



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

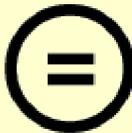
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

달비계용 합성섬유로프의 외기 노출에
따른 인장강도 변화 분석과 섬유로프
관리 방안 마련 연구

Analysis of Tensile Strength Changes by Outdoor
Exposure of Scaffolding PP Fiber Rope and The
Preparation of Fiber Rope Management Plan

울산대학교 대학원
산업경영공학과
강 성 윤

달비계용 합성섬유로프의 위기 노출에
따른 인장강도 변화 분석과 섬유로프
관리 방안 마련 연구

지도교수 정 기 효

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함

2023년 10월

울산대학교 대학원
산업경영공학과
강 성 윤

강성윤의 공학박사 학위논문을 인준함

심사위원	박창권	
심사위원	장길상	
심사위원	이수동	
심사위원	정성춘	
심사위원	정기효	

울 산 대 학 교 대 학 원

2024년 02월

국 문 요 약

건물의 외벽도장 및 청소작업에 주로 사용되는 달비계는 작업 특성 상 추락사고의 위험을 내포하고 있다. 최근 10년간(2013년~2022년) 달비계 관련 154건의 재해 분석 결과 연평균 15명의 사고 재해자가 발생하고 있으며, 주요 원인으로는 작업로프 폴림(33.1%), 불안정한 행동(23.4%), 작업로프 끊어짐(23.4%), 로프 고정점의 결손(13%) 순으로 발생하였고, 대부분(77.5%)의 사망사고는 수직구명줄을 설치하지 않아 발생한 것으로 판단된다[24].

사고사망의 주요원인 중 작업로프의 끊어짐에 의한 재해는 대부분이 노후 및 마찰에 의한 원인으로 다른 주요 원인에 비해 사고 예방 대책을 명확하게 제시할 수 있다. 특히 외기 작업이 대부분인 달비계 작업의 경우 가장 많이 사용하는 폴리프로필렌 로프는 자외선에 취약하여 강도가 약해지는 특성을 갖고 있어 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 금지’ 하고 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.

이 연구에서는 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 분석하였다. 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 PP섬유로프 4개 제조사 제품을 직경(20mm, 16mm)에 따른 신품을 구매하여, 신품과 외기노출 30일 / 90일 처리한 제품에 대해 인장강도 시험을 실시하여 강도에 대한 분포를 확인하고, 자외선에 의한 로프의 노후정도를 확인 하였다. 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 외기노출 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. 외기 노출 90일 제품의 경우 신폼 로프 대비 16mm 로프의 경우 최대 51.7%, 20mm 로프의 경우 최대 39.8% 인장강도가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 자외선 영향에 의한 PP로프의 강도 저하가 일어남을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 수행한 실태조사와 실물 실험을 통해 수집된 데이터 분석 결과를 기초로, 달비계 작업용 합성섬유로프(PP로프)가 자외선 노출에 따른 특성을 도출하고, 해당 결과를 반영하여 현장에서 근로자들의 안전한 작업을 수행할 수 있는 달비계 작업용 섬유로프 관리방안을 제시하고 이에 대한 적정성 검토 등을 수행하였다.

※ Keywords : 합성섬유로프, 폴리프로필렌, PP로프, 달비계, 자외선 노출, 열화, 인장 시험

- 목 차 -

국문요약	i
그림 목차	vi
표 목차	viii

제1장 서 론

1.1 연구배경	1
1.2 연구내용 및 방법	
1.2.1 주요 선행연구 검토	2
1.2.2 연구방향 설정	3
1.3 섬유로프 관련 국내·외 자료	
1.3.1 국외 관련 기준	4
1.3.2 국내 관련 기준	5

제2장 산업재해 분석 및 실태 조사

2.1 달비계 사고재해 분석	
2.1.1 재해 분석을 통한 분류	14
2.1.2 작업용 섬유로프 파단 관련 재해 현황 및 분석	15
2.2 합성섬유로프 관련 현황 분석 및 인터뷰	
2.2.1 섬유로프 제조업체	18
2.2.2 달비계 작업현장	20
2.2.3 전문가 자문회의	20
2.2.4 설문 조사	21

2.3 산업재해 분석 및 실태 조사에 대한 고찰	25
----------------------------------	----

제3장 외기 노출에 따른 합성섬유로프 인장강도 변화 분석

3.1 합성섬유로프 실물 시험 개요	
3.1.1 시험 기준 및 조건	26
3.1.2 시험 수량 및 계획	27
3.1.3 국내 자외선 지수	28
3.2 실물 시험을 통한 인장강도 변화 분석	
3.2.1 신품 인장시험 결과 및 분석	29
3.2.2 노광 30일 제품 인장시험 결과 및 분석	32
3.2.3 노광 90일 제품 인장시험 결과 및 분석	38
3.2.4 실사용 제품 인장시험 결과 및 분석	46
3.2.5 로프의 상태 변화	47
3.3 시험 결과에 대한 고찰	57

제4장 달비계 작업용 합성섬유로프 관리방안 및 지침 개정(안) 제시

4.1 관리 방안의 필요성	58
4.2 관리 방안 제시	58
4.3 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안) 제시	59
4.4 관리방안 및 지침 개정(안) 타당성 분석	
4.4.1 설문조사 개요	63
4.4.2 설문조사 모형 및 결과 분석	63
4.5 관리방안 및 지침 개정(안)에 대한 고찰	68

제5장 결론 및 향후 연구방향 제시

5.1 결론	69
5.2 향후 연구방향	69

참고문헌	71
------------	----

부 록

[부록 1] 설문지	75
[부록 2] 재해사례 분석	91
[부록 3] 안전작업 지침 개정(안) 타당성 검토서	117
[부록 4] 안전작업 지침 개정(안)	123

Abstract	141
----------------	-----

그림 목차

[그림 1] 달비계 작업 사고사망 현황	1
[그림 2] 달비계 작업 사고사망재해의 주요원인	1
[그림 3] 로프의 코일 형태(원형) 보관	6
[그림 4] 로프의 8자 형태(원형) 보관	7
[그림 5] 로프의 킥킹	8
[그림 6] 로프의 킥크 당기기	8
[그림 7] 로프의 호클 형성	9
[그림 8] 로프의 완전 호클	9
[그림 9] 연도별 달비계 작업 사고사망자 현황	13
[그림 10] 추락방지설비 사용에 따른 사고사망자 현황	14
[그림 11] 추락방지설비 사용에 따른 사고사망자 현황(작업로프 끊어짐 재해) ..	16
[그림 12] 블라드 장착 시험 장치에 대한 유효길이 L	27
[그림 13] 부산 자외선 지수 현황(기상청)	28
[그림 14] 섬유로프 신문에 대한 인장시험	29
[그림 15] A社 섬유로프 신문에 대한 인장시험 결과	30
[그림 16] B社 섬유로프 신문에 대한 인장시험 결과	30
[그림 17] C社 섬유로프 신문에 대한 인장시험 결과	31
[그림 18] D社 섬유로프 신문에 대한 인장시험 결과	31
[그림 19] 신품/노광 30일 섬유로프에 대한 인장시험 결과(평균값 기준)	33
[그림 20] 섬유로프 노광을 위한 외기노출	36
[그림 21] 섬유로프 노광 30일 제품에 대한 인장시험	36
[그림 22] 인장시험 후 로프 변화	36

[그림 23] 인장시험 후 로프 직경 변화	37
[그림 24] 인장시험 후 제조사 별 로프의 직경 변화(평균 값 기준)	37
[그림 25] 노광90일 제품의 시험 평균값과 표기 값 비교	38
[그림 26-1] 제조사 별 인장 시험 결과 변화(평균값)	39
[그림 26-2] 제조사 별 인장 시험 결과 변화(평균값)	40
[그림 27] 섬유로프 노광을 위한 외기노출	44
[그림 28] 섬유로프 노광 90일 제품에 대한 인장시험	44
[그림 29] 인장시험 후 로프 변화	45
[그림 30] 인장시험 후 로프 직경 변화	45
[그림 31] 신품 로프의 표면(저배율)	47
[그림 32] 외기노출 30일 로프의 표면(저배율)	48
[그림 33] 외기노출 90일 로프의 표면(저배율)	49
[그림 34] 실사용 90일 로프의 표면(저배율)	50
[그림 35] 사용 중 파단 된 로프의 표면(저배율)	51
[그림 36] 신품 로프 가닥의 표면	52
[그림 37] 외기노출 30일 로프 가닥의 표면	53
[그림 38] 외기노출 90일 로프 가닥의 표면	54
[그림 39] 실사용 90일 로프 가닥의 표면	55
[그림 40] 사용 중 파단 된 로프 가닥의 표면	56
[그림 41] 현장에서 적용 할 수 있는 섬유로프 판단 기준 제시(안)	59

표 목차

[표 1] 재질에 따른 섬유로프의 종류	6
[표 2] 로프 폐기나 재 연결 기준	11
[표 3] 시험편 유효 길이	12
[표 4] 달비계 사고사망자 연도별 재해자 및 건설업 떨어짐 재해자 수(명)	13
[표 5] 달비계 사고사망자 현황(수직구명줄, 안전대 관련)	14
[표 6] 달비계 사고사망자 발생 주요 원인	15
[표 7] 작업로프 끊어짐에 따른 재해자 현황(수직구명줄, 안전대 관련)	16
[표 8] 사용 로프 재질	16
[표 9] 달비계 사고사망재해자 사용 로프 현황	17
[표 10] 달비계 사고사망재해자 파단 로프 현황	17
[표 11] 로프 보호대 사용여부	17
[표 12] 로프 파단 원인	17
[표 13] 달비계 사고사망재해자 경력 및 나이 현황	18
[표 14] 제조업체 시험항목 및 기준	19
[표 15] 현재 작업 현장 분류	21
[표 16] 로프 기준 보유 여부	22
[표 17] 로프의 종류 및 재질	22
[표 18] 스윙 작업 유무 및 이유	23
[표 19] 로프 보호대 사용 여부 및 로프 보호대 재질	23
[표 20] 로프 사전점검 방법	23
[표 21] 작업용 로프 구매 후 사용 기간	24
[표 22] 작업대 지지로프 교체 주기	24

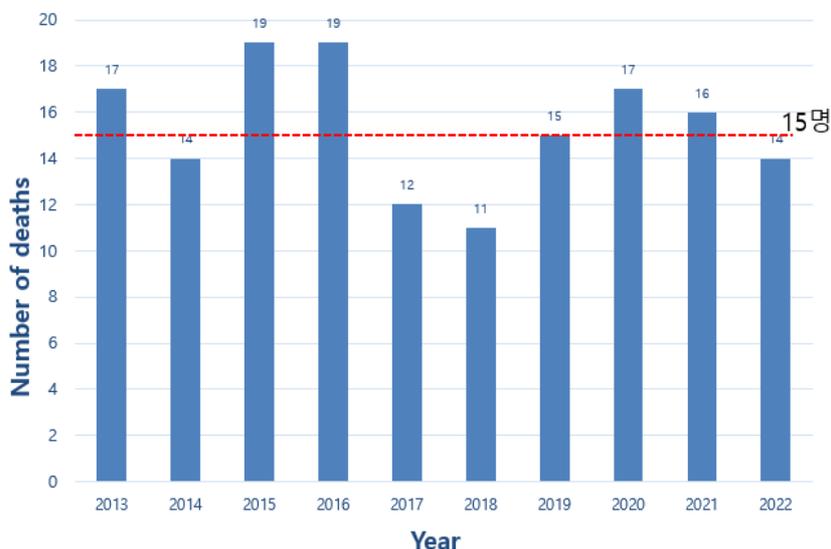
[표 23] PP로프 자외선 관련 질의	24
[표 24] 시험편 유효 길이	26
[표 25] 섬유로프 실물시험 계획	27
[표 26] 월별 자외선 지수(울릉동/독도 기점_기상청)	28
[표 27] 제조사 별 신품 인장시험 결과	29
[표 28] 제조사 별 노광 30일 제품 인장시험 결과	32
[표 29] 제조사 별 신품/노광 30일 제품 인장시험 결과 비교	33
[표 30] 제조사 별 신품/노광 30일 제품 중량 변화 비교	34
[표 31] 제조사 별 신품/노광 30일 제품 인장시험 전후 직경 비교	35
[표 32] 제조사 별 노광 90일 제품 인장시험 결과	38
[표 33-1] 제조사 별 신품/노광 90일 제품 인장시험 결과 비교	39
[표 33-2] 제조사 별 신품/노광 90일 제품 인장시험 결과 비교(계속)	40
[표 33-3] 제조사 별 신품/노광 90일 제품 인장시험 결과 비교(계속)	41
[표 34] 제조사 별 신품/노광 90일 제품 중량 변화 비교	42
[표 35] 제조사 별 신품/노광 90일 제품 인장시험 전후 직경 비교	43
[표 36] 실사용 90일 제품 인장시험 결과	46
[표 37-1] 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안)	59
[표 37-2] 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안) (계속)	60
[표 37-3] 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안) (계속)	61
[표 37-4] 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안) (계속)	62
[표 38] 달비계 작업용 로프 관리 방안	64
[표 39] 달비계 작업용 로프 최소 인장강도 기준	64
[표 40] 달비계 작업용 로프 검사 기준	65
[표 41] 달비계 작업용 로프 폐기 기준	65

[표 42] 달비계 작업용 로프 사용 기준	66
[표 43] 달비계 작업대 고정로프 기준	66
[표 44] 달비계 작업 전 로프 점검 기준	67
[표 45] 달비계 작업 전 작업대 점검 기준	67
[표 46] 달비계 작업 로프 결속 점검 기준	68

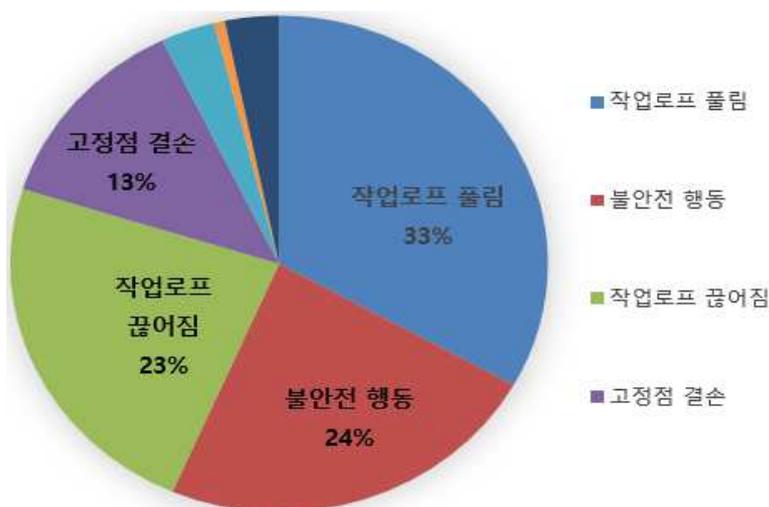
제1장 서론

1.1 연구 배경

고층건물의 외벽도장 및 청소작업에 주로 사용되는 달비계는 고정부분에 밧줄을 매달고 내려오는 작업 특성상 추락사고의 위험요소를 내포하고 있다. 최근 10년간(2013년~2022년) 달비계 관련 154건의 재해 분석 결과 연평균 15명의 사고 재해자가 발생하고 있으며, 주요 원인으로서는 작업로프 풀림(33.1%), 불안정한 행동(23.4%), 작업로프 끊어짐(23.4%), 로프 고정점의 결손(13.0%) 순으로 발생하고 있으며, 대부분(77.5%)의 사망사고는 수직구명줄을 설치하지 않아 발생하는 것으로 판단된다[24].



[그림 1] 달비계 작업 사고사망 현황



[그림 2] 달비계 작업 사고사망재해 주요원인

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.

1.2 연구내용 및 방법

1.2.1 주요 선행연구 검토

‘Studies on the Photo-Oxidation of PP and PP/mLLDPE Blend Systems: Thermal, Physicochemical, and Mechanical Behavior(A.P. Gupta_2007년)’에서 폴리프로필렌의 화학 구조로 인해 태양과 같은 자외선에 노출되면 분해율이 높아 빛으로 인해 폴리머를 함께 고정하는 결합이 끊어져 플라스틱이 약해지며, 이로 인해 폴리프로필렌은 햇빛에 장기간 노출되어야 하는 용도에 적합하지 않다고 기술하였다. 폴리프로필렌 섬유는 고강도 자외선에 약 70일 노출만으로 인장강도가 6% 감소함을 확인 할 수 있으며, 폴리에스터 섬유는 12개월 동안 햇빛에 노출되는 하였을 경우 인장강도의 67% 이상을 유지할 수 있어 UV 저항성과 관련하여 폴리프로필렌과 폴리에스터에 대해 매우 다른 결과를 보여주고 있다.

‘달비계 안전작업에 관한 연구(이기태_2006년)’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.

‘와이어로프 슬링의 압착변형 및 아이스플라이스 편입법에 따른 강도특성 연구(박재석 등_2007년)’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.

‘섬유벨트의 꼬임 파단과 강도에 관한 연구(신운철 등_2015년)’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.

‘건축공사 달비계 사용 실태조사를 통한 사고저감 방안 연구(임형철 등_2019년)’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.

‘고소 작업용 섬유로프의 고정 매듭법에 따른 강도 변화의 해석 및 실험적 연구(송상민 등_2022년)’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.

1.2.2 연구방향 설정

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, 외기 작업이 대부분인 달비계 작업에서 사용되는 섬유로프의 자외선 영향에 의한 강도의 변화와 이러한 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 사용하고 있으며, 자외선에 취약하여 점검 및 교체주기 등의 관리기준이 명확해야 한다. 하지만 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 자외선 노출 정도에 따른 인장 강도에 대한 시험과 사용실태 분석 등을 통해 근로자 안전에 미치는 영향은 파악하고 보다 구체적이고 현장에서 쉽게 활용 가능한 안전성 확보 방안을 마련할 하고자 한다.

1.3.섬유로프 관련 국내·외 자료

1.3.1 국외 관련 기준

섬유로프 관련 검사 폐기 국제기준으로 CI 2001-04(Cordage Institute International Guide, Fiber Rope Inspection and Retirement Criteria)가 있으며, 섬유로프의 안전한 사용을 위한 용어설명 및 평가 가이드가 제시되고 있으나, 로프 손상에 대한 기준(CI 2001-04 부록C, 섬유로프 폐기 기준에 대해서 부록에 삽입)이 현장 작업자가 판별하기에는 추상적이고 명확하지 않아 관련 기준에서도 전문가가 판단하도록 하고 있다[39].

또한, CI 1401-19(섬유로프 안전한 사용을 위한 권장 사항)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[38].

OSHA(Occupational Safety and Health Administration) 29 CFR Part 1926에 따르면 ‘수직구멍줄의 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 충격을 받거나 손상이 있는 제품은 사용하지 못하도록 하고 있다. 또한, 검사 및 재사용 여부는 전문가 및 제조사를 통하여 결정하도록 하고 있다 [44].

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

영국은 BS EN 1891:1998(Personal protective equipment for the prevention of falls from a height - Low stretch kernmantel ropes)에서 산업현장에서의 추락방지를 위한 로프와 관련한 표준기준을 두고 있으며, 이와 연계하여 BS EN 892:1997(Mountaineering equipment-Dynamic mountaineering ropes - Safety requirements and test methods)에 등산로프 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[33-34].

- 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 명령(California code of regulation title 8 section 3286 : Manual Boatswains Chairs and Controlled Descent Apparatus(CDA))을 규정하고 있으며, 규정 내 로프와 관련된 내용은 다음과 같다[36].

- 작업용 로프와 수직구멍줄은 각 독립된 고정장치에 연결되어야 한다.
- 작업자의 추락방지시스템은 승인된 제품이어야 하며, 독립된 고정장치에 연결된 수직구멍줄에 부착되어야 한다.
- 달비계 작업에 쓰이는 모든 로프는 5,000파운드의 최소 강도를 갖는 합성섬유 로프 이어야 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 미치는 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 한다(california code of regulation title 8 section 1662 : Boatswains Chairs)[35].

1.3.2 국내 관련 기준

1) KS 기준(KS K ISO 9554:2010 섬유로프-일반 명세)

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 1] 재질에 따른 섬유로프의 종류

구분	종류
천연섬유	사이잘, 마닐라, 대마
인조섬유	폴리아마이드, 폴리에스터, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 혼합 폴리올레핀, 폴리에스터, 고탄성률 폴리에틸렌

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

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 0.5m 이어야 한다. 호칭 굵기가 14 이상인 3, 4, 8 및 12스트랜드 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

① 코일 형태(원형)로 보관

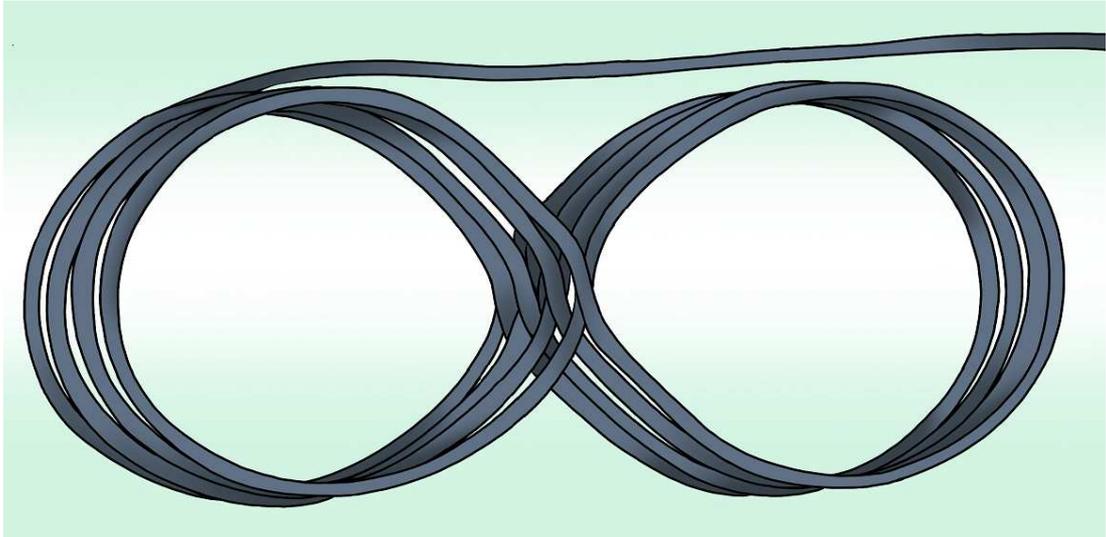
좌연 로프(right-hand-laid rope)는 항상 시계방향으로 감는 것이 바람직하고 우연 로프(left-hand-laid rope)는 항상 시계 반대방향으로 감는 것이 바람직하다. 각 층 바로 위에 또 다른 층을 놓는 형태가 아니라, 약간의 간격을 두고 각 층을 이동시키거나 선 형태로 로프를 놓는 것이 바람직하다.



[그림 3] 로프의 코일 형태(원형) 보관

② 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.



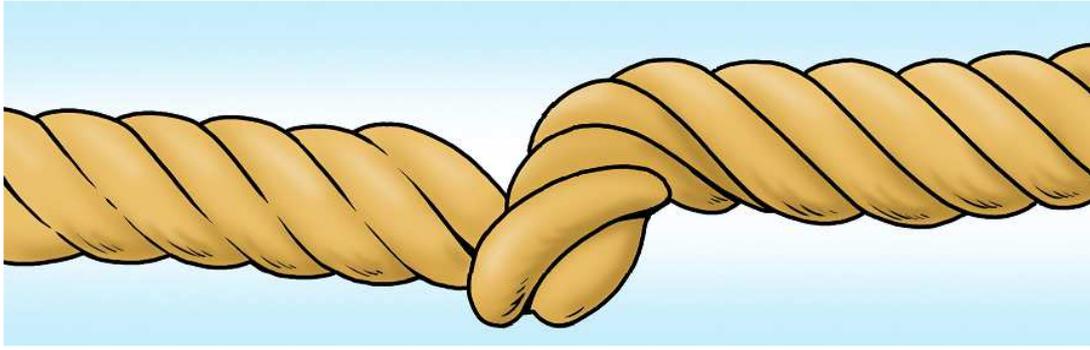
[그림 4] 로프의 8자 형태(원형) 보관

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.

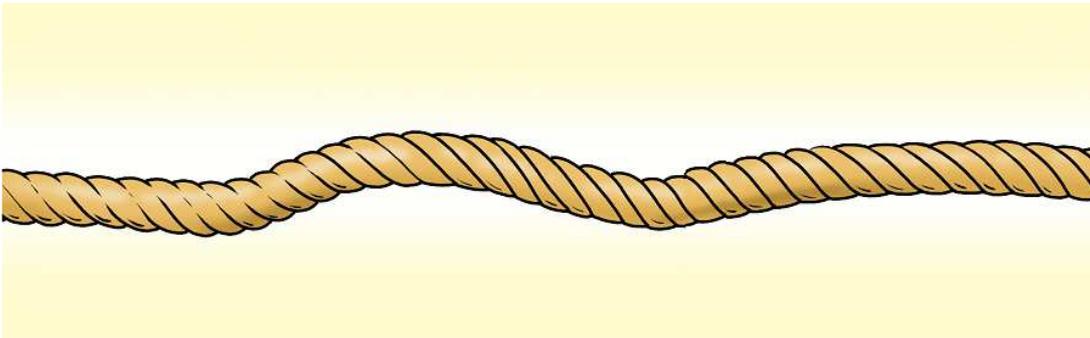
과도한 꼬임은 로프에 킹킹(kinking)을 야기 시킬 수 있지만 호클링(hockling)은 기본꼬임(레이드) 로프에서만 발생한다. 브레이드와 플레이트 로프는 서로 맞물리는 스트랜드 구조로 풀리는 것을 막기 때문에 호클링이 발생할 수 없다. 토크가 걸리지 않게 평형을 유지하면서 스트랜드들이 양방향으로 이어져서 꼬임이나 회전하려는 경향이 없어진다.

로프 내에 과도한 꼬임(킹킹)은 가능한 한 빨리 완화 상태로 로프를 ‘역회전’ 함으로써 제거되는 것이 바람직하다. 호클링이 한번 형성되면 호클이 풀어져도 로프의 절단강도가 저하된다. 이 손상은 비가역적이어서 30% 정도로 높은 강도 손실을 야기할 수 있다.



[그림 5] 로프의 킥킹

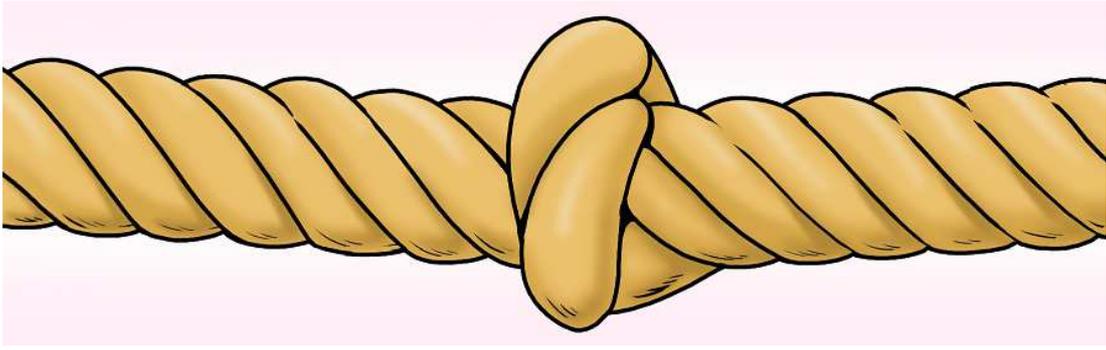
킥크가 로프 내에 형성되도록 하면 안 된다. 만약 킥크가 형성된다면, 로프 내에 꼬임이 더 가해졌거나 덜 가해졌다는 표시이므로 로프의 한쪽 끝단에서부터 킥크를 없애야 할 것이다. 킥크는 특히 레이트 로프의 경우 심각하며 이는 주의를 기울이지 않는다면 심각한 손상을 일으킬 수 있다. 킥킹을 제거하기 위해 힘을 가해 로프를 당기면 스트랜드에 뒤틀림을 초래할 수 있다.



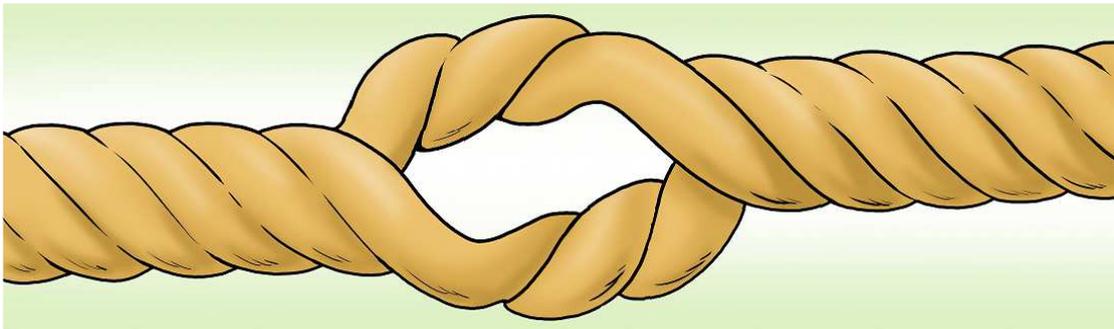
[그림 6] 로프의 킥크 당기기

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

로프에서 킥크를 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.



[그림 7] 로프의 호클 형성



[그림 8] 로프의 완전 호클

라) 섬유 로프 검사 및 폐기기준

① 코디지(cordage) 검사

- 외부 마모

로프는 거친 표면 위에서 끌게 되면 결과적으로 로프 표면에 피(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 침투 할 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 정밀 검사로 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. 융해나 탄화면적의 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 제거될 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, 변·퇴색, 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 2] 로프 폐기나 재 연결 기준

로프의 유형 및 상태	재 연결 (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 절단되거나 마모	×	×
· 1레이 길이 내에 직경의 5%까지 스트랜드 절단	×	×
· 인접 스트랜드 접촉 표면들 사이에 섬유 분진 발생	×	×
· 호클이나 백턴(backturan)	×	×
· 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 길이는 인장시험편이 시험기에 장착될 때, 끝맺음 사이에 최소한 아래의 표에 주어진 유효길이, L(최소 유효 길이)를 제공하기에 적당한 길이가 되어야 한다.

[표 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
	블라드	1,000
	웨이그립	-
인조섬유 로프 호칭 굵기 ≥ 20	블라드	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)* 진행 후 시험 장치의 가동 부분을 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. 언스플라이스 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

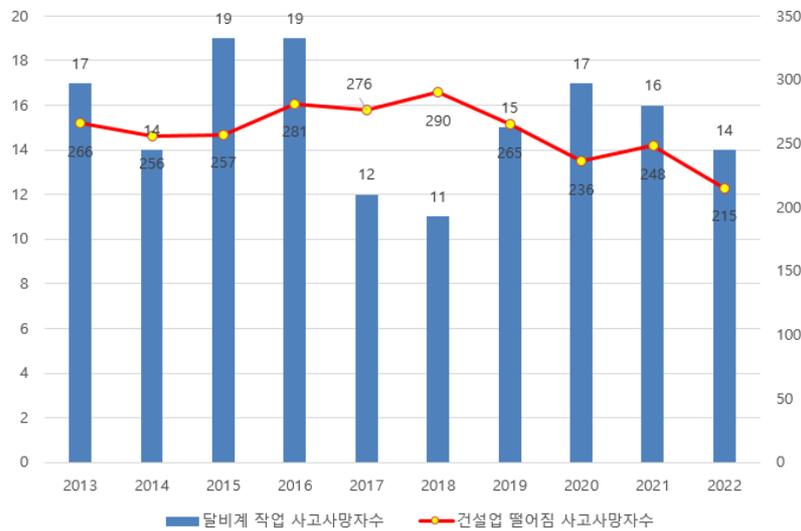
만약 스플라이스 최소 절단 강도가 명시된 경우에는, 절단 강도가 관련 표준에 나와 있는 아이 스플라이스 맺음을 한 로프에 대한 값 이상일 경우에는 그 시험편은 요구 조건을 충족한 것으로 간주되어야 한다.

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

2. 산업재해 분석 및 실태 조사

2.1 달비계 사고재해 분석

달비계 사고재해를 예방하기 위해 많은 노력에도 불구하고 지속적으로 사고사망자가 발생하고 있다. 최근 10년(2013년~2022년)간 달비계 사고사망자는 154건이 발생하여 연평균 15명의 사고사망자가 발생하고 있으며, 매년 증감의 반복은 있으나 지속적으로 사고사망재해가 발생하고 있다. 주요원인별로는 작업로프 풀림(51명), 작업로프 끊어짐(36명), 고정점 결손(20명) 순으로 많이 발생하고 있다. 다만, 주요원인 중 불안정한 행동(36명)의 경우 달비계 탑승 전후 작업자의 부주의 등으로 몸의 중심을 잃고 떨어지거나, 작업준비 중 불특정한 행동 또는 부주의로 인해 발생한 사고재해로서 원인이 명확하지 않은 사고재해이다.



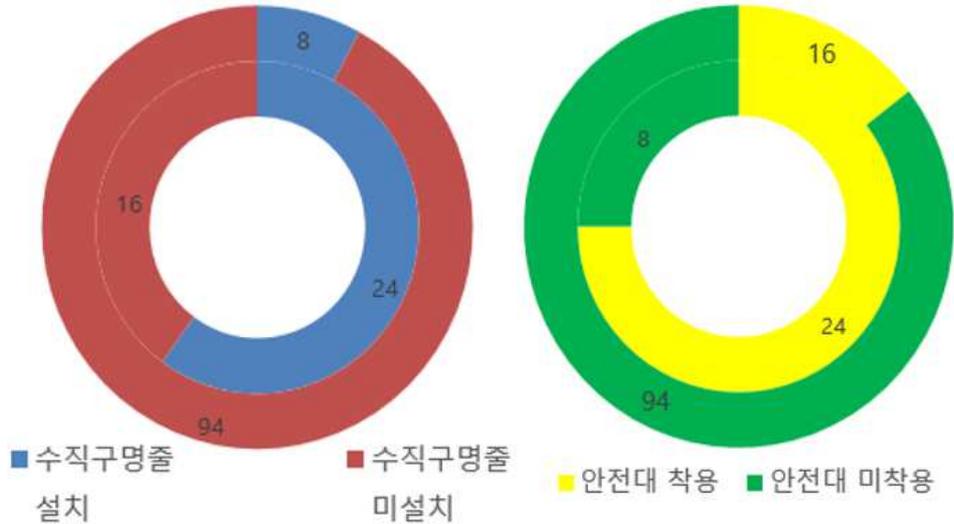
[그림 9] 연도별 달비계 작업 사고사망자 현황

[표 4] 달비계 사고사망자 연도별 재해자 및 건설업 떨어짐 재해자 수(명)

연도	재해자수(명)		연도	재해자수(명)	
	달비계	건설업 떨어짐		달비계	건설업 떨어짐
2013	17	266	2018	11	290
2014	14	256	2019	15	265
2015	19	257	2020	17	236
2016	19	281	2021	16	248
2017	12	276	2022	14	215
합계(달비계 / 건설업 떨어짐)			153 / 2,590		

달비계 사고재해 대부분은 수직구멍줄을 설치하고, 안전대를 착용하여 추락방지대를 체결함으로써 미리 방지할 수 있다. 하지만, 현장 인터뷰 및 설문조사 등을 통해 확

인해본 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.



[그림 10] 추락방지설비 사용에 따른 사고사망자 현황

[표 5] 달비계 사고사망자 현황(수직구명줄, 안전대 관련)

구분		재해자수(명)	비율
수직구명줄	안전대		
설치	착용(추락방지대 체결)	5	3.5%
	착용(추락방지대 미체결)	19	13.4%
	미체결	8	5.6%
미설치	착용	16	11.3%
	미착용	94	66.2%
합계		142*	

중대재해조사 보고서 분석 결과 수직구명줄을 설치하고 안전대를 착용하였더라도 사고사망재해가 발생한 경우는 화재로 인하여 로프가 끊어지거나, 로프의 장기간 사용에 의한 노후화된 상태에서 모서리 마찰에 의한 로프의 끊어짐에 의한 사고였다.

2.1.1 재해 분석을 통한 분류

최근 10년(2013년~2022년)간 달비계 사고사망자 154건을 분석한 결과를 보면 로프를 고정하는 고정점에서 작업로프가 풀려서 사고가 발생하여 사망한 작업자가 33.1%(51명)로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 작업 중 모서리와 로프의 마찰 또는 로프의 노후 등으로 인해 작업로프의 끊어짐에 따른 사고사망자가 23.4%(36명)으로 많이 발생하고 있다. 전제 주요 사고 원인 중 로프와 관련된 재해가 59.7%로

* 중대재해보고서 內 관련 내용이 기재되지 않아 확인이 불가능한 사례 제외

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.

[표 6] 달비계 사고사망자 발생 주요 원인

구분	재해자수(명)	비율
작업로프 풀림	51	33.1%
불안전한 행동	36	23.4%
작업로프 끊어짐	36	23.4%
고정점 결손	20	13.0%
작업로프 길이 부족	5	3.2%
구조물에 맞음	1	0.6%
확인 불가	5	3.2%
합계	153	-

2.1.2 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 외기에서 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.

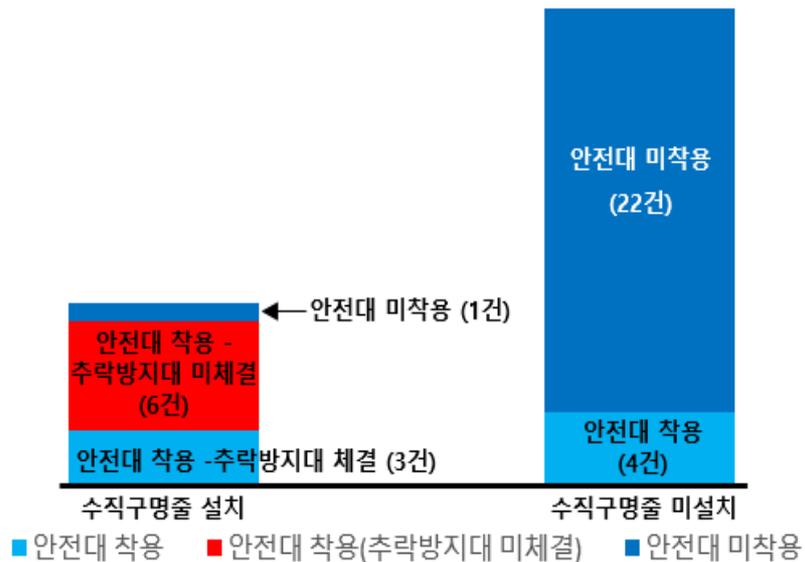
1) 수직구명줄과 안전대

앞에서 중대재해분석 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 7] 작업로프 끊어짐에 따른 재해자 현황(수직구명줄, 안전대 관련)

구분		재해자수(명)	비율
수직구명줄	안전대		
설치	착용(추락방지대 체결)	3	8.3%
	착용(추락방지대 미체결)	6	16.7%
	미체결	1	2.8%
미설치	착용	4	11.1%
	미착용	22	61.1%
합계		36	



[그림 11] 추락방지설비 사용에 따른 사고사망자 현황(작업로프 끊어짐 재해)

2) 작업용 로프 상세

달비계 작업에 의한 사고사망 원인 중 작업용 로프 파단에 따른 재해조사 의견서 분석 결과 대부분이 폴리프로필렌(PP) 재질의 로프를 사용하였으며, 확인불가 1건의 경우 재해조사 보고서에 로프 재질 관련 내용은 없으나, 사진 상 이미지로는 폴리프로필렌(PP)로프로 추정된다. 현재 달비계 현장에서는 마닐라 로프는 거의 사용하지 않는 추세이다.

