

特輯 : 용접용 로봇 및 응용

절단 분야에서의 로봇의 적용

Robot Application in Gas Cutting

장 세 엽 · 이 상 진

Se Yeob Chang and Sang Jin Lee



장세엽/대우중공업/
1967년생/절단 기술개발 및 절단 자동화에 관심을 갖고 있음



이상진/대우중공업/
1952년생/용접기술 및 용접자동화에 관심을 갖고 있음

1. 서 론

UN의 구주 경제위원회(UN/ECE) 사무국과 국제로봇 연맹이 함께 발간한 "1994년 세계의 산업용 로봇 - 1983년~1993년의 통계와 1997년까지의 예측"에 의하면, 1993년의 전세계 로봇 보유대수는 610,605대로, 이것은 지난 1989년의 385,767 대에 비하여 58.3%가 증가한 것이다. 또한 동 보고서에 의하면, 1997년에는 전세계 로봇 보유대수가

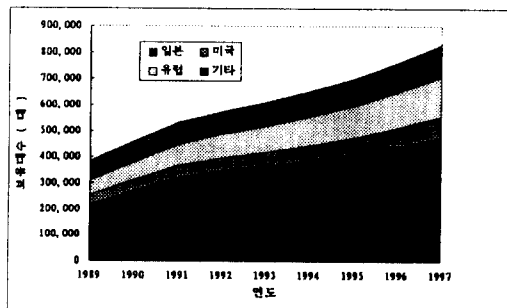


그림 1. 세계 산업용 로봇 보유현황¹⁾

83만대를 넘을 것으로 예상된다.¹⁾

국가별로는 일본이 1993년도 현재 총 보유대수 368,054로 전세계 보유량의 절반 이상을 차지하고 있으며, 일본은 제조업 작업자 1만 명당 로봇 수에 있어서도 325대로 싱가포르의 109대, 스웨덴의 73대, 독일의 62대에 비하여 단연 선두를 유지하고 있다.

3D 기피 현상에 따른 인력난은 이제 국내 산업계 전반에 걸친 커다란 문제가 되었으며, 특히 용접 및 절단 공정에서는 그 정도가 심각한 상황으로 숙련된 기술자의 확보가 용이하지 않은 상황이다. 따라서 많은 기업에서는 제품의 품질향상과 대량생산 능력을 갖추기 위해서 용접 및 절단 공정에서의 자동화를 추진하고 있으며, 로봇을 이용한 방법이 각광을 받고 있다.

그러나 이 경우에도 용접용 로봇과 절단용 로봇을 비교하여보면, 일본의 경우, 절단용으로 출하되는 로봇의 수는 용접용 로봇의 1/70 ~ 1/100 수준이다. 국내의 경우 최근 들어 용접분야에서의 로봇의 이용은 활성화 되어있는 편이지만, 절단의 경우는 적용예가 드문 실정이다. 절단용 로봇의 경우 로봇 이용분야가 가장 발달된 일본의 경우도 1988년부터 로봇을 절단용으로 이용하기 시작하였으며, 그 이용분야도 레이저 절단과 워터젯 절

