

설계풍속 상향조정에 따른 레일클램프의 썸기각에 대한 연구

이정명*, 한동섭*, 이성욱*, 심재준**, 한근조#

A Study on the Wedge Angle of the Rail Clamp according to the Change of the Design Wind Speed Criteria

Jung Myung Lee*, Dong Seop Han*, Seong Wook Lee*, Jae Joon Shim** and Geun Jo Han#

ABSTRACT

The rail clamp is very important device to prevent that a container crane slips along a rail due to the wind blast as well as to locate the crane in the set position during an operating mode. Recently, the design wind speed criteria were intensified from the wind speed of 16m/s to 35m/s during an operating mode, and from 50m/s to 75m/s during a stowed mode in Korea, according to the 'Inspection Criteria for Facilities and Equipments in Port' reformed after typhoon 'Maemi'. In order to design the wedge type rail clamp for the reinforced design wind speed criteria of 35m/s, we carried out the finite element analysis of the rail clamp with respect to the wedge angle, and analyzed the relationship between the wedge angle and the sliding distance of the rail clamp.

Key Words : Cargo-handling system (항만하역장비), Container crane (컨테이너 크레인), Design wind speed criteria (설계풍속기준), FEA (유한요소해석), Rail clamp (레일클램프), Wedge angle (썸기각)

1. 서론

컨테이너의 양·하역작업을 위해 컨테이너 크레인은 차폐물이 거의 없는 항만에 사용되고 있으며, 50ton급 컨테이너 크레인의 경우 계류 시 높이가 최대 100m에 달하게 되므로 바람에 매우 큰 영향을 받게 된다.¹ 최근 엘리노 등 기상환경의 변화로 돌풍이나 태풍 발생 시 순간 최대풍속이 점점 증가하고 있으며, 이와 같은 풍속의 증가는 컨테이너 크레인의 전도모멘트와 레일방향 하중을 증가시

켜 컨테이너 크레인의 붕괴사고를 유발하게 된다.² 레일클램프는 작업 시 컨테이너 크레인을 정해진 위치에 고정시킬 뿐 아니라 돌풍으로 인해 컨테이너 크레인이 레일방향으로 미끄러지는 것을 방지하는 장치로써 구동방식에 따라 스프링형, 유압형, 썸기형으로 나눌 수 있으며, 압착방식에 따라 레일의 상부를 압착하는 방식과 레일의 측면을 압착하는 방식으로 나눌 수 있다. 스프링이나 유압형은 요구되는 최대 압착력으로 지속적으로 구동해야하기 때문에 큰 압착력으로 인한 구조적 안정성 및 내구성

* 접수일: 2005년 11월 30일; 게재승인일: 2006년 11월 9일
* 동아대학교 대학원 기계공학과
** 부산정보대학 자동차·기계계열
교신저자: 동아대학교 기계공학부
E-mail gjhan@dau.ac.kr Tel. (051) 200-7650

이 약한 문제점을 안고 있으나, 썰기형은 초기에는 작은 하중으로 레일을 압착하다가 풍속이 증가하면 썰기작용에 의해 압착력이 증가하는 구조적으로 매우 안정된 방식이라고 할 수 있다. 또한 레일의 상부를 압착하는 방식은 안벽 지반의 침하현상을 발생시킬 수 있으므로 레일의 측면을 압착하는 방식이 구조적으로 안정하다고 할 수 있다. 스프링형은 레일의 측면을 압착하는 형태이고, 유압형은 레일의 상부 또는 측면을 압착하며, 썰기형은 레일의 측면을 압착하는 방식을 채택하고 있다. 따라서 태풍이나 돌풍이 잦은 우리나라 항만에서는 내구성이 높고, 지반에 영향을 주지 않으면서도 큰 압착력을 발휘할 수 있는 썰기형 레일 클램프를 사용하는 것이 가장 효율적이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 태풍 ‘매미’로 인한 붕괴사고 이후 작업시 20m/s에서 35m/s로, 계류시 50m/s에서 75m/s로 각각 상향조정된 항만시설장비검사기준³의 설계풍속기준에 대해 50ton급 컨테이너 크레인용 썰기형 레일 클램프를 모델로 하여 썰기각에 따른 유한요소해석을 수행하였으며 썰기각과 레일클램프의 밀림거리 사이의 관계를 분석하였다.

