
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 35 卷 第 1 號 1998年 2月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 35, No. 1, February 1998

알루미늄 압출재의 구조적 거동 특성 및 최적설계에 관한 연구

서승일*, 손건호*

A Study on the Optimum Design and Structural Behaviors of Aluminium Extrusions

by

S. I. Seo* and K. H. Son*

요 약

파형 심재를 가지는 샌드위치 평판은 종·횡방향으로 충분한 강도를 가지며, 부재를 연결하기 위한 용접라인이 감소되고, 종 부재를 보강하기 위한 횡부재가 필요하지 않는다. 이러한 특성을 활용한 대형 알루미늄 압출재는 철도 차량과 초고속선의 중량 및 생산비용 절감을 위하여 사용될 수 있다. 그러나, 대형 알루미늄 압출판의 적절한 설계를 위해서는 압출재의 구조적인 거동에 대한 이해가 선행 되어야 한다. 본 논문에서는 먼저, 구조적인 거동을 이해하기 위한 상세 유한요소 해석을 수행하였고 둘째로, 설계에 적용하기 위한 간략화된 이론식을 제안하였다. 제안된 간략식은 상세 유한요소 해석에 의한 결과와 비교해 볼 때 높은 정확도를 보이고 있음을 알 수 있었고, 제안된 간략식은 초기 설계 단계에서의 반복적인 해석에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

Abstract

Large aluminium extrusions can be used in rolling stocks and high speed vessels to reduce weight and labor cost. As sandwich plates with corrugated core have enough strength in transverse and longitudinal direction, welding lines to connect members are reduced and transverse members to strengthen longitudinal members are not required. However, for proper design of aluminium extrusion plates, understanding of structural behaviors of the extrusions are necessary. In this paper, at first, detailed finite element analysis is carried out to understand structural behavior. And then, simple theoretical formulas for design purpose are

발 표 : 1995년도 대한조선학회 추계연구발표회('95. 11. 7)

접수일자 : 1997년 7월 7일, 재접수일자 : 1998년 1월 26일

*정회원, 한진중공업 산업기술연구소

proposed using the orthotropic plate theory. Shear stresses resulting from end twisting which is characteristics of deep aluminium extrusion plates can also be calculated by the simple theoretical formula. Comparison with the results by detailed finite element analysis shows good accuracy of the proposed simple formulas. The simple formulas can be useful in repetitive analysis in the initial design stage.

1. 서론

선박의 경우 성능 및 적재중량에 직접적인 영향을 미치는 경량 소재의 적용과 합리적인 구조설계가 필연적으로 요구되고 있다. 알루미늄 합금은 경량이면서 양호한 강도와 내식성, 다양한 반제품들(복잡한 압출재 등), 용이한 성형성, 조립 방법의 다양성, Recycling 등의 장점을 가졌다.

특히, 이들 중에서 강재와는 달리 금형을 통과하는 대형 압출이 가능하다는 점은 용접량을 줄이고 응력집중을 피할 수 있는 단면 설계를 가능하게 하며, 작업 시수를 대폭 절감할 수 있는 이점이 있다. 따라서, 다양한 형태의 압출형재(Creative Construction)를 설계단계에서 구상하여 적용시키는 추세이며 이러한 설계방법들은 제품의 경쟁력을 높이는데 크게 기여할 것이다.

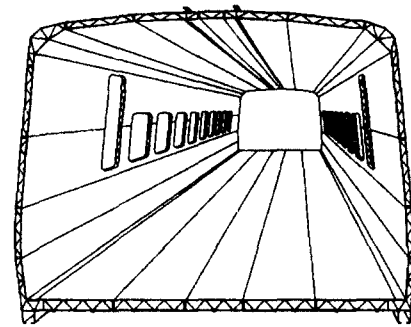
독일과 일본 등지에서는 단면이 일정한 구조물에 알루미늄 압출재가 널리 활용되어 고속열차, 전동차, 초고속선 등에 적용되고 있다(Fig. 1).

고속선 분야에서 이러한 장점을 지닌 알루미늄 압출재를 적절히 활용하기 위해서는 다양한 선체의 기하학적 형상변화 및 하중조건에 대하여 신뢰성 있는 결과를 간략한 과정을 통하여 신속히 제시할 수 있는 설계기술의 확보가 필연적인 선결과제이다.

