

국내외 지침 비교를 통한 Grommet 작업 안전성 향상 방안 연구

이진우* · 한철호** · 이송우*** · 전영훈**** · 이창희*****†

Improvement of Grommet Work Safety by Comparison of Domestic and Foreign Guidelines

Jin Woo Lee* · Cheol Ho Han** · Song Woo Lee*** · Young Hun Jeon**** · Chang Hee Lee*****†

†Corresponding Author

Chang Hee Lee

Tel : +82-51-410-4642

E-mail : chlee@kmou.ac.kr

Received : May 27, 2022

Revised : June 17, 2022

Accepted : June 24, 2022

Abstract : The number of deaths caused by power crane accidents continues to decline. Nevertheless, more than 50 people die each year due to these accidents. Various types of slings, such as wire rope sling, chain sling, belt sling, and grommet, are used in industries, depending on the characteristics of the work involved. To reduce the number of accidents involving these slings, the formulation of technical measures and education of workers are necessary. This study compares and analyzes local and international guidelines as well as those found in manufacturer manuals in relation to grommets, which are widely used in shipyards and construction sites. Moreover, measures for improving the safety of work using grommet are reviewed. This paper further proposes the revision of the technical guidelines of the Korea Occupational Safety and Health Agency such that the information directly affecting the safety of work involving grommets is included. By clarifying the guidelines that manufacturers provide in their manuals, accident prevention through worker awareness is anticipated in the future.

Copyright©2022 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Key Words : grommet, D/d ratio, bending factor, safety factor

1. 서론

동력크레인을 이용하는 운반작업에서 와이어로프슬링, 체인슬링, 훅, 새클 등과 같은 달기기구의 올바른 사용은 작업의 안전과 직결되는 중요한 요소이다. 동력크레인에 기인한 사망재해자 수는 2017년 96명을 기록한 이후 지속적으로 감소하고 있으나 2020년 기준 54명으로, 전체 사망재해 기인물의 7.37%를 차지하고 있다¹⁾. 우리나라 크레인 사망재해의 약 80%는 줄걸이 작업에서 발생하는 것으로 추정되고 있으며, 줄걸이 작업은 크레인 등을 이용하여 화물을 운반하고자 할 때 화물과 크레인의 훅을 연결시켜 화물을 인양, 유도하여 원하는 장소로 이동시키고 화물을 크레인의 훅에서

분리하는 일련의 작업으로, 사망재해가 지속적으로 발생하고 있는 매우 위험한 작업이다²⁾.

현장에서는 작업의 특성에 따라 와이어로프슬링, 체인슬링, 벨트슬링, 그로멧(Grommet) 등 다양한 형태의 줄걸이용구가 활용되고 있다. 각 줄걸이용구는 고유의 특성을 가지고 있으며, 작업방법에 따라 1개의 줄에 사용상 부하할 수 있는 최대사용하중인 기본안전(사용)하중이 달라진다^{3,4)}. 이와 관련하여 한국산업안전보건공단(Korea Occupational Safety & Health Agency, KOSHA)에서는 지침을 통해 줄걸이용구별 작업방법 및 점검기준 등을 제공하고 있으나, 특수한 상태에서의 사용에 대해서는 제조자의 지침을 따르도록 하고 있다⁴⁾.

소비자는 「소비자기본법」 제4조(소비자의 기본적 권

*한국해양수산연수원 해양기술교육팀 교수 (Ocean Technology Training Team, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology)

** (주)한국중기계 연구소장 (Korea Heavy Machinery)

***금산하이텍고등학교 교사 (Geumsan Hitech Highschool)

****한국조선기자재연구원 선임연구원(Korea Marine Equipment Research Institute)

*****한국해양대학교 항해융합학부 교수 (Division of Navigation Convergence, Korea Maritime and Ocean University)

리)에 따라 물품 또는 용역(이하 물품 등)으로 인한 생명·신체 또는 재산에 대한 위해로부터 보호받을 권리와 물품 등을 선택함에 있어서 필요한 지식 및 정보를 제공받을 권리를 가진다. 제조업자는 「제조물 책임법」 제2조(정의)에 따라 제조물에 법에서 정하는 제조상·설계상 또는 표시상의 결함이 있거나 그 밖에 통상적으로 기대할 수 있는 안전성이 결여되는 결함으로 생명·신체 또는 재산에 손해를 입은 자에게 그 손해를 배상하여야 한다. 즉, 제조자는 물품 등을 사용하는 사람이 합리적으로 예측 가능한 위험으로부터 안전할 수 있도록 충분한 정보를 제공하여야 한다.

한국산업규격은 다양한 형태의 줄걸이용구에 대하여 용구별 제조, 시험, 표시 및 점검에 대한 방법을 규정하고 있다. 그러나 현장에서 한국산업규격에서 정하는 내용을 표시한 줄걸이용구를 찾기 어려운 것이 현실이다.

Fig. 1은 그로맷을 이용한 작업에서 그로맷이 새클에 걸리는 상태를 표현한 것이며, 그로맷이 걸리는 새클의 지름(D)과 그로맷의 지름(d)의 비(D/d)에 따라 WLL이 적절하게 결정되어야 안전한 작업이 가능하다.

Fig. 2는 D/d 비율에 따른 그로맷의 효율감소곡선을 나타내고 있으며 세로축의 Efficiency 값은 식 (9)에 따라 계산된 것이다.

