

# Locker의 물림각과 썰기형 레일클램프의 압착력에 관한 실험적 고찰

한동섭\* · 심재준\*\* · 한근조\*\*\* · 이권희\*\*\*\*

\*동아대학교 대학원, \*\*동아대학교 대학원, \*\*\*동아대학교 기계공학부 교수, \*\*\*\*동아대학교 기계공학부 교수

## A Experimental Analysis on the Relationship between the Angle of a Locker and the Clamping Force of Wedge Type Rail Clamp

*Dong-Seop. Han\* · Jae-Joon. Shim\*\* · Geun-Jo. Han\*\*\* · Kwon-Hee. Lee\*\*\*\**

*\*Graduate school of Dong-A University, Busan 604-714, Korea*

*\*\*Graduate school of Dong-A University, Busan 604-714, Korea*

*\*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea*

*\*\*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea*

**요 약 :** 썰기형 레일클램프는 작은 초기 압착력으로 레일을 압착한 후 풍속이 증가함에 따라 썰기작용에 의해 압착력이 증가하여 레일을 강하게 압착하는 구조를 가지고 있다. 썰기형 레일클램프를 설계하기 위해서는 썰기작용을 위한 적정 썰기각과 초기압착력 발취를 위한 적정 Locker의 물림각을 결정해야 한다. 적정 썰기각에 관한 연구는 이미 수행되었으며, 본 연구에서는 Locker의 적정 물림각을 설정하기 위하여 이전 연구를 바탕으로 10°의 썰기각을 갖는 레일클램프에서 Locker의 물림각과 Jaw pad의 압착력 사이의 상관관계를 실험적 분석을 통해 살펴보았다. 레일클램프의 초기 압착력은 Locker의 물림각에 의해 결정되므로 3, 4, 5, 6°의 4가지 Locker의 물림각에 따른 Locker의 물림력을 압력게이지를 이용하여 측정한 후 Jaw pad의 압착력을 산출하여 유한요소해석결과와 비교하였다.

**핵심용어 :** 레일클램프, 썰기, 컨테이너 크레인, 물림각, 압착력

**ABSTRACT :** *The wedge type rail clamp has the operating mechanism: First, the jaw pad clamps a rail with small clamping force. Next as the wind speed increases, the clamping force of the jaw pad is increased by the wedge. In order to design the wedge type rail clamp, we need to determine the proper wedge angle to minimize the sliding distance of a roller and the proper clamping angle of a locker to generate the initial clamping force of a jaw pad. The researches for the proper wedge angle have conducted, and in this study we conducted the investigation to determine the proper clamping angle of a locker in the rail clamp with wedge angle of 10°. Because the initial clamping force of the jaw pad was determined by the clamping angle of the locker, in order to carry out the clamping force of a jaw pad, we measured the locking force applied to a locker with respect to the clamping angle of a locker, such as 3°, 4°, 5°, 6° using a pressure gauge, and compared the results with the FEA results.*

**KEY WORDS :** *rail clamp, wedge, container crane, clamping angle, clamping force*

### 1. 서 론

항만을 통한 컨테이너 물동량이 매년 7.3%씩 증가하고 있으며, 대형선사의 등장으로 수년 내에 12,000TEU급 초대형 컨테

이너선(ULCS)의 출현이 예상되고 있다. 이에 따라 세계의 항만은 초대형 컨테이너선의 귀항여부에 따라 각 권역별로 중심항(Hub-port)과 주변항(Feeder-port)로 양분될 것으로 예상된다. 따라서 각국은 각 지역의 중심항이 되기 위하여 자동화, 고속화된 항만시스템을 개발하는데 많은 노력을 기울이고 있으며, 국내에서도 이에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다. 암벽에서 신속한 양·하역작업을 위해 컨테이너 크레인은 대형화, 고속화, 자동화되고 있으며, 기상환경의 변화로 인해 사고의 위험이 증가하고 있는 실정이다. 대형 컨테이너 크레인의 경우 돌풍