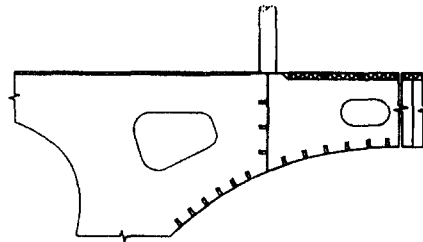
본 연구에서는 균일 압력을 받는 샌드위치형 알루미늄 대형 압출재를 대상으로 유한요소 해석을 활용하여 구조 해석을 실시하고, 이론적인 방법을 적용하여 수치해석 결과와 비교 분석함으로써 설계에 활용할 수 있는 이론식을 도출하였다. 이 이론식을 바탕으로 최적 설계를 정식화 하고 최소중량 설계를 수행하여 압출재의 형상 및 부재의 최적화를 수행하였다.

이는 선박용 알루미늄 대형 압출 형재에 대한

국산화의 기틀을 마련하고 국제 경쟁력을 높이는 데 크게 기여 할 것이다. 또한, 알루미늄 선박뿐만 아니라, 철도차량, 대형선의 상부 및 해양구조물 등에 폭넓은 적용이 가능하리라 사료된다.



Sectional view of high speed train



Design with Large Extrusions

Fig.1 Example of structure using large extrusion

2. 해석 대상 모델

샌드위치 구조의 압출재는 크로스빔과 키스톤 플레이트의 역할을 동시에 할 수 있다. 따라서 선체의 갑판에 샌드위치 구조 압출재를 적용하였을 때, 부재의 조립을 위한 용접선의 길이가 대폭 삭감되고, 중형부재의 교차가 사라지므로 생산 시수는 대폭적으로 감소된다.

중,횡부재의 역할을 동시에 할 수 있도록 설계된 철도차량의 언더프레임용 압출재 단면은 Fig.2와 같다. 철도차량과 선체의 설계하중으로서 흔히 고려하는 균일 분포 하중을 받는 평면 구조에 대해 범용 유한요소 해석 소프트웨어인 ANSYS[1]를 이용하여 상세 해석을 실시한다.

직사각형 평면에 균일 분포 하중이 가해지므로, 대칭 조건을 활용하여 1/4만 모델화 한다. 주변 단순지지의 경계조건을 가정하고, 국부적인 판의 굽힘응력까지 고려하기 위해 SHELL63 요소를 활용하였다. 해석 모델의 요소 분할 및경계조건은 Fig.3과 같다.

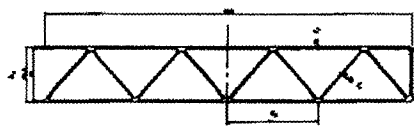


Fig.2 Sectional view of extrusion plate

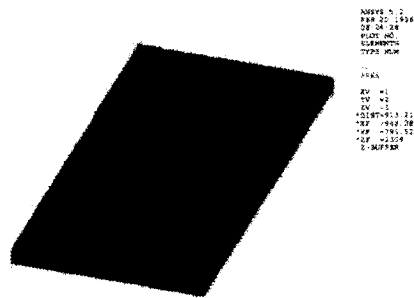


Fig. 3 Finite element model of aluminum extrusion plate

Normal prerssure = 1.0×10^{-3} kg.mm²
 Breadth b = 2.080mm
 Length a = 4.160mm

3. 상세 해석 결과

Fig.3과 같은 모델에 대해 계산된 변위 및 응력 결과는 Fig.4와 같다. 알루미늄의 물성치는 다음과 같이 입력하였다.

Young's modulus, $E = 7,300$ kg/mm²
 프와송비, $\nu = 0.33$

중횡비가 2인 판에 대한 응력 계산 결과인 Fig. 4를 통해, 최대응력은 압출재의 중앙 근처에서 종통 심재(core)와 심재 사이의 판의 중앙에서 발생하고 있음을 알 수 있다.

심재와 심재 사이의 판은 전체적인 굽힘작용에 의해 인장 또는 압축응력을 받고 있지만, 심재와 부착된 판에서 판자체의 굽힘 응력도 함께 받고 있으므로 상면과 중립면의 응력은 차이를 보인다.

