

주요사업 연차실적 보고서

연차실적 보고서				
과제유형	1. 기초미래선도형 (o) 2. 공공인프라형 () 3. 산업화형 ()			
대과제명	ETRI R&D 역량 강화를 위한 선행적 기획기반 구축사업			
세부과제명	350 °C 이상급 3D 프린팅용 유무기 하이브리드 고분자 소재 및 패키지 공정 개발			
세부과제 책임자	소속 및 부서	신소재연구실	직위 (직급)	책임
	성명	배현철		
총연구기간	2019년 1월 1일 부터 2020년 12월 31일 까지 (24개월)			
당해연도 연구기간	2019년 1월 1일 부터 2019년 12월 31일 까지 (12개월) (1차년도)			
참여인력(M/Y)	총 연구 기간	7 명 (3.9 M/Y)		
	당해연도 연구기간	7 명 (1.95M/Y)		
참여기관	기관명	연구책임자	기관명	연구책임자
참여연구기관				
위탁연구기관	수원대학교	장건수		
키워드 (6~10개)				
정부출연금사업 연차평가 보고서를 제출합니다. <div style="text-align: right; margin-right: 100px;">2019년 12월 6일</div> 과 제 책 임 자 : 배 현 철 (인) 직 할 부 서 장 : 강 성 원 (인)				
한국전자통신연구원장 귀하				

제 1 장 서 론

1.1. 연구 개발의 목적

기존 3D 프린팅 소재는 열안정 특성이 매우 열악해서 반도체 센서, 배선 공정 등을 수행하는 과정에서 열변형이 크게 발생하고 있다. 이를 극복하기 위해서는 고내열용 비결정고분자 기반의 유무기 복합소재 및 제조 기술을 확보하여 전자 및 기계 분야의 고내열 플라스틱 활용 연구 분야와 산업 분야의 활용 가능성을 높이려는 목적이 있다.

1.2. 연구 개발의 필요성 및 중요성

1.2.1 연구 개발의 필요성

- 3D 프린팅 기술을 기존 산업에 적용할 경우, 시제품 제작비용 및 상용화 개발 시간을 대폭 단축시킬 수 있으며, 다품종 소량생산 및 개인별 맞춤형 제작이 용이하고, 기존 절삭가공 대비 고도로 복잡한 형상의 정밀 제작이 가능한 소재·에너지 절감 및 사회·경제적 효과가 큰 혁신적 기술임
- 2014년 제조업 혁신 및 창조경제 활성화를 견인할 3D 프린팅 산업 육성을 위해 범정부 ‘3D 프린팅 산업 발전전략’을 수립하였고, 장비·소재·소프트웨어 등 선진국 대비 취약한 기술의 경쟁력 확보를 위해 미래부/산업부 공동 주관 ‘3D 프린팅 전략기술 로드맵’을 마련함
- 최근 정부는 과기정통부 등 관계부처 합동으로 ‘18년도 3D프린팅 산업 진흥 시행계획을 확정하고 4차산업내 신규 수요창출, 기술경쟁력 강화 등에 대한 종합적인 정책 추진 방향과 전략 발표함
- 과기정통부에서는 2025년까지 전자/전기적 기능 부여가 가능한 복합소재 및 복합공정 3D 프린팅 기술 개발로 디지털 제조 신기술 우위를 확보해 관련 산업분야 세계 3위권의 3D 전자부품 제조 기업을 확보한다는 목표를 수립함

1.2.2 연구 개발의 중요성

- 3D 프린팅 기술 및 관련 소재 개발이 차세대 제조업 혁신을 이끌어 나갈 것으로 기대되고 있으며, 실제로 **세계미래학회**를 포함한 주요 기관/미디어(*세계경제포럼(WEF)/Time/ Foreign/Economist/CNET/MIT*)들이 **이머징 기술** 또는 **미래핵심기술로 선정**함
- 고내열용 유무기 복합소재에 관한 3D 프린팅 방법 및 공정 기술을 확보함으로써 3D 프린터의 산업 활용 분야 확대와 신규 산업 분야 창출이 가능함
- 4차 산업혁명에 있어 3D 프린팅 기술을 활용한 다양한 분야에서 제품을 제작할 수가 있고, 제품 제작시 시간단축, 비용 절감, 창조적인 디자인, 보안 유지가 가능함
- 고내열 유무기 복합소재를 이용한 3D 프린팅 기술의 완성도가 높아지면, 활용 분야가 전자, 자동차, 의료, 산업기계, 사무기기, 항공, 우주 등 다양한 분야에 기능성 부품 제조에 활용될 가능성이 높음

