

설계 풍속 상향 조정에 따른 Quay crane용 제용량 썰기형 레일 클램프 설계

이정명*(동아대 대학원 기계공학과), 한근조(동아대 기계공학과)
심재준, 한동섭, 이성욱(동아대 대학원 기계공학과)

Design of the Various Capacity Wedge-type Rail Clamp for a Quay crane According to the Design Wind Speed Criteria Change

J. M. Lee(Dept. of Mech. Eng., Graduate school, DAU), G. J. Han(Dept. of Mech. Eng., DAU)
J. J. Shim, D. S. Han, S. W. Lee(Dept. of Mech. Eng., Graduate school, DAU)

ABSTRACT

Recently many countries have concentrated their effort on the port automation, in order to be the Hub-port, that the Ultra Large Container Ship could come alongside the Quay, in their region. As the magnitude of the container ship increase, that of the Quay crane increases from 50ton-class to 61ton-class more and more. The wind speed criteria to design the structures used in the port was upgraded from 20m/s to 40m/s due to change of the weather condition. Our laboratory could have the ability to design the wedge type rail clamp for 50ton-class Quay crane in 30m/s wind speed. Accordingly we analyzed the load condition of the Quay crane about 40m/s wind speed upgraded from 20m/s and designed the wedge type rail clamp for 50ton and 61ton-class Quay crane.

Key Words : Design wind speed (설계 풍속), Quay crane (컨테이너 크레인), Various capacity (제용량), Rail clamp (레일 클램프), Wedge (썰기), Wedge angle (썰기각), Jaw (조)

1. 서론

세계 무역규모의 성장과 더불어 컨테이너선을 이용한 물동량이 증가하고 있다. 이에 따라 컨테이너 선박이 대형화 되고 있으며, 컨테이너 크레인의 규모 또한 대형화 되고 있는 추세이다. 컨테이너선 박이 부두에 접안하면 컨테이너의 양·하역을 위해 Quay crane은 레일을 따라 이동하면서 작업을 하는데, 이 때 갑자기 발생하는 돌풍 등에 의해서 크레인이 레일 방향으로 밀리는 현상이 발생한다.

작업 중에 발생하는 크레인의 밀림 현상을 방지하기 위해서 크레인에 레일 클램프(rail clamp)를 설치한다. 레일 클램프는 크레인의 계류 장치 중의 하나로 레일 클램프의 프레임과 연결된 조(jaw)의 지렛대의 원리에 의해 작동하는데 바람이 불지 않을 때에는 조 패드(jaw pad)가 레일 측면을 작은 힘으로 가압하고 있다가 돌풍 등에 의해 크레인이 풍하중에

반으면 롤러(roller)가 썰기(wedge)의 경사면을 따라 이동하면서 풍하중에 상응하는 힘으로 조 패드가 레일 측면을 더욱더 강하게 가압한다. 이러한 썰기의 메카니즘에 의해 레일 클램프가 작동하는 썰기형 레일 클램프의 설계에 있어서 핵심사항은 적정 썰기각을 설정하는 것이다. 빈번히 발생하는 폭풍 등의 기상이변으로 국내의 풍하중에 대한 설계 기준이 강화되었으며, 작업 시 크레인의 설계 최대 풍속은 20m/s에서 40m/s로, 계류 시 크레인의 설계 최대 풍속은 50m/s에서 70m/s로 상향 조정되었다.

본 연구팀에서는 국내 H社와 공동으로 30m/s의 풍하중에 기준한 50ton급 Quay crane용 썰기형 레일 클램프를 설계, 제작하고 시험 평가를 통해 상용화에 성공하였다. 이러한 설계 기술력을 바탕으로 40m/s로 상향 조정된 설계 기준에 맞는 썰기형 레일 클램프 및 다양한 용량의 Quay crane에 사용 가능한 썰기형 레일 클램프를 설계하여 제시하고자 한다.