2. 썰기형 레일클램프의 하중 분석

2.1 썰기형 레일클램프의 구조

Fig. 1은 썰기형 레일 클램프의 주요부의 형상을 나타내었다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 썰기형 레일 클램프의 작동 메카니즘은 크게 초기압착단계, 썰기작용단계의 2단계로 나눌 수 있다.

초기압착단계에서는 Fig. 2(a)의 왼쪽 그림에 나타낸 바와 같이 중추무게, W에 의해 락커(locker)가 하강하면서 위에 있는 조 패드(jaw pad)가 레일의 상부면에 부딪히게 되고 계속해서 락커의 경사각이 줄어들면서 Fig. 2(b)의 오른쪽 그림과 같이 옆에 있는 조 패드가 레일의 측면에 부딪힌 후 작은 압착력으로 초기압착을 하게 되어 컨테이너 크레인을 작업위치에 고정시키게 된다.

썰기작용단계에서는 Fig. 2(b)의 오른쪽 그림에 나타낸 바와 같이 풍속이 증가하게 되면 크레인의 레일방향 하중이 증가하여 크레인과 연결된 썰기 프레임(wedge frame)이 레일방향으로 밀리게 된다. 이 때 썰기 프레임에 부착된 썰기(wedge)가 롤러(roller)를 회전시키면서 롤러가 썰기의 경사면을 따라 구르게 되는 썰기작용을 발생시켜 조 패드의 압

착력을 점점 증가시켜 컨테이너 크레인이 레일방향으로 미끄러지는 것을 방지하게 된다.

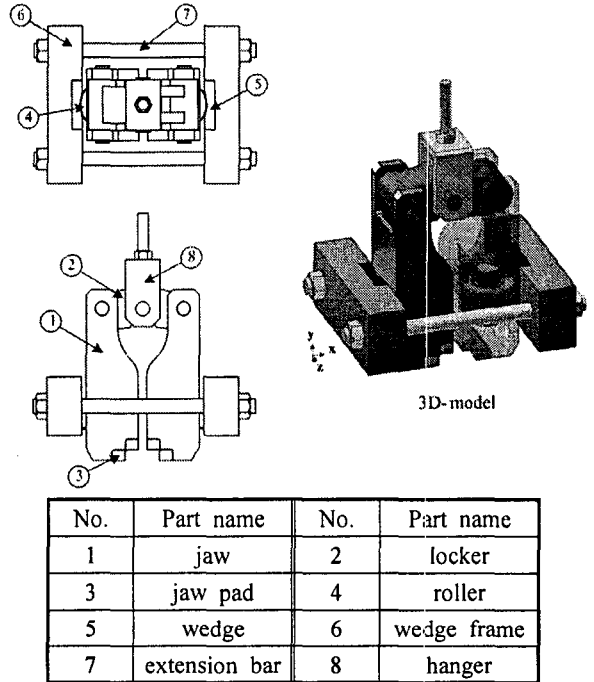
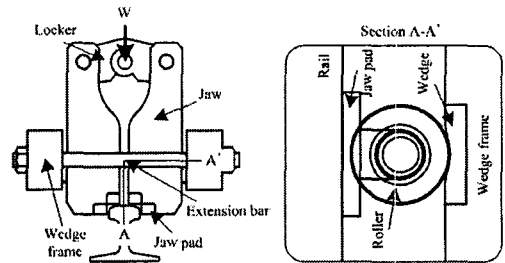
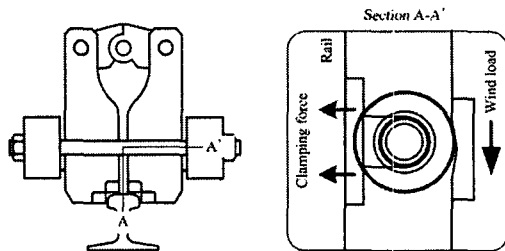


