

(옆면)

(앞면)

18SFTC-
C142668-01

중소기업
대형실험센터
기술시험비용
공동활용
및
지원
최종보고서
2018
국토교통과학기술진흥원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호()

국토교통연구성과활용지원사업 최종보고서

R&D / 18SFTC-C142668-01

중소기업 기술시험비용 및 대형실험센터 공동활용 지원

최종보고서

(별권 2 시험컨설팅 지원 회의록)

2018

2019.02.21.

주관연구기관 / 국토교통연구인프라운영원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

중소기업 지원과제 시험컨설팅 지원 회의록 목차

1. 55C15 정착구 LTT 성능시험	1
2. 파일조인트 실험	6
3. 교량점검 시설용 브라켓 성능시험	13
4. 고압반, 전동기 제어반, 분전반의 내진시험	17
5. 건식 변압기 내진시험	24
6. 4클립 내진 천장시스템 진동대 실험	30
7. 면진장치를 이용한 E-PDF저수조의 내진실험	34
8. 내진배전반 시스템의 내진성능 비교실험	40
9. 축소 지진격리 구조물을 인요한 지진격리시스템 검증	46
10. 배전반용 내진 mount	53
11. 가동원전 양개 방화방수문 내진성능시험	58
12. 엔진부품 내구시험	63
13. 금속재 천장틀 내진성능 실험	70
14. 이중합성거더 부모멘트 성능검증	76
15. 복합트러스교 격점부 성능검증실험	81
16. 이중합성거더 부모멘트 극한강도 실험	86
17. 고사이클피로시험	90
18. 2개의 형강재와 ㄷ채널을 이용하여 조립한 합성보{2Hc(합성보)}	97
19. PHC 피복 원형충전강관 합성말뚝 및 복합말뚝 내력시험	104
20. 텐세그리티 정적실험	112
21. 700MPa급 고강도철근의 겹침이음 휨 성능시험	119
22. 700MPa급 고강도철근의 압축부재 성능시험	125
23. phc 파일 휨강도 및 전단력 테스트	131
24. Floating floor system 하중시험	137

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅

I. 시험컨설팅 개요

- 목 적 : 실험센터 시설·장비 전문가와 함께 산학연 분야전문가로 구성된 시험컨설팅 전문가 풀을 구축하고 필요시 우선 섭외 하고, 중소기업의 요청 및 실험시설·장비 담당자의 판단을 통해 전문가를 구성해 컨설팅회의 개최를 추진하여 기술 개발 검증 및 기술사업화 등에 대한 다양한 기술지원
- 내 용 : 해당 과제 기간내('18.02.22.~'19.02.21.) 총 24회의 시험컨설팅 회의 추진

No.	센터명	의뢰기관	실험명	컨설팅 일자	자문위원(명)		
					내부	외부	계
1	하이브리드	후레씨네코리아	55C15 정착구 LTT 성능실험	'18-08-29	2	1	3
2	첨단건설	(주)제일플랜트	파일조인트 실험	'18-09-05	2	1	3
3	첨단건설	대협테크	Floating floor system 하중시험	'18-11-12	2	1	3
4	하이브리드	다산기업	교량점검 시설용 브라켓 성능실험	'18-09-06	2		2
5	첨단건설	엔케이테스트	엔진부품 내구시험	'18-09-09	2	1	3
6	지진방재	KOC전기	건식 변압기 내진시험	'18-10-03	2		2
7	지진방재	조은데코	4클립 내진 천장시스템 진동대 실험	'18-10-08	2		2
8	하이브리드	우경건설	이중합성거더 부모멘트 성능검증	'18-10-09	2		2
9	지진방재	일신전기	고압반, 전동기 제어반, 분전반의 내진시험	'18-10-22	3		3
10	첨단건설	(주)한필이엔지	700MPa급 고강도철근의 겹침이음 휨 성능시험	'18-10-23	2	1	3
11	하이브리드	하남종합건설	복합트러스교 격점부 성능검증실험	'18-10-23	2		2
12	지진방재	코어라인	배전반용 내진 mount	'18-11-02	2		2
13	지진방재	하나담코	가동원전 양개 방화방수문 내진성능시험	'18-11-02	3		3
14	첨단건설	(주)한필이엔지	700MPa급 고강도철근의 압축부재 성능시험	'18-11-05	2	1	3
15	지진방재	베네테크	면진장치를 이용한 E-PDF저수조의 내진실험	'18-11-07	3		3
16	지진방재	원텍스	내진배전반 시스템의 내진성능 비교실험	'18-11-08	3		3
17	지진방재	브이테크	축소 지진격리 구조물을 영요한 지진격리시스템 검증	'18-11-13	4		4
18	첨단건설	브이(VE)하다	2개의 형강재와 c채널을 이용하여 조립한 합성보(2t(합성보))	'18-11-29	2	1	3
19	하이브리드	서린브릿지텍	이중합성거더 부모멘트 극한강도 실험	'18-11-29	2		2
20	지진방재	신성강건	금속재 천장을 내진성능 실험	'18-12-07	3		3
21	첨단건설	대한특수금속	고사이클피로시험	'18-12-13	2	1	3
22	첨단건설	(주)스펙트럼디이빙	PHC 피복 원형충전강관 합성말뚝 및 복합말뚝 내력시험	'18-12-19	2	1	3
23	첨단건설	코스피	텐세그리티 정적실험	'18-12-20	2	1	3
24	첨단건설	케이투건설	phc 파일 휨강도 및 전단력 테스트	'19-01-15	2	1	3
계				24건	55	11	66

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	(주)후레씨네 코리아
의뢰기술	55C15 정착구 LTT 성능실험
연관실험센터	하이브리드구조실험센터(명지대, 용인)

2018. 8. 29.



I

시험컨설팅 회의 개요

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : (주)후레씨네코리아
- 의뢰기술 : 55C15 정착구 LTT 성능실험
- 컨설팅기간 : 2018년 8월 29일
- 장소 : 명지대학교 하이브리드구조실험센터, 용인
- 참석자
 - (의뢰기관) 이남명, 공현식
 - (자문위원) 김진국 교수(서울과학기술대학교)
한종욱 수석연구원(하이브리드구조실험센터),
이승국 선임연구원(하이브리드구조실험센터),

□ 추진경과

- (시험컨설팅 신청) '55C15 정착구 LTT 성능실험' 지원신청('18.8.27.)
- (시험컨설팅 기획) 의뢰한 기술에 대한 사전기술조사 실시('18.8.27.)
- (전문가 섭외) 의뢰기술 관련전문가를 조사 및 섭외실시('18.8.28.)
- (컨설팅계획수립) 전문가섭외완료 및 회의 일정·장소 등 설정('18.8.28.)
- (컨설팅실시) 내부전문가 2인, 외부전문가 1인이 참석한 컨설팅실시('18.8.29.)

□ 의뢰기술 개요

- 관련 기술내용 및 계획
 - (기술개발목적) 프리스트레이트 공법 중 콘크리트 타설 및 경화 후 응력을 위한 포스트텐션(PT, Post-Tension) 신기술의 구조적 적용가능성을 평가하는데 목적을 가짐
 - (기술개발목표) 1860MPa 15.7mm 강연선 55가닥 정착 포스트텐서닝 시스템의 국내 적용성 평가
 - (실험내용) Post Tensioning System에 대해 프리스트레스 힘이 정착장치로부터 제대로 전달되는지를 평가하기 위해 ASME Code의 하중전달실험(Load Transfer Test)을 통한 성능검증 및 평가

□ 자문요청사항

- 1축 압축강도 실험의 재하 수준 및 실험체 설치 등
- 실험체 균열 등을 파악하기 위한 게이지 부착위치

□ 주요 컨설팅내용

- 실험체 제작고려 요소
 - 보조철근에 대한 규정이 ASME 기준이 부재하여 시험체의 성능에 거의 영향을 주지않은 ETAG-013 기준을 적용
 - 실험체 제작시 정착구와 같은 고정요소와 파열력 보강철근을 함께 적용한 구조용 콘크리트 실험체 제작
 - 실험체 높이(h)는 a와 b의 두 옆면의 길이 중 긴 것으로 2배 이상 되어야하고, 보강철근의 높이는 0.5h가 되어야함

- 실험체의 파열력 보강철근은 종방향 철근의 총 단면적 $\leq 0.003f_c$, 스트립철근 $\leq 50\text{kg}/\text{m}^3$ 을 충족
- 실험방법 고려요소
 - 실험체와 실험장비 사이의 안정화를 위하여 선재하를 수행하여야 하며, 하중가력은 안전을 위해 변위제어로 수행해야 함
 - 하중구간은 설계하중의 40%, 90%, 100%, 120% 단계로 나누어서 실험을 진행하고, 각 단계별 약 1시간 정도 하중을 유지
 - 콘크리트 균열은 미세하게 발생하기 때문에 정밀도가 높은 균열폭 측정기(0.05mm~0.01mm)를 사용하여 측정
- 콘크리트 재령 및 압축강도
 - 콘크리트 타성 이후 초기에 강도 발현이 급격하게 진행되므로 타설후 초기(약3~7일)부터 콘크리트 공시체의 압축강도를 측정
 - 콘크리트는 양생조건에 따라 수중양생 및 대기양생을 고려하여 압축강도 실험을 수행할 필요가 있음
- 실험체 설치 및 안전
 - 실험체는 정확한 1축 압축하중만이 도입되어야 함으로 UTM실험장비와 실험체의 중심축이 일치되도록 설치하고, 실험체의 하중이 가해지는 부분에는 스위블이 가능한 장비 또는 지그를 사용
- 게이지 부착
 - LTT 실험시 게이지 부착면은 최소 2명 이상이어야 하고, 1면당 수평선 2개소, 수직선 1개소를 중심으로 콘크리트 게이지를 부착
 - 부착 위치는, 수평선은 정착구 상단에서 약 200mm이하부터, 수직선은 중앙선을 중심으로 설치
- 시험체 분석
 - 하면에서 올라오는 균열에 대해서는 허용기준 통과 여부 판정시 고려하지 않아도 무방하며, 통상적으로 local zone의 범위는 최상단에서 시험체 높이의 절반정도에 해당되기 때문에 아래에서 올라오는 균열중 시험체 중간 아래에 위치하는 균열은 계측결과 보고시 참고용으로만 사용

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
김진국	교수	서울과학기술대학교	토목공학(구조)
한종욱	수석연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)
이승국	선임연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	(주)제일플랜트
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0064) 파일조인트 실험
실험센터	첨단건설재료실험센터

2018. 09.

시험컨설팅 회의 개요

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : (주)제일플랜트
- 시험명 : (18-CT-PJ-0064) 파일조인트 실험
- 컨설팅기간 : 2018년 9월 5일 ~ 9월 6일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 5명(의뢰기관 2명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 홍응기 / 부장,
이정현 / 주임
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
양준영 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
오동석 / 선임연구원 / 한국건설생활환경시험연구원

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 8. 21.)	(2018. 8. 23. ~)	(2018. 9. 5. ~ 9. 6)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 강재연결블럭과 고장력 수직볼트를 이용한 고강도 콘크리트파일(PHC)의 연결공법 개발
- 강재연결블럭과 고장력 수직볼트를 이용하여 연결한 PHC파일의 휨 및 전단강도가 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝)의 휨 및 전단성능 충족
- 고장력 수직볼트를 이용한 무용접 PHC파일의 연결공법의 개발
- (시험 내용) 강재연결블럭과 고장력 수직볼트를 이용하여 연결한 PHC파일의 휨 및 전단강도 측정
- 강재연결블럭의 압축 및 인장강도 측정
- (시험 계획) 고장력 수직볼트를 이용한 무용접 PHC파일의 연결공법의 개발을 목적으로 하고 있으며, 강재연결블럭과 수직볼트를 이용하여 2개의 직경 500mm PHC파일을 연결하여 휨 및 전단강도를 위한 시험체를 제작 또한, 휨 및 전단성능을 확인하기 위해서 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝)에 준하여 시험을 실시
- 휨 및 전단시험, 강재연결블럭의 압축 및 인장 시험(각1회)
 - * 시편1 : 2개의 직경 500mm PHC파일을 강재연결블럭과 수직볼트로 연결한 파일
 - * 시편2 : 2개의 직경 500mm PHC파일을 강재연결블럭과 수직볼트로 연결한 파일
 - * 시편3 : 직경 500mm PHC파일에 사용되는 강재연결블럭
 - * 시편4 : 직경 500mm PHC파일에 사용되는 강재연결블럭과 인장 시험을 위한 지그

□ 자문 요청사항

- 휨 및 전단시험, 압축 및 인장시험을 위한 설비
- 강재연결블럭과 고장력 수직볼트를 이용하여 연결한 PHC파일의 휨 및 전단 거동을 정량적으로 측정할 수 있는 방법 모색

□ 주요 컨설팅 내용

- 시험 방법
 - 휨 및 전단시험(KS F 4306 준용)
 - 압축 및 인장시험(의뢰자 제시)
- 실험 비용 및 일정
 - 실험 비용 : 4,800,000 원
 - 실험 일정 : 2018. 9. 5. ~ 9. 6.
- 자문 위원(A) 기존 파일 연결공법과 강재연결블럭과 고장력 수직볼트를 이용한 공법의 비교 분석
 - 용접공법은 비나 눈이 내려져 젖어있는 경우나 풍속 10m/s 이상의 바람이 불고 있을 경우, 기온이 +5℃ 이하인 경우 용접을 금하고 있지만, 강재연결 블록과 고장력 수직볼트를 이용한 공법의 경우 날씨와 현장에 대한 제약이 적음

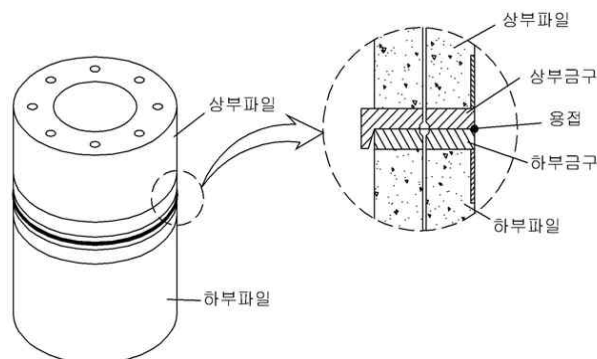


그림. 용접공법

- PHC파일 연결 시 별도의 설비를 필요로 하지 않으며 작업의 난이성이 적어 시공시간이 짧으며, 일반 PHC파일을 사용하여 연결을 위한 별도의 파일 제작이 필요하지 않아 추가적인 파일제작비가 들지 않음

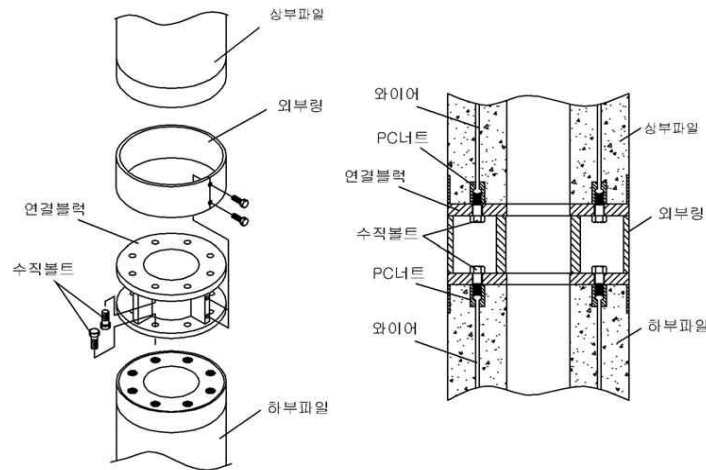


그림. 강재연결블럭과 고장력 수직볼트를 이용한
연결공법

- 강재연결블럭의 설계기준이 확립되지 않아 현재 다양한 형태의 강재연결블럭이 개발되고 있지만, 개발된 강재연결블럭과 이를 이용하여 연결한 PHC말뚝의 역학적 특성 검토 필요
- 강재연결블럭과 고장력 수직볼트를 이용한 공법의 경우 수직볼트를 PHC파일의 PC너트에 고정하게 되는데, 이때 PC너트와 고장력 수직볼트의 시험 전·후에 따른 각 부분의 건전성 파악 필요
- 자문 위원(B) 강재연결블럭과 고장력 수직볼트를 이용하여 연결한 PHC파일의 압축 및 인장시험, 휨 및 전단시험의 시험방법과 기준강도 검토
 - 휨 및 전단시험의 허용강도는 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝) 표 1 및 부속서 표 2 참조
 - 압축 및 인장시험의 경우 강재연결블럭은 PHC파일의 축방향 압축력 및 인장력 이상의 압축 및 인장강도를 필요로 함

표. 바깥지름:500mm, 길이:10m, A종 PHC파일의 허용 강도

KS F 4306			PHC파일 성능표
균열 휨 모멘트	파괴휨 모멘트	전단강도	일반허용 축방향하중
(kN·m)	(kN·m)	(kN)	(kN)
103.0	155.0	228.6	1,731

- 휨 및 전단시험의 방법은 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝) 9.1 휨 강도 시험 및 9.3 전단 강도 시험을 준용함

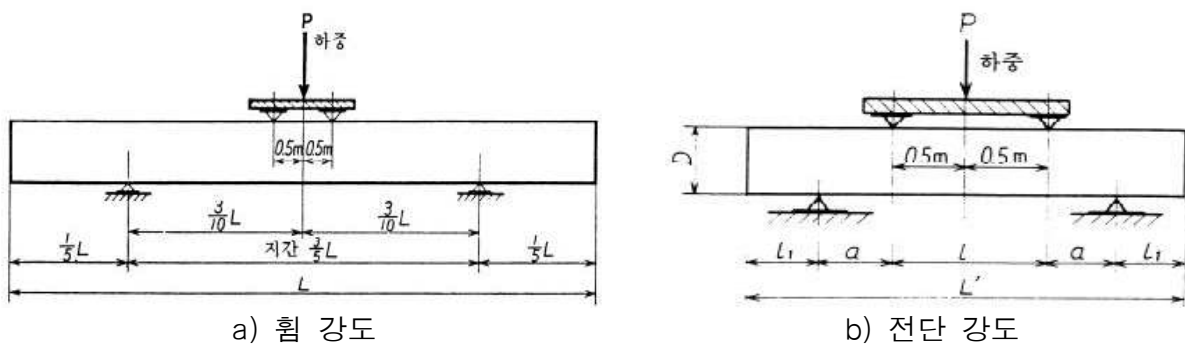


그림. 시험 방법

- 강재연결블럭의 압축 시험은 별도의 지그를 필요로 하지 않아 시험편을 시험기에 거치 후 즉시 시험이 가능하지만, 인장 시험의 경우 별도의 지그를 제작이 요구되어 인장시험을 위한 추가적인 검토 필요
- 자문 위원(C) 강재연결블럭과 고장력 수직볼트, PHC파일의 체결 부 검토
 - PHC파일을 통해 전달되는 응력을 하부파일로 안정적으로 전달하기 위해 PC의 정착구인 PC너트에 고장력볼트를 체결함으로서 상·하 PHC파일의 응력을 지속적으로 유지하는 공법
 - 이에 따라 PHC파일 연결에 사용되는 재료인 강재연결블럭과 고장력볼트의 역학적 특성 파악 필요함

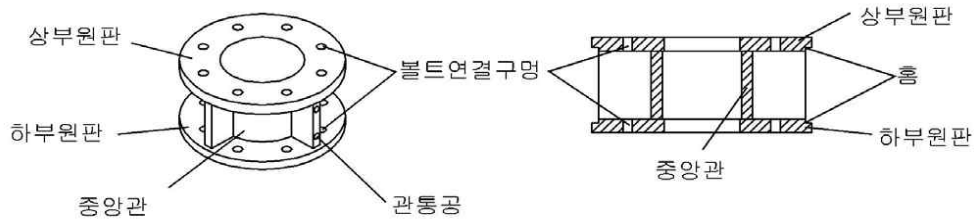


그림. 강재연결블럭의 개념도

- 강재연결블럭과 고장력볼트, PC너트의 압축 및 전단 시험 전·후의 건전성 검토하고, 항타시 발생하는 충격하중으로 체결한 고장력볼트에 미치는 영향 및 편심하중에 의한 강재연결블럭의 거동에 대한 추가적인 검토가 필요함

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(재료)
양준영	연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(구조)
오동석	선임연구원	한국건설생활환경시험연구원	건축공학(재료)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	다산기업 주식회사
의뢰기술	교량점검 시설용 브라켓 성능실험
연관실험센터	하이브리드구조실험센터(명지대, 용인)

2018. 09. 06.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 다산기업 주식회사
- 의뢰기술 : 교량점검 시설용 브라켓 성능실험
- 컨설팅기간 : 2018년 09월 06일
- 장소 : 명지대학교 하이브리드구조실험센터, 용인
- 참석자
 - (의뢰기관) 다산기업(주) 정상혁 차장, 신원 RPC 이동원 전무, 최항용 상무
 - (자문위원) 한종욱 수석연구원(하이브리드구조실험센터),
이승국 선임연구원(하이브리드구조실험센터),

□ 추진경과

- (시험컨설팅 신청) '교량점검 시설용 브라켓 성능실험' 지원신청('18.8.27.)
- (시험컨설팅 기획) 의뢰한 기술에 대한 사전기술조사 실시('18.9.3.)
- (전문가 섭외) 의뢰기술 관련전문가를 조사 및 섭외실시('18.9.4.)
- (컨설팅계획수립) 전문가섭외완료 및 회의 일정·장소 등 설정('18.9.4.)
- (컨설팅실시) 의뢰기관 3인 및 내부전문가 2인이 참석한 컨설팅실시('18.9.6.)

