



달비계 작업용 합성섬유로프의 사용 안전성 개선

OSHRI

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



연구보고서

달비계 작업용 합성섬유로프의 사용 안전성 개선

강 성 윤

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요약문

- 연구기간 2022년 1월 ~ 2022년 11월
- 핵심단어 달비계, 섬유로프, 작업로프 끊어짐, 파단
- 연구과제명 달비계 작업용 합성섬유로프의 사용 안전성 개선

1. 연구배경

건물의 외벽도장 및 청소작업에 주로 사용되는 달비계는 작업 특성 상 추락사고의 위험을 내포하고 있다. 최근 10년간(2012년~2021년) 달비계 관련 153건의 재해¹⁾ 분석 결과 연평균 15명의 사고 재해자가 발생하고 있으며, 주요 원인으로서는 작업로프 풀림(33%), 불안정한 행동(24%), 작업로프 끊어짐(22%), 로프 고정점의 결손(12%) 순으로 발생하였고, 대부분(83.7%)의 사망 사고는 수직구명줄을 설치하지 않아 발생한 것으로 판단된다.

사고사망의 주요원인 중 작업로프의 끊어짐에 의한 재해는 대부분이 노후 및 마찰에 의한 원인으로 다른 주요 원인에 비해 사고 예방 대책을 명확하게 제시할 수 있다. 주기적인 로프 교체와 로프 보호대 착용으로 로프 끊어짐에 대한 재해를 대부분 예방할 수 있지만, 안전관리가 취약한 소규모 작업현장의 경우 현실적으로 어려운 것이 사실이다.

또한, 작업용 로프에 대한 관리 및 폐기 기준으로, 산업안전보건 기준에 관한 규칙 제63조 및 제169조에서는 꼬임이 끊어지거나 심하게 손상된 섬유로프에 대하여 사용을 금지하고 있으나, 현장에서 사용 또는 폐기 여부의 결정 기준으로 활용하기에는 구체성이 다소 결여되어 있다.

1) 안전보건공단 산재현황 통합분석 자료

따라서 달비계 작업용 섬유로프(이하 “섬유로프” 라 함)의 파단 강도에 대한 시험과 사용실태 분석 등을 통해 보다 구체적이고 현장에서 쉽게 활용 가능한 안전성 확보 방안을 마련할 필요가 있다.

2. 주요 연구내용

이 연구는 국내 건설업 달비계 작업현장에 사용되는 섬유로프 중 가장 많이 사용되는 PP소재의 합성섬유로프 제조업체와 달비계 작업현장의 실태조사를 통해 달비계 작업용 섬유로프의 관리방안에 대한 현황을 조사하고 인터뷰 내용을 바탕으로 설문조사를 작성하였다. 또한 시중에 판매중인 4개社 PP섬유로프를 직경별(20mm, 16mm)로 구매하여 인장강도를 측정하여 강도에 대한 산포를 분석하고자 한다. 제조사에 따른 인장강도 산포를 분석하려는 이유는 일반 작업자가 제품을 구입 시 제조사 구분 없이 필요한 로프를 구매할 수도 있으며, 제조사를 선택하여 구매 시 제조사가 홈페이지에 제공하는 제품의 강도가 나오는지 확인하기 위함이다. 또한, 로프 파단의 원인으로 노후와 마찰에 대한 원인을 분석하기 위해 신규 로프와 야외 노출(30일, 90일) 로프의 인장강도를 측정하여 자외선에 의한 영향도 확인 하고자 한다. 이러한 실험을 통해 얻어진 자료를 바탕으로 분석을 통하여 관리 방안을 마련하고자 한다. 이 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

○ 이론적 고찰

달비계 작업 및 섬유로프와 관련된 국내·외 기준을 분석하고 비교하여 실질적으로 국내 현장에서 적용 할 수 있는 기준을 마련할 수 있는지 검토하고 선행연구 자료를 바탕으로 섬유로프 특성을 파악하고자 한다.

○ 중대재해 분석

최근 10년(2012년~2021년)간 달비계로 인한 중대재해 관련 153건에 대해서 심층 분석을 진행하였으며, 재해분석을 통해 분석된 사고원인 중 작업로프 끊어짐에 따른 사망사고재해 34건에 대해서 별도로 분석을 진행 하였다. 재해분석 결과 파단 된 로프의 94.1%(32건)가 PP재질의 로프 이었으며, 확인이 불가능한 11.8%(4건)을 제외한 73.5%(25건)가 로프 보호대를 사용하지 않아서 사망사고재해가 발생하였다. 또한 로프 파단의 원인으로 노후가 64.7%(22건)로 가장 높았으며, 그 다음으로 마찰이 26.5%(9건)로 높은 비중을 차지하였다.

○ 실태 조사

(1) 섬유로프 제조업체

섬유로프는 사용 환경과 조건이 매우 다양하고 재질의 특성상 개별적인 관리 및 폐기 기준이 없는 없으며, 제조사 개별 제품에 대한 특징을 안내해주는 정보만 제공하고 있다. 일부 제조사에서는 PP로프에 UV 차단제를 넣고 생산하였으나, 고객 수요가 없고 원가상승에 의해 현재는 첨가하고 있지 않다. 다만, 수요가 일정부분이 있다면 UV 차단제를 첨가하여 생산·유통 할 수 있다.

(2) 달비계 작업현장

대형 건설현장 및 대규모 단지 아파트 유지보수(외벽 도장 등) 현장에는 원청 또는 관리사무소에서 신품 로프를 사용하기를 권장하기 때문에 새롭게 구매하여 작업하고 있으나, 소형 현장에서는 기존에 사용하던 로프를 사용하고 있는 실정이다. 관리기준은 별도로 존재하고 있지 않고 견적비용에 맞춰서 로프를 사용하고 있다. 여러 명이 함께하는 작업 특성상 현장에서 사용되는 로프의 직경이 다양하며, 사용 방법과 환경도 달라 로프의 노후가 되는 정도를

특정하기가 어렵다. 특히 원가절감을 위해 작업자들은 달비계 작업용 로프와 작업대의 로프를 주기적으로 교체를 하지 않기 때문에 사고예방을 위해 로프 교체에 대한 비용 지원이 가장 효과적일 것이라는 의견이 많았다. 로프 파단에 따른 추락사고 예방을 위해 사전에 작업용 로프 상태 및 교체주기를 의무적으로 안전관리자가 직접 확인해야 할 필요가 있다.

○ 섬유로프 파손 특성

PP섬유로프 4개 제조사 제품을 직경(20mm, 16mm)에 따른 신품을 구매하여, 신품과 야외노출 30일 / 90일 처리한 제품에 대해 인장강도 시험을 실시하여 강도에 대한 분포를 확인하고, 자외선에 의한 로프의 노화정도를 확인하였다. 신품의 경우 4개 제품 모두 KS기준에서 요구하는 인장강도는 확보하였지만, 1개社를 제외하고 나머지 3개社 제품은 홈페이지에 공시된 인장강도 기준을 충족하지 않았으며, 제조사 간 인장강도의 편차가 존재 하였다. 또한 자외선에 취약한 PP로프 특성을 감안할 때 야외노출 30일된 제품과 신품의 인장강도 차이는 확인할 수 없었다. 다만, 육안 상 로프 표면의 차이는 크지 않았으나, 광학현미경으로 촬영된 로프 가닥에서는 일부 경화가 진행 된 걸 확인할 수 있었다. 야외노출 90일 제품의 경우 신품 로프 대비 16mm 로프의 경우 최대 51.7%, 20mm 로프의 경우 최대 39.8% 인장강도가 감소하는 것을 확인 할 수 있었으며, 자외선 영향에 의한 PP로프의 강도 저하가 일어남을 확인 할 수 있었다.

○ 섬유로프 관리 방안 제시

실태조사와 실물 실험을 통해 수집된 데이터 분석 결과를 기초로, 달비계 작업용 합성섬유로프(PP로프)의 특성을 도출하고, 해당 결과를 반영하여 현장에서 작업자들이 쉽게 활용할 수 있는 달비계 작업용 섬유로프 관리방안을 제시하고 이에 대한 적정성 검토 등을 수행하였다.

3. 연구 활용방안

- 외벽 도장 등 달비계 사용 현장에 관리기준을 제시하여 추락사고 예방
- 섬유로프 사용하는 작업현장의 로프의 사용 및 폐기 여부를 결정 할 수 있는 구체적인 권고안을 제시
- 관련 후속연구의 기초자료

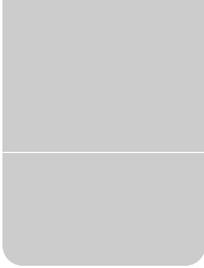
4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 산업안전연구실 과장 강성운
 - ☎ 052) 7030. 852
 - E-mail : sungyun81@kosha.or.kr

목 차

I. 서론	1
1. 배경 및 목적	3
2. 섬유로프 관련 국내·외 문헌	4
1) 국외 관련 기준	4
2) 국내 관련 기준	6
3. 연구내용 및 방법	16
1) 주요 선행연구 검토	16
2) 선행연구와 차별성	17
II. 합성섬유로프 실태 분석	19
1. 달비계 사고재해 분석	21
1) 재해분석을 통한 분류	23
2) 작업용 섬유로프 파단 관련 재해 현황 및 분석	24
2. 합성섬유로프 관련 현황 분석 및 인터뷰	28
1) 섬유로프 제조업체	28
2) 달비계 작업현장	30

3) 전문가 회의	31
4) 설문 조사	32
Ⅲ. 합성섬유로프 파손 특성 분석	35
1. 유한요소해석을 통한 파손 특성	37
2. 실물 시험을 통한 파손 특성	39
1) 시험 기준 및 조건	39
2) 시험 수량 및 계획	41
3) 신제품 인장시험 결과 및 분석	42
4) 노광 30일 제품 인장시험 결과 및 분석	47
5) 노광 90일 제품 인장시험 결과 및 분석	54
6) 실사용 제품 인장시험 결과 및 분석	62
3. 고찰	64



목 차

IV. 결과 및 고찰	65
1. 현장 관리 기준	67
2. 고찰	68
참고문헌	71
Abstract	73
부 록	75

표 목차

〈표 Ⅰ-1〉 재질에 따른 섬유로프의 종류	6
〈표 Ⅰ-2〉 로프 폐기나 재연결 기준	13
〈표 Ⅰ-3〉 시험편 유효 길이	14
〈표 Ⅱ-1〉 달비계 사고사망자 연도별 재해자 수(명)	22
〈표 Ⅱ-2〉 달비계 사고사망자 현황(수직구명줄, 안전대 관련)	23
〈표 Ⅱ-3〉 달비계 사고사망자 주요 원인	24
〈표 Ⅱ-4〉 작업로프 끊어짐에 따른 재해자 현황(수직구명줄, 안전대 관련) ..	25
〈표 Ⅱ-5〉 사용 로프 재질	26
〈표 Ⅱ-6〉 달비계 사고사망재해자 사용 로프 현황	26
〈표 Ⅱ-7〉 달비계 사고사망재해자 파단 로프 현황	26
〈표 Ⅱ-8〉 로프보호대 사용여부	27
〈표 Ⅱ-9〉 로프 파단 원인	27
〈표 Ⅱ-10〉 달비계 사고사망재해자 경력 및 나이 현황	27
〈표 Ⅱ-11〉 제조업체 시험항목 및 기준	30
〈표 Ⅲ-1〉 시험편 유효 길이	39
〈표 Ⅲ-2〉 섬유로프 실물시험 계획	41
〈표 Ⅲ-3〉 제조사 별 신품 인장시험 결과	42
〈표 Ⅲ-4〉 제조사 별 노광 30일 제품 인장시험 결과	47
〈표 Ⅲ-5〉 제조사 별 신품/노광 30일 제품 인장시험 결과 비교	48
〈표 Ⅲ-6〉 제조사 별 신품/노광 30일 제품 중량 변화 비교	49
〈표 Ⅲ-7〉 제조사 별 신품/노광 30일 제품 인장시험 전후 직경 비교 ..	50

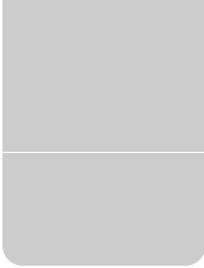
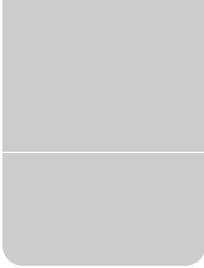


표 목차

〈표 Ⅲ-8〉 제조사 별 노광 90일 제품 인장시험 결과	54
〈표 Ⅲ-9〉 제조사 별 신품/노광 90일 제품 인장시험 결과 비교	55
〈표 Ⅲ-9〉 제조사 별 신품/노광 90일 제품 인장시험 결과 비교(계속) ..	56
〈표 Ⅲ-10〉 제조사 별 신품/노광 90일 제품 중량 변화 비교	57
〈표 Ⅲ-11〉 제조사 별 신품/노광 90일 제품 인장시험 전후 직경 비교 ...	58
〈표 Ⅲ-12〉 실사용 90일 제품 인장시험 결과	62

그림목차

[그림 Ⅰ-1] 로프의 코일 형태(원형) 보관	7
[그림 Ⅰ-2] 로프의 8자 형태(원형) 보관	8
[그림 Ⅰ-3] 로프의 킹킹	9
[그림 Ⅰ-4] 로프의 킹크 당기기	9
[그림 Ⅰ-5] 로프의 호클 형성	10
[그림 Ⅰ-6] 로프의 완전 호클	10
[그림 Ⅱ-1] 연도별 달비계 작업 사고사망자 현황	21
[그림 Ⅱ-2] 추락방지설비 사용에 따른 사고사망자 현황	22
[그림 Ⅱ-3] 추락방지설비 사용에 따른 사고사망자 현황 (작업로프 끊어짐 재해)	25
[그림 Ⅲ-1] 섬유로프와 구조물 모서리 요소망 설정	37
[그림 Ⅲ-2] 유한요소 해석 결과	38
[그림 Ⅲ-3] 볼라드 장착 시험 장치에 대한 유효길이 L	40
[그림 Ⅲ-4] 섬유로프 신문에 대한 인장시험	43
[그림 Ⅲ-5(1)] A社 섬유로프 신문에 대한 인장시험 결과	43
[그림 Ⅲ-5(2)] B社 섬유로프 신문에 대한 인장시험 결과	44
[그림 Ⅲ-5(3)] C社 섬유로프 신문에 대한 인장시험 결과	45
[그림 Ⅲ-5(4)] D社 섬유로프 신문에 대한 인장시험 결과	45
[그림 Ⅲ-6] 섬유로프 노광을 위한 야외노출	51
[그림 Ⅲ-7] 섬유로프 노광 30일 제품에 대한 인장시험	52
[그림 Ⅲ-8] 인장시험 후 로프 변화	52



그림목차

[그림 Ⅲ-9] 인장시험 후 로프 직경 변화	53
[그림 Ⅲ-10] 섬유로프 노광을 위한 야외노출	59
[그림 Ⅲ-11] 섬유로프 노광 90일 제품에 대한 인장시험	60
[그림 Ⅲ-12] 인장시험 후 로프 변화	60
[그림 Ⅲ-13] 인장시험 후 로프 직경 변화	61
[그림 Ⅳ-1] 현장에서 적용 할 수 있는 섬유로프 판단 기준 제시(안)	68

I. 서론



I. 서론

1. 배경 및 목적

고층건물의 외벽도장 및 청소작업에 주로 사용되는 달비계는 고정부분에 밧줄을 매달고 내려오는 작업 특성상 추락사고의 위험요소를 내포하고 있다. 최근 10년간(2012년~2021년) 달비계 관련 153건의 재해¹⁾ 분석 결과 연평균 15명의 사고 재해자가 발생하고 있으며, 주요 원인으로서는 작업로프 풀림(34.6%), 불안정한 행동(24.8%), 작업로프 끊어짐(22.2%), 로프 고정점의 결손(11.8%) 순으로 발생하고 있으며, 대부분(83.7%)의 사망사고는 수직구명줄을 설치하지 않아 발생하는 것으로 판단된다.

사고사망의 주요원인 중 작업로프의 끊어짐에 의한 재해는 대부분이 노후 및 마찰에 의한 원인으로 발생하며, 다른 주요 원인에 비해 사고 예방 대책을 명확하게 제시할 수 있다. 주기적인 로프 교체와 로프 보호대 착용으로 로프 끊어짐에 대한 재해를 대부분 예방할 수 있지만, 안전관리가 취약한 소규모 작업현장의 경우 현실적으로 어려운 것이 사실이다.

또한, 작업용 로프에 대한 관리 및 폐기 기준으로, 산업안전보건 기준에 관한 규칙 제63조 및 제169조에서는 꼬임이 끊어지거나 심하게 손상된 섬유로프에 대하여 사용을 금지하고 있으나, 현장에서 사용 또는 폐기 여부의 결정 기준으로 활용하기에는 구체성이 다소 결여되어 있다.

따라서 달비계 작업용 섬유로프(이하 “섬유로프” 라 함)의 파단 강도에 대한 시험과 사용실태 분석 등을 통해 보다 구체적이고 현장에서 쉽게 활용 가능한 안전성 확보 방안을 마련할 필요가 있다.

1) 안전보건공단 산재현황 통합분석 자료

2. 섬유로프 관련 국내·외 문헌

1) 국외 관련 기준

섬유로프 관련 검사 폐기 국제기준으로 CI 2001-04²⁾가 있으며, 섬유로프의 안전한 사용을 위한 용어설명 및 평가 가이드가 제시되고 있으나, 로프 손상에 대한 기준³⁾이 현장 작업자가 판별하기에는 추상적이고 명확하지 않아 관련 기준에서도 전문가가 판단하도록 하고 있다.

또한, CI 1401-19⁴⁾에서도 로프의 안전한 사용을 위해 ‘과도한 중량과 반복 하중을 피하고, 거친 표면이나 절단면에 의한 마모를 유의하고, 흙과 모래에 의한 오염을 조심해야 한다.’라고 일반적인 사항을 기술하고 있다.

OSHA⁵⁾ 29 CFR Part 1926에 따르면 ‘수직구명줄의 최소 파괴 강도는 5,000파운드(22.2kN)를 만족하여야 하고, 개인 추락방지 장치 또한 최소 5,000파운드(22.2kN)를 만족해야 한다.’라고 규정하고 있으며, OSHA 또한 충격력을 받거나 손상이 있는 제품은 사용하지 못하도록 하고 있다. 또한, 검사 및 재사용 여부는 전문가 및 제조사를 통하여 결정하도록 하고 있다.

이탈리아 비계를 통한 접근 시스템 지침에 따르면, 높은 곳에서의 추락에 대한 추락방지 시스템에서 수직구명줄은 기계적 특성과 구조물의 모서리 특성을 고려하여 끊어지지 않고 모서리와의 마찰에 저항할 수 있어야 한다고 규정하고 있다.

영국은 BS EN 1891:1998⁶⁾에서 산업현장에서의 추락방지를 위한 로프와 관련한 표준기준을 두고 있으며, 이와 연계하여 BS EN 892:1997⁷⁾에 등산로

2) Cordage Institute International Guide, Fiber Rope Inspection and Retirement Criteria

3) CI 2001-04 부록C, 섬유로프 폐기 기준에 대해서 부록에 삽입

4) 섬유로프 안전한 사용을 위한 권장 사항

5) Occupational Safety and Health Administration

6) Personal protective equipment for the prevention of falls from a height - Low stretch kernmantel ropes

7) Mountaineering equipment-Dynamic mountaineering ropes - Safety requirements

프 안전요구사항도 규정하고 있다. 영국 표준기준에서는 우리나라와 다르게 로프에 대해서 케른만텔 로프를 사용하기를 권장하고 있으며, 직경은 8.5mm에서 16mm로 한정하여 적용하고 있다. 영국 표준에서는 케른만텔 로프의 검사 및 관리를 위한 권장사항이 제시되고 있으며, 햇빛에 의한 손상과 마모에 관련한 내용은 다음과 같다.