중횡비를 달리하면서 반복 해석을 수행한 결과는 Table 1에 정리 되어 있다. 중횡비가 증가함에 따라 변위 및 응력값들은 수렴하고 있음을 알 수 있다.

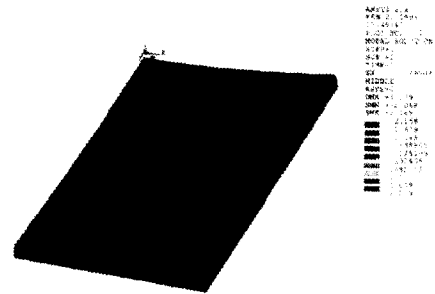


Fig. 4 Deformed shape and stress contour

Table 1 Calculated Displacements and Stresses

Item	Aspect ratio	1	1.5	2	3
		Maximum Displacement (mm)	-1.259	-2.462	-3.079
Stress, σ_y (top)	max.	-1.572	-2.315	-2.668	-3.020
	min.	.8915	1.630	1.980	2.319
Stress, σ_x (top)	max.	-1.182	-1.283	-1.223	-1.174
	min.	.8890	.9655	.9251	.8824
Stress, σ_y (mid)	max.	-.9920	-1.721	-2.068	-2.413
	min.	.9371	1.705	2.069	2.420
Stress, σ_x (mid)	max.	-.9849	-1.081	-1.031	-.9737
	min.	.9296	1.009	.9669	.9221
Stress, τ_{xz} (mid)	max.	-.7297	-.9163	-.9698	-.9696
	min.	.4206	.4046	.3993	.3977

4. 샌드위치 구조의 압출재 거동을 기술할 수 있는 이론식의 개발

적절한 샌드위치 구조의 압출재를 설계하기 위해서, 상세 유한 요소 해석에 의존하기 보다는 간단한 이론식을 활용하는 것이 실용적인 면에서 좋다. 설계 변경에 따른 거동 변화를 신속히 파악하기 위해서는 모델링과 해석에 많은 시간이 소요되는 상세 유한요소 해석 보다는 간단한 이론식이 편리하기 때문이다.

간단한 형태의 이론식은 고전적인 판이론으로부터 유도된 것이 익숙하고 유용하다. 그러나 엄밀히 말하면, 샌드위치 구조의 압출재는 깊이 방향으로 중공단면(Hollow Section)이고, 박판(Thin Plate)로 가정하기에도 무리가 따르지만, 적절한 보완과 구조적 특성 고려에 의해 판으로 유추할 수 있다.

종방향으로 단면의 변화가 없는 압출재는 직교 이방성 판으로 유추할 수 있다. 직교이방성 판에 균일 분포 하중이 작용하는 경우의 지배 방정식은 다음과 같다[2].

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = P \quad (1)$$

여기서, D_x = x방향의 굽힘강성
(flexural rigidity)
 D_y = y방향의 굽힘강성

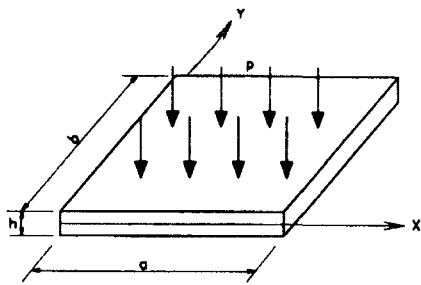


Fig. 5 Orthotropic plate under uniform pressure

- D_1 = 포아송비의 효과를 고려한 굽힘강성
- H = $D_1 + 2G_{xy}$
- G_{xy} = 비틀림 강성
- P = 균일압력
- w = 면의 방향의 처짐

단순지지된 직교이방성 판에 대한 (1)식의 w 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[3].

$$w = \frac{16p}{\pi^6} \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{\sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}}{mn \left(\frac{m^4}{a^4} D_x + \frac{2m^2 n^2}{a^2 b^2} H + \frac{n^4}{b^4} D_y \right)} \quad (2)$$

굽힘모멘트는 다음식으로 구해진다.

