

선수미 흘수마크 용접을 위한 벽면이동로봇 개발

류신욱[†]*, 이재창*, 김호구*, 김세환*

㈜삼성중공업 생산기술연구소 자동화연구*

Development of a Wall-climbing Welding Robot for Draft Mark on the Curved Surface

Sin-Wook Ryu[†]*, Jae-Chang Lee*, Ho-Gu Kim*, and Se-hwan Kim*

Samsung Heavy Industries Co., LTD., Institute of Industrial Technology, Automation Research*

Abstract

The vertical displacement of a ship on the basis of the sea level is an important parameter for its stability and control. To indicate the displacement on operating conditions, "draft marks" are carved on the hull of the ship in various ways. One of the methods is welding. The position, shape and size of the marks are specified on the shipbuilding rules by classification societies to be checked by shipbuilders. In most cases, high-skilled workers do the welding along the drawing for the marks and welding bead becomes the marks. But the inaccuracies due to human errors and high labor cost increase the needs for automating the work process of the draft marks. In the preceding work, an indoor robot was developed for automatic marking system on flat surfaces and the work proved that the robot welding was more effective and accurate than manual welding. However, many parts of the hull structure constructed at the outdoor are curved shapes, which is beyond the capability of the robot developed for the indoor works on the flat surface. The marking on the curved steel surface requiring the 25m elevations is one of the main challenges to the conventional robots. In the present paper, the robot capable of climbing vertical curved steel surfaces and performing the welding at the marked position by effectively solving the problems mentioned earlier is presented.

※Keywords: Wall-Climbing(벽면이동), Adhesion(흡착), Arc Sensor(아크센서), Synchronizing(동기화), Data Transformation(데이터 변환), CAD Data Interface(CAD 데이터 인터페이스)

1. 서론

통상 선박의 외곽에는 다양한 종류의 마크류들이 새겨진다.

예를 들어 Ship Name Mark, Official No., Tug Mark, BHD Mark, Thruster Mark, Freeboard Mark, Bulbous Bow Mark 등이 있다. 그 중에 소위 “흘수마크”라는 것은 수면에서 선박의 최하단까지의 거리를 나타내며 배의 제어와 안정성을 위해 사용되기도 한다. 통상 이러한 마크류들은 용접 비드를 이용하거나 플레이트를 붙여서 새겨진다. 특히 선박 전체의 품질을 향상시키기 위해서는 흘수 마크의 정도는 아주 중요하다고 할 수 있다.

하지만 외업에서 수동으로 마크류들을 용접하기 위해서는 작업자가 고소차를 이용해서 작업위치까지 접근하여 작업을 해야하며 특히 선수미 부위는 선체 외판의 형상이 비선형 곡면으로 이루어짐에 따라 고소차가 접근하기 용이하지 않을 뿐만 아니라 접근을 한다하더라도 작업자는 어려운 자세를 취해가며 용접을 해야 한다. 또한 내업에서 이루어지는 중앙부 흘수 마크용접작업은 NC 장비와 같은 장비로 가능한 하지만 단순히 마크용접작업을 위해 NC 장비와 같은 장비를 구비하는 것은 부적합하기 때문에 거의 모든 작업이 수작업으로 이루어지고 있는 실정이다.

이러한 이유로 인해 조선업계에서는 자동으로 마크를 용접할 수 있는 로봇의 개발필요성을 느끼게 되었으며 몇몇 개발사례가 보여지고 있으며 [6][7][8] 본 연구 또한 유사한 환경에서 개발하여 실제 공정에 적용함으로 인해 고정도 품질을 보장하고 빠른 용접을 가능하게 하였다.

본 연구에서 개발된 로봇은 각각 SR-MARK-I 과 SR-MARK-II 로 명명되었다. SR-MARK-I 은 내업의 중앙부 평면상에 용접을 위한 시스템이며 SR-MARK-II 는 외업의 곡면상 용접을 위한 시스템이다.

먼지와 같은 열악한 환경과 조선산업의 불규칙적인 생산 특성으로 인해 시스템은 운반성과 강인성, 기동성이 요구된다. 시스템의 운반성을 향상시키기 위해 시스템은 기계부와 제어부를 명백히 분리하여 운반시에는 별도로 운반할 수 있도록 제작

되어 있으며, 기계부는 환경에 강인하고 경량이며 쉽게 분해할 수 있는 구조를 갖고 있으며 제어부는 임베디드 리눅스를 기반으로 한 자체 제작된 제어기를 사용하고 있다.