표 1. 일본의 용접/절단용 로봇 출하 추이 (상단 : 대수, 하단 : 100만엔)²⁾

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
ARC 용접	2,559 19,306	3,238 21,556	4,786 29,060	3,796 22,597	4,070 22,845	6,145 31,821	9,124 46,116	9,563 56,461	9,722 59,243	7,065 43,717	5,963 32,478
SPOT 용접	1,873 17,109	2,496 23,144	3,011 31,102	3,064 26,383	3,039 32,304	4,167 41,659	4,853 48,656	5,378 44,844	5,949 56,323	5,147 47,296	4,356 36,876
GAS 용접	7 47	4 96	8 51	1 7	15 79	10 45	15 129	14 113	20 336	5 48	43 271
LASER 용접							5 20	19 91	10 175	4 277	7 249
기타용접						18 184	65 395	86 537	98 718	81 543	46 353
용접용 소계	4,439 36,462	5,738 44,796	7,805 60,213	6,861 48,987	7,124 55,228	10,340 73,709	14,062 95,316	15,060 102,046	15,799 116,795	12,302 91,881	10,415 70,3227
GAS 절단						1 2	5 24	26 216	18 181	11 118	10 156
LASER 절단							35 1,107	54 1,252	43 1,068	21 647	50 571
WATER-JET 절단						5 87	44 437	108 1,875	132 3,126	75 1,624	34 376
기타절단						1 15	35 262	16 166	25 270	53 599	34 448
절단용 소계						7 104	119 1,830	204 3,509	218 4,645	160 2,988	98 1,551
전체합계	4,439 36,462	5,738 44,796	7,805 60,213	6,861 48,987	7,124 55,228	10,347 73,813	14,181 97,164	15,264 105,555	16,017 121,440	16,462 94,869	10,513 71,778

단에 치중되어있다. 그러나 현실적으로 국내 산업현장에는 주로 가스절단이 절단의 주류를 이루고 있는 실정으로, 이에 대한 로봇 응용 시스템의 개발이 시급하다. 대우중공업에서는 가스절단 로봇을 굴삭기 Boom측판의 개선가공 공정에 적용하여, 가스절단 분야에의 로봇 적용이라는 가능성을 보여주었으며, 본고에서 그 내용을 소개하고자한다.

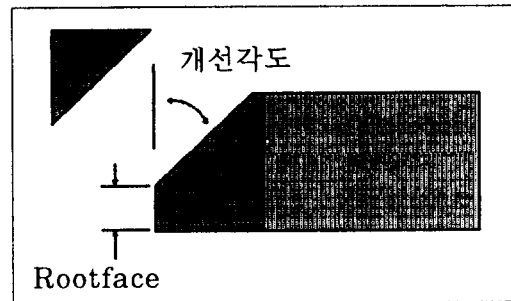


그림 2. 개선가공

2. 본 론

2.1 개선가공 공정

개선가공(Bevel Cutting)이란, 후판용접에 있어서 적정 용입의 확보를 위하여 용접이 실시될 부분의 철판모서리를 경사지게 가공하는 것으로(그림 2), 일종의 3차원 절단이라고 할 수 있다.

개선가공 방법에는 기계가공에 의한 방법과 열절단을 이용한 방법이 있다. 기계가공의 경우, 작업속도, 가공형상의 제한 요소 등으로 인하여, 일부 가공거리가 짧은 경우에만 제한적으로 사용되며, 열절단의 경우 Plasma절단법과 가스절단에 의

한 방법이 사용되나, 실제 작업 현장의 많은 부분에는 가스절단에 의한 개선가공이 주로 이용되고 있는 실정이다.

개선가공의 중요 관리 점은 일정한 개선각도와 루트페이스(root face)의 유지이다. 특히 개선가공한 철판을 로봇 등을 이용하여 자동으로 용접하는 경우, 개선각도와 루트페이스의 관리가 매우 중요하다. 이것은 다음과 같이 설명된다.

로봇을 이용한 자동 용접에는 현재, 모재의 위치파악 및 용접선 추적을 위하여 터치센서(touch sensor), 아크센서(arc sensor)가 사용되고 있다. 터치센서는 일반적으로 용접 개시 점을 찾는 데 사

