
항공기 조립공정 개선을 위한 제조로봇 활용모델
개발_Prepreg Charge Trimming(Side) 공정

[표준공정모델 매뉴얼]

2022. 12

한국로봇융합연구원

목 차

1. 개요	1
1-1. 목적	1
1-2. 공정소개	1
1-3. 적용대상	3
2. 로봇 활용 표준공정모델	6
2-1. 공정 분석	6
2-2. 로봇 활용 표준공정모델	11
2-3. 표준공정모델 실증기준	15
3. 기대효과 및 고려사항	
3-1. 기대효과	17
3-2. 고려사항	18

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, Prepeg Charge Trimming]

- Prepeg Charge는 낱장의 복합재 Ply를 다중 적층하여 본당한 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

□ 공정 선정

- 수요조사 50건 중 로봇활용 수요 제기 횟수가 많고 평가점수(필요성, 시급성, 적합성, 효과성, 활용성)가 높은 공정을 우선 선정하였음

순번	분야	기술목록	기업	필요성	시급성	적합성	효과성	활용성	합계
1	복합재 가공	탄소섬유복합재 가공 자동화	대한항공	5	4	5	5	5	24
2		탄소섬유복합재 가공 자동화	동성티씨에스	5	4	4	5	5	23
3		탄소섬유복합재 가공 자동화	드림하이테크	4	4	4	4	4	20
4		탄소섬유복합재 가공 자동화	데크항공	5	3	5	5	5	23
5		탄소섬유복합재 가공 자동화	송월테크놀로지	5	4	4	5	5	23
6		탄소섬유복합재 가공 자동화	한국복합소재	5	5	5	5	5	25
7		탄소섬유복합재 가공 자동화	디엔엠항공	5	5	5	5	5	25
8	기체 조립	리베팅 자동화 공정	한국항공우주산업	5	3	5	4	5	22
9		리베팅 자동화 공정	하이즈항공	4	3	4	4	4	19
10		리베팅 자동화 공정	대화항공산업	4	4	4	5	4	21
11		리베팅 자동화 공정	에이에스티지	4	4	4	5	5	22
12		리베팅 자동화 공정	엔디티엔지니어링	4	3	4	4	4	19
13		리베팅 자동화 공정	켄코아에어로스페이스	5	5	5	5	5	25
14		리베팅 자동화 공정	율곡	5	5	5	4	4	23
15		리베팅 자동화 공정	볼크	5	4	5	5	5	24
16	기체 가공	볼팅 조립 자동화	대한항공	4	4	4	4	4	20
17		드릴링 자동화 공정	드림하이테크	4	4	4	4	4	20
18		드릴링 자동화 공정	하이즈항공	4	3	3	5	4	19
19		드릴링 자동화 공정	에이에스티지	4	4	4	5	5	22
20		드릴링 자동화 공정	대신항공산업	4	3	4	4	4	19
21		드릴링 자동화 공정	엔디티엔지니어링	4	3	4	4	4	19
22		드릴링 자동화 공정	켄코아에어로스페이스	5	5	5	5	5	25
23		드릴링 자동화 공정	율곡	4	2	3	2	3	14
24		드릴링 자동화 공정	현항공산업	4	4	4	5	5	22

25		엔진 블레이드 가공 자동화	은유항공정밀	5	4	5	5	5	24
26	물류	Set-up 자동화 공정	한국항공우주산업	5	4	5	5	5	24
27		Set-up 자동화 공정	울곡	5	5	5	5	5	25
28		Set-up 자동화 공정	한국치공구업	4	4	5	4	3	20
29		Set-up 자동화 공정	케이에이엠	3	3	3	3	3	15
30		Set-up 자동화 공정	케이피항공산업	5	5	5	5	5	25
31		제품 회전 자동화	하이즈항공	5	5	4	5	4	23
32		무빙라인 자동화	하이즈항공	4	4	5	5	5	23
33		마찰재(디스크) 공정 이송 자동화	다윈프릭션	4	3	3	4	4	18
34		Part 및 원자재 이송을 위한 로봇 자동화	켄코아에어로스페이스	5	5	5	5	5	25
35		20m 급 하공 부품 Pallet Change System	켄코아에어로스페이스	5	5	5	5	5	25
36		소재 장착 자동화	울곡	5	5	5	4	4	23
37		HW Kitting 자동화 공정	울곡	4	2	5	4	4	19
38	기타(치공구, 검사, 측정, 본딩, 표면처리 등)	항공기 부품 도장 자동화	에어로코텍	4	4	4	4	4	20
39		항공기 부품 도장 자동화	엔디티엔지니어링	4	3	4	5	5	21
40		복합재 비파괴 검사 자동화	한국복합소재	5	5	5	5	5	25
41		복합재 비파괴 검사 자동화	한국항공우주산업	4	4	5	4	5	22
42		복합재 비파괴 검사 자동화	세이프텍	5	4	4	5	5	23
43		기체 미소 크랙 검사 자동화	에스아이오티	5	5	4	5	5	24
44		조립 검사 작업 자동화	대화항공산업	4	3	4	5	4	20
45		Layup & Inspection 자동화 공정	대신항공산업	4	4	4	4	4	20
46		대형부품(20m 급) 검사 공정 자동화	켄코아에어로스페이스	5	5	5	5	5	25
47		3D Scanning 자동화	울곡	4	2	3	4	4	17
48		측정 자동화	사이언	5	5	5	5	5	25
49		치공구 Bushing 조립	드림하이테크	3	3	3	3	3	15
50		복합재 적층 후 반복 가압	한국복합소재	5	4	4	5	5	23

