

스마트폰 반도체 조립 공정용 다종 재질 캐리어의 평탄도 최적화 기술 개발

윤석일*, 서정철**

*국립한밭대학교, **제이씨테크

e-mail : mecha722@hanbat.ac.kr

Technology developing for optimizing the minimum flatness of smartphone semiconductor carrier with the various materials

Seok-Il Yoon*, Jeong-Chil Seo**

*Hanbat National University, **JCTECH Inc.

요약

본 연구는 스마트폰용 액츄에이터 공정용 캐리어의 평탄도 최적화 기술 개발에 대한 것이다. 일반적으로 알려진 스마트폰 반도체 액츄에이터의 조립 공정에 사용되는 캐리어 지그는 다축가공에서 발생하는 응력과 열로 인한 평탄도 불균일 발생으로 부품의 치수 불량 발생하게 된다. 이와 같은 캐리어의 평탄도 불균일 문제는 평탄화 작업의 2차 수작업으로 보정되어 왔다. 이로 인한 기업의 인재 사고 즉 과하중으로 인한 통증 호소 및 잦은 작업 인력 교체, 퇴사율증가의 문제로 연결되어 있다. 기업의 평탄화 공정은 평탄도 보정 시행과 수정작업에 기초하고 있어서 부품의 불량률 증가, 생산성 저하가 발생하게 되며, 이로 인한 수율 저하, 품질불량 비용 발생등으로 기업 수익에 직접적 영향을 미치게 된다. 본 연구 개발에서는 2차 작업 공정인 평탄화 공정을 정량화된 데이터에 근거한 최적공정구축과 자동화 평탄도 보정 장비의 기술개발을 핵심 내용으로 수행하였다. 자동화 평탄도 조정장비 개발을 통해 캐리어 부품의 품질 개선, 불량률 개선의 생산혁신이 가능하다. 또한 본 연구에서는 차별화된 평탄도 합부판정기의 개발과 생산 라인 적용으로 불량품을 고객에게 유출되지 않도록 방지하는 획기적인 기술 개발을 수행하였다. 평탄도 자동 조정 장비와 합부 판정기 기술 개발을 통해 알루미늄, 스틸, 플라스틱 다종 소재별 캐리어의 평탄도 조정 공정 기술개발과 이를 통해 자동 힘 보정 공정 장비 개발 및 공정 최적화가 가능하다. 두 번째로 소재의 기계적 물성치를 기반으로 유한요소해석을 구성하여 소재별 역보정 시뮬레이션을 수행하였다. 후판-박판 캐리어 두께의 굴곡강도에 따른 비선형유한요소해석을 실시하여 정량적인 데이터에 근거한 평탄도 역보정이 가능케 되었다. 구체적인 기술개발 효과로는 캐리어 부품의 생산 불량율은 10%에서 2% 감소하고, 일일 생산수량의 증대, 평탄도조정 인력 최소화, 평탄도 합부판정기의 양산 도입으로 불량 유출을 차단하는 품질 개선이 가능케 되었다. 본 연구개발의 기대효과로는 최근 스마트폰완성업체의 엄격한 품질 기준을 만족하면서도, 부품 대량 양산화가 가능케 되는 기술성으로 연결되어지며, 특히 자동화장비기술 적용과 불량 유출 방지를 위한 자동불량검사 합부판정기의 성공적인 개발과 적용으로 향후 정밀한 다축가공 부품을 개발하고 양산하는 초정밀 가공 선도기업이 될 수 있을 것이다.

1. 서론

본 연구는 스마트폰 액츄에이터 SMT 공정용 캐리어의 평탄화 작업 공정기술 개발에 대한 것이다. 일반적으로 알려진 스마트폰 반도체 액츄에이터의 조립 공정에 사용되는 캐리어 지그는 다축가공에서 발생하는 응력과 열로 인한 평탄도 불균일 발생으로 부품의 치수 불량 발생하게 된다. 이와 같은 캐리어의 평탄도 불균일 문제는 평탄화 작업의 수작업으로 진행되어 왔다. 이로 인한 기업의 인재 사고 즉 과하중으로 인한 통증 호소 및 잦은 작업 인력 교체, 퇴사율증가의 문제로 연결되어 있다. 기업의 평탄화 공정은 평탄도 보정 시행과 수정 즉 Trial & Error 작업에 기초하고 있어서 부품의 불량률 증가, 생산성 저하가 발생하게 되며, 이로 인한 수율 저하, 품질불량 비용 발생등으로 기업 수익에 직접적 영향을 미치게 된다. 이를 해결하기 위해서 본 연구 개발에서는 핵심 공정인 평탄화작업을 데이

