

## AI어선 선체용접부의 신형상 개발 및 적용 가능성 검토

김종명\*, 오종인\*\*, 방한서\*\*\*

The examination of application possibility and development of new  
welding joint shape for aluminum alloy

KIM Jong-Myung\*, OH Chong-In\*\* and BANG Han-Sur\*\*\*

### 요 약

어선 제작시 어선의 고속화 및 어로작업등에 의한 내구성을 향상시키기 위해 선각재질이 가볍고, 강도, 화재 및 해수의 부식등에 뛰어난 재료의 사용이 요구되어지고 있다. 이러한 어선으로서는 크게 FRP어선과 AI어선으로 대별할 수 있다. 그러나 FRP어선은 가볍고 강도는 우수하나 인화성이 높아서 열에 매우 약하고 선박 제작 과정에 있어 인체에 해로운 유해성분이 발생할 뿐만 아니라, 폐선의 경우 산업폐기물로써 환경 오염에 큰 영향을 미치고 있다. 그런 반면에, AI어선은 FRP어선의 단점을 보완할 수 있는 재료로써, 고강도 및 경량화의 효과를 낼 수 있고, FRP어선보다 인화성이 낮아서 열에 강하고, 내구성이 높아 해수의 부식방지에 뛰어나므로 AI 어선의 개발이 시급한 실정이다. 그러나, 알루미늄 합금은 용접성이 좋지 않고 용접변형 및 균열이 발생하고, 건조 비용이 비싸다는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 AI 합금 접합시의 문제점 해결 방안으로 용접이음부의 새로운 형상을 개발하고 개발한 신형상에 대한 역학적 거동을 규명하고자 하였다.

이를위해, 먼저 평판 이론을 이용하여 구조부재를 단순화하여 평판, 보강판, 신형상에 대하여 해석함으로써 강도를 비교 검토하고, 이러한 결과를 토대로 자체 개발된 용접열전도 및 용접열응력 수치해석 프로그램을 사용하여 평판과 신형상의 온도분포, 용접잔류응력, 인장, 압축시의 강도를 수치시뮬레이션을 통하여 비교, 검토하였다. 또한, 인장 시험편을 제작하여 실험을 통하여 강도를 비교함으로써 신형상에 대한 적용 가능성 및 역학적 우수성을 입증하고자 하였다.

접수일자: 2000년 9월 5일, 승인일자: 2000년 12월 2일

\* 정회원, 전남도립담양대학 기계자동차공학부 조교수(E-mail: dykimjm@hanmail.net)

\*\*학생회원, 조선대학교 선박해양공학과 박사과정(E-mail: chong-o@hanmail.net)

\*\*\*정회원, 조선대학교 선박해양공학과 교수(E-mail: hsbang@mail.chosun.ac.kr)

## Abstract

Manufacture of fishing vessel is needed the effective material for light, strength, fire and corrosion of water in order to improve durability by high-speed and fishing.

These fishing vessel can be divided into FRP and Al alloys fishing vessel. FRP fishing vessel is light and effective for strength but highly ignited and susceptible to heat during the manufacturing ship by-produce noxious component for human. In the case of a scrapped ship, it cause environmental pollution. On the other hand, aluminum is a material in return for FRP and has merit of high-strength and lightness. It's more heat proof and durable than FRP and superior to prevent from corrosion. Al alloys fishing vessel development is rising as an urgent matter. But, al alloy has some defect of bad weldability, welding transformation, cracks and overcost of construction. Therefore this study is to develop the new welding joint shape solving aluminum defects and mechanical behavior.

First of all, strength was compared and reviewed by analysis of plate, stiffen plate, new model simplified by using plate theory. On the base of this result, plate and new model of temperature distribution, weld residual stress and strength of tensile, compressive force were compared and reviewed by finite element computer program has been developed to deal with heat conduction and thermal elasto plastic problem. Also, new model is proved application possibility and excellent mechanic by strength comparison is established to tensile testing result.

## 1. 서 론

최근 고강도, 경량화를 목적으로 자동차·선박·수송기기·전기전자 부품등에 알루미늄 합금의 사용이 증가하고 있다. 특히, 어선의 고속화 및 어로작업등에 의한 내구성을 향상시키기 위해서는 선각재질이 가볍고, 강도, 화재 및 해수의 부식등에 뛰어난 재료로서 AI어선의 개발이 시급한 실정이다.

