알루미늄 선박의 가공 조립 기술의 현재와 연구 방향

Review on the Manufacturing and Assembly Technology of Aluminum Ship Construction

이장현†*, 황세윤*, 정우철**
Jang-Hyun Lee†*, Se-Yoon Hwang*, Woo-Chel Jeong**

요 약 문

강화플라스틱(FRP)이 가진 저비용 장점에 비하여 화재 및 환경오염 문제가 대두됨에 따라서 알루미늄 소형 선박에 대한 수요가 증가하고 있다. 알루미늄 재질의 선박 건조에도 절단, 성형, 용접 및 조립의 과정이 필요하지만, 소형 선박에는 박판이 사용되기 때문에 일반 강선과는 다른 공법 및 가공 조립법이 사용된다. 본 기사는 알루미늄 재료의 절단 공법, 용접 공법의 현황과 미래 기술 방향을 정리하였다. 또한 성형 공정의 문제점과 이를 위한 개선 방안을 제시함으로써 알루미늄 선박의 건조 생산성 향상 및 정도 관리의 편의성을 위한 방안을 모색하고자 한다.

※ **Keywords** : 강화플라스틱(FRP), 알루미늄 선박, 절단, 마찰교반용접(FSW), 다점인장성형(MPSF)

1. 서 론

1.1 개 요

FRP(Fiber Reinforced Plastic), 철강 그리고 알루미늄은 소형 선박의 주된 선체 재료로 사용되고 있다. FRP 재료는 몰드를 이용한 대량 생산의 용이성, 저렴한 비용 등의 장점 때문에 약 10톤 미만의 소형 어선, 소형 요트 및 레저 보트 등의 건조에 널리 사용되고 있다. 철강재는 인장강도가

* 인하대학교 조선해양공학과
** 인하공업전문대학 조선해양과
† 논문주저자

높기 때문에 소형 선박에 비해 큰 하중을 받는 중형 이상의 선박에 사용되고 있다. 철강재는 FRP 재료에 비하여 높은 강도를 가지고는 있으나, 고비용이 요구되기 때문에 중형급 이상의 선박에만 사용하는 것이 경제적이다. 그러나 FRP 재료는 저비용의 장점에도 불구하고 폐선 시 환경오염을 일으키는 단점을 가지고 있다.

2004년 10월 6일 국내만을 항해하는 고속선(최고속력 25노트 이상) 건조 시에도 화재에 취약한 FRP재질의 사용이 금지돼 불연성 재료인 강이나 알루미늄 재료를 사용하도록 규제되고 있다. 해양인명안전협약(SOLAS)의 국제고속선기준(HSC Code)을 수용한 후 「고속선기준」을 개정해 2004년 11월부터 적용하고 있다. 국제항해에 종사하는 여객선은 이미 국제협약에 따라 사용이 금지돼 왔으나 국내에서만 운항하는 여객선은 이런 제한이 없어 FRP 재질의 여객선이 계속 건조되어 왔다. 그러나 2007년부터 국내에서 항해하는 여객선을 건조할 경우에도 FRP 사용이 금지되고 있다. 여객선 화재에 따른 불특정다수의 인명 피해를 예방하기 위해 「선박방화구조기준」을 개정해 2007년 7월부터 국내항해 여객선의 선체, 갑판 및 격벽 등은 강판이나 이와 동등한 재질로 건조하도록 하고 있다.

1.2 연구방법

또한, FRP 소형 요트는 비중량이 낮아 제어와 항해의 어려움이 있으나, 알루미늄 요트는 적절한 비중량을 가지고 있기 때문에 좀 더 우수한 제어 특성 및 항해 특성을 가지고 있다.