SR-MARK-I 은 내업 공정에서 정밀하고 고속의 작업을 가능하게 하는 데에 초점을 두어 제작되었으며 고속 작업을 위해 1 개의 레일상에 두대의 로봇이 1m 단위로 동시에 작업을 수행할 수 있게 하였다. 또한, 자체 제작된 PLC(Power Line Communication) 모듈을 적용하여 공장내에서 전력선 통신을 가능하게 하였으며 이로 인해 내업 공정에서 현장성을 고려한 네트워크 구조의 효율화를 추구하였다.

SR-MARK-II 는 고소작업에서 사용되기 때문에 경량화되어야 할 뿐만 아니라 용접 작업간 흡착력의 저하를 야기할 지 모르는 측면에서 자체중량대비 흡착력과 구동력의 효율 또한 중요한 설계 요소가 된다. 이에 기반하여 강인하고 견고한 주행 메커니즘을 고안하였으며 외업에 적용하기 위해 로봇의 운용간 열, 습기, 먼지, 충격에 대한 대비책 및 예방책을 마련해 두었다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장은 개발배경 및 시스템 사양에 대한 기술을 하고 3 장은 두 가지 로봇 각각의 소프트웨어 구조에 대해 기술하고 있으며 4 장과 5 장에서는 제어 방법론, CAD 데이터를 중개하는 방법 등에 대한 언급을 하여 6 장에서 전체의 내용을 요약하는 식으로 기술되어 있다.

2. 설계개요

개발 목적

Fig. 1 에 나타난 바와 같이 선체외판에 있는 마크류들 중에서 “흘수마크”는 아주 중요하다. 이는 흘수마크가 수면에서 선체가 가라앉은 깊이를 나타내는 척도이며 제어나 안정성을 향상시키기 위한 용도로 사용되기도 하기 때문이다. 마크의 위치, 모양, 크기는 선박건조 원칙에 의거 시공된다. 하지만 열악한 작업환경 때문에 수동마크용접 작업은 작업자의 많은 시간과 노력을 요구하게 된다.

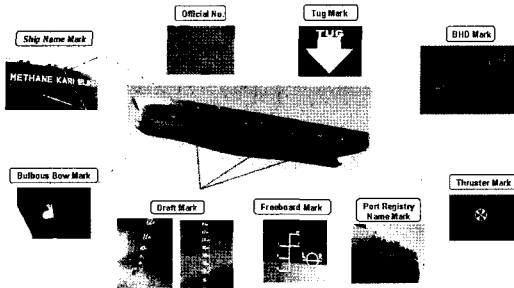


Fig. 1 Marks on outside of the hull

그래서 본 논문에서는 운반이 용이하도록 제작된 마크용접로봇의 두가지 형태를 제안한다. 첫번째 시스템은 평면에서 작업이 가능하며 고속, 고정밀 작업을 가능하게 하는 시스템이며, 두번째 시스템은 평면, 곡면에 상관없이 항상 정밀한 용접작업을 가능하게 하는 시스템이다.

시스템 사양
SR-MARK-I

Fig.2 에서 보여진 바와 같이 SR-MARK-I 시스템은 제어부와 기계부가 명확히 분리되어 있다. 여기에는 또한 용접관련된 장치들을 포함하고 있다. 2m 크기의 레일에 두개의 직교좌표로봇이 설치되어 있는 것을 감안할 때 상대적으로 가벼운 무게인 42Kg 의 총중량을 갖고 있으며 용접 속도는 1.5m/min 이다.

두개의 직교좌표 로봇과 제어 시스템으로 구성되어 있으며 제어기는 두대의 SCR 형 용접기와 두대의 로봇 각각을 제어한다.

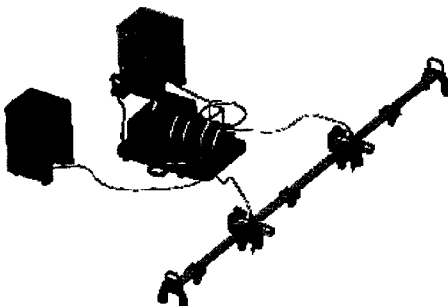


Fig. 2 Layout of SR-MARK-I

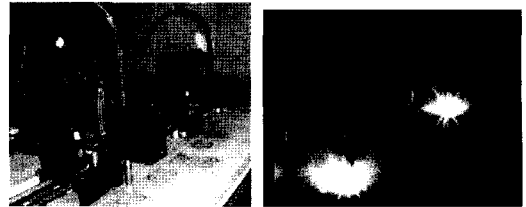


Fig. 3 SR-MARK-I

Fig.3 은 SR-MARK-I 이 평면 부재위에서 용접하고 있는 장면을 보여주고 있다. 로봇의 End-Effector 는 용접도치의 끝단이다.

