
(뿌리) 중력주조품 후가공 절단 공정
[표준공정모델 매뉴얼]

2022. 12

한국생산기술연구원

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

- 자동차, 중장비, 조선, 항공 등 다양한 산업분야에서 사용되는 중력주조품은 공정특성상 주조방안에 의해 압탕, 탕구, 탕도 등 제품 외 불필요 부위가 반드시 생성되며, 이를 후가공(절단, 사상, 쇼트 등) 공정에 의해 제거하여야 함. 중력주조품의 후가공 공정은 대표적인 수작업 기반 공정으로, 일반적으로 고중량·중대형 형상으로 취급이 어려우며, 제품에 따른 가공 부위가 복잡하고 상이하여 자동화가 어려움. 특히, 소재의 종류(주철, 주강, 비철)에 따라 후가공 시 발생하는 파편, 용탕 및 흙, 먼지 비산으로 작업자는 항상 열악한 작업환경에 노출되어 있음. 본 과제에서는 중력주조품 후가공 공정 중 절단 공정에 제조로봇을 적용 및 자동화하여 기존 수작업 기반 공정의 문제점을 해결하는데 목적이 있음

1-2. 공정소개

□ 공정 정의

- 중력주조 공정(사형주조, 금형주조 등)은 용탕 자체의 중력(무게)를 이용하여 주형(사형, 금형)에 주입 및 응고시켜 제품을 제조하는 공정이며, 주조성 확보 및 응고 시 수축 보정/결함 제어를 위해 압탕, 탕구, 탕도, 오버플로우 등 주조방안을 설계함
- 주조방안에 의해 생성된 제품 외 불필요 부위는 절단, 사상, 쇼트와 같은 공정을 통해 제거가 필요하며, 이를 ‘중력주조품 후가공 공정’이라 정의함
- 중력주조품의 후가공 공정은 대표적으로 압탕 등 불필요 부위를 제거하는 절단 공정과 절단부, 오버플로우, 버(Burr), 표면 결함 등을 연마하여 제거하는 사상 공정이 있음
- 본 과제에서는 중력주조품 후가공 공정 중 ‘절단 공정’에 대하여 로봇 적용 및 자동화 우선 적용

□ 공정 선정

- 중력 주조산업 분야 대상으로 제조 로봇 적용 및 자동화 관련 수요조사를 실시하였으며, 수요조사 건 중 로봇활용 필요성, 시급성, 적합성, 효과성, 활용성 등을 평가하여 당해연도 대상 표준공정모델로 평가 점수가 가장 높은 ‘중력주조품 후가공 절단 공정’을 선정

표준모델 후보군	평가점수	선정 표준모델
중력주조품 후가공 절단 공정	94	1순위 선정
중력주조품 후가공 절단 공정	91	2순위 선정
중자 후가공 디버링	85	3순위 선정

<중력주조품 후가공 절단 공정 세부 평가의견>

표문모델 항목	만점	평가 점수	평가의견
필요성(작업 환경, 애로사항, 공정문제점 등)	20	20	- 중력주조품의 후가공 공정은 대표적인 수작 업 및 암묵지 기반 공정으로 낮은 생산성 - 작업자 안전, 건강, 환경 개선을 위해 로봇 적용 및 자동화 필수
시급성, 난이도(인력난, 작업환경 등)	20	20	- 열악한 작업환경 및 고난이도로 고숙련자 의 존성이 높아 인력수급의 어려움이 크며, 이 를 개선하기 위해서는 자동화 시급
적합성(주생산물 및 핵심 기술 등)	20	17	- 주력산업분야 핵심부품에 사용되는 중력주조 품의 필수 후가공 공정
효과성(생산성&매출 향상, 경쟁력 강화 등)	20	20	- 대표적인 병목공정으로 로봇 자동화 적용 시 작업효율 및 생산성 향상, 단가 절감 및 경 쟁력 강화 가능
활용도(활용도, 파급효과성 등)	20	17	- 철계(주철, 주강), 비철계 소재와 관계없이 중 력주조품에 적용가능하며, 대상 제품 및 활 용 분야가 다양하고 넓어 파급효과가 큼
합계	100	94	