그러나, 알루미늄 합금은 용접시 저항이 낮고, 열전도도 및 비열이 큰 성질 때문에 단시간·대전류를 필요로 하고, 이는 용접후 냉각시 구조물의 변형을 일으킬 뿐만 아니라 용접균열 발생의 원인이 된다.

따라서, 본 연구에서는 알루미늄 합금의 물리적 특성을 고려<sup>1)</sup>하여 용접변형 및 용접균열을 막고 용접 강도를 향상시키기 위한 용접이음부의 새로운 형상을 개발하고, 그 타당성을 검토하고자 한

다. 이를 위해 기존의 맞대기 용접이음부, 보강판과 신형상에 대해 평판 이론을 이용하여 구조부재를 단순화하여 강도를 비교 검토하고, 재료의 온도변화에 의한 물성치 (비저항, 열전도율, 비열, 밀도, 항복응력, 탄성계수, 열팽창계수)의 변화를 고려<sup>2),3)</sup>하여 용접현상을 정도 높게 시뮬레이션할 수 있는 자체 개발한 2차원 비정상 열전도 해석 및 열탄소성 유한해석 프로그램을 이용하여 전 모델에 대해 수치해석을 수행하였다.

맞대기 용접부와 새로운 형상의 용접부를 모델링하여 수치해석을 통한 열전도 해석을 수행함으로써 온도분포를 비교하고, 이를 열탄소성 해석시의 입력 data로 하여 수치 시뮬레이션을 통해 용접잔류응력, 변위, 인장, 압축시의 거동등을 비교함으로써 신 형상에 대한 역학적 우수성을 입증하고자 하였다. 최종적으로는 각종 인장 실험결과를 토대로 어선재질의 경량화 및 구조강도의 적절한 설계 및 건조공법의 단순화를 도모하고자 한다.

2. 해석 이론

구조해석 방법은 전통적인 해석방법과 컴퓨터를 사용하여 해석하는 수치해석법이 있다.

본 연구에서는 먼저 평판이론(Plate theory)에 의해 구조부재를 단순화하여 해석하였다. 그 결과를 토대로 자체 개발된 용접열전도 및 용접열 응력 수치해석 프로그램을 사용하여 비교 모델에 대해 준정상 상태로 구별되는 용접부 중앙단면에 대하여 순간열원을 고려<sup>1)</sup>한 열전도 및 열탄소성 해석을 수행하였다.

해석에 사용한 열전도 프로그램에 대한 유한요소 정식화 과정<sup>5)</sup>에서는 재료가 등방성(Isotropic)일 때, 연속체의 비정상 열전도문제의 지배방정식(Governing equation)은 아래의 식이 사용되었다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \dot{Q} \quad (1)$$

결국, 비정상 열전도문제에 대한 요소의 유한요소식은 다음과 같다.

$$[K]\{\phi\} + [C]\left\{\frac{\partial \phi}{\partial t}\right\} = \{F\} \quad (2)$$

여기서,  $[K]$  : 열전도 Matrix,  $[C]$  : 열용량 Matrix,  $\{F\}$  : 열유속 Vector 이다.

또한, 용접잔류응력 해석용 프로그램에서는 탄·소성 전 영역에 걸쳐 항복강도, 탄성계수등의 재료정수의 온도의존성을 고려하였고, 소성역에서는 소성유동(Plastic-flow)이론에 입각하여 증분형으로 나타내어 해석의 정도를 높였다. 또한, 선형등방경화 법칙을 고려한 Von-Mises 항복조건을 항복함수로 사용하였다. 전변형율(Total strain)증분  $\{d\epsilon\}$ 은 아래 식과 같이 탄·소성 및 열변형율의 합으로써 구성되었다.

$$\{d\epsilon\} = \{d\epsilon^e\} + \{d\epsilon^p\} + \{d\epsilon^t\} \quad (3)$$

맞대기 용접시험편에 대한 용접입열(Q)의 계산

은 (4)식에 의거하였으며,

$$Q = \eta \frac{V \cdot I}{\nu} \text{ (joule)} \quad (4)$$

용접금속의 각 요소에 대한 입열 q는 칼로리로 환산한 아래식을 사용하였다.

$$q = \frac{Q \cdot \ell}{4.19 \cdot A \cdot I \cdot t} \text{ (cal)} \quad (5)$$

여기서,  $t = (\ell / \nu)$ : 용접시간(sec), V: 전압(V), I: 전류(A), Q: 입열량(joule), A: 단면적(mm<sup>2</sup>),  $\nu$ : 용접속도(mm/sec),  $\ell$ : 용접길이(mm),  $\eta$ : 용접효율 이다.

