

## 하역장비 와이어로프 철금속 잠금장치의 개발

이태주\*(창원대 대학원 기계설계공학과), 조치룡(창원대 기계설계공학과), 김성춘(창원대 대학원 기계설계공학과)

### Development of the Wire Rope Steel Lock

T. J. Lee\*(Mech. Design & Manufacturing Dept., Changwon National Univ.), C. R. Joe(Mech. Design & Manufacturing Dept., Changwon National Univ.), S. C. Kim(Mech. Design & Manufacturing Dept., Changwon National Univ.)

#### ABSTRACT

Wire rope is widely used to handle heavy materials. The material used to build the wire rope lock is mostly aluminum which is expensive. In this study, wire rope lock made of cheaper material with better performance is developed.

**Key Words** : Wire rope(와이어로프), lock(잠금장치)

#### 1. 서론

기계 및 부수장비를 올리고, 내리는 일련의 하역 작업 및 이러한 것들을 운반하는 장비로서 와이어로프가 많이 이용되고 있다. 와이어로프에 고리를 만들어 빠지지 않도록 하기 위한 장치를 "와이어로프 잠금장치"라고 한다. 잠금장치의 재료로 사용되고 있는 알루미늄은 외국에서 전량 수입하여 사용하고 있다. 외국에서는 철금속을 사용하여 염가로 고성능의 제품을 개발, 사용하고 있으나, 국내에는 철금속 제품이 전무한 상태이다. 와이어로프가 하중을 받을 때 로프가 빠지지 않게 하기 위해서는 잠금장치 부위의 마찰력이 커야한다. 현재 국내·외에서 사용하고 있는 와이어로프는 알루미늄을 압착시켜 잠금장치로 사용하거나, 와이어로프를 여러 번 꼬아 다른 재료를 사용하지 않고 꼬임에 의한 마찰력만을 이용하는 슬링(Sling) 와이어로프가 이용되고 있다. 알루미늄을 압착시켜 잠금장치로 쓰는 제품은 알루미늄이 전량 수입에 의존하므로 가격이 비싸며, 여러 번 꼬아서 사용하는 제품은 노동력이 많이 들며 재료의 낭비가 많다. 그리고 무엇보다 중요한 것은 안전사고 예방이다. 이들 제품은 와이어로프의 최소절단 이전에 무리한 힘이 가해져도 잠금장치 주위에 파손

위험이 있다는 징후가 나타나지 않다가 갑자기 파손된다는 단점이 있다.<sup>1)</sup>

본 연구는 잠금장치의 구조를 역학적으로 유리하도록 개선하여 제작비 및 제작시간을 단축시키고자 하며, 철금속 재료를 이용한 잠금장치의 개발을 통하여 100%수입에 의존하고 있는 알루미늄 제품의 수입대체 효과를 가져오하고자 한다.

#### 2. 기존제품의 특성해석

##### 2.1 기존제품의 특성 및 종류

와이어 로프의 구성은 통산 중심(Core)과 이를 둘러싼 수개의 스트랜드(Strand)로 크게 구분하여 설명할 수 있다. 스트랜드의 수는 구성에 따라 달라질 수 있지만 일반적으로 3~8개로 이루어지며, 스트랜드(Strand)를 구성하는 강선(Wire)의 수는 로프의 종류에 따라 다양하게 배열되어진다.

본 연구에 사용되어진 와이어로프는  $6 \times 24 + 7FC$ ,  $6 \times Fi(25) + IWRC$  2종류를 연구의 대상으로 사용하였으며 먼저  $6 \times 24 + 7FC$ 를 살펴보면 다음과 같다.  $6 \times 24 + 7FC$ 의 중심(core)형태는 마심으로 되어 있는 형태이다. 이 와이어로프는 KS 4호이며, 주로 사용되는 곳은 선박용, 어업용, 예인용, 기중기용, 토목공사용,

일반용에 걸쳐 여러 곳에 사용되어지고 있다. 굴곡을 크게 받는 용도인 스링(Sling)으로 많이 사용되고 있다. 다음으로 6×Fi(25)+IWRC의 중심(Core)형태는 철심으로 되어있고 KS 14호이며, 주로 사용되는 곳은 기계용, 광산용, 기중기용, 수산·임업용, 크레인용, 호이스트용으로 사용되어지고 있다.<sup>2)</sup>



(a) 6×24+7FC (b) 6×Fi(25)+IWRC

Fig. 2-1 Pattern of wire rope cross section

## 2.2 Eye 스플라이스가공 과 Lock가공

와이어로프의 가공종류에는 다음과 같이 여러 가지가 있다. 소켓, 락크, 클립, 웨지, Eye 스플라이스가공 등이 있다. 본 연구에서 주로 다루고 관련이 되는 가공으로는 락크가공과 Eye 스플라이스가공이다. Eye 스플라이스의 효율은 70~90%로서 로프경에 따라 차이가 있다. 또한 Eye 스플라이스는 로프 그 상태에서 만드는 방법과 로프를 2조로 나누어 만드는 가공방법이 있다.



