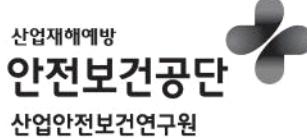


연구보고서

# 항타기 와이어로프 파손 원인 및 관리실태에 관한 연구

박재석, 이성주, 양정렬





## 요 약 문

**연구기간**

2019년 1월 ~ 2019년 11월

**핵심단어**

항타기, 와이어로프, 원치작동식 타격해머

**연구과제명**

항타기 와이어로프 파손 원인 및 관리실태에 관한 연구

### 1. 연구배경

항타기(pile driver) 관련 재해는 최근 3년간 82건이 발생하였고 14명의 사망 재해자가 발생하여 재해 강도가 매우 높은 재해이며, 항타기 관련 재해의 주요 발생 유형으로는 항타기 전도, 중량물 낙하, 와이어로프 파단 등이 있으며 최근 항타기를 이용한 항타작업중 드롭해머를 이용한 파일 타격시 해머와 연결된 와이어로프 파단에 의한 중대재해가 계속해서 발생하고 있다. 한편, 와이어로프 파손 예방을 위한 유지보수에 관한 기술적인 사항은 안전보건기준에 관한 규칙과 KS 표준에 명시 되어있으나 크레인, 승강기 등의 인장하중과 굽힘하중을 받는 와이어로프에 유효하며 항타기 헤더용과 같이 충격하중을 받는 와이어로프에 관한 기술기준 및 법령은 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 이러한 동종 중대재해 예방을 위하여 와이어로프 파손 사고원인 분석을 중심으로 파손 특성과 관리방안에 대한 고찰을 하고자 하였다.

### 2. 주요 연구내용

항타기 드롭해머용 와이어로프의 파손특성을 수거시편에 대한 파면분석과 수치해석을 통해 분석하고 이에 대한 관리 및 폐기기준에 대한 검토를 통하여

### 와이어로프의 관리방안에 대해 고찰해 본 결과로

1. 항타기 와이어로프의 파손 원인은 와이어로프 내부 코어로부터 접촉피로가 발생하여 최종 파단에 이르렀을 것으로 판단되며 파단부 인근의 로프 손상 상태를 분석한 결과 지름감소는 공칭지름 대비 3.1%였으며 소선 단선은 관찰되지 않아 법령과 기술기준에서 정하고 있는 폐기 기준에는 미치지 않았으나 내부 코어 소선에서는 다수의 소선 파단이 관찰되어 외부 육안 관찰보다는 내부 소선 점검이 중요함을 알 수 있었다.
2. 재해발생 현장에서 수거된 와이어로프와 같은 규격의 수치 모델을 유한요소법을 이용하여 응력분포를 분석한 결과 외부 스트랜드 소선에서보다 내부 코어에서 높은 응력이 발생함을 알 수 있었으며 응력발생의 주요 원인이 접촉응력에 따르는 것을 확인할 수 있었다.
3. 법령과 기술기준의 마모량과 단선수에 따른 와이어로프 점검 및 폐기 기준으로는 현장에서 항타기 와이어로프의 건전성을 평가하고 폐기를 판단하기 어려운 점이 있었으나 항타기의 취급설명서에서 명기하고 있는 로프 굽힘 점검법을 통해 골단선이 1개라도 발생했을시 폐기하는 기준이 합리적으로 현장에 적용 할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 연구 활용방안

- 항타기 와이어로프 유지보수 및 검사와 폐기 기준의 기초자료로 활용
- 학술대회 발표 및 논문게재를 통한 학술적 근거 및 관련 지식 홍보

### 4. 연락처

- 산업안전보건연구원 안전연구실 박재석
- ☎ 052) 703. 0855
- E-mail parkjs@kosha.or.kr

## 차 례

I. 서 론 .....	1
1. 연구 배경 및 목적 .....	1
2. 연구 방법 .....	3
II. 항타기 와이어로프 파손 원인 분석 .....	5
1. 분석대상 와이어로프 .....	5
2. 와이어로프 파단 분석 .....	7
III. 수치해석을 통한 와이어로프 파손 특성 분석 .....	15
1. 해석 대상 모델 .....	15
2. 해석 결과 .....	17
IV. 와이어로프 유지보수 기준 및 현장 관리실태 .....	29
1. 와이어로프 유지보수 기준 .....	29
2. 항타기(DH508 / DH608) 최급설명서 .....	30
3. 항타기 와이어로프 관리 실태 .....	32
V. 결 론 .....	34
참고문헌 .....	35
ABSTRACT .....	36
부 록 - 항타기 와이어로프 관련 기준 - .....	38

## 표 차 례

<표 1-1> 국내 건설기계 기종별 등록현황 .....	2
<표 1-2> 향타 공법의 종류 및 특징 .....	3
<표 2-1> 마모에 의한 와이어로프 공치지름 감소 .....	14
<표 3-1> 수치해석 대상 와이어로프 물성값 .....	15
<표 4-1> 와이어로프 폐기 기준 비교 .....	30

## 그림차례

[그림 2-1] 와이어로프 단면 형상( $6 \times 25\text{Fi}$ IWRC)	5
[그림 2-2] 와이어로프 파단 위치(리더 최상부)	6
[그림 2-3] 와이어로프 파단 추정 위치의 도르래	6
[그림 2-4] 수거된 파단 와이어로프	7
[그림 2-5] 마모와 소선 파단이 진행된 와이어로프 (단선부 1m 이내)	8
[그림 2-6] 소선 마모가 진행된 와이어로프 (단선부에서 10m 지점)	8
[그림 2-7] 특별한 손상이 발견되지 않은 와이어로프	9
[그림 2-8] 단선부에서 10m 위치의 와이어로프 중심(core)	9
[그림 2-9] 파단부의 와이어로프 스트랜드	10
[그림 2-10] 파단부의 와이어로프 중심(core)	10
[그림 2-11] 와이어로프 파단부 스트랜드 외부 소선	11
[그림 2-12] 와이어로프 파단부 스트랜드 내부 소선	12
[그림 2-13] 와이어로프 파단부 스트랜드 필러(Filler)선	12
[그림 2-14] 와이어로프 파단부 중심(core)의 소선	13
[그림 3-1] 와이어로프 수치해석 모델	16
[그림 3-2] 스트랜드 응력분포	17
[그림 3-3] 스트랜드 소선의 응력분포	18
[그림 3-4] 와이어로프 코어의 응력분포	18
[그림 3-5] 와이어로프 코어 소선의 응력분포	19
[그림 3-6] 시간에 따른 응력 전달 과정	21
[그림 3-7] 가하중방향의 수직 횡단면 응력분포	23

[그림 3-8] 가하중방향의 수평 종단면 응력분포 .....	24
[그림 3-9] 스트랜드 소선의 응력 패턴 .....	24
[그림 3-10] 와이어로프 횡단면의 접촉응력 분포 .....	26
[그림 3-11] 와이어로프 코어의 접촉응력 분포 .....	26
[그림 3-12] 와이어로프 부분별 응력 변화 .....	27
[그림 3-13] 와이어로프 부분별 접촉응력 변화 .....	28
[그림 4-1] 와이어로프 마모 및 단선 부위 .....	31
[그림 4-2] 와이어로프 내부 손상 점검법 .....	31
[그림 4-3] 현장에서 제시한 드롭해머용 와이어로프 (4×26 FC) .....	33

## I. 서 론

### 1. 연구 배경 및 목적

항타기(pile driver) 관련 재해는 최근 3년간 82건이 발생하였고 14명의 사망재해자가 발생하여 재해 강도가 매우 높은 재해이며, 항타기 관련 재해의 주요 발생 유형으로는 항타기 전도, 중량물 낙하, 와이어로프 파단 등이 있다.

항타기를 이용한 항타작업은 연약지반에 건축물을 축조할 때 지반 기초의 지내력을 증대시키기 위하여 지중에 파일을 박거나 구축하는 공사로 다양한 공법을 통해 이루어지고 있다. 국내 항타기는 <표 1-1>에서와 같이 1,000여대가 등록되어 운용되고 있으며 <표 1-2>에서와 같이 다양한 공법에 따라 파일을 박는 해머의 종류와 이용 방법에도 여러 가지가 있다. 이 중에서 국내에서는 해머 타격으로만 파일을 박는 해머공법은 소음과 진동이 심하여 많이 이용되지 않고 있으며 SIP, DRA, SDA공법과 같이 오거(auger)를 이용하여 먼저 지반을 천공하고 천공부에 파일을 삽입한 후 드롭해머(drop hammer)로 관입량을 맞추는 공법을 주로 이용하고 있다. 여기서 마지막 공정인 드롭해머를 이용한 파일 타격시 해머와 연결된 와이어로프 파일에 의한 중대재해가 최근 계속해서 발생하고 있다.

한편, 와이어로프 파일 예방을 위한 유지보수에 관한 기술적인 사항은 안전보건기준에 관한 규칙과 KS 표준에 명시 되어있으나 크레인, 승강기 등의 인장하중과 굽힘하중을 받는 와이어로프에 유효하며 항타기 해머용과 같이 충격하중을 받는 와이어로프에 관한 기술기준 및 법령은 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 이러한 동종 중대재해 예방을 위하여 와이어로프 파일 사고 원인 분석을 중심으로 파일 특성과 관리방안에 대한 고찰을 하고자 하였다.

**<표 1-1> 국내 건설기계 기종별 등록현황**

단위 : 대

구 分	자가용	영업용	관 용	계
<b>총 계</b>	<b>246,285</b>	<b>257,012</b>	<b>3,562</b>	<b>506,859</b>
1. 불도저	406	3,183	47	3,636
2. 굴착기	50,598	100,846	1,334	152,778
3. 로더	18,636	7,231	561	26,428
4. 지게차	155,841	36,286	1,084	193,211
5. 스크레이퍼	2	19	0	21
6. 덤프트럭	10,656	47,991	401	59,048
7. 기중기	855	9,699	17	10,571
8. 모터그레이더	24	608	16	648
9. 롤러	859	5,838	57	6,754
10. 노상안정기	1	0	0	1
11. 콘크리트뱃팅플랜트	34	40	0	74
12. 콘크리트피니셔	30	109	0	139
13. 콘크리트살포기	3	1	0	4
14. 콘크리트믹서트럭	4,209	22,460	0	26,669
15. 콘크리트펌프	229	6,636	0	6,865
16. 아스팔트믹싱플랜트	2	2	0	4
17. 아스팔트피니셔	167	862	2	1,031
18. 아스팔트살포기	36	46	1	83
19. 골재살포기	0	1	0	1
20. 쇄석기	216	181	0	397
21. 공기압축기	831	3,595	0	4,426
22. 천공기	2,291	3,703	0	5,994
23. 항타	87	913	0	1,000
24. 자갈채취기	16	6	0	22
25. 준설선	68	107	1	176
26. 특수건설기계	76	557	41	674
27. 타워크레인	112	6,092	0	6,204

출처 : 대한건설기계협회(2019. 6. 30) 기준

**<표 1-2> 향타 공법의 종류 및 특징**

향타공법	특 징
SIP 공법 (Soil Cement Injected Precast Pile)	크레인 오거 스크류를 장착하여 천공하고 시멘트밀크(페이스트,W/C=83%)를 주입한후 Precast Pile을 넣고 드롭해머로 경타하여 파일을 시공하는 공법. [Auger천공공법] 일반적으로 흙붕괴가 적은 양질토에 사용가능하며 흙막이벽에도 사용가능함
DRA 공법 (Double Rod Auger), SDA 공법 (Seperated Doughnut Auger)	천공벽을 보호하기 위하여 케이싱과 오거를 동시에 천공후 오거를 인발하면서 시멘트밀크(페이스트,W/C=83%)를 주입하고 Precast Pile을 넣고 드롭해머로 경타하여 시공하는 방법. [Auger+Casing 천공공법] 천공시 정착지반내 흙붕괴가 일어나며 진동, 소음이 문제가 되는 지역에 유리함.
PRD 공법 (Precution Rotary Drill)	DRA공법과 동일한 방식으로 하며 스크류에 일반오거 비트 대신 암반천공용 햄머(T-4)를 장착하여 천공하고 시멘트 밀크(페이스트,W/C=83%)를 주입하고 Precast Pile을 넣고 드롭해머로 경타하여 시공하는 방법. [T-4+Casing천공공법] 모든지층에 천공이 가능한 공법이지만(호박돌/전석층/암반층) 연약지반천공시(밸층) 작업효율이 저하됨
해머공법	말뚝머리를 해머로 직접 타격하여 말뚝을 지지층에 관입하는 공법으로서 효율적, 경제적이며 지지력에 대한 신뢰성이 가장 높으나 소음 및 진동으로 인해 민원의 발생이 잦아 제한적으로 사용되고 있다. 해머로는 드롭해머, 디젤해머, 유압해머등이 있으며 최근에는 소음, 비연이 적은 유압해머를 사용하고 있다.