- 폴리아미드와 폴리에스테르 재질의 로프에 적용
- 강한 햇빛은 로프를 약하게 하며, 불필요한 노출은 피해야 한다. 엄지손톱으로 로프 표면을 문질러 햇빛에 의한 강도 저하 여부를 확인하여 한다. 열화가 발생하면 표면 물질이 가루로 벗겨집니다. 이러한 성능 저하의 결과는 20mm 미만의 작은 로프에서는 중요합니다.
- 로프가 장력을 받는 동안 날카로운 모서리 위로 지나갈 때 국부적 마모가 발생되며, 심각한 손상을 유발할 수 있다. 따라서 과도한 마모가 발생되지 않도록 로프 보호대를 착용해야 한다. 또한 로프가 젖었을 때 반복적으로 구부러지게 되면 로프 내부에 마모가 발생되며, 이는 실의 느슨함 또는 분말 섬유 존재로 확인 할 수 있다.

캘리포니아 주정부에서는 달비계 관련 산업안전 명령⁸⁾을 규정하고 있으며, 규정 내 로프와 관련된 내용은 다음과 같다.

- 작업용 로프와 수직구명줄은 각 독립된 고정장치에 연결되어야 한다.
- 작업자의 추락방지시스템은 승인된 제품이어야 하며, 독립된 고정장치에 연결된 수직구명줄에 부착되어야 한다.
- 달비계 작업에 쓰이는 모든 로프는 5,000파운드의 최소 강도를 갖는 합성섬유로프이어야 한다.
- 추락방지시스템은 사용 전/중에 육안으로 검사해야 하며, 과도한 손상, 마모 또는 변형을 보이는 경우에는 폐기해야 한다.
- 로프는 충격하중을 받거나, 직경이 감소가 되었거나, 강도에 영향을 미

and test methods

8) California code of regulation title 8 section 3286 : Manual Boatswains Chairs and Controlled Descent Apparatus(CDA)

치는 화학 물질에 노출이 되었거나, 과도한 자외선에 노출이 되었을 경우 사용을 중단해야 한다.

- 건물 또는 구조물의 가장자리를 통과하거나 날카로운 물체를 통과하는 작업 시 로프의 절단 및 마모로부터 보호되어야 한다.
- 로프는 최초 사용일 부터 2년 또는 제조일 부터 3년을 초과해서 사용할 수 없다.
- 달비계 작업대는 4군데의 구멍을 통해 좌석 밑면에서 교차하도록 하여야 하며, 5/8인치 마닐라로프 또는 동등한 것으로 되어야 한다⁹⁾.

2) 국내 관련 기준

(1) KS 기준¹⁰⁾

가) 섬유로프 일반 명세

섬유 생산자나 로프 제조자는 성능 향상을 위해 윤활제를 적용해도 된다. 외부 첨가물질의 총 양은 질량 기준으로 2.5%를 초과하면 안 된다. 로프의 색상은 다른 요구가 없는 한 천연 색상이어야 한다.

〈표 I-1〉 재질에 따른 섬유로프의 종류

구 분	종 류
천연섬유	사이잘, 마닐라, 대마
인조섬유	폴리아마이드, 폴리에스터, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 혼합 폴리올레핀, 폴리에스터, 고탄성률 폴리에틸렌

폴리프로필렌과 폴리에틸렌 로프는 태양광(UV)에 의한 열화로 부터 보호되어야 한다.

9) california code of regulation title 8 section 1662 : Boatswains Chairs.

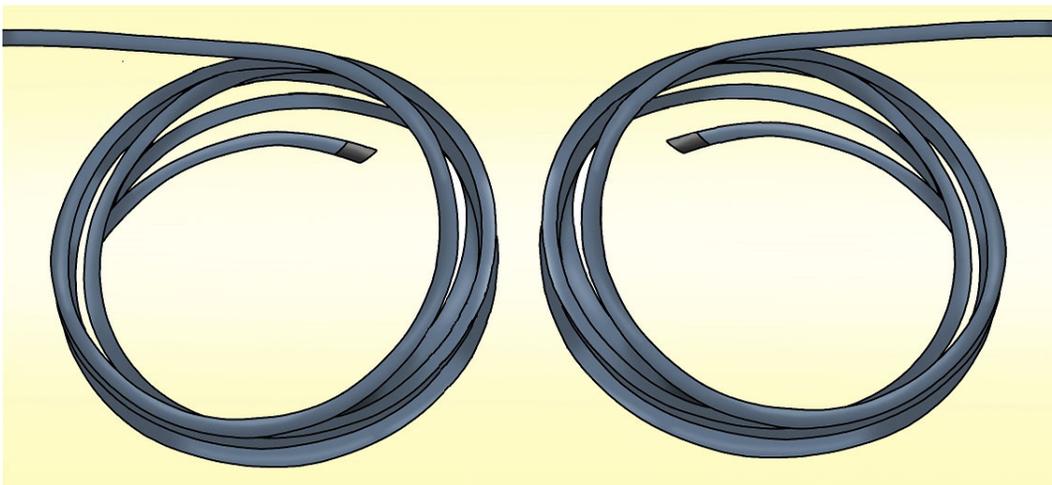
10) KS K ISO 9554:2010 섬유로프-일반 명세

섬유로프의 재료, 품질, 원산지에 대한 확인은 제품 내에 테이프를 삽입하여 표시하여야 하는데 이는 사용 중 발생하는 퇴색이나 침지 또는 오염상황에서도 인지할 수 있도록 하기 위함이다. 테이프는 폭이 최소 3mm로 관련 표준번호와 제조자를 나타내는 정보가 함께 인쇄되어 있어야 한다. 연이은 표시 사이의 최대간격은 0.5m이어야 한다. 호칭 굵기가 14 이상인 3, 4, 8 및 12 스트랜드 로프의 경우에는 규정된 형태로 표시 테이프를 중앙의 한 스트랜드에 함께 삽입해야 한다. 이중 브레이드 로프는 코어의 내부나 외부에 표시 테이프를 삽입해야 한다. 각 코일에는 구성 재료, 제조자와 원산지 표시, 호칭 굵기, 공급 길이, 구성 재료에 관한 표준에 대한 적합성 선언의 정보를 알려주는 라벨을 붙여 고정시켜야 한다.

나) 섬유로프 보관

- 코일 형태(원형)로 보관

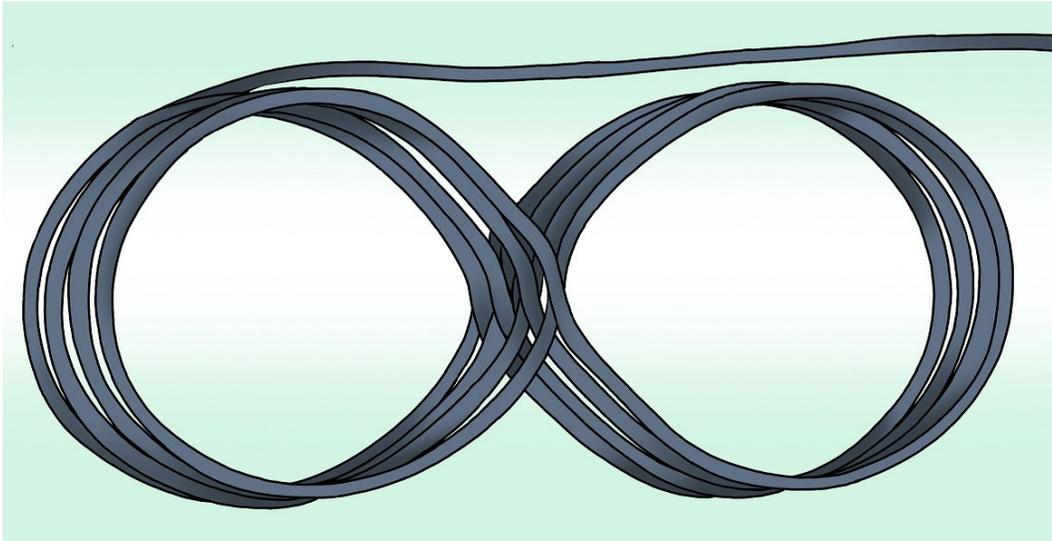
좌연 로프(right-hand-laid rope)는 항상 시계방향으로 감는 것이 바람직하고 우연 로프(left-hand-laid rope)는 항상 시계 반대방향으로 감는 것이 바람직하다. 각 층 바로 위에 또 다른 층을 놓는 형태가 아니라, 약간의 간격을 두고 각 층을 이동시키거나 선 형태로 로프를 놓는 것이 바람직하다.



[그림 I-1] 로프의 코일 형태(원형) 보관

- 8자 형태로 보관

로프를 8자 형태로 보관하는 것은 코일 형태로 보관하는 것보다 더 낫다. 이 방법은 레이드로프 및 브레이드 로프에 모두 적합하며, 양방향으로 꼬임이 증가하지 않는다. 레이드 로프의 경우 로프 내 장력을 제거하기 위해 매 두 번째 회전마다 선축에 대해 로프를 회전시킬 필요가 있다.



[그림 1-2] 로프의 8자 형태(원형) 보관

다) 매듭과 꼬임

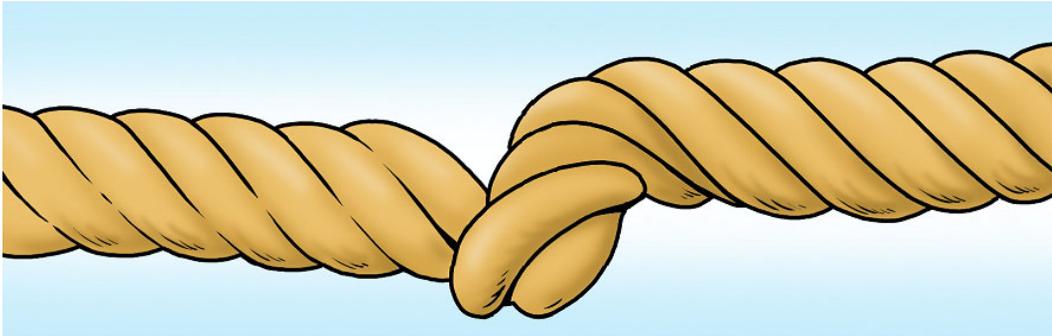
로프에 매듭고리를 만들거나 더 짧게 하기 위해 로프를 매듭짓는 것은 피하는 것이 바람직하다. 매듭은 로프를 50%까지 약화 시킬 수 있기 때문이다.

과도한 꼬임은 로프에 킹킹(kinking)을 야기 시킬수 있지만 호클링(hockling)은 기본꼬임(레이드) 로프에서만 발생한다. 브레이드와 플레이트 로프는 서로 맞물리는 스트랜드 구조로 풀리는 것을 막기 때문에 호클링이 발생될 수 없다. 토크가 걸리지 않게 평형을 유지하면서 스트랜드들이 양방향으로 이어져서 꼬임이나 회전하려는 경향이 없어진다.

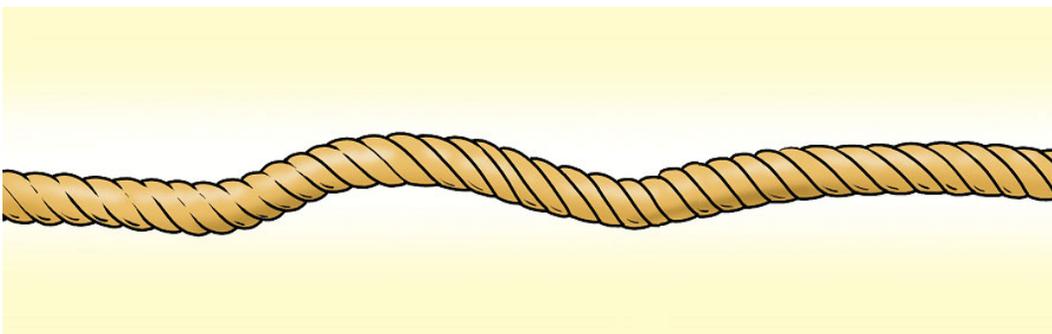
로프 내에 과도한 꼬임(킹킹)은 가능한 한 빨리 완화 상태로 로프를 ‘역회

전'함으로써 제거되는 것이 바람직하다. 호클링이 한번 형성되면 호클링이 한번 형성되면 호클이 풀어져도 로프의 절단강도가 저하된다. 이 손상은 비가역적이어서 30% 정도로 높은 강도 손실을 야기할 수 있다.

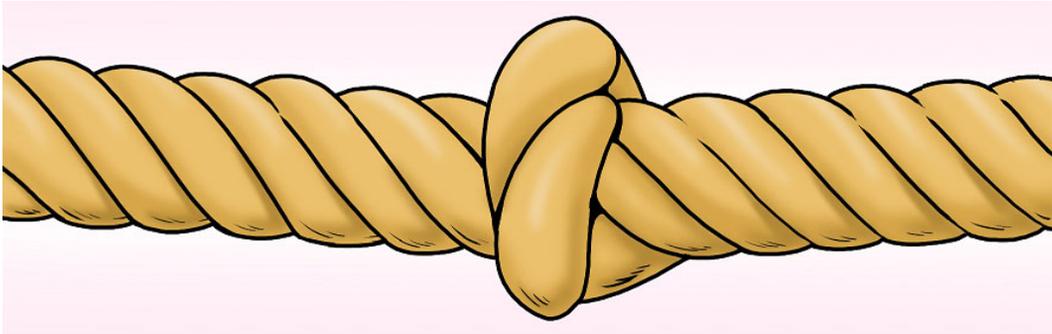
킹크가 로프 내에 형성되도록 하면 안 된다. 만약 킹크가 형성된다면, 로프 내에 꼬임이 더 가해졌거나 덜 가해졌다는 표시이므로 로프의 한쪽 끝단에서부터 킹크를 없애야 할 것이다. 킹크는 특히 레이트 로프의 경우 심각하며 이는 주의를 기울이지 않는다면 심각한 손상을 일으킬 수 있다. 킹킹을 제거하기 위해 힘을 가해 로프를 당기면 스트랜드에 뒤틀림을 초래할 수 있다.



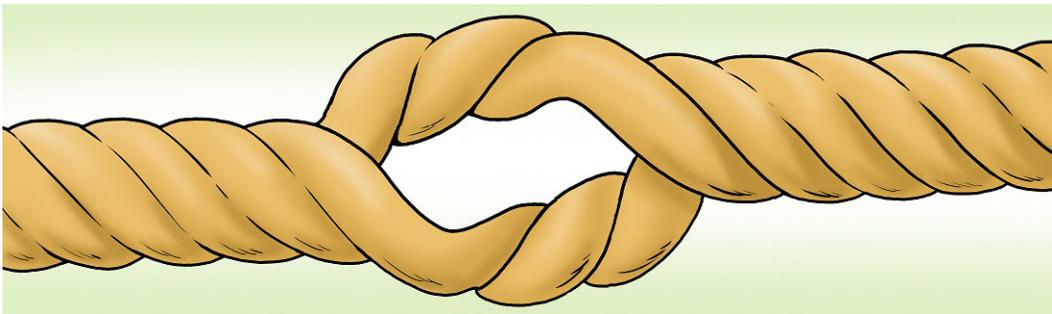
[그림 I-3] 로프의 킹킹



[그림 I-4] 로프의 킹크 당기기



[그림 I-5] 로프의 호클 형성



[그림 I-6] 로프의 완전 호클

킹크 발생으로 로프에 강도 손실이 약 15% 정도 발생하며, 로프의 뒤틀림을 보정해서 원래 자리에는 없앨 수 있지만, 그 지점에서 로프의 강도 저하가 발생되고 추후에 그곳에 킹크가 재발될 수 있다.

로프에서 킹크를 제거하려고 계속 당긴다면, 바로 다음 단계인 호클이 형성된다. 이 지점에서 로프의 강도는 약 1/3정도 저하되고 더 중요한 것은 이 지점에서 꼬임 흡수 저항성이 완전히 없어진다는 것이다. 주기적으로 계속 하중이 가해지면, 로프가 다시 뒤틀림 평형 위치에 도달할 때까지 호클이 계속 이어질 것이고 이 결점은 로프를 사용할 수 없게 된다.

라) 섬유 로프 검사 및 폐기기준

- 코디지(cordage) 검사

- 외부 마모

로프는 거친 표면 위에서 끌게 되면 결과적으로 로프 표면에 퍼(fur)나 파일(pile)이 발생될 수 있다. 이러한 현상은 지극히 정상적이며 로프를 심한 정도로 약화시키는 요인이 되지는 않는다. 과도한 마모는 로프의 외부에 대부분 실단면이 나타난다. 그와 같은 마모는 스트랜드의 돌출부분(crown)이나 아이스플라이스 내부에 주로 나타난다.

- 내부 마모

로프를 모래가 있는 환경에서 사용하면, 날카로운 모래가 로프 중앙으로 침투할 수 있다. 그와 같은 손상이 발생하는지를 검사하기 위해 스트랜드들 사이를 조사하고 로프를 풀어보는 것이 중요하다. 이러한 검사는 스트랜드들의 버클링(buckling)과 비틀림(distortion)이 그 자체로 추후에 문제를 야기할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위해 매우 주의를 기울여서 하여야 할 것이다. 로프 중앙에 다량의 섬유 분진이 존재하면 교체할 필요가 있다.

- 절단 체이프 및 기타 역학적 손상

역학적 손상은 항상 로프를 약화시킨다. 손상 정도에 따라 약화 정도도 달라진다. 역학적 손상, 특히 체이프는 항상 더 작은 로프에 더 큰 영향을 준다.

절단은 정밀검사로 절단 깊이, 즉 로프 단면의 손상 정도를 확실히 조사하여야 한다.

- 일광 손상

태양광의 자외선은 폴리올레핀 계열의 로프사를 부서지기 쉽게 하거나 약하게 하는 원인이 되고 다른 섬유로 된 로프에 대해서는 강도 저하의 원인이 된다.

- 열적 손상

작업 중에 강한 장력 하에서 합성 섬유로프에 마찰이 발생되면 섬유, 실 또는 스트랜드들 모두를 녹일 수 있을 만큼의 충분한 열을 발생시킬 수 있다. 용해나 탄화 면적의 존재 여부를 검사하여야 할 것이다. 의심스러울 시 폐기를 한다.

- 습윤

젖거나 축축한 상태의 천연 섬유 로프는 부패하거나 모래 입자가 붙을 수 있기 때문에 땅 위에 두지 않는 것이 바람직하다. 습윤이나 습기에 영향을 안 받는 인조섬유 로프도 모래 입자에 의해 손상될 수 있다. 모든 습윤 로프는 자유롭게 순환되는 공기 중에 걸어두거나 못에 걸어두고 자연스럽게 건조되도록 하는 것이 바람직하다. 만약 그렇게 할 수 없는 상황일 경우에는 로프를 습기 있는 땅이나 콘크리트와 접촉하지 않도록 목재판이나 다른 적당한 재료 위에 느슨하게 쌓아 두는 것이 바람직하다. 새로운 로프 코일도 유사한 방법으로 쌓아두는 것이 바람직하다. 어떠한 경우라도 로프를 열로 건조해서는 안 된다.

- 곰팡이

곰팡이를 성장시키는 영양분을 제공하는 환경에서도 인조섬유에 대해서는 곰팡이가 표면오염은 될 수 있을지라도 강도에 영향은 주지 않는다. 물로 세척하면 제거 될 수 있으나 강한 세제는 사용하지 않는 것이 바람직하다.

합성 섬유 로프의 경우 강도 손실의 정도는 마모에 의한 것이고 굵힘은 로프 단면 내 절단된 섬유의 양과 직접적으로 관계된다. 각 사용 후에, 전체 길이의 로프에 대해서 시각과 촉감으로 마모, 광택 부분, 직경의 불연속점, 변색, 텍스처(texture)와 강성의 불연속점을 확인한다.

조심스럽게 사용한 로프도 충분히 사용했다면 마모될 수 있고 로프가 고장 날

때까지 계속 사용하는 것보다는 그전에 로프를 폐기하는 것이 더 바람직하다. 아래의 표는 로프를 폐기하거나 연결하는 것에 대한 기준이다.

