

3차원 위빙 대용착 지능 용접캐리지 개발 및 적용

김영주^{*,†} · 조방현^{*} · 아미트^{*} · 이상범^{**} · 이원구^{*} · 김진용^{*} · 허만주^{*}

^{*}대우조선해양 산업기술연구소

^{**}대우조선해양 미래연구소

The Development and Application of Intelligent Welding Carriage with High Deposition Rate by 3-D Weaving

Young-Zoo Kim^{*,†}, Bang-Hyun Cho^{*}, Amit^{*}, Sang-Bum Lee^{**}, Weon-Gu Lee^{*},
Jin-Yong Kim^{*} and Man-Joo Huh^{*}

^{*}Industrial Application R&D Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co.,LTD, Geoje-si 656-714, Korea

^{**}Future Product & Business Development Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co.,LTD, Siheung-si 459-793, Korea

[†]Corresponding author : youngzoo894@dsme.co.kr

(Received December 31, 2009 ; Revised January 22, 2010 ; Accepted January 27, 2010)

Abstract

In shipbuilding industry, welding position are usually flat and vertical position at the erection stage. Application of SAW and EGW for these positions makes it possible to achieve enhanced productivity and high quality. But owing to their large size and weight it is difficult to apply these techniques in short and narrow regions. To overcome this problem, our company developed light weight and compact size 4-axis welding carriage which perform 3D weaving. The purpose of this study is to explain the development and application of intelligent welding carriage using 3D weaving pattern that can fill a large amount of welds and thereby making it possible to achieve high quality of welding. This study shows 3D weaving pattern, development of weaving database, and skill of adaptive control response for the variable gap. Also, it shows the results of procedure qualification test for the AH-grade steel when applied to the intelligent welding carriage.

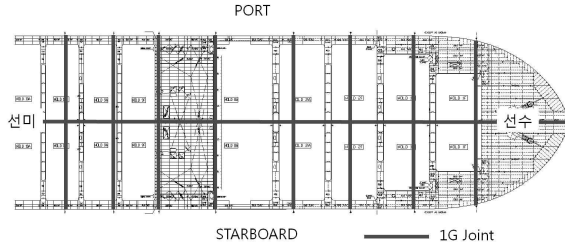
Key Words : Shipbuilding industry, Flux cored arc welding, Intelligent welding carriage, 3 dimension weaving, high deposition rate, Weaving database, One layer one pass welding, Adaptive weaving control

1. 서 론

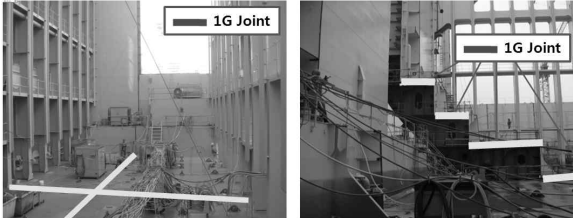
한국 조선업이 세계 1위를 차지함과 동시에 용접 생산 측면에서 용접기술은 세계 최고에 도달하였으며, 영구적인 1위 유지를 위해서는 지속적인 신용접기술의 개발 필요성이 제기되고 있다. 신용접기술은 단순한 간이 자동화 및 기계화 용접에서 창의적인 용접 기법이 접목된 로봇 전자동화¹⁾, 지능형 캐리지화로 기능과 성능 면에서 고급화로 변화하고 있는 추세이며 그 연구가 활발히 진행 중이다²⁾.

최근 컨테이너선의 건조 및 제작이 급격히 늘어남에 따라 컨테이너선 건조 경쟁력 향상이 필요하였으며, 이에 컨테이너선에 대한 용접생산성 향상 기술 개발이 요구되고 있다.

Fig. 1은 11,000TEU 컨테이너선의 선행탑재와 탑재단계에서 이루어지는 아래보기 맞대기 용접 이음의 사진을 나타내었다. 컨테이너선의 블록간 아래보기 맞대기 용접 이음은 주로 긴 용접선을 가진 tank top부와 짧은 용접선을 가진 bench block부로 이루어진다. 블록간 용접은 용접시공기준서에서 허용하는 루트갭을



(a) Plane figure of 1G joint



(b) Tank top 1G (c) Bench block 1G
Fig. 1 1G welding joint in erection stage



Fig. 2 Alignment of 1G welding joint

맞춘 후 Fig. 2와 같이 도그 피스를 이용하여 두 판의 높이를 맞추고 이면에 세라믹 백킹재 부착 후 2패스의 플럭스 코어드 아크용접(Flux Cored Arc Welding, FCAW)을 수행한다. 그 다음 용접선이 긴 tank top 부는 서브머지드 아크용접(Submerged Arc Welding, SAW)을 수행하지만 용접선이 짧은 bench block은 SAW가 비록 용접효율이 높지만 이동 및 설치시간이 길어 전량 수동 FCAW를 수행하고 있다.