## 2. 연구방법

먼저 향타기 해머용 와이어로프 파손에 의한 중대재해 현장에서 사고 시편을 수거하여 광학적 파면분석을 통해 파손 특성을 분석하고 유한요소법을 이용한

#### 4 … 항타기 와이어로프 파손 원인 및 관리실태에 관한 연구

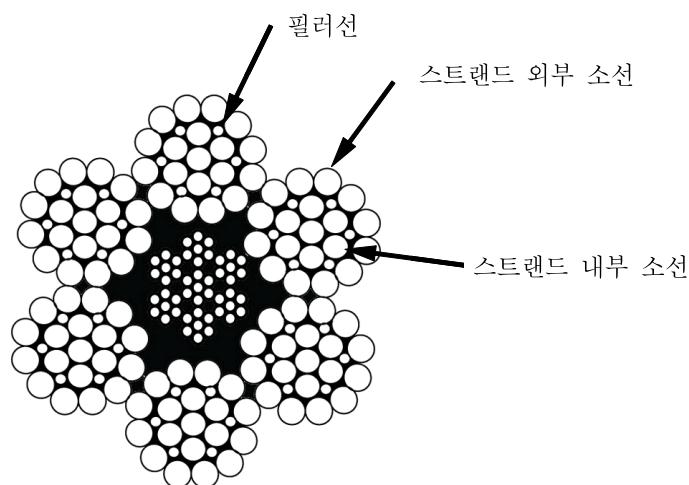
수치해석을 통하여 와이어로프의 스트랜드 및 소선에서 발생하는 응력분포와 비교 분석하였다.

또한, 국내·외 와이어로프 점검 및 유지보수에 대한 기술적 기준을 비교 분석하고 항타기 드롭해머용 와이어로프에 적용 방안을 검토하였다.

## II. 항타기 와이어로프 파손 원인 분석

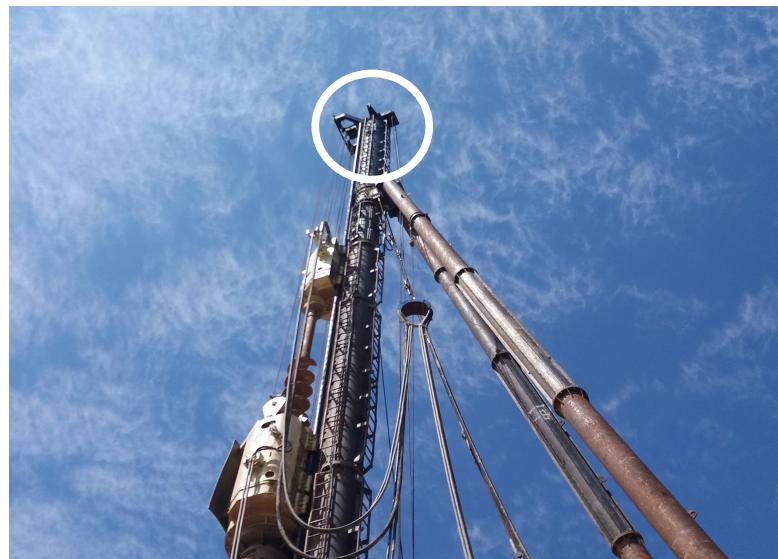
### 1. 분석대상 와이어로프

본 연구에서 와이어로프 파손 원인 분석에 이용된 와이어로프는 2018년 중대 재해가 발생된 현장에서 수거되었으며 규격은  $6 \times 25\text{Fi}$  IWRC 공칭지를  $22.4\text{mm}^{\circ}$  며 로프의 단면 형상은 [그림 2-1]과 같다.



[그림 2-1] 와이어로프 단면 형상( $6 \times 25\text{Fi}$  IWRC)

재해 현장에서 파단된 와이어로프의 길이 측정 결과 해머 연결부로부터 약 30m 지점에서 파손되었으며 지반과 해머의 와이어로프 연결 편간의 높이 (약 6m) 포함하여 추정하면 [그림 2-2]의 항타기 리더(Leader)의 최상부에서 파단됨을 알 수 있었고 (제조사 제원상 항타기 리더 최상부 높이 : 35.518m) 리더 최상부의 도르래(sheave)의 상태 점검 결과 도르래 및 도르래 홈에는 특별한 손상부위가 발견되지 않았었다.



[그림 2-2] 와이어로프 파단 위치(리더 최상부)



[그림 2-3] 와이어로프 파단 추정 위치의 도르래

## 2. 와이어로프 파단 분석

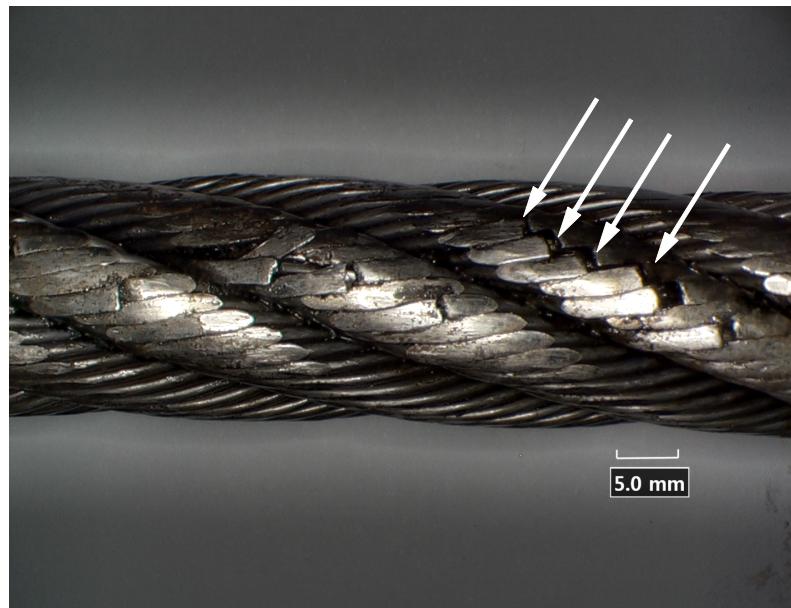
재해 현장에서 와이어로프의 파단위치를 기점으로 [그림 2-4]와 같이 약 10m 전·후의 로프를 절단 수거하여 파단면 및 로프 상태를 분석하였다.



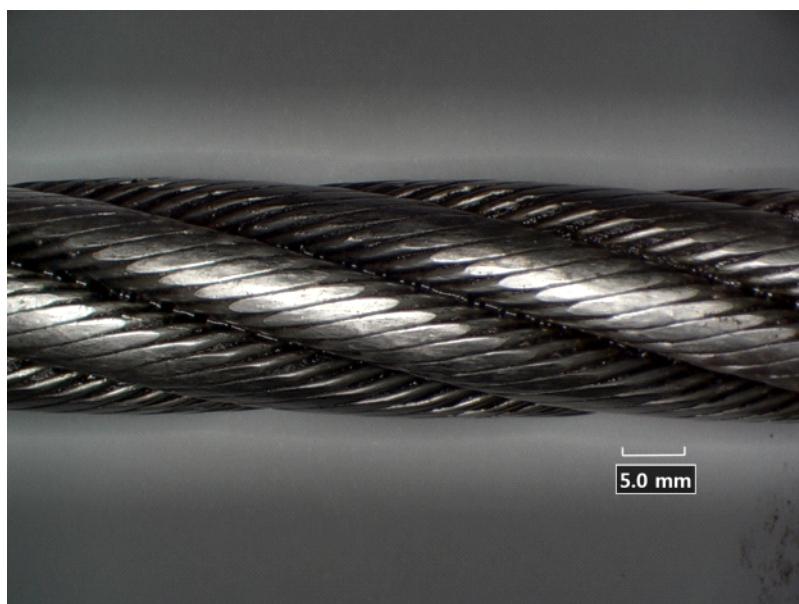
[그림 2-4] 수거된 파단 와이어로프

파단부에서 약 1m 이내의 와이어로프 손상은 [그림 2-5]와 같이 육안으로 확인할 수 있는 1피치(pitch) 내의 소선이 심한 마모와 함께 파단됨이 관찰되었다.

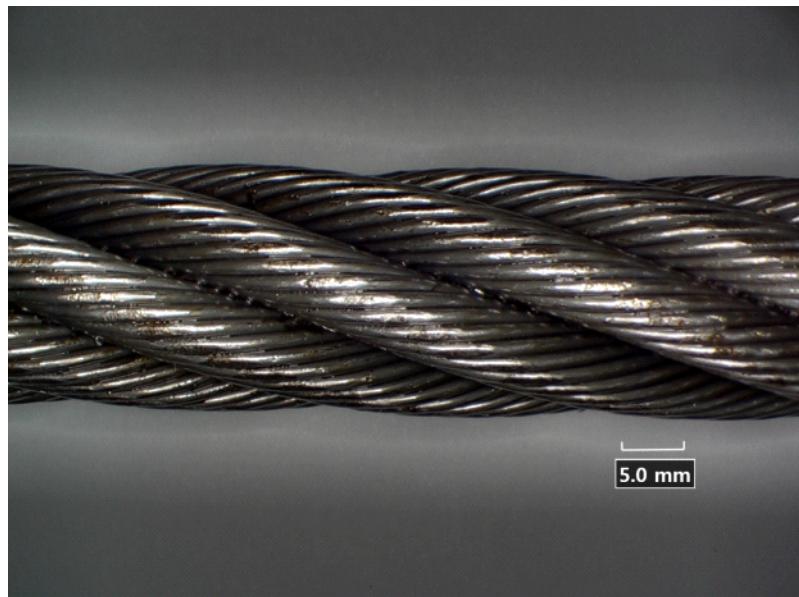
한편, [그림 2-6]은 파단부에서 해머쪽으로 약 10m 지점으로 해머를 약 10m 권상할 때 리더 최상부 도르래와 맞닿는 부분이며 [그림 2-7]에서와 같이 손상이 없는 와이어로프에 비하여 스트랜드 모든 외부 소선이 마모가 발생했지만 외부 육안 검사 결과 단선된 부분은 없는 것으로 관찰되었고 [그림 2-8]과 같이 내부 와이어로프 중심(core)의 소선에서는 외부 스트랜드와의 접촉흔과 소선의 단선이 관찰되었다.



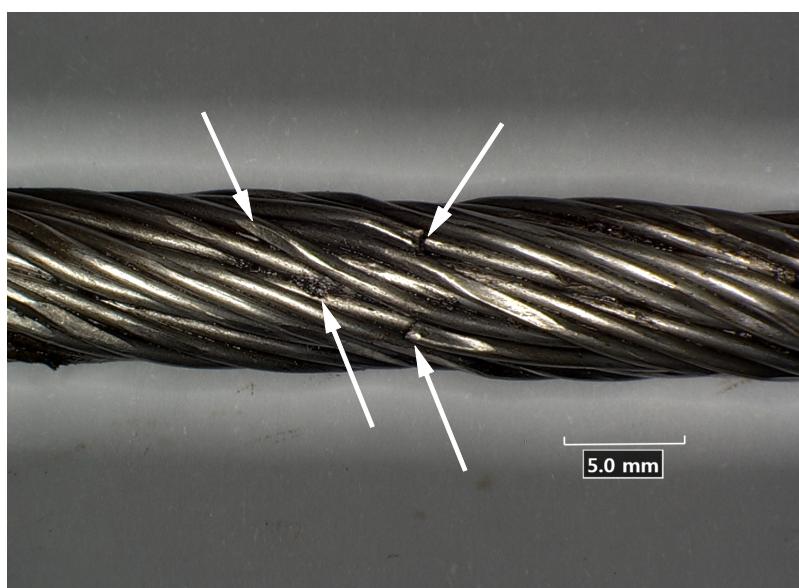
[그림 2-5] 마모와 소선 파단이 진행된 와이어로프 (단선부 1m 이내)



[그림 2-6] 소선 마모가 진행된 와이어로프 (단선부에서 10m 지점)

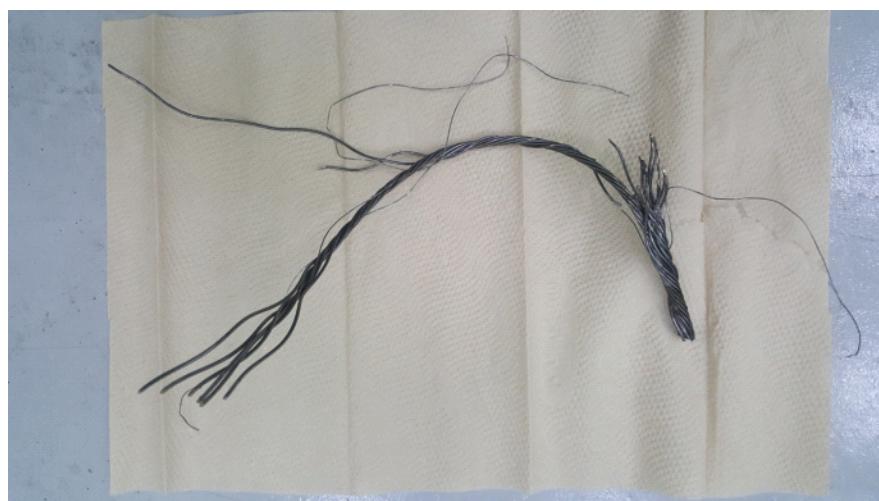


[그림 2-7] 특별한 손상이 발견되지 않은 와이어로프



[그림 2-8] 단선부에서 10m 위치의 와이어로프 중심(core)

[그림 2-4]의 와이어로프 파단부에서 [그림 2-9, 10]과 같이 외부 스트랜드와 내부 중심부(core)를 절단하여 파단 특성을 관찰하고 파단된 소선의 파단면을 관찰하였다.