\*정회원, dshan@donga.ac.kr 051)200-6989

\*\*정회원, jjshim@donga.ac.kr 051)200-6989

\*\*\*정회원, gjhan@dau.ac.kr 051)200-7650

\*\*\*\*정회원, leekh@dau.ac.kr 051)200-7638

이나 태풍으로 인해 발생하는 풍하중은 기존에 비해 더욱 증대되어 크레인의 전도모멘트와 레일방향하중을 증가시킨다. 정지해 있던 크레인이 큰 레일방향하중을 받게 되면 레일 방향으로 밀리는 일이 발생하는데, 한번 밀리기 시작하면 자체의 높은 관성력으로 인하여 이를 정지시키기가 매우 힘들게 되어 대형사고로 이어질 수 있다. 풍속에 따라 항만하역장비는 작업 시와 계류 시로 나눌 수 있으며, 작업 시는 레일클램프만이 컨테이너 크레인을 고정시키게 되고 계류 시에는 레일클램프와 함께 Tie down rod, Stowage pin 등이 함께 크레인을 고정시키게 된다.

레일클램프는 작업 시 컨테이너 크레인을 정 위치에 고정시킬 뿐만 아니라 돌풍으로 인해 컨테이너 크레인이 레일방향으로 미끄러지는 것을 방지하는 장치이며, 구동방식에 따라 스프링형, 유압형, 썰기형으로 나눌 수 있으며, 압착방식에 따라 상부압착형과 측면압착형으로 나눌 수 있다. 기존에 사용되는 스프링이나 유압형 레일클램프는 풍속과 관계없이 설정된 압착력으로 항상 구동을 해야 하기 때문에 큰 압착력으로 인한 구조적 안정성 및 내구성이 떨어지는 문제점을 안고 있으므로 이를 보완하기 위해서 개발된 방식이 썰기형이다. 썰기형 레일클램프는 초기에는 작은 압착력으로 레일을 압착하다가 풍속이 증가하면 썰기작용에 의해 압착력이 증가하는 방식을 취함으로써 구조적으로 매우 안정되고, 내구성이 높은 장점을 가지고 있다. 따라서 태풍이나 돌풍이 잦은 우리나라 항만에서는 내구성이 높고, 풍속의 변화에 적절히 대처할 수 있는 썰기형 레일클램프를 컨테이너 크레인에 적용하는 것이 가장 효율적이라 할 수 있다.

썰기형 레일클램프를 설계하기 위해서 두 가지를 고려해야 하는데, 먼저 초기 압착력을 발휘하도록 하는 1단계에서는 Locker의 물림각과 Jaw pad의 압착력사이의 상관관계를 규명하고, 다음으로 풍속이 증가함에 따라 썰기작용에 의해 압착력이 증가하는 2단계에서는 썰기각과 Roller의 밀림거리사이의 상관관계를 규명해야 한다(Han *et al*, 2004). 본 연구에서는 초기 압착력 발휘를 위한 1단계에 대해서 연구를 수행하였으며, Locker의 물림각과 Jaw pad의 압착력사이의 상관관계를 분석하기 위해, 10°의 썰기각을 갖는 50ton급 컨테이너 크레인용 썰기형 레일클램프를 모델로 하여 강성도해석과 실험을 병행하였으며, 각각의 결과를 비교하였다.

## 2. 썰기형 레일클램프의 유한요소해석

### 2.1 썰기형 레일클램프

연구를 위해 사용된 모델은 50ton급 컨테이너 크레인용 레일클램프로써 Fig. 1과 같이 Jaw, Locker, Jaw pad, Roller, Wedge, Frame, Extension bar의 주요부품으로 구성되며, 각 부품에 사용된 재료는 Table 1과 같다. 레일클램프의 작동원리는 Fig. 2에 나타낸바와 같이 먼저, Locker의 물림각 설정을 통해 Jaw pad가 작은 압착력으로 레일을 압착하게 되고(초기

압착단계), 다음으로 풍속이 증가하게 되면 썰기작용으로 인해 Roller가 회전하면서 Jaw pad의 압착력을 증가시켜 레일방향으로 크레인이 미끄러지는 것을 방지하는 구조(썰기작용단계)를 가지고 있다(해양수산부, 2000).

