

로봇를 적용한 주물소재의 자동절단 시스템 개발 사례

박 태 갑, 이 봉 환, 여 창 모*

현대 로봇트 산업 (주) 로봇트 시스템 기술부, *로봇트 영업부

- An Example of Automatic Cutting ROBOT Ssystem Development of Casting Material.-

Tae-Garb Park, Bong-Hwan Lee, Chang-Mo Yeo

Hyundai Robot Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

The purpose of this project is to develop an auto-matic cutting robot system of cast steel, which raise productivity with improvement of working circumstances, overcoming labor deficiency, reduction of process and cycle time by applying cutting automation at inferior working circumstances and condition of a foundry.

This system consisted of a 5 DOF tool system, an improved conveyer system and the HR-8608 ROBOT, makes it possible to get the reduction of 12 manpowers and 30% productivity up.

아직 미흡한 실정이다.

여기서는, 앞서 언급한 주물공장에서 새로운 말단표과장치(End Effector, 이하 TOOL) — 충돌감지 센서, 5자유도 TOOL, 공냉식 소형 중앙절단토치 — 와 새로운 개념의 콘베이어 시스템 및 HR - 8608 로봇트를 사용하여, 공장 자동화의 한 셀(CELL)로서 라인 자동화에 적용할 수 있고, 작업환경 개선을 위하여 공해의 주범인 가우징 공정을 삭제할 수 있도록, 주강주물을 정밀 절단하는 가스절단 로봇트 시스템에 대하여 문제해석과 최적 해결책의 선택, 시스템 구성방법 및 절단 테스트를 중심으로 고찰하고, 본 절단 시스템의 도입효과에 대하여 분석하고자 한다.

1. 서 론

80년대 후반부터, 환경공해에 대한 사회적 관심도의 증대와 아울러, 생산 현장에서도 작업자들의 3D(Difficult, Dirty, Dangerous)작업에 대한 기피현상으로 단순작업 및 기능인력에 대한 심각한 인력난에 봉착하게 되었다.

특히, 위험작업이나, 밝은 불빛 및 먼지 공해작업, 유독 가스작업, 소음 공해작업 등 각종 공해 환경에서의 작업이 주종을 이루고 있는 대부분의 중소기업은 자본 빈약으로 작업환경 개선에 많은 어려움을 겪고 있어, 원가절감 및 인력난 해소 측면에서 자동화 시스템 도입의 필요성이 절실해 지고 있다.[1]

대표적인 예로, MATCH PLATE 조립주형법[2]을 사용하여 콘테이너 부품(이하 EDGE)을 대량생산하는 주조공장에서는 부분적으로 단위작업(BATCH) 자동화가 도입되고 있으나, 모체 주물에서 각각의 소형 주강부품들을 떼어낼 때, 높은 작업열과 밝은 불빛 및 산화금속 분진 등을 발생시키는 절단공정 및 후처리 가우징(Flame Gouging)[3] 공정에서는 여러가지 문제들로 아직도 수작업 방식에 의존하고 있어, 작업환경을 더욱 악화시키고 있는 등 실질적인 위험 작업이나 공해 작업공정의 자동화 도입은

2. 문제 해석

2.1 현황분석

본 시스템이 적용된 주물공장은 그림 2.1와 같은 제조공정을 갖고 있으며, 한개의 주강주물(표 2.1)에서 6개의 EDGE를 각각 잘라내는 절단공정과 절단부의 잔여살을 제거하는 가우징공정에 각각 3명씩 3교대로 총 18명의 작업인원을 투입하고 있다.

그림 2.1의 빗금친 부분인 절단 및 가우징 공정의 공정분석은 그림 2.2와 같고, 이 작업은 모래를 편넓은 작업공간의 확보와 3차원 동작이 가능한 크레인 시설이 2대 이상 필요하며, 중하중물 취급에 따른 안전작업이 절실히 요청되고 있다. 또한, 절단 및 가우징 작업시 발생하는 산화철 분진, 소음, 밝은 연소 불빛공해는 매우 심각한 형편이다.

본 공정에서의 월평균 EDGE 절단량은 약 73,000개(가우징 공정도 동일)이고, 추후 생산 요구량이 증가할 때에는 EDGE 약 8,100개당 2명(가우징 공정포함)의 작업인원 증가가 요구된다.

2.2 절단시스템 구성시 고려사항

주물절단 시스템 설계시에는 다음과 같은 기본적인 사항들에 대한 정확한 해석을 한 후, 여기에 알맞은 절단방법을 선정하고 지그, TOOL을 설계 하여야 한다.

2.2.1).작업물(이하 WORK)의 해석.

규격, 중량, 재질, 금형에 따른 WORK간 상대오차 절단면 형상, 절단면 두께, 용도, 종류, 절대오차, 절단 허용오차 등.