이에 본 연구에서는 짧은 용접선을 가진 bench block 부를 용접 자동화하여 용접생산성을 향상시키고자 하였으며, 이를 위해 용접효율이 높은 지능형 3차원 위빙 캐리지와 3차원 위빙 용접 패턴을 개발하고 현업 적용을 위해 선급 승인시험을 수행하였다.

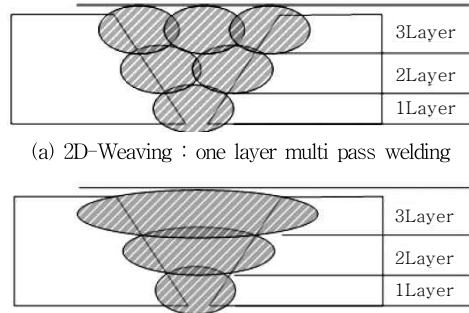
2. 대응착 용접 기법 개발

2.1 3차원 대응착 위빙 패턴

용접 토치를 좌,우로 위빙하는 2차원 위빙 용접 캐리



(a) Boundary surface (b) Weld defects
Fig. 3 application of 2D weaving patten



(b) 3D-Weaving : one layer one pass welding
Fig. 4 Comparison of build up

지를 이용하여 대응착 용접 가능성을 검토한 결과, 선행하는 용융숫물의 제어가 어려워 Fig. 3과 같은 경계면에서 용입불량 및 슬래그 혼입 등의 결함이 발생하여 3차원 위빙 방식의 대응착 위빙 패턴의 개발이 필요하였다.

Fig. 4는 위빙 방식에 따른 적층 방법을 비교한 것으로, Fig. 4(a)는 좌,우로 위빙하는 2차원 위빙방식을 적용한 경우로 루트갭이 증가하는 경우에 추가적인 용접패스 없이 용착량만 증가한다면 용융숫물이 선행하여 용입불량 등의 결함이 발생하므로 반드시 one layer multi pass 용접을 수행해야한다. Fig. 4(b)는 3차원 대응착 위빙 방식을 적용하는 경우로 루트갭의 증가에 대응하여 프로그래밍된 3차원 위빙 D/B를 적용하므로 용융숫물의 선행 없는 one layer one pass 용접이 가능하여 획기적인 용접 패스수의 절감이 가능하다.

Fig. 5는 본 연구를 통해 최종 고안된 3차원 대응착

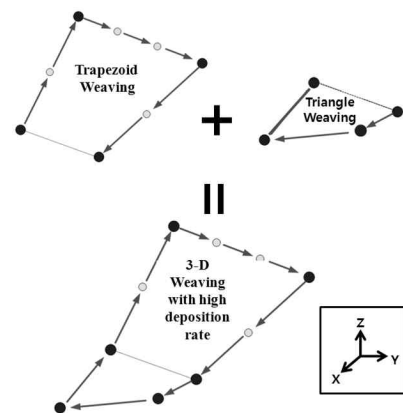


Fig. 5 3D weaving pattern

위빙 패턴을 보인 것이다. 3차원 대응착 위빙 패턴은 경계면의 결함을 방지하기 위한 삼각형 패턴과 그루브 내부 및 표면 덧살부의 용착량 증가를 위한 사다리꼴 패턴의 조합으로 구성 된다.

3차원 대응착 위빙 패턴을 만들기 위해서는 두께 및 갭 변화에 대응하여 위빙 패턴의 형상을 결정하는 다양한 절점(Node)과 안정적인 용융풀 유동 및 미려한 표면비드 외관을 만드는 다양한 이동 속도도(Speed), 결함을 방지하며 용입량을 결정하는 다양한 절점에서의 멈춤 시간(Dwell Time) 등의 조절이 필요하다.

