
항공기 조립공정 개선을 위한 제조로봇 활용모델 개발
복합재 적층후 가공 공정_커팅
[표준공정모델 매뉴얼]

2022. 2

한국로봇융합연구원

1 개요

1-1. 목적

- 본 매뉴얼은 항공기 조립공정 개선을 위한 제조로봇 활용모델 공정을 소개하고, 제조로봇이 적용된 항공기 조립 공정의 표준화 및 확대 적용을 위한 기술적 이해를 도모하는데 그 목적이 있음

1-2. 공정소개

□ 공정 정의[경화 전 복합재 트리밍, Prepreg Charge Trimming]

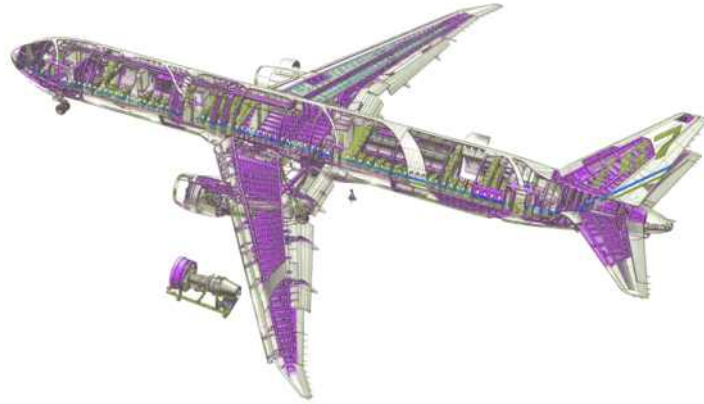
- Prepreg Charge는 날장의 복합재 Ply를 다중 적층하여 본딩한 상태를 의미하며 Trimming은 제품의 불필요한 테두리를 제거하거나 다듬는 작업을 의미함. 항공기 부품인 Stringer의 경우 Ply 적층 후 Bagging 전 단계에서 Trimming(Side & End Cutting) 공정을 거치게 됨

1-3. 적용대상

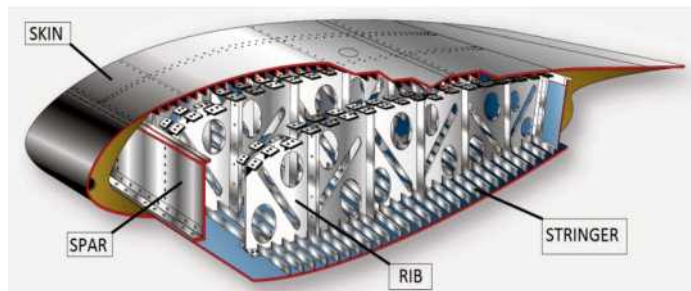
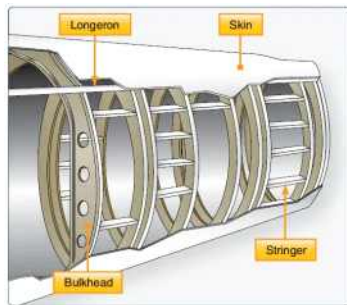
□ 적용공정

○ Prepreg Charge Trimming - Stringer

- Stringer란 항공기 날개, 동체 등의 구조물에서 형상 유지와 강도의 일부를 담당하는 항공기 구조의 한 부분으로써 주로 동체 종방향으로 배치됨.
- Stringer(날개용)는 날개 굽힘 강도를 크게 하고 비틀림에 의한 좌굴을 방지하기 위해 날개 길이 방향으로 장착되며 리브와 리벳으로 고정됨
- 무게에 비하여 높은 강도와 강성을 얻을 수 있기 때문에 두꺼운 알루미늄 합금판을 깎아서 스트링거와 외피를 일체로 만드는 패널형이 많이 사용됨
- Stringer(동체용)는 동체의 길이 방향으로 배치되는 부재인 세로대, 프레임과 함께 기본적인 동체의 형상을 구성함. 세로대와 스트링거는 항공기 동체에 작용하는 굽힘 모멘트에 의한 인장 응력과 압축응력을 담당함.



* 항공기에 조립된 STRINGER 예시



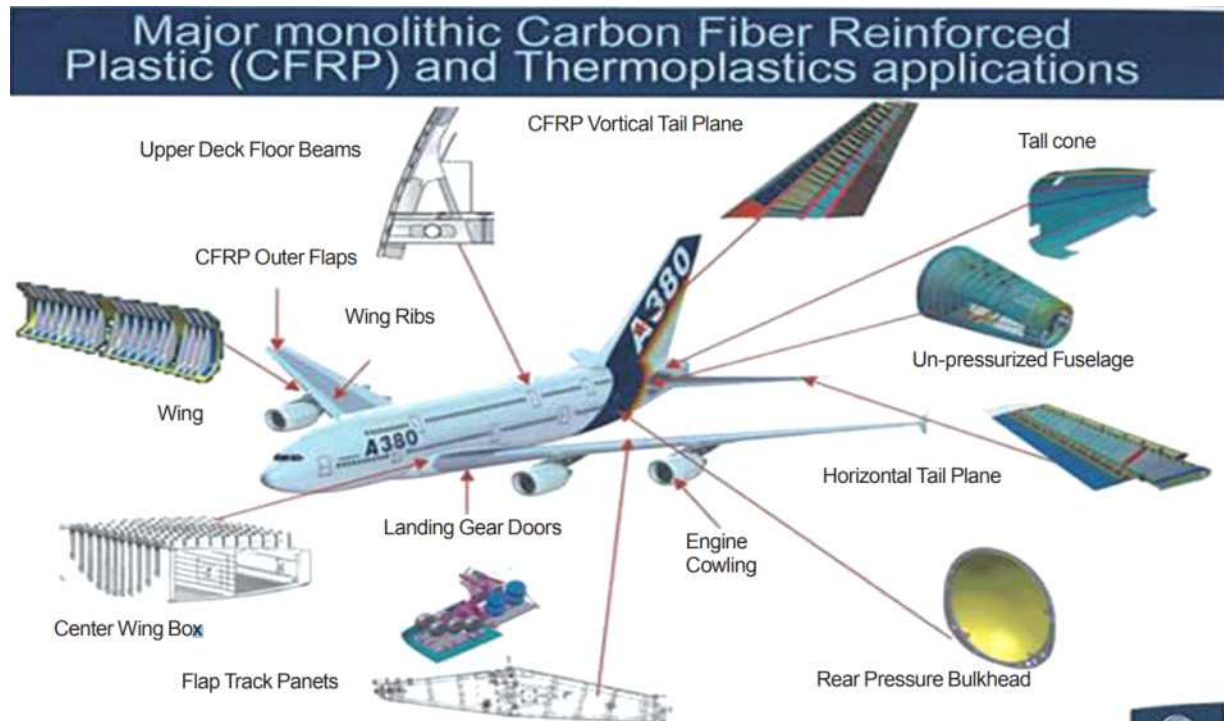
* 항공기 동체와 날개에 적용된 STRINGER 배치

그림 1 항공기 기체에 적용된 Stringer 참조자료

□ 적용확대 가능 공정 및 활용가능 분야

○ 확대적용 가능 공정 - 항공기 부품 가공분야

- 울트라 소닉 커터는 경도가 높은 소재부품인 CFRP(탄소섬유강화플라스틱) 등을 큰 부하 없이 정밀하게 가공할 수 있으며 가공이 어려운 Honeycomb Core 소재 등 가공 조건이 까다로운 항공기 부품 가공 분야에 확대 적용이 가능함



* CFRP(복합소재)가 적용되는 항공기 기체 파트(예시)

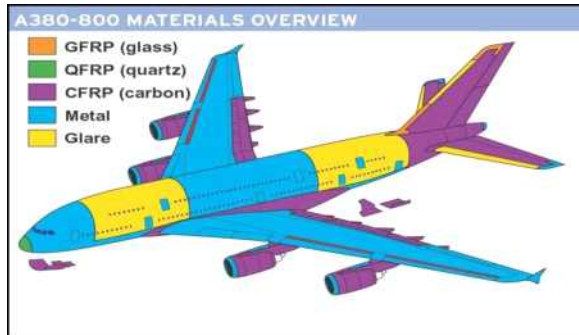


* 복합소재를 사용하는 항공기 부품 사진

그림 2 복합소재를 사용하는 항공부품 및 복합소재 부품 사진

○ 확대적용 가능 공정 - CFRP 외 복합소재 가공공정 및 Honeycomb Core 소재 가공공정

- CFRP 외 GFRP, QFRP 등 항공기에는 다양한 복합소재가 사용되고 있음. 울트라 소닉 커터를 이용하여 CFRP외 다른 복합소재(GFRP, QFRP) 가공공정에 적용가능. 또한, Honeycomb Core와 같이 가공이 어려운 절단 가공공정에 적용이 가능함.