□ 의뢰기술 개요

- 관련 기술내용 및 계획
 - (기술개발목적) 기존 후설치 앵커은 철근간섭에 따라 앵커의 시설품질 관리가 어렵고 시공 정밀도에 따른 급작스런 붕괴 사고위험이 상존하고 있어 근본적인 안전 대책의 일환으로 시공성이 우수한 선설치 앵커 시스템 시설을 평가하는데 목적을 가짐
 - (기술개발목표) 교량점검 브라켓(자재 및 제품 성능)의 구조적 안전성 검증을 통해 현장 적용성 및 시장성을 평가
 - (실험내용) 교량점검 시설용 점검계단과 점검통로에 사용되는 브라켓 종류 및 형태(알루미늄 및 강재)에 따른 실험검증을 통한 성능평가 수행

□ 자문요청사항

- 점검계단과 점검통로용 실험체 제작 및 실험셋팅을 위한 고려사항에 대한 자문
- 실험체 하중 재하 및 센서 부착 위치 등 실험방법에 대한 자문

□ 주요 컨설팅내용

- 실험체 제작 및 설치 고려 요소
 - 브라켓은 콘크리트 블록에 브라켓 결합시 충분한 결합이(슬립 및 조기파단) 가능하도록 설계가 되어야 하고, 콘크리트는 양생이 충분히 발휘가 될 수 있도록 품질관리가 필요
 - 점검계단과 점검통로용 실험체의 브라켓 설치 높이는 동일 실험장비의 Stroke 범위 내에서 실험이 가능하도록 실험체 높이조절이 필요 (Stroke range : 1,000mm 이내)
 - 브라켓 실험은 콘크리트 블록에 설치된 상태에서 실험을 수행하는 것이 일반적이므로 브라켓을 가력할 때, 콘크리트 블록과 반력바닥 사이가 뜨지 않도록 충분한 힘으로 고정(최소 고정 구멍 2개 이상 확보)
 - 예상 실험하중이 250KN 범위임으로 Loading Frame을 사용한 실험체 셋팅보다는 Strong Wall을 활용한 캔틸레버 형식이 효율적
- 페이지 부착

- 브라켓은 모재(콘크리트 블록)에 연결됨으로 변형률 게이지는 천공주변과 모재를 벗어난 거리의 브라켓 상단, 브라켓의 웹(Web), 하단으로 구분하여 변형률 게이지를 부착하여 데이터를 측정
- 모재 천공부의 피복두께가 너무 작을 경우, 천공부 콘크리트가 파괴될 수 있으므로 충분한 피복두께를 적용해야하며, 예상 파괴지점에 콘크리트 변형률 게이지를 부착하는 방법 강구
- 유압가력기의 실린더 스트록과 실제 처짐량은 상이할 수 있기 때문에 브라켓의 하단부에 변위계를 설치하여 처짐량을 측정
- 실험방법 및 분석
 - 브라켓 상부에 설치되는 부재와 브라켓이 닿는 면적을 고려하여 브라켓 상부와 유압가력기의 가력블록 사이에 판형 강재 또는 고무판을 설치
 - 실험특성상 하중제어 보다는 변위제어를 통한 실험이 적합하고, 변위가력 속도는 $3\sim5\text{mm/min}$ 범위에서 설치하는 것이 적절
 - 실험은 최대하중까지 일차적으로 도달하고 최대하중에서 약 10~20% 정도 하중이 빠지면 실험은 종료(내구성 확보)
 - 실험체의 특성 및 실험안전을 위하여 변위제어 가력이 적절하다고 판단되며, 브라켓이 항복하거나 또는 콘크리트와 브라켓이 분리되면 실험 종료

□ 회의전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
한종욱	수석연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)
이승국	선임연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	주식회사 일신전기
시험명	(PJT No.) 18-ST-PJ-0132 고압반, 전동기제어반, 분전반의 내진 시험
실험센터	지진방재연구센터

2018. 10. 22

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 주식회사 일신전기
- 시험명 : (18-ST-PJ-0132) 고압반, 전동기제어반, 분전반의 내진 시험
- 컨설팅기간 : 2018년 10월 22일
- 장소 : 지진방재연구센터 회의실
- 참석자 : 총 6명(의뢰기관 3명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 이용학 / 사장,
이재철 / 대리,
곽칠영 / 이사
 - (자문위원) 강득형 / 선임연구원 / 지진방재연구센터,
장준현 / 주임연구원 / 지진방재연구센터,
신용재 / 주임연구원 / 지진방재연구센터

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내부전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 9. 4.)	(2018. 10. 16.)	(2018. 10. 22.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 일신전기에서 개발한 면진장치를 적용한 고압반, 저압반, 전동기제어반, 분전반의 내진성능평가
- (시험 내용) 「방송통신설비의 내진시험방법(국립전파연구원공고 제2015-14호, 2015.03.03.)」에 따라 면진장치가 설치된 고압반, 저압반, 전동기제어반, 분전반의 내진성능을 평가
- (시험 계획) 2018년 10월 22일 ~ 2018년 10년 26일까지 총 4개의 시험대상설비(고압반, 저압반, 전동기제어반, 분전반)을 3회*로 나누어 시험 실시
 - * 전동기제어반, 분전반을 동시에 시험
 - 10월 22일 : 전동기제어반, 분전반을 진동대에 설치 후 실험준비
 - 10월 23일 : 전동기제어반, 분전반 시험수행 후 해체 및 고압반 설치
 - 10월 24일 : 고압반 시험수행 후 해체 및 저압반 설치
 - 10월 25일 : 저압반 시험수행 후 해체 및 진동대 장비 점검

□ 자문 요청사항

- 일신전기에서 개발한 면진장치가 설치된 고압반, 저압반, 전동기제어반, 분전반의 내진성능평가를 위한 시험절차와 방법 및 주요고려사항의 자문

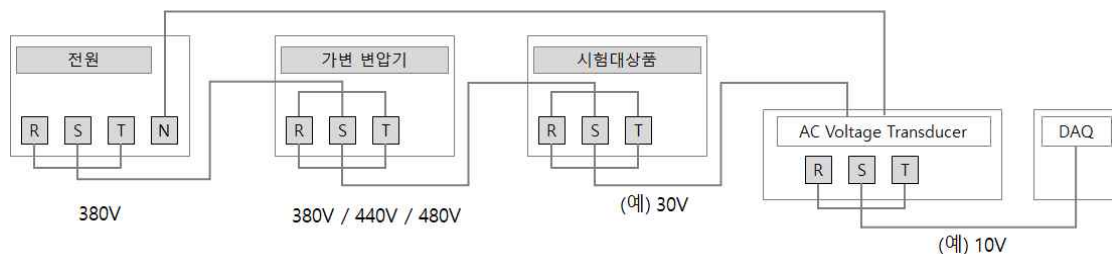
□ 주요 컨설팅 내용

○ 자문 위원(강득형)

1. 방송통신설비의 내진 시험방법에서 기능검사에 필요한 사항
 - 지진방재연구센터에서는 제공하는 전원(380V or 440V or 480V)을 시험

대상품에 연결하고 시험대상품에서 출력되는 전압을 AC Voltage Transducer 통해 10V 미만으로 변압하여 계측장치(DAQ)에 신호를 공급한다.

- 지진방재연구센터에서는 IN 0~520V AC -> OUT 0~10V DC' Type과 'IN 0~30V AC -> OUT 0~10V DC' Type의 AC Voltage Transducer 보유하고 있다.
- 센터에서 제공하는 전원과 시험대상품을 연결하는 전선(약 10m) 및 시험대상품과 AC Voltage Transducer를 연결하는 전선(약 10m) 준비가 필요하며, AC Voltage Transducer를 포함한 전기회로도의 준비가 필요하다.



<기능검사 회로 개념도>

2. 공진탐색시험의 의미와 방법에 관한 사항

- 시험대상설비는 고유의 진동 특성을 갖는 주파수를 가지고 있으며, 이 주파수를 자극하는 지진동이 있을 경우 시험대상설비의 진동이 최고점까지 증폭하게 된다. 따라서 시험대상설비의 고유진동수는 내진설계에서 매우 중요한 요소이며 증폭된 진동을 견딜 수 있도록 강도를 가지도록 설계하는 것을 지향해야 한다.
- 방송통신설비의 내진 시험방법에서 공진탐색시험은 3축(좌우, 전후, 상하 방향)으로 각각 랜덤파형을 1분간 가진하는 방법을 사용한다. 이때, 가속도의 RMS(Root Mean Square)은 약 0.1g 정도 이고 1분간 가진한다. 공진탐색을 위한 시험방법으로는 랜덤파형 외에서 사인스weep(sine sweep)방법이 있으며, 대표적으로 AC156 비구조물 관련 시험규격을 사용하고 있다.

○ 자문 위원(장준현)

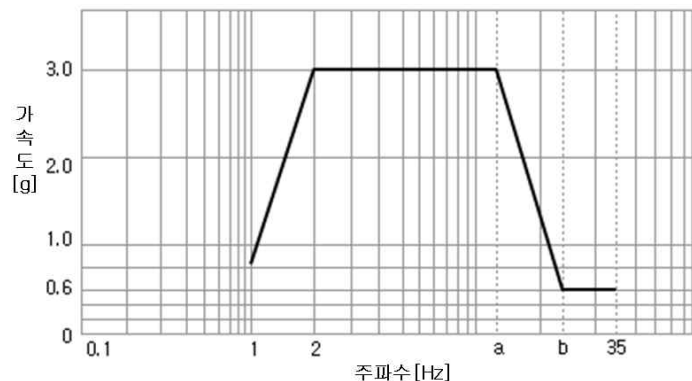
1. 방송통신설비의 내진 시험방법에 관한 설명

- 방송통신설비의 내진 시험방법은 일신전기가 제공한 전기통신장비가 지진이 발생했을 때 구조적 건전성뿐만 아니라 전기적 기능이 유지되는지를 살펴보는 시험으로 국립전파연구원에서 공고한 시험방법이다.
- 본 규격은 시험대상설비에서 증폭되어 나타난 가속도를 측정하기 위한 가속도계 장치와 시험대상설비의 흔들리는 정도를 측정하기 위한 변위계 장치가 필요하다. 가속도계는 진동대의 가진 정확성을 확인하기 위해 진동대 바닥면에 3축으로 부착을 하고, 시험대상품 최상단에 3축으로 부착을 한다. 변위계는 시험대상설비 상하단의 상대변위를 측정하기 위해 상단과 하단에 2축(좌우, 전후)으로 설치를 한다.
- 본 규격에서는 시험대상설비의 통신 또는 전기신호의 건전성을 확인하기 위해 본 가진전 전원인가시험(on-off-on) 계측과 시험중 계측, 본 가진후 전원인가시험(off-on-off) 계측을 실시한다.
- 지진방재연구센터는 본 규격에 대하여 KOLAS인정을 획득하였으며, KOLAS 시험성적서 발행이 가능하다. 다만, 지진방재연구센터에서는 1Hz ~ 50Hz 사이에 공진이 있는 시험대상설비만 KOLAS 시험이 가능하므로 일신전기가 개발한 ‘면진장치’가 포함되어 있는 시험대상설비의 경우 공진탐색시험시 1Hz 미만으로 공진이 발견될 경우 KOLAS 성적서 발행이 불가하다. (일반성적서로 대체할 수 있음)
- 방송통신설비의 내진 시험방법은 시험전 기능검사, 공진검색시험, 내진 성능검증시험, 공진검색시험, 시험후 기능검사 순으로 진행되며 내진 성능검증에서 인공지진파를 2회 가진하는 것이 특징이다. 인공지진파는 규격에서 제시하고 있는 RRS를 따라 시간-가속도이력으로 작성하며, 수평방향으로 약 0.6g 이상의 크기를 가진다.

○ 자문 위원(신용재)

1. 방송통신설비의 내진시험방법에서 요구응답스펙트럼에 관한 사항

- 응답스펙트럼을 지진분야에서 활용하는 이유는 구조물의 동적 거동을 비교적 쉽게 표현할 수 있기 때문이다. 규격에서 요구응답스펙트럼의 의미는 지진시 시험대상설비에 작용할 것으로 예측되어 설비가 견뎌야 하는 지진응답의 크기를 최소한으로 규정한 것으로 내진성능의 목표를 의미한다. 따라서, 시험대상설비가 지반 위에 있는 구조물에 설치되는 경우 지반응답스펙트럼이 요구응답스펙트럼이 될 수 있으며, 시험대상설비가 건축물 내의 특정 층에 설치될 경우 해당 층의 층응답스펙트럼이 요구응답스펙트럼이 될 수 있다. 다만, 시험대상설비의 설치 위치가 확정되어 있지 않을 경우 규격에서 제시하고 있는 층응답스펙트럼을 적용할 수 있다.



<요구응답스펙트럼 (damping = 2 %) >

- 요구응답스펙트럼은 진동대가 목표로 하는 지진가속도를 주파수의 함수로 표현한 것이고, 시험응답스펙트럼은 실제 진동대를 통해 시험대상설비에 적용한 지진가속도를 주파수의 함수로 표현한 것이다. 이때, 시험응답스펙트럼은 요구응답스펙트럼을 포락하였을 때, 정상적인 시험이 되었다고 본다. 다만, 규격에서는 일부 구간에서 요구응답스펙트럼의 10% 이내 떨어지는 것을 허용하는 등 몇 가지 예외사항을 두고 있다.

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
강득형	선임연구원	지진방재연구센터	내진시험
장준현	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험
신용재	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	KOC전기 주식회사
시험명	(PJT No.) 18-ST-PJ-0080 건식 변압기 내진 시험
실험센터	지진방재연구센터

2018. 10. 30.

시험컨설팅 회의 개요

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : KOC전기 주식회사
- 시험명 : (18-ST-PJ-0080) 건식 변압기 내진 시험
- 컨설팅기간 : 2018년 10월 30일
- 장소 : 지진방재연구센터 회의실
- 참석자 : 총 5명(의뢰기관 3명, 자문위원 2명)
 - (의뢰기관) 조성진 / 부장,
윤성민 / 차장,
신건섭 / 차장
 - (자문위원) 전법규 / 책임연구원 / 지진방재연구센터,
장준현 / 주임연구원 / 지진방재연구센터

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 2인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 6. 21.)	(2018. 9. 7.)	(2018. 10. 30.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) KOC전기에서 생산하는 변압기의 내진성능평가
- (시험 내용) 「AC156 : Acceptance criteria for seismic certification by shake-table testing of nonstructural components, ICC-ES」에 따라 건식변압기와 몰드변압기의 내진성능을 평가
- (시험 계획) 2018년 9월 6일 ~ 9월 10일 몰드변압기 시험, 2018년 10월 29일 ~ 10월 31일 건식변압기 시험 실시

□ 자문 요청사항

- KOC전기에서 생산하는 변압기(건식, 몰드)의 내진성능을 평가할 수 있는 시험방법과 절차, 시험결과 해석에 관한사항 자문

□ 주요 컨설팅 내용

○ 자문 위원(전범규)

1. IEEE Std 693 규격에서 기능검사에 관한 설명

- IEEE Std 693으로 진동대 시험을 진행할 경우, 참관인(구매자 또는 잠재 구매자)이 있어야 하며 기능시험(변압기의 성능 검사)은 시험소에서 불가능할 경우 제조사에서 수행 가능하다. 이 경우에는 시험담당자(지진 센터 시험원)가 입회하여야 하며 참관인(구매자)이 입회해야한다.

(IEEE Std 693 4.5 Witnessing of shake-table testing 참고)

- IEEE Std 693에서 유입변압기가 Annex D와 Annex F중 어느 분류에 적

용되는지 파악하여야 하고 해당 분류에 맞게 적용되어야 한다. 제조사에서 유입변압기의 분류를 정의해 주시면 시험준비에 도움이 될 수 있다.

* Annex D Transformers and liquid-filled reactors.

* Annex F Instrument transformers

- 기능의 정의는 제조사 및 최종구매자(end user)에 의해 정의되거나, 또는 시험대상설비의 매뉴얼에 있는 기능이 진동대 시험 전과 후, 또는 시험 중에 정상작동 하여야 한다.

(IEEE Std 693 A.2.2.1 Functionality test 참조)

2. IEEE Std 693과 AC156의 비교

- IEEE Std. 693의 경우, 특정 시험대상에 대하여 진동대 시험뿐만 아니라 정적가력 시험을 요구하기도 하므로 이는 시험대상이 명확히 되고 나서 정의 될 수 있다.
- IEEE std 693의 시험방법이 Ac156과 구분되는 가장 큰 부분은 시험분석을 위해 사용되는 센서의 종류와 수량, 판정기준 이다.

IEEE std 693은 기본적으로 고정지점 앵커부의 인발력계측을 요구하고 있으며 주요 구조부재의 위험부에 대한 응력계측을 요구하고 있다. AC 156대비 로드셀 및 strain gauge가 추가로 필요하다. 뿐만 아니라 시험 대상의 최대 상대변위를 계측하여야 하며(AC156대비 변위계 추가 필요), 적절한 위치(최상부, 무게중심, 주요부품, 위험부 등)의 응답 가속도 또한 계측되어야 한다.

계측 및 계산된 응력이 허용응력을 초과하면 안되므로 시험대상 구조 부재의 재료물성이 제조사에 의해 명확히 정의되어야 하며 필요할 경

우 재료시험 성적서를 제출해야 한다..

- 보고서에 out line drawing이 명시되어야 하므로 시험 전에 시험대상의 무게중심, 앵커위치, 진동대설치를 위한 구성도(지그 및 fixture)등이 도면이 준비되어야 한다. 또한 시험절차(Test procedure)는 시험 전 최종 구매자 또는 최종구매자가 지정한 참관인(기술자문)에게 검토 받아야 한다.

3. IEEE 344에 대한 간단한 설명

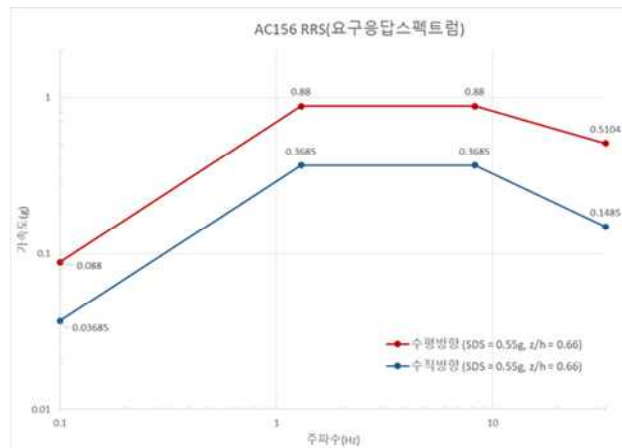
- 국내 원자력발전소 납품을 위한 시험은 IEEE Std 344를 바탕으로 작성하는 절차서와 트래블러에 따라 진행되어야 한다. 가장 큰 차이점은 가진 횟수라고 할 수 있다. IEEE std 344는 OBE에 대한 가진 5회와 SSE에 대한 가진 1회 이상이 요구하고 있다. 또한, 시험대상은 시험 전과 후 구조적 기능적으로 완전무결하여야 한다.

○ 자문 위원(장준현)

1. 감쇠와 응답스펙트럼, 지진파설정에 관한 설명

- damping(감쇠)은 물체가 가지는 고유의 성질중 하나이다. 감쇠가 크면 자동차 서스펜스가 물렁물렁하다는 느낌이고 작으면 단단하다는 느낌이라고 생각 할 수 있다. 응답스펙트럼(RS)은 지진파의 특성을 설명하기 위한 방법중 하나이다. x축은 주파수, y축은 가속도로 표현한다.
- 감쇠 5%에 대한 RS의 의미는 감쇠 5%의 성질을 가진 물체가 RS의 각 주파수에서 해당 가속도 만큼 증폭하여 가속하게 하는 지진파라는 것이다. AC156에서 AFLX-H의 의미는 해당 주파수 영역(1.3~8.3Hz)에서 5% 감쇠를 가진 물체를 AFLX-H만큼 증폭하게 만드는 지진파를 의미한다.

- 수평과 수직의 RRS가 다른 이유는 일반적으로 지진이 수평방향의 가속도가 더 크기 때문이다. AC156규격에 수평, 수직방향에 대한 RRS작성 공식이 제시되어있고, 이때 사용하는 파라미터가 SDS, z/h이며, 작성된 RRS(수직, 수평)를 바탕으로 인공지진파(가속도-시간이력)을 X,Y,Z으로 생성한다.



<AC156의 RRS 예시>

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
전법규	책임연구원	지진방재연구센터	내진설계, 시험
장준현	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	(주)조은데코
의뢰기술	4-클립 내진 천장시스템 진동대 실험
연관실험센터	지진방재연구센터(부산대)

2018. 10. 08.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : (주)조은테크
- 의뢰기술 : 4-클립 내진 천장시스템 진동대 실험
- 컨설팅기간 : 2018년 10월 8일
- 장소 : 부산대학교 지진방재연구센터, 양산
- 참석자
 - (의뢰기관) 김귀철
 - (자문위원) 김민욱 주임연구원(지진방재연구센터)
신용재 주임연구원(지진방재연구센터)

□ 추진경과

- (시험컨설팅 신청) 4-클립 천장시스템 진동대 실험 관련 컨설팅 지원 신청('18.10.04.)
- (시험컨설팅 기획) 관련 자료 조사 실시('18.10.04.)
- (컨설팅계획수립) 컨설팅 회의 일정·장소 등 설정('18.10.05.)
- (컨설팅실시) 내부전문가 2인이 참석한 컨설팅실시('18.10.08.)

□ 의뢰기술 개요

- 관련 기술내용 및 계획
 - (기술개발목적) 의뢰자가 자체 개발한 4-클립 내진 천장시스템의 내진 성능을 확인하기 위한 실험
 - (기술개발목표) 국내 내진 설계기준 이상의 지진력에 견디는 시스템의 설계
 - (실험내용) 비구조 요소 내진실험 방법인 AC 156에 기반하여 내진성능을 평가

□ 자문요청사항

- 천장시스템의 내진 실험 절차
- 실험대상품의 응답 분석을 위한 계측 센서 부착위치 설정
- 기타 유의사항

□ 주요 컨설팅내용

- AC156 준용한 천장시스템 실험 절차에 관한 건
 - 비구조 요소인 천장재 실험은 ICC-ES AC156:2010 코드를 준용하여 실험.
 - 실험대상품의 심각한 손상발생 혹은 사용 기기의 한계용량에 도달하는 시점까지 기준 인공지진파의 가속도 스케일을 증가하며 가진하기로 함.
- 응답신호 계측을 위한 센서 설치 위치 논의
 - 천장시스템의 경우 경량화 되어 있는 시스템이므로 보다 명확한 응답을 계측하기 위해 취약 부위에 부착하여야 함.
 - 해당 시스템의 경우 천장시스템의 외곽부가 고정되지 않으므로, 중앙부에 가속도계를 부착하여야 함.

- M-bar와 carrying channel의 거동이 다를 수 있으므로 각 부위에 센서 부착 필요.
- 천장시스템이 설치되는 골조의 응답신호가 천장시스템에 영향을 미치는지 확인하기 위해 골조 상단에 센서 설치 필요.
- 천장시스템 설치 조건에 대한 논의
 - 경계조건은 실제 설치 조건과 유사하도록 설치하되 진동대 실험용 골조와 연결 가능해야 하므로 골조에 부수적인 부재를 설치해야함.
 - 상부 매달림 볼트의 경우 천장 높이를 고려하여 설치해야함.

□ 회의전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
김민욱	주임연구원	지진방재연구센터	토목공학(구조)
신용재	주임연구원	지진방재연구센터	토목공학(구조)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	주식회사 베네테크
시험명	(PJT No.) 18-ST-PJ-0059 면진장치를 이용한 E-PDF저수조의 내진 실험
실험센터	지진방재연구센터

2018. 11. 07

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 주식회사 베네테크
- 시험명 : (18-ST-PJ-0059) 면진장치를 이용한 E-PDF저수조의 내진 실험
- 컨설팅기간 : 2018년 11월 07일
- 장소 : 지진방재연구센터 회의실
- 참석자 : 총 4명(의뢰기관 1명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 박재식 / 전무,
 - (자문위원) 강득형 / 선임연구원 / 지진방재연구센터,
김민욱 / 주임연구원 / 지진방재연구센터,
신용재 / 주임연구원 / 지진방재연구센터

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내부전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 10. 4.)	(2018. 10. 16.)	(2018. 11. 07.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 베네테크에서 개발한 면진장치를 적용한 E-PDF저수조의 내진성능평가
- (시험 내용) 「비구조요소의 내진시험방법(ICC ES AC156(2010) ASCE 7 Section 13.2.5절에 의해 성능확인이 인정된 비구조요소)」에 따라 면진장치가 설치된 E-PDF 저수조의 내진성능을 평가(좌우방향에 대해서만 실시)
- (시험 계획) 2018년 09월 18일 ~ 2018년 09월 20일까지 총 1개의 시험대상설비에 대해 실험 실시
 - 09월 18일 : 면진장치가 설치된 저수조 진동대 설치 및 센서 설치
 - 09월 19일 : 가진 조건을 바꿔가며 시험 수행
 - 09월 20일 : 해체 및 진동대 장비 점검

□ 자문 요청사항

- 실험 종료 후, 베네테크에서 개발한 면진장치가 설치된 E-PDF저수조의 실험 결과 분석을 위한 방법 및 실험진행방법의 주요고려사항의 자문

□ 주요 컨설팅 내용

○ 자문 위원(강득형)

1. 시험 진행 후 결과 분석 및 주요 사항 확인
- 시험 진행은 비구조요소의 시험방법인 ICC ES AC156(2010)를 준용하여 좌우방향으로만 가진 한다.(3축으로 가진 했을 시, 낙차 위험)
 - 시험 절차는 시험 전 육안검사, 지진파 작성, 가진방법 선정, 중량 측정, 시험대상설비 설치, 센서 설치, 공진탐색, 내진시험, 간섭함수(상호상관관계) 검토, 육안검토로 진행한다.