이러한 환경 규제 및 FRP 선박 규제에 따라서 최근 들어서는 FRP를 대체할 수 있는 선체 재료로써 알루미늄 재료가 활용되고 있다. 일반적으로 약 10톤~50톤 정도의 소형 경비정, 소방선, 관공선 등 특수선의 하부 선체는 철강재를 사용하고, 상부 구조물은 알루미늄을 이용하여 건조되고 있다. 요트 및 레저 선박의 건조에 알루미늄 재료를 사용한 사례는 많지 않았으나, 2009년 국내의 푸른중공업(주)은 최초로 알루미늄 요트를 개발하여 발표하는 등 최근 들어 알루미늄 재료를 이용한 설계 건조 사례가 늘어나고 있다. 그러나 알루미늄을 주재료로 사용하는 소형 선박 및 요트의 설계건조는 현재로서는 초기 단계라고 볼 수 있다. 알루미늄 선박의 생산에는 크게 강재 절단, 성형 및 곡면 가공, 용접 및 도장 공정이 필요하다. 특히, 성형 및 곡면 가공과 용접 공정은 알루미늄 선박의 건조에 있어서 핵심 기술로 판단된다. 본 기사에서는 이러한 두 가지 가공 및 조립 기술의 현재 기술현황을 살펴보고, 알루미늄 선박의 확대를 위한 기술의 발전 방향을 정리하고자 한다.

2. 본 론

본 장에서는 알루미늄 선박의 건조 과정 중 절단 및 곡면 성형, 용접 기술의 현황과 발전 방향을 정리하고자 한다.

2.1 알루미늄 재료 특성

순수한 알루미늄의 비중은 2.70이며, Fe가 7.86인 것과 비교하면 약 65% 정도 가벼우며, 연신율이 뛰어난 특징이 있다. 열전도 계수는 철강재의 약 3배로 전도 특성이 우수하다. 일반적으로 마그네슘, 망간, 규소, 구리 등을 첨가시킴으로서

강도를 향상시킨다. 아래와 같이 합금의 종류에 따라서 규격을 정하고 있으며, A5xxx 계열 및 A6xxx계열이 각각 알루미늄 선박의 판재 및 형강재로 가장 많이 사용되고 있다.

(1) Alxxx : 순수 알루미늄으로 내식성이 우수하고 열전도성이 높다. 강도는 낮지만 용접성이나 가공성은 양호하다.

(2) A2xxx : Al-Cu계로 듀랄루민(A2017)을 포함한 고강도의 합금이 속하며 다른 합금에 비해 내식성이 떨어짐. 용접성이 떨어지므로 리벳 접합이 적절함.

(3) A3xxx : Al-Mn계, 내식성, 용접성, 가공성이 양호하다.

(4) A4xxx : Si를 약 12% 함유한 합금으로 용융점이 낮아 용융금속의 유동성이 우수하고 내응고 균열성이 높다. 주로 Brazing 재료 및 건축용으로 사용된다.

(5) A5xxx : Al-Mg계열로 A5052, A5083 등이 대표적 재료이다. 강도가 높고, 내식성, 가공성, 용접성이 좋아 용접 구조재로 많이 사용되며 특히, 선박용 판재 및 부재로 가장 많이 사용된다. 항복강도는 약 130MPa 이상이며 연신율은 14% 정도이다.

(6) A6xxx : Al-Mg-Si계열로 강도가 높고, 가공성과 내식성이 양호하며 압출성이 좋으므로 형강재료 많이 사용되며, 선박의 보강재 및 형강재료로 가장 많이 사용된다.

(7) A7xxx : Al-Zn-Mg계열로 강도가 높고 용접성과 내식성도 우수하여 용접구조재로 사용한다.

2.2 알루미늄 선박의 건조 과정

알루미늄 선체 건조과정은 일반적인 상선의 과정과 유사하다. 다만, 내부재 및 곡면 성형은 기계적 가공을 주로 이용하며, 후행 의장 공법을 이용하는 점에서 약간의 차이가 있다고 볼 수 있다. Fig. 1과 같이 네스팅(Nesting), 절단, 소조립 및 조립 공정, 곡면 성형 및 조립, 그리고 의장 및 도장 공정을 거쳐서 마무리된다.