[표 8] 사용 로프 재질

구분	수량
PP	35
마닐라	-
확인불가	1



[표 9] 달비계 사고사망재해자 사용 로프 현황

(단위 : mm)

구 분	10	11	12	14	16	18	20	확인불가	미사용
주로프		1			3	16	9	7	
수직구명줄	1		2	2	5			2	24

[표 10] 달비계 사고사망재해자 파단 로프 현황

(단위 : mm)

구 분	8	11	12	14	16	18	20	확인불가	합계
주로프		1			3	11	7	2	24
수직구명줄					1				1
작업대 지지로프	1	2	4					1	8
주로프 / 수직구명줄				1	2	2	1		3

달비계 작업에 의한 사고재해자 들이 사용한 작업용 로프 현황을 보면 주로프의 경우 18mm, 20mm 직경의 로프가 가장 많았으며, 파단된 로프도 주로프의 경우 18mm, 20mm 순으로 가장 많았다. 재해조사보고서 분석 결과 특이사항으로 작업대 지지로프 파단으로 인한 사고사망이 많음을 확인 할 수 있었다. 현장 실태조사를 통해 달비계 작업자들이 작업대 지지로프 관리 현황과 교체 주기 등을 확인해 볼 필요성이 있다.

[표 11] 로프 보호대 사용여부

(단위 : 건)

구 분	수량
사용	7
미사용	25
확인불가	4



[표 12] 로프 파단 원인

(단위 : 건)

구 분	수량
노후	22
마모	11
화재	2
확인불가	1



[표 13] 달비계 사고사망재해자 경력 및 나이 현황

(단위 : 명)

구분	30대	40대	50대	60대	합계	비중
10년 이하	1	.	.	.	1	2.6%
10년 이상	2	3	3	.	8	20.5%
15년 이상	.	1	1	.	2	5.1%
20년 이상	.	1	4	3	8	20.5%
25년 이상	.	1	.	.	1	2.6%
30년 이상	.	.	5	3	8	20.5%
35년 이상	.	.	.	1	1	2.6%
확인불가	2	3	2	3	10	25.6%
합계	5	9	15	10	39	100.0%
비중	12.8%	23.1%	38.5%	25.6%	100.0%	

달비계 작업 사고사망재해자 경력과 나이를 분석해본 결과, 경력이 20년 이상이 46.2%이며, 50대 이상이 64.1%로 경력과 나이가 많을수록 비중이 많은 것을 확인할 수 있다. 이는 오랜 기간 동안 작업하면서 안전에 대한 불감증이 이러한 사고의 원인 중 하나라고 판단된다.

2.2 합성섬유로프 관련 현황 분석 및 인터뷰

논문연구를 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.

2.2.1 섬유로프 제조업체

논문연구와 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.

- 해외(캐나다 ‘Work Requirement Rope Access’)에서는 사용자가 직접 그 기준을 정하여

사용하도록 규정[37]

- 국내 제조사도 다양한 사용 조건으로 인해 별도의 기준을 제시하기 어렵다는 입장을 표명하였다.

2) UV 차단

가) 달비계 작업용 섬유로프 중 가장 널리 사용되고 있는 PP로프는 자외선에 취약(KS K ISO 9554 섬유로프-일반명세 부속서 A)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 생산*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 문제**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 외기 작업에 많이 사용되고 있지만 현장에 따른 개별적인 관리 및 폐기 기준은 따로 없다.

- 선박에 납품하기 위해 선급 인증을 받아야 함에 따라 한국선급 인증 기준에 따라 시험을 진행하고 있다.

[표 14] 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.

* 원사 제조사가 첨가하여 납품

** 공정 변경과 PP로프의 생산 비중이 작음

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 첨가하여 생산 가능 여부는 어느 정도 수요만 있다면 어려운 문제는 아니다.

2.2.2 달비계 작업현장

논문연구와 관련하여 섬유로프 건설현장(1개소)과 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 신제품 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 교체를 안 하기 때문에 로프 재질 및 교체주기를 확인해 볼 필요가 있다.

2.2.3 전문가 자문회의

논문연구와 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 교체주기나 관리 기준은 별도로 없는 것으로 사료된다.

- (건설○○협회) 작업의자 고정 로프에 대한 교체주기 기준이 별도로 없으며, 교체하지 않는 작업자들도 있으며, 작업자의 성향과 작업현장에 따라서 교체 주기가 다르다. 또한 달비계 작업은 대부분 팀으로 운영되며, 팀원의 구성은 현장마다 다르게

운영되기 때문에 로프 관리 및 사용현황을 전체적으로 알 수 없고 관리하기 어려운 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.

2.2.4 설문 조사

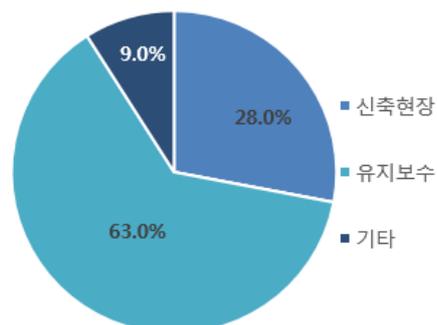
달비계 작업 관련자와 섬유로프 제조업 관계자 대상으로 작업자의 경력, 작업환경, 관련 기준 등 달비계 작업용 섬유로프와 관련된 다양한 의견을 청취하기 위해 온·오프라인으로 진행하였으며, 총 106부의 설문지를 회수하였다. 그 중 현재 달비계 작업 관련자 100명과 섬유로프 제조업 관계자 6명이 설문에 응해주었다.

본 연구의 목적에 있어 현장에서의 로프 사용 실태를 정확히 확인하고, 제조 현장에서 적용 가능한 부분이 있는지가 중요한데, 각각의 관련자분들이 설문에 성실히 응답해 주어 의미 있는 연구가 진행 될 수 있었다. 설문조사는 구체적이고 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 63.0%를 차지하고 다음으로 신축현장이 28.0%를 차지하고 있다. 유지보수 현장의 경우 기존 아파트의 외벽 도색 작업과 빌딩의 외벽 청소작업이 대부분을 차지하고 있으며, 신축현장의 경우 아파트 외벽 도색작업과 창틀 코킹 작업이 대부분이다. 또한 현장의 층수는 15~30층 이하가 56.0%로 가장 많고, 30층 이상도 28.0%로 고층 작업이 대부분인 것으로 확인 할 수 있다.

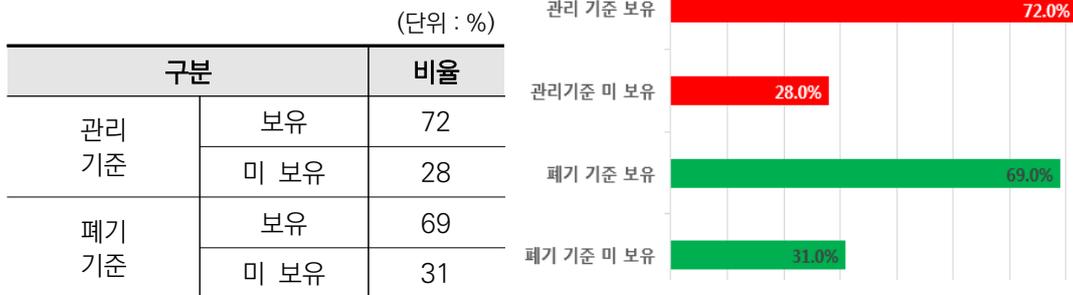
[표 15] 현재 작업 현장 분류

(단위: %)	
구분	비율
신축현장	28
유지보수	63
기타	9



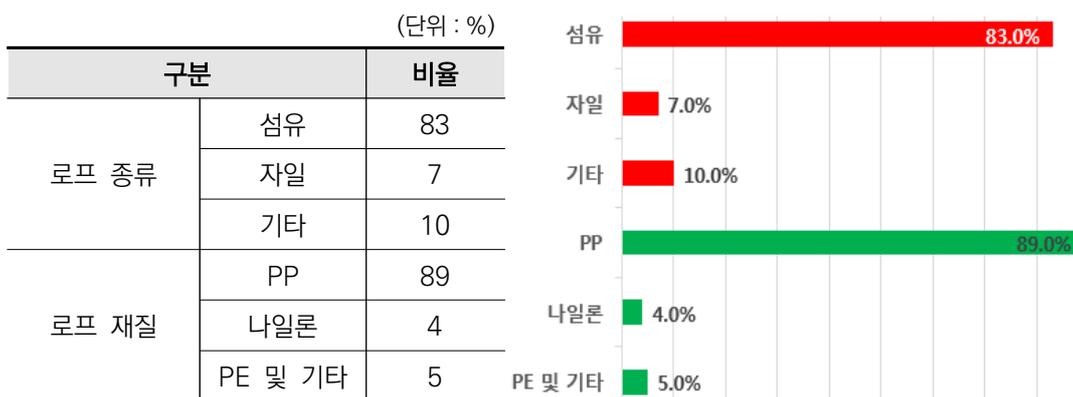
현장 실태조사와 전문가 회의 내용과 다르게 로프 관리 기준을 갖고 있다는 답변이 72.0%, 로프 폐기 기준을 갖고 있다는 답변이 69.0%나 나온 것을 확인 할 수 있었다. 이는 향후에 다시 실질적인 관리 기준과 폐기 기준인지 확인할 필요가 있을 것으로 사료 된다.

[표 16] 로프 기준 보유 여부



달비계 작업 시 사용되는 로프의 종류는 섬유로프가 83.0%, 등산용 자일로프가 7.0% 순으로 비중을 차지하였고, 섬유로프 재질로는 폴리프로필렌(PP)이 89.0%, 나일론 4.0% 순으로 사용하고 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 달비계 작업용 섬유로프의 주로프 직경은 20mm가 가장 많이 사용하고 있었으며, 그 다음으로는 18mm가 가장 높은 비율로 사용하고 있다. 수직구멍줄의 직경은 16mm가 가장 많이 사용하고 있으며, 그 다음으로는 14mm 로프가 많이 사용되고 있다. 일부 응답자 중 주로프와 보조로프 모두 11mm 로프를 사용하고 있다는 응답도 확인할 수 있었다.

[표 17] 로프의 종류 및 재질

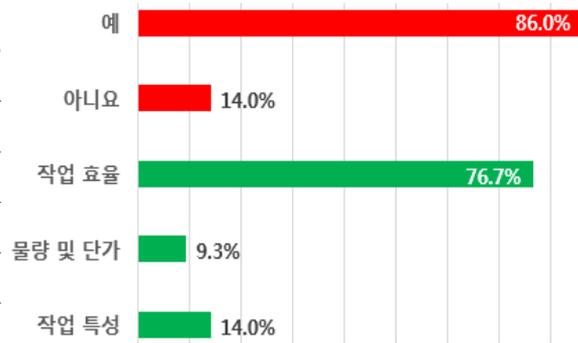


달비계 작업 시 로프 끊어짐과 관련이 높은 스윙(좌우 반복)작업의 유무는 86.0%가 스윙작업을 하고 있다고 응답하였고, 이러한 스윙 작업으로 인해 로프가 파단 될 수 있다고 알고 있는 응답자도 96.5%나 되었다. 이렇게 로프가 끊어질 수 있음에도 스윙작업을 하는 이유로는 작업물량과 작업시간 그리고 작업효율 때문이라고 대부분이 응답하였다.

[표 18] 스윙 작업 유무 및 이유

(단위 : %)

구분		비율
스윙 작업 유무	예	86
	아니요	14
스윙 작업 이유	작업 효율	76.7
	물량 및 단가	9.3
	작업 특성	14.0



달비계 작업 시 로프 끊어짐을 예방하기 위해 로프 보호대 사용 여부에 대해서는 92.0% 사용한다고 응답하였으며, 가죽 재질 보호대와 천이나 수건 등 섬유로 된 재질이 가장 많이 사용되며, 다음으로는 종이박스를 이용한다는 응답이 많음을 알 수 있었다.

[표 19] 로프 보호대 사용 여부 및 로프 보호대 재질

(단위 : %)

구분		비율
로프 보호대 사용 여부	예	92
	아니요	8
로프 보호대 재질	자체 제작	9.8
	가죽 재질	29.3
	수건 등 섬유 재질	26.8
	종이 박스 등 종이류	19.5
	시중 판매제품	14.6

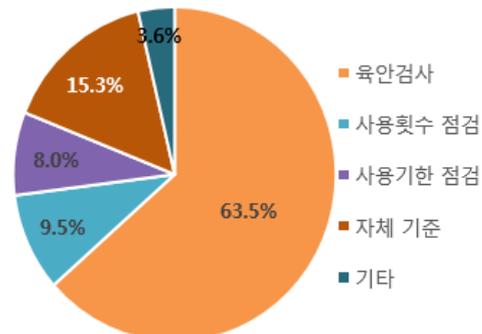


달비계 작업용 섬유로프의 파단이 되는 원인 중 하나인 노후에 대한 설문으로서, 작업 전 작업용 로프의 사전점검 방법으로 육안검사가 63.5%, 자체 기준이 15.3% 순으로 높았다.

[표 20] 로프 사전점검 방법

(단위 : %)

구분	비율
육안검사	63.5
사용횟수 점검	9.5
사용기한 점검	8.0
자체 기준	15.3
기타	3.6



작업용 섬유로프 구매 후 폐기까지의 사용기간에 대한 설문에서는 1년 이상이 52.0%, 9개월~12개월 미만인 16.0%, 현장마다 신규 구매 8.0% 순으로 높았다. 또한, 작업대 지지로프의 경우 응답자의 81.0%가 교체를 하지 않으며, 교체를 하더라도 2년 이상의 교체 주기를 갖는다는 답변이 52.6%로 가장 높았다. 다만, 현재 사용 중인 달비계 작업용 섬유로프의 제조일과 사용 년 수를 묻는 설문의 답변에는 1년 이내와 모른다는 답변의 비중이 높았다.

[표 21] 작업용 로프 구매 후 사용 기간
(단위 : %)

구분	비율
1개월~3개월 미만	5
3개월~6개월 미만	6
6개월~9개월 미만	7
9개월~12개월 미만	16
1년 이상	52
현장마다 신규 구매	8



[표 22] 작업대 지지로프 교체 주기
(단위 : %)

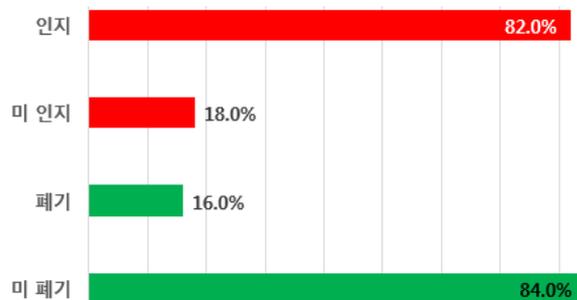
구분	비율
9개월~12개월 미만	5.3%
1년 주기	15.8%
2년 주기	26.3%
2년 이상	52.6%



또한, 작업 특성 상 외부 작업이 대부분인 달비계 작업용 PP로프가 자외선에 취약하다는 사실여부 인지에 대한 설문은 82.0%가 알고 있다고 응답하였으나, 하절기 PP로프 사용 후 폐기 여부를 묻는 설문에는 84.0%가 아니다 라고 답변 하였다.

[표 23] PP로프 자외선 관련 질의
(단위 : %)

구분	비율	
취약 여부 인지	인지	82
	미 인지	18
폐기 여부	폐기	16
	미 폐기	84



섬유로프 제조업체에서는 PP섬유로프에 UV 차단제를 첨가하는 업체와 첨가하지 않은 업체는 각각 50%였으며, UV 차단제를 첨가하지 않는 이유로는 원가상승 때문인 것으로 확인 되었다.

2.3 산업재해 분석 및 실태 조사에 대한 고찰

본 연구를 수행하게 된 이유 중 하나가 중대재해보고서를 분석하면서 달비계 작업에서 지속적으로 사망사고재해가 발생한다는 것이었으며 이러한 재해는 사전에 충분히 예방할 수 있는 재해였다는 사실이다. 달비계 작업에서 작업로프 끊어짐에 의한 재해를 분석한 결과와 현장에서 달비계 작업 관련자들과의 면담을 통해 달비계 작업의 실태와 작업 방법 및 환경 등 다양한 사실들을 확인할 수 있었으며 본 연구를 진행하는데 많은 도움이 되었다.

건물의 외벽 도장 작업이나 유지·보수 작업에서 지침에서 규정된 작업로프 직경보다 작은 로프를 사용하는 이유와 로프 교체 주기가 1년 이상인 이유 중 가장 큰 부분을 차지하는 것이 비용의 문제였다. 특히, 작업현장에서 로프를 장기적으로 사용하는 이유는 비용문제와 같은 여러 요인이 있지만 가장 중요한 원인으로서는 로프 교체 주기에 대해 달비계 작업자나 현장 안전관리자가 명확하게 알 수 없기 때문이다. 실사용 로프의 경우 일정 기간이 지나면 로프 표면이 마찰에 의해 표면상에 퍼(fur)나 파일(pile) 발생되고, 오염물 등이 묻어 육안 검사로 로프 교체를 판별하기에는 어렵기 때문이다. 그리고 달비계 작업대를 고정하는 로프의 끊어짐에 의한 사망사고재해가 많이 발생하고 있지만 달비계 작업자들은 작업대를 고정하는 로프의 교체 필요성을 인지하지 못하는 작업자가 많았다. 또한, 폴리프로필렌 로프가 자외선 노출로 인해 강도가 약해질 수 있다는 사실은 인지하고 있었지만 이러한 자외선 노출에 의해 폴리프로필렌 로프의 강도 감소로 인하여 작업 중 로프 파단으로 사고가 발생할 위험성이 커진다는 것을 인지하지 못하고 있었다. 그래서 자외선 지수가 높은 하절기 동안 로프를 교체하지 않고 장기간 사용하는 작업자가 많음을 현장 실태조사와 설문조사를 통해 확인 할 수 있었다.

달비계 작업용 섬유로프의 관리 방안에 대해서도 업체 자체적인 기준을 보유하기 보다는 한국안전보건공단의 달비계 작업과 관련한 ‘작업의자형 달비계 안전작업 지침(KOSHA Guide C-33-2022)’을 준용하거나 참고하고 있다. 다만, 안전작업 지침에서 제시하는 관리 및 폐기 기준이 현장에서 작업자가 활용하기에는 일부 구체성이 부족한 부분이 있어 일부 개정이 필요하다.

따라서, 본 연구 결과에 작업의자형 달비계 안전작업 지침(KOSHA Guide C-33-2022)’ 내용 중에서 달비계 작업과 관련된 현장의 의견과 연구결과에서 도출되는 내용을 바탕으로 로프 폐기 여부를 쉽게 판별할 수 있는 방안과 달비계 작업 안전과 관련된 내용을 보완하여 개정(안)을 제시 할 필요가 있다.

3. 외기 노출에 따른 합성섬유로프 인장강도 변화 분석

3.1 합성섬유로프 실물 시험 개요

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(외기노출 30일, 90일), 작업자의 실사용 제품을 수거하여 인장강도를 측정하고 직경과 환경조건에 따른 인장강도의 산포를 알아보고자 한다.

3.1.1 시험 기준 및 조건

1) 시험 기준

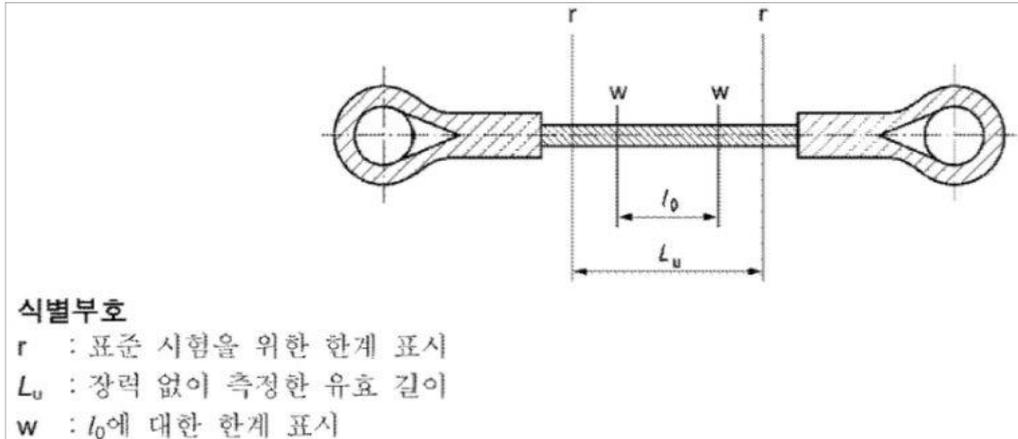
국내·외 섬유로프 인장 시험 기준(KS K ISO 2307 섬유 로프-물리적 및 역학적 성질측정, ISO 13934-1 섬유-직물의 인장특성 기준)을 적용하여 전문기관에 시료 전처리 및 인장시험을 의뢰하여 진행하였다[30, 42].

[표 24] 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
	웨이 그립	-
인조섬유 로프 호칭 굵기 ≥ 20	볼라드	2,000
천연섬유 로프	모든 유형	2,000

- r에서 스플라이스 끝점까지의 거리는 로프 직경의 최소 2배에서 최대 3배까지 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 가하며, 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.



[그림 12] 블라드 장착 시험 장치에 대한 유효길이 L

2) 시험 조건

- 보통의 대기 환경에서 시험 진행 되어야 하며, 시험하기 전에 KS K ISO 139에 규정된 상태*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.

3.1.2 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. 시험시료에 대한 시험 횟수는 ISO 13934-1 섬유-직물의 인장특성 기준에 따라 진행한다.

[표 25] 섬유로프 실물시험 계획

시험 항목	소재 및 종류	대상품	직경	시험 횟수
인장	PP로프 4종**	· 신품 · 노광제품*** · 사용제품****	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 2회***** = 60회

* 온도 20.0°C와 상대습도 65.0%

** 시중에 판매되는 A, B, C, D社 제품 구매 후 시험

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

**** 노광제품 자연노출 시기에 달비계 작업현장 3곳에 제공하여 실사용 후 수거

***** 제품 사용 전, 사용 후 인장 시험 비교를 위해 2회 실시

3.1.3 국내 자외선 지수

폴리프로필렌(PP)로프는 일반적으로 자외선에 약하고 햇빛에 닿으면 열화에 의해 강도가 약해져 외기에서 사용하기에는 적합하지 않다. 이러한 재료의 특성 때문에 국내·외 로프 관련 기준에서도 PP로프에 대해 자외선에 취약하다고 표기하고 있으며, 국내 연구(이주혁 등, 옥외용 고분자 막의 촉진 자외선 노출 영향 연구)에서도 폴리프로필렌의 자외선 노출이 증가함에 따라 열화현상이 촉진되는 것을 현상을 보였음을 알 수 있었고, 이러한 결과는 폴리프로필렌이 자외선에 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있다[16].

따라서, 외기작업이 많은 달비계 작업 특성에 따라 로프의 외기노출 시기도 우리나라 월별 자외선 지수가 가장 높은 6월에서 8월 시기에 진행하기로 하였다.

[표 26] 월별 자외선 지수(울릉도/독도 기점_기상청)

해당 월	평균 일누적 자외선 A(MJ/m ²)	평균 일최대 자외선 B(W/m ²)
1월	0.327	0.046
2월	0.435	0.066
3월	0.629	0.103
4월	0.971	0.155
5월	1.235	0.196
6월	1.016	0.204
7월	0.965	0.233
8월	0.824	0.214
9월	0.809	0.197
10월	0.555	0.125
11월	0.431	0.075
12월	0.259	0.055



[그림 13] 부산 자외선 지수 현황(기상청)

3.2 실물 시험을 통한 인장강도 변화 분석

3.2.1 신품 인장시험 결과 및 분석

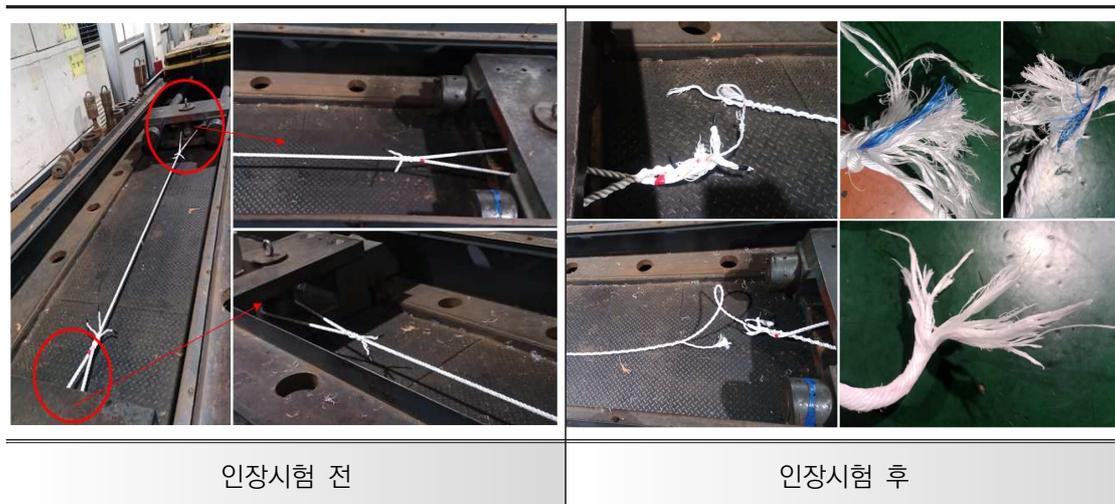
1) 인장 시험 결과

인장시험 결과, 측정한 제조사 모두 한국산업표준(KS)에서 규정된 호칭에 따른 인장강도 기준은 충족 하지만, 측정 결과는 제조사에서 공시하는 인장강도를 A社를 제외하고 허용오차범위(±5%)를 벗어난 것을 확인 할 수 있었다.

[표 27] 제조사 별 신품 인장시험 결과

(단위 : KN)

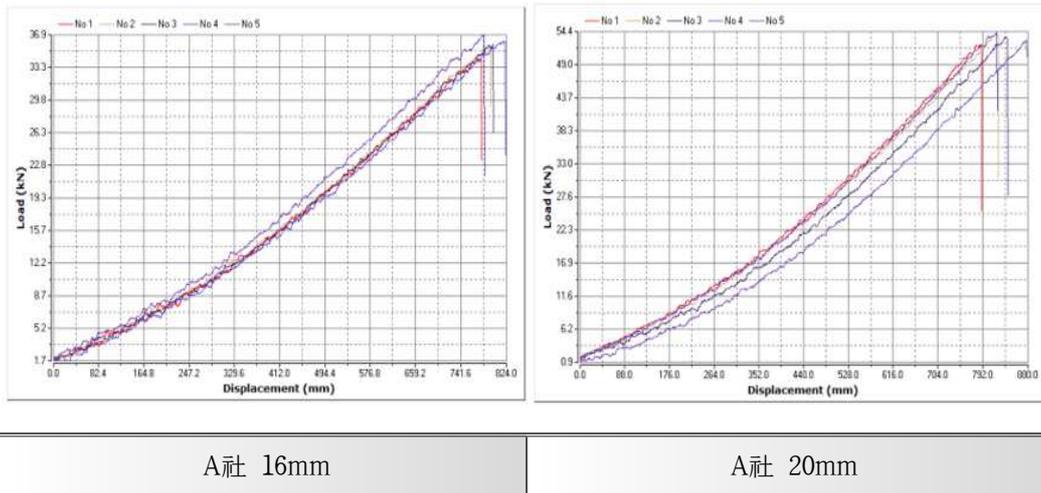
업체	직경	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균	표기*
A 社	16mm	34.3	35.6	35.8	36.2	36.9	35.8	37.2
	20mm	52.3	53.9	53.4	54.4	52.9	53.4	54.9
B 社	16mm	32.6	34.5	32.2	31.1	33.1	32.7	36.9
	20mm	46.9	47.8	45.1	46.6	46.9	46.7	56.8
C 社	16mm	30.5	30.4	30.8	30.7	29.4	30.4	32.3
	20mm	49.4	50.0	49.1	48.4	48.7	49.1	48.5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



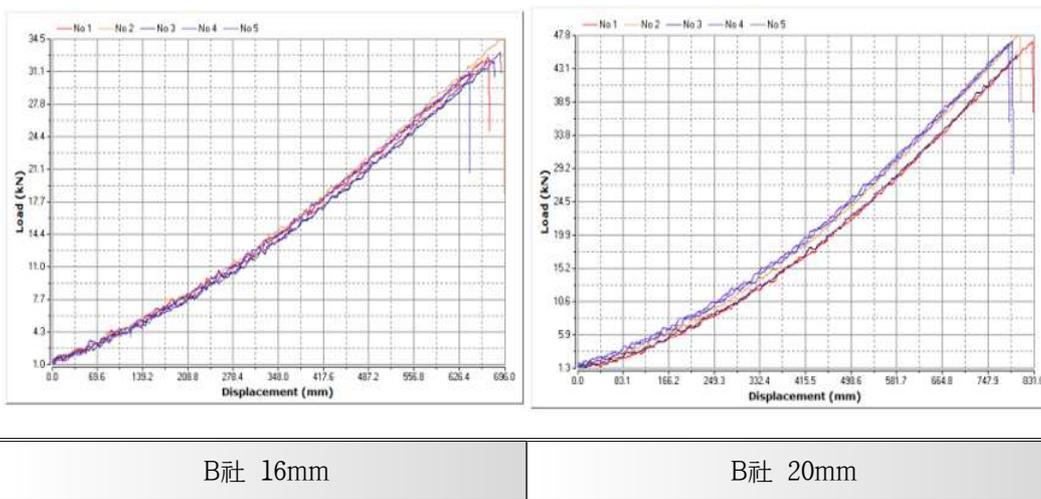
[그림 14] 섬유로프 신품에 대한 인장시험

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

섬유로프 인장시험 전과 후를 비교해 보면 파단이 매듭부위에서 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 고정매듭법에 따른 강도 변화에 대해 유한요소 해석과 실험을 통해 매듭부위에서 파손이 됨을 확인한 관련 연구 결과에서 보듯이, 유한요소 해석과 실험 결과에서 인장 시 매듭부위에서 응력이 집중됨에 따라 파단이 가장 먼저 발생됨을 확인 하였다[10].



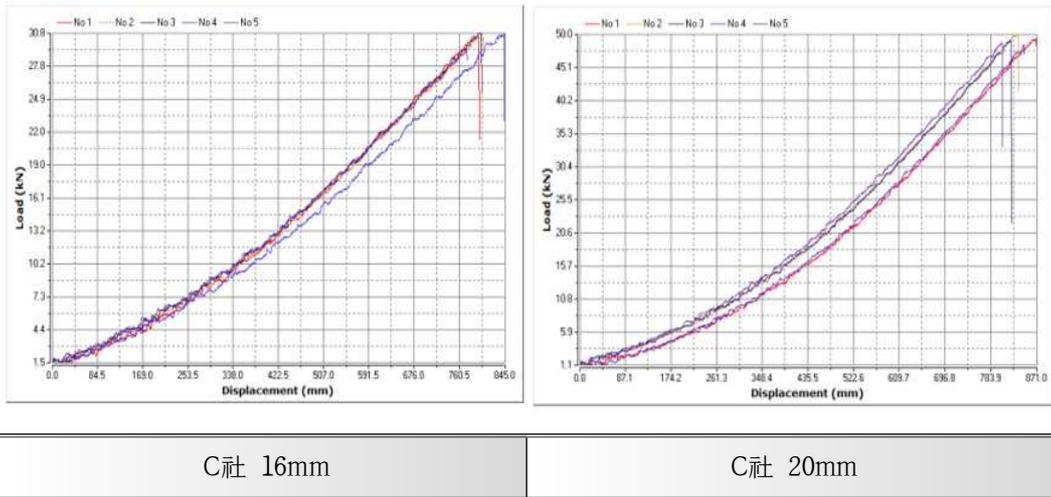
[그림 15] A社 섬유로프 신제품에 대한 인장시험 결과



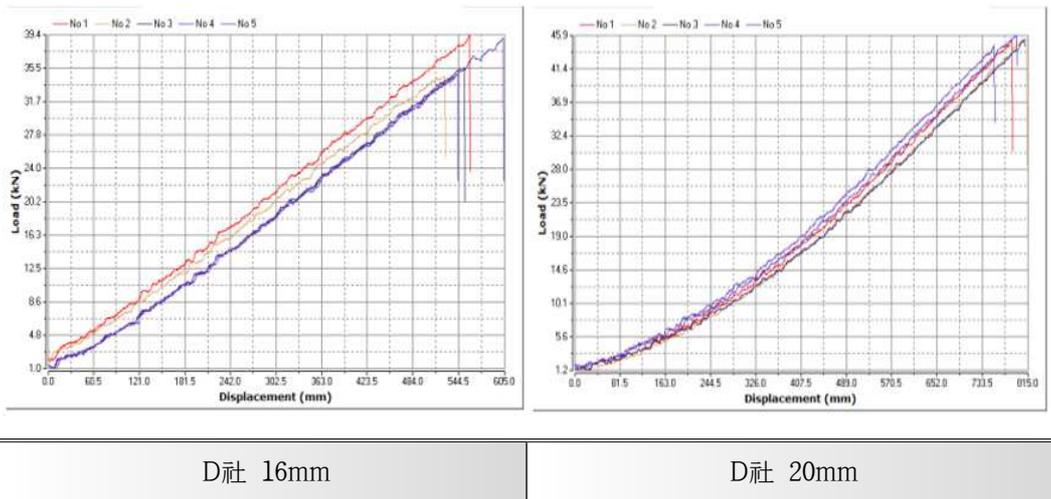
[그림 16] B社 섬유로프 신제품에 대한 인장시험 결과

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.



[그림 17] C社 섬유로프 신제품에 대한 인장시험 결과



[그림 18] 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 측정 되었다.
- 라) D社 16mm의 경우 제조사가 제공하는 인장강도에 비해 약 20.4% 정도가 크게 측정되었으며, 20mm의 경우 약 0.4% 정도 크게 측정 되었다.
- 마) A社의 섬유로프 인장시험 결과 제조사가 제공하는 인장강도와 측정 결과는 허용오차 범위*($\pm 5\%$)에 있음을 확인할 수 있었다. B社의 섬유로프 인장강도는 기준(KS K 6405:2016 폴리프로필렌 로프)에서 정하고 있는 호칭 지름에 대한 최소 인장강도는 만족하지만, 제조사가 제공하는 최소 인장강도에도 미치지 못하며, 허용오차 범위($\pm 5\%$)를 벗어남을 확인 하였다. C·D社의 16mm 섬유로프의 경우 허용오차 범위($\pm 5\%$)를 벗어났으나, D사의 경우 16mm, 20mm 모두 제공하는 기준보다 높음을 알 수 있었다[29].

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

3) 통계 분석

본 연구의 통계 분석은 SPSS(v24, USA)에서 유의수준 0.05를 적용하여 이루어졌다. 인장강도의 평균은 KS 기준을 통계적으로 충족하는 것으로 분석되었다(직경 16 mm: $t(19) = 15.01, p < 0.001$, 직경 20 mm: $t(19) = 16.58, p < 0.001$). 4개 제조사의 직경 16 mm 섬유로프의 평균 인장강도는 표 27에 나타난 것과 같이 33.87 kN으로 KS 기준인 24.2 kN을 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 직경 20 mm 섬유로프의 평균 인장강도는 48.61 kN으로 KS 기준인 36.6 kN을 충족하는 것으로 파악되었다. 한편, 제조사별 16 mm 섬유로프의 인장강도 최솟값은 A 제품 34.3kN, B 제품 31.1kN, C 제품 29.4kN, D제품 34.5kN으로 나타나 KS 기준을 초과하였다. 또한, 20 mm 섬유로프의 인장강도 최솟값은 A제품 52.3kN, B제품 45.1kN, C제품 48.4kN, D제품 44.5kN으로 KS 기준을 충족하였다.

섬유로프의 인장강도는 제품 제조사의 공시 강도보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다($t(38) = -2.15, p = 0.038$). 섬유로프의 평균 인장강도와 제조사의 공시 인장강도는 평균 -1.527 kN (SD = 4.496) 차이가 있는 것으로 파악되었다. 한편, 섬유로프의 인장강도는 A제품을 제외하고 KS 규격에 명시된 허용오차범위($\pm 5\%$)를 벗어나는 것으로 나타났다. 예를 들면, B사의 16 mm 섬유로프(32.7 kN)는 공시 인장강도(36.9 kN)보다 -4.2 kN 작았으며, 이는 11.38%의 허용오차에 해당한다.

3.2.2 노광 30일 제품 인장시험 결과 및 분석

1) 인장 시험 결과

노광(외기노출 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 28] 제조사 별 노광 30일 제품 인장시험 결과

(단위 : KN)

업체	직경	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균	표기*
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

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

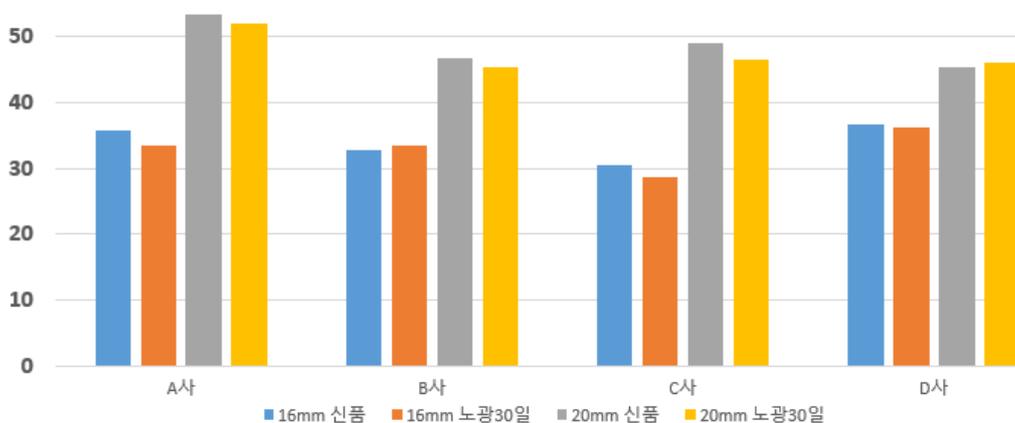
2) 인장 시험 결과 비교

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

[표 29] 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



[그림 19] 신품/노광 30일 섬유로프에 대한 인장시험 결과(평균값 기준)

3) 통계 분석

노광 30일 노출된 섬유로프의 인장강도는 KS 기준을 통계적으로 충족하는 것으로 분석되었다(직경 16 mm: $t(19) = 12.08, p < 0.001$, 직경 20 mm: $t(19) = 16.66, p < 0.001$). 직경 16 mm 섬유로프의 평균 인장강도는 32.95 kN으로 KS 기준인 24.2 kN을 충족하였다. 또한, 직경 20 mm 섬유로프의 평균 인장강도는 47.45 kN으로 KS 기준인 36.6 kN을 초과하였다. 한편, 제조사별 16 mm 섬유로프의 인장강도 최솟값은 A 제품 28 kN, B 제품 32.2 kN, C 제품 27.6 kN, D제품 34.1 kN으로 나타나 KS 기준을 모두 충족했다. 또한, 20 mm 섬유로프의 인장강도 최솟값은 A제품 50.8 kN, B제품 43.7 kN, C제품 45.5 kN, D제품 43.4 kN으로 KS 기준을 충족하였다.