신행상에 대한 용접입열(Q)의 계산은 (6)식에 의거하였다.

$$q(r, t) = 0.24 V_e i^2 r(T) \cdot dt \text{ (cal)} \quad (6)$$

여기서, r : 모재의 비저항, t : 시간,  $V_e$  : 요소의 체적, T : 온도, i : 전류밀도이다.

3. 해석 및 실험 방법

3.1 해석모델 및 방법

고전적 해석은 소형어선의 경우를 예를 들면 길이 1.5m의 위치에서 길이(L):500mm의 단순범으로 단순화하여 모멘트를 구하였으며, Butt 및 신행상의 단면치수는 선급규정의 소형어선 강선 규칙<sup>9)</sup>을 참조하여 보강재의 크기 (폭:30mm× 높이:7mm)와 간격을 선정하여 Fig. 2에 나타내었고, 하중조건은 수압을 고려하여 분포하중으로  $w=200(\text{kgf/cm}^2)$ 로 하였다. 또한, 모멘트의 계산은 열전도 및 열탄소성 해석시 A15083합금의 물리적 특성 및 기계적 재성질의 온도의존성을 Table 1, Fig. 1)사용 하였다. 열탄소성 해석의 입력 데이터는 열전도 해석시의 전과정의 온도분포 이력을 입력 데이터로 사용하였다. 맞대기 용접과 신행상의 용접방법으로는 Tig용접과 Seam용접을 선정하여 수행하였다.

Table 1 Physical characteristics of Al alloy

Al alloy(5083)			
Melting Point (°C)	574 -638	specific gravity (20°C)	2.66
heat conductivity. (cal/cm°C)	0.53	Poisson's ratio	0.33
long. E (kgf/cm <sup>2</sup> )	7240	Coeff. of expansion (10 <sup>-6</sup> /°C)	22.3
Original resistance (μΩcm)	2.65	Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	28
specific heat (cal/g°C)	0.22	Internal force (kgf/cm <sup>2</sup> )	13

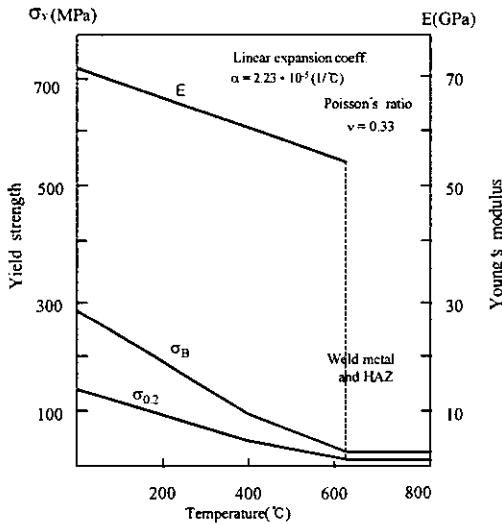
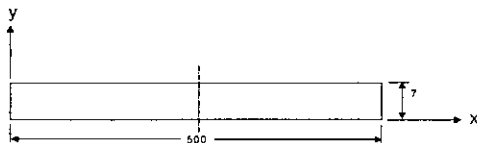


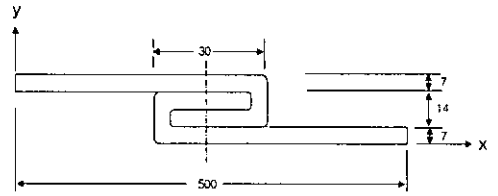
Fig. 1 Mechanical properties



(a) Plate



(b) Stiffen Plate

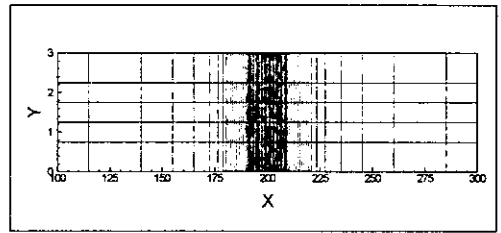


(c) New shape Model

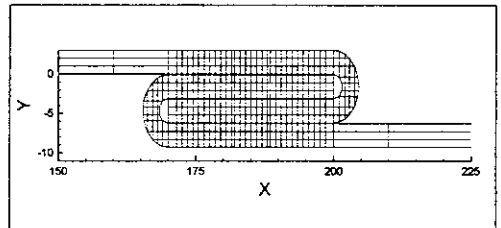
Fig. 2 Sectional properties of plate

Table 2 Resistance seam welding conditions of Al alloy

Electrode force (kgf)	Welding current (A)	Squeeze time (cycle)	Weld time (cycle)	Hold time (cycle)	Nugget dia (mm)
609.76	70,000	10	10	10	7