$$M_x = - \left(D_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$M_y = - \left(D_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (4)$$

$$M_{xy} = 2G_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (5)$$

알루미늄 압출재에 대해 $H = \sqrt{D_x D_y}$ 로 가정하고 판의 중앙에서 최대 처짐과 최대 모멘트를 구하면 다음 식과 같이 된다.

$$w_{\max} = \alpha \frac{pb^4}{D_y} \quad (6)$$

$$(M_x)_{\max} = (\beta_1 + \beta_2 \nu \sqrt{\frac{D_x}{D_y}}) \frac{pa^2}{\eta^2} \quad (7)$$

$$(M_y)_{\max} = (\beta_2 + \beta_1 \nu \sqrt{\frac{D_y}{D_x}}) pb^2 \quad (8)$$

여기서 α, β_1, β_2 = 상수로서 Table 2에 주어진다.

Table 2 Constants α , β_1 and β_2 for a simply supported rectangular orthotropic plate

η	α	β_1	β_2	η	α	β_1	β_2
1	.00407	.0368	.0368	1.8	.00932	.0214	.0884
1.1	.00488	.0359	.0447	1.9	.00974	.0191	.0929
1.2	.00565	.0344	.0524	2.0	.01013	.0174	.0964
1.3	.00639	.0324	.0597	2.5	.01150	.0099	.1100
1.4	.00709	.0303	.0665	3	.01223	.0055	.1172
1.5	.00772	.0280	.0728	4	.01282	.0015	.1230
1.6	.00831	.0257	.0785	5	.01297	.0004	.1245
1.7	.00884	.0235	.0837	∞	.01302	0	.1250

$$\eta = \frac{a}{b} \left(\frac{D_y}{D_x} \right)^{1/4}$$

ν = 알루미늄의 포아송비

(3),(4),(5)식의 상수값은 종횡비에 따라 다음의 Table 2의 상수값을 간편하게 구하기 위해 다항식으로 근접시키면 다음식이 된다.

$$\alpha = (-9.35889 + 18.3882\eta - 5.79227\eta^2 + 0.818996\eta^3 - 0.043481\eta^4) \times 10^{-3} \quad (9)$$

$$\beta_1 = (7.17076 - 3.95724\eta - 0.719841\eta^2 + 0.0430821\eta^3) \times 10^{-2} \quad (10)$$

$$\beta_2 = (-9.55194 + 18.1174\eta - 5.70824\eta^2 + 0.807606\eta^3 - 0.0429232\eta^4) \times 10^{-3} \quad (11)$$

굽힘 모멘트에 의한 굽힘응력은 다음식으로 계산 된다.

$$\sigma_x = \frac{EM_x h}{2D_x} \quad (12)$$

$$\sigma_y = \frac{EM_y h}{2D_y} \quad (13)$$

전단력

$$V_x = -\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + H \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial M_{xy}}{\partial y}$$

의 분포는 다음식으로 구해진다.

(14)

$$V_y = -\frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + H \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) - \frac{\partial M_{xy}}{\partial x}$$

(15)

샌드위치 구조의 압출재는 구조물을 이루기 때문에 압출재의 깊이가 박판에 비해서는 상당히 크다. 굽힘 모멘트에 의한 굽힘 응력의 분포는 압출재의 깊이가 이론식의 정확도에 큰 영향을 미치지 않으나 전단 응력의 분포는 상당한 영향을 미치게 된다. 이것은 Fig. 6의 회전각의 분포를 통해서 확인될 수 있다. Fig. 6에서 회전각의 분포를 살펴 보면 판의 양단에서 변화가 심함을 볼 수 있다

판의 끝단에서 회전각의 변화에 의해 Fig.6 과 같이 비틀림이 유발되고 이에 따라 전단응력이 발생된다. 비틀림에 의한 전단응력은 보의 비틀림 이론을 참고로 하여 다음 식에 의해 구해 질 수 있다.



Fig. 6 Distribution of rotation at end

$$\tau_{tors} = G\gamma \frac{d\phi}{dy} = G\gamma \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (16)$$

여기서, γ = 회전 중심에서 떨어진 거리

ϕ = 비틀림 각

G = 전단 탄성계수

전단력에 의한 전단응력은 판의 양단 중앙에서 최대 발생하고 있으나 비틀림에 의한 전단응력은 양단의 끝에서 발생하게 된다.