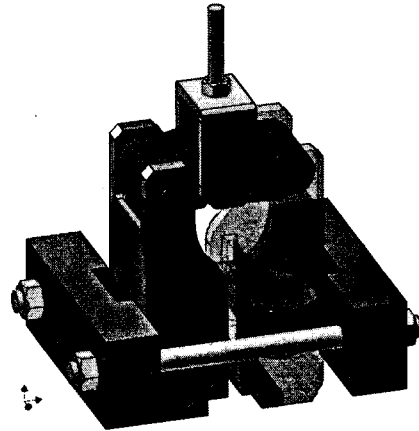
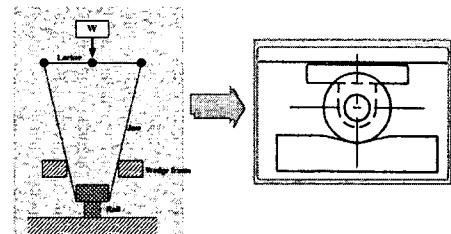
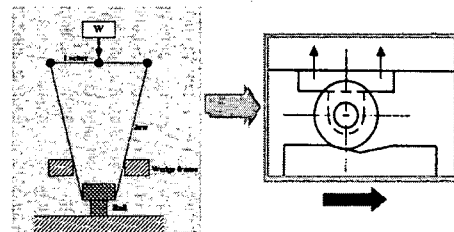


Fig.1 Main part of the wedge type rail clamp for 50tons class container crane



(a) Initial clamping phase



(b) Wedge action phase

Fig.2 Operating mechanism of the wedge type rail clamp

Table1 Mechanical properties of material used to each part

Part name	Material	Elastic modulus	Yield strength
Jaw	SCM445	210GPa	823MPa
Jaw pad	SCM435	210GPa	744.8MPa
Locker	SS540	210GPa	400MPa
Roller	SCM435	210GPa	744.8MPa
Wedge	SCM432	210GPa	705.6MPa
Wedge frame	SS540	210GPa	400MPa
Extension bar	SCM440	210GPa	784MPa

## 2.2 물림각과 압착력 사이의 관계

초기압착단계에서 Jaw pad의 압착력 발휘를 위한 Locker의 물림각과 물림력사이의 상관관계는 다음과 같다. Fig. 3에서와 같이 Locker의 물림각( $\phi$ )은 Jaw pad가 레일의 측면과 접촉하게 될 때 Locker의 경사각을 말하며, 중추는 레일을 초기 압착력으로 압축시키기 위한 구동력을 발휘시키기 위한 역할을 담당한다. 물림력( $W$ )에 의해 Locker의 경사각이 작아지면서 각 부품에 변형이 발생하게 되고, 이러한 Jaw 상단부에서 수평방향 총변위( $\delta_{TL}$ ) 만큼 지렛대 원리에 의해 Jaw pad가 레일을 압착하는 초기 압착력( $F_P$ )을 발생시킨다.

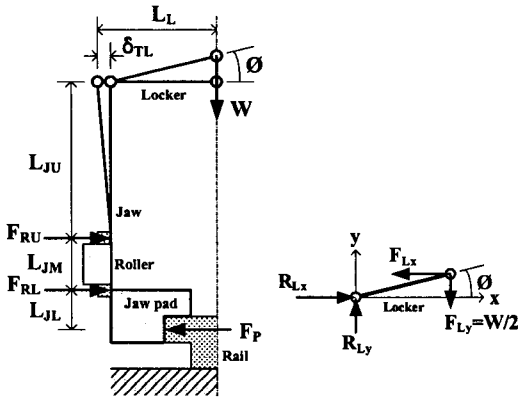


Fig.3 Schematic diagram of forces applied to a locker and a jaw pad in wedge type rail clamp

