19CTAP-C1
42466-02

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()
국토교통기술촉진연구사업 제2차연도 최종보고서(보완본)

R&D / 19CTAP-C142466-02

제진성능 향상(30%이상)을 위한 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발 최종보고서(보완본)

2020.03.05.

주관연구기관 / (주)테크스퀘어
공동연구기관 / 한국시설안전공단

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

국토교통기술촉진사업 최종보고서 보완본
2019
국토교통부 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'제진성능 향상(30%이상)을 위한 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발'(연구개발기간 : 2018. 04. ~ 2019. 12.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2020. 01. 31.

주관연구기관명 : (주)테크스퀘어 (대표자) 조재연, 김영식 (인)
공동연구기관명 : 한국시설안전공단 (대표자) 박 영 수 (인)

주관연구기관책임자: 정 인 용
공동연구기관책임자: 오 진 탁

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19CTAP-C14 2466-02	해당 단계 연구 기간	2019.01.01. ~2019.12.31.	단계구분	(2단계)/ (2단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	창의도전연구 분야 사회이슈해결 지원유형			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	제진성능 향상(30%이상)을 위한 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발			
연구책임자	정인용	해당단계 참여연구원 수	총: 8명 내부: 8명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부:250,000천원 민간: 84,000천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:334,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 11명 내부: 11명 외부: 0명	총 연구비	정부:400,000천원 민간:134,000천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:534,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	㈜테크스퀘어 / 기술연구소			참여기업명: -	
국제공동연구	상대국명: -			상대국 연구기관명: -	
공동연구	연구기관명: 한국시설안전공단			연구책임자: 오진탁	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	연구대상인 케이블을 이용한 변위증폭형 제진장치는 기존의 제진댐퍼의 감쇠성능을 향상시키기 위한 기법·공법으로서 기존 기술을 발전시키는 연구이기 때문에 보안이 필요치 않은 연구임.

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	3	1	1								

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약	보고서 면수
- 케이블과 도르래를 이용한 변위증폭형 제진 시스템 - 설계 및 시공 매뉴얼	145

요약문

<table>
<tr><td>연구의
목적 및 내용</td><td colspan="5">연구 목적

○ 케이블-도르래 조합형 제진 시스템 개발

- 케이블과 도르래를 이용한 변위증폭 메커니즘을 검증하고 시스템 구성을 위한 소재, 접합부 등 설계 및 시공 방법 개발

연구 내용

(1) 케이블과 도르래를 이용한 변위증폭형 제진 시스템

- 케이블과 도르래를 이용한 변위 증폭 메커니즘 규명
- 케이블 소재에 따른 시스템 성능 검증
- 해석/실험을 통한 케이블-도르래 조합형 시스템 개발(성능검증)
- 실제 현장 설치를 통한 시공성 검증

(2) 매뉴얼 개발

- 케이블의 특성을 고려한 최적 설계 프로세스 개발
- 설계 및 시공 매뉴얼 작성</td></tr>
<tr><td>연구개발성과</td><td colspan="5">- 케이블과 도르래를 이용한 변위증폭형 제진 시스템

- 설계 및 시공 매뉴얼</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td colspan="5">- 기존 시설물 대상 간편하고 효율적인 내진보강

- 저진동 시설물 대상 진동제어 효과
(고층 건물 풍진동 제어, 지하철 근처 진동 제어)

- 해외 내진 시장 진출

- 관련 업체와의 협업</td></tr>
<tr><td>국문핵심어
(5개 이내)</td><td>케이블</td><td>도르래</td><td>변위 증폭</td><td>내진보강</td><td>풍진동 제어</td></tr>
<tr><td>영문핵심어
(5개 이내)</td><td>Cable</td><td>Pulley</td><td>Displacement amplification</td><td>Seismic retrofit</td><td>Wind vibration control</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ·····5

2. 연구수행내용 및 성과 ·····17

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····88

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ·····92

부록 ·····93

부록 A. 내진용 케이블 선정을 위한 판매처 조사

부록 B. 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발을 위한 케이블 소재 분석_(합성섬유 소재를 중심으로)

부록 C. 시험성적서

부록 D. 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서 및 설계 매뉴얼

<별첨1-1> 주관연구기관의 자체평가 의견서

<별첨1-2> 집행실적대비표

<별첨2-1> 성과점검기준표(총괄, 연차별)

<별첨2-2> 성과증빙자료집

<별첨3-1> 연구성과 목록

<별첨3-2> 연구목표대비 연구성과 비교표

<별첨3-3> 주요연구내용 및 최종 성과물

<별첨4> 연구개발성과활용계획서

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 배경

1-1-1. 한반도 대규모 지진 발생

- 최근 발생한 경주지진(규모 5.8)과 포항지진(규모 5.4)으로 인하여 한반도에서의 강진 발생 가능성이 높아짐에 따라 일반건축물 및 SOC시설물을 포함한 공공시설물에 대한 내진성능 확보에 대한 전국민적 관심이 증가하고 있다.

- 우리나라는 판구조 이론에 의해 태평양 주변의 환태평양 조산대(Ring of Fire)에 위치한 미국 서부와 일본에 비하여 비교적 지진으로부터 안전한 국가라는 인식되어 왔다. 실제로 우리나라는 중약진 지진지역으로 미국과 일본에 비하여 지진피해가 적었으며, 내진설계관련 기준이 다소 낮은 수준으로 대규모 지진에 대한 대비책이 부족한 실정이다.

1-1-2. 시설물의 내진율 확보 필요성 대두

- 2017년 5월 행정안전부가 발표한 '내진보강대책 추진결과 공시'에 따르면 현재 대한민국의 공공시설물에 대한 내진율은 48.7%인 것으로 조사되었다. 이중 내진율 50% 이상인 시설물은 원자로, 댐, 발전소, 항만시설, 공항시설 등 SOC시설물인 것으로 조사되었으며, 공공건축물(관공서, 문화시설 등)은 36.2%, 학교시설 23.1%의 내진율을 가지고 있는 것으로 나타났다. 민간시설물의 경우에는 내진설계 기준이 고시(건축법 시행령 제32조)된 1988년 이전에 지어진 대다수의 건축물이 내진설계가 반영되지 않은 것으로 파악되고 있다.

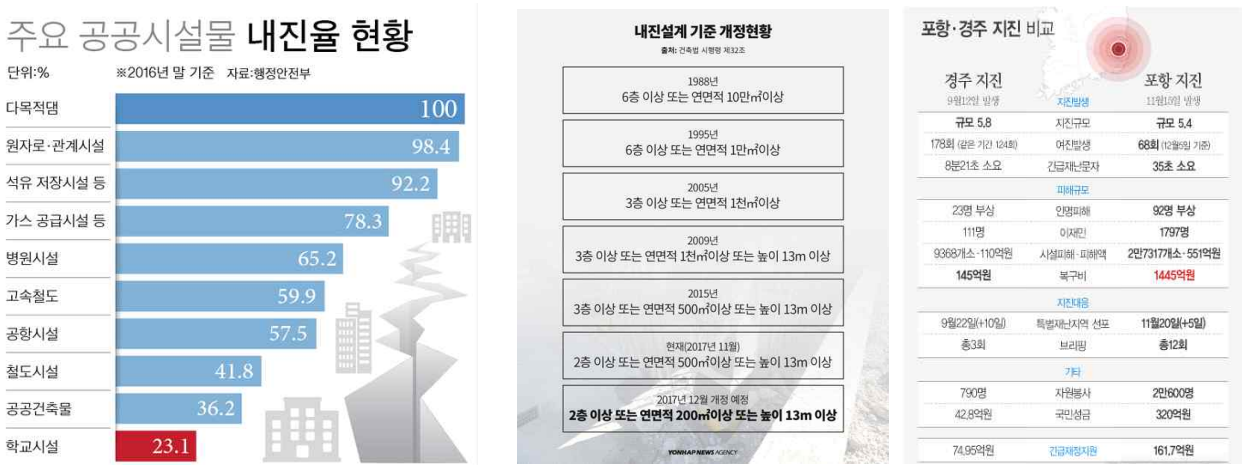


그림 1-1. 국내 내진설계 이슈사항

1-1-3. 노후시설물의 지진피해 사례

- 2000년 이전에 시공된 6층 이하의 대다수 건축물은 내진설계 기준이 적용되지 않았으며, 이러한 저층 건물에 대한 내진안전 방안으로서 내진보강율 확보에 대한 필요성이 대두되고 있다.

- 특히 최근 발생한 포항지진의 경우 이재민 1,536명, 부상자 55명, 시설물피해 1,200여건(주택 1,090건, 상가 34건, 공장 1건, 차량 38대 등)으로 피해집계현황 조사되었으며, 이중에서 대다수의 주택이 준공된지 20년 이상 경과된 저층 노후시설물인 것으로 조사되었다.

1-2. 기존기술 현황 및 문제점

1-2-1. 기존기술 현황

- 기존 건축물의 내진성능을 향상시키기 위한 방법은 크게 두 가지로, ①건축물의 성능(강도/강성/연성)을 향상시키는 방법(내진보강)과 ②제진장치를 통해 지진하중을 감소시키는 방법(제진보강)이 널리 사용된다.

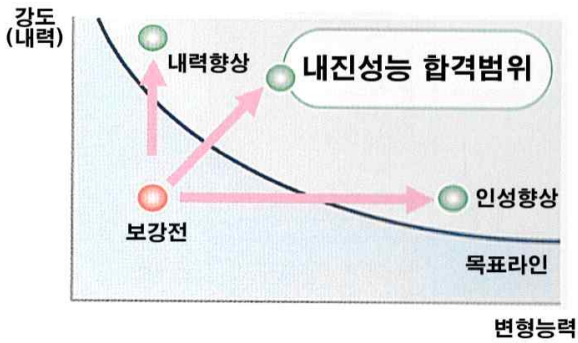


그림 1-2. 건축물 성능향상(내진보강)

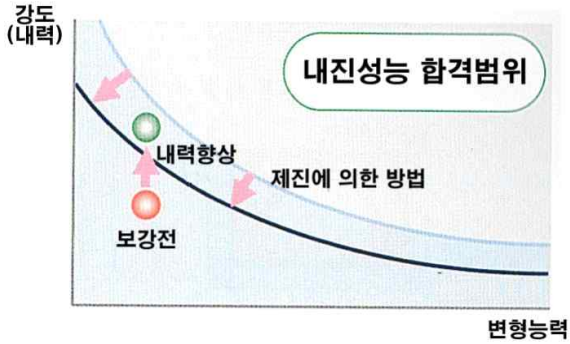
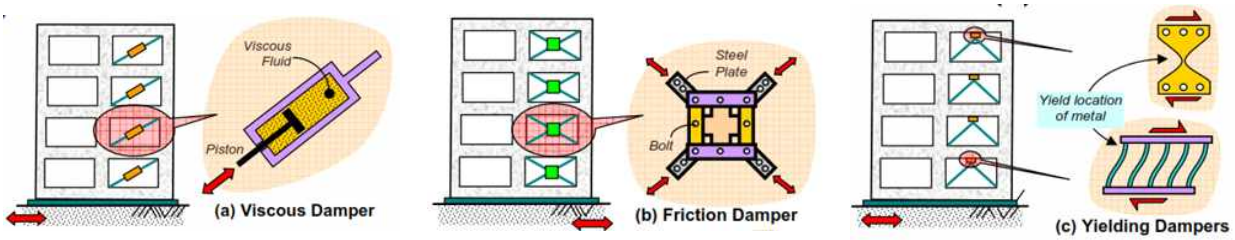


그림 1-3. 지진하중 감소(제진보강)

- 제진보강에 사용되는 장치는 에너지 소산을 통해 건축물의 감쇠력을 높이며, 에너지 소산 장치의 구성요소에 따라 점성댐퍼, 마찰댐퍼, 이력댐퍼로 나뉜다.



점성댐퍼 마찰댐퍼 이력댐퍼

그림 1-4. 에너지소산 장치 구성요소별 구분

1-2-2. 기존기술 문제점

- 제진장치는 지진 시 발생하는 건축물의 변형에 의해 작동한다. 이때 발생하는 변위와 이에 대응하는 장치 내력과의 관계가 에너지 소산 면적이며 이 면적이 클수록 제진장치의 효율이 높아진다. 건축물의 안전을 위한 변형한계는 10~20mm 수준이고 제진장치의 변형은 이의 90% 수준이다. 이와 같이 작은 변형으로는 제진장치의 실제 능력을 충분히 활용하기 어렵다.

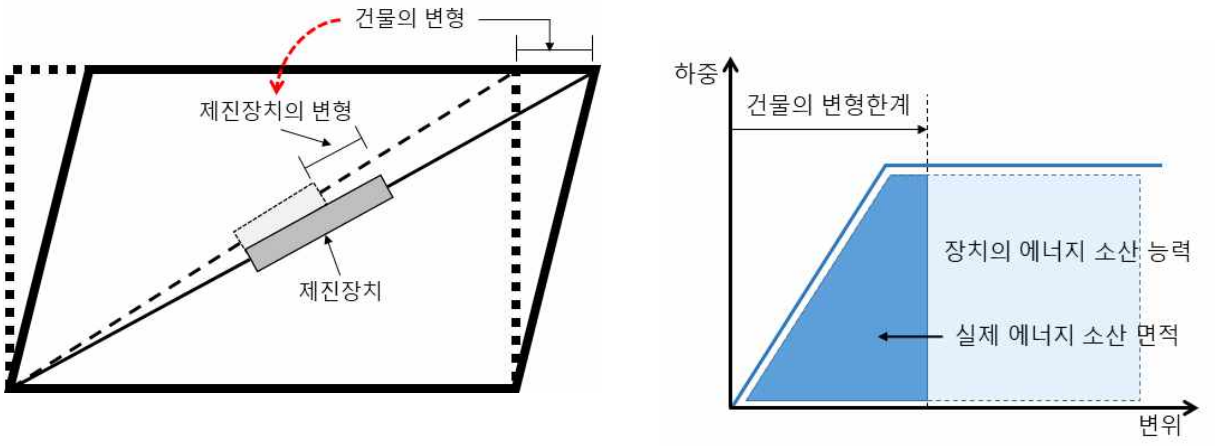


그림 1-5. 제진장치의 작동원리 및 하중-변위 곡선 내 에너지 소산 면적

1-3. 제안기술 개요

1-3-1. 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발

- 감쇠성능이 뛰어난 실리콘 점성댐퍼와 작은힘으로 큰 변위를 발생시키는 도르래 원리를 결합시킨 변위증폭형 제진장치 시스템 개발
- 기존 건축물의 구조부재인 보, 기둥, 벽에 도르래를 설치한 후 케이블을 감아주어 양쪽 끝단 또는 한쪽 끝단을 실리콘 점성댐퍼에 연결하여 고정시킴.
- 지진발생시 구조물의 변형이 발생하여 도르래와 점성댐퍼간의 변위차가 발생할 때, 해당 변위만큼의 하중이 댐퍼장치에 가해지게 되는 원리임.
- 이때 하중을 전달하는 부재인 케이블이 움직이면서 구조물의 변형량만큼 도르래를 회전시키며, 동일 회전각에 대하여 케이블이 도르래를 감싸는 횟수가 많을수록 동일 도르래 회전각에 대하여 전체 케이블 길이 변화량이 증폭됨.
- 이러한 원리를 통하여 작은 크기의 건축물 변형이 발생하더라도 도르래를 감싸는 케이블의 횟수에 따라 변위증폭을 통해 댐퍼장치에 큰 변형으로 작용시킬 수 있음.

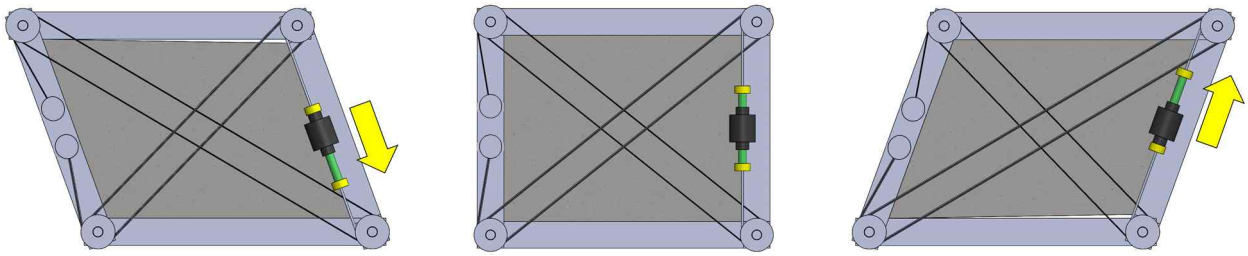


그림 1-6. 케이블과 도르래를 이용한 변위증폭 메커니즘

1-3-2. 실리콘 점성댐퍼

- 실리콘 점성댐퍼는 국내자체기술로 개발된 속도의존형 점성댐퍼의 한 종류로서 댐퍼 실린더 내부에 반고체상태의 실리콘계 유체를 주입하여 유체의 감쇠력을 통해 제진성능을 발휘하는 장치임.
- 실리콘 점성댐퍼는 속도가 커질수록 에너지 소산능력도 커지며 이에 따라 큰 지진에서도 효율적인 소산능력을 가지며, 소성변형을 하지 않아 본진 발생 후 이어지는 여진에 대처할 수 있다는 장점을 보유하고 있음.
- 특히 점성댐퍼의 일종이기 때문에 복원력을 가지고 있어 지진 발생 후에도 교체가 필요하지 않고 반영구적으로 활용할 수 있어 별도의 유지관리비가 발생하지 않음.



그림 1-7. 실리콘 점성댐퍼

구분	등록번호 (출원번호)	등록일자 (출원일자)	명 칭
특허 등록	10-1221498호 (2011-0042352)	2013.01.07 (2011.05.04)	지진하중에 의한 횡방향 진동변위저감을 위한 감쇠장치

1-3-3. 도르래 원리

- 도르래는 둥근 바퀴에 줄을 감아 무거운 물체를 들어 올리는데 사용하는 도구로서 지레와 함께 고대 그리스나 로마시대부터 사용하였다는 기록이 남아있는 도구임. 우리나라 문헌에서도 조선시대 수원 화성축조시 정약용이 만든 거중기를 사용하였다는 기록이 남아있음. 도르래의 종류는 그림 1-8과 같이 고정도르래, 움직도르래, 복합도르래가 있으나, 본 연구에의 목적인 변위증폭 효과가 제진장치에 전달되도록 하기 위해서는 고정도르래를 사용하여야 함. 고정도르래는 물체를 드는 힘을 감소시킬 수는 없으나 힘의 작용방향을 바꿀수 있다는 장점을 가지고 있어, 수평으로 작용하는 지진하중을 제진장치의 축방향 하중으로 변환 시킬 수 있음.

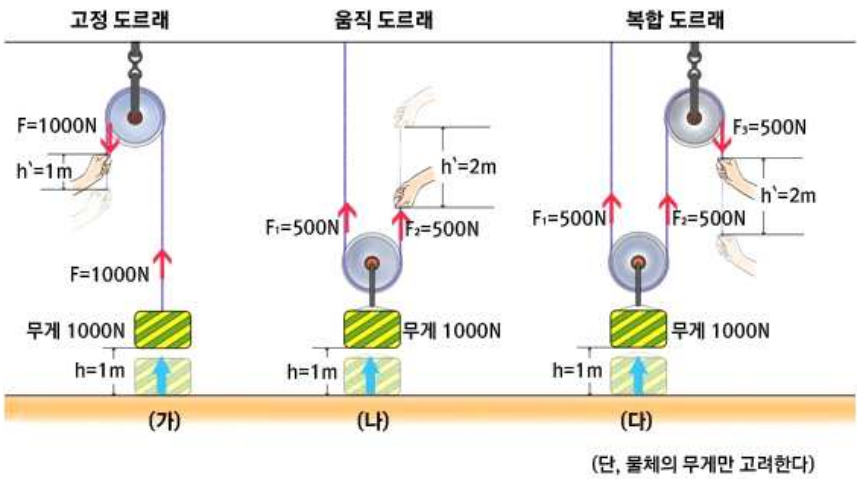


그림 1-8. 도르래의 종류

○ 기존건축물의 내진보강에서 저층건물을 대상으로 한 점성댐퍼 적용 시 단점으로 지목되었던 작은 변형량에 따른 댐퍼효율 저감의 문제점을 극복할 수 있는 기술임.

○ 케이블이 도르래를 감싸는 횟수에 따라 변위증폭량을 조절할 수 있으므로 사전해석을 통해 맞춤형 최적설계를 수행할 수 있다. 또한 기존건축물에 도르래와 점성댐퍼만 접합되기 때문에 접합부를 최소화 할 수 있으므로, 공기단축이 가능.

1-4. 연구개발 대상의 국내외 현황

1-4-1. 국내 현황

선행기술 조사결과, 신청기술과 유사성이 있는 선행기술로 한국등록특허 건과 일본공개특허 건이 조사되었으나 신청기술과 구성요소, 작동방식 및 작용효과가 상이한 것으로 나타났다. 따라서 신청기술의 신규성은 충분히 검증되었다고 판단된다.

조사된 유사선행특허기술을 정리하여 표 1-1에 나타냈으며 신청기술과의 차별성에 대해서는 표 1-2에 나타내었다.

표 1-1. 선행기술 조사문헌_국내

연번	문헌번호	출원인	발명의 명칭	관련도
1	10-1404572	삼영엠텍㈜	학교 건축물의 날개벽을 이용한 내진보강방법	C
2	10-1661079	㈜유진구조이앤씨 동아대학교 산학협력단	수평방향 내진성능이 향상된 창호시스템	C
3	10-1008200	㈜원준하이테크	철근콘크리트조 학교 건축물의 내진보강구조	C
4	10-1105742	한국건설기술연구원	편심 토글형 제진장치 및 이를 이용한 변위 증폭 제진시스템	C

[관련도 표시기호]
A : 신청기술과 매우 유사한 선행기술
B : 신청기술과 유사한 선행기술
C : 신청기술과 유사하지는 않으나 신청기술과 같은 기술분야에 속하는 선행기술

표 1-2. 유사 선행 특허기술_국내

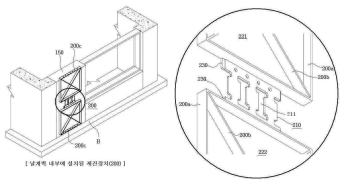
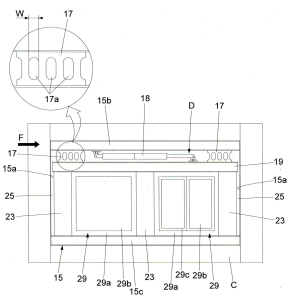
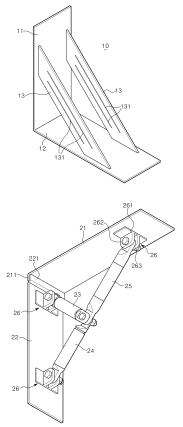
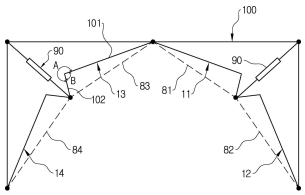
구분	선행기술명	특허권자	기술내용	선행기술 도면	선행기술과의 차별성
1	한국등록특허 10-1404572호	삼영엠텍㈜	학교 건축물의 날개벽에 연결체와 댐퍼를 간단하게 앵커볼트로 건축물의 앵커홀에 장착시키는 학교 내진보강방법		선행기술은 날개벽을 이용해야하여 개방형이 아니며, 변위를 증폭하는 구성요소를 구비하지 않고, 실리콘 제진댐퍼를 사용하지 않으므로 신청기술과 차이가 있음.
2	한국등록특허 10-1661079호	㈜유진구조이앤씨 동아대학교 산학협력단	장방향의 메인프레임과 이격되게 배치된 지지빔 사이에 판상형의 이력댐퍼와 오일댐퍼가 설치되어 내진성능이 향상된 창호시스템		선행기술은 창호시스템에 관한 것으로 창호부를 개방형으로 유지하는 특징을 가지고 있으나 이력댐퍼와 오일댐퍼를 구성하고 있는 차이점을 가짐

표 1-2. 유사 선행 특허기술_국내(계속)

구분	선행기술명	특허권자	기술내용	선행기술 도면	선행기술과의 차별성
3	한국등록특허 10-1008200호	㈜원준하이테크	라멘골조 형식의 학교 건축물의 장변방향으로 보-기둥 접합부에 댐퍼형 헌치를 설치하고 단변방향으로 보-기둥 접합부에 제진형 헌치를 설치는 학교 내진보강구조		선행기술은 제진장치의 설치위치가 상이하며 특히, 변위를 증폭하는 구성요소가 없고 실리콘 제짐댐퍼를 사용하지 않으므로 신청기술과 차이가 있음.
4	한국등록특허 10-1105742	한국건설기술연구원	절곡가새부재가 구조물에 발생되는 횡변위를 증폭시켜 지진력을 흡수하는 편심 토글형 제진장치 및 이를 이용한 변위 증폭 제진시스템		선행기술은 구조물에 발생되는 횡변위를 증폭시키는 구성요소를 구비하고 있다는 차이점을 가지고 있음.

1-4-2. **국외 현황**

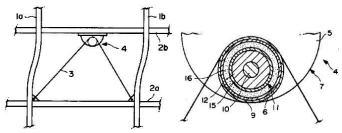
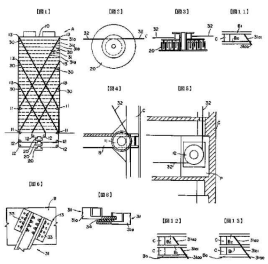
선행기술 조사결과, 신청기술과 유사성이 있는 선행기술로 일본공개특허 2건이 조사되었으나 신청기술과 구성요소, 작동방식 및 작용효과가 상이한 것으로 나타났다. 따라서 신청기술의 신규성은 충분히 검증되었다고 판단된다.

표 1-3. 선행기술 조사문헌_국외

연번	문헌번호	출원인	발명의 명칭	관련도
1	05-002137	시미즈 건설 주식회사	가변 감쇠제진장치 (Variable Vibration Damping Control Device)	C
2	05-002137	시미즈 건설 주식회사	건축 구조물 시공 방법 및 건축 구조물 (Building Structure)	B

[관련도 표시기호]
A : 신청기술과 매우 유사한 선행기술
B : 신청기술과 유사한 선행기술
C : 신청기술과 유사하지는 않으나 신청기술과 같은 기술분야에 속하는 선행기술

표 1-4. 유사 선행 특허기술_국외

구분	선행기술명	특허권자	기술내용	선행기술 도면	선행기술과의 차별성
1	일본등록특허 05-002137	시미즈 건설 주식회사	상부 보에 위치한 회전부재와 이에 연결된 케이블 부재간 거동차이에서 발생하는 회전에너지를 마찰재를 통해 속도조정시킴으로서 감쇠성능을 발휘하는 제진시스템		선행기술은 구조물의 변형 또는 거동이 케이블의 운동으로 변환되는 것은 본 기술과 유사한 점을 가지고 있으나, 해당 운동을 마찰력으로 저감시킨다는 점에서 신청기술과 차이가 있음
2	일본등록특허 05-002137	시미즈 건설 주식회사	건축물 단위에서 발생할 수 있는 움직임에 대하여 입면을 가로지르는 형태로 케이블을 설치하여 감싸줌으로서 지진동을 저감시키는 구조시스템		선행기술은 구조물 전체 거동을 케이블과 감쇠장치에 의해 저감시키는 점에서 본 기술과 유사한 점을 가지고 있으나, 본 기술은 케이블-도르래의 감는 횟수로 감쇠력을 증가시킨다는 차이점을 가지고 있음

1-4-3. 기술개발 성숙도

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	☐	☐	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☑	☐	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	☐	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	☐	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	☐	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	☑	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☐	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	TRL 9 현장적용/사업화 단계

1-5. 연구개발의 필요성

2015년 4월 25일에 네팔에서 발생된 지진으로 8,000명에 가까운 사망자가 발생하였는데 이는 **비내진 구조인 조적조 구조물의 붕괴**로 경제적인 피해와 인명의 손실이 막대하게 발생된 것이다. 국내의 **내진설계 기준이 제정되기 이전 건설된 기존 철근콘크리트 건축물은 내진성능이 부족**하기 때문에 지진발생시 상당한 손상 및 붕괴가 예상된다.



그림 1-9. 네팔 지진(2015) 피해



그림 1-10. 2016년 경주 강진

우리나라는 환태평양 지진대에 위치하는 주변국보다 그동안 지진에 대해 비교적 안전한 지역으로 인식되었으나, 2016년 9월 12일에 경상북도 경주에서 1차 규모 5.1의 지진 및 2차 규모 5.8의 강진이 한 시간 이내에 연속하여 발생하였다. 이는 1978년 기상청이 계기지진 관측을 시작한 이후에 한반도에서 발생한 역대 최대 규모의 지진이다. 본진의 최대 진도는 경주, 대구 지역에서 측정된 진도 6이며, 부산과 울산, 창원에는 진도 5가 감지됐다. 진도 6은 지역 모든 사람들이 느낄 수 있고 가옥이 심하게 흔들리며 무거운 가구가 움직일 정도의 중진이다. 당시 본진의 진동은 전국 대부분 지역뿐만 아니라 일본, 중국 등에서도 감지될 정도로 강력했고, 지진 발생 직후에는 휴대폰의 통화와 문자를 비롯해 갑작스런 트래픽

증가로 인해 카카오톡 메신저와 일부 포털사이트에 장애가 발생했다. 다행히 사망자는 없었으나 총 110억 원의 재산 피해가 발생했으며 경주 지진의 여진은 지금도 계속되고 있고 2017년 5월 25일에도 진도 2.1의 여진이 발생해 9개월째 총 622회의 여진이 이어지고 있다.

따라서 대한민국이 더 이상 지진 안전지대가 아님을 인정해야 하며 가까운 미래에 인명 및 재산 피해를 줄 수 있는 지진이 발생할 가능성이 있으며, 이러한 대규모의 지진에 대한 대책의 중요성이 점차 고조되고 있다.

현재, 정부에서는 지진대비에 대한 심각성을 인식하고 내진설계를 의무화하고 있다. 지진을 대비한 건축물의 내진설계기준은 1988년 내진설계 첫 도입이후에 지속적으로 강화되는 추세이다.

특히 2017년에는 최근의 2015년 시행령이 2년이 지나지 않았음에도 내진설계적용 대상 및 기준을 강화하였다. 이는 2016년 경주의 규모 5.8의 강진의 경험 후 보강된 것으로 정부는 “지진방재 개선대책”을 2017년 2월 논의, 확정했다. 개선안은 내진설계 의무대상을 현행 3층 이상 또는 연면적 500㎡ 이상에서 2층 이상 또는 연면적 500㎡ 이상 건축물로 확대하였다.

표 1-5. 건축법령에 의한 기간별 내진설계적용 대상

일자	층수	연면적	높이
88.02.28 이전	기준없음	기준없음	기준없음
88.03.01~96.01.05	6층 이상	10만m^2 이상	기준없음
96.01.06~05.07.17	6층 이상	1만m^2 이상	기준없음
05.07.18~09.07.15	3층 이상	1천m^2 이상	기준없음
09.07.16~15.09.21	3층 이상	1천m^2 이상	높이 13미터 이상
15.09.22~17.02.03	3층 이상	500m^2 이상	높이 13미터 이상
17.02.04~	2층 이상	500m^2 이상	높이 13미터 이상



그림 1-11. 내진설계기준 강화

기존 민간 건축물의 내진보강을 유도하기 위해 정부는 재산세·취득세 감면대상을 연면적 500㎡ 미만 1·2층 건축물에서 건축당시 내진설계 의무대상이 아닌 기존 모든 건축물로 확대키로 했다. 또한 건폐율과 용적률 완화는 물론, 지진보험료 할인 등 다양한 인센티브를 제공할 예정이다.

공공시설물은 내진보강 2단계(2016~2020년) 계획에 따라 현재 내진율 40.9%에서 2020년까지 49.4% 달성을 목표로 추진하되 시설물 중요도와 지역별 지진위험성 등을 고려해 내진보강을 추진키로 했다.



그림 1-12. 2017년 내진설계적용 대상 및 기준 강화

과거의 지진에 의해 건축물의 피해사례를 살펴보면, 1995년 일본 고베 지진 당시 무너진 건물 4만 9000여동 중 3층 이하의 건물이 90%이상 이었으며, 1999년 대만지진에서는 전체 피해건축물 중 5층 미만의 건축물이 95%였던 것으로 나타났는데, 이는 긴 주기를 갖는 고층 구조물보다 짧은 주기를 갖은 저층 건축물들이 지진에 대한 대비가 크게 부족했음을 보여주는 것으로 판단된다. 학교 건물의 경우, 대부분 5층 이하의 저층 건축물로 되어 있어 지진 발생시 대규모 인명 피해를 낼 수 있을 뿐만 아니라 구조적 기능이 손상될 경우 중요 피난시설로서의 역할을 수행 할 수 없게 되므로 이에 대한 대책이 시급하다.

우리나라의 경우 내진설계가 도입된 1988년도 이전에 지어진 수많은 학교 건물이 존재하고 있으며, 특히, 급속도로 노후화 과정을 걷고 있는 기존의 중소형 공동주택과 학교건물 등 기존 비내진 건물을 위한 현실적인 지진대비책이 필요한 시점이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 정부는 공공건물에 대한 내진성능 평가 및 내진보강 사업을 지속적으로 진행하고 있다. 정부의 기존 건축물 내진보강 사업은 학교, 지방자치단체 청사, 병원, 소방서 등을 대상으로 지진 재난 시 대피소 및 재난구호의 거점이 되는 중요 건물에 대해 광범위하게 진행되고 있다.

그러나 2016년 9월 YTN 데이터저널리즘팀의 발표에 따르면 서울, 인천, 대전, 대구, 부산, 광주, 울산 7대 도시 학교의 전체 건물 수는 11,795개로 이중 내진 설계가 적용되지 않은 건물은 80.3%에 달한다. 특히 2009년 중국 쓰촨 대지진 이후 정부가 내린 방침에 따라

내진 설계가 반드시 적용되어야 하는 건물 7,295개 중 5,790개 건물이 내진 설계가 미적용된 실정이다.

실제 2017년 11월 15일에 발생한 포항지진은 규모 5.4 지진으로서 1978년 발생한 홍성지진(규모 5.0) 이후 구조물 손상을 발생시킨 지진으로 기록되고 있다. 홍성지진의 경우 강원도 내륙에서 발생하였지만 당시 홍성지역의 대다수 건축물이 3층 미만의 저층 단독주택으로 단주기 지진특성을 가지는 중약진 지진에 대하여 취약한 구조였다는 한계를 구조적 문제점이 있었다.

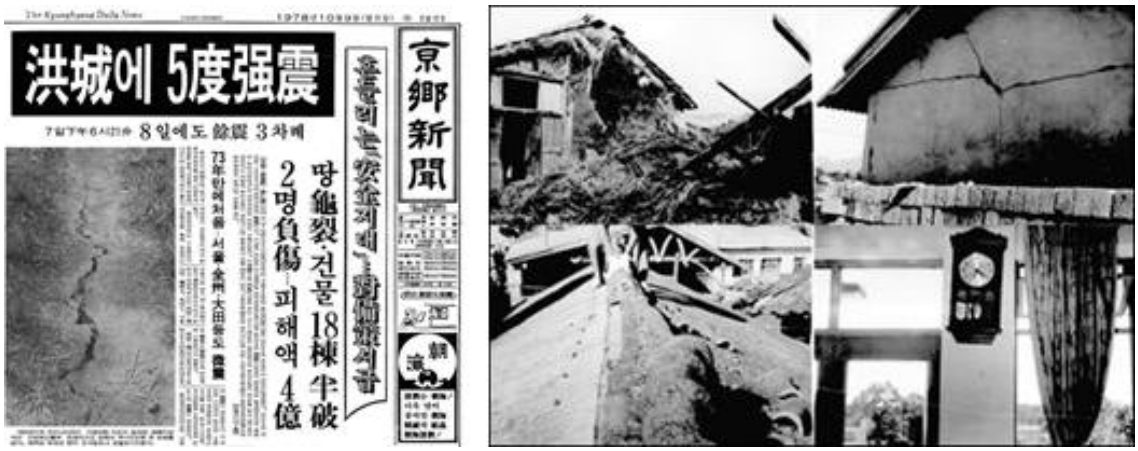

洪城에 5度强震
京鄕新聞
8일에도 餘震 3차례
망 龜裂·건물 18棟 半破
2명 負傷·피해액 4億

그림 1-13. 홍성지진(1978) 피해사례

내진보강이 요구되는 3층 미만의 저층건물의 경우 건축물의 높이가 낮기 때문에 지진에 대한 변위가 매우 적게 발생하며 이로 인하여 제진장치의 적용시 상당한 제한사항이 발생하고 있다. 이러한 경우 일반적으로 전단벽 또는 브레이스 형태의 일반내진보강 공법을 채용하고 있다. 하지만 일반내진보강의 경우 추가되는 구조부재로 인하여 입면상의 창호부분이 가려지거나, 벽체가 두꺼워짐에 따라 내부 공간이 협소해지는 단점이 있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하고 적은변위에도 큰 감쇠력이 발휘될 수 있는 새로운 제진시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다.

표 1-6. 기존 기술과의 비교

항목	내진보강 공법에 따른 비교		
	일반내진보강공법	기존 제진보강공법	케이블을 이용한 변위증폭형 제진장치 시스템
대상건축물	4층이하 건축물에 유리	5층이상 건축물에 유리	모든 건축물에 유리
제진장치	-	필요	필요
기초보강	필요	공법에 따라 필요	필요없음
변위증폭	증폭없음	소폭의 변위증폭 가능	큰폭의 변위증폭 가능
비 용	저렴	고가	저렴

2. 연구수행내용 및 성과

2-1. 연구 수행 내용

2-1-1. 변위증폭 메커니즘 규명

2-1-1-1. OptiStruct 구조해석 수행

- OptiStruct 구조해석을 통해 프레임에 발생하는 응력 분포를 확인하여 그 안전성을 검토하였으며, 접합부 상세와 케이블에 발생되는 장력 등을 검토하였다.

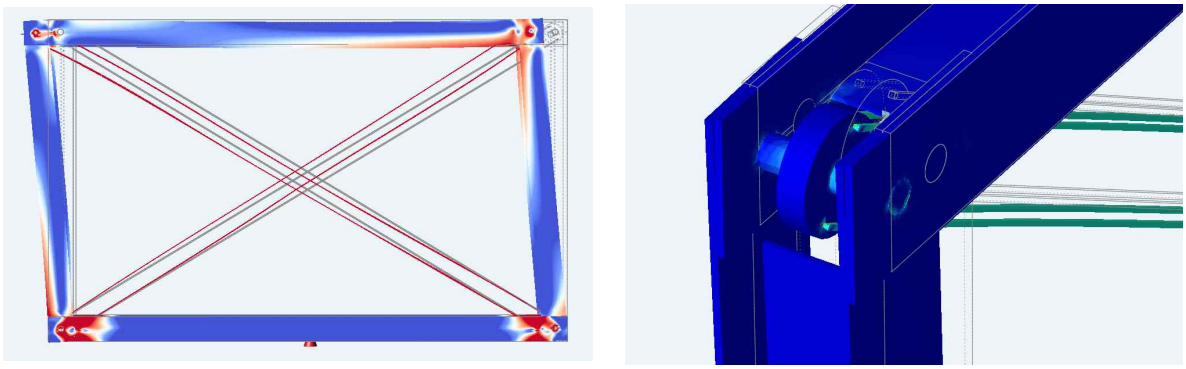


그림 2-1. OptiStruct 구조해석 수행

- 또한, 모션 해석을 통해 제안된 시스템의 증폭 메커니즘을 확인하였다.

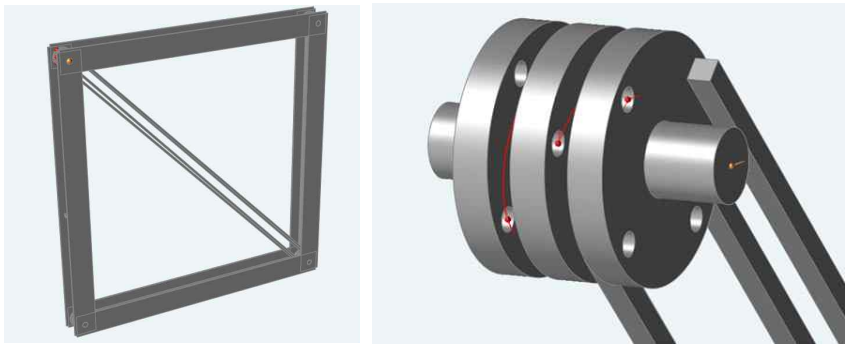


그림 2-2. 모션 해석을 통한 작동 메카니즘 확인

2-1-1-2. 시스템 단위 구조성능 실험 수행

- 제안된 변위증폭 시스템의 작동 원리를 정확하게 확인하기 위해 시스템 단위의 모형을 제작하였으며, 해당 모형의 전단변형에 따른 감쇠장치 설치부의 이동 및 그 증폭 여부를 확인하였다.

- 본 모형 실험을 통해 추후 계획 및 진행될 실대형 감쇠구조물의 설계를 위한 기본 토대를 마련하였다.

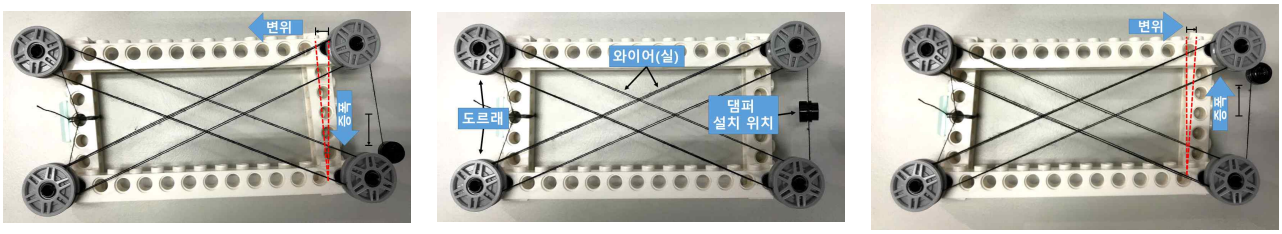


그림 2-3. 모형 제작을 통한 작동 메카니즘 확인

2-1-2. **케이블 소재 적합성 검증**

2-1-2-1. 케이블 소재 조사 (국내 위주)

- 현재 국내에서 유통되고 있는 강와이어 케이블 56종과 합성섬유 케이블 60종에 대한 물리적 특성을 조사하여 본 시스템에 적용하기 적합한 소재를 구분지었다. 해당 부분에 대한 내용은 본 보고서 **『부록 A. 내진용 케이블 선정을 위한 판매처 조사』를 참조**하기 바란다.

2-1-2-2. 신소재를 적용한 합성 섬유 소재 조사 (해외 위주)

- 본 연구에서는 국내에 유통되고 있는 강와이어 로프 및 합성섬유 케이블에 대한 조사 뿐만 아니라 해외에서 최근 개발되고 있는 신소재 섬유를 기반으로 하는 합성섬유 및 로프에 대해서도 조사를 실시하여 그 적합성 여부를 검토하였다. 해당 부분에 대한 내용은 본 보고서 **『부록 B. 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발을 위한 케이블 소재 분석(합성섬유 소재를 중심으로)』를 참조**하기 바란다.

2-1-2-3. 케이블 소재 인장성능 실험 수행

(1) 실험 준비

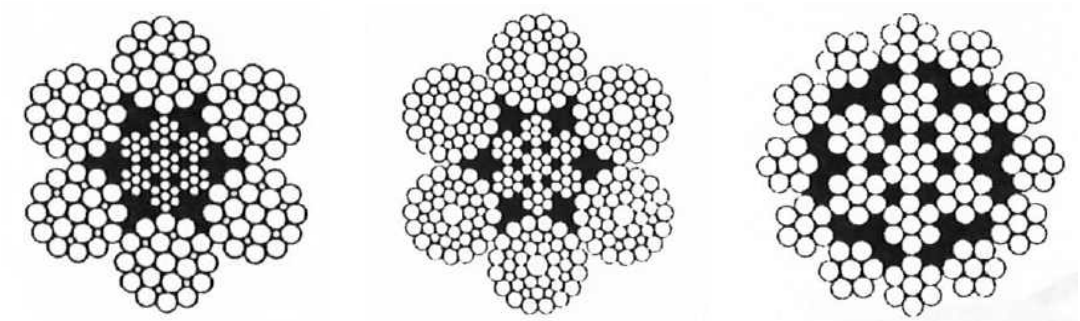
- 본 감쇠시스템에 적용하기 적합하다고 판단된 강와이어 로프를 기준으로 로프 안정화가 이루어진 이후의 변형에 대한 저항성 즉, 강성을 확인하기 위해 인장실험을 실시하였다.

- 실험은 한양대학교 토탈이엔씨와 명지대학교 하이브리드 구조실험센터에서 실시하였으며, 초기 한양대학교에서 진행되었던 실험의 경우 지점부 지그상의 문제로 강성이 제대로 계측되지 않아 본 결과보고서에서는 명지대학교 실험 결과를 기반으로 그 내용을 작성하였다. 마지막으로 해당 실험에 대한 시험성적서는 본 보고서 **『부록 C. 시험성적서』를 참조**하기 바란다.

(가) 실험체

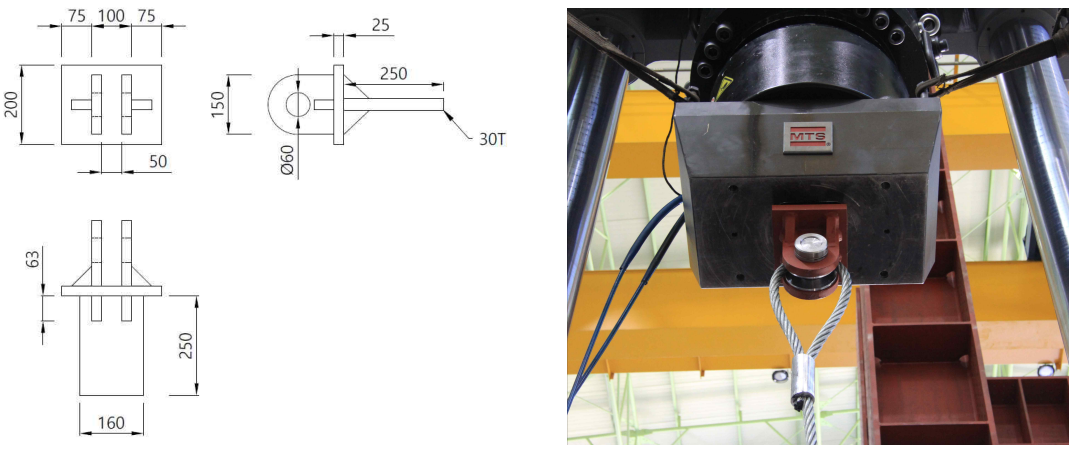
- 실험에 사용된 강선 로프(steel wire rope)의 규격은 KS D 3514에 의거하여, 로프심(7×7, 기호 IWRC)이 들어가고 필러형 25개 강선이 스트랜드(6개)를 구성하는 IWRC 6×Fi(25), 워링턴 실형 36개 강선이 6꼬임으로 들어가고 가운데 로프심이 있는 IWRC 6×WS(36), 그리고 7개선 18꼬임(18×7)의 헤라클레스가 인장 실험에 사용되었다.

- 헤라클레스는 16 mm, IWRC 6×Fi(25)는 16 mm, 20 mm, 25 mm, IWRC 6×WS(36)는 25 mm, 28 mm, 30 mm에 대해 각각 동일한 시편 5개를 준비하여 실험을 진행하였으며, 실험 결과를 평균하여 해당 로프에 대한 인장 특성을 대푯값으로 정의하였다.



IWRC 6×Fi(25) IWRC 6×WS(36) 18×7 헤라클래스

그림 2-4. 강선 로프(steel wire rope) 종류



클램프형 지그 실제 설치된 모습

그림 2-5. 강선 로프(steel wire rope) 인장성능 실험 준비

(나) 인장실험 셋업

- 그림 2-5에 나타낸 바와 같이, 준비된 강선 로프의 인장성능을 테스트하기 위해 UTM기에 연결할 수 있는 가력지그를 제작하였다.

- 그림 2-6은 전체 실험체가 셋업된 모습을 나타낸다.



그림 2-6. Test Setup

(2) 실험 결과

(가) 파괴 형상

- 그림 2-7에서 확인할 수 있듯이, 로프를 구성하고 있는 스트랜드(strand)는 물론, 스트랜드 내 강와이어(steel wire)까지 일체로 꼬여있던 부분들이 절단과 함께 풀려나오며 최종 파괴되었다.

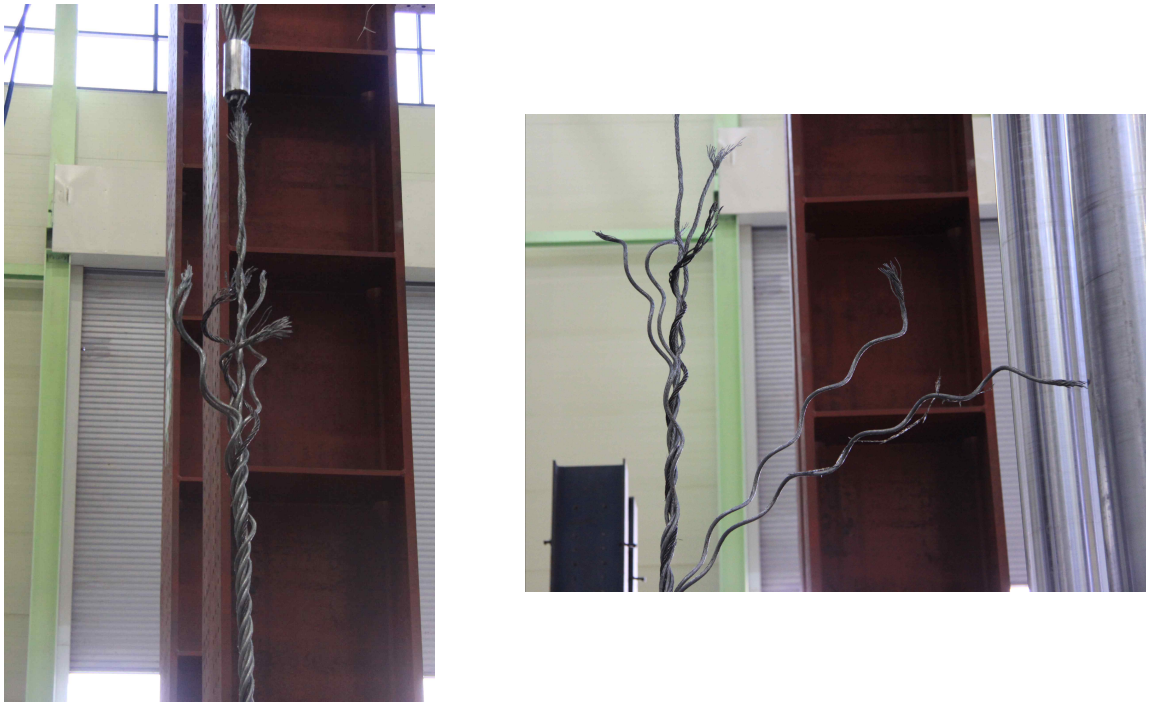


그림 2-7. 강선 로프 파단 형상

(나) 하중-변형률 곡선

- 그림 2-8는 강선 로프의 인장실험에서 나타나는 전형적인 하중-변형률 그래프이다. 해당 그래프에서 확인해 볼 수 있듯이, 인장력 하에서의 강선 로프의 거동은 크게 3 단계로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 단계는 로프의 강성이 안정화되는 단계로 꼬여 있는 강선 및 스트랜드들이 인장력 하에서 공극을 메우며 소정의 강성을 발현할 수 있도록 정착이 되어가는 과정을 거친다. 두 번째 단계는 이러한 안정화된 로프가 제대로된 인장 저항력을 발현하며 선형적인 하중 증가를 나타낸다. 마지막으로 파단이 발생할 때까지 강선의 소성변형과 함께 비선형적인 하중-변형률 곡선이 나타나는 구간이 형성된다.

- 본 연구에서는 이러한 강선 로프의 인장 특성을 감안하여 댐퍼에 달린 케이블이 작동할 때, 댐퍼의 저항력에 의해 추가적으로 발생하는 로프의 탄성변형을 최소화할 수 있도록 고려해야 한다. 이를 달성하기 위해, 최소한 로프 강성의 안정화 단계 이상의 하중으로 초기 긴장력을 로프에 도입하는 것이 필요하다. 또한, 안정화 단계 이후 형성되는 선형구간의 기울기와 댐퍼 하중에 의해 케이블에 추가로 발생되는 인장력의 크기를 바탕으로 케이블-도르래 제진시스템 작동 시 케이블에 발생하는 추가 탄성변형을 계산할 수 있으며, 이를 통해 댐퍼에 증폭되는 변위의 감소효과를 평가할 수 있다.

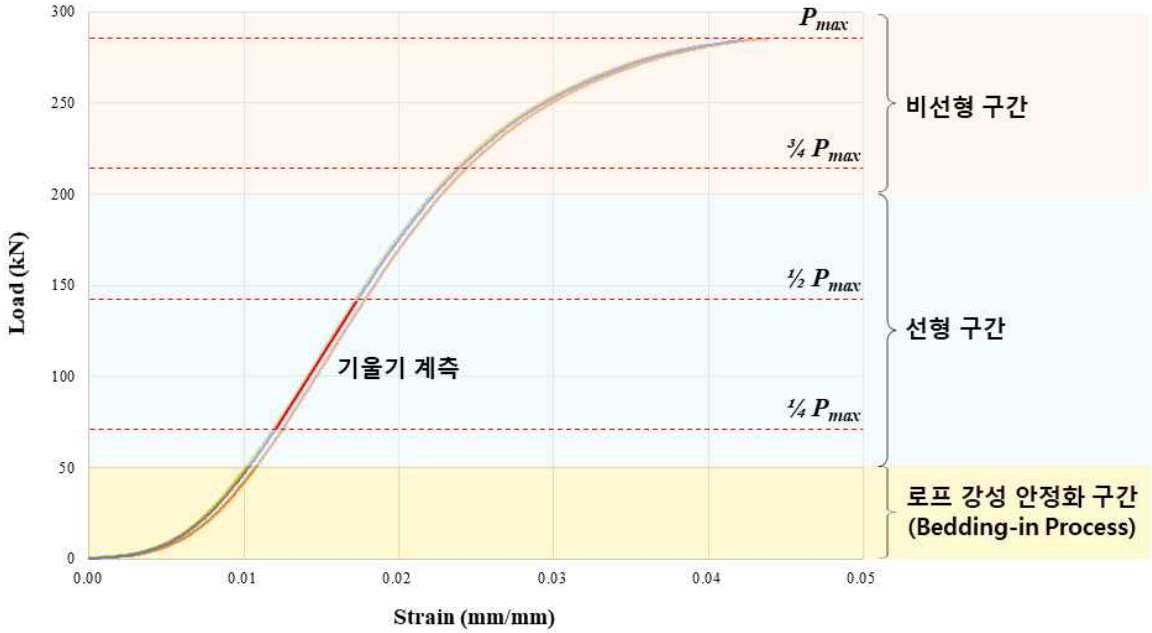


그림 2-8. 강선 로프의 하중-변형률 대표 관계

- 표 2-1과 그림 2-9는 각 강선 로프 종류별 인장실험 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 해당 실험 결과로부터 확인할 수 있듯이, 강선 로프의 지름이 증가할수록 케이블의 강성이 안정화되었을 때의 하중에 대한 변형 강성이 더 높게 나타났다. 또한, 실험체 종류별로 보면, IWRC 6×Fi(25) 제품군이 IWRC 6×WS(36) 제품군보다 더 높은 강성을 가지는 것으로 확인되었다.

- 강선 로프의 인장 실험 결과를 바탕으로, 실제 케이블-도르래 제진시스템에 적합한 강선 로프로 IWRC 6×Fi(25) 제품군을 사용하는 것이 로프의 탄성변형에 의한 증폭비율 저감효과를 완화시키는데 더 적절할 것으로 판단되었다.

표 2-1. 강선 로프 별 인장성능 실험 결과

제품	18×7 헤라클래스	IWRC 6×Fi(25)			IWRC 6×WS(36)		
지름 (mm)	16	16	20	25	25	28	30
최대하중 (kN)	190.4	193.6	281.2	508.9	504.4	537.1	608.7
강성 (kN/(mm/mm))	7,777	8,027	13,347	19,229	15,723	15,577	17,712

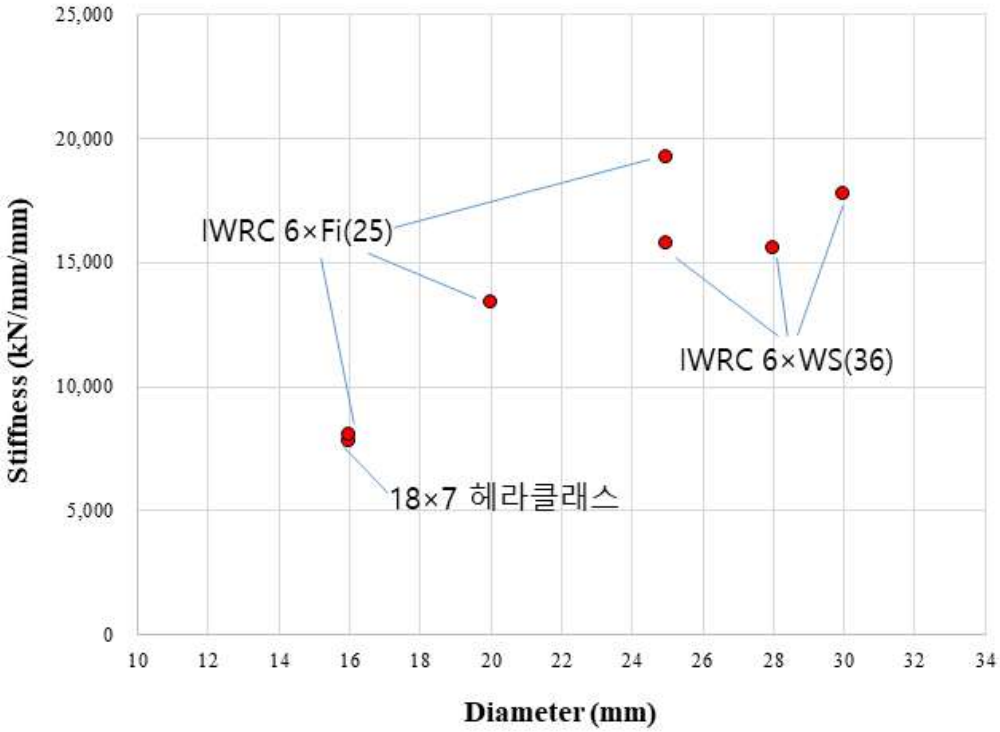


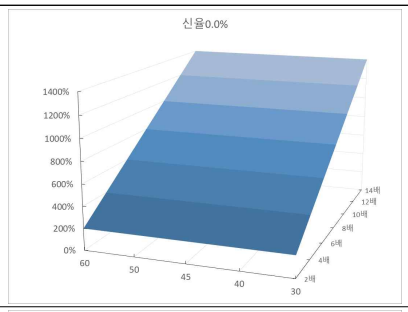
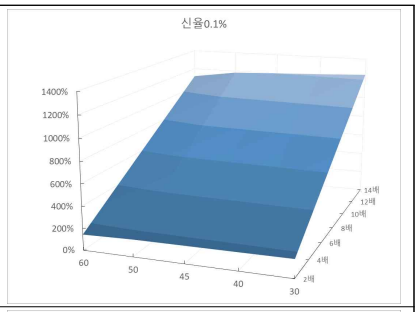
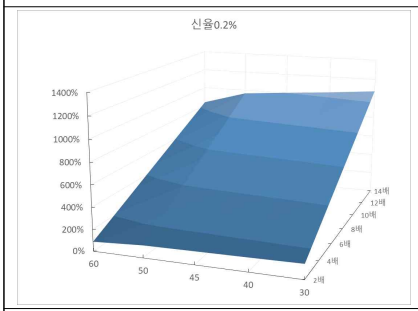
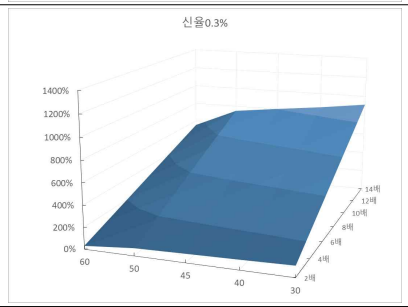
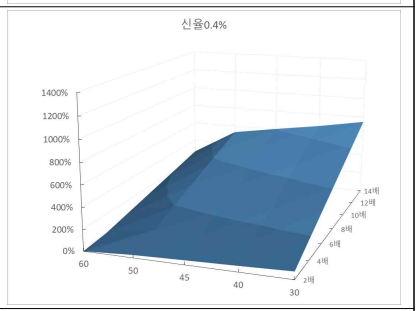
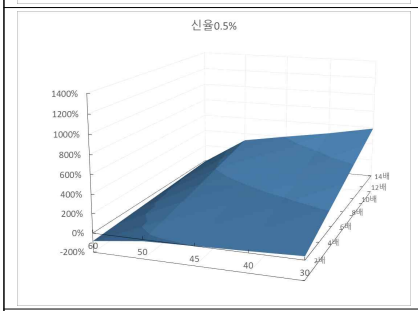
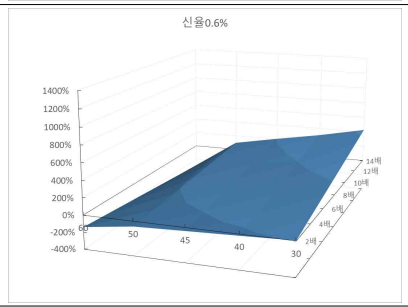
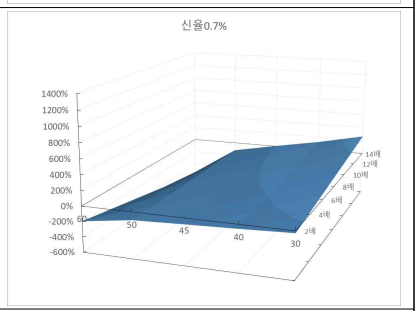
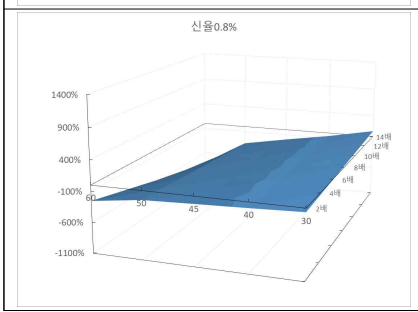
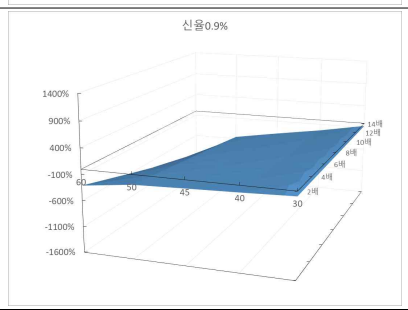
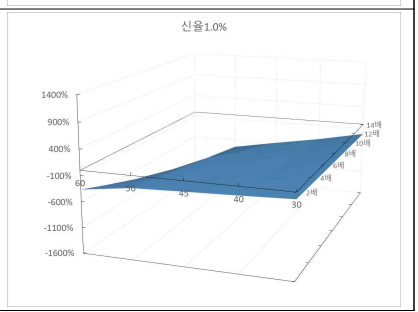
그림 2-9. 강선 로프 지름 대비 강성 관계

2-1-3. **구조설계 프로세스 개발**

- 인장성능 실험 결과를 기반으로 케이블의 시스템 내 설치 각도, 신율 및 장력에 따른 증폭비율 계산한 결과를 표 2-2에 나타냈다.

- 그 결과, 강와이어 로프의 신율이 0.6% 이상 될 경우 증폭 효과가 매우 미비한 것으로 나타나 이러한 사항에 유의하여 케이블의 설치 각도 및 재료를 선정해야됨을 확인할 수 있었다.

표 2-2. 케이블 각도, 신율 및 장력에 따른 증폭비율 계산

X축: 각도(프레임 가로/세로) Y축: 케이블 감는 횟수 Z축: 증폭비		
		
		
		

2-1-4. **댐퍼 요소 검증**

2-1-4-1. 실리콘 점성댐퍼 특징



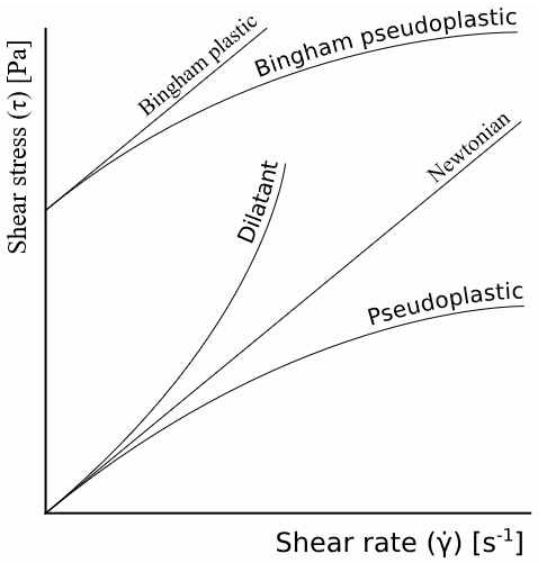
그림 2-10. 실리콘 점성댐퍼

- 본 연구에서는 유사가소성 재료인 실리콘 겔(gel)을 실린더 내부에 주입하여 제작한 실리콘 점성댐퍼를 사용하여 감쇠효과를 거두고자 하였다, 실리콘 점성댐퍼는 에너지 흡수력이 뛰어나며, 불규칙적이고 반복적인 지진에너지에 효과적으로 감쇠력을 발휘할 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한, 본 실리콘 점성댐퍼는 속도의존형 감쇠장치로서 속도가 커질수록 에너지 소산능력도 커지며, 이에 따라 건축물에 큰 가속도가 입력되는 대형 지진에서도 효율적인 소산능력을 발휘할 수 있다.

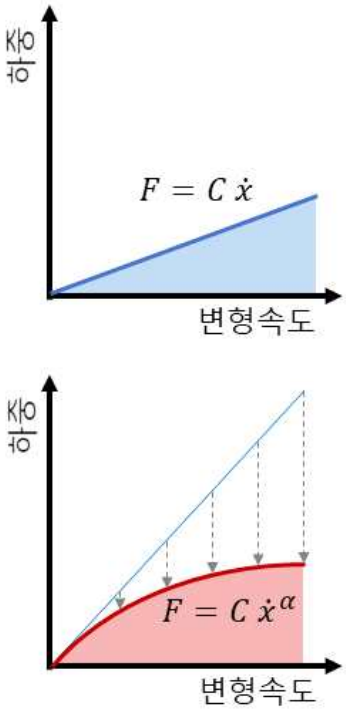
- 일반적으로 점성댐퍼의 용량, 즉 최대저항하중은 점성댐퍼 내부의 오리피스(Orifice) 및 피스톤 헤드 등의 설계를 통하여 증감할 수 있으며, 에너지 소산 효율은 주로 실린더 내 충진재에 의존하여 변화한다. 따라서 구조물에 적용될 점성댐퍼의 설계 시에 내부 충진재의 선택은 매우 중요하다 말할 수 있다.

- 일반적인 점성 감쇠장치의 충진재인 오일은 다음의 식 $\tau=\mu\frac{du}{dx}$ (τ는 전단 응력, μ는 유체의 점성계수)으로 표현할 수 있는 뉴턴 유체로 가정되며, 점성계수가 앞의 식의 전단변형률로 표현되는 변형 속도와 무관하게 일정한 특성을 갖는다. 고점성의 일부 실리콘 오일은 이와는 다르게 비뉴턴 유체로서 전단 박화(shear thinning)에 의하여 점성계수가 변화하는 특성을 갖기는 하나, 그 정도가 크지 않은 특성을 갖는다(그림 2-11).

- 본 연구에서는 비뉴턴 고분자 유체의 성질을 갖는 실리콘 겔을 활용하여 높은 속도의 존성을 갖는 실리콘 점성댐퍼를 제작하였다. 실리콘은 가교결합(cross-link)이 완전하게 이루어지는 경우 탄성체의 특성이 점차 커지게 된다. 하지만, 양생 시 경화제의 양 조절을 통하여 일부만을 양생한다면, 비교적 쉽게 변형할 수 있는 실리콘 겔의 형상을 갖게 된다. 제작된 실리콘 겔은 전단 변형 속도가 커질수록 입자들이 해당 방향으로 배향된다. 이 때문에 변형 초기에 비하여 입자간 충돌이 감소되어 전단력 역시도 감소되는 유사가소성(pseudo-plastic)을 갖게 된다.



유체의 종류



선형 및 비선형 감쇠장치의
변형속도-하중 그래프 개형

그림 2-11. 유체 종류 및 그에 따른 점성댐퍼의 특성

- 이러한 성질 때문에 선형 감쇠장치와 비교했을 때 더 큰 에너지 소산율을 갖는다는 장점이 있다. 앞서 언급했던바와 같이 최대하중의 크기는 내부 피스톤 구조 및 오리피스의 형상 설계를 통하여 충분히 증가시킬 수 있기 때문에, 유사가소성 특성을 지닌 충진재를 활용한 제진장치는 다양한 용량의 고효율 감쇠장치를 구성할 수 있는 장점이 있다. 또한 해당 소재는 고점성 및 겔 성상 덕분에 유체형 감쇠장치 제작시의 일반적인 문제점인 밀봉의 어려움과 잠재적인 누유의 문제가 발생하지 않는 장점이 있다.

- 그 뿐만 아니라 강재이력형 감쇠장치와는 다르게 소성변형을 하지 않아 본진 발생 후 이어지는 여진에도 무리 없이 대처할 수 있다. 또한 변위의존형 제진장치와는 다르게 미소변위에 대한 감쇠 효과 역시 유지되기 때문에 작은 지진에서도 효율적으로 에너지 소산이 발생하는 등 기존의 점성댐퍼가 갖는 장점들 역시도 그대로 보유하고 있다.

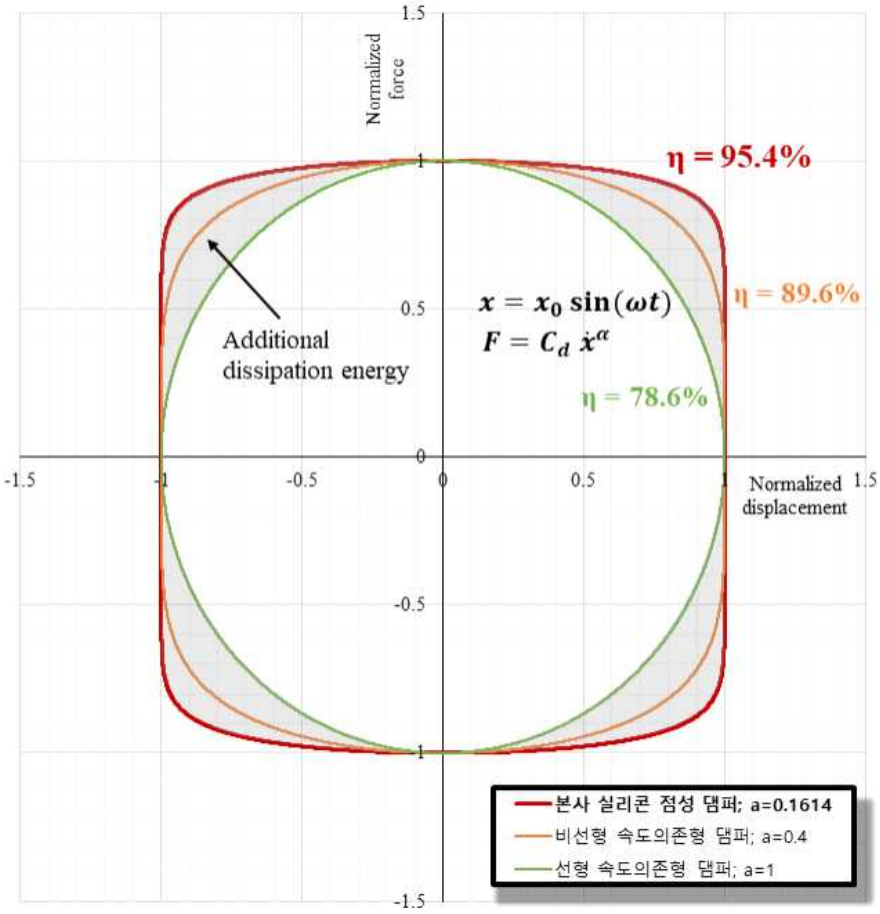


그림 2-12. 여러 감쇠 지수의 감쇠장치에 정현파 형태의 변위가 입력될 때의 하중-변위 곡선

2-1-4-2. 실리콘 점성댐퍼 요소 성능 실험

(1) 실험 계획

(가) 실험체 형상

- 본 제진시스템에 적용할 댐퍼의 성능을 평가하기 위해 그림 2-13과 같은 형상을 가지는 실리콘 점성 댐퍼를 제작하였다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 해당 댐퍼의 실린더 외경은 90 mm, 가용 스트로크 범위는 ±50 mm였다.

- 본 댐퍼의 저항성능하중은 실린더 내부에 위치하는 피스톤 해드와 실린더 사이의 간극을 조절하여 약 10 kN과 50 kN의 저항력이 발생하도록 하였다.

(나) 실험체 셋업

- 그림 2-14와 같이 제작된 실리콘 점성댐퍼를 800 kN급 액추에이터 사이에 고정시키고 반복가력을 실시하였다. 본 실리콘 점성댐퍼의 경우 속도의존성을 가지고 있기 때문에 각각의 달라진 속도에서 성능을 확인하기 위해 총 5 종류의 속도(1 mm/s, 10 mm/s, 30 mm/s, 90 mm/s, 150 mm/s) 하에서 실험을 실시하였다.

- 액추에이터로부터 입력되는 하중은 정현파(sin파) 형태로 댐퍼변위가 0인 위치에서 최대속도가 발생하며, 이때 해당 속도가 목표로 하는 속도가 되도록 실험을 셋업하였다. 각 실험체별 가력변위는 안전을 고려하여 ±40 mm로 지정하였다.

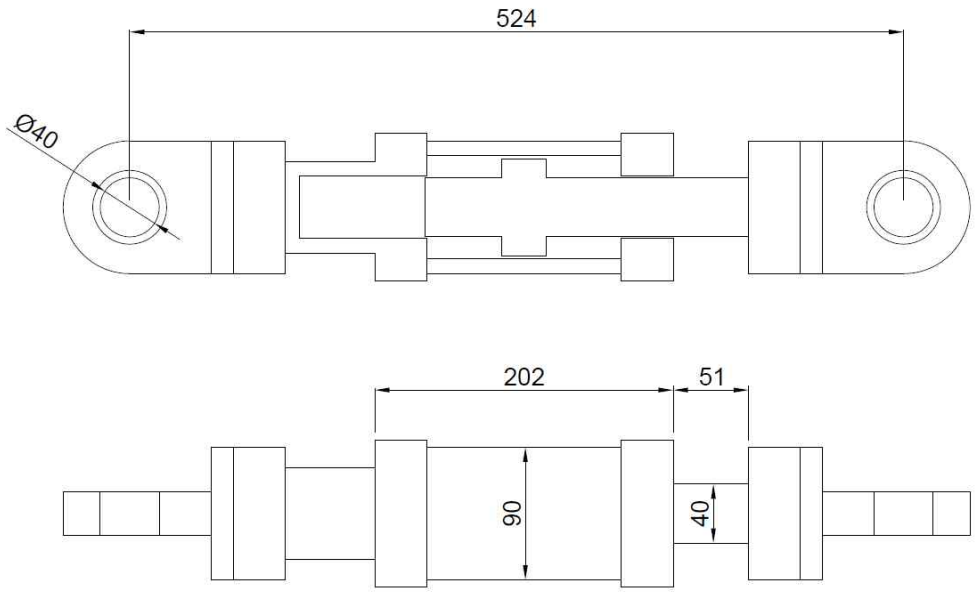


그림 2-13. 실험체 형상

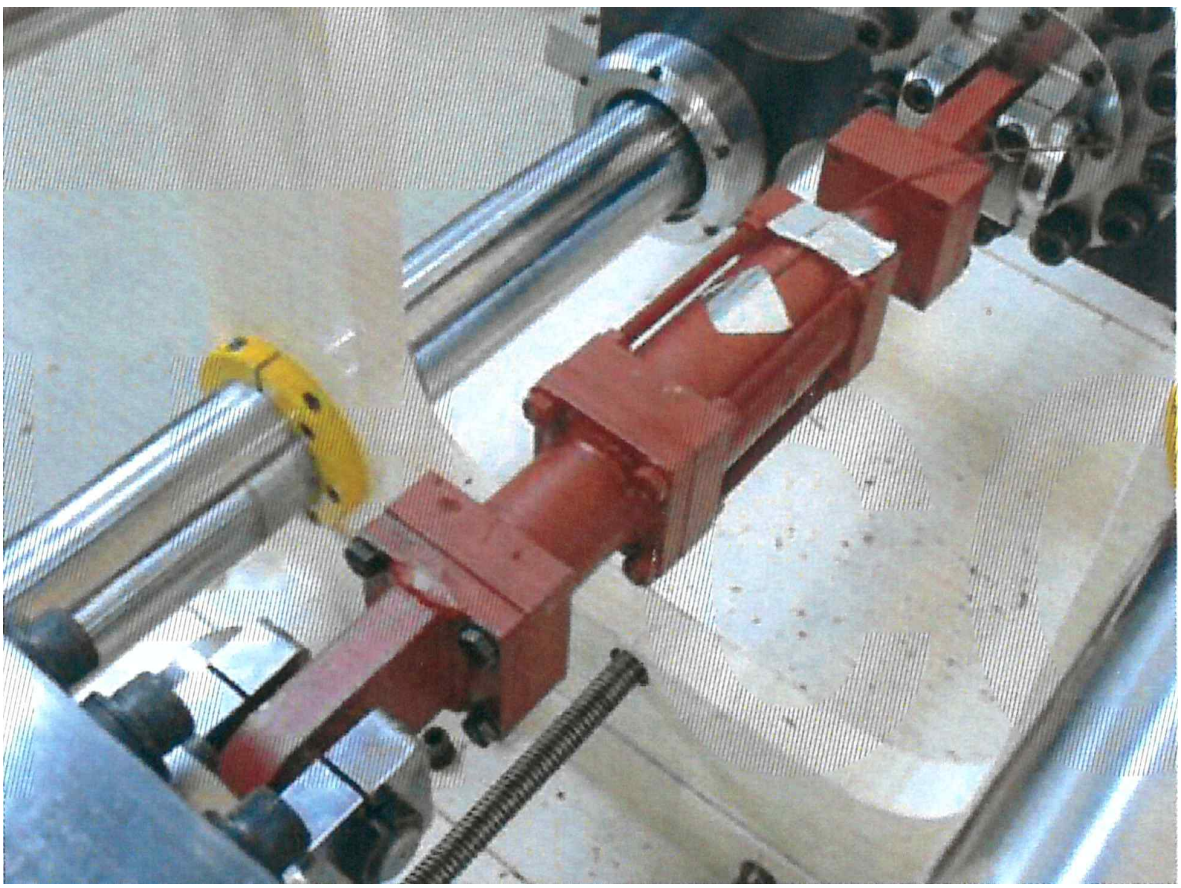


그림 2-14. 실리콘 점성댐퍼 성능평가 실험

(2) 실험 결과

(가) 하중-변위 관계

- 그림 2-15와 2-16에 10 kN과 50 kN 실리콘 점성댐퍼의 하중-변위 곡선을 가력주파수(또는 최대가력속도)별로 비교하여 나타냈다. 해당 그림에서 살펴볼 수 있듯이, 본 점성댐퍼는 댐퍼에 입력되는 가력속도가 증가할수록 그 저항력이 커지는 특성을 나타냈다. 이는 매 실험 이력곡선 중 0 변위 시점의 하중이 제일 크게 발생한다는 점과 가력주파수를 증가시킨 실험의 하중이 동일 변위에서 더 크게 나타난다는 점에서 확인할 수 있다.

- 한편, 모든 실험에서 종료 시점까지 실린더 내 충진된 실리콘은 누출 발생 없이 안정적인 거동을 나타냈다.

- 표 2-3과 표 2-4는 실험으로부터 계측된 변위 0지점에서의 댐퍼하중의 크기를 사이클별로 정리하여 나타낸 것이다. 제안된 댐퍼의 성능 적합성을 평가하기 위해 정·부방향에 대한 하중 크기를 각각 정리하였으며, 해당 항목별로 평균을 산정하여 식 (2-1)과 같이 이에 대한 편차비율을 퍼센트 값(σ)으로 나타냈다. 여기서, F_0^+와 F_0^-는 각각 정·부방향 제로 변위에서의 하중을 나타내며, $F_{0,Avg.}$는 제로변위에서 5회 반복 계측된 하중들의 평균값을 나타낸다.

$$\sigma = \left|1 - F_0^+ / F_{0,Avg.}^+\right| \times 100\,(\%) \quad \text{or} \quad \left|1 - F_0^- / F_{0,Avg.}^-\right| \times 100\,(\%) \qquad (2\text{-}1)$$

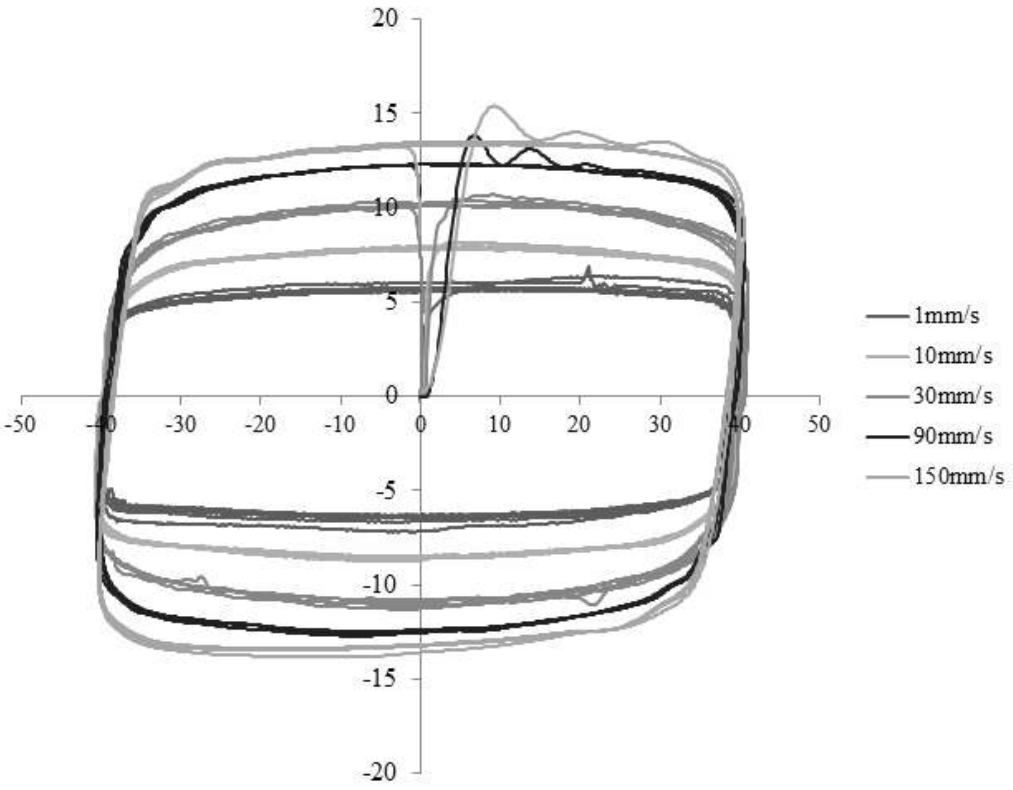


그림 2-15. 10 kN급 실리콘 점성댐퍼 하중-변위 곡선

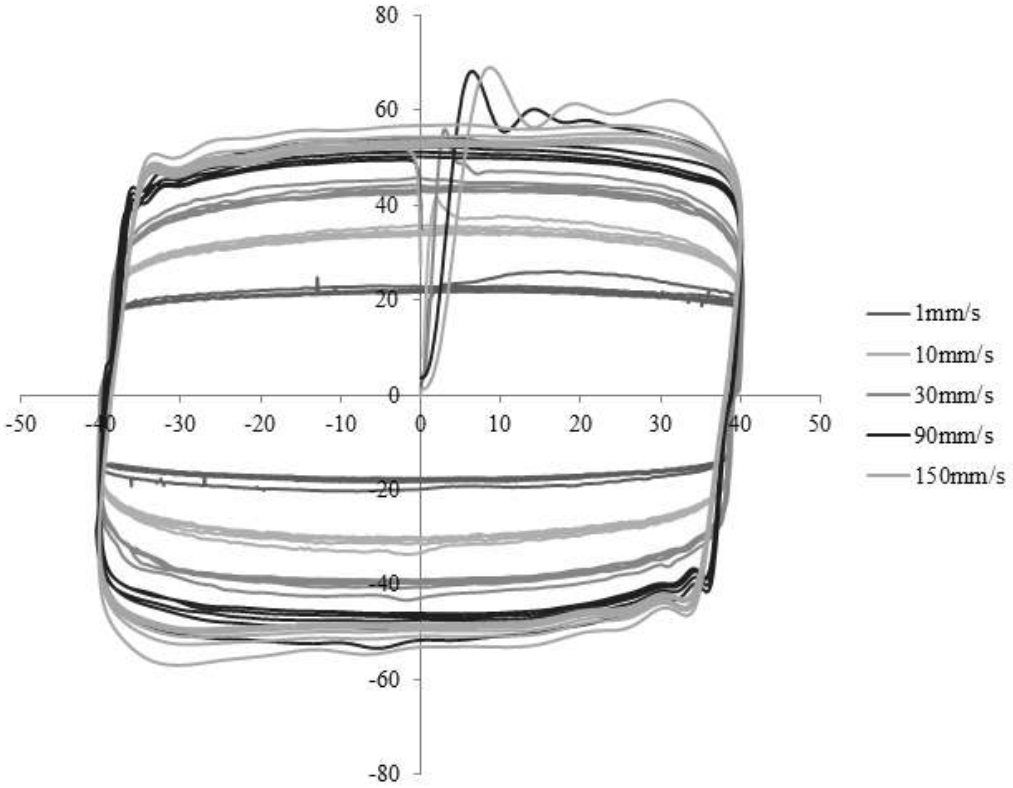


그림 2-16. 50 kN급 실리콘 점성댐퍼 하중-변위 곡선

- 해당 표에서 확인할 수 있듯이, 모든 가력 스텝에서 산출된 평균 대비 편차의 최대 비율은 0.3%에서 8.8% 사이에 분포하여 감쇠장치 적절성 기준인 15%보다 훨씬 작은 값을 나타냈다. 이를 통해 본 댐퍼의 안정적인 이력거동을 검증할 수 있었다.

- 10 kN급 점성댐퍼의 경우, 각 속도별 변위 0 지점에서의 평균저항력(정·부방향 포함)은 1 mm/s에서 6.1 kN, 10 mm/s에서 8.2 kN, 30 mm/s에서 10.6 kN, 90 mm/s에서 12.4 kN, 150 mm/s에서 13.3 kN을 각각 나타냈다.

- 50 kN급 점성댐퍼의 경우, 각 속도별 변위 0 지점에서의 평균저항력(정·부방향 포함)은 1 mm/s에서 20.1 kN, 10 mm/s에서 32.7 kN, 30 mm/s에서 41.9 kN, 90 mm/s에서 49.8 kN, 150 mm/s에서 52.1 kN을 각각 나타냈다. 10 kN급 점성댐퍼와 비교하여 동일한 속도에서 계측된 저항력이 약 4배 가량 증가한 것으로 나타났다.

