

스플라이스식 와이어로프 슬링의 편입법에 따른 사용하중한계 효율

박재석[†] · 한경훈

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
(2010. 11. 12. 접수 / 2010. 12. 14. 채택)

Work Limit Load Efficiency According to Splicing Method for Hand Spliced Wirerope Sling

Jae-Suk Park[†] · Kyoung-Hun Han

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA
(Received April 28, 2010 / Accepted May 6, 2010)

Abstract : For each strand of wirerope sling, the international standards, ISO-8794, EN-13414 specify that the splice shall have five series of load carrying tucks. At least three of the load carrying tucks shall be made with the whole strand. And, the breaking force of the splice shall not be less than 70% or 80% of that of rope. But, There are no prescriptions for splicing types against different efficiency of each splicing type being used many workplace. In this study, analysis the work limit load efficiency according to variation of number of tucks and splicing types by experimental method. As a result, the number of tucks 3+2 had the highest breaking efficiency.

Key Words : wire rope, sling, hand splice, work load limit, termination, breaking load efficiency

1. 서론

운반·인양장비 및 설비는 조선·항만업종 뿐만 아니라 중소 제조업, 건설분야 등 산업 전반에 걸쳐 다양한 규모와 형식으로 널리 이용되고 있으며, 크레인, 윈치 등 인양장비로부터 중량물을 연결하는 줄걸이용 말단 설비로서 와이어로프 슬링(wire rope sling)은 상대적으로 단위부피당 사용하중한계(WLL : working load limit)가 높고 비교적 취급이 용이하며 내구성이 좋아 가장 많이 사용되고 있다.

와이어로프 슬링은 로프의 양 단말부를 작업용도에 따라 다양한 방법과 형태로 제작하여 이용되고 있으며, 각 단말처리 방법에 따른 단말부 파단 효율(termination efficiency)에 대해서는 KS를 비롯하여 국제산업표준인 EN, ISO 등 국내에서 통용되고 있는 여러 산업표준에서 70~100%까지 단말부 특성에 따라 각각 다른 효율이 규정되어 있다¹⁻³⁾.

이에 대하여 산업안전기준에 관한 규칙 제171조 [링등의 구비]에서는 스플라이스식 슬링의 가공기준으로 터크(Tucks) 횟수에 대하여 3+2법 또는 4+1

법을(와이어로프의 각 스트랜드를 풀어 고리부(Eye)를 만든 후 본선 스트랜드에 꼬아넣을 때 총 5회 이상 꼬아야 하며 그 중 3회(또는 4회)는 스트랜드의 모든 소선을 꼬아넣고 나머지 2회(또는 1회)는 소선의 수를 절반으로 줄여 꼬아 넣는 법) 명기하고 있지만 사업장에서는 3+2법을 지키지 않고 3회 또는 4회만을 꼬아 사용하는 경우가 많고, KS에서는 스플라이스식 슬링에 대하여 ‘가공기술이 분산되고 표준화가 곤란하여 신뢰성 문제가 있다’라고 명기하고 있어 현장에서의 사용 및 관리상의 안전성을 판단하기에 어려움이 많다.

따라서 본 연구에서는 와이어로프 슬링의 단말처리법 중 스플라이스식 슬링에 대하여 단말부 편입법에 따라 ISO 기준에 따른 편입법과 국내에서 통용되고 있는 편입법에 대하여 비교 분석하고 이들의 사용하중한계 및 효율에 대하여 실험을 통해 평가하였다.