1-3. 적용대상

□ 해당공정 적용 업종, 관련 제품군 및 활용 가능 업종

○ 해당공정 적용 업종

- 자동차, 중장비, 국방, 조선, 우주, 항공 등 중력주조품을 활용하는 산업분야 전반

○ 관련 제품군

- 자동차의 엔진부, 구동부 등에 사용되는 실린더블럭, 모터하우징, 케이스류, 그 외 차체부품을 비롯하여, 건설중장비의 유압모듈, xEV 부품 등 다양

○ 활용 가능 업종

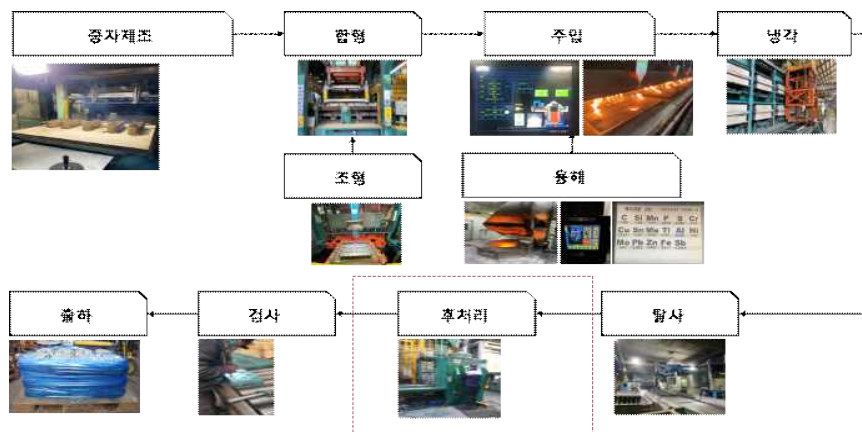
- 철계(주철, 주강) 및 비철계 중력주조품 제조공정(사형주조, 금형주조 등)의 후가공 공정에 활용 가능

2-1. 공정 분석

□ 중력주조품 후가공 절단 공정 분석

(1) 주철계 중력주조품 후가공 공정

○ 전체 공정 흐름도



[주철계 중력주조품 제조 전체 공정 흐름도]

○ 후가공 절단 공정 구조



[주철계 중력주조품 후가공 수작업 공정]

- ① 지게차/크레인을 이용하여 중력주조품 이송/투입
- ② 작업자가 수작업으로 톱날형 공구 활용 압탕부 등 불필요 부위 절단
- ③ 작업자가 수작업으로 절단부, 오버플로우, 버 등 표면부위 결함 사상
- ④ 작업완료 후 이송/배출/적재

(2) 주강계 중력주조품 후가공 공정

○ 전체 공정 흐름도



[주강계 중력주조품 제조 전체 공정 흐름도]

