
**[선박] 선박 제조공정 개선을 위한 제조로봇
활용모델 개발
용접선 자동 인식
[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

- 살 수요 업체의 요구사항을 기반으로 선박 제조공정 개선을 위한 제조 로봇 활용 공정모델 및 제조공정 기술개발을 위한 매뉴얼



1-2. 공정소개

□ 공정 정의

- 용접선 자동인식은 선박 제조 분야에서 용접작업을 수행하기 전 부재의 용접선을 센서 기반의 데이터로 처리하여 취득하는 공정이며, 취득된 용접선을 따라 용접작업을 수행할 수 있게 하는 공정

□ 공정 선정

- 선박 제조 분야 생산성 향상 및 작업 환경 개선을 최종 목표로 하여, 수요조사 및 기본 공정 분석, 공정모델 개발, 테스트 베드 구축, 실증/보급사업 연계 4단계의 세부 목표로 수행
- 수요조사 및 기존 공정 분석에서 살 수요기업들을 대상으로 필요기술 조사 및 환경 분석으로 공정모델을 선정했으며 수요처 환경에 적합한 공정모델의 로봇 시스템 사양을 정의
- 전국 약 100여 개의 선박 제조 분야 업체를 대상으로 수요조사를 시행하였으며, 조선/해양플랜트 산업이 밀집해 있는 부산/경남권 업체를 방문하여 제조현황을 조사하고 수요가 높은 9개의 분야를 선정

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

2 차 년		가공 공정		
	3	용접 분야 - 이동형 용접 공정		<ul style="list-style-type: none"> ○ 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		<ul style="list-style-type: none"> ○ 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
3 차 년	5	용접 분야 - 용접선 자동인 식 공정		<ul style="list-style-type: none"> ○ 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		<ul style="list-style-type: none"> ○ 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		<ul style="list-style-type: none"> ○ 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
3 차 년	8	의장 분야 - 단관취 부를 위한 PIPE 정렬 공정		<ul style="list-style-type: none"> ○ 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		<ul style="list-style-type: none"> ○ 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

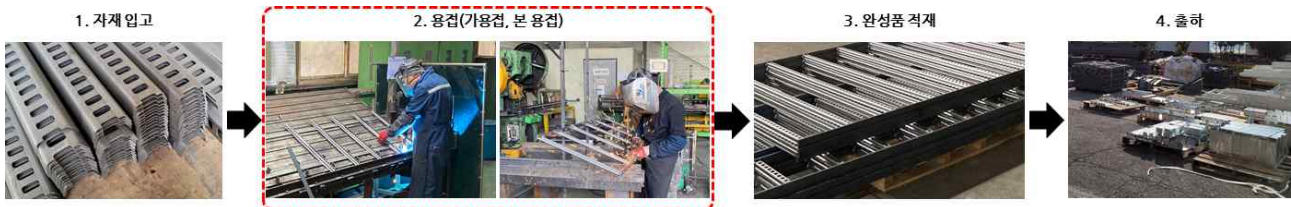
코드	중분류	코드	소분류	코드	세분류
24	1차 금속 제조업	241	1차 철강 제조업	2411	제철, 제강 및 합금철 제조업
				2412	철강 압연, 압출 및 연신제품 제조업
				2413	철강관 제조업
				2419	기타 1차 철강 제조업
		242	1차 비철금속 제조업	2421	비철금속 제련, 정련 및 합금 제조업
				2422	비철금속 압연, 압출 및 연신제품 제조업
				2429	기타 1차 비철금속 제조업
		243	금속 주조업	2431	철강 주조업
				2432	비철금속 주조업
25	금속 가공제품 제조업: 기계 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

- 선박 제조분야 용접선 자동인식 공정은 부재를 맞대어 용접하는 분야에 사용 가능함.
- 선박 제조 분야 뿐 아니라 일반·건설 분야에서 기계 장비 제작 시, 철판 소재의 소규모 용접 현장에 활용이 가능함.

