論文 한국정밀공학회지 제 12권 제6호 1995. 6
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 12. No 6. June. 1995.

스포트 및 아크 용접 겸용 로보트 시스템의 개발

유 범 상,* 이 용 중,** 이 양 범***

On the Development of Spot and ARC Welding Dual-Purpose Robot System

Ryuh, B. S.,* Lee, Y. J.,** Lee, Y. B.***

ABSTRACT

A dual purpose robot automation system is deveoped for both arc welding and spot welding by one robot within a cell. The need for automation of both arc welding and spot welding processes is urgent while the production volume is not so big as to accommodate separate stations for the two processes. Also, space is too narrow for separate stations to be settled down in the factory. A spot welding robot is chosen and the functions for arc welding are implemented in-house at cost of advanced functions. For the spot welding, a single pole type gun is used and the robot has to push down the plate to be welded, which causes the robot positioning error. Therefore, position error compensation algorithm is developed. The basic functions for the arc welding processes are implemented using the digital I/O board of robot controller, PLC, and A/D conversion PCB. The weaving pattern is taught in meticulously by manual teach. A fixture unit is also developed for dual purpose. The main aspects of the system is presented in this paper especially in the design and implementation procedure. The signal diagrams and sequence logic diagrams are also included.

The outcome of the dual purpose welding cell is the increased productivity and good production stability which is indispensable for production volume prediction. Also, it leads to reduction of manufacturing lead time.

Key words : Robot Automation System(로보트 자동화 시스템), Robot Welding Automation(로보트 용접 자동화), Spot Welding(스포트 용접), Arc Welding(아크 용접), Robot(로보트), Dual Purpose Robot Automation System(겸용 로보트 자동화 시스템)

* 전북대학교 정밀기계공학과
** 울산대학교 대학원 전기공학과
*** 울산대학교 전기공학과

1. 서 론

주지하는 바와 같이 국내 산업계에서는 로보트를 이용한 생산자동화가 급속히 추진되어 오고 있다. 이중 전자 산업계에서는 스카라(SCARA)형이나 소형 직교 다관절 로보트를 이용한 조립자동화, 대형 수평다관절 로보트를 이용한 상자등의 대형 중량물의 이송(Material Handling)등에 치중하고 있다. 반면에 자동차 산업이나 기계산업에서는 수직다관절 로보트를 이용한 용접, 머신텐딩등을 위주로 진행되고 있다. 필자의 현장 경험에 의하면 수직다관절 로보트의 자동화 분야에서는 스포트 용접이 대부분인 자동차 최종 조립 공정을 제외하면, 약 45%가 아크 용접 분야에 치중되고 있음을 알 수 있으며 그 뒤를 절삭가공기의 머신텐딩 분야가 따르고 그 외에도 플라스틱의 드릴링이나 절삭, 차 내장재의 수류절단, 강재나 알루미늄, 플라스틱의 디버링, 연삭등의 예를 찾아볼 수 있다. 이러한 로보트자동화 분야에서는 시스템 설계 기술자가 로보트의 기술 뿐만이 아니라 해당분야의 생산기술에도 깊은 이해가 있어야 한다는 특징을 가지고 있다. 로보트의 자동화 시스템에서 대부분의 로보트는 한 가지의 응용 분야에서만 사용하도록 되어 있으며 해당 응용 분야의 특성에 맞는 로보트가 투입되어야 한다.[1] 그러나 일부 분야에서는 시스템의 가동율과 설비투자의 효율을 최대화 하기 위하여 한 대의 로보트에 두 가지 이상의 기능을 요구하는 경우가 있는데 그 유형은 크게 두 가지가 있다. 첫째는 동일한 응용계통의 두 가지 이상의 작업을 하는 경우로 자동 공구교환장치(Automatic Tool Change System)[3]로 둘 이상의 그립퍼를 교환하는 머신 텐딩 시스템, 복수의 스포트 용접건을 자동 교체하며 작업하는 스포트 용접시스템등이 있다.[7] 둘째는 두가지 이상의 독립적인 응용분야의 기능을 수행하는 경우로서 그 예로는 아크 용접과 Material Handling, 서로 다른 아크 용접인 티그 용접과 미그/매그(MIG/MAG) 용접, 아크 용접과 절단의 겸용 시스템등이 있다.