1.3. 국내외 기술 동향

- 국내외 기술동향 및 수준

○ 국내 동향

- 한국기계연구원(KIMM)에서는 3D 바이오 프린팅, 금속 프린팅, 초정밀 제어와 관련된 기술을 연구하고 있으며, 한국전자통신연구원(ETRI)은 무선·통신·전자 소재 개발을 중심으로 ICT 기술을 응용·접목하는 연구를 수행 중에 있다. 한국화학연구원은 감성소자를 응용한 패키징 디자인과 3D 마이크로 레이저를 기반으로 마이크로미터 수준의 미세구조 활용을 위한 연구개발을 수행 중이며, 한국표준과학연구원은 촉각 감성소자를 만들 수 있는 3D 프린팅 기술을 개발하고 있다. 재료연구소(KIMS)는 금속·세라믹 소재 활용, 한국생산기술연구원은 제조혁신센터를 설립해 관련 통합인프라를 구축하고 활용할 수 있도록 계획을 수립했으며, 나로호를 개발한 한국항공우주연구원도 3D 프린터를 이용해 항공우주 부품 제작에 다양하게 활용하고 있다.
- 환자에게 이식하기 위한 피부재료를 개발하는 바이오 프린팅 기획연구는 KIMM, KIST, KRIBB(한국생명공학연구원), 안전성평가연구소 등이 참가하고 있으며, 3D 프린팅을 위한 소재연구는 KRIBB와 KIST가, 장비공정 연구는 KIMM이, 안전성평가연구원은 유효성 평가를 연구하는 융합연구를 수행하고 있다.
- 중소기업(3D Korea, 3D factory, 등):
 - 저온(200℃이하)용 FDM 3D 프린터용 플라스틱 소재를 제조/판매함
 - 고온(350℃이상)용 소재는 제조/판매가 전무함
- KERI, KIST, KRICT에서 3D프린팅용 전극 및 기능성 복합소재, 복합공정 3D 프린팅 기술 개발을 활발히 진행하고 있음
- 화학소재사(LG화학, 롯데케미칼)를 중심으로 나일론 6, 나일론 6/6 또는 PP 등과 같은 공학적 물성을 갖는 새로운 소재 개발을 진행하고 있음

○ 국외 동향

- 3D 프린터의 시초는 1981년 일본 나고야市 공업연구소의 히데오 코다마(Hideo Kodama)의 보고서에서 찾을 수 있음. 빛을 이용하여 액상 광경화 수지를 고체 층으로 형성하여 제품을 만드는 내용이었지만, 보고서만 작성하고 실제 상용화시키지는 못하고 있다.
- 3D 프린팅 기술은 적층 제조기술(AM: Additive Manufacturing)이라고도 하며, 종의 재료 절삭 또는 드릴링 작업을 통해 입체물을 제조/조립하는 방식에서 벗어나 다양한 방식의 적층을 통해 3차원 입체물을 제조하는 방법으로서, 기존의 제조 공정과는 다르게 조립비용을 크게 줄일 수 있다.
- 3D 프린팅에 사용되는 소재로는 엔지니어링 플라스틱, 유리, 탄소복합재와 같은 거의 모든 재료가 사용되고 있으며, 와이어/분말/필름 형태의 재료를 레이저 열원이나 가열된 롤을 가압하여 적층함. 금속 소재는 기술개발의 초기 단계에 있으며, 1)이종재료 적층, 2)고정밀 적층, 3)적층을 향상 목적으로 와이어나 분말을 레이저나 전자빔, 플라즈마 열원으로 용융 또는 소결하여 적층, 4)금속 포일 상부에 초음파 롤을 가압하여 적층, 5)스프레이로 분사하여 적층하는 방법 등에 대한 연구가 진행되고 있다.