터에 근거한 최적공정구축과 자동화 평탄도 보정 장비 개발을 통해 해결하고자 한다. 자동화 평탄도 조정장비 도입을 통한 품질개선, 생산성개선의 목표로 기술개발을 추진하였다.

2. 연구 개발 목표 및 내용

2.1 기술 개발 목표

본 기술개발은 다종재질-다양한 두께 분포를 갖는 스마트폰용 반도체 공정용 캐리어의 평탄도 최적화 공정 기술 개발로서 정밀 CNC가공으로 제작되는 스마트폰용 반도체 액츄에이터의 공정용 캐리어의 미세한 치수공차를 확보하기 위한 기술개발이다. 하기는 본 제품의 주요 불량 발생 원인 개발 필요성이 정리되어 있으며, 기술개발의 효과를 정리하였다.

주요 불량 원인 & 필요성	<p>■ 주요 불량 : MCT (3축가공)에서 발생하는 응력, 열로 인한 평탄불균일 발생</p> <p>1) 수작업 평탄화 : 인제사고 (과하중 통증) 2) 잦은 작업인력 교체 : 퇴사 3) Trial & Error 작업 : 불량률 증가 4) 생산성 저하 : 수율/수익성 저하</p>
개발기술 효과	<p>■ 개발 기술 : 자동화평탄도 조정공정 도입을 통한 품질혁신과 생산성 혁신</p> <p>1) 품질불량률 10% → 2% 감소 (500% ↑) 2) 일 생산수량 1K → 2K 증대 (200% ↑) 3) 평탄조정 인력 2명 → 1명 (200% ↑) 4) 평탄도 합부판정기 자동화로 불량 유출 방지</p>

2.2 제품 특성과 개발 공정 분석

1) 스마트폰 핵심 부품용 캐리어 부품

스마트폰용 액츄에이터의 조립공정에 사용되는 캐리어 부품은 주)JCTECH에서 CNC 가공 후 세척과 평탄화공정 및 자석공정 후 출하검사 포장하여 스마트폰 모듈업체에서 사용되어 진다.

	
JCTECH	액츄에이터업체
반도체공정용 캐리어 생산	SENSOR 부품 생산
	스마트폰 업체
	스마트폰 생산

표 1. 캐리어 부품의 Supply Chain

2) CNC 가공공정에서 발생하는 힘의 발생 메커니즘 가공 툴이 소재를 Cutting(Chipping)하면 최대 전단 강도 이상의 하중을 받으면서 국부적인 온도상승과 응력집중화로 가공방향의 Curl이 발생하며, 이는 소재에 따라서 단수의 웨이브형태의 Curl, 혹은 복수의 웨이브형태의 힘 발생이 복잡하게 나타난다.

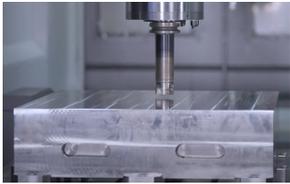
가공중의 휨(Curl) 발생	발생 메커니즘
 CURL 발생	

그림 1. CNC가공공정의 휨 발생 메커니즘

2.3 기술개발의 주요 내용

본 연구 개발의 주요내용은 다축 CNC 가공중 발생하는 휨 발생 불량에 대한 발생 원인과 메커니즘을 규명하며, 소재별 휨 발생의 차이와 이의 정량적된 데이터를 구축하기 위해서

소재의 기계적 물성 평가를 진행하는 것을 특징으로 한다. 이와 같은 평탄도 보정 기술 개발을 위해서 유한요소 해석을 통한 평탄도 역보정의 시뮬레이션을 수행한다. 특히 영구변형을 발생시키면서 역보정하는 정량화된 데이터를 확보하기 위해서 탄소성 유한요소 비선형해석을 수행하였다. 평탄도 조정 공정 장비 개발을 위해서 기초 컨셉 설계와 장치 구상 상세설계를 수행하였다. 이의 구체적인 연구개발 내용을 정리하면 하기와 같다.