(a) Plate model by Tig weld



(b) New shape model by Seam weld

Fig. 3 Model mesh due to welding shape

또한, 수치해석 모델의 요소의 총절점수는 맞대기 용접의 경우는 550개, 신형상의 경우는 650개이며, 요소수는 맞대기 용접의 경우는 450개, 신형상의 경우는 500개이다. 모델의 크기는 역학적으로 자유로운 수축 및 팽창을 고려하여, 판 길이(L):500mm, 폭(B):400mm, 두께(t):3mm로 모델링하여 해석을 수행하였다. 또한, 전극의 크기는 KS 및 WES 규격<sup>6-8)</sup>등을 참고하여 φ19mm를

사용하였으며, 신 형상에 대한 용접조건은 규격 및 실제 작업조건등을 고려하여 Table 2을 사용하였다.

해석모델의 요소분할은 Fig. 3(a),(b)에 나타내었으며, 열전도 해석시 열적 경계조건은 시험체의 표면에서 외부로 열전달이 있는 것으로 하였으며, 열탄소성시 경계조건은 수축 및 팽창을 고려하여 맞대기 용접이음부의 경우, x방향 변위는  $x=100$ ,  $y=0$ 인 지점을 y방향 변위는  $x=100$ ,  $y=0$ 인 지점과  $x=300$ ,  $y=0$ 인 지점을 구속하였으며, 신형상의 경우 모델의 중심에서 x,y변위를 구속하였으며  $x=150$ ,  $y=3$ 인 지점과  $x=225$ ,  $y=-10$ 인 지점에서 y방향을 구속하였다.

3.2 실험 방법

맞대기, 겹치기 용접(1t, 3t)은 Tig 용접을 수행하여 시험편을 제작하였으며, 용접조건은 Table 3에 나타내었다. 신형상의 경우는 시임용접을 수행하여 시험편을 제작해야 되지만 Al합금 시임용접의 어려움으로 삼상 저주파 스폿용접기를 이용하여 스폿용접(1t)을 수행하여 시험편을 제작하여, 적용가능성을 검토하였다.

각각 12개의 인장시험편을 KS 및 JIS 규격을 참고<sup>(6),(7)</sup>하여 제작한 후 10,000톤급 U.T.M 시험기를 사용하여 인장 시험을 수행하였다.

Table 3 Tig welding conditions of Al alloy

Thickness (mm)	Welding current (A)	Welding volt (V)	Welding speed (cm/min)	Electrode	Pass
1	90	15	20	A5356-BY	1
3	100	23	30	A5356-BY	1

4. 고찰

4.1 평판 이론에 의한 해석 결과

고전적 평판 이론에 의한 해석 결과를 Table 4에 나타내었다.

결과에 의하면, 시험체에 작용되는 굽힘응력은 신형상의 경우가 보강재로 강화한 맞대기 용접 시

험체의 경우에 비해 1/4수준으로 나타났으며, 안전계수의 비율도 신형상의 경우가 4배 정도 우수한 것으로 나타났다. 이는 신 형상의 경우, 용접부의 형상 자체가 보강재로서의 역할을 충분히 할 수 있음을 보여주고 있다.

Table 4 Results of calculation by the classical plate theory

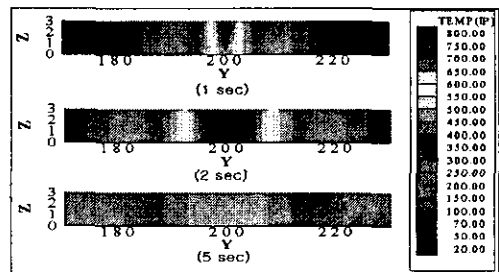
	Plate	Stiffen Plate	New Model
Min. Section Area (Zmin, mm)	4083	14469	57820
Shear Area (Aw, mm)	3500	371	4130
Bending Stress ( $\sigma$ , kgf/mm <sup>2</sup> )	15.31	4.32	1.08
Safe Factor	1.8	6.5	25.9
Shear Force ( $\tau$ , kgf/mm <sup>2</sup> )	0.09	0.14	0.12

4.2 수치해석 결과

4.2.1 열 분포

용접에 의한 온도분포 이력은 구 형상은 맞대기 용접부의 중앙 단면형상에 대해, 신 형상은 전기 저항 시임용접부의 중앙단면에 대해 도시하였다.