- 일반적으로 [모델링-프린팅-후처리]의 과정을 거쳐 3D 프린팅이 이루어지며, 다양한 방법의 적층 방법이 개발되어 적용되고 있음. 적층방식 및 사용되는 재료에 따라서, 선택적 레이저 소결 조형(Selective Laser Sintering, SLS), 압출 적층 조형(Fused Deposition Modeling, FDM), 직접 금속 레이저 소결 조형(Direct Metal Laser Sintering), 광경화수지 조형(Stereolithography), 적층물 제조(Laminated Object Manufacturing) 및 전자빔 소결(Electron Beam Melting, EBM) 등의 다양한 기술/공정들이 존재한다.
- 3D 프린터 제조 회사별로 사용하는 적층방식에 차이가 있지만, 대개는 powder-based systems로 SLS와 3DP, solid-based systems로 FDM과 FFF이 있고, liquid-based systems로 SLA, DLP 및 PolyJet 방식이 사용되고 있다. 이러한 다양한 적층 방식들을 정밀도, 표면 마감, 제작 속도, 재료 강도 측면에서 비교할 때, 정밀성 및 효율성이 높고 선택성이 좋은 SLA, SLS 및 FDM 방식이 다른 방식보다 우수한 것으로 나타나고 있다.
- 최근에 와서 3D 프린팅과 관련된 각종 특허가 만료되면서 관련 기술개발이 활발하고 2006년에 SLA 방식, 2009년에 FDM 방식, 2014년에 SLS 방식, 2014년에 EOS의 DMLS 방식의 특허가 만료되었다.
- 최근에는 3D 프린팅 기술을 이용하여 인쇄전자 기술의 폭을 확대하려는 움직임이 활발해지고 있다. 즉, 인쇄전자 기술로는 입체적 구조체 제작을 위한 소재의 적층이 불가해서 입체적 형상의 전자회로 구현을 위해 과거 인쇄전자 기술을 개발하던 많은 연구진들이 최근에는 3D 프린팅 기술개발로 전향하고 있다.
- 3D 프린팅에 필요한 소재 및 재료로는 다양한 조성의 것들이 사용되고 있지만, 아직도 3D 프린팅에 필요한 소재 및 재료 개발은 본격적인 3D 프린팅 기술의 응용 및 개발에 있어서는 초보적인 단계이다. 현재 plastic(ABS, PLA, Epoxy, PC, Nylon, PEEK 등), metal, rubber, silicon, paper, wax, wood, ceramic polymer, ceramic composite, sand, sugar, salt, chocolate, food, meat 및 인체 조직(human tissue) 등이 사용되고 있으며, 이들 재료들을 활용하여 다양한 모델 및 제품들이 생산되고 있다.
- 미국 Madesolid社は 차세대 소재 PET+ 개발을 발표하였으며 PET+ 소재는 ABS와 PLA 두 소재의 장점만을 가진 새로운 소재로서 유연성이 우수하고, 재활용이 가능함
- MS resin은 SLA 3D 프린터용 소재로서 선명한 색상이 가능하고, 점성이 낮아 세척이 용이한 장점을 갖는 특수 제조 레진을 개발하였다.
- 3D Systems Inc. (US), Stratasys Ltd. (US), Arcam Ab (Sweden), ExOneGmbH (Germany)등의 3D 프린터 장비 제조업체가 프린터 시스템과 소재를 최적화하여 전 세계 시장의 75% 점유함

제 2 장 본 론

2.1. 연구목표 및 연구개발내용

2.1.1 연구 목표

구 분	내 용
최종목표	고내열 하이브리드 유무기물 복합소재 개발 및 3D printing 모듈 제작을 위한 배선 및 접합 공정 기술 개발
세부목표	<ul style="list-style-type: none">• 기존 3D printing 소재의 특성을 뛰어넘는 고내열 유무기 복합소재 원천 기술 개발• 고내열 유무기 복합소재용 3D printing 공정 기술 개발• 고내열 복합소재, Cu 배선 및 접합 공정을 이용한 센서 모듈 구현

