

선박조립분야에 있어 고속용접 현황 및 전망

장 태 원 · 문 중 현 · 윤 동 렬

High Speed Welding Present and Future in Shipbuilding Assembly Stage

Tae-Won Jang, Jong-Hyun Moon and Dong-Ryeol Yoon

1. 서 언

19세기 말 선박 건조에 강재가 사용되면서 리벳에 의한 선각(hull)의 조립이 시작 되었다. 리벳으로 조립된 선박은 강도와 내구성에서 장점이 있었지만, 리벳팅 작업 시 과도한 공수가 발생하고, 선박의 중량을 증가시켜 효율면에서 많은 약점을 가지고 있었다. 한편 용접은 1801년 영국의 Hamphry Davy가 아크 방전에 성공하고, 1881년에 프랑스의 Auguste de Meritens가 Carbon Arc Welding을 이용하여 축전지의 용접에 처음 적용하게 되었다. 20세기에 들어, 선박건조에 용접이 본격적으로 적용된 것은 제2차 세계대전 중이었다. 즉, 보다 많은 선박을 보다 빠르게 건조하기 위해서 용접 프로세스가 도입된 것이다. 1945년 미국의 루즈벨트가 영국의 처칠 수상에게 보내는 편지에 의하면 '선박건조에서의 용접기술은 해운산업의 역사에서 획기적인 속도로 상선의 건조를 가능하게 한다' 라고 하며 서브머지드 아크 용접(이하 SAW)을 추천하고, 다른 용접 프로세스에 비해 20배 정도의 용접생산성 향상을 가져다 준다고 거론하였다. 즉 선박 건조에 있어 용접이 적용된 결정적 이유는 건조 시간의 단축에 있다고 해도 과언이 아니다.

현재 세계 조선 산업에서 한국과 일본이 선두자리를 놓고 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 한국과 일본이 조선

산업을 독점할 수 있는 배경에는 저비용, 고효율 선박 건조 기술에 지속적인 투자와 개발이 이루어진 덕분이다. 특히 Dr. Phill Koenig의 분석에 의하면 표 1과 같이 일본은 고비용임에도 불구하고 생산성에 있어서 한국을 앞서고 있다¹⁾.

위의 표 1에서 인도기간이 누락되어 있으나 일본은 건조에서 인도까지의 기간이 약 6~8개월, 한국은 7~11개월로 분석하고 있다. 플럭스 코어드 아크용접(Flux Cored Arc Welding), 2전극 편면 SAW 등 고능률 용접 프로세스가 일본에서 다수 개발된 사례가 위의 표를 반증한다고 할 수 있다. 생산성 향상을 위한 기술은 용접 자동화, 도장 자동화, 슬릿 기술, 선수·선미부의 곡가공 기술, 고속용접기술 등 다양한 분야의 기술이 선박 건조에 총화·구현된다고 할 수 있다. 본 고에서는 선박 건조에 적용되는 고속 용접 프로세스에 초점을 맞추어 현황과 전망에 대해 기술하고자 한다.

2. 고속 회전 아크 용접

일본의 NKK에서 개발된 프로세스로서 개발 초기에는 협개선 용접법으로 실용화 되어 조선, 교량의 필릿/맞대기 용접 등에 적용되고 있다. 고속 회전 아크 용접법은 아크를 고속회전(1Hz~50Hz)시킴으로써 용융지에 작용하는 아크의 힘을 분산시켜, 비드 형상의 개선과 용접 속도를 종전의 아크 용접에 비해 약 10~15% 개선한 프로세스이다²⁾. 아크를 고속 회전 시키는 방법은 와이어가 통과하는 팁을 중심선으로부터 이탈 시켜 편심을 주는 방법과 범용의 용접 팁을 사용하여 전극 노즐을 회전시키는 방법이 개발 되었다. 국내에서는 후자의 회전 방식을 채택 하여 그림 1과 같이 소조립 필릿 용접라인에 트윈 회전 아크 용접 프로세스를 적용, 기존 용접방법보다 용접 속도를 향상시켰다.

