우 10^{-6}~100/s까지의 변형률속도를 사용한 반면, 국외의 경우 10^{-5}~1,000/s까지 보다 넓은 범위의 급속재하실험이 수행되고 있음

(4) 극한온도실험시설

○ 구조 재료에 내화성 평가를 위한 연구가 주를 이루고 있으며, 지반에서의 점토의 특성 관측을 위한 연구가 수행된 바 있음. 대부분의 연구는 재료수준의 성능 평가를 목적으로 하는 연구이기 때문에 소규모 온도챔버에서 실험을 수행함

○ 저온을 대상으로 한 실험은 고온의 경우보다 사례가 적으며 고온에서의 실험과 마찬가지로 우주와 같은 극저온환경에 대한 연구가 소규모 온도챔버에서 재료수준의 성능평가 실험이 수행되고 있음. 이는 국내의 실험 및 연구수준이 아직은 초기단계임을 증명함

○ 국내의 동결지반에 대한 연구는 주로 동결토의 부피팽창 특성과, 동결에 의해 야기되는 문제점을 해결하기 위한 실험적인 연구가 진행됨. 반면 동결토의 역학적인 특성, 동상사능성 평가에 대한 연구는 동결지반의 활용, 구조물의 사용성 측면에서 중요함에도 불구하고 이에 대한 국내 연구는 부족한 실정임

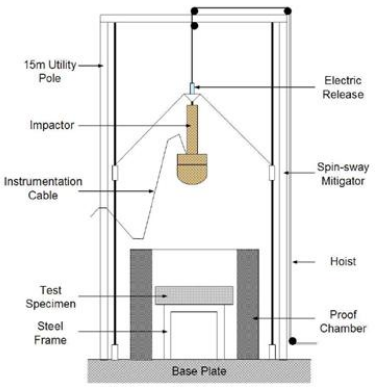
2. 국내외 관련분야 실험시설·장비 구축 현황

가. 국내 현황

(1) 자유낙하실험시설

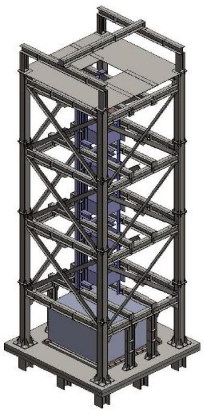
■ 국방과학연구소 다락대시험장

	추 무게 (ton)	낙하높이 (m)	낙하속도 (m/s)
성능	1.4	10	14.0
목적	• 군사시설에 작용하는 충격 하중에 의한 시설의 안전성 검증 • 구조물의 파괴를 발생시키는 충격하중의 산정을 위한 실험		
특징	• 최대 130kJ에 해당하는 충격 모사 가능 • 추를 크레인을 통해 상부에 거치시킨 후 직접 낙하시키는 방식 • 추의 상부와 실험체 측면에 설치된 가이드 프레임은 케이블로 연결되어 있어 추의 낙하 방향 및 지점을 조절		
활용 범위	• 폭발 하중 모사 • 자동차 및 선박 충돌 • 군수기기 장갑 성능 평가 • 낙반 및 산사태 모사		



■ 부산대학교 선박해양플랜트기술연구원

	추 무게 (ton)	낙하높이 (m)	낙하속도 (m/s)
성능	3.0	10	14.0
목적	• 해양환경 및 사고에 의해 발생하는 다양한 종류의 충격에 대한 선박 및 해양시설구조물의 안전성을 평가		
특징	• 2013년 구축 예정 • 최대 300kJ에 해당하는 충격 모사 가능 • 추가 가이드 레일을 따라 내려오면서 하부에 위치한 실험체와 충돌하는 방식		
활용 범위	• 폭발 하중 모사 • 자동차 및 선박 충돌 • 선박 제작 재료 내충격 성능 평가 • 낙반 및 산사태 모사		



(2) 중고속충돌실험시설

■ 충남대학교 가스압력식 고속 비상체 발사장치

	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
성능	400	5~20	0.005~0.01
목적	• 주로 소형 시험체의 고속 충격 시험을 목적으로 사용		
특징	• 질소, 헬륨가스를 사용한 가스압력식 고속 충격 시험장치 • 캐리어에 부착된 강구가 충돌 직전에 분리되어 비상체만 시험체에 충돌 • 비상체는 캐리어에 부착될 수 있는 형태이면 어느 형태든 사용 가능 • 가스압력 조절에 의해 속도를 조절 가능		
활용 범위	• 시험체의 파괴 거동 및 변형 등의 측정		



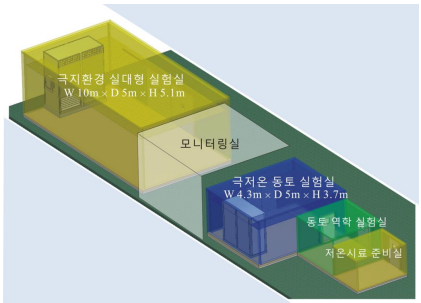
(3) 급속재하실험시설

<table>
<tr><td colspan="3">■ 충남대학교</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성능</td><td>재하하중 (ton)</td><td>하중재하속도 (m/s)</td><td rowspan="5">  </td></tr>
<tr><td>50</td><td>1</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="2">• 구조, 건설용 재료의 파괴까지의 거동 관측
• 소형부재의 정적시험(압축, 휨) 및 급속재하 실험</td></tr>
<tr><td>특징</td><td colspan="2">• 최대 속도성능이 1m/s로 낮지만 하중성능이 크기 때문에 고강도 재료의 시험에 적합</td></tr>
<tr><td>활용범위</td><td colspan="2">• 정적하중 및 준정적 하중, 지진하중의 모사 가능</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="3">■ 카이스트 CSMD 연구실</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성능</td><td>재하하중 (ton)</td><td>하중재하속도 (m/s)</td><td rowspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>3</td><td>7.8</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="2">• 자동차에 사용되는 강재와 같은 재료의 고속 조건에서의 성형성 평가
• 고속조건에서 재료의 특성을 관측하여 관계식 도출이나 정적상태에서의 실험결과와 비교하는 등의 연구에 사용 [40]</td></tr>
<tr><td>특징</td><td colspan="2">• 비교적 작은 하중성능으로 소형 시편을 사용한 재료의 고속 조건에서의 거동, 성형특성 등을 관측</td></tr>
<tr><td>활용범위</td><td colspan="2">• 정적하중 및 준정적 하중, 지진하중의 모사 가능</td></tr>
</table>

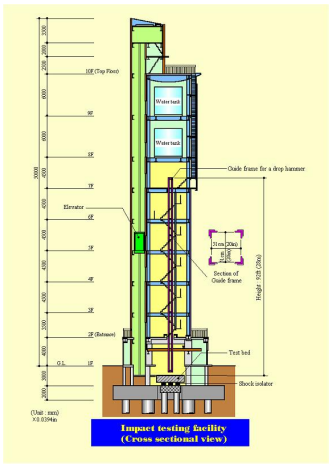
<table>
<tr><td colspan="3">■ 부산대학교 양산 충격공학 연구센터</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성능</td><td>재하하중 (ton)</td><td>하중재하속도 (m/s)</td><td rowspan="4">  </td></tr>
<tr><td>5</td><td>20</td></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="2">• 선박 및 해양플랜트 설비의 구조용 재료 및 단위 구조부재에 작용하는 고속 하중에 대한 동적 구조거동특성을 조사하기 위한 장치</td></tr>
<tr><td>특징</td><td colspan="2">• 유압을 사용, 20m/s의 저속 충격 시험</td></tr>
<tr><td>활용범위</td><td colspan="3">• 정적하중 및 준정적 하중의 모사 가능
• 선박 충돌 하중 모사 가능</td></tr>
</table>

(4) 극한온도실험시설

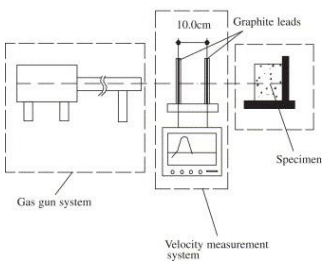
■ 건설기술연구원			
성능	크기 (W×D×H)	온도	
	10m×5m×5.1m	-30~50℃	
	4.3m×5m×3.7m	-50~50℃	
목적	• 남극과 시베리아 등 극한 지역의 환경 모사		
특징	• 특히 동토에 대한 실험에 특화 • 지반의 동상, 동결융해 거동 분석 실험과 제어범위의 온도 조건에서의 건설 자재에 대한 인증실험, 도로 지반의 동상성 판정 평가 실험 수행		
활용 범위	• 남극, 시베리아 등 극한지역의 환경모사		

나. 국외 현황

(1) 자유낙하실험시설

■ 방위대학교(일본)				
성능	추 무게 (ton)	낙하높이 (m)	낙하속도 (m/s)	
	3.0	25	22.1	
목적	• 군사시설에 작용하는 충격 하중에 의한 시설의 안전성 검증 • 구조물의 파괴가 발생하는 충격하중의 산정을 위한 실험			
특징	• 현존 세계 최대 규모의 낙하장비 • 기존 시계탑 내부를 개수하여 시설을 구축 • 최대 750kJ에 해당하는 충격 모사 가능 • 추가 가이드 레일을 따라 내려오면서 하부에 위치한 실험체와 충돌			
활용 범위	• 폭발 하중 모사 • 자동차 및 선박 충돌 • 군수기기 장갑 성능 평가 • 건설재료 강도 및 내충격성능 평가 • 낙반 및 산사태			

(2) 중고속충돌실험시설

■ Defence Science and Technology Agency of Singapore				
성능	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)	
	620~700	12.6	0.015	
목적	• 부재 단위에 대한 고속 충격 실험			
특징	• Resistance of High-Strength Concrete to Projectile Impact (Zhang et al., 2005)에서 사용 • 12.7mm의 One Stage Gas Gun System			
활용 범위	• 고강도 콘크리트 벽체에 대하여 노즈콘 모양의 탄환을 이용한 충격 실험을 수행			

■ Fraunhofer EMI(독일)

성능	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
	10~8,000	10~500	0.0001~100,000
목적	• 비상체 질량 및 속도 조건에 따른 다양한 종류의 충격 실험 수행		
특징	• 총 9대의 Gas gun 타입의 비상체 발사 실험 장치 • 화약식 2단 가속 (Chemical energy of a propellant powder type)을 갖추어 10km/s 급의 발사 실험도 수행 가능함.총 9대의 Gas gun 타입의 비상체 발사 실험 장치		
활용 범위	• 미사일 충격을 모사하는 저속 충격 실험 • 재료/소재/부재 단위의 충격 실험이 모두 가능함 • 항공/우주선 표면의 충격능력 평가를 위한 고속 충격 실험		



■ Nagoya University(일본)

성능	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
	350~900	4~25	0.1~10
목적	• 재료 레벨에서의 파괴특성 평가		
특징	• 가스압력식(약 350m/s),화약식(약 1000m/s) 충격시험장치를 모두 구축 • 헬륨가스에서 얻어지는 비상체의 최고 속도의 평균은 350m/sec • 비상체는 직경 7mm, 전장 10mm의 원형의 Sabot와 함께 가속됨 • 가속된 비상체와 Sabot는 Sabot stopper에 의해서 분리되어 비상체만이 시험체에 충돌하게 됨		
활용 범위	• 콘크리트의 파괴거동 평가 • 방탄 소재의 방탄 성능 및 내구성 평가		



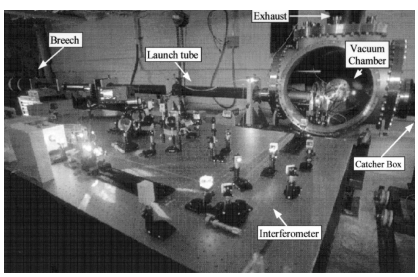
■ IAT light-gas gun, NASA(미국)

성능	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
	6,500	12.6	0.015
목적	• 최대 6,500m/s에 이르는 고속 충격 실험 수행		
특징	• 115mm/38mm 의 Two stage gas gun이 사용함 • 3MJ 까지의 에너지를 발휘함 • 최대 속도 6,500m/s • 설치 및 해체가 가능한 Impact chamber를 갖춤 • 타겟은 20m까지 떨어진 곳에도 설치가 가능		
활용 범위	• 지구 근처의 궤도를 순환하는 위성과 우주 잔해물의 충돌 모사 • 우주선/위성 등의 설계 및 안정성 확보를 위한 합성재료의 충격 실험 • 태양계 내의 행성들의 복잡한 지질학적 형성 과정의 모사		



■ Northwestern Univ.(미국)

성능	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
	400~1,200	25~153	~50
목적	• 충격 실험 수행을 통한 재료의 동적변형이나 파괴모드 평가		
특징	• 3종류의 Gas gun을 이용하여 다양한 범위의 실험 수행 가능 • 56mm, 152mm, 25mm의 1 Stage gas gun으로 구성 • 발사되는 발사체의 모양과 재료 및 질량을 달리 하여 충격량을 확보함		
활용 범위	• 판형 구조물 사이의 충격 복구 실험(Impact recovery experiment) • 중속 충격 실험을 통한 콘크리트의 재료적 특성/내충격 성능 파악		



■ VTT Technical Research Centre of Finland(핀란드)

성능	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
	200	250	100
목적	• 충돌체가 변형을 일으키는 Soft impact와 변형이 일어나지 않는 Hard impact 발생시 구조물의 거동을 평가		
특징	• 충돌체의 초기 운동에너지를 생성시키기 위한 Pressure accumulator와 충돌체의 가속을 위한 Acceleration tube로 구성됨 • 최대 100kg의 비상체가 사용 가능함		
활용 범위	• 저속 충격 실험을 통한 원전에 대한 비행기 엔진의 충격 실험 • Soft impact test와 Hard impact test로 구분하여 실험 수행 • Soft impact 실험에는 알루미늄 파이프 미사일(지름 0.25m, 두께 5mm), 비행기를 모사한 알루미늄 파이프 모형(지름 0.2m, 두께 4mm, 날개 및 엔진 포함), 콘크리트 슬래브(두께 0.15m)가 사용 • Hard impact 실험에는 강재 미사일(지름 0.15m, 두께 10mm, 콘크리트 채움)과 프리스트레스트 콘크리트 슬래브(두께 0.25m)가 사용		



■ Southwest Research Institute(미국)

성능	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
	6,000~7,000	1~2	0.005~1
목적	• 6~7km/s에 이르는 고속 충격 실험 수행		
특징	• 38mm의 Launch tube를 이용함 • 7km/s까지의 발사가 가능함		
활용 범위	• 지구 근처의 궤도를 순환하는 위성과 우주 잔해물의 충돌 모사 • 우주선/위성 등의 설계 및 안정성 확보를 위한 합성재료의 충격 실험 • 태양계 내의 행성들의 복잡한 지질학적 형성 과정의 모사		



■ 동경공업대(일본)

성능	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
	300	200	3~5
	300~4,000	20~200	0.02~5
목적	• 시료에 다양한 직경의 대형 비상체를 고속 충돌시켜 부재의 고속충돌로 인한 파괴를 시험할 수 있음.		
특징	• 화약식과 공기압축 방식을 가지고 다양한 속도와 질량에 대한 비상체 충돌 속도를 구현 가능		
활용 범위	• 미사일 충격을 모사하는 저속 충격 실험 • 재료/소재/부재 단위의 충격 실험이 모두 가능함 • 항공/우주선 표면의 충격능력 평가를 위한 고속 충격 실험		



(3) 급속재하실험시설

■ BAM(독일)

성능	재하하중 (ton)	하중재하속도 (m/s)
	5	25
	63	8.5
	100	4.5
목적	• 재료 연구 및 시험을 위한 연방 연구소로 재료의 기술적 생산성 혁신 측정 및 성능 보장에 대한 연구 수행	
특징	• 분석화학, 위험 재료의 안전한 취급, 재료의 친환경적 사용, 재료의 파괴 메커니즘과 피해 분석 등의 연구수행 [6]	
활용범위	• 준정적 하중, 지진 등 동적하중 모사 가능	



■ 방위대학교(일본)

성능	재하하중 (ton)	하중재하속도 (m/s)
	98	4
목적	• 동적하중 재하시 구조 부재와 재료에 하중 재하 속도의 영향 연구	
특징	• 부속품을 통해 일축 인장 시험뿐 아니라 삼축 압축 시험도 가능	
활용범위	• 정적하중 및 준정적 하중의 모사 가능	



■ UC San Diego(미국)

성능	재하하중 (ton)	하중재하속도 (m/s)
	50	34
목적	• Blast simulator를 보유하여 구조물의 폭발 하중 재하 실험을 수행 [44]	
특징	• 실제 폭발물을 폭발시키지 않고 유압 가력기들의 조합을 통해 순간적인 하중을 가해 폭파 하중을 모사 • 폭발 실험의 안전성을 높이고 기존 실물 폭발 실험의 제약 조건을 극복하여 실내실험이 가능	
활용범위	• 폭발하중에 대한 모사 가능	



(4) 극한온도실험시설

■ OWI Appliocation Lab(벨기에)

성능	크기 (W×D×H)	온도
	10m×7m×8m	-60~60℃
목적	• 해상 풍력 에너지에 관한 혁신 프로젝트를 시작, 지원하는 것을 목표로 하여 2008년 설립	
특징	• 풍력 에너지 관련 산업이 목표에 도달할 수 있도록 장비의 테스트와 모니터링을 통해 해상 풍력 단지의 신뢰성 확보를 추구 • 극한온도 하에서 풍력 터빈의 성능과 신뢰도를 평가하는 실험 수행	
활용범위	• 해상의 환경, 극한상황에서의 온도범위 모사 가능	



■ Arsenal(오스트리아)

성능	크기 (W×D×H)	온도
	5.1m×33.8m×6m	-45~60℃
	5.6m×100m×6.2m	
목적	• 온도, 바람, 강설, 습도 등 차량과 관련되는 환경하중 모사 가능	
특징	• 극한온도하에서 차량의 주행 시뮬레이션, 엔진실의적설 테스트, 철도 차량에서 에너지 소비주기를 결정하는 것과 같은 새로운 시험 절차의 개발 등의 연구 수행	
활용범위	• 차량에 대한 극한상황에서의 환경모사 가능	



■ QinetiQ(영국)

성능	크기 (W×D×H)	온도
	24.5m x 25m x 5.4m	-70~70℃
	7.5m x 4.0m x 5.0m	
목적	• 영국의 방위산업체로 국방, 보안 등에 관련된 각 종 장비의 성능 실험 수행	
특징	• 저속 풍동 터널을 보유하여 헬기, 무인기, 제트기, 항공기를 포함한 무기 시스템에 대한 성능 평가 시험 수행 • 테스트 선박 및 잠수함 구조에 충격을 줄 수 있는 시설 활용	
활용범위	• 각종 장비에 대한 극한상황에서의 환경모사 가능	



■ SSC(Soldier Systems Center)(미국)

성능	크기 (W×D×H)	온도
	7.6m×4.6m×3m	-45~21℃
	18m×4.5m×3m	-57~74℃
목적	• 군사 장비와 사람들이 극한상태의 온도, 강우, 습도, 바람 등 환경에 노출에 대한 영향 연구	
특징	• 천막, 낙하산, 의료기기 등의 성능을 군사장비를 온도, 습도 등의 환경인자를 변화시키면서 평가 • 사람들이 직접 극한환경 챔버에 작업 비율의 다양성을 시뮬레이션	
활용범위	• 다양한 범위의 극한환경 모사 가능	



다. 소결

(1) 자유낙하실험시설

○ 세계적으로 일본 방위대학교의 장비가 최대의 성능(추 무게 3ton, 낙하높이 25m)이며, 국내의 경우 선박해양플랜트연구원의 장비가 가장 우수하나(추 무게 3ton, 낙하높이 10m) 2013년에 구축이 되어 실제적인 활용은 전무함

(2) 중고속충돌실험시설

○ 국내에서는 비상체 발사 실험을 수행할 수 있는 시설 자체가 많지 않으며, 해당 시설에서 사용 가능한 발사체 속도 역시 100~400m/s에 그치고 있음. 또한 발사체의 크기나 질량 역시 제한되어 있어서 초고속 실험이나 미사일 충격 실험 등을 수행할 수 없음

○ 국외의 경우 속도 및 발사체 조건에 따른 실험 장비들을 고르게 갖추고 있으므로 다양한 종류의 충격 실험을 수행할 수 있음

○ 최대 200kg에 해당하는 비상체를 발사하여 비행기 엔진의 충격 실험을 수행할 수 있음. 또한 최대 7km/s까지 비상체 발사가 가능한 실험 장비를 통해 우주 공간에서 발생하는 위성과 잔해물과의 충돌을 모사할 수 있어 기계/항공분야에서 사용되는 신소재 개발 및 충격에 대한 성능 검증에도 폭 넓게 활용됨

[표 3] 국가별 비상체 발사 실험 장비 성능

국가	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
한국	400	5~20	0.005~0.01
싱가포르	620~700	12.6	0.015
독일	10~8,000	10~500	0.0001~100,000
일본	350~900	4~25	0.1~10
일본	300	200	3~5
일본	300~4,000	20~200	0.02~5
미국	6,500	12.6	0.015
미국	400~1,200	25~153	~50
미국	6,000~7,000	1~2	0.005~1
핀란드	200	250	100

(3) 급속재하실험시설

○ 국내에는 구조 연구를 위한 실험장비와 시설이 거의 없는 상황이며, 국외의 경우 국내보다 다양한 실험시설이 존재함

○ 국내의 실험시설은 대부분 낮은 변형률 속도에서 하중성능은 높은 편이지만 하중재하속도 성능은 상대적으로 낮은 편이기 때문에 다양한 변형률 속도 범위의 실험을 수행하는데 한계가 있음

(4) 극한온도실험시설

○ 국내에는 대규모 극한온도실험시설을 보유한 실험실이 전무하며, 건설기술교육원에서 보유한 극한공학실험실이 유일한 대형 실험시설이나, 동토연구에 특성화되어있으므로 구조분야를 위한 대규모 극한온도실험시설은 전무한 상황임

○ 국외의 경우 구조분야에 특화되어 있는 대규모 극한온도실험시설은 없지만 자동차, 비행기 등을 극한온도에서 성능 평가 가능한 대규모 극한온도실험시설은 다양한 나라에서 보유, 운영하고 있음

3. 종합분석

○ 유치하고자 하는 실험시설이 국제경쟁력을 확보하고 활용성을 높이기 위해서 갖춰야 할 성능 및 규모 등이 제2장 1절 및 2절에 걸쳐, 분석한 연구동향, 시설(장비) 구축현황, 기술개발 수준에 근거하여 다음과 같이 제안함

(1) 자유낙하실험시설

[표 4] 자유낙하실험시설 기본설계 대비 성능비교

권장 최소 요구성능 (기본설계)	권장 최소 요구성능 (제안설계)
• 최대 낙하높이 : 15m • 최대 낙하하중 : 3ton	• 최대 낙하높이 : 15m • 최대 낙하하중 : 3ton • 낙하추 두부의 형상 및 강도 조절 가능

○ 자유낙하충격실험 시 추의 충돌로 인한 충격의 크기는 추 무게 및 낙하속도에 의해 전적으로 결정되므로 성능 결정 시 두 가지 측면을 동시에 고려하여 최대 낙하높이 15m에 최대 추 무게 3ton으로 성능을 제안함

○ 국내 최대성능은 부산대학교 선박해양플랜트기술연구원의 장비(추 무게 3ton, 낙하높이 10m)이며 국외 최대성능은 일본 방위대학교 장비(추 무게 3ton, 낙하높이 25m)임

○ 장비 구축 시 충격에 의한 변형 방지를 위해 상당히 큰 규모의 하부 기초 조성 작업이 필요하며 장비구축 비용 중 추의 낙하 유도를 위한 가이드 레일 및 전체 시설의 프레임이 차지하는 비중이 매우 크고 이는 곧 낙하 높이에 비례함

○ 국외 최대성능을 보유한 일본 방위대학교 장비는 기존 학교 시계탑 건물을 개수하여 구축한 것으로 실험만을 목적으로 한 시설이 아닌 까닭으로 최대 낙하 높이는 25m이지만, 실제

25m에서 낙하시킬 경우 시설 자체에 큰 부담으로 작용하는 것으로 파악되며 실제 일본 방위대학교에서 수행된 연구[표 5]의 낙하높이 역시 10m 이내임

○ 기존에 수행된 국내외 연구의 성능 요구 수준[표 5, 6]을 분석하면 최대 낙하 높이는 10m로 나타남. 향후 실제적인 연구 적용성이 크다고 판단되는 낙하높이는 5~15m의 범위로 판단되므로 국제적 수준의 연구 수행이 가능한 시설 구축을 위해 최대 낙하높이를 15m로 설정함

○ 추의 두부(Head) 형상 및 강도를 조절 할 수 있는 부대장비(Accessary)를 설치하면 피충돌체에 가해지는 하중 및 전달 속도의 조절이 가능하므로 추의 무게를 필요 이상으로 늘리는 것은 최선이 아니라 판단되어 최대 낙하하중은 기본설계 , 국내/국외 최대성능 및 기 수행된 연구의 요구 성능 수준[표 5, 6]에 준하여 3 ton으로 설정하였음

[표 5] 국내에서 수행된 자유낙하충격실험 조건

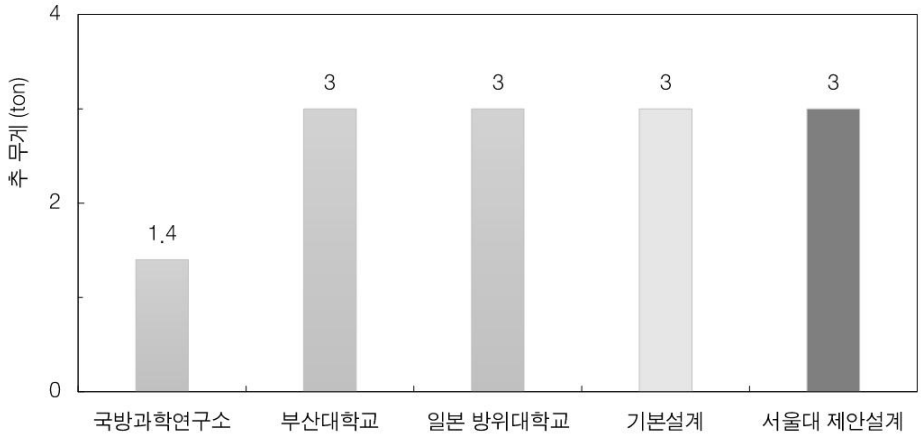
연도	참고 논문	실험체 종류	낙하높이(m)	낙하하중(ton)
2013	Ref. 84	콘크리트 슬래브	10	1.4
2012	Ref. 83	콘크리트 슬래브	10	1.4
2011	Ref. 76	콘크리트 슬래브	0.7	0.03
2012	Ref. 75	콘크리트 슬래브	1.05	0.01
2012	Ref. 74	콘크리트 보	1.05	0.01

[표 6] 국외에서 수행된 자유낙하충격실험 조건

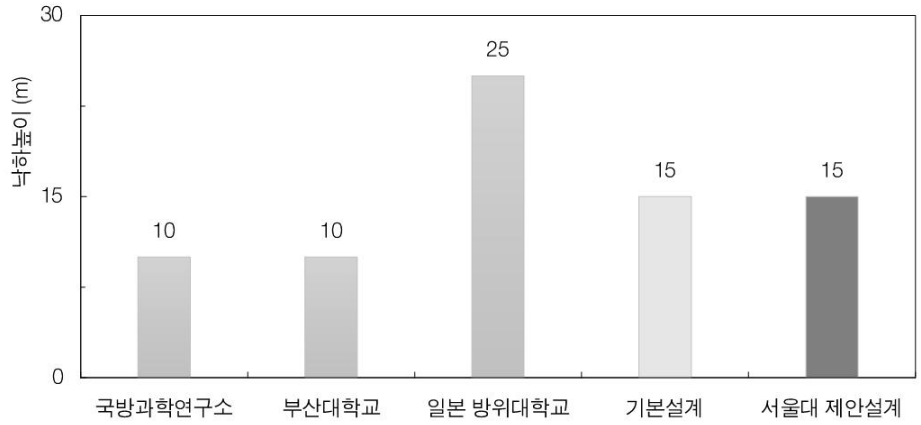
연도	참고 논문	실험체 종류	낙하높이(m)	낙하하중(ton)
2003	Ref. 49	보통강도 콘크리트 원형 공시체	2.5	3.0
2005	Ref. 42	고강도 콘크리트 원형 공시체	2.5	3.0
2006	Ref. 31	콘크리트 기둥	2	0.16
2007	Ref. 21	콘크리트 보	0.2	0.013
2007	Ref. 20	콘크리트 보	2.5	0.6
2009	Ref. 16	콘크리트 보, 슬래브	2	0.1
2009	Ref. 11	콘크리트 보	2.5	0.4

[표 7] 자유낙하실험시설 성능 비교

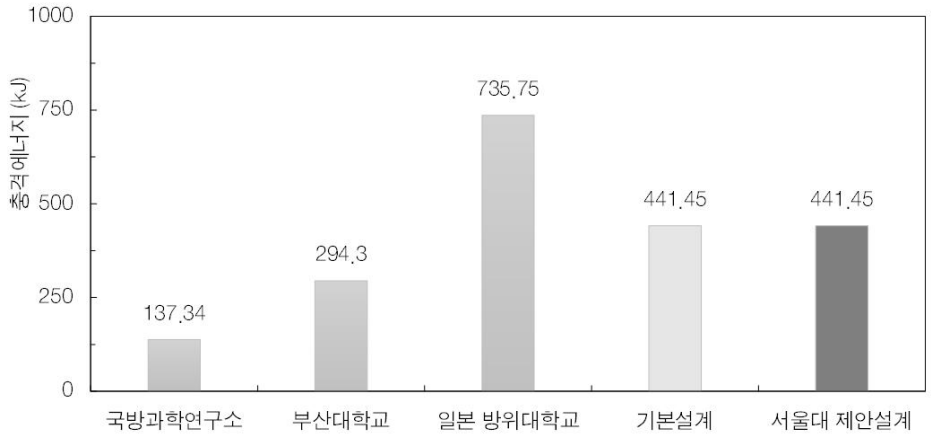
규모	기존 실험 시설 성능		
	최소	최대	평균
추 무게 (ton)	1.4	3.0	2.1
낙하높이 (m)	10.0	25.0	15.0
낙하속도 (m/s)	14.0	22.1	16.7



[그림 23] 자유낙하실험시설 각 시설 별 추 무게 비교



[그림 24] 자유낙하실험시설 각 시설 별 낙하높이 비교



[그림 25] 자유낙하실험시설 각 시설 별 충격에너지 비교

(2) 중고속충돌실험시설

○ 세계 수준의 고속 충격 실험 수행을 위하여 충격속도 2,000m/s 이상 7,000m/s 이하, 발사체 질량 최대 15g의 발사가 가능한 성능의 실험시설 구축이 필요함

○ 초고속충돌실험에 관한 연구는 우주, 항공, 국방 등에서 주로 수행됨. 우주/항공 분야에서 초고속 충격은 주로 지구 근처의 궤도를 순환하는 위성과 우주 잔해물(Debris)과의 충돌을 모사하며, 특히 합성 재료에 대한 초고속 충격은 우주선이나 위성 등의 설계 및 안정성 확보에서 필수적임

○ 또한 태양계 내의 행성들의 복잡한 지질학적 형성 과정을 이해하기 위해서는 초고속충돌실험을 통한 분출물 거동을 파악하는 연구가 기초적으로 수행됨

[표 8] 중고속충돌실험시설 기본설계 대비 성능 비교

기본설계		제안설계	
장비	권장 최소 요구성능	장비	성능
High speed propulsion impact machine	• 직경 : 5.5mm • 비상체 중량 : 10~30g • 충돌속도 : 5,000m/s	Hyper speed propulsion impact machine	• 직경 : 24mm • 비상체 중량 : 24g • 충돌속도 : 7,000m/s
	• 직경 : 60mm • 비상체 중량 : 100g • 충돌속도 : 800m/s	High speed propulsion impact machine	• 직경 : 60mm • 비상체 중량 : 5kg • 충돌속도 : 1,000m/s
Middle speed propulsion impact machine	• 직경 : 200mm • 비상체 중량 : 5kg • 충돌속도 : 300m/s	Middle speed propulsion impact machine	• 직경 : 250mm • 비상체 중량 : 100kg • 충돌속도 : 250m/s

○ 표 9에서와 같이, 초고속충돌실험(비상체 속도 1,000m/s 이상)의 경우 충돌속도가 최소 1,400m/s에서 최대 7,140m/s까지 이르며 비상체 중량은 0.07g에서 최대 50g, 직경은 약 1mm~6mm이 적용됨

○ 이 중, 비상체 중량 50g의 경우 충격속도가 2,200m/s 정도로 초고속충돌실험을 고려했을 때는 낮은 편에 속함. 즉 7,000m/s 까지의 충돌속도가 요구되는 우주/항공 분야에서의 실험에서는 보통 0.001~5g 정도의 비상체 질량를 사용함

○ 따라서 Sabot을 포함한 비상체 질량 24g에 대하여 7,000m/s의 속도로 충돌이 가능할 경우 세계 수준에 이르는 실험 수준을 구현할 수 있음

[표 9] 국외에서 수행된 초고속충돌실험 조건

연도	참고 논문	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (g)
2000	Ref. 51	2,000~7,000	3.16~9.3	0.001~0.2
2001	Ref. 33	2,710~7,140	1.5	0.001~0.2
2008	Ref. 56	2,900~6,400	0.96~3.94	0.17~0.35
2008	Ref. 14	1,400~2,200	6.25	51.5
2003	Ref. 3	~6,500	6.35	29.0
2013	Ref. 3	4.8~5.3	2.5	0.07

- 다양한 소재의 파괴거동 평가를 위한 고속충돌실험을 위하여 최대충돌속도 1,000m/s, 최대 비상체 중량 5kg의 실험시설 성능이 요구됨
- 고속충돌실험은 충격에 대한 재료의 거동을 이해하는 데 주로 활용됨. 충격하중에 대한 콘크리트 구조물의 내충격 성능을 평가하거나 군수용 장갑재료 및 자동차, 항공기, 고속전철 등의 구조재료로 광범위하게 사용되는 합금이나 티타늄 합금 등의 고속충격 거동에 대한 실험적 연구들이 주로 수행됨
- 표 10과 같이 국내의 경우 0.2~4g 내외의 중량을 가지는 비상체를 이용, 최대 350m/s의 충돌속도로 실험을 수행함. 국외의 경우 표 11에서 볼 수 있듯이 일반적으로 10~35mm 정도의 직경에 1 kg 내외의 중량을 가지는 비상체를 사용하여 최대 1,000m/s의 충돌속도로 실험을 수행함
- 따라서 1,000m/s의 속도로 발사가 가능할 경우 다양한 종류의 소재의 충격 거동을 평가하는데 무리가 없을 것이라 판단됨
- 한 편 비행기 엔진과 원전의 충격을 모사할 때 소축적 적용시 2~3kg 정도의 비상체로도 비행기 엔진을 모사할 수 있음 (충격속도=250m/s) [50]. 이를 근거로 고속충돌실험에서 엔진충돌을 구현하고자 비상체 최대 중량을 5kg로 함

[표 10] 국내에서 수행된 고속충돌실험의 실험조건

연도	참고 논문	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (g)
2009	Ref. 73	~350	4	0.26
2011	Ref. 69	~350	4	0.26
2003	Ref. 72	~350	10	4.07

[표 11] 국외에서 수행된 고속충돌실험의 조건

연도	참고 논문	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
2005	Ref. 62	620~700	12.6	0.015
2008	Ref. 7	100~500	~35	0.05~1
2008	Ref. 46	200~1,000	10	0.06

○ 비행기 엔진의 원전에 대한 충격을 모사하기 위하여 최대 충돌속도 250m/s 이하, 최대 비상체 중량 100kg의 발사가 가능한 성능의 실험시설 구축이 요구됨

○ 중속충돌실험의 대표적인 예는 원전의 비행기 충격을 실험적으로 모사하고 그 때의 재료적 거동을 파악하기 위하여 수행되는 미사일 충격 실험임. 이는 벽체의 Bending/Punching 거동을 평가하고 수치해석에서 필요한 재료의 동특성 성질을 얻을 수 있는 중요한 실험으로 크기효과를 고려, 중축적 실험을 수행해야 함

○ 표 12에 중속충돌실험의 조건을 정리함. 일반적으로 50~100kg 정도의 비상체 중량을 적용, 충돌속도 100~250m/s의 실험을 수행함[50]. 이를 기준으로 중속충돌실험의 비상체 중량은 최대 100kg를 발사 가능하도록 하였으며, 충돌속도를 200~250m/s까지 확보하여 이 분야에서의 세계적 경쟁력을 확보함

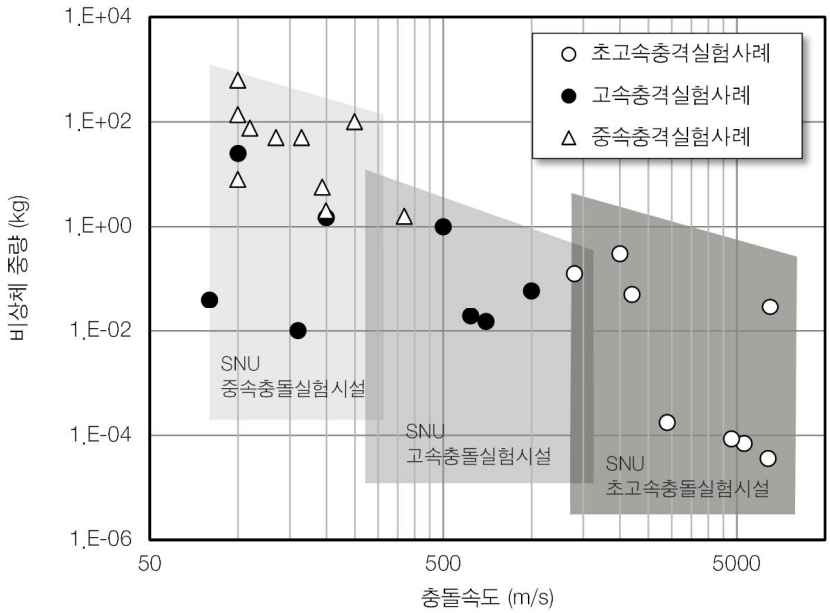
○ 그림 26에 서울대학교 제안설계가 구현 가능한 비상체 중량/충돌속도 조건을 각 장비에 따라 음영으로 나타냄

○ 기존에 수행된 국내외 충격실험사례를 모두 구현 가능함

○ 초고속충격실험시설과 고속충격실험시설의 경우 기존 충격실험사례의 수준을 상회하는 세계 최고 수준의 성능을 발휘할 수 있는 것으로 나타남

[표 12] 국외에서 수행된 중속충돌실험의 실험 조건

연도	참고 논문	충격속도 (m/s)	발사체 지름 (mm)	발사체 질량 (kg)
1991	Ref. 29	200	60	2
1993	Ref. 50	100~250	101, 300	3.6, 100
2010	Ref. 17	110~135	160~200	47~50
2010	Ref. 43	194~369	<90	1.575
2013	Ref. 8	165	256	50
2013	Ref. 43	166	253	50



[그림 26] 중고속충돌험시설 사례 및 제안설계의 실험범위

(3) 급속재하실험시설

○ 국내외 연구동향을 고려한 결과 최고 사양의 급속재하실험 수행을 위하여 재하하중 40ton, 하중재하속도 25m/s의 성능을 갖춘 실험시설 구축이 필요함

○ 하중재하속도는 목표 변형률 속도과 계측 길이에 따라 결정됨

[표 13] 급속재하실험시설 기본설계대비 성능 비교

기본설계		제안설계	
장비	권장 최소 요구성능	장비	성능
High speed hydraulic loading machine	• 재하하중 : 40ton • 재하속도 : 25m/sec	High speed hydraulic loading machine	• 재하하중 : 40ton • 재하속도 : 25m/sec

○ 국내에서 수행된 급속재하실험의 경우 변형률 속도의 범위가 10^{-6}~100/s 내외인 반면 국외의 경우 0.00005~1,000/s의 변형률 속도 범위에서 연구가 수행됨. 100/s 이상의 고 변형률 속도의 영역에서 연구를 통해 국외의 연구수준과의 격차를 줄이고 국가 경쟁력을 갖추기 위해서 콘크리트의 변형률 속도는 100/s, 차량 충돌 모사 실험에 사용되는 강재, 복합재 등의 재료는 500/s을 목표로 함

○ 표 14와 같이 국내외 실험사례를 통해 구한 목표 변형률 속도를 얻기 위해 필요한 하중재하속도 성능은 25m/s임

[표 14] 기존 연구사례를 통한 재료별 목표 하중재하속도성능

참고 문헌	재료	실험조건			제안성능	
		Gage Length (mm)	Strain rate (/s)	속도 (m/s)	목표 Strain rate (/s)	목표 속도 (m/s)
26	강재	25	500	12.5	500	12.5
9	강재	13	500	6.5	500	6.5
36	강재	12.5	0.12	1.5×10^{-3}	500	6.25
40	강재	33	500	16.5	500	16.5
47	콘크리트	100	0.1	0.01	100	10
		150	20	3	100	15
64	콘크리트	50	23	1.15	100	5
58	콘크리트	160	0.01	1.6×10^{-3}	100	16
57	콘크리트	76	0.1	7.6	100	7.6
63	콘크리트(압축)	50	2.1×10^{-4}	1.05×10^{-5}	100	5
15	콘크리트(압축)	50	10^{-6}	5×10^{-8}	100	5
		50	10^{-6}	5×10^{-8}	100	5
		50	10^{-6}	5×10^{-8}	100	5
		50	10^{-6}	5×10^{-8}	100	5
		50	10^{-6}	5×10^{-8}	100	5
		50	10^{-6}	5×10^{-8}	100	5
19	Polymer	16	200	3.2	500	4
41	Polyurea	50	388	19.4	500	25
48	Mg	12.7	1,000	12.7	1,000	12.7

○ 재하하중성능은 재료의 목표 강도와 시험체의 단면적에 따라 결정됨

○ 국내외에서 수행된 기존실험에서 사용되는 실험체의 단면적과 재료의 강도를 고려하여 콘크리트 압축 40MPa, 인장 30MPa, 강재 3,000MPa, 폴리머 등 복합재 1,000MPa의 강도 도달을 목표로 재하하중를 결정하도록 함

○ 표 15와 같이 국내외 실험사례를 통해 구한 목표 강도를 얻기 위해 필요한 하중재하속도성능은 40ton임

[표 15] 기존 연구사례를 통한 재료별 목표 재하하중성능

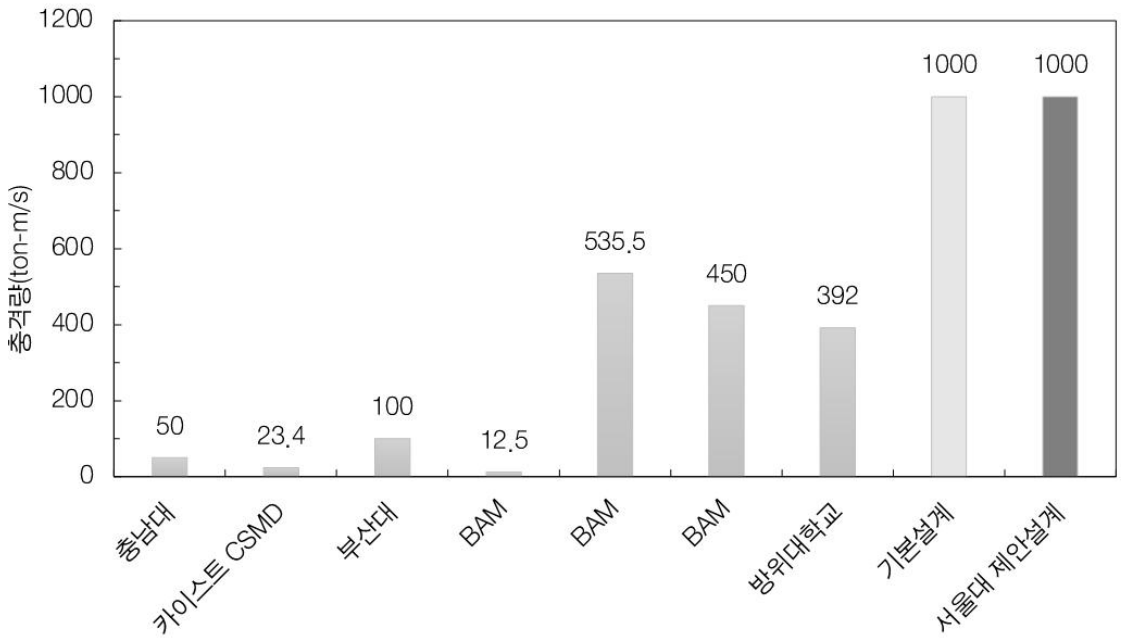
연구	재료	시편 제원			실험 조건		제안성능	
		시편형상	크기 B×W×L (mm)	단면적 (mm^2)	최대 강도 (MPa)	최대 하중 (kN)	목표 강도 (MPa)	목표 하중 (kN)
26	강재	판	25×1.4×150	35	1,188	38.92	3,000	105
9	강재	원형나사	Φ0.51×3.5	0.2	2,500	0.5	3,000	0.6
36	강재	봉	Φ10×150	78.5	563	44.2	3,000	236
40	강재	판	6×2×33	12	180	2.16	3,000	36
47	콘크리트	직육면체	50×10×300	500	23.4	11.7	30	15
			25×10×250	250	23.4	5.85	30	7.5
64	콘크리트	직육면체	25×12×150	300	17.86	5.36	30	9
58	콘크리트	원기둥	Φ68×160	3,632	5	18.16	30	109
57	콘크리트	도그본	41×25	1,025	22	22.55	30	30.75
63	콘크리트(압축)	원기둥	Φ75×150	4,418	127	561	40	177
15	콘크리트(압축)	원기둥	Φ75×150	4,418	90	398	40	177
		원기둥	Φ100×200	7,854	90	707	40	314
		정육면체	33×33	1,089	96.1	105	40	44
		정육면체	50×50	2,500	102.4	256	40	100
		정육면체	67×67	4,489	104.2	468	40	180
		정육면체	100×100	10,000	110	1,100	40	400
19	Polymer	판	6.5×2.7×36	17.55	250	4.4	1,000	17.55
41	Polyurea	판	29×6×296	174	45	7.83	1,000	114
48	Mg	도그본	25.4×1.93	49	200	9.8	1,000	49

○ 기존 실험시설의 성능 비교 결과 제안 실험시설이 우수한 성능 발현 가능

- 급속재하실험시설 특성상 재하하중의 크기 및 재하속도의 성능을 각각 비교하는 것은 무의미하며 두 성능의 곱인 충격량이 실제적으로 실험에서 목표로 하는 충격의 전달량을 의미하므로 성능 비교에 합리적임
- 제안성능과 기존 실험시설의 충격량 성능을 비교한 결과 제안 실험시설의 충격량이 기존 실험시설보다 높은 충격량의 전달이 가능하므로 우수한 성능 구현이 가능함

[표 16] 급속재하실험시설 성능 비교

규모	기존 실험 시설 성능		
	최소	최대	평균
재하하중(ton)	3	100	46
하중재하속도(m/s)	1	20	7
충격량(ton・m/s)	12.5	535.5	319



[그림 27] 급속재하시험장비 성능비교

(4) 극한온도실험시설

○ 극서, 극한지의 실제 환경을 모사할 수 있는 온도조절범위 -60~60℃에 반력상 위에 12m×5m×3m 의 규모의 고저온 챔버를 설치하여 500kN급 UTM을 활용하여 고온/저온시 재료 및 구조 성능평가 시험이 가능한 극한온도실험시설 설계를 제안

- 국내외 기준연구시설의 규모 및 온도조절범위를 표 18에 나타냄
- 국내의 극한온도실험시설의 경우 소규모 극한온도실험시설에서 재료단위의 성능평가 실험 수행이 가능함. 최근 구축된 건설기술연구원의 극한실험동의 경우 비교적 큰 규모와 큰 폭으로 온도조절이 가능한 고저온 챔버를 보유하였으나, 동토에 관한 연구에 특성화되었으므로 구조분야 연구 활용에는 한계가 있음

[표 17] 극한온도실험시설 기본설계대비 성능 비교

권장 최소 요구성능 (기본설계)	권장 최소 요구성능 (제안설계)
• 온도조절범위 : ±60℃ • 500kN 급 Dynamic UTM • 고온/저온시 재료/구조 성능평가 시험 가능 • 규모 : 12m(L) × 5m(B) × 3m(H)	• 온도조절범위 : ±60℃ • 500kN 급 Dynamic UTM • 고온/저온시 재료/구조 성능평가 시험 가능 • 규모 : 12m(L) × 5m(B) × 3m(H)

[표 18] 기존연구시설의 극한온도실험시설 크기와 온도범위

기존연구시설	규모(W×D×H)	온도조절범위
건설기술연구원	10m×5m×5.1m	-30~50℃
OWI Appliocation Lab	10m×7m×8m	-60~60℃
Arsenal	5.1m×33.8m×6m	-45~60℃
	5.6m×100m×6.2m	
QinetiQ	24.5m×25m×5.4m	-70~70℃
	7.5m×4.0m×5.0m	
SSC	7.6m×4.6m×3m	-45~21℃
	18m×4.5m×3m	-57~74℃

○ 국외의 경우 극한온도에서 자동차, 비행기 등의 성능을 평가하기 위하여 대규모의 고저온 챔버를 구축하였음. 그러나 동적 구조실험이 가능한 대규모 극한온도실험시설은 아직까지 구축되어 있지 않음

- 최근 중동과 같은 극서지역의 건설시장이 넓어지고, 남극의 자원 소유권을 확보하기 위한 남극 기지 건설 경쟁 등 극한지역에 대한 관심이 높아지면서, 관련 지역 설계뿐만 아니라 시공기술의 필요성이 증대되고 있음. 온도조절범위는 기존 시설들의 성능에 준해서 극서지인 사막과 극한지인 남, 북극의 온도를 모사할 수 있는 -60~60℃를 제안함
- 세계 수준의 경쟁력 확보 및 건설인프라에 대한 연구 실효성 증대를 도모하고자 극한온도 상황에서의 재료 및 구조 성능평가 시험이 가능하도록 하며, 이를 위해서 -60~60℃에서도 사용가능한 500kN급 UTM을 활용한 동적 하중재하 실험이 가능하도록 반력상 위에 12m×5m×3m의 규모의 고저온 챔버를 갖춘 극한온도실험시설을 제안함

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 건축공사

가. 실시설계 주요 추진 경과

[표 19] 실시설계 주요 추진 경과

No.	날짜	추진 경과	Page
1	2014.01~03	설계 발주 및 사업자선정 방식 결정	41
2	2014.03~04	기본설계 보완 및 실시설계요령 작성	42
3	2014.05.02.	조달청 실시설계 공고	42
4	2014.06.13.	설계사 계약	42
5	2014.06.24.	국내 대형실험시설 실무자 초청 자문회의 개최 및 실시설계 반영	43
6	2014.07.11.	과업수행계획서 승인 및 설계 착수	44
7	2014.08.01.~02.	증축부지 현황측량 수행	44
8	2014.10.17.	기존건물의 현장조사를 통한 안전도 평가	45
9	2014.10.27.	반력상, 반력벽 요구성능 결정 및 구축/활용에 관한 기술자문	45
10	2014.11.26.~12.12.	실시설계 VE(Value Engineering)	46
11	2014.12.05.	실시설계(중간단계) 개선사항 기술검토 및 자문회의	46
12	2015.01.30.	실시설계 준공계 접수	47
13	2015.02.10.	건축공사 증축허가 관악구청 접수 및 승인	47
14	2015.02.13.	실시설계 변경사항 기술검토 자문회의	48
15	2015.03.03.	실시설계(최종단계) 변경사항 검토 및 자문회의	48
16	2015.03.06.	CM단 기술검토 후 보완설계 완료 (실시설계 완료)	50
17	2015.03.23.	국토교통과학기술진흥원에 실시설계 결과 승인 요청	51
18	2015.04.10.	실시설계 결과 심의 (국토교통과학기술진흥원)	52
19	2015.04.20.	CM단 설계단계 건설사업관리 완료보고서 제출	53

나. 실시설계 주요 추진 내용

(1) 2014.01~03 설계 발주 및 사업자선정 방식 결정

- 본 과제는 연구과제로 실험시설을 구축하는 이례적 사례임
- 연구비 관리기관(산학협력단)과 시설구축 관리기관(시설기획과)의 회계시스템 분리로 인한 관리 및 지원 체계의 혼선이 발생함. 원활한 실험시설 구축을 위해서는 과제 초기에 건설환경종합연구소(극한성능실험센터)-산학협력단-시설기획과 간의 협업체제 구축 및 지원업무 분장이 필수적임
- 산학협력단이 계약 주체로서 연구비 관리 및 지출 승인
- 시설기획과는 건축 설계 및 시공 발주 지원
- 설계 및 공사 감리는 운영원에서 선발한 CM(건원엔지니어링)에서 전담
- 본부 시설과/산학협력단/CM단과의 협의를 통한 설계발주 및 사업자선정 방식 결정



[그림 28] 건설환경종합연구소/산학협력단/시설기획과 지원업무 분장



[그림 29] 지원업무 분장 검토협의

(2) 2014.03~04 기본설계 보완 및 실시설계요령 작성

- 실시설계의 높은 품질 확보를 위한 설계 발주 사전 준비 수행
- 기존건물의 설계도서 및 인허가 관련 자료 입수 검토
- 기본설계 수행사인 범창을 통한 기본설계 보완 및 실시설계 요령 작성
- 2014.03.10. 기본설계 보완 및 실시설계요령 작성용역 계약 체결
- 가스건실 독립 배치안 검토
- 시설기획과의 지원을 통한 과업지시서 작성(설계요령 포함)



[그림 30] 실시설계 요령 및 실시설계 과업지시서

(3) 2014.05.02. 조달청 실시설계 공고 및 설계사 계약

- 입찰참가자격사전심사(PQ) 및 적격심사 채택, 총 40여개 업체 지원
- 2014.06.13. 설계사 계약



[그림 31] 실시설계사 계약체결통보서

(4) 2014.06.24. 국내 대형실험시설 실무자 초청 자문회의 개최 및 실시설계 반영

[표 20] 자문위원 구성

실험시설명	이름	실험시설명	이름
국방과학연구소	박이주	대우	오태수
RIST	이우종	MTS	장진상
철도기술연구원	김세훈	한국건설기술연구원	고상규
현대건설	이성형	서울시립대	김선희
TM E&C	장정환	부산대	김재봉
건기연	김영석	한국기계연구원	이근호

[표 21] 주요 자문내용

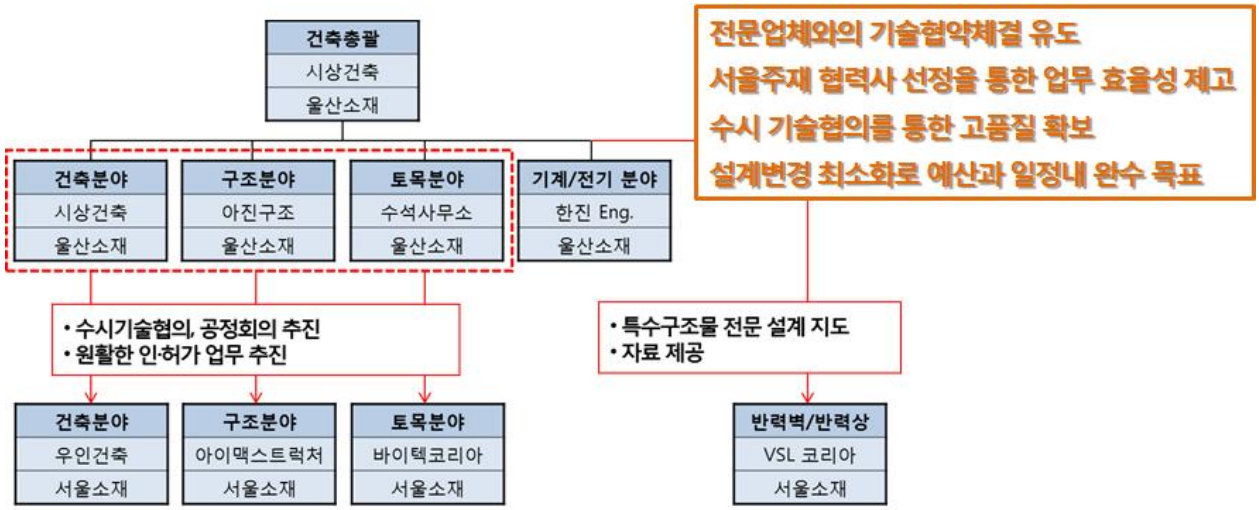
주요 자문 내용 및 설계 반영 사항	
건축	• 주조정실은 시야확보가 필요, 숙소는 삭제 추천 • 실험방문자의 업무 공간, 휴게공간, 탈의실, 샤워실 필요 • 방화셔터가 의무사항임으로 설계에 반영 • 셔터문의 규격은 8m(B) × 6m(H) 권고
반력벽 및 반력상	• 반력벽뒷공간을 지그류 보관장소로 활용 • 크기는 실험 목적에 따라 적절히 조정해야 함 • 반력상 아래 PIT는 손을 들 수 있는 높이어야 함
유압장비 관련	• 냉각수펌프조절기는 유압펌프실 내에 위치 • 저소음 유압펌프 및 방음대책 수립이 필요함
가스건 관련	• 가스건실의 경우 별도의 배전반을 구성해야 함 • 가스건 실험시 Flash X-Ray는 반드시 필요함 • 가스건실은 산 쪽에 복층으로 독립 공간 설계 추천 • 중속 가스건의 경우 타겟탱크가 추가 구축되어야 함
기타	• O.H.C는 듀얼 타입(25ton+10ton)추천



[그림 32] 국내 대형실험시설 실무자 초청 자문회의 개최

(5) 2014.06.17.~07.11. 과업수행계획서 보완(4차) 및 설계 착수

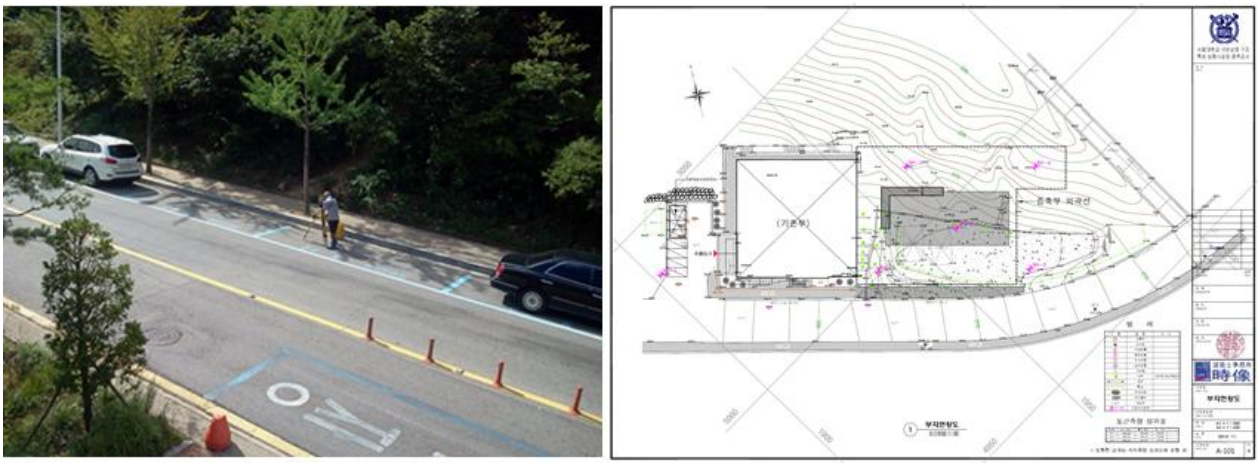
- ○ (1차) 설계사의 과업지시서 내용 분석 미비로 과업수행계획서 보안조치
- ○ (2차) 건축분야 인력보강, 전문가 자문단을 구체적으로 제시 요구
- ○ (3차) 반력벽, 반력상의 특수성을 고려하여 유사실적을 보유한 전문 협력업체 선정 요구
- ○ (4차) 반력벽, 반력상 협력업체와 설계 협력업체 관련 서류 제출 요구



[그림 33] 실시설계 업무분장

(6) 2014.08.01.~02. 증축부지 현황측량 수행

- ○ 기존 건물 시공현황 및 정확한 토공사량 산정을 위한 현황측량 수행
- ○ 현황측량을 통해 정확한 부지 현황을 설계에 반영
- ○ 기존 건물 시공현황이 기존 설계도와 일치함을 확인



[그림 34] 현황측량

(7) 2014.10.17. 기존건물의 현장조사를 통한 안전도 평가

○ 증축을 위한 현재 사용 하중상태의 주요 구조부재의 내력상 적합성 검토결과 적합 확인

- 구조물의 현황조사 결과를 설계에 반영
- 주요 구조부재의 측정 단면치수를 구조안전성 검토에 반영
- 주요 구조부재의 콘크리트 평균 압축강도는 26.9MPa로 조사됨
- 주요 구조부재의 철근배근 상태는 설계도와 거의 일치함
- 기존 건물에 대한 구조 안전도를 종합적으로 검토한 결과 수직 증축에 무리가 없음



[그림 35] 기존건물 현장조사

(8) 2014.10.27. 반력상, 반력벽 요구성능 결정 및 구축/활용에 관한 기술자문

○ 장　　소 : 하이브드리드구조실험센터

○ 자문위원 : 한종욱 실장, 한영석 연구원(하이브리드구조실험센터)

○ 주요 자문내용

- 하이브리드구조실험센터의 반력구조물 구축 및 운영 현황
- 극한성능실험센터 반력상, 반력벽 요구성능
- 반력상 FIT 내 조명, 센서용 랜망 구축
- 유압펌프실 구축 및 운영
- 반력구조물 주변 공간 활용 방안

(9) 2014.11.26~12.12. 실시설계 VE(Value Engineering) 수행

○ 건축/토목/전기/기계 등 총 8개 공종별 기능개선 및 공사비 절감방안에 대한 아이디어 도출

○ 최종 반영 여부 협의를 통해 기능 개선 및 약 5억원의 공사비 절감 방안 도출



[그림 36] 2014.12.04. VE 최종결과 회의

(10) 2014.12.05. 실시설계(중간단계) 개선사항 기술검토 및 자문회의

○ 회의장소 : aT센터 (서울시 양재동)

○ 주요 자문내용

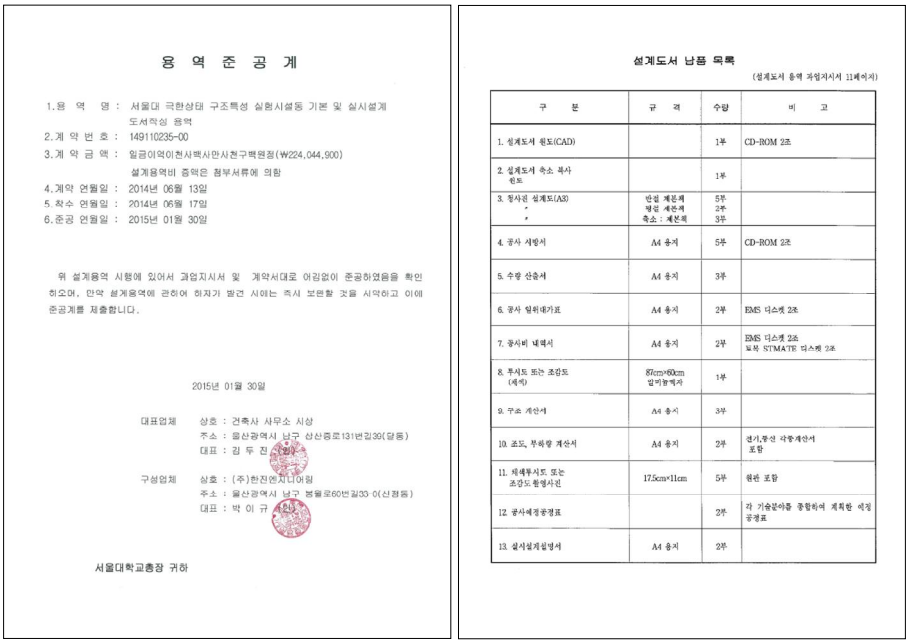
- 실험공간과 사무공간을 구조적으로 분리(Expansion Joint)하는 것은 적정함
- 기존 3층 연구동에 배치된 3종 가스건의 독립배치 변경은 적정함
- 온도챔버의 위치를 기존 반력상 위에서 별도의 실로 배치 변경은 적정함
- 실험목적 및 공사비를 고려한 반력상의 크기 조정은 적정함
- 실험장비 성능 유지/향상시키되 구축비용을 절감하여 증가된 공사비에 투입하는 방안 권고



[그림 37] 실시설계(중간단계) 개선사항 기술검토 및 자문회의

(11) 2015.01.30. 실시설계 준공계 접수

○ 실시설계 준공계 접수 후 CM단을 통한 설계상 오류, 누락 사항에 대한 기술검토 조치



용 역 준 공 계

1.용 역 명 : 서울대 극한상태 구조특성 실험시설동 기본 및 실시설계 도서작성 용역
2.계 약 번 호 : 149110235-00
3.계 약 금 액 : 일금이억이천사백사만사천구백원정(₩224,044,900)
설계용역비 증액은 첨부서류에 의함
4.계약 연월일 : 2014년 06월 13일
5.착수 연월일 : 2014년 06월 17일
6.준공 연월일 : 2015년 01월 30일

위 설계용역 시행에 있어서 과업지시서 및 계약서대로 아김없이 준공하였음을 확인하오며, 만약 설계용역에 관하여 하자가 발견 시에는 즉시 보완할 것을 서약하고 이에 준공계를 제출합니다.

2015년 01월 30일

대표업체 상호 : 건축사 사무소 시상
주소 : 울산광역시 남구 삼산중로131번길39(달동)
대표 : 김 두 진 (인)

구성업체 상호 : (주)한진엔지니어링
주소 : 울산광역시 남구 봉월로60번길33-0(신정동)
대표 : 박 이 규 (인)

서울대학교총장 귀하

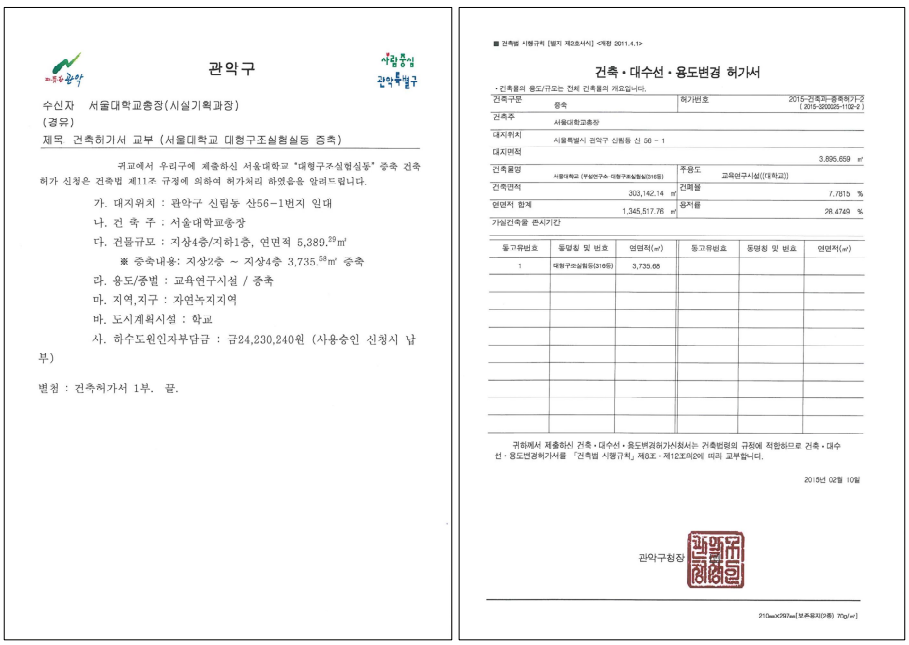
설계도서 납품 목록

(설계도서 용역 과업지시서 11페이지)

구 분	규 격	수량	비 고
1. 설계도서 원도(CAD)		1부	CD-ROM 2조
2. 설계도서 축소 복사 원도		1부	
3. 청사진 설계도(A3)	반심 계분제 명심 계산제 축소 : 계분제	5부 2부 3부	
4. 공사 시방서	A4 용지	5부	CD-ROM 2조
5. 수량 산출서	A4 용지	3부	
6. 공사 일위대가표	A4 용지	2부	EMS 디스켓 2조
7. 공사비 내역서	A4 용지	2부	EMS 디스켓 2조 표목 STMATE 디스켓 2조
8. 투시도 또는 조감도 (제작)	87cm×60cm 입비합벽자	1부	
9. 구조 계산서	A4 용지	3부	
10. 조도, 부하량 계산서	A4 용지	2부	전기,통신 각종계산서 포함
11. 채색투시도 또는 조감도 합성사진	17.5cm×11cm	5부	원판 포함
12. 공사예정공정표		2부	각 기술분야를 종합하여 계획한 예정 공정표
13. 실시설계설명서	A4 용지	2부	

[그림 38] 실시설계 준공계

(12) 2015.02.10. 건축공사 증축허가 관악구청 접수 및 승인



관악구

사람중심 관악특별구

수신자 서울대학교총장(시설기획과장)
(경유)
제목 건축허가서 교부 (서울대학교 대형구조실험실동 증축)

귀교에서 우리구에 제출하신 서울대학교 "대형구조실험실동" 증축 건축허가 신청은 건축법 제11조 규정에 의하여 허가처리 하였음을 알려드립니다.

가. 대지위치 : 관악구 신림동 산56-1번지 일대
나. 건 축 주 : 서울대학교총장
다. 건물규모 : 지상4층/지하1층, 연면적 5,389.29㎡
※ 증축내용: 지상2층 ~ 지상4층 3,735.58㎡ 증축
라. 용도/종별 : 교육연구시설 / 종축
마. 지역,지구 : 자연녹지지역
바. 도시계획시설 : 학교
사. 허수도원인자부담금 : 금24,230,240원 (사용승인 신청시 납부)

별첨 : 건축허가서 1부. 끝.

■ 건축법 시행규칙 [별지 제2호서식] <개정 2011.4.1>

건축 · 대수선 · 용도변경 허가서

· 건축물의 용도/규모는 건축물의 개요입니다.

건축구분	증축	허가번호	2015-건축허-증축허가-2 (2015-3000025-110-2)
건축주	서울대학교총장		
대지위치	서울특별시 관악구 신림동 산 56 - 1		
대지면적			3,895.659 ㎡
건축물명	서울대학교 (부설연구소 대형구조실험실동(2016))	주용도	교육연구시설((대학교))
건축면적	303.142.14 ㎡	건폐율	7.7815 %
연면적 합계	1,345,517.76 ㎡	용적률	28.4749 %
가설건축물 존치기간			

동고유번호	동명칭 및 번호	연면적(㎡)	동고유번호	동명칭 및 번호	연면적(㎡)
1	대형구조실험동(2016)	3,735.58			

귀하께서 제출하신 건축 · 대수선 · 용도변경허가서(첨부)는 건축법령의 규정에 적합하므로 건축 · 대수선 · 용도변경허가서를 「건축법 시행규칙」 제6조 · 제12조의2에 따라 교부합니다.

2015년 02월 10일

관악구청장

210mm×297mm[보존용지(2종) 70g/㎡]

[그림 39] 건축허가서

(13) 2015.02.13. 실시설계 변경사항 기술검토 자문회의

- 회의장소 : 국토교통연구인프라운영원 3층 회의실
- 회의내용 : 설계변경 사항에 대한 검토 및 향후 계획 논의
- 자문위원 : 김철영, 한종욱, 한범진 (국토교통연구인프라운영원)



[그림 40] 실시설계 변경사항 기술검토 자문회의

(14) 2015.03.03. 실시설계(최종단계) 변경사항 검토 및 자문회의

- 국토교통연구인프라운영원 주관
- 회의내용 : 극한상태 구조특성 실험시설의 제안설계 대비 실시설계 변경사항에 대한 검토

[표 22] 참석자 명단

구분	성명	소속	성명	소속
자문위원	노병철	상지대학교	이종관	포스코
	박환표	한국건설기술연구원	정철헌	단국대학교
	소충섭	삼보기술단	김성곤	서울과학기술대학교
	김지상	서경대학교	김대영	대우건설
2단계 추진연구단	박영석	국토교통연구인프라 운영원	한종욱	국토교통연구인프라 운영원
	김철영		한범진	
유치기관	조재열	서울대	김권택	서울대
CM단	김재형	건원ENG	정광성	건원ENG



[그림 41] 실시설계(최종단계) 변경사항 검토 및 자문회의

○ 항목별 검토 및 자문결과

- 실시설계관련 자문의견 수렴 여부 : 적합 8명
- 실시설계변경 및 개선 여부 : 적합 8명
- 건축공사 연면적 변경 여부 : 적합 8명
- 신축공간 구성 변경 여부 : 적합 8명
- 주요 성능개선 사항 여부 : 적합 7명, 일부 보완 1명

○ 종합의견

- 실시설계 항목별 검토결과, 1) 실시설계관련 자문의견 수렴, 2) 실시설계 변경 및 개선, 3) 건축공사 연면적 변경 및 4) 신축공간 구성 변경 항목은 모두 적합하다는 의견임
- 5) 주요 성능개선 사항은 일부보완 의견이 있음으로 이에 적절한 보완이 요구되고, 기타 실험시설의 성능개선을 위한 의견이 있으므로 검토가 요구됨
- 제안서 대비 실시설계 사항이 당초 실험시설의 목적과 기능에 부합되게 설계되었음

(15) 2015.03.06. CM단 기술검토 후 보완설계 완료

- 설계사에서 접수(2015.01.30.)한 준공성과품(실시설계도서)에 대한 적정성 검토 후 설계보완 조치함
- 2015.03.03. 실시한 자문회의 결과를 반영하여 설계 보완



[그림 42] 실시설계 도서

(16) 2015.03.23. 국토교통과학기술진흥원에 실시설계 결과 승인 요청

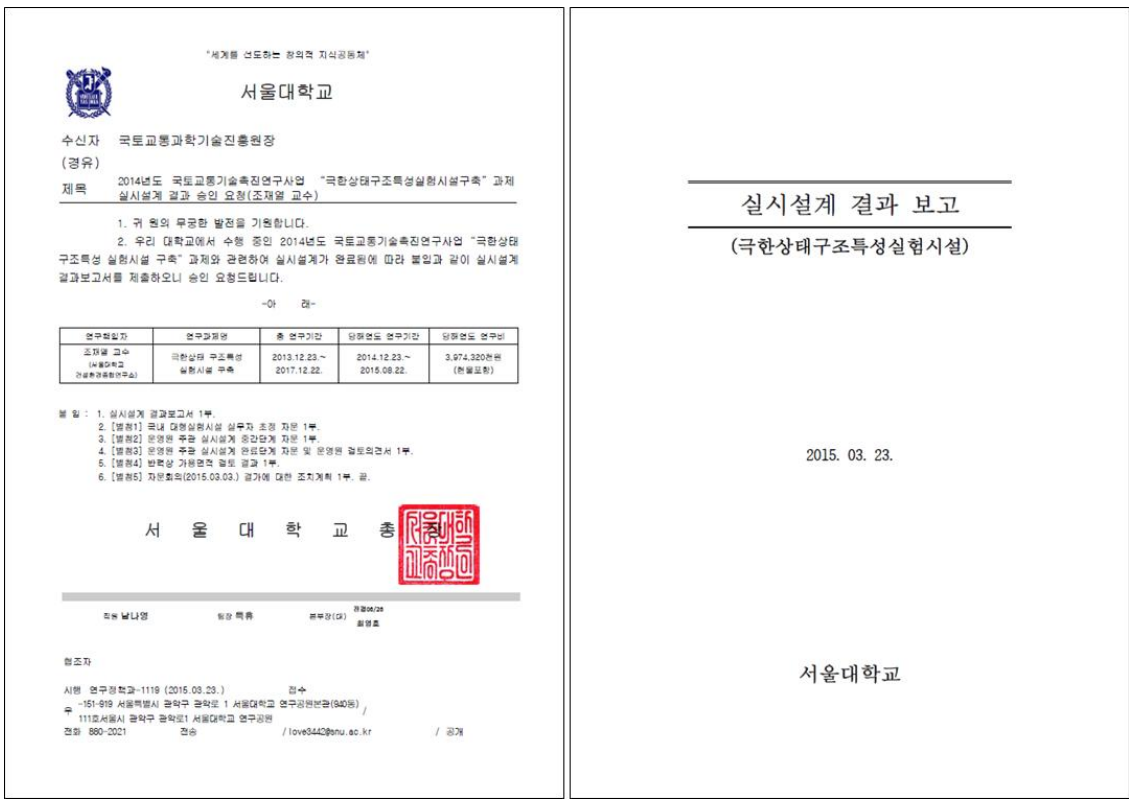
○ 구축사업 추진 경과

○ 구조물 성능 개선 현황

- 조감도 및 실험장비 배치 개선 현황
- 층별 평면계획의 개선 현황
- 건축 연면적 변동 현황
- 제안설계 대비 주요 성능 변경 및 개선사항
- 신축공간 구성 변경 현황

○ 사업비 변동 현황

- 연차별 연구개발비(현금)
- 실시설계 결과 건축공사비 변동 상세 내역
- 건축공사비 증가 사유
- 건축공사비 증가에 따른 대처 방안
- 소요예산(현금) 추정치 변동 현황
- 시설 및 장비 구축 예산 변동 시뮬레이션
- 조감도 및 실험장비 배치 개선 현황



"세계를 선도하는 창의적 지식공동체"

서울대학교

수신자 국토교통과학기술진흥원장

(경유)

제목 2014년도 국토교통기술촉진연구사업 "극한상태구조특성실험시설구축" 과제 실시설계 결과 승인 요청(조재열 교수)

1. 귀 원의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 우리 대학교에서 수행 중인 2014년도 국토교통기술촉진연구사업 "극한상태구조특성 실험시설 구축" 과제와 관련하여 실시설계가 완료됨에 따라 붙임과 같이 실시설계 결과보고서를 제출하오니 승인 요청드립니다.

-아 래-

연구책임자	연구과제명	총 연구기간	당해연도 연구기간	당해연도 연구비
조재열 교수 (서울대학교 건설환경종합연구소)	극한상태 구조특성 실험시설 구축	2013.12.23.~ 2017.12.22.	2014.12.23.~ 2015.08.22.	3,974,320원 (현물포함)

붙 임 : 1. 실시설계 결과보고서 1부.
2. [별첨1] 국내 대형실험시설 설무자 초청 자문 1부.
3. [별첨2] 운영위 주관 실시설계 중간단계 자문 1부.
4. [별첨3] 운영위 주관 실시설계 완료단계 자문 및 운영위 검토의견서 1부.
5. [별첨4] 반력상 가용면적 검토 결과 1부.
6. [별첨5] 자문회의(2015.03.03.) 결과에 대한 조치계획 1부. 끝.

서 울 대 학 교 총

협조자

시행 연구정책과-1119 (2015.03.23.) 접수

우 -151-919 서울특별시 관악구 관악로 1 서울대학교 연구공원본관(940동) / 111호,서울시 관악구 관악로1 서울대학교 연구공원

전화 880-2021 전송 / love3440@snu.ac.kr / 공개

실시설계 결과 보고

(극한상태구조특성실험시설)

2015. 03. 23.

서울대학교

[그림 43] 실시설계 결과 보고 및 승인 요청

(17) 2015.04.10. 실시설계 결과 심의 (국토교통과학기술진흥원)

○ 목　　적 : 실시설계 결과의 적정성에 대한 외부 전문가 검토

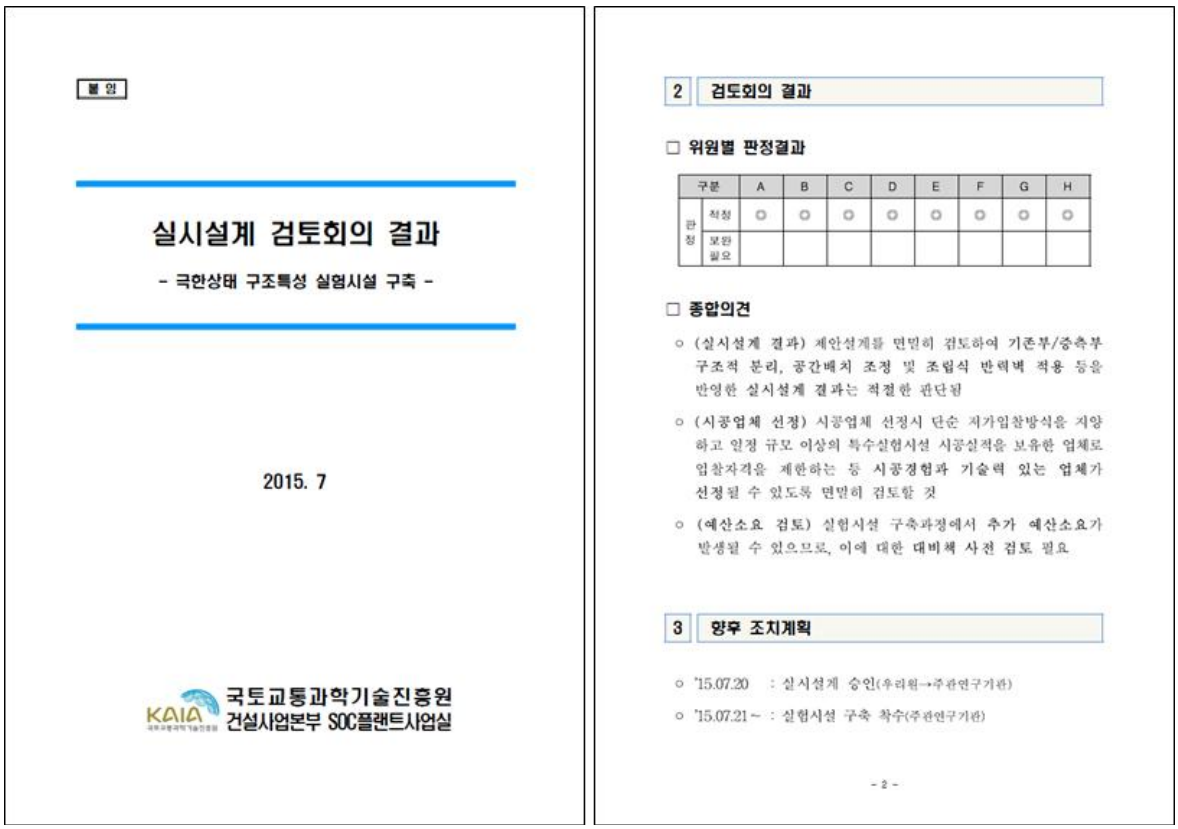
○ 심의장소 : 국토교통과학기술원 2층 3회의실

[표 23] 위원별 판정결과

구분		A	B	C	D	E	F	G	H
판정	적정	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	보완필요								

○ 종합의견

- (실시설계 결과) 제안설계를 면밀히 검토하여 기존부/증측부 구조적 분리, 공간배치 조정 및 조립식 반력벽 적용 등을 반영한 실시설계 결과는 적절한 판단됨
- (시공업체 선정) 시공업체 선정시 단순 저가입찰방식을 지양하고 일정 규모 이상의 특수실험시설 시공실적을 보유한 업체로 입찰자격을 제한하는 등 시공경험과 기술력 있는 업체가 선정될 수 있도록 면밀히 검토할 것
- (예산소요 검토) 실험시설 구축과정에서 추가 예산소요가 발생될 수 있으므로, 이에 대한 대비책 사전 검토 필요



[그림 44] 실시설계 검토회의 결과 (국토교통과학기술진흥원)

(18) 2015.04.20. CM단 설계단계 건설사업관리 완료보고서 제출

① 공정관리

○ 설계용역은 2014년 7월 11일 착수하여 2014년 12월 11일 종료 예정이었으나 기본설계, 중간설계, 실시설계 단계별 설계 적정성 검토, 실험시설의 요구성능 검증과 반영 등의 사유로 2015년 1월 30일 설계용역이 완료되어 당초 대비 약 50일이 지연되었음

- 실행 가능한 설계예정공정표 작성과 공정표에 의한 설계 진행
- 주간 공정보고를 통하여 공정율 관리
- 설계기간 연장에 대한 적정성 검토

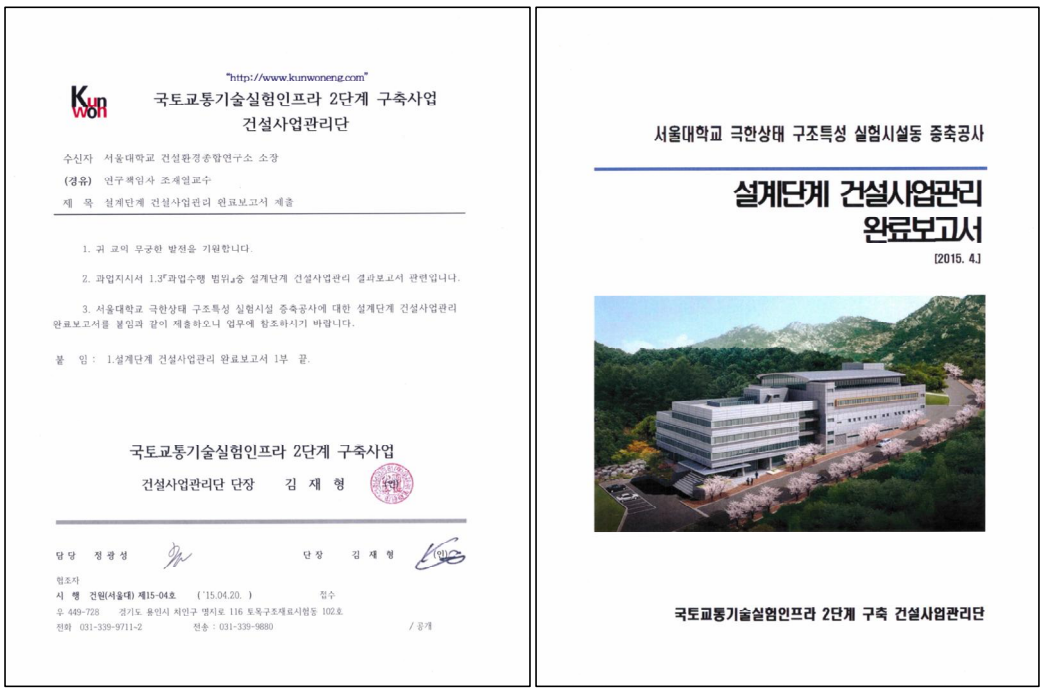
② 품질관리

○ 기본설계단계, 중간설계단계, 실시설계단계 등 단계별 설계품질에 대한 적정성 검토와 설계 VE 등을 통하여 경제적인 자재와 공법을 적용하여 당초 설계 과업지시서에서 제시한 실험시설과 연구시설의 성능과 기능에 충족하도록 품질관리하여 설계를 완료하였음

- 반력 구조물 설계는 외부 전문업체 기술자문을 통하여 설계의 품질을 확보
- 실험장비업체 자문 및 협의를 통해 실험장비 사양, 특성 분석 후 설계반영
- 단계별 검토, 승인 절차를 통한 기술검토로 설계 완성도 향상

③ 공사비 관리

○ 설계 공모 시 예정공사비 ₩6,069,000,000원은 유사 실험시설 공사비 등을 비교한 바, 공사비 부족이 예상되어 설계 단계별 공사비 분석과 설계VE 실시, 설계안 조정 등의 공사비 절감노력을 통해 실시설계를 진행하였으며, 설계완료 단계 공종별 적정성 검토 결과 예정공사비는 ₩8,621,956,000원으로 조정됨


"http://www.kunwoneng.com"

Kun won 국토교통기술실험인프라 2단계 구축사업
건설사업관리단

수신자 서울대학교 건설환경종합연구소 소장
(경유) 연구책임자 조재열교수
제 목 설계단계 건설사업관리 완료보고서 제출

1. 귀 교의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 과업지시서 1.3"과업수행 범위"중 설계단계 건설사업관리 결과보고서 관련입니다.
3. 서울대학교 극한상태 구조특성 실험시설 증축공사에 대한 설계단계 건설사업관리 완료보고서를 붙임과 같이 제출하오니 업무에 참조하시기 바랍니다.

붙 임 : 1.설계단계 건설사업관리 완료보고서 1부. 끝.

국토교통기술실험인프라 2단계 구축사업
건설사업관리단 단장 김 재 형

담당 정광성 단장 김 재 형

협조자
시 행 건원(서울대) 제15-04호 ('15.04.20.) 접수
우 449-728 경기도 용인시 처인구 명지로 116 토목구조재료시험동 102호
전화 031-339-9711-2 전송 : 031-339-9880 / 공개

서울대학교 극한상태 구조특성 실험시설동 증축공사

설계단계 건설사업관리 완료보고서

[2015. 4.]