2.1.2 연구개발내용

2.1.2.1 3D 프린팅용 고내열 하이브리드 고분자 소재 개발

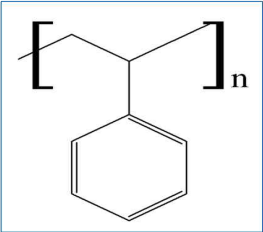
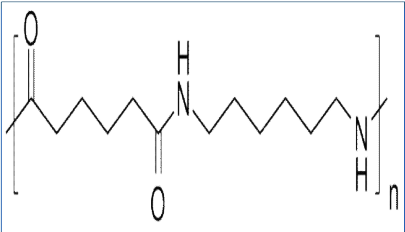
- 고내열용 고분자 (ex. polysulfone)를 기본 matrix로 한다. 고내열 고분자에 분산된 무기물 (ex. basalt fiber)에 supramolecular 그룹이 달려 있는 고분자 체인을 연결하고 승온시 특정 온도에서 supramolecular 그룹들이 interaction을 하면서 끌어당겨, 소재의 열로 인한 팽창을 억제해 주며, 냉각시 그 특정 온도에서 반대로 supramolecular interaction이 폴리면서 늘어난다. 이와 같은 방법으로 열적 안정성을 구현하고자 한다.

1) 고내열 고분자 복합 소재를 위한 압출기 공정

- 고내열고분자 복합소재를 선정하기 위한 내부 TEST 진행하였으며 Resin 종류에 따른 Blending 진행 후 물성 변화를 확인하였다.

○ PS(Polystyrene) + Poly Amide(wt%) 비율별 Blending 후 물성을 확인하였다.

표 1. 폴리스타이렌과 폴리아마이드66의 구조 및 물성

Polymer	PS	Poly Amide 66
구조식		
인장강도(Kg/cm ²)	50	800
Izod • notched (Kg•cm/cm)	2.5	5
열변형 온도(°C)	190~220	265
특성	투명성 전기적 특성, 내수성, 착색성 우수 가공성 우수	내충격성, 내열성 우수 마찰계수가 적음 내마모성 우수 내유, 내용제성 우수

- Resin 별 물성 확인을 위한 Twin Screw Extruder 공정 조건을 표2에 나타내었다. 공정 처리 후 Blending 된 Sample을 육안으로 확인하였으며 그림 1에 고분자 복합소재를 나타내었다.

표 2. 폴리스타이렌과 폴리아마이드66 컴파운딩용 co-rotating 이축압출기의 공정 조건

Part Names	BARREL.1	BARREL.2	BARREL.3	BARREL.4	BARREL.5	Adapter	Die
Temperature Setting(°C)	100	140→180	180→210	200→240	220→270	230→290	240→290
Part Names	Extruder	Screw Feeder	Side Feeder			Resin Pressure(Bar)	Resin Temperature(°C)
PV	32	12	6			10	289
SV	35	12	6				



그림 1. 블렌딩된 고분자복합소재

- 폴리스타이렌의 일반적인 Tg 값 105 °C를 확인하였으며 Barrel 온도를 PE TEST와 동일 온도로 설정 후 진행하였으나, Screw 멈춤 현상을 확인하였다. 따라서 각 Barrel 온도를 20~50°C 상향 조정 후 현상이 개선되는 것을 확인하였다.



그림 2. 진공 vent 부분에 수지가 올라오는 현상과 취성이 감소되는 현상

- 폴리아마이드 Resin 함량의 증가에 따라 Vacuum 구간에 완전히 용융되지 않은 Resin이 압출되는 것을 확인하였으며 폴리스타이렌 함량이 낮아짐에 따라 취성이 줄어들 것이라 판단하였으나, 부서지는 경향은 감소하였으나, 빠르게 굳어 버리는 경향은 유지되어 여전히 펠렛으로 가공하기에 어려움이 있다.

○ PMMA + Poly Amide(wt%) 비율별 Blending 물성을 확인하였다.

표 3. 폴리메틸메타아크릴레이트와 폴리아마이드66의 구조 및 물성

Polymer	PMMA	Poly Amide 66
구조식		
인장강도(Kg/cm ²)	750	800
Izod · notched (Kg·cm/cm)	1.8	5
열변형 온도(°C)	95	265
특성	경도가 높고, 가공성 우수 전기 절연성 우수	내충격성, 내열성 우수 다갈계수가 적음 내마모성 우수 내유, 내용제성 우수

- 첫 번째 실험과 동일하게 Resin 별 물성 확인을 위한 Twin Screw Extruder 공정 조건을 설정하고 공정 완료 후 Blending 된 Sample 육안으로 확인하였다. 제작한 샘플 사진을 그림 3에 나타내었다.