* 항공기에 사용되는 다양한 복합소재 및 Honeycomb Core 절단공정 사용 예시

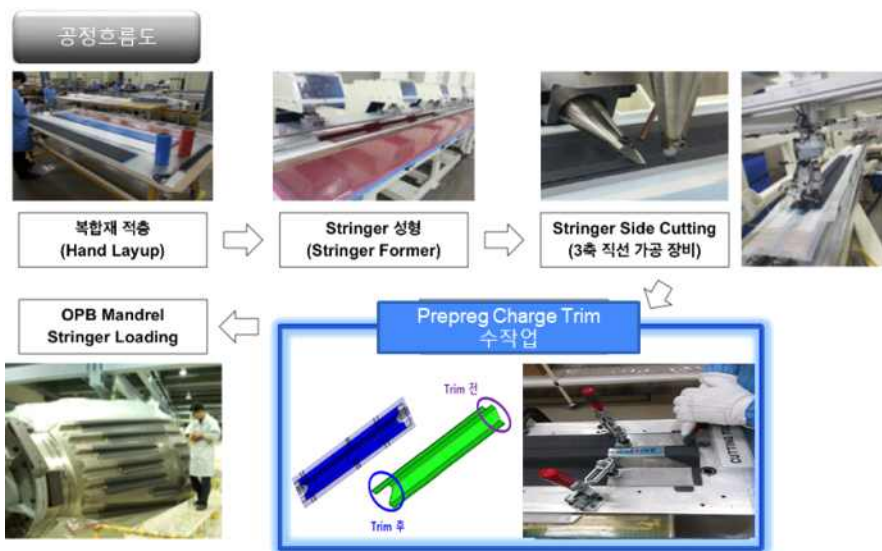
그림 3 Prepreg Charge Trimming 확대적용 가능한 산업분야 적용예시

2 로봇활용 표준공정모델

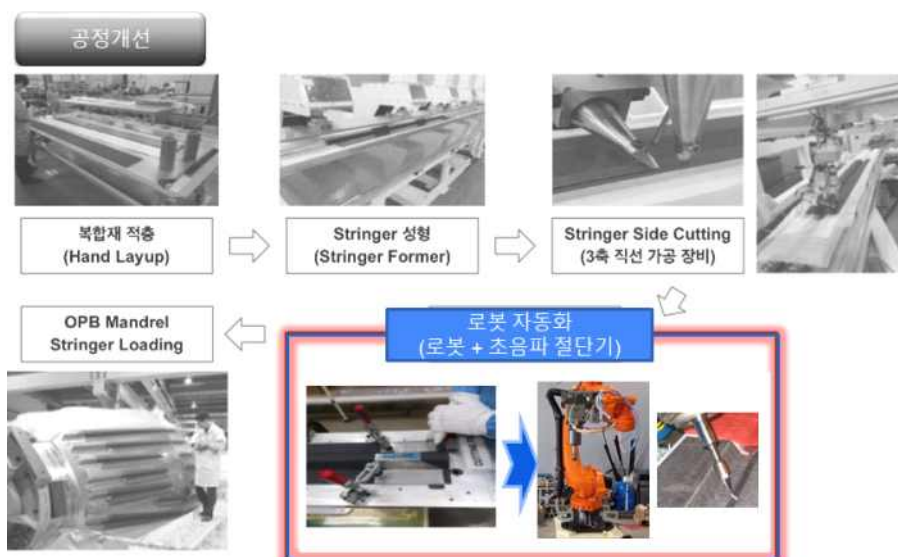
2-1. 로봇 활용 표준공정모델

□ 표준공정모델 개요

구분	자재형상 Cutting	Lay up 작업	Stringer 성형	Stringer Side Trimming	Stringer End Trimming
As-Is	수동	수동	수동	수동	수동
To-Be	장치	장치	로봇	로봇	로봇



개선 前



개선 後

[Prepreg Charge Trimming 표준모델 도입 공정 흐름도]

□ 시스템 구성

[표준공정모델 시스템 구성안]

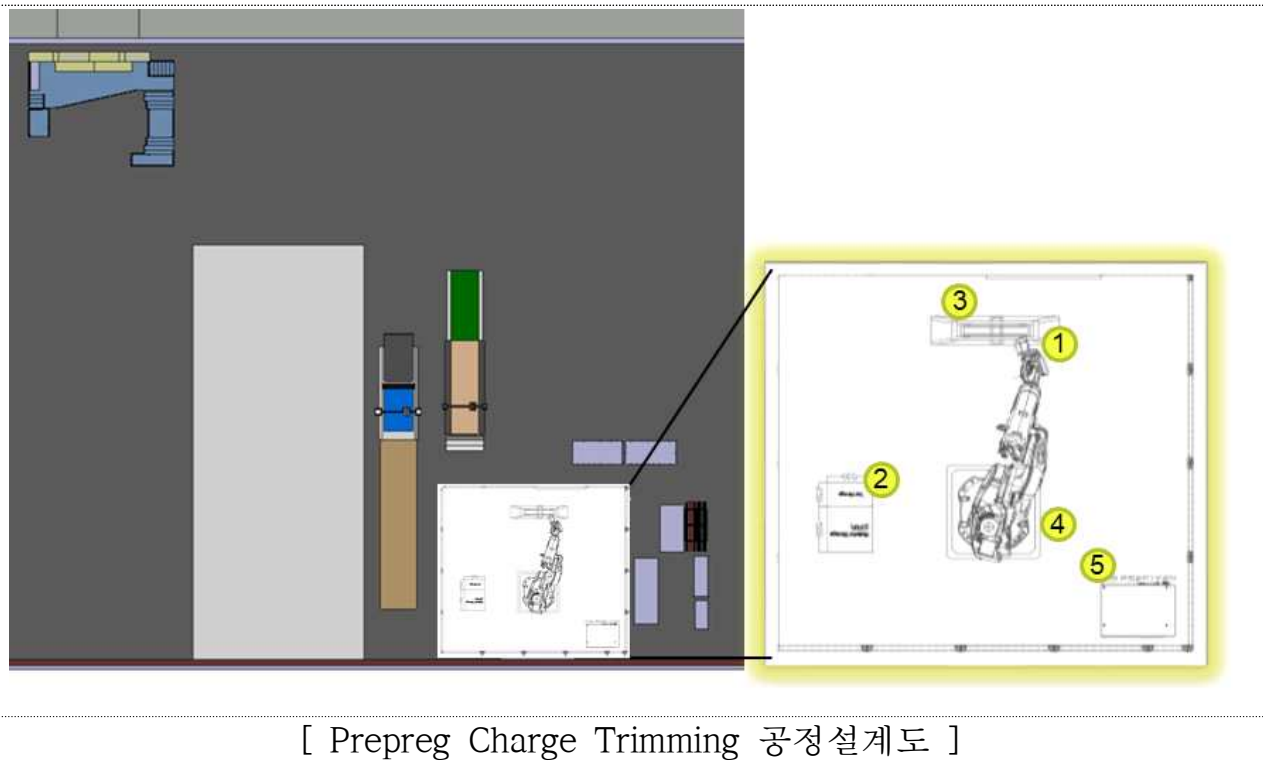
H/W	사 양	필요 기능
로봇	<ul style="list-style-type: none"> - 타입: 수직다관절 - 축 자유도: 6-axis - 가반하중: 최대 275kg - 반복정밀도: $\pm 0.05\text{mm}$ - 리치: 최대 2,701mm 	<ul style="list-style-type: none"> - 작업반경 내에서의 반복정밀도 유지 - 제어시스템과의 S/W 호환성 - 주어진 작업환경에서의 가동 내구성
가공 툴	<ul style="list-style-type: none"> - 타입 : 초음파 절단기 - 20KHz - 2000W(220V) - 칼날 두께 1.0mm(교체 타입) - 에어강제공냉식 	<ul style="list-style-type: none"> - 칼날 마모에 따른 칼날 교체 타입 - 사용시간을 고려하여 에어강제 공냉 - 정해진 칼날 위치로 절단가공 수행
제어반	<ul style="list-style-type: none"> - 통신방식: 이더넷 - 확장성 및 호환성 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 초음파 절단기와 호환 가능 - 통합관리시스템 연동 제어



[제조로봇을 활용한 Prepreg Charge Trimming 공정 구성]

□ 공정 설계도

○ 제조로봇 적용된 공정 운영 설계(안)



- ① 준비작업 : 지그(Fixture)에 제품 고정 및 로봇 가동 - 작업자
- ② 제품 고정 : 제품을 지그(Fixture)로 Clamping, 고정 위치 확인 - 작업자
- ③ Side Cutting : 다관절로봇에 장착된 울트라 소닉 툴로 Stringer의 Side Cutting 작업 수행 - 로봇
- ④ 검사 : EOP, Roundness, Dimensional precision 확인 - 작업자
- ⑤ 지그(Fixture) Un-clamping 및 제품 탈거

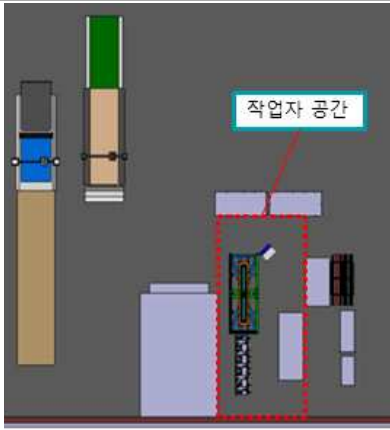
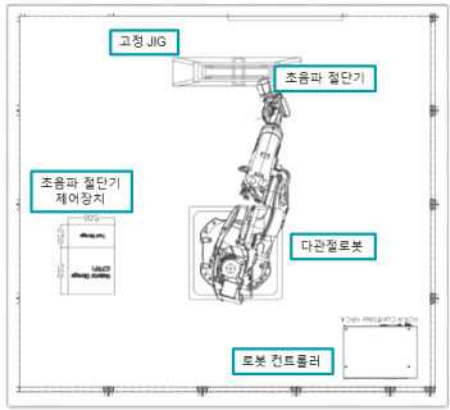
□ 운영 시나리오