제어 시스템은 PC104 버스를 가진 임베디드 리눅스 기반의 자체 제작된 제어기를 사용하고 있으며 제어기는 A/D Converter, 다수의 DIO 채널, 최대 8 축을 제어할 수 있는 모션제어기, 구동 드라이버 등을 포함하고 있다. 문자형상의 위치정보를 포함하는 데이터를 전송하기 위해 제어시스템은 14Mbps 의 속도를 갖는 자체 제작된 PLC(Power Line Communication) 모듈을 포함하고 있다.

SR-MARK-II

현재까지 많은 연구자들인 벽면이동로봇에 대한 연구를 진행해 왔고 많은 실험형 시제품들이 제안되었다. [17][18] 하지만 지금까지 개발되어 온 벽면이동로봇의 대부분은 일반적으로 흡착과 구동을 위해 복잡하고 큰 메커니즘을 가지며 다수의 액추에이터를 사용하는 형태를 지녀왔다. 이에 따라 로봇의 중량은 그에 비례하여 증가되고 전체 시스템의 성능면을 두고 보았을 때 악영향을 끼치는 요소가 되어 왔다. 하지만 본 논문에서는 액추에이터의 수를 최소화하며 강인하고 견고한 SR-MARK-II 라는 마크용접용 벽면이동로봇을 개발하였다. 이 로봇은 Fig.4 에서 보여진 바와 같이 선체의 외판을 자율구동할 수 있도록 제작되었다.

SR-MARK-II의 기본적인 구조는 SR-MARK-I과 상당히 유사하다. 단지 하단에 구동을 위한 이동 시스템이 추가적으로 장착되었다. 이전 시스템과 동일하게 기구부와 제어부로 구분되어 있으며, 상대적으로 작은 크기를 갖는데 길이는

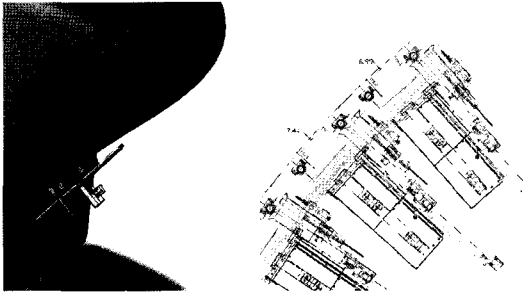


Fig. 4 Layout of SR-MARK-II

1m, 무게는 33Kg 이다. 곡면을 용접하는 속도는 1.3m/min 이다. 이동 시스템은 구동과 흡착을 위한 매우 간단한 메커니즘을 갖는다. 이동부는 4 개의 바퀴와 두개의 모터로 구동되며 두개의 모터의 속도차를 이용해서 조향이 가능한 구조이다. 앞과 뒤 바퀴는 체인으로 연결되어 동력전달율을 높였다. 흡착을 위해 이동부의 최하단에 영구자석을 장착하여 이동간 자석이 직접 선체에 접촉하지 않고 이동을 하며 모터의 용량은 흡착력을 이겨낼 수 있을 만큼의 용량으로 선정되었다. 또한 로봇의 세부적인 치수들은 선체 곡면과의 간섭을 피해야 하기 때문에 Fig.4 에 보여진 바와 같이 곡면의 단면별로 간섭여부를 분석하여 결정되었으며 이러한 분석은 로봇에 장착된 영구자석과 선체와의 최대, 최소 이격거리를 산출해 보는데에도 사용되었다. 최대 이격거리에 적합한 영구자석이 사용된 것이다.

제어 시스템의 구조는 이전 시스템과 거의 유사하지만 소형 공압 실린더를 구동하기 위한 공압관련 부품과 내장가능한 소형 공압 펌프가 사용되었다. Fig. 5 는 SR-MARK-II 가 수직 자세의 곡면에서 용접작업을 수행하고 있는 장면을 보여주고 있다. 시스템은 직교좌표로봇, 이동 시스템, 흡착 시스템, 제어 시스템을 포함하고 있다. 제어기는 인버터형 용접기와 공압실린더, 이동 시스템, 그리고 직교좌표로봇을 제어한다. 곡면상에서 로봇이 이루고 있는 지면에 대한 각도에 따라 용접조건이 아주 민감하게 변하기 때문에 용접지령에 대해 민감하게 반응할 수 있는 인버터형 용접기가 선택되었고 로봇의 내부에는 각도감지 센서를 내장하고 있는 로봇의 자세에 따라 용접지령을 실시간으로

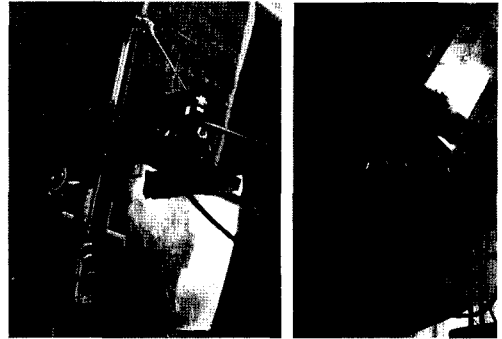


Fig. 5 SR-MARK-II

변화시킨다.