서로 다른 둘 이상의 기능을 수행할 때에는 로보트가 그 기능을 모두 소화할 수 있는지의 여부를 판단하는 것이 중요하다. 각 응용 분야는 그에 적절한 로보트의 특성을 요구한다.[2, 3] 아크 용접에서는 내열성, 적정한 동작정도(Resolution 및 반복정도)의 확보, WAC(Water, Air, Current)의 원활한 공급기능등이 필요하고 덧붙여 티그 용접에서는 고주파 노이즈에 대한 차폐능력이 가장 큰 관건이 되고 있다. 디버링이나 연삭에서는 동작정도(精度)와 함께 로보트 팔목 부분의 기계적 내구성과 분진의 침투에 대한 대책을 갖추지 못하면 실패할 확율이 높게 된다.

본 논문은 스포트 용접과 아크 용접의 겸용 로보트 시스템의 개발에 관한 연구이다. 대상 제품은 엘리베이터의 내판용 플레이트로서 대형 판재 위에 스포트 용접을 한 후 다시 보강판을 붙이기 위한 아크 용접이 필요하다. 이러한 두 가지 용접을 하기 위하여 우선 가장 효율적인 시스템 구성 방법을 선택하여야 한다. 고려할 수 있는 방법으로는 첫째, 스포트 용접과 아크 용접의 전용 로보트와 치구 시스템(Jig and Fixture)을 각각 독립적으로 구성하는 방법이 있다. 가장 확실한 방법이나 설치공간의 제약과 생산량에 따른 가동율과 투자효율성을 검토하여 타당성이 있어야 한다. 둘째, 두 가지 용접을 위한 공용 치구 시스템에 두 대의 전용 로보트가 고유 기능을 수행하는 경우이다. 이러한 경우에는 협소한 공간에서 각 로보트의 작업자세가 제한된다. 또 충돌 방지와 안전을 위한 상호 인터록(Interlock) 처리와 일차 유틸리티류의 배관 및 신호처리등도 문제를 어렵게 만든다. 셋째, 두 가지 기능을 완전히 겸용할 수 있는 단일 로보트와 치구 시스템을 구성하는 경우이다. 이러한 구성 방식은 공간상의 제약을 해결하며 생산 사이클타임이 문제가 되지 않는다면 투자 효율을 극대화 할 수 있다. 이 때 로보트는 아크 용접의 토치와 스포트 용접용 건을 일체형으로 하든지 자동공구 교환장치를 이용하여 교체할 수가 있다.

본 논문에서는 세번째 방법이 사용되었다. 이러한 유사 시스템을 세계 유수 로보트 제조사의 실적을 중심으로 조사하여 본 바에 의하면, 일본이나 미국, 유럽 지역과 국내에서, 전술한 아크/아크 용접이나 스포트/스포트 용접 겸용 시스템의 적용 사례는 찾을 수 있으나 그 외에는 이탈리아에서만 유일하게 1994년에 스포트 용접과 아크 용접의 겸용 로보트 시스템의 개발이 간단히 언급된 실정이다.[4] 아크 용접과 스포트 용접을 위한 로보트는 원칙적으로 그 요구사양이 크게 다르다. 두 가지의 겸용 시스템을 구성하기 위하여는 일차적으로 기계적 사양을 스포트 용접에 맞추어야 하며 이에 따라 아크 용접의 기능은 제한될 수 밖에 없다.