- 표준모델 공정 설계에 따른 운영시나리오 기반으로 OLP(Off-Line Programming)을 활용하여 3D모델링 기반의 제품형상에 따른 로봇을 활용한 Side Cutting Tool Path 생성, 로봇 모션 시뮬레이션 이후 로봇 프로그래밍 파일 생성
- 생성된 로봇 프로그래밍 파일을 로봇 제어기에 로딩하여 수동 저속모드에서 Tool TCP Calibration 및 Tool Path 검증·미세 조정 이후 자동모드에서 로봇 최적의 속도로 운영

〈로봇자동화 시스템 구동 순서〉

- ① 외부에서 작업자가 Prepreg Charge를 지그에 고정
- ② 로봇 컨트롤러에서 초음파 절단기 제어(초음파 절단기 on)
- ③ 초음파 절단기를 사용하여 Prepreg Charge Trim
- ④ 다관절로봇 준비 상태로 이동
- ⑤ 외부에서 작업자가 지그 해제 및 언 로딩

2-2. 표준공정모델 실증기준

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [복합재 적층 후 가공 공정_커팅]					
산업 분야	항공	대상업종 (산업분류코드)	항공기용 부품 제조업 (C31322)	적용공정	복합재 적층 후 가공 공정_커팅
공정 소개	공정 정의	<ul style="list-style-type: none"> ■ 피 가공물의 로딩/언 로딩은 외부에서 작업자가 수행하고 Prepreg Charge 절단공정은 팬스 내부에서 다관절 로봇을 이용하여 절단면의 품질 정밀도, 재현성, 생산성 향상 및 생산비 절감 등을 실현하는 공정 			
	핵심(부) 기능	<ul style="list-style-type: none"> ■ 피가공물의 Prepreg Charge Trim ■ 가공품의 정밀도, 재현성 확보 ■ 가공품의 생산성, 생산비 절감 			
	핵심 구성	<ul style="list-style-type: none"> ■ 초음파 절단기 및 제어장치 ■ 다관절 6축 로봇 및 컨트롤러 ■ 작업자 안전을 위한 팬스 ■ 설치 후 티칭 정밀도 자동 세팅 프로그램 			
	핵심 성능	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다품종 소량생산 환경에 따른 OLP 기반의 Easy Programming ■ OLP기반의 로봇 프로그래밍으로 로봇 운영의 간소화 ■ 단일 프레임에 로봇과 주변 장치가 안착되어 설치 및 이동 용이 			
	필요성/효과	<p>[필요성]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 수작업시 저항 용접 품질불량 다수 발생 ■ 단순 반복작업에 기인한 작업자 피로도 누적 ■ 분진발생으로 작업자 안전문제 		<p>[도입효과]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 생산성 향상 ■ 절단면 품질 향상 ■ 불량률 감소 ■ 생산비 절감 ■ 생산성 향상 ■ 작업자 근골격계 질환 예방 	
	구분	Before		After	
	레이아웃				
	작업순서	피가공물 부품지그 로딩 → 커터칼을 이용한 절단(작업자) → 언 로딩 및 적재		피가공물 부품지그 로딩 → 절단작업 (초음파 절단기+로봇) → 언 로딩 및 적재	

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [복합재 적층 후 가공 공정_커팅]		
적용로봇 사양	로봇 종류	산업용 6축 다관절 로봇
	가반 하중	275kg
	작업 반경	2,700mm
	투입 대수	1대
	기타	-
주변 설비 사양	로봇 톨	<ul style="list-style-type: none"> ■ 위치제어, 힘제어 가능한 서보 스피들 ■ Max Speed:15,000 RPM/Power:3Hp(2.2kW)/Torque:2.6lb-ft (3.5N-m) ■ 에어를 이용한 절단 톨 강제 공냉식
	지그	■ 소재 안착용 Fixture + Air compressor를 이용한 진공 지그
	S/W	■ OLP기반의 Easy Programming & 3D시뮬레이션
	제어기	-
	안전 설비	■ 안전 펜스(안전센서 포함)
로봇도입 핵심 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다품종 대응 가능한 스테이지 구성 ■ 소재의 크기 감안한 로봇의 작업범위를 고려한 레이아웃 설계 ■ 작업자 안전을 고려한 레이아웃 설계(분진,소음) ■ 부품(제품)별 3D도면 기반 가공 프로그램 생성 및 시뮬레이션 기능 ■ 기종 변경시 지그 및 톨교체가 간편한 구조 ■ 품질 허용공차 이내 허용 조건 감안한 공정 설계 ■ 생산품의 품질 및 생산성 향상 ■ 공정 자동화 도입 	
소요예산	■ 총사업비 300백만원 내외(정부출연금 150백만원 이내)	
작성처	■ 한국로봇융합연구원 지성철 선임연구원 ☎ 054-279-0441	

항공기 조립공정 개선을 위한 제조로봇 활용모델 개발
복합재 경화 후 정형 공정_트리밍
[표준공정모델 매뉴얼]

2022. 2

한국로봇융합연구원

1 개요

1-1. 목적

- 본 매뉴얼은 항공기 조립공정 개선을 위한 제조로봇 활용모델 공정을 소개하고, 제조로봇이 적용된 항공기 조립 공정의 표준화 및 확대 적용을 위한 기술적 이해를 도모하는데 그 목적이 있음

1-2. 공정소개

□ 공정 정의[경화된 복합재 트리밍, Cured Laminate Trimming]

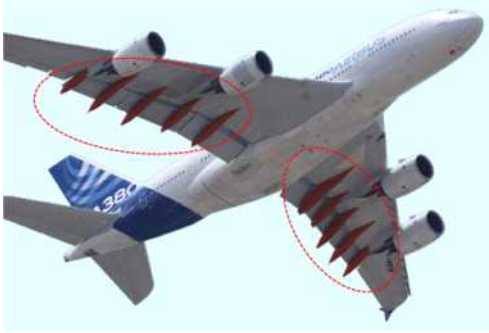
- 트리밍(Trimming) 공정이란 프레스 가공이나 주조 가공 등으로 생산된 제품의 불필요한 테두리나 핀(Fin) 등을 잘라 내거나 따내어 제품을 깨끗이 정형하는 작업을 말하며, 항공분야표준공정모델에서의 로봇자동화가 적용된 트리밍(Trimming) 공정은 경화된 복합재(Cured Laminate)의 표면을 다관절 로봇을 활용하여 3D형상의 표면을 고속·고정밀로 작업하는 솔루션임

1-3. 적용대상

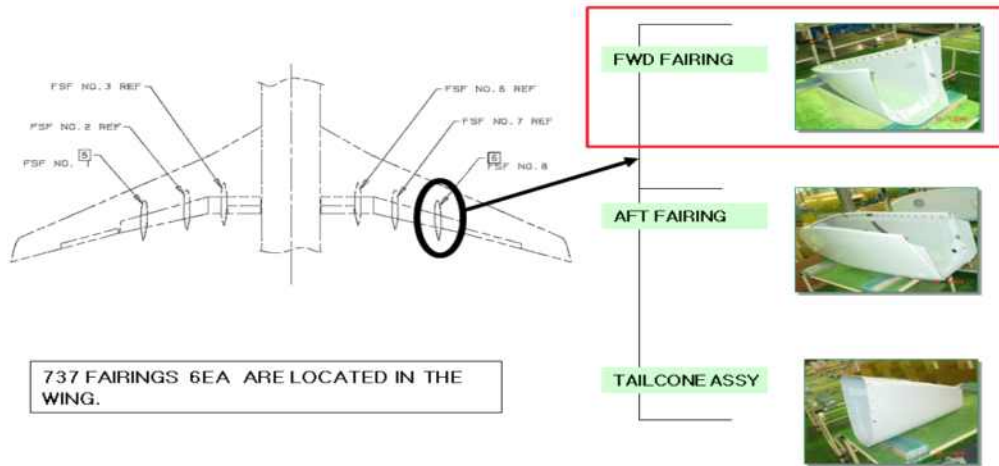
□ 적용공정

○ Cured Laminate Trimming - FSF(FLAP SUPPORT FAIRING)

- FSF(FLAP SUPPORT FAIRING)는 Boeing B737/B747/B777/B787 기종의 주 날개에 장착되어 운항시 발생하는 항력을 감소시키는 날개 구조물이며 항공기 기종에 따라 6개 또는 8개가 장착됨.[그림1 참조]
- FLAP(플랩)은 항공기가 짧은 활주로에서도 이륙할 수 있도록 활공각을 조절하도록 날개 뒷쪽에 달린 고양력(high lift device) 장치. 착륙할 경우에는 반대로 항력을 높여서 착륙거리를 줄임
- FSF는 FWD FAIRING, AFT FAIRING, TAILCONE ASSY 크게 3가지 파트로 구성되며, GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 유리섬유강화플라스틱)의 복합재(Composite) 소재로 제작됨[그림1 참조]
- GFRP 복합재 소재의 FSF의 각 파트가 형상 경화된 이후 가장자리 부분을 가다듬는 공정으로써, Cured Laminate Trimming이라고 함