Fig. 2-2 Manufacturing of eye splice

Figure 2-2의 잡아넣기는 단말부의 스트랜드를 로프의 꼬임 결 방향대로 꼬아 넣는 방법으로 외관은 로프와 같은 모양이 된다. 이처럼 스링가공에 의한 와이어로프의 경우에는 1회 사용에 그친다. 하지만 더욱 큰 문제는 하역작업중 물체가 회전을 하게 될 경우이다. 이런 경우 스링 꼬임이 풀리면서 치명적인 사고를 불러올 수도 있다. 본 연구에서는 와이어로프의 사용도중 충분히 사용한계를 육안으로 판단할 수 있는 장치를 함께 개발하여 결합시키고자 한다.

락크 가공이란 파이프형태의 알루미늄합금 또는 강재의 슬리브에 로프를 넣고 프레스로 압축하여 슬리브가 로프 표면에 밀착되어 마찰에 의해 로프 성질이 손상되는 것이 없이 로프를 완전히 체결하는 방법으로 효율은 거의 로프 절단하중과 동등하게 되며 주용도는 슬링용 로프에 사용된다. 프레스 가공의 잇점은 작업이 간단하여 효율이 좋고 가공에 필요한 로프 소요길이 작게 들어 로프 손실이 작다. 효율은 95~100%로 높은 편이다. Fig. 2-3은 락크가공의 개요도 이다.<sup>3)</sup>

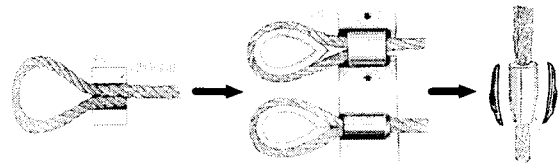
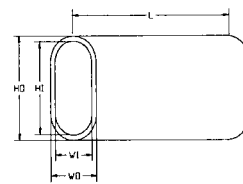


Fig. 2-3 Sketch of lock manufacturing

## 3. 구조물 설계 및 제작

### 3.1 파이프 치수 결정

본 연구에서 와이어 로프에 사용되어질 파이프 치수는 실험에 의해 도출된 데이터를 사용한다. 파이프 치수의 결정은 다음과 같다.



L : 파이프 길이  
HI : 파이프 높이 내경  
HO : 파이프 높이 외경  
WI : 파이프 폭 내경  
WO : 파이프 폭 외경  
t : 두께

Fig. 3-1 Dimension of pipe

다음의 Table 1의 데이터는 Wire Rope Diameter에 따른 Pipe Dimension으로 여러 반복적인 실험에 의해 도출한 것이다.

Table 1 Wire rope diameter vs. Pipe dimension

Wire Rope Diameter	Pipe Dimension					
	WI	HI	WO	HO	t	L
6	9	13.71	13.0	17.71	2.0	25
8	12	17.8	16.8	22.60	2.4	32
10	15	22.06	20.0	27.06	2.5	40
12	18	25.85	24.0	31.85	3.0	50
14	21	29.63	27.0	35.63	3.0	55
16	24	33.42	30.0	39.42	3.0	65
18	27	38.00	34.0	45.00	3.5	72
20	30	42.56	37.0	49.56	3.5	80

### 3.2 금형(Mold) 설계 및 치수 결정

실험에 사용되어지는 금형의 종류는 총 3가지로 분류되어진다. 와이어로프의 지름을 6mm에서부터 100mm까지 6~10mm, 12~42mm, 45~100mm까지의 3분류로 나누어 각각의 데이터에 해당하는 수치를 적용하였다. 금형형상 및 Wire Rope, Pipe, Mold 부피의 계산식을 설정하기 위하여 다음과 같은 계산식을 설정하였다.

