

## 로프각도와 강판두께를 고려한 패드아이 용접부 강도설계에 관한 연구

정호승\* · 김정렬†

(원고접수일 : 2007년 2월 23일, 심사완료일 : 2007년 5월 22일)

### A Study on Strength Design for Welded Joint of pad-eye Considering Sling Angle and a Steel Plate Thickness

Ho-Seung Jeong\* · Jung-Ryul Kim†

**Abstract** : Pad-eye is connected to crane with sling. When block is lift, pad-eye have a various applied force. Applied force on pad-eye is related to sling angle. Sling angle is decided by various parameters, including pad-eye location, sling length and crane location. Welded joint on pad-eye requires strength design because sling angle changes force on pad-eye. Strength design for welded joint of pad-eye will calculate with general mechanical design and FE analysis. FE analysis would become a useful tool in the analysis of welded joint. A commercial software(ANSYS 10.0) was used in the structural strength analysis for welded joint of pad-eye.

**Key words** : Welded joint(용접부), Pad-eye(패드아이), Strength design(강도설계), FE analysis (유한요소해석), Sling angle(로프각도)

#### 1. 서 론

패드아이는 새클, 래싱 로프 등을 걸기 위하여 갑판, 갑판실의 측면, 불워크, 창내 등에 붙이는 구멍이 달린 작은 강판을 말한다<sup>[1]</sup>. 많은 블록을 조립하여 선박을 건조하고 블록은 크레인을 이용해 옮겨진다. 블록이나 구조물을 옮길 때는 하중, 무게중심, 조인트 형상, 위치 등을 고려해야 한다<sup>[2]</sup>. 패드아이와 크레인의 연결되는 위치에 의해 로프 각도가 변하기 때문에 패드아이에 다양한 방향과 크기의 하중이 작용한다. 이로 인해 움직이고자 하는 물체의 하중은 같지만 로프에 작용하는 하중은 달라진다. 그

러므로 다양한 방향의 하중에 의해 패드아이 용접부에 작용하는 응력변화에 대한 고찰이 필요하다.

패드아이 용접부에 작용하는 응력변화를 고찰하기 위해서 이론적 방법으로 강도설계를 하고 하중 방향의 변화에 따른 응력변화를 고찰하고자 한다. 이론적 방법에 의한 설계는 용접부에 작용하는 평균응력을 나타낸다. 하지만 실제로는 국부적인 응력이 패드아이 용접부에 작용 한다. 따라서 정확한 강도설계에 한계가 있으므로 유한요소법을 이용하여 실제 용접부에 작용하는 응력에 대한 고찰을 하고자 한다. 범용소프트웨어 ANSYS 버전 10을 이용하여 구조해석을 하였다.

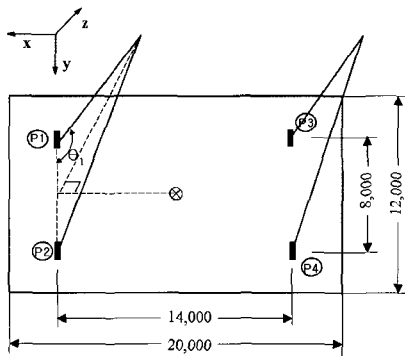
† 교신저자(한국해양대학교 기관시스템공학부), E-mail: jrkim@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4247