○ 후가공 절단 공정 구조

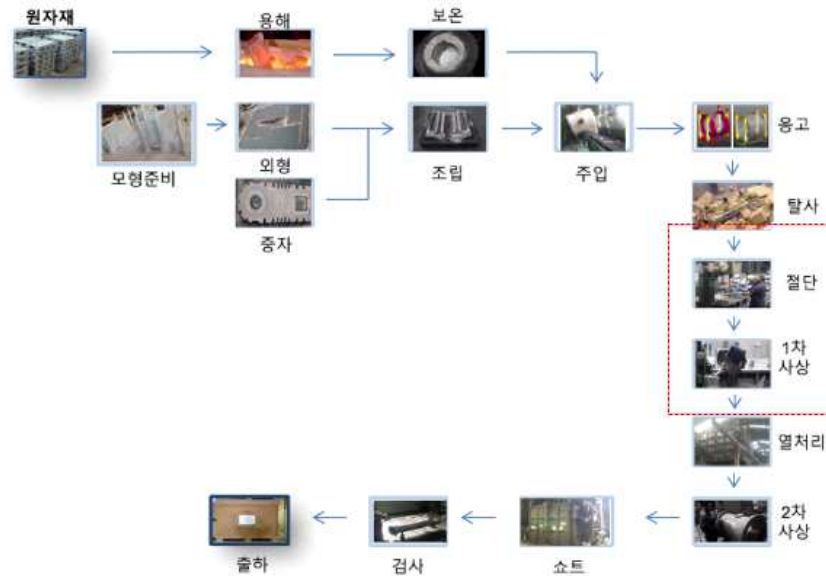


[주강계 중력주조품 후가공 수작업 공정]

- ① 호이스트를 이용하여 중력주조품 이송/투입
- ② 작업자가 수작업으로 산소절단기 활용 압탕부 등 불필요 부위 용융 절단
- ③ 작업자가 수작업으로 절단부, 오버플로우, 버 등 표면부위 결함 사상
- ④ 작업완료 후 이송/배출/적재

(3) 비철계 중력주조품 후가공 공정

○ 전체 공정 흐름도



[비철계 중력주조품 제조 전체 공정 흐름도]

○ 후가공 절단 공정 구조



[비철계 중력주조품 후가공 수작업 공정]

- ① 저중량의 경우 인력, 고중량의 경우 장비 활용 중력주조품 이송/투입
- ② 작업자가 수작업으로 톱날형 절단기 활용 압탕부 등 불필요 부위 절단
- ③ 작업자가 수작업으로 절단부, 오버플로우, 버 등 표면부위 결함 사상
- ④ 작업완료 후 이송/배출/적재

□ 공정 문제점 및 개선 필요성

○ 현재 공정 문제점

(1) 수작업 기반 병목현상으로 작업효율 저하 및 생산성 악화

- 고속련 작업자의 암묵지 기반 수작업에 의존함으로써 공정시간이 증가하고, 제조 공정의 병목현상을 야기하여 전체 작업효율을 저하시키고 결과적으로 생산성을 악화

(2) 작업자 의존 후가공 품질편차 발생

- 작업자의 숙련도 차이에 따라, 당일 작업자의 컨디션 및 피로도 누적 정도에 따라 후가공 품질의 편차 발생으로 추가 작업 요구, 불량률 증가 등 문제 발생

(3) 작업자의 안전사고 위험, 근골격계 부담 등 열악한 작업환경

- 고중량/중대형 제품 취급, 동일 자세 반복에 의한 피로도 누적에 의한 근골격계 부담과 공정 중 발생하는 파편, 용탕액적, 흙, 비산 먼지 등 노출에 의한 안전사고 위험의 열악한 작업환경 문제

(4) 고속련 인력수급 어려움

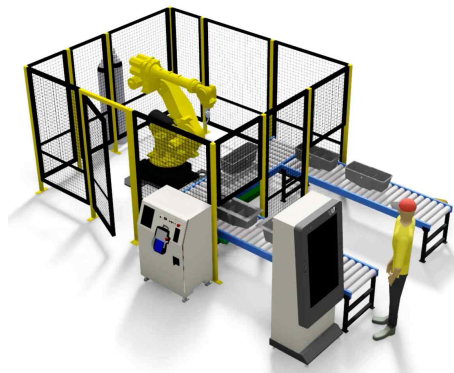
- 고속련 인력의 노후화, 청년층의 3D 업종 기피, 외국인 채용 제한에 따른 인력수급의 어려움

○ 개선 요구사항

- 중력주조품 후가공 공정의 제조로봇 적용 및 자동화를 통한 생산성 향상, 품질 개선, 작업환경 개선 및 인력수급 어려움 해소 필요



<개선 전 레이아웃>



<개선 후 레이아웃>

2-2. 로봇 활용 표준공정모델

□ 표준공정모델 개요

구분	주조품 투입	제품 지그 장착/이송	후가공 절단	후가공 사상	완료품 이송/배출	적재
As-Is	수동	수동	수동	수동	수동	수동
To-Be	수동	컨베이어	로봇	수동	컨베이어	수동



