

과부하 방지를 위한 쐐기형 레일클램프의 지지대 위치 설정

한동섭* · 한근조** · 이성욱***

*동아대학교 BK21총괄사업단

**동아대학교 기계공학과

***동아대학교 대학원 기계공학과

Determining the Position of Supporter to prevent a Overload applied to the Wedge Type Rail Clamp

DONG-SEOP HAN*, GEUN-JO HAN** AND SEONG-WOOK LEE***

*Institute of Dong-A Brain Korea 21, Dong-A Univ., Busan, Korea

**Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A Univ., Busan, Korea

***Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Dong-A Univ., Busan, Korea

KEY WORDS: Container crane 컨테이너 크레인, Rail clamp 레일클램프, Overload 과부하, Supporter 지지대, FEA 유한요소해석

ABSTRACT: The rail clamp is the device to prevent the crane slips along a rail from the wind blast as well as to locate a container crane in the set position during an operating mode. In this study we conduct the research for determining the proper position of supporter to prevent the overload applied to the rail clamp with respect to the wedge angle in the wedge type rail clamp. The friction force between the jaw pad and the rail to prevent that the crane slips along a rail, when the wind blows, is generated by the rail-directional wind load. Accordingly the proper position of the supporter to prevent the overload is determined by analyzing the forces applied to the rail clamp in the wedge working stage. In order to analyze the effect of the wedge angle on the position of supporter, 5-kinds of wedge angles, such as 2, 4, 6, 8, 10°, were adopted as the design parameter, and the wind speed of 40m/s was adopted as the design wind speed criteria.

1. 서 론

대형 컨테이너 크레인의 경우 돌풍이나 태풍으로 인해 발생하는 풍하중은 기존 크레인에 비해 더욱 증대되어 크레인의 전도 모멘트와 레일방향하중을 증가시킨다. 정지해 있던 크레인이 큰 레일방향하중을 받게 되면 레일 방향으로 밀리는 일이 발생하는 데, 한번 밀리기 시작하면 자체의 높은 관성력으로 인하여 이를 정지시키기가 매우 힘들게 되어 대형사고로 이어질 수 있다. 레일클램프는 작업 시 컨테이너 크레인을 정 위치에 고정시킬 뿐만 아니라 돌풍으로 인해 컨테이너 크레인이 레일방향으로 미끄러지는 것을 방지하는 장치다.

쐐기형 레일클램프는 구동단계별로 하중의 전달방식이 다르므로, 작은 압착력으로 레일을 압착하는 초기압착단계(initial clamping stage)와 풍속이 증가함에 따라 쐐기작용에 의해 압착력이 증가하게 되는 쐐기작용단계(wedge working stage)로 나뉘 설계해야 한다. 쐐기작용단계에서 풍속이 계속해서 증가하게 되면 쐐기작용에 의해 레일을 압착하는 압착력이 점점 증가하게 되어 각 부품에 작용하는 하중이 재료의 허용하중을 초과하게 되는 과부하가 발생하게 된다. 이러한 과부하는 부품의 파손을 야기시킬 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 과부하 방지를 위한 지지대를 설치하여야 한다.

지지대의 위치는 쐐기각에 따른 롤러의 밀림거리를 분석한 후 설계기준풍속에 해당하는 하중을 초과하지 않도록 설정해야 한다. 현재 항만에서는 50 ton급 컨테이너 크레인이 주로 사용되고 있으며, 작업 시 설계기준풍속이 40 m/s로 상향조정되었으므로 50 ton급 컨테이너 크레인용 쐐기형 레일클램프를 모델로 하여 40 m/s로 상향 조정된 작업 시 설계기준풍속에 따른 유한요소 해석을 수행하여 쐐기형 레일클램프에서 쐐기각에 따른 밀림거리를 분석하고 지지대의 적정위치를 설정한다. 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS Workbench를 이용하여 각 구조물에 발생하는 응력 및 변형량을 분석하였다.

2. 쐐기각과 밀림거리사이의 관계

2.1 쐐기형 레일클램프의 구동 메커니즘

연구를 위해 사용된 모델은 50ton급 컨테이너 크레인용 레일 클램프로써 조(jaw), 라커(locker), 조 패드(jaw pad), 롤러(roller), 쐐기(wedge), 쐐기프레임(wedge frame), 인장봉(tension bar)의 7개 주요부품으로 구성된다. 레일클램프의 작동원리는 Fig. 1에 나타낸바와 같이 라커의 물림각 설정을 통해 조 패드가 작은 압착력으로 레일을 압착하게 되는 초기압착단계와 풍속이 증가하게 되면 쐐기작용으로 인해 롤러가 회전하면서 조 패드의 압착력을 증가시켜 레일방향으로 크레인이 미끄러지는 것을 방지하는 쐐기작용단계로 나눌 수 있다.