본 논문에서는 스포트 용접용 대형 로보트를 이용하여 스포트 용접과 아크 용접을 수행하는 로보트 시스템의 개발사례를 보고하고자 한다. 전술한 바와 같이 기

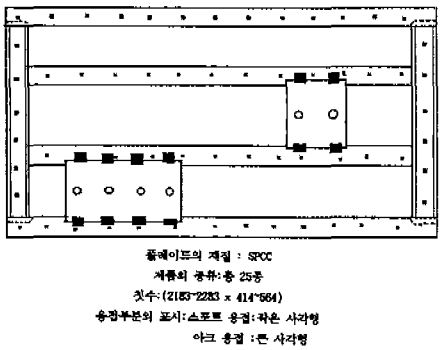


Fig. 1 플레이트 외형도와 스포트 용접 및 아크 용접점

구, 제어, 소프트웨어적으로 아크 용접을 위한 기능은 제한적이었으나 대상 제품에서의 아크 용접의 요구 조건은 직선 용접으로서 비교적 단순한 편이었기에 성공 가능성이 높았다.

2. 대상 제품과 공정

본 시스템에 적용될 엘리베이터 플레이트의 생산 공정은 절단, 스포트 용접과 아크 용접, 그라인딩, 조립의 순서로 나누어져 있다. 이중 자동화의 대상 공정이 된 스포트 용접은 전용기와 수작업, 아크 용접은 전량 수작업에 의존하고 있었다. 플레이트는 대부분 생산량이 많고 제품사이즈가 커서 작업자가 취급하기 곤란하였고 종류는 치수별로 전체 72종으로 분류된다. 대표적인 플레이트의 형상은 Fig. 1과 같은데 스포트용접(작은 네모 표시)으로 플레이트 양면을 불힌후 아크용접(큰 네모 표시)으로 보강재를 부착한다. 이때 용접장은 각기 15mm - 25mm이고 각장은 4mm인 단속 용접이다.

3. 시스템 설계에서의 문제와 이의 해결

3.1 스포트 용접

본 시스템에 적용되는 스포트 용접은 건 자체의 통전으로 용접하는 스포트 용접과 달리 치구와 건의 통전으로 용접하는 방식이므로 전원 처리가 다소 까다롭고 적절한 압력 조절이 되지 않으면 건 가압 충격으로 인하여 플레이트 배면에 너겟(nugget)이 발생되어 상품으로 쓸 수 없게 된다. 설계시 검토된 문제점으로 먼저 건에서 전류가 작업물과 치구의 베이스 플레이트의 동판을 경유하는데 따른 무효전력의 발생으로 전력사용율이 저해되고 또 전원계통은 용접시 고전류(18,000 A)의 통전으로 발생하는 임피던스 효과로 수명이 단축될 수 있다. 따라서 전력사용율의 저해와 임피던스 효과를 방지하기 위하여 인버터 회로를 채용하고 2차측이 직류인 트랜스포머를 선택한다. 또한 전원공급용 케이블은 허용률등을 고려하여 단면적 200mm^2 이상으로, 길이는 5m 이내로 제한한다.[5] 전원공급용 케이블은 로보트 조작에 따라 뒤틀리거나 꼬일 수 있고 또한 토치나 플레이트와 간섭이 발생할 수 있으므로 카운터발란스를 설치하여 들어 올려준다. 스포트 용접용 건에는 단일건과 시리즈 건의 두 가지가 있는데, 단일 건은 용접품질이 좋은 반면 치구 설계와 제작에 따른 부대경비의 상승이 문제이며 시리즈 건은 치구 설계와 제작에 따른 부대 경비를 절감할 수 있고 전원 공급용 케이블의 처리가 간편한 반면에 용접성이 떨어지며 로보트의 끝단에 하중과 모멘트가 크게 걸리는 문제가 있다. 용접성의 확보가 시스템 전체의 성능에 최우선이므로 싱글건을 사용하기로 하였다.