표 2-3. 10 kN급 실리콘 점성댐퍼의 실험 결과

Damper force	F_0^+	σ	F_0^-	σ	E	σ
	(kN)	(%)	(kN)	(%)	(kN·mm)	(%)
Velocity	1.0 mm/s					
1st Cycle	6.0	**5.3**	−7.1	**8.8**	977	**6.1**
2nd Cycle	5.7	0.3	−6.6	0.7	936	1.7
3rd Cycle	5.6	1.0	−6.5	1.6	909	1.3
4th Cycle	5.6	2.1	−6.3	3.6	893	2.9
5th Cycle	5.6	2.6	−6.3	4.3	887	3.6
Avg.	**5.7**		**−6.6**		920	
Velocity	10 mm/s					
1st Cycle	8.0	**1.4**	−8.7	**2.0**	1239	**1.8**
2nd Cycle	7.9	0.5	−8.6	0.6	1230	1.0
3rd Cycle	7.8	0.1	−8.5	0.7	1215	0.2
4th Cycle	7.8	1.1	−8.5	0.7	1205	1.0
5th Cycle	7.8	0.6	−8.5	1.3	1199	1.5
Avg.	**7.8**		**−8.6**		1217	
Velocity	30 mm/s					
1st Cycle	10.2	**1.0**	−11.3	**2.4**	1572	**2.3**
2nd Cycle	10.2	0.2	−11.1	0.9	1553	1.0
3rd Cycle	10.1	0.1	−10.9	0.4	1536	0.1
4th Cycle	10.1	0.2	−10.9	0.9	1512	1.6
5th Cycle	10.0	**1.0**	−10.8	2.1	1514	1.5
Avg.	**10.1**		**−11.0**		1537	
Velocity	90 mm/s					
1st Cycle	12.3	0.1	−12.5	**0.8**	1797	**0.3**
2nd Cycle	12.3	0.2	−12.4	0.2	1798	0.3
3rd Cycle	12.3	0.0	−12.4	0.3	1789	0.2
4th Cycle	12.3	0.0	−12.4	0.1	1788	0.3
5th Cycle	12.3	**0.3**	−12.4	0.3	1790	0.1
Avg.	**12.3**		**−12.4**		1792	
Velocity	150 mm/s					
1st Cycle	13.5	**1.0**	−13.6	**2.1**	1948	0.4
2nd Cycle	13.3	0.1	−13.2	0.4	1949	0.5
3rd Cycle	13.3	0.1	−13.2	0.4	1941	0.0
4th Cycle	13.3	0.3	−13.2	0.4	1935	0.3
5th Cycle	13.2	0.7	−13.2	0.9	1929	**0.6**
Avg.	**13.3**		**−13.3**		1940	

표 2-4. 50 kN급 실리콘 점성댐퍼의 실험 결과

Damper force	F_0^+	σ	F_0^-	σ	E	σ
	(kN)	(%)	(kN)	(%)	(kN·mm)	(%)
Velocity	1.0 mm/s					
1st Cycle	22.8	**3.6**	−19.8	**8.8**	3267	**7.4**
2nd Cycle	22.1	0.2	−18.3	0.3	3049	0.2
3rd Cycle	21.9	0.9	−17.9	2.0	2984	1.9
4th Cycle	21.8	1.3	−17.6	3.4	2961	2.7
5th Cycle	21.7	1.6	−17.6	3.6	2949	3.0
Avg.	**22.0**		**−18.2**		3042	
Velocity	10 mm/s					
1st Cycle	35.7	**3.7**	−33.2	**7.2**	4981	**4.5**
2nd Cycle	34.6	0.6	−31.3	0.8	4819	1.1
3rd Cycle	34.4	0.1	−30.5	1.6	4727	0.9
4th Cycle	33.8	1.7	−30.1	3.1	4672	2.0
5th Cycle	33.6	2.5	−30.0	3.2	4644	2.6
Avg.	**34.4**		**−31.0**		4769	
Velocity	30 mm/s					
1st Cycle	45.7	**4.6**	−42.7	**6.2**	6461	**4.9**
2nd Cycle	44.1	1.1	−40.5	0.8	6215	0.9
3rd Cycle	43.3	0.9	−39.7	1.3	6095	1.0
4th Cycle	42.9	1.9	−39.2	2.5	6023	2.2
5th Cycle	42.4	2.9	−38.9	3.2	5989	2.7
Avg.	**43.7**		**−40.2**		6157	
Velocity	90 mm/s					
1st Cycle	54.1	**5.1**	−51.6	**7.5**	7817	**6.4**
2nd Cycle	52.3	1.7	−48.6	1.1	7470	1.7
3rd Cycle	51.2	0.5	−47.4	1.5	7313	0.5
4th Cycle	50.2	2.5	−46.7	2.8	7109	3.3
5th Cycle	49.5	3.9	−46.0	4.2	7034	4.3
Avg.	**51.5**		**−48.1**		7349	
Velocity	150 mm/s					
1st Cycle	56.8	**5.2**	−53.1	**5.7**	8118	**4.8**
2nd Cycle	54.4	0.8	−50.8	1.1	7881	1.8
3rd Cycle	53.5	0.9	−49.6	1.3	7673	0.9
4th Cycle	52.8	2.2	−49.1	2.4	7563	2.3
5th Cycle	52.4	2.9	−48.7	3.1	7480	3.4
Avg.	**53.9**		**−50.3**		7743	

(나) 에너지 소산량

- 상기 표에는 하중-변위 이력곡선 내 면적으로부터 산출된 매 사이클별 에너지 소산량도 함께 정리하여 나타냈다. 10 kN급 점성댐퍼의 경우, 가력 속도가 1.0 mm/s일 때 매 사이클별 소산된 에너지량은 평균 920 kN·mm로 나타났다. 이후 가력 속도가 증가함에 따라 하중 증가와 더불어 에너지 소산량도 증가하였으며, 그 증가비율은 하중의 그것과 거의 유사하였다. 가력 속도 10 mm/s, 30 mm/s, 90 mm/s, 그리고 150 mm/s에서 산출된 매 사이클 별 평균 에너지 소산량은 각각 1,217 kN·mm, 1,537 kN·mm, 그리고 1,792 kN·mm이었다.

- 50 kN급 점성댐퍼의 경우, 가력 속도 1.0 mm/s, 10 mm/s, 30 mm/s, 90 mm/s, 그리고 150 mm/s에서 산출된 매 사이클 별 평균 에너지 소산량은 각각 3,042 kN·mm, 4,769 kN·mm, 6,157 kN·mm, 7.349 kN·mm 그리고 7,743 kN·mm으로 계측되었다.

(다) 하중-속도 관계 정의

- 속도의존형 댐퍼의 경우, 제안된 점성댐퍼를 실제 구조모델에 적용하여 그 성능을 해석적으로 평가하기 위해서는 댐퍼의 작동 속도에 따른 하중의 크기 변화를 나타내는 함수식 정의가 요구된다. 일반적으로 유체점성댐퍼(Fluid Viscous Dampers)의 거동을 나타내는 대표적인 수학 모델로 Maxwell 모델과 Kelvin - Voigt 모델이 주로 사용된다. 본 연구에서는 Maxwell 모델을 적용하여 제안된 댐퍼의 거동을 모사할 수 있는 수치모델을 제안하였다.

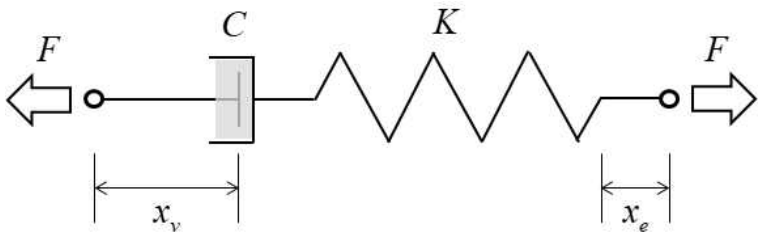


그림 2-17. Maxwell model

- Maxwell 모델은 그림 2-17에서 보이는 바와 같이 스프링 및 감쇠 요소가 직렬로 연결된 형태를 띈다. 이 때문에 전체 시스템에 발생된 변위는 스프링 요소와 감쇠 요소 각각에 발생된 변위의 합으로 나타낼 수 있다(식 (2-2)). 또한, 각각의 요소에 작용하는 힘은 시스템 전체에 작용하는 힘 F로 식 (2-3)처럼 정의할 수 있다. 여기서, x, x_e, x_v는 각각 시스템, 스프링요소 및 감쇠요소에 발생된 변위를 나타내며, K는 시스템 강성, C는 시스템의 감쇠계수를 나타낸다. 식 (2-2)에서 각 요소별 변위를 제거하기 위해서 식 (2-2)과 (2-3)를 미분하여 재정리하면 식 (2-4)를 유도할 수 있다.

$$x = x_e + x_v \qquad (2\text{-}2)$$

$$F = Kx_e = C\dot{x}_v \qquad (2\text{-}3)$$

$$F + \frac{C}{K}\dot{F} = C\dot{x} \qquad (2\text{-}4)$$

- 식 (2-4)에서 시스템의 강성을 나타내는 K는 본 감쇠장치의 경우 피스톤 로드의 축 방향에 대한 강성을 나타내며, 이 값은 감쇠 요소에 의한 저항력보다 매우 큰 값을 나타내기 때문에 두 번째 항은 $C\dot{F}/K \approx 0$와 같이 근사할 수 있다. 마지막으로 본 모델에 비선형성을 반영하기 위한 계수 α를 지수로 추가해 주면 식 (2-5)과 같은 수치 모델을 유도할 수 있다.

$$F = C\dot{x}^{\alpha} \qquad (2\text{-}5)$$

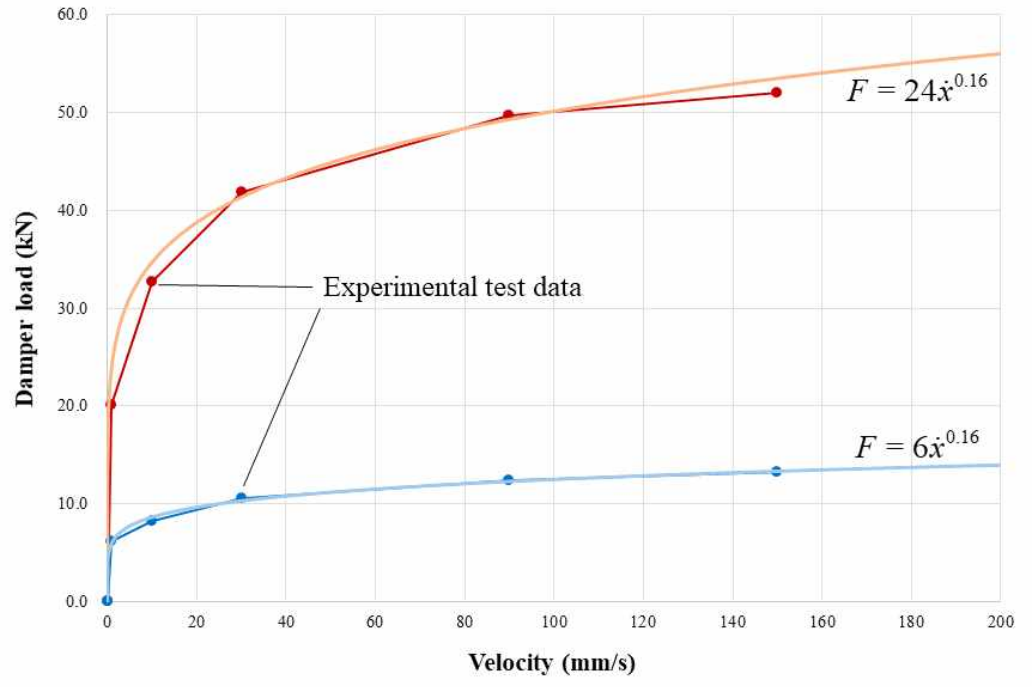


그림 2-18. 댐퍼하중-속도 관계 정의 및 수치모델 제안

- 본 연구에서 사용된 점성댐퍼의 거동을 정확히 예측할 수 있는 함수식을 결정하기 위해서는 상기 방정식에서 적절한 상수값 C와 α가 정의되어야만 한다. 이를 위해 실험으로부터 확인된 제로 변위에서의 평균 하중을 각각의 속도별로 정리하여 그림 2-18에 포인트로 나타냈다. 해당 데이터 분포를 바탕으로 회기 분석을 실시하여, 속도에 따른 하중 증가 경향을 잘 유추할 수 있는 미지 상수값들을 결정하였다. 그 결과 식 (2-6)과 (2-7)과 같이 감쇠계수 및 비선형성을 나타내는 α값을 결정하였다. 그림 2-18에서 보이는 바와 같이, 해당 유추식은 실험 결과와 잘 일치하여 본 댐퍼의 속도-하중 관계를 나타내는 방정식으로 사용하기에 적합함을 확인할 수 있었다.

- 10 kN급 실리콘 점성댐퍼에 대해 $F = 6\dot{x}^{0.16}$ (2-6)
- 50 kN급 실리콘 점성댐퍼에 대해 $F = 24\dot{x}^{0.16}$ (2-7)

2-1-5. 케이블-도르래 감쇠시스템 구조성능 평가

2-1-5-1. 실험 계획

(1) 실험체 형상

- 본 연구에서 제안한 케이블-도르래 제진시스템의 작동 메카니즘을 확인하기 위해 그림 2-19와 같이 실험체를 제작하였다. 강재 형강 H-250×250×9×14을 이용하여 기둥과 보로 형성되는 프레임을 구성하였으며, 기둥과 보의 접합부는 핀으로 연결하여 회전에 대해 자유롭게 움직일 수 있게 하였다.

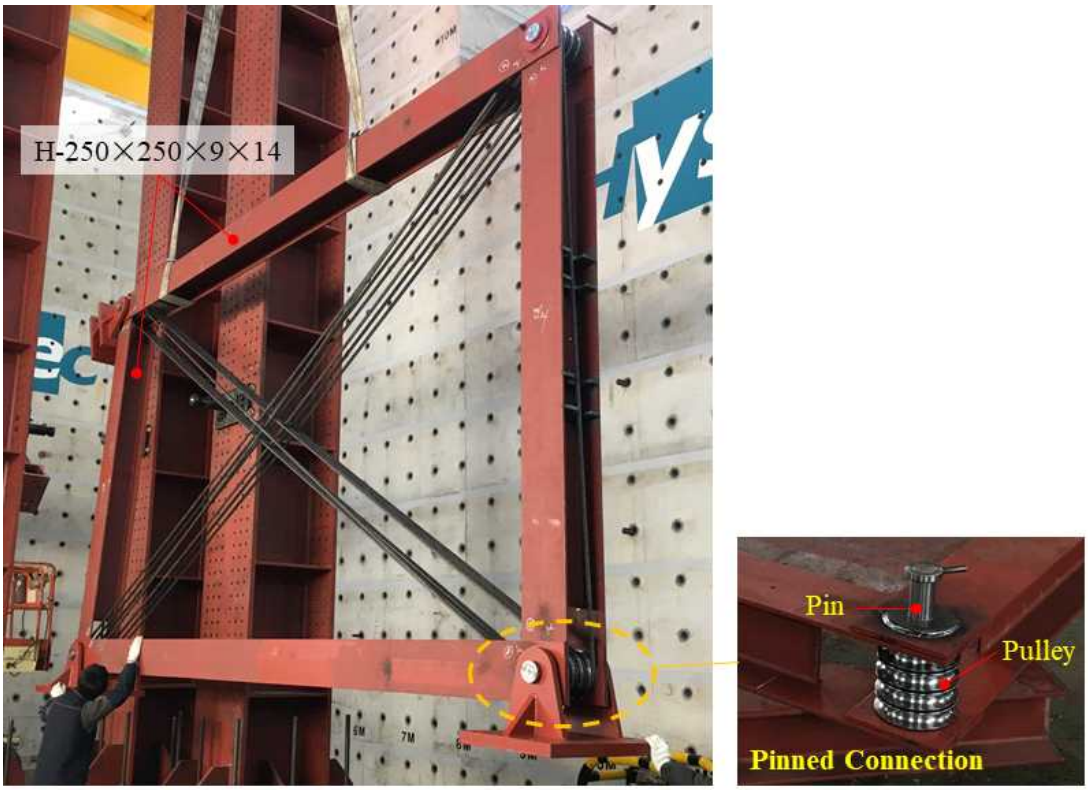


그림 2-19. 케이블-도르래 제진시스템 실험체 형상

- 강재 H형강으로 구성된 골조의 크기는 기둥 사이 경간이 5 m, 층고는 3 m로 계획되었다. 댐퍼에 하중을 전달하기 위한 강와이어 로프는 앞선 재료 성능 실험 결과에 근거하여 IWRC 6×Fi(25) 제품을 사용하였으며, 그 지름 크기는 20 mm였다. 핀접합부에 사용된 도르래의 지름 크기는 200 mm이며, 그 중심부에 지름 60 mm 크기의 핀이 삽입될 수 있도록 구멍을 가공하였다. 또한 강와이어 로프가 도르래와 작동 중에 바깥으로 벗어나지 않게 도르래에 20 mm 깊이의 홈을 팠다.

- 실험체 개수는 총 6개로, 실험 변수는 점성댐퍼 설치 유무 및 하중을 지지하는 강와이어 로프의 수로 정하였다. 우선, 제안된 강와이어 로프-도르래 시스템이 예상된 작동 메카니즘에 기초하여 잘 거동하는지 확인하기 위해서 댐퍼를 설치하지 않은 실험체를 준비하였다. 이때, 골조의 대각선 방향으로 위치하는 도르래 사이를 연결하는 강와이어 로프의 개수를 각각 3개, 5개, 7개로 조절한 실험체에 대해 그 성능을 평가하였다.

그리고 동일한 실험 조건 하에서 댐퍼를 설치하여 댐퍼에 의한 골조의 하중 저항 효과가 얼마나 증진되는지 확인하고자 하였다. 여기서, 도르래가 강와이어 로프 3개로 연결된 실험체의 경우, 댐퍼의 변위는 약 2.57배 (3 × cosΘ) 증폭될 것이 예상된다 (그림 2-20). 표 2-5에 실험체 상세를 정리하여 나타냈다.

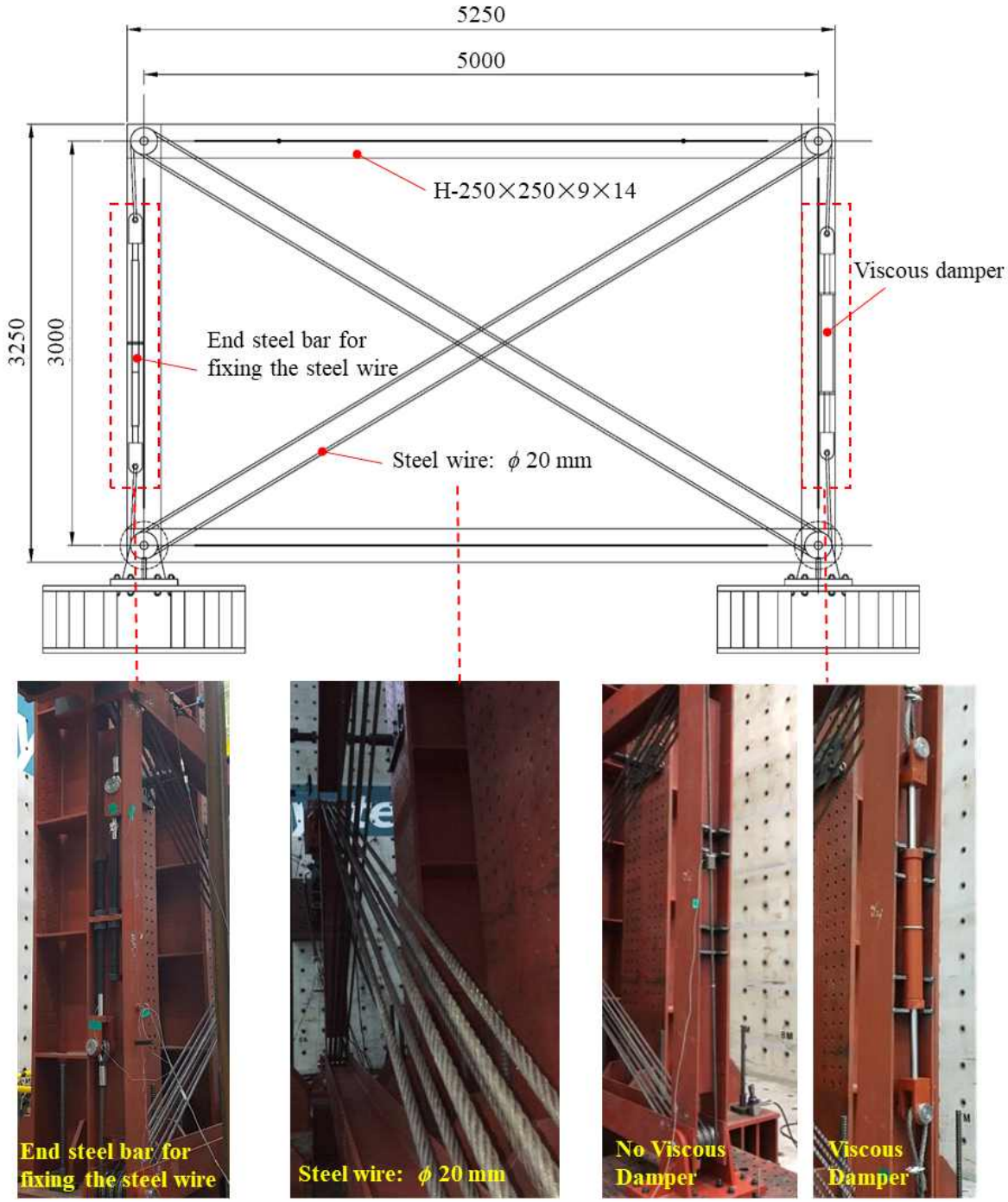


그림 2-19. 케이블-도르래 제진시스템 실험체 형상 (계속)

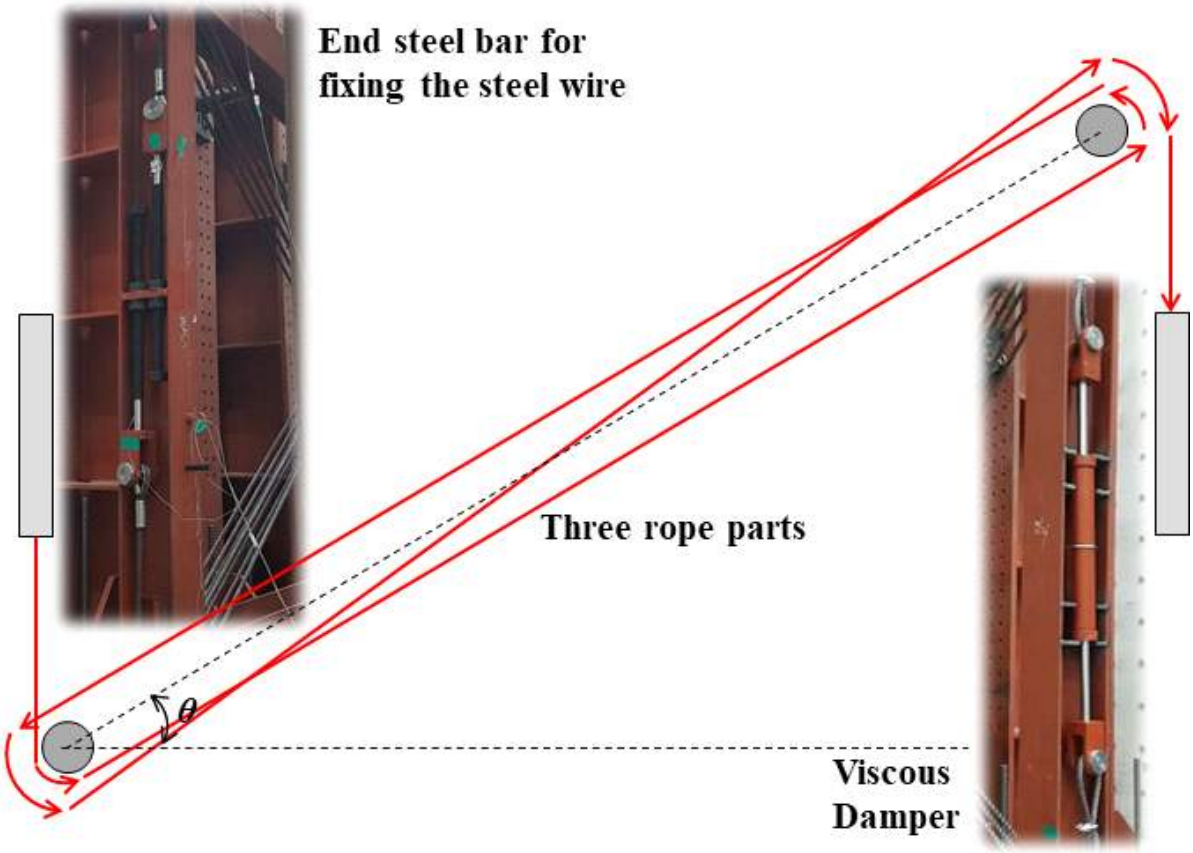


그림 2-20. 대각선 방향으로 도르래를 연결한 강와이어 로프의 개수가 3개인 경우

표 2-5. 실험체 상세

Specimens	댐퍼 설치 유무	도르래를 지지하는 연결로프의 개수	기대되는 증폭비
DS-3-D0	무	3	2.57
DS-5-D0		5	4.29
DS-7-D0		7	6.00
DS-3-D1	유	3	2.57
DS-5-D1		5	4.29
DS-7-D1		7	6.00

- 한편 강와이어 로프를 골조 한쪽에 고정시키기 위해 단부에 핀이 설치된 강재 바를 그림 2-20과 같이 골조의 왼쪽 기둥에 설치하였다. 한편, 본 제진시스템이 잘 작동하기 위해서는 로프의 탄성변형을 최소화해야 하며, 이를 위해 안정된 강성을 확보할 수 있도록 초기 긴장력을 로프에 도입하는 것이 필요하다. 본 실험에서는 체인 블록을 이용하여 로프에 10-15 kN 크기의 초기 긴장력을 도입하였으며, 해당 인장력이 유지될 수 있도록 고정바를 잡아당긴 후 너트를 조여 강와이어 로프를 고정하였다.

(2) 실험 셋업

- 그림 2-21과 같이 제작된 실험체를 셋업하였다. 1,000 kN 성능의 액츄에이터를 이용하여 실험체에 하중을 가력하였으며, 가력 시 실험체의 면외방향 변위를 제어하기 위해 골조 상단보 측면에 횡방향 지지물을 설치하였다.

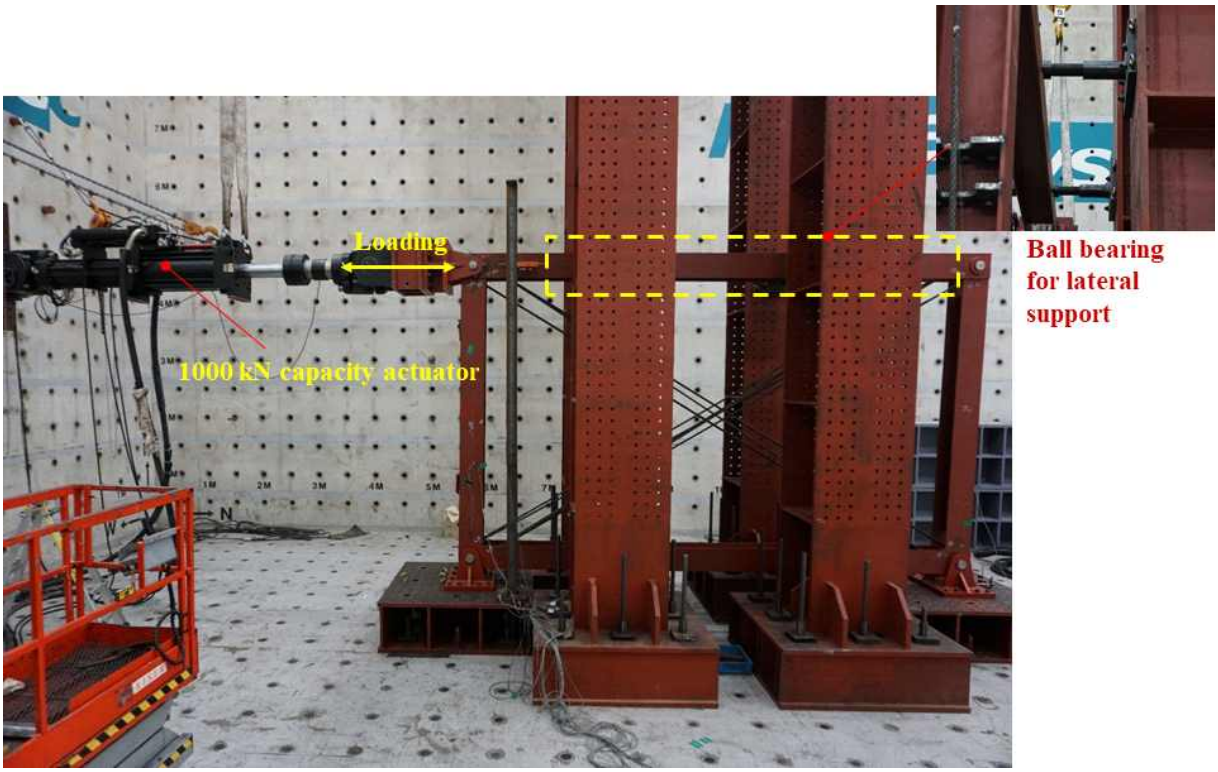


그림 2-21. 실험체 셋업

표 2-6. Loading Protocol

Drift ratio [%]		0.5	0.625	0.75	0.875	1.0	1.125	1.25	1.375	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5	3.0	3.5
Loading Displacement [mm]		15.0	18.75	22.5	26.25	30.0	33.75	37.5	41.25	45.0	52.5	60	67.5	75	90	105
Maximum Speed [mm/s]		9.4	11.8	14.1	16.5	18.8	21.2	23.6	25.9	28.3	33.0	37.7	42.4	47.1	56.5	66.0
Cycle		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Step	Three rope parts (DS-3)	1	-	2	-	3	-	4	-	5	-	6	-	7	8	9
	Five rope parts (DS-5)	1	-	2	-	3	-	4	-	5	6	7	8	9		
	Seven rope parts (DS-7)	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
Frequency [Hz]		0.1														

- 도르래 사이에 하중을 전달하는 강와이어 로프의 개수에 따라 댐퍼로 증폭되어 유도되는 변위가 달라지기 때문에, 설치된 댐퍼의 최대 가용 스트로크인 300 mm를 기준으로 실험체 별로 가력프로토콜을 달리하여 실험을 진행하였다. 표 2-6 및 그림 2-22에 각 실험체별 하중 프로토콜을 정리하여 나타냈다. 하중은 정현파(sine wave) 형태로 가력주파수를 0.1 Hz로 고정하여 골조의 왼쪽 상단부 접합부에서 가력을 진행하였다. 하중 스텝은 모든 실험체에 대해 총 9단계로 진행하였으며, 매 스텝별로 5회 반복가력을 실시하였다. 이때, 매 하중 스텝별로 일정한 주파수 하에서 가력변위를 증가시켰기 때문에, 실제 최대가력속도는 매 하중 스텝이 진행될수록 증가하게 된다. 이를 통해 속도 의존형 점성댐퍼가 전체 제진시스템의 거동에 어떠한 영향을 미치는 지 동시에 확인할 수 있도록 하였다.

- 제안된 변위 증폭 시스템에 의해 가력 변위 대비 댐퍼에 발생되는 변위의 비를 확인하고자 그림 2-23에 나타낸 것처럼 선형 가변 변위 변환기 (linear variable displacement transducer)를 설치하였다. 또한, 케이블에 발생되는 축력의 변환을 확인하기 위해 기둥에 고정된 강재 바에 스트레인 게이지를 설치하였다.

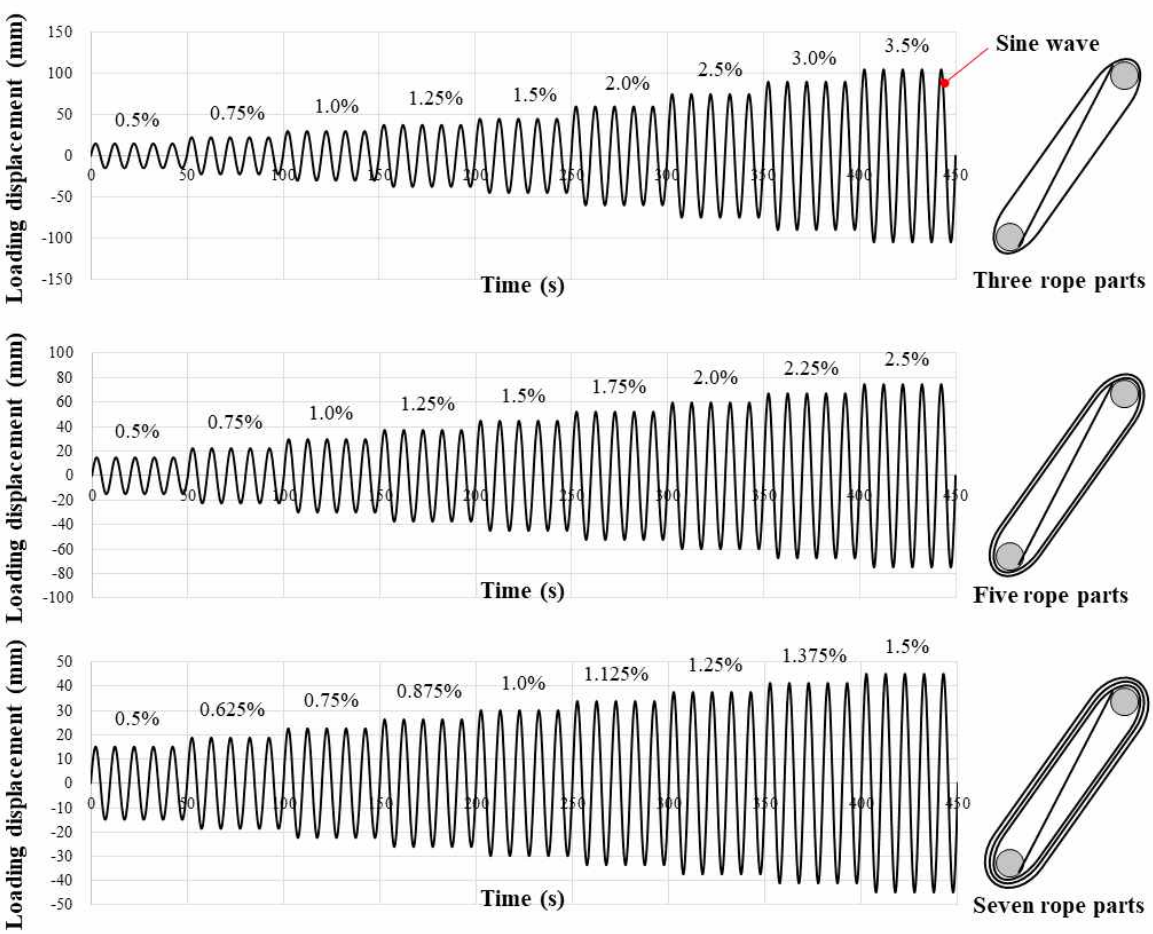


그림 2-22. Loading Protocol

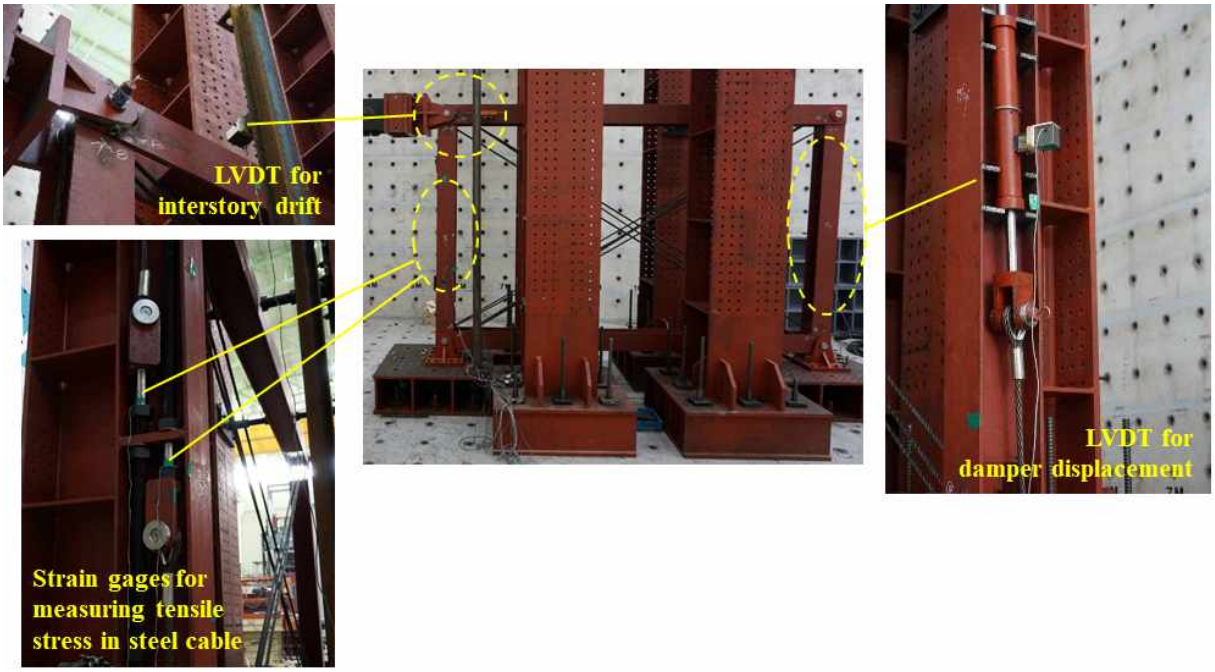

LVDT for
interstory drift
Strain gages for
measuring tensile
stress in steel cable
LVDT for
damper displacement

그림 2-23. 계측 계획

(3) 요소 실험

(가) 실리콘 점성댐퍼

- 본 실험에 사용된 점성댐퍼는 10 kN급 댐퍼로 변위 증폭 효과를 감안하여 최대 ±300 mm의 스트로크로 거동할 수 있도록 특수 제작하였으며, 해당 댐퍼의 하중-속도 특성은 앞선 요소 실험에서 검증된 것과 동일하다.

(나) 강와이어 로프

- 실험에 사용된 강와이어 로프의 인장 특성을 파악하기 위해 인장 실험을 실시하였으며, 그 결과를 그림 2-24에 나타냈다. 해당 그래프에서 확인해 볼 수 있듯이, 실험에 사용된 강와이어 로프 3개 실험체의 평균 최대하중 값은 301.1 kN으로 나타났으며, 하중 50 kN에서 100 kN사이의 할선 강성은 약 10,749 kN/(mm/mm)로 확인되었다.

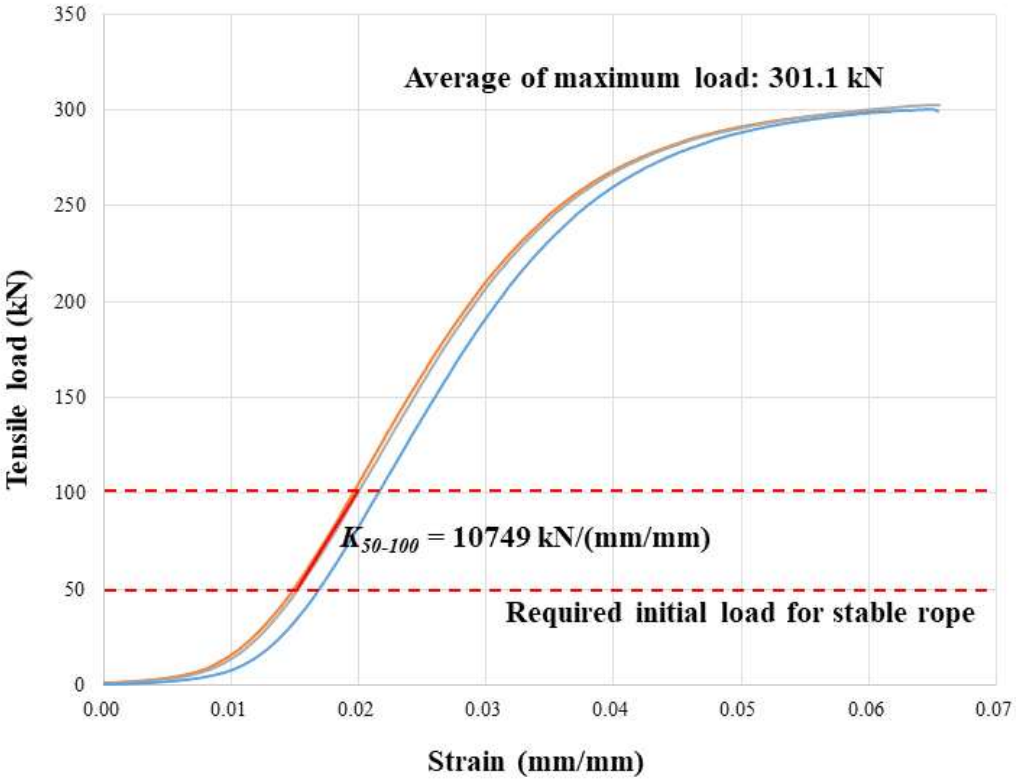


그림 2-24. 강와이어 로프 재료 실험 결과

2-1-5-2. 실험 결과 및 분석

(1) 변위 증폭 메카니즘 분석 및 효과

(가) 변위 증폭 메카니즘 분석

- 그림 2-25에 본 연구에서 제안된 제진시스템의 변위증폭 메카니즘을 정리하여 나타냈다. 이론적으로 본 제진장치의 층간변위와 댐퍼변위 사이의 관계는 그림 3-7에서 검정 파선으로 나타낸 것과 같이 선형적인 관계를 나타내야 한다.

- 그러나 로프 안정화를 위해 초기에 도입한 긴장력(10-15 kN) 때문에 도르래와 그 내부에 설치된 핀 사이에 높은 마찰력이 작용하게 된다. 이로 인해 가력 초반 횡력에 의해 프레임에 발생하는 전단변형이 그대로 도르래 작동으로 이어지지 않는 지연현상이 발생하게 된다. 이러한 지연현상 때문에 층간변위와 댐퍼의 작동변위 사이에 그림 2-25의 빨간 실선으로 나타난 바와 같이 한쪽으로 기울어진 평행사변형 형상의 그래프가 나타나게 된다.

- 도르래가 작동하지 않고 멈춰 있는 동안 프레임의 변형은 강와이어 로프의 탄성변형으로 흡수되며, 이러한 거동은 도르래가 작동할 때까지 계속 이어지게 된다. 강와이어 로프에 의해 대각 방향으로 연결된 도르래 사이의 거리가 멀어지면서 강와이어 로프 내 발생되는 인장력이 커지고, 그 크기가 도르래와 핀 사이의 정지마찰력을 넘어서는 순간부터 도르래의 회전이 진행되게 된다. 이러한 지연현상 때문에 실질적인 댐퍼의 작동변위는 이론적인 값보다 감소하게 되는 특징이 나타난다.

- 실험으로부터 확인된 각 실험체별 층간변위 대비 댐퍼의 작동변위 관계를 정리하여 표 2-7부터 2-12와 그림 2-26부터 2-28에 나타냈다.

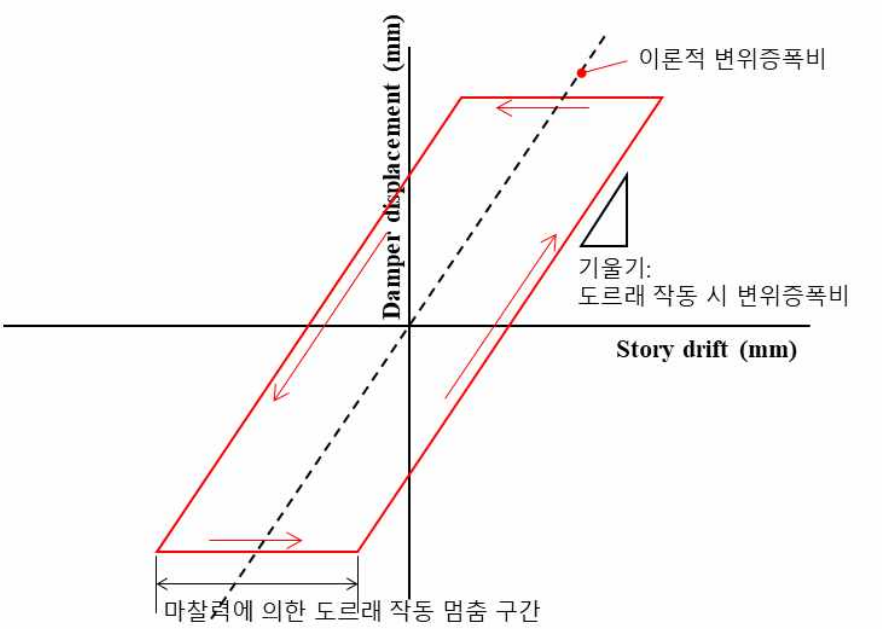


그림 2-25. 강와이어 로프-도르래 제진시스템의 변위증폭 메카니즘

(나) DS-3 실험체군 변위증폭비

- 도르래를 통해 하중을 지지하는 강와이어 로프의 개수가 3개인 DS-3 실험체군의 경우, 이론적인 변위증폭비는 2.57이다. 실험체 DS-3-D0의 경우, 매 사이클별 평균 증폭비의 평균이 2.43으로 나타났으며, 이는 이론값에 비해 약 5.5% 증폭비가 감소된 값이다. 댐퍼가 설치된 DS-3-D1 실험체의 경우, 댐퍼의 작동변위가 층간변위의 약 2.31배 증폭된 값을 나타냈다. 댐퍼가 설치된 실험체의 경우, 그렇지 않은 경우에 비해 댐퍼를 작동시키는 데 필요한 하중이 로프에 더 작용하는 만큼 마찰력도 증가하여 증폭비가 더 감소하는 경향을 나타냈다.

- 그러나 그림 2-26 그래프의 기울기로부터 측정한 도르래 작동 이후의 변위증폭비는 실험체 DS-3-D0에 대해 2.53, 실험체 DS-3-D1에 대해 2.56을 각각 나타내어 실제 이론값인 2.57과 거의 유사한 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

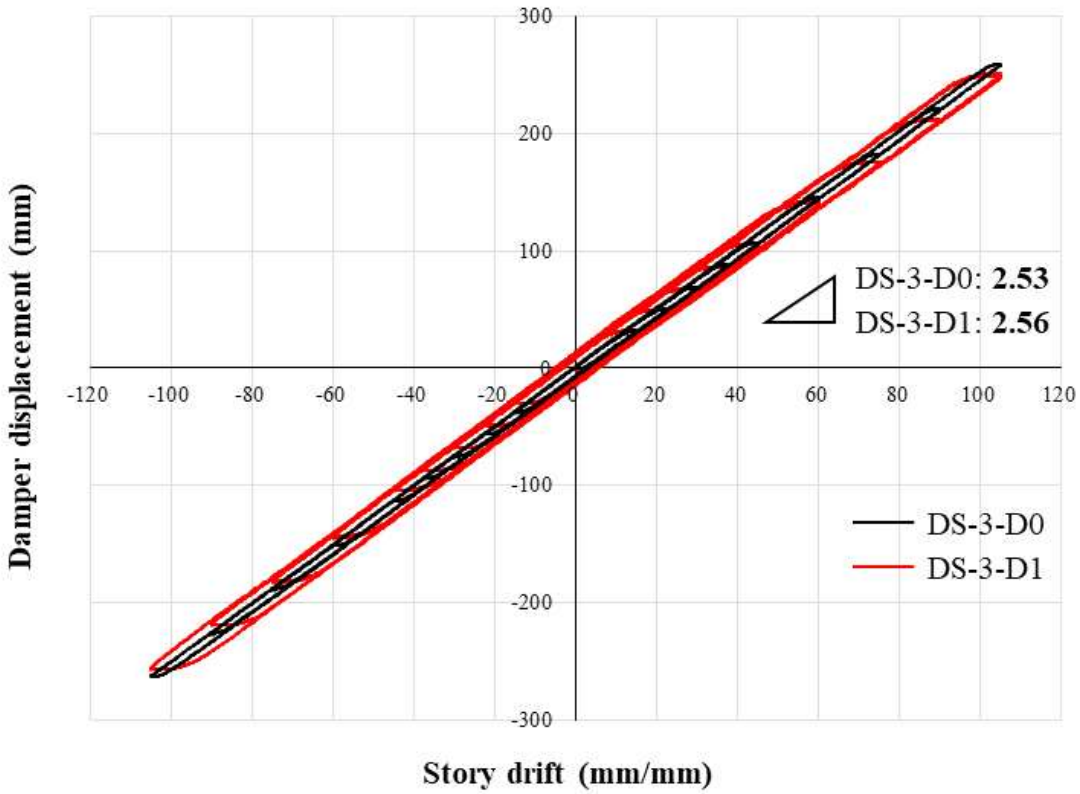


그림 2-26. DS-3 실험체군의 층간변위와 댐퍼작동변위 사이 관계

표 2-7. 실험체 DS-3-D0 의 층간변위 대비 댐퍼변위의 증폭비

실험체		DS-3-D0 (Without Damper)						
Step	층간변위	댐퍼 설치 부위의 변위			증폭비	도르래 작동 시 증폭비		
		정+	부-	평균		정+	부-	평균
1	15.0	32.0	-37.6	34.8	2.32	2.53	2.53	2.53
2	22.5	50.4	-56.5	53.4	2.37	2.52	2.54	2.53
3	30.0	69.1	-75.1	72.1	2.40	2.52	2.54	2.53
4	37.5	88.1	-94.0	91.0	2.43	2.52	2.53	2.53
5	45.0	107.2	-113.3	110.2	2.45	2.51	2.53	2.52
6	60.0	145.4	-151.4	148.4	2.47	2.52	2.52	2.52
7	75.0	182.8	-188.6	185.7	2.48	2.52	2.53	2.53
8	90.0	221.5	-226.2	223.9	2.49	2.52	2.52	2.52
9	105.0	259.5	-263.3	261.4	2.49	2.53	2.52	2.53
전체평균					2.43			2.53

표 2-8. 실험체 DS-3-D1 의 층간변위 대비 댐퍼변위의 증폭비

실험체		DS-3-D1 (With Damper)						
Step	층간변위	댐퍼변위			증폭비	도르래 작동 시 증폭비		
		정+	부-	평균		정+	부-	평균
1	15.0	31.8	-30.1	31.0	2.06	2.57	2.61	2.59
2	22.5	49.6	-48.9	49.2	2.19	2.58	2.63	2.61
3	30.0	67.9	-68.0	67.9	2.26	2.56	2.62	2.59
4	37.5	86.3	-87.5	86.9	2.32	2.55	2.60	2.58
5	45.0	105.7	-104.4	105.0	2.33	2.54	2.58	2.56
6	60.0	141.6	-144.0	142.8	2.38	2.53	2.55	2.54
7	75.0	176.3	-182.5	179.4	2.39	2.52	2.53	2.53
8	90.0	212.4	-219.3	215.9	2.40	2.51	2.51	2.51
9	105.0	250.8	-257.0	253.9	2.42	2.51	2.50	2.51
전체평균					2.31			2.56

(다) DS-5 실험체군 변위증폭비

- 도르래 사이에 연결된 로프의 개수가 5개인 실험체군(DS-5)의 경우, 이론적인 변위증폭비는 4.29이다.

- 댐퍼가 설치되지 않은 실험체(DS-5-D0)의 경우, 표 2-9에서 확인할 수 있듯이 층간변위 대비 댐퍼 설치가 예상되는 위치에서의 변위량이 3.87로 측정되었다. 댐퍼가 설치된 실험체 DS-5-D1의 경우, 해당 증폭비는 3.49로 나타나 댐퍼가 설치되지 않은 실험체에 비해 약 10% 가량 성능이 감소한 것으로 나타났다.

표 2-9. 실험체 DS-5-D0 의 층간변위 대비 댐퍼변위의 증폭비

실험체		DS-5-D0 (Without Damper)						
Step	층간변위	댐퍼 설치 부위의 변위			증폭비	도르래 작동 시 증폭비		
		정+	부-	평균		정+	부-	평균
1	15.0	58.5	-45.4	51.9	3.46	4.12	4.11	4.12
2	22.5	89.1	-76.3	82.7	3.68	4.20	4.17	4.19
3	30.0	120.3	-107.5	113.9	3.80	4.20	4.19	4.20
4	37.5	152.7	-137.9	145.3	3.88	4.21	4.20	4.21
5	45.0	185.1	-169.2	177.2	3.94	4.21	4.21	4.21
6	52.5	216.3	-200.6	208.5	3.97	4.23	4.20	4.22
7	60.0	249.2	-233.0	241.1	4.02	4.22	4.20	4.21
8	67.5	281.6	-264.4	273.0	4.04	4.23	4.20	4.22
9	75.0	313.3	-296.4	304.9	4.07	4.22	4.20	4.21
전체평균					3.87			4.20

표 2-10. 실험체 DS-5-D1 의 층간변위 대비 댐퍼변위의 증폭비

실험체		DS-5-D1 (With Damper)						
Step	층간변위	댐퍼변위			증폭비	도르래 작동 시 증폭비		
		정+	부-	평균		정+	부-	평균
1	15.0	33.2	-47.6	40.4	2.69	4.08	4.13	4.11
2	22.5	56.4	-78.8	67.6	3.00	4.15	4.20	4.18
3	30.0	89.9	-113.5	101.7	3.39	4.20	4.29	4.25
4	37.5	119.7	-149.1	134.4	3.58	4.19	4.25	4.22
5	45.0	154.1	-176.4	165.2	3.67	4.21	4.25	4.23
6	52.5	189.8	-201.1	195.4	3.72	4.21	4.23	4.22
7	60.0	227.1	-225.4	226.2	3.77	4.21	4.21	4.21
8	67.5	261.3	-251.8	256.6	3.80	4.20	4.19	4.20
9	75.0	295.9	-268.9	282.4	3.77	4.21	4.17	4.19
전체평균					3.49			4.20

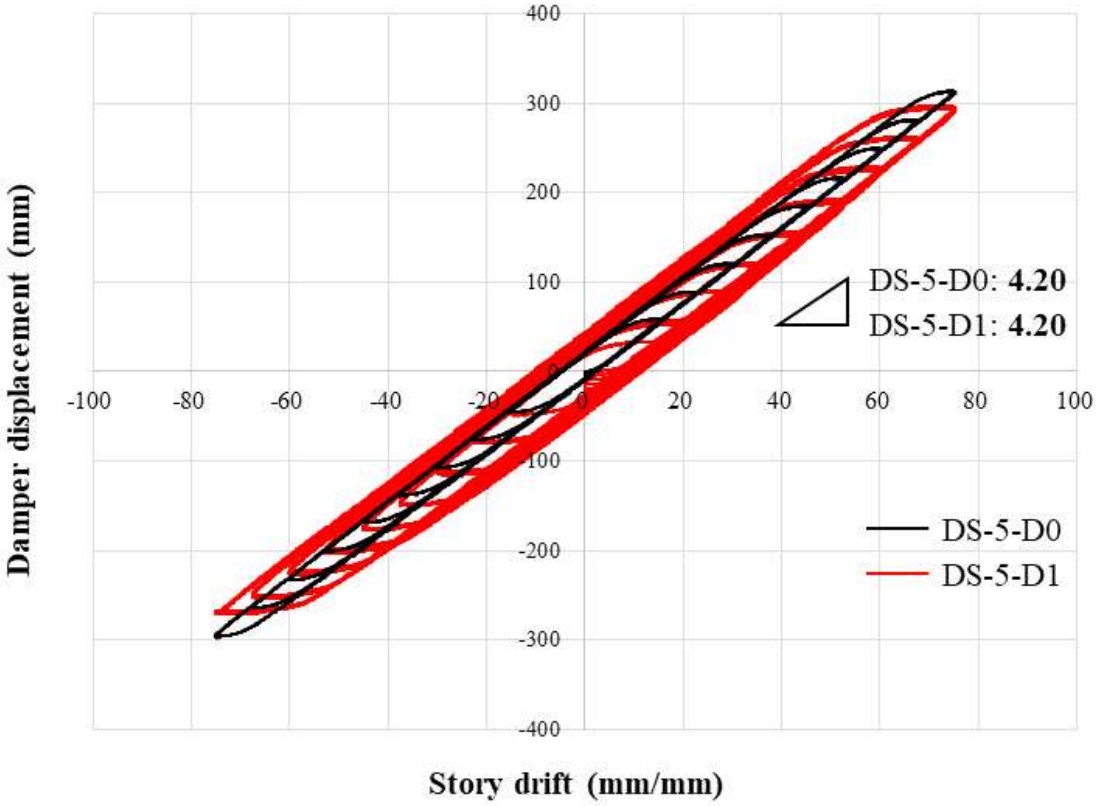


그림 2-27. DS-5 실험체군의 층간변위와 댐퍼작동변위 사이 관계

- 그러나 그림 2-27에서 확인할 수 있는 바와 같이, 도르래가 작동한 이후 나타난 댐퍼 설치 부위에서의 이동 변위는 층간변위의 약 4.2배로 나타나 이론값과 거의 유사한 비율로 거동하였음을 확인할 수 있었다.

(라) DS-7 실험체군 변위증폭비

- 도르래 사이에 연결된 로프의 개수가 7개로 가장 많았던 실험체군(DS-7)의 이론적 변위증폭비는 6.0이었다.

- 해당 실험체군의 경우, 도르래 개수가 늘어난 만큼 그에 따라 마찰력도 증가되면서 도르래가 작동하지 않는 구간이 보다 길게 나타났다. 표 2-11과 2-12에서 확인할 수 있듯이, 댐퍼 설치 부위에서 나타난 변위의 증가률은 실험체 DS-7-D0에 대해 하중스텝 1에서 9까지 4.23배에서 5.3배까지 증가하였으며, 댐퍼가 설치된 실험체 DS-7-D1에 대해서는 2.55배에서부터 4.6배까지 하중스텝이 증가할수록 커지는 경향을 나타나냈다.

표 2-11. 실험체 DS-7-D0 의 층간변위 대비 댐퍼변위의 증폭비

실험체		DS-7-D0 (Without Damper)						
Step	가력변위	댐퍼 설치 부위의 변위			증폭비	도르래 작동 시 증폭비		
		정+	부-	평균		정+	부-	평균
1	15.0	79.8	-47.1	63.5	4.23	5.91	5.92	5.92
2	18.8	100.9	-66.0	83.5	4.45	5.82	5.90	5.86
3	22.5	123.3	-87.8	105.6	4.69	5.87	5.83	5.85
4	26.3	144.9	-109.9	127.4	4.85	5.82	5.77	5.80
5	30.0	165.9	-132.6	149.2	4.97	5.84	5.85	5.85
6	33.8	187.5	-154.8	171.2	5.07	5.80	5.87	5.84
7	37.5	210.3	-176.9	193.6	5.16	5.86	5.89	5.88
8	41.3	232.5	-200.1	216.3	5.24	5.87	5.91	5.89
9	45.0	253.5	-223.4	238.4	5.30	5.86	5.93	5.90
전체평균					4.89			5.86

표 2-12. 실험체 DS-7-D1 의 층간변위 대비 댐퍼변위의 증폭비

실험체		DS-7-D1 (With Damper)						
Step	가력변위	댐퍼변위			증폭비	도르래 작동 시 증폭비		
		정+	부-	평균		정+	부-	평균
1	15.0	40.7	-35.8	38.3	2.55	5.23	5.16	5.20
2	18.8	61.6	-57.7	59.7	3.18	5.51	5.68	5.60
3	22.5	83.3	-80.5	81.9	3.64	5.94	5.87	5.91
4	26.3	103.8	-102.8	103.3	3.93	5.79	5.98	5.89
5	30.0	124.8	-125.5	125.2	4.17	5.80	5.96	5.88
6	33.8	146.2	-147.6	146.9	4.35	5.83	5.93	5.88
7	37.5	167.5	-168.1	167.8	4.48	5.91	5.89	5.90
8	41.3	185.1	-189.9	187.5	4.55	5.84	5.82	5.83
9	45.0	201.0	-212.6	206.8	4.60	5.85	5.84	5.85
전체평균					3.94			5.77

- 층간변위와 댐퍼변위 사이의 관계 그래프들의 기울기로부터 계측된 도르래 작동 이후의 변위증폭비는 DS-7-D0에 대해 5.86, DS-7-D1에 대해 5.77을 나타나내어 다른 실험체들과 마찬가지로 이론값과 거의 유사한 성능을 확인할 수 있었다.

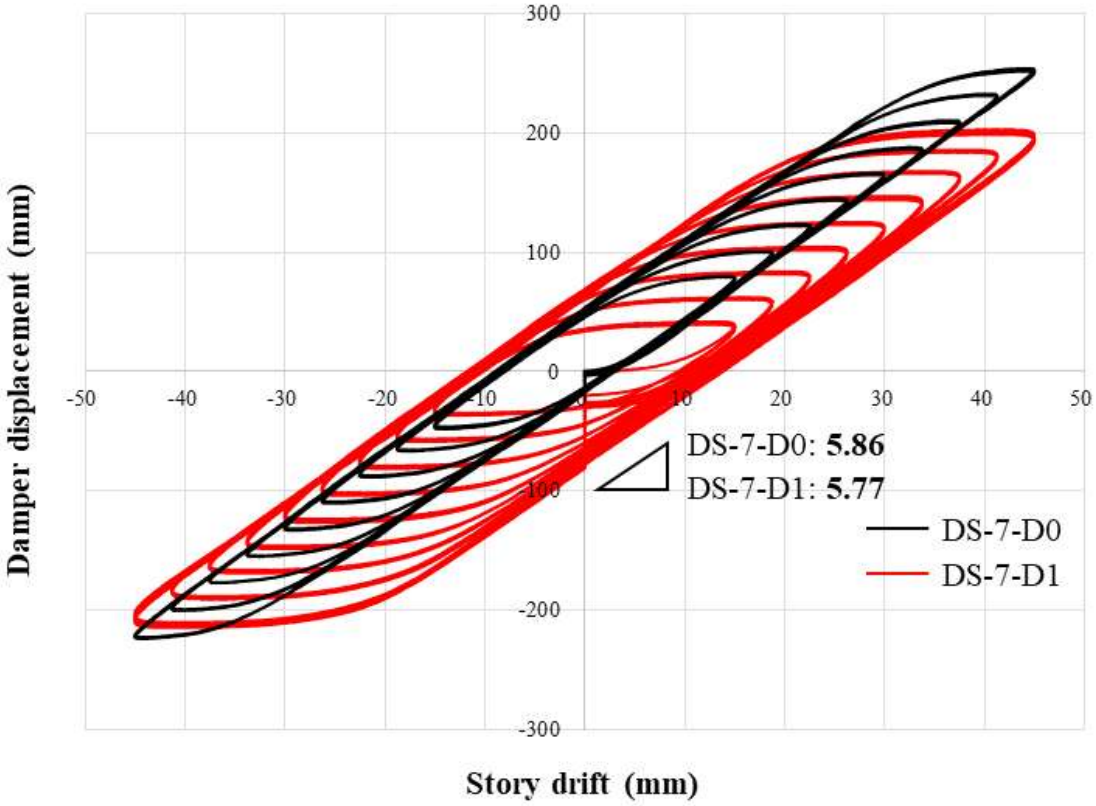


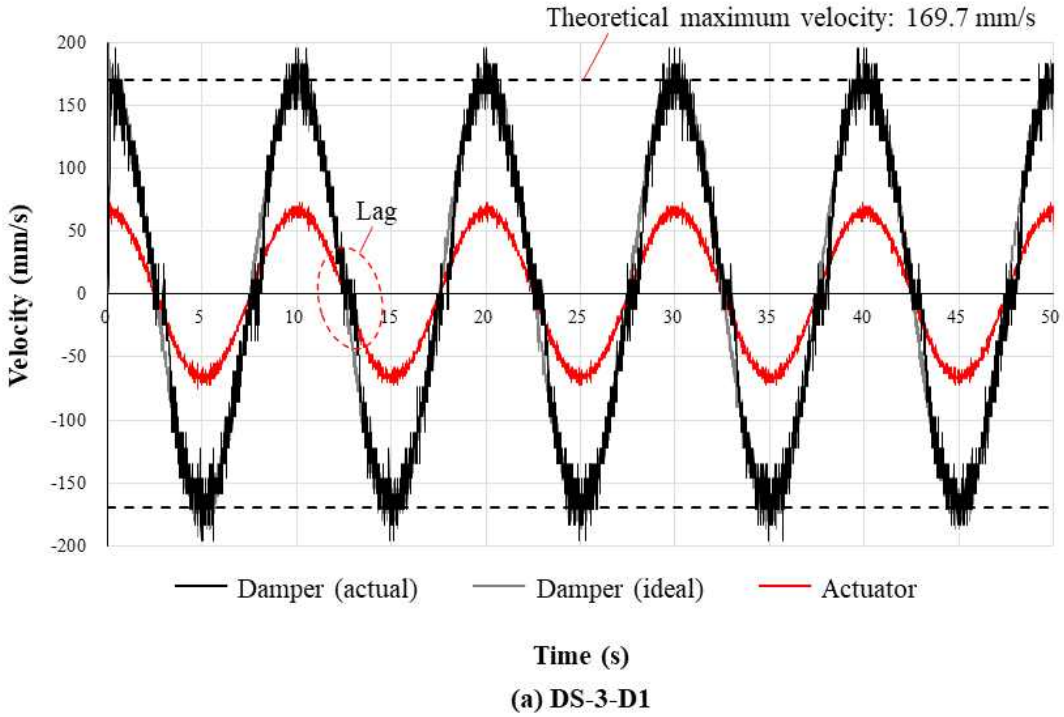
그림 2-28. DS-7 실험체군의 층간변위와 댐퍼작동변위 사이 관계

- 한편, 동일한 실험체 내에서 정지마찰력에 의해 도르래가 작동하지 않는 구간은 일정하기 때문에 하중스텝이 커질수록 즉, 층간변위가 커질수록 댐퍼의 상대적으로 움직이는 거리가 늘어나 증폭변위가 커지는 경향이 나타났다.

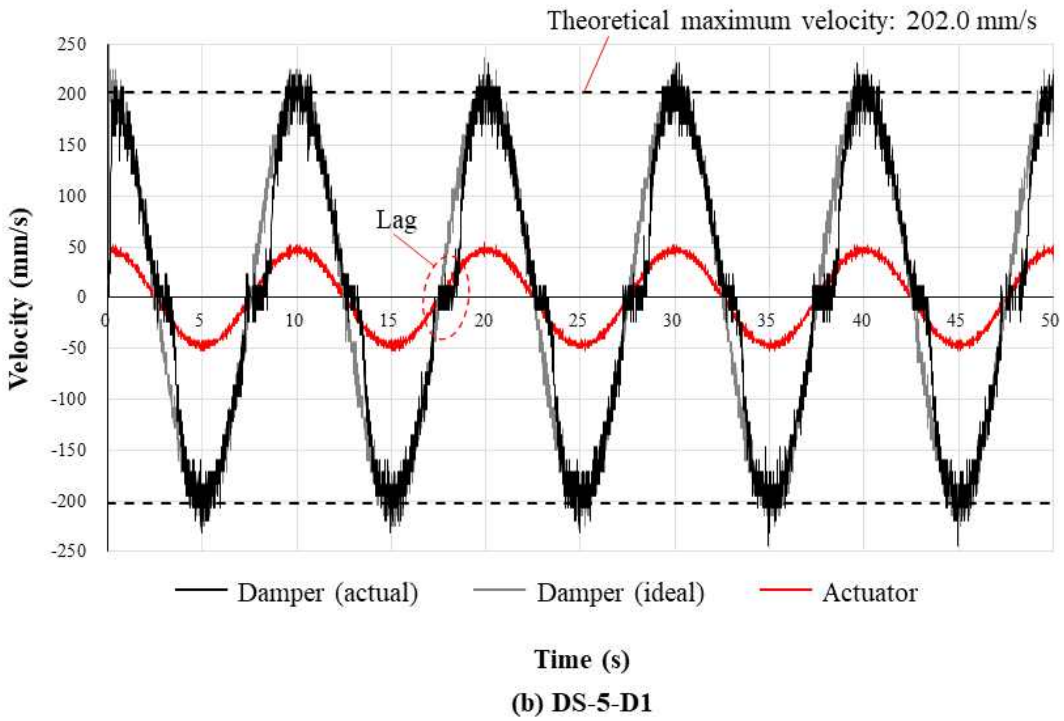
- 층간변위가 45 mm로 동일할 경우, 댐퍼가 설치된 실험체들의 증폭비는 이론값 대비 DS-3-D1에 대해 90.6% (=2.33/2.57), DS-5-D1에 대해 85.5% (3.67/4.29), DS-7-D1에 대해 76.6% (4.60/6.00)을 각각 나타내 로프의 개수가 늘어날수록 증폭 효율이 다소 감소하는 것으로 파악됐다. 이는 강와이어 로프의 자체 탄성변형이 주된 원인으로 이를 줄일 수 있는 방안을 추가적으로 고려한다면 충분히 해결할 수 있는 부분으로 분석되었다.

(2) 댐퍼 작동 속도

- 그림 2-29(a)-(c)에 각 실험체별로 마지막 가력 사이클에서 계측된 댐퍼의 변위값을 기반으로 시간에 따른 댐퍼의 실제 작동속도를 계산하여 그래프로 나타냈다.

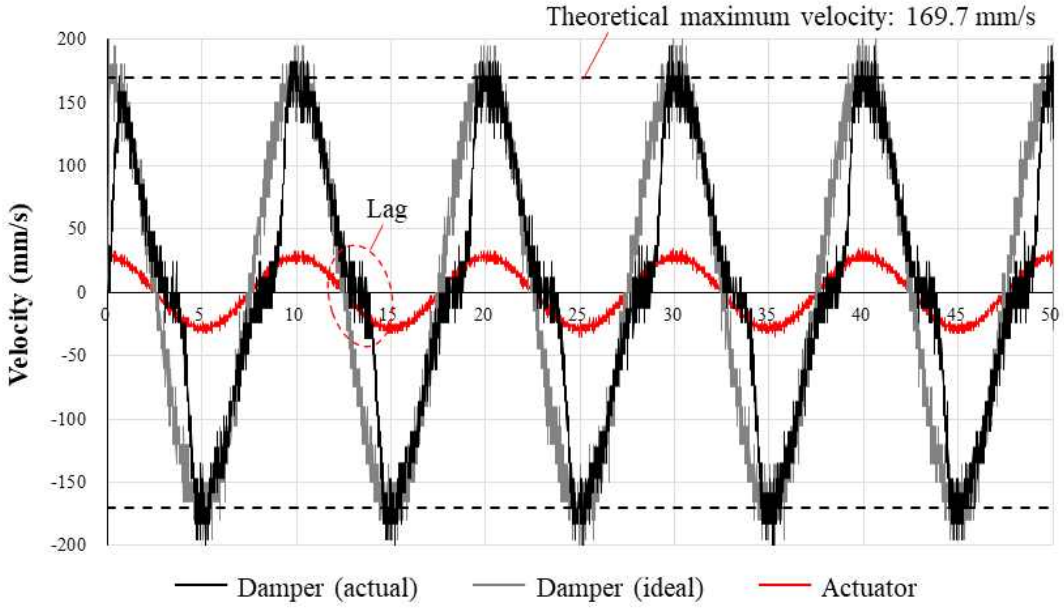


(a) DS-3-D1



(b) DS-5-D1

그림 2-29. 각 실험체별 마지막 사이클에서 댐퍼의 작동속도 비교



(c) DS-7-D1

그림 2-29. 각 실험체별 마지막 사이클에서 댐퍼의 작동속도 비교 (계속)

- 상기 그래프에서 확인할 수 있듯이, 액츄에이터의 가력속도 변화와 더불어 댐퍼의 작동 속도 역시 사인파 형상으로 증감하는 것을 확인해 볼 수 있다. 다만, 도르래 사이에 연결되는 강와이어 로프의 개수가 증가할수록 속도가 0인 시점에서 최고 속도에 도달할 때까지 도르래 작동 멈춤에 의한 지연 현상(lag)이 두드러지게 나타났다. 이 때문에 이러한 지연 현상이 발생하지 않을 때(회색 실선)에 비해 속도가 급격하게 증가하는 특징이 그래프 상에서 관찰되었다.

- 그러나, 모든 실험체에서 계측된 댐퍼의 실제 작동 최고 속도는 이론적으로 예측되는 값(점선으로 표시)과 거의 일치하였다. 해당 결과는 댐퍼의 실제 작동 최고 속도를 이론적으로 정확하게 예측할 수 있음을 나타내며, 이를 바탕으로 댐퍼에 발생되는 최대저항하중 또한 정확히 예측할 수 있음을 의미한다.

(3) 하중-변위 관계

- 표 2-13부터 2-15에 각 실험체별 댐퍼 설치에 따른 하중 증폭효과를 정리하였으며, 그림 2-30부터 2-32에 각 실험체별 하중-변위 그래프를 비교하여 나타냈다. 표 2-13부터 2-15에 나타낸 하중 수치들은 각 스텝별 정·부 방향으로 5회 반복 계측된 최대 하중 값들을 평균하여 나타낸 것이다.

(가) DS-3 실험체군 하중-변위 관계

- 댐퍼가 설치되지 않은 실험체 DS-3-D0의 경우, 도르래와 핀 사이의 마찰력으로 인해 댐퍼 없이도 골조의 저항하중이 약 15 kN 발생하였다. 첫 번째 가력 스텝에서 골조의 저항하중은 이보다 10% 작은 12.9 kN을 나타냈으며, 가력이 진행되어 층간변위가 30 mm를 넘어서는 순간부터 하중이 거의 일정한 값을 나타냈다. 이는 실험 셋업 초기에 강와이어 로프에 도입된 긴장력이 로프 전반에 걸쳐 균일하게 분산되지 않고 긴장력을 준 고정바 근처를 중심으로 높게 형성되었기 때문이다. 실험이 진행될수록 도르래가 작동하면서 이러한 초기 긴장력이 로프 전반에 걸쳐 균일하게 재분배되었으며, 이것은 안쪽에 설치된 도르래들의 마찰력 증가로 이어져 전반적인 하중 증가가 나타나게 된 것이다.

- 댐퍼가 설치된 DS-3-D1 실험체의 경우, 댐퍼의 속도의존성 때문에 가력 스텝이 증가함에 따라 댐퍼의 작동속도 및 저항력이 증가하여 골조의 저항하중이 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 첫 스텝에서 계측된 골조의 저항성능은 평균 35.3 kN이었으며, 마지막 스텝에서는 이보다 45% 증가한 51.1 kN을 나타냈다.

표 2-13. 실험체군 DS-3의 하중증폭 효과

Step	층간 변위	댐퍼 작동 속도	예상 댐퍼 저항력	DS-3-D0 (without Damper) 최대 하중 (kN)			DS-3-D1 (with Damper) 최대 하중 (kN)			댐퍼에 의한 하중 증폭량		
										실험 값	이론 값	실험 / 이론
	mm	mm/s	kN	정+	부-	평균	정+	부-	평균			
1	15.0	24.3	10.0	12.7	-13.1	12.9	36.7	-34.0	35.3	22.4	25.7	0.87
2	22.5	36.7	10.7	14.1	-14.1	14.1	40.0	-37.8	38.9	24.8	27.5	0.90
3	30.0	48.7	11.2	14.5	-14.4	14.5	42.9	-40.6	41.7	27.3	28.7	0.95
4	37.5	60.8	11.6	14.6	-14.6	14.6	45.4	-43.0	44.2	29.6	29.8	0.99
5	45.0	72.4	11.9	15.2	-15.2	15.2	45.9	-43.6	44.8	29.6	30.6	0.97
6	60.0	95.8	12.4	15.1	-15.2	15.1	48.6	-46.4	47.5	32.3	32.0	1.01
7	75.0	118.9	12.9	14.8	-15.1	14.9	50.1	-48.4	49.2	34.3	33.2	1.03
8	90.0	141.8	13.3	14.6	-14.9	14.8	51.3	-48.9	50.1	35.4	34.1	1.04
9	105.0	165.3	13.6	14.5	-14.7	14.6	52.4	-49.9	51.1	36.5	34.9	1.05

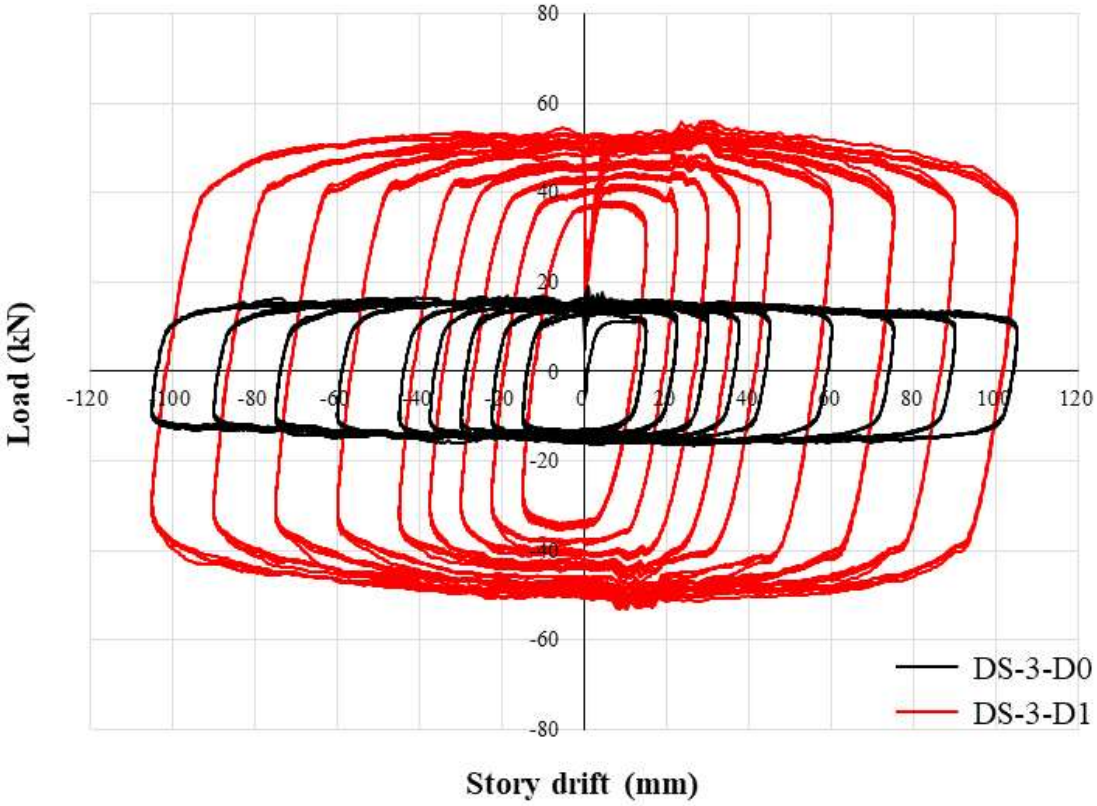


그림 2-30. DS-3 실험체군의 하중-변위 관계

- 실험으로부터 확인된 두 실험체 사이의 하중 차이는 댐퍼 설치에 의한 골조의 증진된 횡방향 저항력을 나타낸다. 이러한 증가된 하중량은 댐퍼의 저항성능에 증폭시스템의 증폭비를 곱하여 산정할 수 있다. 본 실험에 사용된 댐퍼의 매 하중스텝별 발생되는 저항성능은 식 2-6을 이용하여 산정할 수 있으며, 식 2-6에 포함된 댐퍼의 작동속도는 가력속도에 도르래 작동 시 형성되는 증폭비를 곱하여 결정할 수 있다.

- 댐퍼 하중의 증폭 효과를 실험과 이론값에 대해 비교해 본 결과, 거의 모든 가력스텝에서 실험 대비 이론값의 비율이 거의 1.0에 근사하는 결과를 확인할 수 있었다. 다만, 세 번째 하중 스텝까지 해당 비율이 1보다 작은 값을 나타냈는데, 이것은 해당 하중스텝까지 로프 인장력의 재분배로 인해 실험에서 계측된 하중이 실제보다 다소 작았기 때문이다. 이를 감안한다면 저속 구간에서도 하중증가량에 대한 이론 대비 실험비는 1.0에 가까운 값을 나타낼 것으로 예상된다.

- 마지막으로 댐퍼설치에 따른 하중 증가 비율이 가력 스텝에 따라 약간씩 증가하는 것은 속도에 따라 증가된 댐퍼하중이 마찰력에 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다.

(나) DS-5 실험체군 하중-변위 관계

- 도르래 사이에 연결된 로프의 개수가 5개인 실험체군에 대한 실험결과를 그림 2-31과 표 2-14에 정리하여 나타냈다.

- 댐퍼가 설치되지 않은 실험체 DS-5-D0의 경우, 앞선 실험체와 마찬가지로 가력변위가 30mm를 초과하는 시점까지 마찰력에 의한 하중이 점차 증가하다 약 52.5 kN에서 균형을 잡는 모습을 나타냈다.

- 댐퍼가 설치된 DS-5-D1 실험체 역시 가력스텝이 증가할수록 댐퍼의 저항력이 높아져 전체 골조의 저항성이 커지는 것으로 나타났다. 첫 가력 스텝에서 골조의 저항력은 63.6 kN이었으며, 마지막 가력스텝에서 하중은 이보다 약 42% 증가한 90 kN을 나타냈다.

- 해당 실험체군의 두 실험체 사이의 하중 차이는 이론값과 비교하여 60% 수준에 머물렀는데, 이는 댐퍼를 설치한 실험체 DS-5-D1의 강와이어 로프에 초기 도입된 긴장력이 목표값(10-15 kN)보다 적게 들어갔기 때문이다. 이로 인해 핀과 도르래에 사이에 발생되는 마찰력이 실험체 DS-5-D0보다 작아져 전체 하중이 크게 감소한 것으로 판단된다. 이는 하중-변위 그래프에서 가력 방향이 바뀔 때 회복되는 로프의 탄성강성이 두 그래프에서 서로 다름으로 확인할 수 있다. 실험체 DS-5-D1에서 로프의 탄성회복에 의한 변위 증가가 더 두드러지게 나타나는데, 이는 실험체 DS-5-D1에 설치된 강와이어 로프가 충분한 강성을 지닐 때까지 초기 긴장력이 도입되지 않았음을 의미하는 것이다.

표 2-14. 실험체군 DS-5의 하중증폭 효과

Step	층간 변위	댐퍼 작동 속도	예상 댐퍼 저항력	DS-5-D0 (without Damper) 최대 하중 (kN)			DS-5-D1 (with Damper) 최대 하중 (kN)			댐퍼에 의한 하중 증폭량		
	mm	mm/s	kN	정+	부-	평균	정+	부-	평균	실험 값	이론 값	실험 / 이론
1	15.0	38.6	10.8	46.0	-48.5	47.2	66.2	-61.1	63.6	16.4	46.2	0.36
2	22.5	58.9	11.5	48.5	-50.8	49.6	75.6	-71.3	73.4	23.8	49.4	0.48
3	30.0	79.8	12.1	51.0	-52.2	51.6	78.1	-76.5	77.3	25.7	51.8	0.50
4	37.5	99.6	12.5	51.5	-52.8	52.2	82.1	-81.2	81.7	29.5	53.7	0.55
5	45.0	119.7	12.9	52.7	-52.4	52.5	84.4	-83.5	84.0	31.4	55.3	0.57
6	52.5	139.3	13.2	54.0	-52.5	53.3	85.1	-84.9	85.0	31.7	56.7	0.56
7	60.0	158.7	13.5	52.7	-52.4	52.6	87.2	-86.7	87.0	34.4	57.9	0.59
8	67.5	177.9	13.7	52.4	-52.0	52.2	88.5	-87.5	88.0	35.8	58.9	0.61
9	75.0	197.3	14.0	53.5	-51.3	52.4	90.8	-89.3	90.0	37.6	59.9	0.63

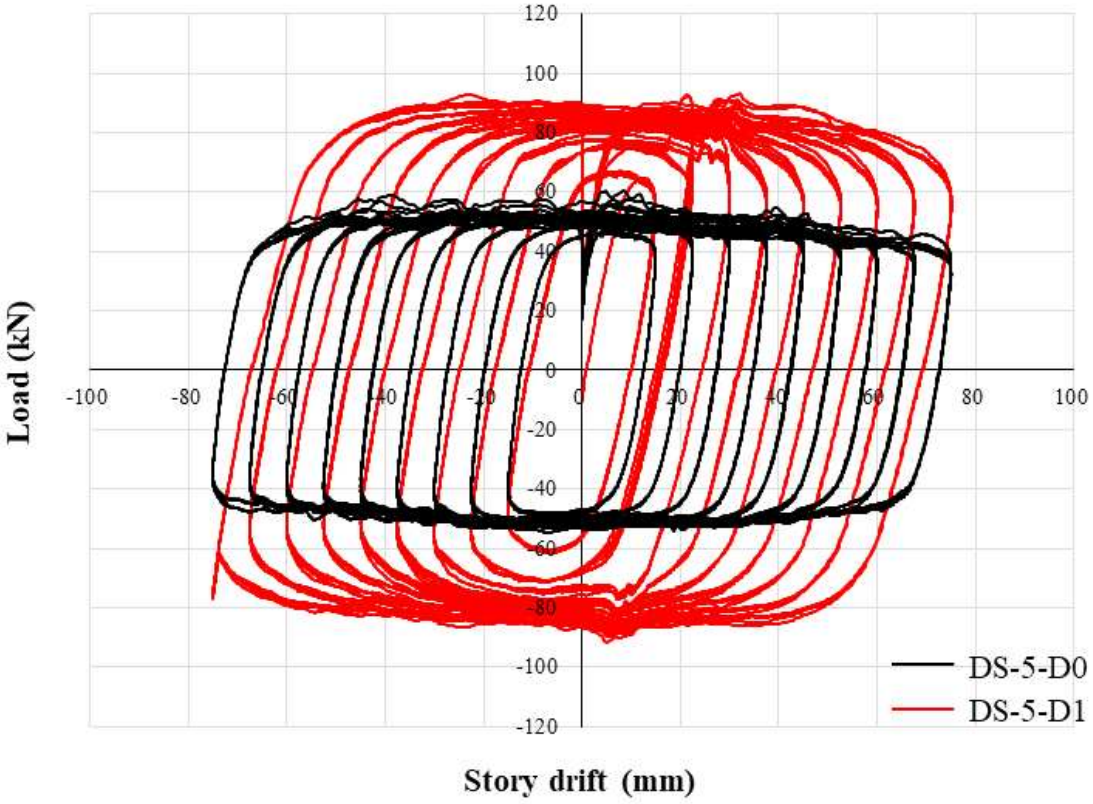


그림 2-31. DS-5 실험체군의 하중-변위 관계

(다) DS-7 실험체군 하중-변위 관계

- 도르래 사이에 연결된 로프의 개수가 7개인 실험체군에 대한 실험결과를 그림 2-32와 표 2-15에 정리하여 나타냈다.

- 댐퍼가 설치되지 않은 실험체 DS-7-D1의 경우, 가력 초반에는 로프 인장력이 균일하게 재분배되기 전까지 약 10% 정도 작은 하중(114.9 kN)에서 거동하였다. 이후 가력스텝이 증가할수록 로프 인장력 재분배와 함께 마찰력이 증가하면서 하중이 커졌으며, 약 125 kN 부근에서 하중이 자리잡기 시작하였다.

- 댐퍼가 설치된 DS-7-D1 실험체의 경우, 가력스텝 증가에 따른 댐퍼하중 증가로 골조의 저항성능이 점차 증가하는 경향은 앞선 두 실험체와 비슷하게 나타났다. 가력 첫 스텝에서 나타난 골조의 저항하중은 평균 172.6 kN을 나타냈으며, 마지막 스텝에서의 하중은 이보다 25% 증가한 215.8 kN을 나타냈다.

- 댐퍼하중에 의한 골조하중의 저항력 증가도 이론 대비 실험값이 거의 1.0에 근사하는 결과를 나타냈다. 실험체 DS-3-D1과 마찬가지로, 해당 비율은 가력스텝이 증가할수록 동시에 커지는 경향을 나타냈는데, 이것은 댐퍼하중 증가에 따른 로프인장력 및 마찰력 증가로 이어지는 작동 메카니즘에 기인한 것이다.

- 제안된 본 제진시스템의 경우, 적용을 위한 설계 시 핀과 도르래 사이에 발생되는 마찰력이라는 불확실한 요소가 개입되며, 그 영향이 작지 않다는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 문제점을 극복할 수 있는 대안을 마련한다면 보다 정확한 시스템 설계가 가능할 것으로 판단된다.

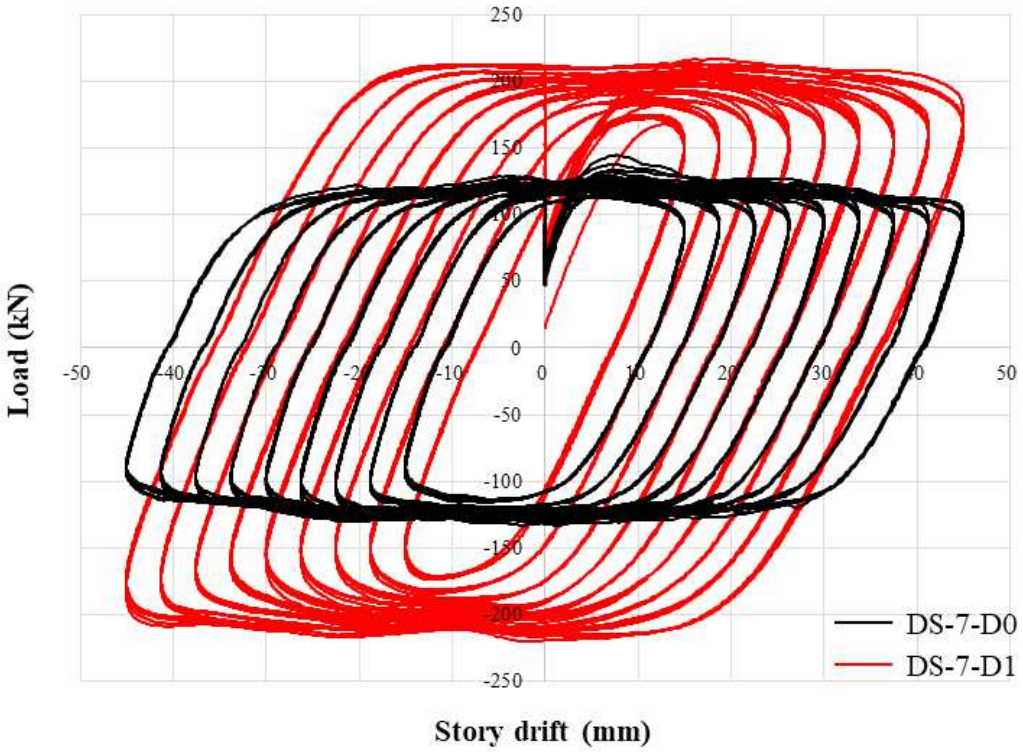


그림 2-32. DS-7 실험체군의 하중-변위 관계

표 2-15. 실험체군 DS-7의 하중증폭 효과

Step	층간 변위	댐퍼 작동 속도	예상 댐퍼 저항력	DS-7-D0 (without Damper) 최대 하중 (kN)			DS-7-D1 (with Damper) 최대 하중 (kN)			댐퍼에 의한 하중 증폭량		
										실험	이론	실험/
	mm	mm/s	kN	정+	부-	평균	정+	부-	평균	값	값	이론
1	15.0	48.8	11.2	114.6	-114.9	114.8	172.7	-172.5	172.6	57.8	67.1	0.86
2	18.8	66.0	11.7	120.2	-121.4	120.8	184.4	-183.3	183.8	63.1	70.4	0.90
3	22.5	83.3	12.2	118.4	-123.2	120.8	191.1	-189.6	190.4	69.5	73.1	0.95
4	26.3	97.1	12.5	121.7	-126.3	124.0	194.8	-195.8	195.3	71.3	74.9	0.95
5	30.0	110.5	12.7	123.9	-126.6	125.3	199.4	-200.9	200.2	73.3	76.5	0.96
6	33.8	124.7	13.0	126.0	-129.9	128.0	203.6	-203.9	203.7	76.9	77.9	0.99
7	37.5	139.2	13.2	123.1	-129.7	126.4	203.8	-211.4	207.6	80.7	79.3	1.02
8	41.3	151.0	13.4	126.0	-129.5	127.8	208.7	-214.0	211.3	84.5	80.4	1.05
9	45.0	165.4	13.6	121.9	-128.7	125.3	214.2	-217.3	215.8	88.9	81.6	1.09

(4) 강와이어 로프 내 변형률 변화

- 그림 2-33은 실험체 DS-7-D1의 고정바 쪽에 설치한 변형률 게이지에서 계측된 변형률의 변화를 층간변위에 따라 나타낸 것이다. 그래프에서 확인해 볼 수 있듯이, 가력 방향이 부방향에서 정방향으로 변화할 때에는 왼쪽 아래에서 오른쪽 위에 걸쳐 연결된 강와이어 로프의 변형률이 증가하고 반대편에 설치된 로프의 변형률은 감소하였다. 반대로, 정방향에서 부방향으로 가력 방향이 변화하여 진행될 때에는 왼쪽 위에서 오른쪽 아래에 걸쳐 연결된 강와이어 로프의 변형률이 증가하고 동시에 반대측 로프의 변형률은 감소하는 것이 뚜렷하게 나타났다.