\* 한국조선기자재연구원 연구개발센터

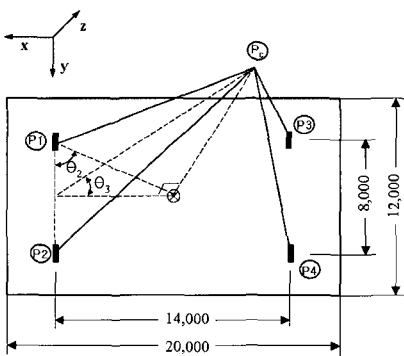
## 2. 일반적 용접부 강도설계

### 2.1 용접부 강도계산

패드아이와 크레인의 연결위치와 로프의 각도에 따라 자중은 같지만 로프의 축하중은 달라지므로 패드아이에 여러 방향의 하중이 가해진다. 그래서 다양한 방향의 하중에 대한 패드아이 용접부에 작용하는 응력을 고찰하고자 한다. Fig. 1은 갑판을 들어 올릴 때 패드아이와 로프의 위치를 나타내는 개략도이며, 2가지 경우의 관점에서 설계를 하였다. 갑판의 치수와 패드아이의 위치는 고정하였으며 크레인의 위치와 로프의 길이 변화에 대한 영향을 고찰하였다. Fig. 1(a)은  $\theta_1$ 이  $40^\circ \sim 70^\circ$ 까지 변화에 따른 용접부 강도변화에 대해서, Fig. 1(b)은  $\theta_3$ 이  $40^\circ \sim 70^\circ$ 까지 변화에 따른 용접부에 작용하는 응력 변화를 고찰하기 위해서 변수에 대한 설



(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 1 Schematic of design parameter

계를 하였다. Fig. 2는 강판에 용접된 패드아이 용접 모양 및 용접 크기를 도시하였다. 용접부 단면에서 용접면 한 변의 길이는 25mm이며 용접된 강판의 두께는 변수로 가정하였다. 하지만 일반적 용접부 강도설계에서 강판의 변형은 무시한다.

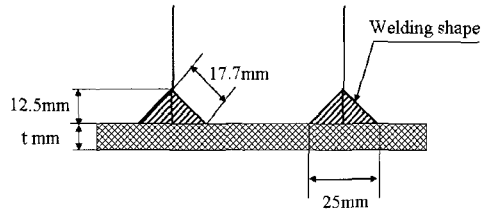


Fig. 2 Dimension and shape of welded joint

Fig. 3은 용접부에 작용하는 힘의 종류 및 방향을 도시하였다. 로프의 축하중은 패드아이에 여러 방향의 하중이 가해진다. 용접부에 작용되는 하중은 용접부와의 거리가 h만큼 높이 있으며 용접부 중심과 L만큼 떨어져 있으므로 실제 용접부에 작용되는 하중은 모멘트와 토크에 의한 복합적인 인장, 전단하중이 작용된다. 용접부에 작용하는 인장 및 전단응력은 식 (1)을 사용하여 계산하였다 [3],[4]. Table 1은 패드아이와 용접부에 대한 치수를 나타낸다.

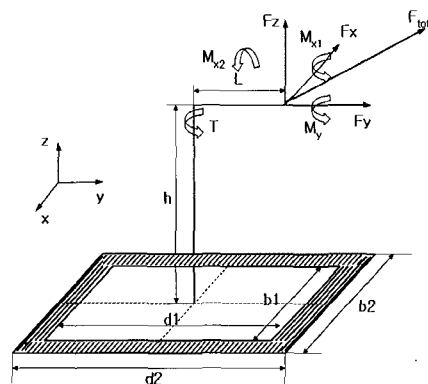


Fig. 3 Schematic of applied force on welded joint

Table 1 Dimension of pad-eye and welded joint

parameter	b1	b2	d1	d2	h	L	t
value	125	175	475	525	205	80	25

$$\begin{aligned} \tau_x &= \frac{F_x}{A} + \frac{T\bar{y}}{J} \\ \tau_y &= \frac{F_y}{A} + \frac{T\bar{x}}{J} \\ \sigma_z &= \frac{F_z}{A} + \frac{M_{x1}\bar{y}}{I_x} + \frac{M_y\bar{x}}{I_y} + \frac{M_{x2}\bar{y}}{I_x} \\ \sigma_{tot} &= \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2 + \sigma_z^2} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $M_{x1} = F_y h$ ,  $M_{x2} = F_z L$ ,  $M_y = F_x h$ ,  
 $T = F_x L$ ,  $\bar{x} = \frac{b_2}{2}$ ,  $\bar{y} = \frac{d_2}{2}$ ,  $I_x = \frac{b_2 d_2^3 - b_1 d_1^3}{12}$ ,  
 $I_y = \frac{d_2 b_2^3 - d_1 b_1^3}{12}$ ,  $J = \frac{(b_1 + d_1)^3}{6} \cdot 0.707t$