4) 섬유로프 노광제품 중량 변화

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

[표 30] 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	신품	701	706	708	699	709	705
		30일	701	708	710	700	709	706
	20mm	신품	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	신품	717	718	711	714	714	715
		30일	719	718	711	715	714	715
	20mm	신품	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	신품	740	740	736	739	740	739
		30일	741	743	737	740	743	741
	20mm	신품	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	신품	742	728	724	732	732	732
		30일	736	729	726	733	734	732
	20mm	신품	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

5) 인장 시험 전후 섬유로프 직경의 변화

[표 31] 제조사 별 신폼/노광 30일 제품 인장시험 전후 직경 비교

(단위 : mm)

업체	직경	시험	로프 직경					평균
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 측정된 결과, 5 ~ 8% 직경이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

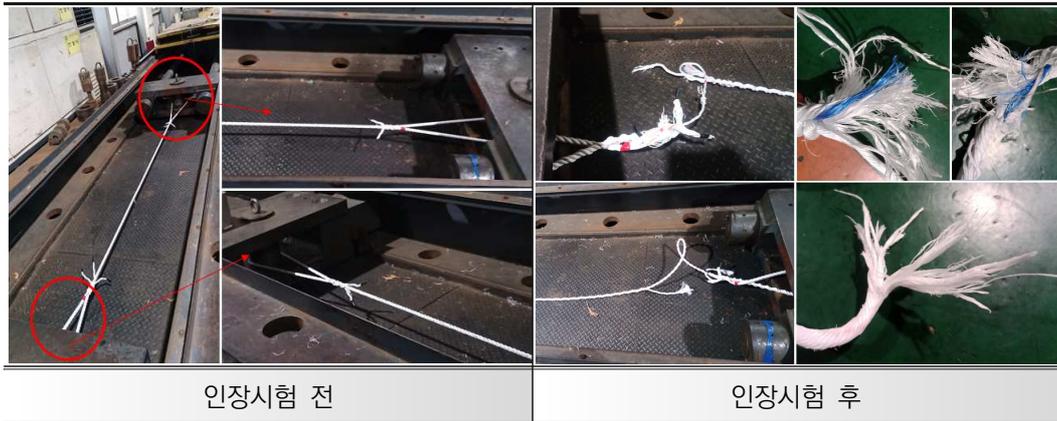
한편, 섬유로프 검사 및 폐기 기준 국제 가이드라인(Cordage Institute International Guideline CI2001-04, Fiber Rope Inspection and Retirement Criteria)에 따르면, 로프의 공칭지름의 10%이상 줄어든 부분이 있으면 폐기해야 한다고 명시되어 있다[39].

6) 섬유로프 노광제품 인장 시료



섬유로프 외기 노출

[그림 20] 섬유로프 노광을 위한 외기노출



[그림 21] 섬유로프 노광 30일 제품에 대한 인장시험



인장 후 로프의 꼬임

[그림 22] 인장 시험 후 로프 변화

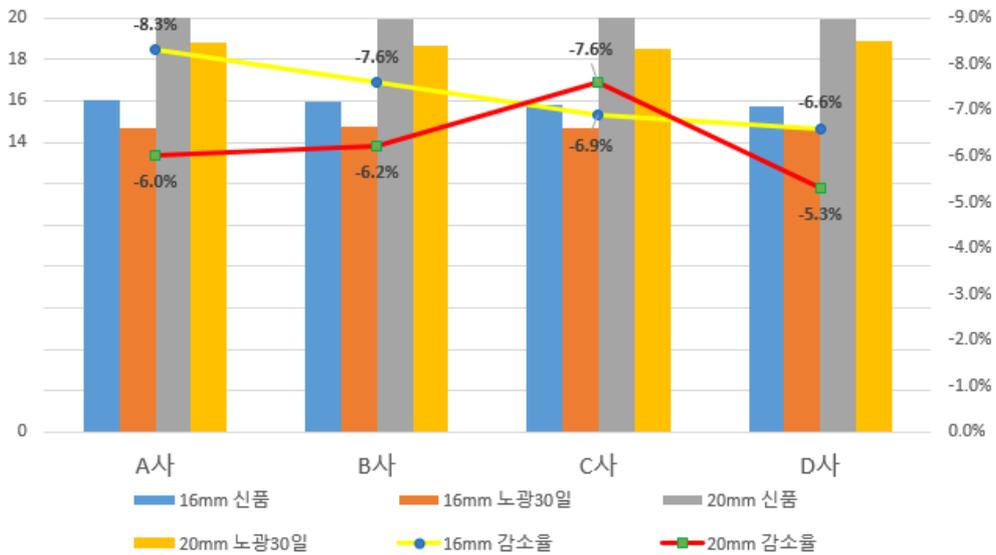
섬유로프의 인장시험 전 형상을 살펴보면 로프의 꼬임이 일정하지만, 인장시험 후의 섬유로프의 꼬임 형태는 불균일함을 알 수 있다.



[그림 23] 인장시험 후 로프 직경 변화

7) 결과 분석 : 노광제품(외기노출 30일)

- 4개社 모든 제품에서 신품과 비교하여 외기노출에 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.



[그림 24] 인장시험 후 제조사 별 로프의 직경 변화(평균 값 기준)

3.2.3 노광 90일 제품 인장시험 결과 및 분석

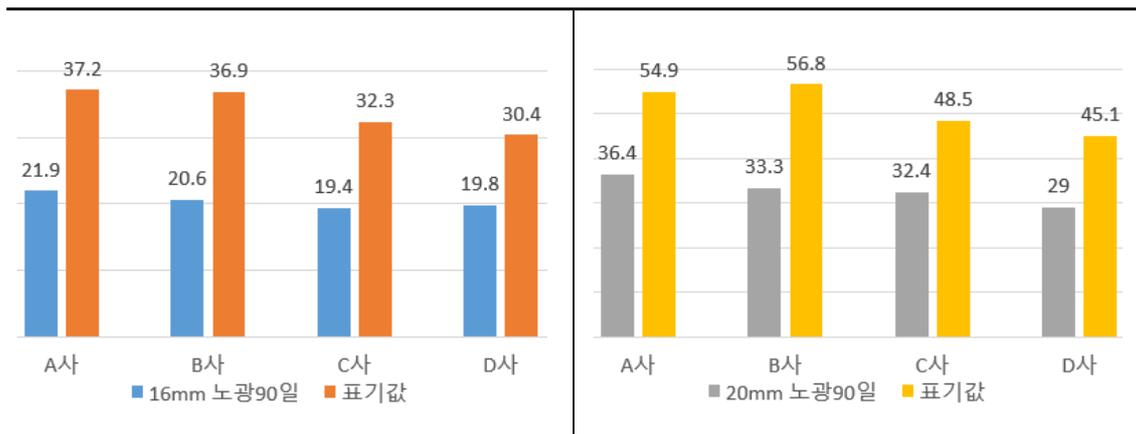
1) 인장 시험 결과

노광(외기노출 90일)제품의 인장시험 결과, 16mm의 경우 측정된 제조사 모두 한국 산업표준(KS)에서 규정된 호칭에 따른 인장강도* 기준을 하회하며, 20mm의 경우 A社를 제외하고 다른 제조사 모두 한국산업표준(KS)에서 규정된 인장강도를 하회함을 확인 할 수 있었다[29].

[표 32] 제조사 별 노광 90일 제품 인장시험 결과

(단위 : KN)

업체	직경	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	평균	표기**
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



[그림 25] 노광90일 제품의 시험 평균값과 표기 값 비교

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

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

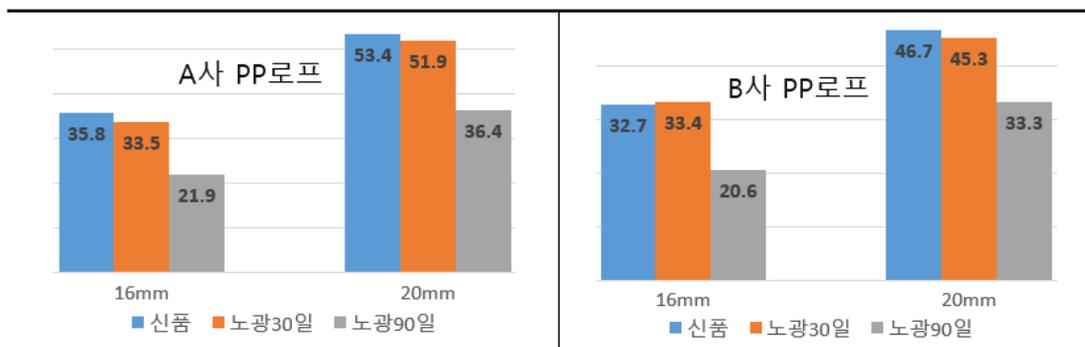
2) 인장 시험 결과 비교

자외선 노출의 영향으로 강도가 저하되는 특성이 있는 PP섬유로프의 노광(외기노출 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 33-1] 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	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
		노광 90일	20.6	23.5	21.1	21.9	22.3	21.9
		신품대비 증감률	-39.9%	-34.0%	-41.1%	-39.5%	-39.6%	-38.8%
	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
		노광 90일	38.3	36.9	33.7	38.8	34.4	36.4
		신품대비 증감률	-26.8%	-31.5%	-36.9%	-28.7%	-35.0%	-31.8%
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
		노광 90일	21.3	20.6	19.8	20.4	20.7	20.6
		신품대비 증감률	-34.7%	-40.3%	-38.5%	-34.4%	-37.5%	-37.0%
	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
		노광 90일	33.0	33.8	33.7	34.8	31.3	33.3
		신품대비 증감률	-29.6%	-29.3%	-25.3%	-25.3%	-33.3%	-28.7%

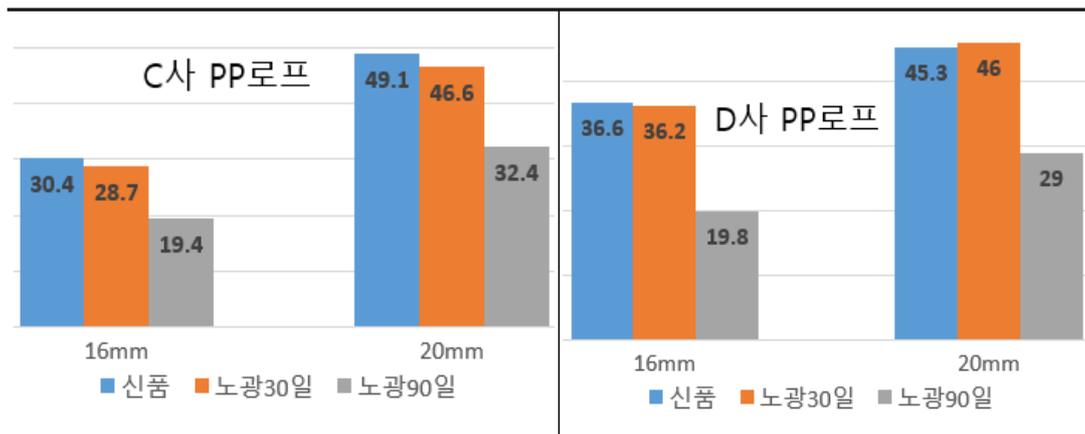


[그림 26-1] 제조사 별 인장 시험 결과 변화(평균값)

[표 33-2] 제조사 별 신품/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	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
		노광 90일	18.8	20.1	19.0	19.8	19.4	19.4
		신품대비 증감률	-38.4%	-33.9%	-38.3%	-35.5%	-34.0%	-36.2%
	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
		노광 90일	33.2	30.1	33.4	32.4	32.7	32.4
		신품대비 증감률	-32.8%	-39.8%	-32.0%	-33.1%	-32.9%	-34.0%
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
		노광 90일	21.0	20.4	18.8	20.2	18.8	19.8
		신품대비 증감률	-46.7%	-40.9%	-47.2%	-42.0%	-51.7%	-45.9%
	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
		노광 90일	27.4	29.4	29.8	28.9	29.4	29.0
		신품대비 증감률	-39.4%	-35.2%	-34.2%	-37.0%	-33.9%	-36.0%



[그림 26-2] 제조사 별 인장 시험 결과 변화(평균값)

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) 통계 분석

노광 90일 섬유로프의 인장강도는 KS 기준을 통계적으로 충족하지 못하는 것으로 파악되었다(직경 16 mm: $t(19) = -5.58, p < 0.001$, 직경 20 mm: $t(19) = -13.72, p < 0.001$). 직경 16 mm 섬유로프의 인장강도는 평균 20.43 kN으로 KS 기준인 24.2 kN을 충족하지 못했다. 또한, 직경 20 mm 섬유로프의 인장강도는 평균 32.77 kN으로 KS 기준인 36.6 kN에 미달하였다. 한편, 제조사별 16 mm 섬유로프의 인장강도 최솟값은 A 제품 20.6 kN, B 제품 19.8 kN, C 제품 18.8 kN, D제품 18.8 kN으로 나타나 KS 기준에 모두 미달하였다. 또한, 20 mm 섬유로프의 인장강도 최솟값은 A제품 33.7 kN, B제품 31.3 kN, C제품 30.1 kN, D제품 27.4 kN으로 KS 기준에 모두 미달하는 것으로 나타났다.

노광 90일 섬유로프의 인장강도는 KS 기준을 통계적으로 충족하지 못하는 것으로 파악되었다(직경 16 mm: $t(19) = -5.58, p < 0.001$, 직경 20 mm: $t(19) = -13.72, p < 0.001$). 직경 16 mm 섬유로프의 인장강도는 평균 20.43 kN으로 KS 기준인 24.2 kN을 충족하지 못했다. 또한, 직경 20 mm 섬유로프의 인장강도는 평균 32.77 kN으로 KS 기준인 36.6 kN에 미달하였다. 한편, 제조사별 16 mm 섬유로프의 인장강도 최솟값은 A 제품 20.6 kN, B 제품 19.8 kN, C 제품 18.8 kN, D제품 18.8 kN으로 나타나 KS 기준에 모두 미달하였다. 또한, 20 mm 섬유로프의 인장강도 최솟값은 A제품 33.7 kN, B제품 31.3 kN, C제품 30.1 kN, D제품 27.4 kN으로 KS 기준에 모두 미달하는 것으로 나타났다.

[표 33-3] 제조사 별 신제품/노광 90일 제품 인장시험 결과 비교(계속)

(단위 : KN)

업체	직경	종별	인장강도 (kN)
A	16	신제품	35.8
		노광 90일	21.9
		감소율 (%)	-38.8
	20	신제품	53.4
		노광 90일	36.4
		감소율 (%)	-31.8
B	16	신제품	32.7
		노광 90일	20.6
		감소율 (%)	-37.0
	20	신제품	46.7
		노광 90일	33.3
		감소율 (%)	-28.7
C	16	신제품	30.4
		노광 90일	19.4
		감소율 (%)	-36.2
	20	신제품	49.1
		노광 90일	32.4
		감소율 (%)	-34.0
D	16	신제품	36.6
		노광 90일	19.8
		감소율 (%)	-45.9
	20	신제품	45.3
		노광 90일	29.0
		감소율 (%)	-36.0

4) 섬유로프 노광제품 중량 변화

[표 34] 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, 외기노출 90일 기준으로는 인장강도 영향과 같이 차이를 확인 할 수 없었다. 직경이 작아지고 인장강도가 저하되는 현상이 중량 감소와의 연관성을 확인하려 하였으나, 연관성을 찾아 볼 수 없었다. 자외선 노출이 섬유로프의 중량 변화의 미치는 영향은 없다고 판단된다.

5) 인장 시험 전후 섬유로프 직경의 변화

[표 35] 제조사 별 신품/노광 90일 제품 인장시험 전후 직경 비교

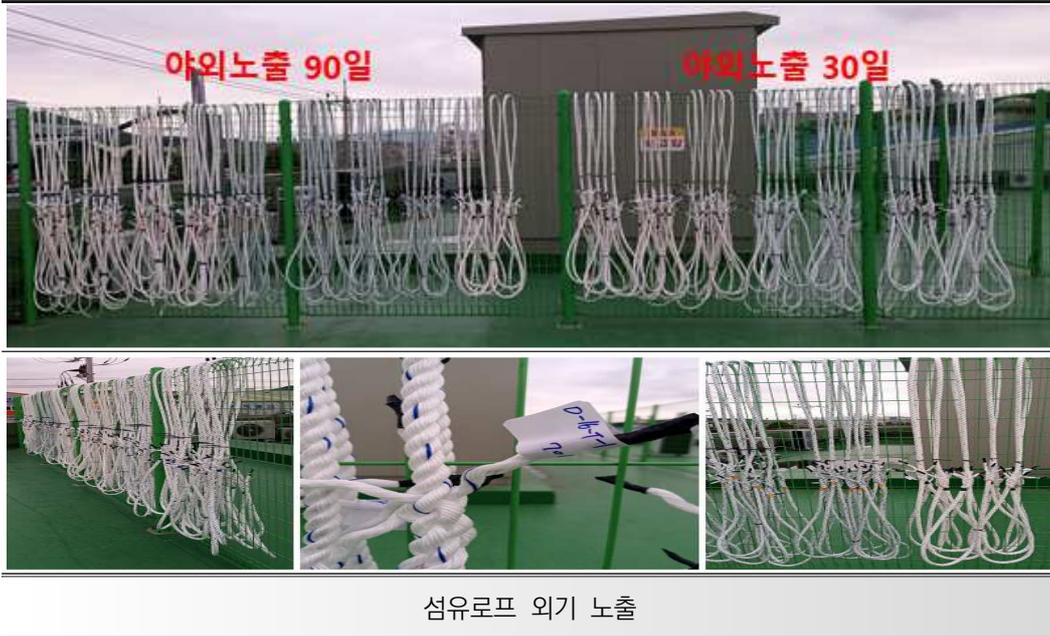
(단위 : mm)

업체	직경	시험	로프 직경					평균
			16mm	20mm	증감률	16mm	20mm	
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%

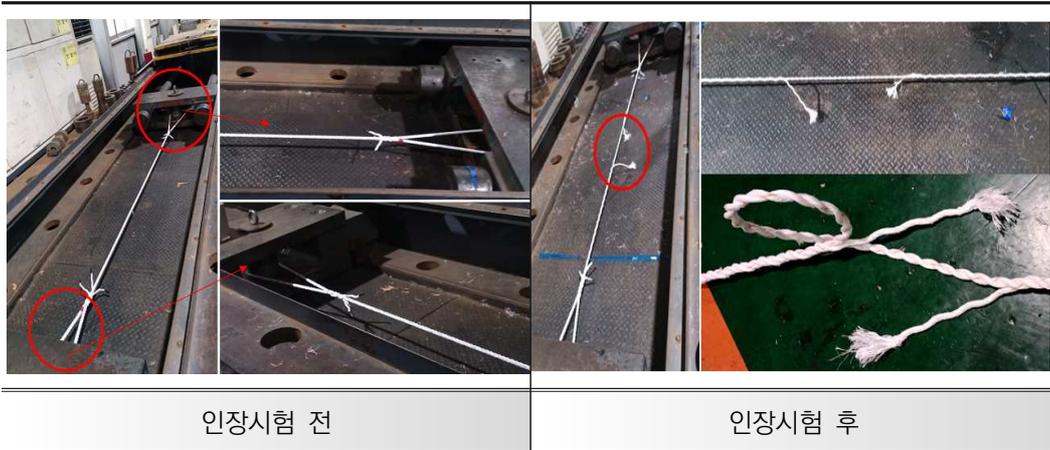
- 인장시험 전, 후 로프의 직경을 측정한 결과, 3.6 ~ 8.1% 직경이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

한편, 섬유로프 검사 및 폐기 기준 국제 가이드라인(Cordage Institute International Guideline CI2001-04, Fiber Rope Inspection and Retirement Criteria)에 따르면, 로프의 공칭지름의 10%이상 줄어든 부분이 있으면 폐기해야 한다고 명시되어 있다[39].

6) 섬유로프 노광제품 인장 시료



[그림 27] 섬유로프 노광을 위한 외기노출



[그림 28] 섬유로프 노광 90일 제품에 대한 인장시험

섬유로프 인장시험 전과 후를 비교해 보면 파단이 로프 중앙에서 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 외기노출 30일 제품과 다른 특징을 보여주는 현상으로 섬유로프의 강도가 약해져서 인장 시 로프 중앙에서 가장 먼저 파단이 발생됨을 알 수 있었다. 이는 자외선 조사에 따른 고분자 막의 화학 구조 변화에 대한 연구(이주혁 등, 옥외용 고분자 막의 축진 자외선 노출 영향 연구) 결과에서 폴리프로필렌 부직포형 막의 표면층이 15일간의 자외선 노출에 의해 손상을 받고 열화에 의해 잘라지는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 결과를 반영하면 섬유로프 내 연결구조가 약화되어 인장시험 결과에 따라 가장 취약한 중간 부분에서 파단되는 현상을 설명 할 수 있다[16].



[그림 29] 인장시험 후 로프 변화



[그림 30] 인장시험 후 로프 직경 변화

7) 결과 분석 : 노광제품(외기노출 90일)

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

3.2.4 실사용 제품 인장시험 결과 및 분석

1) 인장 시험 결과

실사용(90일)제품의 인장시험 결과, 측정된 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 36] 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.

3.2.5 로프의 상태 변화

1) 가설 제시 (상태 변화가 있을 것이다.)

로프 신제품과 외기노출 30일, 그리고 사용 중 파단된 로프를 수거하여 전자현미경을 이용하여 로프 표면 변화에 대해서 확인해 보았다. 신제품과 외기노출 30일 제품의 인장강도 시험에서 유의미한 차이를 확인 할 수 없었다. 다만, 자외선에 취약한 PP 소재로서 지속적인 외기노출로 인한 로프의 변화가 있을 것으로 판단하여 각 시료를 채취하여 광학현미경으로 로프 표면을 확인하여 본 결과 외기 노출로 인한 변화를 확인 할 수 있었다.

2) 로프 표면 상태 확인 (저배율)

신제품 로프와 외기 노출 30일 로프를 육안으로 확인 하였을 때는 크게 차이가 나지 않았다. 물론 외기 노출 제품의 경우 사용은 하지 않고 외부에 걸어 놓았기 때문에 사용 흔적이나 이물질 등 오염의 흔적은 없었으나, 약간의 펴(Fur)나 파일(pile)의 흔적 정도의 차이는 확인 할 수 있었다. 또한, 사용 중 파단 된 로프의 경우 사용기간이나 햇수 등은 확인 할 수 없지만 매우 노후가 진행된 상태임을 단번에 알 수 있을 정도이다. 광학현미경 저배율로 각 로프의 표면을 촬영한 이미지는 아래와 같다.



[그림 31] 신제품 로프의 표면(저배율)

신제품 로프의 경우 표면이 깨끗하고 가닥이 투명한 것을 확인 할 수 있다. 다만, 신 품이지만 일부 펴(Fur)나 파일(pile)이 있는 것을 확인 할 수 있다.



[그림 32] 외기노출 30일 로프의 표면(저배율)

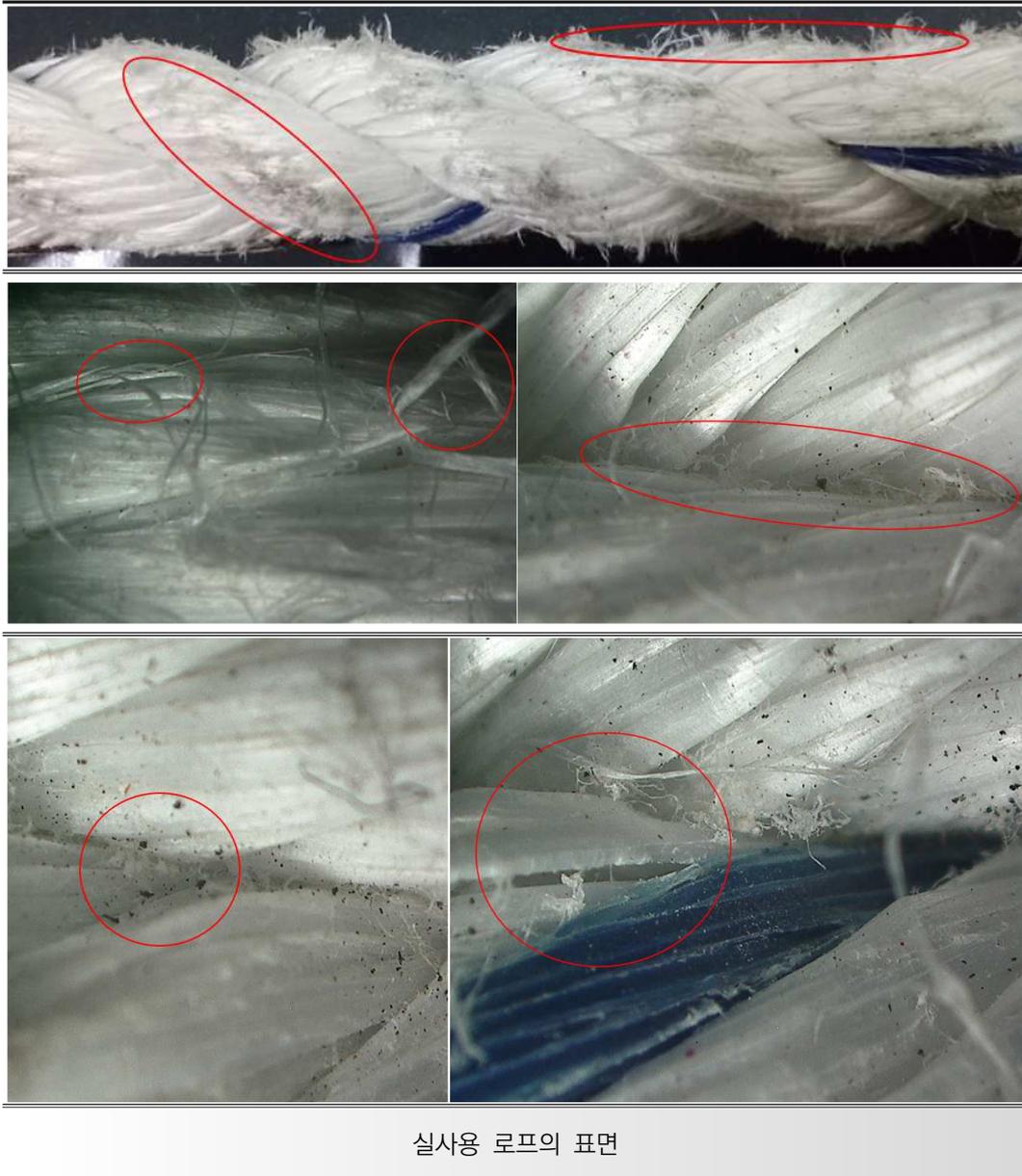
외기노출 30일 로프의 경우 육안으로 확인 시 일부 퍼(Fur)나 파일(pile)을 볼 수 있지만 신제품과 비슷하게 표면이 깨끗하다. 다만, 표면 가닥을 확대해서 확인하여 보면 신제품보다 퍼(Fur)나 파일(pile)이 많이 생성되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 다만, 섬유 로프 검사 및 폐기에 대한 KS 기준에서는 ‘표면상의 퍼(fur)나 파일(pile)이 발생될 수 있으며, 이러한 현상은 지극히 정상적이며 로프를 심한 정도로 약화시키는 요인이 되지는 않는다.’ 라고 명시하고 있어 이러한 표면의 퍼(fur)나 파일(pile) 생성만으로는 로프의 강도의 저하를 예측하고, 폐기 하는 기준으로 할 수는 없다. 실제 육안으로 확인 했을 경우에도 신제품과 그렇게 차이를 확인 할 수 없고, 확대해서 확인 해야 식별 가능한 수준으로 외기노출 30일 정도는 큰 유의미한 결과를 확인 할 수 없는 것으로 사료 된다.



[그림 33] 외기노출 90일 로프의 표면(저배율)

외기노출 90일 로프의 경우 육안으로 확인 시 신제품과 외기노출 30일 제품과 구분할 수 있을 정도로 표면에 퍼(Fur)나 파일(pile)이 확연하게 눈에 띈다. 또한, 표면가닥을 확대해서 확인하여 보면 로프의 스트랜드 사이에도 신제품보다 퍼(Fur)나 파일(pile)이 많이 생성되어 있는 것을 확인할 수 있다.

앞선 외기노출 30일의 로프와 같이 섬유 로프 검사 및 폐기에 대한 KS 기준에서는 ‘표면상의 퍼(fur)나 파일(pile)이 발생될 수 있으며, 이러한 현상은 지극히 정상적이며 로프를 심한 정도로 약화시키는 요인이 되지는 않는다.’ 라고 명시하고 있어 이러한 표면의 퍼(fur)나 파일(pile) 생성만으로는 로프의 강도의 저하를 예측하고, 폐기 하는 기준으로 할 수는 없다. 따라서 실제 로프의 표면 상태를 육안만으로 확인하여 관리 여부를 판단하기는 어려울 것으로 사료 된다.



실사용 로프의 표면

[그림 34] 실사용 90일 로프의 표면(저배율)

실사용 로프의 경우 육안으로 확인 시 신제품과 외기노출(30일, 90일) 제품과 구분할 수 있을 정도로 표면이 지저분하며, 펄(Fur)나 파일(pile)이 확연하게 눈에 띈다. 또한, 표면 가닥을 확대해서 확인하여 보면 로프의 스트랜드 사이에도 신제품보다 펄(Fur)나 파일(pile)이 많이 생성되어 있고 로프 가닥이 갈려져 있는 것을 확인 할 수 있다. 또한 로프 가닥 사이에 이물질이 묻어 있는 것을 확인 할 수 있는데 로프가 수축과 이완을 반복하는 경우 이물질이 로프 가닥 사이에서 마찰을 증가시키고 가닥의 마모를 증가시킬 수 있을 것으로 사료 된다.



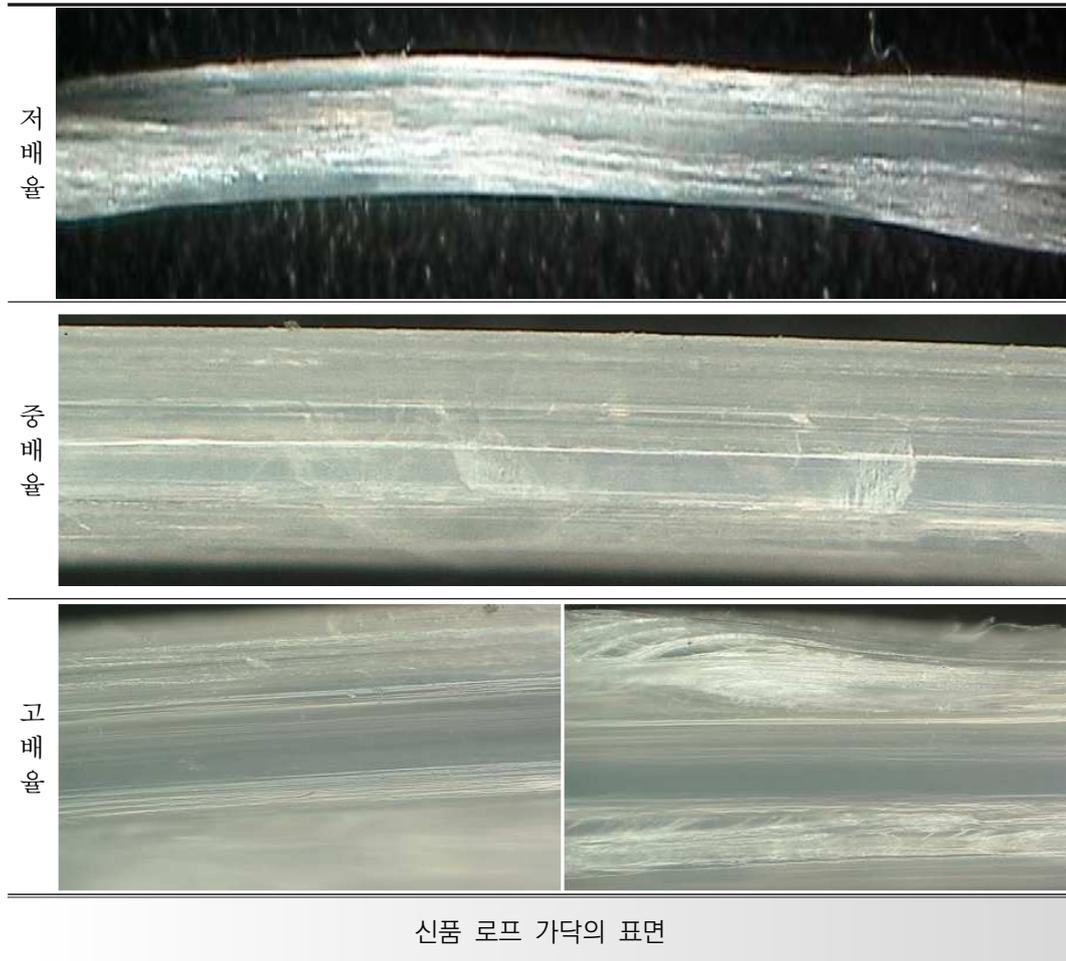
[그림 35] 사용 중 파단 된 로프의 표면(저배율)

외기노출 30일 제품의 경우 신품 로프와 외관상으로는 퍼(Fur)나 파일(pile)이 좀 더 있는 것 이외에는 거의 유사해 보이지만 광학현미경으로 관찰 결과 자외선 노출에 따른 섬유 가닥의 경화가 되어 퍼(Fur)나 파일(pile)이 일어나고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 자외선으로 인해 섬유로프 가닥이 노화되고 있음을 알 수 있는 지표이다. 또한, 사용 중 파단된 로프의 경우 외관상으로 봐도 노후화가 많이 진척되어 있음을 알 수 있다.

다만, 한국산업표준(KS K ISO 9554:2010 섬유로프-일반 명세) 기준에 따르면 이러한 퍼(Fur)나 파일(pile)의 발생은 지극히 정상적인 현상이며, 심각할 정도로 강도에 영향을 미치지 않는다고 명시되어 있다. 그러나 심각한 퍼(Fur)나 파일(pile)의 발생은 사용 기간이 길거나 횟수가 많다는 사실을 육안검사를 통해 간접적으로 확인 할 수 있는 방법이다.

3) 로프 가닥 상태 확인

신품 로프와 외기 노출(30일, 90일) 로프, 실사용 로프, 사용 중 파단 된 로프의 가닥을 채취하여 광학현미경으로 각 로프 가닥의 표면을 촬영한 이미지는 다음과 같다.



[그림 36] 신품 로프 가닥의 표면

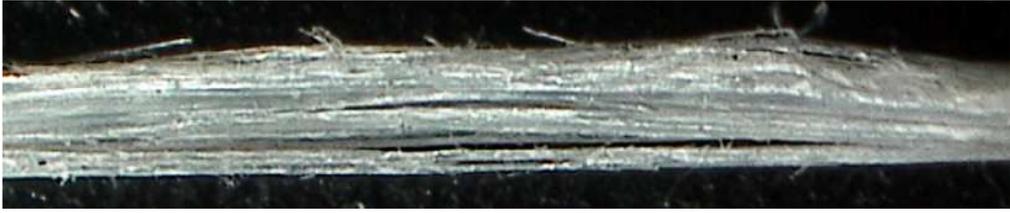
신품 로프의 경우 로프 가닥이 투명하고 주름이나 벌어진 형태의 모습은 확인할 수 없다. 로프 가닥의 고배율 역시 표면이 매끄럽고 상태가 좋아 보인다.



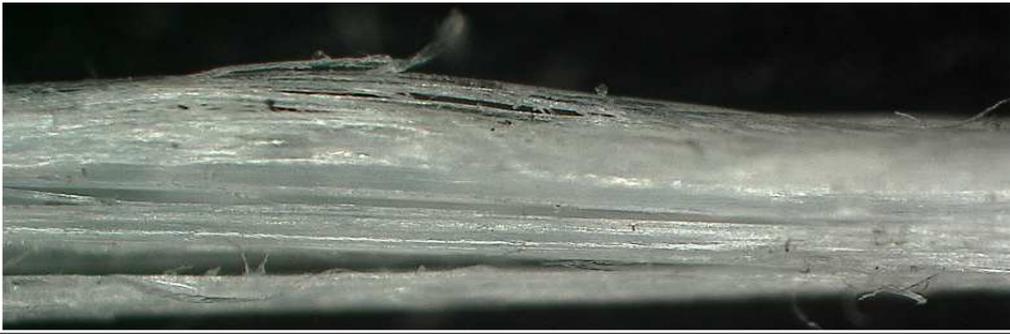
[그림 37] 외기노출 30일 로프 가닥의 표면

[그림 37]과 같이 외기노출 30일 로프 가닥의 표면을 보면 앞의 [그림 32]와는 다르게 신폼 로프의 가닥과 많이 다름을 알 수 있다. 일부 로프 가닥에서 주름진 형태를 확인할 수 있으며, 로프 가닥 표면에 퍼(Fur)나 파일(pile)의 발생을 미세하게 관찰 할 수 있다. 이러한 표면에 발생한 표면에 퍼(Fur)나 파일(pile)이 자외선에 노출에 의해 열화가 되어 구조가 잘라지는 것으로 사료되며, 이러한 현상이 로프의 강도를 약화시키는 것으로 판단된다.

저
배
율



중
배
율



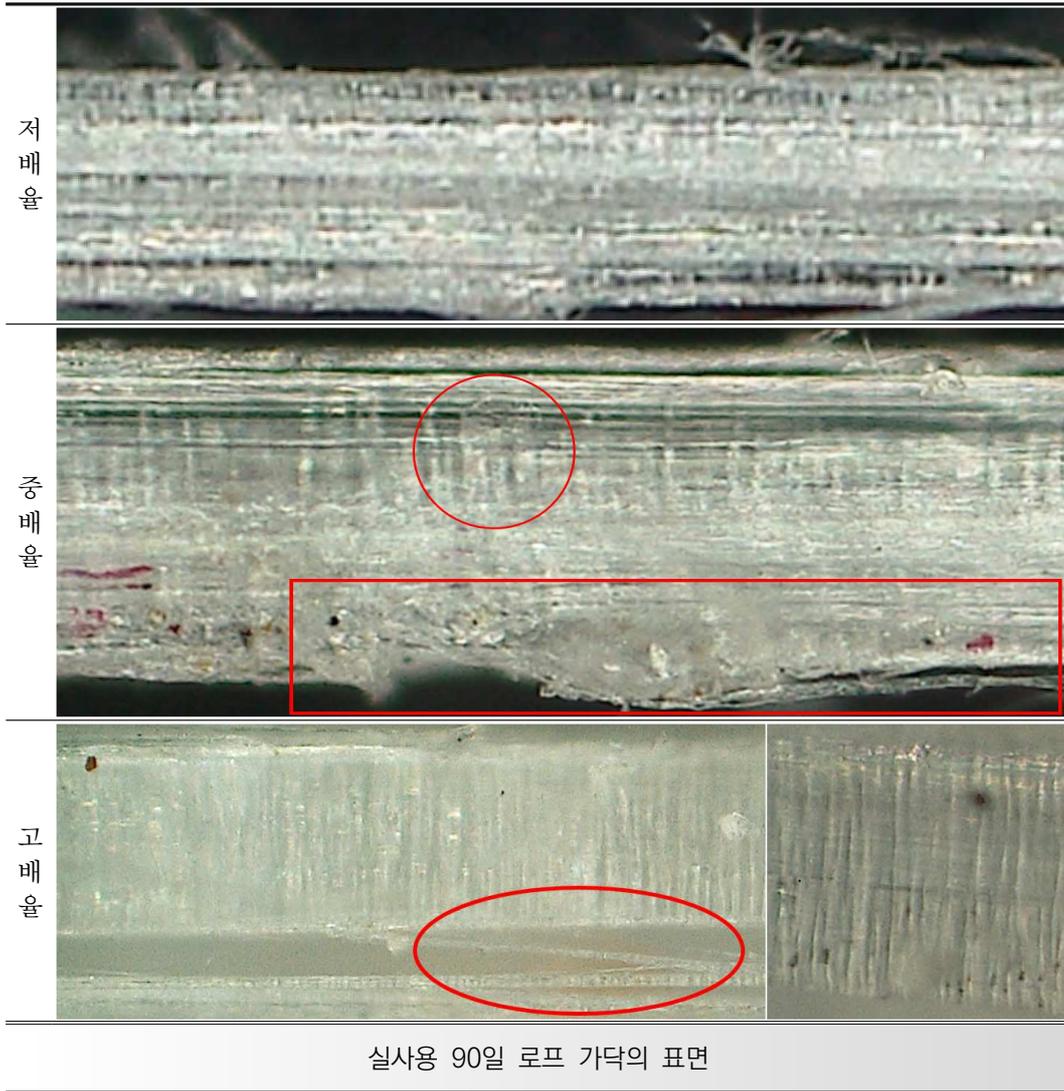
고
배
율



외기노출 90일 로프 가닥의 표면

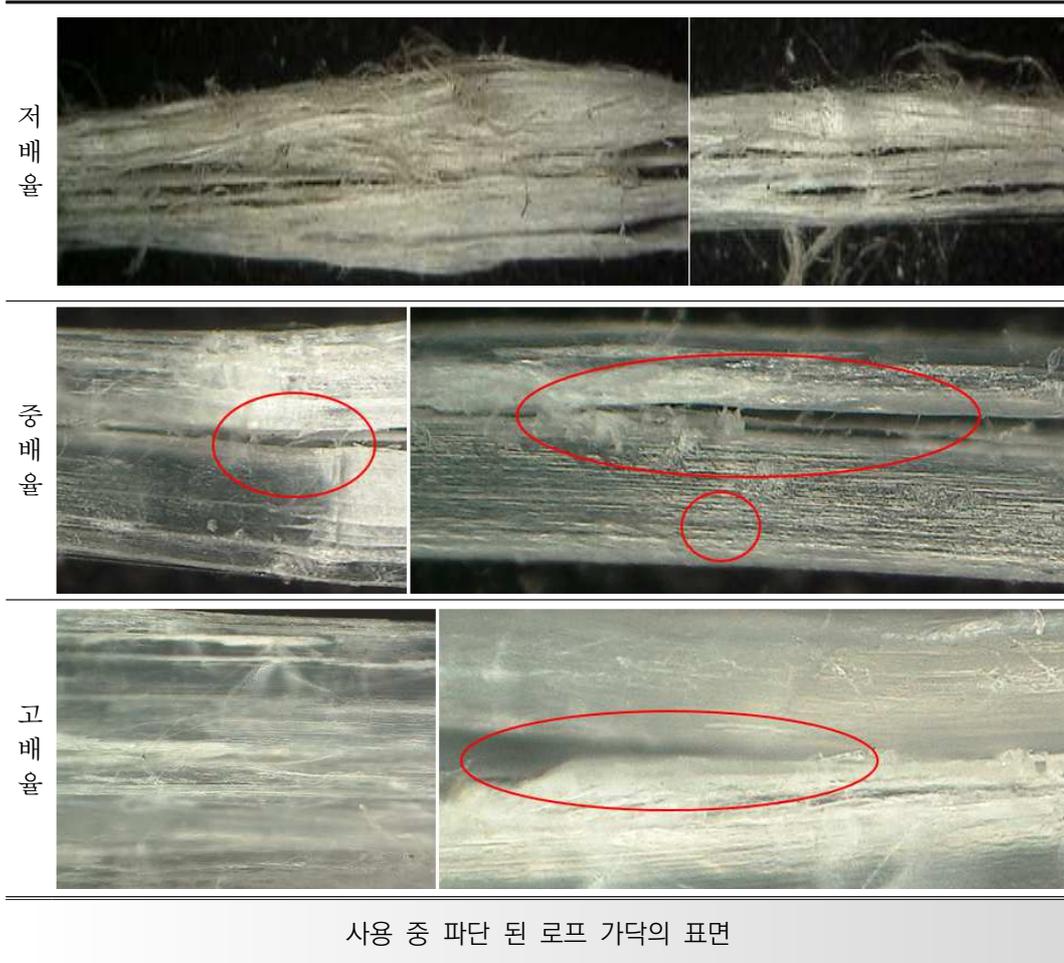
[그림 38] 외기노출 90일 로프 가닥의 표면

[그림 38]은 외기노출 90일 로프 가닥의 표면을 촬영한 이미지로서 로프 가닥 표면에 횡 방향으로 갈라짐 형태를 확인할 수 있으며, 로프 가닥 표면에 퍼(Fur)나 파일(pile)의 발생을 관찰 할 수 있다. 이러한 횡방향 갈라짐 현상은 자외선에 의해 로프의 가닥이 열화가 발생하여 강도저하가 발생 하는 것으로 사료 된다. 특히, [그림 36], [그림 37]을 비교 하면 PP로프가 자외선 노출이 길어짐에 따라 로프 가닥 표면의 갈라짐이 많아지고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실로 PP로프가 자외선에 취약하다는 사실을 확인 할 수 있었으며, 로프의 보관, 사용, 관리에 있어서 자외선 영향을 최소화 할 수 있는 방안이 필요하다.