한근조: 부산광역시 사하구 하단2동 840

51-200-7650 gjhan@dau.ac.kr

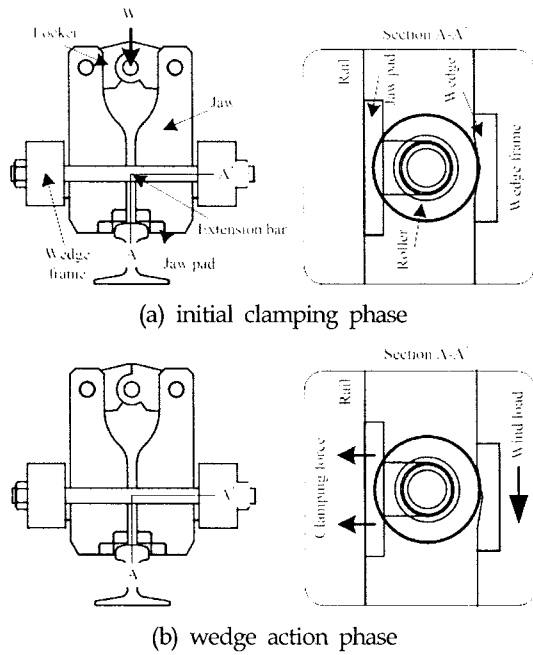


Fig. 1 Operating mechanism of the wedge type rail clamp

2.2 썰기각과 밀림거리사이의 관계

썰기작용단계에서 롤러와 썰기에 작용하는 하중과 롤러의 이동 변위를 Fig. 2에 나타내었다.

설계기준풍속에 해당하는 조 패드의 압착력을 발휘하기 위한 롤러의 밀림거리(D_s)는 아래 식과 같이 롤러의 중심에서 레일클램프의 주요부의 총변형량(δ_{TR})과 썰기각(θ)에 의해서 결정된다.

$$D_s = \frac{\delta_{TR}}{\tan\theta} \quad (1)$$

Fig. 2에서 풍속이 증가함에 따라 레일클램프의 주요부에 발생하는 변형이 증가하게 되는데, 발생하는 변형량의 합만큼 롤러가 썰기의 경사면을 따라 구르면서 x방향(레일에 수직방향)으로 이동하게 된다. 이 때 z방향(레일에 접선방향)으로 이동한 양이 레일클램프의 밀림거리가 된다. 따라서 썰기형 레일클램프의 밀림거리는 레일클램프의 주요 부품에 대한 강도해석을 수행하

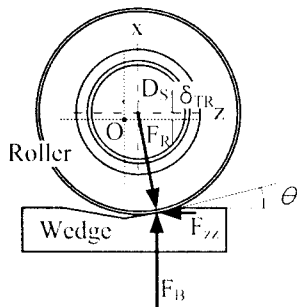


Fig. 2 Total x-directional deformation and sliding distance in the roller center of a wedge type rail clamp

여 각 단품에 발생하는 x방향 변위를 구하고, 롤러의 중심에서의 변위 값으로 환산하여 합산함으로써 얻을 수 있다. 즉, 롤러의 중심을 기준으로 조, 조 패드, 라커의 변위는 양(+)의 값을, 롤러, 썰기, 썰기 프레임, 인장 봉의 변위는 음(-)의 값을 가지므로 x방향 총변위, δ_{TR} 은 아래 식과 같다.

$$\delta_{TR} = \left\{ \delta_{JR} + \frac{(L_{JU}\delta_P + L_{JL}\delta_L)}{L_{JU} + L_{JL}} \right\} - \{ (\delta_R + \delta_W)\cos\theta + \delta_F + \delta_B \} \quad (2)$$

여기서 δ_{JR} 은 조에서 롤러가 부착된 부분의 x방향 변위, δ_P 는 조 패드의 x방향 변위, δ_L 는 라커의 x방향 변위, δ_R 는 롤러의 x방향 변위, δ_W 는 썰기의 x방향 변위, δ_F 는 썰기 프레임의 x방향 변위, δ_B 는 인장 봉의 x방향 변위이고, L_{JU} 와 L_{JL} 는 조의 상부 및 하부길이이다.