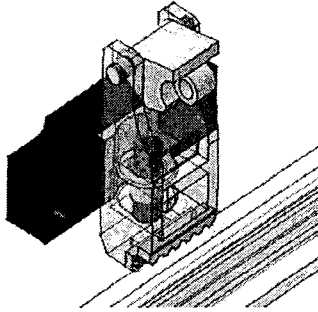


Fig. 1 Assembly diagram of the main part of the rail clamp

2. 썰기형 레일 클램프의 최대 썰기각 설정

2.1 크레인의 미끄러짐 방지를 위한 조건

[조건 1] 롤러가 썰기의 경사면을 구르지 않을 평형조건 : 썰기의 경사면에 수직한 롤러의 하중(F_R)이 썰기 하나에 작용하는 레일 방향의 풍하중(F_{ZZ})과 인장 봉(extension bar)의 압착하중(F_B)의 합력과 같을 것

$$F_R \sin \theta = F_{ZZ} \quad (2)$$

[조건 2] 레일 클램프가 미끄러지지 않을 평형조건 : [조건 1]에서 계산된 롤러의 레일방향 하중(F_{Rt})에 의한 조 패드와 레일 사이의 마찰력(μF_p)이 썰기 하나에 작용하는 레일 방향의 풍하중(F_{ZZ})보다 클 것.

$$\mu F_p \geq F_{ZZ} \quad (3)$$

[조건 1]과 [조건 2]를 동시에 만족하는 썰기각은 [조건 2]의 F_p 와 [조건 1]의 F_R 의 상관관계에 의해서 결정된다.

$$F_p = \frac{L_1}{L_1 + L_2} \frac{F_R}{\cos \theta} \quad (4)$$

식(1), (2), (3)에 의해서 레일 클램프가 레일방향으로 미끄러지지 않을 임계 썰기각, θ_{CT} 는

$$\theta_{CT} = \tan^{-1} \left(\frac{\mu L_1}{L_1 + L_2} \right) \quad (5)$$

이다. 여기서, 썰기각(θ_{CT})은 풍속과 크레인의 용

량에 따른 풍하중에는 관계가 없음을 알 수 있다. 따라서 조 패드와 레일의 마찰계수(μ)가 0.5, 조의 상단부 길이(L_1)가 $3L/4$, 조의 하단부 길이(L_2)가 $L/4$ 로 설정될 경우 크레인의 용량과 관계없이 임계 썰기각(θ_{CT})은 20.6°이다

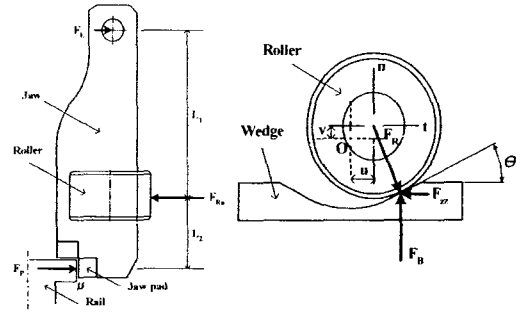


Fig. 2 Free body of the main part of the rail clamp to determine the critical wedge angle for the translation of the crane

2.2 조의 전도방지를 위한 조건

[조건 3] 조 패드의 저항 모멘트(M_p)가 롤러의 레일방향 하중성분(F_{Rt})이 조를 전도시킬 모멘트(M_j)보다 클 것

$$M_p \geq M_j \quad (6)$$

조 패드의 저항 모멘트, M_p 는

$$M_p = \frac{\mu G_p F_p}{A_p} \quad (7)$$

이고, 롤러의 레일방향 하중성분(F_{Rt})이 조를 전도시킬 모멘트, M_j 는이고, 롤러의 레일방향 하중성분(F_{Rt})이 조를 전도시킬 모멘트, M_j 는

$$M_j = F_{Rt} L_2 = \frac{L_2 (L_1 + L_2)}{L_1} F_p \tan \theta \quad (8)$$

이다. 식(6), (7), (8)에서 조가 전도되지 않을 임계 썰기각, θ_{CR} 는 다음 식이 된다.

$$\theta_{CR} \leq \tan^{-1} \frac{\mu G_p}{A_p} \frac{L_1}{L_2 (L_1 + L_2)} \quad (9)$$

여기서 μ 는 조 패드와 레일 사이의 마찰계수, A_p

는 조 패드의 단면적, G_p 는 조 패드의 단면 1차 모멘트 성분이고 L_1 은 조의 상단부의 길이, L_2 는 조의 하단부의 길이이다.