표준모델 후보군	평가항목	세부점수	점수차트
복합소재 가공	필요성	4.86	<p>복합소재 가공</p>
	시급성	4.14	
	적합성	4.57	
	효과성	4.86	
	활용성	4.86	
	합계	23.29	

<Prepreg Charge Trimming 공정 평가의견>

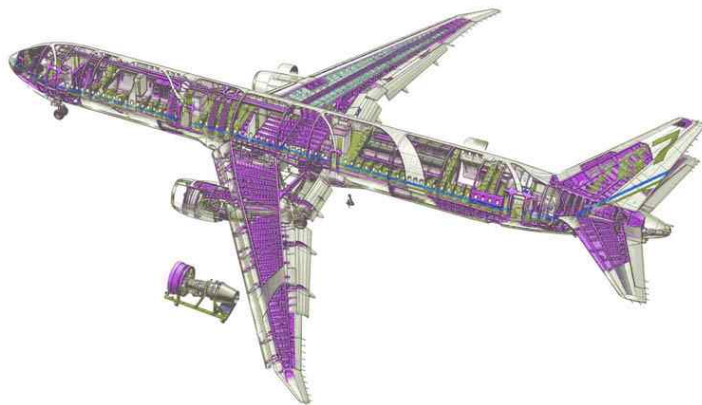
표문모델 항목	만점	평가점수	평가의견
필요성(작업환경, 애로 사항, 공정문제점 등)	5	4.86	복합재 가공 공정은 특성상 로봇과 사람의 협업작업이 요구되는 환경으로 작업자의 안전이 확보된 협업 공정 자동화가 요구됨
시급성, 난이도(인력난, 작업환경 등)	5	4.14	단순반복 작업공정으로 작업자의 근골격계 질환 등의 위험으로 인력확보가 어려움
적합성(주생산품 및 핵심 기술 등)	5	4.57	수작업 의존이 높은 항공기 부품 제작 공정의 로봇을 활용하는 것은 매우 적합하다고 판단됨
효과성(생산성&매출향상, 경쟁력 강화 등)	5	4.86	제조 기업은 대체로 영세한 반면 최저임금은 상승하고 있어 인력을 로봇으로 대체함으로써 제품의 시장경쟁력을 유지하는데 효과가 있음
활용도(활용도, 파급효과성 등)	5	4.86	복합재 가공 자동화를 통해 뿌리산업과 같은 타 산업 산업 분야로 확대가 기대됨
환산 점수	100	93.16	-

1-3. 적용대상

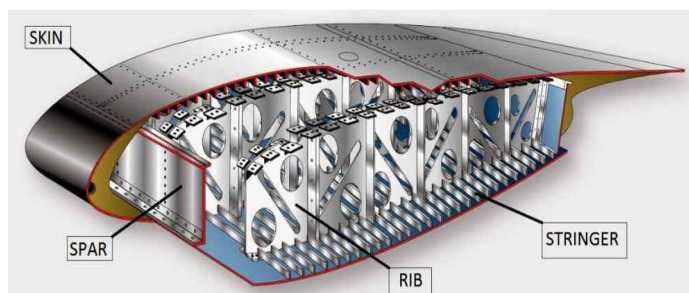
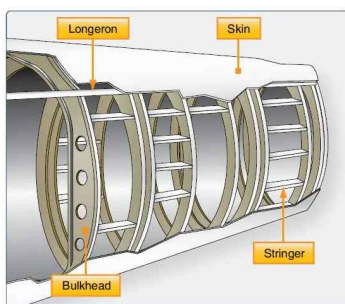
□ 적용공정