국토교통기술실험인프라 2단계 구축 건설사업관리단

[그림 45] 설계단계 건설사업관리 완료보고서

(19) 2014.12.~2015.03. 주례공정회의 개최

- 서울대 본부 시설과, 산학협력단, CM, 설계사 간 협의체제를 구축하고, 설계 관련 이슈사항 발생시 수시로 회의를 개최하여 초기대응 방안 마련 및 조치
- 센터 연구진-CM단-설계사 간 주례공정회의를 통한 지속적인 공정관리, 품질관리, 공사비관리를 수행함



[그림 46] 공정회의 개최

다. 건축공사 주요 추진 경과

[표 24] 건축공사 주요 추진 경과

No.	날짜	추진 경과	Page
1	2015.01~04	시공사 선정 방법 협의 및 발주 공고 사전 준비	56
2	2015.04.29.~05.27.	시공사 조달청 입찰공고 및 최종낙찰업체 선정	56
3	2015.06.02.	최종낙찰업체와 착공 간담회 개최	57
4	2015.06.09.	시공사 계약	57
5	2015.06.11.	착수보고회 개최 및 착공	58
6	2015.06.22.	기존건물 현황조사 및 하자보수 관련 협의	58
7	2015.06.22.~23.	기존건물 사전조사 수행	59
8	2015.07.21.	기공식 및 안전기원제 개최	59
9	2015.09.03.	증축부지 지반에 대한 평판재하시험 수행	60
10	2016.03.30.	포스코 글로벌R&D센터 방문 및 반력구조물 시공관련 자문	60
11	2016.04.07.	반력상 주철근 커플러 품질시험 수행	62
12	2016.04.14.	반력구조물 시공 계획에 대한 시공사 발표회 개최	62
13	2016.04.14.	레미콘 수급 관련 레미콘업체 방문 협의	63
14	2016.04.20.	반력상 기초 콘크리트 타설시 수화열 계측을 통한 품질관리	63
15	2016.06.01.	반력구조물 시공 현황에 대한 관련 자문	64
16	2016.07.12.~20.	발전기, 급수펌프 납품 전 제작업체 방문 및 사전검수 시행	64
17	2015.08~2016.12	서울대 자체 콘크리트 압축강도시험을 통한 품질관리	65
18	2016.08.25.	비상발전기, 수배전반 물품납품완료에 따른 자체 검수 진행	65
19	2016.08.26.	전기설비 접지저항 측정	66
20	2016.08.31.	태양광발전설비 시공 발표회 개최	66
21	2016.07.27.,09.06.	건설환경종합연구소 자문위원단 현장점검 수행	67
22	2016.10.18.	보안시스템 적용에 관한 제안 발표 평가	68
23	2016.11.09.	KREONET(연구망) 및 원격관찰카메라 설치 관련 협의	68
24	2016.11.19.~12.29.	비상발전기, 수배전반, 내부 분전반 전기 사용전 검사	69
25	2016.12.30.	예비준공검사(서울대학교 주체) 진행	69
26	2017.01.12.	실험시설 운영 효율성 관련 건축물 개선점에 관한 자문회의	71
27	2017.01.15.	태양광발전설비 사용전 검사	72
28	2017.01.24.	KREONET망/학내망 사용 관련 서울대 정보화본부와의 협의	72
29	2017.02.06.~14.	건축공사 준공검사	73
30	2017.02.07.	건축공사 준공	73
31	2017.02.16.	사용 승인 (관악구청)	74
32	2017.02.22.	준공식 개최	74
33	2017.03	CM단 시공단계 건설사업관리 완료보고서 제출	75

라. 건축공사 주요 추진 내용

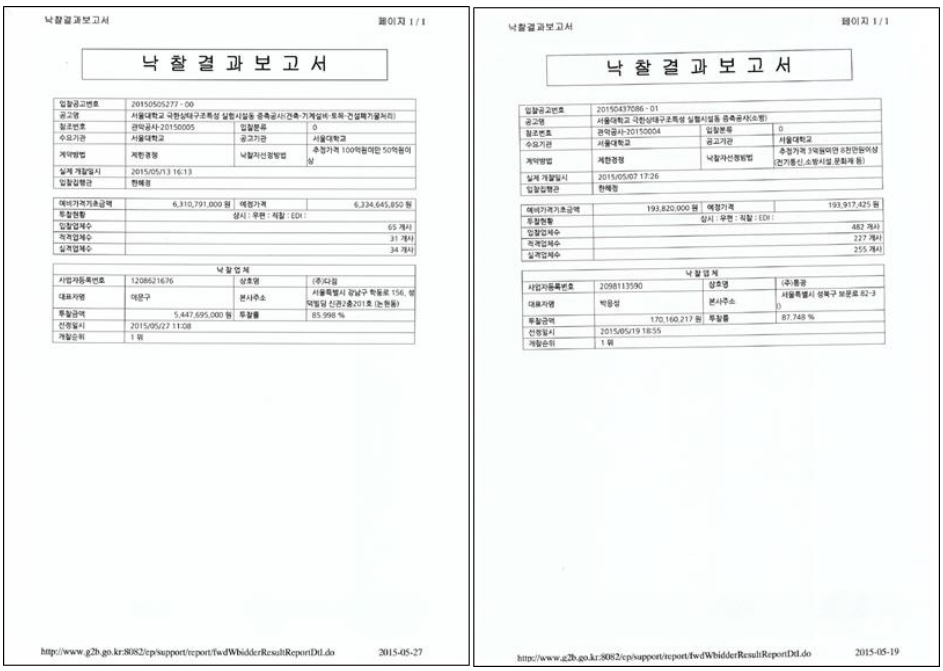
(1) 2015.01.~2015.04. 시공사 선정 방법 협의 및 발주 공고 사전 준비

- 본부 시설기획과/산학협력단/CM단과의 협의를 통한 시공사 선정을 위한 발주 및 사업자 선정 방식 결정
- 건축공사의 경우 시공능력이 검증된 시공업체 선정을 위하여 입찰참가자격에 본 실험시설과 유사한 건물(대학교 이상 교육연구시설)의 준공실적을 보유한 업체로 제한



[그림 47] 시설과/산학협력단/CM단과의 시공사 발주 관련 검토협의

(2) 2015.04.29.~05.27. 시공사 조달청 입찰공고 및 최종낙찰업체 선정



낙찰결과보고서 페이지 1 / 1

낙 찰 결 과 보 고 서

입찰공고번호	20150505277 - 00		
공고명	서울대학교 국한상태구조특성 실험시설동 증축공사(건축·기계설비·토목·건설폐기물처리)		
참조번호	관악공사-20150005	입찰분류	0
수요기관	서울대학교	공고기관	서울대학교
계약방법	제한경쟁	낙찰자선정방법	추정가격 100억원이만 50억원이상
실제 개찰일시	2015/05/13 16:13		
입찰집행관	한혜정		

예비가격기초금액	6,310,791,000 원	예정가격	6,334,645,850 원
투찰현황	참석 : 무한 : 적찰 : EDI :		
입찰업체수	65 개사		
적격업체수	31 개사		
실격업체수	34 개사		

낙 찰 업 체

사업자등록번호	1208621676	상호명	(주)다림
대표자명	여문구	본사주소	서울특별시 강남구 학동로 156, 9층(청담동 신라산업2차 (논현동)
투찰금액	5,447,695,000 원	투찰률	85.998 %
선정일시	2015/05/22 11:08		
개찰순위	1 위		

http://www.g2b.go.kr:8082/ep/support/report/fwdWbidderResultReportDtl.do 2015-05-27

낙찰결과보고서 페이지 1 / 1

낙 찰 결 과 보 고 서

입찰공고번호	20150437086 - 01		
공고명	서울대학교 국한상태구조특성 실험시설동 증축공사(소방)		
참조번호	관악공사-20150004	입찰분류	0
수요기관	서울대학교	공고기관	서울대학교
계약방법	제한경쟁	낙찰자선정방법	추정가격 3억원이만 8천만원이상 (전기통신,소방시설,문화재 등)
실제 개찰일시	2015/05/07 17:26		
입찰집행관	한혜정		

예비가격기초금액	193,820,000 원	예정가격	193,917,425 원
투찰현황	참석 : 무한 : 적찰 : EDI :		
입찰업체수	482 개사		
적격업체수	227 개사		
실격업체수	255 개사		

낙 찰 업 체

사업자등록번호	2098113590	상호명	(주)동광
대표자명	박중성	본사주소	서울특별시 성북구 보문로 82-3 1)
투찰금액	170,160,217 원	투찰률	87.748 %
선정일시	2015/05/19 18:55		
개찰순위	1 위		

http://www.g2b.go.kr:8082/ep/support/report/fwdWbidderResultReportDtl.do 2015-05-19

[그림 48] 시공사 낙찰결과보고서

(3) 2015.06.02. 최종낙찰업체와 착공 간담회 개최

○ 참석기관 : 극한성능실험센터(서울대)-시설기획과(서울대)-CM단-최종낙찰업체

○ 간담회 주요 내용

- 공사관련 참여기관 소개 및 각 참여기관별 담당자 및 연락처 공유
- 시공사 및 공사개요 소개
- 착공단계 준비사항, 공사입찰서 특기사항 협의
- 착수단계 MASTER SCHEDULE 계획안 검토



[그림 49] 착공간담회

(4) 2016.06.09. 시공사 계약


공사계약체결통보서

공사계약체결통보서

[그림 50] 시공사 계약서

(5) 2015.06.11. 착수보고회 개최 및 착공

○ 참석기관 : 극한성능실험센터(서울대), 시설기획과(서울대), CM단, 시공사

○ 착수보고회 주요 내용

- 증축공사 관련 본부 시설기획과에 업무 지원 요청에 대한 시설기획과 업무 지원 담당자 지정 승인 → 공사 품질 완성도 제고
- 착공단계 시공사 준비사항 및 주요 이슈 사항 검토 협의



[그림 51] 착수보고회 개최

(6) 2015.06.22. 기존건물 현황조사 및 하자보수 관련 협의

○ 참석기관 : 극한성능실험센터(서울대), 현대산업개발(기존건물 시공사), (주)다짐(증축공사 시공사), 세이프씨아이디(안전진단 업체)

○ 주요 협의내용

- 현대산업개발과 ㈜다짐에서는 사전조사 결과에 대해 상호협의 후 하자보수 진행
- 현대산업개발은 ㈜다짐에서 하자보수 후속조치와 관련하여 협조 요청시 협조 및 지원
- ㈜다짐은 사전조사결과를 센터와 현대산업개발에 자료를 공유하기로 함



[그림 52] 기존건물 하자보수 협의

(7) 2015.06.22.~23. 기존건물 사전조사 수행

○ 사전 안전점검 결과 기존 건축물의 주요구조 부재의 구조적인 결함은 발견되지 않음

○ 증축 공사시 추가 발생 및 진행될 수 있는 균열에 대하여 추적관리



[그림 53] 기존건물 사전조사

(8) 2015.07.21. 기공식 및 안전기원제 개최



[그림 54] 기공식 개최

(9) 2015.09.03. 증축부지 지반에 대한 평판재하시험 수행

○ 현장에서 제시한 설계하중강도의 3배 이상 재하하여 평판재하시험을 수행하였으며, 시험결과 설계 지지력을 모두 상회함을 확인함



[그림 55] 평판재하시험 수행

(10) 2016.03.30. 포스코 글로벌R&D센터 방문 및 반력구조물 시공관련 자문

○ 장　　소 : 포스코 글로벌R&D센터 (인천시 연수구)

○ 참석기관 : 극한성능실험센터, CM단, ㈜다짐

○ 자문위원 : 이우종 총괄매니저 (포스코)

[표 25] 주요 자문 내용

검토 항목	자문 내용
시공시 중점 확인 사항 및 주의 사항	• 반력구조물은 한번 타설을 하면 조정이 불가하고, 매우 중요한 실험시설이므로 정밀 시공을 요하며 고강도 콘크리트 타설이더라도 현장에서 수화열계측은 하기 바람
콘크리트 타설 후 표면 마감 처리 방법	• 바닥 레벨 5~10mm 이하로 콘크리트를 타설하고 이후 Self Leveling(무수축콘크리트)으로 최종 레벨을 맞춤. 콘크리트 타설만으로도 최종 레벨을 맞출 수 있다면 굳이 Self Leveling을 할 필요는 없음 • 반력구조물 타설 시 홀과 홀 간격을 정확히 맞추는게 중요하며, 홀 사각형 형태 4개를 기준으로 가로, 세로, 대각선으로 각각 길이를 맞추어 시공하고, 홀 간격은 계속적으로 확인을 해야 함 • 반력상 최종 레벨은 기본적으로 슬리브보다 같거나 약간 높아야 함. 슬리브가 반력상 레벨보다 높을 경우 시편 설치시 문제가 됨
반력상 PIT 내 벽체, 바닥 마감 현황	• PIT실 내 벽체는 견출 마감으로만 되어 있으며, 바닥은 에폭시마감으로 되어 있음 • 반력상, 반력벽에 삽입되어 있는 홀을 구분할 수 있게 고유 번호(알파벳, 숫자)를 부여하여 반력상 상부와 지하 PIT 내에서 앙카볼트 설치 작업 시에 혼돈이 없도록 하였음

검토 항목	자문 내용
반력상 PIT 내 조명, 통신 시공 현황	• PIT실 내 조명은 천정에 설치되어 있으며, 통신 케이블은 따로 시공되어 있지 않음 • 포스코 PIT 높이가 2.1m이기 때문에 천정에 조명을 설치하였지만, 서울대의 경우 PIT 높이가 1.9m이기 때문에 천정 보다는 벽에 설치하는 것 추천
반력상 PIT 내부 공간 활용 현황	• 시험체 및 장비는 지하, 지상에 위치한 창고에 보관을 하며 PIT실에는 보관을 하지 않음
반력상 PIT 내 결로현상 및 환기 방법	• 글로벌R&D센터 준공 후 지하층 결로현상이 발생하여 옹벽 사이를 조금 띄운 상태에서 블록을 시공하였고 이후 결로현상은 발생하지 않음 • 전기실, 유압펌프실, 발전기실에는 포스코와 마찬가지로 옹벽 이후 블록을 시공하고, 바닥은 트렌치를 설치하게 설계되어 있음(정광성)
실험 편의를 위해 추가 반영해야 할 사항	• 반력상에서 PIT실로 이동하는 계단실 벽체의 핸드레일 준공 이후 설치하였음. 정전시 신속히 대피할 수 있도록 반영한 것임 • 방송장비(스피커)가 지상층 뿐만 아니라 지하 각 실마다 설치가 되어있음 • 시험시편 및 자재 운반을 위해 지게차는 구비하고 있는 것이 좋음



[그림 56] 포스코 글로벌R&D센터 방문

(11) 2016.04.07. 반력상 주철근 커플러 품질시험 관련 한국건설기술연구소 방문

○ 품질 시험 결과 : SD500 D29 철근 커플러의 평균 항복강도는 516N/mm^2, 평균 인장강도는 644N/mm^{2}으로 측정되어 기준(항복강도: 500N/mm^2, 인장강도: 620N/mm^2)을 만족함



[그림 57] 주철근 커플러 품질 시험

(12) 2016.04.14. 반력구조물 시공 계획에 대한 시공사 발표회 개최

○ 주요 발표 및 협의 내용

- 반력구조물 타설 예정 물량 및 규격
- 반력구조물 품질기준
- 반력상 및 반력벽 단계별 시공 순서 검토
- 콘크리트 타설시 수화열 및 건조수축에 대한 관리 계획 수립
- 가스건 설치 일정에 차질이 없도록 공정계획 수립



[그림 58] 반력구조물 시공 발표회

(13) 2016.04.14. 레미콘 수급 관련 레미콘업체 방문 협의

○ 장　　소 : ㈜정선레미콘

○ 참석기관 : 극한성능실험센터, CM단, ㈜다짐, ㈜정선레미콘

○ 주요 협의 내용

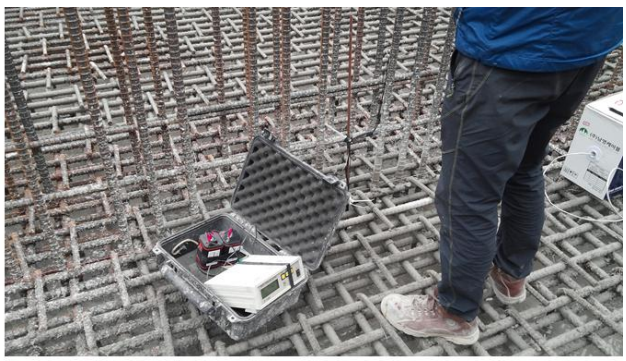
- 반력구조물은 특수 고강도콘크리트 구조물이므로, 타설일정에 차질이 없도록 레미콘을 공급하기로 함
- 반력구조물은 매스콘크리트임을 감안하여 타설 진행시 레미콘업체 품질관리자가 현장에 방문하여 수화열 계측 및 관리를 수행하기로 함

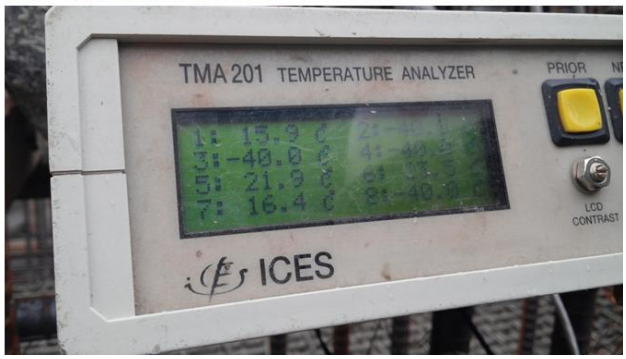



[그림 59] 레미콘 업체 방문 협의

(14) 2016.04.20. 반력상 기초 콘크리트 타설시 수화열 계측을 통한 품질관리

○ 반력상 기초부의 수화열 계측 및 분석을 통한 레미콘의 배합 조정



[그림 60] 반력상 콘크리트 수화열 계측

(15) 2016.06.01. 반력구조물 시공 현황에 대한 VSL Korea 전문가 현장 방문 및 시공 관련 자문

○ 장　　소 : 서울대학교 건축현장

○ 자문위원 : 권병수 (VSL Korea)

○ 주요 자문내용

- 현재 반력상 슬래브 철골, 홀 및 디비닥볼트 설치까지 진행되어 있는데 시공상 문제점은 보이지 않음
- 반력상 콘크리트 타설시마다 슬래브 홀의 간격 등을 확인해야 함
- 차후 반력상 및 반력벽 콘크리트 타설 시가 매우 중요하기에 차수로 끊어서 신중하게 타설하기 바람
- 반력벽 콘크리트 타설시 VSL Korea와 사전 협의 후에 진행하기 바람

(16) 2016.07.12.~20. 관급자재(비상발전기, 급수펌프) 납품 전 제작업체 방문 및 사전검수 시행

○ 2016.07.12. 발전기 사전검수 : 단독 부하 특성시험, 과부하 특성시험, 동체 특성시험, 보호회로 시험을 통한 성능 확인

○ 2016.07.20. 급수펌프 사전검수 : 시방서 및 기자재(공급) 승인 사항 만족여부 점검, 제품 생산일정, 현장 입고일정 협의 및 공장 성능시험 실시



[그림 61] 발전기 공장검수 및 검수보고서

(17) 2015.08~2016.12 서울대 자체 콘크리트 압축강도시험을 통한 품질관리

- 현장의 품질시험과 별도로 서울대 자체 보유 장비를 활용한 콘크리트 압축강도시험 수행을 통하여 시험결과 비교 분석 및 레미콘 품질 관리
- 현장시험과 자체시험 결과를 레미콘 납품업체에 통보하여 시험결과 분석 및 품질관리 대책을 수립토록 함



[그림 62] 현장 품질실험실 압축강도시험



[그림 63] 서울대 자체 압축강도시험

(18) 2016.08.25. 관급자재(비상발전기, 수배전반) 물품납품완료에 따른 자체 검수

- 비상발전기 설치 완료 후 운전반, 배기덕트, 비상발전기 연도 배관, 매연절감장치 확인 및 시운전 진행 후 하자 없음을 확인함
- 수배전반 전동기제어반, 분전함 설치 완료 후 확인 및 시운전 진행 후 하자 없음을 확인함



[그림 64] 비상발전기, 수배전반 자체 검수

(19) 2016.08.26. 전기설비 접지저항 측정

○ 접지저항 측정 진행 결과 0.09Ω으로 시방서 5Ω이하로 측정됨을 확인함



[그림 65] 전기설비 접지저항 측정

(20) 2016.08.31. 태양광발전설비 시공 발표회 개최

○ 참석기관 : 극한성능실험센터, CM단, ㈜다짐, ㈜보미종합건설, 원에스티, 에코스

○ 시공 계획에 대한 추가 검토 의견

- 태양광발전설비 시공 진행 전 건축 시공사 다짐과 일정 조율 및 작업공간 간섭이 되지 않도록 협의 진행 후 시공이 필요함
- 모듈 반입 및 자재 적재 시 적재 공간 및 운반장소에 대하여 ㈜다짐과 협의 후 진행이 필요함
- 지붕층에 모듈이 설치됨에 따라, 풍속에 대한 구조적 검토 재진행하여 설치에 문제가 없는지 확인이 필요함
- 실험동 지붕층에서 작업을 진행하는만큼 안전에 만전을 기해야 하며, 시공 전 안전계획서 제출(안전바, 안전장구류, 안전교육 등의 내용 포함)이 필요함



[그림 66] 태양광발전설비 시공 발표회

(21) 2016.07.27., 09.06. 건설환경종합연구소 자문위원단 현장점검 수행

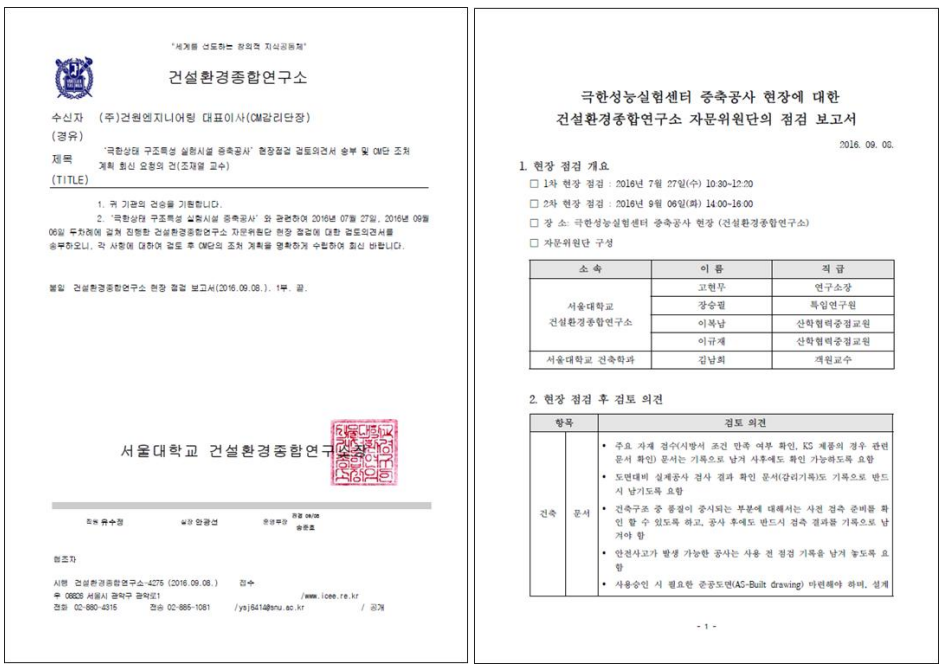
- 1차 현장 점검 : 2016년 7월 27일(수) 10:30~12:20
- 2차 현장 점검 : 2016년 9월 06일(화) 14:00~16:00
- 현장 점검 결과는 CM단에 전달하여 건축공사에 반영 조치하도록 함

[표 26] 자문위원단 구성

소 속	이 름	직 급
서울대학교 건설환경종합연구소	고현무	연구소장
	장승필	특임연구원
	이복남	산학협력중점교원
	이규재	산학협력중점교원
서울대학교 건축학과	김남희	객원교수



[그림 67] 건설환경종합연구소 자문위원단 현장점검



"세계를 선도하는 창의적 지식공동체"

건설환경종합연구소

수신자 (주)건원엔지니어링 대표이사(CM감리단장)
(경유)
제목 '극한상태 구조특성 실험시설 증축공사' 현장점검 검토의견서 송부 및 CM단 조치 계획 회신 요청의 건(조재열 교수)
(TITLE)

1. 귀 기관의 건승을 기원합니다.
2. '극한상태 구조특성 실험시설 증축공사' 와 관련하여 2016년 07월 27일, 2016년 09월 06일 두차례에 걸쳐 진행한 건설환경종합연구소 자문위원단 현장 점검에 대한 검토의견서를 송부하오니, 각 사항에 대하여 검토 후 CM단의 조치 계획을 명확하게 수립하여 회신 바랍니다.

붙임 건설환경종합연구소 현장 점검 보고서(2016.09.08.). 1부. 끝.

서울대학교 건설환경종합연구소장

협조자

시행 건설환경종합연구소-4275 (2016.09.08.) 접수
우 08826 서울시 관악구 관악로1 /www.icee.re.kr
전화 02-880-4315 전송 02-885-1081 /ysj5414@snu.ac.kr / 공개

극한성능실험센터 증축공사 현장에 대한
건설환경종합연구소 자문위원단의 점검 보고서

2016. 09. 06.

1. 현장 점검 개요

- 1차 현장 점검 : 2016년 7월 27일(수) 10:30~12:20
- 2차 현장 점검 : 2016년 9월 06일(화) 14:00~16:00
- 장 소: 극한성능실험센터 증축공사 현장 (건설환경종합연구소)
- 자문위원단 구성

소 속	이 름	직 급
서울대학교 건설환경종합연구소	고현무	연구소장
	장승필	특임연구원
	이복남	산학협력중점교원
	이규재	산학협력중점교원
서울대학교 건축학과	김남희	객원교수

2. 현장 점검 후 검토 의견

항목		검토 의견
건축	문서	• 주요 자재 검수(시방서 조건 만족 여부 확인, KS 제품의 경우 관련 문서 확인) 문서는 기록으로 남겨 사후에도 확인 가능하도록 요함 • 도면대비 설계공사 검사 결과 확인 문서(감리기록)도 기록으로 반드시 남기도록 요함 • 건축구조 중 중점이 중시되는 부분에 대해서는 사전 검측 준비를 확인 할 수 있도록 하고, 공사 후에도 반드시 검측 결과를 기록으로 남겨야 함 • 안전사고가 발생 가능한 공사는 사용 전 점검 기록을 남겨 놓도록 요함 • 사용승인 시 필요한 준공도면(AS-Built drawing) 마련해야 하며, 설계

- 1 -

[그림 68] 자문위원단 점검 보고서 및 CM단 발송 공문

(22) 2016.10.18. 보안시스템 적용에 관한 제안 발표 평가

- 평가결과 : 평가 대상 업체 중 ‘세콤’이 적격 업체로 선정
- 건축공사 준공 전 보안시스템 적용을 위한 장비 설치 공사를 시행하고, 준공 이후 보안시스템을 운용함



[그림 69] 보안시스템 제안발표 평가

(23) 2016.11.09. KREONET(연구망) 및 원격관찰카메라 설치 관련 협의

- 참석기관 : 극한성능실험센터, 국토교통연구인프라운영원, CM단, ㈜한일에스티엠, 에스원, KISTI
- 주요 협의 내용
  - 실험동에 반영된 연구망 접속 단자 수량 및 개소는 적정함
  - 연구망 케이블 포설 일정을 KISTI에 전달해 주어야 하며, 해당 일정에 맞춰 정보화본부와 협의를 진행하기로 함
  - 서울대 정보화본부는 연구망을 by-pass 기능만 수행하기 때문에 방화벽을 설치하기로 함
  - 미르네트워크에서 제안한 장비의 성능 적정성 검토
  - 원격카메라 설치 위치 검토
  - 운영원의 원격카메라 구축 지원에 관한 내용 협의

(24) 2016.11.19.~12.29. 비상발전기, 수배전반, 내부 분전반 전기 사용전 검사

- 검사주체 : 전기안전공사
- 2016.11.19. 비상발전기, 수배전반 전기사용전 검사 진행 후 2016.11.30. 합격
- 2016.12.22.~29. 내부 분전반 전기사용전 검사 진행 후 2016.12.29. 합격



KESCO

사용전검사확인증

발행번호 제 621151670 호 고객번호 : 2115-012524

신청인	대표자 성명	총장	전화번호	☎ 02)880-5114
	회사명 또는 상호	서울대학교(2캠퍼스)		
	주 소	서울 관악구 관악로 1 (신림동,행정관) 서울 관악구 신림동 산56-1		
검사결과	검사전기설비	수전설비 6,600V 1,500KW발전설비 380V 330KW		
	검사연월일	2016년 11월 30일		
	검사자	소속 서울남부지사	성명	이정민 ㊞
	판정	합격	다음검사	2019년 11월
임시사용	허용사유 :			
	사용기간 :			
	사용범위 및 사용방법 :			

기타 : 전저용량 수전설비 22.900V 27.000KW 발전설비 6.600V 2,654.01KW

「전기사업법」 제63조부터 제65조까지의 규정에 따라 검사를 하고 같은 법 시행규칙 제31조의2제3항 및 제34조제1항에 따라 위와 같이 검사확인증을 발급합니다.

2016 년 11 월 30 일

한국전기안전공사 사장

검사신청인 총장 귀하

※ 이 확인증은 사무관리규정에 의하여 전자식인으로 발행되었습니다.

[그림 70] 분전반 전기사용전 검사확인증

(25) 2016.12.30. 예비준공검사(서울대학교 주체) 진행

- 10:00~10:30 : 건설환경종합연구소 자문위원단 1, 2차 현장점검 내용에 대한 조치현황 논의
- 10:30~12:00 : 예비준공검사 시행
- 검사결과를 CM단에 전달하여 건축공사에 반영하도록 조치함

[표 27] 검사위원단 구성

소 속	이 름	직 급
서울대학교 건설환경종합연구소	이복남	산학협력중점교원
	이규재	산학협력중점교원
서울대학교 건축학과	김남희	객원교수
극한성능실험센터	조재열	센터장
	김권택	운영실장
	조인성	연구원
시설기획과	정영호	팀장
	박창호	실무관(전기/통신 담당)
	김현승	실무관(건축담당)
	마혜원	실무관(토목담당)



[그림 71] 예비준공검사 수행



"세계를 선도하는 창의적 지식공동체"

건설환경종합연구소

수신자 (주)건원엔지니어링 대표이사(CM감리단장)
(경유)
제목 '극한상태 구조특성 실험시설 증축공사' 예비준공검사 지적사항 송부 및 조치계획서 제출 요청의 건
(TITLE)

1. 귀 기관의 건승을 기원합니다.
2. 관련 : 서울대학교 「극한상태구조특성실험시설 증축공사」 예비준공검사(2016년 12월 30일(금) 시행)
3. 위와 관련하여 예비준공검사위원 지적사항을 붙임과 같이 송부하오니, 각 지적사항에 대해 검토 후 조치계획서를 2017년 1월 4일(수)까지 제출하여 주시고, 준공 전 건축공사에 반영될 수 있도록 조치하여 주시기 바랍니다.
4. 아울러, 극한성능실험센터에서 주기적으로 현장 시찰 후 지적하였던 사항 또한 조치계획서에 포함하여 제출하시기 바랍니다.

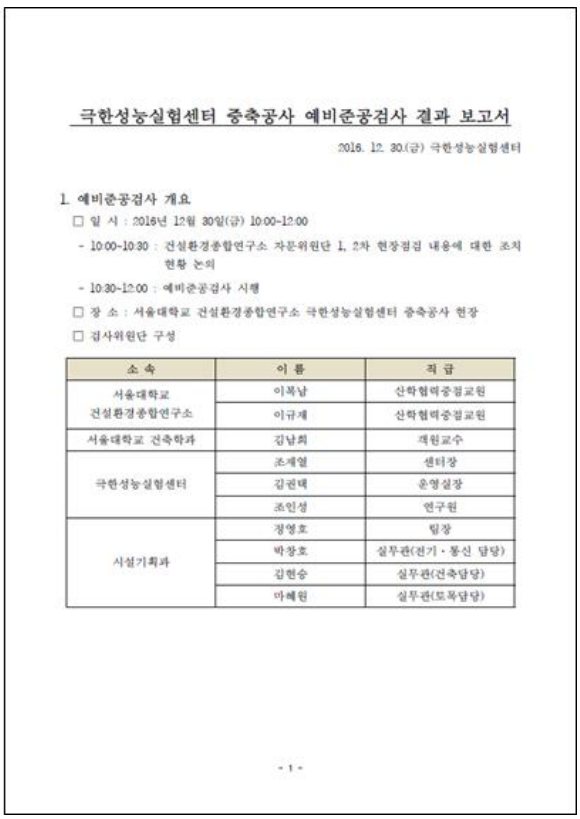
붙임 예비준공검사 지적사항 및 극한성능실험센터 현장 지적 사항 각 1부. 끝.

서울대학교 건설환경종합연구소장

실장 한경선 부장부장 최윤 01/02 송명호

참조자

시행 건설환경종합연구소-15 (2017.01.02.) 접수
우 08826 서울시 관악구 관악로1 /www.icee.re.kr
전화 02-880-4315 전송 02-885-1061 /kbrcaks@snu.ac.kr / 공개



극한성능실험센터 증축공사 예비준공검사 결과 보고서

2016. 12. 30.(금) 극한성능실험센터

1. 예비준공검사 개요

□ 일 시 : 2016년 12월 30일(금) 10:00~12:00
- 10:00~10:30 : 건설환경종합연구소 자문위원단 1, 2차 현장점검 내용에 대한 조치 현황 논의
- 10:30~12:00 : 예비준공검사 시행
□ 장 소 : 서울대학교 건설환경종합연구소 극한성능실험센터 증축공사 현장
□ 검사위원단 구성

소 속	이 름	직 급
서울대학교 건설환경종합연구소	이복남	산학협력중점교원
	이규제	산학협력중점교원
서울대학교 건축학과	김남희	객원교수
극한성능실험센터	조재열	센터장
	김권태	운영실장
	조인성	연구원
시설기획과	정영호	팀장
	박장호	실무관(전기·통신 담당)
	김현승	실무관(건축담당)
	마혜원	실무관(토목담당)

- 1 -

[그림 72] 예비준공검사 결과보고서 및 조치계획 요청 공문

(26) 2017.01.12. 실험시설 운영 효율성 제고를 위한 건축 개선점에 관한 자문회의

○ 장　　소 : 극한성능실험센터 건축 현장

○ 자문위원 : 이성형(현대건설), 안호현(TM E&C)

○ 주요 자문 내용

- 반력상에서 실험할 시험체(예를 들어, 길이가 긴 강재의 경우)가 트레일러에 실려 반력상으로 이동해야 할 경우, 트레일러가 반력상 내로 진입이 가능한지 회전반경을 검토하여야 함 (안호현)
- 현재 주조정실에 설치된 관측창의 경우, 너무 높기 때문에 시인성이 떨어짐. 제어자가 책상에 앉아 컨트롤러를 조작할 때 반력상에서 수행하는 시험 전경을 충분히 볼 수 있도록 바닥 마감의 높이를 조정할 필요가 있음 (이성형)
- 주조정실 전체 구간의 바닥 마감 높이를 올릴 필요는 없고, 컨트롤러 제어자가 위치하는 책상 인근이라도 높이를 조정하는 것이 바람직함 (안호현)
- 반력상 바닥 마감은 에폭시 마감을 적용하되, 회색보다는 투명이 향후 유지관리에 유리함. 에폭시 마감은 향후 5년에 한번 정도 재도장 작업이 필요함 (이성형)
- 현재 유압펌프실의 위치는 적정해 보이며, 창문이 있어 환기 및 습기 제거에 효과적으로 보여짐. 다만, 여름철에 습기를 기계적으로 제거할 수 있는 장치가 되어 있는지 확인이 필요함 (이성형)
- 3ton 용량의 전기 지게차를 구비하는 것이 바람직함. 3ton 용량은 별도의 자격증 없이 운전이 가능함 (이성형)
- 시험 장비의 종류와 수량이 많아 적정한 운영 인력을 보유하여야 할 것으로 생각됨 (이성형)
- O.H.C cross beam 옆면에 센터 로고를 붙이는 것도 검토 바람 (이성형)
- 유압펌프 설비, 수배전반, 발전기 등 장비 인근에 출입통제 목적으로 노란색 선을 도색하는 것이 좋음 (안호현)



[그림 73] 운영효율성 제고를 위한 현장 확인 및 기술자문

(27) 2017.01.15. 태양광발전설비 사용전 검사

○ 검사주체 : 전기안전공사

○ 발전설비 380V 용량 70.56KW에 대한 태양광발전설비 사용검사 및 합격 완료



[그림 74] 태양광발전설비 사용전 검사 및 검사확인증

(28) 2017.01.24. KREONET망 및 학내망 사용 관련 서울대 정보화본부와의 협의

○ 주요 협의 내용

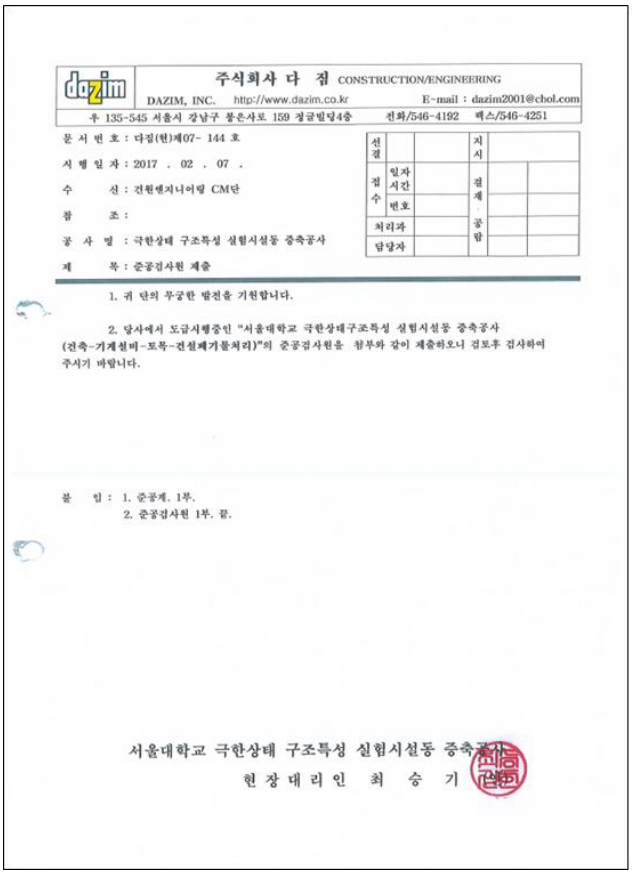
- 학내망 규격 및 제출서류 안내
- 선번장 샘플 검토(라벨링 규칙 안내)
- 전산장비 도입정보 파일 제출 필요
- 제출서류 정상여부 확인 후 전산망 연결 가능 안내
- 연구망 또한 학내망과 동일한 산출물(선번장, 도입정보 등)을 보관하도록 권장
- 통신 시설/장비 운영 정보화본부 지원 불가. 극한성능실험센터 자체 운영 필요
- 필요 IP는 30개가 충분한지 재확인 후 요청하면 발급 가능
- 장비 설정 및 IP 사용 등은 KREONET망과 자체적으로 협의하여 사용

(29) 2017.02.06.~14. 건축공사 준공검사



[그림 75] 건축공사 준공검사

(30) 2017.02.07. 건축공사 준공



주식회사 다 짐 CONSTRUCTION/ENGINEERING
DAZIM, INC. http://www.dazim.co.kr E-mail : dazim2001@chol.com
우 135-545 서울시 강남구 봉은사로 159 정글빌딩4층 전화/546-4192 팩스/546-4251

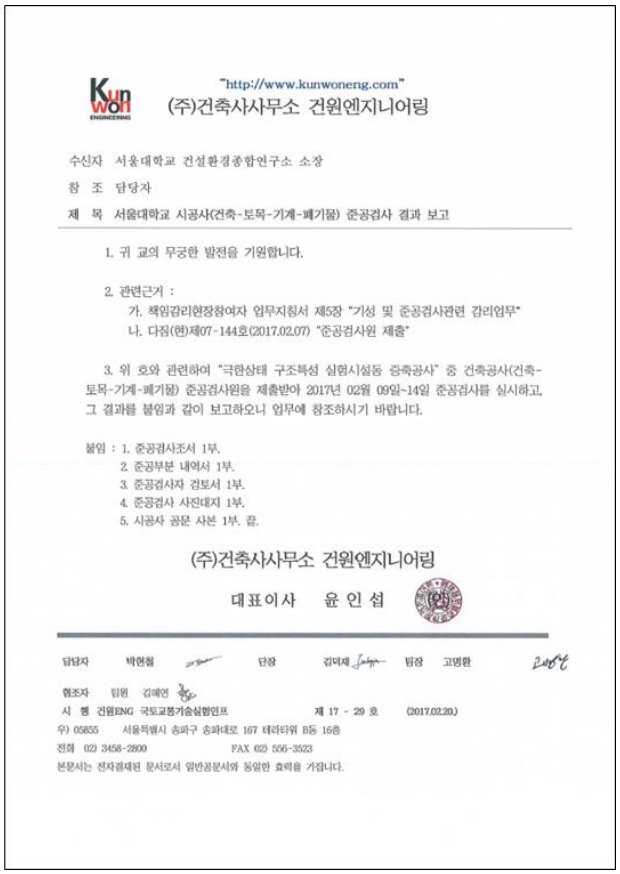
문 서 번 호 : 다짐(현)제07- 144 호
시 행 일 자 : 2017 . 02 . 07 .
수 신 : 건원엔지니어링 CM단
참 조 :
공 사 명 : 극한상태 구조특성 실험시설동 증축공사
제 목 : 준공검사원 제출

1. 귀 단의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 당사에서 도급시행중인 "서울대학교 극한상태구조특성 실험시설동 증축공사 (건축-기계설비-토목-건설폐기물처리)"의 준공검사원을 첨부와 같이 제출하오니 검토후 검사하여 주시기 바랍니다.

붙 임 : 1. 준공계. 1부.
2. 준공검사원 1부. 끝.

서울대학교 극한상태 구조특성 실험시설동 증축공사
현 장 대 리 인 최 승 기



"http://www.kunwoneng.com"
(주)건축사사무소 건원엔지니어링

수신자 서울대학교 건설환경종합연구소 소장
참 조 담당자
제 목 서울대학교 시공사(건축-토목-기계-폐기물) 준공검사 결과 보고

1. 귀 교의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 관련근거 :
가. 책임감리현장참여자 업무지침서 제5장 "기성 및 준공검사관련 감리업무"
나. 다짐(현)제07-144호(2017.02.07) "준공검사원 제출"

3. 위 호와 관련하여 "극한상태 구조특성 실험시설동 증축공사" 중 건축공사(건축-토목-기계-폐기물) 준공검사원을 제출받아 2017년 02월 09일~14일 준공검사를 실시하고, 그 결과를 붙임과 같이 보고하오니 업무에 참조하시기 바랍니다.

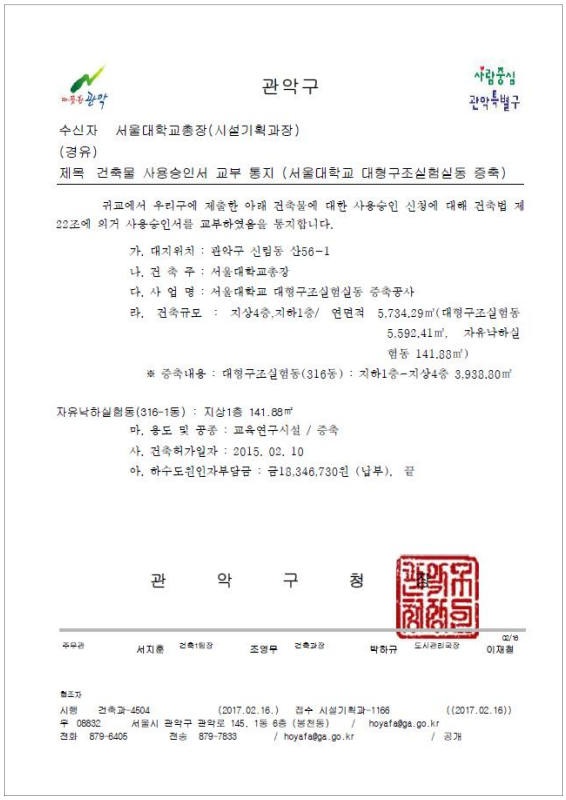
붙임 : 1. 준공검사조서 1부.
2. 준공부분 내역서 1부.
3. 준공검사자 검토서 1부.
4. 준공검사 사진대지 1부.
5. 시공사 공문 사본 1부. 끝.

(주)건축사사무소 건원엔지니어링
대표이사 윤 인 섭

담당자 박현철 단장 김대제 팀장 고명환
협조자 팀원 김혜연
시 행 건원ENG 국토교통기술실험연프 제 17 - 29 호 (2017.02.20.)
우) 05855 서울특별시 송파구 송파대로 167 테라타워 B동 16층
전화 02) 3458-2800 FAX 02) 556-3523
본문서는 전자결재된 문서로서 일반공문서와 동일한 효력을 가집니다.

[그림 76] 건축공사 준공검사원(시공사) 및 준공검사 결과 보고(CM단)

(31) 2017.02.16. 사용 승인 (관악구청)



관악구

사람중심 관악특별구

수신자 서울대학교총장(시설기획과장)
(경유)
제목 건축물 사용승인서 교부 통지 (서울대학교 대형구조실험실동 증축)

귀교에서 우리구에 제출한 아래 건축물에 대한 사용승인 신청에 대해 건축법 제22조에 의거 사용승인서를 교부하였음을 통지합니다.

가. 대지위치 : 관악구 신림동 산56-1
나. 건 축 주 : 서울대학교총장
다. 사 업 명 : 서울대학교 대형구조실험실동 증축공사
라. 건축규모 : 지상4층,지하1층/ 연면적 5,734.29㎡(대형구조실험동 5,592.41㎡, 자유낙하실험동 141.88㎡)
※ 증축내용 : 대형구조실험동(316동) : 지하1층~지상4층 3,938.80㎡

자유낙하실험동(316-1동) : 지상1층 141.88㎡
마. 용도 및 공종 : 교육연구시설 / 증축
사. 건축허가일자 : 2015. 02. 10
아. 하수도원인자부담금 : 금18,346,730원 (납부). 끝

관 악 구 청 장

주무관 서지훈 건축1팀장 조영무 건축과장 박하규 도시관리국장 이재원

협조자
시행 건축과-4504 (2017.02.16.) 접수 시설기획과-1166 ((2017.02.16))
주 08832 서울시 관악구 관악로 145, 1동 6층 (봉천동) / hoyafa@ga.go.kr
전화 879-6405 전송 879-7633 / hoyafa@ga.go.kr / 공개

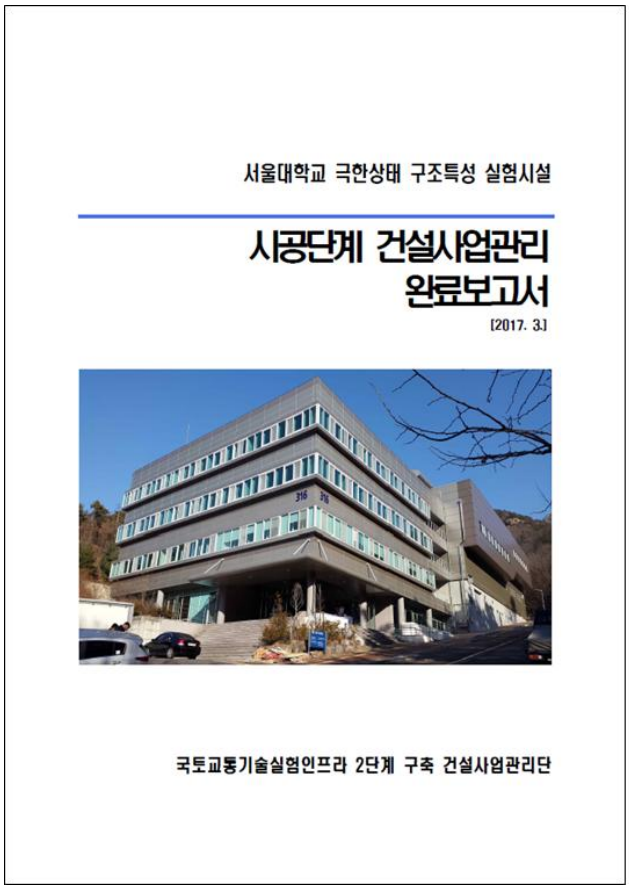
[그림 77] 건축물 사용승인서

(32) 2017.02.22. 준공식 개최



[그림 78] 준공식 개최

(33) 2017.03 CM단 시공단계 건설사업관리 완료보고서 제출

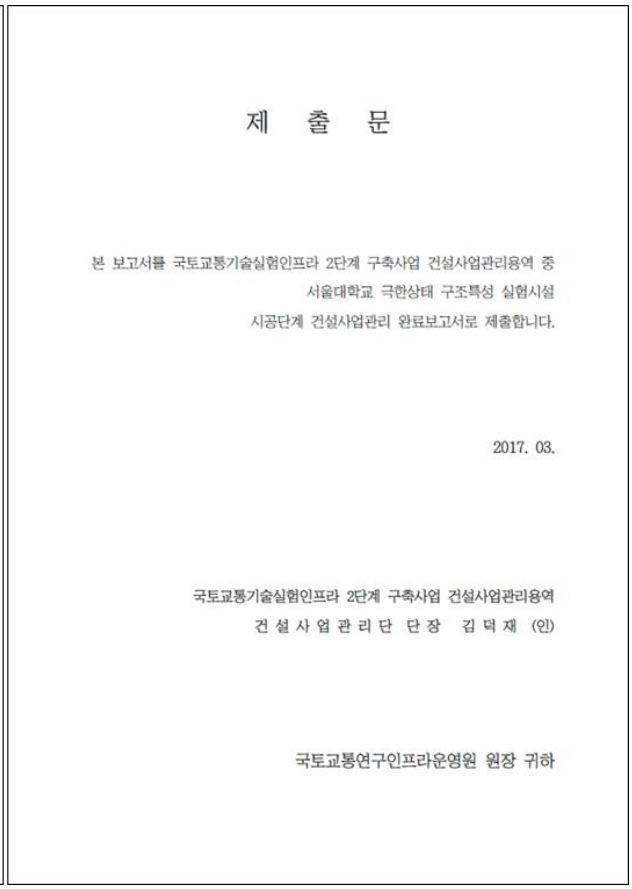


서울대학교 극한상태 구조특성 실험시설

시공단계 건설사업관리
완료보고서

[2017. 3.]

국토교통기술실험인프라 2단계 구축 건설사업관리단



제 출 문

본 보고서를 국토교통기술실험인프라 2단계 구축사업 건설사업관리용역 중
서울대학교 극한상태 구조특성 실험시설
시공단계 건설사업관리 완료보고서로 제출합니다.

2017. 03.

국토교통기술실험인프라 2단계 구축사업 건설사업관리용역
건 설 사 업 관 리 단 단 장 김 덕 재 (인)

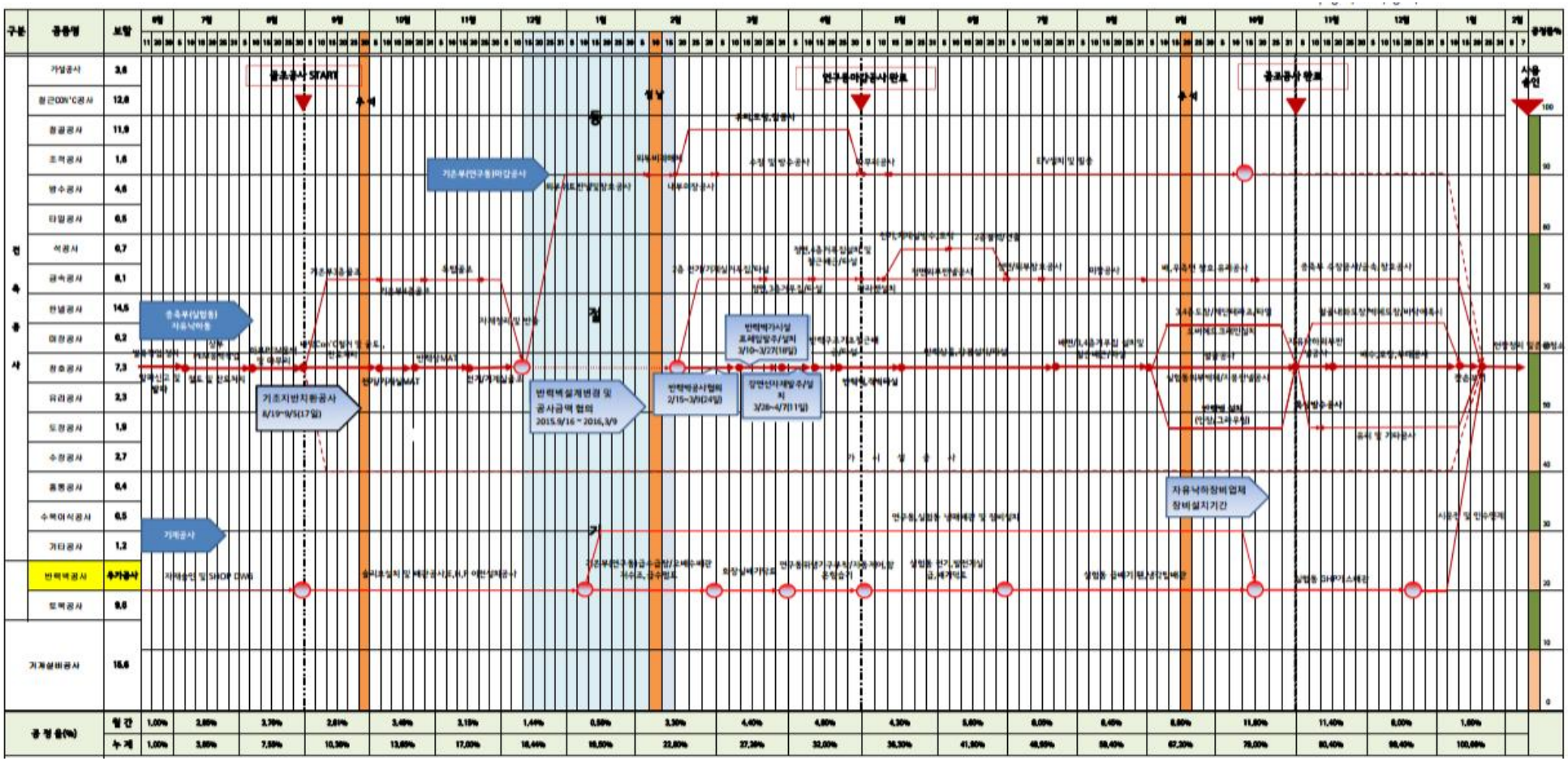
국토교통연구인프라운영원 원장 귀하

[그림 79] 시공단계 건설사업관리 완료보고서

(34) 건축공사 예정공정표

○ 장비 설치 일정을 고려하여 건축공사 공정계획을 재수립함

○ 지속적으로 건축공정을 검토하고, CM/서울대 시설과/시공사/장비업체와의 협의를 통하여 공정관리를 수행함



[그림 80] 건축공사 공정표

(35) 2015.04~2018.02. 월간 공정회의 및 주간 공정회의 개최

○ 서울대 본부 시설과, 산학협력단, CM, 시공사와 협의체제를 구축하고, 건축공사 관련 이슈사항 발생시 수시로 회의를 개최하여 초기대응 방안 마련 및 조치

○ 공정계획의 검토

- 건설사업관리단(CM)은 공사시공자의 공정계획이 공사의 종류, 특성, 공기 및 현장의 실정 등을 감안하여 수립되었는지를 검토, 확인하고 시공의 경제성과 품질확보의 적합성 등을 검토함
- 건설사업관리단(CM)은 계약된 공기 내에 건설공사가 완료될 수 있도록 검토하며 공사 진행에 관하여 세부 공정계획, 공사시공자의 현장기술자 및 장비 확보사항, 기타 공사계획에 관한 사항을 사전에 점검하여 공사 진행상 문제가 있다고 판단되는 경우에는 발주자에게 의견을 제시함

○ 주요공종 공사추진계획 수립, 관리

- 주요공종 관리 : 건설사업관리단(CM)은 공사시공자가 제출하는 예정공정표상에 주공정선 표시, 주요공종에 대한 착수, 종료시점 및 소요기간 등의 명시 등을 검토함
- 공사 준비사항 사전 점검 : 주요공종 공사착수 전에 시공 준비상태를 점검하여야 하며, 미흡한 사항에 대하여 공사시공자에게 개선을 촉구하고 협의한 내용의 이행 여부를 문서로 확인함
- 공사관리 : 공사시공자로부터 주요공종에 대하여 월별 공사추진계획, 자재 수급 및 인력동원계획, 장비투입계획(필요 공종에 한함) 등의 공사추진 세부계획서를 제출받아 검토함



[그림 81] 공정회의 개최

(36) 건축공사 주요 현장 전경



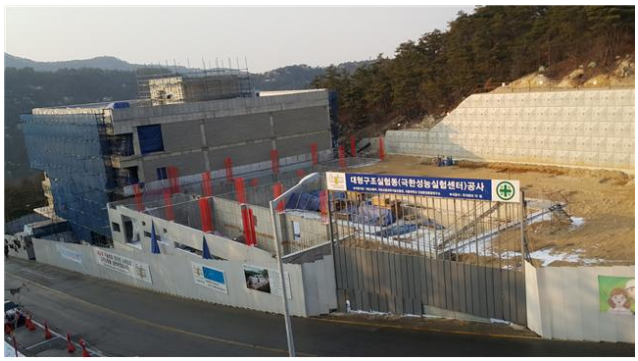
(a) 2015.07.28.



(b) 2015.08.17.



(c) 2015.11.03.



(d) 2016.01.26.



(e) 2016.03.28.



(f) 2016.08.16.



(g) 2016.09.28.



(h) 2016.11.01.



(i) 2016.11.22.



(j) 2016.12.23.



(k) 2018.10.22.



(l) 2018.10.22.

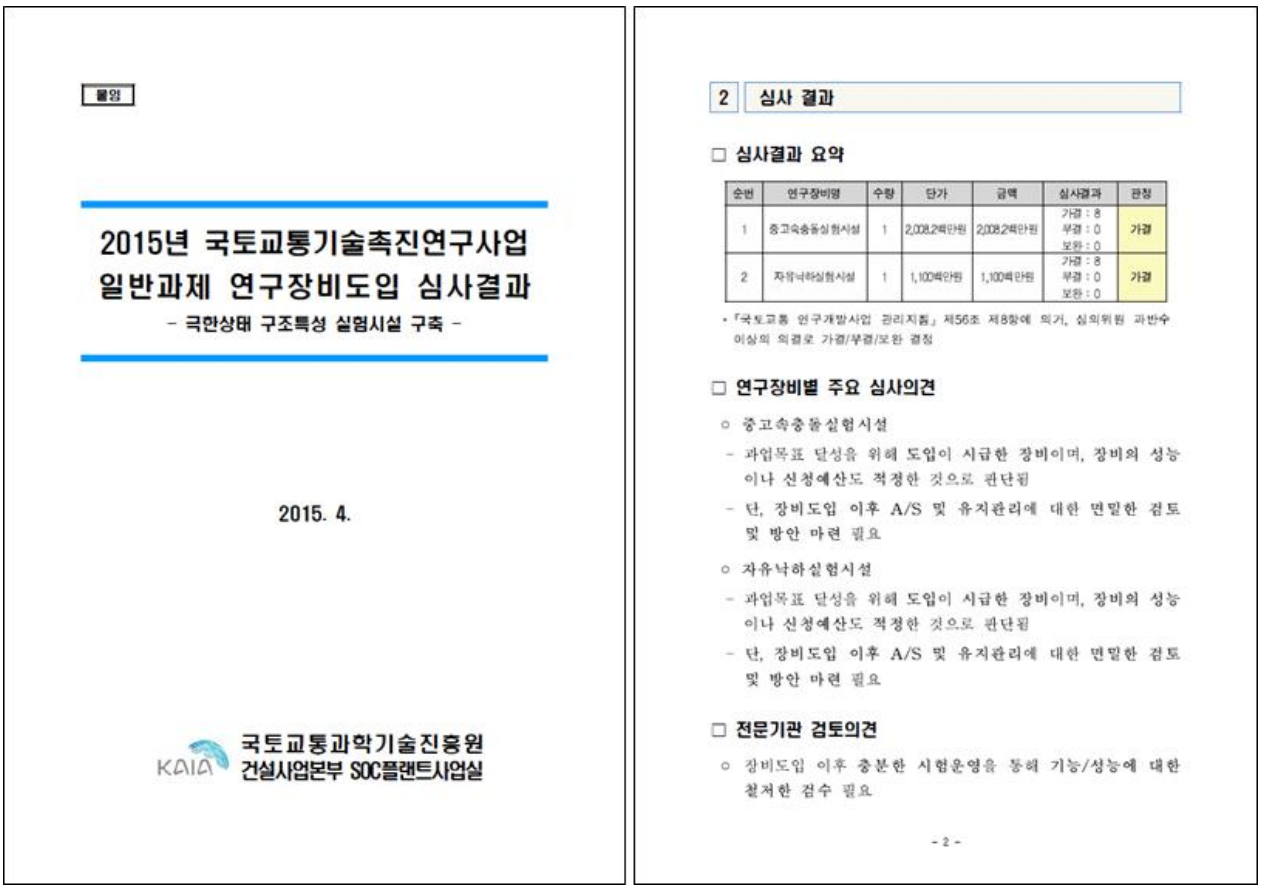
[그림 82] 건축공사 주요 전경

2. 연구장비 구축

가. 연구장비도입심사

[표 28] 연구장비도입심사 결과

No.	날짜	심사명 (심사기관)	장비명	신청액 (백만원)	조정금액 (백만원)	비고
1	2014.06.16.	장비예산심의 (미래창조과학부)	극한온도실험시설	1,060	853	승인
2			급속재하실험시설	3,410	3,054	승인
3			흡킨슨바	187	167	승인
4			5,000kN UTM	924	830	승인
5	2015.04.10.	연구장비도입심사 (KAIA)	중고속충돌실험시설	2,008.2	2,008.2	승인
6			자유낙하실험시설	1,100	1,100	승인
7	2016.05.27.	장비예산심의 (미래창조과학부)	팬들럼충격실험시설	228	200	승인
8			온도제어삼축시험기	140	127	승인
9	2016.10.06.	추가변경심의 (미래창조과학부)	급속재하실험시설	3,054	3,054	승인 (성능변경)



붙임

2015년 국토교통기술촉진연구사업
일반과제 연구장비도입 심사결과
- 극한상태 구조특성 실험시설 구축 -

2015. 4.

KAIA 국토교통과학기술진흥원
건설사업본부 SOC플랜트사업실

2 심사 결과

□ 심사결과 요약

순번	연구장비명	수량	단가	금액	심사결과	판정
1	중고속충돌실험시설	1	2,008.2백만원	2,008.2백만원	가결 : 8 부결 : 0 보완 : 0	가결
2	자유낙하실험시설	1	1,100백만원	1,100백만원	가결 : 8 부결 : 0 보완 : 0	가결

* 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제56조 제8항에 의거, 심의위원 과반수 이상의 의결로 가결/부결/보완 결정

□ 연구장비별 주요 심사의견

○ 중고속충돌실험시설
- 과업목표 달성을 위해 도입이 시급한 장비이며, 장비의 성능이나 신청예산도 적정한 것으로 판단됨
- 단, 장비도입 이후 A/S 및 유지관리에 대한 면밀한 검토 및 방안 마련 필요

○ 자유낙하실험시설
- 과업목표 달성을 위해 도입이 시급한 장비이며, 장비의 성능이나 신청예산도 적정한 것으로 판단됨
- 단, 장비도입 이후 A/S 및 유지관리에 대한 면밀한 검토 및 방안 마련 필요

□ 전문기관 검토의견

○ 장비도입 이후 충분한 시험운영을 통해 기능/성능에 대한 철저한 검수 필요

- 2 -

[그림 83] 중고속충돌실험시설, 자유낙하실험시설 연구장비도입심사 결과

나. 자유낙하실험시설 구축

[표 29] 자유낙하실험시설 주요 추진 경과

No.	날짜	추진 경과	Page
1	2015.07.03.~24.	자유낙하실험시설 조달청 입찰공고	82
2	2015.07.31.	기술제안서 평가 및 최우선 협상업체 선정	82
3	2015.08.07.	협상	83
4	2015.08.12.	계약 체결	83
5	2015.08.25.	뉴원시스템-CM단-시공사와의 장비구축 관련 기술협의	84
6	2015.09.09.	뉴원시스템-CM단-설계사-시공사와의 장비구축 관련 기술협의	85
7	2015.11.20.	뉴원시스템과의 장비구축 관련 기술협의	86
8	2015.12.28.	뉴원시스템과의 장비구축 관련 기술협의	86
9	2016.02.22.	뉴원시스템과의 장비구축 관련 기술협의	87
10	2016.03.14.	자유낙하실험시설 구조검토 및 계측센서 공급원 승인요청 공문 접수 및 승인	87
11	2016.03.22.	자유낙하실험시설 주요 부재 제작 공장 방문 및 사전 검수	88
12	2016.06.11.	뉴원시스템-시공사와의 장비구축 관련 기술협의	88
13	2016.08~12	자유낙하실험시설 설치	90
14	2016.12.27.	자유낙하실험시설 성과품 제출 서류 검토 및 검수시험 수행	89
15	2017.01.20.	자유낙하실험시설 구축 완료	91

(1) 2015.07.03.~24. 자유낙하실험시설 조달청 입찰공고

○ 발주방법 : 서울대 자체발주

○ 입찰방법 : 제한경쟁(총액)입찰, 협상에 의한 계약

- 입찰 후 기술 제안서 심사평가를 실시함
- 기술제안서 점수와 가격점수를 합산하여 최종 낙찰자를 결정함

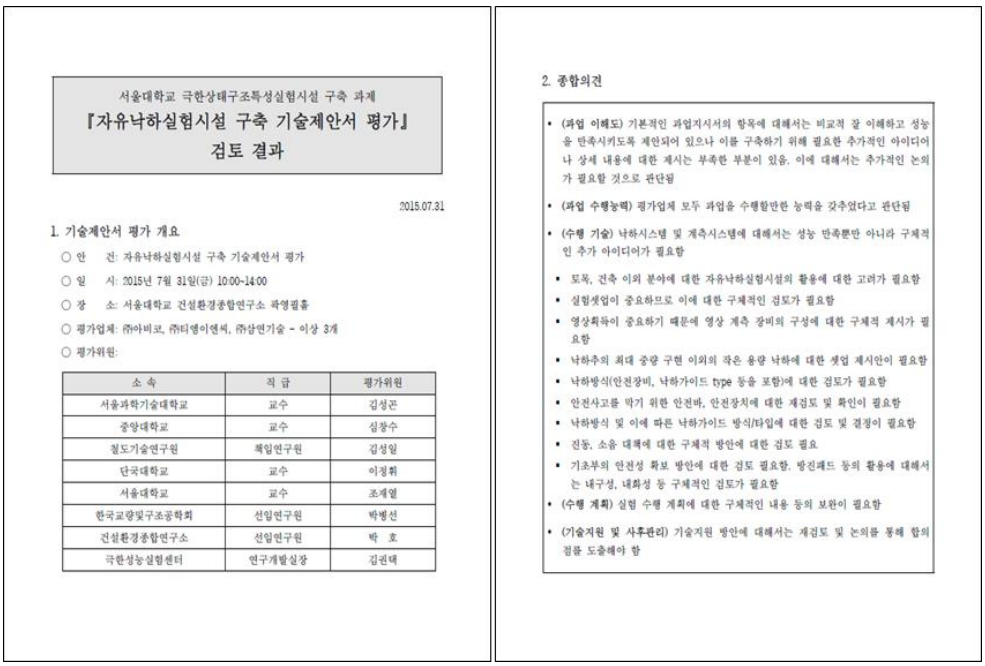
(2) 2015.07.31. 기술제안서 평가 및 최우선 협상업체 선정

○ 총 3개 업체 기술제안서에 대한 기술평가 수행

○ 업체 별 기술제안서 평가의견은 장비업체와 협상 시 반영하여 품질 및 성능 제고



[그림 84] 자유낙하실험시설 기술제안서 평가



서울대학교 극한상태구조특성실험시설 구축 과제

『자유낙하실험시설 구축 기술제안서 평가』

검토 결과

2015.07.31

1. 기술제안서 평가 개요

○ 안 건: 자유낙하실험시설 구축 기술제안서 평가

○ 일 시: 2015년 7월 31일(금) 10:00~14:00

○ 장 소: 서울대학교 건설환경종합연구소 파형홀

○ 평가업체: ㈜아비코, ㈜티엠이엔씨, ㈜삼연기술 - 이상 3개

○ 평가위원:

소 속	직 급	평가위원
서울과학기술대학교	교수	김성곤
중앙대학교	교수	심창수
철도기술연구원	책임연구원	김성일
단국대학교	교수	이정휘
서울대학교	교수	조재열
한국교량및구조공학회	선임연구원	박병선
건설환경종합연구소	선임연구원	박 호
극한성능실험센터	연구개발실장	김권태

2. 종합의견

- (과업 이해도) 기본적인 과업지시서의 항목에 대해서는 비교적 잘 이해하고 성능을 만족시키도록 제안되어 있으나 이를 구축하기 위해 필요한 추가적인 아이디어나 상세 내용에 대한 제시는 부족한 부분이 있음. 이에 대해서는 추가적인 논의가 필요할 것으로 판단됨
- (과업 수행능력) 평가업체 모두 과업을 수행할만한 능력을 갖추었다고 판단됨
- (수행 기술) 낙하시스템 및 계측시스템에 대해서는 성능 만족뿐만 아니라 구체적인 추가 아이디어가 필요함
  - 토목, 건축 이외 분야에 대한 자유낙하실험시설의 활용에 대한 고려가 필요함
  - 실험셋업이 중요하므로 이에 대한 구체적인 검토가 필요함
  - 영상획득이 중요하기 때문에 영상 계측 장비의 구성에 대한 구체적 제시가 필요함
  - 낙하추의 최대 중량 구현 이외의 작은 용량 낙하에 대한 셋업 제시안이 필요함
  - 낙하방식(안전장비, 낙하가이드 type 등을 포함)에 대한 검토가 필요함
  - 안전사고를 막기 위한 안전바, 안전장치에 대한 재검토 및 확인이 필요함
  - 낙하방식 및 이에 따른 낙하가이드 방식/타입에 대한 검토 및 결정이 필요함
  - 진동, 소음 대책에 대한 구체적 방안에 대한 검토 필요
  - 기초부의 안전성 확보 방안에 대한 검토 필요함. 방진패드 등의 활용에 대해서는 내구성, 내화성 등 구체적인 검토가 필요함
- (수행 계획) 실험 수행 계획에 대한 구체적인 내용 등의 보완이 필요함
- (기술지원 및 사후관리) 기술지원 방안에 대해서는 재검토 및 논의를 통해 합의점을 도출해야 함

[그림 85] 자유낙하실험시설 기술제안서 평가 결과

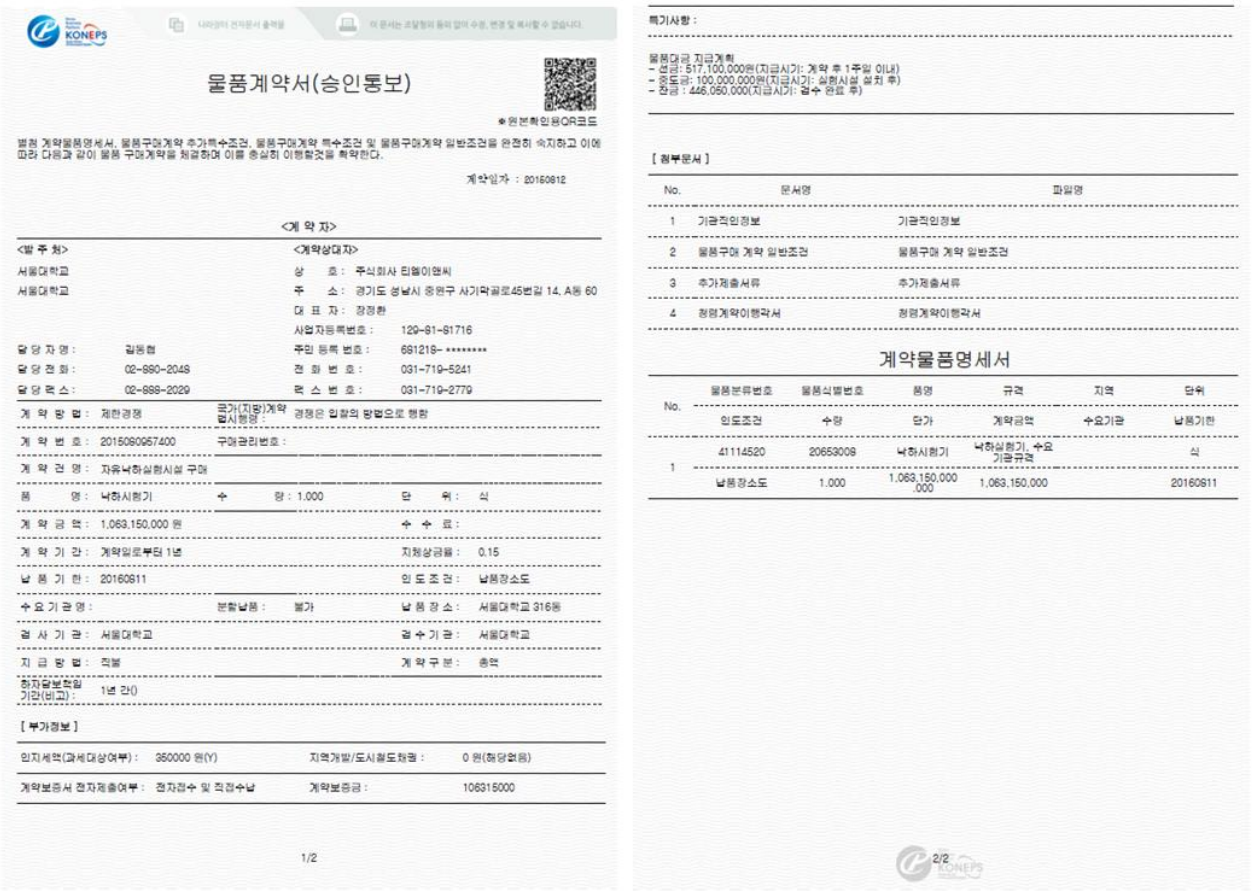
(3) 2015.08.07. 협상

○ 기술제안서 평가의견을 반영하여 협상 완료

○ 주요 협상 내용

- 기술제안서는 과업 종료시까지 반드시 수행되어야 하는 기본사항이며, 과업기간 동안 발주처와 업체간의 긴밀한 협의 하에 세부 사항들은 변경 가능함
- 낙하추를 낙하하는 방식 이외에 시험체를 직접 낙하시킬 수 있는 시스템을 적용하기로 함
- 계측장비의 경우 시간이 경과됨에 따라 성능향상 및 가격 인하 등이 발생할 수 있으므로, 과업기간 후반에 발주하기로 함
- 검수시 각종 안전장치에 대해서는 각 돌발상황 하에서 검증이 완료되어야 함
- 구축일정 협의
- 장비 실시설계는 기본 3개월을 적용하고, 제작 전 발주처의 승인을 반드시 득하기로 함
- 장비 설치시기는 건축공사 일정에 맞추어야 하며, 건축 시공업체와 협의하기로 함

(4) 2015.08.12. 계약 체결



물품계약서(승인통보)

*원본확인용QR코드

별첨 계약물품명세서, 물품구매계약 추가특수조건, 물품구매계약 특수조건 및 물품구매계약 일반조건을 완전히 숙지하고 이에 따라 다음과 같이 물품 구매계약을 체결하며 이를 증실히 이행할것을 확약한다.

계약일자 : 20160812

<계 약 자>

<발 주 처>		<계약상대자>	
서울대학교		상 호 :	주식회사 티엠이앤씨
서울대학교		주 소 :	경기도 성남시 중원구 사기막골로45번길 14, A동 60
		대 표 자 :	장정환
		사업자등록번호 :	129-81-61716
담 당 자 명 :	김동협	주민 등록 번호 :	681219- ********
담 당 전 화 :	02-880-2048	전 화 번 호 :	031-719-5241
담 당 팩 스 :	02-888-2029	팩 스 번 호 :	031-719-2779

계 약 방 법 :	제한경쟁	공개(지명)계약 입시행명 :	경쟁은 입찰의 방법으로 행함
계 약 번 호 :	20150909567400	구매관리번호 :	
계 약 건 명 :	자유낙하실험시설 구매		
품 명 :	낙하시험기	수 량 : 1.000	단 위 : 식
계 약 금 액 :	1,063,150,000 원	수 수 료 :	
계 약 기 간 :	계약일로부터 1년	지체상금율 :	0.15
납 품 기 한 :	20160911	인 도 조 건 :	납품장소도
수 요 기 관 명 :		분할납품 : 불가	납 품 장 소 : 서울대학교 316동
검 사 기 관 :	서울대학교	검 수 기 관 :	서울대학교
지 급 방 법 :	직불	계 약 구 분 :	총액
하자담보책임기간(비고) :	1년 간()		

[부가정보]

인지세액(과세대상여부) :	350000 원(Y)	지역개발/도시철도채권 :	0 원(해당없음)
계약보증서 전자제출여부 :	전자검수 및 직접수납	계약보증금 :	106315000

1/2

특기사항 :

물품대금 지급계획
- 선금 : 517,100,000원(지급시기: 계약 후 1주일 이내)
- 중도금: 100,000,000원(지급시기: 실험시설 설치 후)
- 잔금 : 446,050,000(지급시기: 검수 완료 후)

[첨부문서]

No.	문서명	파일명
1	기관직인정보	기관직인정보
2	물품구매 계약 일반조건	물품구매 계약 일반조건
3	추가제출서류	추가제출서류
4	청렴계약이행각서	청렴계약이행각서

계약물품명세서

No.	물품분류번호	물품식별번호	품명	규격	지역	단위
	인도조건	수량	단가	계약금액	수요기관	납품기한
1	41114520	20653009	낙하시험기	낙하실험기, 수요기관규격		식
	납품장소도	1.000	1,063,150,000,000	1,063,150,000		20160911

2/2

[그림 86] 자유낙하실험시설 계약서

(5) 2015.08.25. 뉴원시스템-CM단-시공사와의 장비구축 관련 기술협의

[표 30] 주요 협의내용

검토 항목	협의 내용
장비설치 공간	• 설계상 장비의 총 너비 11,820mm 필요함. 뉴원에서 장비설계를 검토하였지만 기설계된 장비의 폭을 더 줄일 수 없음. 계단, 승강기 현위치 유지시 최소 확장 폭 1,800mm 필요 (요구 2,000mm) • 10,000mm의 너비에서 건축물지지 H형강과 외벽으로 인한 350mm의 공간이 추가로 줄게 됨 • 구조실험동에서 자유낙하실험동 기초연결부까지 너비 1,350mm의 활용가능공간이 있지만 상부 높이 10,700mm까지만 사용가능. (실험동 지붕과 겹침) 이에 따른 계단 및 승강기 위치 및 크기 조정안 필요
점검용 계단	• 장비의 낙하추 가이드레일 프레임이 장비의 측면으로 위치하기 때문에 측면 공간활용이 어려워 계단과 승강기는 측면에 설치되는 것이 효율적임 • 수직사다리와 4~5미터 간격으로 스틸그레이팅을 병행하여 설치하는 방안을 시공사에서 제시함. 서울대에서 검토하여 계단을 대체하여 스틸그레이팅 폭을 1,100mm 이내로 승강기가 설치된 우측면에 함께 설치하도록 설계 검토하기로 함 • 수직사다리와 스틸그레이팅 병행시 우측공간 협소로 후방으로 이동시 돌아서 이동해야하는 문제점 있음. 기존 계단쪽 1,350mm의 공간으로 이동 가능
상부작업대	• 기존 설계에서 계단을 수직사다리로 대체 후 승강기와 같은 측면에 설치시 상부에 돌출되는 상부작업대의 좌측(실험동측)의 너비만 줄일 경우 프레임에 전달되는 충격에 의한 흔들림 증가 및 무게중심 등을 고려한 기존 설계에 문제점이 발생할 수 있어 설계 검토가 필요함
장비 메인프레임 내부공간	• 티엠이엔씨에서 기초공사시 기초부 끝이 직각으로 깎이기 때문에 이격된 공간이 좁으면 장비프레임쪽의 지압력이 기초부에 영향을 줄 수 있기 때문에 장비프레임까지의 800mm의 이격 공간과 아이솔레이션 패드 설치공간 좌우 100mm씩이 추가로 필요하다는 의견(장비프레임 포함 8,900mm필요) 이후 이격공간을 더 줄일 수 있는가는 검토 중 • 최초 설계보다 내부 공간이 넓어질 경우 설계상의 변경이 있을 수 있음. 구조상 안정성을 확보하기 위하여 장비구조가 커져야해 뉴원에서 설계검토가 필요
건물설계 변경	• 기존 건물설계의 오류로 인하여 증축부 전체가 충격실험동 쪽으로 600mm 이동이 필요함. 자유낙하실험동의 위치이동 없이 구조실험동과 이격된 2,000mm의 공간 내에서 조정하기로 결정 • 구조실험동과 충격실험동 사이의 이격된 공간을 합쳐 건물을 넓히는 안건은 시공사 확인 결과 구조실험동 지붕이 아치형으로 되어있어 두 건물의 연결시 누수 가능성이 있어서 설계변경에 어려움이 있음 • 자유낙하실험동 건물모서리(우측후방)와 옹벽간의 거리는 우측 3,600mm, 후방 1,860mm 이격되어 있음. 자유낙하실험동 건물을 우측으로 1,800mm 확장시 건물과 옹벽간 최단거리 1,100mm 남음. 충격실험동을 옹벽쪽으로 확장하여도 PEM기초 위에 옹벽이 올라와 있어서 지하를 파는 것이 아니라 영향을 미칠 가능성 없음. (PEM기초 600mm, 충격실험동 기초 500mm) 서울대에서 1,000mm 이상의 건물확장 가능성 검토하여야 함
터파기	• 설계도면에 기초시작부분을 기준으로 장비도면을 넣은 도면과 장비프레임이 설치될 위치 및 중심선을 표시한 도면을 뉴원 이강록 대리가 27일(목) 오전까지 티엠이엔씨 안호현 이사에게 전달 • 티엠이엔씨에서는 전달된 자료를 검토하여 터파기 깊이, 넓이, 위치 등 자료를 27일(목) 오후까지 서울대로 제출하여야 함

(6) 2015.09.09. 뉴원시스템-CM단-설계사-시공사와의 장비구축 관련 기술협의

[표 31] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
자유낙하실험동 건축물 높이	• 최초 건축물 설계상 지표 위 18.7M까지 가능함 (최승기) • 장비 설계상 1.5M의 추가 높이 요구됨 (뉴원) • 장비 낙하거리 및 낙하추 중량을 변경하면 장비의 재설계가 필요함 (뉴원) • 건축설계사에서는 구조실험동과 자유낙하실험동을 별동으로 분리하여 자유낙하실험동의 기초를 토대로 설계변경 신청하여 건축물 고도제한을 늘릴 수 있는지 확인이 필요함 • 건축설계사에서는 설계변경 신청이 가능할 시 내부 높이 순공간 19.5M로 낙하실험동 지붕의 설계 변경하여 티엠이엔씨측에 전달할 것 • 뉴원에서는 19.5M의 높이를 고려하여 상단작업대의 높이 및 낙하추 고정부의 높이를 최소화하기 위하여 설계 검토하여 메일로 공유 할 것
자유낙하실험동 건축물 너비	• 장비설치를 위하여 건축물 폭을 기설계된 10M에서 최소 1.5M 확장이 필요함 • 좌측 1M, 우측 2M가량 넓힐 수 있는 공간은 존재함 (최항) • 자유낙하실험동 건축물 확장 너비 2.0M로 확정 (총 너비 12M) • 건축설계사에서는 건축물 너비를 2.0M 추가 확장시켜 설계변경하여 티엠이엔씨에 전달할 것 • 티엠이엔씨는 변경된 건축물 설계에 맞추어 중심선 및 기초부 위치와 크기를 시공사측에 전달할 것
기초부 두께	• 약 128톤의 장비무게를 받을 경우 기초부의 연암에서 4~5mm정도의 처짐이 발생할 수 있어서 기초부 두께 500mm에서 800mm로 변경이 필요함 (뉴원) • 설계 초반 서울대측에서 지내력 40톤으로 구조설계 용역발주 함 • 티엠이엔씨에서는 장비의 4개 프레임간 간격과 집중하중 등 하중조건을 시공사측에 전달할 것 • 기초부에서 받게 될 장비 전체 하중과 프레임별 하중조건을 뉴원에서 티엠이엔씨측에 전달할 것
기초부 방수	• 기초부쪽에 골짜기가 존재하여 기초와 연암사이에 누수가 발생할 수 있음 • 연암과 방진패드 사이에 동결융해가 발생시 연암에 변형이 발생할 경우 충격하중이 등분포 지지력이 유지되지 않을 문제가 있음 (안호현) • 콘크리트는 특성상 완전방수가 불가능함 • 집수정을 설치하고 펌프로 배수하는 방안, 배수로 설치방안, 옹벽쪽 자갈을 깔아 자연배수하는 방안 등이 제시되었지만 100% 방수는 불가능함 (최승기) • 기초부를 일체화하였을 경우 장비 프레임으로 충격이 전달될 경우 장비 프레임이 틀어지는 등의 문제점이 발생할 가능성 존재함 • 티엠이엔씨에서는 기초부의 방수를 위해 분리된 기초를 일체화하는 방안과 기초부에서 발생하게될 동결융해를 고려해야 하는지의 여부를 검토하여 서울대측에 전달할 것

(7) 2015.11.20. 뉴원시스템과의 장비구축 관련 기술협의

[표 32] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
낙하실험장비 설계변경 관련	• 설계변경된 낙하실험동 건축물 높이 19.5M를 고려하여 내부 낙하공간 15M 확보 후 장비높이 19.150M로 축소설계하기로 함(변경 전 20.880M) • 호이스트와 낙하추 이송대를 연결하는 와이어가 충분한 힘을 받기 위한 공간과 상부 작업대 공간을 고려하여 최소높이로 설계함 • 작업용 사다리 위치 이동으로 상단작업대 좌우 폭 8.900M로 축소하여 설계변경하기로 함(변경 전 10.392M)
낙하추 관련	• 낙하추 가이드레일의 너비와 폭을 고려하여 낙하추의 무게와 형태를 시뮬레이션한 결과, 최소 1.5톤의 무게로 제작되어야 낙하추에 변형이 발생하지 않음 • 1.5톤 이상은 가이드레일을 이용, 1.5톤 미만의 용량은 따로 무게추를 제작하여 가이드레일을 거치지 않고 자유낙하하여 실험하는 방안을 제안함(뉴원) • 서울대에서는 위에 제안된 방안을 검토하여 뉴원에 전달하기로 함 • 서울대에서는 낙하추가 시료에 충돌되는 면적, 형태 등을 고려하여 타격부(Striker) 형상을 결정하여 뉴원에 전달하기로 함
센서 설치 관련	• 낙하추에 설치되어 내려오는 가속도센서의 배선문제 해결방안 검토 필요함 • 높이측정센서는 부재의 크기에 따라 부재에서 타격부까지의 거리를 정확하게 측정이 가능하도록 설치되여야 함 • 속도측정센서는 속도를 측정할 수 있는 반응공간을 검토하여 부재에 따라 높이조절이 가능하도록 설치되여야 함
장비 녹 방지	• 장비의 녹발생 방지 대책으로 가공 후 도장처리를 2중으로 하기로 함
기타 고려사항	• 최종설계 완료시 구조계산서, 설계도면을 제본하여 서울대에 제출하기로 함 • 월간보고서는 매월 마지막 주중 진행사항, 공정율, 제안, 결정, 특이사항 등을 작성하여 서울대에 제출하기로 함

(8) 2015.12.28. 뉴원시스템과의 장비구축 관련 기술협의

[표 33] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
실시험체 낙하실험 방식	• 실시험체 낙하실험은 각 시험체에 따라 별도의 지그를 제작하여 목표 높이로 이송 후 낙하하는 방식임 • 뉴원은 실시험체 낙하실험을 위한 이송방식을 제안하기로 함
구축 일정	• 2015년 08월 ~ 2015년 11월 : 실시설계 및 검토 • 2015년 12월 ~ 2016년 03월 : 제작 • 2016년 04월 ~ 2016년 06월 : 설치 • 2015년 12월 전까지는 기초부를 시공할 계획임 • 2016년 05월 중순 이전까지 전기공사가 완료되어야 함 (장비 테스트를 위한 전원공급) • 뉴원은 구축일정 재확인 후 전달하기로 함 • 서울대는 건축시공일정 확인 후 구축일정과 조율하여 일정계획을 전달

(9) 2016.02.22. 뉴원시스템과의 장비구축 관련 기술협의

[표 34] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
낙하프레임 최소 무게	• (뉴원) 기존 1.5ton에서 2.0ton으로 수정이 필요함. 3ton(낙하프레임 1.5ton 포함)을 15m 높이에서 낙하시켰을 때 해석결과 낙하프레임에 비틀림이 발생함
낙하프레임과 기초바닥과의 거리	• (뉴원) 충격부(Striker)의 높이가 약 600mm이므로 낙하프레임과 기초바닥과의 거리를 600mm로 제안함. 즉, 낙하프레임만 낙하시켰을 때 기초바닥 기준 600mm 위에서 멈추게 됨
무게추 및 충격부 정착 방식	• (뉴원) 실험 셋업의 용이성을 위해 슬라이드 정착 및 결합하는 방식을 제안함
충격부(Striker) 형태 및 크기	• (뉴원) 낙하프레임에 정착되는 충격부의 형태 및 크기를 결정하여야 함. 현재 3가지 타입으로 제작하여 납품할 계획임 • (서울대) 원기둥형은 제외할 필요가 있고, 현재 충격부 제작은 하지 말 것. 충격부에 대한 형상, 크기 등은 검토하여 자료를 전달하겠음
낙하프레임 고정장치 (Stopper) 높이	• (뉴원) 기초부에 시험편 설치작업을 위해서는 낙하프레임을 상부로 이동시켜야 하며, 낙하프레임을 상부에서 고정하는 장치의 최소 높이를 결정하여야 함. 이 고정장치는 수동으로 작동되며, 고정장치가 설치 된 후에는 변경이 어려움 • (서울대) 20ton 용량 지게차가 출입할 수 있는 높이는 최소 4.5m이며, 자유낙하실험동의 출입문은 이를 고려하여 높이 5m로 설계되어 있음. 따라서 고정장치 높이 또한 5m를 반영할 것
승강기 타입 및 용량	• (뉴원) 유지관리용 승강기는 1ton 용량 화물용으로 제안함. 일반용을 적용할 경우 안전관리를 2~3개월마다 받아야하기 때문에 번거로울 수 있음
낙하프레임 이송용 호이스트 조작방식	• (뉴원) 무선 방식은 사고율이 높고, 현장에서도 점차 배제하는 추세임. 따라서 유선 방식을 제안함 • (서울대) 유선 방식에 동의하며, 키 박스 안에 컨트롤러를 설치하는 등 추가적인 안전장치를 마련할 것
거리 측정 센서 위치	• (뉴원) 거리 측정 센서인 레이저변위계의 설치 위치를 결정하여야 함
시험체 및 자재 반입 공간	• (뉴원) 5.5m(W)×7.0m(H)(초기설계)를 5.5m(W)×5.0m(H)로 변경 제안함

(10) 2016.03.14. 자유낙하실험시설 구조검토 및 계측센서 공급원 승인요청 공문 접수 및 승인

○ 자유낙하실험시설 바닥 슬래브 내충격 성능 검토

○ 자유낙하실험동 기초부 시공 계획

○ 계측시스템 공급자재

(11) 2016.03.22. 자유낙하실험시설 주요 부재 제작 공장 방문 및 사전 검수

○ 장　소 : 한국소둔열처리 (경기도 안산시)

○ 소둔 열처리 가공 공장 방문 및 주요 부재 가공 현황 사전 검수



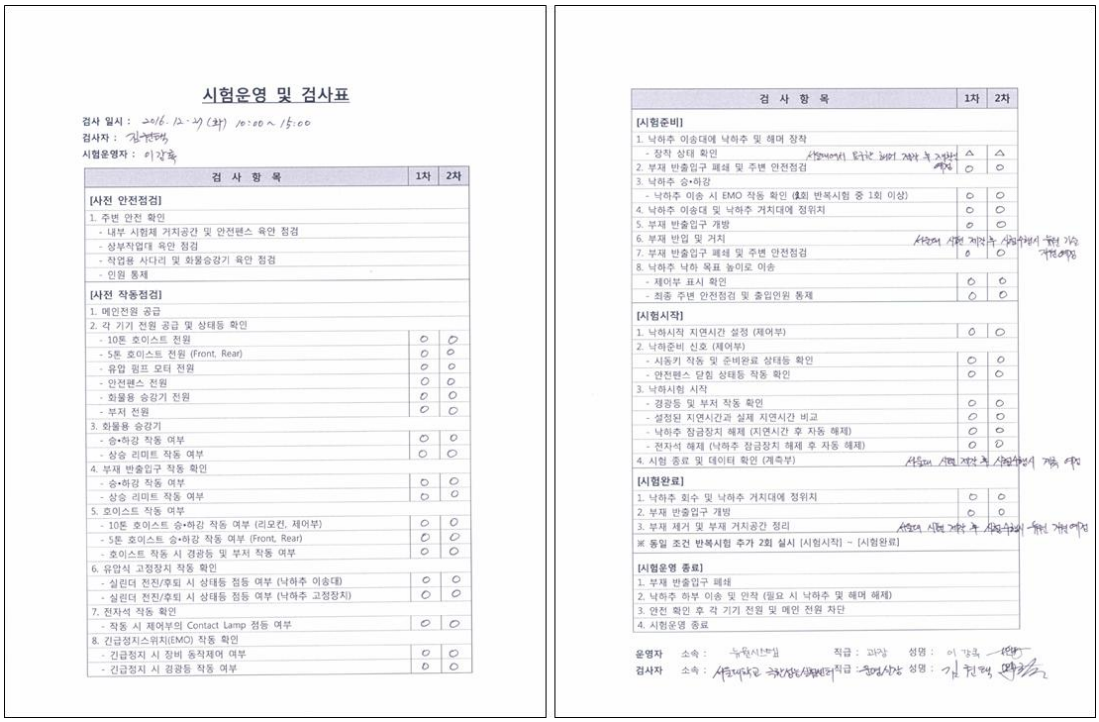
[그림 87] 자유낙하실험시설 주요 부재 공장 사전 검수

(12) 2016.06.11. 뉴원시스템-시공사와의 장비구축 관련 기술협의

[표 35] 주요 협의 내용

검토 항목	주요 협의 내용
자유낙하실험동 철골 높이	• 자유낙하실험동 건축 철골 높이가 20m로 설계되어 있으나, 상부 철골 부재 일부가 장비 부재와 일부 간섭이 되고 있음 ((주)다짐) • 장비 설치에 문제 없도록 철골 높이 조정은 필요해 보이나, 시설과에 현재 상황에 대해 설명하고 검토 의견을 받도록 할 것 (서울대) • 장비 점검을 위한 상부의 가용 높이는 1.7m로 충분해 보임 (서울대) • 철골 업체에서 장비 도면을 건축 도면에 오버랩하여 추가로 높여야 할 높이가 어느 정도인지 검토하겠음 ((주)다짐)
장비 하부 고정용 플레이트 시공	• 장비 하부 플레이트는 건축기초 시공 전 앵커를 매립해 놓고, 기초 면 기준 50mm 상부에 너트로 고정한 후 향후 무수축 몰탈(60MPa)을 채우는 것이 가장 적정해 보임 (TM E&C) • 무수축 몰탈 타설시 내부 공기가 빠질 수 있는 벤트홀(D: 10mm)은 뉴원에서 플레이트에 뚫어 놓기로 함 (안호현, 뉴원) • 무수축 타설은 자유낙하장비 1단을 플레이트에 설치하여 위치 및 레벨을 잡은 후에 시행하기로 함 (TM E&C, 뉴원)
자유낙하 방식	• 낙하추에 지그를 장착하여 시험체를 낙하시키는 방법과 낙하추를 제거한 낙하 프레임의 전자석을 이용하여 시험체를 낙하하는 방식이 있음. 시험체의 종류에 따라 지그 형태가 달라질 수 있기 때문에 이는 검토 반영하겠음 (뉴원)
자유낙하부 중앙 기초 시공	• 자유낙하부 중앙 기초 인서트는 500mm 간격으로 시공하겠음 (TM E&C) • 반력상의 디비닥 강봉은 36mm 직경으로 시공이 됨. 향후 사용성을 고려하면 자유낙하부 중앙 기초의 디비닥 강봉 또한 같은 직경을 반영하는 것이 타당해 보임 (서울대) • 디비닥에 문의하여 36mm 직경으로 했을 때 인반력에 인서트가 견딜 수 있는 길이가 어느 정도인지는 확인해 볼 필요가 있음. 36mm 직경의 디비닥 강봉을 적용하는 것에 대해서는 검토를 해 보겠음 (TM E&C)

(13) 2016.12.27. 자유낙하실험시설 성과품 제출 서류 검토 및 검수시험 수행



시험운영 및 검사표

검사 일시 : 2016. 12. 27 (화) 10:00 ~ 15:00
검사자 : 김[illegible]
시험운영자 : 이강욱

검 사 항 목	1차	2차
[사전 안전점검]		
1. 주변 안전 확인		
- 내부 시험체 거치공간 및 안전펜스 육안 점검		
- 상부작업대 육안 점검		
- 작업용 사다리 및 화물승강기 육안 점검		
- 인원 통제		
[사전 작동점검]		
1. 메인전원 공급		
2. 각 기기 전원 공급 및 상태등 확인		
- 10톤 호이스트 전원	○	○
- 5톤 호이스트 전원 (Front, Rear)	○	○
- 유압 펌프 모터 전원	○	○
- 안전펜스 전원	○	○
- 화물용 승강기 전원	○	○
- 부저 전원	○	○
3. 화물용 승강기		
- 승•하강 작동 여부	○	○
- 상승 리미트 작동 여부	○	○
4. 부재 반출입구 작동 확인		
- 승•하강 작동 여부	○	○
- 상승 리미트 작동 여부	○	○
5. 호이스트 작동 여부		
- 10톤 호이스트 승•하강 작동 여부 (리모컨, 제어부)	○	○
- 5톤 호이스트 승•하강 작동 여부 (Front, Rear)	○	○
- 호이스트 작동 시 경광등 및 부저 작동 여부	○	○
6. 유압식 고정장치 작동 확인		
- 실린더 전진/후퇴 시 상태등 점등 여부 (낙하주 이송대)	○	○
- 실린더 전진/후퇴 시 상태등 점등 여부 (낙하주 고정장치)	○	○
7. 전자석 작동 확인		
- 작동 시 제어부의 Contact Lamp 점등 여부	○	○
8. 긴급정지스위치(EMO) 작동 확인		
- 긴급정지 시 장비 동작제어 여부	○	○
- 긴급정지 시 경광등 작동 여부	○	○

검 사 항 목	1차	2차
[시험준비]		
1. 낙하주 이송대에 낙하주 및 해머 장착		
- 장착 상태 확인	△	△
2. 부재 반출입구 폐쇄 및 주변 안전점검	○	○
3. 낙하주 승•하강		
- 낙하주 이송 시 EMO 작동 확인 (3회 반복시험 중 1회 이상)	○	○
4. 낙하주 이송대 및 낙하주 거치대에 정위치	○	○
5. 부재 반출입구 개방	○	○
6. 부재 반입 및 거치	○	○
7. 부재 반출입구 폐쇄 및 주변 안전점검	○	○
8. 낙하주 낙하 목표 높이로 이송		
- 제어부 표시 확인	○	○
- 최종 주변 안전점검 및 출입인원 통제	○	○
[시험시작]		
1. 낙하시작 지연시간 설정 (제어부)	○	○
2. 낙하준비 신호 (제어부)		
- 시동키 작동 및 준비완료 상태등 확인	○	○
- 안전펜스 닫힘 상태등 작동 확인	○	○
3. 낙하시험 시작		
- 경광등 및 부저 작동 확인	○	○
- 설정된 지연시간과 실제 지연시간 비교	○	○
- 낙하주 잠금장치 해제 (지연시간 후 자동 해제)	○	○
- 전자석 해제 (낙하주 잠금장치 해제 후 자동 해제)	○	○
4. 시험 종료 및 데이터 확인 (계측부)	○	○
[시험완료]		
1. 낙하주 회수 및 낙하주 거치대에 정위치	○	○
2. 부재 반출입구 개방	○	○
3. 부재 제거 및 부재 거치공간 정리	○	○
※ 동일 조건 반복시험 추가 2회 실시 [시험시작] ~ [시험완료]		
[시험운영 종료]		
1. 부재 반출입구 폐쇄		
2. 낙하주 하부 이송 및 안착 (필요 시 낙하주 및 해머 해제)		
3. 안전 확인 후 각 기기 전원 및 메인 전원 차단		
4. 시험운영 종료		

운영자 소속 : [illegible] 직급 : 과장 성명 : 이강욱 (인)
검사자 소속 : [illegible] 직급 : [illegible] 성명 : 김[illegible] (인)

[그림 88] 자유낙하실험시설 시험운영 검사표



[그림 89] 자유낙하실험시설 검수시험

(14) 실험장비 주요 설치 과정



(a) 낙하시험부 기초 철근 조립



(b) 철물 시공



(c) 하부 플레이트 설치



(d) 메인프레임 조립



(d) 메인프레임 조립



(e) 상부 난간대 및 안전망 조립



(f) 자유낙하실험동 외부 건축물 마감



(g) 낙하추 조립



(h) 마그네틱 조립



(i) 설치 완료

[그림 90] 자유낙하실험시설 주요 설치 과정

다. 3종 가스건 및 홉킨슨바 구축

[표 36] 3종 가스건 및 홉킨슨바 주요 추진 경과

No.	날짜	추진 경과	Page
1	2014.02.10.	국방과학연구소 방문 및 가스건 구축 관련 기술자문	93
2	2015.03.13.~04.14.	산학협력단과 장비 계약방법 검토 협의	93
3	2015.04.29.~05.14.	산학협력단, 조달청과 협의를 통한 서울대 자체구매 결정	93
4	2015.05.21.~06.12	3종 가스건 및 SHPB 조달청 입찰공고	94
5	2015.06.19.	계약 체결	94
6	2016.01.21.	국방과학연구소 방문 및 장비구축 관련 기술자문	95
7	2016.04.20.~22.	PAI사 가스건 장비 ADD 설치 현장 참관 및 기술협의	96
8	2016.05.16.	가스건 구축 관련 PAI사 서울대 방문 및 기술협의	97
9	2016.06.13.	가스건 구축 관련 대주상사와 기술협의	98
10	2016.06.22.~23.	미국 PAI사 방문 기술협의 및 공장 사전 검수	99
11	2016.08.30.	중속가스건 타겟탱크 제작공장 방문 및 사전검수	101
12	2016.09.19.	중속가스건 입고	104
13	2016.09.19.~28.	중속가스건 설치 및 검수 (1차 검수)	102
14	2016.11.11.	가스건 설치 관련 검토 협의	102
15	2016.11.28.	고속가스건, 초고속가스건, 홉킨슨바 입고	105
16	2016.11.30.~12.19.	고속가스건, 초고속가스건, SHPB 설치 및 검수 (2차 검수)	102
17	2017.01.16.~20.	중속가스건, 고속가스건, SHPB 보완 및 검수 (3차 검수)	102
18	2017.02.13.~15.	중속가스건, SHPB, 고속가스건 보완 및 검수 (4차 검수)	102
19	2017.05.15.~16.	중속/고속/초고속 가스건, SHPB 보완 및 검수 (5차 검수)	102
20	2017.07.08.	중속가스건, SHPB 보완 및 검수 (6차 검수)	102
21	2017.09.04.~07.	중속/고속/초고속가스건, SHPB 보완 및 검수 (7차 검수)	102
22	2017.10.15.~16.	고속/초고속가스건 보완 및 검수 (8차 검수)	102
23	2017.10.17.	3종 가스건, SHPB 구축 완료	106

(1) 2014.02.10. 국방과학연구소 방문 및 가스건 구축 관련 기술자문

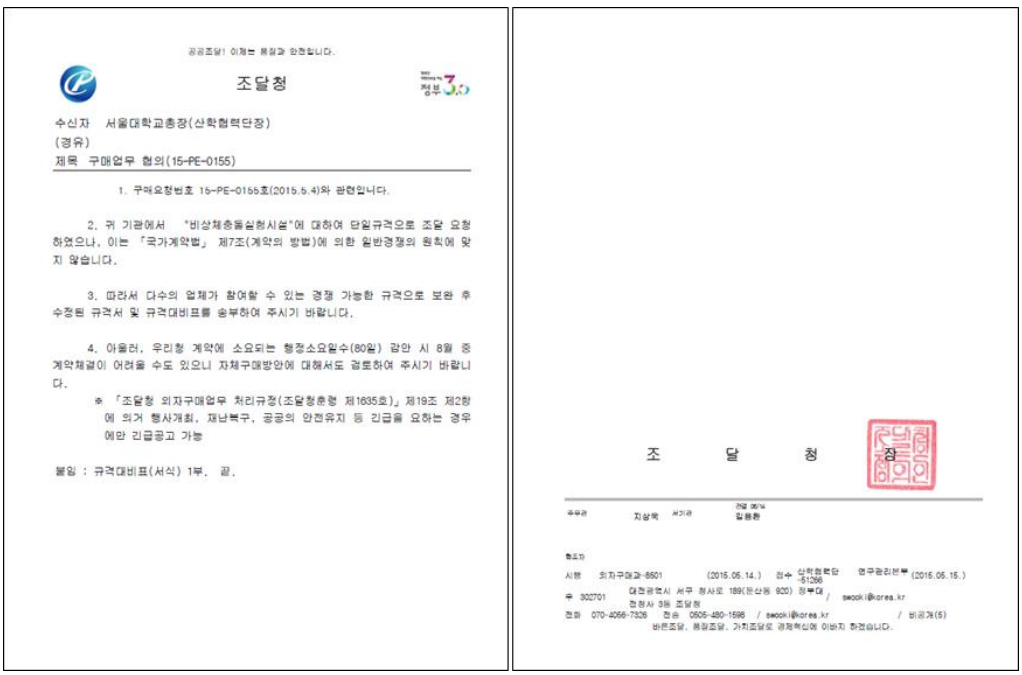
- 장　　소 : 국방과학연구소
- 자문위원 : 박이주 박사, 김학준 박사 (국방과학연구소)
- 주요 자문 내용
  - ADD 가스건 및 홉킨슨바 구축 현황
  - 가스건 및 홉킨슨바의 원리
  - 장비 발주시 검토 필요사항 등

(2) 2015.03.13.~04.14. 산학협력단과 장비 계약방법 검토 협의

- 2015.03.13. 구축예상가격에 따른 적용 가능한 계약체결방법 확인
- 2015.03.13. 외자 계약에 대한 일반사항 검토
- 2015.04.14. 외자 계약 시 필요 서류 및 관세 등에 대한 조항 확인

(3) 2015.04.29.~05.14. 산학협력단, 조달청과의 협의를 통한 서울대 자체구매 결정

- 2015.04.29. 외자구매업무 처리규정 검토를 통한 자체구매 가능성 타진
- 2015.05.14. 조달청 공문을 통해 행정소요일수에 따른 서울대 자체구매로 결정



공공조달! 이제는 투명과 안전입니다.