2 로봇활용 표준공정모델

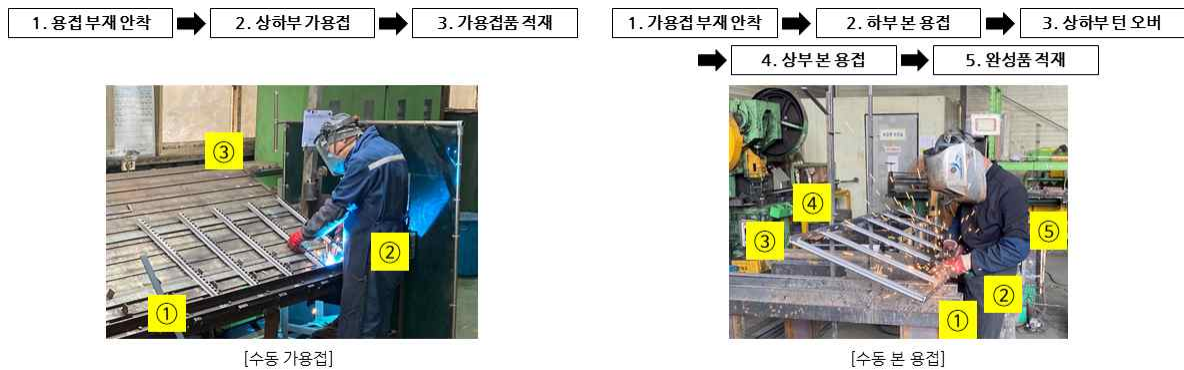
□ 용접선 자동인식 공정 분석

○ 공정 흐름도



[케이블 트레이 공정 흐름도]

○ 공정 구조



[케이블 트레이 공정 구조]

- 수동 가용접

- ① 적재된 부재를 고정 지그 위 안착
- ② 작업자가 부재를 손으로 고정 후, 가용접을 진행
- ③ 가용접품을 팔레트에 적재

- 수동 본 용접

- ① 가용접 부재를 고정 지그 위 안착
- ② 하부 본 용접 진행
- ③ 부재 상하 회전
- ④ 상부 본 용접 진행
- ⑤ 완성품을 팔레트에 적재

□ 공정 문제점 및 개선 필요성

○ 현재 공정 문제점

- 반복적인 용접 작업으로 인한 작업자의 질환 발생
(용접 시 발생하는 흠에 의한 호흡기 질환, 아크에 의한 안과적 질환 등)
- 작업자의 용접 숙련도에 따른 품질 차이
(동일한 작업에 대한 작업자별 완성 품질 차이)
- 가용접 후 본 용접
(가용접과 본 용접을 분리된 공정으로 처리하여 생산성 저하)

○ 개선 요구사항

- 가용접과 본 용접을 통합함으로써 공정을 단순화하여 생산성 향상 필요
- 용접 품질 안정성과 생산 불량률 감소를 위한 용접 데이터 축적 기능 필요
- 사용자의 개입이 최소화될 수 있도록 단순화된 기능으로 운영