2.2 루트갭 변동 대응 위빙 Data Base

실제 생산현장에서는 루트갭의 변동이 항상 발생하므로 루트갭 변동에 대응한 위빙 형상의 변경이 필요하였다. Fig. 6은 Fig. 2의 화살표 방향을 따라 측정된 루트갭 변동을 보인 것으로 루트갭은 8~13mm 범위에 분포한다. 대부분 용접시공기준서의 허용 루트갭은 4~10mm 범위이며, 그때의 그루브폭은 두께 15~23t 기준으로 14~25mm 범위에 있다.

Fig. 7은 루트갭의 변동에 대응하여 3차원 위빙 패턴을 결정하기 위한 각 절점 간 이동 거리를 정의한 것이다. Fig. 8은 루트갭 변동에 따라 안정적인 용융셋물

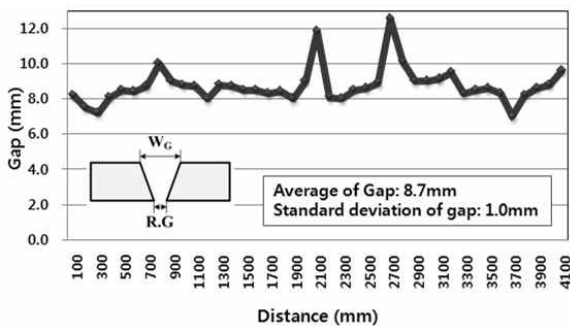


Fig. 6 Variation of gap in 1G welding joint

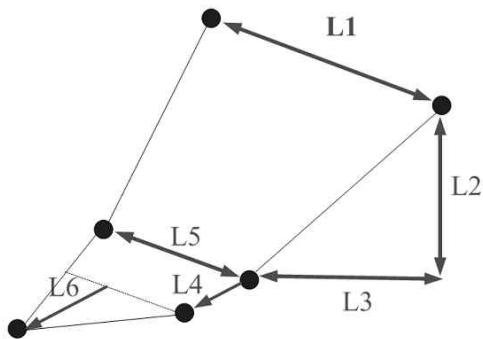


Fig. 7 Each node movement in 3D weaving pattern

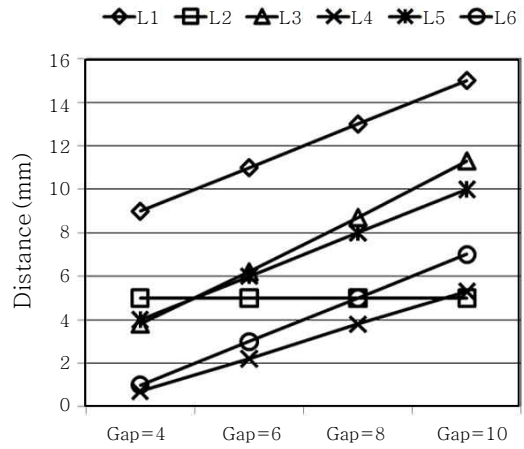


Fig. 8 Movement values in 3D weaving

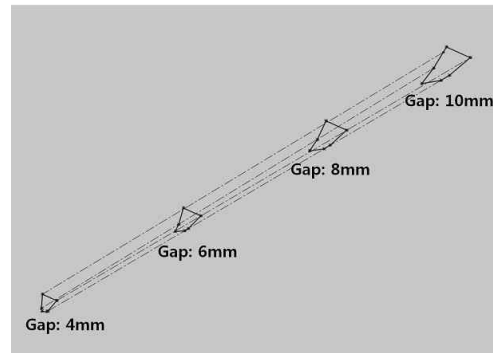


Fig. 9 Adaptive control of weaving scale

의 거동을 보여주고 용접결함이 없고 미려한 용접부가 형성되는 각 절점간 최적 이동거리를 나타내었다.

Fig. 9는 루트갭의 변동에 대응하여 수식화하여 만들어진 3차원 대응착 위빙 패턴의 형상을 나타내었다.

Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12는 루트갭의 변동에 따른 용접속도와 절점간 이동거리를 D/B화한 후 수동으로 하나의 위빙 스케일 노브(knob)만 조절하며 용접한 결과를 나타낸 것으로 작업편의성을 위해 전류 및 전압은 일정하게 하였다. 갭이 4mm에서 10mm로 증가하여도, one layer one pass 용접이 가능하였고, 초음파투과 검사 결과 내부 결함 없고 덧살이 충분한 고품질 용접 비드를 구현하였다. 용접 중 작업자가 용접 아크를 보면서 수동으로 하나의 노브만 조절하며 용접하는 루트갭 변동 대응 가능한 위빙 Database 변경 기술을 2달간 현업 생산 용접에 적용하였고 그 용접부에 대한 초음파투과 검사를 수행한 결과, 내부 결함 없는 건전한 용접부가 형성됨을 확인하였다. 향후 관련 센서 및 센서 설비가 캐리지에 탑재 가능하도록 경량화 및 소형화가 가능하다면 용접 시작 후 작업자의 노브 조절

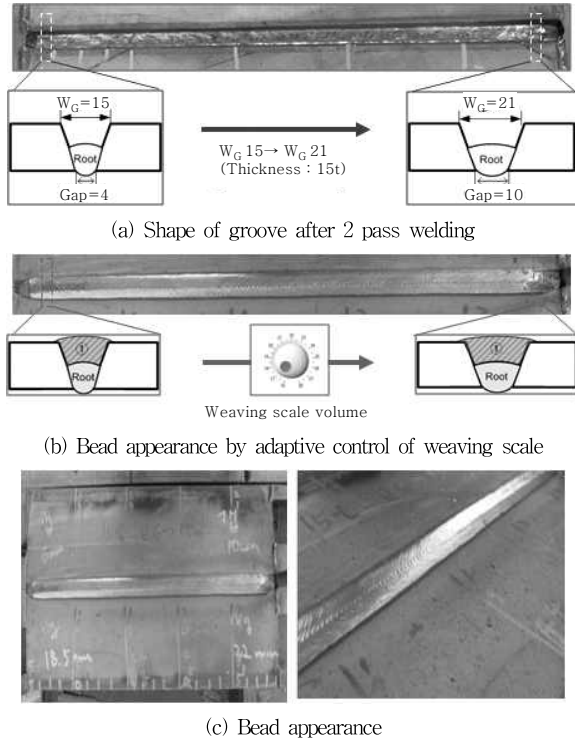


Fig. 10 Adaptive control of 3D waving pattern(15t)

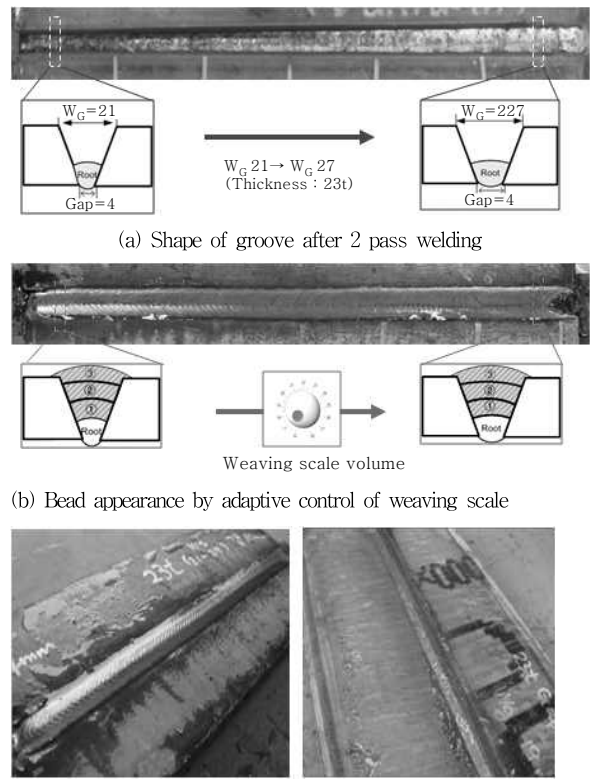


Fig. 12 Adaptive control of 3D waving pattern (23t)