최근에는 수평 필릿 이음부에 고속 회전 아크 용접 토치를 트윈 탄뎀으로 구성 2층 용접을 일회애 양면을

표 1 Some general competitiveness factors

	Japan	S. Korea	China	W. Europe
Productivity	1.0	0.7	0.2	0.6
Labor cost	1.0	0.5	0.2	0.8-1.2
Delivery time				
Japan : shortest delivery time				
S. Korea : longer than Japan				
China : much longer than Japan				
Europe : slightly longer than Japan				



그림 1 고속 회전 트윈 아크 용접 현황

용접할 수 있는 시스템과 간이 캐리지에 고속 회전 아크 용접 토치를 장착하여 종래의 간이 캐리지에 의한 수평 필릿 이음부의 용접 효율을 향상시킬 수 있는 시스템이 개발되었다.

3. 다전극 용접(Multi-pole welding)

조선에 사용되는 강재 두께는 후판이 주종이어서 일전극 아크 용접 일회 공정으로 이음부의 완전 용접이 불가능 하다. 일회 용접시 높은 용착률을 얻기 위한 많은 연구 사례 중 보편적으로 사용되는 방법이 다전극 용접 기법이다.

3.1 Twin tandem two pool GMAW

탄뎀(tandem) 용접으로 불리는 2전극 용접기법은 주로 대형 구조물의 후판 용접에 적용 사례가 많은 용접 기법이다. 조선에서는 수평 필릿 이음부 양면 2전극 GMAW에 의한 고속 자동 용접법이 실용화되어 있다. 2전극 GMAW는 한번의 용접으로 10 mm이상의 대각장을 형성 시킬 필요가 있을 때 채용되는 용접 기법이다. 선행 아크와 후행 아크가 역할을 분담하여 선행 아크는 하판부재를 겨냥하여 하각장을, 후행 아크는 상각장을 형성시킨다. 일반적으로 선행 아크가 후행 아크에 비해 용접 전류와 전압을 높게 조정한다.

3.2 Twin tandem one pool GMAW

필릿 용접의 큰 문제로 지적 되고 있는 기공 발생의 감소와 고전류 고속도 용접이 가능한 프로세스로, 수직 부재에 대하여 양측에 전극을 배치하고 전극을 선행과 후행으로 배치한 것은 2전극 GMAW와 비슷하나 두 전극봉으로 하나의 용융지를 형성시켜 용접하는 것이

특징이다. 이것은 기존의 2전극으로 2개의 용융지를 형성시키는 용접법과 비교 했을 때 내기공성이 우수하다. 2전극으로 하나의 용융지를 형성시킴으로써 두개의 용융지를 각각 형성시키는 것 보다 용융지가 커지기 때문에 응고 속도가 지연되어 기공이 용융지 밖으로 부상하는 것을 촉진하는 것으로 생각되고 있다. 최근에는 용접속도를 25% 증가시키면서도 기공 발생을 저감시키는 용접재료 개발에 대한 보고도 있다³⁾.

그림 2는 국내 조선에서 사용되고 있는 것으로 1회에 5개의 필릿 이음부를 양면 동시 용접할 수 있는 2전극 고속 Twin tandem one pool GMAW 용접 적용예이다.

최근에는 알루미늄 합금 용접용 더블 와이어 MIG 용접장치가 개발되어 종래의 용접속도에 비해 약 2배 정도 향상시켰다는 보고가 있다. 더블 와이어 MIG는 하나의 토치에 두개의 와이어를 삽입하여 하나의 용융지를 형성시키는 방법으로 조선에서 적용되고 있는 Twin tandem one pool GMAW와 같은 원리이나 극간 간극을 2 mm 까지 좁혀 토치를 콤팩트화 시킨 것이 특징이다.

더블 와이어 MIG는 조선에서 고속 용접에 적용 가능하고 저가의 설비 투자로 6전극, 8전극화 하여 용접 효율을 높일 수 있다고 생각된다.