〈표 I-2〉 로프 폐기나 재연결 기준

로프의 유형 및 상태	재연결 (국부적일 경우)	폐기
모든 로프		
· 로프 직경과 동일한 선형거리에 대해 표면 실이나 스트랜드가 50% 이상 감소	×	×
· 충격을 받았을 것으로 의심되는 로프		×
· 각 섬유 종류별로 규정되어 있는 온도 이상의 환경에 노출		×
· 로프 직경의 4배 이상에 해당하는 길이에 대해 외관상 타거나 용융된 것.	×	×
· 아이(eye)의 내경에 대한 마모로 표면실이나 스트랜드가 50% 이상 감소	×	×
· 나일론에 대한 부식(화학적 손상을 나타낼 수 있다.)	×	×
· 오일 및 그리스(grease)	순한 세제로 세척	
· 굵은 표면 퍼즈(fuzz)	×	×
· UV 열화, 실 표면의 분열		×
3스트랜드 로프의 경우		
· 스트랜드를 사이에 다수가 심하게 마모되어 있거나 실이 5% 절단	×	×
· 로프의 크라운 한 곳 이상에 대해 커버사가 50%보다 더 절단 되거나 마모	×	×
· 1레이 길이 내에 직경의 5%까지 스트랜드 절단	×	×
· 인접 스트랜드 접촉 표면들 사이에 섬유 분진 발생	×	×
· 호클이나 백턴(backturon)	×	×
· 1레이 길이 내에 한 스트랜드가 10% 마모	×	×
열적 손상		
· 딱딱해지거나 용융되거나 납작해진 부분은 로프에 심각한 손상을 나타낼 수 있다.	×	×
· 용융으로 인해 20% 이상의 로프사에 영향을 준 경우		
- 1레이 길이 내에서 발생	×	
- 1레이 길이보다 더 긴 길이에서 발생		×

마) 섬유로프의 물리적 및 역학적 성질 측정

섬유로프의 신도는 장력을 초기값(기준 장력)에서 로프의 최소 규정 인장강도의 50%까지 가할 때 측정되는 로프 길이 증가에 해당된다.

절단 강도는 시험편에 대해 절단 시험을 하는 동안 도달한 최대 하중이고, 정속 인하식 인장 시험기로 측정한다.

• 인장 시험편의 길이

인장시험편은 시험기에 장착될 때, 끝맺음 사이에 최소한 아래의 표에 주어진 유효길이, L(최소 유효 길이)를 제공하기에 적당한 길이가 되어야 한다.

〈표 I-3〉 시험편 유효 길이

로프의 유형	시험 장치의 유형	최소 유효 길이 L
인조섬유 로프 호칭 굵기 ≤ 10	모든 유형	400
인조섬유 로프 10 < 호칭 굵기 ≤ 20	“cors de chasse”	400
	볼라드	1,000
	웨지 그립	-
인조섬유 로프 호칭 굵기 ≥ 20	볼라드	2,000
천연섬유 로프	모든 유형	2,000

- 컨디셔닝

로프는 보통의 대기 환경에서 시험되어야 하며, 시험하기 바로 전에 KS K ISO 139에 규정된 상태에서 적어도 48시간 동안 시험편을 방치하여야 한다.

- 로프의 신도 측정

측정 전 시험편의 베딩인(bedding-in)¹¹⁾ 진행 후 시험 장치의 가동 부분

을 작동시켜서 다시 장력을 증가 시킨다. 별다른 규정이 없는 한 시험은 (250 ± 50) mm/min의 속도로 진행한다. 인장력이 최소 절단 강도의 50%에 도달했을 때, 표시점 사이의 거리를 측정한다.

- 절단 강도 측정

동일한 속도로 가닥이 절단될 때까지 장력을 계속 증가시키며, 시험편에서 절단이 발생한 곳과 절단 강도를 기록한다. 언스프라이스 절단 강도가 명시된 경우 다음과 같은 파단이 발생된다면 그 시험편은 요구 조건을 충족한 것으로 간주되어야 한다.

- 표시점 내에서 규정값 이상의 힘에서 파단
- 표시점 밖에서 규정값의 90% 이상의 힘에서 파단

만약 스플라이스 최소 절단 강도가 명시된 경우에는, 절단 강도가 관련 표준에 나와 있는 아이 스플라이스 맺음을 한 로프에 대한 값 이상일 경우에는 그 시험편은 요구 조건을 충족한 것으로 간주되어야 한다.

11) 절단 지점까지 시험하기 전에 로프의 기준 장력과 최소 절단 강도의 50% 사이에서 3회 반복하중(cyclic load)을 하가며, 시험 속도는 (250 ± 50) mm/min으로 한다.

3. 연구내용 및 방법

1) 주요 선행연구 검토

이기태(2006년)는 ‘달비계 안전작업에 관한 연구’에서 달비계 작업에서 발생하는 재해원인인 고정점의 안전성 미확보, 작업자 개개인의 임의적인 로프 결속방법의 문제 등 달비계 작업에서의 문제점을 도출하고 안전한 고정점의 확보와 로프 결속방법의 표준화 및 효율적인 수직구명줄의 사용 등에 대한 연구로 개선대책을 제시하였다.

박재석 등(2007년)은 ‘와이어로프 슬링의 압착변형 및 아이스플라이스 편입법에 따른 강도특성 연구’를 통해 현장에서 가장 많이 사용하면서 취급 및 관리가 상대적으로 취약한 스플라이스식 슬링을 중심으로 편입법에 따른 슬링의 파단하중효율 특성을 분석하고 고리부분의 압착변형이 슬링의 파단하중효율에 미치는 영향에 대한 특성을 분석하여 재해예방 대책을 제시하였다.

신운철 등(2015년)은 ‘섬유벨트의 꼬임 파단과 강도에 관한 연구’에서는 섬유벨트에 의한 사고재해를 분석하고 섬유벨트의 마모, 찢어짐, 환경적 요인 등 섬유벨트의 파단강도를 시험하고 그 시험에 따른 관리 및 점검주기를 제시하여 사고예방을 위한 방안을 제시하였다.

임형철 등(2019년)은 ‘건축공사 달비계 사용 실태조사를 통한 사고저감 방안 연구’를 통해 국내외 문헌 및 제도 / 규정 분석을 통해 이원화 되어 있거나 규정이 없는 달비계 관련 규정을 제시하였고, 사용실태 조사를 통해 달비계를 사용하여 건축공사에 참여하는 작업자 및 관계자, 감독자, 건축주 등이 재해 저감을 위한 이행 기준을 제시하였다.

송상민 등(2022년)은 ‘고소 작업용 섬유로프의 고정 매듭법에 따른 강도

변화의 해석 및 실험적 연구'를 통해 폴리프로필렌(PP), 폴리에스테르(PE) 로프와 웨빙(Webbing)로프를 이용하여 현장에서 주로 사용하는 3가지 매듭법에 대해 로프가 당겨질때의 파단 강도 변화를 CAE 유한요소 해석과 실험을 통하여 개별적인 강도 평가를 수행하고 이를 통해 효과적인 로프 매듭법을 제시하였다.

2) 선행연구와 차별성

기존의 선행연구는 와이어로프와 슬링벨트 위주의 파단강도 시험과 그 결과에 대한 분석이 대부분이었다. 와이어로프의 경우 사용 환경에 따른 마모와 관련된 유한요소해석과 실제 인장시험을 통한 결과 분석이 주된 연구 주제였고, 슬링벨트의 경우 마찰과 노광에 따른 강도 감소와 찢어짐 조건에 따른 강도 감소를 비교하여 사용자가 사용할 수 있는 조건을 제시하였다.

이러한 선행연구들은 물건을 고정하거나 양중작업 등에 사용되는 와이어로프, 섬유벨트(슬링벨트)에 대한 연구가 주로 이루어져 왔으며, 달비계 작업에 사용되는 섬유로프의 구체적인 관리기준에 대한 연구는 미흡하였다.

산업안전보건 기준에 관한 규칙 제63조 및 제169조에서는 꼬임이 끊어지거나 심하게 손상된 섬유로프에 대하여 사용을 금지하고 있으나, 현장에서 사용 또는 폐기 여부의 결정 기준으로 활용하기에는 구체성이 다소 결여되어 있는 실정이다.

실제 현장에서 사용되는 달비계 작업용 섬유로프는 대부분이 폴리프로필렌(PP)재질의 로프를 사용하며, 제조사 또는 현장에서 제시하는 관리기준이 존재하지 않거나 관리기준이 있어도 명확하지 않아 현장에 적용하는 데에는 다소 어려운 부분이 있다.

이에 본 연구에서는 달비계 작업용 섬유로프(이하 “섬유로프” 라 함)의 파단 강도에 대한 시험과 사용실태 분석 등을 통해 보다 구체적이고 현장에서 쉽게 활용 가능한 안전성 확보 방안을 마련할 하고자 한다.

II. 합성섬유로프 실태 분석



Ⅱ. 합성섬유로프 실태 분석

1. 달비계 사고재해 분석

달비계 사고재해를 예방하기 위해 많은 노력에도 불구하고 지속적으로 사고사망자가 발생하고 있다. 최근 10년(2012년~2021년)간 달비계 사고사망자는 153건이 발생하여 연평균 15명의 사고사망자가 발생하고 있으며, 매년 증감의 반복은 있으나 지속적으로 사고사망재해가 발생하고 있다. 주요원인 별로는 작업로프 풀림(53명), 작업로프 끊어짐(34명), 고정점 결손(18명) 순으로 많이 발생하고 있다. 다만, 주요원인 중 불안정한 행동(38명)의 경우 달비계 탑승 전후 작업자의 부주의 등으로 몸의 중심을 잃고 떨어지거나, 작업 준비 중 불특정한 행동 또는 부주의로 인해 발생한 사고재해로서 원인이 명확하지 않은 사고재해이다.



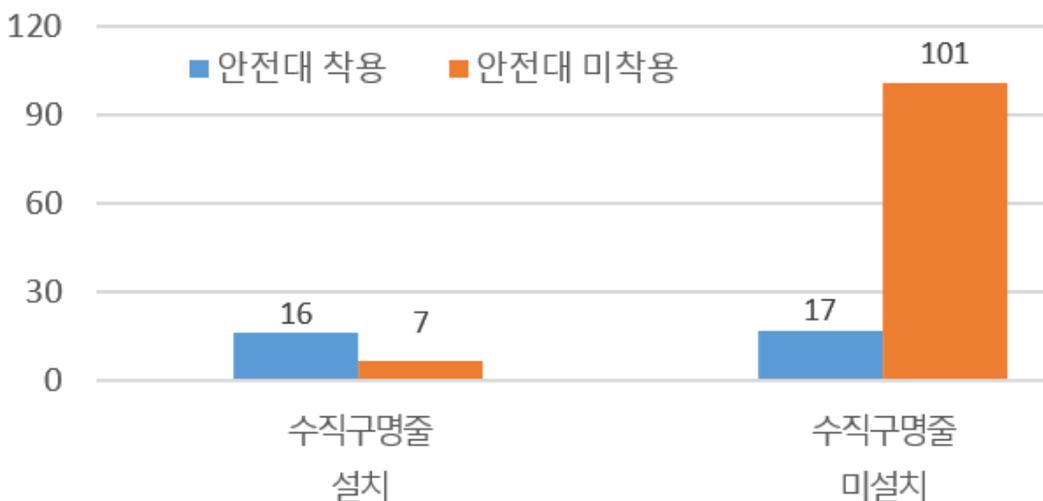
[그림 Ⅱ-1] 연도별 달비계 작업 사고사망자 현황

〈표 II-1〉 달비계 사고사망자 연도별 재해자 수(명)

연도	재해자수(명)	연도	재해자수(명)
2012	13	2017	12
2013	17	2018	11
2014	14	2019	15
2015	19	2020	17
2016	19	2021	16
합계		153	

달비계 사고재해 대부분은 수직구명줄을 설치하고, 안전대를 착용하여 추락방지대를 체결함으로써 미리 방지할 수 있다. 하지만, 현장 인터뷰 및 설문 조사 등을 통해 확인해본 결과, 작업자들은 단순 귀찮거나 작업에 불편을 초래한다는 이유로 수직구명줄을 설치하지 않거나, 형식적으로 설치만 하는 경우가 있으며, 안전대를 착용하더라도 달비계 작업 시 이동의 불편함과 작업편의성을 위해 추락방지대를 체결하지 않는 것으로 확인 되었다.

추락방지설비 사용에 따른 사고재해자수



[그림 II-2] 추락방지설비 사용에 따른 사고사망자 현황

〈표 II-2〉 달비계 사고사망자 현황(수직구명줄, 안전대 관련)

수직구명줄	구분	재해자수(명)	비율
	안전대		
설치	착용(추락방지대 체결)	2	1.4%
	착용(추락방지대 미체결)	14	9.9%
	미체결	7	5.0%
미설치	착용	17	12.1%
	미착용	101	71.6%
합계		141 ¹²⁾	

중대재해조사 보고서 분석 결과 수직구명줄을 설치하고 안전대를 착용하였더라도 사고사망재해가 발생한 두건의 경우는 화재로 인하여 로프가 끊어지거나, 날카로운 모서리에 의한 로프의 끊어짐에 의한 사고였다.

1) 재해분석을 통한 분류

최근 10년(2012년~2021년)간 달비계 사고사망자 153건을 분석한 결과를 보면 로프를 고정하는 고정점에서 작업로프가 풀려서 사고가 발생하여 사망한 작업자가 34.6%(53명)로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 작업 중 모서리와 로프의 마찰 또는 로프의 노후 등으로 인해 작업로프의 끊어짐에 따른 사고사망자가 22.2%(34명)으로 많이 발생하고 있다. 전제 주요 사고 원인 중 로프와 관련된 재해가 59.4%로 고정점 결손까지 포함한다면 대부분의 달비계 관련 재해의 원인은 크게 로프와 작업자의 부주의 두 가지로 볼 수 있다. 특히, 로프와 관련된 재해는 사전에 점검을 철저히 하고 안전규칙을 준수하면 충분히 예방 할 수 있는 부분으로서, 향후 달비계 사고사망재해를 줄일 수 있는 하나의 방법이라 사료된다.

12) 중대재해보고서 내 관련 내용이 기재되지 않아 확인이 불가능한 사례 제외

〈표 II-3〉 달비계 사고사망자 주요 원인

구분	재해자수(명)	비율
작업로프 풀림	53	34.6%
불안전한 행동	38	24.8%
작업로프 끊어짐	34	22.2%
고정점 결손	18	11.8%
작업로프 길이 부족	4	2.6%
구조물에 맞음	1	0.7%
확인 불가	5	3.3%
합계	153	-

2) 작업용 섬유로프 파단 관련 재해 현황 및 분석

건설현장에서 주로 쓰이는 달비계 작업용 섬유로프는 대부분 폴리프로필렌(PP) 재질을 사용한다. PP로프는 저렴하고 쉽게 구입할 수 있으며 인장강도가 높아서 많은 곳에서 사용되지만, 자외선 노출이 지속적으로 될 경우에는 강도저하의 원인이 된다. 달비계 작업 특성상 야외에서 진행되는 작업이 많아 작업용 로프는 자외선 노출이 많을 수밖에 없으며, 이러한 환경에서 장기간 지속적으로 사용할 경우 로프가 노후가 되고 인장강도가 저하되어 파단의 원인이 된다. 또한 달비계 작업 시 섬유로프와 접촉되는 모서리 부분에 로프 보호대를 설치하지 않아 스윙작업(좌우로 움직이는 작업) 등에 따른 마찰로 인해 작업로프가 파단되어 사고가 발생한다.

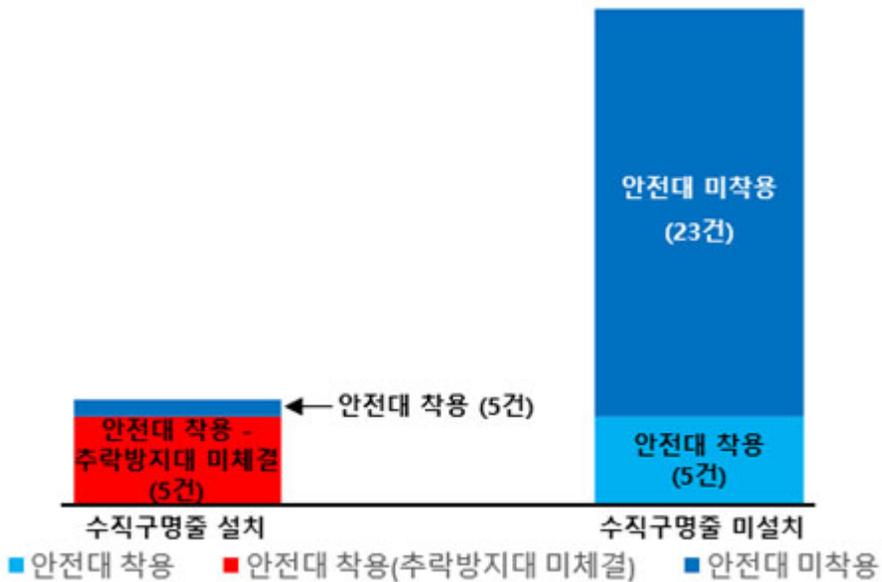
(1) 수직구명줄과 안전대 관련

앞에서 증대재해분석 자료 중 수직구명줄과 안전대 착용 여부에 따른 재해자 현황을 작업로프 끊어짐에 따른 재해로 한정하여 다시 분석하면 다음과 같다. 수직구명줄을 설치하지 않아서 사망사고재해가 발생한 비율은 82.3%이며,

추락방지대를 착용하지 않아 발생한 사망사고재해는 100% 이다. 작업용 로프가 파단 되더라도 수직구명줄을 설치하고 추락방지대를 체결하였더라면 사전에 예방할 수 있었을 것으로 판단된다.

〈표 II-4〉 작업로프 끊어짐에 따른 재해자 현황(수직구명줄, 안전대 관련)

수직구명줄	구분	재해자수(명)	비율
	안전대		
설치	착용(추락방지대 미체결)	5	14.7%
	미체결	1	2.9%
미설치	착용	5	14.7%
	미착용	23	67.6%
합계		34	



[그림 II-3] 추락방지설비 사용에 따른 사고사망자 현황(작업로프 끊어짐 재해)

(2) 작업용 로프 상세

〈표 II-5〉 사용 로프 재질

(단위 : 건)

구 분	수량
PP	32
마닐라	1
확인불가	1



〈표 II-6〉 달비계 사고사망재해자 사용 로프 현황

(단위 : mm)

구 분	11	12	14	16	18	20	24	미확인	미사용
주로프	1	1	-	2	14	9	1	6	-
수직구명줄	-	1	2	3	-	-	-	1	27

〈표 II-7〉 달비계 사고사망재해자 파단 로프 현황

(단위 : mm)

구 분	8	11	12	14	16	18	20	24	확인불가	합계
주로프	-	1	1	-	2	10	7	1	2	24
수직구명줄	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
작업대 지지로프	1	2	3	-	-	-	-	-	1	7
주로프 / 수직구명줄	-	-	-	1	1	1	1	-	-	2

〈표 II-8〉 로프보호대 사용여부

(단위: 건)

구 분	수 량
사용	5
미사용	25
확인불가	4



〈표 II-9〉 로프 파단 원인

(단위: 건)

구 분	수 량
노후	22
마모	9
화재	2
확인불가	1



〈표 II-10〉 달비계 사고사망재해자 경력 및 나이 현황

(단위: 명)

구 분	30대	40대	50대	60대	합계	비중
10년 이상	2	2	3	.	7	20.6%
15년 이상	.	1	1	.	2	5.9%
20년 이상	.	1	4	2	7	20.6%
25년 이상	.	1	.	.	1	2.9%
30년 이상	.	1	4	3	8	23.5%
35년 이상	.	.	.	1	1	2.9%
확인불가	2	3	1	2	8	23.5%
합계	4	9	13	8	34	100.0%
비중	11.8%	26.5%	38.2%	23.5%	100.0%	

2. 합성섬유로프 관련 현황 분석 및 인터뷰

연구과제를 본격적으로 진행하기에 앞서 합성섬유로프와 관련하여 제조업체 관계자 인터뷰를 통해 섬유로프 생산 현황과 판매 현황을 문의하고, PP로프와 관련하여 제품의 출하 시험 방법과 시험자료 등 관련 사항에 대하여 인터뷰를 진행하였다.