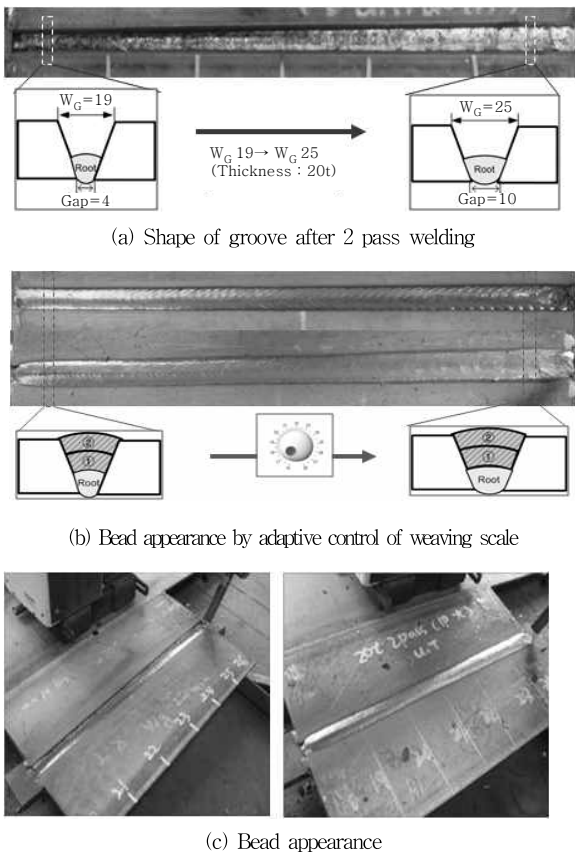


Fig. 11 Adaptive control of 3D waving pattern (20t)

이 필요 없는 무인 용접자동화도 가능할 것으로 판단된다.

2.3 지능형 용접캐리지 개발

종래의 소형용접로봇과 다축 용접캐리지는 주로 각종 센서에 의해 용접시작점을 검출하고 개선 형상을 인식하며 단순 2차원 위빙 용접 작업을 수행하였으나, 장치의 과도한 무게와 추가 부대설비(제어PC, 컨트롤러, 로봇용접기, 다수의 케이블, 센서 등)의 설치 및 유지보수의 어려움으로 용접 생산성 및 장치 운용성이 우수해야 하는 탑재 단계의 적용에 한계가 있었다. 이에 용접시작점은 사용자가 다관절 기구를 움직여 직접 설정하고 개선 형상 변경에 대응 가능하도록 주행속도와 위빙 Database를 동기화하여 하나의 노브로 누구나 쉽게 3차원 위빙 패턴을 조절하여 용접작업이 가능한 장치를 구성하였다. 사용자가 쉽게 운반하며 편리하게 용접 작업을 할 수 있도록 기구와 제어부의 경량화와 소형화에 초점을 맞춘 지능형 용접캐리지 개발을 수행하였다.

2.3.1 기구부 개발

Fig. 13은 당사에서 개발한 지능형 용접 캐리지의 3D 모델을 보인 것으로 위빙을 구현하기 위한 3축 직교 모듈과 주행축을 포함한 캐리지 플랫폼, 직교 3축

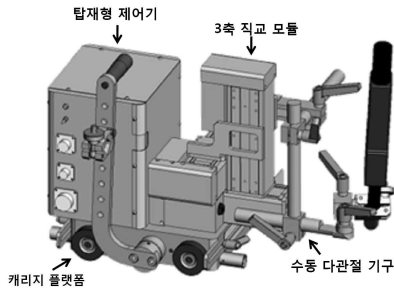


Fig. 13 Intelligent welding carriage

Table 1 Description of intelligent welding carriage

Item	Function
Controller	Embedded
Weaving	3-D Weaving
Weaving condition	Weaving database
Welding machine I/F	SCR type (In yard)
Torch type	Manual / Auto
Weight	14.3kg
Size	295(L)×195(W)×309(H)

모듈과 주행 1축 조합으로 3차원 위빙 패턴을 구현하는 탑재형 제어기, 다양한 토치각도 구현을 위한 수동 다관절 기구 등으로 구성된다. Table 1은 지능형 용접 캐리지 사양을 보인 것으로 장비의 무게는 14.3kg이며 크기는 295(L)×195(W)×309(H)이다. 장치 무게를 줄이기 위하여 3축 직교 모듈의 각 축에 요구되는 토크 및 스트로크를 계산하여 최적 Motor 사양을 결정하였고 캐리지 플랫폼은 알루미늄 재질로 제작하였다. 또한 전용용접기를 사용하는 경우 용접기 설치 및 운반 시간이 추가로 소요되므로 현업 SCR 용접기와 캐리지 간 인터페이스를 구성하여 작업 준비시간을 단축시켰다. 용접 토치는 언제든지 수동보수 용접이 가능하도록 수동용접 및 자동용접 병행이 가능한 겸용 토치로 구성하였으며 사용자가 쉽게 위빙 및 용접 조건의 변경과 저장 가능하도록 소형 UP(User Panel)도 함께 개발하였다.