2-2. 로봇 활용 표준공정모델

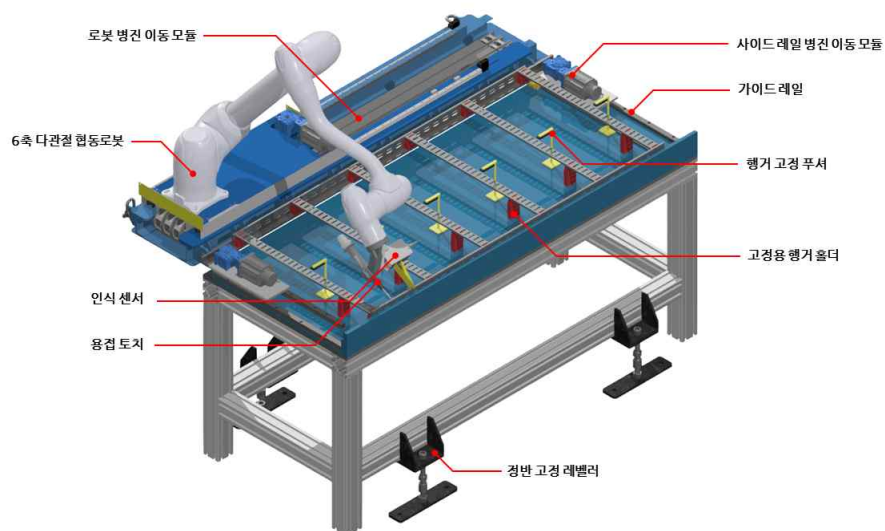
□ 표준공정모델 개요

구분	부재 투입 및 고정	가용접	본 용접	완성품 적재
As-Is	수동	수동	수동	수동
To-Be	수동	로봇	로봇	수동



[용접선 자동인식 표준공정모델 솔루션]

□ 시스템 구성



[표준공정모델 시스템 구성안]

항 목	사 양	필요 기능
로봇	-종류: 다관절 로봇 -축 자유도: 6 자유도 -가반하중: 10kg 이상 -반복정밀도: $\pm 0.05\text{mm}$ -작업범위: 1,300mm 이상	-용접 모션을 위한 정밀도 확보 -제어 시스템과 연동을 위한 통신 지원 (Serial, Ethernet 등) -용접 환경에서의 내구성 확보(온도, 습도, 분진)
이송 스테이지	-최대 하중: 60kg 이상 -스트로크: 800mm	-반복 구동에 의한 내구성 확보 -정확한 위치 이송 제어
인식 센서	-종류: 레이저 비전 측정 -통신: Serial, Ethernet 등 지원	-센서 레이저 선형성 확보 -용접 환경에서의 내구성 확보(온도)
용접 시스템	-타입: CO ₂ , MIG -통신: Serial, CAN, Device Net 등 지원 -용접 토치: 직선, 곡선형	-통신을 통한 용접 데이터 모니터링 지원 -용접 자동화를 위한 터치 센싱 기능 지원

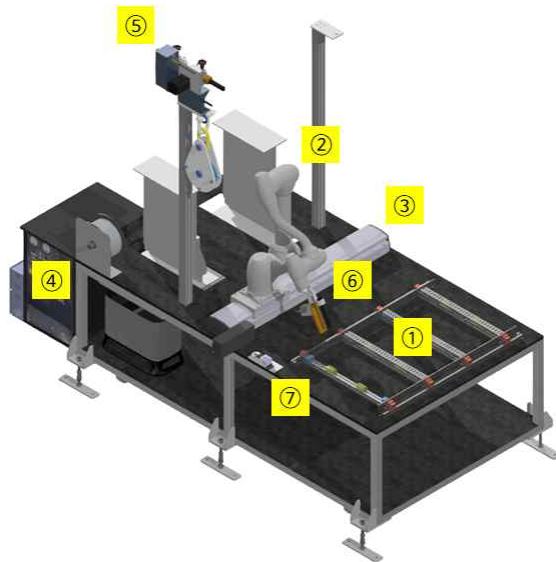
□ 시스템 상세 구성 및 스펙

협동 로봇	사양 정보	
	범주	협동 로봇
	가반중량	10kg
	로봇반경	1,300mm
	통신방법	Ethernet / Serial
	운영방식	Network
	수량	1대
이송 스테이지	사양 정보	
	범주	Protect Belt Actuator
	모터 정격 출력	750W
	최대 하중	100kg
	스트로크	800mm
	수량	1대
용접기	사양 정보	

	범주	인버터 용접기
	입력 전압	380/480V \pm 10%, 3상, 60Hz
	정격 출력	600A, 50V(100%)
	용접 출력	12~50VDC
	용접 기법	CO ₂ , MAG
	무게	90Kg
	수량	1대
와이어 커터	사양 정보	
	범주	와이어 절단기
	구동 방식	공압식
	절단 와이어 직경	1.6mm (Max)
	와이어 타입	솔리드 와이어
	수량	1개
제어 PC	사양 정보	
	범주	산업용 PC
	CPU	Intel Core i7 10th
	메모리	16GB
	OS	Windows 10
	저장소	500GB
	지원 통신	RS-485, CAN
	수량	1대
시스템 프레임	사양 정보	
	범주	용접선 자동인식 프레임
	크기	가로: 1450 mm 세로: 2250 mm 높이: 2250 mm
	수량	1대