조달청

수신자 서울대학교총장(산학협력단장)
(경유)
제목 구매업무 협의(15-PE-0155)

1. 구매요청번호 15-PE-0155호(2015.5.4)와 관련입니다.

2. 귀 기관에서 "비상체중돌심형시설"에 대하여 단일규격으로 조달 요청하였으나, 이는 「국가계약법」 제7조(계약의 방법)에 의한 일반경쟁의 원칙에 맞지 않습니다.

3. 따라서 다수의 업체가 참여할 수 있는 경쟁 가능한 규격으로 보완 후 수정된 규격서 및 규격대비표를 송부하여 주시기 바랍니다.

4. 아울러, 우리청 계약에 소요되는 행정소요일수(80일) 감안 시 8월 중 계약체결이 어려울 수도 있으니 자체구매방안에 대해서도 검토하여 주시기 바랍니다.

※ 「조달청 외자구매업무 처리규정(조달청훈령 제1635호)」 제19조 제2항에 의거 행사개최, 재난복구, 공공의 안전유지 등 긴급을 요하는 경우에만 긴급공고 가능

붙임 : 규격대비표(서식) 1부. 끝.

조　　달　　청　　장

수무관 지상욱 서기관 김용환

협조자

시행 외자구매과-6601 (2015.05.14.) 접수 산학협력단 연구관리본부 (2015.05.15.)

우 302701 대전광역시 서구 청사로 189(둔산동 920) 정부대전청사 3동 조달청 / swook@korea.kr

전화 070-4056-7326 전송 0505-480-1596 / swook@korea.kr / 비공개(5)

바른조달, 봉장조달, 가치조달로 경제혁신에 이바지 하겠습니다.

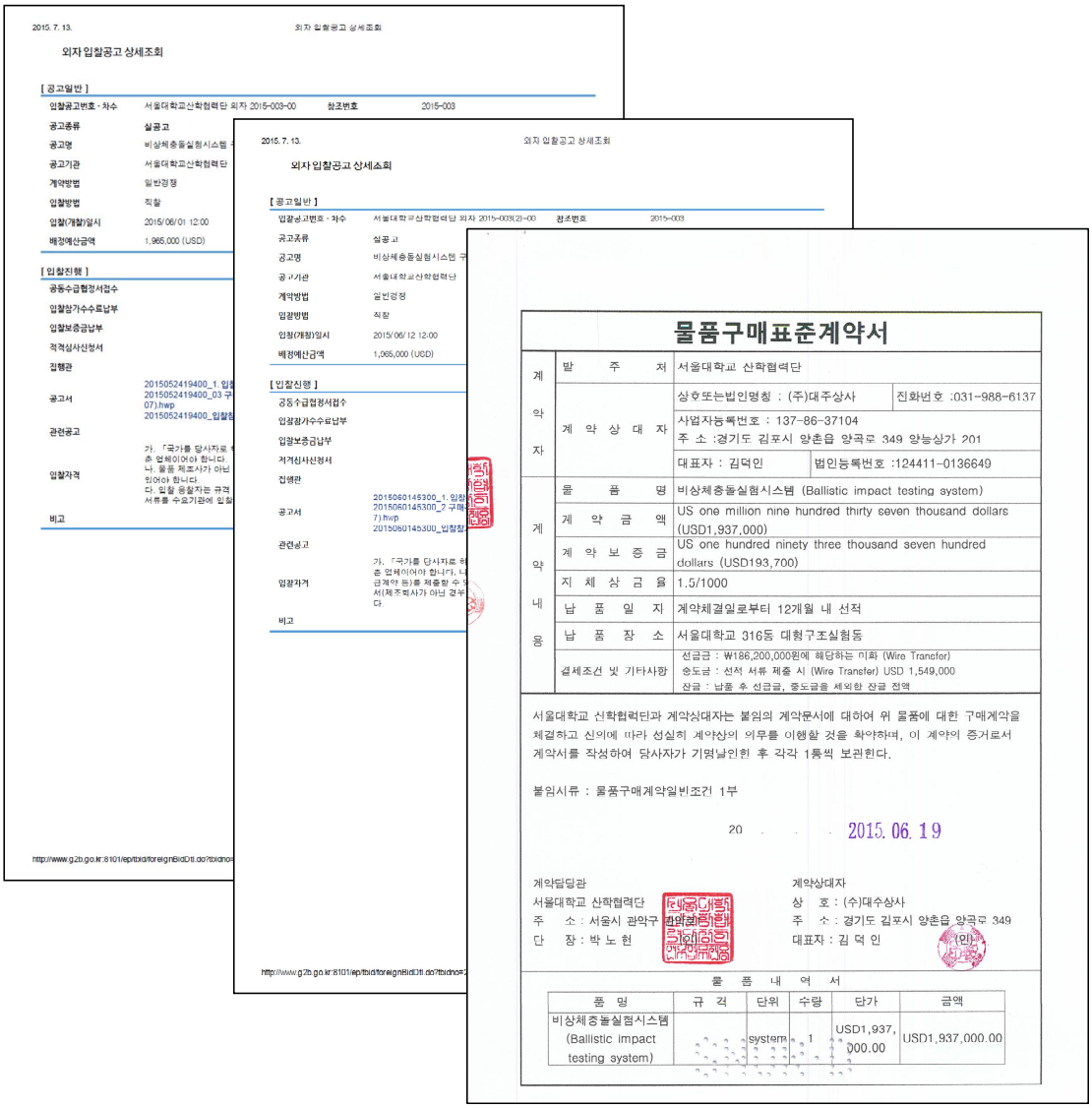
[그림 91] 조달청과의 구매업무 협의

(4) 2015.05.21.~06.12. 3종 가스건 및 흡킨슨바 조달청 입찰공고

- ○ 발주방법 : 서울대 자체발주
- ○ 입찰방법 : 일반경쟁(외자), 직찰
- ○ 1차 공고기간 : 2015년 5월 21일 ~ 2015년 6월 01일
- ○ 2차 공고기간 : 2015년 6월 01일 ~ 2015년 6월 12일

(5) 2015.06.19. 계약 체결

- ○ 계약방법 : 수의계약(단독업체 입찰로 2회 유찰)



외자입찰공고 상세조회

물품구매표준계약서

계약자			
	발주처	서울대학교 산학협력단	
	계약상대자	상호또는법인명칭 : (주)대주상사	전화번호 :031-988-6137
		사업자등록번호 : 137-86-37104 주 소 :경기도 김포시 양촌읍 양곡로 349 양능상가 201	
		대표자 : 김덕인	법인등록번호 :124411-0136649
계약내용	물품명	비상체증돌실험시스템 (Ballistic impact testing system)	
	계약금액	US one million nine hundred thirty seven thousand dollars (USD1,937,000)	
	계약보증금	US one hundred ninety three thousand seven hundred dollars (USD193,700)	
	지체상금율	1.5/1000	
	납품일지	계약체결일로부터 12개월 내 선적	
	납품장소	서울대학교 316동 대형구조실험동	
	결제조건 및 기타사항	선금금 : ₩186,200,000원에 해당하는 미화 (Wire Transfer) 중도금 : 선적 서류 제출 시 (Wire Transfer) USD 1,549,000 잔금 : 납품 후 선금금, 중도금을 제외한 잔금 전액	

서울대학교 산학협력단과 계약상대자는 붙임의 계약문서에 대하여 위 물품에 대한 구매계약을 체결하고 신의에 따라 성실히 계약상의 의무를 이행할 것을 확약하며, 이 계약의 증거로서 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인한 후 각각 1통씩 보관한다.

붙임서류 : 물품구매계약일반조건 1부

20 . . 2015. 06. 19

계약담당관
서울대학교 산학협력단
주 소 : 서울시 관악구
단 장 : 박 노 현

계약상대자
상 호 : (주)대주상사
주 소 : 경기도 김포시 양촌읍 양곡로 349
대표자 : 김 덕 인 (인)

물 품 내 역 서

품 명	규 격	단위	수량	단가	금액
비상체증돌실험시스템 (Ballistic impact testing system)		system	1	USD1,937,000.00	USD1,937,000.00

[그림 92] 3종 가스건, 흡킨슨바 입찰공고서 및 계약서

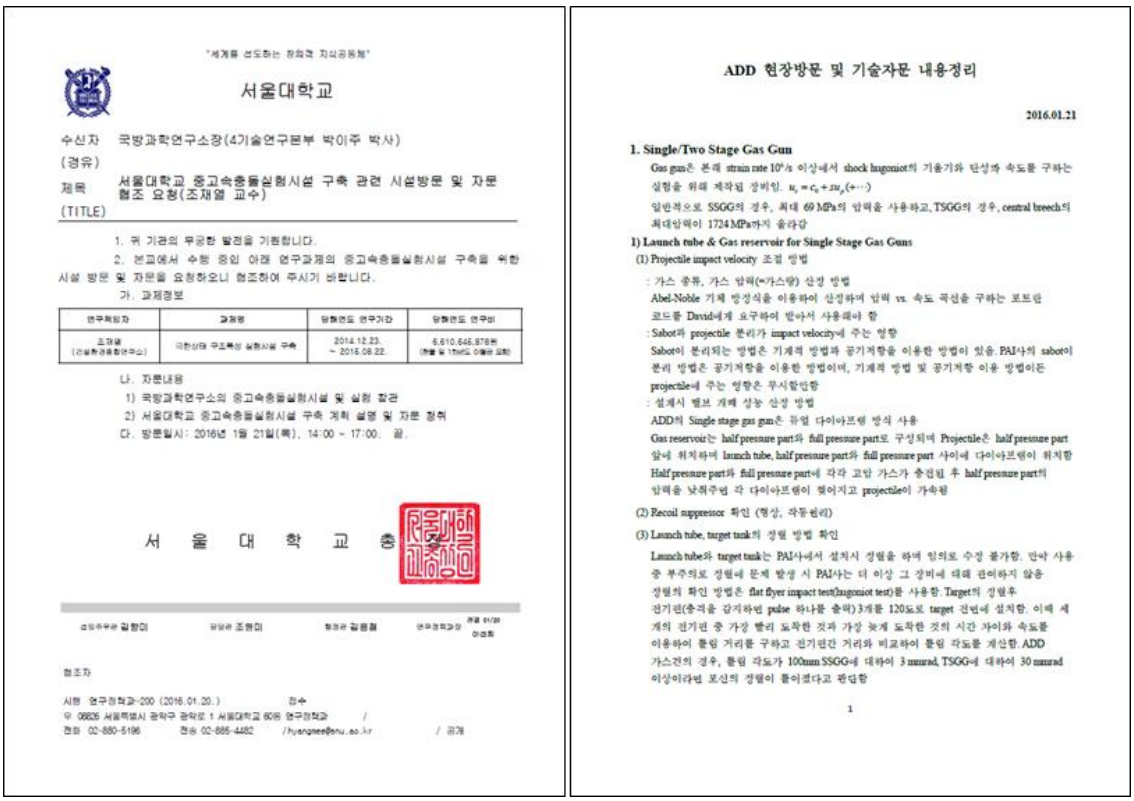
(6) 2016.01.21. 국방과학연구소 방문 및 가스건 구축에 관한 기술자문

○ 장　　소 : 국방과학연구소

○ 자문위원 : 박이주 박사 (국방과학연구소)

○ 주요 자문내용

- 국방과학연구소 가스건 장비 및 실험 참관
- 극한성능실험센터 가스건 구축 계획 설명 및 자문 청취



"세계를 선도하는 창의적 지식공동체"

서울대학교

수신자　국방과학연구소장(4기술연구본부 박이주 박사)
(경유)
제목　서울대학교 중고속충돌실험시설 구축 관련 시설방문 및 자문 협조 요청(조재열 교수)
(TITLE)

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 본교에서 수행 중인 아래 연구과제의 중고속충돌실험시설 구축을 위한 시설 방문 및 자문을 요청하오니 협조하여 주시기 바랍니다.

가. 과제정보

연구책임자	과제명	당해년도 연구기간	당해년도 연구비
조재열 (건설환경공동연구소)	극한상태 구조특성 실험시설 구축	2014.12.23. ~ 2015.08.22.	6,610,646,878원 (현물 및 1차년도 이월금 포함)

나. 자문내용
1) 국방과학연구소의 중고속충돌실험시설 및 실험 참관
2) 서울대학교 중고속충돌실험시설 구축 계획 설명 및 자문 청취

다. 방문일시: 2016년 1월 21일(목), 14:00 ~ 17:00. 끝.

서 울 대 학 교 총

협조자

시행 연구정책과-200 (2016.01.20.)　　접수
우 08826 서울특별시 관악구 관악로 1 서울대학교 60동 연구정책과　/
전화 02-880-5196　　전송 02-885-4482　/hyangee@snu.ac.kr　/ 공개

ADD 현장방문 및 기술자문 내용정리

2016.01.21

1. Single/Two Stage Gas Gun

Gas gun은 본래 strain rate 10^4/s 이상에서 shock hugoniot의 기울기와 탄성파 속도를 구하는 실험을 위해 제작된 장비임. $u_s = c_0 + su_p (+\cdots)$

일반적으로 SSGG의 경우, 최대 69 MPa의 압력을 사용하고, TSGG의 경우, central breech의 최대압력이 1724 MPa까지 올라감

1) Launch tube & Gas reservoir for Single Stage Gas Guns

(1) Projectile impact velocity 조절 방법

: 가스 종류, 가스 압력(=가스량) 산정 방법
Abel-Noble 기체 방정식을 이용하여 산정하며 압력 vs. 속도 곡선을 구하는 프트란 코드를 David에게 요구하여 받아서 사용해야 함

: Sabot과 projectile 분리가 impact velocity에 주는 영향
Sabot이 분리되는 방법은 기계적 방법과 공기저항을 이용한 방법이 있음. PAI사의 sabot이 분리 방법은 공기저항을 이용한 방법이며, 기계적 방법 및 공기저항 이용 방법이든 projectile에 주는 영향은 무시할만함

: 설계시 밸브 개폐 상능 산정 방법
ADD의 Single stage gas gun은 유압 다이아프램 방식 사용
Gas reservoir는 half pressure part와 full pressure part로 구성되며 Projectile은 half pressure part 앞에 위치하며 launch tube, half pressure part와 full pressure part 사이에 다이아프램이 위치함
Half pressure part와 full pressure part에 각각 고압 가스가 충전된 후 half pressure part의 압력을 낮춰주면 각 다이아프램이 찢어지고 projectile이 가속됨

(2) Recoil suppressor 확인 (형상, 작동원리)

(3) Launch tube, target tank의 정렬 방법 확인
Launch tube와 target tank는 PAI사에서 설치시 정렬을 하여 임의로 수정 불가함. 만약 사용 중 부주의로 정렬에 문제 발생 시 PAI사는 더 이상 그 장비에 대해 관여하지 않음
정렬의 확인 방법은 flat flyer impact test(hugoniot test)를 사용함. Target의 정렬후 전기핀(충격을 감지하면 pulse 하나를 출력) 3개를 120도로 target 전면에 설치함. 이때 세 개의 전기핀 중 가장 빨리 도착한 것과 가장 늦게 도착한 것의 시간 차이와 속도를 이용하여 틀림 거리를 구하고 전기핀간 거리와 비교하여 틀림 각도를 계산함. ADD 가스건의 경우, 틀림 각도가 100mm SSGG에 대하여 3 mmrad, TSGG에 대하여 30 mmrad 이상이라면 보신의 정렬이 틀어졌다고 판단함

1

[그림 93] 자문협조 요청 공문 및 기술자문보고서

(7) 2016.04.20.~22. PAI사 가스건 장비 ADD 설치 현장 참관 및 기술협의

○ 장 소 : 국방과학기술연구소

[표 37] 주요협의 내용

검토 항목	주요 협의 내용
장비 제작 현황	• Two Stage Gas Gun은 예정대로 진행되고 있음 (PAI) • 나머지 장비들은 예정보다 진행이 되지 않았으나, 주요 부품은 주문이 완료됨. 홉킨슨바는 제작이 오래 걸리지 않을 것임 (PAI)
250 mm 타겟탱크 진공	• 진공은 유지 되지 않음. 그러나 충돌은 타겟탱크 안에서 발생하므로 소음은 큰 문제가 되지 않을 것 (PAI)
250 mm 타겟탱크 타겟 고정 관련	• 타겟이 강판 콘크리트이기 때문에 오직 코너에 4개의 support-rods을 이용하여 지지하도록 함. 고정 프레임은 고려하지 않음 (PAI) • 만약 고정프레임을 사용하고 고정프레임과 support-rods를 연결하면, 고정프레임과 support-rods 에 휨 변형이 손상할 가능성이 있음. 이를 배제하기 위해 고정프레임과 support-rods는 연결되어선 안 됨 (PAI) • VTT에서 사용한 I-beam과는 달리, 판을 용접하여 만든 사각 강관으로 고정프레임을 만들겠음 (PAI)
250 mm 타겟탱크관측창	• 관측창은 원형이 아닌 사각형 형태로 제작하고 타겟탱크 윗 면에도 설치하기로 함
타겟 및 shimming material의 경계조건	• Shimming material과 타겟은 따로 연결되어 있지 않음. 단순히 높이를 조절하여 타겟이 타격점 정중앙에 위치하도록 하기 위해 shimming material을 이용함 (PAI)
60 mm SSGG & 83/25 mm TSGG 타겟탱크 관련	• 이 두 가스건의 경우 관측창은 양 옆에 하나 씩, 윗 면에 하나를 설치하여 총 3개의 관측창을 설치함. TSGG의 경우, 길이 약 90 cm, 높이 약 15 cm의 관측창을 설치할 예정임 (PAI)
계측장비 관련	• 타겟탱크 내부의 계측장비의 선을 외부의 데이터로거와 연결하기 위해 150 mm port 하나를 타겟탱크에 설치하고 그 port에 cable을 빼낼 수 있는 hole을 뚫을 수 있음 (PAI) • 일반적으로 Flash X-ray의 Image plate는 투과율이 좋은 알루미늄 커버를 이용하여 보호함 (PAI)
계측장비 트리거링 관련	• TSGG의 경우 control PC에서 자동적으로 계측장비로 트리거링을 줄 수 있음 그러나 SSGG의 경우, diaphragm type valve를 사용하기 때문에 딜레이가 발생할 수 있어 이 방식의 트리거링은 적절치 못함 (PAI) • Laser interrupt system을 이용하여 속도를 계산하게 되면, 정확하게 projectile의 위치를 계산할 수 있음 (PAI)
홉킨슨바 incident & transmitted 바	• 각 시스템은 스트라이커 바를 가장 빠른 속도로 충돌시키는 경우, 항복하는 문제가 있음 (서울대) • 그 문제에 대해선 검토 중에 있음 (David E. Strange)
홉킨슨바 실험 관련	• 각 시스템의 alignment는 PAI가 설치 시 맞춰줄 것. 그 이후로 임의로 움직이면 안 됨 (PAI) • 홉킨슨바 시편은 대부분 L/D 비율이 1임. 일반적으로 더 큰 시편은 사용되지 않음 (PAI)

(8) 2016.05.16. 가스건 구축 관련 PAI사 서울대 방문 및 기술협의

[표 38] 주요협의 내용

검토 항목	주요 협의 내용
구축 일정 관련	• 현재 일정은 선적, 장비설치 등이 어떠한 문제도 없이 설치가 될 경우이므로 일정을 미루는 것이 바람직함 (PAI) • 2016년 9월 23일(금)까지 장비설치 및 시연 일정을 연기하고 10월부터는 서울대에서 자체적으로 실험할 수 있게 진행해야 함. 단, 이 일정 이내에 설치 및 시연이 모두 완료되어야 하며, 이는 최대 만기일이기 때문에 이전에 완료되어도 됨 (서울대) • 장비설치 및 시연 일정을 미루더라도 250 mm SSGG 타겟탱크는 한국에서 제작할 것임 (서울대) • 9월 23일까지 설치 및 검수 시험이 완료하는 것으로 협의함 (서울대, 대주상사)
6월 PAI사 방문 일정	• PAI 방문 및 설치 시에 확인할 체크리스트를 작성하였으며 PAI 및 대주에서는 이를 참고할 수 있도록 이메일로 자료를 송부할 것임 (서울대)
고속/초고속 가스건 타겟탱크	• 250 mm SSGG의 타겟탱크의 경우는 크기가 커서 서울대에서 요청한 케이블 포트와 64개의 홀을 설치하기에 문제가 되지 않으나, 60 mm SSGG와 83/25 mm TSGG의 타겟탱크는 크기가 작아 서울대에서 요청한 형태의 케이블 포트와 30개의 홀을 설치하기가 쉽지 않음. 현재 케이블 포트의 홀 중심 간격은 50 mm이고 이 경우 케이블 포트당 약 7개의 홀을 만들 수 있으나, 만약 홀 중심 간격이 40 mm로 줄어든 다면 케이블 포트당 홀을 약 10개까지 만들 수 있을 것이라 생각됨 (PAI) • 홀 중심 간격 50 mm는 ADD의 사례를 참고하여 결정한 것임. 만약 안전에 대해 문제가 없다면 홀 중심 간격을 40 mm로 줄여도 괜찮음 (서울대) • 60 mm SSGG와 83/25 mm TSGG의 타겟탱크의 경우, 홀 중심 간격을 40 mm로 줄이고 총 30개의 홀을 가진 케이블 포트를 설치하겠음 (대주상사, PAI)
중속가스건 블라스트 탱크	• 현 250 mm SSGG 블라스트 탱크의 유지관리 포트가 사봇 회수 등을 위해 작을 것으로 생각됨 (서울대) • 250 mm SSGG는 사봇이 비상체로부터 분리가 되지 않고 시험체에 함께 충돌하는 시스템으로 사봇 회수가 불필요함 (PAI) • 만약 사봇이 분리되지 않는다면 관통시험 시 문제가 생길 것이라 판단됨. 따라서 사봇은 꼭 비상체로부터 분리가 되어야함 (서울대) • 사봇 분리 방법은 공기역학적 분리 방법과 충돌 분리 방법이 있으나, 가스건 실의 공간 제약으로 인하여 공기역학적 분리 방법은 만들 수 없음 (PAI) • 충돌 분리 방법은 블라스트 탱크 안으로 drift tube를 연장하고, 거기에 브레이싱을 설치하여 보강을 한 뒤, 중앙에 원하는 비상체 크기의 직경보다 큰 구멍을 가진 플레이트를 설치하여야함. 사봇과 비상체가 이 플레이트를 통과하며 사봇은 플레이트에 충돌하여 분리되고 비상체만 시험체에 충돌함 (PAI) • 200 mm 직경 비상체를 기준으로 기본형을 설계하여 부착해 주겠음 (대주상사)
중속가스건 타겟탱크	• 시험체 설치 후, 타겟탱크로 덮는 과정은 현재 4.4 m 여유공간에서도 충분히 진행될 수 있음 (대주상사) • 계측장비 선작업 후 사람이 빠져나오는 것은 문제가 되지 않음 (대주상사)
홉킨슨바	• 기존 SHPB 시스템은 75 mm 시스템의 경우, 4140 steel, 19 mm 시스템의 경우 VASCOMAX C350을 이용하여 incident bar, transmission bar, striker bar를 제작하기로 되어 있었으나, 5월 16일 오전에 받은 도면에는 incident bar,

검토 항목	주요 협의 내용
	transmission bar, striker bar의 재료가 4340 steel로 되어 있음 (서울대) • PAI의 실수로 도면에 표기가 잘 못된 것임. 기존안대로 4140 steel과 VASCOMAX C350을 사용하여 SHPB 시스템이 제작될 것임 (PAI) • 1/2 inch 파이프를 사용하여 250 mm 가스건실과 홉킨슨바실을 연결하면 홉킨슨바 가스 충전을 위해 충분할 것임 (PAI)
기타사항	• ADD에 시공경험이 많은 가스배관 시공 업체와 5~6월 중에 서울대에 방문하여 가스배관 설계안에 대해 협의를 진행하고 설계안을 서울대측에 제안하겠음 (대주상사) • 트리거링 및 센서 관련 확인사항은 TM에서 PAI에 직접적으로 문의하도록 하겠음 (서울대)

(9) 2016.06.13. 가스건 구축 관련 대주상사와 기술협의

[표 39] 주요협의 내용

검토 항목	주요 협의 내용
중속가스건 사용 가스 및 성능	• 공기만으로도 속도 성능을 충분히 구현 가능하기 때문에 공기만을 적용하였음. 하지만, 서울대에서 원할 경우 공기 이외 가스를 사용 가능하도록 가스배관을 적용 가능하나, 공기 이외의 가스는 거의 사용하지 않을 것으로 생각됨 (대주상사) • 공기만을 사용했을 때 일전 보내준 성능곡선을 모두 포괄함 (대주상사)
중속가스건 가스배관 라인	• 중속가스건은 공기를 사용하는데, 사용을 위한 별도의 가스배관 라인은 필요가 없나? (서울대) • 별도의 가스배관 라인이 필요가 없음(대주상사)
초고속가스건 가스압축 장비	• 가스 압축을 위한 장비가 어떤 것인지, 전기용량이 얼마인지 명확히 제시하겠음 (대주상사)
shop air	• 공기를 압축할 때 7bar의 압력을 가지는 shop air를 사용하면 충진하는데에 시간이 절약됨 (대주상사) • shop air를 미사용시 10분 정도 더 소요될 것으로 예상됨 (대주상사) • 가스건의 공기 압축시 활용하는 것 외에도, ADD를 포함하여 보통 실험실에는 청소 등을 위한 에어건을 많이 사용하는데, shop air(7bar)를 사용할 수 있게 배관을 해놓으면 실험하는데에 유용함 (대주상사)
검수시험	• 검수시험에 차질이 없도록 사전에 검수시험계획서(안)을 제출하겠음 (대주상사)
중속가스건 타겟탱크 분리 문제	• 타겟탱크를 20cm 정도 들어올린 다음 뒤로 빼는 것이기 때문에 상부 크레인과의 연계에 문제는 없음 (대주상사)
가스배관 라인 공사	• 현재 가스배관 라인 공사를 위한 코어작업은 할 필요가 없고, 장비를 설치하는 과정에서 코어작업 및 가스 배관을 시공하면 됨 (한국과학) • 코어작업 필요 위치를 6/22~23 방문시 PAI사에서 확인하기로 함 (대주상사, 서울대) • 서울대에서 건축도면을 회전과학에 전달하면 적절한 설계안과 공사비용을 제시하기로 함 (한국과학)

검토 항목	주요 협의 내용
장비 구축 및 검수시험 일정 관련	• 일전 일정에 대한 계약변경을 하였을 때 7/31에 선적하고, 8/31에 서울대에 입고하는 것으로 계획했었음. 계획된 일정보다 16~21일 일찍 선적이 되면 입고 또한 더 빨라질 텐데, 현장에 장비보관이 어려울 수 있으므로 건축공정을 고려하여 8/31에 입고될 수 있도록 선적일정을 반영하여야 함 (서울대) • 중속가스건과 SHPB는 공기를 사용하기 때문에 별도의 가스배관 라인은 필요 없다고 확인하였음. 고속, 초고속 가스건의 경우 가스배관 라인이 연결되어야 하는데, 건축 공정상 11월 초에 가스보관실 공사와 가스배관 라인 공사가 가능해 보임 (서울대) • 9/2~9/23 기간에 중속가스건 설치 및 검수에 집중하고, 나머지 장비들은 시간을 가지고 설치 및 검수하는 것도 좋은 방법임 (대주상사)
기타 사항	• 초고속 가스건에 소요되는 화약과 탄피는 국내에서 구매할 수 있어야 하며, 규격과 판매처의 정보를 제안해 주어야 함 (서울대)

(10) 2016.06.22.~23. 미국 PAI사 방문 기술협의 및 공장 사전 검수

○ 장 소 : Physics Applications Inc.(Dayton, USA)

[표 40] 주요협의 내용

검토 항목	주요 협의 내용
중속가스건 설치 위치	• Gas reservoir 근처가 협소하여 동선에 문제가 있을 수 있음. 탱크커버는 완전히 downrange 쪽으로 빼야 함. 따라서 장비를 downrange 쪽으로 많이 옮길 수 없음 (PAI) • 만약 환기구의 위치를 변경하거나 고속가스건을 초고속가스건실로 옮길 수 있다면 이 문제는 해결됨 (PAI) • 비상전력 환기구는 현재 시공이 되었으며 위치를 변경하지 못 함 (서울대)
고속가스건 설치 위치	• 고속가스건을 4층으로 이동 가능하면 옮기겠음 (서울대) • 고속가스건 서포트의 위치와 하중정보를 서울대로 전달해주면 건축물의 안전성 검토를 수행하겠음 (서울대)
홉킨슨바 설치 위치	• 중앙에 설치한 특별한 이유는 없으며, 동선 확보를 위해 최소 벽면으로부터 1 m의 거리 확보 필요 (PAI)
gas supplier & shop air	• 초고속가스건 gas supplier는 control PC로부터 전원을 받음 (PAI) • TSGG의 경우, 헬륨 사용시 수소보다 2배 정도 부식이 빠르며 속도성능은 최대 6km/s 정도임 (PAI) • PAI는 gas booster 및 계측기기의 케이블을 조정실까지 연결하기 위해 케이블을 총 30m 준비함 (PAI) • 케이블의 배선은 가스건의 레이아웃이 확정된 이후, TM에서 최적안을 제시해 줄 것임 • 조정실에 승강기를 설치하여 DAQ 시스템을 위아래 옮기거나 gas gun 위에 행어로 케이블 트레이를 만드는 것 등 케이블 길이를 줄이기 위해 여러 안들에 대한 검토가 필요함 • 케이블 길이 확정시 PAI 전달할 것 (국내 구매하여 연장도 가능함) • 4개의 장비 모두 7 bar 이상의 고압 공기가 필요함 • 고속가스건 Air compressor에서 타장비까지 배관이 된다면 shop air가 꼭 필요치는 않음. 그러나 편리함과 활용성을 위해 shop air가 설치될 필요가 있음

검토 항목	주요 협의 내용
	(PAI) • 서울대의 air compressor로 독일 KAESER사의 skrew type compressor(ASD 251)를 공급 예정 (PAI) • 모든 gas inlet은 NPT 규격에 따라 설치한 후, 그 배관 크기를 PAI에 전달하면 PAI에서 커넥터를 가져올 것임 (PAI)
장비설치	• 설치에 필요한 모든 공구는 PAI가 준비함. 부속은 대부분 SI 단위로 구성됨 (PAI) • 고속가스건 반력프레임 core drilling은 대주와 PAI에서 진행함 • 단, 운반에 필요한 중장비는 서울대에서 준비할 것임(초고속 가스건실 등으로의 운반 기계 등)
팩킹	• 팩킹을 푸는 과정에서 장비 부속의 망실 등의 문제가 있을 수 있어 서울대는 팩킹을 풀 수 없음 • 서울대는 부속의 팩킹을 풀지 않은 채로 옮길 수 있는 최대한 설치 위치 근접하게 옮길 것임 • 250 mm SSGG Target tank를 제외하고 3개의 컨테이너로 운반할 예정임 • 팩킹에는 Room 1, 2, 3의 형식으로 설치 위치가 표기 되어 있을 것임
검수시험	• 9월 23일 이내 250mm SSGG의 설치 및 검수만 진행하며, 나머지 장비는 설치 시간을 추후 결정하기로 함 • 나머지 장비는 서울대에서 팩킹된 채로 보관하기로 함 • Projectile 상세가 빨리 결정되어야 사봇을 만들 수 있음 (PAI)
Firing Methods	• 250 mm SSGG는 렌스(이니시에이터)가 다이아프램을 찢으며 격발, 다이아프램 두께가 설계에 중요함 (PAI) • 원하는 발사 속도에 따라서도 사용하는 화약이 달라짐 (PAI) • 탄피를 대용할 수 있도록 재사용 가능한 제품을 주겠음, 단, primer는 직접 구해야 함 (PAI) • PAI에서 탄피에 사용 가능한 primer 정보를 서울대에 전달해주겠음 (PAI)
launch tube 청소 방법	• 시험체 파편이 건 총열 안으로 들어가기도 하여 청소는 매 샷 마다 해주어야 함. 특히 TSGG의 pump tube의 경우, 화약의 산화물인 재와 수분이 슬러지 형태로 남고, 불쾌한 냄새가 나는 무독성 기체가 만들어짐 (PAI)



[그림 94] 장비 구축 관련 PAI사 방문 협의

○ 제작업체 방문 및 공장 사전검수

- 중속 가스건 gas reservoir는 HSME 규정에 따라 용접 및 테스트가 진행됨
- 초고속 가스건의 타겟탱크 상단, 고속 가스건의 타겟탱크 뒤쪽 하단에 추가적인 케이블 포트 설치하기로 협의함
- 고속 가스건, 초고속 가스건 블라스트 탱크에 대해 부적합 가공 이후 재용접한 사항에 대해 PAI사에서 적합한 검사(X-ray 및 정수압 검사)를 진행하여 문제가 없음을 확인하고 납품하기로 함



[그림 95] 3종 가스건, 홉킨슨바 제작사 방문 및 공장 사전검수

(11) 2016.08.30. 중속가스건 타겟탱크 제작공장 방문 및 사전검수

○ 장　소 : 영남테크(경남 함안군)



[그림 96] 중속가스건 타겟탱크 제작사 방문 및 공장 사전검수

(12) 2016.11.11. 가스건 설치 관련 대주상사와 기술협의

○ 주요 협의 내용

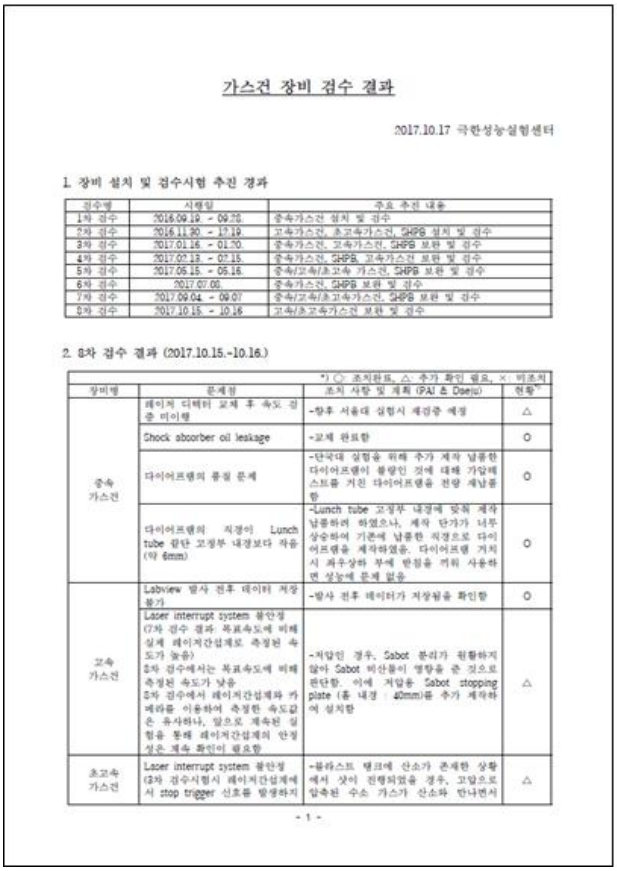
- 화약류 사용 및 허가 관련 검토
- 초고속가스건, 고속가스건, 홉킨슨바 설치 일정 검토
- 현재 대주상사에서 추천한 배관업체를 통해 견적을 받았고, 시공사에 비교 견적을 의뢰한 상황임. 견적 비교를 통해 업체 선정 및 계약을 추진하기로 함
- 수소나 헬륨의 배관은 1/4인치로 반영하여도 문제없으나, 질소는 압력강하 문제로 1/4인치의 바로 상위 직경으로 반영하기로 함

(13) 장비 검수

○ 매회 검수시 가스건 장비 검수 결과를 장비업체에 전달하여 미비점 및 미납품된 부품에 대한 검토의견을 요청하였으며, 장비의 요구성능이 충분히 확보될 수 있도록 지속적으로 보완 과정을 거쳐 총 8차에 의해 검수가 완료되었음

[표 41] 3종 가스건, 홉킨슨바 검수 수행 이력

검수명	시행일	주요추진 내용
1차 검수	2016.09.19. ~ 09.28.	중속가스건 설치 및 검수
2차 검수	2016.11.30. ~ 12.19.	고속가스건, 초고속가스건, SHPB 설치 및 검수
3차 검수	2017.01.16. ~ 01.20.	중속가스건, 고속가스건, SHPB 보완 및 검수
4차 검수	2017.02.13. ~ 02.15.	중속가스건, SHPB, 고속가스건 보완 및 검수
5차 검수	2017.05.15. ~ 05.16.	중속/고속/초고속 가스건, SHPB 보완 및 검수
6차 검수	2017.07.08.	중속가스건, SHPB 보완 및 검수
7차 검수	2017.09.04. ~ 09.07.	중속/고속/초고속가스건, SHPB 보완 및 검수
8차 검수	2017.10.15. ~ 10.16.	고속/초고속가스건 보완 및 검수



가스건 장비 검수 결과

2017.10.17 극한성능실험센터

1. 장비 설치 및 검수시험 추진 경과

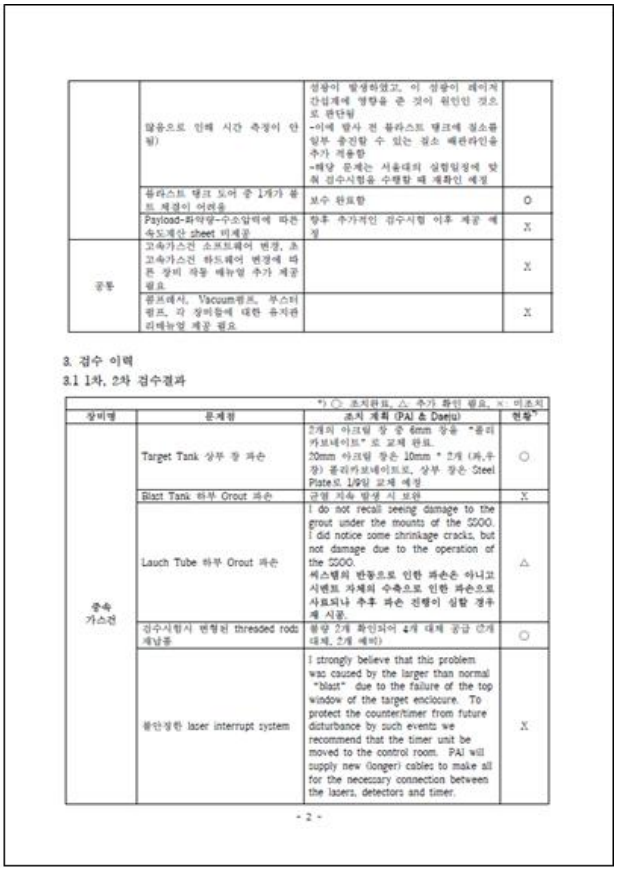
검수명	시행일	주요 추진 내용
1차 검수	2016.09.19. ~ 09.20.	중속가스건 설치 및 검수
2차 검수	2016.11.30. ~ 12.19.	고속가스건, 초고속가스건, SHPB 설치 및 검수
3차 검수	2017.01.16. ~ 01.20.	중속가스건, 고속가스건, SHPB 보완 및 검수
4차 검수	2017.02.13. ~ 02.15.	중속가스건, SHPB, 고속가스건 보완 및 검수
5차 검수	2017.05.15. ~ 05.16.	중속/고속/초고속 가스건, SHPB 보완 및 검수
6차 검수	2017.07.00.	중속가스건, SHPB 보완 및 검수
7차 검수	2017.09.04. ~ 09.07	중속/고속/초고속가스건, SHPB 보완 및 검수
8차 검수	2017.10.15. ~ 10.16	고속/초고속가스건 보완 및 검수

2. 8차 검수 결과 (2017.10.15.~10.16.)

*) ○: 조치완료, △: 추가 확인 필요, ×: 미조치

장비명	문제점	조치 사항 및 계획 (PAI & Daeju)	현황*
중속 가스건	레이저 디텍터 교체 후 속도 집중 미이행	-향후 서울대 실험시 재검증 예정	△
	Shock absorber oil leakage	-교체 완료함	O
	다이어프램의 품질 문제	-단국대 실험을 위해 추가 제작 납품한 다이어프램이 불량인 것에 대해 가압배스트를 거친 다이어프램을 전량 재납품 함	O
	다이어프램의 지정이 Lunch tube 끝단 고정부 내경보다 작음 (약 6mm)	-Lunch tube 고정부 내경에 맞춰 제작 납품하려 하였으나, 제작 단가가 너무 상승하여 기존에 납품한 치경으로 다이어프램을 제작하였음. 다이어프램 거치 시 파우상하 부에 반침을 끼워 사용하면 성능에 문제 없음	O
고속 가스건	Labview 발사 전후 데이터 저장 불가	-발사 전후 데이터가 저장됨을 확인함	O
	Laser interrupt system 불안정 (7차 검수 결과 목표속도에 비해 실제 레이저간섭계로 측정된 속도가 높음) 8차 검수에서는 목표속도에 비해 측정된 속도가 낮음. 8차 검수에서 레이저간섭계와 카메라를 이용하여 측정한 속도값은 유사하나, 앞으로 계속된 실험을 통해 레이저간섭계의 안정성은 계속 확인이 필요함	-저압인 경우, Sabot 분리가 원활하지 않아 Sabot 비산물이 영향을 준 것으로 판단함. 이에 저압을 Sabot stopping plate (홀 내경 : 40mm)를 추가 제작하여 설치함	△
초고속 가스건	Laser interrupt system 불안정 (3차 검수시험시 레이저간섭계에서 stop trigger 신호를 발생하지	-플라스트 탱크에 산소가 존재한 상황에서 샷이 진행되었을 경우, 고압으로 압축된 수소 가스가 산소와 만나면서	△

- 1 -



	많음으로 인해 시간 측정이 안 됨)	섬광이 발생하였고, 이 섬광이 레이저 간섭계에 영향을 준 것이 원인인 것으로 판단됨 -이에 발사 전 플라스트 탱크에 질소를 일부 충진할 수 있는 질소 배관라인을 추가 제출함 -해당 문제는 서울대의 실험일정에 맞춰 검수시험을 수행할 때 재확인 예정	
	플라스트 탱크 도어 중 1개가 볼트 체결이 어려움	보수 완료함	O
	Payload-화약량-수소압력에 따른 속도계산 sheet 미제공	향후 추가적인 검수시험 이후 제공 예정	X
공통	고속가스건 소프트웨어 변경, 초고속가스건 하드웨어 변경에 따른 장비 작동 매뉴얼 추가 제공 필요		X
	콤프레서, Vacuum펌프, 부스터펌프, 각 장비들에 대한 유지관리매뉴얼 제공 필요		X

3. 검수 이력

3.1 1차, 2차 검수결과

*) ○: 조치완료, △: 추가 확인 필요, ×: 미조치

장비명	문제점	조치 계획 (PAI & Daeju)	현황*
중속 가스건	Target Tank 상부 창 파손	2개의 아크릴 창 중 6mm 창을 "폴리카보네이트" 로 교체 완료. 20mm 아크릴 창은 10mm * 2개 (좌,우창) 폴리카보네이트로, 상부 창은 Steel Plate로 1/9일 교체 예정	○
	Blact Tank 하부 Orout 파손	근일 지속 발생 시 보완	X
	Lauch Tube 하부 Orout 파손	I do not recall seeing damage to the grout under the mounts of the SSOO. I did notice some shrinkage cracks, but not damage due to the operation of the SSOO. 씨스템의 반동으로 인한 파손은 아니고 시멘트 자체의 수축으로 인한 파손으로 사료되나 추후 파손 진행이 심할 경우 재 시공.	△
	검수시험시 변형된 threaded rods 재납품	불량 2개 확인되어 4개 대체 공급 (2개 대체, 2개 예비)	○
	불안정한 laser interrupt system	I strongly believe that this problem was caused by the larger than normal "blast" due to the failure of the top window of the target enclocure. To protect the counter/timer from future disturbance by such events we recommend that the timer unit be moved to the control room. PAI will supply new (longer) cables to make all for the necessary connection between the lasers, detectors and timer.	X

- 2 -

[그림 97] 3종 가스건, 홉킨슨바 검수 결과서

(14) 중속가스건 주요 설치 과정



(a) 장비 입고



(b) 장비 입고



(c) Skid 해체



(d) 장비 배치



(e) Launch tube 정렬



(f) 타겟탱크 설치



(g) 설치 완료

[그림 98] 중속가스건 주요 설치 과정

(15) 고속/초고속가스건 주요 설치 과정



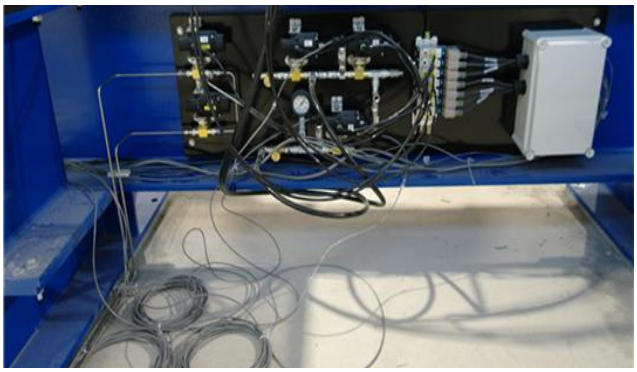
(a) 장비 입고



(b) 장비 배치



(c) Launch tube 정렬



(d) 배관 및 신호케이블 설치



(e) 고속가스건 설치 완료



(f) 초고속가스건 설치 완료

[그림 99] 고속/초고속가스건 주요 설치 과정

(16) 홉킨슨바 주요 설치 과정



(a) 장비 입고



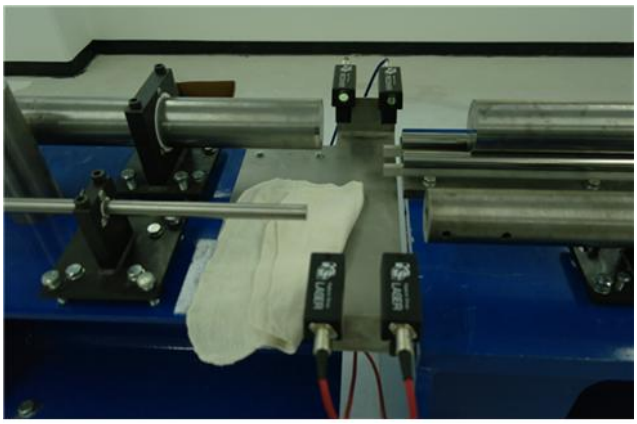
(b) 장비 입고



(c) 장비 배치



(d) Bar 정렬



(e) Laser Interrupt System 설치



(f) 에어 실린더 설치



(g) 설치 완료

[그림 100] 홉킨슨바 주요 설치 과정

라. 급속재하실험시설, 5,000kN UTM 구축

[표 42] 급속재하실험시설, 5,000kN UTM 주요 추진 경과

No.	날짜	추진 경과	Page
1	2014.10.04.	급속재하실험시설 관련 MTS와의 기술협의	108
2	2015.06.03.	급속재하실험시설 관련 INSTRON과의 기술협의	108
4	2015.10.06.~08.	급속재하실험시설 관련 MTS와의 기술협의	108
5	2015.11.03.	미국 MTS 본사 방문 및 급속재하실험시설, 5000kN UTM 관련 기술협의	110
6	2015.12.09.	급속재하실험시설 관련 삼연기술과의 기술협의	110
7	2016.01.06.	급속재하실험시설 관련 MTS와의 기술 협의	110
8	2016.02.17.	급속재하실험시설 성능변경 관련 국토교통과학기술진흥원과 사전협의	111
9	2016.05.30.	급속재하실험시설 조달청 공고 (성능변경 전) : 응찰업체 부재로 유찰	112
10	2016.07.12.	급속재하실험시설 조달청 재공고 (성능변경 전) : 1개 업체 응찰	112
11	2016.07.28.	급속재하실험시설 기술제안서 평가 (성능변경 전) : 기술 부적격에 따른 유찰	113
12	2016.10.06	급속재하실험시설 미래창조과학부 추가변경심의 (성능변경)	80
13	2016.12.13.	극한하중재하시험기(급속재하실험시설+5,000kN UTM) 관련 삼연기술과의 기술협의	114
14	2016.12.14.	극한하중재하시험기 관련 MTS 현장 방문 확인 및 기술협의	114
15	2017.01.19	극한하중재하시험기 조달청 공고 : 3개 업체 응찰	114
16	2017.03.14.	극한하중재하시험기 기술제안서 평가	115
17	2017.03.25.	협상	116
18	2017.03.31.	계약 체결	117
19	2017.05.29.~30.	MTS와 1차 Design Review Meeting	117
20	2017.12.05.	MTS와 1차 Design Review Meeting	118
21	2018.04.23.	5,000kN UTM 서울대 입고	121
22	2018.06	5,000kN UTM 로드셀 설치 위치에 따른 장단점 검토	118
23	2018.07.08.~16.	미국 MTS 본사 방문 및 급속재하실험시설 공장 검수	119
24	2018.09.12.	급속재하실험시설 서울대 입고	123
25	2018.10.15.	극한하중재하시험기 구축 완료	124

(1) 2014.10.04. 급속재하실험시설 관련 MTS와의 기술협의

- ○ 급속재하실험시설은 전 세계 유수의 기관에 납품한 경험이 있음
- ○ 제안서 상의 요구 성능(재하하중 : 최대 40ton, 재하속도 : 최대 25m/s)에 대한 견적 및 기술검토를 요청함
- ○ 제안서 상의 요구 성능에 대한 MTS의 기술검토 주요 의견
  - 고속-고하중 actuator의 경우, 400GPM (1,500LPM) 이상의 유압공급장치가 필요하며, 고속의 피스톤 운동에 따른 충격 및 에너지를 흡수 할 수 있는 부가적인 약 2000Liter 용량 이상의 축압장치(Accumulator Bank)가 필요함
  - 40ton, 25m/s 시험 조건을 만족하는 급속재하시험기용 actuator에 일반적인 유압시험기의 속도 제어를 하는 서보밸브 방식을 적용하기 위해서는 특수 서보밸브를 개발해야 하는 필요성이 있으며, 이는 서보밸브 제작사의 원천기술 협조 없이는 불가능함
  - 상기의 서보 밸브를 대체하기 위해서 사용하는 한 방향 작동의 poppet 밸브와 같은 특수 기계요소의 개발은 시험기의 제작보다 많은 시간 및 비용이 발생함
  - Poppet 밸브 제어는 한 방향으로 제어하는 것이 일반적인데, 양방향 속도를 맞추기 위해서는 2개의 poppet 밸브를 actuator에 장착해야 가능함
  - 제안 요구 성능을 만족하기 위해서는 actuator에 17,000LPM 용량의 poppet 밸브 2개를 장착하고 양방향으로 유압충격을 방지하는 유압 cushion을 actuator의 양 끝단에 적용해야 하는데, 이와 같은 actuator 설계는 일련의 시행착오 이후에 개발이 필요하므로 정해진 시간 내에서는 현실적으로 불가능할 것으로 판단됨
  - 서울대에서 요구하는 인장-압축 양방향에 대하여 40ton, 25m/s를 만족하기 위해서는 양방향 유압제어(Poppet Valve Control) 및 복잡한 제어 logic을 신규 개발해야 하는 부담이 있음

(2) 2015.06.03. 급속재하실험시설 관련 INSTRON과의 기술협의

- ○ INSTRON의 기성품 현황 : 10ton, 25m/s가 최고사양
- ○ 실험목적에 맞게 성능에 대한 재검토가 필요함
- ○ 급속재하실험시설의 분리설계(하중, 속도 성능을 각각 특화)안 검토

(3) 2015.10.06.~08. 급속재하실험시설 관련 MTS와의 기술협의

- ○ 25m/s의 속도 조건을 만족하기 위해서는 345bar의 압력까지 올릴 수 있는 특수한 booster pump를 사용하여야 하며, 이 압력에 견딜 수 있는 관련 부품의 수급이 어려울 것으로 판단됨(현재 시장에서 사용하는 유압시험기는 최대 280bar의 압력을 사용하고 있기 때문에 안전에 대한 인증을 받는 것도 어려움)
- ○ 서울대의 실험 범위에 대하여 포괄할 수 있는 장비 성능을 제안함 (재하하중 : 최대 30ton, 재하속도 : 최대 25m/s)
- ○ 유압공급장치 및 관련 유틸리티를 5,000kN UTM과 공동으로 활용할 수 있는 구축비용 절감

방안 도출

○ 실험범위

- 기존의 제안은 공학분야에서 모두 사용 가능한 연구사례를 기본으로 단순히 최고 사양만을 제안함. 따라서 실질적으로 수행할 만한 실험인지 재검토 후 실제 수행할 실험에 대해 나열하고 이에 대한 성능을 아래 표와 같이 제안함

[표 43] 압축실험 범위

Material	Specimen (L×W×T) [mm]	Strength [MPa]		Gage Length [mm]	Strain Rate [/s]	Force [kN]	Velocity [m/s]
		Static	Dynamic				
Normal Concrete	Cylinder (Φ75×150)	28	65	50	100	287	5
Fiber Reinforced Concrete	Cylinder (Φ75×150)	30	68	50	100	300	5

[표 44] 인장실험 범위

Material	Specimen (L×W×T) [mm]	Strength [MPa]		Gage Length [mm]	Strain Rate [/s]	Force [kN]	Velocity [m/s]
		Static	Dynamic				
Normal Concrete	Dumbbell Shape (400×100×100)	3	8.5	70	100	85	7
Fiber Reinforced Concrete	Dumbbell Shape (200×26×50)	27	77	100	100	100	10
UHPC	Dumbbell Shape (300×75×25)	17	50	100	100	95	10
High-Strength Rebar	Φ12.5×150	800		50	100	98	5
FRP Rod	Φ6.4×457	2,060		50	100	150	5
FRP Tendon	Φ10×500	2,450		50	100	195	5
FRP Composites Bar	Φ12×450	600		50	100	70	5
Alloy	200×6.5×2	420		50	500	5.5	25

(4) 2015.11.03. 미국 MTS 본사 방문 및 급속재하실험시설, 5,000kN UTM 관련 기술협의

- 서울대에서 제공한 성능 시트를 토대로 급속재하실험시설의 기계적 성능을 검토하기로 함
- 콘크리트 인장실험시 특수 장력 그립이 필요하며, FRC, UHPC 사례에 대한 조사도 필요함
- Poppet valve를 사용하기 때문에 소량의 유량만 있으면 됨. 즉, 5,000kN UTM용 유압펌프를 공유하여 사용할 수 있음
- 서울대의 최초 요구성능 (40ton, 25m/s)는 너무 광범위하며, 이를 만족하기 위해서는 기계장비의 크기가 거대해지기 때문에 실험시 안전에도 문제될 수 있음

(5) 2015.12.09. 급속재하실험시설 관련 삼연기술과의 기술협의

- 삼연기술의 기성품 현황: 10ton, 20m/s가 최고사양
- 급속재하실험시설의 성능에 대한 재검토 필요

(6) 2016.01.06. 급속재하실험시설 관련 MTS와의 기술협의

- 기존 기술협의에서 서울대에서 제안한 성능은 하중과 속도 성능이 과다함
- 자동차 분야(Alloy)의 경우 낮은 하중, 빠른 속도의 기존 제품(10ton, 20m/s)으로 가능하며 자동차 관련 연구소 등에서 기구축하여 활용하고 있으므로 합리적인 장비 구축을 위해 이를 제외할 필요가 있음
- 이를 고려하여 자동차 분야를 실험범위에서 제외하고 장비 성능을 다시 제안함 (재하하중 : 최대 33ton, 재하속도 : 최대 10m/s)
- 실험범위

- 자동차 분야(Alloy)의 실험은 기존 국내에 공급된 장비로 수행이 가능하며 자동차 및 철강업체 등에서 이미 기구축하여 사용하고 있음. 자동차 분야 실험을 포함 시 요구 성능이 과도하여 천문학적인 예산 투입이 예상됨. 따라서 자동차 분야 실험을 제외하여 하중속도 성능을 낮춘 성능을 아래 표와 같이 제안함

[표 45] 압축실험 범위

Material	Specimen (L×W×T) [mm]	Strength [MPa]		Gage Length [mm]	Strain Rate [/s]	Force [kN]	Velocity [m/s]
		Static	Dynamic				
General Concrete	Cylinder (Φ75×150)	40	72	50	100	320	5
Fiber Reinforced Concrete	Cylinder (Φ75×150)	180	320	50	100	1,418	5

[표 46] 인장실험 범위

Material		Specimen (L×W×T) [mm]	Strength [MPa]		Gage Length [mm]	Strain Rate [/s]	Force [kN]	Velocity [m/s]
			Static	Dynamic				
General Concrete		Dumbbell Shape (500×50×25)	5	15	100	100	20	10
Fiber Reinforced Concrete		Dumbbell Shape (500×50×25)	12	40	100	100	50	10
Steel Bar (Grade 60)		Φ19	710		150	95	200	9.5
Steel Strand (7-wire Strand)		Φ15.2	1,860		100	100	258	10
			2,160		100	100	300	10
			2,400		100	100	333	10
FRP Bar	GFRP	Φ12	758		100	100	96	10
	CFRP	Φ12	2,068		100	100	234	10
	AFRP	Φ12	1,326		100	100	150	10
FRP Tendon		Φ10	2,450		100	100	192	10
FRP Composites Bar		Φ12	600		50	100	70	5

(7) 2016.02.17. 급속재하실험시설 성능변경 관련 국토교통과학기술진흥원과 사전 협의

○ 장 소 : 국토교통과학기술진흥원 2층 회의실

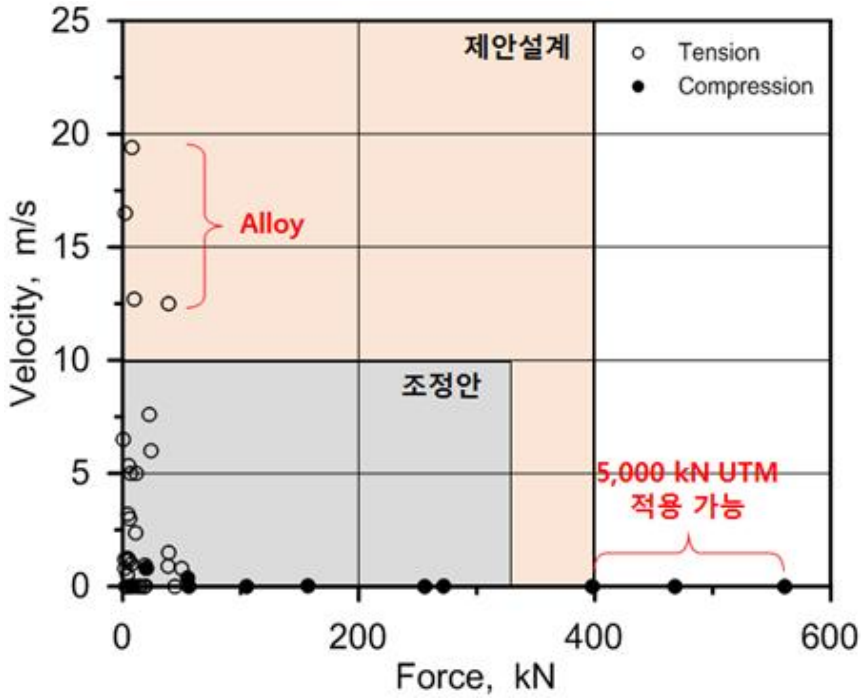
○ 해당 장비 제작 및 납품 실적을 다수 보유한 장비전문업체와의 기술협의를 통한 성능 조정안 도출

○ 성능 조정 발생 사유

- 미래창조과학부 연구장비예산심의위원회 본심의(2014.06.16.) 심의의견 반영
- 심의 의견: 설계된 사양이 아직 보편화 되지 않은 최고의 사양으로서 사양 구현에 대해서도 충분한 기술적 실증이 부족한 상태이므로 사양수준을 낮추어 실질적으로 운영이 가능한 수준으로 조정이 필요함
- 세계적인 유압장비 제작업체와의 수차례 기술협의를 통해 제안 성능을 구현하기 위해서는 추가 기술개발이 요구되며 이를 위해서는 제안서 상 견적가의 약 2배에 달하는 예산이 소요된다는 결론에 도달함
- 제안설계시 실험대상으로 고려했던 자동차 분야(Alloy)의 경우 이미 자동차 및 철강업체 등에

서 기구축하여 활용하고 있어 수요가 적을 것이라는 업계의 상황에 근거하여 이를 제외할 필요가 있음

- 아래 그림에서 보는 바와 같이 조정안의 경우 극한상태 구조특성 실험시설의 중점 실험 분야인 건설 분야의 실험 범위를 모두 포괄하고 있으며 예산 대비 약 4억원의 추가 예산이 소요될 것으로 예상됨



[그림 101] 제안설계 대비 조정안의 실험영역

○ 성능 조정에 관한 추진계획 협의

- 서울대에서 제시한 근거자료도 객관성이 있겠지만, 공식적으로 확인할 수 있는 절차가 필요해 보임
- 서울대에서 기술검토한 업체 이외의 업체가 존재할 수 있으므로 RFP상의 요구성능(40ton, 25m/s)으로 조달공고를 진행하고 유찰이 되면, 그 결과를 근거로 성능 조정을 하기로 함
- 유찰 이후 장비성능변경심의, 재공고 등의 후속 절차로 인하여 총 연구기간 내 장비구축이 어렵다고 판단이 될 경우 연구기간을 연장하기로 함

(8) 2016.05.30.~2016.07.26. 급속재하실험시설 조달청 입찰공고

○ RFP상의 요구성능(40ton, 25m/s)으로 급속재하실험시설에 대해 단독 공고를 진행함

○ 2016.05.30.~07.12. 공고 : 입찰업체 부재로 인한 유찰

○ 2016.07.12.~07.26. 재공고 : 단독업체 입찰



공공조달! 이제는 품질과 안전입니다.

조달청

수신자 서울대학교총장
(경유)
제목 외자구매 입찰공고 알림(P.R.No.16GA0629)

귀 기관에서 조달 요청한 외자물품에 대하여 협상에의한계약에 의한 방식으로 구매하고자 나라장터(g2b)에 다음과 같이 입찰공고 하였음을 알려드립니다.

1. 구매결의번호: KFX-160570-0
2. 공고번호: 20160526409-00
3. 계약방법: 협상에의한계약
4. 품 명: 급속재하실험시설
5. 수 량: 1 SYSTEM
6. 배정금액: US$ 2,555,000.00
7. 선적기한: 신용장개설 후 396일
8. 인도조건: FCA(지정장소 운송인 인도)
9. 공고일자: 2016/05/30 (공고기간: 42일)
10. 개찰일시: 2016/07/12 15:00

붙임: 1. 입찰공고서 1부.
2. 입찰요약서(Bid Summary) 1부. 끝.

6월은 호국보훈의 달 입니다

조달청

수신자 서울대학교총장
(경유)
제목 재공고 입찰 알림(P.R.No.16GA0629)

귀 기관에서 조달 요청한 외자물품에 대하여 1차 입찰을 실시하였으나 무응찰로 유찰되어 다음과 같이 재공고하였음을 알려드립니다.

1. 구매결의번호: KFX-160570-1
2. 공고번호: 20160711786-00
3. 계약방법: 협상에의한계약
4. 품 명: 급속재하실험시설
5. 수 량: 1 SYSTEM
6. 배정금액: US$ 2,555,000.00
7. 선적기한: 신용장개설 후 396일
8. 인도조건: FCA(지정장소 운송인 인도)
9. 공고일자: 2016/07/12 (공고기간: 13일)
10. 개찰일시: 2016/07/26 15:00

붙 임: 1. 입찰공고서 1부.
2. 입찰요약서(Bid Summary) 1부. 끝.

[그림 102] 급속재하실험시설 입찰공고서

(9) 2016.07.28. 급속재하실험시설 기술제안서 평가

○ 재공고 개찰 결과, 1개 업체가 단독응찰을 하였으나, 수의계약 체결 전 외부 평가위원을 위촉하여 기술제안서 평가를 진행함

○ 평가 결과 : 기술 부적격에 따라 유찰됨



[그림 103] 급속재하실험시설 기술제안서 평가

(10) 2016.12.13. 극한하중재하시험기(급속재하실험시설+5,000kN UTM) 관련 삼연기술과의 기술협의

○ 주요 협의 내용

- 급속재하실험시설 및 5,000kN UTM에 대한 삼연기술의 기술검토서에 대한 검토
- 5,000kN UTM의 설계 중점 사항 검토



[그림 104] 극한하중재하시험기 구축 관련 삼연기술과의 기술협의

(11) 2016.12.14. 극한하중재하시험기 관련 MTS 현장 방문 확인 및 기술협의

○ 주요 협의 내용

- 실험동 유압펌프실, 반력상 개구부, 옥상에 설치된 냉각타워 등 건축공사 관련 사항 점검 및 추가 보완사항 검토
- 액츄에이터 추가 확장 가능 여부 검토

(12) 2017.01.19.~2017.03.03. 극한하중시험기(급속재하실험시설+5,000kN UTM) 조달청 입찰공고

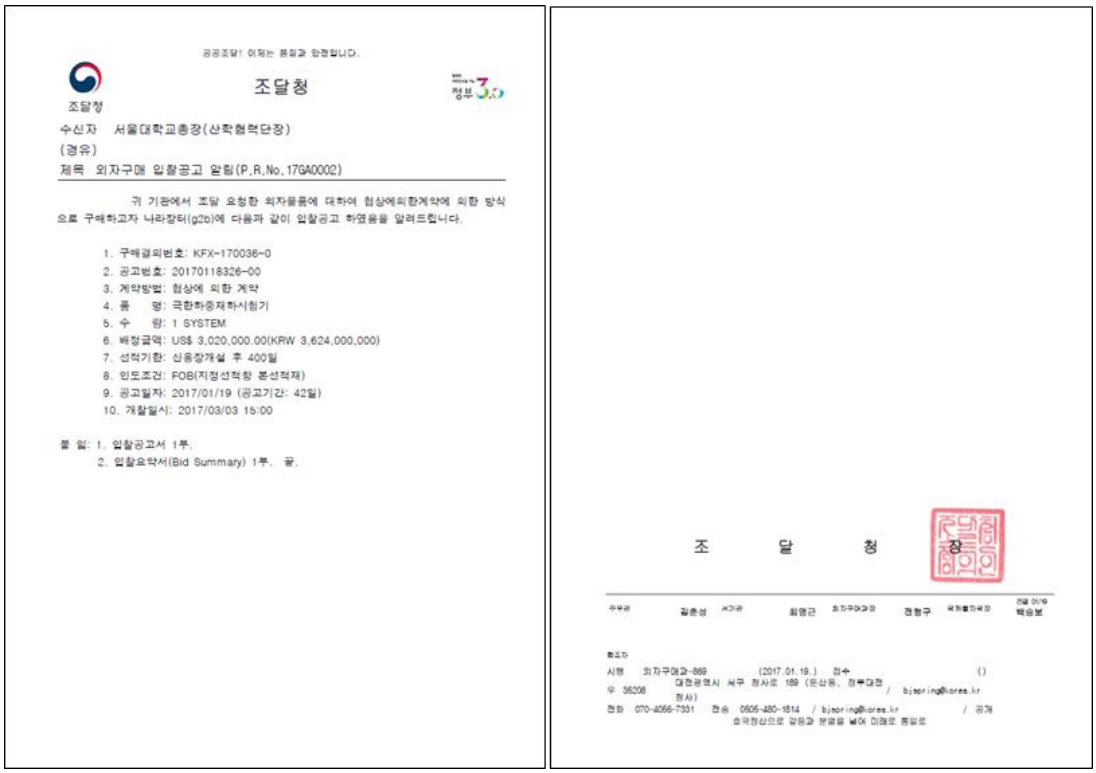
○ 급속재하실험시설의 RFP 요구성능을 만족하는 업체가 부재함에 따라 미래창조과학부의 추가변경심의를 통해 급속재하실험시설의 성능을 현실적으로 조정한 후, 5,000kN UTM과 함께 일괄 공고를 시행함

○ 조달방식 : 중앙조달

○ 구매방식 : 외자구매(국내 업체도 응찰 가능)

○ 낙찰/계약 방식: 협상에 의한 계약

○ 개찰 결과 3개의 업체가 응찰함



공공조달! 이제는 품질과 안전입니다.

조달청

정부3.0

수신자 서울대학교총장(산학협력단장)
(경유)
제목 외자구매 입찰공고 알림(P,R,No,17GA0002)

귀 기관에서 조달 요청한 외자물품에 대하여 협상에의한계약에 의한 방식으로 구매하고자 나라장터(g2b)에 다음과 같이 입찰공고 하였음을 알려드립니다.

1. 구매요의번호: KFX-170036-0
2. 공고번호: 20170118326-00
3. 계약방법: 협상에 의한 계약
4. 품 명: 극한하중재하시험기
5. 수 량: 1 SYSTEM
6. 배정금액: US$ 3,020,000.00(KRW 3,624,000,000)
7. 선적기한: 신용장개설 후 400일
8. 인도조건: FOB(지정선적항 본선적재)
9. 공고일자: 2017/01/19 (공고기간: 42일)
10. 개찰일시: 2017/03/03 15:00

붙 임: 1. 입찰공고서 1부.
2. 입찰요약서(Bid Summary) 1부. 끝.

조 달 청 장

[그림 105] 극한하중재하시험기 입찰공고서

(13) 2017.03.14. 극한하중시험기 기술제안서 평가

○ 공고에 응찰한 3개 업체의 기술제안서를 외부 전문평가위원을 위촉하여 평가함

○ 기술제안서 평가 결과, 1개의 업체가 기술적격 판정을 받음



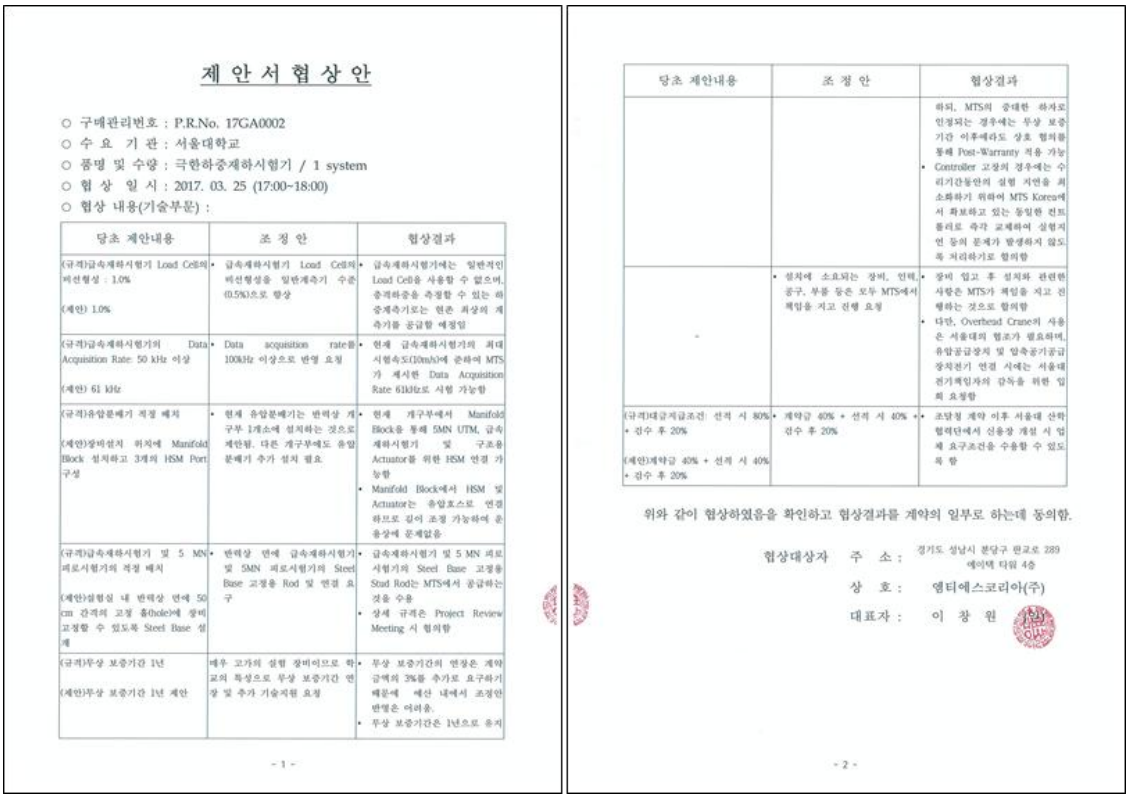
[그림 106] 극한하중재하시험기 기술제안서 평가

(14) 2017.03.25. 협상

○ 기술제안서 평가시 평가위원이 지적한 사항에 대해 협상 실시



[그림 107] 극한하중재하시험기 구축 협상



제 안 서 협 상 안

○ 구매관리번호 : P.R.No. 17GA0002
○ 수 요 기 관 : 서울대학교
○ 품명 및 수량 : 극한하중재하시험기 / 1 system
○ 협 상 일 시 : 2017. 03. 25 (17:00~18:00)
○ 협상 내용(기술부문) :

당초 제안내용	조 정 안	협상결과
(규격)급속재하시험기 Load Cell의 비선형성 : 1.0% (제안) 1.0%	• 급속재하시험기 Load Cell의 비선형성을 일반계측기 수준(0.5%)으로 향상	• 급속재하시험기에는 일반적인 Load Cell을 사용할 수 없으며, 충격하중을 측정할 수 있는 하중계측기로는 업존 최상의 계측기를 공급할 예정임
(규격)급속재하시험기의 Data Acquisition Rate: 50 kHz 이상 (제안) 61 kHz	• Data acquisition rate를 100kHz 이상으로 반영 요청	• 현재 급속재하시험기의 최대 시험속도(10m/s)에 준하여 MTS가 제시한 Data Acquisition Rate 61kHz로 시험 가능함
(규격)유압분배기 적정 배치 (제안)장비설치 위치에 Manifold Block 설치하고 3개의 HSM Port 구성	• 현재 유압분배기는 반력상 개구부 1개소에 설치하는 것으로 제안됨. 다른 개구부에도 유압분배기 추가 설치 필요	• 현재 개구부에서 Manifold Block을 통해 5MN UTM, 급속재하시험기 및 구조용 Actuator를 위한 HSM 연결 가능함 • Manifold Block에서 HSM 및 Actuator는 유압호스로 연결하므로 길이 조정 가능하여 운용상에 문제없음
(규격)급속재하시험기 및 5 MN 피로시험기의 적정 배치 (제안)실험실 내 반력상 면에 50 cm 간격의 고정 홈(hole)에 장비 고정할 수 있도록 Steel Base 설계	• 반력상 면에 급속재하시험기 및 5MN 피로시험기의 Steel Base 고정용 Rod 및 연결 요구	• 급속재하시험기 및 5 MN 피로시험기의 Steel Base 고정용 Stud Rod는 MTS에서 공급하는 것을 수용 • 상세 규격은 Project Review Meeting 시 협의함
(규격)무상 보증기간 1년 (제안)무상 보증기간 1년 제안	매우 고가의 실험 장비이므로 학교의 특성으로 무상 보증기간 연장 및 추가 기술지원 요청	• 무상 보증기간의 연장은 계약금액의 3%를 추가로 요구하기 때문에 예산 내에서 조정안 반영은 어려움. • 무상 보증기간은 1년으로 유지

- 1 -

당초 제안내용	조 정 안	협상결과
		하되, MTS의 중대한 하자로 인정되는 경우에는 무상 보증기간 이후에라도 상호 협의를 통해 Post-Warranty 적용 가능 • Controller 고장의 경우에는 수리기간동안의 실험 지연을 최소화하기 위하여 MTS Korea에서 확보하고 있는 동일한 컨트롤러로 즉각 교체하여 실험지연 등의 문제가 발생하지 않도록 처리하기로 협의함
-	• 설치에 소요되는 장비, 인력, 공구, 부품 등은 모두 MTS에서 책임을 지고 진행 요청	• 장비 입고 후 설치와 관련한 사항은 MTS가 책임을 지고 진행하는 것으로 협의함 • 다만, Overhead Crane의 사용은 서울대의 협조가 필요하며, 유압공급장치 및 압축공기공급장치전기 연결 시에는 서울대 전기책임자의 감독을 위한 입회 요청함
(규격)대금지급조건 : 선적 시 80% + 검수 후 20% (제안)계약금 40% + 선적 시 40% + 검수 후 20%	• 계약금 40% + 선적 시 40% + 검수 후 20%	• 조달청 계약 이후 서울대 산학협력단에서 신용장 개설 시 업체 요구조건을 수용할 수 있도록 함

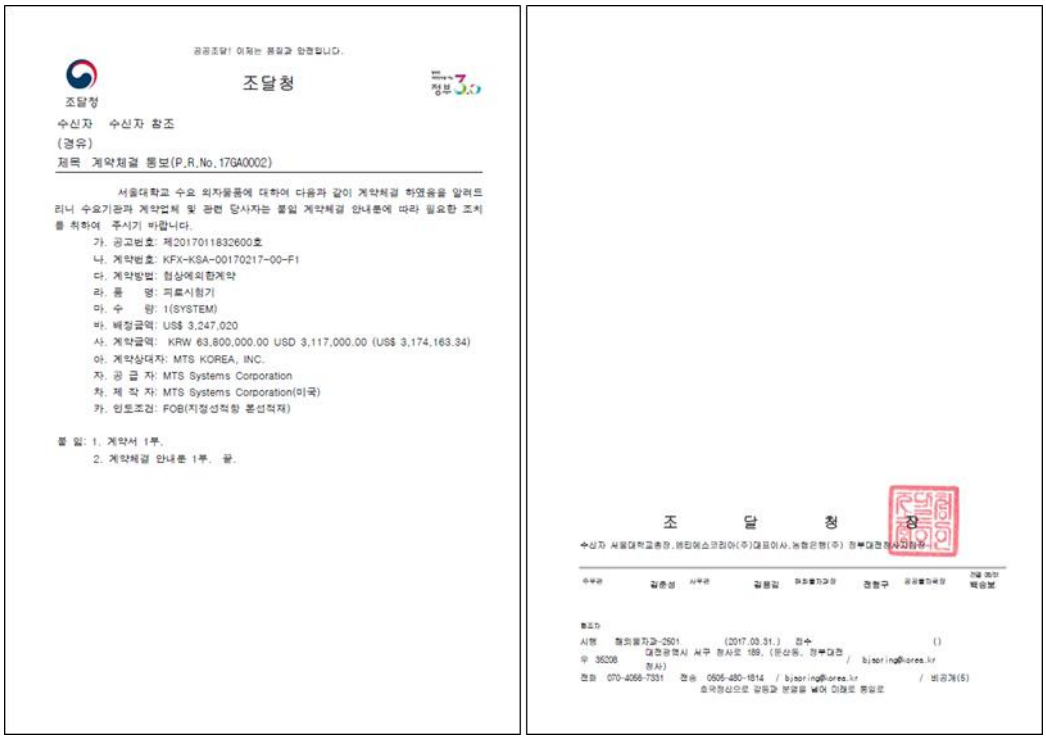
위와 같이 협상하였음을 확인하고 협상결과를 계약의 일부로 하는데 동의함.

협상대상자 주 소 : 경기도 성남시 분당구 판교로 289 에이텍 타워 4층
상 호 : 엠티에스코리아(주)
대표자 : 이 창 원

- 2 -

[그림 108] 극한하중재하시험기 구축 협상안

(15) 2017.03.31. 계약 체결



조달청

수신자 수신자 참조
(경유)
제목 계약체결 통보(P.R.No.17GA0002)

서울대학교 수요 외자물품에 대하여 다음과 같이 계약체결 하였음을 알려드리니 수요기관과 계약업체 및 관련 당사자는 붙임 계약체결 안내문에 따라 필요한 조치를 하여 주시기 바랍니다.

가. 공고번호: 제20170118326000호
나. 계약번호: KFX-KSA-00170217-00-F1
다. 계약방법: 협상에의한계약
라. 품 명: 피로시험기
마. 수 량: 1(SYSTEM)
바. 배정금액: US$ 3,247,020
사. 계약금액: KRW 63,800,000.00 USD 3,117,000.00 (US$ 3,174,163.34)
아. 계약상대자: MTS KOREA, INC.
자. 공 급 자: MTS Systems Corporation
차. 제 작 자: MTS Systems Corporation(미국)
카. 인도조건: FOB(지정선적항 본선적재)

붙 임: 1. 계약서 1부.
2. 계약체결 안내문 1부. 끝.