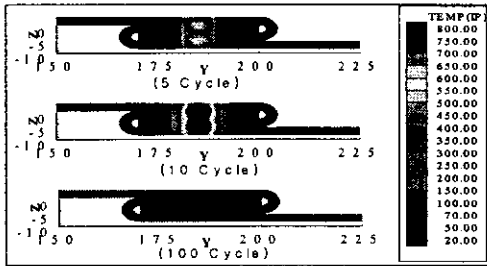
Fig. 4(a)의 그림은 Al합금의 맞대기 용접부의 용접후 1, 2, 5sec가 경과 할 때까지의 온도분포 이력을 도시한 것으로 용접 수행 수초 후 열전도가 매우 빠르게 진행되어짐을 보여주고 있다.



(a) Butt weld joint

Fig. 4 Comparison of sectional temperature distribution

또한, (b)에 도시한 그림은 시험용접 수행 후 5, 10, 100cycle이 경과한 후의 온도분포를 도시한 것이다. 용접후 10cycle이 경과한 후부터 발열부를 중심으로 급속히 열전도가 진행되어 100cycle이 경과한 후부터는 용접부의 거의 전영역에서 일정한 온도를 유지함을 보이고 있다.



(b) New shape weld joint

Fig. 4 Comparison of sectional temperature distribution

4.2.2 용접응력

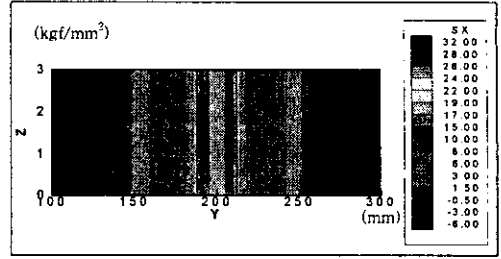
시험체 용접시의 열분포 이력을 입력데이터로 하는 용접응력 해석결과를 비교해 보았다.

Fig. 5에 도시한 그림은 용접잔류응력 성분중 응력성분을 주도하는 용접선 방향응력( $\sigma_x$ )에 대해 시험체 중앙단면 전체에 걸쳐 비교한 그림이다.

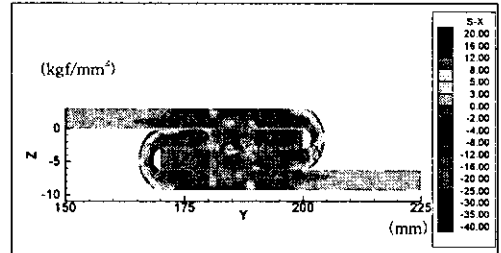
그림에서 주목해 보면, (a)의 맞대기 용접부의 경우 용착급속 및 인근 Haz부에서 집중적인 응력 분포를 보였으며, (b)의 신형상의 경우는 시험체 중앙부와 곡면부에서 응력이 집중됨을 보였으며, 이때 바깥쪽 면에는 인장성분이 안쪽면에는 압축 성분이 교차함을 보이고 있다.

이러한 분포를 나타내는 이유는 용접부 형상이 서로 다름에 따라 기인한 결과라 사료된다. 또한, 응력의 최고치는 신형상의 경우는 20kgf/mm이고 맞대기 용접부는 32kgf/mm를 나타냄으로써 맞대기 용접부에서 최대 응력값이 더크게 발생하였다.