공압실린더는 알려지지 않은 표면의 위치를 감지하기 위해 사용된다. 실린더의 양끝단에 위치하고 있는 근접센서에 의해 곡면의 위치가 감지될 수 있다. 와이어피더에 흡착기를 이용하여 현재 출력되고 있는 용접전류를 검출할 수 있기 때문에 이 전류값을 이용해서 항상 일정한 전류값을 유지할 수 있는 Z 축의 위치값을 실시간으로 계산함으로써 토치의 끝단이 곡면을 추적할 수 있게 된다. 이러한 제어 방법을 아크센서라고 하는데 4 장에서 보단 자세하게 기술하고자 한다.

3. 소프트웨어 구현

소프트웨어의 구조

SR-MARK-I

Fig. 6 은 SR-MARK-I 의 제어기 내부 하위 수준 소프트웨어의 구조를 보여준다. 본 시스템에서는 두대의 로봇을 연동제어하기 위해 RT-Linux 를 사용하였다.

보다 자세하게 말하자면 메인 쓰레드는 메인 쓰레드와 연결된 4 개의 하위 쓰레드가 존재하며 각각의 하위 쓰레드들은 고유의 중요한 역할을 하게 된다. 하위 쓰레드의 생성과 종료는 메인 쓰레드가 관할하게 되며 하위 쓰레드 각각은 로봇 1 과 로봇 2 의 연속계속운동을 생성하는 쓰레드, 펜던트를 통한 사용자 입력을 처리하는 쓰레드, 비상정지 상태를 관할하는 쓰레드 등이다. 메인 쓰레드는 교시점을 저장하고 조그 운동을 하며 다수의 I/O 접점을 제어하는 역할을 병행한다.

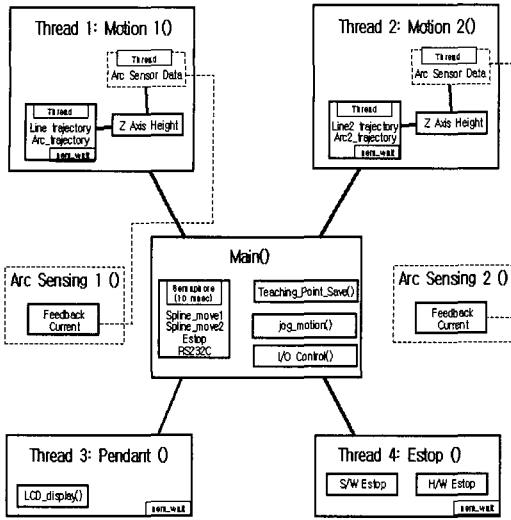


Fig. 6 Software structure of SR-MARK-I

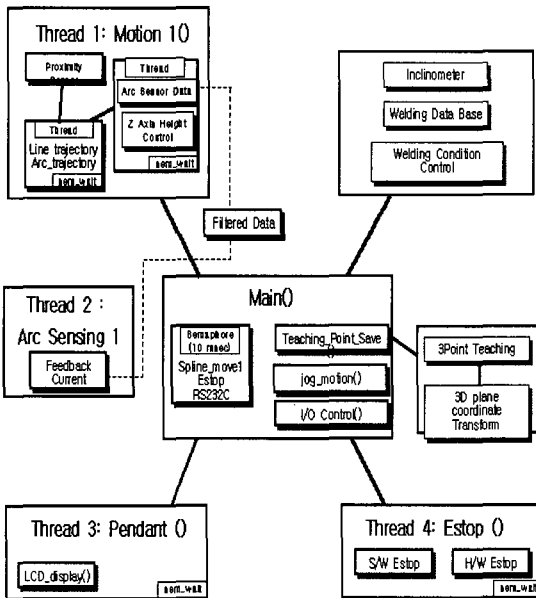


Fig. 7 Software structure of SR-MARK-II

SR-MARK-II

Fig. 7 은 SR-MARK-II 의 제어기 내부 하위수준 소프트웨어의 구조를 보여준다. SR-MARK-I 과 유사하게 메인쓰레드와 4 개의 하위 쓰레드로 구성되어 있으며 각각의 하위 쓰레드는 연속계적운동을 생성하는 쓰레드, 펜던트 입력을 처리하는 쓰레드, 비상정지상태를 관찰하는

쓰레드, 아크 센서를 구현하는 쓰레드 등으로 구성되어 있다. 메인 쓰레드 또한 중요한 기능들을 포함하고 있는데, 교시점 저장, 조그 운동, I/O 제어, 용접조건 제어, 데이터 변환 등이다.