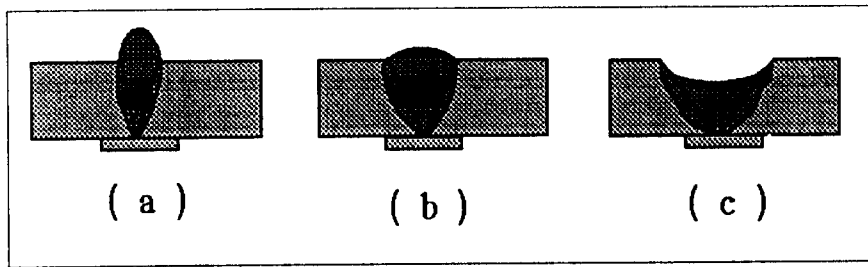


그림 3. 개선각도에 따른 용접 품질의 변화
 (a) 작은 개선각도, (b) 적절한 개선각도, (c) 과도한 개선각도

용되며, 아크 센서는 용접선 추적, 가변폭 제어 등에 이용된다. 아크센서를 이용하여 가변폭 제어를 하는 경우에도, 개선가공 부위의 개선각도 및 루트 페이스가 일정하지 않다면, 좋은 용접 결과를 얻을 수 없다. 로봇을 이용하여 용접을 하는 경우 로봇은 초기에 설정된 값에 따라 일정한 용착량을 유지한다. 이때 그림 3에서처럼 개선각도가 일정하지 않다면, 용착량은 일정한 관계로, 결국 최종적으로 용접비드의 형상이 (a) ~ (c) 와같이 변하게 된다. 이것은 rootface 가 일정하지 않은 경우에도 발생하는 현상으로, 결국 자동 용접을 실시하는 경우, 앞에서 언급한 문제점들을 용접시스템에서 실시간으로 인식하지 못한다면, 선행공정인 개선가공 공정이 자동 용접공정의 성패를 좌우한다고 할 수 있다.

2.2 절단 자동화용 센서

로봇을 이용한 자동화 시스템의 기본적인 목적은 인간의 사고 판단력과 기계동작의 반복 정밀성, 대량 생산성을 갖춘 시스템을 구현해내는 것이라고 할 수 있다. 이러한 사항을 만족시키기 위해 요구되는 조건은 첫째 시스템 주변 상황을 정확히 파악할 수 있는 적절한 센서, 둘째 전체 시스템을 원활히 제어 할 수 있는 적절한 판단 논리의 수립 및 제어, 셋째 신속성과 내구성을 갖춘 정밀한 기구부의 동작이다. 시스템의 제어는 컴퓨터, PLC, 로봇 컨트롤러 등 각종 제어기의 발달과 실제 작업공정의 정확한 이해, 개선가공 시공요령 및 그 동안의 경험을 바탕으로 하여 구현이 가능하며, 기구부의 신속 정밀한 동작은 로봇의 발달과 함께 원하는 정밀도를 얻을 수 있다.

결국, 인간의 감각에 해당하는 센싱부의 적절한 선택이 전체 시스템의 성공에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 수작업에서 인간의 감각(주로 시각)에 의존되어지던 가공제품의 상태 인식을 로봇이 인간처럼 인식해 낸다는 것은 매우 어려운 일이며, 정확한 제어를 하기 위해서는 정성적인 인간의 감지 능력이 아닌, 정량적인 값에의한 상태인식이 이루어져야 하므로 그 어려움이 가중된다. 이런 센서의 선정은 적용되어지는 시스템의 특성에 알맞게 선택되어져야 한다.

따라서 대우중공업에서는 가스절단용 센서(화염센서)를 개발하여, 본 가스절단을 이용한 개선가공시스템에 적용하였다. 과거 가스절단 분야에서 사용되어지던 센서에는 탐촉자를 이용하여, 접촉 식으로 가공물의 위치를 검출해내는 터치센서, 비 접촉 식으로 가스의 배압을 이용 토치의 위치를 검출하는 배압센서, 정전용량의 변화를 이용하여 토치의 높이를 측정하는 정전용량센서(capacitance sensor), 카메라와 화상처리기술(image processing)을 이용한 시각센서 등이 있다. 이런 센싱 방법들은 절단 토치의 주변에 별도의 센싱 기구를 부착하여야 하기 때문에 로봇 끝단에서의 간섭현상및 배선상의 문제가 발생한다. 그와 동시에 센서의 가격이 고가인 점도 적용상의 문제점으로 작용한다. 대우중공업에서 개발한 화염센서의 경우에는 별도의 기구부 설치 없이, 기존의 가스절단 토치에 신호선만을 추가로 연결하여 센싱을 하기 때문에 앞에서 언급한 문제들이 발생하지 않는다. 또한 기존의 센서들은 일반적으로 센서 하나에 한가지씩의 기능을 갖고있는데 비하여, 본 화염센서는 기존의 센서에는 없는 다양한 기능을 갖고 있으므로 보다 나은 기능을 발휘할 수 있

다.