○ 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



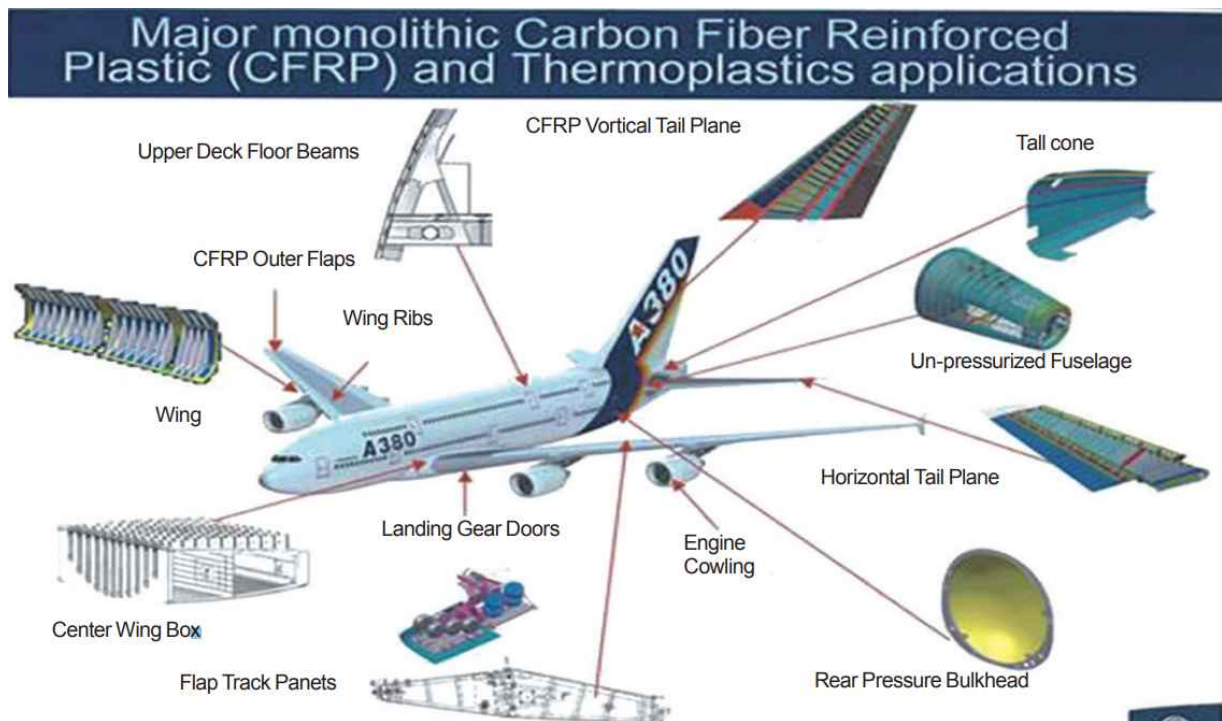
* 항공기 동체와 날개에 적용된 STRINGER 배치

그림 1 항공기 기체에 적용된 Stringer 참조자료

□ 적용확대 가능 공정 및 활용가능 분야

○ 확대적용 가능 공정

- 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)

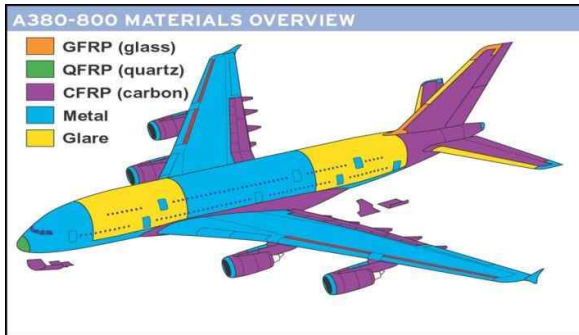


* 복합소재를 사용 하는 항공기 부품 사진

그림 2 복합소재를 사용하는 항공부품 및 복합소재 부품 사진

○ 확대적용 가능 공정

- 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 Preg Charge Trimming 확대적용 가능한 산업분야 적용예시

2 로봇활용 표준공정모델

2-1. 공정 분석

□ Prepeg Charge Trimming 공정 분석

(1) 복합소재 절단 공정

○ 공정 흐름도

- 원자재 입고 → 원자재 절단 → 복합재 적층 → 복합재 성형 → Stringer Side Cutting → Stringer End Cutting → Stringer 경화 → 이동/보관



그림 4 Prepeg Charge Trimming 전체 공정 흐름도

○ 전체 공정 순서

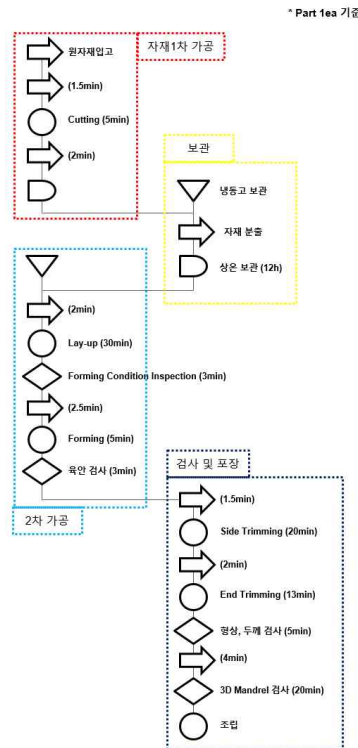
- ① 자재 입고 : 원자재 입고 후 -18° 이하 창고로 이동
- ② 절단 : 원자재를 형상과 크기에 맞춰 절단
- ③ 적층 : 요구되는 강도와 경도에 맞게 복합재 적층
- ④ 성형 : 적층된 복합재를 프레싱을 통해 성형
- ⑤ 측면 가공 : 성형 완료된 Stringer의 길이 방향 측면을 크기에 맞게 절단
- ⑥ 끝면 가공 : Stringer의 길이 방향 끝면을 크기에 맞게 절단
- ⑦ 부품경화 : Autoclave를 이용해 Stringer 경화
- ⑧ 보관 : 가공이 완료된 Stringer는 이동하여 보관