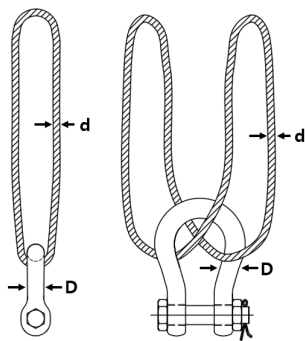


Fig. 1. D/d ratio.

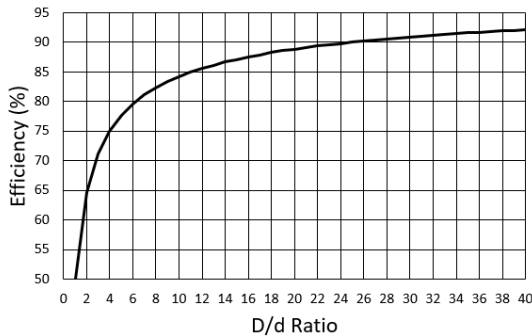


Fig. 2. Reduction in efficiency of wire rope when bent over pins of various sizes.



지름 : 54mm
WLL : 51 Ton
6xWS(36)+IWRC(BG)

Fig. 3. Cable laid hand tucked grommets.

Fig. 3은 제조자가 과도한 사용(한계)하중(Working Load Limit, WLL)을 표기하여 납품한 사례를 나타낸 것이다. 이 그로맷을 D/d = 1의 작업조건을 가정하여 식 (7)과 (8)을 적용하면, 적정 WLL은 22.8톤이 되며, 식 (12)를 적용하면 26.8톤이 된다. 이는 표기된 WLL 51톤이 과도한 표기임을 확인해준다. 사용자는 그로맷에 표기된 WLL값을 믿고 사용하는 것이 일반적이며, 과도한 WLL표기는 산업안전보건기준에 관한 규칙 제163조(와이어로프 등 달기구의 안전계수)에서 정한 안전계수 5를 준수할 수 없는 불안정한 작업이 될 수 있다.

D/d비율을 5이상 확보하면 그로맷의 효율감소와 관리(그로맷의 수명과 직결되는 변형, 소선단선 등)적인 측면에서 유리하나 현장의 작업조건은 D/d비율이 1-2정도이기 때문에, D/d비율 대비 과도한 하중이 작용한 경우 Fig. 4와 같이 심한 변형과 단선이 발생할 수 있다.

줄걸이작업을 안전하고 원활하게 수행하기 위해서는 적합한 제원을 갖춘 동력크레인을 선정하는 것뿐만 아니라 적절한 줄걸이용구를 선정하고 올바른 방법으로 화물과 용구를 연결하는 것 또한 중요하다. 이를 위해서는 근로자가 줄걸이용구의 특성에 대한 정확한 정보를 제공받는 것이 중요하다. 그러나 줄걸이 작업 시 발생하는 사고의 예방을 위한 많은 연구가 근로자의 교육 및 자격에 대한 연구에 초점이 맞춰져 있으며^{2,5-8)}, 관련 기술지침 및 제조사가 제공하고 있는 제품에 대한 정보가 근로자가 안전하게 작업하기에 충분한지에



Fig. 4. Severe deformation case of grommet.

대한 연구는 미미한 수준이다.

따라서 이 연구는 조선소 및 건설현장에서 중량물 운반작업에 많이 사용하고 있는 그로맷과 관련하여 국내외 규정 및 제조사 매뉴얼의 정보를 비교·분석하여, 그로맷을 사용한 작업의 안전성을 향상시키기 위한 방안을 검토하고자 한다.

2. 지침별 사용하중계산 방법 분석

2.1 한국산업안전보건공단

그로맷은 소선(Wire)을 꼬아 만든 스트랜드(Strand) 또는 와이어로프(Wire rope)를 말아 넣어 제작한 순환 고리형 와이어로프 슬링(Wire rope sling)을 의미한다.

한국산업안전보건공단에서는 그로맷을 와이어로프 그로맷(Wire rope grommet)과 케이블레이드 그로맷(Cable laid grommet)으로 구분하고 있으며⁹⁾, Fig. 5는 그로맷 종류별 형태의 사례를 나타낸다.

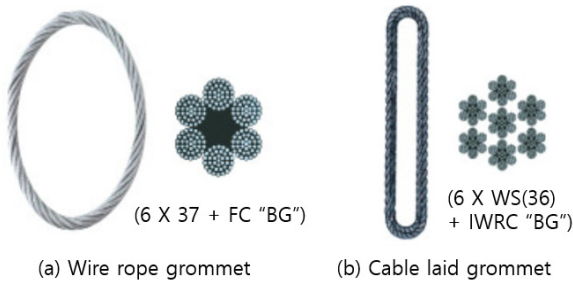


Fig. 5. Types of grommets¹⁰⁾.

와이어로프 그로맷은 중심코어를 하나의 스트랜드로 구성하고 이를 중심으로 6개의 스트랜드를 꼬아 만든 순환 고리형 와이어로프 슬링을 말한다. 케이블레이드 그로맷은 중심코어를 와이어로프로 형성하고 이를 중심으로 6개의 와이어로프를 꼬아 만든 순환 고리형 와이어로프 슬링을 말한다. KOSHA guide M-70-2013 ‘그로맷(Grommet) 및 케이블레이드 슬링(Cable-laid Sling)에 관한 기술지침’은 일반적인 권상작업 시 1개의 슬링에 부하할 수 있는 최대하중인 사용(한계)하중의 계산방식을 다음과 같이 제시하고 있다.

