

---

**[선박] 선박 제조공정 개선을 위한 제조로봇  
활용모델 개발  
PIPE 절단 작업 로봇 공정모델 개발  
[표준공정모델 매뉴얼]**

---

2022. 12

**한국로봇융합연구원**

---

# 목 차

1. 개요 .....	
1-1. 목적 .....	
1-2. 공정소개 .....	
1-3. 적용대상 .....	
2. 로봇 활용 표준공정모델 .....	
2-1. 공정 분석 .....	
2-2. 로봇 활용 표준공정모델 .....	
2-3. 표준공정모델 실증기준 .....	
3. 기대효과 및 고려사항	
3-1. 기대효과 .....	
3-2. 고려사항 .....	

# 1 개요

## 1-1. 목적

- 실 수요 업체의 요구사항을 기반으로 한 선박 제조 공정 개선을 위한 제조로봇 활용 공정 모델 및 제조 공정 기술 개발을 위한 매뉴얼



## 1-2. 공정소개


### □ 공정 정의

- PIPE 절단 작업은 중대형 조선소 및 의장 PIPE 제작 업체, 특수선 PIPE 제작 업체 등에서 이루어지는 PIPE를 대상으로 자재 가공이 이루어지는 작업으로 산소 플라즈마 절단기를 이용하여 다양한 형상으로 절단하는 공정
- 50A ~ 250A, 두께 20mm, 길이 500mm ~ 6000mm의 배관을 설계 정보(CAD 정보)를 기반으로 대상물 측정과 연계된 정확한 절단 위치정보 획득을 통한 절단 자동화 작업 가능

### □ 공정 선정

- 선박 제조 공정 분야 생산성 향상 및 작업환경 개선을 최종 목표로 수요조사 및 기존 공정 분석, 공정모델 개발, 테스트 베드 구축, 실증/보급사업 연계 4 단계의 세부 목표로 수행
- 수요조사 및 기존 공정분석에서는 실제 수요 기업들을 대상으로 필요 기술 조사 및 환경 분석을 통하여 공정 모델을 선정하고 수요처 환경에 적합한 공정 모델의 로봇 시스템 사양을 정의
- 전국 100여개 선박제조업체를 대상으로 수요조사를 실시하였으며, 조선/해양 플랜트 산업이 밀집해 있는 부산/경남권 업체를 방문하여 제조공정 현황을 조사하고 수요가 높은 9개 분야를 선정

연차	번호	업종 - 공정	작업 현장 사진	공정 설명 및 현재 현황(문제점)
1차년	1	철의장품 가공분야 - Set-up 공정		<p>○ 공정 1 : Set-up 공정 (다품종 소량 생산)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소형/중형 브라켓 가공 전 정리 고위험 업무</li> <li>- 고 중량물을 사람이 직접 다루는 부분의 솔루션 필요</li> <li>- 중형 부재의 경우 후면 가공을 위해 부재의 자세를 조정하는 기술 필요</li> </ul>
	2	철의장품 가공분야 - 소형부재 R/C		<p>○ 공정 2 : 소형부재 R/C 가공 공정</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소형 부재는 작업자가 직접 부재를 옮기고 정리하면서 부재의 R/C가공을 수행</li> <li>- 하루 평균 8시간 가공작업으로 근골격계 질환 예방을 위한 가공 대체공정 필요</li> </ul>

2차년	가공 공정		
	3	용접 분야 - 이동형 용접 공정 	○ 공정 3 : 이동형 용접 공정 - 작업자가 부재를 정리 및 배치하고 수용접을 수행 - 작업자가 이송이 가능하고 다양한 형태와 자세에서 용접이 가능한 용접모듈 시스템 필요
	4	철의장 품 가공 분야 - 중형부 재 R/C 가공 및 턴-오버 공정 	○ 공정 3 : 중형부재 R/C 가공 및 턴-오버 공정 - 중형 부재는 크고 무거워 인력으로 움직일 수 없음. 마그넷 크레인 이용해 옮기고 정리 - 후면 가공을 위해 중형 부재를 뒤집을 경우 고중량이므로 중형 부재 턴-오버 기술 필요
3차년	5	용접 분야 - 용접선 자동인 식 공정 	○ 공정 5 : 용접선 자동인식 공정 - 작업자가 직접 도면을 참고하여 용접부위 육안으로 확인 - 용접작업을 수행할 부위를 자동인식하고 OLP데이터 추출이 가능한 기술 필요
	6	의장 분야 - PIPE 절단 공정 	○ 공정 6 : PIPE 절단 공정 - 제공된 도면을 기반으로 작업자가 PIPE 가공 장치에 치수 입력하여 가공 - 다양한 경우의 형상을 DB화하여 비전문가도 배관절단 가공이 가능한 시스템 필요
	7	의장 분야 - PIPE 형상 인식 공정 	○ 공정 7 : PIPE 형상 인식 공정 - 제공된 도면과 실측을 통해 파이프 크기 및 형상 인지 - 이동, 자중 등 다양한 외력에 의해 형상 변화 유무 판단을 위한 PIPE 인식 및 측정시스템 필요
3차년	8	의장 분야 - 단관취 부를 위한 PIPE 정렬 공정 	○ 공정 7 : 단관취부를 위한 PIPE 정렬 공정 - 파이프 용접을 위해 파이프 간 정렬 필요. - 장치 및 로봇을 이용한 단관취부 정렬 시스템 필요
	9	용접 분야 - 배관 초층 용접 공정 	○ 공정 6 : 배관 초층 용접 공정 - 배관과 배관, 배관과 플렌지의 초층용접을 작업자가 수행 - 용접부 단이 맞지 않을 경우 숙련자의 판단에 의해 PIPE의 자세/위치를 바꾸어 단을 맞춰 용접 수행 - 6축로봇을 이용하여 용접대상물 간 단을 자동으로 최소화 하여 용접을 수행할 수 있는 초층용접 시스템 필요