2.2.2).작업 해석.

기존의 작업방법, 작업상 문제점, 작업공간, 단위 작업시간, 작업 소요인원, 주변환경, 작업설비 등.

2.2.3).작업여건.

전력 및 .AIR 등 1차설비의 용량, 지역적 특성, 전·후공정의 자동화 특성.

2.2.4).기타

사용자의 요구, 작업자의 요구, 생산계획, 설비 확장계획, 장비 설치공간, 지그 설계제한, 공구설계 제약 및 일반적 설계요구조건 등.

2.3 문제점 분석

본 절단시스템의 설계에 관련되는 문제점들을 대별 하면 내열성, 정밀 절단, 라인 자동화, 내구성, 작업성 및 안전성과 가동률 향상 문제로 요약할 수 있고, 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다

2.3.1) 작업환경

평균적으로, 많은 모래 먼지, 철분과 상온보다 높은 작업온도를 지닌 실내작업이다.

2.3.2) 라인 구성제한

추후 자동화 확장을 고려하여 라인작업이 가능 하도록 구성하며, 앞뒤의 BURR 제거공정과 EDGE 적재공정의 자동화시 사장되는 장비가 없을 것.

2.3.3) 작업물(WORK)

- 1) 금형에 따른 주물간의 상대오차가 크다.
- 2) 상·하형 결합부 및 코어부의 BURR 발생.
- 3) 주물의 절단부 내부에 잔류하는 기공.
- 4) 절단면의 주물사 소착.
- 5) 취급중 주물의 변형.
- 6) 절단부 탕도의 주형파손에 의한 절단면 변형.
- 7) 탕구부의 불균일한 BURR.

2.3.4) 로봇트

- 1) 절단작업시 발생하는 열, SPATTER, 먼지
- 2) 주변장비에서 발생하는 노이즈.
- 3) TOOL의 무게 및 충돌시 충격토포크.
- 4) 높은 궤적정도 및 큰 작업반경 요구.

5).먼지 및 열에 대한 내환경성 요구.

2.3.5) 주변 장비

- 1) 절단 작업부에 발생하는 고열 전열, 스패터 (Spatter) 비산 등에 의한 오동작 및 파손.
- 2) 폭발성 가스의 사용에 따른 안전대책.
- 3) 절단후 EDGE의 자세유지 및 탕구의 낙하충격.
- 4) 컨베이어 시스템 이상시 비상조치.

2.3.6) 말단효과장치(TOOL)

- 1) 표준공구의 사용 불가.
- 2) 단위작업시간의 단축을 위한 방법 모색 필요.
- 3) 소모품비 절감.
- 4) 악조건에서의 TOOL 사용에 따른 내구성 문제.
- 5) 교시(Teaching)의 용이성
- 6) 정밀절단을 위한 정밀설계 및 고자유도 필요.

2.4 최적 해결책의 선택(문제의 최적화).

본 시스템에서는 사용자의 요구점 및 절단 자동화와 관련된 제반 문제점을 찾아 분석하고 일반적인 설계조건을 충분히 검토하여 용융절단의 가스 절단법을 적용하면서, 다음과 같이 주요문제를 설계결정 하였다. 특히 WORK는 수차례에 걸친 현장실험과 현장경험을 반영하여 품질을 안정화 시키고, 시스템의 배치 및 조작반의 설계 등은 작업자의 작업피로도를 고려하여 작업자의 요구조건 및 의견을 충분히 고려하였다.

- 1) 내열성 : TOOL과 절단 작업부의 장비에 관련되며 테스트 결과 내열 기준은 TOOL이 약 50°C JIG 장비는 특고온부 400°C, 중고온부 200°C, 저온부 80°C 미만으로 처리하고 특고온부에 집중적 내열 대책 (냉각 및 방열설비)을 세웠다.
- 2) 정밀절단 : TOOL에 5 DOF를 주어 수동 정밀조절이 가능토록 하고, 1mm의 셸팅오차를 갖는 WORK 셸팅(Settng)장비를 사용했다.
- 3) 교시의 용이성 : ROBOT 자체의 인터플레이션 기능 과 TOOL의 절대수평 표시기능을 사강하여 교시가 용이하도록 구성. TOOL의 교정을 위하여 별도의 교정기(SETT'G FIX)를 설계.
- 4) 생산성 향상 : 특수 설계한 공냉식 6토치를 사용하여 6개소 동시절단 방법을 적용.
- 5) 내환경성(본진 등 환경대책) : 기계적 센서 사용, 밀폐 하우스 사용, 집진기 설치, 노출부에 방진 덮개 사용.
- 6) 안전대책 : 경보기 설치, 주작업대에 가스 차단 밸브 설치. 수시 점검이 쉽도록 가스라인은 노출방식 채용, 비상 스위치 및 안전 플러그 증설, 구동부 노출억제, 작업 하우스로 로봇트 작업공간 격리.