[그림 39] 실사용 90일 로프 가닥의 표면

실사용 90일 로프의 경우 로프 가닥 횡 방향과 종 방향으로 갈라짐 형태를 확인할 수 있으며, 로프 가닥 표면에 퍼(Fur)나 파일(pile)의 발생을 관찰 할 수 있다. 이러한 갈라짐 현상은 자외선에 의한 열화와 사용자의 작업 방법 및 환경 등의 요인으로 발생 하는 것으로 사료 된다. 다만, [그림 38]과 비교해보면, [그림 39]은 실사용 로프로써 실제 사용 시 로프 표면과 작업 현장에서 마찰 등으로 인해 로프 가닥의 표면이 외기노출 로프보다 거칠다. 또한, 외기노출 로프의 경우 실외에 24시간 시료대 위에 걸어 놓기 때문에 실사용 로프의 경우 외기노출 로프보다 자외선에 노출이 적어 로프 가닥 표면의 횡 방향 갈라짐이 작음을 알 수 있으며, 종 방향 갈라짐은 로프 사용 시 충격에 의한 영향으로 판단된다.



[그림 40] 사용 중 파단 된 로프 가닥의 표면

사용 중 파단된 로프의 경우 로프 가닥 횡 방향으로 갈라짐과 주름 형태가 많음을 확인할 수 있으며, 로프 가닥 표면에 퍼(Fur)나 파일(pile)이 많이 발생함을 관찰 할 수 있다. 또한, 사용 일수와 사용 환경을 알 수 없어 판단하기에는 이르지만 횡 방향 갈라짐에 따른 일부 퍼(fur)가 열화에 의해 뭉쳐져 있는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 로프 가닥의 내부 갈라짐 현상에 의해 강도저하가 발생하여 로프가 파단된 것으로 판단된다. 따라서 이러한 로프 파단에 의한 사고사망재해를 예방하기 위해 로프 재질 특성을 반영한 관리 및 폐기 기준이 필요하다고 사료 된다.

3.3 시험 결과에 대한 고찰

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

외기노출 90일 로프의 경우 표면에 퍼(fur)나 파일(pile)의 발생 형태가 신품과 외기노출 30일 제품보다 많이 발생된 것을 육안으로도 확인 할 수 있었으며, 로프 가닥의 표면 촬영 결과 신품에 비해 많은 갈라짐과 균열을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 폴리프로필렌 소재의 특성으로 자외선 노출에 의해 구조 결합이 끊어져서 생기는 현상으로 볼 수 있다. 실제 섬유로프를 사용하지 않고 외기노출 90일 만으로도 재질의 강도가 저하됨에 따라 이러한 소재 특성을 반영한 로프 사용에 따른 관리 기준과 폐기 기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

달비계 작업용 섬유로프로 가장 많이 사용되는 폴리프로필렌 소재의 로프는 자외선에 의한 열화로 강도가 저하됨에 따라 근로자가 작업 중에 재해가 발생할 우려가 크므로 이에 대한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

실례로 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 반복 하중에 의한 피로와 자외선에 의한 경화에 따른 로프의 노후 발생으로 인한 것으로 판단된다.

따라서, 일정기간 외기에서 사용된 제품은 주기적으로 교체하여 사용되어야 할 것으로 판단되며, 달비계 작업용 섬유로프의 재질의 특성을 반영한 로프의 사용 및 관리 방안에 관련 내용을 포함하여야 할 것이다.

4. 달비계 작업용 합성섬유로프 관리방안 및 지침 개정(안) 제시

4.1 관리 방안의 필요성

달비계는 주로 건설현장에서 외장 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 못하며, 사용되는 로프의 재질의 특성이 반영된 기준이 없어 이러한 현장에 적합한 활용 기준이 필요하다.

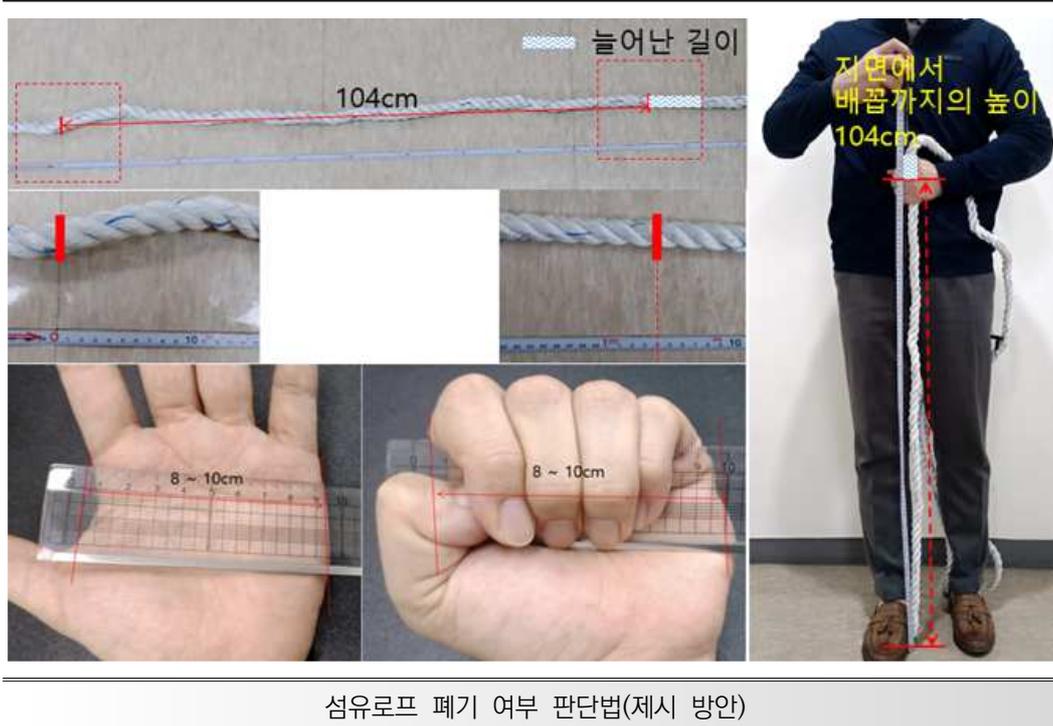
이에 섬유로프를 사용하는 작업현장에 로프의 관리 및 사용에 관한 기준을 제시함으로써 현장에서 관리자 또는 작업자가 로프의 사용 및 폐기 여부를 결정할 수 있는 구체적인 관리 방안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

4.2 관리 방안 제시

제시되는 관리기준은 달비계 작업현장에서 가장 많이 사용되는 폴리프로필렌(PP소재)로프의 재질 특성을 반영하였다. 앞에서 언급했듯이 PP로프는 자외선에 취약한 특성이 있어 외기 작업이 많은 외벽 도장 및 건물 외부 청소 작업 등에 사용된 로프는 일정기간 이상 외기 노출에 따른 로프의 강도 저하가 예상 된다.

우선, PP로프 보관 시 햇빛이 들지 않고 바람이 통하는 실내에서 원형 및 8자 형태로 보관하여야 하며, 로프의 킁킁 이나 킁크 등 꼬임 발생을 최소화하며 역지로 로프의 뒤틀림을 보정하려고 하면 안 된다. 폐기와 관련된 제시된 방안은 사용하고 있는 로프의 길이방향 연신율을 기준으로 판단하는 방법으로서, 로프의 직경의 감소와 인장시험 전후 로프의 직경 감소하는 사실에 착안하여 고안 하였다.

현장에서 간단하게 로프의 폐기 여부를 판단할 수 있는 기준은 다음과 같다. 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 기준(한국인 인체치수조사-성별 및 연령별 체형(www.sizekorea.kr)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.



[그림 41] 현장에서 적용 할 수 있는 섬유로프 판단 기준 제시(안)

4.3 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안) 제시

한국산업안전보건공단에서 제정하고 공표하는 KOSHA Guide는 산업안전보건법의 현장 작동성을 강화하고 사업장의 자기규율 예방체계 확립과 좀 더 높은 수준의 안전보건 향상을 위해 참고할 수 있는 기술적 내용을 쉽게 이해할 수 있도록 기술한 안전보건 가이드이다. KOSHA Guide는 법적 기준이 아닌 사업장과 근로자의 이해를 돕기 위해 작성된 기술적 권고 지침으로써, 달비계 작업과 관련하여 ‘작업의자형 달비계 안전작업 지침(KOSHA Guide C-33-2022)’을 마련하고 있으며, 최근 2022년 일부 내용을 개정하였다. 다만, 지침 내용 중 본 연구의 연구결과를 반영하여 개정이 필요한 부분이 있어 지침 개정(안) 제시가 필요하며 그 내용은 다음과 같다.

[표 37-1] 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안)

현 행	개 정(안)
4.2 작업의자형 달비계의 구성요소에 대한 안전조치 사항	4.2 작업의자형 달비계의 구성요소에 대한 안전조치 사항
4.2.1 작업용 로프 및 구멍줄의 종류와 특성	4.2.1 작업용 로프 및 구멍줄의 종류와 특성
(2) 작업용 로프 및 구멍줄 안전조치사항	(2) 작업용 로프 및 구멍줄 안전조치사항
(가) 달비계를 지지하는 모든 로프는 최소 22.9kN(2,340 kgf)의 강도를 가진 인조섬유(나일론이나 폴리프로필렌이 적합)이어야 하며, 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니된다.	(가) 달비계를 지지하는 모든 로프는 최소 22kN(2,245 kgf)의 강도를 가진 인조섬유(나일론이나 폴리프로필렌이 적합)이어야 하며 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니된다.

로프의 최소강도는 보호구 안전인증 고시(고용노동부고시 제2020-35호) [별표 9] 안전대의 성능기준(제27조 관련)에서 줌줄, 수직구멍줄의 시험성능 기준에 맞추었다. 기존의 22.9kN의 기준 설정이 불분명하고 고시 상의 안전인증 기준과 국외 기준으로 미국의 OSHA 기준과 맞지 않은 측면이 있어 국내 안전인증 고시 기준을 준용하였다.

[표 37-2] 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안) (계속)

현행	개정(안)
<p>(나) ~ (라) (마) 사용 전에 로프의 손상 유무를 반드시 검사하여야 하며 검사결과 과도하게 닳거나 손상, 변형된 부분이 발견되면 즉시 폐기하여야 한다. (바) 작업용 로프는 사용된 날부터 2년 이상이 되었거나 제조일로부터 3년 이상이 되었을 때에는 사용하지 않아야 한다. (사) ~ (아) (자) 일반적으로 P.P 또는 P.E 로프를 사용하는 경우, 작업용 로프는 직경 22mm이상, 구멍줄 로프는 16mm 이상을 사용하여야 한다.(단, 모든 로프는 최소 22.9kN(2,340 kgf)의 강도를 갖고, 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니 된다.)</p>	<p>(나) ~ (라) (마) 사용 전에 로프의 손상 유무를 반드시 검사하여야 하며 검사결과 과도하게 닳거나 손상, 변형된 부분이 발견되거나 또는 엄지손톱으로 로프 표면을 문질러서 로프 표면이 가루로 벗겨지는 경우 즉시 폐기하여야 한다. (바) 작업용 로프는 하절기(5월 ~ 9월)를 포함하여 사용된 날부터 9개월 이상이 되었거나 제조일로부터 3년 이상이 되었을 때에는 사용하지 않아야 한다. (사) ~ (아) (자) 일반적으로 P.P 또는 P.E 로프를 사용하는 경우, 작업용 로프는 직경 18mm이상, 구멍줄 로프는 16mm 이상을 사용하여야 한다.(단, 모든 로프는 최소 22kN(2,245 kgf)의 강도를 갖고, 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니 된다.)</p>

사용 전 로프의 손상·유무를 확인하기 위한 방법으로서 영국 BS EN 1891:1998(Personal protective equipment for the prevention of falls from a height - Low stretch kernmantel ropes)에서 규정하고 있는 로프와 관련한 표준기준서 자외선 노출로 인한 열화로 로프의 표면을 문질렀을 경우에 로프 표면이 가루로 벗겨지는 경우 폐기하도록 하는 조치를 인용하였다.

또한, 본 연구의 실험결과로서 자외선 지수가 높은 하절기(5월 ~ 9월)를 포함하여 로프를 사용한 기간이 9개월이 지났을 경우 폐기하도록 개정하였다. 본 연구에서 실사용 제품의 인장시험의 결과 추세선과 설문조사 결과를 보면 로프 구매 후 폐기까지 기간을 보면 9개월 이전이 18%이며, 9개월 ~ 12개월 미만이 16%로 1년 이내가 34% 정도를 차지하므로 로프 폐기 기간을 설정하였다.

작업용 로프의 직경은 18mm 이상으로 규정하였다. 본 연구에서 16mm 제품의 인장시험의 결과를 보면 16mm 로프의 인장강도는 보호구 안전인증 고시에서 요구하는 최소강도와 한국산업표준(KS)에서 규정된 인장강도를 만족하며, 설문조사 내용을 보면 실제 사용하는 작업용 로프에서 20mm는 52%, 18mm는 43%로 두 로프의 사용비중이 95%이며, 22mm는 3%로 사용 비중이 적다. 실제 현장에서도 20mm 이상은 무거워서 잘 사용하지 않고 현재의 지침이 현장의견을 반영하지 못한다는 의견이 많았다.

로프의 최소강도는 앞에서 언급했듯이 보호구 안전인증 고시(고용노동부고시 제 2020-35호) [별표 9] 안전대의 성능기준(제27조 관련)에의 수직구명줄의 시험성능 기준을 준용하였다.

[표 37-3] 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안) (계속)

현 행	개 정(안)
<p>4.2.4 작업의자형 달비계 작업대 안전조치사항</p> <p>(1) 작업의자형 달비계 작업대는 로프 슬링에 의해 4 개 모서리를 매달아야 하고 강도가 충분하고 부드러운 나무로 제작하되 폭은 25cm, 길이 60cm 이상과 목재인 경우는 두께 5cm 이상 및 내수성 합판인 경우는 1.8cm 이상이어야 한다.</p> <p>(2) 작업대를 고정하는 로프는 작업대를 대각선으로 교차한 후 고정철물 등으로 고정하여 로프가 작업대에서 탈락되지 않도록 하여야 한다.</p> <p>(3) 작업대로부터 상부 50cm 되는 지점까지는 로프를 보호하는 보호대(Guard)를 설치하여야 한다.</p> <p>(4) 못을 이용하여 로프를 고정할 경우에는 로프의 중간을 관통하여 못을 고정함으로써 로프의 손상 및 강도 저하의 원인이 되므로 로프를 고정할 때에는 로프를 관통하지 않고 고정하여야 한다.</p> <p>(5) 작업대의 재질은 평형을 잃지 않도록 미끄러짐이 없는 재질로 하여야 한다.</p> <p>(6) 작업대의 최대 적재량은 1.08kN(110 kgf) 이하가 되어야한다.</p> <p>〈추가〉</p>	<p>4.2.4 작업의자형 달비계 작업대 안전조치사항</p> <p>(1) 작업의자형 달비계 작업대는 로프 슬링에 의해 4 개 모서리를 매달아야 하고 강도가 충분하고 부드러운 나무로 제작하되 폭은 25cm, 길이 60cm 이상과 목재인 경우는 두께 5cm 이상 및 내수성 합판인 경우는 1.8cm 이상이어야 한다.</p> <p>(2) 작업대를 고정하는 로프는 작업대를 대각선으로 교차한 후 고정철물 등으로 고정하여 로프가 작업대에서 탈락되지 않도록 하여야 한다.</p> <p>(3) 작업대로부터 상부 50cm 되는 지점까지는 로프를 보호하는 보호대(Guard)를 설치하여야 한다.</p> <p>(4) 못을 이용하여 로프를 고정할 경우에는 로프의 중간을 관통하여 못을 고정함으로써 로프의 손상 및 강도 저하의 원인이 되므로 로프를 고정할 때에는 로프를 관통하지 않고 고정하여야 한다.</p> <p>(5) 작업대의 재질은 평형을 잃지 않도록 미끄러짐이 없는 재질로 하여야 한다.</p> <p>(6) 작업대의 최대 적재량은 1.08kN(110 kgf) 이하가 되어야한다.</p> <p>(7) 작업대를 고정하는 로프는 연결 후 최소 10.8kN(1,100 kgf)의 강도를 갖고 있어야 하며 폴리프로필렌 소재의 섬유 재질일 경우 사용된 날부터 2년 이상 경과 되었을 때에는 교체하여야 한다.</p>

최근 10년간(2013년~2022년) 달비계 관련 중대재해보고서 분석 결과 작업대를 고정하는 로프의 끊어짐으로 인한 재해가 22.2%로 많은 발생하고 있지만, 작업대를 고정하는 로프와 관련된 기준이나 규정, 지침 등의 내용이 없었다. 이에 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안)에 작업대 지지로프와 관련 내용을 추가 하였다. 로프의 최소 강도는 작업대의 최대 적재량에서 안전율 10을 적용하였으며, 로프의 교체주기는 설문조사에서 작업대 지지로프 교체주기 관련 내용과 달비계 작업자와 안전관리자의 현장인터뷰 내용을 반영하여 기간을 설정하였다.

또한, 아래의 <표 37-4>의 내용에서 보듯이 작업대 지지로프의 연결부와 접촉부에 대해 이상 유무를 점검하도록 하였으며, 샤크의 상태와 연결되는 부분의 점검도 개정(안)에 추가하여 작업자가 작업대를 고정하는 로프 끊어짐으로 인한 재해를 예방하고자 한다.

[표 37-4] 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안) (계속)

현 행	개 정(안)
<p>5. 작업의자형 달비계 작업 시 안전준수사항</p> <p>5.1 준비작업</p> <p>(1) ~ (3)</p> <p>(4) 달비계 및 추락방지 설비의 단계별 사전 점검사항은 다음과 같다.</p> <p>(가) 1 단계 : 고리(Anchor), 안전대, 카라비너, 샤클 등 철물의 점검</p> <ul style="list-style-type: none"> - 손상되거나 부서지거나 휘어지면 안 된다. - 날카로운 모서리, 틈, 닳은 부분, 녹 등이 없어야 한다. - 카라비너의 후크는 자유롭게 움직이고 닫힐 때 자동으로 잠겨야 한다. <p>(나) 2 단계 : 로프의 검사</p> <ul style="list-style-type: none"> - 로프는 헤지거나 소선의 절단, 마모 또는 불타거나 변색된 부분이 없어야 한다. - 로프는 과도한 흙, 도료(페인트), 녹이나 얼룩이 없어야 한다. - 그을리거나 변색되거나 물러진 부분 등 화학적 또는 열에 의한 손상 여부를 확인한다. - 로프 표면의 변색과 터짐 등 자외선에 의한 손상을 확인한다. - 이상의 모든 요소들은 강도가 줄어들었음을 나타내므로 손상되거나 의구심이 드는 로프를 사용하면 안 된다. <p>(다) 3 단계 : 작업대의 검사</p> <ul style="list-style-type: none"> - 작업대의 나무판을 검사하여 나무의 균열여부를 확인한다. 거친 모서리나 홈은 갈라짐을 야기할 수 있으므로 주의하여 검사한다. - 작업대(나무판 외) 변형, 손상 등 접합부의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다. <p>(라) 4 단계 : 검사 날짜와 결과를 기록</p> <ul style="list-style-type: none"> - 검사를 실시한 후 날짜와 결과를 기록하여 보관한다. <p>(5) ~ (6)</p> <p>5.3 로프 결속작업</p> <p>(1) ~ (3)</p> <p>(4) 작업용 로프와 구멍줄은 각각 별도의 고정점에 묶어야 하며 고정점은 22.9kN(2,340 kgf) 이상을 지지할 수 있어야 한다.</p>	<p>5. 작업의자형 달비계 작업 시 안전준수사항</p> <p>5.1 준비작업</p> <p>(1) ~ (3)</p> <p>(4) 달비계 및 추락방지 설비의 단계별 사전 점검사항은 다음과 같다.</p> <p>(가) 1 단계 : 고리(Anchor), 안전대, 카라비너, 샤클 등 철물의 점검</p> <ul style="list-style-type: none"> - 손상되거나 부서지거나 휘어지면 안 된다. - 날카로운 모서리, 틈, 닳은 부분, 녹 등이 없어야 한다. - 카라비너의 후크는 자유롭게 움직이고 닫힐 때 자동으로 잠겨야 한다. <p>(나) 2 단계 : 로프의 검사</p> <ul style="list-style-type: none"> - 로프는 헤지거나 소선의 절단, 마모 또는 불타거나 변색된 부분이 없어야 한다. - <u>로프는 킁킁 또는 호클이 형성된 부분이 없어야 하며, 강제로 힘을 가해 제거하지 말아야 한다.</u> - 로프는 과도한 흙, 도료(페인트), 녹이나 얼룩이 없어야 한다. - 그을리거나 변색되거나 물러진 부분 등 화학적 또는 열에 의한 손상 여부를 확인한다. - 로프 표면의 변색과 터짐 등 자외선에 의한 손상을 확인한다. - 이상의 모든 요소들은 강도가 줄어들었음을 나타내므로 손상되거나 의구심이 드는 로프를 사용하면 안 된다. <p>(다) 3 단계 : 작업대의 검사</p> <ul style="list-style-type: none"> - 작업대의 나무판을 검사하여 나무의 균열여부를 확인한다. 거친 모서리나 홈은 갈라짐을 야기할 수 있으므로 주의하여 검사한다. - 작업대(나무판 외) 변형, 손상 등 접합부의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다. - <u>작업대를 고정하는 로프의 변형, 손상 등 연결된 부분과 작업대의 접촉부분의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다.</u> - 작업대 샤클의 변형, 손상, 로프와의 연결 부분 등 제품의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다. <p>(라) 4 단계 : 검사 날짜와 결과를 기록</p> <ul style="list-style-type: none"> - 검사를 실시한 후 날짜와 결과를 기록하여 보관한다. <p>(5) ~ (6)</p> <p>5.3 로프 결속작업</p> <p>(1) ~ (3)</p> <p>(4) <u>작업용 로프와 구멍줄은 각각 별도의 고정점에 묶어야 하며 고정점은 22kN(2,245 kgf) 이상을 지지할 수 있어야 한다.</u></p>

4.4 관리방안 및 지침 개정(안) 타당성 분석

본 장에서는 연구결과를 바탕으로 달비계 작업용 합성섬유로프의 로프 관리 방안과 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안)에 대하여 타당성 검토를 실시하고자 한다. 타당성 검토는 한국산업안전보건공단 전문가와 달비계 작업 관계자, 그리고 건설현장 안전관리자를 대상으로 설문 실시하여 그 결과를 바탕으로 하였으며, 그 구체적인 내용은 다음과 같다.

4.4.1 설문조사 개요

본 설문조사는 건물 외벽의 청소 및 도장 등 건설현장 및 건물의 유지보수에 사용되는 달비계 작업에 주로 사용되는 합성섬유로프가 외기 노출에 의해 강도 변화에 대한 연구결과를 바탕으로 KOSHA GUIDE ‘작업의자형 달비계 안전작업 지침’에 대한 로프 점검방법, 사용 및 폐기 기준에 대하여 다양한 이해당사자들의 의견을 청취하고 수렴하고자 수행하였다.

본 설문은 달비계 작업과 실질적으로 관련이 있는 사용자 즉, 달비계 작업자, 건설현장의 안전관리자 그리고 한국산업안전보건공단에서 달비계 관련 중대재해 조사에 참여했던 관련 전문가 등 관련 분야 업무를 수행하는 자를 대상으로 실시하였으며, 총55명이 응답해주셨고 전체 응답 결과를 중심으로 심층적으로 분석하여 정리하였다.

4.4.2 설문조사 모형 및 결과 분석

본 설문조사 모형은 크게 일반사항, 작업의자형 달비계 작업과 관련한 기본 설문, 달비계 작업용 합성섬유로프의 현장 폐기 방안과 관련하여 실효성 관련 항목으로 구분하고, 설문조사 대상에 따라 적합한 문항을 구성하였다.

‘일반사항’의 경우는 소속, 업무분야, 근무경력, 직급 등 업무 경력 등을 구분하여 설문모형을 구성하였다.

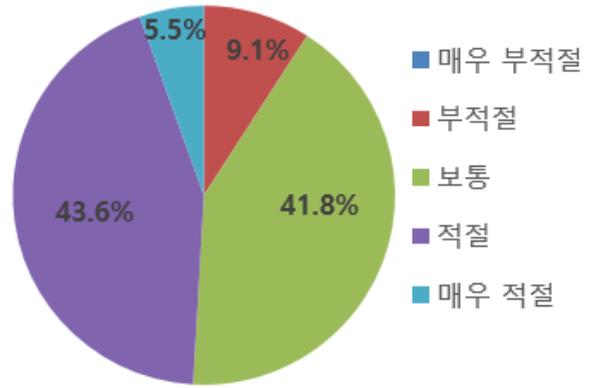
‘달비계 작업용 합성섬유로프의 현장 폐기 방안’ 사항의 경우는 현재 고시나 지침에서 제시하는 방안이 현장에서 작업자가 로프의 폐기 여부를 판단하기 어려워 현장에서 누구나 쉽게 합성섬유로프의 폐기 여부를 판단할 수 있는 방안에 대해서 적정성 여부에 대한 문항을 배치하여 구성하였다.

‘작업의자형 달비계 안전작업 지침에 대한 설문’ 사항의 경우는 사용 로프에 대한 최소강도 기준에 대해 보호구 안전인증 기준에 맞추고, 로프의 점검 방법과 사용 및 폐기 기준과 관련하여 적정성 여부에 대한 문항으로 구성하였다. 세부적인 설문조사의 모형 구성과 결과분석 내용을 다음과 같다.

[표 38] 달비계 작업용 로프 관리 방안

(단위 : %)

구분		비율
합성섬유로프 현장 사용 및 폐기 기준 방안	매우 부적절	0.0
	부적절	9.1
	보통	41.8
	적절	43.6
	매우 적절	5.5
	합계	100

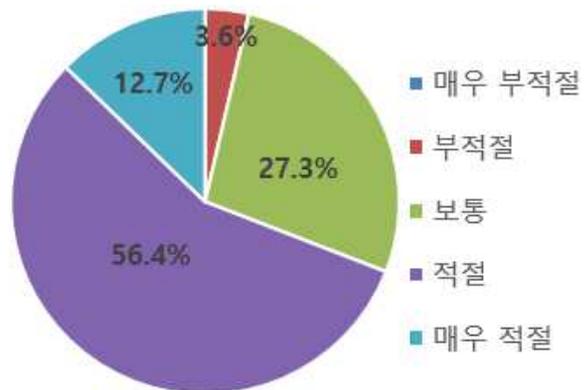


‘달비계 작업용 합성섬유로프의 현장 폐기 방안’ 사항의 경우는 현재 산업안전보건 기준에 관한 규칙이나 KOSHA GUIDE에서 제시하는 방안은 현장에서 사용 또는 폐기 여부를 결정할 수 있는 기준으로 활용하기에는 구체성이 다소 결여되어 있다. 이에 로프의 연신율을 바탕으로 작업현장에서 관리자 또는 작업자가 사용 및 폐기 여부를 결정할 수 있는 구체적인 방안에 대한 제시 사항에서 적절하다는 의견이 전체의 43.6%, 매우 적절 하다는 의견이 5.5% 응답 하였다. 보통이라는 의견까지 포함하면 ‘달비계 작업용 합성섬유로프의 현장 폐기 방안’ 사항에서 긍정적인 응답은 전체의 90.9%를 차지하여 적절하다고 판단된다.

[표 39] 달비계 작업용 로프 최소 인장강도 기준

(단위 : %)

구분		비율
합성섬유로프 최소 인장 기준 보호구 안전인증 기준과 일치	매우 부적절	0.0
	부적절	3.6
	보통	27.3
	적절	56.4
	매우 적절	12.7
	합계	100

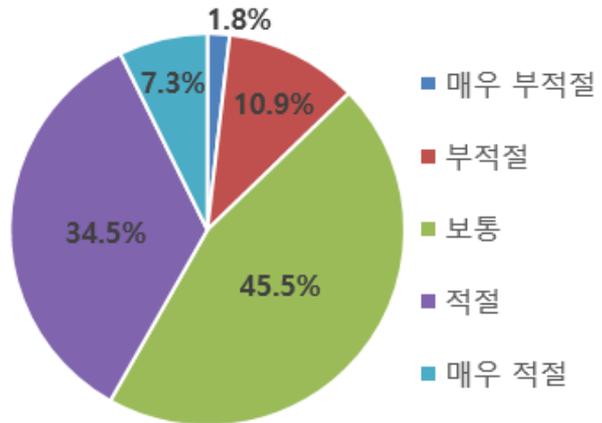


‘작업의자형 달비계 안전작업 지침’에 명기된 섬유로프의 최소 인장 기준이 보호구 안전인증 고시에서 규정하고 있는 수직구명줄의 최소 강도와 OSHA에서 규정하고 있는 로프의 최소 강도와 모두 상이하다. 안전대 안전인증 시 보호구 안전인증 고시에 따라 수직구명줄도 안전대를 구성하는 품목으로서 동일하게 고시 규정을 적용함에 따라 KOSHA Guide(작업의자형 달비계 안전작업지침: C-33-2022)도 동일하게 적용하였다. 이에 대한 설문응답으로 적절하다는 의견이 56.4%, 매우 적절하다는 의견이 12.7%로 지침 개정(안)으로 타당하다고 판단된다.

[표 40] 달비계 작업용 로프 검사 기준

(단위 : %)

구분		비율
사용 전 로프의 검사 기준 (BS EN 적용)	매우 부적절	1.8
	부적절	10.9
	보통	45.5
	적절	34.5
	매우 적절	7.3
	합계	100

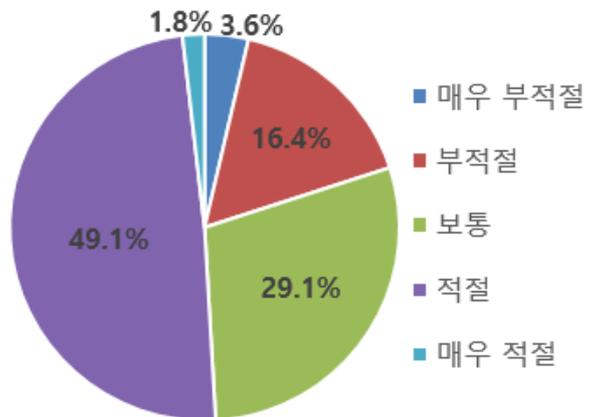


합성섬유로프의 사용 전 검사에서 영국 BS EN 1891:1998에서 규정하고 있는 사용 전 검사 기준을 준용하였다. 현행 KOSHA Guide(작업의자형 달비계 안전작업지침: C-33-2022)의 기준은 ‘과도하게 닳거나 손상’ 등의 표현으로 현장에서 적용하기에는 다소 구체성이 떨어지기 때문이다. 이에 대한 설문응답으로 보통이라는 의견이 45.5%, 적절이라는 의견이 34.5%, 매우 적절하다는 의견이 7.3%로 개정(안)으로 타당하다고 판단된다.

[표 41] 달비계 작업용 로프 폐기 기준

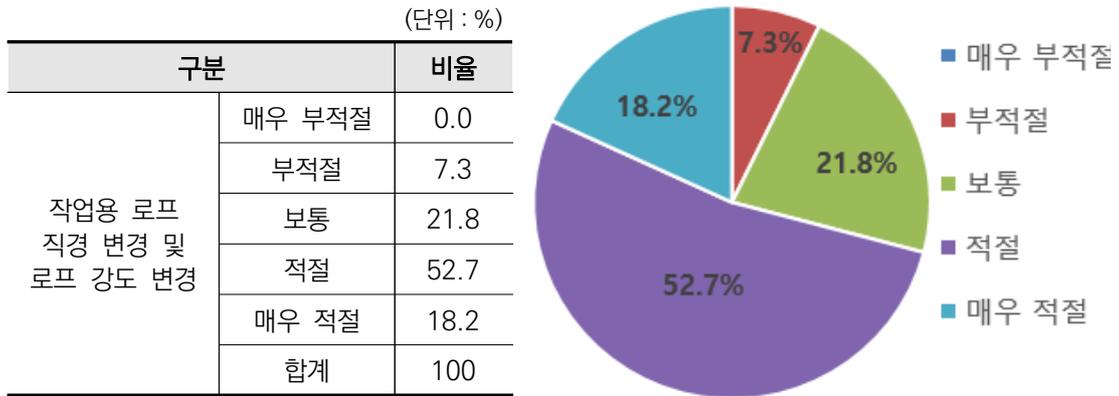
(단위 : %)

구분		비율
작업용 로프 폐기 기준 (연구 결과 적용)	매우 부적절	3.6
	부적절	16.4
	보통	29.1
	적절	49.1
	매우 적절	1.8
	합계	100



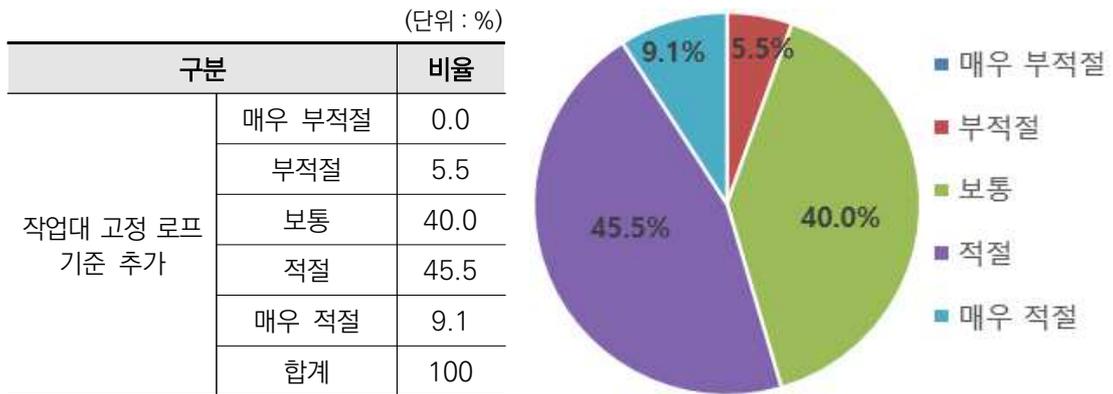
합성섬유로프의 폐기 기준으로서 본 연구 결과에서 도출된 사항을 적용하였다. 현행 KOSHA Guide(작업의자형 달비계 안전작업지침: C-33-2022)의 기준은 ‘사용된 날부터 2년 이상’으로 규정되어 있으나, 폴리프로필렌 로프의 경우 연구 결과 외기 노출로 인한 강도의 저하로 한국산업표준(KS)에서 규정된 인장강도를 하회함에 따라 ‘하절기(5월 ~ 9월)를 포함하여 사용된 날부터 9개월 이상’으로 개정(안)을 제시하였다. 이에 대한 설문응답으로 보통이라는 의견이 29.1%, 적절이라는 의견이 49.1%, 매우 적절하다는 의견이 1.8%로 개정(안)으로 타당하다고 판단된다. 다만, 매우 부적절 3.6%, 부적절 16.4%로 부정적인 의견도 있음을 확인할 수 있었다. 이는 작업자들의 로프 교체주기가 짧아짐에 따라 비용이 늘어날 것으로 예상되기 때문인 것으로 파악되었다.

[표 42] 달비계 작업용 로프 사용 기준



합성섬유로프의 작업용 로프 직경에 대해 현행 KOSHA Guide(작업의자형 달비계 안전작업지침: C-33-2022)의 기준은 ‘작업용 로프는 직경 22mm이상, 구명줄 로프는 16mm 이상을 사용하여야 한다.’로 규정되어 있으나, 한국산업표준(KS)에서 규정된 인장강도와 본 연구의 결과와 사용실태조사 결과를 반영하여 ‘작업용 로프는 직경 18mm이상, 구명줄 로프는 16mm 이상을 사용하여야 한다.’로 개정(안)을 제시하였다. 이에 대한 설문응답으로 보통이라는 의견이 21.8%, 적절이라는 의견이 52.7%, 매우 적절하다는 의견이 18.2%로 개정(안)으로 타당하다고 판단된다. 설문조사 결과에서도 실제 20mm 이상의 로프 사용은 안하는 추세이며, 현장 실태조사에서도 이 부분의 개정이 필요하다는 의견이 많았다.