- 소방시설의 내진설계 기준에 의거하여, 건축물과 일체로 타설되지 않는 소화수조 및 저수조는 지진에 의하여 손상되거나 과도한 변위가 발생하지 않도록 해야 하기 때문에 변위계측도 실시한다.
- 지진하중 작용 시 수조의 거동은 내부 유체가 출렁거리며 거동하는 대류 성분(슬로싱)과 수조와 유체가 함께 거동하는 충격성분으로 분류할 수 있다. 대류성분과 충격성분은 각각의 고유주기를 가지는데, 대류성분의 경우 비교적 장주기, 충격성분은 단주기 특성을 가지며 이는 탱크의 규격 및 내부 유체의 높이에 지배되는 값으로 탱크의 규격에 따라 큰 차이를 나타낼 수 있다.
- 수조에 면진장치를 적용할 경우, 비교적 주기가 짧은 충격성분의 고유주기를 장주기화 할 수 있도록 면진주기를 결정하고, 이때 주기가 긴 유체의 대류성분의 고유 주기와 공진이 발생하지 않도록 설계하여야 한다.
- 물탱크에서 계측한 가속도계 결과 값은 m/s^2 로 나타내었으며, 내진 시험 전 후의 공진탐색 결과를 유추하여 육안으로 확인되지 않는 구조물의 파손 및 손상여부를 확인할 수 있다.
- 진동대 바닥에 부착한 단축가속도계로 내진시험의 요구응답스펙트럼이 포락했는지 여부를 확인 할 수 있으며, 시험 전, 중, 후 의 면진장치의 위치를 확인하여 과도한 변위가 발생하지 않았는지 확인할 수 있다.

○ 자문 위원(김민욱)

1. 시험 진행 시 데이터 계측 방법 및 주요 사항 확인

- 비구조요소의 시험방법인 ICC ES AC156(2010)에서 요구하는 요구응답스펙트럼을 진동대에서 가진 했을 때, 결과데이터를 도출하기 위한 계측위치 및 센서를 확인한다. 진동대 바닥에서 단축가속도계(좌우방향)에 대해서 하나를 계측하고, 저수조에 대해서 골조프레임 상,중,하단에 단축가속도계를 부착한다. 저수조 내부에 물을 채웠을 때, 물의 슬러싱을 계측하기 위해 우측 벽면에 단축가속도계를 부착한다.

상기 시험방법은 소방시설의 내진설계 기준 제4조(수원) 2항을 참고하여, E-PDF저수조의 내진설계를 위한 정보를 제공하기 위해, 다음과 같은 항목에 대해 검토한다.

- 1) 저수조의 우측면 앞쪽 상단과 하단의 상대변위
- 2) 저수조의 우측면 앞쪽 상단과 면진장치의 상대변위
- 3) 저수조의 우측면 앞쪽 하단과 면진장치의 상대변위
- 4) 저수조의 우측면 뒤쪽 상단과 하단의 상대변위
- 5) 저수조의 우측면 뒤쪽 상단과 면진장치의 상대변위
- 6) 저수조의 우측면 뒤쪽 하단과 면진장치의 상대변위
- 7) 저수조 내부의 물 유무에 따른 공진 주파수 결과 값
- 8) 육안점검에 의한 구성요소의 탈락, 변형 및 손상 확인

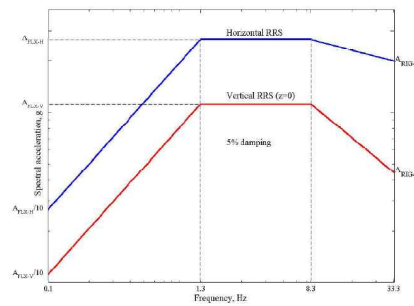
○ 자문 위원(신용재)

1. 비구조요소의 내진 시험방법에 관한 설명

- 비구조요소의 내진 시험방법은 베네테크가 제공한 면진장치를 이용한 E-PDF저수조가 지진이 발생했을 때 구조적 건전성뿐만 아니라 중요부위에서의 손상 및 파손, 기능이 유지되는지를 살펴보는 ICC ES AC156 시험으로 진행한다.
- 저수조에 대한 시험은 AC156에 나타나 있는 요구응답스펙트럼을 이용하여 좌우방향(X)에 대해서만 가진한다. 시험대상설비에 적용되어야 하는 지진의 강도는 해당 설비가 설치되는 건물의 설계 기준에 의해 결정된다. 시험에 적용되는 RRS는 아래의 그림과 같은 형태를 가져야 하며, 식(1)~(4)에 나타낸 것과 같이 지반 가속도계수 및 높이계수비의 함수에 의해 RRS의 크기가 결정된다.

$$(1) A_{FLX-H} = S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h} \right) \quad / \quad (2) A_{RIG-H} = 0.4 S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h} \right) \quad / \quad (3) A_{FLX-V} = 0.67 \times S_{DS} \quad / \quad (4)$$

$$A_{RIG-V} = 0.27 \times S_{DS}$$



- 시험 절차는 저수조에 물을 채우지 않았을 때의 공진탐색시험과, 물을 50% 채웠을 때 공진탐색시험을 비교. 이 후 ZPA(영주기가속도)를 0.2g에서 0.66g까지 순차적으로 올라가며, 매 시험마다 데이터 분석 및 구조물에 손상이나 파손이 없는지 육안으로 확인한다. 면진장치가 제대로 작동하고 있는지, 동영상 촬영 및 사진 촬영으로 분석하며 이탈 및 파손이 일어날 경우, 혹은 시험원이 위험하다고 느낄 때 시험을 종료한다.

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
강득형	선임연구원	지진방재연구센터	내진시험
김민욱	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험
신용재	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	주식회사 원텍스
시험명	(PJT No.) 18-ST-PJ-0117 내진배전반 시스템의 내진성능 비교실험
실험센터	지진방재연구센터

2018. 11. 08

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 주식회사 윈텍스
- 시험명 : (18-ST-PJ-0117) 내진배전반 시스템의 내진성능 비교실험
- 컨설팅기간 : 2018년 11월 08일
- 장소 : 지진방재연구센터 회의실
- 참석자 : 총 5명(의뢰기관 2명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 송인길 / 대표,
김현철 / 직원
 - (자문위원) 김민욱 / 주임연구원 / 지진방재연구센터,
장준현 / 주임연구원 / 지진방재연구센터,
신용재 / 주임연구원 / 지진방재연구센터

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내부전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 10. 23.)	(2018. 10. 31.)	(2018. 11. 08.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 원텍스에서 개발한 내진배전반 시스템과 기존의 배전반 시스템의 내진성능 비교실험
- (시험 내용) 「방송통신설비의 내진시험방법(국립전파연구원공고 제2015-14호, 2015.03.03.)」을 준용하여 원텍스에서 개발한 내진배전반 시스템과 기존의 배전반 시스템의 내진성능을 평가
- (시험 계획) 2018년 11월 08일 ~ 2018년 11월 14일까지 총 2개의 시험대상설비에 대해 실험 실시
 - 11월 08일 : 일반 배전반 시스템 진동대 설치 및 센서 설치
 - 11월 09일 : 방송통신설비의 내진시험방법을 준용하여 실험
 - 11월 12일 : 해체 및 내진배전반 시스템 진동대 설치 및 센서 설치
 - 11월 13일 : 방송통신설비의 내진시험방법을 준용하여 실험
 - 11월 14일 : 해체 및 진동대 장비 점검

□ 자문 요청사항

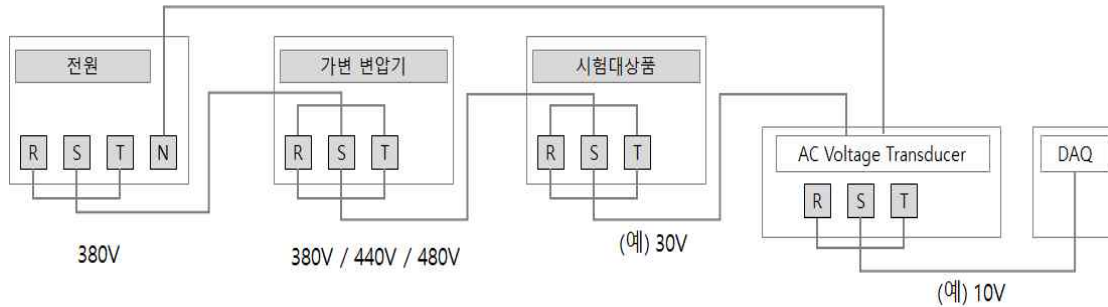
- 원텍스에서 개발한 내진배전반 시스템과 일반배전반 시스템의 내진성능평가를 위한 시험절차와 방법 및 주요고려사항의 자문

□ 주요 컨설팅 내용

○ 자문 위원(김민욱)

1. 방송통신설비의 내진 시험방법에서 기능검사에 필요한 사항 설명
- 방송통신설비기준에서 기능적 검사는 기본적인 배전반의 회로도에 따라 실행한다. 지진방재연구센터에서 제공하는 전원(380V or 440V or 480V)을 시험대상설비에 인가하고, 시험대상설비에서 출력되는 전압을 AC Voltage Trasducer를 통해 10V미만으로 나오는 DC Voltage로 측정한다.

- 일반적으로 진동대에 설치된 시험대상설비와 계측장치(DAQ)까지의 거리가 있기에, 시험대상설비에 인가하는 전원선(10m)과 출력되어서 나오는 전원선(10m)정도 준비가 필요하며, 배전반의 회로도가 기본적으로 필요하다.



- 기능적 검사는 시험 전, 중, 후로 이루어지며 O-C-O(open-close-open) 개폐와 폐쇄시간은 최소 5초 이상 계측한다. 시험 중 기능적인 계측이 중단 되었을 경우, 혹은 시험 후 기능적인 문제가 생겼을 경우 원인 파악 후 재시험 혹은 경미한 손상으로 간주한다.
- 지진방재연구센터에서 보유하고 있는 변압기는 AC Voltage IN 0~520V를 DC Voltage OUT 0~10V로 바꿔주는 타입과, AC Voltage IN 0~30V를 DC Voltage 0~10V로 바꿔주는 타입을 보유하고 있다.
- 고전압이 필요한 경우, 업체 측에서 DC 변압기를 자체적으로 가지고 와서, 설치하며 지진방재연구센터의 계측장비에서 출력되는 전압에 맞춰야 한다.

○ 자문 위원(장준현)

1. 시험대상설비의 시험절차에 관한 설명

- 방송통신설비의 내진 시험방법(국립전파연구원공고 제2015-14호, 2015. 03.03.)을 준용하여 실험하며, 내진배전반 시스템과 일반배전반 시스템의 비교실험으로 진행한다. 원텍스에서 제공한 배전반 시스템은 저압반과 고압반, 그리고 두 개의 배전반을 연결해주는 부스덕트로 이루어진다. 실제 부스덕트는 기본적으로 최소 5m에서 최대 15m 정도까지 연결되며, 지진방재연구센터에서 시험을 하기 위해, 배전반 두기와 부스덕트를 축소하여 시험한다.

- 일반 배전반 시스템은 기본적인 앵커볼트와 배전반이 서로 연결되어 있으며, 부스덕트 내부는 부스바 4개로 이루어져 저압반과 고압반을 이어준다. 시험 중, 부스덕트에서 이상이 생길 경우 전기가 차단되거나, 스파크가 튀게 되는 우려가 있어 차단기에서 한명은 대기한다. 일반 배전반 시스템에도 부스덕트 내부에 스프링으로 부스바 하단부에 연결되어 있어 쉽게 이탈되거나 파손이 되지는 않는다.
- 내진 배전반 시스템은 기본적인 앵커볼트로 연결되어 있지만, 저압반과 고압반 상단 부스덕트를 이어주는 상판부에 스프링 볼트로 된 면진장치가 있다. 스프링의 강성으로 보아, 내진시험을 할 때 동적거동이 많이 일어날 것으로 판단되어, 크레인에 로프를 걸어서 부스덕트 중앙부를 흔쳐 잡고 실험을 진행한다.
- 시험 절차로서는, 시험에 필요한 구비요소 및 구조 등 적정성 검토가 필요하고, 가진파형 생성, 시험대상설비 설치, 점검 및 기능검사, 시험 전 공진탐색, 지진파시험 #1(시험종료 후 육안검사 및 기능적 이상유무 확인), 지진파시험 #2, 간섭함수 검토, 시험 후 공진탐색, 종료 후 기능검사로 이루어진다.
- 지반과 동일한 높이 또는 지하에 설치되는 설비는 지반응답스펙트럼을 사용하며, 건물의 지반보다 높은 층에 시설되는 설비는 해당 층의 층응답스펙트럼을 사용한다. 지반응답스펙트럼은 기술기준에서 제시된 건축물등급, 지역계수 및 지반분류를 이용하여, ‘건축법’ 제 48조, 제 48조의 2 및 ‘건축물의 구조 등에 관한 규칙’ 제 3조 2항에 의한 ‘건축구조기준’에 따라 작성하여 사용한다.

○ 자문 위원(신용재)

1. 방송통신설비의 내진시험방법을 준용하여 실험 진행 시 유의사항 설명
- 방송통신설비의 내진 시험방법은 국립전파연구원에서 공고한 시험방법으로서, 배전반 및 전기통신장비가 지진이 발생했을 때 구조적 건전성뿐만 아니라, 전기적 기능이 유지되는지를 살펴보는 시험방법이다.

- 해당 규격에서는 시험대상설비에서 최하단과 최상단의 상대변위를 측정하기 위해 변위계를 설치해야 하며, 진동대 바닥에서의 신호를 계측하기 위해 3축 가속도계를 부착한다. 변위계는 하단과 상단에 좌우, 전후 방향(X,Y)축으로 설치하며, 시험대상설비의 1차모드를 확인하기 위해 배전반 상단모서리에 3축가속도계를 부착한다.
- 기능적 검사로는, 시험대상설비에서의 통신 및 전기신호의 건전성을 확인하기 위해서 시험 전 기능검사(O-C-O) 계측과 시험 중 계측, 시험 종료 후 기능검사를 최종적으로 한다.
- 배전반의 기능적인 문제가 생길 경우, 시험은 즉각 중단하며 단순 배선 문제는 경미한 손상으로 판단, 수리 조치 후 재 실험을 한다.

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
김민욱	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험
장준현	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험
신용재	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	주식회사 브이테크
시험명	(PJT No.) 18-ST-PJ-0109 축소 지진격리구조물을 이용한 지진격리시스템 검증 실험
실험센터	지진방재연구센터

2018. 11. 13.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 주식회사 브이테크
- 시험명 : (18-ST-PJ-0109) 축소 지진격리구조물을 이용한 지진격리시스템 검증 실험
- 컨설팅기간 : 2018년 11월 13일
- 장소 : 지진방재연구센터 회의실
- 참석자 : 총 6명(의뢰기관 2명, 자문위원 4명)
 - (의뢰기관) 박진완 / 팀장, 공부성 / 연구원
 - (자문위원) 전범규 / 연구교수 / 지진방재연구센터,
정치영 / 연구교수 / 지진방재연구센터,
강득형 / 선임연구원 / 지진방재연구센터,
김민욱 / 주임연구원 / 지진방재연구센터

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주 관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내부전문가 4인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 10. 4.)	(2018. 10. 16.)	(2018. 11. 13.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 브이테크에서 개발한 면진장치의 검증
- (시험 내용) 브이테크에서 제시한 지진파를 활용하여 면진장치 정상작동 유무 확인
- (시험 계획) 2018년 12월 10일 ~ 2018년 12월 21일까지 총 3번의 가진 계획, 3.0m x 2.0m x 2.4m 의 2 층모멘트 골조시스템으로 설계 질량체는 층당 10톤(부산대 보유 Std. AStd. G 타입 질량체 최대한 필요)

- 12월 10일 ~ 12월 11일 : 골조시스템 설치
- 12월 12일 : 계측기 설치
- 12월 13일 ~ 12월 19일 : 일정 중 3회 가진
- 12월 20일 ~ 12월 21일 : 계측기 해체 및 골조시스템 해체 및 반출

□ 자문 요청사항

- 지진방재연구센터에서 보유 계측기의 range, model, 수량, 사용여부 확인.
- 지진방재연구센터 진동대 장비의 성능 및 규격
- 시험 중 구성 및 세팅의 변경을 위한 요구사항 확인
- 시험 준비 및 시험 가진 스케줄 협의

□ 주요 컨설팅 내용

○ 자문 위원(전법규)

- 50 톤 이상 하중의 구조물을 설치하여 시험을 수행할 경우 Table B에서 수행되어야 하며 단방향 최대 1g 까지 가력 가능함. 하중계측은 1000 kN load cell을 이용하여야 한다. 1000 kN load cell은 규모와 하중으로 인하여 설치 및 세팅에 많은 시간이 소모될 수 있음.
- 시험대상의 하중이 30 톤 이하일 경우, 20톤 로드셀의 적용이 가능할 것으로 판단되나 over turning moment, 로드셀에 가해지는 하중 등을 평가하기 위하여 입력가속도에 대한 검토가 필요함.
- 지진방재연구센터의 가속도 센서는 성능검증을 위하여 1Hz 교정, 연구실험을 위하여 10 Hz 교정을 수행하고 있음. 해당 시험에 적용될 수 있는 가속도 센서는 10 Hz 검교정 관리를 받고 있으며 2년 전 1Hz 교정을 수행하였던 센서 들이므로 가속도 신호의 계측은 잘 되지만 1 Hz 이하의 영역에 대하여 신뢰도를 보장할 수 없음. 1 Hz 이하의 신호가 중요하다면 별도의 가속도 센서를 준비하여야 하며, DAQ와의 연결검토를 위하여 사전에 센서의 정보(모델, 형식, 케이블형식(BNC, RJ))를 알려주어야 함.
- 시험대상의 하중과 규모로 미루어 시험 중 세팅 변경을 위해 외부 크레인(100 ton)을 대여하여야 할 수 있으며, 외부 크레인 대여비용의 절약을 위하여 유압장비 등을 이용한 현장 교체방식을 검토해볼 필요가 있음.
- 효과적이고 정확한 시험수행을 위하여 매 시험 후 응답신호의 확인 및 분석이 필요하며, 시험대상구조물의 보강 및 구성 변경이 필요할 경우 충분한 여유를 가지고 준비한 후 시험을 진행할 수 있도록 하여야함.

○ 자문 위원(정치영)

1. 실험 진행 일정 및 설치 등과 관련한 사항 확인

- 효율적인 실험체 설치 방법을 위한 지점부 연결 방식 결정이 요구됨.
- 일반적인 볼트 체결 방식의 경우 실험체에 기 설치된 질량체를 제거해야만 실험조건 변경이 가능하므로, 이에 대한 개선책이 필요함.
- 이를 위해서 지점부에 스크류잭 혹은 유압잭을 설치하여 1개의 지점부씩 실험조건을 변경한다면, 비교적 단시간내에 변경이 가능할 것으로 사료됨.
- 브이테크에서는 유압잭과 스크류잭 중 적용 가능한 안을 선택하는 것이 요구됨.
- 기타 안전과 관련된 사항 자문.

○ 자문 위원(강득형)

1. 주요 계측기의 활용방안

- 지진방재연구센터에서 보유한 가속도계 및 변위계 model 명 확인.
센터 보유분 계측기(8315A010D0TA00, 8315A030D0TA00, 8316A030D0TA00, 3713B1130G, 3711B1130G, 356A15, 356A16, DP-1000E, DP-1000C)
- 지진방재연구센터에서 보유한 가속도계 range에 따른 계측 포인트 선정.
센터에서 보유한 가속도계의 range는 총 3종류로 10, 30, 50 g가 있으며, 변위계는 1 000 mm로 동일하다. 10 g용 가속도계는 떨림이 약한 하부에 설치할 예정이며, 비교적 높은 range를 갖춘 30, 50 g 가속도계는 상부에 설치할 예정이다.
- 시험체는 면진장치로써 거동하는 frequency가 낮다. 그러함으로 센터에서 보유한 1 Hz이상 교정된 가속도계를 이용하여야 한다. 센터에서 보유한 1 Hz 교정 가속도계는 3축으로 10 point이며, 의뢰자가 요구한 point도 9개로 동일하다. 하지만 시험 기간 중에 타 기관 시험도 스케줄이 잡혀 있어 번갈아 가면서 설치 할지 몇 point는 10 Hz 이상 교정된 가속도계를 사용하여도 되는지 확인하였음.
- 가속도계의 교정일자 확인. 가속도계의 검교정인증 기간은 1년이며, 해당 실험일자에 검교정인증 기간에 포함되어 있는지 확인 하였으며, 검교정인증 기간에 3축 1개의 가속도계가 교정기간을 벗어남으로 3축 1개의 가속도계는 사용이 불가능하다.

○ 자문 위원(김민욱)

1. 실험 진행 시 데이터 계측 방법 및 주요 사항 확인

- 브이테크에서 지진파를 가진 후 확인 가능 한 data는 가속도의 시간 이력과 변위의 시간 이력, 상대변위, 공진 결과, 스펙트럼의 포락 여부를 확인 가능하다.
- DAQ의 모델명은 PXI-8106, PXI-6250, SCXI-1001, SCXU-1520이며 센터에 계측기 부족 시 업체에서 센터의 DAQ에 사양에 맞춰서 따로 계측기를 준비해 오기로 함.(DAQ 연결도 참조)
- DAQ에서 계측된 파일은 CSV(엑셀)파일로 추후에 브이테크에서 보유한 LMS장비로 불러들여 data를 분석할 예정임.
- 업체에 raw data를 제공하여야 하며 진동대에서 계측되는 시그널은 총 51개로 업체에서 쓸수 있는 data는 진동대의 가속도 및 변위 시간이력으로 한정적이다.

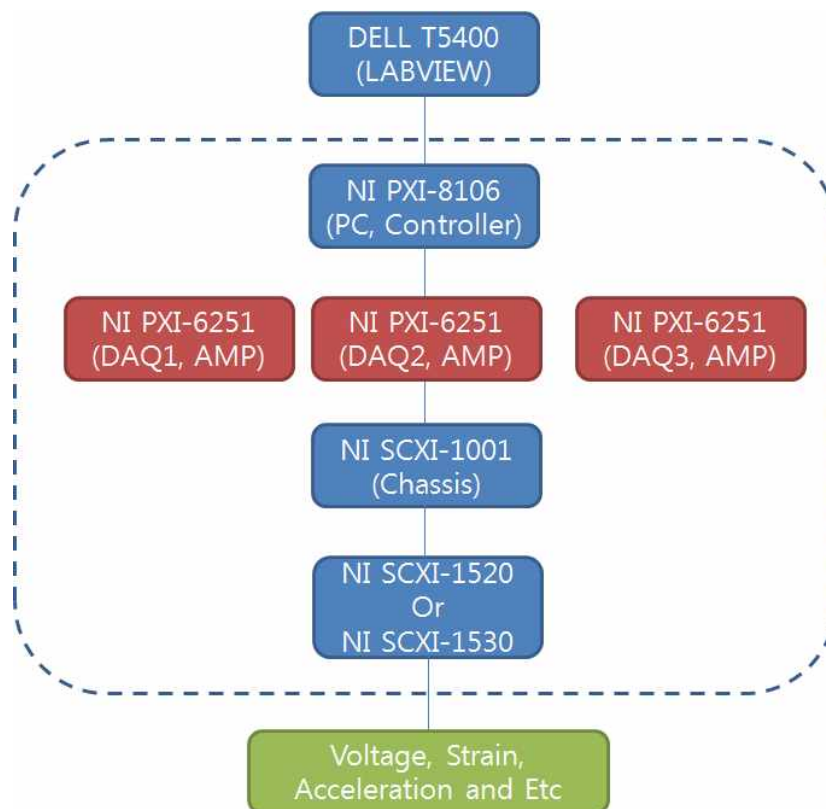


Fig 1. DAQ 연결도

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
전법규	연구교수	지진방재연구센터	내진시험
정치영	연구교수	지진방재연구센터	내진시험
강득형	선임연구원	지진방재연구센터	내진시험
김민욱	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	주식회사 코어라인
시험명	(PJT No.) 배전반용 내진 mount
실험센터	지진방재연구센터

2018. 11. 02.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 주식회사 코어라인
- 시험명 : 배전반용 내진 mount
- 컨설팅기간 : 2018년 11월 02일
- 장소 : 지진방재연구센터 회의실
- 참석자 : 총 4명(의뢰기관 2명, 자문위원 2명)
 - (의뢰기관) 강운복 / 상무, 박준수 / 차장
 - (자문위원) 박동욱 / 연구교수 / 지진방재연구센터,
강득형 / 선임연구원 / 지진방재연구센터,

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내부전문가 2인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 10. 31.)	(2018. 11. 01.)	(2018. 11. 02.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 코어라인에서 개발한 내진 mount장치의 검증
- (시험 내용) 코어라인은 전기 전문업체로써 배전반 하부에 장착되는 mount를 개발하여 실증 실험을 하고자 함.
- (시험 계획) 2018년 11월 02일에 회의 결과 올해 하반기나 내년 초반에 진동대 실험 또는 UTM 및 Actuator 실험을 하고자 함.