2.3.2 탑재형 제어기 개발

Table 2는 개발된 용접 캐리지에 탑재 가능한 탑재형 제어기 사양을 보인 것으로 주제어부(CPU)와 모션 제어부(모션보드, 드라이버), 입출력 제어부(I/O), 통신부(RS232) 등을 소형으로 제작하여 제어기 안에 배치하였다. 주제어부는 Embedded Stand Along Type으로 구성되어 내구성 및 신뢰성을 높였고 4축 모션은

Table 2 Specification of on-board controller

Item	Function
Main controller	Embedded stand alone type
Motion controller	8-axis position and velocity control
In & Out port	15 port
Communication	RS232
Size	170×150×200(mm)

PID 알고리즘을 이용하여 실시간 제어하고 trapezoidal 및 PVT 모션방식을 사용하여 정확하고 정밀한 모션 동작을 수행한다.

2.4 용접 Pass 수 결정

앞선 현장조사 결과, bench block의 용접 이음부 두께와 루트갭은 다양하며 이에 따른 최적 용접 조건의 설정이 필요하였다. FCAW의 용입깊이는 크지 않으므로 두께가 증가하면 용착량이 많아져서 용입불량 결합이 발생할 수 있어 용접패스수를 증가시켰으며, 루트갭의 변화는 위빙 패턴의 조절을 통하여 최적 용접조건을 선정하였다. 루트 간격을 10mm로 한 기초실험을 통해 두께 15mm는 1패스, 두께 20mm는 2패스, 두께 23mm는 3패스로 용접이 가능함을 확인하였으며, 그 결과는 Fig. 14에 나타내었다.

3. 선급승인시험

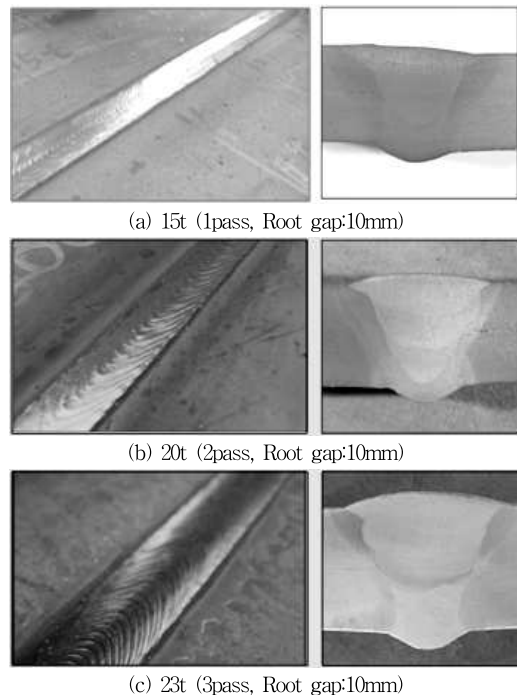


Fig. 14 Number of welding pass using 3D Weaving pattern

선급승인시험에 앞서 수행한 대응작 와이어 선정 실험을 통하여 용접재료 별 적용 가능한 강재가 결정되었다. 대응작 용접재료는 가능한 슬래그 생성량이 적고 강재 Grade 별 선급 승인 요구 충격치를 만족하는 재료로 선택하여야 한다.

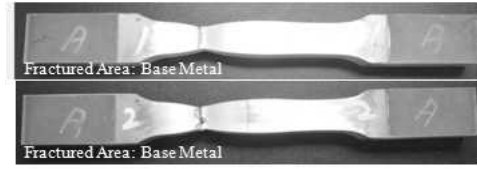
본 용접기술의 현업 적용에 대한 가능여부를 판단하기 위하여, 두께 23t의 AH-32 선급강재에 대한 선급승인 시험을 수행하였다. 선급승인시험에는 비드외관 육안검사, 비파괴시험, 용접 단면 마크로시험, 인장시험, 굽힘 시험, 경도시험, 충격시험 등이 포함된다.

Fig. 15는 용접 종료 후 표면 비드 외관이며 Fig. 16은 용접 단면 마크로 사진으로 조음과 탐상시험을 수행한 결과, 용접결함이 없는 고품질 용접부를 보여주었다.

Fig. 17은 인장시험 결과로써 파단부는 모재이며 인장강도는 요구치를 만족하였다.

Fig. 18은 측면 굽힘시험으로서 용접부 굽힘 종료까지 표면에 어떠한 결함도 발생하지 않았다.

