

## 곡 블록 자동화를 위한 지능형 용접 캐리지 개발

최희병<sup>†\*</sup>, 문종현<sup>\*\*</sup>, 전완열<sup>\*</sup>, 김세환<sup>\*</sup>

삼성중공업 생산기술연구소 자동화연구<sup>\*</sup>  
삼성중공업 생산기술연구소 용접연구<sup>\*\*</sup>

### Development of a Intelligent Welding Carriage for Automation of Curved Block

HeeByoung Choi<sup>†\*</sup>, JongHyun Moon<sup>\*\*</sup>, WanLyul Jun<sup>\*</sup> and Sehwan Kim<sup>\*</sup>

Automation Research Part, SAMSUNG HEAVY INDUSTRIES<sup>\*</sup>  
Welding Research Part, SAMSUNG HEAVY INDUSTRIES<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

This paper presents a novel Intelligent-Welding-Carriage (IWC) for automation of curved block in shipbuilding. The curved block is usually used in both front and back side of the ship. In curved block root gap is big, 1-7 [mm] and inclination, 0-30 [deg]. Since available conventional carriage type is limited to use below root gap of 3 [mm], only manual welding is employed in curved block. To adopt an IWC in curved block, it requires control of the welding conditions, i.e., voltage, current, weaving speed, dwell time and travel speed, with respect to root gap and inclination to achieve good welding quality. In this paper, an IWC is developed for automization of welding operation to accommodate gap and inclination. Kinematics model and dynamics using Lagrangian formulation of the manipulator is introduced. IWC utilizes a database to perform accurate welding. The database is programmed based on numerous experimental test results with respect to gap, inclination, material, travel speed, weaving condition, voltage, and current. Finally, experimental result using PID control is addressed for verifying the trajectory tracking accuracy of end-effector.

※Keywords : Welding(용접), Curved-Block(곡 블록), Shipbuilding(조선), Automization(자동화)

---

†주저자, E-mail : [hb7.choi@samsung.com](mailto:hb7.choi@samsung.com)

Tel : 05-630-6281

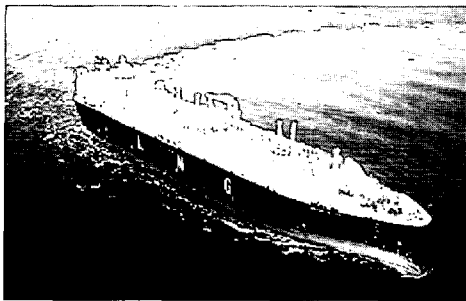
#### 1. 서론

최근 산업계에서는 숙련공의 감소 및 노령화 문

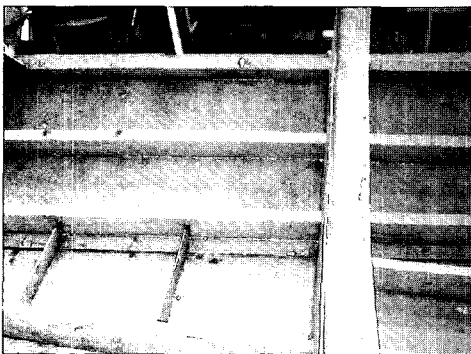
제로 자동화 개발을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 자동화의 중요성이 증대됨에도 불구하고 조선업의 특성상 많은 어려움이 내재돼있는 것이 현실이다. 조선업에서는 소조립 라인 중심의 자동화는 상당 부분 진행되어 왔다(T. Miyazaki et. al, 1999, Kim J.H. et. al, 1997, T.T. Phan et. al, 2005, Yoo, W.S. et. al, 2001). 그러나 대형 선수미(Fig. 1(a))에 사용되는 곡 블록(Fig. 1(b)) 용접은 종래의 자동화 장비 적용이 불가능 하기때문에 전량 숙련자의 수작업으로 용접을 수행하고 있다.

또한 최근 강제가, 인건비 등의 대외 경쟁력 강화를 위한 생산성 향상 및 원가 절감이 절실히 요구되고 있다. 이러한 요구에 맞춰 용접 효율 증대와 고품질 용접 실현을 위해 많은 노력이 진행되고 있다.