As-Is



To-Be

[중력주조품 후가공 절단공정 표준모델 도입 솔루션]

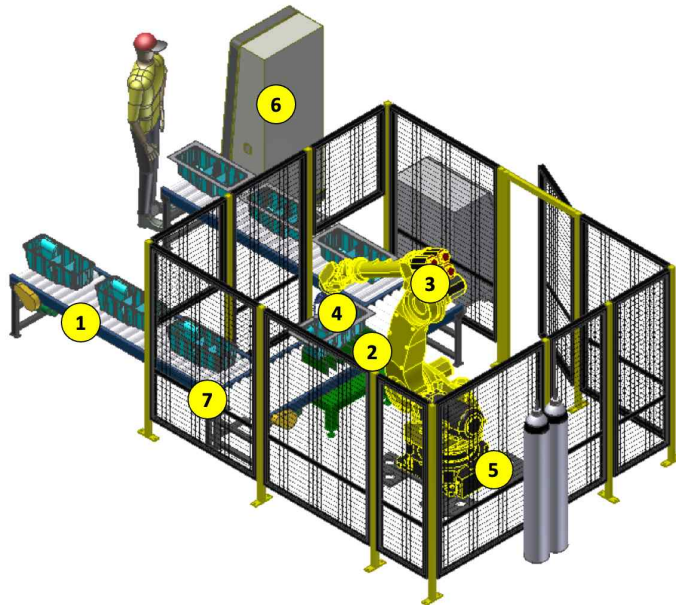
□ 시스템 구성

[표준공정모델 시스템 구성안]

H/W	사 양	필요 기능
로봇	<ul style="list-style-type: none"> - 타입: 수직다관절 - 축 자유도: 6-axis - 가반하중: 220kg 이상 - 반복정밀도: $\pm 0.1\text{mm}$ - 리치: 2,666mm 	<ul style="list-style-type: none"> - 작업반경 내에서의 반복정밀도 유지 - 제어시스템과의 S/W 호환성 - 주어진 작업환경 (온/습도 등)에서의 내구성
그리퍼	<ul style="list-style-type: none"> - 핸들링 재질: 금속 소재 - 공압식 - 적용 ITEM: 3종 이상 호환 	<ul style="list-style-type: none"> - 소재 및 부품(ITEM) 변경에 따른 호환 사용 가능 - 후가공 중 틀 고정을 위한 충분한 가압력 인가 - 정확한 위치로의 이송
절단틀	<ul style="list-style-type: none"> - 주철, 비철: 톱날형 - 주강: 가스/산소절단기 형 	<ul style="list-style-type: none"> - 소재 및 부품에 따른 틀 교체 호환성 - 절단 시 진동에 대한 충분한 고정력
로봇베이스	<ul style="list-style-type: none"> - 베이스 재질: 철계 소재 	<ul style="list-style-type: none"> - 로봇이작업 중 위치 변경이 없도록 충분한 지지력(베이스 무게, 바닥과의 결합력) 확보
주조품 지그 및 포지셔너	<ul style="list-style-type: none"> - 제품별(소재, 크기 형상) 전용 지그 및 포지셔너 	<ul style="list-style-type: none"> - 제품 소재, 형상, 크기에 적합한 지그/포지셔너 설계 - 제품 자동 인식 기능 탑재
주조금 공급/이송 장치	<ul style="list-style-type: none"> - 고종량/중대형 대응 투입, 이송, 배출용 컨베이어 	<ul style="list-style-type: none"> - 중력주조품의 고종량 및 중대형 특성 고려 충분한 하중지지 사양 설계
로봇 및 작업자 보호 가이드/펜스	<ul style="list-style-type: none"> - 로봇 보호용 가이드/펜스 - 작업자 보호용 가이드/펜스 	<ul style="list-style-type: none"> - 가공 중 발생하는 파편, 용탕액적 등 보호용 안전 가이드/펜스
제어반	<ul style="list-style-type: none"> - 통신방식: RS232 & CAN, CC-LINK 등 - 확장성 및 호환성 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 센서류 및 그리퍼, 용접기 등과의 호환성 가능 - 통합관리시스템 연동 제어