조 달 청 장

수신자 서울대학교총장,베리에스코리아(주)대표이사,농협은행(주) 정부대전청사지점장

시행 첨의물자과-2501 (2017.03.31.) 접수 ()
우 35208 대전광역시 서구 청사로 189, (둔산동, 정부대전청사) / bjsoring@korea.kr
전화 070-4066-7331 전송 0505-480-1614 / bjsoring@korea.kr / 비공개(5)
최적정신으로 감동과 분열을 넘어 미래로 통일로

[그림 109] 극한하중재하시험기 계약체결 통보서

(16) 2017.05.29.~30. MTS와 1차 Design Review Meeting

○ 계약 이후, MTS 엔지니어 센터 현장 방문 확인 및 Design Review Meeting을 통한 설계방향 결정



[그림 110] 1차 DRM

(17) 2017.12.05. MTS와 2차 Design Review Meeting

○ 1차 DRM 이후 장비 세부 변경 사항 및 서울대 요구 조건 검토



[그림 111] 2차 DRM

(18) 2018.06 5,000kN UTM 로드셀 설치 위치에 따른 장단점 검토

○ 유사실험시설 및 장비전문업체의 자문을 통해 로드셀 설치 위치 결정 및 구축 시 반영

[표 47] 로드셀 설치 위치에 따른 장단점 비교

구분	(1안) 피스톤에 로드셀을 부착하는 경우	(2안) 베이스 정반 위에 로드셀을 부착하는 경우
가능한 실험 종류	• 보 부재의 휨실험 • 인장/압축 실험 • 보 부재의 피로실험	• 인장/압축 실험
장점	• 시험체 설치 및 셋팅 과정이 용이함 • 다양한 실험 및 다용도로 활용이 가능함	• 피스톤에 부하로 작용하지 않음
단점	• 피스톤에 로드셀의 하중이 더해지기 때문에, 최대 가진주파수의 100% 성능을 구현할 수 없음	• 보 부재의 휨실험시 피스톤에 로드셀을 부착하는 과정이 선행되어야 함 • 인장 실험시 로드셀 위에 인장척이 설치되므로 시험체 설치 및 셋팅시 별도의 작업대가 필요함
타 실험센터 구축 현황	• 하이브리드구조실험센터에서 1안으로 설치 및 운영중임	• -
최종 결정	• 실험의 용이성을 고려하여 1안으로 로드셀을 설치하기로 함	

(19) 2018.07.08.~16. 미국 MTS 본사 방문 및 급속재하실험시설 공장 검수 시험

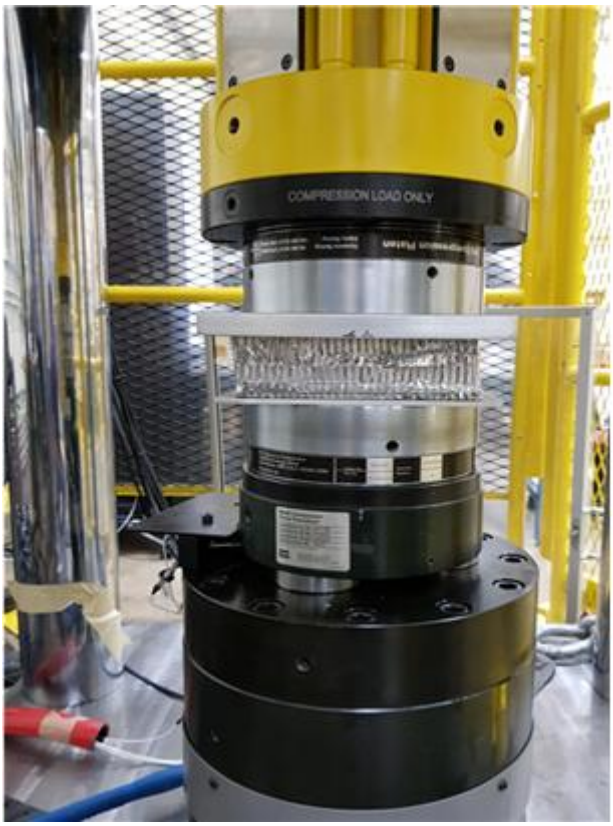
- 미국 MTS 본사에 방문하여 급속재하실험시설에 대해 공장 검수 시험 진행 및 장비 운영 관련 사용자 교육을 진행함
- 장비 작동 및 성능은 요구조건을 만족함을 확인하였으며, 일부 미비한 사항에 대해서는 보완을 요청함



(a) 검수 관련 Check list 검토회의



(b) 콘크리트 시편 압축실험



(c) 알루미늄 허니콤 압축실험



(d) 알루미늄 시편 인장실험



(e) 콘크리트 시편 인장실험



(f) 장비 조립 현황

[그림 112] MTS 본사 방문 및 급속재하실험시설 사전 공장 검수

(20) 5,000kN UTM 주요 설치 과정



(a) 장비 입고



(b) Skid 해체



(c) 베이스 플레이트 설치



(d) 베이스 플레이트 설치 완료



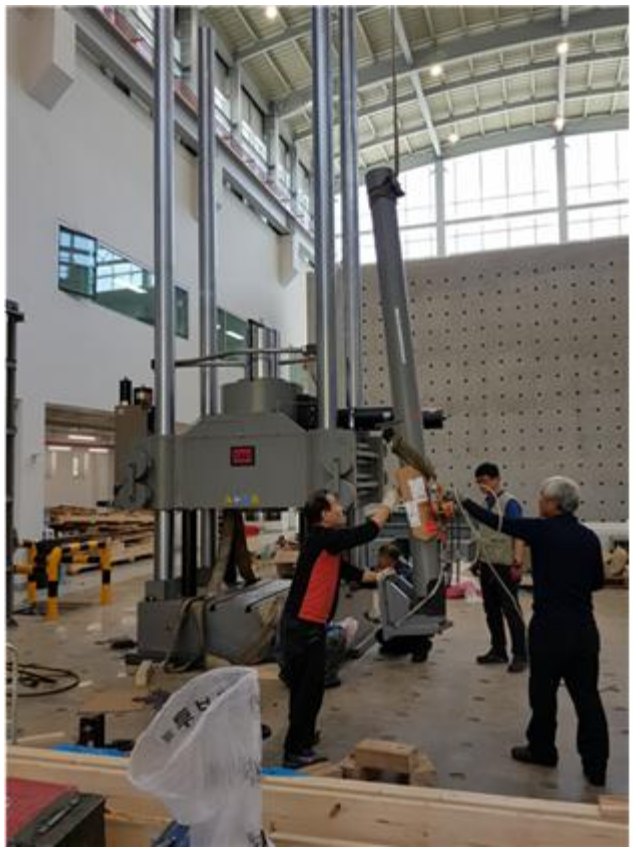
(e) 크로스헤드 조립



(f) Column 인양



(g) Column 조립



(h) 크로스헤드 실린더 조립



(i) 로드셀 조립



(j) 설치 완료

[그림 113] 5,000kN UTM 주요 설치 과정

(21) 급속재하실험시설 주요 설치 과정



(a) 장비 반입



(b) Skid 해체



(c) 장비 이동



(d) 장비 이동



(e) 하부 Stud 볼트 조립 및 배치



(f) 본체 설치



(g) 유압호스 설치



(h) 유압호스 라인 연결



(i) 콘트롤러 및 PC 설치



(j) 설치 완료

[그림 114] 급속재하실험시설 주요 설치 과정

마. 극한온도실험시설 구축

[표 48] 극한온도실험시설 주요 추진 경과

No.	날짜	추진 경과	Page
1	2015.12.28.	뉴원시스템과의 기술협의	126
2	2016.03.22.	뉴원시스템과의 기술협의	126
3	2016.05.10.	한국건설기술연구원 온도챔버 방문견학 및 기술자문	127
4	2016.09.09.	대한테크와의 기술협의	129
5	2016.11.25.	뉴원시스템과의 기술협의	129
6	2016.12.13.	삼연기술과의 기술협의	129
7	2017.05.23.~06.26.	조달청 입찰공고 : 2개 업체 응찰	130
8	2017.06.28.	기술제안서 평가 : 기술적격 업체 부재로 인한 유찰	130
9	2017.07	기술제안요청서(RFP) 보완 작성	131
10	2017.08.01.~09.11.	조달청 2차 공고 : 단일업체 응찰로 인한 유찰	132
11	2017.09.11.~09.21.	조달청 2차 재공고 : 2개 업체 응찰	132
12	2017.10.11.	기술제안서 평가	132
13	2017.10.11.	협상	132
14	2017.10.17.	계약 체결	133
15	2017.12.18.~19.	일본토목연구소(CERI for cold region), 북해도대학 온도챔버 방문견학 및 기술자문	169
16	2018.03.30.	극한온도실험시설 입고	134
17	2018.05.31.	극한온도실험시설 구축 완료	135

(1) 2015.12.28. 뉴원시스템과의 기술협의

[표 49] 주요 협의 내용

검토 항목	주요 협의 내용
장비 설치 장소	• 뉴원은 제안한 피로시험기의 바닥면 강판을 제거하고 Anchor나 기타 다른 방식으로 장비를 바닥에 고정할 수 있는 방안과 피로시험기 프레임을 H빔 이외에 RC구조 등으로 대체 가능한지 검토하기로 함
시험체 셋업 방법	• 원활한 부재반입을 위해 룸챔버와 바닥면 단차를 제거하기 위한 바닥시공은 바닥면 콘크리트의 두께가 200mm밖에 되지 않아 어려울 것으로 판단됨 • 건축물 설계 변경으로 기존 설계시 예정되었던 부재반입로가 없어짐에 따라 부재 반입을 반대쪽으로 설계변경이 필요함 • 뉴원은 부재반입로 변경 및 건축물 천장 및 보 위치에 따른 피로시험기와 룸챔버 설치위치 재검토 후 제안하기로 함 • 뉴원은 부재반입 후 시험체를 설치하는 방법을 제안하기로 함
실험 부재 크기	• 부재크기는 최대 W1,000×H1,000×L5,000mm임
전기 관련	• 룸챔버의 사양의 변경(Room분할)에 따라 필요전력량이 기존 230kW에서 310kW로 변경됨

(2) 2016.03.22. 뉴원시스템과의 기술협의

[표 50] 주요 협의 내용

검토 항목	주요 협의 내용
온도챔버 프레임 설치	• 유압펌프실 슬래브 두께가 400mm이므로 극한온도실험실에 온도챔버 프레임 기초 설치에 구조적으로 문제가 없음 (뉴원) • 실험 시편등 반입공간이 한정되어 있어 유압펌프실 슬래브로 기초 설치가 가능함 (뉴원) • 프레임 기초 앙카에는 뉴원에서 구조해석결과 응력이 크게 발생하지 않으며, 고정용으로 사용됨 (뉴원) • 명일 유압펌프실 슬래브 타설이 진행됨에 따라 타설 전 앙카 시공을 하면 좋으나, 아직 앙카 규격이 정확히 정해져 있지 않으므로, 기존 타설 계획대로 진행하며, 차후 천공작업으로 앙카 설치로 계획 할 것임 (서울대)
룸챔버 내 부재 반입	• 온도룸챔버 부재반입은 가로 MAX 4m, 세로 MAX 5m까지 가능함 (뉴원) • 세로로 부재를 진입할 때 지게차를 이용하여 반입 할 수 있다고 확신하나, 가로로 부재를 반입 할 시 가운데로 옮기는데 어려움이 있음, 호이스트를 이용하여 지점까지 이동시키거나, 철판을 깔아놓은 상태에서 이동시킬 수 있으나, 룸챔버 공간이 너무 많이 부족함 (뉴원) • 지점 최대한 바깥까지 사용하여 온도챔버 공간을 최대한으로 활용 할 수 있게 검토가 필요함 (서울대)

(3) 2016.05.10. 한국건설기술연구원 온도챔버 방문견학 및 기술자문

○ 장　　소 : 한국건설기술연구원 (경기도 고양시)

○ 자문위원 : 김영석 박사 (한국건설기술연구원)

[표 51] 주요 자문 내용

검토 항목	주요 자문 내용
챔버 온도 범위 및 온도하강 속도	• 실제 구축 후 운영하다 보면, 부하 때문에 -60℃까지 안내려갈 수 있기 때문에 반드시 “가용할 수 있는 온도”라고 명기가 필요함 • 외부기관에서 건기연에 실험을 의뢰할 때 -60℃와 -70℃ 조건에서의 실험을 많이 의뢰하고 있으나, 건기연의 경우 -50℃가 최고 성능이므로 상기 실험은 진행하지 못하고 있는 실정임 • 가장 많이 실험을 진행하는 -10~+10℃ 온도 구간에서는 온도 편차를 0.1℃ 이내로 설정이 필요함 • -10~+10℃ 이외의 온도 구간에서는 온도 편차를 1℃ 이내로 설정하여도 괜찮음 • 챔버 내부 온도 편차 분석을 위한 측정 위치를 과업지시서 내에 설정을 해 둘 필요가 있음. 준공 검사시 실제 온도 측정을 통해 편차가 어느 정도인지 파악 필요 • 건기연의 경우 과업지시서에 온도편차를 0.2℃로 설정하였으나, 실제 측정해 보니 온도편차가 0.5℃ 정도로 측정됨 • 온도 하강 시간은 2~3시간 정도면 적당해 보임 • 온도 변화를 주는 실험의 사례를 살펴 볼 필요가 있음. 온도 하강 시간이 길어질수록 설비 부분의 금액이 절감되는데, 불필요하게 하강 시간을 짧게 설정할 필요는 없음 • 온도 변화 사이클을 위한 온도 변화 시간이 중요함 • 상온에서 항습은 쉬우나 저온에서는 항습이 쉽지 않음 • 저온에서 정말 항습이 가능한지 장비업체에 재확인 필요함 • 저온에서의 실험이 주가 되기 때문에 저온의 온도 제어에 집중할 필요가 있음
서울대 온도챔버 구축계획	• 시편 주변에만 온도 변화를 주면 되는 상황인데, 시편의 크기에 비해 룸 사이즈가 너무 큼 • 시편 크기에 맞는 온도챔버를 적용하는 것이 조금 더 효율적으로 생각함 • 만약 서울대 챔버의 높이를 키울 수 있다면 5m 정도로 조정하는 것을 제안함. 건기연에 실제 의뢰하는 실험들을 보았을 때 높이를 5m로 반영하면 실험활용도 측면에서 더 유리할 것으로 생각함
챔버 시설 내부 마감	• 챔버 내부 바닥은 고하중 실험시 건축바닥이 깨지지 않고, 실험자 이동시 미끄러움을 방지하게끔 제안하도록 해야 함 • 건기연의 경우 챔버 바닥은 페인트 마감을 하였는데, 저온에 장기간 노출되다 보니 균열과 들뜸 현상이 발생하고 있음 • 페인트로 마감하다 보니 저온에서 바닥이 얼어 실험자가 미끄러지는 상황이 자주 발생하고 있음 • 챔버 출입문은 온도 변화에 따른 변형이 발생하면 안됨 • 건기연은 단일 출입문으로 구성을 하였었는데, 저온에 자주 노출되다 보니 출입문이 뒤틀리는 현상이 발생함. 출입문이 뒤틀리면 틈새로 챔버 내부 온도가 유출되어 챔버 내부 온도 유지에 어려울 수 있음 • 극저온동토챔버에는 이중으로 출입문을 변경하였고, 출입문 내부에 열선을 설치하여 뒤틀림 현상을 방지한 바 있음
챔버 내부	• 챔버 내부 조명의 경우 온도변화에도 고장이 적고, 고장 났을 때 교체가 용이한

검토 항목	주요 자문 내용
조명	제품을 적용여야 함 • 건기연은 LED 조명을 설치하였으나 고장 나는 빈도가 너무 잦음
계측기 관련	• 계측기 케이블 인입용 구멍을 챔버에 뚫어 놓아야 함 • 건기연은 출입문 근처에 케이블 인입용 구멍을 뚫어 놓았는데, 실험자 입출입시 케이블 손상이 우려되는 상황임. 서울대는 실험자의 작업동선, 분석위치 등을 고려하여 구멍을 뚫을 필요가 있음 • 챔버 내부를 관찰할 수 있는 시스템을 반영하여야 함 • 건기연은 출입문에 창호를 설치하여 내부를 관찰하려 하였으나, 성에 때문에 관찰이 불가능함
안전 장치	• 장비의 안전장치 외에 실험자의 안전을 위한 장치가 마련되어야 함 • 실험자 미끄럼 방지 대책에 대해 적용할 것 • 실험자가 챔버 내부에 갇혔을 때 안전 대책이 필요함. 건기연의 경우 챔버 내부에 비상버튼을 설치하여, 비상버튼 작동시 장비 담당자의 핸드폰으로 비상알람을 송출할 수 있도록 하였음 • 실험자가 챔버 내부에 있을 때 조명이 고장났을 경우, 심리적 안정감을 위해 출입구 주위에 비상등을 설치하는 것을 제안함 • 실험 도중 출입문이 열렸을 때 비상 알람이 울리게끔 반영할 필요가 있음
장비 발주	• 건기연의 챔버 제작을 하도급 이후 재하도급을 준 상황이었음. 챔버 제작에 대해 절대 하도급을 주지 못하도록 과업지시서에 명시하여야 함 • 온도챔버 내에 UTM장비가 구축되는데 장비 발주 시에 온도챔버와 UTM을 따로 발주하게 되면 UTM장비가 온도챔버 내에서 저온상태 시에 내구성이 떨어져 제대로 활용 할 수 없는 상황이 발생 할 수 있음. 따라서 온도챔버와 UTM을 일괄 발주할 것



[그림 115] 한국건설기술연구원 방문

(4) 2016.09.09. 대한테크와의 기술협의

○ 주요 협의 내용

- 극한성능실험센터 극한온도실험시설 구축 계획 소개
- 대한테크에서는 서울대에서 제공한 구매규격서를 근거로 하여 컨셉디자인을 진행하고, 설계안과 함께 가견적을 제출하기로 함

(5) 2016.11.25. 뉴원시스템과의 기술협의

○ 주요 협의 내용

- 온도챔버 구조룸과 환경룸의 실내 볼륨에 따른 냉동기 용량 검토
- 온도상승시간 및 하강시간 검토



룸챔버 성능검토서 (구조룸)

■ 성능비교표 뉴원시스템 2016. 11. 25

항 목	이전 사양 (90HP)	제안 사양 (215HP)	비 고
금 액	352,000,000원	473,000,000원	
챔버내부크기	W4,550 x D5,550 x H2,450mm (61,869ℓ)		
무부하시 최저온도	-65℃		
사용온도범위	-60℃ ~ +60℃, 편차 ±1℃	-60℃ ~ +60℃, 편차 ±0.5℃	편차 ±0.5℃
사용습도범위	30% ~ 98%RH (+20℃ ~ 60℃), 편차 3%RH	25% ~ 90%RH (+20℃ ~ 60℃), 편차 1%RH	편차 1%RH
온도상승시간	-60℃ → +60℃ 15시간 이내		Steel 및 콘크리트중량 약 7.5톤 부하시 (발열부하 없음)
온도하강시간	+60℃ → -60℃ 15시간 이내		
챔버외부크기	W5,000 x D6,000 x H3,000mm		Control box 및 실외기는 제외된 크기임
챔버재질	내부 : SUS S04 0.6mm(t) Plate 외부 : Steel plate 0.6mm (Color coated)	내부 : SUS S04 1.0mm(t) Plate 외부 : Steel plate 0.6mm (Color coated)	구조해석 결과 이상 발생
단열재 종류	Poly-urethane form 150mm(t)		
Door open size	W3,000 x H2,300mm (1SET) W2,500 x H2,300mm (1SET)		양문개폐식
투시창 크기	W400 x H600mm (4SET) Pair glass (3중 열처리 강화유리, Silicon rubber packing)		
바닥재질	SUS 304 plate 3.0mm(t) 이상		내부바닥은 피 시험물체의 중량에 변형 및 손상이 없을 것
공기순환방식	하부 흡입, 상부 토출방식		
상부 Air supply	SUS 304 grill		

토서 (환경룸)

뉴원시스템 2016. 11. 25

제안 사양 (87.5HP)	비 고
319,000,000원	
500mm (64,400ℓ)	
-60℃ ~ +60℃, 편차 ±0.5℃	
25% ~ 90%RH (+20℃ ~ 60℃), 편차 1%RH	
-60℃ → +60℃ 15시간 이내	무 부하시
+60℃ → -60℃ 15시간 이내	
H3,000mm	Control box 및 실외기는 제외된 크기임
내부 : SUS S04 1.0mm(t) Plate 부 : Steel plate 0.6mm (Color coated)	구조해석 결과 이상 발생
n 150mm(t)	
nm (1SET) nm (1SET)	양문개폐식
m (4SET) Silicon rubber packing)	
mm(t) 이상	내부 바닥은 피 시험물체의 중량에 변형 및 손상이 없을 것
토출방식	
grill	

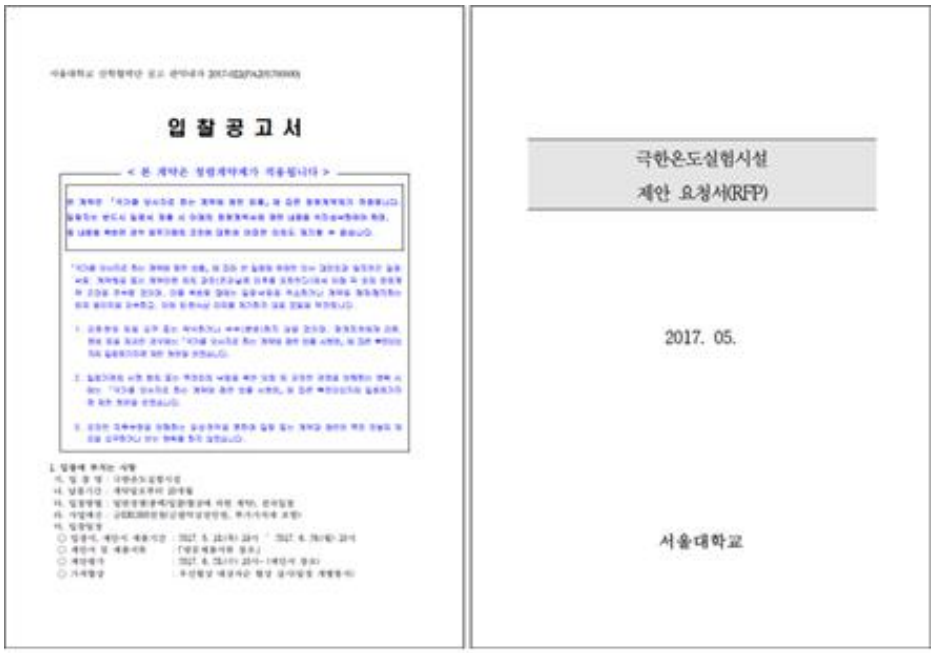
[그림 116] 룸챔버 성능검토서

(6) 2016.12.13. 삼연기술과의 기술협의

○ 주요 협의 내용

- 개구부, 나선계단 등 건축 구조를 고려하여 시험체 반입구 위치 등 설계를 해야 함
- 온도챔버는 시험체 거치 및 UTM이 작동하는 상황에서 ±60℃까지 내려가야 함
- 온도변화에 의한 마감재의 손상과 유지관리, 성에 문제, 원격관찰카메라 작동에 대한 해결책이 필요하며 이에 맞는 설계를 해야 함

(7) 2017.05.23.~2017.06.26. 조달청 입찰공고


입 찰 공 고 서

< 본 계약은 청렴계약제가 적용됩니다 >

극한온도실험시설
제안 요청서(RFP)

2017. 05.

서울대학교

[그림 117] 극한온도실험시설 입찰공고서

(8) 2017.06.28. 기술제안서 평가

○ 2개 업체 입찰에 따라 외부 평가위원을 구성하여 기술제안서 평가를 진행함

○ 평가 결과 : 2개 업체 모두 기술부적격에 따른 유찰



[그림 118] 극한온도실험시설 기술제안서 평가

(9) 2017.07 기술제안요청서(RFP) 보완 작성

○ 기술제안서 평가위원 자문의견 및 전문업체 의견 반영하여 기술제안요청서를 보완 작성함

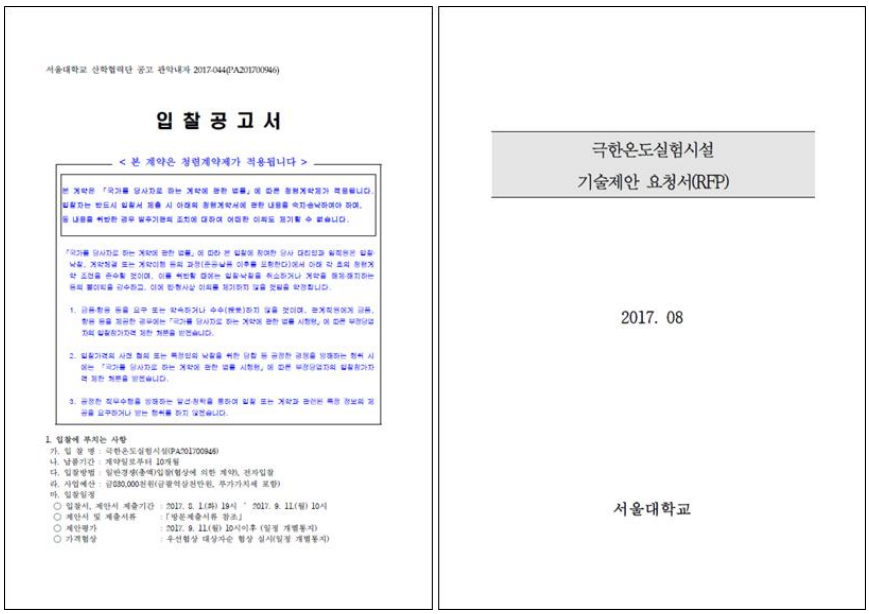
[표 52] 주요 자문 내용

검토 항목	주요 자문 내용
R23 효율성	• R23으로 -60℃까지 냉각이 가능하나, 유지관리시 비용이 많이 소요되어 비효율적이므로 이원냉동시스템 방식으로 적용하여야 함 (이승복)
R23 을 대체 가능한 신냉매 존재 유무 및 서울대 챔버에 적용 가능 여부	• R23을 대체할 신냉매는 존재하나 신냉매용 컴프레서의 단가가 높은 편임. 서울대에서 R23/신냉매 이원냉동으로 갈 것인지, 신냉매/신냉매 이원냉동 방식으로 갈 것인지 결정 필요. R23을 대체할 수 있는 신냉매는 국내 공급업체 사이트 검색을 통해 찾을 수 있을 것임 (이승복) • R-23 대체 냉매는 미국과 캐나다에서 특허를 가지고 사용하는 것으로 알고 있으며, 국내에는 없는 것으로 알고 있음 ((주)후성) • R-23을 대체할 신냉매는 선진국에서는 사용하고 있을 것으로 생각이 되나, 현재 국내에는 대체할만한 신냉매가 없음 (동성화인텍)
신냉매 효율성	• R23 대체용 신냉매로 -60℃까지 냉각이 가능하나, 비효율적임 (이승복)
이원냉동시스템 장/단점	• 향후 시설 운영 및 유지관리 측면에서 이원냉동시스템이 효과적임 (이승복)
습도 제어 범위와 습도 제어를 할 수 있는 온도 범위	• KCL의 시험운영보고서를 보면, 10℃에서 습도 25~95%RH, 40℃에서 45%, 60℃에서 10%로 측정됨. 습도는 상온에서만 제어가 가능하며, 영하 온도에서는 제어가 어려움 (신대욱) • 일반적인 챔버에서는 영하에서의 습도제어를 하지 않음. 만약, 영하에서 습도제어를 하고자 할 때에는 챔버 외에 추가적인 풍동장비가 필요하며, 매우 고급기술을 이용한 설계가 필요함 (이승복) • 25℃ 이하에서 습도제어가 어려운 이유: 상온 20℃ 이하에서 습도 제어를 위해서는 증발기가 가동이 되는데, 증발기 주변은 챔버 내 온도보다 낮은 0℃에 가까워지기 때문에, 증발기가 얼어버리는 현상이 발생함 (이승복, 대한테크, 우진테크 등) • 사막지역의 습도를 모사하기 위해서는 10℃~60℃ 구간에서 10~95% 습도를 제어하여야 함. 하지만 25℃ 이하에서의 습도제어를 위해서는 특수 기술 및 장치가 필요하며, 주로 자동차 분야에서 적용하기 때문에, 25%~95%RH (at 25℃~60℃) 수준이 적정함 (이승복)
냉동기에 들어가는 콤프레서의 타입	• 스크류타입보다는 주로 왕복동식을 적용함. 스크류타입의 경우 왕복동식에 비해 약 1.8배 단가가 높음. 왕복동식의 경우, 유지보수가 쉬운 반면, 스크류타입은 부품 조달 문제 때문에 보수하는데에 많은 시간이 소요됨 (대한테크) • 왕복동식 방식은 소음이 크고, 고장이 잦기 때문에, 스크류 방식을 적용하여야 함 (이승복) • KCL 또한 스크류 타입의 콤프레서를 적용함 (신대욱)

(10) 2017.08.01.~2017.09.21. 조달청 2차 입찰공고

○ 2017.08.01.~09.11. 조달청 2차 공고 : 단일업체 입찰로 인한 유찰

○ 2017.09.11.~09.21. 조달청 2차 재공고 : 2개 업체 입찰에 따른 기술제안서 평가 진행



서울대학교 산학협력단 공고 관학내자 2017-044(PA201700946)

입 찰 공 고 서

< 본 계약은 정부계약제가 적용됩니다 >

본 계약은 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률」에 따른 정부계약제가 적용됩니다. 입찰참가 반드시 입찰서 제출 시 아래의 청렴계약서에 관한 내용을 숙지·승낙하여야 하며, 동 내용을 위반한 경우 부정기관의 조치에 대하여 어떠한 이의도 제기할 수 없습니다.

「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률」에 따라 본 입찰에 참여한 당사 대리인과 입찰하는 입찰자는, 계약체결 또는 계약이행 등과 관련(준공년월 이후를 포함한다)하여 아래 각 호의 청렴계약 조건을 준수할 것이며, 이를 위반할 경우는 입찰낙찰을 취소하거나 계약을 정당한 이유 불문하고 해제를 승낙하고, 이에 민형사상 이의를 제기하지 않을 것임을 약정합니다.

1. 금품향응 등을 요구 또는 약속하거나 수수(授受)하지 않을 것이며, 당계약관계에 관련, 향응 등을 제공한 공무원은 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령」에 따른 부정당업자의 입찰참가자격 제한 처분을 받겠습니다.

2. 입찰가격의 사정 협의 또는 특정업체의 낙찰을 위한 담합 등 공정한 경쟁을 방해하는 행위 시에는 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령」에 따른 부정당업자의 입찰참가자격 제한 처분을 받겠습니다.

3. 공정한 직무수행을 방해하는 일체의 청탁을 통하여 입찰 또는 계약과 관련된 특정 정보의 제공을 요구하거나 받는 행위를 하지 않겠습니다.

1. 입찰에 부치는 사항
가. 입 찰 명 : 극한온도실험시설(PA701700946)
나. 납품기간 : 계약일로부터 10개월
다. 입찰방법 : 일반경쟁(총액)입찰(협상에 의한 계약, 전자입찰
라. 사업예산 : 금880,000천원(금팔억삼천만원, 부가가치세 포함)
마. 입찰일정
○ 입찰서, 제안서 제출기간 : 2017. 8. 1.(화) 10시 ~ 2017. 9. 11.(월) 10시
○ 제안서 및 제출서류 : 「방문제출서류 참조」
○ 제안평가 : 2017. 9. 11.(월) 10시이후 (일정 개별통지)
○ 가격협상 : 우선협상 대상자순 협상 실시(일정 개별통지)

극한온도실험시설
기술제안 요청서(RFP)

2017. 08

서울대학교

[그림 119] 극한온도실험시설 입찰공고서(2차)

(11) 2017.10.11. 기술제안서 평가 및 협상

○ 2개 업체 입찰에 따라 외부 평가위원을 구성하여 기술제안서 평가를 진행함

○ 평가결과 : 1개 업체 기술 적격

○ 기술제안서 평가위원 의견을 반영하여 협상을 진행함



제 안 서 협 상 안

○ 입찰공고번호 : 20170908704-00
○ 수 요 기 관 : 서울대학교
○ 공 고 명 : 극한온도실험시설(PA201700946)
○ 협 상 일 시 : 2017. 10. 11. 15:00~16:30
○ 협 상 내 용 :

당초 제안내용	조 정 안	협상결과
• 환경시험부 출입문 사이즈 : W900×H2000mm	• 환경시험부 출입문 사이즈 : W1200×H2000mm	• 조정안을 수용함
-	• 챔버 내부 바닥의 허용하중 값을 서울대에 제시 바람	• 조정안을 수용함
• 구조시험부, 환경시험부에 각각 원격관찰용카메라 설치	• 원격관찰용카메라의 호환성이 낮으므로, 설치하지 말 것	• 조정안을 수용함 • 카메라를 삭제하는 대신 그에 상응하는 비용을 서울대에 제안 및 납품하겠음
-	• 구조시험부 시험체 반출입 도어에 관측창을 추가 바람	• 조정안을 수용함
• 구조시험부, 환경시험부에 각각 조명 4개소 설치	• 조명은 영하 온도에서의 내구성이 보장이 되어야 하며, 향후 운용시 조명 교체를 위한 스페어 조명을 서울대에 추가 공급 바람	• 조정안을 수용함 • 조명은 영하 온도에서 내구성이 뛰어난 LED 타입으로 반영함
-	• 1m 높이의 큰 시험체뿐만 아니라 0.3~0.5m 높이의 작은 시험체 또한 구조성형이 가능하여야 함	• 조정안을 수용함 • 작은 시험체의 구조성형이 가능하도록, 기고연결부에 추가 확장할 수 있는 지그를 서울대에 공급하겠음
-	• 설치 예정인 공조에서의 크기 및 무게를 서울대에 전달해 주면, 건축구조물의 허용하중에 문제 없는지 확인하겠음	• 조정안을 수용함
-	• 백추에이터 교환 및 수리가 용이하도록 구성하여야 함	• 조정안을 수용함 • 천정부에 백추에이터 교환 및 수리를 위한 개인플록을 설치할 계획임

- 1 -

-	• 제측센서 케이블 인출을 통을 반영할 것	• 조정안을 수용함 • 케이블 인출을 통은 서울대에서 원하는 위치, 규격, 수량에 맞춰 반영하겠음
• 납품기한 : 계약후 7.5개월	• 장비성능 확보를 위한 충분한 제작기간을 반영할 것	• 2018년 그림까지 장비 설치를 완료하고, 시험준비는 시험가동을 할 계획임 • 서울대에서 원하는 시험체의 규격을 전달해 주면, 그가 제작 납품하겠음
• 총공급액 : 813,000,000원 (VAT 포함)	• 계약금액 : 813,000,000원 (VAT 포함)	• 조정안을 수용함
-	• 선급 40% + 중도급 40% + 준급 20%	• 조정안을 수용함
-	• 본 입찰을 위한 5,000g 용량의 가속도센서 그래를 추가 공급바람	• 조정안을 수용함 • 공급할 센서의 규격 및 모델은 서울대에 제안 후 공급하겠음

위와 같이 협상하였음을 확인하고 협상결과를 계약의 일부로 하는데 동의함.

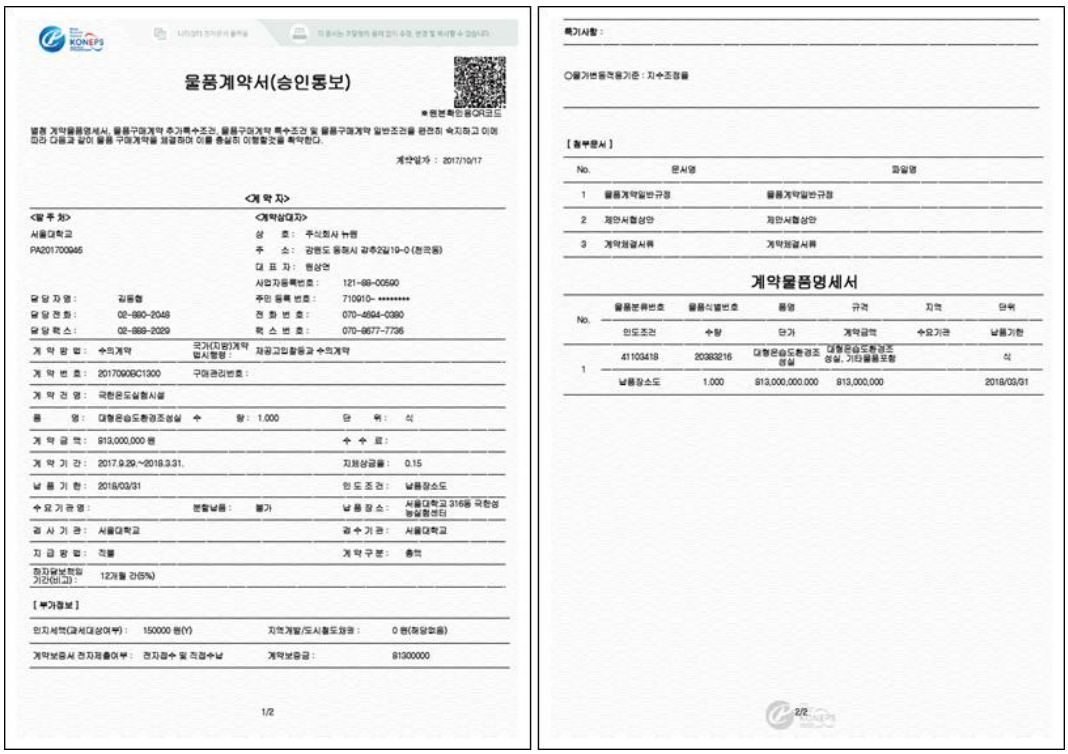
협상대상자 주 소 : 강원도 동해시 감추2길 19, 202호
상 호 : (주)뉴원
대표자 : 원 상 연 (인)

실수요기관 주 소 : 서울시 관악구 관악로 1 316동
상 호 : 건설환경종합연구소 극한성능실험센터
대표자 : 조 재 열

- 2 -

[그림 120] 극한온도실험시설 제안서 협상안

(12) 2017.10.17. 계약 체결



물품계약서(승인통보)

■원본확인용QR코드

본점 계약물품명세서, 물품구매계약 추가특수조건, 물품구매계약 특수조건 및 물품구매계약 일반조건을 완전히 숙지하고 이에 따라 다음과 같이 물품 구매계약을 체결하며 이를 증빙하기 위해 첫장을 확약한다.

계약일자 : 2017/10/17

<계 약 자>

<발 주 처>		<계약상대자>	
서울대학교		상 호 :	주식회사 뉴텐
PA201700945		주 소 :	강원도 동해시 광추2길19-0 (천곡동)
		대 표 자 :	원상연
		사업자등록번호 :	121-88-00590
담 당 자 명 :	김동협	주민 등록 번호 :	710910- *******
담 당 전 화 :	02-880-2048	전 화 번 호 :	070-4694-0390
담 당 팩 스 :	02-888-2029	팩 스 번 호 :	070-8677-7736

계 약 방 법 :	수의계약	국가(지방)계약법시행령 :	제공고입찰등과 수의계약
계 약 번 호 :	2017090BC1300	구매관리번호 :	
계 약 건 명 :	극한온도실험시설		
품 명 :	대형온습도환경조성실 수	량 : 1.000	단 위 : 식
계 약 금 액 :	913,000,000 원	수 수 료 :	
계 약 기 간 :	2017.9.29.~2018.3.31.	지체상금율 :	0.15
납 품 기 한 :	2018/03/31	인 도 조 건 :	납품장소도
수 요 기 관 명 :		분할납품 : 불가	납 품 장 소 : 서울대학교 316동 극한성능실험센터
검 사 기 관 :	서울대학교	검 수 기 관 :	서울대학교
지 급 방 법 :	직불	계 약 구 분 :	총액
하자담보책임기간(비고) :	12개월 감(5%)		

[부가정보]

인지세액(과세대상여부) :	150000 원(Y)	지역개발/도시철도채권 :	0 원(해당없음)
계약보증서 전자제출여부 :	전자검수 및 직접수납	계약보증금 :	91300000

1/2

특기사항 :

○물가변동적용기준 : 지수조정률

[첨부문서]

No.	문서명	파일명
1	물품계약일반규정	물품계약일반규정
2	제안서협상안	제안서협상안
3	계약체결서류	계약체결서류

계약물품명세서

No.	물품분류번호	물품식별번호	품명	규격	지역	단위
	인도조건	수량	단가	계약금액	수요기관	납품기한
1	41103418	20383216	대형온습도환경조성실	대형온습도환경조성실, 기타물품포함		식
	납품장소도	1.000	913,000,000.000	913,000,000		2018/03/31

2/2

[그림 121] 극한온도실험시설 계약서

(13) 주요 장비 구축 과정



(a) 장비 입고



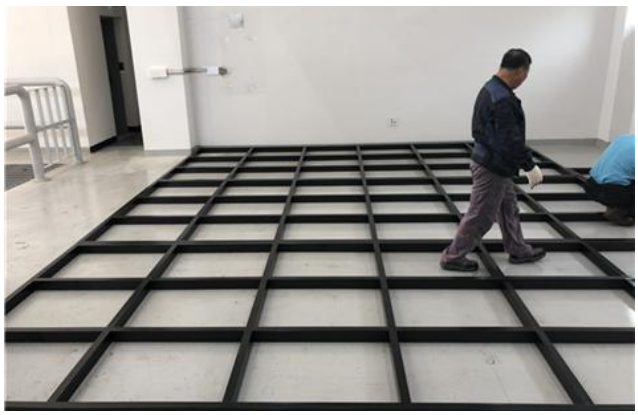
(b) 500kN UTM 프레임 배치



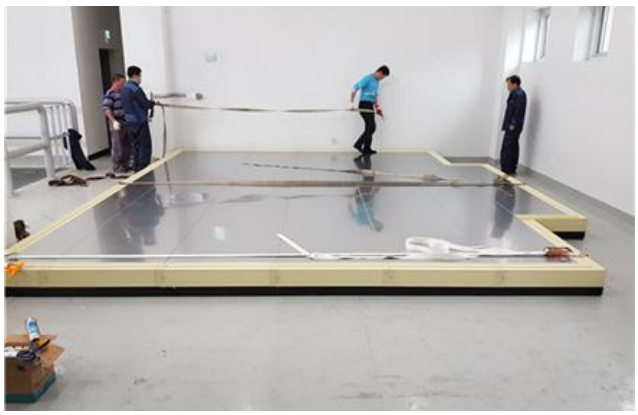
(c) 구조룸챔버 시험체 설치 정반 배치



(d) 프레임 및 정반 설치



(e) 챔버 바닥 프레임 설치



(f) 챔버 바닥 판넬 설치



(g) 환경룸챔버 판넬 조립



(h) 환경룸챔버 판넬 조립



(i) 구조룸챔버 판넬 조립



(j) 냉각기 설치



(k) 배관라인 연결



(l) 챔버 내부 냉각기 설치



(m) 500kN UTM 설치



(n) UTM 유압펌프 설치



(o) 설치 완료

[그림 122] 극한온도실험시설 주요 설치 과정

바. 팬들럼충격실험시설 구축

[표 53] 팬들럼충격실험시설 주요 추진 경과

No.	날짜	추진 경과	Page
1	2016.05.24.	A&G와의 기술협의	137
2	2017.07.05	뉴원시스템과의 기술협의	138
3	2017.08.25.	에이스원테크와의 기술협의	138
4	2018.02.05.~12.	조달청 공고 : 단독응찰에 따른 유찰	139
5	2018.02.28.~03.08.	조달청 재공고 : 2개 업체 응찰	139
6	2018.03.12.	입찰서 규격 검토	139
7	2018.03.16.	기술적격 업체와 계약 체결	140
8	2018.07.22.	장비 입고	141
9	2018.10.15.	장비 구축 완료	141

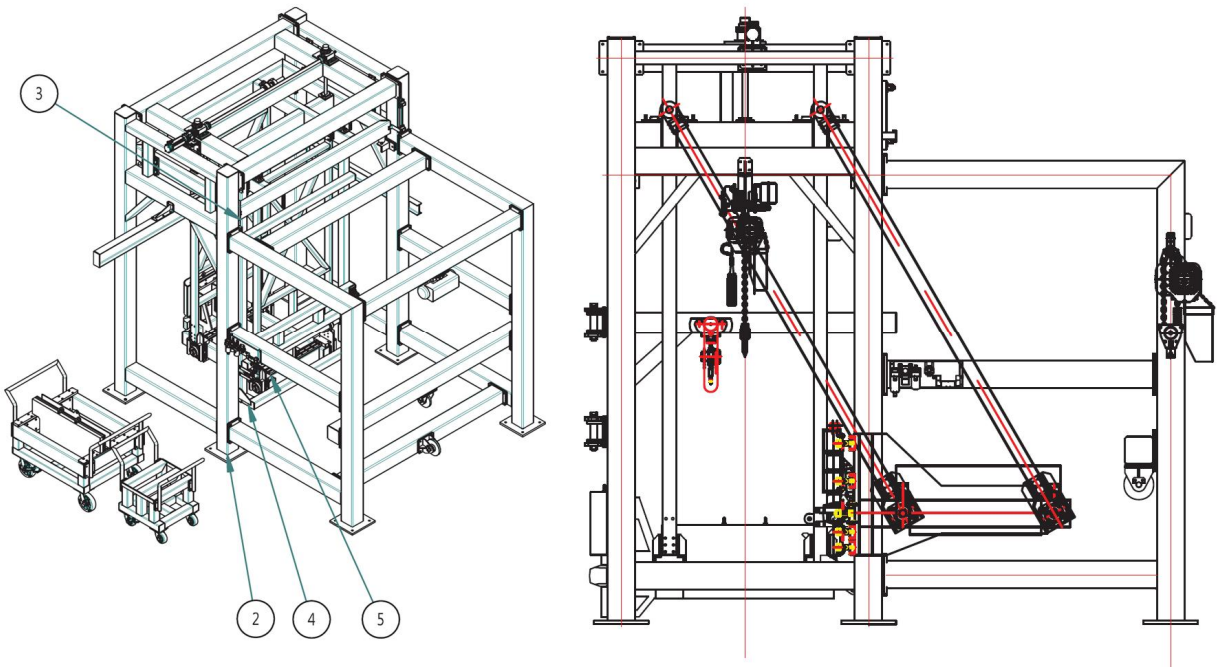
(1) 2016.05.24. A&G와의 기술협의

[표 54] 주요 협의 내용

검토 항목	주요 협의 내용
납품 실적	• 주로 팬들럼장치는 차량 충돌실험용으로 현대자동차나 연구소에 납품하고 있음 (A&G) • 통상적으로 현재 납품하고 있는 팬들럼장치의 경우 2.5~3.0억원의 시장가가 형성되어 있음 (A&G) • 팬들럼장치 이외에도 대형온도챔버와 유압장비를 제작 납품하고 있음 (A&G)
서울대 요구 성능 및 제작 가능 여부	• 서울대에서 요구하는 성능을 충족하는 장비 제작이 가능할 것으로 판단이 되며, 기본설계안이 수립되면 서울대에 제출하고, 견적 또한 제출하겠음 (A&G) • 팬들럼장치와는 별도로 극한온도실험시설에 대한 기본설계안을 제안하고, 필요시 엔지니어와 함께 서울대 현장에 방문하여 협의하겠음 (A&G)

○ 특징

- 해머를 강성을 지닌 프레임으로 지지하여 자유낙하시키는 방식
- 자동차 분야 기관에 실제 납품한 장비를 기반으로 서울대에서 요구하는 성능에 맞추어 재설계함



[그림 123] A&G 설계제안

(2) 2017.07.05. 뉴원시스템과의 기술협의

[표 55] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
액추에이터 활용 구조실험 병행 가능 여부	• 액추에이터를 설치하여 구조실험을 수행이 가능하도록, 팬들럼장치 추 고정 프레임을 구조시험용 강재 프레임으로 검토하였음 (뉴원) • 기둥프레임 간격은 2m로 2m 이내 폭을 가지는 시험체에 대한 구조시험이 가능함. 간격이 넓어질 경우, 기둥 프레임의 제원도 변경이 되어야 하며, 이는 단가 상승으로 이어짐 (뉴원) • 기둥을 프레임이 아닌 환봉으로 적용하는 것을 검토한 결과, 단가는 내려갈 수 있으나, 범용성이 떨어지는 단점이 있음 (뉴원) • 금일 제시한 도면의 프레임 구조에 대해 해석을 수행할 예정이며, 500톤 이상의 하중을 견딜 수 있을 것으로 예상함 (뉴원)
추 높이 조정	• 팬들럼 추의 높이 조정은 반력벽이나 반력상 바닥에 롤러를 설치하고, 실험동 상부에 설치된 크레인을 활용하면 됨 (뉴원) • 팬들럼 추의 자유낙하시 마그네틱을 이용하여야 추의 흔들림이 없고, 실험시 안전함 (뉴원)
추 무게	• 팬들럼 추는 기본 1톤에 100kg의 추가 추를 부착하는 식으로 검토하고 있음 (뉴원) • 팬들럼실험시 길이가 긴 시험체에 대한 실험을 진행할 수 있으므로, 팬들럼 추 고정프레임 바깥쪽에 시험체가 설치되어야 함 (서울대) • 추 주두부가 프레임 바깥쪽에서 시험체에 가력이 될 수 있도록 추의 형상이나 고정위치 조정을 검토해 보겠음 (뉴원)
견적 관련	• 마그네틱 적용, 기둥프레임 하부 플레이트 적용하여 견적서를 다음주중에 서울대에 전달하도록 하겠음 (뉴원)

(3) 2017.08.25. 에이스원테크와의 기술협의

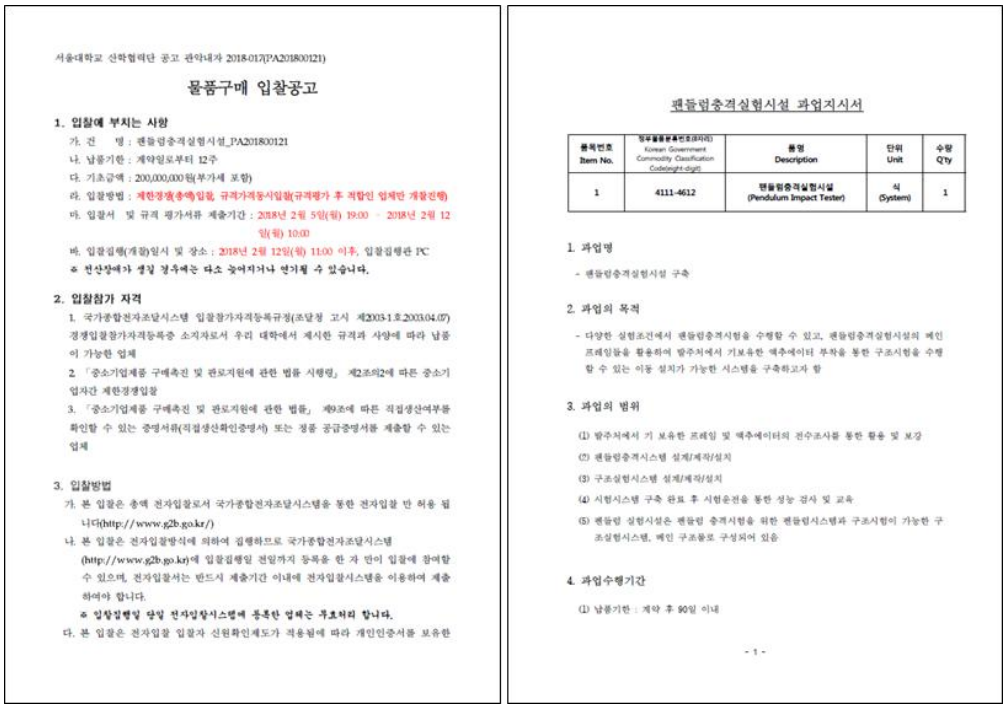
[표 56] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
장비 요구성능	• 강재프레임에 액추에이터를 고정하여 구조실험을 수행 가능하면서 팬들럼 추를 설치하면 팬들럼실험 또한 수행 가능한 장비를 제작하길 원함. 추 최대질량은 2톤, 추를 고정하는 와이어의 길이는 5m이며, 경제적이면서도 안전한 장비를 원함 (서울대)
제작 단가	• 강재프레임을 후판을 제단하여 용접을 할 경우, 제작단가가 너무 높아짐. 따라서 수입 H-Beam 기성품 중 가장 높은 규격인 H-458×417×30/50 - 12m 를 사용하면 단가를 크게 줄일 수 있음 (에이스원테크) • 서울대 35동 지하에 있는 강재프레임을 만약 센터로 이전해 온다면 해당 프레임을 활용하여 팬들럼장치를 제작할 수 있음 (에이스원테크) • 내부적으로 검토 후 컨셉디자인과 견적서를 서울대에 제안하도록 하겠음 (에이스원테크)

(4) 2018.02.05.~2018.03.08. 조달청 입찰공고

○ 2018.02.05.~02.12. 조달청 공고 : 단독업체 입찰에 따른 유찰

○ 2018.02.28.~03.08. 조달청 재공고 : 2개 업체 입찰에 따른 입찰서 규격 평가 진행



서울대학교 산학협력단 공고 관악내자 2018-017(PA201800121)

물품구매 입찰공고

1. 입찰에 부치는 사항

가. 건 명 : 팬들럼충격실험시설_PA201800121

나. 납품기한 : 계약일로부터 12주

다. 기초금액 : 200,000,000원(부가세 포함)

라. 입찰방법 : 제한경쟁(총액)입찰, 규격가격동시입찰(규격평가 후 적합인 업체만 개찰진행)

마. 입찰서 및 규격 평가서류 제출기간 : 2018년 2월 5일(월) 19:00 ~ 2018년 2월 12일(월) 10:00

바. 입찰집행(개찰)일시 및 장소 : 2018년 2월 12일(월) 11:00 이후, 입찰집행관 PC

※ 천산장애가 경질 정우에는 다소 늦어지거나 연기될 수 있습니다.

2. 입찰참가 자격

1. 국가종합전자조달시스템 입찰참가자격등록규정(조달청 고시 제2003-1호:2003.04.07) 경쟁입찰참가자격등록증 소지자로서 우리 대학에서 제시한 규격과 사양에 따라 납품이 가능한 업체

2. 「중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률 시행령」 제2조의2에 따른 중소기업자간 제한경쟁입찰

3. 「중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률」 제9조에 따른 직접생산여부를 확인할 수 있는 증명서류(직접생산확인증명서) 또는 정품 공급증명서를 제출할 수 있는 업체

3. 입찰방법

가. 본 입찰은 총액 전자입찰로서 국가종합전자조달시스템을 통한 전자입찰 만 허용 됩니다(http://www.g2b.go.kr/)

나. 본 입찰은 전자입찰방식에 의하여 집행하므로 국가종합전자조달시스템(http://www.g2b.go.kr)에 입찰집행일 전일까지 등록을 한 자 만이 입찰에 참여할 수 있으며, 전자입찰서는 반드시 제출기간 이내에 전자입찰시스템을 이용하여 제출하여야 합니다.

※ 입찰집행일 당일 전자입찰시스템에 등록한 업체는 무효처리 합니다.

다. 본 입찰은 전자입찰 입찰자 신원확인제도가 적용됨에 따라 개인인증서를 보유한

팬들럼충격실험시설 과업지시서

품목번호 Item No.	정부물품분류번호(8자리) Korean Government Commodity Classification Code(eight-digit)	품명 Description	단위 Unit	수량 Q'ty
1	4111-4612	팬들럼충격실험시설 (Pendulum Impact Tester)	식 (System)	1

1. 과업명

- 팬들럼충격실험시설 구축

2. 과업의 목적

- 다양한 실험조건에서 팬들럼충격시험을 수행할 수 있고, 팬들럼충격실험시설의 메인 프레임들을 활용하여 발주처에서 기보유한 액추에이터 부착을 통한 구조시험을 수행할 수 있는 이동 설치가 가능한 시스템을 구축하고자 함

3. 과업의 범위

(1) 발주처에서 기 보유한 프레임 및 액추에이터의 전수조사를 통한 활용 및 보강

(2) 팬들럼충격시스템 설계/제작/설치

(3) 구조실험시스템 설계/제작/설치

(4) 시험시스템 구축 완료 후 시험운전을 통한 성능 검사 및 교육

(5) 팬들럼 실험시설은 팬들럼 충격시험을 위한 팬들럼시스템과 구조시험이 가능한 구조실험시스템, 메인 구조물로 구성되어 있음

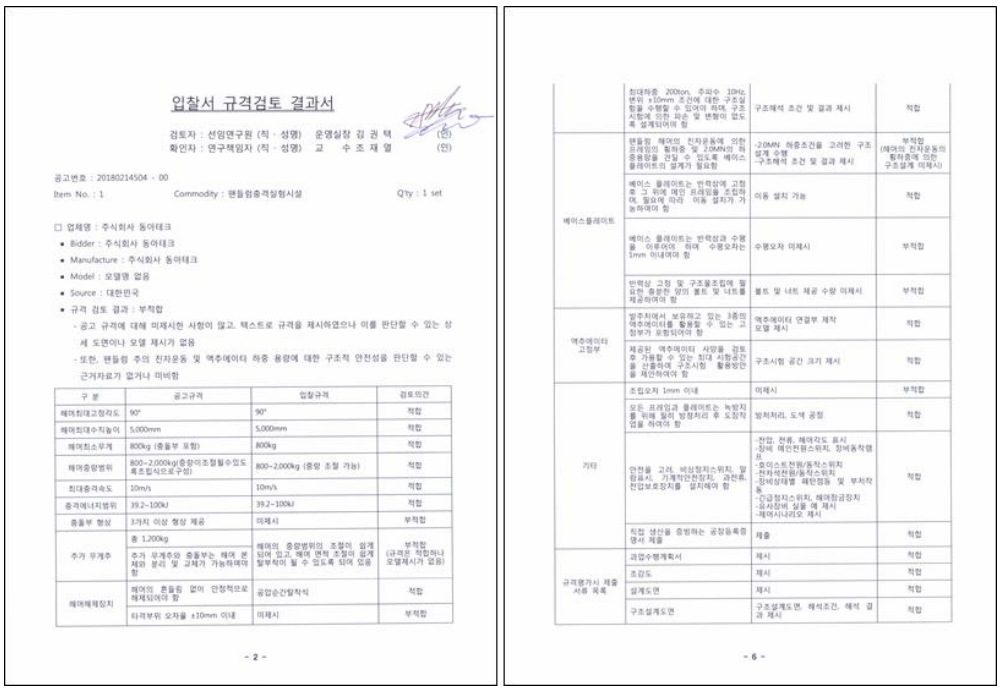
4. 과업수행기간

(1) 납품기한 : 계약 후 90일 이내

- 1 -

[그림 124] 팬들럼충격실험시설 입찰공고서

(5) 2018.03.12. 입찰서 규격 검토



입찰서 규격검토 결과서

검토자 : 선임연구원 (직 · 성명) 운영실장 김 권 택 (인)

확인자 : 연구책임자 (직 · 성명) 교 수 조 재 열 (인)

공고번호 : 20180214504 - 00

Item No. : 1 Commodity : 팬들럼충격실험시설 Q'ty : 1 set

□ 업체명 : 주식회사 동아테크

- Bidder : 주식회사 동아테크
- Manufacture : 주식회사 동아테크
- Model : 모델명 없음
- Source : 대한민국
- 규격 검토 결과 : 부적합
  - 공고 규격에 대해 미제시한 사항이 많고, 텍스트로 규격을 제시하였으나 이를 판단할 수 있는 상세 도면이나 모델 제시가 없음
  - 또한, 팬들럼 추의 진자운동 및 액추에이터 하중 용량에 대한 구조적 안전성을 판단할 수 있는 근거자료가 없거나 미비함

구 분	공고규격	입찰규격	검토의견
해머최대고정각도	90°	90°	적합
해머최대수직높이	5,000mm	5,000mm	적합
해머최소무게	800kg (충돌부 포함)	800kg	적합
해머중량범위	800~2,000kg(중량이조절될수있도록조립식으로구성)	800~2,000kg (중량 조절 가능)	적합
최대충격속도	10m/s	10m/s	적합
충격에너지범위	39.2~100kJ	39.2~100kJ	적합
충돌부 형상	3가지 이상 형상 제공	미제시	부적합
추가 무게추	총 1,200kg 추가 무게추와 충돌부는 해머 본체와 분리 및 교체가 가능하여야 함	해머의 중량범위의 조절이 쉽게 되어 있고, 해머 면적 조절이 쉽게 될부착이 될 수 있도록 되어 있음	부적합 (규격은 적합하나 모델제시가 없음)
해머해제장치	해머의 흔들림 없이 안정적으로 해제되어야 함	공압순간탈착식	적합
	타격부위 오차를 ±10mm 이내	미제시	부적합

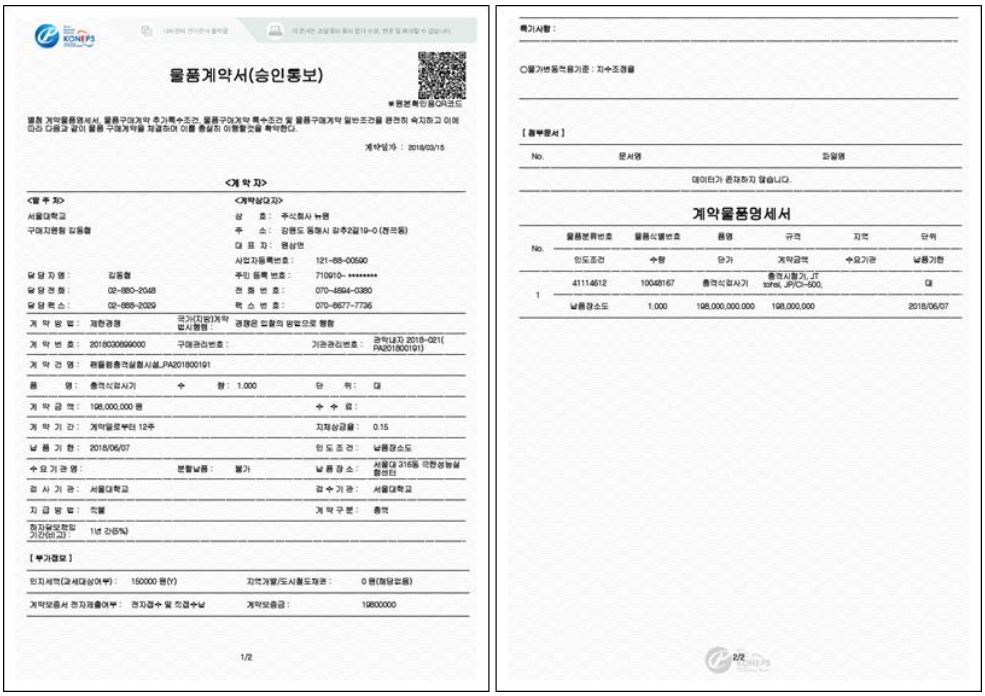
- 2 -

	최대하중 200ton, 주파수 .10Hz, 변위 ±10mm 조건에 대한 구조실험을 수행할 수 있어야 하며, 구조시험에 의한 파손 및 변형이 없도록 설계되어야 함	구조해석 조건 및 결과 제시	적합
베이스플레이트	팬들럼 해머의 진자운동에 의한 프레임의 횡하중 및 2.0MN의 하중용량을 견딜 수 있도록 베이스플레이트의 설계가 필요함	-2.0MN 하중조건을 고려한 구조설계 수행 -구조해석 조건 및 결과 제시	부적합 (해머의 진자운동의 횡하중에 의한 구조설계 미제시)
	베이스 플레이트는 반력암에 고정한 후 그 위에 메인 프레임을 조립하며, 필요에 따라 이동 설치가 가능하여야 함	이동 설치 가능	적합
	베이스 플레이트는 반력암과 수평을 이루어야 하며 수평오차는 1mm 이내여야 함	수평오차 미제시	부적합
	반력암 고정 및 구조물조립에 필요한 충분한 양의 볼트 및 너트를 제공하여야 함	볼트 및 너트 제공 수량 미제시	부적합
액추에이터 고정부	발주처에서 보유하고 있는 3종의 액추에이터를 활용할 수 있는 고정부가 포함되어야 함	액추에이터 연결부 제작 모델 제시	적합
	제공된 액추에이터 사양을 검토 후 가능할 수 있는 최대 시험조건을 산출하여 구조시험 활용방안을 제안하여야 함	구조시험 공간 크기 제시	적합
기타	조립오차 1mm 이내	미제시	부적합
	모든 프레임과 플레이트는 녹방지를 위해 필히 방청처리 후 도장작업을 하여야 함	방청처리, 도색 공정	적합
	안전을 고려, 비상정지스위치, 알람표시, 기계적안전장치, 과전류 전압보호장치를 설치해야 함	-전원, 전류, 해머각도 표시 -장비 메인전원스위치, 장비동작램프 -모터스트전원/동작스위치 -전자석전원/동작스위치 -장비상태별 패턴점등 및 부저작동 -긴급정지스위치, 해머정급장치 -유사장비 상물 매 제시 -제어시나리오 제시	적합
	직접 생산을 증빙하는 공장등록증명서 제출	제출	적합
규격평가시 제출서류 목록	과업수행계획서	제시	적합
	조감도	제시	적합
	설계도면	제시	적합
	구조설계도면	구조설계도면, 해석조건, 해석 결과 제시	적합

- 6 -

[그림 125] 팬들럼충격실험시설 규격검토 결과서

(6) 2018.03.16. 계약 체결



물품계약서(승인통보)

*원본확인용QR코드

별첨 계약물품명세서, 물품구매계약 추가특수조건, 물품구매계약 특수조건 및 물품구매계약 일반조건을 완전히 숙지하고 이에 따라 다음과 같이 물품 구매계약을 체결하여 이를 충실히 이행할것을 확약합니다.

계약일자 : 2018/03/15

<계 약 지>

<발 주 처>
서울대학교
구매자명칭 김동협

<계약상대자>
상 호 : 주식회사 뉴원
주 소 : 강원도 동해시 감추2길19-0 (천곡동)
대 표 자 : 원상연
사업자등록번호 : 121-88-00590
주민 등록 번호 : 710910- ********
전 화 번 호 : 070-4664-0360
팩 스 번 호 : 070-8677-7736

담 당 자 명 : 김동협
담 당 전 화 : 02-880-2048
담 당 팩 스 : 02-888-2029

계 약 방 법 :	제한경쟁	국가(지방)계약 법시행령 :	경쟁은 입찰의 방법으로 행함
계 약 번 호 :	2018030890000	구매관리번호 :	기관관리번호 : 관악내자 2018-021(PA201800191)
계 약 건 명 :	팬들럼충격실험시설_PA201800191		
품 명 :	충격식검사기	수 량 : 1.000	단 위 : 대
계 약 금 액 :	198,000,000 원		수 수 료 :
계 약 기 간 :	계약일로부터 12주		지체상금율 : 0.15
납 품 기 한 :	2018/06/07		인 도 조 건 : 납품장소도
수요기관명 :		분할납품 : 불가	납 품 장 소 : 서울대 316동 극한성능실험센터
검 사 기 관 :	서울대학교		검 수 기 관 : 서울대학교
지 급 방 법 :	직불		계 약 구 분 : 총액
하자담보책임기간(비고) :	1년 간(5%)		

[부가정보]

인지세액(과세대상여부) :	150000 원(Y)	지역개발/도시철도채권 :	0 원(해당없음)
계약보증서 전자제출여부 :	전자접수 및 직접수납	계약보증금 :	19800000

1/2

특기사항 :

○물가변동적용기준 : 지수조정률

[첨부문서]

No.	문서명	파일명
데이터가 존재하지 않습니다.		

계약물품명세서

No.	물품분류번호	물품식별번호	품명	규격	지역	단위
	인도조건	수량	단가	계약금액	수요기관	납품기한
1	41114612	10048167	충격식검사기	충격시험기, JT tohsi, JP(CI-500,		대
	납품장소도	1.000	198,000,000.000	198,000,000		2018/06/07

2/2

[그림 126] 팬들럼충격실험시설 계약서

(7) 주요 장비 구축 과정



(a) 메인프레임 입고



(b) 하부 베이스 플레이트 설치



(c) 메인프레임 설치



(d) 메인프레임 설치



(e) 메인프레임 설치



(f) 설치 완료

사. 온도제어삼축시험장비 구축

[표 57] 온도제어삼축시험장비 주요 추진 경과

No.	날짜	추진 경과	Page
1	2016.05.13.	영신컨설턴트(GDS사 대리점)와의 기술협의	143
2	2016.11.07.	영신컨설턴트(GDS사 대리점)와의 기술협의	144
4	2017.07.21.~08.17.	조달청 입찰공고 : 단독응찰로 인한 유찰	144
5	2017.08.17.~08.29.	조달청 재공고 : 단독응찰로 인한 수의계약 체결 추진	144
6	2017.09.08.	규격 검토결과서 작성	145
7	2017.10.16.	계약 체결	145
8	2018.05~08	장비 반입 및 설치	146
9	2018.10.16.	장비 구축 완료	146

(1) 2016.05.13. 영신컨설턴트(GDS사 대리점)와의 기술협의

○ 상세사양 및 핵심기능

- 장비 크기 : 450mm(W)×500mm(D)×1500mm(H)
- 지반시료(원추 모양) 크기 : 70mm(D)×140mm(H)
- 온도 제어범위 : -20℃~65℃
- 최대 압축력 : 50kN
- 지반의 현장 조건 (응력 및 온도 조건 등)를 모사한 후, 지반시료에 연직 방향으로 압축력 및 인장력을 재하하는 장비
- 지반시료의 재하 하중, 변위, 내부압력 등을 자동 제어 및 측정

○ 주요 구성

- 로딩 프레임, 삼축셀
- 온도조절장치
- 시료 내부 및 외부 압력조절 장치
- 8 채널 시리얼 패드, 자동 제어 및 측정용 소프트웨어



[그림 127] 온도제어삼축시험장비 주요 구성

(2) 2016.11.07. 영신컨설턴트(GDS사 대리점)와의 기술협의

○ 발주방식, 발주시기, 인도조건 검토

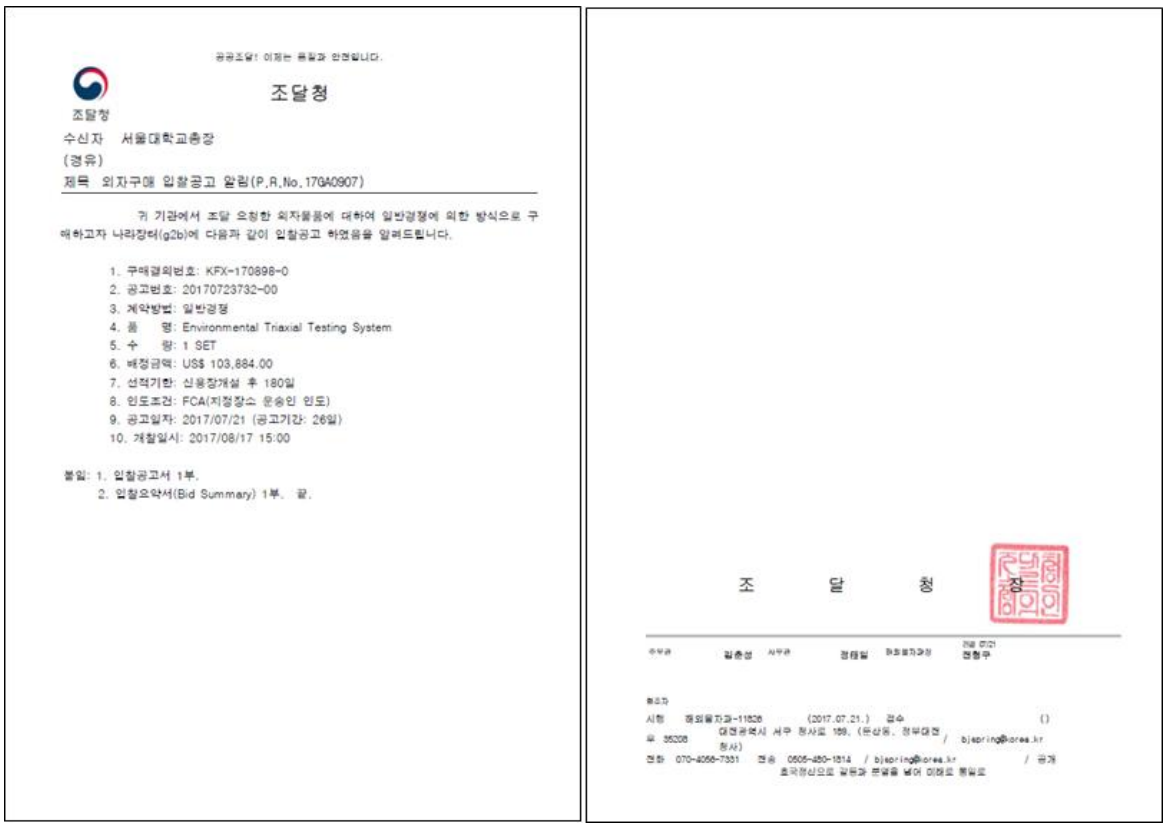
○ 장비 세부 성능 검토

○ 장비 설치 관련 건축공사에 반영해야 할 사항(전기, 수도, 에어라인 등) 검토

(3) 2017.07.21.~2017.08.17. 조달청 입찰공고

○ 계약방법 : 일반경쟁

○ 단독응찰로 인한 유찰



조달청

수신자 서울대학교총장

(경유)

제목 외자구매 입찰공고 알림(P.R.No.17GA0907)

귀 기관에서 조달 요청한 외자물품에 대하여 일반경쟁에 의한 방식으로 구매하고자 나라장터(g2b)에 다음과 같이 입찰공고 하였음을 알려드립니다.

1. 구매결의번호: KFX-170898-0
2. 공고번호: 20170723732-00
3. 계약방법: 일반경쟁
4. 품 명: Environmental Triaxial Testing System
5. 수 량: 1 SET
6. 배정금액: US$ 103,884.00
7. 선적기한: 신용장개설 후 180일
8. 인도조건: FCA(지정장소 운송인 인도)
9. 공고일자: 2017/07/21 (공고기간: 26일)
10. 개찰일시: 2017/08/17 15:00

붙임: 1. 입찰공고서 1부.
2. 입찰요약서(Bid Summary) 1부. 끝.

조 달 청 장

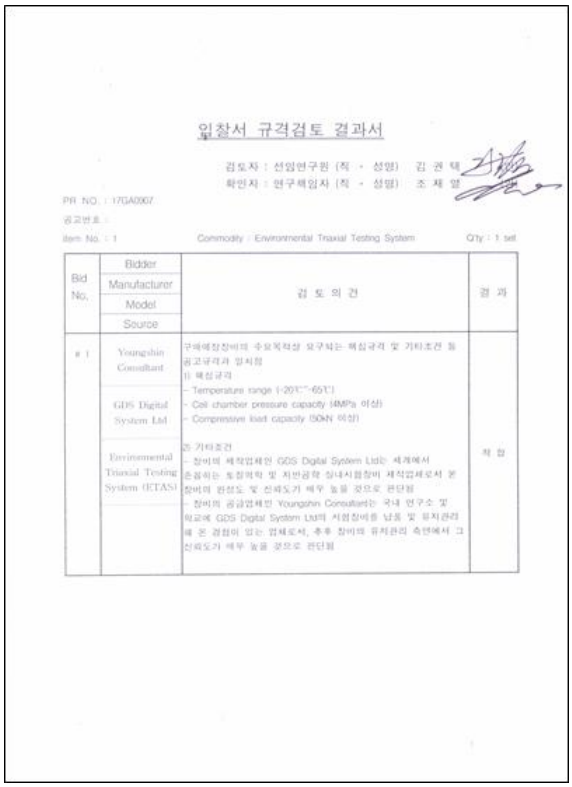
[그림 128] 온도제어삼축시험기 입찰공고 알림 공문

(4) 2017.08.17.~2017.08.29. 조달청 입찰재공고

○ 계약방법 : 일반경쟁

○ 단독응찰로 수의계약 체결 진행

(5) 2017.09.08. 규격 검토



입찰서 규격검토 결과서

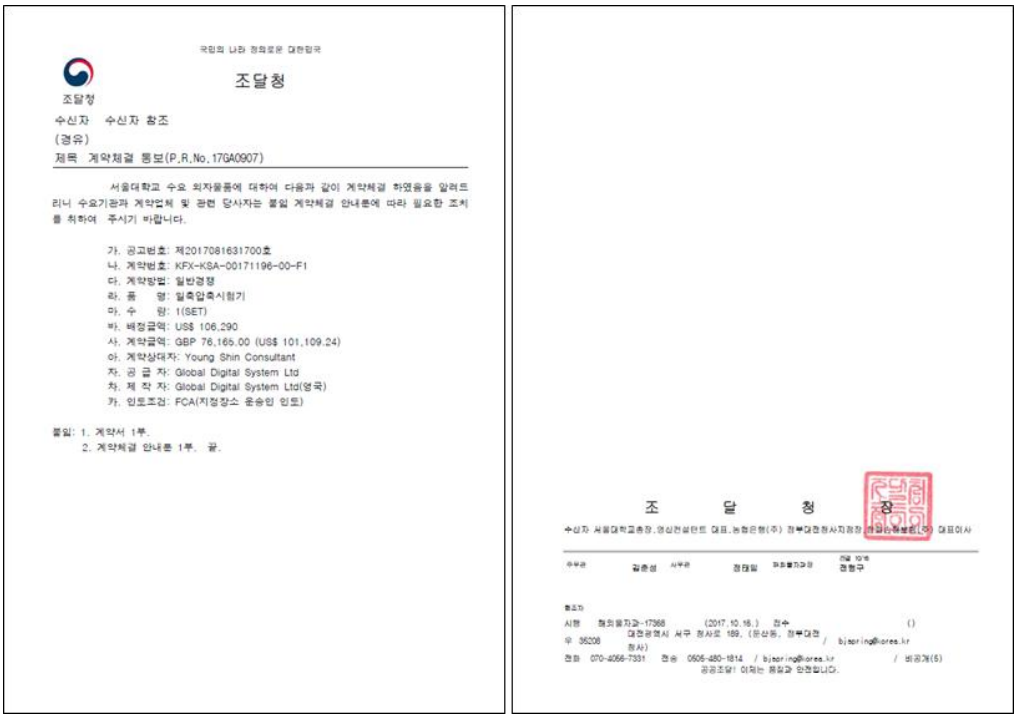
검토자 : 선임연구원 (직 · 성명) 김 권 택
확인자 : 연구책임자 (직 · 성명) 조 재 열

PR NO. : 17GA0907
공고번호 :
Item No. : 1 Commodity : Environmental Triaxial Testing System Q'ty : 1 set

Bid No.	Bidder / Manufacturer / Model / Source	검 토 의 견	결 과
# 1	Youngshin Consultant / GDS Digital System Ltd / Environmental Triaxial Testing System (ETATS)	구매예정장비의 수요목적상 요구되는 핵심규격 및 기타조건 등 공고규격과 일치함 1) 핵심규격 - Temperature range (-20℃~65℃) - Cell chamber pressure capacity (4MPa 이상) - Compressive load capacity (50kN 이상) 2) 기타조건 - 장비의 제작업체인 GDS Digital System Ltd는 세계에서 손꼽히는 토질역학 및 지반공학 장내시험장비 제작업체로서 본 장비의 검증도 및 신뢰도가 매우 높을 것으로 판단됨 - 장비의 공급업체인 Youngshin Consultant는 국내 연구소 및 학교에 GDS Digital System Ltd의 시험장비를 납품 및 유지관리 해 온 경험이 있는 업체로서, 추후 장비의 유지관리 측면에서 그 신뢰도가 매우 높을 것으로 판단됨	적 합

[그림 129] 온도제어삼축시험장비 규격 검토결과서

(6) 2017.10.16. 계약 체결



국민의 나라 정의로운 대한민국

조달청

조달청

수신자 수신자 참조
(경유)
제목 계약체결 통보(P.R.No.17GA0907)

서울대학교 수요 회자물품에 대하여 다음과 같이 계약체결 하였음을 알려드리니 수요기관과 계약업체 및 관련 당사자는 붙임 계약체결 안내문에 따라 필요한 조치를 취하여 주시기 바랍니다.

가. 공고번호: 제20170816317000호
나. 계약번호: KFX-KSA-00171196-00-F1
다. 계약방법: 일반경쟁
라. 품 명: 일축압축시험기
마. 수 량: 1(SET)
바. 배정금액: US$ 106,290
사. 계약금액: GBP 76,165.00 (US$ 101,109.24)
아. 계약상대자: Young Shin Consultant
자. 공 급 자: Global Digital System Ltd
차. 제 작 자: Global Digital System Ltd(영국)
카. 인도조건: FCA(지정장소 운송인 인도)

붙임: 1. 계약서 1부.
2. 계약체결 안내문 1부. 끝.

조 달 청 장

수신자 서울대학교총장, 영신컨설턴트 대표, 농협은행(주) 정부대전청사지점장, 조달청장(6) 대표이사

주무관 김준성 사무관 정태일 처리할 과제 없음 전결 10호 전형구

협조자
시행 정의물자과-17368 (2017.10.16.) 접수 ()
우 35208 대전광역시 서구 정사로 189, (둔산동, 정부대전청사) / bjspring@korea.kr
전화 070-4066-7331 전송 0505-480-1814 / bjspring@korea.kr / 비공개(6)
공공조달! 이제는 품질과 안전입니다.

[그림 130] 온도제어삼축시험장비 계약체결 통보서

(7) 주요 장비 구축 과정



(a) 장비 입고



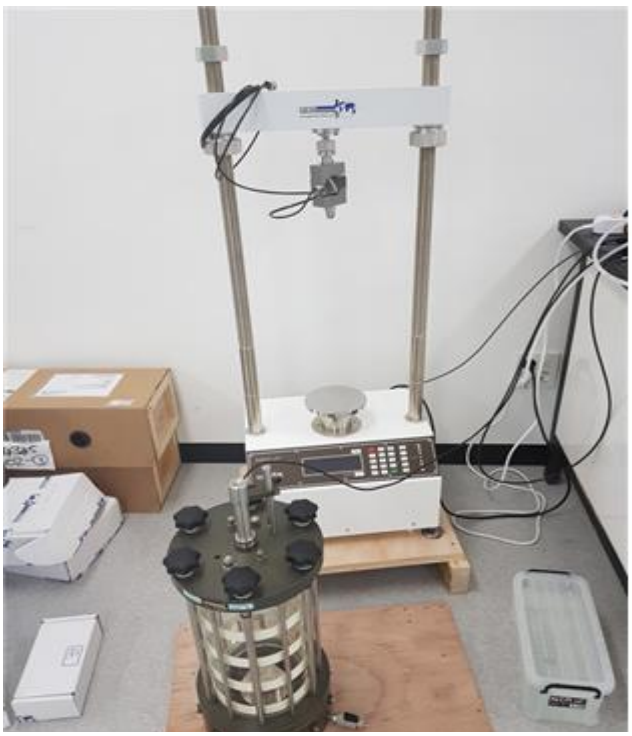
(b) Skid 해체



(c) 부품 조립



(d) 제어프로그램 정상 작동 여부 확인



(e) 구성품 연결



(f) 설치 완료

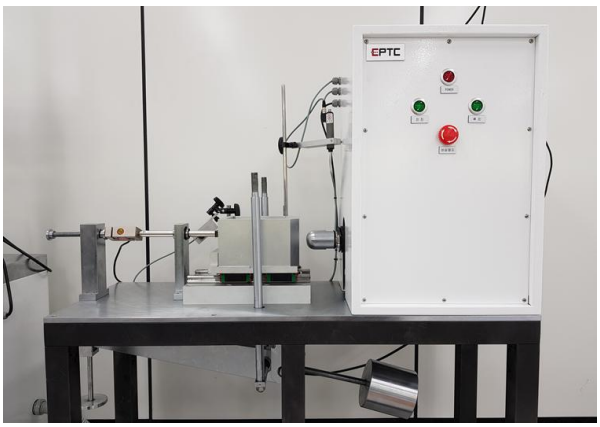
[그림 131] 온도제어삼축시험장비 주요 설치 과정

아. 기타 지반공학장비 구축

(1) 항온항습챔버

장비 사진	주요 성능
	- 활용분야 : 각종 제품 및 부품을 고온, 저온, 고습, 저습 환경 하에서 온습도에 대한 내구성 및 신뢰성 실험을 수행 - Temp. control range : -70℃~+150℃ - Humidity control range : 25%RH~98%RH - Temp. heater capa. : Main 3.5kW×1ea (NiCr wire heater) - Humidity heater capa. : 2.5kW×1ea (Flange type) - Circulation motor : 50w×2set - Refrigerator : 1HP×2ea, 1/2HP×1ea, 밀폐형 이원냉동시스템, R-404A/R-23 - Controller : Digital programable controller

(2) 저온용 직접전단시험기 구축

장비 사진	주요 성능
	- 동토지역의 저온환경을 모사하기 위한 대형 냉동 챔버 내에 설치 및 실험수행을 -30℃에서 작동이 가능하도록 특수제작함 - -5℃~-20℃ 온도조건에서 동결토의 전단강도를 측정함 - 동결지반의 역학적 특성을 결정하는 가장 중요한 설계변수인 전단강도를 구함 - 세립토가 동결되는 경우, 얼음이 흙 입자와 결합하여 점착력을 증가시키기고 마찰각은 감소시키는 거동을 분석

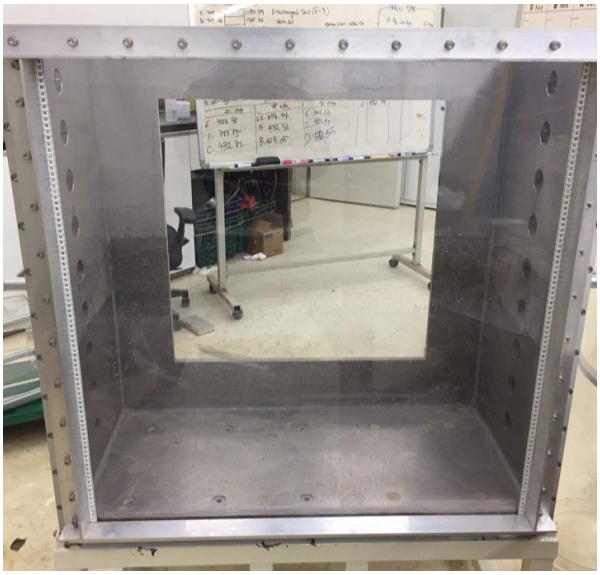
(3) 토양수분측정기 (TDS)

장비 사진	주요 성능
	- 활용분야 : 여러 종류의 토양 수분함량을 비파괴적으로 측정 - 전원 : 충전식 배터리, 4.8VDC, 2000mA - 메모리 : 최대 15개, Calibration 입력 가능 - 디스플레이 : Multi-ling LED - 센서 프로브 크기 : 직경 32mm, 길이 100mm / 직경 64mm, 길이 160mm - 입력전압 : 7-24VDC, (100mA@12V/DC) - 측정범위 : 0~100% - 정확도 : ±1%

(4) 저온용 일축압축시험기

장비 사진	주요 성능
	- 활용분야 : 동결토 지반에서 온도변화에 따른 강도특성을 확인하고, 일축압축시험을 통해 도출된 일출압축강도의 상관관계를 도출하기 위해 -5℃~-20℃의 온도조건에서 흙 시료에 대한 일축압축시험 수행 - 동토지역의 저온환경을 모사하기 위한 대형 냉동챔버 내에 설치 및 실험 수행이 가능하도록 특수제작 - 프레임 크기 : 530mm(L) × 500mm(W) × 1300mm(H) - 초저온용 로드셀 : 10ton, -20℃~50℃ - 서보모터장치 및 컨트롤러 제어시스템 - 제어항목 : 하중, 변위, 속도 - 속도 : 0.001~50mm/min - 스트로크 : 50mm

(5) 저온용 모형토조

장비 사진	주요 성능
	- 활용분야 : 균질한 저온 모형지반 조건을 조성, 흙 시료를 특정한 조건 (밀도, 구속압)으로 균질하게 조성, 조성된 흙 시료를 저온 챔버 내에서 통결토 상태로 변환시킴 - 모형지반 크기 : 400×200×700 (mm) - 온도범위 : -50℃~+100℃ - 최대구속압 : 300kPa - 시료종류 : Unified soil classification system (USCS)에서 모래 혹은 점토를 분류하는 모든 형태의 흙 시료

자. Flash X-Ray System 구축 (제안 이외 장비 추가 구축)

[표 58] Flash X-ray System 주요 추진 경과

No.	날짜	추진 경과	Page
1	2016.01.28.	방사선발생장치 사용 관련 서울대 환경안전원과 협의	152
2	2016.01.26.	비솔과의 기술협의	152
3	2016.05.02.	비솔과의 기술협의	153
4	2016.05.03.	방사선발생장치 및 고압가스 사용 관련 서울대 환경안전원과 협의	153
5	2016.06.20.	비솔과의 기술 협의	154
6	2016.09.06.	서울대 환경안전원, 비솔, 유니테크와의 인허가 관련 기술협의	155
7	2016.09.23.~11.03.	조달청 공고 : 단독업체 응찰로 인한 유찰	156
8	2016.11.03.~14.	조달청 재공고 : 단독업체 재응찰로 인한 수의계약 체결 추진	156
9	2016.12.16.	계약 체결	156
10	2017.08.09.	방사선발생장치 사용허가 신청 (원자력안전위원회)	156
11	2017.09.01.~06.	장비 입고 및 설치 완료	159
12	2017.10.23.~27.	Flash X-ray System 제작사 방문 및 사용자 교육	157
13	2017.12.27.	방사선발생장치 시설검사 합격	158

(1) Flash X-Ray System의 도입 목적 및 활용방안

[표 59] Flash X-Ray System의 도입 목적 및 활용방안

장비 도입 목적
○ Flash X-Ray 장비는 일반적인 고속 카메라로 촬영할 수 없을 정도로 발현 시간이 매우 짧은 초고속 현상의 관측과 시야 확보가 어려운 현상의 순간 영상을 높은 분해능으로 촬영할 수 있음 ○ 최근 들어 테러, 지진과 같은 자연적, 인적 재해가 빈번히 발생함에 따라 충격, 폭발 하중과 같은 극한하중에서의 SOC시설물의 안전의 확보가 중요하며, 이를 위해 토목/건설/기계/항공/재료/조선 등 여러 분야에서 이를 모사하여 분석하기 위한 연구가 필요함 ○ 이러한 연구를 위해서는 극한하중을 모사 할 수 있는 초고속 충돌실험의 수행이 반드시 필요하며, 실험 관측을 위해 Flash X-Ray 장비를 도입하고자 함
활용 방안
○ 충돌에 대한 연구를 수행하는 기계, 재료, 항공 분야를 비롯하여 시야가 충분히 확보되지 않은 조건에서 시험체의 거동을 평가해야 하는 모든 공학 분야에서의 활발한 공동 활용이 가능할 것으로 기대되며 구체적인 활용 가능한 연구 분야는 다음과 같음 - Non-destructive test, Explosively Formed Projectiles - Improvised Explosive Devices - Shock Dynamics - Hyper Velocity Impact Studies - Shaped Charge Jet Profiles - Energetic Materials - X-ray crystallography - Thermobaric Reaction - Kinetic Penetrators - Ballistic Flight Dynamics - Motion Analysis - Body Armor and Helmets
기대 효과
○ 초고속의 현상을 관측할 수 있는 Flash X-Ray 장비 도입 시 극한성능실험센터 가스건 시스템과 함께 활용되어 토목/기계/항공/재료/조선 등 다양한 공학 분야의 초고속 충돌실험이 수행될 것으로 기대됨 ○ 시야가 충분히 확보되지 않은 조건에서 짧은 시간의 실험 영상을 필요로 하거나, 부재 및 재료를 파괴하지 않고 관측을 해야 하는 기계, 재료, 항공 분야를 비롯한 모든 공학 분야에서의 활발한 공동 활용이 가능할 것으로 기대됨

(2) 2016.01.28. 방사선장비 사용 관련 서울대 환경안전원과 협의

○ 장 소: 서울대학교 환경안전원

[표 60] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
방사선발생장치 사용 허가 및 절차	• 극한성능실험센터의 Flash X-ray 방사선발생장치허가대상 장비로 판단되며, 사용허가증은 총장 명의로 신청을 해야 함 (환경안전원) • 방사선 장비 취급 면허는 환경안전원 내부 직원이 보유하고 있으며, 해당 직원이 서울대 내 모든 방사선 장비를 관리하고 있음. 사용기관에서는 별도의 면허나 자격증을 취득할 필요는 없음 (환경안전원) • 방사선실험실 허가 등록 서류는 센터에서 대행업체를 선정하여 환경안전원과 상호 협의를 통해 작성하면 됨 (환경안전원) • 방사선 장비 사용시 방사능안전관리담당자를 선임하지 않고 장비를 운영 할 경우 방사선작업종사자교육을 최초 12시간(신규8시간+직장4시간) 받아야하며, 교육기관은 한국원자력안전재단(기본신규교육), 한국원자력 안전아카데미(기본신규직장교육)이 있음 (환경안전원) • 교육을 받을 경우 환경안전원에 가입을 하면 교육 일정 및 사항에 대해 안내를 받을 수 있음 (환경안전원) • 방사선발생장치 사용허가 소요기간은 3~5개월정도 예상함 (환경안전원)
방사선발생장치 사용 관련 건축공사에서 고려해야 할 사항	• Flash X-ray는 장비외부로 X선이 유출되기 때문에 완전방호성(X선이 장비외부로 유출되지 않음)일 경우 방사능노출에 대한 방호조치가 불필요하나 Flash X-ray장비는 방사능이 외부로 유출되는 타입이므로 방호조치가 필요함 (환경안전원) • 실험동 2층 가스건실 전체가 오픈되어 있는 공간이므로 가스건실 전체를 방사능구역으로 지정해야 하며, 가스건실 출입하는 모든 관계자는 방사선사용자로 지정해야 함 (환경안전원) • 현재 건축공사에서 반영할 사항은 없음. 방사선실험실허가등록 서류를 작성할 때 대행업체에서 flash x-ray 가동시키고, 실험실 내외의 방사능수치를 측정하는데, 이때 그 결과를 보고 방호설비를 추가하면 됨 (환경안전원)

(3) 2016.01.26. 비솔과의 기술 협의

[표 61] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
계약 및 허가사항	• 계약시 노비테크(L3사의 대리점, 도쿄에 위치)와 계약함 (비솔) • Tube head는 소모품이며 수입시 허가가 필요함 (비솔) • 판매승인 및 설계승인은 이미 기존에 처리된 사례가 있어서 서울대학교의 사용허가 승인만 필요할 것으로 생각되며 이 경우, 가격은 약 700만원 정도가 될 것임 (비솔)
Tube head	• Tube head의 보호장비(하우징)이 필요한 경우도 있음 (비솔) • 듀얼 튜브를 사용할 경우 싱글 튜브보다 투과력이 약해짐. 관측창을 통해 사용할 경우 문제가 해결 될 수 있을 것으로 예상됨 (비솔) • Tube head를 고정시킬 프레임 등은 자체 제작해야함 (비솔)
사용 교육	• L3에서 매년 4~5월에 개최하는 하드웨어 & 소프트웨어(실험 후 이미지 처리)

검토 항목	주요 협의 내용
	교육은 필수사항은 아니나, 들으면 유용할 것임 (비솔) • 하드웨어 교육 자료는 비솔에서 보내줄 수 있음. 교육은 샌프란시스코에서 영어로 진행이 되며 비솔 차장과 동행할 것임 (비솔)
구축 일정	• 계약 후 계약 7개월 + 선적 1개월이 필요 (비솔)
장비 설치	• 장비 설치시 크레인이 필요하며 출입문 폭을 고려해야 (비솔) • 건축공사시 Flash x-ray에 사용되는 가스통/가스관에 관해 고려가 되어야함 (비솔)

(4) 2016.05.02. 비솔과의 기술 협의

[표 62] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
시스템 구성	• 450 kV Flash X-ray는 본체로 하나의 채널을 제공하며 기본 케이블(본체-펄서) 9 m를 포함하고 있음 (비솔) • 하나의 펄서에 두 개의 튜브헤드를 연결할 경우 시간 차이를 두고 촬영할 수 없음 (비솔) • Add-on Channel은 추가적인 채널이며, 기본 케이블(본체-펄서) 9 m를 포함하고 있음(비솔) • cassette는 image plate를 끼우기 위한 틀임 (비솔) • pixelray discover hc system은 필름 스캐너 및 이미지프로세싱 소프트웨어이며 image plate에 저장된 이미지를 읽고 지울 수 있음(비솔)
케이블	• Additional Length control Cable(본체-펄서)은 50 m × 2개로 총 본체로부터 펄서까지 60 m × 2개의 케이블이 설치 될 것 (비솔) • Dual Remote Output Modification은 펄서에 튜브헤드를 연결하기 위한 어댑터로 기본 케이블 6 m × 4개를 포함하고 있음(비솔)
사용 장소에 따른 장비 운반	• 공간의 제약 등이 있을 수 있으므로 기본 케이블 6 m × 4개를 포함하여 총 10 m × 4개의 케이블 길이는 필요할 것으로 생각 됨 (비솔) • 각 다른 층에서 장비를 사용하기 위해서는 펄서를 옮겨야 할 것이나 펄서가 무거움. 따로 인양할 수 있는 장비가 필요함 (비솔)

(5) 2016.05.03. 방사능발생장치 및 고압가스 사용 관련 서울대 환경안전원과 협의

○ 장 소 : 서울대학교 환경안전원

[표 63] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
Flash X-Ray 구매 설치 관련 사항	• 동일한 제품을 2015년 5월경에 ADD에 납품한 이력이 있기 때문에 설계 허가는 필요 없음 (서울대) • 입찰 공고 후 낙찰자가 결정되면, 허가 승인 절차를 진행하면 됨 (환경안전원) • 계약 후 장비 제작 기간(6개월) 및 운송기간(1개월)을 고려했을 때 낙찰자 결정 후 승인 절차(3~5개월)를 밟으면 설치 전에 승인을 득할 수 있을 것임 (환경안전원) • 허가 승인 절차 진행 중 필요시 보완시설물(에어리어 모니터, 방사능 측정기,

검토 항목	주요 협의 내용
	포켓 알람메타, 엑스레이 인디게이터, 차폐장치 등) 보강 공사를 실시할 수도 있으므로, 설치예산을 확보할 필요가 있음 (환경안전원)
Flash X-Ray 사용 자격 관련 사항	• 기존 서울대에서 구축한 방사능장비들은 저용량으로 허가 대상이 아닌 신고 대상이었음 (환경안전원) • 센터에서 구매하는 450KV 용량은 허가 승인 대상으로, 안전관리자가 가지고 있는 면허가 일반면허, 감독면허인지는 확인이 필요함 (환경안전원) • 외부에서 참관을 하는 외부인이 실험실로 방문할 때 방사선작업종사자 교육 이수자가 입회하면 문제 없나? (서울대) • 원칙적으로는 면허소지 안전관리자 입회 하에 외부인이 입출입할 수 있으며, 입출입 전 30분 정도 안전교육을 하여야 함 (환경안전원)
고압가스 사용 관련 사항	• 센터의 가스 사용 계획을 보았을 때 별도로 승인을 득해야 하는 상황은 아님 (환경안전원) • 수소의 경우 49리터 실린더 7개 이상 사용을 할 때에는 승인 사항이나, 센터의 경우 1~2개로 파악이 되므로 승인 사항이 아님 (환경안전원) • 외부에 가스보관실을 두어 실린더를 보관할 때에는 별도의 캐비넷 설치는 필요가 없음. 단, 수소 전용 감지기(방폭용)를 가스보관실에 설치하고, 관리자가 상주하고 있는 공간에서 가스 유출시 알람 등의 경고를 확인할 수 있어야 함 (환경안전원)
고압가스 사용 자격 요건	• 센터에서 사용하는 가스량이 적기 때문에 특별한 교육을 이수할 필요는 없음, 학내 규정에 따라 대학원생 및 연구원들은 환경안전원에서 실시하는 교육을 이수하여야 함 (환경안전원)
기타 사항	• 각 장비의 실험메뉴얼은 실험자의 안전을 우선적으로 고려하여 작성할 필요가 있음 (환경안전원) • 환경안전원의 안전교육 이외에도 센터에서 자체적인 안전관리종합프로그램을 준비하여, 환경안전원의 교육과 센터 자체 교육을 이수한 자만이 장비 사용이 가능하도록 할 필요가 있음 (환경안전원)

(6) 2016.06.20. 비솔과의 기술 협의

[표 64] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
구매 공고	• 해당 제품은 서울대 공과대학에서 구매공고가 진행이 되며, 7월경 조달 공고 예정임 (서울대) • 공고서류에 제조사와 대리점의 관계를 증명할 수 있는 서류를 제출하도록 할 필요가 있음 (비솔)
납품 실적	• ADD에 L3사 제품 2건을 납품하였으며, 각 장비의 담당자는 박이주 박사와 권수재 박사임. 권수재 박사의 경우 엑스레이 장비를 30년 이상 사용한 전문가임 (비솔) • 권수제 박사의 연락처와 이메일에 대한 정보를 메일로 전달해 주기 바람 (서울대) • ADD(박이주 박사)에 납품한 장비의 경우 본체에 pulser가 4개가 연결되어 있고, 각 pulser는 single channel로 remote tubehead와 연결됨. 서울대는 pulser가 2개가 연결이 되고 각 pulser는 dual channel로 remote tubehead와 연결됨. 서울대 또한 차후 본체에 pulser 2개를 추가 확장하여 연결할 수 있음 (비솔)
장비 성능	• 비솔에 서울대가 필요한 사양에 대해 내용을 전달하고, 비솔은 최적화된 사양

검토 항목	주요 협의 내용
	및 옵션을 제시해 주었으면 함 (서울대) • 엑스레이를 이용한 촬영시 가장 원하는 영상을 취득하기 위해서는 어느 시점이 찍어야 하는지 트리거링 신호를 주어야 하는데, 본체에 트리거링 신호를 줄 수 있나? (서울대) • 본체에 딜레이타이머가 있어 찍는 시점을 ns 단위로 조정이 가능함 (비솔)
소모품	• 실험의 회수와 실험시 설정 kV 값에 따라 소모품의 수명이 결정됨. 필름의 경우 100~150회 까지 최적의 결과물을 얻을 수 있으며 이후 그림의 선명도가 떨어지는 시점에서 교체를 검토하여야 함 (비솔) • X-ray tube는 설정 kV 값에 따라 많은 차이를 보이나 25kV 로 트리거 시 약 150~200회 사용 가능. 케이블은 평균 3년 정도 사용하나 실험 회수에 따라 많은 차이를 보임 (비솔) • 소모품 종류에 따라 제품 준비 기간이 3~4주 소요되며, 항공 운송시 보통 일주일 소요(비솔) • 소모품 중 X-ray tube는 인증을 받아야 하기 때문에 더 시간이 소요됨 (서울대, 비솔)
장비 설치	• 시스템을 보면 크게 메인본체, pulser, remote tubehead로 구성이 되는데, 가스건실 도면을 전달해 주면 각 구성품의 최적화된 배치구성과 측정을 위한 tubehead의 설치 높이, 위치 등을 검토해 주기 바람 (서울대) • 본체에 dry air를 공급하여야 하며, ADD의 경우 본체 옆에 공기 실린더를 배치시켜 직접연결을 하였음 (비솔)

(7) 2016.09.06. 환경안전원, 비솔, 유니테크와의 인허가 관련 기술협의

○ 참석기관 : 극한성능실험센터, 환경안전원, ㈜비솔, 유니테크

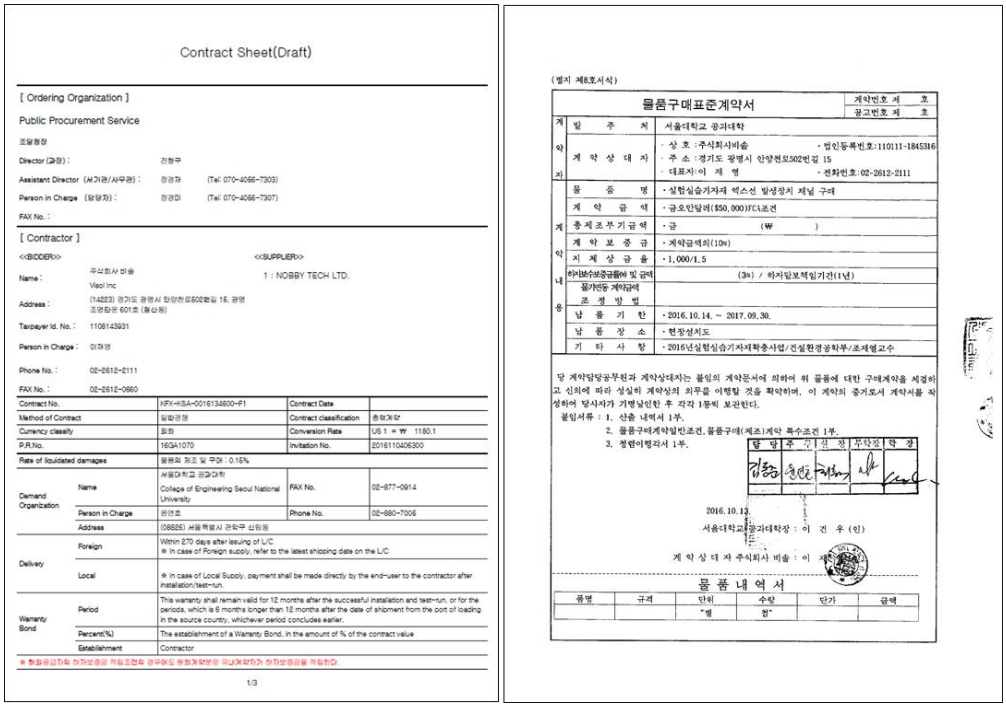
[표 65] 주요 협의내용

검토 항목	주요 협의 내용
인허가 사항	• 서울대 납품 예정 장비는 ADD에 납품한 이력이 있고, 유니테크에서 인허가 대관업무를 수행한 바 있음 (유니테크) • 따라서 판매변경허가, 설계승인까지 완료한 상황으로 사용변경허가 절차만 밟으면 됨 (유니테크) • 사용변경허가를 받기 위해서는 법적으로 규정하고 있는 차폐시설, 인터락, 표시등, 방사선측정기기 등이 반영되어야 함 (유니테크)
차폐시설 관련 검토	• 기본적으로 방사선은 엑스레이 튜브가 향하는 방향으로 방출되며, 엑스레이 측정 이후 주변에 잔류하지는 않음 (비솔) • 가스건 타겟탱크 하부에 10T 두께의 납판을 설치할 필요가 있고, 산측에는 쉴드스크린을 이동형으로 구성하면 될 것으로 판단됨 (유니테크, 환경안전원) • 차폐시설은 물리적인 접근 방지 방법과 심리적인 안정감을 가질 수 있도록 구성하여야 함 (환경안전원) • 엑스레이 설치 인근과 주조정실 내에 방사선량을 측정 및 모니터링 할 수 있는 방법 또한 있음 (유니테크) • 인터락과 표시등은 법적으로 반영하게 되어 있음 (유니테크)
추진 계획	• 유니테크는 해당 도면을 검토하여 실험실에 필요한 차폐시설을 의무사항, 선택사항 별로 상세히 구분하여 제안을 하기로 함 • 유니테크는 사용변경허가를 위한 대관 업무 수행시 서울대 환경안전원과 긴밀한 협의를 통해 진행하기로 함

(8) 2016.08~12 조달청 입찰공고 및 계약 체결

○ 총 계약금액 : 456,850USD (약 5.48억원)

○ 재원 : 서울대 본부 406,850USD + 건설환경공학부 50,000USD



Contract Sheet(Draft)

[Ordering Organization]

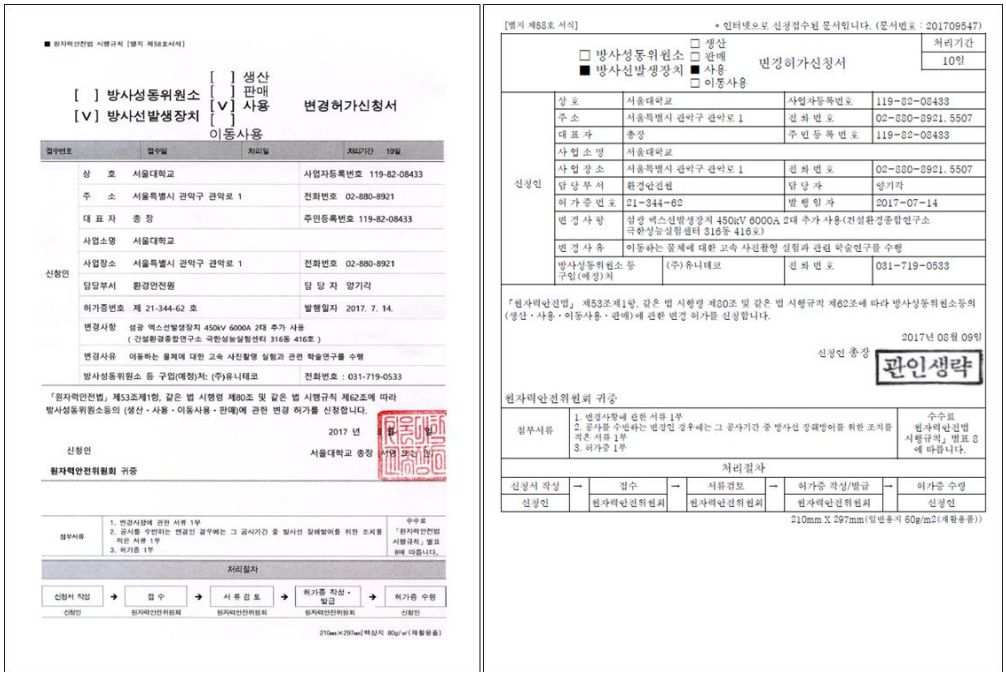
Public Procurement Service

[Contractor]

물품구매표준계약서

[그림 132] Flash X-ray System 계약서

(9) 2017.08.09. 방사선발생장치 사용허가 신청 (원자력안전위원회)



[ ] 방사성동위원소 [ ] 생산 [ ] 판매 [V] 방사선발생장치 [V] 사용 [ ] 이동사용 변경허가신청서

[그림 133] 방사선발생장치 사용 변경허가신청서

(10) 2017.10.23.~27. Flash X-ray System 제작사 방문 및 사용자 교육

○ 교육 장소 : L3 Applied Technologies (미국)

- Flash X-Ray System 하드웨어 교육
- 이미지 프로세싱 교육



[그림 134] Flash X-ray system 사용자 교육



[그림 135] 사용자 교육 참가자

(11) 2017.12.27. 방사선발생장치 시설검사 합격

방사성동위원소등 시설검사 결과서

(방사선발생장치 사용 등 시설)

기관명	서울대학교			
대표자	총장		허가증번호	방사선발생장치 사용허가 21-344-68
소재지	서울특별시 관학구 관학로 1		허가일자	1990.04.20
관련공문	방사성동위원소 시설검사 신청서 문서번호 201713088		검사일자	2017.12.15. (금) 2017.12.27. (수)
검사자	신대수 (인)			
수검자	부서	극한성능실험센터	전화	02 880 4187
	직위	운영실장	성명	김 권택
방사선 안전관리자	부서	방사선안전팀	전화	010 2623 4173 02 880 8921
	직위	팀장	성명	양 기각
	면허번호	RI 감독 503	보수교육일	2016. 10. 13.
검사대상	관련근거	원자력안전법 56조 1항, 시설검사신청서		
	선원	섬광 X선 발생장치 450kV 6,000A 2대		
	시설	건설환경종합연구소 극한성능실험센터 316동 416호		
검사결과 ■ 합격 □ 불합격	1. 극한성능실험센터 316동 416호에 섬광 X선 발생장치(펄스 발생기) 450kV 6,000A 2대가 허가받은 대로 설치되었으며, X선을 직접 조사하는 튜브헤드는 3대가 설치되어 있으며, 4대까지 사용할 수 있음을 확인함. 2. X선 발생장치의 조사시간이 25nsec로 너무 짧아 보유하고 있는 선량계로 측정이 불가하고 차폐성능을 확인할 수 없으므로 방사선량을 축적하여 피폭선량을 평가하도록 권고함. 3. 문열림에 의한 방사선발생장치 전원차단의 인터록(Interlock)이 적합하게 설치되었음을 확인함. 차폐문의 잠금장치와 경고등 전원 스위치가 함께 위치하여 관리구역 내 인원점검이 가능하도록 되어 있음. 4. 관리구역으로의 출입제한 장치가 적합하게 설치되어 있으며, 방사능 표지 및 주의사항이 적합하게 부착되어 있음.			
검사원의견	해당 요건에 따라 RG를 안전하게 사용할 수 있도록 설비가 설치되었음을 확인하였으므로 원자력법 56조 1항에 따른 시설검사에 합격함.			