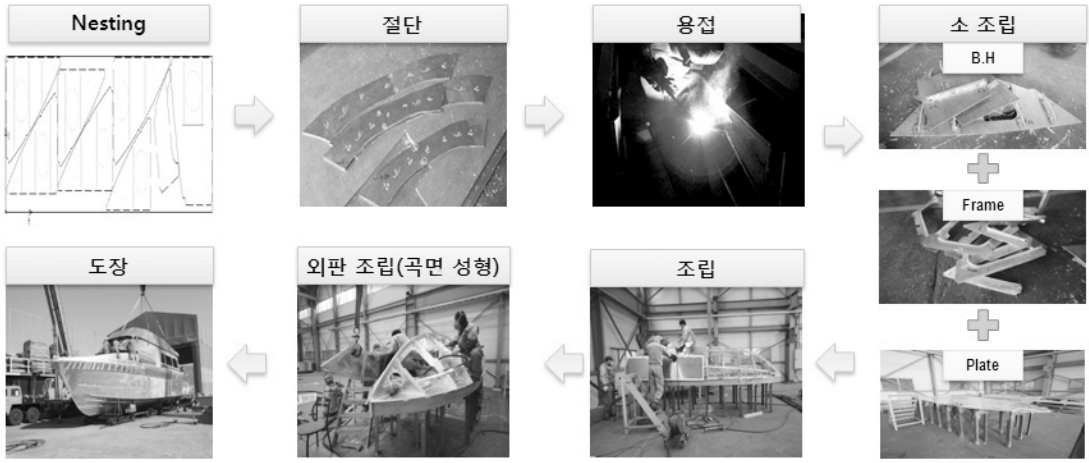

Fig. 1 Schematic construction process of Aluminum ship

2.3 알루미늄 재료의 절단 공법

알루미늄 절단에는 워터 젯 (Water jet) 절단, Sawing Machine등과 같은 기계적 공법이 주로 사용되고 있으며, Plasma 절단, 레이저 (LASER) 절단과 같은 열 가공법도 일부 사용되고 있다.

(1) 워터 젯 절단

초고압 펌프를 이용하여 300~400MPa 고압력으로 압축된 물에 가넷(Garnet)이나 실리카 샌드(Silica sand), 알루미늄 재료와 같은 연마 입자들을 혼합하여 공작물에 고속으로 분사하는 Abrasive Water-Jet(AWJ) 공법이 주로 사용되고 있다 〈Fig. 2〉. 통상 0.1mm 정도의 직경을 가진 미세한 노즐을 통해 고압 액체 또는 연마재를 분사시켜 절단하는 방법이다. 열원을 가하지 않기 때문에 모재의 변형 및 잔류 응력, 미세균열, 화학적 변형이 적으며, 형상에 영향을 받지 않아 자유로운 형상의 절단이 가능하다. 다만, 박판의 절단에 유용한 방법이다. 특히, AWJ 방법은 Kerf 폭이 작고, 정밀한 형상 가공이 가능한 장점 때문에 널리 활용되고 있는 상황이다(서용위/신영삼, 2009). 그러나 Kerf 단면에 테이퍼가 발생하며, 단면의 직각도에 제한이 있고, 기계적 절단에 비하여 단면의 거칠기가 좋지 않은 단점이 있다. 그러나 열전도가 뛰어난 박판 알루미늄을 레이저나 플라즈마로 절단할 경우, 열 변형, 변성, 가스화 등의 문제가 발생하기 때문에 AWJ은 적절한 절단 공법으로 활용할 수 있다.

AWJ는 공정변수(압력, 속도 등)들의 영향에 따라서 절단면의 표면 품질이 많은 차이를 나타낸다. 공작물 표면특성을 파악하기 위한 연구들이 지속적으로 이루어져 왔으나 아직은 초기 연구 단계이다. 따라서 절단면의 형상과 공정 변수의 관계를 지속적으로 파악하여 기술적인 해결이 된다면 워터 젯은 가장 효과적인 알루미늄재의 절단방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

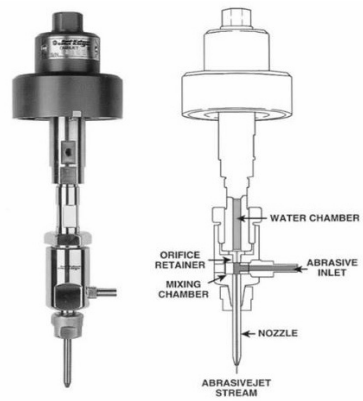

Fig. 2 Sectional view of a typical AWJ nozzle

(2) SAWING 절단

Sawing 절단은 기계 절단기를 이용한 방법으로, 형상이 단순한 알루미늄 후판의 절단에 사용된다. 표면의 조도가 좋으며, 잔류 응력 등이 적은 장점을 가지고 있다. 그러나 복잡한 형상을 가진 부재의 절단에는 부적합한 단점이 있으며, 절단 공구의 수명이 짧다는 단점을 가지고 있다. 주판의 절단, Stripping 작업, 형강재의 절단 등에 활용할 수 있는 장점이 있다. 기계적 절단에는 전단기(Shearing Machine), 원형절단기(Circular SAW), Router 등이 사용되고 있다. Fig. 3은 형강재 절단의 예를 보인 것이다.