- 7) 장비의 유연성 : 각 장비를 독립화하고, 본 장비의 전 후공정이 자동화 되어도 사장되는 장비가 없도록 설계.
- 8) 내구성 : 사용자 및 당사의 현장경험을 바탕으로 새로운 각도에서 설계, 보전의 비중에 따라 안전을 안배.
- 9) 작업성 : 시스템 배치, 주조작반 및 경보기능에 작업자의 의견과 습관 및 설계제약을 고려하여 인간공학적인 설계추구.
- 10)보전성 : 장비의 보전 및 청소를 고려하고, 가능한 부품을 표준화.
- 11)가동율 : 연속 절단을 위하여 2라인으로 분기하고 전자동 작동위에 반자동 및 수동 조작기능 부여.
- 12)TOOL 및 로봇트 충돌보호 : 충돌감지센서 사용.
- 13)절단불량 : 라인상에서 사람이 수작업 절단.
- 14)신뢰성 : 내열성 및 정밀절단에 대해 현장 테스트를 실시하여 결과를 설계에 반영하고, 중량물 이송작업임을 고려 내충격성 등 장비의 강도를 대폭보강.

3. 시스템 구성

본 시스템의 구성은 그림 3.1과 같이 크게 로봇트, 콘베이어 시스템, 가스 시스템, 절단 TOOL 및 시스템 제어장치로 구성되어 있다.

3.1 로봇트 선정

로봇트는 로봇트 작업영역, 가반중량, 작업방법, 로봇트 안정성, 교시(Teaching)의 편리성, 추후 보수유지성 및 내구성을 고려하여 당사의 표준 생산품인 HR - 8608 로봇트를 사용하였다.

3.2 콘베이어 시스템 구성

콘베이어 시스템은 그림 2.2을 바탕으로 그림 3.2와 같이 8개의 장비로 구성하였다. 각 장비의 고열부 및 충격부는 내열·내구성을 보완하였으며, 사람과 ROBOT 사이의 여유공정에 새로운 형의 물러 콘베이어를 사용하였고, 절단후 EDGE를 용기에 흡어 담기 위한 장비를 별도로 설계하였다.

각 콘베이어의 특징은 표 3.1과 같다.

3.3 가스 시스템의 구성

가스시스템은 그림 3.3과 같이 주조작반, SOL V/V BOX, 토치로 구성되며 폭발에 대한 안전성 및 각 토치의

절단조건의 정밀설정을 위하여 별도의 주조작반을 설치하였다.

3.4 TOOL부의 구성

TOOL은 정밀절단 작업 및 6토치 동시절단을 위하여 가장 중요시 되는 부분이다. 가스절단시 STAND-OFF[3], 예열부의 설정, 피어싱(Piercing)에 따른 공구 수명단축, TOOL의 충돌 및 과열에 의한 파손 등, 매우 예민하게 결과가 나타나는 부분으로 최소한 5 DOF의 조정이 가능해야 한다. WORK가 일반 기계가공품과는 달리 주물이라는 특성을 지니고 있고, 좁은 공간에서 표 2.1과 같이 50°이상의 두께를 갖는 3차원 형상의 면을 절단해야 된다는 점과 로봇트의 교시의 편리성을 고려하여 새로운 TOOL을 개발하여 적용하였다.

3.5 제어부의 구성

제어 시스템은 시스템 제어반, 주조작반과 시스템 안전장치로 구성되고, 모드 선택에 따라 자동, 수동, 부분자동의 운용이 가능하도록 설계하여 보전 및 부분고장에 의한 장비 가동율의 저하를 방지 하였다.

3.5.1) 시스템 제어반

그림 3.6과 같이 PLC의해 시스템을 종합적으로 제어하도록 구성하였고, 내환경성을 고려하여 별도의 밀폐공간에 배치하였다. 주요기능은 로봇트와의 인터페이스, 작업물의 자동 이송제어, 절단작업을 위한 가스제어 및 시스템의 이상상태를 점검하여 표시해 주고, 각종 정보를 주조작반에 전송한다.

3.5.2) 주조작반

내환경성과 가스에 의한 위험성 및 시스템의 조작성을 고려하여 주조작반을 별도로 구성하였다. 모든 작업을 종합적으로 운용하도록 가스부, 콘베이어부, 모드 선택부와 표시부로 구성하였다.

3.6 시스템의 동작 개요

시스템의 제어 알고리즘은 그림 3.7과 같고, 시스템의 동작은 다음과 같다.