○ 전체 공정 구조

[Preg Charge Trim] 공정분석표

번호	내용설명	*Part 기준							문제점	*1차년도/2차년도 수행				
		운반	가공	정제	검사	저장	시간(분)	운반거리(m)		개선착안점	폐지	통합	순서	장소
1	원자재 입고 (CFRP Fabric)	V					-	-						
2	Ply Cutter로 이동	V					1.5	3.0	○ 원자재 Roll 무게가 있어, 다수의 작업자 필요					
3	자재 정선 Cutting (Ply Cutter)		V				5.0		○ 절단 길이의 한 면을 Cutting하고 장비를 멈춰 작업자가 분류&운반 후, 다시 컷팅 작업 → 작업시간 단축 필요					V(3자)
4	작업 테이블에 자재 분류 및 운반	V					2.0	3.0	○ 작업자가 형상에 맞게 한 개씩 발아서 분류하는 단순 작업 다 (Stringer Part: 51개)					V(3자)
5	냉동고 보관 (재료 저장, -18℃이하)				V		-		○ 냉동고 내 -18℃ 이하 유지 필요 → 자재 입고/분류 시 환경 개선 필요					
6	필요 자재 분류	V					-	2.5						
7	상온 보관 (12h)			V			-		○ 상온 보관 12h 필요 → 공정 시간 줄이는 방법 탐색 필요					
8	Lay up 작업 Tool로 이동	V					2.0	5.5						
9	Stringer Charge Lay up (수작업 적용)		V				30.0		○ 육안으로 Tool Scribe Line에 맞춰 적용하기 때문에 오차 발생 가능성 있음				V	V
10	Index Condition 및 Vyon Bed 검사				V		3.0							
11	Forming Tray에 Load	V					2.5	7.3	○ 작업자가 육안으로 Marking/Tape Line 위에 파트 Loading → 명확한 Index 필요					
12	Stringer 성형 (Forming)		V				5.0					V(2자)		
13	Visual Inspection				V		3.0				V(2자)			
14	Former Tray를 Trimming Table에 Load (Vacuum 유지)	V					1.5	4.2	○ Former Tray를 작업자가 직접 옮김 (무게: 약 ____ kg) ○ Stringer 형상 유지(충실 개선)를 위해, Forming & Trimming 공정 통합 필요			V(2자)		
15	Stringer Side Trimming (3축 직선 가공 장비)		V				20.0		○ 매 작업 시, CFRP Side cutting Line를 Cleaning 해야함 ○ 커터 방향따른 Cutting Path 최적화 X			V(2자)		
16	End Trim Tool에 Load	V					2.0	6.5				V(2자)		
17	Guide Tool(길이방향)을 Stringer 위에 Load 및 Mark		V				1.5		○ 작업자의 육안으로, 틀린지 라인을 마킹하기 때문에 오차 발생 가능성 있음			V(1자)		
18	Guide Plate(정선)를 기 마킹된 라인에 맞춰 Load		V				1.5		○ Trim 공장을 2가지로 분리해 작업하고 있어, Loading/Unloading/운반시간 소모가 큼			V(1자)		
19	Stringer End Trimming (수작업)		V				10.0		○ 수작업 육안으로 인해, Stringer 길이/형상 일정하고 정확하게 Trim 불가 ○ 3D Mandrel 1~3로기와 맞추어 Tool 갖추 통틀어야 하지만, 작업 시간 상 불가			V(2자)	V(1자)	V(1자)
20	Inspection (형상 - 육안, 두께 - Gauge Tool)				V		5.0							
21	Aluminum Tray로 운반	V					1.0	2.0						
22	Install 장스로 운반	V					3.0	54.0						
23	OPB Mandrel에 Stringer install (Inspection)				V		20.0		○ 3D Mandrel에 검사한 후, 추가적인 Net Trim으로 인한 과도한 M/H 발생			V(1자,2자)		
Total							120	88						
							2h							

[공정분석표]



[복합소재 제작 공정순서도]

- 복합소재 공정 순서도는 위와 같으며 크게 4가지로 분류 할 수 있음.

(1) 자재 1차 가공 : 입고된 자재를 알맞은 크기로 제단하고 정리함.

- (2) 보관 : 자재는 냉동고 내 -18°C 에서 보관하게 되어 있고 사용 전 12시간 상온보관함.
- (3) 2차 가공 : 강도 및 경도 등 기계적 특성에 맞게 Lay-up을 하고 형상에 맞게 가공함.
- (4) 검사 및 포장 : 가공이 완료된 제품을 형상 및 두께를 검사하고 조립 후 포장함.