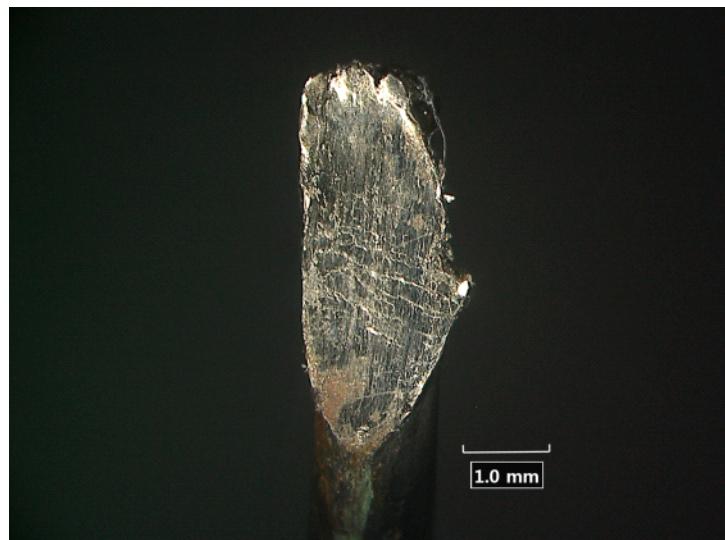


[그림 2-9] 파단부의 와이어로프 스트랜드

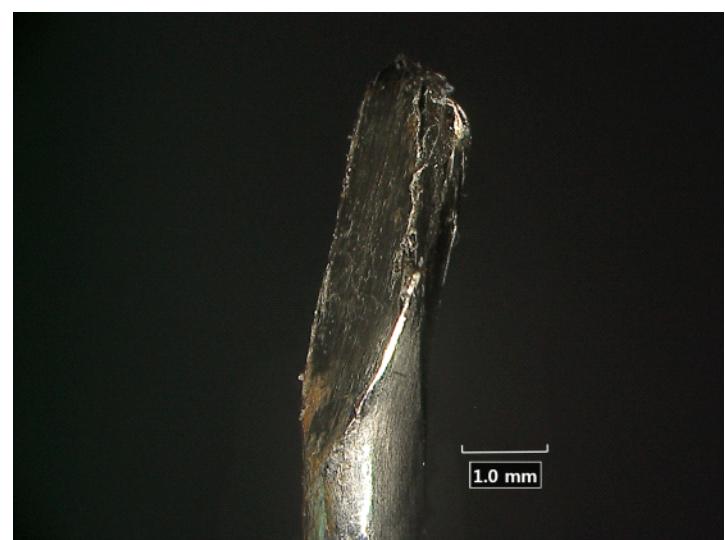


[그림 2-10] 파단부의 와이어로프 중심(core)

와이어로프 파단부의 스트랜드 외부 소선은 [그림 2-11]와 같이 접촉 마찰에 의한 마모와 접촉피로에 의한 파단이 관찰되었으며 재해 발생 이전에 모두 파단된 것으로 판단된다.



(a)



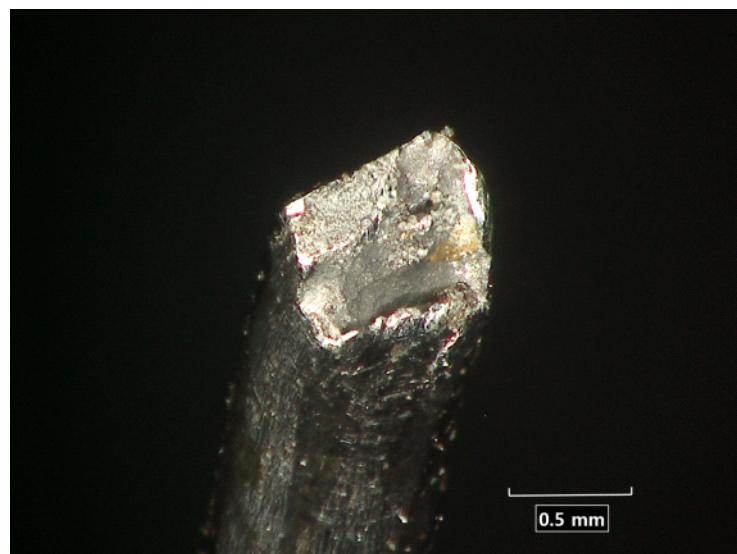
(b)

[그림 2-11] 와이어로프 파단부 스트랜드 외부 소선

와이어로프 파단부의 스트랜드 내부 소선의 파단면은 [그림 2-12]와 같이 단면  
감소와 캡엔콘(cup & cone) 형상이 관찰됨에 따라 전형적인 인장 연성 파단으로  
재해 발생 당시에 파단된 것으로 판단된다.

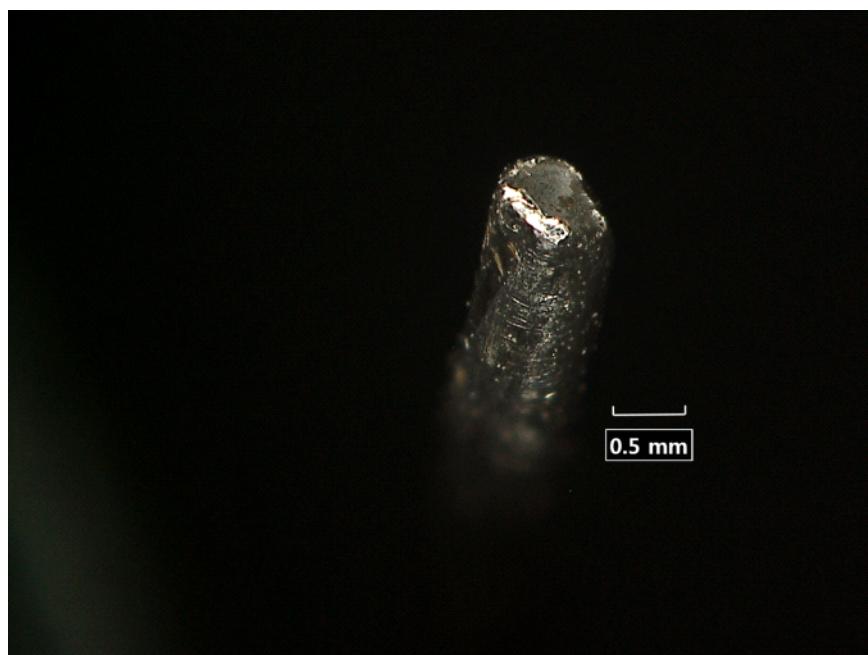


[그림 2-12] 와이어로프 파단부 스트랜드 내부 소선



[그림 2-13] 와이어로프 파단부 스트랜드 필러(Filer)선

와이어로프 파단부의 스트랜드 내부 필러선은 [그림 2-13]와 같이 접촉에 의해 원형 단면이 변형된 것을 확인할 수 있었으며 파단면에서는 [그림 2-12]와 같은 단면 감소가 관찰되지 않고 피로 파단면이 관찰되어 재해 발생 이전에 손상된 것으로 판단되며 [그림 2-14]의 와이어로프 파단부의 중심(core)의 소선 파단부는 [그림 14]와 같이 필러의 파단면과 유사한 피로파단면이 모든 소선에서 관찰되었으며 [그림 2-13]에서와 같이 재해 발생 이전부터 피로 파손이 진행되어 재해 이전에 대부분 손상된 것으로 판단된다.



[그림 2-14] 와이어로프 파단부 중심(core)의 소선

한편 [그림 2-6]에서의 마모에 의한 와이어로프 공칭지름 감소율은 [그림 2-7]의 로프에서 측정된 비교지름과 규격 공칭지름을 이용하여 KS B ISO 4309 (크레인-와이어로프-취급과 유지보수, 검사와 폐기)에서 정하는 방법에 따라 <표 2-1>과 같이 측정하고 식 (1)에 의해 산출된 감소율은 3.1%로 나타났다.

**<표 2-1> 마모에 의한 와이어로프 공차지름 감소**

구 분	1회	2회	3회	평균	감소율
마모된 부분 측정지름 [그림 2-6]	21.77	21.70	21.70	21.72	
정상 부분 비교지름 [그림 2-7]	22.45	22.4	22.42	22.42	3.1%

$$[(d_{ref} - d_m)/d] \times 100(\%) \quad (1)$$

여기에서  $d_{ref}$  : 비교지름,  $d_m$  : 측정지름,  $d$  : 공칭지름

이를 종합해 보면 항타기 해머 인양용 와이어로프의 파단에 대하여 파단된 로프의 파손 형태와 파단면 분석을 한 결과 와이어로프 파단부 주변에 육안으로 관찰되는 소선 마모가 약 10m에 걸쳐 관찰되었으며 지름감소는 3.1%로 측정되었으며, 항타 작업의 특성상 와이어로프가 충격하중에 반복적으로 노출되어 와이어로프 외부 스트랜드 마모와 함께 중심(core)의 소선 파단이 진행되었던 것으로 판단되었다. 또한 재해 발생 당시 파단부위의 와이어로프는 [그림 2-12]의 스트랜드 내부소선을 제외하고 모든 소선에서 마모, 접촉, 피로에 의한 손상으로 파단되어 있었다. 따라서 와이어로프의 1개 스트랜드 1 피치(pitch) 내의 63% 소선 파단 (19개의 소선 중 12개 소선 파단 : 필러선 제외)등으로 인하여 직접적인 로프 강도 저하 및 와이어로프 파단 원인이 된 것으로 판단된다.

## III. 수치해석을 통한 와이어로프 파손 특성 분석

### 1. 해석 대상 모델

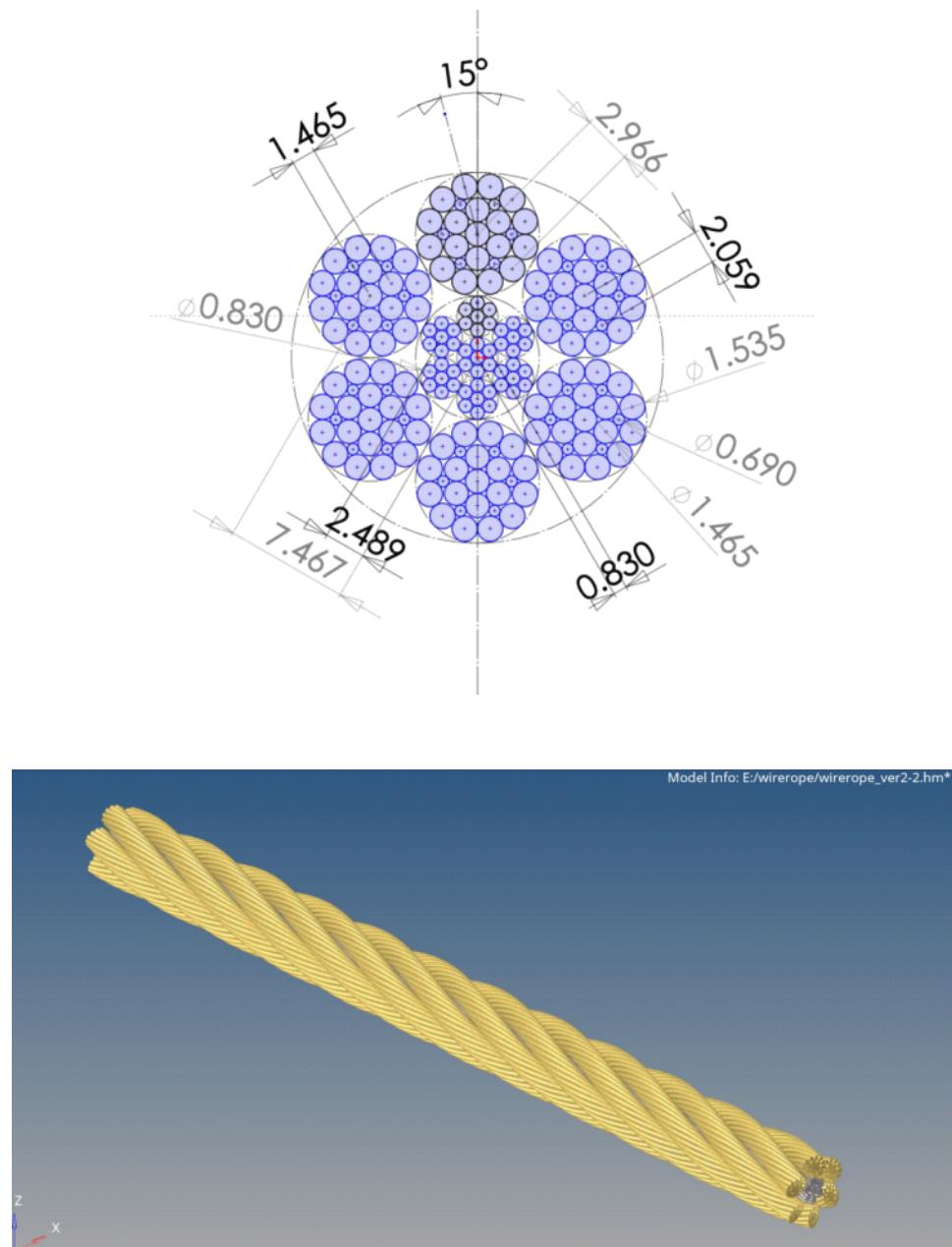
와이어로프의 파손분석을 통해 외부 마모가 진행되면서 단선이 관찰되지 않았으나 내부 코어에서 파단부가 관찰된 점으로 미루어 와이어로프의 내부 하중 특성을 분석하고자 하였다. 해석 대상 모델은 [그림 3-1]과 같이 II장에서 분석한 와이어로프와 같은 6x25Fi IWRC 규격을 대상으로 하였으며 총 모델 길이는 2피치(pitch)를 모델링하였으며 필러선은 수치해석상의 문제로 제외하였다.