3.2 아크 용접

아크용접으로 보강재를 붙이는 과정은 용접장이 짧은 단속용접으로 곡면이 없는 거의 일직선이며 플레이트의 셋팅 오차율은 약 ±0.1mm이고 용접장은 약 15mm - 25mm 정도이다. 그러므로 아크센서를 이용한 용접선 추적장치[8]는 적용하지 않았고 홀효과(hall effect)로 과전류를 검출하는 과전류센서와 충돌시의 충격을 검출하는 쇼크센서만 적용하였다.[6] 또한 최대 ±12V인 용접전압과 전류를 생성하기 위하여 2개의 아나로그 포트가 탑재된 D/A (digital to analog) 변환 PCB와 PLC를 접속시킨 다음 시퀀스 프로그램에서 설정하는 조건에 따라 스텝별로 전압과 전류가 선형적인 값으로 출력되도록 하였다.

3.3 로보트

스포트 용접과 아크 용접을 겸용하는 로보트의 경우에는 가반중량등 기계적인 요구조건이 스포트 용접이 높으므로 일차적으로 스포트 용접에 기준을 두어야 하며, 이에 의하여 아크 용접 로보트로서의 기능은 제한될 수 밖에 없다. 스포트 용접 로보트와 아크 용접 로보트가 각각 갖추어야 할 조건은 Table 1과 같다.[1, 2, 3]

Table 1과 같이 아크 용접 로보트는 가반 중량 10Kg 이내의 소형 로보트로서 높은 반복 정밀도와 아

Table 1 스포트 용접 로보트와 아크 용접 로보트가 갖추어야 할 기본적인 조건

기본조건	스터드용접용 로보트	아크용접용 로보트
가반중량	-. 용접건과 브라켓류의 취부가 용이토록 가능한 커야함 -. 약 100kg 이상	-. 약 10kg정도
내, 외부충격	-. 내부충격 : 건가압에 따른 반력흡수가 용이해야 하고 -. 외부충격 : 서보에러등으로 일시정지	-. 내, 외부충격 : 쇼크센서(shock sensor)를 부착하여 토치의 변형방지
반복정밀도	-. + - 0.5㎜ 이내	-. + - 0.2㎜ 이내
용접케이블 및 전원극성	-. 용접기와 용접건사이(+극성)는 고임피던스효과를 줄이기 위해 길이 5m이내, 직경은 22㎟ 이상 -. 용접기와 지그(-극성)사이는 5.5㎟ 이상	-. 용접기와 토치사이(+극성)에 길이는 거의 제한이 없으나 수동의 경우 100m이내. 직경은 52㎟ 이상 -. 용접기와 지그(-극성)사이는 52㎟이상
전력제어	소신호로 대전력을 제어하는 방식	소신호로 대전력을 제어하는 방식
용접에 필요한 신호제어	Fig.5 참조	Fig.5 참조
접지방법	제 3 종 접지	특별 제 3 종 접지

크 용접 특유의 필요 기능들과 수반된 소프트웨어를 내장하고 있으나, 스포트 용접 로보트로 이를 겸용할 경우에는 이러한 기능들을 활용할 수가 없으며 반복 정도도 떨어진다. 플레이트의 용접에서는 필요한 아크 용접이 직선 용접이며 단속 용접으로 비교적 단순한 기능을 요구하여 문제가 수월하였다. 스포트 용접이 로보트에 주는 기계적 영향은 용접 건과 부속장치의 자체 중량과 함께 스포트 용접 건의 가압에 따라 발생하는 반력이다. 이 경우 스포트 용접 건의 가압에 따라 발생하는 반력은 약 450kgf이며 적용한 로보트의 반력흡수력은 550kgf이므로[2] 반력흡수는 충분하다. Fig. 2와 같이 일체형으로 로보트 6축에 취부된 스포트 용접 건과 토치의 전체 중량은 23kgf인 반면에 로보트의 가반중량은 65kgf이므로 과부하에 따른 에러 발생은 없다.