### 1-3. 적용대상

#### □ 해당공정 적용 업종, 관련 제품군 및 활용 가능 업종

표) 한국표준산업분류표

코드	중분류	코드	소분류	코드	세분류
24	1차 금속 제조업	241	1차 철강 제조업	2411	제철, 제강 및 합금철 제조업
				2412	철강 압연, 압출 및 연신제품 제조업
				2413	철강관 제조업
				2419	기타 1차 철강 제조업
		242	1차 비철금속 제조업	2421	비철금속 제련, 정련 및 합금 제조업
				2422	비철금속 압연, 압출 및 연신제품 제조업
				2429	기타 1차 비철금속 제조업
		243	금속 주조업	2431	철강 주조업
				2432	비철금속 주조업
25	금속 가공제품 제조업: 기계 및 가구 제외	251	구조용 금속제품, 탱크 및 증기발생기 제조업	2511	구조용 금속제품 제조업
				2512	산업용 난방 보일러, 금속탱크 및 유사 요기 제조업
				2513	핵반응기 및 증기보일러 제조업
		252	무기 및 총포탄 제조업	2520	무기 및 총포탄 제조업
		259	기타 금속 가공제품 제조업	2591	금속 단조, 압형 및 분말 야금제품 제조업
				2592	금속 열처리, 도금 및 기타 금속 가공업
				2593	날붙이, 수공구 및 일반 철문 제조업
				2594	금속 파스너, 스프링 및 금속선 가공제품 제조업
				2599	그 외 기타 금속 가공제품 제조업

- 선박제조 분야의 PIPE 절단 공정은 절단 작업이 이루어지는 분야는 널리 사용 가능하며 PIPE뿐만 아니라 앵글, 부등변 앵글, 잔넬, H-빔, I-빔 등의 다양한 자재의 절단 공정에 적용 가능함
- 제공된 도면을 기반으로 작업자가 PIPE 가공 장치에 치수를 입력하여 가공이 가능하며 다양한 형상을 DB화하여 비전문가도 절단 가공이 가능하므로 해당 공정모델을 활용하여 수정, 보완을 통하여 선박제조 분야뿐만 아니라 건설, 자동차 및 소규모 제작품 현장에도 적용 가능함



## 2 로봇활용 표준공정모델

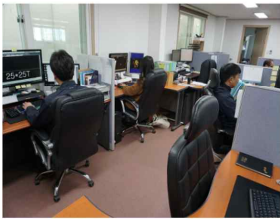
### 2-1. 공정 분석

#### □ PIPE 절단 가공 로봇 공정 분석

##### (1) PIPE 절단 가공 로봇 공정

##### ○ 공정 흐름도

###### 1. 도면 입력



###### 2. 자재 이송



###### 3. 절단부 마킹



###### 4. 튜브 절단



그림) PIPE 가공 작업 공정 흐름도

##### ○ 공정 구조

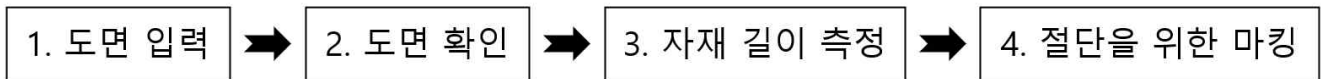


그림) PIPE 절단 공정 전 자재 인식 및 마킹 공정(작업자 수동 작업)

- ① PIPE를 절단을 위한 도면 입력
- ② 입력된 도면 확인
- ③ 가공할 자재 길이 측정
- ④ 절단 피스 별 도면 정보 수작업 마킹

#### □ 공정 문제점 및 개선 필요성

## ○ 현재 공정 문제점

## (1) 수작업으로 인한 긴 공정시간

- 자재가 입고된 이후 실제 절단 혹은 가공작업이 이루어지기 전에 절단을 위한 작업자의 수작업 마킹과 인력기반 자재 투입 및 파이프 척 고정 공정이 이루어짐에 따라 인력 및 시간이 많이 소요됨.

## (2) 부정확한 마킹 정보로 인한 품질 문제

- 마킹 작업을 수작업으로 이루어짐에 따라 작업자의 숙련도, 작업 공구종류 및 상태(석필 혹은 페인트 펜 등)에 따라 마킹 정보가 오기재 될 수도 있어 후 공정에 오작 발생의 원인이 되며, 이로 인한 재제작, 품질 저하 문제 발생시킴.

## (3) 다양한 형상 절단 불가능

- 현재 인력 기반의 톱 절단 혹은 플라즈마 절단의 경우 수직 절단만 가능하며 수작업 가스 절단의 경우 작업의 정도 관리가 어려우며 절단 품질이 낮음.



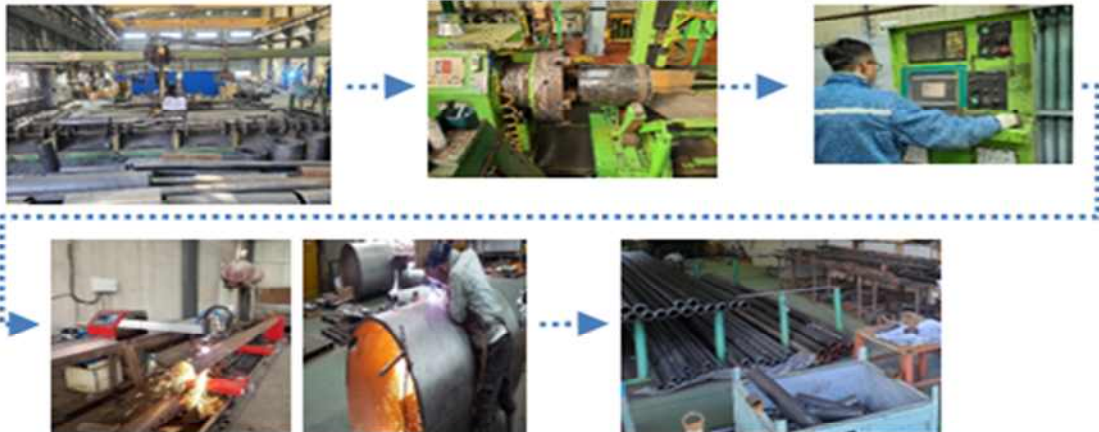
## ○ 개선 요구사항

- 공정시간 단축 및 인력 감소를 위한 자재 자동 투입을 통해 절단 작업이 이루어지는 공정모델 개발 필요
- 부정확한 마킹 정보로 인한 품질 저하 문제를 해결하기 위해 배관 설계 정보 (CAD 정보)를 기반으로 대상물 측정과 연계된 정확한 절단 위치정보 획득을 통해 절단 작업수행이 가능한 시스템 개발 필요
- 플라즈마 절단 기술을 기반으로 한 절단 품질의 최적 DB 구성 필요
- 수직 절단뿐만이 아닌 높은 절단 품질을 가진 다양한 형상으로 절단 가능한