(3) Plasma 절단

플라즈마 절단은 탄소강, 스테인리스 강, 알루미늄, 구리 등과 같이 열전도가 일어나는 재료의

절단에 폭 넓게 사용되는 장점이 있다. 알루미늄 합금의 절단은 열 영향으로 인해 가스나 플라즈마 절단 공법보다는 레이저나 워터 젯을 이용한 절단 공법이 바람직하지만, 플라즈마 절단법의 저비용 특성, 빠른 가공 시간 등의 장점 때문에 최근에는 적절한 전압과 전류, 속도를 조절함으로써 효과적으로 적용한 사례도 많이 찾아 볼 수 있다. 다만, 플라즈마 고원 열원이 가해지기 때문에 정도(Accuracy) 관리가 어려우며, 절단면에서 열변형 및 열응력 발생, 거친 절단면이라는 단점을 가지고 있다. 또한 절단면의 수직성을 유지하기 어려운 단점을 가지고 있다.

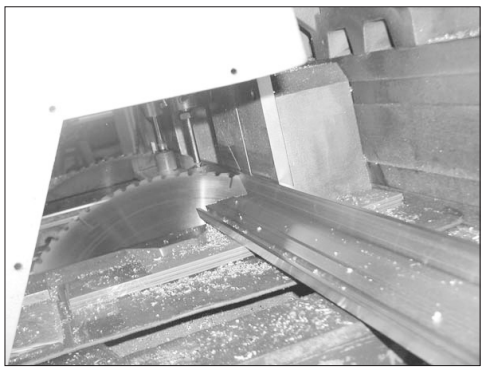

Fig. 3 An example of profile cutting by SAWING machine (http://www.aluminum-fabrication-welding.com)

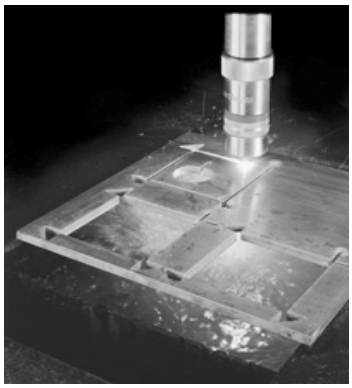

Fig. 4 An example of Plasma cutting of Aluminum (Courtesy of Hypertherm Inc.)

(4) LASER 절단

레이저 절단은 절단부 폭이 좁아 정밀가공에 유리하며, 고속절단이 가능하고 재료의 종류에 구애 받지 않는 등 타 절단법에 비해 품질 및 생산성에 우수한 것으로 평가되고 있다(김성일, 2009). 이 때문에 알루미늄 재료의 절단에는 워터 젯과 LASER 절단 법이 가장 많이 사용되고 있다. CO_2 Laser는 신속 정확한 가공을 가능하게 한다. 일반적으로 기계적 절단 가공 방법이 주로 사용되고 있으나 절단 속도 및 절단면의 거칠기, 공구의 수명 등의 제약으로 인하여 최근에는 LASER를 이용하여 절단 방법이 확산되고 있다. LASER 가공은 기존의 다른 가공방법과 비교하면 적용범위가 넓고 다양한 활용이 가능하기 때문에 곡률 변화가 크고 형상이 복잡한 소형 알루미늄 선박 부재의 가공에 가장 적절하다고 볼 수 있다.

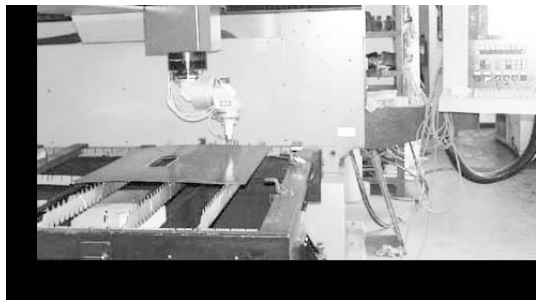

Fig. 5 Typical apparatus of CO_2 LASER cutting machine(김정훈 등, 2006)