Y. Sugitani(1996) 는 격자구조 용접 캐리지를 개발하였다. 이 캐리지는 고속 회전 아크 용접 토치와 2 축의 슬라이드 블록, 그리고 진행 방향 제



(a) Gas carrier



(b) Curved block

Fig. 1 LNGC and curved block

어를 위한 모바일 부분으로 구성되어있다. A. Aoki(2004) 는 휴대가능하고, 모듈화가 가능한 다용도 용접 로봇 시스템을 제안 하였다. D.Y. Lee et. al(2004) 는 자동 이송이 가능한 LNGC 멤브레인 플라즈마 용접 로봇을 개발하였다.

본 논문에서는 곡 블록 고 효율 용접 및 생산성 향상을 위해 지능형 용접 캐리지(IWC)에 대해 설명한다. IWC 는 곡 블록 자동 용접을 위해 각종 센서로부터의 정보를 이용하여 최적 용접 조건을 검색 및 적용할 수 있다.

## 2. 시스템 구성

이 장에서는 각각 4 개의 휠 과 시리얼 링크 구조를 가진 지능형 용접 캐리지의 구성을 알아본다 IWC 의 prototype 은 Fig. 2 와 같다.

### 1. 모터

IWC 에는 엔코더 내장형 DC 모터를 사용하였다. 모터 최대 토크, 정격 스피드, 용량은 각각 26.3 [mNm], 11000 [rpm], 20 [W] 이다.

### 2. 모터 제어기

IWC 의 제어를 위해서 SHI Mechatronics Research Team 이 자체 개발한 8 축 제어 모션 제어기를 사용하였다(D.Y. Lee et. al, 2004). IWC 제어를 위해 PID 제어가 사용되었다.

### 3. 센서

용접선 추적과 gap 인식을 위해 LVS(Laser

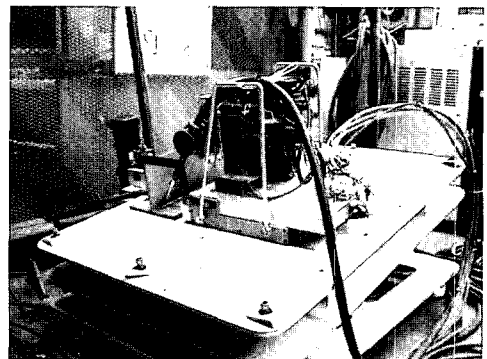


Fig. 2 Intelligent welding carriage system

Vision Sensor)를 사용하였고, 각 축의 끝 단 인식을 위해 limit 센서를 채용하였다. 주행 축(x 축)에는 근접센서를 사용 부재 등의 장애물 인식에 사용하였다. 또한 경사센서(± 75 [deg])를 사용하여 부재경사 측정에 사용하였다.

4. 용접 테이블

곡 블록 환경에 맞는 용접 테스트를 위해 ± 35 [deg]의 경사 구현이 가능한 용접 테이블을 개발했다. 본 용접 테이블로부터의 전도를 막기 위해서 IWC 에는 자석이 부착되어있다.

3. 기구학

이 장에서는 IWC 의 기구학에 대해 설명한다. Fig. 3 은 지능형 용접 캐리지의 prototype 을 나타낸다. Table 1 은 각 링크 파라미터를 보여준다.

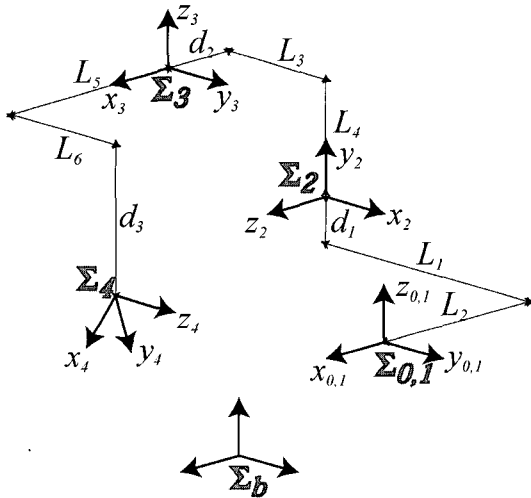


Fig. 3 Design parameters

Table 1 Link parameters of the IWC

<i>i</i>	$\alpha_{i-1}$ [deg]	$a_{i-1}$ [mm]	$d_i$ [mm]	$a_i$ [deg]
1	0	0	0	$\theta_1$
2	90	$L_1$	$d_2$	0
3	-90	$L_3$	$d_3$	-90
4	-90	$L_5$	$L_6$	$\theta_4$