[그림 136] 방사성동위원소등 시설검사 결과서

(12) 주요 구축 과정



(a) 장비 반입



(b) Skid 해체



(c) Tubehead 거치대 설치



(d) Pulser 조립



(e) Pulser 배치



(f) Tubehead 설치



(g) tubehead 설치



(h) 설치 완료

[그림 137] Flash X-ray System 주요 설치 과정

차. 극한성능실험센터의 완성도 향상을 위한 장비 추가 도입

○ 극한성능실험센터 구축 과정 중에 연구를 수행하며 추가적으로 필요한 장비들이 있음을 파악함

○ 극한성능실험센터에서는 필요 장비를 서울대학교 자체 추가 예산확보를 통해 구축함 (극한상태 구조특성 실험시설 구축과제 예산 대비 13%)

○ 이를 통해 과제에서 구축한 실험장비와 연계를 통해 실험시설 활성화 및 완성도를 제고함

[표 66] 극한상태 구조특성 실험시설 구축 과제 외 추가 장비 구축 내역

항목	금액 (천원)	비고
중속가스건 타겟 탱크	과제 예산 집행	최대 실험체 크기 1.5m×1.5m → 2.1m×2.1m 가능하도록 크기 변경
초고속카메라	146,000	충돌실험 영상데이터 측정용
자유낙하시험기 조립식 낙하추	22,768	1.5ton 이하 소규모 중량 충돌실험용
Flash X-ray System	548,750	충돌실험 영상데이터 측정용
5,000kN UTM용 유압웨지그립	319,440	UTM 인장실험용
고강도건설재료정밀절단기	60,000	SHPB 시편 정밀 절단
로딩프레임	80,000	구조실험용
총계	1,176,958	

3. 연구 및 시험운영

가. 극한상태구조특성 실험시설/장비 분석 및 자문

(1) 기본설계 정밀분석

○ 2014.01~2014.12 기본설계 정밀 분석 및 기술자문을 통한 장비의 개선점 도출

- 실험장비 성능 및 품질 확보를 위한 중점 관리 사항 도출 및 장비 발주시 반영

[표 67] 기본설계 정밀 분석 및 기술자문을 통한 장비의 개선점

실험시설		주요 내용
자유낙하 실험시설		○ 실험목적에 맞는 스트라이크의 크기 및 형상과 낙하추의 낙하방식 등에 대한 추가적인 검토가 필요함 ○ 낙하추낙하시 오작동 및 사고에 대한 안전장치에 대한 기술적 검토가 필요 ○ 대용량 낙하추낙하시 발생하는 소음, 진동에 의한 환경영향성 평가가 필요함
중고속 충돌 실험시설	공통	○ 카메라 관련 - 발전 속도가 매우 빠르므로 도입 시기에 맞춰 구매 의뢰 필요 - 업체별 내부 사정에 따른 A/S 가능 여부를 충분히 고려해야 함 - 해석툴/분석 SW가 다양함. 필요에 따른 구매 범위 확인 필요 - 10-30만 픽셀 수준의 카메라면 적당하다고 판단됨 ○ 가스 공급 방식 - 가스실에 위치한 가스 실린더로부터 Hard line을 통해 공급 - 향후 가스실 위치/규모 확정 후 장비업체에서 최적안 제시 ○ 성능검수 실험 범위 및 내용 확정 - Performance curve의 두 포인트 정도를 측정하는 수준 - 각 장비의 스펙이 실제로 잘 발휘되고 있는지 체크 - 대주에서 SNU로 성능시험 계획서(기준서) 전달 - 계획서(기준서) 토대로 시험내역/체크리스트 검토 후 조율 가능 - 검수 실험에 소요되는 가스/시편/악세서리는 대주에서 소모함
	중속	○ 소음이나 파편, 안전 등을 고려해 타겟탱크을 추가 적용할 필요가 있음 ○ 중속가스건에 대한 타겟탱크 추가 설계 - Maximum size of target : 1.5m×1.5m×1.5m - Inner Diameter : 2.14m, Length : 3m - A hinged port cover at the downrange end - Three instrumentation ports. (Diameter: 30cm) - High-capacity linear bearing assemblies
	고속	○ 다소 고사양이기 때문에 최대 중량과 충돌속도 설정에 대한 기술적 자문과 실제 적용성을 고려한 검토가 필요함
	초고속	○ 비상체 발사 후 거동을 관측할 수 있는 계측장비 및 계측방법 등에 대한 검토가 필요함

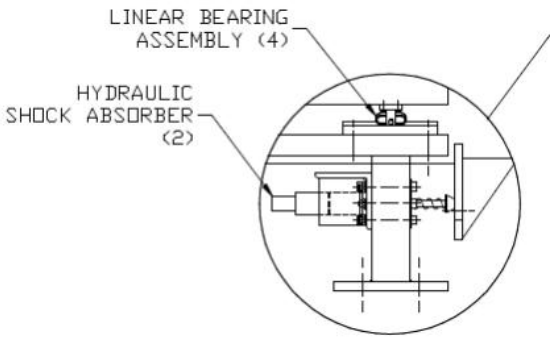
실험시설	주요 내용
급속재하 실험시설	○ 기존 구축 장비 대비 고성능 장비로 제작기술 및 단가에 대한 전문장비업체의 기술검토 필요 ○ 재료 실험 수행에 있어 필요한 실험시설의 성능에 대한 도출 검토 필요 ○ 하중성능과 하중재하속도 성능을 재료별로 도출하여 불필요하게 과한 성능이 도출되지 않도록 검토 필요
5,000kN UTM	○ 인장력 크기에 따라 장비단가 및 장비/유압펌프 의 용량이 커지기 때문에 실험목적에 맞는 인장력 크기 도출 필요
극한온도 실험시설	○ 온도 변화를 위해 필요한 냉매, 전기량 등에 대한 경제성 검토가 병행되어야 함 ○ 시편 크기에 따른 챔버 크기를 조정할 수 있는 가변형 온도 챔버도 고려해볼 필요가 있음 ○ 500kN UTM을 설치함으로 인한 열 손실 발생여부와 이를 최소화할 수 있는 방안에 대한 기술적 검토가 필요함
홉킨슨바	○ 제안 성능의 경우 금속재료 전용으로 설계됨 ○ 금속 + 콘크리트 병용을 목표로 성능 개선 - 2개의 충격봉 (75mm, 19mm) 도입 - 최대압력, 속도 상향 조정 - 충격봉 길이 상향 조정 ○ 비균질 재료(콘크리트)용 75mm 충격봉 - 충격봉 지름 : 75mm - 충격봉 길이 : 5.5m long - 충격봉 재료 : High-strength alloy steel - 최대압력 : 20bar - 최대속도 : 15m/s (for 75mm x 60cm long steel striker rod) - 변형률 범위 : ~10^3/s ○ 균질 재료용 19mm 충격봉 - 충격봉 지름 : 19mm - 충격봉 길이 : 2m long - 충격봉 재료 : Maraging steel - 최대압력 : 20bar - 최대속도 : 40m/s (for 19mm x 30cm long striker rod) - 변형률 범위 : ~10^4/s

○ 중속가스건 타겟탱크의 적정성 검토 및 성능향상을 위한 설계변경 추진

1. 타겟탱크 설계변경의 필요성

1.1 기존 타겟탱크 고정 방식의 문제점

- 기존 타겟탱크는 충돌시험시 실험동 바닥면으로의 충격을 줄이기 위해 High-capacity linear bearing assemblies 위에 놓이는 방식임

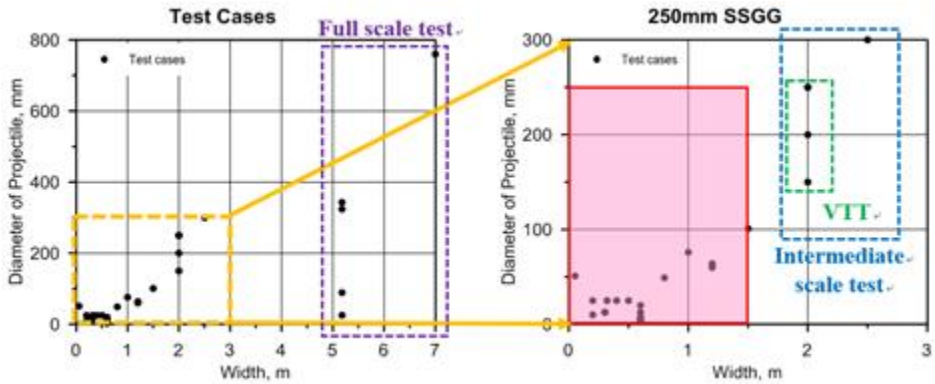


[그림 138] High-capacity linear bearing assemblies와 shock absorbers

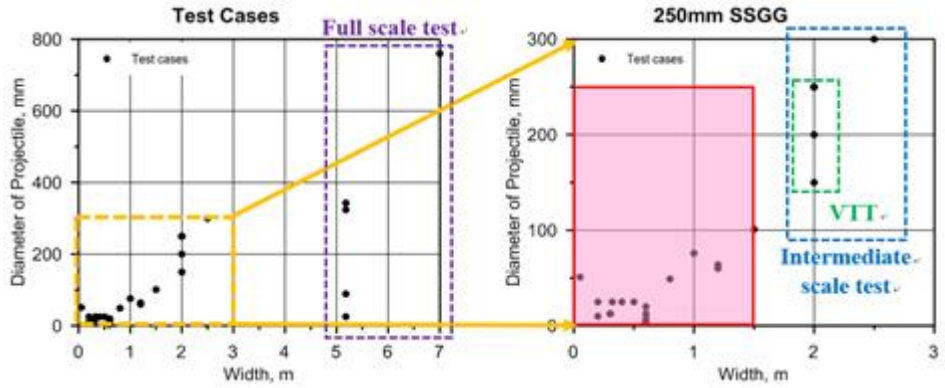
- 이 고정 방식은 충돌시험 시 타겟탱크가 뒤로 밀리는 것을 허용하고, 타겟탱크의 운동을 shock absorber를 통해 제어하도록 하여, 타겟 탱크의 응력을 낮춰주는 방식임
- 따라서 기존 타겟탱크는 시험체가 받는 충돌에너지 일부를 탱크의 운동에너지로 전환시키며, shock absorber를 통해 소산시킴
- 그러나 타겟탱크의 충돌에너지 분담량을 산정할 수가 없으며, 시험체가 온전히 받는 충돌에너지량을 알 수 없어 시험체 거동을 관측하기 위한 충돌실험에 적합하지 않음

1.2 기존 타겟탱크 최대 시험체 크기에서의 문제점

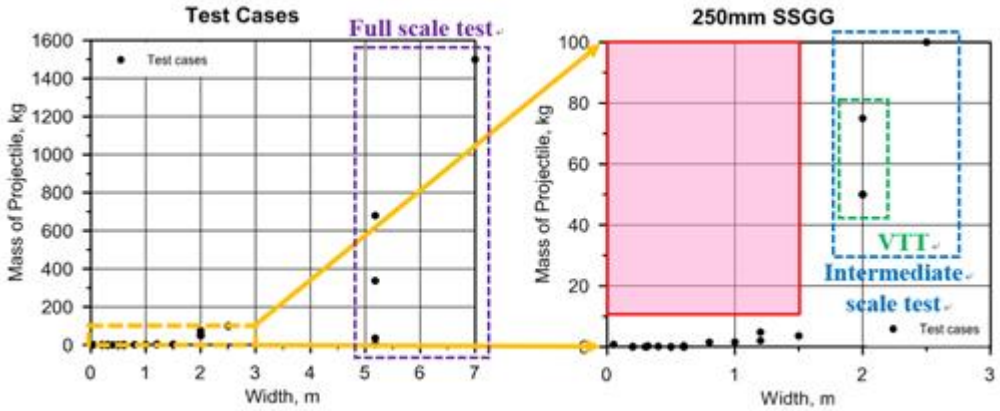
- ADD로부터 시험체 크기에 관해 자문을 받은 결과, 시험체에서의 shock wave 간섭을 피하여 실험하기 위해서는 경험상 발사체 직경의 약 10배 정도의 크기 시험체를 사용하여야 한다고 답변을 받음
- 중속충돌실험시설의 발사체 직경이 최대 250mm인 것을 고려해보았을 때, 기존 타겟탱크의 최대 시험가능한 시험체 크기 1.5m×1.5m는 작을 것으로 판단되어, 기존 충돌실험 사례 분석을 통하여 시험체 크기 적절성을 평가해보았음
- 기존 충돌실험 사례 분석



[그림 139] 기존 실험사례에서의 발사체 직경과 시험체 크기 및 실험 가능 영역



[그림 140] 기존 실험사례에서의 발사체 직경과 시험체 크기 및 실험 가능 영역



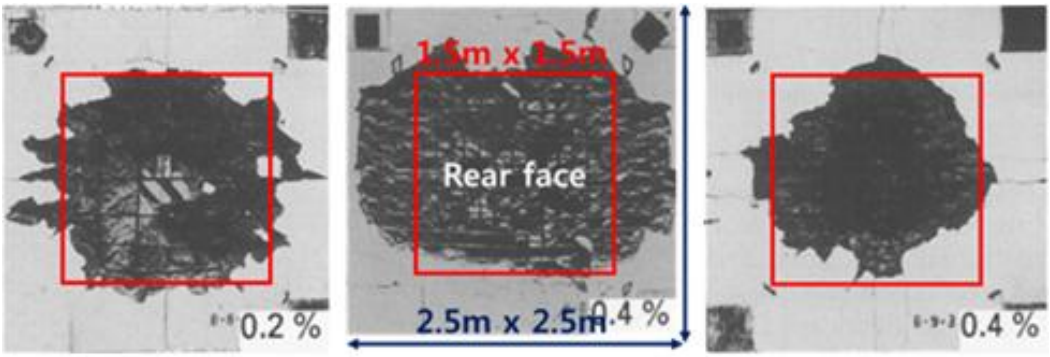
[그림 141] 기존 실험사례에서의 발사체 중량과 시험체 크기 및 실험 가능 영역

- 실내에서 설치되는 중속충돌실험시설은 기본적으로 실물 크기보다 작은 중간 크기의 충돌실험을 목표로 제작됨. 따라서 발사체의 크기와 무게는 중간 크기 실험 사례와 비슷한 수준을 보임
- 그러나 그럼 129, 130에서 볼 수 있듯이, 중간 크기 충돌실험 사례보다 작은 크기의 시험체를 사용하는 것을 볼 수 있음
- 또한 그림 130을 보면 알 수 있듯이, 그림 1에서 포함하고 있는 연구사례는 작은 크기의 충돌실험으로 중속충돌실험시설의 목적과는 부적합한 충돌실험 사례임
- 따라서 중간 크기 충돌실험을 수행 가능하도록 최대 시험가능한 시험체 크기를 키울 필요가 있었음

• 특히, 중속실험시설이 목표로 하고 있는 중간 크기 충돌실험 사례를 검토함

• T. Sugano 외 실험사례 (1993)

- 항공기 엔진 충돌 상황에서 RC 구조물의 국부 거동 연구를 위해 작은 크기, 중간 크기, 실물 크기 충돌실험 및 실물 충돌실험이 수행됨
- 이 중, 중간 크기 실험의 경우, 100kg의 비상체를 215m/s로 충돌시켰으며, 이는 중속충돌실험시설의 성능과 유사함 (100kg, 220m/s)
- 따라서 본 장비와 유사한 충격량을 전달하므로 적절한 비교를 수행할 수 있다고 판단함



[그림 142] T. Sugano 외 중간크기 충돌실험 사례에서의 시험체 충돌실험 후 배면파괴 형상

- 23.5 MPa 압축강도의 콘크리트 실험사례에서 배면파괴 영역의 크기가 1.5m×1.5m를 초과하였음. 따라서 기존 최대 시험체 크기는 작을 것으로 판단함

• VTT 실험 사례

- 원자력 발전소에 항공기 충돌 상황을 모사하는 중간 크기 실험을 지속적으로 수행함
- Deformable missile을 이용한 항공기 동체 충돌, Hard missile을 이용한 항공기 엔진 충돌, 충돌 후 연료 방출 시험 등 다양한 항공기 충돌 상황을 모사함
- 50~100kg의 발사체를 60~200m/s의 충돌속도로 충돌시키며 2m×2m 크기의 시험체를 사용함
- 콘크리트 패널의 지점경계조건은 4변 롤러 지지이며 일반 RC 및 PSC 패널 실험이 진행 중이며, 고강도 콘크리트 패널에 대해서도 실험이 수행되고 있음

• T. Sugano 외 실험사례와 VTT 실험 사례 및 실험동 여건을 보았을 때 최대 시험체 크기를 2m×2m로 증가시키는 것을 타당하다고 판단함

1.3 기존 타겟탱크 시험체 거치 문제점

• 시험체 최대 크기가 2m×2m로 증가되며 시험체의 무게 또한 증가됨

• 기존 원형 타겟탱크의 경우, 시험체를 지면과 수평한 방향으로 움직여 타겟탱크 안으로 넣어 거치 및 체결해야 하나 3ton 이상 무거운 시험체를 수평방향으로 움직이는 것에도, 제한된 원형 타겟탱크 안에서 체결하는 것에도 어려움이 생김

• 따라서 시험체의 거치 및 체결 작업의 효율성을 위해 타겟탱크를 수정할 필요가 있음

2. 타겟탱크 설계변경 내용

2.1 수정된 타겟탱크의 개선점

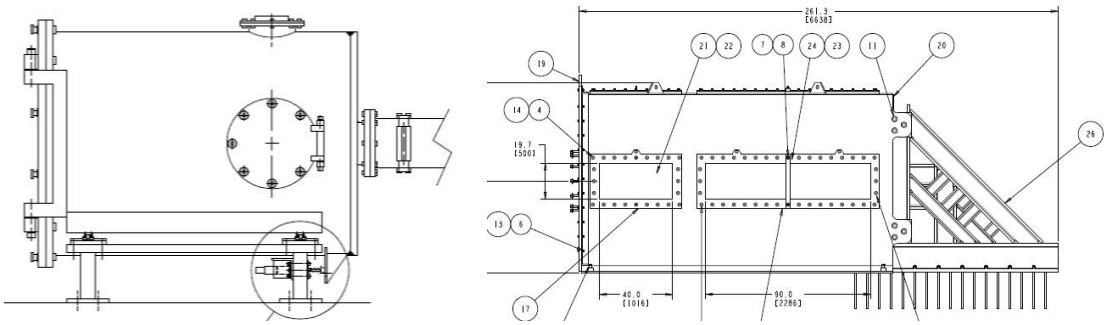
• 시험체의 이동을 불허하여 충돌에너지의 소산을 억제함. 이를 위해 타겟탱크의 강성을 증가시켰고, 바닥과의 고정부와 타겟 지지부가 보강되었음

• 2m×2m까지 최대 시험체 크기를 증가시켜 목표했던 중간 크기 충돌실험을 수행할 수 있도록 함

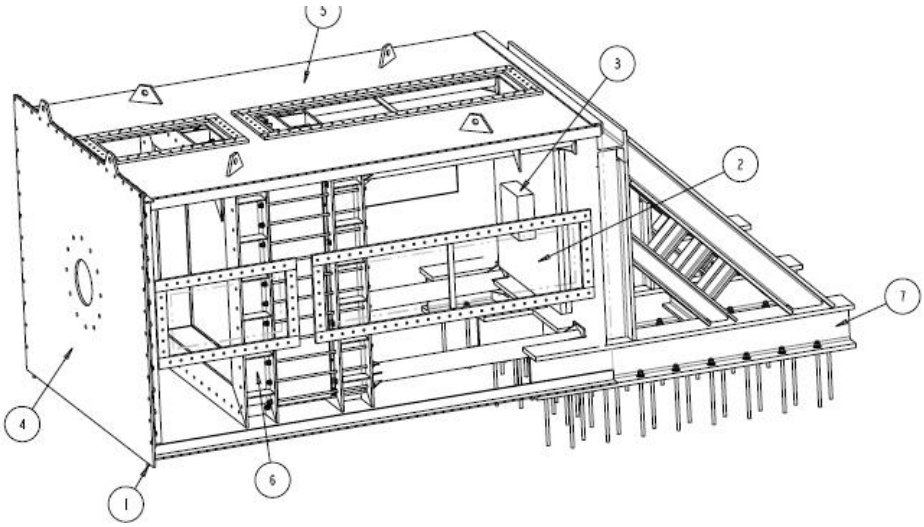
• 타겟탱크를 쉴드를 위에서 씌우는 방식으로 바꾸어 크레인을 이용하여 효율적으로 시험체를 거치하도록 하였으며, 시험체 설치 작업 및 데이터 계측을 위한 작업을 효과

적으로 할 수 있도록 개선함

2.2 타겟탱크 도면 비교



[그림 143] 기존 타겟탱크(왼쪽)와 수정된 타겟탱크(오른쪽)



[그림 144] 수정된 타겟탱크 및 내부 모습

2.3 타겟탱크 가격 변경

- 변경 전 금액: 75,200 USD (계약서)
- 변경 후 금액: 140,000 USD (64,800 UDS 증가)

(2) 주요 관련실험시설 방문조사

[표 68] 주요관련실험시설 방문조사 이력

No.	날짜	방문기관	조사내용
1	2014.02.10.	국방과학연구소	가스건, 홉킨슨바 구축 및 운영현황
2	2014.02.24.~26.	일본 방위대	자유낙하실험시설, 급속재하시험기, 가스건 성능 및 운영사항
3	2014.10.27.	하이브리드구조실험센터	반력구조물, 유압장비 설비 구축 및 운영현황
4	2015.02.09.	일본 북해도대학교	온도챔버 구축 및 운영현황
5	2015.04.12.	University of Kansas West Campus Structural Testing Laboratory	실험센터 건축물 및 반력구조물 구축 및 운영현황
6	2015.06.01.~03.	지진방재연구센터	대형 실험센터 운영관리 노하우
7	2016.06.24.	국방과학연구소	PAI사의 가스건 세미나 참석
8	2015.07.01.~02.	퍼듀대학교 BOWEN 실험센터	홉킨슨바 구축 및 운영 현황 실험시설 운영시 안전, 스케줄 관리
9	2015.07.02.~04.	European Laboratory for Structural Assessment	유압장비에 대한 세부 성능
10	2015.11.03.	미국 MTS 본사	유압장비 제작 및 Factory 운영현황
11	2016.01.15.	하이브리드구조실험센터	반력구조물, 유압장비 설비 구축 및 운영 현황
12	2016.01.21.	국방과학연구소	가스건, 홉킨슨바 구축 및 운영현황
13	2016.03.22.	포스코 글로벌R&D센터	ICT 교량거더 정하중 시험 참관
14	2016.03.30.	포스코 글로벌R&D센터	반력구조물, 유압장비 설비, 안전시설물 구축 및 운영현황
15	2016.04.20.~22.	국방과학연구소	가스건 장비 설치 현장 참관
16	2016.10.04	철도기술연구원	운영시 필요한 부대장비, 편의시설, 안전시설물
17	2016.05.10	한국건설기술연구원	온도챔버 구축 및 운영현황
18	2016.06.14.	일본토목연구소(CERI for cold region)	온도챔버 및 구조실험장비 구축 및 운영현황
19	2016.10.13.	철도기술연구원	하이브리드거더 휨실험 참관 및 반력구조물, 유압장비 구축현황
20	2017.11.29.	하이브리드구조실험센터	서울역고가차도 RC슬래브 휨파괴 실험 참관, 로딩프레임구축현황
21	2017.12.18.~19.	일본토목연구소(CERI for cold region), 북해도대학교	온도챔버 및 구조실험시설 구축 및 운영현황
22	2018.08.17.,27.	하이브리드구조실험센터	교각 코핑부 압축실험 참관 및 유압장비 구축현황



[그림 145] University of Kansas West Campus Structural Testing Laboratory 방문



[그림 146] European Laboratory for Structural Assessment 방문



[그림 147] 포스코 글로벌R&D센터 방문



[그림 148] 일본토목연구소(CERI for cold region), 북해도대학교 방문

(3) 자료 및 문헌조사

○ 유사 실험장비 기존 연구 동향 분석 및 실험 수행시 고려사항 도출

자유낙하실험시설

[표 69] 국내외 자유낙하실험 연구 동향

	제목	내용
국내	철근콘크리트 구조물의 안전성 평가 연구	시험체의 처짐, 균열, 파괴 양상 등을 토대로 안전성 평가 수행
	보강재를 사용한 구조물의 충격저항성능 평가 연구	FRP, 폴리우레아, 강섬유 등의 보강재 첨가시 성능 평가 수행
	원전격납건물, 가스탱크 구조물의 안전성 평가 연구	원전격납건물, 가스탱크에 사용되는 프리스트레스트 콘크리트 시험체를 사용하여 안전성 평가 수행
국외	시험체의 크기에 따른 크기효과의 정량적 분석 연구	부재 단위 시험체의 크기를 다양하게 변화시켜 부재 단위에서의 크기 효과에 대해 변형, 균열, 파괴, 하중 전달 메커니즘 등의 거동 결과를 통해 분석 수행
	차량 충돌에 의한 철근콘크리트 구조물의 안전성 평가 연구	차량 충돌 시나리오를 모사할 수 있는 낙하추 충돌 실험을 계획 및 수행

○ 실험 수행시 고려사항 도출

- 낙하추의 낙하방식
  - 낙하추의 낙하방식은 추를 그대로 자유낙하 시키는 방법과 가이드를 이용하여 추를 낙하시키는 방식이 존재함
  - 자유낙하시키는 것이 실제 자유낙하와 동일한 방식이지만 낙하추의 무게가 커짐에 따라 안전에 문제가 있으며 원하는 낙하지점에 정확히 떨어지지 못하거나 낙하시 추가 평형을 유지하지 못하는 등의 문제의 발생 가능성이 큼
  - 가이드 방식의 경우 약간의 마찰이 발생하지만 실제 기구축된 실험시설의 경우 발생 마찰이 크지 않고 제안 성능이 고사양이기 때문에 안전성과 원활한 실험 수행을 위해 가이드 방식의 채택이 합리적으로 보임
- 실험시설 가이드, 프레임
  - 낙하추를 고정시키기 위해 가이드와 프레임을 설치하게 되는데, 구조 계산을 통한 프레임의 적절한 물량 산출이 필요함. 안전성을 위해서는 프레임의 물량을 늘이는 것이 좋으나 과다 설계할 경우 실험공간이 줄어들고 경제적으로 낭비가 될 가능성이 있으므로 낙하추의 무게와 높이를 통한 발생 충돌에너지 산정과 이를 이용한 구조계산을 통한 정확한 산정이 필요함
  - 가이드의 폭의 적절한 산정이 중요함. 가이드의 폭이 너무 클 경우 낙하추가 원활히 낙하하지 못하고 정지하거나 가이드에 의한 손상을 입어 제대로 된 실험 수행을 하지 못할 수 있음. 또한, 가이드의 폭이 너무 크면 낙하추를 제대로 잡아주지 못할 것임. 따라서, 이를 고려한 적절한 가이드의 폭을 설계하여 실제 실험 수행시 문제가 없도록 세밀한 검토가 필요함
- 안전장치
  - 자유낙하 실험시설의 경우 대용량의 실험이며 충돌체의 무게가 큰 실험이기 때문에 위험도가 높은 실험시설임. 따라서 발생 가능한 위험상황에 대비할 수 있는 안전장치의 설비가 필요함. 낙하추가 중간에 멈추는 경우를 대비해 낙하추를 들어올릴 수 있는 전자석 시스템을 갖추고, 낙하추가 갑자기 떨어지는 경우를 대비해 가이드에 걸릴 수 있도록 2차적 안전장치의 설비가 필요함. 또한, 낙하후에 발생할 수 있는 비산물을 막을 수 있는 그물망과 주변 방어벽 등의 구축이 필요함. 기타 예상치 못한 안전사고를 대비하기 위해 기 구축된 실험시설들에서 사용하는 안전장치에 대해 공부하고 필요한 경우 적용하는 방안도 고려해야 함

○ 실험 수행 계획 수립

- 대형 실험체 충돌 실험

  • 항공기나 항공기의 엔진충돌과 같은 충돌 시나리오를 모사하기 위해서는 축소 모형 실험을 수행한다고 해도 최소 1ton 이상, 2m×2m 이상의 낙하추와 시험체가 필요함. 따라서 자유낙하 실험시설은 이러한 대형 실험체 충돌 실험에 적합하며 큰 충돌에너지를 발생시켜 부재 단위 이상의 실험체의 직접적인 충돌 후 거동에 대한 관측이 가능할 것임

- 자동차의 도로 보호벽 충돌/낙석 충돌 모사 실험

  • 자유낙하 실험시설의 성능으로 자동차, 낙석 충돌에 대한 충돌에너지의 모사가 충분히 가능하며 낙하추의 두부 형상의 교체 등을 통해 정확한 모사가 가능하도록 설계 후 충돌시켜 도로 보호벽의 성능 검토 및 안전성 평가 등의 수행이 가능할 것임

- 크기 효과 검증 실험

  • 부재 단위 이상의 큰 시험체의 크기를 변화시켜 크기에 따라 충돌 저항 성능이나 거동을 비교하여 크기 효과를 정량적으로 검토할 수 있을 것임

중고속충돌실험시설

[표 70] 국내외 중고속충돌실험 연구 동향

	제목	내용
국내	재료의 내충격, 방탄 성능 평가 연구	군사 장비 혹은 안전 장비에 실제 예상되는 충격을 비상체 충돌로 전달하여 충격에 대해 저항할 수 있는 내충격, 방탄 성능에 대한 직접적인 평가 수행
	섬유보강콘크리트의 내충격 성능평가 연구	FRC, TRC 등 다양한 섬유보강콘크리트에 동일한 충격을 전달하여 보강콘크리트가 충격저항에 어느 정도 효과가 있는지 정량적인 분석 수행
	장갑/방탄 소재 개발을 위한 티타늄 합금의 성능 평가 연구	장갑/방탄 소재 개발을 위해 실제 총알, 포탄과 동일한 크기와 속도를 지닌 비상체를 제작하여 충돌 실험을 수행
국외	우주 환경에서 잔해물의 충돌의 모사 연구	소형 발사체를 3km/s 이상의 초고속으로 충돌시켜 우주 잔해물의 모사 실험 수행
	실물 항공기 충돌 실험	미국 Sandia 연구소에서 원전 구조물의 안전성을 평가하기 위해 실제 F4 Phantom 전투기를 실제 속도인 210 m/s로 원전 구조물 벽체 모사 실험체에 충돌시켜 실제 거동 관측
	실물 항공기 엔진 충돌 실험	실물 항공기의 실험이 어렵기 때문에 항공기 내 엔진을 비상체로 사용하여 엔진으로 인한 구조물의 국부적 파괴에 대한 연구를 수행

○ 실험 수행시 고려사항 도출

- 소음 및 진동

  • 중고속충돌은 가스건을 이용한 비상체 발사실험으로 발사와 충돌시 소음이나 진동 발생의 문제가 발생할 수 있음. 따라서 이를 최소화할 수 있는 방안을 모색해야 함.

  • 가스건에서 시험체와 비상체의 충돌은 챔버 내에서 발생시키고 가스건을 고정시키는 프레임을 구축하면 소음, 진동은 최소화되며 실제 사용하고 있는 국방과학연구소에 기술 자문한 결과 실제 소음, 진동의 영향은 크지 않다고 함. 따라서 이를 고려한 적절한 챔버와 프레임의 설계가 필요

함

- 계측 장비 구축
  - 가스건을 이용한 실험은 시험체의 종류와 목적에 따라 계측 장비를 변화시켜야 함.
  - 만약 콘크리트를 시험체로 사용하고, 파괴 메커니즘 관측을 목표로 한다면 일반 고속카메라를 이용하며 발생 분진 때문에 제대로 된 관측이 불가능한 상황이 발생함. 따라서 이러한 경우 X-ray를 이용한 관측장비가 필요함.
  - 또한, 파괴 양상 관측시에도 어느 정도의 Frame 간격이 필요한가에 따라서 구축 계측 장비의 성능을 결정할 수 있음.
  - 따라서 중고속충돌 실험시설을 이용해서 수행할 실험에 대한 계획을 수립하고 특히 중점적으로 수행할 실험을 우선순위로 필요한 계측 장비를 구축하고 배치안 고려해서 실험시설 설계와 설치 시 이를 적용해야 할 필요가 있음

○ 실험 수행 계획 수립

- 항공기, 엔진 충돌 모사 실험
  - 자유낙하 실험시설과 같은 대형 실험체 수행은 횟수에 제한이 있음. 중고속충돌 실험시설은 실험체의 크기의 제한으로 축소율이 큰 축소모형 실험만이 가능하지만 횟수 제한이 비교적 적어 다양한 변수로 다수의 실험을 통해 오차를 줄이고 다양한 변수에 대한 실험결과를 얻을 수 있을 것으로 기대됨
- 재료 성능 검증 실험
  - 복합재료, 고강도 재료나 새로 개발된 재료들에 비상체 충돌 실험을 통해 내충격성이나 방탄 성능을 검증하고 파괴 메커니즘과 같은 실험결과를 재료 개발 연구에 기초 자료로써 사용할 수 있을 것으로 기대됨
- 크기 효과 검증 실험
  - 재료와 작은 부재단위의 크기 변화 실험을 통해 크기 효과에 대한 정량적인 검토 수행이 가능

급속재하실험시설

[표 71] 국내외 급속재하실험 연구 동향

	제목	내용
국내	고변형률속도 하중에서의 재료 거동 관측 실험	차량, 항공기 충돌과 같은 고변형률속도를 재료에 주어 실제 극한상황에서 재료의 특성 변화를 관측 및 재료 모델 도출
국외	변형률속도에 따른 재료 거동 분석 연구	변형률속도에 따라 구조물의 강도, 탄성계수 등의 특성 변화를 관측
	섬유보강콘크리트를 이용한 구조물의 동적하중 재하시 안전성 평가 연구	보강재를 함유한 콘크리트에 일반 콘크리트와 동일한 변형률속도를 가지는 하중을 재하하고, 이 때, 재료 거동의 차이를 통해 섬유보강콘크리트의 충격저항성능에 대한 평가
	고강도 강재의 동적하중 재하시 파괴 거동 관측 연구	차량, 항공기, 구조물 등에서 충돌을 대비해서 사용되는 고강도 강재가 실제의 경우 어느 정도 성능을 보이는지를 고변형률속도 하중을 주어 재료 단위에서 성능검증, 평가
	동적 하중 재하시 시험체 거동의 해석 프로그램을 통한 예측 연구	고변형률속도 하중 재하 실험을 수행 후 해석 프로그램을 이용하여 이와 동일한 경우에 대해 해석을 수행하여 재료 모델 검증 및 도출, 구조물의 동적 해석 프로세스를 도출하는 연구를 수행

○ 실험 수행시 고려사항 도출

- 실험 변수 설정
  - 급속재하 실험시설은 재하 하중의 크기와 구현 하중 속도가 주요한 성능이며 이는 실험 수행에서도 중요한 변수로 작용됨. 기술의 한계로 인해 하중과 속도의 크기를 동시에 증가시키는 것은 불가능함.
  - 따라서 실험이 필요한 적절한 변수의 설정범위를 결정하여 성능을 결정하는 것이 중요함.
  - 기존 실험사례와 발생 가능한 충돌 시나리오에 대한 연구를 통해 변형률 속도 20/s~100/s의 구현이 가장 실험이 필요한 하중 속도 영역이며 하중 크기의 경우 재료 단위의 실험을 고려하여 20 ton 이상 수준이 필요함.
  - 하지만 이러한 변수는 특히 재료와 시편의 종류에 따라 변화하기 때문에 추후에도 계속해서 추가 연구를 통해 최적의 변수 설정에 대한 안을 만들어나갈 필요가 있음

○ 실험 수행 계획 수립

- 높은 수준의 고변형률속도 하중 재하 실험
  - 재료 단위의 고변형률속도 실험은 장비의 성능 제한 등의 이유로 대부분 100/s 이하에서 수행되어왔기 때문에 그 이상의 영역에서의 실험이 미비하였음. 따라서 높은 수준의 고변형률속도 하중 재하 실험을 통해 연구가 필요한 영역에 대한 실험을 통해 재료의 정확한 특성의 도출이 가능할 것임
- 변형률속도에 따른 재료의 특성 변화 관측 및 모델 도출
  - 변형률속도에 따라 재료의 성질은 달라지며 이는 충돌하중에 대한 저항능력에 영향을 미치기 때문에 이에 대한 연구가 필요함. 높은 수준의 변형률속도가 가능함에 따라 다양한 범위의 변형률속도 하중 재하를 통해 현재 제안된 재료 모델의 검증과 새로운 모델의 도출 등이 가능할 것임
- 크기 효과 검증 실험
  - 재료 단위의 시험체의 크기를 변화시키며 충돌 저항 성능이나 거동을 비교하여 크기 효과를 정량적으로 검토할 수 있을 것임

극한온도실험시설

[표 72] 국내외 극한온도실험 연구동향

	제목	내용
국내	동토지반 특성 관측 실험	저온 챔버를 이용하여 동토지반 특성 관련연구로 동상, 동결 등에 대한 실험 수행
	콘크리트의 온도이력에 따른 역학적 성질 변화 관측 실험	저온을 경험한 콘크리트의 변화된 역학적 성질을 측정하여 저온 온도이력에 따른 압축강도, 탄성계수 등 역학적 성질의 변화에 대한 연구 수행
	원자로 격납건물의 온도하중 대비 안전성 평가 연구	원전구조물 내부에서 고온을 모사해 고온 온도하중이 원전구조물 안전성에 미치는 영향에 대해 실험을 통한 분석 연구 수행
국외	콘크리트의 온도 응답모델 제안 및 검증 연구	다양한 온도 범위에서 콘크리트의 응답을 관측하여 제안된 콘크리트의 온도 응답 모델을 검증하고 실험 결과를 바탕으로 새로운 온도 응답 모델 제시 연구 수행
	지반의 동상 가능성 평가 연구	저온 챔버를 이용하여 특정 지반 환경의 동상 가능성에 대한 평가 수행

○ 실험 수행시 고려사항 도출

- 온도 설정 범위

  • 극한온도 실험시설에서 시험체 모든 부분에서 동일한 설정 온도가 나타나기 위해서는 많은 시간과 비용이 소비됨. 따라서 실험에 사용되는 시험체의 재료 종류와 목적을 고려한 합리적인 온도 범위 설정이 필요함.

  • 만약 전체의 온도거동이 아닌 위험단면과 같은 특정 부위의 관측만이 필요하다면 전체가 아닌 특정 부위의 온도가 가장 먼저 목표 온도에 도달할 수 있도록 하거나 그 부분에서 원하는 목표 온도를 얻으면 나머지 부분과 상관없이 실험을 다음 단계로 넘어가는 등의 방법이 필요함.

  • 이러한 방안은 실제 온도 챔버를 가용시켜 실험한 타 연구기관이나 기존 연구 등을 참고로 하여 좀 더 구체적으로 구상할 필요가 있음

○ 실험 수행 계획 수립

- 극지 건설 관련 연구

  • 국내의 장보고 기지 등 극지 연구에 대한 관심과 수요가 증대되면서 극지 건설 관련 기술 관련 연구가 필요함

  • 극지에서 사용될 얼음활주로나 동토 밑에 파이프라인 건설 등에 대한 기술 개발 및 검증을 위해 극저온에서의 구조물 거동 실험이나 목표 성능 검증 실험 등이 가능할 것임

- 심해 파이프라인 관련 연구

  • 심해 파이프라인은 높은 압력과 동시에 심해의 극저온을 경험하게 됨. 이러한 극저온 이력을 온도 챔버를 이요해서 줌으로써 이를 시뮬레이션하고 온도 이력에 따른 재료의 거동, 파괴 관측을 통해 성능 평가 및 재료 개발 연구의 수행이 가능할 것임

- 동토지반 관련 실험

  • 지반이 동결될 시 동결토의 부피팽창 등으로 인한 여러 문제점이 야기됨. 이를 해결하기 위한해 동결토의 역학적인 특성, 동상가능성 평가와 관련된 실험을 저온 챔버를 사용하여 수행 가능함. 또한, 나아가 동토지반에서의 구조물의 거동에 대한 실험 수행도 UTM과 온도챔버를 연계활용하여 수행할 수 있을 것임

(4) 전문가 및 장비전문업체 기술자문

[표 73] 전문가 및 장비전문업체 기술자문 이력

No.	구분	날짜	자문기관	주요 자문내용
1	건축	2014.06.24.	국내대형실험시설 실무자	장비운영 관련 건축공사시 반영 필요사항
2		2014.10.27.	하이브리드구조실험센터	반력구조물 설계 방향
3		2014.12.05.	국토교통연구인프라운영원	실시설계(중간단계) 변경사항
4		2015.02.13.	국토교통연구인프라운영원	실시설계 변경사항
5		2015.03.03.	국토교통연구인프라운영원	실시설계(최종단계) 변경사항
6		2016.03.30.	포스코 글로벌R&D센터	반력구조물 시공 방법
7		2016.06.01.	VSL Korea	반력구조물 시공 계획
8		2016.07.27., 2016.09.06.	건설환경종합연구소 자문위원단	건축공사 개선사항
9		2016.10.04.	철도기술연구원	운영시 필요한 부대장비, 편의시설, 안전시설물
10		2016.11.09.	국토교통연구인프라운영원	KREONET망/원격카메라 설치/운영
11		2017.01.12.	현대건설, TM E&C	실험시설 효율성 제고를 위한 건축물 개선점
12	장비	2014.02.10.	국방과학연구소	가스건 원리, 발주시 고려사항
13		2014.07.24.~26.	국방과학연구소	가스건 설치 관련 건축공사시 반영필요 사항
14		2015.06.01.~03.	지진방재연구센터	대형 실험센터 운영관리 노하우
15		2015.07.01.~02.	퍼듀대학교 BOWEN 실험센터	홉킨슨바 필요 요구성능 실험시설 운영시 안전 및 스케줄 관리
16		2015.07.02.~04.	European Laboratory for Structural Assessment	유압장비에 대한 세부 성능
17		2016.01.21	국방과학연구소	가스건 요구성능 및 건축공사시 반영필요 사항
18		2016.05.10.	한국건설기술연구원	온도챔버 구축시 요구성능 및 과업지시서 작성
19		2016.06.14.	일본토목연구소 (CERI for cold region)	온도챔버 및 구조실험장비 구축 및 운영현황
20		2016.08.11.	국토교통연구인프라운영원	운영단계 중점 고려사항
21		2016.10.13.	철도기술연구원	반력구조물, 로딩프레임 운영현황
22		2017.10.12.	한국건설기술연구원	실험시설 교육, 장비 운영, 유지보수 관련 사항 / 가스건, SHPB 장비의 개선방향 및 활용방안
23		2018.01~03	삼성물산	극한하중의 종류 및 폭발하중의 산정 방법 / 극한하중에 대한 설계 방법 등

① 국방과학연구소 및 장비전문업체 자문을 통한 건축시설, 장비 구축시 고려사항 도출

[표 74] 가스건 구축 관련 주요 자문내용

검토 항목	주요 자문 내용
제안된 공간의 크기는 적절한가?	• 배치안에서 가스건을 설치하는 것은 큰 문제는 없음
배치안에서 각 장비의 배치가 적절한가?	• 중, 고속 가스건과 벽체간 간격이 좁음 • 중속과 고속 가스건간의 간격을 줄여서 보행동선 확보 • 중속과 고속 가스건의 타켓탱크 위치를 서로 반대로 배치시켜서 타켓탱크 주변의 작업공간 확보
컨트롤실 위치는 적절한가?	• 컨트롤실이 가스건실 중간 부분에 위치하는 것이 효율적 • 컨트롤실의 사이즈 또한 적절함
배치안에서 설치를 위한 장비 출입구의 크기가 적당한가?	• 장비 국산 도입시 컨테이너(W2.4m, L6m)에 부품을 넣어서 들여옴 • 최대 부품길이가 6m이기 때문에 장비 출입구 크기는 적당
각 장비를 활용을 위해 건물에서 제공해야 할 부대장치가 있는가?	• Air cooling 시스템을 사용하기 때문에 물은 필요하지 않음
견적을 줄 당시 에어 콤프레셔 가격이 포함되었는가?	• 에어 콤프레셔 장비는 기본장비로 견적에 포함되어 있음
에어 콤프레셔 시스템을 3종의 가스건에 적용했을 경우 에어 콤프레셔실의 적정 사이즈?	• 중속의 경우 콤프레셔 추가 설치가 필요함 • 콤프레셔 전기용량은 고속, 중속이 각각 12KW, 23KW 정도임 • 에어 콤프레셔는 가스 충전, 챔버 내 진공화 할 때 쓰임
초고속가스건에서 7km/s 속도를 위해 사용하는 가스의 종류는?	• 7km/s의 속도를 구현하기 위해서는 수소를 사용함 • 헬륨을 이용할 시 최대 6km/s 까지 가능함
최대 충격력으로 발사 했을 때 1.5m X 1.5m 시편에 필요한 타켓 탱크의 필요 사이즈 및 추가비용은 얼마나?	• 타켓탱크의 최소 직경은 2.12m임 • 시편의 최대 두께는 서울대에서 결정 후 PAI(대주)에 전달하기로 함 • 시편탱크에 대한 견적과 도면을 요청함
타켓 탱크는 PAI사에서 설계를 하는가? 아니면 서울대에서 설계해야 하는가?	• 타켓 탱크는 PAI에서 설계를 함 • 마운트 설계도 PAI에서 함 • 타켓 탱크는 카메라 장착을 위해 설계를 잘해야 함
중속 가스건 발사시 충격에 대한 대비는?	• 타켓 탱크에 댐퍼가 설치되고, 앞뒤로 움직이며 충격량 흡수함
성능검증은 어떻게 실시하나?	• 이론적으로 구한 Performance curve를 제공함 • 한국으로 납품 후 5회 정도 Performance curve에 대한 검증실험을 수행함. 검증실험을 통과하지 못할 경우 검수를 불가할 수 있음
오버헤드 크레인의 용량 및 배치의 적정성	• 용량 및 배치는 적절함
기타	• 가스건 설계시 SI 단위계(m단위)로 할 필요가 있음 • 중속 가스건의 경우 프랑스, 미국, 러시아에 납품한 실적이 있음 • PAI사의 납품실적을 제공받기로 함 • 파이프라인을 통한 가스 충전도 고려해 볼 수 있음 • 가스건실 내부 단열재 사용을 고려할 필요가 있음

② 2015.06.01.~03. 부산대학교 지진방재연구센터 방문 및 자문

○ 주요 자문 내용

- 대형 실험센터의 운영 및 관리 노하우 확인
- 실제 실험수행 견학을 통한 센터 활용 견학
- 실험센터 내 실험장비에 대한 성능 검토 및 자문
- 실험센터 내 시설 및 장비 견학



[그림 149] 지진방재연구센터 방문

③ 2015.07.01.~02. 미국 퍼듀대 BOWEN 실험센터 방문 및 자문

○ 대형구조실험시설을 구축하여 운영하고 있는 퍼듀대 실험시설 견학 및 자문/검토를 수행함

○ 홉킨슨바 관련 기술자문

- Incident bar 및 striker의 강성과 길이 관련
- Strain 파형 및 pulse shaper 관련
- Alignment setting 관련

○ 실험시설 운영 관련 내용 자문

- 실험시설 공간별 스케줄 관리, 실험시설 운영시 안전 관리



[그림 150] BOWEN 실험센터 방문

④ 2015.06.24. 국방과학연구소 방문 및 PAI사 세미나 참석

- ○ 장 소 : 국방과학연구소
- ○ 미국 PAI사의 David의 가스건 관련 세미나 참석
- ○ 세미나 내용
  - 가스건의 종류 및 원리
  - 가스건 각 종류별 장단점과 사용 범위
  - 기타 가스건 사용에 대한 질문 및 토의

⑤ 2016.07.02.~04. ELSA(European Laboratory for Structural Assessment) 방문 및 자문

- ○ 세계 최대 규모의 실험시설인 ELSA는 실험센터 구축시 벤치마킹할 수 있는 시설중 하나임
- ○ 실험센터 구축 시 고려사항에 대한 아이디어와 실험시설의 구축 및 운영에 대한 자문, 의견을 얻음
- ○ ELSA에 구축된 홉킨슨바, 유압장비에 대한 세부 성능자료를 서울대로 전달해 주기로 함
- ○ 쌍방간의 국제워크샵에 참여함으로써 실험센터에 대한 홍보를 수행
- ○ 향후 적절한 시기에 보다 긴밀한 협력을 통해 실험시설의 내실을 기하기로 네트워크 구축



[그림 151] ELSA 방문

⑥ 2016.08.11. 운영단계 중점사항 검토를 위한 국토교통연구인프라운영원 자문

○ 장　　소 : 국토교통연구인프라운영원(경기도 용인시)

○ 자문위원 : 정대성, 박세현, 김성덕(국토교통연구인프라운영원), 한종욱(하이브리드구조실험센터)

[표 75] 주요 자문 내용

검토 항목	주요 자문 내용
운영단계 재정분리	• 운영단계시 재정적으로 분리되어 있는 것이 센터 운영시 효율적임. 즉 센터 내에 수익을 적립할 수 있는 별도의 계좌가 마련이 되어야 함(정대성)
운영 수익에 대한 분배 기준	• 공유사용시간 70%, 자체사용시간 30% 비율로 사용하도록 규정되어 있음. 1단계 유치기관의 경우 전체적으로 봤을 때 이 비율은 유지되고 있는 실정임(정대성) • 운영원 계약을 통해 실험을 진행할 경우 계약금의 20%는 운영원 간접비로 지출이 됨. 단 위탁실험의 경우 제외됨(정대성) • 1단계 유치기관 센터장과 운영원과의 협의 사항으로는 운영원에 기본 납부하는 간접비는 년 2500만원이며, 2500만원 초과시 초과된 간접비의 60%는 센터에 환급을 하기로 하였음(정대성)
운영 초기 단계시 실험시설의 품질에 대한 신뢰도 제고	• 서울대의 경우 장비의 종류와 수량이 많기 때문에 각 장비의 신뢰도를 높이기 위해서는 가장 먼저 각 장비를 담당할 인력이 확보되었느냐가 가장 중요함(한종욱) • 실험장비는 장비운영 담당자가 부재시에도 실험이 가능하도록 장비운영 인력간 교차 및 중복되게 장비를 담당/관리 하여야 함(한종욱)
센서의 검교정 방법	• KOLAS 인증을 도입한 센터의 경우 정기적으로 센서의 검교정을 수행하고 있으며, 인증에서 요구하는 검교정을 진행하여야 인증을 유지할 수 있음(정대성) • 인증과는 별도로 국내에 공인된 검교정 기관들을 이용하여 수행할 수 있음(한종욱)
운영 인력 현황	• 하이브리드센터의 경우 연구교수 2인, 행정(센터 지원 1인, 학교 지원 1인), 연구원 1인, 테크니션 1인, 기술원 1인으로 구성됨(김성덕) • 하이브리드센터의 경우 장비가 UTM과 액츄에이터 2종류이기 때문에 실제 장비 운영을 위한 인력은 2인이며, 추가로 보조 인력 1인을 활용하고 있음(정대성, 한종욱) • 시험체의 셋팅이나 해체시에는 별도 외주 업체를 통해 수행하고 있음(한종욱)
운영원의 실험시설 통합운영관리 시스템 수립 계획	• 올해 하반기에 계획을 잡고, 내년 상반기에 수립할 계획임(정대성) • 진흥원에서 요구한 사항으로는 2단계 유치기관과 워크샵을 개최하여, 미래부 장비심의대응, 장비구축, 운영단계에 대한 전반적인 사항을 검토할 수 있는 기회를 갖도록 하였으며, 운영원에서는 9월경에 워크샵 개최를 고려하고 있음(정대성) • 10월 토목학회 센터 소개 세션과 별도로 하루 전에 별도 회의실에서 운영관리에 대해 실무진들의 협의를 진행할 계획임(김성덕) • 운영원에서는 “국토교통실험시설 실험서비스 가이드”를 마련하여 견적에서 정산까지의 체계적인 업무프로세스를 마련할 계획임(박세현) • 업무가이드에는 장비등록에서 처분까지의 내용이 포함되며, 장비 운영을 통해 파생되는 성과를 체계적으로 관리할 수 있는 체계를 마련할 예정이며, 금년 10월에 각 센터에 배포 예정임(박세현)
장비 사용료 산정 관련	• 장비사용료 산정시 건축물의 공사비용도 포함하여 산정하는가? 반력상, 반력벽에 대해서도 장비사용료 산정시 적용하는가?(서울대)

검토 항목	주요 자문 내용
	• 하이브리드센터의 경우 반력상, 반력벽은 장비사용료 산정시 반영하고 있음(한종욱) • 서울대의 가스건실이 별도의 안전시스템, 장비사용 관련 시스템이 구축되어 있다면, 가스건실 전체를 하나의 챔버 개념으로 잡고 해당 실의 건축공사 비용 또한 시험비용에 산정할 수 도 있음. 하지만, 건축비용을 시험비용에 반영할지 여부는 센터의 운영 철학이기 때문에 서울대에서 잘 판단하여야 함(한종욱)
안전 교육 관련	• 실험 장비 운영시 외부인력을 활용할 때에는 반드시 안전교육을 시행하고, 외부인으로부터 작업안전 서약서를 받아야 함(한종욱) • 외부 실험 참관인들까지는 작업안전 서약서를 받을 필요는 없음(한종욱)

⑦ 2017.10.12. 유사 실험시설·장비 운영 실무진을 통한 운영관리 관련 자문

○ 자문위원 : 문재흠 박사 (한국건설기술연구원)

○ 주요 자문내용

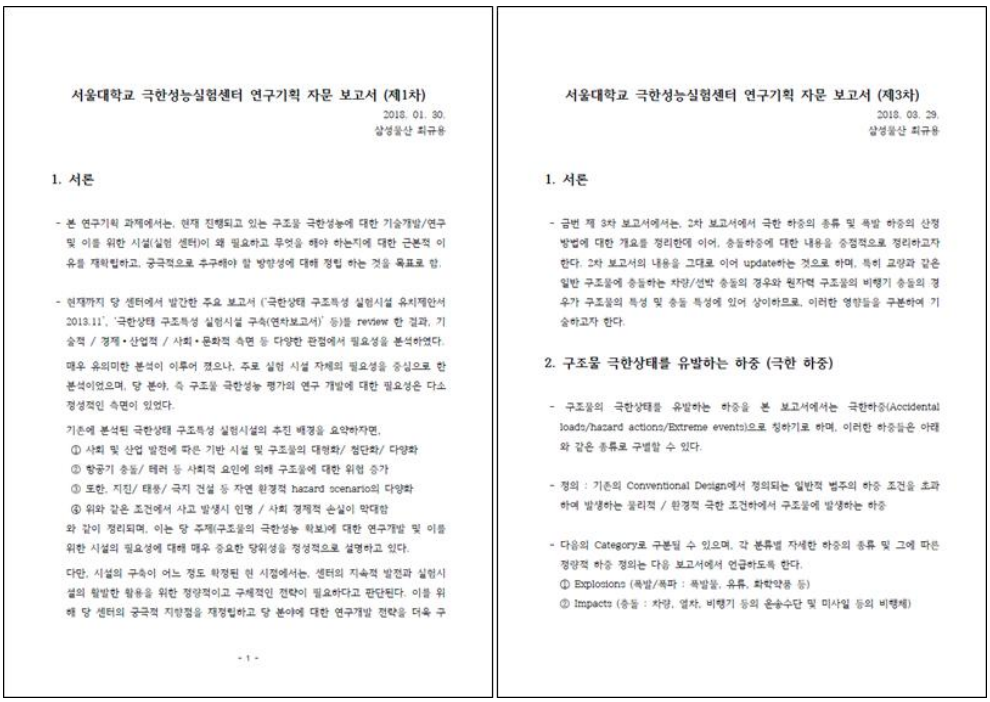
- 실험시설 교육활동, 장비 가동, 유지보수 등의 관련 자문
- 가스건, SHPB 장비의 개선방향 및 활용 방안
- 극한공학 분야 협력연구방안



[그림 152] 한국건설기술연구원 문재흠 박사 자문회의

⑧ 2018.01~2018.03 건설부분 전문가 초청을 통한 운영단계 연구기획 장기 자문

- 자문위원 : 최규용 박사 (삼성물산)
- 자문기간 : 3개월 (자문기간 중 센터 내에 상주)
- 주요 자문내용
  - 극한하중의 종류 및 폭발하중의 산정 방법
  - 충격하중의 물리적 모델링 방법
  - 극한하중에 대한 설계 방법



서울대학교 극한성능실험센터 연구기획 자문 보고서 (제1차)

2018. 01. 30.
삼성물산 최규용

1. 서론

- 본 연구기획 과제에서는, 현재 진행되고 있는 구조물 극한성능에 대한 기술개발/연구 및 이를 위한 시설(실험 센터)이 왜 필요하고 무엇을 해야 하는지에 대한 근본적 이유를 재확립하고, 궁극적으로 추구해야 할 방향성에 대해 정립 하는 것을 목표로 함.

- 현재까지 당 센터에서 발간한 주요 보고서 ('극한상태 구조특성 실험시설 유지제안서 2013.11', '극한상태 구조특성 실험시설 구축(연차보고서)' 등)를 review 한 결과, 기술적 / 경제·산업적 / 사회·문화적 측면 등 다양한 관점에서 필요성을 분석하였다.

매우 유의미한 분석이 이루어 졌으나, 주로 실험 시설 자체의 필요성을 중심으로 한 분석이었으며, 당 본야, 즉 구조물 극한성능 평가의 연구 개발에 대한 필요성은 다소 정성적인 측면이 있었다.

기존에 분석된 극한상태 구조특성 실험시설의 추진 배경을 요약하자면,
① 사회 및 산업 발전에 따른 기반 시설 및 구조물의 대형화/ 첨단화/ 다양화
② 항공기 충돌/ 테러 등 사회적 요인에 의해 구조물에 대한 위협 증가
③ 또한, 지진/ 태풍/ 국지 건설 등 자연 환경적 hazard scenario의 다양화
④ 위와 같은 조건에서 사고 발생시 인명 / 사회 경제적 손실이 막대함
와 같이 정리되며, 이는 당 주제(구조물의 극한성능 확보)에 대한 연구개발 및 이를 위한 시설의 필요성에 대해 매우 중요한 당위성을 정성적으로 설명하고 있다.

다만, 시설의 구축이 어느 정도 확정된 현 시점에서는, 센터의 지속적 발전과 실험시설의 활발한 활용을 위한 정량적이고 구체적인 전략이 필요하다고 판단된다. 이를 위해 당 센터의 궁극적 지향점을 재정립하고 당 분야에 대한 연구개발 전략을 더욱 구

- 1 -

서울대학교 극한성능실험센터 연구기획 자문 보고서 (제3차)

2018. 03. 29.
삼성물산 최규용

1. 서론

- 금번 제 3차 보고서에서는, 2차 보고서에서 극한 하중의 종류 및 폭발 하중의 산정 방법에 대한 개요를 정리한데 이어, 충돌하중에 대한 내용을 중점적으로 정리하고자 한다. 2차 보고서의 내용을 그대로 이어 update하는 것으로 하며, 특히 교량과 같은 일반 구조물에 충돌하는 차량/선박 충돌의 경우와 원자력 구조물의 비행기 충돌의 경우가 구조물의 특성 및 충돌 특성에 있어 상이하므로, 이러한 영향들을 구분하여 기술하고자 한다.

2. 구조물 극한상태를 유발하는 하중 (극한 하중)

- 구조물의 극한상태를 유발하는 하중을 본 보고서에서는 극한하중(Accidental loads/hazard actions/Extreme events)으로 칭하기로 하며, 이러한 하중들은 아래와 같은 종류로 구별할 수 있다.

- 정의 : 기존의 Conventional Design에서 정의되는 일반적 범주의 하중 조건을 초과하여 발생하는 물리적 / 환경적 극한 조건하에서 구조물에 발생하는 하중

- 다음의 Category로 구분될 수 있으며, 각 분류별 자세한 하중의 종류 및 그에 따른 정량적 하중 정의는 다음 보고서에서 연급하도록 한다.
① Explosions (폭발/폭파 : 폭발물, 유류, 화학약품 등)
② Impacts (충돌 : 차량, 열차, 비행기 등의 운송수단 및 미사일 등의 비행체)

[그림 153] 삼성물산 최규용 박사 자문보고서

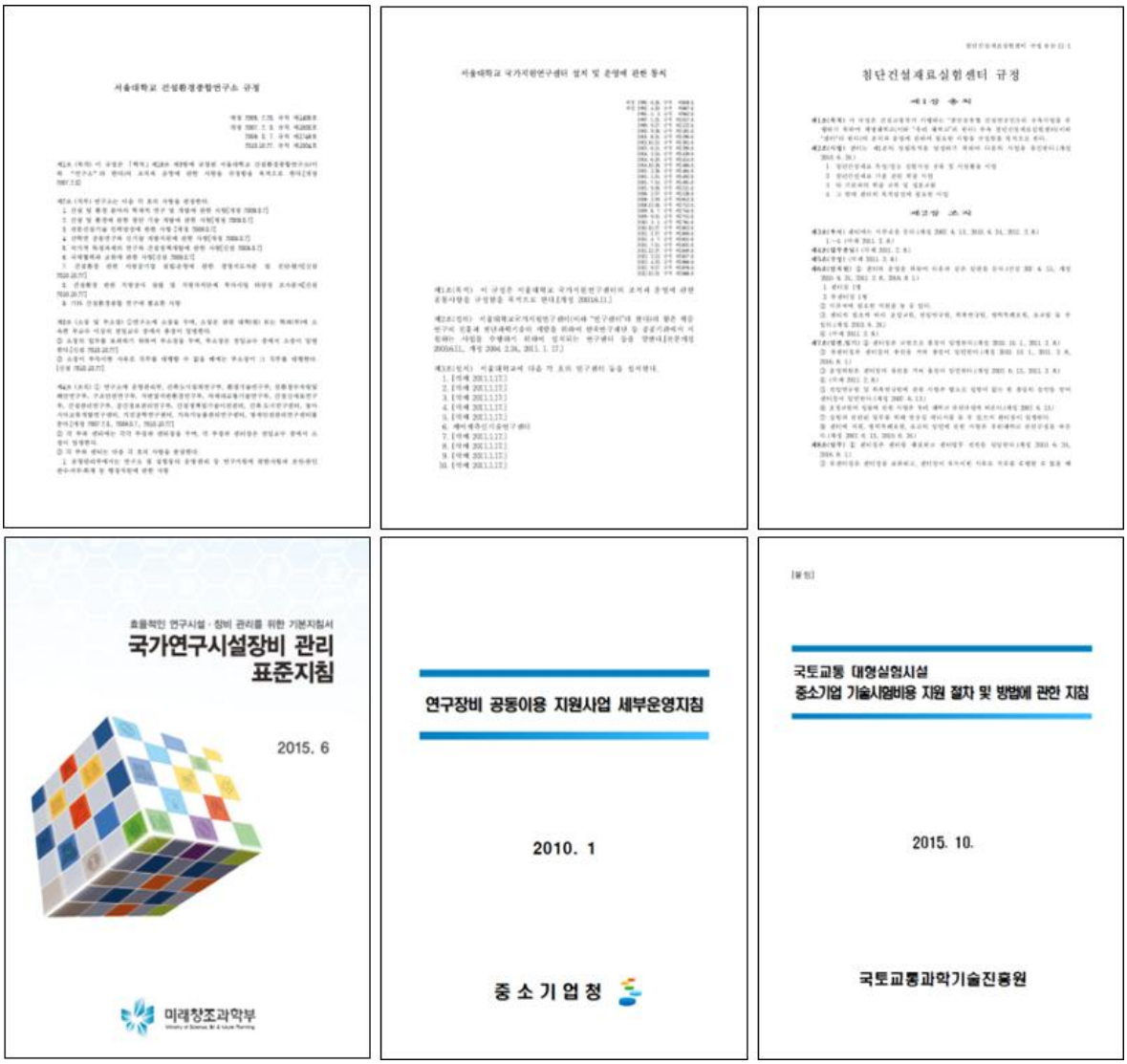


[그림 154] 2018.05.14. 최규용 박사 자문회의

(5) 실험시설 운영 규정 작성 연구

○ 건설환경종합연구소 자체 기획과제 : 유관기관 운영 관련 자료 수집 및 분석

- 교량설계핵심기술연구단 운영 규정
- 서울대학교 건설환경종합연구소 운영 규정
- 서울대학교 국가지원연구센터 설치 및 운영에 관한 통칙
- 첨단건설재료실험센터 운영 규정 / 경상운영비 규정
- 하이브리드구조실험센터, 대형풍동실험센터, 해안항만실험센터 운영 규정
- 지진방재연구센터 복무 규정 / 위임전결 규정 / 취업 규칙
- 분산공유형 건설연구인프라구축사업 운영지침
- 국가연구시설장비 관리 표준지침(미래창조과학부)
- 연구장비 공동이용 지원사업 세부운영지침(중소기업청)
- 국토교통 대형실험시설 중소기업 기술시험비용 지원 절차 및 방법에 관한 지침(KAIA)



[그림 155] 유관기관 운영 관련 자료

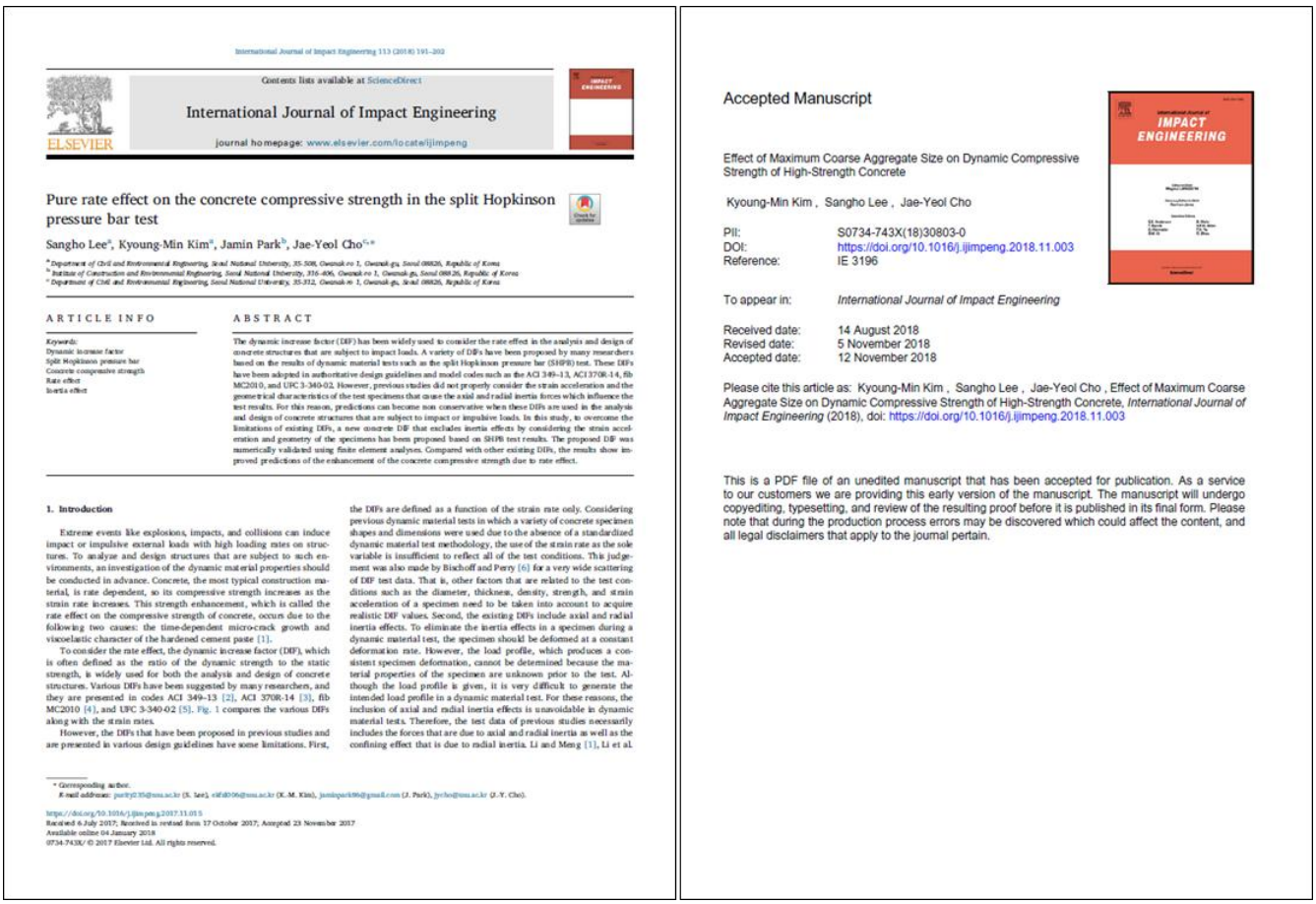
(6) 주요 실험시설/장비의 신뢰성 확보 및 활용방안 연구

(가) 해석 및 실험 연구결과 학술논문 개제 및 발표

○ 해석 및 실험 연구를 통해 각 장비의 신뢰성 확보를 위한 실험기법 및 활용방안을 연구하였으며, 연구결과에 대해 국내외 다양한 학술지 및 학술대회에서 연구 성과를 발표함

[표 76] 학술논문 및 학술발표 이력

No.	발표일/개제일	논문명	학술대회/학술지명	국내외 구분
1	2015.06.30.	Validation of Dynamic Increase Factors in Structural Design	PROTECT 2015	국외
2	2015.10.22.	철근 위치에 따른 충격하중에서의 RC 슬래브의 거동	한국콘크리트학회 2015 가을학술대회	국내
3	2015.11.13.	철근비에 따른 충격하중에서의 RC 슬래브의 거동	한국교량및구조공학회 기술 컨퍼런스	국내
4	2016.05.09.	Validation of Dynamic Increase Factors in Structural Design Codes	IABSE Conference Guangzhou	국외
5	2016.08.30.	Reinforcement concrete behaviour subjected to impact loading	IABSE Conference Guangzhou	국외
6	2016.05.12.	충격하중을 받는 RC 슬래브의 해석적 연구	한국콘크리트 2016 학술대회	국내
7	2016.08.30.	Reinforcement concrete behaviour subjected to impact loading	11th FIB International PhD Symposium	국외
8	2016.10.19.	충격하중을 받는 RC보 거동에 관한 해석적 연구	대한토목학회 2016 정기학술대회	국내
9	2016.10.19.	콘크리트 SHPB 시험에서의 입사 응력파에 대한 펄스쉐이퍼의 영향	대한토목학회 2016 정기학술대회	국내
10	2016.11.03.	DIF를 고려한 충격하중을 받는 RC보 거동에 관한 해석적 연구	한국콘크리트학회 2016 가을학술대회	국내
11	2016.11.03.	콘크리트 SHPB 시험 적용을 위한 입사 응력파의 해석적 연구	한국콘크리트학회 2016 가을학술대회	국내
12	2016.11.10.	충격하중 재하시 RC 보의 거동에 대한 변수 해석 연구	한국교량및구조공학회 기술컨퍼런스	국내
13	2016.11.10.	높은 변형률 속도에서의 콘크리트 압축강도의 동적증가계수에 대한 검토	한국교량및구조공학회 기술컨퍼런스	국내
14	2017.05.12.	충격하중 재하시 RC 보 거동에 대한 기존 경험식 검증을 위한 해석 연구	한국콘크리트학회 2017 봄학술대회	국내
15	2017.05.12.	순수 변형속도 효과에 의한 콘크리트 압축강도 동적증가계수 제안	한국콘크리트학회 2017 봄학술대회	국내
16	2017.08.23.	Pure Rate Effect on Compressive Strength of Concrete	2017 Euro-Asia Civil Engineering Forum	국외
17	2017.11.02.	콘크리트 압축강도의 동적증가계수에 대한 제안 및 검증	한국콘크리트학회 2017 가을학술대회	국내
18	2017.11.23.	Pure rate effect on the concrete compressive strength in the split Hopkinson pressure bar test	International Journal of Impact Engineering	국외
19	2017.12.11.	Investigation into Pure Rate Effect on Dynamic Increase Factor for Concrete Compressive Strength	PROTECT 2017	국외
20	2018.11.12.	Effect of Maximum Coarse Aggregate Size on Dynamic Compressive Strength of High-Strength Concrete	International Journal of Impact Engineering	국외



International Journal of Impact Engineering 113 (2018) 191–202

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Impact Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijimpeng

Pure rate effect on the concrete compressive strength in the split Hopkinson pressure bar test

Sangho Lee[a], Kyoung-Min Kim[a], Jamin Park[b], Jae-Yeol Cho[c,*]

[a] Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, 35-508, Gwanak-ro 1, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea
[b] Institute of Construction and Environmental Engineering, Seoul National University, 316-406, Gwanak-ro 1, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea
[c] Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, 35-312, Gwanak-ro 1, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Keywords:
Dynamic increase factor
Split Hopkinson pressure bar
Concrete compressive strength
Rate effect
Inertia effect

ABSTRACT

The dynamic increase factor (DIF) has been widely used to consider the rate effect in the analysis and design of concrete structures that are subject to impact loads. A variety of DIFs have been proposed by many researchers based on the results of dynamic material tests such as the split Hopkinson pressure bar (SHPB) test. These DIFs have been adopted in authoritative design guidelines and model codes such as the ACI 349-13, ACI 370R-14, fib MC2010, and UFC 3-340-02. However, previous studies did not properly consider the strain acceleration and the geometrical characteristics of the test specimens that cause the axial and radial inertia forces which influence the test results. For this reason, predictions can become non conservative when these DIFs are used in the analysis and design of concrete structures that are subject to impact or impulsive loads. In this study, to overcome the limitations of existing DIFs, a new concrete DIF that excludes inertia effects by considering the strain acceleration and geometry of the specimens has been proposed based on SHPB test results. The proposed DIF was numerically validated using finite element analyses. Compared with other existing DIFs, the results show improved predictions of the enhancement of the concrete compressive strength due to rate effect.

1. Introduction

Extreme events like explosions, impacts, and collisions can induce impact or impulsive external loads with high loading rates on structures. To analyze and design structures that are subject to such environments, an investigation of the dynamic material properties should be conducted in advance. Concrete, the most typical construction material, is rate dependent, so its compressive strength increases as the strain rate increases. This strength enhancement, which is called the rate effect on the compressive strength of concrete, occurs due to the following two causes: the time-dependent micro-crack growth and viscoelastic character of the hardened cement paste [1].

To consider the rate effect, the dynamic increase factor (DIF), which is often defined as the ratio of the dynamic strength to the static strength, is widely used for both the analysis and design of concrete structures. Various DIFs have been suggested by many researchers, and they are presented in codes ACI 349-13 [2], ACI 370R-14 [3], fib MC2010 [4], and UFC 3-340-02 [5]. Fig. 1 compares the various DIFs along with the strain rates.

However, the DIFs that have been proposed in previous studies and are presented in various design guidelines have some limitations. First, the DIFs are defined as a function of the strain rate only. Considering previous dynamic material tests in which a variety of concrete specimen shapes and dimensions were used due to the absence of a standardized dynamic material test methodology, the use of the strain rate as the sole variable is insufficient to reflect all of the test conditions. This judgement was also made by Bischoff and Perry [6] for a very wide scattering of DIF test data. That is, other factors that are related to the test conditions such as the diameter, thickness, density, strength, and strain acceleration of a specimen need to be taken into account to acquire realistic DIF values. Second, the existing DIFs include axial and radial inertia effects. To eliminate the inertia effects in a specimen during a dynamic material test, the specimen should be deformed at a constant deformation rate. However, the load profile, which produces a consistent specimen deformation, cannot be determined because the material properties of the specimen are unknown prior to the test. Although the load profile is given, it is very difficult to generate the intended load profile in a dynamic material test. For these reasons, the inclusion of axial and radial inertia effects is unavoidable in dynamic material tests. Therefore, the test data of previous studies necessarily includes the forces that are due to axial and radial inertia as well as the confining effect that is due to radial inertia. Li and Meng [1], Li et al.