3.2 상세 기능

연속계적운동

연속계적운동의 성능은 용접비드의 품질을 형성하는 데에 중요한 역할을 한다. 궤적인 변경됨에 따라 가속과 감속구간이 최소화되어야 한다. 만약 최소화되지 않는다면 감속과 가속구간에서 용접비드는 균일하게 형성되지 않는 결과를 보일 것이다.

본 시스템에서는 가속구간과 감속구간을 최소화하는 연속계적운동이 구현되었다[1,2,9-13]. 또한 궤적은 각각의 모든 문자별로 로봇의 급격한 운동을 방지할 수 있도록 계획되었다. 제어기는 실시간 PD 제어를 사용하여 1msec 간격으로 궤적상에 있는 다음 위치로 도달하기 위한 각각 축의 속도를 계산하게 된다.

동기화 (Synchronizing)

통상 메인 쓰레드는 시스템 타이머를 포함하는 시그널 핸들러이다. 반면 다른 쓰레드들은 시그널을 막아 둔다. 하위 쓰레드가 하나의 루프내에서 구동되고 세마포어는 시그널이 처리되어 풀어주기를 기다린다. 하위 쓰레드가 메인 쓰레드로부터 세마포어 시그널을 얻게될 때, 쓰레드 내부 함수들을 수행하게 된다. 그래서 모든 쓰레드들은 동시에 처리될 수 있는 것이다.

본 시스템에서는 RT-Linux 컴파일러에서 제공되는 POSIX 기반 세마포어와 쓰레드를 사용한다. 이들은 같은 OS 리소스를 공유하는 멀티 쓰레드들을 동기화시키고 순서대로 배열하는 역할을 한다.

4. 제어 방법

4.1 곡면추적

선박의 선수미 부위는 보통 유체의 영향을 최소화하여 선박을 부드럽게 추진시키기 위해 다양한 비선형 형태의 곡면을 가진다. 곡면의 형상은 설계과정을 통해 결정되지만 이를 도면대로 정확하게 가공해 내기는 아주 어려우므로 실제 선박의 결과물로 생성되는 곡면은 도면과 완벽하게 일치되지는 않는다. 그래서 시스템은 곡면의 실제 곡률에 대해서 알 수 있는 방법이 없다. 기구적인 계산으로 구해줄 수 없으므로 알려지지 않은 곡면을 추적하는 기능이 반드시 필요하게 된다. 곡면 추적의 성능이 용접 비드의 품질을 결정하기 때문에 전체 시스템의 성능 측면에서 보았을 때 이것은 아주 중요한 요소가 된다.

또한 문자들의 원형 데이터는 평면을 기준으로 하고 있고 로봇이 곡면 상의 문자가 새겨지기 원하는 위치에 곡면 그대로 정렬될 수 없기 때문에 데이터 좌표계의 변환 과정 또한 반드시 필요하게 된다.

아크 센서

용접 전류로부터 전류의 변화 경향을 파악하는 것이 최종 목적이라고 할 수 있고 그 경향을 이용해서 전류값을 일정하게 유지할 수 있는 Z 축의 위치값을 연산한다. 여기에서 전류값은 모재와 토치간의 간격이 가까울수록 전류값은 커지게 되고 멀어지면 작아지는 성향이 있음을 전제한다.

하지만, Fig. 8 (a)에서 보는 바와 같이 용접전류는 아주 불안한 성향을 갖는다. 전류 데이터의 변화 성향을 신뢰성 있게 얻어내기 위해 시스템은 칼만필터링 방법을 사용하였다[14-16]. 사용된 필터는 용접 전류값의 변화를 고려하여 설계된 개산을 위한 알고리즘이라 할 수 있다. Fig.8 (b)는 필터의 파라미터들을 조정한 결과를 보여주고 있다. 필터의 파라미터들은 용접 품질에 아주 결정적인 역할을 하고 있다. 칼만 필터를 사용해서 시스템은 곡면의 형상에 상관없이 항상 일정한 용접 비드를 형성할 수 있었다.

데이터 좌표계 변환

위에서 언급한 바와 같이 곡면은 아주 다양한 반면 이동 시스템이 강체이기 때문에 로봇을 곡면

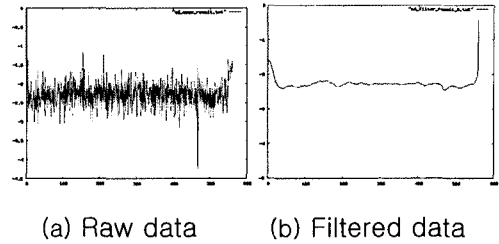


Fig. 8 Result of welding current filtering

의 형상 그대로 정렬시킬 수 없다. 문자의 외곽 기준점에 대한 3 점 교시에 의해 로봇 기준 좌표계로 문자의 위치정보들을 좌표변환한다. 레이저 다이오드가 용접토치의 측면에 위치하고 있으며 작업자들은 이 레이저 빛을 보며 교시작업을 수행한다.