□ 자문 요청사항

- 신제품인증 및 신기술인증 관련
- 배전반에 장착된 mount의 실험방법
- 단일 mount의 실험방법

□ 주요 컨설팅 내용

○ 자문 위원(박동욱)

배전반 내진 마운트는 동종업계에서 많이 개발했거나, 개발되고 있는 제품으로, 다양한 시험방법 적용이 가능함. 다만, 국내에서 사용되고 있는 방송통신설비의 내진시험방법의 경우, 그 내용이 내진시스템에 적용가능하여, 우리 지진방재연구센터에서는 고유진동수가 2Hz 이상인 경우에만 KOLAS인증 시험이 가능함.

개발의 목적이 중소기업청의 성능인증, 신제품인증 및 신기술인증인 경우, 최근 인증관련 트렌드가 제품의 주요기능 및 부가기능에 대한 것들이 모두 포함되어야 하는 경우가 많음.

예를들어, 배전반의 경우, 신기술인증/신제품인증을 위해서 필요한

제품의 성능 요건 중 하나인 '기존의 제품에 비해 월등히 성능이 좋을 것'이라는 항목에 대해서는 해당 제품군의 본 목적에 해당하는 성능이 좋을 것을 요구하는 경우가 많음. 배전반의 경우, 발열율이 낮다던지, 전기 단락율이 적다던지 하는 경우임.

이러한 기능의 목적에 비하여 내진기능은 부가적인 기능으로, 해당 기능만으로는 신제품/신기술인증이 잘 나오지 않은 경우가 최근에 많음. 따라서, 신제품인증 또는 신기술 인증을 위한 내진성능시험인 경우, 이에 관한 사항을 고려하여 실험계획을 하는 것이 좋음.

내진성능의 수행은 국내의 경우, ICC-ES AC156 또는 방송통신설비의 내진성능 시험방법 등을 적용하여 수행할 수 있으며, 두 경우 모두 KOLAS인증성적서 발급이 가능함. 다만, 규격들에서 요구하는 수준이 조금 다르므로, 실험의 목적이 확인되면, 구체적 시험계획을 세울 필요가 있음.

따라서, 시험의 목적(사업홍보를 위한 제품인증)에 관한 상세요건 사항들을 확인하신 후 시험의 필요성을 재확인하실 필요가 있음.

○ 자문 위원(강득형)

○ 배전반에 장착된 mount의 진동대 실험방법

- 센터에서 추천한 진동대 실험방법은 국립전파연구원고시파로 국내 관공서 납품용으로 많이 사용되는 실험방법이다.

1. 수평2방향 수직1방향에 대한 변위, 가속도 계측

2. 진동대 바닥과 마운트 상부 또는 상부 질량에서의 변위, 가속도 계측

3. 각 방향 공진탐색 수행

- Random signal 또는 sine sweep

4. 각 방향 인공 지진과 가진

- 인공지진과는 방송통신 설비의 내진시험방법을 참조하여 작성

- 수평 2방향 수직 1방향에 대하여 각각 수행

5. 3축 동시가진

6. 진동대의 인공지진파 가진은 방송통신 설비의 내진시험방법에서 제시하는 응답의 50%, 100% 수준으로 진행

○ 단일 mount의 실험방법1

- Actuator에 mount가 설치가능 하도록 jig를 제작하여 설치 후 mount에 mass를 달아 Actuator로 가진 후 시그널을 계측 후 공진주파수를 산출하는 방법.(그림 참조)

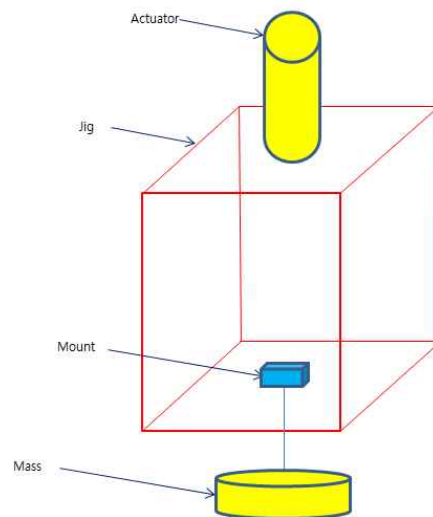


그림 1. Actuator 실험

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
박동욱	연구교수	지진방재연구센터	내진시험
강득형	선임연구원	지진방재연구센터	내진시험

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	하나답코(주)
시험명	(PJT No.) 18-ST-PJ-0160 가동원전 양개 방화방수문 내진성능시험
실험센터	지진방재연구센터

2018. 11. 02.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 하나답코(주)
- 시험명 : (18-ST-PJ-0160) 가동원전 양개 방화방수문 내진성능시험검증 실험
- 컨설팅기간 : 2018년 11월 02일
- 장소 : 지진방재연구센터 회의실
- 참석자 : 총 1명(의뢰기관 1명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 김정현 / 부장
 - (자문위원) 박동욱 / 연구교수 / 지진방재연구센터,
강득형 / 선임연구원 / 지진방재연구센터,
김민욱 / 주임연구원 / 지진방재연구센터

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내부전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 10. 31.)	(2018. 11. 01.)	(2018. 11. 02.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 하나답코에서 개발한 양개 방화방수문의 내진시험
- (시험 내용) 하나답코에서 제시한 계획서
- (시험 계획) 2018년 10월 31일 ~ 2018년 11월 01일 가동원전 양개 방수문
 - 10월 31일 : 양개 방화방수문 설치 및 계측기 설치
 - 11월 01일 : 내진시험
 - 11월 02일 : 시험체 반출

□ 자문 요청사항

- 방화방수문 프레임의 고유 진동수
- 응답스펙트럼의 scale이 log-log, log-linear의 차이

□ 주요 컨설팅 내용

○ 자문 위원(박동욱)

- 가동원전의 방화방수문은 일전의 실험을 성공하였으나, 내화시험의 실패로 재시험을 수행함.
- 내화의 원인이 양개문들의 사이에서 불꽃이 시작되었을 경우, 지진하중으로 인하여 문의 갭이 발생하였을 수 있음. 이 경우, exit device에 작용하는 하중이 큰 경우, 유격이 발생하여 산소유입으로 화재가 시작되었을 수 있음.
- 기존의 타 실험들과 비교하였을 때, 이와 같은 결과가 발생하지 않았던 경우도 있음.

- 해당 case의 차이는 최초 설치시 exit device의 latch와 strike 사이의 허용유격이 있다 하더라도, 해당 유격이 적은 경우 지진 하중에 의한 설치의 변형이 적을 것이라 유추됨. 따라서, 실험체 제작 및 정비시 exit device고정위치를 재확인하고, 최대한 유격을 줄이는 방향으로 설치하는 것이 내진실험에서의 변형을 줄일 수 있는 방안으로 판단됨.

○ 자문 위원(강득형)

- 하나답코와 같이 유사시편에 대하여 다양한 입력하중을 적용하는 경우에는 동시에 발생하는 시험계획들로 인하여 해당 시험의 요구조건, 특히 입력하중,이 상이한 경우가 있음.
- 시험의 가속도레벨이 작지 않아, 동일한 시험에 데미지가 누적될 여지가 있음.(특히 SSE) 따라서, 시험계획서 및 시험절차서에 첨부된 요구응답스펙트럼을 재확인하시고, 실험에 맞는 가진이 될 수 있도록 하는 것이 중요. 특히, 하나답코의 가동원전의 실험의 경우, 최초 응답스펙트럼의 scale이 log-log인 경우 및 log-linear인 경우가 있음. 이 경우, 하나의 scale로 통일하지 않으면, 각 RRS포인트 간격이 멀 경우, RRS가 축에 따라 왜곡될 가능성이 있음. 따라서, RRS point 간격을 좁게 하거나, log-log scale로 통일하는 것이 좋음. 다만, log-log scale로 통일시 원래의 log-linear인 응답스펙트럼은 촘촘히 확인하여 log-log 그래프 상으로 도시하는 것이 바람직함.

○ 자문 위원(김민욱)

- 해당 시험의 시료는 방수문 및 방수문에 설치되는 부속품들과 문의 프레임까지로 정의 되어 있으며, 챔버는 내진시험에서는 지그로써 활용됨.
- 기존의 계획서에 따르면, 해당 지그의 공진이 33Hz 이상이 되지 않을 경우 상부에서의 응답가속도스펙트럼도 RRS를 넘어야 함.
- 진동대에 입력하는 하중이 RRS를 넘으면, 해당 부분은 크게 문제 되지는 않음. 다만, 챔버 등에 달려 있는 부속품들이 있는경우, 시험중 impa

ct가 발생하여, 상부에 설치된 가속도계에 영향을 줄 수 있음. 이러한 사항은 상부 가속도 계측응답의 신뢰도를 떨어뜨려, 사용하기 어려운 계측신호가 되는 경우가 있음. 이러한 실험상의 오류 방지를 위하여 시험 중 충격등이 발생가능한 악세사리류는 제거 가능형태로 제작되어야 시험 중 또는 이상발견시 일정내에 수정하고 시험진행이 가능함. 따라서, 시험체 및 지그 설계 및 검토시 이러한 내용을 검토하고, 이상이 있을 경우, 시험 전 제거를 하도록 하여야 함.

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
박동욱	연구교수	지진방재연구센터	내진시험
강득형	선임연구원	지진방재연구센터	내진시험
김민욱	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	엔케이테스트
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0055) 엔진부품내구시험
실험센터	첨단건설재료실험센터

2018. 09.

I

시험컨설팅 회의 개요

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 엔케이테스트
- 시험명 : (18-CT-PJ-0055) 엔진부품내구시험
- 컨설팅기간 : 2018년 9월 19일 ~ 9월 21일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 4명(의뢰기관 1명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 김태훈 / 대표
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
양준영 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
오동석 / 선임연구원 / 한국건설생활환경시험연구원

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 9. 3.)	(2018. 9. 6. ~)	(2018. 9. 19. ~ 9. 21.)

II

컨설팅 내용

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 경량 및 강도 최적화된 엔진부품 개발
- 경량화 최적화된 엔진부품이 사용 압력에 1.5배 조건에서 목표 피로수명 500만회를 만족
- 피로수명 시험방법 및 지그 개발
- (시험 내용) 피로시험 방법 정의 및 시험용 지그 제작
- 사용 압력 대비 1.5배 하중 조건에서 피로시험 실시
- (시험 계획) 중량 절감을 위한 경량화 엔진 부품의 피로수명이 목표 보증 수명을 만족 여부를 확인
- 엔진 부품 피로시험 수행을 위한 지그 개발
- 1축 피로시험기를 이용해 엔진 부품 피로시험 실시
- 엔진부품 피로시험 2회 실시
 - * 시험방법 정의 : 1축 피로시험기를 이용한 인장압축 하중 인가방법 정의
 - * 시험용 지그 개발: 엔진부품 고정 및 하중 인가용 지그 제작
 - * 시험품 : 실린더를 각각 한 개씩 보존되도록 시험품 절단

□ 자문 요청사항

- 피로시험을 위한 설비
- 피로시험 방법 정의 및 시험용 지그 개발

□ 주요 컨설팅 내용

- 시험 방법
 - 피로(인장 및 압축)시험(의뢰자 제시)
- 자문 위원(A) 피로시험 방법 정의
 - 엔진 부품의 피로 하중 정의 : 엔진 내부에서 일어나는 연료 폭발에 의한

- 내부 압력 증가로 인해 부품이 받는 압축 응력을 주요 피로하중으로 정의
- 피로 하중 방향 정의 : 엔진 부품 중 원활한 회전 발생을 위한 부품이 메인 베어링 주변에서 반경방향으로 인장하중이 발생하도록 제품에 수직방향으로 피로하중 적용 필요
 - 50Ton 피로시험기의 인장 및 압축 방향을 이용하여 엔진 부품 피로시험 구현 가능
 - 엔진 내부 폭발 시 발생하는 피로응력을 받는 메인 베어링에 피로하중이 인가되도록 시험방법 모색
 - 아래 그림과 같이 메인 베어링이 샤프트를 잡고 있어 엔진 내부 폭발에 의해 발생하는 응력이 이 주위에 집중됨

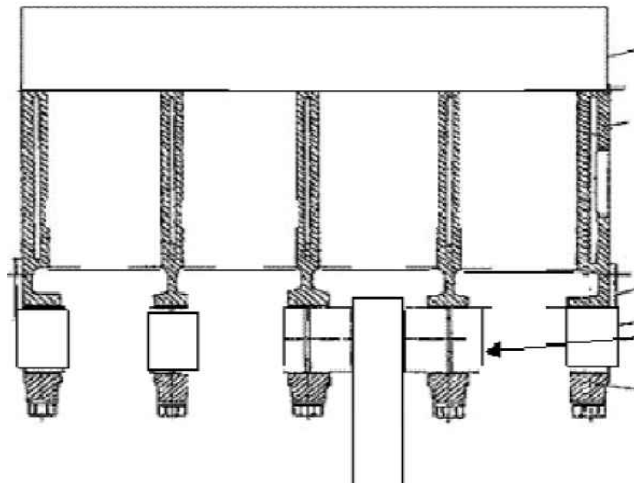


그림. 엔진 내부 폭발 위치 및 메인 베어링
위치

○ 자문 위원(B) 피로하중 검증 방법 설계

- 엔진 내부 폭발 압력을 단위면적으로 환산하여 시험하중으로 변환
- 변환한 시험하중을 설계 기준으로 정하고 안전도를 고려하여 Safe factor 1.5를 반영하여 피로시험 하중으로 선정

- 피로시험 하중이 적절하게 시험품에 인가되는지를 확인하기 위해 메인 베어링 주변에 Strain gage를 설치하고 시험 시 응력을 확인하여 피로시험 하중의 적합성 검증 필요
- 아래 그림과 같이 메인 저널 부위에 응력 측정용 Strain gage 부착

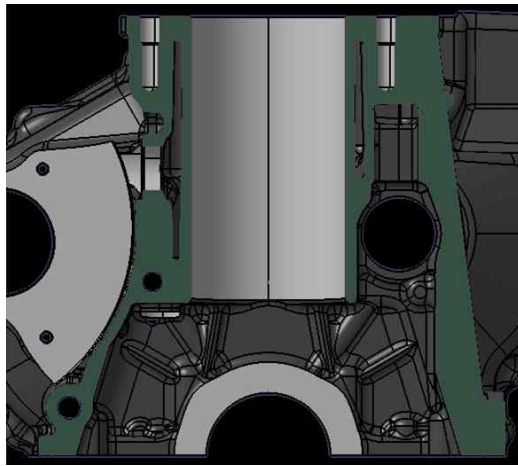


그림. Strain gage 부착 위치

- 예비 시험을 통해 Strain gage 측정 응력 값이 제품의 설계응력인 500 MPa 이상 발생 여부 판단 필요
- 자문 위원(C) 피로시험용 지그 개발
- 엔진 내부 폭발 시 인장 및 압축 응력을 직접적으로 받는 메인 베어링 주변에 실제 응력과 동일하게 인가하기 위한 지그의 설계 및 제작 필요
 - 메인 베어링 이외의 평가대상이 아닌 부품들을 더미 지그로 만들어 실제 엔진 조립과 동일한 구성을 지그로 제작 검토
 - 피로시험기의 인장 및 압축 하중이 엔진 내부 폭발 시 메인 베어링에 인가되는 피로 응력과 동일하게 작용하도록 더미 지그를 피로시험기

- 엑츠크에이터에 고정, 하중이 시험품에 전달되도록 지그 제작 필요
- 엔진 부품 피로시험의 최대 인장하중인 280kN 이내에서 지그가 파손되지 않도록 강건 설계 적용 추천
 - 메인 베어링에 적용되는 더미 지그를 SCM440H 소재를 적용하여 피로시험 시 지그의 파손을 방지하고, 시험 중 지그와 시험품 사이에서 발생하는 마찰에 의한 마모를 방지할 것으로 예상됨
 - 피로시험기의 인장 및 압축 하중이 메인 베어링에 힘이 전달되도록 더미 지그를 적용하여 아래와 같이 피로시험 지그를 설계

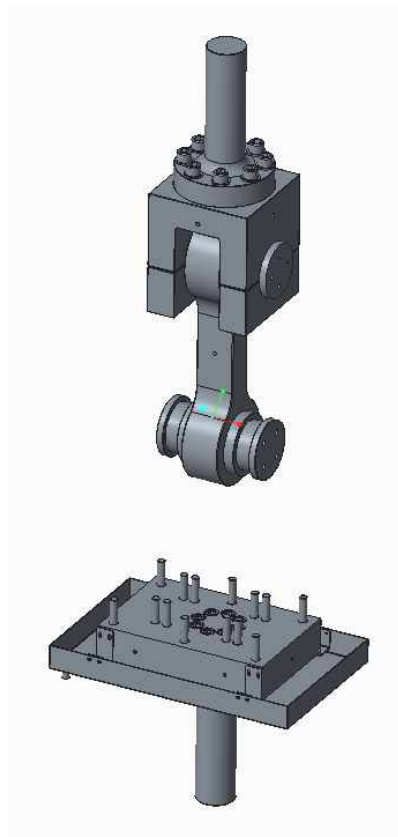
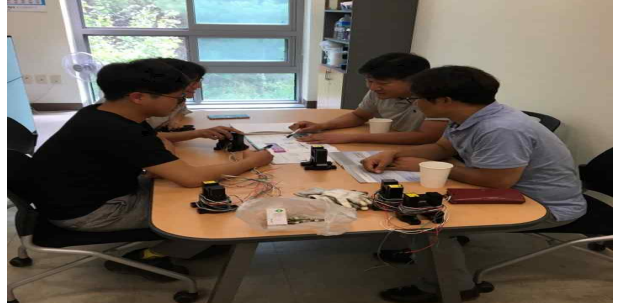


그림. 피로시험용 지그

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(재료)
양준영	연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(구조)
오동석	선임연구원	한국건설생활환경시험연구원	건축공학(재료)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	주식회사 신성강건
시험명	(PJT No.) 18-ST-PJ-0120 금속재 천장틀 내진성능 실험(M-BAR,CLIP-BAR)
실험센터	지진방재연구센터

2018. 12. 07

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 주식회사 신성강건
- 시험명 : (18-ST-PJ-0120) 금속재 천장틀 내진성능 실험(M-BAR,CLIP-BAR)
- 컨설팅기간 : 2018년 12월 07일
- 장소 : 지진방재연구센터 회의실
- 참석자 : 총 4명(의뢰기관 1명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 이민우 / 이사,
 - (자문위원) 강득형 / 선임연구원 / 지진방재연구센터,
김민욱 / 주임연구원 / 지진방재연구센터,
신용재 / 주임연구원 / 지진방재연구센터

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내부전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 11. 16.)	(2018. 11. 30.)	(2018. 12. 07.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 신성강건에서 개발한 금속재 천장틀의 내진성능평가
- (시험 내용) 「비구조요소의 내진시험방법(ICC ES AC156(2010) ASCE 7 Section 13.2.5절에 의해 성능확인이 인정된 비구조요소)」에 따라 금속재 천장틀의 내진성능을 평가(M-BAR 시스템, CLIP-BAR 시스템)
- (시험 계획) 2018년 12월 07일 ~ 2018년 12월 10일까지 총 2개의 시험대상설비에 대해 실험 실시
 - 12월 07일 : 금속재 천장틀을 진동대에 설치 및 센서 설치
 - 12월 08일 : 가진 조건을 바꿔가며 시험 수행 및 교체
 - 12월 09일 : 가진 조건을 바꿔가며 시험 수행
 - 12월 10일 : 해체 및 진동대 장비 점검

□ 자문 요청사항

- 신성강건에서 개발한 금속재 천장틀(M-BAR 시스템, CLIP-BAR 시스템)의 내진성능평가를 위한 시험절차와 방법 및 주요고려사항의 자문

□ 주요 컨설팅 내용

○ 자문 위원(강득형)

1. 시험 진행 후 결과 분석 및 주요 사항 확인
- 시험 진행은 비구조요소의 시험방법인 ICC ES AC156(2010)를 준용하여 좌우, 전후, 상하방향 동시에 가진 한다.
 - 시험 절차는 시험 전 육안검사, 지진과 작성, 가진방법 선정, 중량 측정, 시험대상설비 설치, 센서 설치, 공진탐색, 내진시험, 간섭함수(상호상관관계) 검토, 육안검토로 진행한다.
 - 시험 진행 중, 인명안전의 위험을 일으키는 손상의 경우 ASCE 41-13에 제

시되어 있는 성능수준에 따른 손상의 예를 참고하였고, 의뢰자와 합의를 통한 본 시험에서의 허용손상범위는 다음과 같이 정의한다.

- 허용되는 손상의 유형(경미한 손상)

천장마감요소 : 천장마감재의 균열 및 찰개짐, 천장마감재의 부분적 파괴, 개별 천장마감 요소의 위치 이동 및 변형 발생

경량프레임 및 접합요소 : 몰딩부분에서의 낙하가루 발생 및 국부 파괴, 천장마감재 접합피스의 풀림 및 분리, MT-BAR, Carring Channel의 경미한 소성변형, MT-BAR의 수직,수평재 간의 조인트 파단, 경량프레임 전체의 비틀림, 수직력에 저항하지 않는 접합요소의 변형, 탈락 및 볼트 풀림, 수직력에 저항하는 접합요소의 변형 및 볼트풀림

달대 : 달대의 소성변형, 달대 위치 고정 너트의 풀림, 보강수평재의 소성변형 및 달대와의 접합물 탈락

허용되지 않는 손상의 유형(심각한 손상)

천장재의 단위요소 이상의 낙하, MT-BAR,Carring Channel의 파단, 탈락 및 낙하, 경량프레임 구성부재 간의 접합분리, 몰딩부분의 탈락 및 낙하, 달대의 파단, 보강 수평재의 파단, 분리 및 낙하

○ 자문 위원(김민욱)

1. 시험 진행 시 데이터 계측 방법 및 주요 사항 확인

- 비구조요소의 시험방법인 ICC ES AC156(2010)에서 요구하는 요구응답 스펙트럼을 진동대에서 가진 했을 때, 결과데이터를 도출하기 위한 계측위치 및 센서를 확인한다.

- 진동대 바닥의 가속도 신호를 받기위해 3축에 대해서 계측하고, 천장재 시스템을 모사하는 지그와 중요 계측포인트를 지정하여 센서를 설치한다.

1) 진동대 바닥 가속도

2) 천장재 시스템을 모사하는 지그의 상단 모서리

3) 천장재 시스템을 모사하는 지그의 중앙 골조 프레임

4) 천장재 몰딩 중앙, 5) BAR 상단, 6) BAR 내부

- 시험 진행 시, 주요 품목들과 취약부위를 선정하여 시험 전 후로 육안검사를 실시한다. 시험은 총 3번의 가진을 진행 예정이며, ZPA(영주기가속도)값을 올려가며 진행한다. 매 시험이 끝날 때 마다, 부착했던 센서값을 도출하여 공진주파수값의 이상여부를 확인한 후 가진레벨을 지정한다.
- 내진 시험 종료 후 허용 손상기준을 의뢰자와 협의하여 다음과 같이 지정한다.
 - 1) 시험대상품의 주요부품의 이탈이나 파손이 없어야 한다.
 - 2) 앵커나 주 부재 및 내력부재의 구조적 안정성은 유지되어야 한다.
 - 3) 시험대상품의 주 부재 및 연결부를 제외하고 경미한 손상이나 변형은 허용
 - 4) 시험대상품의 전구 교환과 같은 경미한 수리는 허용 된다.
 - 5) 시험 종료 후, 시험대상품의 기능적인 문제는 없어야 한다.

