

# 유압식 크레인의 붐 각도와 압력사이의 비례적 관계

## Proportional relationship between the Angle of Boom and Pressure in a Hydraulic Crane

\*장효필<sup>1</sup>, #한동섭<sup>2</sup>, 한근조<sup>3</sup>

\*H. P. Jang<sup>1</sup>, #H. D. Han<sup>2</sup>, G.J.Han<sup>3</sup>(gjhan@dau.ac.kr)

<sup>1</sup> 동아대학교 기계공학부, <sup>2</sup>동아대학교 기계공학부, <sup>3</sup>동아대학교 기계공학부

Key words : Hydraulic Crane, Proportional relationship, Overturning Moment, Angle of Boom, Pressure

### 1. 서론

유압식 크레인(Hydraulic crane)은 원동기를 내장한 이동식 차량으로써, 가변 길이식 붐(boom), 유압구동 시스템을 갖춘 이동식 크레인으로서 불특정 장소에서 스스로 이동이 가능한 크레인을 말한다. 유압식 크레인은 설계기준에 따라 과부하방지 장치, 권과방지 장치, 브레이크 장치 등 방호장치를 부착하여야 한다. 과부하방지장치는 크레인의 과부하 및 전도 모멘트를 검출하여 전복 또는 기타 사고를 예방하는 크레인용 안전장치이며, 크레인의 특성상 메인 붐(boom) 혹은 보조 지브(jib)의 길이와 작업각도를 변경하여 작업하게 되어 있으며 각 작업 조건에 따라 중심의 모멘트 제어가 필요하다. 크레인 중심의 모멘트량은 붐의 각도(Angle of Boom)와 권상하중(Hoisting load)에 의하여 결정되므로 붐 구동을 위한 유압실린더에 센서를 부착하여 실린더 내부 압력을 측정하여 평가하게 한다. 본 연구에서는 비례적 유압식 크레인의 실린더의 하중 및 권상하중, 그리고 전도모멘트의 상관관계를 분석하여 정의한 후 실제 모델과 측정된 값을 비교하여 관계식을 검증하였다.

### 2. 비례적 유압식 크레인의 하중분석

본 연구에서 사용된 비례적 유압식 크레인은 붐 각도에 따라 0°에서 80° 까지 증가하는 크레인으로 개략적인 형상을 Fig. 1에 나타내었다.

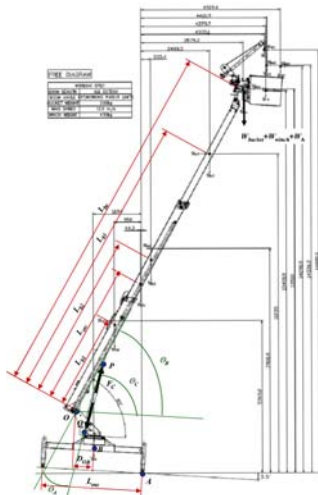


Fig. 1 sketchy of Proportional Hydraulic Crane

Fig. 1에 유압식 크레인의 붐 각도와 압력사이의 비례적 관계를 분석하기 위하여 주요 길이와 자중에 대한 기호를 나타내었다. Fig. 1에서 O점을 기준으로 모멘트의 합을 계산하면

$$\begin{aligned} \Sigma M_O : & -L_P \sin \theta_B \times F_C \cos \theta_C + L_P \cos \theta_B \times F_C \sin \theta_C \\ & - \sum_{i=1}^3 W_{bi} (L_{bi} \cos \theta_B - V_{bi} \sin \theta_B) \\ & + W_{etc} (L_{etc} \cos \theta_B - V_{etc} \sin \theta_B) \\ & + (W_{bucket} + W_h) (L_{bc} \cos \theta_B - V_{bc} \sin \theta_B) = 0 \end{aligned}$$

이 된다. 따라서 유압실린더에 작용하는 하중,  $F_C$ 는

$$F_C = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^3 W_{bi} HL_{bi} + W_{etc} HL_{etc} + (W_{bucket} + W_h) HL_{bc} \right\}}{L_P \sin \theta_A}$$