와이어로프의 물성값은 참고문헌을 기준으로 <표 3-1>과 같이 적용하였으며 이는 KS D 3514 (와이어로프)에서 정하고 있는 파단하중에 의한 와이어로프 구분 중 B종에 해당하는 물성값이다.

적용하중 조건은 항타기 모델이 다양하고 운전자의 작업 습관이 모두 다르다는 점에서 정확한 하중 조건을 설정하기 어려운 점이 있으나 로프에 충격하중이 걸린다는 가정과 수치해석 시간을 고려하여 인장방향의 변위를 10mm/msec의 속도로 해석하였다. 소프트웨어는 Hyperworks version 2019를 이용하였으며 솔버(solver)는 Radioss 2018을 이용하여 유한요소법(FEM)으로 해석하였다.

<표 3-1> 수치해석 대상 와이어로프 물성값

탄성계수(Young's modulus, E)	188000 N/mm <sup>2</sup>
항복강도(Yield strength)	1510 N/mm <sup>2</sup>
인장강도(Ultimate strength)	1800 N/mm <sup>2</sup>
포아송비(Poisson's ratio)	0.3
마찰계수(Friction coefficient)	0.23



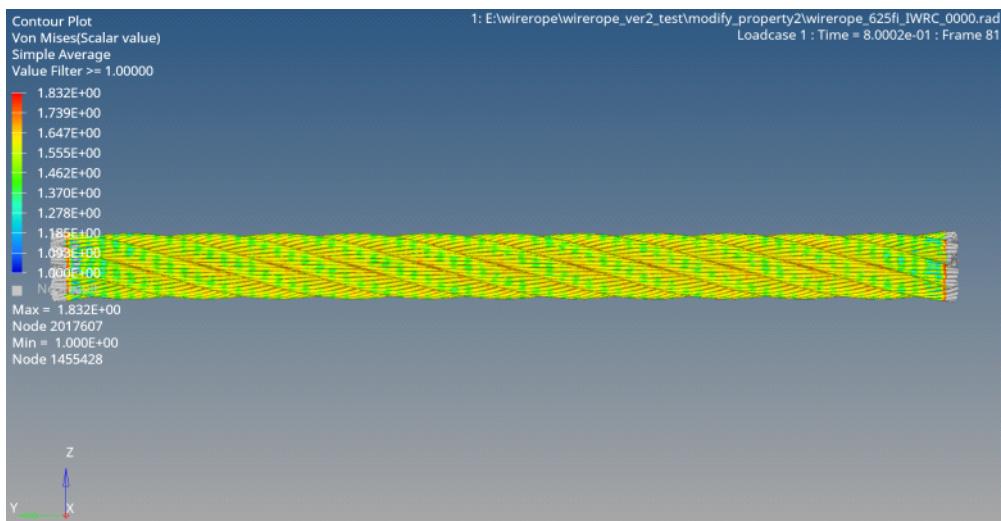
[그림 3-1] 와이어로프 수치해석 모델

## 2. 해석 결과

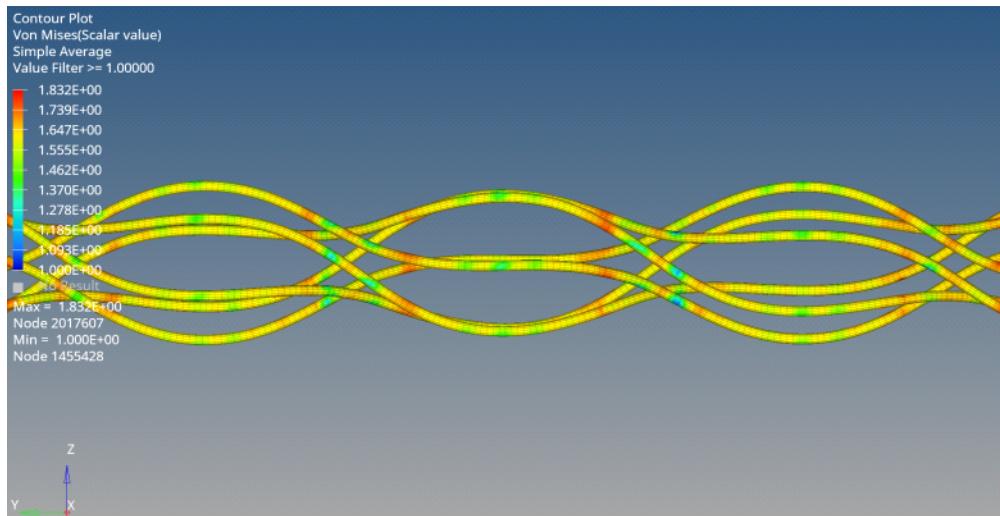
### 1) 스트랜드 및 와이어로프 코어에서의 응력분포

유한요소 해석 결과 [그림 3-2]와 같이 스트랜드 전체적으로 고른 응력분포를 같은 것으로 나타났으나 [그림 3-3]에서와 같이 스트랜드 소선의 개별 응력분포를 보면 소선이 스트랜드 내부로 감겨들어가는 부분에서 응력집중이 발생하는 것으로 나타났다.

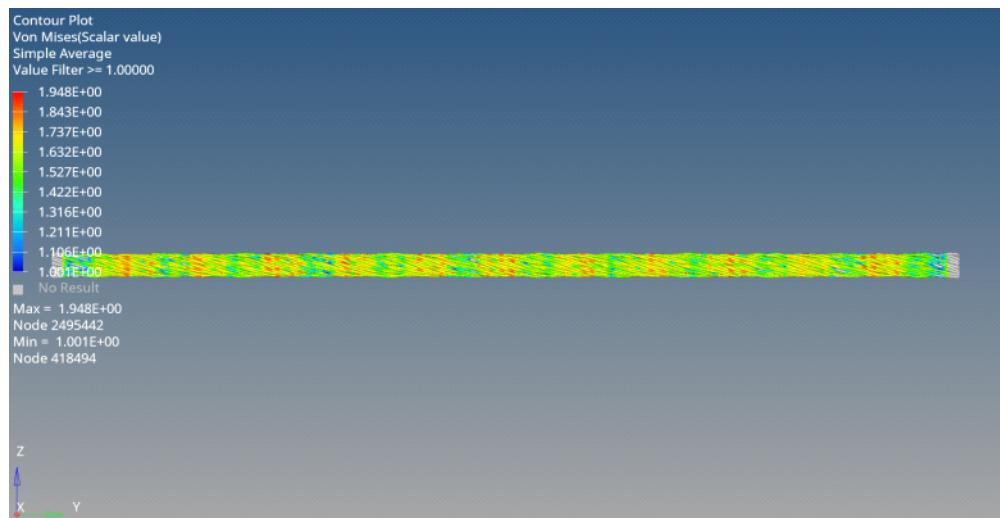
반면, 와이어로프 코어의 전체적인 응력분포를 살펴보면 [그림 3-4]에서와 같이 일정패턴의 응력집중이 발생하는 것을 알 수 있으며 [그림 3-5]와 같이 와이어로프 코어의 개별 소선의 응력분포를 보면 내부로 감겨들어가는 부분 보다 코어 외부 소선에서 응력집중현상이 높은 것으로 나타났다.