* FLAP SUPPORT FAIRING 이 장착된 항공기 사진 예시



* FLAP SUPPORT FAIRING 각 파트별 형상

그림 1 Cured Laminate Trimming이 적용되는 FSF(FLAP SUPPORT FAIRING) 참조사진

□ 적용확대 가능 공정 및 활용가능 분야

○ 확대적용 가능 공정 - 항공기 부품소재

- 최근 개발된 항공기 B787과 A350은 동체 스킨과 날개가 모두 복합재 (Composite)로 되어 있으며, 해당 파트도 로봇자동화 기반의 Trimming이 확대 적용 가능할 것으로 보임



* 복합재소재가 적용되는 항공기 기체 파트(예시)

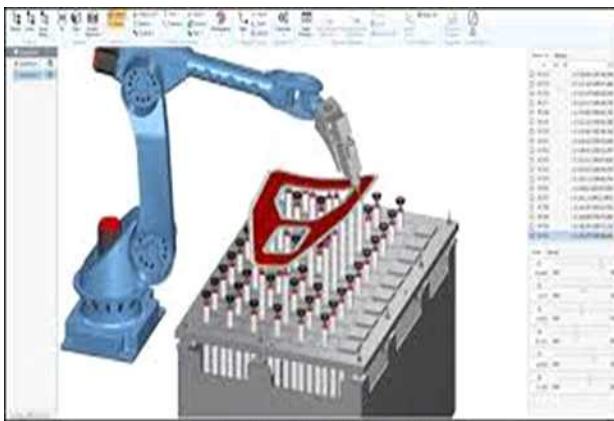


* 다관절 로봇을 적용한 복합재 소재의 항공기 동체 파트 생산(예시)

그림 2 Cured Laminate Trimming 확대적용 가능한 항공기 동체 부위별 파트

○ 확대적용 가능 공정 - 그 외

- 자동차 내장재, 기차 내장재를 비롯한 복합재 사용되는 산업에서의 해당 복합재 소재의 가장자리(Edge) 다듬는 공정이 필요한 분야에는 다관절 로봇 기반의 트리밍(Trimming) 적용 가능



* Cured Laminate Trimming 확대적용 가능한 타 산업분야 적용예시

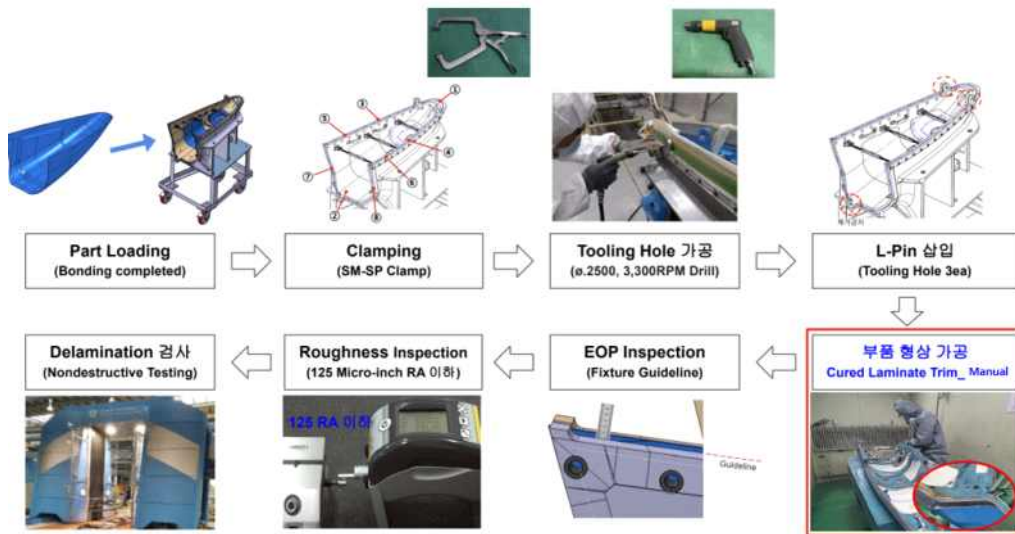
그림 3 Cured Laminate Trimming 확대적용 가능한 타 산업분야 적용예시

2 로봇활용 표준공정모델

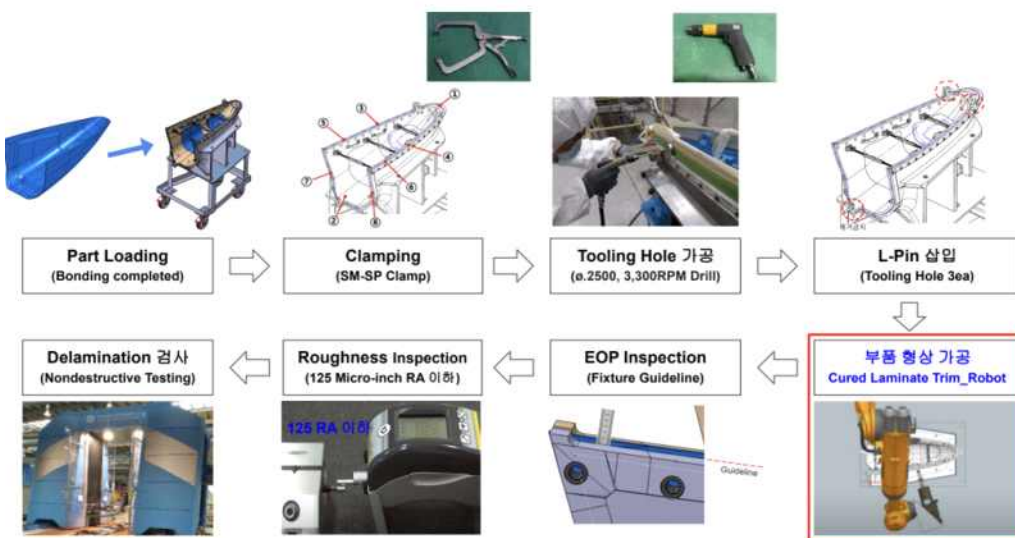
2-2. 로봇 활용 표준공정모델

□ 표준공정모델 개요

구분	Part Loading	Clamp ing	Tooling Hole 가공	L-Pin 삽입	부 품 형 상 가공	EOP 검사	Rough ness 검사	Delami nation 검사
As-Is	수동	수동	수동	수동	수동	수동	수동	수동
To-Be	수동	수동	수동	수동	로봇	수동	수동	수동

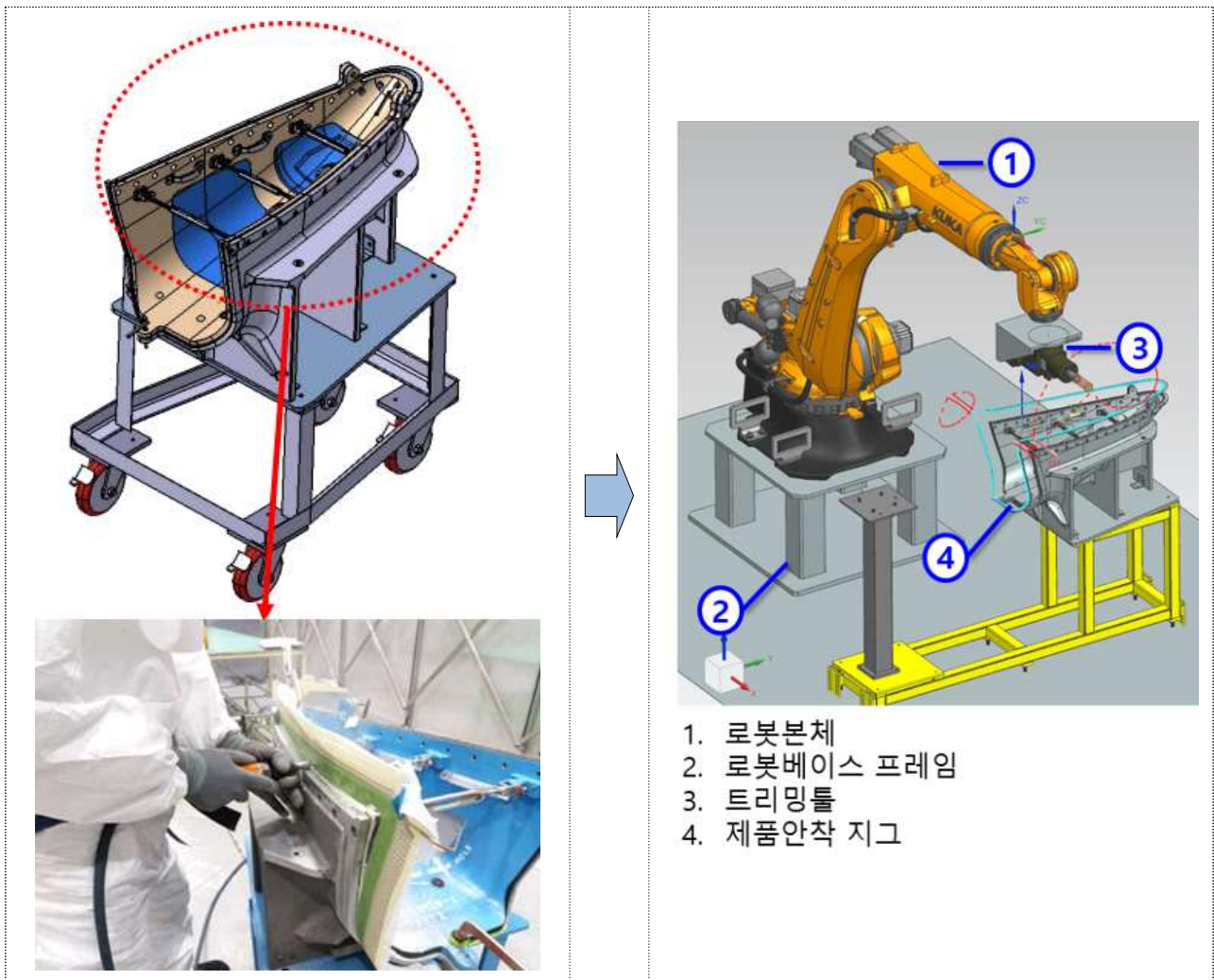


개선 前



개선 後

[Cured Laminate Trimming 표준모델 도입 공정 흐름도]