2.2.1 화염센서의 기능

1) 터치 센싱

과거의 터치센서와 같은 기능을 하면서도, 별도의 탐촉자 없이 절단 토치 자체를 탐촉자 대용으로 사용함으로써 기구부가 간단해졌다.

일반적으로 로봇 가스절단 시스템에 사용되는 터치센서의 경우, 터치센싱 탐촉자와 실제 절단이 이루어지는 토치의 절단산소 분출라인이 한 점에서만 일치하도록 만들어져 있기 때문에, 터치센싱 탐촉자와 토치사이의 정렬(alignment)이 대단히 중요하며, 위치가 서로 어긋난 경우 센싱 오차가 커지게 된다. 그러나, 화염센서의 터치센싱 기능은 실제 절단이 이루어지는 토치를 탐촉자로 사용하기 때문에 이러한 문제점들이 쉽게 해결된다.

2) 화염센싱

- 점화상태 확인 기능

자동점화장치를 이용하여 자동으로 점화하는 경우, 토치의 점화 여부를 특별한 부가장치 없이 간단히 확인이 가능하므로 로봇 자동 절단 시스템에 유용하게 사용이 가능하다.

- 피절단재의 절단시작 위치 감지 기능

절단 토치를 이송시키면서 피절단재의 절단시작 위치를 찾아낼 수 있는 기능으로, 피절단재의 초기 세팅 오차를 극복할 수 있고, 정확한 예열 위치의

검출이 가능하다.

- 예열 확인 기능

예열 완료여부의 확인이 가능하므로, 타이머에 의한 예열 시간조정 방식에 비하여, 예열시간이 자동으로 결정되어 최적의 예열이 가능하고, 예열 부족으로인한 절단 실패를 방지할 수있다.

- 절단중단 (lose-cut) 여부 확인 기능

절단 도중에 각종 절단조건(피절단재 표면상의 녹, 부적절하게 빠른 절단속도...)에 의하여 절단이 끊기는 현상을 센서 스스로 감지해 내는 기능으로, 일반 절단장치에서 발생할 수있는 절단중단 현상을 미연에 방지할 수있고, 절단중단이 발생한 경우에는 단순 알람처리를 하거나, 또는 앞의 절단시작 위치 감지 기능을 이용하여 절단중단 위치부터 다시 절단을 실시할 수있다.

- 토치높이 확인 기능

절단을 실시하는 도중에 발생하는 토치와 피절단재 사이의 거리를 감지해내는 기능으로, 피절단재의 열변형에의한 토치와의 충돌을 미연에 방지할 수있고, 높이 변화에 따른 절단 품질의 변동을 없앨 수 있다.

2.2.2 화염센서의 구성

화염센서는 그림 4에 나타나있는 것과 같이 구성되어 있다.