2.2 강도계산 결과

먼저 case 1인 경우  $F_z$ 를 100kN 으로 고정하여 계산하였으며  $\theta_1$ 이 변수이다.  $\theta_1$  각도가 줄어들수록  $F_y$ 의 힘은 증가하고 이 힘은 패드아이 용접부에 전단력 및 굽힘력으로 작용하므로 용접부에 작용하는 응력은 70°일 때 9.1MPa 이지만 40°일 때 15.5MPa 이며 1.7배 많이 작용함을 알 수 있었다. case 2인 경우  $F_z$ 를 100kN,  $\theta_2(60.26^\circ)$ 로 고정하여 계산하였으며  $\theta_3$ 이 변수이다.  $\theta_3$  각도가 줄어들수록  $F_x$ ,  $F_y$ 의 힘은 증가하고 이 힘들은 용접부에 전단력 및 굽힘력으로 작용하므로 용접부에 작용하는 응력은 70°일 때 13.2MPa 이지만 40°

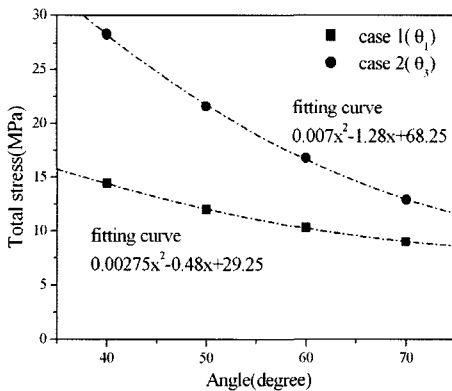


Fig. 4 Total stress distribution by general mechanical design

일 때 29.7MPa 이며 2.25배 많이 작용함을 알 수 있었다. Fig. 4는 이론적 방법에 의한 강도설계에 대한 결과를 도시하였으며 2차 함수로 표현할 수 있었다. Table 2, 3은 패드아이에 작용하는 하중 및 용접부에 작용하는 계산된 응력을 나타낸다.

Table 2 Calculation results of welded joint(case 1)

$\theta_1$	70°	60°	50°	40°
$F_x$ (kN)	0.0	0.0	0.0	0.0
$F_y$ (kN)	36.4	57.7	83.9	119.2
$F_z$ (kN)	100.0	100.0	100.0	100.0
$\tau_x$	0.0	0.0	0.0	0.0
$\tau_y$	2.4	3.8	5.6	7.9
$\sigma_z$	8.8	9.9	11.4	13.3
$\sigma_{tot}$	9.1	10.7	12.7	15.5

Table 3 Calculation results of welded joint(case 2)

$\theta_3$	70°	60°	50°	40°
$F_x$ (kN)	36.4	57.7	83.9	119.2
$F_y$ (kN)	20.8	33.0	47.9	68.1
$F_z$ (kN)	100.0	100.0	100.0	100.0
$\tau_x$	4.8	7.7	11.2	15.9
$\tau_y$	2.2	3.5	5.1	7.2
$\sigma_z$	12.1	15.2	19.0	24.1
$\sigma_{tot}$	13.2	17.4	22.6	29.7

3. FEM을 이용한 용접부 응력해석

3.1 해석조건 및 모델링

이론적 방법에 의한 강도설계는 용접부에 작용하는 평균응력을 나타내며 강판 변형을 무시하여 계산한다.

패드아이는 갑판의 얇은 강판에 용접을 하여 힘을 가하면 변형이 발생하고, 또한 변형을 방지하기 위해서 패드아이 용접부에 보강을 하면 극부적인 변형이 용접부에 작용한다. 그래서 여러 주위환경의 변화에 의해서 이론적 계산은 정확한 강도설계

에 한계가 있으므로 실제 환경 조건을 적용한 구조 해석을 통해 용접부에 작용하는 응력에 대한 고찰을 하고자 한다.