* Corresponding author.
E-mail addresses: parti@35@snu.ac.kr (S. Lee), ckfd006@snu.ac.kr (K.-M. Kim), jaminpark86@gmail.com (J. Park), jycho@snu.ac.kr (J.-Y. Cho).

https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2017.11.015
Received 6 July 2017; Received in revised form 17 October 2017; Accepted 23 November 2017
Available online 04 January 2018
0734-743X/© 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Accepted Manuscript

Effect of Maximum Coarse Aggregate Size on Dynamic Compressive Strength of High-Strength Concrete

Kyoung-Min Kim , Sangho Lee , Jae-Yeol Cho

PII: S0734-743X(18)30803-0
DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2018.11.003
Reference: IE 3196

To appear in: *International Journal of Impact Engineering*

Received date: 14 August 2018
Revised date: 5 November 2018
Accepted date: 12 November 2018

Please cite this article as: Kyoung-Min Kim , Sangho Lee , Jae-Yeol Cho , Effect of Maximum Coarse Aggregate Size on Dynamic Compressive Strength of High-Strength Concrete, *International Journal of Impact Engineering* (2018), doi: https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2018.11.003

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

[그림 156] International Journal of Impact Engineering 논문 개제 2건



[그림 157] PROTECT2015 학회 참석 및 논문 발표

(나) 정부 부처의 예정과제 대한 구체적 연계 방안 제시

○ 극한상태 구조특성 실험시설 구축완료 단계(2017) 및 운영 단계(2018~) 초기에 실험시설을 활용한 극한공학분야 실험기법 개발을 위하여 자체/공동 수행과제 제안을 추진함

○ 자체 수행과제를 통하여 실험시설의 초기 안정화 및 수요 창출을 도모함

① 과제명: 고속가스건 시험체 고정 지그에 관한 충돌 해석기술

과제 개요
○ 지원기관 : 중소벤처기업부 ○ 사 업 명 : 맞춤형 기술파트너 지원사업 ○ 과 제 명 : 고속가스건 시험체 고정 지그에 관한 충돌 해석기술 ○ 과제기간 : 2018.11 ~ 2019.3 ○ 사 업 비 : 4천만원 (간접비 포함)
주요 내용
○ 고속충돌시험 시 최적화 설계된 시험체 고정지그의 필요성 • 기존 고속충돌시험 시 사용되는 시험체 고정 지그는 경험적으로 설계 및 제작되고 있음 • 이에 따라 기존 설계 방식을 따라 제작된 고정 지그를 사용할 경우 충돌시험 시 변형이 발생하여 충돌시험의 신뢰도를 떨어뜨릴 수 있는 문제가 있거나, 비경제적으로 설계 및 제작될 수 있는 여지가 있음 • 본 과업에서는 해당 문제점을 해결하여 고속충돌시험에 최적화된 시험체 고정 지그를 설계 및 제작, 검증 하는 것을 목표로 함 ○ 충돌 해석 및 실험을 수행하여 최적화 설계 고정지그 개발 • 충돌해석에 특화된 유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA를 활용하여 발사체-시험체 및 고정 지그 결합체에 대한 충돌 시뮬레이션을 수행하고 고정 지그의 설계 최적화를 수행함 • 충돌 시뮬레이션으로부터 결정된 고정 지그 최적 설계안에 대해 시제품을 제작하고, 세계 최고수준의 장비인 서울대학교 극한성능실험센터의 고속가스건을 활용하여 충돌시험을 수행함 • 충돌시험으로부터 최적 고정 지그의 변형 및 손상정도를 평가하여 그 성능을 검증 ○ 극한상태 구조특성 실험시설 보유 시설 · 장비 활용 계획 • 고속가스건을 활용하여 제작된 시험체 고정지그의 성능을 평가함 • 양질의 데이터 확보를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용 • 고속가스건충돌실험 시 양질의 데이터 확보 및 처리를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용

② 과제명: 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발

과제 개요
○ 지원기관 : 국토교통과학기술진흥원 ○ 사 업 명 : 건설기술연구사업 ○ 과 제 명 : 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발 ○ 세부과제명 : 재난재해에 대한 케이블교량 위험도 평가 및 레질리언스 확보 기술개발 ○ 과제기간 : 2016.09 ~ 2021.09 ○ 사 업 비 : 7억 5천만원 (CT2-1)
주요 내용
○ 재난·재해 시에 케이블 교량의 상태를 신속하고 정확하게 판단하여 피해를 최소화 하고 안전하게 사용할 수 있도록 운용하기 위하여 인위재난·자연재해에 대한 신뢰도 기반 케이블교량 위험도 평가 및 데이터 기반 레질리언스 확보 기술개발을 최종 목표로 함 ○ 세부과제의 핵심기술 3가지 중 핵심기술 1 (CT2-1)을 개발하기 위해 극한상태 구조특성 실험시설 내 보유 시설·장비를 활용할 계획임 • 핵심기술 1 (CT2-1) : 인위재난 케이블교량 극한성능 평가 및 방재시스템 개발 • 핵심기술 2 (CT2-2) : 케이블교량 빅데이터 활용 상태평가 및 레질리언스 상시확보 기술 개발 • 핵심기술 3 (CT2-3) : 자연재해(강풍, 이상진동) 상황 케이블교량 운용기술 개발 ○ 핵심기술 1 (CT2-1)의 연구 목표는 다음과 같음 • 인위재난에 대한 상부구조 주요 부재요소별 극한성능 평가기술 개발 (단국대) • 인위재난 시나리오별 교량시스템 붕괴위험도 평가기술 개발 (단국대) • 사회재난(충돌/폭발) 상황에서의 재료 동적특성 평가기술 개발 (서울대) ○ 극한상태 구조특성 실험시설 보유 시설·장비 활용 계획 • 재료 성능평가를 위한 Split Hopkinson Pressure Bar 및 급속재하실험시설 활용 - 케이블교량 대상 충돌 및 폭발 등 극한상황 모사 재료 실험 수행을 위해 SHPB 시스템 및 급속재하실험시설을 이용한 실험이 수행될 예정 - 케이블교량의 대상 충돌상황 재료실험 기법 개발을 위해 SHPB 시스템 및 급속재하실험시설을 이용한 실험이 수행될 예정 • 양질의 데이터 확보를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용 - 재료 충돌실험 시 양질의 데이터 확보 및 처리를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용

③ 과제명 : 사회기반시설 내충격 성능평가를 위한 실험기법 개발

과제 개요
○ 지원기관 : 국토교통과학기술진흥원 ○ 사 업 명 : 국토교통기술촉진연구사업

○ 과 제 명 : 사회기반시설 내충격 성능평가를 위한 실험기법 개발
○ 과제기간 : 2017.04 ~ 2018.12
○ 사 업 비 : 3억 7천만원 (간접비 포함)

주요 내용

○ 사회기반시설의 내충격성능 평가를 위한 충돌실험기법 개발
- 본 연구에서는 항공기 충돌상황에 대한 원전구조물의 내충격 설계를 위해 가스건 충돌실험기법을 개발하고자 하며, 특히 재료 충돌실험을 위한 SHPB 실험기법과 벽체 충돌실험을 위한 가스건 충돌실험기법을 수립하고자 함

○ 사회기반시설의 내충격 성능평가를 위한 충돌실험 및 해석 매뉴얼 제시
- 개발된 재료/부재 충돌실험기법을 이용하여 충돌실험 및 해석 수행을 통해 충돌상황에서 구조물의 거동 예측, 안전성 평가 기법 및 설계를 위한 연구를 수행하고자 함
- 철근 콘크리트 벽체의 충격하중 재하 시 파괴 양상, 국부 및 전체거동 양상 등을 제안함

○ 극한상태 구조특성 실험시설 보유 시설 · 장비 활용 계획
- 재료 성능 평가를 위한 Split Hopkinson Pressure Bar(SHPB) 시스템 활용
  - 재료 단위 충돌실험 기법 개발을 위해 SHPB 시스템을 이용한 실험 기법을 개발할 계획
  - 기법 내용으로는 신뢰성 높은 실험 데이터 획득을 위한 펄스쉐이퍼의 재질 및 치수, 시편 및 골재 치수, 관성효과 제거방법 등의 내용이 포함될 것으로 예상함

- 벽체 내충격성능 평가를 위한 중속가스건 활용
  - 벽체 충돌실험기법 개발을 위해 중속가스건을 이용한 실험 기법을 개발할 계획
  - 기법 내용으로는 신뢰성 높은 실험 데이터 획득을 위한 발사체 중량 및 두부형상, 충돌속도, 발사체 재료, 데이터 획득방법 및 처리 등의 내용이 포함될 것으로 예상함

- 양질의 데이터 확보를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용
  - 재료 및 부재 충돌실험 시 양질의 데이터 확보 및 처리를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용

④ 과제명 : 사회기반시설의 내충격 설계를 위한 중속 충돌실험기법 개발

과제 개요

○ 지원기관 : 한국연구재단
○ 사 업 명 : 중견연구자 지원사업 (2017년도 상반기)
○ 과 제 명 : 사회기반시설의 내충격 설계를 위한 중속 충돌실험기법 개발
○ 과제기간 : 2017.03 ~ 2020.02
○ 사 업 비 : 5억원 (간접비 포함)

주요 내용

○ 사회기반시설의 내충격 설계를 위한 중속 충돌실험기법 개발
- 본 연구에서는 극한상황에 대한 구조물의 내충격 설계를 위한 중속 충돌실험기법에 대한 개발을 하고자 하며, 특히 재료 중속 충돌실험을 위한 SHPB 실험기법과 부재 중속 충돌실험을 위한 자유낙하 충돌실험기법을 수립하고자 함

○ 사회기반시설의 내충격 설계 수립를 위한 설계 가이드라인 제시

- 개발된 재료/부재 중속 충돌실험기법을 이용하여 중속 충돌실험 수행을 통해 충돌상황에서 구조물의 거동 예측, 안전성 평가 기법 및 설계를 위한 연구를 수행하고자 함
- 콘크리트 및 철근의 동적 응력-변형률 모델 제안, 동적증가계수 등을 제안함
- 철근 콘크리트 부재의 충격하중 재하 시 파괴 양상, 국부 및 전체거동 양상 등을 제안함

○ 극한상태 구조특성 실험시설 보유 시설ㆍ장비 활용 계획

- 재료 성능 평가를 위한 Split Hopkinson Pressure Bar(SHPB) 시스템 활용
  - 재료 단위 충돌실험 기법 개발을 위해 SHPB 시스템을 이용한 실험 기법을 개발할 계획
  - 기법 내용으로는 신뢰성 높은 실험 데이터 획득을 위한 하중재하 방법, 바람직한 시편 크기, 데이터 획득 및 처리 등의 내용이 포함될 것으로 예상함

- 부재 성능 평가를 위한 자유낙하 충돌실험시설 활용
  - 부재 단위 충돌실험 기법 개발을 위해 자유낙하 충돌실험시설을 이용한 실험 기법을 개발할 계획
  - 기법 내용으로는 신뢰성 높은 실험 데이터 획득을 위한 낙하 추 형상 및 중량, 충돌속도, 데이터 획득방법 및 처리 등의 내용이 포함될 것으로 예상함

- 양질의 데이터 확보를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용
  - 재료 및 부재 충돌실험 시 양질의 데이터 확보 및 처리를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용

⑤ 과제명 : 고강도철근의 보완성능실험을 통한 설계기술기준 개발

과제 개요
○ 지원기관 : 한국수력원자력
○ 사 업 명 : 한국수력원자력 학술용역과제 (2017년도 상반기)
○ 과 제 명 : 고강도철근의 보완성능실험을 통한 설계기술기준 개발
○ 과제기간 : 2017.01 ~ 2019.06
○ 사 업 비 : 10억 8천 5백만원 (간접비 포함)
주요 내용

○ 원전 벽체의 내충격성능 평가를 위한 중속가스건 충돌실험 수행

- 본 연구에서 고강도/일반강도 전단철근으로 보강된 원전 벽체의 내충격성능을 평가해서, 고강도철근의 내충격성능 증진효과를 검증하고자함. 이를 위해 중속가스건을 이용한 부재 충격 실험을 수행할 예정임

○ 원전벽체의 내충격성능을 고려한 설계 지침 개발

- 중속가스건 실험 결과를 통해 충돌에 대한 기존의 벽체 국부거동 예측식 검증
- 기존 벽체 국부거동 예측식 검증을 통하여 내충격성능을 고려한 원전벽체 설계 지침 개발

○ 극한상태 구조특성 실험시설 보유 시설ㆍ장비 활용 계획

- 고강도철근으로 보강된 벽체의 내충격성능 평가를 위한 중속가스건 시스템 활용
  - 고강도/일반강도 전단철근으로 보강된 벽체의 내충격성능 평가를 위해 중속가스건 충돌실험 수행 (2018년 하반기)
- 양질의 데이터 확보를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용
  - 벽체 충돌실험 시 양질의 데이터 확보 및 처리를 위한 고속 카메라 및 DAQ system 활용

⑥ 과제명 : 방사성폐기물 저장 구조물의 안전성 제고를 위한 고변형률 속도에서의 콘크리트 재료특성 실험연구

과제 개요
○ 지원기관 : 두산연강재단
○ 사 업 명 : 환경・안전 연구지원사업
○ 과 제 명 : 방사성폐기물 저장 구조물의 안전성 제고를 위한 고변형률 속도에서의 콘크리트 재료특성 실험연구
○ 과제기간 : 2016.12 ~ 2017.11
○ 사 업 비 : 1천 5백만원 (간접비 포함)
주요 내용
○ 고변형률 속도에서 콘크리트의 동적 재료특성에 대한 실험연구를 수행 • 방사성폐기물은 일반적으로 매우 긴 반감기를 가졌기 때문에 방사성폐기물의 저장을 위한 구조물은 그에 적합한 설계수명을 가져야함 • 이에 따라 방사성폐기물 저장 구조물은 높은 요구수준의 극한하중에 노출될 위험이 있으며 이로부터 안전성 확보는 필수적임 • 그러나 현재 고변형률 속도에서의 콘크리트 압축강도 증진효과에 대해서는 명확히 파악되지 않았으며 그 원인 및 결과에 대해 논란이 지속되고 있음 • 본 연구에서는 고변형률 속도에서의 콘크리트 동적 재료특성을 Split Hopkinson Pressure Bar를 이용하여 실험적으로 연구함으로써, 극한상황에 대한 방사성폐기물 저장 구조물의 안전성 평가기법 개발을 위한 토대를 마련하고자 함
○ 극한상태 구조특성 실험시설 보유 시설ㆍ장비 활용 계획 • 고변형률 속도에서의 콘크리트 재료특성 파악을 위한 Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) 시스템 활용 - 콘크리트 시편의 동적 재료특성을 얻기 위해 SHPB 시스템을 이용하여 실험수행 계획임 - 획득 데이터로는 각 콘크리트 시편의 변형률 속도 및 변형률 가속도별 동적강도가 포함될 예정임 • 양질의 데이터 확보를 위한 고속 카메라 및 strain amplifier 활용 - 콘크리트 SHPB 실험 시 양질의 데이터 확보 및 처리를 위한 고속 카메라 및 strain amplifier를 활용

⑦ 과제명 : 사회 안전 확보를 위한 700MPa급 철근 활용 내진용 철근콘크리트 개발

과제 개요

○ 지원기관 : 산업통상자원부

○ 사 업 명 : 산업핵심기술개발사업

○ 과 제 명 : 사회 안전 확보를 위한 700MPa급 철근 활용 내진용 철근콘크리트 개발

○ 과제기간 : 2016.07 ~ 2020.12

○ 사 업 비 : 85억 3천 6백만원 (간접비 포함)

주요 내용

○ 700MPa급 고강도철근의 콘크리트구조 설계기준 휨 및 사용성 설계조항 적용성 평가

- 고강도 철근 사용은 소요 철근량 및 단면 감소, 철근 간섭 문제 해소 등의 여러 장점이 있음
- 하지만 철근이 고강도화 될수록 그 재료적 특성이 일반강도 철근과 달라지므로, 이를 배근한 철근콘크리트 부재의 거동이 명확하게 확인되어야 사용이 가능함
- 현재 국내의 콘크리트구조 설계기준에서는 SD600 철근까지만 휨철근으로 사용을 허용하고 있어서, 기개발된 SD700 철근은 사용이 불가능한 상황임
- 따라서 SD700 고강도철근의 사용을 위해서는, 이를 적용한 철근콘크리트 부재의 거동을 확인하여 콘크리트구조 설계기준의 적용성 평가가 필요함
- 본 연구에서는 철근 항복강도와 관련된 휨 및 사용성 설계조항에 대해서 SD700 고강도 철근의 적용성 평가를 수행하고 있음. 연구 대상 철근콘크리트 부재는 휨부재로써, 주로 휨하중에 저항하는 보와 슬래브가 이에 해당함
- 연구 방법은 다음과 같음. 먼저 적용성 검토가 필요한 휨 및 사용성 설계조항과 관련된 선행연구 분석을 통하여 실험 변수를 도출함. 도출된 실험 변수를 토대로 휨실험 계획 작성 및 RC휨부재 제작 수행. 제작된 휨부재를 대상으로 구조 휨실험을 수행하고, 그 실험 결과를 분석하여 700MPa급 고강도철근의 국내 콘크리트구조 설계기준의 휨 및 사용성 적용성 평가를 종합적으로 수행함

○ 극한상태 구조특성 실험시설 보유 시설 · 장비 활용 계획

- 구조실험용 프레임 및 액츄에이터를 활용하여 700MPa급 고강도철근을 적용한 RC휨부재의 휨 및 사용성 설계기준 적용성 평가를 위한 휨실험 수행
  - 700MPa급 고강도철근을 적용한 휨부재(보 및 슬래브)의 휨 극한강도 평가
  - 사용 하중 상태에서의 사용성 (균열폭 및 처짐) 평가
  - 휨실험 수행을 통해 얻은 데이터는 700MPa급 고강도철근의 국내 콘크리트구조 설계기준 적용성 평가에 사용될 예정임
- 양질의 데이터 확보를 위한 Data acquisition system 활용
  - RC휨부재의 휨실험 수행 시 양질의 데이터 확보를 위하여 극한상태 구조특성 실험시설에서 보유 중인 데이터 로거 등 Data acquisition system 활용

(다) 신뢰성 확보를 위한 검수단계 및 초기운영단계시 검증 방안 검토

○ 자유낙하실험시설

- 자유낙하실험시설의 경우 실험결과의 신뢰도 확보를 위해 장비 제작 및 검수에서 사용자가 원하는 낙하추의 하중을 장비가 충분히 견딜 수 있는 강성의 확보 여부와 충돌시 속도가 자유낙하를 가정했을 때 속도와의 오차가 ±1% 이내가 되는지 여부를 확인함
- 최대 충격에너지가 작용했을 때 기초부의 안전 여부와 전체 거동을 관측하기 위한 계측시스템의 구축 여부를 확인함
- 장비의 초기운영단계에서는 실험 결과의 신뢰도를 확보하기 위해 실험 시 동일 실험체를 3개 사용하여 그 결과를 관측하여 표준편차를 구하고 그 편차가 5% 아래가 되도록 하면 그 신뢰도를 갖추었다고 판단함
- 또한, 초기운영단계 시험시 자체 제작한 해석툴을 활용한 해석결과와 실험결과의 차이를 검토하여 차이가 심할 경우 해석과 실험결과를 재검토하여 해석, 실험의 신뢰도를 함께 향상할 수 있도록 함

○ 중/고/초고속충돌실험시설

- 충돌실험시설은 실험 결과의 신뢰도 확보를 위해 장비 제작 및 검수에서 사용자가 원하는 무게의 발사체를 원하는 속도를 오차 ±2% 이내로 발사할 수 있는 지 여부와 타격중심 이격거리, 타격각도를 고속 카메라를 이용하여 확인함
- 각 충돌실험시설의 타겟탱크 및 사봇분리장치, 발사체 멈춤장치의 강성 및 안전도에 대하여 확인하고, 검수할 예정임
- 또한 슬래브의 악영향을 예방하기 위한 리코일 시스템의 정상 작동 여부를 확인할 계획임
- 발사체 속도 계측을 위한 laser intervalometer system은 고속카메라와 측정값과의 비교를 통하여 확인함

○ 홉킨슨바

- 홉킨슨바 실험시설은 실험 결과의 신뢰도 확보를 위해 장비 제작 및 검수에서 사용자가 원하는 충격봉을 원하는 속도를 오차 ±2% 이내로 발사할 수 있는 지 여부와 laser invervalometer system의 정상작동 여부를 고속 카메라를 이용하여 확인함
- 장비의 초기운영단계에서는 실험 결과의 신뢰도를 확보하기 위해 실험 시 동일 실험체를 3개 이상을 사용하여 그 결과를 관측하여 표준편차를 구하고 그 편차가 5% 아래가 되도록 하면 그 신뢰도를 갖추었다고 판단함
- 또한, 초기운영단계 시험 시 자체 제작한 해석툴을 활용한 해석결과와 실험결과의 차이를 검토하여 차이가 심할 경우 해석과 실험결과를 재검토하여 해석, 실험의 신뢰도를 함께 향상시킬 수 있도록 함

○ 급속재하실험시설

- 급속재하실험시설의 경우 실험 결과의 신뢰도 확보를 위해 장비 제작 및 검수에서 사용자가 원하는 하중과 하중속도를 장비가 1% 오차 내외에서 구현할 수 있는 성능을 확보하는지 여부를 확인함
- 또한, 장비의 초기운영단계에서는 실험 결과의 신뢰도를 확보하기 위해 동일한 실험체를 최소 5개 이상 사용하여 그 결과를 관측하도록 하며, 이 때, 하중과 하중속도 값이 1% 오차 내에서 재하되었는지 여부를 먼저 확인함. 확인 후 이상이 없다면 실험결과값(강도, 변형률 등)의 표준편차를 구하고 이 편차가 5% 아래가 되면 일정 수준의 신뢰도를 갖추었다고 판단할 수 있음. 만약 편차가 크다면 재료 자체의 오차가 있을 수 있기 때문에 실험체 수를 늘려 재시험을 수행하여 재판단하도록 함

○ 극한온도실험시설

- 극한온도 실험시설의 경우 실험 결과의 신뢰도 확보를 위해 장비 제작 및 검수에서 사용자가 원하는 온도를 챔버내에서 구현할 수 있는지 여부를 챔버 내부 일부 지점에서 무작위로 검증해서 확인함
- 또한, 특정 온도를 유지시키고 500kN UTM을 작동시켰을 경우 온도가 동일하게 유지되는지의 여부와 UTM에 온도로 인한 무리가 가해지지 않는지의 확인함
- 극한온도에서 챔버 내 마감, 조명 등 부대시설의 변형이나 손상의 발생 여부를 확인함
- 장비의 초기운영단계에서는 실험 결과의 신뢰도를 확보하기 위해 실험 시 동일 실험체를 3개 사용하여 그 결과를 관측하여 표준편차를 구하고 그 편차가 5% 아래가 되도록 하면 그 신뢰도를 갖추었다고 판단함
- 추가적으로 극한온도에서 계측기기의 정확도 또한 검증시험을 수행함
- 초기 운영단계 시험시 자체 해석툴을 만들어 추가 시험시 해석결과와 실험결과의 차이를 검토하여 차이가 심할 경우 해석과 실험결과를 재검토하여 해석, 실험의 신뢰도를 함께 향상할 수 있도록 함

나. 실험시설 사전 시험 및 실험기법 연구

(1) 각 실험시설/장비 별 구축완료 후 사전시험 수행

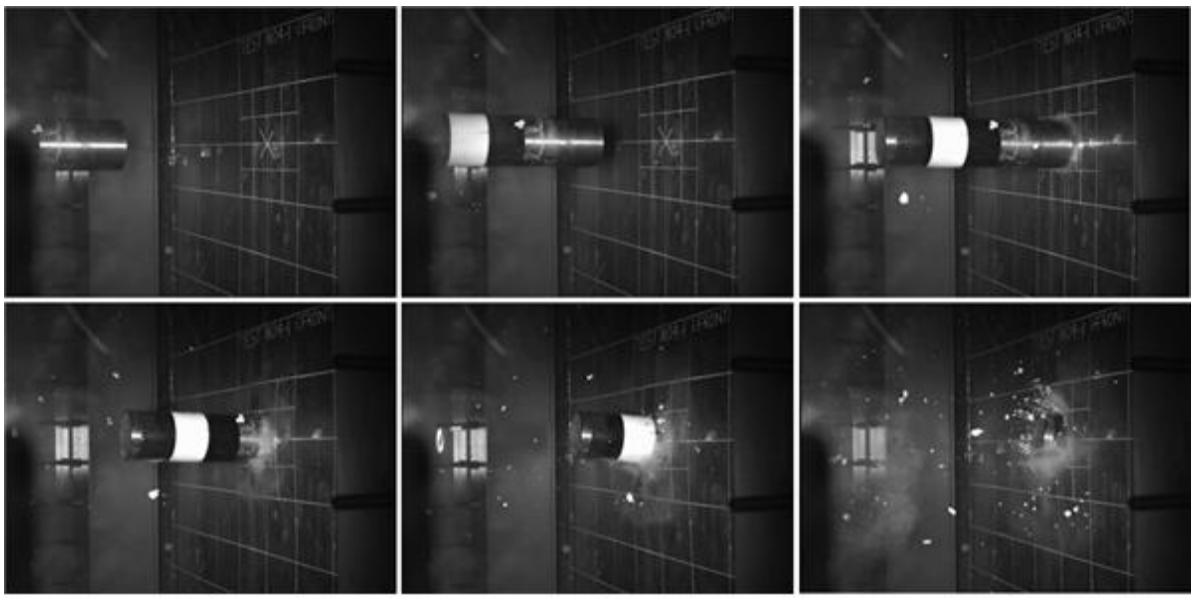
- 각 실험시설/장비 구축 완료 후 내외부기관과 연계를 통한 사전시험을 수행하였음. 매회 사전시험 수행시 실험일지를 작성하였으며, 실험 조건 및 결과, 장비 운용시 발생한 문제점 및 조치사항을 기입하여 이력 관리가 되도록 함
- 특히, 아래 표와 같이 자체 수행과제를 통하여 다양한 사전시험을 수행하였으며, 사전시험 결과는 장비 검수시 반영하여 보완 조치되도록 하였음. 또한, 해당 과제를 통해 각 장비별 실험기법을 개발함으로서 운영단계 초기 안정화 및 수요 창출을 도모하였음

[표 77] 사전시험 수행을 위한 자체 수행과제 목록

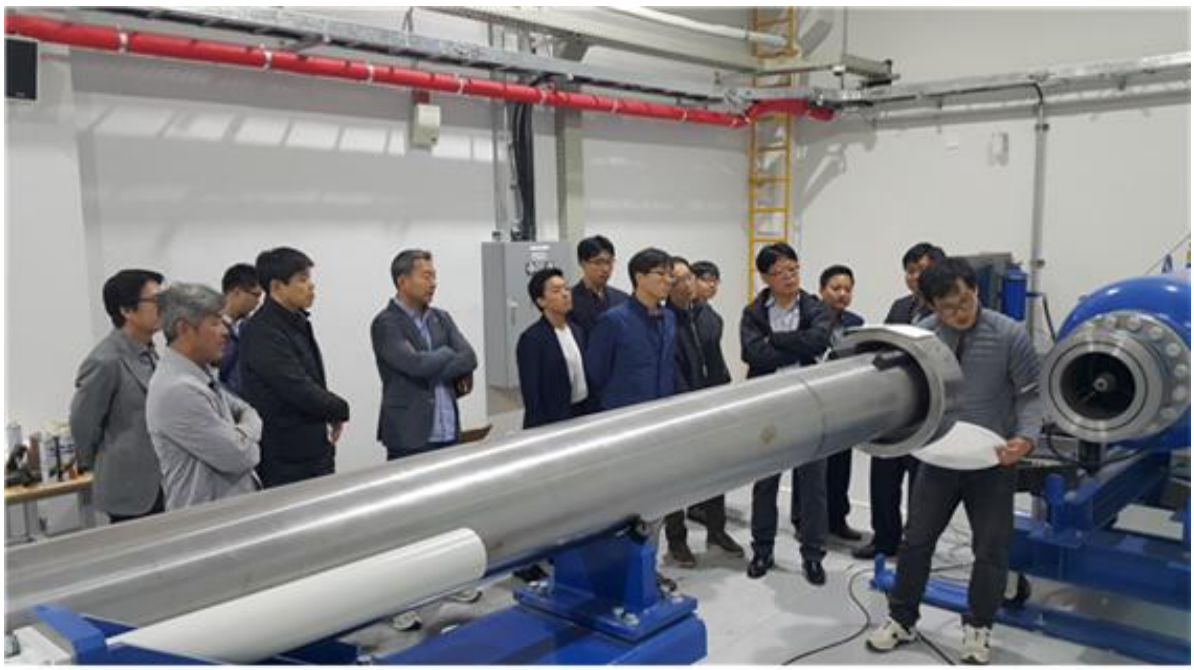
과제명	지원기관	수행기간
사회기반시설 내충격 성능평가를 위한 실험기법 개발	국토교통과학기술진흥원	2017.04 ~ 2018.12
사회기반시설의 내충격 설계를 위한 중속 충돌실험기법 개발	한국연구재단	2017.03 ~ 2020.02
케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발	국토교통과학기술진흥원	2016.09 ~ 2021.09
고강도철근의 보완성능실험을 통한 설계기술기준 개발	한국수력원자력	2017.01 ~ 2019.06
가스건을 활용한 합성방호구조체 방탄성능 시험평가	한국건설기술연구원	2018.08 ~ 2019.08
고속가스건 시험체 고정 지그에 관한 충돌 해석기술	중소벤처기업부	2018.11 ~ 2019.3
방사성폐기물 저장 구조물의 안전성 제고를 위한 고변형률 속도에서의 콘크리트 재료특성 실험연구	두산연강재단	2016.12 ~ 2017.11
사회 안전 확보를 위한 700MPa급 철근 활용 내진용 철근콘크리트 개발	산업통상자원부	2016.07 ~ 2020.12

(가) 2016.07~2017.05 단국대학교, 한국수력원자력과 연계한 중속가스건 충돌 사전시험 시행

- 실험 내용 : 원전 벽체에 대한 항공기 충돌 모사실험
- 시편 재질 : Steel plate + 콘크리트 + Steel plate
- 시편 크기 : 2.1m(B)×2.1m(H)
- Projectile 무게 : 40~80kg
- 충돌 속도 : 105~225m/s
- 실험 횟수 : 총 15회 수행



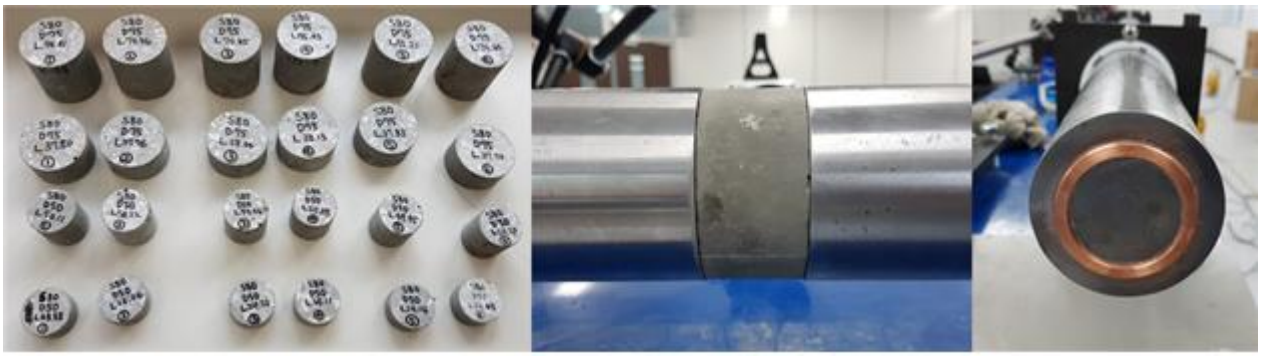
[그림 158] 고속카메라 촬영 영상



[그림 159] 단국대학교, 한국수력원자력 관계자 실험 참관

(나) 2017.03~04 홉킨슨바를 활용한 콘크리트 재료의 동특성 평가 (두산연강재단 과제)

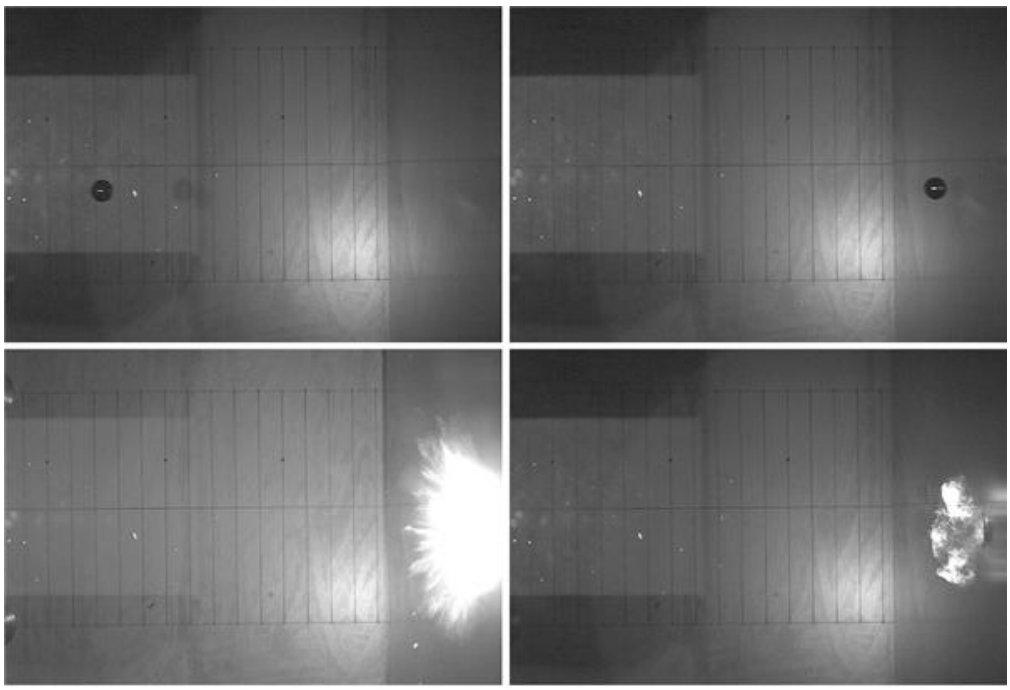
- 시험체 재질 : 콘크리트
- 시험체 크기 : 50~75mm(Φ)×25~75mm(L)
- 충돌 속도 : 10~20m/s
- 실험 횟수 : 총 72회



[그림 160] SHPB 시험체, 시험체 거치, 펄스쉐이퍼

(다) 카이스트와 연계한 고속가스건 활용 고속에서의 금속재료 충돌 사전시험 수행

- 시편 재질 : 알루미늄
- 시편 크기 : 0.6m(B)×0.6m(H)
- Projectile 무게 : 13.5g
- 충돌 속도 : 520~900m/s
- 실험 횟수 : 총 15회



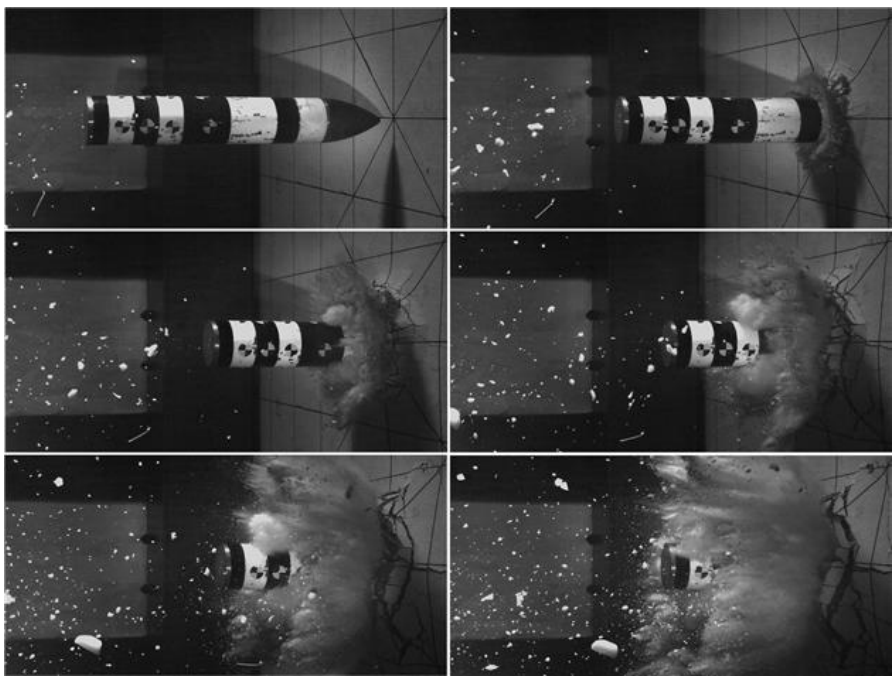
[그림 161] 고속카메라 촬영 영상



[그림 162] 카이스트 연구진 고속충돌실험 참관

(라) 2017.12~2018.11 「사회기반시설 내충격 성능평가를 위한 실험기법 개발 과제 (국토교통과학기술진흥원)」 중속가스건 활용 RC벽체 충돌 사전시험 수행

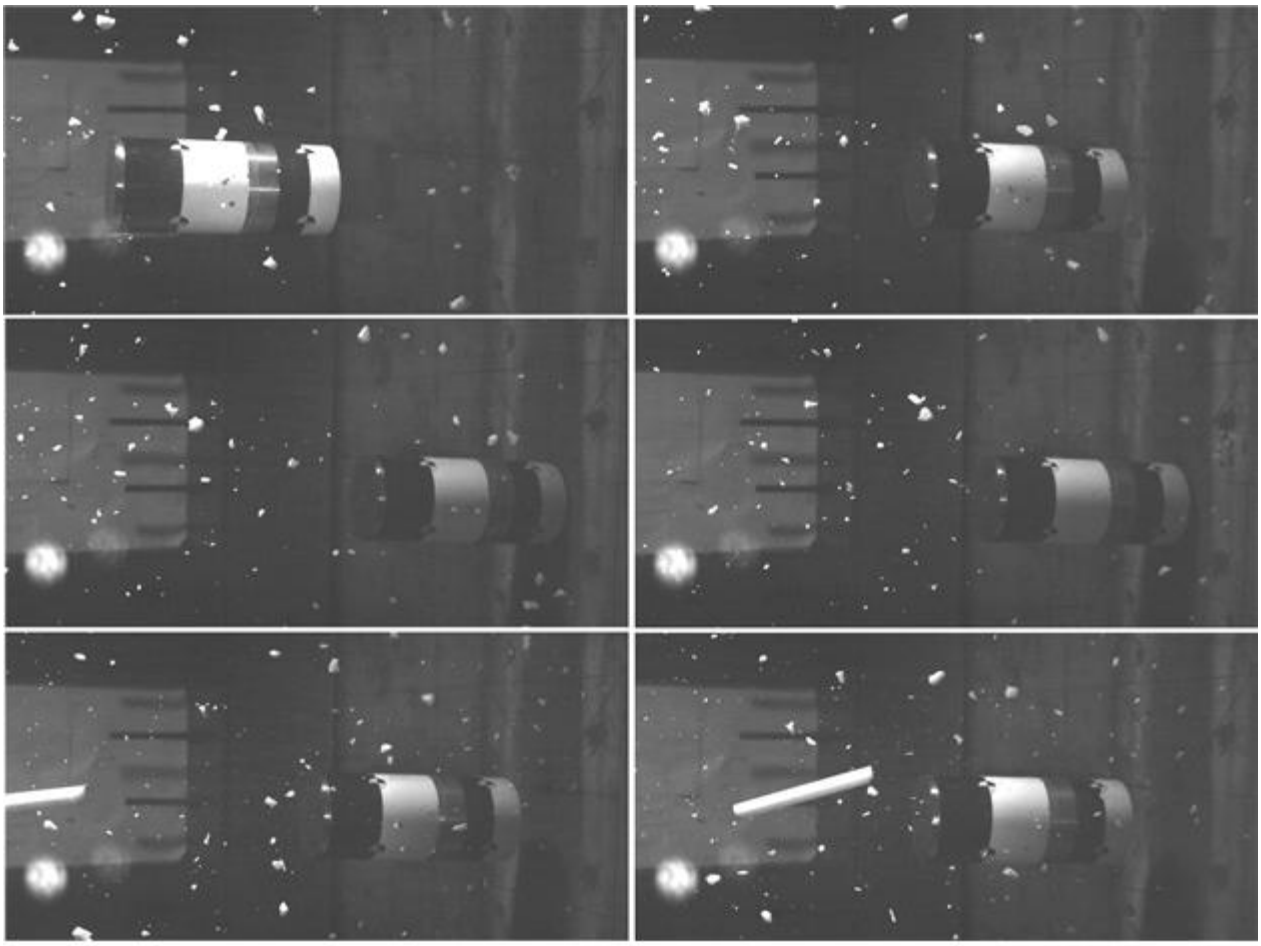
- 실험 목적 : RC 벽체에 대한 충돌실험 기법 개발
- 시편 재질 : 콘크리트
- 시편 크기 : 2.1m(B)×2.1m(H)
- Projectile 무게 : 35~50kg
- 충돌 속도 : 55~130m/s
- 실험 횟수 : 총 15회 수행



[그림 163] 고속카메라 촬영 영상

(마) 2018.09~10 현대중공업과 연계한 중속가스건 활용 LNG탱크벽체 충돌 사전시험 수행

- ○ 실험 목적 : LNG탱크 벽체의 내충격성능 평가
- ○ 시편 재질 : Steel plate + 콘크리트 + Steel plate
- ○ 시편 크기 : 2.0m(B)×2.0m(H)
- ○ Projectile 무게 : 50kg
- ○ 충돌 속도 : 53~56m/s
- ○ 실험 횟수 : 총 6회 수행



[그림 164] 고속카메라 촬영 영상

(바) 2018.02~07 「사회기반시설의 내충격 설계를 위한 중속 충돌실험기법 개발 과제 (한국연구재단)」 자유낙하실험시설 활용 RC보의 자유낙하 사전시험 수행

- 실험 목적 : 충격 하중 재하시 RC 보의 거동 관측
- 시편 재질 : RC
- 시편 크기 : 2.0m(B)×2.0m(H)×5.0m(L)
- 낙하추 무게 : 0.7~2.5ton
- 충돌 속도 : 7~12m/s
- 실험 횟수 : 총 17회 수행



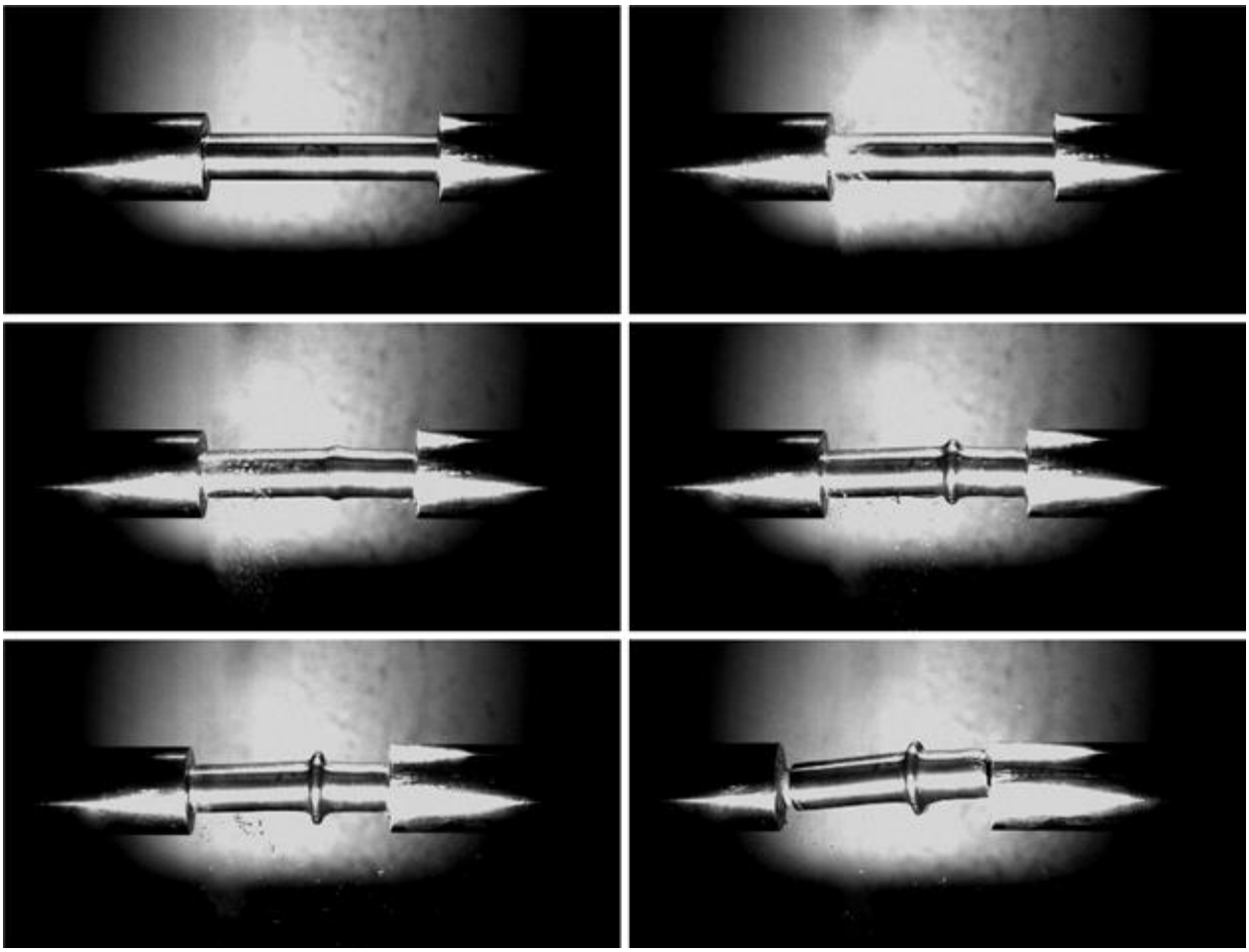
[그림 165] 소형낙하추 자유낙하충돌실험



[그림 166] 대형낙하추 자유낙하충돌실험

(사) 2018.10~11 카이스트 신소재공학과 연계 홉킨슨바(19mm)를 활용한 금속, 고분자 결합소재의 동특성 평가 사전시험 수행

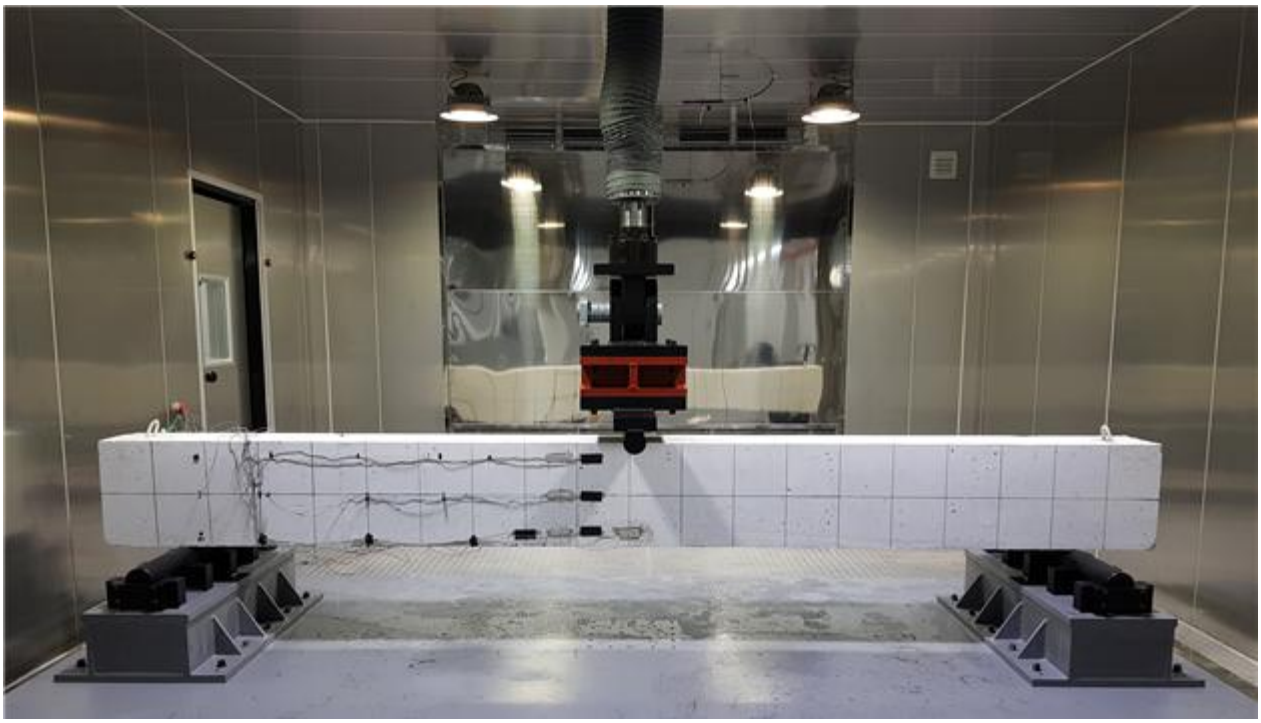
- 실험 목적 : 금속, 고분자 결합소재의 동특성 평가
- 시편 재질 : 금속+고분자 결합
- 시편 크기 : 10mm(Φ)×50mm(L)
- 충돌 속도 : 10~23m/s
- 실험 횟수 : 총 30회



[그림 167] 고속카메라 촬영 영상

(아) 2018.10~12 극한온도실험시설을 활용한 RC 보의 극한온도 휨 사전시험 수행

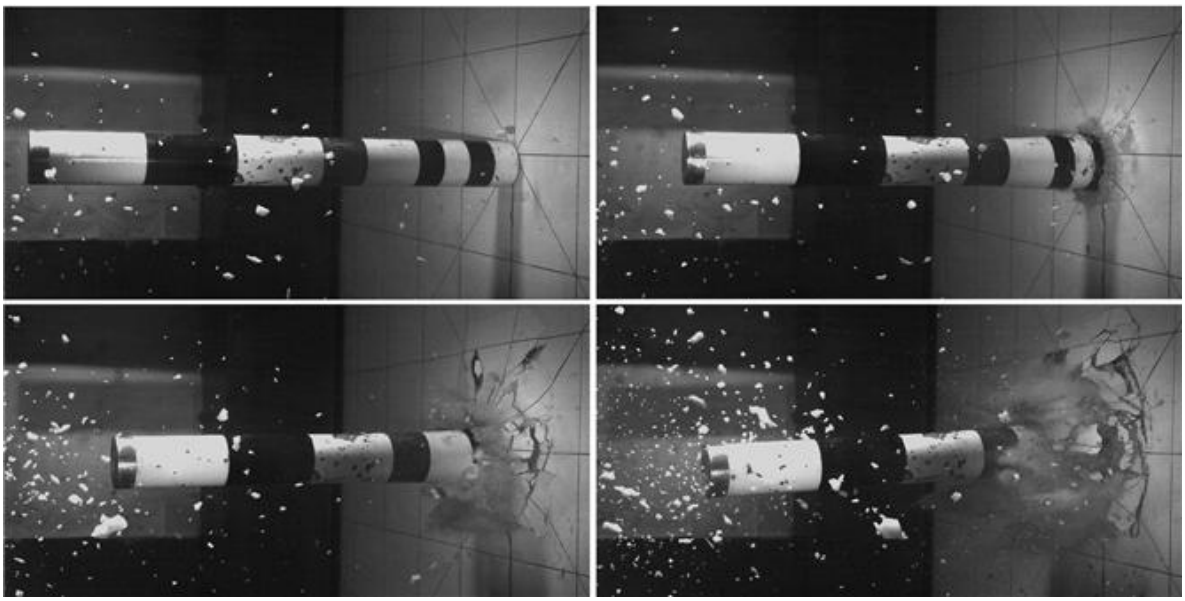
- 실험 목적 : 천이구간에서 열응력이 RC 보의 휨성능에 미치는 영향 분석
- 시편 재질 : RC
- 시편 크기 : 0.3m(B)×0.4m(H)×4.0m(L)
- 온도 조건 : -30℃, 25℃
- 실험 횟수 : 총 9회 (현재 진행 중)



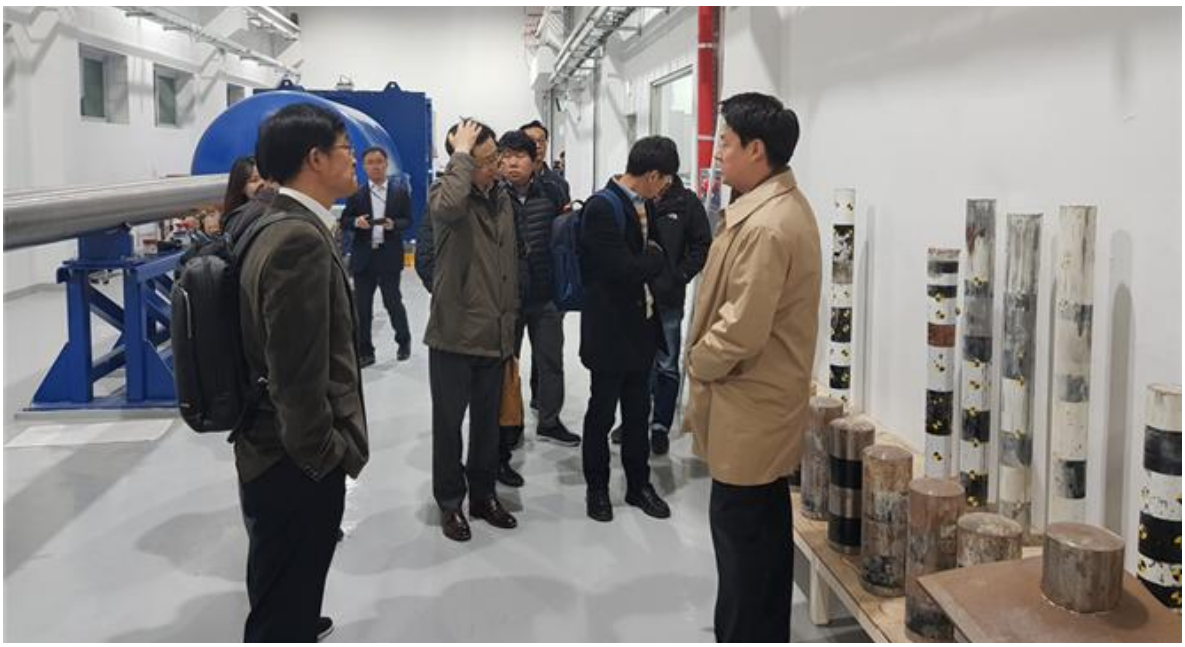
[그림 168] 챔버 내부 시편 설치 전경

(자) 2018.10~11 한국수력원자력 연계 중속가스건 활용 RC벽체 충돌 사전시험 수행

- ○ 실험 목적 : 고강도철근을 사용한 RC 벽체의 내충격성 평가
- ○ 시편 재질 : RC
- ○ 시편 크기 : 2.1m(B)×2.1m(H)
- ○ Projectile 무게 : 50kg
- ○ 충돌 속도 : 100~150m/s
- ○ 실험 횟수 : 총 3회 수행



[그림 169] 고속카메라 촬영 영상



[그림 170] 한국수력원자력 관계자 공개실험 참관

(차) 2018.10~12 「가스건을 활용한 합성방호구조체 방탄성능 시험평가 과제 (한국건설기술연구원)」 고속가스건 활용 방호구조물 충돌 사전시험 수행

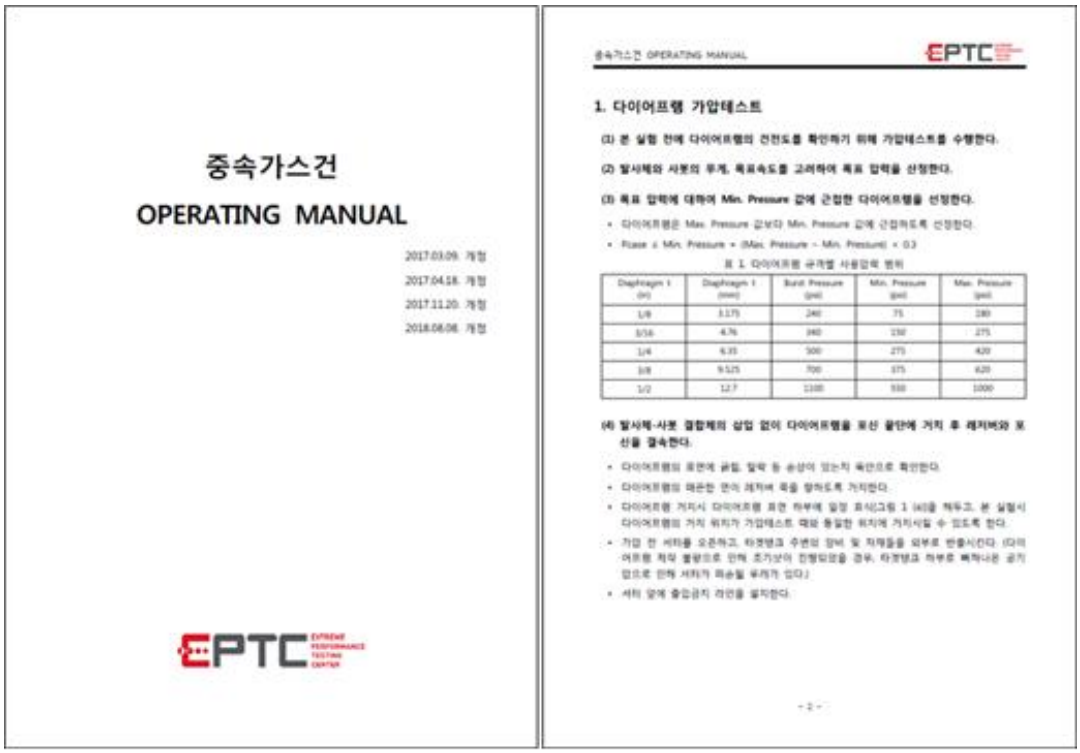
- 실험 목적 : 방호구조물의 방호성능 평가
- 시편 재질 : Steel + HPFRCC + Steel
- 시편 크기 : 0.6m(B)×0.6m(H)
- Projectile 무게 : 27~50g
- 충돌 속도 : 1,000m/s
- 실험 횟수 : 총 20회 수행 (실험 수행 중)



[그림 171] 고속충돌실험 후 시편 전면부

(2) 각 실험시설/장비 별 매뉴얼 작성

○ 장비업체에서 제공하는 매뉴얼 외에도 검수시험 및 사전시험 과정에서 획득한 노하우를 별도의 매뉴얼로 작성하여 관리함



[그림 172] 중속가스건 매뉴얼 (예시)



[그림 173] 급속재하실험시설 매뉴얼 (예시)

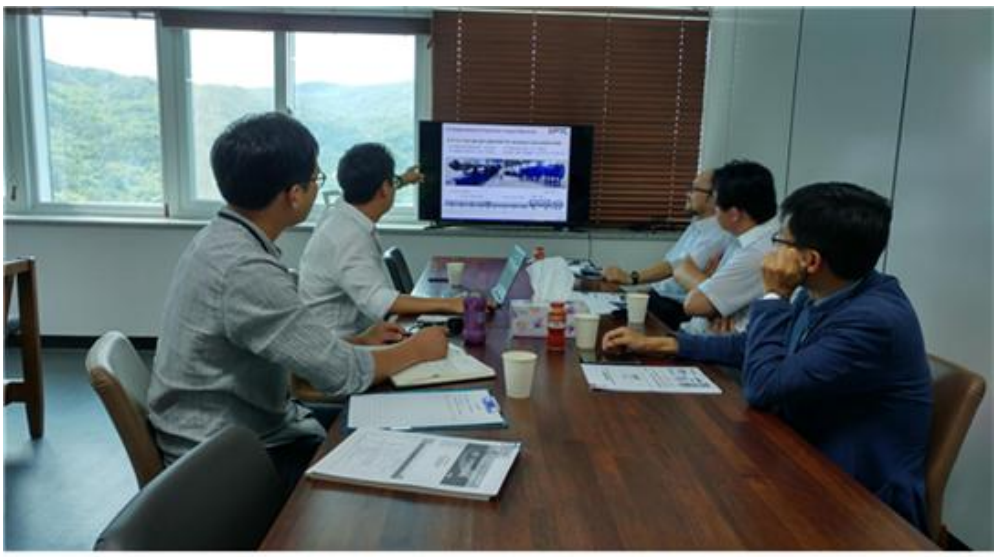
(3) 실수요처와의 실험시설 활용방안 협의

[표 78] 실험시설 활용방안 협의 이력

No.	날짜	협의기관	협의내용
1	2015.12~ 2016.05	단국대학교, TM E&C	중속가스건 원전벽체 충돌실험 추진 계획
2	2017.02~ 2017.06	카이스트, TM E&C	고속가스건 충돌실험 추진 계획
3	2017.06.22.	서울대 건설환경공학부	자유낙하충돌실험 시험체 고정지그 설계
4	2017.08.11.	중앙대, 미야자키대학교	실험센터 장비 연계협력 방안 검토
5	2017.08.17.	국방부, 서울과기대	국방부 방호충돌실험 계획 및 MOU 체결
6	2017.08.23.	서울대학교 건설환경공학부	자유낙하충돌실험 계획 및 실험일정
7	2017.08.25.	서울대 건축학과	보 전단실험 계획 및 일정
8	2017.09.25.	카이스트 건설및환경공학과	고속가스건 활용 고속충돌실험 추진 계획
9	2017.10	한국콘크리트학회	RC 보에 대한 휨실험 계획 및 실험 일정
10	2017.11.07.	국방과학연구소	실험센터 장비 활용 연구협력 방안 검토
11	2017.11.08.	철도기술연구원	철도 DCP 일탈방호시설 충돌실험 계획 및 일정
12	2018.03.12.	서울대 건설환경공학부	자유낙하충돌실험 소규모낙하추 및 지그 제작
13	2018.03.14.	서울대 건설환경공학부	자유낙하충돌실험 속도계 위치 조정 및 실험일정
14	2018.03.19.	서울대 건설환경공학부	자유낙하충돌실험 데이터 노이즈 분석
15	2018.03.23.	서울대 건설환경공학부	자유낙하충돌실험 소규모낙하추 개선방안
16	2018.04.05.	서울대 건설환경공학부	중속가스건 RC벽체 충돌실험 계획
17	2018.05.09.	한국건설기술연구원	고속가스건 방호벽체 충돌실험 계획
18	2018.06	서울대 건축학과	액추에이터 활용 기초판펀칭실험 계획
19	2018.06.12.	현대중공업	중속가스건 LNG탱크벽체 충돌실험 계획
20	2018.09	카이스트 항공우주공학과	초고속가스건 활용 우주정거장 Whipple shield에 대한 충돌실험 계획
21	2018.09	한국콘크리트학회	중속가스건 활용 고강도철근 RC벽체 충돌실험 계획
22	2018.09~11	서울대 건축학과	액추에이터 활용 벽체 가력실험 계획
23	2018.10	성균관대 건축학과	극한온도실험시설 활용 점성댐퍼의 피로실험 계획
24	2018.10	한국콘크리트학회	액추에이터 활용 RC 슬래브 휨실험 계획
25	2018.10	인천대 건축공학과	5,000kN UTM 활용 RC보 휨실험 계획
26	2018.10	서울대 건설환경공학부	극한온도실험시설 활용 RC보의 휨실험 계획
27	2018.10.21.	카이스트 신소재공학과	SHPB 철합금-고분자결합체 충돌실험 계획



[그림 174] 2015.12 중속가스건 원전벽체 충돌실험 검토협의 (단국대학교)



[그림 175] 2017.08.11. 실험센터 장비 연계협력 방안협의 (중앙대, 미야자키대학교)



[그림 176] 2017.08.17. 방호구조물 충돌실험 계획 및 MOU 체결 검토협의 (국방부, 서울과학기술대학교)



[그림 177] 2017.11.07. 실험센터 장비 연계협력 방안 검토 (국방과학연구소)



[그림 178] 2017.11.08. 철도 DCP 일탈방호시설 충돌실험 계획 검토 (철도기술연구원)



[그림 179] 중속가스건 LNG탱크벽체 충돌실험 관련 검토협의 (현대중공업)

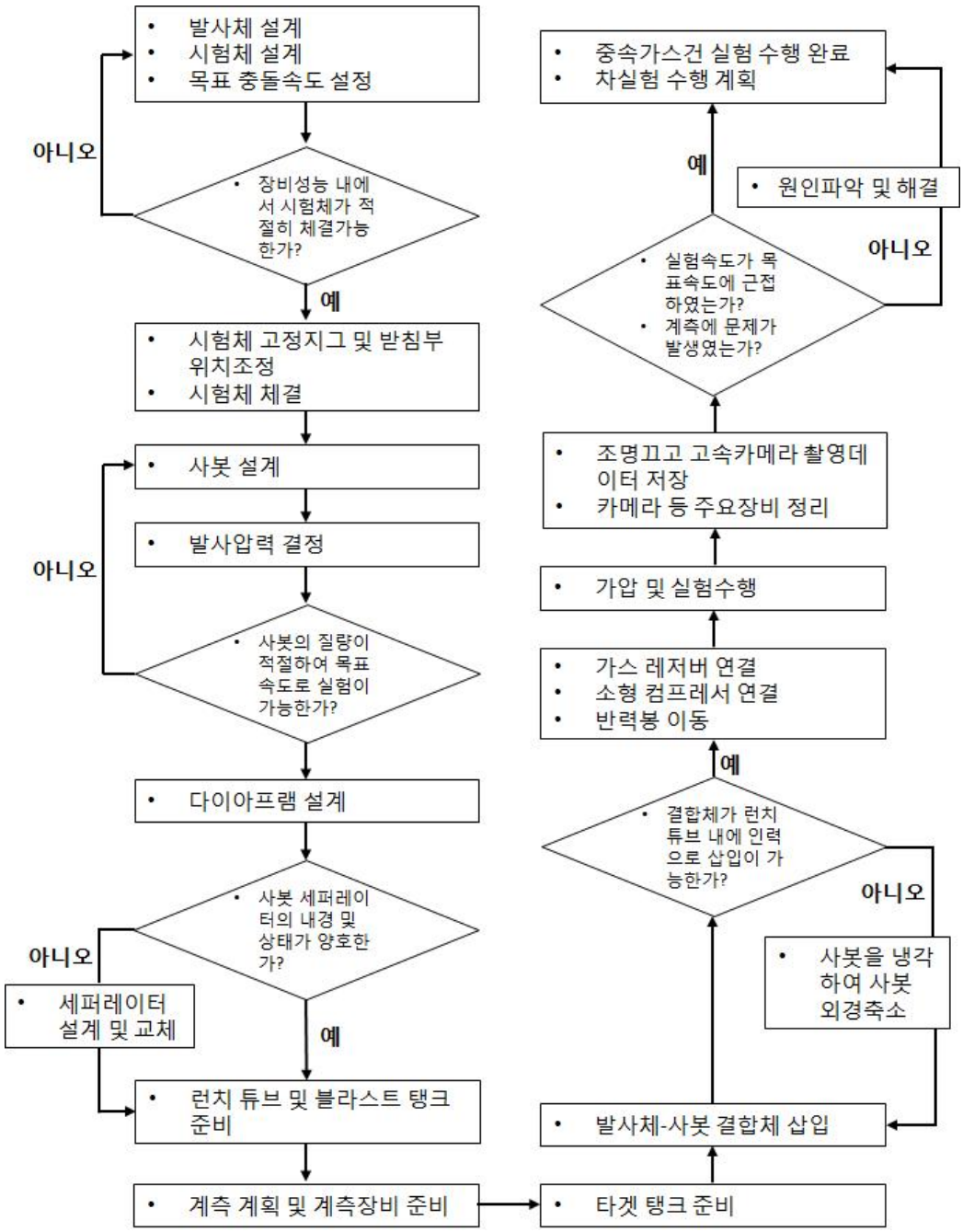
(4) 원격회의 및 원격 실험관찰 시스템 가동

- 본 센터는 국토교통연구인프라운영원에서 시행하고 있는 KOCED 사이버인프라 사업에 적극 참여하고 있으며, 국토교통연구인프라운영원의 홈페이지에서 서비스하고 있는 원격 실험관찰 시스템과 연동을 위하여 실험센터에 KREONET 망을 구축하였음
- 현재 운영원 홈페이지의 원격 실험관찰 서비스는 보완중에 있으며, 해당 서비스 재개 시 운영원과 협의를 통해 원격 실험관찰 시스템을 가동할 계획임
- 또한, KOCED Grid 및 KREONET 망과의 연계를 통해, KOCED 산하 11곳의 대형실험센터와 원격회의 및 실험관찰 시스템을 본격화할 계획임

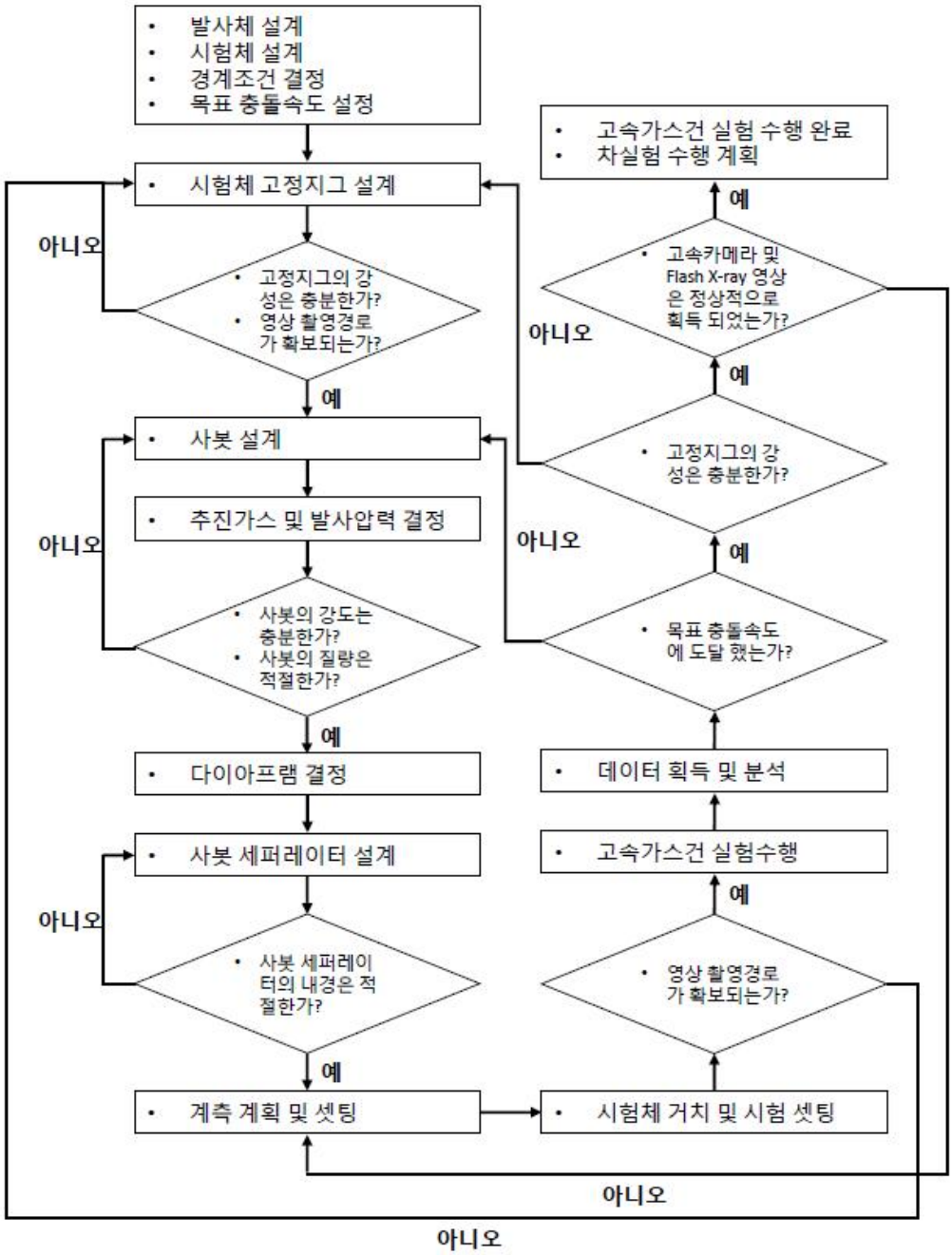


[그림 180] 국토교통연구인프라운영원 홈페이지

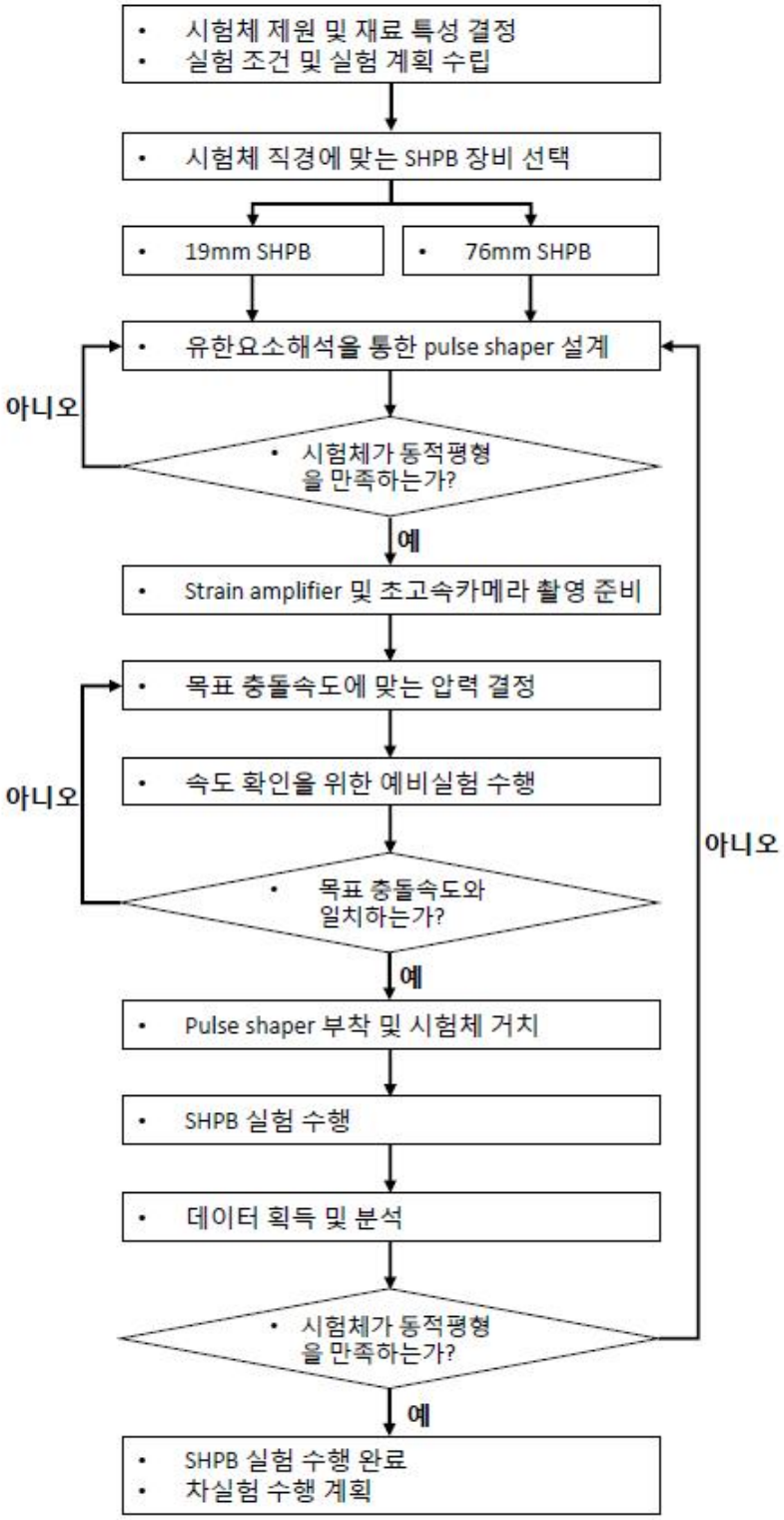
(5) 극한상태 구조실험 기법 알고리즘 개발



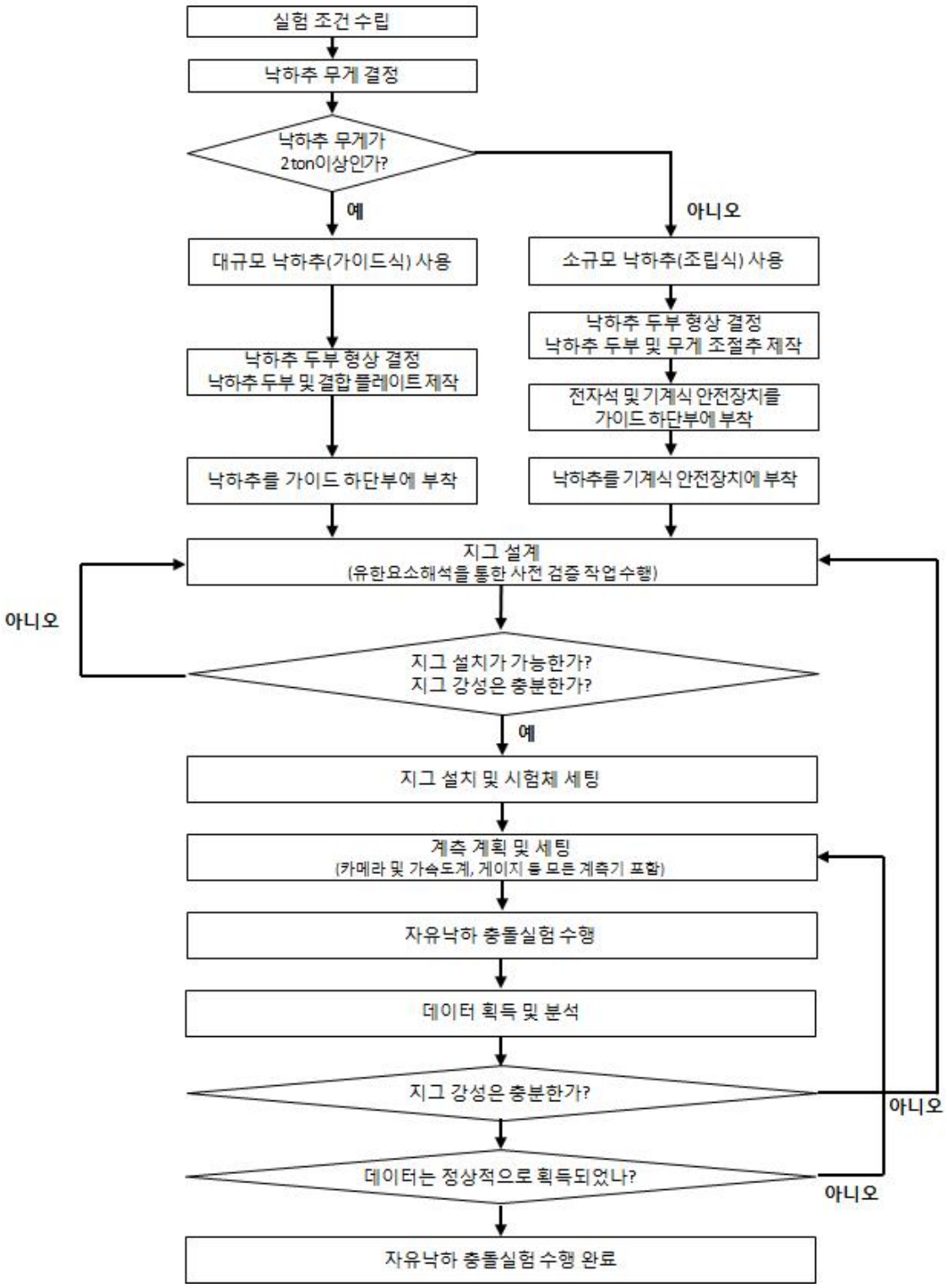
[그림 181] 중속가스건 충돌실험 기법 알고리즘



[그림 182] 고속가스건 충돌실험 기법 알고리즘



[그림 183] 홉킨슨바를 활용한 재료의 동특성 추출실험 기법 알고리즘



[그림 184] 자유낙하 충돌실험 기법 알고리즘

다. 실험시설 활용방안 연구

(1) 주요 실험시설 및 장비의 활용방안 연구

(가) 장비별 활용 방안 및 활용 예상 기관 분석

자유낙하실험시설

1. 장비개요

- 자유낙하실험시설은 낙하추를 중력을 이용하여 낙하시켜 시험체에 충돌시켜 충격하중을 가하는 장비로 최대 3ton의 낙하추를 15m 높이에서 낙하시킬 수 있으며, 시편은 4.5m×4.5m 크기까지 설치가 가능하다.

2. 활용방안

2.1 고중량, 저속 충돌에서 부재의 거동 파악

- 낙석, 차량, 선박, 항공기 충돌과 같은 극한하중은 속도에 비해 중량이 큰 고중량, 저속 충돌형태로 작용하며 이는 고속의 하중과 달리 부재, 구조물에 국부거동 뿐만 아니라 전체거동에도 영향을 미친다. 따라서 이를 모사할 수 있는 실험이 필요하며 자유낙하 실험시설은 이러한 경우 적용이 가능하다.
- 낙하추를 이용하여 충격을 모사하고 슬래브 혹은 보 부재를 낙하추가 낙하하는 밑에 거치시켜 부재의 거동을 관측할 수 있다. 일반적인 정적 하중 재하의 경우 휨, 전단강도에 대해서는 계산식이 이미 검증되어 설계 기준 등에 적용되어 사용되고 있다. 하지만 충격하중의 경우 아직 이러한 계산식이 없으며 일부 실험 등을 통해 정적 상태와는 다르며 정적 상태의 강도를 이용하여 경험식을 제안한 경우가 일부 있을 뿐이다.
- 즉, 실험적 검증을 통한 거동 파악이 필요하며 자유낙하 실험시설을 이용하여 이러한 연구가 활발히 수행되어 충격하중 재하시의 부재의 거동 파악과 휨, 전단 등에 대한 강도 계산식 제안 등의 연구의 수행이 가능하다.

2.2 해석 연구와의 교차 검증 가능

- 극한하중을 모사하는 경우 특수 장비의 필요성, 실험의 난이도와 위험성, 경제성 등의 이유로 인해 실물 크기 부재 실험의 수행이 어렵기 때문에 해석을 이용한 연구 수행이 필요하다. 하지만 해석 연구를 수행한 후 이를 검증할 수 있는 실험연구 또한 반드시 필요하다. 실험과 해석연구의 교차 검증을 통해 정확한 해석적 예측이 가능하며 실험 수행 또한 가능하다.
- 따라서 자유낙하 실험시설을 이용한 실험을 통해 거동 관측 뿐만 아니라 실험결과값을 해석 연구 결과와 비교하여 해석의 정확도를 높이고 실험 결과의 타당성 역시 검증할 수 있을 것으로 예상된다

2.3 신재료를 사용한 부재의 내충격성 평가

- 최근 FRC, UHPC와 같은 신 건설재료와 각 종 합성수지를 이용한 신재료, 방탄 신재료 등의 개발로 이에 대한 재료의 내충격성 검증이 필요한 경우가 증가하고 있다. 실험센터에 구비되는 급속재하실험시설을 이용하면 재료의 내충격성을 평가할 수 있다. 하지만 실제 구조물에 적용하기 위해서는 재료 뿐만 아니라 부재 실험을 통한 내충격성 검증이 필요하다.
- 자유낙하 실험시설은 4.5m×4.5m 크기의 부재 실험까지 가능하기 때문에 대형 부재의 실험이 가능하며 이를 통해 구조물에 바로 적용이 가능한 수준의 내충격성 검증 실험 수행이 가능하다.

2.4 활용예상기관

- 자유낙하 실험시설은 건설사 및 설계사, 관련 연구를 하는 대학 연구실, 재료연구소, 한국기계연구원, 건설기술연구원, 포항산업과학연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 철도기술연구원, 자동차안전연구원, 선박해양플랜트연구소, 한국세라믹기술원 등 다양한 연구기관 등에서 부재 내충격성, 충격 하중 재하시 거동 관측 연구를 위해 다방면으로 활용될 것으로 예상된다.

중/고/초고속충돌실험시설

1. 장비개요

- 충돌실험시설은 고압의 압축가스를 이용하여 발사체를 목표속도로 발사할 수 있는 가스건이다. 충돌실험시설은 속도 범위에 따라 초고속, 고속, 중속 충돌실험시설 세 가지 장비로 구성된다. 각 충돌실험시설의 장비 성능은 다음 표와 같다.

구분	초고속 충돌실험시설	고속 충돌실험시설	중속 충돌실험시설
발사체 직경	~25mm	~60 mm	~250mm
발사체 질량	25~200g	0.5~5 kg	5~100kg
충돌속도	2.6~7km/s	0.5~1.2 km/s	220~470m/s
최대 타겟크기 (B × H × T)	0.5m×0.5 m	0.7m×0.7 m	2m×2m×0.5m

2. 활용방안

2.1 고속 충돌에서 재료 및 부재의 거동 파악

- 항공기, 미사일, 탄환, 우주 잔해물 충돌과 같은 극한하중은 매우 높은 속도로 발생하는 현상이다. 이런 고속의 충돌하중은 부재에 관입, 관통, 배면파괴 등 심각한 국부 손상과 처짐, 대변형 등 전체거동을 유발한다. 극한성능실험센터의 충돌실험시설은 중속, 고속, 초고속 각 속도범위에 최적화되어 있어 각 속도 및 질량 범위에서 충돌실험을 수행할 수 있다.
- 중속 충돌실험시설은 상대적으로 무거운 발사체를 중속으로 발사하는 시설로서 항공기, 미사일 충돌 등을 모사하여 원자력 발전소 벽체, 대형 플랜트 등의 내충격성 평가에 활용될 수 있다.
- 고속 충돌실험시설은 탄환과 방탄 장비의 성능을 검증하거나, 신소재의 성능 평가 또한 수행될 수 있다.
- 세계적 수준의 초고속 충돌실험시설은 우주선 혹은 인공위성에 발생하는 우주 잔해물 충돌 및 행성의 지질형성 과정 등을 모사할 수 있는 장비이다.
- 각 영역에서의 부재실험을 통하여 기존에는 밝혀지지 않은 고속 충돌시 발생하는 새로운 현상을 연구할 수 있으며 부재 및 재료의 성능 검증 등의 연구가 수행될 수 있다.

2.2 해석 연구와의 교차 검증 및 충돌실험 데이터베이스 구축

- 국내외를 막론하고 고속 충돌에 대한 실험은 특수 장비의 부족, 안전성, 높은 비용 등의 문제로 극히 수행된 바가 적다. 이처럼 기존 연구는 실험 연구보다는 해석 연구에 치중하여 수행되어 왔다.
- 그러나 극한하중에 대한 연구는 해석 연구와 실험 연구의 교차 검증이 필요하며, 극한성능실험센터의 충돌실험시설은 해석 연구에 비해 부족했던 실험 연구의 수행을 가능하게 해줄 것이다. 이를 통해 기존 해석 연구의 검증과 실험사례 및 실험 데이터베이스 구축이 가능할 것이다.

2.3 기타 장비와의 연계 활용 가능

- 본 센터에 함께 구축되는 홉킨슨바(SHPB) 실험시설 및 고속카메라, Flash X-Ray system와 함께 연계적으로 활용이 가능할 것으로 기대된다.
- 홉킨슨바 실험시설을 이용해 충돌상황에서의 재료 물성을 얻을 수 있으며 이를 부재 충돌상황 해석모델에 적용할 수 있다. 본 충돌실험시설을 이용하여 개발된 해석모델의 검증 및 개선 등이 가능할 것으로 생각된다.
- 또한 고속의 충돌 현상을 관측하기 위해 고속카메라를 활용하여 계측 데이터 및 이미지를 얻을 수 있으며, 충돌로 인한 분진, 섬광 등의 문제로 가시광선이 확보되지 않는 경우에는 Flash X-Ray system을 활용하여 관측할 수 있다.

2.5 활용예상기관

- 충돌실험시설은 건설사 및 설계사, 관련 연구를 하는 대학 연구실, 재료연구소, 한국기계연구원, 건설기술연구원, 포항산업과학연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 철도기술연구원, 자동차안전연구원, 선박해양플랜트연구소, 한국세라믹기술원, 한국원자력안전기술원 등 다양한 연구기관 등에서 부재 내충격성, 충격 하중 재하 시 거동 관측 연구를 위해 다방면으로 활용될 것으로 예상된다.

홉킨슨바

1. 장비개요

- 홉킨슨바(SHPB) 실험시설은 입력봉과 출력봉 사이에 시편을 위치시키고, 충격봉을 입력봉에 충돌시켜 탄성파를 만들어내 시편에 하중을 가하는 장비이다. 이를 통해 재료의 고변형률 속도에서의 특성을 조사할 수 있다.
- 본 실험센터에는 금속 등 균질한 재료에 최적화된 19mm 직경 SHPB 장비와 콘크리트, 암석 등 비균질한 재료를 시험할 수 있는 75mm 직경의 SHPB 장비가 설치된다.

2. 활용방안

2.1 충격, 충돌, 폭발로 인한 고변형률 속도에서 재료의 특성 파악

- 차량, 항공기, 미사일 충돌 및 폭발과 같은 극한하중은 재료에 매우 높은 변형률 속도를 유발한다. 공학 분야에서 사용되는 많은 재료들은 변형률 속도에 따라 강도, 강성 등 여러 특성들이 변화하고, 본 실험센터의 홉킨슨바 실험시설을 이용하여 100~10,000/s의 높은 변형률 속도에서의 동적 재료 특성을 연구할 수 있다.
- 현재 여러 공학 분야에서 사용되는 동적증가계수의 제안 뿐만 아니라, 재료실험 결과를 적용하여 더 정확한 부재 해석모델을 개발할 수 있으며 기존 재료 및 신소재의 내충격성능 또한 연구될 수 있다.

2.2 기타 장비와의 연계 활용 가능

- 본 센터에 함께 구축되는 급속재하실험시설, 충돌실험시설 및 고속카메라와 함께 연계적으로 활용이 가능할 것으로 기대된다.
- 급속재하실험시설과는 다른 변형률 속도 영역의 실험을 수행하기 때문에, 급속재하실험시설과 함께 활용하여 매우 넓은 범위의 변형률 속도에서 재료의 특성을 조사하고, 여러 재료에서 변형률 속도에 대한 영향을 총망라 할 수 있을 것으로 기대된다.
- 또한 홉킨슨바 실험시설의 재료실험 결과를 이용하여 부재 해석모델을 개발하고 이 해석모델을 충돌실험시설의 충돌실험과 연계하여 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 재료의 파괴 양상을 고속카메라를 이용하여 관측하고, 고변형률 속도에서의 재료 파괴 매커니즘을 규명할 수 있을 것이다.

2.3 활용예상기관

- 홉킨슨바 실험시설은 건설사 및 설계사, 관련 연구를 하는 대학 연구실, 재료연구소, 한국기계연구원, 건설기술연구원, 포항산업과학연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 철도

기술연구원, 자동차안전연구원, 선박해양플랜트연구소, 한국세라믹기술원, 한국원자력안전기술원 등 다양한 연구기관 등에서 부재 내충격성, 충격 하중 재하 시 거동 관측 연구를 위해 다방면으로 활용될 것으로 예상된다.

급속재하실험시설

1. 장비개요

- 급속재하실험시설은 유압을 이용하여 일반적인 범주를 넘어서는 빠른 속도의 하중을 순간적으로 재하하여 재료의 동적 거동을 파악하는 장비로 압축의 경우 최대 320kN, 5m/s, 인장의 경우 최대 333kN, 10m/s의 성능을 보유하고 있다.

2. 활용방안

2.1 변형률속도에 따른 재료의 특성 파악

- 일반적인 범주를 벗어나는 충격, 충돌, 폭발과 같은 극한하중의 경우 일반적인 정적 하중과는 달리 짧은 시간에 큰 하중이 작용하는 동적 하중으로 구조물에도 일반적인 정적 하중에서의 거동과는 다른 거동이 나타나게 된다.
- 건설재료로 널리 사용되는 콘크리트, 철근 등은 변형률 속도의 영향에 민감한 재료로 알려져 있다. 이 때, 변형률 속도란 변형률의 변화율로 하중 속도와 시편의 크기 등에 의해 결정되는 물리량이다. 특히, 콘크리트의 경우 변형률속도에 따라 강도, 탄성계수, 최대강도 도달시 변형률 등의 재료 특성이 일반적인 정적 하중 재하시와 크게 달라진다고 알려져 있다. 이러한 영향을 간단히 표현하기 위해 동적증가계수(Dynamic Increase Factor)와 같은 지표가 제안되고 있지만 각 연구자 혹은 설계기준, 리포트 등에서의 제안하는 값이 달라 이에 대한 연구가 필요하다. 급속재하 실험시설을 사용하면 시편크기와 하중속도를 조정하여 약 100/s 수준의 변형률속도를 재하할 수 있으며 이를 통해 재료의 강도, 변형률, 탄성계수 등을 관측하여 동적증가계수와 같은 지표의 제안도 가능하다.

2.2 해석 연구의 입력값으로 활용

- 극한하중을 모사하는 경우 특수 장비의 필요성, 실험의 난이도와 위험성, 경제성 등의 이유로 인해 실물 크기 부재 실험의 수행이 어렵기 때문에 해석을 이용한 연구 수행이 필요하다.
- 하지만 해석 연구를 위해서는 시편 재료의 동적 특성을 파악하고 있어야 한다. 동적 특성을 입력값으로 지정해야 올바른 해석이 되기 때문이다. 따라서 급속재하실험시설을 이용한 실험결과를 해석에 필요한 입력값으로 사용하여 신뢰도 있는 해석 연구의 수행이 가능하다.

2.3 신재료의 내충격성 평가

- 최근에는 FRC, UHPC와 같은 신 건설재료와 각 종 합성수지를 이용한 신재료, 방탄 신재료 등의 개발로 이에 대한 재료의 내충격성 검증이 필요한 경우가 증가하고 있다.
- 급속재하실험시설을 이용하면 필요한 수준의 변형률속도를 재료에 재하하고 이 때, 재료의 거동을 관측하여 재료의 내충격성을 평가할 수 있으며 나아가 내충격성 평가를 위한 지표 수립을 위해서도 활용이 가능하다.

2.4 활용예상기관

- 급속재하실험시설은 건설사 및 설계사, 관련 연구를 하는 대학 연구실, 재료연구소, 한국기계연구원, 건설기술연구원, 포항산업과학연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 철도기술연구원, 자동차안전연구원, 선박해양플랜트연구소, 한국세라믹기술원 등 다양한 연구기관 등에서 재료의 성능 연구를 위해 다방면으로 활용될 것으로 예상된다.

극한온도실험시설

1. 장비개요

- 극한온도실험시설은 지구상에서 발생 가능한 극저, 극한 온도(±60℃)를 모사할 수 있는 3m×5m×12m (B×H×L) 크기의 대형 온도챔버로 500kN의 UTM을 이용하여 내부에서 재료 및 부재의 구조 실험 또한 가능할 수 있도록 하는 장비이다.

2. 활용방안

2.1 극한온도에서 재료 및 부재의 거동 파악

- 최근 중동지역 건설시장의 성장과 남극 세종기지, 장보고기지의 설립으로 인해 극지에서의 동토 실험이나 건설, 기계, 항공 등 재료의 성능 평가 실험의 필요성이 증가하고 있다. 특히 동결, 융해 작용으로 인한 구조물 및 지반의 손상과 온도에 따라 달라지는 재료 물성의 관측, 부재 거동의 관측 등이 주요 이슈이다. 하지만 이를 검증할 수 있는 실험시설의 부재로 이제까지 소규모의 재료단위의 실험들만 일부 수행되어 왔다.
- 본 센터의 극한온도실험시설을 이용하면 고/저온에서 각종 재료 및 부재의 거동을 파악할 수 있다. 특히, 동적 피로 시험이 가능한 수준의 500kN UTM을 이용한 구조 실험이 가능하여 매우 유용하게 활용될 수 있다.

2.2 해석 연구와의 교차 검증 가능

- 현재 극한온도에서 재료나 부재를 해석하는 기법은 일반적인 하중에 비해 상대적으로 뒤쳐져 있다. 이는 실제 실험을 통한 비교 혹은 검증이 매우 어렵기 때문이다.
- 하지만 본 센터의 극한온도실험시설을 이용하여 실험을 수행할 경우 이러한 한계를 극복하여 극한온도에서 재료 및 부재의 해석연구를 위한 입력 데이터 제공 뿐만 아니라 해석 결과를 실험 결과와 교차 검증하여 해석 모델을 업데이트하고 실험 연구 방법 또한 발전시켜 나가는 활용성과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

2.3 기타 장비와의 연계 활용 가능

- 본 센터에 함께 구축되는 자유낙하 실험시설, 급속재하 실험시설과 함께 연계적으로 활용이 가능할 것으로 기대된다.
- 일정 온도 이력을 받은 재료를 가지고 급속재하 혹은 자유낙하 실험시설에서 실험을 수행하여 온도 이력이 내충격성에 미치는 영향을 관측하거나 역으로 충격을 받아 손상을 입은 재료에 온도 이력을 가할 경우 재료 및 부재의 거동 혹은 파괴 양상 등을 관측하여 실제로 겪을 수 있는 다양한 극한상황 시나리오에 대한 연구 수행이 가능할 것이다.

2.4 활용예상기관

- 극한온도 실험시설은 건설사 및 설계사, 관련 연구를 하는 대학 연구실, 재료연구소, 한국기계연구원, 건설기술연구원, 포항산업과학연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 철도기술연구원, 자동차안전연구원, 선박해양플랜트연구소, 한국해양과학기술원 산하 극지연구소 등에서 활용이 가능할 것으로 예상된다.

(나) 자유낙하실험시설 활용 방안 연구

1. 기존 연구 검토 및 분석

- 자유낙하실험시설 구축 후 활용방안을 연구하기 위해 국내외에서 기 수행된 자유낙하 충돌실험 사례를 검토하여 분석했다.
- 대부분의 자유낙하 충돌실험은 재료 수준에서 수행되었으며 이는 본 장비가 목표로 하는 실험목적과 다르기 때문에 제외했다.
- 국내에서 수행된 부재실험은 거의 없으며 수행된 경우도 1m 이하의 소규모 부재에 대한 실험이 수행되었다. 국외의 경우도 소규모 부재 실험이 주로 수행되었으며 대규모 부재 실험은 거의 없으며 수행된 경우 낙하추의 무게가 1ton 이하의 소중량 혹은 낙하높이 5m 이하의 낮은 충돌속도에서 수행되어 본 장비의 성능에 비해 상당히 낮은 수준의 실험이 주로 수행되었음을 확인했다.
- 소규모 부재 실험은 RC보 및 슬래브에 대한 연구가 가장 활발히 수행되었으며 충격하중재하 시 부재의 거동 관측 미 내충격성능을 관측하는 것을 주요 목적으로 했다. 하지만 연구자마다 각기 다른 실험 장비를 사용하고 실험 수행 방법 또한 상이하기 때문에 기존 연구 결과를 대형 부재 및 구조물에 그대로 적용할 수 없는 한계가 있다.
- 또한, 자유낙하 충돌실험의 경우 장비의 특수성, 실험의 위험성, 고비용의 경제성 등의 문제로 일반 정적실험보다 실험 횟수의 제한이 크다. 따라서 이를 해결하기 위해 해석 시뮬레이션 연구를 수행하고 있으나 실제 실험과 비교하여 타당성을 검증해야한다. 하지만 위에서 언급한 것과 마찬가지로 대형 부재에 대한 실험 수행 사례가 없기 때문에 소규모 부재에 대해서만 일부 해석 연구의 정확도 및 타당성이 검증되어왔다. 따라서 기존 해석 시뮬레이션 결과를 대형 부재 및 구조물에 그대로 적용할 수 없는 한계가 있다.

2. 실험시설 활용사례 도출

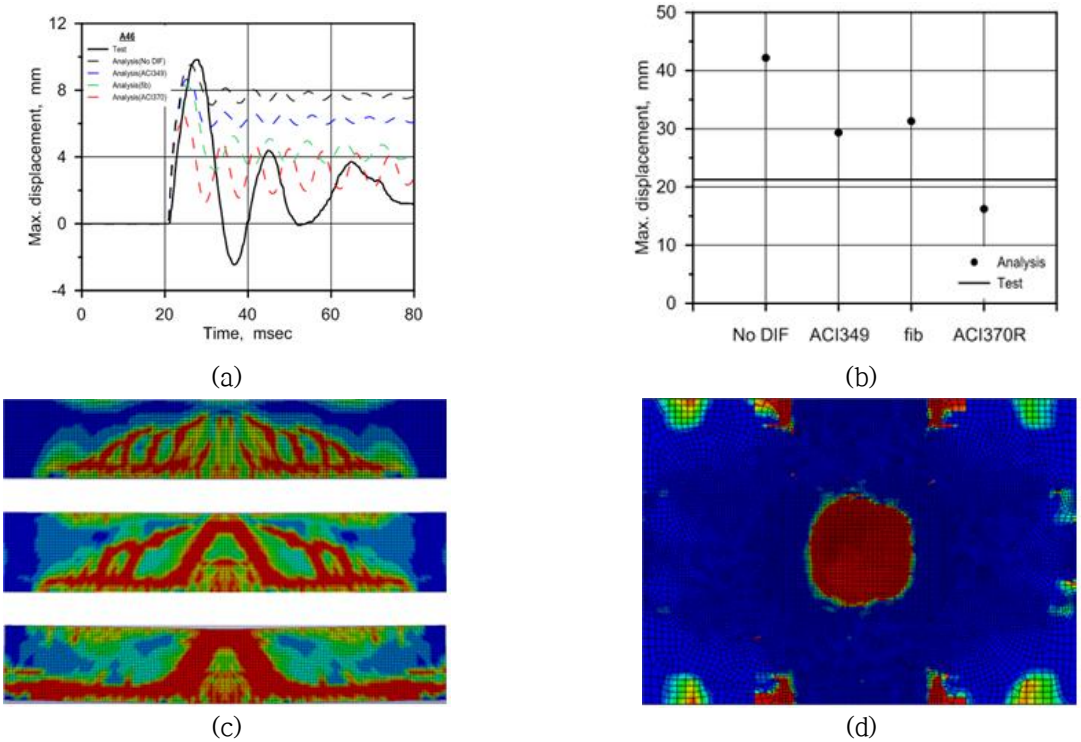
- 고중량, 저속 충돌에서 부재의 거동 파악
  - 낙석, 대형 차량, 선박, 항공기 충돌 같은 극한하중이 작용하면 구조물은 동적 거동이 발생하여 정적상태와는 매우 다른 거동이 발현된다. 따라서 기존에 수행된 정적 실험 및 해석 등의 연구결과를 사용할 수 없다.
  - 따라서 극한하중 재하시 구조물의 거동을 파악하기 위해서는 충돌 실험 수행이 반드시 필요하게 되며 특히 건설, 토목 분야에서 주로 발생하는 고중량, 저속 충돌 영역의 경우 자유낙하실험시설을 이용해 실험 수행이 가능하다.
  - 특히 자유낙하실험시설을 활용한 실험 수행을 통해 부재의 처짐, 관입깊이, 균열양상 등의 거동을 파악하고 이를 이용해 기존 정적 상태와 같은 휨, 전단강도 등에 대한 경험식혹은 계산식 등의 제안 등 추가적인 연구에도 활용될 것으로 기대된다.
- 해석 시뮬레이션 연구와 병행 수행을 통한 교차 검증
  - 극한하중을 모사하는 충돌 실험의 경우 특수 실험 장비의 필요성, 실험의 위험성, 높은 비용으로 인한 경제성 등의 한계점으로 인해 실험 수행 횟수에 제한이 존재한다. 또한, 실물 부재 크기를 그대로 모사하는 것은 불가능하다.
  - 따라서 해석 시뮬레이션을 이용한 연구 수행이 필요하다. 하지만 해석 시뮬레이션의 신뢰성을 확인하기 위해서는 반드시 해석 시뮬레이션과 실험의 병행 수행을 통한 검토가 필요하다. 하지만 현재 대형부재에 대한 해석 시뮬레이션 툴이 구축 되어있지 않아 이에 대한 연구가 필요하다.
  - 자유낙하실험시설을 이용한 대형 부재 실험을 통해 얻은 결과를 활용해 해석 시뮬레이션의 신뢰성 및 타당성 검토가 가능하고 그 결과 정확도 높은 해석 시뮬레이션 툴

을 마련할 수 있다.

- 다양한 재료를 사용한 부재의 내충격성능 평가
  - 최근 FRC, UHPC와 같은 신 건설재료와 각종 합성수지를 이용한 신재료, 방탄 신재료 등의 개발로 이에 대한 재료의 내충격성 검증에 대한 수요가 계속적으로 증가하고 있다. 추후 극한성능 실험센터에 구비되는 급속재하실험시설을 이용하면 재료의 내충격성을 평가할 수 있다. 하지만 실제 구조물에 적용하기 위해서는 재료 뿐만 아니라 부재 실험을 통한 내충격성 검증이 필요하다.
  - 자유낙하실험시설은 4.5m×4.5m 크기의 부재 실험까지 가능하기 때문에 대형 부재의 실험이 가능하며 이를 통해 구조물에 바로 적용이 가능한 수준의 내충격성능 평가 실험 수행이 가능하다.
- 구조물 내충격 설계기준 마련을 위한 기반 수립
  - 자유낙하실험시설을 활용한 실험을 통해 위에서 언급한 1~3의 활용으로 인한 결과들을종합하면 극한하중에서의 부재 설계시 반영해야 할 변수 혹은 조건 등을 도출하고 내충격성능을 검증할 수 있다. 또한, 부재의 내충격성능의 향상을 위한 방안에 대한 실험 수행 등을 통해 데이터 축적이 가능하며 이를 활용하면 구조물 내충격 설계기준의 마련이 가능하다.

3. 실험 수행 예비 해석 시뮬레이션 수행

- 자유낙하실험시설 실험의 수행이 가능한 RC보 및 슬래브 부재에 대해 예비 해석 시뮬레이션을 수행하여 실험시설을 이용한 실험 수행시 부재의 거동 파악이 가능한지 여부, 계측 시스템의 구성에 대해 적절한 위치 선정 등 최적안 도출, 실험 수행 결과와 교차 검증을 위한 해석 데이터 베이스의 선구축 등을 얻고자 했다.

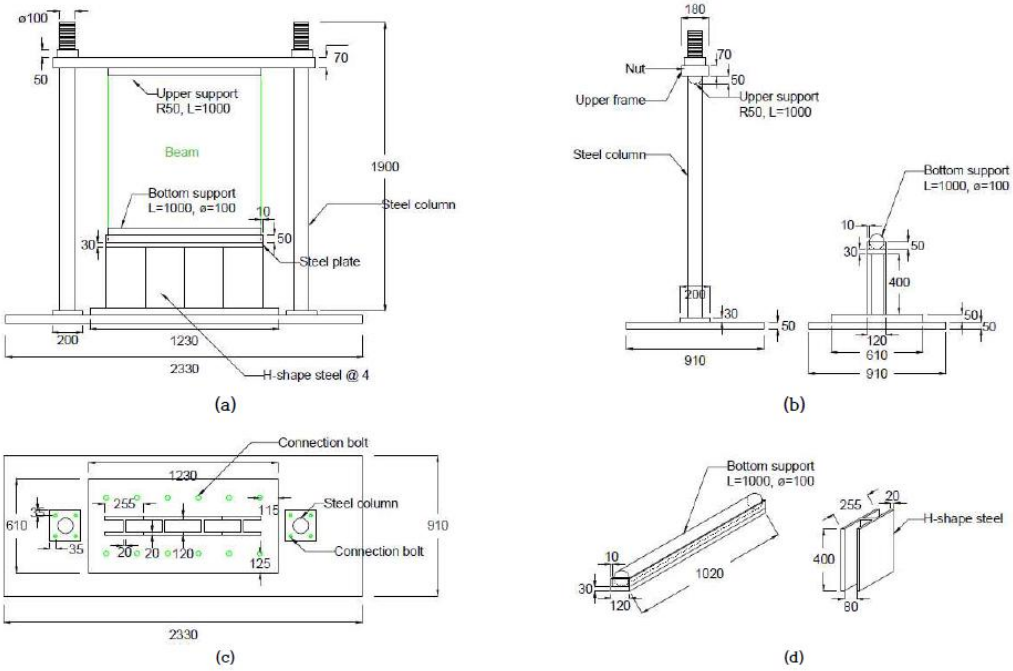


[그림 185] 해석 주요 결과

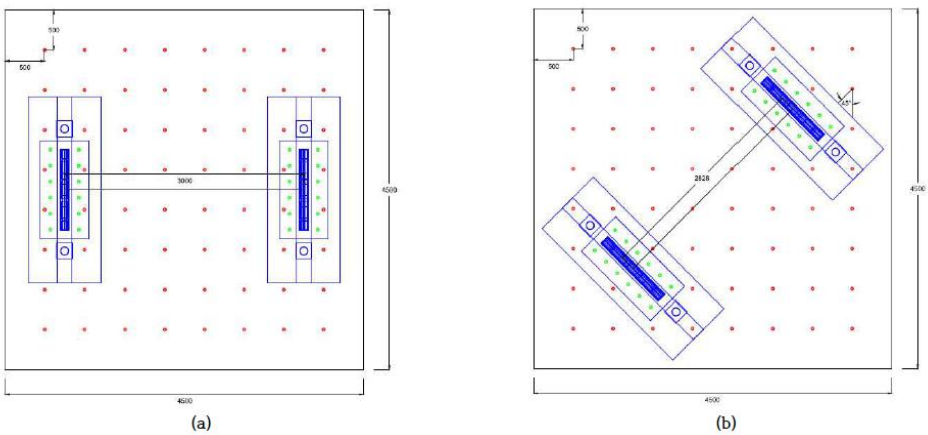
(a) RC보 최대처짐의 실험/해석 결과 비교, (b) RC슬래브 최대처짐의 실험/해석 결과 비교
(c) RC보 파괴양상, (d) RC슬래브 파괴양상

4. 실험 수행을 위한 프레임 제작 연구

- 자유낙하실험시설은 고중량의 낙하추를 충돌시키기 때문에 시험체에 큰 충격하중을 재하하게 되며 이로 인해 시험체는 큰 반력과 관성력으로 인해 충돌하중과 반대방향인 수직 상향 방향으로 크게 움직이게 된다. 이는 정적하중 재하 실험에서는 발생하지 않는 현상으로 시험체가 지점부에서 이탈하거나 전도되어 위험한 상황이 발생할 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위한 별도의 프레임이 제작되어야 하며 프레임은 실험 수행 시 소성변형이나 국부 파괴로 인한 손상 등이 발생하지 않도록 설계되어야 한다.
- 이를 위해 실험 수요가 가장 크게 예상되면 RC보 실험 수행에 사용가능한 프레임에 대한 설계를 자체적으로 수행하고 안전성 및 적용성을 확인하기 위해 유한요소해석을 통한 검증을 수행하였다.
- 해석 결과 프레임은 실험 과정에서 모두 탄성 범위 내에서 거동하여 안전성에 문제가 없음을 확인하였고 시험체도 이탈 없이 거동하는 것을 확인하였다. 추후 이 결과를 활용하여 실제 제작업체와 기술 논의를 통해 프레임을 제작 및 구축할 예정이다.