3.3 Tandem SAW

SAW는 미국에서 개발 되었지만, Tandem SAW 프로세스는 일본에서 가장 발전하였다. 1965년 고베 철강에서 2전극 FCB(Flux Copper Backing)법이 개발되었고, 1967년에는 미쯔비시 중공업에서 2전극 편면 SAW 기법을 조선에 실용화 하였다. 국내에서는 조선소의 사정에 따라 2전극 FCB법에 의한 편면용접을 시공하거나 용접 이음부의 개선 형상을 더블 와이 그루브로 가공하여 백킹재를 사용하지 않고 턴오버에 의한 2회 용접을 하기도 한다. 2전극 SAW는 선행 아크가 용입 깊이와 이면 비드를 형성시키는 역할을 하고, 후행

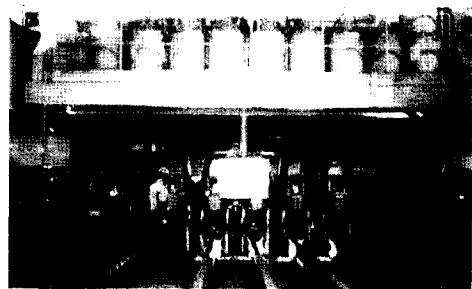


그림 2 2전극 고속 Twin tandem one pool GMAW

아크는 여성을 확보한다.

최근 해양의 석유에 의한 오염방지를 위해 석유 운반선(VLCC, Crude oil tanker 등)은 이중벽 구조의 탱크가 법제화 되면서 보다 고효율/고능률의 4전극 SAW가 개발 되었다. 4전극 SAW의 기본 개념은 2전극 SAW와 비슷하다. 즉 선행하는 두 전극이 3000A 정도의 고전류를 이용하여 건전한 이면 비드를 형성시키고, 후행의 두전극이 안정된 여성을 확보한다.

그림 3은 종래의 2전극, 3전극 SAW와 부재 두께에 대한 용접 속도를 4전극 SAW와 비교한 것이다. 4전극 SAW는 입열 저감에 의한 용접 변형을 감소시키는 효과와 용접 금속 조직의 미세화 및 인성을 향상시키는 효과도 있다.

3.4 Tandem EGW

최근 컨테이너선의 대형화에 따른 선각의 두께가 80mm^t까지 극후판화 되고 있다. 기존의 1전극 EGW로는 용접 이음부의 두께가 50mm^t 이상이 되면 융합 불량 발생 및 용접효율이 떨어지는 단점 때문에 2전극 EGW 기법이 검토 되었다. 개발사에 따라 사용하는 용접재료는 솔리드 와이어와 플럭스 코어드 와이어를 혼합하는 경우와 양전극 모두를 플럭스 코어드 와이어만으로 이루어진 것도 있다. 동일한 강재 두께 용접시 1전극 EGW에 비해 용접 속도는 약 2배 정도 빠르고, 입열량은 약 20% 정도 저감되어, 모재 열영향부의 인성을 향상시키는 특징이 있다. 탠덤 EGW적용시 두께 80mm^t의 용접에서는 루트 갭이 8mm이상 되면 입열이 증가되어 인성이 저하되기 때문에 용접 시공시 8mm 이내에서 관리할 것을 권장하는 보고가 있다.

국내 조선에서는 장척의 80mm^t 강재 수급의 어려움 때문에 단척의 80mm^t 강재를 2전극 EGW로 용접하여

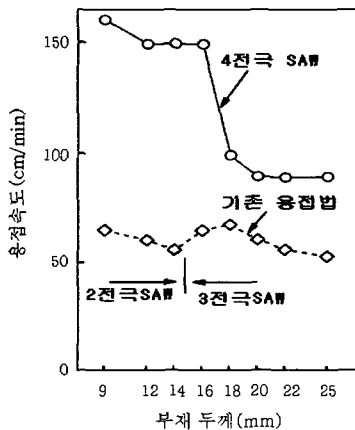


그림 3 부재 두께에 대한 기존 SAW와 4전극 SAW와의 용접 속도 비교



그림 4 Tandem EGW의 적용 예

강재 길이를 연장하는 적용되고 있다. 그림 4에 국내 조선의 조립 라인에서 8,000TEU급의 컨테이너선 건조에 적용되고 있는 2전극 EGW를 나타낸다.