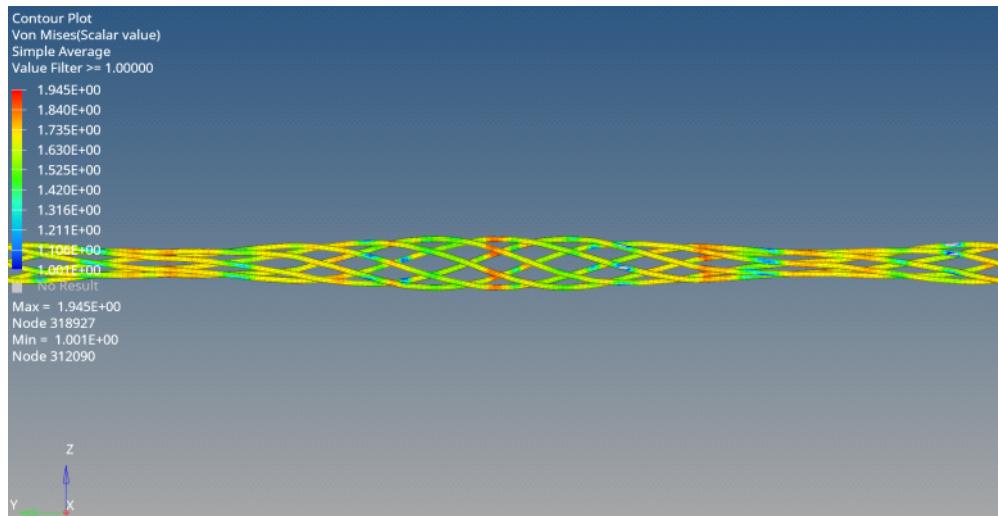
[그림 3-2] 스트랜드 응력분포



[그림 3-3] 스트랜드 소선의 응력분포



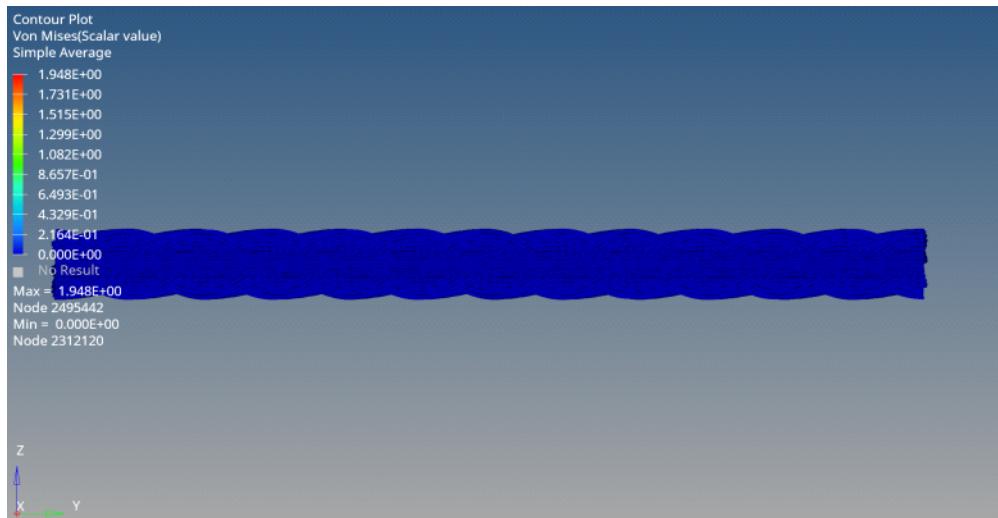
[그림 3-4] 와이어로프 코어의 응력분포



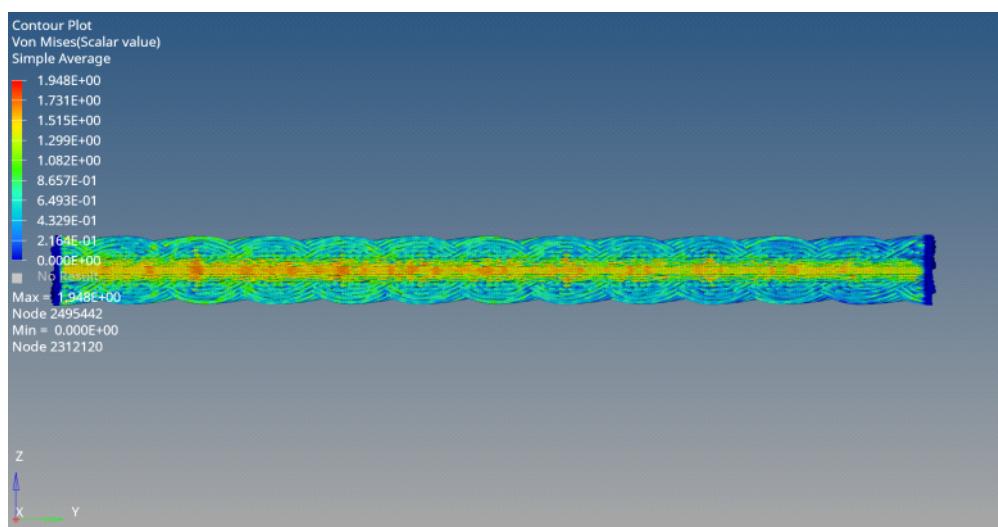
[그림 3-5] 와이어로프 코어 소선의 응력분포

## 2) 하중적용 시간에 따른 응력 전달 과정

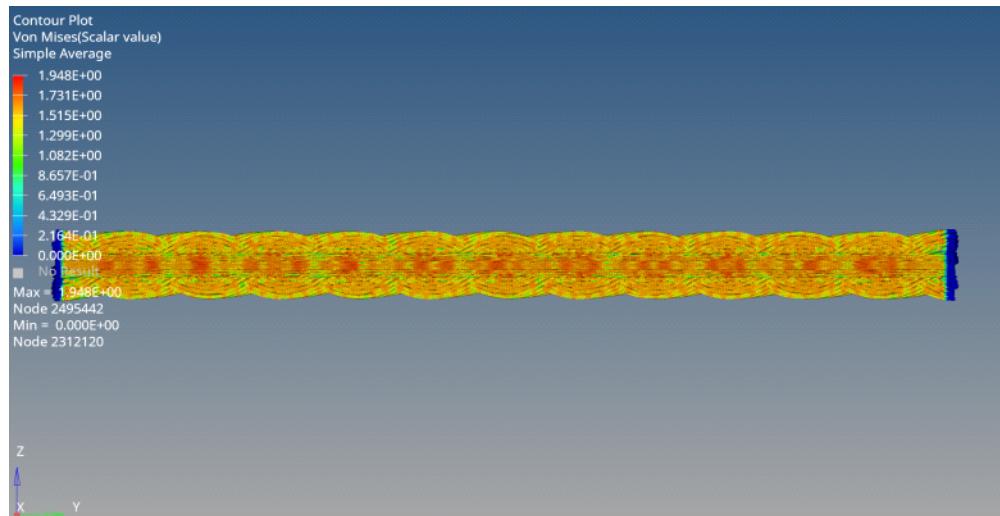
하중적용 시간에 따라 와이어로프 내부의 응력 전달과정을 살펴보면 [그림 3-6]과 같이 변위가 발생하는 초기에 와이어로프 코어에서부터 높은 응력이 전달되고 외부 스트랜드가 항복응력에 도달하기 전에 코어에서 먼저 항복응력에 도달하는 것을 알수 있으며 일정시간이 지나면서 충분한 변위가 발생했을 때 스트랜드 외부까지 항복응력에 도달하는 것을 알 수 있다.



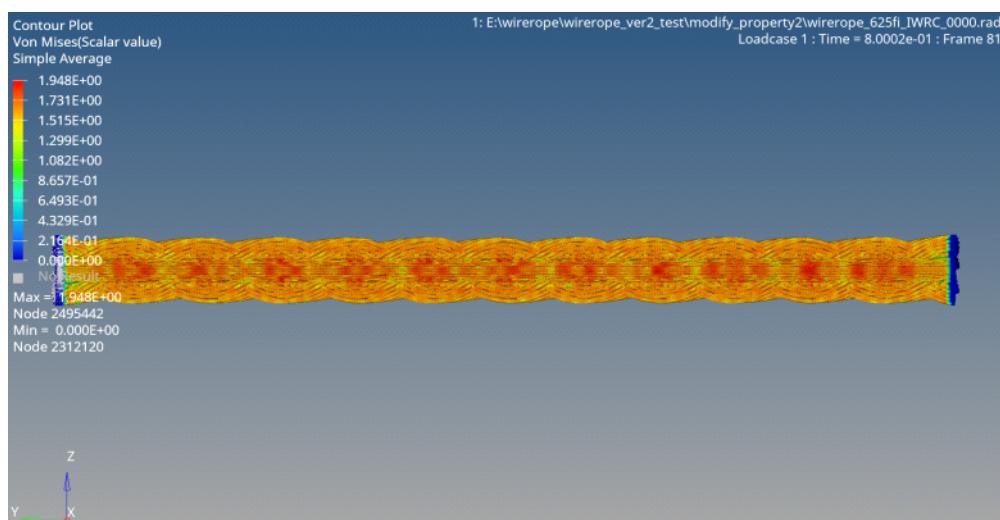
(a) t=0 msec



(b) t=0.2 msec



(c)  $t=0.5$  msec



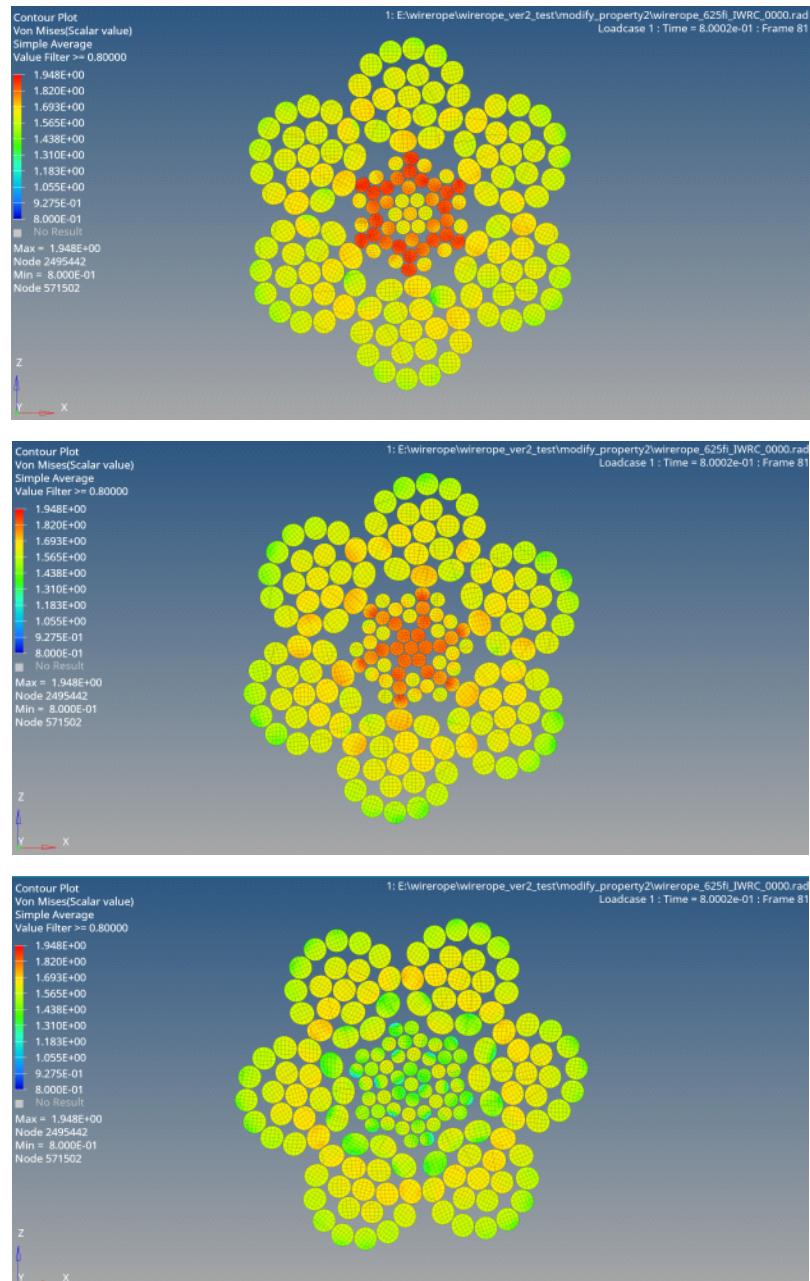
(d)  $t=0.8$  msec

[그림 3-6] 시간에 따른 응력 전달 과정

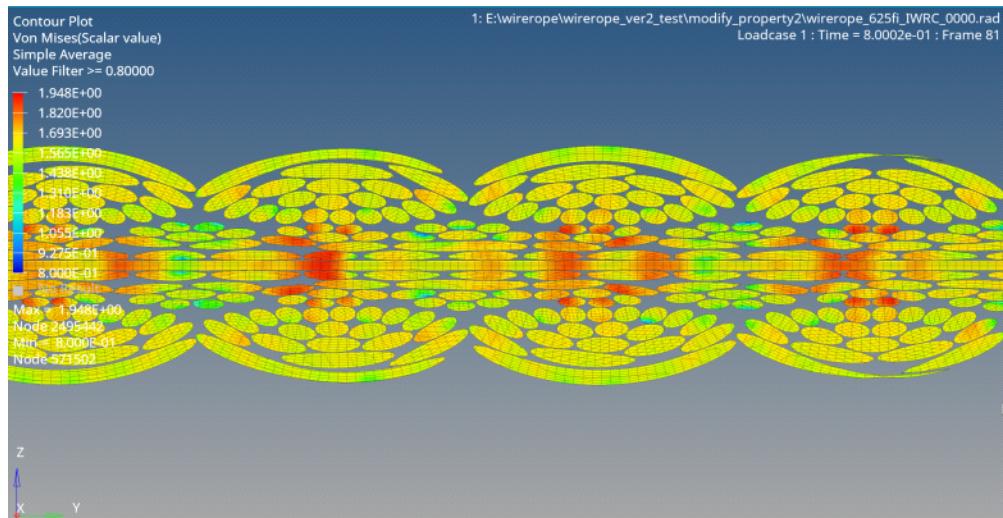
### 3) 와이어로프 내부 단면에서의 응력분포

와이어로프 내부 단면에서의 응력분포를 살펴보면 가하중 방향에 수직한 횡단면에서는 [그림 3-7]과 같이 단면의 위치에 따라 다양한 형태의 응력집중 현상이 나타났으며 응력집중 패턴은 스트랜드 소선과 내부 코어 소선의 접촉발생 형태에 따라 달리 나타나고 코어의 소선에서 높은 응력집중이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한, 와이어로프 코어와 스트랜드가 서로 접촉하지 않는 부위에서는 각 스트랜드 소선이 접촉하는 골 부위에서 응력집중이 발생하는 것을 알 수 있다.

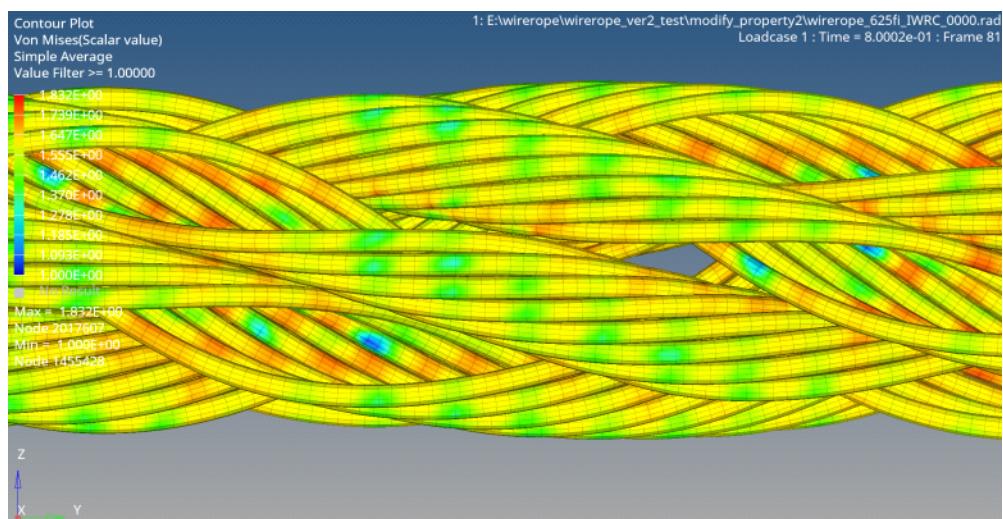
이를 [그림 3-8]과 같이 종단면의 응력분포를 살펴보면 스트랜드가 와이어로프 코어에 감기는 패턴에 따라 응력집중 부위가 달라지는 것을 확인할 수 있으며 횡단면에서 확인된 바와 같이 스트랜드 소선과 코어 소선의 접촉부위에서 높은 응력이 발생하지만 스트랜드의 피치와 코어의 피치가 정배수가 아닌 이유로 발생 형태는 일정하지 않은 것을 확인할 수 있다. 또한 [그림 3-9]에서와 같이 스트랜드의 소선에 대한 내부 응력분포를 보면 응력집중 부위가 소선이 맞닿는 골 부위에서 일정한 패턴으로 응력 집중이 발생하는 것을 알 수 있다.