Fig. 1 Main part of the wedge type rail clamp



(a) initial clamp stage



(b) wedge working stage

Fig. 2 Operating mechanism of the rail clamp

2.2 썰기형 레일클램프에 작용하는 하중분석

레일 클램프는 컨테이너 크레인이 레일방향으로 미끄러지는 것을 방지하는 장치이므로 풍속에 따른 컨테이너 크레인의 레일방향 풍하중만을 고려하였다. 컨테이너 크레인의 설계기준에는 여러 가지가 있지만 그 중 가장 가혹한 조건인 영국의 크레인 설계기준인 BS 2573 규격으로 풍하중을 계산하였다.⁴ BS 2573 규격을 따를 때, 바람에 의해 발생하는 컨테이너 크레인의 레일방향 풍하중, F_Z 는 아래 식과 같다.

$$F_Z = C_{TZ} \cdot q_0 \cdot A \tag{1}$$

여기서 C_{TZ} 는 레일방향 풍력계수, q_0 는 높이(h)에 따른 풍압계수, A는 수평면적이다. 높이(h)에 따른 풍압계수, q_0 는 아래 식과 같다.

$$q_0 = \frac{1}{2} \rho V_0^2 \left(\frac{h}{20} \right)^{0.16} \tag{2}$$

여기서 ρ 는 공기밀도, V_0 는 기준풍속이다.

썰기형 레일 클램프의 각 단품에 작용하는 하중은 다음과 같다. 조 패드의 압착력(F_P)은 바람에 의해 발생하는 컨테이너 크레인의 레일방향 풍하중(F_Z)에 의해 크레인이 레일방향으로 미끄러지지 않도록 하기 위한 마찰력을 발생시키는 수직력으로서 다음과 같이 계산할 수 있다. 컨테이너 크레인에는 2기의 레일 클램프가 설치되고 레일 클램프 1기에는 2개의 압착면(레일과 조 패드 사이의 마찰면)이 존재하므로 조 패드 1개가 부담해야할 풍하중(F_{ZZ})은 $F_Z/4$ 가 된다. 따라서 조 패드에 작용하는 압착력, F_P 는 아래 식과 같다.

$$F_P = \frac{F_{ZZ}}{\mu_p} = \frac{F_Z}{4\mu_p} \tag{3}$$

여기서 μ_p 는 조 패드와 레일의 마찰계수이다.

조에 작용하는 하중을 분석하기 위하여 Fig. 3에 썰기각에 따른 레일 클램프의 주요부에 대한 자유물체도를 나타내었다. 초기압착단계에서는 라커

의 압축력(F_L)이 조의 상단에 작용되고, 롤러에 의해 지지되면서 지렛대의 원리로 조 패드의 압착력(F_P)이 발휘된다. 썰기작용단계에서는 롤러에 의한 하중(F_{Rx})이 조에 작용되고 라커에 의해 지지되어 조 패드의 압착하중이 발휘된다. 즉, 두 가지 모두 조의 굽힘에 의해 발휘되므로 조 패드의 압착력(F_P) 발휘를 위한 라커의 하중, F_L 은 아래 식과 같다.

$$F_L = \left(\frac{L_{JL}}{L_{JU}} \right) F_P \tag{4}$$

또 롤러의 x방향 하중, F_{Rx} 는 아래 식과 같다.

$$F_{Rx} = F_P + F_L = \left(1 + \frac{L_{JL}}{L_{JU}} \right) F_P \tag{5}$$

여기서 L_{JU} 는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 조의 상단부의 길이, L_{JL} 는 조의 하단부의 길이이다.

조 패드의 압착력을 발휘하기 위한 롤러의 x방향 하중(F_{Rx})이 작용되면 Fig. 3(b)와 같이 썰기각(θ)에 따른 롤러와 썰기의 접촉면에 수직하게 작용하는 하중, F_R 은 아래 식과 같다.

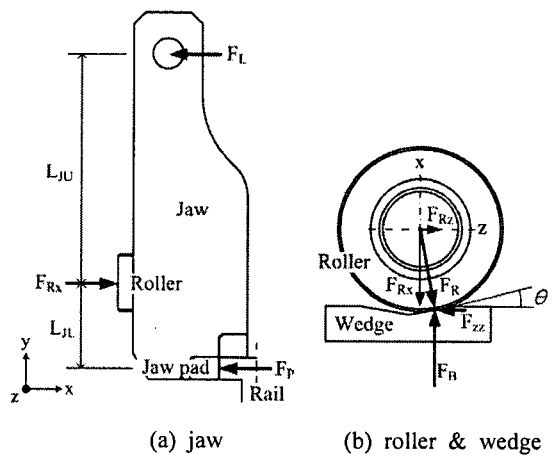


Fig. 3 Free body diagram for load analysis of main part of the wedge type rail clamp with respect to the wedge angle

$$F_R = \frac{F_{Rx}}{\cos\theta} \quad (6)$$

여기서 θ 는 썸기각을 나타낸다. 이 힘은 썸기에 작용하는 수직하중이 된다. 또한 롤러의 레일방향 하중, F_{Rz} 는 아래 식과 같다.