Locker의 물림각이  $\phi$ 일 때, 물림력( $W$ )에 의해 발생하는 Locker의 수평방향력,  $F_{Lx}$ 는

$$F_{Lx} = \frac{W}{2 \tan \phi} \quad (1)$$

이며, Locker와 연결된 Jaw의 상단을 수평방향으로 밀어냄과 동시에 Locker를 압축시키는 힘으로써 식(2)에 나타난 바와 같이 Jaw pad의 초기 압착력( $F_P$ )을 발생시키게 된다.

$$F_P = \left( \frac{2L_{JU} + L_{JM}}{L_{JM} + 2L_{JL}} \right) F_{Lx} \quad (2)$$

초기 압착력은 Jaw pad와 Rail의 접촉면에 마찰력을 발생 시킴과 동시에 Roller와 썸의 경사면의 접촉면에도 마찰력을 발생시켜 풍속이 증가함에 따라 Roller가 썸의 경사면을 따라 구를 수 있도록 하는 힘이며, 초기 압착력에 의해 Roller가 썸의 경사면을 누르는 힘( $F_R$ )을 발생시켜 일정풍속 이하에서는 Roller를 구르지 못하도록 하는 역할을 담당한다.

식(1), (2)를 분석해보면 Jaw pad의 압착력은 Locker의 물림각에 의해서 결정됨을 알 수 있다. 즉, 풍속에 따라 Jaw

pad에 발생하는 압착력을 계산한 후 강성해석을 통해 주요부품의 총변형량을 산출하게 되면, 이에 해당하는 Locker의 물림각을 결정할 수 있다. 또한 이를 식(1)에 대입하면, 물림력을 산출할 수 있다. Fig. 3의 왼쪽 그림에서 Jaw의 상단 수평방향 총변형량( $\delta_{TL}$ )이 주어질 때 Locker의 물림각,  $\phi$ 는

$$\phi = \cos^{-1} \left( 1 - \frac{\delta_{TL}}{L_L} \right) \quad (3)$$

이 된다. 여기서  $L_L$ 은 Locker의 pin hole의 중심간 길이이며, 수평방향 총변형량( $\delta_{TL}$ )은 주요 부품의 수평방향 변형의 합으로서

$$\delta_{TL} = \delta_{JU} + \delta_L + \frac{L_{JU} + L_{JM} + L_{JL}}{L_{JM}/2 + L_{JL}} (\delta_R + \delta_B) \quad (4)$$

로 정의할 수 있다. 여기서  $\delta_{JU}$ 는 Jaw 상단의 수평변위,  $\delta_L$ 은 Locker의 수평변위,  $\delta_R$ 은 Roller, Wedge, Wedge frame의 수평변위의 합,  $\delta_B$ 는 Extension bar의 수평변위,  $L_{JU}$ ,  $L_{JM}$ ,  $L_{JL}$ 은 각각 Jaw의 상부, 중간, 하부의 길이이다. Roller가 잘 구를 수 있도록 Roller pin에 윤활유를 공급하게 되면 구조적으로 0이 아닌 초기 압착력이 작용할 경우 Roller는 썸기면을 따라 회전하게 되어 썸기작용을 할 수 있으므로 초기 압착력은 항만의 기상환경에 따라 결정되어야 한다. 분산항의 경우 평상시에도 5~10m/s의 바람이 발생하므로 Locker의 물림각과 Jaw pad의 압착력사이의 상관관계를 살펴보기 위하여 2, 4, 6, 8, 10m/s의 5가지 설계풍속을 기준으로 유한요소해석을 수행하였다.