[Cured Laminate Trimming 표준모델 도입 솔루션]

□ 시스템 구성

[표준공정모델 시스템 구성안]

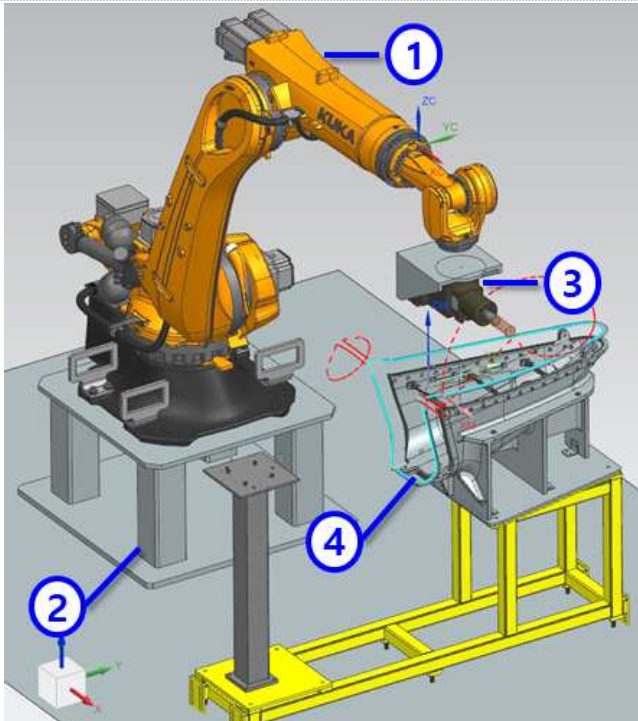
H/W	사 양	필요 기능
로봇	<ul style="list-style-type: none"> - 타입: 수직다관절 - 축 자유도: 6-axis - 가반하중: 최대 275kg - 반복정밀도: $\pm 0.05\text{mm}$ - 리치: 최대 2,701mm 	<ul style="list-style-type: none"> - 작업반경 내에서의 반복정밀도 유지 - 제어시스템과의 S/W 호환성 - 주어진 작업환경에서의 가동 내구성
트리밍 (Trimming) 툴	<ul style="list-style-type: none"> - 타입 : Servo Spindle [위치제어, 힘제어 가능] - Max Speed : 15,000 RPM - Power : 3Hp (2.2kW) - Torque : 2.6lb-ft (3.5N-m) - Weight : 28 lbs (12.7kg) 	<ul style="list-style-type: none"> - 엔드밀 자동 교체 - 위치제어 및 힘제어 기능 기반의 가공, 연마 - Speed, RPM 가변형
제어반	<ul style="list-style-type: none"> - 통신방식: 이더넷 - 확장성 및 호환성 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - Trimming Tool과 호환 가능 - TCP Auto-Calibration 가능 - 통합관리시스템 연동 제어



[제조로봇을 활용한 Cured Laminate Trimming 공정 구성]

□ 공정 설계도

○ 제조로봇 적용된 공정 운영 설계(안)



〈로봇자동화 시스템 구성〉

- ① 다관절로봇
- ② 로봇 베이스 프레임
- ③ 트리밍툴
- ④ 제품 안착 지그

[Cured Laminate Trimming 공정설계도]

- ① 제품 안착 지그(Fixture)에 제품(Cured Laminate) 고정 - 작업자
- ② 준비작업 : 지그(Fixture) Clamping, Tooling Hole 가공, L-Pin삽입 - 작업자
- ③ 형상가공 : 다관절로봇에 장착된 트리밍 툴로 Cured Laminate Trimming 작업수행 - 로봇
- ④ 검사 : EOP, Roughness, Delamination - 작업자
- ⑤ 지그(Fixture) Un-clamping 및 제품 탈거

□ 운영 시나리오

- 표준모델 공정 설계에 따른 운영시나리오 기반으로 OLP(Off-Line Programming)을 활용하여 3D모델링 기반의 제품형상에 따른 로봇활용한 트리밍(Trimming) Tool Path생성 및 로봇 모션 시뮬레이션 이후 로봇 프로그래밍 파일 생성
- 생성된 로봇 프로그래밍 파일을 로봇 제어기에 로딩하여 수동 저속모드에서 트리밍 툴(Trimming Tool) TCP Calibration 및 Tool Path 검증·미세 조정 이후 자동모드에서 로봇 최적의 속도로 운영



[Cured Laminate Trimming 제조로봇 적용 자동화 공정 운영 시나리오]

2-2. 표준공정모델 실증기준

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [복합재 경화 후 정형 공정_트리밍]					
산업 분야	항공	대상업종 (산업분류코드)	항공기용 부품 제조업 (C31322)	적용공정	복합재 경화 후 정형 공정_트리밍
공정 소개	공정 정의	<ul style="list-style-type: none"> ■ 소재(복합재)의 로딩·안착/탈착·언 로딩은 작업자가 수행하고 Cured Laminate Trimming 공정은 안전펜스로 규제한 영역 내에서 다관절 로봇을 활용함으로써 Trimming된 소재의 일관된 품질 확보, 생산성 향상, 생산비 절감뿐만 아니라 분진·소음 등으로부터 작업자를 보호하고 작업환경 개선을 실현하는 공정 			
	핵심(부) 기능	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다품종 소량생산 환경에 유연한 대응 가능한 OLP 기반의 Easy Programming + 엔드밀 Auto-change ■ 공정의 정밀도, 일관된 품질 확보에 따른 TCP Auto-Calibration ■ 생산성 향상 및 생산비 절감 효과 기대에 따른 공정 소요시간(Cycle Time) 최적화 			
	핵심 구성	<ul style="list-style-type: none"> ■ Robot Tool Path 자동생성 및 3D시뮬레이션을 위한 OLP S/W ■ 6축 다관절 로봇 및 컨트롤러 ■ 힘제어&위치제어 가능한 서보 스피들 ■ TCP Auto-Calibration Stage 			
	핵심 성능	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다품종 소량생산 환경에 따른 OLP 기반의 Easy Programming + 엔드밀 Auto-change ■ OLP 기반의 로봇 프로그래밍으로 로봇 운영의 간소화 ■ 힘제어&위치제어 가능한 서보 스피들 적용으로 품질 확보의 유연성 ■ 단일 프레임에 로봇과 주변 장치가 안착되어 설치 및 이동 용이 			
	필요성/효과	<p>[필요성]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 작업자 수작업에 따른 품질의 일관성 확보 어려움 → 생산성 저하 ■ 단순 반복작업에 기인한 작업자 피로도 누적 ■ 소음·분진에 따른 열악한 작업환경 		<p>[도입효과]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 일관된 품질 및 생산성 확보 ■ 작업환경 개선 ■ 작업자 근골격계 질환 예방 ■ 작업자 안전 및 피로도 개선 ■ 인력수급 문제 해소 ■ 생산비 절감 ■ 생산성 향상 	
	구분	Before		After	
	레이아웃				
	작업순서	소재안착 및 준비작업(작업자)→형상 가공(작업자)→검사/탈착(작업자)		소재안착 및 준비작업(작업자)→형상 가공(로봇)→검사/탈착(작업자)	

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [복합재 경화 후 정형 공정_트리밍]		
적용로봇 사양	로봇 종류	산업용 6축 다관절 로봇
	가반 하중	275kg
	작업 반경	2,700mm
	투입 대수	1대
	기타	-
주변 설비 사양	로봇 톨	<ul style="list-style-type: none"> ■ 위치제어, 힘제어 가능한 서보 스피들 ■ Max Speed: 15,000 RPM/Power: 3Hp(2.2kW)/Torque: 2.6lb-ft (3.5N-m) ■ 엔드밀 자동 교체형
	지그	■ 소재 안착용 Fixture + TCT Auto-Calibration Guide Pin
	S/W	■ OLP기반의 Easy Programming & 3D시뮬레이션
	제어기	-
	안전 설비	■ 안전 펜스(안전센서 포함)
	기타 1	
	기타 2	
	기타 3	
	기타 4	
	기타 5	
로봇도입 핵심 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다품종 대응 가능한 스테이지 구성 ■ 소재의 크기 감안한 로봇의 작업범위를 고려한 레이아웃 설계 ■ 작업자 안전을 고려한 레이아웃 설계(분진,소음) ■ 부품(제품)별 3D도면 기반 가공 프로그램 생성 및 시뮬레이션 기능 ■ 기종 변경시 지그 및 톨교체가 간편한 구조 ■ 품질 허용공차 이내 허용 조건 감안한 공정 설계 ■ 생산품의 품질 및 생산성 향상 ■ 공정 자동화 도입 	
소요예산	■ 총사업비 275백만원 내외(정부출연금 137.5백만원 이내)	
작성처	■ 한국로봇융합연구원 지성철 선임연구원 ☎ 054-279-0441	