이다. 여기서

$\theta_B$  : 붐(boom)의 수평축에 대한 각도

$\theta_C$  : 유압실린더의 수평축에 대한 각도

$L_P$  : 붐의 원점(O)과 붐과 실린더의 연결 핀(P)까지 점선길이

$L_{bi}$  : 붐의 원점(O)과  $i$ 번째 붐의 무게중심까지 점선길이

$L_{bc}$  : 붐의 원점(O)과 붐의 끝단 하중작용점까지 점선길이

$L_{etc}$  : 붐의 원점(O)과 TEL. Cyl'의 무게중심까지 점선길이

$V_{bi}$  : 붐의  $\overline{OP}$ 에서  $i$ 번째 붐의 무게중심까지의 법선높이

$V_{bc}$  : 붐의  $\overline{OP}$ 에서 붐의 끝단 하중작용점까지의 법선높이

$V_{etc}$  : 붐의  $\overline{OP}$ 에서 TEL. Cyl'의 무게중심까지의 법선높이

$F_C$  : 유압실린더에 작용하는 하중

$W_{bi}$  :  $i$ 번째 붐의 자중

$W_{etc}$  : TEL. Cyl'의 자중

$W_{bucket}$  : 버킷의 자중

$W_h$  : 크레인의 권상 하중

$HL_{bi} = L_{bi} \cos \theta_B - V_{bi} \sin \theta_B$  : 원점과  $i$ 번째 붐 무게중심까지 수평거리

$HL_{bc} = L_{bc} \cos \theta_B - V_{bc} \sin \theta_B$  : 원점과 붐의 끝단까지 수평거리

$HL_{etc} = L_{etc} \cos \theta_B - V_{etc} \sin \theta_B$  : 원점과 TEL. Cyl' 중심까지 수평거리

$$\theta_A = \cos^{-1} \left( \frac{(L_P^2 + L_C^2) - L_A^2}{2L_P L_C} \right) [^\circ] : \angle OPQ$$

$$L_C = \sqrt{(L_P \cos \theta_P - H_Q)^2 + (L_P \sin \theta_P + V_Q)^2} \text{ [cm]} : \overline{PQ}$$

$$L_A = \sqrt{H_Q^2 + V_Q^2} \text{ [cm]} : \overline{OQ}$$

그리고 수평축에 대한 유압 실린더의 각도,  $\theta_C$ 는 Fig. 2로부터  $\theta_C = \theta_A + \theta_B$ 로 나타낼 수 있다.

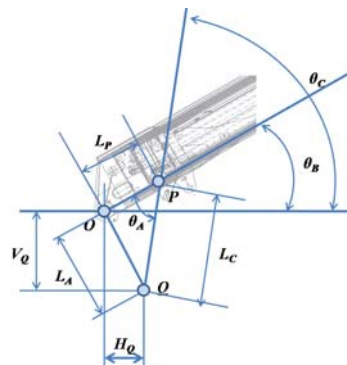


Fig. 2 Symbols of hydraulic cylinder part

Fig. 2와 같이 비례적 유압식 크레인에서는 실린더 하중을 로드셀(Load cell)을 사용하여 검출한다. 이 때 로드셀의 측정방향은 수평축을 기준으로  $\theta_L$  만큼 기울어져 설치되며, 수평축에 대한 실린더의 경사각( $\theta_C$ )은 붐의 각도( $\theta_B$ )가  $0^\circ$  에서  $80^\circ$  까지 변하는 동안  $29^\circ$  에서  $89.5^\circ$  까지 변하게 된다.

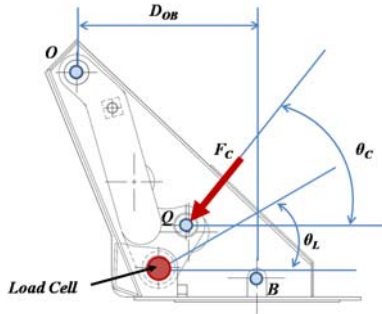


Fig. 3 Relationship between load cell and cylinder load

따라서 로드셀에 작용하는 하중( $F_L$ )은 실린더 하중( $F_C$ )의 로드셀 방향 성분으로서 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_L = F_C \times \cos(\theta_C - \theta_L)$$

$\theta_L$  : 실린더의 초기각도(붐이  $0^\circ$  일 때 실린더 각도,  $29^\circ$ )  
 $\theta_C$  : 유압실린더의 각도

비례적 유압식 크레인에서 로드셀 하중( $F_L$ )과 권상하중( $W_h$ ), 전도모멘트( $M_R$ ), 전복율( $R_M$ ) 사이의 관계식을 도출하면 아래와 같다. 먼저 권상하중( $W_h$ )은

$$\begin{aligned} \therefore W_h = & \left[ \frac{F_L(\alpha_L) L_P \sin \theta_A}{\cos(\theta_C - \theta_L)} - \sum_{i=1}^3 W_{bi} HL_{bi} - W_{etc} HL_{etc} \right] \\ & \times \frac{1}{HL_{be}} - W_{bucket} \end{aligned}$$

이고, 여기서  $\alpha_L$ 은 붐 길이에 따른 계수이다.