## 2.3 풍속에 따른 풍하중과 각 부재에 작용하는 하중

BS 2573규격에 따르면 풍속( $V_0$ )에 따른 컨테이너 크레인의 레일방향 하중,  $F_z$ 는

$$F_z = C_{tz} \times q_0 \times LF \times A_{unit} \times L \quad (5)$$

이고, 여기서  $C_{tz}$ 는 레일방향(z-방향) 풍력계수,  $q_0$ 는 풍압계수로서,  $q_0 = 1/2 \rho V_0^2 (h/20)^{0.16}$ ,  $LF$ 는 length factor,  $A_{unit}$ 는 단위 길이 당 수평면적,  $L$ 은 부재의 길이이며,  $h$ 는 고도이다. 식(5)를 사용하면, 50ton급 컨테이너 크레인의 작업 시 설계풍속에 따른 레일방향 풍하중,  $F_z$ 는

$$F_z = 1.017 \times V_0^2 \text{ [kN]} \quad (6)$$

이며, 5가지 설계풍속에 대한 레일방향 풍하중과 썸기형 레일 클램프의 각부에 작용하는 부재력을 계산하여 Table 2에 나타내었다(Hanjin HI&C Co. Ltd., 2000).

**Table 2** Z-directional wind force and internal forces applied to each part with respect to the wind speed [kN]

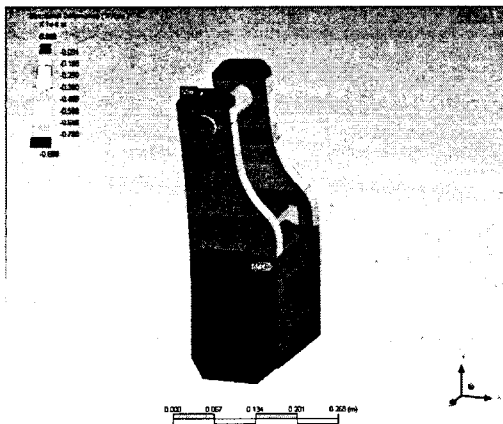
$V_0$	2m/s	4m/s	6m/s	8m/s	10m/s
$F_z$	4.066	16.266	36.597	65.062	101.659
$F_P$	2.033	8.133	18.299	32.531	50.830
$F_L$	0.754	3.015	6.783	12.058	18.841
$F_{Rx}$	2.787	11.147	25.082	44.589	69.671
$F_{Rz}$	0.491	1.966	4.423	7.862	12.285
$F_R$	2.830	11.319	25.468	45.277	70.746
$F_B$	1.393	5.574	12.541	22.295	34.836

### 3. 유한요소해석결과 및 고찰

Locker의 물림각과 Jaw pad의 초기압착력 사이의 상관관계를 분석하기 위해 Fig.3에 나타낸 바와 같이 Jaw의 상단부 수평방향(x-방향) 총 변위( $\delta_{TL}$ )를 구해야 한다. 이를 위해 범용유한요소해석프로그램인 ANSYS Workbench를 사용하여 레일클램프를 크게 Jaw, Locker, Roller-wedge, Extension Bar로 나누고 5가지 하중조건을 적용하여 강도해석을 수행하였다. 풍속에 따른 네 부분의 수평방향 변위 및 Jaw의 상단부 수평방향 총 변위를 Table 3에 나타내었으며, 10m/s의 풍속조건에서 Jaw의 해석결과를 Fig. 4에 나타내었다.

**Table 3** X-directional displacements for each part and total displacement with respect to the wind speed [mm]

$V_0$	2m/s	4m/s	6m/s	8m/s	10m/s
$\delta_{JU}$	0.0027	0.0109	0.0246	0.0437	0.0682
$\delta_L$	0.0000	0.0001	0.0003	0.0005	0.0007
$\delta_R$	0.0006	0.0025	0.0056	0.0100	0.0156
$\delta_B$	0.0015	0.0061	0.0137	0.0244	0.0381
$\delta_{TL}$	0.0114	0.0454	0.1022	0.1817	0.2838