(가) 와이어로프 그로맷의 사용하중계산

$$WLL(kN) = \frac{2F_{\min_1}}{Z_p} \quad (1)$$

(나) 케이블레이드 그로맷의 사용하중계산

$$WLL(kN) = \frac{12F_{\min_2} \times C_L}{Z_p} \quad (2)$$

여기서,

F_{\min_1} : Nominal rope strength (Fiber core, in kN)

F_{\min_2} : Minimum breaking load of the unit rope (in kN)

C_L : Spinning loss factor in cabling = 0.9

Z_p : Safety factor ≥ 5

위 계산식으로 구한 WLL은 사용시 발생하는 D/d 비율에 따른 효율감소를 반영하지 않아 현장작업조건(D/d: 1~2 수준)을 고려할 때 적용에 한계가 있다(3.1 참조). C_L 값을 0.9로 본다면 위 식은 D/d 값이 25이상일 경우에 적용 가능한 식이며 현장작업조건을 반영할 수 있도록 보완되어야 한다. KOSHA guide M-70-2013은 그로맷의 제조, 확인 방법에 대한 내용에 추가하여 그로맷에 표시해야 하는 정보를 규정하고 있다. 그로맷에 식별가능하고 내구성 있는 방식으로 표시해야 하는 정보는, (1) 제조자 명 또는 그 약호, (2) 형식 및 모델번호, (3) 사용하중계수, (4) 공칭지름, (5) 공칭길이, (6) 기타를 포함한다.

2.2 와이어로프기술위원회

와이어로프기술위원회(Wire Rope Technical Board, WRTB)는 미국에서 생산되는 와이어 로프의 90% 이상을 제조하는 회사들로 구성된 협회이다¹¹⁾. WRTB는 그로맷을 Strand laid hand tucked grommet, Strand laid mechanical grommet, Cable laid hand tucked grommet, Cable laid mechanical grommet으로 구분하고 있으며, 종류별 사용하중 계산 방법을 제시하고 있다¹²⁾. WRTB는 와이어로프 슬링의 Design Factor (DF) : 5를 기본으로 하고 있으며, 여기서 DF는 KOSHA의 Safety Factor와 동일한 의미이다. WRTB는 그로맷 사용 시 슬링이 걸리는 부분의 지름과 슬링의 지름과의 비인 D/d 비율을 고려해야 함을 강조하고 있으며, D/d = 5를 기준으로 그로맷의 사용하중을 제시하고 있다. 이를 바탕으로 D/d 비율이 5보다 작은 화물에는 제조사와 협의 없이 그로맷을 사용하지 말아야 함을 기술하고 있다. 즉, 현장의 작업조건에서 D/d 값이 5보다 작은 경우에는 제조사와 협의하여 WLL값을 적정하게 조정하게 사용하여야 한다고 보는 것이 타당하며, 이는 국제해양계약자협회(International Marine Contractors Association, IMCA)의 IMCA M-179 (Guidance on The Use of Cable Laid Slings and Grommets)에서도 확인할 수 있다.

(가) Strand laid hand tucked grommet

Strand laid hand tucked grommet은 하나의 스트랜드

를 꼬아 만들며, 로프의 이음효율은 Table 1에 따른 로프지름별 Nominal Efficiency Factor를 적용한다.

Strand laid hand tucked grommet의 사용하중은 아래 식으로 계산할 수 있다.

$$WLL(kN) = \frac{(NRS \times NSE) \times 2}{DF} \quad (3)$$

여기서,

NRS : Norminal Rope Strength (Fiber core)

NSE : Nominal Splice Efficiency

DF : Design Factor (5)

Table 1. Nominal splice efficiencies of strand laid hand tucked grommets

Rope Diameter (inch)	Nominal Efficiency Factor	Rope Diameter (inch)	Nominal Efficiency Factor
1/4	.78	1 3/8	.745
5/16	.78	1 1/2	.735
3/8	.78	1 5/8	.730
7/16	.78	1 3/4	.725
1/2	.78	1 7/8	.720
9/16	.78	2	.715
5/8	.78	2 1/8	.710
3/4	.78	2 1/4	.705
7/8	.78	2 3/8	.700
1	.775	2 1/2	.695
1 1/8	.765	2 3/4	.690
1 1/4	.755	3	.685

(나) Strand laid mechanical splice grommet

Strand laid mechanical splice grommet은 하나의 와이어로프를 겹쳐 접합부를 슬리브(Sleeve)를 이용하여 압착 고정하는 방식으로 만들며, 사용하중을 계산하는 방법은 아래와 같다. 로프의 이음효율은 로프의 지름에 관계없이 0.78을 적용한다.

$$WLL(kN) = \frac{(NRS \times NSE) \times 2}{DF} \quad (4)$$

여기서,

NRS : Norminal Rope Strength

NSE : Nominal Splice Efficiency = 0.78

DF : Design Factor (5)

(다) Cable laid hand tucked grommet

Cable laid hand tucked grommet은 와이어로프를 중심코어로 하여 하나의 와이어로프를 꼬아 만들며, 로

프의 이음효율은 Table 2에 따른 로프지름별 Nominal Efficiency Factor를 적용한다.