○ 자문 위원(신용재)

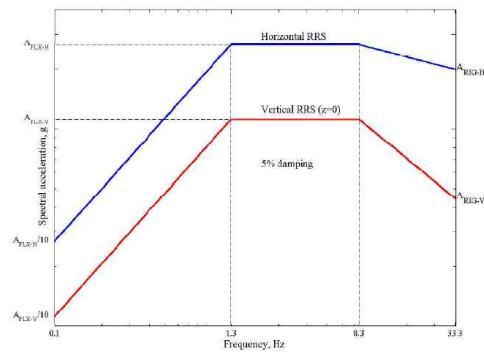
1. 천장재 실험의 비구조요소 내진 시험방법에 관한 설명

천장재에 대한 정확한 시험규격은 국내에 없는 관계로, 외국계 시험 코드인 비구조요소의 내진 시험방법을 적용하였다.

- 비구조요소의 내진 시험방법은 (주)신성강건이 제공한 천장재 시스템(M-B AR,CLIP-BAR) 이 지진이 발생했을 때 구조적 건전성뿐만 아니라 중요부위에서의 손상 및 파손, 기능이 유지되는지를 살펴보는 ICC ES AC156 시험으로 진행한다.
- 천장재에 대한 시험은 AC156에 나타나 있는 요구응답스펙트럼을 이용하여 좌우방향(X),전후방향(Y),상하방향(Z)을 동시에 가진다. 시험대상 설비에 적용되어야 하는 지진의 강도는 해당 설비가 설치되는 건물의 설계 기준에 의해 결정된다. 시험에 적용되는 RRS는 아래의 그림과 같은 형태를 가져야 하며, 식(1)~(4)에 나타난 것과 같이 지반 가속도계수 및 높이계수비의 함수에 의해 RRS의 크기가 결정된다.

$$A_{FLX-H} = S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h} \right) \quad (1) \quad / \quad A_{RIG-H} = 0.4 S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h} \right) \quad (2) \quad / \quad A_{FLX-V} = 0.67 \times S_{DS} \quad (3) \quad / \quad A_{RIG-V} = 0.27 \times S_{DS}$$

(4)



- 시험 절차는 ZPA(영주기가속도)값을 올려가면서, 3차례 정도 진행한다. 가진 전, 후로 육안검사를 실시하며, 주요 시스템 부위에서 손상, 파손이 있는지 여부를 확인 및 기록한다. 허용되는 경미한 손상 및 허용되지 않는 심각한 손상의 기준을 의뢰자와 협의하여 정하고, 사진 기록 및 기술로 보고한다.

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
강득형	선임연구원	지진방재연구센터	내진시험
김민욱	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험
신용재	주임연구원	지진방재연구센터	내진시험

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	우경건설(주)
의뢰기술	이중합성거더 부모멘트 성능검증
연관실험센터	하이브리드구조실험센터(명지대, 용인)

2018. 10. 11.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 우경건설(주)
- 의뢰기술 : 이중합성거더 부모멘트 성능검증
- 컨설팅기간 : 2018년 10월 11일
- 장소 : 명지대학교 하이브리드구조실험센터, 용인
- 참석자
 - (의뢰기관) (주)우경건설 박근우 상무·양은철 부장
 - (자문위원) 한종욱 수석연구원(하이브리드구조실험센터),
이승국 선임연구원(하이브리드구조실험센터),

□ 추진경과

- (시험컨설팅 신청) '이중합성거더 부모멘트 성능검증 실험' 지원신청('18.10.11.)
- (시험컨설팅 기획) 의뢰한 기술에 대한 사전기술조사 실시('18.10.15.)
- (전문가 섭외) 의뢰기술 관련전문가를 조사 및 섭외실시('18.10.16.)
- (컨설팅계획수립) 전문가섭외완료 및 회의 일정·장소 등 설정('18.10.16.)
- (컨설팅실시) 의뢰기관 2인 및 내부전문가 2인이 참석한 컨설팅실시('18.10.19)

□ 의뢰기술 개요

- 관련 기술내용 및 계획
 - (기술개발목적) 지점부 폐합단면 적용 및 하연에는 고강도 콘크리트와의 이중합성으로 상연의 인장응력은 강재가 받고, 압축응력은 콘크리트가 부담하도록 하여 형고를 Down시켜 경간장을 80~100m까지 적용시 안정성 및 신뢰성을 확보하는데 목적을 가짐
 - (기술개발목표) 고강도 콘크리트의 이중합성으로 단면 강성 및 사용성(처짐·진동) 면에서 기존 공법 대비 구조적 안전성 검증을 목표로 함
 - (실험내용) 강재거더와 슬래브의 합성 모델로 지점하연에 고강도 콘크리트를 합성한 실험체에 대한 성능평가 경우와 비합성한 경우를 비교하여 이중합성에 따른 응력저감 효과를 평가

□ 자문요청사항

- 이중합성거더 부모멘트의 실험체 제작 및 실험셋팅에 대한 고려사항 자문
- 부모멘트부 거동 분석 및 재하 방법 등에 대한 자문

□ 주요 컨설팅내용

- 실험체 제작 및 설치 고려 요소
 - 부모멘트 영향부 실험은 B.C.조건이 3Points의 불안정한 상태임으로 실험체 설치·해체 및 실험시 전도에 대한 안전조건을 충분히 고려 필요
 - * 사전에 구조해석을 통해 구조물 거동(응력, 처짐 등)에 대한 검토를 수행하여 실험시 실험변수를 최소화하여 안전하게 실험을 수행할 수 있도록 계획수립이 필요

- 하중가력용 및 지점용 강재블럭 3개를 별도로 제작 필요
(하중용량 5,000kN 정도, 사이즈 3,000mm(L) · 1,000mm(H) · 800mm(B))
- 가설단계를 고려하여 부모멘트부 거동에 대한 종합적인 분석을 할 수 있도록 합성 전·후단계, 강연선 긴장단계 등을 실험시 고려 필요
- 부 모멘트부 실험은 실험체 중앙 하단부에 설치된 지점부 블록 위에 볼트 고정없이 실험체를 거치한 후, 양 단부를 가력하는 실험으로써 실험체 설치시 좌우 대칭 및 수평·수직이 일치하도록 설치 필요
- 실험체 안전을 고려하여 양 단부에 스크룻 잭을 사용하여 실험체 높이를 동일하게 맞추어 실험체 전도에 대한 안전성을 확보 필요

○ 실험체 설치 및 실험 방법

- 실험체의 중앙 하단부 블록의 지지면적이 넓지 않으므로 실험체의 수평을 제대로 맞추지 않으면 가력시 양 단부에 설치한 액츄에이터의 하중과 변위가 서로 큰 차이가 날 우려가 있음 (액츄에이터 2대로 제어)
 - * 실험 시작전에 반력바닥부터 실험체 양 단부의 높이를 같게 만들고 선재하를 통해 2개 액츄에이터의 하중 및 변위가 유사한 거동을 보이는지 확인한 후 실험을 진행하는 것이 바람직
 - * 실험시 실험체 내부의 콘크리트 균열직전을 확인할 수 있는 센스 및 카메라를 설치하여 실험결과에 대한 신뢰성을 확인할 필요가 있음
- 제어방식은 하중제어보다 변위제어방식을 통해 양 단부의 처짐에 대한 편차를 줄일 수 있어 적합함
- 실험시 상부 콘크리트 파괴(슬래브) 또는 U형 강박스의 국부좌굴이 예상됨으로 이에 대한 해석값과 실험시 모니터링이 필요함

□ 회의전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
한종욱	수석연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)
이승국	선임연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	(유)하남종합건설
의뢰기술	복합트러스교 격점부 성능검증 실험
연관실험센터	하이브리드구조실험센터(명지대, 용인)

2018. 10. 23.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : (유)하남종합건설
- 의뢰기술 : 복합트러스교 격점부 성능검증 실험
- 컨설팅기간 : 2018년 10월 23일
- 장소 : 명지대학교 하이브리드구조실험센터, 용인
- 참석자
 - (의뢰기관) (유)하남종합건설 박동우 부장·조형우 부장,
(주)편한 E&R 편상복 대표이사
 - (자문위원) 한종욱 수석연구원(하이브리드구조실험센터),
이승국 선임연구원(하이브리드구조실험센터),

□ 추진경과

- (시험컨설팅 신청) '복합트러스교 격점부 성능실험' 지원신청('18.8.27.)
- (시험컨설팅 기획) 의뢰한 기술에 대한 사전기술조사 실시('18.10.10.)
- (전문가 섭외) 의뢰기술 관련전문가를 조사 및 섭외실시('18.10.16.)
- (컨설팅계획수립) 전문가섭외완료 및 회의 일정·장소 등 설정('18.10.16.)
- (컨설팅실시) 의뢰기관 3인 및 내부전문가 2인이 참석한 컨설팅실시('18.10.23.)

□ 의뢰기술 개요

- 관련 기술내용 및 계획
 - (기술개발목적) 고속도로 건설공사에 건설예정인 밀양강교(복합트러스교 형식) 격점부의 성능검증을 통해 실험대상 교량 및 향후 시공될 복합트러스 교량 격점부의 구조적 안전성 확인 및 신뢰성을 확보하는데 목적을 가짐
 - (기술개발목표) 복합트러스 교량의 격점부의 목표 실험하중 6,000kN에서 구조적 안전성 검증을 통해 현장 적용성을 확인하는 실험
 - (실험내용) 복합트러스 교량의 핵심기술인 강재 트러스와 콘크리트 상-하현재를 연결하는 꺾점부에 대한 성능검증을 위한 성능평가 수행

□ 자문요청사항

- 강교 격점부의 실험체 제작 및 실험셋팅에 대한 고려사항 자문
- 목표 실험하중 6,000kN 재하 가능성 및 재하 방법 등 실험방법에 대한 자문

□ 주요 컨설팅내용

- 실험체 제작 및 설치 고려 요소
 - 강교 격점부 실험을 위해서는 사전에 구조해석을 통해 축력, 변위 및 응력검토가 수반되어야 하고, 이에 따른 하중재하용 블록 및 슬립방지용 강봉 개수 산정, 하부 베이스 사이즈를 결정이 필요
 - * 하중 가력예상 하중이 약 6,000kN임으로 슬립방지용 강봉은 마찰계수

0.2정도를 고려하면 최소 60개 이상의 강봉이 필요 (강봉당 약 500kN
축력도입 필요)

- 하부 베이스 블록은 약 6,000kN의 하중재하에 따라 강교 격점부의
인장부재와 압축부재가 상반된 힘이 작용함으로 이를 고려하여 하부
베이스 블록 사이즈를 설계 필요

* 수평으로 하중을 가력하기 때문에 수평가력 블록(10,000kN)하부에는
마찰이 거의 없는 테프론 판을 설치하여 수평가력 블록이 수평으로
이동할 수 있도록 해야하며, 수평가력 블록에 대한 구조검토도 필요함

○ 실험체 설치 및 실험 방법

- 5,000kN 액츄에이터 2대를 수평으로 동시에 재하하기 때문에
설치시에는 액츄에이터 수평·수직에 대한 동시 재하에 대한 이상 유무를
확인 후 본 실험을 수행해야함

* 2대의 액츄에이터가 좁은 간격으로 설치되어 크 하중을 전달해야 하기
때문에 실험체와 반력바닥 사이에 임의의 기초부를 두어 반력
바닥으로의 하중전달이 적절히 분산되게 설치해야 함

- 실험 초기에 가력블록과 실험체 가력면과의 수평을 정확하게 맞추는
것이 중요하며, 반력벽으로부터 2대의 액츄에이터가 연결된
가력블록까지의 거리를 동일하게 유지시킨 후, 동일한 속도로 실험을
수행하는 것이 바람직함

* 실험체 제작불량 등으로 인하여 가력블록과 실험체 가력면의 수평이
일치하지 않는다면 강재판 등을 사용하여 수평을 맞춘 후 실험을

진행하여야 보다 합리적인 실험결과를 얻을 수 있음

- 실험체의 강성이 크고 예상 최대변위가 작기 때문에 동일 변위에서 각 액츄에이터에 작용하는 하중이 최대한 유사하게 제어할 수 있는 변위제어방식으로 실험을 추진이 필요가 있음

□ 회의전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
한종욱	수석연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)
이승국	선임연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	(주)서린브릿지텍
의뢰기술	이중합성거더 부모멘트 극한강도 실험
연관실험센터	하이브리드구조실험센터(명지대, 용인)

2018. 11. 29.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : (주)서린브릿지텍
- 의뢰기술 : 이중합성거더 부모멘트 극한강도 실험 시험컨설팅
- 컨설팅기간 : 2018년 11월 29일
- 장소 : 명지대학교 하이브리드구조실험센터, 용인
- 참석자
 - (의뢰기관) (주)서린브릿지텍 최향용 상무,
(주)신원RPC 이성원 대표이사
 - (자문위원) 한종욱 수석연구원(하이브리드구조실험센터),
이승국 선임연구원(하이브리드구조실험센터)

□ 추진경과

- (시험컨설팅 신청) '이중합성거더 부모멘트 극한강도 실험' 지원신청('18.11.06.)
- (시험컨설팅 기획) 의뢰한 기술에 대한 사전기술조사 실시('18.11.13.)
- (전문가 섭외) 의뢰기술 관련전문가를 조사 및 섭외실시('18.11.20.)
- (컨설팅계획수립) 전문가섭외완료 및 회의 일정·장소 등 설정('18.10.20.)
- (컨설팅실시) 의뢰기관 2인 및 내부전문가 2인이 참석한 컨설팅실시('18.11.29.)

□ 의뢰기술 개요

- 관련 기술내용 및 계획
 - (기술개발목적) 중앙지간장 100M급 이중합성 강박스 거더 교량의 설계 및 시공기술에 대한 구조적 안전성 및 신뢰성을 검증하는데 목적을 가짐
 - (기술개발목표) 하부플랜지 콘크리트의 성능개선을 위한 중앙자유단에 설치된 이중합성 강박스 거더의 안정성 검증을 통한 현장 적용성을 확인
 - (실험내용) 이중합성 강박스거더 교량의 부모멘트 하중을 지지하는 연속교 내측 지점 구간에 콘크리트를 타성하여 지점부 강성을 실험하여 형고 감소 및 경간장 증대 가능성을 확인하기 위한 성능검증 실험을 수행

□ 자문요청사항

- 이중합성교 강박스 거더의 실험체 제작 및 실험셋팅에 대한 고려사항 자문
- 이중합성교 강박스 거더의 실험 방법 및 재하 방법 등 실험방법에 대한 자문

□ 주요 컨설팅내용

- 실험체 제작 및 설치 고려 요소
 - 기본적으로 실험전 구조해석을 통한 실험체 거동에 대한 예측(변위, 응력, 좌굴) 및 검토를 수행하여 실험 안정성 확보와 실험변수를 최소화 필요
 - 주요 지점에 대해서는 실험체 내부와 외부에 스트레인게이지 및 변위계를 설치 필요
 - 부모멘트 영향부의 효과적인 실험을 위해서는 3점 지점을 구성이 필요하며, 지점구성은 좌측부는 고정단, 중앙부는 이동단, 우측부는 자유단으로 구성
- * 좌측부 지점은 로딩프레임 및 크로스빔 사이에 실험체를 고정단으로 구성하고 2,500kN용 2개의 스크류잭을 사용 필요

- * 중앙부 이동단 지점은 폭 1,500mm에 5,000kN 용량의 힌지를 사용하여 구성
- * 우측부 자유단은 5,000kN 액츄에이터를 사용하여 하중을 가력하고, 이때 5,000kN용 재하용 블록을 사용해야함
- 설치 전에 반력바닥과 구조물의 수평이 일치되게 하는 것이 중요하므로 실험체를 설치한 후, 양 단부와 중앙부의 높이를 측정하여 3곳의 높이가 일치하도록 실험 셋팅 필요
- 실험방법 및 재하 방법
 - 예비실험을 수행하여 실험체의 대칭성 거동 확보와 고유치를 고려한 후 본 실험을 수행하는 것이 바람직함
 - Pre-loading을 통해 실험체의 초기강성 및 초기 처짐량을 파악한 후 계산 및 해석결과와 비교하여 실험을 수행하는 것이 바람직함
 - 액츄에이터 한 대에 발생하는 변위가 크게 되면 스위블의 회전능력 초과로 인해 액츄에이터가 튕겨나갈 수 있으므로, 변위제어방식으로 실험속도를 느리게 진행하는 것이 바람직함

□ 회의전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
한종욱	수석연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)
이승국	선임연구원	하이브리드구조실험센터	토목공학(구조)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	대 한특수금속(주)
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0096) 고사이클피로시험
실험센터	첨단건설재료실험센터

2018. 12.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 대한특수금속(주)
- 시험명 : (18-CT-PJ-0096) 고사이클피로시험
- 컨설팅기간 : 2018년 12월 13일 ~ 12월 14일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 4명(의뢰기관 1명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 허경민 / 대리
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
양준영 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박종운 / 교수 / 대구공업대학교

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 12. 7.)	(2018. 12. 10. ~)	(2018. 12. 13. ~ 12. 14.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 나사철근용 고강도 커플러의 고사이클 피로 시험 성능평가
- 나사철근용 고강도 커플러의 KS D 0249(철근 콘크리트용 봉강의 기계식 이음의 검사방법) 고사이클 피로시험평가 만족 여부 판단
- (시험 내용) 2개의 나사철근(D25)을 고강도 커플러를 이용하여 연결한 시험체를 KS D 0249에 준하여 고사이클 피로성능 평가
- (시험 계획) 2개의 나사철근(D25)을 고강도 커플러를 이용하여 연결한 시험체의 고사이클 피로시험을 통하여 고강도 커플러의 성능평가를 목적으로 하고있으며, 2개의 나사철근(D25)을 고강도 커플러를 이용하여 연결한 길이 약 1m 시험체를 KS D 0249 고사이클 피로시험방법에 준하여 피로시험 실시
- 시험체의 고사이클 피로시험
 - * 시편 : 2개의 나사철근(D25)을 고강도 커플러를 이용하여 연결한 길이 약 1m 시험체 제작
 - * 시편 제원 : 고강도 커플러의 길이 149mm, 중심부 외경 44mm, 시험체 총 길이 약 1m
 - * 피로하중 : 하한 응력 3kgf/mm^2 와 상한 응력 13kgf/mm^2 의 사인파 형, 3~10Hz의 주파수를 가하여 200만회 반복 가력
 - * 변형량 측정 : 커플러 양 끝에서 20mm 떨어진 곳에 표점거리를 긋고 1/100mm 까지 측정 가능한 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정
 - * 피로시험 완료 후 잔류 변형량 및 파단 유무 조사

□ 자문 요청사항

- 나사철근용 고강도 커플러의 고사이클 피로시험을 위한 시험 장치 및 방법
- 나사철근용 고강도 커플러의 고사이클 피로시험의 잔류 변형량 측정 방법

□ 주요 컨설팅 내용

- 시험 방법
 - 고사이클 피로시험(KS D 0249 준용)
 - 시험체 제작(의뢰자 제시)
- 자문 위원(A) 나사철근용 고강도 커플러의 성능 평가 방법 선정
 - 철근콘크리트용 봉강의 기계식 이음의 검사 방법으로는 일방향 인장시험, 정적 내력 시험, 저사이클 반복 시험, 고응력 반복 내력시험, 고사이클 피로시험, 저온 성능 시험, 고응력 인장 압축 반복 시험이 있으며, 시험체의 사용 용도 및 목적에 적합한 시험 방법의 선정이 필요
 - 일방향 인장 시험 : 체결된 연결체의 결합력 측정
 - 정적 내력 시험 : 상온에서의 정적 인장 시험을 통하여 작용하는 하중 하에서의 부재의 건전성을 평가하는 항목으로 응력 변화에 대한 변형량 조사
 - 고응력 반복 내력 시험 : 지진 및 변형의 영향을 받는 기계식 이음의 안정성 평가
 - 고사이클 피로시험 : 반복 변동 하중을 받는 구조물에 대한 피로 특성 평가
 - 고응력 인장 압축 반복 시험 : 지진의 영향으로 반복적인 인장-압축의 소성변형을 경험하는 기계식 이음의 안정성 평가

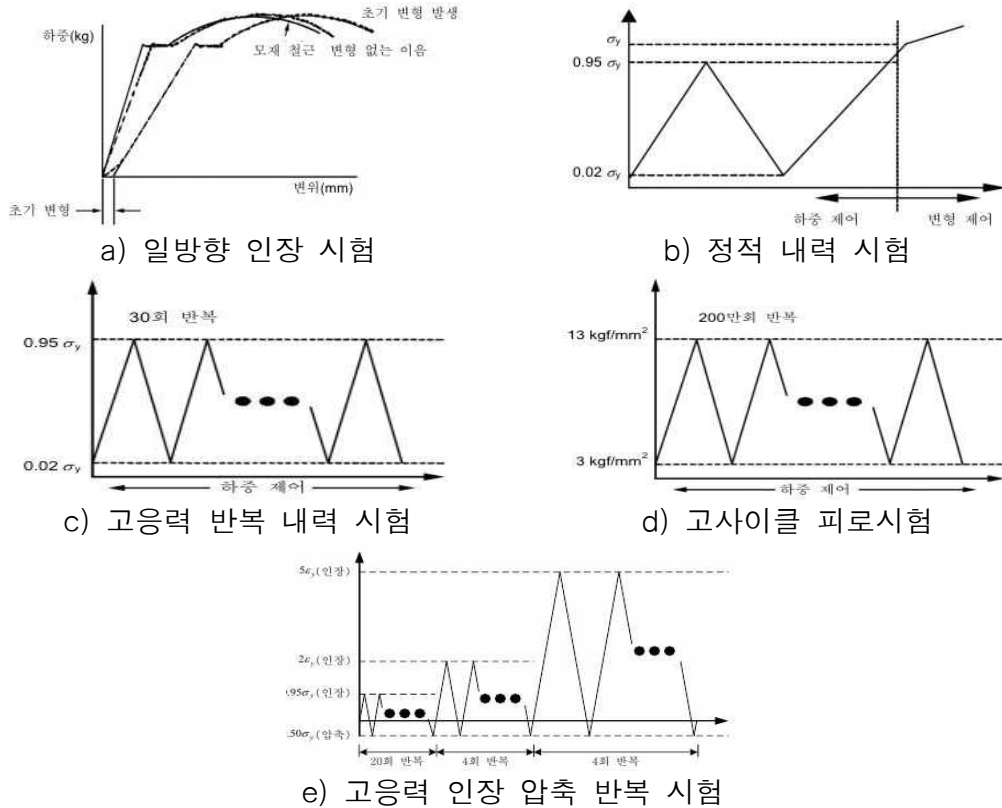


그림. 시험방법별 개요도

- 지속적인 반복하중에 의한 피로파괴는 극한강도보다 낮은 반복하중에 의해 파괴가 발생될 수 있으며, 피로 파괴는 저주파피로(Low Cycle Fatigue)와 고주파피로(High Cycle Fatigue)로 크게 나뉨
- 반복하중으로 인한 커플러의 성능평가로 고주파피로, 즉 고사이클 피로시험이 적절 할 것이라 판단됨
- 자문 위원(B) 나사철근용 고강도 커플러의 고사이클 피로시험을 위한 시험 장치의 검토
 - 고사이클 피로시험은 KS D 0249(철근 콘크리트용 봉강의 기계식 이음의 검사방법)의 6.6 준용
 - 피로하중 하한 응력 3 kgf/mm^2 와 상한 응력 13 kgf/mm^2 의 사인과 형, 3~10Hz의 주파수를 가하여 200만회 반복 가력이 가능한 시험 장비필요
 - 나사철근의 직경이 25.4mm로, 25.4mm의 봉강의 시험체의 상·하부를 고정시킬 수 있는 적절한 크기 및 용량의 고정장치가 필요