□ 공정 설계도

○ 로봇 운영 공정 설계안



-시스템 구성-

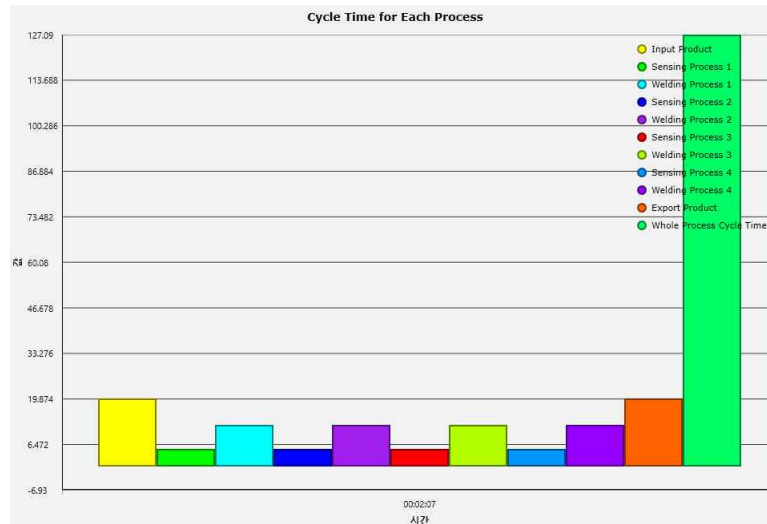
- ① 피용접부품 고정장치
- ② 다관절 협동 로봇
- ③ 이송 스테이지
- ④ CO₂ 용접기
- ⑤ 와이어 피더
- ⑥ 용접 토치 모듈
- ⑦ 와이어 커터

[케이블 트레이 공정설계도]

- ① 부재 투입(사이드레일 및 행거)
- ② 공압 실린더에 의한 부재 고정
- ③ 1축 로봇에 의한 용접용 협동 로봇 이송
- ④ 협동 로봇에 설치된 인식 센서의 용접부 센싱
- ⑤ 협동 로봇의 용접 작업 수행
- ⑥ ③-⑤ 순서 반복 수행
- ⑦ 공압 실린더에 의한 부재 고정 해제
- ⑧ 작업자에 의한 부재 배출

□ 운영 시나리오

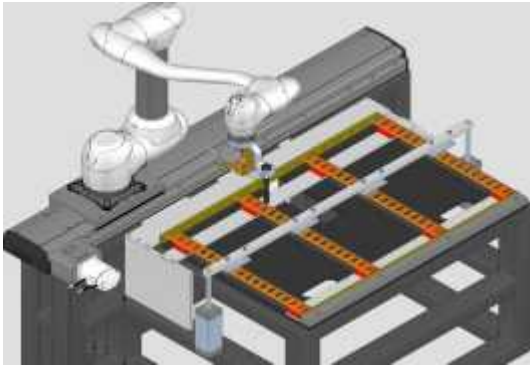
- 표준 공정 모델 설계안을 기반으로 운영 시뮬레이션을 위해 Delphi 소프트웨어를 이용하여 공정 운영 시나리오를 검증



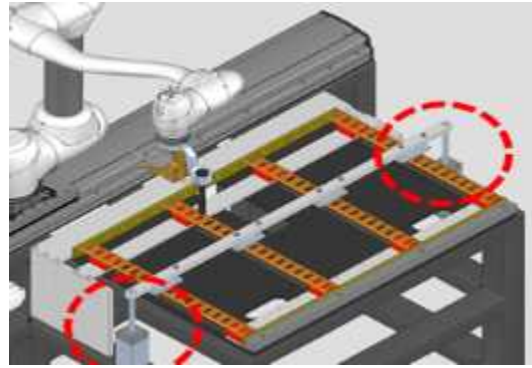
[공정별 소요 시간]