Cable laid hand tucked grommet의 사용하중은 아래 식으로 계산할 수 있다.

$$WLL(kN) = \frac{(6 \times NRS \times NSE) \times 2 \times L \times \sin A}{DF} \quad (5)$$

여기서,

NRS : Norminal Rope Strength

NSE : Nominal Splice Efficiency

L : Number of Sling Legs

Sin A : Trigonometric Sine of Smallest Horizontal Sling Angle

DF : Design Factor (5)

Table 2. Nominal splice efficiencies of cable laid hand tucked grommets

Rope Diameter (inch)	Nominal Efficiency Factor	Rope Diameter (inch)	Nominal Efficiency Factor
3/8	.78	1 11/16	.750
9/16	.78	1 7/8	.745
5/8	.78	2 1/4	.735
3/4	.775	2 5/8	.725
15/16	.770	3	.715
1 1/8	.765	3 3/8	.705
1 1/2	.755		

(라) Cable laid mechanical splice grommet

Cable laid mechanical splice grommet은 하나의 cable laid wire rope를 슬리브(Sleeve)로 압착하는 방식으로 만들며, 사용하중을 계산하는 방법은 아래와 같다. 로프의 이음효율은 로프의 지름에 관계없이 0.78을 적용한다.

$$WLL(kN) = \frac{(NFS \times NSE) \times 2 \times L \times \sin A}{DF} \quad (6)$$

여기서,

NFS : Nominal Fabric Strength

NSE : Nominal Splice Efficiency = 0.78

DF : Design Factor (5)

WRTB가 제시하고 있는 상기 (3) ~ (6)의 계산식으로 구한 WLL 값은 D/d = 5를 전제로 완성된 식으로 현장작업조건(D/d : 1~2 수준)을 고려할 때 적용에 한계가 있다. 만약 D/d = 5 이하의 작업이라면 위 식은 적용할 수 없다. 따라서 현장의 작업조건을 반영할 수

있도록 보완되어야 한다.

2.3 국제해양계약자협회

국제해양계약자협회(International Marine Contractors Association, IMCA)는 해양, 해상, 수중 엔지니어링 회사들을 대표하는 국제 무역 협회이다¹³⁾. IMCA에서는 와이어로프 코어에 6개의 와이어로프를 꼬아서 만든 Cable laid grommet의 사용하중계산 방법을 제시하고 있다. IMCA에서는 사용하중을 계산할 때 회전손실 허용계수(Spinning loss)와 굽힘계수(Bending factor)를 고려하도록 하고 있으며, 이에 따른 사용하중을 계산하는 방법은 아래와 같다.

$$CGBL = \frac{12 F_{\min} \times C_L}{K} \text{ Tonnes} \quad (7)$$

여기서,

F_{\min} : Minimum calculated breaking load of the unit rope (in kN)

K : a constant which converts the force units (kN) into the mass units (metric tonnes) = 9.8m/s^2

C_L : a factor which allows for the spinning losses in cabling = 0.85

$$WLL = \frac{CGBL \times E_B}{f} \quad (8)$$

여기서,

$CGBL$: Calculated breaking load of the grommet in metric tonnes

f : a factor which allows for the circumstances of use (safety factor). $f \geq 2.25$

E_B : Bending factor for the bend of a grommet at its ends or when used as a doubled grommet at the grommet body

$$E_B = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{\frac{D}{d}}} \quad (9)$$

위 계산식은 굽힘효율은 고려하고 있으나 안전계수를 2.25 이상으로 정하고 있어 현행 산업안전보건기준에 관한 규칙 제163조(와이어로프 등 달기구의 안전계수)의 적용(안전계수 = 5)에 적합하지 않다.

2.4 국내 그로멧 제조업체

국내 그로멧 제조업체에서 제시하는 WLL 값을 구

하는 식은 아래와 같이 3가지가 확인되고 있다.

(가) Strand laid hand tucked grommet

$$WLL(kN) = \frac{NRS \times 2 \times NSE}{SF} \quad (10)$$

여기서,

NRS : Norminal Rope Strength

NSE : Nominal Splice Efficiency = 0.7

SF : Safety factor = 5

(나) Strand laid mechanical splice grommet

$$WLL(kN) = \frac{NRS \times 2 \times NSE}{SF} \quad (11)$$

여기서,

NRS : Norminal Rope Strength

NSE : Nominal Splice Efficiency = 0.9

SF : Safety factor = 5

(다) Cable laid hand tucked grommet

$$WLL(kN) = \frac{NRS \times 12 \times NSE}{SF} \quad (12)$$

여기서,

NRS : Norminal Rope Strength

NSE : Nominal Splice Efficiency = 0.9

SF : Safety factor = optional

국내 그로멧 제조업체가 제시하고 있는 상기 (10) ~ (12)의 계산식으로 구한 WLL 값은 현장의 사용조건(D/d 값)을 반영하지 않아 현장적용에 부적합하다. (10) 식에서 제시한 이음효율 70%는 D/d = 2.9 이상일 때, (11)과 (12)의 계산식에서 제시한 이음효율 90%는 D/d = 25 이상일 경우(Fig. 2 참조)에 적용가능한 것으로 판단된다. 따라서 위 계산식은 현장의 작업조건(D/d : 1~2 수준)이 반영될 수 있도록 보완될 필요가 있다.