3. 유한요소해석

3.1 해석모델

썰기각 변화에 따른 50 ton급 컨테이너 크레인용 썰기형 레일 클램프의 각 단품에 발생하는 x방향 변위를 구하기 위하여 INVENTOR를 사용하여 3D 모델링을 하고 ANSYS를 이용하여 유한요소해석을 수행하였다. 해석에 사용된 요소는 5절점 피라미드 요소를 사용하였으며, 발생 오차가 5% 이내로 수렴하도록 요소망의 크기를 한 번의 길이가 최대 10 mm가 되도록 설정하였으며, Fig. 3에 메시된 형상을 나타내었다.

롤러 핀의 중심을 기준으로 조, 조 패드, 라커의 변위는 양(+)의 값을 가지고, 롤러, 썰기, 썰기 프레임, 인장 봉의 변위는 음(-)의 값을 가지므로 레일클램프의 7가지 주요 부품을 크게 조, 라커, 조 패드로 연결된 조 부분과 롤러, 썰기, 썰기 프레임, 인장 봉으로 이어지는 썰기 부분의 2가지 조립품으로 나눠 해석을 수행하여 롤러의 핀에 발생하는 x방향 변위를 산출하였다.

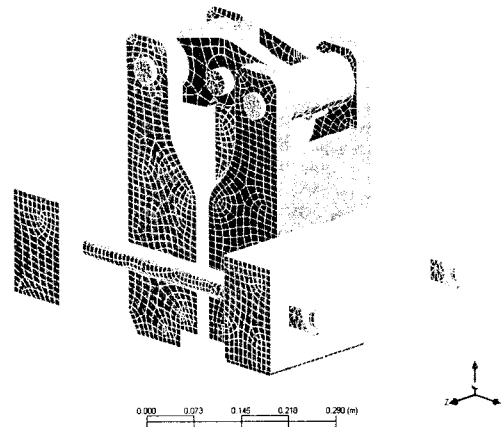


Fig. 3 Meshed shape of main part in the wedge type rail clamp for FEA

Table 1 Forces applied to main part of the wedge type rail clamp with respect to the wedge angle [kN]

Forces	Wedge angle, θ [°]				
	2	4	6	8	10
$F_p = F_z/4\mu_p$	813.3	813.3	813.3	813.3	813.3
$F_L = F_p(L_{JL}/L_{JU})$	301.5	301.5	301.5	301.5	301.5
$F_R = (F_p + F_L)/\cos\theta$	1,115.4	1,117.5	1,120.9	1,125.7	1,131.9
$F_{Rx} = F_R \cos\theta$	1,114.7	1,114.7	1,114.7	1,114.7	1,114.7
$F_{Rz} = F_R \sin\theta$	38.9	77.9	117.2	156.7	196.6
$F_B = F_{Rx}/2$	557.4	557.4	557.4	557.4	557.4

3.2 설계변수 및 하중조건

적정 췌기각에 관한 기존 연구에서 최대 임계췌기각은 10.9° 이므로 40 m/s의 작업 시 설계풍속을 기준으로 50 ton급 컨테이너 크레인용 췌기형 레일클램프의 췌기각(θ)에 따른 밀림거리 변화를 살펴보기 위하여 2, 4, 6, 8, 10°의 5가지 췌기각을 설계변수로 설정하였다.

BS 2573규격에 따르면 풍속(V_0)에 따른 50ton급 컨테이너 크레인의 레일방향 하중, F_z 는 아래 식과 같다.

$$F_z = 1.017 \times V_0^2 \text{ [kN]} \quad (3)$$

40 m/s의 풍속에서 췌기각(θ)에 따른 레일클램프의 주요 부품에 작용하는 하중을 계산하기 위한 식과 계산결과를 Table 1에 나타내었다. 췌기각이 변함에 따라 롤러의 z방향(레일에 접선방향) 하중성분이 변하게 되어 롤러, 췌기, 췌기 프레임에 작용하는 하중은 변하지만, 조, 조 패드, 라커와 인장 봉에 작용하는 하중은 췌기각과는 무관하므로 일정함을 알 수 있다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 췌기각에 따른 레일클램프의 밀림거리

췌기각에 따라 롤러 핀에 발생하는 x방향 변위를 Table 2에 나타내었다. Table 2의 조 부분에서 롤러의 핀의 x방향 변위($\delta_{RP, Jaw part}$)는 식(2)의 앞쪽 중괄호부분이고, 췌기 부분에서 롤러 핀의 x방향 변위($\delta_{RP, Wedge part}$)는 뒤쪽 중괄호부분이 된다.