주물사를 제거한 주물물 BURR 제거작업 대기위치로 이송해 오면, 4 명의 작업자가 단위작업 시간내에 1개 이상의 WORK를 디버링(Deburring)한 후 뒤집어서 공급콘베이어 위에 없고, 작업자는 공급콘베이어의 작동스위치를 누른다. 이렇게 하여 대기콘베이어로 이송된 WORK는 제어 프로그램에 따라 자동적으로 절단위치로 이송되어 절단준비를 완료하고, 로봇트에 의하여 45초 이내에 절단이 완료된다. 로봇트로부터 절단 완료신호가 떨어지면, 작업콘베이어가 작동하고 다음 WORK를 절단 준비

시킨다. 이때, WORK의 이상이나, 로봇의 이상 등에 의하여 WORK의 절단 불량상태가 발생하면, 절단불량감지 센서로 감지하여 경보를 울리게 되고, 동시에 해당 작업콘베이어는 새로운 WORK를 절단준비 시킨 후 작동이 정지된다. 시스템 운전자는 경보발생 즉시 경보 발생라인에 올라가 절단불량 부위를 수동으로 가스절단한다. 불량해제가 완료되면 불량 해제스위치를 누름으로써, 해당 라인이 다시 정상적으로 작동하게 된다. 절단이 완료되어 작업콘베이어로 부터 배출되는 WORK는 탱구부분과 EDGE부분으로 분리되고, 탱구부분은 탱구 취출콘베이어를 타고 이송되어 용기에 담기고 재사용 된다. 또, EDGE부분은 자세를 유지한 채 방출(Unloading)콘베이어로 이송된 후 용기에 흡어져 담기게 된다.

4. 절단 테스트

특고온부의 온도분포, 단위작업시간(Cycle time)의 측정, 절단면의 품질 및 TOOL의 교시성을 파악하기 위해 테스트 절단을 시행하여 본 결과 절단면의 품질은 매우 양호하여 절단후 가우징작업이 필요없고, 절대 수평능과 5 DOF의 정밀조절 기능으로 작업 교시가 매우 용이하였다. 단위작업 시간은 WORK의 예열부의 형상 및 치수의 오차에 따라 다소 차이가 발생하나 평균 42초 정도면 절단이 가능했다. EDGE 및 특고온부의 온도분포는 그림 3.4와 같이 EDGE의 절단면에서 약 20mm 떨어진 부위의 온도분포는 약 300°C까지 상승하였고, 특히 콘베이어의 내측격판 부위는 순간 최고온도가 약 720°C까지 도달하였다. 특히 이 부위는 연속작업에 의해 자연냉각 효과를 기대하기가 어렵고, 실질적으로 평균 유지온도가 400°C를 상회하고 있다. 따라서, 설계시에 고려하였던 온도보다 약 300°C 정도가 더 높으므로 열변형 등의 문제와 내구성 우려되어 강냉식 냉각설비를 추가 설치하였다.

5. 자동화 효과 분석 및 평가

본 시스템의 도입효과는 표 5.1에서 보는 것처럼 노동력 절감, 작업시간 단축, 작업환경 개선, 품질향상, 생산량 증대 등을 통하여 약 30%에 달하는 원가절감을 달성하였고, 파생적으로 각종 유·무형 효과를 가져왔다.

- 1) 경비 절감 : 로봇에 의한 정밀절단을 통하여 가우징공정을 삭제.
- 2) 생산량 증가에 능동대처 : 특수 설계한 TOOL장치를 사용하여 절단시간을 크게 단축.

- 3) 라인 자동화 실현 : 시스템 전체를 라인화 하고, 시작부와 종단부를 유연성 있게 설계하여 향후 전·후공정의 자동화가 가능.
- 4) 절단제품의 품질안정화 실현 : 다음 공정(기계가공)의 안정화에 기여.
- 5) 가스절단 숙련 작업자 불필요.
- 6) 작업환경 및 근무조건 개선 : 가우징 작업이 불필요하므로, 가우징 작업시 발생하는 분진 및 소음 등이 없음.

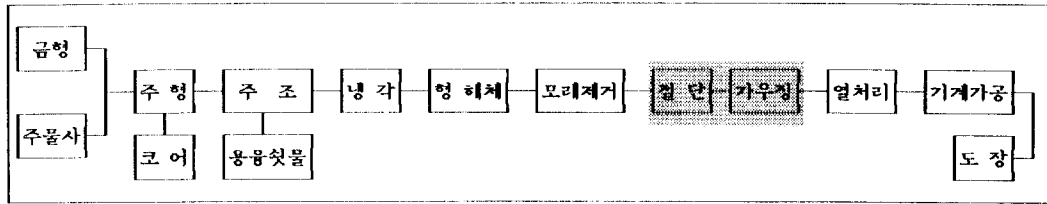
6. 맺음말

본 글에서는, 열악한 작업환경 아래에서, 작업환경을 개선하고, 수작업을 대신하여 자동화에 적용된 로봇 시스템에 대하여, 설계공학적 관점에서 간략히 서술하였다.