3. 그로멧의 E_B 를 활용한 지침의 비교 · 분석

3.1 KOSHA 계산방식

그로멧은 스트랜드 또는 와이어로프를 말아 넣어 제작하기 때문에 화물과 로프의 직경비(D/d)에 따라 효율의 저하가 발생한다. 그러나 KOSHA guide M-70-2013은 그로멧에 표시해야 하는 정보로 D/d 비율을 제시하지 않고 있다. 또한 대다수 국내 그로멧 제조사의 매뉴얼은 그로멧의 사용하중과 D/d 비율의 관계를 표시하지 않고 있을 뿐만 아니라 그로멧의 효율감소 특성을



Fig. 6. Work case with the D/d ratio of approx. 1.

반영하고 있지 않다^{10,14}). 이에 근로자는 제조사 매뉴얼에 표시된 사용한계하중이 모든 작업 상황에 적용되는 것으로 착각하여, 실제 작업현장에서는 D/d 비율에 따른 그로맷의 효율저하에 대한 고려없이 작업을 수행하는 경우가 발생하고 있다. Fig. 6은 그로맷의 지름과 그로맷이 연결되는 새클의 지름이 유사한 (D/d 비율 ≍ 1)상태로 작업하고 있는 현장의 사진이다.

화물을 인양할 때 D/d 비율에 따른 효율저하를 고려하지 않는다면, 극단적인 사례로서 지름 60 mm 그로맷을 지름 60 mm 새클에 연결하는 경우(D/d = 1) 그로맷 용량의 50%가 감소한다. 산업안전보건기준에 관한 규칙 제163조(와이어로프 등 달기구의 안전계수)는 화물의 하중을 직접 지지하는 달기와이어로프 또는 달기체인인 경우 5이상의 안전계수를 유지하도록 하고 있다. 이에 따라 D/d 비율을 고려하지 않고 작업하는 경우 산업안전법에 따른 안전계수를 준수하지 못하는 상황이 발생할 수 있으며, 이는 사고의 발생가능성 증가로 이어질 수 있다.

3.2 WRTB 계산방식

WRTB는 D/d = 5를 기준으로 그로맷의 사용하중을 계산하도록 하고 있으며, D/d 비율이 5보다 작은 화물에는 제조사와 협의 없이 그로맷을 사용하는 것을 금지하고 있다. WRTB의 이음효율(NSE = 0.78)과 D/d = 5일 때 굽힘효율 값($E_B = 0.776$)은 서로 일치하게 되며, 이는 이음효율을 고려하여 최대로 선정할 수 있는 WLL 값은 D/d = 5일 때라는 의미로 확인된다.

WRTB는 D/d 비율의 중요성을 강조하여 D/d 비율이 낮은 경우 위험할 수 있다는 정보를 근로자에게 제공함으로써 근로자의 경각심을 높일 수 있는 장점은 있으나, D/d 비율이 5보다 낮을 때에는 어떻게 사용해야 하는지 불명확한 단점이 있다. 또한, 그로맷을 Fig. 7과 같은 새클과 연결하여 사용한다고 가정하면, 지름 $d = 40$ mm인 그로맷을 사용하는 경우 새클의 지름 $D =$

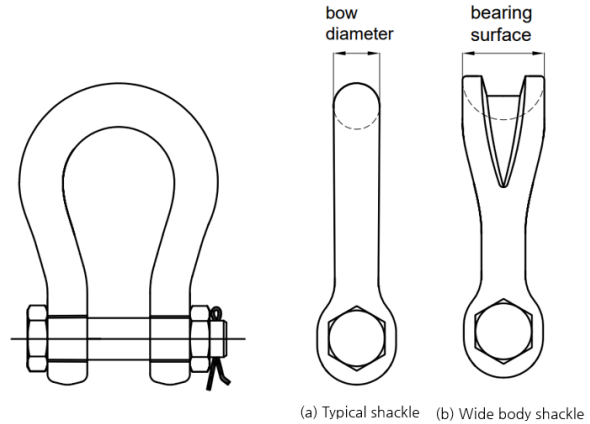


Fig. 7. Shackle.

200 mm 이상 되어야 D/d 비율 5를 만족시킬 수 있다. 예를 들어, 현장에서 많이 사용되고 있는 K기업의 와이어로프 그로맷¹⁰과 Green Pin사의 새클¹⁵을 연결하여 사용한다고 가정하면 Strand laid hand tucked grommet $d = 40$ mm의 사용하중은 26톤(수직연결)이며, 새클(Heavy duty bow shackle P-6036)의 bow diameter = 200 mm 일 때 사용하중은 600톤으로 현실적으로 일반 새클을 사용하여 D/d 비율 5를 확보하여 작업하는 것은 어렵다.

그로맷과의 접촉 면적을 넓이기 위하여 일반 새클을 대체하여 와이드바디 새클(Wide body shackle P-6033)을 사용한다고 가정하면, 와이드바디 새클의 bearing surface = 205 mm일 때 사용하중은 200톤이 된다. 그러나 이 또한 그로맷 사용하중 26톤 대비 200톤 새클을 사용하게 되어 그로맷 용량과 비교하여 과도한 용량의 새클을 사용해야 하는 문제가 발생한다. 실제 작업현장에서는 그로맷의 사용하중과 새클의 사용하중을 맞춰서 사용하는게 일반적이기 때문에 제조사에서 제시하는 그로맷 40 mm의 사용하중 26톤에 맞는 Green pin사의 일반 새클(G-4143)을 선정한다고 가정하면 사용하중 35톤일 때 bow diameter = 50 mm이며, 이 때 D/d 비율은 1.25가 된다. 와이드바디 새클의 경우도 사용하중 30톤일 때 bearing surface = 79 mm, D/d 비율은 1.98로 일반 새클을 사용했을 때보다는 높지만 WRTB에서 제시한 D/d = 5를 충족하지는 못한다. 따라서 현장작업조건을 적용하기에 적합한 새로운 방식의 WLL계산식이 개발 보급되어야 안전한 그로맷 작업이 가능하다.