**Fig. 3** X-directional displacement distribution of a jaw part in the rail clamp

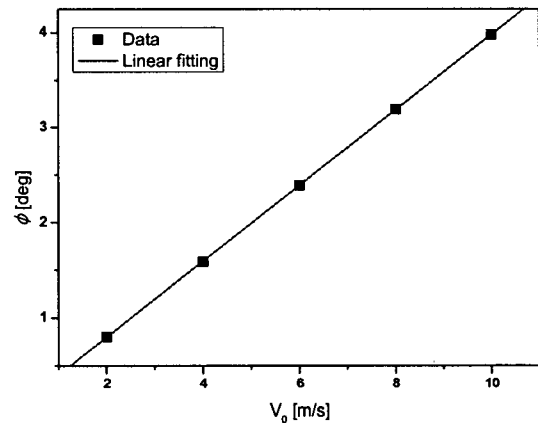
#### 3.1 풍속에 따른 Locker의 물림각

Locker의 길이( $L_L$ )가 117.51mm일 때, 풍속에 따른 Table 3에 나타낸 Jaw 상단부 수평방향 총 변위( $\delta_{TL}$ )를 식(3)에 대입하여 Locker의 물림각( $\phi$ )과 물림력( $W$ )을 산출하면 Table 4에 나타낸 바와 같다.

**Table 4** Angle and locking force of a locker with respect to the wind speed

$V_0$	2m/s	4m/s	6m/s	8m/s	10m/s
$\phi$ [°]	0.80	1.59	2.39	3.19	3.98
$W$ [kN]	0.021	0.168	0.566	1.342	2.623

풍속( $V_0$ )과 Locker의 물림각( $\phi$ )사이의 상관관계를 살펴보기 위하여 Fig. 4와 같이 그래프를 그리고 linear fitting하였다.



**Fig. 4** Angle of a locker and curve fitting with respect to the wind speed

Fig. 4를 살펴보면, 풍속이 증가함에 따라 Locker의 물림각은 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 레일클램프에 작용하는 하중이 풍속의 제곱에 비례하고, 수평방향 총 변위와 Locker의 물림각은 cosine함수에 의해서 결정되기 때문이다.

풍속에 따른 Locker의 물림각은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = 0.398V_0 \quad (7)$$

#### 3.2 Locker의 물림각과 물림력사이의 관계

설정된 Jaw pad에서의 초기 압착력을 발휘하기 위해서는 Locker의 물림각에서 Locker를 체결할 수 있도록 하는 물림력을 작용시켜야 한다. Locker의 체결을 위한 물림력( $W$ )은 식(1)에서와 같이 Locker의 물림각( $\phi$ )과 Locker에 작용하는 압축하

중( $F_{Lx}$ )에 의해서 산출된다. 이 때 Locker의 물림각과 압축하중은 모두 Jaw 상단부 수평방향 변위와 관계가 있으므로 강성도 해석 결과인 Table 4를 이용하여 Locker의 물림각( $\phi$ )과 물림력(W)사이의 상관관계를 규명해야 한다. 이를 위해 Fig. 5와 같이 Locker의 물림각과 물림력에 대한 그래프를 그리고 curve fitting하였다.

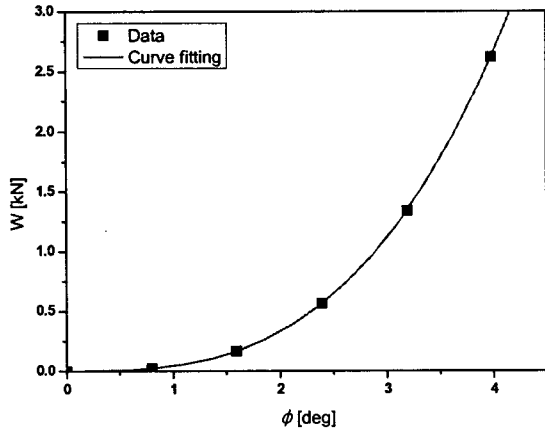


Fig. 5 Locking force and curve fitting with respect to the angle of a locker

3차식으로 curve fitting하였을 경우 상관계수(R)가 1이 되므로 Locker의 물림각에 따른 물림력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = -0.0008 + 0.0084\phi - 0.0072\phi^2 + 0.0429\phi^3 \quad (8)$$