- 또한, 증가하던 로프의 변형률은 도르래가 작동한 이후에는 정·부방향 가릴 것 없이 거의 일정한 변형률을 유지하는 특징을 나타냈다.

- 이를 통해 본 감쇠시스템에 설치된 강와이어 로프는 외부 하중의 작용 방향 변화와 더불어 탄성 변형이 동반되는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 도르래와 핀 사이에 발생하는 마찰력 및 댐퍼에 의해 부과되는 하중 때문에 나타나는 특징이다. 이러한 특성은 본 감쇠시스템의 하중-변위 그래프 상에서 가력 방향이 변화할 때마다 발생되는 기울기 즉, 탄성강성으로도 확인될 수 있다.

- 따라서 본 시스템의 에너지 소산 효과를 극대화하기 위해서는 도르래 사이에 연결된 로프의 탄성변형을 최소화하는 것이 주요하며, 이를 실현할 수 있는 방안을 강구하는 것 또한 본 기술의 핵심 사항임을 확인할 수 있다.

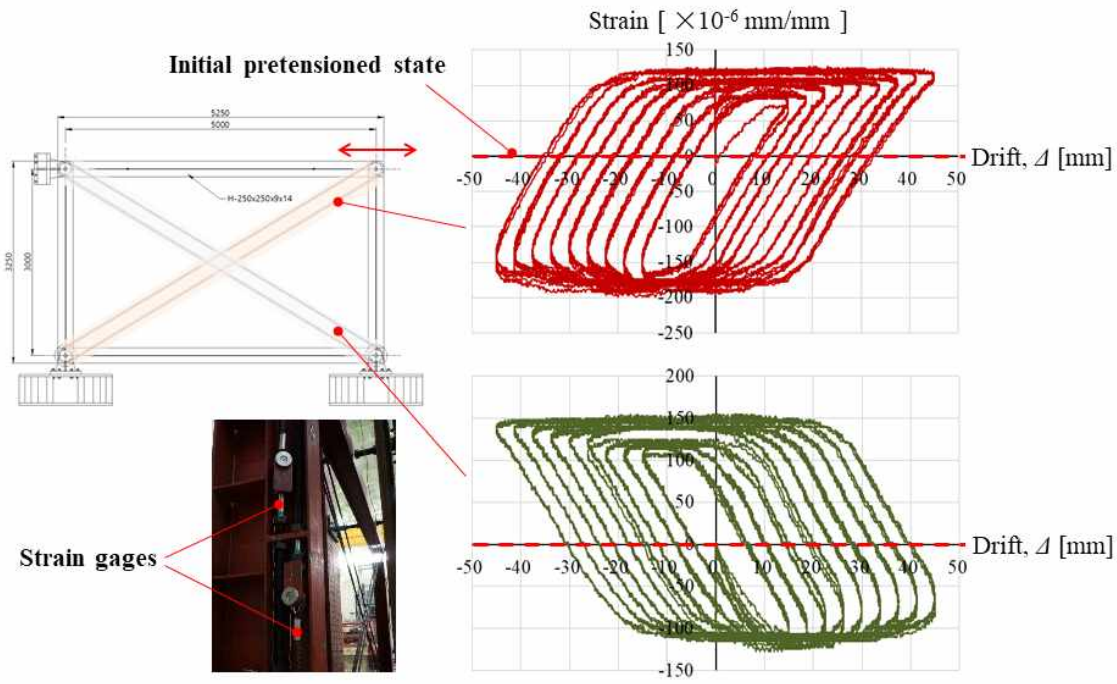


그림 2-33. 강와이어 로프의 변형률 계측 및 변화

2-1-5-3. 소결

- 제안된 감쇠시스템의 댐퍼 변위 증폭량은 연결된 강와이어 로프의 탄성변형과 도르래와 핀 사이에 발생되는 마찰력 때문에 도르래 작동 지연으로 이어져 이론적으로 예상된 값보다 감소된 성능을 나타났으며, 그 경향은 도르래 사이를 연결하는 강와이어 로프의 개수가 늘어날수록 커졌다. 실험 결과, 층간변위가 45 mm로 동일할 경우 댐퍼가 설치된 실험체들의 증폭비는 이론값 대비 DS-3-D1에 대해 90.6% (=2.33/2.57), DS-5-D1에 대해 85.5% (3.67/4.29), DS-7-D1에 대해 76.6% (4.60/6.00)를 각각 나타냈다. 그러나 도르래 작동 시 확인된 댐퍼의 변위 증폭 비율은 이론값과 거의 유사한 결과를 나타내어 본 제진시스템의 작동 메카니즘의 우수성을 확인할 수 있었다.

- 본 감쇠시스템에 사용된 감쇠장치는 하중에 대한 저항력이 속도의존성을 지니고 있기 때문에 정확한 댐퍼의 저항력을 예측하기 위해서는 시스템 동작 중 댐퍼로드의 작동 속도를 확인하는 것이 중요하다. 실험 결과, 마찰력에 의해 댐퍼 작동 지연이 발생했음에도 불구하고 댐퍼의 실제 작동 최고 속도는 이론적으로 예측된 값과 거의 동일하였다. 이 때문에 구조물의 저항력은 설치된 감쇠장치의 저항성능에 이론증폭비를 곱한 값만큼 정확하게 증가하는 경향을 나타냈다. 이를 통해 작은 용량의 댐퍼 사용으로도 그의 수배에 달하는 성능을 가진 댐퍼 효과를 거둘 수 있음을 확인할 수 있었다.

- 강와이어 로프에 연결된 고정바의 변형률 계측을 통해 강와이어 로프 내 힘의 변화를 관찰하였다. 감쇠시스템에 설치된 강와이어 로프는 외부 하중의 작용 방향 변화와 더불어 탄성 변형이 동반되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 탄성 변형은 주로 도르래와 핀 사이에 발생하는 마찰력 및 댐퍼에 의해 부과되는 하중 때문에 나타나는 특징으로 이를 최소화할 수 있다면 본 감쇠시스템의 성능을 극대화할 수 있을 것으로 판단되었다.

2-1-6. 제진시스템 프로토타입 최적화

2-1-6-1. 기존 일체형 케이블-도르래 감쇠시스템 문제점 및 개선 사항

(1) 기존 일체형 케이블-도르래 감쇠시스템의 개선 필요성

- 기존에 제안된 일체형 케이블-도르래 감쇠시스템의 경우, 이론적 증폭효과 6배(대각 방향으로 도르래 사이를 7회 반복)를 거두기 위해 감아야 하는 케이블의 길이가 50 m에 이르게 되며, 이를 실제 현장에서 시공하는 데에는 큰 어려움이 발생할 것으로 예상되었다.

- 또한 강케이블(또는 강와이어 로프)의 경우 초기인장력에 의해 안정화 단계에 돌입한 이후의 강성이 13,000 kN/(mm/mm) 정도로 낮아, 강케이블에 걸리는 인장력이 댐퍼에 전달되기 전에 케이블 자체에 인장 변형이 발생하여 증폭효과가 줄어드는 문제점이 발생하였다. 실제 실험에서 이론상 계산되는 증폭비율이 6배에 이르렀지만 실제로 계측된 변위증폭 비율은 마지막 사이클에서 4.6배에 그쳤으며, 이러한 현상은 고용량 댐퍼를 사용하여 케이블에 하중이 크게 발생할 경우 더욱 심화되는 문제점을 내포하였다.

(2) 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 제안

- 이러한 문제점을 극복하고 보다 사업 가능성을 높이기 위해 기존 일체형 케이블-도르래 감쇠시스템을 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템으로 한 단계 업그레이드 하였다.

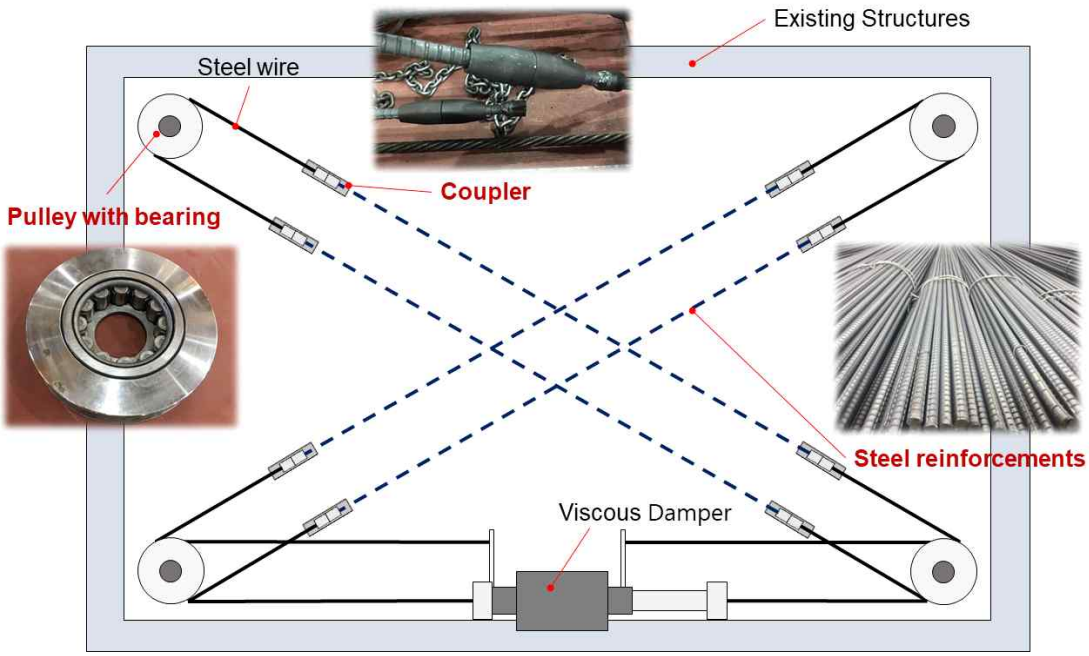


그림 2-34. 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템

- 본 감쇠시스템의 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다. 먼저, 사업성 및 시공성을 고려하여 길게 설치되어야 하는 케이블을 분절하여 현장에서 이음으로 설치할 수 있도록 고안하는 것이다.

- 두 번째는 고용량 댐퍼 작동에서도 강케이블의 인장변형에 의한 증폭효과 저감 현상을 만회하기 위해, 도르래와 접촉되며 작동하는 구간만을 강케이블로 사용하고 나머지 대각선으로 연결되는 부분은 비교적 인장력에 대해 강성이 높은 철근 또는 강봉 형태의 철물을 적용하는 것이다. 그리고 해당 철물의 단부 부분을 분절된 강케이블에 연결하도록 고안하였다. 관련된 상세 내용을 그림 2-34에 나타냈다.

- 마지막으로 케이블 안정화를 위해 초기에 도입한 높은 긴장력에 의한 도르래와 핀 사이에 발생되는 마찰력을 줄이기 위해 도르래 중앙부에 베어링을 설치하는 방안을 추가로 하였다. 이를 통해, 본 감쇠시스템 설계 시 발생하는 마찰력이란 변수를 제어하고자 하였다.

2-1-6-2. 현장적용을 고려한 접합부개발

- 상기 제안된 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템을 실용화하기 위해서는 케이블과 연결되는 강봉 또는 철근 사이의 접합부 디테일을 개발하여야 한다.

- 기성제품을 사용하여 단가를 크게 높이지 않으면서 두 소재 사이의 접합성능을 향상시키기 위해 여러 가지 타입에 대한 실험을 진행하였다. 그림 2-35은 그 중 대표적인 사례를 나타낸 것이다.



그림 2-35. 개발단계에서 고안된 케이블-철근 접합부 상세들

- 상기 제시된 접합상세들은 감쇠시스템에서 요구되는 소요강도를 충분히 만족할 정도로 성능이 우수하였으나 케이블 단부 마무리 형태가 고리형상으로 감쇠시스템 내에 적용될 경우 인접 케이블 고리와 간섭이 발생할 우려가 있어서 최종 선택되지 못하였다.

- 이러한 인접 케이블 간의 간섭 문제를 해결하기 위해 케이블 단부에 강재로 만든 원형 실린더 형상의 마구리를 제작하였으며, 이곳에 강와이어 케이블 끝부분을 삽입하고 프레스기로 눌러 케이블 단부를 고정하는 방안을 채택하였다(그림 2-36). 그리고 이 단부 끝부분에 철근을 추가로 용접하여 추후 그림 2-36과 같이 커플러로 서로 연결할 수 있도록 접합상세를 고안하였다.



그림 2-36. 최종 결정된 케이블-철근 접합부 디테일

2-1-6-3. 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 성능평가

(1) 실험체 형상

- 개선된 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템의 작동 메카니즘을 규명하기 위해 그림 2-37과 같이 실험체를 제작하여 실험적 성능평가를 실시하였다. 그림 2-37에서 확인해 볼 수 있는 바와 같이, 실험체는 기둥에 강재 형강 H-400×200×8×13을, 보 부재에는 ㄷ형강으로 빌트업 제작된 ㄷ-435×285×15을 이용하여 높이 3 m, 스팬 5 m 규모의 강구조 골조를 제작하였다. 기둥과 보의 접합부는 핀으로 연결하여 회전에 대해 자유롭게 움직일 수 있게 하였다.

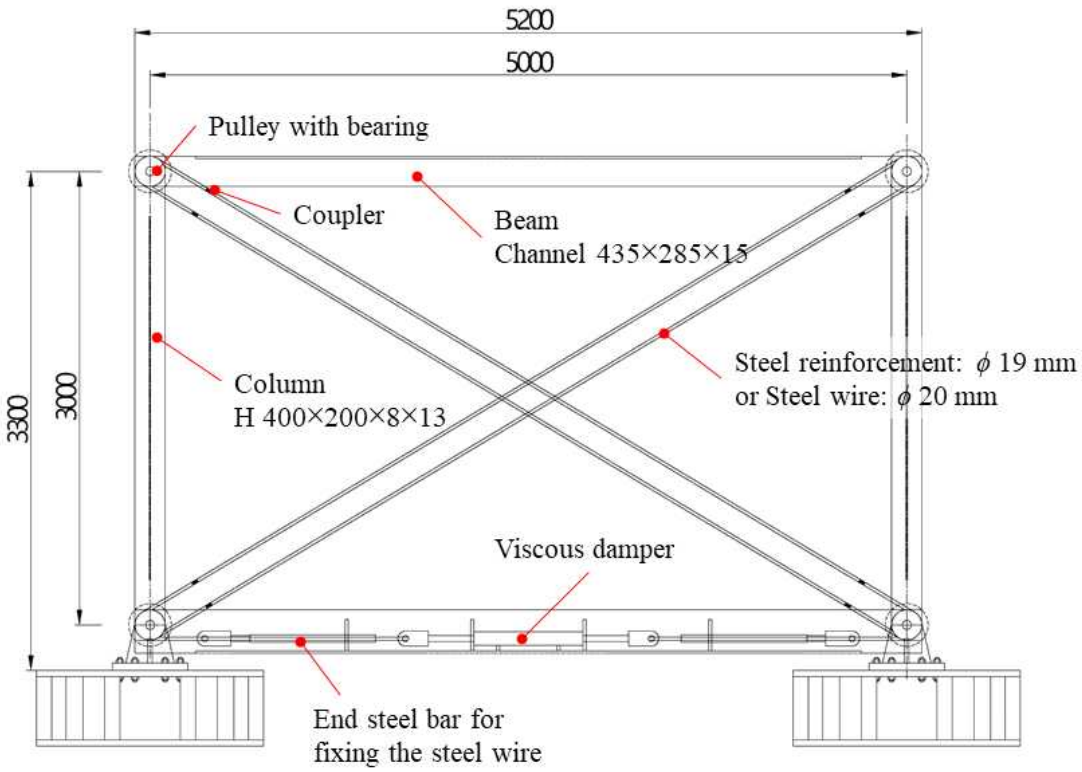


그림 2-37. 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 실험체

- 기둥과 보의 핀 접합부 내부에 고안된 베어링 도르래를 그림 2-38과 같이 설치하였다. 사용된 도르래의 지름 크기는 200 mm이며, 그 중심부에 베어링이 삽입될 수 있도록 지름 130 mm 크기의 구멍을 가공하였다. 또한 강와이어 로프가 도르래와 작동 중에 바깥으로 벗어나지 않게 도르래에 20 mm 깊이의 홈을 팠다.

- 본 실험에 사용된 베어링은 NUP타입 실린드리컬 로울러 베어링으로 중앙부에 지름 60 mm의 핀이 삽입될 수 있는 규격을 선정하여 조립하였다. 본 베어링은 동하중 하에서 169 kN을 저항할 수 있는 성능을 가지고 있어 본 실험에서 강와이어 로프에 의해 발생되는 하중을 저항하기 충분하였다. 베어링 도르래 설치 시, 대각방향으로 설치되는 강와이어 로프 및 철근이 서로 간섭이 발생하지 않도록 도르래 사이의 간격을 사전에 계산하여 반영하였다.



그림 2-38. 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 실험체 상세: 베어링 도르래

- 실험체 변수로는 점성감쇠장치 설치 유무와 도르래 사이를 연결하는 변위증폭 케이블의 종류 등이 고려되었으며, 이에 근거하여 총 3가지 종류의 실험체에 대한 성능평가가 진행되었다.

- 첫 번째 실험체 PWB-6SC-D0는 점성감쇠장치가 설치되지 않고 도르래 사이를 강케이블로 연결한 실험체이다. 본 실험체는 적용된 베어링 도르래의 효과를 확인하기 위한 것으로, 강케이블에 도입된 초기 긴장력에 의해 핀과 도르래 사이 높은 마찰력이 발생하게 되는데 이를 설치된 베어링 도르래가 얼마만큼 효과적으로 감소시켜줄지를 본 실험체를 통해 확인해 볼 수 있다.

- 두 번째 실험체 PWB-6SC-D1는 첫 번째 실험체에 점성감쇠장치를 설치한 실험체로 비교군에 해당된다. 감쇠장치 설치 후 댐퍼변위의 증폭효과를 분절형 케이블 증폭시스템과 비교하기 위해 계획되었다.

- 마지막 실험체 PWB-6RSC-D1는 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템으로 본 연구에서 최종적으로 제안한 감쇠시스템이다. 도르래 작동에 의해 원형으로 곡률이 발생해야 하는 부분만을 강와이어 로프로 분절하여 사용하고 나머지 대각방향으로 연결되는 부분은 철근을 적용하였다. 철근과 강와이어 로프의 연결부분은 원터치형 커플러를 이용하여 연결하였다. 커플러 적용을 위해 강와이어 로프 단부에 강재로 제작된 원형튜브를 압착하여 로프를 고정하였으며 고정된 튜브에 철근을 용접하여 커플러를 통해 접합이 가능하도록 고안하였다.

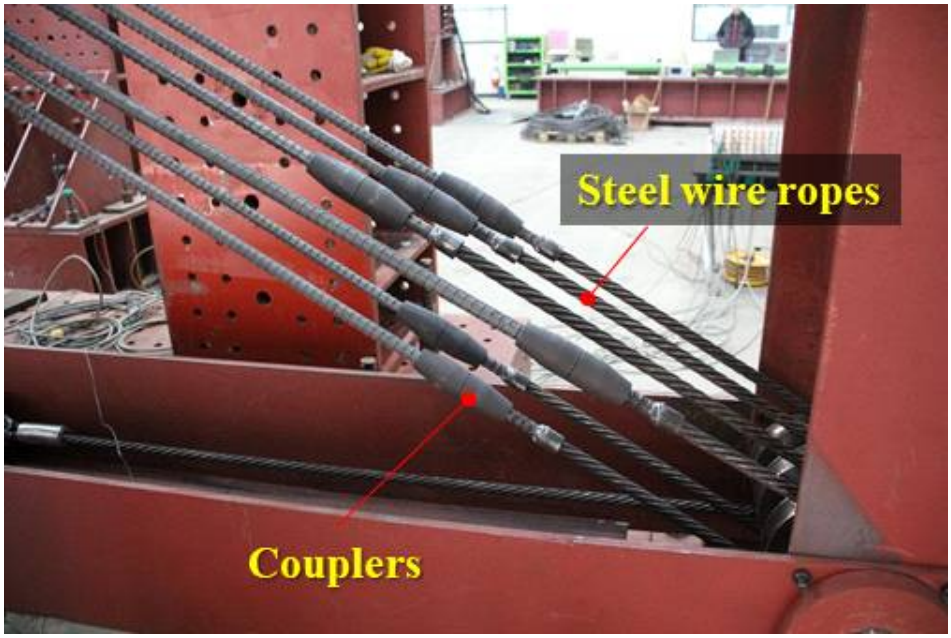


그림 2-39. 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 실험체 상세: 커플러 연결부

- 댐퍼에 하중을 전달하기 위해 사용된 강와이어 로프는 앞선 재료 성능 실험 결과에 근거하여 IWRC 6×Fi(25) 제품을 사용하였으며, 그 지름 크기는 20 mm였다. 또한, 설치된 철근의 경우, 강와이어의 지름와 유사한 사이즈인 19 mm 지름의 SD400 철근을 사용하였다.



그림 2-40. 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 실험체 상세:
철근 및 감쇠장치 설치

- 본 실험에서는 기존 실험에서 얻은 경험을 바탕으로, 철근 및 강와이어 로프에 초기 긴장력을 주고 고정하기 위한 고정단과 점성감쇠장치를 골조의 바닥에 설치하여 시공성을 한층 개선하였다(그림2-40).

- 대각방향으로 연결된 철근 또는 강와이어 로프의 반복 횟수는 그림 2-41에 나타낸 바와 같이 총 6회로 cosΘ 값을 함께 고려하여 이론적인 증폭비는 5.14에 해당된다. 표 2-16에 실험체 상세를 정리하여 나타냈다.

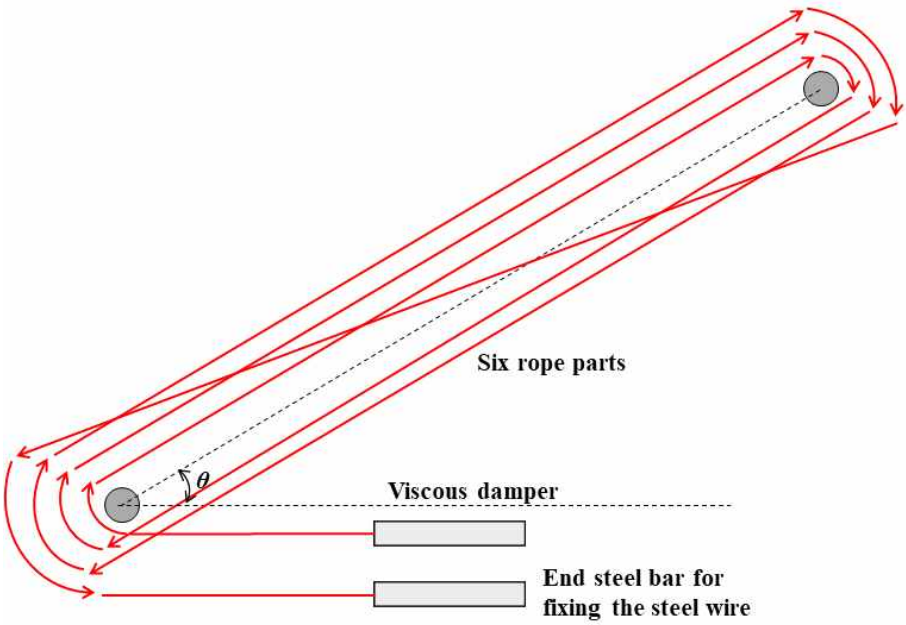


그림 2-41. 대각방향으로 도르래 사이 감긴 로프 횟수: 6회

표 2-16. 실험체 상세

Specimens	댐퍼 설치 유무	연결로프 타입	도르래를 지지하는 연결로프의 개수 (기대 등폭비)
PWB-6SC-D0	무	강와이어 로프	6 (5.14)
PWB-6SC-D1	유	강와이어 로프	6 (5.14)
PWB-6RSC-D1	유	강와이어 로프 & 철근	6 (5.14)

- 한편, 본 제진시스템이 잘 작동하기 위해서는 로프의 탄성변형을 최소화해야 하며, 이를 위해 안정된 강성을 확보할 수 있도록 초기 긴장력을 로프에 도입하는 것이 필요하다. 본 실험에서는 체인 블록을 이용하여 로프에 35 kN 크기의 초기 긴장력을 도입하였으며, 해당 인장력이 유지될 수 있도록 고정바를 잡아당긴 후 너트를 조여 강와이어 로프를 고정하였다.

(2) 실험 셋업

- 그림 2-42과 같이 제작된 실험체를 셋업하였다. 1,000 kN 성능의 액츄에이터를 이용하여 실험체에 하중을 가력하였으며, 가력 시 실험체의 면외방향 변위를 제어하기 위해 골조 상단보 측면에 횡방향 지지물을 설치하였다.



그림 2-42. 실험체 셋업

- 표 2-17 및 그림 2-43에 하중 프로토콜을 정리하여 나타냈다. 하중은 정현파(sine wave) 형태로 가력주파수를 0.1 Hz로 고정하여 골조의 오른쪽 상단부 접합부에서 가력을 진행하였다. 하중 스텝은 모든 실험체에 대해 총 8단계로 진행하였으며, 매 스

텝별로 5회 반복가력을 실시하였다. 이때, 매 하중 스텝별로 일정한 주파수 하에서 가력변위를 증가시켰기 때문에, 실제 최대가력속도는 매 하중 스텝이 진행될수록 최소 4.7 mm/s에서부터 최대 37.7 mm/s까지 증가하게 된다. 이를 통해 속도 의존형 점성댐퍼가 전체 제진시스템의 거동에 어떠한 영향을 미치는지 동시에 확인할 수 있도록 하였다.

표 2-17. Loading Protocol

Step	1	2	3	4	5	6	7	8
Drift ratio [%]	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
Loading Displacement [mm]	7.5	15.0	22.5	30.0	37.5	45.0	52.5	60.0
Maximum Speed [mm/s]	4.7	9.4	14.1	18.8	23.6	28.3	33.0	37.7
Cycle	5	5	5	5	5	5	5	5
Frequency [Hz]	0.1							

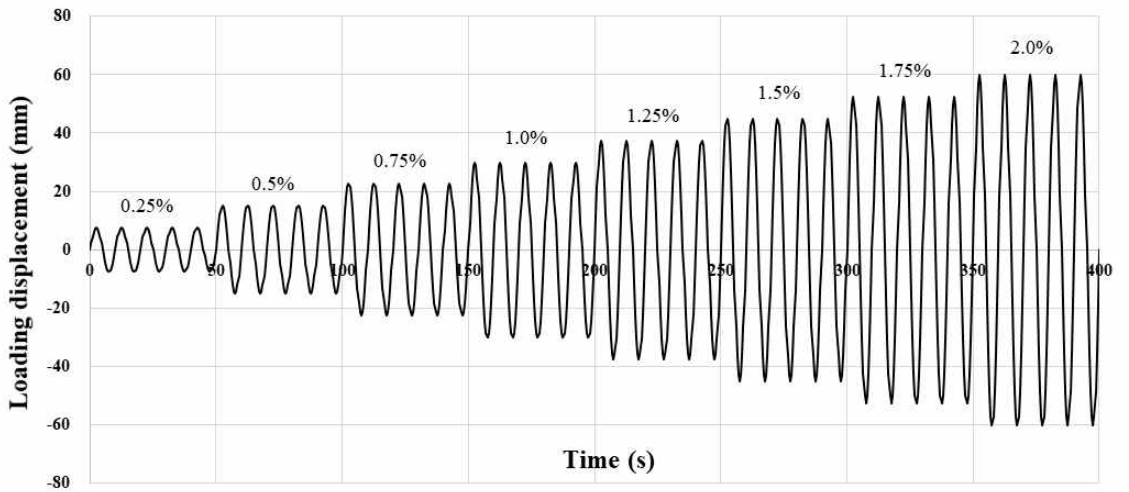


그림 2-43. Loading Protocol

- 제안된 변위 증폭 시스템에 의해 가력 변위 대비 댐퍼에 발생되는 변위의 비를 확인하고자 그림 2-44에 나타낸 것처럼 선형 가변 변위 변환기 (linear variable displacement transducer)를 설치하였다. 또한, 케이블에 발생되는 축력의 변환을 확인하기 위해 기둥에 고정된 강재 바에 스트레인 게이지를 설치하였다.



그림 2-44. 계측 계획

(3) 실험 결과 및 분석

(가) 변위 증폭 메카니즘 분석 및 효과

○ PWB-6SC-D0 실험체 변위증폭비

- 표 2-18과 그림 2-45에 실험체 PWB-6SC-D0의 하중 스텝별 층간변위 대비 댐퍼 위치에서의 강케이블의 이동변위를 비교하여 나타냈다. 본 실험체의 경우, 댐퍼가 설치될 위치에서의 강케이블의 이동변위가 층간변위 대비 약 5.0배에 달하는 수준을 나타냈다. 이는 이론적 증폭비 5.14에 매우 근사한 값으로 본 감쇠시스템의 증폭 메카니즘이 우수하게 발현될 수 있음을 확인할 수 있다.

표 2-18. 실험체 PWB-6SC-D0의 층간변위 대비 댐퍼변위의 증폭비

실험체			PWB-6SC-D0 (Without Damper)			
Step	층간변위각 (%)	가력변위 (mm)	댐퍼 설치 부위의 변위			증폭비
			정+	부-	평균	
1	0.25	7.5	33.9	-30.8	32.3	4.31
2	0.5	15.0	72.9	-70.3	71.6	4.78
3	0.75	22.5	112.2	-108.2	110.2	4.90
4	1.0	30.0	151.5	-145.1	148.3	4.94
5	1.25	37.5	190.7	-182.4	186.5	4.97
6	1.5	45.0	230.0	-219.5	224.8	4.99
7	1.75	52.5	263.9	-258.5	261.2	4.98
8	2.0	60.0	293.2	-297.4	295.3	4.92
전체평균						4.85

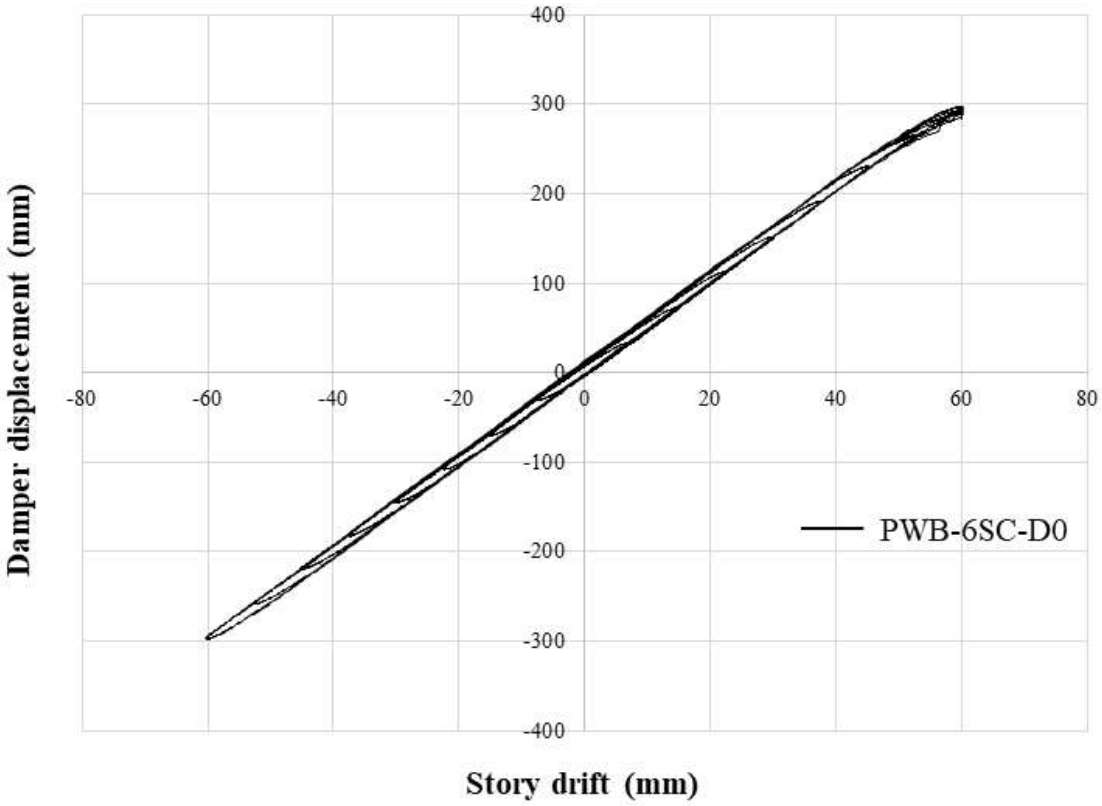


그림 2-45. PWB-6SC-D0의 층간변위와 댐퍼작동변위 사이 관계

- 그림 2-45를 통해 골조의 변형에 따른 도르래의 작동 지연으로 인해 나타나는 평행사변형 형상의 그래프가 아닌 거의 선형에 가까운 움직임을 확인할 수 있다. 이는 기존 일체형 케이블-도르래 감쇠시스템 성능 실험에서, 5번 또는 7번 케이블을 감은 댐퍼를 미설치한 실험체에서도 지연현상이 뚜렷하게 나타나는 것과는 대비되는 것으로, 베어링 도르래를 사용함으로써 더 높은 긴장력 하에서도 핀과 도르래 사이의 마찰력을 상당히 줄여 도르래 작동 지연 현상을 많이 저감시킨 것을 본 실험 결과를 통해 확인할 수 있다.

○ PWB-6SC-D1 실험체 변위증폭비

- 표 2-19와 그림 2-46에 실험체 PWB-6SC-D1의 하중 스텝별 변위증폭 효과를 정리하여 나타냈다.

- 그림 2-46에서 확인해 볼 수 있듯이, 그래프 형상이 한쪽으로 기운 평행사변형이 뚜렷하게 나타났다. 이는 베어링 도르래를 사용했음에도 불구하고, 골조 변형 시 케이블로 전달되는 댐퍼의 하중이 케이블 자체의 탄성변형으로 이어져 증폭효과가 감소하는 것을 의미한다. 1단계 하중스텝에서 댐퍼의 작동거리는 평균 9.1 mm를 나타내 1.2배의 증폭효과를 거두었다. 그러나 하중 스텝이 증가할수록 댐퍼의 상대적인 움직임은 커져 증폭비가 약 4.38까지 증가하는 것으로 나타났다. 이는 이론적 증폭비인 5.14의 약 85%에 이르는 값에 해당된다. 그러나 지연현상 발생 후 도르래 작동 중에 계측된 증폭비, 즉 그림 2-46의 기울기를 통해 확인된 증폭비는 이론값과 동일한 5.14를 나타냈다.

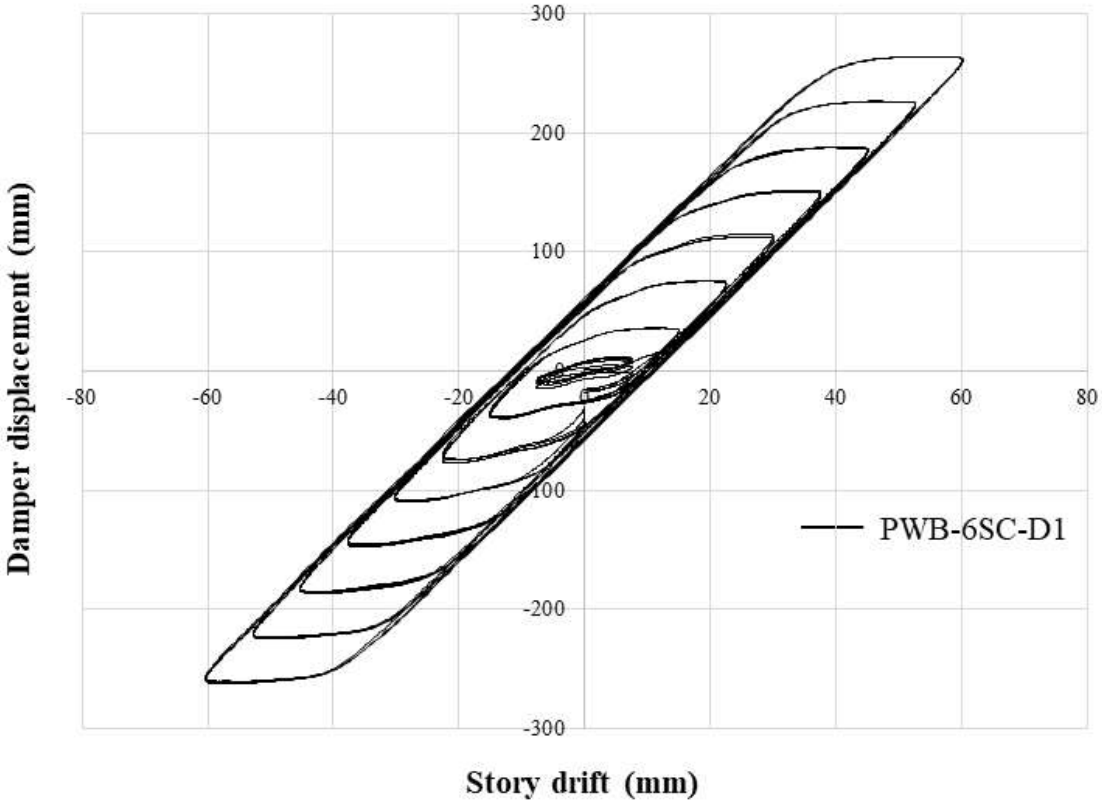


그림 2-46. PWB-6SC-D1의 층간변위와 댐퍼작동변위 사이 관계

표 2-19. 실험체 PWB-6SC-D1의 층간변위 대비 댐퍼변위의 증폭비

실험체			PWB-6SC-D1 (With Damper)			
Step	층간변위각 (%)	가력변위 (mm)	댐퍼 설치 부위의 변위			증폭비
			정+	부-	평균	
1	0.25	7.5	7.0	-11.1	9.1	1.21
2	0.5	15.0	36.3	-39.8	38.1	2.54
3	0.75	22.5	75.7	-76.2	75.9	3.37
4	1.0	30.0	113.2	-109.2	111.2	3.71
5	1.25	37.5	150.9	-146.6	148.7	3.97
6	1.5	45.0	188.0	-186.1	187.1	4.16
7	1.75	52.5	226.6	-224.3	225.5	4.29
8	2.0	60.0	264.2	-261.8	263.0	4.38
전체평균						3.45

○ PWB-6RSC-D1 실험체 변위증폭비

- 표 2-20과 그림 2-47은 실험체 PWB-6RSC-D1의 하중 스텝별 변위증폭 효과를 정리하여 나타낸 것이다.

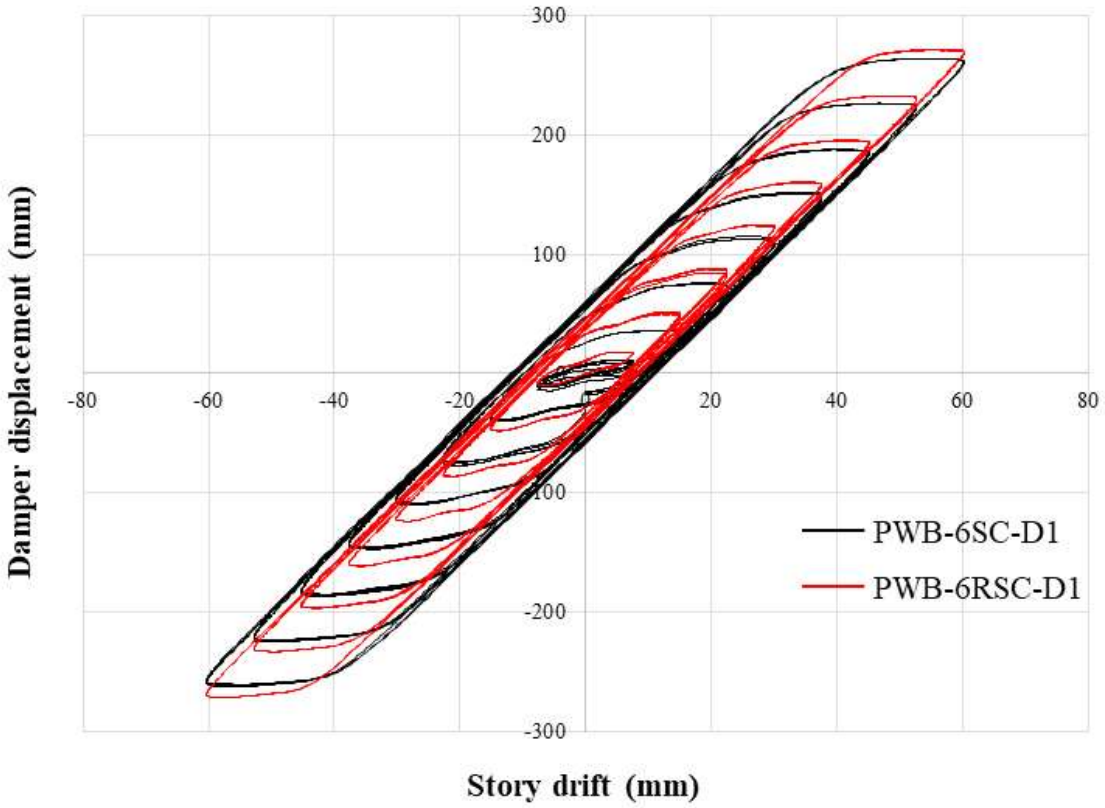


그림 2-47. PWB-6RSC-D1의 층간변위와 댐퍼작동변위 사이 관계

표 2-20. 실험체 PWB-6RSC-D1의 층간변위 대비 댐퍼변위의 증폭비

실험체			PWB-6RSC-D1 (With Damper)			
Step	층간변위각 (%)	가력변위 (mm)	댐퍼 설치 부위의 변위			증폭비
			정+	부-	평균	
1	0.25	7.5	10.0	-17.9	14.0	1.86
2	0.5	15.0	48.2	-50.7	49.5	3.30
3	0.75	22.5	86.5	-87.4	87.0	3.86
4	1.0	30.0	124.0	-124.1	124.1	4.14
5	1.25	37.5	161.7	-160.4	161.1	4.29
6	1.5	45.0	196.8	-195.2	196.0	4.36
7	1.75	52.5	233.6	-232.8	233.2	4.44
8	2.0	60.0	271.6	-271.8	271.7	4.53
전체평균						3.85

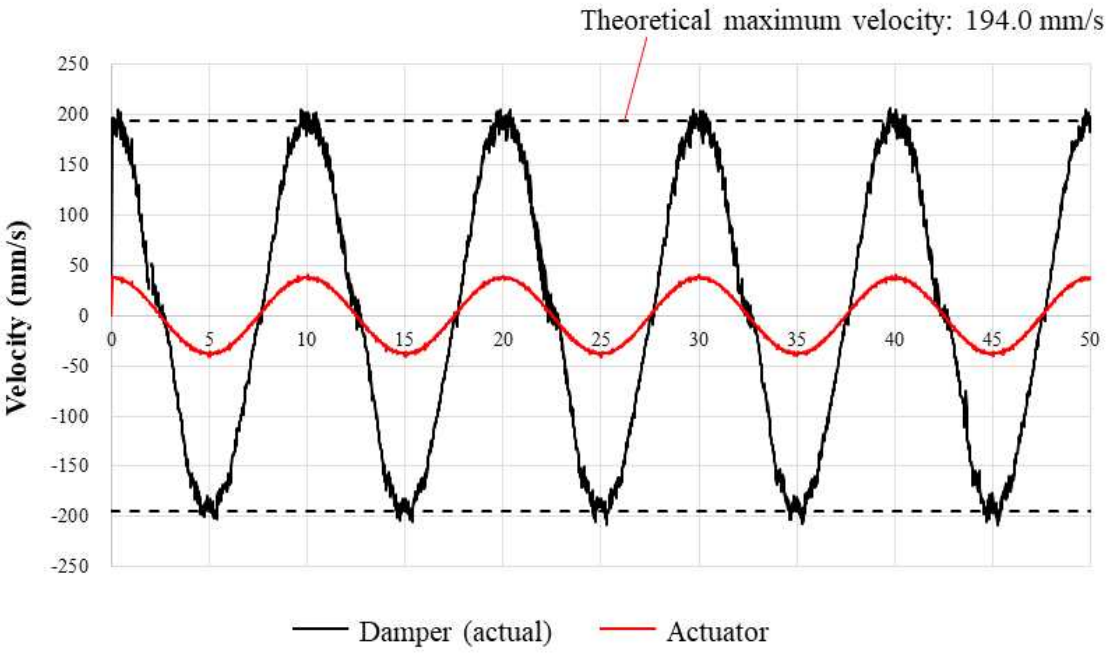
- 그림 2-47의 비교 그래프에서 확인해 볼 수 있듯이, 강와이어 로프로만 연결된 실험체 PWB-6SC-D1에 비해서 대각연결부를 철근으로 대체한 실험체 PWB-6RSC-D1의 그래프 형상이 강와이어의 탄성변형이 줄어들어 더 슬림한 모양의 사변형을 나타냈다.

- 표 2-20에서 각 하중 스텝별 변위증폭비를 구체적으로 살펴보면, 실험체 PWB-6SC-D1의 경우와 마찬가지로 첫 가력 스텝에서 1.86의 작은 효율을 나타내다 가력 스텝이 증가할수록 4.53까지 증폭비가 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 전반적으로 실험체 PWB-6SC-D1에 비해 평균 0.4배의 증폭 효율이 증가(11%↑)한 것으로 나타났다. 이러한 경향은 저용량 댐퍼가 아닌 고용량 댐퍼를 설치할수록 더욱 극명하게 나타날 것으로 판단된다.

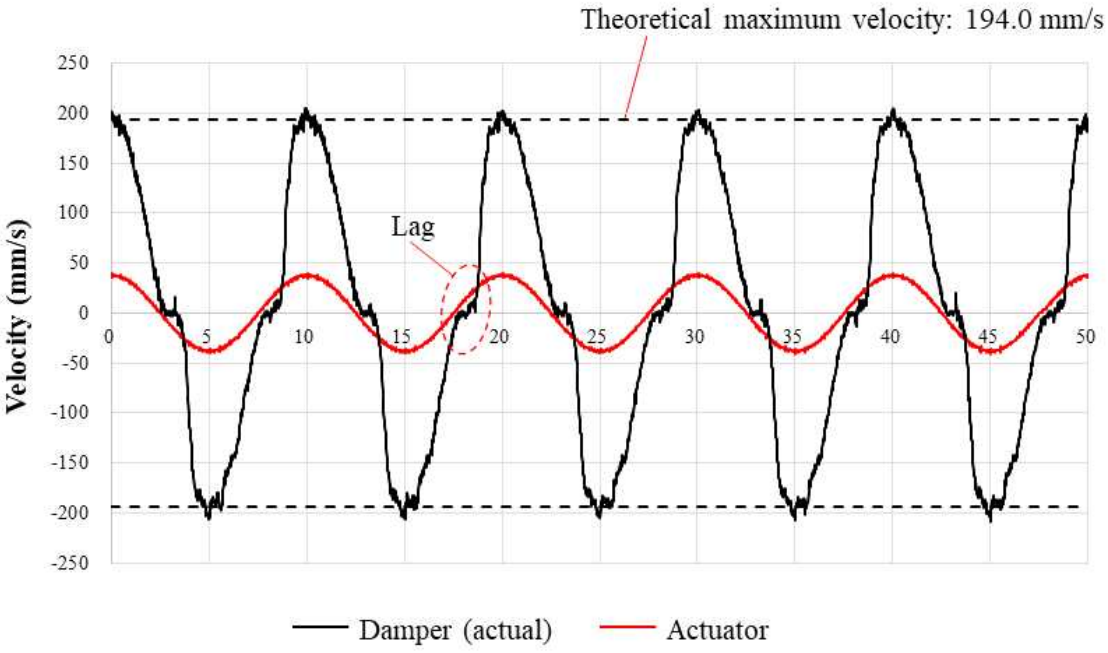
- 지연현상 발생 후 도르래 작동 중에 계측된 증폭비, 즉 그림 2-47의 기울기를 통해 확인된 증폭비는 이론값과 동일한 5.14를 나타냈다.

(나) 댐퍼 작동 속도

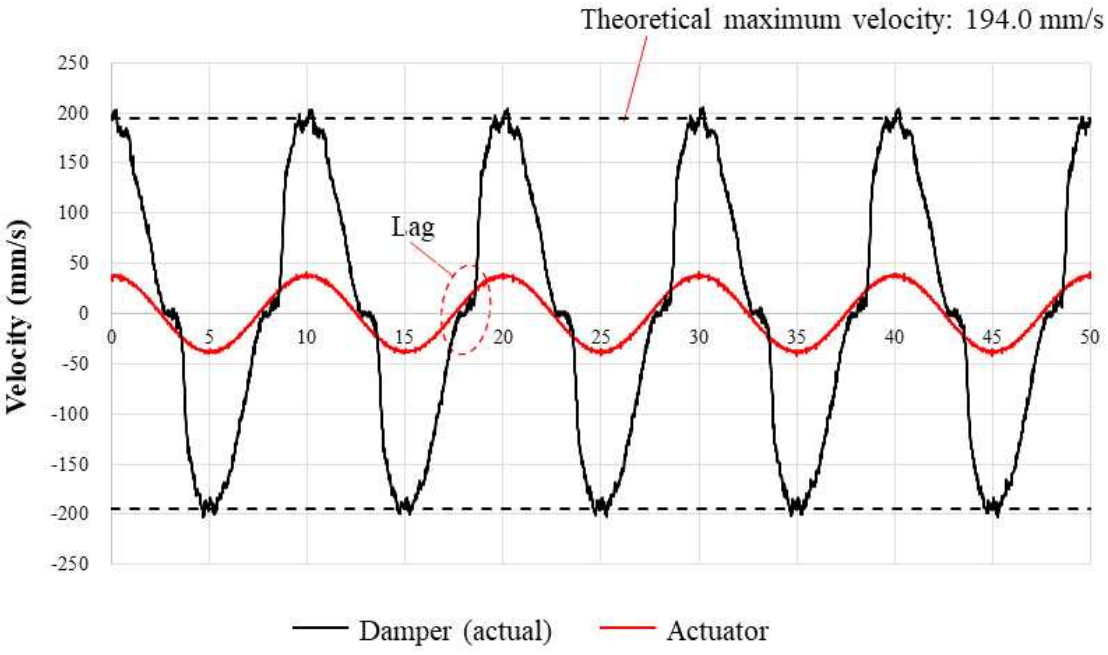
- 그림 2-48(a)-(c)에 각 실험체별로 마지막 가력 사이클에서 계측된 댐퍼의 변위값을 기반으로 시간에 따른 댐퍼의 실제 작동속도를 계산하여 그래프로 나타냈다.



(a) PWB-6SC-D0



(b) PWB-6SC-D1



(c) PWB-6RSC-D1

그림 2-48. 각 실험체별 마지막 사이클에서 댐퍼의 작동속도 비교

- 상기 그래프에서 확인할 수 있듯이, 액츄에이터의 가력속도 변화와 더불어 댐퍼의 작동 속도 역시 사인파 형상으로 증감하는 것을 확인해 볼 수 있다. 다만, 댐퍼가 설치된 실험체의 경우, 댐퍼하중에 의해 케이블에 추가로 부가되는 인장력 때문에 케이블 자체의 탄성변형이 발생하여 골조의 변형이 바로 댐퍼의 작동으로 이어지지 않는 지연 현상(lag)이 발생하는 것이 특징으로 나타났다. 이는 댐퍼가 설치되지 않은 실험체 PWB-6SC-D0에서는 나타나지 않아 그에 대한 원인을 확인할 수 있다.

- 그러나, 모든 실험체에서 계측된 댐퍼의 실제 작동 최고 속도는 이론적으로 예측되는 값(점선으로 표시, 194 mm/s)과 거의 일치하였다. 해당 결과는 댐퍼의 실제 작동 최고 속도를 이론적으로 정확하게 예측할 수 있음을 나타내며, 이를 바탕으로 댐퍼에 발생되는 최대저항하중 또한 정확히 예측할 수 있음을 의미한다.

(다) 하중-변위 관계

○ PWB-6SC-D0 하중-변위 관계

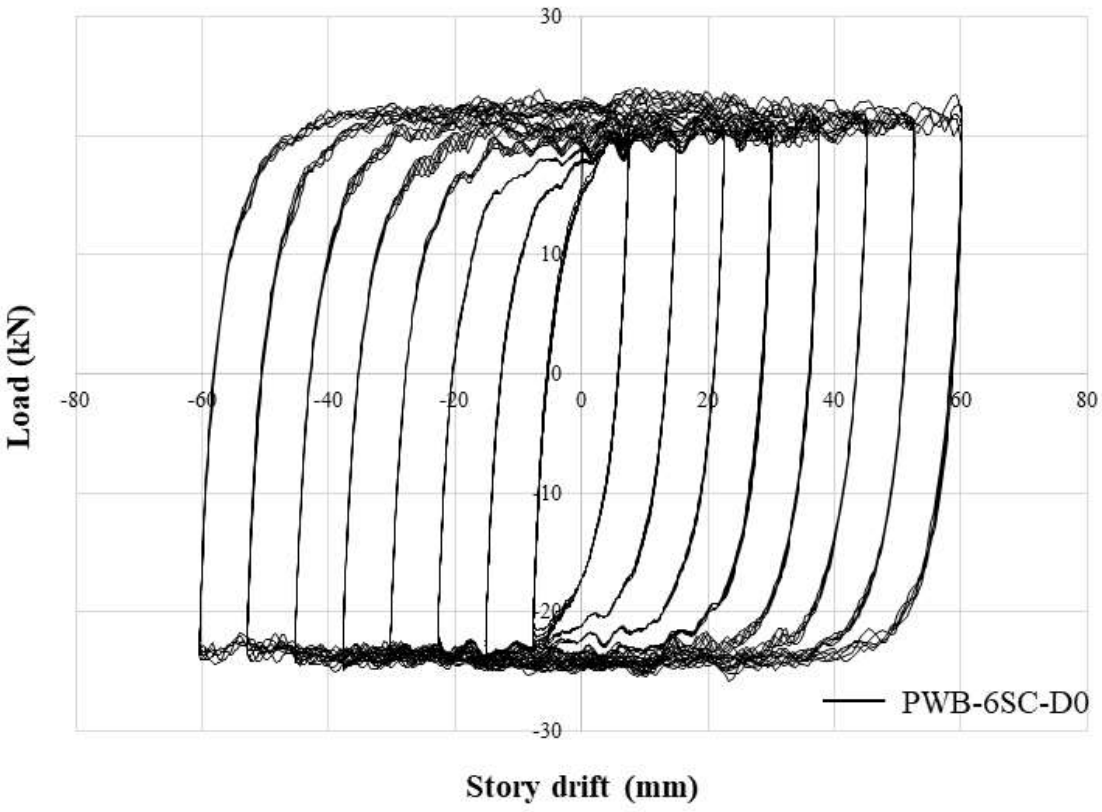


그림 2-49. PWB-6SC-D0 실험체 하중-변위 관계

- 그림 2-49는 실험체 PWB-6SC-D0 실험체의 하중-변위 그래프를 나타낸 것이다. 그림에서 확인해 볼 수 있듯이, 댐퍼 미설치로 인해 가력변위 증가와는 무관하게 일정한 하중(평균 23.2 kN)을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 기존 일체형 케이블-도르래 감쇠시스템에서는 대각방향으로 감은 케이블의 수가 5회, 7회인 실험체의 경우에 댐

퍼를 설치 않았음에도 불구하고 각각 50 kN과 125 kN 크기의 마찰력에 의한 하중이 나타났다. 해당 실험체들에 초기 긴장력으로 10-15 kN이 사용된 점을 감안하였을 때, 도르래 내부에 베어링을 설치함으로써 핀과의 마찰력에 의한 하중저항력이 대폭 감소했다는 것을 본 실험을 통해 확인할 수 있다.

- 도르래가 작동하는 구간에서는 긴장된 케이블이 움직이며 진동하기 때문에 그래프 상에서 떨리는 파형의 곡선이 형성되었다. 표 2-21에 본 실험체에 대한 각 하중 스텝별 하중값을 정리하여 나타내었다. 각 스텝별 하중값은 5회 반복 계측된 하중들에 대한 평균을 정리하여 나타낸 것이다.

표 2-21. 실험체 PWB-6SC-D0의 하중스텝별 계측된 저항력

	층간변위	DS-7-D0 (without Damper) 최대 하중 (kN)		
Step	mm	정+	부-	평균
1	7.5	20.8	-22.5	21.7
2	15.0	21.2	-23.9	22.5
3	22.5	20.9	-24.2	22.6
4	30.0	21.6	-24.2	22.9
5	37.5	21.9	-24.9	23.4
6	45.0	22.2	-25.0	23.6
7	52.5	22.9	-25.4	24.2
8	60.0	23.9	-25.3	24.6

○ PWB-6SC-D1 하중-변위 관계

- 그림 2-50은 실험체 PWB-6SC-D1 실험체의 하중-변위 그래프를 실험체 PWB-6SC-D0와 비교하여 나타낸 것이다. 가력 스텝이 증가할수록 댐퍼의 작동 속도가 빨라지고, 이에 따라 댐퍼의 저항도 커져 골조에 발생하는 하중이 점차 증가하는 것을 그림 2-50에서 확인해 볼 수 있다. 또한, 기둥과 보 사이에 연결된 핀과 지지철물 사이의 공극으로 인해 약간의 슬립이 발생하였으며, 이러한 특징이 그대로 그래프에 반영되어 가력 변위가 바뀔 때마다 수평으로 하중 증가 없이 변위가 발생하는 구간이 나타났다.

- 표 2-22에서 본 실험체에 대한 하중 증가 사항들에 대한 상세를 확인해 볼 수 있다. 우선 앞서 살펴본 바와 같이 댐퍼의 작동 속도가 이론값과 동일하다는 전제하에 댐퍼에 발생되는 하중을 이론식을 이용하여 계산하였다. 이를 기반으로 케이블에 추가로 발생되는 인장력 및 본 감쇠시스템의 증폭효과에 의한 골조의 저항력 증분을 계산할 수 있다.

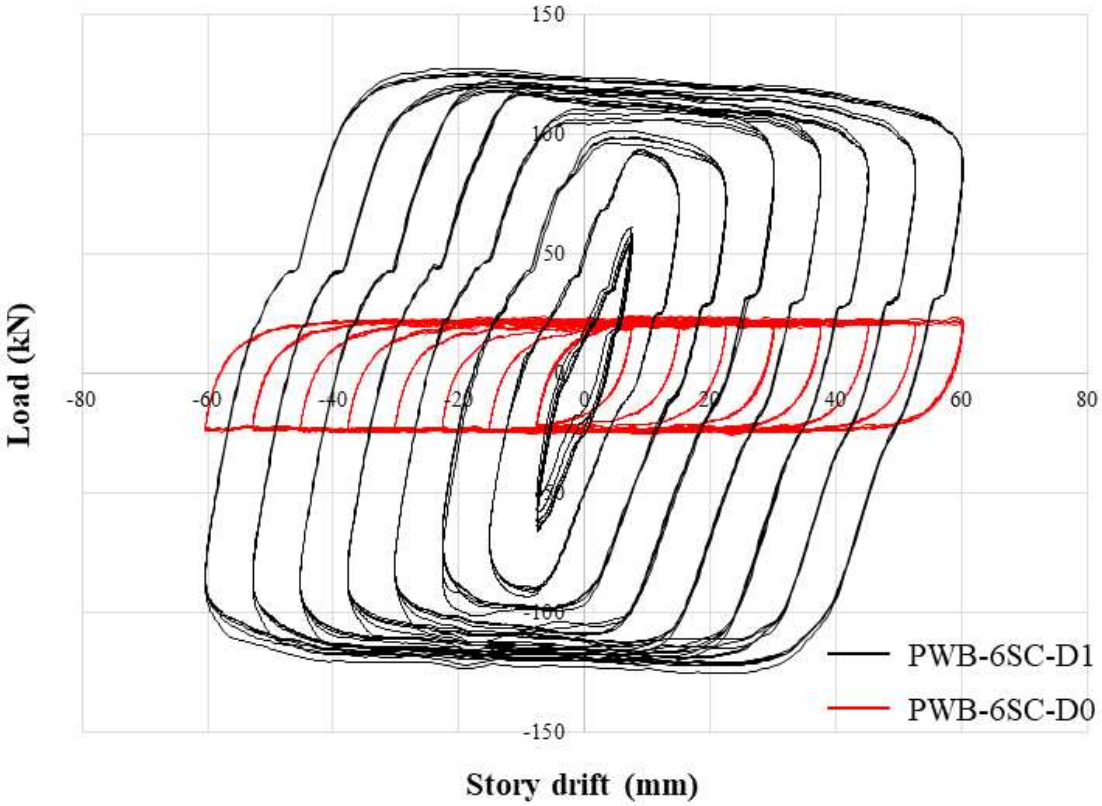


그림 2-50. PWB-6SC-D1 실험체 하중-변위 관계

표 2-22. PWB-6SC-D1 실험체의 하중증폭 효과

Step	층간 변위	댐퍼 작동 속도	예상 댐퍼 저항력	PWB-6SC-D0 (without Damper) 최대평균하중	댐퍼 설치에 따른 증가된 마찰력	PWB-6SC-D1 (with Damper) 최대 하중 (kN)			댐퍼에 의한 하중 증폭량		
									실험	이론	실험/
	mm	mm/s	kN	kN	kN	정+	부-	평균	값	값	이론
1	7.5	24.2	10.8	21.7	6.7	58.9	-60.8	59.9	31.5	55.6	0.57
2	15.0	48.5	12.1	22.5	7.8	91.1	-90.5	90.8	60.5	62.2	0.97
3	22.5	72.7	12.9	22.6	8.3	98.2	-99.4	98.8	67.9	66.3	1.02
4	30.0	97.0	13.5	22.9	8.8	108.8	-109.9	109.4	77.7	69.5	1.12
5	37.5	121.2	14.0	23.4	9.4	117.5	-115.3	116.4	83.6	72.0	1.16
6	45.0	145.5	14.4	23.6	9.7	118.4	-118.7	118.5	85.2	74.1	1.15
7	52.5	169.7	14.8	24.2	10.2	120.8	-119.1	119.9	85.5	76.0	1.13
8	60.0	194.0	15.1	24.6	10.6	125.2	-122.5	123.8	88.6	77.6	1.14

- 댐퍼를 설치할 경우, 댐퍼하중에 의해 추가로 발생되는 케이블 인장력으로 골조의 기본 저항 하중이 커지게 된다. 초기 긴장력 35 kN에 대한 골조의 저항력은 실험체 PWB-6SC-D0에서 확인할 수 있으며, 해당 실험 결과에 근거하여 댐퍼 작동에 의해 추가되는 케이블 인장력에 비례하여 발생되는 골조의 추가저항력을 계산하였다. 하중 스텝 1단계에서는 약 6.7 kN정도로 확인되었으며, 마지막 하중 스텝에서는 댐퍼에 발생되는 속도 증가와 함께 10.6 kN까지 증가하는 결과를 얻게 되었다.

- 실험체 PWB-6SC-D0의 각 하중 스텝별 하중값과 앞서 계산한 추가 하중값을 더하면 증폭시스템 이외에 발생되는 하중저항력을 계산할 수 있다. 따라서, 그 결과를 실험체 PWB-6SC-D1의 하중값에서 빼면 순수하게 본 감쇠시스템의 작동에 의해 증폭된 하중을 계산할 수 있게 된다. 그 결과, 첫 번째 하중스텝을 제외한 거의 모든 스텝에서 거의 1.0에 근사한 결과를 나타내 이론적으로 본 시스템에 대한 설계가 가능함을 확인할 수 있었다. 또한, 하중 증폭 측면에서는 이론값인 5.14배의 증폭이 현실적으로 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

○ PWB-6RSC-D1 하중-변위 관계

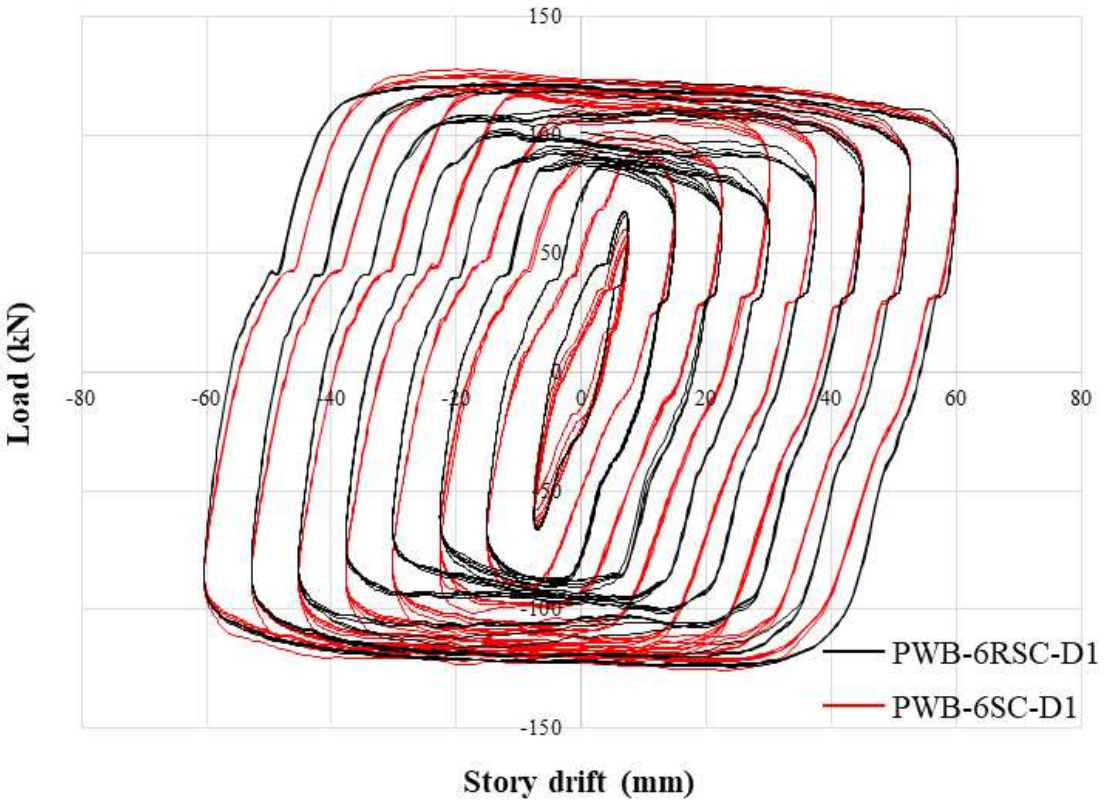


그림 2-51. PWB-6RSC-D1 실험체 하중-변위 관계

- 그림 2-51은 실험체 PWB-6RSC-D1 실험체의 하중-변위 그래프를 실험체 PWB-6SC-D1과 비교하여 나타낸 것이다. 전반적인 그래프 경향은 실험체 PWB-6SC-D1과 동일하게 나타났으며, 본 실험체 역시 핀과 지점부 사이의 공극으로 인한 슬립이 발생하였다. 그러나 강케이블 대신 철근을 사용한 덕분에 가력 방향이 변경될 때마다 나타나는 탄성 회복 영역의 기울기가 다소 증가한 것이 눈에 띄었다. 이는 철근 대체를 통해 로프에서 발생되는 탄성 변형이 덜 발생하였음을 나타낸다.

- 표 2-23에 표 2-22와 마찬가지로 실험체 PWB-6RSC-D1에 대한 하중 증가 상세 내역을 분석, 정리하여 나타냈다. 본 실험체에 있어 댐퍼 미설치 상태에서의 골조의 저항력과 댐퍼 설치로 인해 증가되는 저항력의 크기는 실험체 PWB-6SC-D1에 대해 고려한 값들과 동일하다고 가정하였다. 그 결과 댐퍼 설치에 따른 하중 증폭비가 이론적인 값 5.14배와 거의 유사하게 나타는 경향을 확인할 수 있었다.

- 실제 본 감쇠시스템을 적용하는데 있어 철골조를 상대로 할 경우 핀으로 제작된 골조를 고려하지 않고 바로 기존 골조에 설치하기 때문에 실험체 상에서 발생되는 골조와 핀 사이의 마찰력으로 인한 하중 증가분은 상당히 감소할 것으로 예상된다.

표 2-23. PWB-6RSC-D1 실험체의 하중증폭 효과

Step	층간 변위	댐퍼 작동 속도	예상 댐퍼 저항력	PWB-6SC-D0 (without Damper) 최대평균하중	댐퍼 설치에 따른 증가된 마찰력	PWB-6SC-D1 (with Damper) 최대 하중 (kN)			댐퍼에 의한 하중 증폭량		
									실험	이론	실험/
	mm	mm/s	kN	kN	kN	정+	부-	평균	값	값	이론
1	7.5	24.2	10.8	21.7	6.7	67.5	-65.8	66.7	38.2	55.6	0.69
2	15.0	48.5	12.1	22.5	7.8	87.5	-88.8	88.1	57.9	62.2	0.93
3	22.5	72.7	12.9	22.6	8.3	90.1	-90.2	90.1	59.2	66.3	0.89
4	30.0	97.0	13.5	22.9	8.8	93.9	-95.8	94.8	63.1	69.5	0.91
5	37.5	121.2	14.0	23.4	9.4	101.0	-100.5	100.8	68.0	72.0	0.94
6	45.0	145.5	14.4	23.6	9.7	110.7	-110.2	110.4	77.1	74.1	1.04
7	52.5	169.7	14.8	24.2	10.2	119.2	-120.4	119.8	85.4	76.0	1.12
8	60.0	194.0	15.1	24.6	10.6	121.9	-123.9	122.9	87.7	77.6	1.13

2-1-6-4. 소결

- 기존에 제안된 일체형 케이블-도르래 감쇠시스템의 현장 시공성을 개선하고, 케이블의 탄성변형 및 도르래와 핀 사이에 발생되는 마찰력을 최소화하고자 분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템을 추가로 제안하여 그 성능을 실험적으로 평가하였다.

- 베어링 도르래가 설치된 실험체(PWB-6SC-D0)의 경우, 케이블에 도입된 35 kN의 초기 긴장력에도 불구하고 평균 23.2 kN의 낮은 골조 저항력을 나타냈다. 기존 일체

형 케이블-도르래 감쇠시스템에서 초기 긴장력 10-15 kN으로 강케이블을 5회, 7회 감은 시스템에서 골조의 저항하중이 각각 50 kN과 125 kN 나타난 점을 감안하였을 때 베어링 설치에 따른 마찰력의 영향이 급격히 줄어든 것을 확인해 볼 수 있었다. 또한, 계측된 골조의 저항력은 핀과 보 및 기둥 부재 사이에 발생되는 마찰력으로 인해 발생한 값으로 실제 철골조 구조물에 적용 시에는 해당 하중이 발생하지 않아 본 감쇠시스템 설계 시 베어링 도르래를 통해 마찰에 의한 불확실성을 극복할 수 있을 것으로 판단되었다.

- 분절형 케이블에 철근을 적용한 실험체 PWB-6RSC-D1의 경우, 강와이어 로프로만 설치된 실험체 PWB-6RSC-D0에 비해 하중-변위 곡선 상에서 탄성회복을 나타내는 곡선의 기울기가 더 크게 나타나 탄성변형에 의한 영향이 철근 대체로 감소되었음을 확인할 수 있었다. 이 때문에 댐퍼의 작동범위 역시 약 11% 가량 증가하는 효과가 있었다.

- 새로이 제안된 감쇠시스템 내 속도의존형 감쇠장치의 작동속도를 확인한 결과, 설치된 케이블 및 철근의 탄성변형에 의해 댐퍼 작동 지연이 발생했음에도 불구하고 댐퍼의 실제 작동 최고 속도는 이론적으로 예측된 값과 거의 동일하였다. 이 때문에 구조물의 저항력은 설치된 감쇠장치의 저항성능에 이론증폭비를 곱한 값만큼 정확하게 증가하는 경향을 나타냈다. 이를 통해 작은 용량의 댐퍼 사용으로도 그의 수 배에 달하는 성능을 가진 댐퍼 효과를 거둘 수 있음을 다시 한 번 더 확인할 수 있었다.

2-1-7. 현장적용 Test Bed

2-1-7-1. 개요

- 위치: 경기도 김포시 대곶면 대곶로 280-28 테크스퀘어 공장
- 구조: 철골조



그림 2-52. 테스트 베드 위치



그림 2-53. 적용 건물 전경

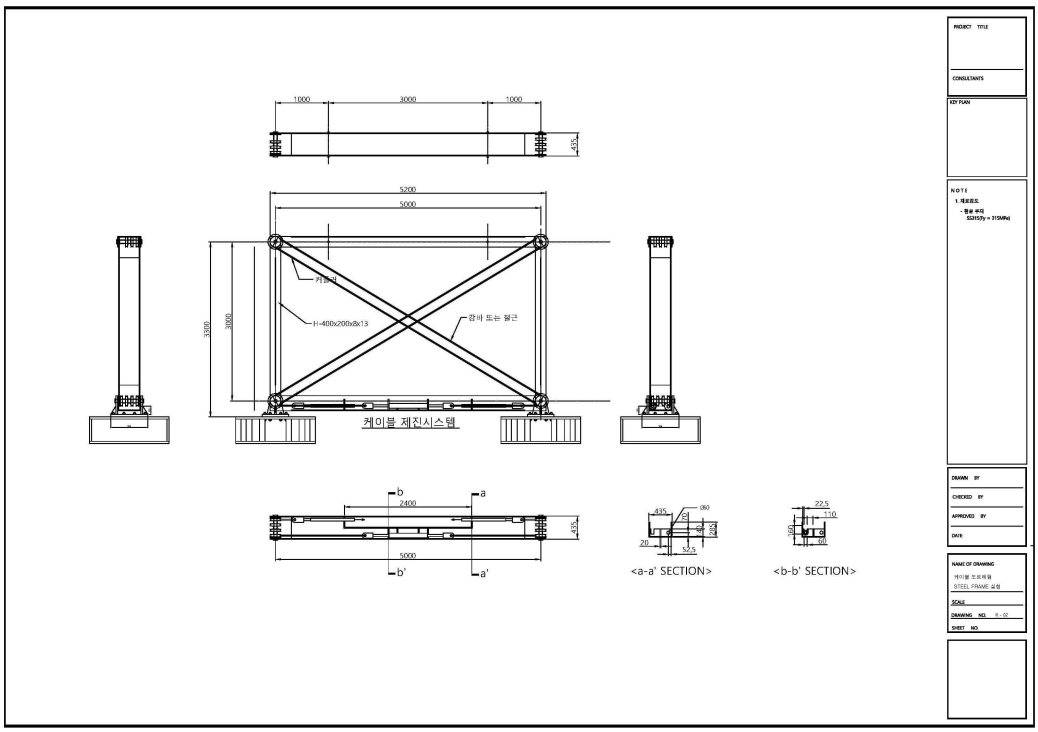


그림 2-54. 시스템 제작 도면

2-1-7-2. 현장 설치 모습









2-1-8. 제진시스템 설계 및 시공매뉴얼 개발

- 본 연구에서는 수행된 개발 내용을 바탕으로 본 시스템을 현장에 적용 및 비선형 동적 해석을 진행할 시에 주의해야 되는 사항들을 정리하여 시방서 및 설계 매뉴얼을 작성하였다. 해당 부분에 대한 내용은 본 보고서 『**부록 D. 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서 및 설계 매뉴얼**』**을 참조**하기 바란다.

2-2. 연구 개발 성과

2-2-1. 정량적 연구 성과 리스트

2-2-1-1. 지식재산권(특허)

년도	국가	출원 또는 등록년도	출원 또는 등록자명	소속	특허증번호/ 품종등록번호	발명의명칭/ 작물명-품종의명칭	출원 또는 등록일자
2020	대한민국	2020	정인용; 류재호; 이용재; 오진탁; 김도균; 서형렬; 윤준웅; 민찬기	㈜테크스퀘어/ 한국시설안전공단	제10-2070690호	케이블과 도르래를 이용한 변위증폭 시스템	01.21. (등록)

2-2-1-2. 학술논문

년도	국가	학술지명	권/호	논문제목	저자	학회	게재/심사 여부
2019	대한민국	한국강구조학회 논문집	31권 5호	실리콘 점성댐퍼의 속도의존성 거동에 대한 실험적 성능 평가	정인용; 오진탁; 류동일; 류재호	한국강구조학회	2019.10 게재
2019	대한민국	한국지진공학회 논문집	-	케이블과 도르래를 이용한 변위증폭형 제진시스템의 실험적 성능 평가	오진탁, 정인용, 류재호	한국지진공학회	현재 심사 중
2019	대한민국	한국강구조학회 논문집	-	케이블-도르래-베어링 복합 제진 시스템의 실험적 성능 평가	류재호, 고희진, 오진탁, 정인용	한국강구조학회	현재 심사 중

2-2-1-3. 학술발표대회

년도	국가	일시	장소	학술대회명	논문 제목	저자	구두/ 포스터
2019	대한민국	05.30.	부산 해운대 그랜드 호텔	2019년 한국강구조학회 학술대회	케이블과 도르래를 이용한 변위증폭형 제진시스템의 작동 메커니즘 연구	정인용; 류재호	구두
2019	대한민국	05.30.	부산 해운대 그랜드 호텔	2019년 한국강구조학회 학술대회	개방형 제진시스템의 실대형 실험을 통한 성능검증	정인용; 류재호	구두
2019	대한민국	10.24.	충남 대학교	2019년 대한건축학회 추계학술발표대회	케이블과 도르래를 이용한 변위증폭형 제진시스템을 위한 케이블 소재 분석	오진탁	포스터

2-2-1-4. 시제품 제작

년도	소속	시제품명	제작일	설치장소	이용분야	제작업체명
2019	㈜테크스퀘어	일체형 케이블-도르래 감쇠시스템	2019.02	실험 성능 평가용 제작	구조물 내진보강	미스텍
2019	㈜테크스퀘어	분절형 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템	2019.12	경기도 김포시 대곶면 대곶로 280-28	구조물 내진보강	미스텍

2-2-1-5. '케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서' 제안

게재 연도	과제명	연구 책임자	구분	활용 구분	설계기준/ 시방서/ 지침 명칭	제안일시	제안내용	기대효과
2019	제진성능 향상 (30%이상)을 위한 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발	정인용	일반	구조물 내진 보강	내진보강 공법 시방서	2019.12.26	케이블-도르래 감쇠시스템을 적용하는데 요구되는 일반 사항 및 기준을 정리하여 제시함	추후 사업화 과정을 통해 실제 적용하는데 일괄적인 적용 기준 및 지침으로 활용할 수 있음

2-2-2. **정성적 연구 성과**

2-2-2-1. 연구 목표 관련 성과

(가) 제진성능(에너지소산 능력) 30% 증가

- 본 연구과제에서 개발하고자 한 감쇠시스템의 제진성능은 동일한 감쇠장치를 사용했을 때를 기준으로 변위증폭효과를 통해 에너지 소산이 30% 이상 증가된 것을 목표로 하였다.

- 일반적인 대각가새형 감쇠시스템의 경우, 발생되는 층간변위보다 작은 변위량이 댐퍼에 입력되어 그 효율이 떨어지는 특징이 있다. 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 변위증폭 감쇠시스템인 토글형 감쇠시스템은 감쇠장치에 입력되는 변위의 증폭이 2-3배에 이르는 특징을 가지고 있다.

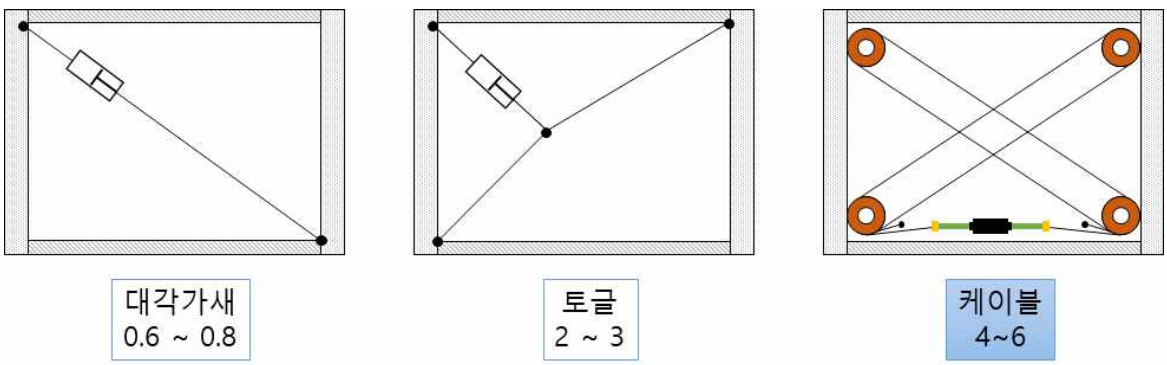


그림 2-55. 증폭시스템에 따른 증폭 비율

- 상기 언급된 변위증폭시스템과 비교하여, 본 연구를 통해 개발된 감쇠시스템은 그림 2-00에 나타낸 바와 같이 골조의 대각방향으로 도르래 사이를 감는 케이블의 횟수에 따라 변위증폭률이 4배에서 6배까지 증가가 가능한 것을 실험으로부터 확인할 수 있었다. 이는 기존 토글형 시스템에 비해 2배 이상의 증폭효과가 있는 것으로 에너지 소산 측면에서도 200%에 가까운 성능이 증진되었음을 의미한다.

- 이에 초기 목표로 하였던 30% 제진성능 향상은 충분히 달성한 것으로 판단되었다.

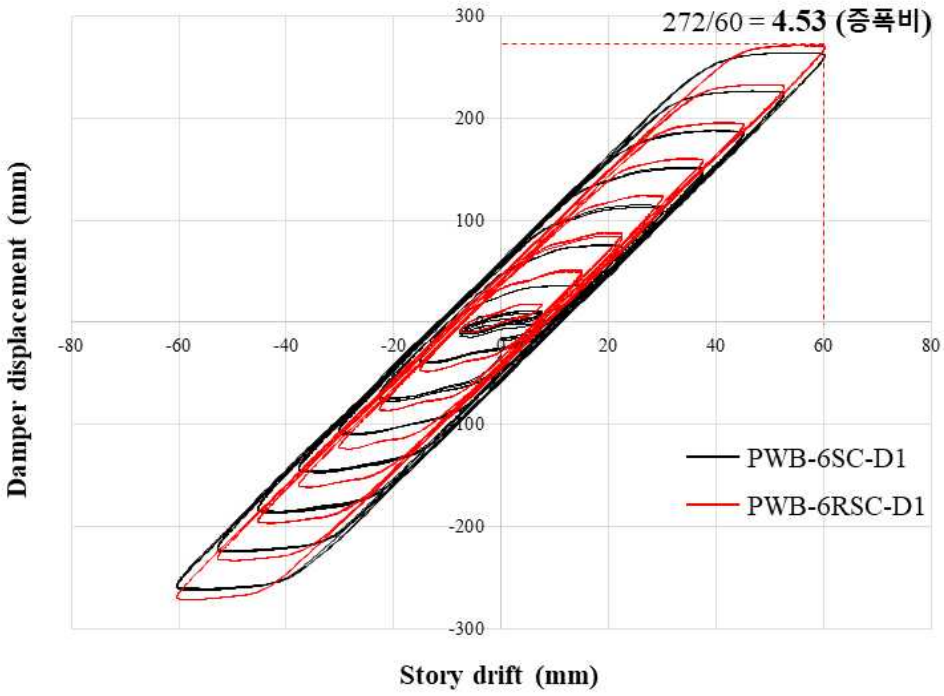


그림 2-56. 개발된 시스템의 층간변위 대비 댐퍼작동변위 증가율

(나) 10% 공기 단축

- 본 연구과제에서 제안한 감쇠시스템을 기존의 외부부착 토글형 감쇠시스템과 비교하여 공기 일정을 추산해 보았다. 기존에 학교 내진보강 기법으로 널리 사용되고 있는 외부부착 토글형 감쇠시스템의 공정흐름도는 그림 2-57과 표 2-24에 나타낸 것처럼 정리해 볼 수 있다.

- 감쇠시스템을 공장에서 제작하기 위해 제작도면 작성에서부터 포장 및 반출하기까지 약 26일 소요되며, 현장 실측에서부터 청소 및 준공에 이르기까지 현장에서 소요되는 공기가 대략 32일에 이른다. 두 작업이 오버랩되는 부분까지 고려하면 전체 시공 기간은 대략 45일에 다다른다.

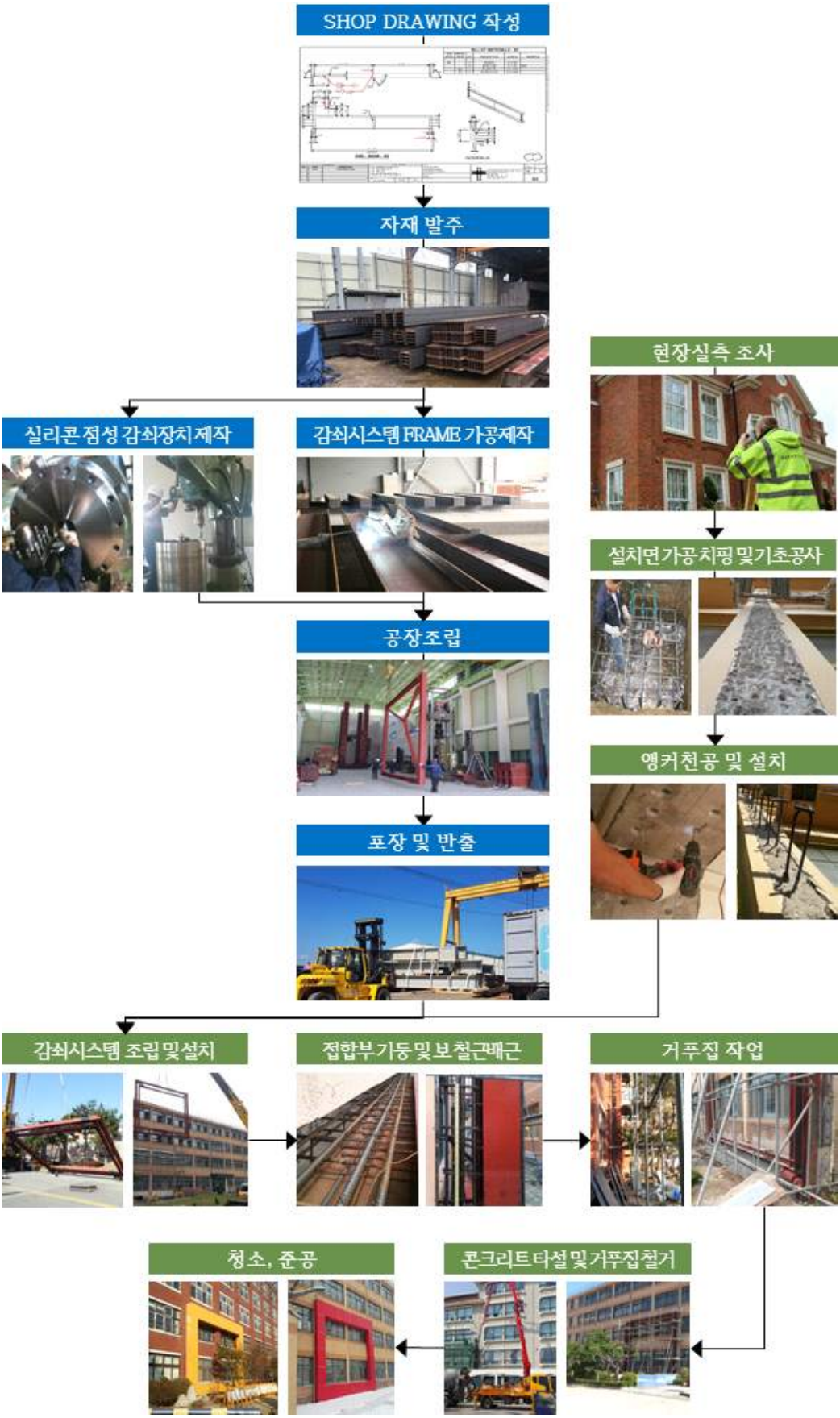


그림 2-57. 기존 외부부착 토글형 감쇠시스템 공정 흐름도

표 2-24. 기존 외부부착 토글형 감쇠시스템 공정표

공 종		WORKING DAY (일)																					
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
감쇠시스템 공장제작	SHOP DRAWING 작성																						
	자재 발주																						
	감쇠시스템 Frame 가공제작																						
	실리콘 점성 감쇠장치 제작																						
	공장조립																						
	포장 및 반출																						
감쇠시스템 현장시공	현장실측 조사																						
	설치면 가공 치핑 및 기초공사																						
	앵커천공 및 설치																						
	감쇠 시스템 조립 및 설치																						
	접합부 기둥 및 보 철근배근																						
	거푸집 작업																						
	콘크리트 타설 및 거푸집 철거																						
	청소, 준공																						

표 2-25. 제안된 분절형 케이블-도르래 감쇠시스템 공정표

공 종		WORKING DAY (일)																			
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
감쇠시스템 공장제작	SHOP DRAWING 작성																				
	자재 발주																				
	감쇠시스템 Frame 가공제작																				
	실리콘 점성 감쇠장치 제작																				
	공장조립																				
	포장 및 반출																				
감쇠시스템 현장시공	현장실측 조사																				
	설치면 가공 치핑 및 기초공사																				
	앵커천공 및 설치																				
	감쇠 시스템 조립 및 설치																				
	접합부 기둥 및 보 철근배근																				
	거푸집 작업																				
	콘크리트 타설 및 거푸집 철거																				
	청소, 준공																				

- 본 연구에서 제안한 감쇠시스템으로 대체할 경우, 토글 타입으로 가공해야하는 강구조 부재가 사라지고 대신 케이블과 도르래를 설치하게 된다. 도르래는 기성품 베어링을 삽입하고 철근과 케이블의 연결은 커플러 기성품을 사용하면 되기 때문에 공장에서 소요되는 프레임 가공제작 및 조립 기간이 2-3일 줄어드는 효과가 있다.