변환 좌표계는 다음과 같이 구할 수 있다.

$${}^0T_4 = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta_4 S\theta_1 & -S\theta_4 S\theta_4 & -C\theta_1 & p_x \\ -C\theta_4 C\theta_4 & C\theta_4 S\theta_4 & -S\theta_1 & p_y \\ -S\theta_4 & -C\theta_4 & 0 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

이때,

$$p_x = C\theta_1 L_1 + S\theta_1 L_2 + C\theta_1 L_3 + S\theta_1 L_5 - C\theta_1 L_6$$

$$p_y = -S\theta_1 L_1 - C\theta_1 L_2 - S\theta_1 L_3 - C\theta_1 L_5 + S\theta_1 L_6$$

$$p_z = L_4$$

4. 동역학

이 장에서는 IWC 의 동역학에 대해 설명한다. 모바일 플랫폼과 매니플레이터는 저속운동을 하므로 각각의 관성모멘트와 휠의 슬립은 무시하기로 한다. 동역학 해석을 위해서 Lagrangian 운동 방정식을 사용했다. IWC 의 Lagrangian 운동방정식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tau = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} \quad (2)$$

여기에서,  $q = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_w]^T$ ,  $\tau = [\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_w]^T$  이때,  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  와  $\theta_w$  는 각 조인트의 각 변위 이고  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$  와  $\tau_w$  는 각 조인트와 휠의 토크이다. 식 2 는 다음과 같이 표현된다.

$$\tau = \frac{d}{dt} \frac{\partial k}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial k}{\partial q} + \frac{\partial u}{\partial q} \quad (3)$$

여기에서,  $k$  와  $u$  는  $i$  번째 링크의 운동에너지와 위치 에너지이다. IWC 는 저속 운동을 하므로 Lagrangian 운동방정식은 모바일 부분의 운동에너지와 매니플레이터의 운동, 위치에너지로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L = k_p + k_m - u_m \quad (4)$$

여기에서,  $k_p$ ,  $k_m$  와  $u_m$  는 모바일 플랫폼과 매니플레이터의 운동에너지와 매니플레이터의 위치 에너지로 다음과 같이 표현된다.

$$k_p = \frac{1}{2} (m_b + m_w) (\dot{x}_0^b + \dot{y}_0^b)^2 + I_w^b \omega_w^2$$

$$k_m = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$$

$$= \frac{1}{4} [A\dot{d}_2^2 + B\dot{L}_4^2 + C\dot{d}_2\dot{\theta}_1 + A\dot{d}_2^2\dot{\theta}_1^2 + Dd_2\dot{\theta}_1^2 + (E + FC\theta_4 + GC2\theta_4)\dot{\theta}_1^2 - HC\theta_4\dot{L}_4\dot{\theta}_4 + JS\theta_4\dot{\theta}_1\dot{\theta}_4 + 2G\dot{\theta}_4^2] + \frac{1}{2}(I_{1x} + I_{2y} + I_{zx})\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}(I_{4x}S\theta_4^2 + I_{4y}C\theta_4^2 + I_{4z})\dot{\theta}_4^2$$

$$u_p = -m_3g(L_4 + L_{4_{max}}) - m_4gL_7(S\theta_4 + 1)$$

결국 IWC의 동역학 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\tau = M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + G(q) \quad (5)$$

여기에서,  $M(q)$ ,  $N(q, \dot{q})$ , 그리고  $G(q)$ 는  $5 \times 5$ 의 각 조인트와 휠의 각 변위 함수로 된 관성 행렬,  $5 \times 1$  coriolis와 원심력으로 인한 행렬, 과  $5 \times 1$ 의 중력항이다.