- 케이블 트레이 용접선 인식 및 용접 운영 시나리오를 정의하고, 공정 시뮬레이션을 진행

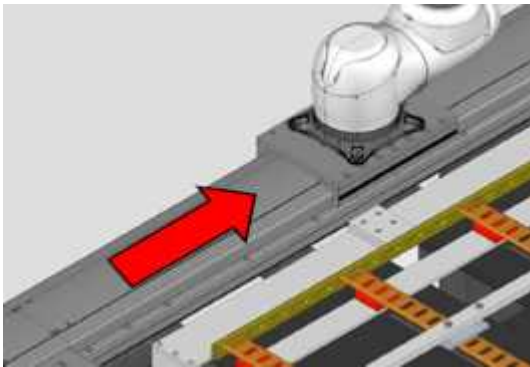
- ① 작업자의 부재 투입
- ② 공압 실린더의 부재 고정
- ③ 이송 스테이지의 초기 위치 이동
- ④ 협동 로봇에 설치된 인식 센서의 용접부 센싱
- ⑤ 협동 로봇의 용접 작업 수행
- ⑥ ③-⑤ 시나리오 반복 수행
- ⑦ 공압 실린더의 부재 고정 해제
- ⑧ 작업자의 부재 배출



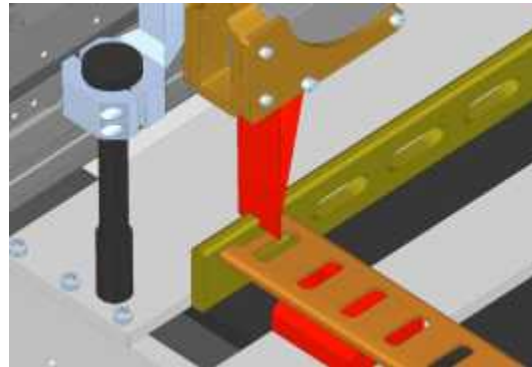
1. 작업자의 부재 투입



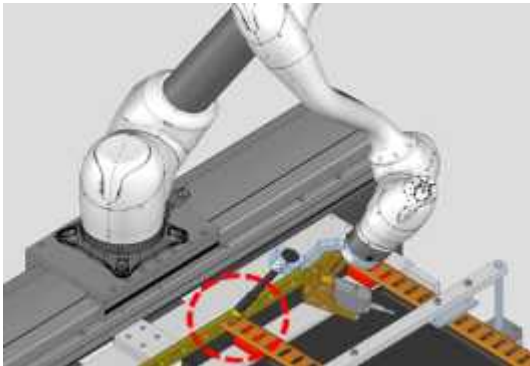
2. 공압 실린더의 부재 고정



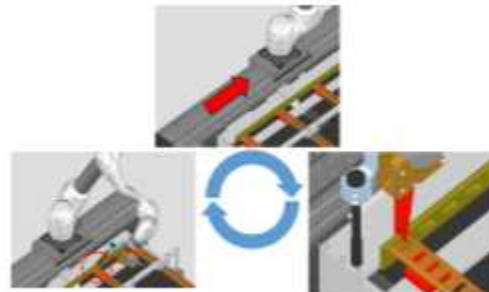
3. 이송 스테이지의 초기 위치 이동



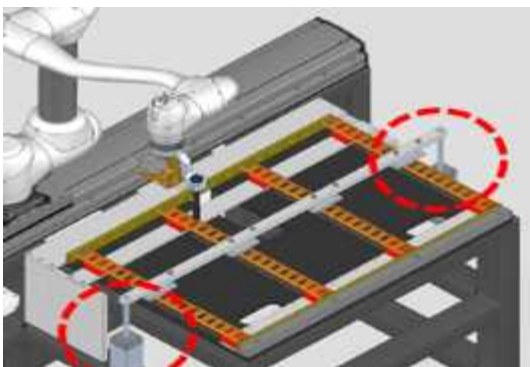
4. 협동 로봇에 설치된 인식 센서의 용접부 센싱



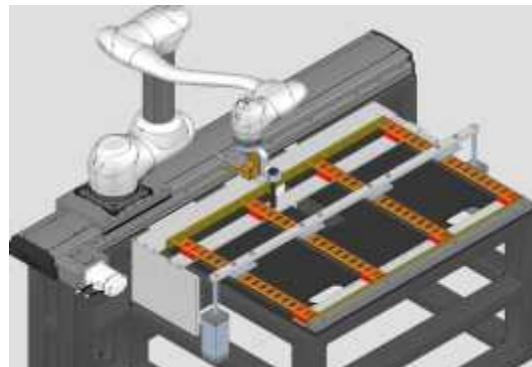
5. 협동 로봇의 용접 작업 수행



6. 3-5 시나리오 반복 수행



7. 공압 실린더의 부재 고정 해제



8. 작업자의 부재 배출

[공정 시뮬레이션 구성]

○ 기타 시뮬레이션 조건

① 부재 투입

- 작업 부재는 사이드레일 2개, 행거 4개로 구성
- 행거는 한 번에 2개씩 행거는 1개씩 이동시키는 것으로 가정
- 부재를 적재 위치에서 파지 후, 지그 위 안착까지의 시간은 2초로 가정

② 공압 실린더 부재 고정 구동 속도

- 부재 고정을 위한 실린더 동작 시간은 3초로 가정

③ 협동 로봇의 인식부 센싱 속도

- 센서의 용접부 스캐닝 속도는 20mm/s로 가정


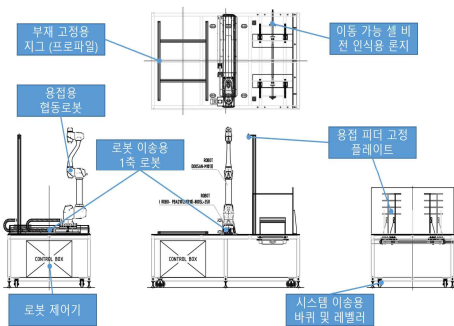
④ 협동 로봇

- 모델: 두산로보틱스 社의 M1013
- 구동 범위 및 조건: 각 조인트별 속도 및 가동 범위 반영

⑤ 이송 스테이지

- 모델: 아이로보 社의 PBA210
- 스트로크: 800mm

2-3. 표준공정모델 실증기준

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [용접선 자동인식 로봇 공정]					