□ 공정 설계도

○ 로봇 1대 운영 공정설계안



<로봇자동화 시스템 구성>

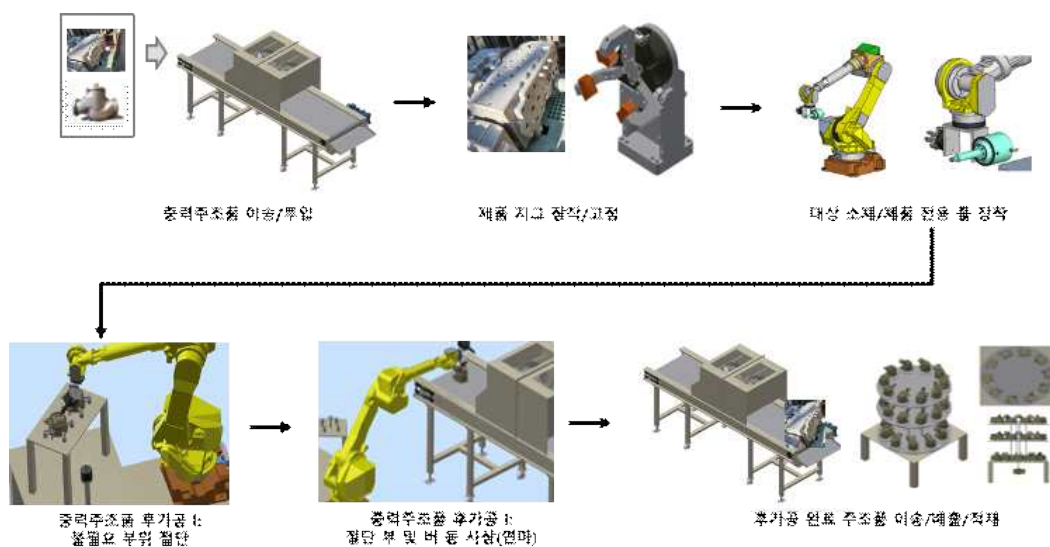
- ① 주조품 이송 컨베이어
- ② 주조품 지그 & 포지셔너
- ③ 자동 후가공 절단로봇
- ④ 그리퍼 및 절단툴
- ⑤ 로봇 베이스
- ⑥ 제어부
- ⑦ 안전펜스

[로봇 1기를 이용한 공정설계도]

- ① 중력주조품을 전용 지그에 장착/고정, 포지셔닝
- ② 컨베이어에 의해 작업공간으로 이송
- ③ 자동 후가공 절단 로봇에 의해 압탕 부 등 불필요 부위 제거
- ④ 절단부 및 버 등 사상 연마
- ⑤ 후가공 완료품의 이송 및 배출/적재

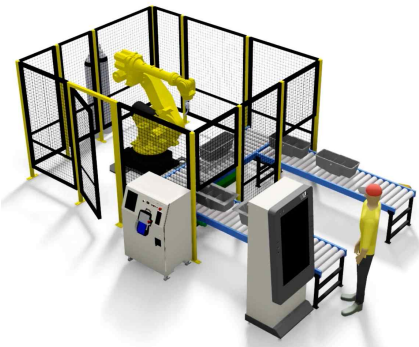
□ 운영 시나리오

- 중력주조품의 투입(호이스트, 지게차, 크레인 등 장비를 이용) 후 컨베이어로 작업대로 이송
- 후가공 절단 부위 인식을 위해 지그에 장착 및 고정 후, 대상 소재 및 제품에 적합한 절단툴 선정/장착, 전용 티칭 프로그램 로딩
- 중력주조품의 압탕 등 불필요 부위에 대하여 작업순서대로 후가공 절단
- 절단 부 및 버 등 사상 연마 작업 실시
- 작업 완료된 제품을 지그로부터 분리 및 컨베이어로 이송 후 배출 및 적재