Fig. 19는 경도시험 결과로서 표면과 루트면의 용접 금속, 열영향부 및 모재에 대해 요구치 최대 350HV를 모두 만족하였다. Fig. 20은 샤르피 충격시험 결과로서 루트갭 6mm, 10mm 조건에 대해 용접금속, 열영



	Requirement	Specimen A	Specimen B
T.S(MPa)	Min 440	532	533
Y.S(MPa)	Min 315	374	367

* T.S: Tensile Strength, Y.S: Yield Strength

Fig. 17 Tensile test

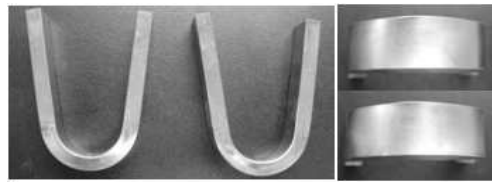


Fig. 18 Side bending test

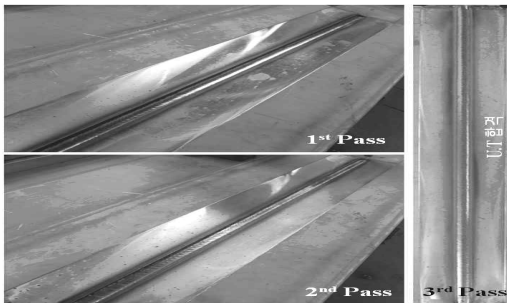
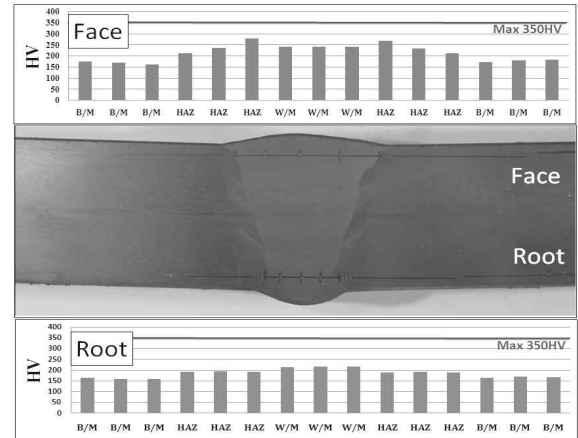


Fig. 15 Bead appearance after welding



여기서, B/M: Base Metal, W/M: Weld Metal
HAZ: Heat Affected Zone

Fig. 19 Hardness test

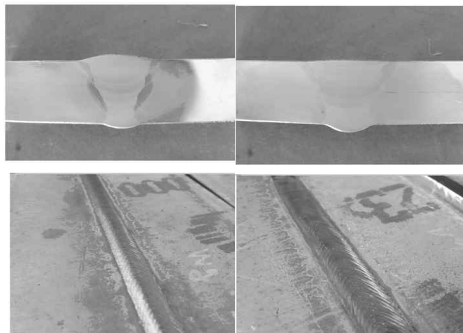


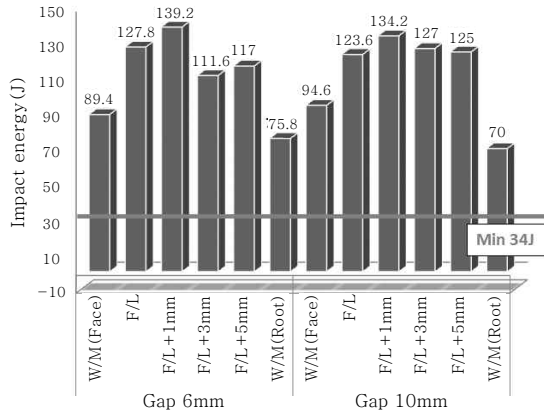
Fig. 16 Macro cross section and bead appearance

향부 및 모재의 충격시험 결과 모두 요구치인 최소 34J을 만족하였다.