향후엔 센서응용 및 주변장비들의 기술발전에 따라, 위험하고 열악한 작업환경에서 사람을 대신하여 작업을 하며, 생산성 향상에 기여할 수 있는 새로운 로봇 시스템의 개발이 확대 되리라 생각된다.

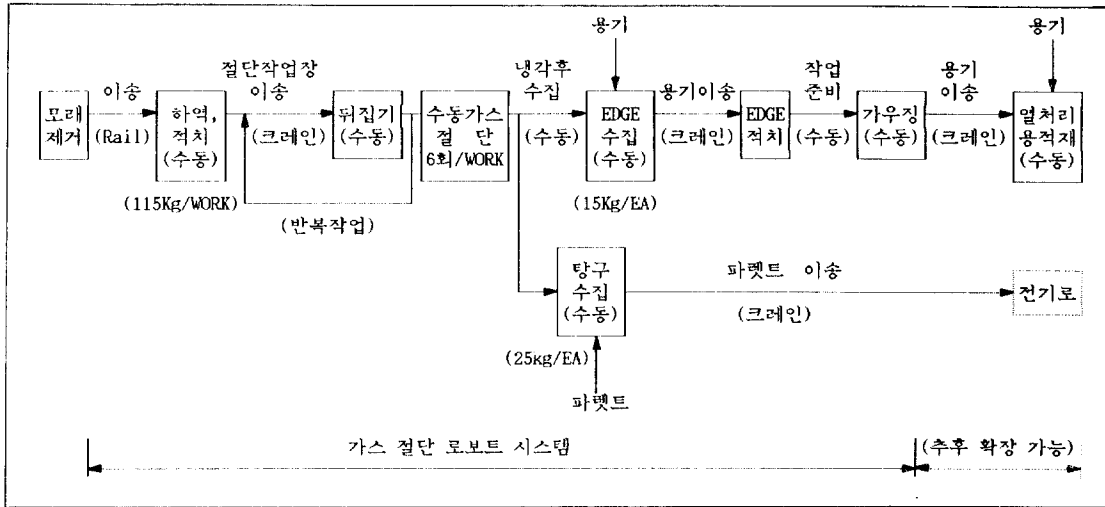
참고 문헌

- [1] 김기홍, "국내 공장자동화의 현황과 대책(중소기업 중심)", '91 로보틱스 및 자동화연구회 WORKSHOP, pp.3-5, 1991.
- [2] 엄영하, "신편 기계공작법", 동명사, pp.13-57, 1988.
- [3] 일본 용접학회, "용접 편람", 丸善(株), pp. 768-770, pp. 696-697, 1977.