[중력주조품 후가공 절단 로봇자동화(1기 적용) 시뮬레이션]

2-3. 표준공정모델 실증기준

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [중력주조품 후가공 절단 공정]					
산업 분야	뿌리 (금속/플라스틱)	대상업종 (산업분류코드)	강주물 주조업 / 알루미늄 주물 주조업 (C24312/C24321)	적용공정	후가공 (중력주조품 후가공 절단)
공정 소개	공정 정의	<ul style="list-style-type: none"> 중력주조품의 후가공 절단 과정에 다관절 로봇을 투입하여 후가공 품질의 재현성 확보, 생산성 향상 및 생산비 절감 등을 실현하는 공정 			
	핵심(부) 기능	<ul style="list-style-type: none"> 주조품의 로딩/언로딩, 이송, 배출 주조품의 압탕부 등 불필요 부위 위치 인식을 위한 지그 장착/고정 주철, 주강, 비철계 소재 종류에 따른 적절한 절단 톨 선정 및 개발 가공 중 발생하는 파편, 용탕액적, 비산먼지 등으로부터 보호장치/시스템 			
	핵심 구성	<ul style="list-style-type: none"> 대상 소재 종류에 따른 절단 톨(주철/비철: 톱날공구류, 주강: 산소절단기류) 제품을 이송하는 로딩/언로딩 장치(컨베이어 등) 주조품 고정 및 압탕 등 불필요 부위 위치 인식용 지그 가공 중 파편, 용탕액적 등으로부터 로봇, 작업자 보호 장치/시스템 소재 종류 및 제품에 따른 후가공 절단 순서 티칭 DB 설치 후 소재/제품 자동 인식 및 기동 가능 프로그램 구성 			
	핵심 성능	<ul style="list-style-type: none"> 소재 종류에 따른 적절한 톨 선정/장착 절단 부위 정확한 인식을 위한 전용 지그 설계 및 정밀 장착/고정 대상제품의 중량 및 크기를 고려한 컨베이어 사양 설계 제품의 정밀 위치 이동과 셋팅 비산 파편, 용탕액적으로부터 로봇/작업자 완전 보호 설계 소재 및 제품 종류에 따른 티칭프로그램 변경/셋팅 용이성 로봇 제어 및 조작 간편성 			
	필요성/효과	<p>[필요성]</p> <ul style="list-style-type: none"> 수작업에 의한 작업효율/생산성 저하 작업자에 따른 품질 편차 작업자 안전사고 위험, 근골격계 부단 등 열악한 작업환경 고속련 작업자 수급 어려움 		<p>[도입효과]</p> <ul style="list-style-type: none"> 중력주조품 후가공 품질 향상 후가공 품질 균일화, 불량률 감소 생산비 및 단가 절감 작업효율 및 생산성 향상 작업자 안전사고 위험 방지 및 근골격계 질환 예방 	
	구분	Before		After	
	레이아웃				
	작업순서	주조품 이송/투입 → 주조품 후가공 절단(수작업) → 주조품 후가공 사상(수작업) → 주조품 이송/배출/적재		주조품 이송/투입(컨베이어) → 주조품 후가공 절단(로봇) → 주조품 후가공 사상(수작업) → 주조품 이송/배출/적재(컨베이어)	