- 본 실험센터의 피로시험기는 최대용량 500kN, 유압식 그립(Grip) 장치 (원형지그 : 6.4~42.4mm), 최대 60Hz 주파수의 성능을 가짐

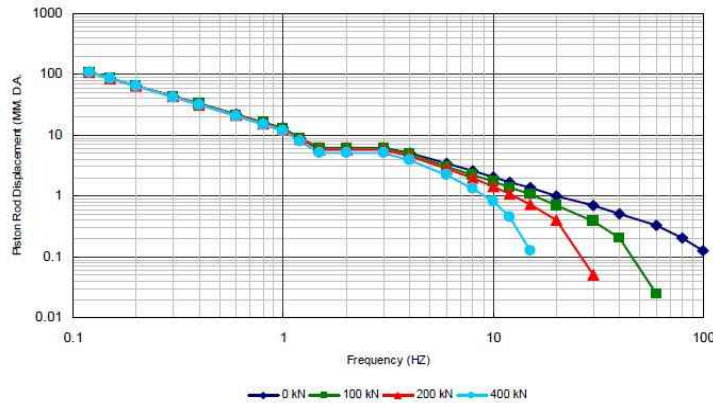


그림. Piston Rod Displacement vs. Frequency

- 고사이클 피로시험에 필요한 하중은 하한 15.2kN, 상한 65.87kN이며, 시험체의 직경이 25.4mm, 3~10Hz의 주파수를 필요로 하므로, 본 실험센터의 피로시험기로 시험을 수행하기에 적절하다 판단됨
- 시험체의 상·하부를 고정하기 위해서 유압식 그립의 압력을 계산하여 피로시험 중 슬립 및 시험체에 손상이 가지 않도록 주의가 필요하며, 물림장치로 인한 시험체의 손상방지를 위해 알루미늄 패드의 사용 고려
- 주파수의 경우 예비 시험으로 상한 및 하한 하중을 가력하여 발생하는 변형량을 검토하여 적절한 주파수의 선정이 필요
- 자문 위원(C) 고사이클 피로시험을 위한 시험체 제작 및 시험 결과의 평가방법 검토
 - 고사이클 피로시험을 위한 시험체는 2개의 나사철근을 고강도 커플러를 이용하여 연결한 그대로 사용을 하며, 철근 중심 축으로부터 굽음 및 기타 결함 사항이 없도록 해야 함

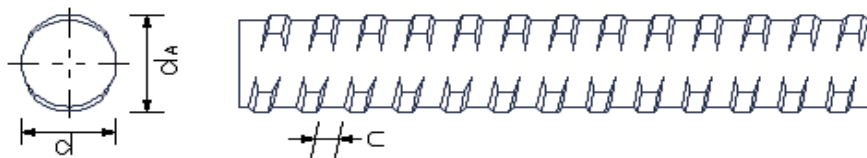


그림. 나사철근 형상

- 커플러에 연결할 나사철근의 직진도와 나사 가공된 단부의 끝면이 평면이 되도록 주의가 필요

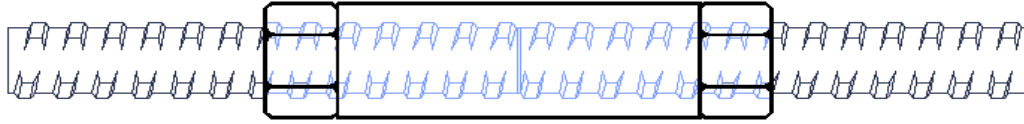


그림. 커플러와 자금 너트의 이음형상

- 시험체의 길이는 본 시험센터의 피로시험기의 최대 시험크기를 고려하여 60~120cm로 제작필요
- 잔류 변형량 측정은 이음구 양 끝에서 20mm 또는 철근 호칭지름의 1/2 중 큰 쪽의 길이 만큼 떨어진 곳에 표점 거리를 긋고 1/100mm까지 측정 가능한 기구를 이용하여 측정할 필요가 있으며, 이음부 끝 부에 대해 철근이 빠지는 양으로 측정하는 방법 또한 고려 가능함
- 고사이클 피로시험의 결과가 기준에 만족하지 못할 경우 동일한 재료의 시험체를 2개 제작하여 재시험할 필요가 있음

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료시험센터	토목공학(재료)
양준영	연구원	첨단건설재료시험센터	토목공학(구조)
박종운	교수	대구공업대학교	토목공학(토질)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	브이(VE)하다
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0080) 2개의 형강재와 ㄷ채널을 이용하여 조립한 합성보(2Hc (합성보))
실험센터	첨단건설재료실험센터

2018. 11.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 브이(VE)하다
- 시험명 : (18-CT-PJ-0080) 2개의 형강재와 ㄷ채널을 이용하여 조립한
합성보{2Hc(합성보)}
- 컨설팅기간 : 2018년 11월 28일 ~ 11월 29일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 4명(의뢰기관 1명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 김성준 / 대표
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
양준영 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박종운 / 교수 / 대구공업대학교

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 10. 10.)	(2018. 10. 30. ~)	(2018. 11. 28. ~ 11. 29.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 2개의 형강재와 ㄷ찬넬을 이용하여 조립한 합성보{2Hc(합성보)}의 성능 평가
- (시험 내용) 2개의 형강재와 ㄷ찬넬을 이용하여 조립한 합성보{2Hc(합성보)}의 휨 강도 측정
- (시험 계획) 2개의 형강재와 ㄷ찬넬을 이용하여 조립한 합성보{2Hc(합성보)}의 성능 평가를 목적으로 하고 있으며, 2개의 형강재와 ㄷ찬넬을 이용하여 조립한 합성보{2Hc(합성보)}의 휨 강도를 위한 3개의 시험체 제작
- 3개의 시험체의 휨 강도 시험 실시
 - * 시편 : 2개의 형강재와 ㄷ찬넬을 이용하여 조립한 합성보{2Hc(합성보)} 3본 제작
 - * 시편 제원 : 길이 5.6m, 높이 0.5m, 폭 1.1m
 - * 게이지 : 스트레인게이지(철근 및 콘크리트), 변위측정기(LVDT) 설치

□ 자문 요청사항

- 합성보의 휨 시험을 위한 설비 및 시험 방법
- 2개의 형강재와 ㄷ찬넬을 이용하여 조립한 합성보{2Hc(합성보)}의 휨 거동을 정량적으로 측정할 수 있는 방법 모색

□ 주요 컨설팅 내용

- 시험 방법
 - 휨 시험(의뢰자 제시)
 - 구조성능평가 실험절차서 참조

- 자문 위원(A) 보/거더 휨 실험의 각 변위계 설치 지점 검토 및 지점 설치 방법
 - 처짐 측정 : 수직처짐($L/4$, $L/2$, $3L/4$), 축방향 이동량(이동단), 회전각(회전단)
 - 변형률 측정: 하부철근, 상부철근, 콘크리트정면 및 상·하면

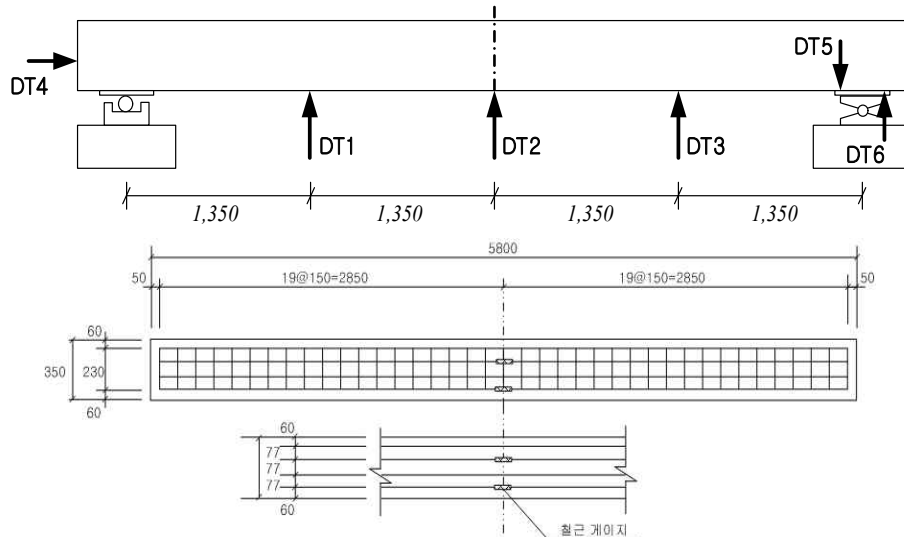


그림. 시험체 설치 모식도

- 매립철근에 부착하는 변형률계는 가능한 철근 조립 이후에 설치하는 것이 좋으나, 변형률계를 먼저 부착한 경우에는 철근 조립 시 변형률계가 손상되지 않도록 주의
- 콘크리트 타설 시에는 미리 설치된 변형률계의 리드선이 손상되거나 단선될 수 있으므로, 리드선을 철근의 아래쪽을 따라 지나도록 배치하고 중간 중간 결속선(cable tie)으로 철근과 묶어주어 처지지 않도록 주의



a) 이동단 지점



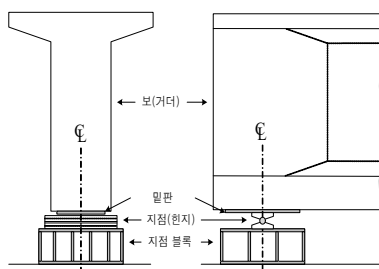
b) 회전단 지점

그림. 지점 설치 방법(예시)

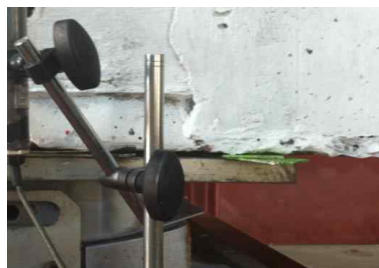
- 이동단 지점은 실험 시 부재의 휨 변형에 의해서 지점이 부재의 축방

향으로 변형을 일으키게 되므로, 부재 축방향 변형을 구속하지 않도록 충분히 여유 있는 것을 사용해야 한다. 또한 부재의 휨 변형으로 발생하는 단부의 회전에 대해서도 구속이 발생하지 않도록 충분한 회전량을 갖추었는지 확인 필요함

- 자문 위원(B) 휨 실험에서의 지지 조건에 따라 실험 결과에 큰 영향을 주므로 지지조건에 대한 검토 필요
 - 실제로 설치되는 경계조건을 고려하여 지지조건 결정
 - 교량구조물의 실험대형 거더 실험의 경우에는 실제 교좌장치(받침)를 지점으로 사용하는 경우가 많다. 이러한 경우에는 교좌장치 종류에 따라 실험결과가 달라질 수 있기 때문에 이를 주의하여 반드시 명시하는 것이 필요함
 - 봉형 지점위에 실험체를 설치할 경우에는 지점과 접하는 실험체의 하부면에 밀판(솔 플레이트, sole plate)과 같은 강판을 미리 설치하여 하중 재하시 반력에 의해 실험체가 손상되지 않도록 주의
 - 지점의 상부면과 실험체가 맞닿는 면이 완전 밀착이 되었는지 확인하고 틈새가 있다면 적당히 얇은 필러(filler)철판 또는 석고 등을 이용하여 공극을 매워주고 수평 상태가 되도록 하여야 함



a) 지점설치 예시



b) 지점부 공극 충전

(철판 삽입)



b) 지점부 공극 충전

(석고 설치)

그림. 지점부 설치

- 휨 변형이 발생하면 실험체 지점부의 중립축을 기준으로 롤러가 회전하게 되는데, 이때 실험체의 중립축과 롤러 회전 중심축이 일치하지

않으면 지점부의 지지조건에 문제가 발생할 수 있으므로, 실험 전에 검토를 통하여 실험체의 회전반경에 맞는 지점장치의 사용이 필요

- 자문 위원(C) 강하중재하 시 실험 수행자는 성공적인 실험수행과 돌발 상황에 대한 즉각적인 대응을 위해 하중 재하단계별 거동 형태를 미리 예측
 - 실험 초기에 실험체가 탄성범위에서 손상이 없을 정도의 아주 미소한 하중(P_{cr} 의 10% 이내)을 가했다 제거하고 영점(zero)에서부터 재하실험을 시작
 - : 지점부와 하중 재하판의 접촉면이 모두 균등하게 접촉되는지를 확인, 중요한 센서들의 응답 여부 확인
 - 중량이 큰 실험체와 극한하중까지 재하 시 급작스런 취성파괴가 예상되는 실험체의 경우에는 안전상 휨성능평가실험만을 수행하는 것이 좋음
 - 실험 중 실험체의 전도에 의해 안전사고가 발생하거나 변위계를 손상시킬 수 있으므로 반드시 안전보호(접근을 제한하는 펜스 또는 경계선을 설치, 실험체 하부에 블록을 설치)장치를 마련
 - 4점 휨 실험 및 3점 휨 실험에서 별도의 로딩프레임 설치가 필요(두 하중점은 일반적으로 양쪽 지점으로부터 지간의 1/3씩 떨어진 지점으로 한다. 단, 지간이 긴 거더의 경우에는 하중거리를 실험체 높이의 2배($2h$)보다 크고 지간거리의 1/3 보다 작은 범위 내에서 결정)

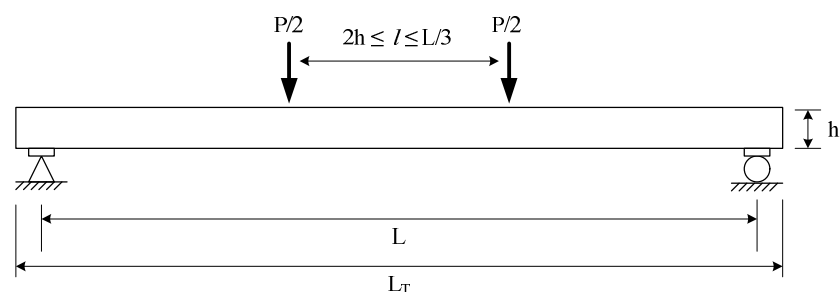


그림. 4점 휨 실험시 하중간격(예시)

- 실험체가 항복하게 되면 급작스런 취성파괴가 발생할 수 있으므로 안전을 위해 예상 항복하중의 약 70%까지는 하중으로 제어하고 그 이후에는 변위로 제어하는 것이 적절 할 것이라 생각됨

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(재료)
양준영	연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(구조)
박종운	교수	대구공업대학교	토목공학(토질)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	(주)스마텍엔지니어링
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0075) PHC피복 원형충전강관 합성말뚝 및 복합말뚝 내력시험
실험센터	첨단건설재료실험센터

2018. 12.

시험컨설팅 회의 개요

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : (주) 스마텍엔지니어링
- 시험명 : (18-CT-PJ-0075) PHC피복 원형충전강관 합성말뚝 및 복합말뚝 내력시험
- 컨설팅기간 : 2018년 12월 19일 ~ 12월 20일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 5명(의뢰기관 2명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 오성남 / 대표,
김용식 / 차장
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박찬동 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박종운 / 교수 / 대구공업대학교

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 09. 20.)	(2018. 11. 23. ~)	(2018. 12. 19. ~ 12. 20)

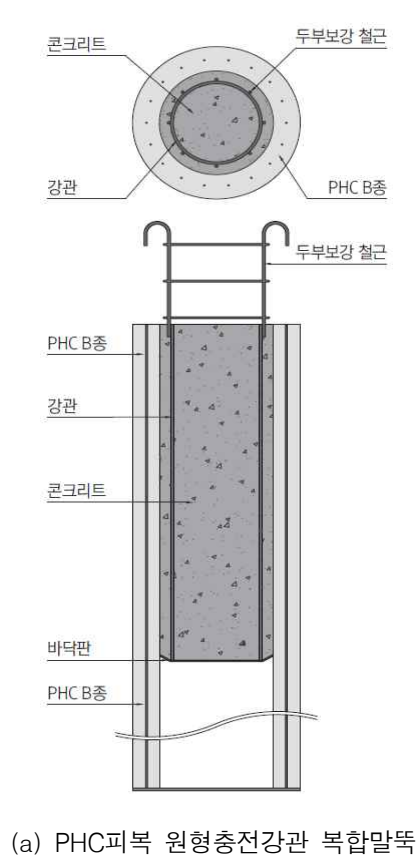
□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) PHC피복 원형충전강관 합성말뚝 및 복합말뚝 내력시험
- (시험 내용) PHC파일(원형충전강관 합성말뚝)의 압축 및 인장시험, 휨 및 전단시험 시험
- SC PHC 말뚝(SCD500-8), SC PHC 말뚝(SCD600-9), SC PHC 말뚝 두부보강 (SCD500,D600), PHC 말뚝D500 B종, PHC 말뚝D600 B종
- (시험 계획)
 1. SC PHC 말뚝(SCD500-8) / 콘크리트+강관말뚝 / D500-5m / 2.7ton / 2분
 2. SC PHC 말뚝(SCD600-9) / 콘크리트+강관말뚝 / D600-5m / 4.0ton / 2분
 3. SC PHC 말뚝 두부보강 (SCD500) / 콘크리트+철근 / 1.5x1.5x1/ 5.0ton / 1개
 4. SC PHC 말뚝 두부보강 (SCD600) / 콘크리트+철근 / 1.5x1.5x1/ 5.0ton / 1개
 5. PHC 말뚝D500 B종 / 콘크리트 / D500-5M/ 1.4ton / 1분
 6. PHC 말뚝D600 B종 / 콘크리트 / D600-5M/ 1.9ton / 1분

□ 자문 요청사항

- PHC피복 원형충전강관 합성말뚝 및 복합말뚝의 성능평가를 위한 시험 방법 제안
 - 지그 상세 및 하중재하/측정방법 등 모색
- 시험체 세팅 및 장비 상세 사양 검토



(a) PHC말뚝



(b) 강관삽입



(c) PHC파이프 원형충전강관
합성말뚝

□ 주요 컨설팅 내용

○ 시험 방법

- PHC파일(원형충전강관 합성말뚝)의 압축 및 인장시험, 휨 및 전단시험 (의뢰자 제시)

○ 자문 위원(A)

- PHC파일(원형충전강관 합성말뚝)의 압축 및 인장시험, 휨 및 전단시험의 시험방법과 기준강도 검토
- 휨 및 전단시험의 허용강도는 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝) 표 1 참조
- 압축 및 인장시험의 경우 강재연결블럭은 PHC파일의 축방향 압축력 및 인장력 이상의 압축 및 인장강도를 필요로 함

표. 바깥지름:500mm, 길이:10m, A종 PHC파일의 허용 강도

KS F 4306			PHC파일 성능표
균열 휨 모멘트 (kN·m)	파괴휨 모멘트 (kN·m)	전단강도 (kN)	일반허용 축방향하중 (kN)
103.0	155.0	228.6	1,731

- 휨 및 전단시험의 방법은 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝) 9.1
휨 강도 시험 및 9.3 전단 강도 시험을 준용함

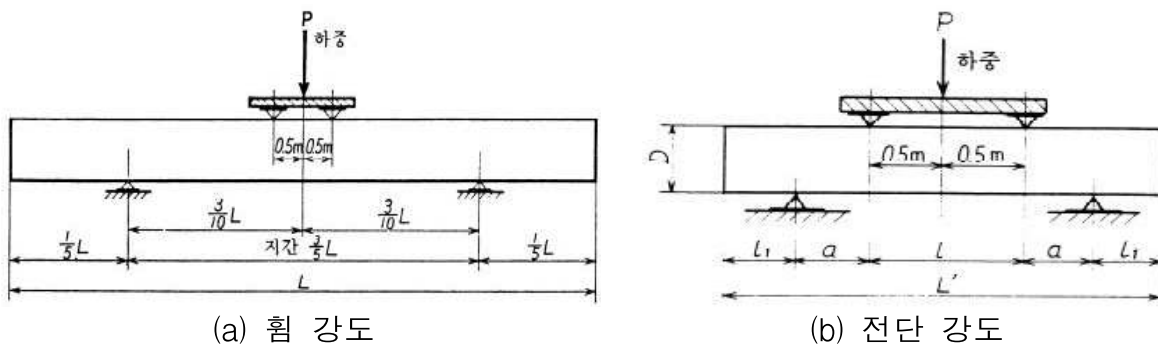


그림. 시험 방법

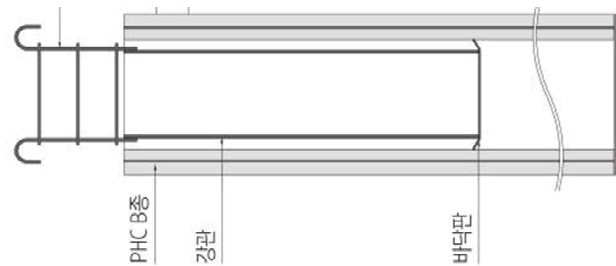
- PHC파일의 압축 시험은 별도의 지그를 필요로 하지 않아 시험편을 시험기에 거
치 후 즉시 시험이 가능하지만, 인장 시험의 경우 별도의 지그를 제작이 요구되어
인장시험을 위한 추가적인 검토 필요

○ 자문 위원(B)

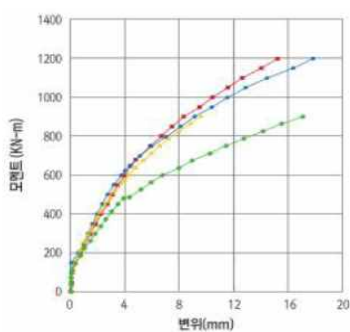
- PHC파일의 강도 시험

- 휨강도 시험은 수평하중에 의한 균열 휨Moment, 파괴 휨Moment를 검토하는 것으로
재하 방법에는 2점지지 단순지간의 중앙점 1점 또는 2점에 하중을 가하는 방법과 1점
말단에 지지하고 선단에 하중을 가하는 방법이 있음. 전자의 방법이 보다 정확한 결과
를 얻을 수 있기 때문에 가장 많이 사용되고 있음

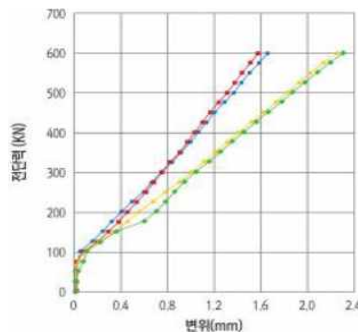
- 말뚝의 축력 휨강도 시험은 긴장재를 말뚝의 중공부에 관입시켜 축방향 압력을 가하는 방법을 사용하며, 축력이 증가하면 말뚝의 Prestress가 증가하고 응력-변형곡선의 직선부가 길게 나타나고 축력이 작용한 경우에도 연결부의 성능저하는 보이지 않으며 단순휨강도 시험과 동일한 경향을 보임
- 실측치와 계산치가 비교적 일치하고 가끔 계산치를 상회하는 경우도 있음



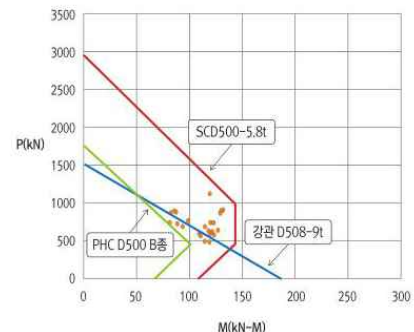
- SC 복합 PHC파일은 합성효과로 휨강성 및 전단강성 커서 내력이 높게 평가 될 것으로 예상되므로 시험체의 특성을 고려한 하중재하 단계에 대한 검토가 필요함



모멘트-변위 곡선



전단력-변위 곡선



SC PHC 말뚝의 RM상관도

○ 자문 위원(C)

- 하중재하 시 실험 수행자는 성공적인 실험수행과 돌발 상황에 대한 즉각적인 대응을 위해 하중 재하단계별 거동 형태를 미리 예측

- PHC말뚝의 거동

- 말뚝내력은 일반적으로 중심축압내력 또는 순 휨균열 모멘트 및 순 휨파괴 모멘트로 평가되지만, 실제 시공에서는 축 방향력 및 휨 모멘트를 동시에 받음
- 따라서 휨과 축압의 조합을 곡선으로 표시한 상관곡선으로 말뚝의 역학적 내력을 평가하는 것이 바람직하며 축력이 커지면 휨모멘트는 감소하므로 축방향하중 작용 시 파괴에 대한 내력은 PHC말뚝이 더 크게 됨.