본 시스템처럼 로보트의 힘으로 가압을 하여야 하는

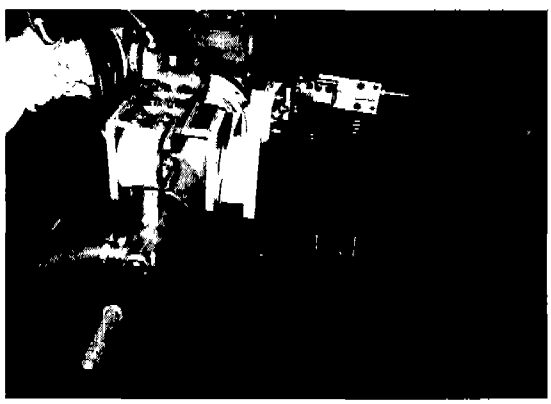


Fig. 2 일체형으로 로보트 6축에 취부된 스포트 용접 건과 아크 용접 토치의 형상

단극 스포트 건을 이용하는 스포트 용접시스템에서는 건 가압시의 충격과 자중에 의한 미끄러짐을 방지하기 위하여 로보트의 일부 축에 록을 걸어 주어야 한다. 록을 거는 방법에는 일반적으로 브레이크 록(brake lock)과 서보 록(servo lock) 방식이 있는데 브레이크 록 방식이란 로보트의 각 축에 부착된 서보 모터 브레이크의 록을 ON/OFF 하는 방식이고 서보 록 방식이란 서보 모터의 전원을 ON/OFF 하는 방식이다. 서보 록 방식은 사이클 타임등을 볼 때 비효율적이고 모터의 수명이 짧아지는 등의 문제가 있어 적용에 한계가 있다. 또한 이러한 서보 록이나 브레이크 록 방식은 특별한 경우가 아니면 수직다관절 로보트에 잘 사용되지 않는다. 본 시스템에 적용한 일본 不二越(주)의 제품인 8607 - 03 로보트는 브레이크 록 방식을 채택하고 있다.[2]

이때 록을 걸기 이전과 이후의 브레이크의 미끄러짐에 의한 위치 차이를 보정하기 위한 알고리즘이 동시에 사용되어야 한다. 이 방식은 Fig. 3의 플로우차트와 같이 스포트 건의 가압에 따른 충격으로 브레이크가 미끄러져 초기의 위치와 플레이백 때의 달라진 위치를 보정하기 위한 목적으로 사용된다. 먼저 건 가압 전에 로보트 각 축의 엔코더 데이타를 읽어 위치를 기억한다. 건 가압 후 동일한 방법으로 각 축 데이타를 읽어들여 기

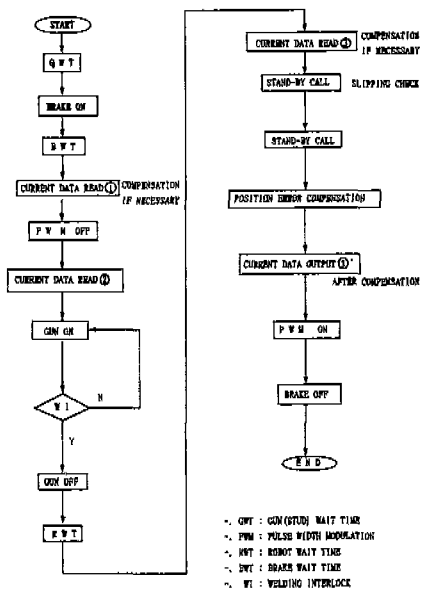
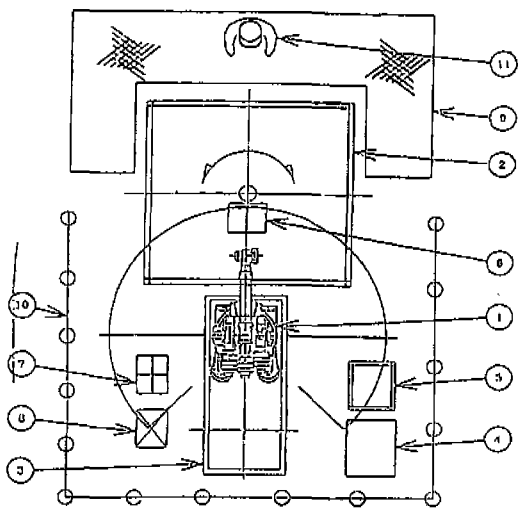


Fig. 3 스포트 용접에 따른 로보트의 미끄러짐과 낙하를 보정하는 플로우

억된 데이타와 비교하여 미끄러짐이 있을 때는 낙하된 양만큼 위치보정을 한다. 8607 - 03 로보트는 볼스크류 구조로 된 2축이 건 가압에 따른 충격이 가장 심하므로 2축을 중심으로 이와 같은 위치 보정 알고리즘을 적용한다.