$$F_{Rz} = F_{Rx} \tan\theta \quad (7)$$

썸기 프레임의 경우 롤러의 x, z방향 하중을 썸기의 부착면에 각각 작용시키게 되고, 썸기 프레임은 두 개의 인장 봉으로 지지되므로 한 개의 인장 봉에 작용하는 하중, F_B 는 아래 식과 같다.

$$F_B = \frac{F_{Rx}}{2} \quad (8)$$

3. 레일 클램프의 최대 썸기각 설정

50ton급 컨테이너 크레인용 썸기형 레일 클램프에서 원활한 썸기작용을 위해서는 조가 레일방향으로 미끄러지지 않아야 하는 조건과 조가 전도되지 않아야 하는 조건이 모두 만족되어야 한다. 이 두 조건으로부터 최대 썸기각을 결정할 수 있다.⁵

3.1 조 패드의 미끄러짐 방지를 위한 조건

썸기작용단계에서 레일 클램프의 주요부에 작용하는 하중상태는 Fig. 3에 나타낸 바 있다. 썸기작용단계에서 썸기각이 클 경우 썸기에 작용하는 하중의 x방향(레일에 수직방향)성분에 의한 마찰력보다 z방향(레일에 접선방향)성분의 힘이 더 크게 되고 이로 인해 조가 레일방향으로 밀리게 되어 썸기작용을 할 수 없으므로 이러한 현상을 방지하기 위한 최대 썸기각을 설정해야 한다. 바람에 의해서 조가 레일 방향으로 미끄러지지 않기 위한 조건은 다음과 같다.

[조건 1] 썸기면에 수직한 롤러의 하중(F_R)이 썸기 1개에 작용하는 레일방향의 풍하중(F_{ZZ})과 인장 봉의 압착하중(F_B)의 합력과 같을 것.

$$F_R \sin\theta = F_{ZZ} \quad (9)$$

[조건 2] 조건 1에서 계산된 롤러의 레일방향 하중(F_{Rz})에 의한 조 패드와 레일 사이의 마찰력($\mu_P F_P$)이 썸기 하나에 작용하는 레일방향의 풍하중(F_{ZZ})보다 클 것.

$$\mu_P F_P > F_{ZZ} \quad (10)$$

썸기작용단계에서 조 패드의 압착력은 롤러의 수직하중(F_R)에 의해서 발생하므로 조 패드의 압착력, F_P 는 아래 식과 같다.

$$F_P = \frac{L_{JU}}{L_{JU} + L_{JL}} F_R \cos\theta \quad (11)$$

식(9), (11)을 식(10)에 대입하여 정리하면 레일 클램프가 레일방향으로 미끄러지지 않을 임계 썸기각, θ_{CT} 는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{CT} < \tan^{-1} \left(\frac{\mu_P L_{JU}}{L_{JU} + L_{JL}} \right) \quad (12)$$

즉, 조 패드가 밀리지 않을 임계 썸기각(θ_{CT})은 조 패드와 레일 사이의 마찰계수(μ_P)와 조의 전체길이($L_{JU} + L_{JL}$)에 대한 조의 상단부의 길이(L_{JU})의 비에 관한 식이므로 풍속(V_0)과 크레인의 용량에 의해 발생하는 풍하중과는 관계가 없으며, 임계 썸기각을 키우기 위해서는 조의 상단부와 하단부의 길이비(L_{JU}/L_{JL})를 키워야 함을 알 수 있다.

여기서 μ_P 는 조 패드와 레일의 마찰계수로써 핀 온 디스크(pin on disk)형 마찰시험기로 내 마멸성 실험을 통해 얻은 값인 0.5로 설정하였다. 조의 상단부 길이(L_{JU})와 조의 하단부 길이(L_{JL})는 각각 305mm, 101.5mm이므로 조가 레일방향으로 미끄러지지 않을 최대 임계 썸기각(θ_{CT})은 풍속에 관계없이 20.5°로 나타났다.