■ 평탄도 자동 조정 장치 및 합부 판정기 기술 개발

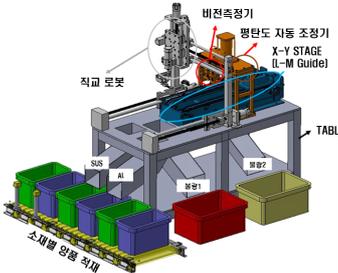
기존 공정 평탄도 검사 및 수작업 보정 (해머사용)	본 기술 개발 내용 평탄도 자동 조정 장치 및 자동 합부판정기
	
<ul style="list-style-type: none"> 수작업 평탄화 : 인제사고 (과하중 통증) 잦은 작업인력 교체 : 퇴사 Trial & Error 작업 : 불량률 증가 생산성 저하 : 수율/수익성 저하 	<ul style="list-style-type: none"> 자동화 평탄화 : 벤딩지그를 활용한 평탄도 보정기 평탄도 측정 : 자동측정기 (검사인력 최소화) OK/NG 평탄검사지그 적용 : 불량 고객사 유출 방지 생산성 증대 : 수율향상 /수익성 극대화

그림 2. 평탄도 자동 조정 장치 및 합부 판정기

3. 연구 개발 결과

3.1 캐리어 소재의 인장 시험

캐리어제품의 기계적특성을 평가하기 위해 ASTM D638 규격으로 시편을 그림 3과 같이 제작하였다. 제작된 SUS, AL 인장 시편을 Instron사 Universal Testing Machine에 그림을 이용하여 시편을 장착하고 그림 4와 같이 인장시험을 수행하였다. 인장시험은 로드셀에서 하중치와 Extensor meter를 활용한 변형량을 평가하여 하중-변위선도와 응력-변형률 선도를 그림 5와 같이 산출하였다.

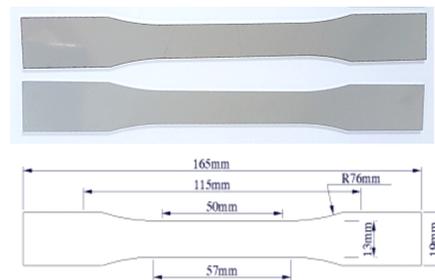


그림 3. 소재의 인장시편 규격과 제작된 시편

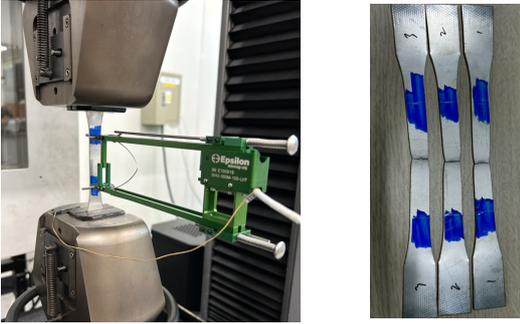


그림 4. 캐리어 소재의 인장시험과 파단 후의 시편

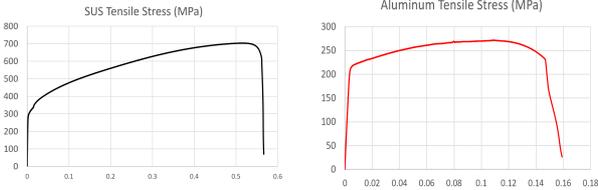


그림 5. Tensile test result of SUS & AL 재료

3.2 스마트폰용 캐리어의 평탄도 보정을 위한 유한요소해석

스마트폰용 캐리어의 평탄도 보정 장비에서 공정의 최적화를 위해 상세한 공정데이터 구축이 필요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 캐리어의 굽힘지그를 이용한 평탄도보정에 대한 디지털트윈모델을 개발하였으며, 이를 활용한 유한요소해석을 수행하여 역힘 발생과 이의 연구변형량을 시뮬레이션으로 산출하여 평탄도보정장비에 적용하도록 연구개발을 수행하였다. 그림 6에 SUS 캐리어의 결과를 제시하였고, 그림 7에 Alunimu 캐리어의 결과를 제시하였다. 액츄이터의 형상에 따라 캐리어의 내부 홀의 형상과 캐리어 두께의 차이점이 있으며, 평탄도 보정장치의 굽힘 지그를 활용한 힘발생을 비선형 유한요소해석으로 해를 구하여 탄성회복 이후에 잔류 영구변형량을 계산하여 평탄도 보정치를 산출하였다.