이상과 같이 아크 용접에서의 고속 용접은 전극의 결합에 의한 고전류로 용입 깊이와 용착률을 향상시키는 방법과, 용착률이 높은 용접재료의 개발 등이 주축이다. 실제 같은 용접전원에서 용접재료에 따라 50 cm/min 까지 용접 속도의 차가 발생하기도 한다. 향후에도 아크 용접은 다양한 방식의 전극 결합 방식이 개발될 것이라는 것은 4전극 SAW의 용접 기법의 개발로 미루어 짐작이 가능하다고 생각된다.

4. 플라즈마 아크 용접(PAW)

조선에서의 플라즈마 아크 용접의 사용 예는 많지 않다. 최근 고부가가치선인 LNG선의 가스저장 탱크 내부 격벽에 멤브레인 설치 작업시 플라즈마 아크 용접이 적용되고 있다. 멤브레인의 재료는 스테인레스 304L로써 열원에 크게 영향을 받지 않으면서도 용접성이 우수한 재료이다. 기존에는 멤브레인 용접시 GTAW로 시공하였으나, LNG선의 수주가 급증하면서, 용접 생산성이 중요하게 되었다. 플라즈마 아크는 TIG아크에 비해 아크의 집중성이 뛰어나기 때문에 고속 용접이 가능한데, 1.2mm^t의 멤브레인의 랩용접시 GTAW에 비해 약 2배정도 빠르다.

그림 5는 국내 조선에서 개발, 적용 중인 멤브레인 용 자동 플라즈마 아크 용접 장비를 나타낸다. GTAW에 비해 스폿 직경이 작고, 프로세스의 특성상 토치 높이 변화에 의한 용접비드의 결합 발생이 우려되기 때문에 고정도 용접선 추적과 정밀한 아크 길이의 제어가 필요한 고정도 기술이다.

플라즈마 아크 용접의 조선에서의 적용범위 확대를



그림 5 플라즈마 아크를 이용한 멤브레인 용접의 적용 예

위해서는 고전류의 열원 개발과 파이프의 초층 용접을 위한 자동화 시스템 등의 개발이 필요하다고 생각된다.

5. 레이저 용접

레이저 용접은 광원이 개발된 이래 상당히 주목을 받아왔던 프로세스이다. 국내 학회에서는 실적 발표 건수가 작으나 국외에서는 세션이 별도로 마련되어 있을 정도로 활성화 되어있다. 용접에 사용되는 레이저의 발전 파장은 근적외선역이 가장 많고, 광원의 매질에 따라 CO₂레이저, Nd:YAG레이저가 많이 사용된다. Nd:YAG 레이저는 광 화이버에 의한 빔의 전송이 자유로워 시스템 자동화에 유리한 장점을 가지고 있으나 레이저 매질의 고가와 고출력화 기술이 미진하여 산업계의 요구를 충족시키지 못하고 있다.

최근에는 10 kW급 고출력 화이버 레이저가 개발되어 조선에서 후판 용접에의 적용 가능성이 커지고 있으나 장비의 고가때문에 투자비가 높은 것이 여전히 숙제이다.

레이저 용접은 전자빔에 상당하는 고밀도 에너지를 가지면서도 전자빔과 같이 진공압이 필요하지 않아 대기중에서도 쉽게 고속 용접이 가능하고, 스폿 직경이 작기 때문에 기존의 아크 용접에 비해 열영향부가 작고, 열변형이 작다는 특징이 있다.