□ 공정 문제점 및 개선 필요성

○ 현재 공정 문제점

- ① (Ply Cutter로 이동) 원자재 ROLL 무게가 있어, 다수의 작업자 필요
- ② (자재 형상 Cutting (Ply cutter)) 일정 길이의 한 면을 Cutting하고 장비를 멈춰 작업자가 분류&운반 후, 다시 커팅 작업
- ③ (작업 테이블에 자재 분류 및 운반) 작업자가 형상에 맞게 한 개씩 쌓아서 분류하는 단순 작업 多 (Stringer Part : 51개)
- ④ (냉동고 보관 (재료 저장, -18°C 이하)) 냉동고 내 -18°C 이하 유지 필요
- ⑤ (상온 보관 (12h)) 상온 보관 12h 필요
- ⑥ (Stringer Charge Lay up (수작업 적층)) 육안으로 Tool Scribe Line에 맞춰 적층하기 때문에 오차 발생 가능성 있음
- ⑦ (Forming Tray에 Load) 작업자가 육안으로 Marking/Tape Line 위에 파트 Loading
- ⑧ (Former Tray를 Trimming Table에 Load (Vacuum 유지)) Former Tray를 작업자가 직접 옮김
- ⑨ (Stringer Side Trimming (3축 직선 가공 장비)) 매 작업 시, CFRP Side cutting Line을 Cleaning 해야 함, 커터 방향 때문에 Cutting Path 최적화 힘들.
- ⑩ (Guide Tool(길이방향)을 Stringer 위에 Load 및 Mark) 작업자의 육안으로, 플랜지 라인을 마킹하기 때문에 오차 발생 가능성 있음.
- ⑪ (Guide Plate(형상)를 기 마킹된 라인에 맞춰 Load) Trim 공정을 2가지로 분리해 작업하고 있어, Loading/Unloading/운반시간 소요가 큼
- ⑫ (Stringer End Trimming (수작업)) 수작업 절단으로 인해, Stringer 길이/형상 일정하고 정확하게 Trim 불가, 3D Mandrel 1~3호기에 맞추어 Tool 갯수 동일해야 하지만, 작업 여건 상 불가
- ⑬ (OPB Mandrel에 Stringer Install (Inspection)) 3D Mandrel에 검사한 후, 추가적인 Net Trim으로 인한 과도한 M/H 발생

○ 개선 요구사항

- ① CFRP Fabric 원자재 전용 이동장치를 사용하여 투입 인력 최소화 필요
- ②, ③ 작업자가 일정길이에 맞춰 Cutting 하고 장비를 멈춰 분류&운반 후, 다시 커팅 작업을 수행하게 됨. 여기서 자재 고정용 지그를 다단 형, 전개 형으로 여러 개를 한 번에 고정 할 수 있는 커팅 전용 지그로 작업시간 단축
- ④ CFRP Fabric는 냉동고 내 -18℃에 보관, 자재 입고/분출 시 환경 개선 필요
- ⑤ 상온 12h 보관 필요, 공정 시간 줄이는 방법 필요, 보관 다이를 다단으로 많은 양 보관
- ⑥ Stringer Charge Lay up에서 전용 지그를 제작하여 육안으로 맞추지 않고 정렬하여 Tool Scribe Line 적층함으로써 오차 발생 가능성을 줄이고 작업시간을 단축 시킴
- ⑦ Forming Tray에 Load 육안 작업 대신 전용 지그를 사용하여 Marking하여 오차 발생확률을 줄이고 작업시간을 단축시킴.
- ⑧ Stringer 형상 유지를 위해, Forming & Trimming 공정 통합 필요
- ⑨ 커팅을 장비 대신 로봇을 이용함으로써 Cutting Path 최적화 가능
- ⑩, ⑪ 작업자가 직접 마킹 절단 등 작업을 하게 되면 오차발생 가능, 이를 로봇을 이용하여 오차를 줄이고 작업시간을 단축시킴.