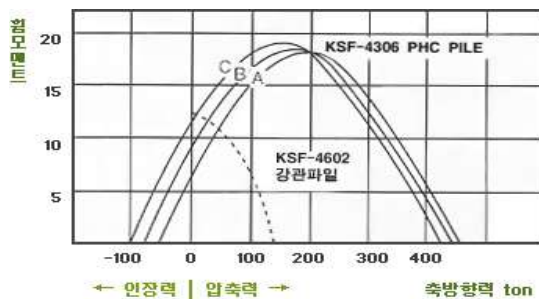


그림. 휨모멘트와 축방향력의 관계(정현호, 2004)

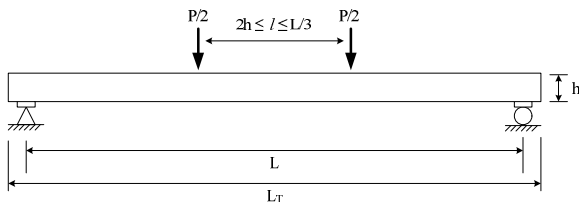


그림. 실험시 하중간격(예시)

- 실험체가 항복하게 되면 급작스런 취성파괴가 발생할 수 있으므로 안전을 위해 예상 항복하중의 약 70%까지는 하중으로 제어하고 그 이후에는 변위로 제어하는 것이 좋을 것으로 생각됨
- 프리스트레스 핀 접합 구조물 중 하나인 텐세그리티(tensegrity) 시스템은 안정 상태를 위해 압축력 혹은 인장력을 가하게 되며, 이러한 프리스트레스는 구조물의 강성을 증가시켜 더욱 안전하고 경제적인 구조물을 구성할 수 있을 것으로 판단됨

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(재료)
박찬동	연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(구조)
박종윤	교수	대구공업대학교	토목공학(지반)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	코스피(주)
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0087) 텐세그리티 정적실험
실험센터	첨단건설재료실험센터

2018. 12.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 코스피(주)
- 시험명 : (18-CT-PJ-0087) 텐세그리티 정적실험
- 컨설팅기간 : 2018년 12월 20일 ~ 12월 21일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 5명(의뢰기관 2명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 정진우 / 이사,
이승혜 / 조교수(세종대학교)
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박찬동 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
김태훈 / 대표 / 엔케이테스트

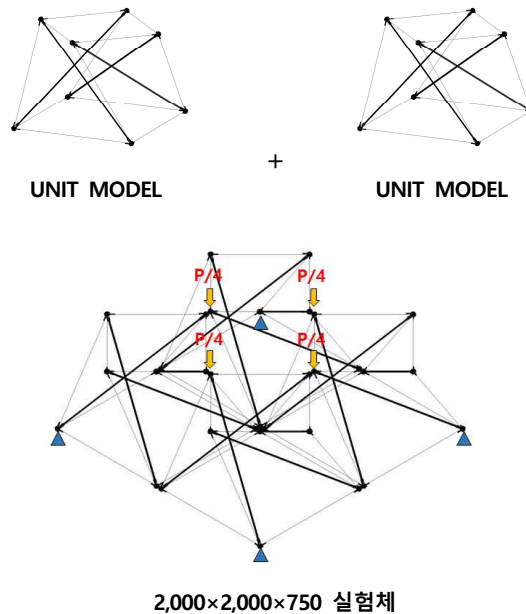
□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 11. 16.)	(2018. 11. 23. ~)	(2018. 12. 20. ~ 12. 21)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 텐세그리티의 정적하중 특성 분석
- (시험 내용) 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 철근콘크리트 혹은 철골 구조시스템과 텐세그리틀 구조의 설계 및 시공에 대한 차이점 분석
- 다양한 모듈과 형상에 대한 설계 및 시공 가능성 분석
- 텐세그리트의 가장 기본 모듈에 대한 설계 및 거동평가
- (시험 계획) 1,000×1,000×750 단위모듈 연결하여 구조물형성 및 실험체의 구조 성능 평가
- 텐세그리트의 각 구성 요소재료에 대한 압축 및 인장 성능평가



□ 자문 요청사항

- 한중재하 지그 상세 및 하중재하/측정방법 등 모색
- 시험체 세팅 및 장비 상세 사양 검토

□ 주요 컨설팅 내용

○ 시험 방법

- 텐세그리티의 정적하중 특성 분석(의뢰자 제시)
- 구성 요소재료에 대한 압축 및 인장시험(의뢰자 제시)

○ 자문 위원(A)

- 하중재하 지그 상세 및 하중재하/측정방법 제안
 - 텐세그리티의 상부 4개 지점에 대한 동시 가력 방안 제시
 - 5MN 대형부재시험기의 압축재하 지그의 면적은 2,700mm×2,700mm로 텐세그리티의 4개 지점을 동시 가력이 가능함

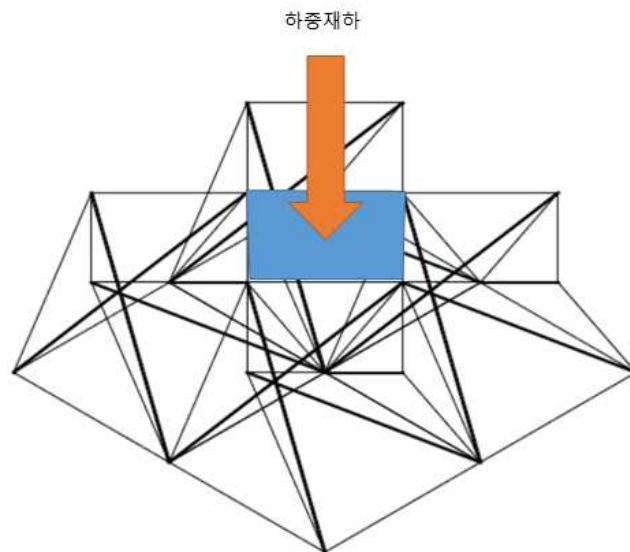


그림. 파일의 연결공법

- 텐세그리티의 예상 파괴 최대하중이 20kN 미만으로 예상되므로 5MN 대형부재시험의 하중레인을 최소인 100kN으로 설정하여 진행
- 텐세그리티의 예상 파괴 최대변위가 약 100mm로 예상되므로 초기에는 2mm/min의 변위재하속도로 진행하며, 항복 후 10mm/min로 변위재하속도를 증가시켜 진행하고 제안함
- 구조물이 최대 고유진동수를 갖는 상태에서 최대 강성을 얻을 수 있는 조건에 기반한 최적의 자기응력 값을 얻어내는 알고리즘 도출

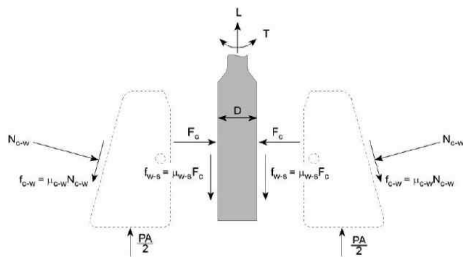
- 구조물의 접선강성행렬(tangent stiffness matrix)과 밀도행렬을 결합한 비 감쇠 자유 진동(undamped free vibration) 식을 고유 값 문제(eigen value problem)로 풀어 고유진동수를 도출

○ 자문 위원(B)

- 케이블의 인장강도 시험

- 텐세그리티의 케이블의 직접 인장시험 방법 제안
- 지름 2mm 크기의 인장 와이어 케이블의 인장 원형 그림 지그 필요
→ 원형 그림 지그 6.4mm 이하 불가능하여 평판 그림지그로 인장시험 실시
- 와이어 시편 그림부를 보장하지 않아 최소 그림 압력 계산 필요

$$\rightarrow \frac{12 \text{ L kN}}{A \text{ cm}^2} = \frac{12 \times 20}{80.75} = 2.97 \text{ MPa}$$



(a) 그림 압력(F_0)

For fatigue testing:	For monotonic testing:
$P \text{ psi} = \frac{1.2 \text{ L lbf}}{A \text{ in}^2}$	$P \text{ psi} = \frac{1.04 \text{ L lbf}}{A \text{ in}^2}$
$P \text{ MPa} = \frac{12 \text{ L kN}}{A \text{ cm}^2}$	$P \text{ MPa} = \frac{10.4 \text{ L kN}}{A \text{ cm}^2}$

(b) 계산식

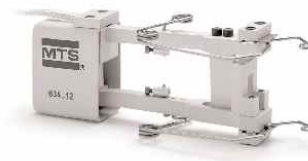
그림. 그림 압력 계산

- 케이블의 변형률 측정

- 케이블의 탄성계수 산출을 위한 변형률 측정 방법 제안
- 변형률 측정 방법은 스트레인게이지, 신율계(Extensometer), 시편길이에 대한 변형량에 의한 방법 등 3가지가 있음
→ 스트레인게이지와 신율계에 의한 방법은 케이블 지름이 2mm로 너무 작아 측정이 불가능하여 시편길이에 대한 변형값으로 변형률을 측정하는 것으로 제안함.



(a) 스트레인게이지



(b) 신율계(Extensometer)
그림. 변형률 측정 방법

$$\epsilon(\%) = \frac{l_i - l_0}{l_0} \times 100$$

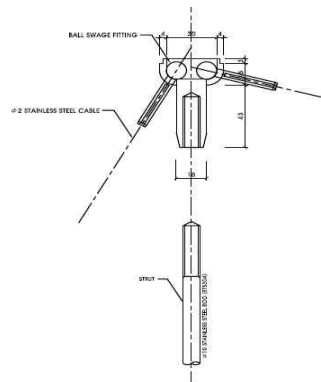
(c) 시편길이에 대한 변형량

- 자문 위원(C)
- 하중재하 지그 상세 및 하중재하/측정방법 제안
 - 텐세그리티의 중앙부 처짐으로 인한 바닥판 간섭문제 해결 필요
 - 4개의 반력지점에 300mm 높이의 반력 블록 설치 제안



그림. 시험체 세팅 전경

- STRUT($\varnothing 12\text{mm}$)에 대한 압축좌굴 시험 제안



(a) STRUT($\varnothing 12\text{mm}$) 구성



(b) 압축좌굴 시험(예)

그림. STRUT($\varnothing 12\text{mm}$)의 압축 좌굴시험

- 프리스트레스 핀 접합 구조물 중 하나인 텐세그리티(tensegrity) 시스템은 안정 상태를 위해 압축력 혹은 인장력을 가하게 되며, 이러한 프리스트레스는 구조물의 강성을 증가시켜 더욱 안전하고 경제적인 구조물을 구성할 수 있을 것으로 판단됨

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(재료)
박찬동	연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(구조)
김태훈	대표	엔케이테스트	금속공학(재료)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	(주)한필ENG
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0078) 700MPa급 고강도철근의 겹침이음 휨 성능시험
실험센터	첨단건설재료실험센터

2018. 10.

시험컨설팅 회의 개요

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : (주)한필ENG
- 시험명 : (18-CT-PJ-0078) 700MPa급 고강도철근의 겹침이음 휨 성능시험
- 컨설팅기간 : 2018년 10월 23일 ~ 10월 24일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 4명(의뢰기관 1명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 이태왕 / 사장,
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박찬동 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
오동석 / 선임연구원 / 한국건설생활환경시험연구원

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 10. 12.)	(2018. 10. 15. ~)	(2018. 10. 23. ~ 10. 24)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 현행 겹침이음 길이를 계산하는 설계기준 식을 700MPa 이상의 고강도철근의 적용을 위한 실험적 연구
- 고강도 철근을 이용한 겹침이음 길이 산정식 도출
- (시험 내용) 700MPa급 고강도 철근을 활용한 겹침이음 보의 휨 강도 측정
- (시험 계획) 고강도 철근을 이용하여 현행 설계식 적용을 목적으로 하고 있으며, 보의 중앙부에 순수 휨이 발생하도록 4점 재하를 실시하였으며, 하중 재하에 의한 전단력의 영향을 배제하기 위해 가력점 사이의 거리는 겹침이음길이보다 600mm 이상 길게 하여 휨시험 적용
- 휨 시험
 - * 시편1 : D13 비횡구속 SD700 겹침이음 (300, 380, 460)
 - * 시편2 : D19 비횡구속 SD700 겹침이음 (400, 500, 600)
 - * 시편3 : D19 횡구속 SD700 겹침이음 (300, 400)
 - * 시편5 : D25 비횡구속 SD700 겹침이음 (600, 700, 800, 900)
 - * 시편5 : D25 비횡구속 SD700 겹침이음 (500, 600)

□ 자문 요청사항

- 휨 및 전단시험을 위한 설비
- SD700 철근의 겹침 이음에 대한 현행 설계기준의 적용성 평가 방법 및 기준 검토

□ 주요 컨설팅 내용

- 시험 방법 : 휨 시험(의뢰자 제시)
- 자문 위원(A) SD700 철근의 겹침 이음에 대한 현행 설계기준의 적용성 평가 방법 및 기준
 - 기존의 보통 강도 철근에 대한 설계기준의 적용성 평가에서는 ACI Committee 408의 방대한 실험 자료를 통계적으로 분석하는 방법으로 사용되었으며, 겹침 이음 철근의 설계기준 항복 강도와 관계없이 모든 실험 자료의 발현 응력 대 예측 응력 비($f_{s,test}/f_{s,cal} = U_{s,test}/U_{s,cal}$)의 분포를 분석하고 적절한 수준의 강도 감소 계수 ϕ 결정이 필요함

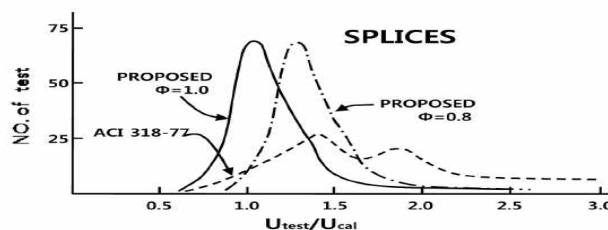


Fig.1 Developed/calculated average bond stress ratios
reported in ACI 408R-79

- ACI 408R-79에 따르면 현행 설계기준은 Fig.1과 같이 $\phi = 0.8$ 이 식 자체에 적용된 형태이며, 이 값은 발현 응력 대 예측 응력의 비가 평균적으로 1.25이고 대부분 1 이상이 되도록 규정하고, 분석 결과는 저강도를 포함하는 모든 응력 범위에 대한 자료로서 실제 철근 응력이 증가할수록 안전율은 저하되는 문제점을 가지고 있음.(Fig.1에 나타난 바와 같이 일부 실험체에 대해서는 안전측이 아님)
- 고강도 철근에 대한 제한된 실험체 수의 결과를 가지고 현행 설계기준의 적용성을 평가해야 하기 때문에 통계적 방법보다는 각 개별 실험체에 대하여 철근의 설계기준 항복 강도 이상에서 발현 응력 대 예측 응력비가 1 이상 ($f_{s,test}/f_{s,cal} \geq 1.0$)일 때 안전한 것으로 보임
- 자문 위원(B) 700MPa 고강도철근의 겹침이음 휨 및 보 정착 실험 시험방법 검토
 - 하부 처짐 확인을 위한 변위계 설치 위치 검토 필요

- 부재 파괴에 의한 변위계 손상우려로 인한 적절한 변위계 종류 선정이 필요함

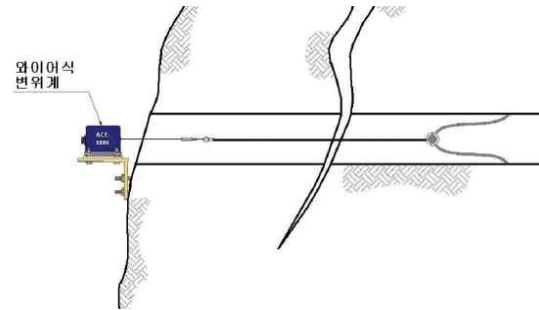
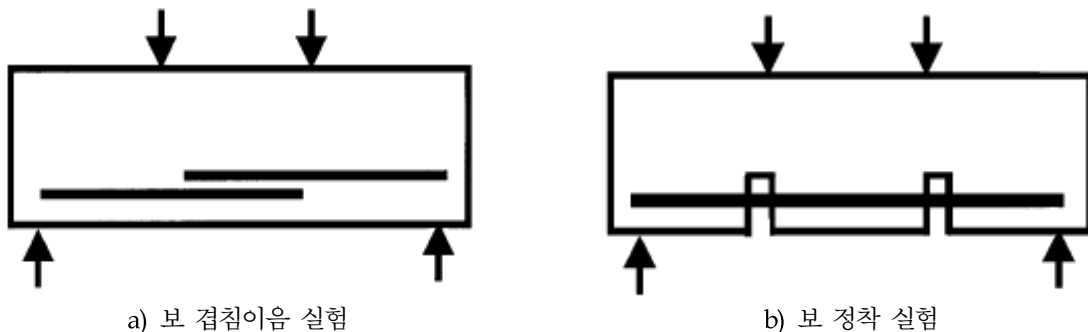


그림. 와이어식 변위계

- 하중 재하 위치는 이음 성능에 영향이 발생하지 않는 재하위치 검토 필요
- 보의 중앙부에 순수 휨이 발생하도록 재하방법 및 재하속도의 검토가 필요함.
- 부착응력은 균열의 위치에 따라서 달라질 수 있으며 균열 위치에 따라 다르게 예측되는 부착응력의 영향을 배제시키기 위한 고려가 필요함.



a) 보 겹침이음 실험

b) 보 정착 실험

ACI Committee 408, 2003

○ 자문 위원(C) 현행 설계기준을 만족하도록 실제 겹침 이음 길이의 검토

- 현행 설계기준에서 A급 이음은 $1.0l_d$ (l_d = 기본량 설계), B급 이음은 $1.3l_d$ 를 적용하도록 규정하고 있음

$$l_d = \frac{0.90d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \frac{\alpha \beta \gamma}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b} \right)}$$

- A급 이음은 (1) 배치된 철근량이 이음부 전체 구간에서 해석 결과 요구되는 소요 철근량의 2배 이상인 경우, (2) 소요 겹침 이음 길이 내 겹침 이음된 철근량이 전체 철근량의 1/2 이하인 경우, 다음의 조건을 모두 만족하는 경우에 해당됨
- B급 이음은 A급 이음에 해당되지 않는 경우에 해당됨
- A급 이음에는 제한이 많기 때문에 일반적으로 시공성을 확보를 위하여 B급 이

음이 사용되며, 주철근을 같은 위치에 이음하고, 겹침 이음 구간의 파괴가 발생할 때 까지 휨모멘트를 작용시키기 때문에 B급 이음을 실시 하여야 한다고 판단됨

- 현행 설계기준은 이음 길이가 길어지고 철근의 발현 응력이 커질수록 안전율이 낮아지는 경향이 있음. 따라서 이 SD700 철근에 대한 정확한 적용성 평가를 위하여 현행설계 기준의 B급 이음길이 $1.3l_d$ 를 만족하는 실제 크기의 실험체를 적용 검토가 필요함

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(재료)
박찬동	연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(구조)
오동석	선임연구원	한국건설생활환경시험연구원	건축공학(재료)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	(주)한필ENG
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0079) 700MPa급 고강도철근의 압축부재 성능시험
실험센터	첨단건설재료시험센터

2018. 11.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : (주)한필ENG
- 시험명 : (18-CT-PJ-0079) 700MPa급 고강도철근의 압축부재 성능시험
- 컨설팅기간 : 2018년 11월 05일 ~ 11월 06일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 4명(의뢰기관 1명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 이태왕 / 대표,
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박찬동 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
김태훈 / 대표 / NK테스트

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 10. 12.)	(2018. 10. 20. ~)	(2018. 11. 05. ~ 11. 06)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 기존 철근콘크리트 압축부재의 횡방향철근에 대한 설계기준은 보통강도 철근을 대상으로 정립되어 있다. 현재 압축부재의 횡방향철근에 대한 설계기준을 고강도 철근에 적용하기 위한 성능 검증
- 700MPa 고강도 철근을 이용한 기존 설계기준의 적용
- (시험 내용) 700MPa급 고강도 철근을 활용한 압축부재 압축시험
- (시험 계획) 고강도 철근을 이용하여 현행 설계식 적용을 목적으로 하고 있으며, 700MPa 이상의 고강도철근이 적용된 철근콘크리트 압축부재가 극한 상태에 도달하여 파괴될 때 철근의 항복 여부 확인하기 위해서 변위 제어 방식으로 분당 1 mm/min 속도로 시험을 실시
- 압축 시험

□ 자문 요청사항

- 고강도 철근의 압축부재의 적용성 검토
- 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계의 검토

□ 주요 컨설팅 내용

- 시험 방법
 - 압축 시험(의뢰자 제시)
- 자문 위원 (A) 700MPa급 고강도철근의 압축 및 휨부재 적용성 검토
 - 휨설계에서는 압축 균형, 인장파괴를 철근의 응력-변형률 곡선과 연계하여 부재의 연성 능력을 확보하고 있음.
 - 휨설계 시 구조체의 파괴모드와 인장파괴 유도, 압축파괴 억제, 인장연단 부근 철근의 변형률이 일정한 값 이상이 되어야 하며 감도 계수의 변호 가능성 검토가 필요함.
 - 휨압축설계에서는 압축연단 콘크리트의 변형률이 설계 최대변형률에 도달했을

때 철근의 항복 여부검토 필요.

- 횡보강철근으로 사용할 때 횡구속철근의 간격이 증대함에 따라 국부 좌굴 가능성 및 구속효과 감소에 대한 검토가 필요함.

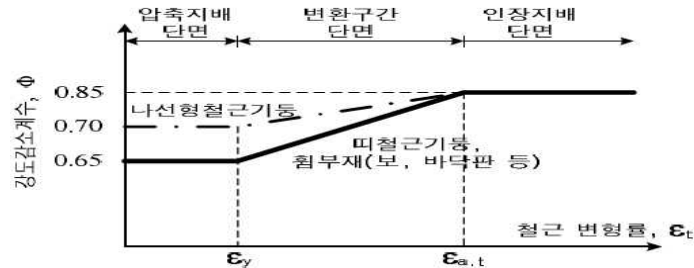


그림 1. 철근의 변형률과 강도저감계수의 관계

- 철근콘크리트 구조에서 고강도 철근을 사용하였을 경우 구조체의 균열 폭 증대 및 처짐이 증대할 가능성이 높으므로 철근의 피로저항 성능에 대한 검토 필요
- 고강도 철근을 사용할 경우 보통강도 철근과 비교해보면 휨하중을 저항하기 위한 고강도 철근의 단면적은 감소 할수 있지만, 철근의 겹침이음길이 및 정착 길이가 증대할수 있음.
- 내력 증가에 따른 철근의 단면 감소와 겹침이음길이 및 정착길이에 대한 고강도 철근의 증가를 상호 비교 경제성 평가가 필요함.
- 자문 위원 (B) 700MPa급 고강도 철근의 횡방향 철근의 적용성 검토
 - 고강도 철근을 사용하면 보통강도 철근보다 철근의 물량이적게 사용되기 때문에 철근의 순각겨 여유가 확보되며 콘크리트의 타설 작업이 용이할 것으로 판단됨.
 - 콘크리트 구조설계 기준 및 도로교 설계기준의 검토

구분		콘크리트구조 설계기준 (MPa)	도로교 설계기준 (MPa)	철도교 설계기준	수처리구조물 설계기준
수평부재 (빔부재)	축방향 철근, 주철근	550	400	철도교의 특별사항에 대한 규정외에는 기본적으로 도로교설계 기준의 내용을 준용함	수처리구조물 의 특별사항에 대한 규정 외에는 기본적으로 콘크리트구조 설계기준의 내용을 준용함
수직부재 (기둥 등)	축방향 철근, 주철근	550	400		

표 1. 콘크리트 구조설계기준

- 횡방향 구속철근으로 적용시 횡방향구속철근의 항복강도 제한규정의 검토

현행 설계기준의 횡방향보강철근 항복강도 제한 규정	
(1) 띠철근	550 MPa
(2) 나선형 철근	700 MPa

표 2. 현행 설계기준의 횡방향 보강철근 항복강도 제한

- 현행 구조설계기준의 철근의 항복강도 제한 값은 보통강도의 철근과 콘크리트에
기준하여 설정되어있는 실정이며, 각 나라별 항복강도의 제한 값의 기준이 다르
다. 실제 구조물에 고강도 철근을 적용하였을 경우 추가적인 검토 필요
- 자문 위원 (C) 횡방향으로 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계의 검토
- 횡방향 철근으로 구속된 휨부재는 횡구속 효과를 고려한 응력-변형률 관계를 사용
하여 휨강도와 변형 성능을 검증할 수 있음.
- 별도로 조사된 상세한 자료가 없는 경우, 콘크리트의 압축강도와 변형률이 증가
된 포물선-직선 형상의 응력-변형률 관계를 사용 할수 있음.