Fig. 9는 좌표계의 정의를 보여주고 있다. 변환 행렬은 로봇의 좌표계를 기준으로 한 문자의 좌표계 프레임 B 를 나타내어야 한다. 그래서 변환 행렬은 프레임 A 에 대한 프레임 B 의 위치를 표현하기 위해 회전변환과 이동변환을 포함한다 [3]. Fig. 9에서 청색으로 표시된 점 P1, P2, P3는 문자 외곽선 상에 있는 교시점들이고 각각의 점들은 X,Y,Z 좌표의 위치값을 갖고 있다.

회전 행렬은 다음과 같다.

$${}^B R = \begin{bmatrix} X_A^T \\ Y_A^T \\ Z_A^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_B^T & Y_B^T & Z_B^T \end{bmatrix} \quad (1)$$

X 축을 중심으로 theta1 만큼, Y 축을 중심으로 theta2 만큼, Z 축을 중심으로 theta3 만큼 회전하였고 문자의 원점과 로봇의 원점간의 거리양만큼 이동하였다고 가정하였을 때, 변환 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} x^A \\ y^A \\ z^A \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C2C3 & S1S2C3 - C1S3 & C1S2C3 + S1S3 & Teach_x - offset \\ C2S3 & S1S2S3 + C1C3 & C1S2S3 - S1C3 & Teach_y - offset \\ -S2 & S1C2 & C1C2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x^B \\ y^B \\ z^B \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

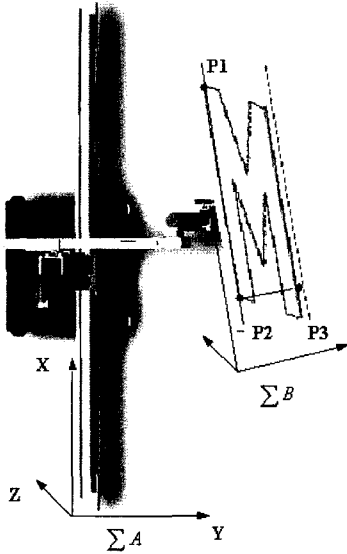


Fig. 9 Coordinate transformation

식(2)의 결과는 다음과 같다.

$$x^A = C2C3X^B + (S1S2C3 - C1S3)y^B + (C1S2C3 + S1S3)z^B + (Teach_x - offset) \quad (3)$$

$$y^A = C2S3X^B + (S1S2S3 + C1C3)y^B + (C1S2S3 - S1C3)z^B + (Teach_y - offset) \quad (4)$$

$$z^A = -S2x^B + S1C2y^B + C1C2z^B \quad (5)$$

여기에서 오프셋은 레이저 다이오드의 중심과 토치의 중심간의 간격을 의미한다.

식 (3)(4)(5)는 토치 끝단의 궤적을 결정한다. 하지만 식(5)는 실제로 사용되지는 않는다. 왜냐하면 Z 축의 위치값은 아크센서를 사용해서 결정되기 때문이다.

4.2 용접조건제어

용접조건은 말하자면 용접기로 주어지는 지령 전압이라고 할 수 있는데 용접의 원리상 표면의 각도와 용접 토치의 각도에 대해 용접비드는

민감하게 반응하며 이는 지령 전압을 조정하여 극복이 가능하다. 선수미부의 다양한 각도의 면에 대한 조건을 극복하기 위해 시스템을 구축하기 전에 모든 각도에 대한 용접실험을 충분히 하였다. 실험을 위해 Fig. 10 과 같은 테스트 베드가 사용되었다. 그리고 로봇의 모든 외관은 용접 스파터로부터 보호하기 위해 석면과 알루미늄 커버로 보호되고 있다.

Table 1 에서 보여진 바와 같이 용접실험의 결과를 획득했고 검증된 용접 파라미터들은 3 가지 각도에 대한 조건들로 축약되었다. 하지만 용접기의 종류나 접지선 및 파워 케이블의 길이와 굵기, 전원공급의 균등함등은 용접조건외의 변화에 큰 영향을 준다.

경사센서가 로봇의 중앙에 설치되어 있으며 제어기는 현재 로봇이 부착되어 있는 각도를 감지하여 최적화된 용접 조건 데이터들을 불러내어 현재 부착각도에 맞는 용접 파라미터들을 제어하게 된다.