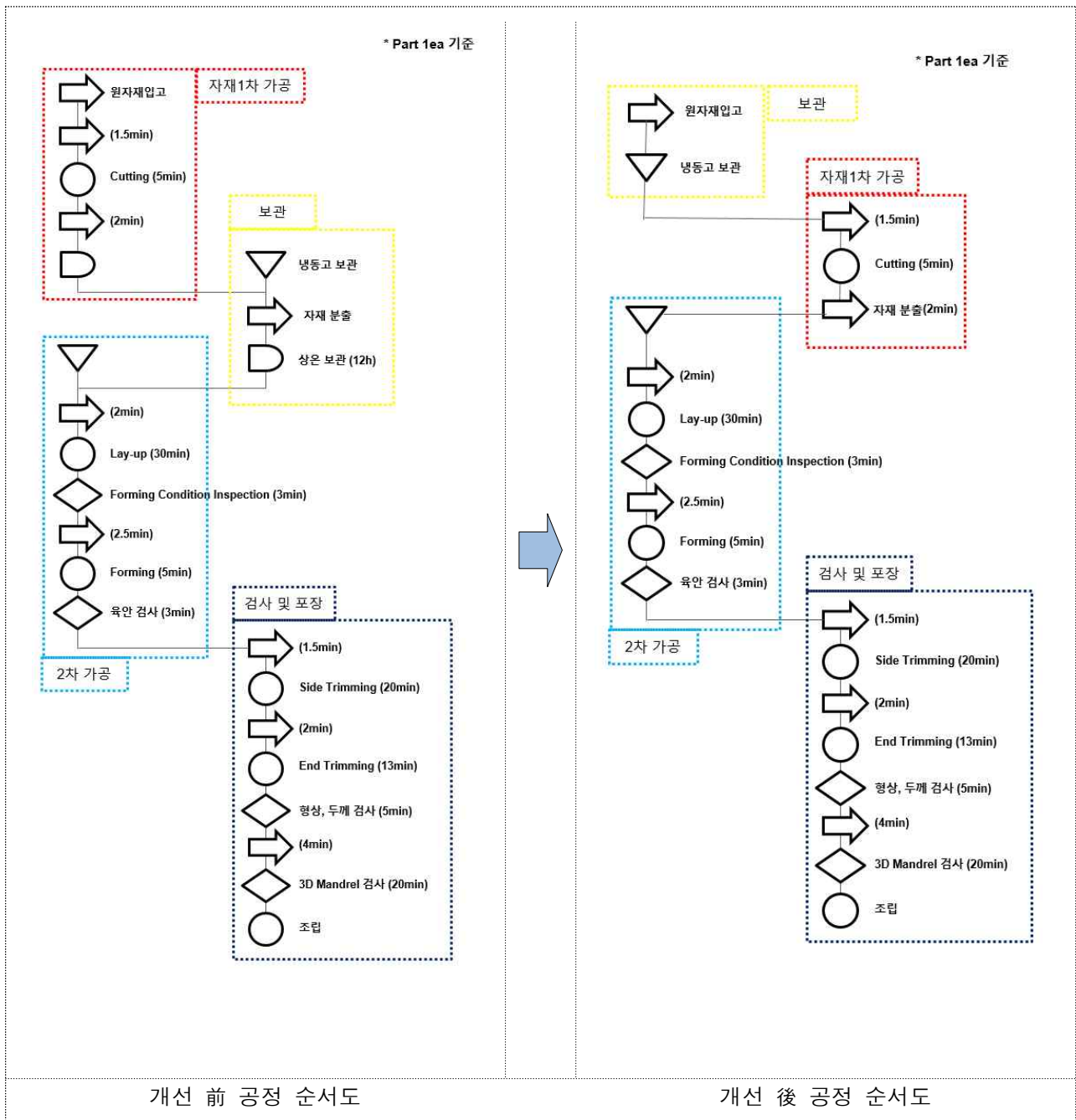
[Prepreg Charge Trim] 공정분석표

번호	내용설명	* Part 기준				문제점	* 1차년도/2차년도 수행				
		운반	가공	형제	검사		배치	통합	운반	검출	작업자
1	원자재 입고 (CFRP Fabric)	V									
2	Ply Cutter로 이동	V				1.5	2.5				
3	자재 형상 Cutting (Ply Cutter)	V				6.5	1.0				
4	작업 테이블에 자재 분류 및 운반	V				2.5	3.0				V(3차)
5	냉동고 보관 (재료 저장, -18℃이하)				V						V(3차)
6	필요 자재 분출	V					2.5				
7	상온 보관 (12h)			V							
8	Lay up 작업 Tool로 이동	V				2.5	5.0				
9	Stringer Charge Lay up (수직업 적용)	V				3.0					V
10	Index Condition (일 Vyon Bed 검사)			V		3.5	1.0				
11	Forming Tray에 Load	V				2.5	7.3				
12	Stringer 정렬 (Forming)	V				5.0					V(2차)
13	Visual Inspection			V		3.0					
14	Forming Tray를 Trimming Table에 Load (Vacuum 유지)	V				1.5	10				V(2차)
15	Stringer Side Trimming (오목 적층 가공 장비)	V				20.0					V(2차)
16	End Trim Tool에 Load	V				2.0	6.5				V(2차)
17	Guide Tool(일어형상)을 Stringer 위에 Load 및 Mark	V				1.5					V(1차)
18	Guide Plate(형상)를 기 마킹한 하판에 맞춰 Load	V				1.5	3.0				V(1차)
19	Stringer End Trimming (수직업)	V				15.0					V(1차)
20	Inspection (형상, 폭, 두께, Gauge Tool)			V		5.0					V(2차)
21	Aluminum Tray로 운반	V				1.0	2.0				
22	Install 장소로 운반	V				3.0	54.0				
23	CFRP Mandrel에 Stringer Install (Inspection)			V		20.0					V(1차, 2차)

[문제점 보완을 위한 개선된 공정분석표]

	기존 공정	보완된 공정	비고
Takt Time(min)	약 120	약 72	40% 감소
운반거리(m)	약 88	약 88	-

[기존 공정과 보완된 공정 비교]



[전체 공정 순서도 개선 전후 비교]

2-2. 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



[Prepreg Charge Trimming 표준모델 도입 공정 흐름도]

□ 시스템 구성

[표준공정모델 시스템 구성안]