최종적인 전단응력은 두 성분의 합이 양단의 1/4되는지점에서 전단응력의 최대가 작용하게 된다.

$x=a, y=b/4$ 에서 전단력은 (14)식으로 구할 수 있고 간단히 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(V_x)_{\max} = \frac{pa}{\eta^2} [q_1 + \{1 + (1 - \nu)\sqrt{\frac{D_x}{D_y}}\}q_2] \quad (17)$$

$x=a, y=b/4$ 에서 비틀림에 의한 전단응력은 (16)식으로 구할 수 있고, 간단히 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = p \frac{E}{4(1 + \nu)} h \frac{16b^2}{\pi^4 D_x^{3/4} D_y^{1/4}} \left(\frac{D_x^{1/4}}{D_y^{1/4}} \frac{b}{a} \right) s_1 \quad (18)$$

중형비에 따라 q_1 및 q_2, s_1 을 구해 보면 다음 Table 3과 같다. Table 3의 상수를 다항식으로 근접시키면 다음과 같은 식이 얻어 진다.

Table 3 Constant q_1, q_2 and s_1 for a simply supported rectangular orthotropic plate

η	q_1	q_2	s_1	η	q_1	q_2	s_1
1	.00407	.0368	.0368	1.8	.2765	.2627	.04160
1.1	.00488	.0359	.0447	1.9	.2896	.2802	.04209
1.2	.00565	.0344	.0524	2.0	.3028	.2974	.04248
1.3	.00639	.0324	.0597	2.5	.3709	.3790	.04340
1.4	.00709	.0303	.0665	3	.4404	.4570	.04364
1.5	.00772	.0280	.0728	4	.5785	.6102	.04371
1.6	.00831	.0257	.0785	5	.7132	.7628	.04371
1.7	.00884	.0235	.0837				

$$q_1 = (0.353612 + 1.35448 \eta) \times 10^{-2} \quad (19)$$

$$q_2 = (-0.377094 + 1.62134 \eta) \times 10^{-2} \quad (20)$$

$$s_1 = (-4.86862 + 13.8118 \eta - 7.95822 \eta^2 + 2.07648 \eta^3 - 0.20548 \eta^4) \times 10^{-2} \quad (21)$$

최대 전단응력은 다음식으로 구해지게 된다.

$$\tau_{\max} = p \left[\frac{E}{4(1 + \nu)} h \frac{16b^2}{\pi D_x^{3/4} D_y^{1/4}} \left(\frac{D_x^{1/4}}{D_y^{1/4}} \frac{b}{a} \right) s_1 + \frac{a}{\eta^2 h t_c} [q_1 + \{1 + (1 - \nu)\sqrt{\frac{D_x}{D_y}}\}q_2] \right] \quad (22)$$

여기서, t_c = 종통심재의 두께

이론식을 통해 처짐과 응력값을 정확히 계산하기 위해서는 압출재에 대한 적절한 강성 평가가 필수적이다. Fig. 2의 단면은 종통 심재가 규칙적으로 상하의 판에 연결하고 있으므로 이러한 규칙적인 각구조물은 보와 같은 거동을 보이고 있고, 종굽힘 강성은 다음식으로 계산 될 수 있다.

$$D_x = E \left[\frac{t_u h^2}{4} + \frac{t_l h^2}{4} + \frac{t_c h^3}{12s_p} \times 2 \right] \quad (23)$$

여기서, s_p = 종통 심재 사이의 거리

t_u = 상판의 두께

t_l = 하판의 두께

경사진 심재는 횡 방향의 강성 측면에서 상면의 판과 하면의 판을 상호 연결 시켜주는 작용을 하고 있으므로 횡방향의 굽힘 강성은 다음 식으로 계산 된다.

$$D_y = E \left[\frac{t_u h^2}{4} + \frac{t_l h^2}{4} \right] \quad (24)$$

Table 1에서 상하면의 판에서 중립면과 최외각에서의 응력이 다소 차이를 보이고 있다. 이것은 종보강재와 종보강재 사이의 압출재 상면의 판에 국부적인 굽힘응력이 발생하고 있기 때문이다. 국부적인 굽힘응력은 다음식으로 계산 가능하다[2].