[그림 3-7] 가하중방향의 수직 횡단면 응력분포



[그림 3-8] 가하중방향의 수평 층단면 응력분포

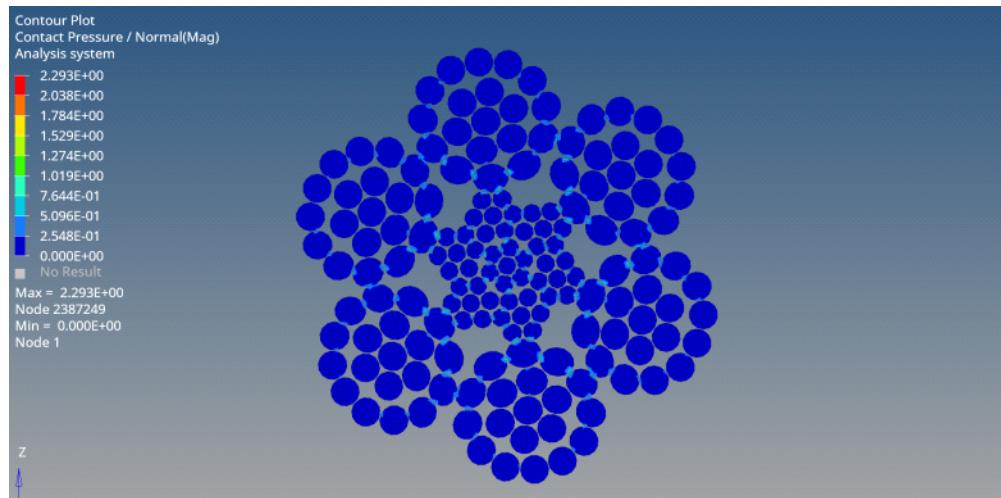


[그림 3-9] 스트랜드 소선의 응력 패턴

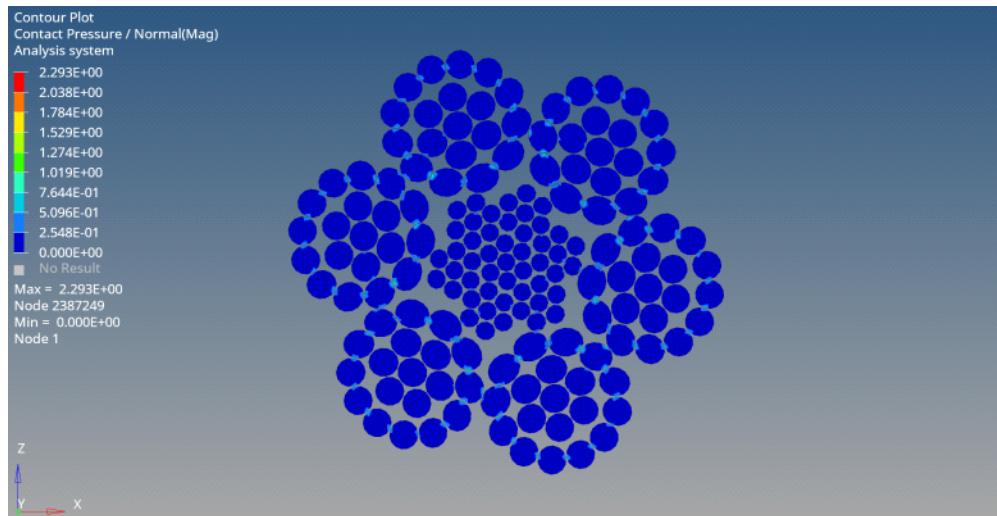
#### 4) 접촉응력 분포

[그림 3-10]과 [그림 3-11]은 와이어로프 내부 단면과 코어에서의 접촉응력 분포를 나타낸다. 접촉응력은 소선 표면에 국부적인 변형을 발생 시킬 수 있으며 장기적으로 접촉 피로를 발생시킬 수 있다.

횡단면의 접촉응력 발생 형태와 패턴은 [그림 3-5]에서의 응력 분포와 같은 형태를 보이고 있으며 접촉응력의 발생이 와이어로프 파손에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 [그림 3-9]에서 코어 표면에 발생하는 접촉응력의 패턴도 [그림 3-3]과 같은 경향을 가지고 있으며 [그림 2-8]에서의 코어 파손 형태와도 일치함을 알 수 있다.

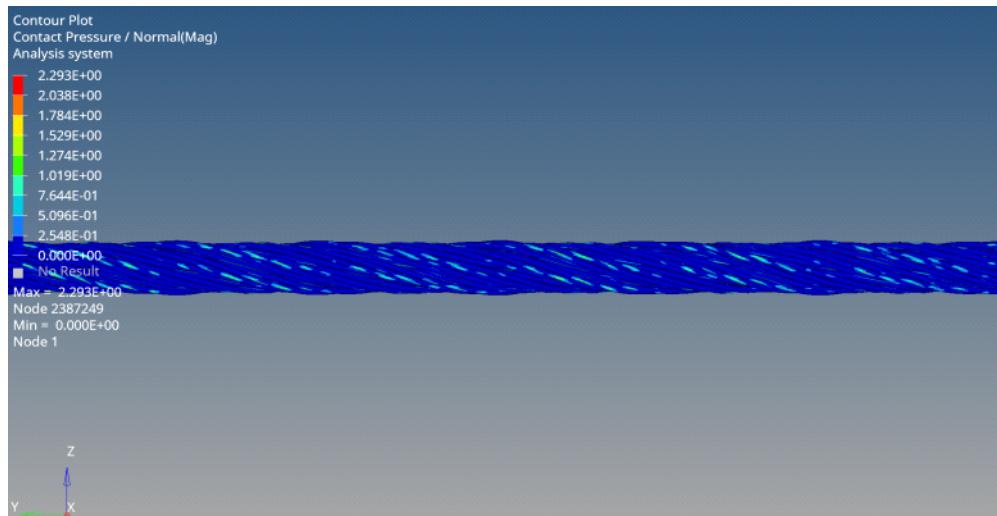


(a)



(b)

[그림 3-10] 와이어로프 횡단면의 접촉응력 분포

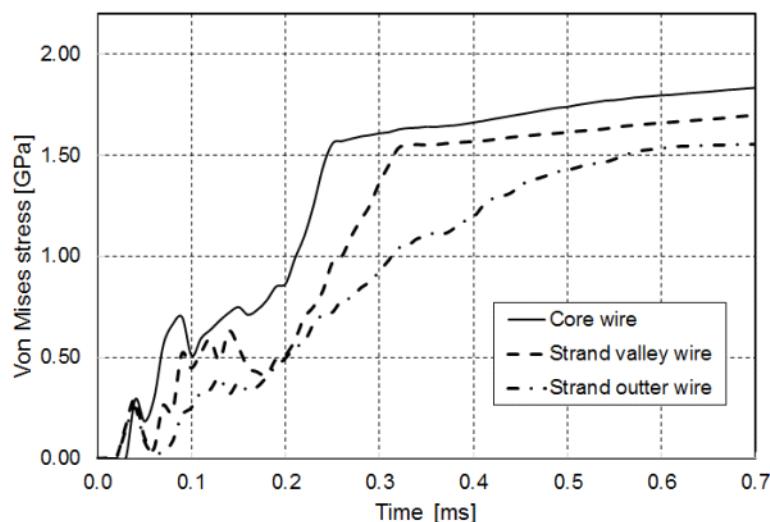


[그림 3-11] 와이어로프 코어의 접촉응력 분포

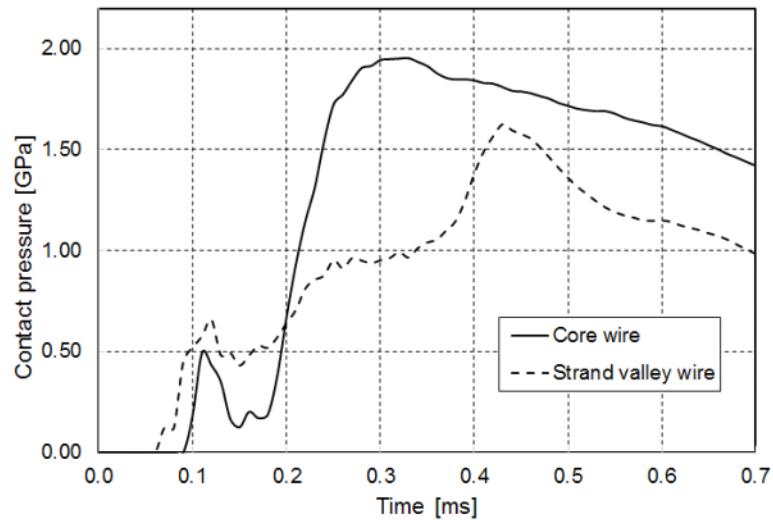
### 5) 하중 적용 시간에 따른 와이어로프 부분별 응력 및 접촉응력 변화

[그림 3-12]는 하중 적용 시간에 따라 와이어로프 코어 외부소선과 스트랜드 골 부분의 소선, 스트랜드 외부 소선의 응력변화를 나타내는 그래프이다. 응력 증가 속도가 코어 소선에서 가장 빠르게 나타나는 것을 알수 있으며 다음으로 스트랜드 골 소선, 스트랜드 외부 소선 순으로 응력 증가 속도가 차이가 나는 것을 알 수 있다. 또한, 스트랜드 외부소선이 항복응력에 도달할 시점에서는 코어의 소선에서는 파단응력에 도달하는 것을 알 수 있다.

[그림 3-13]은 하중 적용 시간에 따라 와이어로프 코어 외부소선과 스트랜드 골 소선의 접촉응력 변화를 나타내는 그래프로 [그림 3-10]에서 코어 소선이 항복응력에 도달할 시점에 접촉응력은 파단하중에 도달하는 것을 알 수 있으며 이는 코어 외부소선의 파손 과정이 먼저 접촉응력에 의해 국부변형 및 파괴가 일어나고 스트랜드 외부에서 항복이 발생하기 전 코어 외부 소선이 파단될 수 있음을 의미한다.



[그림 3-12] 와이어로프 부분별 응력 변화



[그림 3-13] 와이어로프 부분별 접촉응력 변화

## IV. 와이어로프 유지보수 기준 및 현장 관리실태

### 1. 와이어로프 유지보수 기준

국내 항타기 와이어로프 관련 기준은 법령으로서 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 폐기 및 사용금지 기준을 정하고 있으며 산업표준으로는 항타기에 사용되는 와이어로프에 대해서는 따로 정하지 않고 KS B ISO 4309 (크레인 - 와이어로프 - 취급과 유지보수, 검사와 폐기적용 대상 크레인)에서 크레인의 와이어로프 폐기 기준을 정하고 있다.

산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 제12절 건설기계등, 제2관 항타기 항발기, 제210조(이음매가 있는 권상용 와이어로프의 사용 금지)에서 제166조 양중기 와이어로프에 대한 조항을 참조하고 있으며, 이는 다시 제63조 달비계, 달대비계 및 결침비계의 와이어로프 사용금지 조항을 참조하고 <표 4-1>과 같이 끊어진 소선의 수가 한 꼬임에서 10%이상이거나 지름감소 7%를 초과하는 와이어로프에 대해 사용하지 못하도록 하고 있다.

KS B ISO 4309에서는 산업안전보건기준에 관한 규칙보다는 로프의 종류에 따라 좀 더 세분화 되어 폐기 기준을 정하고 있다.

이 중 6×25Fi IWRC 단층로프에 대한 폐기 기준을 살펴보면 공칭지름 6배의 길이에서 끊어진 소선의 수가 5개 이상 또는 공칭지름 30배의 길이에서 끊어진 소선의 수가 10개 이상일 경우를 폐기 기준으로 명시하고 있으며 특이점으로 골단선과 단말 고정부 단선에 대해서 기준을 정하고 있고 이는 1 꼬임 내에서 2개의 단선이 발생하면 폐기하도록 기술되어 있다.

와이어로프의 마모에 대한 기준으로는 금속 심을 가진 단층 로프 또는 병렬 꼬임 로프에 대하여 7.5% 이상 지름감소가 발생했을 때 폐기하도록 기준을 정하고 있다.

하지만 KS에서는 적용대상 크레인에 항타기를 포함하지 않고 있으며 비고 기술을 통해 「소선 단선에 대한 육안 확인이나 로프 외부의 심각한 마모가 있기 전에는 다수의 내부 소선 단선이 필연적이지만, 이러한 조합에 대한 폐기 기준이 없기 때문에 단층으로 감기는 드럼에서 합성 도르래 또는 합성 라이닝을 장착한 금속 도르래를 전용으로 사용하는 곳에는 권장하지 않는다」라고 기술하고 있다.

**<표 4-1> 와이어로프 폐기 기준 비교**

구분	산업안전보건기준에 관한 규칙	KS B ISO 4309
단선	필러선을 제외한 한꼬임에서 : 10% 이상	공칭지름 6배길이 : 5개 이상 공칭지름 30배 길이 : 10개 이상
지름감소	공칭지름 7% 이상	공칭지름 7.5% 이상
골단선	없음	2개 이상

## 2. 항타기(DH508 / DH608) 취급설명서

II장에서 중대재해가 발생했던 항타기는 일본의 Nippon Sharyo 사의 DH 508 / DH608 모델이다. 이 모델의 취급설명서에는 와이어로프 점검과 폐기 기준을 기술하고 있다.