상기 시공승인시험 항목 별 선급 요구치를 모두 만족 하였으므로 AH-강재에 대해 본 용접기술의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 현업 적용 결과

3차원 위빙캐리지에 의한 one layer one pass 대응작 용접 시공법을 컨테이너의 tank top 및 bench block부 이외에 engine bed, coaming deck부와 자



여기서, W/M(Face): Weld Metal at face region
 F/L: Fusion line
 F/L+1mm: Fusion line에서 모재쪽 1mm 위치
 F/L+3mm: Fusion line에서 모재쪽 3mm 위치
 F/L+5mm: Fusion line에서 모재쪽 5mm 위치
 W/M(Root): Weld Metal at root region

Fig. 20 Impact test

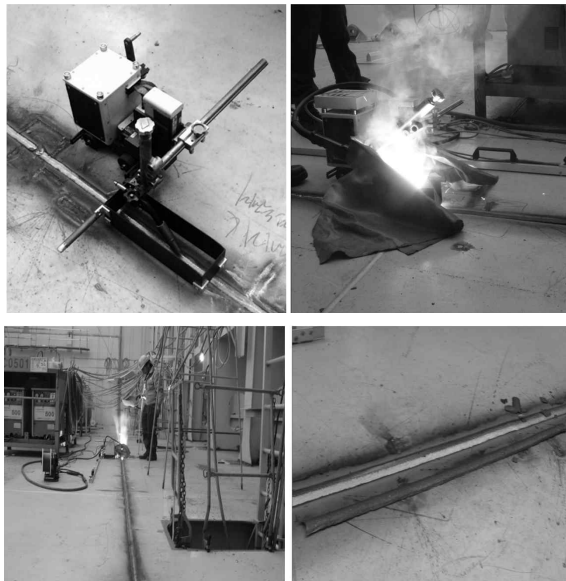


Fig. 21 Application of intelligent welding carriage

동차운반선의 car deck부, 장항선의 main deck부에 적용한 결과, 수동 용접 대비 15t 기준 2~3패스 절감, 20t 기준 3~4패스 절감, 23t 기준 4~5패스 절감되어 선탑/탑재 단계의 생산성 및 용접 자동화율이 향상되었다.

Fig. 21에 컨테이너선 tank top부와 bench block에 대해 현업 적용한 사진을 보인 것이다. 용접 종료 후 20M용접장에 대한 초음파 투과시험 결과, 내부 결함(슬래그 혼입, 융합불량 등) 및 표면 결함(언더컷, 기공)이 없는 고품질의 용접부를 얻을 수 있었다.

또한 현업 SCR 용접기 사용이 가능하도록 인터페이

스를 구성하고 기존 유틸리티라인의 활용이 가능하도록 하여 작업 편의성을 도모하였으며 3차원 위빙 용접캐리지는 크기가 작고 가벼워 크레인 사용 없이 바로 작업자가 직접 작업장으로 운반이 가능하여 작업 준비 시간의 단축 및 크레인 사용 회전이 향상 되었다.

5. 결 론

3차원 위빙 대응작 지능 용접캐리지 개발 및 현장 적용 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 아래보기 용접 이음부 내부 및 표면 덧살부의 대응작 용접이 가능한 사다리꼴 패턴과 루트 수동부와 자동 용접부 간 경계면의 결함 방지를 위한 삼각형 패턴의 조합을 통해 용접결함 없이 대응작 용접이 가능한 3차원 위빙 패턴을 개발하였다.

2) 강재 두께 및 루트갭 변동에 대응하여 최적 3차원 위빙 패턴을 보여주는 각 절점 간 이동거리와 용접 속도를 D/B화하였으며 루트갭 변동 시 하나의 노브(knob)로 위빙 패턴을 자동변경 가능하도록 최적의 위빙 D/B를 구축하였다.

3) 위빙을 위한 3축 직교 모듈과 주행축 1축 조합으로 구성된 기구부와 소형, 경량의 탑재형 제어기, 작업을 위한 소형 U.P(User Panel)을 자체 기술력으로 개발하였고 세계 최초로 3차원 위빙 대응작 지능 용접캐리지를 현업 생산에 적용하였다.

4) 선급승인시험을 수행한 결과 요구치를 모두 만족하였다.

5) 지능형 용접 캐리지 도입을 통해 고품질, 고신뢰도의 아래보기 맞대기 용접부를 얻음과 동시에 생산성 향상과 작업환경 개선을 이루었다.

6) 향후 본 기술을 응용 개발하여 이중선체 내부 밀폐 공간의 아래보기 맞대기 용접과 수직 용접 등에 적용할 계획이다.

참 고 문 헌

1. S.W Kang, et al : Development of sub-assembly welding robot system in shipbuilding, Proceedings of the 2006 Autumn Annual Meeting of Korean Welding Society, 47, 101~1003 (in Korean)
2. Y.J Kim, et al : Development of Multi-pass Welding Method for lifting Lug by Robot Weaving, Journal of The Korean Welding and Joining Society, 25-6 (2007), 44-52 (in Korean)