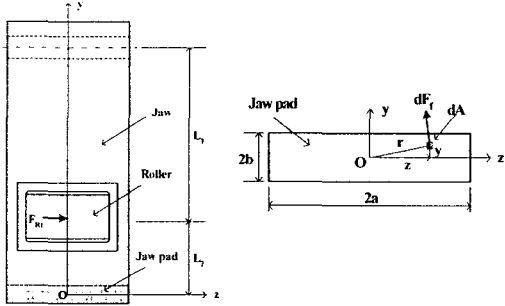


Fig. 3 Free body of the main part of the rail clamp to determine the critical wedge angle for the rotation of the crane

40m/s 풍속에서 50ton 및 61ton급 크레인용 레일 클램프의 조와 조 패드의 설계 치수를 Table 1에 나타내었다. 조 패드와 레일 사이의 마찰계수(μ)는 0.5이다.

Table 1 Determine of the jaw and jaw pad in the rail clamp with respect to the capacity of the quay crane

Capacity [ton]	A_p [mm ²]	G_p [mm ³]	L_1 [mm]	L_2 [mm]
50	7000	361.690	315	105
61	7700	435.429	345	115

50ton급 크레인용 레일 클램프에서 조가 전도되지 않을 임계 췌기각(θ_{CR})은 10.5°이고 61ton급 크레인용 레일 클램프에서 임계 췌기각(θ_{CR})은 10.4°이다. 따라서 40m/s 풍속에서 [조건 1], [조건 2], [조건 3]을 모두 고려했을 때 50ton급 Quay crane용 레일 클램프에서 췌기의 최대 임계각 θ_{CR} 는 10.5° 61ton급 Quay crane용 레일 클램프에서 췌기의 최대 임계각 θ_{CR} 는 10.4°가 된다

3. 췌기형 레일 클램프의 최소 췌기각 설정

3.1 최소 췌기각 설정을 위한 레일 클램프 모델

평형상태-롤러가 충분히 회전하여 췌기에 의한 압착력이 조 패드의 요구 마찰력을 만족한 상태일 때 하중조건을 분석하여 레일 클램프 각 단품의 최소 안전율이 항만시설 장비검사기준을 만족하도록 설계한다. 다음으로 범용 유한요소해석 프로그램인

ANSYS 8.1을 이용하여 강도해석을 수행하여 얻은 각 단품의 변형량을 계산한다.

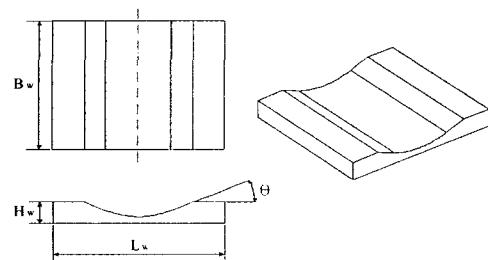
Fig. 2의 오른쪽 그림에서 롤러가 췌기를 올라탈 때 레일에 수직방향(n축)의 이동변위(v)는 레일 클램프의 각 단품의 변형량의 합(δ_T)이므로 다음과 같이 정의된다.

$$\delta_T = \frac{L_1}{L_1 + L_2}(\delta_{JL} + \delta_P) + \frac{L_2}{L_1 + L_2}\delta_L + (\delta_R + \delta_W)\cos\theta + \delta_F + \delta_B \quad (10)$$

여기서, L_1 은 조의 상단부의 길이, L_2 는 조의 하단부의 길이, δ_{JL} 는 조의 하단부의 변형량, δ_P 는 조 패드의 변형량, δ_L 는 락커의 변형량, δ_R 는 롤러의 변형량, δ_W 는 췌기의 변형량, δ_F 는 췌기 프레임의 변형량, δ_B 는 인장봉의 변형량을 나타낸다. 평형상태에서 총 변형량(δ_T)와 크레인의 레일방향 제동거리(L_B)사이의 관계에서 최소 임계 췌기각, θ_{Cs} 는 다음 식이 된다.

$$\theta_{Cs} \geq \tan^{-1}\left(\frac{\delta_T}{L_B}\right) \quad (11)$$

Fig. 4는 작업 시 최대 설계 풍속 40m/s의 조건에서 50ton급 및 61ton급 Quay crane용 췌기형 레일 클램프의 주요 부품 중 췌기의 형상과 치수를 나타낸 것이다.



Capacity [ton]	B_w [mm]	H_w [mm]	L_w [mm]	θ [°]
50	150	25	162	10
60	165	27	178	10

Fig. 4 Diagram of the wedge in the rail clamp with respect to the capacity of the Quay crane

3.2 유한요소해석을 통한 최소 췌기각 설정

40m/s의 풍속에서 50ton급 및 61ton급 Quay crane

용 썰기형 레일 클램프의 풍하중은 각각 153.72ton과 177.99ton이며, 레일 클램프에 대한 강도해석결과를 Table 3와 Table 4에 각각 나타내었다.