Fig. 6은 시험체 단면중 응력이 급격히 변화하는 지점(butt: z=1mm, new:-7mm)에서 폭 방향으로 용접잔류 응력성분( $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ) 모두를 도시하였다. 그림에서 주목해 보면 맞대기 용접 시

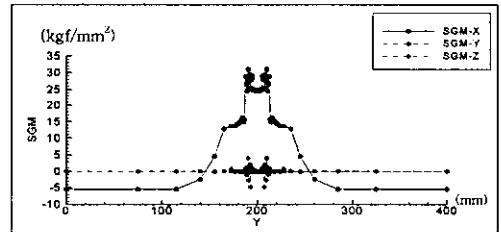


(a) Butt weld joint

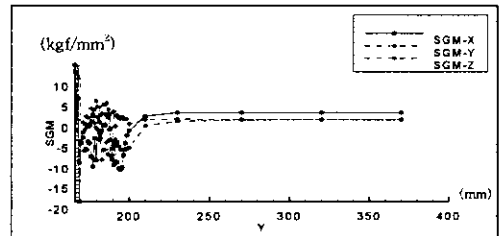


(b) New shape weld joint

Fig. 5 Comparison of weld residual stress( $\sigma_x$ )



(a) Butt weld joint



(b) New shape weld joint

Fig. 6 Comparison of weld residual stress

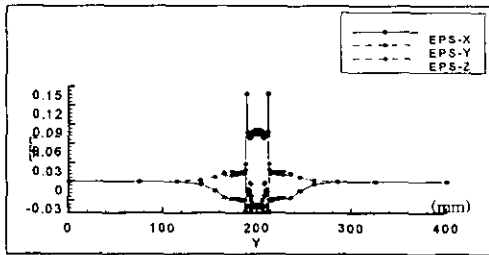
험편의 경우는 용접선 방향의 응력성분( $\sigma_x$ )이 폭 ( $\sigma_y$ ) 및 두께방향( $\sigma_z$ )의 응력성분에 비해 매우 높게 나타났으나, 신형상의 경우는 각 성분별 차가 그다지 크게 발생하지 않았으며, 특히 y 및 z

방향 성분의 차가 크지 않았다. 또한, 신 형상의 경우 용접부의 곡면처리된 좌우면에서 응력분포가 가장 크게 나타났으며, 높은 응력분포를 나타내는 영역이 폭방향으로 갈수록 급격히 감소함을 보이고 있다.

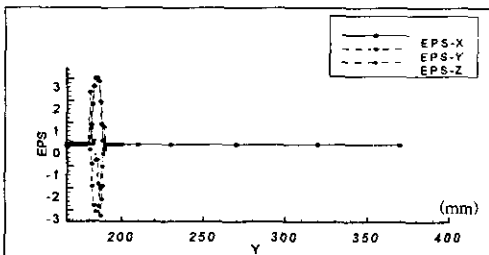
Fig. 7은 시험체 단면중 변형율이 급격히 변화하는 지점(butt: z=1mm, new:-7mm)에서 폭 방향으로 소성변형률성분( $\epsilon_x^p$ ,  $\epsilon_y^p$ ,  $\epsilon_z^p$ ) 모두를 도시하였다.

그림을 주목해보면 응력분포와 마찬가지로 맞대기 용접부의 경우 용접선 방향의 변형률( $\epsilon_x^p$ )이 폭( $\epsilon_y^p$ ) 및 두께( $\epsilon_z^p$ ) 방향보다 매우 높게 나타났으며, 응력분포와 비례하게 열영향부에서 최고값을 나타내고 있다.

신형상의 경우 또한 응력 성분과 마찬가지로 용접선 방향, 폭 및 두께방향의 차이가 그리 크게 나타나지는 않으나, 응력분포와는 비례하지 않게 용접잔류응력의 크기가 가장 크게 나타났던 곡면부 보다는 너깃 주위에서 높은 소성변형률이 발생하였다.



(a) Butt weld joint



(b) New shape weld joint

Fig. 7 Comparison of welding strain

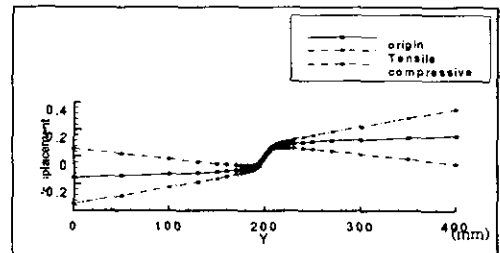
#### 4.2.3 인장, 압축시 변위와 응력분포

다음은 맞대기 용접이음부와 신형상에 대하여 중앙부를 고정하고, A.S.M의 AI합금(5083) 인장강도를 참조하여 양 끝단에 1500kgf의 하중을 주어 시뮬레이션 하였을 때의 변위와 응력분포에 대한 결과이다.