2. 스플라이스식 슬링 기준

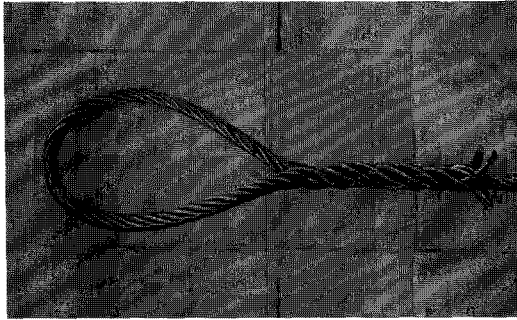
스플라이스식 와이어로프 슬링의 종류는 Table 1과 같이 크게 고리부를 만드는 방법과 꼬임법에 따라 분류할 수 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
park_js@kosha.net

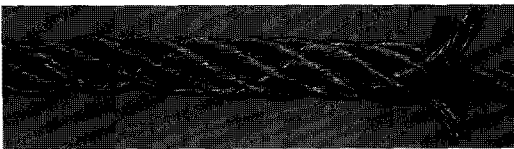
꼬임법에 따라서는 Fig. 1과 같이 ISO 8794의 부속서에서 기술하고 있는 방법과 문헌화 되어있는 자료는 없지만 국내에서 가장 많이 제작하여 사용되고 있는 국내법(꼬임법에 대해서는 종류별로 구분되어 기술되어 있는 문헌이 없고 그 명명법이 체계화되지 않아 본 연구에서는 편의상 ISO 8794법, 국내법으로 한다)이 있고, 고리부를 만드는 방법은 Fig. 2와 같이 로프의 각 스트랜드를 분리하지 않고 전체 스트랜드를 고리모양으로 휘어 로프 본선

Table 1. Splice methods of wire rope sling

Eye forming methods	Turn back eye
	Flemish eye
Splice methods	ISO 8794
	domestic method



(a) ISO 8794



(b) domestic method

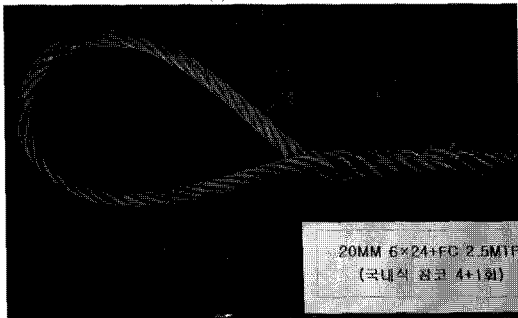
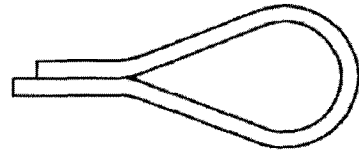
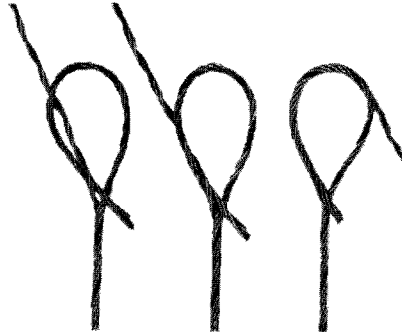


Fig. 1. Splice methods of wire rope sling termination.



(a) Turn back eye



(b) Flemish eye

Fig. 2. Forming methods of wire rope sling eye.

과 맞대는 방법인 참코(Turn back eye)방법과 6개 스트랜드로 구성된 로프일 경우 스트랜드를 2:4 또는 3:3으로 분리하여 서로 반대방향으로 고리를 만들어 있는 개코(Flemish eye)방법으로 분류된다.

와이어로프의 단말처리 효율은 로프의 100% 인장하중 기준인 소켓으로 단말처리한 로프의 파단하중을 기준으로 한다. 슬링의 단말처리 법으로는 페를로 압착한 슬링, U볼트로 체결한 슬링, 스웨이징법, 손으로 꼰 슬링 등이 있으며 이들의 효율은 EN, ISO, KS에서도 효율값을 다르게 규정하고 있으며 특히, 스플라이스식 슬링의 효율은 70-95%로 모든 표준 및 기준에서 상이한 효율값을 제시하고 있다.

3. 실험방법

현장의 사용실태 분석 결과 문제점으로 지적되는 부분 중 터크 횟수를 표준에 부합되지 않게 가공하여 사용한다는 점이다. 따라서, 스플라이스식 슬링의 터크 횟수에 따른 파단하중 변화를 검토하기 위해 Fig. 3과 같이 EN 13411에 따라 시편의 치수를 정하고 시편의 종류는 Table 2와같이 터크 횟수 2회, 3회, 4회, 5회, 3+2회, 4+1회, 6회로 시편을 제작하여 실험하였다.