3.3 IMCA 계산방식

IMCA에서는 사용하중을 계산할 때 회전손실 허용계수와 굽힘계수를 고려하도록 하고 있다. IMCA의 계산방식은 D/d 비율이 낮을 때에도 사용하중을 계산할

수 있다는 장점이 있다. 그러나 IMCA 계산방식은 회전손실 허용계수와 굽힘계수를 중복하여 적용하기 때문에 안전계수를 5로 했을 경우 KOSHA나 WRTB에서 제시한 계산방식으로 계산한 사용하중계수와 비교하여 상대적으로 값이 작게 나타난다.

3.4 규정별 사용하중 계산결과 비교

그로맷의 사용하중을 계산하는 방식은 규정별로 다르게 규정되어 있으며, 상기한 3개 기관의 cable laid hand tucked grommet의 사용하중계산방식으로 로프 지름 60 mm (6×WS(36)+IWRC, KS규격, 단위로프지름 20 mm, B중 최소절단하중 27.7톤) 그로맷을 사용하여 수직 인양하였을 때 D/d 비율에 따른 안전계수가 5일 때의 사용하중을 계산하면 Table 3과 같다.

Table 3. WLL comparison of a cable laid grommet by guidelines (tonnes)

	KOSHA	WRTB	IMCA
D/d = 1	59.83	-	28.25
D/d = 2	59.83	-	36.53
D/d = 3	59.83	-	40.20
D/d = 4	59.83	-	42.38
D/d = 5	59.83	48.86	43.87

KOSHA 규정에 따른 사용하중은 D/d 비율과 상관없이 59.83톤, WRTB의 사용하중은 D/d = 5일 때 48.86톤 (Table 2. Nominal Efficiency Factor 0.735 적용), IMCA의 사용하중은 D/d = 5일 때 43.87톤이다. IMCA의 경우 D/d 비율별 사용하중을 구할 수 있으며, D/d = 1일 때 사용하중이 28.25톤으로 D/d = 5일 때 43.87톤의 64.4% 정도로 감소하는 등 D/d 비율에 따라서 사용하중에 많은 차이를 보인다.

D/d = 5일 때 WRTB와 IMCA의 그로맷 사용하중은 KOSHA의 사용하중 59.83톤을 100%로 하였을 때 각각 약 86.1%, 약 73.3%이다. KOSHA와 IMCA의 사용하중 계산 결과를 비교하면 D/d = 1일 경우 KOSHA는 59.83톤을 인양할 수 있는 반면 IMCA의 경우 28.25톤으로 KOSHA 값이 IMCA의 약 2배에 이른다.

WRTB 및 IMCA 규정은 사용하중계산에서 D/d 비율이 중요함을 언급하고 있으나 KOSHA는 D/d 비율에 대한 언급이 없어 줄걸이작업에 대한 전문지식이 없는 경우 굽힘계수에 의한 효율저하를 고려하지 않고 단순히 제조사의 매뉴얼에 표시된 하중을 모두 사용하여 작업하는 경우가 발생할 수 있다. 예를 들어 D/d = 1을 가정하였을 때 KOSHA 규정에 의한 그로맷의 사용하

중은 59.83톤이지만, D/d = 1에서의 굽힘계수 0.5를 적용하면 사용하중은 33.24톤으로 낮아지게 된다. 즉, 굽힘효율(E_b)을 적용하지 않는다면 그로맷을 연결하는 순간 그로맷 사용작업의 안전율이 약 50%가 감소되는 결과를 초래하게 되며 이는 산업안전보건법에서 요구하는 안전계수 5를 충족시키지 못할 수 있을 뿐만 아니라 안전을 저하로 인한 사고의 가능성을 증가시킬 수 있다.

4. 개선방안

그로맷의 WLL계산방법은 현장의 작업조건이 충분히 반영되어야 하며 그로맷 사용 작업자는 안전이 보장되어야 한다. 와이어로프는 D/d 비율에 따라 효율이 달라지며, 스트랜드 또는 와이어로프를 이용하여 제조하는 그로맷 또한 D/d 비율에 영향을 받는다. 해외 와이어로프 슬링 제조사의 경우 사용하중 계산의 기준이 되는 D/d 비율을 5로 제시하고 그보다 작을 때 사용하중을 줄여서 사용해야 함을 안내하고 있다¹⁶⁾. 반면에 우리나라 그로맷 제조사 여러 곳에서 그로맷의 사용하중을 제시할 때 D/d 비율을 제시하지 않고 있다^{10,14)}. 와이어로프는 다양한 크기의 핀 등에 의해 휘어질 때 강도가 감소¹²⁾하기 때문에 그로맷을 사용할 때 D/d 비율에 따른 굽힘계수를 반영할 필요가 있다.

4.1 KOSHA guide M-70-2013 개정

그로맷의 경우 ‘그로맷(Grommet) 및 케이블레이드 슬링(Cable-laid Sling)에 관한 기술지침(KOSHA guide M-70-2013)’이 마련되어 있으나, 2011년 제정되어 2013년 개정된 이후 2022년 현재까지 변경사항이 없는 상태이다. 그로맷을 사용하는 작업에서 D/d 비율은 안전계수에 직접적인 영향을 미치며, 안전계수의 미확보는 근로자의 안전을 위협할 수 있다.