## 시스템 개발 필요

### ✓ 공정흐름도



### ✓ 공정개선



- CAD 연동, 플라스마 절단, 개선 절단, 길이방향 부재 변형 센싱 등을 통한 생산성, 생산 품질 향상

## 2-2. 로봇 활용 표준공정모델

### □ 표준공정모델 개요

표) 표준공정모델 개선

구분	치수 측정	도면 확인	마킹 작업	자재 투입	피스 절단
As-Is	수동	수동	수동	수동	수동
To-Be	자동	DB 데이터	생략	자동	로봇

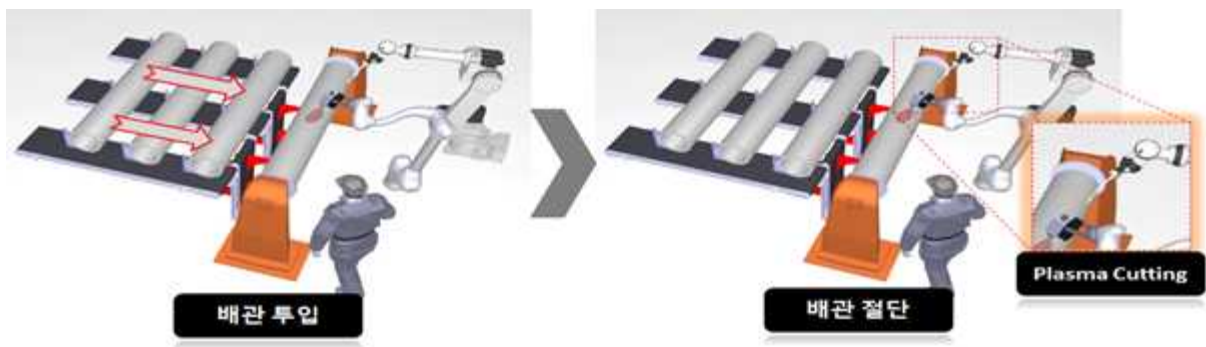


그림) PIPE 절단 공정 도입 솔루션

- 기존 공정은 실 절단 작업이 이루어지기까지 사전에 크게 (자재 치수 측정) → (도면 확인) → (마킹작업) → (자재 투입) → (피스 절단) 5단계로 이루어지며 모두 수동 과정이 필요했으나 제안하는 공정모델을 활용할 경우 DB 데이터를 활용한 도면 확인 및 마킹 작업이 생략되어 (치수 측정) → (자재 투입) → (피스 절단) 3단계로 이루어질 수 있음.
- 제안하는 표준공정모델에서는 기존의 수작업으로 이루어지는 치수 측정과 자재 투입의 경우 자동 치수 측정장치와 자동 자재 투입장치를 이용하여 자동으로 작업이 가능하도록 함.
- DB 데이터와 경로생성 매크로를 활용하여 로봇의 작업 궤적 자동 생성
- 플라즈마 절단 토치 진입 불가 영역 자동 판단으로 작업 능률 향상

## □ 시스템 구성

표) 표준공정모델 시스템 구성안

H/W	사 양	필요 기능
로봇	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 타입: 6축 다관절로봇 산업용 로봇</li> <li>- 축 자유도: 6-axis</li> <li>- 가반하중: 6kg</li> <li>- 반복정밀도: <math>\pm 0.05\text{mm}</math></li> <li>- 작업반경: 1,425mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작업반경 내에서의 반복정밀도 유지</li> <li>- 제어시스템과의 S/W 호환성</li> <li>- 주어진 작업환경 (온/습도 등)에서의 내구성</li> </ul>
플라즈마 절단기	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 출력 전류 :30 ~ 105A</li> <li>- 절단 용량 두께 : 32 ~ 38mm</li> <li>- 절단 속도 : 500 ~ 250mm/min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고출력의 플라즈마 절단기 필요</li> <li>- 조선소에 사용되는 자재의 두께를 고려하여 수용 가능한 절단 두께 필요</li> </ul>
스케일 실린더	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용 유체 : 공기</li> <li>- 최대 사용압력 : 1.0MPa</li> <li>- 스트로크 길이의 허용 공차 범위 : 0 ~ 1.0mm</li> <li>- 분해능 : 0.1mm</li> <li>- 소비 전류 : 50mA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정밀한 자재 길이 측정을 위한 고분해능</li> <li>- 스트로크 길이의 짧은 허용 공차 범위</li> </ul>
서보 모터	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정격 용량 : 1kW</li> <li>- 최대 토크 : 14.3Nm</li> <li>- 정격 속도 : 2000rpm</li> <li>- 전원 : 200V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자재 투입을 위한 고토크</li> <li>- 자재 길이 측정을 위한 엔코더</li> </ul>
산업용 컴퓨터	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PCI-Motion Card : 4Axis Motion</li> <li>- PCI-I/O Card : 64ch Input/Output</li> <li>- 전원 : 100 ~ 240V</li> <li>- CPU : Intel 6<sup>th</sup> Celeron G3900</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 서보 모터 구동을 위한 4축 모션 일체형 보드</li> <li>- GPIO 신호 송수신을 위한 일체형 보드</li> </ul>
제어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전원 : 440VAC/380VAC to 220VAC</li> <li>- 통신 : ETHERNET</li> <li>- 입출력 : NPN 입출력(24VDC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 설치 공장의 전원을 고려하여 T/R을 포함</li> <li>- ETHERNET 스위칭 기능 포함</li> <li>- 입출력제어를 위한 인터페이스 포함</li> </ul>

## □ 시스템 상세 구성 및 스펙

표) 시스템 상세 구성 및 사양

1. 로봇(Industrial Robot)	사양 정보	
	범주	Industrial Robot
	가반중량	6kg
	로봇반경	1,425mm
	통신방법	TCP/GPIO
	운영방식	Handling
	수량	1대
2. 플라즈마 절단기	사양 정보	
	범주	Plasma Cutter
	출력 전류	30 ~ 105A
	절단 두께	32 ~ 38mm
	절단 속도	500 ~250 mm/min
	수량	1대
3. 스케일 실린더	사양 정보	
	범주	Scale Cylinder
	최대 사용압력	1.0MPa
	소비전류	50mA
	분해능	0.01mm
	수량	2대
4. 산업용 컴퓨터	사양 정보	
	범주	PC
	Motion-card	4Axis Motion
	I/O card	64ch Input/Output
	전원	100 ~ 240V
	수량	1대

5. 서보 모터	사양 정보	
	범주	Servo Motor
	정격 용량	1kW
	정격 속도	2000rpm
	전원	200V
	수량	5대
6. 제어 시스템	사양 정보	
	범주	제어 시스템
	전원	440VAC/380VAC to 220VAC
	통신	ETHERNET
	입출력	NPN 입출력