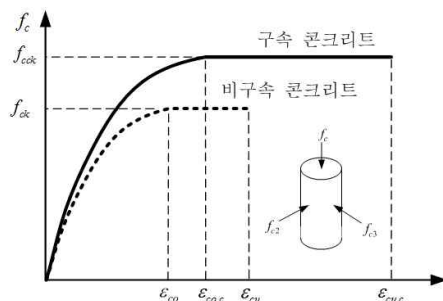


그림 1. 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계

$$f_{cck} = f_{ck} + 3.7f_{c2}$$

$$\varepsilon_{co,c} = \varepsilon_{co} (f_{cck}/f_{ck})^2$$

$$\varepsilon_{cu,c} = \varepsilon_{cu} + 0.2f_{c2}/f_{ck}$$

- 원형후프, 나선철근으로 횡구속된 횡방향 유효 압축응력 및 사각형 띠철근으로 횡구속된 횡방향 유효 압축응력 검토 필요

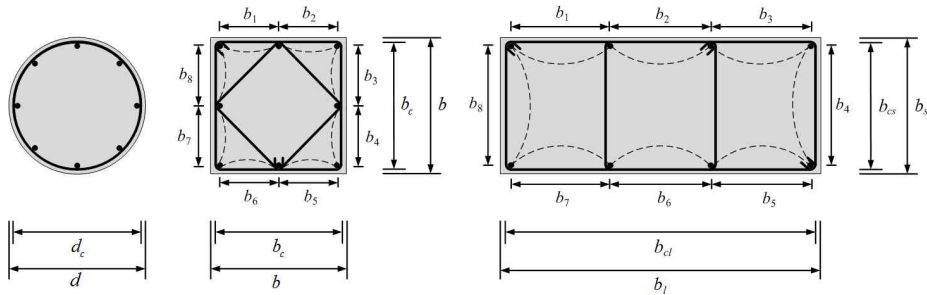


그림 128 횡구속된 압축부재

$$f_{c2} = \frac{1}{2} \rho_s f_{yh} \left(1 - \frac{s}{d_s}\right) = \frac{2 A_{sp} f_{yh}}{s d_c} \left(1 - \frac{s}{d_c}\right)$$

원형후프, 나선철근

$$f_{c2} = \rho_{r \min} f_{yh} \left(1 - \frac{s}{b_{cl}}\right) \left(1 - \frac{s}{b_{cs}}\right) \left(1 - \frac{\Sigma b_i^2 / 6}{b_{cl} b_{cs}}\right)$$

사각형 띠철근

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(재료)
박찬동	연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(구조)
김태훈	대표	NK테스트	건축공학(재료)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	케이투건설(주)
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0097) PHC 파일 휨강도 및 전단력 테스트
실험센터	첨단건설재료실험센터

2019. 01.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 케이투건설(주)
- 시험명 : (18-CT-PJ-0097) phc 파일 휨강도 및 전단력 테스트
- 컨설팅기간 : 2019년 01월 07일 ~ 01월 08일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 5명(의뢰기관 2명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 노영호 / 사장
전용성 / 과장
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박찬동 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박종운 / 교수 / 대구공업대학교

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 12. 21.)	(2018. 12. 26. ~)	(2019. 01. 07. ~ 01. 08)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) 기존 흙막이 벽체 가시설용으로 적용되고 있는 PHC말뚝이 연약지반 구간에 시공함에 있어 횡방향 토압에 휘약함이 있어 내부를 콘크리트 속채움으로 보강하여 굴착심도가 깊은 구간 및 연약지반 구간, 지하수위가 높은 구간에 PHC말뚝의 강성을 증대시켜 흙막이 벽체 로써의 활용성을 적용하기 위한 시험
- (시험 내용) PHC파일 내부를 콘크리트를 채운 PHC파일의 휨 및 전단 강도 시험
- (시험 계획) PHC파일 내부를 무근 콘크리트를 채우는 경우, 철근망을 삽입하여 콘크리트를 채우는 경우, 직관을 삽입하여 콘크리트로 채우는 경우에 따라 각각 휨 및 전단성능을 확인하기 위해서 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝)에 준하여 시험을 실시
- 휨 시험
 - * 시편1 : 직경 500mm PHC파일 내부를 무근 콘크리트로 충전한 파일
 - * 시편2 : 직경 500mm PHC파일 내부를 철근망을 삽입하여 콘크리트로 충전한 파일
 - * 시편3 : 직경 500mm PHC파일 내부를 직관을 삽입하여 콘크리트로 충전한 파일
- 전단 시험
 - * 시편1 : 직경 500mm PHC파일 내부를 무근 콘크리트로 충전한 파일
 - * 시편2 : 직경 500mm PHC파일 내부를 철근망을 삽입하여 콘크리트로 충전한 파일
 - * 시편3 : 직경 500mm PHC파일 내부를 직관을 삽입하여 콘크리트로 충전한 파일

□ 자문 요청사항

- 휨 및 전단시험을 위한 설비

- 현행 PHC파일의 품질규정에 대한 검토
- PHC파일의 구조적 고려사항

□ 주요 컨설팅 내용

- 시험 방법
 - 휨 및 전단시험(KS F 4306 준용)
- 자문 위원(A) PHC파일의 품질규정은 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝)
 - 콘크리트 압축강도 : $78.5 \text{ N/mm}^2 (800 \text{ kg/cm}^2)$ 이상
 - 겉모양 : 사용상 해로운 흠, 균열 등의 결점이 없어야 함
 - 몸체의 휨강도 : 균열휨강도와 파괴휨강도로 규정되어 있으며, 기준값 이상
 - 몸체의 축력휨강도 : 말뚝의 축력을 가한 상태로 휨강도 시험을 시행하여 균열휨강도와 파괴휨강도가 규정값 이상이어야 함
 - 몸체의 전단강도 : 규정된 전단강도 기준 값 이상이어야 함
 - 이음부의 휨강도 : 용접 이음부의 휨강도는 규정된 몸체의 휨강도 중 파괴휨강도와 같거나 그 이상 이어야 함
- PHC파일(원형충전강관 합성말뚝)의 휨 및 전단시험, 압축 및 인장시험의 시험방법과 기준강도 검토
 - 휨 및 전단시험의 허용강도는 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝)에 준하여, 바깥지름:500mm, 길이:10m, A종 PHC파일일 경우에는 균열 휨 모멘트 103.0 kN·m, 파괴휨 모멘트 155.0 kN·m, 전단강도 228.6kN, 일반허용 축방향하중 1,731 kN을 기준으로 함
 - 휨 및 전단시험의 방법은 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝) 9.1 휨 강도 시험 및 9.3 전단 강도 시험을 준용함
- PHC파일의 강도 시험
 - 휨강도 시험은 수평하중에 의한 균열 휨Moment, 파괴 휨Moment를 검토하는 것으로 재하 방법에는 2점지지 단순지간의 중앙점 1점 또는 2점에 하중을 가하는 방법과 1점 말단에 지지하고 선단에 하중을 가하는 방법이 있습니다. 전자의 방법이 보다 정확한 결과를 얻을 수 있기 때문에 가장 많이 사용되고 있음
- 자문 위원(B) PHC파일의 휨 및 전단시험의 방법은 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력

고강도 콘크리트말뚝) 9.1 휨 강도 시험 및 9.3 전단 강도 시험을 준용함

- 말뚝의 축력 휨강도 시험은 긴장재를 말뚝의 중공부에 관입시켜 축방향 압력을 가하는 방법을 사용하며, 축력이 증가하면 말뚝의 Prestress가 증가하고 응력-변형곡선의 직선부가 길게 나타나고 축력이 작용한 경우에도 연결부의 성능저하는 보이지 않으며 단순휨 강도 시험과 동일한 경향을 보임

- 실측치와 계산치가 비교적 일치하고 가끔 계산치를 상회하는 경우도 있음

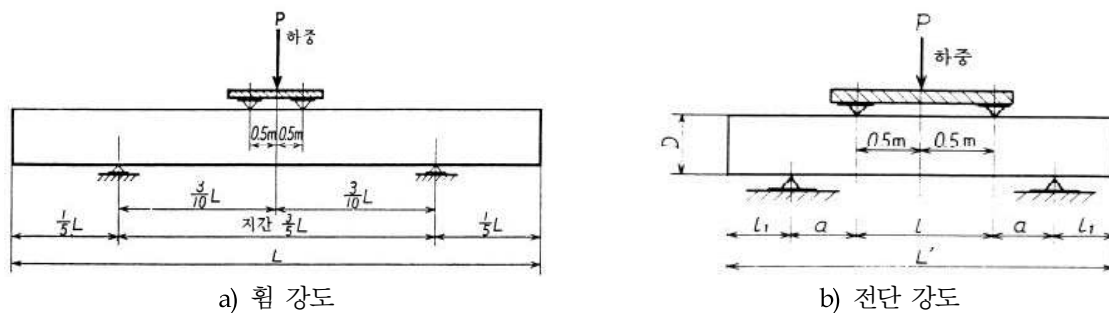


그림. 시험 방법

- 실험체가 항복하게 되면 급작스런 취성파괴가 발생할 수 있으므로 안전을 위해 예상 항복하중의 약 70%까지는 하중으로 제어하고 그 이후에는 변위로 제어하는 것이 좋을 것으로 생각됨
- 내부충전 콘크리트 타설 시 진동다짐기를 이용하는 것이 좋으며, 28일동안 기건양생을 실시하고 충전의 시공성을 향상시키기 위해서는 다음의 충전성 평가 항목을 선정하는 것이 좋을 것으로 생각됨.
 - 충전성 등의 시공성 향상을 위하여 콘크리트의 슬럼프는 최소 확보 높이 설정
 - 타설할 때 품질의 변동이 없어야 함
 - 재료 분리가 일어나지 않아야 함
- 자문 위원(C) PHC말뚝의 구조적 고려사항
 PHC말뚝은 프리텐션이 가해진 80MPa 이상의 고강도 콘크리트를 사용하여 다양하게 요구되는 성능을 만족시킨다.
 - 여러 가지 성능에 대한 PHC말뚝의 요구조건(변근주, 2004)

표. PHC말뚝의 요구조건(쌍용건설 기술연구소, 2004)

구분	요구조건
강 도	고강도 확보, 지지력 증대, 단면의 크기 감소, 타격 및 충격에 대한 저항력 증가, 지내력 증가
내구성	크리프 및 건조수축의 감소, 공극율 감소, 투수계수 감소, 확산계수 감소, 수밀성 증가, 염분침투 저항성 증가, 화학적 저항성 증가, 동결융해 저항성 증대, 탄산화 저항성 증가, 내마모성 증가, 박리 제어
사용성	Strain capacity 증가, 고탄성계수, 큰 변형율, 포아송비 증가, 작은 체적 변화를 확보
프리스트레싱	효율적인 부재의 저항력 증가 가능(압축력, 인장력, 휨, 비틀림, 전단) → 단면감소, 강성증가(변위감소), 균열제어, 충격저항증대

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(재료)
박찬동	연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(구조)
박종윤	교수	대구공업대학교	토목공학(토질)

국토교통 대형실험시설 중소기업 공동활용 지원 시험컨설팅회의 회의록

의뢰기관	대협테크
시험명	(PJT No.18-CT-PJ-0026) Floating floor system 하중시험
실험센터	첨단건설재료실험센터

2018. 11.

□ 컨설팅 개요

- 의뢰기관 : 대협테크
- 시험명 : (18-CT-PJ-0026) Floating floor system 하중시험
- 컨설팅기간 : 2018년 11월 12일 ~ 11월 14일
- 장소 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터, 대구
- 참석자 : 총 4명(의뢰기관 1명, 자문위원 3명)
 - (의뢰기관) 신민철 / 차장
 - (자문위원) 장석수 / 책임연구원 / 첨단건설재료실험센터,
양준영 / 연구원 / 첨단건설재료실험센터,
박종운 / 교수 / 대구공업대학교

□ 추진 절차

주 체	의뢰기관	주관 연구기관	주관연구기관 및 실험센터
추진 내용	시험 컨설팅 신청	▶ 전문가 섭외 및 컨설팅 계획 수립	▶ 내·외부 전문가 3인 구성 컨설팅 실시
일정	(2018. 5. 25.)	(2018. 6. 11. ~)	(2018. 11. 12. ~ 11. 14.)

□ 의뢰 기술 개요

○ 시험내용 및 계획

- (시험 목적) Floating floor system 하중 반복가력시험을 통한 성능평가
- Floating floor system에 집중·분포하중의 반복 가력 후 잔류 변형량 및 복원량의 측정을 통한 성능평가
- (시험 내용) 집중·분포 하중의 반복가력 시 Floating floor system의 복원량 및 잔류변형량 측정
- (시험 계획) Steel Deck, 압면층, Steel plate층, Visco-elastic(점탄성체)층 및 Deck covering(갑판 피복재)로 구성된 Floating floor system을 취약부로 판단되는 지점에 집중하중 및 분포하중을 반복가력 후 측정장치를 통해 잔류변형량 및 복원량 측정
- 반복가력시험
 - * 시편 : Steel Deck, 압면층, Steel plate층, Visco-elastic(점탄성체)층으로 구성되어 있으며, 최상부층은 Deck covering(갑판 피복재)로 되어있는 6개의 Floating floor system 제작

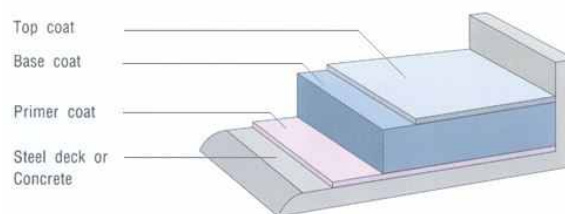


그림. Floating floor system의 구성

- * 시편 제원 : 가로 및 세로 약 2m
- * 반복하중 : 1.8, 2.5, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0, 25.0kN의 각 하중을 가력 후 하중 제거
- * 변형량 측정 : 취약부로 판단되는 Steel plate 연결부에서 100~150mm 떨어진 위치에 LVDT 또는 변형량 측정이 가능한 장치로 측정
- * 각 단계별 하중 가력 및 하중 제거, 10분 후 복원량 및 잔류 변형량 조사

□ 자문 요청사항

- Floating floor system 하중시험을 위한 시험 장치 및 방법
- Floating floor system에 집중·분포하중의 반복가력 후 잔류 변형량 및 복원량 측정 방법

□ 주요 컨설팅 내용

- 시험 방법
 - 반복가력 시험(의뢰자 제시)
- 자문 위원(A) Floating floor system의 성능평가 방법 검토
 - Floating floor system은 Steel Deck, 암면층, Steel plate층, Visco-elastic(점탄성체)층 등으로 구성된 복합체임

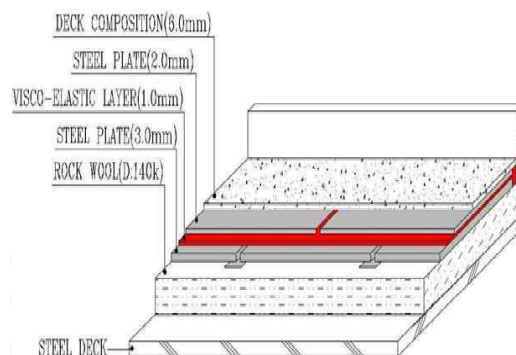


그림. Floating floor system의 구성

- 선박 및 해양 구조물의 바닥재로 사용되며 신축성 및 경량성이 우수함, 이에 따른 사용내구 및 내력파악이 필요
- Floating floor system에 상재될 예상 하중들을 고려하여 다양한 하중 조건에 대한 반복가력 시험이 필요하다고 판단됨
- 시험 시 Floating floor system의 취약부로 판단되는 상부 Steel plate 연결부에 집중 및 분포하중의 가력이 필요하다고 판단됨

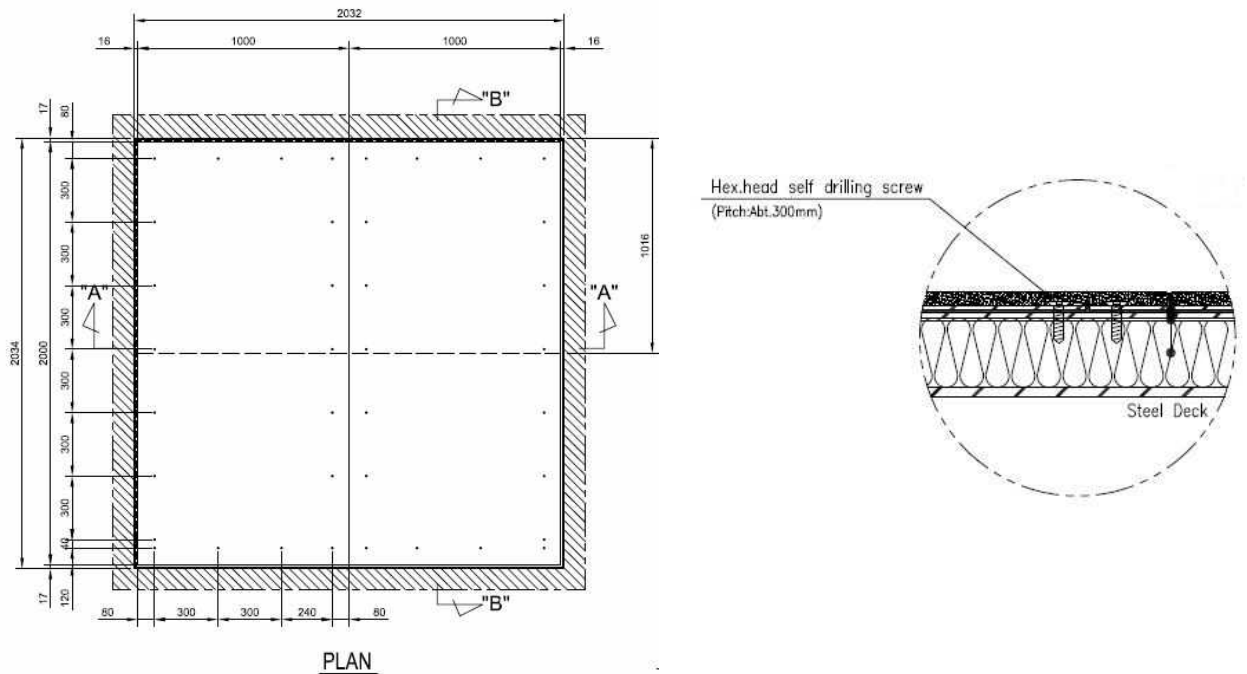


그림. Floating floor system의 평면도 및 취약부

- 취약부에 선정된 집중·분포하중 가력 및 제거 후 복원량 및 잔류변형량 측정을 위해 전자식변위계(LVDT) 설치 시, 하중재하 위치에서 일정거리를 이격시켜 간섭이 발생하지 않도록 설치 위치의 선정이 필요
- 자문 위원(B) Floating floor system의 반복가력시험을 위한 시험장치의 검토
 - Floating floor system의 시험편의 크기는 가로 2032mm, 세로 2034mm로 본 센터의 5MN 대형구조재료시험기의 Column to Column의 간격이 3000mm로 시험진행에 무리가 없다고 판단됨
 - 집중 및 분포하중의 최대하중은 25.0kN으로 5MN 대형구조재료시험기의 Force range를 100kN로 설정하여 반복가력시험이 가능
 - 집중 및 분포하중의 가력을 위해 직경 140mm의 원형 지그와 길이 750mm의 봉형 지그로 각 하중을 가력 가능



Capacity : 5MN

주요 Force range : 6steps(x1, x2, x5, x10, x20, x50)

사양 Main Size : 8200(H:Max)

Column to Column : 3000mm

및 힘 · 압축 시험높이 : 5000mm

Bending Span : 35000mm

특징 Actuator Stroke : 500mm

Frequency : 3Hz

그림. 5MN 대형구조재료시험기

- 하중, 변위, 전자식 변위계(LVDT)를 통한 복원량 및 잔류변형량 측정을 위해 Data Logger를 설치하여, 각 단계별 반복가력 시 연속적으로 데이터를 수집 가능
- 자문 위원(C) 집중 및 분포하중의 반복가력 후 복원량 및 잔류변형량 측정방법의 검토
 - Floating floor system 하중시험은 선정된 하중의 가력 및 제거 후 복원 및 잔류변형량 측정이 필요
 - 복원 및 잔류변형량 측정을 위해서 시험체 및 시험장비에 간섭이 발생하지 않도록 전자식변위계(LVDT)의 설치가 필요
 - LVDT는 30, 50, 100mm 용량이 있으며, 하중 가력 시 변형량을 고려하여 적절한 용량의 장치의 선정이 필요
 - 본 실험센터에서 보유하고 있는 지그들을 활용하여 LVDT를 측정하고자 하는 위치에 설치가 가능하나, 하중 재하 위치에 간섭이 발생하지 않도록 100~150mm 이격시킨 후 설치가 필요
 - LVDT의 정확한 설치 위치는 예시비험 또는 시험편의 세팅과정에서 검토 가능
 - Floating floor system은 복합체로 구성되어 하중가력 및 제거 후 충분한 복원시간을 필요 할 것으로 판단됨

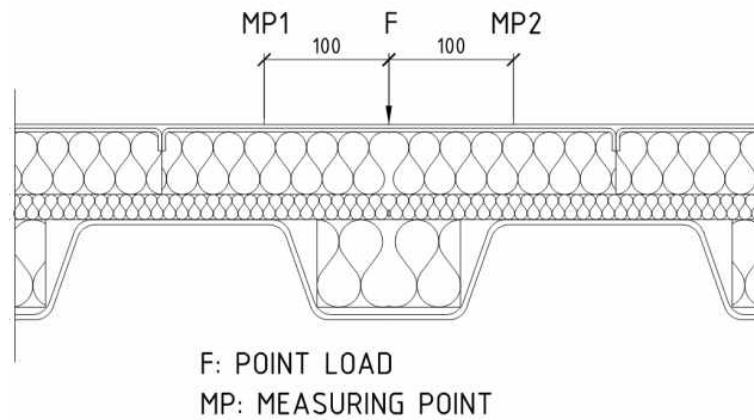


그림. 하중 재하 위치 및 LVDT측정 위치

- 하중 제거 후 10분의 복원시간을 두고 복원량 및 잔류변형량을 연속적으로 측정하고, 복원시간은 예비시험을 통하여 조절할 필요가 있음

□ 회의 전경



◆ 자문위원 상세

성명	직위	소속	전공
장석수	책임연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(재료)
양준영	연구원	첨단건설재료실험센터	토목공학(구조)
박종운	교수	대구공업대학교	토목공학(토질)