2.2.3 화염센서의 원리

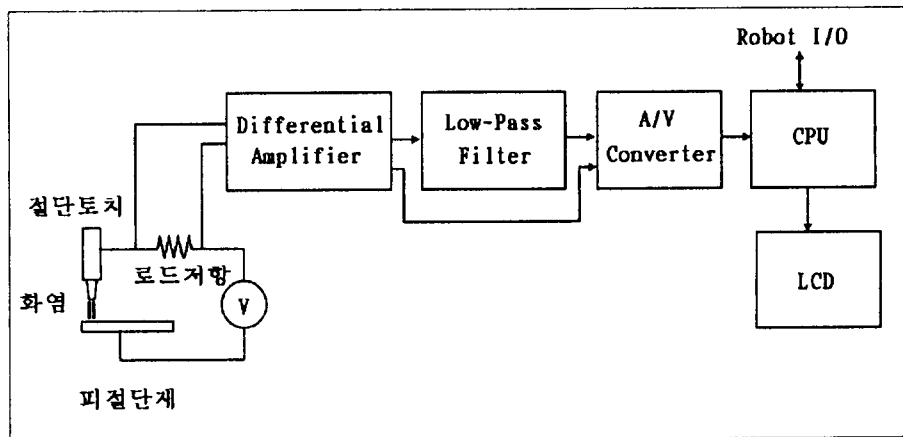


그림 4. 화염센서의 구성 BLOCK DIAGRAM

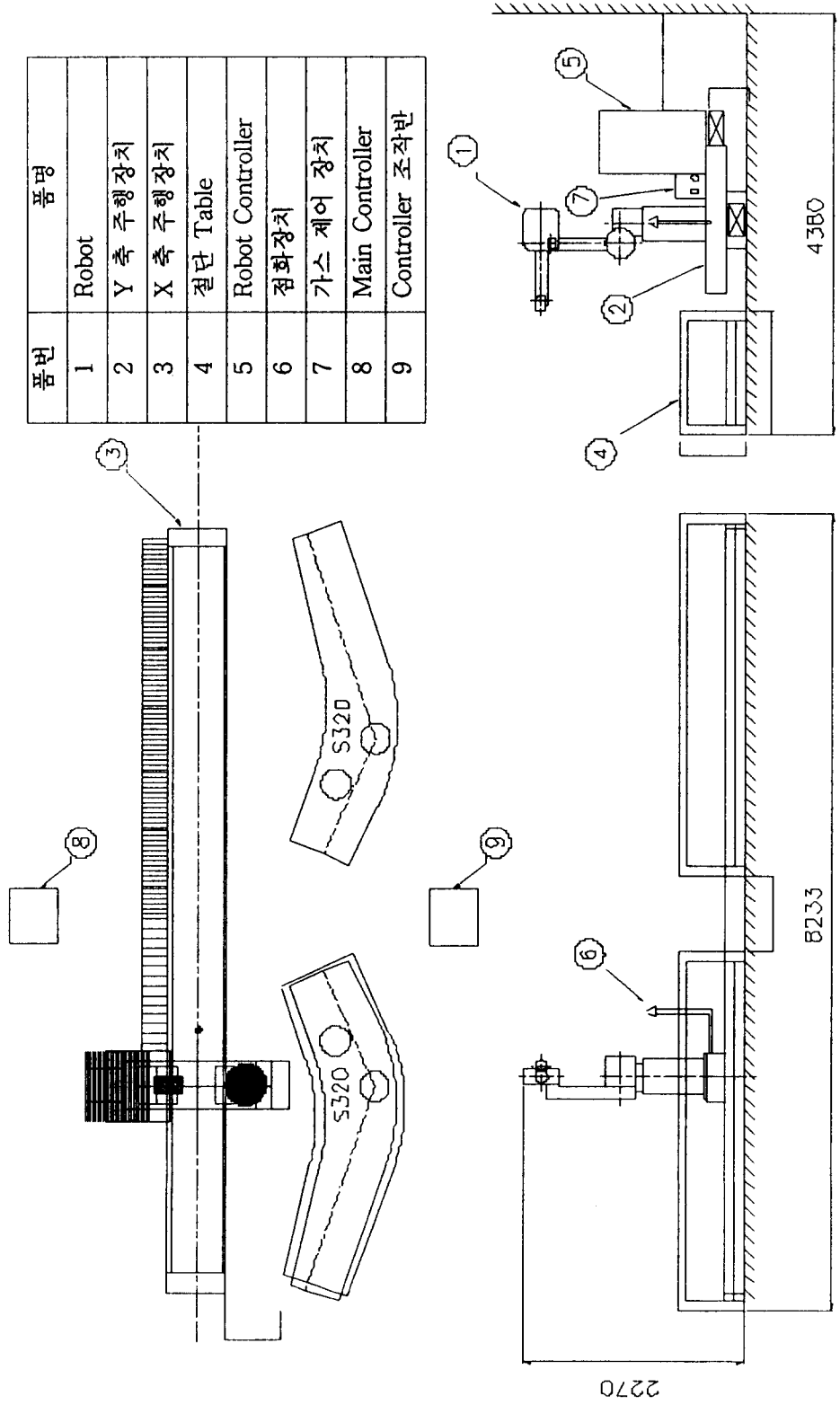


그림 8. 가스절단 로봇 시스템 Layout

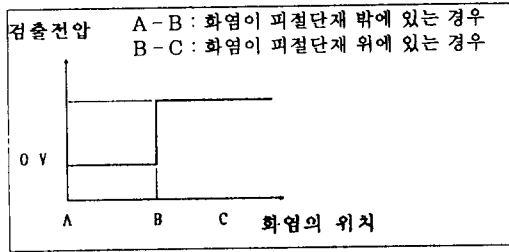


그림 5. 화염의 위치와 출력전압

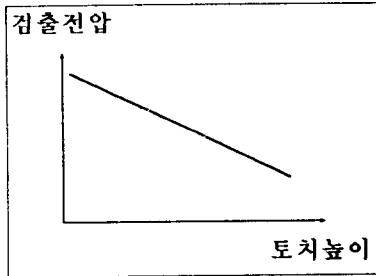


그림 6. 토치높이와 출력전압

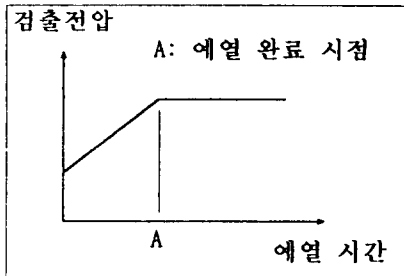


그림 7. 예열시간과 출력전압

화염센서의 근본원리는 화염자체의 물리화학적 성질을 이용한 것으로, 철판 사이에 화염이 존재하는 경우 화염 자체의 성질에 의하여 미세한 전압이 발생하며, 화염이 일정한 저항을 갖게된다. 즉, 절단토치와 피절단재 사이에 존재하는 화염에 의하여 일종의 회로가 구성되며, 로드저항에서의 전압의 변동을 감지해 낼 수있다.

이때, 감지되는 전압의 크기는 화염의 길이, 즉 절단토치와 피절단재 사이의 거리, 피절단재의 존재 여부, 피절단재의 상태 (양질의 절단이 이루어지고있는 상황, 혹은 절단 현상 없이 화염이 피절단재 위에 존재만하는 상황, 예열의 경우 피절단