산업 분야	제조/선박	대상업종 (산업분류코드)	선박 구성 부분품 제조업 (C31114)	적용공정	가공 (아크용접)
공정 소개	공정 정의	<ul style="list-style-type: none"> 단순 평판뿐만 아니라 3차원 형상의 소형 제작품 제작에서 다관절 로봇을 투입하여 작업물의 용접선 인식과 용접 작업 자동화를 실현 하는 공정 			
	핵심(부) 기능	<ul style="list-style-type: none"> 피용접물의 용접부 형상 인식, 용접 피용접물의 위치 기반 경로생성 및 용접 용접 작업을 위한 로봇 포지셔닝 (1축 로봇 연동) 인식 데이터(터치, Vision) 기반 용접선 자동 추출 			
	핵심 구성	<ul style="list-style-type: none"> 용접기, 용접 토치 설치를 위한 로봇 EOAT, 용접기 호환 터치 센서 용접 와이어 절단기 작업 영역 확장을 위한 로봇 이송 스테이지 피용접물의 용접선 인식을 위한 센서 			
	핵심 성능	<ul style="list-style-type: none"> 작업 대상물에 따라 용접 방식, 조건 변경이 가능하며 DB화 가능 터치 센싱을 이용한 상대적인 로봇 작업 캘리브레이션 LVS 변위센서 기반의 객체 인식 및 용접선 생성 인식된 용접선에서 로봇 용접 모션 생성 로봇 이송 스테이지 연동으로 로봇 작업 영역 확장 			
	필요성/효과	<p>[필요성]</p> <ul style="list-style-type: none"> 반복 작업으로 작업자 피로도 누적 및 근골격계 질환 발생 작업자 숙련도에 따른 품질 불균일 품질 저하 숙련용접사의 부재 및 병목현상 발생 단순 티칭 기반 자동화 시스템 구축 시 작업부재간의 Gap, 용접 위치 변화에 따른 품질 문제 다수 발생 		<p>[도입효과]</p> <ul style="list-style-type: none"> 생산성 향상 및 생산 비용 절감 생산 품질 향상 작업자 근골격계 질환 감소 생산공정 최적화로 생산성 향상 	
	구분	Before		After	
	레이아웃				
	작업순서	(가용접 지그) 부재 적재 → 가용접 → (가용접 지그) 배출 및 (용접 지그) 적재 → 본 용접 → 배출		부재 적재 → 용접선 인식 → 용접 (로봇) → 배출	
적용로봇 사양		로봇 종류	협동로봇		산업용로봇