2.4 알루미늄 재료의 용접 공법

알루미늄 재료의 용접과 관련된 규정으로 「선박

안전법」에서 정한 「알루미늄선의 선체구조기준」(국토해양부고시 제2008-348호)을 들 수 있으며 이는 선박 구조부재에 사용하는 알루미늄 재료의 종류, 화학성분, 열처리 및 기계적 성질 및 용접 방법에 대해서 정하고 있다. 전통적으로 알루미늄의 용접에는 GMAW(Gas Metal Arc Welding), TIG(Tungsten Inert Gas) 용접, MIG(Metal Electrod Inert Gas) 용접이 사용되고 있다. TIG 용접은 일반적으로 박판 용접에 적용되는데, 아크열이 음극으로부터 1~2mm 떨어진 매우 짧은 거리에서 강력하면서도 안정되게 형성되는 특성에 기인된 것이다. 또한 용가재와 아크를 분리할 수 있어 아크만을 이용하여 모재를 완전히 용융시킨 후 용가재를 투입하여 용착시킬 수 있다는 특징을 지니고 있다. 이에 반해 GMA용접은 보호 가스나 재료의 성분 등에 따라 아크의 모양이나 온도, 금속이행에 있어서 차이는 있을 수 있으나, 일반적으로 GMA용접의 아크는 기둥 전체를 가로 지르는 강력한 아크를 형성함으로 용접 에너지가 모재로 투입되는데 효과적이라는 특성을 지니고 있다(김유찬/김종도, 2005). 알루미늄 합금의 아크 용접은 고입열에 따른 열변형 및 피로 수명의 저하를 가져오는 단점이 있다. 특히 MIG 용접에 의한 이음부의 물성은 다른 부위에 비하여 매우 취약하고, 용접시 치수의 변화와 제품의 변형은 제작 공정의 효율을 떨어뜨리는 중요한 요인으로 지적되고 있다(최두영, 2010). 문제점을 개선하기 위하여 영국의 용접기술연구소(TWI: The Welding Institute)가 1991년에 마찰교반용접(FSW: Friction Stir Welding)을 특허로 출원하였다. 마찰교반 용접은 마찰에 따른 입열을 이용하는 고상접합기술이다.

마찰교반용접의 원리는 회전하는 공구(Tool)의 핀(Pin)을 접합부에 삽입시키고, 모재와 공구부에 마찰열이 발생하게 되면, 회전하는 공구를 용접선을 따라 전진시켜 용접을 하게 된다. 이때 모재에 삽입된 핀에 의해 연화된 모재는 교반되어 핀의 후부로 밀리면서 용접이 이루어진다. 기존의 가스 메탈 아크용접과 가스 텅스텐 아크용접, 플라즈마 용접, 레이저 용접 등과 달리 전기적 에너지의 열원이 불필요하며, 입열량이 일반 가스 텅스텐 아크용접이나 가스 메탈 아크용접에 비해 60% 수준으로 이에 따른 열변형 및 잔류 응력의 발생이 적어 기계적 성질이 향상되는 특징이 있다(박영빈 등, 2009). 마찰교반 용접은 일반적으로 평판의 용접에 가장 효과적이지만, 현재는 초기 연구 단계로 판단된다. 현재는 MIG, TIG 용접이 알루미늄 재료의 접합 방법으로 인증되고 있으나, 2009년부터 국토해양부에서 지원하는 '해양레저장비산업 경쟁력강화사업'의 일환으로 마찰교반 접합공법의 적용을 위한 기초 연구가 수행되고 있는 현황이다.

Fig. 6 FSW of Aluminum plates
(Courtesy of Kawasaki Ind. Co.)

Table. 1 Typical production method of Aluminum material
(한국중소조선기술연구소/한국조선공업협동조합, 2004)

작업구분	설비명칭	필요성	용 도
절 단	판절단기	B	두께 6㎜미만의 판절단
	전기띠톱	A	두께 6㎜이상의 판절단
	테이블톱	C	형, 관, 봉재의 절단
	크랭크프레스	A-B	판내의 원형 절단
	플라즈마이크절단기	C	곡선 절단
굽 힘	유압프레스	A	선수관계외판, 골재 등의 굽힘 가공
	롤 러	A-B	선체외판 등의 굽힘가공
	유압파이프밴더	A	관, 봉, 형재의 굽힘가공
접 합	티그 용접기	A	박판의 용접, 가부용접 등
	미그 용접기	A	선체조립작업

※ 설비의 필요성은 A〉B〉C의 순이다.