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [주물 주조 절단 공정]		
적용로봇 사양	로봇 종류	산업용 로봇
	가반 하중	220Kg
	작업 반경	2666mm
	투입 대수	1대
주변 설비 사양	그리퍼	공압식, 다양한 툴을 잡고 고정된 제품의 절단부위로 이동
	절단툴	대상 제품의 소재, 형태에 따라 톱날, 가스절단기 등 툴 선정
	로봇 베이스	철/철합금 사용, 로봇이 이송중 위치가 틀어지지 않게 지지해줌.
	주조품 지그	주조품이 정해진 방향/위치로 정렬, 고정 및 이송이 용이하도록 제품별 전용 지그 제작
	주조품 공급/이송 장치	컨베이어, 작업자가 주조품을 호이스트 또는 지게차 등을 이용하여 공급장치에 적재, 배출할 수 있는 이송장치
	로봇 보호 가이드/펜스	비산하는 파편, 용탕액적 등으로부터 로봇을 보호하기 위한 전용 가이드 또는 펜스
	S/W	Main 및 OP Panel
	제어기	로봇 메인 Panel
	안전 설비	안전 펜스, 안전 도어, 안전 발판
로봇도입 핵심 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> 고중량 및 중대형 크기를 고려하여 하중을 충분히 지지/이송 가능한 컨베이어 성능 사양 다관절 로봇의 고장/파손 방지를 위하여 절단 중 발생하는 파편, 용탕액적으로부터 보호가능한 로봇 전용 가이드/펜스 설계 필요 정확한 절단부위(위치) 파악을 위한 대상 제품 전용 지그 제작 필요 	
소요예산	■ 총사업비 250백만원 내외(정부 출연금 125백만원 이내)	
작성처	■ 한국생산기술연구원 김효섭 선임연구원 (☎ 032-850-0388)	

3 기대효과 및 고려사항

3-1. 기대효과

□ 표준공정모델 적용에 따른 기대효과

○ 정량적 효과(ROI 분석결과 등)

Benefit flow				
BENEFIT DRIVERS	YEAR			
	0	1	2	3
유형 효과 (Tangible Benefits)				
1.노동 생산성 향상		₩83,580,000	₩83,580,000	₩83,580,000
2.자산비용 절감		₩1,260,000	₩1,260,000	₩1,260,000
3.생산프로세스 증대		₩11,399,487	₩11,399,487	₩11,399,487
4.비즈니스 효과		₩6,750,000	₩6,750,000	₩6,750,000
<Additional benefit driver>				
Total annual benefits		₩102,989,487	₩102,989,487	₩102,989,487
Implementation filter		75%	85%	95%
Total benefits realized		₩77,242,115	₩87,541,064	₩97,840,013

Cost flow	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3
직접비용 (direct cost)				
구축 인건 비용	₩4,950,000	₩0	₩0	₩0
일회성 간접비용 (temporary indirect cost)				
자본비용 (자산 구매비용)	₩186,960,000	₩0	₩0	₩0
지속성 간접비용 (continuous indirect cost)				
교육, 유지관리와 지원비용	₩0	₩4,395,000	₩4,395,000	₩4,395,000
기타 비용 (연 25% 할인율 적용)	₩0	₩0	₩0	₩0
<Additional cost or Investment>				
Total	₩191,910,000	₩4,395,000	₩4,395,000	₩4,395,000

Return flow	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3
Annual benefit flow	(₩191,910,000)	₩72,847,115	₩83,146,064	₩93,445,013
Cumulative benefit flow	-191,910,000	-119,062,885	-35,916,821	57,528,192

○ 정성적 효과(제조현장 근무환경 개선내용 등)

- 중력주조품 후가공 공정 시 작업자가 불편한 자세로 단순반복하던 작업을 로봇 적용 및 자동화하여 근골격계 건강 문제를 개선
- 절단 공정 시 발생하는 파편, 용탕액적, 흙 발생, 비산 먼지로부터 작업자를 보호하여 호흡기 질환, 화상 등의 안전사고 예방
- 작업환경 개선으로 작업자의 직무기피 현상 방지 및 인력 수급 활성화
- 고속런 작업자 의존성 탈피 및 작업자에 따른 품질 편차 및 불량률 감소
- 로봇 자동화를 통한 공정 병목현상을 완화/해결하여 작업효율 및 생산성 향상, 단가 절감 효과