또한 아크 용접을 수행하기 위한 기본적인 조건을 설정하기 위하여 로보트의 디지탈 입/출력 보드와 PLC를 접속시켜 아크 온/오프, 아크 발생 이상, 용착 검출, 용접 개스와 와이어 끊음과 같은 디지탈 신호는 시퀀스 프로그램으로 처리한다. 로보트와 용접기 사이에 필수적인 신호체계인 아크 인터록은 아크 온(arc on)이 시작할 때나 용접중에 체크한다. 본 시스템은 용접장이 짧으므로 아크 온이 시작할 때만 로보트에서 디지탈 펄스 신호를 출력하고 PLC에서 이를 더미 데이타(dummy data)로 설정 후 적절한 시간 지연을 주어 점검하도록 하고 그 결과를 로보트에 피드백시킨다.



No	Part Name	Maker	Specs
1	Robot	不二越(株)	8607-03
2	Jig	설계제작	
3	Carriage	설계제작	
4	Robot Controller	일본 不二越(株)	AP
5	System Controller	설계제작	
6	Stud Welder T/R	일본 電元社製作所(株)	NRHAH - 160
7	Stud Welder T/C	일본 電元社製作所(株)	WELCOM-II
8	Arc Welder	일본 NASTOA(株)	350-II
9	Safety Mat	설계제작	
10	Safety Fence	설계제작	
11	Operater		

Fig. 4 시스템 배치도와 장비의 제원

4. 시스템의 설치와 운용

스포트 용접용 건과 아크 용접용 토치를 일체형으로 개발한 시스템은 스포트 용접과 아크 용접을 겸용으로 수행하는 로보트 1대, 스포트 용접기와 아크 용접기 각 1대, 용접 작업물 고정용 치구, 로보트 운반용 캐리지, 시스템 제어반등으로 구성되어 있다. 상세한 시스템 배치도와 장비명은 Fig. 4와 같고 전체 시스템의 신호 계통도는 Fig. 5와 같다. 시스템의 운용에 있어서 제기된 문제점은 다음과 같다. 첫째, 스포트 용접 전원과 아크 용접 전원의 고, 저압 혼촉으로 발생된 노이즈로 트러블이 발생할 수 있고 둘째, 스포트 용접후 아크 용접을 위한 보강재 고정시 치구의 위치 오차가 발생되고 셋째, 치구 회전시 로보트와 충돌하거나 스위치 오조작으로 불안한 지점에서 로보트가 기동되거나 로보트가 작업중에 치구가 회전되어 시스템이 파손될 수 있는 안전사고에 대한 우려이었다. 분석된 문제점들에 대한 대책으로 첫째, 고, 저압 혼촉을 방지하기 위해 스포트 용접기와 아크 용접기는 용접기 프레임의 각각에 특별 제3종 접지로 상호 차폐시킨다. 둘째, 치구의 위치 오차를 방지하기 위해 사다리꼴 나사를 이용한 고정방식으로 교체한다. 셋째, 시스템의 안정된 운용을 위하여 로보트가 대기 상태에 있을 때만 치구의 회전이 가능한 상호 인터록 방식을 적용하여 충돌을 방지한다. 로보트