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 0.25 p \left(\frac{S_p}{t_u} \right)^2 \\ &= 0.25 \times 10^{-3} \times \left(\frac{130}{3} \right)^2 \quad (25) \\ &= 0.4694 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

5. 이론식에 의한 계산 결과의 검증

이론식에 의해 계산된 처짐 및 응력을 상세 유한요소 해석 결과와 비교해 보았다. Fig. 3의 모델에 대해 (6)식으로 최대처짐을 계산하고, (7), (8)식 및 (12), (13)식으로 최대응력을 계산한다. Fig.2의 압출재에 대한 굽힘강성치 계산 결과는 다음과 같다.

$$D_x = 9229.5 \times 7,300 = 67,375,350 \text{ kg-mm}$$

$$D_y = 7776.0 \times 7,300 = 56,764,800 \text{ kg-mm}$$

중횡비의 변화에 따르는 최대 응력 계산 결과는 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타나 있다. Fig. 7 및 Fig. 8에 따르면 이론식에 의한 계산 결과는 상세 유한요소 해석 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. Fig. 7 및 Fig. 8에서 나타난 경향을 보면, 중횡비의 증가에 따라 처짐 및 응력 계산 결과가 일정한 값으로 수렴해감을 알 수 있다. 이것은 단

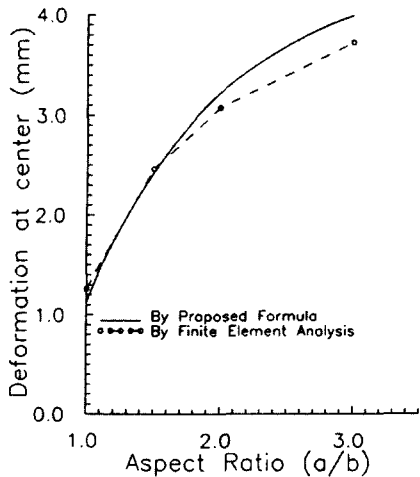


Fig. 7 Deformation of the extrusion plate under uniform pressure according to aspect ratio

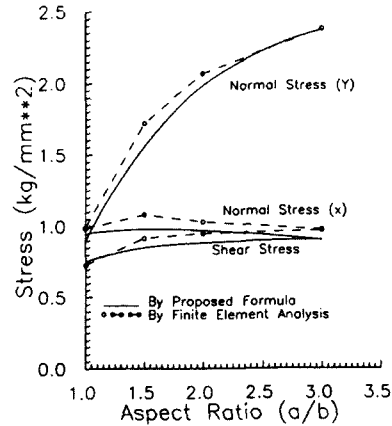


Fig. 8 Stresses of the extrusion plate under uniform pressure according to aspect ratio

순한 평판에서 보여주는 경향과 일치하는데, 중횡비가 커짐에 따라 단위 길이의 띠판이 보와같은 1차원 거동을 보인다는 것을 암시하고 있다. 중횡비 2 이상에서는 띠판으로 모델화하여 응력을 계산하여도 큰 오차는 없게 된다.

6. 압출재의 최적 설계

개발된 이론식은 계산예에서 보았듯이 상세 유한요소 해석 결과와 비교하여도 양호한 정확성을 지니고 있고, 간편한 식으로 표현 된다는 장점도 가지고 있다. 상세 유한요소 해석을 최적 설계에 적용하는 것은 막대한 계산으로 인해 난점이 많으나, 이론식을 활용할 경우에는 단시간내에 최적화를 수행할 수 있는 유용성이 있다. 개발된 이론식을 기초로하여 균일 압력이 작용하는 샌드위치형 압출재의 최적 설계 문제를 정식화 하면 다음과 같다.