- 또한, 현장에서 간편한 설치로 감쇠시스템을 적용할 수 있기 때문에 기존 공사일보다 전체 공사기간이 4일여 줄어드는 효과를 거둘 수 있다. 대략적인 총 공사 기간은 약 40일 전·후로 기존 보강공사보다 약 8.9% 공사기간이 단축될 수 있음을 공정표를 통해 확인해 볼 수 있다.

(다) 현장 적용 비용 절감 효과

- 1일 8시간 업무 기준으로 일반공사 작업자의 임금은 약 15만원 수준에 이른다. 하루 10명의 인원이 보강공사에 투입된다고 하였을 때, 하루 소요되는 노무비는 150만원이며 4일 단축 시 약 600만원에 이르는 인건비를 절약할 수 있다.

- 더불어, 공장 제작기간 단축과 소요되는 장비 임대료까지 고려하면 약 1천만원에서 1,500만원 수준의 비용 절감 효과를 거둘 수 있다. 이는 설치되는 감쇠시스템 1개소를 기준으로 전체 공사비의 약 10% 내외 수준의 금액에 해당되며, 해당 비용 절감액은 설치 개소가 늘어날수록 더욱 커질 것으로 기대된다.

2-2-2-2. 기타 성과들

(가) 기술적 성과

- 국산기술력에 의한 제진시스템 개발과 노하우 축적을 통하여 기술 경쟁력을 재고하는 동시에 지속적으로 성장하는 내진보강시장에서 글로벌 경쟁력 확보
- 기계적 요소(베어링, 감쇠장치)와 건축구조적 요소(기둥, 보, 강와이어 로프)의 융복합 기술 개발에 따른 관련 분야 활성화
- 해당 기술에 대한 특허 등록으로 원천기술력 확보

(나) 경제적 성과

- 저층건축물을 대상으로 점성댐퍼 제진장치의 적용이 가능해지기 때문에 내진보강시장의 확대 및 증대를 통하여 경제적·산업적 측면에서 시장 활성화를 기대할 수 있음
- 국산장비의 활용을 통하여 내진보강기술의 해외의존도를 낮춤으로서 수입대체 효과를 통한 국고 유출 최소화
- 뛰어난 변위 및 하중 증폭효과를 통해 고용량 감쇠장치를 대체하여 가격 경쟁력을 확보

(다) 사회적 성과

- 경주지진, 포항지진의 연이은 지진으로 인한 사회적 불안감 해소를 저감하기 위한 내진보강기술을 개발함으로서 조속한 사회이슈해결을 기대할 수 있음
- 전문성을 가진 국내 인력의 확보 및 배양을 통하여 내진성능평가 및 내진보강 관련 분야의 일자리 창출이 가능할 것으로 기대



그림 2-58. 정성적 연구 성과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

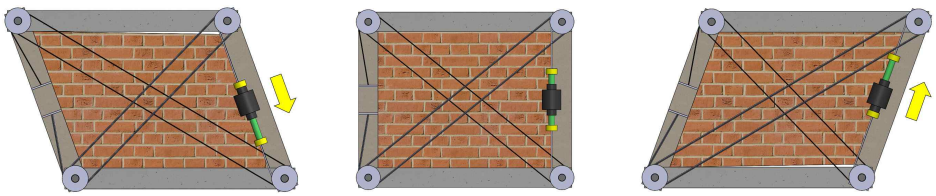
3-1. 목표

<table>
<tr><th>구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>최종 목표</td><td><u>제진성능 향상(30%이상)을 위한 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발</u>

- 연구개발 대상인 케이블과 도르래를 이용한 변위증폭형 제진시스템은 지진발생시 구조물의 허용변형량이 작은 철근콘크리트 전단벽 구조시스템 또는 5층미만의 저층 건축물에 대하여, 도르래 원리와 케이블의 움직임을 통해 변위를 증폭시켜 제진장치에 전달시킴으로서 동일변위 발생시 내진 성능을 향상킬 수 있음</td></tr>
<tr><td>세부 목표</td><td>세부 목표 1: 케이블을 이용한 변위증폭형 제진장치 시스템 개발

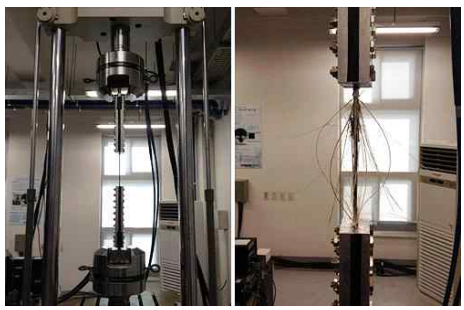
○ (변위증폭 메커니즘 규명)

도르래 원리를 이용하여 저층건축물 또는 전단벽 구조시스템의 건축물에서 발생하는 미소변위를 증폭시켜 제진댐퍼에 큰변형이 발생할 수 있는 변위증폭 메커니즘을 규명함으로서 기존 제진시스템의 단점을 보완할 수 있는 기술을 개발

 
케이블과 도르래를 이용한 변위증폭 메커니즘

○ (케이블 소재 적합성 검증)

도르래-케이블 역학구조를 활용하기 때문에 기존 구조해석프로그램에서는 케이블의 인장력에 대한 정확한 평가를 수행하는데 있어 한계가 있으므로, 케이블 소재에 대한 적합성 검증을 위하여 사례조사 및 구조해석, 소재단위 인장실험을 수행함으로서 시스템에 대한 신뢰성 향상

 
케이블 소재실험 사례

○ (제안된 케이블-도르래 감쇠시스템에 대한 프로토타입 개발)

감쇠시스템을 구성하는 감쇠장치(댐퍼), 도르래와 핀, 강와이어 로프(또는 철근) 및 로프를 고정하기 위한 고정바 등의 디테일을 결정하고 실제 제작여부를 검토함.</td></tr>
</table>

○ (실험을 통한 시스템 성능평가)

케이블을 이용한 변위증폭형 제진시스템의 프로토 타입을 개발하여 시스템 단위 구조성능 실험을 수행하여 시스템의 작동원리를 규명하고 이를 바탕으로 구조설계프로세스 개발



프레임단위 제진시스템 실험 사례

세부 목표 2: 제진장치 시스템의 사업화를 위한 Test-Bed 수행

○ (제안된 케이블-도르래 감쇠시스템에 대한 프로토타입 최적화)

개발된 감쇠시스템의 현장 적용 가능성 및 시공성 등을 파악하고 개발 기술을 널리 홍보하기 위한 목적으로 Test-Bed를 실시함.

세부 목표

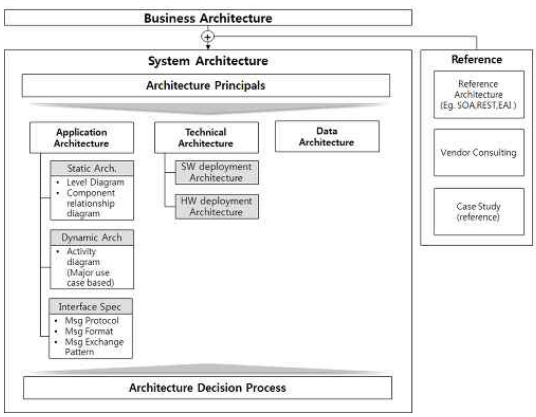
○ (시공성 검증)

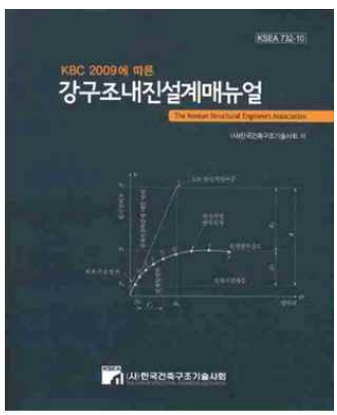
건설현장에서 일반적으로 사용되지 않는 재료(케이블 및 도르래)로서 시공성 검증이 필요하므로 기존 공법과 유사한 난이도의 시공방법을 Pilot 프로젝트를 통해 개발

세부 목표 3: 케이블을 이용한 변위증폭형 제진장치 시스템 설계 및 시공 매뉴얼 개발

○ (설계 및 시공 매뉴얼 작성)

현장적용에서 도출된 이슈사항을 바탕으로 케이블을 이용한 변위증폭형 제진시스템의 설계 및 시공 매뉴얼을 작성





케이블-도르레 조합형 변위증폭장치 프로세스 개발 및 매뉴얼 작성 예시

3-2. 목표 달성여부

구분		연구목표	연구성과
최종 목표 (종합)	정성적	- 제진성능 향상(30%이상)을 위한 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발	- 케이블 소재 적합성 시장 조사 - 케이블소재 인장실험 수행 - 제진시스템 구조성능평가 수행 - 현장을 고려한 접합부 개발 - 시공성 검증 및 Test-Bed 적용 - 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서
	정량적	- 특허등록 1건 - 학술논문 5건 - 시제품 2건 - 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서 1건	- 특허등록 1건 - 학술논문 3건 - 시제품 2건 - 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서 1건 - 현재 SCI 논문 작성 중 2건
세부 목표 1	정성적	- 케이블을 이용한 변위증폭형 제진장치 시스템 개발	- 케이블 소재 적합성 시장 조사 - 케이블소재 인장실험 수행 - 제진시스템 구조성능평가
	정량적	- 학술논문 3건 - 시제품 1건	- 학술논문 2건 - 시제품 1건 - 현재 SCI 논문 작성 중 1건
세부 목표 2	정성적	- 제진장치 시스템의 사업화를 위한 Test-Bed 수행	- 현장을 고려한 접합부 개발 - Test-Bed 적용 - 시공성 검증
	정량적	- 특허등록 1건 - 시제품 1건	- 특허등록 1건 - 시제품 1건 - 현재 SCI 논문 작성 중 1건
세부 목표 3	정성적	- 케이블을 이용한 변위증폭형 제진장치 시스템 설계 및 시공 매뉴얼 개발	- 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서
	정량적	- 학술논문 2건 - 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서 1건	- 학술논문 1건 - 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서 1건

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

3-3-1. **목표 미달성 사유**

- 초기 목표의 대부분을 달성하였으며, 현재 기존 목표 대비 **국내 논문 2편**이 **미달**임.
- 본 연구 과제는 국내에서 뿐만 아니라 **해외에서도 그 가치를 충분히 인정받을 수 있을 만큼 창의적이며 우수한 연구 내용을 담고 있다고 판단**됨.
- 이에 관련된 연구 내용을 국내 논문에 한정할 것이라 아니라 **해외 저명학술지(SCI)에 투고하는 것이 본 사의 보유 기술력 홍보에도 유리할 것이라 판단**하였음.

3-3-2. 차후대책

- 현재 심층 분석된 연구결과 내용을 **해외 저명학술지(SCI)에 2편 투고할 예정**임.
- 현재 한편은 50% 이상 작업이 진행되어 2월 중 투고를 목표로 작성하고 있으며, 나머지 한편은 올 상반기 안으로 투고가 가능할 것으로 판단됨.

4. 연구개발성과의 활용 계획

○ 중요시설물 내진보강 성능확보

- 기존의 단편적인 내진 관련 규제가 최근 지진 위험 여론 확산, 공공 부문의 선투자 및 민간 부문의 수요 확대 등을 통해 향후 4년간 연평균 3.8% 성장할 것으로 예상됨
- 특히, 수직증축 리모델링 시장이 성장하며 수요가 커질 것으로 예상되므로 국내 시장에 적합한 제진 기술 확보에 대한 필요성이 커지는 추세임
- 제안하는 케이블을 이용한 변위증폭형 제진장치는 기존건축물의 붕괴방지를 위한 한정된 허용변형량을 만족시키면서 감쇠력을 최대로 발휘할 수 있는 기법·공법이므로, 공공시설물, 학교 등 내진성능 확보가 시급하고 중요한 건축물 및 벽식 구조로 이루어진 공동주택 등에 빠르고 안정적인 내진 보강이 가능함

○ 저진동제어 시스템으로의 활용 가능성

- 초고층 분야의 풍하중에 의한 작은변위 및 진동에 대하여 변위증폭을 통해 제진장치의 감쇠성능을 기대할 수 있고,
- 지하철에 의한 작은변위 및 진동에 대하여 변위증폭을 통해 지하철 인근 건축물에 적용가능 하므로 내진분야 뿐만 아니라 진동분야로 최종성과물을 활용할 수 있을 것으로 기대됨

○ 해외시장 진출을 위한 경쟁력 확보

- 국내 자체 기술개발을 통해 시장경쟁력 확보가 가능함
- 해당 기술 개발을 통하여 해외시장 진출을 위한 경쟁력 확보가 가능함

○ 해외시장 진출을 위한 경쟁력 확보

- 속도의존형 제진장치와 같이 복원능력이 있는 점성댐퍼와 조합하여 사용할 수 있어 관련 기술을 보유한 업체와의 협업이 가능함

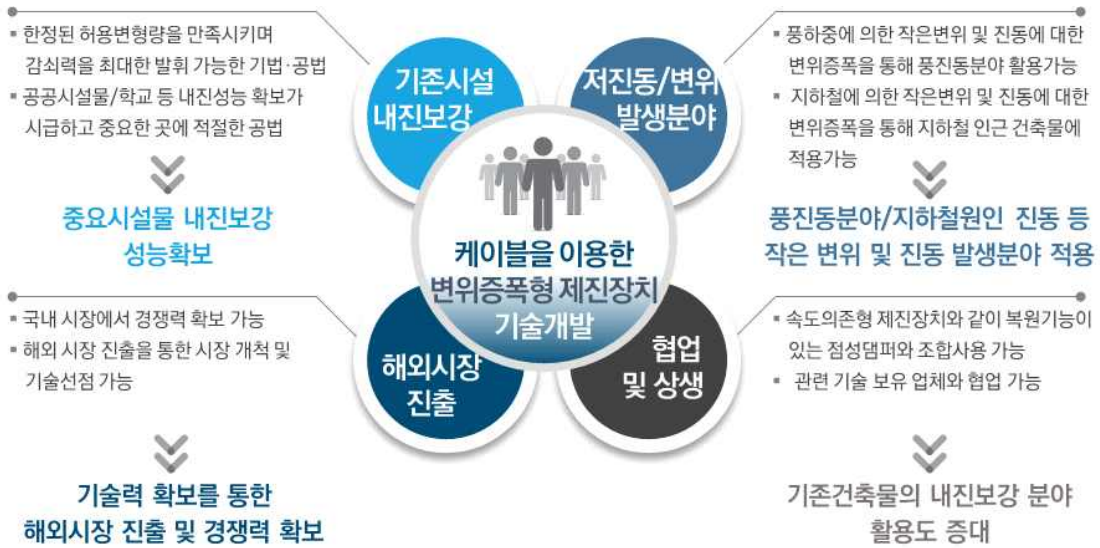


그림 4-1. 연구개발 활용방안

부 록

부록 A. 내진용 케이블 선정을 위한 판매처 조사

부록 B. 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발을 위한 케이블 소재 분석_(합성섬유 소재를 중심으로)

부록 C. 시험성적서

부록 D. 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법 시방서 및 설계 매뉴얼

부록 A

내진용 케이블 선정을 위한 판매처 조사

케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발을 위한 케이블 소재 조사

Ⅰ ㈜진성와이어로프

❍ 와이어 로프

1. 일반 로프(마심)

(1) 6×7 FC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		A종(165kg/mm^2)		B종(189kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
20.0	211	21.5	238	24.3	260	26.5	1.48
22.4	265	27.0	298	30.4	326	33.2	1.86
25.0	330	33.6	372	37.9	406	41.4	2.32

(2) 6×19 FC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		A종(165kg/mm^2)		B종(189kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
20.0	201	20.5	216	22.1	230	23.5	1.46
22.4	252	25.7	271	27.7	289	29.5	1.83
25.0	314	32.0	338	34.5	360	36.7	2.28

(3) 6×24 FC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		A종(165kg/mm^2)		B종(189kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
22.4	230	23.4	247	25.2			1.67
25.0	286	29.2	308	31.4			2.08
26.0	309	31.6	333	34.0			2.25

(4) 6×37 FC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		A종(165kg/mm^2)		B종(189kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
20.0	197	20.1	212	21.6	227	23.1	1.44
22.4	248	25.2	266	27.1	284	29.0	1.80
25.0	308	31.4	332	33.8	354	36.1	2.25

(5) 6×37 IWRC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		A종(165kg/mm^2)		B종(189kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
20.0	211	21.5	232	23.6	253	25.8	1.61
22.4	264	26.9	291	29.6	317	32.4	2.01
25.0	329	33.6	362	36.9	395	40.3	2.51

2. 평행연 로프(철심)

(1) 6×19(S) FC, 6×19(W) FC, 6×25(Fi) FC, 6×26(WS) FC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
19.0	196	20.0	210	21.4	226	23.1	1.39
20.0	218	22.2	232	23.7	251	25.6	1.54
22.4	273	27.8	291	29.7	315	32.1	1.94

(2) 6×19(S) IWRC, 6×19(W) IWRC, 6×25(Fi) IWRC, 6×26(WC) IWRC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
18.0	201	20.5	214	21.9	233	23.7	1.39
19.0	224	22.9	239	24.4	259	26.4	1.55
20.0	249	25.3	265	27.0	287	29.3	1.72

(3) 6×29(Fi) FC, 6×31(WS) FC, 6×36(WC) FC, 6×37(SeS) FC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
19.0	201	20.5	214	21.8	232	23.7	1.43
20.0	222	22.7	237	24.2	257	26.2	1.58
22.4	279	28.5	297	30.3	322	32.9	1.99

(4) 6×29(Fi) IWRC, 6×31(WS) IWRC, 6×36(WC) IWRC, 6×37(SeS) IWRC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
18.0	206	21.0	219	22.4	238	24.2	1.43
19.0	230	23.4	244	24.9	265	27.0	1.59
20.0	254	25.9	271	27.6	293	29.9	1.76

3. 비자전 로프(헤라클레스)

(1) 19×7

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
19.0	212	21.7	231	23.6	250	25.4	1.53
20.0	235	24.0	256	26.1	276	28.2	1.70
22.4	295	30.1	321	32.7	347	35.4	2.13

(2) 35×7

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
20.0		21.6		23.8			1.72
22.4		27.0		29.9			2.16
25.0		33.7		37.1			2.69

4. 엘리베이터 로프

(1) 8×19(S) FC, 8×25(Fi) FC, 8×26(WC) FC, 8×36(WC) FC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	E종(165kg/mm^2)		A종(180kg/mm^2)		B종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
22.4	204	20.8	241	24.6	257	26.2	1.72
24.0	234	23.9	277	28.3	295	30.1	1.98
25.0	254	25.9	301	30.7	320	32.7	2.14

5. 가아드 로프

(1) GALVANIZED GUARD CABLE

- 3×7

로프지름 (mm)	상승 소선경 (mm)	계산 단면적 (mm^2)	최소절단하중(TON) G종(165kg/mm^2)	단위중량 (kg/m)
18.0	2.86	132.2	17.8	1.10

(2) Lashing Rope

- Ungle 6×15 + FC(일반 슬림용)

와이어 직경 (mm)	최소절단하중(TON)		단위중량(kg/100m)
	G종(150kg/mm^2)	A종(165kg/mm^2)	
16	689	741	478
18	872	938	605

6. 아연도 강연선

(1) 3호 19연선

호별	구성소선수/ 표준소선지름 (mm)	강연선 계산 바깥지름(mm)	강연선계산 단면적(mm^2)	강연선인장하중(TON)			단위중량 (kg/m)
				1종	2종	3종	
3호	19/3.50	17.5	183	20.6	14.8	11.5	1450
	19/4.00	20.0	239	26.8	19.3	15.02	1900

7. 컴팩트로 로프

(1) 19×7C

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
18.0	231	23.5	252	25.7	273	27.8	1.56
19.0	257	26.2	280	28.6	304	31.0	1.74
20.0	285	29.1	311	31.7	337	34.3	1.93

(2) 35×7C

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
18.0	243	24.8	265	27.0	287	29.3	1.67
19.0	271	27.6	295	30.1	320	32.6	1.86
20.0	300	30.6	327	33.4	355	36.2	2.06

8. 스웨지드 로프

(1) Normal Type

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
16.0			204	20.8	227	23.1	1.33
18.0			259	26.4	287	29.3	1.68
19.0			289	29.4	320	32.6	1.88

(2) Super Type

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
16.0			225	22.9	247	25.2	1.46
18.0			283	28.9	312	31.9	1.84
19.0			315	32.2	348	35.5	2.05

9. GAC 로프(Galvanized Aircraft Cable)

(1) 7×7

로프경(mm)	최소파단하중(kgf)	단위중량 (kg/m)
5.50	2540	11.89
6.0	2614	14.15
6.35	1767	15.84

(2) 7×19

로프경(mm)	최소파단하중(kgf)	단위중량 (kg/m)
5.50	2540	11.89
6.00	2690	13.80
6.35	3175	15.21

10. 스텐레스 로프

(1) 7×7

로프경(mm)	최소파단하중(kgf)		단위중량 (kg/m)
	AISI/304	AISI/316	
4.76	2540	1526	9.70
5.50	2614	2063	13.00
6.00	2767	2330	14.20

(2) 7×19

로프경(mm)	최소파단하중(kgf)		단위중량 (kg/m)
	AISI/304	AISI/316	
4.76	1678	1476	9.70
5.50	2268	1995	13.00
6.00	2460	2150	14.37

【 문의 사항 】

문의 사항	업체 측 답변
제품의 구조적 신율 및 유연성	
2M 단위로 재단 가능 여부	
기타	

문의 사항

-담당자 출장으로 문의 하지 못함.

II ㈜대정

❍ 섬유 로프

1. ultimatex® Rope group

(1) Ultima-TECH

로프용으로 특수 개발된 Technora 絲로 만든 12연 로프에 특수 코팅 처리한 로프.

■ 특성

· High Performance 섬유로 제조된 고강도 로프로 Wire Rope 대체제로 사용.
· 신율이 매우 낮음.
· 매우 우수한 내열성을 가지고 있음.
· 연속부하 하에서도 강도 저하가 거의 없음.
· 우수한 내마모성, 내화학성.
· 12연 구조로 회전성이 없어 안정적으로 사용 가능.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Technora(Aramid), Urethane Coated	1.39	500°C	4~5%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
12	13.2	16.8
16	22.2	28.0
18	18.9	35.7

(2) Ultima-TECH PLUS

로프용으로 특수 개발된 Technora 絲로 만든 12연 구조에 Polyester 쟈켓을 입혀 원사의 높은 강도를 유지하고, 마찰이나 자외선 등에 대한 내구성을 극대화한 로프.

■ 특성

· High Performance 섬유로 제조된 고강도 로프로 Wire Rope 대체제로 사용.
· 신율이 매우 낮음.
· 매우 우수한 내열성을 가지고 있음.
· 연속부하 하에서도 강도 저하가 거의 없음.

· 우수한 자외선 저항성, 마모 저항성.
· 가벼운 중량과 유연성으로 작업이 용이.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Technora(Aramid) and Polyester	1.39	500°C/265°C	4~5%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
22	43.2	39.3
24	51.4	46.8

(3) Ultima-HP

Ultra High-Molecular Weight Polyethylene 원사로 만든 12연 로프에 특수 코팅 처리한 로프.

■ 특성
· High Performance 섬유로 제조된 고강도 로프로 Wire Rope 대체제로 사용.
· 신율이 매우 낮음.
· 비중이 낮아 물에 뜸.
· 우수한 내마모성, 내화학성을 가짐.
· 12연 구조로 회전성이 없어 안정적으로 사용 가능.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
UHMWPE, Urethane Coated	0.97(Floating)	150°C	4~5%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
12	9.5	16.5
16	16.0	27.5
18	20.8	35.0

(4) Ultima-HP PLUS

Ultra High-Molecular Weight Polyethylene 원사로 만든 12연 구조에 Polyester 자켓을 입혀 원사의 높은 강도를 유지하고, 마찰이나 열 등에 대한 내구성을 극대화한 로프.

■ 특성

· High Performance 섬유로 제조된 고강도 로프로 Wire Rope 대체제로 사용된다.
· 신율이 매우 낮다.
· 우수한 자외선 저항성, 마모 저항성을 가지고 있다.
· 가벼운 중량과 유연성으로 작업이 용이하다.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
UHMWPE and Polyester	1.01~1.11	150˚C/265˚C	4~5%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
22	31.1	28.6
24	37.0	46.0

(5) SUPERTUG-8

예인 및 견인에 탁월한 성능을 발휘하도록 개발된 로프.

■ 특성

· 강도가 높고 신율이 낮으며, 충격흡수력이 우수하여 선박 예인에 적합함.
· 우수한 내마모성, 내화학성.
· 우수한 피로 저항성.
· 마모 저항성과 자외선 저항성을 증가시키기 위해 우레탄 코팅처리.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
UHMWPE COMBINED WITH POLYESTER	1.09	150˚C	5~6%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	101.0	63.5
44	111.0	86.1

2. Special Rope group

(1) MONOLON

원가 효율을 향상시키는 ATLAS Rope 대체용 로프.

■ 특성

· 경제성 높은 가격.
· 우수한 내마모성.
· 계선 및 윈치에서 탁월한 성능을 발휘함.
· 우수한 형태 안정성.
· 우수한 피로 저항성.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Nylon monofilament and high tenacity nylon multifilament	1.14	218˚C	22%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/200m	Ton
40	200.0	31.0
44	250.0	42.0

(2) FLOATING-WINCHLINE

와이어 로프 구조를 채택한 독특한 구조로 되어 있으며, 물에 뜨는 Rope를 원하는 많은 수요자들의 요구에 부응하기 위해 개발 됨.

■ 특성

· 비중이 낮아 물에 뜸.
· 우수한 내마모성.
· 계선 및 윈치에서 탁월한 성능을 발휘함.
· 우수한 형태 안정성.
· 우수한 피로 저항성.
· 높은 비용효율.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Nylon monofilament and UV stabilized PP multifilament	0.99 (Floating)	218˚C/165˚C	approx 23%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	99.0	31.4
44	115.0	39.9

(3) EVO-WINCHLINE

6연 로프와 Double Braid 로프의 장점을 이용하여 특별하게 개량된 물에 뜨는 윈치용 Rope 이다.

이 로프는 윈치에서 우수한 성능을 나타내며, 낮은 신율로 Snap-back으로 인한 위험을 감소시킨다.

■ 특성

· 비중이 낮아 물에 뜸.
· 우수한 내마모성 및 자외선 저항성.
· 신율이 낮아 Snap-back를 감소시킴.
· 계선 및 윈치에서 탁월한 성능을 발휘함.
· 우수한 형태 안정성.
· 수분흡수율이 없어, 젖은 상태에서도 강도 저하가 없음.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
UV stabilized high tenacity Polyolefin hybrid yarn	0.93 (Floating)	165˚C	approx 15%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	90.0	31.4
44	98.0	34.7

3. Aone® Rope group

(1) NYLON

■ 특성

· 일반 합성섬유 로프 중 강도가 가장 높음.
· 신축성이 우수하여 충격 에너지 흡수력이 높음.
· 내화학성이 우수함.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Nylon multifilament	1.14	220˚C	30%

■ 제품 규격

- 8 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	99.0	34.0
42	109.0	37.5

- 12 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	100.0	35.0
42	110.0	38.6

(2) POLYESTER

■ 특성

· 일반 섬유로프 중 자외선과 열에 가장 강함.
· 저신도, 고감도로 선박의 정박용으로 적합함.
· 고강도 원사를 사용하여 마모성이 일반 합성섬유 중 가장 우수함.
· 내화학성이 우수함.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
POLYESTER	1.38	265˚C	20~25%

■ 제품 규격

- 8 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	121.0	32.5
42	133.4	35.0

- 12 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	121.0	34.2
42	133.0	37.0

(3) TUFFLEX

■ 특성

· 고강도의 폴리프로필렌과 폴리에스터를 이중 합사하여 강도가 높음.

· 유연성이 높아 작업성이 우수함.

· 표면을 고강도 폴리에스터가 감싸고 있어 마모 저항성과 자외선 저항성이 탁월함.

· 비중이 낮아 물에 뜸.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Polypropylene combined with Polyester	0.99(Floating)	165˚C/265˚C	18~20%

■ 제품 규격

- 8 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	92.0	32.0
42	101.0	35.0

- 12 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	91.5	33.6
42	101.0	37.0

(4) NEOFLEX

■ 특성

· 고강도의 폴리프로필렌과 폴리에스터를 이중 합사하여 강도가 높음.
· 유연성이 높아 작업성이 우수함.
· 표면을 고강도 폴리에스터가 감싸고 있어 마모 저항성과 자외선 저항성이 탁월함.
· 비중이 낮아 물에 뜸.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Polypropylene combined with Polyester	0.99(Floating)	165˚C/265˚C	18~20%

■ 제품 규격

- 8 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	81.0	33.0
42	89.3	36.3

- 12 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	91.5	33.6
42	101.0	37.0

(5) PP DAN

■ 특성

· 최신 설비로 생산된 고강력 원사로 제조되어 강도가 높음.
· 비중이 낮아 물에 뜸.
· 수분흡수율이 없어, 젖은 상태에서도 강도 저하가 없음.
· 내구성 및 내모마성이 우수함.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Polypropylene Danline (Grade 1)	0.91(Floating)	165˚C	18~20%

■ 제품 규격

- 8 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	70.2	25.0
42	77.4	27.6
44	85.0	30.3

- 12 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	73.7	26.2
42	81.0	29.0
44	89.0	31.8

(6) TUFFDAN

■ 특성

· Grade 2급 폴리프로필렌 원사로 제조되어 강도가 우수함.

· 비중이 낮아 물에 뜸.

· 수분흡수율이 없어, 젖은 상태에서도 강도 저하가 없음.

· 내구성 및 내마모성이 우수함.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Polypropylene Danline(Grade 2)	0.91(Floating)	165˚C	18~20%

■ 제품 규격

- 8 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	79.1	30.4
42	88.0	33.2

- 12 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	83.1	31.8
42	92.4	35.1

(7) PRIMEDAN

■ 특성

· Grade 3급 폴리프로필렌 원사로 제조되어 강도가 우수함.
· 비중이 낮아 물에 뜸.
· 수분흡수율이 없어, 젖은 상태에서도 강도 저하가 없음.
· 내구성 및 내마모성이 우수함.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Polypropylene Danline(Grade 3)	0.91(Floating)	165˚C	16~18%

■ 제품 규격

- 8 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	79.5	34.5
42	88.2	38.1

- 12 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	79.5	36.9
42	88.2	41.0

(8) PRIMEFLEX

■ 특성

· Flex 제품군 중 가장 뛰어난 성능을 나타낸다.
· 고강도의 폴리프로필렌과 폴리에스터를 이중 합사하여 강도가 매우 높음.
· 유연성이 높아 작업성이 우수함.
· 표면을 고강도 폴리에스터가 감싸고 있어 마모 저항성과 자외선 저항성이 탁월함.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Polypropylene combined with polyester	1.14	165˚C/265˚C	14%~15%

■ 제품규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	102.0	41.9
42	112.5	46.2

(9) PP MULTI

■ 특성

· UV처리로 인해 자외선 저항성이 우수함.
· 수분흡수율이 없어, 젖은 상태에서도 강도 저하가 없음.
· 비중이 낮아 물에 뜸.
· 부드럽고 유연하여 핸들링이 우수함.
· 최신 설비로 생산된 고광력 원사로 제조되어 강도가 높음.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Polypropylene Multi filament, UV Stabilized High Tenacity	0.91(Floating)	165˚C	20~26%

■ 제품 규격

- 8 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	72.0	26.5
42	79.4	29.3
44	89.0	32.1

- 12 STRAND

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	75.6	27.8
42	83.4	30.7
44	93.4	33.7

(10) NYLON Rope For Mooring(NRM)

■ 특성

· 내부 코어에 Nylon 12연 로프를 구성하고, 로프 외부에 Nylon 쟈켓을 입힌 이중구조로, 로프 표면이 둥글고 매끈하여 마찰에 강함.
· 내구성이 우수하여 상선의 윈치 무어링 라인으로 적합함.
· 킹크 발생이 없음.
· 8연이나 12연 로프보다 마모성이 우수함.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
NYLON	1.14	220˚C	30%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	103.0	46.5
42	113.0	51.0

(11) NYLON Double Braid

■ 특성

· 내부 코어에 Nylon 12연 로프를 구성하고, 로프 외부에 Nylon 브레이드를 입힌 이중구조로, 로프 표면이 둥글고 매끈하여 마찰에 강함.
· 신율이 낮고, 킹크 발생이 없어 선박의 무어링으로 적합함.
· 8연이나 12연 로프보다 마모성이 우수함.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
NYLON	1.14	220˚C	30%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	104.0	40.8
42	114.7	45.0

(12) NYLON&POLYESTER Double braid

■ 특성

· 내부 코어에 Nylon 12연 로프를 구성하고, 로프 외부에 Polyester 브레이드를 입힌 이중구조로, 로프 표면이 둥글고 매끈하여 마찰에 강함.
· Polyester가 로프를 감싸고 있어 자외선 저항성이 매우 높음.
· 신율이 낮고, 킹크 발생이 없어 선박의 무어링으로 적합함.
· 8연이나 12연 로프보다 마모성이 우수함.

■ 물리적 특성

구성	비중	녹는점	파단신율
Nylon and polyester	1.2	220˚C/265˚C	30%

■ 제품 규격

dia	weight	Breaking Strength
mm	kg/100m	Ton
40	121.5	39.2
42	134.0	43.1

【 문의 사항 】

문의 사항	업체 측 답변
제품의 구조적 신율 및 유연성	▶파단신율은 본 홈페이지에 기재되어 있음. ▶유연성에 대해서는 수치화하기 어려움.
2M 단위로 재단 가능 여부	▶200M 단위로 재단하기 때문에 불가능.
기타	▶고가의 특수로프(Ultima-HP) 소개. ▶저신율(전혀 늘어나지 않음) ▶유연성 좋음. (수치화하기 어렵지만 도르래에 감을 정도의 유연성은 가지고 있음) ▶직경 16mm/파단강도 27.5TON - 29M 재고가 있어 2M로 재단이 가능. ▶답변자 : 영업부 이주한 차장(010.2852.6460)

Ⅲ 만호제강주식회사

❍ 와이어 로프

1. 일반연 로프

■ 특성

· 점접촉의 형태를 이루므로 층별 소선간 유동성이 좋아 전체적인 로프 유연성이 좋다.

· 점접촉되는 지점에 응력이 집중되므로 소선이 쉽게 단선된다.

■ 제품 규격

(1) 6×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	IPS	EIPS	
19.05				20.6	22.6	125.0
20	21.5	24.2	26.5			148.0
22.23				27.8	30.7	171.1
22.4	27.0	30.4	33.2			173.8

(2) 6×19

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Ton)						단위중량 (kg/100m)	
	FC			IWRC				
mm	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	FC	IWRC
20	20.5	22.0	23.5	22.0	24.2	26.4	146.0	162.0
22.4	25.7	27.6	29.5	27.6	30.3	33.1	194.9	214.6
24	29.5	31.7	33.9	31.6	34.8	38.0	210.0	233.0

(3) 6×24

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Ton)			단위중량 (kg/100m)
mm	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	
22.4	23.3	25.2	27.5	167.0
24	26.8	28.9	31.5	191.0
25	29.1	31.4	34.2	205.4

(4) 6×37

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Ton)						단위중량 (kg/100m)	
	FC			IWRC				
mm	G종 (1470N $/mm^2$)	A종 (1620N $/mm^2$)	B종 (1770N $/mm^2$)	G종 (1470N $/mm^2$)	A종 (1620N $/mm^2$)	B종 (1770N $/mm^2$)	FC	IWRC
20	21.7	23.1	25.1	23.2	25.3	27.4	144.0	160.0
22.4	27.2	29.0	31.4	29.1	31.7	34.4	192.0	211.3
24	31.2	33.3	36.1	33.4	36.0	39.4	207.0	230.0

2. 평행연 로프

■ 특성

· 각 층별 소선간에 선접촉을 이루므로 소선간 내부 마모가 적다.
· 각 층별로 요철부위에 평행하게 선접촉으로 꼬여 있어 형태 변형이 적다.
· 굴곡에 의한 로프 피로가 적다.
· 유효 단면적이 크므로 동일 사이즈의 일반연 로프보다 절단하중이 크다.
· 일반연 로프에 비해 뻣뻣하다.(유연성이 작다.)

■ 제품 규격

(1) 6×S19, 6×W19, 6×Fi25, 6×WS26

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	EIPS	EEIPS	
19.05				23.8	26.1	141.4
20	22.2	23.6	25.7			154.0
22.23				32.1	35.4	192.0
22.4	27.8	29.7	32.2			194.0

(2) IWRC 6×S19, IWRC 6×W19, IWRC 6×Fi25, IWRC 6×WS26

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	EIPS	EEIPS	
18	20.5	21.8	23.6			139.0
19.05				26.7	29.4	154.8
20	25.4	27.0	29.2			172.0

(3) 6×Fi29, 6×WS31, 6×WS36, 6×WS41, 6×SeS37

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	EIPS	EEIPS	
18	18.4	19.6	21.2			128.0
19.05				23.8	26.1	141.4
20	22.6	24.2	26.2			158.0
22.23				32.1	35.4	192.0
22.4	28.4	30.3	32.8			191.8

(4) IWRC 6×Fi29, IWRC 6×WS31, IWRC 6×WS36, IWRC 6×WS41, IWRC 6×SeS37

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	EIPS	EEIPS	
18	21.0	22.4	24.3			143.0
19.05				26.7	29.4	154.8
20	26.0	27.7	30.0			176.0

3. 태물 평행연 로프

■ 제품 규격

(1) 6×WS36+IWRC, 6×WS41+IWRC (적용규격 : MANHO 규격)

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	EIPS	EEIPS	
62	248	261	279	261	287	1690
63	256	270	289	270	296	1750
63.5				274	301	1780
64	264	278	299	279	306	1800

4. 비자전 로프

가. 다층연 로프

■ 특성

· 로프 표면이 평활하고 유연성이 우수하다.

· 일반로프에 비해 절단하중이 높다.

· 소선이 단선되더라도 돌출되는 현상이 적어 설비 손상이 적다.

· 비자전성이 우수하다.

■ 제품 규격

(1) 18×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	IPS	EIPS	
18	18.2	19.8	21.5			130.0
19.05				20.9	23.0	144.4
20	22.3	24.4	26.4			160.0
22.23				28.3	31.4	196.4

(2) 19×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	IPS	EIPS	
18	19.5	21.3	23.0			150.0
19.05				20.9	23.0	151.8
20	24.0	26.2	28.3			185.0
22.23				28.3	31.4	206.9

(3) 34×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	IPS	EIPS	
18	18.1	19.8	21.4			132.0
19.05				20.9	23.0	147.1
20	22.4	24.4	26.5			163.0
22.23				28.3	31.4	193.0

(4) 35×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	IPS	EIPS	
18	19.3	21.0	22.8			139.0
19.05				20.9	23.0	156.1
20	23.8	25.9	28.0			172.0
22.23				28.3	31.4	212.7

나. 싱글 로프

■ 특성

· 로프 형태가 파괴되는 현상이 일어나지 않는다.

· 일반로프에 비해 비자전성이 우수하다.

■ 제품 규격

(1) 4×WS36, 4×Fi29

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)				단위중량 (kg/100m)	
	4×WS36		4×Fi29			
mm	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	4×WS36	4×Fi29
18	20.6	22.3	20.7	22.4	123.9	124.5
20	25.4	27.5	25.6	27.7	153.0	153.7
22.4	31.9	34.5	32.1	34.8	192.8	248.8

(2) 4×SeS39, 4×SeS48

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)			단위중량 (kg/100m)	
	4×SeS39		4×SeS48		
mm	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	4×SeS39	4×SeS48
18	21.3	22.8	24.4	134.0	133.0
20	26.1	28.2	30.1	163.0	164.0
22	31.6	34.2	36.4	197.2	198.4

5. 면접촉식 로프

■ 특성

· 절단하중이 높다.
· 내피로성 및 내마모성 우수.
· 형태변형이 적다.
· Drum, Sheave, Roller의 손상이 적다.

■ 제품 규격

(1) 6×P·S19, 6×P·Fi25, 6×P·WS26

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)				단위중량 (kg/100m)	
	FC		IWRC			
mm	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	FC	IWRC
16	16.6	18.0	18.8	20.6	108.0	119.0
18	21.1	22.6	23.7	26.1	137.0	151.0
19.05	23.6	25.4	26.5	29.2	153.5	169.1
20	26.0	28.0	29.3	32.2	169.0	187.0

(2) 6×P·F29, 6×P·WS31, 6×P·WS36

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)				단위중량 (kg/100m)	
	FC		IWRC			
mm	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	FC	IWRC
16	16.7	18.0	18.9	20.6	108.8	120.3
18	21.1	22.6	23.9	26.1	197.7	152.3
19.05	23.7	25.3	26.8	29.2	154.2	170.6
20	26.1	28.0	29.5	32.2	170.0	188.0

(3) 8×P·S19, 8×P·Fi25

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)			단위중량 (kg/100m)
mm	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	
20	19.6	21.5	23.0	150.0
22.4	24.6	27.0	28.9	188.0
25	30.6	33.7	35.9	234.0

6. 비자전성 다층 면접촉 로프

■ 제품 규격

(1) 19×P·7, 35×P·7(적용규격 : MANHO 규격)

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)						단위중량 (kg/100m)	
	19×P·7			35×P·7				
mm	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	특C종 (2160N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	특C종 (2160N/mm^2)	19×P·7	35×P·7
16	18.8	20.4	22.0	20.5	22.4	23.2	124	132
18	24.1	26.1	27.8	25.9	28.1	29.5	157	167
19	27.1	29.4	31.0	29.0	31.4	32.8	175	186
20	29.8	32.2	34.7	32.1	34.8	36.6	194	206

(2) 19×P·S19, 35×P·7(WA) (적용규격 : MANHO 규격)

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)						단위중량 (kg/100m)	
	19×P·S19			35×P·7(WA)				
mm	B종 (1770N /mm^2)	C종 (1910N /mm^2)	특C종 (2160N /mm^2)	B종 (1770N /mm^2)	C종 (1910N /mm^2)	특C종 (2160N /mm^2)	19×P·S 19	35×P·7 (WA)
16	18.9	20.4	22.0	22.2	23.2	24.6	124	132
18	24.1	26.1	27.8	28.2	29.3	30.5	157	167
19	27.1	29.4	31.0	31.4	32.6	34.4	175	186
20	29.8	32.2	34.7	34.8	36.2	38.4	194	206

7. Swaged 로프

■ 특성

· 내마모성이 높고 외부 압착에 강함.

· 동일 구성의 일반 로프에 비해 절단하중이 높음.

■ 제품 규격

(1) 6×WS26

로프 직경	최소 절단 하중 (Metric Tons)		단위중량(kg/100m)	
mm	NORMAL	SUPER	NORMAL	SUPER
15.88	21.9	24.0	127.0	140.0
16	22.2	24.4	129.0	142.0
18	28.1	30.9	165.0	182.0

8. Cable Laid

■ 제품 규격

(1) 7×7×7, 7×7×S19

로프 직경	최소 절단 하중 (Metric Tons)		단위중량(kg/100m)	
mm	7×7×7	7×7×S19	7×7×7	7×7×S19
15.88	14.6		86.30	
19.05		21.4		131.0
22.23		28.4		177.1

❍ 섬유 로프

1. 하이만 로프

하이만 로프는 만호제강에서 오랫동안 축적된 기술을 바탕으로 하여 독자적으로 연구 개발한 획기적인 신제품이며, 특허 등록된 제품입니다.
이러한 고품질의 하이만 로프는 모든 선박계류용(Mooring), 통발용, 하역작업용(Sling) 및 저인망용(연심로프)으로 사용하기에 가장 적합하며 그 외 어업용, 수산양식용, 육상용등 다양한 용도로 사용할 수 있습니다.

■ 특성

· 일반 P.P 로프보다 파단력이 32% 높습니다. (8연 로프인 경우)
· 충격하중에 안전합니다.
· 물에 젖었을 때도 파단력 저하가 없습니다.
· 일반 P.P 로프보다 마찰에 강하며 균일하게 닳습니다.
· 반복해서 작업을 해도 잘 늘어나지 않으며 복원력이 좋습니다.
· 자외선에도 안전합니다.
· 초강력하고 마찰에 강하여 오랫동안 사용할 수 있으므로 보다 경제적입니다.

■ 제품 규격

굵기	하이만 3연,4연					하이만 8연		
직경 (mm)	중량 (kg)	인장강도(톤)				중량 (kg)	인장강도(톤)	
		M-연도		MS-연도				
		최소	평균	최소	평균		최소	평균
38	135.0	18.7	20.2	20.6	22.2	130	23.4	25.2
40	152.0	20.5	22.1	22.5	24.3	144	25.6	27.6
42	167.0	22.5	24.3	24.8	26.8	160	28.8	30.8
45	191.0	25.0	27.0	27.6	29.8	184	31.8	34.3
48	218.0	26.6	30.9	31.5	34.0	206	35.9	38.8

2. 만라인 로프

■ 특성

· 어업용, 양식용, 선박용, 육상용 등 여러 용도에 가장 많이 사용되는 범용 로프이다.
· 단사가 두꺼워 다소 딱딱하나 내마모에는 우수하고, 파단력에도 양호하다.
· 합성섬유로프 중 가장 가벼워서 물에 뜨며, 산, 알카리, 기름, 용제 등에도
  가장 잘 견딘다.

■ 제품 규격

굵기	만라인, 모노 3연, 4연					만라인, PP모노 8연		
직경 (mm)	중량 (kg)	인장강도(톤)				중량 (kg)	인장강도(톤)	
		M-연도		MS-연도				
		최소	평균	최소	평균		최소	평균
42	167.0	18.5	20.4	22.5	24.7	160	25.0	27.5
45	191.0	20.7	22.6	25.0	27.5	184	26.4	31.2
48	218.0	23.6	26.0	26.6	31.4	208	31.8	35.0
50	236.0	25.5	28.0	31.0	34.0	226	34.3	37.7
52	256.0	27.3	30.0	33.2	36.5	244	36.9	40.6

3. PP 멀티 로프

■ 특성

· 만호의 PP멀티 로프는 최신의 정밀 압출 기계로서 0.05mm의 아주 미세한 굵기의 단사로 로프를 제조하므로서 부드럽고, 유연해서 취급하기가 좋다.
· 에너지 흡수성과, 충격 강도에도 양호하며, 복원력에도 좋다.
· 합성섬유로프 중 가장 가벼워서 물에 뜨며, 산, 알카리, 기름, 용제 등에도 가장 견딘다.
· 만호의 PP멀티로프는 여러 가지의 색상으로 공급할 수 있다.

■ 제품 규격

굵기	PP멀티 3연,4연					PP멀티 8연		
직경 (mm)	중량 (kg)	인장강도(톤)				중량 (kg)	인장강도(톤)	
		M-연도		MS-연도				
		최소	평균	최소	평균		최소	평균
42	167.0	18.5	20.4	22.5	24.7	167	22.6	24.4
45	191.0	20.7	22.8	25.0	27.5	191	25.6	26.5
48	218.0	23.6	26.0	28.8	31.4	218	26.6	30.9
50	236.0	25.5	28.0	31.0	34.1	238	30.9	33.4
52	256.0	27.3	30.0	33.2	36.5	258	33.1	35.7

4. 나이론 로프

■ 특성

· 나이론 로프는 일반 합성섬유로프 중에서 파단력이 가장 우수하고, 내마모에도 양호하고 많이 늘어나는 성질이 있어 에너지 흡수성이 양호하여 충격강도에도 좋고 여러 번 사용해도 복원력이 좋아 대형선박용의 정박용, 테일 로프용으로 많이 사용된다.
그러나, 수분을 흡수하면 수축이 되고 야물어져서 취급이 어렵고, 건식 상태 보다 파단력이 약 15% 저하되므로 사용할 때 주의가 필요하다.

■ 제품 규격

굵기	나이론 3연, 4연			나이론 8연		
직경	중량	인장강도(톤)		중량	인장강도(톤)	
(mm)	(kg)	최소	평균	(kg)	최소	평균
32	123.0	20.0	22.4	123	22.0	24.2
34	139.0	22.6	25.3	139	24.8	27.2
36	155.0	24.9	27.9	155	27.7	30.4
38	174.0	27.4	30.7	174	31.2	34.3
40	191.0	30.0	33.6	191	34.6	38.0

5. 폴리에스테르 로프

■ 특성

· 폴리에스테르 로프는 일반 합성섬유로프 중에서 나이론 로프 다음으로 인장강도가 양호 하며, 마모에도 강하고 수분을 흡수해도 인장강도 저하가 없다.

· 섬유로프 중에서 자외선과 열에 가장 강하다.

· 만호의 폴리에스테르 로프는 엄선된 고강도의 원사만 사용하고 있으며, 수요자의 요구에 의하여 다양한 색상도 가능하다.

■ 제품 규격

굵기	폴리에스테르 3연, 4연			폴리에스테르 8연		
직경	중량	인장강도(톤)		중량	인장강도(톤)	
(mm)	(kg)	최소	평균	(kg)	최소	평균
36	196.0	19.4	21.3	196	21.2	23.3
38	220.0	21.6	23.8	220	23.8	26.2
40	243.0	24.0	26.4	243	26.4	29.0
42	268.0	26.1	28.7	268	28.7	31.6
45	308.0	29.8	32.8	308	32.7	36.0

6. 폴리에칠렌 로프

■ 특성

· PP로프 다음으로 가벼워 물에 뜨며, PP로프보다 색상이 선명하고 부드러워 가는 규격, 육상용, 어업용에 많이 사용된다.

· PP로프보다 파단력이 저하되나, -70℃ 온도까지 견딜 수 있으므로 아주 추운 지역에 사용하기가 적합하다.

■ 제품 규격

굵기	폴리에칠렌 3연, 8연		
직경	중량	인장강도(톤)	
(mm)	(kg)	최소	평균
45	203.0	20.8	22.9
48	229.0	22.8	25.1
50	249.0	24.7	27.2
52	269.0	26.6	29.2
55	300.0	29.6	32.5

7. 폴리다크론 로프

■ 특성

· 만호의 폴리다크론은 고강도의 폴리에스테르 멀티필라멘트와 고강도의 하이만 단사를 조합하여 만든 로프로서 폴리에스테르의 장점을 최대 발휘한 로프이다.
· 2종류 단사를 혼합하는 방법에 따라, 로프 구조에 따라, 폴리다크론의 종류가 여러 가지가 있으며, 대표적으로 PD WALL 타입과, PD JACKET 타입이 있다.
· 폴리프로필렌 로프는 열에 약하고 자외선에 약한 결점이 있으므로, 폴리프로필렌 로프 대체용에 폴리다크론 로프를 사용하는 경우가 많다.
· 폴리다크론 로프는 유연하여 취급하기가 좋고, 물에 젖어도 파단력이 저하되지 않고 야물어지지 않는다.
· 100% 폴리에스테르 로프보다 가볍고, 파단력이 높을 뿐 아니라, 내열성, 내마모, 자외선에는 100% 폴리에스테르 로프와 동등의 수준이다.

■ 제품 규격

굵기	PD WALL 3연			슈퍼 PD WALL 8연		
직경	중량	인장강도(톤)		중량	인장강도(톤)	
(mm)	(kg)	최소	평균	(kg)	최소	평균
40	149.0	21.0	23.1	183	32.0	33.6
42	166.0	23.0	25.3	203	35.5	37.3
45	190.0	26.2	28.8	234	40.5	42.5
48	216.0	29.1	32.0	264	44.8	47.0
50	236.0	31.2	34.3	287	48.4	50.8

8. 연심 로프

■ 특성

· 합성섬유 로프를 바다물에 침강성을 좋게 하기 위해 스트랜드 중심에 납선(연선)삽입한다.
· 만호의 연심 로프는 반복 하중 작업을 하여도 납선이 밖으로 튀어나오지 않는다.

· 고객의 요구에 따라 납의 비율을 조절 가능하다.
· 폴리프로필렌 뿐 만 아니라 폴리에칠렌, 나이론에도 연심 로프가 가능하다
· 만호 연심 로프는 균일하게 닳고, 마찰에 강하여 오래 사용할 수 있다.

■ 제품 규격

길이:190m

직경(mm)	중량(kg)	인장강도(톤)	
		하이만	만라인
42	248	20.2	17.0
45	278	22.5	19.0
48	324	25.7	21.2
50	352	27.9	23.0

【 문의 사항 】

문의 사항	업체 측 답변
제품의 구조적 신율 및 유연성	▶와이어 로프의 구조적 신율은 대체적으로 0.3~0.7% 정도. ▶제품별로 정확한 신율을 언급하기 어려움. ▶유연성에 대해서는 수치화하기 어려움.
2M 단위로 재단 가능 여부	▶섬유 로프는 2M 재단 불가능. ▶와이어 로프는 2M 재단 가능.
기타	▶대리점 : 태인종합(010.3599.1483)

Ⅳ DSR 제강

❍ 섬유 로프

1. 딥 무어링 라인-오션맥스

DSR의 Deep Mooring Line 제품인 오션맥스(OceanMax)제품은 해양플랜트와 같은 해양 구조물을 고정하는 심해저용 무어링과 앵커(Anchor Line)용으로 사용되는 폴리에스터(Polyester) 심해저용 특수 로프입니다. 뛰어난 내마성으로 인해 기존 제품보다 사용 수명을 3배나 높인 것이 특징입니다.

■ 특성

· 재질 : Ployester (Marine finished)
· 구성 : Parallel laid core & Protective jacket
· 비중 : 1.38
· 용융점 : 265 ℃
· 수분 흡수율 : 1% 미만
· 신장율 : 8 ~ 10 % (Worked rope)

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/100m)	Breaking Strength(TON)
80	485	200
88	590	250
96	715	300

2. 슈퍼맥스 S-Coat

DSR의 슈퍼맥스 S-Coat제품은 사용하기 쉽고 높은 제품 수명을 가졌으며 자외선 노출에 견디기 쉬운 재질로 낮은 연신율과 뛰어난 내마모성을 지닌 제품입니다. 무어링과 리프팅, 타워링 그리고 예인작업에서 활용도가 높습니다.

■ 특성

· 용융점 : 150 ℃
· 비중 : 0.97
· 신장율 : 4 ~ 5 %
· 수분 흡수율 : 없음

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/100m)	Breaking Strength(TON)
14	12.8	22.0
16	16.0	27.5
18	20.8	35.0

3. 슈퍼맥스 12연 로프

슈퍼맥스 로프는 DSR의 축적된 로프설계 및 제조기술을 이용하여 PE 고강력사로 만든 BRAIDED(브레이디드) 로프입니다. 슈퍼맥스 로프는 단위 중량당 강도가 가장 우수하며, 같은 규격의 Steel Wire Rope보다 강도는 높으며, 중량은 Steel Wire Rope의 1/8정도로 매우 가볍습니다. 또한, 슈퍼맥스 로프는 DSR의 독특한 코팅처리와 특수 열처리를 통하여 내마모성이 매우 우수합니다.

■ 특성

· UHMWPE Fiber 및 독자 개발한 열처리 과정을 거쳐 단위 중량당 강도가 가장 우수함.
· 신율이 낮음.
· SPLICE 작업이 쉬움.
· 회전성이 없어 뒤틀림 현상이 발생하지 않음.
· 용융점 : 150℃
· 비중 : 0.97(물에 뜬다.)
· 파단신율 : 4~5%

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/100m)	Breaking Strength(TON)
14	12.8	22.0
16	16.0	27.5
18	20.8	35.0

4. 뉴 슈퍼맥스 플러스 로프

New SuperMax Plus Rope는 SuperMax(UHMAPE) Rope를 내부 코어에 사용하여 기존의 로프 구조에 비해 높은 강도를 유지하면서 뒤틀림 현상이 없어 사용시 킹크 현상이 발생하지 않습니다. 또한 로프 외부를 Braided 처리하여 표면이 둥글고 매끄러워 마찰에 대한 저항성이 우수하며, 물에 접촉에 관계없이 강도를 유지할 수 있어 선박용에 적합합니다.

■ 특성

· 아주 낮은 신율.
· 자외선 저항에 강함.

· 뒤틀림과 자전이 없음.
· 구성 : UHMWPE(안쪽), Polyester fiber(바깥쪽)
· 용융점 : 안쪽 150℃ / 바깥쪽 265 ℃
· 파단신율 : 4~5%
· UV 안정성 : 좋음.

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/100m)	Breaking Strength(TON)
18	21.0	22.0
20	26.5	28.0
22	31.0	35.0

5. 엔앰피 로프

고강력 나일론 멀티플라멘트를 내부 코어로 사용하여 나일론 로프보다 강도를 높인 제품입니다. 또한 로프 외부를 Braided처리하여 표면이 둥글고 매끄러워 마찰에 대한 저항성이 우수합니다.

■ 특성
· 구성 : High tenacity Nylon multifilament
· 용융점 : 220℃
· 비중 : 1.14 (물에 뜨지 않음)
· 파단신율 : 30%
· 수분율 : 2~5%

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
40	206	46.5
44	242	54.5
48	286	64.0

6. 폴리에스터 8연 로프

DSR의 제조기술에 폴리에스터의 장점을 부각하고 가미하여 제조한 제품입니다.

■ 특성
· 저신도, 고강도를 갖고 있다.
· 합섬 및 천연섬유에 비해 뛰어난 내식성을 갖는다.

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
32	156.6	21.2
36	196.4	26.5
40	242.0	32.5

7. 더블 블레이드 로프(폴리에스터)

내부 코어에 폴리에스터를 사용하며, 로프 외부를 Braided 처리하여 내부 코어의 손상을 막고, 표면이 둥글고 매끄러워 마찰에 대한 저항성이 우수합니다.

■ 특성

· 구성 : Polyester Fiber
· 비중 : 1.38 (물에 뜨지 않음)
· 용융점 : 265 ℃

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
40	255.60	34.40
44	310.00	41.00
48	369.00	46.20

8. 뉴 슈퍼텍 3연 로프

오랜 기술의 노하우와 "신제조 공정 공법"의 기술적용으로 개발한 뉴슈퍼텍은 고강력 PP로프 제품들 중 최고의 강도와 터치감을 제공하는 신개념 로프이다. "신제조 공정 공법"으로 제조하여 기존 고강력 제품 보다 획기적으로 신장율을 낮추어 로프의 안정성을 높였다.

■ 특성

· 마모에 아주 강하다.
· 오랫동안 사용할 수 있어 경제적이다.
· 강력한 강도와 장기간의 반복에도 잘 늘어나지 않는다.
· 구성 : High tenacity polyolefin fiber
· 비중 : 0.94 (물에 뜬다)
· 용융점 : 165 ℃
· 수분율 : 없음.
· Eye splice : 좋음.

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
38	135.0	20.40
40	152.0	22.20
42	167.0	24.60
45	191.0	27.80

9. 뉴 슈퍼플렉스 8연 로프

마모에 아주 강한 고강력 슈퍼텍과 폴리에스터 얀(yarns)을 기술적으로 구성하여 슈퍼플렉스보다 강도를 높인 제품으로 신율이 적고 내마모성이 뛰어나 선박의 정박이나 예인용에 적합한 제품입니다.

■ 특성

· 구성 : 슈퍼텍과 폴리에스터
· 비중 : 0.99 (물에 뜬다)
· 용융점 : 165 ℃ / 265 ℃
· 신장율 : 18~20%
· 수분율 : 0~1%

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
36	148	30.4
40	183	36.8
44	218	43.7

10. 폴리에틸렌 로프

PE의 특성을 최대한 살려서 유연하고 매끄럽게 제조된 제품입니다.

■ 특성

· 유연성이 좋고 매끄러워서 내마모에 특히 우수하다.
· 인장강도는 건조시나 습기시에도 불변이다.

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
52	270.0	20.2
55	300.0	22.0
60	360.0	26.0

11. 12연 로프

DSR의 풍부한 경험과 기술에 국내 유일의 특수 제작된 기계에서 생산된 12연 제품은 스트랜드의 밸런스가 우수하여 구조가 안정적이고 타 제품군 대비 강도가 월등히 우수합니다.

■ 특성

· 우수한 강도를 유지하고 마모에 탁월한 저항력을 지니며 회전이나 뒤틀림이 없다.
· 손으로 작업하기가 편리하며 쉽게 감기고 연결 작업이 손쉽고 견고하게 된다.
· 주문자가 보다 높은 강도 및 침강성을 쉽게 하기를 원할 경우, 중심에 납이나 와이어 스트랜드를 넣을 수 있다.

■ 제품 규격

직경(mm)	ONE TYPE					
	피피 단(PP DAN)		폴리에스터		나일론	
	단위중량 (kg/200m)	인장강도 (TON)	단위중량 (kg/200m)	인장강도 (TON)	단위중량 (kg/200m)	인장강도 (TON)
30	75.8	11.9	126.4	18.2	103.3	19.2
32	80.2	12.7	148.3	20.7	117.6	21.9
34	94.8	14.8	162.3	23.4	132.7	24.7

■ 제품 규격

직경(mm)	TWO TYPE					
	피피 단(PP DAN)		폴리에스터		나일론	
	단위중량 (kg/200m)	인장강도 (TON)	단위중량 (kg/200m)	인장강도 (TON)	단위중량 (kg/200m)	인장강도 (TON)
30	78.0	13.0	120.0	19.1	98.2	20.2
32	83.2	13.3	136.3	21.8	111.7	23.0
34	93.9	15.1	154.2	24.6	126.1	25.9

12. 비닐론 로프

DSR의 제조기술에 비닐론 YARN의 장점을 부각하고 가미하여 제조한 제품입니다.

■ 특성

· 외관상 목면(목화면)과 매우 유사하며 자외선에 높은 저항력을 가지고 있다.
· 내, 외부 마모에 탁월한 저항력을 지니고 있다.
· 취급상에 있어 매우 용이하다.

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
52	322.0	21.10
55	355.0	23.30
60	433.0	27.40

13. 피피 단 연심 로프

해수의 침강성을 좋게 하기 위해 합성섬유로프 스트랜드의 코어에 납선을 넣어 물에 잘 가라앉습니다.

■ 특성

· 해수의 침감성을 좋게 하기 위해 합성섬유로프의 스트랜드코어에 납선을 넣어 물에 잘 가라앉는다.

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
38	203	15.1
40	225	16.7
45	285	20.7

14. 피피 단 로프

고품질의 폴리프로필렌 섬유로 만들어지며, 충격 흡수력이 뛰어나고 마모에 우수한 저항력과 뒤틀림이 없습니다. 또한 자외선에 대한 높은 저항력과 유동성을 가지고 있어 작업에 용이합니다.

■ 특성

· 고품질의 폴리프로필렌 섬유로 만들어지며 자외선에 대한 저항력이 높다.

· 취급상 대단히 용이한 로프이다.

■ 제품 규격

(1) 3연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
45	191.0	20.7
48	218.0	23.6
50	236.0	25.5
52	256.0	27.3

(2) 8연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
40	143.00	22.30
42	161.00	24.60
45	184.00	18.00

15. 슈퍼 단 로프

PP로프보다 강하고 경제적이며, 자외선에 강하여 장기간의 노출에도 안심하고 사용할 수 있는 제품입니다.

■ 특성

· 질기고 마찰에 강하여 오랫동안 사용할 수 있어 경제적이며 롤러 작업 시간이 단축된다.
· 일반 PP로프보다 마모 및 수명이 10% 향상되었다.
· 장기간의 반복에도 잘 늘어나지 않으며 일반 PP로프보다 원상회복력이 월등하다.
· 물에 젖었을 때도 강도가 약해지지 않는다.
· 구성 : High tenacity polyolefin fiber
· 비중 : 0.94 (물에 뜬다)
· 수분율 : 없음
· Eye splice : 좋음

■ 제품 규격

(1) 3연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
42	167.0	22.0
45	191.0	24.8
48	218.0	27.8

(2) 8연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
36	128.2	23.0
40	158.0	28.4
42	177.0	30.9

(3) 12연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
36	128.2	24.1
40	158.2	29.8
44	195.4	35.6

16. 더블 블레이드 로프(나일론)

내부 코어에 나일론을 사용하며, 로프 외부를 Braided 처리하여 내부 코어의 손상을 막고, 표면이 둥글고 매끄러워 마찰에 대한 저항성이 우수합니다.

■ 특성

· Nylon Fiber
· 비중 : 1.14 (물에 뜨지 않음)
· 용융점 : 220℃
· 신장율 : 45%
· 수분율 : 2~5%

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
40	220.20	40.80
44	265.20	48.90
48	315.60	57.50

17. 나일론 로프

충격에 잘 견디며, 하중을 가하면 그 에너지를 완전히 흡수할 뿐만 아니라 뒤틀림이 없고, 신축성이 좋아 작업이 용이하다. 또한 마닐라 로프의 강도에 비해 2배 이상이며, 합섬로프 중 가장 탄력적인 제품으로 탄성이 크고 하중 상쇄력이 매우 우수하다.

■ 특성

· 구성 : Nylon fiber
· 비중 : 1.14
· 용융점 : 220 ℃
· 파단신율 : 45%
· 신장율 : 30%
· 수분율 : 2~5%

■ 제품 규격

(1) 3연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
36	155.00	21.60
38	174.00	23.90
40	191.00	26.30
42	213.00	28.70

(2) 8연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
32	123.0	22.00
36	155.0	27.30
40	191.0	33.00

(3) 12연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
36	166	29.8
40	200	35.0
44	242	42.3

18. 슈퍼플렉스 로프

고강력 슈퍼단과 폴리에스터 얀(yarns)을 기술적으로 구성하여 강도를 높인 제품인 슈퍼플렉스는 고유의 강한 강도를 가지고 있기 때문에 일반적인 로프보다 마찰에 더욱 강력하여 여러번 자주 사용하는 정박용으로 사용하기 좋은 제품입니다.

■ 특성

· 유연하고 가벼워 취급하기가 쉽다.
· 로프 외층이 Double Construction로 내마모성이 뛰어나 자주 정박하는 선박에 적합하다.
· 신도가 적어 잘 늘어나지 않는다.
· 물이 묻어도 강도 저하가 없다.
· 구성 : 슈퍼단과 폴리에스터
· 비중 : 0.99 (물에 뜬다)
· 용융점 : 165 ℃ / 265 ℃
· 신장율 : 18~20%

■ 제품 규격

(1) 8연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
32	119	21.3
36	148	26.5
40	183	32.0

(2) 12연

DIA(mm)	단위중량(kg/200m)	Breaking Strength(TON)
36	148.4	27.8
40	183	33.6
44	218	40.0

19. 뉴디플렉스 8연 로프

PP YARN과 폴리에스터 YARN을 기술적으로 구성하여 제조된 제품으로서 신율은 낮고 내마모성은 우수하다.

■ 특성

· OCIMF 국제 규정에 따른 UV처리로 자외선에 안정화.
· 우수한 내마모성.
· 물이 묻어도 강도 저하가 없다.
· 가벼워 물에 뜬다.
· 물을 흡수하지 않는다.
· 구성 : 슈퍼단과 폴리에스터
· 신장율 : 20~22%
· 수분율 : 0~1%

■ 제품 규격

DIA(mm)	단위중량(kg/100m)	Breaking Strength(TON)
36	67.0	26.8
40	82.0	32.0
44	98.0	38.4

❍ 와이어 로프

1. 파워플랙스

PowerFlex Rope 제품은 스트랜드 외측소선이 일반 로프의 원형 소선과는 달리 스트랜드의 외접부가 평활하게 가공되어 있어 내모마성이 상당히 우수한 제품이며, 크레인용, 수산용 및 광산용 등 다양한 용도로 사용될 수 있습니다.

■ 특성

· 일반 로프에 비해 절단하중이 높다.
· 형태 변형이 매우 적다.
· 형태 안정성이 우수하다.
· Drum,sheave 및 Roller의 손상이 적다.
· 특수 크레인에 적합하다.
· 일반 로프보다 수명이 길다.
· 내마모성이 우수하다.

■ 제품 규격

(1) 파워플랙스 8×37

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)						단위중량
	FC Core		단위중량	Steel Core			
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	2160 N/mm^2	kg/m
16	18.0	18.7	1.05	20.8	23.0	24.5	1.15
17.5	21.6	22.4	1.26	24.9	27.5	29.3	1.38
18	22.8	23.7	1.33	26.4	29.1	31.0	1.46
19	25.4	26.4	1.48	29.4	32.4	34.5	1.62
20	28.2	29.3	1.64	32.6	35.9	38.2	1.80

(2) 파워플랙스 8×17

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)						단위중량
	FC Core		단위중량	Steel Core			
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	2160 N/mm^2	kg/m
16	17.8	18.7	1.03	20.6	22.7	24.2	1.14
17.5	21.3	22.3	1.23	24.7	27.2	29.0	1.36
18	22.6	23.6	1.31	26.1	28.8	30.7	1.44
19	25.1	26.3	1.46	29.1	32.0	34.2	1.61
20	27.9	29.1	1.61	32.2	35.5	37.9	1.78

(3) 파워플랙스 6×37

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)						단위중량
	FC Core		단위중량	Steel Core			
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	2160 N/mm^2	kg/m
16	18.2	19.0	1.07	20.2	21.8	22.8	1.17
17.5	21.7	22.7	1.28	24.2	26.1	27.3	1.40
18	23.0	24.1	1.36	25.6	27.6	28.9	1.49
19	25.6	26.8	1.51	28.5	30.8	32.2	1.65
20	28.4	29.7	1.67	31.6	34.1	35.7	1.83

(4) 파워플랙스 6×19

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)						단위중량
	FC Core		단위중량	Steel Core			
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	2160 N/mm^2	kg/m
16	17.8	18.6	1.04	20.0	21.6	22.6	1.16
17.5	21.2	22.3	1.25	23.9	25.8	27.0	1.38
18	22.5	23.6	1.32	25.3	27.3	28.6	1.46
19	25.0	26.2	1.47	28.2	30.4	31.8	1.63
20	27.7	29.1	1.63	31.3	33.7	35.3	1.81

(5) 파워플랙스 37,37L (L:랑그연)

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
14.3	17.2	19.0	20.4	1.05
15	19.0	20.9	22.4	1.15
16	21.6	23.8	25.5	1.31
17.5	25.8	28.5	30.5	1.57
18	27.3	30.2	32.3	1.66

(6) 파워플랙스 M19 (M:멀티스트랜드)

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
19	28.4	31.0	34.6	1.74
20	31.4	34.3	38.3	1.94
21	34.6	37.9	42.3	2.13

(7) 파워플랙스 19

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
15	18.1	19.6	21.8	1.08
16	20.6	22.3	24.8	1.23
17.5	24.6	26.7	29.6	1.47
18	26.1	28.3	31.4	1.56
19	29.1	31.5	34.9	1.74

(8) 파워플랙스 35(L) (L:랑그연)

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
14.3	19.1	20.4	1.05
15	21.0	22.5	1.15
16	23.9	25.6	1.31
17.5	28.6	30.6	1.57
18	30.3	32.4	1.66

2. 프라임 로프

PRIME ROPE 는 사용환경이 열악한 크레인 (항타용 크레인, 모바일 크레인 등)에 특화하여 개발된 WIRE ROPE이며, 우수한 소선품질과 도유 사용으로 기존 6 x Fi(25)+IWRC 제품보다 20%이상의 수명향상을 기대할 수 있습니다.

■ 특성

* 피로시험 조건

① 목 적 : S굴곡의 피로도(내구성) 측정
② 하 중 : 20%MBL
③ 속 도 : Max. 10 Cycle/min
④ 단선개수 : 6개/Pitch까지 측정

■ 제품 규격

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)						단위중량
	6×37+FC		단위중량	6×37+IWRC			
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	2160 N/mm^2	kg/m
17.5	18.5	20.5	1.14	21.2	23.3	25.3	1.34
18	19.5	21.7	1.21	22.4	24.7	26.7	1.42
19	21.8	24.2	1.35	25.0	27.5	29.8	1.58
20	24.1	26.8	1.49	27.7	30.4	33.0	1.76
21	26.6	29.5	1.64	30.5	33.6	36.4	1.94

3. 파워리프트

PowerLift Rope 제품은 크레인용으로 개발된 제품입니다. PowerLift는 Round Type으로 당사의 독창적인 설계 Know-How를 바탕으로 개발 되었습니다.

■ 특성
· 범용 크레인에 적합하다.
· 형태 안정성이 우수하다.
· 형태 변형이 매우 적다.
· 일반 로프 보다 수명이 길다.

■ 제품 규격

(1) 파워리프트 35L

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
16	17.9	21.3	23.0	1.14
17.5	21.4	25.5	27.6	1.36
18	22.6	26.9	29.5	1.44
19	25.2	30.0	32.6	1.60
20	28.0	33.3	36.1	1.78

(2) 파워리프트 M19

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
17.5	19.7	21.4	23.5	1.30
18	20.8	22.6	24.8	1.38
19	23.2	25.2	27.7	1.54
20	25.7	27.9	30.6	1.70
21	28.4	30.8	33.8	1.88

(3) 파워리프트 19

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
17.5	20.1	21.7	23.8	1.28
18	21.2	23.0	25.2	1.35
19	23.7	25.6	28.1	1.50
20	26.2	28.3	31.1	1.67
21	28.9	31.2	34.3	1.84

(4) 파워리프트 18

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
17.5	18.6	20.2	22.1	1.24
18	19.7	21.4	23.4	1.32
19	22.0	23.8	26.1	1.47
20	24.3	26.4	28.9	1.62
21	26.8	29.1	31.9	1.79

(5) 파워리프트 8×37 (8×37+FC, 8×37+IWRC)

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)						단위중량
	FC Core		단위중량	Steel Core			
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	2160 N/mm^2	kg/m
17.5	18.4	20.2	1.13	21.2	23.7	25.6	1.35
18	19.5	21.3	1.20	22.5	25.0	27.1	1.43
19	21.7	23.8	1.34	25.0	27.9	30.2	1.59
20	24.1	26.3	1.48	27.7	30.9	33.4	1.76
22	29.1	31.9	1.79	33.6	37.4	40.4	2.13

(6) 파워리프트 8×19 (8×19+FC, 8×19+IWRC)

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)						단위중량
	FC Core		단위중량	Steel Core			
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	2160 N/mm^2	kg/m
17.5	18.3	20.0	1.11	21.0	23.4	25.3	1.33
18	19.3	21.2	1.18	22.3	24.8	26.8	1.41
19	21.5	23.6	1.31	24.8	27.6	29.9	1.57
20	23.9	26.1	1.45	27.5	30.6	33.1	1.74
22	28.9	31.6	1.76	33.2	37.0	40.1	2.11

(7) 파워리프트 6×37

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)						단위중량
	6×37+FC		단위중량	6×37+IWRC			
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	2160 N/mm^2	kg/m
18	19.5	21.7	1.21	22.4	24.7	26.7	1.42
19	21.8	24.2	1.35	25.0	27.5	29.8	1.58
20	24.1	26.8	1.49	27.7	30.4	33.0	1.76
21	26.6	29.5	1.64	30.5	33.6	36.4	1.94
22	29.2	32.4	1.80	33.5	36.8	39.9	2.12

(8) 파워리프트 6×19

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)						단위중량
	6×19+FC		단위중량	6×19+IWRC			
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	2160 N/mm^2	kg/m
17.5	18.1	19.8	1.11	20.6	23.0	24.9	1.32
18	19.2	21.0	1.18	21.8	24.3	26.3	1.40
19	21.4	23.4	1.31	24.3	27.1	29.3	1.55
20	23.7	25.9	1.46	26.9	30.0	35.5	1.72
21	26.1	28.6	1.60	29.6	33.1	35.8	1.90

4. 스테인리스 일반 로프

Stainless Steel Wire Rope는 고객이 요구하는 강종을 사용하여 생산되며, 일반연과 평행연의 2가지 구조를 가지고 있다. 또한 정확한 소신설계와 성형에 의해 내마모성과 내피로성을 증가시켰으며, 고강도 로프이면서 유연성이 뛰어난 특성을 가지고 있다.

■ 특성

· General Rope : 스테인리스 일반 로프

· 해수에 대한 내부식성이 우수하여 해상 구조물에 많이 사용한다.

· 강종에 따라 복수환경(유해한 대기가스나 열과 같은)에 대한 내구력이 우수하고 내식성이 필요한 해상용 로프로 주로 사용한다.

■ 제품 규격

(1) 6×19 + FC

공칭경	6×19 + FC		
	파단하중(KN)		단위중량
mm	AISI304	AISI316	kg/100m
22.00	233.24	209.92	181
24.00	277.34	249.61	210
25.00	301.84	271.66	228

(2) 6×19 + IWRC

공칭경	6×19 + IWRC		
	파단하중(KN)		단위중량
mm	AISI304	AISI316	kg/100m
20.00	207.76	186.20	164
22.00	251.86	226.38	204
24.00	299.88	269.50	236

(3) 6×S(19)+IWRC, 6×W(19)+IWRC, 6×Fi(25)+IWRC, 6×WS(26)+IWRC, 6×WS(36)+IWRC, 6×WS(31)+IWRC

공칭경	6×S(19)+IWRC, 6×W(19)+IWRC, 6×Fi(25)+IWRC, 6×WS(26)+IWRC, 6×WS(36)+IWRC, 6×WS(31)+IWRC		
	파단하중(KN)		단위중량
mm	AISI304	AISI316	kg/100m
18.00	204.13	181.10	136
19.00	227.46	201.78	152
20.00	252.06	223.54	168

(4) 6×24 + 7 FC

공칭경	6×24 + 7 FC		
	파단하중(KN)		단위중량
mm	AISI304	AISI316	kg/100m
22.00	212.66	191.10	165
24.00	252.84	227.36	191
25.00	274.40	246.96	208

(5) 6×37 + FC

공칭경	6×37 + FC		
	파단하중(KN)		단위중량
mm	AISI304	AISI316	kg/100m
22.00	223.44	200.90	179
24.00	266.56	239.12	207
25.00	289.10	259.70	225

(6) 6×37 + IWRC

공칭경	6×37 + IWRC		
	파단하중(KN)		단위중량
mm	AISI304	AISI316	kg/100m
22.00	242.06	217.56	217.56
24.00	287.14	257.74	257.74
25.00	317.52	285.18	285.18

5. 스테인리스 비자전 로프

비자전 로프는 일반 로프에 비해 축을 중심으로 풀리는 방향으로 회전하려는 자전성을 최대한 적게 설계한 로프로 표면이 평활하고 유연성이 우수한 특성을 가지고 있다.

■ 특성

· General Rope : 비자전로프 [18×7+FC],[19×7)]
· 로프의 표면이 평활하고 유연성이 우수하다.
· 비자전성이 우수하다.

■ 제품 규격

공칭경	18×7 + FC			19×7		
	파단하중(KN)		단위중량	파단하중(KN)		단위중량
mm	AISI306	AISI316	kg/m	AISI306	AISI316	kg/m
19	197.96	180.32	144	207.76	185.22	152
20	218.54	199.92	160	231.28	205.80	168
22	265.58	242.06	194	280.28	248.92	203

6. 파워 스웨지드 로프

스웨이지드 와이어 로프는 로프의 표면을 평활하게 스웨이징(SWAGING) 가공한 것으로 내마모성과 압착 등에 강해 벌목용, 광산용 및 어업용 등의 용도로 적합합니다.

■ 특성

· 내마모성이 우수하다.
· 형태안정성이 우수하다.
· 내식성 및 내부식성이 우수하다.

■ 제품 규격

공칭경	파단력	단위중량
mm	TON	kg/m
14.3	21.9	1.237
15.9	26.2	1.527
17.5	32.3	1.848

7. 파워 필

PowerFil Rope 제품은 외측 스트랜드를 Compact한 제품이며, 크레인용으로 개발되었습니다. IWRC 구조의 Compact 된 외측 스트랜드와 내측 스트랜드의 골 사이에 특수 섬유로프를 충진시킨 것으로 로프의 내부 접촉면압을 감소시키는 것은 물론, 외부로부터의 먼지 등의 침입을 방지하고 로프 내부의 손상을 감소시켜 수명을 연장시키고, 무엇보다 IWRC 제품의 단점인 내부에 그리스 공급이 안되는 문제가 개선되어 내식성 및 윤활성이 우수하며 내구성이 약 30% 정도 향상된 제품입니다.

■ 특성

· 내피로도가 우수하다.
· 형태 변형이 매우 적다.
· Drum, Sheave 및 Roller의 손상이 적다.
· 윤활제가 가득 충진되어 와이어 로프 내부 손상을 감소시킨다.
· 일반 로프에 비해 절단하중이 높다.
· 부식과 마모에 강하다.

■ 제품 규격

(1) 파워 필 8

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
22	39.2	43.2	46.1	2.17
23	42.8	47.2	50.4	2.37
24	46.7	51.4	54.8	2.58

(2) 파워 필 6

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
18	25.6	27.7	29.0	1.53
19	28.5	30.9	32.3	1.71
20	31.6	34.2	35.8	1.89

8. 플렉스 필

Flexfil Rope 제품은 크레인용으로 개발된 제품으로 IWRC 구조의 외측 스트랜드와 내측 스트랜드의 골 사이에 특수 섬유를 충전시켜 로프의 내부 접촉면압을 감소시키는 것은 물론, 외부로부터의 먼지 등의 침입을 방지하고, 로프 내부의 손상을 감소시켜 수명을 연장시키고, 무엇보다 IWRC 제품의 단점인 내부에 그리스 공급이 안되는 문제가 개선되어 내식성 및 윤활성이 우수하며 내구성이 약 30% 정도 향상되었습니다.

■ 특성

· 일반제품보다 내피로도가 30%이상 높다.
· 일반 로프 보다 절단하중이 매우 높다.
· 부식에 우수하다.
· 형태 변형이 매우 적다.
· 윤활제가 가득 충진되어 와이어 로프 내부 손상을 감소시킨다.
· 일반 로프 보다 수명이 길다.

■ 제품 규격

(1) 플렉스 필 8

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
22	33.4	37.2	40.3	2.12
23	36.5	40.7	44.0	2.32
24	39.8	44.3	47.9	2.52

(2) 플렉스 필 6

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
31.8	69.9	75.9	82.3	4.53
32	70.8	76.9	83.3	4.58
34	79.9	86.8	94.0	5.18

9. 플렉스텍

Flextec Rope 제품은 크레인용으로 개발된 제품으로 IWRC 구조의 외측 스트랜드와 내측 스트랜드의 골 사이에 플라스틱을 충전시킨 것으로 로프의 내부 접촉면압을 감소시켜 마모와 피로를 줄여주며, 외부로부터의 먼지, 습기 침투 등을 근본적으로 차단하여 부식에 강합니다. 이로 인해 기존 로프에 비해 수명이 2배 정도 우수한 성능을 보이며, 충격하중에 대한 흡수력이 있어 극한 위험하중에 노출시 일반 로프에 비해 파단될 위험이 적으며 굴곡 유연성이 뛰어납니다.

■ 특성

· 비자전성이 매우 우수하다.
· 형태 변형이 매우 적다.
· 내부 와이어가 절단 및 마모되는 것을 방지해 준다.
· 고양정 타워 크레인에 적합하다.
· 일반 로프에 비해 절단하중이 높다.
· 형태 안정성이 우수하다.
· 내부 스트레스를 극단적으로 감소해 준다.
· 일반 로프 보다 수명이 길다.

■ 제품 규격

(1) 플렉스텍 35(L)

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
16	18.2	21.6	23.3	1.16
17.5	21.7	25.9	28.0	1.39
18	23.0	27.3	29.9	1.47
19	25.6	30.5	33.1	1.64
20	28.4	33.8	36.6	1.82

(2) 플렉스텍 8, 6

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
31.8	71.0	77.0	83.5	4.55
32	71.9	78.0	84.6	4.61
34	81.1	88.1	95.5	5.20

10. 사스 로프

SAS Rope 제품은 로프 표면 전체를 평활하게 가공한 것으로 주로 3 ~ 4연 스트랜드 비자전 로프에 적용되며 스트랜드 중심에는 섬유심이 삽입됩니다. 이 로프는 비자전 성질이 우수하고 동일한 비자전 로프로 사용되고 있는 다층연 로프에 비하여 형태변형이 거의 없어 호이스트, 고공 크레인 등의 비자전 성질이 요구되는 용도에 적합합니다.

■ 특성

· 비자전성이 매우 우수하다.
· 형태 변형이 매우 적다.
· 내마모성 및 내피로성이 우수하다.
· 각 스트랜드는 섬유코어를 가지고 있어 유연성이 매우 우수하다.
· 일반 로프 보다 수명이 길다.

■ 제품 규격

공칭경 (mm)	최소절단하중(TON)					단위중량
	6×37+FC		단위중량	6×37+IWRC		
	1770 N/mm^2	1960 N/mm^2	kg/m	1770N/mm^2	1960N/mm^2	kg/m
17.5	21.5	23.2	1.25	20.0	21.7	1.26
18	22.7	24.6	1.32	21.2	23.0	1.33
19	25.3	27.4	1.47	23.6	25.6	1.48
20	28.0	30.4	1.63	26.2	28.4	1.65
21	30.9	33.5	1.80	28.9	31.3	1.81

11. 파워텍

PowerTec Rope 제품은 플렉스텍(Flextec) 로프의 외측 스트랜드를 Compact한 제품으로 크레인용으로 개발 되었습니다. IWRC구조의 Compact 된 외측 스트랜드와 내측 스트랜드의 골 사이에 플라스틱을 충진시킨 것으로 로프의 내부 접촉 면압을 감소시켜 마모와 피로를 줄여주며, 외부로 부터의 먼지, 습기 침투 등을 근본적으로 차단하여 부식에 강하며, 이로 인해 기존 로프에 비해 수명이 2배 정도 우수한 성능을 보이며, 충격하중에 대한 흡수력이 있어 극한 위험 하중에 노출시 일반 로프에 비해 파단될 위험이 적으며 굴곡 유연성이 뛰어납니다.

■ 특성

· 비자전성이 매우 우수하다.
· 일반 로프에 비해 절단하중이 높다.
· 형태 변형이 매우 적다.
· 형태 안정성이 우수하다.
· Drum, sheave 및 Roller의 손상이 적다.
· 고양정 타워 크레인에 적합하다.

· 일반 로프보다 수명이 길다.
· 내피로성이 우수하다.

■ 제품 규격

(1) 파워텍 37(L)

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
15	21.2	22.7	1.17
16	24.2	25.9	1.33
17.5	28.9	30.9	1.59

(2) 파워텍 8

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
16	20.8	23.0	24.6	1.17
17.5	24.9	27.5	29.4	1.40
18	26.4	29.1	31.1	1.48

(3) 파워텍 6

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
31.8	81.0	87.8	91.8	4.81
32	82.1	89.0	93.0	4.87
34	92.6	100.4	104.9	5.50

(4) 파워텍 35(L)

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
15	21.3	22.8	1.17
16	24.3	26.0	1.33
17.5	29.0	31.1	1.59

12. 파워액트

PowerAct Rope 제품은 크레인용 특수로프로서 고양정 타워 크레인에 적합한 와이어 로프입니다. 비자전성과 형태 안정성이 우수하며 일반 로프에 비해 절단하중이 높은 특성을 지녔습니다. PowerAct Rope 제품은 Drum, Sheave 및 Roller의 손상이 매우 적어서 일반 로프보다 더 오래 쓸 수 있습니다.

■ 특성

· 비자전성이 매우 우수하다.

· 고양정 타워 크레인에 적합하다.
· 형태 안정성이 우수하다.
· 일반 로프에 비해 절단하중이 높다.
· 절단 및 마모에 매우 강하다.
· 형태 변형이 매우 적다.
· Drum, Sheave 및 Roller의 손상이 매우 적다.
· 일반 로프 보다 수명이 길다.
· 내부 와이어가 절단 및 마모되는 것을 방지해 준다.
· 내부에 플라스틱이 충진되어 있어 내부 손상을 감소해 준다.

■ 제품 규격

(1) 파워액트 29P

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
15	21.5	22.8	1.09
16	24.4	26.0	1.24
17.5	29.2	31.0	1.48

(2) 파워액트 29

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
15	21.5	22.8	1.09
16	24.4	26.0	1.24
17.5	29.2	31.0	1.48

(3) 파워액트 28DP

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
14.3	20.2	21.7	1.01
15	22.2	23.9	1.12
16	25.3	27.1	1.27

(4) 파워액트 28P

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
15	21.4	22.7	1.08
16	24.3	25.9	1.23
17.5	29.1	30.9	1.47

(5) 파워액트 28D

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
14.3	20.2	21.7	1.01
15	22.2	23.9	1.12
16	25.3	27.1	1.27

(6) 파워액트 28

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
15	21.4	22.7	1.08
16	24.3	25.9	1.23
17.5	29.1	30.9	1.47

(7) 파워액트 25DP

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
15	21.5	23.2	1.16
16	24.4	26.4	1.33
17.5	29.2	31.5	1.59

(8) 파워액트 25D

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
15	21.5	23.2	1.16
16	24.4	26.4	1.33
17.5	29.2	31.5	1.59

(9) 파워액트 17D

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	2160N/mm^2	kg/m
14.3	17.9	19.9	22.0	1.02
15	19.7	21.9	24.2	1.13
16	22.5	24.9	27.6	1.28
17.5	26.9	29.8	33.0	1.53
18	28.4	31.6	34.9	1.62

(10) 파워액트 4

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1770N/mm^2	1960N/mm^2	kg/m
16	20.6	22.5	1.20
18	26.1	28.5	1.52
19	29.1	31.7	1.69

13. 엘리베이터 로프

DSR의 엘리베이터 로프는 균일한 DIA와 Core 그리스의 적정성 등 우수한 품질을 위한 특성을 갖추고 있습니다.