3.2 조의 전도 방지를 위한 조건

바람에 의해서 컨테이너 크레인이 레일방향으로 미끄러지게 되면, 크레인에 연결된 썸기 프레임이 이동하면서 조에 장착된 롤러를 수평방향으로 밀게 된다. 이 때 썸기 프레임에 의해서 조를 밀어내는 위치와 압착력에 의해서 조를 붙잡고 있는 조 패드와의 높이 차에 의한 전도모멘트를 발생시키는 조와 조 패드에 작용하는 하중을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4와 같이 썸기각(θ)이 클 경우 이러한 썸기 프레임에 의해 작용되는 전도모멘트가 조 패드의 압착력에 의해 견디는 저항모멘트 보다 크게 되어 조가 전도되므로 썸기작용을 할 수가 없게 된다. 따라서 이러한 현상을 방지하기 위한 최대 썸기각을 설정해야 한다. 바람에 의해서 조가 전도되지 않을 조건은 다음과 같다.

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

$$M_p > M_j$$

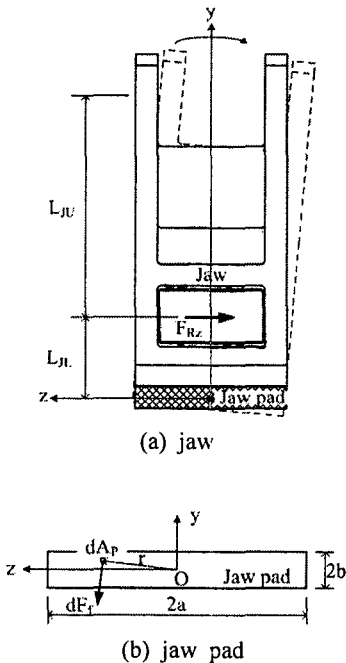


Fig. 4 Loads applied to the jaw and jaw pad

여기서 조 패드의 저항 모멘트, M_p 는 아래 식과 같다.

$$M_p = \frac{\mu_p G_p F_p}{A_p} \quad (14)$$

또한 롤러의 레일방향 하중성분(F_{Rz})이 조를 전도시킬 모멘트, M_j 는 아래 식과 같다.

$$M_j = F_{Rz} L_{JL} = \frac{L_{JU}}{L_{JL}} (L_{JL} + L_{JU}) F_p \tan \theta \quad (15)$$

식(14), (15)를 식(13)에 대입하면 조가 전도되지 않을 임계 썸기각, θ_{CR} 는 아래 식과 같이 표현된다.

$$\theta_{CR} < \tan^{-1} \left(\frac{\mu_p G_p}{A_p} \frac{L_{JU}}{L_{JL} (L_{JU} + L_{JL})} \right) \quad (16)$$

(13) 여기서, A_p 는 조 패드의 단면적이고, G_p 는 조 패드의 단면 1차 모멘트 성분으로 $G_p = \int_{A_p} r dA_p$ 이다.

조가 전도되지 않을 임계 썸기각(θ_{CR})은 조가 미끄러지지 않을 조건에서 유도된 식 (12)에 $G_p / (A_p L_{JL})$ 가 추가된 것을 알 수 있으며, 풍하중과는 관계없이 조의 길이와 조 패드의 면적 사이의 관계에 의해서 결정된다는 것을 알 수 있다. 즉, 임계 썸기각을 크게 하려면, 조 패드의 길이도 늘리고, 조의 상단부의 길이를 키워야 함을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 50ton급 컨테이너 크레인용 썸기형 레일 클램프의 경우 A_p 는 $6,150 \text{ mm}^2$, G_p 는 $322,950 \text{ mm}^3$ 이므로 조가 전도되지 않을 최대 임계 썸기각, θ_{CR} 은 10.9° 가 된다.