항공기 조립공정 개선을 위한 제조로봇 활용모델 개발
경량 구조물 연마 공정_디버링
[표준공정모델 매뉴얼]

2022. 2

한국로봇융합연구원

1 개요

1-1. 목적

- 본 매뉴얼은 항공기 조립공정 개선을 위한 제조로봇 활용모델 공정을 소개하고, 제조로봇이 적용된 항공기 조립 공정의 표준화 및 확대 적용을 위한 기술적 이해를 도모하는데 그 목적이 있음

1-2. 공정소개

□ 공정 정의[코어 면취 및 사상, Core Beveling & Sanding]

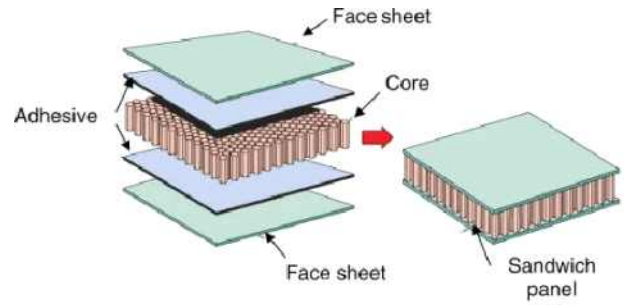
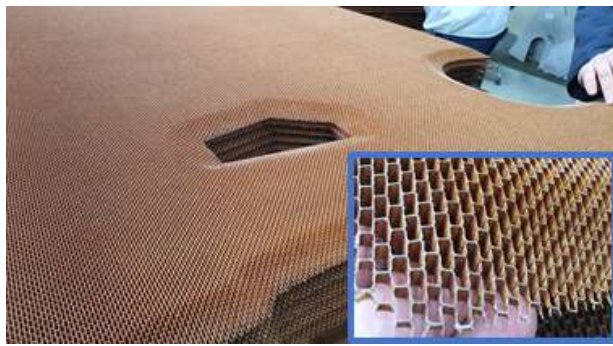
- 면취(Beveling or Chamfering)란 공작물의 모서리 또는 구석을 비스듬하게 깎는 것을 의미하며 사상(Sanding)은 흠집을 제거하고 표면을 매끄럽게 하기 위해 연마재를 사용하여 문지르는 일을 의미함. 항공분야표준공정모델에서 로봇자동화가 적용된 면취(Beveling) 및 사상(Sanding) 공정은 복합구조물의 두께와 강성을 증강시키는 경량 복합 재료인 Core의 고정밀 형상 가공을 위한 공정 솔루션임

1-3. 적용대상

□ 적용공정

○ Core Beveling & Sanding - Sandwich Structure

- 샌드위치 구조물(Sandwith Structure)이란 경량복합재인 Core에 얇고 단단한 Skin 소재를 양 면으로 부착한 구조물로 정의할 수 있으며 서로 다른 특성을 가진 두 개 이상의 재료로 구성된 고성능 복합 소재임
- Core는 소재에 따라 알루미늄과 같은 금속물질 또는 아라미드와 같은 합성섬유(아라미드 섬유를 레진에 적서 종이와 같이 만든 물질)로 분류할 수 있으며 본 매뉴얼은 아라미드 소재의 Core 면취, 사상 공정을 대상으로 함
- 항공기 Skin 내부에 Core를 불연속적으로 삽입, 접착시킴으로써 해당 파트가 높은 압축 및 전단강도를 가지도록 함
- Core의 면취(Beveling) 및 사상(Sanding) 공정은 샌드위치 구조물 제작을 위한 Core 성형의 마지막 단계로, Core의 최종 형상을 만들기 위한 로봇기반의 고정밀 가공 공정임



* Aramid 소재의 Core 및 Core가 삽입된 Sandwich Structure의 모습



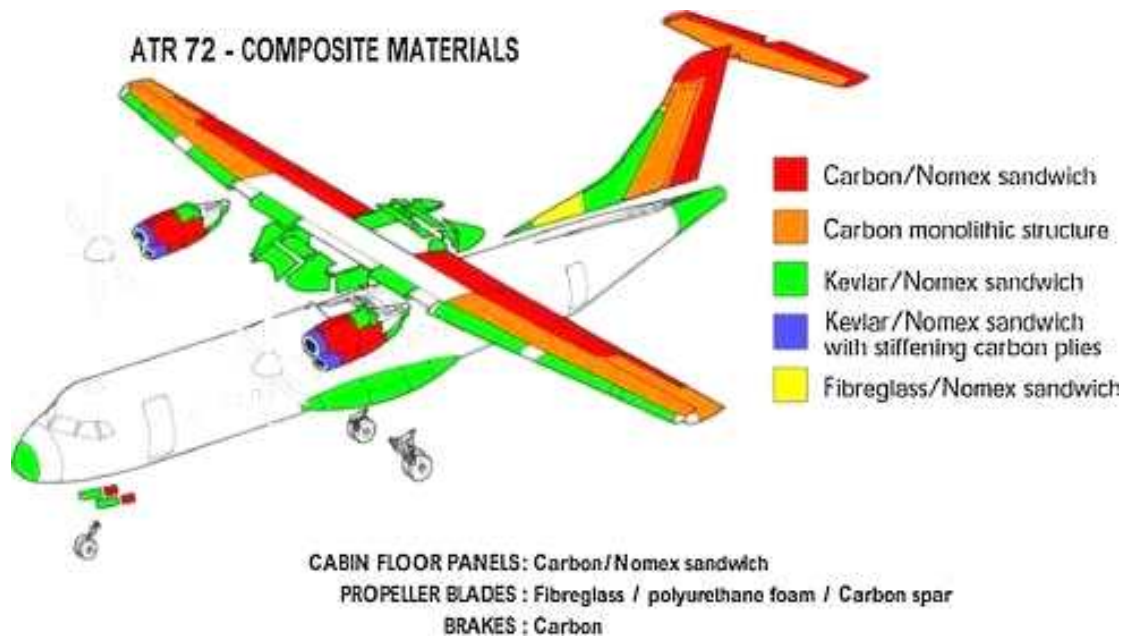
Sandwich Structure가 적용된 FLAP SUPPORT FAIRING의 모습

그림 1 Aramid Core, Sandwich Structure, FSF(Flap Support Fairing)

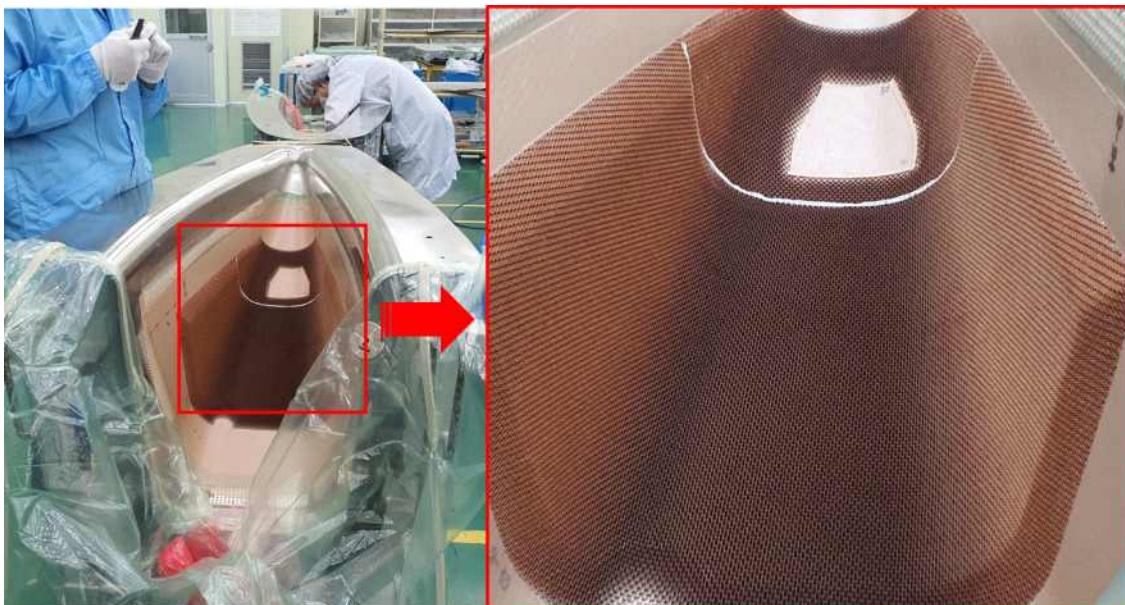
□ 적용확대 가능 공정 및 활용가능 분야

○ 확대적용 가능 공정 - 항공분야

- Core는 다양한 기체 구성부품에 적용되는 재료로, Core Beveling & Sanding 로봇 자동화기술은 항공기 제조 산업 내에서 FSF 분야 뿐 아니라 다른 기체 파트의 제조 공정에 확대 적용이 가능함



* Sandwich Structure가 적용되는 항공기 기체 파트(예시)