또한, 실제 달비계 작업현장에 방문하여, 설문에 대한 내용을 문의 하였으며, 부족한 부분과 추가할 부분에 대해 의견을 묻고, 실제 작업하는 로프 상태와 달비계 작업의 문제점 등을 인터뷰 하였다.

1) 섬유로프 제조업체

연구과제와 관련하여 섬유로프 제조사(2개소)를 방문하여 섬유로프 제조현황과 자체 관리기준 보유여부와 소비자에게 제공여부를 확인하였으며, 섬유로프 생산품질 유지 및 성능시험 진행 등 섬유로프의 품질과 정보제공 등에 대한 내용으로 실태조사를 실시하였다.

(1) 관리기준

섬유로프는 사용환경과 조건이 매우 다양하고 재질의 특성상 개별적인 관리 및 폐기 기준이 없는 상태이다.

- 해외¹³⁾에서는 사용자가 직접 그 기준을 정하여 사용하도록 규정
- 국내 제조사도 다양한 사용 조건으로 인해 별도의 기준을 제시하기 어렵다는 입장을 표명하였다.

13) 캐나다 'Work Requirement Rope Access'

(2) UV 차단

가) 달비계 작업용 섬유로프 중 가장 널리 사용되고 있는 PP로프는 자외선에 취약¹⁴⁾한데, UV(Ultraviolet, 자외선) 차단제 적용 현황은?

- (A社) 현재 UV 차단제를 첨가한 PP 로프는 제조하지 않는 상태이다. 다만, 고객이 요구 시 UV 차단제 첨가 제품(※단가 10% 상승)을 제조하나 수요는 거의 없는 상태이다.
- (B社) 약 0.1~0.2%의 UV 차단제를 넣고 생산¹⁵⁾하고 있으나 자체 시험 결과 자외선 차단에 큰 영향을 줄 수 있는 수준은 아니며, PP로프 자체가 현장에서 저렴하게 사용하는 소모품으로 인식되어 UV 차단제를 적용할 경우 비용이 상승하므로 수요가 없는 상태이다.

나) UV 차단제 적용 가능성은?

- 두 업체 모두 수요가 있으면 생산은 가능하지만, 시장 자체에서 PP로프가 차지하는 비중이 적고 UV 첨가 시 원사부터 새로이 생산해야 하는 등 현실적인 문제¹⁶⁾로 적용은 어려울 것이라 예상된다.
- 다만, UV 첨가제 사용 시 PP로프의 단점이 개선 될 것이라는 의견을 제시하였다.

(3) 품질 기준

건설현장에서 섬유로프가 사용되는 조건은 대부분이 야외 작업에 많이 사용되고 있지만 현장에 따른 개별적인 관리 및 폐기 기준은 따로 없다.

- 해외¹⁷⁾에서는 사용자, 선박에 납품하기 위해 선급 인증을 받아야 함에 따라 한국선급 인증 기준에 따라 시험을 진행하고 있다.

14) KS K ISO 9554 섬유로프-일반명세 부속서 A

15) 원사 제조사가 첨가하여 납품

16) 공정 변경과 PP로프의 소량의 생산 비중

17) 캐나다 'Work Requirement Rope Access'

〈표 II-11〉 제조업체 시험항목 및 기준

업 체	A社	B社
시험 항목	인장시험, 마모시험, 온습도 시험	인장시험, 마모시험, 온습도 시험
시험 기준	한국선급 인증 기준	한국선급 인증 기준

- 마모시험의 경우 선급 기준은 종 방향 마모이나, 달비계 작업에서 발생 가능한 마모는 횡 방향으로서, 마모시험 시 고려 할 필요가 있다.

(4) 설문 관련 의견

- (제조사 공통 의견) 섬유로프 제조사의 경우 사용 현장 및 환경에 대한 고려를 하지 않고 생산하기 때문에 관리 기준을 제시하기 어려움이 있다. 또한 제공되는 강도의 경우 생산로트 별로 차이가 있으며, UV 첨가 하여 생산 가능 여부는 어느 정도 수요만 있다면 어려운 문제는 아니다.

2) 달비계 작업현장

연구과제와 관련하여 섬유로프 건설현장(1개소)와 달비계 외벽작업 현장(3개소)을 방문하여 섬유로프 사용 실태를 파악하고 자체 관리기준 보유여부와 로프 폐기 기준을 확인하였으며, 달비계 외벽작업 등 작업자들의 작업 방법 및 설문에 대한 사전 인터뷰 형식으로 실태조사를 실시하였다.

(1) 관리 기준

- (건설 현장) 대형 건설현장에서 작업 시 신제품인 섬유로프를 구매하여 작업하여야 하므로 원·하청 모두별도의 관리 및 폐기기준은 없는 상태이며, 로프 사용 시에는 로프 보호대를 사용하여 접촉면의 마찰을 방지한 후 작업하도록 지시하고 있다.

- (달비계 현장) 대규모 단지 아파트 유지보수(외벽 도장 등) 현장에는 원청 또는 관리사무소에서 신품 로프를 사용하기를 권장하기 때문에 새롭게 구매하여 작업하고 있으나, 소형 현장에서는 기존에 사용하던 로프를 사용하고 있으며, 관리기준은 별도로 존재하고 있지 않고 견적비용에 맞춰서 로프를 사용하고 있는 실정이다.

(2) 설문 관련 의견

- 현장에서 사용되는 로프의 직경과 재질이 다양해서 개별로 작성하는 것이 좋을 듯 하며, 특히 작업자들은 달비계 작업대의 로프를 교체할 안 하기 때문에 로프 재질 및 교체주기를 확인해 볼 필요가 있다.

3) 전문가 회의

연구과제와 관련하여 섬유로프 파단강도 시험방법에 따른 고려사항 및 설문조사 내용에 대한 전문가 의견을 수렴하고자 전문가회의를 진행하였다.

(1) 관리 기준

- (○○건설협회) 대형건설사의 경우 자체 관리 기준은 없으나 현장 작업 시 새 제품을 사용하도록 권고하고 있으며, 아파트 도장작업의 경우 작업자가 소유하고 있는 로프를 사용하며, 교체주기는 기준이 없고 필요 시 교체하고 있다. 작업자들은 일반적으로 ‘노후 되었다’라고 느끼면 교체하는 경우가 많아 교체주거나 관리 기준은 별도로 없는 것으로 사료된다.
- (건설○○협회) 작업의자 고정 로프도 교체주기 기준도 없으며, 교체하지 않는 작업자들도 있으며, 작업자의 성향과 작업현장에 따라서 교체주기가 다르다. 또한 달비계 작업은 대부분 팀으로 운영되며, 팀원의 구성은 현장마다 다르기 때문에 로프 관리 및 사용현황을 전체적으로 알 수 없는 실정이다.

(2) 섬유로프 시험방법

- (△△△△건설협회) 기존 로프 대비 마모된 로프의 강도가 떨어질 것은 누구나 다 알 수 있는 사실인데, 기준이 없는데 시험을 할 필요성이 있는지는 의문이 든다.
- (▽▽건설협회) 마모에 따른 인장강도 결과는 참고 결과로 사용 할 수 있으나, 시험 기준과 판단 기준이 없는 상태에서 의미가 없을 것으로 사료된다.

(3) 설문 관련 의견

- (참석자 모두) 대부분의 내용은 포함된 것으로 판단된다.
- (○○건설협회) 작업대 로프 교체 여부 또는 기간에 대한 내용 추가 필요하다고 생각된다.

4) 설문 조사

달비계 작업 관련자와 섬유로프 제조업 관계자 대상으로 작업자의 경력, 작업환경, 관련 기준 등 달비계 작업용 섬유로프와 관련된 다양한 의견을 청취하기 위해 온·오프라인으로 진행하였으며, 총 60부의 설문지를 회수하였다. 그 중 현재 달비계 작업 관련자 56명과 섬유로프 제조업 관계자 4명이 설문에 응해주었다.

본 연구의 목적에 있어 현장에서의 로프 사용 실태를 정확히 확인하고, 제조 현장에서 적용 가능한 부분이 있는지가 중요한데, 각각의 관련자분들이 설문에서 성실히 응답해 주어 의미 있는 연구가 진행 될 수 있었다. 설문조사는 구체적인 상세한 결과분석을 위해 달비계 작업 관련자와 섬유로프 제조업 관계자 2개의 부류로 나누어 설문을 조사하고 분석 하였으며, 항목별 상세 내용은 부록에서 정리하였다.

본 연구와 직접적으로 관련이 있는 달비계 작업 관련 내용을 간략하게 정리하면, 유지보수 현장이 전체의 50.9%를 차지하고 다음으로 신축현장이 24.5%를 차지하고 있다. 또한 현장의 층수는 15~30층 이하가 54.7%로 가장 많고, 30층 이상도 28.3%로 고층 작업이 대부분인 것으로 확인 할 수 있다. 또한, 현장 실태조사와 전문가 회의 내용과 다르게 로프 관리 기준을 갖고 있다는 답변이 62.3%, 로프 폐기 기준을 갖고 있다는 답변이 67.9%나 나온 것을 확인 할 수 있었다. 이는 향후에 다시 실질적인 관리 기준과 폐기 기준인지 확인할 필요가 있을 것으로 사료 된다.

달비계 작업 시 사용되는 로프의 종류는 섬유로프가 69.8%, 등산용 자일로프가 7.5% 순으로 비중을 차지하였고, 섬유로프 재질로는 폴리프로필렌(PP)이 73.2%, 나이론 3.6% 순으로 사용하고 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 달비계 작업용 섬유로프의 주로프 직경은 20mm가 가장 많이 사용하고 있었으며, 그 다음으로는 18mm 가 가장 높은 비율로 사용하고 있다. 수직구명줄의 직경은 16mm가 가장 많이 사용하고 있으며, 그 다음으로는 14mm 로프가 많이 사용되고 있다. 일부 응답자 중 주로프와 보조로프 모두 11m 로프를 사용하고 있다는 응답도 확인할 수 있었다.

달비계 작업 시 로프 끊어짐과 관련이 높은 스윙(좌우 반복)작업의 유무는 73.6%가 스윙작업을 하고 있다고 응답하였고, 이러한 스윙 작업으로 인해 로프가 파단 될 수 있을 수 있다고 알고 있는 응답자도 83%나 되었다. 이렇게 로프가 끊어질 수 있음에도 스윙작업을 하는 이유로는 작업물량과 작업시간 그리고 작업효율 때문이라고 대부분이 응답하였다.

달비계 작업 시 로프 끊어짐을 예방하기 위해 로프 보호대 사용 여부에 대해서는 86.8% 사용한다고 응답하였으며, 가죽 재질 보호대와 천이나 수건 등 섬유로 된 재질이 가장 많이 사용되며, 다음으로는 종이박스를 이용한다는 응답이 많음을 알 수 있었다.

달비계 작업용 섬유로프의 파단이 되는 원인 중 하나인 노후에 대한 설문으로서, 작업 전 작업용 로프의 사전점검 방법으로 육안검사가 58%, 자체 기

준이 13.6% 순으로 높았다. 섬유로프 구매 후 폐기까지의 사용기간에 대한 설문에서는 1년 이상이 24.5%, 9개월~12개월 미만이 13.2%, 1개월~3개월 미만이 13.2% 순으로 높았다. 다만, 현재 사용 중인 달비계 작업용 섬유로프의 제조일과 사용 년 수를 묻는 설문의 답변에는 1년 이내와 모른다는 답변의 비중이 높았다.

또한, 작업 특성 상 외부 작업이 대부분인 달비계 작업용 PP로프가 자외선에 취약하다는 사실여부 인지에 대한 설문은 67.9%가 알고 있다고 응답하였으나, 하절기 PP로프 사용 후 폐기 여부를 묻는 설문에는 56.6%가 아니라고 답변 하였다.

섬유로프 제조업체에서는 PP섬유로프에 UV 차단제를 첨가하는 업체와 첨가하지 않은 업체는 각각 50%였으며, UV 차단제를 첨가하지 않는 이유로는 원가상승 때문인 것으로 확인 되었다. 다만, 수요가 있을 시 모든 제조업체에서는 UV 첨가제를 넣고 생산 할 수 있다고 답변하였다.

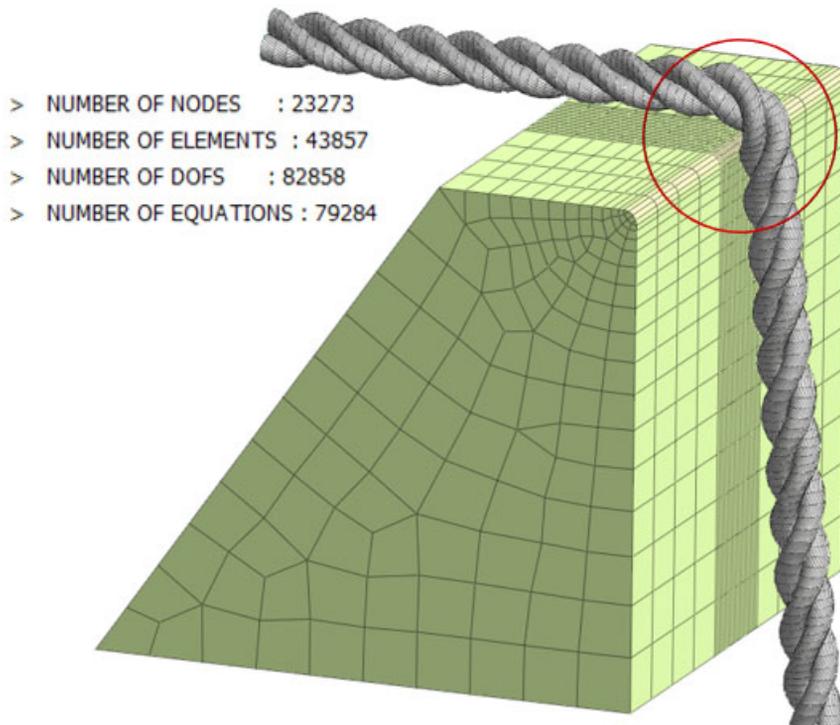
Ⅲ. 합성섬유로프 파손 특성 분석



Ⅲ. 합성섬유로프 파손 특성 분석

1. 유한요소해석을 통한 파손 특성

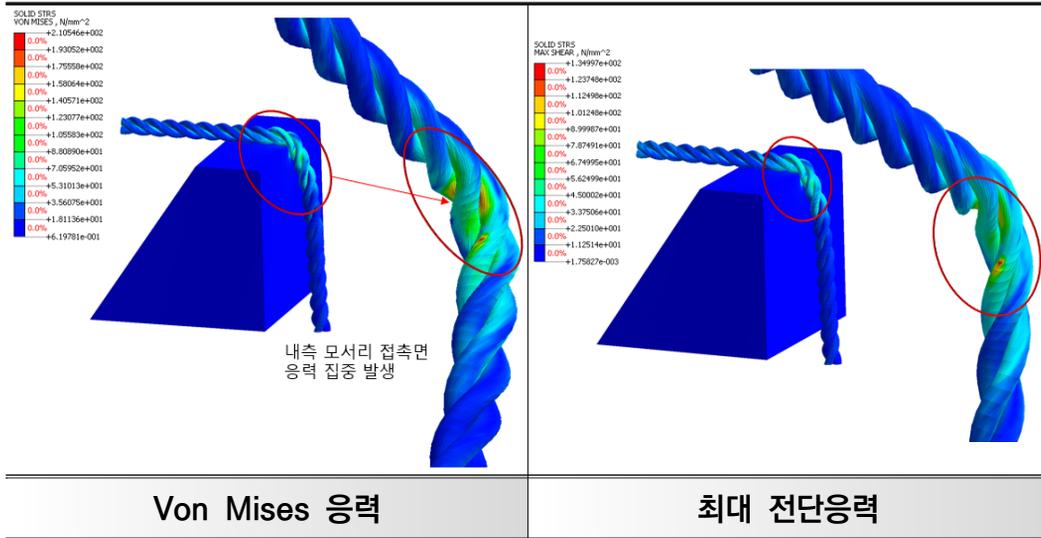
달비계 작업 시 구조물 모서리에 섬유로프가 맞닿아 꺾이면서 집중하중이 발생하면 로프에 허용된 강도보다 낮은 강도에서 로프가 파단이 될 수 있다. 이에 로프에 걸리는 응력집중 현상에 대한 경향을 파악하기 위해 유한요소해석을 진행하였다.



[그림 Ⅲ-1] 섬유로프와 구조물 모서리 요소망 설정

섬유로프 직경은 20mm 이며 로프 소재는 midas NFX 2021 R1에 설정되어 있는 폴리프로필렌 소재의 물성을 적용하였다. 구조물의 물성은 강체로

설정하였다. 로프의 응력-변형을 선도(Stress-Strain Curve)는 실제 섬유로프 인장시험 데이터를 이용하였으며, 섬유로프 파단을 고려하여 비선형정적 해석을 수행하였다.



[그림 Ⅲ-2] 유한요소 해석 결과

유한요소 해석결과 구조물 모서리에 의해 Von Mises 응력과 최대 전단응력 모두 유사한 부분에서 발생함을 알 수 있다. 다만, 일반적으로 Von Mises 응력이 다른 응력값 보다 높게 나오는 경향이 있어 최대 전단응력 보다 높게 결과가 나온 것을 확인 할 수 있다. 최대 전단응력의 값도 실제 A社 20mm 로프 인장 시험 결과 174.5MPa 대비 135MPa로 22.6% 감소하는 것으로 확인 되었다. 다만, 비선형 정적해석의 결과가 해석 조건에 따라 결과가 달라지기 때문에 로프가 구조물의 모서리에 접촉하였을 경우 응력에 의한 집중으로 로프에 허용된 강도보다 저감될 수 있다는 정도로 받아들여야 할 것으로 사료 된다.

2. 실물 시험을 통한 파손 특성

달비계 작업 추락재해 예방을 위해 작업 현장에서 가장 많이 사용하는 20mm(주로프)와 16mm(수직구명줄) 두 가지 직경으로 4개의 제조사 제품을 구매하여 신품 로프와 노광제품(야외노출 30일, 90일), 작업자의 실사용 제품을 수거하여 인장강도를 측정하고 직경과 환경조건에 따른 인장강도의 산포를 알아보고자 한다.

1) 시험 기준 및 조건

가) 시험 기준

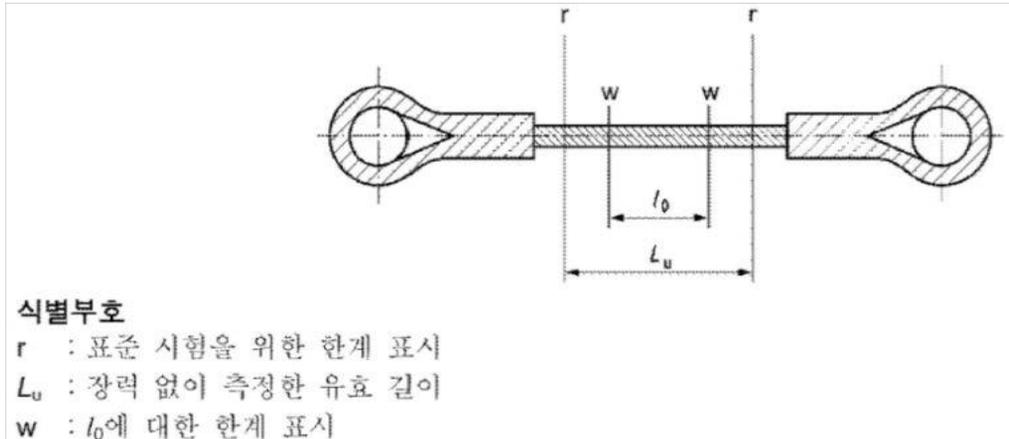
국내·외 섬유로프 인장 시험 기준¹⁸⁾을 적용하여 전문기관에 시료 전처리 및 인장시험을 의뢰하여 진행하였다.