#### 4. 레일클램프의 초기 압착력 실험

3.2절에서 Locker의 물림각과 물림력사이의 상관관계를 시뮬레이션을 통해 살펴보았다. 이 결과의 신뢰도를 높이기 위하여 Locker의 물림각과 물림력 사이의 상관관계를 실험을 통해 살펴보았다(Oh, 2000).

##### 4.1 실험장치 및 실험방법

초기압착단계에서 Locker의 물림각과 물림력 사이의 상관관계를 살펴보기 위하여 10°의 쉐기각을 갖는 50ton급 컨테이너 크레인용 쉐기형 레일클램프를 제작하고 Locker의 체결 및 레일의 이동을 위한 두 개의 유압구동장치를 Fig. 6과 같이 설치하였다. Locker의 물림각( $\phi$ )은 Extension bar의 압착길이로써 설정하였으며, 각각의 물림각에서 Locker의 체결을 위해 요구되는 물림력(W)을 측정하기 위하여 유압실린더를 하강시키기 위해 상부에 연결된 배관에 유압계를 장착하였다.

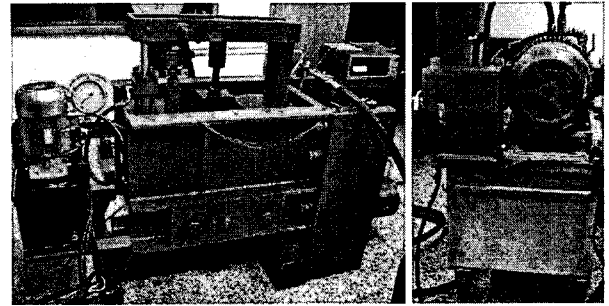


Fig. 6 Rail clamp and hydraulic driving system to measure locking force of a locker

Locker의 물림각과 물림력 사이의 상관관계를 살펴보기 위하여 3, 4, 5, 6°의 4가지 Locker의 물림각( $\phi$ )을 설정하였으며, 각각 물림각에서 7회씩 유압을 증가시키면서 물림력(W)을 측정하여 최대, 최소 값을 제외한 나머지 5가지 값을 평균하여 물림력을 결정하였다.

##### 4.2 실험결과 및 고찰

4가지 Locker의 물림각( $\phi$ )에서 Locker의 체결을 위한 유압실린더의 하강 시 압력( $P_L$ )을 측정하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Pressures to lock two lockers with respect to the angle of a locker

$\phi$ [°]	$P_L$ [kg/cm <sup>2</sup> ]					Ave.
	1	2	3	4	5	
3	9.5	10.0	9.0	9.5	9.5	9.5
4	21.5	20.0	20.5	20.0	19.5	20.3
5	41.0	40.5	41.0	40.5	41.5	40.9
6	67.5	68.0	68.5	67.5	68.5	68.0

Locker 체결을 위한 유압실린더의 내경은  $\phi 50\text{mm}$ 이고, 실린더의 직경은  $\phi 28\text{mm}$ 이므로 Locker의 물림각에 따른 물림력(W)은 Table 5에 나타낸 유압실린더의 하강 시 압력의 평균값에 실린더의 유효 단면적을 곱하여 얻을 수 있다. Locker의 물림각에 따른 물림력을 실험을 통해 얻은 결과와 식(8)을 이용하여 산출한 해석 결과를 비교하여 Table 6에 나타내었다.