[표 43] 달비계 작업대 고정로프 기준



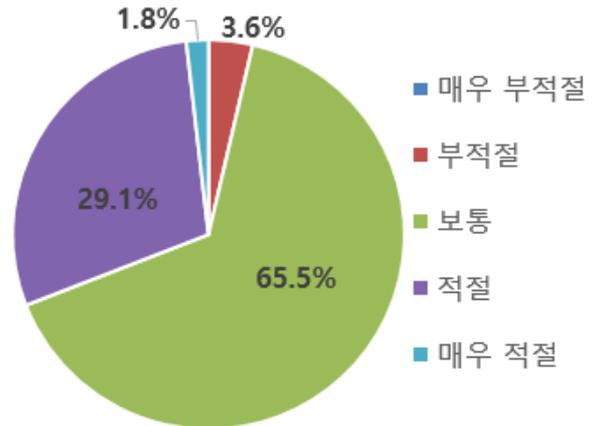
작업의자형 달비계 작업에 사용되는 작업대를 고정하는 로프에 대하여 현행 KOSHA Guide(작업의자형 달비계 안전작업지침: C-33-2022)에 규정된 사항은 없었다. 또한, 작업대 지지로프 파단에 따른 중대재해가 지속적으로 발생하고 있는 현실에서 이를 규정하는 지침이 필요하다고 판단하였다. 이에 본 연구의 결과와 사용실태조사 결과를 반영하여 ‘작업대를 고정하는 로프는 연결 후 최소 10.8kN(1,100 kgf)의 강도를 갖고 있어야 하며 폴리프로필렌 소재의 섬유 재질일 경우 사용된 날부터 2년

이상 경과 되었을 때에는 교체하여야 한다.’ 로 개정(안)을 제시하였다. 이에 대한 설문응답으로 보통이라는 의견이 40.0%, 적절이라는 의견이 45.5%, 매우 적절하다는 의견이 9.1%로 개정(안)으로 타당하다고 판단된다.

[표 44] 달비계 작업 전 로프 점검 기준

(단위 : %)

구분		비율
작업 전 로프 점검 기준 추가 (로프의 검사)	매우 부적절	0.0
	부적절	3.6
	보통	65.5
	적절	29.1
	매우 적절	1.8
	합계	100

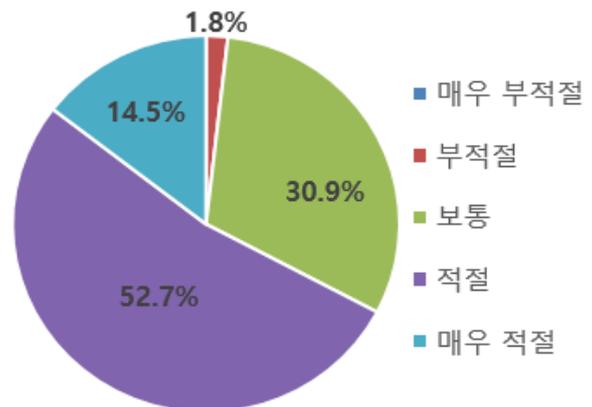


달비계 작업 전 로프의 검사 항목에서 한국산업표준(KS K ISO 9554:2010 섬유로프-일반 명세)에서 규정하는 ‘로프는 킁킁 또는 호클이 형성된 부분이 없어야 하며, 강제로 힘을 가해 제거하지 말아야 한다.’ 는 내용을 추가하여 개정(안)으로 제시하였다. 이에 대한 설문응답으로 보통이라는 의견이 65.5%, 적절이라는 의견이 29.1%로 개정(안)으로 타당하다고 판단된다.

[표 45] 달비계 작업 전 작업대 점검 기준

(단위 : %)

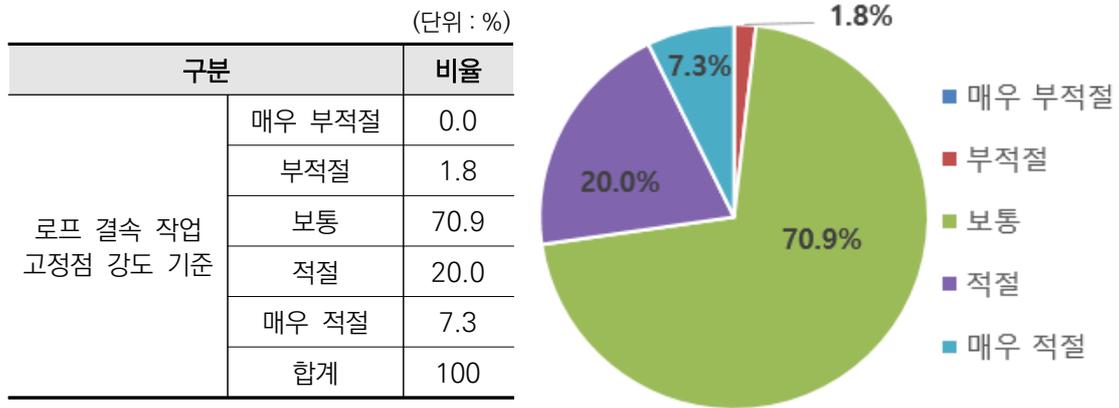
구분		비율
작업 전 작업대 점검 기준 추가 (작업대의 검사)	매우 부적절	0.0
	부적절	1.8
	보통	30.9
	적절	52.7
	매우 적절	14.5
	합계	100



작업의자형 달비계 작업에 사용되는 작업대에 대해 작업 전 점검 사항으로 작업대와 작업대를 고정하고 연결되는 로프를 점검하는 사항이 현행 KOSHA Guide(작업의자형 달비계 안전작업지침: C-33-2022)에 규정된 사항이 없어 ‘작업대를 고정하는 로프의 변형, 손상 등 연결된 부분과 작업대의 접촉부분의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다.’, ‘작업대 샤프의 변형, 손상, 로프와의 연결 부분 등 제품의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다.’ 로 개정(안)을 제시하였다. 이에 대한 설문응답으로 보통이

라는 의견이 30.9%, 적절하다는 의견이 52.7%, 매우 적절하다는 의견이 14.5%로 개정(안)으로 타당하다고 판단된다.

[표 46] 달비계 작업 로프 결속 점검 기준



‘작업의자형 달비계 안전작업 지침’에 규정된 고정점을 지지하는 최소 강도기준을 개정(안)으로 제시된 로프의 최소 강도 기준과 일치시켰다. 이에 대한 설문응답으로 보통이라는 의견이 70.9%, 적절하다는 의견이 20.0%, 매우 적절하다는 의견이 7.3%로 지침 개정(안)으로 타당하다고 판단된다.

4.5 관리방안 및 지침 개정(안)에 대한 고찰

본 장에서는 연구결과를 바탕으로 달비계 작업용 합성섬유로프의 로프 관리 방안과 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안)을 제시하고 이에 관련된 내용으로 타당성 검토를 실시하였다.

로프 관리 방안은 로프의 길이 방향 연신율을 바탕으로 현장에서 작업자가 쉽게 사용 및 폐기 여부를 쉽게 확인할 수 있도록 방안을 제시하였으며, 현장의 의견은 쉽게 활용할 수 있을 것이라는 의견을 많이 주셨다. 한국산업표준(KS 기준)과 산업 안전보건 기준에 관한 규칙에서 제시하는 길이와 지름의 치수 감소 비율은 현장에서 매년 측정하기도 어렵고 정확하지 않기 때문에 제시된 방안에 대해 전향적인 의견을 주신 것으로 판단된다.

현행 KOSHA Guide(작업의자형 달비계 안전작업지침: C-33-2022) 내용에 대한 일부 개정 사항은 현장의견과 설문조사 내용을 토대로 개정(안)을 제시하였으며, 본 연구의 결과를 바탕으로 제시하였기에 타당성 검토를 위한 설문에서도 긍정적인 의견을 많이 받을 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구방향 제시

5.1 결론

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(2013년~2022년)간 발생한 달비계 관련 중대재해 보고서 154건을 분석한 결과를 보면 로프를 고정하는 고정점에서 작업로프가 풀려서 사고가 발생하여 사망한 작업자가 33.1%(51명)로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 작업 중 모서리와 로프의 마찰 또는 로프의 노후 등으로 인해 작업로프의 끊어짐에 따른 사고사망자가 23.4%(36명)로 많이 발생하였다. 이번 연구에서는 주요 재해원인 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 외기에 노출하여 신품과 대비하여 어느 정도 강도가 감소되는지를 확인해 보았다. 외기노출 30일 제품의 경우 신품과 거의 유사한 강도를 보였으나, 섬유 소선을 현미경으로 확인 해보면 상태 변화가 있음을 알 수 있었다. 외기노출 90일 제품의 경우 16mm 로프의 경우 최대 51.7%, 20mm의 경우 최대 39.8% 인장강도가 감소한 것을 확인 할 수 있었으며, 로프 파단 형태도 신품과 다름을 알 수 있었다.

이러한 합성섬유로프의 외기 노출에 의한 인장강도 변화에 대한 연구결과를 바탕으로 달비계 작업자의 안전한 작업을 위해서 KOSHA GUIDE 개정(안)(KOSHA GUIDE C-33-2022 : 작업의자형 달비계 안전작업 지침)과 현장에서 달비계 작업용 섬유로프의 사용 및 폐기 여부를 간편하게 확인할 수 있는 방안을 제시하였다.

이와 같은 달비계 작업용 섬유로프 관리 방안과 안전작업 지침 개정(안)의 제시는 달비계 작업자의 추락을 사전에 예방하고 안전한 작업을 위해 필요하다고 사료된다.

5.2 향후 연구방향

본 연구의 목적은 고층건물에서 외벽도장, 유리 벽면 청소, 코킹작업 등 달비계 작업자들의 추락사고 재해를 예방하기 위함이다. 달비계 작업의 중대재해 분석을 하면서 주요재해 원인인 작업로프 풀림에 의한 재해는 로프의 매듭 방법이나 로프의 풀림 방지를 위한 시건장치 사용 등 안전관리자 또는 작업자가 사전에 예방할 수 있는 방안이 충분히 마련되어 있다. 로프의 고정점 결손에 의한 재해도 수직구명줄의 설치와 로프 설치 후 점검, 이중 고정점 결속 등의 방법으로 사전에 재해를 예방할 수 있는 방법이 충분히 마련되어 있다. 하지만 로프의 노후에 따른 끊어짐에 의한 재해는 로프 표면의 노후 정도로 근로자가 로프 폐기 여부를 판단하기 어렵고 로프의

폐기 및 관리 기준이 명확하지 않아 현장에서 적용하기가 어렵다. 이러한 문제를 인식하고 본 연구를 통해 현장에서 근로자가 쉽게 로프를 폐기 여부를 판단할 수 있는 방안을 제시하고자 하였고 연구결과에 방안을 제안하였다.

다만, 본 연구를 진행하면서 다양한 실험데이터를 확보하지 못한 부분이 있어 연구 결과에 대한 일반화를 위해서는 달비계 작업에 사용되는 합성섬유로프의 재질의 종류 및 직경 크기에 따른 실험결과가 필요하다. 이에 다음과 같은 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

로프의 재질을 폴리프로필렌(PP), 폴리에틸렌(PE), 나일론(Nylon) 세 종류를 선택하고 외기 노출기한을 1월에서 12월까지 1년 기간 동안 외기에 노출시키고 30일 구간 별로 인장강도 시험을 통해 자외선 노출로 인한 합성섬유로프의 인장강도 감소 경향을 더 정확히 확인해 볼 필요가 있다.

이러한 후속연구가 진행이 되어 연구결과가 도출이 된다면 산업현장에서 쓰이는 합성섬유로프의 관리 및 폐기 기준을 정립하는데 많은 역할을 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 고용노동부(2023), “산업안전보건기준에 관한 규칙 제63조 제1항 제2호(고용노동부령 제399호)”, 고용노동부
- [2] 고용노동부(2023), “산업안전보건기준에 관한 규칙 제63조 제2항 제9호(고용노동부령 제399호)”, 고용노동부
- [3] 고용노동부(2020), “보호구 안전인증 고시(고용노동부 고시 제2020-35호)”, 고용노동부
- [4] 김정수, 김남훈, 서무경 등(2018), “고밀도 폴리에틸렌 섬유를 이용한 무어링 로프 개발”, 한국마린엔지니어링학회, vol.42, No.4, pp.338-342
- [5] 김주용, 홍철재, 조항진(2007), “컴퓨터 모사를 이용한 로프 및 브레이드의 역학적 특성 예측 모델”, 한국섬유공학회, vol.40, No.2, pp.529-530
- [6] 김연실, 김홍직, 서정우 등(2017), “가설재 비계 해체 시 작업자 추락방지를 위한 수직 구멍줄 개선”, 한국건설관리학회, vol.11. pp. 41-42
- [7] 박성민, 이승재, 강수원(2017), “섬유로프 계류시스템의 크리프 효과가 부유체의 운동응답 및 계류선의 장력에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한조선학회, vol.54, No.2, pp.151-160
- [8] 박병규(2013), “천연섬유/고분자 복합재료의 분해 특성”, 한국과학기술정보연구원
- [9] 손기영, 김대영, 윤성민 등(2019), “해외 선진국 추락사고 예방기법 사례연구”, 산업안전보건연구원.
- [10] 송상민, 김민섭, 신대용 등(2022), “고소작업용 섬유로프의 고정 매듭법에 따른 강도 변화의 해석 및 실험적 연구”, 한국안전학회, vol.37, No.3, pp.1-8
- [11] 신운철, 정성춘, 이로나(2014), “건설업에서 떨어짐의 사망재해 원인 분석”, 대한안전경영과학회지, vol.16, No.4, pp.63-69
- [12] 오준석(2021), “해외 선진국 추락사고 예방기법에 대한 사례분석을 통한 국내 관련 법령 및 정책 비교”, 국토교통부

- [13] 오준석, 이주형, 전상섭 등(2019), “건설현장 추락재해 방지를 위한 해외 선진 국간의 법령비교 연구”, 한국건축시공학회, vol.19, No.2, pp.199-200
- [14] 유성근, 김태균, 서명재 등(2021), “외벽청소로봇(ROPE RIDE)의 등강 로봇 플랫폼을 위한 로프 모델링 및 검증”, 로봇학회, vol.4, No.3, pp.191-195
- [15] 유성수, 정민기, 김선용 등(2021), “달비계 추락사고 예방을 위한 IoT(사물인터넷) 기술을 접목한 추락방지대 개발”, 산업안전보건연구원
- [16] 이주혁, 김성복, 조국영(2015), “옥외용 고분자 막의 축진 자외선 노출 영향 연구”, 한국공업화학학회, vol.26, No.3, pp.326-330
- [17] 이은주, 이창환, 김주용(2010), “해양용 로프의 내마모성에 관한 연구”, 한국염색가공학회, vol.22, No.4, pp.373-379
- [18] 임형철, 이동현, 정성춘(2019), “건설현장 달비계 추락재해 예방을 위한 사례분석 연구”, 한국산학기술학회, vol.20, No.9, pp.121-126
- [19] 임형철, 이동현, 정성춘(2019), “건설공사 달비계 사용 실태조사를 통한 사고저감 방안 연구”, 한국건설관리학회, vol.20, No.6, pp.66-73
- [20] 임형철, 김대영, 윤석현 등(2018), “달비계 작업방법 및 설비 개선에 관한 연구”, 산업안전보건연구원.
- [21] 정성춘, 이로나(2016), “건설현장 말비계 재해예방 실태조사와 개선에 관한 연구”, 대한안전경영과학회, vol.18, No.2, pp.37-46
- [22] 최두호(2019), “건설현장 추락사고 예방을 위한 사례 연구”, 한국건설관리학회, vol.20, No.6, pp.81-88
- [23] 한국산업안전보건공단(2022), “KOSHA Guide C-33-2022. 작업의자형 달비계 안전작업지침”, 한국산업안전보건공단
- [24] 한국산업안전보건공단, “산업재해통계(2013 ~ 2022)”, 한국산업안전보건공단
- [25] 한국섬유소재연구원(2014), “식물섬유의 열화에 의한 변색과 강도변화”, 산업기술정보
- [26] 한국표준협회, “KS F 2274:2018 건축용 합성수지재의 축진 노출 시험 방법”

- [27] 한국표준협회, “KS G ISO 14567:2010 추락 방지용 개인 보호 장비 - 단일 접점 앵커 장치”
- [28] 한국표준협회, “KS G ISO 16024:2005 추락 방지용 개인 보호 장비 - 연성 수평 구멍줄 시스템”
- [29] 한국표준협회, “KS K 6405:2022 폴리프로필렌 로프”
- [30] 한국표준협회, “KS K ISO 2307:2010 섬유로프-물리적 및 역학적 성질 측정”
- [31] 한국표준협회, “KS K ISO 9554:2010 섬유로프-일반 명세”
- [32] 황정일, 이희준, 이경훈 등(2014), “인사용 합성섬유로프의 아이스플라이스 안전 기준 개발”, 선박안전
- [33] BS EN 892:1997, “Mountaineering equipment-Dynamic mountaineering ropes - Safety requirements and test methods (British Standard)”
- [34] BS EN 1891:1998, “Personal protective equipment for the prevention of falls from a height - Low stretch kernmantel ropes(British Standard)”
- [35] California code of regulation title 8 section 1662 : “Boatswains Chairs”
- [36] California code of regulation title 8 section 3286 : “Manual Boatswains Chairs and Controlled Descent Apparatus(CDA)”
- [37] Canada, “Occupation Health and Safety Code. Alberta Regulation 87/2009”
- [38] Cordage Institute(2019), “CI 1401-19 Recommended Safety Practices for Use of Fiber Rope”
- [39] Cordage Institute(2004), “CI 2001-04 Fiber Rope Inspection and Retirement Criteria”
- [40] Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council
- [41] HSE, “WIRE ROPE OFF SHORE - A Critical Review of Wire Rope Endurance Research Affecting Offshore Applications”

[42] ISO(2013), “ISO 13934-1:2013(E) Textiles–Tensile properties of fabrics”

[43] OSH Regulation Part 34: Rope Access

[44] OSHA, “29 CFR Part 1926–SAFETY AND HEALTH REGULATIONS FOR CONSTRUCTION”

[45] New Zealand, “Scaffolding in New Zealand. 2018. New Zealand”

[46] Viviana Pinto(2015), “Creep and stress relaxation behaviour of PLA–PCL fiber–A linear modelling approach.” , Procedia Engineering, 114:768–775.

달비계 작업용 합성섬유로프 사용 실태에 관한 설문조사

먼저 설문조사에 참여하여 주셔서 진심으로 감사드립니다.

본 설문은 ‘합성섬유로프의 위기 노출에 따른 인장강도 변화 분석과 섬유로프 관리 방안 마련’을 연구하기 위해 달비계 작업 관제자 및 합성섬유로프 제조사를 대상으로 실시하고 있습니다.

본 설문은 무기명으로 이루어지며, 여러분이 응답하신 내용은 연구목적 이외의 용도로 사용되지 않을 것을 약속드립니다.

여러분의 응답 하나 하나가 산업재해예방과 안전보건관리에 보다 실효성 있고 효과적인 방안을 위한 연구에 귀중한 자료가 되오니 성심, 성의껏 답변하여 주시면 감사하겠습니다.

2023년 03월

울산대학교 대학원 산업경영공학과
연구 담당자 : 강 성 윤

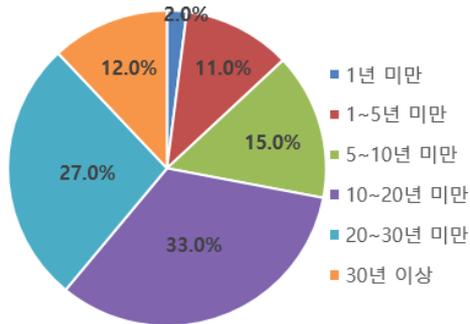
2. 달비계 작업 관련자

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

구분	응답	비율
1년미만	2	2.0%
1~5년 미만	11	11.0%
5~10년 미만	15	15.0%
10~20년 미만	33	33.0%
20~30년 미만	27	27.0%
30년 이상	12	12.0%
합계	100	

10년 이상 30년 미만의 경력자가 전체의 72%를 차지하고 있으며, 30년 이상도 12%를 차지하고 있어, 대부분의 작업자들이 작업이 능숙한 숙련공으로 확인됨.

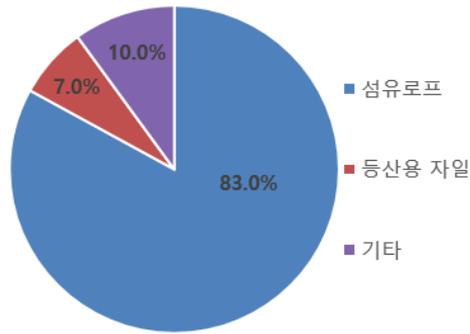


2. 귀하가 현재 참여하고 있는 공사의 종류는 무엇입니까?

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

구분	응답	비율
아파트	69	69.0%
빌딩	10	10.0%
학교 등 공공건물	1	1.0%
소규모 주택 및 상가	9	9.0%
기타	11	11.0%
합계	100	

달비계 작업용 로프는 83.0%가 섬유로프를 사용하며, 7.0%만 등산용 자일로프를 사용하고 있음.



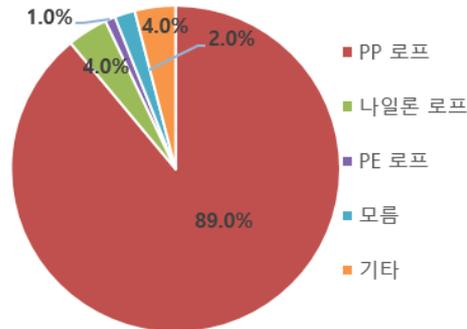
■ 섬유로프를 사용하시는 분만 답변 바랍니다.

11. 섬유로프를 사용하고 있다면, 재질은 무엇입니까?

- ① 천연섬유 ② PP ③ 나일론 ④ PE ⑤ 기타 () ⑥ 모름

구분	응답	비율
천연 섬유	0	0.0%
PP 로프	89	89.0%
나일론 로프	4	4.0%
PE 로프	1	1.0%
모름	2	2.0%
기타	4	4.0%
합계	100	

달비계 작업용 로프는 89.0%가 PP재질의 섬유로프를 사용하며, 나일론 재질이 4.0%, PE재질은 1.0%만 사용하고 있음.



12. 재질에 따른 특성을 알고 계신가요?

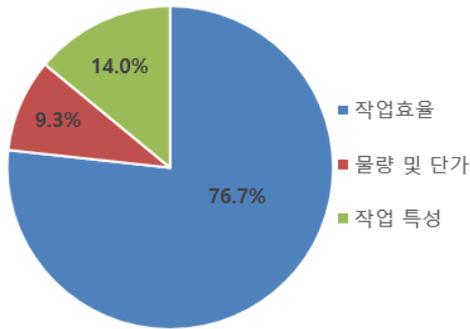
- ① 예 ② 아니요

구분	응답	비율
예	62	62.0%
아니요	38	38.0%
합계	100	

18. (항목 16에서 “예” 로 답한 경우) 스윙(좌우 반복) 작업을 하는 이유는 무엇인가요?

구 분	응 답	비 율
작업효율	66	76.7%
물량 및 단가	8	9.3%
작업 특성	12	14.0%
합계	86	

작업자의 76.7%가 달비계 작업 효율을 위해 스윙(좌우 반복) 작업을 하고 있으며, 작업 특성의 이유로 답한 경우도 14.0%나 비중을 차지하고 있음을 확인할 수 있음.



19. 현재 작업자가 사용하는 작업용 로프의 제조일과 사용 년 수는 얼마입니까?

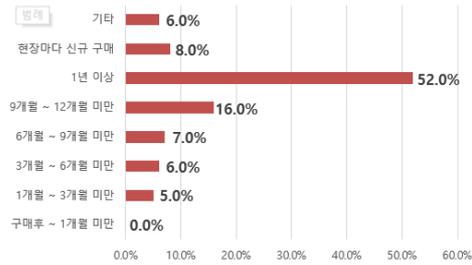
- ① 제조일로부터 약 () 년, 사용된 날부터 약 ()년
 ② 모 림

20. 섬유로프 구매 후 사용기간(구매 후 폐기까지)은 얼마입니까?

- ① 구매후 ~ 1개월 미만 ② 1개월~3개월 미만 ③ 3개월~6개월 미만
 ④ 6개월~9개월 미만 ⑤ 9개월~12개월 미만 ⑥ 1년 이상
 ⑦ 신규 현장 작업 시 신품 구매 ⑧ 기 타 ()

구 분	응 답	비 율
구매후 ~ 1개월 미만	0	0.0%
1개월 ~ 3개월 미만	5	5.0%
3개월 ~ 6개월 미만	6	6.0%
6개월 ~ 9개월 미만	7	7.0%
9개월 ~ 12개월 미만	16	16.0%
1년 이상	52	52.0%
현장마다 신규 구매	8	8.0%
기타	6	6.0%
합계	100	

작업자의 52.0%가 로프 구매 후 1년 이상 사용하고 있으며, 9개월에서 1년 사이가 16.0%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	87	63.5%
사용횟수 점검	13	9.5%
사용기한 점검	11	8.0%
자체 기준	21	15.3%
기타	5	3.6%
합계	137	

작업자의 63.5%가 작업 전 육안으로 로프를 검사하고 있으며, 자체 기준으로 검사한다는 응답도 15.3%를 차지하고 있음.

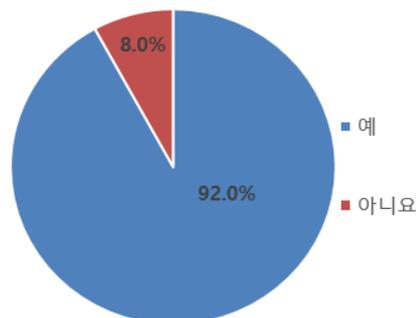


22. 달비계 작업 시 로프 보호대를 사용하십니까?

- ① 예 ② 아니요

구분	응답	비율
예	92	92.0%
아니요	8	8.0%
합계	100	

작업자의 92.0%가 작업 시 로프 보호대를 사용하고 있음.



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 무엇
인가요?

① 수요가 없어서 ② 공정 문제 ③ 원가 상승 ④ 기 타()

13. 귀사에서 일정 수준의 수요 발생 시 UV 차단제를 첨가하여 생산이 가능한가
요?

① 예 ② 아니요

끝.

설문조사에 참여해 주셔서 대단히 감사드립니다.

**달비계 작업 중 합성섬유로프 끊어짐으로
인한 중대재해사례(재해보고서 중심)**

재해사례 01

● 재해 개요 :

2022년 06월 사고 당일 피해자는 4층 업무시설 외부창호의 누수를 방지하기 위해 달비계를 사용하여 코킹작업을 수행한 것으로 확인됨.
 피해자(유리코킹/59세)가 구멍줄에 추락방지대를 체결하지 않은 상황에 대한 관리감독이 미흡한 상태에서 코킹작업 완료 후 1층으로 내려오던 중, 외부창호의 날카로운 면에 보호덮개를 설치하지 않은 작업용 로프가 파단되어, 지상1층 바닥으로 떨어져(h≈10m)사망함.



● 재해발생 원인 :

작업의자형 달비계에 대한 작업용 로프 안전조치 미실시.

· 달비계용 섬유로프를 사용할 경우 심하게 손상되거나 부식된 로프에 대한 사전 점검을 통해 안전성을 확보하고, 건물 외부의 모서리 및 외부창호의 날카로운 면에 가죽이나 고무패드 등을 사용하여 작업용 로프의 보호덮개를 설치하여 로프의 파단이나 마모를 방지하도록 하여야 하지만 미실시 함.

● 재해예방 대책 :

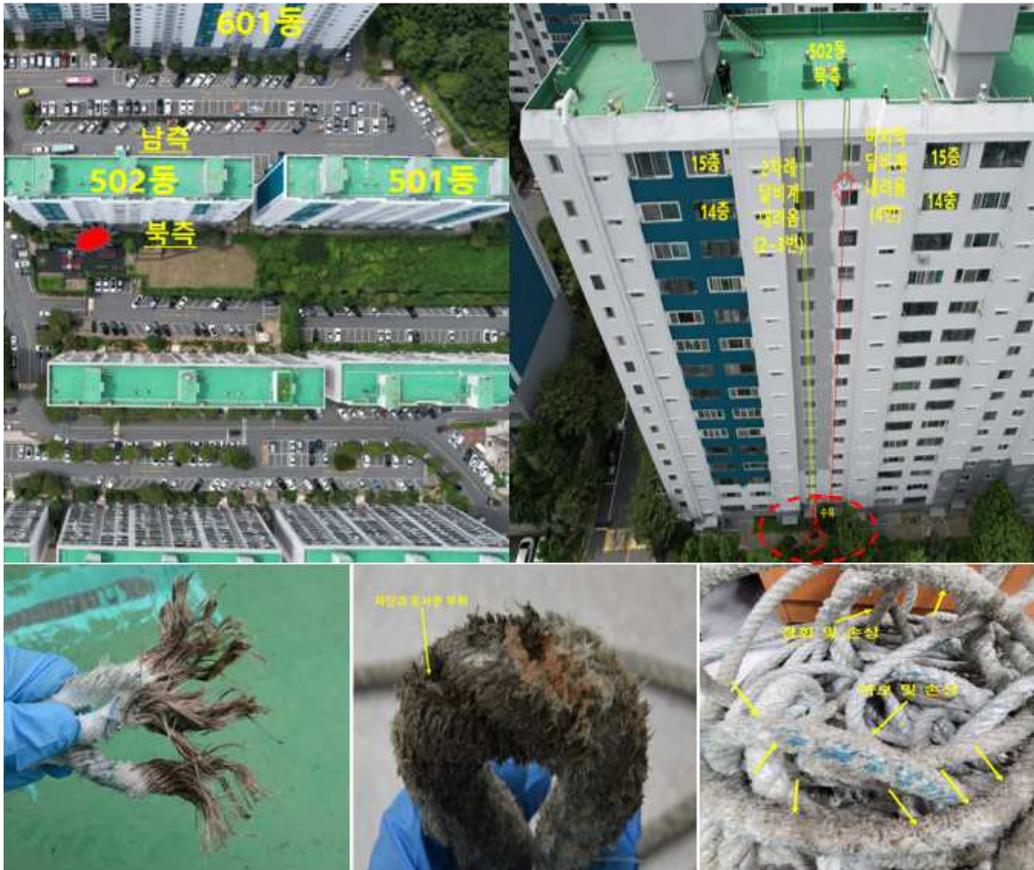
작업의자형 달비계 로프사용에 대한 안전조치 철저

· 달비계용 섬유로프를 사용할 경우 심하게 손상되거나 부식된 로프에 대한 사전 점검을 통해 안전성을 확보하고, 건물 외부의 모서리 및 외부창호의 날카로운 면에 가죽이나 고무패드 등을 사용하여 작업용 로프의 보호덮개를 설치하여 로프의 파단이나 마모를 방지하도록 하여야 함.

로프의 관리방안 수립(권고사항)-KSOHA GUIDE C-33-2022

재해사례 02

- **재해 개요 :** 2022년 08월 부산 북구 만덕동 소재 ○○아파트 균열 보수 및 재도장 공사 현장에서 원정소속 피재자 최○○(도장공, 남, 47세)이 아파트 외벽도장 작업을 위해 안전줄을 달비계의 구멍줄에 체결하지 않은 상태에서 달비계에 탑승하여 도장 작업 중 작업용 섬유로프(PP재질, 18mm)가 파단되면서 14층(h≒43m 높이)에서 1층 바닥으로 떨어져 사망한 재해임.



- **재해발생 원인 :**
 - **구멍줄에 안전줄(코브라) 미체결(안전보건규칙 제63조제2항제10호 나목)**
 - 달비계 작업 중에는 추락방지를 위하여 설치된 구멍줄에 근로자가 착용한 안전대와 안전줄을 체결하고 작업을 수행하여야 하나 이를 실시하지 않음.
 - **심하게 손상된 작업용 로프 사용(안전보건규칙 제63조제2항제9호의 나목)**
 - 외벽 도장작업 시 사용한 작업용 로프는 이물질에 의한 변색 및 경화, 마모에 의한 로프 손상 부분이 다수 발견(확인) 됨에도 불구하고 교체하지 않고 사용함.
 - **달비계 작업 시작 전 달비계의 점검 및 보수작업 미실시(안전보건규칙 제64조)**
 - 달비계 작업 시작 전 섬유 로프의 상태 등을 점검하고, 이상을 발견하는 즉시 보수를 하여야 하나 이를 미실시.
- **재해예방 대책 :**
 - **구멍줄에 안전줄(코브라)을 체결(안전보건규칙 제63조제2항제10호 나목)**
 - 달비계 작업 중에는 추락방지를 위하여 설치된 구멍줄에 근로자가 착용한 안전대와 안전줄을 체결하고 작업을 수행하여야 함.
 - **심하게 손상된 작업용 로프 미사용(안전보건규칙 제63조제2항제9호의 나목)**
 - 외벽 도장작업 시 사용한 작업용 로프는 이물질에 의한 변색 및 경화, 마모에 의한 로프 손상 부분이 발견(확인) 될 경우에는 사용하지 않고 새것으로 교체하여 사용.
 - **달비계 작업 시작 전 달비계의 점검 및 보수작업 실시(안전보건규칙 제64조)**
 - 달비계 작업 시작 전 섬유 로프의 상태 등을 점검하고, 이상을 발견하는 즉시 보수를 하고 작업을 수행 하여야 함.

재해사례 03

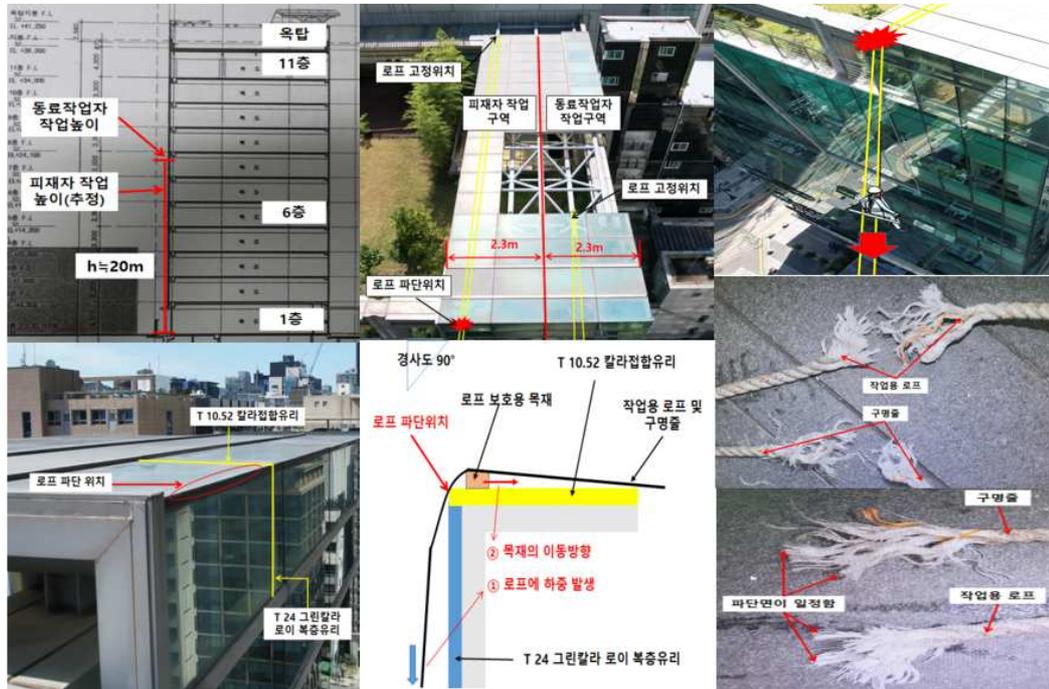
- 재해 개요 : 2022년 08월 경북 구미시 소재 개인이 시공하는 3층 규모의 원룸 리모델링 공사 중 외벽 도장공사 현장에서 재해자(남, 60세)가 달비계를 이용하여 외벽 도장작업 중 달비계의 작업대 지지용 로프가 파단 되면서 높이 약 7~9m 아래 바닥으로 추락, 병원으로 이송하였으나 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 :
 - 달비계 작업 시 구멍줄 미설치 및 안전대 미착용**
 - 달비계 작업 시 추락 위험을 방지하기 위하여 구멍줄을 설치하고 안전대를 착용·부착하여야 하나 미실시
 - 달비계 로프의 손상·부식 상태 점검 미실시**
 - 달비계 로프의 손상·부식 상태 등에 대한 작업 전 점검을 실시하여야 하나 미실시
- 재해예방 대책 :
 - 달비계 작업 시 구멍줄 설치 및 안전대 착용·부착**
 - 달비계 작업 시 추락 위험을 방지하기 위하여 구멍줄을 설치하고 안전대를 착용·부착하여야 함
 - 달비계 로프의 손상·부식 상태 점검 실시**
 - 달비계 로프의 손상·부식 상태 등에 대한 작업 전 점검을 실시하고 이상을 발견하면 교체하는 등의 조치를 하여야 함

재해사례 04

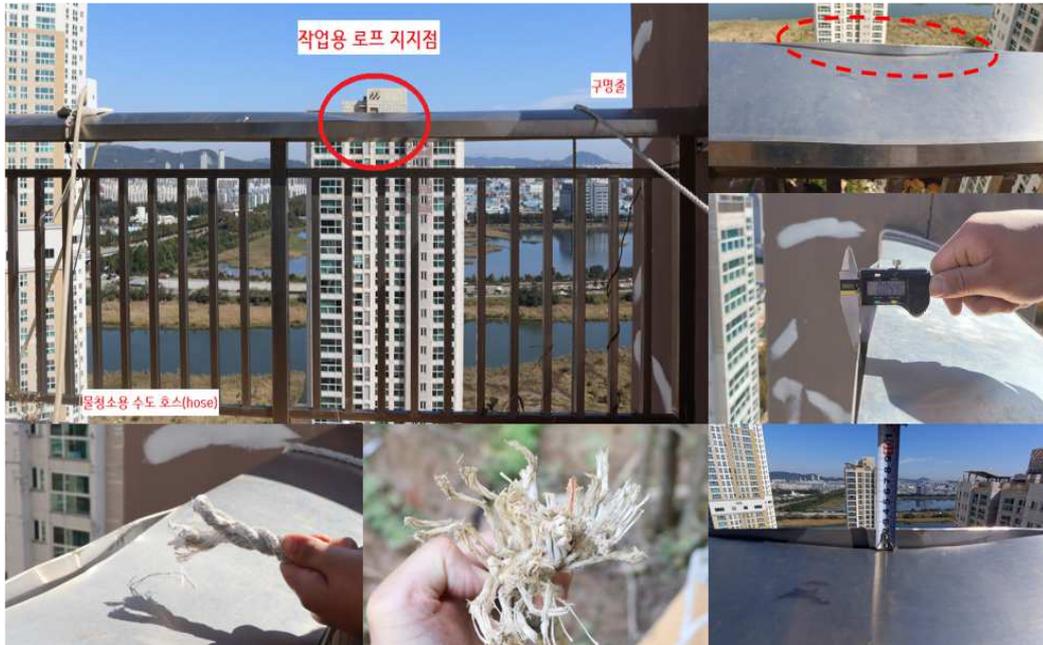
- 재해 개요 : 2022년 09월 강남구 역삼동 소재 「○○빌딩」에서 피재자(달비계공, 남, 54세)가 달비계를 이용하여 건물 외벽 유리창 청소 작업을 하던 중 달비계 로프(작업용 로프, 구멍줄)가 파단되어 1층 바닥으로 떨어져 (h≒20m) 사망함.