〈표 Ⅲ-1〉 시험편 유효 길이

(단위 : mm)

로프의 유형	시험 장치의 유형	최소 유효 길이 L
인조섬유 로프 호칭 굵기 ≤ 10	모든 유형	400
인조섬유 로프 10 < 호칭 굵기 ≤ 20	“cors de chasse”	400
	볼라드	1,000
	웨지 그립	-
인조섬유 로프 호칭 굵기 ≥ 20	볼라드	2,000
천연섬유 로프	모든 유형	2,000

18) KS K ISO 2307 섬유 로프-물리적 및 역학적 성질측정, ISO 13934-1 섬유-직물의 인장특성 기준



[그림 III-3] 블라드 장착 시험 장치에 대한 유효길이 L

- r 에서 스플라이스 끝점까지의 거리는 로프 직경의 최소 2배에서 최대 3배 까지 되어야 한다.
- 컨디셔닝 : 로프는 보통의 대기 환경에서 시험되어야 하며, 논쟁이 될 경우에는 시험하기 바로 전에 KS K ISO 139(텍스타일-컨디셔닝과 시험을 위한 표준 상태)에 규정된 상태에서 적어도 48h 동안 동일한 시험편을 방치하여야 한다.
- 시험편의 베딩인(bedding-in) : 절단 지점까지 시험하기 전에 로프의 기준 장력과 최소 절단 강도의 50% 사이에서 3회 반복하중(cycle load)을 가 하며, 별다른 규정이 없는 한, 시험 속도는 (250 ± 50) mm/min으로 하다.
- 결과의 표시 : 신도에 대한 시험 결과는 각 시험편에서 얻어진 개개 값들의 산술 평균으로 나타내며, 인장 강도는 시험 결과의 평균값으로 계산하지 않고 각 시험편에 대한 절단 강도(킬로뉴턴, KN)로 표현한다.

나) 시험 조건

- 보통의 대기 환경에서 시험 진행 되어야 하며, 시험하기 전에 KS K ISO 139에 규정된 상태¹⁹⁾에서 적어도 48h 동안 시험편을 방치한다.

- 로프의 기준 장력과 최소 절단 강도의 50% 사이에서 3회 반복하중 (Cyclic load)을 가한 후, 인장 시험을 진행하여야 하며, 시험 속도는 (250+50)mm/min으로 하여야 한다.

2) 시험 수량 및 계획

달비계 작업에 사용되는 PP로프[주로프(20mm)와 보조로프(16mm)]의 신품, 노광제품, 작업자의 실사용 제품을 수거하여 인장강도를 측정하여 직경과 환경 조건에 따른 강도 산포를 확인하고자 한다.

〈표 Ⅲ-2〉 섬유로프 실물시험 계획

시험 항목	소재 및 종류	대상품	직경	시험 횟수 ²⁰⁾
인장	PP로프 4종 ²¹⁾	· 신품 · 노광제품 ²²⁾ · 사용제품 ²³⁾	20mm, 16mm	각 5회

- 신품 : 4종 X 2개 직경(20mm, 16mm) X 5회 = 40회
- 노광 : 4종 X 2조건(30일, 90일) X 2개 직경(20mm, 16mm) X 5회 = 80회
- 사용 : 1종 X 3곳 X 2개 직경(20mm, 16mm) X 5회 X 2회²⁴⁾ = 60회

19) 온도 20.0℃와 상대습도 65.0%

20) ISO 13934-1 섬유-직물의 인장특성 기준

21) 시중에 판매되는 A, B, C, D社 제품 구매 후 시험

22) 30일, 90일 자연노출 진행 예정이며, 향후 사정에 따라 1개 제품을 선택하여 진행할 수 있음.

23) 노광제품 자연노출 시기에 달비계 작업현장 3곳에 제공하여 실사용 후 수거

24) 제품 사용 전, 사용 후 인장 시험 비교를 위해 2회 실시

3) 신제품 인장시험 결과 및 분석

(1) 인장 시험 결과

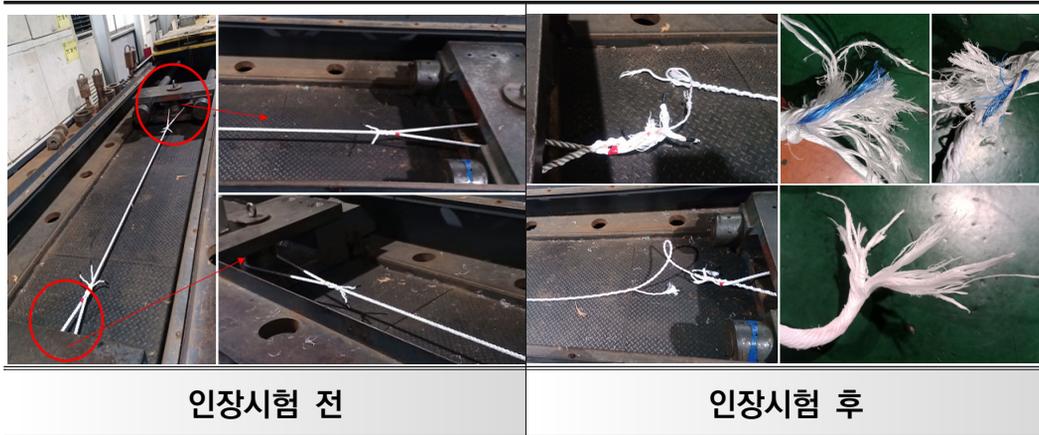
인장시험 결과, 측정된 제조사 모두 한국산업표준(KS)에서 규정된 호칭에 따른 인장강도 기준은 충족하지만, 측정 결과는 제조사에서 공시하는 인장강도를 A社를 제외하고 허용오차범위($\pm 5\%$)를 벗어난 것을 확인 할 수 있었다.

〈표 III-3〉 제조사 별 신제품 인장시험 결과

(단위 : KN)

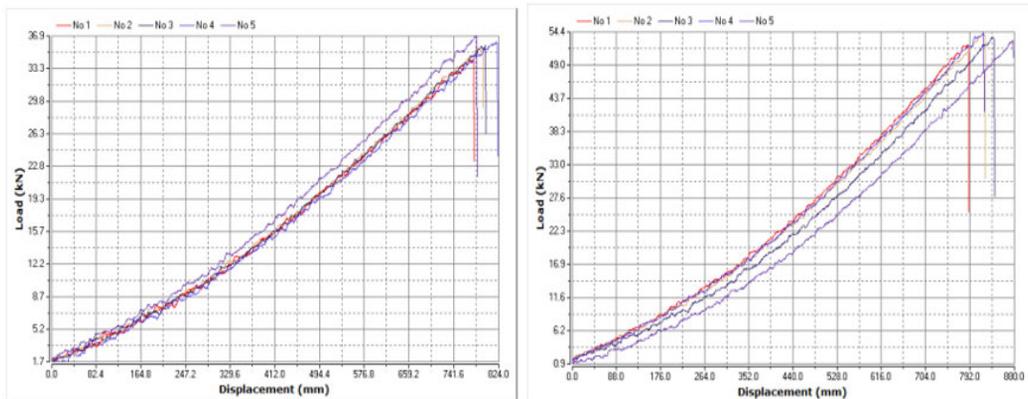
업체	직경	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균	표기 ²⁵⁾
A 社	16mm	34.3	35.6	35.8	36.2	36.9	35.8	37.2
	20mm	52.3	53.9	53.4	54.4	52.9	53.4	54.9
B 社	16mm	32.6	34.5	32.2	31.1	33.1	32.7	36.9
	20mm	46.9	47.8	45.1	46.6	46.9	46.7	56.8
C 社	16mm	30.5	30.4	30.8	30.7	29.4	30.4	32.3
	20mm	49.4	50.0	49.1	48.4	48.7	49.1	48.5
D 社	16mm	39.4	34.5	35.6	34.8	38.9	36.6	30.4
	20mm	45.2	45.4	45.3	45.9	44.5	45.3	45.1

25) 제조사 홈페이지에 표기된 해당 제품의 인장강도, B社의 경우 최솟값.



[그림 Ⅲ-4] 섬유로프 신문에 대한 인장시험

섬유로프 인장시험 전과 후를 비교해 보면 파단이 매듭부위에서 발생되는 것을 확인 할 수 있다. 이는 관련 유한요소 해석과 실험 결과²⁶⁾에서 인장 시 매듭부위에서 응력이 집중됨에 따라 파단이 가장 먼저 발생됨을 확인 하였다.

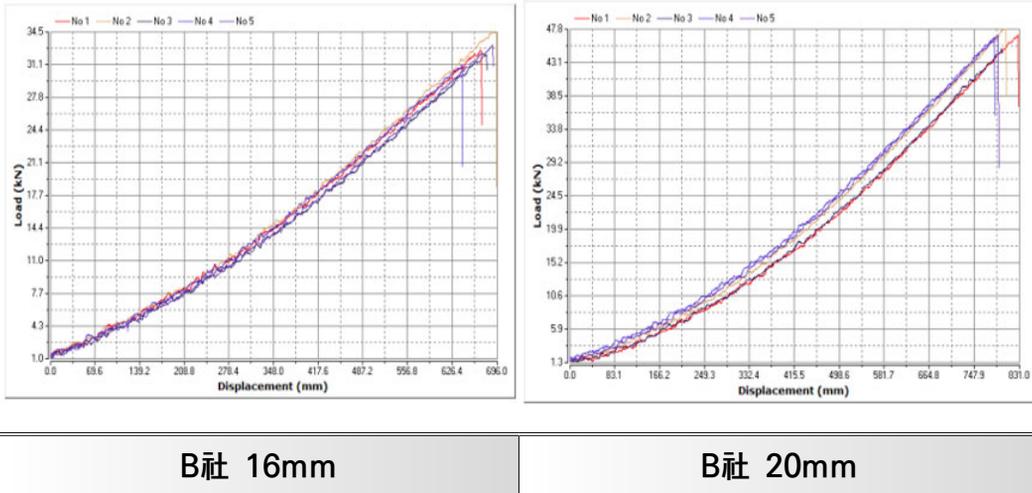


A社 16mm

A社 20mm

[그림 Ⅲ-5(1)] A社 섬유로프 신문에 대한 인장시험 결과

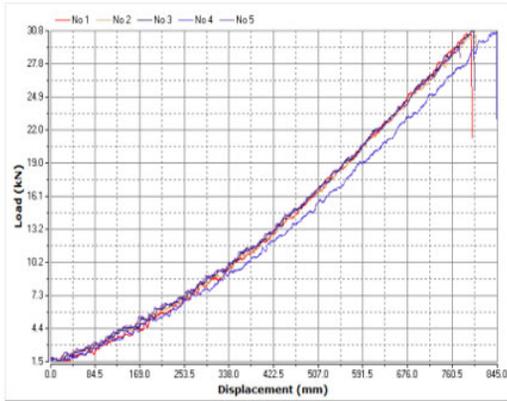
26) 송상민 등은 고정매듭법에 따른 강도 변화에 대해 유한요소 해석과 실험을 통해 매듭 부위에서 파손이 됨을 확인 하였다.



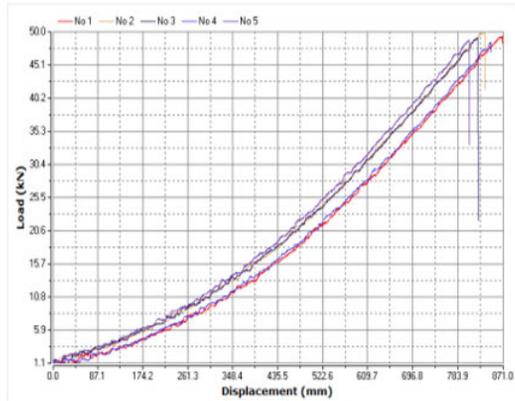
[그림 Ⅲ-5(2)] B社 섬유로프 신제품에 대한 인장시험 결과

(2) 인장 시험 결과 분석

- 가) A社 16mm의 경우 제조사가 제공하는 인장강도에 비해 약 3.9%정도가 작게 측정되었으며, 20mm의 경우 약 2.8% 정도 작게 측정 되었다.
- 나) B社 16mm의 경우 제조사가 제공하는 인장강도에 비해 약 12.8% 정도가 작게 측정되었으며, 20mm의 경우 약 21.6% 정도 작게 측정 되었다.

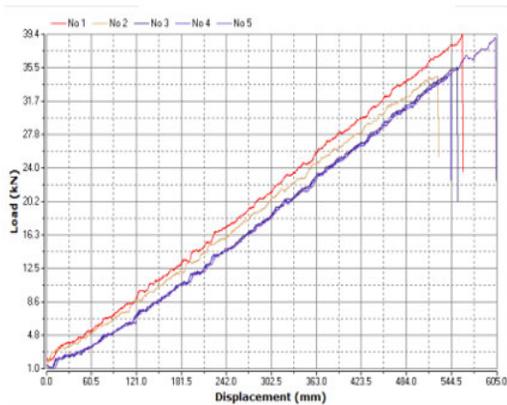


C社 16mm

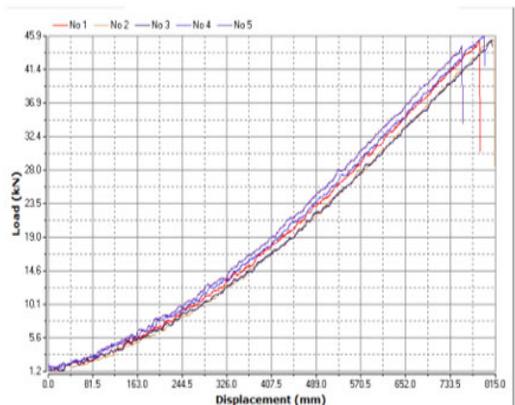


C社 20mm

[그림 Ⅲ-5(3)] C社 섬유로프 신제품에 대한 인장시험 결과



D社 16mm



D社 20mm

[그림 Ⅲ-5(4)] D社 섬유로프 신제품에 대한 인장시험 결과

다) C社 16mm의 경우 제조사가 제공하는 인장강도에 비해 약 6.3% 정도가 작게 측정되었으며, 20mm의 경우 약 1.2% 정도 크게 측정되었다.

- 라) D社 16mm의 경우 제조사가 제공하는 인장강도에 비해 약 20.4% 정도가 크게 측정되었으며, 20mm의 경우 약 0.4% 정도 크게 측정되었다.
- 마) A社의 섬유로프 인장시험 결과 제조사가 제공하는 인장강도와 측정 결과는 허용오차 범위²⁷⁾($\pm 5\%$)에 있음을 확인할 수 있었다.
- 바) B社의 섬유로프 인장강도는 기준²⁸⁾에서 정하고 있는 호칭 지름에 대한 최소 인장강도는 만족하지만, 제조사가 제공하는 최소 인장강도에도 미치지 못하며, 허용오차 범위($\pm 5\%$)를 벗어남을 확인 하였다.
- 사) C·D社의 16mm 섬유로프의 경우 허용오차 범위($\pm 5\%$)를 벗어났으나, D사의 경우 16mm, 20mm 모두 제공하는 기준보다 높음을 알 수 있었다.

27) KS K ISO 2307:2010 섬유로프-물리적 및 역학적 성질 측정 부속서 A. 로프에 적용되는 기준 장력

28) KS K 6405:2016 폴리프로필렌 로프

4) 노광 30일 제품 인장시험 결과 및 분석

(1) 인장 시험 결과

노광(야외노출 30일)제품의 인장시험 결과, 측정한 제조사 모두 한국산업표준(KS)에서 규정된 호칭에 따른 인장강도 기준은 충족하지만, D社를 제외하고는 제조사에서 공시하는 인장강도를 대부분 하회하고 있음을 확인 할 수 있었다.

〈표 Ⅲ-4〉 제조사 별 노광 30일 제품 인장시험 결과

(단위 : KN)

업체	직경	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균	표기 ²⁹⁾
A 社	16mm	34.7	35.4	28.0	35.5	33.8	33.5	37.2
	20mm	50.8	52.3	52.6	51.5	52.4	51.9	54.9
B 社	16mm	32.9	34.1	33.7	32.2	34.2	33.4	36.9
	20mm	46.1	44.4	46.5	43.7	45.6	45.3	56.8
C 社	16mm	29.4	30.1	28.7	27.6	27.8	28.7	32.3
	20mm	46.4	45.5	47.3	46.6	47.3	46.6	48.5
D 社	16mm	34.1	36.9	35.1	37.1	37.6	36.2	30.4
	20mm	47.3	44.8	47.1	43.4	47.3	46.0	45.1

29) 제조사 홈페이지에 표기된 해당 제품의 인장강도, B社의 경우 최솟값.

(2) 인장 시험 결과 비교

자외선 노출의 영향으로 강도가 저하되는 특성이 있는 PP섬유로프의 노광 (야외노출 30일)제품과 신품의 인장시험 결과를 비교하여 보면, 일부 인장강도가 줄어든 경우도 있으나, 대부분은 유의미한 인장강도의 차이는 없는 것으로 확인 되었다.

〈표 Ⅲ-5〉 제조사 별 신품/노광 30일 제품 인장시험 결과 비교

(단위 : KN)

업체	직경	종별	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균
A 社	16mm	신품	34.3	35.6	35.8	36.2	36.9	35.8
		노광 30일	34.7	35.4	28.0	35.5	33.8	33.5
	20mm	신품	52.3	53.9	53.4	54.4	52.9	53.4
		노광 30일	50.8	52.3	52.6	51.5	52.4	51.9
B 社	16mm	신품	32.6	34.5	32.2	31.1	33.1	32.7
		노광 30일	32.9	34.1	33.7	32.2	34.2	33.4
	20mm	신품	46.9	47.8	45.1	46.6	46.9	46.7
		노광 30일	46.1	44.4	46.5	43.7	45.6	45.3
C 社	16mm	신품	30.5	30.4	30.8	30.7	29.4	30.4
		노광 30일	29.4	30.1	28.7	27.6	27.8	28.7
	20mm	신품	49.4	50.0	49.1	48.4	48.7	49.1
		노광 30일	46.4	45.5	47.3	46.6	47.3	46.6
D 社	16mm	신품	39.4	34.5	35.6	34.8	38.9	36.6
		노광 30일	34.1	36.9	35.1	37.1	37.6	36.2
	20mm	신품	45.2	45.4	45.3	45.9	44.5	45.3
		노광 30일	47.3	44.8	47.1	43.4	47.3	46.0

(3) 섬유로프 노광제품 중량 변화

〈표 Ⅲ-6〉 제조사 별 신제품/노광 30일 제품 중량 변화 비교

(단위 : g)

업체	직경	노광	시료 중량					평균
			701	706	708	699	709	
A 社	16mm	신제품	701	706	708	699	709	705
		30일	701	708	710	700	709	706
	20mm	신제품	1,174	1,169	1,170	1,164	1,168	1,169
		30일	1,175	1,171	1,172	1,166	1,170	1,171
B 社	16mm	신제품	717	718	711	714	714	715
		30일	719	718	711	715	714	715
	20mm	신제품	1,118	1,117	1,116	1,114	1,118	1,117
		30일	1,118	1,116	1,114	1,113	1,118	1,116
C 社	16mm	신제품	740	740	736	739	740	739
		30일	741	743	737	740	743	741
	20mm	신제품	1,149	1,141	1,157	1,152	1,156	1,151
		30일	1,150	1,143	1,159	1,154	1,157	1,153
D 社	16mm	신제품	742	728	724	732	732	732
		30일	736	729	726	733	734	732
	20mm	신제품	1,119	1,115	1,126	1,120	1,118	1,120
		30일	1,118	1,114	1,125	1,120	1,119	1,119

자외선 노출로 인하여 인장강도가 저하되는 PP로프의 특성이 제품 중량에 미치는 영향에 대한 검토를 진행하였으나, 야외노출 30일 기준으로는 인장강도 영향과 같이 차이를 확인 할 수 없었다.