그러나 아크 용접에 비해 냉각속도가 빠르기 때문에 탄소를 함유하고 있는 강인 경우 용접금속이 불필요하게 경도치가 상승하여 인성이 저하되는 단점을 가지고 있으며, 레이저 빔의 초점 직경이 1mm이하로 작기 때문에 깎 허용도가 극히 제한되어 종래의 산소 절단, 플라즈마 절단 등과 같이 커프(Kerf)량이 큰 경우 건전한 용접 비드를 형성시킬 수 없다. 이와 같은 이유 때문에 하이브리드 레이저·아크 용접 프로세스가 개발 되었다.

조선에서의 하이브리드 레이저·아크 용접은 일본과 국내에서는 아직 적용 사례가 없고 독일의 Meyer

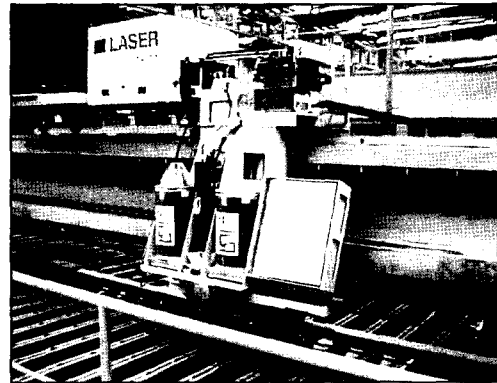


그림 6 하이브리드 레이저 용접의 필릿 용접 적용 예 (Meyer Werft사)

Werft사가 크루즈 선 건조에 적용하여 연간 2척을 생산하고 있다. 그림 6은 Meyer Werft사에서 CO₂레이저와 MIG를 결합한 하이브리드 레이저·아크 용접 프로세스를 필릿 용접부에 적용하고 있는 예를 나타낸 것이다.

국내와 일본 조선이 레이저 용접 적용 사례가 저조한 것은 여전히 비싼 레이저 광원과 러닝 코스트 및 후판(15mm^t 이상)용접의 신뢰성 부족 등 미해결 되어있는 기술이 숙제로 남아 있기 때문이다.

그러나 단기적으로는 최근 국내 조선이 독점하고 있는 LNG선의 멤브레인형 탱크 시공 특히, 현재 연구 개발 중인 한국형 멤브레인에 레이저 용접을 적용하였을 경우 약 7배 이상의 용접 효율도 가능할 것이라고 생각된다.

6. FSW(Friction Stir Welding)

레이저 용접과 함께 최근에 주목 받고 있는 용접 기술중의 하나이다. FSW가 적용되는 재료는 알루미늄 합금, 마그네슘 합금 등 비철 금속이 많고, 스테인레스와 연강 등, 철강재에는 아직 연구개발 단계이다. FSW는 고상 확산 접합이기 때문에 그림 7과 같이 레