1. A 업체 로봇 적용 시

구분	도입 전	도입 후
생산성	62 ton/월	80ton/월
불량률	0.5 %	0.1 %
투자회수기간(ROI)	25 개월	

가. 로봇 도입 후 예상 생산량

구 분	도입전	도입후	변화량	증감율	비 고
월 생 산 량	62 ton	80 ton	18 ton	129%	
일 생 산 량	2.5 ton	3.2 ton	0.7 ton	128%	
시간당생산량	0.3 ton	0.4 ton	0.1 ton	133%	
투입인원(명)	1	1	1	0	
노 무 비/月	노 무 비/月	7,000,000	5,000,000	2,000,000	-30%

나. 로봇 도입 투자비용/ 운용비용

구 분	로봇설비비용	비 고
투 자 금 액	250,000,000	
감가상각비(월)	3,750,000	
유지보수료(월)	1,041,667	
투자금 이자비용	0	
기타 비용	0	
전력비(월)	300,000	
합 계	5,091,667	

다. 로봇 도입 투자비용 예상회수기간

비용합계	도입전	도입후	로봇도입비 용차액	생산량증가이 익	투자금액 회수기간(월)
노무비+로봇설비비 용	27,555,000	18,869,167	8,685,833	1,800,000	24

2. B 업체 로봇 적용 시

구분	도입 전	도입 후
생산성	60/day (8.5ea/h, 7hr) 8시간기준 1시간 휴식	120개/day (17ea/h, 7hr)
불량률	1%(0.6개)	0.5%(0.3개)
투자회수기간(ROI)	1년	

가. 로봇 도입 후 예상 생산량

구 분	도입전	도입후	변화량	증감율	비 고
월 생 산 량	600	1200	600	200%	
일 생 산 량	30	60	30	200%	
시간당생산량	3	6	3	200%	
투입인원(명)	4	2	2	200%	
노 무 비/月	16.0 백만원	8.0 백만원	8.0 백만원	50%	-30%

나. 로봇 도입 투자비용/ 운용비용

구 분	로봇설비비용	비 고
투 자 금 액	250,000,000	
감가상각비(월)	3,750,000	
유지보수료(월)	1,041,667	
투자금 이자비용	0	
기타 비용	0	
전력비(월)	300,000	
합 계	5,091,667	

다. 로봇 도입 투자비용 예상회수기간

비용합계	도입전	도입후	로봇도입비 용차액	생산량증가이 익	투자금액 회수기간(월)
노무비+로봇설비비 용	16,000,000	13,091,667	2,908,333	18,000,000	12

3-2. 고려사항

□ 표준공정모델 적용 및 공정 운영 시 유의사항 등

○ 안전 사항

- 산업안전기준법 준수하여 안전 장치 및 설비 구축
- 장비 가동 중 작업자의 출입 방지 및 제한 시스템 구축
- 비상 시 원터치 긴급정지 기능 탑재
- 절단 공구류 및 가스/산소 절단기 결합 주기적 점검
- 로봇 전문가의 로봇 프로그램, PLC 프로그램 수정 금지

○ 유지보수

- 로봇 유지보수는 매뉴얼에 따라 정기적으로 확인/진행
- 로봇의 구동부 윤활류 등 소모품 주기적 점검/교체
- 공압식 및 유압식 장치의 경우 공기, 기름 누수 및 압력을 상시 확인
- 로봇 지그 또는 절단 툴의 결합 및 마모를 점검 및 필요시 교체
- 설비 주요 센서류, 비상장치 작동 여부 및 감지 민감도 확인
- 로봇, 지그, 툴 주변의 이물질 제거, 안전 가이드 파손/결함 시 교체
- 장비의 동기화 여부, 제어 프로그램의 동작 및 수정 등 여부 주기적 점검

○ 기타 유의사항

- 장비의 오작동, 정지, 파손 발생 시 신속대응이 가능하도록 로봇 제작 업체, 공급업체 등 비상연락망 확보
- 장비의 문제가 없더라도 공급업체로부터 주기적인 점검 요청