재가 충분히 가열된 상황 등)에 따라 변하게 된다. (그림 5 ~ 그림 7 참조)

현재 화염센서는 국내에 특허 출원 중이며, 미국에서 특허를 획득하였다. (국내 출원번호 특 93-11530, 특 93-11531, 특 93-11532, 특 93-11533, 미국 특허번호 US5470047)

2.3 가스절단 로봇 시스템

대우중공업의 가스절단 로봇 시스템은 굴삭기 붐 (boom)의 옆면을 구성하고있는 측판의 개선가공을 목적으로 개발된 시스템으로, 다양한 종류의 형상(원 및 원호부 포함)에 대해서 가스절단에 의한 개선가공이 가능한 시스템이다.

2.3.1 시스템 구성

본 시스템의 구성 및 전체 Layout은 그림 8에서와 같고, 그림 9에는 가스절단 로봇 시스템의 제어부 Block Diagram 이 나타나 있다.

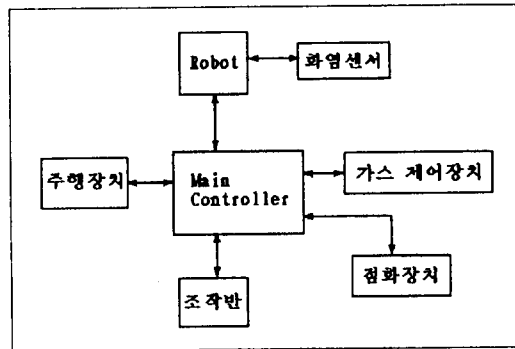


그림 9. 제어부 Block Diagram

그림 9에서와 같이 시스템의 기동 및 수동 조작은 조작반을 통하여 Main Controller를 조정함으로써 이루어지며, Main Controller에 의해 절단 기종에 상응하는 로봇 프로그램이 선택된다. 실제 절단 공정의 흐름은 로봇 controller에 의하여 제어되며, 절단공정에 필요한 각종 센싱 기능은 로봇의 I/O와 화염센서의 interface에 의하여 이루어진다.