■ 특성

· 로프의 DIA의 균일성.
· Core 그리스의 적정성.
· PT 처리를 통한 구조적 신율 배제.
· 고품질의 WIRE 사용으로 단선 방지.
· Sheave 마모 방지를 위한 외측 소선 소재 선정.

■ 제품 규격

(1) 8×S(19)+FC

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
	E종	G종	A종	
mm	135kg/mm^2	150kg/mm^2	165kg/mm^2	kg/m
13	7.1	7.6	8.4	0.59
14	8.2	8.8	9.7	0.68
16	10.7	11.5	12.7	0.89

14. 일반용 로프

General Rope는 묶음용, 슬링용, 광산용, 수산용, 벌목용, 슬링용, 선박계류용, 크레인용, 호이스트용, 선박용, 일반기계용, 번들링용, 방어용,고속도로 펜스용 및 낙석 방지용 등 전 산업 분야에 걸쳐 활용할 수 있는 제품입니다. 또한, 각 용도에 맞추어 당사에서는 공급이 가능합니다.

■ 특성

· General Rope : [6×12+7FC],[6×15+FC] 묶음용
· General Rope : [7×7×7], [7×7×(S)19] 슬링용
· General Rope : [6×24+7FC] 슬링용, 수산용

· General Rope : [6×19+FC], [6×19+IWRC] 광산용, 선박계류용, 호이스트용, 선박용, 벌목용,일반기계용, 슬링용
· General Rope : [6×37+FC], [6×37+IWRC] 슬링용, 선박계류용, 크레인용, 호이스트용, 선박용, 일반기계용
· General Rope : [6×7+FC] 광산용,수산용
· General Rope : [4×7+FC] 번들링용
· General Rope : [3×7] 방어용,고속도로 펜스용, 낙석 방지용

■ 제품 규격

(1) 6×19+FC, 6×19+IWRC

공칭경	최소절단하중(TON)					단위중량	
	1620N/mm^2		1770N/mm^2		1960N/mm^2	kg/m	
mm	FC	IWRC	FC	IWRC	IWRC	FC	IWRC
18	17.8	19.8	19.0	21.5	23.2	1.18	1.31
20	22.0	24.4	23.5	26.6	28.7	1.46	1.62
22	26.7	29.1	28.4	32.2	34.8	1.76	1.95

(2) 6×7+FC

공칭경	최소절단하중(TON)		단위중량
mm	1620N/mm^2	1770N/mm^2	kg/m
18	19.6	21.5	1.20
20	24.3	26.5	1.48
22	29.3	32.0	1.79

(3) 4×7+FC

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
	G종	A종	B종	
mm	150kg/mm^2	165kg/mm^2	180kg/mm^2	kg/m
18	18.30	20.20	21.90	1.20
20	22.40	24.60	26.90	1.48
22	27.40	30.20	33.00	1.80

(4) 3×7

공칭경	최소절단하중	단위중량
mm	TON	kg/m
16	12.60	0.869
18	16.00	1.100

15. 아연도 강연선

아연도 강연선은 전력용, 통신용의 가공지선, 매설지선, Messenger wire 등으로 사용된다. 또한 S-S CABLE(자기 지지형 케이블)은 전화통신 케이블의 지지선으로 사용되며 , 광통신 CABLE 지지용으로도 사용한다.

■ 제품 규격

공칭경	최소절단하중(TON)			단위중량
	1종	2종	3종	
mm	125kg/mm^2	90kg/mm^2	70kg/mm^2	kg/m
17.5	20.5	14.8	11.5	1.450
20.0	26.8	19.3	15.0	1.900

【 문의 사항 】

문의 사항	업체 측 답변
제품의 구조적 신율 및 유연성	▶파단신율 0.5%에 대해 섬유 로프는 적합하지 않음. ▶와이어 로프 신율 1~2%. ▶저신율/파단강도 20~30TON/유연성을 고려했을 때 본 회사 제품 중 슈퍼맥스 12연 로프를 추천. (직경 14mm~16mm) ▶유연성에 대해서는 수치화하기 어렵지만, 도르래에 감을 정도의 유연성은 가지고 있음.
2M 단위로 재단 가능 여부	▶2M 재단 가능. ▶실험 목적이라면 로프 끝 처리를 어떻게 할지 요청. ▶인장실험 목적이라면 로프 양 끝에 고리를 만들어 줄 수 있음.
기타	▶답변자 : 연구팀 조형일 대리

V 경인 로프 앤 와이어

❍ 와이어 로프

1. A/C 로프

■ 제품 규격

(1) 7×7

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중		단위중량 (kg/m)
	180kg/mm^2	200kg/mm^2	
	TON	TON	
8.00	4.49	4.96	0.25
9.00	5.67	6.28	0.31

(2) 7×19

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중		단위중량 (kg/m)
	180kg/mm^2	200kg/mm^2	
	TON	TON	
18.00	21.2	23.5	1.23
20.00	26.1	29.0	1.52

2. 마심 로프

■ 제품 규격

(1) 6×24+7FC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중			단위중량 (kg/m)
	G종 (150kg/mm^2)	A종 (165kg/mm^2)	B종 (180kg/mm^2)	
	TON	TON	TON	
21	20.5	22.1	24.1	1.46
22.4	23.3	25.2	27.5	1.66
24	26.8	28.9	31.5	1.91

(2) 6×Fi(29)+FC, 6×Fi(29)+IWRC, 6×WS(31)+FC, 6×WS(31)+IWRC, 6×WS(36)+FC,
6×WS(36)+IWRC, 6×SeS(37)+FC, 6×SeS(37)+IWRC, 6×WS(41)+FC, 6×WS(41)+IWRC,
6×SeWS(53)+IWRC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중								단위중량 (kg/m)	
	G종 (150kg/mm^2)		A종 (165kg/mm^2)		B종 (180kg/mm^2)		C종 (195kg/mm^2)			
	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC
18	16.7	20.6	18.4	21	19.6	22.4	21.2	24.3	1.278	1.422
19	18.6	23	20.5	23.4	21.8	25	23.6	27	1.424	1.584
20	20.6	25.4	22.7	26	24.1	27.7	26.2	30	1.578	1.756
22	25.9	31.9	28.4	32.6	30.3	34.7	32.8	37.6	1.979	2.202

(3) 6×37+FC, 6×37+IWRC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중						단위중량 (kg/m)	
	A종 (165kg/mm^2)		B종 (180kg/mm^2)		C종 (195kg/mm^2)			
	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC
19	19.6	20.9	20.9	22.8	22.6	24.7	1.301	1.451
20	21.7	23.2	23.1	25.3	25.1	27.4	1.441	1.608
21	23.9	25.5	25.5	27.9	27.6	30.2	1.589	1.773
22.4	27.2	29.1	29	31.7	31.4	34.4	1.808	2.017

(4) 6×19+FC, 6×19+IWRC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중						단위중량 (kg/m)	
	A종 (165kg/mm^2)		B종 (180kg/mm^2)		C종 (195kg/mm^2)			
	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC
19.0	19.9	21.8	21.2	23.8	23.00	25.8	1.316	1.388
20.0	22.0	24.2	23.5	26.4	25.49	28.6	1.458	1.538
21.0	24.3	26.6	25.9	29.1	28.10	31.5	1.607	1.695
22.4	27.6	30.3	29.5	33.1	31.97	35.8	1.829	1.929

3. 철심 로프

■ 제품 규격

(1) 6×19+FC, 6×19+IWRC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중						단위중량 (kg/m)	
	A종 (165kg/mm^2)		B종 (180kg/mm^2)		C종 (195kg/mm^2)			
	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC
19.0	19.9	21.8	21.2	23.8	23.00	25.8	1.316	1.388
20.0	22.0	24.2	23.5	26.4	25.49	28.6	1.458	1.538
21.0	24.3	26.6	25.9	29.1	28.10	31.5	1.607	1.695

(2) 6×S(19)+FC, 6×S(19)+IWRC, 6×FS(19)+IWRC, 6×W(19)+IWRC, 6×Fi(21)+FC,
6×Fi(21)+IWRC, 6×Fi(25)+FC, 6×Fi(25)+IWRC, 6×WS(26)+FC, 6×WS(26)+IWRC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중								단위중량 (kg/m)	
	G종 (150kg/mm^2)		A종 (165kg/mm^2)		B종 (180kg/mm^2)		C종 (195kg/mm^2)			
	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC
18	16.3	18.6	18	20.5	19.2	21.8	20.8	23.6	1.251	1.393
19	18.2	20.8	20	22.8	21.4	24.3	23.2	26.3	1.393	1.552
20	20.1	23	22.2	25.3	23.7	26.9	25.7	29.2	1.544	1.72
22	25.3	28.9	27.9	31.8	29.7	33.8	32.2	36.6	1.937	2.157

(3) 6×Fi(29)+FC, 6×Fi(29)+IWRC, 6×WS(31)+FC, 6×WS(31)+IWRC,
6×WS(36)+FC, 6×WS(36)+IWRC, 6×SeS(37)+FC, 6×SeS(37)+IWRC,
6×WS(41)+FC, 6×WS(41)+IWRC, 6×SeWS(53)+IWRC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중								단위중량 (kg/m)	
	G종 (150kg/mm^2)		A종 (165kg/mm^2)		B종 (180kg/mm^2)		C종 (195kg/mm^2)			
	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC
18	16.7	20.6	18.4	21	19.6	22.4	21.2	24.3	1.278	1.422
19	18.6	23	20.5	23.4	21.8	25	23.6	27	1.424	1.584
20	20.6	25.4	22.7	26	24.1	27.7	26.2	30	1.578	1.756
22	25.9	31.9	28.4	32.6	30.3	34.7	32.8	37.6	1.979	2.202

(4) 6×37+FC, 6×37+IWRC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중						단위중량 (kg/m)	
	A종 (165kg/mm^2)		B종 (180kg/mm^2)		C종 (195kg/mm^2)			
	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC
19	19.6	20.9	20.9	22.8	22.6	24.7	1.301	1.451
20	21.7	23.2	23.1	25.3	25.1	27.4	1.441	1.608
21	23.9	25.5	25.5	27.9	27.6	30.2	1.589	1.773
22.4	27.2	29.1	29	31.7	31.4	34.4	1.808	2.017

4. 헤라클레스 로프(비자전 로프)

■ 제품 규격

(1) 18×7+FC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중			단위중량 (kg/m)
	A종 (165kg/mm^2)	B종 (180kg/mm^2)	C종 (195kg/mm^2)	
	TON	TON	TON	
18	18.1	19.8	21.4	1.317
19	20.2	22	23.9	1.468
20	22.4	24.4	26.4	1.626
21	24.7	26.9	29.1	1.793

(2) 19×7

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중			단위중량 (kg/m)
	A종 (165kg/mm^2)	B종 (180kg/mm^2)	C종 (195kg/mm^2)	
	TON	TON	TON	
18	19.4	21.2	23	1.375
19	21.6	23.6	25.6	1.532
20	24	26.2	28.3	1.698
21	26.4	28.9	31.3	1.872

5. 엘리베이터 로프

■ 제품 규격

(1) 8×S(19)+FC, 8×S(19)+IWRC, 8×W(19)+FC, 8×W(19)+IWRC, 8×Fi(25)+FC, 8×Fi(25)+IWRC

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중					단위중량 (kg/m)	
	E종 (135kg/mm^2)	A종 (165kg/mm^2)		B종 (180kg/mm^2)			
	FC	FC	IWRC	FC	IWRC	FC	IWRC
20	16.1	19.6	22.3	20.9	25.5	1.37	1.74
22	20.2	23.7	27.7	25.2	31.8	1.66	2.11
24	23.1	28.2	31.8	30	36.5	1.98	2.50

6. 컴팩트 로프

■ 제품 규격

(1) 19×7C

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중			단위중량 (kg/m)
	A종 (165kg/mm^2)	B종 (180kg/mm^2)	C종 (195kg/mm^2)	
	TON	TON	TON	
16	18.6	20.9	22	1.23
18	23.5	25.7	27.8	1.56
19	26.2	28.6	31	1.74

(2) 35×7C

로프 지름 (mm)	최소 절단 하중			단위중량 (kg/m)
	A종 (165kg/mm^2)	B종 (180kg/mm^2)	C종 (195kg/mm^2)	
	TON	TON	TON	
16	19.6	21.4	23.1	1.32
18	24.8	27	29.3	1.67
19	27.6	30.1	32.6	1.86

❍ 섬유 로프

1. PP 로프

■ 특성

(1) 피피 3연 로프

· 고품질의 폴리프로필렌 섬유로 만들어지며, 자외선에 대한 높은 저항력.
· 취급상 대단히 용이한 로프.
· 양식용, 육상용, 어업용, 스포츠, 레크레이션.

(2) 피피 8연 로프

· 비중(0.91)이 낮아 물에 뜬다.
· 3연 로프보다 수명이 길다.
· 충격 흡수력이 뛰어나고 마모에 우수한 저항력.
· 뒤틀림이 없으며 유동성이 있어 작업이 용이하다.
· 중선박 정박용, 도킹용, 닻줄용.

■ 제품 규격

(1) 피피 3연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG/200M	TON
45	191.0	20.7
48	218.0	23.6
50	236.0	25.5

(2) 피피 8연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG/200M	TON
45	191.0	20.7
48	218.0	23.6
50	236.0	25.5

2. PP 멀티 로프

■ 특성

· 에너지 흡수성과 충격 강도에 양호하며, 복원력에도 좋다.
· 합성섬유로프 중 가장 가벼워서 물에 뜨며, 산, 알카리, 기름, 용제 등에도 가장 잘 견딘다.
· 부드럽고, 유연해서 취급하기가 좋다.

■ 제품 규격

(1) 3연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG/100M	TON
14	9.50	21.7
16	12.50	27.8
18	15.75	34.5

(2) 8연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG/100M	TON
40	72.0	26.5
42	79.4	29.3
44	89.0	32.1

3. PE 로프

■ 특성

· 유연성이 좋고 매끄러워 내마모에 특히 우수하다.
· 인장강도는 건조시나 습기시에도 불변이다.

■ 제품 규격

(1) 폴리에틸렌 3연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG/200M	TON
52	270.0	20.2
55	300.0	22.0
60	360.0	26.0

4. 브레이드 로프

■ 특성

· 충격에 잘 견디며, 하중을 가하면 그 에너지를 완전히 흡수한다.
· 뒤틀림이 없고, 신축성이 좋아 작업이 용이하다.
· 자외선에 강하다.
· 비중(1.14)이 커 물에 잘 가라 앉는다.
· 마닐라 로프의 강도에 비해 2배 이상이며, 합성로프 중 가장 탄력적이다.
· 탄성이 크고 하중 상쇄력이 매우 우수하다.

■ 제품 규격

DIA(mm)	POLYPROPYLENE	NYLON	POLYESTER
	TON	TON	TON
30	13	21	21.8
32	14	22	24.8
34	16	27	27.2
36	18	29	31.2
38	20	32	32

5. 마 로프

■ 특성

· 천연섬유인 마로프는 마니라 로프와 사이잘 로프가 있다.

· 천연섬유는 합성섬유로프보다 파단력이 떨어지고, 수분 흡수시 곰팡이에 의해 부식되는 경우가 있다.

· 신율이 적고, 열 흡수성이 좋아 특수 용도에만 사용된다.

■ 제품 규격

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG	TON
60	496	22.6
64	564	25.7
65	581	26.4

6. 폴리에스터 로프

■ 특성

· 마닐라 로프 보다 강도가 2배 이상이다.

· 저신도, 고강도를 갖고 있다.

· 합섬 및 천연섬유에 비해 뛰어난 내식성을 갖는다.

■ 제품 규격

(1) 8연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG/200M	TON
32	155.6	21.2
36	196.4	26.5
40	242.0	32.5

(2) 12연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG	TON
32	148.3	20.7
34	162.3	23.4
36	196.4	27.9

7. 비닐론 로프

■ 특성

· 외관상 목화면과 매우 유사하며 자외선에 높은 저항력을 가지고 있다.
· 내, 외부 마모에 탁월한 저항력을 지니고 있다.
· 취급상에 있어 매우 용이하다.

■ 제품 규격

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG	TON
52	322.0	21.10
55	355.0	23.30
60	433.0	27.40

8. 나일론 로프

■ 특성

· 충격에 잘 견디며, 하중을 가하면 그 에너지를 완전히 흡수한다.
· 뒤틀림이 없고, 신축성이 좋아 작업이 용이하다.
· 자외선에 강하다.
· 비중(1.14)이 커 물에 잘 가라 앉는다.
· 마닐라 로프의 강도에 비해 2배 이상이며, 합성로프중 가장 탄력적이다.
· 탄성이 크고 하중 상쇄력이 매우 우수하다.

■ 제품 규격

(1) 나일론 3연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG	TON
36	155.00	21.60
38	174.00	23.90
40	191.00	26.30

(2) 나일론 8연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG	TON
32	123.0	22.00
36	155.0	27.30
40	191.0	33.00

(3) 나일론 12연 로프

직경 DIA	중량	인장강도
MM	KG	TON
36	166	29.8
40	200	35.0
44	242	42.3

Ⅵ ㈜태림제강

1. 점접촉 와이어 로프

■ 제품 규격

(1) 6×7

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
18.0	171	17.4	193	19.6	211	21.5	1.20
20.0	211	21.5	238	24.3	260	26.5	1.48
22.4	265	27.0	298	30.4	326	33.2	1.86

(2) 6×19

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
18.0	163	16.6	175	17.9	187	19.1	1.18
20.0	201	20.5	216	22.1	230	23.5	1.46
22.4	252	25.7	271	27.7	289	29.5	1.83

(3) 6×37

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
18.0	160	16.3	172	17.5	183	18.7	1.16
20.0	197	20.1	212	21.6	227	23.1	1.44
22.4	248	25.2	266	27.1	284	29.0	1.80

2. 해상용 와이어 로프

■ 제품 규격

(1) 6×12+FC

로프경(mm)	최소파단하중		단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		
	KN	TON	
25	204	20.8	1.71
28	256	26.1	2.14
30	294	30.0	2.46

(2) 6×24+FC

로프경(mm)	최소파단하중				단위중량 (kg/m)
	G종(150kg/mm^2)		A종(165kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	
20.0	183	18.7	197	20.1	1.33
22.4	230	23.4	247	25.2	1.67
25.0	286	29.2	308	31.4	2.08

3. 비자전성 와이어 로프

■ 제품 규격

(1) 18×7

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
18.0	191	19.4	207	21.1	224	22.8	1.38
19.0	212	21.7	231	23.6	250	25.4	1.53
20.0	235	24.0	256	26.0	276	28.2	1.70

(2) 19×7

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
18.0	191	19.4	207	21.1	224	22.8	1.38
19.0	212	21.7	231	23.6	250	25.4	1.53
20.0	235	24.0	256	26.0	276	28.2	1.70

4. 선접촉 와이어 로프

■ 제품 규격

(1) 6×19(S) FC

로프지름 (mm)	최소절단하중						단위중량 (kg/m)
	A종(165kg/mm^2)		B종(180kg/mm^2)		C종(195kg/mm^2)		
	KN	TON	KN	TON	KN	TON	
19.0	196	20.0	210	21.4	203	23.1	1.39
20.0	218	22.2	232	23.7	251	25.6	1.54
22.4	273	27.8	291	29.7	315	32.1	1.94

5. Cable Laid

■ 제품 규격

(1) 7×7×7

로프경(inch)	최소파단하중(kgf)		단위중량 (kg/m)
	KN	TON	
3/8˚	49.0	5.0	0.330
1/2˚	86.3	8.8	0.587
5/8˚	139	14.2	0.918

(2) 7×7×19

로프경(inch)	최소파단하중(kgf)		단위중량 (kg/m)
	KN	TON	
3/4˚	190	19.4	1.32
7/8˝	266	27.1	1.80
1˝	343	35.0	2.35

6. G.A.C

■ 제품 규격

지름	7x7			7x19		
	GAC	SSA/C	GAC & SSA/C	GAC	SSA/C	GAC & SSA/C
	최소절단 하중	최소절단 하중	단위중량	최소절단 하중	최소절단 하중	단위중량
mm	kg	kg	kg/100m	kg	kg	kg/100m
5.56	2177	2177	12.34	2540	2268	12.8
6.35	2767	2767	12.34		2903	16.4

7. Guard 로프

■ 제품 규격

(1) 3×7

로프 지름 (mm)	상층 소선경 (mm)	계산 단면적 (mm^2)	최소 절단 하중 G종(150kg/mm^2)	단위중량 (kg/m)
14.0	2.22	80.0	10.8	0.665
16.0	2.54	104.4	14.0	0.869
18.0	2.86	132.2	17.8	1.10

8. 강연선

■ 제품 규격

호별	1호	2호		3호	
		A B		A B	
구성	3연선	7연선		19연선	
구성 기호	1×3	1×7 (A)	1×7 (B)	1×19 (A)	1×19 (B)

종별	1종	2종	3종
소선표준 인장강도 (kg/mm^2)	125	90	70

종별	A	B	C
아연 부착량	두터운 도금	엷은 도금	극히 엷은 도금

구분	구성 소선수	강연선 계산 바깥지름 (mm)	강연선 계산 단면적 (mm^2)	강연선 인장하중 TON			단위중량 kg/m
호별	표준 소선지름 (mm)			1종	2종	3종	
1호	3/4.00	8.6	37.7	4.34	3.12	2.43	298
	3/4.30	9.3	43.6	5.01	3.61	2.81	344
	3/4.50	9.7	47.7	5.49	3.95	3.08	377
2호	7/4.30	12.9	102.0	11.7	8.41	6.54	805
	7/4.50	13.5	111.2	12.8	9.20	7.16	882
	7/5.00	15.0	137.5	15.8	11.40	8.85	1090
1호	19/3.20	16.0	153	17.2	12.4	9.64	1210
	19/3.50	17.5	183	20.6	14.8	11.5	1450
	19/4.00	20.0	239	26.8	19.3	15.05	1900

9. Galv.Steel Strand & S.S Cable

가. Steel Strand

■ 제품 규격

(1) ASTMA 475

Diameter	WIRE NO.	Wire Diameter	Weight	Breaking Load(EHS 4%)
mm		mm	kg/100m	KGF
5.56	3	2.64	131.0	2223
5.56	7	2.64	145.8	2449
6.35	3	3.05	174.1	3057

(2) JIS G 3537

Dia. Of Strand	No. of Wire /Dia. of Strand	Cross Section Strand	Minimum Breaking Load			Approx. Weight
			Grade 1	Grade 2	Grade 3	
mm	mm	mm	KN	KN	KN	kg/km
11.4	7/3.8	79.3	89.6	64.4	50.1	628
12.0	7/4.0	88.0	99.1	71.4	55.6	696
12.9	7/4.3	102.0	115.0	82.8	64.4	805

나. SS Cable

■ 제품 규격

Dia. Of Strand	No. of Wire /Dia. of Strand	Min. B/L	Minimum Elongation	Minimum Zinc Weight	Maximum Length /Real	Approx. Weight
mm	mm	KN	%	g/m^2	M	kg/km
6.0	7/2.0	24.8	4.0	200.0	10,000	174
6.9	7/2.3	32.8	4.0	220.0	10,000	230
7.8	7/2.6	42.0	4.0	220.0	10,000	294

Ⅶ 성진 와이어 로프

❍ 와이어 로프

1. 일반연 로프

■ 제품 규격

(1) 6×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	IPS	EIPS	
19.05				20.6	22.6	125.0
20	21.5	24.2	26.5			148.0
22.23				27.8	30.7	171.1
22.4	27.0	30.4	33.2			173.8

(2) 6×19

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Ton)						단위중량 (kg/100m)	
	FC			IWRC				
mm	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	FC	IWRC
20	20.5	22.0	23.5	22.0	24.2	26.4	146.0	162.0
22.4	25.7	27.6	29.5	27.6	30.3	33.1	194.9	214.6
24	29.5	31.7	33.9	31.6	34.8	38.0	210.0	233.0

(3) 6×24

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Ton)			단위중량 (kg/100m)
mm	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	
22.4	23.3	25.2	27.5	167.0
24	26.8	28.9	31.5	191.0
25	29.1	31.4	34.2	205.4

(4) 6×37

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Ton)						단위중량 (kg/100m)	
	FC			IWRC				
mm	G종 (1470N $/mm^2$)	A종 (1620N $/mm^2$)	B종 (1770N $/mm^2$)	G종 (1470N $/mm^2$)	A종 (1620N $/mm^2$)	B종 (1770N $/mm^2$)	FC	IWRC
20	21.7	23.1	25.1	23.2	25.3	27.4	144.0	160.0
22.4	27.2	29.0	31.4	29.1	31.7	34.4	192.0	211.3
24	31.2	33.3	36.1	33.4	36.0	39.4	207.0	230.0

2. 평행연 로프

■ 제품 규격

(1) 6×S19, 6×W19, 6×Fi25, 6×WS26

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	EIPS	EEIPS	
19.05				23.8	26.1	141.4
20	22.2	23.6	25.7			154.0
22.23				32.1	35.4	192.0
22.4	27.8	29.7	32.2			194.0

(2) IWRC 6×S19, IWRC 6×W19, IWRC 6×Fi25, IWRC 6×WS26

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	EIPS	EEIPS	
18	20.5	21.8	23.6			139.0
19.05				26.7	29.4	154.8
20	25.4	27.0	29.2			172.0

(3) 6×Fi29, 6×WS31, 6×WS36, 6×WS41, 6×SeS37

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	EIPS	EEIPS	
18	18.4	19.6	21.2			128.0
19.05				23.8	26.1	141.4
20	22.6	24.2	26.2			158.0
22.23				32.1	35.4	192.0
22.4	28.4	30.3	32.8			191.8

(4) IWRC 6×Fi29, IWRC 6×WS31, IWRC 6×WS36, IWRC 6×WS41, IWRC 6×SeS37

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	EIPS	EEIPS	
18	21.0	22.4	24.3			143.0
19.05				26.7	29.4	154.8
20	26.0	27.7	30.0			176.0

3. 비자전 로프

■ 제품 규격

(1) 18×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	IPS	EIPS	
18	18.2	19.8	21.5			130.0
19.05				20.9	23.0	144.4
20	22.3	24.4	26.4			160.0
22.23				28.3	31.4	196.4

(2) 19×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	IPS	EIPS	
18	19.5	21.3	23.0			150.0
19.05				20.9	23.0	151.8
20	24.0	26.2	28.3			185.0
22.23				28.3	31.4	206.9

(3) 34×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	IPS	EIPS	
18	18.1	19.8	21.4			132.0
19.05				20.9	23.0	147.1
20	22.4	24.4	26.5			163.0
22.23				28.3	31.4	193.0

(4) 35×7

로프 직경 (mm)	최소절단하중(Metric Ton)					단위중량 (kg/100m)
	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	IPS	EIPS	
18	19.3	21.0	22.8			139.0
19.05				20.9	23.0	156.1
20	23.8	25.9	28.0			172.0
22.23				28.3	31.4	212.7

4. 면접촉 로프

■ 제품 규격

(1) 6×P·S19, 6×P·Fi25, 6×P·WS26

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)				단위중량 (kg/100m)	
	FC		IWRC			
mm	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	FC	IWRC
16	16.6	18.0	18.8	20.6	108.0	119.0
18	21.1	22.6	23.7	26.1	137.0	151.0
19.05	23.6	25.4	26.5	29.2	153.5	169.1
20	26.0	28.0	29.3	32.2	169.0	187.0

(2) 6×P·F29, 6×P·WS31, 6×P·WS36

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)				단위중량 (kg/100m)	
	FC		IWRC			
mm	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	FC	IWRC
16	16.7	18.0	18.9	20.6	108.8	120.3
18	21.1	22.6	23.9	26.1	197.7	152.3
19.05	23.7	25.3	26.8	29.2	154.2	170.6
20	26.1	28.0	29.5	32.2	170.0	188.0

(3) 8×P·S19, 8×P·Fi25

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)			단위중량 (kg/100m)
mm	G종 (1470N/mm^2)	A종 (1620N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	
20	19.6	21.5	23.0	150.0
22.4	24.6	27.0	28.9	188.0
25	30.6	33.7	35.9	234.0

(4) 19×P·7, 35×P·7

로프 직경	최소 절단 하중(Metric Tons)				단위중량 (kg/100m)	
	19×P·7		35×P·7			
mm	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	B종 (1770N/mm^2)	C종 (1910N/mm^2)	19×P·7	35×P·7
16	16.7	18.0	18.9	20.6	108.8	120.3
18	21.1	22.6	23.9	26.1	197.7	152.3
19.05	23.7	25.3	26.8	29.2	154.2	170.6
20	26.1	28.0	29.5	32.2	170.0	188.0

5. Swaged 로프

■ 제품 규격

(1) 6×WS26

로프 직경	최소 절단 하중 (Metric Tons)		단위중량(kg/100m)	
mm	NORMAL	SUPER	NORMAL	SUPER
15.88	21.9	24.0	127.0	140.0
16	22.2	24.4	129.0	142.0
18	28.1	30.9	165.0	182.0

6. Cable Laid

■ 제품 규격

(1) 7×7×7, 7×7×S19

로프 직경	최소 절단 하중 (Metric Tons)		단위중량(kg/100m)	
mm	7×7×7	7×7×S19	7×7×7	7×7×S19
15.88	14.6		86.30	
19.05		21.4		131.0
22.23		28.4		177.1

7. 스텐 와이어 로프

가. 세물 케이블

■ 제품 규격

(1) 1×7, 1×19

공칭 지름	Cable Dia 허용차	1×7			1×19		
		최소파단력(KN)		표준중량 (참고치)	최소파단력(KN)		표준중량 (참고치)
mm	mm	304	316	(kg/100m)	304	316	(kg/100m)
5.00	5.00~5.20	24.9	21.4	13.0000	23.1	20.6	12.7500
5.56	5.56~5.78	30.8	26.5	16.0751	28.0	25.5	15.7659
6.00	6.00~6.24	33.0	30.8	18.7200	32.6	29.7	18.3600

(2) 7×7, 7×19

공칭 지름	Cable Dia 허용차	7×7			7×19		
		최소파단력(KN)		표준중량 (참고치)	최소파단력(KN)		표준중량 (참고치)
mm	mm	304	316	(kg/100m)	304	316	(kg/100m)
5.00	5.00~5.20	16.5	14.1	10.5000	18.2	13.0	10.2500
5.56	5.56~5.78	18.8	17.4	12.9837	22.2	16.1	12.6746
6.00	6.00~6.24	22.0	20.2	15.1200	25.9	18.8	14.7600

나. 중물 케이블

■ 제품 규격

(1) 6×19, 6×S(19)

공칭 지름	Cable Dia 허용차	6×19			6×S(19)		
		최소파단력(KN)		표준중량 (참고치)	최소파단력(KN)		표준중량 (참고치)
mm	mm	304	316	(kg/100m)	304	316	(kg/100m)
8.0	8.00~8.32	37.5	33.3	26.2400	39.4	35.9	27.2000
10.00	10.00~10.40	58.5	52.1	41.0000	61.8	56.1	42.5000
11.11	11.11~11.55	70.8	64.3	50.6072	76.2	69.2	58.4587

(2) 6×Fi(25), 6×WS(36)

공칭 지름	Cable Dia 허용차	6×Fi(25)			6×WS(36)		
		최소파단력(KN)		표준중량 (참고치)	최소파단력(KN)		표준중량 (참고치)
mm	mm	304	316	(kg/100m)	304	316	(kg/100m)
10.00	10.00~1.040	62.5	57.2	42.5000	61.5	55.9	43.0000
11.11	11.11~11.55	77.2	70.6	52.4587	75.9	69.0	53.0758
12.00	12.00~12.48	90.0	82.4	61.2000	88.6	80.5	61.9200

다. 특수용도 케이블

(1) 1×37, 18×7, 19×7

공칭 지름	Cable Dia 허용차	1×37			18×7			19×7		
		최소 파단력 (KN)		표준 중량 (kg/	최소 파단력 (KN)		표준 중량 (kg/	최소 파단력 (KN)		표준 중량 (kg/
mm	mm	304	316	100m)	304	316	100m)	304	316	100m)
12	12 ~12.48				81.0	72.0	57.6	83.4	74.1	60.4
16	16 ~16.64				144.2	127.5	102.4	148.1	131.4	107.5
18	18 ~18.72				182.4	162.8	129.6	187.3	166.7	136.0

8. 엘리베이터 로프

■ 제품 규격

(1) 8×S(19), 8×W(19), 8×Fi(25)

로프 지름(mm)	파단하중(KN)		단위무게(kg/m)
	E종(비도금)	A종(비도금)	
20	162	192	1.37
22.4	204	241	1.72
25	254	301	2.14

❍ 섬유 로프

1. 만라인 로프

■ 제품 규격

굵기	만라인, 모노 3연, 4연					만라인, PP모노 8연		
직경 (mm)	중량 (kg)	인장강도(톤)				중량 (kg)	인장강도(톤)	
		M-연도		MS-연도				
		최소	평균	최소	평균		최소	평균
42	167.0	18.5	20.4	22.5	24.7	160	25.0	27.5
45	191.0	20.7	22.6	25.0	27.5	184	26.4	31.2
48	218.0	23.6	26.0	26.6	31.4	208	31.8	35.0
50	236.0	25.5	28.0	31.0	34.0	226	34.3	37.7
52	256.0	27.3	30.0	33.2	36.5	244	36.9	40.6

2. PP 멀티 로프

■ 제품 규격

굵기	PP멀티 3연,4연					PP멀티 8연		
직경 (mm)	중량 (kg)	인장강도(톤)				중량 (kg)	인장강도(톤)	
		M-연도		MS-연도				
		최소	평균	최소	평균		최소	평균
42	167.0	18.5	20.4	22.5	24.7	167	22.6	24.4
45	191.0	20.7	22.8	25.0	27.5	191	25.6	26.5
48	218.0	23.6	26.0	28.8	31.4	218	26.6	30.9
50	236.0	25.5	28.0	31.0	34.1	238	30.9	33.4
52	256.0	27.3	30.0	33.2	36.5	258	33.1	35.7

3. 나이론 로프

■ 제품 규격

굵기	나이론 3연, 4연			나이론 8연		
직경 (mm)	중량 (kg)	인장강도(톤)		중량 (kg)	인장강도(톤)	
		최소	평균		최소	평균
32	123.0	20.0	22.4	123	22.0	24.2
34	139.0	22.6	25.3	139	24.8	27.2
36	155.0	24.9	27.9	155	27.7	30.4
38	174.0	27.4	30.7	174	31.2	34.3

4. 마 로프

■ 제품 규격

직경(mm)	마로프	
	중량(kg)	인장강도(kg)
70	674.0	30.6
75	773.0	35.4
80	880.0	38.8

5. 슬링용 로프

■ 제품 규격

직경(mm)	중량(kg)	인장강도(톤)	
		하이만	만라인
34	105	19.6	16.9
36	118	21.9	18.6
38	130	23.9	20.6

부록 B

케이블-도르래 조합형
내진보강 시스템 개발을 위한
케이블 소재 분석
(합성섬유 소재를 중심으로)

한국시설안전공단
KOREA INFRASTRUCTURE SAFETY CORPORATION

전문가활용보고서

케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발을 위한 케이블 소재 분석 (합성섬유 소재를 중심으로)

2018. 09. 28.

University of Texas at Austin

Jaeho Ryu, Ph.D

제 출 문

본 보고서를 "제진성능 향상(30%이상)을 위한 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템 개발" 연구의 전문가활용보고서로 제출합니다.

2018. 09.

University of Texas at Austin

Jaeho Ryu, Ph.D

목 차

1. 합성섬유 및 로프 개요 ····· 4

1.1. 합성섬유 종류 ····· 4
1.2. 합성섬유 응용분야: 로프(Rope) ····· 4
1.3. 합성섬유 로프 특징_장점 ····· 7

2. 합성섬유 및 로프의 재료적 특징 ····· 8

2.1. Para-aramid 섬유 & 로프 ····· 8
2.2. HMPE (high modulus polyethylene) 섬유 & 로프 ····· 16
2.3. LCP (liquid crystal polymer) 섬유 & 로프 ····· 22
2.4. PBO (poly-p-phenylenebenzobisoxazole) 섬유 & 로프 ····· 25
2.5. 탄소 섬유 & 로프 ····· 29

3. 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템에 적합한 합성섬유/로프 제안 및 유의사항 ····· 34

3.1. 합성 및 탄소섬유(or 로프) 비교 평가 ····· 34
3.2. 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템에 적합한 합성로프 제안 43

References ····· 46

1. 합성섬유 및 로프 개요

1.1. 합성섬유 종류

1930년대 나일론 폴리아미드계 섬유가 최초의 합성섬유로 개발된 이래, 더 높은 강도와 더 뛰어난 내구성을 지닌 섬유에 대한 요구 증대와 함께 새로운 합성섬유에 대한 개발이 활발히 진행되었다. 그 노력의 일환으로 폴리에스테르, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌 계열 등의 다양한 섬유들이 개발되었으며, 해당 섬유들은 평균 500 데니어(denier) 이상의 굵기와 7-15 gpd(grams per denier)의 강도(tenacity)를 가지는 특징을 나타냈다.

이후, Kevlar®, Technora®, Twaron®과 같은 파라-아라미드 계열의 섬유가 개발이 되었으며, 이 섬유들은 기존 섬유들에 비해 더 높은 강도(15 gpd 이상)와 탄성계수를 가지는 특징을 나타냈다. 그와 동시에, 또 다른 소재 기반의 고강도/저신장(high strength/low elongation) 특성의 합성섬유들이 시장에 나타나게 되었으며, 그 상세는 다음과 같다.

- HMPE (high modulus polyethylene) 섬유: Dyneema®, Spectra®
- LCP (liquid crystal polymer) 섬유: Vectran®
- PBO (polypara-phenylene bisoxazole) 섬유: Zylon®

이외에도 1960년대부터 개발되어 상업화되기 시작한 탄소섬유(carbon fiber) 역시 높은 인장강도, 가벼운 무게, 낮은 열팽창률 등의 특성을 기반으로 항공우주산업, 토목·건축, 군사, 자동차 및 각종 스포츠 분야의 소재로 매우 널리 활용되고 있다.

1.2. 합성섬유 응용분야: 로프(Rope)

이렇게 개발된 합성섬유들은 상기 언급한 바와 같이 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 특히 건축·토목 및 스포츠 분야에서 필요로 하는 로프 제작은 그 대표적 응용분야 중 하나이다. 각각의 섬유로프(fiber rope)들은 그 섬유를 어떻게 엮어 구성

하느냐에 따라 완성된 로프의 특성이 달라지는 특징이 있다. 이에 구성요소인 섬유를 엮는 방식에 따라 twisted, braided, 그리고 parallel lay 방식과 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있으며, 각각의 방식 내에서도 사용된 strand와 braid의 개수에 따라 로프의 종류를 구분 지을 수 있다.

가장 먼저 twisted lay 방식은 가장 오래된 로프 제작 방식으로, 가장 작은 단위의 yarn을 한 방향으로 엮어서 plied yams을 만들고, 다시 이 plied yams을 엮어 strand를, 그리고 다시 이 strand를 엮어 최종적으로 로프를 완성한다(그림 1(a)). 이 방식의 경우, 각 요소를 엮을 때 인장력 하에서 로프 내 토크가 발생되기 때문에, 완성된 로프가 다소 저강도화될 수 있다는 단점을 내포하고 있다.

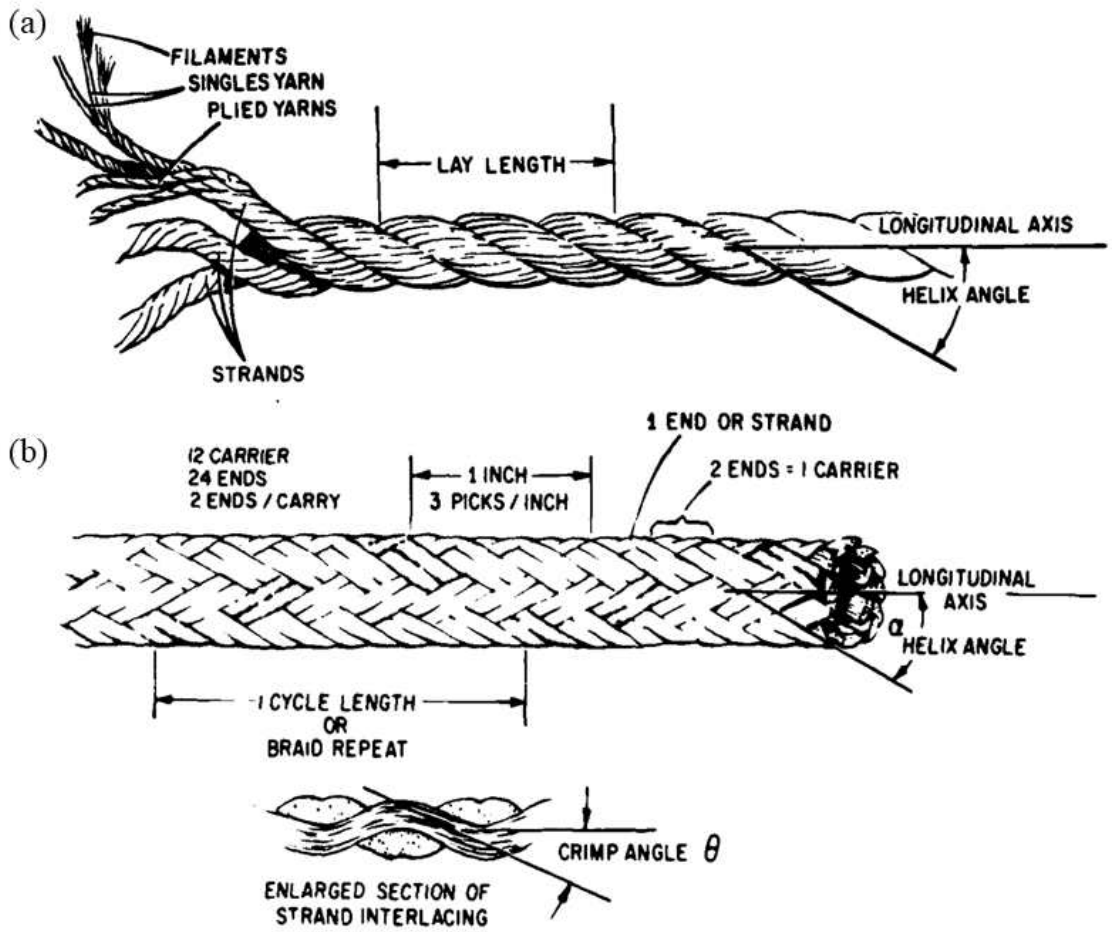


그림 1 (a) Strand twisted rope(or 3-strand rope); (b) Tubular diamond braided rope

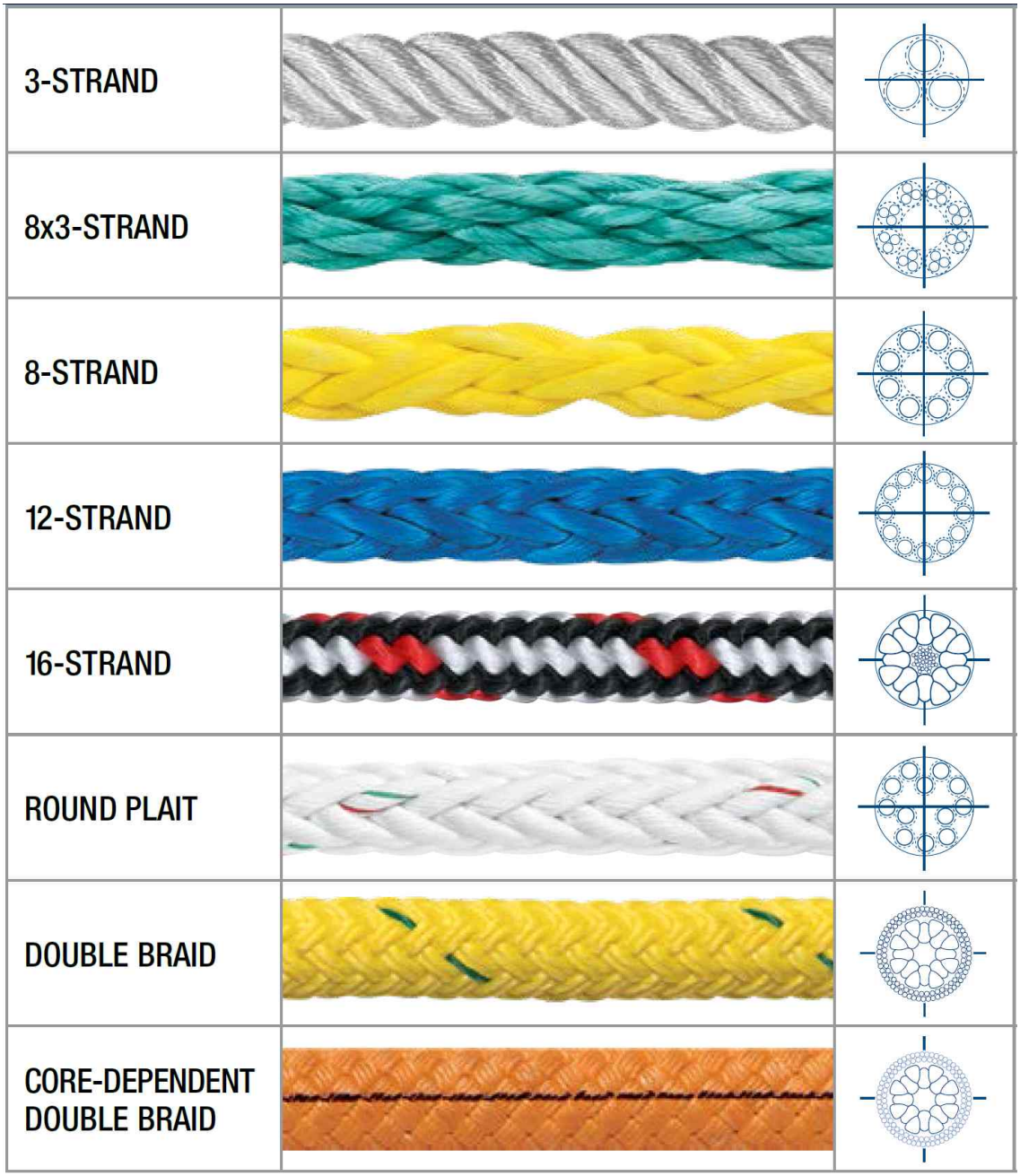


그림 2 다양한 Rope Construction

Braided lay 방식은 동일한 수의 yarns이나 strands를 서로 엇갈리게 엮어서 로프를 제작하는 방식이다(그림 1(b)). 즉, twisted lay 방식이 한 방향으로만 구성요소들을 엮어서 로프를 형성한다면, 이 braided lay 방식은 왼쪽과 오른쪽 방향으로 동일한 수의 yarns이나 strands가 서로 엇갈려 엮이는 것이 특징이다. 이 때문에 기존의 twisted lay 방식과 비교해 더 강도가 높고 강성이 뛰어난 로프를 제작할 수 있

다는 장점이 있다. 그러나 이러한 복잡한 제작 방식 때문에 로프 제작 시 braid angle 또는 crimp angle 등과 같이 고려해야 될 변수가 더 많으며, 도르래 적용 시 표면 접촉이나 구성 yarns들 사이의 접촉마찰 등에 의한 섬유 손상이 발생할 가능성이 높은 단점이 있다. 그림 2에 각종 twisted 로프와 braided 로프의 형상을 정리하여 나타냈다.

마지막으로 Parallel lay 방식은 로프를 구성하고 있는 strands 또는 yarns을 로프의 길이방향으로 모두 평행하게 배열하는 것을 주요 특징으로 한다. 이 방식을 채택할 경우, 구성요소들 사이의 엮임을 통해 불가피하게 발생할 수밖에 없는 공간이나 요소들 간의 마찰 등이 최소화되기 때문에 최대 인장강도와 최소 신장률을 얻을 수 있는 장점이 있다. 즉, 섬유(fiber) 하나가 가지는 재료적 특성과 거의 유사한 성질을 가지는 로프를 얻을 수 있다. 그러나 구성 요소들(strands 또는 yarns) 하나하나에 균일한 힘이 가해질 수 있도록 주의하여 제작해야 하며, 요소들 사이에 서로 엮이는 부분이 없기 때문에 이를 전체적으로 감싸서(jacket) 로프를 제작하는 것이 필요하다. 또한, 휨이 크게 발생되는 곳에는 본 방식의 로프를 사용하는 것이 추천되지 않는다. 그것은 휨에 의해 내부 요소들의 위치에 따라 받는 응력의 차이가 크게 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 이를 고려하기 위해 휨반경에 대한 제한이 주어지며, 일반적으로 로프 지름의 대략 24배 정도로 규정하고 있다.

1.3. 합성섬유 로프 특징_장점

이러한 합성섬유(또는 탄소섬유)로 만들어진 로프(fiber rope)는 일반 강와이어(Steel wire) 로프에 비해 2-10배까지 무게 면에서 경량(강와이어에 비해 보편적으로 Para-aramid는 1/5, HMPE는 1/8의 밀도를 가짐)이기에 현장에서 쉽게 다룰 수 있으며, 그와 관련된 장비나 하드웨어들의 사이즈를 줄일 수 있는 장점이 있다. 이를 통해, 요구되는 인력 수요를 줄일 수 있으며, 작업자들의 부상에 대한 우려 또한 감소시킬 수 있다. 또한 부식을 염려한 그리즈(grease) 작업을 별도로 요구하지 않는다. 이러한 장점들 때문에 최근 해양 관련 산업분야 이외에도 건축·토목과 같은 건설 분야에서도 그 쓰임이 날로 늘어나고 있는 추세이다.

본 문헌에서는 현재까지 개발된 다양한 섬유로프들의 재료적 특성을 기존 연구 논문 및 기업 브로셔를 기반으로 비교·분석하였으며, 이를 통해 개발될 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템에 해당 섬유로프들의 적용가능성을 검토하고자 하였다.

2. 합성섬유 및 로프의 재료적 특징

2.1. Para-aramid 섬유 & 로프

파라계 아라미드 섬유는 방향족 고리 사이에 Amid결합(-NHCO-)이 para형(방향족 화합물의 1,4번 위치에 치환기가 위치하는 것_그림 3)으로 적어도 85% 이상 결합한 분자구조를 가진 섬유를 일컫는다. 이 섬유는 강철보다 높은 인장강도와 뛰어난 탄성률, 500℃에서도 타지 않는 내열성과 화학 약품에 강한 내성을 주요 특징으로 하는 Super 섬유이다(그림 4). 이러한 재료적 특징을 바탕으로 방탄 관련 제품(방탄헬멧, 방탄조끼), 광케이블 및 로프, 자동차 부품 등으로 활용되고 있다(그림 5).

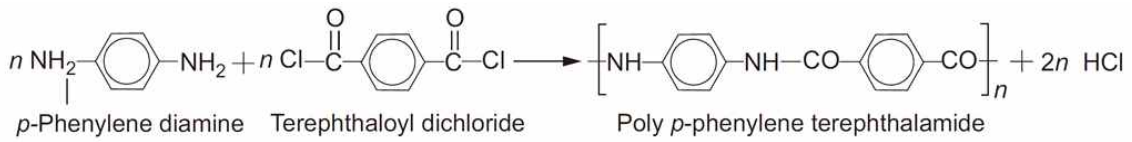


그림 3 Para-aramid polymer 제조

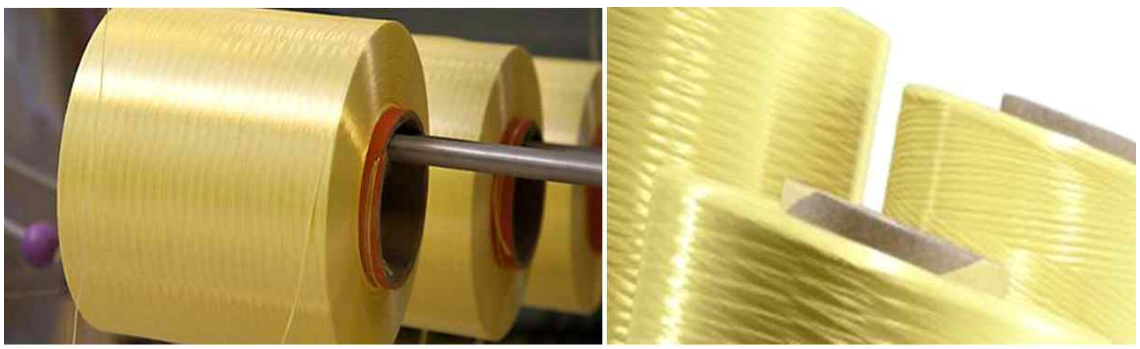


그림 4 (a) Kevlar® Filament Yarn; (b) Twaron® Filament Yarn



그림 5 Para-aramid 섬유의 적용 사례

2.1.1. Para-aramid FIBER properties

파라아라미드 계열의 섬유로는 1971년 미국 DuPont사에 의해서 개발된 Kevlar®, 일본 Teijin사에서 각각 1982년과 1987년에 개발된 Twaron®와 Technora®가 대표적이다. 이 파라아라미드 계열 섬유는 그림 4에 나타낸 것과 같이 주로 황금빛 계열의 색을 나타내는 특징이 있다.

표 1과 표 2에 걸쳐 DuPont사의 Kevlar®와 Teijin사의 Twaron®과 Technora®의 기계적·열적 재료 특성을 정리하여 나타냈다. 그림 6은 Kevlar®를 포함한 다른 재료들의 응력-변형률 관계를 비교하여 나타낸 그래프이다.

표 1 Kevlar® 아라미드 Yarns의 기계적·열적 주요 특성

Properties	Fiber	
	Kevlar®29	Kevlar®49
Type (denier)	1,500	1,140
Density (g/cm^3)	1.44	1.44
▶ Straight test on conditioned yarns		
Breaking strength (N)	338	264

Properties (계속)	Fiber	
	Kevlar®29	Kevlar®49
Breaking tenacity (GPa)	2.92	3.0
Tensile Modulus (MPa)	70,500	112,400
Elongation at break (%)	3.6	2.4
▶ Resin impregnated strands		
Tensile strength (GPa)	3.6	3.6
Tensile modulus (MPa)	83,000	124,000
Specific heat (J/(kg·K))_25℃	1,420	1,420
Maximum temperature range for use in air (℃)	149-177	149-177
Decomposition temperature in air (℃)	427-482	427-482
Heat of combustion (J/kg)	35×10^6	35×10^6
Flammability (LOI, %)	29	29

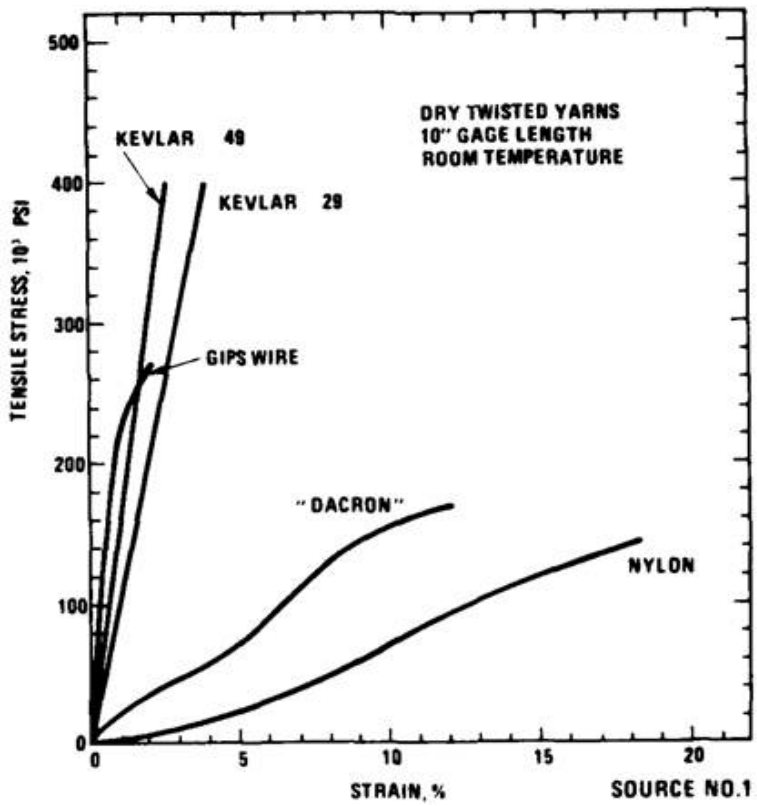


그림 6 Kevlar® 섬유 및 그 외 다양한 재료 섬유들의 응력-변형률 관계도

표 2 Twaron®와 Technora® 섬유의 기계적·열적 특성

Properties	Fiber	
	Twaron	Technora
Density (g/cm^3)	1.44-1.45	1.39
Tensile strength (GPa)	2.4-3.6	3.4
Tenacity (N/tex)	1.65-2.5	2.5
Modulus (GPa)	60-120	74
Elongation at break (%)	2.2-4.4	4.5
Moisture (% wt.)	3.2-5	1.9
Decomposition or melting temperature (℃)	500	500
Flammability (LOI, %)	29-37	25

Kevlar®의 경우, 섬유의 밀도는 1.44 g/cm^3 정도로 강재(7.85 g/cm^3)에 비해 약 5.5배 정도 가벼운 것을 확인할 수 있다. 섬유의 강도를 평가하는 기준인 tenacity 측면에서 보면, 그 크기가 약 3,000 MPa에 이를 정도로 고강도의 특성을 나타냈으며, 탄성계수의 경우, 제품의 사양에 따라 70,500 MPa에서 124,000 MPa에 걸쳐 분포하는 것으로 나타났다. 이는 강재 탄성계수 200 GPa과 비교하였을 때, 절반 또는 그 이하 수준에 해당하는 성능임을 확인할 수 있다. 그러나 이러한 아라미드 강성은 다른 합성섬유인 나일론66(약 5,500 MPa)이나 폴리에스테르(약 13,800MPa)의 탄성계수에 비해 상당히 큰 강성을 가지는 것을 그림 6을 통해 확인할 수 있다.

표 2에서 확인되는 바와 같이, 일본 Teijin사의 Twaron®과 Technora®의 경우도, Kevlar®와 유사한 특징을 가지는 것을 확인할 수 있다. 섬유의 밀도는 1.39-1.45 g/cm^3 정도로 Kevlar® 섬유의 1.44 g/cm^{3}와 비슷한 수준을 나타냈으며, 인장강도의 경우에는 제품에 따라 최소 2,400 MPa에서 최대 3,600 MPa에 이르는 고강도 특성을 나타냈다. 섬유의 변형정도를 가름할 수 있는 탄성계수의 경우, 60-120 GPa 수준의 강성을 나타냈으며, 최종 섬유 파단 시 신장률은 최소 2.2%에서 최대 4.5%에 이르는 것으로 나타났다.

2.1.2. Para-aramid ROPE properties

1장에서 언급한 바와 같이, 섬유로프(fiber rope)는 그 구성요소들(yarns 또는 strands)을 어떠한 방식으로 엮느냐에 따라 제작된 로프의 기계적 성질이 달라질 수 있다. 표 3-4에 걸쳐 파라아라미드 섬유를 기반으로 제작된 로프의 기계적 성질을 정리하여 나타냈다. 표 3는 Kevlar® 섬유를 적용한 Cable-Design Twisted rope (or 3-strand rope)에 대한 특성을 나타낸 것으로 제품 표기 시 2가지 숫자를 사용한다. 첫 번째 숫자는 로프에 사용된 strands의 숫자를 나타낸 것이고, 기호 '×' 뒤에 위치하는 두 번째 숫자는 strands에 사용된 yarns이나 ends의 숫자를 나타낸다. 예를 들어, 표에 나타낸 '7 × 7'은 7개의 strands를 엮어서 로프를 제작하였으며, 그 하나의 strands는 7개의 ends로 구성이 되었다는 의미이다. 표 4은 Technora® 섬유를 이용하여 제작한 12-strand braided rope의 인장력 하에서의 특징을 나타낸 것이다.

표 3 Kevlar®29 아라미드 로프(Cable-Design Twisted)의 재료 특성

Construction	Nominal diameter		Breaking load		Breaking strength		Weight
	(in.)	(mm)	(lb)	(N)	(psi)	(MPa)	(lb/1000ft)
1 × 7	0.127	3.2258	2,100	9,341	165,776	1,143	6
1 × 19	0.127	3.2258	1,800	8,006	142,094	980	5.5
1 × 19	0.196	4.9784	4,500	20,016	149,146	1,028	13.5
7 × 7	0.195	4.953	4,000	17,792	133,937	923	14
7 × 7	0.425	10.795	15,000	66,720	105,736	729	49
19 × 7	0.45	11.43	17,500	77,840	110,033	759	48
19 × 7	0.51	12.954	22,000	97,856	107,694	742	72

제시된 두 표에서 살펴볼 수 있듯이, 로프의 인장강도는 그 구성요소(strands 또는 yarns)의 크기 및 엮임 방식 등에 따라 나타나는 인장강도가 천차만별이라는 것을 확인할 수 있다. 이와 중에 나타나는 로프 인장강도의 일반적인 경향은 단면적이 증가할수록 그에 저항할 수 있는 하중의 크기는 증가하지만 그에 상응하는 응력의 크기는 되려 작아진다는 것이다. 또한, 제작된 로프들의 인장강도는 일반 섬유 하나의

인장강도(약 3,000 MPa)에 비해 평균적으로 1/3 수준(약 1,000 MPa)으로 확인되었으며, 최대 24%(약 720 MPa)까지 작아질 수 있다는 사실을 제시된 표들을 통해서 확인할 수 있다.

표 4 Technora® 섬유로 제작된 로프(12-strand braied)의 인장재료 특성

Product Number	Nominal diameter		Breaking load		Breaking strength		Weight
	(in.)	(mm)	(lb)	(N)	(psi)	(MPa)	(lb/1000ft)
TECH04 COA	1/8	3.2	3,400	15,127	277,057	1,881	7
TECH06 COA	3/16	4.8	5,800	25,800	210,056	1,426	13
TECH08 COA	1/4	6.4	8,400	37,376	171,123	1,162	19
TECH10 COA	5/16	7.9	13,300	59,174	173,405	1,207	32
TECH12 COA	3/8	9.5	18,100	80,540	163,880	1,136	43

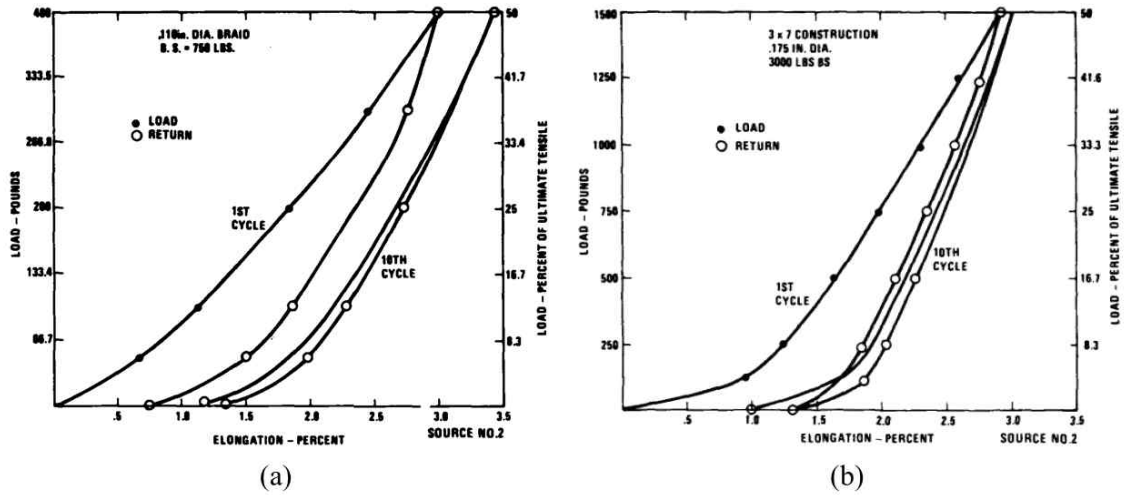


그림 7 하중-신장률 관계 그래프: (a) Kevlar®29 braided rope; (b) 3 × 7 cable design rope (or 3-strand rope)

그림 7은 Kevlar®섬유로 제작된 로프들의 하중-신장률 관계를 나타낸 그래프이다. 해당 그래프를 이용하여 실험에 사용된 로프의 탄성계수 값을 유추해 볼 수 있다. 그 결과, braided rope의 경우, 첫 번째 하중 사이클 내 1.12%-3.0% 사이의 신장률을 기준으로 계측한 탄성계수가 약 11,662 MPa (1,691 ksi)이었으며, 10번째 사

이클에서는 2.2%-3.4% 사이 신장률 지점을 기준으로 계측한 탄성계수가 약 17,240 MPa (2,500 ksi)로 나타났다. 첫 번째 사이클에 비해서 10번째 사이클에서 47.8% 증진된 강성의 크기를 나타냈다.

그림 7(b)에 나타난 Cable design rope의 경우에도, 첫 번째 하중 사이클 1.6%-2.9% 사이의 신장률을 기준으로 측정한 탄성계수가 약 22,495 MPa (3,263 ksi)이었으며, 마지막 10번째 사이클 중 2.0%-3.0% 사이에서 계측된 탄성계수 값은 약 32,963 MPa (4,781 ksi)로 나타났다. 해당 로프 역시 첫 번째 사이클에 비해 10번째 사이클에서 계측된 탄성계수가 46.5% 증가된 것을 확인해 볼 수 있다. 이처럼 로딩 사이클 횟수 증가에 따른 로프의 강성 증가현상은 로프 설치 시 고려해야 하는 bedding-in process와 연관이 있다. 즉 로프 설치 시, 로프 내부에 위치하는 공극을 최소화하기 위해 하중을 가하여 로프를 압밀시키는 과정이 바로 그것인데, 본 실험에서 하중 반복이 가해질수록 이러한 bedding-in process 과정이 진행되었으며, 이에 따라 로프의 잔류 변형이 발생하면서 로프의 강성이 더욱 강해지는 특징을 나타낸 것으로 이해할 수 있다.



그림 8 Technora®로 제작된 로프: 16 × 2 braided lay rope

Davies 외 3인 (2011)은 아라미드 로프와 추후 다루게 될 HMPE 로프에 대한 기계적 특징에 대해 연구를 진행한 바 있다. 해당 연구에서는 일본 Teijin사의 Technora®로 제작된 로프가 실험에 사용되었다. 그림 8에 보이는 것과 같이, 해당 로프는 16 × 2 strand braided rope 형태로 주위에 폴리에스테르 커버에 의해 둘러쌓여 있다. 본 실험에서는 bedding-in process에 최대절단하중(maximum breaking load)의 몇 %의 하중을 고려하느냐에 따라 추후 안정화된 로프의 강성이 어떻게 달라지는 지를 비교하여 평가하였다. 그 결과를 그림 9에 나타냈다. 그림에서 x축에 놓

인 것이 사전에 bedding-in을 위해 가한 하중의 크기로 본 실험에서는 500 kN이 최대절단하중이다. 예를 들어, x축에 나타난 50은 최대절단하중의 10%만큼의 하중을 bedding-in을 위해 사전에 로프에 가했다는 것을 의미한다. 참고로 ISO 기준에는 최대절단하중의 50%를 bedding-in 하중으로 가한 후 30분 고정시간을 가진 후 하중을 제거하는 것을 권고하고 있다.

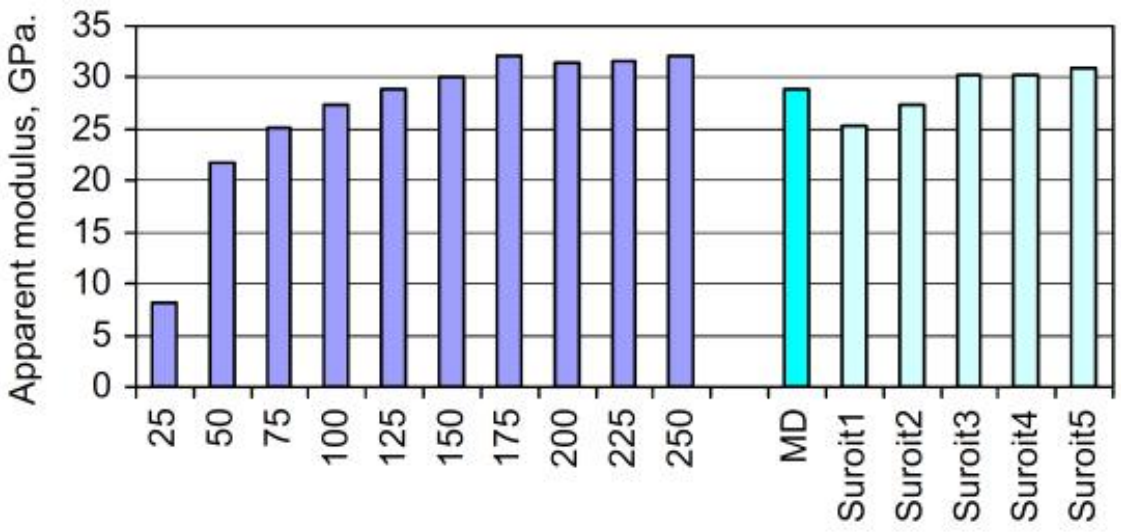


그림 9 Technora® 16 × 2 braided 로프의 beddding-in을 위한 초기 하중에 따른 탄성계수의 변화

그림 9에 나타난 Technora® 16 × 2 braided 로프의 탄성계수는 bedding-in을 위해 가한 하중이 증가함에 따라 약 31-32 GPa에 수렴해 가는 것을 확인해 볼 수 있다. 이는 앞서 조사한 Kevlar® cable design rope의 10회 사이클릭 로딩 후 나타난 탄성계수의 크기와 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 실제 아라미드 로프의 탄성계수 값을 32 GPa 정도로 가정한다고 하였을 경우, 섬유 하나의 강성인 70 GPa과 비교하였을 때, 섬유 강성의 약 45% 정도의 수준으로 로프의 강성이 감소되는 것을 확인해 볼 수 있다.

2.2. HMPE (high modulus polyethylene) 섬유 & 로프

HMPE (high modulus polyethylene)는 본래 초고분자량 폴리에틸렌(UHMWP, Ultra-high-molecular-weight polyethylene)의 또 다른 표현으로, 이 물질은 3.5-7.5백만 amu(unified atomic mass unit) 정도의 고분자량을 가지는 선형 폴리에틸렌을 일컫는다. 이 플라스틱의 경우, 분자들이 매우 긴사슬로 연결되어 있으며, 이 긴 사슬은 분자간의 상호작용을 강화시켜 중합체의 연결고리들에 하중을 더욱 효과적으로 전달하는 역할을 한다. 이로 인해 매우 견고한 특성을 나타내며, 현존하는 열가소성 플라스틱 중 가장 뛰어난 내충격성을 지닌 재료로 여겨지고 있다.

본 재료는 섬유 형태로 가공되어, 앞서 살펴본 아라미드 섬유와 같이, 로프나 방탄 및 스포츠 용품에 널리 적용되고 있다. 뿐만 아니라, 의학용 재료로서 엉덩이, 무릎 관절 부위에 사용되는 인플란트, 각종 내마모성이 요구되는 기계부속품이나 PVC 창틀/문, 그리고 해양 구조물 등 다양한 범위에서 그 적용 사례를 찾아볼 수 있다(그림 10).



그림 10 HMPE 소재의 적용 사례

2.2.1. HMPE FIBER properties

HMPE로 제조된 섬유로는 DSM B.V.사에서 개발된 Dyneema®와 Honeywell 사에서 개발된 Spectra®가 대표적 사례이다. 해당 섬유는 그림 11에 나타낸 것과 같이 주로 은빛 계열의 색을 나타내는 특징이 있다. 표 5-6에 걸쳐 섬유 Dyneema®와 Spectra®의 기계적 특성을 정리해 나타냈다.



(a) (b)

그림 11 (a) DSM B.V.사 Dyneema® fiber; (b) Honeywell사 Spectra® fiber

표 5 Dyneema® HMPE fibers의 기계적 주요 특성

HMPE fiber type	Tensile Strength	Tensile Modulus	Elongation to break	Density
	(GPa)	(GPa)	(%)	(g/cm^3)
SK99	4.1	155	3-4	0.975
DM20	3.1	94		
SK75/78	3.3-3.9	109-132		
SK60/62/65	2.4-3.3	65-100		
SK38	1.6	34	6.5	

Dyneema® 섬유의 경우, 생산되는 섬유의 등급에 따라 그 성능이 매우 차이가 남을 확인할 수 있다. 인장강도의 경우, SK38의 1,600 MPa에서부터 시작하여

SK99 섬유의 4,100 MPa에 이르기까지 그 분포 범위가 넓게 나타났다. 각 섬유에 대한 탄성계수값 역시 이와 유사한 경향을 나타냈다. SK38 섬유가 34 GPa을 나타냈으며, 가장 높은 강성은 SK99 섬유에서 155 GPa이었다. 그러나 대체로 섬유의 인장강도가 올라가면 그에 따른 탄성계수도 함께 올라가는 특징을 나타냈다. 반면, 섬유 파단 시의 신장률은 약 3-4% 사이로 모든 섬유에서 유사한 경향을 나타냈다.

표 6 Spectra® HMPE fibers의 기계적 주요 특성

Product Family	Spectra® fiber	Ultimate strength	Modulus	Elongation	Density
		(GPa)	(GPa)	(%)	(g/cm^3)
S-900	650-926	2.61	79	3.6	0.97
	1200	2.57	73	3.9	
	2400	2.53	78	3.9	
	4800	2.27	76	3.6	
S-1000	100	3.47	135	2.9	
	200	3.25	90	3.5	
	375-133	3.00	103	3.1	
	400	3.08	93	3.4	
	650-115	3.08	101	3.3	
	1300-143	3.21	115	3.3	
	1600-180	3.25	118	3.3	
	2600	2.91	97	3.5	

표 6에 나타난 Spectra® 섬유의 특징을 살펴보면, 이 역시 DSM B.V.사의 Dyneema® 섬유와 마찬가지로 다양한 섬유 제품군을 가지고 있는 것을 확인해 볼 수 있다. 대체로 S-900 제품군에 속한 섬유들의 경우, 인장강도는 대략 2,500 MPa 수준인 것으로 나타났으며, 이에 상응하는 탄성계수는 약 75 GPa을 나타냈다. S-1000에 속하는 섬유 제품군들의 경우, 인장강도는 S-900 섬유들보다 대체로 500 MPa 더 높은 3,000 MPa로 나타냈으며, 탄성계수도 100 GPa을 상회하였다. 파단 시의 신장률은 Dyneema® 섬유와 같이 3-4% 사이에 분포하는 것으로 나타났다. 마지막으로 HMPE 섬유의 밀도는 모두 0.97 g/cm^{3}으로 아라미드 섬유에 비해 약 30% 더 경량임을 확인할 수 있다.

2.2.2. HMPE ROPE properties

표 7은 Marlow Rope사에서 확인된 Dyneema® SK78과 SK99 섬유로 제작된 HMPE 로프의 기계적 특성을 정리해 놓은 것이다. Marlow Rope사는 각종 섬유 공급 업체로부터 제공 받은 fiber를 일정한 기술력을 바탕으로 이를 엮어 다양한 규격의 로프를 제작 및 판매하는 기업이다. 표 7에 나타낸 로프 구성은 12-strand braided 로프에 대한 특성이다.

표 7 Dyneema® SK78 / SK99 섬유 로프(12-strand braided 로프)의 인장성능

Nominal diameter (mm)	Breaking load (N)		Breaking strength (MPa)		Weight (kg/100m)
	SK78	SK99	SK78	SK99	
3	9,761	11,615	1,381	1,643	0.53
4	20,169	24,005	1,605	1,910	0.98
5	23,112	27,507	1,177	1,401	1.28
6	34,207	40,712	1,210	1,440	1.77
7	52,582	62,568	1,366	1,626	2.8
8	62,097	73,899	1,235	1,470	3.3
9	68,081	81,021	1,070	1,274	3.76
10	90,978	108,263	1,158	1,378	4.83
11	113,718	135,319	1,197	1,424	5.82
13	155,498	180,376	1,172	1,359	8
15	180,681	209,591	1,022	1,186	9.8
16	206,981	240,100	1,029	1,194	11.8
18	246,722	286,197	970	1,125	14.3
20	328,831	381,442	1,047	1,214	18

상기 표에서 확인할 수 있는 바와 같이, 아라미드 섬유와 마찬가지로 일반적으로 로프의 지름이 커질수록 절단하중은 증가하나 그에 상응하는 응력은 감소하는 특징이 동일하게 나타났다. 두 개의 섬유 SK78과 SK99로 제작된 로프들을 비교해 보면, SK78로 제작된 로프에 비해 SK99로 제작된 로프들의 인장하중(또는 인장응력)이 약 16-20% 정도 증가한 것으로 나타났다. 이는 로프에 사용된 섬유의 인장강도가 평균 15% 정도 증가했기 때문이다.

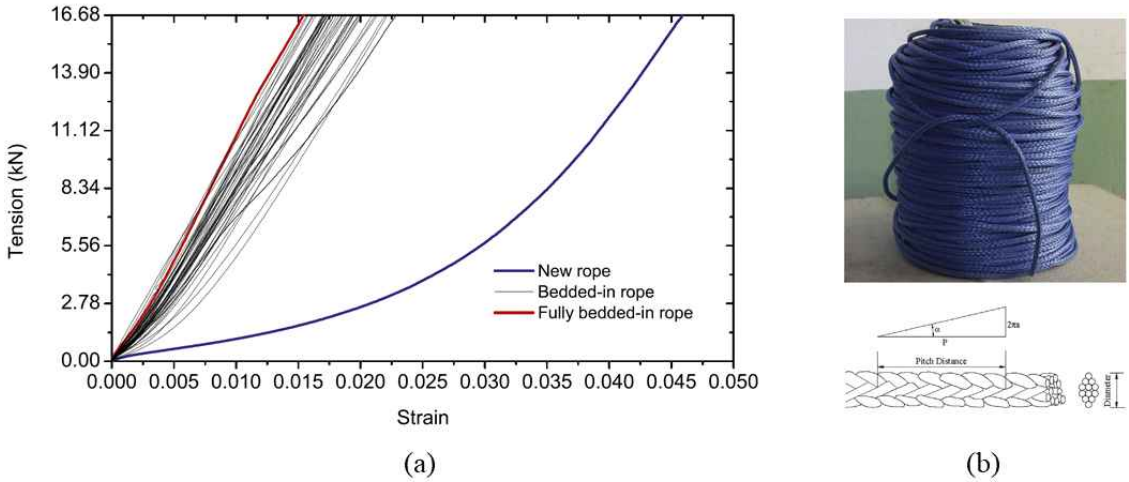


그림 12 Dyneema® SK75로 제작된 섬유의 bedding-in process에 따른 인장거동 실험(Lian 외 3인, 2018): (a) 인장하중-변형률 관계; (b) 사용된 로프 형상

그림 12(a)은 Lian 외 3인이 2018년도에 실시한 HMPE 로프에 대한 bedding-in 과정에 따른 인장하중-변형률의 관계를 나타낸 그래프이다. 본 연구에서 사용한 로프는 지름 6 mm의 12-strand braided 로프로서, Dyneema® SK75 섬유를 사용하여 제작된 것이다. 제조는 중국 Jiuli Ropes Company Limited에서 생산된 것을 사용하였다(그림 12(b)). 해당 그림에서 확인해 볼 수 있듯이, bedding-in process가 완전해 질수록 인장하중-변형률 관계에서 나타난 그래프의 기울기가 더욱 증가하는 것을 확인해 볼 수 있다. 즉, bedding-in 과정이 완료된 이후에 매우 뛰어난 강성을 지니게 되는 것을 확인해 볼 수 있다.

Davies 외 3인 (2011)은 아라미드 로프 이외에 HMPE 로프에 대해서도 인장하중 하에서의 기계적 특성을 조사하는 연구를 동시에 진행하였다. 본 실험에서 사용된 HMPE 로프 역시 Dyneema® SK75 섬유로 제작된 것으로 그 형상은 그림 13(a)에 나타낸 것과 같다. 12-strand braid 로프 (지름 30 mm)이며, 외부에는 커버를 씌우지 않은 형태이다. 한 가지 주목할 점은 본 실험에서도 bedding-in의 영향을 조사하였는데, 그림 13(b)에 보이는 바와 같이, bedding-in process를 거치기 전 초기 하중 상태에서는 HMPE 로프가 아마리드 섬유보다 더 큰 잔류변형을 일으키는 것을 확인할 수 있다. 이것은 HMPE 섬유로 제작된 로프가 아라미드 로프에 비해서 내부에 미세 공간이 많고, 또한 내부 분자들의 재정렬에 따른 응축이 더 크게 발생함을

의미하는 것이다. 그러나 그림 14에서 나타낸 것과 같이, 최종 bedding-in process를 거친 이후에 나타난 강성은 보편적으로 30 GPa을 웃돌았으며, 일부 경우에는 35 GPa을 넘는 모습도 보였다. 이는 아라미드 로프와 비슷한 수준(31-32 GPa)의 강성임을 확인해 볼 수 있다.

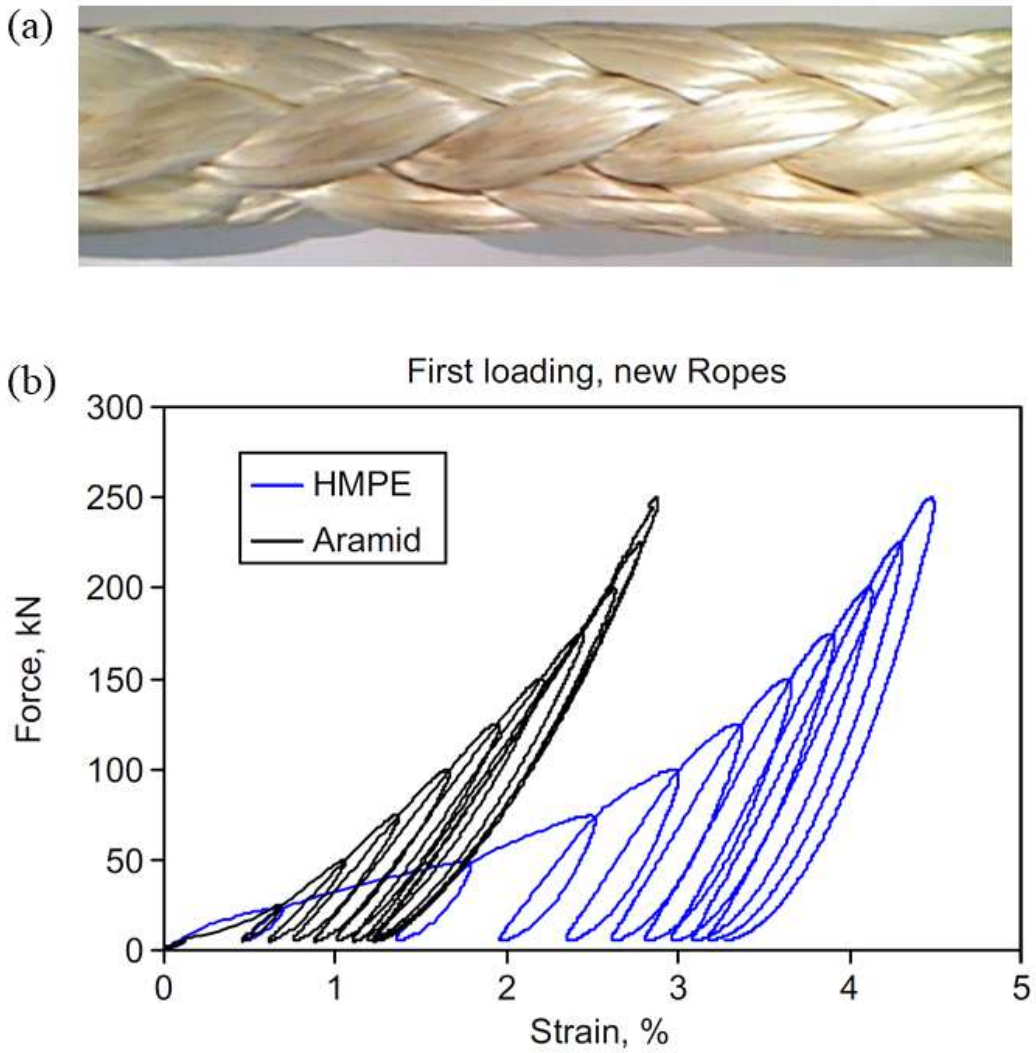


그림 13 (a) Dyneema® SK75로 제작된 섬유; (b) 초기 반복하중에 따른 하중-변형률 관계 (Davies 외 3인, 2011)

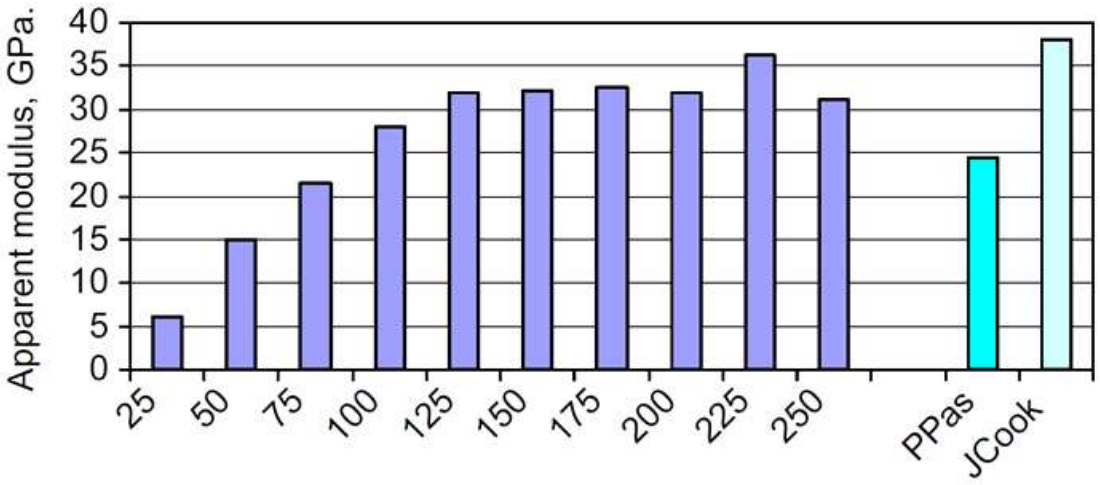


그림 14 Dyneema® SK75, 12-strand braided 로프의 beddding-in을 위한 초기 하중에 따른 탄성계수의 변화

2.3. LCP (liquid crystal polymer) 섬유 & 로프

LCP는 Liquid Crystal Polymer의 약어로 우리말로는 액정 폴리머(또는 액정 고분자)라 일컬어진다. 분자구조상 전적으로 폴리에스테르에 해당되며(그림 15), 용액 또는 용융 상태에서 액정성을 나타내는 수지를 의미한다. 본 물질은 액정방사(liquid crystal spinning)법이라 불리는 섬유 제조법을 통해 섬유화될 수 있으며, 이러한 방식으로 제조된 섬유는 액정 상태의 고도한 분자배향이 그대로 축방향으로 고정되기 때문에 탄성이 높은 고강도섬유가 만들어진다. 1980년대부터 대량생산되기 시작하였으며, 우주선, 항공기의 구조용 재료로부터 스포츠 용품에 이르기까지 널리 사용되고 있다.

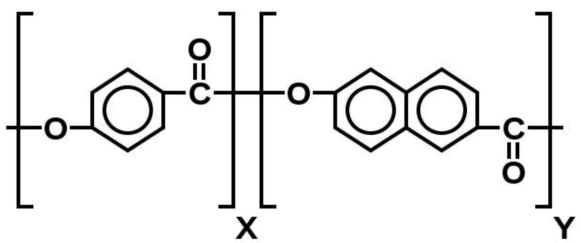


그림 15 LCP 분자 구조

2.3.1. LCP FIBER properties

LCP를 소재로 제조된 섬유의 대표적인 사례로 Vectran™을 들 수 있다. 이 Vectran™ 섬유는 Celanese사에서 최초로 개발되어 현재 Kuraray사에서 제조되고 있다. 그림 16은 Vectran™ 섬유를 나타낸 것이며, 표 8에 해당 섬유의 기계적 성질을 정리하였다.



그림 16 Vectran® fiber

표 8에 나타낸 것과 같이 Vectran™ 섬유는 크게 3가지 등급으로 나뉘고 있다. NT는 중간수준의 tenacity를 가지는 섬유, HT는 High Tenacity를 의미하며, 마지막으로 UM은 Higher Modulus/Lower Elongation의 특징을 가지는 가장 고성능 섬유를 나타낸다. 해당 소재의 밀도는 1.4 g/cm^{3}이며, 인장강도는 HT와 UM 등급에서는 3,000 MPa 정도의 강도를 나타냈다. 강성 측면에서는 HT등급은 75 GPa, 고탄성등급인 UM은 103 GPa을 나타냈다. 전반적으로 인장하중 하에서의 특성이 아라미드 섬유와 매우 유사함을 확인해 볼 수 있다.

표 8 Vectran™ fibers의 기계적 주요 특성

Materials	Density	Tensile strength	Tensile Modulus	Elongation at break
	(g/cm^3)	(GPa)	(GPa)	(%)
Vectran™ NT	1.4	1.1	52	-
Vectran™ HT	1.41	3.2	75	3.8
Vectran™ UM	1.4	3.0	103	2.8

2.3.2. LCP ROPE properties

표 9는 HMPE 로프와 마찬가지로, Marlow Rope사에서 확인된 Vectran™ HT 섬유로 제조된 12-strand braided 로프의 인장성능을 나타낸 것이다. 표에 나타난 인장강도를 살펴보았을 때, 앞서 제시된 합성섬유들 중 HMPE 로프와 비슷한 인장강도를 가지는 것으로 나타났다. 또한, 단면적 증가에 따른 인장강도의 감소 현상 역시 앞선 합성섬유 소재들과 크게 다르지 않음을 확인해 볼 수 있다.