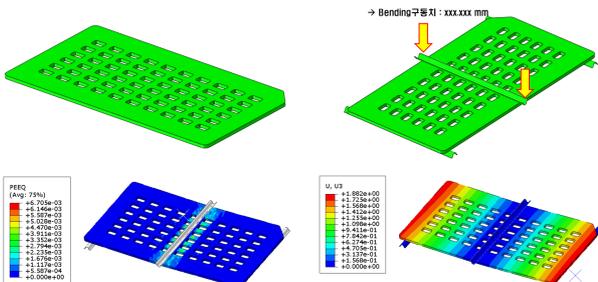


그림 6. 디지털트윈 모델과 휨보정 비선형 유한요소 해석(SUS)

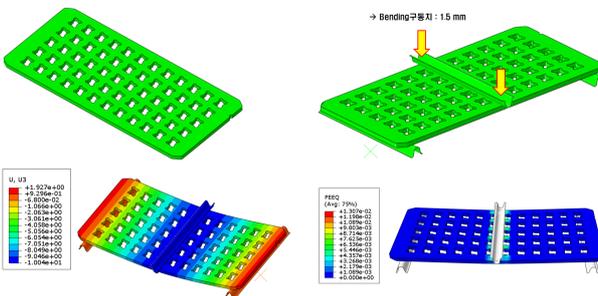
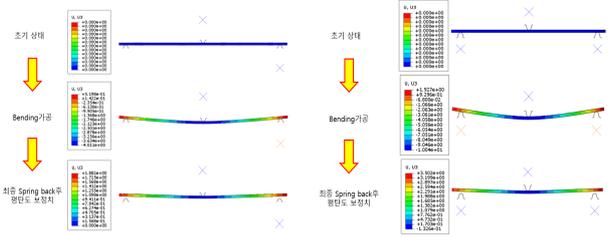


그림 7. 디지털트윈 모델과 휨보정 비선형 유한요소 해석(Aluminum)



SUS캐리어 Aluminum 캐리어
그림 8. 캐리어 평탄도 보정 시뮬레이션 (잔류 변형치)

3.3 평탄도 조정 공정용 장비 개발 및 결과

평탄도 조정용 장비 개발을 위해서 장치 구상 상세설계를 수행하였다. 고객사에 적용되는 전제품에 적용될수 있으며, 소재별, 두께별 전 부품군에 적용이 가능하도록 장비 설계를 추진하였다. 특히 평탄도 합부판정기를 평탄도 보정 후에 자동으로 연결되도록 장비의 자동화를 구상하였다. 평탄도검사의 합부 판정기는 불량품을 고객에게 유출되지 않도록 품질 제로화를 구현하기 위한 획기적인 기술개발이 될 수 있으며, 본 연구결과의 혁신공정과 기존 공정과를 표 2에 자세히 기술하였다.

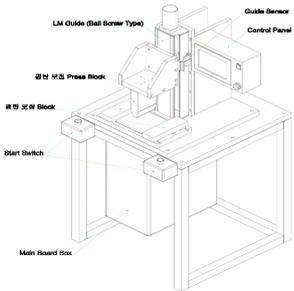
구분	기존 공정	본 연구 개발 내용 (차별성)
평탄도 공정	평탄도 검사 및 수작업 보정 (해머사용)	평탄도 자동 조정 장치 및 합부판정기
		