(4) 섬유로프 직경의 인장 시험 전후 변화

〈표 Ⅲ-7〉 제조사 별 신품/노광 30일 제품 인장시험 전후 직경 비교

(단위 : mm)

업체	직경	시험	로프 직경					평균
			16mm	20mm	25mm	30mm	35mm	
A 社	16mm	전	16.05	16.00	16.00	16.02	16.00	16.01
		후	14.61	14.72	14.40	14.65	15.02	14.68
		감소율	-9.0%	-8.0%	-10.0%	-8.6%	-6.1%	-8.3%
	20mm	전	19.94	20.00	20.05	20.00	20.00	20.00
		후	18.95	18.32	19.01	18.85	18.84	18.79
		감소율	-5.0%	-8.4%	-5.2%	-5.7%	-5.8%	-6.0%
B 社	16mm	전	16.02	16.04	15.95	16.00	15.95	15.99
		후	15.01	14.78	14.36	14.83	14.91	14.78
		감소율	-6.3%	-7.9%	-10.0%	-7.3%	-6.5%	-7.6%
	20mm	전	19.85	19.90	19.96	19.93	19.88	19.91
		후	18.82	18.30	18.71	18.84	18.72	18.68
		감소율	-5.2%	-8.0%	-6.3%	-5.5%	-5.8%	-6.2%
C 社	16mm	전	15.83	15.61	15.80	15.76	15.84	15.77
		후	14.52	14.66	14.81	14.63	14.79	14.68
		감소율	-8.3%	-6.1%	-6.3%	-7.2%	-6.6%	-6.9%
	20mm	전	20.01	20.11	20.08	19.99	19.98	20.03
		후	18.37	18.85	18.54	18.39	18.40	18.51
		감소율	-8.2%	-6.3%	-7.7%	-8.0%	-7.9%	-7.6%
D 社	16mm	전	15.72	15.70	15.81	15.84	15.72	15.76
		후	14.80	14.39	15.00	14.92	14.48	14.72
		감소율	-5.9%	-8.3%	-5.1%	-5.8%	-7.9%	-6.6%
	20mm	전	19.86	20.02	20.00	19.91	20.04	19.97
		후	19.17	19.00	18.93	18.55	18.91	18.91
		감소율	-3.5%	-5.1%	-5.4%	-6.8%	-5.6%	-5.3%

- 인장시험 전, 후 로프의 직경을 측정한 결과, 5 ~ 8% 직경이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

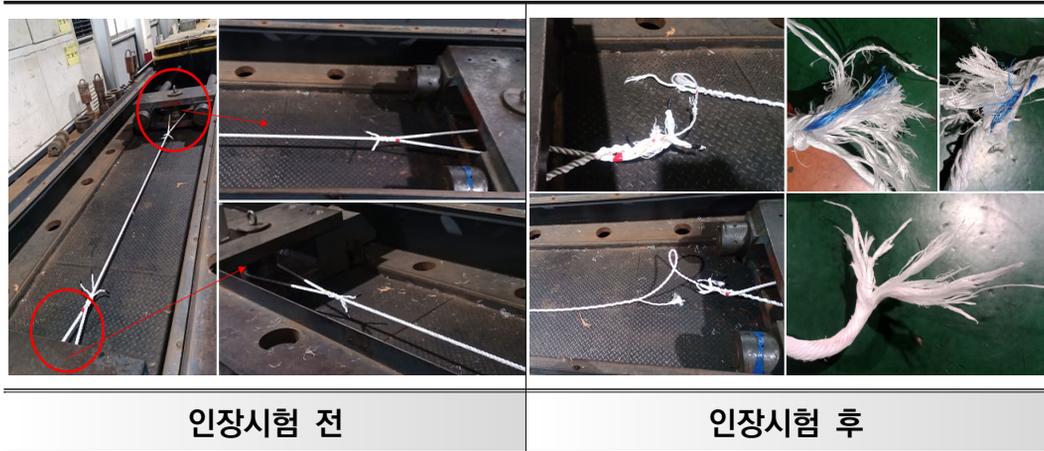
한편, 섬유로프 검사 및 폐기 기준 국제 가이드라인³⁰⁾에 따르면, 로프의 공칭지름의 10%이상 줄어든 부분이 있으면 폐기해야 한다고 명시되어 있다.

(5) 섬유로프 노광제품 인장 시료

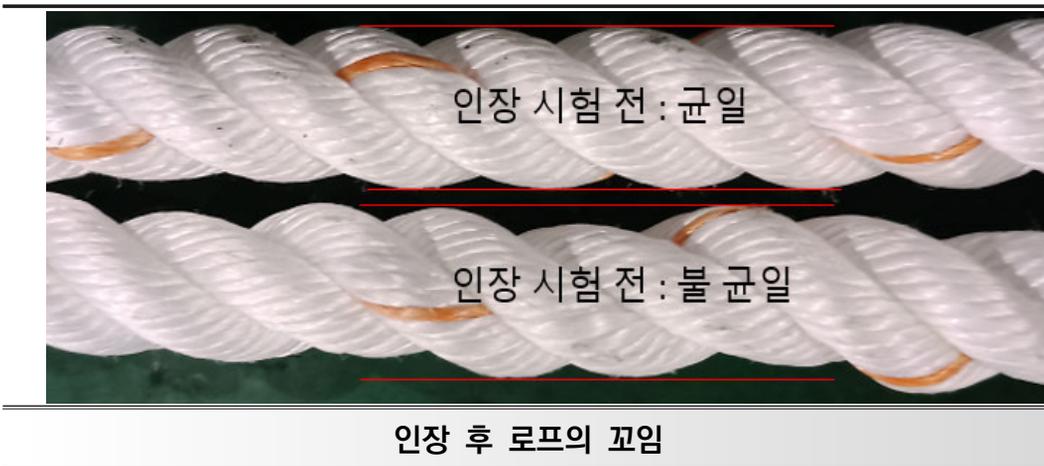


[그림 Ⅲ-6] 섬유로프 노광을 위한 야외노출

30) Cordage Institute International Guideline CI2001-04, Fiber Rope Inspection and Retirement Criteria



[그림 III-7] 섬유로프 노광 30일 제품에 대한 인장시험



[그림 III-8] 인장시험 후 로프 변화

섬유로프의 인장 시험 전 형상을 살펴보면 로프의 꼬임이 일정하지만, 인장 시험 후의 섬유로프의 꼬임 형태는 불균일함을 알 수 있다.



[그림 Ⅲ-9] 인장시험 후 로프 직경 변화

(6) 결과 분석 : 노광제품(야외노출 30일)

- 4개社 모든 제품에서 신제품과 비교하여 야외노출에 따른 인장강도와 중량의 유의미한 변화는 확인 할 수 없었으며, 제품의 표면 노화도 크게 확인 할 수 없었다.
- 다만, 로프 파단 후 직경은 약 5 ~ 7% 정도 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

5) 노광 90일 제품 인장시험 결과 및 분석

(1) 노광 90일 제품 인장시험 결과

노광(야외노출 90일)제품의 인장시험 결과, 16mm의 경구 측정된 제조사 모두 한국산업표준(KS)에서 규정된 호칭에 따른 인장강도³¹⁾ 기준을 하회하며, 20mm의 경우 A社를 제외하고 다른 제조사 모두 한국산업표준(KS)에서 규정된 인장강도를 하회함을 확인 할 수 있었다.

〈표 III-8〉 제조사 별 노광 90일 제품 인장시험 결과

(단위 : KN)

업체	직경	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균	표기 ³²⁾
A 社	16mm	20.6	23.5	21.1	21.9	22.3	21.9	37.2
	20mm	38.3	36.9	33.7	38.8	34.4	36.4	54.9
B 社	16mm	21.3	20.6	19.8	20.4	20.7	20.6	36.9
	20mm	33.0	33.8	33.7	34.8	31.3	33.3	56.8
C 社	16mm	18.8	20.1	19.0	19.8	19.4	19.4	32.3
	20mm	33.2	30.1	33.4	32.4	32.7	32.4	48.5
D 社	16mm	21.0	20.4	18.8	20.2	18.8	19.8	30.4
	20mm	27.4	29.4	29.8	28.9	29.4	29.0	45.1

31) KS K 6405 폴리프로필렌 로프, 표-2 [폴리프로필렌 모노 필라멘트 로프] 16mm : 24.2KN, 20mm : 36.6KN

32) 제조사 홈페이지에 표기된 해당 제품의 인장강도, B社의 경우 최솟값.

(2) 인장시험 결과 비교

자외선 노출의 영향으로 강도가 저하되는 특성이 있는 PP섬유로프의 노광 (야외노출 90일)제품 시험 결과는 다음과 같다. 인장강도의 변화를 확인한 결과, 30일 동안 자외선 노출의 영향으로는 강도가 저하되는 특성을 확인할 수 없었으나, 90일 동안 노출로 인하여 16mm 로프의 경우 최대 51.7%, 20mm 로프의 경우 최대 39.8% 감소함을 확인 할 수 있었다.

〈표 Ⅲ-9〉 제조사 별 신제품/노광 90일 제품 인장시험 결과 비교

(단위 : KN)

업체	직경	종별	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균
A 社	16mm	신제품	34.3	35.6	35.8	36.2	36.9	35.8
		노광 30일	34.7	35.4	28.0	35.5	33.8	33.5
		노광 90일	20.6	23.5	21.1	21.9	22.3	21.9
		신제품대비 증감률	-39.9%	-34.0%	-41.1%	-39.5%	-39.6%	-38.8%
	20mm	신제품	52.3	53.9	53.4	54.4	52.9	53.4
		노광 30일	50.8	52.3	52.6	51.5	52.4	51.9
		노광 90일	38.3	36.9	33.7	38.8	34.4	36.4
		신제품대비 증감률	-26.8%	-31.5%	-36.9%	-28.7%	-35.0%	-31.8%
B 社	16mm	신제품	32.6	34.5	32.2	31.1	33.1	32.7
		노광 30일	32.9	34.1	33.7	32.2	34.2	33.4
		노광 90일	21.3	20.6	19.8	20.4	20.7	20.6
		신제품대비 증감률	-34.7%	-40.3%	-38.5%	-34.4%	-37.5%	-37.0%
	20mm	신제품	46.9	47.8	45.1	46.6	46.9	46.7
		노광 30일	46.1	44.4	46.5	43.7	45.6	45.3
		노광 90일	33.0	33.8	33.7	34.8	31.3	33.3
		신제품대비 증감률	-29.6%	-29.3%	-25.3%	-25.3%	-33.3%	-28.7%

〈표 III-9〉 제조사 별 신제품/노광 90일 제품 인장시험 결과 비교(계속)

(단위 : KN)

업체	직경	종별	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균
C 社	16mm	신제품	30.5	30.4	30.8	30.7	29.4	30.4
		노광 30일	29.4	30.1	28.7	27.6	27.8	28.7
		노광 90일	18.8	20.1	19.0	19.8	19.4	19.4
		신제품대비 증감률	-38.4%	-33.9%	-38.3%	-35.5%	-34.0%	-36.2%
	20mm	신제품	49.4	50.0	49.1	48.4	48.7	49.1
		노광 30일	46.4	45.5	47.3	46.6	47.3	46.6
		노광 90일	33.2	30.1	33.4	32.4	32.7	32.4
		신제품대비 증감률	-32.8%	-39.8%	-32.0%	-33.1%	-32.9%	-34.0%
D 社	16mm	신제품	39.4	34.5	35.6	34.8	38.9	36.6
		노광 30일	34.1	36.9	35.1	37.1	37.6	36.2
		노광 90일	21.0	20.4	18.8	20.2	18.8	19.8
		신제품대비 증감률	-46.7%	-40.9%	-47.2%	-42.0%	-51.7%	-45.9%
	20mm	신제품	45.2	45.4	45.3	45.9	44.5	45.3
		노광 30일	47.3	44.8	47.1	43.4	47.3	46.0
		노광 90일	27.4	29.4	29.8	28.9	29.4	29.0
		신제품대비 증감률	-39.4%	-35.2%	-34.2%	-37.0%	-33.9%	-36.0%

PP소재의 섬유로프가 자외선의 영향에 대해 실험을 통해 확인 할 수 있었으며, 자외선에 의해 섬유로프가 취약해 지는 시점은 일정 기간이 지나야 나타남을 확인 할 수 있었다.

(3) 섬유로프 노광제품 중량 변화

〈표 Ⅲ-10〉 제조사 별 신품/노광 90일 제품 중량 변화 비교

(단위 : g)

업체	직경	노광	시료 중량					평균
			1	2	3	4	5	
A 社	16mm	신품	710	700	705	700	719	707
		90일	711	702	707	702	720	708
	20mm	신품	1,174	1,140	1,173	1,181	1,175	1,169
		90일	1,176	1,142	1,175	1,183	1,178	1,171
B 社	16mm	신품	715	712	109	709	713	712
		90일	717	714	710	711	714	713
	20mm	신품	1,119	1,123	1,122	1,125	1,121	1,122
		90일	1,118	1,121	1,123	1,124	1,120	1,121
C 社	16mm	신품	737	757	748	742	732	743
		90일	738	759	749	744	734	745
	20mm	신품	1,153	1,150	1,151	1,161	1,136	1,150
		90일	1,155	1,151	1,152	1,162	1,137	1,151
D 社	16mm	신품	726	726	729	732	741	731
		90일	726	727	730	731	742	731
	20mm	신품	1,130	1,120	1,119	1,119	1,124	1,122
		90일	1,130	1,119	1,120	1,119	1,124	1,122

자외선 노출로 인하여 인장강도가 저하되는 PP로프의 특성이 제품 중량에 미치는 영향에 대한 검토를 진행하였으나, 야외노출 90일 기준으로는 인장강도 영향과 같이 차이를 확인 할 수 없었다.

(4) 섬유로프 직경의 인장 시험 전후 변화

〈표 Ⅲ-11〉 제조사 별 신제품/노광 90일 제품 인장시험 전후 직경 비교

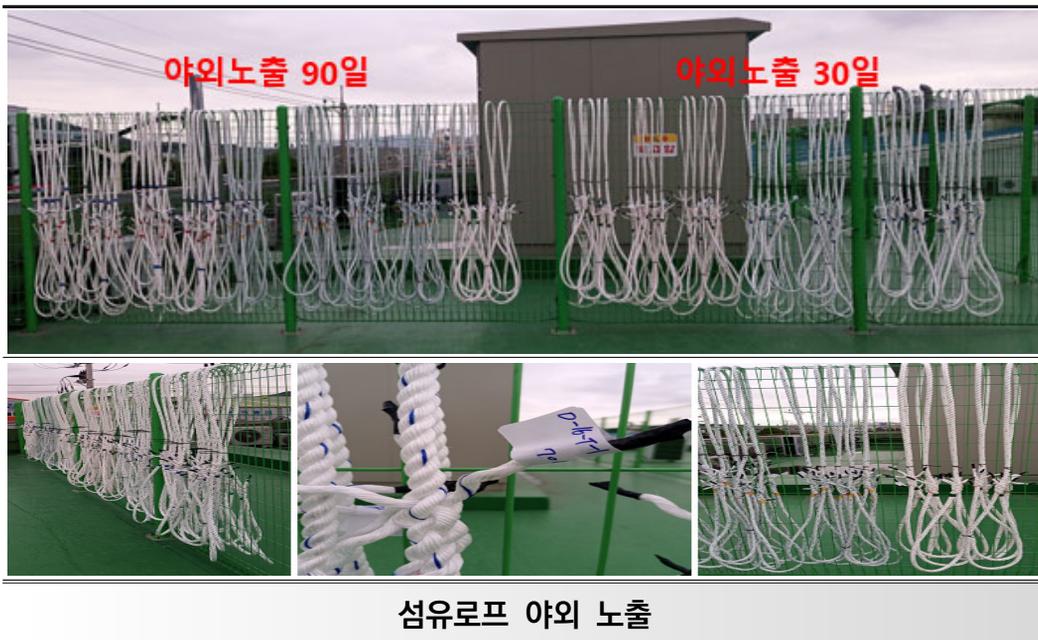
(단위 : mm)

업체	직경	시험	로프 직경					평균
A 社	16mm	전	16	16.01	16.02	16.02	16.03	16.02
		후	15.22	15.44	14.94	14.68	14.81	15.02
		증감률	-4.9%	-3.6%	-6.7%	-8.4%	-7.6%	-6.2%
	20mm	전	19.93	20.02	20	20.06	20.01	20.00
		후	18.57	19.07	19.01	18.89	18.81	18.87
		증감률	-6.8%	-4.7%	-4.9%	-5.8%	-6.0%	-5.7%
B 社	16mm	전	16.01	16.06	15.94	16.01	15.96	16.00
		후	14.86	15.02	14.44	14.85	14.88	14.81
		증감률	-7.2%	-6.5%	-9.4%	-7.2%	-6.8%	-7.4%
	20mm	전	19.89	19.92	19.96	19.98	19.84	19.92
		후	18.85	18.41	18.78	18.9	18.71	18.73
		증감률	-5.2%	-7.6%	-5.9%	-5.4%	-5.7%	-6.0%
C 社	16mm	전	15.94	15.79	15.81	15.79	15.9	15.85
		후	14.71	14.76	14.79	14.71	14.76	14.75
		증감률	-7.7%	-6.5%	-6.5%	-6.8%	-7.2%	-6.9%
	20mm	전	20.04	20.05	20.02	19.98	20	20.02
		후	18.41	18.82	18.51	18.44	18.39	18.51
		증감률	-8.1%	-6.1%	-7.5%	-7.7%	-8.1%	-7.5%
D 社	16mm	전	15.88	15.75	15.79	15.86	15.76	15.81
		후	14.92	14.41	14.82	14.86	14.53	14.71
		증감률	-6.0%	-8.5%	-6.1%	-6.3%	-7.8%	-7.0%
	20mm	전	19.96	20.01	20.02	19.97	20	19.99
		후	18.89	18.97	18.91	18.66	18.84	18.85
		증감률	-5.4%	-5.2%	-5.5%	-6.6%	-5.8%	-5.7%

- 인장시험 전, 후 로프의 직경을 측정해 본 결과, 3.6 ~ 8.1% 직경이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

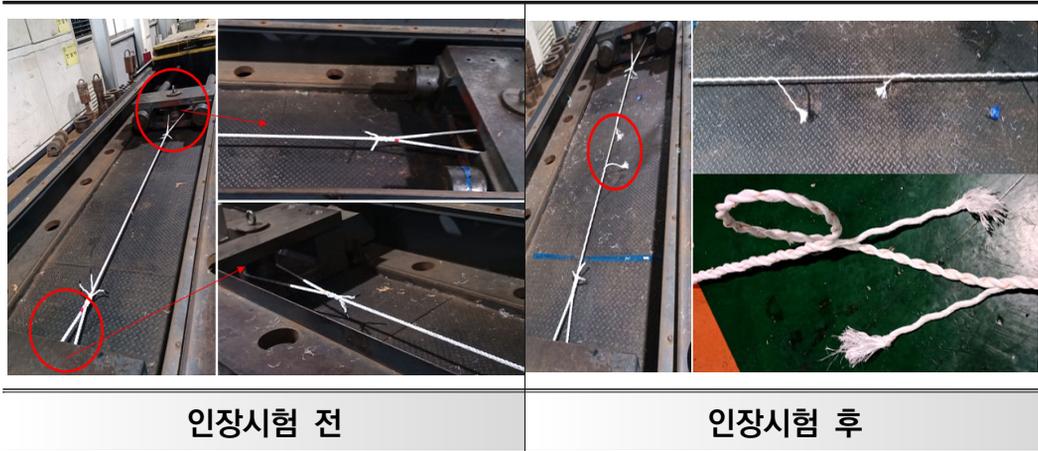
한편, 섬유로프 검사 및 폐기 기준 국제 가이드라인³³⁾에 따르면, 로프의 공칭지름의 10%이상 줄어든 부분이 있으면 폐기해야 한다고 명시되어 있다.