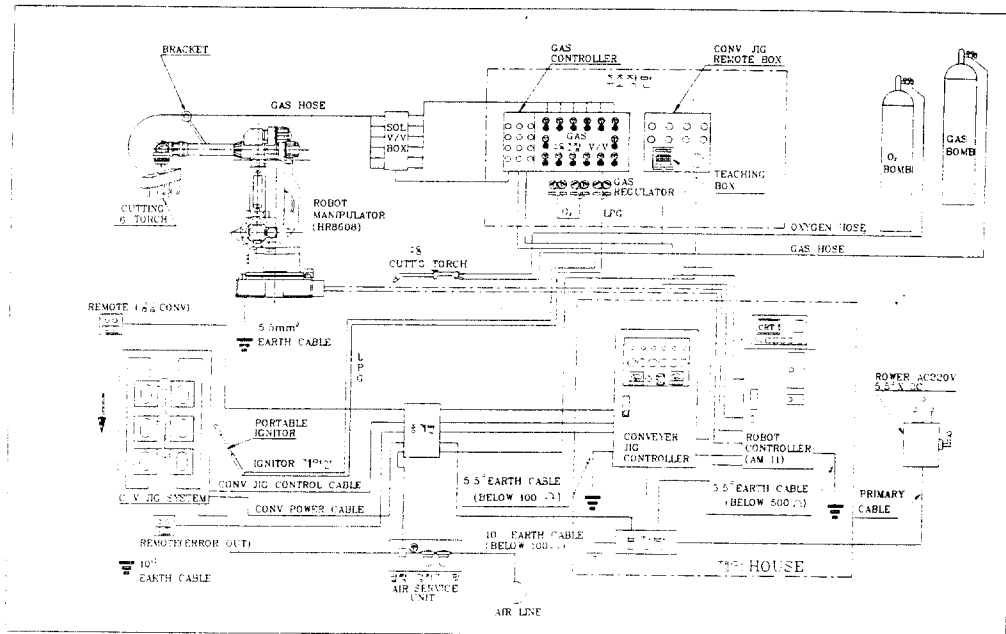
< 그림 2.1 > 콘테이너 EDGE 제조공정

< Fig 2.1 > Container EDGE manufacturing process



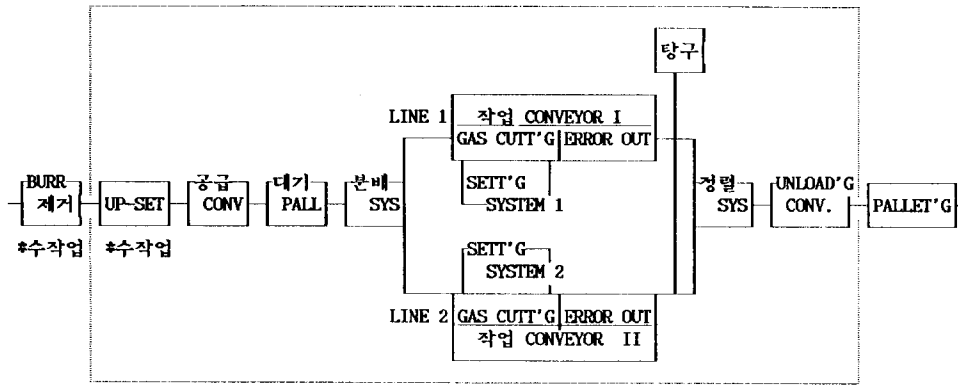
< 그림 2.2 > 수동 가스절단 작업공정 분석도

< Fig 2.2 > Manual gas cutting process block diagram

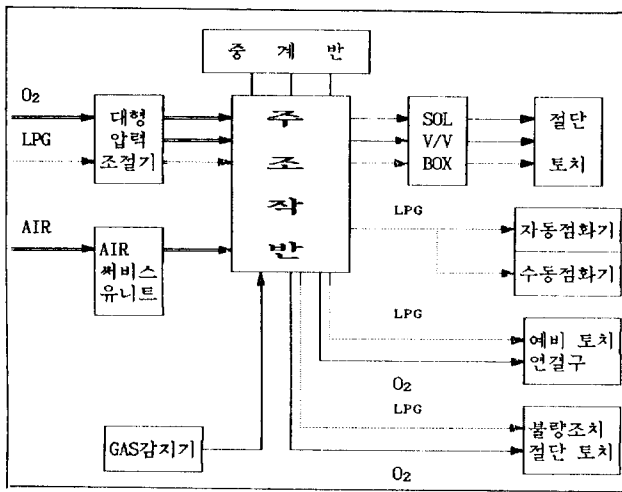


< 그림 3.1 > 가스절단 로봇 시스템 구성도

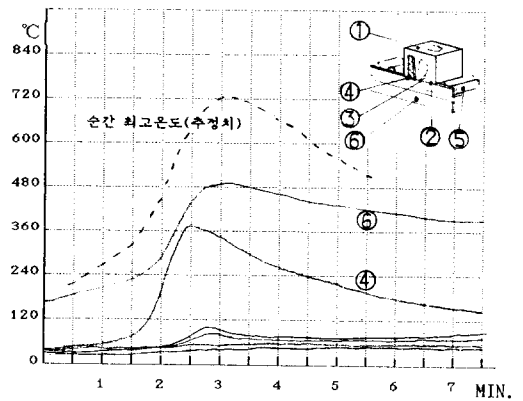
< Fig 3.1 > Gas cutting robot system structure



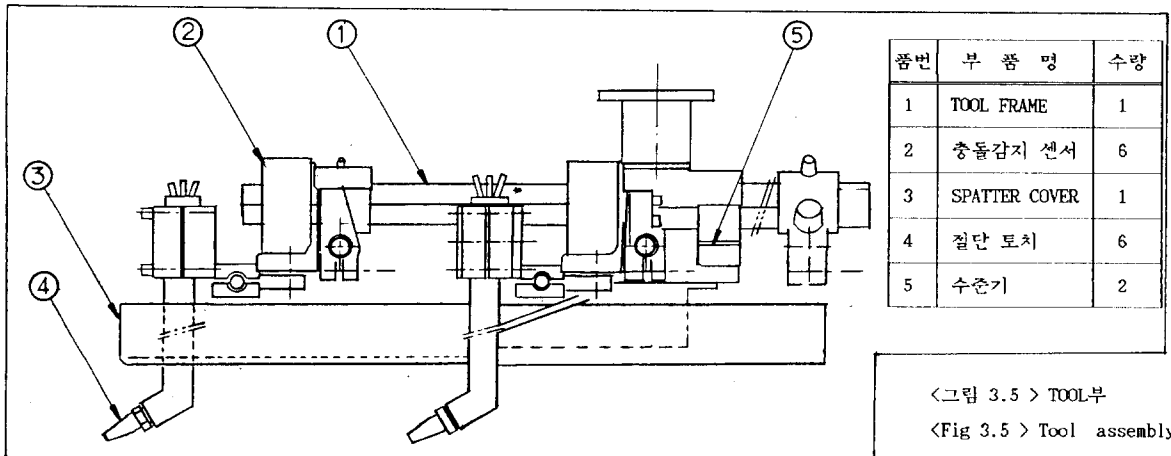
< 그림 3.2 > 컨베이어 시스템의 구성
 < Fig 3.2 > Conveyer system block diagram