기술지침은 기술의 변화를 반영하여야 하며, 근로자의 안전을 향상시키는 정보를 포함하여야 한다. 이에, 그로맷 작업의 안전을 향상시키기 위해서는 제조사, 사업주, 근로자 등이 쉽게 확인할 수 있고, 법령에서 요구하는 수준 이상으로 관리하고자 할 때 활용할 수 있는 안전보건기술지침¹⁷⁾을 개정하여 그로맷의 제조단계부터 근로자가 사용할 때까지 체계화된 정보가 전달되어 안전하게 그로맷을 사용할 수 있는 환경이 마련될 필요가 있다. 즉, ‘그로맷(Grommet) 및 케이블레이드 슬링(Cable-laid Sling)에 관한 기술지침(KOSHA guide M-70-2013)’을 아래의 내용이 포함되도록 개정할 필요가 있다.

(가) WLL 계산 시 굽힘효율(E_B) 적용

D/d 비율이 감소하여 E_B 값이 그로맷의 NSE(이음효율, 가공효율)보다 작아지게 되면 Fig. 8에 나타난 바와 같이 이음부보다 굽힘부위가 더 취약하게 되고, 이 경우 이음 효율은 의미가 없으며 E_B 값을 반영하여야 한다. 이를 반영하여 새로운 방식의 그로맷 WLL 계산식을 아래와 같이 제안한다.

제안하는 (13) ~ (16)의 계산식은 $NSE > E_B$ 일 경우를 전제로 제안한 계산방식이지만, 현장의 작업 특성상 현실적으로 D/d = 5를 확보하기 어렵기 때문에 제안하는 식은 모든 현장에 적용이 가능하며, 합리적이고 안전한 계산방식이 될 것이다.

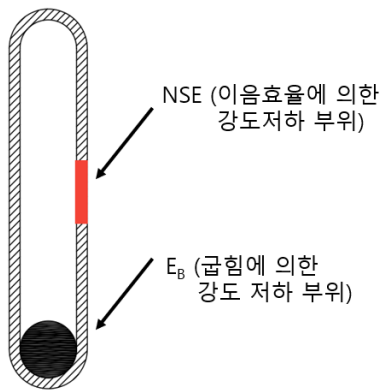


Fig. 8. NSE & E_B .

① Strand laid hand tucked grommet

$$WLL = \frac{NRS \times 2 \times E_B}{SF(5)} \quad (13)$$

여기서,

NRS : Norminal Rope Strength

SF : Safety factor = 5

$$E_B = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{\frac{D}{d}}}$$

② Strand laid mechanical splice grommet

$$WLL = \frac{NRS \times 2 \times E_B}{SF(5)} \quad (14)$$

여기서,

NRS : Norminal Rope Strength

SF : Safety factor = 5

$$E_B = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{\frac{D}{d}}}$$

③ Cable laid hand tucked grommet

$$WLL = \frac{NRS \times 12 \times E_B}{SF(5)} \quad (15)$$

여기서,

NRS : Norminal Rope Strength

SF : Safety factor = 5

$$E_B = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{\frac{D}{d}}}$$

④ Cable laid mechanical splice grommet

$$WLL = \frac{NFS \times 2 \times E_B}{SF(5)} \quad (16)$$

여기서,

NFS : Nominal Fabric Strength

SF : Safety factor = 5

$$E_B = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{\frac{D}{d}}}$$

(나) WLL 표시 시 D/d값 제시

WLL은 D/d 값에 따라 변화되기 때문에 그로맷에 표시되는 WLL은 WLL 산정의 기준이 된 D/d값과 함께 제시되어야 한다.

4.2 지침의 현장 적용성 분석

다양한 기관에서 발행하고 있는 지침들이 현장에 적용하기에 적합한지 검토한 결과 대부분의 지침이 현장 적용상 문제점을 드러내고 있으며, 국내에서 제조되는 그로맷 또한 D/d 비율에 따른 효율감소를 반영하지 않고 있다. 이는 사용상의 오판으로 인한 재해가 발생될 우려가 있어 개선이 필요한 부분이다.

Table 5는 지침별 현장 적용성을 비교한 것이다. 일반적인 국내 현장의 사용조건 D/d < 2를 고려한다면, 이를 충실하게 반영한 공식은 IMCA가 유일하며, KOSHA, 국내 제조사 등은 D/d 값을 반영하지 않고 있다. 현장의 안전한 작업을 위해서는 제안된 WLL값 계산 방식을 적용하는 것이 필요하다.