썸기각은 제동력을 발휘하기 위한 밀림거리와도 관련이 있으며, 컨테이너의 양 하역작업 시 안전하고 빠른 작업을 위해 밀림거리를 최소화해야 한다. 따라서 적정 썸기각은 최대 임계 썸기각만을 고려하여 설계되어야 한다. 조건 1, 2, 3을 모두 고려했을 때 레일 클램프의 최대 임계 썸기각(θ_{CU})은 $\theta_{CR} < \theta_{CT}$ 와 $\theta_{CU} < \theta_{CR}$ 을 동시에 만족해야 하므로 풍속과 관계없이 10.9° 가 된다.

4. 썰기각에 따른 롤러의 밀림거리 분석

4.1 썰기각과 밀림거리 사이의 관계

썰기작용단계에서 롤러와 썰기에 작용하는 하중과 롤러의 이동변위를 Fig. 5에 나타내었다. 설계 풍속기준에 해당하는 조 패드의 압착력을 발휘하기 위한 롤러의 밀림거리(D_S)는 아래 식과 같이 롤러의 중심에서 레일 클램프의 주요부의 총변형량(δ_{TR})과 썰기각(θ)에 의해서 결정된다.

$$D_S = \frac{\delta_{TR}}{\tan\theta} \quad (17)$$

Fig. 5에서 풍속이 증가함에 따라 레일 클램프의 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 레일 클램프의 밀림거리(D_S)가 된다. 따라서 썰기형 레일 클램프의 밀림거리는 레일 클램프의 주요 부품에 대한 강도해석을 수행하여 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(+), 롤러, 썰기, 썰기 프레임, 인장봉의 변위는 음(-)의 값을 가지므로 x방향 총 변위, δ_{TR} 은 아래 식과 같다.

$$\delta_{TR} = \left\{ \delta_{JR} + \frac{(L_{JU}\delta_P + L_{JL}\delta_L)}{L_{JU} + L_{JL}} \right\} - \{ (\delta_R + \delta_W)\cos\theta + \delta_F + \delta_B \} \quad (18)$$

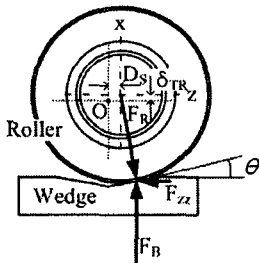


Fig. 5 Total x-directional deformation and sliding distance of the wedge type rail clamp

여기서 δ_{JR} 는 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 인장봉의 x방향 변위이다.

4.2 썰기각에 따른 레일 클램프 주요부의 유한요소 해석

4.2.1 해석모델

썰기각의 변화에 따른 50ton급 컨테이너 크레인용 썰기형 레일 클램프의 각 단품에 작용하는 x방향 변위를 구하기 위하여 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS Workbench를 이용하여 레일 클램프의 강성도 평가를 수행하였다. 해석을 위해 사용된 요소는 피라미드 요소를 사용하였으며, 발생오차가 5% 이내로 수렴하도록 요소망의 크기를 한 번의 길이가 최대 10mm가 되도록 설정하였다.⁶ ANSYS Workbench는 접촉부에 대한 해석이 강화되어 조립품에 대한 강도 및 강성도 해석이 가능하다. 따라서 레일 클램프의 7가지 부품을 크게 조, 라커, 조 패드로 연결된 조 부분과 롤러, 썰기, 썰기 프레임, 인장 봉으로 이어지는 썰기 부분의 2가지 조립품으로 나누어 해석을 수행하여 롤러의 핀에 발생하는 x방향 변위를 산출하였다. Table 1은 레일 클램프의 각 단품에 사용된 재료의 기계적 성질을 나타내었다.

4.2.2 설계변수 및 하중조건

35m/s의 작업 시 설계풍속을 기준으로 50ton급 컨테이너 크레인용 썰기형 레일 클램프의 썰기각(θ)에 따른 밀림거리의 변화를 살펴보기 위하여 2, 4, 6, 8, 10°의 5가지 썰기각을 설계변수로 설정하였으며, 썰기각에 따른 썰기형 레일 클램프의 주요 부품에 작용하는 하중을 식(3)에서 식(8)까지의 식을 이용하여 계산하여 Table 2에 나타내었다.