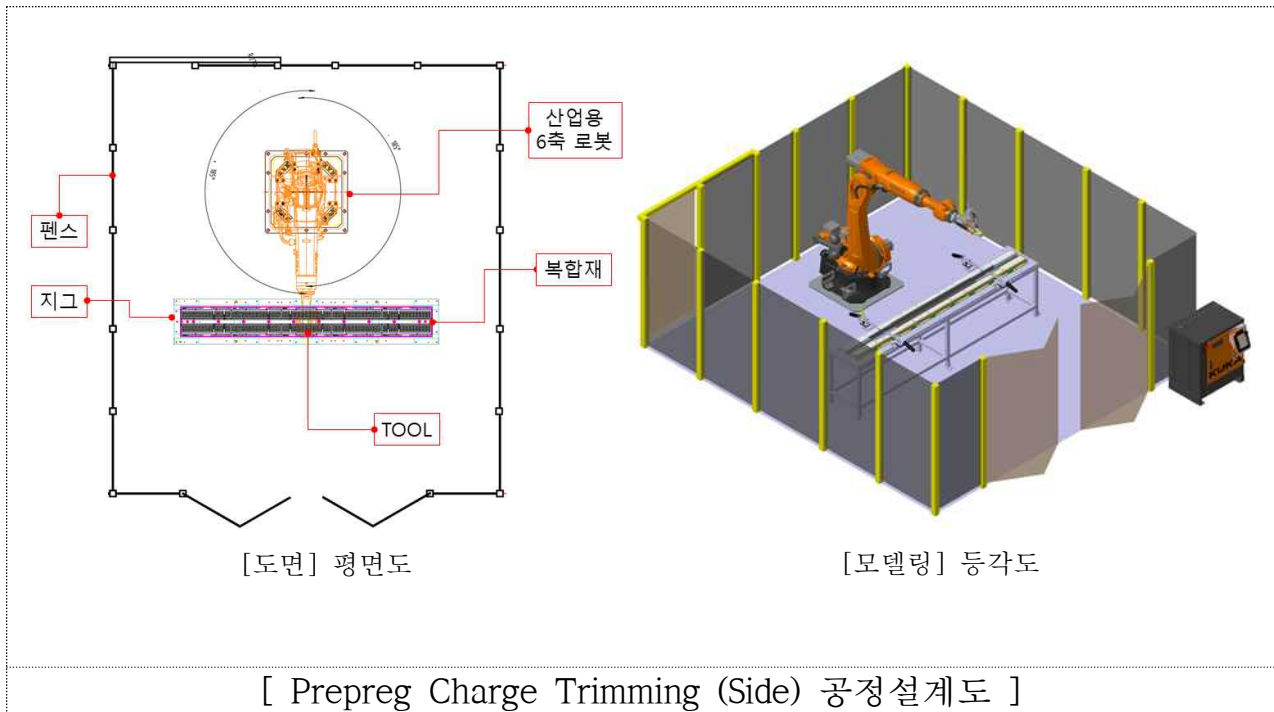
H/W	사 양	필요 기능
로봇	<ul style="list-style-type: none"> - 타입: 수직다관절 - 축 자유도: 6-axis - 가반하중: 최대 275kg - 반복정밀도: $\pm 0.05\text{mm}$ - 리치: 최대 2,701mm 	<ul style="list-style-type: none"> - 작업반경 내에서의 반복정밀도 유지 - 제어시스템과의 S/W 호환성 - 주어진 작업환경에서의 가동 내구성
가공 툴	<ul style="list-style-type: none"> - 타입 : 초음파 절단기 - 20KHz - 2000W(220V) - 칼날 두께 1.0mm(교체 타입) - 에어강제 공랭식 - 2set 	<ul style="list-style-type: none"> - 칼날 마모에 따른 칼날 교체 타입 - 사용시간을 고려하여 에어 강제 공냉 - 정해진 칼날 위치로 절단 가공 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 Prepeg Charge Trimming 공정 구성]?

□ 공정 설계도

○ 제조로봇 적용된 공정 운영 설계(안)



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

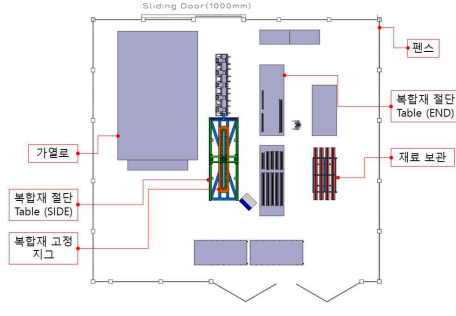
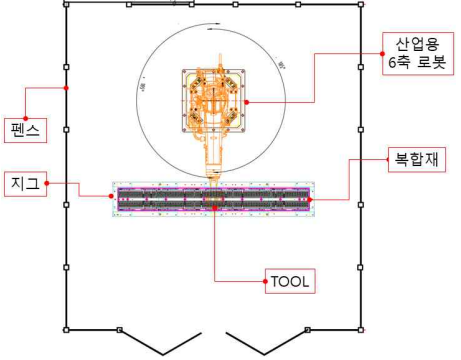
□ 운영 시나리오

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

2-3. 표준공정모델 실증기준

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [Prepeg Charge Trimming(Side)]					
산업 분야	항공	대상업종 (산업분류코드)	항공기용 부품 제조업 (C31322)	적용공정	항공기 복합재 Prepeg Charge Trimming(Side) 공정
공정 소개	공정 정의	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기체 길이방향으로 설치되는 부재인 Stringer를 제작하는 공정의 일부로 Prepeg Charge 상태(복합재 적층 후 경화 전 상태)에서 Flange(Side) 부분을 경사면이 되도록 성형(Trimming)하는 공정으로 피 가공물의 로딩/언로딩은 작업자가 수행하고 Prepeg Charge 절단공정은 다관절 로봇을 이용함. 절단면의 품질 정밀도, 재현성, 생산성 향상 및 생산비 절감 등을 실현할 수 있음 			
	핵심(부) 기능	<ul style="list-style-type: none"> ■ 피가공물의 Prepeg Charge Trimming(Side) ■ 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 펜스 			
	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"> ■ 수작업 시 품질 일관성 확보 불가 ■ 단순 반복 작업에 기인한 작업자 피로도 누적 		<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	<p>피가공물 부품지그 로딩 → 커터칼을 이용한 절단(작업자) → 언로딩 및 적재</p>		<p>피가공물 부품지그 로딩 → 절단작업(초음파 절단기+로봇) → 언로딩 및 적재</p>	