Wire Rope Volume = 반지름 × 반지름 × π × T × 2 (가닥)

Pipe Volume = Pipe지름(내경) + 두께 × π × T × 두께

Mold Volume = 반지름 × 반지름 × π × T

여기서 L (Wire Rope Length) = Wire Rope지름×4(가닥)

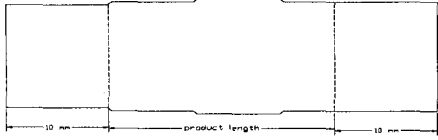


Fig. 3-2 Shape of mold

와이어로프 잠금장치는 철금속으로 제작되어진다. 알루미늄으로 잠금장치를 제작할 경우에는 재료의 유연성이 좋기 때문에 와이어로프의 형태를 따라 잠금장치의 재료가 변형이 용이하여 마찰력이 우수하다. 수입대체 및 가격절감을 위해서 철금속을 사용하여 알루미늄 잠금장치 제작방법과 같은 방법으로 제작할 경우에는 철금속의 소성변형성이 알루미늄보다 낮아서 결합되어지는 내부 와이어로프와 잠금장치사이에 공간이 생겨 마찰력이 저하될 수 있다. 이를 피하기 위해 잠금장치 체결 성형 시에 무리한 힘을 가하면 와이어로프 자체에 손상을 입혀 강도가 떨어질 우려가 있다.

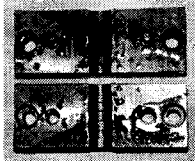


Fig. 3-3 Prototype of mold

이를 개선하기 위하여 앞의 Fig. 3-3과 같이 철금속재료 잠금장치를 계단식으로 제작하여 내부 와이어와의 마찰력을 높이도록 하였다. 체결 성형시 내부 와이어로프의 가는 강선(wire)들이 움직여서 와이어로프의 전반적 외형이 잠금장치의 내부 면을 따라 변형되기 때문에 와이어로프와 철금속재료 잠금장치사이에 공간을 없애주고 마찰력을 증대시킨다.

#### 4.시제품 제작

##### 4.1 시제품 제작공정

시제품의 제작공정은 파이프 가공, 와이어 로프 꼬아 잇기(wire rope splice), 프레스 압축성형, 파괴검사의 4단계의 공정을 거치기로 한다. 와이어 로프 꼬아 잇기는 먼저 로프를 2부분(2가닥 & 4가닥)으로 분리한다. 우선 4가닥을 Eye(고리)형태로 만들고 2가닥은 4가닥 Eye의 끝 부분에서 다시 꼬아 잇기를 한다. Fig. 4-1은 Hand Splice Eye 제작과정이다. 이는 와이어로프가 힘을 받을 때 집중하중이 잠금장치에 집중되는 것을 막아주며 Eye(고리)전반에 걸친 마찰력을 이용하여 역학적으로 유리하게 한다. 이렇게 제작되

어진 와이어로프는 프레스(250톤)를 이용한 프레스 압축성형 시제품으로 제작되어진다. Fig. 4-2는 완성되어진 시편들이다.

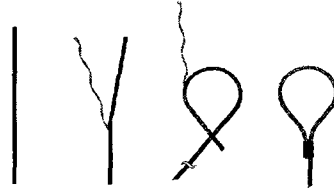


Fig. 4-1 Wire Rope Splice 제작과정

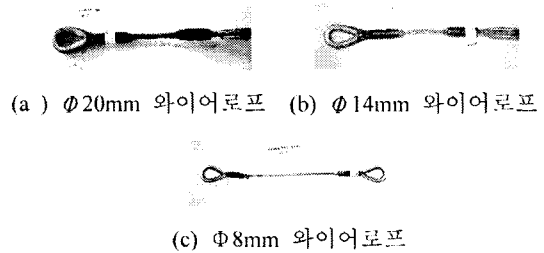


Fig. 4-2 Press 성형가공 되어진 와이어로프

Figure 4-3은 제작되어진 시제품의 철금속 잠금장치의 단면 형상이다.