표 9 Vectran™ HT 섬유로 제작된 로프(12-strand braided)의 인장성능 특성

Nominal diameter	Breaking load	Breaking strength	Weight
(mm)	(N)	(MPa)	(kg/100m)
3	9,741	1,378	0.67
4	16,461	1,310	1.34
5	23,593	1,202	1.79
6	32,864	1,162	2.24
7	56,408	1,466	3.36
9	85,151	1,338	5.38
10	107,714	1,371	6.72
11	117,230	1,234	8.96
13	144,207	1,086	10.6
15	180,700	1,023	14.1
16	222,687	1,108	17
18	246,231	968	18.8

그림 17은 Vectran™ T-150 섬유로 제작된 12-strand braided 로프 (지름 0.5 in.)의 인장실험에 대한 결과를 나타낸 그래프이다. 해당 실험은 미국의 Samson Rope Technologies, Inc.에서 실시하였다. 본 하중-신장률 그래프의 기울기를 통해서 해당 로프의 대략적인 강성을 파악할 수 있다. 본 실험은 그래프에서 나타나 있듯이 최대 하중의 약 50% 수준에서 10회 가력-제하로 이어지는 반복 사이클을 진행한 후 최대내력 지점까지 하중을 가력하였다. 본 실험의 그래프 중 변형률 2.55%-3.75% 사이에서 확인된 탄성계수는 약 33,891 MPa(4,915 ksi)로 나타났다. 앞서 살펴본 다

른 합성섬유의 탄성계수 값과 비교하였을 때, 거의 유사한 수준의 성능을 지녔음을 이를 통해 확인할 수 있다.

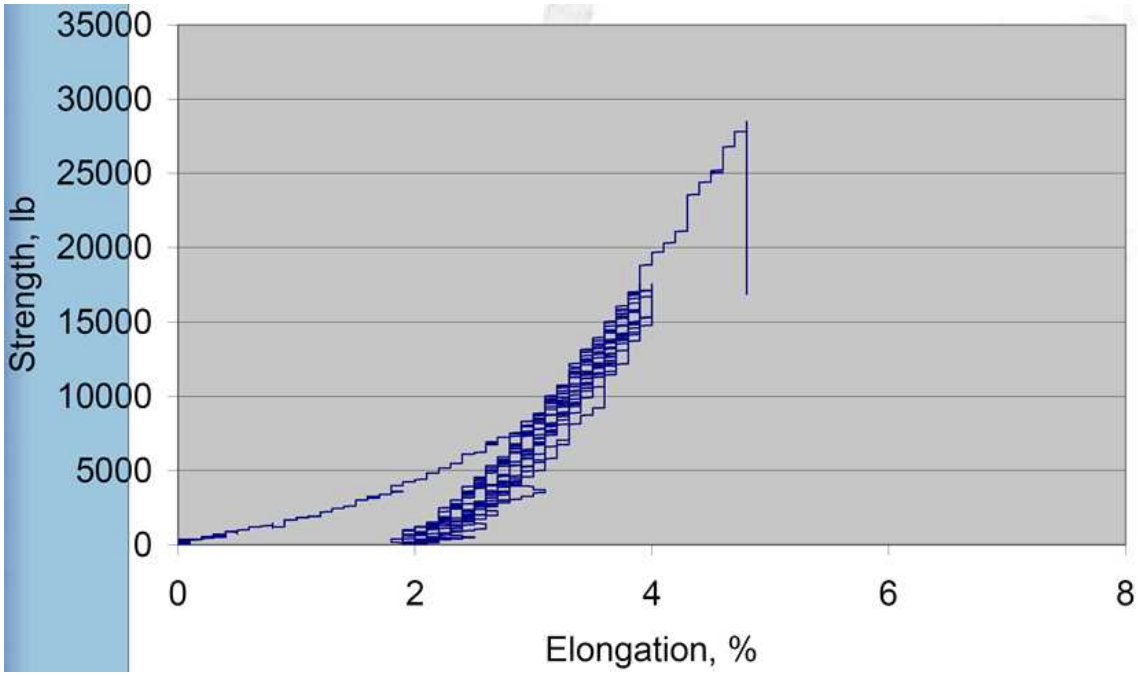


그림 17 Vectran™ T-150 섬유로 제작된 지름 0.5 in. 12-strand rope 인장실험 결과.

2.4. PBO (poly-p-phenylenebenzobisoxazole) 섬유 & 로프

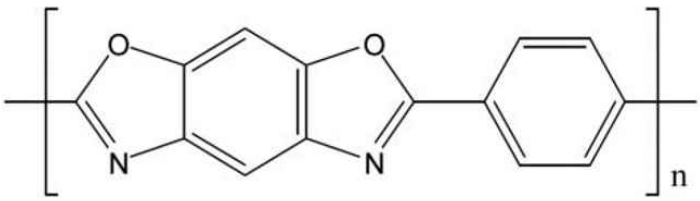


그림 18 PBO의 분자 구조

PBO는 Poly-p-phenylenebenzobisoxazole의 약어로서, 그림 18과 같은 분자구조를 가지는 폴리머를 일컫는다. 이 PBO는 열안정성, 화염저항성이 특히 뛰어나며, 열분해 속도가 낮고, 연소 시 연기가 적게 발생하는 우수한 내열성 소재이다. 뿐

만 아니라 기계적 성질도 우수하고, 내화학성을 갖추고 있어 우구 항공 산업 분야나 군사 사업 분야에서 중요한 소재로 사용되고 있다. 특히 PBO는 ASTM E-1354 시험으로 미연방항공국(FAA)에서 정한 화재 발생 시의 목표 방염성인 50 kW/㎡의 열흐름에서도 불이 붙지 않는 유일한 유기물로 인정되고 있다.

2.4.1. PBO FIBER properties

PBO 소재를 바탕으로 이를 방사하여 섬유를 제작할 수 있으며, 대표적인 섬유로는 Zylon® 섬유가 있다. 본 섬유는 미국 연구기관인 SRI International에서 개발되어 현재 일본의 Toyobo Corporation에서 생산되고 있다. 그림 19에 나타낸 바와 같이 섬유는 다크오렌지 색을 띄고 있으며, 표 10에 해당 섬유의 기계적 특성을 정리하여 나타냈다.



그림 19 Zylon® fiber

표 10에서 확인할 수 있듯이, Zylon® 섬유는 파라아라미드 섬유에 비해 강도 및 탄성계수 측면에서 2배 이상의 성능을 가지는 특징이 있다. Toyobo사에서 생산중인 Zylon® 섬유는 크게 AS계열과 HM계열로 나뉘며, HM계열은 AS계열보다 강도는 비슷하나 탄성계수가 더 상향 개선된 제품이다. 두 계열 섬유 모두 인장강도는 5.8 GPa에 이르며, 탄성계수의 경우, AS계열은 약 180 GPa, HM계열은 270 GPa을 나타냈다. 탄성계수 수치에서 확인할 수 있듯이, 본 PBO 섬유는 강재와 유사하거나

그 이상의 강성을 지니고 있는 것이 주목할 만한 특징이라 할 수 있다.

표 10 Zylon® 섬유의 기계적·열적 주요 특성

Properties	Fiber	
	Zylon®AS	Zylon®HM
Density (g/cm^3)	1.54	1.56
Tensile strength (cN/dtex)	37	37
(GPa)	5.8	5.8
(kg/mm^2)	590	590
Tensile Modulus (cN/dtex)	1150	1720
(GPa)	180	270
(kg/mm^2)	18,000	28,000
Elongation at break (%)	3.5	2.5
Moisture regain (%)	2.0	0.6
Decomposition temperature (℃)	650	650
Thermal expasion coefficient		-6.0×10^{-6}
LOI	68	68

2.4.2. PBO ROPE properties

표 11는 Zylon® HM 섬유로 제작된 12-strand braided rope의 인장강도 특성을 지름별로 정리하여 나타낸 것이다. 해당 표 역시 앞선 합성섬유 로프들과 동일하게 Marlow Rope사에서 제공된 자료를 바탕으로 정리한 것이다. 표 11에서 확인해 볼 수 있듯이, 다른 합성섬유로 제작된 로프들에 비해 상당히 높은 인장강도를 나타내는 것을 확인해 볼 수 있다. 지름 3 mm 로프의 경우, 확인된 인장강도는 약 2,000 MPa을 상회하는 성능을 나타냈으며, 지름이 18 mm인 로프에 대해서도 1,700 MPa 수준의 인장강도를 나타냈다. 이는 동일한 지름 크기(18 mm)를 가지는 다른 합성섬유 로프들의 인장강도(약 1,000 MPa 수준)보다 약 70% 이상 높은 것으로 파악됐다.

표 11 Zylon® HM 섬유로 제작된 로프(12-strand braided)의 인장성능 특성

Nominal diameter (mm)	Breaking load (N)	Breaking strength (MPa)	Weight (kg/100m)
3	14,411	2,039	0.72
4	28,822	2,294	1.44
5	37,464	1,908	1.87
6	51,875	1,835	2.59
7	77,813	2,022	3.89
9	123,272	1,938	6.16
10	151,241	1,926	7.56
11	181,554	1,910	9.07
13	244,308	1,841	12.2
15	308,191	1,744	15.4
16	369,827	1,839	18.5
18	435,387	1,711	21.8

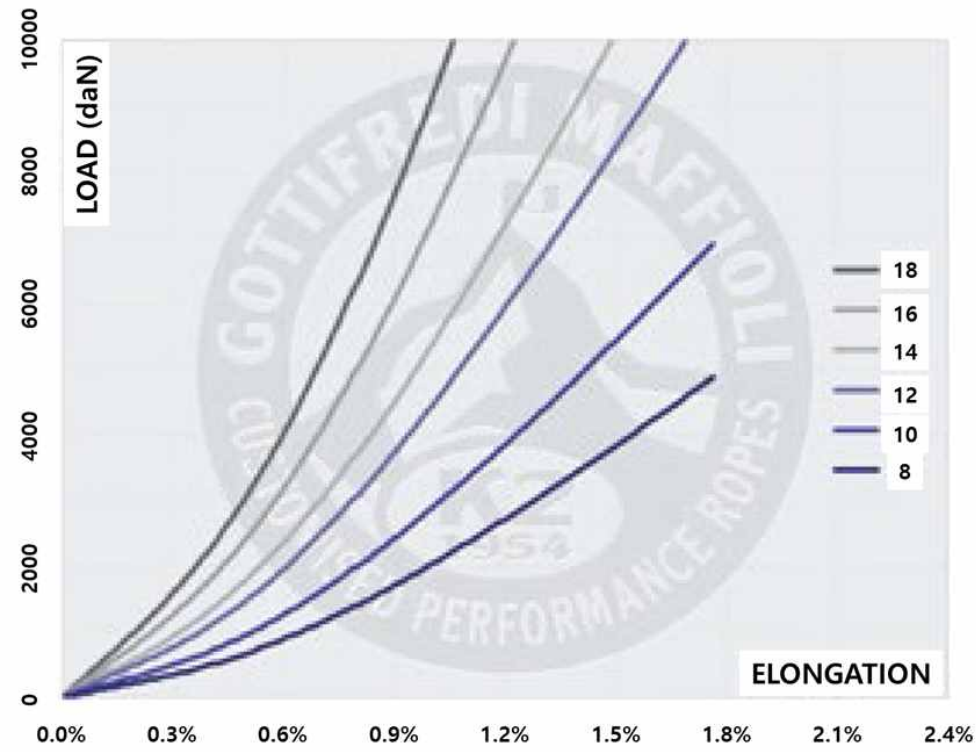


그림 20 Zylon® HM 섬유로 제작된 로프(12-strand braided)의 하중-신장률 관계 (from Gottifredi Maffioli사)

PBO 로프에 대한 강성은 섬유 자체의 강성 성능이 강재 또는 그 이상의 성능을 가지고 있기 때문에 다른 합성섬유 로프에 비해 훨씬 뛰어난 값을 나타낼 것으로 기대된다. 그림 20은 Gottifredi Maffioli사에서 Zylon® HM 섬유로 제작한 12-strand braided 로프에 대해 실시한 인장실험 결과를 나타낸 그래프이다. 해당 그림에서 다양한 지름 치수를 가지를 로프에 대한 실험 결과를 확인할 수 있다. 해당 그래프는 인장실험 전에 bedding-in 과정을 별도로 실시하지 않은 것으로 판단되며, 이 때문에 비선형적으로 하중이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 어느 정도 하중이 선형적인 안정기에 돌입한 이후에 그래프의 기울기로부터 측정한 강성의 수치는 대략 60-70 GPa에 이르는 것으로 나타났다. 이는 일반 steel wire 로프에 대한 강성 수준(약 70-90 GPa)에 거의 근접한 값이다. 만약, bedding-in process를 통한 로프의 안정화를 진행한다면 더욱 강재와 유사한 수준까지 강성이 증진될 것으로 판단된다.

2.5. 탄소 섬유 & 로프



그림 21 Carbon fiber

탄소섬유(carbon fiber_그림 21)는 수많은 탄소 원자가 결정 구조를 이루어 길게 늘어선 분자 사슬로 이루어진 섬유이다. 탄소 섬유를 구성하는 탄소 원자들은

섬유의 길이 방향을 따라 육각 고리 결정의 형태로 붙어 있으며, 이러한 분자 배열 구조로 인해 강한 물리적 속성을 띠게 된다. 섬유의 직경은 5-15μm 수준으로 극히 가늘지만 인장강도와 강성도가 높으며, 고온과 화학물질에 대한 내성이 우수하고, 열팽창이 적은 특징을 가지고 있다. 이 때문에 우주항공, 자동차, 각종 스포츠 산업 등에서 널리 사용되고 있다. 특히 에폭시 등의 수지(resin)와 혼합하여 중합체(플라스틱)로 만든 탄소섬유 강화 중합체(CFRP)의 형태로 많이 이용되고 있다.

2.5.1. 탄소 FIBER properties

생산량을 기준으로 대부분의 탄소섬유는 아시아에서 많이 제조되고 있으며, 특히, 고품질의 탄소섬유는 주로 일본에서 생산되고 있다. 탄소섬유 3대 메이커인 Mitsubishi Rayon, Toho Tenax, Toray Industries가 그 대표적인 회사이며, 전세계 탄소섬유 시장의 점유율을 약 2/3 가량 차지하고 있는 실정이다. 이밖에 미국 회사인 Zoltek, Hexcel, Cytec 등에서 탄소 섬유를 생산하고 있다.

표 12 기계적 성질에 의한 탄소섬유 구분

Type of fibers	약자 표시	Tensile strength (GPa)	Young modulus (GPa)
High strength		3.3-6.9	200-250
Intermediate-modulus	IM	4.0-5.8	280-300
High-modulus	HM	3.8-4.5	350-600
Ultra-high-modulus	UHM	2.4-3.8	600-960

탄소 섬유의 구분은 그 섬유를 구성하고 있는 소재 특징과 섬유의 기계적인 특징 또는 섬유의 마지막 열처리 방법 등에 따라 다양하게 구분할 수 있다. 표 12는 기계적 특성에 따라 탄소섬유를 구분해 놓은 것이다. 해당 표에서 확인해 볼 수 있듯이, 탄소섬유는 그 용도에 따라 강도와 강성의 분포 범위가 매우 넓은 것을 확인해 볼 수 있다. 한 가지 주목할 만한 점은 강성의 성능을 보다 키운 IM, HM, UHM의 탄소섬유들의 경우, 강성이 증가할수록 그에 상응하는 강도가 감소하는 특징을 나타냈다. 탄소섬유의 인장강도는 앞서 살펴본 일반 합성섬유의 강도보다도 2배 정도 크

며, PBO 섬유와는 유사한 크기를 가진다. 탄성계수 측면에서는 일반 탄소섬유의 탄성계수가 강재(200 GPa)와 비슷한 수준이며, 고탄성 계열 제품으로 갈수록 이보다 최대 4.8배까지 높은 성능을 지닌 섬유의 생산이 가능하다.

탄소 섬유의 또 다른 구분법은 그 섬유를 구성하고 있는 주된 소재(유기 전구체물질, Precursor: 탄화시키기 전의 물질)에 따라 Polyacrylonitrile (PAN)-based 탄소섬유, Pitch-based 탄소섬유, Mesophase pitch-based 탄소섬유, Isotropic pitch-based 탄소섬유, Rayon-based 탄소섬유, Gas-phase-grown 탄소섬유로 나눌 수 있으며, 크게 PAN계 탄소섬유와 Pitch계 탄소섬유로 나눌 수 있다. 이 두 가지 계열 섬유의 일반적인 기계적 특성에 대해 표 13에 정리하여 나타냈다.

표 13 유기 전구체물질의 구분에 따른 탄소섬유의 기계적 성질

Fiber material	Density	Elastic modulus	Tensile strength	Strain at break
	(g/cm^3)	(GPa)	(GPa)	(%)
PAN based carbon fiber	1.7-2	200-600	1.7-5	0.3-2.4
Pitch based carbon fiber	2-2.2	400-960	2.2-3.3	0.27-0.6

표 14 대표 제조사별 탄소섬유의 기계적 특성

Product line	Density	Elastic modulus	Tensile strength	Elongation to break
	(g/cm3)	(GPa)	(GPa)	(%)
Toray Torayca® PAN-base				
T300	1.76	230	3.53	1.51
T700SC	1.80	230	4.90	2.1
M35JB	1.75	343	4.70	1.4
M50JB	1.88	475	4.12	0.9
M55J	1.91	540	4.02	0.8
M30SC	1.73	294	5.49	1.9
Cytec Thornel® PAN-based				
T300	1.76	231	3.75	1.4
T650/35	1.77	255	4.28	1.7
T300C	1.76	231	3.75	1.4

마지막으로 탄소섬유를 생산하는 대표 회사인 Toray사와 Cytec사에서 제조되는 탄소섬유의 제품 라인별 기계적 특성을 표 14에 정리해 나타냈다.

2.5.2. 탄소 ROPE properties

탄소섬유는 fiber 자체의 성능은 매우 뛰어나나 이를 로프의 형태로 제작하는 과정이나, braiding하는 공정 등이 만족스럽게 증명이 되지 않았기 때문에 로프의 형태로 많이 사용되고 있지는 않다. 주로 합성수지와 함께 사용되는 CFRP (carbon fiber reinforced polymer)의 형태로 많이 이용되고 있다.

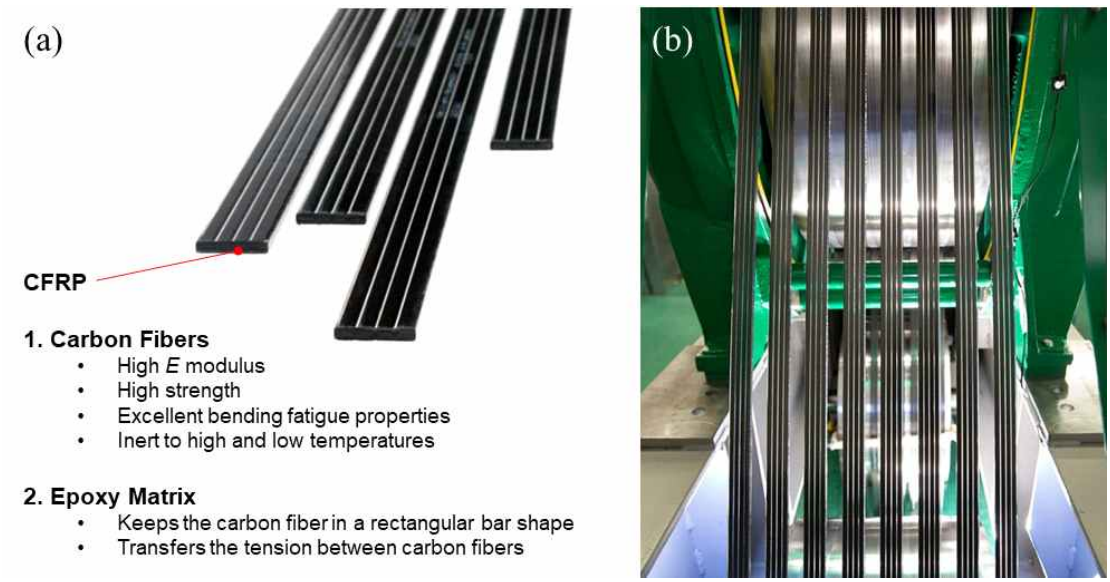


그림 22 KONE사 UltraRope

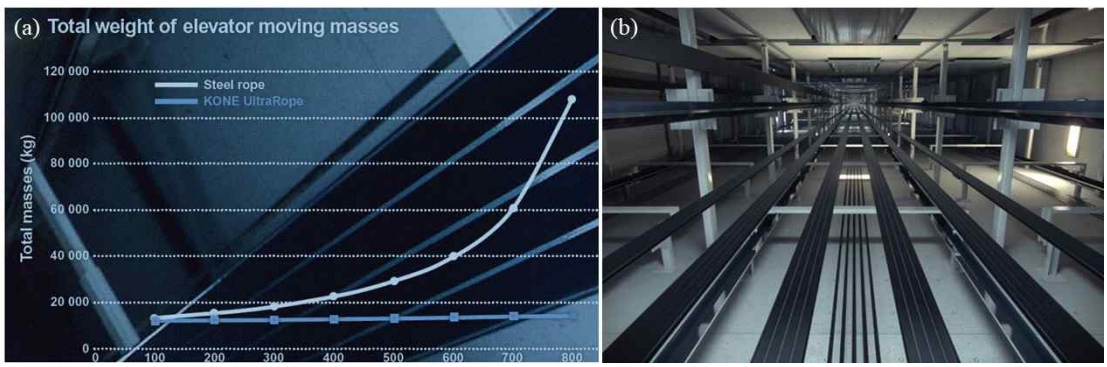


그림 23 (a) 건물 높이에 따른 엘리베이터 무게 변화; (b) UltraRope 설치 모습

최근 이러한 CFRP를 이용하여 건축물의 엘리베이터 로프로 사용되는 개발품이 발명되었다. 해당 제품은 핀란드에 본사를 둔 KONE사의 UltraRope이다. 그림 22(a)에 나타낸 것과 같이, 단면이 사각형의 형태를 띄고 있으며, 그림 22(b)에 보이는 바와 같이 기계실에 위치한 도르래에 연결되어 작동이 된다. 그림 23(a)에 나타낸 비교 그래프에서 확인해 볼 수 있듯이, 기존에 사용되는 강재 로프보다 훨씬 가벼워 건물 운영에 사용되는 에너지를 절약할 수 있으며, 부식에 대한 염려도 없는 장점이 있다.

한편, 일본의 Tokyo Rope사에서는 Carbon Fiber Composite Cable(CFCC)을 개발하여 다양한 분야에 응용하고 있다. 해당 제품은 그림 24(a)에 나타난 것처럼 일반 강으로 만들어진 PC strand와 비슷한 형상을 띈다. 길이 방향으로 탄소섬유들이 인장하중에 저항하기 때문에 그림 24(b)에 나타낸 것과 같이 일반 강재 PC strand에 비해 강도나 강성 측면에서 그 성능이 크게 뒤떨어지지 않으며, 동시에 경량으로 작업이 수월하다는 장점이 있다. 표 15에 해당 제품의 각종 기계적 성질을 정리하여 나타냈다.

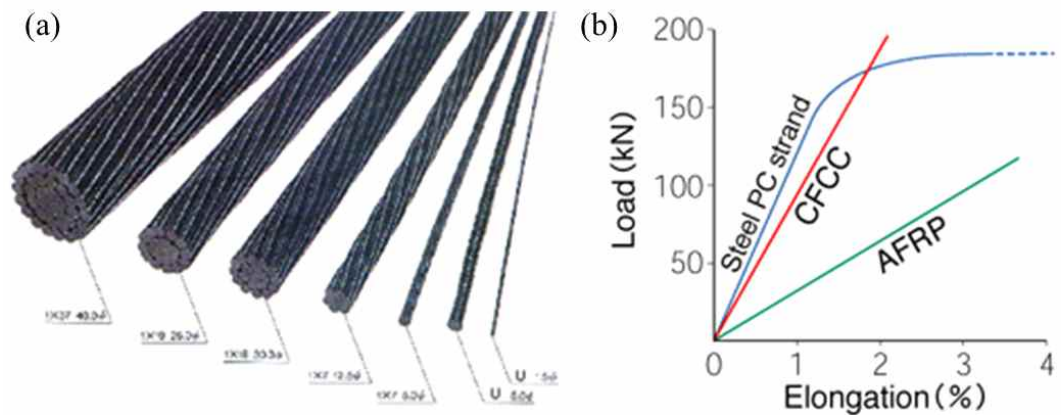


그림 24 (a) CFCC 종류; (b) CFCC 하중-신장율 그래프

표 15 Standard specifications of CFCC

Cross section figure	Diameter	Effective cross-sectional area	Guaranteed breaking load	Unit weight per meter	Elastic modulus
	(mm)	(mm^2)	(kN)	(g/m)	(kN/mm^2)
Uni-strand ●	5.0	15.2	38	30	167

Cross section figure (계속)	Diameter	Effective cross-sectional area	Guaranteed breaking load	Unit weight per meter	Elastic modulus
	(mm)	(mm^2)	(kN)	(g/m)	(kN/mm^2)
7 strands 	7.5	31.1	76	60	155
	10.5	57.8	141	111	155
	12.5	76.0	184	145	155
	15.2	115.6	270	221	155
	17.2	151.1	350	289	155
	19.3	186.7	445	355	155
19 strands 	20.5	206.2	316	410	137
	25.5	304.7	467	606	137
	28.5	401.0	594	777	137
37 strands 	35.5	591.2	841	1,185	127
	40.0	798.7	1,200	1,529	145

3. 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템에 적합한 합성섬유/로프 제안 및 유의사항

3.1. 합성 및 탄소섬유(or 로프) 비교 평가

3.1.1. Fiber 인장성능 비교

표 16은 앞서 살펴본 합성 및 탄소섬유들 중 대표 섬유들의 인장성능 특징을 비교하여 정리한 것이다. 해당 표에서 확인할 수 있듯이, 무게적인 측면에서는 HMPE 섬유가 비중이 가장 작은 0.98을 나타내어 다른 합성섬유들에 비해 약 43%, 강재에 비해서는 8배까지 경량인 것으로 나타났다. 이러한 로프의 무게는 실제 시스템 적용 시, 현장 작업과 관련된 요인으로, 경량의 로프를 사용할수록 현장에서의 워커빌러티가 좋아져 작업 속도 증가는 물론 작업자의 안전 확보에도 크게 기여할 것으로 판단된다.

표 16 합성 및 탄소섬유의 인장성능 특징 비교

Fiber type		Density	Tensile strength	Tensile modulus	Elongation at break
		(g/cm^3)	(GPa)	(GPa)	(%)
Aramid	Twaron®	1.44	2.4-3.6	60-120	2.2-4.4
	Technora®	1.39	3.4	74	4.5
HMPE	SK99	0.98	4.1	155	3-4
	SK75/78		3.3-3.9	109-132	
LCP	Vectran™HT	1.41	3.2	75	3.8
	Vectran™UM	1.4	3.0	103	2.8
PBO	Zylon®AS	1.54	5.8	180	3.5
	Zylon®HM	1.56	5.8	270	2.5
Carbon fiber	T300	1.76	3.53	230	1.51
	M55J	1.91	4.02	540	0.8

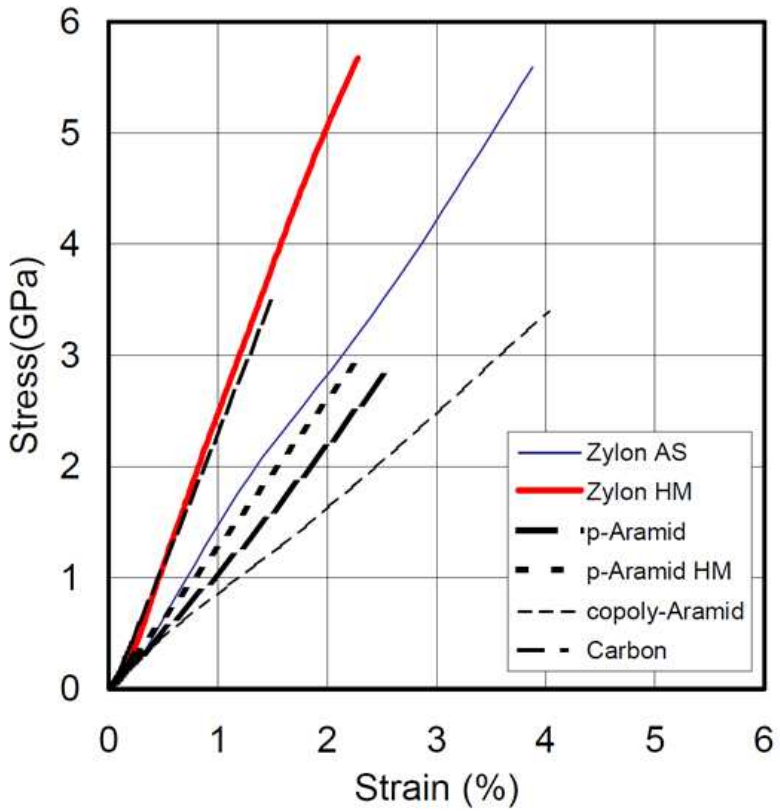


그림 25 각종 섬유별 응력-변형률 관계 비교

인장강도 측면에서는 대부분의 섬유가 3,000 MPa 이상의 파단강도를 나타내 강재 대체재로 사용해도 크게 무방할 것으로 사료된다. 그러나 도르래 시스템에서 힘을 효과적으로 전달하기 위해서는 해당 로프의 탄성영역 내에서의 변형이 더 주요한 요소로 역할하게 된다. 이를 고려하기 위해서 살펴보아야 할 것이 섬유의 탄성계수인데, PBO 및 탄소섬유가 강재 이상의 탄성계수 특성을 나타내고 있다. 이를 이용하여 로프로 제작할 시 강와이어에 버금가는 성능을 기대해 볼 수 있을 것으로 예측된다. 그림 25에 PBO와 탄소섬유의 응력-변형률 관계를 각종 다른 합성섬유들과 비교하여 나타냈다. 해당 그래프에서 두 섬유의 뛰어난 탄성거동을 확인해 볼 수 있다.

3.1.2. Rope 인장성능 비교

표 17은 Marlow rope사와 Gottifredi Maffioli rope사에서 다양한 합성섬유를 이용하여 제작한 로프들 중 지름 9 mm, 12-strand braided rope의 인장하중 성능을 비교하여 나타낸 것이다. 두 회사 모두 Dyneema® 섬유에 대해서는 별도의 열처리 방법을 추가로 도입(Gottifredi Maffioli rope사의 ULTRA 시리즈)하거나 특별 Pre-stretch process(Marlow rope사 max 시리즈) 등을 통해 더 고강도/저신장의 로프를 제작하고 있었다. 표에서 확인해 볼 수 있듯이, 별도로 처리된 Dyneema® 섬유를 이용한 로프나 Zylon® HM 섬유를 이용한 로프가 100 kN 이상의 고강도 성능을 나타내는 것으로 확인되었다.

표 17 Rope 제조사별 생산된 12-strand braided rope (지름 9 mm)의 인장강도

Marlow rope			Gottifredi Maffioli rope		
Product	Fiber type	Breaking strength (kN)	Product	Fiber type	Breaking strength (kN)
V12	Vectran™ HT	85	VECTRAN 100%	Vectran™ HT	80
D12	SK99	81			
	SK78	68	Novabraid 78	SK78	78
D12 max	SK99	123	DSK99 ULTRA	SK99	125
	SK78	106	DSK78 ULTRA	SK78	96.3
Z12	Zylon® HM	123	ZZ 100%	Zylon® HM	106

그림 26은 Marlow rope사에서 제공한 지름 9 mm, 12-strand braided rope들의 하중-신장률 관계를 나타낸 그래프이다. 해당 그래프의 신장률 1.5-2.0% 사이에 있는 그래프 기울기로부터 제작된 로프의 탄성계수를 계측해 보았다. 해당 그래프로부터 얻은 탄성계수 값은 각각 다음과 같다.

- Z12 - 81,417 MPa,
- D12 max SK99 - 53,489 MPa,
- D12 max SK78 - 46,548 MPa,
- D12 SK99 - 36,383 MPa,
- V12 - 35,550 MPa,
- D12 SK78 - 30,054 MPa.

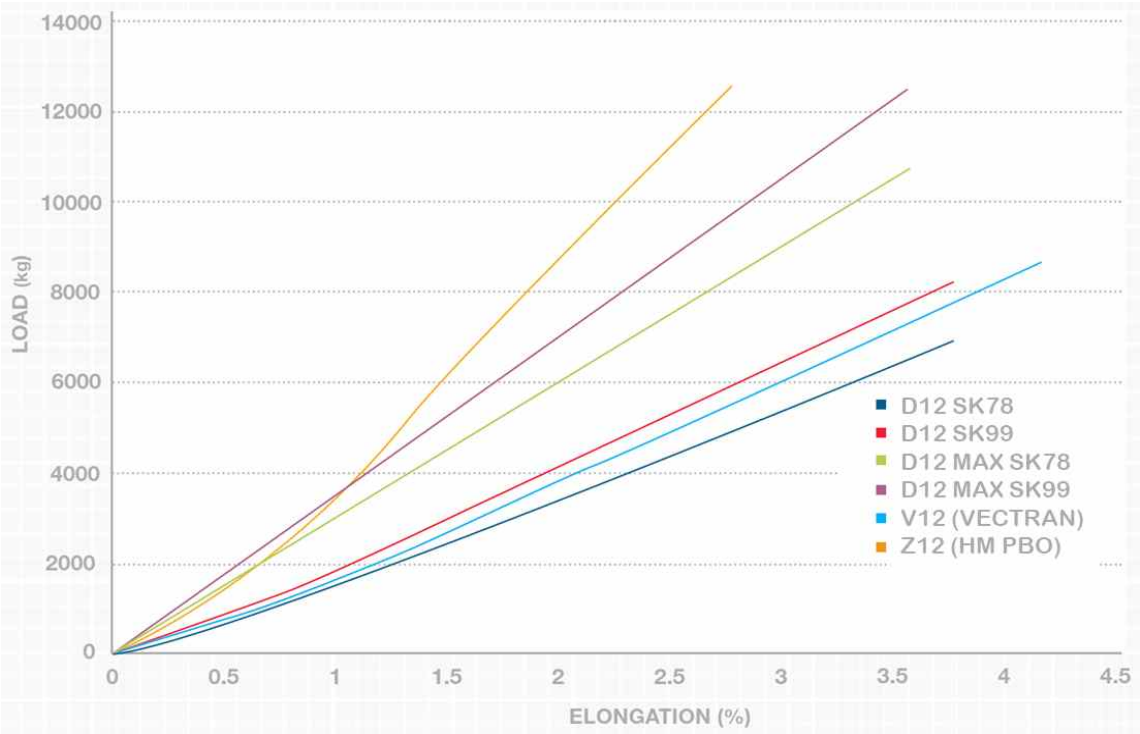


그림 26 12-strand braided rope (지름 9 mm)의 하중-신장률 관계 (Marlow rope)

계측된 위의 값에서 확인해 볼 수 있듯이, Z12 즉, Zylon® HM로 제작된 로프의 탄성계수가 약 81 GPa로 강와이어와 유사한 성능을 나타냈으며, 가장 탄성변형이 적은

것으로 나타났다. 그리고 일반 합성섬유 로프들(특수 처리를 하지 않은 로프)의 강성은 앞서 살펴본 다른 연구자들의 결과와 유사하게 30 GPa를 약간 넘는 수준으로 확인되었다.

3.1.3. Creep 성능 비교

케이블-도르래 조합형 시스템에 사용되기 위해 몇 가지 추가적으로 주의 깊게 살펴보아야 하는 것들이 해당 로프의 크리프, Relaxation, 그리고 피로강도(Yarn-on-Yarn Abrasion Resistance와 Flexural fatigue) 등과 같은 성능이 있다.

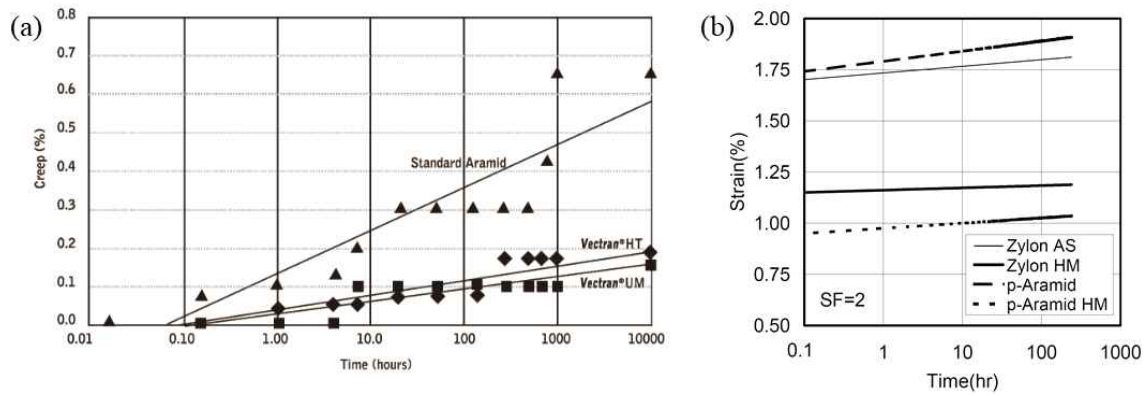


그림 27 (a) Creep behavior at ambient temperature (30% of break load); (b) Creep behavior under 50% of break load

크리프의 경우, Marlow rope사의 매뉴얼에서는 Vectran™과 Zylon® 섬유에 대해 이상적으로 크리프가 없는 것으로 가정을 한다. 그림 27은 각각 두 섬유의 크리프 거동과 관련된 실험 결과로 모두 아라미드 섬유와 그 성능을 비교하여 나타냈다. 그림 27(a)에 나타난 Vectran™ 섬유의 크리프 거동에서 확인할 수 있듯이 절단하중의 30% 하중 하에서 약 100 시간이 지난 뒤에 발생되는 영구변형률이 0.1%에 불과하였다. Zylon® HM 섬유의 경우, 그림 27(b)에 나타난 바와 같이 절단하중의 50% 수준의 하중 하에서 100시간 뒤에 나타난 영구변형률이 0.03%에 불과할 만큼 크리프에 대한 성능이 우수함을 확인할 수 있다. 조사된 합성섬유 중 HMPE 섬유가 크리프에 대한 저항성능이 가장 낮은 것으로 확인되었으며, 그 다음으로 아라미드 섬

유, PBO 섬유 순이며, 마지막으로 LCP 섬유가 가장 우수한 것으로 나타났다.

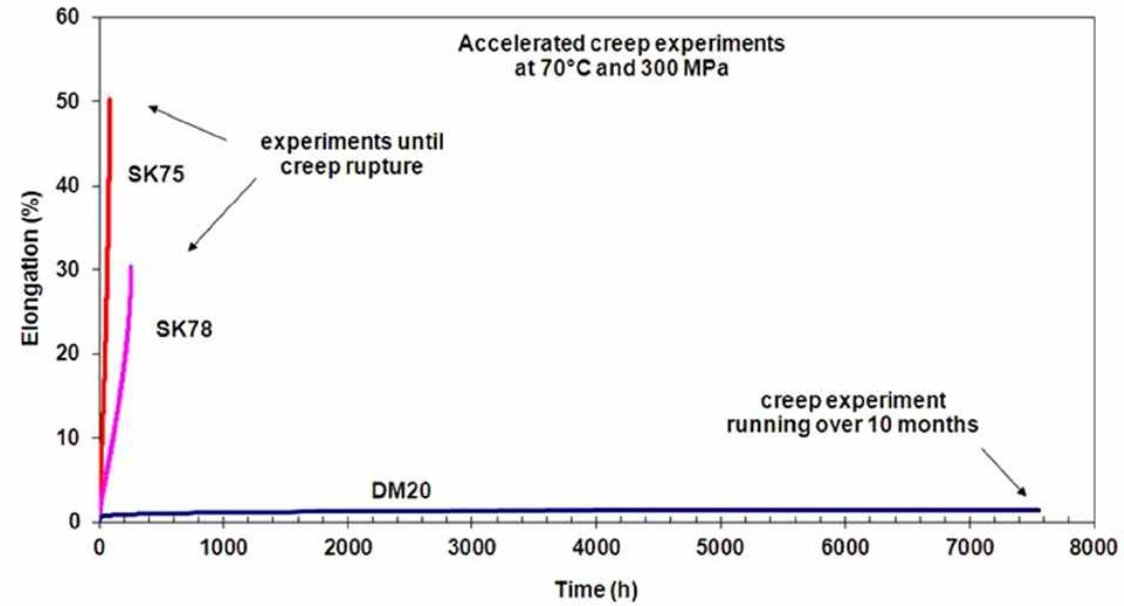


그림 28 Dyneema® 섬유의 크리프 특성

참고로 그림 28는 Dyneema® 섬유의 크리프 특성을 나타내는 그래프이다. 그림에서 확인해볼 수 있듯이 Dyneema® 섬유의 이러한 크리프 특성을 보완하기 위해 개발된 섬유 라인이 Dyneema® DM20이다.

3.1.4. Stress relaxation 성능 비교

그림 29은 합성로프 별 Stress relaxation을 평가한 실험의 결과를 나타낸 그림이다. 크리프 거동과 마찬가지로 Vectran™ 섬유가 장기적인 거동 하에서 응력의 감소 없이 초기 상태를 잘 유지하는 것을 확인해 볼 수 있다. 전반적으로 인장강도 및 강성 측면에서 낮은 성능을 나타냈던 Vectran™ 섬유가 크리프 및 Stress relaxation과 같은 로프의 장기거동과 관련된 특성에서는 뛰어난 성능을 나타냄을 확인해 볼 수 있다.

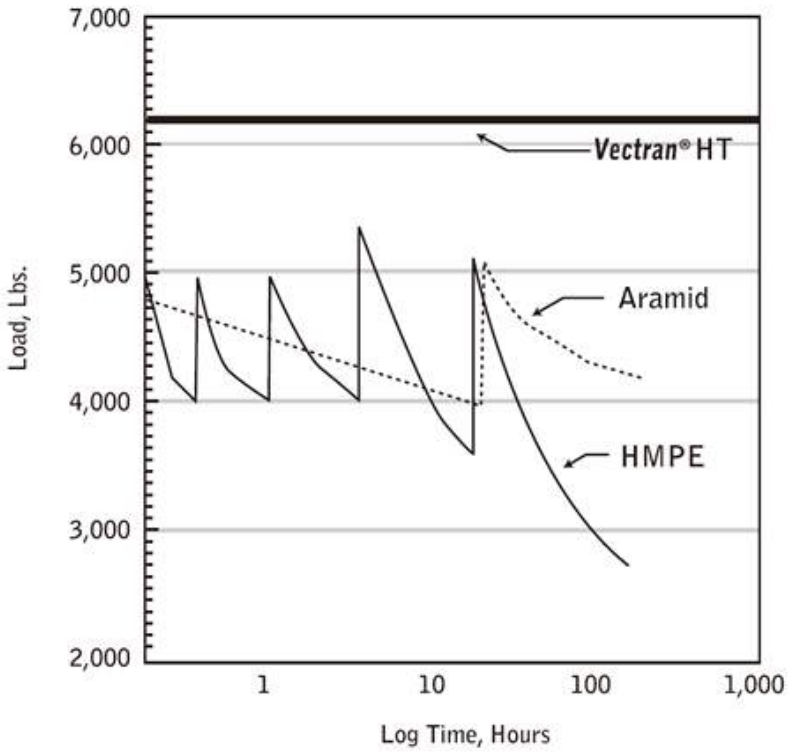


그림 29 Stress Relaxation (1/2" dia wirelay rope)

3.1.5. 피로(fatigue) 성능 비교

먼저, 피로 저항성능의 종류 중 Yarn-on-Yarn Abrasion Resistance에 대해 살펴보고자 한다. 이는 로프를 구성하는 yarn들 사이의 반복되는 내부마찰 등에 의해서 로프가 점차 본연의 인장성능을 상실해 가는데 이에 대한 저항성능을 나타내는 용어이다. 그림 30에 나타낸 것처럼 반복적인 하중을 가해 로프가 절단될 때까지 실험을 실시하였다. 그 결과를 표 18에 나타냈다.

표 18에 나타난 바와 같이, Vectran™ yarn이 16,672회로 파괴시점까지 제일 오래 저항하였으며, HMPE yarn이 8,518회로 그 뒤를 이었다. 이는 Vectran™ yarn의 성능과 비교해 약 50% 감소된 횟수이다. 그 다음으로 PBO yarn이 2,153회로 Vectran™ yarn에 비해 1/8 감소된 성능을 나타냈다. 마지막으로 아라미드 계열 yarn이 가장 낮은 Abrasion Resistance를 나타냈다.

표 18 Comparative Testing of Yarn-on-Yarn Abrasion Resistance

Yarn	Average Cycles-to-Failure	
	Dry	Wet
Vectran™ T97, 1500D	16,672	21,924
Aramid 1, 1500D	1,178	705
Aramid 2, 1500D	1,773	759
Aramid 3, 1500D	974	486
PBO, 1500D	2,153	-
HMPE, 1500D	8,518	23,619

Test Method CI-1503: 1.5 wraps, 500g load, 66 cycles/min, no twist

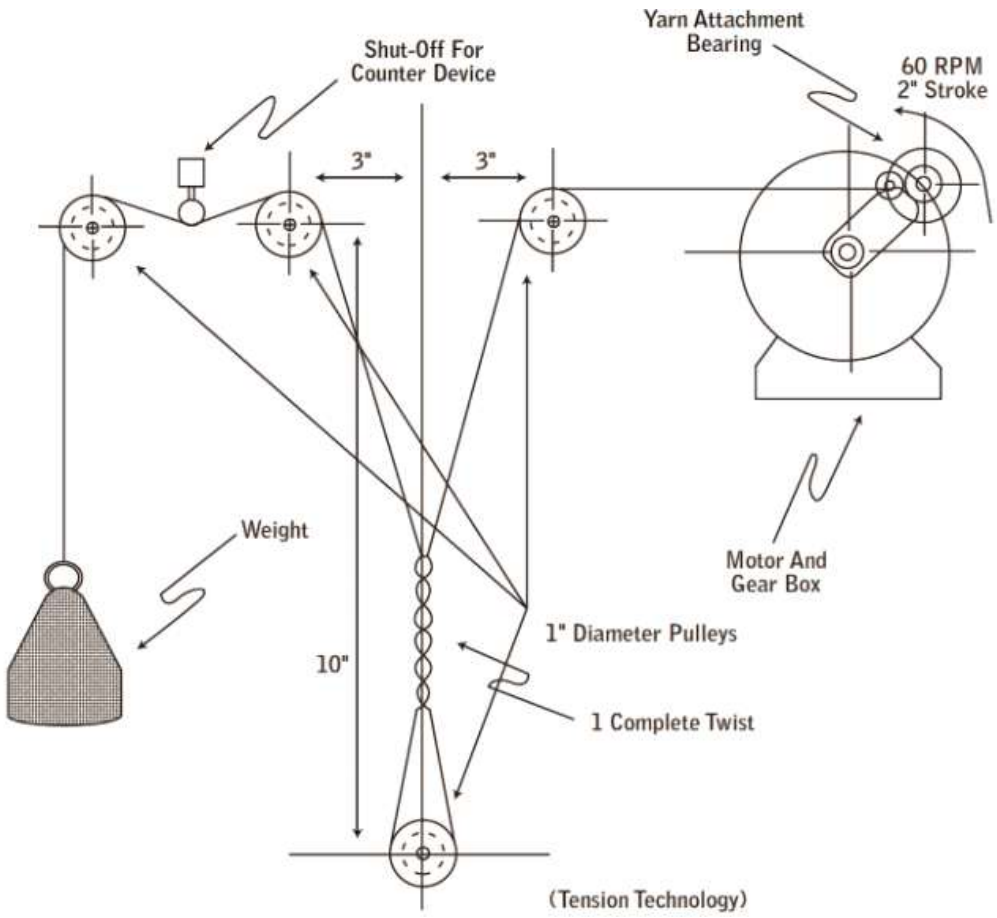


그림 30 Yarn-On-Yarn Abrasion Test Set-Up

마지막으로 살펴볼 피로강도는 Flexural fatigue이다. 이는 도르래 등에 로프가 설치될 경우, 도르래에 의해 로프에 휨응력이 발생하게 된다. 이 휨응력이 반복적으로 가해질 경우, 그 누적 피로에 의해 발생되는 파단을 살펴본 것이다. 그림 31에 이를 평가하기 위한 실험 장치를 나타냈다.

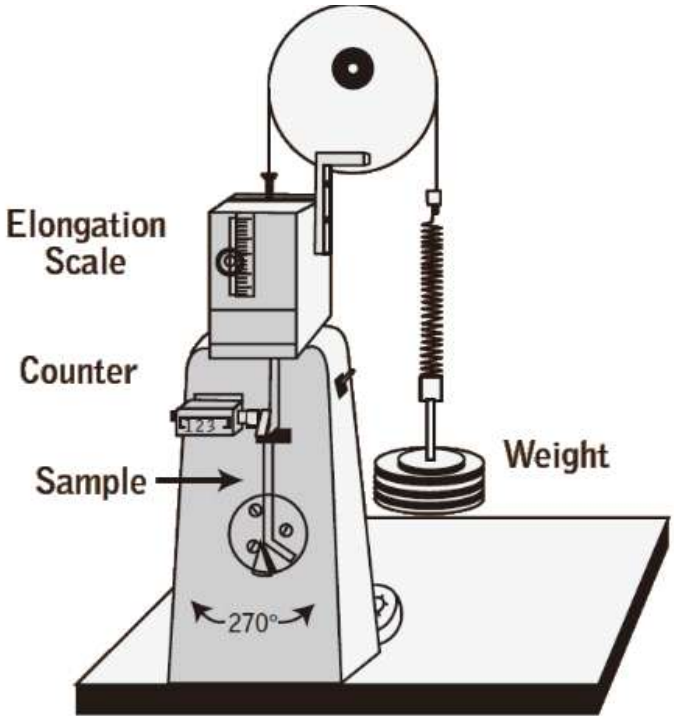


그림 31 Folding Endurance Tester (Tinius Olsen/M.I.T.)

표 19에 상기 테스트 셋업으로 실험한 결과를 나타냈다. 본 실험에서는 지름 0.085″의 Parallel core를 가지고 외부에 jacket으로 둘러싸인 로프를 사용하였으며, 도르래의 지름은 1.78″였다. 100 lb 크기의 하중을 58 cycles/min의 속도로 반복가력하였으며, 샘플 당 5번의 실험을 실시하여 그 평균을 산정하였다. 역시, LCP 로프가 4만번을 웃도는 반복횟수로 가장 휨에 대한 피로 저항력이 높았으며, 그 다음으로 PBO 로프, 아라미드 계열 로프가 그 뒤를 이어 저항성능이 뛰어난 것으로 나타났다.

표 19 Flexural Fatigue Results on 0.085″ Ropes

Material	Average Cycles-to-Failure
Vectran™ T117 (LCP)	41,909
Aramid 1	2,115
Aramid 2	14,963
Aramid 3	8,143
PBO	25,158

3.2. 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템에 적합한 합성로프 제안

앞서 살펴 본 각종 합성 및 탄소섬유의 재료적 특성을 바탕으로 본 연구에 사용되기 적합한 소재 및 로프를 다음과 같이 정리해 볼 수 있다.

1. 본 연구에서 제안하고자 하는 케이블-도르래 조합형 내진보강 시스템은 도르래 사이에 연결된 로프에 의해 프레임 변형에 저항하는 하중이 무리없이 전달되어야 한다. 이때, 설치되는 로프의 탄성구간 내 변형이 최소화될수록, 즉, 로프의 강성이 높을수록 하중이 효과적으로 전달될 것은 자명한 사실이다. 제안된 합성섬유들 중 PBO 섬유나 탄소 섬유는 매우 뛰어난 인장강도와 높은 탄성계수를 지니는 특성이 있다. 이 때문에 해당 섬유에 기반한 로프를 사용할 경우, 기존에 널리 사용되던 강와이어 로프와 유사한 성능을 기대해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

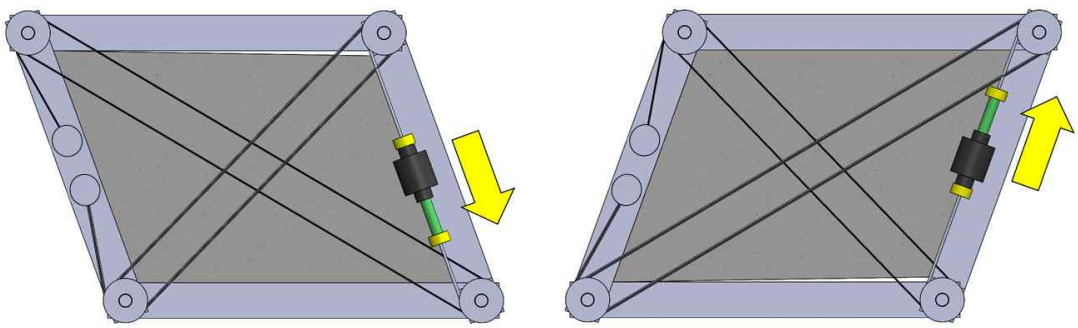


그림 32 케이블과 도르래를 이용한 변위증폭 메커니즘

2. PBO 섬유에 기반한 로프를 적용할 경우, 다른 합성 로프들과 마찬가지로 설치 전 Bedding-in Process를 통해 로프의 안정화를 도모하는 것이 필요하다. 이 과정을 통해서 제작된 합성로프의 강성을 극대화할 수 있어 보다 효과적인 도르래 시스템을 기대해 볼 수 있다.



그림 33 Bedding-in process를 통한 Rope의 사전 강성 안정화 도모

3. 탄소 섬유의 경우, 아직 로프 형태로의 제작이 보편화되어 있지 않고, 그 성능 또한 검증이 되지 않은 상태이므로 본 연구 시스템에 바로 적용하는 데에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 그러나 현재 KONE사에서 개발된 UltraRope는 이미 초고층 건축물의 엘리베이터 설치를 위한 로프로 사용되는 등 그 활용 저변이 확대되어 가는 추세이다. 특히, 사각형 단면으로 제작되는 로프 형상은 도르래와의 접촉면적을 최대화하여, 하중 전달 시 도르래와의 상호작용에 있어 원형 로프보다 유리할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 대상 시스템에 이를 도입하는 경우의 수도 고려해 볼

수 있을 것으로 사료된다. 이 경우, 해당 로프를 적용할 수 있는 도르래 역시 함께 개발되어야 하는 것이 필요할 수 있다.



그림 34 KONE UltraRope에 대한 적용 고려

4. 마지막으로 본 연구 시스템의 주요 타켓은 지진 하중에 의한 건물 프레임의 변화(층간 변위 증가)를 도르래와 로프를 이용해 댐퍼에 효과적으로 전달하는 것에 있다. 이 때문에 설치된 로프의 높은 강성은 앞서 기술한 바와 같이 중요한 요소로서 고려되어야 한다. 만약 본 시스템에 사용되는 로프가 탄성 구간 이후의 소성변형까지 진행될 수 있다면, 도르래와의 상호 거동에서 불필요한 변형이 동반되어 그 성능이 감소될 수 있는 우려가 있다. 따라서 지진과 같은 큰 하중에 의한 로프의 소성 변형이 우려가 되는 경우에는 로프 자체가 탄성적으로 지속해서 거동하는 합성섬유가 일반 강와이어 로프보다 유리하게 작용할 수 있는 측면이 있다.

References

Bajpai, P. (2013) "Update on Carbon Fibre: 3. Properties of Carbon Fibre." Smithers Rapra Technology.

Boesten, J. (2014) "Mooring with HMPE rope." FPSO Forum Monaco, DSM.

Davies, P., Reaud, Y., Dussud, L., and Woerther, P. (2011) "Mechanical behaviour of HMPE and aramid fibre ropes for deep sea handling operations." Ocean Engineering. 38:2208-2214.

DSM. "Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fiber from DSM Dyneema_Product brochure."

DuPont. (2017) "Kevlar aramid fiber: Technical guide." Richmond, VA USA.

Ferer, K. M. and Swenson, R. C. (1976) "DESIGN GUIDE FOR SELECTION AND SPECIFICATION OF KEVLAR ROPE FOR OCEAN ENGINEERING AND CONSTRUCTION." Naval Research Laboratory, Washington, D.C., USA.

Foster, G. P. (2002) "Advantages of Fiber Rope Over Wire Rope." JOURNAL OF INDUSTRIAL TEXTILES. 32(1);67-75.

Gottifredi Maffioli S.r.l. "GP CUSTOM_Product brochure."

Gottifredi Maffioli S.r.l. "Yachting Lines_Product brochure."

Kurary. "Vectran™_Product brochure." Osaka, Japan.

Kurary America Inc. (2010) "Vectran®_Grasp The World of Tomorrow: Liquid crystal technology." Fort Mill, SC, USA.

Lian, Y., Liu, H., Li, L., and Zhang, Y. (2018) "An experimental investigation on the bedding-in behavior of synthetic fiber ropes." Ocean Engineering. 160;368-381.

Liu, H., Huang, W., Lian, Y., and Li, L. (2014) "An experimental investigation on nonlinear behaviors of synthetic fiber ropes for deepwater moorings under cyclic loading." Applied Ocean Research 45;22-32.

Marlow Ropes Inc. "The Definitive Rope Guide_Product brochure."

Mower, T. M. (2000) "Sheave-bending and tensile fatigue of aramid-fiber

strength members for communications cables." International Journal of Fatigue. 22;121-135.

Stenvers, D., Roberts, P., and Chou, R. "Testing of High Strength Synthetic Ropes." Samson Rope Technologies, Inc., USA.

TEIJIN. "Twaron - a versatile high-performance fiber_Product brochure."

TOYOBO CO., LTD. (2005) "PBO fiber Zylon®_Technical Information." Osaka, Japan.

Trigo-López, M., Garcia J. M., Ruiz, J. A. R., Garcia, F. C. and Ferrer, R. (2018) "Aromatic Polyamides." Encyclopedia of Polymer Science and Technology.

www.marlowropes.com

www.gottifredimaffioli.com

www.kevlar.com

www.kone.com

www.kurarayamerica.com

www.packagingcomposites-honeywell.com/spectra/

www.teijinaramid.com

www.toyobo.co.jp

www.tokyorope.co.jp

www.vectran.net

부록 C

시험성적서

시 험 성 적 서

㈜ 토탈이엔씨
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
초대형구조실험동 신관101호
Tel : 031-438-7183 Fax. : 031-436-8158

성적서 번호 :
TOTAL-19-129

㈜토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

1. 의뢰인
   - □ 기 관 명 : (주)테크스퀘어
   - □ 주 소 : 서울특별시 서초구 반포대로25 (서초동,자동차회관) 3층
2. 시험 대상 품목
   - □ 제 품 명 : 와이어 케이블 인장 실험
   - □ 모 델 명 : 25-6-1~5, 35-6-1~6, 헤라클레스-1~5
3. 시험기간 : 2018년 10월 23일 ~ 2018년 10월 24일
4. 시험방법 : 의뢰자 제시 조건
5. 시험결과

시험체명	최대하중(kN)	최대하중시 변위(mm)	시험체명	최대하중(kN)	최대하중시 변위(mm)
25-6-1	650.858	72.21	35-6-4	653.800	94.02
25-6-2	650.204	96.27	35-6-5	659.684	98.34
25-6-3	646.935	94.08	헤라클레스-1	344.226	78.24
25-6-4	640.724	88.95	헤라클레스-2	340.630	83.49
25-6-5	640.724	88.83	헤라클레스-3	332.457	77.04
35-6-1	648.570	93.81	헤라클레스-4	345.860	73.02
35-6-2	654.781	94.89	헤라클레스-5	340.957	87.66
35-6-3	657.069	96.90			

이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다,
* 표시된 시험결과는 시험기관의 인정범위 밖의 것임을 밝힙니다,

확 인	작성자	기술책임자
	성 명 : 이 종 규 (서명)	성 명 : 김 상 학 (서명)

2019년 05월 23일

㈜토탈이엔씨 대표이사 (인)

시 험 결 과

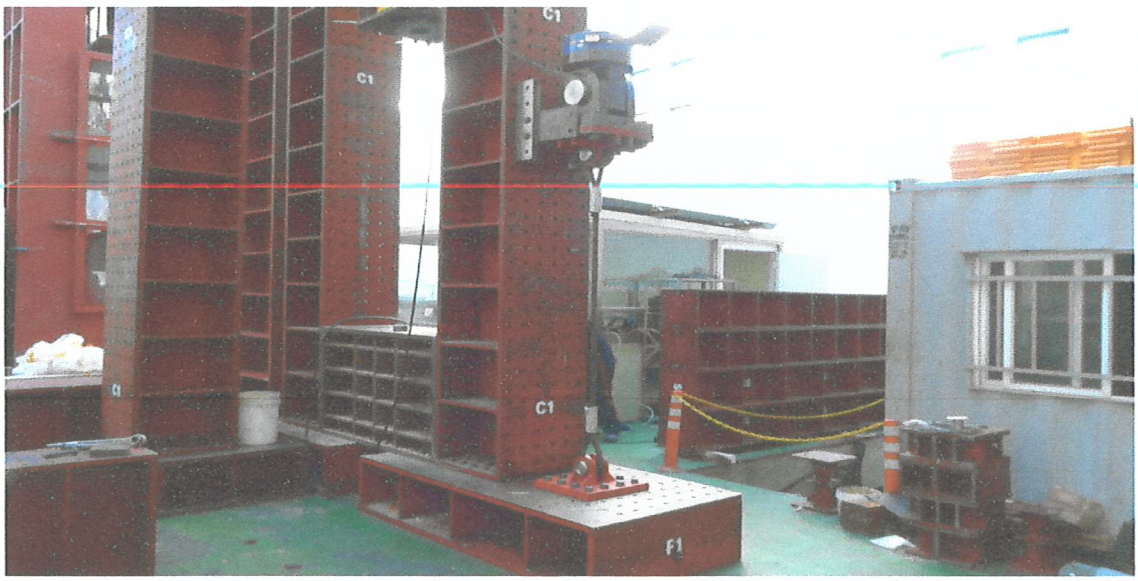
㈜ 토탈이엔씨
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
초대형구조실험동 신관101호
Tel : 031-438-7183 Fax. : 031-436-8158

성적서 번호 :
TOTAL-19-129

㈜토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

[첨부. 1] 시험 세팅 상황

시험 세팅 상황



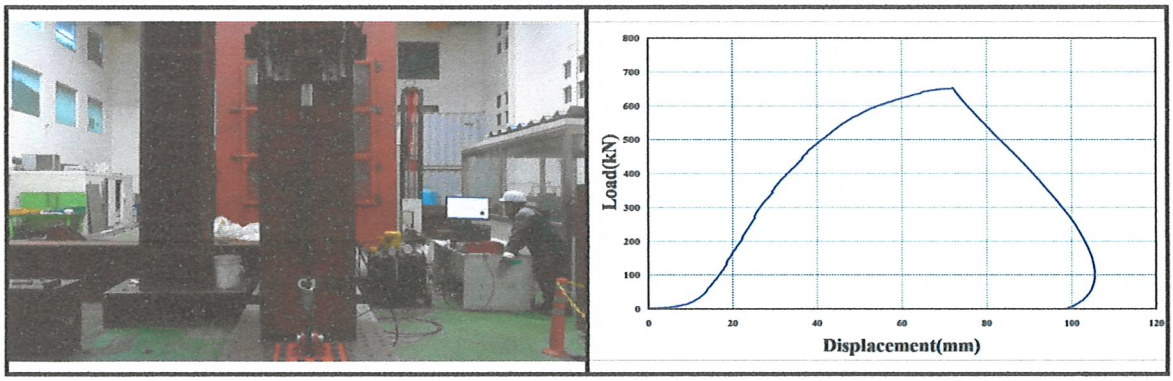
시 험 결 과

㈜ 토탈이엔씨
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
초대형구조실험동 신관101호
Tel : 031-438-7183 Fax. : 031-436-8158

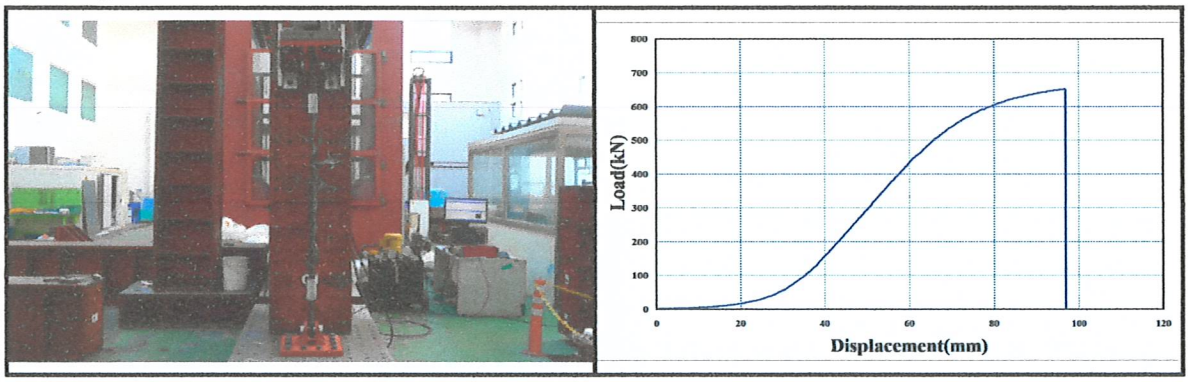
성적서 번호 :
TOTAL-19-129

㈜토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

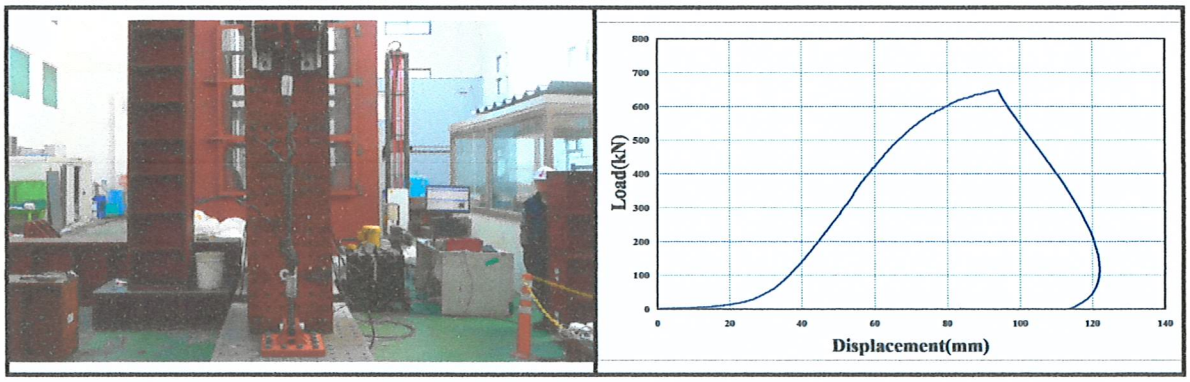
[첨부. 2] 25-6-1 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 3] 25-6-2 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 4] 25-6-3 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



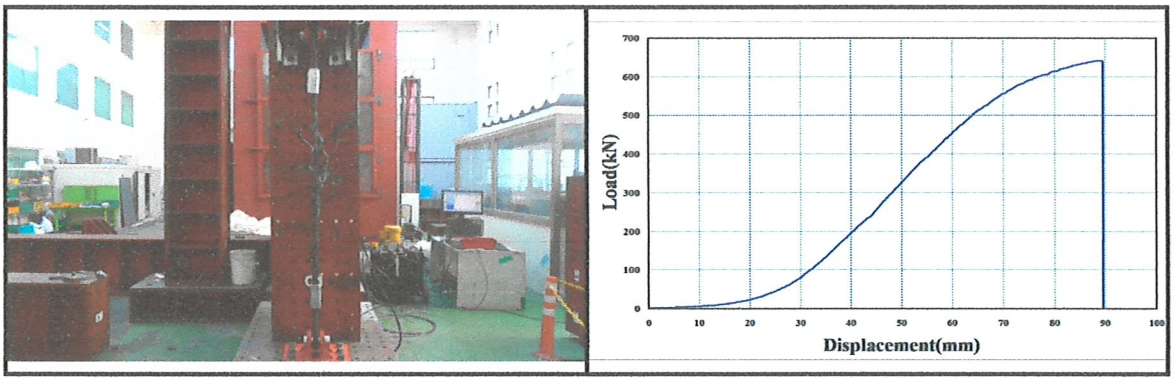
시 험 결 과

㈜ 토탈이엔씨
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
초대형구조실험동 신관101호
Tel : 031-438-7183 Fax. : 031-436-8158

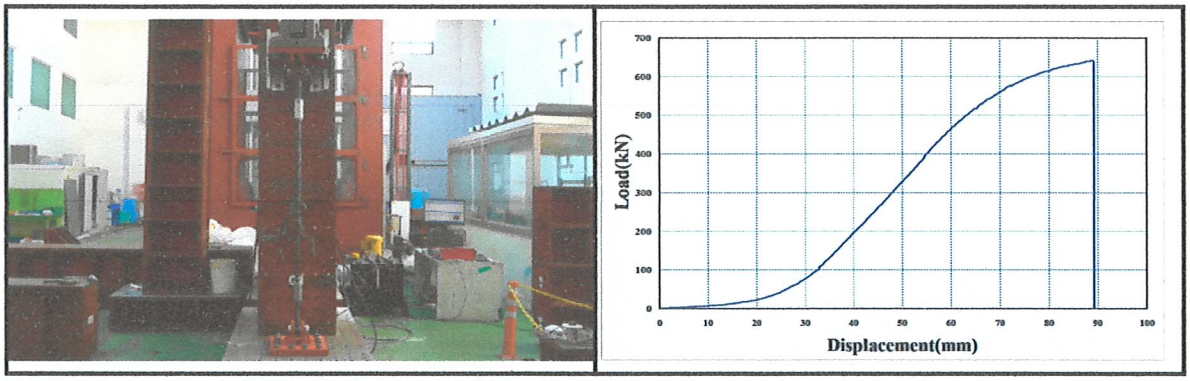
성적서 번호 :
TOTAL-19-129

㈜토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

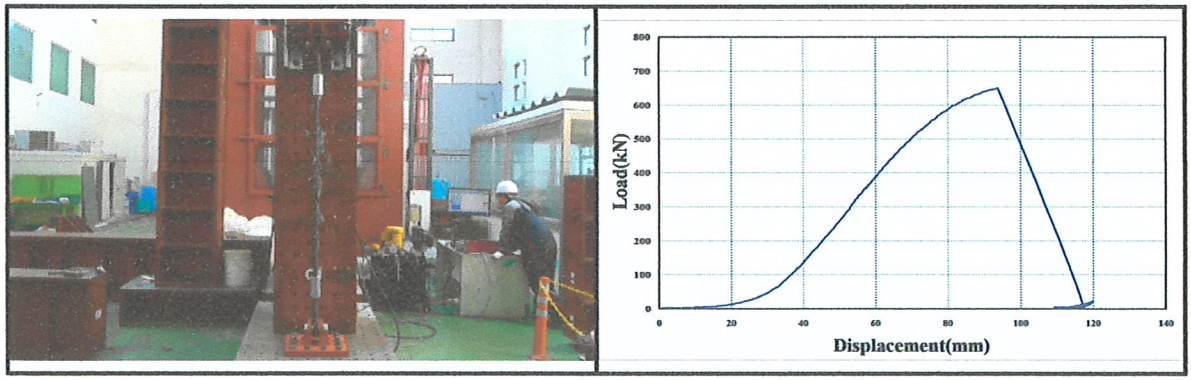
[첨부. 5] 25-6-4 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 6] 25-6-5 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 7] 35-6-1 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



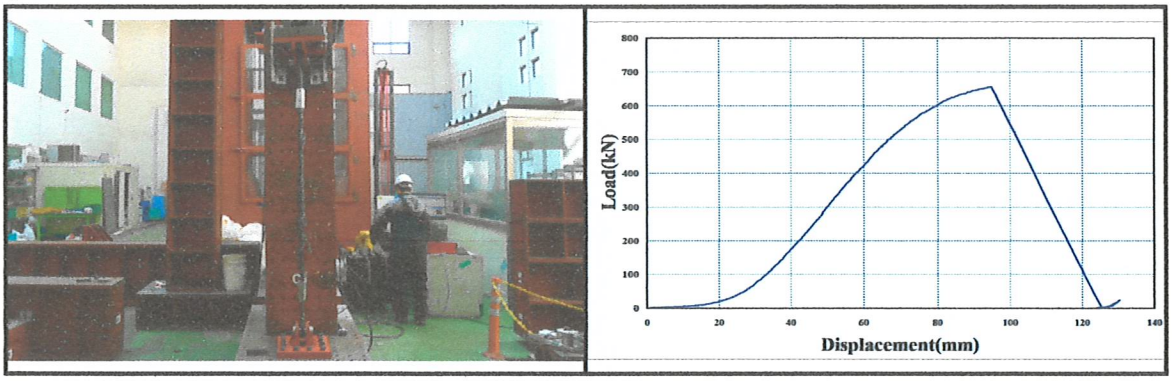
시 험 결 과

㈜ 토탈이엔씨
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
초대형구조실험동 신관101호
Tel : 031-438-7183 Fax. : 031-436-8158

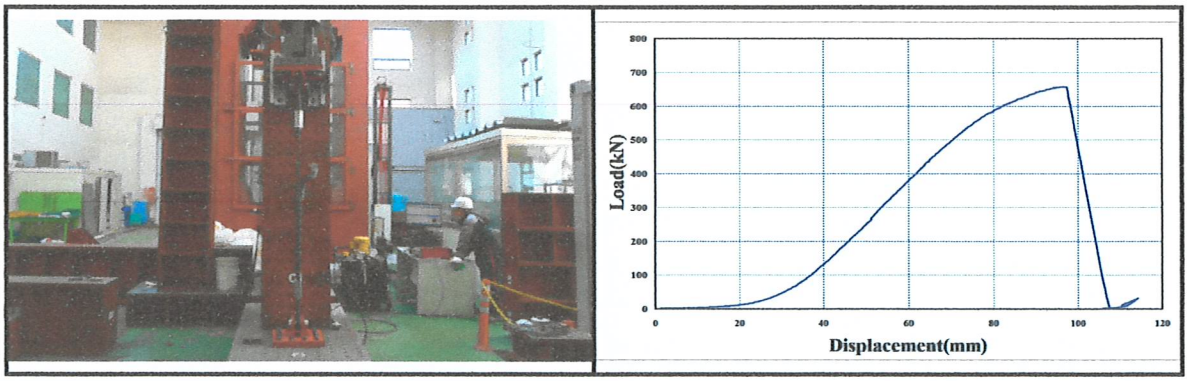
성적서 번호 :
TOTAL-19-129

㈜토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

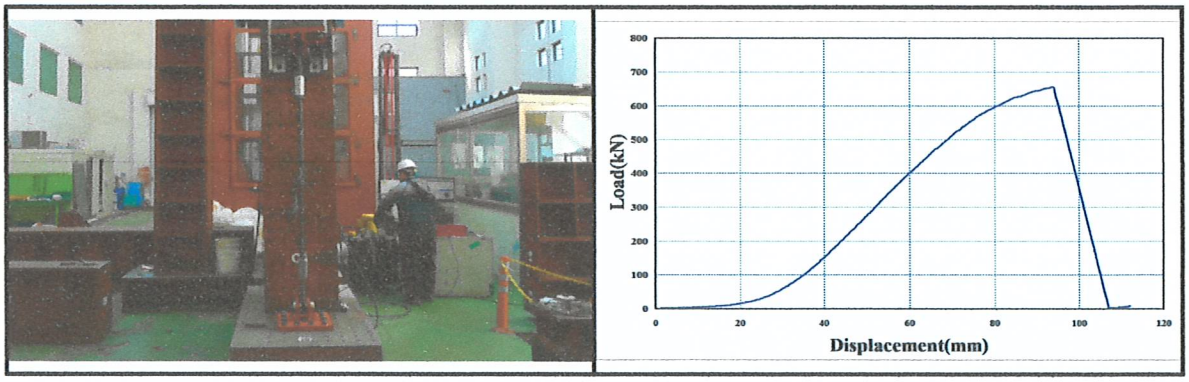
[첨부. 8] 35-6-2 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 9] 35-6-3 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 10] 35-6-4 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



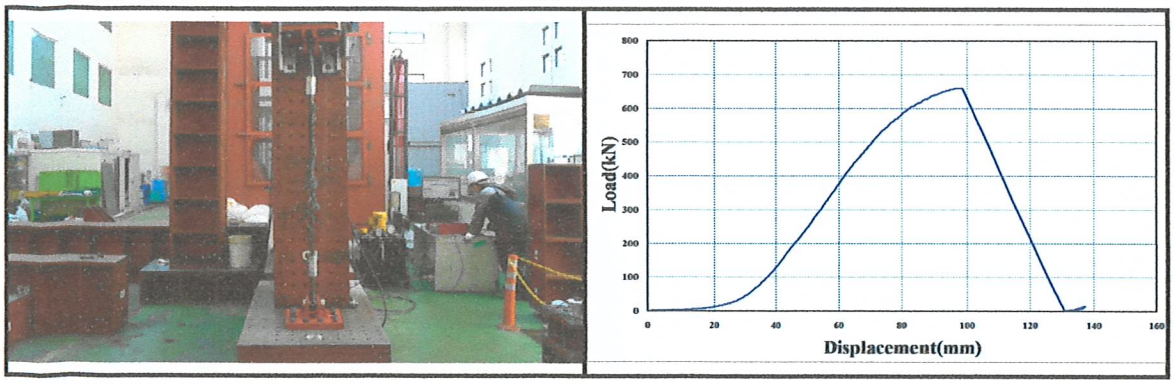
시 험 결 과

㈜ 토탈이엔씨
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
초대형구조실험동 신관101호
Tel : 031-438-7183 Fax. : 031-436-8158

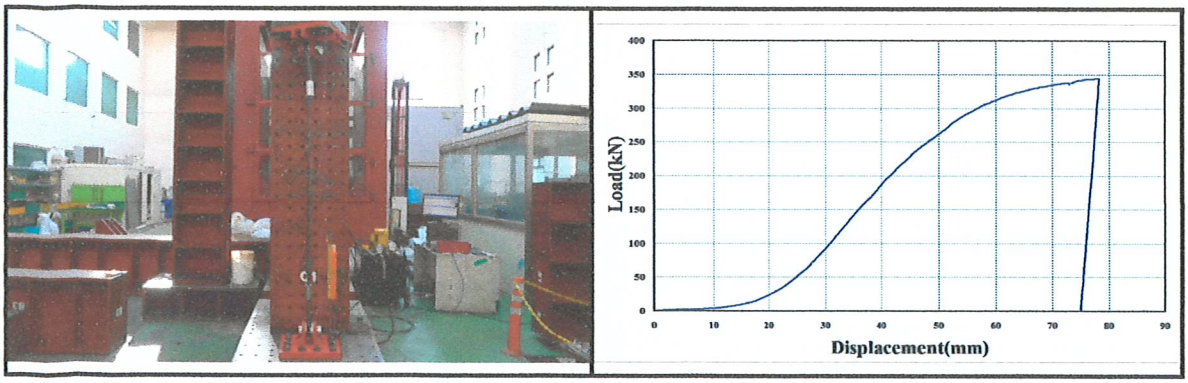
성적서 번호 :
TOTAL-19-129

㈜토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

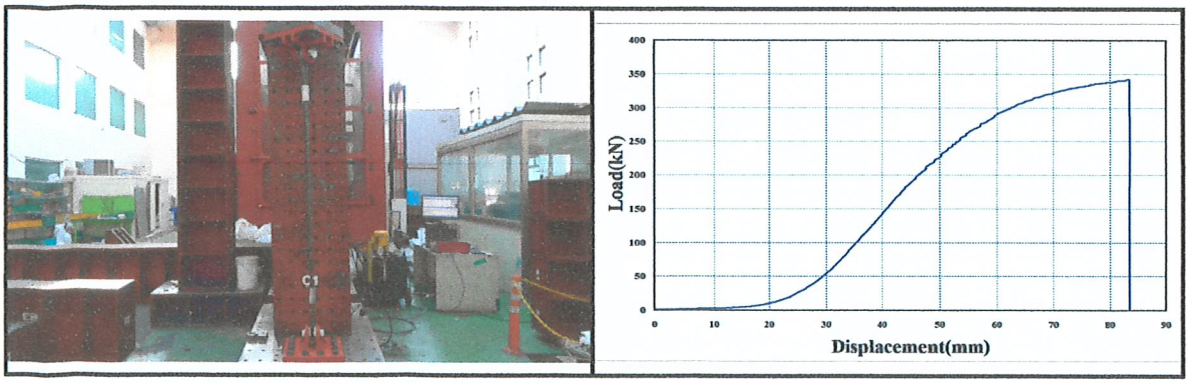
[첨부. 11] 35-6-5 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 12] 헤라클레스-1 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 13] 헤라클레스-2 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



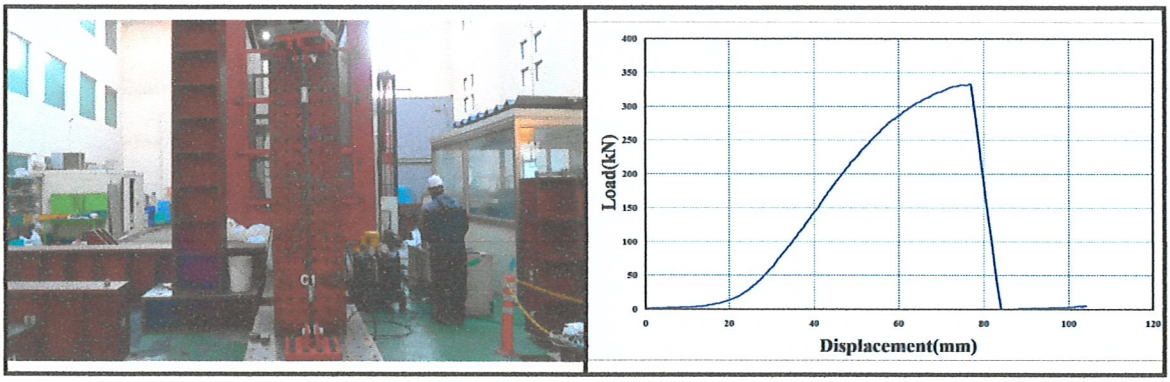
시 험 결 과

㈜ 토탈이엔씨
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
초대형구조실험동 신관101호
Tel : 031-438-7183 Fax. : 031-436-8158

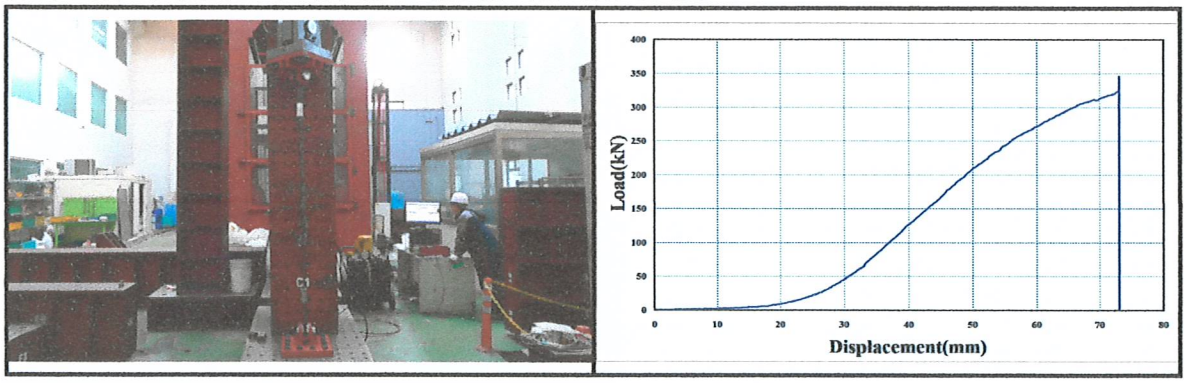
성적서 번호 :
TOTAL-19-129

㈜토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

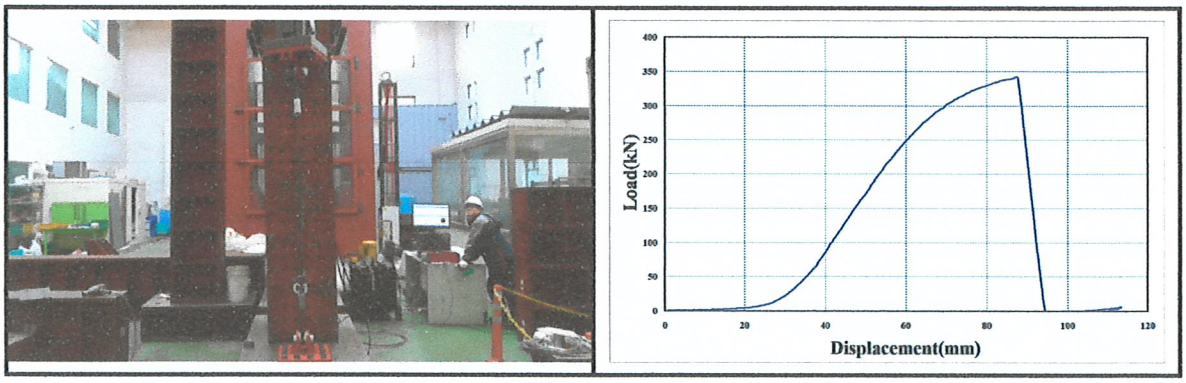
[첨부. 14] 헤라클레스-3 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 15] 헤라클레스-4 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



[첨부. 16] 헤라클레스-5 시험 종료 사진 및 하중-변위 그래프



시 험 결 과

㈜ 토탈이엔씨
경기도 안산시 상록구 한양대학로 55 한양대학교
초대형구조실험동 신관101호
Tel : 031-438-7183 Fax. : 031-436-8158

성적서 번호 :
TOTAL-19-129

㈜토탈 이엔씨
Experiment & Consulting

[표. 1] 시험 장비

장비명	기기번호	제조사
2000kN 오일젝	-	삼연 / 한국

끝.

TOTAL ENC

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

○ 성적서 번호 : MJ2018-49-CT (실험관리번호 : MJ2018-067-A)
○ 계 약 명 : 케이블 인장실험
○ 실험체명 / 실험방법 : 케이블 인장 실험체 (수량 15개, 의뢰자 제공) / 의뢰자 제공
○ 업 체 명 : (주)테크스퀘어
○ 주 소 : 서울 서초구 반포대로 25, 자동차회관 3층(서초동)
○ 실험장비 : 5 MN Dynamic UTM
○ 실험일자 : 2018. 10. 24 ~ 10. 26
○ 실 험 환 경 : 온도 (15.5 ± 0.1) ℃ , 습도 (62 ± 1) % R.H.

실 험 결 과

구분[1]	최대하중 및 변위	
	하중 (kN)	변위 (mm)
26-1-1725	503.32	168.88
26-2-1740	506.63	183.32
26-3-1735	504.00	177.65
26-4-1730	505.45	188.28
26-5-1745	502.86	183.73
28-1-1705	539.75	179.09
28-2-1715	530.66	180.83
28-3-1710	540.05	187.05
28-4-1715	536.57	181.22
28-5-1710	538.99	190.46
30-1-1660	607.08	195.71
30-2-1655	613.60	204.75
30-3-1660	605.97	134.18
30-4-1665	610.50	187.52
30-5-1655	606.83	184.92

※ 상기 실험결과의 하중과 변위는 실험장비 (5 MN Dynamic UTM)의 출력값임.
※ 변위제어방식 (1.0 mm/min)으로 재하.
1) 실험체명은 의뢰자가 정의하였음.

확 인	작성자 직 위: 실무자 성 명: 이 선호 (서명)	승인자 직 위: 기술책임자 성 명: 이 승국 (서명)

2018. 11. 08.

명지대학교 산학협력단 하이브리드구조실험센터장 (인)

※ 위 성적서에 실무자와 실험책임자의 서명이 자필로 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없음.