2.5 알루미늄 재료의 곡면 성형 기술

알루미늄 선박의 생산에 있어서 가장 중요한 요소기술은 절단, 용접과 곡면가공을 들 수 있다. 현재 알루미늄 곡면가공(또는 곡가공)은 소형 유압 장비 등을 이용한 수작업에 의존하고 있기 때문에 생산성이 떨어질 뿐만 아니라 정도 관리가 어렵다〈Fig. 7〉. 따라서 현재 수작업으로 성형 가능한 형상이 단순하기 때문에 선형(Hull form) 설계에도 제약을 받고 있다. 알루미늄 선박의 건조에 있어서 용접과 곡면 가공은 현재로서는 가장 애로 병목 기술로 판단된다. 일반적으로 강선의 경우에는 롤 프레스 (Roll press)를 이용한 일자곡면의 냉간 가공과 가스, 레이저, 고주파 열원 등을 사용하는 열간 가공을 순차적으로 이용하여 곡판을 성형하고 있다 (Kang et al., 2000; Lee & Shin, 2002; Shin et al, 2003). 최근에는 열간 가공이 가지는 변형량 제어의 어려움을 극복하기 위하여 다점 프레스를 이용한 후판 성형 시스템 및 가공 정보 예측 방법에 대한 연구가 진행되고 있다(Yoon, et al., 2008; Hwang, et al., 2010; Lee, et al., 2007). 그러나 대형 후판 곡가공을 위한 다점 프레스는 보조개(dimple)와 같은 국부적 변형을 일으키는 단점이 있다(Cai, et al., 2008). 따라서 소형 선박용 알루미늄 곡가공에 적용이 가능한 가공 방법의 개발이 필요한 상황이다.

일반적으로 수송체의 알루미늄 곡가공은 항공기 동체 부품의 생산에 적용되는 스트레치 성형 (Stretching forming)을 들 수 있다(Walczyk, 1998). Fig. 8와 같이 스트레치 성형은 항공기 부품의 곡면 성형에 가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 박판소재 성형기술이며, 고정형 금형(Fixed die)을 사용하여 항공기, 철도, 자동차 부품의 곡면 생산에도 적용되고 있다(Seo, et al., 2008;Li, et al., 2002; Paunoiu, et al., 2008).

Lui, et al.(2008) 박판 성형에 적용 가능한 MPF (Multi-Point Forming) 기구를 설계하였으며, CAD의 형상 정보, 목적곡면 정보, CMM (Computerized Measurement Method)의 계측 곡면 정보간의 절차 모델을 제시하였다. 상기 연구들은 주로 다점 성형 장치를 이용한 곡면 성형 방법 및 변형 과정, 시스템 구성에 대하여 언급하였으나, Cai, et al. (2009)는 다점성형 장치에 인장력을 가함으로써 부드러운 곡면을 얻을 수 있는 장비를 소개하고, 변형 과정을 수치해석과 실험을 통하여 예측하였다. 본 저자들은 MPSF (Multi-Point Stretching Forming)을 응용한 선박용 알루미늄 곡판의 성형 공정에 관한 기초 연구를 수행하고 있다. MPSF 방법은 양쪽의 지그가 재료를 인장 (stretching)시켜 소성변형을 발생시키고 상, 하부로 배열된 다점 프레스 장치를 이용하여 가공

하고자 하는 곡판의 형태를 쉽게 생산할 수 있는 장점이 있다. 현재 MPSF는 기초 단계로 진행 중이며 성공적인 개발이 수행되며 알루미늄 선박의 선수미 곡면 성형의 자동화가 가능해질 것으로 판단된다.

Fig. 7 Current practice of plate forming and assembly work

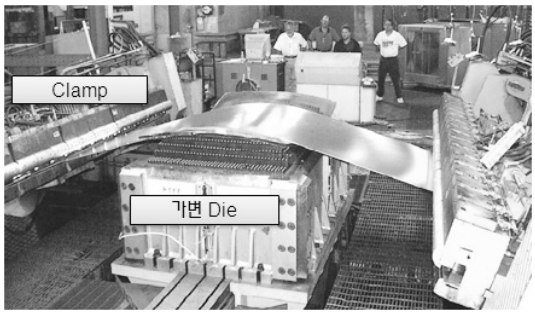

Fig. 8 Typical configuration of stretching forming (Boeing Co., Ltd.)