4.3 그로맷 종류별 안전기준 제정

그로맷 작업의 안전을 향상시키기 위해서는 현행 ‘그로맷(Grommet) 및 케이블레이드 슬링(Cable-laid Sling)에 관한 기술지침(KOSHA guide M-70-2013)’ 외에 현장에서 다량으로 사용되고 있는 Strand laid hand

Table 5. Applicability comparison by guidelines

	Strand laid		Cable laid		Remark
	Hand tucked grommet	Mechanical splice grommet	Hand tucked grommet	Mechanical splice grommet	
KOSHA	-	-	D/d = N SF = 5 CL = 0.9	-	D/d ratio not reflected (Improvement required)
IMCA	-	-	D/d = > 1, < 5 SF = > 2.25 CL = 0.85	-	D/d ratio reflected (SF = > 5 required)
WRB	D/d = 5 SF = 5 NSE = 0.78 - 0.685	D/d = 5 SF = 5 NSE = 0.78	D/d = 5 SF = 5 NSE = 0.78 - 0.705	D/d = 5 SF = 5 NSE = 0.78	Only values given when D/d = 5
Domestic company	D/d = N SF = 5 NSE = 0.7	D/d = N SF = 5 NSE = 0.9	D/d = N SF = 5 NSE = 0.9	D/d = N SF = 5 NSE = 0.9	D/d ratio not reflected (Improvement required)
Proposed formula (NSE > E _B)	D/d = > 1, < 5 SF = 5	D/d = > 1, < 5 SF = 5	D/d = > 1, < 5 SF = 5	D/d = > 1, < 5 SF = 5	D/d ratio reflected (Applicable at site)

tucked grommet, Strand laid mechanical splice grommet, Cable laid mechanical splice grommet 등을 포괄하는 기술지침이 제정될 필요가 있다.

적인 D/d 비율 및 적정 D/d 비율을 확보할 수 있는 방법에 관한 연구가 이루어질 필요가 있다.

5. 결론

이 연구는 그로멧 관련 국내의 규정을 분석하여 그로멧 사용 작업의 안전을 향상하기 위한 방안을 연구하였다. 줄걸이작업 사고를 예방하기 위해서는 법령, 지침, 제조사 매뉴얼 등에서 정하는 안전기준을 준수하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 정부에서 발행하는 기술지침에서 제조자가 근로자에게 제공해야 하는 정보를 명확히 하여 근로자에게 제공하게 함으로써, 근로자가 작업 시 주의해야 하는 사항을 명확히 인지할 수 있도록 해야 한다. 즉, 사고 예방을 위해서는 이미 발생한 사고 사례의 전파를 통한 경각심을 유도하는 것뿐만 아니라 제조사에서 제품의 사용상 주의사항에 대한 명확한 정보를 근로자에게 제공할 필요가 있다. 이를 위해서는 이 연구에서 제시한 바와 같이 정부에서 그로멧에 관한 기술지침을 개정하여 그로멧의 사용하중계산 방법을 명확히 하고 사용자에게 제공해야 하는 정보를 구체화할 필요가 있다.

동력크레인에 의한 사망재해자 수는 감소하고 있는 추세이나 여전히 다수의 사망자가 발생되고 있다. 높은 사망재해를 감소시키기 위해서는 근로자에 대한 교육 강화 뿐만 아니라 기술적으로 재해를 예방할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다. 그로멧 관련 기술지침의 명확화는 그로멧 사용 시 D/d 비율에 의한 효율저하에 대한 근로자의 경각심을 고취하여 작업 안전에 도움이 될 것으로 판단된다. 향후 그로멧 사용 시 실질

References

- 1) Ministry of Employment and Labor, “2020 Statistics on Occupational accidents”, 2021.
- 2) C. H. Han, “A Study on the Reduction of Serious Accidents by Rigging Work through Comparative Analysis of Korea and Japan” OSH Research Brief, Vol. 4, No. 10, pp. 38-45, 2010.
- 3) ASME, ASME B30.9-2014_Slings, American Society of Mechanical Engineers, 2015.
- 4) Korea Occupational Safety & Health Agency, “Technical Guidelines for the use and Inspection of Wire Rope Slings”, 2020.
- 5) C. H. Yeom, J. H. Lee and H. Park, “A Study on the Introduction of a Rigging and Slings Certificate System to Reduce a Struck by Object Accidents,” J. Korean Soc. Saf., Vol. 33, No. 5, pp. 92-100, 2018.
- 6) T. Korean, S. Fishries and S. Education, “A Study on the Development of Rigging and Slings Course for Seafarers,” 2017.
- 7) J. W. Lee, I. Phillips and Z. Lynch, “Causes and Prevention of Mobile Crane-related Accidents in South Korea,” International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, pp. 1-10, 2020.
- 8) D. H. Kee and W. K. Kim, “Status of Fatal Crane Accidents and Their Safety Measures.” J. Korean Soc. Saf., Vol. 20, No. 1, pp. 137-142, 2005.

- 9) Korea Occupational Safety & Health Agency, "Technical Guidelines for Grommet and Cable Laid Slings", 2013.
- 10) Wire Rope Technical Board, <https://www.wireropetechnicalboard.org/> (accessed May 23, 2022).
- 11) Wire Rope Technical Board, "Wire Rope Sling Users Manual", Wire Rope Technical Board, U.S.A, pp. 21-24, 1990.
- 12) The International Marine Contractors Association, "Guidance on the Use of Cable Laid Slings and Grommets," 2005. [Online]. Available: www.imca-int.com
- 13) KISROPE, <http://www.kisrope.com/> (accessed May 24, 2022).
- 14) Suhbo, <https://www.suhbo.co.kr/> (accessed May 24, 2022).
- 15) Green Pin, <https://www.greenpin.com/en> (accessed May 24, 2022).
- 16) Unirop Ltd., <https://www.unirop.com/> (accessed May 26, 2022).
- 17) J. H. Kim, "Understanding the Safety and Health Technical guidelines of Korea Occupational Safety & Health Agency", OSH Research Brief, Vol. 4, No. 10, pp. 34-37, 2010.