Table 2를 살펴보면, 췌기각이 2°에서 10°까지 증가함에 따라 조 부분의 x방향 변위는 0.238 mm로 일정하게 나타났다.

Table 2 X-directional displacements of two parts of the rail clamp with respect to the wedge angle [mm]

Response	Wedge angle, θ [°]				
	2	4	6	8	10
$\delta_{RP, Jaw part}$	0.238	0.238	0.238	0.238	0.238
$\delta_{RP, Wedge part}$	-0.901	-0.897	-0.890	-0.898	-0.926

Table 3 Total x-directional displacement and sliding distance with respect to the wedge angle [mm]

Response	Wedge angle, θ [°]				
	2	4	6	8	10
δ_{TR}	1.139	1.135	1.128	1.136	1.164
D_S	32.62	16.23	10.73	8.08	6.60

이는 조, 조 패드, 라커에 작용하는 하중이 췌기각의 변화와 관계없이 일정하기 때문이다. 췌기 부분의 x방향 변위는 -0.901, -0.897, -0.890, -0.888, -1.153 mm로 나타났다. 이는 췌기 부분의 변위 중 췌기각에 가장 큰 영향을 받는 롤러와 췌기의 변형량이 인장 봉이나 췌기 프레임에 비해 매우 적기 때문이다.

롤러 중심에서의 x방향 총변형량(δ_{TR})을 식(2)를 이용하여 계산한 후 식(1)에 대입하면 40 m/s의 설계풍속에서 췌기각에 따른 췌기형 레일클램프의 밀림거리를 구할 수 있으며, Table 3에 췌기각에 따른 롤러의 중심에서의 x방향 총변형량과 밀림거리를 나타내었다.

Table 3을 살펴보면, 롤러 중심에서 x방향 총변형량은 췌기각이 2°에서 10°까지 2°간격으로 증가함에 따라 1.139, 1.135, 1.128, 1.136, 1.164 mm로 감소하다가 증가하였으나 변화량은 1.135 mm를 기준으로 미미하였다. 따라서 40 m/s의 풍속에서 췌기형 레일클램프의 x방향 총변형량은 췌기각에 관계없이 1.135 mm라고 두면, 40 m/s의 설계풍속에서 50 ton급 컨테이너 크레인용 췌기형 레일클램프의 췌기각에 따른 밀림거리(D_S)는 식(1)로부터 췌기각(θ)에 대한 코탄젠트(cotangent) 함수로 나타낼 수 있다.

$$D_S = 1.135 \cot\theta \text{ [mm]} \quad (4)$$

이 식은 풍속증가 시 췌기형 레일클램프에 발생하는 과부하를 방지하기 위한 지지대 위치 설정을 위한 조건에 응용된다.

4.2 과부하 방지를 위한 지지대 위치

췌기형 레일클램프는 초기에는 작은 압착력으로 레일을 압착하고 있다가 풍속이 증가하게 되면 바람에 의해서 췌기가 롤러를 굴러 레일을 큰 힘으로 압착시키게 된다. 따라서 컨테이너 크레인을 레일방향으로 미끄러지지 않도록 하는 조 패드와 레일 사이의 마찰력(F_{fP})는 컨테이너 크레인의 레일방향 풍하중(F_z)에 의해서 발생하게 되며, 췌기형 레일클램프의 구조상 이 때 지지대를 설치하지 않는다면, 레일클램프의 각 부품에 과하중이 작용하게 되어 파괴에 이를 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위하여 지지대를 설치하여야 한다. 췌기 1개에 작용하는 레일방향 풍하중(F_{zz})에 의한 조 패드와 레일사이의 마찰력, F_{fP} 는 아래 식과 같다.

$$F_{fP} = \frac{L_{JU}}{L_{JU} + L_{JL}} \frac{\mu_P}{\tan\theta} F_{zz} \quad (5)$$