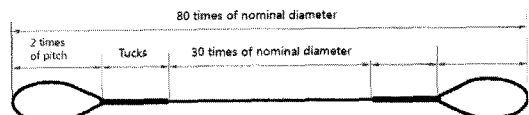


Fig. 3. Specimen for tensile test.

Table 2. Specimen types

Splice type Tuck No. Diameter ϕ (mm)	Tb-C						Tb-K						FI-K		
	2	3	4	5	3+	4+	6	2	3	4	5	3+		4+	6
10															
20	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
30												●			
40												●			

- ● : 스플라이스식 슬링(Hand splice sling)
- ○ : 엔드리스 슬링(Endless sling)
- Tb : 참코법(Turn back eye)
- F : 개코법(Flemish eye)
- C : ISO 8794법
- K : 국내법

국내에서는 일반적으로는 사용되지 않지만 ISO 8794에서 제시하고 있는 스플라이스 법에 대해서도 터크 횟수에 따라 실험하였으며 그 결과를 국내법과 상호 비교하였다. 일반적으로 참코, 개코법으로 알려져 있는 고리부 가공법에 대해서는 단말부의 스플라이스법과는 무관하므로 국내법 시편에만 적용하여 실험하였다.

시험편 제작에 사용된 와이어로프 종류는 보통 Z꼬임 아연도금된 6×24 섬유심선로프를 사용하였으며 생산업체에서 제공한 화학조성 및 기계적 성질은 Table 3과 같다.

와이어로프 슬링의 파단 인장시험은 EN 13411에서 제시하고 있는 시험법으로 최소파단하중(표

Table 3. Chemical component and mechanical properties

Chemical component	C	Si	Mn	P	S
		0.63	0.23	0.5	0.01
Specified breaking load(KS)	183.00kN				
Sample actual breaking load	185.26kN(KS D3514)				
lay length	123.17mm				

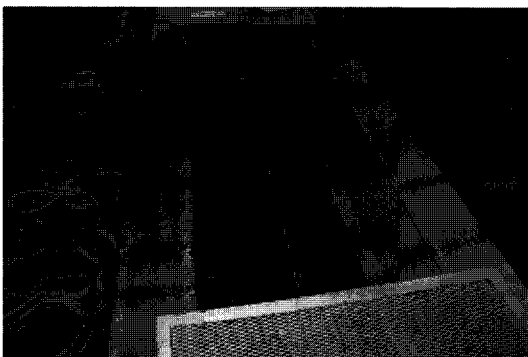


Fig. 4. Tensile tester(3,000kN).

준에서 제시하는 공칭지름별 기준 파단하중)의 60%까지 초기하중을 신속히 올린다음 초당 최소파단하중의 0.5% 미만의 하중 속도로 파단될 때까지 가하중하였고 물림부 핀의 지름은 로프공칭지름 2배 이상인 100mm로 하였다.

시험기는 총 물림길이 5m, 액추에이터(actuator)의 최대 변위량 1.5m인 3,000kN급의 인장시험기로서 유압으로 가하중 하는 방식이며, 하중 측정값은 로드셀을 통하여 디지털 표시기의 최대값 표시기능을 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

슬링의 꼬임 횟수에 따른 강도효율 변화에 대해 관찰하기위해 터크횟수를 2, 3, 4, 5, 3+2, 4+1, 6회에 대한 시험편을 각각 3편을 제작하여 3000N급 인장시험기에서 파단시험을 하였다. 효율비교를 위한 기준파단하중은 슬링시편 제작에 사용된 동일 와이어로프를 효율 100%인 소켓으로 단말처리하여 3본을 파단시켜 그 평균값인 205.8 kN을 기준으로 하였다.