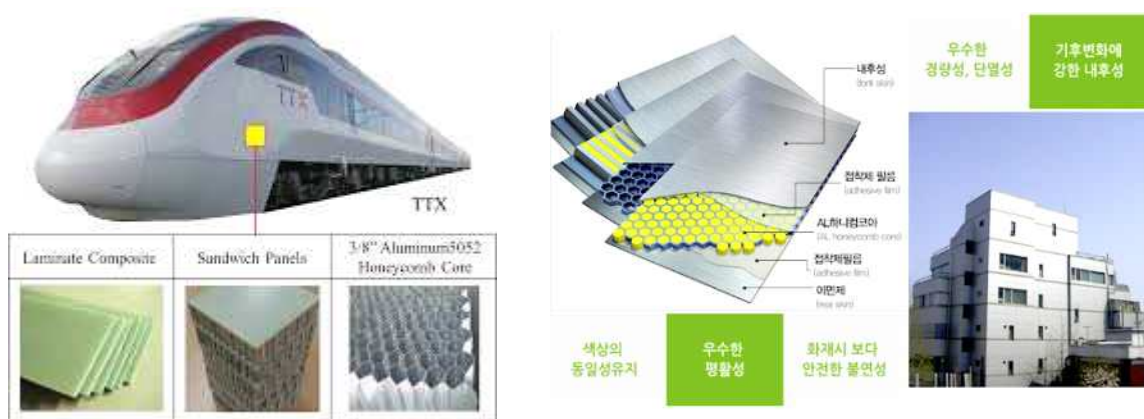


* FSF에 Core를 삽입하는 공정의 모습

그림 2 Sandwich Structure 적용 예시 및 Core를 삽입하는 공정의 모습

○ 확대적용 가능 공정 - 항공 · 우주 산업 외 분야 (철도, 해양, 건축 등)

- Core는 그 형태와 소재가 다양한 만큼 항공분야 뿐 아니라 우주, 철도, 해양 등 산업에서도 널리 사용되는 재료로 Core Beveling & Sanding 로봇 자동화기술은 타 산업으로 확장 및 응용될 가능성이 높음



* Core Beveling & Sanding 확대적용 가능한 타 산업분야 적용예시

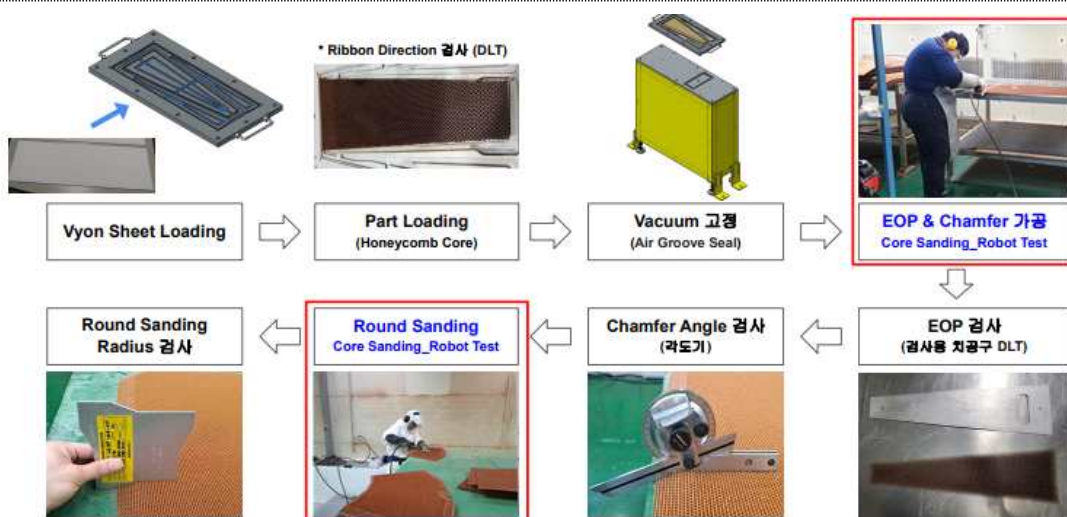
그림 3 Core Beveling & Sanding 확대적용 가능한 타 산업분야 적용예시

2 로봇활용 표준공정모델

2-2. 로봇 활용 표준공정모델

□ 표준공정모델 개요

구분	Vyon Sheet Loading	Part Loading	지그 고정	Core Beveling	Core Sanding	EOP 검사	Angle 검사	Radius 검사
As-Is	수동	수동	수동	수동	수동	수동	수동	수동
To-Be	수동	수동	수동	로봇	로봇	수동	수동	수동



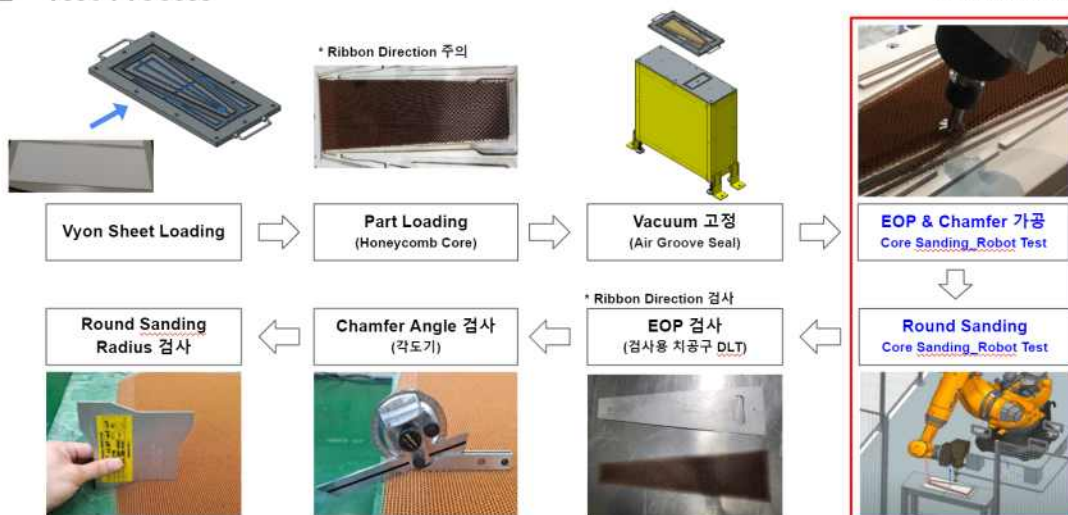
개선 前

Core Sanding : Test Process

Excellence in Flight
KOREAN AIR

□ Test Process

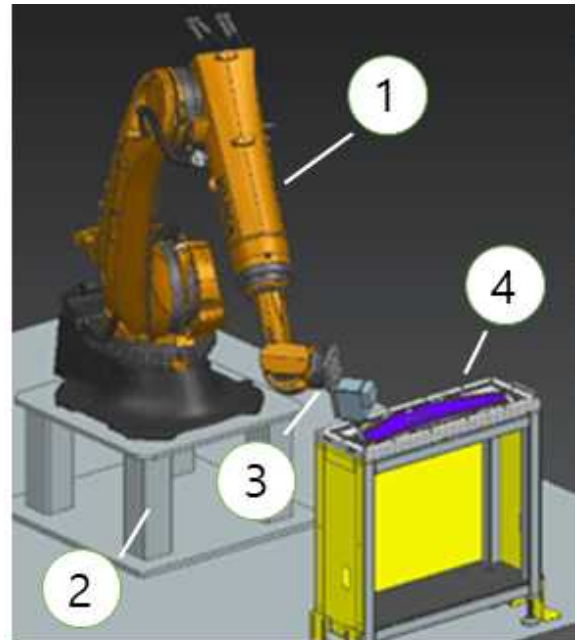
* EOP(End/Edge of Part)
* DLT (Developed Layout Template)



KOREAN AIR PROPRIETARY

개선 後

[Core Beveling & Sanding 표준모델 도입 공정 흐름도]



1. 로봇 본체
2. 로봇베이스 프레임
3. Beveling or Sanding 툴
4. 지그 및 코어

[Core Beveling & Sanding 표준모델 도입 솔루션]

□ 시스템 구성

[표준공정모델 시스템 구성안]