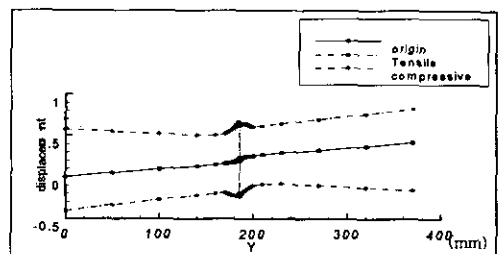
Fig. 8(a)의 그림은 맞대기 형상의 시험편에 인장, 압축을 가하였을 경우 x방향의 변위를 시험체의 중심축을 따라 도시하였다. 그림을 보면 인장, 압축하였을 경우 모두 용접부를 중심으로 대칭을 이루면서 나타났으며, 그 크기는 모두 미소하였다.

Fig. 8(b)는 신형상의 경우로써 Fig. 8(a)와 같은 방법으로 x방향의 변위를 도시하였다. 맞대기 형상과 비교해 볼 때 차이는 있지만 인장, 압축 모두 나타나는 현상은 같고 신형상 또한 용접부를 중심으로 대칭임을 알 수 있다.

Fig. 9(a)의 그림은 맞대기 용접부를 인장하였을 경우의 용접잔류응력성분( $\sigma_x$ )이며, (b)에 도시한 그림은 압축시의 용접잔류응력성분( $\sigma_x$ )의 분포이다.

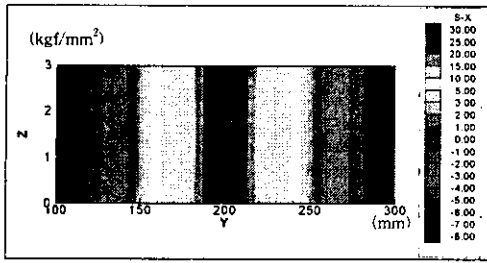


(a) Butt weld joint

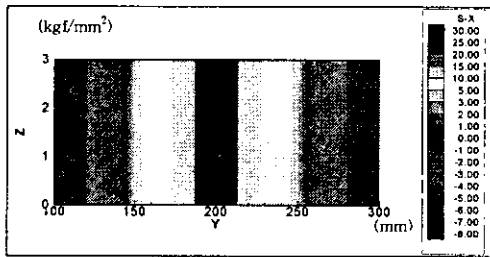


(b) New shape weld joint

Fig. 8 Comparison of displacement



(a) Tensile force



(b) Compressive force

Fig. 9 Comparison of Weld residual stress (Butt weld joint)

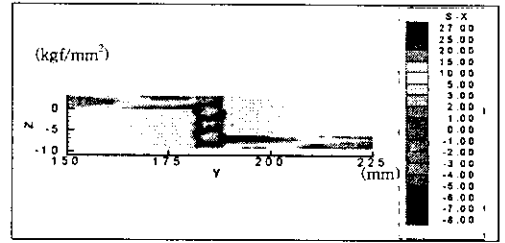
Fig. 5(a)에서 도시한 용접잔류응력 분포를 통해 비교해 보면, 초기의 용접잔류응력의 분포는 용착금속 인근 열영향부에서 급격히 잔류응력이 감소하나, 인장 및 압축을 가하면 용접잔류응력의 크기는 크게 증가하지 않고, 고응력 분포 영역대가 용착금속을 중심으로 하여 폭방향으로 증가함을 보이고 있다.

Fig. 10에 도시한 그림은 신 형상에 형성된 용접잔류응력 성분을 초기응력으로 하여 맞대기 용접부(Fig. 9)의 경우와 마찬가지로 인장과 압축을 가했을 때 변화하는 응력분포를 비교한 것이다.

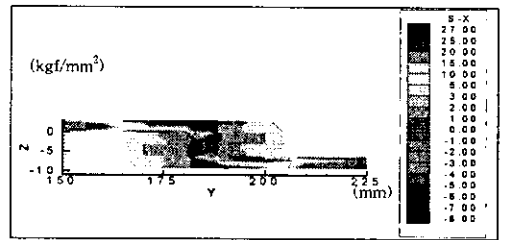
도시한 그림에서 나타난 바와 같이, 인장시에는 너깃이 형성된 면의 안쪽영역에서 압축시에는 이와는 반대로 바깥쪽 영역에서 응력집중 현상이 나타났다. 맞대기 시험편과 비교해 볼 때 그 영역대가 매우 적게 나타났다.