박판을 성형에 있어서 굽힘 공정만으로는 판재의 변형상태가 탄성영역 내에 존재하게 되므로 소성영역으로 유도하기 위하여 스트레치 성형공정을 적용하였다. 이 과정에는 곡면 모델링, 변형 형상 예측을 위한 탄소성 유한요소해석, 인장 가공 및 절단 공정이 필요하다〈Fig. 9〉.

Fig. 10과 Fig. 11은 본 저자들이 수행 중인 연구의 일부분으로서 MPSF를 이용하여 가공된 알루미늄 판의 형상과 가공 오차를 보인 것이다. 현재 최대 가공 오차는 약 5~7 mm 정도에 이르고

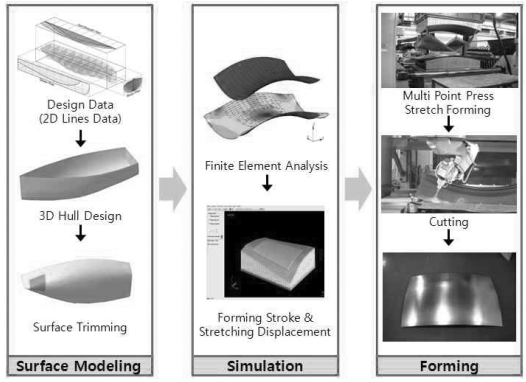

Fig. 9 Procedure of stretching forming for Aluminum plate

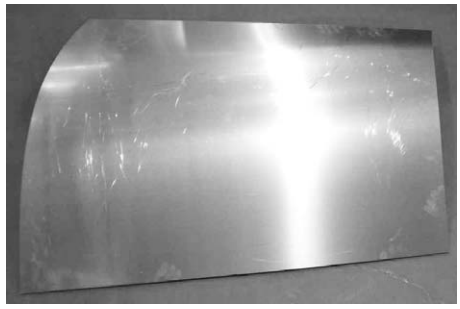

Fig. 10 Residual shape deformed by MPSF

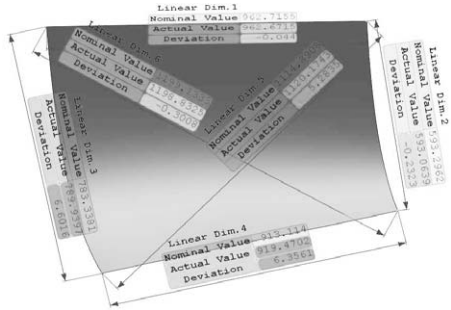

Fig. 11 Error of deformed shape

있으며, 좀 더 엄밀한 가공이 가능하다면 실제 적용도 가능할 것으로 보인다.

3. 결 론

FRP(Fiber Reinforced Plastic) 선박이 환경 오염 및 화재의 원인이 된다는 지적에 따라서 최근 들어 알루미늄 선박의 건조가 늘어나고 있다. 본 기사는 알루미늄 선박 생산 공정에서 사용되는 절단 공법, 곡면 가공 공법, 그리고 용접 방법의 통용 기술과 진행 중인 연구 개발 동향을 요약하였다. 절단 공법으로는 기계적 절단, 레이저 절단, 워터 젯 절단 등의 현황과 발전 방향을 정리하였다. 용접 방법으로는 MIG, TIG의 적용 현황과 마찰 교반 용접의 기술 개발 단계 및 활용 가능성을 정리하였다. 그리고 곡면 가공의 개선 방법으로 다점 프레스 및 인장력을 사용하는 MPSF의 기술 개발 현황을 소개하였다. 이를 통하여 향후 알루미늄 선박의 건조 기술과 관련된 개발 방향에 대하여 요약하였다.

참 고 문 헌

(1) 김성일(2009) “선박용 Al 합금의 레이저 절단시 표면 특성에 관한 연구”, 한국공작기계학회지, 18권 5호, pp.529-535.

(2) 김유찬, 김종도(2005) “조선용 알루미늄 합금의 MIG-MAG 용접기술”, 2005년도 한국마린엔지니어링학회 후기학술대회 논문집, pp. 198-199.

(3) 김정훈, 김병창, 김원일(2006) “CO_2 Laser를 이용한 알루미늄 절단면의 거칠기 측정”, 2006년도 한국산업응용학회 춘계학술대회 논문집, pp.1-3.