(5) 섬유로프 노광제품 인장 시료



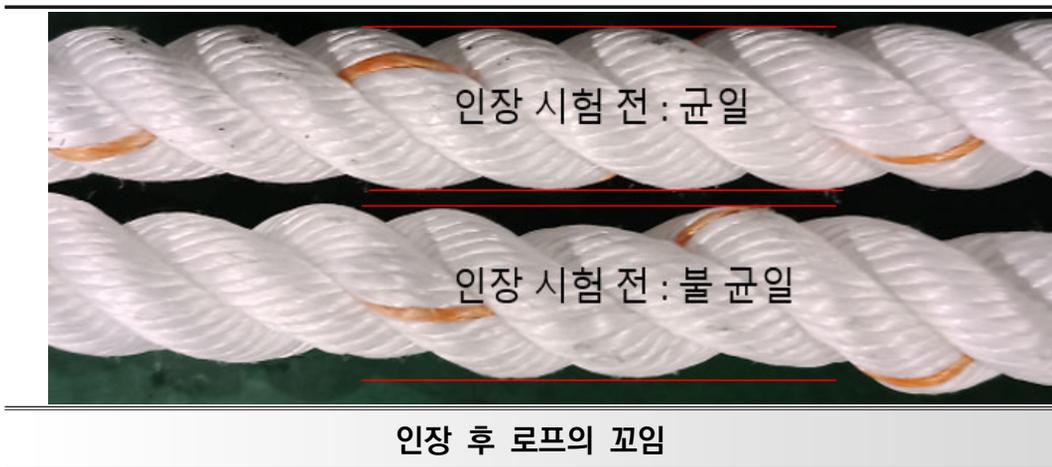
[그림 Ⅲ-10] 섬유로프 노광을 위한 야외노출

33) Cordage Institute International Guideline CI2001-04, Fiber Rope Inspection and Retirement Criteria

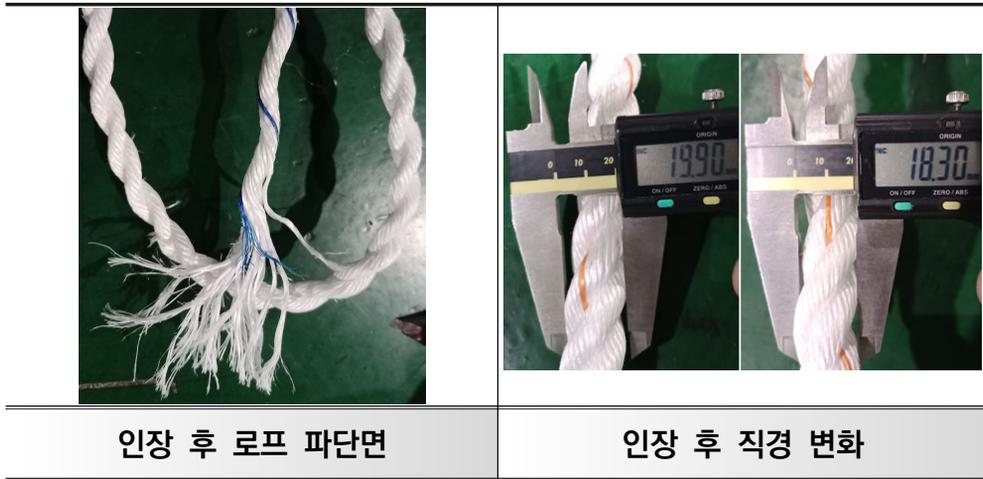


[그림 Ⅲ-11] 섬유로프 노광 90일 제품에 대한 인장시험

섬유로프 인장시험 전과 후를 비교해 보면 파단이 로프 중앙에서 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 야외노출 30일 제품과 다른 특징을 보여주는 것으로 섬유로프의 강도가 약해져서 인장 시 로프 중앙에서 가장 먼저 파단이 발생됨을 알 수 있었다.



[그림 Ⅲ-12] 인장시험 후 로프 변화



[그림 Ⅲ-13] 인장시험 후 로프 직경 변화

(6) 결과 분석 : 노광제품(야외노출 90일)

- 노광제품의 경우 신제품 대비 평균적으로 약 30 ~ 40%의 인장강도 감소하였다.
- 4개社 모두 야외 90일 노출 제품이 신제품대비 강도가 감소하였으며, 굵기가 얇은 16mm의 경우 20mm 보다 감소폭이 큼을 확인 할 수 있었다.
- 야외노출 30일 경과 시료에서는 인장강도의 변화를 확인 할 수 없었으나, 자외선이 강한 하절기(6월~8월)동안 야외노출로 인하여 PP재질의 자외선 취약성을 확인할 수 있던 시험이었다.
- 다만, 로프 파단 후 직경은 약 4 ~ 8% 정도 증감하는 것을 확인 할 수 있었으나, 중량의 유의미한 변화는 확인 할 수 없었다.

6) 실사용 제품 인장시험 결과 및 분석

(1) 실사용 90일 제품 인장시험 결과

실사용(90일)제품의 인장시험 결과, 측정한 로프 모두 한국산업표준(KS)에서 규정된 호칭에 따른 인장강도 기준은 충족하였다. 다만, 사용 빈도, 환경 등에 따라 차이가 있지만, 신품 대비 인장강도는 4.2 ~ 33.2%의 감소가 나타남을 확인 할 수 있었다.

〈표 III-12〉 실사용 90일 제품 인장시험 결과

(단위 : KN)

직경	종별	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균
16mm	사용 전	34.9	32.7	35.4	33.1	33.3	33.9
	사용 후	28.7	27.2	26.5	26.3	27.3	27.2
	증감률	-17.8%	-16.8%	-25.1%	-20.5%	-18.0%	-19.8%
		TEST 6	TEST 7	TEST 8	TEST 9	TEST 10	
	사용 전	36.2	34.7	33.7	34.3	34.1	34.6
	사용 후	32.4	31.6	32.3	30.6	30.4	31.5
	증감률	-10.5%	-8.9%	-4.2%	-10.8%	-10.9%	-9.0%
직경	종별	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균
20mm	사용 전	50.5	53.7	54.6	53.4	50.5	52.5
	사용 후	45.1	36.4	36.5	36.6	39.3	38.8
	증감률	-10.7%	-32.2%	-33.2%	-31.5%	-22.2%	-26.1%
		TEST 6	TEST 7	TEST 8	TEST 9	TEST 10	
	사용 전	54.0	53.7	55.3	56.5	54.6	54.8
	사용 후	41.7	42.5	41.7	42.1	36.5	40.9
	증감률	-22.8%	-20.9%	-24.6%	-25.5%	-33.2%	-25.4%

(2) 결과 분석 : 실사용 90일 제품

- 실사용 제품의 경우 신품 대비 평균적으로 약 9 ~ 26%의 인장강도가 감소되었음을 확인 할 수 있었으며,
- 실사용 제품의 경우 작업자의 사용빈도 및 작업방법 등 사용자 환경에 따라 인장강도 차이가 발생한 것으로 판단된다.
- 실사용 제품이 노광제품보다 인장강도 감소가 적은 이유로는 작업 완료 후 보관 시 자외선을 덜 받기 때문일 것으로 사료된다.

3. 고찰

4개 제조업체의 섬유로프 신제품과 야외노출 30일 로프의 인장시험 결과 제조사에 따른 산포가 있음을 확인 할 수 있었으나, 자외선에 취약한 PP로프의 야외 노출 30일에 의한 영향에 대해서는 유의미한 차이를 확인 할 수 없었다. 다만, 광학현미경을 통한 로프 표면을 촬영한 결과 신제품 로프와 다르게 야외 노출 30일이 경과한 로프의 표면에는 미세한 가로, 세로 줄무늬가 나타났으며, 이러한 무늬는 자외선에 의한 경화로 발생 된 것으로 사료된다.

2022년 6월 22일 달비계 작업 중 로프 끊어짐에 의한 중대재해 사고가 발생하였고, 사고 당시 사용된 로프를 회수하여 로프 표면을 동일한 방법으로 촬영하였다. 사고가 발생한 로프의 사용이력 및 기간은 확인 할 수 없으나, 로프 상태를 보면 세세하게 갈라지고 있는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 현상은 로프의 반복하중에 의한 피로와 자외선에 의한 경화에 따른 로프의 노후 발생으로 인한 것으로 판단된다.

일정기간 야외에서 사용된 제품은 주기적으로 교체하여 사용되어야 할 것으로 판단되며, 달비계 작업용 섬유로프 사용 및 관리 방안에 관련 내용을 포함하여야 할 것이다.

IV. 결과 및 고찰



IV. 결과 및 고찰

1. 현장 관리 기준

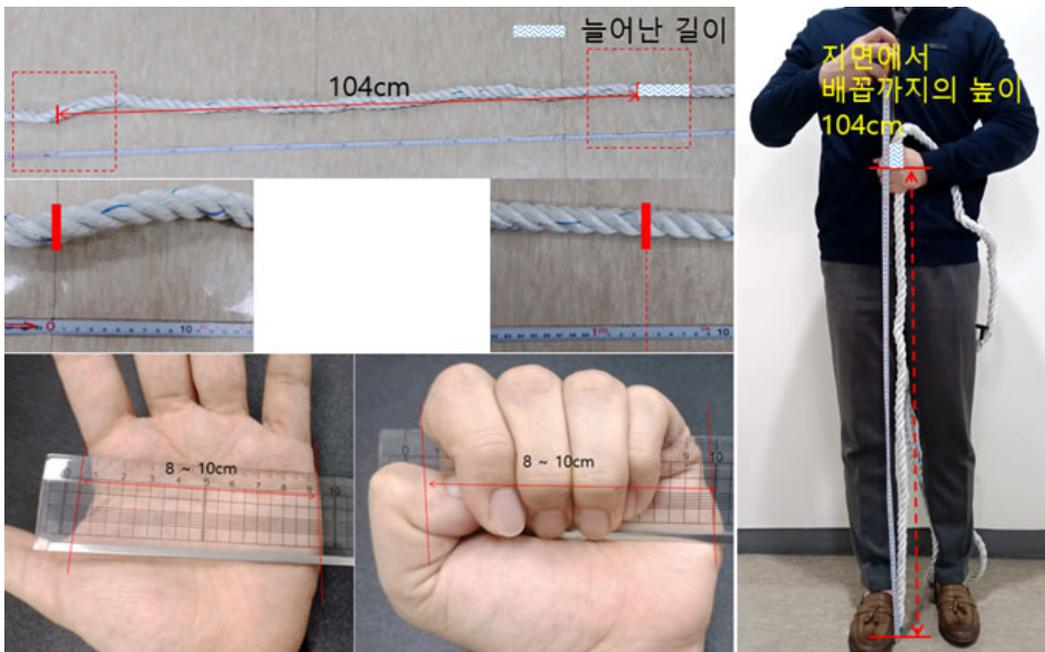
달비계는 주로 건설현장의 마감 공정과 완공된 건물의 유지·보수나 청소 등에 사용되고 있으며, 곤돌라 형태의 달비계와 작업의자형 달비계가 있다. 가장 많이 사용되는 작업의자형 달비계는 앉은 상태에서 작업자가 편하게 작업할 수 있도록 설계된 것으로서 고정 부분에 밧줄을 매달고 내려오는 작업 특성상 추락사고의 위험요소를 내포하고 있다. 달비계 관련 주요재해 원인으로는 작업로프 풀림에 의한 사고, 작업로프 끊어짐에 의한 사고, 불안정한 행동에 의한 사고 등의 원인에 의해 발생 하고 있으며, 작업로프 끊어짐은 모두 로프의 노후화 및 마찰이 원인으로 파악되고 있다.

작업용 로프에 대한 관리 및 폐기 기준은 산업안전보건 기준에 관한 규칙 제 63조, 제169조에서는 꼬임이 끊어지거나 심하게 손상된 섬유로프에 대하여 사용을 금지하고 있으나, 현장에서 안전성을 확보하는데 도움이 될 정도의 충분한 예시가 제시되지 못하고 있어 현장에 적합한 활용 기준이 필요하다.

이에 섬유로프를 사용하는 작업현장에 로프의 관리 및 사용에 관한 기준을 제시함으로써 현장에서 관리자 또는 작업자가 로프의 사용 및 폐기 여부를 결정할 수 있는 구체적인 권고안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

제시된 방안은 사용하고 있는 로프의 길이방향 연신율을 기준으로 판단하는 방법으로서, 실제 바닥면(표시 1)부터 작업자의 배꼽(주먹 중앙부_표시 2) 위치에 라인 표시(식별)를 해두고, 일정 기간 지난 후 표시 2가 주먹 위로 보이게 되면 사용을 금지 한다. 성인(40대) 남성의 평균 사이즈 기준³⁴⁾으로 배꼽 수준 허리 높이는 956 ~ 997mm이며, 손 너비는 85mm, 지면에서 배꼽까지의 거리 약 1,000mm로 가정하면, 주먹 중앙(손 너비의 절반) 약 50mm로서 실제 섬유로프가 늘어난 길이는 약 5% 이내 일 것으로 예상된다.

34) 한국인 인체치수조사-성별 및 연령별 체형(www.sizekorea.kr)



섬유로프 폐기 여부 판단법(제시 방안)

[그림 IV-1] 현장에서 적용 할 수 있는 섬유로프 판단 기준 제시(안)

2. 고찰

고층에 매달려 작업하는 달비계 작업 특성상 추락에 대한 위험에 항상 노출되어 있으며, 추락사고 시 대부분 중대재해로 이어지기 때문에 특히 안전에 유의해야 하지만, 사고 예방을 위한 많은 노력에도 불구하고 매년 증감의 반복은 있으나 연평균 15명의 사고사망자가 발생하고 있다. 최근 10년(2012년~2021년)간 발생한 달비계 관련 중대재해 보고서 153건을 분석한 결과를 보면 로프를 고정하는 고정점에서 작업로프가 풀려서 사고가 발생하여 사망한 작업자가 34.6%(53명)로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 작업 중 모서리와 로프의 마찰 또는 로프의 노후 등으로 인해 작업로프의 끊어짐에 따른 사고사망자가 22.2%(34명)으로 많이 발생하였다. 이번 연구에서는 주요 재해

원인 중 작업로프 끊어짐 재해의 예방을 목적으로 하였다.

달비계 작업에서 가장 많이 쓰이는 로프는 PP섬유로프가 가장 많이 사용되는데 PP로프의 재질 특성상 자외선에 취약하다. 많은 사람들이 취약성을 알고 있지만 어떻게 취약한지에 대해서 로프를 생산하는 생산자도 로프를 사용하는 작업자도 현장의 안전을 책임지는 안전관리자도 알지 못하는 실정이다. 따라서 자외선이 가장 강한 하절기(6월 ~ 8월)에 로프를 야외에 노출하여 신품과 대비하여 어느 정도 강도가 감소되는지를 확인해 보았다. 야외노출 30일 제품의 경우 신품과 거의 유사한 강도를 보였으나, 섬유 소선을 현미경으로 확인 해보면 상태 변화가 있음을 알 수 있었다. 야외노출 90일 제품의 경우 16mm로프의 경우 최대 51.7%, 20mm의 경우 최대 39.8% 인장강도가 감소한 것을 확인 할 수 있었으며, 로프 파단 형태도 신품과 다름을 알 수 있었다. 따라서 달비계의 안전한 작업을 위해 일부 KOSHA GUIDE 기준³⁵⁾을 다음과 같이 제시하고자 한다.

첫째, 작업용 로프는 하절기(6월 ~ 9월)를 포함하여 사용된 날 부터 9개월 이상이 되었거나, 제조일 부터 3년 이상이 되었을 때에는 사용하지 않아야 한다.

둘째, 작업대를 고정하는 로프는 최소 10.8kN의 강도를 갖고 있어야 하며, 폴리프로필렌 소재의 섬유 재질일 경우 사용된 날 부터 2년 이상 되었을 때에는 교체하여야 한다.

이와 같은 기준의 제시는 달비계 작업자의 추락을 사전에 예방하고 안전한 작업을 위해 필요하다고 사료된다.

35) KOSHA GUIDE C-33-2022 : 작업의자형 달비계 안전작업 지침

참고문헌

- 송상민, 김민섭, 신대용 등. 고소작업용 섬유로프의 고정 매듭법에 따른 강도 변화의 해석 및 실험적 연구. 한국안전학회. 2022;37(3):1-8
- 오준석. 해외 선진국 추락사고 예방기법에 대한 사례분석을 통한 국내 관련 법령 및 정책 비교. 국토교통부. 2021.
- 유성수, 정민기, 김선용 등. 달비계 추락사고 예방을 위한 IoT(사물인터넷) 기술을 접목한 추락방지대 개발. 산업안전보건연구원, 2021.
- 최두호. 건설현장 추락사고 예방을 위한 사례 연구. 한국건설관리학회. 2019;20(6):81-88.
- 유성근, 김태균, 서명재 등. 외벽청소로봇(ROPE RIDE)의 등강 로봇 플랫폼을 위한 로프 모델링 및 검증. 로봇학회. 2021;14(3):191-195.
- 임형철, 이동현, 정성춘. 건설현장 달비계 추락재해 예방을 위한 사례분석 연구. 한국산학기술학회. 2019;20(9):121-126.
- 임형철, 이동현, 정성춘. 건설공사 달비계 사용 실태조사를 통한 사고저감 방안 연구. 한국건설관리학회. 2019;20(6):66-73.
- 김경수, 김남훈, 서무경 등. 고밀도 폴리에틸렌 섬유를 이용한 무어링 로프 개발. 한국마린엔지니어링학회. 2018;42(4):338-342.
- 한국섬유소재연구원. 식물섬유의 열화에 의한 변색과 강도변화. 산업기술정보. 2014
- 황정일, 이희준, 이경훈 등. 예인삭용 합성섬유로프의 아이스플라이스 안전기준 개발. 선박안전. 2014

박병규. 천연섬유/고분자 복합재료의 분해 특성. 한국과학기술정보연구원. 2013.

이은주, 이창환, 김주용. 해양용 로프의 내마모성에 관한 연구. 한국염색가공학회. 2010;22(4):373-379

한국표준협회. KS K ISO 9554:2010 섬유로프-일반 명세

한국표준협회. KS K ISO 2307:2010 섬유로프-물리적 및 역학적 성질 측정

한국표준협회. KS F 2274:2018 건축용 합성수지재의 축진 노출 시험 방법

ISO. ISO 13934-1:2013(E) Textiles-Tensile properties of fabrics. 2013

Cordage Institute. CI 2001-04 Fiber Rope Inspection and Retirement Criteria. 2004

Cordage Institute. CI 1401-19 Recommended Safety Practices for Use of Fiber Rope. 2019

Viviana Pinto. Creep and stress relaxation behaviour of PLA-PCL fiber-Alinear modelling approach. procedia Engineering 114(2015)768-775.

HSE. WIRE ROPE OFF SHORE - A Critical Review of Wire Rope Endurance Research Affecting Offshore Applications.

OSHA. 29 CFR Part 1926-SAFETY AND HEALTH REGULATIONS FOR CONSTRUCTION

Abstract

A study on improving the use safety of synthetic fiber ropes for scaffolding work.

Objectives : Hanging scaffolding, which is mainly used for painting and cleaning the exterior walls of buildings, poses the risk of a fall accident due to the nature of the work. Most accidents caused by rope breakage can be prevented by periodic rope replacement and rope protectors, but in the case of small-scale work sites where safety management is weak, it is realistically difficult. In addition, the content of the regulation presented as the standard for management and disposal of work ropes is "prohibited from using twisted or severely damaged fiber ropes", but it lacks specificity to be used as a criterion for determining whether to use or dispose of them in the field. Therefore, we intend to prepare a more specific and easy-to-use safety plan through testing and analysis of the fracture strength of the scaffold work fiber rope.

Method : This study aims to analyze the dispersion of the strength by measuring tensile strength by purchasing PP fiber pipes (20mm, 16mm) from four companies on the market for the most commonly used fiber ropes in the domestic construction industry. In addition, in order to analyze the cause of old age and friction as the cause of rope fracture, the tensile strength of the new rope and outdoor exposure (30 days, 90 days) is measured to confirm the effect of ultraviolet rays. Based on

the data obtained through these experiments, we intend to prepare a management plan through analysis.