Fig. 10 Test-bed for welding condition by angles

Table 1 The Result of welding condition test

Inclination	Welding condition	Reference voltage
-30° ~ +90°	Horizontal Condition (245 ~ 255A x 26V x 130cm/min)	Current 5.64V Voltage 5.86V
-30° ~ +50°	Vertical Down Condition (255 ~ 260A x 27 ~ 29V x 130 cm/min)	Current 5.8V Voltage 5.28V
+60° ~ +90°	Vertical Down Condition (255 ~ 260A x 27 ~ 29V x 130 cm/min)	Current 4.37V Voltage 6.0V

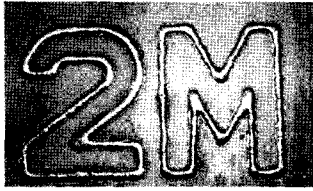


Fig. 11 Result of welding test

Fig. 11 은 검증된 용접 파라미터들을 잉요해서 용접한 결과를 보여주고 있다. 사실 모든 각도에 대해 용접비드가 일정하게 형성이 되지는 않았지만 실험에서 각도에 상관없이 균일한 비드를 형성시키기 위해 노력하였다.

5. CAD 데이터 인터페이스

5.1 CAD 데이터 변환

평면의 경우에는 문자의 위치데이터를 산출하는데에 NC 코드를 이용했다. 그리고 곡면에서는 설계에서 결과물로 보여지는 AutoCAD 도면을 사용하여 데이터를 추출하였다. 이러한 변환은 상위 수준의 CAD 인터페이스 소프트웨어인 소위 “데이터 파일 변환 프로그램”을 이용해서 이루어졌다. Fig. 12는 곡면 문자들의 원형데이터의 표본을 보여주고 있다[4][5]. 그림에서 보여진 바와 같이 문자들의 형상은 모두 왜곡되어 형성된다. 이는 문자들은 정해진 위치의 곡면에 부착되었을 때 수직면에 투영된 문자의 형상이 정자가 되도록 문자의 형상이 설계된다.

데이터 파일 생성 프로그램은 Fig.13 과 같은 GUI 를 갖고 있다. 이 프로그램은 현업 사무실에 설치되어 있으며 문자 작업자는 해당일자에 해당하는 작업물량의 NC 데이터나 CAD 도면을 CAD 서버로부터 다운로드받은 후 프로그램을 통해 그 타당여부를 확인한 후 변환이 가능하게 구현되어 있다.

5.2 데이터 전송

Fig. 14 는 데이터의 흐름도를 보여주고 있다. 먼저 CAD 서버에 있는 원형 데이터가 NC 코드나 CAD 도면형태로 현업 사무실로 옮겨지고 데이터 생성 프로그램을 통해 원형 데이터는 로봇 제어기

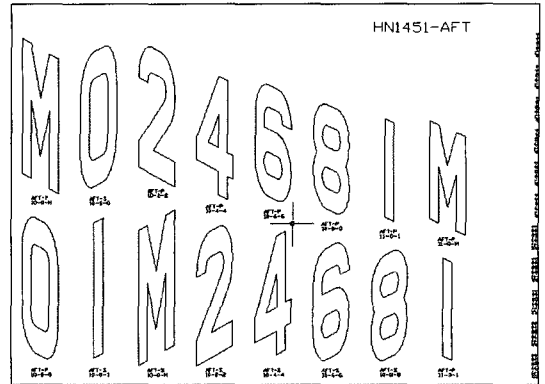


Fig. 12 CAD data in curved surface

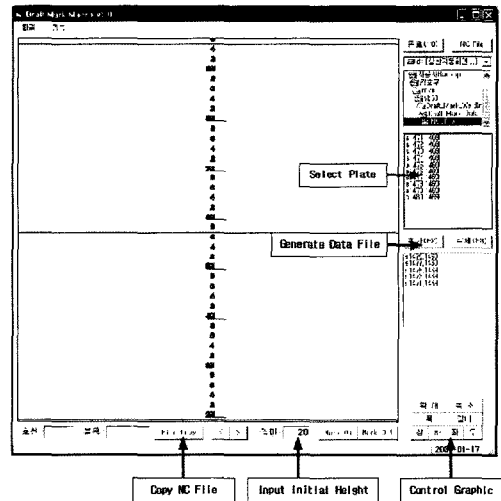


Fig. 13. GUI of CAD data interface software

가 인식할 수 있는 데이터로 변환되게 된다.

6. 결론

제안된 시스템은 SR-MARK-I 과 SR-MARK-II 두가지 형태를 가지며 첫번째 시스템은 고속, 고정밀 마크 용접을 위한 시스템이고 두번째 시스템은 선체 외판을 흡착하여 주행하며 원하는 위치에 문자의 모양이나 자세에 상관없이 마크 용접을 수행할 수 있는 시스템이다.