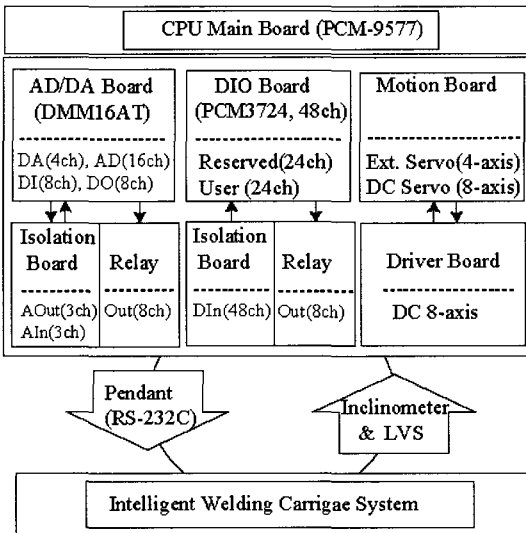


Fig. 4 System configuration

5. 실험 결과

본 장에서는 IWC의 제어 실험 결과를 설명한다(Fig. 4 참조). 실시간 제어를 위해서 Finite State Machine, Inc.의 RT-LINUX를 사용했다. RT-LINUX는 표준 LINUX 커널에 실시간 모듈을 패치 시켜 동작한다. 수행성능 평가를 위해 Fig. 5와 같이 PID 제어를 적용한다. LVS(Laser Vision Sensor)로부터의 데이터는 Kalman filter를 사용하여 Fig. 6(a)과 같이 적용하였다.

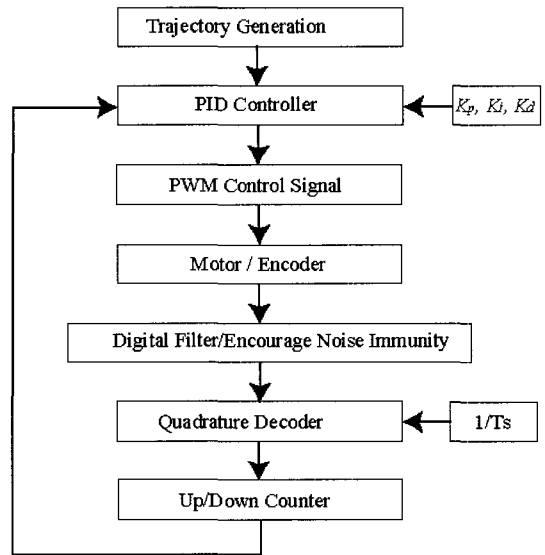
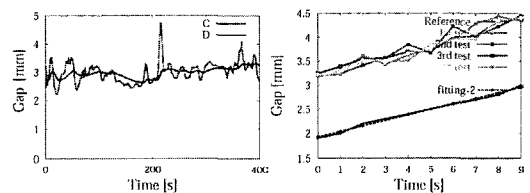
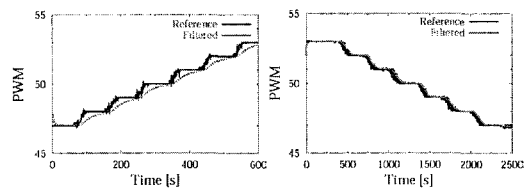


Fig. 5 Block diagram of PID control



(a) Stiffener (b) Angle  
Fig. 6 Comparison of gap data



(a) X-axis (b) Y-axis  
Fig. 7 Comparison of x-y inclination



(a) Start point (b) Stop point

Fig. 8 Rotating of the end-effector

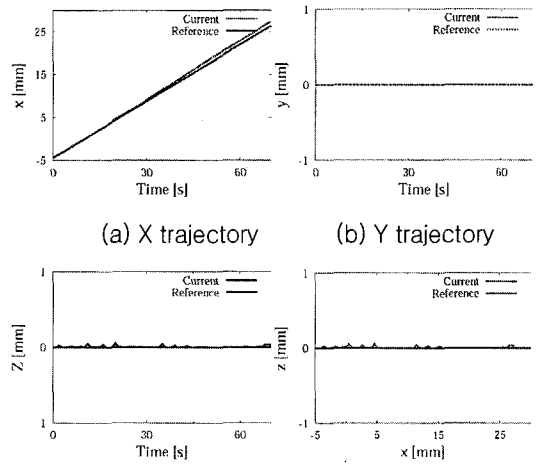
Angle 부재의 경우 끝단이 일정 곡률을 가지고 있으나, LVS 로 측정할 경우 실측치에 비해 일정한 비율로 측정 오차가 발생한다. 이와 같이 측정치가 부정확할 경우 용접불량 발생으로 후 공정에서의 불필요한 낭비의 요인이 되기 때문에 Fig. 6 (b)와 같이 부재 변화에 따라 측정치 보정이 요구된다.