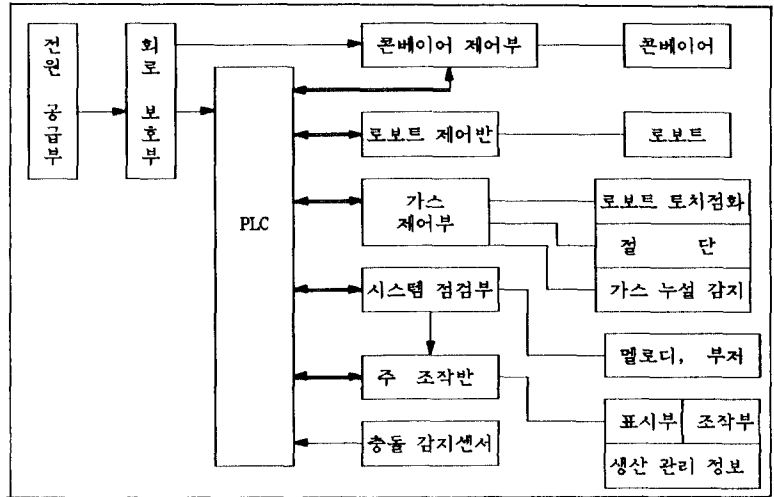
< 그림 3.3 > 가스 시스템의 구성.
 < Fig 3.3 > Gas system block diagram