비례적 크레인은 붐의 뻗어나간 길이가 길어지고 붐의 각도가 작을수록 붐의 끝단은 처짐에 의해 위치가 변하게 된다. 이러한 붐의 처짐은 실린더의 하중에 영향을 미치므로 보정값  $\alpha_L$ 은 붐의 처짐에 영향을 받는다. 따라서 구조해석을 통하여 붐의 처짐을 분석하고 실험을 통해 측정된 값의 변화를 비교하여 붐의 길이에 따른 보정값  $\alpha_L$ 을 선정해야 한다.

아웃리거 중앙(B점)을 기준으로 실제 전도모멘트( $M_R$ )를 계산하면,

$$\begin{aligned} \therefore M_R = & \sum_{i=1}^3 W_{bi} \{HL_{bi} - D_{OB}\} + W_{etc} \{HL_{etc} - D_{OB}\} \\ & + (W_{bucket} + W_h) \{HL_{be} - D_{OB}\} \end{aligned}$$

이다. 여기서  $D_{OB}$ 는 붐의 회전중심인 O점과 차량의 무게중심( $W_R$ )인 B점까지의 수평거리이다. 최대 전도모멘트( $M_{max}$ )는 기준 값을 따른다.

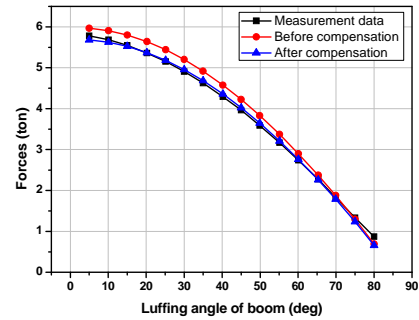
따라서 전복율( $R_M$ )은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\therefore R_M = \frac{M_R}{M_{max}} \times 100 [\%]$$

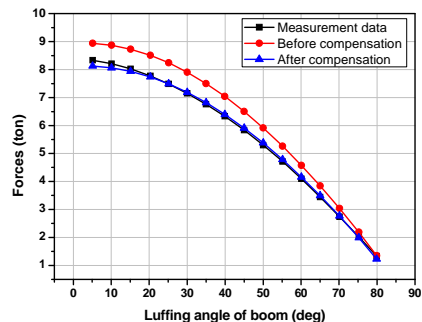
### 3. 측정값 및 관계식의 검증

식의 검증을 위해 붐의 길이는 1단계, 2단계(2~3단 50% 뻗음), 3단계(2~3단 100% 뻗음)로 각 붐을 뻗어 변경해 가면서 측정된

결과를 통해 보정값  $\alpha_L$ 을 산출하였다. 관계식을 통하여 발생한 하중과 측정하중, 그리고 보정값을 사용하여 산출한 하중을 아래 Fig 4에 나타내었다.



(a) force of 5.2 m step



(b) force of 8.7m step

Fig.4 Comparison of the measurement load and calculation load

Fig. 4를 살펴보면 측정값의 경향이 보정전과 후 크게 차이가 없다는 것을 알 수 있으며, 보정 후 하중의 분포가 측정값과 거의 일치함을 확인 할 수 있다. 따라서 하나의 크레인에서 측정을 통해 보정값을 산출하게 되면 본 연구에서 제시한 식에 적용하여 유압식 크레인용 과부하방지장치를 설계하기 위한 자료로 활용할 수 있음을 알 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 유압식 크레인의 전도모멘트에 의한 전복 재해를 예방하기 위해 사용되는 과부하방지장치 제작을 위해 권상하중과 유압실린더 압력사의 관계를 도출해 냈다. 그리고 자중 분석을 통해 전복율에 대한 관계식 또한 도출해 냈다. 측정결과와의 오차를 보정하기 위한 방법으로 유압실린더의 측정하중과 계산하중으로 보정값을 정의하였으며 붐의 길이에 따라 보정값이 달라짐을 실험을 통해 알 수 있었다. 그리고 보정값으로 인하여 측정값과 관계식이 거의 일치함을 발견하였다.

본 연구를 통하여 유도된 식은 유압식 크레인뿐 아니라 모든 이동식 크레인용 과부하방지장치 개발에 활용될 수 있을 것이다.

### 후기

본 논문은 지식경제부 지정 지역혁신센터사업(RIC) 신소형제가공정정공정개발연구센터 지원으로 수행된 연구임.

### 참고문헌

1. KOSHA, 2005, "Prevention Guide of Safety Accident for a Movable Crane," pp. 1292~1308.
2. Timoshenko, S. P. and Gere, J. M., 1961, "Theory of Elastic Stability." Mcgraw-Hill, pp. 319~347.