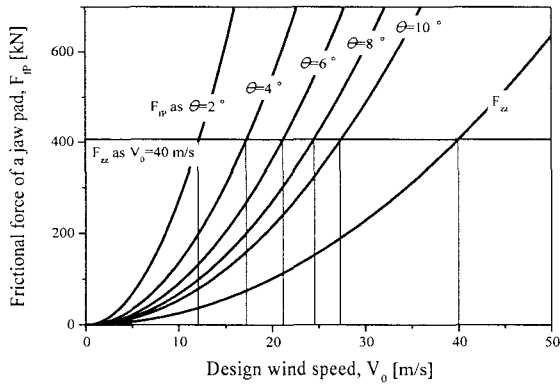


Fig. 4 Wind load and friction force of a jaw pad with respect to the wind speed and the wedge angle

식(5)를 살펴보면, 조 패드와 레일사이의 마찰력은 조의 전체 길이($L_{JU} + L_{JL}$)에 대한 상단부의 길이(L_{JU})의 비와 조 패드와 레일사이의 마찰계수(μ_p)가 결정되면, 쐐기각(θ)에 대한 함수가 됨을 알 수 있다.

Fig. 4에 2, 4, 6, 8, 10°의 쐐기각에서 풍속에 따른 마찰력 (F_{fp})과 풍하중(F_{zz})을 나타내었다. 만약 쐐기각이 조가 미끄러 지지 않을 임계 쐐기각인 20.54°라면, 풍속에 따른 풍하중과 마찰력의 곡선은 일치하게 될 것이다. 그러나 조가 전도되지 않을 조건으로부터 최대 임계 쐐기각은 10.9°를 넘지 않도록 설정되므로, Fig. 4에서와 같이 임의의 풍속에서 조 패드의 마찰력은 쐐기 1개에 작용하는 풍하중보다 항상 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 풍속이 40 m/s에 이르기 전에 40 m/s의 풍속에 해당하는 컨테이너 크레인의 레일방향 하중에 해당하는 조 패드와 레일사이의 마찰력이 발생하게 된다는 것을 의미한다. 즉, 40 m/s 가 될 때까지 롤러가 쐐기의 경사면을 따라 계속해서 구르게 되어 각 부품에 설계기준 보다 큰 과하중이 작용하게 되므로 구조적으로 매우 불안정하게 되어 주요 부품의 파손이 유발될 수 있다. 따라서 이러한 현상이 발생하지 못하도록 지지대를 설치해야 한다. 조 패드의 압착력(F_p)은 레일클램프 주요 부품의 변형에 의한 내부 변형에너지에 의해서 발휘되므로, 과부하 방지를 위한 지지대의 위치는 식(4)에 나타난 40 m/s의 풍속에서 요구되는 쐐기각에 따른 롤러의 밀림거리와 같게 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 50ton급 컨테이너 크레인용 쐐기형 레일클램프

의 과부하 방지를 위한 지지대의 위치를 결정하기 위하여 쐐기각에 따른 레일클램프의 밀림거리를 분석하고 유한요소해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 롤러 중심에서 x방향 총변형량은 쐐기각이 2°에서 10°까지 2°간격으로 증가함에 따라 1.139, 1.135, 1.128, 1.136, 1.164 mm로 감소하다가 증가하였으나 변화량은 1.135 mm를 기준으로 미미함을 알 수 있었다.

(2) 쐐기형 레일클램프의 밀림거리(D_s)는 쐐기각(θ)에 대한 코탄젠트(cotangent) 함수로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_s = 1.135 \cot \theta \quad [\text{mm}]$$

이 식은 풍속증가 시 쐐기형 레일클램프에 발생하는 과부하를 방지하기 위한 지지대 위치 설정을 위한 조건에 응용될 수 있다.

(3) 본 연구를 통하여 유도된 설계식은 다양한 용량의 컨테이너 크레인용 레일클램프의 설계를 위한 기본적인 프로세서를 확립하는데 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 기상청 (2005). 부산에서 매년 최대순간풍속의 변화.
 한근조, 이호, 심재준, 한동섭, 안찬우, 전영환 (2004). "컨테이너 크레인용 쐐기형 레일 클램프의 쐐기각에 대한 연구," 한국정밀공학회지, 제21권, 제9호, pp 119-126.
 해양수산부 (2000). 항만시설장비검사기준, [별표 4].
 British Standards UK. BS2573.
 Hanjin Heavy Industries & Construction Co., Ltd. Plant Engineering Department (2000). Structural & Mechanical Calculation for 50Ton Container Crane for Busan Port.
 Oh, G. (2000). "Effective Clamping Force Measuring System for Spring Clamps," J. of KSPE, Vol 17, No 10, pp 95-101.

2000년 0월 0일 원고 접수

2000년 0월 0일 최종 수정본 채택