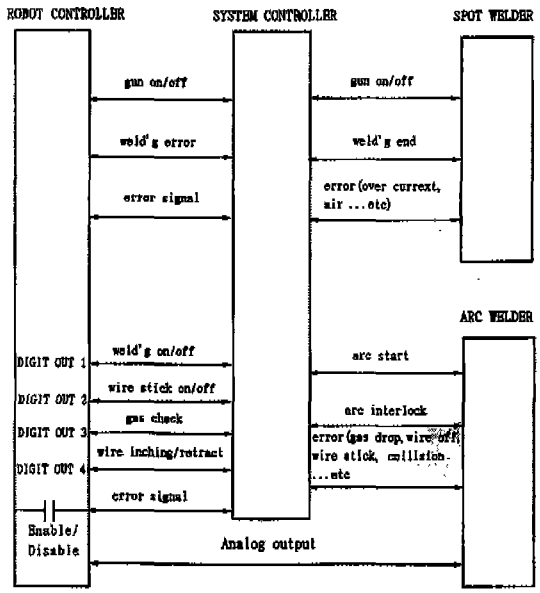


Fig. 5 시스템 신호 계통도

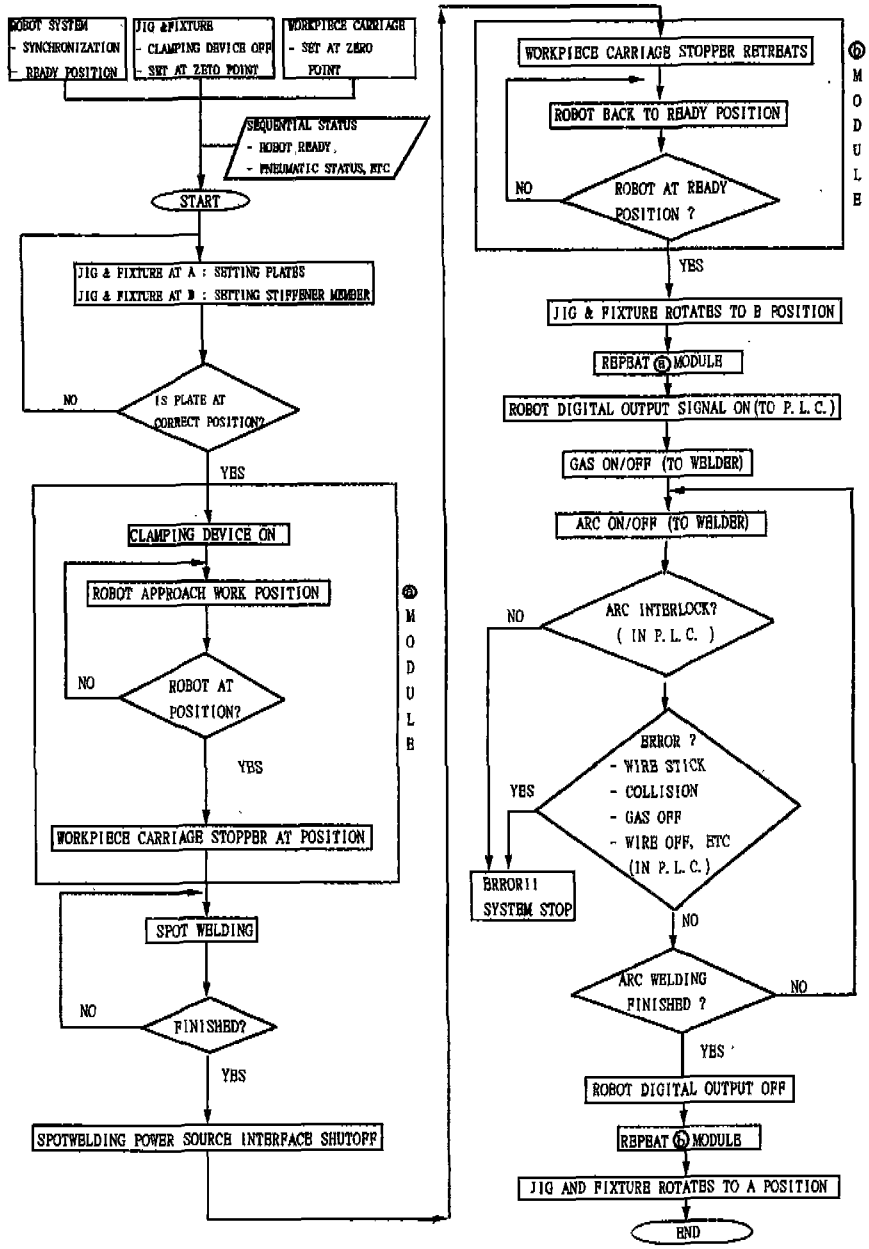


Fig. 6 시스템 운용 플로우챠트

교시 프로그램 상에서 가장 어려운 점은 적용한 로보트가 스포트 용접 전용이므로 위빙(weaving) 기능이 없는 점이었다. 따라서 아크 용접용 로보트에 필요한 위빙 동작은 메뉴얼로 각장 4mm로 교시하였다. 그러나 메뉴얼로 아무리 정밀하게 교시하더라도 아크 용접용 로보트와 같이 고유한 위빙 기능을 활용하는 것 보다는 위치 오차가 커서 언더컷등의 용접 불량이 발생되므로 지속적으로 위빙 위치 수정이 필요하였다. 근본적으로 시스템은 전자동으로 운용되지만 고장등으로 인한 유사시를 대비하여 스위치류의 조작으로 수작업도 가능하도

록 시스템을 운용한다. 시스템 운용 플로우차트는 Fig. 6과 같다.

5. 결 론

엘리베이터 내판의 생산을 위한 스포트 용접과 아크 용접의 자동화를 위하여, 설치공간의 제한, 부대비용의 최소화와 툴체인지로 인한 사이클타임 증가등의 문제점을 극복하고 로보트의 사용효율 극대화를 위하여 한 대의 로보트에 단극 스포트 용접용 건과 아크 용접용 토치를 일체형으로 부착하는 시스템을 개발하였다. 가반중량과 반력의 허용범위를 충족시키기 위하여 스포트 용접용 로보트가 선택이 되었으며 여기에 단극 스포트 용접용 싱글 건과 아크 용접 토치가 부착되었고 두가지 용접 작업에 사용되는 공용 치구가 설계 제작되었다. 