(4) 박영빈, 구정서, 구성춘(2009) “알루미늄 A6005 압출 패널의 마찰교반용접 특성 연구”, 한국철도학회논문집, 12권 4호, pp.512-517.

(5) 서용위, 신영삼(2009) “알루미늄모재복합재의 연삭입자 워터젯 가공 기술”, 대한기계학회 2009년도 춘계학술대회 논문집, pp.433-438.

(6) 최두영, 고준빈, 구기영(2010) “철도차량 설계를 위한 Al6005 알루미늄 판재의 마찰교반용접(FSW)과 MIG 용접부의 피로 특성 비교 연구”, 한국공작기계학회지, 19권 5호, pp. 653-659.

(7) 한국중소조선기술연구소, 한국조선공업협동조합, 2004. 중소조선산업 백서

(8) Cai, Z.Y., Wang, S.H., & Li, M.Z.(2008) “Numerical investigation of multi-point forming process for sheet metal: wrinkling, dimpling and springback”, Int J Adv Manuf Technolgy, 37, pp.927-936.

(9) Cai, Z.Y., Wang, S.H., Xu, X.D. & Li, M.Z.(2009) “Numerical simulation for the multi-point stretch forming process of sheet metal”, Journal of materials processing technology, 209, pp.396-407.

(10) Hosford, W.F. & Duncan, J.L.(1999) “Sheet metal forming: A review”, Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, 51(11), pp.39-44.

(11) Hsu, T., Chu, C.(1995) “A Finite-element analysis of sheet metal forming processes”, Journal of materials

processing technology, Vol. 54, pp. 70-75.

(12) Hwang, S.Y., Lee, J.H., Yang, Y.S. & Yoo, M.J. (2010) "Springback adjustment for multi-point forming of thick plates in shipbuilding", Journal of Computer-Aided Design, 42(11), pp. 1001-1012.

(13) Kang, B.Y. & Jo, J.H.(2004) "Consideration for structure and fabrication procedure of aluminum boat", Journal of the korean welding and joining society, 22(3), pp.39-44.

(14) Kang, J.G., Lee, J.H. & Shin, J.G.(2000) "Numerical analysis of induction heating for the application of line heating", Journal of The Society of Naval Architects of Korea, 37(3), pp.110-121.

(15) Lee, J.H. & Shin, J.G.(2002), "Relations between Input Parameters and Residual Deformation in Line Heating Process using Finite Element Analysis and Multi-Variate Analysis", Journal of The Society of Naval Architects of Korea, 39(2), pp.75-80.

(16) Lee, J.H., Yoon, J.S., Ryu, C.H. & Kim S.H.(2007) "Springback compensation based on finite element for multi-point forming in shipbuilding", Advanced Material Research, 26(28), pp.981-984.

(17) Li, M.Z., Cai, Z.Y., Cai, Sui, Z. & Yan, Q.G.(2002) "Multi-point forming technology for sheet metal", Journal of Material Processing Technology, 129, pp.333-338.

(18) Paunoiu, V., Cekan, P., Gavan, E. & Nicoara, D.(2008) "Numerical Simulations in Reconfigurable Multipoint Forming", International Journal of Material Form, Suppl 1: pp.181-184.

(19) Seo, Y.H., Heo, S.C., Ku, T.W., Kim J. & Kang, B.S.(2008) "Flexible Forming Process Analysis for Sheet Material Curved Surface Forming", Journal of The Korean Society for Technology of Plasticity, pp.118-121.

(20) Shin, J.G., Ryu, C., Lee, J.H. & Kim, W. D.(2003) "User-friendly, advanced line heating automation for accurate plate forming", Journal of Ship Production, 19(1), pp.8-15.

(21) Walczyk, D.F., Lakshmikanthan, J. & Kirk, D.R.(1998) "Development of a Reconfigurable Tool for Forming Aircraft Body Panels", Journal of Manufacturing Systems, 17(4), pp. 287-296.

(22) Yoon, J.S., Lee, J.H., Ryu, C.H., Hwang, S.Y. & Lee, H.B.(2008) "Application of IDA Method for Hull plate Forming by Multi-Point Press Forming", Journal of Korean Society of Ocean Engineers, 22(6), pp.75-82.