## □ 공정 설계도

## ○ 공정설계안(PIPE 절단 공정)

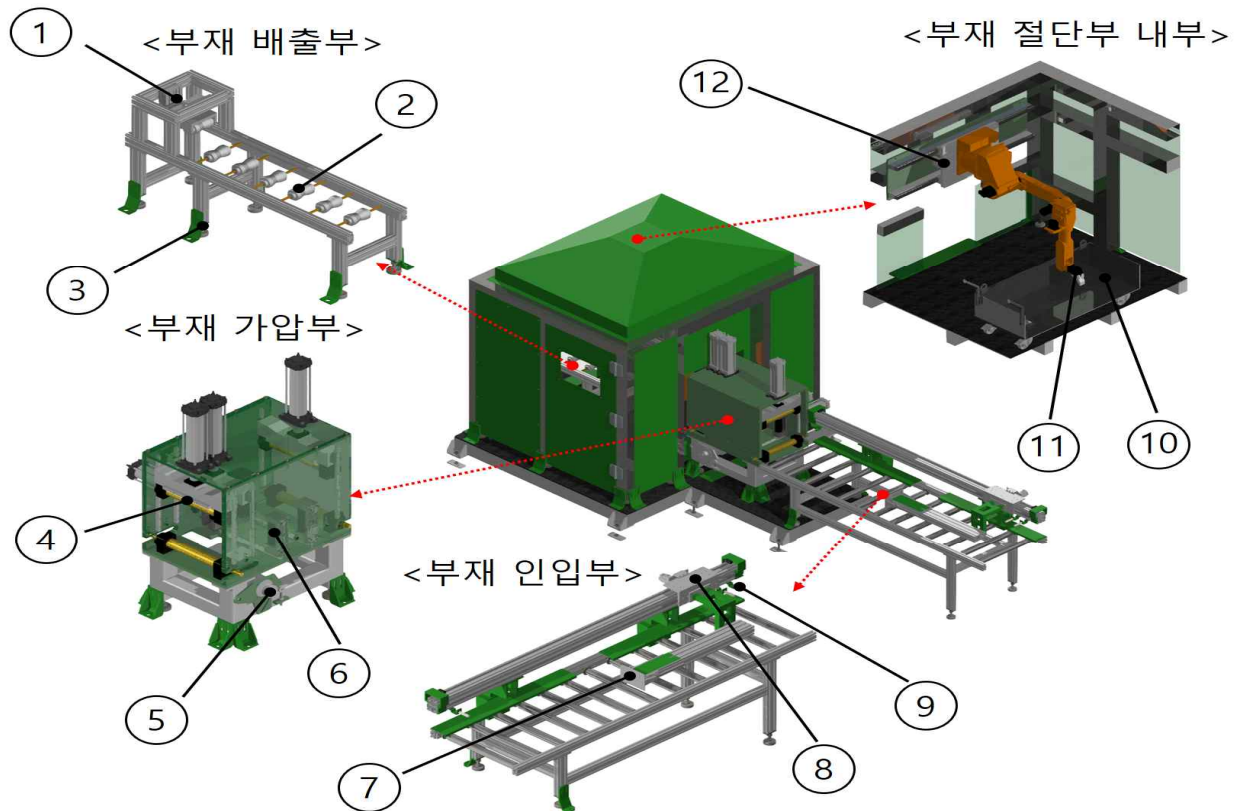


그림) PIPE 절단 작업 로봇 공정모델 구성

표) 전체 시스템 품명 및 용도

순번	품명	용도
1	(EXPORT CONVEYOR) PIPE PRESSURE ROLLER	(배출 컨베이어) 부재 가압용
2	(EXPORT CONVEYOR) ROLLER	(배출 컨베이어) 부재 배출
3	(EXPORT CONVEYOR) LEVELER	(배출 컨베이어) 레벨 조절
4	[PRESSURE CONVEYOR] VERTICAL PRESSURE ROLLER	(가압 컨베이어) 부재 수직 가압
5	[PRESSURE CONVEYOR] TENSIONER	(가압 컨베이어) 구동 체인 인장력 조절
6	[PRESSURE CONVEYOR] HORIZONTAL PRESSURE ROLLER	(가압 컨베이어) 부재 수평 가압
7	(IMPORT CONVEYOR) SCALE CYLINDER	(투입 컨베이어) 부재 길이 및 위치 측정
8	(IMPORT CONVEYOR) SCALE CYLINDER MOVING PARTS	(투입 컨베이어) 스케일 실린더 운송 장치
9	(IMPORT CONVEYOR) PROXIMITY SENSOR	(투입 컨베이어) 운송 장치 스트로크 제한
10	(CUTTING BOOTH) CART	(절단 부스) 잔재 이송용

11	(CUTTING BOOTH) PLASMA WELDING TORCH	(절단 부스) 플라스마 용접 절단용
12	(CUTTING BOOTH) INDUSTRIAL ROBOT	(절단 부스) 플라스마 용접 절단용 로봇
13	(CUTTING BOOTH) 1-AXIS ROBOT	(절단 부스) 플라스마 용접 절단용 로봇 이송

※ 작업 시작 전 측정 시스템 홈 위치 확인

- ① 작업자가 도면 입력프로그램을 활용한 도면 생성 및 등록
- ② 작업자가 도면 조회 후 절단할 피스 혹은 블록 등록
- ③ 절단 자재 투입 컨베이어에 위치 후 대기자재 투입 버튼 ON
- ④ 작업자 측정 시스템 홈 위치 확인 후 공정 시작 버튼 ON
- ⑤ 투입 자재 홈 위치까지 투입 컨베이어와 측정 시스템 동작
- ⑥ 투입 자재 홈 위치 시 자재 가압 시스템 작동하여 자재 고정
- ⑦ 측정 시스템의 스케일 실린더를 이용해 투입 자재의 길이 측정
- ⑧ 투입 컨베이어와 측정 시스템을 이용해 투입 자재를 절단 기준 위치까지 정밀하게 이동(홈 위치에서 90mm 이동 →  $\pm 0.9\text{mm}$  오차 범위 내에 들어올 때까지 10회 반복)
- ⑨ 10회 반복 후  $\pm 0.9\text{mm}$  오차 범위를 벗어날 시 작업자에 자재 재투입 신호 전송
- ⑩  $\pm 0.9\text{mm}$  오차 범위 내에 들어올 시 투입 컨베이어와 측정 시스템 정지 및 배출 장치를 이용해 절단 자재 고정을 위한 가압
- ⑪ 같은 규격의 자재마다 생산 오차 발생으로 인한 로봇 가공 기준점 교정
- ⑫ 기준점 교정 후 산업용 로봇 홈 위치 이동
- ⑬ 입력된 도면 기반으로 로봇 절단 경로생성 매크로를 활용한 절단 작업수행
- ⑭ 배출장치를 이용하여 절단 피스 배출