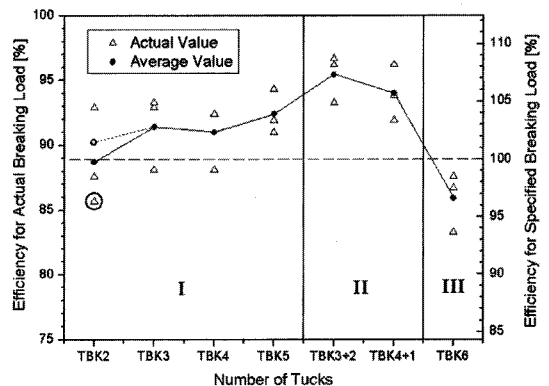


Fig. 5. Efficiency for actual breaking load and specified breaking load.

Table 4. Breaking load for domestic splicing methods

No. of tucks	Breaking load[kN]				
	test #1	test #2	test #3	Mean	S.D.
TBK2	180.3	176.4	191.1	182.6	7.6
TBK3	181.3	191.1	192.1	188.2	6.0
TBK4	190.1	181.3	190.1	187.2	5.1
TBK5	187.2	194.0	189.1	190.1	3.5
TBK3+2	198.0	198.9	192.1	196.3	3.7
TBK4+1	198.0	189.1	193.1	193.4	4.4
TBK6	171.5	178.4	180.3	176.7	4.6

실험결과 Fig. 5에서와 같이 3+2회(TBK3+2)에서 평균 효율이 가장 높게 나타났으며, TBK2의 3회시험 중 ○표시부의 시편은 Fig. 6과 같이 파단 후 스플라이스부가 완전히 풀리는 현상이 일어났다.

꼬임횟수에 대하여 I(TBK 2,3,4,5구간), II(TBK 3+2, 4+1구간), III(TBK 6)구간으로 나누어 파단특성을 정리해 볼 수 있다.

TBK2 시편 중 ○표시부의 풀림현상은 꼬임부의 결속력이 부족한데 기인하며, 안전성을 보증할 수 없음을 반증한다. 그 외 모든 시편은 풀리지 않고 스트랜드가 파단되었고 ○표시부 결과를 제외하고 점선으로 표시한 평균효율 그래프를 고려해 보면 TBK2~TBK5까지는 효율변화에 대한 유의성을 찾아보기 어렵다. 파단될 때까지 풀리지 않은 경우는 꼬임부 끝단에서 파단되었으며, 이때 슬링의 효율에 미치는 인자는 꼬임부의 형상에 기인한 응력집중현상이다. TBK2~TBK5까지는 스트랜드 소선수의 감소 없이 꼬임을 마무리한 시편으로 슬링이 파단될 때까지 충분한 결속력을 가지고 있었으며, 끝단의 형상은 동일하였으므로 효율변화에 대한 유의성이 없는 것으로 판단된다.

II구간인 TBK3+2, TBK4+1의 경우는 EN 및 ISO에서 규정하고 있는 방법으로 소선수를 감소시켜 형상적인 응력집중 현상을 완화시킨 시편이다. I구간의 시험결과와 비교하면 평균 4.2% 효율 상승효과를 보였으며 가장 효율이 좋은 TBK3+2의 경우는 약 5% 정도 효율이 높다. 또한, 총 6개의 스트랜드 중 모든 스트랜드를 소선수 감소없이 마무리한 시험편은 1~2개의 스트랜드가 파단된 반면 3+2 또는 4+1회 끈 시험편은 2~3개의 스트랜드가 동시에 파단되고 결과값의 산포도가 작았다. 이러한 현상은 소선수를 줄여 마지막 1~2회의 꼬임을 마무리한 슬링은 꼬임의 끝단에서 형상 기울기를 줄여줌

으로 응력집중 효과를 완화시키고 이로부터 각각의 스트랜드에 보다 고른 응력분배가 이루어지기 때문이다. 이는 제품에 대한 신뢰성이 높고 상대적으로 안정적인 결과라고 할 수 있다.