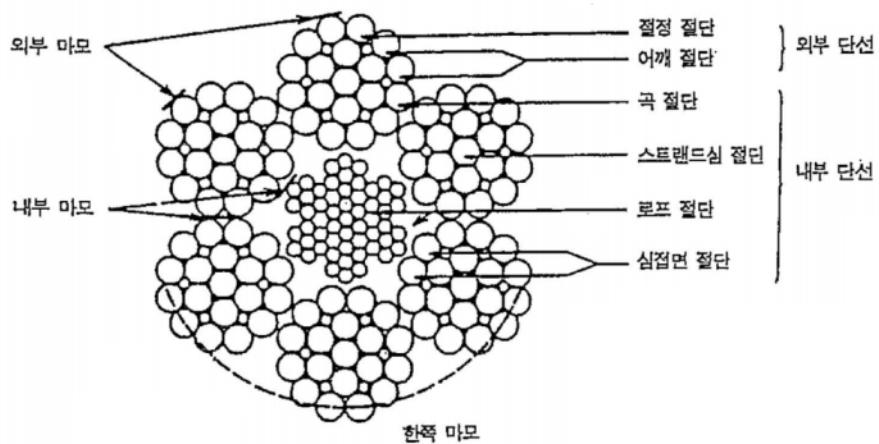
KS 표준과 같이 와이어로프의 점검 방법에 대해 상세히 기술되어 있으며 특히 와이어로프 내부 마모 및 단선에 대한 점검법과 기준에 대해 명시되어 있다.

와이어로프의 손상에 대해 [그림 4-1]과 같이 마모와 단선부위를 구분하고 있으며 스트랜드의 곡 절단부터 내부 단선으로 규정하고 있다.

곡절단에 대해서는 로프 부하 조건이 가혹할 때 마모가 발생하기 전 피로가 진행하며 인장 및 굽힘응력 외에 큰 접촉응력에 의해 스트랜드 인접부에서 피로 단

선이 발생하는 것으로 기술하고 있다. 이러한 곡절단이 발생하면 각종의 원선도 전반적으로 약화되고 위험한 상태에 이른다.

또한 곡절단을 유도하는 원인 중 하나로 와이어로프 코어 소선 단선을 기술하고 있으며 코어 소선의 파단은 스트랜드 인접부에 응력이 증가하여 곡절단을 발생시킨다고 기술되어 있다.



[그림 4-1] 와이어로프 마모 및 단선 부위



[그림 4-2] 와이어로프 내부 손상 점검법

내부 손상 점검 방법으로는 KS 표준에서 명기된 바와 같이 [그림 4-2]와 같이 로프를 구부려서 골 절단이 발생했는지를 검사하도록 하고 있으며 특이점은 로프 지름의 감소가 3% 이상이 되면 이러한 굽힘 점검을 하도록 하고 로프를 굽히면 내부 단선이 발생하고 있는 경우 ‘으드득으드득’, ‘똑똑’ 등의 소리가 고 소리가 작아 주의 깊게 들어야 한다고 점검법을 상세하게 기술하고 있다.

또한 로프의 폐기 및 교화 기준으로 일본의 이동식크레인 구조 규격과 노동 안전규칙의 내용을 제시하고 있으며 그 내용은 국내 산업안전보건기준에 관한 규칙과 기준이 같음을 알 수 있었다. 하지만 추가적으로 내부 단선이 발견된 로프의 폐기 기준을 제시하고 있으며 1개라도 발견되었을 때 폐기하도록 명기하고 있다.

### 3. 항타기 와이어로프 관리 실태

현장에서는 항타기 와이어로프를 경험에 의존하여 관리하고 있으며 특히 드롭 해머 인양용 와이어로프에 대해 운전자마다 다른 기준으로 관리하고 있었다.

육안으로 마모상태를 점검한다는 경우와 작은 현장의 경우 현장을 옮길 때 마차 교체한다는 경우도 있었으며 일반적으로는 타격 횟수에 따라 교체하고 있었으나 500회, 1000회 등 항타기 운용자마다 작업절차서나 기술기준을 적용하지 않고 일관적이지 않은 기준으로 현장마다 기준을 달리하고 있었다. 또한 타격 해머용 로프도 [그림 4-3]과 같이 4×26 FC 규격의 섬유로프심 와이어로프를 사용하는 경우도 있었으며 사용 후 다시 6×25Fi IWRC로 바꾸는 등 관리가 제대로 이루어지지 않고 있었다.



[그림 4-3] 현장에서 제시한 드롭해머용 와이어로프 ( $4 \times 26$  FC)

## V. 결 론

항타기 드롭해머용 와이어로프의 파손특성을 수거시편에 대한 파면분석과 수치해석을 통해 분석하고 이에 대한 관리 및 폐기기준에 대한 검토를 통하여 일반적인 크레인 와이어로프가 아닌 충격하중을 받는 와이어로프의 관리방안에 대해 고찰해 본 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 항타기 와이어로프의 파손 원인은 와이어로프 내부 코어로부터 접촉피로가 발생하여 최종 파단에 이르렀을 것으로 판단되며 파단부 인근의 로프 손상 상태를 분석한 결과 지름감소는 공칭지름 대비 3.1%였으며 외부 스트랜드의 소선 단선은 관찰되지 않아 법령과 기술기준에서 정하고 있는 폐기 기준에는 미치지 않았으나 내부 코어 소선에서는 다수의 소선 파단이 관찰되어 외부 육안 관찰 보다는 내부 소선 점검이 중요함을 알 수 있다.
2. 재해발생 현장에서 수거된 와이어로프와 같은 규격의 수치 모델을 유한요소법을 이용하여 응력분포를 분석한 결과 외부 스트랜드 소선에서보다 내부 코어에서 높은 응력이 발생함을 알 수 있었으며 응력발생의 주요 원인이 접촉응력에 따르는 것을 확인할 수 있었다.
3. 법령과 기술기준의 마모량과 단선수에 따른 와이어로프 점검 및 폐기 기준으로는 현장에서 항타기 와이어로프의 건전성을 평가하고 폐기를 판단하기 어려운 점이 있었으나 항타기의 취급설명서에서 명기하고 있는 로프 굽힘 점검법을 통해 골단선이 1개라도 발생했을 시 폐기하는 기준이 합리적으로 현장에 적용 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

KS B ISO 4309 : 2017 크레인 - 와이어로프- 취급과 유지보수, 검사와 폐기

KS D 3514 : 2019 와이어로프

KS B ISO 11886 : 2011 빌딩 건설 기계 및 장비 -항타 및 항발기- 용어 및 상용 사양

DH508/DH608 취급설명서, 신의페트라(주)

Costello G.A., Sinha S.K., Static Behaviour of Wire Rope. Proceedings ASCE. Journal of Engineering Mechanical Division, 1977;103(6):1011-1022.

Dagang W., Dekun Z., Songquan W., et al. Finite element analysis of hoisting rope and fretting wear evolution and fatigue life estimation of steel wires. Engineering Failure Analysis, 2013;27:173-193.

Xiang L., Wang H.Y., Chen Y., et al. Modeling of multi-strand wire ropes subjected to axial tension and torsion loads. International Journal of Solids and Structures, 2015;58:233-246

Krishnadev M., Larouche M., Lakshmanan V.I., et al, Failure Analysis of Failed Wire Rope. Journal of Failure Analysis and Prevention, 2010;10(4):341-348

## ABSTRACT

### Failure Analysis and Maintenance Method of Steel Wire Rope for Pile Driver Free Fall Drop Hammer

Park Jae Suk

*Occupational Safety Research Bureau,  
Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA  
#400, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan, Korea*

#### Objectives

In case of pile driving using drop hammer at construction site, major accident due to breaking of wire rope connected with drop hammer continue to occur. Therefore, the aim of this study is to analyze the failure characteristics and management methods of wire rope for pile driver free fall drop hammer.

#### Methods

The failure characteristics of the steel rope collected at accident scene were analyzed by fractographic analysis. The stress distribution of strands and wires were analyzed using the finite element method. The management methods of wire rope was studied through the regulations and standards for wire rope discard criteria.

## Results

The cause of failure of the wire rope for drop hammer was due to the contact fatigue from the core of the wire rope. As a result of analyzing the damage of wire rope near the break point, the diameter reduction was 3.1% of the nominal diameter and no wire breaking was observed by visual inspection. Therefore, it did not meet the discard criteria in legislation and technical standards. However, many wire breaks were observed in the inner wire rope core. The stress distribution according to the finite element analysis, it can be seen that higher stress is generated in the inner core than in the external strand. And it was confirmed that the main cause of the stress is due to the contact stress.

## Conclusion

It is difficult to assess the soundness of wire ropes for pile driver drop hammer and to judge the disposal in the field based on the wire rope inspection and discard criteria of the regulations and technical standards. Through the rope bending check method specified in the operating manual of pile driver can be reasonably applied to the site.

## Key words

pile driver, wirerope, drop hammer, wire fracture, contact stress

## 부 록

### - 항타기 와이어로프 관련 기준 -

#### 1. 산업안전보건기준에 관한 규칙

제12절 건설기계 등

제2관 항타기 및 항발기

제210조(이음매가 있는 권상용 와이어로프의 사용 금지) 사업주는 항타기 또는 항발기의 권상용 와이어로프로 제166조 각 호의 어느 하나에 해당하는 것을 사용해서는 아니 된다.

제9절 양중기

제7관 양중기의 와이어로프 등

제166조(이음매가 있는 와이어로프 등의 사용 금지) 와이어로프의 사용에 관하여는 제63조제1호를 준용한다. 이 경우 "달비계"는 "양중기"로 본다.

제4절 달비계, 달대비계 및 결침비계

제63조(달비계의 구조) 사업주는 달비계를 설치하는 경우에 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다.

1. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 와이어로프를 달비계에 사용해서는 아니 된다.
  - 가. 이음매가 있는 것
  - 나. 와이어로프의 한 꼬임[(스트랜드(strand)를 말한다. 이하 같다)]에서

끊어진 소선(素線)[필러(pillar)선은 제외한다])의 수가 10퍼센트 이상 (비자전로프의 경우에는 끊어진 소선의 수가 와이어로프 호칭지름의 6배 길이 이내에서 4개 이상이거나 호칭지름 30배 길이 이내에서 8개 이상)인 것

- 다. 지름의 감소가 공칭지름의 7퍼센트를 초과하는 것
- 라. 꼬인 것
- 마. 심하게 변형되거나 부식된 것
- 바. 열과 전기충격에 의해 손상된 것

## 2. KS B ISO 4309 : 크레인 - 와이어로프 - 취급과 유지보수, 검사와 폐기

### ○ 적용 대상 크레인

- a) 케이블 및 문형 케이블 크레인
- b) 외팔보 크레인
- c) 갑판 크레인
- d) 데릭 및 가이 데릭 크레인
- e) 단단한 베텁대를 지닌 데릭 크레인
- f) 해상크레인
- g) 이동식 크레인
- h) 천장 크레인
- i) 문형 및 반문형 교형 크레인
- j) 문형 및 반문형 크레인
- k) 선로 크레인
- l) 타워 크레인
- m) 해양 크레인

※ 비고 : 소선 단선에 대한 육안 확인이나 로프 외부의 심각한 마모가 있기 전에는 다수의 내부 소선 단선이 필연적이지만, 이러한 조합에 대한 폐기 기준이 없기 때문에 단층으로 감기는 드럼에서 합성 도르래 또는 합성 라이닝을 장착한 금속 도르래를 전용으로 사용하는 곳에는 권장하지 않는다.