## □ 운영 시나리오

- 표준모델 공정 설계에 따른 운영시나리오 시뮬레이션을 위해 Delphi S/W를 이용하여 검증

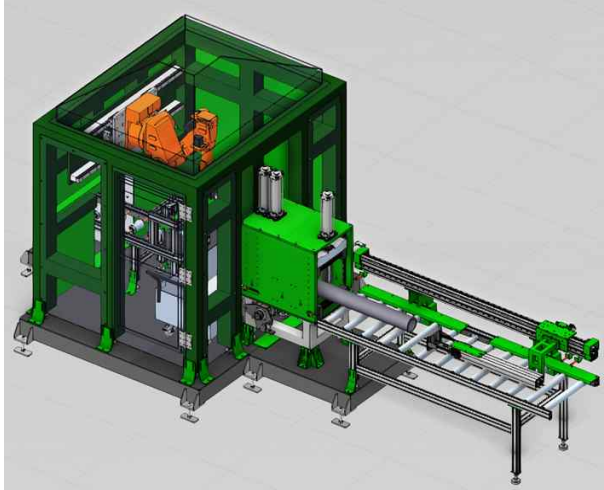


그림) Delphi 소프트웨어 활용

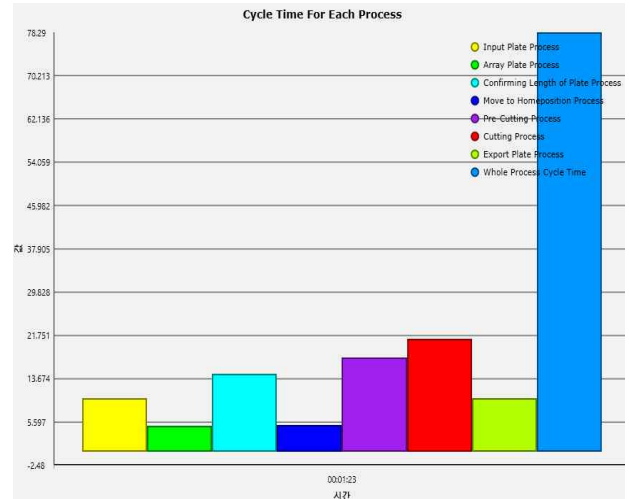


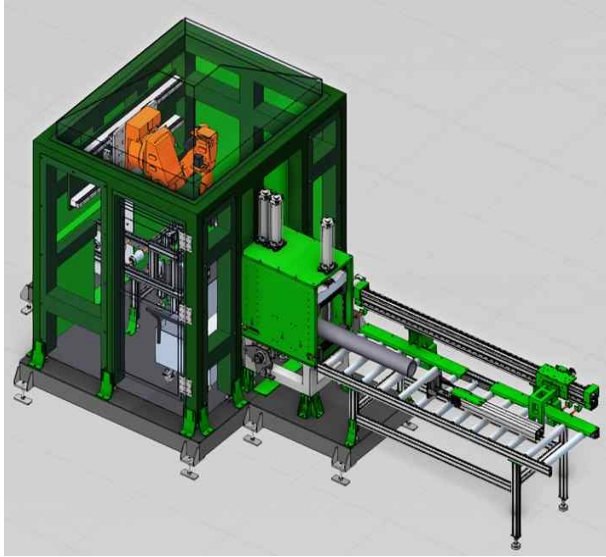
그림) 각 공정 별 소요 시간

- PIPE 절단 공정을 위한 운영 시나리오를 정의하였고, 이를 기반으로 표준모델 공정에 대한 시뮬레이션을 진행

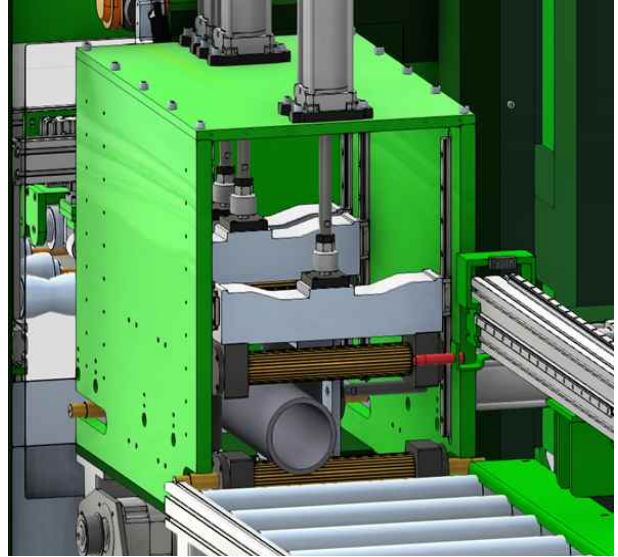
- ① 크레인에 의한 자재 투입 컨베이어에 위치 및 절단 자재 투입
- ② 공압 실린더에 의한 상부, 측면 롤러 가압 후 투입 자재 고정 및 부재 위치 조정
- ③ 스케일 실린더를 이용한 정밀한 자재 길이 확인
- ④ 구동 컨베이어와 스케일 실린더를 이용한 자재 절단 홈 위치로 이동
- ⑤ 산업용 로봇에 의한 PIPE 절단(최적 모션 JOB 생성, 플라즈마 절단기 ON)
- ⑥ 절단 종료 후 배출 컨베이어 또는 배출통을 통해 자재 배출
- ⑦ 투입 자재의 길이만큼 공정④ ~ 공정⑥ 반복 수행
- ⑧ 투입 자재의 길이만큼 절단 종료 시 작업자에게 자재 재투입 신호 전달