Results : A tensile strength test was conducted on a new product and a product treated with outdoor exposure for 30/90 days after purchasing a new product (20 mm, 16 mm) in diameter, and the distribution of strength was verified, and the aging degree of the rope was verified by ultraviolet rays. In the case of new products, all four products secured the tensile strength required by KS standard, but the other three products did not meet the tensile strength standard disclosed on the website, and there was a deviation in tensile strength between manufacturers. In addition, considering the PP rope characteristics that are vulnerable to ultraviolet rays, the difference in tensile strength between products with 30 days of outdoor exposure and new products could not be confirmed. However, the difference in the surface of the rope on the naked eye was not significant, but it was confirmed that some hardening was progressed on the rope strands photographed with an optical microscope. It was confirmed that the tensile strength of the outdoor 90-day product decreased by up to 51.7% for the 16mm rope and 39.8% for the 20mm rope compared to the new rope, and that the strength of the PP rope decreased due to the ultraviolet effect.

Conclusion : Based on the results of data analysis collected through surveys and actual experiments, the characteristics of synthetic fiber ropes (PP ropes) were derived, scaffolding management plans that workers could easily use in the field were presented, and suitability was reviewed.

Key words : Scaffolding work, Fiber ropes, Tensile test, Polypropylene, UV deterioration

부 록



I. 설문 조사 상세내용

1. 일반 사항

1. 귀하의 소속은 무엇입니까?

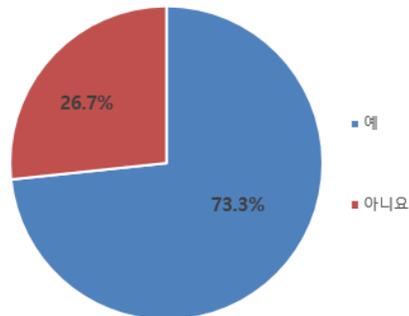
- ① 달비계 작업자 ② 관리자 (안전관리자 / 시공책임자)
- ③ 섬유로프 제조사 ④ 관리감독관 ⑤ 현장소장
- ⑥ 발주자 ⑦ 기 타 ()

2. 귀사에서 로프 관리 기준을 갖고 계신가요?

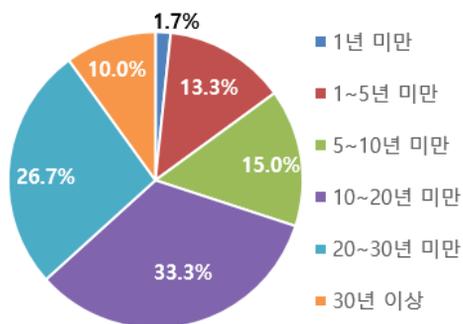
- ① 예 ② 아니요

구분	응답	비율
예	44	73.3%
아니요	16	26.7%
합계	60	

응답자의 73.3%가 로프 관련 관리 기준을 갖고 있다고 응답 하였으며, 26.7%는 관리 기준이 없다고 응답하였음.



10년 이상 30년 미만의 경력자가 전체의 60%를 차지하고 있으며, 30년 이상도 10%를 차지하고 있어, 대부분의 작업자들이 작업이 능숙한 숙련공으로 확인됨.

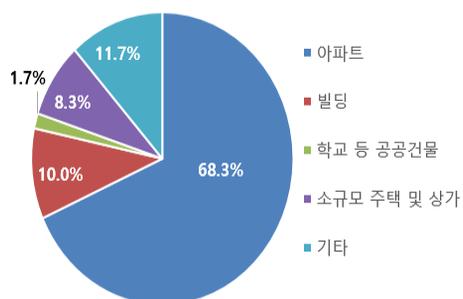


2. 귀하가 현재 참여하고 있는 공사의 종류는 무엇입니까?

- ① 아파트 ② 빌딩 ③ 학교 ④ 소규모 주택 및 상가 ⑤ 기타 ()

구분	응답	비율
아파트	41	68.3%
빌딩	6	10.0%
학교 등 공공건물	1	1.7%
소규모 주택 및 상가	5	8.3%
기타	7	11.7%
합계	60	

현재 참여중인 작업 현장 중 아파트가 68.3%로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 소규모 주택 및 상가는 8.3%로 예상보다 낮은 비율을 확인 할 수 있었음.

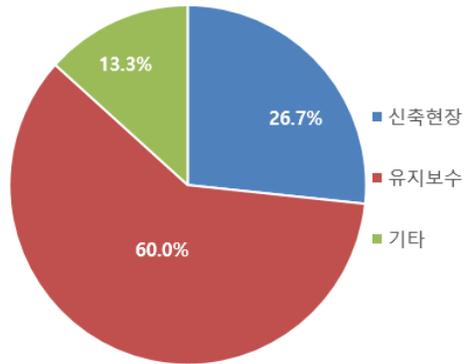


3. 귀하가 현재 참여하고 있는 현장의 분류는 무엇입니까?

- ① 신축현장 ② 증축현장 ③ 유지보수 ④ 기타 ()

구분	응답	비율
신축현장	16	26.7%
증축현장	0	0.0%
유지보수	36	60.0%
기타	8	13.3%
합계	60	

유지보수 현장이 60.0%이며, 신축현장이 26.7%로 대부분을 차지하며, 앞의 설문과 연결 지어보면, 아파트 유지보수 현장이 가장 많은 작업 장소인 것으로 유추할 수 있음.

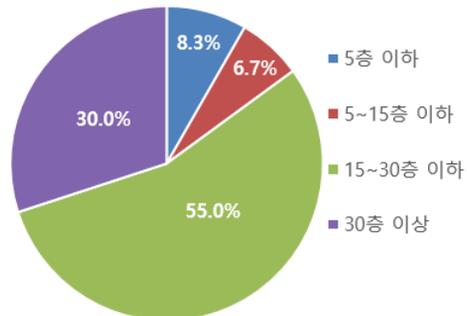


4. 귀하가 현재 참여하고 있는 또는 가장 많이 참여한 현장의 층수 몇 층입니까?

- ① 5층 이하 ② 5~15층 이하 ③ 15~30층 이하 ④ 30층 이상

구분	응답	비율
5층 이하	5	8.3%
5~15층 이하	4	6.7%
15~30층 이하	33	55.0%
30층 이상	18	30.0%
합계	60	

15층 이상 건물이 전체의 85.0%를 차지하고 있으며, 앞의 설문과 연결 지어 보면, 소규모 주택 및 상가 등은 달비계 작업 이외에 이동식 크레인 등 다른 방법으로 대체하는 것으로 유추할 수 있음.

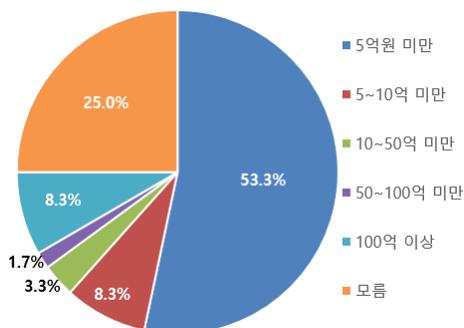


5. 귀하가 참여하고 있는 현장의 공사금액은 얼마입니까?

- ① 5억원 미만 ② 5~10억 미만 ③ 10~50억 미만
 ④ 50 ~ 100억 미만 ⑤ 100억 이상 ⑥ 모름

구분	응답	비율
5억원 미만	32	53.3%
5~10억 미만	5	8.3%
10~50억 미만	2	3.3%
50~100억 미만	1	1.7%
100억 이상	5	8.3%
모름	15	25.0%
합계	60	

5억원 미만 현장이 53.3%로 가장 많은 비율을 차지하였고, 100억 이상 현장과, 5~10억 미만의 현장이 각 8.3%를 차지하였음. 달비계 작업 현장은 유지보수 위주의 소규모 작업현장임을 알 수 있음.



6. 귀하의 주요 업무가 무엇입니까?

- ① 도장공 ② 견출공 ③ 청소요역 ④ 간판설치공
 ⑤ 광고설치공 ⑥ 코킹공 ⑦ 비계공 ⑧ 배관공
 ⑨ 유리공 ⑩ 판넬공 ⑪ 기타 ()

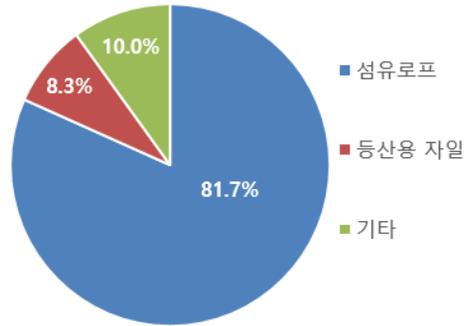
구분	응답	비율
도장공	21	35.0%
청소 용역	12	20.0%
간판 및 광고 설치	5	8.3%
코킹공	22	36.7%
합계	60	

10. 달비계 작업 시 어떤 종류의 로프를 사용하고 있습니까?

- ① 등산용 자일 ② 섬유로프 ③ 철심로프(IWRC) ④ 기 타 ()

구 분	응 답	비 율
섬유로프	49	81.7%
등산용 자일	5	8.3%
철심로프	0	0.0%
기타	6	10.0%
합계	60	

달비계 작업용 로프는 81.7%가 섬유로프를 사용하며, 8.3%만 등산용 자일로프를 사용하고 있음.



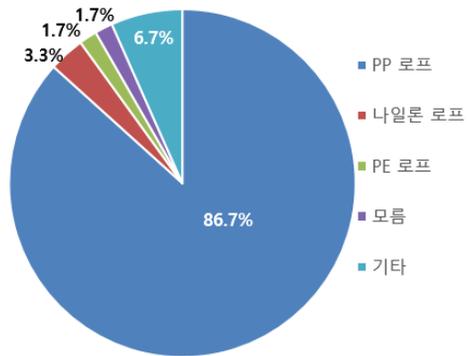
■ 섬유로프를 사용하시는 분만 답변 바랍니다.

11. 섬유로프를 사용하고 있다면, 재질은 무엇입니까?

- ① 천연섬유 ② PP ③ 나일론 ④ PE ⑤ 기 타 ()
⑥ 모 림

구 분	응 답	비 율
천연 섬유	0	0.0%
PP 로프	52	86.7%
나일론 로프	2	3.3%
PE 로프	1	1.7%
모름	1	1.7%
기타	4	6.7%
합계	60	

달비계 작업용 로프는 86.7%가 PP재질의 섬유로프를 사용하며, 나일론 재질이 3.3%, PE재질은 1.7%만 사용하고 있음.



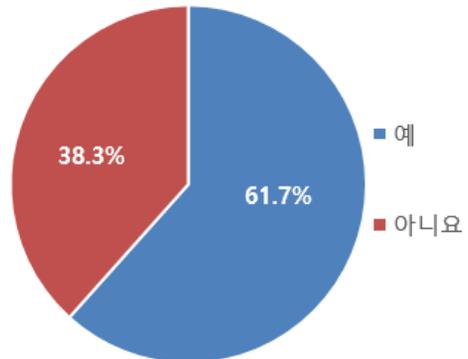
12. 재질에 따른 특성을 알고 계신가요?

① 예

② 아니요

구분	응답	비율
예	37	61.7%
아니요	23	38.3%
합계	60	

작업자 본인이 사용하는 달비계 작업용 로프의 재질의 특성을 61.7%가 인지하고 사용하고 있음.



13. PP로프가 자외선에 취약한 사실을 알고 계신가요?

① 예

② 아니요

구분	응답	비율
예	49	81.7%
아니요	11	18.3%
합계	60	

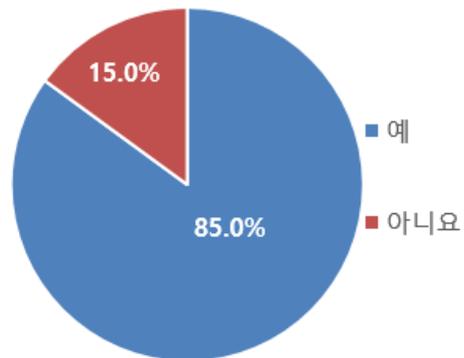
16. 달비계 작업 시 스윙(좌우 반복) 작업을 하시나요?

① 예

② 아니요

구분	응답	비율
예	51	85.0%
아니요	9	15.0%
합계	60	

작업자의 85.0%가 달비계 작업 시 스윙(좌우 반복) 작업을 하고 있음.



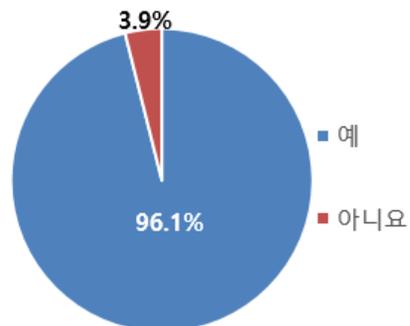
17. (항목 14에서 “예” 로 답한 경우) 스윙(좌우 반복) 작업 시 로프 파손의 원인이 될 수 있음을 알고 계시나요?

① 예

② 아니요

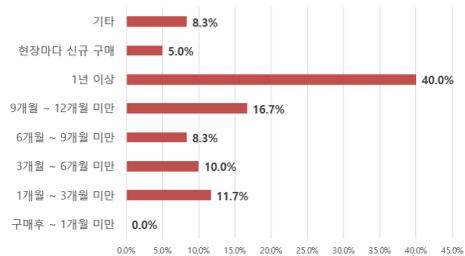
구분	응답	비율
예	49	96.1%
아니요	2	3.9%
합계	51	

작업자의 96.1%가 스윙(좌우 반복) 작업으로 인한 위험성을 인지하고 있음.



구분	응답	비율
구매후 ~ 1개월 미만	0	0.0%
1개월 ~ 3개월 미만	7	11.7%
3개월 ~ 6개월 미만	6	10.0%
6개월 ~ 9개월 미만	5	8.3%
9개월 ~ 12개월 미만	10	16.7%
1년 이상	24	40.0%
현장마다 신규 구매	3	5.0%
기타	5	8.3%
합계	60	

작업자의 40.0%가 로프 구매 후 1년 이상 사용하고 있으며, 9개월에서 1년 사이가 16.7%로 앞선 설문 내용과 유사하게 대부분의 작업자가 하절기를 지나 고도 폐기하지 않고 사용하는 것으로 유추할 수 있음.

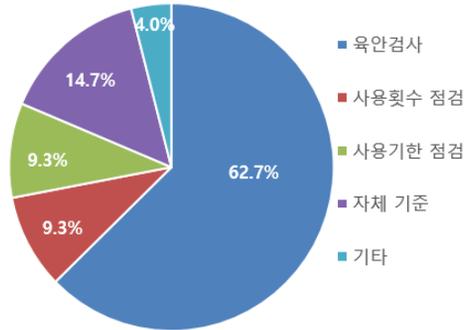


21. 달비계 작업 전 작업용 로프의 사전점검 방법은 무엇입니까? (복수 선택 가능)

- ① 육안검사 ② 사용횟수 ③ 사용기한 점검 ④ 기타 ()

구분	응답	비율
육안검사	47	62.7%
사용횟수 점검	7	9.3%
사용기한 점검	7	9.3%
자체 기준	11	14.7%
기타	3	4.0%
합계	75	

작업자의 62.7%가 작업 전 육안으로 로프를 검사하고 있으며, 자체 기준으로 검사한다는 응답도 14.7%를 차지하고 있음.



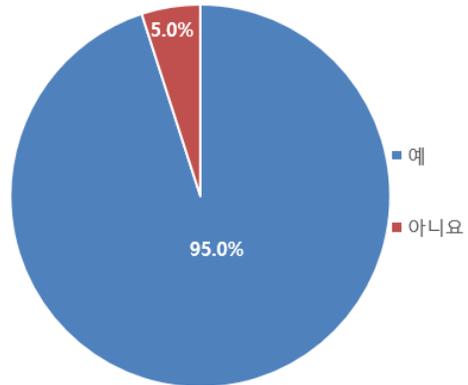
22. 달비계 작업 시 로프 보호대를 사용하십니까?

① 예

② 아니요

구분	응답	비율
예	57	95.0%
아니요	3	5.0%
합계	60	

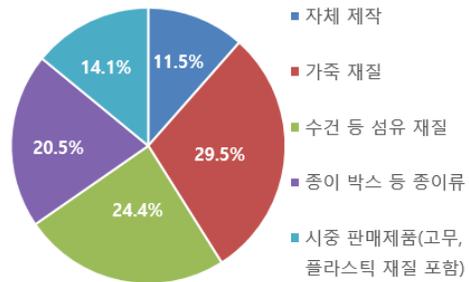
작업자의 95.0%가 작업 시 로프 보호대를 사용하고 있음.



23. (항목 20에서 “예” 로 답한 경우 복수 가능) 로프 보호대의 어떠한 종류의 로프보호대를 사용하십니까?

구분	응답	비율
자체 제작	9	11.5%
가죽 재질	23	29.5%
수건 등 섬유 재질	19	24.4%
종이 박스 등 종이류	16	20.5%
시중 판매제품 (고무, 플라스틱 재질 포함)	11	14.1%
합계	78	

로프 보호대 재질은 가죽이 29.5%로 가장 많이 쓰이며, 수건 등의 섬유재질이 24.4%, 종이류가 20.5% 순으로 많이 사용하고 있음.



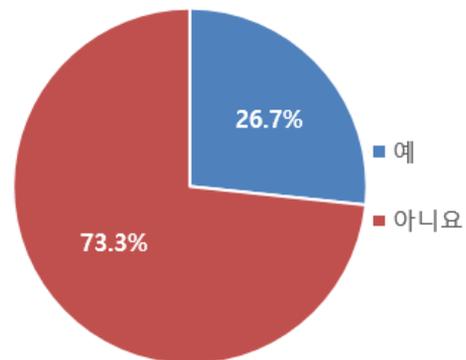
24. 작업대의 연결된 로프를 교체 하시나요?

① 예

② 아니요

구분	응답	비율
예	16	26.7%
아니요	44	73.3%
합계	60	

작업자의 26.7%만 작업대의 로프를 교체하여 사용하고 있음.

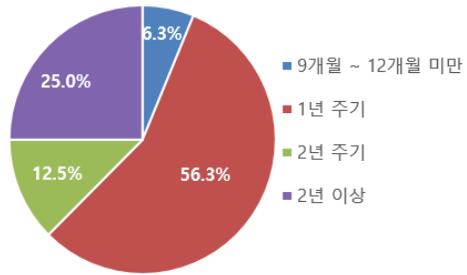


25. 작업대 로프를 교체를 하는 경우 교체 주기는 얼마입니까?

- ① 구매 후 ~ 6개월 미만 ② 6개월~9개월 미만 ③ 9개월~12개월 미만
 ④ 1년 주기 ⑤ 2년 주기 ⑥ 2년 이상

구분	응답	비율
구매후 ~ 6개월 미만	0	0.0%
6개월 ~ 9개월 미만	0	0.0%
9개월 ~ 12개월 미만	1	6.3%
1년 주기	9	56.3%
2년 주기	2	12.5%
2년 이상	4	25.0%
합계	16	

작업자의 93.8%가 작업대 로프를 1년 이상 사용하고 있음.



3. 섬유로프 제조업 관련자

1. 귀하의 경력은 어느 정도입니까?

- ① 1년 미만 ② 1 ~ 5년 미만 ③ 5 ~ 10년 미만 ④ 10 ~ 20년 미만
 ⑤ 20 ~ 30년 미만 ⑥ 30년 이상

2. 귀하가 현재 하고 있는 업무는 무엇입니까?

- ① 생산관리 ② 품질관리 ③ 연구개발 ④ 기 타()

11. (항목 10에서 “예” 로 답한 경우) UV 차단제를 첨가 하는 양은?

12. (항목 10에서 “아니오” 로 답한 경우) UV 차단제를 첨가 하지 않는 이유는 무엇인가요?

① 수요가 없어서 ② 공정 문제 ③ 원가 상승 ④ 기 타()

13. 귀사에서는 일정 수준의 수요 발생 시 UV 차단제를 첨가하여 생산이 가능한가요?

① 예 ② 아니요

연구진

연구기관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 강성윤 (과장, 산업안전연구실)

연구기간

2022. 01. 07. ~ 2022. 11. 30.

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

달비계 작업용 합성섬유로프의 사용 안전성 개선 연구
(2022-산업안전보건연구원-870)

발행일 : 2022년 11월 30일

발행인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 산업안전연구실 과장 강성윤

발행처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전화 : 052-703-0852

팩스 : 052-703-0334

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-92782-66-9