시간의 효율적 사용을 위하여, 1대의 Robot에 대

해서 2대의 절단 Table 을 설치하여 하나의 측면이 가공되고있는 중에 다른 절단 Table에는 측면의 반입 및 반출이 이루어지도록 하였으며, 가스절단을 완료한 로봇은 주행 이송장치에 의하여 다음 절단 Table로 이송된다.

2.3.2 구성요소

1) 로봇

- 로봇은 전체 개선가공 공정의 총괄적인 제어를 담당하는 중추적인 역할을 하며, 실질적인 개선가공 동작을 수행한다.
- 로봇 사양

기 종	항 목	사 양
DAEWOO-FANUC Robot (Arc Mate Sr.)	구동형	6축다관절 AC Servo Motor
	가반하중	10kg
	반복정밀도	0.1mm
	최대동작속도	18m/min.

2) 주행 이송 장치

X축	구동방식	Rack & Pinion 방식
	안내기구	LM Guide
	Stroke	7,000 mm
	최대속도	20 m/min.
	반복위치정도	± 0.3 mm
	가반중량	500 kg
Y축	구동방식	볼 스크류 방식
	안내기구	LM Guide
	Stroke	800 mm
	최대속도	400 mm/sec
	반복위치정도	± 0.01 mm

주행 이송장치는 1대의 로봇이 2대의 절단 Table에서 절단 작업을 하도록, 로봇과 주변장치를 이송시키는 역할을 한다.

3) 제어장치

- 제어장치는 주제어반과 조작반으로 나누어지며, 로봇과 함께 프로그램의 총괄적인 제어를 담당하는 역할을 한다. 로봇과 다른 점은 로봇은 개선가공 공정의 순서를 제어하는 역할을 하지만,

제어장치는 로봇 프로그램의 선택, 프로그램의 시작 등에 해당하는 사항만을 제어한다.

- 제어장치를 이용하여, 주행장치 및 주변장치의 수동조작이 가능하며, 개선가공 공정의 진행상황 및 이상유무가 조작반을 통하여 표시된다.

4) 주변장치

- 화염센서

앞에서 언급한 바와 같이 화염센서는 측면의 위치, 점화여부, 절단 상황 등 개선가공에 필요한 각종 상황의 Monitoring을 담당한다.

- 점화장치

점화 장치는 절단 토치에 자동으로 화염을 착화시키기 위한 장치로서, 화염센서를 이용 자동으로 점화여부의 확인이 가능하도록 되어있다. 점화용 아크를 발생시키는 방법은 고주파를 이용한 방법과, 고전압을 이용한 방법이 사용되고있다.

- 가스유량 제어장치

가스의 유량 및 압력은 화염센서의 기능, 개선가공면의 상태, 개선가공 속도 등에 커다란 영향을 준다. 가스유량 제어장치는 이러한 가스의 유량 및 압력을 제어하는 장치로, 유량 및 압력은 니들 밸브의 수동조작으로 고정되어지며, 일정압력을 유지하기위해 Servo 제어를 실시하였고, 가스 흐름의 개폐는 솔레노이드 밸브를 이용하여 PLC에 의하여 제어된다.

압력계는 전기적 접점이 있는 압력계를 이용하여, 압력의 과다 상승 및 하강이 발생하는 경우, 그 상황을 제어부와 사용자에게 알리도록 구성 되어있다.

- 절단토치

절단 토치는 직접 절단 작업을 수행하는 역할 뿐만 아니라, 화염센서의 터치센싱 기능에서 탐촉자의 역할도 동시에 수행 하도록 구성되어 있다.