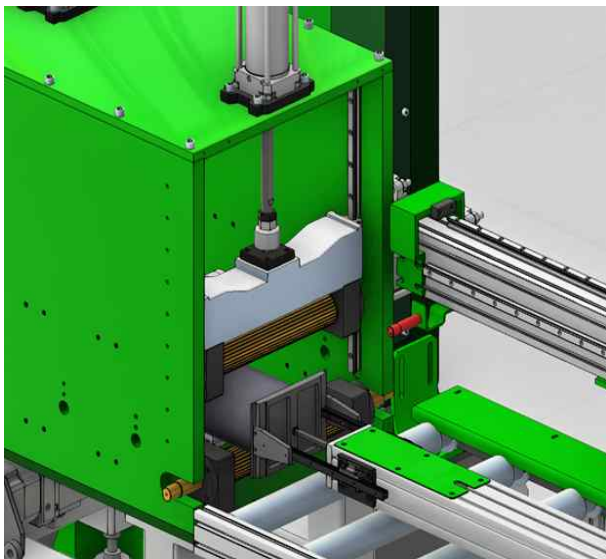
1. 구동 컨베이어에 의한 형강 절단 부재 투입



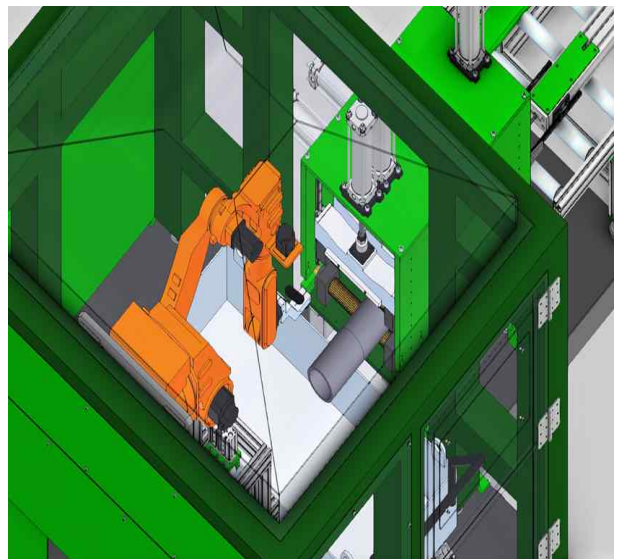
2. 공압 실린더에 의한 상부, 측면 롤러 가압 및 부재 위치 조정



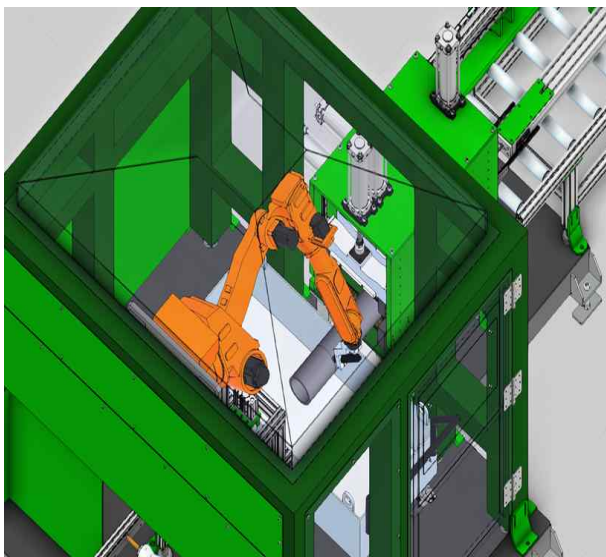
3. 스케일실린더로 자재 길이 확인



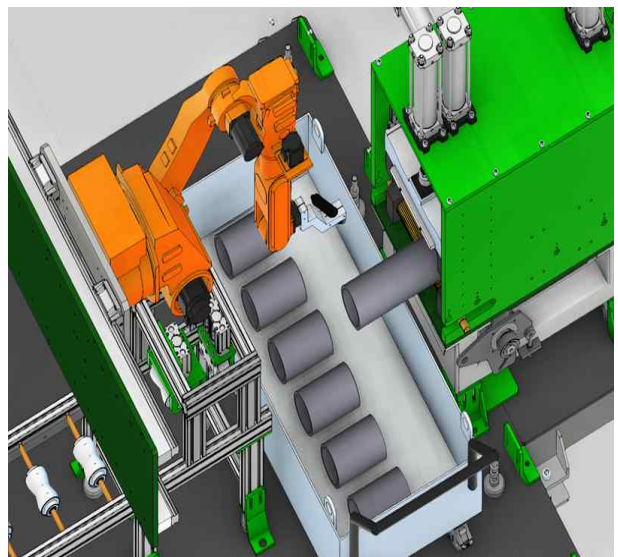
4. 구동 컨베이어에 의한 홈 위치로 자재 이동




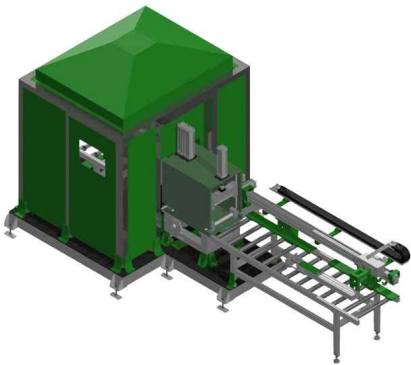
5. 산업용 로봇에 의한 부재 플라즈마 절삭



6. 구동 컨베이어 또는 배출통을 통해 부재 배출



## 2-3. 표준공정모델 실증기준

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [파이프(플라즈마) 절단 로봇공정모델]					
산업 분야	선박	대상업종 (산업분류코드)	선박 및 수상 부유 구조물 건조업(C3111)	적용공정	가공 (플라즈마 절단)
공정 소개	공정 정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>수작업 가스절단, 반자동 장비 등으로 이루어지고 있는 절단 작업을 플라즈마 절단 및 로봇 시스템 활용으로 다양한 형상의 3차원 절단을 수행할 수 있는 공정</li> </ul>			
	핵심(부) 기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>피절단물의 투입, 형상측정, 이송, 배출, 절단</li> <li>피절단물의 특징에 맞는 플라즈마 절단 특성 반영 절단</li> <li>피절단물의 각 Piece 별 가공 치수, 길이 확보를 위한 계측 시스템</li> <li>피절단물 형상, 길이에 따른 자동 Nesting 기능</li> </ul>			
	핵심 구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장 적용 가능형 투입/배출/절단 하드웨어 구성</li> <li>10M 길이 작업 부재 대상 스케일 실린더 활용 길이 측정 시스템</li> <li>6축 다관절 로봇 활용 플라즈마 절단 가능한 EOAT</li> <li>작업부재별, 사이즈별 절단 품질 확보를 위한 데이터 DB화</li> <li>작업부재 변형 대응을 위한 기준점 교정 기능</li> <li>다양한 형상 절단을 위한 작업자 절단 형상 입력 프로그램</li> <li>자동작업, 수동 조작 가능한 로봇 시스템 운영 프로그램</li> </ul>			
	핵심 성능	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라즈마 절단 특성 고려한 로봇 OLP 프로그램 작성</li> <li>플라즈마 특성 변수(Kerf 각도, Kerf 폭, Arc Starting Point 등) 파라미터화</li> <li>로봇 + 추가 4축 연동 구동을 위한 전기적/기계적 인터페이스 통일</li> <li>산업용로봇 활용 및 플라즈마 절단 흠(Fume) 발생에 따른 절단 부스 설계</li> <li>절단 흠(Fume) 제거를 위한 집진 시스템</li> <li>작업 이력 관리를 위한 생산성 분석 DB 및 시스템 구축</li> <li>작업 부재 자체 변형 보정을 위한 가압 시스템 및 센서 시스템 설계</li> </ul>			
	필요성/효과	<p>[필요성]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>수작업시 별도의 도면확인 마킹 작업이 선행되어야 함에 따라 생산성 낮음</li> <li>가스절단활용시 유지비가 낮음 반면 절단 시 열변형 및 절단면 품질이 좋지 않음</li> <li>절단 작업 시 불안정한 작업자세에 따른 작업자 근골격계 부상 및 안전사고 발생 위험성 높음</li> <li>절단 작업 자체가 작업자의 숙련도에 의존하게 되어 절단 품질 불균일</li> </ul>		<p>[도입효과]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>절단 품질 향상</li> <li>절단 불량률 감소</li> <li>별도 도면확인, 마킹 공정 제외 가능함에 따른 생산성 향상</li> <li>외산장비 대체에 따른 기업의 장비 도입 비용 절감</li> <li>작업자 근골격계 질환 예방</li> </ul>	
	구분	Before		After	
	레이아웃				
	작업순서	작업부재 입고 → 작업부재 배열 → 도		작업부재 입고 → 작업부재 로딩 → 절	



		면확인 → 절단부 마킹 → 가스절단 → 절단 품질 검사 → 제품 언로딩 및 적재	단 정보 입력 → 자동절단(플라즈마) → 절단 품질 검사 → 제품 언로딩 및 적재
적용로봇 사양	로봇 종류	산업용로봇	
	가반 하중	~6kg	
	작업 반경	~1,394mm	
	투입 대수	20,000천원	
	기타	1대	
주변 설비 사양	가공 부스	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 산업용로봇 안전 장치 포함 가공 부스</li> <li>■ 플라즈마 절단 및 홈 집진을 위한 부스</li> </ul>	
	플라즈마 절단기	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 공기 플라즈마 절단기</li> <li>■ 입력전압: 220-600V, 3-PH, 50/60Hz</li> <li>■ 출력전류: 30-105A</li> <li>■ 정격출력: 16.8kW</li> <li>■ 절단두께: 32-38mm</li> <li>■ 절단속도: 500-250mm/분</li> </ul>	