시스템의 핵심기술로는 현업에 적합한 강인한

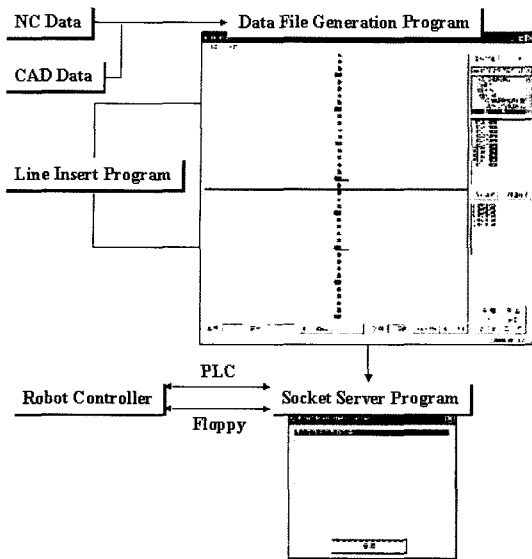


Fig. 14 Data flow

기구적 메커니즘을 구성한 것과 곡면 흡착 및 주행을 동시에 구현한 이동 메커니즘, 아크센서, 데이터 좌표변환, 연속궤적운동의 구현, CAD 데이터 인터페이스 등이라 할 수 있다.

결국 이러한 기술들을 이용하여 SR-MARK 시리즈를 이용한 마크용접의 자동화를 구현하고 안정화하는 데에 성공하였다. 현재 로봇을 이용해서 흡수마크 이외의 다른 마크류를 용접하기 위한 시도를 하고 있다.

참 고 문 헌

1. Hu-min Huang, et all, "A Motion Control Algorithm for a Continuous Mining Machine Based on a Hierarchical Real-Time Control System Design Methodology", *National Institute of Standards and Technology Gaithersburg*, 1991.5
2. HaiJun Su, et all, "Trajectory Planning for Constrained Parallel Manipulators", *UCI*, August, 2002
3. Tsuneo Yoshikawa, *Foundation of Robotics Analysis and Control*, 1990, MIT Press
4. 115,000 DWT CRUDE OIL TANKER, DRAFT MAR ARRANGEMENT No. 220 DF 002.30, 2003.12

5. 145,000 M3 LNG CARRIER, DRAFT MARK ARRANGEMENT No. 220 DF 002.30, 2004.9
6. KR 2001-0027904, Yu-Jae Park, *Draft Mark Welding Machine for ship*, 1999.9.16
7. KR 2000-0055999, TAK SEUNG-HO, *Level and vertical line indicator using laser beams*, 2004.1.5
8. JP 1999-229018, MURAKAMI KOJI, *AUTOMATIC WELD CHARACTER WRITING EQUIPMENT*, 1999.8.13
9. Sung-Kyun Kang, "An Universal NUBS Interpolator for an Open Architected CNC controller", *Proc. of 11th KACC*, pp. 656-659, Oct, 1996
10. Jong-Ho Choi, "Circular Interpolation Error Reduction of a CNC Machining Center by Iterative Learning", *Proc. of Control, Automation and Systems Engineering*, pp. 830-835, Oct., 1993
11. Wook-Hyun Kim and Choon-Ki Ahn, "Receding Horizon Control", *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol. 9, No. 3, March, 2003
12. Ping Hsu, "Coordinated Control of Multiple Manipulator Systems", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, pp. 400-409, 1993
13. B. Yao, M. Al-Majed, and M. Tomizuka, "High performance robust motion control of machine tools" An adaptive robust control approach and comparative experiments", *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, Vol. 2, No. 2, pp. 63-76, 1997.
14. Jong-Soo Choi and Oh-Shin Kwon, "Equalization of Time-Varying Channels using a Recurrent Neural Network Trained with Kalman Filters", *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol. 9, No. 11, Nov., 2003
15. Hyun-Su Hong and Jang-Kyu Lee, "The Design of Attitude Reference System for Underwater Vehicle Using Extended Kalman Filter", *Proc. of 12th KACC*, pp.1352-1355, Oct., 1997
16. Bruno Sinopoli, Michael I. Jordan, and Shankar S. Satry, "Kalman Filtering With Intermittent Observations", *IEEE Trans. on Automatic Control*,

Vol. 49, No. 9, pp. 1453-1464, Sep., 2004

17. T. Fukuda, F. Arai, H. Matsuura and K. Nishibori,
“ Wall Surface Mobile Robot Having Multiple Suckers on Variable Structural Crawler” ,
International Symposium on Theroy of Machines and Mechanisms, pp. 707--712, 1992.

18. P. G. Backes, Y. Bar-Cohen and B. Joffe,
“ The Multifuction Automated Crawling System (MACS)” ,
Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 335-
-340, 1997.



< 류 신 욱 >



< 이 재 창 >



< 김 호 구 >



< 김 세 환 >