III구간인 꼬임횟수 6회에서는 급격하게 파단강도가 떨어지는 현상이 나타났다. 6회에서 파단강도가 떨어지는 이유는 꼬임의 형상적인 특성과 스트랜드를 로프 본선에 역시 끼워넣음으로 꼬아넣기때문에 꼬임 횟수가 늘어날수록 결속력은 늘어나지만 전인장력(pre-tension)의 누적량이 증가하기 때문으로 판단된다.

Fig. 7은 ISO 8794법(TBC)과 국내법(TBK) 슬링에 대하여 각각 꼬임횟수별로 3개씩 파단시험한 결과이다. 국내법은 꼬임의 마무리법에 따라 효율특성에 차이를 보인 반면 ISO 8794법은 모든 시험편에 대하여 효율특성에 변화에 대한 유효성을 보이지 않는다. 오히려 꼬임의 마무리 방법에 상관없이 꼬임횟수가 증가할수록 조금씩 효율이 떨어지는 경향으로 보이고 있다.

고리부분의 제작방식인 참코법과 개코법에 대한 효율차이는 파단부위가 로프 꼬임에 대한 끝단부 부근에서 모두 파단되어 Table 4와 같이 고리부

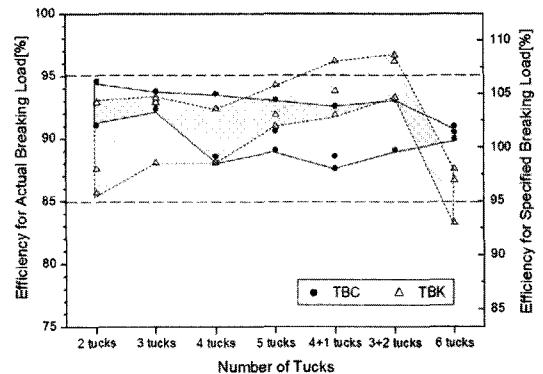


Fig. 7. Breaking efficiency for splice methods.

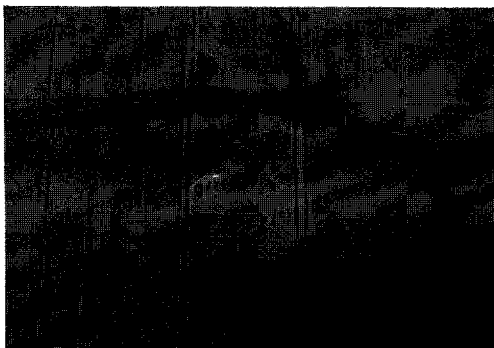


Fig. 6. Untied specimen after tensile test (TBK 2).

Table 5. Breaking load for ISO 8794 splicing methods

No. of tucks	Breaking load [kN]				
	test #1	test #2	test #3	Mean	S.D.
TBC2	177.4	177.4	184.2	179.7	4.0
TBC3	191.1	190.1	193.1	191.4	1.5
TBC4	182.3	171.5	172.5	175.4	6.0
TBC5	173.5	176.4	181.3	177.1	4.0
TBC3+2	173.5	173.5	181.3	176.1	4.5
TBC4+1	172.5	180.3	170.5	174.4	5.2
TBC6	185.2	186.2	187.2	186.2	1.0

Table 6. Breaking load and efficiency for turn back eye and flemish eye

Eye type	Breaking load[kN]				Efficiency[%]	
	test#1	test#2	test#3	mean	for actual breakin load [205.8kN]	for specified breaking load [183kN]
turn back (TBK3+2)	198.0	198.9	192.1	196.3	95.4	107.3
flemish (FLK3+2)	195.0	193.1	197.0	195.0	94.8	106.6

본의 제작 방식과는 무관한 결과를 나타냈으며 유의한 값을 보이지 않았다.

로프의 공칭지름별 파단 효율은 KS D 3514를 기준으로 정성적으로 분석하였으며, 파단시험은 10, 20, 30, 40mm 로프에 대하여 3회, 3+2회 꼬임횟수로 각각 3회씩 파단시켰다.