[그림 186] 프레임 설계안 (a) 정면도, (b) 측면도, (c) 윗면도, (d) 부재 상세도

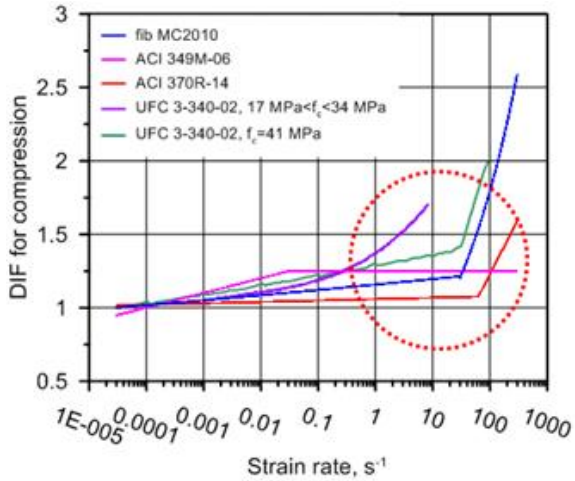


[그림 187] 프레임 배치안 (a) 90도 배치, (b) 45도 회전 배치 (보 길이 4m)

(다) 홉킨슨바를 활용한 콘크리트 동적 재료특성 연구

1. 기존 연구 검토 및 분석

- SHPB를 활용하여 콘크리트 동적 재료특성을 연구하기 위해 국내외에서 기 수행된 콘크리트 SHPB 해석 및 실험연구 사례를 검토하여 분석했다. 특히, 높은 변형률 속도에서 콘크리트의 동적 압축강도 증진을 고려하기 위한 동적증가계수 (Dynamic Increase Factor, DIF)에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다.
- 현재 변형속도효과에 의한 동적강도 증진의 원인은 다음 2가지에 의한 것으로 정성적으로 설명되고 있다.
  - 하중재하 속도가 매우 빠르기 때문에 균열이 정적상태보다 진전되지 못하여 동적강도가 증진된다.
  - 콘크리트 공극 속 자유수가 관성력을 받으며 변형에 저항하게 되고 이로 인해 동적강도가 증진된다.
- 그러나 위 두 가지 모두 동적강도 증진의 경향성 변화는 설명하지 못하며, 일부 연구자들은 동적강도 증진의 경향성의 변화는 변형속도효과가 아닌 횡방향 관성효과에 의한 것임을 주장한다.

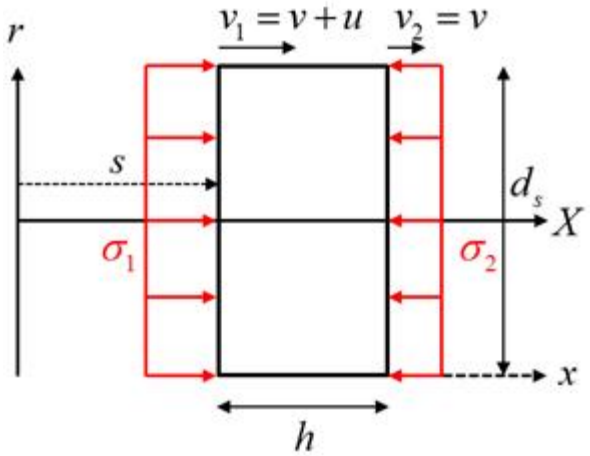


[그림 188] 여러 동적증가계수와 동적강도증진의 경향성 변화

2. 관성효과에 대한 중요변수 확인을 위한 해석모델 연구

- SHPB 실험 시, 관성효과에 영향을 주는 변수를 결정하기 위해 해석모델 연구를 수행하였다.
- 가정사항
  - 축방향으로 균질한 변형
  - 선형 응력-변형률 관계
  - Rate independent material properties
  - Constant Poisson ratio
- 이때, energy balance method에 의하여 축방향 및 횡방향 관성효과는 다음과 같다.

$$\frac{\sigma_1+\sigma_2}{2}=\sigma_{avg}=E_c\varepsilon_x+\frac{1}{2}\rho(1-2\nu)\left[v^2+uv\right]+\dot{\varepsilon}_x{}^2\rho\left[\frac{1}{4}h^2-\frac{1}{3}\nu h^2+\frac{\nu^2d^2}{16}-\frac{\nu^3d^2}{8}\right]+\ddot{\varepsilon}_x\rho\left[\frac{1}{12}h^2+\frac{\nu^2d^2}{8}\right]$$



[그림 189] SHPB 실험 해석모델

- 시편의 운동속도가 시편의 변형속도에 비하여 느리고 변형률 속도의 제곱은 변형률 가속도에 비하여 작기 때문에 이에 해당하는 항을 무시할 수 있다. 이때 축방향 및 관성효과는 다음과 같다.

$$\sigma_{avg} = E_c \varepsilon_x + \ddot{\varepsilon}_x \rho \left[\frac{1}{12} h^2 + \frac{\nu^2 d^2}{8} \right]$$

- 횡방향 및 축방향 관성효과가 축방향 strain acceleration에 의해 도입됨을 확인했다.
- 횡방향 관성효과에는 시편의 직경이 영향을 주는 것을 확인했다.
- 종방향 관성효과에는 시편의 길이가 영향을 주는 것을 확인했다.
- 따라서 콘크리트 시편에 대해 다음과 같이 관성효과를 가정하여 겉보기 DIF를 제안했다.

$$DIF_{apparent} = DIF_{rate} + \frac{\Delta f_{radial\ inertia}}{f_{c,static}} + \frac{\Delta f_{axial\ inertia}}{f_{c,static}}$$

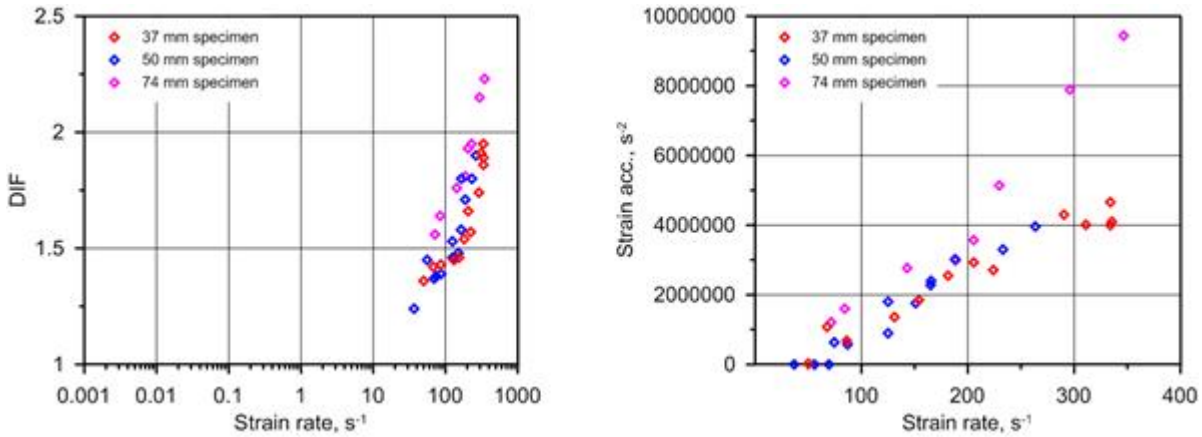
$$= \left(\frac{\dot{\varepsilon}_s}{\dot{\varepsilon}_{s,static}} \right)^{k_1} + k_2 \frac{d_s^{\,2} \rho_s \ddot{\varepsilon}_s}{f_{c,static}} + k_3 \frac{l_s^{\,2} \rho_s \ddot{\varepsilon}_s}{f_{c,static}} \quad \text{where, } \dot{\varepsilon}_{s,static} = 10^{-5} s^{-1}$$

3. 동적증가계수 제안식 회귀분석

- Zhang, M. (2009)의 모르타르 SHPB 실험결과를 토대로 최소제곱오차법을 이용하여 회귀분석을 진행하였다. (Zhang, M., et al., Further investigation on the dynamic compressive strength enhancement of concrete-like materials based on split Hopkinson pressure bar tests. Part I: Experiments. International journal of impact engineering, 2009. 36(12): p. 1327-1334.)

[표 79] 시편 물성치

(# of samples)	Diameter, mm	Length, mm	Strength, MPa	Density, kg/m^3
Specimen 1 (13)	37	18	51	2,116
Specimen 2 (13)	50	25	51	2,116
Specimen 3 (8)	74	21	44.9	2,179



[그림 190] 실험 데이터

- 목적함수

$$\Pi = \frac{1}{2}\sum_i \left[DIF_{test,i} - \left\{ \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{s,i}}{\dot{\varepsilon}_{c0}} \right)^{k_1} + k_2 \frac{{d_{s,i}}^2 \rho_{s,i}}{f_{ck,i}} \ddot{\varepsilon}_{s,i} + k_3 \frac{{l_{s,i}}^2 \rho_{s,i}}{f_{ck,i}} \ddot{\varepsilon}_{s,i} \right\} \right]^2$$

- 임계점 계산

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \Pi}{\partial k_1} = \sum_i \left[C_i^{2k_1} \ln C_i + C_i^{k_1} \ln C_i \left\{ k_2 A_i + k_3 B_i \right\} - DIF_{test,i} C_i^{k_1} \ln C_i \right] = 0 \\ \dfrac{\partial \Pi}{\partial k_2} = \sum_i \left[k_2 A_i^2 + \left\{ C_i^{k_1} A_i + k_3 A_i B_i \right\} - DIF_{test,i} A_i \right] = 0 \\ \dfrac{\partial \Pi}{\partial k_3} = \sum_i \left[k_3 B_i^2 + \left\{ C_i^{k_1} B_i + k_2 A_i B_i \right\} - DIF_{test,i} B_i \right] = 0 \end{cases}$$

$$\text{where, } A_i = \frac{{d_{s,i}}^2 \rho_{s,i}}{f_{c,i}} \ddot{\varepsilon}_{s,i},\ B_i = \frac{{l_{s,i}}^2 \rho_{s,i}}{f_{c,i}} \ddot{\varepsilon}_{s,i},\ C_i = \frac{\dot{\varepsilon}_{s,i}}{\dot{\varepsilon}_{s,static}}$$

- 임계점은 유일하게 존재하며 극소점이 존재한다. 이에 따라 겉보기 동적증가계수는 다음과 같이 표현된다.

$$DIF_{apparent} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_s}{10^{-5}} \right)^{2.1177e-02} - (5.0424e-02) \frac{{d_s}^2 \rho_s \ddot{\varepsilon}_s}{f_c} + 5.0957 \frac{{l_s}^2 \rho_s \ddot{\varepsilon}_s}{f_c}$$

- 따라서 SHPB를 이용하여 겉보기 동적증가계수를 얻은 경우, 다음 식을 이용하여 순수 변형속도효과에 의한 동적증가계수를 얻을 수 있다.

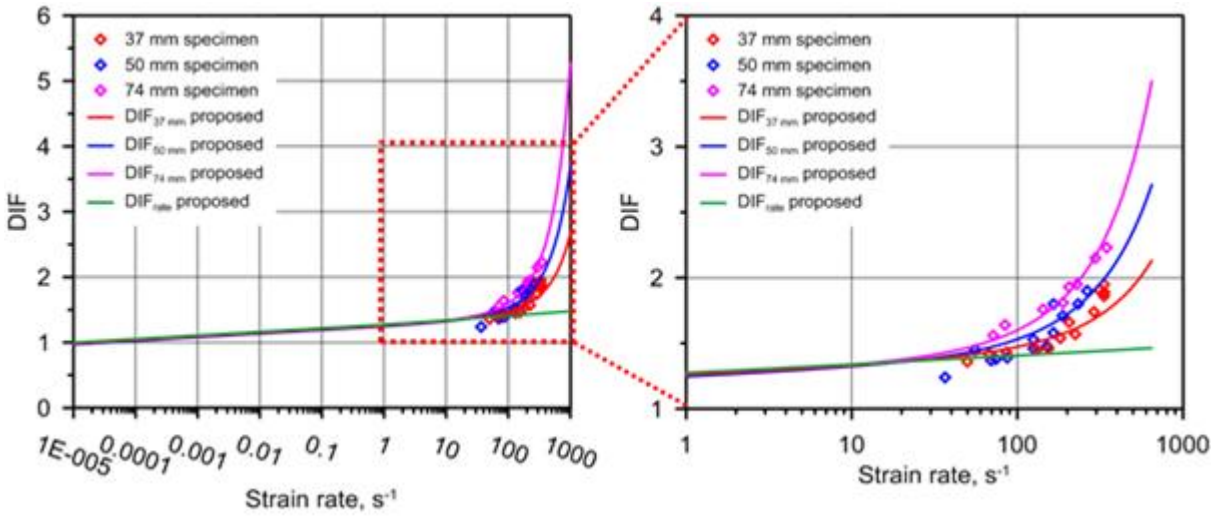
$$DIF_{rate} = DIF_{test} + (5.0424e-02) \frac{{d_s}^2 \rho_s \ddot{\varepsilon}_s}{f_c} - 5.0957 \frac{{l_s}^2 \rho_s \ddot{\varepsilon}_s}{f_c}$$

- 내충격 성능평가를 위한 해석, 혹은 내충격 설계에는 다음 식을 이용하여 콘크리트의 변형속도효과에 의한 강도증진을 고려할 수 있다.

$$DIF_{rate} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_s}{10^{-5}} \right)^{2.1177e-02}$$

- 변형률 속도와 변형률 가속도는 다음 상관관계가 있음을 확인하였다. 이를 이용하여 동적증가계수 곡선을 그릴 경우 그림 176과 같다.

$$\ddot{\varepsilon}_s = 1.5059 \left(\frac{\dot{\varepsilon}_s d_s}{l_s} \right)^2 + 5817.8 \left(\frac{\dot{\varepsilon}_s d_s}{l_s} \right) - 243,733$$



[그림 191] 제안된 겉보기 동적증가계수 및 변형속도 효과에 의한 동적증가계수와 실험결과

(라) 자체 기술세미나를 통한 실험시설 활용방안 연구

○ 박사과정 1인(유용재), 석사과정 4인(이상호, 김충현, 김경민, 이난경)

[표 80] 자체 기술세미나 개최 이력

No.	날 짜	발표자	발표 제목
1	2015.07.28.	이상호	Introduction of Gas Gun
2	2015.08.10.	이상호	Performance and parameter of Gas Gun
3	2015.09.14.	이상호	Introduction of Split Hopkinson Pressure Bar
4	2015.10.12.	이상호	Single-Stage Gas Gun Parameter Study
5	2015.11.02.	유용재	Behavior of RC Slab Subjected to Impact Load According to Arrangement of Reinforcement
6	2015.11.23.	유용재	기존 연구 분석과 연구 제안
7	2015.12.07.	유용재	DIF 제안식 도출 및 제안 관련 연구 제안
8	2015.12.21.	이상호	One-Dimensional Waves Theory for SHPB Systems and Review of SHPB Systems in SNU
9	2016.01.11.	유용재	충격하중 재하시 콘크리트 보의 거동 관련 연구 제안
10	2016.03.07.	유용재	충격하중 재하 시 콘크리트 보의 거동 관련 연구 제안
11	2016.03.28.	이상호	Qualitative Mechanism of Fractures in Solids by Stress Waves
12	2016.05.02.	이상호	SHPB Technique with Pulse Shaper
13	2016.06.13.	유용재	충격하중 재하 시 콘크리트 보의 거동 해석
14	2016.06.20.	이상호	Influence of Pulse Shaper on Incident Stress Waves
15	2016.07.29.	유용재	극한실험성능센터 실험장비 소개 및 관련 기존 연구
16	2016.09.12.	유용재	자유낙하 실험시설을 이용한 기존 연구 분석 및 해석 수행
17	2016.10.17.	이상호	An Issue about DIF
18	2016.10.31.	유용재	자유낙하 충돌 해석 진행 중간 결과
19	2016.11.21.	이상호	Practice of Analyses for SHPB Tests by Using LS-DYNA
20	2016.11.28.	유용재	자유낙하 충돌 해석 진행 결과 요약
21	2017.01.09.	이상호	Pure Rate Effect on Compressive Strength of Concrete
22	2017.01.16.	유용재	자유낙하 충돌 해석 진행 사항 논의
23	2017.01.31.	김경민	Splitting Tensile Test using SHPB
24	2017.02.06.	김충현	다자유도 시스템을 이용한 RC보 충돌해석을 위한 기존연구 분석
25	2017.02.27.	이상호	Proposal for Dynamic Increase Factor of Concrete Compressive Strength by Pure Rate Effect
26	2017.03.06.	유용재	충격하중 재하시 콘크리트 보의 거동 관련 변수 해석 결과
27	2017.03.13.	김경민	Validation Check of Splitting Tensile Test using SHPB
28	2017.04.10.	김충현	충격하중으로 인한 콘크리트 슬래브의 국부손상 산정식에 대한 리뷰
29	2017.04.30.	이상호	Dynamic Increase Factor of Concrete Compressive Strength by Pure Rate Effect

No.	날 짜	발표자	발표 제목
30	2017.05.08.	이상호	Dynamic Increase Factor of Concrete Compressive Strength by Pure Rate Effect
31	2017.05.29.	이상호	Dynamic Increase Factor of Concrete Compressive Strength by Pure Rate Effect
32	2017.06.05.	유용재	충격하중 재하시 콘크리트 보의 거동 관련 변수 해석 결과
33	2017.07.03.	김경민	Effect of Maximum Aggregate Size on DIF in Concrete SHPB Test
34	2017.07.10.	김충현	발사체 충돌로 인한 콘크리트 벽체의 관입깊이 산정연구
35	2017.07.31.	유용재	Investigation of Effect of DIF on Reinforcement Concrete Behavior Subjected to Impact Loading
36	2017.09.04.	김경민	Investigation of Effect of Maximum Aggregate Size in Concrete SHPB Test
37	2017.09.11.	김충현	구조물의 내충격성능평가를 위한 실험기법개발연구
38	2017.10.09.	유용재	Behavior of RC Beam Subjected to Impact Loading
39	2017.12.18.	김경민	Investigation of Effect of Maximum Aggregate Size in Concrete SHPB Test
40	2018.01.08.	김충현	발사체 충돌에 의한 RC벽체의 관입거동 평가
41	2018.02.12.	유용재	Behavior of RC Beam Subjected to Impact Loading
42	2018.03.19.	김경민	Effect of Maximum Aggregate Size on Dynamic Compressive Strength of Concrete
43	2018.03.26.	김충현	충격체 충돌에 의한 RC벽체의 관입거동평가
44	2018.04.16.	이난경	Structural behavior of reinforced concrete under extremely low temperature
45	2018.04.23.	이난경	Literature review of concrete in low temperature
46	2018.04.30.	이상호	Experimental Study for Effect of Missile Type on Response of RC Panel under High Velocity Impact
47	2018.05.14.	김충현	Penetration Behavior of Reinforced Concrete Panels by Impact of Hard Projectile
48	2018.05.28.	김경민	Effect of Maximum Aggregate Size on Dynamic Compressive Strength of Concrete
49	2018.05.28.	김충현	Penetration Behavior of Reinforced Concrete Panels by Impact of Projectile
50	2018.06.11.	김경민	Effect of Maximum Aggregate Size on Dynamic Compressive Strength of Concrete
51	2018.06.11.	김충현	Penetration Behavior of Reinforced Concrete Panels by Projectile Impact
52	2018.06.18.	유용재	Analysis of Effect of Momentum on the Behavior of RC Beams under Low Velocity Impact Loading
53	2018.07.16.	이난경	Image processing in cryogenic environment
54	2018.07.23.	이상호	Experimental Study for Effect of Missile Type on Response of RC Panel under High Velocity Impact
55	2018.09.10.	이난경	Application of freeze-thaw countermeasures at frost damaged concrete in transition range
56	2018.09.17.	이난경	Evaluation of air entraining agents in extremely low temperature
57	2018.10.22.	유용재	Realistic Evaluation of Impact Resistance of RC Beam Subjected to Drop Weight Loading



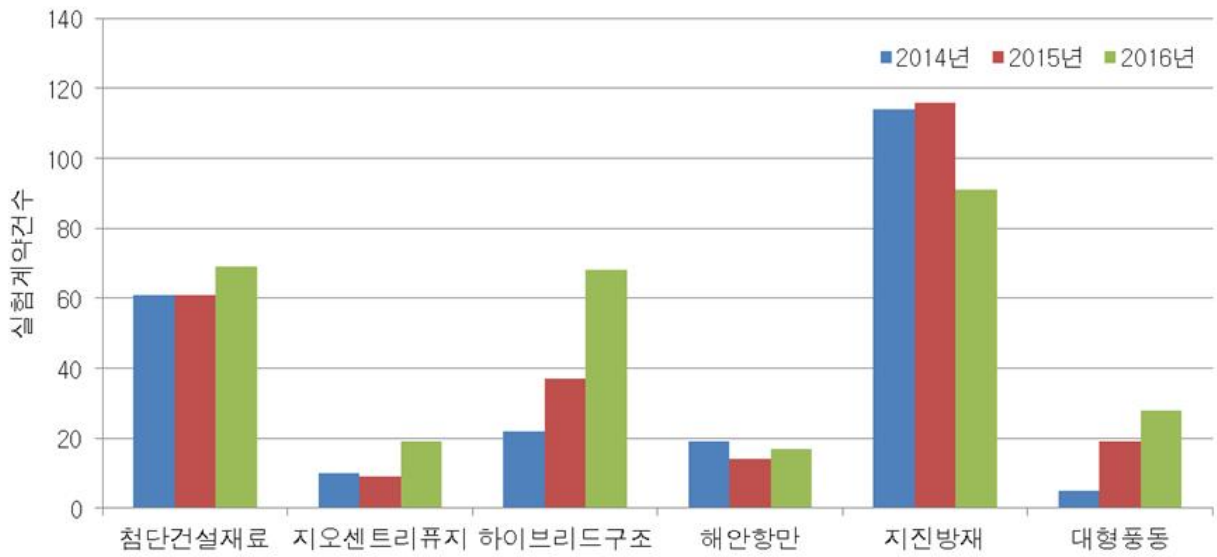
[그림 192] 자체 기술세미나 개최

(2) 국내외 유사기관 분석(수요창출/운영성과/유지관리)

○ 국토교통연구인프라운영원에서 관리하고 있는 KOCED 1단계 대형실험센터의 운영성과를 아래와 같이 분석하였다. 2014년도부터 2016년도까지 3년간의 성과에 대해 분석하였으며, 2017년도 성과 데이터는 집계에 오류가 있음이 확인되어 제외하였음

(가) 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 실험계약건수

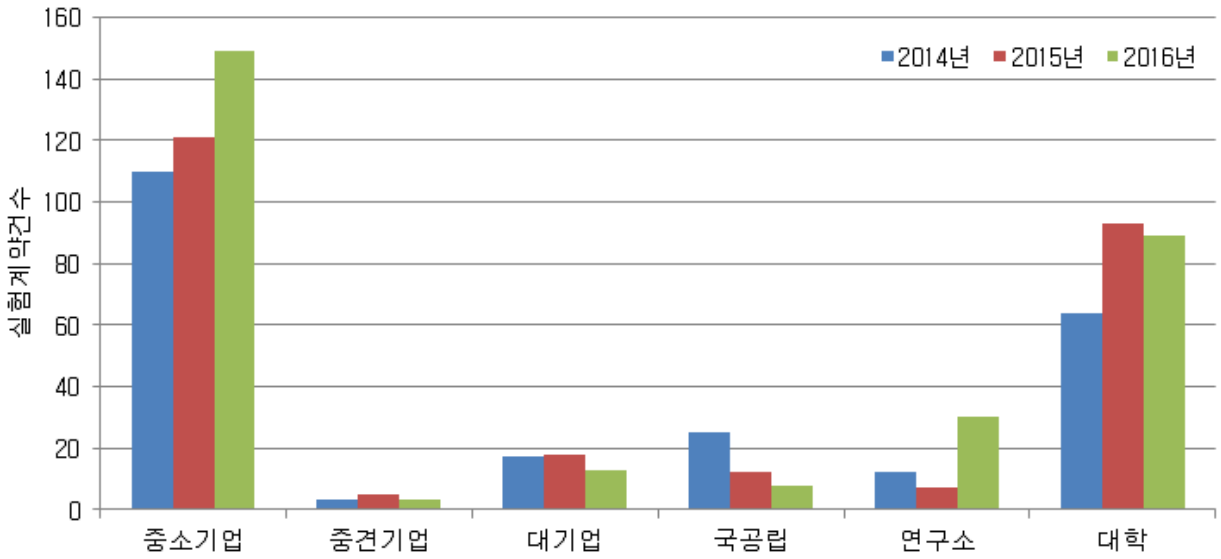
○ 각 실험센터별로 실험계약건수의 편차는 큰 편이었으며, 대체적으로 증가추세를 보이고 있음. 년간 센터의 평균 계약건수는 약 43건으로 집계됨



[그림 193] 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 실험계약건수

(나) 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 실험 의뢰기관 유형

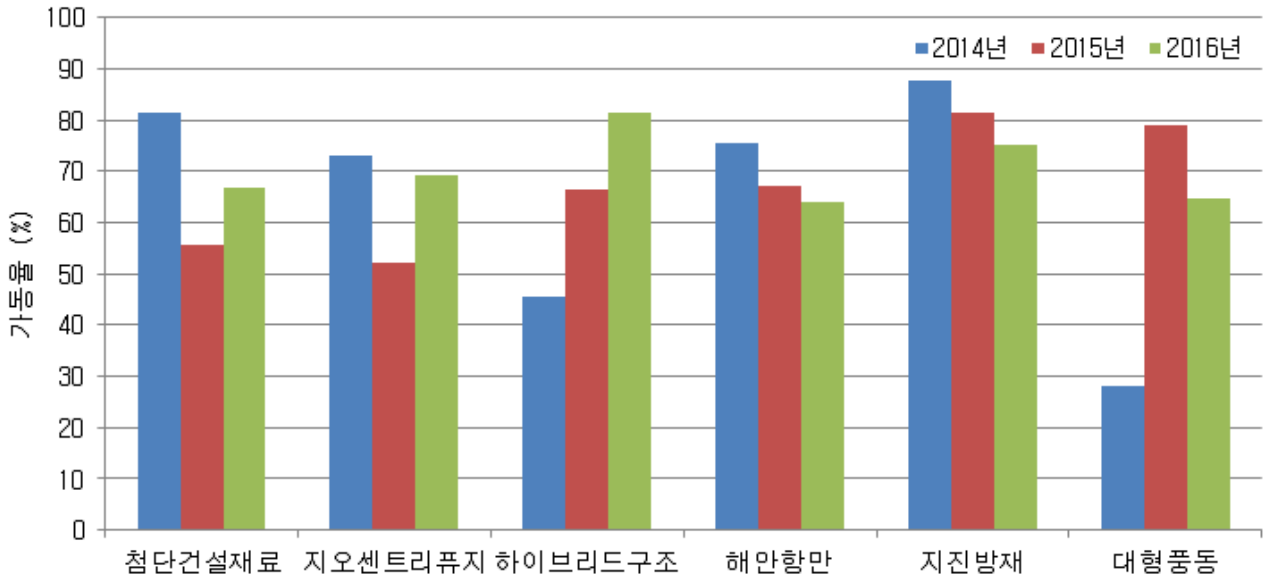
○ 실험별 의뢰기관 유형을 살펴본 결과, 중소기업의 비중이 49% 수준으로 가장 높게 집계되었으며, 그 뒤를 대학의 비중이 32%로 집계되었음. 특히, 중소기업에서 실험을 의뢰하는 건수가 해마다 크게 증가함을 알 수 있음



[그림 194] 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 실험의뢰기관 유형

(다) 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 실험시설 가동율

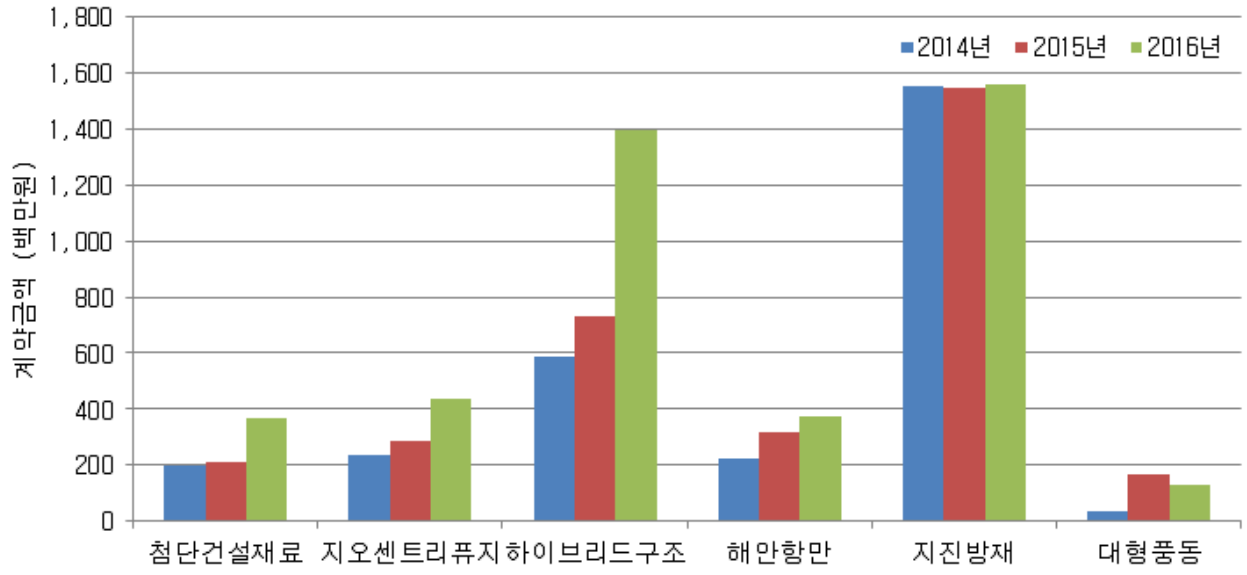
○ 3년간 실험시설 가동율을 살펴본 결과, 6개 센터 평균 가동율은 67%로 집계가 됨



[그림 195] 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 실험시설 가동율

(라) 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 계약금액

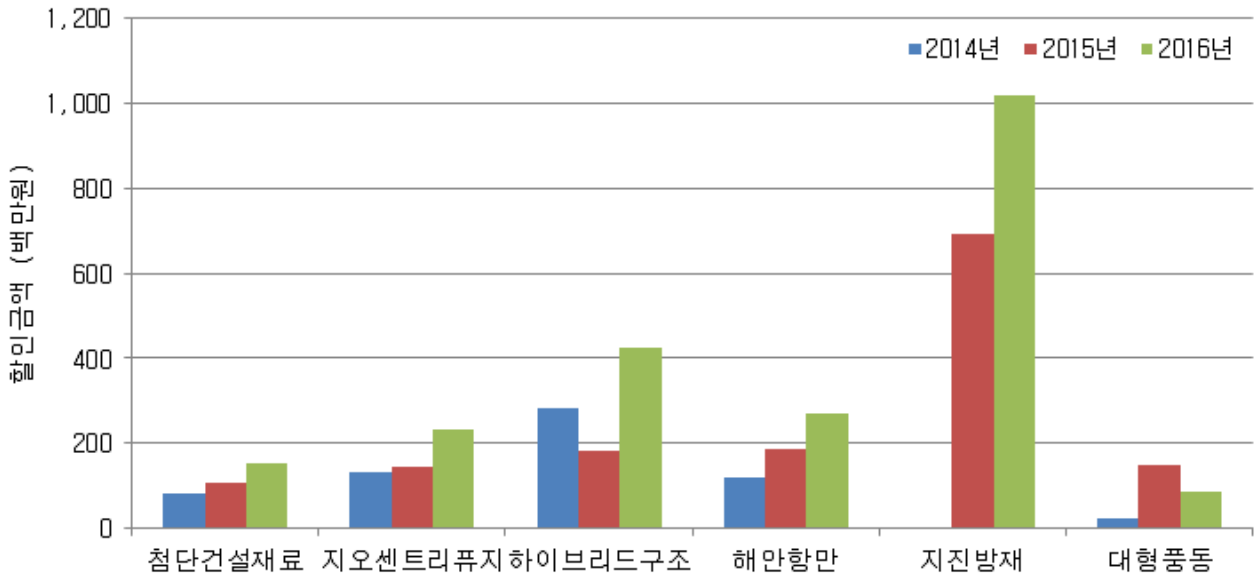
○ 3년간 실험시설 계약금액을 살펴본 결과, 6개 센터 모두 증가 추세를 보였으며, 년간 센터의 평균 계약금액은 575백만원으로 집계가 됨



[그림 196] 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 계약금액

(마) 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 할인금액

○ 3년간 실험시설 할인금액을 살펴본 결과, 6개 센터 모두 증가 추세를 보였으며, 년간 센터의 평균 할인금액은 238백만원으로 집계가 되었으며, 평균 할인율은 약 30% 수준으로 나타남



[그림 197] 최근 3년간 KOCED 1단계 센터 할인금액

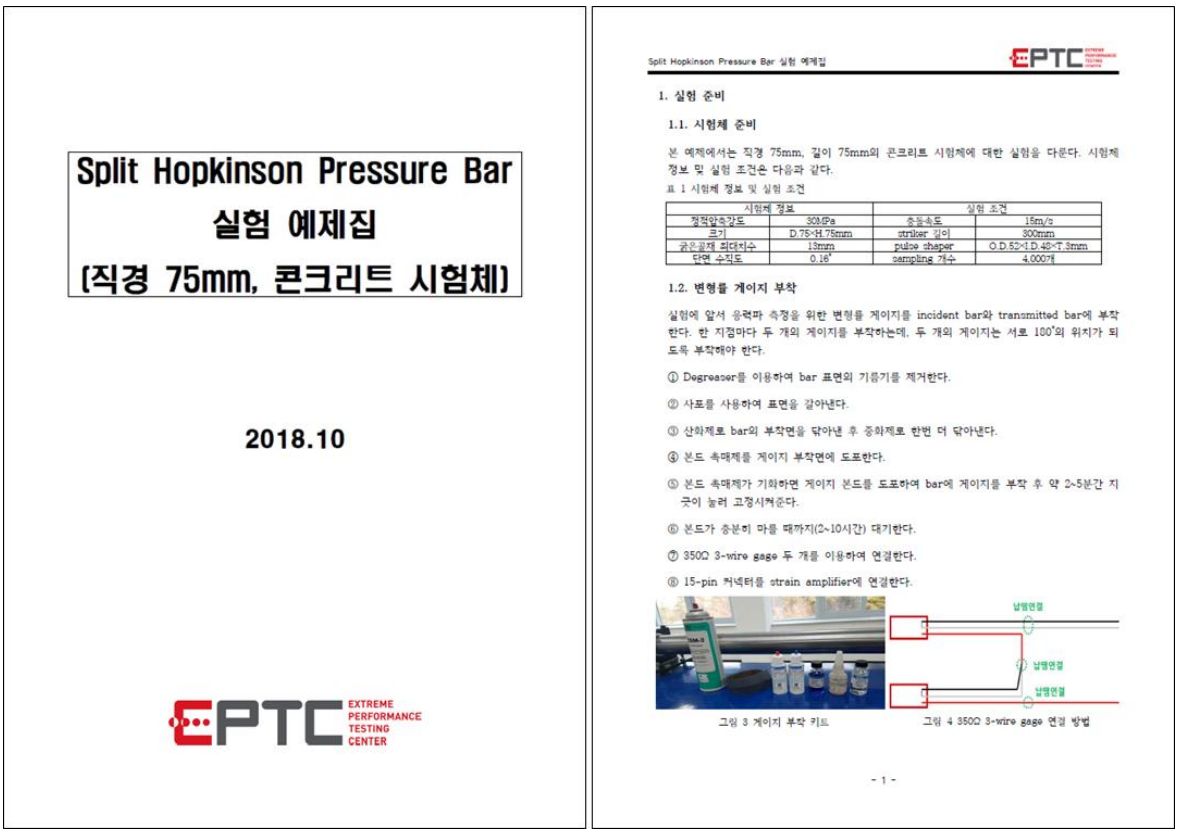
(3) 실험 예제집 작성


중속가스건 충돌실험 예제집
(2.1m×2.1m SC 벽체)
2018.10
EXTREME PERFORMANCE TESTING CENTER
중속가스건 충돌실험 예제집
1. 실험 준비
1.1. 시험체 체결
중속가스건의 시험체 고정지그는 그림 1과 같은 지점부가 탈부착 식으로 되어있어 원하는 시험체의 가로 및 세로 크기에 맞게 지점부 위치를 변경할 수 있으며 다음 순서에 따라 시험체를 체결한다.
지점부 고정볼트
지점부
그림 3. 시험체 고정지그 지점부
① 시험체 크기에 따라 실험자가 실험하고자 하는 위치에 지점부를 체결한다.
② 발사체가 시험체 중앙부에 충돌할 수 있도록 그림 2의 시험체 받침부의 높낮이조절 볼트를 조절하여 시험체 크기에 맞추어 받침부 높이를 조정하여 준다.
시험체 두께의 절반
중앙 심자선
시험체 받침부 높낮이 조절 볼트
그림 4. 시험체 받침부
- 1 -

[그림 198] 중속가스건 충돌실험 예제집


고속가스건 충돌실험 예제집
(600mm×600mm SC 벽체)
2018.10
EXTREME PERFORMANCE TESTING CENTER
고속가스건 충돌실험 예제집
1. 실험 준비
1.1. 시험체 및 고정지그 준비
고속가스건 타겟탱크 내의 공간은 최대 0.6 m × 0.6 m까지 활용이 가능하기 때문에 시험체 및 지그는 해당 크기로 제한된다. 시험체 크기는 지그의 형상 및 크기까지 고려하여 결정해야 한다. 또한 지그의 경우는 고속카메라 및 Flash X-ray system의 촬영경로를 방해해서는 안 되며 Flash X-ray의 image film 및 보호 하우징을 거치할 수 있도록 제작되어야 한다. 그림 1은 2변지지 타입 고정지그의 예시를 보여주며, 그림 2는 4점지지 타입의 고정지그를 보여준다. 이 예제집에서는 4점지지 타입의 고정지그를 사용한 600 mm × 600 mm × 270 mm (W × H × T) 크기의 SC 벽체 시험에 대해 다룬다.
0.6 m
0.6 m
그림 3. 고속가스건 2변지지 타입 고정지그
0.6 m
Flash X-ray image film 및 하우징
그림 4. 고속가스건 4점지지 타입 고정지그
- 1 -

[그림 199] 고속가스건 충돌실험 예제집



Split Hopkinson Pressure Bar
실험 예제집
(직경 75mm, 콘크리트 시험체)

2018.10

EXTREME PERFORMANCE TESTING CENTER

Split Hopkinson Pressure Bar 실험 예제집

1. 실험 준비

1.1. 시험체 준비

본 예제에서는 직경 75mm, 길이 75mm의 콘크리트 시험체에 대한 실험을 다룬다. 시험체 정보 및 실험 조건은 다음과 같다.

표 1 시험체 정보 및 실험 조건

시험체 정보		실험 조건	
정적압축강도	30MPa	충돌속도	15m/s
크기	D.75*H.75mm	striker 길이	300mm
굵은골재 최대치수	13mm	pulse shaper	O.D.52*I.D.45*T.3mm
단면 수직도	0.16°	sampling 개수	4,000개

1.2. 변형률 게이지 부착

실험에 앞서 응력파 측정을 위한 변형률 게이지를 incident bar와 transmitted bar에 부착한다. 한 지점마다 두 개의 게이지를 부착하는데, 두 개의 게이지는 서로 180°의 위치가 되도록 부착해야 한다.

① Degreaser를 이용하여 bar 표면의 기름기를 제거한다.

② 사포를 사용하여 표면을 갈아낸다.

③ 산화제로 bar의 부착면을 닦아낸 후 중화제로 한번 더 닦아낸다.

④ 본드 촉매제를 게이지 부착면에 도포한다.

⑤ 본드 촉매제가 기화하면 게이지 본드를 도포하여 bar에 게이지를 부착 후 약 2~5분간 지긋이 눌러 고정시켜준다.

⑥ 본드가 충분히 마를 때까지(2~10시간) 대기한다.

⑦ 350Ω 3-wire gage 두 개를 이용하여 연결한다.

⑧ 15-pin 커넥터를 strain amplifier에 연결한다.

그림 3 게이지 부착 키트

그림 4 350Ω 3-wire gage 연결 방법

- 1 -



자유낙하충돌실험 예제집
(RC 보)

2018.10

EXTREME PERFORMANCE TESTING CENTER

자유낙하충돌실험 예제집

1. 실험 준비

1.1. 시험체 준비

자유낙하 실험시설에서 실험 가능한 시험체의 크기는 4.5 m × 4.5 m 이며, 시험체의 이동 경로를 고려해서 거치가 가능한지 여부를 먼저 판단해서 사전 제작을 해야 한다. 이 예제집에서는 400 mm × 600 mm × 4,000 mm (B × H × L) 크기의 RC보에 대해 다루며, 이 크기는 거치가 가능한지 사전에 검토가 완료되었다.

1.2. 낙하추 설치

자유낙하 실험시설에서 사용하는 낙하추는 무게가 무겁기 때문에 시험체 거치 후 설치가 어렵다. 따라서, 시험체 거치 전 미리 낙하추를 설치해야 한다.

먼저, 소규모 낙하추를 사용할 경우,

① 소규모 낙하추 전용 전자석을 가이드 중앙부에 부착한다.

② 낙하추 운반카트를 이용해서 원하는 무게만큼 조립한다.

③ 조립한 낙하추를 전자석이 있는 실험시설 중앙부로 운반한다.

④ 기계식 안전장치를 이용하여 고정한다.

⑤ 시험체 설치를 위해 방해되지 않는 높이까지 추를 상승시킨다.

그림 3. 소규모 낙하추 설치 모습

- 1 -

[그림 200] 홉킨슨바 실험 예제집

[그림 201] 자유낙하 충돌실험 예제집

(4) 극한상태 활용분야의 체계화

○ 각 실험장비에 대한 활용 분야별 수요처를 분석하였음. 실 수요처의 담당 실무자와의 장비 활용도 제고를 위한 구체적인 협의를 추진하였으며, 협의를 추진한 구체적인 내용은 5장 2절(?페이지)에 수록하였음

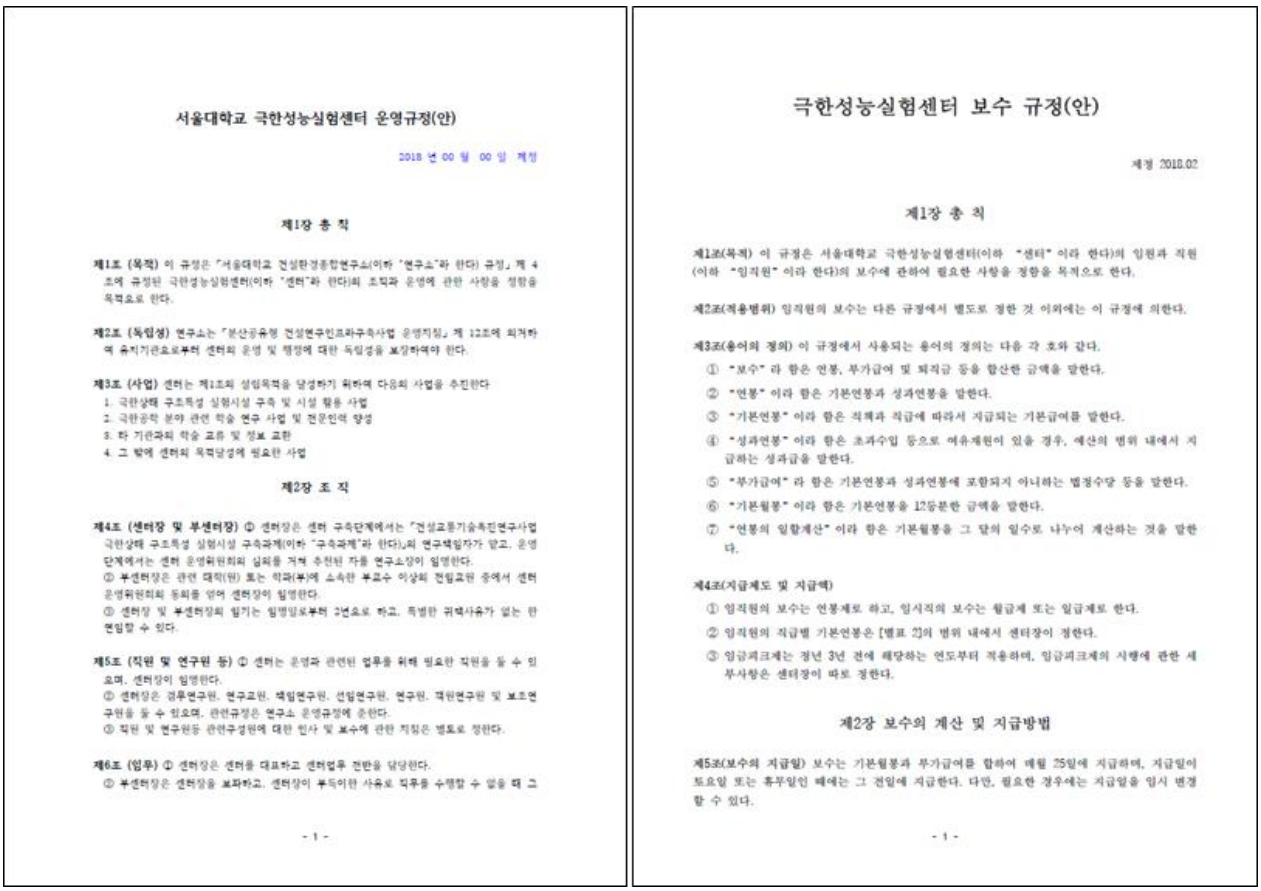
활용 분야	활용 예상 기관 (산/연/학)		활용 장비	활용 방안
건설 분야 충돌	산	동아에스텍 포항산업과학연구원	• 팬들럼장치 • 자유낙하시험기 • 급속재하시험기 • 5,000kN UTM • 반력상 / 반력벽 • 지반매입용 토조	• 충돌, 폭압, 지진 등 극한 사건 대응 강재 및 구조 활용 기술개발 • 팬들럼 및 자유낙하 실험시설을 활용한 평가 기법 개발 및 편람류 개선 • 차량충돌 방호시설 성능 평가를 위한 부재레벨 동특성 측정 기법 개발 연구 • 극한상태 변형 시험체에 대한 일반 정/동적 구조실험
	연	건설기술연구원 도로교통연구실 도로교통기술원 충돌실험장 자동차안전연구원 충돌실험장 KOCED 지오센트리퓨지실험센터		
	학	공주대학교 / 영남대학교 서울대학교 / 한양대학교		
항공기 충돌/폭발에 의한 충돌	산	한국전력공사 / 현대중공업 원전구조 설계회사	• 중속가스건 • 홉킨슨바	• 원전 구조물의 항공기 충돌 설계 및 평가를 위한 실험/해석 기술 개발 연구 • 홉킨슨바 / 고중량 비상체 발사장치를 통해 LS-DYNA 해석을 위한 재료 파라미터 제공
	연	한국원자력안전기술원 한국수력원자력 중앙연구원		
	학	서울대학교 / 단국대학교 카이스트 / 세종대학교 한국콘크리트학회		
방폭 구조 방탄 재료	산	코오롱 인더스트리 코오롱글로벌연구소 한국화이바 / 삼양컴텍	• 고속가스건 • 초고속가스건 • 홉킨슨바	• 재료/기계 전문가 그룹에 의한 해당 산업으로 연계확대 • 초고속/고속충격실험시설을 활용하여 방탄재료 '헤라클론' 등의 성능 검증 • 방호 방폭 구조물용 고성능 섬유보강 복합재료 개발
	연	국방과학연구소 한국건설기술연구원		
	학	서울대학교 / 한양대학교 카이스트		
극한 온도 구조/재료	산	포항산업과학연구원 한국가스공사 가스안전공사 / 대한송유관공사 STX에너지 / GS건설 나라컨트롤	• 극한온도실험시설 • 동토용전단시험기 • 온도제어삼축시험기	• 극한지 동토의 재료 특성에 대한 연구 수행 • 극한지 동토 파이프라인, 해양플랜트 시설의 고성능강재 피로성능 평가 • 철도구조물의 동해방지공법 및 설계, 시공, 유지관리 지침 개발
	연	건설기술연구원 극한공학실험실 한국해양과학기술원 자동차안전연구원		
	학	서울대학교 / 한양대학교		

[그림 202] 장비별 활용분야/활용방안/활용예상기관

라. 실험센터 시험운영

(1) 실험센터 운영규정 및 운영계획서(조직/운영/인력/유지관리/재원) 작성

(가) 극한성능실험센터의 조직, 운영위원회, 예산, 보수에 대해 규정을 작성함



서울대학교 극한성능실험센터 운영규정(안)

2018 년 00 월 00 일 제정

제1장 총 칙

제1조 (목적) 이 규정은 "서울대학교 건설환경종합연구소(이하 "연구소"라 한다) 규정」 제 4 조에 규정된 극한성능실험센터(이하 "센터"라 한다)의 조직과 운영에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다.

제2조 (독립성) 연구소는 「분산공유형 건설연구인프라구축사업 운영지침」 제 12조에 의거하여 유지기관으로부터 센터의 운영 및 행정에 대한 독립성을 보장하여야 한다.

제3조 (사업) 센터는 제1조의 설립목적을 달성하기 위하여 다음의 사업을 추진한다.
1. 극한상태 구조특성 실험시설 구축 및 시설 활용 사업
2. 극한공학 분야 관련 학술 연구 사업 및 전문인력 양성
3. 타 기관과의 학술 교류 및 정보 교환
4. 그 밖에 센터의 목적달성에 필요한 사업

제2장 조 직

제4조 (센터장 및 부센터장) ① 센터장은 센터 구축단계에서는 "건설교통기술촉진연구사업 극한상태 구조특성 실험시설 구축과제(이하 "구축과제"라 한다)」의 연구책임자가 맡고, 운영단계에서는 센터 운영위원회의 심의를 거쳐 추천된 자를 연구소장이 임명한다.
② 부센터장은 관련 대학(원) 또는 학과(부)에 소속한 부교수 이상의 전임교원 중에서 센터 운영위원회의 동의를 얻어 센터장이 임명한다.
③ 센터장 및 부센터장의 임기는 임명일로부터 2년으로 하고, 특별한 귀책사유가 없는 한 연임할 수 있다.

제5조 (직원 및 연구원 등) ① 센터는 운영과 관련된 업무를 위해 필요한 직원을 둘 수 있으며, 센터장이 임명한다.
② 센터장은 겸무연구원, 연구교원, 책임연구원, 선임연구원, 연구원, 객원연구원 및 보조연구원을 둘 수 있으며, 관련규정은 연구소 운영규정에 준한다.
③ 직원 및 연구원등 관련구성원에 대한 인사 및 보수에 관한 지침은 별도로 정한다.

제6조 (업무) ① 센터장은 센터를 대표하고 센터업무 전반을 담당한다.
② 부센터장은 센터장을 보좌하고, 센터장이 부득이한 사유로 직무를 수행할 수 없을 때 그

- 1 -

극한성능실험센터 보수 규정(안)

제정 2018.02

제1장 총 칙

제1조(목적) 이 규정은 서울대학교 극한성능실험센터(이하 "센터" 이라 한다)의 임원과 직원(이하 "임직원" 이라 한다)의 보수에 관하여 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.

제2조(적용범위) 임직원의 보수는 다른 규정에서 별도로 정한 것 이외에는 이 규정에 의한다.

제3조(용어의 정의) 이 규정에서 사용되는 용어의 정의는 다음 각 호와 같다.
① "보수" 라 함은 연봉, 부가급여 및 퇴직금 등을 합산한 금액을 말한다.
② "연봉" 이라 함은 기본연봉과 성과연봉을 말한다.
③ "기본연봉" 이라 함은 직책과 직급에 따라서 지급되는 기본급여를 말한다.
④ "성과연봉" 이라 함은 초과수입 등으로 여유재원이 있을 경우, 예산의 범위 내에서 지급하는 성과급을 말한다.
⑤ "부가급여" 라 함은 기본연봉과 성과연봉에 포함되지 아니하는 법정수당 등을 말한다.
⑥ "기본월봉" 이라 함은 기본연봉을 12등분한 금액을 말한다.
⑦ "연봉의 일할계산" 이라 함은 기본월봉을 그 달의 일수로 나누어 계산하는 것을 말한다.

제4조(지급제도 및 지급액)
① 임직원의 보수는 연봉제로 하고, 임시직의 보수는 월급제 또는 일급제로 한다.
② 임직원의 직급별 기본연봉은 [별표 2]의 범위 내에서 센터장이 정한다.
③ 임금피크제는 정년 3년 전에 해당하는 연도부터 적용하며, 임금피크제의 시행에 관한 세부사항은 센터장이 따로 정한다.

제2장 보수의 계산 및 지급방법

제5조(보수의 지급일) 보수는 기본월봉과 부가급여를 합하여 매월 25일에 지급하며, 지급일이 토요일 또는 휴무일인 때에는 그 전일에 지급한다. 다만, 필요한 경우에는 지급일을 임시 변경할 수 있다.

- 1 -

[그림 203] 극한성능실험센터 운영규정 및 보수규정

(나) 연구시설 장비 운영인력 확보방안 및 운영 계획 수립

○ 적정 수의 장비 운영인력 확보

- 각 장비별 실험에 필요한 가용 인력을 산정하고, 현재 확보하고 있는 2명을 최소인력으로 하여 향후 실험 수요 예측을 통해 순차적으로 장비 운영인력을 확충할 계획임
- 운영인력에 대한 인건비는 센터의 보수규정에 의거하여 지급하며, 기본적으로 실험시설사용료 수입으로 충당하되, 상황에 따라 센터 자체 연구과제 예산을 통한 인건비 지급 등 탄력적으로 운영함

(다) 연구시설 장비 운영인력의 작업환경 개선 및 별도 보험가입 추진

○ 작업환경 개선

- 본 실험센터는 소음 및 진동이 발생 가능한 상황이 많은 실험시설로서 다양한 유해인자에 대한 운영인력의 노출정도를 파악하는 환경성평가를 추진하여 필요시 추가적인 설비 확충 및

안전물품을 비치를 통해 작업환경을 개선해 나갈 계획임

○ 4대 보험 외 별도 재해 보험 가입 추진

- 우리 학교는 4대 보험 외 교수, 교직원, 학생들에 대해서는 별도의 단체 재해 보험을 추가로 가입하여 학교 소속원들로 하여금 보험 해택을 받고 있으나, 센터 자체 직원들은 해당 보험의 혜택을 받을 수 없는 실정임
- 따라서, 센터에서는 4대 보험 외 직원들을 위한 별도의 재해 보험 가입을 추진함으로서, 근로자의 복지 증진 및 보호에 힘쓸 계획임. 이를 통해 재해근로자의 재활 및 센터 복귀 촉진이 가능할 것으로 기대함

(라) 연구시설 장비 유지관리 계획 수립

○ 실험센터 운영예산에 유지관리 예산을 확보

- 장비의 감가상각, 유지보수, 장비의 업그레이드 비용 등을 고려하여 실험시설 사용료를 책정하여 재원 확보

○ 장비업체와의 유지보수 계약을 통한 지속적인 장비성능 확보

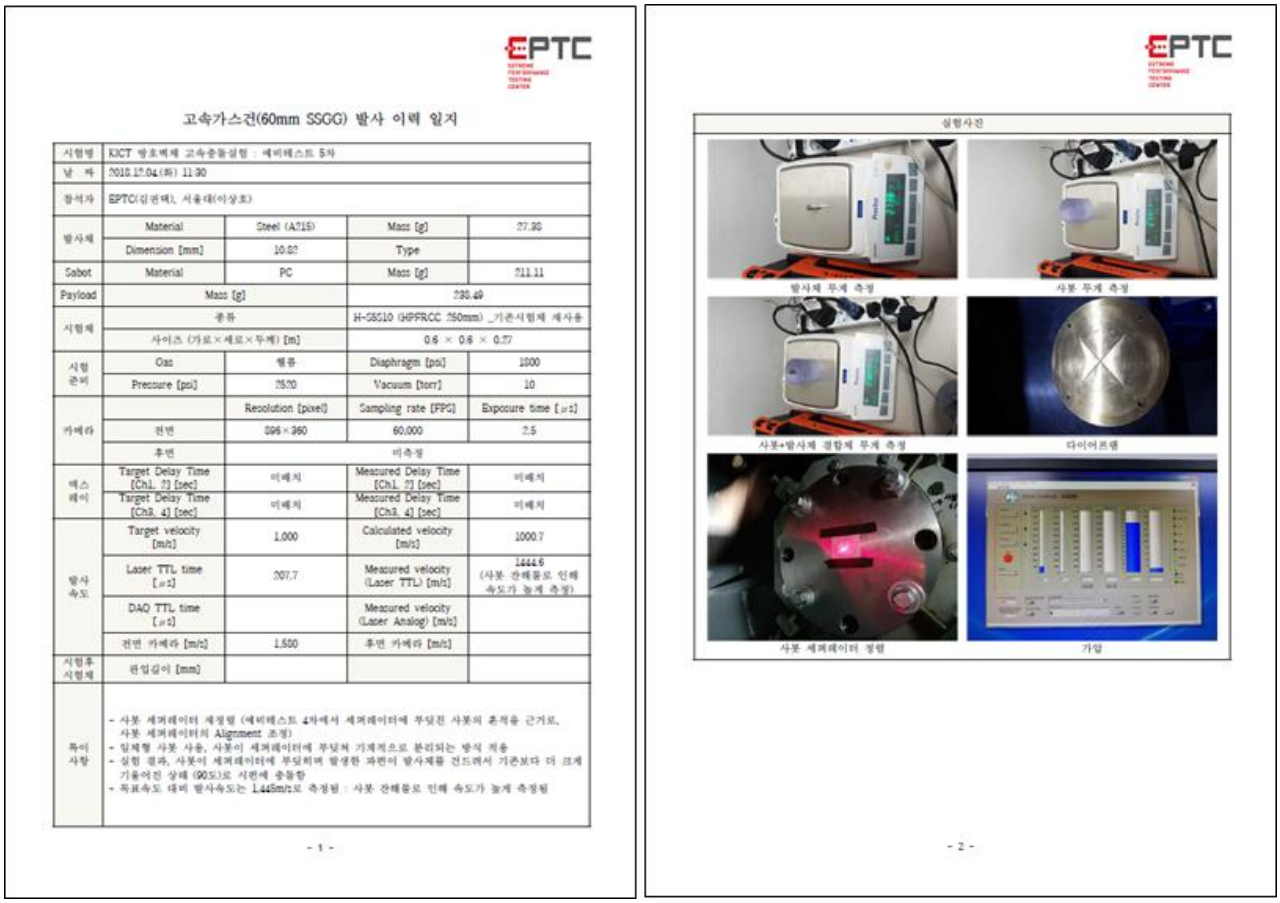
- 장비제작업체로부터 주기적인 장비성능검사, 긴급보수 서비스에 대한 계약 체결 추진

○ 장비 전담운영인력으로 하여금 장비사양 및 매뉴얼 지속적인 업데이트 관리

- 장비사양 및 매뉴얼은 각 장비 전담운영인력으로 하여금 지속적인 업데이트를 통해 관리할 예정이며, 주요 장비 사양 및 매뉴얼 등 기술사항은 중앙관리(웹사이트 활용)를 통해 센터 엔지니어들 간 정보 공유 및 접근성을 높일 계획임
- 해당 기술문서들은 관리 및 보관책임자를 선임하여 체계적으로 관리할 계획임

○ 「국가연구시설장비 관리 표준지침」에 준하는 유지/관리 시스템 구축 추진

- 시설·장비 전문 운영 인력으로 하여금 실험 장비의 기본원리 및 실제 실험기법, 장비운영기술 등에 대한 새로운 지식을 지속적으로 습득할 수 있도록 교육 및 훈련 기회를 제공함
- 장비책임자는 장비의 질적 수준 제고 및 장비 수명이 연장될 수 있도록 적절한 시기에 핵심부품 교체 및 업그레이드를 통해 성능을 크게 향상시켜 신규구입 대체효과를 창출할 수 있도록 함
- 실질적인 장비 운영현황을 ‘장비운영일지’에 기록하여 장비의 이용 실적 및 가용 유무를 판별 할 수 있도록 하며, 장비 운영중 문제점 발생시 조치사항 또한 기록하여 향후 같은 문제가 발생했을 때, 신속한 조치가 이루어질 수 있도록 함
- 설치된 장비의 성능이 유지·관리될 수 있도록 월별로 장비점검을 수행, ‘장비점검일지’를 작성함. 장비점검일지는 저하된 성능을 초기 설치상태로 성능개선을 위한 자료로 활용되며, 자주 사용되는 장비 뿐 아니라 비교적 활용 빈도가 낮은 장비의 유지보수를 위해서도 유용한 정보를 제공하므로 체계적으로 작성 하도록 함
- 월간장비점검을 통해 문제가 발견된 장비에 대하여 보수를 수행하며, 이 때 ‘장비유지보수일지’를 작성함. 이를 통해 장비운영 시 소모품 및 부분품의 정기적인 교체 및 고장수리를 파악, 기술하도록 하여 적절한 교체시기 예측, 장비가동률 향상을 위한 조속한 수리 등의 정보를 제공하고 향후 장비폐기 및 불용·저활용 판별을 위한 자료로 활용하도록 함



고속가스건(60mm SSGG) 발사 이력 일지

시험명	KICT 방호벽재 고속충돌실험 : 예비테스트 5차			
날 짜	2018.12.04(화) 11:30			
참석자	EPTC(김권태), 서울대(이상호)			
발사체	Material	Steel (A715)	Mass [g]	27.90
	Dimension [mm]	10.02	Type	
Sabot	Material	PC	Mass [g]	211.11
Payload	Mass [g]		230.49	
시험체	종류		H-SS510 (HPFRCC 250mm) _기존시험체 재사용	
	사이즈 (가로×세로×두께) [m]		0.6 × 0.6 × 0.27	
시험 준비	Gas	헬륨	Diaphragm [psi]	1000
	Pressure [psi]	2570	Vacuum [torr]	10
카메라		Resolution [pixel]	Sampling rate [FPS]	Exposure time [㎲]
	전면	896×360	60,000	2.5
	후면	미측정		
엑스레이	Target Delay Time [Ch1, 2] [sec]	미배치	Measured Delay Time [Ch1, 2] [sec]	미배치
	Target Delay Time [Ch3, 4] [sec]	미배치	Measured Delay Time [Ch3, 4] [sec]	미배치
발사 속도	Target velocity [m/s]	1,000	Calculated velocity [m/s]	1000.7
	Laser TTL time [㎲]	207.7	Measured velocity (Laser TTL) [m/s]	1444.6 (사봇 잔해물로 인해 속도가 높게 측정)
	DAQ TTL time [㎲]		Measured velocity (Laser Analog) [m/s]	
	전면 카메라 [m/s]	1,500	후면 카메라 [m/s]	
시험후 시험체	관입깊이 [mm]			
특이 사항	- 사봇 세퍼레이터 재정렬 (예비테스트 4차에서 세퍼레이터에 부딪친 사봇의 흔적을 근거로, 사봇 세퍼레이터의 Alignment 조정) - 일체형 사봇 사용, 사봇이 세퍼레이터에 부딪쳐 기계적으로 분리되는 방식 적용 - 실험 결과, 사봇이 세퍼레이터에 부딪히며 발생한 파편이 발사체를 건드려서 기존보다 더 크게 기울어진 상태 (90도)로 시편에 충돌함 - 목표속도 대비 발사속도는 1,445m/s로 측정됨 : 사봇 잔해물로 인해 속도가 높게 측정됨			

- 1 -

실험사진

발사체 무게 측정

사봇 무게 측정

사봇+발사체 결합체 무게 측정

다이어프램

사봇 세퍼레이터 정렬

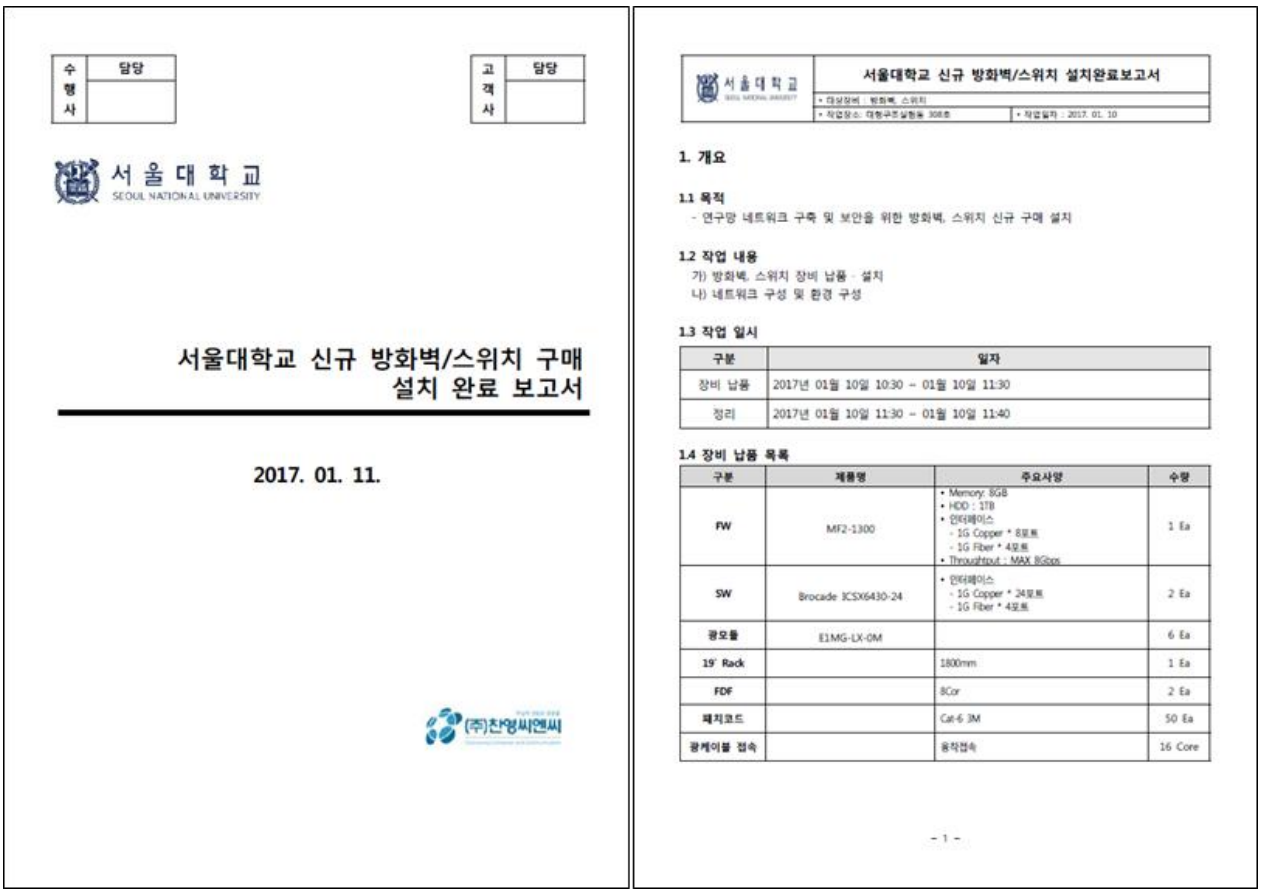
가압

- 2 -

[그림 204] 고속가스건 운영일지 (예시)

(2) KOCED Grid 및 CI 시스템과 연동

- 기존에 서울대학교 내 KOCED 데이터센터를 구축하는 과정에서 서울대학교 공과대학(37동)까지의 KREONET 연결 작업을 이미 완료함. 본 사업 건축공사 시 초고속 통신망 시설을 확보하고 이를 운영함
- 국토교통연구인프라운영원을 통해 Grid 및 CI 시스템과의 연결, 전국에 분산 구축된 1단계 실험시설과 2단계 신규 실험시설의 네트워크 구축함
- 실험으로 얻어진 관측 및 계측 데이터를 효율적으로 관리하기 위한 데이터베이스를 구축하고 이를 국토교통연구인프라운영원과 연계함
- 연구망 네트워크 구축 및 보안을 위한 방화벽, 스위치를 구축하였으며, 방화벽의 요구성능은 국토교통연구인프라운영원과 협의를 통해 결정함



수행사	담당

고객사	담당

서 울 대 학 교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

서울대학교 신규 방화벽/스위치 구매 설치 완료 보고서

2017. 01. 11.

(주)천영씨엔씨

서울대학교 | **서울대학교 신규 방화벽/스위치 설치완료보고서**

- 장비명 : 방화벽, 스위치
- 작업장소: 대형구조실험동 308호
- 작업일자 : 2017. 01. 10

1. 개요

1.1 목적
- 연구망 네트워크 구축 및 보안을 위한 방화벽, 스위치 신규 구매 설치

1.2 작업 내용
가) 방화벽, 스위치 장비 납품 · 설치
나) 네트워크 구성 및 환경 구성

1.3 작업 일시

구분	일자
장비 납품	2017년 01월 10일 10:30 ~ 01월 10일 11:30
정리	2017년 01월 10일 11:30 ~ 01월 10일 11:40

1.4 장비 납품 목록

구분	제품명	주요사양	수량
FW	MF2-1300	• Memory: 8GB • HDD : 1TB • 인터페이스 - 1G Copper * 8포트 - 1G Fiber * 4포트 • Throughtput : MAX 8Gbps	1 Ea
SW	Brocade ICSX6430-24	• 인터페이스 - 1G Copper * 24포트 - 1G Fiber * 4포트	2 Ea
광모듈	E1MG-LX-0M		6 Ea
19' Rack		1800mm	1 Ea
FDF		8Cor	2 Ea
패치코드		Cat-6 3M	50 Ea
광케이블 접속		융착접속	16 Core

- 1 -

[그림 205] 방화벽/스위치 설치 완료 보고서

(3) 원격 실험 관찰 및 D/B공유 시스템 하드웨어 구축

○ 원격 실험 관찰 및 국토교통연구인프라운영원에 구축된 D/B 공유를 위하여, KREONET망 연결을 위한 광케이블 공사를 시행하였으며, 아래와 같이 네트워크를 구축 완료함

○ 아래 네트워크 구성은 서울대 정보화본부 및 국토교통연구인프라운영원과 지속적인 기술협의를 통해 최적 사양으로 구축하였음

[표 81] 네트워크 구성

No.	구분	규격 (내용)	단위	수량
1	19인치 Rack	• 1800mm	EA	1
2	FDF	• 8Cor	EA	2
3	패치코드	• Cat-6 3M	EA	50
4	광케이블 접속	• 융착접속	EA	16
5	NGF	• SECUIMF21300 (IPS/DDOS 웹서버옵션포함) • CPU : 2.4GHz(8core) • Memory : 4GB • CF Memory : 4GB • HDD : 1TB • NIC:1000B-TX×8(Bypass×4) • 1000B-SX×4 • 양방향 8Gbps 이상, 동시세션 2,000,000 이상	EA	1
6	ICX6430-24	• 24-port 1G Switch, 4×1G SFP Uplink • Stacking Ports, Fanless	EA	2
7	ICX6430-SVL -PSDPA-1	• 7×24 BL SUPPORT, 2-DAY ADV REPLACE, IC×6430 24P & 48P	EA	2
8	E1MG-LX-OM	• 1000 Base-LX SFP optic, MMF, LC connector, Optical Monitoring Capable	EA	6



[그림 206] 네트워크 하드웨어 구축 (전산실 내 배치)

(4) 실험장비의 국산화 연구를 통한 연구장비산업 활성화 도모

○ 극한성능실험센터의 다수 실험장비는 외국제작에 의존

- 국내 연구장비 시장에서 다루지 않고 있는 장비로 구축과 장비 사용 시 필요한 소모품 구매를 대다수 외국업체에 의존하고 있음
- 외국제작 의존에 따른 비용증대 및 공급불안정으로 비효율성 증가함

○ 극한성능실험센터의 국산화 사례

- 현재 수행중인 국토교통과학기술진흥원 연구과제를 통해 중속가스건 장비의 필수 실험소모품을 국산화하여 실험비용을 절감하고 실험준비소요기간을 단축함

[표 82] 중속가스건 실험소모품 국내외 제작 비교

항 목	개당 제작비용 (천원)		제작 소요기간		비 고
	국 외	국 내	국 외	국 내	
Sabot	1,350	394	6주	2주	71% 비용절감, 1개월 단축
Diaphragm	248	51	6주	2주	79% 비용절감, 1개월 단축

○ 실험장비의 국산화 연구를 통해 국내 연구장비 신시장 개발 및 활성화 가능

- 관련 업체의 기술력 확보를 통한 연구장비관련 산업의 활성화를 기대할 수 있음
- 부가적으로 실험비용 및 실험소요기간 단축으로 연구의 효율성 증대 효과도 기대할 수 있음
- 운영단계에서는 지속적인 실험장비의 국산화 연구를 통해 국내 연구장비관련 산업의 활성화에 기여하도록 하겠음

4. 교육 및 홍보

가. 실수요자 대상 홍보

(1) 센터 투어 소개

- 건축/토목 분야를 포함한 다양한 분야에서 실제 장비 사용이 예상되는 그룹을 조사함
- 장비 도입 과정에서부터 전문가 그룹을 초청한 자문회의나 세미나 등을 개최하여 사용자 간 교류의 장을 마련하고, 다양한 종류의 극한하중실험이 가능한 실험시설이 구축되고 있음을 알림
- 산/학/연의 다양한 기관들로 하여금 센터에 실제로 방문 투어를 진행함으로서 도입되는 장비의 성능 및 구현가능 실험의 정보를 제공함
- 교류 과정에서 실사용자들이 실제 수행하고자 하는 실험조건 및 요구 성능을 파악하여 도입 과정에서 수요층의 요구를 만족시킬 수 있는 실험 시설을 계획함
- 장비 도입 후 시험운영기간에 관련 실무자들을 초청하여 보유한 장비의 성능과 실험센터에서 구현 가능한 실험의 수준을 알려 실무자들로 하여금 실제적인 수요를 이끌어내고자 함

[표 83] 센터 투어 방문 이력

No.	날짜	방문기관	인원(인)
1	2015.07.17.	US Army Corps of Engineers (USACE)	2
2	2015.09.21.	캐나다 알버타 주정부, C-FER Technologies, CSA Group, National Energy Board, 캘거리대학교	6
3	2016.10.05.	서울대학교 건설환경공학부	12
4	2016.10.11.	대림산업	7
5	2016.11.08.	육군사관학교	22
6	2016.11.18.	RUTHERFORD + CHEKENE	2
7	2016.11.29.	Imperial College London, HongKong Polytechnic University, National University of Singapore	3
8	2016.12.12.	건설환경종합연구소 자문위원단	10
9	2017.03.10.	콘크리트학회	31
10	2017.03.16.	단국대, 퍼듀대	7
11	2017.03.27.	DOST-SEI ASTHRDP	5
12	2017.04.20.	LH공사	15
13	2017.04.25.	단국대, 한수원, KINS	16
14	2017.05.13.	장승필 명예교수 제자	9
15	2017.05.18.	University of Missouri	2
16	2017.05.26.	Pennsylvania State University	1
17	2017.05.26.	POSCO	3

No.	날짜	방문기관	인원(인)
18	2017.06.07.	서울대학교 기계항공공학부	2
19	2017.07.05.	케이블교량글로벌연구단	7
20	2017.07.25.	콜로라도대학교	2
21	2017.08.10.	구조연구회	15
22	2017.08.11.	미야자키대학교	3
23	2017.08.17.	국방부, 서울과학기술대학교	12
24	2017.08.20.	도쿄대학교, 국립대만대학교	12
25	2017.08.22.	Bridge Technologies for Next Generation 국제심포지엄 참가자	91
26	2017.08.25.	오하이오 주립대	1
27	2017.09.08.	SEEBUS 참가자	45
28	2017.09.13.	University of Sheffield	1
29	2017.09.21.	PVC, DIA CONSULTANTS	5
30	2017.09.23.	울산대, 목운중학교	2
31	2017.10.12.	한국건설기술연구원	6
32	2017.10.30.	한국전력공사	4
33	2017.11.01.	Lehigh University	1
34	2017.11.07.	국방과학연구소	2
35	2017.11.08.	철도기술연구원	2
36	2017.11.23.	DARPA	1
37	2017.12.01	안양공업고등학교	6
38	2017.12.14.	도쿄대학교, 사이타마대학교, GEO SEARCH	14
39	2018.01.19.	Fuzhou University, Roma Tre University, University of Chieti-Pescara, ㈜엠알씨엠	4
40	2018.01.30.	국립산림과학원	3
41	2018.02.19.	토론토대학교	1
42	2018.02.23.	한국충격파심포지엄 참가자	7
43	2018.02.26.	DIANA FEA, ㈜넥스기술	2
44	2018.02.27.	절강대학교	26
45	2018.03.13.	University of Pavia	1
46	2018.03.14.	중앙대학교	1
47	2018.04.06.	한양대학교	2
48	2018.04.06.	중앙대학교	1
49	2018.04.09.	충남대학교	2
50	2018.04.16.	에티오피아 정부관계자	8
51	2018.05.17.	서울벤처대학원대학교	1
52	2018.05.24.	삼성물산, VSL Korea	2

No.	날짜	방문기관	인원(인)
53	2018.06.11.	University of Colorado Denver	1
54	2018.06.12.	현대중공업	2
55	2018.06.14.	한국건설기술연구원	1
56	2018.06.27.	인덕대학교	1
57	2018.07.05.	몽골과학기술대학교	13
58	2018.07.06.	현대건설	3
59	2018.07.12.	강원대학교, (주)뉴원	2
60	2018.07.19.	교량 및 구조공학회	24
61	2018.08.01.	한국건설기술연구원	1
62	2018.08.17.	서울대학교 여름건축학교	120
63	2018.08.20.	한국도로공사	3
64	2018.08.30.	UC Davis, Sapienza Univ of Rom	2
65	2018.09.06.	목포해양대	1
66	2018.09.06.	한국도로공사, 터키 정부	14
67	2018.10.15.	한국교원대학교 부설고등학교	6
68	2018.10.16.	서울특별시 안전총괄본부	3
69	2018.10.17.	현대중공업, 목포해양대, 카이스트, 동남기업	4
총계			649



[그림 207] 2016.10.05. 서울대 건설환경공학부 학부생



[그림 208] 2016.10.11. 대림산업



[그림 209] 2016.11.29. 해외(영국, 싱가포르, 홍콩) 석학



[그림 210] 2017.03.10. 한국콘크리트학회



[그림 211] 2017.04.26. 단국대, 한수원, KINS



[그림 212] 2017.07.04. LH 공사



[그림 213] 2017.08.22. Bridge Technologies for Next Generation 국제심포지엄 참가자



[그림 214] 2017.09.08. SEEBUS 참가자



[그림 215] 2017.10.30. 한국전력공사



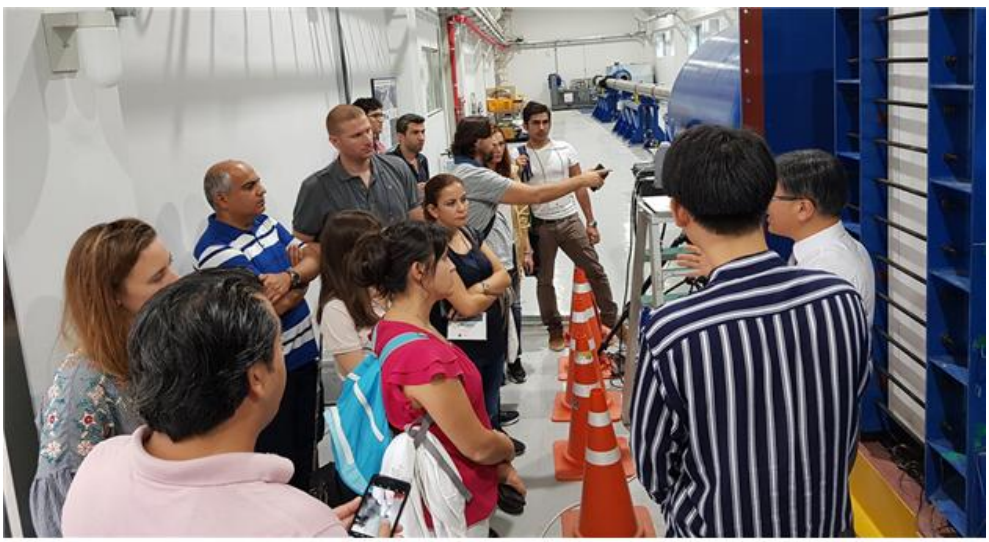
[그림 216] 2018.02.23. 한국충격파심포지엄 참가자



[그림 217] 2018.02.27. 절강대학교



[그림 218] 2018.07.05. 한몽세미나 참가자



[그림 219] 2018.09.07. 터키 정부관계자

(2) 국내외 학회 및 세미나 참석 및 실험센터 홍보 발표

[표 84] 국내외 학회/세미나 참석 홍보 발표 이력

No.	날짜	학회 및 세미나명	비고
1	2014.05.29.	2014 MTS Test Seminar	
2	2015.01.22.~23.	건설연구인프라운영원 워크샵	
3	2015.10.30.	2015 대한토목학회 정기학술대회	
4	2015.12.04.	2015 HILTI 세미나	
5	2016.01.18.	건설환경종합연구소 성과보고회	
6	2016.04.07.	한국도로공사	“폭발・화재에 대한 안정성 기준 도입” 특강
7	2016.04.24.~26.	Workshop on Resilience of Urban Infrastructure	
8	2016.05.12.	한국콘크리트학회 2016 봄 학술발표	특별세션 공동개최
9	2016.05.19.~20.	2016 MTS Test Seminar	
10	2016.10.21.	2016 대한토목학회 정기학술대회	
11	2017.04.20.	LH-서울대 건설환경종합연구소 간 연구협력 협약체결 및 공동워크숍	
12	2017.07.04.	Association for Civil Engineering Technology of Hokkaido, Concrete Research Committee	
13	2017.11.28.	미래 국방·군사 방호시설 발전세미나 (국방부 국방시설본부)	“민간연구센터 분산공유형 장비 군 방호시설 연구 활용방안” 특강
14	2018.02.28.	DIANA 사용자 교육	



[그림 220] 2016.04.07. 한국도로공사 대상 “폭발・화재에 대한 안정성 기준 도입” 강의 및 홍보 발표



[그림 221] 2016.05.19.~20. 2016 MTS Test Seminar 참석 및 실험센터 소개 발표



[그림 222] 2017.04.20. LH-서울대 건설환경종합연구소 간 연구협력 협약체결 및 공동워크숍

(3) 국내외 유사실험시설 방문 및 실험센터 홍보 발표

[표 85] 국내외 유사실험시설 방문 홍보 발표 이력

No.	날짜	방문기관	국가명
1	2014.05.21.~23.	The European Laboratory for Structural Assessment(ELSA)	Europe
2	2016.06.06.	Civil Engineering Research Institute for Cold Region	Japan
3	2017.01.23.	National University of Singapore	Singapore



[그림 223] 2016.06.06. Civil Engineering Research Institute for Cold Region(Japan) 방문



[그림 224] 2017.01.23. National University of Singapore 방문

(4) 부스 전시를 통한 실험센터 홍보

[표 86] 부스 전시 홍보 이력

No.	날짜	학회/세미나/행사명	비고
1	2014.05.21.~23.	2014 국토교통기술대전	부스 전시
2	2016.05.25.~27.	2016 국토교통기술대전	부스 전시
3	2016.10.19.~21.	대한토목학회 정기학술대회	부스 전시
5	2017.10.19.~20.	대한토목학회 2017 CIVIL EXPO	부스 전시
6	2018.05.02.~03.	2018 한국콘크리트학회 정기학술대회	부스 전시
7	2018.06.07.~08.	2018 국토교통기술대전	부스 전시
8	2018.10.19.	극한지 자원화 플랜트 핵심기술 개발사업 공청회	홍보판넬 전시



[그림 225] 2014 국토교통기술대전 부스 전시

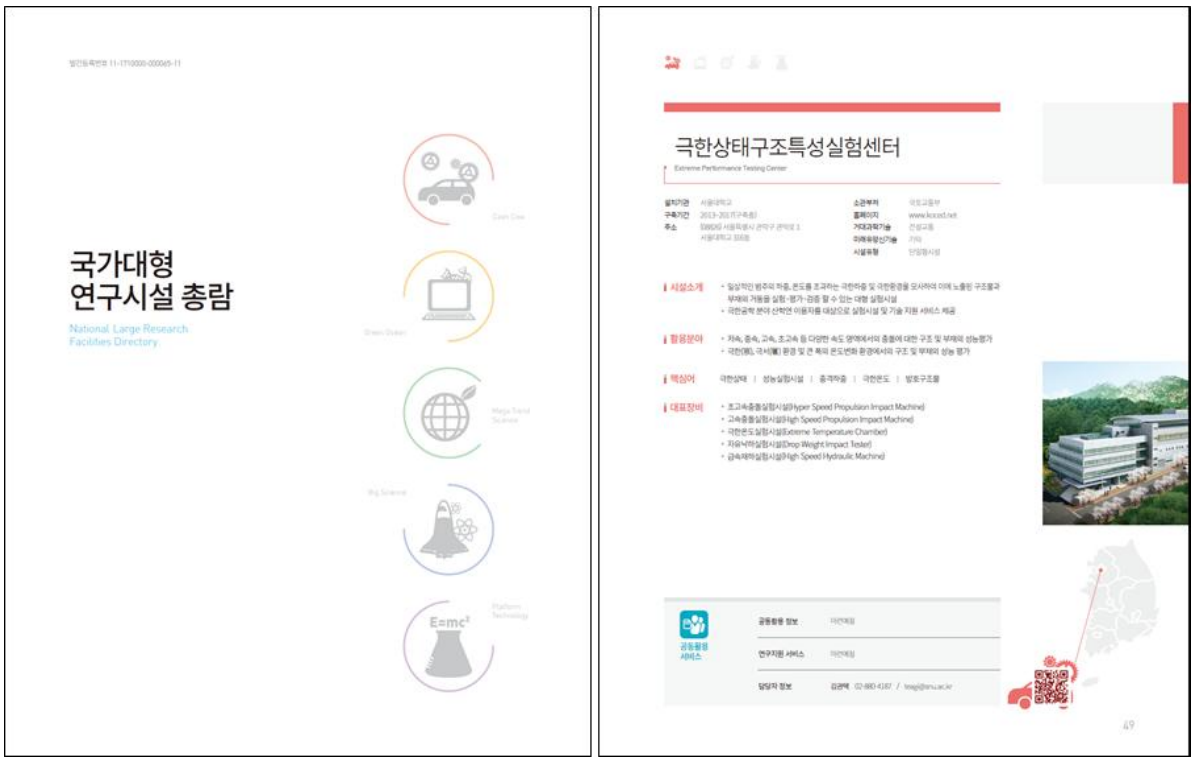


[그림 226] 대한토목학회 2017 CIVIL EXPO 부스 전시

(5) 정기간행물 발행 및 제작을 통한 실험센터 홍보

[표 87] 정기간행물 발행 및 제작 이력

No.	날짜	간행물명	내용
1	2014.06	서울대학교 건설환경종합연구소 소식지 6월	구축사업 유치 및 착수 보고
2	2014.06	SNU CEE 뉴스레터 (제4권 3호)	구축사업 유치 및 착수 보고
3	2014.10	서울대학교 공대소식지 가을호 No.95 특집기사	극한공학 및 실험센터 소개
4	2014.12	SNU CEE 뉴스레터 (제4권 4호)	구축 추진 경과
5	2015	센터 홍보 브로셔 (국문)	구축사업 및 장비 소개
6	2015.06	SNU CEE 뉴스레터 (제5권 1호)	구축 추진 경과
7	2015.07.21.	기공식 개최 및 홍보 브로셔 배포	구축사업 소개
8	2015.10	국가대형연구시설 총람 (미래창조과학부 발간)	주요 실험장비 소개
9	2015.12	SNU CEE 뉴스레터 (제5권 2호)	구축 추진 경과
10	2016.01	센터 CI 제작	
11	2016.06	SNU CEE 뉴스레터 (제6권 1호)	구축 추진 경과
12	2016.11	서울대학교 건설환경공학부 영문 홍보 브로셔	구축사업 소개
13	2016.12	SNU CEE 뉴스레터 (제6권 2호)	구축 추진 경과
14	2017.02	장비 홍보판넬 제작	주요 실험장비 소개
15	2017	국가대형연구시설 총람 (미래창조과학부 발간)	주요 실험장비 소개
16	2017.07	SNU CEE 뉴스레터 (제7권 1호)	구축 추진 경과
17	2017.09	장비 홍보판넬 제작	주요 실험장비 소개
18	2017.09	센터 홍보 브로셔 (국문, 영문)	구축 장비 소개
19	2018.02	SNU CEE 뉴스레터 (제8권 1호)	구축 추진 경과
20	2018.08	SNU CEE 뉴스레터 (제8권 2호)	구축 추진 경과
21	2018.10	센터 홍보 브로셔 (국문, 영문)	구축 장비 소개
22	2018.10	센터 간판 제작 및 부착	



[그림 227] 국가대형연구시설 총람 (미래창조과학부 발간)



[그림 228] SNU CEE 뉴스레터 (제6권 1호) 게재



[그림 229] 홍보브로셔 (국문)



[그림 230] 홍보브로셔 (영문)

(6) 전담 기관 홈페이지를 활용한 실험시설 홍보

○ 극한상태구조특성실험시설 구축 과제 전담 기관인 국토교통연구인프라운영원의 홈페이지(www.koced.or.kr)를 적극 활용하여 주요 실험시설 및 장비에 대한 성능, 활용분야, 수행가능실험 종류, 연구원 현황 등을 소개하고, 지속적으로 업데이트함



[그림 231] 국토교통연구인프라운영원 홈페이지

○ 센터에서 구축한 각 장비들을 ZEUS(www.zeus.go.kr)에 등록하여 외부자들이 각 장비의 성능 및 활용분야에 대해 열람할 수 있도록 함



[그림 232] ZEUS 홈페이지

(7) 홍보용 소개 영상 및 드론을 활용한 항공 촬영



[그림 233] 드론을 활용한 항공 촬영



[그림 234] 전문 촬영팀을 통한 실험센터 소개 및 실험 영상 촬영

(8) 기공식, 준공식, 개소식 개최

○ 극한성능실험센터 기공식, 준공식, 개소식 개최를 통해 대외적 소개

- 기공식 개최일 : 2015.07.21.
- 준공식 개최일 : 2017.02.22.
- 개소식 개최일 : 2018.10.02.



[그림 235] 기공식 개최



[그림 236] 준공식 개최



[그림 237] 개소식 개최

나. 교육

(1) 전문가 초청 세미나 및 특강

(가) 2014.02.03. 극한공학 분야 전문가 초청 강연 개최 (홍정욱 교수, 임윤묵 교수)

- 홍정욱 : “Blast and Impact among Extreme Events“
- 임윤묵 : “Can Rate Dependency of Material be the Key for Failure Mechanism under High Speed Loading?”