4.3 실험 결과

인장시험 결과를 Table 5에 나타내었다. 결과에 의하면, 신형상의 경우 맞대기 형상보다 인장



(a) Tensile force



(b) Compressive force

Fig. 10 Comparison of weld residual stress(New shape weld joint)

Table 5 The average value of tensile test

	Butt weld joint		Lap weld joint		New shape weld joint
	1t	3t	1t	3t	1t
Load (kgf)	893	2926	1046	2287	951
Tensile strength (kgf/ml)	18	22	15	19	20
Strain (%)	10	9	4	6	7

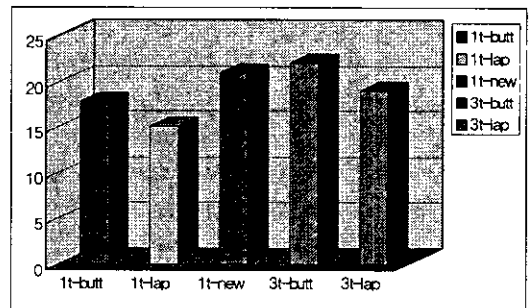


Fig. 11 Comparison of tensile strength

강도가 높게 나타났으며, 각 시험편의 인장강도는 신형상> 맞대기> 겹치기 용접순으로 나타났다.



Fig. 12는 인장시험을 수행한 시험편의 파단면을 촬영한 것이다. 모든 시험체가 용착금속과 Haz의 경계에서 파단되었으며, 신형상 시험편 (1t)의 경우는 너깃 주위에서 파단됨을 보이고있다.

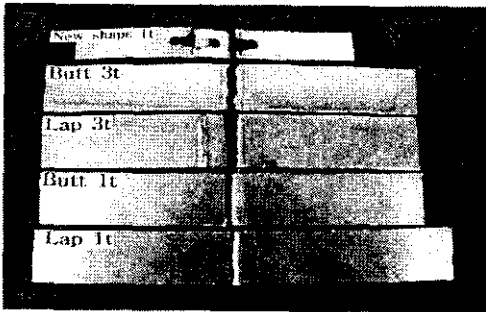


Fig. 12 Photos of test specimen

5. 결 론

이상에서 도출한 해석결과를 종합해 보면,

(1) 평판이론(Plate theory)에 의해 구조부재를 단순화하여 해석한 결과, 신형상의 경우 용접 이음부 자체의 강도가 보강판보다 훨씬 뛰어나고, 충분한 보강재 역할을 할 수 있음을 알 수 있었다.

(2) 수치 시뮬레이션 결과, 신형상의 경우가 용 접이음부의 형상에 기인하여, 응력의 최대치가 적게 나타남을 보였다.

(3) 인장 시험 결과, 신형상의 경우 맞대기 용접 이음부보다 인장 강도가 더 높게 나타났으며, 신형상의 적용가능성을 입증하였다.

후 기

본 연구는 해양수산부 과제 "다목적 어선 개발"을 통해 수행된 연구결과의 일부이며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1)방한서1990 "유한요소법에 의한 박판용접의 2차원 비정상 열전도 해석", 대한조선학회지, 제27권, 제4호, pp.44-50
- 2)방한서1999 "유한요소법에 의한 저항 점용접부의 역학적 특성에 관한 연구", 대한용접학회지, 제17권, 제5호, pp.77-82
- 3)방한서,김성주,김종명,장용성,권영섭 1999 "극후판 박스칼럼의 코너 조인트 용접시 발생하는 라멜라 티어링에 관한 연구", 대한조선학회지, 제36권, 제4호, pp.95-104
- 4)이상갑,박종규2000"선수구조부 구조해석 시스템 개발(3)-동적구조해석", 대한조선학회지, 제36권, 제2호, pp.121-134
- 5)박상규,이규열1999 "형상모델 기반 선박 계산 전산프로그램 개발", 대한조선학회지, 제36권, 제4호, pp.121-124
- 6)KS 규격집1999 "점 용접용 전극의 모양 및 치수", C9606.
- 7)KS 규격집1999 "Spot 용접 및 맞대기 용접 이음의 인장, 굽힘 시험 방법", B0832, B0833, B0850, B0851
- 8)KS, JIS, DIN1992 "표준공업규격", 용접편
- 9)KR,ABS,LR1999 "선급규칙", 강선편



<김종명>