실험결과 공칭지름이 증가할수록 파단효율을 감소하는 경향을 보였으며, 3회 꼬임보다는 3+2회 꼬임의 효율이 높음을 알 수 있다. 슬링 효율에 대한

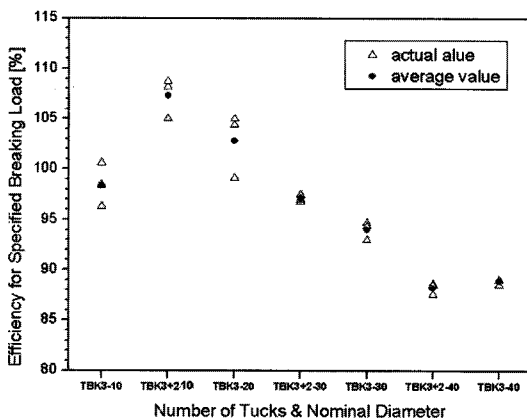


Fig. 8. Breaking efficiency for nominal diameter of wire rope.

Table 7. Breaking load for nominal diameter

nominal diameter	Breaking load [kN]				
	test #1	test #2	test #3	Mean	S.D.
TBK3-10mm	45.1	44.1	46.1	45.1	1.0
TBK3+2-20mm	198.0	198.9	192.1	196.3	3.7
TBK3-20mm	181.3	191.1	192.1	188.2	6.0
TBK3+2-30mm	398.9	399.8	401.8	400.2	1.5
TBK3-30mm	390.0	389.1	383.2	387.4	3.7
TBK3+2-40mm	648.8	640.9	647.8	645.8	4.3
TBK3-40mm	647.8	651.7	651.7	650.4	2.3

치수 효과는 공칭지름이 늘어날수록 인력으로 꼬임부를 견고하게 꼬기가 어려워 상대적으로 느슨하게 가공되고 꼬임부에서의 하중전달 체계의 불균형을 초래하기 때문이다.

4. 결론

와이어로프 슬링 중 산업 현장에서 가장 많이 사용하면서도 취급 및 관리가 상대적으로 취약한 스플라이스식 슬링을 중심으로 꼬임법에 따른 슬링의 파단하중효율 특성을 분석하였다.

1) 슬링의 꼬임 횟수에 따른 파단하중효율 변화에 대해 관찰하기 위해 $\phi 20\text{mm}$ 6×6 로프를 기준으로 꼬임횟수를 2, 3, 4, 5, 3+2, 4+1, 6회에 대한 시험편을 각각 3본을 제작하여 300t급 인장시험기에서 파단시험을 한 결과 3+2회(TBK3+2)에서 평균효율이 가장 높게 나타났다.

2) 국내법은 꼬임의 마무리법에 따라 효율특성에 차이를 보인 반면 ISO 8794법은 모든 시험편에 대하여 효율특성에 변화에 대한 유의성을 보이지 않는다. 오히려 꼬임의 마무리 방법에 상관없이 꼬임횟수가 증가할수록 효율이 떨어지는 경향을 나타냈다.

3) 고리부분의 제작방식인 참코법과 개코법에 대한 효율차이는 파단부위가 로프 꼬임에 대한 끝단부 부근에서 모두 파단되어 고리부분의 제작 방식과는 무관한 결과를 나타냈으며 유의한 값을 보이지 않았다.

4) 로프의 공칭지름별 파단 효율은 KS D 3514를 기준으로 정성적으로 분석하였으며, 공칭지름이 증가할수록 파단효율을 감소하는 경향을 보였고, 3회 꼬임보다는 3+2회 꼬임의 효율이 높았다.

참고문헌

- 1) “KS B 6242 : 와이어로프 슬링”, KS, 2001.
- 2) “ISO 8794 :Steel wire ropes-Spliced eye terminations for slings”, ISO, 2002.
- 3) “BS EN 13411-2, Terminations for steel wire ropes - Safety - Part 2 : Splicing of eyes for wire rope slings”, EN, 2001.
- 4) “산업안전보건법령집”, 한국산업안전공단, 2009.