제조로봇 활용 공정모델 실증기준 [항공 복합재 부품_Stringer / Prepeg Charge Trimming(Side)]		
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"> ■ 두 개의 초음파 커터를 장착한 경사면 밀 끝단 동시 절단 톨 ■ 두 개의 에어 실린더 조합을 통한 초음파 커터 위치제어 ■ 초음파 진동자: 1000W, 20kHz, 공냉식
	지그	<ul style="list-style-type: none"> ■ 소재 안착용 Jig + Air compressor를 이용한 진공 지그
	S/W	<ul style="list-style-type: none"> ■ OLP기반의 Easy Programming & 3D시뮬레이션
	제어기	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모델명 : KR C4 (로봇 컨트롤러) ■ 크기 및 무게 : 960 x 792 x 558 mm, 150kg ■ USB3.0, GbE, DVI-D, Display Port ■ AC 3 x 208v to 3 x 575v
	안전 설비	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 ■ 부품(제품)별 3D도면 기반 가공 프로그램 생성 및 시뮬레이션 기능 ■ 기종 변경 시 지그 및 톨교체가 간편한 구조 ■ 품질 허용공차를 만족시킬 수 있는 공정 설계 ■ 생산품의 품질 및 생산성 향상 ■ 공정 자동화 도입 	
소요예산	<ul style="list-style-type: none"> ■ 총사업비 350백만원 내외(정부출연금 175백만원 이내) 	
작성처	<ul style="list-style-type: none"> ■ 한국로봇융합연구원 지성철 책임연구원 ☎ 054-279-0441 	

3 기대효과 및 고려사항

3-1. 기대효과

☐ 표준공정모델 적용에 따른 기대효과?

○ 정량적 효과(ROI 분석결과 등)

Benefit flow				
Benefit Drivers	2022	2023	2024	2025
유형 효과 (Tangible Benefits)				
- 노동 생산성 향상	₩0	₩108,000,000	₩108,000,000	₩108,000,000
- 자산 비용 절감	₩0	₩0	₩0	₩0
- 생산프로세스 증대	₩0	₩22,500,000	₩22,500,000	₩22,500,000
- 비즈니스 효과	₩0	₩0	₩0	₩0
Total annual benefits	₩0	₩130,500,000	₩130,500,000	₩130,500,000
Implementation filter	0%	75%	85%	95%
Total benefits realized	₩0	₩97,875,000	₩110,925,000	₩123,975,000

Cost flow				
내용	2022	2023	2024	2025
직접비용 (Direct cost)				
- 구축 인건 비용	₩24,300,000	₩0	₩0	₩0
일회성 간접비용 (Temporary indirect cost)				
- 자본비용 (자산 구매비용)	₩264,500,000	₩0	₩0	₩0
지속성 간접비용 (Continuous indirect cost)				
- 교육 및 유지관리	₩3,500,000	₩6,000,000	₩6,000,000	₩6,000,000
Total	₩292,300,000	₩6,000,000	₩6,000,000	₩6,000,000

Return flow				
내용	2022	2023	2024	2025
Annual benefit flow	₩-292,300,000	₩91,875,000	₩104,925,000	₩117,975,000
Cumulative benefit flow	₩-292,300,000	₩-200,425,000	₩-95,500,000	₩22,475,000

○ 정성적 효과(제조현장 근무환경 개선내용 등)

- 작업자의 안전 확보 및 위험노출 최소화
- 작업자 안전 확보
- 품질, 생산성, 재현성 향상
- 생산비용 절감
- 직접 노동 시간 축소로 작업자 피로도 절감

3-2. 고려사항

□ 표준공정모델 적용 및 공정 운영 시 유의사항 등

○ 공정 배치 공간 확보

- 기업별 공정 구성에 따른 공정 배치 공간 확보
- 공정 순서에 맞게 위치·작업 동선 최적화 필요
- 사용 전력 및 가공제품 적용 가능성 검토 필요

○ 공정 환경 로봇자동화에 최적화

- 분진 처리에 필요한 집진장치
- 공정 운영中 작업자 안전 확보
- 다품종 대응 가능하도록 유연한 공정 설계 필요
- 부품(제품)별 3D도면 기반 가공 프로그램 생성 및 시뮬레이션 필요

○ 작업자 교육 및 고용

- 로봇 사용 유경험자 고용 필요
- Preg Charge Trimming(Side) 공정 운영 작업자 지정 필요(지속적인 재직자 정기교육으로 장비운영의 일관성 및 안전 확보)
- 제품 추가 시 대응가능 하도록 작업자 직무 교육 체계화 필요