■ 설계변수 :

- 심재의 간격 S_p
- 상하면의 판두께 t_f
- 심재의 판두께 t_c
- 상하면의 거리 h_c

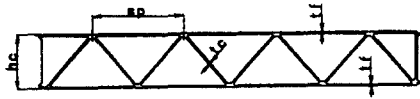


Fig. 9 Definition of Extruded Shape

- 목적함수 : 압출재의 단위 길이당 면적

$$F = 2t_f + t_c \sqrt{h_c^2 + (0.5s_p)^2} / (0.5s_p)$$

- 제한조건 : 허용응력 조건

$$\sigma_a / \sigma_{\max} - 1 > 0$$

$$\tau_a / \tau_{\max} - 1 > 0$$

- 최소두께 조건

$$t_f / t_{\min} - 1 > 0$$

$$t_c / t_{\min} - 1 > 0$$

- 압출재 금형 제작에 관련한 제한 조건

$$h_{\max} / h_c - 1 > 0$$

알루미늄 대형 압출재를 생산하기 위한 금형은 원형 단면이고 원형안에 압출재의 형상이 포함되어야 하므로 압출재의 높이는 제한을 받게된다.

다음과 같은 조건에 대해 Nelder & Mead의 직접 탐사법을 이용하여 최적화를 수행한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Optimized results for the aluminum extrusion profiles upon the distance of core plates(단위. mm)

심재의 간격 s_p	74.29	86.7	104	130	173.3	260	520
상하면의 판두께 t_f	2.32	2.39	2.49	2.7	2.98	3.68	5.94
심재의 판두께 t_c	2.0	2.04	2.0	2.0	2.0	2.0	3.47
상하면의 거리 h_c	79.77	79.98	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
목적함수 F	9.38	9.06	8.67	8.58	8.69	9.81	15.52

압출재 단면의 길이 $a = 6,240$ mm

압출재 단면의 전체 폭 $b = 2,080$ mm

최소 판두께 $t = 2$ mm

최대 형재 높이 $h_{\max} = 80$ mm

균일 압력 $p = 4 \times 10^{-3}$ kgf / mm²

허용 응력 $\sigma_a = 12$ kgf / mm²

허용 전단응력 $\tau_a = 6.9$ kgf / mm²

Table 4 에 따르면 심재의 간격에 따라 심재의 판두께와 상하면의 거리는 각각 최소 판두께와 최대 높이와 거의 일치함을 알수 있는데, 이를 통해 심재는 가능한 한 작게 하고 상하면의 거리는 가능한 한 크게 하는 것이 압출재의 중량이 감소하는 방향임을 알 수 있다.

심재의 간격이 극단적으로 커지게되면 심재 사이에서 국부적인 굽힘응력이 증가하게 되므로 상하면의 판두께는 급격히 증가하게 된다. 이와 함께 심재 하나가 분담하는 하중도 증가하게 되어 심재의 판두께도 증가 하여야 한다. Fig. 10 에 따르면 최소중량이 산출되는 최적의 심재의 간격이 존재하고 있음을 알 수 있다.

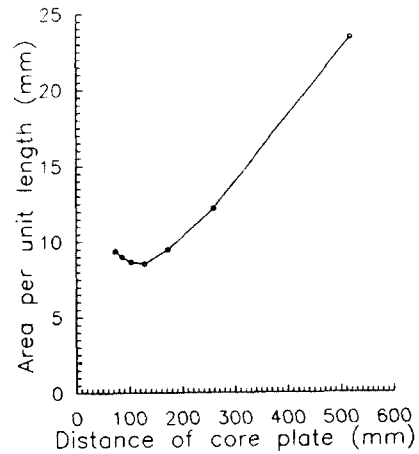


Fig. 10 Variation of weight of the hollow extrusion structure upon distances between core plates

7. 알루미늄 대형 압출 부재 사용시의 생산성 검토

선박의 제작 과정에서 완료된 선각제품이 생산되려면 설계, 가공, 조립, 탑재 등의 여러 단계의 작업 공정을 걸쳐야 한다. 각 단계별 작업 공정은 작업에 필요한 시설의 종류 및 배치 그리고 이를 사용할 작업자의 기능도에 따라 생산성에 차이를 나타내게 될 것이다.

먼저, 설계과정에서 제작하기 용이한 구조 설계나 작업 방법을 우선적으로 고려해 줌으로써 판재의 절단 및 용접 등에 관한 요소 개선을 이룰 수 있고 이결과 현저한 생산성개선을 추구할 수 있을 것이다. 이와같은 관점에서 과거에 선박의 소재가 목재에서 철강으로 전환되었고, 선박 건조방법이 리벳건조에서 용접법으로 전환되었으며, 높은 생산성을 위하여 블록건조 공법 및 자동화 기술 등이 지속적으로 이루어졌다.