4.2.3 유한요소해석 결과

썰기각이 10°일 때 레일 클램프의 2가지 조립품에서 롤러의 핀에 발생하는 x방향 변위를 산출하였다. 썰기각이 2°에서 10°까지 증가함에 따라 조 부분의 x방향 변위는 0.238mm로 일정하게 나왔다. 이는 조, 조 패드, 라커에 작용하는 하중이 썰기각의 변화에 관계없이 일정하기 때문이다. 썰기 부분의

x방향 변위는 각각 -0.901mm, -0.897mm, -0.890mm, -0.888mm, -1.153mm로 나타났다. 이는 쐐기 부분의 변위 중 쐐기각에 가장 큰 영향을 받는 롤러와 쐐기의 변형량이 인장 봉이나 쐐기 프레임에 비해 매우 작기 때문이다.

롤러 중심에서 x방향 총 변형량, δ_{TR} 을 식(18)을 이용하여 계산한 후 식(17)에 대입하면 35m/s의 풍속이 작용할 때 쐐기각에 따른 레일 클램프의 밀림거리, D_S 를 구할 수 있으며 Table 3은 쐐기각에 따른 롤러의 중심에서 x방향 총 변형량과 그 때의 밀림거리를 나타낸다. Table 3을 살펴보면, 쐐기각이 2°에서 10°까지 증가함에 따라 레일 클램프의 총 변형량, δ_{TR} 은 1.135mm로 거의 동일하게 나왔다.

Table 1 Mechanical properties of material used to each part of the wedge type rail clamp

Part name	Material	Elastic modulus	Yield strength
jaw	SCM445	210 GPa	823 MPa
jaw pad	SCM435	210 GPa	744.8 MPa
locker	SS540	210 GPa	400MPa
roller	SCM435	210 GPa	744.8 MPa
wedge	SCM432	210 GPa	705.6 MPa
wedge frame	SS540	210 GPa	400 MPa
extention bar	SCM440	210 GPa	784 MPa

Table 2 Loads applied to each part of the wedge type rail clamp with respect to the wedge angle

Forces [kN]	θ [°]				
	2	4	6	8	10
F_P	813.28	813.28	813.28	813.28	813.28
F_L	301.46	301.46	301.46	301.46	301.46
F_{Rx}	1114.74	1114.74	1114.74	1114.74	1114.74
F_{Rz}	38.93	77.95	117.16	156.67	196.56
F_R	1115.42	1115.42	1115.42	1115.42	1115.42
F_B	557.37	557.37	557.37	557.37	557.37

Table 3 Total x-directional displacement of type rail clamp with respect to the wedge angle

Symbol [mm]	θ [°]				
	2	4	6	8	10
δ_{TR}	1.139	1.135	1.128	1.136	1.164
D_S	32.616	16.231	10.732	8.083	6.601

5. 결론

개정된 설계풍속기준에 대해 50ton급 컨테이너 크레인용 쐐기형 레일 클램프를 모델로 하여 쐐기각에 따른 유한요소해석을 수행하고 쐐기각과 레일 클램프의 밀림거리 사이의 관계를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 쐐기형 레일 클램프의 원활한 쐐기작용을 위한 50ton급 컨테이너 크레인용 쐐기형 레일 클램프의 최대 쐐기각은 10.9°로 나타났다.
2. 쐐기각이 2°에서 10°까지 증가함에 따라 쐐기 부분의 x방향 총 변위, δ_{TR} 는 1.135mm로 거의 동일하게 나왔다.
3. 각 나라별로 설계풍속기준은 다양하게 나타나므로 본 연구결과는 다양한 설계풍속기준에 대한 쐐기형 레일클램프 설계에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Lee, S. W., Shim, J. J., Han, D. S., Park, J. S., Han, G. J. and Lee, K. S., "The Effect of Wind Load on the Stability of a Container Crane," J. of the KSPE, Vol. 22, No. 2, pp. 148-155, 2005.
2. "Annual Maximum Instantaneous Wind Speed in Busan," Korea Meteorological Administration, 2005.
3. "Inspection Criteria for Facilities and Equipments in Port," Ministry of Maritime Affairs & Fisheries, 2005.

4. "Rules for the designs of cranes," BS 2573, 1983.
5. Han, G. J., Lee, H., Shim, J. J., Han, D. S., Ahn, C. W. and Jeon, Y. H., "Study on the Wedge Angle of Wedge Type Rail Clamp for Container Crane," J. of the KSPE, Vol. 21, No. 9, pp. 119-126, 2004.
6. "ANSYS User's Manual," ANSYS Inc., 1992.