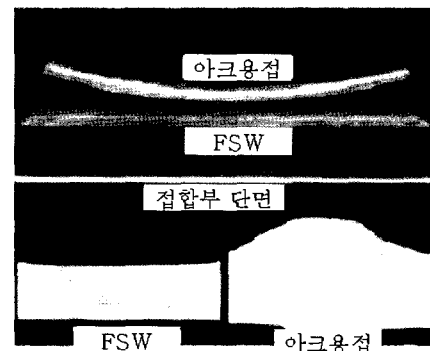


그림 7 알루미늄 합금의 FSW와 아크 용접의 변형 정도와 용접단면 비교

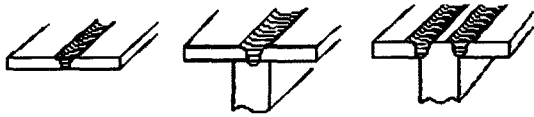


그림 8 조선에서 적용 가능한 FSW 적용 이음부

이저나 아크 용접보다 열변형이 극히 적으며, 개선이 필요 없고, 용접 재료가 필요하지 않으며, 용접부의 기계적 성질이 우수하다는 것이 특징이다⁴⁾. 알루미늄은 1회 용접에 60mm²까지 용접이 가능한 것으로 보고되고 있으나 연강은 최대 7.5 mm²까지 원패스(One-pass)용접이 가능한 것으로 알려져 있다. 개발 초기에는 주판의 맞대기 용접 프로세스가 많았으나 최근에는 파이프의 곡면 용접까지 가능하게 되었다. 또한 용접 끝단부에서 Probe 홀의 흔적이 남는 것이 단점으로 지적되었으나 최근에는 용접의 최종단계에서 핀을 솔더속으로 천천히 들어가게 함으로써 홀의 흔적을 남기지 않는 FSW 헤드 개발되었다는 보고가 있다.

조선의 조립라인에서 FSW의 적용 가능성은 그림 8과 같이 판넬 라인에서 주판의 맞대기 용접이나 필릿 이음부의 Stake 용접이 될 것이다.

그러나 강의 용접에서는 프로브의 교체 주기가 빈번하여(3m당 1회 프로브의 점검 및 재가공 필요함) 용접 효율 측면에서 적용에 어려움이 있다. FSW가 조선에 적용되기 위해서는 프로브와 솔더의 내마모성, 내열성 등 내구성을 가질 것, 용접 효율성을 위해 보다 용입을 깊게 할 수 있는 장치 프로브의 개발이 필요하다.

4. 결 언

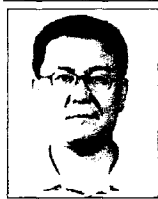
이상과 같이 조선 조립분야에서 적용되고 있는 고속

용접의 현황과 이후의 전망에 대해서 기술하였다. 서언에서 기술한 바와 같이 조선에서의 용접은 효율적 선박 건조를 위해 출발하였고 발전하여 왔다. 최근 조선산업에서의 화두는 중국 조선의 추격에 대한 것인데, 낙관적인 것은 아니다. 조선 뿐만 아니라 제조업에 종사하는 대부분의 기술자들이 공감하는 것이지만 미흡한 국내 원천 기술 수준 때문에 중국의 추적이 두려운 것이다. 글로벌 경쟁에서 한국 조선이 경쟁력을 확보하고, 수성의 위치를 지키기 위해서는 설비 투자에서 벗어나 중 장기적 R&D 투자가 필요 할 때라고 생각한다. 일본이 10년의 긴 불황의 터널을 지나 올 수 있었던 힘은 연구 개발에 대한 장기적 투자를 통한 원천 기술의 확보에 있었다는 보고서에 귀를 기울일 필요가 있다.

무한 경쟁 시대에 조선 강국의 지위를 확보함과 동시에 고속 용접 프로세스에 대한 연구 개발을 이제 부터는 한국 조선이 주도할 것을 바라는 마음이다.

5. 참고 문헌

1. P. C. Koenig etc. : Shipbuilding Productivity Rates of Change in East Asia, Journal of Ship Production, 19-1 (2003), 32-37
2. 杉谷裕司 : 最近の高効率自動化プロセス, 溶接學會東海支部第44回溶接研究資料, 2000
3. S.Nagaoka etc., : High Efficiency CO₂ Welding Methods, Kobe Steel Engineering reports, 54-2, Aug. 2004 (in Japanese)
4. P. L Threadgill etc. : The Potential for Friction Stir Welding in Oil and Gas Applications, Proc. Of The Fourteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol. IV, (2004), 1-7



- 장태원(張太源)
- 1959년생
- 삼성중공업 용접연구
- 용접공법 및 시공연구
- e-mail : taewon123jang@samsung.com



- 윤동렬(尹東烈)
- 1965년생
- 삼성중공업 용접연구
- 용접공법 및 시공연구
- e-mail: dongryeol.yun@samsung.com



- 문종현(文種賢)
- 1966년생
- 삼성중공업 용접연구
- 용접공법 및 시공연구(레이저용접)
- e-mail : jonghyun.moon@samsung.com