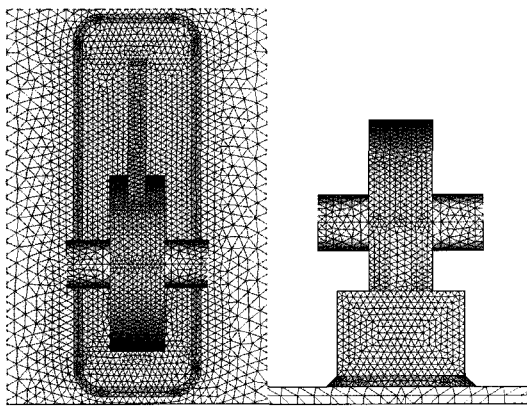
해석에 사용된 소재 물성치는 일반적인 탄소강을 적용하였으며 Table 4와 같다.

**Table 4** Material properties of steel plate(EH36)

Modulus of elasticity	Poisson's ratio	Yield strength	Tensile strength	Elongation
210GPa	0.3	350MPa	450MPa	27%

Fig. 5는 패드아이 및 용접부 강판에 대한 유한요소모델 형상을 나타낸다. 하중이 작용하는 로프는 3D 링크(link)요소를 사용하였으며 패드아이는 3D 솔리드 요소(4면체, 10절점)를 사용하였다.

로프각도에 따른 용접부에 작용하는 응력변화를 고찰하고, 강판 두께에 따른 응력변화를 고찰하고자 해석하였다. 패드아이에 작용하는 자중은( $F_z$ ) 100kN으로 고정하여 계산하였다.



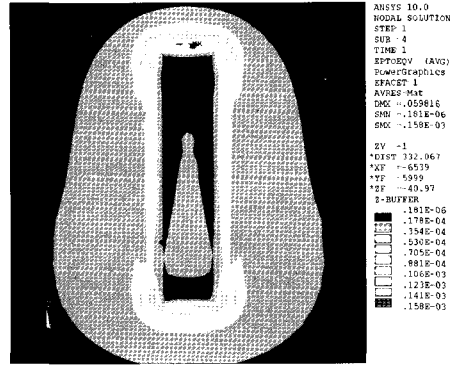
**Fig. 5** FE mesh shape of pad-eye

3.2 용접부 구조해석 결과

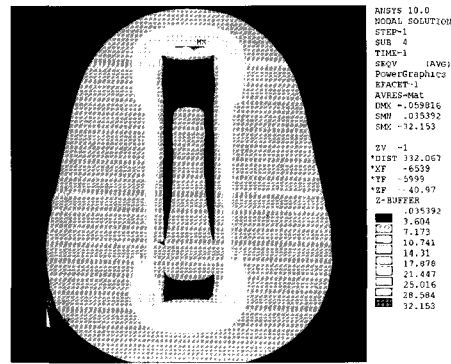
다양한 로프각도에 따른 강판 용접부에 작용하는 응력을 관찰하기 위해서 유한요소법을 이용한 구조 해석을 하였다.

Fig. 6은 case 1 방법으로 100kN 하중을 적용하고  $\theta_1$ 이  $70^\circ$ , 강판의 두께가 80mm인 경우의 강판 용접부에 대한 von Mises 변형률, von

Mises 응력에 대한 구조해석 결과를 나타낸다. 용접부에 발생하는 응력 분포는 균일한 응력이 발생하지 않았으며 패드아이 앞과 뒤 부분에서 국부적으로 응력이 발생하였음을 알 수 있었다.