이 결과 조선업계의 점유율 1위 자리의 변화를 가져올 만큼 엄청난 위력을 발휘했다[4]. 따라서, 기술혁신의 필요성은 늘 강조되어 왔지만 지속적으로 보완되어질 중요한 문제이다.



생산성향상을 위해서는 설계, 가공, 조립, 탑재의 각 공정 중에서 많은 변수들이 있겠으나 우선, 알루미늄 대형 압출재 와 기존의 부재를 사용한 건조방법 중에서 선각 건조시 가장 많은 영향을 미치는 용접부에 관한 간략한 비교를 Table 5에 나타내었다.

단위 면적당 최종 용접 완료 시간이 기존공법과 비교하여 약 3.25배의 높은 생산성을 보여주고 있으며 용접 이외에 가공 및 조립 과정에서도 상당한 공수의 절감이 예상된다. 그리고 압출재의 연결부위를 위한 단면 형상의 개발 및 부재 제작에 있어서의 경제성 평가는 세밀한 검토가 필요할 것이다.

8. 결론

대형 알루미늄 압출재는 철도차량 및 고속선의 생산에 적용될 경우, 중량의 감소는 물론 용접선

Table 5 Comparison of a design with aluminum extrusion profiles and conventional design

	대형 압출재 사용	기존 공법 사용
Material Specification	AA 6005A T6	AA 6005A T6
Material Thickness Range	10 mm	10 mm
용접 종류	맞대기 용접	맞대기 용접 / 필렛 용접
용접 속도	0.5~0.8 m/min*	0.4~0.45m/min**
용접 부위	Main Deck	Main Deck
구조물 형상		
총 용접장	2 m/m ²	5.2 m/m ²
용접완료 시간	4 min/m ²	13 min/m ²

* MIG 자동용접, VAW사 자료
 ** MIG 수동용접, KCTMI 자료

의 단축 및 횡부재의 불필요 등으로 작업시수를 절감할 수 있는 유용한 재질이다.

구도적 거동을 파악하기 위해 상세 유한요소 해석을 수행 하였고, 구조 부재로서 설계하기 위한 간략한 계산식이 필요한 바, 직교이방성 판이론에 기초한 이론식을 개발 하였다.

중횡비에 따른 처짐 및 굽힘응력을 계산할 수 있는 계산식을 제시하였고, 압출재의 깊이에 기인한 끝단의 비틀림 전단응력을 계산하기 위한 계산식을 제시하였다.

상세 유한요소 해석 결과와 제안식에 따른 계산 결과를 비교한 결과 양호한 일치율을 보이고 있었다. 중횡비가 증가함에 따라 최대처짐 및 응력 계산 결과는 일정한 값에 수렴하는 결과를 보이고 있는데, 중횡비가 2 이상이 되면 압출재의 거동은 보와 같은 거동을 하는 띠판으로 모델화 하여도 큰 오차는 없게 된다.

제시된 이론식은 설계 초기 단계에서 압출재의 거동을 파악하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료되고, 반복 계산이 요구되는 최적화 과정 속에서도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] ANSYS Users Manual, Swanson Analysis System Inc., 1995.
- [2] Timoshenko, S. P. and Woinowsky-Krieger, S., Theory of Plates and Shells, McGraw Hill, 1970.
- [3] "철도차량용 알루미늄 압출형재 및 차체 구조 개발에 관한 연구", 통산산업부 공기반과제 보고서, 1994.
- [4] "한·일 조선산업 경쟁력 분석", 조선공업 협회지, 1995.
- [5] Bruhn, E. F., Analysis and Design of Flight Vehicle Structures, Tri-State Offset Company, 1973.
- [6] Max Siegrist., Aluisse Swiss Aluminium Ltd., "Large Aluminium Extrusions in Shipsbuilding", The 2nd International Forum on Aluminium Ship, 1995.
- [7] Ole T. Midling and Helge G. Johansen., "Production of Wide Aluminium Profiles by Solid-State Friction Stir Welding", 6th International Aluminium Extrusion Technology Seminar VolmII, 1996.