< 그림 3.4 > 절단부의 온도변화
 < Fig 3.4 > Thermal change of gas cutting part

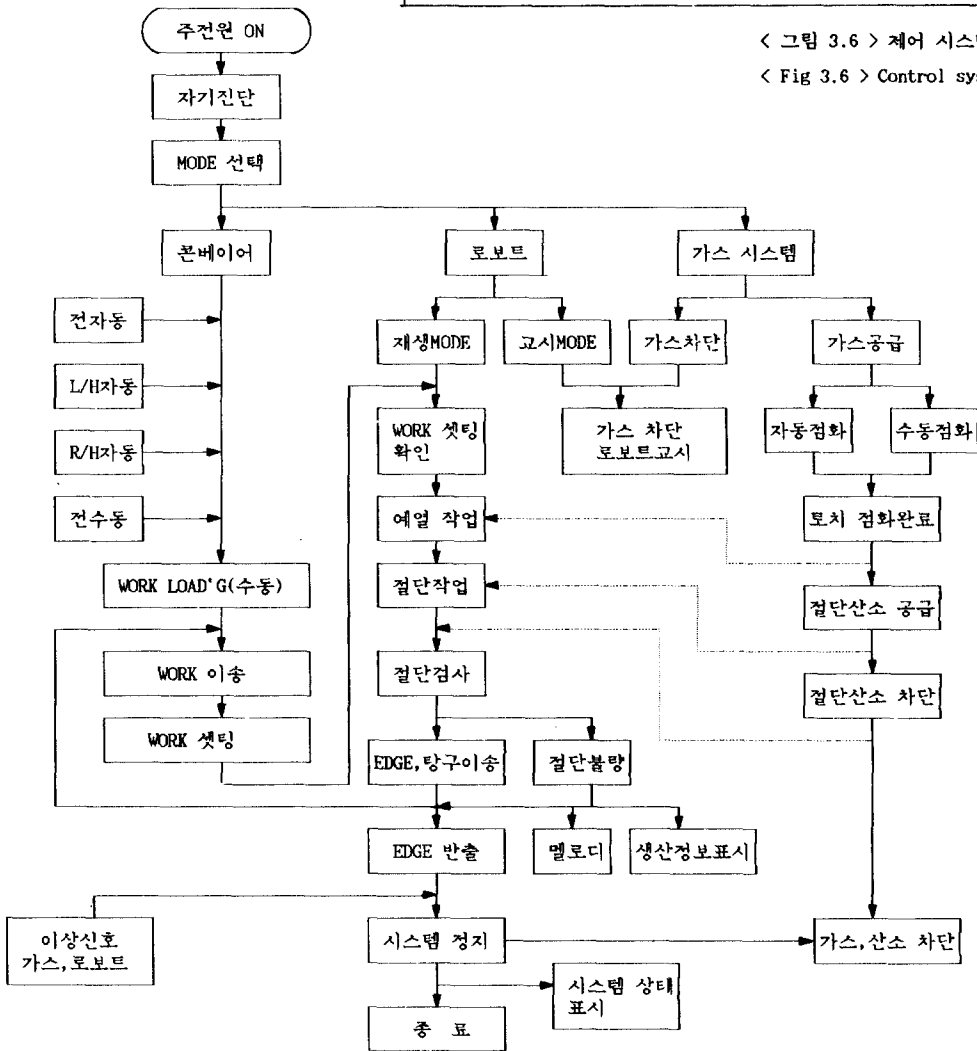


<그림 3.5 > TOOL부
 <Fig 3.5 > Tool assembly



< 그림 3.6 > 제어 시스템 구성도

< Fig 3.6 > Control system block diagram



< 그림 3.7 > 제어 알고리즘.

< Fig 3.7 > Control algorithm

WORK 명칭		CONTAINER EDGE (CORNER CASTING)	
재 질		중탄소강(C:0.23, Mn:1.2, Si:0.3%)	
중 량		115 Kg	
규 격	주물	684 X 433 X 257 mm	
	EDGE	185 X 165 X 124 mm	
작업물 종류	1 종	급형 수량	8 개
절단 기소	6 개소	CYCLE TIME	45 초
절단허용오차	0~1.5 mm	작업물오차	± 2 mm
작업물 형상		절단면 형상	

절단 구분	C / T (초)	작업 인원(명)	가동율 (%)	생산량	
		작업(명) 절 감		EDGE (EA/日)	EDGE (EA/月)
수동 작업	절단가우징	3인 X 3 S 총 9명		약 2,920	약 73,000
		3인 X 3 S 총 9명			
ROBOT 작업	45	6인 X 1 S 총 5명 12 명	70	3,072	76,800

#약어: S;SHIFT (1 SHIFT = 8시간 작업)
#월간 생산목표량 약 7만개

▲ < 표 5.1 > 자동화 전후의 생산성 비교.

< Table 5.1 > Productivity comparison

◀ < 표 2.1 > 작업 사양

< Table 2.1 > Work piece specification

▼ < 표 3.1 > 콘베이어 시스템의 설계 특징

< Table 3.1 > Design individualities of conveyer system

장비명	기능	주요 설계인자	사용방식	롤러 방식	특징	비고	
공급	작업자로 부터 WORK를 공급받음	내충격성, WORK LOAD'G성, 장비 분리성.	수동 ON 수동 OFF 자동 OFF	DGR	인체공학적 높이를 채택, 추후 장비분리 가능	UPSET장비 추가 가능	
대기	사람과 로봇작업 간의 완충역할	불규칙적 반입 규칙적 반출	자동/수동 ON-OFF	DRR	사람과 로봇 작업 간의 불균형 해소		
분배	가동율 향상을 위한 작업라인 분배.	내충격성	자동/수동 ON-OFF	DGR	가동율 향상을 위해 2 라인으로 분리		
작업	EDGE	WORK 반입 EDGE 반출	내열성 동일 간격유지 동기화	자동/수동 ON-OFF	DRR DFR	EDGE의 자세유지	절단불량시 EDGE 흠으러짐 없이 W/P 이송
	탕구 안내	절단탕구 반출	내열성 내충격성 동기화	EDGE CONV와 동기화	SLAT 체인	절단불량시 EDGE를 흐트림 없이 불량 해제 라인까지 탕구물 이송	
	SETT'	정밀 WORK SETT'G	$\Delta X = \pm 1$ $\Delta Y = \pm 0.5$ $\Delta Z = \pm 1$	자동 ON-OFF		정밀 SETT'G	
정렬	EDGE를 흐트림 없이 차례로 모아 다음 장비로 이송	절단탕구와 간섭이 없을 것. 내충격성, 내열성	자동/수동 ON-OFF	DGR	좁은 공간에 COMPACT한 설계		
EDGE OUT	EDGE를 용기에 흠어 담는다	CHUTE의 경사각 및 LIFT'G 각의 선정. 추후 PALLET'G용 로봇 JIG로서의 기능 확장.	자동/수동 ON-OFF 자동 LIFT'G	DGR	EDGE를 고루 흐트림	용기 교체시에도 연속작업 가능	
탕구 OUT	탕구를 용기로 이송	탕구 낙하충격에 대한 내충격, 내열, 내마모성	상시 ON	SLAT 체인	경사 체인 콘베이어	용기 교체시에도 연속작업 가능	

* 주 : DGR : Drived General Roller Conveyor.
DRR : Drived Ratchet Roller Conveyor.
DFR : Drived Friction Roller Conveyor.