- 절단 Table

1대의 로봇에 대하여 2대의 절단 Table 을 설치하여 로봇의 작업 중에 다른 Table에 Workpiece의 Loading/Unloading이 가능하도록 하였으며, Workpiece의 Loading/Unloading 은 Over Head Crane을 이용 수동으로 이루어진다.

2.3.3 실시예



사진 1. 로보트 개선가공 실시예

< 실시예 >

사진 1 은 실제 현장에서 로봇을 이용하여 가스 절단(개선가공)을 실시하는 모습이다.

< 적용효과 >

* 개선가공 공정을 가스절단 로봇 시스템을 이용하여 자동화를 실시한 가장 큰 효과는 후 공정인 후판용접 공정의 로봇 용접 자동화를 성공적으로 이룰 수 있었던 점이다. 과거 후판 용접 자동화의 경우, 용접모재에 해당하는 절단품(개선가공 부위 포함하는)의 품질을 일정하게 관리할 수없었던 관계로 용접 자동화 시스템 구축에 많은 어려움을 겪어왔다. 그러나 본 가스절단 로봇 시스템의 개발로 개선가공 공정에서 항상 일정한 품질을 유지해 줌으로써 용접공정의 자동화가 가능해 지고, 용접 자동화의 한계를 극복하게 되었다.

그 외 가스절단 로봇 시스템을 현장에 적용한 효과는 다음과 같다.

* 개선가공 공정의 자동화로 인한 작업의 편리성 증대

- * 작업인원의 감소
- * 개선가공 품질의 향상
- * 공정시간 단축
- * 로봇을 이용한 개선가공 시스템 1대로 다양한 기종의 개선가공 가능

2.4 절단 분야에서의 로봇의 이용

국내의 로봇 이용분야는 주로 핸들링/조립 로봇과 용접 로봇을 중심으로 발전하여 왔다. 특히 절단의 경우는 로봇의 이용이 극히 제한적으로 실행되어왔다.

외국의 경우에도 로봇의 적용이 용접, 조립 분야에 치중되어 있으며, 절단 분야에서는 로봇을 LASER, PLASMA 등을 이용한 3차원 절단에 주로 적용하고있다.

절단 분야에 로봇의 적용이 미진한 이유는 현재 산업계에 사용되는 절단의 많은 부분이 2차원 평면 절단이며, 2차원 절단의 경우에는 로봇을 적용하는 장점이 별로 없기 때문이다. 그러나, 본고에서 소개한 바와 같이 실제로는 3차원 절단이지만, 2차원 절단 같이 인식되고있는 공정도 많이 있으며, 일부의 경우, 3차원 절단 로봇 시스템의 적용이 경제적인 이유로 유보되고, 2차원 절단에 의한 가공 방법이 적용되는 경우도 있다. 따라서, 계속적인 노력을 기울인다면, 절단 분야에의 로봇적용 방법을 보다 많이 개발해 낼 수있을 것이다.

3. 결 론

용접공정의 선행공정인 개선가공 공정에 로봇을 이용한 자동화 시스템을 적용하여, 품질과 생산성 향상을 이룩하고, 궁극적으로는 용접공정의 자동화를 성공시키는 발판을 마련하였다.

절단 공정은 아직은 로봇의 적용이 미진한 상황이지만, 앞으로 노력 여하에 따라 적용 가능성이 풍부한 공정이라 생각되며, 이러한 노력이 국내 로봇 산업의 발전의 원동력이 되리라 생각한다.

참 고 문 헌

1. 용접기술(일) 1994년 12월호 103~105쪽
2. 용접기술(일) 1994년 5월호 102~112쪽
3. 김 재곤, 이 상진, 신 윤섭, 오 진호, 장 세엽 : 1994년도 로보틱스 및 자동화 연구회 Workshop 논문집 118~121 쪽
4. 이 상진, 신 윤섭, 오 진호, 장 세엽 : 대우기보 Vol. 13 No.1 82~87쪽