	가반 하중	~10kg	~6kg
	작업 반경	~1,300mm	~1,394mm
	투입 대수	1대	1대
	기타	30,000천원	20,000천원
주변 설비 사양	용접기	■ CO ₂ , MAG 용접기 ■ 입력 전압: 380/440V(±10%, 60Hz, 3상) ■ 정격 입력: 37kVA ■ 정격 출력: 600A, 50V(100%) ■ 용접 출력: 12~50VDC ■ 송급 장치: 로봇 연동 가능	
	용접 토치	■ 직선형 또는 곡선형 ■ 사용 가능 와이어 직경: 1.2~1.6	
	터치 센서	■ 용접기 연동 가능 모델	
	로봇 이송 스테이지	■ 최대 부하 중량: 100kg 이상 ■ 스트로크: 800mm 이상 ■ 위치 제어를 위한 센서 포함(Limit, Home)	
	와이어 커터	■ 구동방식: 공압식 ■ 직경 1.6 이하 솔리드 와이어 절단 가능	
	공압 시스템	■ 사용 유체: 공기 ■ 설정 압력 범위: 0.8MPa 이하 ■ 솔레노이드 밸브 전압: 24V	
	인식 센서	■ 용접선 인식용 LVS(Laser vision sensor) ■ 입력 전압: DC 12V(-5%) ~ 12V(+10%) ■ 측정 범위: 75~125mm ■ 측정 범위 폭: 17~27mm ■ 통신 인터페이스: RS-485, 9.6k~4M bit/s, 반이중 ■ IP등급: IP67	
	산업용 컴퓨터	■ OS: Windows 10 ■ CPU: Intel Core i7 10th 이상 ■ 메모리: 8GB 이상 ■ 저장소: 500GB 이상 ■ RS-485, CAN 통신 모듈 포함	
	S/W	■ 로봇, 용접기, 센서, 스테이지 간 통신, 연동 제어 프로그램	
로봇도입 핵심 고려사항	■ 다부품 대응 센서 인식 SW 개발 ■ 인식된 용접선 최적 경로 생성 ■ 부품별 최적 용접조건 설정		
소요예산	■ 총사업비 200백만원 내외		
작성처	■ 한국로봇융합연구원 홍성호 선임연구원 (☎ 054-240-2521)		

3 기대효과 및 고려사항

3-1. 기대효과

□ 표준공정모델 적용에 따른 기대효과

○ 정량적 효과

① 노동 생산성 향상

순번	항목	기존 공정	공정 모델 적용 공정
1	생산시간/개	3분(180초)	1분50초(110초)
2	일간 생산량	160개	261개
3	공정 이윤/개	1,000원	
4	이윤 합계	160,000원	261,000원
5	이윤 증가액/1일	101,000원	
6	이윤 증가액/1주	505,000원	
7	이윤 증가액/1개월	2,200,000원	
8	이윤 증가액/1년	26,400,000원	

[기존 공정 및 공정 모델 적용 공정 비교 표]

② 자산 비용 절감

- 기존 공정에서 작업 인원은 총 2명.
- 표준 공정 모델 적용 시, 작업자는 1명으로 감원이 가능함.
- 일일 근로 8시간 기준, 주 5일의 월 근로시간과 주휴시간 35시간을 포함하여 작업자의 근무시간은 209시간으로 계산됨.
- 2022년 기준 최저 임금은 9,160원이며 작업자 1명의 월급은 1,914,440원으로 계산됨.
- 연간 절약되는 금액은 22,973,280원으로 계산됨.