(a) Strain distribution of welded joint



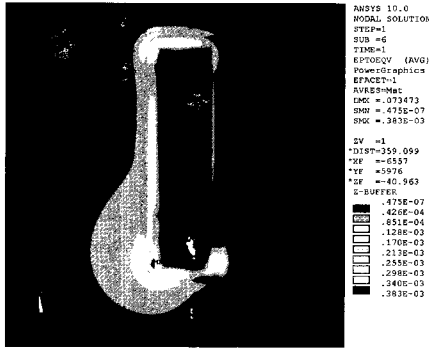
(b) Stress distribution of welded joint

**Fig. 6** FE analysis results of pad-eye (case 1)

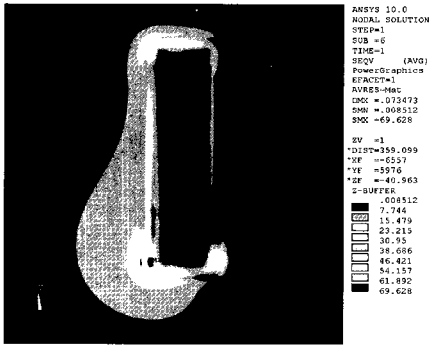
Fig. 7은 case 2 방법으로 100kN 하중을 적용하고  $\theta_1$ 이  $70^\circ$ , 강판의 두께가 80mm인 경우의 강판 용접부의 von Mises 변형률, von Mises 응력에 대한 구조해석 결과를 나타낸다. 용접부에 발생하는 응력 분포는 균일한 응력이 발생하지 않았으며 패드아이 앞과 옆 부분에서 국부적으로 응력이 발생하였음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 용접부 평균응력분포를 관찰하기 위해서 평균응력값의 측정위치를 도시하였다. Fig. 9는 case 1 방법으로 100kN 하중을 적용하고  $\theta_1$ 이  $60^\circ$ 일 때 강판의 두께를 20~80mm로 변화하

여 계산된 결과이며 강판두께별 용접부 평균응력분포를 나타낸다. 강판의 두께가 줄어들수록 용접부에 발생하는 응력은 많아짐을 알 수 있었다. 또한 두께별 응력분포는 지수함수로 표현할 수 있었으며 두께 80mm 이후에는 응력 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 이론적으로 구한 응력값 부근에 도달함을 알 수 있었다.



(a) Strain distribution of welded joint



(b) Stress distribution of welded joint  
 Fig. 7 FE analysis results of pad-eye (case 2)

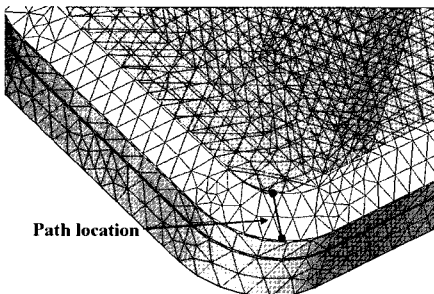


Fig. 8 Schematic of path line location

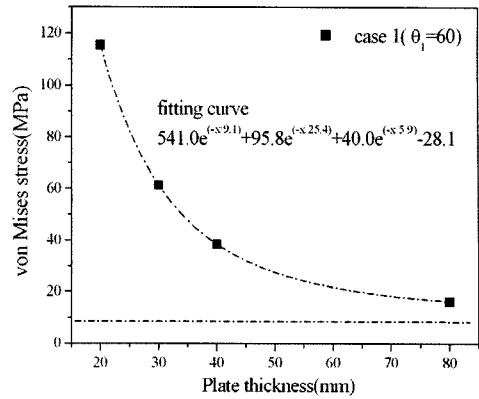


Fig. 9 Comparison of von Mises stress about different plate thickness from FE analysis

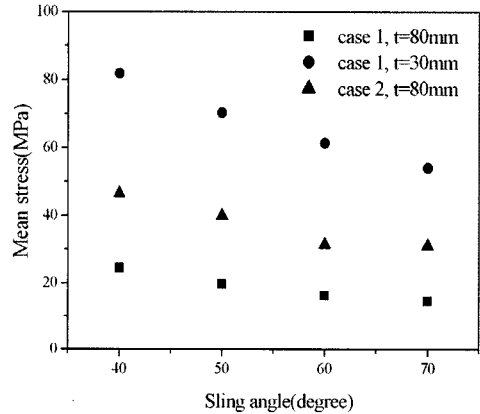


Fig. 10 Comparison of mean stress about different plate thickness and sling angle from FE analysis