Table 6 Comparison of the locking force of experiment and FEA with respect to the angle of a locker

$\phi$ [°]	W [kN]		Difference [%]
	Exp. data	FEA data	
3	1.256	1.118	+12.3
4	2.684	2.664	+0.8
5	5.408	5.225	+3.5
6	8.991	9.058	-0.7

Table 6을 살펴보면, Locker의 물림각이 3°일 때, 실험 값이 유한요소해석 값보다 12.3% 정도 더 크게 나타났으나 나머지 경우에는 3.5%이하로 나타났다. 실험결과와 유한요소해석결과의 상관도를 분석하기 위하여 Fig. 7과 같이 유한요소해석결과를 수평축, 실험결과를 수직축으로 하는 그래프를 그리고 linear fitting하였다.

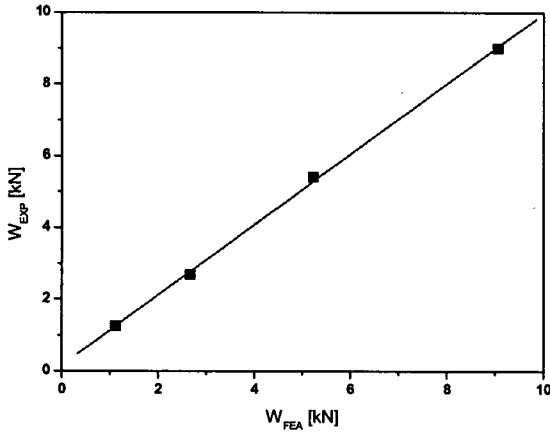


Fig. 7 Correlation between experiment and the FEA for the locking force

Fig. 7에서 Locker의 물림력에 대한 실험과 유한요소해석결과의 상관관계를 살펴보면, 상관계수,  $r^2$ 은 0.99926으로서 유한요소해석 및 실험에 대한 데이터의 신뢰성이 높다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구를 통하여 유한요소해석을 통해 유도된 풍속에 따른 Locker의 물림각 공식(식(7))과 Locker의 물림각에 따른 물림력 공식(식(8))을 레일클램프를 설계하기 위한 기본적인 프로세서를 확립하는데 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 결 론

50ton급 컨테이너 크레인용 췌기형 레일클램프는 작은 압착력으로 레일을 압착하는 초기압착단계와 풍속이 증가함에 따라 췌기작용에 의해 압착력이 증가하는 췌기작용단계로 크게 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 이 중 초기압착단계에서 Jaw pad의 압착력을 발휘시키기 위한 Locker의 물림각을 설정하기 위하여 강성도평가를 통해 주요부품의 수평방향 변위를 분석하였으며, Jaw pad의 압착력과 Locker의 물림각 사이의 상관관계를 규명하였다. 또한 이에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 실험을 통해 Locker의 압착각과 압착력사이의 상관관계를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유한요소해석결과 풍속이 증가함에 따라 Locker의 물림

각은 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, Locker의 물림력은 물림각에 대한 3차식의 형태로 증가함을 알 수 있었다.

2. Locker의 물림각에 따른 물림력을 실험을 통해 측정된 결과 Locker의 물림각이 3°일 때, 실험값이 유한요소해석 결과보다 12.3% 정도 더 크게 나타났으나 나머지 경우에는 3.5%이하로 나타났다.

3. 실험과 유한요소해석 결과의 상관도는 0.99926으로서 매우 높은 상관관계를 보였다. 이를 바탕으로 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

- [1] Han, G., Lee, H., Shim, J., Han, D., Ahn, C, and Jeon, H.(2004), Study on the Wedge Angle of Wedge Type Rail Clamp for Container Crane, J. of KSPE, Vol. 21, No. 9, pp. 119-126.
- [2] 해양수산부(2000), 항만시설장비검사기준, [별표 4].
- [3] BS2573, British Standards UK.
- [4] Hanjin Heavy Industries & Construction Co., Ltd. Plant Engineering Department(2000), Structural & Mechanical Calculation for 50Ton Container Crane for Busan Port.
- [5] Oh, G.(2000), Effective Clamping Force Measuring System for Spring Clamps, J. of KSPE, Vol. 17, No. 10, pp. 95-101.