문제 해결 방법	<ul style="list-style-type: none"> · 수작업 평탄화 → 인제사고 (과하중 통증) · 잦은 작업인력 교체 (퇴사 발생) · Trial & Error 작업 → 불량률 증가 · 생산성 저하 → 수출저하 수익성 저하 	<ul style="list-style-type: none"> · 자동화 평탄화 → 벤딩지그를 활용한 평탄도 보정기 · 평탄도 측정 : 자동측정기 (검사인력 최소화) · 합부 판정 지그 적용 → 불량 고객사 유출 방지 · 생산성 증대 → 수출향상 수익성 개선
평탄도 합격 판정 방법	<ul style="list-style-type: none"> · 수작업 검사 방법 (Height Gage 사용) → 검사 시간 과다 소요 → Tact Time 소요 	<ul style="list-style-type: none"> · 평탄도 양품/불량 점검 지그 제안 (JCTECH → 고객사) · 평탄도 공정 검사용 양품/불량 JIG 사용으로 검사 시간 단축
		

표 2. 본 연구 개발품과 기존공정과의 비교

3.4 연구개발 결과물의 성능 평가

연구개발 결과물의 정량적 성능 공인인증평가 및 자체평가를 통해 수행하여 아래표에 도시하였다. 평가 결과는 기존의 캐리어 제품과 비교하여 비교우위를 확보하고 있으며, 제품의 성능 및 신뢰성을 확보하면서, 생산과 품질 검사 공정의 획기적인 개선이 가능함을 보여주고 있다.

표 3 연구개발품의 정량적 평가 (자체평가/공인인증평가)

평가항목	단위	개발결과물	목표치
평탄화 공정 불량률 (평탄화자동화장비 개발 제품 적용)	%	2%	2%
평탄화 공정 작업 인원 수	명	1명	1명
평탄화 자동 장비 제작품충격 시험	OK	Pass	Pass
평탄화 자동 장비 제작품 고온 고습 시험	OK	Pass	Pass

4. 연구 결과 고찰 및 결론

스마트폰용 액츄에이터 공정용 캐리어의 평탄도 최적화 기술 개발을 성공적으로 수행하였다. 정밀 치수를 요하는 캐리어 부품은 다축가공 후 잔류 응력과 열변형으로 소재별, 두께별 다양한 패턴의 휨 형상이 나타나게 되며, 이를 보정하기 위한 평탄화작업이 필수적이다. 캐리어의 평탄도 불균일 문제는 평탄화수작업으로 진행되어 왔으며, 이로 인한 기업의 인재 사고 즉 과하중으로 인한 통증 호소 및 잦은 작업 인력 교체, 퇴사율증가로 기업 수익에 치명적이었다.

본 연구에서는 정량화된 데이터에 근거한 최적공정구축과 자동화 평탄도 보정장비의 설계와 개발을 통해 캐리어 부품의 품질 개선, 불량률 개선의 생산성의 개선이 가능케 되었다.

또한 본 연구에서는 차별화된 평탄도 합부판정기의 개발과 생산 라인 적용으로 불량품을 고객에게 유출되지 않도록 방지하는 혁신의 성과를 도출하였다.

구체적인 기술개발 효과로는 캐리어 부품의 생산 불량율은 10%에서 2% 감소하고, 일일 생산수량의 증대, 평탄조정화 인력 최소화, 평탄도 합부판정기의 양산 도입으로 불량 유출을 제로화하는 품질 개선이 가능케 되었다.

본 연구개발의 향후 기대효과와 활용방안으로는 평탄화공정의 자동화 장비 기술과 자동 검사 기술의 확대 적용으로 기업의 다양한 다축가공 제품에 대한 신뢰성과 품질 개선이 예상되며, 해당 기술의 특허 출원을 통한 실시 권리 확보와 타 기업체와의 기술차별화가 가능케 될 것이다. 또한 다양한 전자 제품과 스마트폰, 디스플레이완성품 생산을 위한 공정용 지그에 광범위하게 적용함으로써 산업적인 파급 효과가 가능할 것이다.

본 연구는 2023 ~ 2024년 중소벤처기업부의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 공정품질기술개발 R&D RS-2023-0027027의 과제로 수행되었다.

[참고문헌]

[1] 이승진, 최성대, 박정록, 김종태, “반도체 패키징 공정 BGA jig 수율 안정화 연구”, 한국기계가공학회 학술대회 논문집, Page 109, 2023
 [2] 윤준호, 이창근, 김태경, “카메라 모듈 액츄에이터용 부품 조립 방법 및 그 장치”, 대한민국 특허 10-1714463, 2017
 [3] O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, “The finite element method”, Vol.1,2, 1989
 [4] ABAQUS, Theory guide