### ○ 눈에 보이는 소선 단선의 폐기 기준

	눈에 보이는 소선 단선의 유형	폐기 기준
1	한 개 또는 다수의 금속 도르래를 따라 작업되는 로프 부분과 단층 감기 때 드럼에 감기고 돌리거나, 또는 단층 감기 때 교차 영역에서 일치하는 로프 부분에서 발생하는 불규칙적인 소선 단선	단층 로프와 병렬 꼬임은 비자전로프와 다른 기준표를 따른다.
2	드럼에 감기지 않는 부분에서 국부적으로 발생하는 단선	1개 또는 2개의 인접한 스트랜드에서 발생하면, 기준에서 제시한 6d 길이의 단선 수 이하 일지라도 폐기하여야 한다.
3	골 단선	하나의 로프 피치에서 2개 또는 그 이상의 단선(6d의 길이와 유사함)
4	단말 고정부의 단선	2개 이상의 단선

### ○ 6x25F-IWRC 단층로프에 대한 폐기 기준

보이는 외부 소선 단선 수					
금속 도르래 및 단층 드럼에 감기는 와이어로프 (단선이 불규칙적으로 발생할 때)				다층 드럼에 감기는 와이어로프	
보통 꼬임		랭 꼬임		보통 꼬임과 랭 꼬임	
6d 길이 이상	30d 길이 이상	6d 길이 이상	30d 길이 이상	6d 길이 이상	30d 길이 이상
5	10	2	5	10	20

○ 로프 지름 감소 (로프를 따라 균일한 감소)

- 균일한 지름 감소에 따른 폐기 기준 신호 - 단층 드럼 및 금속 도르래를 통과

로프 종류	균일한 지름 감소 (공칭지름의 %로 표시)	위험도	
		설명	%
섬유 심을 가진 단층 로프	6% 이하	-	0
	6% 이상 7% 미만	약간	20
	7% 이상 8% 미만	중간	40
	8% 이상 9% 미만	높음	60
	9% 이상 10% 미만	매우 높음	80
	10% 이상	폐기	100
금속 심을 가진 단층 로프 또는 병렬 꼬임 로프	3.5% 이하	-	0
	3.5% 이상 4.5% 미만	약간	20
	4.5% 이상 5.5% 미만	중간	40
	5.5% 이상 6.5% 미만	높음	60
	6.5% 이상 7.5% 미만	매우 높음	80
	7.5% 이상	폐기	100

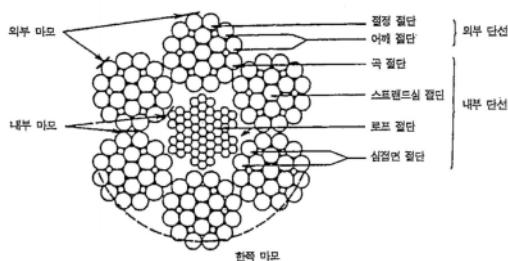
### 3. 항타기(DH508/DH608) 취급설명서

#### 3-7-2 와이어로프의 점검

와이어로프는 사용함에 따라서 마모, 단선, 형클어짐, 부식 등의 손상이 발생하여, 로프 성능의 열화가 진행됩니다. 손상 발생 상태는 권취 드럼, 시브, 단말부 등 사용 기계의 조건, 하중의 대소와 가하는 법, 사용 분위기, 관리 방법 등에 따라 다루게 나타나고, 손상 상태와 그 정도는 로프의 잔존 강도에 직접 관계합니다. 따라서, 작업 개시 전의 점검 및 정기 점검 시에는 반드시 여기서 설명하는 손상의 유무를 점검하십시오. 점검은 감아올리기 로프와 같은 동색은 물론, 팬던트 로프와 같은 정색도 마찬가지로 엄중한 점검을 하십시오. 특히, 팬던트 로프의 압축 면출부의 손상에 주의하십시오.

### 3-7-2.1 와이어로프의 마모와 단선의 분류

마모, 단선의 발생부위



### 3-7-2.2 마모의 분류

마모 분류	설명 사항	주의사항·대책
외부 마모	시브, 드럼 등의 접촉으로 로프 표면에 생기는 마모	
내부 마모	스트랜드 원선의 상호 박동에 의해 생기는 마모	보통 외부 마모보다 작다
전주 마모	로프의 이동에 동반하는 자전이 행해져, 로프 바깥 둘레 전체에 생기는 마모	
한쪽면 마모	크레인 올리는 정도가 적을 때, 로프 단말까지 시브에 걸릴 때, 이콜라이저 시브 위에서 로브가 이동할 때 등 로브 이동량이 적어 자전이 행해지지 않고, 로브 바깥 둘레의 일면에만 생기는 마모	1) 점검 방법으로 수정 될 수 있는 것이 많다. 2) 한쪽 마모에 의한 강도 저하는 최대 마모량이 전 둘레에 미치는 것과 동등하다.
닳은 마모 으깨진 마모	원선이 단순하게 뚫어 없어지는 마모로프의 진동, 시브구형의 부적절, 프리트 앵글 과대, 다른 물건과의 심한 마찰에 의해 원래 선이 부서져 마모한다, 두드러질 때는 보다 헝클어진 원선의 경화 (아르텐 발생)를 동반하여 매우 로프 수명을 짧게 한다.	시브, 로프 가이드의 회전 불량, 끊임 체크.

## 3-7-2. 3 단선의 분류

단선 분류		설명 사항	주의사항·대책
외부 단선	절정 절단	크레인 사용조건이 좋을 때 로프와 시브가 접촉하는 부분, 즉 스트랜드의 정점 부분에 마모와 피로로 단선이 발생한다. 단선 발생에 이르기까지 장기간 사용할 수 있다.	
	곡 절단	로프 부하 조건이 가혹할 때 마모가 발생하기 전에 피로가 진행한다. 로프 피로가 가장 빨리 발생하는 부분은 장력, 절곡 응력 등 이외에 큰 축발 응력이 발생하는 스트랜드의 인접부에서 이 부분의 피로 단선이 발생한다. 이 단선을 곡 절단이라 부르는데 곡 절단이 발생하기 시작하면, 각 층의 원선도 전반적으로 약화되고, 위험한 상태에 이르게 된다.	곡 절단은 외관상의 점검으로는 거의 발견할 수 없다. 곡 절단을 발생하는 로프는 스파이크에 의한 점검, 로프 구부림 점검이 필요하다,
내부 단선	어깨 절단	로프가 강한 횡 압을 받아 스트랜드가 변형됐을 때, 원선이 뜯게 되는 일이 있다. 뜬 원선은 브릿지 모양으로 되어 굽히기 응력을 반복적으로 받고, 절정과 곡의 중간부에 조기 단선이 생긴다.	로프가 변형됐을 때는 점검 시 주의 할 것.
	I.W.R. C 로프의 심로프 단선	I.W.R.C 로프의 심 로프 피로는 측스트랜드 피로보다 빨리 진행되는 것이 일반적이다. 심로프 단선이 많이 발생했을 때는, 측스트랜드의 인접압의 중대를 유기하여, 곡절단의 원인이 되는 일이 있다.	

### 3-7-3 내부 마모 내부 단선의 점검

와이어로프는 시브를 통과하기 때문에, 정상적으로는 외부마모가 먼저 일어나지만, 드물게 내부손상이 먼저 일어나는 경우도 있을 수 있습니다.

이때, 외부에서도 경고는 있지만, 외관상 점검으로는 묵과할 경우도 있으며, 그 결과 중대 사고 발생으로 이어집니다. 여기서는 내부 마모, 내부 단선의 점검 방법에 대하여 설명하고 있습니다.

#### 3-7-3.1 점검자에 대하여

다음은 강습을 받은 사람이 점검하는 것이 바람직하다고 생각합니다.

1. 「이동식 크레인 정기 자체 점검자에 대한 안전 교육에 대하여」(1984년 10월 9일 기 발행 546호)
2. 「이동식 크레인의 정비자에 대한 안전교육에 대하여」(1984년 10월 9일 기 발행 547호)

#### 3-7-3.2 점검장소

작업 개시시의 검검시	정기 점검, 특별점검시
다음 부분에 중점을 둔다 1. 시브를 통과하는 부분 2. 로프 단말 고정 부분(시수부)	로프 전 길이에 걸쳐 점검한다. 특히 다음 부분에 중점을 둔다. 1. 드럼에서의 단말부분 2. 드럼에 감김 부분 3. 시브를 통과하는 부분 4. 로프 단말 고정 부분(시수부)

주1) 특별 점검이란, 로프 상태가 급격하게 악화되어 있을 경우, 일정 기간 휴지 후 상용을 재개할 경우, 현장에 기계를 반입하여 봄 끼우기 전과 특별히 필요하다고 인정되었을 경우에 행하는 점검입니다.

주2) 정기점검, 특별점검시는 로프 전 길이에 걸쳐 로프에 부착되어 있는 유지, 먼지 등을 제거하고 점검하십시오. 점검이 끝났다면 기름을 발라 주십시오.

### 3-7-3.3 점검 방법

1. 로프 외부를 주의 깊게 점검하고, 로프 외부에서 원선이 한개라도 파단되어 있는 경우는, 그 부분을 그림과 같이 구부려서 스트랜드의 곡 절단, IWRC의 심 절단 등의 내부단선의 유무를 확인합니다.



2. 정기 점검, 특별 점검 시는 로프 전반에 걸쳐 로프 지름을 측정합니다. 로프 지름은 외접원의 지름에서 1 개당 3 방향에서 측정하여 그 평균치를 내어 주십시오. 지름의 감소(신품시의 로프 지름 실측치에서 점검시의 로프 지름 실측치를 뺀 것)가 공칭지름의 3% 이상인 곳에 대해서는 스텝 1과 마찬가지로 로프를 굽히고 내부 단선의 유무를 확인합니다.

주1) 신품시의 로프 지름 실측치는 기록해 두지 않으면 지름의 감소를 계산할 수 없습니다.

주2) 로프를 굽히면, 내부 단선이 발생하고 있는 경우는 「으드득으드득」 「뚝뚝」 등의 소리가 납니다. 경우에 따라서는 미약한 소리이니 주의 깊게 들을 필

요가 있습니다.

주3) 봄 기복 로프의 내부 마모를 정확히 점검하는 것은 로프 회사들의 고도의 기술을 가진 기술자 이외의 사람에게는 현실적으로 곤란하지만, 내부 마모가 진행되고 있다면 반드시 외부에도 그러한 조짐, 경고는 볼 수 있습니다.

### 3-7-4 와이어로프의 교환 기준

로프의 수명은 작업 조건 운전 방법 등에 따라 달라지는데, 로프의 절단은 대형 사고를 일으키므로, 점검결과 불량인 것은 절대로 사용하지 않도록 하십시오. 로프의 교환 시기는 신품 파단 하중의 20% 저하를 목표로 하여, 이 때의 로프의 손상 정도, 예를들면 로프 지름의 감소, 원선의 단선 형붕괴 부식 등으로 교환 시기를 판정합니다. 이하의 범령에 나타나는 것과 같은 상태의 것은 즉시 신품과 교환하십시오.

#### 3-7-4.1 이동식 크레인 구조 규격에서 발췌

(와이어로프)

제 41 조 와이어로프는 다음에서 정하는 바에 의한 것이 아니면 안된다.

1 생략

2 다음 a에서 d까지에 해당하는 것.

a 1에서의 사이에서 원선(필라 선을 제외한다. 이하 이 호와 동일)의 수 10% 이상의 원선이 절단되지 않을 것.

b 지름이 감소하는데, 공칭 지름의 7% 이하인 것.

c 킁하지 말 것.

d 두드러진 형태 붕괴 또는 부식이 없을 것.

3 생략

4 생략

### 3-7-4.3 노동 안전 규칙에서 발췌

(부적격한 와이어로프 사용 금지)

제 174조 사업소는 항타기 또는 항발기의 감아올리기 용 와이어로프에 대해서는 다음 각 호의 어딘가에 해당하는 것은 사용해서는 안됩니다.

- 1 이음이 있는 것
- 2 와이어로프 사이의 원선(필라선을 제외한다. 이하 본호와 동일) 의 수 10% 이상의 원선이 절단되어 있는 것
- 3 지름의 감소가 공칭 지름의 7%를 넘는 것
- 4 킹 한것
- 5 두드러진 형태 봉괴 또는 부식 있는 것

### 3-7-4.4 내부 단선이 발견된 로프의 폐기 기준

내부 단선이 발견된 로프는 부하가 심한 조건에서 사용되고, 전체의 원선에 피로가 진행되고 있어, 발생이 시작되면 계속 일어나기 쉬우므로 1개라도 발견되었을 때는 폐기하십시오,

### 3-7-4.5 봄(리더)기복 로프에 대하여

봄(리더) 기복 로프는 동색으로 사용되어 시브, 드럼에 의한 마모 굴곡을 받습니다. 외부에서 판단하기 어려운 내부 단선, 마모가 있으므로 본 항에서 말한 교환 기준에 합격하더라도 2년이 경과한 것은 신품과 교환하십시오.

### 3-7-4.6 펜던트 로프에 대하여

펜던트 로프는 공중에 장도된 말하자면 정색으로서 사용되며, 시브, 드럼에 의한 마모 굴곡 등을 받는 일이 없고, 외관에서 판단할 수 있을만한 손상이 없습니다. 그러나, 내부 마모가 원인으로 파단에 이르는 수가 많습니다.

따라서 본 항에 기술한 교환 기준에 합격해도 6년 경과한 것은 신품으로 교환해 주십시오.

### **3-7-4.7 백 텐셔너용 로프에 대하여**

백텐셔너 로프는 과대한 힘이 가해져 신장, 마모, 내부 단선이 발생합니다. 따라서 본 항에서 기술한 교환기준에 합격해도 조정대가 없어진 경우는 교환해 주십시오.

## 〈〈연 구 진〉〉

연 구 기 관 : 산업안전보건연구원

연 구 책 임자 : 박 재 석 (연구위원, 공학박사)

연 구 원 : 이 성 주 (실장, 기술사)

연 구 원 : 양 정 열 (부장, 기술사)

## 〈〈연 구 기 간〉〉

2019. 1. 1 ~ 2019. 11. 30



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

**산업안전보건연구원장**

## **향타기 와이어로프 파손 원인 및 관리실태에 관한 연구**

**2019-연구원-1635**

---

발 행 일 : 2019년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 고 재 철

연구책임자 : 산업안전연구실 연구위원 박 재 석

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : (052) 7030-844

F A X : (052) 7030-334

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

---