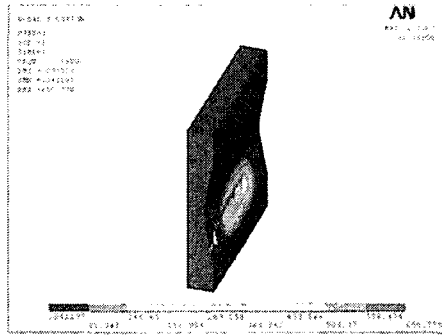


Fig. 5 FEM of the wedge in the rail clamp with respect to the capacity of the Quay crane

Table 3 Strength and stiffness analysis results of the main part of the rail clamp [50ton]

No.	Part name	σ_{max} (MPa)	Safety factor	δ (mm)
1	Jaw	503.63	1.64	0.200
2	Jaw pad	458.22	1.63	0.064
3	Locker	109.81	3.64	0.010
4	Roller	545.18	1.37	0.097
5	Wedge	578.54	1.22	0.077
6	Frame	220.96	1.81	0.197
7	Bar	399.60	1.96	1.142

Table 4 Strength and stiffness analysis results of the main part of the rail clamp [61ton]

No.	Part name	σ_{max} (MPa)	Safety factor	δ (mm)
1	Jaw	329.69	2.50	0.139
2	Jaw pad	544.03	1.37	0.058
3	Locker	102.85	3.89	0.014
4	Roller	572.73	1.30	0.061
5	Wedge	583.95	1.21	0.066
6	Frame	199.64	2.00	0.226
7	Bar	382.39	2.05	1.202

40m/s 풍속에서 50ton급 Quay crane용 레일 클램프의 강도해석 결과를 고려하면 최소 썰기각, θ_{C6} 는 3.92°이고 61ton급 Quay crane용 레일 클램프의 경우 최소 썰기각, θ_{C5} 는 3.90°이다 40m/s의 풍속에서 최대 썰기각과 최소 썰기각 조건을 고려한 결과 50ton급 및 61ton급 크레인용 레일 클램프의 썰기각은 모

두 10°로 설정하였다

4. 결론

본 연구에서는 기상변화 등으로 인한 설계 풍속 상향 조정에 따른 Quay crane용 제용량 썰기형 레일 클램프의 설계를 위한 프로세스 중 썰기각 설정을 위한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 썰기형 레일 클램프의 최대 썰기각은 조가 레일 방향으로 미끄러지지 않을 조건과 회전하지 않을 조건을 이용하여 결정하고

2. 조가 회전하지 않을 임계 썰기각은 50ton급 Quay crane용 레일 클램프의 경우 10.5°, 61ton급 Quay crane용 레일 클램프의 경우 10.4°로 나타났다

3. 썰기형 레일 클램프의 최소 썰기각은 주요 단품인 조, 조 패드, 락커, 롤러, 썰기, 썰기 프레임, 인장봉의 7가지 단품의 변형량의 조합에 의해 결정되며, 최대 미끌림 거리를 25mm로 하였을 경우 최소 썰기각은 50ton급 Quay crane용 레일 클램프는 3.92°, 61ton급 Quay crane용 레일 클램프는 3.90°임을 알 수 있다.

4. 40m/s의 풍속에서 최대 및 최소 썰기각 조건을 고려한 결과 최종 썰기각은 모두 10°로 설정하였다

5. 본 연구를 통하여 설계 풍속 상향 조정에 따른 Quay crane용 제용량 썰기형 레일 클램프의 설계를 위한 프로세스를 확립할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. 해양수산부, 항만시설장비검사기준, 2000.
2. Oh, Gi-Seck, "Effective Clamping Force Measuring System for Spring Clamp," J. of KSPE, Vol. 17, No. 10, pp.95~ 101, 2000.
3. 한근조, 이호, 심재준, 한동섭, 안찬우, 건영환, "컨테이너 크레인용 썰기형 레일 클램프의 썰기각에 대한 연구," 한국정밀공학회지, 제21권, 제9호, pp. 119~ 126, 2004.
4. "현대부산컨테이너터미널 컨테이너 크레인 정비 지침서(기계/구조)," 현대중공업주식회사.
5. "신선대부두 컨테이너 크레인 구조계산서," 대우중공업주식회사.
6. 오세욱, "재료역학," 동명사, 1998.