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

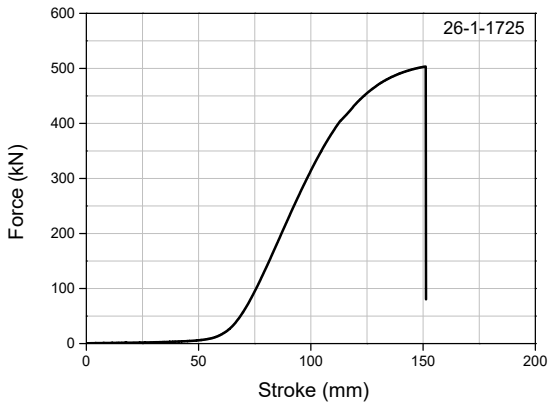


그림 1. 26-1-1725의 하중-변위 그래프

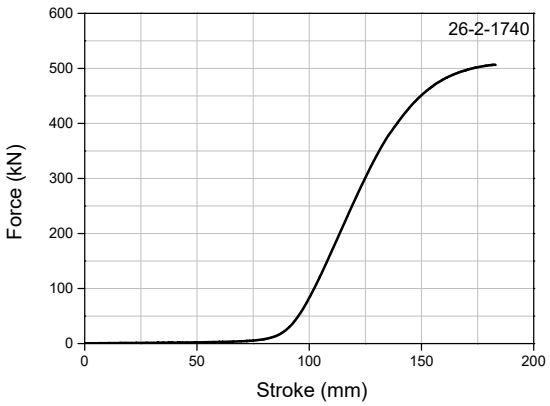


그림 2. 26-2-1740의 하중-변위 그래프

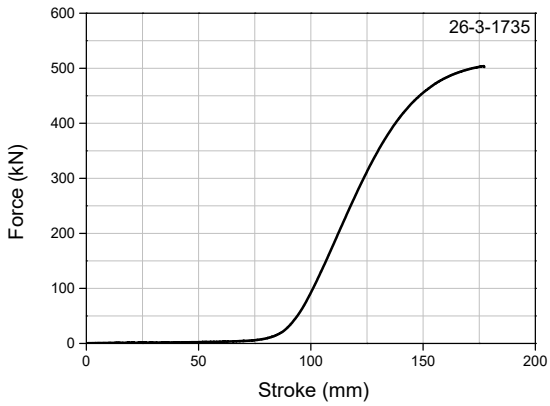


그림 3. 26-3-1735의 하중-변위 그래프

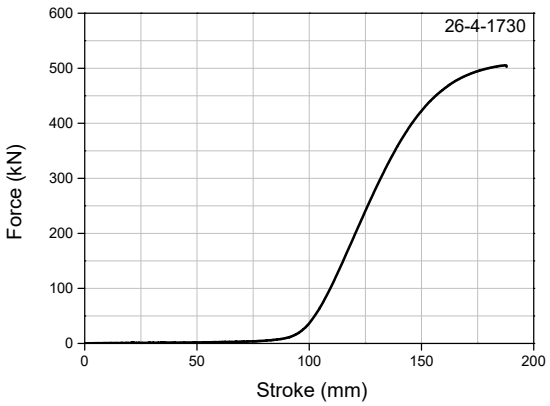


그림 4. 26-4-1730의 하중-변위 그래프

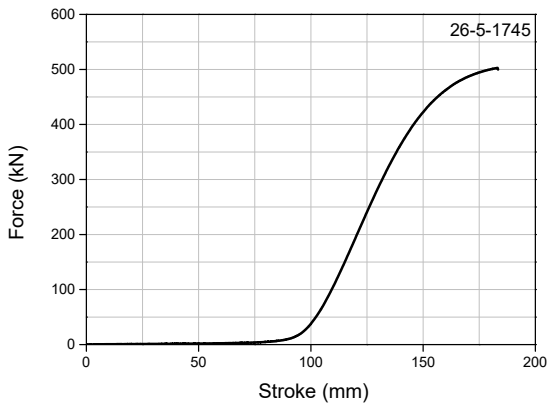


그림 5. 26-5-1745의 하중-변위 그래프

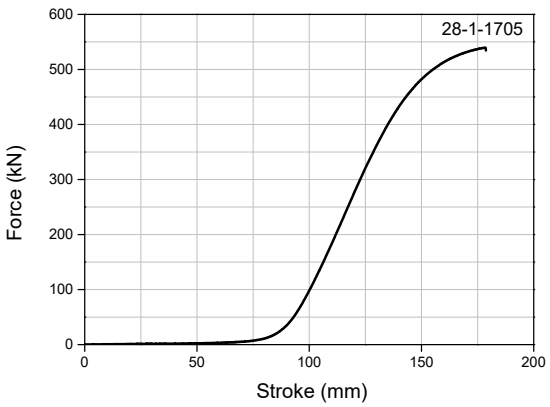


그림 6. 28-1-1705의 하중-변위 그래프

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

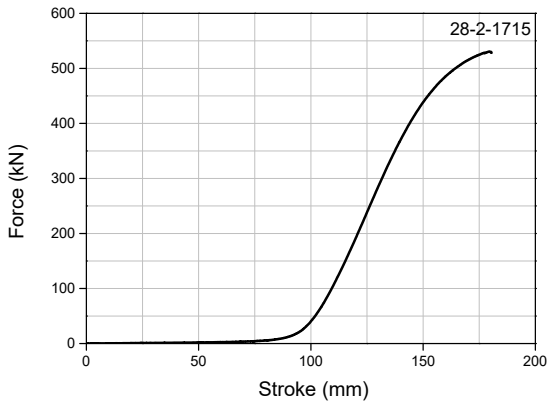


그림 7. 28-2-1715의 하중-변위 그래프

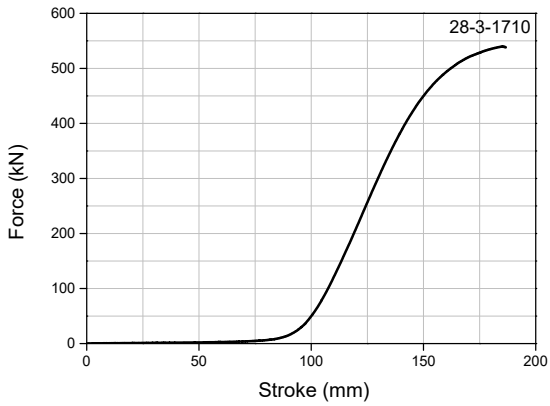


그림 8. 28-3-1710의 하중-변위 그래프

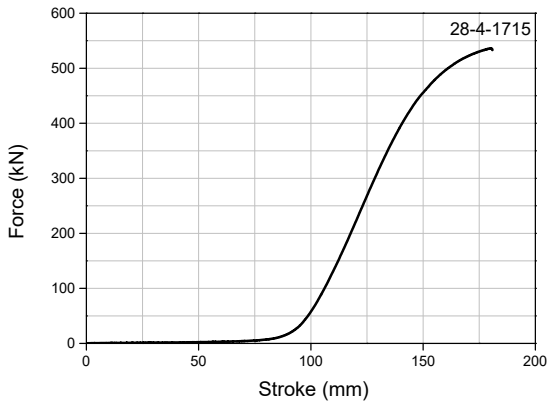


그림 9. 28-4-1715의 하중-변위 그래프

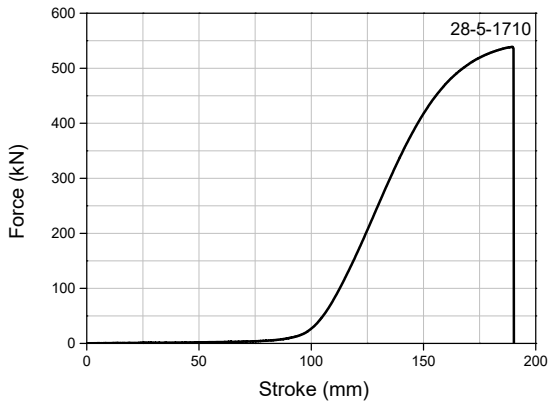


그림 10. 28-5-1710의 하중-변위 그래프

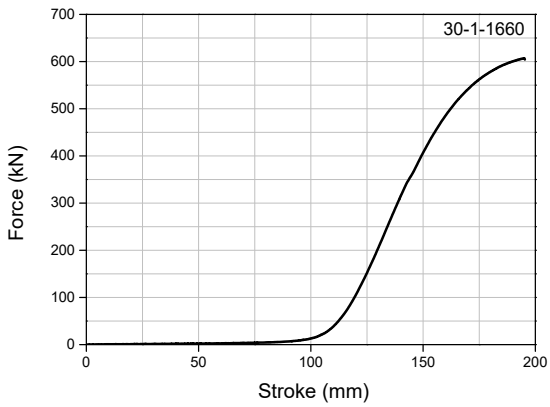


그림 11. 30-1-1660의 하중-변위 그래프

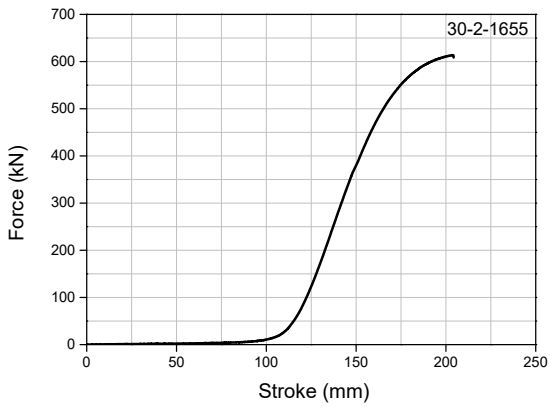


그림 12. 30-2-1655의 하중-변위 그래프

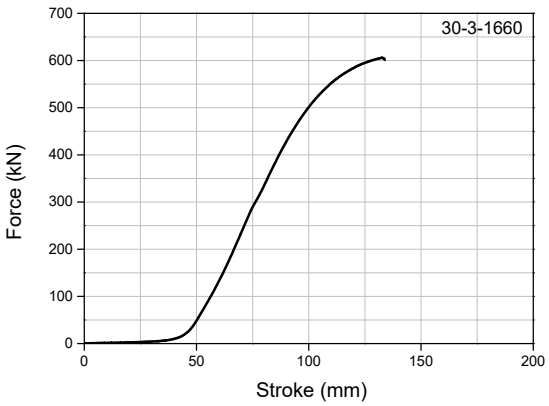


그림 13. 30-3-1660의 하중-변위 그래프

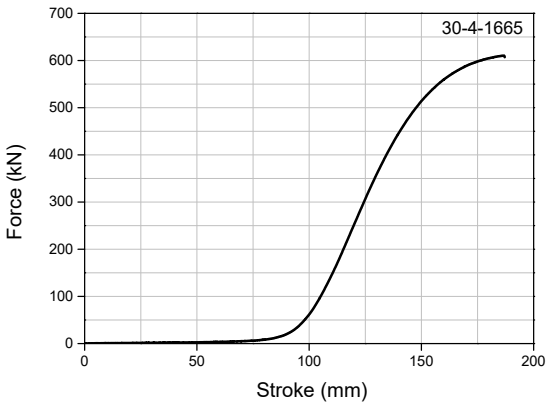


그림 14. 30-4-1665의 하중-변위 그래프

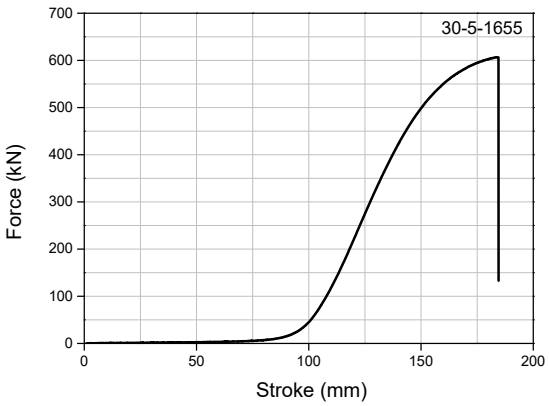


그림 15. 30-5-1655의 하중-변위 그래프

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)



그림 16. 실험 전경사진

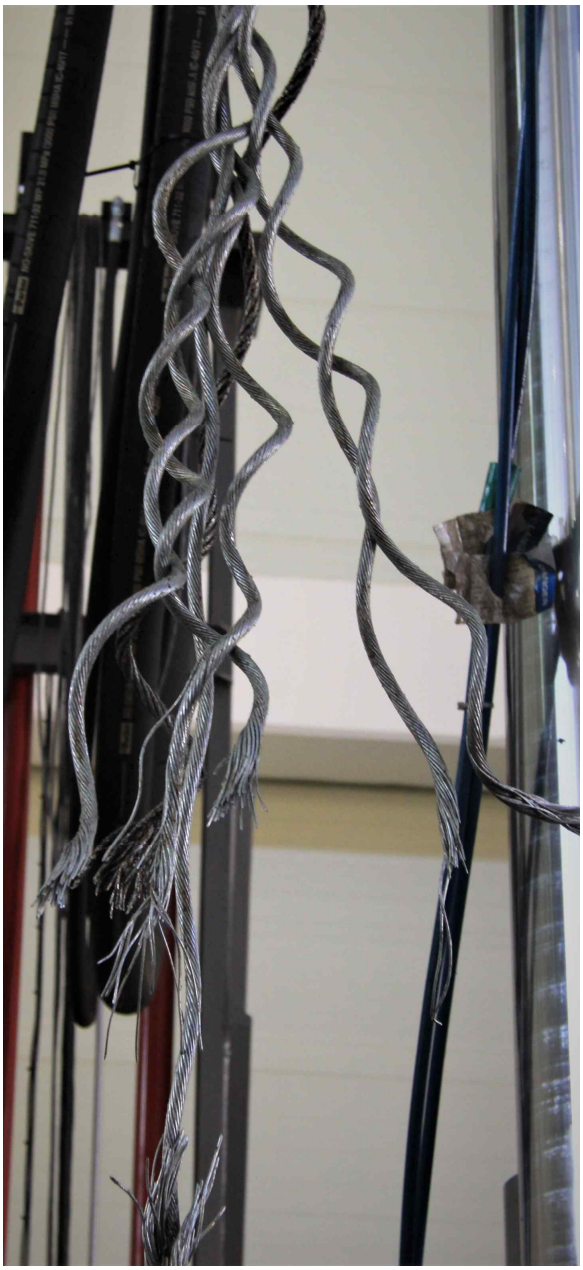


그림 17. 케이블 파단 사진

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

Hystec

○ 성적서 번호 : MJ2018-64-CT (실험관리번호 : MJ2018-072-A)
○ 계 약 명 : 케이블 인장실험(2차)
○ 실험체명 / 실험방법 : 케이블 인장 실험체 (수량 15개, 의뢰자 제공) / 의뢰자 제공
○ 업 체 명 : (주)테크스퀘어
○ 주 소 : 서울 서초구 반포대로 25, 자동차회관 3층(서초동)
○ 실험장비 : 5 MN Dynamic UTM
○ 실험일자 : 2018. 11. 29 ~ 11. 30
○ 실 험 환 경 : 온도 (9.7 ± 0.1) ℃ , 습도 (39 ± 1) % R.H.

실 험 결 과

구분[1)]	최대하중 및 변위	
	하중 (kN)	변위 (mm)
16H-1-2020	191.28	82.94
16H-2-2020	188.78	82.67
16H-3-2025	190.26	80.46
16H-4-2020	189.93	81.06
16H-5-2020	191.75	85.05
16-1-2020	191.10	79.97
16-2-2020	194.56	86.15
16-3-2025	193.20	84.76
16-4-2020	194.04	86.15
16-5-2020	193.77	84.15
20-1-2010	273.68	73.67
20-2-2010	285.17	88.84
20-3-2010	281.53	79.47
20-4-2015	281.65	80.53
20-5-2015	284.16	84.98

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

26-1-1985	510.28	103.46
26-2-1990	507.44	98.40
26-3-1995	508.31	111.98
26-4-1995	510.14	203.60
26-5-2000	508.42	105.12

※ 상기 실험결과의 하중과 변위는 실험장비 (5 MN Dynamic UTM)의 출력값임.

※ 변위제어방식 (1.0 mm/min)으로 재하.

1) 실험체명은 의뢰자가 정의하였음

확 인	작성자	승인자
	직 위: 실무자	직 위: 기술책임자
	성 명: 이 선호 (서명)	성 명: 이 승국 (서명)

2018. 12. 10

명지대학교 산학협력단 하이브리드구조실험센터장 (인)

※ 위 성적서에 실무자와 실험책임자의 서명이 자필로 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없음.

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

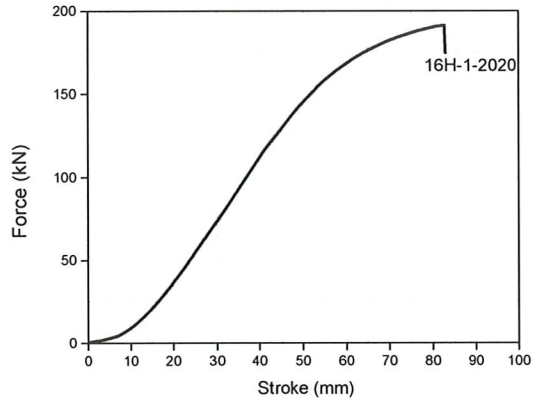


그림 1. 16H-1-2020의 하중-변위 그래프

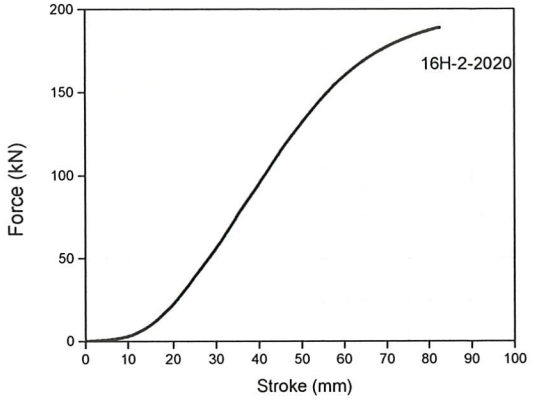


그림 2. 16H-2-2020의 하중-변위 그래프

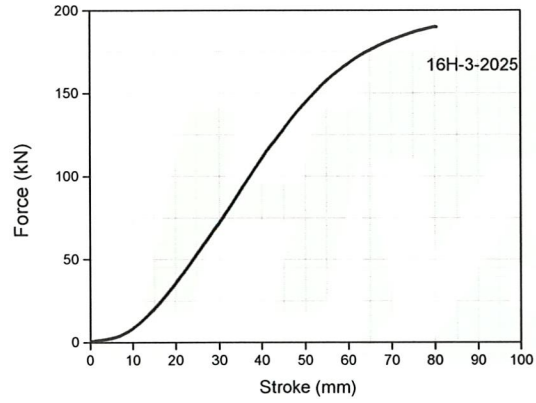


그림 3. 16H-3-2030의 하중-변위 그래프

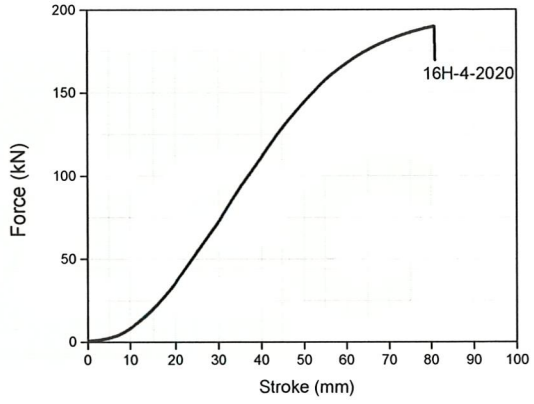


그림 4. 16H-4-2035의 하중-변위 그래프

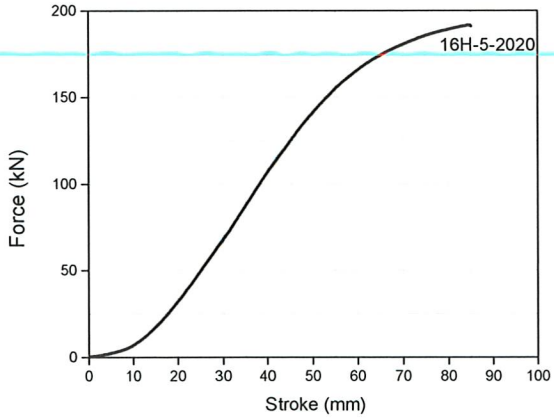


그림 5. 16H-5-2020의 하중-변위 그래프

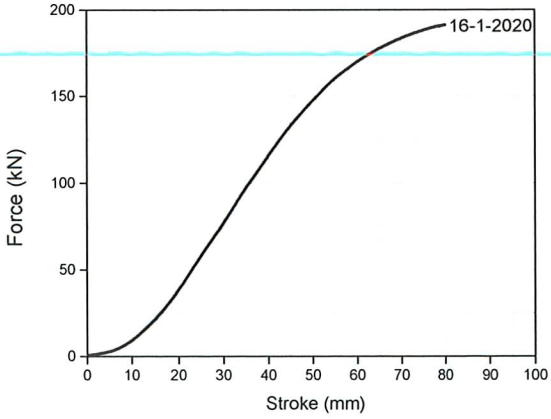


그림 6. 16-1-2020의 하중-변위 그래프

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

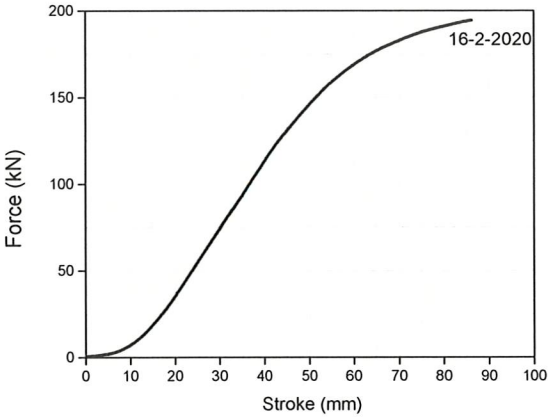


그림 7. 16-2-2020의 하중-변위 그래프

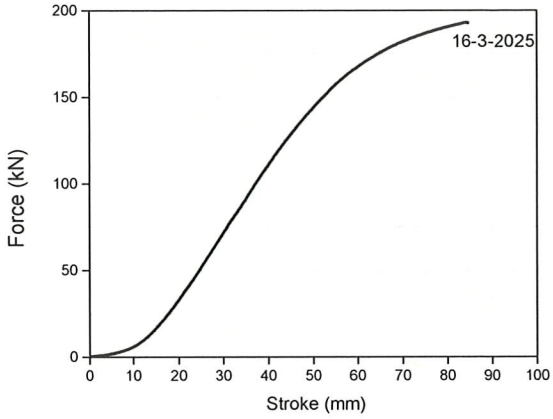


그림 8. 16-3-2025의 하중-변위 그래프

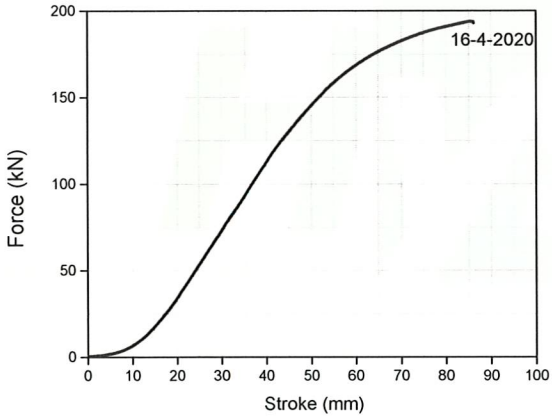


그림 9. 16-4-2020의 하중-변위 그래프

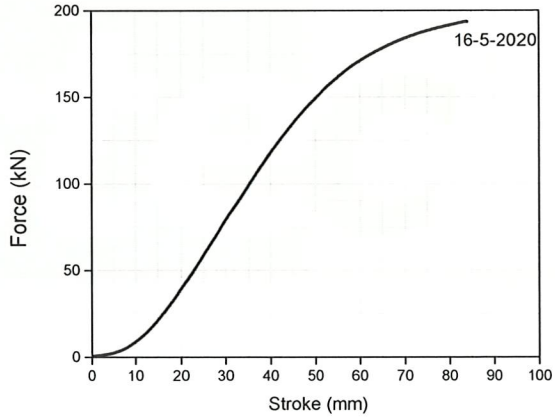


그림 10. 16-5-2020의 하중-변위 그래프

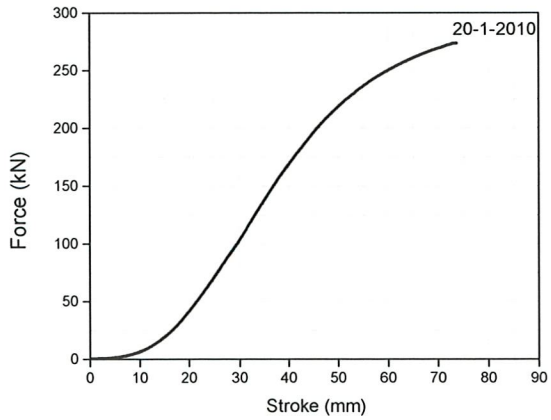


그림 11. 20-1-2010의 하중-변위 그래프

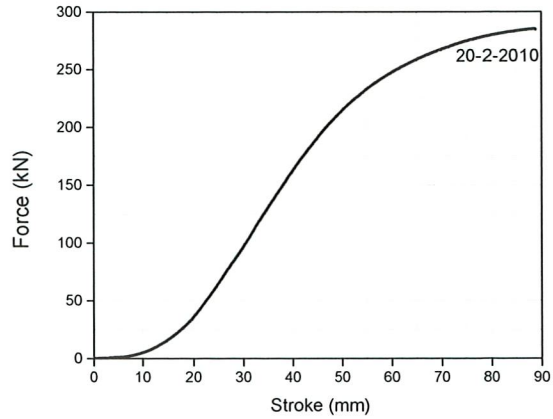


그림 12. 20-2-2010의 하중-변위 그래프

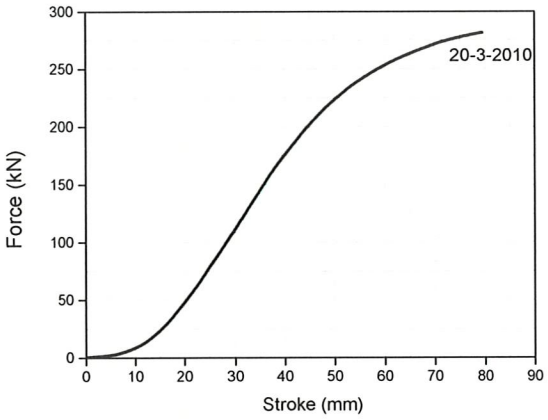


그림 13. 20-3-2010의 하중-변위 그래프

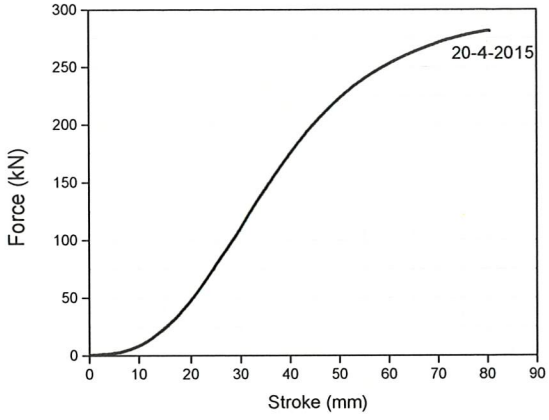


그림 14. 20-4-2015의 하중-변위 그래프

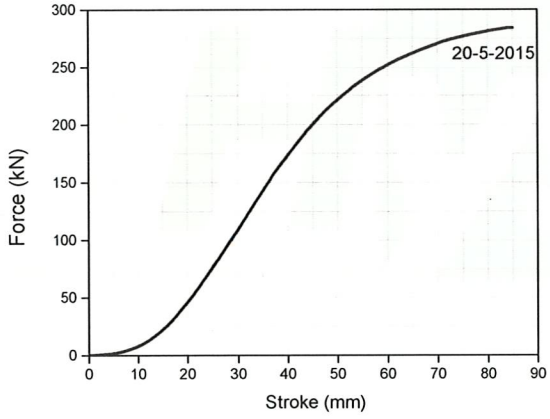


그림 15. 20-5-2015의 하중-변위 그래프

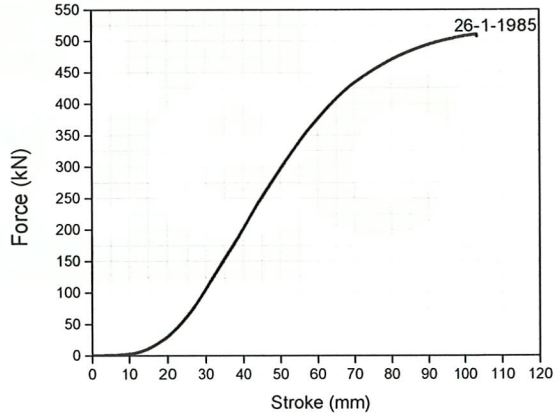


그림 16. 26-1-1985의 하중-변위 그래프

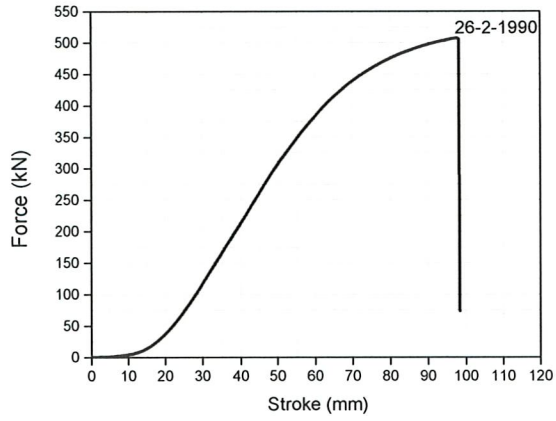


그림 17. 26-2-1990의 하중-변위 그래프

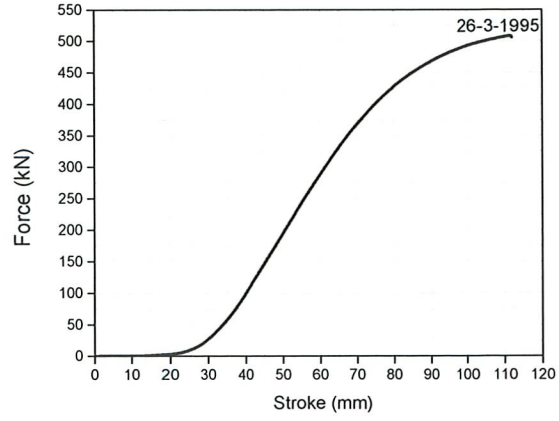


그림 18. 26-3-1995의 하중-변위 그래프

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

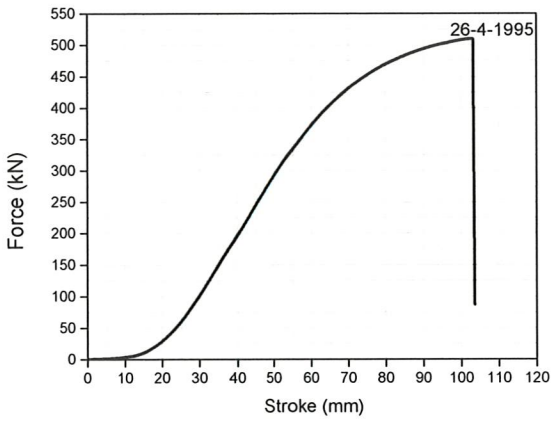


그림 19. 26-4-1995의 하중-변위 그래프

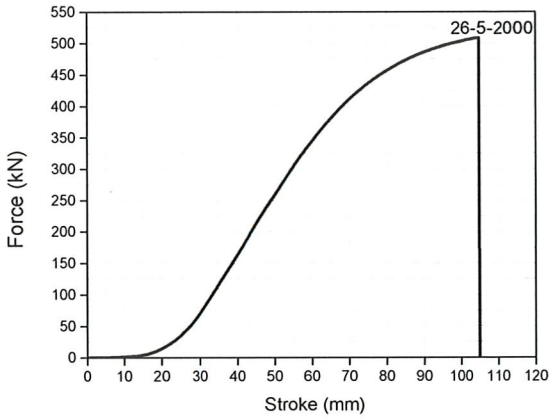


그림 20. 26-5-2000의 하중-변위 그래프

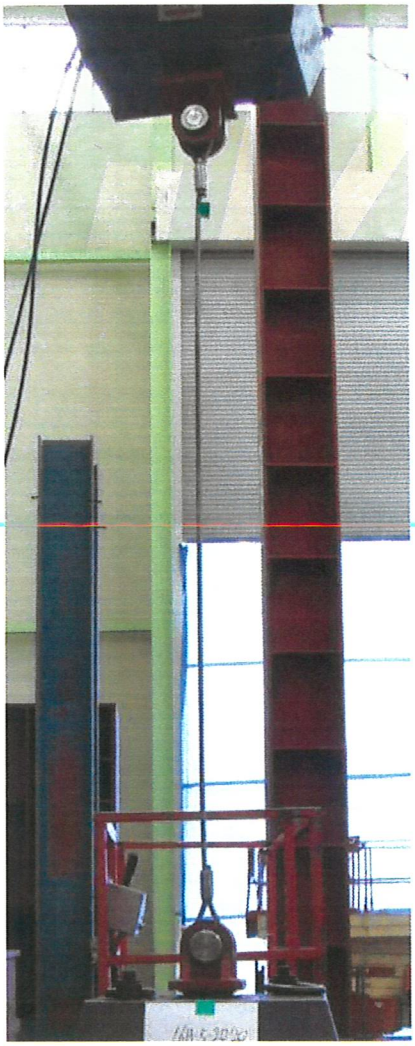


그림 21. 실험체 설치 전경

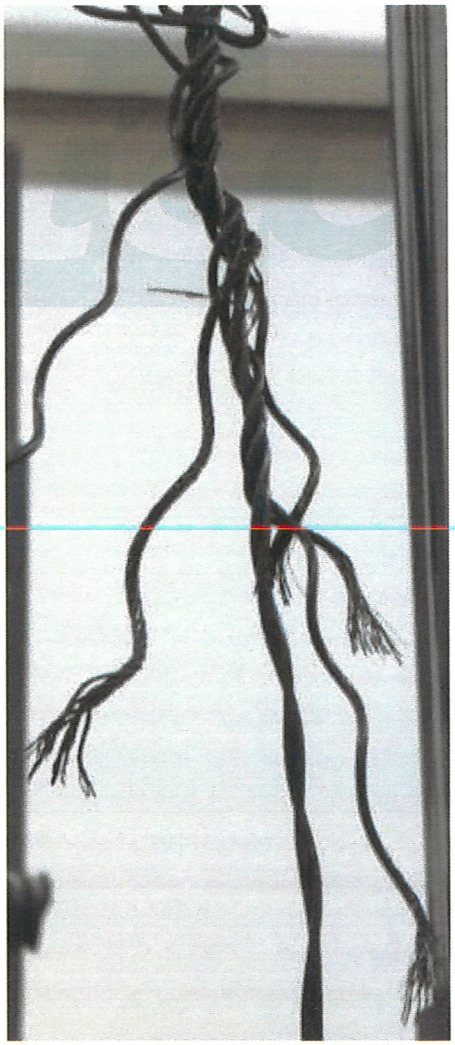


그림 22. 케이블 파단 사진

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

○ 성적서 번호 : MJ2019-10-CT-1 (실험관리번호 : MJ2018-077-A)
○ 계 약 명 : 케이블 프레임 성능실험(1차)
○ 실험체명 / 실험방법 : 케이블 프레임 실험체 / 의뢰자 제공 (수량 2개)
○ 업 체 명 : 테크스퀘어
○ 주 소 : 서울시 서초구 반포대로 25, 자동차회관 3층(서초동)
○ 실험장비 : 1 MN Actuator
○ 실험일자 : 2019. 02. 18 ~ 02. 22
○ 실 험 환 경 : 온도 (10.5 ± 0.1) ℃ , 습도 (38 ± 1) % R.H.

실 험 결 과

실험체명[1]	최대 하중 및 변위		최소 하중 및 변위	
	Act. Force (kN)	Cylinder Stroke (mm)	Act. Force (kN)	Cylinder Stroke (mm)
Type 3-1	19.04	105.08	-16.54	-105.16
Type 3-2	66.90	105.08	-65.43	-105.16
Type 5-1	60.25	75.08	-54.81	-75.13
Type 5-2	93.15	75.08	-91.62	-75.13

※ 상기 실험결과의 하중과 변위는 실험장비(1 MN Actuator)의 출력값임.
1) 실험체명은 의뢰자가 정의하였음.

확 인	작성자	승인자
	직 위: 실무자	직 위: 기술책임자
	성 명: 조 성 희 (서명)	성 명: 이 승 국 (서명)

2020. 02. 26

명지대학교 산학협력단 하이브리드구조실험센터장 (인)

※ 위 성적서에 실무자와 실험책임자의 서명이 자필로 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없음.

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

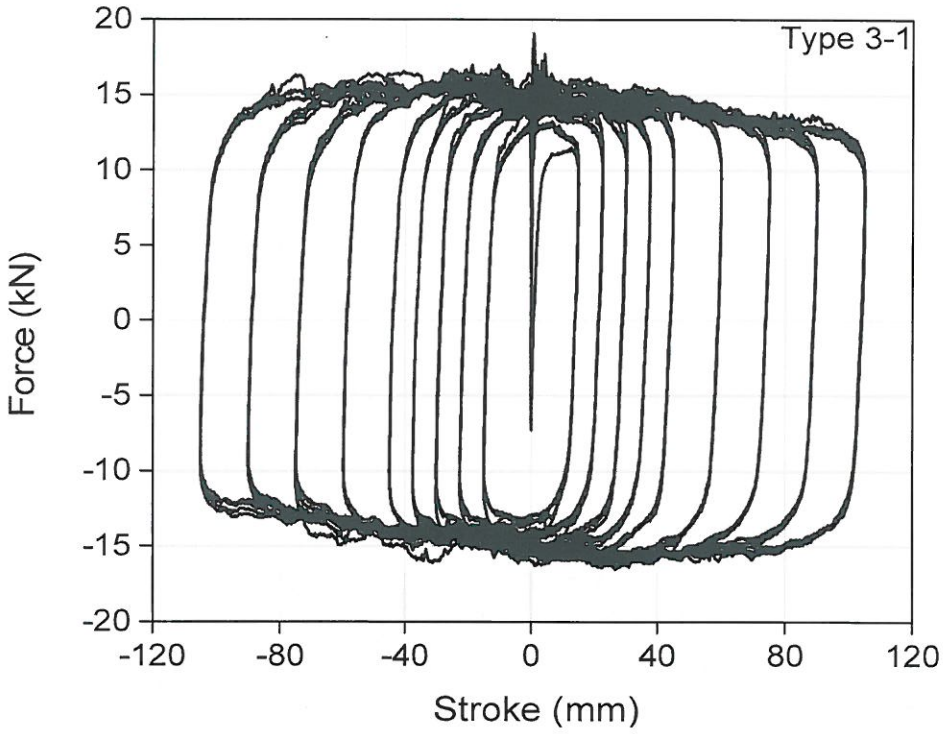


그림 1. Type 3-1의 하중-변위 그래프

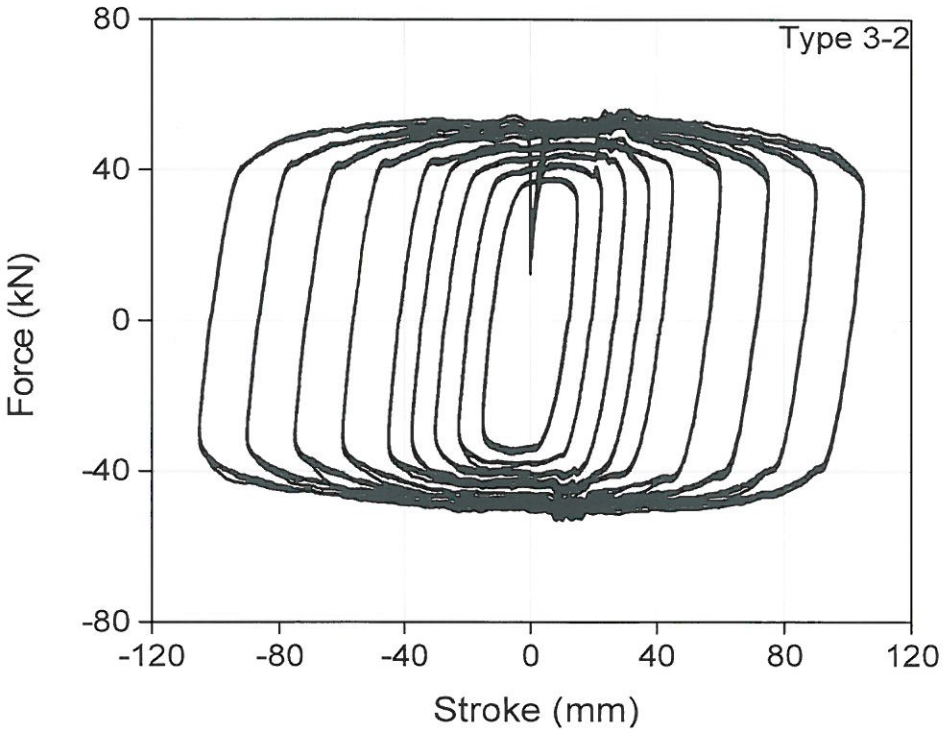


그림 2. Type 3-2의 하중-변위 그래프

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

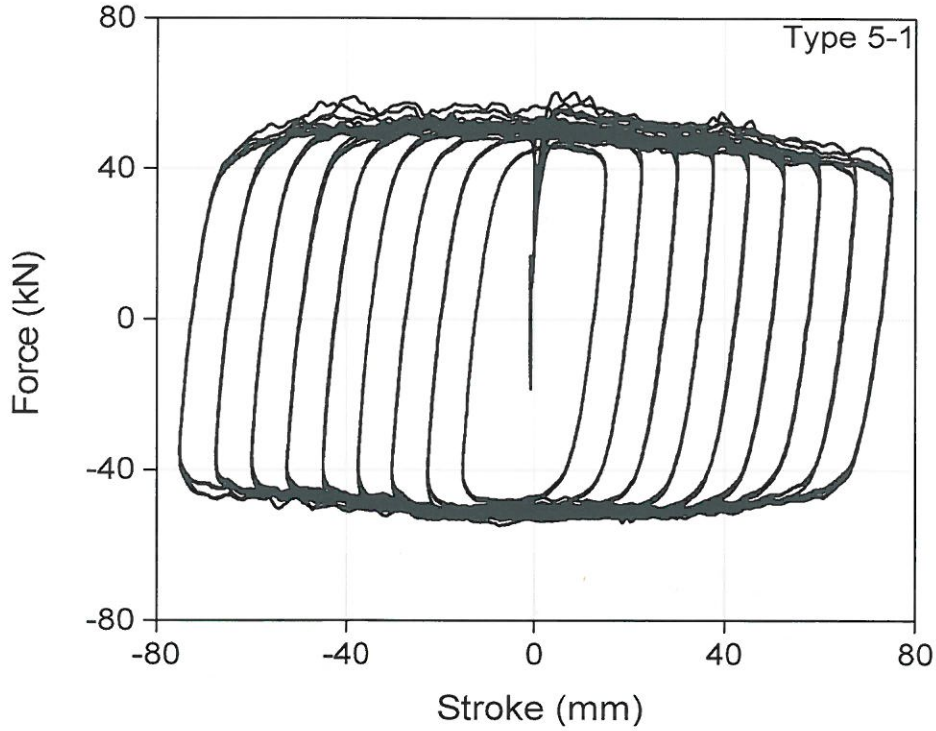


그림 3. Type 5-1의 하중-변위 그래프

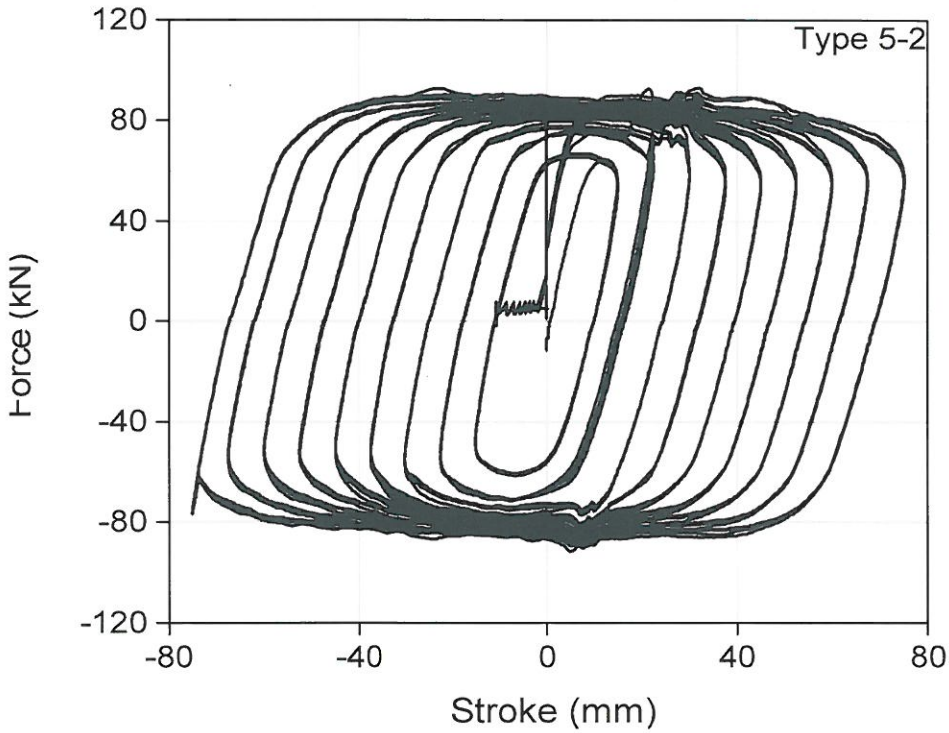


그림 4. Type 5-2의 하중-변위 그래프

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)



그림 5. Type 3-1의 실험전경



그림 6. Type 3-2의 실험전경

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)



그림 7. Type 5-1의 실험전경

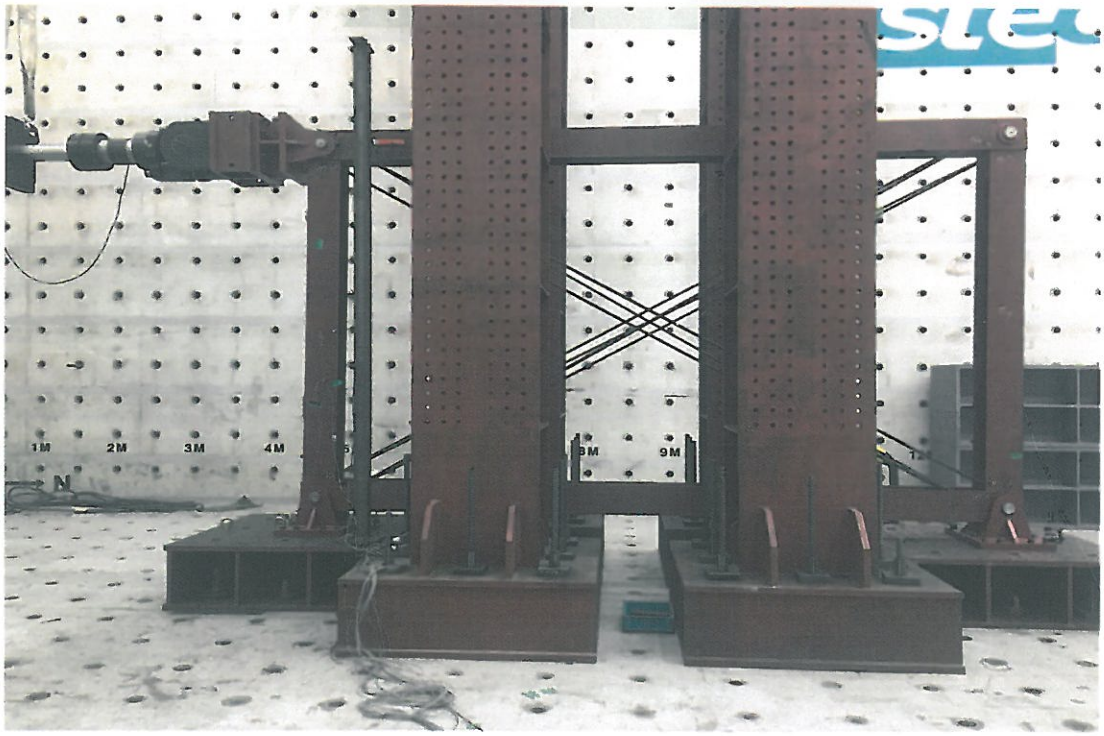


그림 8. Type 5-2의 실험전경

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

○ 성적서 번호 : MJ2019-10-CT-2 (실험관리번호 : MJ2018-077-A)
○ 계 약 명 : 케이블 프레임 성능실험(2차)
○ 실험체명 / 실험방법 : 케이블 프레임 실험체 / 의뢰자 제공 (수량 1개)
○ 업 체 명 : 테크스퀘어
○ 주 소 : 서울시 서초구 반포대로 25, 자동차회관 3층(서초동)
○ 실험장비 : 1 MN Actuator
○ 실험일자 : 2019. 02. 25 ~ 02. 28
○ 실 험 환 경 : 온도 (12.7 ± 0.1) ℃ , 습도 (36 ± 1) % R.H.

실 험 결 과

실험체명[1]	최대 하중 및 변위		최소 하중 및 변위	
	Act. Force (kN)	Cylinder Stroke (mm)	Act. Force (kN)	Cylinder Stroke (mm)
Type 7-1	145.03	45.00	-133.31	-45.05
Type 7-2	216.81	45.00	-220.66	-45.05

※ 상기 실험결과의 하중과 변위는 실험장비(1 MN Actuator)의 출력값임.
1) 실험체명은 의뢰자가 정의하였음.

확 인	작성자 직 위: 실무자 성 명: 조 성 희 (서명)	승인자 직 위: 기술책임자 성 명: 이 승 국 (서명)

2020. 02. 26

명지대학교 산학협력단 하이브리드구조실험센터장 (인)

※ 위 성적서에 실무자와 실험책임자의 서명이 자필로 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없음.

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)

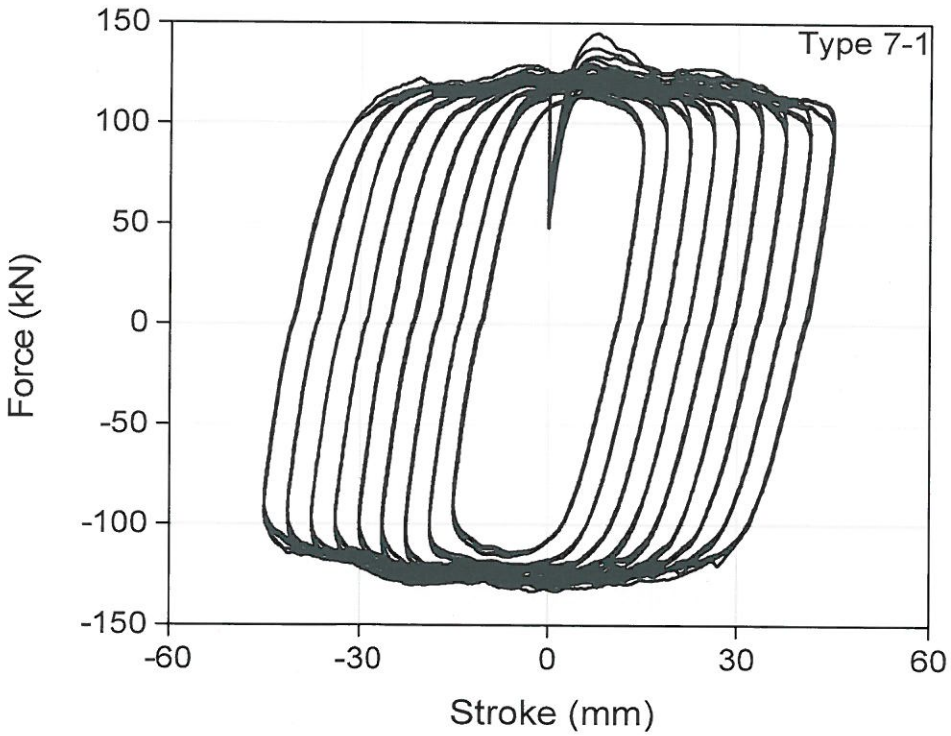


그림 1. Type 7-1의 하중-변위 그래프

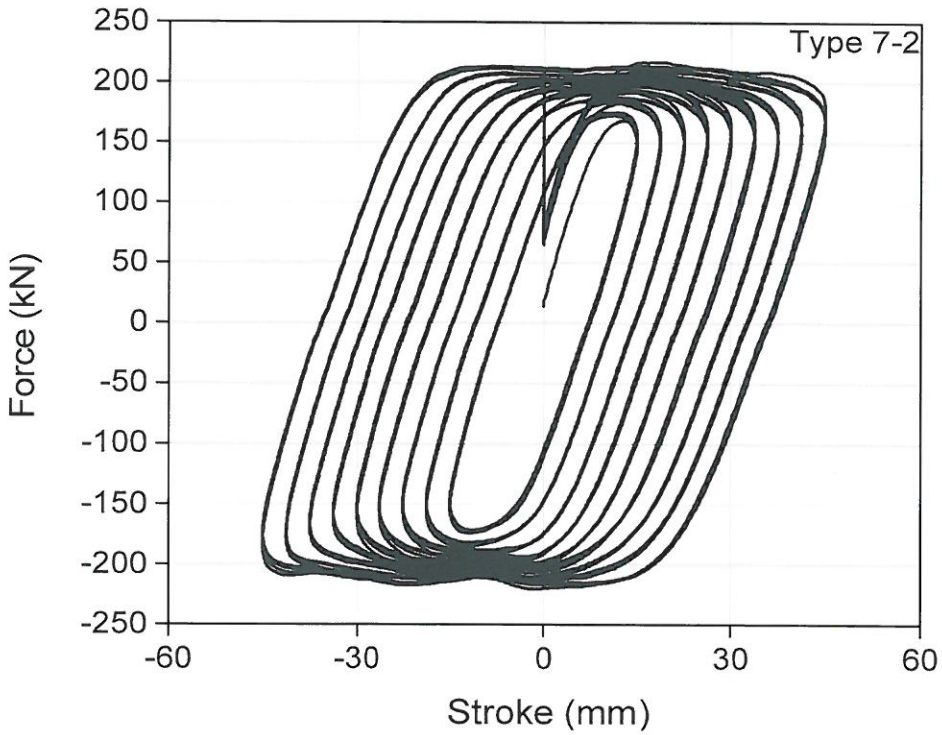


그림 2. Type 7-2의 하중-변위 그래프

국토교통부 지원
하이브리드구조실험센터
경기도 용인시 처인구 명지로 116
Tel : 031-324-1063 Fax : 031-335-6826

실 험 성 적 서

(TEST CERTIFICATE)



그림 3. Type 7-1의 실험전경



그림 4. Type 7-2의 실험전경

시 험 성 적 서

경기도 화성시 팔탄면 시청로 677번길 19
Tel: 031-466-4410
Fax: 031-356-4421
http://www.petratec.co.kr

성적서 번호 : PT-19-076-72-01

PETRATEC

시점확인필 진본 2020/02/11 09:22:43 KST 공동시점확인센터

1. 의 뢰 자
   - 기 관 명 : ㈜테크스퀘어
   - 주 소 : 서울특별시 서초구 반포대로25(자동차회관) 3층
   - 의뢰일자 : 2019. 10. 02
2. 시험성적서의 용도 : 국책연구과제 시험 진행 증빙용
3. 시험대상품목
   - 제 품 명 : 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템
   - 제작회사 : 의뢰자 제시한 시험품
   - 모 델 명 : ***
   - 기 타 : ***
4. 시험기간 : 2019. 12. 04 ~ 2019. 12. 10
5. 시험방법 : 의뢰자가 제시한 시험방법
6. 시험장비

장 비 명	제 조 사	용 량	모 델
가 력 기	MTS	1 000 kN	-
변 위 계	주신산업	500 mm	PDP-500

7. 시험결과 : 별첨결과 참조

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료 명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

확 인	작성자	기술책임자
	성 명 : 구 준 수 (서명)	성 명 : 이 동 수 (서명)

2020년 02월 10일

(주)페트라텍 대표이사 (인)

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : +PpGPJlDmKc=

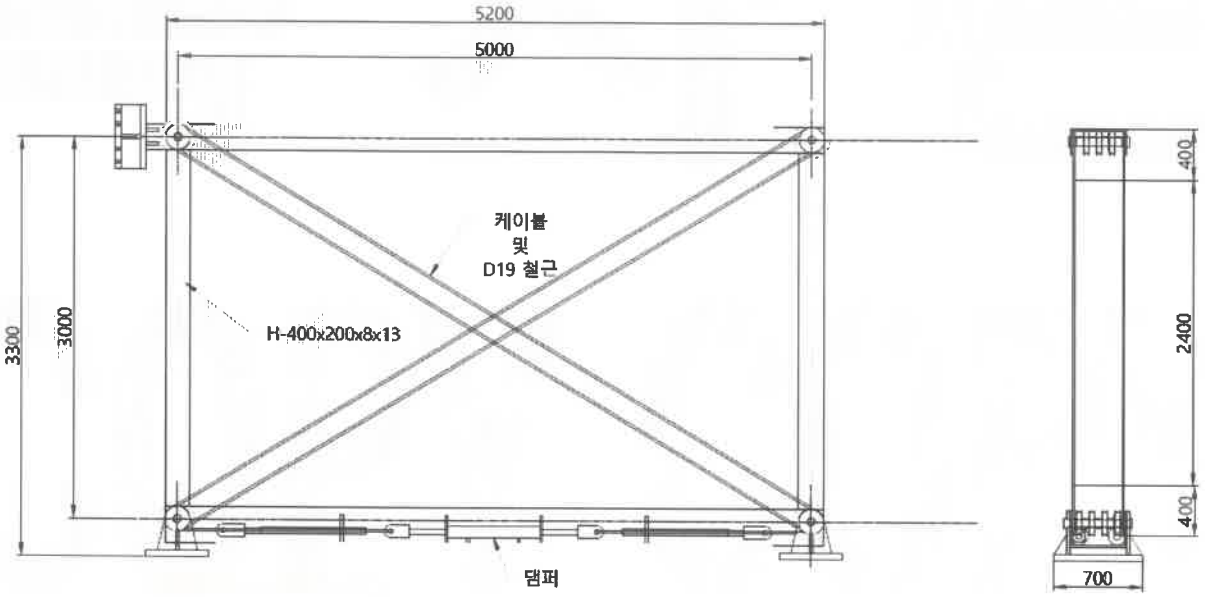
시 험 결 과

1. 시험 방법

1) 의뢰자가 제공한 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 시험체에 대해 성능시험을 수행하였다.
2) 시험은 0.1Hz의 속도로 <표 1>과 같이 진행되었다.
3) 시험체 형상은 [그림 1]과 같으며 [그림 2]와 같이 시험체를 설치 후 진행하였다.
4) 시험 결과는 가력기와 변위계에서 측정된 값을 기록 하였다

<표 1> 가력 계획

구 분		변 위 (mm)	시험체 별 반복 횟수			비 고
			케이블	케이블 + 댐퍼	케이블 + 댐퍼 + D19 철근	
Drift Ratio (%)	0.25	±7.5	6	5	6	
	0.50	±15.0				
	0.75	±22.5				
	1.00	±30.0				
	1.25	±37.5				
	1.50	±145.0				
	1.75	±52.5				
	2.00	±60.0				



[그림 1] 시험체 형상



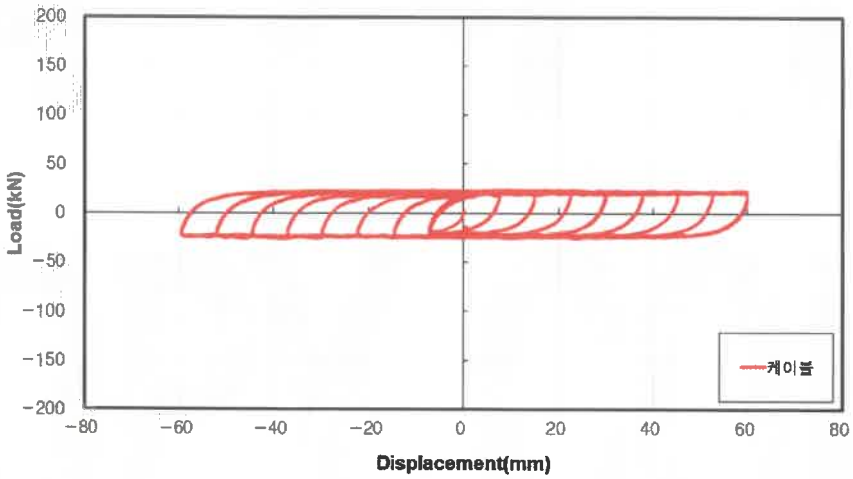
[그림 2] 시험체 설치 현황

2. 시험 결과

(하중 : kN, 변위 : mm)

구 분	최대 하중		최대 하중 시 변위		비 고
	정가력	부가력	정가력	부가력	
케이블	24.05	-26.17	9.45	-38.60	
케이블+댐퍼	107.77	-145.85	-19.71	24.40	
케이블+댐퍼+D19 철근	145.31	-103.52	-17.25	25.61	

1) 케이블 시험체



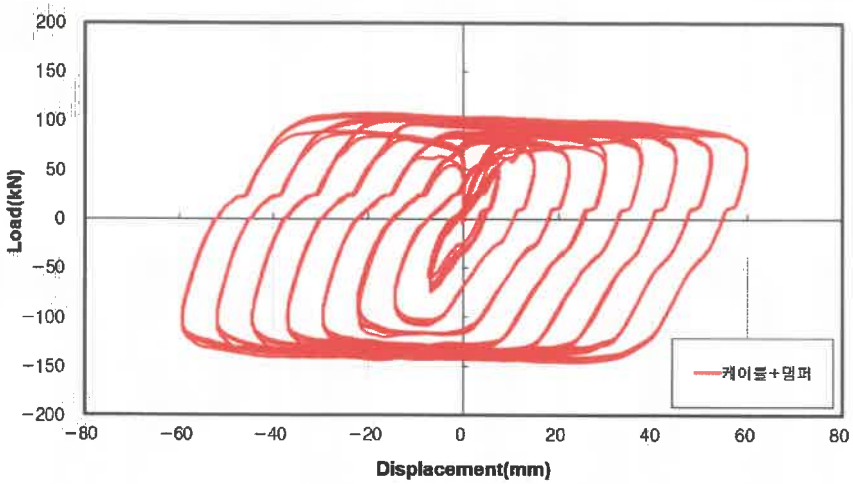
[그림 3] 케이블 시험체 하중-변위 그래프





[그림 4] 케이블 시험체 시험 현황

2) 케이블+댐퍼 시험체



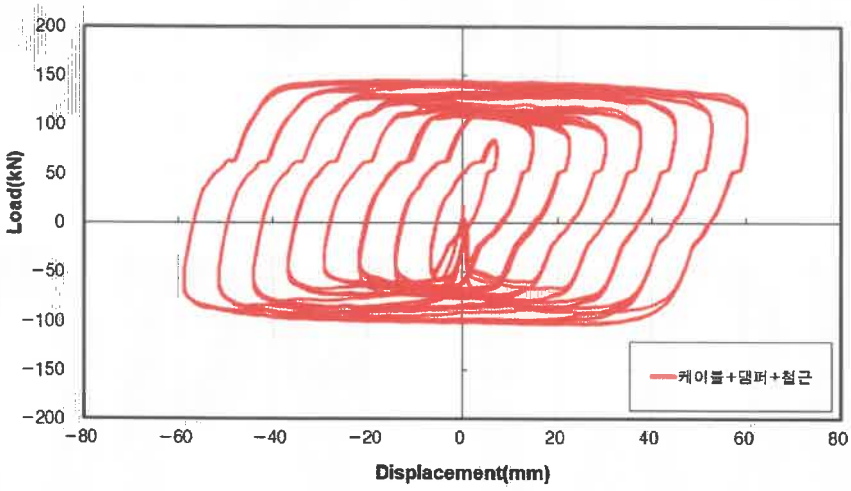
[그림 5] 케이블+댐퍼 시험체 하중-변위 그래프





[그림 6] 케이블+댐퍼 시험체 시험 현황

3) 케이블+댐퍼+D19 철근 시험체



[그림 7] 케이블+댐퍼+D19 철근 시험체 하중-변위 그래프





[그림 8] 케이블+댐퍼+D19 철근 시험체 시험 현황

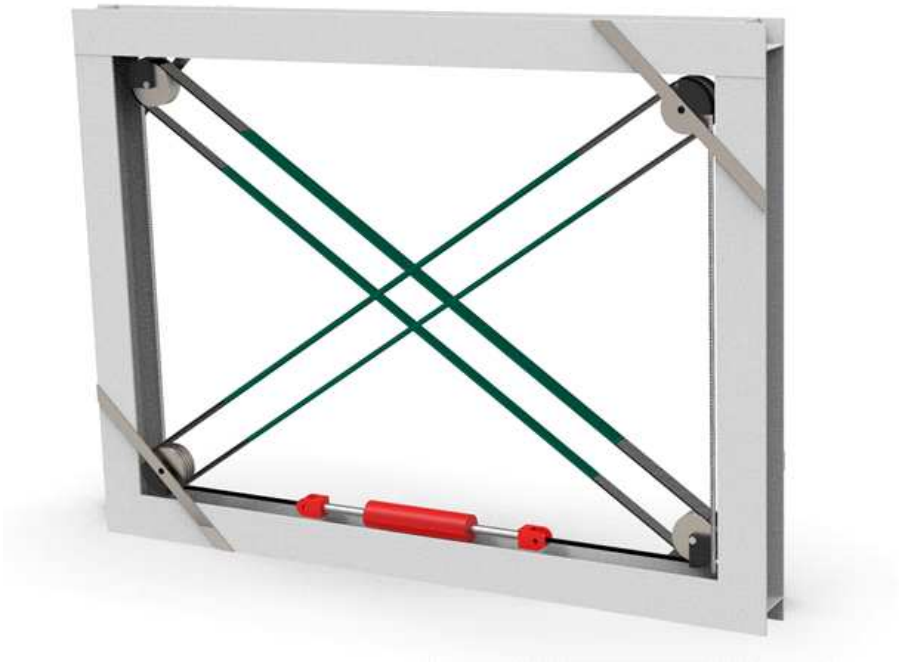
이상 끝.

부록 D

케이블-베어링 도르래 감쇠시스템
내진보강공법 시방서 및
설계 매뉴얼

TechSquare

케이블-베어링 도르래 감쇠시스템
내진보강공법 시방서 및 설계 매뉴얼



2020. 01

(주)테크스퀘어

시방서

목 차

1. 일반사항 ····· 6
1.1 적용 범위 ····· 6
1.2 관련 법규 및 기준 ····· 6
1.3 감쇠시스템 주요 구성 ····· 6
1.4 재료규격 ····· 6

2. 공정계획 ····· 10
2.1 일반사항 ····· 10
2.2 공정 흐름도 ····· 11
2.3 공정계획 ····· 12

3. 감쇠시스템 공장제작 ····· 13
3.1 사용재료 ····· 13
3.2 제작흐름도 ····· 13
3.3 제작 일반사항 ····· 13
3.3.1 운송 및 보관 ····· 13
3.3.2 가공 ····· 14
3.3.3 용접 및 조립 ····· 16
3.3.4 제작검사 ····· 17
3.4 가새형 감쇠시스템 제작 ····· 19
3.5 CHECK LIST ····· 20

4. 현장시공 ····· 22
4.1 사용재료 ····· 22
4.2 시공 흐름도 ····· 22
4.3 시공 ····· 22
4.3.1 기둥 및 보 마감철거 ····· 23
4.3.2 기존 구조 부재-제진시스템 접합 ····· 24
4.3.3 감쇠시스템 설치 작업 ····· 26
4.3.4 감쇠시스템 증폭구조부 장력 조절 ····· 28
4.3.5 감쇠시스템 설치 검사 ····· 28
4.3.5 마감 작업 ····· 28
4.4 CHECK LIST ····· 30

5. 유지관리 ····· 33
5.1 일반사항 ····· 33
5.2 관리주체 ····· 33
5.3 점검의 종류 및 실시 주기 ····· 34

5.4 점검 장비 ····· 34
5.5 유지관리 계획 ····· 35
5.5.1 고려사항 ····· 35
5.5.2 유지관리 흐름도 ····· 36
5.5.3 점검항목 ····· 36
5.6 감쇠시스템 상태평가 및 보수·보강 ····· 37
5.6.1 상태평가표 ····· 37
5.6.2 감쇠시스템 체크리스트 ····· 38
5.6.3 감쇠시스템 보수·보강 ····· 38
5.6.4 조치기록 ····· 39
5.7 품질 보증 ····· 39

부 록

1. 실리콘 점성감쇠장치 특기 시방서 ····· 41
1.1 일반사항 ····· 41
1.1.1 개요 ····· 41
1.1.2 거동특성 ····· 41
1.1.3 장점 ····· 41
1.2 점성감쇠장치 제작시방서 ····· 42
1.2.1 일반사항 ····· 42
1.3 설계의 조건 ····· 43
1.4 제작 조건 ····· 43
1.5 품질의 조건 ····· 43
1.6 성능 시험 ····· 44
1.6.1 일반사항 ····· 44
1.6.2 원형(Prototype) 시험 ····· 44
1.6.3 증명(Proof) 시험(품질 관리) ····· 44
1.7 관련 규격 ····· 44
1.8 품질 보증 ····· 45

1. 일반사항

1.1 적용 범위

본 시방서는 (주)테크스퀘어에서 개발한 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 내진보강공법의 제작 및 설치 시공과 관련한 내용을 담고 있다.

1.2 관련 법규 및 기준

감쇠시스템 구성요소의 재질, 가공과 관련한 사항은 본 시방서의 해당 구성요소에 해당하는 부분에 명시되어 있다. 본 시방서에서 명시되지 않은 사항에 대해서는 관련 건설 교통부 제정 표준시방서를 따른다. 특별한 조사, 연구 등에 따라 이 시방서의 전부 또는 일부를 적용하지 않을 경우에는 감독자의 승인을 받아 시행하여야 한다. 본 시방서에서 참조하는 기준 및 표준은 다음과 같다.

① 한국산업표준(KS)
② 건축공사 표준시방서
③ 하중저항계수법에 의한 강구조 설계 기준
④ 건축구조설계기준
⑤ 콘크리트구조 학회기준(2017년 개정)

1.3 감쇠시스템 주요 구성

본 시방서에서 대상으로 하는 감쇠시스템은 감쇠장치부, 증폭구조부, 외부 프레임으로 이루어져 있다.

1.4 재료규격

(1) 강재

감쇠시스템의 제작에 사용되는 구조용강재는 표 1을 참조하여 '한국산업표준'(이하 'KS')에 적합한 강재를 사용하는 것을 기본으로 하며, 표면은 녹 방지를 위하여 방청처리를 한다.

(2) 용접봉

감쇠시스템을 구성하는 강재의 용접에 사용하는 용접봉은 표 2에 나타낸 KS 규격품을 사용하여야 하며 용접하는 모재와 동등 이상의 물성을 가지는 제품을 사용하여야 한다.

(3) 고장력 볼트 및 장력 조절 볼트

감쇠시스템 부재 간의 볼트 접합에 사용하는 고장력 볼트는 KS B 1010 "마찰접합용 고장력 6각 볼트, 6각 너트, 평와셔 세트" 에 적합한 볼트를 사용하여야 하며 그 재료강도는 표 3과 같다. 볼트의 표면은 녹 방지를 위하여 방청처리를 한다.

표 1 한국산업규격 강재 종류

번 호	명 칭	강 종
KS D 3503	일반구조용 압연강재	SS275
KS D 3515	용접구조용 압연강재	SM275A, B, C SM355A, B, C, D SM420A, B, C, D SM460B, C
KS D 3529	용접구조용 내후성 열간 압연강재	SMA275AW, BW, CW SMA275AP, BP, CP SMA355AW, BW, CW SMA355AP, BP, CP
KS D 3566	일반구조용 탄소강관	STK400
KS D 3632	건축구조용 탄소강관	SNT275A, SNT275E, SNT355A, SNT355E
KS D 3861	건축구조용 압연강재	SN275A, B, C SN355B, C
KS D 3864	내진건축구조용 냉간성형 각형강관	SNRT295E, SNRT275A, SNRT355A
KS D 3866	건축구조용 열간압연 H형강	SHN275, SHN355
KS D 5994	건축구조용 고성능 압연강재	HSA650

표 2 용접재료 규격

번 호	명 칭
KS D 3508	피복아크 용접봉심선재
KS D 3550	피복아크 용접봉심선
KS D 7004	연강용 피복아크용접봉
KS D 7006	고장력강용 피복아크용접봉
KS D 7025	연강 및 고장력강용 마그용접 솔리드 와이어
KS D 7101	내후성강용 피복아크용접봉
KS D 7104	연강, 고장력강 및 저온용 강용 아크용접 플럭스 코어선
KS D 7106	내후성강용 탄산가스 아크용접 솔리드 와이어
KS D 7109	내후성강용 탄산가스 아크용접 플럭스 충전 와이어
KS D 0531	탄소강 및 저합금강용 서브머지드 아크용착금속의 품질 구분 및 시험방법

표 3 고장력 볼트의 재료강도

강종 / 강도	F8T	F10T	F13T
F_y [MPa]	640	900	1170
F_u [MPa]	800	1000	1300

(4) 도르래

본 감쇠시스템의 증폭구조부를 구성하는 도르래는 KS D 3752 “기계 구조용 탄소 강재“ 규격에 적합한 것을 사용하도록 한다.

(5) 케이블

본 감쇠시스템의 증폭구조부를 구성하는 케이블은 KS B 6242 “와이어 로프 슬링“ 규격에 따라 단말부를 슬리브로 압착한 것으로서 KS D 3514 “와이어 로프“ 규격에 적합한 것을 사용하도록 한다.

(6) 베어링

본 감쇠시스템의 증폭구조부를 구성하는 베어링은 KS B 2026 “원통 롤러 베어링“ 규격 중 NUP 타입 베어링 등의 복합 하중 저항에 적합한 것을 사용하도록 한다.

(6) 철근

본 감쇠시스템의 증폭구조부를 구성하는 철근은 KS D 3504 “철근 콘크리트용 봉강“ 규격에 적합한 것을 사용하도록 한다.

(7) 커플러

본 감쇠시스템의 증폭구조부를 구성하는 철근 간의 연결은 KS D 3752 “기계 구조용 탄소 강재“ 규격에 적합한 커플러를 사용하도록 한다.

(8) 스페이서

본 감쇠시스템 도르래 간의 거리를 유지하는 스페이서는 ‘(1) 강재’ 항에서 제시한 것과 동일한 규격의 강종 또는 KS D 3752 “기계 구조용 탄소 강재“ 규격에 적합한 것을 사용하도록 한다.

(9) 케미컬 앵커

기존 철근-콘크리트 구조부재와 감쇠시스템을 연결하기 위해 본 시방서에서 제시하는 접합상세는 케미컬 앵커를 이용해 고장력 볼트를 정착시키는 형태이다. 또한 기존 구조부재가 철골 구조인 경우, 감쇠시스템 과의 연결은 용접 접합을 제시한다. 시공자는 현장상황을 고려하여 적절한 수준의 다른 접합상세를 적용할 수 있다. 이 때 변경하여 적용한 접합 상세에 대해서 설계자의 확인을 받아야 하며 해당 접합 상세에 대한 시방서, 제품 사양 등을 설계도서에 포함하여 제출하여야 한다.

본 시방서에서 적용한 케미컬 앵커의 사양은 표 4와 같다. 해당 제품이 아닌 다른 제품을 케미컬

앵커에 적용할 시 KS B 1016 “기초 볼트“ 기준에 만족하는 볼트를 활용하는 제품을 이용한다. 마찬가지로 해당 제품의 설계 사양에 대한 설계자의 확인이 필요하며 제품 사양에 대한 제조자의 확인서를 설계도서에 포함하여 제출해야 한다.

표 4 케미컬 앵커 제조 사양

	정착길이	모재두께	비균열 콘크리트		균열 콘크리트	
			극한인장저항	극한전단저항	극한인장저항	극한전단저항
Hilti HIT-HY 200 with HIT-V	125mm	165mm	83.0kN	41.0kN	66.8kN	41.0kN

(10) 핀 및 샤프트

본 감쇠시스템의 감쇠장치 및 연장 브레이스를 브라켓 또는 프레임과 연결하는 핀, 베어링을 브라켓 및 프레임에 고정하는 샤프트는 KS D 3867 “기계구조용 합금강 강재“ 규격에 적합한 것을 사용하도록 한다.

(11) 기타

연결부재 즉, 전단강판 및 가새부재의 새로운 성능 및 재료강도를 필요로 할 시에는 구조전문가의 판단 하에 위에 상기된 강재 이외의 것을 사용할 수 있다.

2. 공정계획

2.1 일반사항

(1) 공장 및 현장에 반입되는 모든 재료의 품질은 한국산업규격 및 표준시방서에 적합한 것을 사용하며, 품질 또는 등급이 명확하지 않은 재료에 대하여는 감리원의 승인을 득한 후 사용한다.

(2) 문서 및 자료관리는 문서 및 자료관리 절차서에 따른다. 단, 현장에서 특별히 사용되어지는 문서 및 자료는 현장소장의 승인을 득한 후 사용하여야 한다.

(3) 제품 제작 및 시공과 관련하여 품질에 영향을 미칠 수 있는 공정활동 등에 대한 적절한 계획을 수립하여야 한다.

(4) 공장감독관 및 현장 소장은 제품 제작 및 시공과 관련하여 일어날 수 있는 안전사고에 대하여 이를 미연에 방지할 수 있도록 적절한 조치를 취하여야 한다.

(5) 제품 제작 및 시공 과정에서 발생될 수 있는 환경 폐기물들은 건설 교통부 제정 표준 시방서상의 절차에 따라 폐기가 이루어져야한다. 그 외 비산 먼지, 소음 등에 대해서도 이를 최소화 시킬 수 있도록 적절한 조치가 취해져야 한다.

(6) 기타 품질에 대한 세부적인 사항은 설계도서, 공사시방서 및 표준시방서의 규정에 반하여 실시•사용한다.

2.2 공정 흐름도

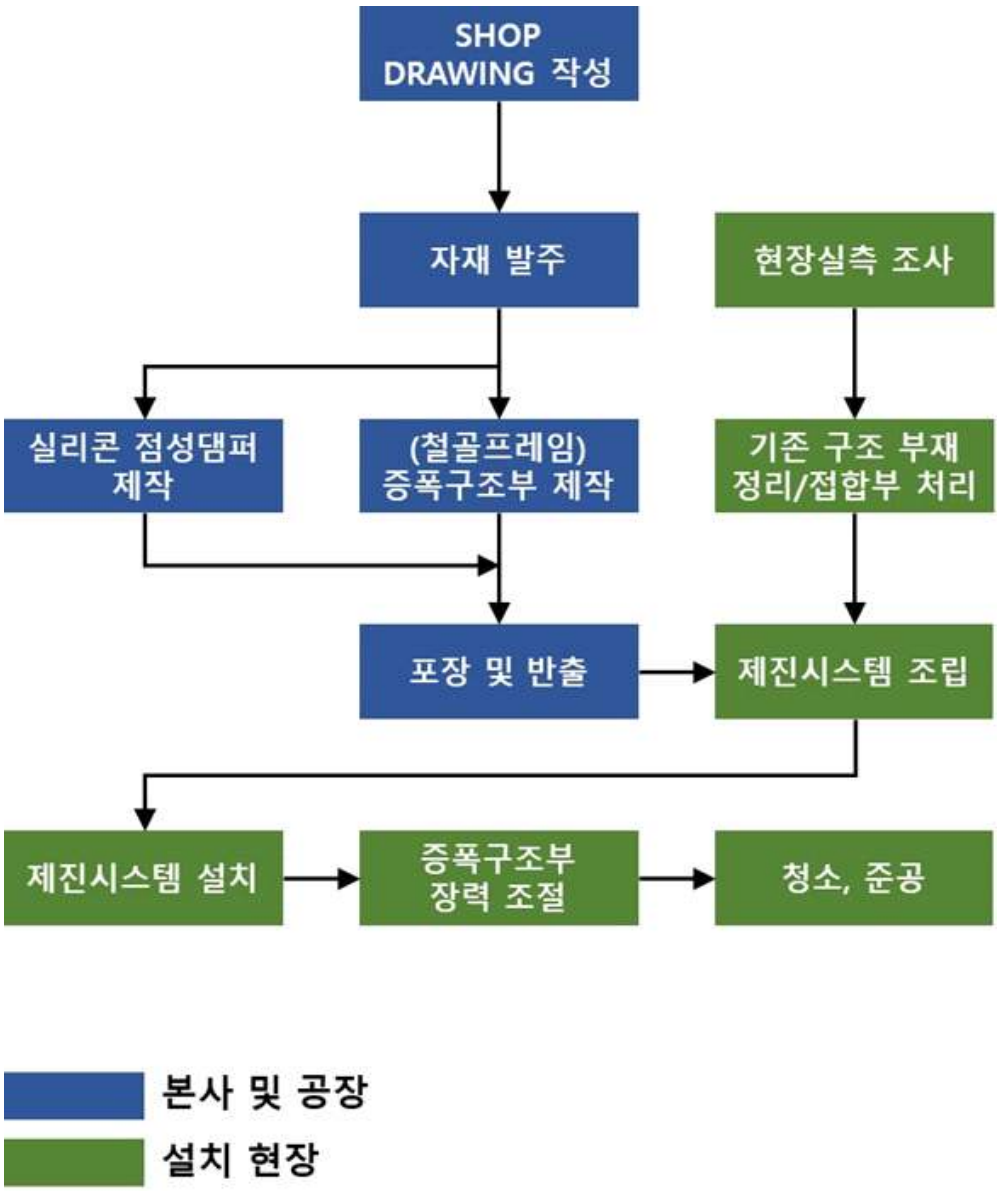


그림 2 공정 흐름도

2.3 공정계획

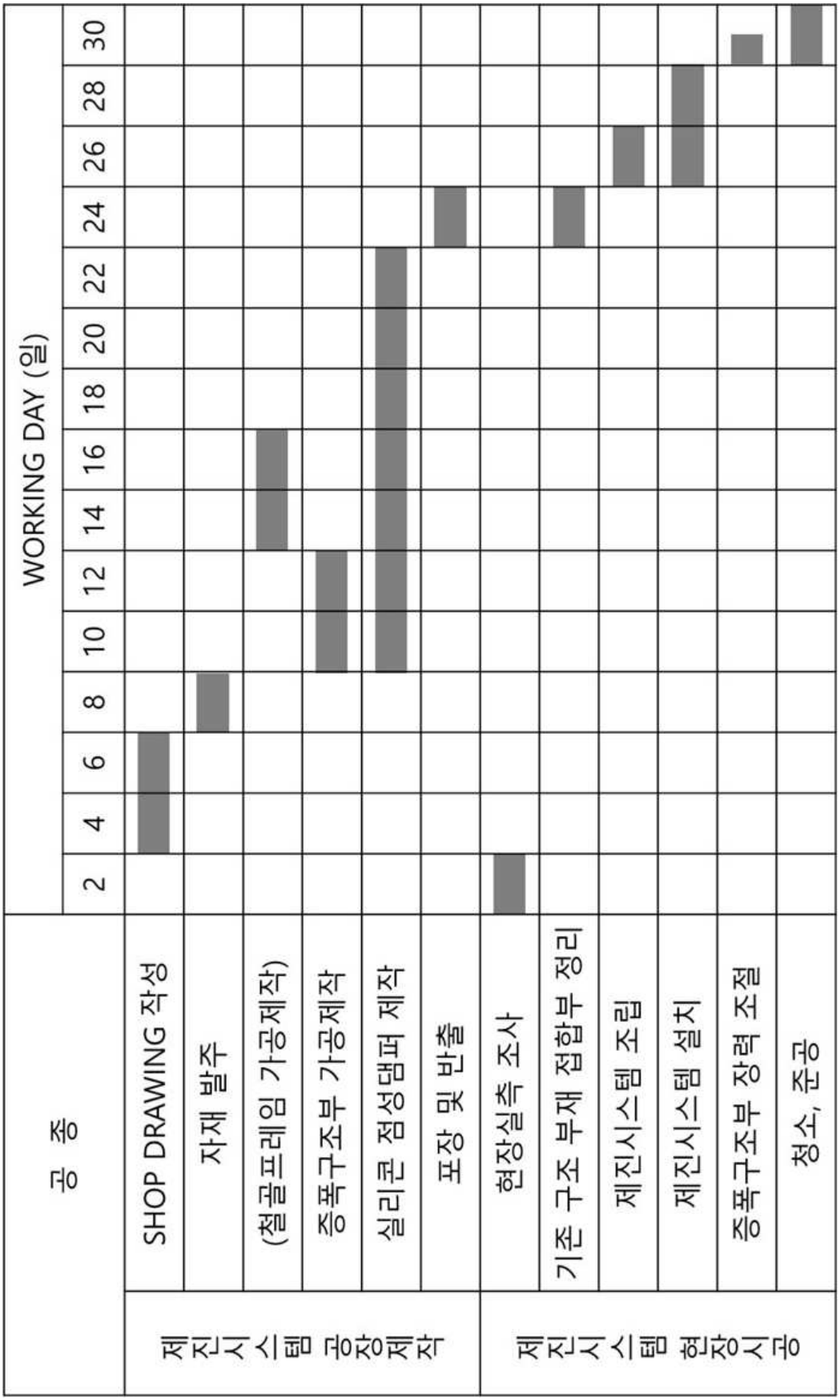


그림 3 공정 계획표

3. 감쇠시스템 공장제작

3.1 사용재료

본 감쇠시스템 제작에 사용되는 재료는 1.4 절에서 규정하고 있는 강종, 고장력 볼트, 용접봉 등을 사용하도록 한다. 그 외 규정되지 않은 재료를 사용할 시에는 KS 표시품, 혹은 관계 법령에 규정한 기준을 만족하는 재료를 적용하도록 한다.

3.2 제작흐름도

본 시방서에서 다루는 감쇠시스템은 그림 4과 같은 순서로 제작된다. 각 제작 단계별 주의 사항은 다음 절에서 다룬다.

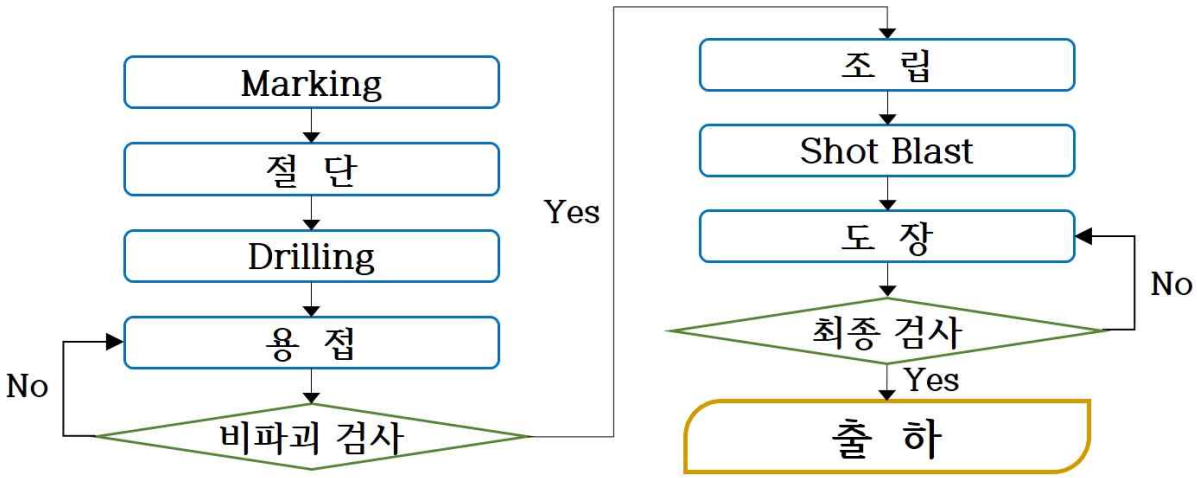


그림 4 감쇠시스템 공장제작 제작 흐름도

3.3 제작 일반사항

3.3.1 운송 및 보관

(1) 강재의 운송, 보관 및 취급 시에는 강재의 휨, 긁힘 및 과다 적재하중은 피해야 한다. 휘거나 손상을 입을 수 있는 돌출 부분은 적절한 보호조치를 취해야한다.

(2) 강재는 오염과 손상을 입지 않도록 상차, 운송, 하차 및 보관해야 한다. 또한, 받침목 또는 기타 지지물 위에 보관하고, 부식되지 않도록 보호해야 한다.

(3) 현장에 반입된 강재는 심한 녹, 표면손상 등의 유해한 표면 결함이나 휨, 비틀림 등의 변형이 없어야 한다. 녹막이 페인트에 하자가 생겨 녹이 발생되었거나 녹막이 페인트가 되지 않은 채 반입되어 현장에 장기간 야적되어 녹이 발생한 경우에는 부재 제작 전에 녹을 제거하고, 보수하여 사용한다.

(4) 볼트 및 연결재는 KS B ISO 3269에 의하여 인수검사가 완료된 것을 상자로 포장하여 운반하도록 하며 실내 보관관리를 원칙으로 한다. 다만, 제품의 표시와 포장의 표시방법은

사용강재의 해당 산업표준에 따른다.

(5) 보관은 재료의 식별이 용이하도록 조치한다.

3.3.2 가공

(1) 절단 및 개선가공

1) 주요 부재의 강판 절단은 주된 응력의 방향과 압연방향을 일치시켜 절단함을 원칙으로 하며 절단작업 착수 전 재단도를 작성해야 한다.

2) 강재의 절단은 강재의 형상, 치수를 고려하여 기계절단, 가스절단, 플라즈마 절단, 레이저절단 등을 적용한다.

3) 절단할 강재의 표면에 녹, 기름, 도료가 부착되어 있는 경우에는 제거 후 절단해야 한다.

4) 용접선의 교차 부분 또는 한 부재를 다른 부재에 접합시킬 때 불필요한 접촉을 피하기 위하여 모퉁이따기를 할 경우에는 10 mm 이상 둥글게 해야 한다.

5) 설계도서에서 메탈 터치가 지정되어 있는 부분은 페이싱 머신 또는 로터리 플래너 등의 절삭가공기를 사용하여 부재 상호간 충분히 밀착하도록 가공한다. 마무리면의 정밀도는 그림 5에 따른다.

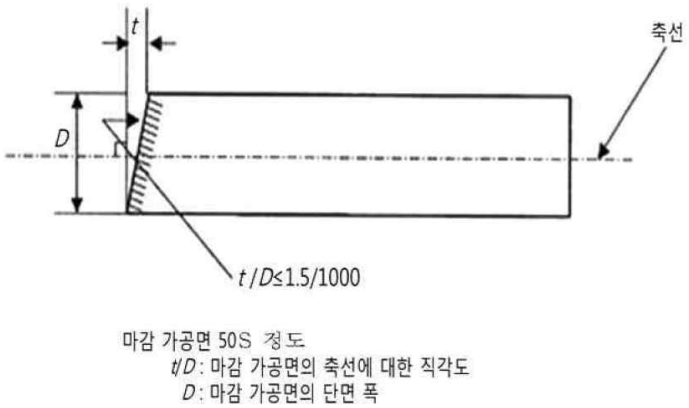


그림 5 마감면의 정밀도

6) 절단면의 정밀도가 절삭가공기의 경우와 동일하게 확보할 수 있는 기계절단기(cold saw)를 이용한 경우, 절단연단부는 그대로 두어도 좋다.

7) 스캘럽 가공은 절삭가공기 또는 부속장치가 달린 수동가스절단기를 사용한다.