Fig. 4-3 Rope Size 12mm Steel Pipe Cross Section

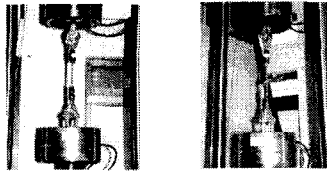
##### 4.2 시제품 특성시험 및 기존제품과의 비교

시제품의 특성을 알아보기 위하여 이용하여 각각의 조건에서의 힘-변위 관계를 얻을 수 있었다. Test condition은 다음의 Table 2와 같다.<sup>46)</sup>

Table 2 Test Condition

Test speed (mm/min)	Specimen			
	Spec. No. (EA)	Rope Size (mm)	최소 절단하중 (kgf)	안전 사용하중 (kgf)
2	5	12	7200	1500 ~ 2000

다음은 실제로 제작되어진 시제품을 만능시험기에서 시험하는 과정이다. 3종류로 각각 제작되어진 시제품은 Fig.4-4와 같은 파단을 보인다. Fig. 4-5는 파단되어진 시험편들의 사진이다. 5개의 시편의 시험결과를 다음의 Table 3과 같다.



(a) Before (b) After

Fig. 4-4 Wire rope fracture under static loading



Fig. 4-5 Fractured specimens after experiments

Table 3 Test Result

Spec. No.	1	2	3	4	5
절단하중 (kgf)	7345	7349	7480	7601	7467
시험결과	- 잠금장치에는 전혀 변화가 없음. - 충분한 와이어로프의 인장력이 나옴. - 하중이 6000kgf 이상일 때 splice eye에서 응력집중 현상을 육안으로 판별가능 : 로프 사용한계를 파괴이전에 확인				

현재 실재산업현장에서 하역작업에 사용되어지고 있는 와이어로프의 규격은 다음과 같다.<sup>2)</sup>

Table 4 Standard of wire rope 6×24+7FC

지름 (mm)	최소절단하중(Ton)			단위중량 (kg/m)
	G종 (150kg/mm <sup>2</sup> )	A종 (165kg/mm <sup>2</sup> )	B종 (180kg/mm <sup>2</sup> )	
12.0	6.70	7.23	7.88	0.478

시제품의 품질정도는 G종으로 판별되었으며 사용하기에 아무런 문제없이 통과하였다. 종전에 사용하던 와이어로프와 비교를 해보면 로프의 파괴이전에 응력집중현상을 육안으로 확인 할 수 있기 때문에 안전에 정확도를 높일 수 있다. 다음으로 하중-변위 곡선이다. 아래와 같은 결과값을 구할 수 있다.

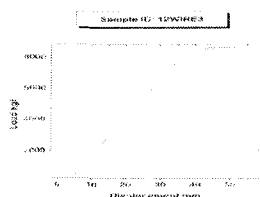


Fig. 4-7 Load vs. Displacement Curve

와이어로프 인장실험을 통해서 최소 절단하중 이전에 와이어로프의 사용한계를 육안으로 판단할 수 있었다. 다음그림 Fig. 4-6은 Splice Eye 부분의 응력이 집중되면서 비틀림 현상이 일어나는 과정을 보여주고 있다.



(a) Installation (b) 60kN loading (c) 65kN~fracture  
Fig. 4-6 Stress concentration at wire rope splice eye

## 5. 결론

본 연구에서 하역장비 와이어로프 철금속 잠금장치를 개발하였다. 기존의 제품에 비해 가격의 경쟁력이 강화되었으며, 사용한계를 육안으로 식별함으로써 사용도중 또는 파괴이전에 안전사고를 사전에 예방할 수 있게 되었다.

## 후기

본 연구는 창원대학교 교내 공모과제 연구비 지원에 의해 수행 된 것입니다

## 참고문헌

1. 장재삼, "Wire rope 결함과 안전성에 관한 연구," 전남대 산업대학원, 석사학위논문, 1995
2. 허성필, "스트랜드와 와이어로프의 강성해석 및 최적화," 대한기계학회논문집, 제24권, 제5호, pp. 1246-1253, 2000
3. <http://www.ropeshop.co.kr/>, Whasan Rope, Inc, 2001
4. 김종현, "와이어로프 파단특성에 관한 실험적 연구," 서울산업대 산업대학원, 석사학위논문, 1994
5. 박용대, "와이어로프 강성 해석에 관한 연구," 성균관대학교, 석사학위논문, 2000
6. T. R. Shives. and S. R. Low., "Tensile Tests of Type 305 Stainless Steel Mine Sweeping Wire Rope," National Inst. of Standards and Technology (IMSE), Gaithersburg, MD. Metallurgy Div., 1990
7. Wang, G. and Aizawa, T., "Development of Three Dimensional Finite Element Method - Adaptive to Wire -Rope Design and Forming," 塑性と加工, Vol. 39, No. 448, pp. 488-493, 1998