[그림 238] 극한공학 분야 전문가 초청 강연 개최

(나) 2016.04.07. 한국도로공사 대상 폭발/화재를 고려한 구조물 안전성 기준 도입 특강

- 장　　소 : 한국도로공사
- 강연주제 : 폭발/화재를 고려한 구조물 안전성 기준 도입
- 강 연 자 : 조재열 교수



[그림 239] 폭발/화재를 고려한 구조물 안전성 기준 도입 특강

(다) 2017.10.12. SHPB 활용법에 대한 강연 개최

○ 장　　소 : 서울대학교 극한성능실험센터

○ 강연주제 : 고변형율속도 하의 콘크리트 재료물성 평가 및 물리적 방호성능 평가

○ 강 연 자 : 문재흠 박사 (한국건설기술연구원)



[그림 240] SHPB 활용법에 대한 강연 개최

(라) 2017.11.28. 국방부 국방시설본부 대상 군 방호시설 연구 활용방안 특강

○ 장　　소 : 국방부 국방시설본부

○ 강연주제 : 민간연구센터 분산공유형 장비 군 방호시설 연구 활용방안

○ 강 연 자 : 조재열 교수



[그림 241] 군 방호시설 연구 활용방안 특강

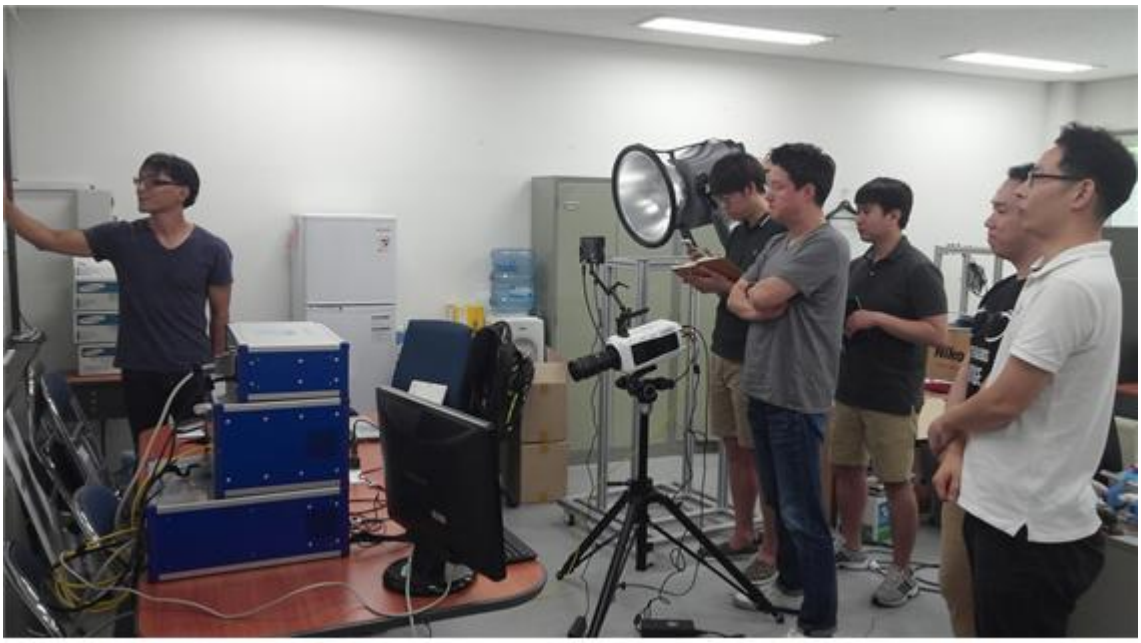
(2) 관련 실험시설 유경험자를 통한 실험시설 운영/안전 관리에 대한 교육 실시

[표 88] 실험시설 운영 및 안전관리 교육 이력

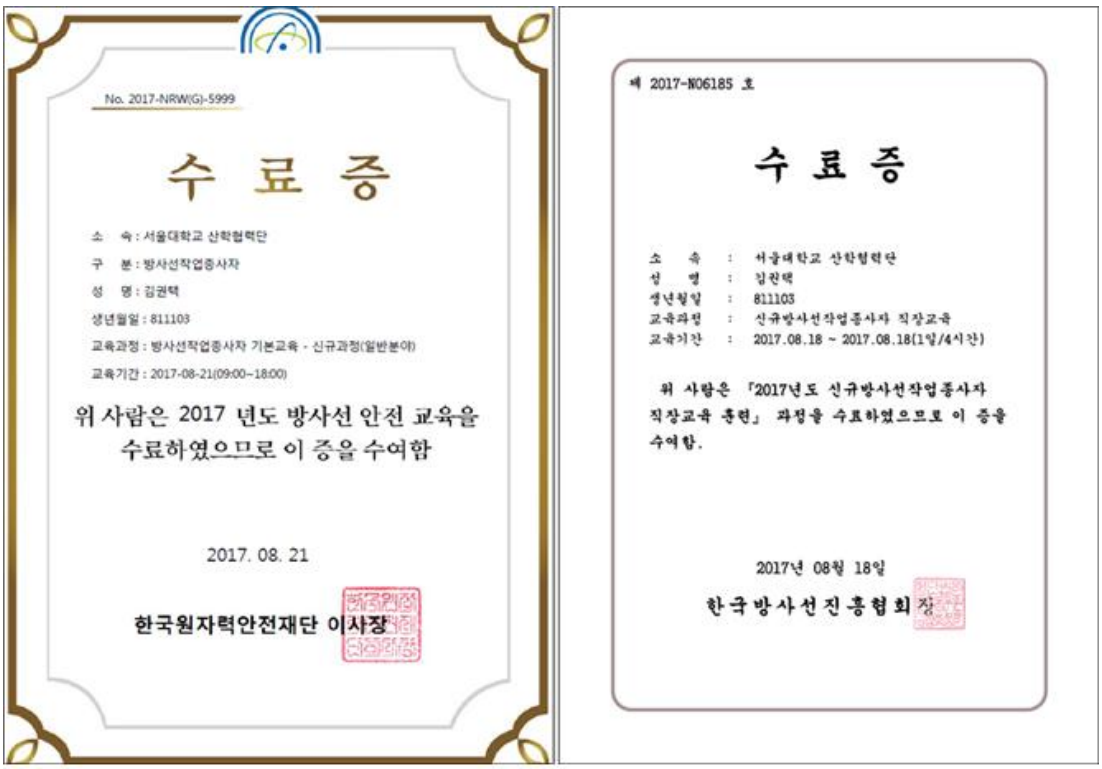
No.	날짜	교육명 (교육내용)	교육기관
1	2015.07.13.~17.	LS-DYNA 기본교육 참석 (충격, 폭발 전문 해석프로그램인 LS-DYNA의 기본 활용 방안에 대한 내용과 예제 실습을 통한 적용 방법)	KOSTEC
2	2015.08.28.	물품구매 관리(외자물품) 및 장비운영/관리 프로세스 교육	서울대학교 산학협력단
3	2016.04.12.	국토교통대형실험시설 유저 컨퍼런스 (중소기업 기술 시험비용 지원 정책 및 운영안)	국토교통연구인프라운영원
4	2016.06.02.	DAQ 시스템 사용 교육 (DEWETRON DAQ 시스템 소개 및 특징, 활용방법)	DEWETRON TM E&C
5	2016.07.12.	초고속카메라 및 DAQ 시스템 사용 교육 (DAQ 시스템의 트리거 방식을 활용한 계측방법, 초고속카메라 및 조명 셋업 방법)	DEWETRON TM E&C
6	2017.01.17.	홉킨슨바용 스트레인게이지 부착 및 데이터로거 사용법에 대한 사용자교육 (1차)	KTM
7	2017.01.31.	쉴리렌가시화장치 및 초고속카메라 사용 교육 (쉴리렌가시화장치의 원리 및 사용법, 쉴리렌가시화장치를 연계한 초고속카메라 활용법)	코미
8	2017.02.02.	홉킨슨바용 스트레인게이지 부착 및 데이터로거 사용법에 대한 사용자교육 (2차)	KTM
9	2017.02.14.	KREONET 망 및 네트워크 운영 교육 (KREONET 망을 활용한 네트워크 운영 방법, 방화벽 객체 설정 방법, KREONET 망 접속 이력 검색 및 차단 방법)	하다런스
10	2017.08.18.	신규방사선작업종사자 직장 교육 (방사선발생장치 안전 규정 및 취급 방법)	한국방사선진흥협회
11	2017.08.21.	방사선작업종사자 기본 교육 (방사선발생장치 안전 규정 및 취급 방법)	한국원자력안전재단
12	2017.10.23.~27.	Flash X-ray System 사용자 교육 (하드웨어, 이미지 프로세싱, 안전 교육)	L3 Applied Technologies
13	2018.02.12	DAQ 시스템의 계측신호 노이즈 제거 방법에 관한 사용자 교육	DEWETRON
14	2018.07.08.~16.	급속재하실험시설 사용자 교육 (장비 작동, 지그류 조립 방법, 안전 교육)	MTS
15	2018.08.09.	기존방사선작업종사자 직장 교육 (방사선발생장치 안전 규정 및 취급 방법)	한국방사선진흥협회



[그림 242] 2016.06.02. DAQ 시스템 사용 교육



[그림 243] 2016.07.12. 초고속카메라 및 DAQ 시스템 사용 교육



No. 2017-NRW(G)-5999

수 료 증

소 속 : 서울대학교 산학협력단
구 분 : 방사선작업종사자
성 명 : 김권택
생년월일 : 811103
교육과정 : 방사선작업종사자 기본교육 - 신규과정(일반분야)
교육기간 : 2017-08-21(09:00~18:00)

위 사람은 2017 년도 방사선 안전 교육을
수료하였으므로 이 증을 수여함

2017. 08. 21

한국원자력안전재단 이사장

제 2017-N06185 호

수 료 증

소 속 : 서울대학교 산학협력단
성 명 : 김권택
생년월일 : 811103
교육과정 : 신규방사선작업종사자 직장교육
교육기간 : 2017.08.18 ~ 2017.08.18(1일/4시간)

위 사람은 「2017년도 신규방사선작업종사자
직장교육 훈련」 과정을 수료하였으므로 이 증을
수여함.

2017년 08월 18일

한국방사선진흥협회장

[그림 244] 방사선작업종사자 기본교육/직장교육 수료증



Flash X-Ray Seminar

Kwon-Taek Kim

Has Successfully Completed the Flash X-Ray Training Seminar at
L-3 Applied Technologies, San Leandro, California, USA

• October 23 - 25, 2017 •

Chris Ferguson
Flash X-Ray Product Line Engineer

Applied Technologies

Digital X-Ray Imaging Seminar

Kwon-Taek Kim

Has Successfully Completed the Digital X-ray Imaging Seminar
at L-3 Applied Technologies, Inc., San Leandro, California, USA

• October 26 – 27, 2017 •

Applied Technologies

Dr. Norman Link

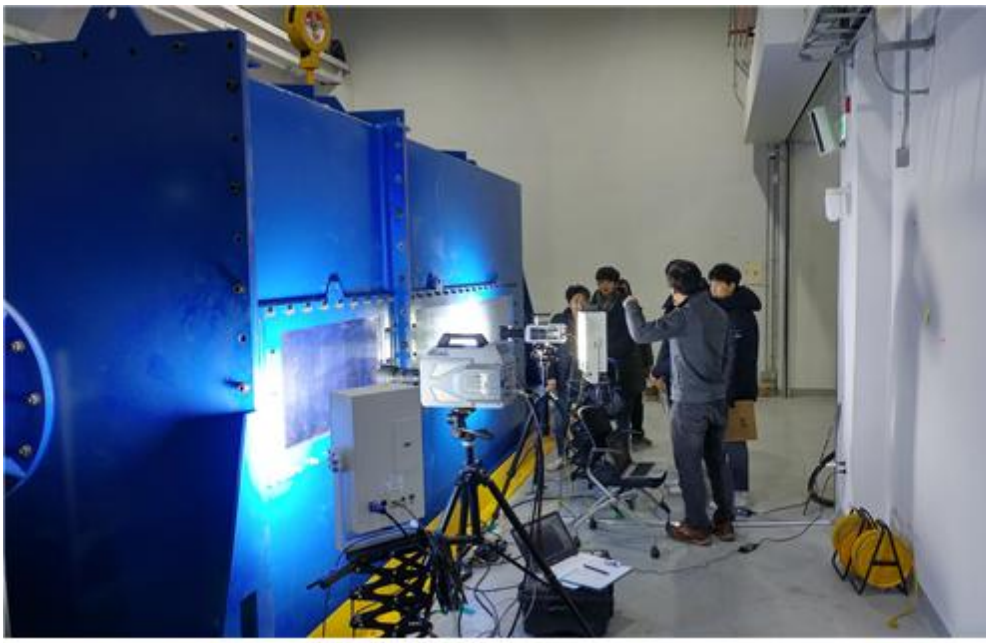
[그림 245] Flash X-ray System 사용자 교육 수료증

(3) 교육프로그램

○ 서울대학교 공과대학, 건설환경종합연구소와 연계하여 중, 고, 대학생 대상 극한공학 분야 교육 및 센터 투어 진행



[그림 246] 2017.08.20. TSA 참가 대학생(도쿄대, 대만대)



[그림 247] 2017.12.01. 안양공업고 고등학생



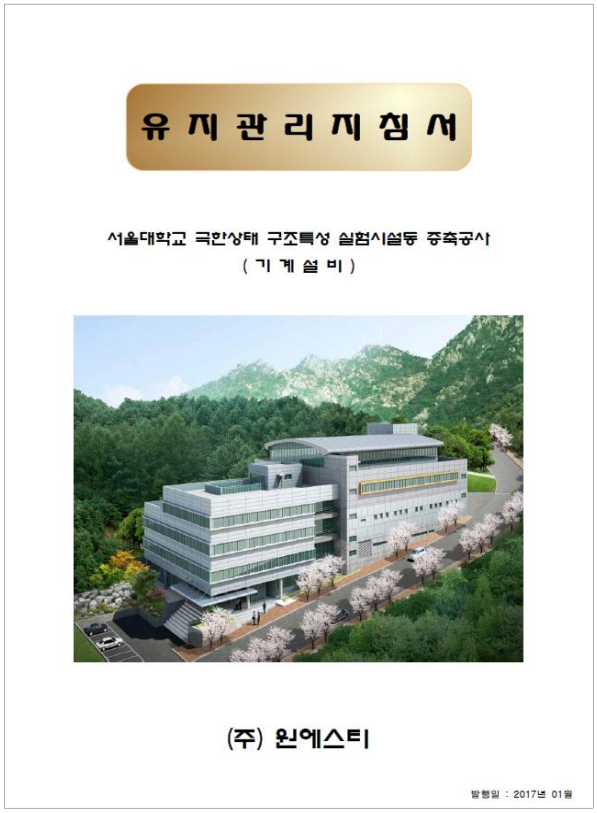


[그림 248] 2018.08.17. 여름건축학교 참가 고등학생



[그림 249] 2018.10.15. 한국교원대학교 부설고등학교 고등학생

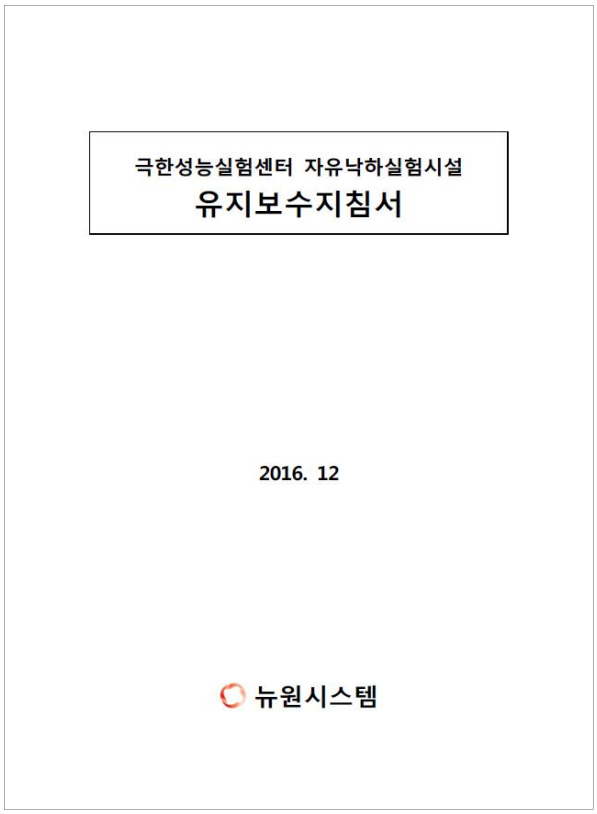
(4) 각 실험시설/장비 별 유지관리/안전지침 작성



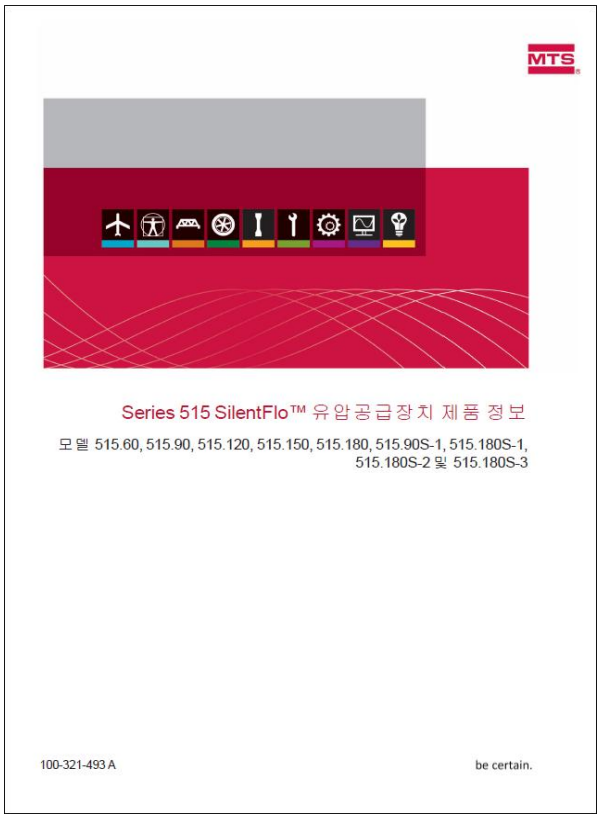
(a) 건축 기계설비



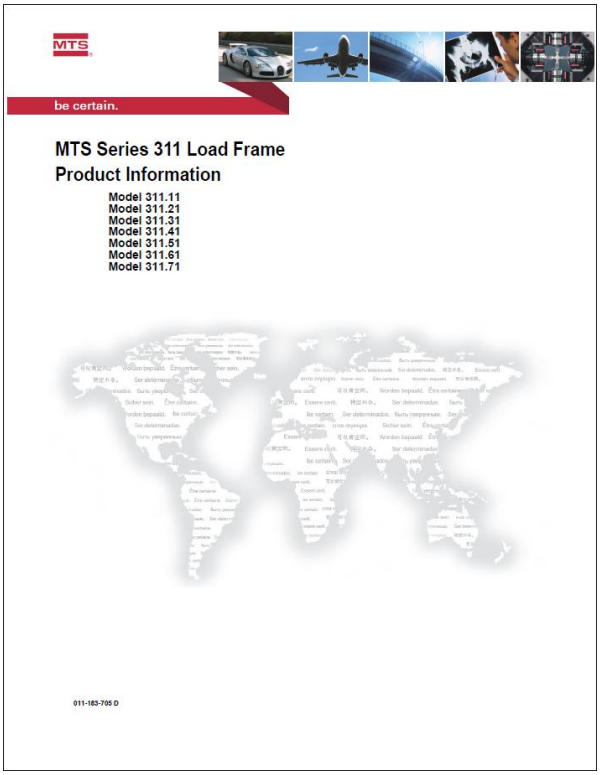
(b) 건축 전기설비



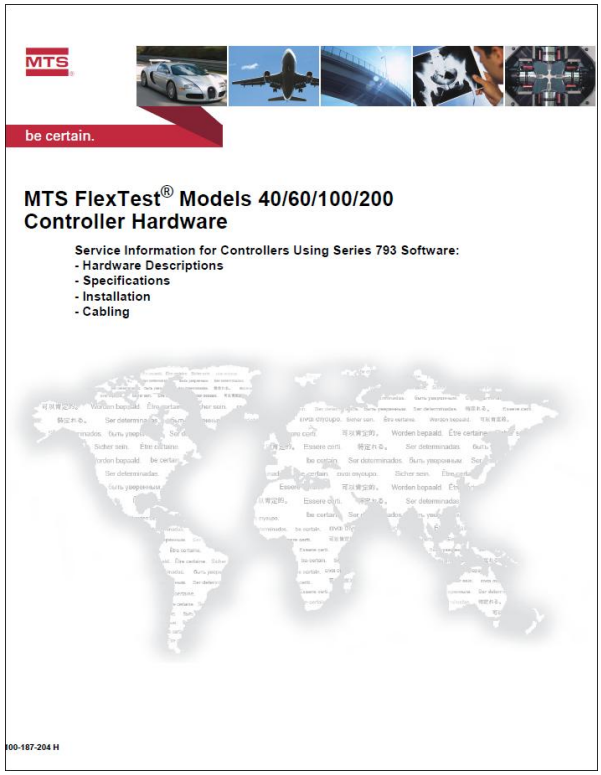
(c) 자유낙하실험시설



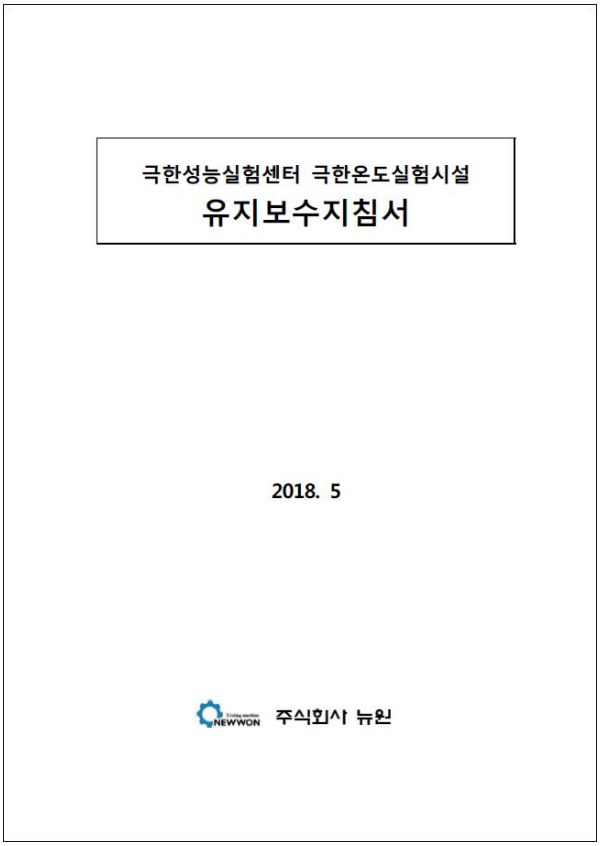
(d) MTS 유압펌프



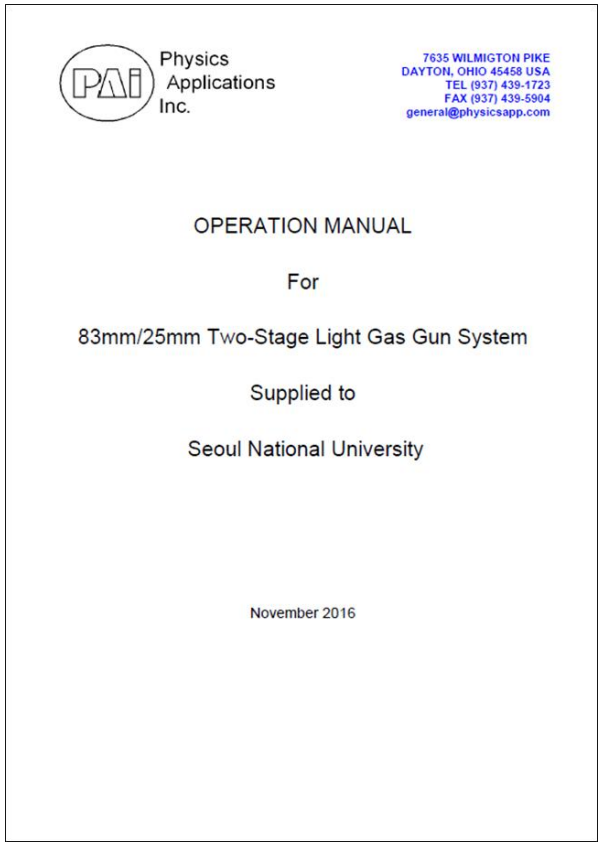
(e) MTS 5,000kN UTM



(f) MTS 콘트롤러



(g) 극한온도실험시설



(h) 초고속가스건

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 정량적 성과지표 달성도

연차	연차별 성과목표	성과지표		측정방법	목표치	가중치	달성치
1차	극한상태 구조특성 실험시설 구축 Ⅰ	건축	실시설계	실시설계보고서	1건	30%	1건
		장비	실험장비 구축기획	출장보고서	3건	30%	3건
		교육 홍보	전문가/실수요자 홍보 및 자문회의	세미나/자문회의보고서	2건	20%	2건
		연구	실험기법 사전연구	연구보고서	1건	20%	1건
	소 계					100%	100%
2차	극한상태 구조특성 실험시설 구축 Ⅱ	건축	실시설계	실시설계완료보고서	1건	20%	1건
			공정관리	공정관리보고서	1건	30%	1건
		장비	장비상세설계 및 발주	상세설계(선정)보고서	1건	30%	1건
		교육 홍보	전문가 세미나 및 홍보	세미나/홍보건수	2건	10%	5건
		연구	실험기법 사전연구/자문회의	연구보고서/자문회의보고서	1건	10%	3건
	소 계					100%	135%
3차	극한상태 구조특성 실험시설 구축 Ⅲ	건축	공정관리	공정관리보고서	1건	35%	1건
		장비	장비상세설계 및 발주	상세설계(선정)보고서	1건	35%	1건
		교육 홍보	장비운영/사용법 사전교육	교육건수	3건	15%	3건
			전문가 세미나 및 홍보	세미나/홍보건수	2건	5%	14건
		연구	실험시설 활용방안 연구 및 사전시험	연구보고서/사전시험보고서	2건	10%	6건
	소 계					100%	150%
4차	극한상태 구조특성 실험시설 구축 Ⅳ	건축	건축공사 완료	건축준공보고서	1건	30%	1건
		장비	장비상세설계 및 발주	상세설계(선정)보고서	1건	20%	1건
			사전시험	사전시험보고서	1건	20%	1건
		교육 홍보	교육/홍보	홍보/교육건수	5건	15%	15건
		연구	실험기법 연구 및 활용기술개발	연구보고서	1건	15%	1건
	소 계					100%	130%
5차	극한상태 구조특성 실험시설 구축 Ⅴ	장비	장비구축완료	장비구축완료보고서	1건	30%	1건
			사전시험	사전시험보고서	1건	20%	1건
		교육 홍보	안전지침작성 및 교육/홍보	안전지침서	1건	5%	1건
				홍보/교육건수	10건	10%	86건
		연구	실험기법 연구 및 활용기술 개발	연구보고서	1건	15%	1건
		시험 운영	실험센터 시험운영	시험운영보고서	1건	20%	1건
	소 계					100%	176%

나. 연구목표 및 수행 결과

연차	연구 내용		연구 결과
1차	부지조성 및 건축		• 본부 시설기획과 및 산학협력단 간 업무 조율 • 기본설계 보완 및 실시설계요령 및 발주도서 작성 • 조달청 실시설계사 발주 및 선정, 설계사 계약 • 계획설계, 중간설계 완료 • 건축부지 현황측량 수행 • 국내 대형실험시설 실무자 초청 자문회의 수행 • 서울대-설계사-CM간 주례공정회의 개최(매주1회) • 기존 건축물 현장조사 수행
	장비 구축	자유낙하 실험시설 발주/설계	• 전문 장비업체를 통한 장비성능 검토 • 일본 방위대 방문 및 Maekawa사와의 자문회의 • 산학협력단과의 실험시설 발주방법 검토 • 발주도서(과업지시서) 작성 준비
		3종 가스건, 홉킨슨바 발주/설계	• 국방과학연구소 가스건 견학 및 구축 자문 • 미국 PAI사 및 협력업체 방문 및 구축 협의 • 산학협력단과의 실험시설 발주방법 검토
	교육 및 홍보		• 전문가 초청 강연 개최 • 다양한 방법(행사 개최, 국내외 유관기관 및 세미나 참석 발표, 센터 투어, 정기간행물 발행, 부스 전시, 홈페이지 등)을 통한 홍보
	연구 및 시험운영		• 기본설계 정밀분석 • 주요관련 실험시설 방문조사 및 실험장비 활용 방안 자문 • 자료 및 문헌조사
2차	부지 조성 및 건축	실시설계 완료	• 증축 허가 접수 및 승인(관악구청) • CM단 기술검토 후 보완설계 완료 • 국토교통과학기술진흥원 실시설계 결과 보고 및 승인 • 실시설계 공정관리 보고서 작성
		부지조성 및 건축공사 진행	• 시공사 발주 공고 • 착공간담회 개최, 시공사 계약, 착수보고회 개최 및 착공 • 기공식 개최
	장비 구축	자유낙하 실험시설 발주/계약/설계	• 다수 제작업체와의 기술 협의를 통한 개선점 도출 • 자유낙하실험시설 구매 공고 • 기술제안서 평가 및 계약 체결 • 장비 상세 설계
		3종 가스건, 홉킨슨바 발주/계약/설계	• 국토교통기술촉진연구사업 연구장비도입심사 • 3종 가스건, 홉킨슨바 구매 공고 및 계약 체결 • 장비 상세 설계
		급속재하 실험시설 발주	• 발주 사전 준비(발주 및 계약방법 검토) • 건축공사 예정공정에 맞추어 발주시기 조정

연차	연구 내용		연구 결과
		5,000kN UTM 발주	• 발주 사전 준비(발주 및 계약방법 검토) • 건축공사 예정공정에 맞추어 발주시기 조정
	교육 및 실험시설 홍보		• 다양한 방법(행사 개최, 국내외 유관기관 및 세미나 참석 발표, 센터 투어, 정기간행물 발행, 부스 전시, 홈페이지 등)을 통한 홍보
	연구 및 시험운영	극한상태 실험시설/장비 분석 및 자문	• LS-DYNA 충격, 폭발 세미나 참가 • 국내외 유관기관(지진방재연구센터, ELSA, 퍼듀대 등) 견학 및 자문 • PAI사 세미나 참석(ADD) • PROTECT2015 학회 참석 및 논문 발표 • LS-DYNA 기본교육 참석 • 기본설계 정밀 분석 및 기술자문을 통한 장비 개선점 도출 • 자체 기술세미나 개최 2건
3차	부지 조성 및 건축	시공단계 설계변경	• 설계서의 내용이 불분명하거나 누락·오류가 있는 사항에 대한 설계변경 추진 • 실험시설의 성능 고도화를 위한 설계변경(연구공간 증축, 고정식 반력벽 시공) 추진 • 건축허가서 변경승인
		건축공사	• 반력구조물 시공 관련 유관기관(포스코 글로벌R&D센터, 하이브리드 구조실험센터 등) 방문견학 및 기술자문 수행 • 반력구조물 시공 전문업체의 현장방문 및 기술자문 수행 • KREONET망 구축 및 원격실험관찰 관련 관리기관의 기술자문 수행 • 주요 자재(비상발전기, 급수/냉각수 펌프, 수배전반)에 대한 사전 공장검수 수행 • 반력구조물 시공계획에 대한 시공사 발표회 개최 • 건설환경종합연구소 자문위원단 구성 및 현장점검 수행 • 월간공정회의 및 주간공정회의 개최
	장비구축	자유낙하 실험시설 설계/제작	• 장비업체와의 기술 협의를 통한 개선점 도출 및 제작 반영 • 상세설계 완료 • 장비 제작 공장 방문 및 사전검수, 장비 제작 완료 • 건축공사 예정공정과 간섭되지 않도록 설치시기 조정
		3종 가스건, 홉킨슨바 설계/제작/선적	• 장비업체와의 기술 협의 및 유관기관(ADD) 기술자문을 통한 개선점 도출 및 제작 반영 • 상세설계, 장비 제작 완료 • 장비 제작 공장 방문 및 사전검수 • 건축공사 예정공정과 간섭되지 않도록 설치시기 조정
		급속재하 실험시설 발주	• 장비업체와의 기술 협의를 통한 개선점 도출 • 장비성능 변경 관련 국토교통과학기술진흥원과 협의 • 조달 공고 완료 (장비 성능 변경 전) • 공고 결과 유찰 • 장비 성능 재검토 수행 및 건설연구인프라운영원의 기술검토 수행
		5,000kN UTM 발주 사전준비	• 장비업체와의 기술 협의 및 유관기관(하이브리드구조실험센터, 포스코 글로벌R&D센터 등) 기술자문을 통한 개선점 도출 • 발주 사전 준비(발주 및 계약 방법 검토, 공고서류 작성)

연차	연구 내용		연구 결과
			• 건축공사 예정공정을 고려하여 발주시기 조정
		극한온도 실험시설 발주 사전준비	• 장비업체와의 기술 협의 및 유관기관(한국건설기술연구원, CERI 등) 기술자문을 통한 개선점 도출 • 발주 사전 준비(발주 및 계약 방법 검토, 공고서류 작성) • 건축공사 예정공정을 고려하여 발주시기 조정 • 공고서류 작성
		지반공학장비 발주 사전준비	• 장비업체와의 기술 협의 및 유관기관(한국건설기술연구원 등) 기술자문을 통한 개선점 도출 • 발주 사전 준비(발주 및 계약 방법 검토) • 미래창조과학부 연구장비예산심의(본심의) • 건축공사 예정공정을 고려하여 발주시기 조정
		팬들럼충격 실험시설 발주 사전준비	• 장비업체와의 기술 협의를 통한 개선점 도출 • 발주 사전 준비(발주 및 계약 방법 검토) • 미래창조과학부 연구장비예산심의(본심의) • 건축공사 예정공정을 고려하여 발주시기 조정
		Flash X-Ray System 발주 (추가 제안 장비)	• 장비업체와의 기술 협의를 통한 개선점 도출 • 서울대학교 본부, 건설환경공학부의 추가 예산 확보 및 조달청 입찰 공고
	교육 및 실험시설 홍보		• 캐나다 파이프라인 관계자 대상 실험시설 홍보 발표 및 연계협력방안 협의 • 다양한 방법(행사 개최, 국내외 유관기관 및 세미나 참석 발표, 센터 투어, 정기간행물 발행, 부스 전시, 홈페이지 등)을 통한 홍보 • 서울대학교 산학협력단 장비 구매 관리 교육 • 초고속카메라, DAQ System 사용 교육
	연구 및 시험 운영	극한상태 실험시설/장비 분석 및 자문	• 유관기관(하이브리드구조실험센터, ADD, 한국건설기술연구원, CERI(Japan), 포스코 글로벌R&D센터 등) 실험시설/장비 방문 견학 및 기술자문 수행 • 중속가스건 타겟탱크의 적정성 검토 및 설계변경 • 국토교통대형실험시설 유저 컨퍼런스 참석 • 학술논문 발표 4건 • 극한공학분야 실험기법 개발 및 실험시설 초기 안정화/활성화를 위한 자체/공동 수행과제 제안 • 실험시설 운영 규정 작성 연구 • 주요 실험시설 및 장비의 신뢰성 확보 방안 연구 • 주요 실험시설 및 장비의 활용방안 연구 • 자체 기술세미나 개최 13건
4차	부지 조성 및 건축	건축공사 완공	• 관급자재(비상발전기, 수배전반, 태양광발전설비 사용전 검사 시행 및 합격 판정 취득 • KREONET망 및 원격실험관찰카메라 구축 관련 관리기관의 기술자문 수행 • 건설환경종합연구소 자문위원단 현장점검 수행 • 서울대 자체 예비준공검사 수행

연차	연구 내용		연구 결과
			• 실험시설 운영 효율성 제고를 위한 건축물 개선점에 관한 자문회의 개최 • 서울대 자체 콘크리트압축강도시험을 통한 품질 관리 수행 • 월간공정회의 및 주간공정회의 개최 • CM단을 통한 공사 관리감독 및 공정관리 수행 • 준공(2017.02.07.) 및 사용승인(2017.02.16.) • 준공식 개최(2017.02.22.)
	장비 구축	자유낙하 실험시설 설치/구축 완료	• 상세설계 및 제작 완료 • 장비 설치 및 검수 완료
		3종 가스건, 홉킨슨바 설치/구축완료	• 중속가스건 타겟탱크 제작업체 방문 및 사전검수 수행 • 중속가스건 성능향상을 위한 타겟탱크, 블라스트탱크 설계변경 추진 • 중속/고속/초고속가스건, 홉킨슨바 장비 설치 완료 • 중속/고속가스건, 홉킨슨바 및 검수시험 수행
		급속재하실험 시설 발주	• 미래창조과학부 추가변경심의를 통한 요구성능 변경 승인 • 장비업체와의 기술 협의를 통한 개선점 도출 • 조달청 입찰공고
		극한온도 실험시설 발주사전준비	• 당초 계획된 연구 종료 시점이 6개월 연장됨에 따라 추가적인 장비 성능 검토를 위해 발주시기 조정 • 장비업체와의 기술 협의를 통한 개선점 도출 • 공고서류 작성
		5,000kN UTM 발주	• 장비업체와의 기술 협의를 통한 개선점 도출 • 장비 가동의 효율성 증대 및 구축비용 절감을 위해 급속재하실험시설과 통합 발주 추진 • 조달청 입찰공고
		지반공학장비 발주	• 조달청 담당자와 구매협의
		CI/Grid System 네트워크 구축 완료	• 네트워크 장비 업체와 계약 체결 및 설치 완료 • 건축공사 준공 이후 정상 운영
		Flash X-Ray System 발주/계약	• 서울대학교 5.44억원의 추가 예산 확보 • 계약 체결
	교육 및 실험시설 홍보		• 다양한 방법(행사 개최, 국내외 유관기관 및 세미나 참석 발표, 센터 투어, 정기간행물 발행, 부스 전시, 홈페이지 등)을 통한 홍보 13건 • 홉킨슨바 스트레인게이지 부착 및 데이터로거 사용 교육 • 쉴리렌가시화장치 및 초고속카메라 사용 교육 • KREONET 망 및 네트워크 운영 교육
	연구 및 시험	실험시설 사전시험	• 설치 완료된 각 실험시설/장비별 사전시험 수행 • 실험시설/장비별 매뉴얼 작성 • 해석을 통한 실험예측 연구 수행

연차	연구 내용		연구 결과
	운영		• 실험시설을 활용한 자체/공동 수행과제 제안 • 실험시설 운영 규정 작성 연구 수행 • 주요 실험시설 및 장비의 활용방안 연구 수행 • 실험시설 운영 활성화를 위한 유관기관과의 활용방안 검토 • 자체 기술세미나 개최 9건
5차	장비 구축	급속재하 실험시설 설계/제작/설치/구축완료	• 실험시설 상세설계/제작/설치 • 미국 제작업체 방문 및 공장 사전시험 • 실험시설 시운전, 검수 완료 후 잔금 지급
		극한온도 실험시설 설계/제작/설치/구축완료	• 실험시설 발주/계약/상세설계/제작/설치 • 실험시설 시운전, 검수 완료 후 잔금 지급
		5,000kN UTM 계약/설계/제작/설치/구축완료	• 실험시설 계약/상세설계/제작/설치 • 실험시설 시운전, 검수 완료 후 잔금 지급
		지반공학장비 발주계약/설계/제작/설치/구축완료	• 실험시설 발주/계약/상세설계/제작/설치 • 실험시설 시운전, 검수 완료 후 장비대금 지급
		팬들럼충격실험시설 발주/계약/설계/제작/설치/구축완료	• 실험시설 발주/계약/상세설계/제작/설치 완료 • 실험시설 시운전, 검수 완료 후 잔금 지급
		Flash X-Ray System 설치/구축 완료	• Flash X-ray System 설치/구축 완료 • 시운전, 검수 완료 후 잔금 지급
	교육 및 홍보	교육 및 홍보	• 다양한 방법(행사 개최, 국내외 유관기관 및 세미나 참석 발표, 센터 투어, 정기간행물 발행, 부스 전시, 홈페이지 등)을 통한 홍보 • 서울대 공과대학-건설환경종합연구소 연계 중, 고, 대학생 대상 극한공학 분야 교육 및 홍보프로그램 개발 • 국방부 국방시설본부 대상 군 방호시설 연구 활용방안 특강
		실험시설 운영/안전교육	• 각 실험시설/장비 별 안전지침 작성 및 교육 • 관련 실험시설 유경험자를 통한 실험시설 운영, 관리, 안전에 대한 교육 실시
	연구 및 시험 운영	극한상태 실험기법 연구	• 극한상태 구조실험 기법 알고리즘 개발 • 자체 기술세마나 개최 22건 • 실험 예제집 작성
		실험시설 활용방안 연구	• 국내외 유사기관 분석(수요창출/운영성과/유지관리) • 극한상태 활용분야의 체계화 • 자체 연구과제 수행 8건 • 실험장비의 국산화 연구를 통한 연구장비산업 활성화 도모

연차	연구 내용		연구 결과
		실험시설 사전시험	• 자체 수행과제 및 외부 기관 연계를 통한 사전시험 시행 • 각 실험시설/장비 별 매뉴얼 작성 • 원격 회의 및 원격 실험 시스템 가동 • 실수요처와의 실험시설 활용방안 협의 24건 • 자체 연구과제 수행 및 타기관 연계를 통한 각 장비별 사전시험 수행
		실험센터 시험운영	• 실험센터 운영규정 작성 • 운영계획서(조직/운영/인력/유지관리/재원) 작성 • KOCED Grid 및 CI 시스템과 연동 • 원격실험 및 D/B공유 시스템 하드웨어 구축 • 개소식 개최 (2018.10.02.)

2. 관련분야 기여도

가. 기술적 기여

- ○ 해외 건설시장에서의 핵심소재 및 인프라 재료 기술 분야의 경쟁력 확보
- ○ 테러에 의한 폭발, 충격이나 자연재해에 대비한 인프라 구조물의 성능기반 해석 및 설계 기술의 발전에 기여
- ○ 신수요 창출이 가능한 극지 환경에서의 건설 기술 확보
- ○ 다양한 극한상태 실험장비의 집중을 통한 연구 시너지 극대화
- ○ 극한상태(하중, 온도 등)에서의 다양한 검증실험 수행, 신기술개발 지원 및 실용화 촉진이 가능하여 관련 분야 기술 경쟁력 제고에 기여

나. 사회경제적 기여

- ○ 재해 시나리오 기반한 현실성 있는 재해 대책 수립
- ○ 국내 첨단시설 부족으로 기존에 해외에서 수행되던 중요실험들을 국내에서 수행함으로써 국가적으로 중요한 기술 및 외화의 해외유출 방지 가능
- ○ 대형실험시설을 기반으로 한 세계 유수의 연구기관과 국제협력연구가 가능하여 미래 첨단 기술의 국내 도입과 국내 기업체의 국제적 기술력 확보를 통한 해외 건설시장 진출 확대 가능
- ○ 첨단 실험시설을 활용한 SOC시설물의 안전성 제고를 통해 재해/재난/사고 등으로부터 국민의 소중한 생명 및 재산 보호
- ○ 국가 연구시설/장비의 중복 투자를 방지하고 공동 활용을 통한 이용 효율성 증대

제5장. 연구개발성과의 활용 계획

(1) 극한성능실험센터

○ 차량 및 선박 충돌 방호시설 및 원전구조물의 성능 평가

- 자유낙하실험시설과 펜들럼실험시설을 통해 차량충돌 모사가 가능하며, 선박충돌 및 유빙충돌에 대한 구조거동 평가에도 활용될 수 있음
- 중고속충돌실험시설을 이용하여 항공기 엔진부가 원전에 충돌하는 것을 모사하여 원전구조물의 안전성 평가가 가능함

○ 방탄 재료의 성능평가 및 방폭 구조재료 개발

- 고속충돌실험시설을 이용하여 방탄재료 개발 등 방산분야의 특수 실험이 가능함
- 고속 및 중저속 비상체 실험시설을 연계하여 방폭 역량을 개선한 섬유 보강 콘크리트 구조를 개발할 수 있음

○ 극한환경에서의 구조 부재의 거동특성 평가 및 장비 가동성 평가

- 챔버 내 결빙방지 삼축압축시험기, 전단시험기 등을 이용하여 동토 자체의 특성과 동토에 설치된 자원 이송관의 구조성능 평가가 가능함

○ 극한지 자원 이송망 설계 및 시공 자동화 기술 개발

- 구조실험용 극한온도챔버를 활용하여 극지 동토지역에서의 지반 물성치를 파악함으로써 극지환경(-40도씨 이하)에서의 고성능의 파이프 특성 및 연결부 거동 평가가 가능하며, 시편상태에서 저온 인장 시험 등을 수행하여 극한지 파이프라인의 거동을 평가

○ 방호/방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발

- 고속충돌실험시설을 활용하여 섬유보강 시멘트의 내충격성을 평가
- 반력벽, 반력상, 5,000kN급 UTM 등을 통해 충돌 후 파괴된 시편에 대한 구조 실험을 수행해 복합재료의 방호/방폭 성능 평가

○ 철도구조물의 동해방지공법 및 설계, 시공, 유지관리 지침 개발

- 최대 -60℃까지 구현 가능한 극저온 온도챔버를 활용하여 철도구조물의 동결실험 수행이 가능함
- 챔버 내 UTM 등의 구조실험시설을 활용하여 동결 상태에서의 재료/부재 단위의 구조성능 평가 및 동해방지공법 개발

○ 충돌/폭압/지진 등 극한 사건 대응 강재 및 구조 활용 기술 개발

- 고용량의 중속충돌실험시설을 활용하여 강재에 대한 폭압을 모사함
- 팬들럼충격실험 및 자유낙하 실험을 통하여 요구 충격도에 대한 내충격 성능의 정량적인 평가가 가능함

○ 고성능 지하구조물 및 방호/방폭 시설물 개발

- 중속충돌실험시설을 활용한 고성능 재료 및 부재 단위에 대한 폭압 모사 수행한 후 폭압실험

을 거친 부재로 구성된 구조물에 대하여 반력벽, 반력상 및 5,000kN급 UTM을 활용하여 실구조물 실험을 수행하여 잔여 성능 평가가 가능함

○ 극한지시공이 가능한 산업부산물을 활용한 자가내부양생 경량골재 콘크리트 개발

- 중고속충돌실험시설을 통해 경량골재 콘크리트의 내충격성 평가 가능함
- 급속재하실험시설 및 홉킨슨바 테스트 등을 통하여 재료 단위에서의 특성(응력-변형률도 등)을 평가함
- 온도챔버 및 챔버 내 UTM을 활용하여 극한지에서의 경량 콘크리트의 구조 성능 및 시공성을 평가함

(2) 건축공사 완료보고서

○ 건축공사 완료보고서는 건설공사 및 감리용역개요, 공사추진내용 실적, 검측내용 실적, 품질시험 및 검사실적, 주요자재 관리실적, 안전/환경관리 실적, 분야별 기술검토 실적, 등이 포함된 문서임

○ 이를 토대로 극한성능실험센터의 공정별 공사 현황 및 변경 사항, 계약 사항, 안전 및 환경관리 상항 등을 확인하고, 향후 실험시설 유지관리를 위한 기반자료로 활용할 예정임

(3) 준공도서

○ 준공도서는 본 공사에서 수행된 모든 제반사항을 포함한 것으로, 실험시설 전반에 대한 내용은 물론 극한성능실험센터에 필요한 설비 등에 대한 기술적 내용이 수록되어 있음

○ 최종적으로 확보한 준공도서는 공간별 면적 등 치수가 정확히 명기되어 있으므로, 실험실 공간 활용 계획 및 동선 계획에 활용할 수 있음. 즉, 시설에 장비를 추가하거나 유지관리가 필요할 때 관련업체에 제공하여 관련 업무를 수행하도록 할 수 있음

○ 구조, 전기, 기계, 통신 등 상세도서는 구조체나 설비에 대한 보수, 안전점검 등에 활용 예정임

(4) 장비구축완료보고서

○ 장비구축완료보고서는 각 장비의 구축 전 과정에 대한 제반사항을 포함한 것으로, 장비 설계도에 장비의 치수 등이 명확히 명기되어 있으므로, 실험 설계시 활용 가능함

○ 또한, 장비에 대한 보수, 안전점검 방법 등에 활용 가능함

(5) 연구보고서

○ 각 장비별 매뉴얼, 실험기법 알고리즘은 장비업체에서 기본적으로 제공하는 문서 외에 센터에서 자체적인 사전시험을 통해 파악한 노하우를 별도의 문서로 작성하여 관리하고 있음. 앞으로 더 다양한 시험에 대한 매뉴얼 및 알고리즘을 확보할 예정이며, 시설 및 각 장비의

시험자가 타 인원으로 대체되더라도 실험시설의 운영에 차질이 없을 정도로 개정해 나갈 예정임

(6) 사전시험 및 운영결과보고서

- 사전시험 및 운영결과보고서는 실제 수행한 실험을 근거로 작성 한 것으로서, 향후 실험장비를 활용하면서 성능 저하를 판단할 수 있는 근거자료로 활용할 수 있음
- 또한, 외부기관에서 실험을 의뢰했을 때, 장비 성능 검토 및 실험 계획 검토시 활용이 가능함

(7) 유지관리 매뉴얼 및 안전지침서

- 건축물의 유지관리 매뉴얼은 물론 장비를 구성하는 기계단위 매뉴얼 및 유지관리, 안전에 대한 지침서를 확보하였음
- 매뉴얼 및 지침서의 숙지를 통해 장비 활용성 증대가 기대되며, 장비 성능의 이상 유무를 판단하는 데에 활용 가능함

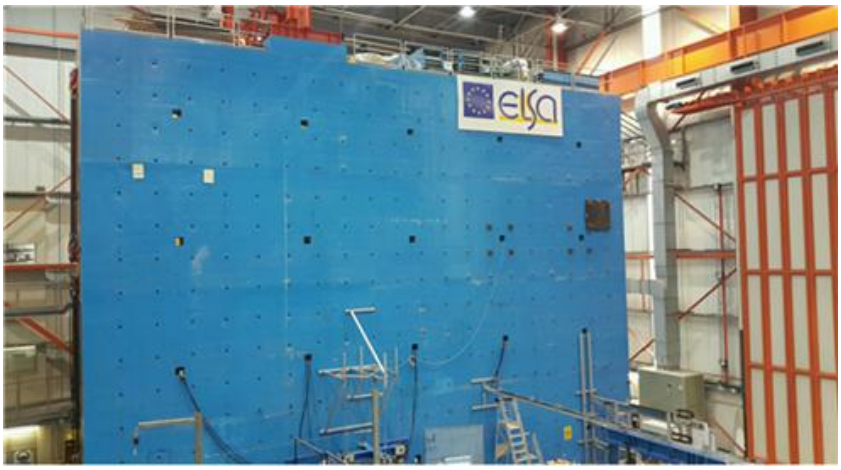
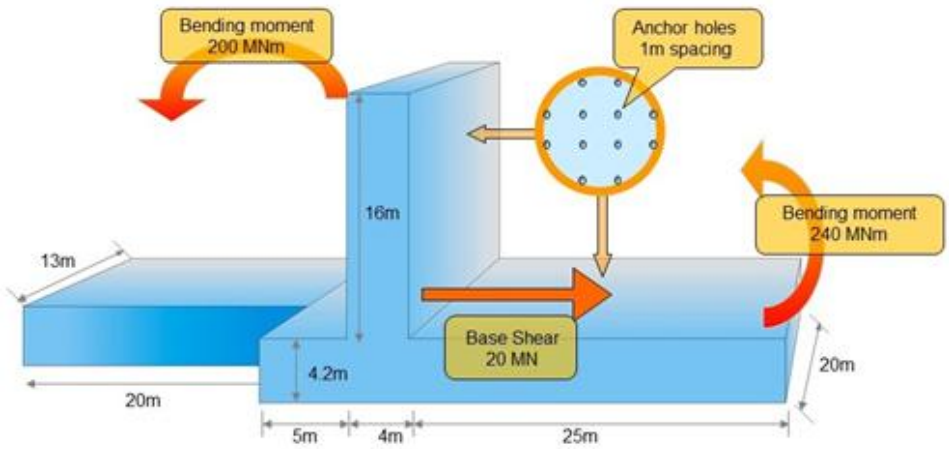
(8) 홍보 교육 성과

- 센터 시설 및 장비, 이를 활용한 연구분야에 대해 관련 분야에서의 관심도를 높일 수 있었음
- 건설교통 뿐 아니라, 재료/기계/우주/항공/방산/조선 등 다양한 분야에서 극한상태 실험연구가 수행될 수 있도록 다양한 형태의 홍보를 확대해 갈 예정임
- 또한, 운영단계 시 다양한 자문을 받을 수 있도록 세미나 개최, 전문가 초청 자문, 학술대회 발표 및 학회지 수록 등 대외활동을 확대해 갈 예정임

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

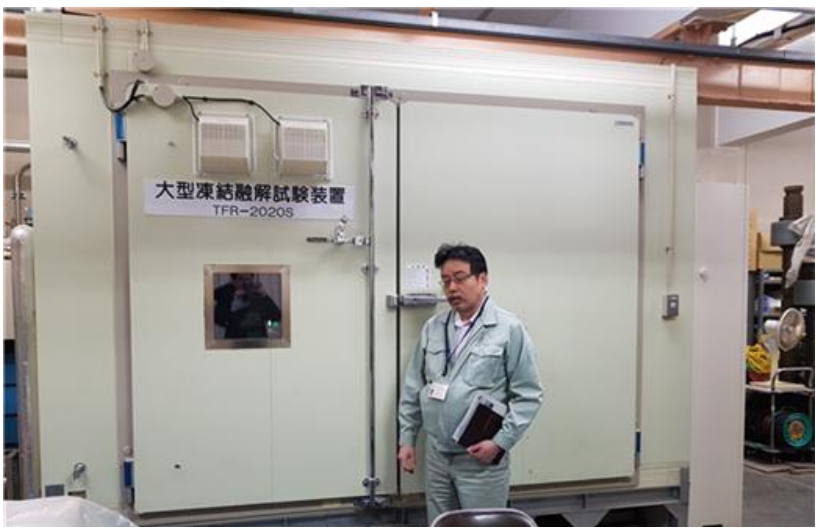
1. European Laboratory for Structural Assessment (ELSA)

○ ELSA에서 보유한 반력벽은 유럽 및 세계에서 가장 규모가 큰 시설로, 주로 건축물의 구조적 특성을 평가하는데 활용됨

구 분	내 용
시설명/국가	European Laboratory for Structural Assessment (ELSA) / Europe
주요실험시설	• 반력상 (총 면적 760m2), 반력벽 (16m(H)×20m(B)) • 유압액추에이터 다수 보유 : 0.2 ~ 3MN (스트로크 ±0.125~1.0m) • 홉킨슨바
주요활용 분야	건축물의 지진 및 기타 위험에 대한 구조적 특성 평가
관련 홈페이지	https://ec.europa.eu/jrc/en/research-facility/elsa
관련 사진	 
특 징	• 일반적인 정동적 구조실험 외에도 Pseudo-dynamic test (PSD) 기술이 장비에 반영되어 있어, 건물의 지진하중 시뮬레이션 실험 가능 • 재료의 동특성을 추출할 수 있는 재료물성시험기(홉킨슨바)를 보유하고 있음

2. 일본토목연구소 (CERI for cold region)

○ 일본토목연구소는 홋카이도 동토 지역의 시설 인프라의 개선, 자연재해로 인한 저비용/효율적인 복구 개발을 위한 연구목적으로 설립됨

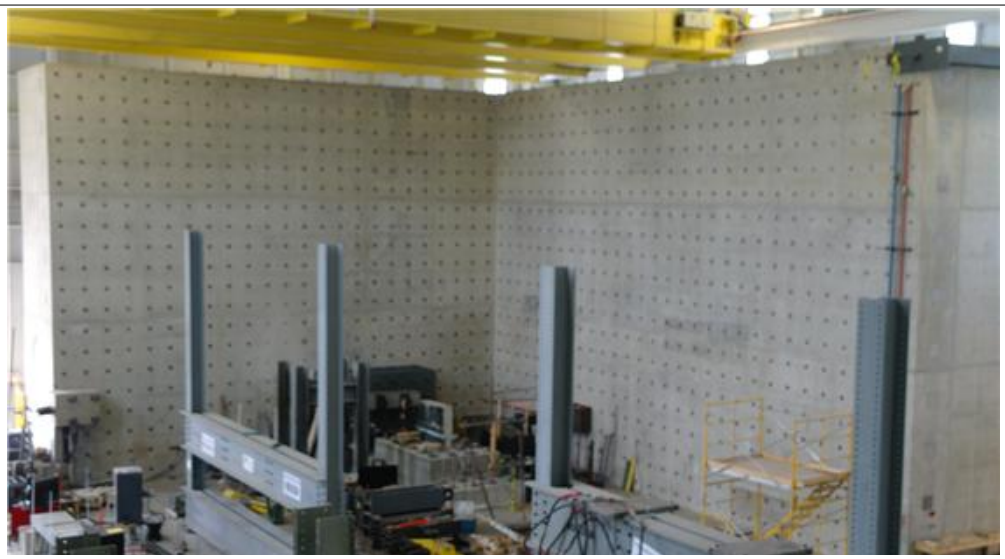
구 분	내 용
시설명/국가	한지토목연구소 (CERI for cold region) / Japan
주요실험시설	• Wheel running machine (Trucking speed 86m/min, Diameter of Weel Φ 50cm, Φ106cm) • 대형 온도 챔버
주요활용 분야	• 동토지역에서의 토목기술에 관한 신재료 신공법 등의 첨단 연구개발, 현상 메카니즘의 해명 등 기초 연구개발, 대책공법 등 범용기술 연구개발 및 기술지도, 성과보급을 수행
관련 홈페이지	http://www.ceri.go.jp/english/
관련 사진	 
특 징	• 홋카이도 내 지자체와 협력하여, 재해 상황에 관한 기술상담, 토목공학에 관한 기술지도, 지자체 기술자 양성 등에 기여하고 있음 • 동토 지역에서의 토목구조물, 콘크리트 및 포장의 내구성 향상, 보강기법 개발, 동토 지역에서의 재료/구조 특성 평가실험을 통해 검증함으로써, 적절한 유지보수 방법 개발에 힘쓰고 있음

3. West Campus Structural Testing Laboratory (University of Kansas)

○ West Campus Structural Testing Laboratory는 다양한 구조실험을 수행할 수 있는 L 타입 반력벽과 반력상, 다수의 유압 액추에이터를 보유하고 있으며, 2014년도부터 운영이 시작됨

구 분	내 용
시설명/국가	University of Kansas West Campus Structural Testing Laboratory
주요실험시설	• L타입 반력벽, 반력상 • 액추에이터 : 5ton급 1기, 10ton급 2기, 15ton급 1기, 25ton급 2기
주요활용 분야	• 대형 구조물의 정동적 구조실험
관련 홈페이지	http://ceae.ku.edu/wcstl
관련 사진	 
특 징	• 시편의 변형 정도를 측정하기 위해 NI사의 DQA시스템과 비접촉 적외선 기반 데이터 수집 시스템을 사용함

4. 퍼듀대학교 BOWEN Laboratory

구 분	내 용
시설명/국가	Bowen Laboratory (Purdue University) / USA
주요실험시설	• 반력상 크기 25m(B)×45m(L) • L타입 반력벽 (15m(B)×18m(H)) • 6자유도 소형 shake table • 홉킨슨바, 소형 고속가스건 • 다수의 액추에이터
주요활용 분야	• 지진, 폭풍 등의 극한상태에서 하중을 받는 대형구조물과 요소의 거동 평가 수행
관련 홈페이지	https://engineering.purdue.edu/Bowen
관련 사진	 
특 징	• 실시간 3D 위치 데이터 수집이 가능한 Krypton 6D tracking system 사용 • 반력상 FIT 내에 고속가스건과 홉킨슨바 장비가 설치 운영됨

제7장. 연구개발성과의 보안등급

1. 보안등급의 분류

보안	일반
	○

2. 결정사유

「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에 의거하여, 일반과제로 지정됨

1. 보안과제: 연구개발결과물 등이 외부로 유출될 경우 기술적·재산적 가치에 상당한 손실이 예상되어 보안조치가 필요한 경우로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 과제
   가. 세계 초일류 기술제품의 개발과 관련되는 연구개발과제
   나. 외국에서 기술이전을 거부하여 국산화를 추진 중인 기술 또는 미래핵심기술로서 보호의 필요성이 인정되는 연구개발과제
   다. 「산업기술의 유출방지 및 보호에 관한 법률」 제2조제2호의 국가핵심기술과 관련된 연구개발과제
   라. 「대외무역법」 제19조제1항 및 같은 법 시행령 제32조의2에 따른 수출허가 등의 제한이
   마. 필요한 기술과 관련된 연구개발과제
   바. 그 밖에 중앙행정기관의 장이 보안과제로 분류되어야 할 사유가 있다고 인정하는 과제
2. 일반과제: 보안과제로 지정되지 아니한 과제

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설 장비명	수량	취득일자	구축가격 (천원)	제작사	설치장소	NTIS 장비등록번호
서울대학교	자유낙하 실험시설	1sys.	2017.03.24.	1,063,150	㈜뉴원	서울대학교 극한성능 실험센터	NFEC-2017-04-236961
	중속충돌 실험시설	1sys.	2017.10.16.	789,353	Physics Applications (미국)		NFEC-2017-11-240770
	고속충돌 실험시설	1sys.	2017.10.16.	528,000			NFEC-2017-11-240773
	초고속충돌실험시설	1sys.	2017.10.16.	771,000			NFEC-2017-11-240772
	홉킨슨바	1sys.	2017.10.16.	219,000			NFEC-2017-11-240771
	5,000kN UTM	1sys.	2018.10.18.	777,137	MTS (미국)		NFEC-2018-10-246687
	급속재하 실험시설	1sys.	2018.10.18.	2,739,997			NFEC-2018-10-246689
	극한온도 실험시설	1sys.	2018.05.31.	813,000	㈜뉴원		NFEC-2018-08-245584
	팬들럼충격 시험기	1sys.	2018.10.18.	198,000	㈜뉴원		NFEC-2018-11-246890
	온도제어 삼축시험기	1sys.	2018.10.18.	119,928	GDS Instruments (영국)		NFEC-2018-10-246688



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2017-11-240770	등록일자	2017-11-16
한글명	중속충돌실험시설		
영문명	Middle Velocity Propulsion Impact Machine (Single-stage Gas Gun)		

기본정보			
고정자산관리번호	G2017000000000028308	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	모델명 없음
제작사	Physics Applications	제작국가	미국
취득금액(원)	289,553,060원	취득일자	2017-10-16
활용범위	운동활용서비스가능	장비용도	시험

보유기관정보			
보유기관명	서울대학교		
설치장소	서울 관악구 관악로 1 건설환경종합연구소 대형구조실험동		

국가연구개발사업			
국가과학기술지식정보서비스 고유번호	1415009136	부처명	국토교통부
과제명	극한상태 구조특성 실험시설 구축		
주관기관	서울대학교	연구책임자	조재열

2017. 11. 17
국가연구시설장비진흥센터장

(a) 중속충돌실험시설



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2017-11-240773	등록일자	2017-11-16
한글명	고속충돌실험시설		
영문명	High Velocity Propulsion Impact Machine (Single-stage Gas Gun)		

기본정보			
고정자산관리번호	G2017000000000028309	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	모델명 없음
제작사	Physics Applications	제작국가	미국
취득금액(원)	526,000,000원	취득일자	2017-10-16
활용범위	운동활용서비스가능	장비용도	시험

보유기관정보			
보유기관명	서울대학교		
설치장소	서울 관악구 관악로 1 건설환경종합연구소 대형구조실험동		

국가연구개발사업			
국가과학기술지식정보서비스 고유번호	1415009136	부처명	국토교통부
과제명	극한상태 구조특성 실험시설 구축		
주관기관	서울대학교	연구책임자	조재열

2017. 11. 17
국가연구시설장비진흥센터장

(b) 고속충돌실험시설



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2017-11-240772	등록일자	2017-11-16
한글명	초고속충돌실험시설		
영문명	Hypervelocity Propulsion Impact Machine (Two-stage Gas Gun)		

기본정보			
고정자산관리번호	G2017000000000028310	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	모델명 없음
제작사	Physics Applications	제작국가	미국
취득금액(원)	771,000,000원	취득일자	2017-10-16
활용범위	운동활용서비스가능	장비용도	시험

보유기관정보			
보유기관명	서울대학교		
설치장소	서울 관악구 관악로 1 건설환경종합연구소 대형구조실험동		

국가연구개발사업			
국가과학기술지식정보서비스 고유번호	1415009136	부처명	국토교통부
과제명	극한상태 구조특성 실험시설 구축		
주관기관	서울대학교	연구책임자	조재열

2017. 11. 17
국가연구시설장비진흥센터장

(c) 초고속충돌실험시설



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2017-11-240771	등록일자	2017-11-16
한글명	홉킨슨바실험시설		
영문명	Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB)		

기본정보			
고정자산관리번호	G2017000000000028311	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	모델명 없음
제작사	Physics Applications	제작국가	미국
취득금액(원)	219,000,000원	취득일자	2017-10-16
활용범위	운동활용서비스가능	장비용도	시험

보유기관정보			
보유기관명	서울대학교		
설치장소	서울 관악구 관악로 1 건설환경종합연구소 대형구조실험동		

국가연구개발사업			
국가과학기술지식정보서비스 고유번호	1415009136	부처명	국토교통부
과제명	극한상태 구조특성 실험시설 구축		
주관기관	서울대학교	연구책임자	조재열

2017. 11. 17
국가연구시설장비진흥센터장

(d) 홉킨슨바



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2017-04-236961	등록일자	2017-03-24
한글명	자유낙하실험시설		
영문명	Drop Weight Impact Tester		

기본정보			
고정자산관리번호	G2017000000000016095	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	NW-DIIT
제작사	그우노퓨시스템	제작국가	대한민국
취득금액(원)	1,063,150,000원	등록일자	2017-03-24
활용범위	공동활용서비스가능	장비용도	시험

보유기관정보	
보유기관명	서울대학교
설치장소	서울 관악구 관악로 1 서울대학교 316동 지하1층 공동기기원 구조실험센터 지하1층 지하1층실험실

국가연구개발사업			
국가과학기술지식정보서비스 고유번호	1615009136	부처명	국토교통부
과제명	극한상태 구조특성 실험시설 구축		
주관기관	서울대학교	연구책임자	조재열

2017. 05. 08
국가연구시설장비진흥센터장

(e) 자유낙하실험시설



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2018-10-246687	등록일자	2018-10-24
한글명	5,000kN 만능재료시험기		
영문명	5,000kN Dynamic UTM		

기본정보			
고정자산관리번호	G2018000000000024015	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	MTS Frame Model 311.31
제작사	Mts	제작국가	미국
취득금액(원)	2,777,136,987원	등록일자	2018-10-18
활용범위	공동활용서비스가능	장비용도	시험

보유기관정보	
보유기관명	서울대학교
설치장소	서울 관악구 관악로 1 서울대학교 F3층

국가연구개발사업			
국가과학기술지식정보서비스 고유번호	1615009136	부처명	국토교통부
과제명	극한상태 구조특성 실험시설 구축		
주관기관	서울대학교	연구책임자	조재열

2018. 10. 25
국가연구시설장비진흥센터장

(f) 5,000kN UTM



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2018-10-246689	등록일자	2018-10-24
한글명	급속재하실험시설		
영문명	High-speed Hydraulic Loading Machine		

기본정보			
고정자산관리번호	G2018000000000024017	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	모델명 없음
제작사	Mts	제작국가	미국
취득금액(원)	2,739,996,627원	등록일자	2018-10-18
활용범위	공동활용서비스가능	장비용도	시험

보유기관정보	
보유기관명	서울대학교
설치장소	서울 관악구 관악로 1 서울대학교 F3층

국가연구개발사업			
국가과학기술지식정보서비스 고유번호	1615009136	부처명	국토교통부
과제명	극한상태 구조특성 실험시설 구축		
주관기관	서울대학교	연구책임자	조재열

2018. 10. 25
국가연구시설장비진흥센터장

(g) 급속재하실험시설



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2018-08-245584	등록일자	2018-08-22
한글명	극한온도실험시설		
영문명	Extreme Temperature Chamber		

기본정보			
고정자산관리번호	G2018000000000020297	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	NW-ETL500
제작사	주식회사 뉴원	제작국가	대한민국
활용범위	공동활용서비스가능	구축기간	2017-09-29 ~ 2018-05-31
장비용도	시험		

보유기관정보	
보유기관명	서울대학교
설치장소	서울 관악구 관악로 1 316동 413호 F3층

국가연구개발사업			
국가과학기술지식정보서비스 고유번호	1615009136	부처명	국토교통부
과제명	극한상태 구조특성 실험시설 구축		
주관기관	서울대학교	연구책임자	조재열

2018. 08. 28
국가연구시설장비진흥센터장

(h) 극한온도실험시설



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2018-11-246890	등록일자	2018-11-07
한글명	팬들럼충격시험기		
영문명	Pendulum Impact Tester		

기본정보			
고정자산관리번호	G2018000000000024858	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	NW-PDI300TON
제작사	동식회사 뉴원	제작국가	대한민국
취득금액(원)	198,000,000원	취득일자	2018-10-18
활용범위	공동활용허용가능	장비용도	시험

보유기관정보	
보유기관명	서울대학교
설치장소	서울 관악구 관악로 1 서울대학교 73동

국가연구개발사업			
국가과제고유번호	1475010681	부처명	식품의약품안전처
과제명	직접독군의 신규 영롭정보 기반 국가 통합에 개발 및 평가시험 자동화 분석을 통한 직접독군 신속 판별 프로그램 개발 연구		
주관기관	서울대학교	연구책임자	김학일

2018. 11. 08
국가연구시설장비진흥센터장



국가연구시설장비정보등록증
Registration Certificate of Research Facilities & Equipment

시설장비등록번호	NFEC-2018-10-246688	등록일자	2018-10-24
한글명	온도제어 삼축시험장비		
영문명	Temperature Controlled Environmental Triaxial Testing Systems		

기본정보			
고정자산관리번호	G2018000000000024314	연구시설 · 장비구분	주시설장비
취득방법	구매	모델명	HPETAS
제작사	GDS Instruments	제작국가	영국
취득금액(원)	319,928,200원	취득일자	2018-10-18
활용범위	공동활용서비스가능	장비용도	시험

보유기관정보	
보유기관명	서울대학교
설치장소	서울 관악구 관악로 1 서울대학교 F4동 407

국가연구개발사업			
국가과제고유번호	1415009136	부처명	국토교통부
과제명	국한상태 구조특성 실험시설 구축		
주관기관	서울대학교	연구책임자	조재열

2018. 10. 25
국가연구시설장비진흥센터장

(i) 팬들럼충격시험기 (j) 온도제어삼축시험장비

[그림 250] 국가연구시설장비정보등록증

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

(1) 대학차원의 심도 깊은 안전교육을 통한 안전사고 예방

○ 서울대학교의 자연과학대학 및 공과대학 대학원 신입생 전원은 입학 시 각 전공 별로 3가지 내용으로 구성된 환경안전원에서 실시하는 환경안전교육을 3일 동안 의무적으로 수강하며 수강 후 소정의 시험을 통과하여 수료증을 발급받지 못할 경우 해당 학과의 실험실 출입이 금지됨

○ 실험장비를 운영·관리하는 담당자 및 연구원 전원은 환경안전교육을 이수하도록 하고 외부 연구자도 사이버 환경안전교육을 수료하도록 함으로써 장비 취급 시 안전사고를 예방할 수 있도록 함

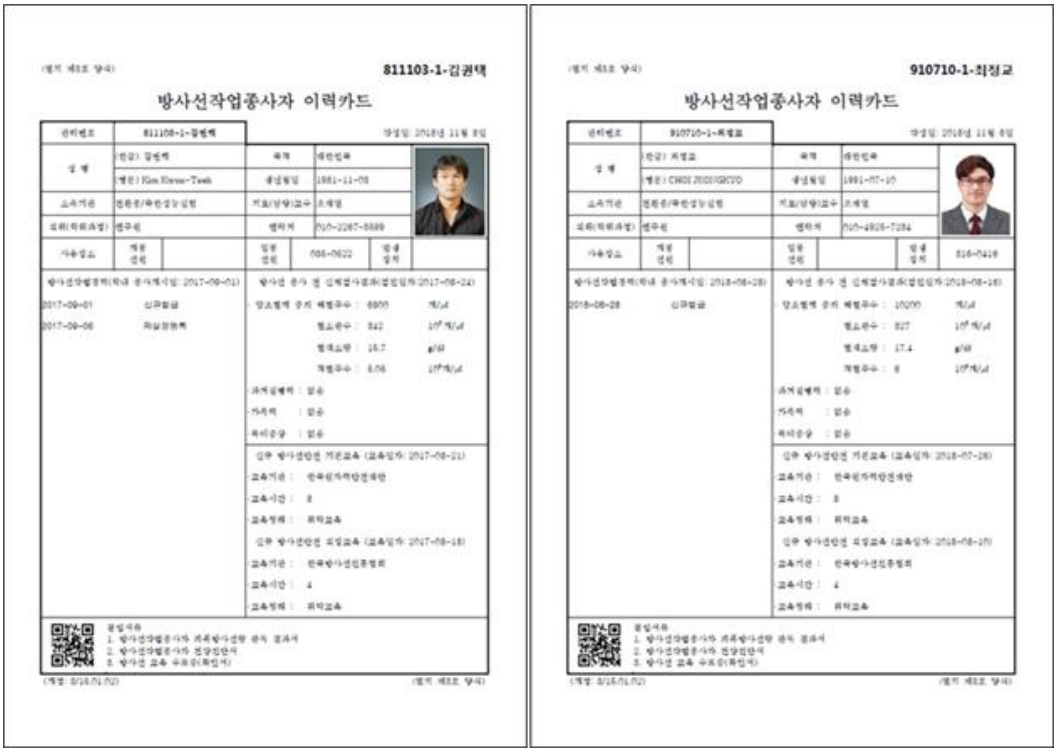
○ 각 실험시설 별 안전수칙이 명시된 표어를 제작하여 시설 곳곳에 부착하여 실험 수행 시 안전에 대한 경각심을 고조시킴

[표 89] 서울대학교 환경안전교육 교육 내용

구분	A과정	B과정	C과정
공통 과목	• 환경안전관리, 전기의 안전취급, 실험실장비 및 기구의 취급요령 • 사고의 심리학, 소방안전, 응급처치, 연구윤리		
선택 과목	• 독성화학물질 • 방사선 안전 • 인화성액체, 반응성 및 폭발성 • 서울대학교 실험실 안전실태 • 실험동물취급 • 실험연구용 LMO 안전관리	• 독성화학물질 • 방사선안전관리 • 인화성액체, 반응성 및 폭발성 • 서울대학교 실험실 안전실태 • 실험실 안전 보건과 직업병 • 인간공학	• 실험실 안전 보건과 직업병 • 인간공학 • 공작실안전 • 가스안전 • 캠퍼스 내 생활환경

(2) 방사선안전 정기교육 이수

○ 플레시엑스레이 장비를 운영·관리하는 담당자 및 연구원 전원은 「서울대학교 방사선안전관리규정」에 의거, 정기적으로 한국원자력안전재단에서 시행하는 방사선안전기본교육과, 방사선진흥협회에서 시행하는 방사선안전직장교육을 이수토록 하고 있음. 또한 정기적인 방사선작업종사자 건강진단을 이수하고 있으며, 개인선량계를 분기별로 발급받아, 담당자의 피폭방사선량을 판독하고 있음. 방사선작업종사자의 이력카드는 서울대학교 환경안전원 홈페이지를 통해 관리하고 있음



811103-1-김권택

방사선작업종사자 이력카드

910710-1-최정교

방사선작업종사자 이력카드

[그림 251] 방사선작업종사자 이력카드



피폭선량측정결과통보서

한일원자력주식회사

피폭선량측정결과통보서

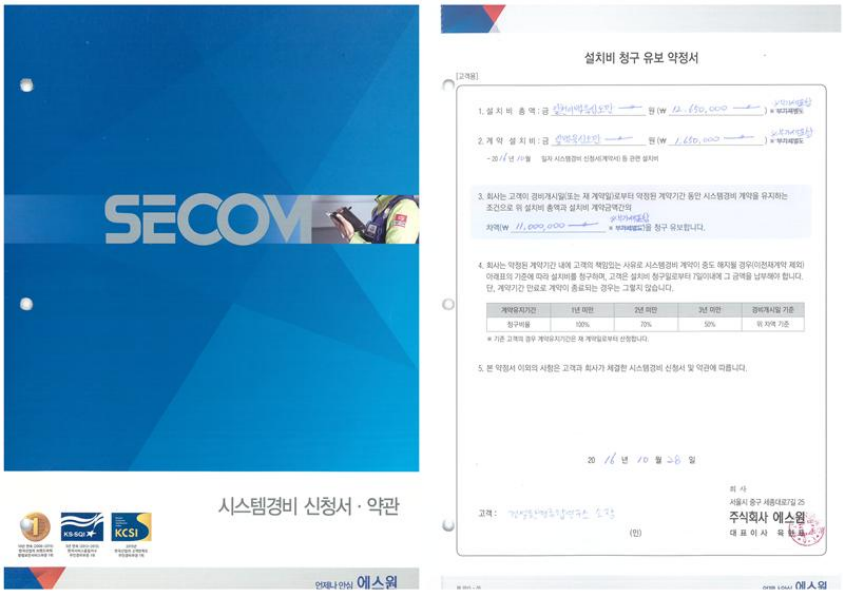
한일원자력주식회사

[그림 252] 피폭선량측정결과통보서

(3) 철저한 경비시스템 및 보안수칙 적용

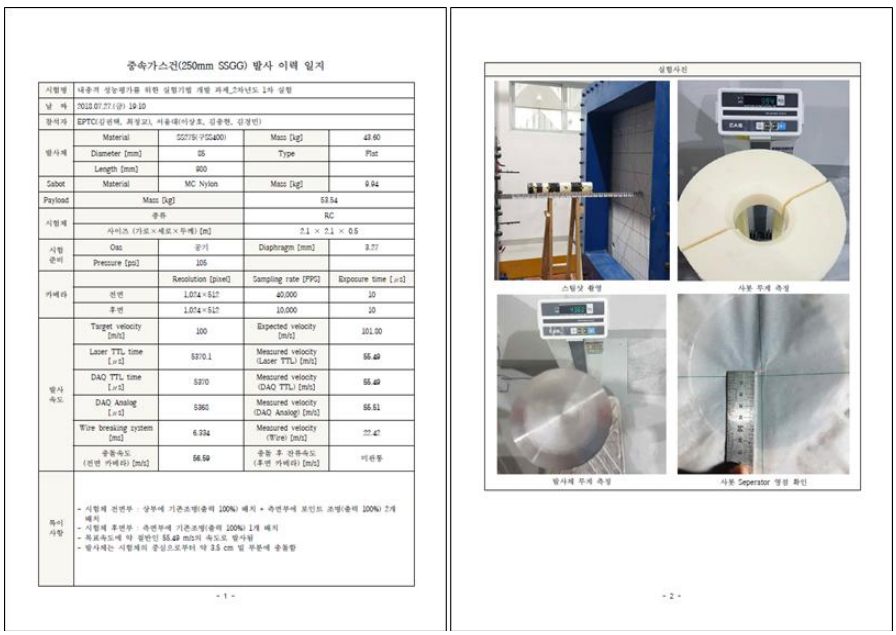
○ 전문경비업체(세콤)과의 계약을 통해 실험시설 내 전자보안 시스템을 구축하고 CCTV를 설치하여 24시간 방범체제를 구축함

○ 카드식 출입문 설치를 통하여 외부인의 출입을 제한하고 시설 내 경비원을 상주시켜 시설 내 장비 및 연구 자료의 도난 및 유출 사고에 대한 대책을 마련함



[그림 253] 세콤 시스템경비 계약서

(4) 실험 전후 장비운영일지의 철저한 기록과 분석을 통하여 사전에 장비 결함을 탐지하여 실험 도중의 사고를 방지함



[그림 254] 중속가스건 장비운영일지 (예시)

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

No.	실적 유형	저자/ 인력	논문명/실적명	저널명/기관명	특기사항
1	논문	이상호 김경민 박자민 조재열	Pure rate effect on the concrete compressive strength in the split Hopkinson pressure bar test	International Journal of Impact engineering, Vol. 113, March, 2018	SCI IF=3.344
2	논문	김경민 이상호 조재열	Effect of Maximum Coarse Aggregate Size on Dynamic Compressive Strength of High-Strength Concrete	International Journal of Impact engineering, In Press	SCI IF=3.344
3	인력 채용	김권택 최정교	극한성능실험센터 인력채용 (선임연구원 1명, 연구보조원 1명)	극한성능실험센터	
4	인력 양성	유용재 이상호 김충현 김경민	인력양성 (석사학위 4명)	서울대학교	석사학위 취득
5	인력 양성	박자민	인력양성 (박사학위 1명)	서울대학교	박사학위 취득

제11장. 기타 사항

○ 해당사항 없음

제12장. 참고문헌

1. Adhikary, S. D., Li, B., & Fujikake, K. (2013). Strength and behavior in shear of reinforced concrete deep beams under dynamic loading conditions. Nuclear Engineering and Design, 259, 14-28.
2. Al-Zubaidy, H., Zhao, X.-L., & Al-Mahaidi, R. (2012). Mechanical characterisation of the dynamic tensile properties of CFRP sheet and adhesive at medium strain rates. Composite Structures.
3. Anderson, J. L., Schultz, P. H., & Heineck, J. T. (2003). Asymmetry of ejecta flow during oblique impacts using three-dimensional particle image velocimetry. Journal of geophysical research, 108(E8), 5094.
4. Andrei Şerban, D., Weber, G., Marşavina, L., Silberschmidt, V. V., & Hufenbach, W. (2012). Tensile properties of semi-crystalline thermoplastic polymers: Effects of temperature and strain rates. Polymer Testing.
5. Aoyama, K., Ogawa, S., & Fukuda, M. (1985). Temperature dependencies of mechanical properties of soils subjected to freezing and thawing. Paper presented at the Proceedings of the 4th International Symposium on Ground Freezing.
6. Baer, W., Wossidlo, P., Abbasi, B., Cassau, M., Häcker, R., & Kossert, R. (2009). Large scale testing and statistical analysis of dynamic fracture toughness of ductile cast iron. Engineering Fracture Mechanics, 76(8), 1024-1036.
7. Beppu, M., Miwa, K., Itoh, M., Katayama, M., & Ohno, T. (2008). Damage evaluation of concrete plates by high-velocity impact. International Journal of Impact Engineering, 35(12), 1419-1426.
8. Borgerhoff, M., Schneeberger, C., Stangenberg, F., & Zinn, R. CONCLUSIONS FROM COMBINED BENDING AND PUNCHING TESTS FOR AIRCRAFT IMPACT DESIGN.
9. Boyce, B., & Dilmore, M. (2009). The dynamic tensile behavior of tough, ultrahigh-strength steels at strain-rates from 0.0002s-1 to 200s-1. International Journal of Impact Engineering, 36(2), 263-271.
10. Chamberlain, E. J. (1980). Overconsolidation effects of ground freezing thawing. The 2th International Symposium on Ground Freezing, 1, 325-337.
11. Chen, Y., & May, I. (2009). Reinforced concrete members under drop-weight impacts. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures and buildings, 162(1), 45-56.
12. Christiansen, E. L. (1990). Investigation of hypervelocity impact damage to space station truss tubes. International Journal of Impact Engineering, 10(1), 125-133.
13. Cintala, M. J., Berthoud, L., & Hörz, F. (1999). Ejection-velocity distributions from impacts into coarse-grained sand. Meteoritics & Planetary Science, 34(4), 605-623.

14. Dawson, A., Bless, S., Levinson, S., Pedersen, B., & Satapathy, S. (2008). Hypervelocity penetration of concrete. International Journal of Impact Engineering, 35(12), 1484-1489.
15. Del Viso, J., Carmona, J., & Ruiz, G. (2008). Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete. Cement and Concrete Research, 38(3), 386-395.
16. Elfahal, M., Krauthammer, T., Ohno, T., Beppu, M., & Mindess, S. (2005). Size effect for normal strength concrete cylinders subjected to axial impact. International Journal of Impact Engineering, 31(4), 461-481.
17. VTT:Experimental Tests for Bending and Punching Behavior of Reinforced Concrete Walls under Impact Loading. Research Report VTT-R-05587-10, (2010).
18. Fares, H., Noumowe, A., & Remond, S. (2009). Self-consolidating concrete subjected to high temperature: Mechanical and physicochemical properties. Cement and Concrete Research, 39(12), 1230-1238.
19. Fitoussi, J., Meraghni, F., Jendli, Z., Hug, G., & Baptiste, D. (2005). Experimental methodology for high strain-rates tensile behaviour analysis of polymer matrix composites. Composites science and technology, 65(14), 2174-2188.
20. Fujikake, K., Li, B., & Soeun, S. (2009). Impact response of reinforced concrete beam and its analytical evaluation. Journal of structural engineering, 135(8), 938-950.
21. Gencoglu, M., & Mobasher, B. (2007). Static and Impact Behavior of Fabric Reinforced Cement Composites in Flexure. Proceedings of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC5), 463-470.
22. Hermalyn, B., & Schultz, P. H. (2010). Early-stage ejecta velocity distribution for vertical hypervelocity impacts into sand. Icarus, 209(2), 866-870.
23. Hoerth, T., Schaefer, F., Thoma, K., Kenkmann, T., Poelchau, M. H., Lexow, B., & Deutsch, A. (2013). Hypervelocity impacts on dry and wet sandstone: Observations of ejecta dynamics and crater growth. Meteoritics & Planetary Science, 48(1), 23-32.
24. Huang, Z. (2010). The behaviour of reinforced concrete slabs in fire. Fire Safety Journal, 45(5), 271-282.
25. Jian-hua, J., & Ying-shu, Y. (2009). Action spectrum of temperature in natural climate environment and prediction of temperature response in concrete. Procedia Earth and Planetary Science, 1(1), 444-450.
26. Kim, J.-H., Kim, D., Han, H. N., Barlat, F., & Lee, M.-G. (2012). Strain rate dependent tensile behavior of advanced high strength steels: Experiment and constitutive modeling. Materials Science and Engineering: A.
27. Kim, Y.-S., Nam, S., & Kim, S.-J. (2007). Strain rate dependence of deformation behavior of high-nitrogen austenitic steels. Journal of materials processing technology, 187, 575-577.
28. Kim, Y., Nam, M., & Hong, S. (2007). Ground Characteristics in the Antarctic and Adfreeze Force on Pile Foundations. Paper presented at the Proceeding for Int. Conf. on Tampere,

Finland.

29. Kojima, I. (1991). An experimental study on local behavior of reinforced concrete slabs to missile impact. Nuclear Engineering and Design, 130(2), 121-132.
30. Konrad, J.-M., & Morgenstern, N. (1982). Effects of applied pressure on freezing soils. Canadian Geotechnical Journal, 19(4), 494-505.
31. Krauthammer, T., Elfahal, M., Lim, J., Ohno, T., Beppu, M., & Markeset, G. (2003). Size effect for high-strength concrete cylinders subjected to axial impact. International Journal of Impact Engineering, 28(9), 1001-1016.
32. Ladanyi, B., & Theriault, A. (1990). A study of some factors affecting the adfreeze bond if piles in permafrost. Paper presented at the Proc. of geotechnical engineering congress, GSP 27 ASCE.
33. Lamontagne, C. G., Manuelpillai, G. N., Kerr, J. H., Taylor, E. A., Tennyson, R. C., & Burchell, M. J. (2001). Projectile density, impact angle and energy effects on hypervelocity impact damage to carbon fibre/peek composites. International Journal of Impact Engineering, 26(1), 381-398.
34. Lawrence, D. M., & Slater, A. G. (2005). A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century. Geophysical Research Letters, 32(24), L24401.
35. Lim, J., Zheng, J. Q., Masters, K., & Chen, W. W. (2011). Effects of gage length, loading rates, and damage on the strength of PPTA fibers. International Journal of Impact Engineering, 38(4), 219-227.
36. LUO, Y.-r., HUANG, C.-x., TIAN, R.-h., & WANG, Q.-y. (2013). Effects of Strain Rate on Low Cycle Fatigue Behaviors of High-Strength Structural Steel. Journal of Iron and Steel Research, International, 20(7), 50-56.
37. Nagasawa, Y., & Umeda, Y. (1985). Effects of the freeze-thaw process on soil structure. The 4th International Symposium on Ground Freezing, 219-224.
38. Oura, H., Usuki, H., & Takada, Y. (1960). On adfreezing force of soil. Low Temperature Science.
39. Parameswaran, V. (1978). Adfreeze strength of frozen sand to model piles. Canadian Geotechnical Journal, 15(4), 494-500.
40. Park, C., Huh, H., Kim, J., & Ahn, C. (2012). Determination of true stress-true strain curves of polymers at various strain rates using force equilibrium grid method. Journal of composite Materials, 46(17), 2065-2077.
41. Raman, S., Ngo, T., Lu, J., & Mendis, P. (2013). Experimental Investigation on the Tensile Behavior of Polyurea at High Strain Rates. Materials & Design.
42. Remennikov, A., & Kaewunruen, S. (2006). Impact resistance of reinforced concrete columns: experimental studies and design considerations.
43. Riedel, W., Nöldgen, M., Straßburger, E., Thoma, K., & Fehling, E. (2010). Local damage to

Ultra High Performance Concrete structures caused by an impact of aircraft engine missiles. Nuclear Engineering and Design, 240(10), 2633-2642.

44. Rodríguez-Nikl, T. (2006). Experimental simulations of explosive loading on structural components: reinforced concrete columns with advanced composite jackets: ProQuest.
45. Sabet, A., Fagih, N., & Beheshty, M. H. (2011). Effect of reinforcement type on high velocity impact response of GRP plates using a sharp tip projectile. International Journal of Impact Engineering, 38(8), 715-722.
46. Saburi, T., Kubota, S., Yoshida, M., Wada, Y., & Ogata, Y. (2008). Experimental impact study using an explosive driven projectile accelerator and numerical simulation. International Journal of Impact Engineering, 35(12), 1764-1769.
47. Silva, F. d. A., Butler, M., Mechtcherine, V., Zhu, D., & Mobasher, B. (2011). Strain rate effect on the tensile behaviour of textile-reinforced concrete under static and dynamic loading. Materials Science and Engineering: A, 528(3), 1727-1734.
48. Simunovic, S. (2011, May 9-13, 2011). High Strain-Rate characterization of Magnesium Alloys.
49. Soleimani, S., Banthia, N., & Mindess, S. (2007). Behavior of RC beams under impact loading: some new findings. Paper presented at the Proceedings of the Sixth International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Catania, Italy.
50. Sugano, T., Tsubota, H., Kasai, Y., Koshika, N., Ohnuma, H., Von Riesemann, W., Bickel, D., Parks, M. (1993). Local damage to reinforced concrete structures caused by impact of aircraft engine missiles Part 1. Test program, method and results. Nuclear Engineering and Design, 140(3), 387-405.
51. Tennyson, R., & Lamontagne, C. (2000). Hypervelocity impact damage to composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 31(8), 785-794.
52. Tennyson, R., & Shortliffe, G. (1997). MOD impact damage on composite materials in space(Micrometeoroid and Orbital Debris). Paper presented at the International Symposium on Materials in Space Environment, 7 th, Toulouse, France.
53. Tuomala, M., Saarenheimo, A., Calonius, K., & Valikangas, P. (2013, August 18-23, 2013). Bending and Shear Punching Studies on Impact Loaded Reinforced Concrete Wall, Part 2. Paper presented at the Structural Mechanics in Reactor Techonology, San Franciso, California, USA.
54. Vahaaho, I. T. (1988). Soil freezing and thaw consolidation results for major project in Helsinki. The 5th International Symposium on Ground Freezing, 219-223.
55. Wald, F., Simões da Silva, L., Moore, D., Lennon, T., Chladná, M., Santiago, A., Benes, M., Borges, L. (2006). Experimental behaviour of a steel structure under natural fire. Fire Safety Journal, 41(7), 509-522.
56. Wicklein, M., Ryan, S., White, D., & Clegg, R. (2008). Hypervelocity impact on CFRP: testing, material modelling, and numerical simulation. International Journal of Impact Engineering,

35(12), 1861-1869.

57. Wille, K., El-Tawil, S., & Naaman, A. (2012). Strain Rate Dependent Tensile Behavior of Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete High Performance Fiber Reinforced Cement Composites 6 (pp. 381-387): Springer.
58. Wu, S., Chen, X., & Zhou, J. (2012). Tensile strength of concrete under static and intermediate strain rates: Correlated results from different testing methods. Nuclear Engineering and Design, 250, 173-183.
59. Yamamoto, S., Kadono, T., Sugita, S., & Matsui, T. (2005). Velocity distributions of high-velocity ejecta from regolith targets. Icarus, 178(1), 264-273.
60. Yew, C. H., & Kendrick, R. B. (1987). A study of damage in composite panels produced by hypervelocity impact. International Journal of Impact Engineering, 5(1), 729-738.
61. Yong, R., Boonsinsuk, P., & Yin, C. (1985). Alteration of soil behaviour after cyclic freezing and thawing. Paper presented at the Fourth International Symposium on Ground Freezing.
62. Zhang, M., Shim, V., Lu, G., & Chew, C. (2005). Resistance of high-strength concrete to projectile impact. International Journal of Impact Engineering, 31(7), 825-841.
63. Zhang, X., Ruiz, G., Yu, R. C., Poveda, E., & Porras, R. (2012). Rate effect on the mechanical properties of eight types of high-strength concrete and comparison with FIB MC2010. Construction and Building Materials, 30, 301-308.
64. Zhu, D., Peled, A., & Mobasher, B. (2011). Dynamic tensile testing of fabric-cement composites. Construction and Building Materials, 25(1), 385-395.
65. 강석원, & 홍성걸. (2001). 고온에서의 콘크리트 재료모델과 열거동해석. 콘크리트학회논문집.
66. 고성규, & 최창호. (2011). 논문: 동결온도와 수직구속응력 변화에 따른 모래와 알루미늄 재료의 접촉면에서 작용하는 동착강도 실험 연구. 한국지반공학회논문집, 27(9), 67-76.
67. 곽재훈, 남정훈, 이승식, 이완, & 윤순종. (2008). 극저온 반복온도이력을 경험한 콘크리트의 거동특성에 관한 실험적 연구.
68. 김경진. (2007). 고온 및 고압하중에 대한 PSC 원자로 격납구조물의 거동 분석. 대한토목학회논문집, 27.
69. 김규용, 남정수, & 미야우치, 히. (2011). 고속 비상체의 충돌을 받은 섬유보강 모르타르의 내충격 성능 평가. [Evaluation on Impact Resistance Performance of Fiber Reinforced Mortar under High-Velocity Impact of Projectile]. 대한건축학회 논문집 - 구조계, 27(9), 101-108.
70. 김영석. (2009). 시베리아 동토지역 진출을 위한 미래건설기술 개발;동토의 공학적 특성분석과 Pipe line의 설계.시공기술을 중심으로: 한국건설기술연구원(2009-12).
71. 김종탁, 조창희, 김진영, & 김태원. (2011). 라틴방격법을 이용한 고속 충격 알루미늄합금의 파괴거동에 미치는 충격자 영향 분석. 대한기계학회 논문집 A권, 35(9), 1021-1026.
72. 김홍섭, 남정수, 황헌규, 전중규, & 김규용. (2013). 고속비상체의 충돌에 의한 고강도 콘크리트의 표면관입저항성 및 배면박리성상에 관한 연구. 콘크리트학회논문집.
73. 남정수, 최형길, 김영선, 박종호, 정용, & 김규용. (2009). 고속 비상체의 충격시험에 의한 섬유

보강콘크리트의 내충격 성능평가. 한국콘크리트학회 학술발표대회자료.

74. 류두열, 민경환, 이진영, & 윤영수. (2012a). 섬유 보강재로 외부 보강된 강섬유 보강 콘크리트 슬래브의 충격저항성능 평가. 한국 콘크리트 학회, 24(3), 293-303.
75. 류두열, 민경환, 이진영, & 윤영수. (2012b). 층 구조를 갖는 강섬유 보강 고강도 콘크리트 보의 충격저항성능 향상. 한국 콘크리트 학회, 24(4), 369-379.
76. 민경환, 신현오, 류두열, & 윤영수. (2011). FRP 시트 및 강섬유 보강 콘크리트의 저속 충격에서의 휨 및 펀칭 파괴 거동. 한국콘크리트 학회, 23(1), 31-38.
77. 박주완. (2007). 축방향변형요소-점소성요소 조합해석기법을 이용한 변형률속도에 따른 구조물의 응답해석. 대한토목학회논문집, 27.
78. 손세원, 김희재, 박영의, & 홍송희. (2000). 알루미늄 5052-H34 합금 적층재의 방탄 성능과 파괴모드에 관한 연구. 한국정밀공학회지, 507-512.
79. 손세원, 이두성, & 홍성희. (2001). PVD처리한 티타늄 합금의 고속충격 거동에 관한 연구 (A Study on the high velocity impact behavior of titanium alloy by PVD method).
80. 신은철, & 박정준. (2003). 동결토의 동상팽창압 특성에 관한 실험적 연구. 한국지반공학회논문집, 19(2), 65-74.
81. 윤여원, 김세은, 강병희, & 강대성. (2003). 화강풍화토의 동결-융해 후의 동적 거동. 한국지반공학회논문집, 19(5), 69-78.
82. 이강일, 정종범, 김태훈, & 임은상. (2004). 고온조건을 받고 있는 점토의 역학특성.
83. 이나현, 이상원, 김연상, & 김장호. (2012). CFRP 및 폴리우레아로 보강된 콘크리트 패널의 충돌하중에 대한 실험적 거동평가. 한국콘크리트 학회, 19-20.
84. 이나현, 이상원, 김연상, 김태균, & 김장호. (2013). 이방향 프리스트레스 콘크리트 패널의 충돌저항성능평가. 한국콘크리트학회, 21-22.
85. 이종섭. (2011). 남극 장보고기지 건설지 영구동토지반에 대한 온도분포 조사. 2011 년 한국지반환경공학회 가을학술발표회, 266~ 269 쪽 (총 4 쪽).
86. 光則, 吉., 貴志, 大., 暢, 山., 克美, 金., 光夫, 後., 徹, 平., 正治, 佐. (1993). ø着雪氷防止技術に関する (pp. 13-22): 北海道立工業試験場報告.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.