① 직접 비용

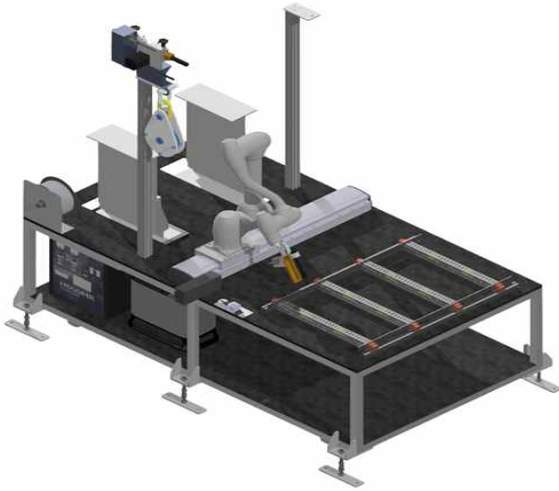
- 구축 인건비: 전기·제어 구축에 필요한 인건비 약 500만 원

② 일회성 간접비

- 자본 비용(구매 비용): 공정 구성은 아래 그림과 같으며 각 단가는 표와 같음

③ 지속성 간접비

- 교육 및 유지관리, 지원 비용: 공정 교육 및 유지보수 비용 연간 200만원



순번	항목	금액
1	협동 로봇	30,000,000
2	용접 토치 및 EOAT	1,500,000
3	용접선 인식 센서	6,000,000
4	전장박스	2,000,000
5	용접기 및 용접 기자재	10,000,000
6	기타 기구류 일체	3,000,000
합계		52,500,000

[전체 시스템 구성도 및 항목별 금액 표]

- Return flow (ROD)

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% 할인율 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

[Return flow 분석표]

○ 정성적 효과(제조현장 근무환경 개선내용 등)

- 근무 환경 개선 전 제조현장

- ① 선박 케이블 트레이의 경우, 작업자들은 대부분 쪼그려 앉거나 허리를 숙인 상태로 작업을 수행함.
- ② 작업자는 자세로 인한 근·골격계 질환을 유발할 가능성이 큼.
- ③ 작업자는 용접 시 발생하는 분진 및 연기 속에 작업함.
- ④ 제조 공정은 업무 피로도가 상당히 높은 작업에 속하며, 작업자의 숙련도에 제품의 품질이 영향을 받음.

- 근무 환경 개선 후 제조현장

- ① 공정 모델에서 작업자는 부재를 지그에 안착하여 고정시키거나 완성품을 적재하는 작업을 수행함.
- ② 용접 작업의 자동화로 작업자의 다른 업무 수행이 가능하며 업무 피로도를 경감시킬 수 있음.
- ③ 여러 대의 공정 모델을 도입하여 운영함으로써 생산성 향상을 기대할 수 있음.

3-2. 고려사항

□ 표준공정모델 적용 및 공정 운영 시 유의사항 등

○ 사고 예방 방지 교육 철저

- 안전사고 방지를 위한 교육

- ① 공정 시작 후 로봇이 구동하는 중에 작업자의 접근으로 안전사고가 발생할 우려가 있음.
- ② 공정에서 장비에 대한 특성을 파악하고 작업장에서 발생할 수 있는 안전사고를 대비할 수 있도록 교육이 반드시 필요함.

- 공정 조작을 위한 교육

- ① 기존 공정은 수작업으로 공정을 수행했기에 공정 모델의 운영에 대한 교육이 반드시 필요함.
- ② 공정 모니터링 기능을 통해 공정을 구성하고 있는 파트의 정상 구동, 파손 여부 등을 확인하고 공정을 수행할 수 있도록 교육이 필요함.