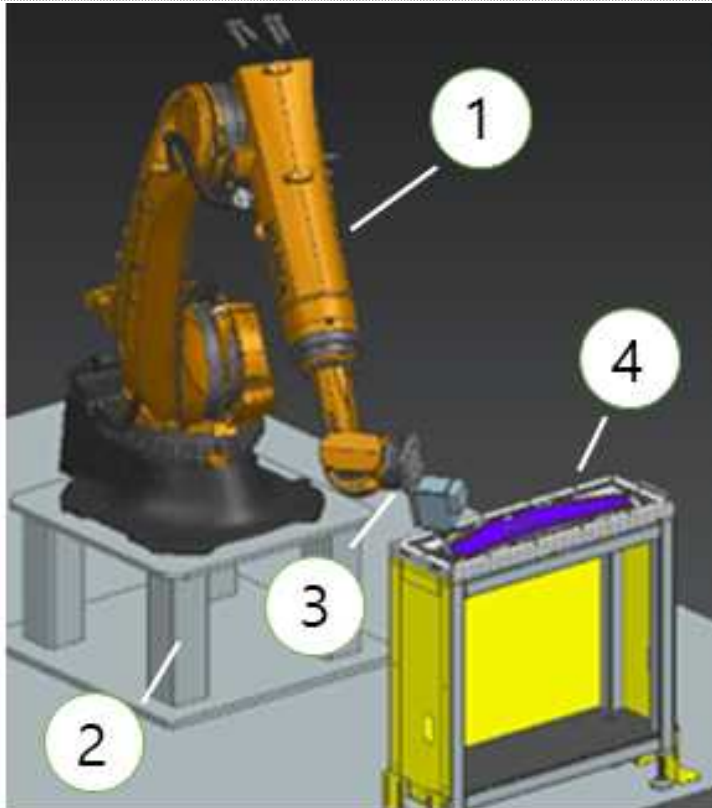
H/W	사 양	필요 기능
로봇	<ul style="list-style-type: none"> - 타입: 수직다관절 - 축 자유도: 6-axis - 가반하중: 최대 275kg - 반복정밀도: $\pm 0.05\text{mm}$ - 리치: 최대 2,701mm 	<ul style="list-style-type: none"> - 작업반경 내에서의 반복정밀도 유지 - 제어시스템과의 S/W 호환성 - 주어진 작업환경에서의 가동 내 구성
Beveling / Sanding Tool	<ul style="list-style-type: none"> - 타입 : Servo Spindle [위치제어, 힘제어 가능] - Max Speed : 15,000 RPM - Power : 3Hp (2.2kW) - Torque : 2.6lb-ft (3.5N-m) - Weight : 28 lbs (12.7kg) 	<ul style="list-style-type: none"> - 엔드밀 자동 교체 - 위치제어 및 힘제어 기능 기반의 가공, 연마 - Speed, RPM 가변형
제어반	<ul style="list-style-type: none"> - 통신방식: 이더넷 - 확장성 및 호환성 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - Beveling Tool과 호환 가능 - TCP Auto-Calibration 가능 - 통합관리시스템 연동 제어



[제조로봇을 활용한 Core Beveling & Sanding 공정 구성]

□ 공정 설계도

○ 제조로봇 적용된 공정 운영 설계(안)



〈로봇자동화 시스템 구성〉

- ① 다관절로봇
- ② 로봇 베이스 프레임
- ③ Beveling/Sanding Tool
- ④ 제품 안착 지그

[Core Beveling & Sanding 공정설계도]

- ① 준비작업 : 베이스 플레이트/지그 고정, 컴포넌트 연결 및 진공펌프 가동 및 - 작업자
- ② 제품 고정 : 지그(Fixture)에 제품(Core) 안착 - 작업자
- ③ 면취, 사상 : 다관절로봇에 장착된 툴로 Core Beveling & Sanding 작업 - 로봇
- ④ 검사 : EOP, Angle, Roundness - 작업자
- ⑤ 지그(Fixture) Un-clamping 및 제품 탈거

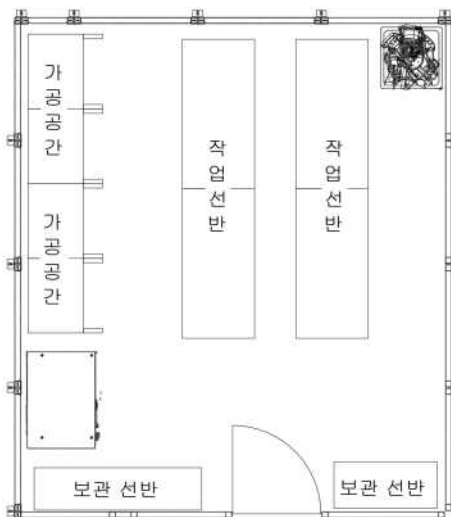
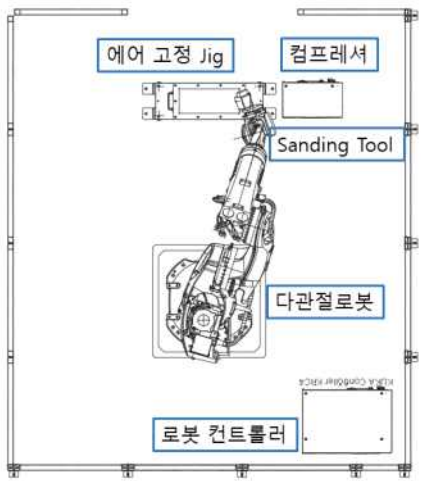
□ 운영 시나리오

- 표준모델 공정 설계에 따른 운영시나리오 기반으로 OLP(Off-Line Programming)을 활용하여 3D모델링 기반의 제품형상에 따른 로봇을 활용한 면취(Beveling) 및 사상(Sanding) Tool Path 생성, 로봇 모션 시뮬레이션 이후 로봇 프로그래밍 파일 생성
- 생성된 로봇 프로그래밍 파일을 로봇 제어기에 로딩하여 수동 저속모드에서 Tool TCP Calibration 및 Tool Path 검증·미세 조정 이후 자동모드에서 로봇 최적의 속도로 운영



[Core Beveling & Sanding 제조로봇 적용 자동화 공정 운영 시나리오]

2-2. 표준공정모델 실증기준

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [경량 구조물 연마 공정_디버링]					
산업 분야	항공	대상업종 (산업분류코드)	항공기용 부품 제조업 (C31322)	적용공정	경량 구조물 연마 공정_디버링
공정 소개	공정 정의	<ul style="list-style-type: none"> ■ 재료의 로딩/안착/탈착은 작업자가 수행하고 Core Beveling & Sanding 공정은 안전펜스로 규제한 영역 내에서 다관절 로봇을 활용함으로써 제품의 일관된 품질 확보, 생산성 향상, 생산비 절감뿐만 아니라 분진·소음 등으로부터 작업자를 보호하고 작업환경 개선을 실현하는 공정 			
	핵심(부) 기능	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다품종 소량생산 환경에 유연한 대응 가능한 OLP 기반의 Easy Programming + 엔드밀 Auto-change ■ 공정의 정밀도, 일관된 품질 확보에 따른 TCP Auto-Calibration ■ 생산성 향상 및 생산비 절감 효과 기대에 따른 공정 소요시간(Cycle Time) 최적화 			
	핵심 구성	<ul style="list-style-type: none"> ■ Robot Tool Path 자동생성 및 3D시뮬레이션을 위한 OLP S/W ■ 6축 다관절 로봇 및 컨트롤러 ■ 힘제어&위치제어 가능한 서보 스피들 ■ TCP Auto-Calibration Stage 			
	핵심 성능	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다품종 소량생산 환경에 따른 OLP 기반의 Easy Programming + 엔드밀 Auto-change ■ OLP 기반의 로봇 프로그래밍으로 로봇 운영의 간소화 ■ 힘제어&위치제어 가능한 서보 스피들 적용으로 품질 확보의 유연성 ■ 단일 프레임에 로봇과 주변 장치가 안착되어 설치 및 이동 용이 			
	필요성/효과	<p>[필요성]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 작업자 수작업에 따른 품질의 일관성 확보 어려움 → 생산성 저하 ■ 단순 반복작업에 기인한 작업자 피로도 누적 ■ 소음·분진에 따른 열악한 작업환경 		<p>[도입효과]</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 일관된 품질 및 생산성 확보 ■ 작업환경 개선 ■ 작업자 근골격계 질환 예방 ■ 작업자 안전 및 피로도 개선 ■ 인력수급 문제 해소 ■ 생산비 절감 ■ 생산성 향상 	
	구분	Before		After	
	레이아웃				
	작업순서	소재안착 및 준비작업(작업자)→형상 가공(작업자)→검사/탈착(작업자)		소재안착 및 준비작업(작업자)→형상 가공(로봇)→검사/탈착(작업자)	

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [경량 구조물 연마 공정_디버링]		
적용로봇 사양	로봇 종류	산업용 6축 다관절 로봇
	가반 하중	275kg
	작업 반경	2,700mm
	투입 대수	1대
	기타	-
주변 설비 사양	로봇 톨	<ul style="list-style-type: none"> ■ 위치제어, 힘제어 가능한 서보 스피들 ■ Max Speed: 15,000 RPM/Power: 3Hp(2.2kW)/Torque: 2.6lb-ft (3.5N-m) ■ 엔드밀 자동 교체형
	지그	■ 소재 안착용 Fixture + TCT Auto-Calibration Guide Pin
	S/W	■ OLP기반의 Easy Programming & 3D시뮬레이션
	제어기	-
	안전 설비	■ 안전 펜스(안전센서 포함)
	기타 1	
	기타 2	
	기타 3	
	기타 4	
	기타 5	
로봇도입 핵심 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> ■ 다품종 대응 가능한 스테이지 구성 ■ 소재의 크기 감안한 로봇의 작업범위를 고려한 레이아웃 설계 ■ 작업자 안전을 고려한 레이아웃 설계(분진, 소음) ■ 부품(제품)별 3D도면 기반 가공 프로그램 생성 및 시뮬레이션 기능 ■ 기종 변경시 지그 및 톨교체가 간편한 구조 ■ 품질 허용공차 이내 허용 조건 감안한 공정 설계 ■ 생산품의 품질 및 생산성 향상 ■ 공정 자동화 도입 	
소요예산	■ 총사업비 282백만원 내외(정부출연금 141백만원 이내)	
작성처	■ 한국로봇융합연구원 지성철 선임연구원 ☎ 054-279-0441	