스포트 용접용 로보트에는 아크 용접에 필요한 기능이 없기 때문에 과전류 센서와 쇼크 센서를 별도로 부착하고 D/A 변환 PCB와 PLC를 이용하여 용접 전압, 전류를 제어하고 로보트의 디지탈 입출력 보드와 PLC를 사용하여 아크 용접과 관련된 신호 처리를 하였다. 위빙기능은 일일히 수작업으로 교시되었다. 스포트 용접시의 반력과 자중에 의한 미끄러짐을 보정하기 위하여 브레이크 록이 적용되었고 위치 보정 알고리즘이 개발, 사용되었다.

본 시스템이 현장에 적용된 결과, 노사문제와 외주인력 수급 불안정으로 인하여 불규칙했던 생산량과 사이클 타임의 안정이라는 소기의 목적을 달성하였고, 이외에도 3명의 인원이 절감되고, 월생산량이 43 % 증가하고 가동률이 85 %에 달하는 높은 안정성을 보이게 되었으며 생산 리드 타임이 크게 단축되는 효과를 가져오게 되었고 이외 품질 안정, 라인 간의 균형을 얻게 되었다.

참고문헌

1. James L. Fuller, Robotics, Maxwell MacMillan, U.S.A., pp.160-169, 1991.
2. 8000 シリズ ロボット 取扱說明書, 不二越 (株), 일본, 1992.
3. PRODUCT MANUAL IRB 2000, ABB ROBOTICS, SWEDEN, 1993.
4. "Forty Years", Bisiach & Carru′ S.p.A., Italy, 1994
5. 포타블 스포트 용접기 매뉴얼, 電元社 製作所(株), 일본, 1992.
6. "やさしい センサ技術", 自動化技術編輯部, 工業調査會, 일본, 1992.
7. "不二越 (株) ロボット の 適用事例", 不二越 (株), 일본, 1992.
8. 나석주, 이승영, "ARC WELDING ROBOT를 위한 ARC SENSOR 개발에 관한 연구", KAIST 연구 보고서, 1992.