- 재해발생 원인 : **작업의자형 달비계에 대한 작업용 로프 안전조치 미실시**
 - 달비계용 섬유로프를 사용할 경우 심하게 손상되거나 부식된 로프에 대한 사전 점검을 통해 안전성을 확보하고, 작업용 로프와 구멍줄이 2개 이상의 서로 다른 고정점에 결속하고, 건물 외부의 모서리 및 외부창호의 날카로운 면에 가죽이나 고무패드 등으로 로프를 보호하여 파단이나 마모를 방지하도록 하여야 하나, 미 실시 함.
- 관리감독자의 유해·위험 방지업무 미실시**
 - 사업주는 작업 전 작업용 로프와 구멍줄의 마모상태, 고정점 체결상태, 로프의 보호덮개 설치상태 등을 점검하고, 작업진행 상태를 감시하는 등의 관리감독을 하여야하나, 미 실시 함.
- 재해예방 대책 : **작업의자형 달비계 로프사용에 대한 안전조치 철저**
 - 사업주는 달비계용 섬유로프를 사용할 경우 심하게 손상되거나 부식된 로프에 대한 사전점검을 통해 안전성을 확보하고, 작업용 로프와 구멍줄이 2개 이상의 서로 다른 고정점에 결속하고, 건물 외부의 모서리 및 외부창호의 날카로운 면에 가죽이나 고무패드등 작업용 로프와 구멍줄의 보호조치를 통해 파단이나 마모를 방지하도록 하여야 함.
- 로프의 관리방안 수립(권고)**
 - 작업용 로프와 구멍줄에는 생산자, 생산일, 길이 및 강도, 규격, 작업투입일자 등의 꼬리표를 부착하여 관리할 수 있도록 하고, 작업용 로프는 사용된 날부터 2년 이상이 되었거나, 제조일로부터 3년 이상이 되었을 경우 사용하지 않도록 하며, 로프를 사용하기 전 반드시 손상 유무를 확인하고 점검하여야 하며, 내·외부의 마모가 심하거나, 손상, 변형된 경우 즉시 폐기하여야 함.

재해사례 05

- **재해 개요 :** 2022년 10월 인천시 연수구 송도동 소재 아파트 내외부 균열보수 및 재도장 공사현장에서 마카테크 소속 피재자(남, 33세)가 달비계를 이용하여 아파트 세대 유리창 청소 작업을 하던 중 아파트 옥상(높이 90.93m)에서 달비계 작업용 로프가 끊어지며 지상 1층 바닥으로 떨어져 사망함.



- **재해발생 원인 :**
 - 달비계 작업용 로프 보호 덮개 부적절**
 - 해당 현장에서는 달비계 작업용 로프의 절단을 예방하기 위해 보호 덮개를 씌우고 작업을 실시하였으나, 약 1mm 미만 두께 방수포 재질의 보호 덮개를 사용하여 작업용 로프의 절단을 방지하기에는 부적절함
 - 추락방지용 안전줄 체결 미실시**
 - 달비계의 작업용 로프가 끊어지며 근로자가 추락하는 사고를 예방하기 위해 작업용 로프 이외에 추가적으로 구명줄을 설치하고, 이 구명줄에 근로자의 추락방지용 안전줄을 체결할 수 있도록 하여야하나 미실시 함.
 - 관리감독자의 유해·위험 방지업무 미실시**
 - 사업주는 작업 전 작업용 로프와 구명줄의 마모상태, 고정점 체결상태, 로프의 보호덮개 설치상태 등을 점검하고, 작업진행 상태를 감시하는 등의 관리감독을 하여야하나, 미실시 함.
- **재해예방 대책 :**
 - 적정한 강도의 달비계 작업용 로프 보호 덮개 사용**
 - 건물의 끝부분이나 날카로운 물체에 달비계 작업용 로프가 절단되지 않도록 충분한 강도의 보호덮개를 사용하여야 함
 - 안전대 착용 및 추락방지용 안전줄 체결 철저**
 - 근로자의 안전대 착용 및 추락방지용 안전줄 체결을 철저히 하여야 함.
 - 관리감독자의 유해·위험 방지 업무 철저**
 - 달비계 작업을 하는 경우에는 근로자의 추락 등 위험을 예방하기 위해 안전대를 구명줄에 정상적으로 체결했는지 등을 확인하고 점검하여야 함

재해사례 06

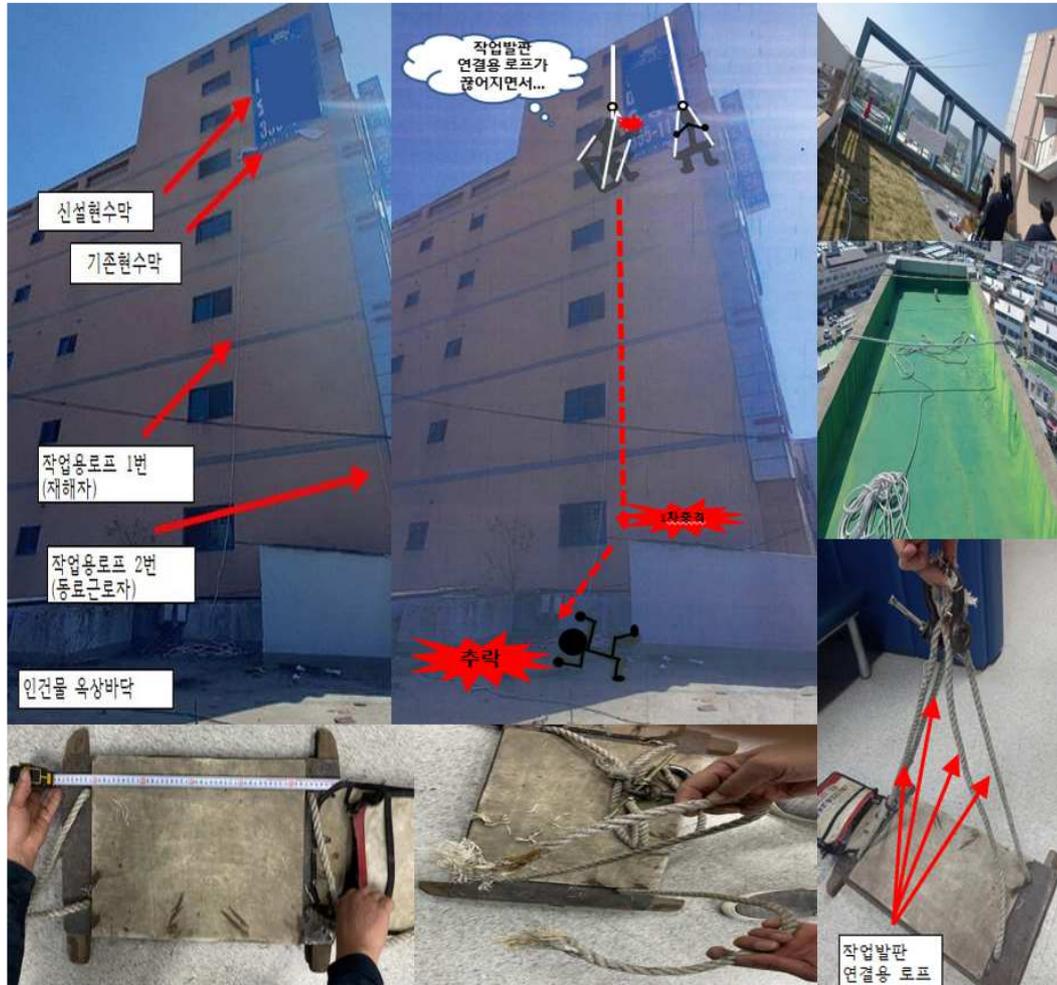
- 재해 개요 : 2021년 03월 서울시 양천구 목동 소재 ○○아파트 2동 3-4라인 지상 20층 높이에서 재해자가 달비계를 이용해 외벽작업을 하던 중, 20층 발코니 돌출부위(유리천장) 상부 모서리에 접촉되어있던 달비계 작업대용 로프가 마찰에 의해 파단되어 약 53m아래 지상으로 추락하여 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **달비계 작업 시 수직구멍줄 미설치**
 - 달비계를 이용하여 건물 외벽 균열보수 및 도장 등의 고소작업을 할 경우에는 떨어짐 재해를 방지하기 위해 별도의 수직구멍줄을 설치하여야 하나 미설치.
- 안전대·안전모 등 개인보호구 미착용**
 - 추락위험이 있는 작업을 진행할 경우 근로자에게 안전대와 안전모 등 개인보호구를 지급하고 착용하도록 하여야하나, 재해발생 당시 재해자는 안전모·안전대 모두 미착용 상태였음.
- 재해예방 대책 : **외벽 작업 시 보조로프 등 추락방지조치 철저**
 - 사업주는 아파트 외벽과 같이 추락의 위험이 있는 장소에서 균열 보수 및 도장 작업을 할 경우에는 근로자에게 안전모·안전대를 착용시키고, 건물 옥상에 견고한 구조의 안전대 부착설비를 설치하고 작업자가 안전대 부착설비에 안전대를 걸고 작업을 하도록 하여야 함.
- 작업전 점검을 통해 로프 파단 위험 제거**
 - 발코니 돌출부위(유리) 시공 모서리 등 날카로운 모서리에 로프가 닿을 수 있는 경우 보호덮개 설치, 날카로운 모서리를 피하여 로프를 설치하는 등 로프 파단 위험을 제거한 후 작업을 하도록 하여야 함.

재해사례 07

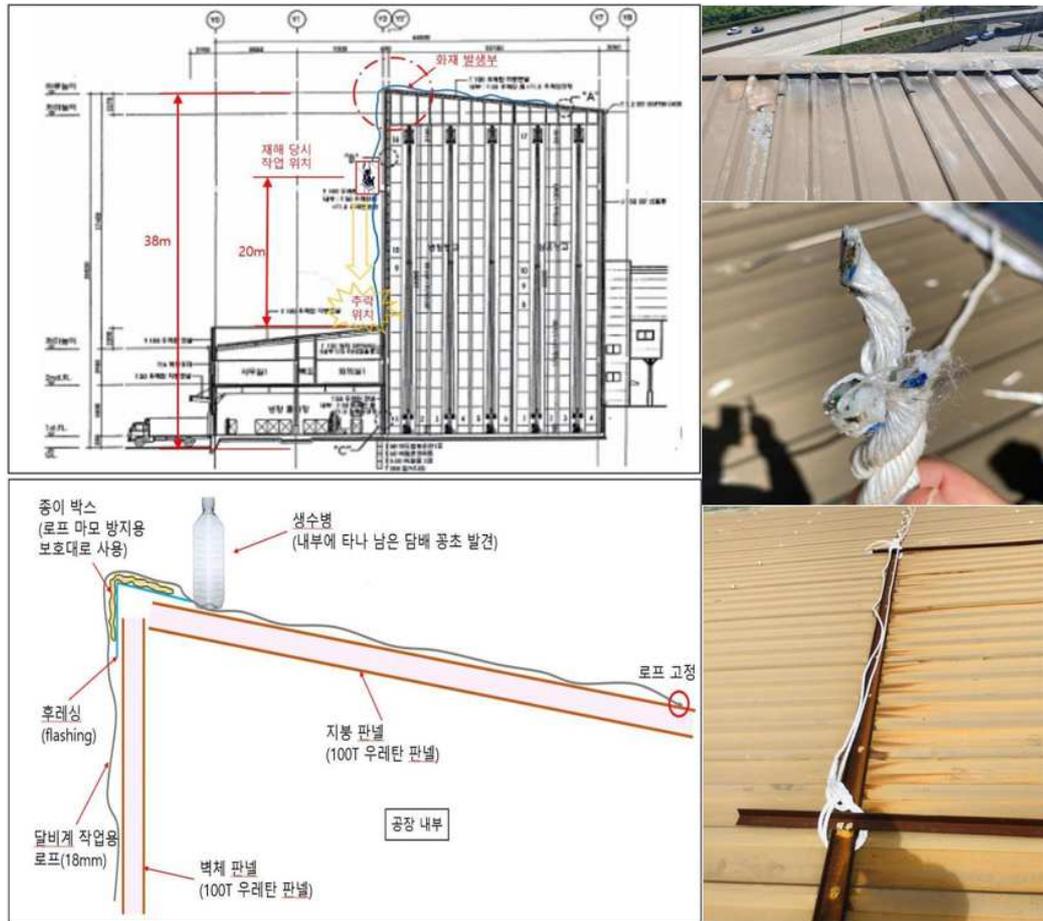
- 재해 개요 : 2021년 04월 대구시 서구 소재 ○○요양원 외벽 현수막설치 및 기타보수 현장에서 ○○광고사 소속의 재해자(남, 48세)가 요양원 건물 외벽에 현수막 제거 및 부착을 하기 위해 달비계를 이용 작업 도중 달비계 작업발판 연결용 섬유로프가 끊어지면서 5층 아래(높이 약 15m) 인접 건물 옥상바닥으로 추락 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : 달비계 작업 시 추락방지 조치 미실시
 - 달비계 이용 작업 시에는 근로자의 추락위험을 방지하기 위하여 구멍줄을 설치하고 안전대(추락방지대)를 지급 착용 후 작업을 하도록 하여야하나 미실시한 상태에서 작업을 함.
- 재해예방 대책 : 달비계 작업 시 추락방지 조치 철저
 - 달비계 이용 작업 시에는 근로자의 추락위험을 방지하기 위하여 구멍줄을 설치하고 안전대(추락방지대)를 지급 착용 후 작업을 하도록 하여야 함.

재해사례 08

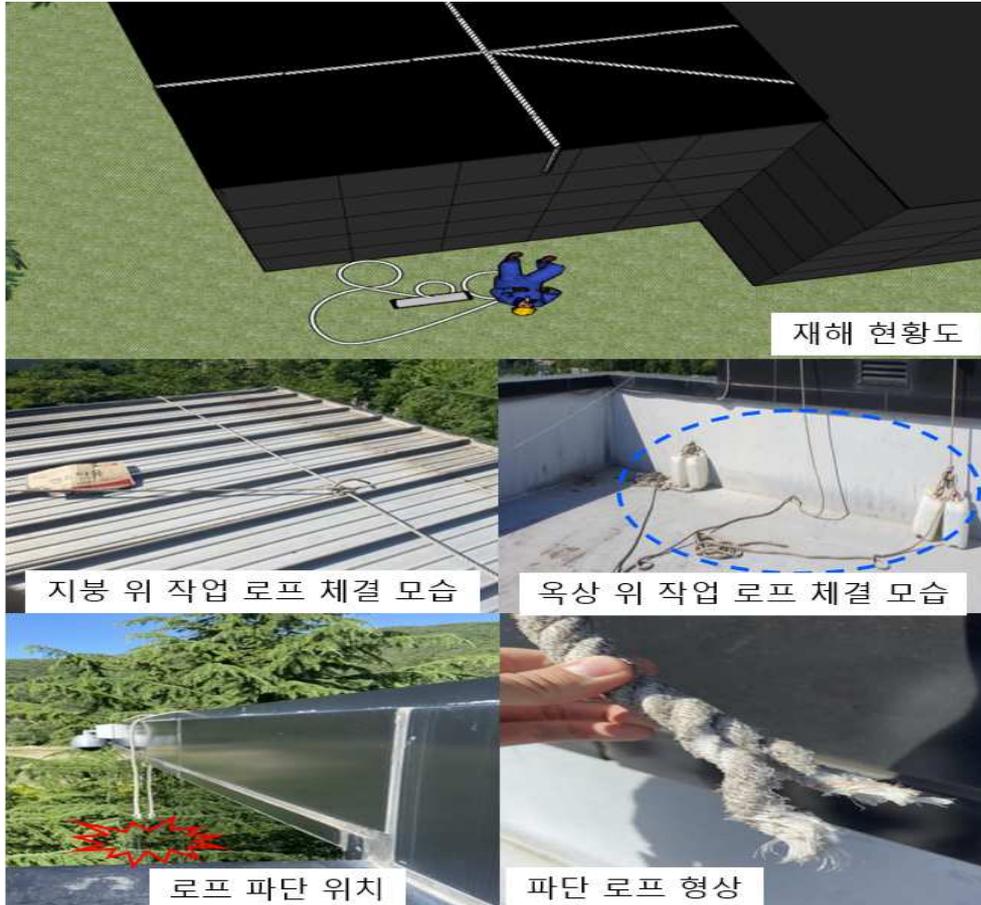
- 재해 개요 : 2021년 05월 OO유업(주)경산공장 자동화 창고 외벽 도장작업 중 재해자(신○○, 60세, 남)가 달비계를 이용하여 도장작업 중 달비계 작업용 로프(주로프)가 끊어져 약 20m 아래 공장(회의실)지붕으로 추락하여 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **화기사용 금지 (안전규칙 제 242조)**
 - 사업주는 화재위험이 있는 장소에서 화기사용을 금지하여야하나, 미 실시 함.
 - 작업장이 화재에 취약한 우레탄폼으로 마감된 건축물이고, 유성페인트, 신나, 종이박스과 생수통 등 가연성물질이 산재해있는 화재발생이 우려되는 곳에서 재해자가 흡연을 하였고, 흡연 후에도 담배 궤초를 완전히 소화 하는 등 재해자는 뒷정리를 하지 않고 자리를 이탈하여 화재가 발생함.
- **달비계 작업 시 구멍줄 미설치 및 개인보호구 미착용 (안전규칙 제 63조)**
 - 달비계 작업 시 근로자의 추락 위험을 방지하기 위하여 별도의 안전대 걸이용 로프(구멍줄)를 설치하여야 하나 설치하지 않음.
- 재해예방 대책 : **화기사용 금지**
 - 사업주는 화재위험 장소에서 화기사용을 금지하여야 함
- **달비계 작업 시 구멍줄 설치 및 개인보호구 착용**
 - 달비계 작업 시 근로자의 추락 위험을 방지하기 위하여 안전대 걸이용 로프(구멍줄)를 설치하고, 안전대 및 안전모 등 개인보호구를 착용하고 작업하여야 함.

재해사례 09

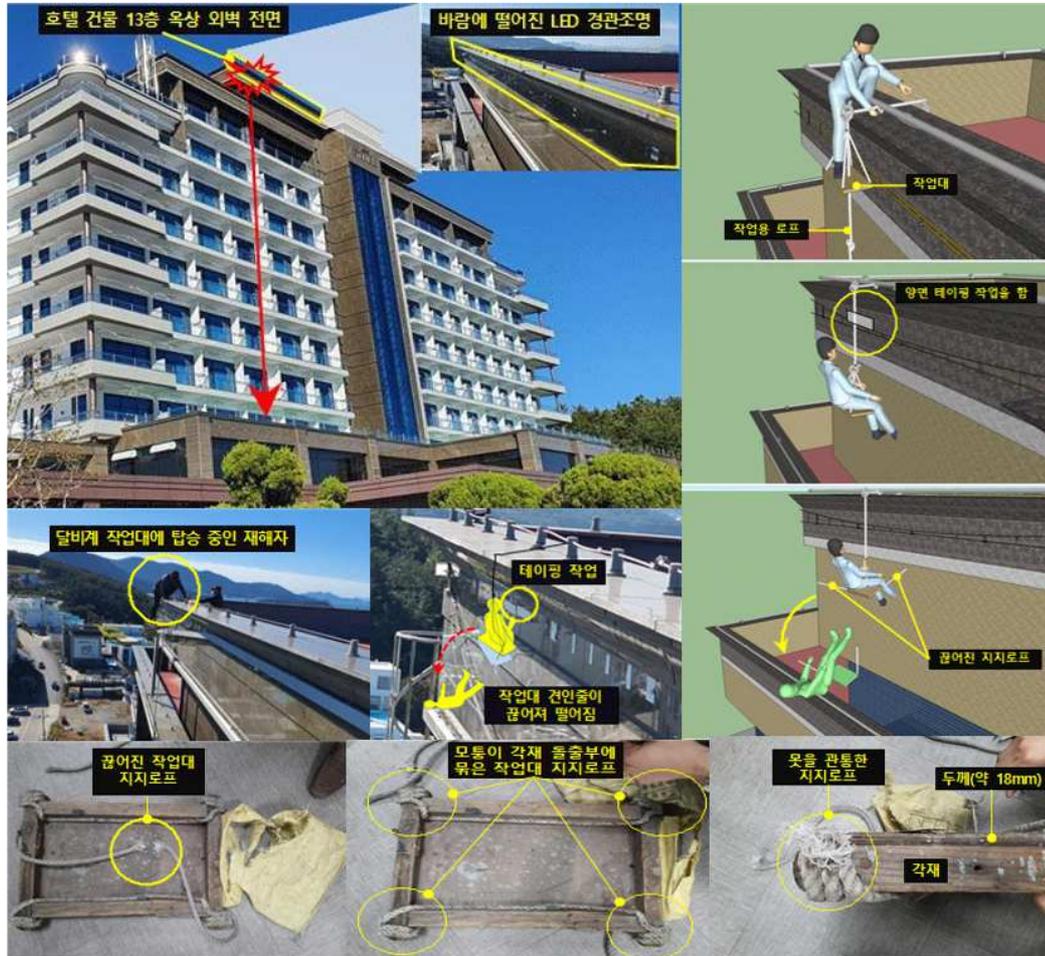
- 재해 개요 : 2021년 06월 대구광역시 달성군 소재 대구○○회사 본관동(3층) 외부 유리창 청소작업 현장에서 관계수급인업체 (주)○○메인テナンス 일용직 근로자 장○○(52세, 남, 외벽로프공)이 본관동 꼭대기부터 달비계를 타고 유리창 청소작업을 하면서 내려오던 중 매달려 있던 달비계 PP로프(호칭굵기(지름) 18mm)가 끊어지면서 높이 약 8m에서 추락하여 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **달비계 작업 시작전 달비계 점검 미 실시 등 관리감독 미흡**
 - 사업주는 달비계에서 근로자에게 작업을 시키는 경우에 작업을 시작하기 전에 그 달비계에 대하여 로프의 부착 상태 등을 점검하고 이상을 발견하면 즉시 조치하여야 하나, 달비계 작업용 로프 상태(로프 손상 및 노후화 정도) 및 수직구명줄 설치 상태를 확인하지 않음.
 - 달비계의 수직구명줄 미설치**
 - 달비계 이용 작업 시에는 근로자의 추락위험을 방지하기 위하여 수직구명줄을 설치하고 안전대를 지급 착용 후 수직구명대에 체결하고 작업토록 하여야 하나 수직구명줄을 설치하지 않은 상태에서 달비계를 이용한 건물외부 유리창 청소작업을 수행함.
- 재해예방 대책 : **달비계 작업 시작전 점검 등의 관리감독 강화**
 - 달비계 이용 작업 시에는 작업 전 달비계의 이상여부를 점검 하여야 하고, 작업방법 및 작업진행 상태, 안전대와 안전모 등의 착용 상황을 강화하여야 함.
 - 달비계 작업 시 추락방지 조치 철저**
 - 달비계 이용 작업 시에는 근로자에게 안전모·안전대를 착용시키고, 충분한 강도의 손상되지 않은 작업용 로프 및 수직구명줄을 사용하여 견고하게 결속한 후 작업자가 안전대를 수직구명줄에 체결하고 작업하도록 하여야 함.

재해사례 10

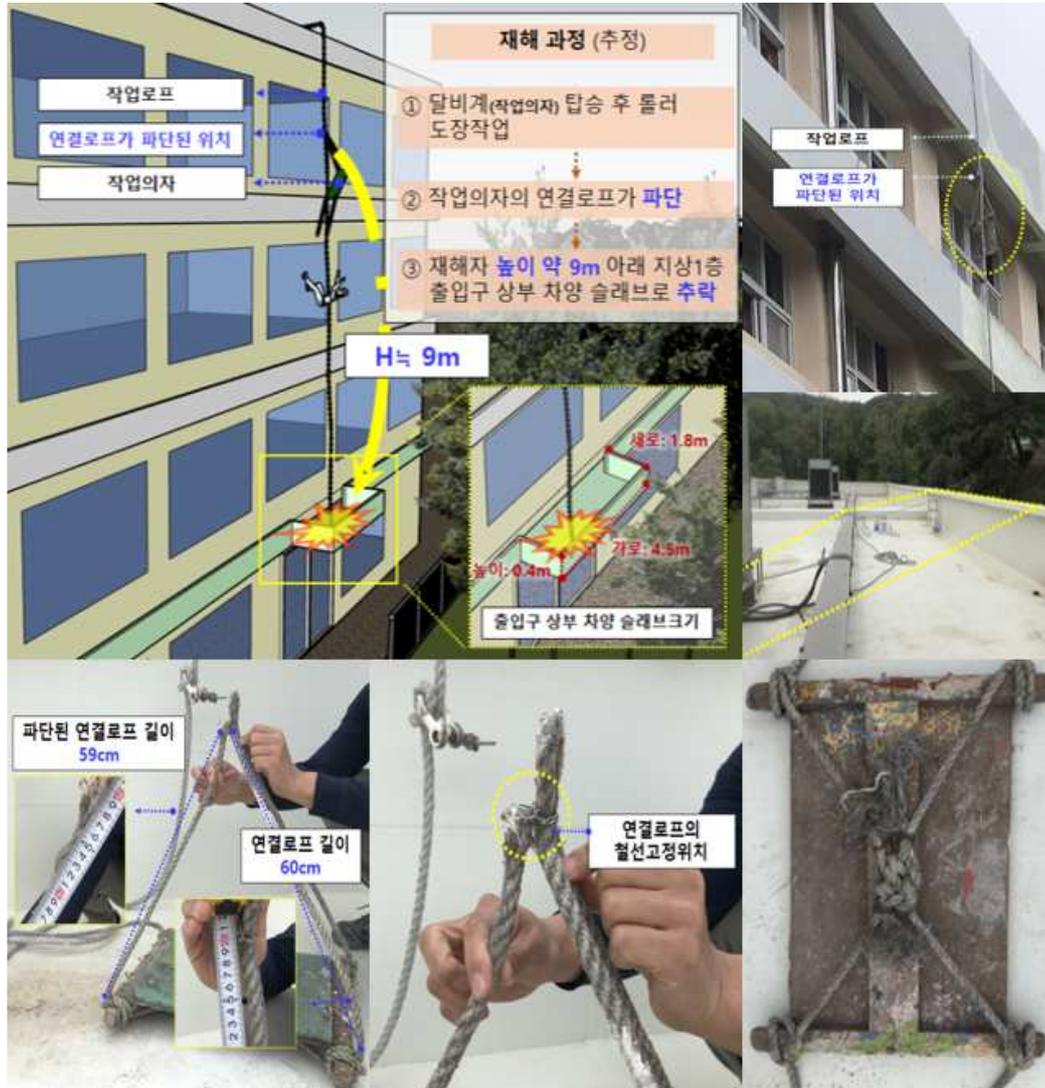
- 재해 개요 : 2021년 10월 전라남도 여수시 돌산읍 소재, 「호텔 ○○ 여수」 건물 옥상 13층 외벽에 설치된 LED 경관조명 하자 보수를 위해 재해자(이○○, 만 49세, 남)가 달비계 작업대에 탑승하여 작업 중, 작업대의 지지 로프가 끊어지면서 콘크리트 바닥으로 떨어져(H≒32.0m) 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **안전대 걸이용 로프(수직구명줄) 미설치**
 - 달비계를 이용하여 작업을 할 경우 추락위험을 방지하기 위해 안전대 걸이용 로프(수직구명줄)를 설치하여야 하나, 미설치 함.**안전대(추락방지대) 미착용**
 - 달비계를 이용하여 호텔 건물 13층 외벽에 설치된 LED 경관조명 하자보수 작업 등 추락할 위험이 있는 장소에서 작업을 하는 근로자에게 안전대(추락방지대)를 지급하고 착용하도록 한 후 작업하여야 하나, 미착용 함.**달비계의 점검 미실시**
 - 달비계 작업 시 작업을 시작하기 전에 달비계의 이상 유무(로프의 손상 및 작업대 상태 등)를 점검하여야 하나, 미실시 함.
- 재해예방 대책 : **안전대 걸이용 로프(수직구명줄) 설치**
 - 달비계를 이용하여 하자보수 작업을 할 경우 추락위험을 방지하기 위해 작업용 로프와는 별도로 안전대 걸이용 로프(수직구명줄)를 설치하여야 함.**안전대(추락방지대) 지급 및 착용**
 - 달비계 작업 시 추락할 위험이 있는 장소에서 작업을 할 경우 근로자에게 안전대(추락방지대)를 지급하고 착용한 후, 수직구명줄에 추락방지대를 체결하고 작업하여야 함.

재해사례 11

- 재해 개요 : 2020년 05월 서울시 은평구 구산동 소재 ○○그린(주)가 시공하는 ○○중학교 본관동 외부 도장 공사현장에서 ○○그린(주) 소속 재해자(61세, 도장공)가 지상 4층 본관동 외부에서 달비계를 사용하여 도장작업 중, 작업의자의 연결로프가 파단되어 지상 1층 출입구 상부 차양 슬래브로 추락(H≒9m), 병원으로 후송되었으나 사망한 재해임



- 재해발생 원인 : **달비계의 구조 및 작업기준 미준수**
 - 달비계 작업시 심하게 손상되거나 부식되지 않은 로프를 사용하고 구멍줄 설치 후 안전대를 걸고 작업하여야 하나, 손상된 로프 사용 및 구멍줄 미설치
 - 개인보호구 미지급**
 - 재해자가 작업 중 추락한 위치가 높이 약 9m 의 추락위험이 있는 장소 임에도 불구하고 근로자에게 안전모와 안전대 미지급
- 재해예방 대책 : **달비계의 구조 및 작업기준 준수(산업안전보건기준에 관한 규칙 제 63조)**
 - 달비계 작업 시 섬유로프를 사용하는 경우 심하게 손상되거나 부식되지 않은 로프를 사용해야 하며, 근로자의 추락위험을 방지하기 위하여 달비계에 구멍줄을 설치하고, 안전대를 걸고 작업하여야 함
 - 개인보호구 지급 및 착용(산업안전보건기준에 관한 규칙 제 32조)**
 - 달비계 작업 등 추락 위험이 있는 장소에서 작업 시 근로자에게 안전모 및 안전대를 지급하고 착용하도록 하여야 함

재해사례 12

- 재해 개요 : 2020년 09월 경기도 남양주시 호평동 소재 ○○중공업(주) 남양주 ○○지구 공동주택 건설현장의 118동 지상 28층 외부 발코니에서 재해자가 아파트 외부 환기구 캡 설치작업 중 달비계 작업용 로프가 파단되어 지상1층 흙바닥으로 추락 (H≒78m) 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **달비계 로프 상태 점검 미실시**
 - 사업주는 근로자에게 달비계 작업을 시키는 경우에 작업을 시작하기 전에 그 달비계에 대하여 달비계 로프의 부착상태 및 이상 유무를 점검하여야 하나 이를 미실시 함.**추락방지대(코브라) 미체결**
 - 사업주는 작업자가 추락방지대(코브라)를 안전대 부착용 로프에 체결한 후 달비계에 탑승하도록 하여야 하나 추락방지대 미체결 상태에서 달비계 작업 실시
- 재해예방 대책 : **달비계 로프 상태 점검 철저**
 - 사업주는 근로자에게 달비계 작업을 시키는 경우에 작업을 시작하기 전에 그 달비계에 대하여 달비계 로프의 부착상태 및 이상 유무 점검 실시
 - 달비계 로프를 옥상 구조물에 걸쳐서 설치 할 경우 로프에 보호패드를 설치하여 로프가 파단되지 않도록 조치**추락방지대 체결 조치**
 - 사업주는 작업자가 추락방지대를 안전대 부착용 로프에 체결한 후 달비계에 탑승하도록 조치

재해사례 13

- 재해 개요 : 2020년 10월 제주특별자치도 제주시 남성로 소재 “○○공인중개사 건물”에서 ○○광고 소속 피재자(남, 만53세)가 해당 건물 1층에 있던 기존간판(가로 3.2m×세로1.0m)을 2층으로 이동 설치하기 위해 건물 옥상에 설치된 달비계를 탑승한 직후 달비계 지지용 섬유로프가 파단 되면서 10.5m 하부 지면 보도블록으로 추락하여 병원으로 후송하였으나, 당일 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **추락위험 방지조치 미실시**
 - 달비계를 사용한 작업 시 추락에 의한 위험을 방지하기 위해 수직구멍줄(안전대 걸이용 로프)을 설치하고 근로자가 안전대를 착용한 후 수직구멍줄에 안전대를 체결한 상태에서 작업하여야 하나, 수직구멍줄 미설치, 안전대 및 안전모 미착용 등 불안정한 상태에서 작업 중 섬유 로프의 파단으로 추락함
- 달비계 점검 및 보수 미실시**
 - 작업자가 달비계를 이용하여 작업하는 경우에는 작업자의 추락을 방지하기 위해 작업 시작 전 로프의 소선 손상 상태, 샤클의 체결상태 등 결함여부를 확인하고 이상이 있는 경우 즉시 보수하거나, 교체하는 등의 조치를 취하고 작업하여야 하나, 작업 전 로프 등 기구·공구·안전대 및 안전모 등의 기능을 점검하지 않았으며, 결함이 있는 섬유 로프를 사용하여 달비계 작업 중 섬유 로프의 파단으로 추락함
- 재해예방 대책 : **추락방지조치**
 - 달비계를 사용하여 건물외벽 고소작업을 실시하는 경우에는 작업 시 근로자의 추락 위험을 방지하기 위하여 달비계에 안전대 및 구멍줄을 설치하고 작업하여야 함.
- 달비계 점검 및 보수 실시**
 - 달비계 작업시에는 추락재해 예방을 위해 작업시작 전 발판재료의 손상여부 및 부착 또는 걸림 상태, 로프의 부착 상태 및 매단장치의 흔들림 상태 등의 사항을 점검하고 작업을 수행하여야 함.
 - 건물 또는 구조물의 단부, 날카로운 물체를 지나 설치되는 작업용 로프나 구멍줄은 절단이나 마모로부터 보호될 수 있도록 별도의 조치(고무패드 등)를 하여야 함.

재해사례 14

- 재해 개요 : 2020년 12월 서울시 성북구 화랑로 소재 ○○공사가 시공하는 장위동 ○○아파트 외부 재도장 공사현장에서 ○○공사 소속 재해자 안○○(61세, 도장공)이 지상 14층 외부에서 달비계를 사용하여 도장작업 중 작업용 로프가 절단되어 약 31m 아래 지상 5층 위치의 파라펫 바닥으로 추락, 현장에서 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **달비계의 구조 및 안전 기준 미준수**
 - 달비계 작업시 섬유로프를 사용하는 경우 심하게 손상되거나 부식되지 않은 로프를 사용해야 하나 재해발생 당시 로프의 접촉부위에 손상방지를 위한 안전패드 미설치하였고, 일부 부식이 발생된 로프 사용
 - 달비계 작업은 추락위험이 있는 고소작업임에도 불구하고 재해자는 구멍줄에 안전대를 걸지 않고 작업
- **달비계의 점검 미실시**
 - 달비계 작업시 작업을 시작하기 전에 안전대 및 부속설비, 로프의 상태(손상 및 부식 위험) 등 점검하여야 하나 미실시
- 재해예방 대책 : **달비계의 구조 및 안전 기준 준수(산업안전보건기준에 관한 규칙 제 63조)**
 - 달비계 작업시 섬유로프를 사용하는 경우 심하게 손상*되거나 부식되지 않은 로프를 사용해야 하며, 구조물과 접촉에 따른 손상을 방지하기 위하여 로프의 접촉부위에 안전패드 설치해야 함.
 - 근로자의 추락위험을 방지하기 위하여 달비계에 구멍줄을 설치하고, 안전대를 걸고 작업하도록 하여야 함
- **달비계의 점검(산업안전보건기준에 관한 규칙 제 4조 2항 및 제 64조)**
 - 근로자에게 달비계에서 작업을 시키는 경우 작업을 시작하기 전에 안전대 및 부속설비, 로프의 상태(손상 및 부식 위험) 등을 점검하고, 이상을 발견하면 즉시 보수하여야 함.

재해사례 15

- **재해 개요 :** 2019년 08월 서울시 강남구 소재 ○○아파트 내·외부 균열보수 및 재도장 공사 현장에서 (주)○○씨엔씨 소속 재해자(35세, 도장공, 러시아)가 달비계를 타고 외벽 균열보수(퍼티) 작업 중, 아파트 외벽 모서리에 접촉되어있던 달비계 작업로프가 마찰에 의해 파단 되어 지상1층 바닥(높이≒23m)으로 떨어져 사망한 재해임.



- **재해발생 원인 :** **사전조사를 통한 공사계획 수립 및 관리감독 소홀**
 - 사업주는 외벽의 Set-Back으로 인하여 예리한 모서리가 있는 곳에서 달비계를 사용한 작업을 하는 경우에는 작업로프가 급격히 손상되어 파단 되지 않도록 가죽이나 고무패드로 로프를 보호하여야 하나 미 실시 함.
 - 특별한 작업환경으로 인한 작업자의 유해·위험을 방지하도록 관리·감독하여야 하나 미 실시 함.
- **달비계 작업 시 수직구명줄 미설치**
 - 사업주는 달비계를 이용하여 건물 외벽 균열보수 및 도장 등의 고소작업을 할 경우에는 떨어짐 재해를 방지하기 위해 별도의 수직구명줄을 설치하여야 하나 미 실시 함.
- **재해예방 대책 :** **달비계 작업 시 사전조사 및 공사계획 수립 및 관리감독 철저**
 - 사업주는 건물 외벽 균열 보수 및 도장 작업을 할 경우에는 작업구간에 작업로프와 안전대걸이용 로프가 건물이나 구조물의 예리한 부분에 의하여 손상되어 파단이 되지 않도록 모서리 보호덮개나 로프보호대 등의 로프 보호방법을 결정하여야 하고, 로프보호대 설치가 곤란한 경우에는 차량형 고소작업대를 이용하는 등 해당 작업구간에 대한 사전조사를 통해 적절한 작업방법의 수립 후 작업자의 배치를 결정하여야 하고, 작업의 진행 상태를 감시하여야 함.
 - 작업 시작 전 달비계작업대 및 작업로프 등 작업도구에 대한 사전점검을 실시하고 훼손·파손된 경우 이를 교체하도록 하여야 함.
- **외벽 작업 시 보조로프 등 추락방지조치 철저**
 - 사업주는 아파트 외벽과 같이 떨어짐 위험이 있는 장소에서 균열 보수 및 도장 작업을 할 경우에는 건물 옥상에 견고한 구조의 안전대 부착설비를 설치하고 작업자가 안전대 부착설비에 안전대를 걸고 작업을 하도록 하여야 함.