또한, 토치 겨냥위치는 부재 경사각 변화에 따른 회전이 요구된다. 그러나 Fig. 7 (a), (b)과 같이 경사센서로부터의 불 균일한 측정치를 Kalman filter 를 사용해 측정 전후의 오차를 최소화하고 에러 보정을 수행하였다. 토치의 궤도 추종성 측정을 위해 Fig. 8 (a), (b)과 같은 실험을 실시하였다. 실험결과는 Fig. 9 (a)~(d)와 같다. 실험에 사용된 Sampling time, 시작점, 끝점은 각각 20 [ms], (-5,0,0) 및 (25,0,0)이다.  $K_p$  와  $K_d$  는 500 [ $s^{-1}$ ], 2.5 로 설정하였다. 위와 같은 실험을 실시하는 동안 5-DOF 의 IWC 는 3-DOF 모바일 매니플레이터로 고려할 수 있기 때문에 매니플레이터 해는 간단히 구할 수 있다.

Fig. 9. (a), (b), (c), (d) 는 각각 x, y, z 그리고 x-z 축의 궤도 추종성을 보여주고 있다. PID 제어의 경우 Fig. 9 (a)와 같이 상당한 지연이 발생함을 볼 수 있다. 이러한 에러는 PD + feed forward 제어 등을 통해 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

6. 결론

본 논문에서는 곡 블록 용접 자동화를 위한 지능형 용접 캐리지 (IWC) 개발을 설명하였다. IWC 는 gap 과 부재경사에 따라 최적의 용접을



(a) X trajectory (b) Y trajectory  
(c) Z trajectory (d) X-Z trajectory

Fig. 9 Trajectory tracking accuracy

수행하도록 개발되었다. 매니플레이터의 기구학적 모델과 동역학 모델이 소개되었고, 궤도 추종성을 실험을 통해 검증하였다.

IWC 는 고정도 용접 수행을 위해 구축된 데이터베이스를 활용한다. 데이터 베이스는 용접 변수, 즉 gap, 부재 경사, 부재 종류, 용접 속도, 전류, 전압, weaving 등을 변화에 따른 수많은 반복적 실험에 의해 구축되었다. 끝으로 실험을 통해 곡 블록에 IWC 를 적용함으로써 고품질의 용접수행이 가능할 것이란 결과를 보였다.

참 고 문 헌

- T. Miyazaki, Y. Nakashima and et. al, " NC Painting Robot for Shipbuilding" , *Proc. ICCAS' 99*, 1999
- Kim J.H., Do G.S. and Yoon J.W., " Information Management for Automation of Sub-assembly Welding Line in Shipbuilding" , *nd Asian Control Conference*, 1997
- T.T. Phan, T.L. Chung, M.D. Ngo, H.K. Kim, and S.B. Kim, " Decentralized Control Design for Welding Mobile Manipulator" , *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 19,

- no. 3, pp. 756– 767, 2005
- Yoo, W.S., Kim, J.D. and Na, S.J., “ A Study on a Mobile-Platform Manipulator Welding System for Horizontal Fillet Joints” , *Trans, Mechatronics*, vol. 11, pp. 853– 868, 2001
  - Y. Sugitani, N. Tamaoki and M. Murayama, “ Development of Lattice Welding Robot” , *Technical Commision of Welding Processes, Japan Welding Society*, pp. II– 190, 1996
  - A. Aoki, T. Iizuka, H. Mizuno, S. Yonemoto, and K. Yasuhara, “ Multi-purpose Welding System Using Small Portable Robot” , *Welding Guide Book V*, pp. II– 214, 2004
  - D.Y. Lee, J.H. Jung, S.H. Han, Y.J. Lee, and Y.J. Park, “ Spider Robot-Automatic Transfer System of the Plasma Welding Machine for LNGC Membrane Sheet” , *ICCAS 2004 Int. Conf. on Control, Automation and Systems*, 2004

- J.J Craig, “ Introduction to robotics Mechanics and Control” , Addison-Wesley, 1989
- L.W. Tsai, “ *Robot Analysis*” , John Wiley & Sons, 1999



&lt; 최희병 &gt;



&lt; 문종현 &gt;



&lt; 전완열 &gt;



&lt; 김세환 &gt;