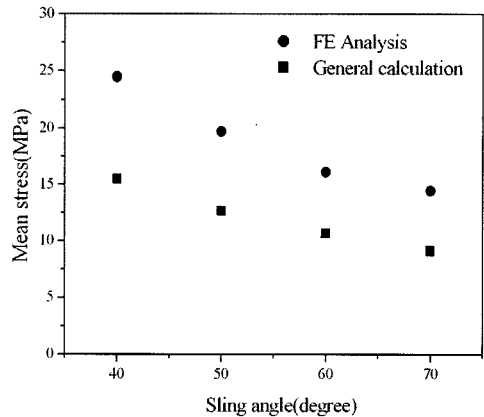


Fig. 11 Comparison of stress from FE analysis and general calculation results

Fig. 10은 case 1 방법으로 100kN 하중을 적용하고 강판의 두께가 30, 80mm일 때, case 2 방법으로 100kN 하중을 적용하고 강판의 두께가 80mm일 때 로프각도를 변화하여 구조해석에 의해 도출된 평균응력을 나타낸다. 두께가 얇아질수록, 로프각도의 방향이 작아질수록 용접부에 작용하는 응력이 많아짐을 알 수 있었다. 또한 case 2의 로프각도는 case 1보다 여러 방향의 하중이 작용하기 때문에 용접부에 작용하는 응력이 많음을 알 수 있었다. Fig. 11은 case 1 방법으로 100kN 하중을 적용하고 강판의 두께가 80mm일 때 로프각도를 변화하여 구조해석에 의해 도출된 평균응력과 이론적 강도설계에 의한 결과를 비교하였다. 응력값은 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 이유는 이론적 설계값은 강판의 변형이 무시되기 때문으로 사료된다.

#### 4. 결 론

패드아이 용접부에 작용하는 응력변화를 고찰하기 위해서 이론적 방법과 유한요소법으로 강도설계를 하고 로프각도  $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 까지의 변화에 따른 하중방향의 변화와 응력변화를 고찰하였다. 로프 각도 변화는 자중에 의한 힘 외에 다른 방향의 힘이 발생하고 패드아이 용접부에는 전단력 및 굽힘력으로 작용하므로 로프각도가 작아질수록 용접부에 작용하는 응력이 많음을 알 수 있었다.

유한요소법을 이용하여 강판의 두께에 따른 응력변화를 고찰하였다. 이론적 강도설계로 구한 응력값은 강판의 두께와 상관없이 일정하지만 유한요소 해석 결과는 로프각도가 작아질수록 강판의 두께가 얇아질수록 용접부에 발생하는 응력은 많음을 알 수 있었다. 또한 용접부에 발생하는 응력 분포는 균일한 응력이 발생하지 않았으며 패드아이 앞과 뒤 또는 옆 부분에서 다른 부위보다 국부적인 응력이 발생하였음을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

[1] 대한조선학회, 조선용어사전, 문운당, pp.

208-209, 2005.

- [2] 조조, 박형근, 박정호, 김광수, 신장룡, "상부 구조물 인양해석", 대한조선학회 춘계학술대회 논문집(1), pp. 315-325, 2004.
- [3] 홍장표, 기계설계, 도서출판 북스힐, pp. 243-256, 2001.
- [4] Walter D. Pilkey, "Formulas for stress, strain, and structural matrices", JOHN WILEY & SONS, INC, pp. 380-386

#### 저 자 소 개



##### 정호승(鄭互勝)

1972년 04월생, 1999년 한국해양대학교 기계공학과 졸업(학사), 2001년 동대학원 기계공학과 졸업(석사), 2005년 동대학원 기계공학과 졸업(박사), 2006년~2007년 한국조선기자재연구원 연구개발센터 연구원, 2007년~현재 부산대학교 대학기술센터 연구원



##### 김정렬(金正烈)

1961년 9월, 1983년 한국해양대학교 기관학과 졸업, 1985년 한국해양대학교 대학원 박용기관학과 졸업(공학석사), 1998년 일본 나고야대학 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 1988년 8월~1993년 2월 현대중공업 엔지니어링부 근무, 1993년 3월~현재 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부 부교수.