재해사례 16

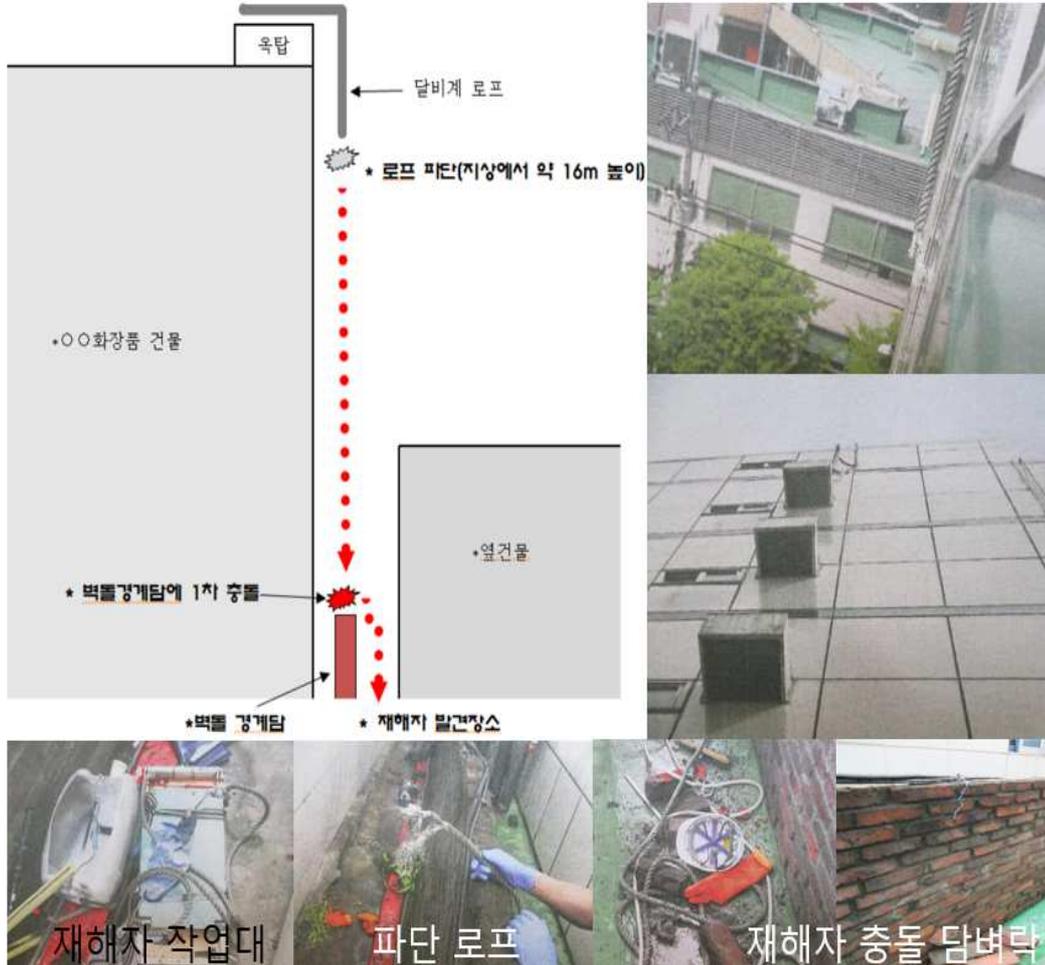
- 재해 개요 : 2019년 10월 서울시 강서구 소재 음식점의 인테리어 및 덕트설치가 진행중인 현장에서 외벽에 달비계 작업으로 덕트배관의 고정용 앵커를 4단을 설치하는 작업을 진행하는 과정에서 재해자(남, 47세)가 최하단부 앵커설치를 위해 하강작업 중 로프의 중간부분이 갑자기 끊어지며 4층 외벽에서 지상바닥으로 떨어져(H≒13.3m) 병원으로 이동하여 치료 중 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **작업 전 달비계 점검 미흡**
 - 달비계를 사용하는 작업은 추락위험이 상존하고 있어 사업주는 근로자가 달비계 작업을 시작하기 전에 구조적 결함이 있는지를 점검하고 이상여부를 점검하여야 하나 사용된 달비계에 대한 점검이 미흡
 - 작업당시 사용된 달비계의 섬유로프는 부분적으로 꼬임이 끊어진 흔적과 반복된 사용으로 마모 등의 손상
- 안전대·안전모 등 개인보호구 미지급**
 - 사업주는 추락위험이 있는 작업을 진행할 경우 근로자에게 안전대와 안전모 등 개인보호구를 지급하고 착용하도록 하여야하나 재해발생당시 재해자는 안전모를 미착용한 상태로 안전대는 미지급됨.
- 재해예방 대책 : **작업 전 달비계 점검 철저**
 - 사업주는 추락위험이 상존하고 있는 달비계 작업을 시작하기 전에 구조적 결함이 있는지를 사전에 점검하고 이상여부를 발견한 경우에는 즉시 적절한 조치(교체·보수·설치 등)를 실시
 - 달비계에서 사용되는 섬유로프 또는 섬유벨트는 꼬임이 끊어지거나 심하게 손상·부식된 흔적이 있는 것을 사용해서는 안 되며, 근로자의 추락 위험을 방지하기 위하여 안전대 및 구명줄을 설치하여 작업 실시
- 개인보호구 지급**
 - 사업주는 높이 2미터 이상의 추락 위험 작업시 근로자에게 안전대를 지급하는 등 작업조건에 적합한 개인보호구를 지급하고 착용하도록 하여야함.

재해사례 17

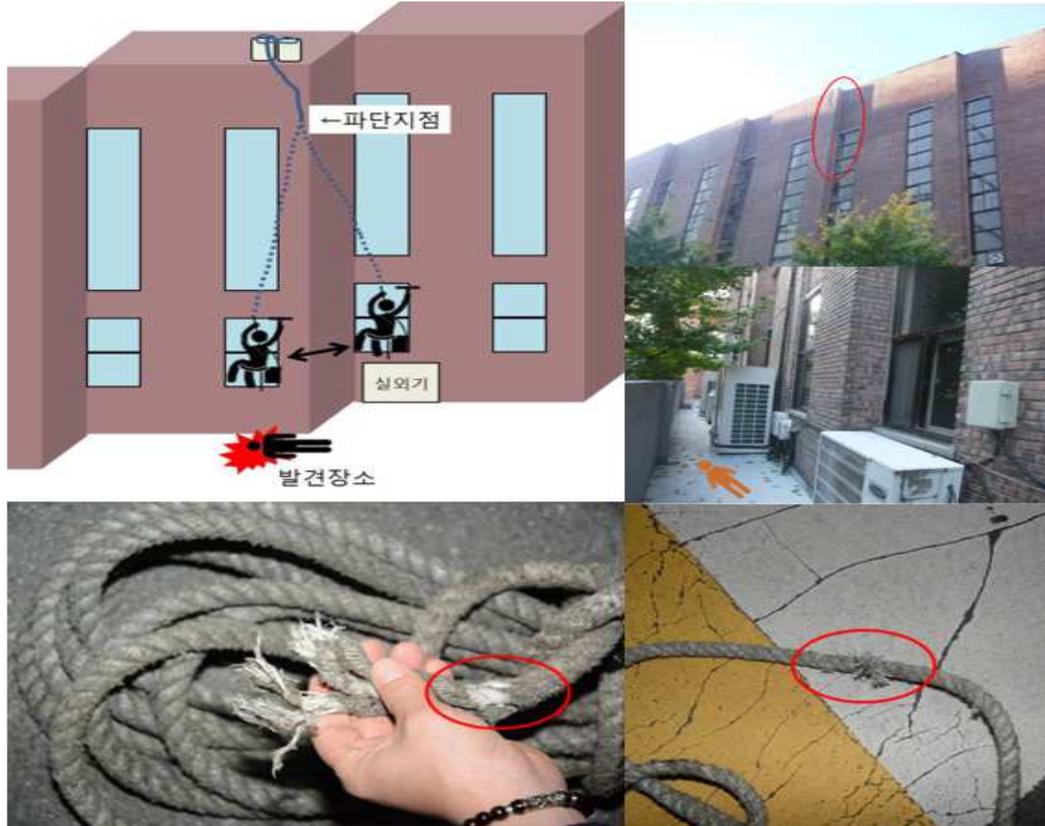
- 재해 개요 : 2018년 05월 경기도 부천시에 소재한 (주)○○화장품에서 ○○청소 소속 근로자인 김○○(재해자)가 (주)○○화장품 건물 외벽을 달비계를 이용하여 청소하던 중 지상 약16m 높이에서 달비계 로프가 끊어지면서 바닥으로 추락하여 사망함



- 재해발생 원인 : **물질·환경적(Media) 요인**
 - 작업시작 후 약 10분만에 날카로운 것에 의한 것이 아닌 무딘 물체에 접촉하여 끊어진 것으로 보아 달비계 로프가 이미 노후화 또는 훼손된 상태였다고 사료됨
- **관리적(Management)·인적 요인**
 - 작업 전 사용 로프의 노후화 정도, 훼손상태 등 이상유무에 대한 점검부실
 - 건축물의 돌출부 등과 로프가 접촉하는 부분에 마찰보호대 미설치
 - 수직구명줄에 추락방지 안전대를 체결하지 않고 작업
- 재해예방 대책 : **물질·환경적(Media) 조치**
 - 노후화된 로프, 손상된 로프 등은 폐기 처분하고 충분한 작업강도가 있는 로프사용
- **관리적(Management)·인적 조치**
 - 작업 전 기상상태, 발판재료 손상 여부 및 로프 고정대 매듭상태를 확인함과 동시에 달비계 로프의 노후화 정도, 훼손상태 등을 확인하여야 함.
 - 건축물의 돌출물에 대해서는 로프가 접촉하여 마찰에 의해 끊어질 것을 방지하기 위해 마찰보호대를 설치하고 작업하여야 함.
 - 달비계 로프이외 수직구명줄을 설치하고 추락방지 안전대를 연결하여 작업하여야 함.

재해사례 18

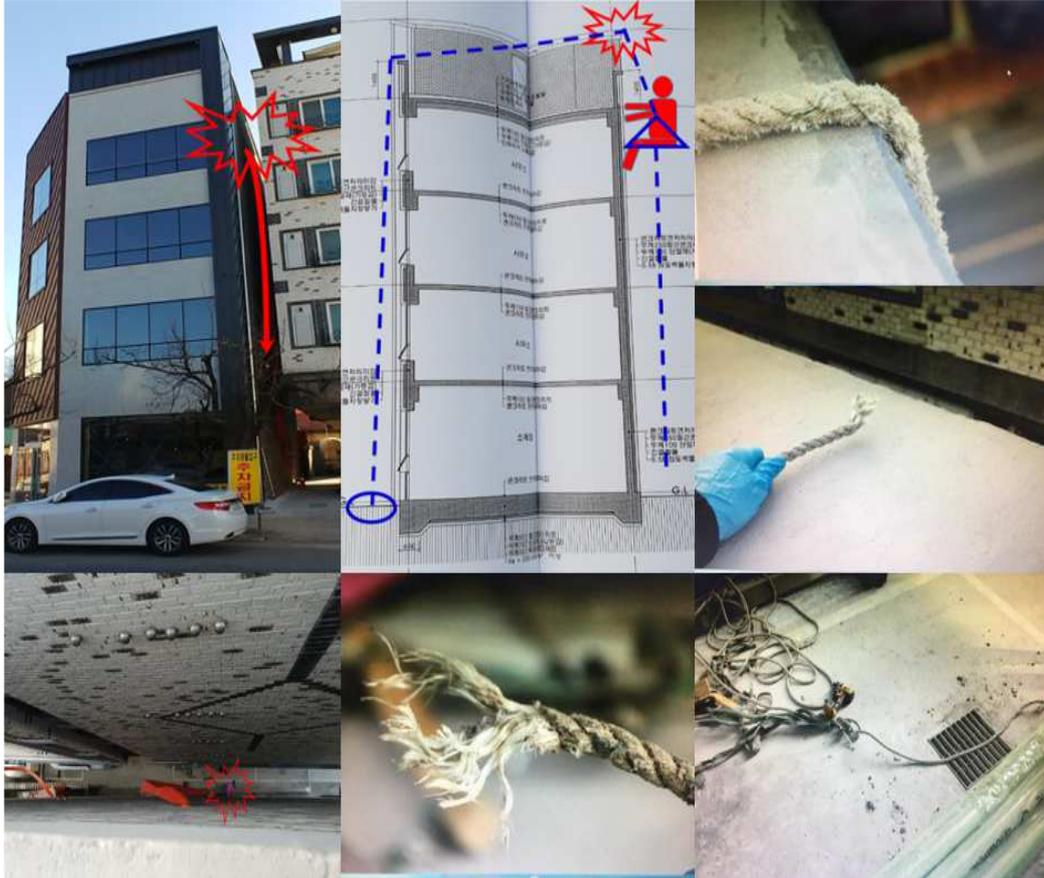
- 재해 개요 : 2018년 10월 서울 서대문구 창천동 소재 ○○교회에서 ○○미광 소속 일용직 근로자 유○○(남, 65세)가 달비계를 이용하여 교회 외벽 유리창을 청소하던 중 외벽 모서리에 보호덮개를 설치하지 않아 작업용 로프가 닳아서 파단되었으며, 구명줄(안전대 걸이용 로프) 및 안전대를 설치하지 않아 작업용 로프가 파단되어, 재해자가 지상 약 2 m 높이에서 바닥으로 떨어져 사망하였음



- 재해발생 원인 : **구명줄 미설치 및 안전대 미착용**
 - 달비계에 연결된 작업용 로프가 절단되는 경우를 대비하여 근로자가 추락하지 않도록 하기 위하여, 작업용 로프와 별도로 구명줄을 설치하고 작업자에게 안전대를 지급하여 착용하여야 하는데, 외벽 청소작업 시 구명줄을 설치하지 않고 작업용 로프만으로 작업자를 지지함에 따라 작업용 로프가 파단되어 작업자가 추락함.
 - 추락 위험장소 작업 개인보호구 미지급 및 미착용**
 - 높이 2 m 이상의 추락할 위험이 있는 장소에서 작업하는 경우 안전모와 안전대를 지급·착용을 착용하여야 하는데, 달비계를 이용한 건물 외부 유리창 청소작업 시 안전모를 착용하지 않아 로프의 파단시 아래로 떨어질 경우 두부 손상을 방지할 수 없음.
- 재해예방 대책 : **구명줄 설치 및 안전대 지급·착용**
 - 달비계를 이용하여 건물외부의 청소 작업 시 비계에 연결된 작업용 로프가 절단되는 경우를 대비하여 작업자를 지지할 수 있도록 구명줄을 설치하고 근로자가 착용한 안전대에 연결하여야 함.
 - 외벽의 단차 입면 동시 청소 금지(권장사항)**
 - 달비계 로프가 건물 외벽의 날카로운 모서리를 통과할 경우 로프가 닳거나 베여서 절단될 수 있으므로, 외벽의 동일 높이에서 2개 이상의 유리창을 청소하고자 할 경우 외벽의 입면에 단차가 없는 단일면일 경우에만 작업 수행하여야 함.
 - 불가피하게 단차가 있는 외벽의 2개 입면의 유리창을 청소하고자 할 경우에는 단차 모서리에 보호덮개를 설치하여야 함.

재해사례 19

- 재해 개요 : 2018년 12월 충북 영동군 영동읍 소재 근린생활시설 신축공사(개인) 현장에서, 피재자(42세)가 달비계에 탑승하여 건물 외벽 선홍통 설치 작업 중 달비계 로프(φ16mm, P.P로프)가 파단되며 지상으로 떨어져(H≒14.3m) 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **부적격 섬유로프 사용**
 - 심하게 마모, 손상 등이 발생한 부적격 섬유로프를 달비계 작업에 사용하여 작업용 로프가 파단되어 재해가 발생
- 달비계 작업 시 추락방지조치 미실시**
 - 달비계 작업용 로프의 설치와 작업대 앉는 과정에서 균형 상실, 로프의 풀림과 파단, 작업대 파손 등으로 추락의 위험이 있음에도 추락방지조치(수직구명줄 설치 및 안전대 착용 등)를 실시하지 않음.
- 개인보호구 착용 등의 관리감독 소홀**
 - 추락위험 장소에서는 안전대 등의 보호구 착용과 작업용 로프의 훼손과 마모를 점검하는 등의 관리감독을 하여야 하나 소홀
- 재해예방 대책 : **부적격 섬유로프 사용금지**
 - 달비계 사용전 섬유로프의 손상 유·무를 반드시 검사하여 과도하게 마모되거나 손상, 변형된 로프는 사용을 금지
- 달비계 작업 시 추락방지조치 철저**
 - 달비계 작업 시에는 우선적으로 구명줄을 설치하고 구명줄에 안전대(추락방지대)를 걸고 작업을 실시
- 개인보호구 착용 등의 관리감독 철저**
 - 작업 조건에 적합한 개인보호구를 근로자에게 지급 후 착용과 사용 상태 및 사용하는 작업용 로프 점검 등에 관한 관리감독 철저

재해사례 20

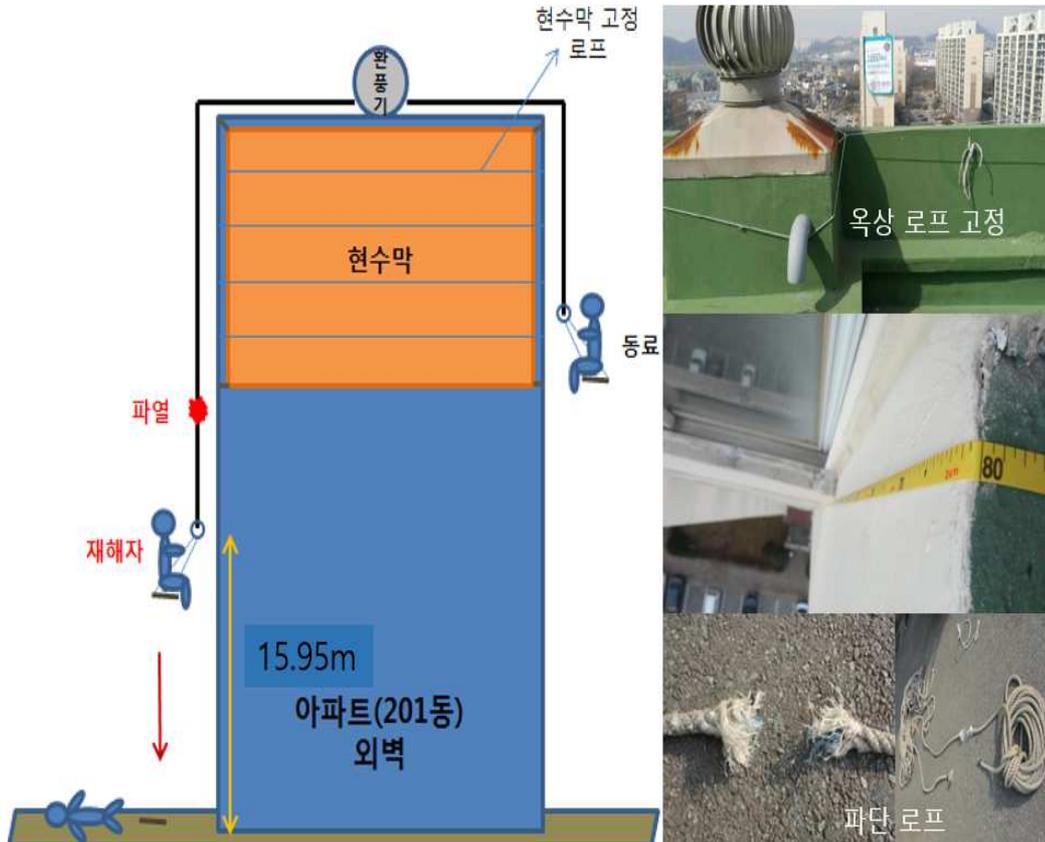
- 재해 개요 : 2017년 09월 광주광역시 동구 서석동 소재 ○○건물 신축공사 현장에서 협력업체(○○기업) 소속 재해자가 달비계를 이용하여 건물 전면부 외벽 준공 청소를 진행 중 작업용 로프(φ 20mm, P.P로프)가 파단되면서 약 10m 하부 바닥면으로 추락하여 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **달비계 작업 시 추락방지조치 미실시**
 - 달비계 작업용 로프의 설치와 작업대 앉는 과정에서 균형 상실, 로프의 풀림과 파단, 작업대 파손 등으로 추락의 위험이 있음에도 추락방지조치를 실시하지 않아 재해가 발생
- 개인보호구 착용 등의 관리감독 소홀
 - 추락위험 장소에서는 안전대 등의 보호구 착용과 작업용 로프의 훼손과 마모를 점검하는 등의 관리감독을 하여야하나 소홀
- 재해예방 대책 : **달비계 작업 시 추락방지조치 철저**
 - 달비계 작업 시에는 우선적으로 구명줄을 설치하고 구명줄에 안전대(추락방지대)를 걸고 작업을 실시
- 관리감독 철저
 - 작업 조건에 적합한 개인보호구를 근로자에게 지급 후 착용과 사용 상태 및 사용하는 작업용 로프 점검 등에 관한 관리감독 철저

재해사례 21

- **재해 개요 :** 2016년 01월 경기도 안성시 소재 ○○아파트에서 피재자 김○○이 동료 최○○와 함께 아파트 외벽에서 달비계를 사용하여 현수막 설치작업을 완료하고 지상으로 내려오는 도중 아파트 6~7층(지상으로부터 약 15.95m) 높이에서 달비계 연결 로프가 파단 되어 바닥으로 떨어져 병원으로 후송 후 사망한 재해임.



- **재해발생 원인 :**
 - 작업 전 달비계 상태 점검 미실시**
 - 달비계 로프가 벽과 접촉부분(격임부분)에 장시간 마찰, 장시간 외부환경(비, 햇빛 등)에 장시간 노출, 별도 보관장소 없이 자동차에 보관 등으로 인하여 로프의 강도가 약해졌을 가능성이 있으나 작업시작 전에 로프의 상태를 확인하지 않고 사용함.
 - 추락(떨어짐)을 방지하기 위한 안전조치 미실시**
 - 높이 2m 이상의 고소작업 장소에서 건물 외벽에 현수막 설치 작업 등을 할 때에는 떨어짐에 의한 근로자의 위험을 방지하기 위하여 작업용 달비계 로프와는 별도로 안전대 걸이용 구멍줄을 설치하고 안전대, 안전모 등의 개인보호구를 착용하여야 하나 이를 준수하지 않고 작업을 실시함.
- **재해예방 대책 :**
 - 충분한 강도가 유지되는 로프 사용 및 사용 전 이상 유무 확인**
 - 로프의 꼬임이 끊어지거나 심하게 손상·변형된 섬유로프는 반드시 교체하여 작업을 수행하고, 작업시작 전 로프의 이상 유무 확인을 철저히 하여야 함.
 - 고소작업 시 안전대 걸이용 구멍줄 설치 및 개인보호구 착용**
 - 건물 외벽 보수 작업 등 높이 2m 이상의 고소작업 장소에서 작업을 할 때에는 떨어짐에 의한 근로자의 위험을 방지하기 위하여 작업용 로프와는 별도로 구멍줄을 설치하고, 구멍줄을 안전대에 체결하여 작업용 로프 파단 등 비상시 작업자의 떨어짐을 방지할 수 있도록 하여야 함.

재해사례 22

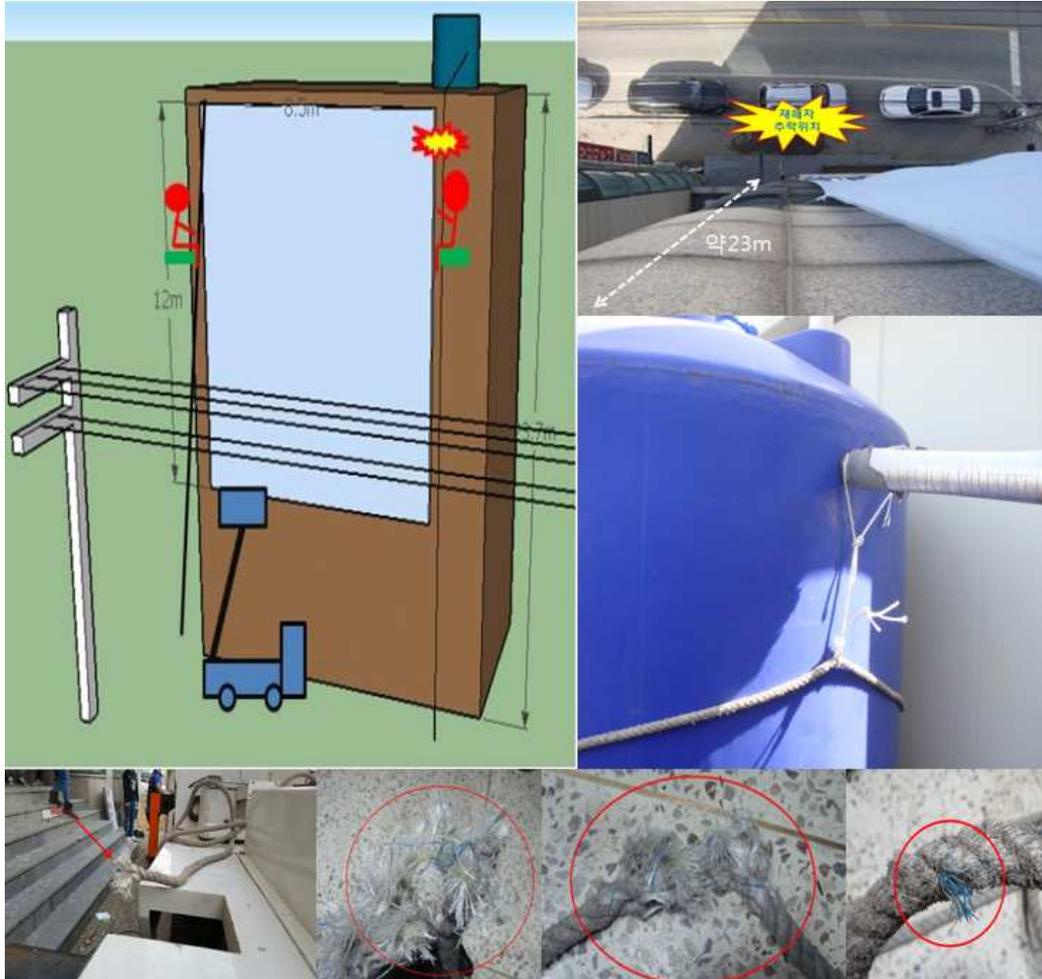
- 재해 개요 : 2016년 03월 서울시 용산구 이촌동 소재 ○○건설(주)에서 시공하는 동○○빌 10년차 하자보수 종료공사 현장에서 피재자 오○○(도장공, 남, 31세)가 달비계를 이용하여 아파트 외벽 도장작업을 하다가 달비계를 지지하는 로프가 파단되며 10층(약 23m)높이에서 지상 바닥(화단)으로 떨어져 병원으로 이송 되었으나 사망한 재해임.



- 재해발생 원인 : **안전대 부착설비(수직구멍줄) 미설치**
 - 달비계 작업 시 지지 로프 이외 별도의 안전대 부착설비(수직구멍줄)를 설치하지 않고 작업 중 지지 로프가 파단되며 떨어짐 재해가 발생함.
- 재해예방 대책 : **달비계 추락방지 조치**
 - 사업주는 달비계를 설치하는 경우, 근로자의 추락 위험을 방지하기 위하여 달비계에 안전대 및 구멍줄을 설치하여야 함.
- **달비계의 작업 전 점검(기술적 사항)**
 - 달비계 작업 시 지지 로프의 모서리 접촉부 발생여부, 로프의 손상·부식여부 등을 점검하고 이상을 발견하면 즉시 보수하여야 함.

재해사례 23

- **재해 개요 :** 2016년 03월 충남 예산군 예산읍 산성리 소재 ○○빌딩(6층 건물) 전면 외벽에서 ○○광고 소속 근로자 이○○이 달비계를 이용하여 국회의원 선거 홍보물(현수막)을 설치하던 중 섬유로프 파단으로 추락하여 사망한 재해임



- **재해발생 원인 :**
 - 추락에 의한 위험방지 조치 미실시**
 - 근로자의 추락 위험을 방지하기 위하여 달비계에 안전대 및 구명줄(보조로프)을 설치하지 않는 등 추락위험 방지조치 없이 작업을 실시함.
 - 달비계에 사용하는 섬유로프 관리기준 미준수**
 - 꼬임이 끊어지거나, 심하게 손상된 섬유로프를 달비계의 설치에 사용하여 작업을 실시함.
 - 고소작업 안전보호구 미착용**
 - 고소작업 시에는 안전모, 안전대 등의 보호구를 착용하고 작업을 하여야 하나 보호구를 착용하지 않은 채 작업을 실시함.
- **재해예방 대책 :**
 - 추락 위험지역에서 작업 시 추락 위험방지 조치 실시**
 - 추락에 의해 근로자에게 위험을 미칠 우려가 있을 때에는 달비계에 안전대 및 구명줄(보조로프)을 설치하는 등의 추락방지조치를 실시하여야 함.
 - 달비계에 사용하는 섬유로프 점검철저**
 - 꼬임이 끊어지거나, 심하게 손상 또는 부식된 섬유로프는 달비계 설치시 사용하지 않아야 함.
 - 고소작업 시 안전보호구 착용**
 - 추락의 위험이 있는 장소에서 작업 시에는 추락방지를 위한 안전대 및 추락 시 작업자의 머리를 보호할 수 있는 안전모를 착용하고 작업을 실시하여야 함.

재해사례 24

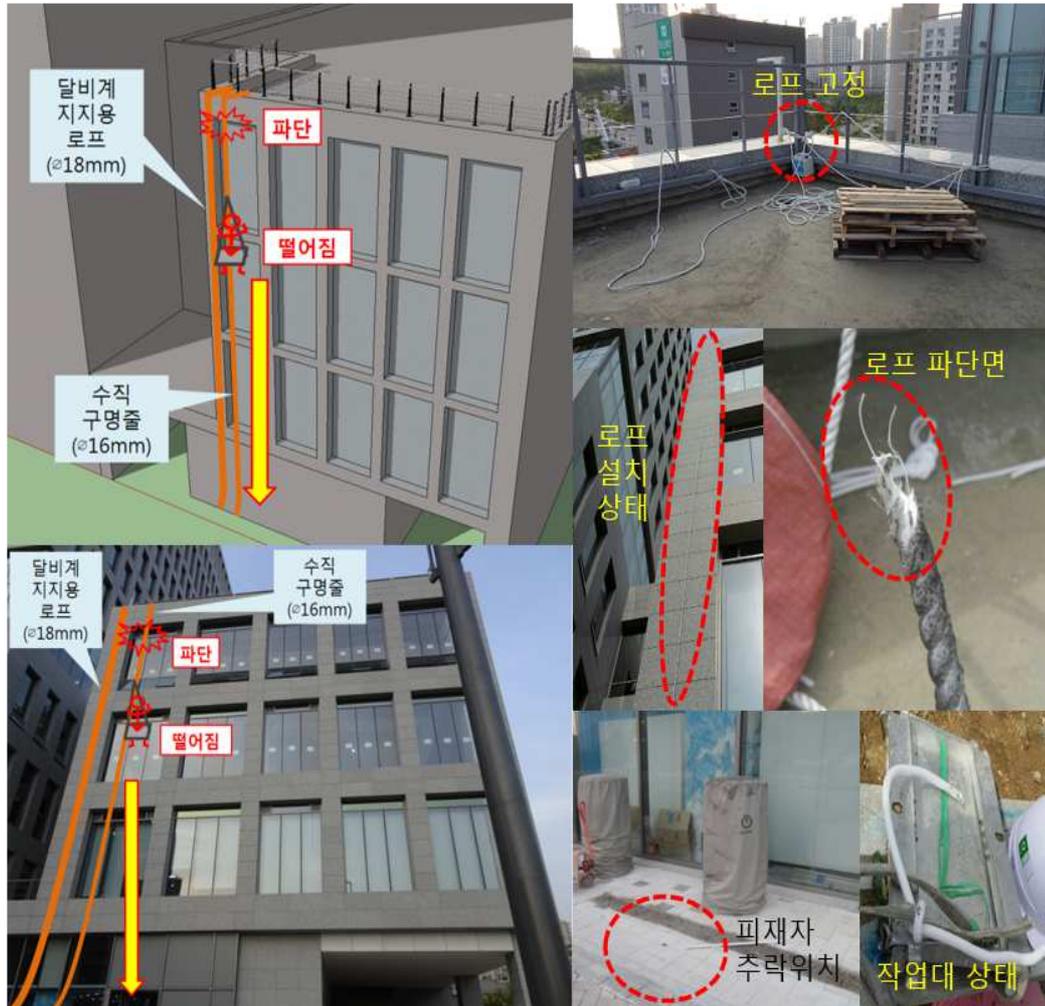
- 재해 개요 : 2016년 04월 대구 달서구 소재 (주)○○건업/○○아파트 외부 도장보수공사 현장에서 (주)○○건업 소속의 도장공 재해자(남, 53세)가 아파트 101동 서측 외부측벽에서 달비계를 이용 도장초벌 작업도중 달비계의 지지로프와 보조로프가 끊어지면서 5층(높이 약14m)에서 지상으로 떨어져 사망한 재해로 추정됨.



- 재해발생 원인 : **달비계의 점검 및 보수 미 실시**
· 달비계를 이용 작업시에는 작업을 하기전 달비계 로프의 부착상태 등 추락에 의한 위험을 방지하기 위한 점검을 실시한 후 작업을 하여야하나 미 실시
- 재해예방 대책 : **달비계의 점검 및 보수철저**
· 달비계를 이용 작업 시에는 작업을 하기전 달비계 로프의 부착상태 등 추락에 의한 위험을 방지하기 위한 사전점검을 실시 후 작업을 하여야함.
* 달비계의 지지로프 및 보조로프는 작업에 의한 손상을 받지 않도록 사전에 엠블럼의 금속제 돌출 마감 부위 등에는 보양을 하고, 지지로프 및 보조로프에도 안전덮개를 설치한 상태에서 작업을 하여야함.

재해사례 25

- **재해 개요 :** 2016년 04월 세종시 어진동에 소재한 ○○건설(주) 세종○○프라자 신축공사 현장에서 피재자 이○○(39세, 코킹공)이 달비계를 사용하여 건물 외벽 석재 코킹작업을 하던 중 달비계를 지지하는 로프가 파단 되며 약 15m 아래 지상 1층 바닥으로 떨어져 사망한 재해임



- **재해발생 원인 :**
 - **달비계 지지용 로프의 손상·부식 상태 등에 대한 작업전 점검 미 실시**
 - 달비계 작업 시 지지용 로프의 손상·부식 상태 등에 대한 작업 전 점검을 실시하여야 하나, 변형된 수직구멍줄을 지지용 로프로 사용 중 로프가 파단 되면서 떨어짐.
 - **수직구멍줄 미설치 및 안전대 미착용**
 - 달비계 작업 시 근로자의 떨어짐 사고를 방지하기 위하여 수직구멍줄을 설치하고 안전대를 착용하여야 하나 수직구멍줄을 지지용 로프로 사용하며 별도의 수직구멍줄을 사용하지 않음.
- **재해예방 대책 :**
 - **달비계 지지용 로프의 손상·부식 상태 등에 대한 작업전 점검 실시**
 - 달비계 작업 시 지지용 로프의 손상·부식 상태 등에 대한 작업 전 점검을 실시하고, 손상·변형된 부분이 발견되면 즉시 폐기하여야 함.
 - **수직구멍줄 설치**
 - 달비계 작업 시 근로자의 추락을 방지하기 위하여 지지용 로프 이외에 별도의 수직구멍줄을 설치하고 안전대를 착용하여 떨어짐 사고를 방지하여야 함.

작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안) 적정성 평가

먼저 설문조사에 참여하여 주셔서 진심으로 감사드립니다.

본 설문은 ‘합성섬유로프의 외기 노출에 따른 인장강도 변화 분석과 섬유로프 관리 방안 마련’을 연구하기 위해 한국산업안전보건공단, 달비계 작업 관제자 및 건설현장 안전관리자 대상으로 실시하고 있습니다.

본 연구 결과를 바탕으로 작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안)에 대해 타당성 파악의 일환으로 실시되는 설문입니다.

본 설문은 무기명으로 이루어지며, 여러분이 응답하신 내용은 연구목적 이외의 용도로 사용되지 않을 것을 약속드립니다.

여러분의 응답 하나 하나가 산업재해예방과 안전보건관리에 보다 실효성 있고 효과적인 방안을 위한 연구에 귀중한 자료가 되오니 성심, 성의껏 답변하여 주시면 감사하겠습니다.

울산대학교 대학원 산업경영공학과
연구 담당자 : 강 성 윤

I	응답자 일반 사항
----------	------------------

구 분	내 용
소속	<input type="checkbox"/> 공단 <input type="checkbox"/> 달비계 작업 관계자 <input type="checkbox"/> 현장 안전관리자 <input type="checkbox"/> 기타()
전공	<input type="checkbox"/> 건축 <input type="checkbox"/> 토목 <input type="checkbox"/> 기계 <input type="checkbox"/> 전기 <input type="checkbox"/> 산업안전 <input type="checkbox"/> 기타()
경력	<input type="checkbox"/> 5년 미만 <input type="checkbox"/> 5년 이상 ~ 10년 미만 <input type="checkbox"/> 10년 이상 ~ 15년 미만 <input type="checkbox"/> 15년 이상 ~ 20년 미만 <input type="checkbox"/> 20년 이상 <input type="checkbox"/> 기타()
직위	<input type="checkbox"/> 주임급 <input type="checkbox"/> 대리급 <input type="checkbox"/> 과장급 <input type="checkbox"/> 차장급 <input type="checkbox"/> 부장급 <input type="checkbox"/> 실(소)장급 <input type="checkbox"/> 임원급 <input type="checkbox"/> 기타()

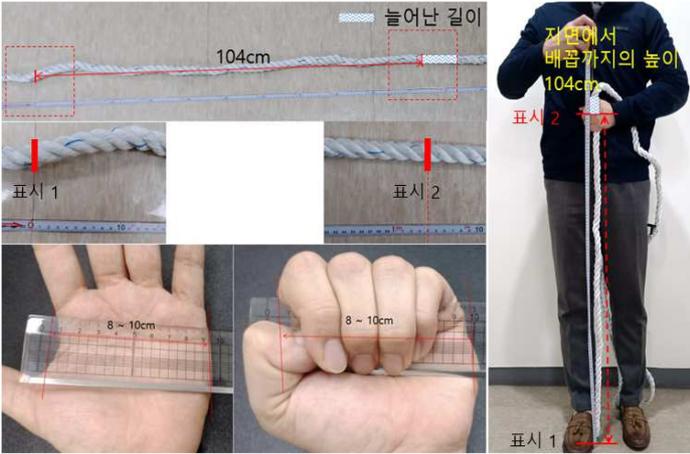
II	응답 요령
-----------	--------------

[설문응답 요령]

☞ 본 연구결과에서 제안된 지침 개정(안)에 대해서 제시된 해당 분야에 체크(☑)하여 주시기 바랍니다.