(2) 구멍뚫기

1) 구멍뚫기는 소정의 지름으로 정확하게 뚫어야 하되 드릴 및 리머 다듬질을 병용하여 마무리해야 한다. 가조립하기 이전에 소정의 지름으로 구멍을 뚫을 때에는 형판 또는 자동천공기를 사용해야 한다.

2) 판 두께 10 mm 이하 강재에 구멍을 뚫을 때에는 눌러 뚫기(press punching)에 의하여 소정의 지름으로 뚫을 수 있으나 구멍 주변에 생긴 손상부는 깎아서 제거해야 한다.

3) 볼트의 구멍직경 및 연단거리는 “하중계수설계법에 의한 강구조설계기준”에 따른다.

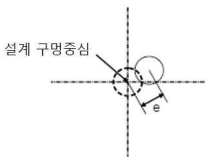
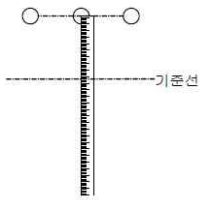
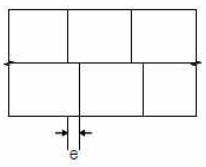
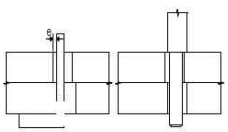
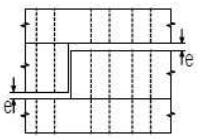
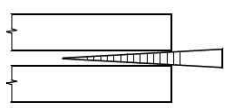
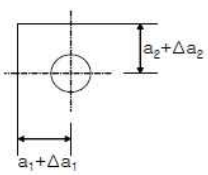
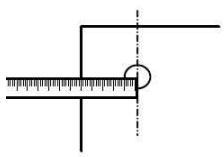
4) 볼트구멍의 직각도는 1/20 이하이어야 하며, 볼트구멍의 허용차는 표 5에 준한다. 그러나 마찰이음일 때에는 한 볼트군의 20%에 대하여 + 1.0 mm까지 인정할 수 있다.

표 5 볼트 구멍의 허용오차

볼트의 호칭(mm)	허용오차(mm)	
	마찰이음	지압이음
M20	+0.5	±0.3
M22	+0.5	±0.3
M24	+0.5	±0.3
M27	+1.0	±0.3
M30	+1.0	±0.3

5) 제작 시 구멍중심선 축에서 구멍의 어긋남은 ±1 mm 이하로 하며, 볼트그룹에서 처음 볼트와 마지막 볼트의 최대연단 거리의 오차는 ±2 mm 이하로 한다. 다만, 볼트구멍 간 허용오차는 ±0.5 mm 이하로 한다.
6) 마찰이음으로 부재를 조립할 경우, 구멍의 엇갈림은 1.0 mm 이하로 하고, 지압이음으로 부재를 조립할 경우, 구멍의 엇갈림은 0.5 mm 이하로 한다.
7) 핀가공 오차는 핀지름 130 mm 미만에 대해서는 0.5 mm, 핀지름 130 mm 이상의 것에 대해서는 1 mm를 표준으로 한다. 그리고 핀 접합면의 시공 허용오차에 대한 핀구멍의 크기는 핀직경 +5 mm 이하로 한다.

표 6 구멍뚫기 허용오차

명 칭	그 림	관리허용차	한계허용차	측정기기	측정방법
구멍중심의 어긋남 e		$e \leq +1mm$	$e \leq +1.5mm$	콘벡스 룰, 금속제 곧은자	
구멍의 불일치 e		$e \leq 1mm$	$e \leq 1.5mm$	콘벡스 룰, 직각자, 틈새 게이지. 관통 게이지	
접합부의 틈새 e		$e \leq 1mm$	$e \leq 1mm$	틈새 게이지	
모서리면과 구멍 간의 간격 $\triangle a$		$\triangle a1 \geq -2mm$ $\triangle a2 \geq -2mm$	$\triangle a1 \geq -3mm$ $\triangle a2 \geq -3mm$	콘벡스 룰, 금속제 곧은자	

(3) 휨(굽힘) 가공

1) 휨가공은 상온가공 또는 열간가공으로 한다. 열간가공의 경우에는 적열상태(800～900℃)에서 하고, 청열취성역(200～400℃)에서 가공해서는 안 된다.

2) 냉간가공에서 기둥 또는 보 및 가새단의 헌치 등 소성변형 능력을 요구하는 부재의 내측 휨 반경은 가공재 판 두께의 4배 이상, 그 이외의 부재에서는 가공재 판 두께의 2배로 한다.

3.3.3 용접 및 조립

(1) 용접

1) 용접은 다음과 같이 건축물의 품질관리 구분에 따라 KS B ISO 3834의 해당 요구사항에 부합하도록 수행한다.

2) 강재의 종류 및 강도와 용접방법에 따른 용접봉의 사용 구분 및 규격과 재질은 모재의 화학적 성분 및 기계적 성질(공칭강도 및 인성)과 동등하거나 그 이상의 재료를 사용해야 한다.

3) 용접순서 및 방향은 가능한 한 용접에 의한 변형이 적고, 잔류응력이 적게 발생하도록 하고 용접이 교차하는 부분이나 폐합된 부분은 용접이 안 되는 부분이 없도록 용접순서에 대하여 특별히 고려해야 한다.

4) 용접부에서 수축에 대응하는 과도한 구속은 피하고 용접작업은 조립하는 날에 용접을 완료하여 도중에 중지하는 일이 없도록 해야 한다.

5) 항상 용접열의 분포가 균등하도록 조치하고 일시에 다량의 열이 한 곳에 집중되지 않도록 해야 한다. 이러한 경우가 있을 때에는 용접순서를 조정해야 한다.

6) 용접자세는 가능한 한 회전지그를 이용하여 아래보기 또는 수평자세로 한다.

7) 아크 발생은 필히 용접부 내에서 일어나도록 해야 한다.

8) 스캘럽이나 각종 브래킷 등 재편의 모서리부에서 끝나는 필렛용접은 크레이터가 발생하지 않도록 모퉁이부를 돌려서 연속으로 용접해야 한다.

9) 용접개시 전 용접의 종류, 전압, 전류 및 용접방향 등을 점검하여 용접조건을 설정하고 이에 따라 작업해야 하며 용접관리도를 현장에 비치해야 한다.

10) 맞대기 용접에서 용접표면의 마무리 가공이 규정되어 있지 않는 경우에는 판두께의 10% 이하의 보강살 붙임을 한 후 끝마무리를 해야 한다.

11) 부재이음에는 용접과 볼트를 원칙적으로 병용해서는 안 되지만 불가피하게 병용할 경우에는 용접 후에 볼트를 조이는 것을 원칙으로 한다.

12) 그루브 용접 및 거더의 플랜지와 웨브판 사이의 필렛용접 등의 시공에 있어서 부재와 동등한 홈을 가진 엔드탭을 붙여야 한다. 용접의 시작과 끝의 처리는 엔드탭 위에서 50 mm 이상으로 하여 크레이터가 본 부재에 포함되지 않도록 해야 한다. 엔드탭은 용접 종료 후 가스절단법에 따라 제거하고 그 부분을 그라인더로 다듬질해야 한다.

13) 부분용입 그루브용접의 시공에서 연속된 용접선을 서로 다른 용접법으로 시공할 때에는 앞의 비드의 단부를 깎아내고 결함이 없는 것을 확인한 다음에 용접해야 한다. 다만, 완전한 수동용접 비드가 선행할 때에는 이를 따르지 않을 수 있다.

14) 재편의 모서리 부에서 끝나는 필렛용접은 모서리부를 돌면서 연속적으로 시공해야 한다.

(2) 핀 및 롤러

1) 핀 및 롤러의 사용재는 KS D 3710 탄소강 단강품 혹은 KS D 4101 탄소강 주강품의 규격에 적합하여야 한다.

2) 핀과 롤러는 도면에 명기한 치수에 맞추어 표면의 흠을 제거하고 평탄하고 매끄럽게 제작해야 하며 아연 도금되어야 한다.

3) 지름이 230 mm 이상 되는 핀과 롤러는 KS D 3710의 소둔한 제품을 사용해야하며 230 mm보다 작은 지름의 롤러나 핀은 단조강이나 소둔한 제품 또는 냉간 탄소강을 사용할 수 있다. 다만, 냉간 탄소강을 사용할 때에는 품질확인서를 제출하여 담당원의 승인을 받아야 한다.

4) 지름이 230 mm보다 큰 핀의 경우는 단조강을 소둔하기 전에 단조강을 임계온도 범위 이하로 냉각시키거나 또는 급속냉각에 의하여 흠이 발생하지 않도록하고 이 상태에서 봉의 축을 따라 전체길이에 걸쳐 구멍을 뚫어야 한다.

5) 핀의 마무리부의 길이는 나사부가 부재에 닿지 않도록 부재의 바깥면까지의 거리보다 6 mm 이상 길게 하고 핀의 양단에는 로마스 너트(lomas nut) 또는 와셔가 붙은 보통너트를 사용해야 한다. 여기서 로마스 너트는 핀 단부에 사용하는 너트의 일종으로써 연결되는 부재 외측에 잘 밀착되도록 뒷면을 도려낸 너트를 말한다.

6) 핀의 나사는 미터나사를 쓰며 그 피치는 4 mm를 표준으로 한다. 핀의 끝마무리 다듬기 및 핀구멍의 면처리는 설계도 기준에 준한다.

7) 핀구멍이 있는 부분의 인장부재의 웨브 판두께는 인장부재 순폭의 1/8 이상이어야 한다.

3.3.4 제작검사

(1) 용접

1) 모든 용접은 전 길이에 대해 육안검사를 수행한다. 표면 결함이 발견된 경우에는 필요에 따라 침투탐상시험(PT, penetrating test) 또는 자분탐상시험(MT, magnetic particle examination) 등을 수행할 수 있다.

2) 모든 용접부는 육안검사를 실시한 결과 용접비드 및 그 근방에서는 어떤 경우도 균열이 있어서는 안 된다.

3) 균열검사는 육안으로 하되, 특히 의심이 있을 때에는 침투탐상법 또는 자분탐상법으로 실시해야 한다.

4) 주요 부재의 맞대기이음 및 단면을 구성하는 T이음, 모서리 이음에 관해서는 비드 표면에 피트가 있어서는 안 된다. 기타의 필렛용접 또는 부분용입 그루브용접에 관해서는 한 이음에 대해 3개 또는 이음길이 1 m에 대해 3개까지 허용한다. 다만, 피트 크기가 1 mm 이하일 경우에는 3개를 한 개로 본다.

5) 비드길이 25 mm 범위에서의 고저차로 나타내는 비드 표면의 요철은 다음 표 7의 값을 초과해서는 안 된다.

표 7 비드 표면 요철 허용값

품질관리 구분	가	나	다
요철 허용 값	해당 없음	4mm	4mm

6) 언더컷의 깊이는 표 8의 값을 초과해서는 안 된다.

표 8 언더컷의 깊이

언더컷의 위치	품질관리 구분		
	가	나	다
주요부재의 재편에 작용하는 1차응력에 직교하는 비드의 종단부	해당 없음	0.5	0.5
주요부재의 재편에 작용하는 1차응력에 평행하는 비드의 종단부	해당 없음	0.8	0.8
2차부재의 비드 종단부	해당 없음	0.8	0.8

7) 오버랩이 있어서는 안 된다.

8) 필렛용접의 다리길이 및 목두께는 지정된 치수보다 작아서는 안 된다. 그러나 한 용접선 양 끝의 각각 50 mm를 제외한 부분에서는 용접길이의 10%까지 범위에서 -1.0 mm의 오차를 인정한다.

3.4 가새형 감쇠시스템 제작

강재의 절단, 구멍뚫기 등의 가공에 관한 사항은 3.3절의 내용을 따른다. 가공•제작된 강재 각 요소들을 제품의 제작의도 대로 기능을 수행하기 위해 구성하는 방법에 대해서는 각 접합부별로 아래에 기술되어 있다. 아래에 기술되지 않은 용접 접합에 대한 사항은 3.3절의 일반사항을 따른다.

(1) 브라켓 및 핀

- 연결부에서 브라켓은 SM355 강재를 이용하고 베이스 플레이트(base plate), 거셋 플레이트(gusset plate), 보강 리브(rib) 간의 용접은 모살 용접으로 한다.
- 제작된 브라켓은 적절한 방청 및 도색 처리를 한다.
- 증폭 구조부와 브라켓을 연결하기 위한 핀은 KS D 3867 “기계구조용 합금강 강재“에 적합한 SCM440을 재료로 한다.
- 제작된 브라켓과 핀을 가조립하여 유격이 발생하는지 확인한다.
- 핀 머리부를 비롯하여 감쇠장치가 연결되어 회전 거동을 하게 되는 마찰면의 처리는 방청 페인트로 마감 후 녹, 이물질 등이 들어가지 않도록 한다. 마찰력 저감을 위한 별도의 처리는 하지 않는다.

(2) 케이블 슬리브-철근 용접 결합
- 케이블 슬리브와 연결 철근은 서로 맞댄 상태로 직접 지면에 닿지 않도록 받침대를 고이고 적치해야 하며 레벨의 편차가 없도록 한다.
- 케이블 슬리브와 연결 철근 간의 용접은 맞댐 용접으로 한다.
- 용접 후 용접면 및 노출된 표면에 적절한 방청 및 도색 작업을 수행한다.

(3) 실리콘 점성감쇠장치 제작사항
- 실리콘 점성감쇠장치의 제작에 관련해서는 본 시방서 부록의 “실리콘 점성감쇠장치 특기시방서”를 참조한다.

3.5 CHECK LIST

제 작 체 크 리 스 트

공종 Code No.		검측일자	년 월 일
위치 및 부위		공 사 량	

검 사 항 목	검사결과		조 치 사 항
	적합	부적합	
1. 철골의 적재장소 및 보관장소는 적절한가			
2. 자재 현장 반입시 자재 및 보관상태는 점검하였는가 - 철골운반중의 보양 상태			
3. 사용강재의 형성과 종류의 확인은 하였는가			
4. MILL SHEET는 확인하였는가			
5. 제작도면은 검토하였는가			
6. 공장의 현치용 TAPE 확인하였는가			
7. 절단 시 강재의 표면, 재질, 가공방법은 확인하였는가			
8. 용접 전·후에 확인사항은 검토하였는가			
9. 용접봉의 피복제가 박탈, 오손, 변질, 흡습, 심하게 녹슨 것은 없는가			
10. 용접 시 녹, 기름, Slag 및 기타 오염부는 사전제거 하였나			

시공자 점 검	(성명) ㊞	감리원 검 측	(성명) ㊞
시공자 재점검	(성명) ㊞	감리원 재검측	(성명) ㊞

제 작 체 크 리 스 트

공종 Code No.		검측일자	년 월 일
위치 및 부위		공 사 량	

검 사 항 목	검사결과		조 치 사 항
	적합	부적합	
11. 용접완료 후 SLACK 및 SPATTER 등을 완전히 제거하고 결함의 유무를 조사하여 결함을 발견한 경우에는 완전히 보정 및 수정하게 하였는가			
12. 용접부위의 검사기록은 유지되고 있는가			
13. 고장력 볼트의 규격 및 재질은 확인하였는가 - 규격증명서 확인			
14. 마찰면의 상태는 확인하였는가			
15. 감쇠시스템 핀 연결 접합부의 유격이 발생하는지 확인하였는가			
16. 고장력볼트 조임검사 및 검사기록을 작성유지하고 있는가			
17. 공장녹막이칠 전에 유해불순물 청소는 하였는지 확인하였는가			
18. 공장방녹도장의 종류와 도장마감 횟수의 확인은 하였는가 (조인트 부분 도장 금지)			
19. 공장작업 순서가 올바르게 진행되는지 확인하였는가			
17. 제작된 부재의 보관 및 운송 시에 품질에 문제가 발생하지 않도록 적절한 조치를 취했는가			

시공자 점 검	(성명) ㊞	감리원 검 측	(성명) ㊞
시공자 재점검	(성명) ㊞	감리원 재검측	(성명) ㊞

4. 현장시공

4.1 사용재료

본 감쇠시스템 설치에 사용되는 재료는 1.4 절에서 규정하고 있는 철근, 콘크리트, 강재 등을 쓰도록 한다. 그 외 규정되지 않은 재료를 사용할 시에는 한국표준(KS) 표시품, 혹은 관계 법령에 규정한 기준을 만족하는 재료를 적용하도록 한다. 아래에 기술되지 않은 용접 접합에 대한 사항은 3.3절의 일반사항을 따른다.

4.2 시공 흐름도

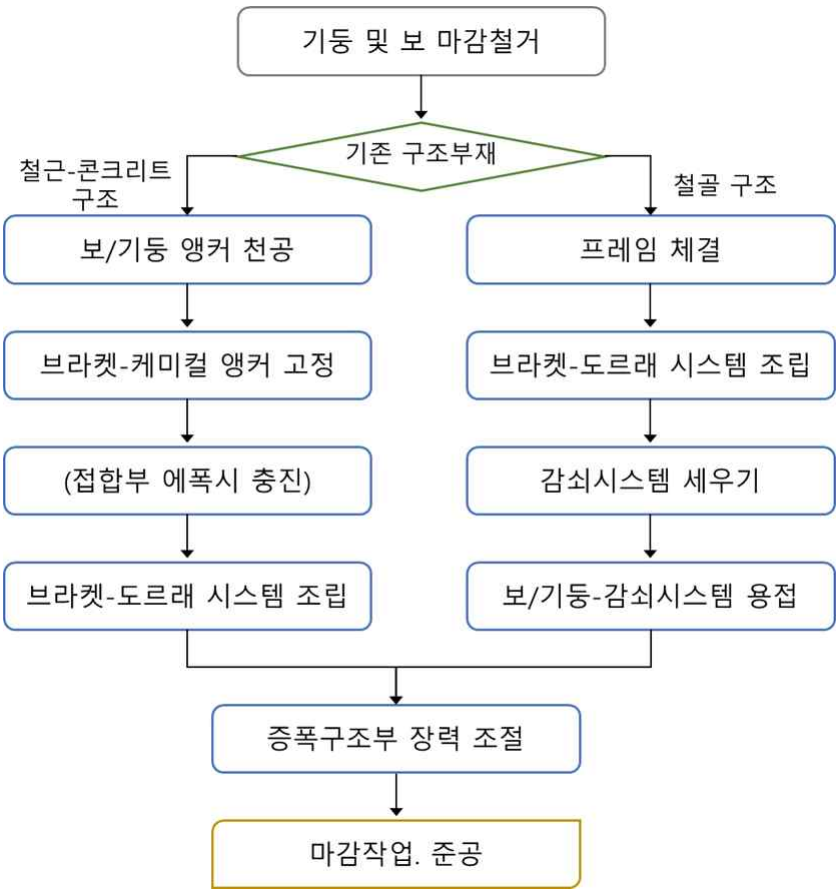


그림 6 시공 흐름도

4.3 시공

(1) 해당 건물의 화재, 동해 및 지진 피해 상황 등을 추적·조사한다.

(2) 설계도서 및 공사관계도서는 공사의 시공을 위한 목적 이외에는 제3자에게 제공하지 않고 또한 그 내용을 누설하지 않아야 한다. 단, 이들 공사 관계도서가 시판 중인 경우나 사전에 감독관의 승인을 얻은 경우에는 예외로 한다.

(3) 제3자 또는 공사관계자의 안전을 확보하기 위한 경우 혹은 공사착수 후에 주변의 환경문제 등이 발생한 경우 중의 어느 하나에 해당되어 공사의 일시중지가 필요할 경우에는 즉시 그 상황을 감독관에게 보고하고, 그 지시에 따른다.

(4) 시공업자는 무리한 공사 또는 사고가 발생하지 않도록 적절한 작업공정표를 작성하여 발주처의 승인을 받아야 한다.

(5) 시공계획 수립 시에는 공사용 가설물 이외의 해체공사에 필요한 기자재의 작업 공간 및 반출 콘크리트의 저장 공간, 가설도로 등의 부지 상황을 조사하여 반영한다.

(6) 시공계획 수립 시에는 대상 건물의 형태와 규모 및 부지, 공사주변의 환경조건, 철거폐기물 반출을 위한 도로사정, 처리장 등의 정보나 기술적인 사전조사를 실시하여 공기, 경제성, 안전성, 환경영향 등을 검토해야한다.

(7) 강수일수, 강수량, 적설, 풍속, 풍향 등 기상조건은 해체공사에 미치는 영향이 크기 때문에 통계자료 및 기상청에 문의하는 등의 방법으로 조사를 실시하여 공정계획 시 이를 반영시킨다.

4.3.1 기둥 및 보 마감철거

(1) 해체공사 시 건축공사와 공통되는 일반사항에 대해서는 한국건축공사 표준시방서를 따른다.

(2) 마감철거공사 시 각종 기기의 전력 사용에 대한 대책으로서 주변의 전력상황과 해체 시 발생되는 분진 등을 위한 살수 및 기타 사용에 필요한 급수 및 배수시설을 설치하여야 한다.

(3) 마감철거 공사에서 마감에 해당하는 대상 및 각 대상의 해체순서는 다음과 같다.

1) 전기설비는 다음의 ①에서 ⑦의 순으로 우선순위를 두어 해체한다.
   ① 형광램프, HID램프
   ② 소형 2차전지
   ③ 기기류
   ④ 단열재
   ⑤ 배관류
   ⑥ 전선, 케이블류
   ⑦ 기타 전기설비 등
2) 기계설비는 다음의 ①에서 ⑥의 순으로 우선순위를 두어 해체한다.
   ① 배관 및 덕트
   ② 기기류
   ③ 보온재
   ④ 정화조, 조립식 욕조
   ⑤ 위생도기류
   ⑥ 기타 기계설비 등
3) 내외장재는 다음의 ①에서 ⑥의 순으로 우선순위를 두어 해체한다. 단, 석면을 함유한

건재에 대해서는 한국건축공사표준시방서의 분별해체공사에 따라 제거하거나 회수한다.

① 목재
② 강재 창호, 알루미늄제 창호 및 스테인리스제 창호
③ 석고보드
④ ALC패널
⑤ 벽, 천장재 등의 금속 바탕재
⑥ 기타 내·외장재 등

(4) 마감철거 공사에 앞서, 각종 설비의 공급이 정지되어 있는 것을 확인한다. 그 외 철거 시 확인해야할 사항은 다음과 같다.

① 절단은 해체에 지장이 없는 위치에서 적절히 실시하고, 급수관, 가스관 등은 주공급밸브를 차단하며, 절단위치는 기록한 후 자료를 발주처에게 제출한다.
② 배관·배선 등을 새롭게 임의절단이 필요한 경우에는 발주처와 협의한다.
③ 낙하 위험이 있는 부속물은 철거한다.
④ 건축물 등의 해체 시에 해충 등에 의한 영향이 예상되는 경우는 소독을 실시한다.
⑤ 전기설비의 콘덴서 등은 잔류전하를 확인하고 필요에 따라서 방전한다.
⑥ 위생기구 등은 충분히 세척하고 오수, 오물 등에 의한 악취발생을 방지한다.
⑦ 정화조, 배수조 등에서 오수 및 오물의 잔류가 있는 경우에는 이를 제거하고 세척하여 악취 발생과 주위 및 지반의 오염을 방지한다.
⑧ 커튼월 및 기타 구조적으로 관련 있는 자재 등의 해체는 접착부 등의 상황에 충분히 주의하고, 전도파괴 또는 낙하방지에 대한 필요한 조치를 강구한다.

(5) 사전조사에서 공사완료까지의 과정에서 발주처의 지시사항 및 협의결과를 기록하고, 각 공사단계별 시공상황 및 공사사진 등을 기록하여 적절하게 시공되었다는 것을 증명할 수 있도록 한다.

(6) 공사 시 작업원의 안전 확보, 공사현장 주변의 안전과 환경보전을 위해 가설울타리, 출입구, 가설건물, 가설설비, 비계, 낙하방지망, 방음막, 방진막 등을 적절히 설치한다.

4.3.2 기존 구조 부재-제진시스템 접합

(공통 사항)

(1) 감쇠시스템을 구성하는 자재의 운반, 보관 및 취급 시에는 부재의 휨, 긁힘 및 과대응력이 발생하지 않도록 해야 하며, 휘거나 손상을 입을 수 있는 돌출 부분은 보호해야 한다.

(2) 운반된 부재가 결함이 있는 경우 결함 부위를 수정해야 하며, 수정작업 시 그 재질이 손상되지 않도록 교정작업을 실시하고 가열온도는 600℃를 초과해서는 안 된다.

(1. 케미컬앵커 시공 : 기존 부재가 철근-콘크리트 구조인 경우)

(3) 철근-콘크리트 재질의 보, 기둥과 브라켓 간의 접합을 위한 케미컬앵커의 시공은 기본적으로 케미컬앵커 제조사에서 제공하는 시방서, 공사 시방서 등에 따라 수행한다.

(4) 케미컬앵커의 설치는 도면상 명기된 위치에 설치하는 것을 원칙으로 하되 철근이 걸리는 부분은 미리 철근 탐지기로 확인한 후 내력에 지장을 주지 않는 가장 근접한 부위에 설치한다.

(5) 케미컬 앵커의 시공 순서는 다음과 같다.

① 홀 천공 : 시공 제원에 따라 적절한 드릴비트 등의 장비를 선정하여 천공깊이를 깊이게이지를 이용해서 정확한 직경과 깊이로 천공한다. 해머드릴을 사용하는 경우, 해머드릴을 회전/해머기능으로 두고 작업을 진행한다.

② 홀 청소 : 천공된 구멍을 먼지 제거기(수동 펌프-비균열 콘크리트에만 사용 가능, 브러쉬, 에어펌프)를 이용하여 깨끗하게 청소한다.

③ 브라켓 임시 고정 : 천공된 구멍과 브라켓의 구멍이 일치하도록 브라켓을 보 내측면에 위치시킨다. 상단 보의 경우 브라켓의 임시 고정을 위해 서포트 잭, 리프트 등 지지대를 활용 할 수 있다.

④ 케미칼액 주입 : 천공된 구멍 내부에서부터 혼합한 케미칼액을 주입한다. 이때 케미칼액은 홀 깊이의 2/3 가량을 채우거나 앵커와 콘크리트 사이의 틈을 완전히 충진 할 수 있을 정도로 채운다. 부착액 주입시 기포가 발생하지 않도록 유의한다.

⑤ 앵커 롯드(고장력 볼트)의 설치 : 천공된 구멍에 설치 깊이를 표시한 고장력 볼트를 천천히 돌리면서 철근 주위로 케미칼액이 골고루 접착될 수 있도록 삽입깊이까지 철근을 정착시킨다. 구멍 밖으로 케미칼액이 약간 나올 때까지 천천히 돌리면서 설치한다.

⑥ 케미칼액 경화 : 케미칼액에 대한 제조사가 제공하는 하중 재하가 가능한 경화시간까지 고장력 볼트 및 브라켓을 건드리지 않는다. 사용된 Hilti HIT-HY 200 with HIT-V의 작업 시간과 경화 시간은 표 11와 같다.

표 11 Hilti HIT-HY 200 with HIT-V의 작업 시간과 경화 시간

모재 온도	앵커를 삽입하고 위치 조정이 가능한 작업 시간	앵커에 하중 재하가 가능한 경화 시간
-10℃ ~ -5℃	3 시간	20 시간
-4℃ ~ 0℃	2 시간	8 시간
1℃ ~ 5℃	1 시간	4 시간
6℃ ~ 10℃	40 분	2.5 시간
11℃ ~ 20℃	15 분	1.5 시간
21℃ ~ 30℃	9 분	1 시간
30℃ ~ 40℃	6 분	1 시간

(6) 브라켓의 지지대는 설치 전에 적절한 시각적인 측정장비를 이용해서 확인해야 하며 만일 감쇠장치를 설치하기에 적절하지 않으면 설치하기 전에 반드시 수정해야 한다. 또한 무엇이 불일치했는지에 대해서 반드시 기록해야 한다.

(7) 보와 브라켓 접합부가 불균일하여 공극이 있는 경우에는 에폭시 수지 제조사에서 제공하는

시방서, 공사 시방서 등에 따라 에폭시 보강을 수행한다.

(8) 에폭시 수지 주입의 시공 순서는 다음과 같다.

① 공극 청소 : 보와 브라켓 사이의 공극을 먼지 제거기(브러쉬, 에어펌프 등)를 이용하여 깨끗하게 청소한다.

② 에폭시 수지 주입 : 에폭시 수지 주입 시 추가적인 천공이 필요하지 않은 주입 공법을 우선적으로 시행하여 내력에 지장을 주지 않도록 한다. 에폭시 수지 주입 시 콘크리트 면에 스며드는 주입재의 손실과 주입제의 점도를 감안하여 주입제의 양과 주입 속도를 조절하여야 한다.

③ 에폭시 수지 경화 : 에폭시 수지에 대한 제조사가 제공하는 하중 재하가 가능한 경화시간 까지 고장력 볼트 및 브라켓을 건드리지 않는다.

(9) 브라켓의 지지대는 설치가 시작됐을 때의 상태와 동일한 상태가 유지되어야 한다.

(2. 용접 접합 시공 : 기존 부재가 철골 구조인 경우)

(3) 기존 철골 구조부재와 프레임 간의 용접 접합 시공은 기본적으로 3.3.3절에 따른다.

(4) 프레임은 회전 가능한 핀으로 결합되어있는 상태이므로 설치 전에 반드시 고장력 나사 등을 이용하여 뒤틀림과 붕괴를 방지해야 한다.

(5) 기존 구조부재의 요철 등에 의하여 프레임 간의 접합면이 일정하지 않은 경우 1.4절의 “강재” 규격에 적합한 연장부재를 덧대어 용접할 수 있다. 이때 적용한 접합 상세에 대해서 설계자의 확인을 받아야 하며, 설계도서에 포함하여 제출하여야 한다.

(6) 프레임은 설치 전에 반드시 적절한 시각적인 측정장비를 이용해서 확인하여 설계도서에 부합하도록 수정해야 한다. 또한 무엇이 불일치했는지에 대해서 반드시 기록해야 한다.

(7) 프레임의 운반 및 설치 위치 조정을 위해 비계, 지지대, 체인블럭 등을 이용할 수 있으며, 프레임 설치 완료 후의 프레임 위치가 설치가 시작됐을 때와 동일해야 한다.

4.3.3 감쇠시스템 설치 작업

(1) 감쇠시스템은 직접 지면에 닿지 않도록 받침대를 고이고 적치해야 하며 보관 중 비틀림이 생기지 않도록 지지대의 간격을 좁게 하고, 레벨의 편차가 없도록 한다.

(2) 감쇠시스템의 보관 중에는 보관대에서의 전도, 타 부재와의 접촉 등에 따른 손상위험이 없도록 충분한 방호를 해야 한다. 만약 장기간 보관할 경우에는 부식 방지를 위한 대책을 강구해야 한다.

(3) 감쇠시스템의 설치, 본 접합 등을 위해 필요한 비계, 통로, 자재보관, 안전 등을 설치해야

한다.

(4) 비계를 사용하는 경우 비계의 안전을 확보하기 위해 가설 안전설비의 부착 및 고정방법을 확인하고, 설치순서, 작업순서를 확인한 후 안전설비를 설치해야 한다. 특히, 비계에 설치하는 가설 안전설비는 부재에 손상 혹은 마모가 발생하지 않도록 주의해야 하고, 특히 와이어로프, 체인 등에 손상 혹은 마모가 발생한 경우에는 즉시 교체해야 한다.

(5) 강구조 설치와 동시작업으로 수평, 수직의 낙하방지를 위해 적합한 계획을 수립하여야 한다.

(6) 브라켓과 핀으로 결합되어 완전히 지지되기 전까지 감쇠시스템만으로는 불안정한 경우가 발생될 수 있으므로 적절한 지지대가 있어야 한다.

(7) 시스템의 지지대는 설치 전에 적절한 시각적인 측정장비를 이용해서 확인해야 하며 만일 감쇠장치를 설치하기에 적절하지 않으면 설치하기 전에 반드시 수정해야 한다. 또한 무엇이 불일치했는지에 대해서 반드시 기록해야 한다.

(8) 브라켓과 감쇠장치-연장 브레이스에 핀을 설치하는 중에 지지대는 설치가 시작됐을 때의 상태와 동일한 상태가 유지되어야 한다.

(9) 도르래를 샤프트에 결합 시 반드시 계획된 스페이서를 설치해야 하며, 샤프트와 수직이 유지되고 있는지 표 12에 따라 미리 검사해야 한다.

(10) 도르래에 케이블을 거치하기 전에 설계 도면에 도시된 케이블의 최종 형상을 확인하고 베어링의 작동에 이상이 없는지 확인한다.

(11) 케이블 거치시에 거치 상태를 임시로 유지할 수 있는 적절한 고정 장치를 활용해야 한다.

(12) 케이블에 용접되어 있는 단부 철근과 연장 철근 간의 접합을 위한 커플러의 설치는 기본적으로 커플러 제조사에서 제공하는 시방서, 공사 시방서 등에 따라 수행한다.

(13) 커플러의 시공 순서는 다음과 같다.

① 철근 청소 : 연결할 이형 철근의 외면의 리브와 마디 간의 구별이 뚜렷한지 확인한다. 또한 철근의 단면 크기가 제조사에서 제공하는 기준치보다 작은지 미리 확인한다.

② 커플러 청소 및 임시 고정 : 커플러 홀 내부에 이물질이 없는지 확인하고, 제조사에서 제공하는 시방서에 따라 커플러의 내부 구조물을 임시고정한다.

③ 철근 1차 삽입 : 케이블 단부에 연결된 철근을 커플러에 삽입하고, 힘을 주어 체결한다. 이때 커플러에 따라 커플러에서 소리가 발생할 때까지의 가력, 내부 구조물의 파단 또는 슬리브의 체결이 필요할 수 있다.

④ 철근 2차 삽입 : ③항과 동일하게 연장 철근을 반대편 커플러에 삽입하고, 힘을 주어 체결한다.

⑤ 체결 상태 확인 : 커플러 제조사에서 제공하는 체결 상태 확인 방법에 따라 커플러가 설치되었는지 확인한다.

4.3.4 감쇠시스템 증폭구조부 장력 조절

(1) 증폭구조부의 장력 조절 전, 감쇠시스템의 프레임 및 브라켓이 기존 구조부재와 단단히 연결되어있는 상태인지 확인한다.

(2) 적절한 고정 구조물에 유압 프레스, 체인 블록과 같은 가력 장치를 고정하고 장력 조절 나사를 당겨 증폭구조부의 장력을 설계치까지 조절한다.

(3) 감쇠시스템 케이블에 가력 시 단일 방향으로만 너무 큰 힘이 가해지지 않도록 장력 조절 볼트와 체결된 너트를 조절하며 번갈아 가력한다.

(4) 가력 장치 제거 전 장력 조절 볼트와 체결된 너트를 끝까지 조여, 가력 장치 제거 후 장력이 유지되도록 조치한다.

4.3.5 감쇠시스템 설치 검사

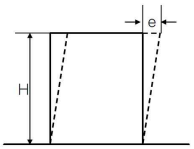
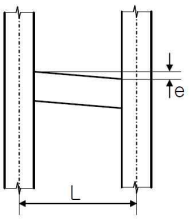
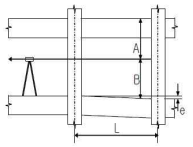
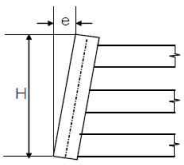
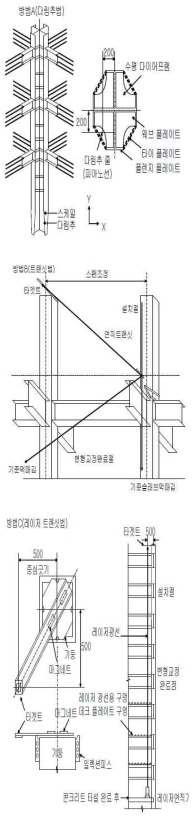
감쇠시스템이 적절히 설치되었는지는 표 12의 항목에 따라 확인한다.

4.3.6 마감 작업

(1) 감쇠시스템을 시공하고 건축물 마감은 도면에 명시된 사양에 따라서 시공한다.

(2) 마감재는 발주처의 요구에 따라서 변경할 수 있다. 발주처의 요구에 따라 별도 제품의 마감재를 시공할 시 관련 제품의 검수, 시공과 관련한 사항은 해당 제품의 특기 시방서를 따라 실시한다.

표 12 감쇠시스템 허용 시공오차 및 검사법

명 칭	그 림	관리 허용차	한계허용차	측정기기	측정방법
감쇠시스템의 기울기		$e \le \frac{H}{4000} + 7$ 또한 $e \le 30mm$	$e \le \frac{H}{2500} + 10$ 또한 $e \le 50mm$	-	감쇠시스템의 최고 레벨의 기울기로부터 산출한다.
수평도		$e \le \frac{L}{1000} + 3$ 또한 $e \le 10mm$	$e \le \frac{L}{700} + 5$ 또한 $e \le 15mm$	레벨, 강제 줄자, 스태프	 레벨로 A와 B의 보 높이를 측정한다. $e = B - A$
수직도		$e \le \frac{H}{1000}$ 또한 $e \le 10mm$	$e \le \frac{H}{700}$ 또한 $e \le 15mm$	연직 트랜싯, 타겟트, 레이저 연직기, 광학 연직기, 강제 줄자, 금속제 직각자	

4.4 Check List

시 공 체 크 리 스 트

공종 Code No.		검측일자	년 월 일
위치 및 부위		공 사 량	

검 사 항 목	검사결과		조 치 사 항
	적합	부적합	
1. 시공계획서, 시공상세도, 공사시방서 작성의 적정성과 이행실태는 확인 하였는가			
2. 동절기 확인사항 제설자재(염화칼슘, 모래주머니 등)는 확인하였는가			
3. 우기 확인사항 하천내 공사장 호우시 공사자재 및 토사유실 우려는 확인 하였는가			
4. 비산분진 방지를 위해 - 적정살수를 시행하고 있는가 - 비산분진 방어막을 설치하고 있는가			
5. 철거계획 및 폐기물 처리계획은 수립 하였는가			
6. 철거 또는 이설하기 전 작업 중, 작업 후의 상황을 알 수 있는 기존 구조물 도면, 수량산출서, 현황사진을 작성하였는가			
7. 철거 대상 건축자재가 공정계획 작성 시 파악한 현황과 일치하는지는 확인하였는가			
8. 앵커구멍 천공시 철근간섭이 일어나지 않도록 철근탐사를 통한 확인 하였는가			
9. 앵커 홀 내부의 먼지 및 기타 이물질 등에 대한 제거는 잘 이루어졌는가			
10. 주입하는 케미컬의 용법 및 용량을 준수하였는가			

시공자 점 검	(성명) ㊞	감리원 검 측	(성명) ㊞
시공자 재점검	(성명) ㊞	감리원 재검측	(성명) ㊞

시 공 체 크 리 스 트

공종 Code No.		검측일자	년 월 일
위치 및 부위		공 사 량	

검 사 항 목	검사결과		조 치 사 항
	적합	부적합	
11. 케미컬 앵커의 경화시간은 잘 지켜졌는가			
12. 케미컬 앵커 시공 후 실시한 인발테스트에 대한 시험성적서는 확인하였는가			
13. 케미컬 앵커 시공 후 브라켓의 위치와 각도가 도면상 명시된 것과 일치하는가			
14. 에폭시 주입 전 공극의 먼지 및 기타 이물질 등에 대한 제거는 잘 이루어졌는가			
15. 에폭시 수지의 경화시간은 잘 지켜졌는가			
16. 프레임을 세울때 적절한 장비를 활용할 수 있는가			
17. 도르래와 베어링의 축, 경방향 정렬상태는 양호한가			
18. 도르래 사이의 스페이서는 적절한 간격으로 설치되었는가			
19. 샤프트 결합 후 베어링의 회전 상태는 양호한가			
20. 케이블의 설치시 도르래와 기존 부재 또는 프레임 사이의 간섭이 일어나지 않는가			

시공자 점 검	(성명) ㊞	감리원 검 측	(성명) ㊞
시공자 재점검	(성명) ㊞	감리원 재검측	(성명) ㊞

시 공 체 크 리 스 트

공종 Code No.		검측일자	년 월 일
위치 및 부위		공 사 량	

검 사 항 목	검사결과		조 치 사 항
	적합	부적합	
21. 증폭구조부의 장력 조절 전 케이블이 도르래에 알맞게 위치하고 있는가			
22. 제작된 감쇠시스템의 부재 간격, 치수, 비틀림에 대해 설계도서와 대조 검토는 하였는가			
23. 건립, 조립방법은 적절히 수립되었는가			
24. 핀 접합부 조립 시 이물질을 청소하여 회전 시 핀이 손상되지 않도록 하였는가			
25. 핀의 면외방향 고정은 확실히 되었는가			
26. 감쇠시스템 설치 후 허용되는 조립기울기 범위내인지를 확인하였는가			
27. 장력은 설계된 정도로 알맞게 조절되었는가			
28. 시스템 설치 후 감쇠장치의 초기 변위는 적절한 수준에서 유지되고 있는가			
29. 별도의 마감재 시공시 마감제품에 대한 제작 확인서를 확보 하였는가			
30. 마감 시공은 마감재 제품의 특기시방서 대로 적절히 시공 되었는가			

시공자 점 검	(성명) ㊞	감리원 검 측	(성명) ㊞
시공자 재점검	(성명) ㊞	감리원 재검측	(성명) ㊞

5. 유지관리

5.1 일반사항

(1) 본 시방서는 (주)테크스퀘어에서 개발한 케이블-도르래 베어링 감쇠시스템에 있어서 관리방법, 일상유지 보수공법 등의 내용에 대하여 체계적이고 일관적인 운용을 도모하기 위하여 필요한 일반적인 사항을 기술한다. 이때 유지관리 업무란 구조물의 공용수명동안 안전성과 기능성을 유지하도록 하는 모든 업무를 말한다.

(2) 별도의 전문적인 기술이 필요한 경우에는 관계 전문서적, 시방서 또는 전문가의 자문을 득하여야한다.

(3) 본 시방서의 유지관리를 통해서 다음의 열거하는 목적을 달성할 수 있으며, 시공사인 ㈜테크스퀘어는 보수, 보강 시공 등 특수한 상황에서 필요시 관리주체에게서 합의하에 해당되는 자료를 전달받을 수 있다.

① 감쇠시스템의 안정성을 확보하고 설계목적에 부합되도록 한다.
② 손상을 조기에 발견하고 향후 발생될 손상을 예측한다.
③ 구조물의 상태를 체계적이고 주기적으로 기록한다.
④ 축적된 점검결과의 분석을 통해 향후 설계, 시공될 2층형 감쇠시스템의 개선을 기대할 수 있다.
⑤ 보수, 보강 등의 의사결정, 설계 및 시공에 필요한 자료를 제공한다.

5.2 관리주체

(1) 감쇠시스템의 관리주체는 시공 전 합의하에 계약서에 기재하여 명확히 한다.

(2) 관리주체의 감쇠시스템 유지관리는 감쇠시스템의 준공 후 규정된 점검 주기에 따라 수행한다.

(3) 유지보수 대상시설물이 필요에 따라 원설계도서와 상이하게 설계 및 시공되거나 추가적인 시설물 설치에 따라 적절하게 보완되어 준공상태에서의 시설물에 대한 실질적인 유지관리가 가능하도록 적절히 보완, 수정되어야 한다.

(4) 본 시스템의 설계, 시공사인 ㈜테크스퀘어는 시공된 감쇠시스템에 대한 하자발생시 관리주체 및 계약주체와 합의하에 준공일로부터 10년간 해당 하자를 보수, 보강한다.

(5) 본 문서에 기재된 관리주체는 감쇠시스템이 시공된 건축물의 사용자가 일상적 육안 관찰시 특이사항을 확인하여 알린 경우에 건축주 및 ㈜테크스퀘어에 전달하여 적절한 조치를 취할 수 있도록 한다.

5.3 점검의 종류 및 실시 주기

(1) 정기점검

정기점검은 손상의 조기 발견을 도모하기 위해 정기적으로 실시하는 육안 점검을 말한다.
정기점검은 2년에 1회 이상 실시한다.

(2) 정밀점검

정밀점검은 적정한 점검장비를 통해 구조물의 안정성을 확보하기 위해 정기적으로 실시하는 점검을 말한다.
정밀점검은 5년에 1회 이상 실시한다.

(3) 긴급점검

긴급점검은 태풍, 집중 호우, 폭설 등의 재해가 발생한 경우 실시하는 정밀점검을 말한다.
긴급점검은 해당 재해가 발생한 경우 관리주체의 판단에 따라서 비정기적으로 실시한다.

(4) 추적조사

추적조사는 계측기 또는 인력을 이용해 감쇠시스템의 장기 거동을 관찰하고 그 원인을 해소하기 위함을 목적으로 실시한다. 감쇠시스템의 손상 원인을 위의 점검 및 진단을 통해서도 파악할 수 없는 경우, 또는 손상을 장기간 관측할 필요성이 있는 경우에 비정기적으로 실시한다.

5.4 점검 장비

점검장비는 적용하는 점검 종류에 따라 표 16과 같다.

표 16 점검 종류별 점검 장비

점검 종류	점검 장비
정기정검	육안 점검 및 일상적인 휴대 장비/접근 장비 이용
정밀점검	일상적 휴대장비, 접근장비 및 간단한 비파괴 점검장비
긴급점검	일상적 휴대장비, 접근장비 및 비파괴 점검장비를 포함한 각종 정밀 계측 장비
추적조사	비파괴 점검장비 및 계측 장비

점검을 통해 확인하려는 내용별로 장비를 구분하면 표 17와 같다.

표 17 점검 내용별 점검 장비

점검 내용	점검 장비
표면균열 탐지	자기입자 탐사기, 초음파 탐사기, 염료 침투법, 와동전류법
내부 결함 탐지	초음파 탐사기, AE장비, 방사선 투과기
용접부 결함	방사선 투과기, 초음파 탐사기
피로 균열 탐사	자기입자 탐사기, 염료 침투법, 초음파 탐사기
응력부식 탐사	자기입자 탐사기, 염료 침투법
두께 검사	초음파 탐사기, 방사선 탐사기

5.5 유지관리 계획

5.5.1 고려사항

유지관리계획을 수립할 때 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

① 유지관리의 종류, 범위, 항목, 방법, 장비를 고려해야 함.
② 유지관리 대상인 구조물의 설계자료, 과거 이력 파악
③ 개개의 감쇠시스템 장치에 대한 구조적 특성 및 특별한 문제가 없는지 고려해야 함.
④ 감쇠시스템의 규모 및 점검의 난이도
⑤ 점검 장비의 접근성
⑥ 점검 시에는 최근의 기술이 적용되어야 함.
⑦ 점검자는 일정한 자격을 가진 자가 해애야 함.
⑧ 점검 당시의 주변 여건(주변환경 등)
⑩ 기타 관련 사항

5.5.2 유지관리 흐름도

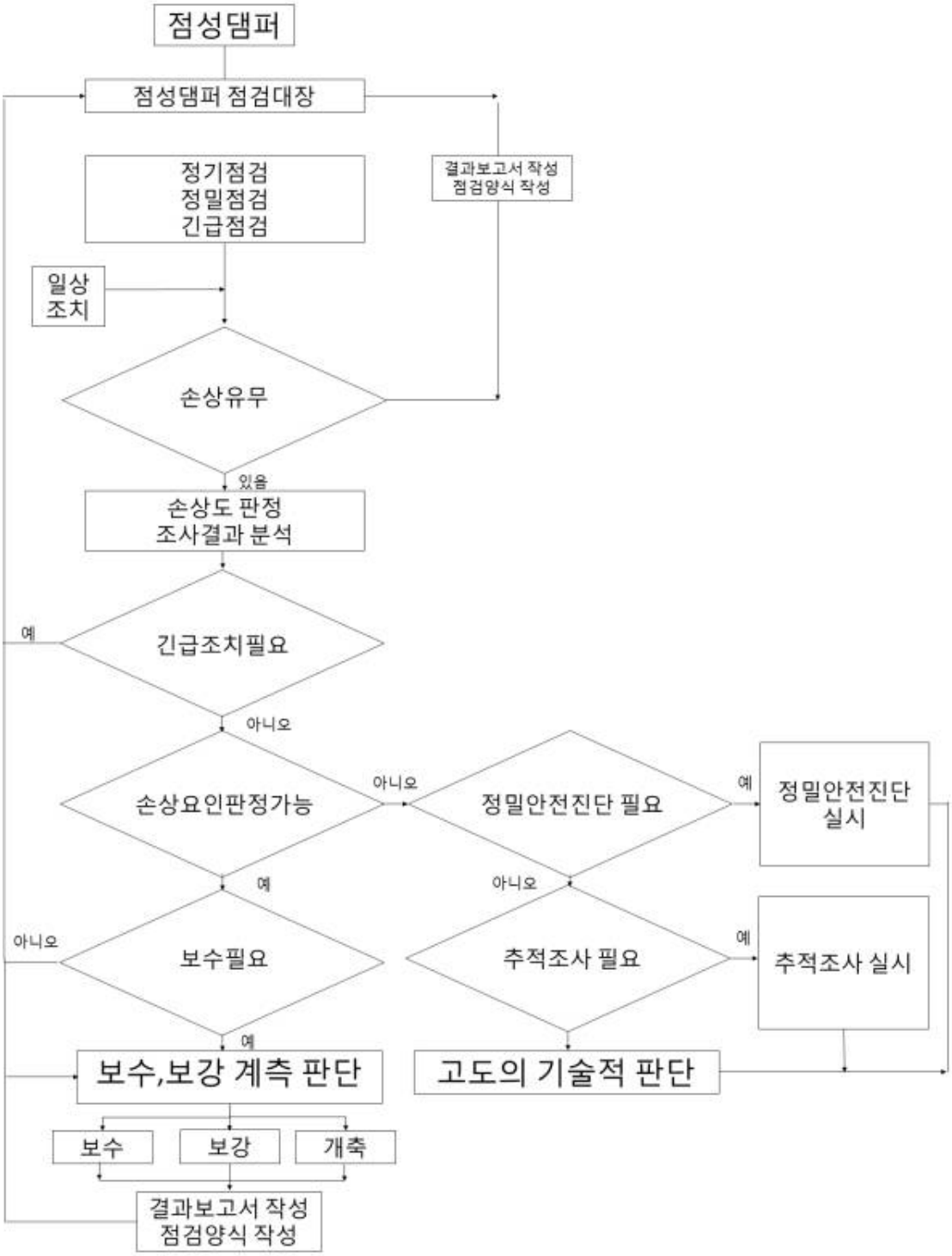


그림 7 유지관리 흐름도

5.5.3 점검항목

유지관리시의 점검 항목별 점검 내용은 표 18과 같다. 이때 세부적인 내용은 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”및 그 해설서를 따른다.

표 18 점검 항목별 점검 내용

점검 내용	점검 장비
강재의 규격	부재규격
용접부 결함상태	용접부 결함(균열 및 언더컷 등)
볼트 접합상태	볼트 누락, 풀림, 이완
강재의 부식도	도장 및 부식상태
내화피복	내화피복 두께 및 손상
접합부 결함상태	접합부 결함(에폭시 열화, 보 및 기둥 콘크리트 균열 등), 브라켓 및 브레이스의 정렬상태
힌지 결함상태	핀의 고정상태, 고착유무
실리콘 밀봉상태	감쇠장치 씰(seal) 이상에 의한 실리콘 누출

5.6 감쇠시스템 상태평가 및 보수·보강

5.6.1 상태평가표

표 19 등급별 상태

등급	평가기준	상태	보수·보강 조치
A급	현재는 문제점이 없는 상태	이상이 없는 상태	-
B급	경미한 손상의 양호한 상태 일부 보수만으로 성능을 확보할 수 있는 상태	볼트장력풀림 도장피복 박리 일부 용접 균열	보수 시행 볼트장력 재도입 부분도장 재용접 실시
C급	구조부재의 손상이 있는 상태	철골부식으로 인한 단면결손	구조부재 단면 보강
D급	실리콘 점성댐퍼의 파손	실리콘의 누출	실리콘 점성댐퍼 교체

5.6.2 감쇠시스템 체크리스트

표 20 감쇠시스템 체크리스트

점검종류	정기점검	점검일자	
점검 위치		점검 수행자	
점검 내용			

구분	조사항목	점검 상태 내용	상태			
			A	B	C	D
철골부재	강재의 규격	강재강도 및 부재규격				
	용접부 접합상태	용접부 결함 (균열 및 언더컷 등)				
	강재의 부식도	방청과 강재부식				
	접합재 부식도	용접 및 볼트접합부 부식				
	내화피복	내화피복 두께 및 손상				
	접합부 결함상태	접합부 결함, 브라켓·브레이스 정렬 상태				
	힌지 결함상태	핀의 고정상태, 고착유무				
실리콘 점성댐퍼	볼트접합상태	볼트누락, 풀림, 이완				
	실리콘 상태	실리콘 누출여부				

5.6.3 감쇠시스템 보수·보강

(1) 부분 도장

실리콘 점성댐퍼 구성 부위 중 강재 부위에 대해 부분적으로 부식된 경우 부분도장을 실시한다. 부분도장을 실시하기 이전에 부식 부위 결정, 부식의 정도, 기존 도장의 접착력, 사용하려는 도장재와 기존 도장재와의 부착력 등을 결정하기 위해 기존 도장재의 상태를 평가한다. 일반적인 실시지침은 다음과 같다.

① 표면처리를 실시하여 도장을 모두 벗겨 표면이 드러나도록 한다.

② 필요할 경우 주변의 먼지를 제거한다.

③ 주변 구조물에 도장이 묻지 않도록 덮개를 씌운다.

④ 주변의 온도와 습도가 도장에 적당한가를 점검한다. 특히 도장을 실시하는 표면의 온도와 습도가 중요하다.

⑤ 붓이나 롤러, 스프레이를 사용하여 깨끗하게 칠한다.

⑥ 모든 갈라진 틈을 주의하여 도장한다.

⑦ 이전에 칠하여진 도장면이 마르기 이전에 다음 도장을 실시하지 않는다.

⑧ 도장 두께를 테스트한다.

(2) 볼트장력

볼트장력이 느슨한 부분에 대해서는 조임을 실시한다.

(3) 용접결함부위
용접결함부위는 재용접을 실시하여 보강한다.

(4) 실리콘 점성댐퍼
실리콘 점성댐퍼의 실리콘 누출 시 즉시 교체를 실시한다.

5.6.4 조치기록
수행된 모든 손상조치는 반드시 기록, 보존되어 향후 점검과 유지관리에 반영되어야한다.

5.7 품질 보증
(1) 본 시스템의 설계, 시공사인 ㈜테크스퀘어는 시공된 감쇠시스템에 대한 하자발생시 관리주체 및 계약주체와 합의하에 준공일로부터 10년간 해당 하자를 보수, 보강한다. 이때 감쇠시스템의 품질보증서를 발행하여 품질을 보증한다.

(2) 단, 보증기간 이내라 하더라도 소비자의 과실 및 파손, 손괴 등으로 인한 서비스는 일정의 출장비 및 부품비, 수리비를 청구할 수 있다.

(3) 본사에서 발행하는 감쇠시스템 품질보증서는 그림 8과 같다.

TechSquare

품 질 보 증 서

아래와 같이 보증합니다.

본 제품은 엄정한 품질관리 및 검사과정을 거쳐 제작, 시공된 제품입니다.
정상적인 사용 상태에서 고장 및 결함이 발생하였을 경우 보증기간 동안 무상으로 점검, 보수하여 드립니다.
단, 보증기간 이내라 하더라도 소비자의 과실 및 파손, 손괴 등으로 인한 서비스는 일정의 출장비 및 부품비, 수리비가 청구 될 수 있습니다.
수리를 요할 경우 보증서를 꼭 제시하여 주시기 바라며, 해당 보증서는 재발행되지 않으니 각별히 보관하여 주시기 바랍니다.

제 품 명		보 증 기 간	
제 조 번 호		20 년 월 일 부터	
시 공 일 자	20 년 월 일	20 년 월 일 까지	
시 공 대 상		시공일로부터 10년 간	
주 소			
성 명		전 화	

(주)테크스퀘어

▣ 주의사항

1. 본 제품은 일반인이 임의로 설치, 분해, 개조를 하지 마십시오.
   임의 조작할 경우 비상시에 제대로 작동이 되지 않아 인명, 재산상의 피해가 있을 수 있습니다.
2. 본 제품을 용도 이외의 용도로 사용 하지 마십시오.
3. 본 제품에 이상을 발견하였을 경우 즉시 (주)테크스퀘어(02-6241-4316)로 연락하여 주시기 바립니다.

그림 8 감쇠장치 품질보증서

부 록

1. 실리콘 점성감쇠장치 특기 시방서

1.1 일반사항

1) 적용범위

본 시방서는 “특허 제10-1221498호, 제10-1294601호”에 적용한다.

1.1.1 개요

감쇠시스템에 적용된 감쇠장치는 점성감쇠장치로서 점성물질의 전단변형으로 인해 에너지를 소산하는 방식으로 작동하는 원리를 가진다. 따라서 지진과 같은 극심한 지진하중에 대해서 점성감쇠장치의 에너지소산 능력으로 변위와 가속도, 밑면전단력을 감쇠시켜주는 시스템이다.

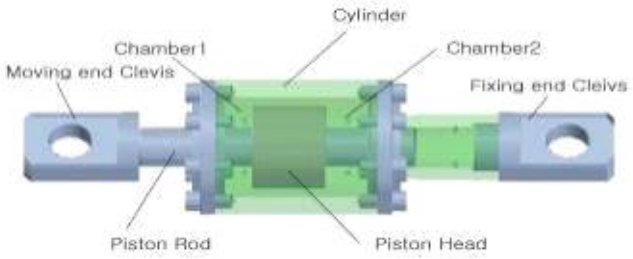


그림 1 기본적인 점성감쇠장치 형상

1.1.2 거동특성

감쇠시스템에 연결된 점성감쇠장치에 의해 구조물에 설치하면 구조물에 추가적인 감쇠비를 부여하여 외부하중에 의해 구조물에 발생하는 가속도과 변위응답을 감소시킬 수 있다. 점성감쇠장치는 속도의존성을 가진 감쇠장치로서 속도가 커지면 커질수록 하중이 커지는 특성을 가진다.

1.1.3 장점

(1) 에너지 소산 능력

작은 변위에도 다른 종류의 감쇠장치에 비해서 에너지 소산율이 뛰어나서 구조물의 지진에 의한 손상을 방지하는 능력이 탁월하다.

(2) 속도의존성

속도의존성 감쇠장치로서 속도가 커질수록 더 많은 에너지를 소산시킬 수 있어서 강한 지진일수록 더 큰 성능을 발휘한다.

(3) 유지관리성

실리콘 점성감쇠장치는 수십만 회를 반복 사용하여도 성능의 변화가 없어 별도의 유지관리비가 필요치 않은 장점이 있다.

1.2 점성감쇠장치 제작시방서

1.2.1 일반사항

(1) 적용 범위

본 시방서는 다층 건축물이 지진시 급격한 충격하중을 받았을 때 그 충격 에너지를 흡수하여 감쇠시키는 장치의(이하 점성감쇠장치라 한다.) 재료, 설계, 제작, 품질 조건 등 점성감쇠장치의 구비 조건 및 성능 시험 방법 등에 대하여 규정한다.

점성감쇠장치를 사용하기 위해서는 사용 전 반드시 내진 해석을 통한 구조물의 거동특성과 장치의 거동 특성을 확인하여 사용 적합성 여부를 판단하여 감독관의 승인을 얻어야 한다.

(2) 재료의 조건

점성감쇠장치의 재료는 발주자의 별도 명시가 없으면 아래의 명시된 조건을 만족하여야 하며, 이 항에서 명기되지 않은 사항은 제작사의 시방 규정에 준한다.

1) 실린더(Cylinder)
   점성감쇠장치의 실린더는 KS D 3517에 규정된 STKM13A 강재와 동등하거나 이상의 품질인 강재를 사용하여야 한다.
2) 피스톤(Piston)
   점성감쇠장치의 피스톤은 KS D 3867에 규정된 SCM440 강재와 동등하거나 이상의 품질인 강재를 사용하여야 한다.
3) 마모 방지 링(Wear Ring)
   점성감쇠장치에 사용되는 마모 방지 링은 1.6절의 완제품 성능시험에 의해 그 내구성이 입증되어야 한다.
4) 봉합 링(Sealing Ring)
   점성감쇠장치에 사용되는 봉합 링은 1.6절의 완제품 성능시험에 의해 그 밀봉성능이 입증되어야 한다.
5) 유출 방지 링(O-Ring Seal)
   점성감쇠장치에 사용되는 유출 방지 링은 1.6절의 완제품 성능시험에 의해 그 밀봉성능이 입증되어야 한다.
6) 내부 충진재(Filling Fluid)
   점성감쇠장치에 사용되는 내부 충진재는 오일타입으로 시공하게 되면 휘발성 및 누유 등의 문제로 유지관리가 어렵기 때문에 실리콘 타입으로 하고, 1.6절의 완제품 성능 시험에 의해 그 에너지 감쇠 성능이 입증되어야 한다.
7) 밀봉판(Flange)
   점성감쇠장치의 밀봉판은 KS D 3752에 규정된 SM45C 강재와 동등 이상의 품질인 강재를 사용하여야 한다.
8) 연결재(Expansion Head, Fixed Anchor, Clevis)
   점성감쇠장치의 연결재는 KS D 3752에 규정된 SM45C 강재와 동등 이상의 품질인 강재를 사용하여야 한다.
9) 볼트(Bolt)
   모든 조립 볼트는 KS B 1002-01에 규정된 볼트이상의 품질인 볼트를 사용하여야 한다.

1.3 설계의 조건

점성감쇠장치의 설계는 아래의 명시된 조건을 만족하여야 하며, 이 항에서 명기되지 않은 사항은 제작사의 설계 시방 규정에 준한다.

(1) 실린더

실린더의 외벽은 지진 등의 외력이 작용함에 따라 발생하는 실린더 내부의 압력과 외력에 의한 실린더 벽체 응력의 조합 응력을 수용할 수 있는 충분한 두께로 설계되어야 한다.

(2) 피스톤

피스톤은 실린더 내부 압력에 견딜 수 있는 충분한 두께로 설계되어야 하며, 이때의 성능은 1.6절의 완제품 성능시험을 통해 입증되어야 한다.

(3) 연결재

점성감쇠장치의 연결재는 피스톤 축의 한 끝 단과 나사 체결이 가능한 구조로 설계되어야 하며 이때 나사 부분은 축력과 전단력에 대해 안전하고 연결재의 두께 및 연결핀 홀의 위치는 축력을 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.

1.4 제작 조건

점성감쇠장치의 제작은 아래의 명시된 조건을 만족하여야 하며, 이 항에서 명기되지 않은 사항은 제작사의 제작 시방 규정에 준한다.

(1) 점성감쇠장치의 모든 강재는 발주자의 승인된 도면에 의해 제작되어야 한다.

(2) 내부 충진재(실리콘)의 충진은 실린더를 수직으로 세운 상태에서 충진물을 길게 말아 압력을 가해 충진 후 개구부를 통해 공기를 배출해내고, 개구부를 실린더와 동등한 재질의 재료로 가공된 연결재로 밀봉하여야 한다.

(3) 피스톤 축과 피스톤 헤드는 같은 재질을 사용하여야 한다.

(4) 피스톤을 제외한 실린더 및 연결재의 외부는 SA 2.5 등급의 blasting을 시행하여야 한다.

(5) 피스톤을 제외한 모든 강재의 노출 표면은 방청 후 분체도장 또는 에폭시페인트로 도장한다.

(6) 외부에 노출된 피스톤 부위는 먼지방지막을 설치하여 먼지의 침투를 방지하여 피스톤의 활동이 자유롭게 이루어지도록 윤활제를 충진 하여야 한다.

1.5 품질의 조건

점성감쇠장치 재료의 품질은 아래의 명시된 조건을 만족하여야 하며, 이 항에서 명기되지 않은

사항은 제작사의 품질 관리 규정에 준한다. 모든 강재는 1.2절에 명시된 제품 규격과 동등이상의 품질을 갖는 제품을 사용하여야 한다. 제조품의 품질을 효율적으로 관리하기 위하여 제작자는 설계, 개발 및 생산의 모든 부분에 대하여 ISO 9001에 부합하는 시스템을 갖추어야 한다.

1.6 성능 시험

1.6.1 일반사항

점성감쇠장치는 저속 운동과 고속 운동 및 반복 하중 하에서 성능 및 설계 특성을 증명하기 위하여 성능시험을 수행해야 한다. 수행해야 하는 시험에는 1.6.2의 원형 시험과 1.6.3의 증명 시험이 있다.

1.6.2 원형(Prototype) 시험

(1) 정수압 시험

점성감쇠장치는 고압 상태에서 제품의 품질을 확인하기 위해서 최대 설계된 압력에서 150%에서 최소 3분간 가압상태를 유지하여야 한다. 시험이 진행되는 동안 점성감쇠장치는 압력상태가 유지되고 밀봉되어야 한다. 시작과 끝의 압력을 읽고 기록한다.

(2) 속도의존성 시험

최대속도를 변수로 진동수가 일정하도록 진폭을 조정한다. 또는 진폭을 일정하게하고 진동수를 조정한다.

(3) 피로 하중 시험

점성감쇠장치는 기술자가 지정한 속도와 장치의 공칭 하중과 동등한 하중에서 10,000회의 완전하고 연속적인 왕복운동을 시켜야 한다.

1.6.3 증명(Proof) 시험(품질 관리)

(1) 정수압 시험

점성감쇠장치는 고압 상태에서 제품의 품질을 확인하기 위해서 최대설계된 압력에서 150%에서 최소 3분간 가압상태를 유지하여야 한다. 시험이 진행되는 동안 점성감쇠장치는 압력상태가 유지되고 밀봉되어야 한다. 시작과 끝의 압력을 읽고 기록한다.

승인요건: 압력 하에 누수 징후가 없어야 하며, 정수압은 시험하는 동안 5% 이상 떨어져서는 안 된다.

1.7 관련 규격

한국 산업 표준 KS D 3517 (기계구조용 탄소강 강관)
한국 산업 표준 KS D 3867 (기계구조용 합금강 강재)
한국 산업 표준 KS D 3515 (용접구조용 압연 강재)
한국 산업 표준 KS D 3752 (기계 구조용 탄소 강재)
한국 산업 표준 KS B 1002 (고장력 6각 볼트)
ISO 9001 - Quality Management System Requirements

1.8 품질 보증

감쇠장치 생산의 생산 품질과 성능 품질의 유지를 위하여 각 생산품의 시리얼을 표기·기록하여 관리한다. 또한 매년 1.6 절에 상응하는 시험을 2개 이상의 생산품에 수행하여 장기 생산 품질확보하고 개체 간 성능을 균일하게 유지할 수 있도록 한다.

설계 매뉴얼

목 차

1. 일반사항 ····· 3

2. 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 구성 및 작동 원리 ····· 4
2.1 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 구성 ····· 4
2.2 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 작동 원리 ····· 4

3. 실리콘 점성감쇠장치 특성 ····· 5
3.1 개요 ····· 5
3.2 속도 의존성 ····· 5

4. 감쇠시스템 모델링 ····· 6

5. 내진성능 평가 ····· 6
5.1 구조물 해석 ····· 6
5.2 보강 전 기존 구조물 모델링 및 내진성능 평가 ····· 7
5.3 보강 설계 ····· 7
5.4 보강 후 구조물 모델링 및 내진성능 평가 ····· 7

6. 보강 설계안 검토 사항들 ····· 8
6.1 감쇠시스템 성능 검토 ····· 8
6.2 보강 구조물 기초 검토 ····· 9

1. 일반사항

본 설계 매뉴얼은 (주)테크스퀘어에서 개발한 실리콘 점성감쇠장치를 적용한 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템에 대하여 그 특성과 역학적 거동, 기존 구조물에 미치는 영향 등을 설명하고 설계 절차와 설계 제한사항 등 구조 엔지니어가 해당 감쇠시스템을 적용하여 기존 건물을 보강할 때 고려해야하는 사항 등을 설명하는데 목적이 있다.

본 설계 매뉴얼에서 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템이라 함은 베어링이 삽입된 도르래와 도르래 사이를 연결하는 철근, 그리고 도르래의 작동을 위해 해당 부분에 감기는 강와이어 로프 부분으로 구성되며, 상세한 내용은 '2.1 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 구성'에서 확인할 수 있다. 해당 감쇠시스템은 기존 구조물 프레임 내부에 가새 형태로 설치되거나 외부 부착형으로 설치될 수 있으며, 횡력에 의해 프레임에 발생하는 전단 변형을 감쇠장치로 전달하는 메카니즘을 통해 지진에너지를 소산하는 특성을 가진다. 그러나 감쇠장치에 연결되는 케이블과 도르래의 감기는 횟수에 따라 감쇠성능이 달리 나타나게 된다.

일반적으로 감쇠시스템은 감쇠시스템에 하중을 발생시키는 원리에 따라 변위의존형, 속도의존형, 변위-속도의존형으로 구분할 수 있다. 변위의존형은 감쇠시스템에 발생한 변위량에 따라 하중이 변하는 감쇠시스템으로 대표적으로 강재감쇠장치가 있다. 속도의존형의 경우 감쇠시스템이 움직이는 속도에 따라 발생하는 하중이 결정되는 시스템으로 오일감쇠장치가 대표적이다. 변위-속도의존형은 이 두 가지 특성을 모두 가지고 있는 시스템이다.

본 설계 매뉴얼의 감쇠시스템에는 속도의존적인 특성을 가지고 있는 실리콘 점성감쇠장치가 적용되었다. 따라서 감쇠장치의 작동속도에 따라 감쇠력의 크기가 변하며, 결과적으로 에너지 소산능력이 바뀌게 된다. 적용된 실리콘 점성감쇠장치는 속도의존형이지만 초기 낮은 속도에서는 속도 증가량에 따른 힘 증가량이 크고 높은 속도에서는 속도 증가에 따른 힘의 증가량이 낮은 특성을 가지고 있다. 이러한 특징 때문에 설계자의 예상을 뛰어넘는 강진에 대해서도 감쇠시스템과 그 주변부에 과도한 응력 집중현상을 일으키지 않아 안정적인 거동이 가능하다.

가새형 감쇠시스템에 적용된 실리콘 점성감쇠장치의 성능은 실리콘 점성감쇠장치의 입증 실험을 통해 확인되었다. 입증 실험은 우리나라 사계절의 상온을 가정한 24℃의 환경에서 작동속도 150mm/s 이내의 조건에 대해서 수행되었으며 그 결과 최대 속도(150mm/s)에서 감쇠력이 13.3 kN으로 확인되었으므로 이러한 제한조건을 보강설계에 반영해야 한다. 설계자는 본 설계 매뉴얼을 참고하여 해당 제한 조건들을 보강 설계에 반영해서 검토해야 한다.

마지막으로, 본 매뉴얼에서 다루고 있는 감쇠시스템은 프레임 내부 부착 가새형으로 설치되는 가새의 각도가 커질수록 그 효율이 저하될 우려가 있다. 따라서, 본 감쇠시스템을 적용하려는 건물의 건축적 혹은 다른 이유로 인하여 극단적인 설치각으로 감쇠시스템의 형상을 변형하여 적용할 경우에는 감쇠장치의 효율, 변형 한계, 접합부에 전달되는 외력의 수준에 대해서 별도의 검토를 통해 확인해야 한다.

2. 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 구성 및 작동 원리

2.1 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 구성

본 설계 매뉴얼에서 다루는 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템은, 그림 1에 나타낸 바와 같이, 지진에너지를 소산하는 역할을 하는 감쇠장치, 감쇠장치에 기존 프레임의 변형을 전달하기 위한 외부프레임, 그리고 감쇠장치에 변위를 증폭시키기 위한 베어링이 설치된 도르래 및 철근, 강와이어 로프로 시스템이 구성된다.

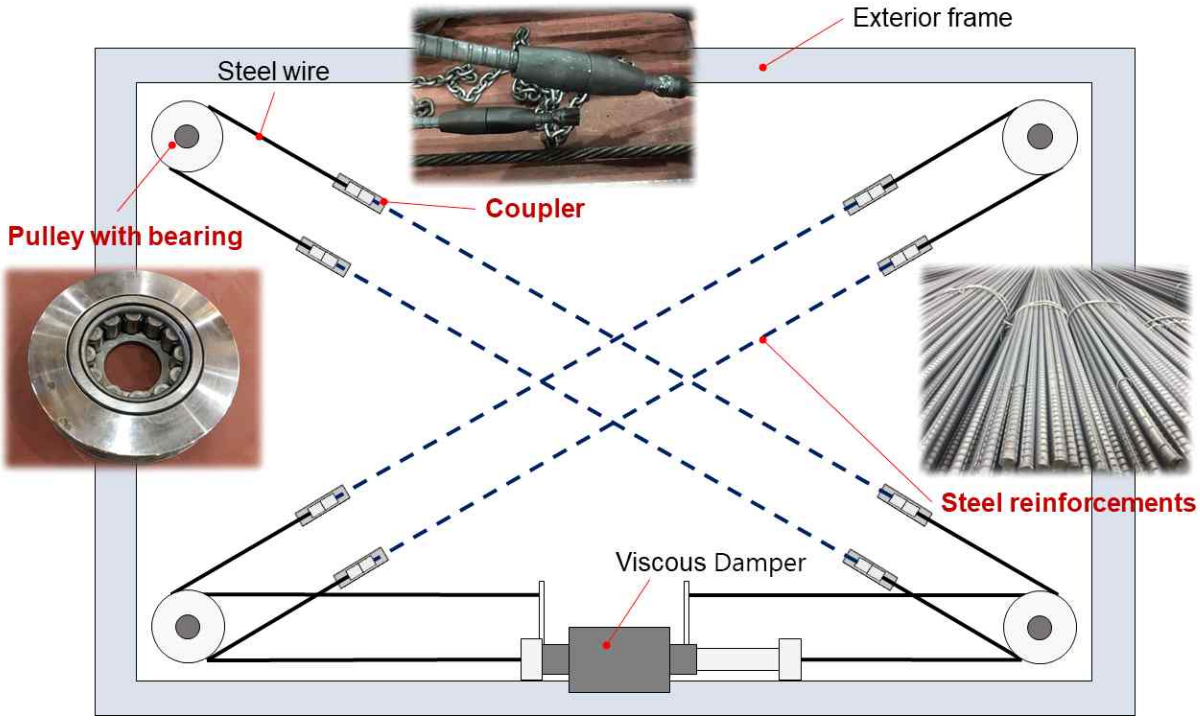


그림 1 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템의 구성

2.2 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템 작동 원리

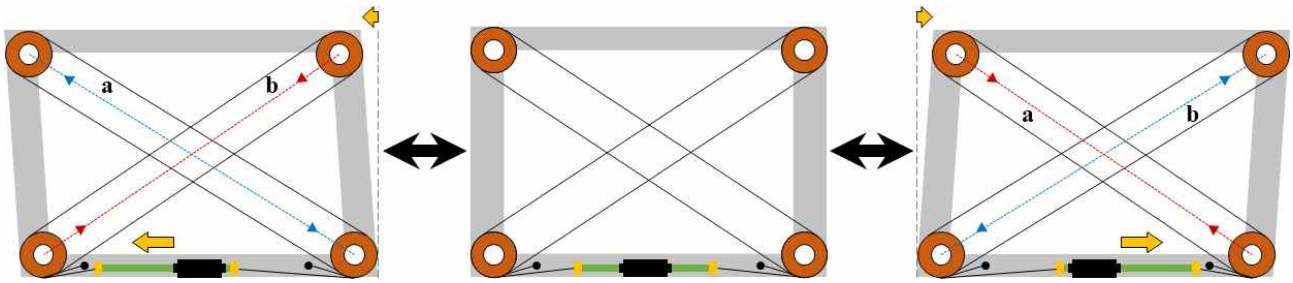


그림 2 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템의 작동 원리

케이블-베어링 도르래 감쇠시스템의 작동 원리는 움직도르래와 고정도르래의 작동 원리에 근간한다. 그림 2에 나타낸 것과 같이 변형 시 움직도르래 원리에 의한 와이어의 변형 증폭과 고정도르래 원리에 의한 가력 방향 변화에 의하여 기본적인 감쇠력 증가가 발생한다. 골조가 좌측으로 변형될 때 그림 2의 a 방향 대각 거리는 증가하게 되며, 반대로 b 방향 대각 거리는 감소하게 되

어 변형이 증폭된다. 케이블의 한쪽 단부가 고정되어 있으므로 골조 변형에 해당되는 케이블의 이동변위가 대부분 다른 한쪽 끝에 연결된 점성 댐퍼로 입력되게 된다. 이러한 변형의 증가는 대각방향으로 설치된 케이블의 감는 횟수에 비례하여 증가되어 더 많은 에너지를 소산할 수 있게 된다. 또한 본 감쇠시스템에 사용된 감쇠장치의 경우 속도의존성을 갖는 점성댐퍼를 사용하기 때문에 동일한 시간 대비 작동 변위의 증가로 점성댐퍼에 입력되는 변형 속도 역시 증가하여 최대 저항하중이 추가로 증가하는 특징을 가진다.

3. 실리콘 점성감쇠장치 특성

3.1 개요

케이블-베어링 도르래 감쇠시스템에는 실리콘 점성물질이 실린더 내부에 충진된 감쇠장치가 사용되며, 감쇠장치의 형상 및 치수 등은 모두 동일한 제품이 적용된다. 따라서 감쇠장치 요소 자체의 특성은 동일하게 적용하는 것이 가능하다. 사용된 감쇠장치의 최대 가용 스트로크는 ±300 mm이며, 속도에 따라 달라지는 감쇠성능을 다음 사항들에 근거하여 해석모델에 적절히 반영될 수 있도록 고려해야 한다.

3.2 속도 의존성

본 기술에 사용된 감쇠장치는 속도 증가에 따라 감쇠력이 비선형적으로 증가하는 특성을 가지고 있다. 해당 감쇠장치 요소의 역학적 특징은 (식 1)과 같이 속도에 따른 함수로 정의할 수 있다.

$$F = C_d V^{\alpha} \qquad \text{(식 30)}$$

F = 감쇠장치의 감쇠력 (kN)
C_d = 감쇠장치의 감쇠계수
V = 감쇠장치의 작동속도 (mm/s)
α = 비선형성을 반영하는 계수

개발된 감쇠장치의 상온(23℃)에서의 이력거동 특성을 나타내는 방정식은 (식 2)와 같다.

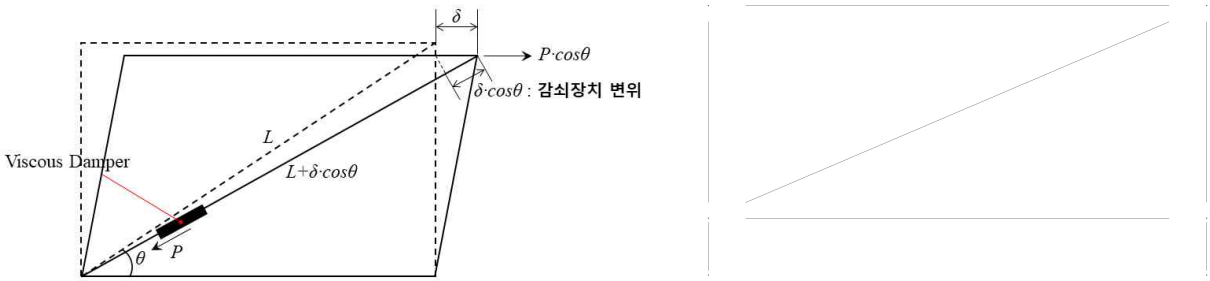
$$\text{상온(23℃)일 때, } F = 6 V^{0.16} \qquad \text{(식 31)}$$

본 감쇠시스템이 지닌 속도의존성을 해석에 반영하여 보강 효과를 검증하기 위해서는 속도에 따른 건물의 동적응답을 시간이력에 따라 확인해야 하며 이를 위해 비선형 동적해석을 수행해야만 한다.

4. 감쇠시스템 모델링

본 매뉴얼에서 제시한 감쇠시스템에 대한 해석모델은 다음 사항들에 근거하여 모델링을 수행하는 것을 원칙으로 한다.

본 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템은 구조물 프레임에 발생하는 전단변형이 그대로 대각방향으로 연결된 철근의 축방향 변형으로 이어지며, 대각 방향으로 왕복하며 감긴 철근의 횟수에 따라 설치된 감쇠장치에 도입되는 변위가 증폭되어 입력이 된다. 이는 마치 일반적인 대각가새 감쇠시스템의 변형에 철근의 왕복횟수를 곱한 크기만큼 변위 증가와 에너지 소산이 발생하는 것으로 이해하면 된다. 따라서 동적 해석을 위한 모델링 역시 일반 대각가새 감쇠시스템으로 이상화하여 진행할 수 있으며, 다만 반복하여 대각 방향으로 감신 케이블의 횟수에 근거하여 변위증폭비를 고려한 하중의 크기를 댐퍼의 감쇠력에 곱하여 증진된 값을 사용한다. 변위증폭에 의한 속도 증가는 본 감쇠장치의 경우 일정 속도(50 mm/s) 이상에서는 감쇠력이 거의 일정하게 유지되는 점을 감안하여 증폭비에 의해 추가로 증가된 속도에 따른 감쇠력 증진은 편리상 무시한다.



(a) 대각가새 감쇠시스템으로 이상화 (b) 해석 모델

그림 3 케이블-베어링 도르래 감쇠시스템의 이상화 모델

감쇠장치가 포함된 가새 부재의 경우, 가새 부재의 특성은 별도로 고려하지 않으며 감쇠장치의 특성만을 반영하여 하나의 요소(element)로 모델링한다. 생성된 감쇠장치 요소를 설치하고자 하는 기존 구조물 프레임 내 기둥/보 접합부 노드 사이에 걸쳐 연결하여 감쇠시스템 모델링을 하거나 외부 부착형일 경우 감쇠장치가 설치된 별도의 프레임을 모델링하여 완수한다.

5. 내진성능 평가

5.1 구조물 해석

본 감쇠시스템에 적용된 감쇠장치는 작동 속도에 따라 감쇠력이 결정되므로 보강 평가를 위해서는 비선형 동적해석을 수행해야 한다. 보강 계획 수립을 위한 예비 평가 및 보강 전 구조물의 성능 평가 역시 비선형 동적 해석을 수행해야 함을 원칙으로 한다. 그러나 기존 구조물의 보유 내력이 부족하여 비선형 동적 해석을 통해 유의미한 결과를 얻는 것이 불가능할 경우 비선형 정적

해석을 통해 보강 전략 수립 및 평가 결과 비교 등을 수행할 수 있다.

5.1.1 비선형 동적 해석

비선형 동적 해석으로 구조물의 내진성능을 평가할 경우, “KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준”에 기술된 비선형 동적 해석에 대한 일반사항, 지진파 산정 및 해석 절차 등을 참조하여 해석을 수행한다. 이 때 원구조물의 감쇠비는 구조시스템 및 재료특성 등을 적절히 반영하여 평가가 이루어져야 한다. 다만, 그 값은 임계감쇠의 3% 이하에 해당하는 값이어야 한다.

5.1.2 비선형 정적 해석

비선형 정적 해석으로 기존 구조물의 내진성능을 평가할 경우, “KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준”에 기술된 비선형 정적 해석에 대한 일반사항 및 해석 절차 등을 참조하여 해석을 수행한다.

5.2 보강 전 기존 구조물 모델링 및 내진성능 평가

보강 전 기존 구조물의 비선형 동적/정적 해석을 위한 부재의 힘-변위 곡선, 질량 분포 및 적용 중력하중 등의 일반사항에 대해서는 “KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준”을 참조하여 수행함을 원칙으로 한다. 기존 건물의 모델링 및 평가와 관련된 항목 중 본 매뉴얼에서 제시하지 않은 내용에 대해서도 역시 “KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준”을 참조한다.

기존 구조물의 내진성능 평가 기준은 적용한 해석 방법에 따라 “KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준”의 평가 기준을 참조하여 평가한다.

5.3 보강 설계

기존 구조물에 대한 내진성능 평가 후 보강이 필요한 경우, 모드해석에 따른 구조물의 동특성, 보강 위치에서의 최대 변위, 속도 등을 종합적으로 고려하여 보강 위치를 결정한다. 본 매뉴얼에서 다루는 감쇠시스템의 경우, 면외방향으로 작동이 불가능하므로 과도한 면외방향 거동이 예상되는 곳은 보강을 피하고 적절한 수준의 층간변위가 발생하는 위치를 우선으로 보강해야 한다. 또한 현재 본 감쇠시스템의 성능이 검증된 속도는 150 mm/s 이므로 지진 상황에서 보강된 위치에서의 작동 속도가 해당 속도를 과도하게 초과하는지를 검토해야 한다.

가새형 감쇠시스템으로 이상화하여 모델링한 본 감쇠시스템의 가새 부재의 중심선은 기존 프레임의 중심선과 맞춰서 설계한다. 이상화된 가새 부재의 각도는 설치되는 실제 감쇠시스템의 케이블 설치각과 일치하도록 설계한다.

5.4 보강 후 구조물 모델링 및 내진성능 평가

기존 구조물 평가 시 비선형 동적 해석을 수행했다면, 보강 후 구조물 모델 중 기존 구조물에 해당하는 부분은 별도의 수정을 거치지 않고 5.1.1절과 5.2절에서 사용한 모델을 그대로 사용한다.

기존 구조물 평가 시 비선형 정적 해석을 수행했다면, 기존 구조물에 대한 비선형 정적 해석 모델에 5.1.1절의 내용을 추가로 반영하며 그 외 5.1.1절에서 서술되지 않은 내용에 대해서는

“KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준”을 참조하여 모델링을 실시한다.

보강 후 구조물의 내진성능 평가는 비선형 동적해석에 기초하여 “KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준”에 제시된 평가 기준을 근거로 수행한다. 설계자는 해당 기준에 의한 평가 외에도 모델링의 적절성, 감쇠장치 작동의 적합성 및 효율성 등을 평가하기 위해 필요한 설계변수를 보강 전 구조물에 대비하여 보고서에 명시하여야 한다. 이 때 경우에 따라 적용하는 지진파를 산정할 때 보강에 따른 구조물의 강성 증가를 고려하여 주기 범위를 다시 조정할 필요가 있다.

6. 보강 설계안 검토 사항들

6.1 감쇠시스템 성능 검토

6.1.1 감쇠시스템 이력특성

감쇠장치 모델링의 타당성은 실제 지진하중에 대한 해석결과와 함께, 지진하중 해석을 통해 얻은 최대변위를 발생시키도록 크기가 조정된 구조물의 주기와 같은 공진하중을 사용하여 얻은 이력거동에 대한 분석을 통해 평가되어야 한다.

6.1.2 유효수평력

감쇠시스템을 이용하여 보강한 구조물에 대해서 “KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준”의 요구사항에 따라 보강 전 구조물의 밑면전단력에 대한 보강 후 감쇠시스템의 수평력의 비가 검토되어야 한다. 본 감쇠시스템이 분담하는 수평력의 크기는 감쇠장치에 발생하는 하중을 설치 각도에 대한 코사인값으로 그 크기를 확인할 수 있다. 설계자는 이 전단력을 보강 전 건물의 밑면전단력과 시간이력으로 비교하여 적절성을 확인해야 한다.

6.1.3 최대속도

구조물의 특정 층에 구조물의 주축방향 중 한 축에 4개 이상의 감쇠장치가 배치되고, 고려방향으로 그 층의 강성중심을 기준으로 각 양방향에 최소한 2개의 장치가 배치되는 경우, 모든 감쇠장치는 평가기준지진 작용 시 최대변위응답의 130퍼센트에 해당하는 변위에 저항할 수 있어야 한다. 속도의존형 장치의 경우에는 평가기준 지진 작용 시 최대속도응답의 130퍼센트에 해당하는 하중과 속도에 저항할 수 있어야 한다.

구조물의 특정 층에 구조물의 주축방향 중 한 축에 4개 미만의 감쇠장치가 배치되거나, 고려방향으로 그 층의 강성중심을 기준으로 각 양방향에 2개 미만의 장치가 배치되는 경우, 모든 감쇠장치는 평가기준지진 작용 시 최대변위응답의 200퍼센트에 해당하는 변위에 저항할 수 있어야 한다. 속도의존형 장치의 경우에는 평가기준지진 작용 시 최대속도응답의 200퍼센트에 해당하는 하중과 변위에 저항할 수 있어야 한다.

6.2 보강 구조물 기초 검토

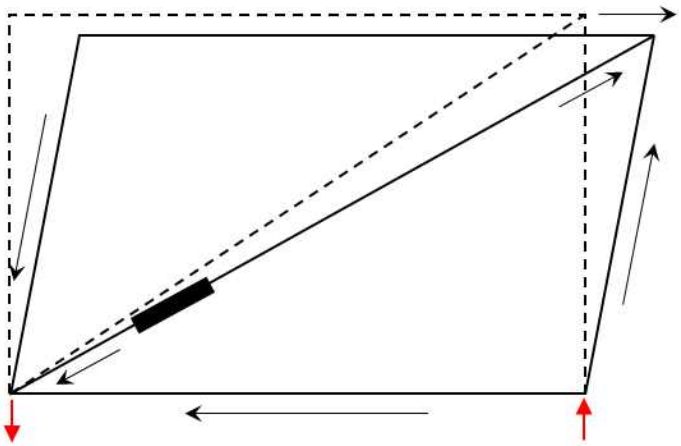


그림 4 감쇠시스템으로 인한 기초 추가 하중

본 매뉴얼에서 제시한 감쇠시스템이 부담하는 전단력의 크기만큼 기존 구조물의 기초에 추가적인 하중 증가를 야기한다. 이 때문에 설계자는 보강 전 구조물이 부담하던 하중 반력에 감쇠시스템 설치로 인해 추가로 부가된 하중 반력을 함께 고려하여 기초 검토를 수행해야 한다. 그리고 검토 결과 기초 내력이 부족한 것으로 판단될 경우 기초 보강설계를 해야 한다.

기초 검토 시 적용하는 검토 하중은 4장의 절차에 따른 비선형 동적해석 결과를 통해 해당 기둥 하부에서 발생한 반력이며, 기초 내력은 “KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준”을 참조하여 계산한다.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.