	투입 장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 자재 자동 투입 장치</li> <li>■ 서보모터</li> <li>-설비용량: 0.9kVA</li> <li>-정격출력/토크: 400W/1.3N·m</li> <li>-정격회전속도: 3000r/min</li> <li>-최대회전속도: 6000r/min</li> <li>-정격전류/최대전류: 0.9/3.2A</li> </ul>	
	자재 길이 측정 장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 투입 자재 길이 확인</li> <li>■ 스케일 실린더</li> <li>-사용유체: 공기</li> <li>-보증내압력: 1.5MPa</li> <li>-최고사용압력: 1.0MPa</li> <li>-사용 피스톤속도: 50-300mm/s</li> <li>-입력전압: 10.8-26.4V</li> <li>-소비전류: 50mA</li> <li>-출력형식: 오픈콜렉터(DC24V, 40mA)</li> <li>-분해능: 0.01mm</li> <li>■ 서보모터</li> <li>-설비용량: 17VA</li> <li>-정격출력/토크: 1kw/14.3N·m</li> <li>-정격회전속도: 2000r/min</li> <li>-최대회전속도: 3000r/min</li> <li>-정격전류/최대전류: 5.6/17.4A</li> </ul>	
	자재 가압 장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 자재 플라즈마 절단 전 좌우, 상하 고정을 위한 가압 장치</li> <li>■ 구동방식: 공압식</li> <li>■ 솔레노이드 밸브 전압: 24V</li> </ul>	
	로봇 수평축 이동 장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 로봇 작업 범위 확보 장치</li> <li>■ 서보모터</li> <li>-설비용량: 17VA</li> <li>-정격출력/토크: 1kw/14.3N·m</li> <li>-정격회전속도: 2000r/min</li> <li>-최대회전속도: 3000r/min</li> <li>-정격전류/최대전류: 5.6/17.4A</li> </ul>	
	충돌 방지 장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 로봇 동장 중 충돌 방지를 위한 쇼크 센서</li> <li>■ 구동 전압: 24V</li> </ul>	

	적재 장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 절단 완료 피스 적재함</li> </ul>
	배출 장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 절단 자재 고정 척</li> <li>■ 고정 실린더               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구동방식: 공압식</li> </ul> </li> <li>■ 서보모터               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설비용량: 17VA</li> <li>- 정격출력/토크: 1kw/14.3N·m</li> <li>- 정격회전속도: 2000r/min</li> <li>- 최대회전속도: 3000r/min</li> <li>- 정격전류/최대전류: 5.6/17.4A</li> </ul> </li> </ul>
	절단 로봇 시스템 제어기	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 로봇 활용 다축 제어 및 절단 시퀀스 구동을 위한 제어기</li> <li>■ 모션 카드 및 GPIO 카드 포함 산업용 PC               <ul style="list-style-type: none"> <li>- IPC-610MB-00LD</li> <li>- FSP500-70AGB [ATX-500W/ 100~240V]</li> <li>- IMB-792 :</li> <li>- CPU : Intel 6th Celeron G3900 2.8GHz &amp; CPU FAN</li> <li>- RAM : DDR4 4GB Dimm * 2EA [8GB]</li> <li>- SSD : Transcend SSD230S 512GB 2.5" &amp; SSD RACK</li> <li>- ODD : DVD-MULTI SATA LG 블랙</li> <li>- PCI 4Axis Motion 일체형 Board</li> <li>- 64ch Input DI 일체형 Board</li> <li>- 64ch Output DO 일체형 Board</li> </ul> </li> </ul>
로봇도입 핵심 고려사항		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 절단 형상 사전 입력 프로그램 이용 입력</li> <li>■ 공장 내 네트워크 환경 구축 및 작업 이력 관리를 위한 추가 작업 필요</li> <li>■ 입력프로그램 내 지정 절단 매크로 절단</li> <li>■ 타 로봇 시스템 이용 개발 시 적용 불가 가능성 높음</li> <li>■ 집진설비 필수 (플라즈마 절단에 따른 필수 조건)</li> <li>■ 인입 컨베어, 배출 컨베어, 절단 부스 간 Leveling 중요</li> <li>■ 현장 설치 이후 플라즈마 특성 반영을 위한 절단 테스트 추가 필요 ■</li> </ul>
소요예산		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 총사업비 270백만원 내외</li> </ul>
작성처		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 한국로봇융합연구원 홍성호 선임연구원 (☎ 054-240-2521)</li> </ul>