구분	①	②	③	④	⑤
평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

1. 달비계 작업용 로프 관리 방안

구 분	제 시(안)					
세부 내용	<ul style="list-style-type: none"> · 합성섬유로프의 연신율 기준으로 판단 - 현장에서 로프 폐기 여부 판단 기준 제시 · 폐기 기준(국제기준에서 로프의 연신율 5% 이상이면 폐기) - 실제 바닥면(표시 1)부터 작업자의 배꼽(주먹 중앙부_표시 2)위치 - 표시 2가 주먹 위로 보이게 되면 사용 금지 					
예시	 <ul style="list-style-type: none"> · 성인(40대) 남성의 평균 사이즈가 - 배꼽 수준 허리 높이 : 956 ~ 997mm - 손 너비 : 85mm · 지면에서 배꼽까지의 거리 약 1,000mm 주먹 중앙(손 너비의 절반) 약 50mm → 실제 늘어난 길이는 약 5% 이내 					
적정성 평가	구분	①	②	③	④	⑤
	평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

2. 달비계 작업용 로프 최소 인장강도 기준

구 분	현 행	개 정(안)				
인장강도 기준	4.2 작업의자형 달비계의 구성요소에 대한 안전조치사항 4.2.1 작업용 로프 및 구명줄의 종류와 특성 (2) 작업용 로프 및 구명줄 안전조치사항 (가) 달비계를 지지하는 모든 로프는 최소 22.9kN(2,340 kgf)의 강도를 가진 인조섬유(나일론이나 폴리프로필렌이 적합)이어야 하며, 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니된다.	4.2 작업의자형 달비계의 구성요소에 대한 안전조치사항 4.2.1 작업용 로프 및 구명줄의 종류와 특성 (2) 작업용 로프 및 구명줄 안전조치사항 (가) 달비계를 지지하는 모든 로프는 최소 22kN(2,245 kgf)의 강도를 가진 인조섬유(나일론이나 폴리프로필렌이 적합)이어야 하며, 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니된다.				
적정성 평가	구분	①	②	③	④	⑤
	평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

3. 달비계 작업용 로프 검사 기준

구 분	현 행	개 정(안)				
로프검사 기준	(마) 사용 전에 로프의 손상 유무를 반드시 검사하여야 하며 검사결과 과도하게 닳거나 손상, 변형된 부분이 발견되면 즉시 폐기하여야 한다.	(마) 사용 전에 로프의 손상 유무를 반드시 검사하여야 하며 검사결과 과도하게 닳거나 손상, 변형된 부분이 발견되거나 또는 엄지손톱으로 로프 표면을 문질러서 로프 표면이 가루로 벗겨지는 경우 즉시 폐기하여야 한다.				
적정성 평가	구분	①	②	③	④	⑤
	평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

4. 달비계 작업용 로프 폐기 기준

구 분	현 행	개 정(안)				
로프폐기 기준	(바) 작업용 로프는 사용된 날부터 2 년 이상이 되었거나 제조일로부터 3 년 이상이 되었을 때에는 사용하지 않아야 한다.	(바) 작업용 로프는 하절기(5월 ~ 9월)를 포함하여 사용된 날부터 9개월 이상이 되었거나 제조일로부터 3 년 이상이 되었을 때에는 사용하지 않아야 한다.				
적정성 평가	구분	①	②	③	④	⑤
	평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

5. 달비계 작업용 로프 사용 기준

구 분	현 행	개 정(안)				
로프사용 기준	(자) 일반적으로 P.P 또는 P.E 로프를 사용하는 경우, 작업용 로프는 직경 22mm이상, 구명줄 로프는 16mm 이상을 사용하여야 한다.(단, 모든 로프는 최소 22.9kN(2,340 kgf)의 강도를 갖고, 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니 된다.)	(자) 일반적으로 P.P 또는 P.E 로프를 사용하는 경우, 작업용 로프는 직경 18mm이상, 구명줄 로프는 16mm 이상을 사용하여야 한다.(단, 모든 로프는 최소 22kN(2,245 kgf)의 강도를 갖고, 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니 된다.)				
적정성 평가	구분	①	②	③	④	⑤
	평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

6. 달비계 작업대 지지로프 기준

구분	현행	개정(안)				
작업대 지지로프 기준	4.2.4 작업의자형 달비계 작업대 안전조치사항 (1) ~ (6) <추가>	4.2.4 작업의자형 달비계 작업대 안전조치사항 (1) ~ (6) (7) 작업대를 고정하는 로프는 연결 후 최소 10.8kN(1,100 kgf)의 강도를 갖고 있어야 하며 폴리프로필렌 소재의 섬유 재질일 경우 사용된 날부터 2년 이상 경과 되었을 때에는 교체하여야 한다.				
적정성 평가	구분	①	②	③	④	⑤
	평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

7. 달비계 작업 전 로프 점검 기준

구분	현행	개정(안)				
로프 점검 기준	5. 작업의자형 달비계 작업 시 안전준수사항 5.1 준비작업 (4) 달비계 및 추락방지 설비의 단계별 사전 점검사항은 다음과 같다. (가) 1 단계 : 고리(Anchor), 안전대, 카라비너, 샤클 등 철물의 점검 (나) 2 단계 : 로프의 검사 <추가>	5. 작업의자형 달비계 작업 시 안전준수사항 5.1 준비작업 (4) 달비계 및 추락방지 설비의 단계별 사전 점검사항은 다음과 같다. (가) 1 단계 : 고리(Anchor), 안전대, 카라비너, 샤클 등 철물의 점검 (나) 2 단계 : 로프의 검사 - 로프는 킹킹 또는 호클이 형성된 부분이 없어야 하며, 강제로 힘을 가해 제거하지 말아야 한다.				
적정성 평가	구분	①	②	③	④	⑤
	평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

8. 달비계 작업 전 작업대 점검 기준

구 분	현 행	개 정(안)				
작업대 점검 기준	(다) 3 단계 : 작업대의 검사 <추가>	(다) 3 단계 : 작업대의 검사 - 작업대를 고정하는 로프의 변형, 손상 등 연결된 부분과 작업대의 접촉부분의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다. - 작업대 샤클의 변형, 손상, 로프와의 연결 부분 등 제품의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다.				
적정성 평가	구분	①	②	③	④	⑤
	평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

9. 달비계 작업 로프 결속 점검 기준

구 분	현 행	개 정(안)				
로프 결속 점검 기준	5.3 로프 결속작업 (1) ~ (3) (4) 작업용 로프와 구멍줄은 각각 별도의 고정점에 묶어야 하며 고정점은 22.9kN(2,340 kgf) 이상을 지지할 수 있어야 한다.	5.3 로프 결속작업 (1) ~ (3) (4) 작업용 로프와 구멍줄은 각각 별도의 고정점에 묶어야 하며 고정점은 22kN(2,245 kgf) 이상을 지지할 수 있어야 한다.				
적정성 평가	구분	①	②	③	④	⑤
	평가	매우 부적절	부적절	보통	적절	매우 적절

[부록 4] 안전작업 지침 개정(안)

작업의자형 달비계 안전작업 지침 개정(안)

1. 목 적

이 지침은 「산업안전보건기준에 관한 규칙」(이하 “안전보건규칙”이라 한다) 제 7장 제4절(달비계, 달대비계 및 걸침비계), 고용노동부 고시 제2012-92호 가설공사 표준안전작업지침 및 가설공사 표준시방서의 규정에 따라 작업의자형 달비계를 이용한 작업과정에서 준수하여야 할 안전지침을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 도장, 견출, 청소, 보수, 검사 등을 위한 외부 및 내부 벽체 등의 작업 중에서 외줄 달기섬유로프를 이용한 달비계 작업에 대하여 적용한다.

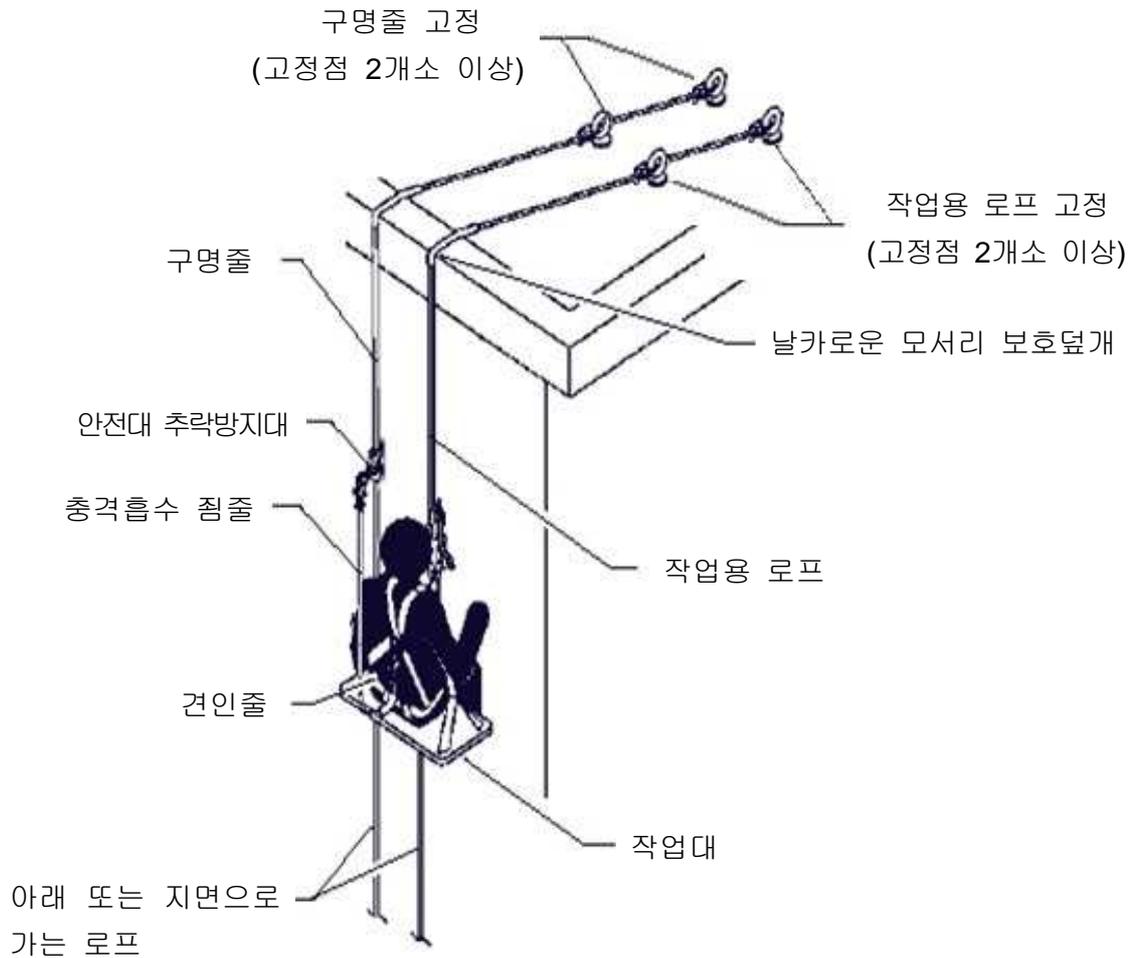
3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “작업의자형 달비계(Rope Descent System)”라 함은 매달린 외줄 달기 섬유로프에 부착되어 지지되는 작업대를 이용하여 근로자가 작업할 수 있도록 제작된 것을 말한다.

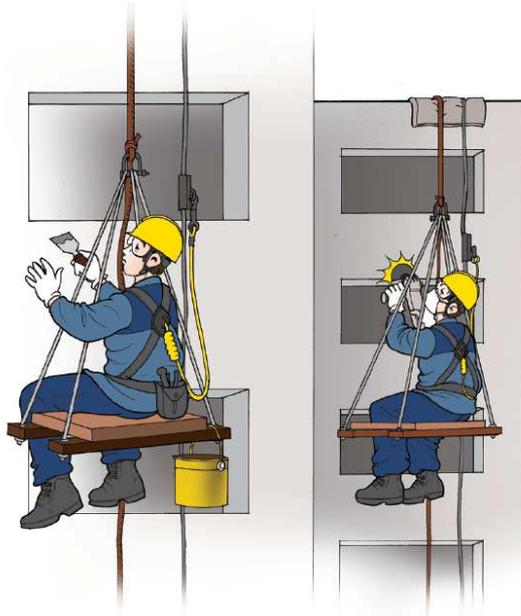
(나) “구명줄”이라 함은 고소작업 시 추락사고 예방을 위해 안전대를 체결하는 밧줄을 말하며 로프 또는 레일 등과 같이 유연하거나 단단한 고정 줄로서 추락발생 시 추락을 저지시키는 것을 말한다.

(다) “샤클(Shackle)”이라 함은 연강환봉을 U자형으로 구부리고 입이 벌려 있는 쪽에 환봉 핀을 끼워서 고리로 하는 것이며, 로프의 끝 부분이나 달기 체인 등의 연결고리에 연결하여 물체를 들어 올릴 때 사용하는 기구를 말한다.



〈그림 1〉 작업의자형 달비계 구성요소

- (라) “슬링(Sling)”이라 함은 짐 등을 운반할 때 사용하는 인양로프 또는 인양용구를 말한다.
- (마) “안전대”라 함은 벨트, 로프 및 그 부속품에 의해 구성되어 작업 중 근로자의 추락에 의한 위험을 방지하기 위해 사용되는 보호구를 말한다.
- (바) “고정점”이라 함은 작업용 로프, 구멍줄을 결속하여 고정하기 위한 지점을 말한다. 이때 고정점은 철물(로프용 고리를 포함한다), 구조물(콘크리트 및 철재) 등으로 할 수 있다.



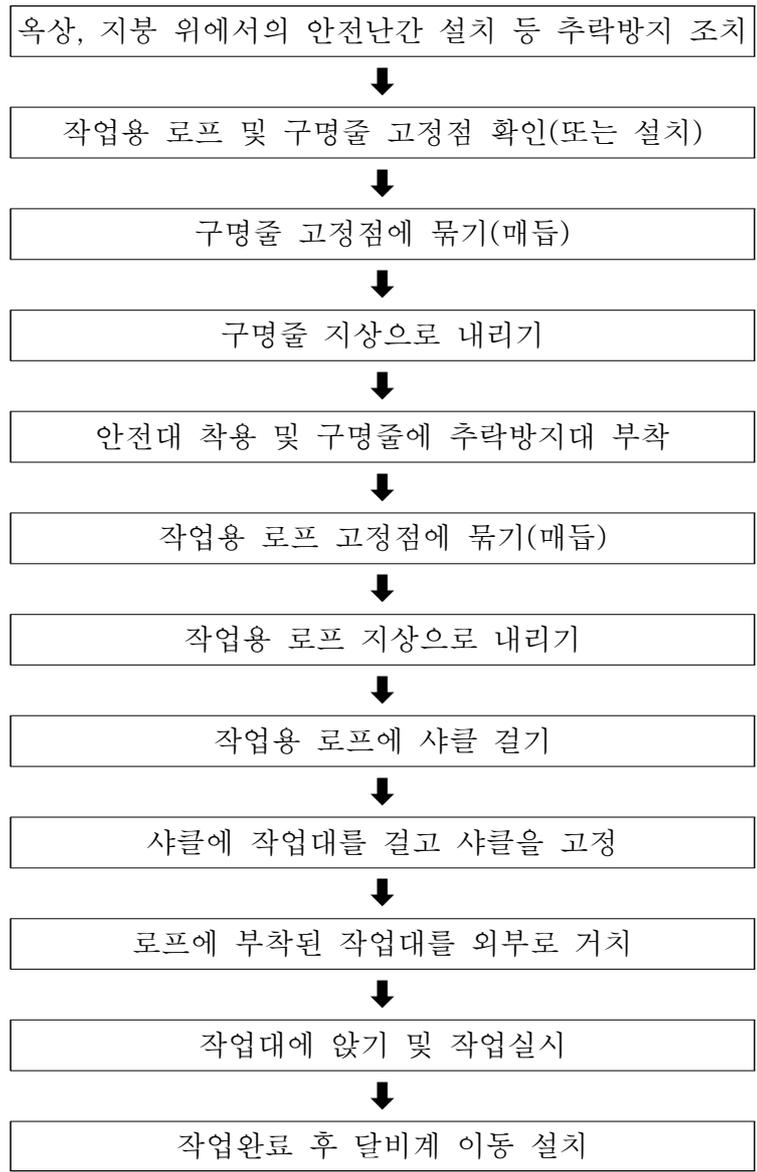
〈그림 2〉 안전대 착용 예

- (2) 그 밖의 용어의 정의는 이 지침에서 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 기타 고시에서 정하는 바에 따른다.

4. 작업의자형 달비계 작업순서 및 구성요소에 대한 안전조치 사항

4.1 작업의자형 달비계 작업 순서

작업의자형 달비계의 작업 순서를 보면 비교적 단순한 편이며 그와 같은 단순 작업과정이 지속 적으로 반복되는 작업으로 작업순서는 〈그림 3〉와 같다.



<그림 3> 작업의자형 달비계 작업순서

4.2 작업의자형 달비계의 구성요소에 대한 안전조치사항

4.2.1 작업용 로프 및 구명줄의 종류와 특성

(1) 로프의 종류 및 특성

〈표 1〉 로프의 종류와 특성

종 류	특 성	용 도
폴리프로필렌로프 (PP rope)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고품질의 폴리프로필렌 섬유로 만들어지며 특별히 자외선에 대한 높은 저항력과 취급이 대단히 용이한 로프임 ○ 비중(0.91)이 낮아 물에 뜬. ○ 충격 흡수력이 뛰어나고 마모에 우수한 저항력과 뒤틀림이 없으며 유동성이 있어 작업이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양식용, 육상용, 어업용 및 레크레이션과 스포츠 분야에 널리 사용 ○ 중선박 정박용, 도킹용, 닻줄용과 같은 용도로 가장 잘 알려져 있는 로프임
나일론로프 (Nylon rope)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 마닐라 로프의 강도에 비해 두 배 이상이며 합섬 로프 중 가장 강도가 높고 탄력적인 제품임 ○ 충격에 잘 견디며 하중을 가하면 그 에너지를 완전히 흡수함 ○ 마모에 강하고 로프 취급에 있어 최적의 제품임 ○ 비중(1.14)이 커 물에 잘 가라앉음 ○ 탄성이 크고 하중 상쇄력이 매우 우수 ○ 뒤틀림이 없고 신축성이 좋으므로 작업이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 트롤용과 어업용, 선박용, 안전망 등에 사용
비닐론로프 (Vinylon rope)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 외관상 목면(목화면)과 매우 유사하며 자외선에 높은 저항력을 지님 ○ 내, 외부 마모에 탁월한 저항력을 지니고 있으며 취급상에 있어서도 대단히 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 트롤용과 어업용, 선박용, 안전망 등에 사용
폴리에틸렌로프 (P.E rope)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유연성이 좋고 매끄러워 내 마모에 특히 우수 ○ 인장강도는 건조시나 습기 시에도 불변 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 트롤 등 모든 수산업과 육상용으로 폭넓게 사용되어짐
마닐라로프 (Manila rope)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 재질이 자연 섬유로 됨. ○ 실내에서 사용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 운동기구용(줄다리기 및 줄넘기), 각종 실내 인테리어 ○ 고가빌딩 안전사다리용으로 사용됨

(2) 작업용 로프 및 구명줄 안전조치사항

(가) 달비계를 지지하는 모든 로프는 최소 22kN(2,245 kgf) 의 강도를 가진

인조섬유(나일론이나 폴리프로필렌이 적합)이어야 하며, 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니된다.

(나) 작업에 사용되는 작업대 및 작업용 기구 등은 떨어지지 않도록 부착하여야 한다.

(다) 작업용 로프와 구명줄에는 다음 내용이 표시되거나 내용이 표시된 꼬리표가 부착되어 있어야 한다.

- 생산자의 상호, 길이/크기, 생산일, 작업 투입일

(라) 작업용 로프, 구명줄은 연결하여 사용하지 말아야 한다.

(마) 사용 전에 로프의 손상 유무를 반드시 검사하여야 하며 검사결과 과도하게 닳거나 손상, 변형된 부분이 발견되거나 또는 엄지손톱으로 로프 표면을 문질러서 로프 표면이 가루로 벗겨지는 경우 즉시 폐기하여야 한다.

(바) 작업용 로프는 하절기(5월 ~ 9월)를 포함하여 사용된 날부터 9개월 이상이 되었거나 제조일로부터 3년 이상이 되었을 때에는 사용하지 않아야 한다.

(사) 건물 또는 구조물의 단부, 날카로운 물체를 지나 설치되는 작업용 로프나 구명줄은 절단이나 마모로부터 보호될 수 있도록 별도의 조치를 하여야 한다.

(아) 작업용 로프 및 지지설비의 구조에 대한 안전작업 하중은 안전율 10을 적용하여 사용하여야 한다.

(자) 일반적으로 P.P 또는 P.E 로프를 사용하는 경우, 작업용 로프는 직경 18mm이상, 구명줄 로프는 16mm 이상을 사용하여야 한다.(단, 모든 로프는 최소 22kN(2,245 kgf)의 강도를 갖고, 허용하중을 초과해서 사용하여서는 아니 된다.)

4.2.2 로프의 고정점 안전조치 사항

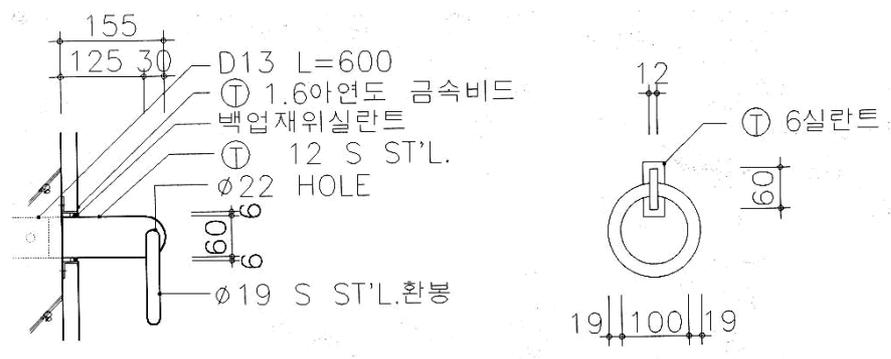
관리감독자는 작업용 로프와 구명줄 로프가 별도의 고정점에 결속되는지, 각 로프는 2개 이상의 고정점(또는 고정물)에 결속할 수 있는지 확인하여야 한다. 만약 로프의 고정점이 충분하지 아니한 경우에는 4.2.3에 따라 고정점을 확보하여야 한다.

(1) 로프용 고리 (고정점)

(가) 로프 고정용 고리는 옥상 구조물 공사 시 매입 설치하고, 매입하는 로프 고정용 고리 설치간격은 3m 내외가 적당하며, 고정용 고리 고정방법 및 규격은 <그림 4>, <그림 5> 예시와 같다.



<그림 4> 로프용 고리(매입용) 예



<그림 5> 로프용 고리 측면 및 정면도 예

(나) 고리를 매입할 때 고리 앵커를 구조물의 철근에 용접하거나 고리 앵커 홀에 철근을 관통시키는 방법으로 고정하여 로프를 결속하였을 때 고리가 뽑히는 일이 없도록 하여야 한다.

(2) 콘크리트 및 철재 구조물을 이용한 고정물

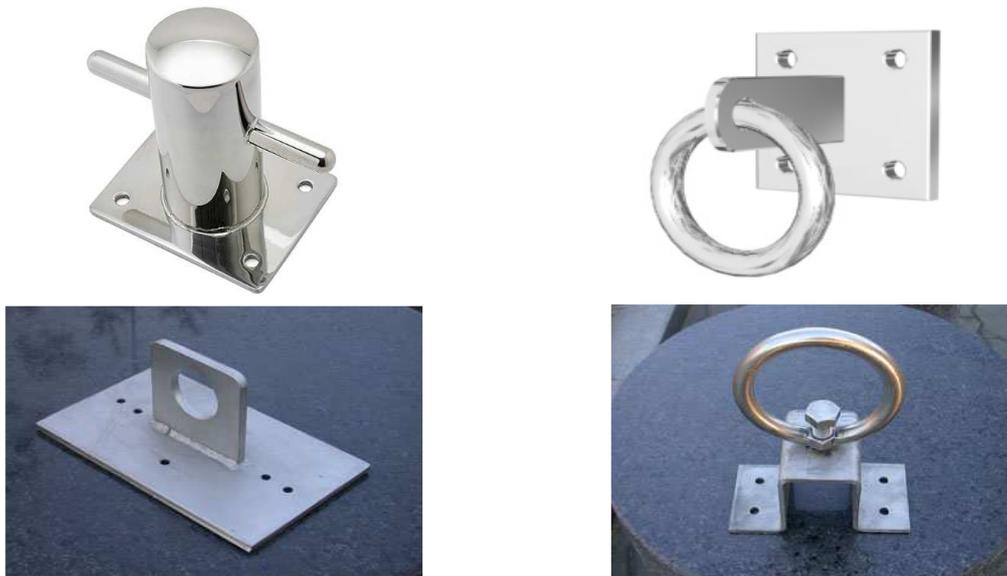
(가) 지붕 또는 옥상의 돌출물 등과 같은 콘크리트 구조물을 이용할 경우에는 로프와 모서리의 접촉면을 고무패드 등으로 보호하고 구조물 위로 로프가 벗겨지는 것을 방지하기 위하여 못이나 앵글 등을 이용 로프를 고정시켜야 한다.

(나) 지붕 또는 옥상의 철골구조물이나 냉각탑, 계단의 난간이나 철재 파이프 같은 철재 구조물은 구조물의 상황에 따라 안전성이 큰 차이를 보일 수 있으므로 강도가 충분하고 로프가 벗겨지지 않은 구조물을 선택하여야 한다.

(다) 철재구조물을 이용할 때에는 철저한 점검을 통하여 부식이 되었거나 연결부위의 처리가 불량한 곳에는 달비계를 고정하지 않도록 하여야 한다.

4.2.3 고정점이 없는 옥상, 지붕에서의 안전조치 사항

(1) 로프용 고리 및 구조물이 없는 옥상, 지붕에서는 <그림 6> 예시와 같이 작업용 로프, 구명줄을 결속할 수 있는 철물 등을 설치하여 고정점을 확보하여야 한다.



<그림 6> 로프 결속용 철물(참조사진)

(2) 철물 등 고정점은 앵커로 고정하는 등 작업 중 이탈되지 않도록 견고하게 설치하여야 하며, 작업하중을 충분히 지지할 수 있어야 한다.

(3) 하나의 고정점에 작업용 로프와 구명줄이 동시에 결속되지 않도록 충분한 수량의 고정점을 설치하여야 한다.

4.2.4 작업의자형 달비계 작업대 안전조치사항

- (1) 작업의자형 달비계 작업대는 로프 슬링에 의해 4 개 모서리를 매달아야 하고 강도가 충분하고 부드러운 나무로 제작하되 폭은 25cm, 길이 60cm 이상과 목재인 경우는 두께 5cm 이상 및 내수성 합판인 경우는 1.8cm 이상이어야 한다.
- (2) 작업대를 고정하는 로프는 작업대를 대각선으로 교차한 후 고정철물 등으로 고정하여 로프가 작업대에서 탈락되지 않도록 하여야 한다.
- (3) 작업대로부터 상부 50cm 되는 지점까지는 로프를 보호하는 보호대 (Guard)를 설치하여야 한다.
- (4) 못을 이용하여 로프를 고정할 경우에는 로프의 중간을 관통하여 못을 고정함으로써 로프의 손상 및 강도 저하의 원인이 되므로 로프를 고정할 때에는 로프를 관통하지 않고 고정하여야 한다.
- (5) 작업대의 재질은 평형을 잃지 않도록 미끄러짐이 없는 재질로 하여야 한다.
- (6) 작업대의 최대 적재량은 1.08kN(110 kgf) 이하가 되어야한다.
- (7) 작업대를 고정하는 로프는 연결 후 최소 10.8kN(1,100 kgf)의 강도를 갖고 있어야 하며 폴리프로필렌 소재의 섬유 재질일 경우 사용된 날부터 2년 이상 경과 되었을 때에는 교체하여야 한다.

4.2.5 매듭작업 시 주의사항

- (1) 매듭방법은 '7. 로프의 매듭방법'을 참조하되 단단하게 조여서 만들어야 한다.
- (2) 매듭은 보통 두 줄이 함께 돌아가게 되는데 서로 엇갈리거나 겹치지 말고 나란히 돌아가야 한다.
- (3) 매듭의 끝은 항상 윗매듭으로 마무리하여야 한다.
- (4) 사용 중에도 매듭의 상태는 수시로 점검하여야 한다.

(5) 매듭 부분에서의 강도상태는 <표 2> 와 같다.

<표 2> 매듭부위의 강도상태

구 분	강도상태(%)
매듭을 하지 않은 상태(로프강도)	100 %
8 자 매듭	75 ~ 80 %
보울라인 매듭	70 ~ 75 %
에반스 매듭	60 ~ 65 %
옴매듭	60 ~ 65 %
까베스탕 매듭	60 ~ 65 %
피셔맨 매듭	60 ~ 65 %

5. 작업의자형 달비계 작업 시 안전준수사항

5.1 준비작업

- (1) 작업책임자는 작업 전에 현장에 대하여 고정점의 확인, 건물의 높이, 경사진 지붕에서의 추락위험 등을 정확하게 파악을 한 후 작업 계획을 수립하여야 한다.
- (2) 경사진 지붕에서 준비작업(로프결속, 작업도구 운반, 이동 등) 중 추락위험이 있을 경우 KOSHA GUIDE C-59-2022(지붕공사 안전보건작업 기술지침)에 따라 추락위험을 방지하기 위한 조치를 하여야 한다. 이때 안전대 부착설비(고정기구, 철물 등)를 <그림 7>과 같이 설치하는 경우, 해당 안전대 부착설비는 달비계 작업용 로프 및 구멍줄 고정점과 혼용하여 사용해서는 아니 된다.



<그림 7> 경사진 지붕에서의 안전대 부착설비 설치 예

- (3) 작업자는 작업계획을 충분히 숙지하고 작업용 로프 및 구멍줄, 작업대와

샤클 등 달비계 작업에 필요한 설비와 추락방지에 필요한 안전대 등에 대한 사전 점검을 실시하여야 한다.

(4) 달비계 및 추락방지 설비의 단계별 사전 점검사항은 다음과 같다.

- (가) 1 단계 : 고리(Anchor), 안전대, 카라비너, 샤클 등 철물의 점검
- 손상되거나 부서지거나 휘어지면 안 된다.
 - 날카로운 모서리, 틈, 닳은 부분, 녹 등이 없어야 한다.
 - 카라비너의 후크는 자유롭게 움직이고 닫힐 때 자동으로 잠겨야 한다.
- (나) 2 단계 : 로프의 검사
- 로프는 헤지거나 소선의 절단, 마모 또는 불타거나 변색된 부분이 없어야 한다.
 - 로프는 킁킁 또는 호클이 형성된 부분이 없어야 하며, 강제로 힘을 가해 제거하지 말아야 한다.
 - 로프는 과도한 흙, 도료(페인트), 녹이나 얼룩이 없어야 한다.
 - 그을리거나 변색되거나 물러진 부분 등 화학적 또는 열에 의한 손상 여부를 확인한다.
 - 로프 표면의 변색과 터짐 등 자외선에 의한 손상을 확인한다.
 - 이상의 모든 요소들은 강도가 줄어들었음을 나타내므로 손상되거나 의구심이 드는 로프를 사용하면 안 된다.
- (다) 3 단계 : 작업대의 검사
- 작업대의 나무판을 검사하여 나무의 균열여부를 확인한다. 거친 모서리나 흠은 갈라짐을 야기할 수 있으므로 주의하여 검사한다.
 - 작업대(나무판 외) 변형, 손상 등 접합부의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다.
 - 작업대 지지로프의 변형, 손상 등 연결된 부분과 작업대의 접촉부분의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다.
 - 작업대 샤클의 변형, 손상, 로프와의 연결 부분 등 제품의 상태에 대한 이상 유무를 검사한다.
- (라) 4 단계 : 검사 날짜와 결과를 기록
- 검사를 실시한 후 날짜와 결과를 기록하여 보관한다.

- (5) 검사결과 불안전하거나 결함이 있는 달비계 또는 추락방지 설비는 제거 또는 폐기하여야 한다.
- (6) 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 달비계의 작업을 중지하여야 한다.
 - ① 풍속이 초당 10m 이상인 경우
 - ② 강우량이 시간당 1mm 이상인 경우
 - ③ 강설량이 시간당 1cm 이상인 경우

5.2 로프 내리기작업

- (1) 안전대를 지지하는 구명줄 고정점은 작업용 로프를 지지하는 고정점과 별도로 고정점을 확보하여 안전대를 지지하는 구명줄을 지지하도록 하여야 한다.
- (2) 구명줄 및 작업용 로프의 한쪽 끝을 고정점에 관리감독자 확인 아래 결속하여야 한다.
- (3) 구명줄에 안전대를 로프 연결철물 등으로 체결하고 안전대를 착용하여야 한다.
- (4) 안전대를 착용한 상태에서 작업용 로프를 내리고 로프가 지상바닥에 충분히 닫도록 길이를 확인하여야 한다.
- (5) 작업용 로프와 구명줄의 엉킴을 방지하기 위하여 작업용 로프와 구명줄은 약 1m 정도 이격하여 설치하여야 한다.
- (6) 제3자에 의한 로프풀림 등의 위험요인이 있으므로 로프 고정점 등에는 “작업중”이라는 표지 및 자물쇠 등을 부착하여 제3자가 로프에 손을 대지 않도록 하여야 한다.

5.3 로프 결속작업

- (1) 로프를 고정점에 결속하는 방법은 앞의 매듭부위 강도 상태에서 언급한 바와 같이 여러 가지 방법이 있으나 가능한 가장 보편적인 방법으로 설치,

해체가 용이하고 안전한 8자 매듭 법을 이용하여 결속하도록 한다.

- (2) 매듭은 가능한 크게 하는 것이 좋으며(카라비나에 연결하는 경우에는 매듭이 작은 것이 안전성이 있으나 달비계 작업 시 로프매듭을 작게 하면 작업으로 인한 작은 충격에도 매듭이 빠지면서 풀리게 됨) 로프의 풀림에 대비하여 반드시 2개의 고정점을 이용하여 2중으로 결속하여야 한다.
- (3) 결속점의 로프 2차 풀림방지를 위하여 샤클 또는 철근 등을 체결 고리에 설치하여야 한다.
- (4) 작업용 로프와 구명줄은 각각 별도의 고정점에 묶어야 하며 고정점은 22kN(2,245 kgf) 이상을 지지할 수 있어야 한다.

5.4 로프의 보호

- (1) 로프를 시멘트 바닥이나 표면이 거친 땅바닥에 끌면서 사용하면 로프의 절단 등으로 인한 치명적인 손상을 입게 되므로 취급 시 주의하여야 한다.
- (2) 로프를 사용 할 경우 건물이나 구조물의 예리한 모서리에 접촉되면 접촉부분이 급격히 손상되므로 가죽이나 고무패드로 로프를 보호하여야 한다.
- (3) 합성섬유로프는 특히 열에 취약하므로 열 주위에 가까이 하거나, 닿으면 즉시 녹으므로 고온의 물체 주위에서 작업을 할 때에는 특별히 주의해서 사용하여야한다.

5.5 작업의자형 달비계에 탑승 및 작업

- (1) 작업의자형 달비계에 탑승하기 전에 반드시 안전모와 안전대를 착용하고 안전대를 안전대부착설비(구명줄)에 부착하여야 한다.
- (2) 작업의자형 달비계 탑승을 위해 안전난간 등 시설물을 넘어 갈 경우에는 시설물의 파손, 탈락 등에 의한 추락, 전도 등의 재해를 예방하기 위해 사전 점검을 철저히 하여야 한다.

- (3) 작업의자형 달비계를 이용한 작업구역에는 출입금지 구역을 설정하고 경고 표지를 작업장소 아래에 설치하여 다른 작업자가 쉽게 알 수 있도록 하여야 한다.
- (4) 작업의자형 달비계 이용 작업 시 작업대에서 과도하게 몸을 내밀어 작업을 할 경우 작업대에서 이탈하여 추락할 우려가 있으므로 가급적 무게중심이 작업대에서 벗어나지 않도록 하여야 한다.

5.6 작업 후 작업의자형 달비계의 보관

- (1) 로프를 풀 때 비틀리면 꺾임이 발생되어 강도가 급격히 저하되므로 꼬임을 잘 풀어 꺾임이 발생되지 않도록 하여야 한다.
- (2) 작업 후 달비계를 보관할 때에는 물과 중성세제로 로프를 세척하고 기타 로프 재료의 특성에 적합한 방식으로 깨끗이 세척하여야 한다.
- (3) 세척 후에는 마르고 깨끗한 천으로 닦고 대기 중에 널어 말리고 건조를 위해 열을 가해서는 안 된다.
- (4) 합성섬유로프는 햇빛에 약하므로 옥내에 보관하거나, 옥외에 보관 할 때는 천막 등을 덮어 햇빛을 차단시켜야 한다.
- (5) 나일론로프는 일반 폴리프로필렌로프와 달리 수분을 흡수할 경우, 매우 딱딱해져서 취급 및 사용이 불편하므로 항상 건조한 곳에 보관하여야 한다.
- (6) 작업대와 로프는 공기가 잘 통하고 건조하며 직사광선을 피해 깨끗한 장소에 보관하여야 한다.
- (7) 화학물질이 있는 곳은 피하여야 하며 장기간의 저장 후에는 달비계의 구성품을 철저히 검사하여야 한다.

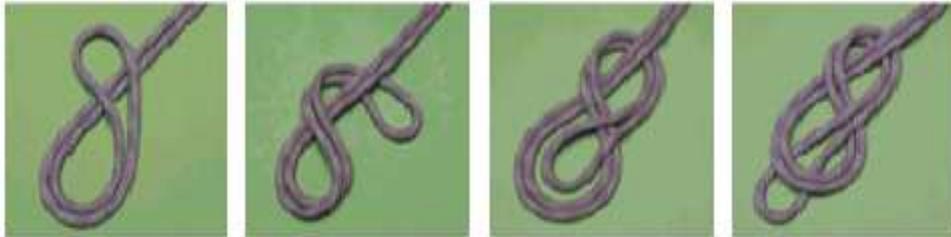
6. 관리감독자의 유해·위험 방지 직무수행 사항

- (1) 관리감독자는 작업 실시 전에 작업자에게 작업용 로프의 적합한 설비, 작업용 로프의 기본적인 검사방법, 구명줄과 앵커, 작업의자형 달비계의 안전한 사용법, 추락방지 시스템과 응급대처 방법 등을 포함한 작업계획에 대한 교육을 실시하여야 한다.
- (2) 관리감독자는 작업용 로프 및 구명줄, 작업용 로프 및 구명줄의 고정점, 구명줄의 조정점, 작업대, 고리걸이용 철구 및 안전대 등의 결손 여부를 확인하여야 한다.
- (3) 관리감독자는 작업시작 전 또는 휴식 후 작업재개 전에는 작업용 로프 및 구명줄이 고정점에 풀리지 않는 매듭방법으로 결속되었는지 확인하여야 한다.
- (4) 관리감독자는 근로자가 작업대에 탑승하기 전 안전모 및 안전대를 착용하고 안전대를 구명줄에 체결했는지 확인하여야 한다.
- (5) 관리감독자는 작업방법 및 근로자 배치를 결정하고 로프 고정 장소에서 작업 진행 상태를 감시하여야 한다.

7. 로프의 매듭방법

1. 8자 매듭

- (1) 두 줄을 겹쳐 잡아 한번 꼬아서 뒷줄 뒤에 고리를 만든다.
- (2) 매듭 줄을 뒷줄의 앞으로 돌린다.
- (3) 매듭 줄을 고리의 뒤쪽으로 통과 시킨다.
- (4) 매듭을 정돈하고 확인한다.



<그림 1> 8 자 매듭 결속 방법

2. 보울라인 매듭

- (1) 먼저 줄을 꼬아서 고리를 만든다
- (2) 줄의 끝 쪽을 고리 속으로 통과시킨다.
- (3) 줄 끝을 빼내고 원래 줄의 뒤로 돌린다.
- (4) 줄 끝을 처음 만든 고리로 다시 통과 시킨다
- (5) 보울라인 매듭이 완성된다.



<그림 2> 보울라인 매듭 결속 방법

3. 에반스 매듭

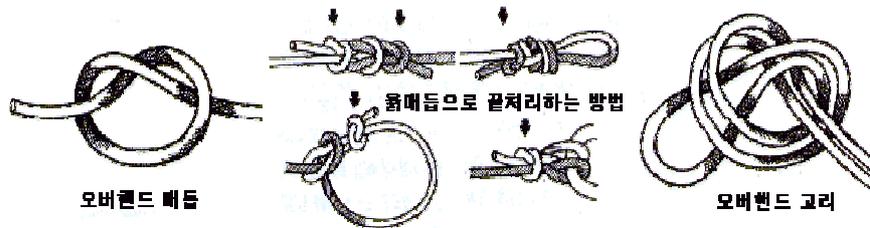
- (1) 줄로 고리를 만든 후 긴 쪽 줄을 따라 3 회 이상 감는다.
- (2) 줄의 끝을 감은 줄 사이로 넣은 후 빼낸다.
- (3) 짧은 줄을 당기면 매듭이 완성된다.



<그림 3> 에반스 매듭 결속 방법

4. 움매듭

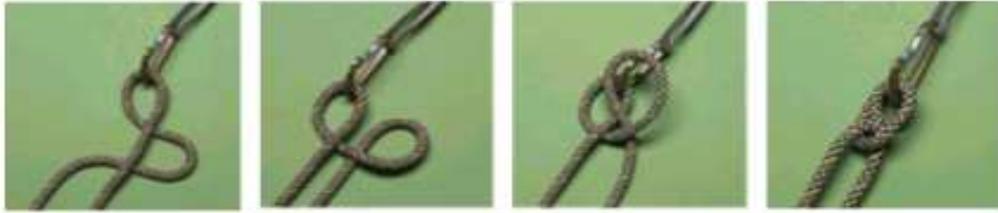
- (1) 매듭방법은 두 줄을 겹쳐 잡아 놓는다.
- (2) 잡아 놓은 두 줄을 한번 감아 돌려 넣어서 빼내면 완성된다.



<그림 4> 움매듭

5. 까베스탕 매듭

- (1) 두 개의 고리를 가운데 줄을 두고 서로 반대 방향으로 꼬아 만든다.
- (2) 왼쪽 고리를 오른쪽 고리 밑으로 서로 앞과 뒤로 엇갈리게 겹쳐 구멍을 만든다.
- (3) 가운데 겹침으로 인해 새로 생기는 구멍에 카라비너를 걸어 사용한다.



<그림 5> 까베스탕 매듭 결속방법(1)



등반자의 확보용으로 사용

<그림 6> 반(半) 까베스탕 매듭 결속방법(2)

6. 피셔맨 매듭

- (1) 두개의 줄을 역으로 나란히 하여 한 줄로 다른 줄을 두 번 감아 돌려 넣어서 당기며 조여 준다.
- (2) 나머지 한 줄도 반대로 돌려 똑같은 방법으로 두 번 감아 돌려 감은 뒤 당긴다.
- (3) 마지막으로 양쪽으로 당겨주면 완성된다.



반대줄을 똑같은 2중 피셔맨 매듭 방법으로 매듭한다 ->후면

<그림 7> 피셔맨 매듭

Abstract

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.

※ **Keywords** : Scaffolding work, Fiber ropes, Tensile test, Polypropylene, UV deterioration