### 3 기대효과 및 고려사항

#### 3-1. 기대효과

□ 표준공정모델 적용에 따른 기대효과

◎ 정량적 효과

1) 노동 생산성 향상

표 ) 기존 공정 및 공정 모델 적용 공정 비교

순번	항목	기존 공정	공정 모델 적용 공정
1	생산시간/개	120초(2분)	83초(1분23초)
2	일간 생산량	240개	346개
3	공정 이윤/개	1,000원	
4	이윤 합계	240,000원	346,000원
5	이윤 증가액/1일	106,000원	
6	이윤 증가액/1주	530,000원	
7	이윤 증가액/1개월	2,120,000원	
8	이윤 증가액/1년	25,440,000원	

2) 자산 비용 절감

가) 기존 형강 절단에는 여러 작업자가 동시에 투입되지만 기준을 명확히 하기 위해 1명의 작업자가 작업하는 시간 및 비용으로 계산을 함. 따라서 작업자는 1명으로 가정.

나) 공정 모델 적용 후, 작업자가 필요 없어지므로 인원 감축이 가능함.

다) 하루 8시간, 주 5일의 월 근로시간과 주휴시간 35시간을 포함하면 총 작업자가 근무하는 시간은 209시간으로 계산됨.

라) 2022년 11월 29일 기준 최저 임금은 9,160원이며 작업자 1명의 월급은 1,914,440원으로 계산됨

마) 연간 절감되는 금액은 총 22,973,280원임.

3) 직/간접 비용 절감

1) 직접 비용

가) 구축 인건 비용 : 전자, 통신, 제어 구축에 필요한 인건비 약 500만원

2) 일회성 간접 비용

나) 자본 비용 (자산 구매 비용) : 공정 모델은 그림과 같이 구성되며, 각 단가는 표와 같음

## 3) 지속성 간접 비용

다) 교육, 유지관리와 지원비용 : 로봇 교육 및 유지보수비용 연간 200만원

표) 항목별 금액 표

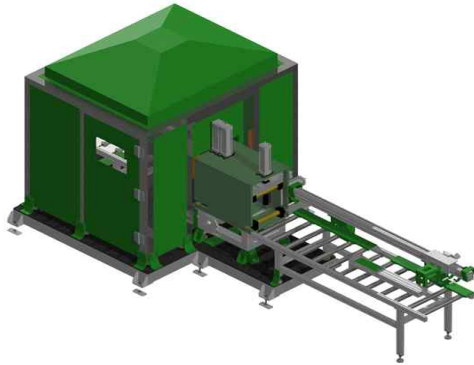


그림) 전체 공정 구성도

순번	항목	금액
1	산업용 로봇	40,000,000
2	인입, 배출, 가압 컨베이어	30,000,000
3	전장박스	3,000,000
4	스케일실린더 및 이송장치	3,000,000
5	플라즈마 절단 툴	3,000,000
6	제어시스템	10,000,000
7	기타 기구류 일체	2,000,000
합계		91,000,000

표) Return flow 분석 표

Benefit flow				
BENEFIT DRIVERS	YEAR			
	0	1	2	3
유형 효과(Tangible Benefits)				
1. 노동 생산성 향상		43,200,000	43,200,000	43,200,000
2. 자산비용 절감		21,869,760	21,869,760	21,869,760
3. 생산프로세스 증대		-	-	-
4. 비즈니스 효과		-	-	-
<Additional benefit driver>				
Total annual benefits		65,069,760	65,069,760	65,069,760
Implementation filter		75%	85%	95%
Total benefits realized		48,802,320	55,309,296	61,816,272
Cost flow	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3
직접비용 (direct cost)				
구축 인건 비용	5,000,000			
일회성 간접비용 (temporary indirect cost)				
자본비용 (자산 구매비용)	91,000,000			
지속성 간접비용 (continuous indirect cost)				
교육, 유지관리와 지원비용		2,000,000	2,000,000	2,000,000
기타 비용 (연 25% 할인을 적용)				
<Additional cost or investment>				
Total	96,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000
Return flow	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3
Annual benefit flow	-96,000,000	-47,197,680	6,111,616	65,927,888
Cumulative benefit flow	-96,000,000	-49,197,680	4,111,616	63,927,888

### ◎ 정성적 효과

#### 1) 근무환경 개선 내용 전 제조현장

- ① 처리장에서 근무하는 작업자들은 대부분 야외에서 쪼그려 앉아 불안한 자세로 플라즈마 절단 공정을 수행중임.
- ② 또한 절단 시 발생하는 분진과 소음 등 열악한 근무 환경에 처해 있음.
- ③ 불안한 자세로 대부분의 업무를 수행하다 보니 근무 강도는 상당히 높으며 위험한 작업이 많음.

#### 2) 근무환경 개선 내용 후 제조현장

- ① 공정 모델을 활용한 작업의 경우, 작업자는 부재 투입 및 배출만 수행함
- ② 가공에 의한 진동, 가공 시 흩날리는 칩과 분진 등을 최소화할 수 있음
- ③ 업무 피로도가 상당히 낮아질 것으로 예상되며, 생산성 향상을 위해 1명의 작업자가 여러 개의 공정모델을 동시에 수행하는 것도 가능할 것으로 판단됨

## 3-2. 고려사항

### □ 표준공정모델 적용 및 공정 운영 시 유의사항 등

#### ○ 사고 예방 방지 교육 철저

##### ◎ 안전사고 방지를 위한 교육

1. 기존 작업장과 환경이 바뀌었기 때문에 그에 따른 안전사고가 발생할 우려가 있음.  
현장별, 공정별 특성을 잘 파악하여 작업장 내에서 발생할 수 있는 안전사고를 대비할 수 있도록 작업자 교육이 반드시 필요함.

##### ◎ 로봇 조작에 대한 교육

1. 기존 작업자의 경우 수작업으로 대부분의 공정을 수행해왔기 때문에 로봇을 조작하는 것에 대한 교육이 반드시 필요함.