표 4. 폴리메틸메타아크릴레이트와 폴리아마이드66 컴파운딩용 이축압출기의 공정 조건

Part Names	BARREL.1	BARREL.2	BARREL.3	BARREL.4	BARREL.5	Adapter	Die
Temperature Setting(°C)	180→190	300→310	300→310	300→310	300→315	260→320	260→320
Part Names	Extruder	Screw Feeder	Side Feeder			Resin Pressure(Bar)	Resin Temperature(°C)
PV	47	12	-			12	313
SV	50	12	-				



그림 3. 블렌딩 소재의 샘플

- 제작 결과 고온에서 Resin이 용융되기 시작하여 MMA gas가 나오는 것을 확인하였으며 이는 공정 중 MMA 특유 냄새 발생을 통하여 확인하였다. Barrel 1, 2의 온도 차가 높아, Resin 용융이 시작되는 구간이 짧아져 Screw 및 메인 모터 구간에 부하를 주었다. Barrel 온도 조정 후에도 Screw 및 메인 모터에 부하가 가해져 Screw 멈춤 현상이 간혹 발생하였다. 이와 같은 현상은 Barrel 전 구간 온도 상향 조정 후 개선되었다.

○ PE + Poly Propylene (wt%) 비율별 Blending 물성 확인하였다.

표 5. 폴리에틸렌과 폴리프로필렌의 구조식과 물성

Polymer	PE	PP
구조식		
인장강도(Kg/cm ²)	260	900
Izod • notched (Kg•cm/cm)	50	9
열변형 온도(°C)	130	160
특성	내마모성, 내피로성,내충격 우수 내열수성 우수	비흡습성, 내열성 우수 내스트레스 크랙성이 우수 가공성 우수

표 6. 폴리에틸렌과 폴리프로필렌 컴파운딩용 이축압출기의 공정 조건

Part Names	BARREL.1	BARREL.2	BARREL.3	BARREL.4	BARREL.5	Adapter	Die
Temperature Setting(°C)	100	200	200	200	180	180	160
Part Names	Extruder	Screw Feeder	Side Feeder		Vacuum Gauge(Mpa)	Resin Pressure(Bar)	Resin Temperature(°C)
PV	47	12	-		0.09	16	202
SV	50	12	-				

- 공정 처리 후 Blending 된 sample을 육안으로 확인하였으며 그림 4에 나타내었다. PP Resin의 점도가 낮아서인지 용융 후 흐름성이 높아 약한 힘을 가하여도 Resin이 끊어지는 형상을 보였다. HDPE와 LDPE를 각각 PP와 Blending 후 물성 확인 시, HDPE와 Blending

한 Sample의 물성이 좀 더 Harder한 경향이 있으나, 점도는 낮아졌다.



그림 4. 이축압출기 다이부분에서 용융된 복합소재 분출하는 모습

○ PE + PP 1: 1 Base에 PS (wt%)비율 별 첨가에 따른 물성을 확인하였다.

표 7. 폴리에틸렌과 폴리프로필렌, 폴리스티렌의 구조식과 물성

Polymer	PE	PP	PS
구조식			
인장강도 (Kg/cm ²)	260	900	50
Izod • notched (Kg•cm/cm)	50	9	2.5
열변형 온도(°C)	130	160	190~220
특성	내마모성, 내피로성, 내충격 우수 내열수성 우수	비흡습성, 내열성 우수 내스트레스 크랙성이 우수 가공성 우수	투명성 전기적 특성, 내수성, 착색성 우수 가공성 우수

표 8. 폴리에틸렌과 폴리프로필렌, 폴리스티렌 컴파운딩용 이축압출기 공정조건

Part Names	BARREL.1	BARREL.2	BARREL.3	BARREL.4	BARREL.5	Adapter	Die
Temperature Setting(°C)	100	200	200	200	180	180	160
Part Names	Extruder	Screw Feeder	Side Feeder		Vacuum Gauge(Mpa)	Resin Pressure(Bar)	Resin Temperature(°C)
PV	50	12	-		0.09	12	214
SV	50	12	-				

- 공정 처리 후 Blending 된 Sample 육안으로 확인하였으며 용융물의 색상이 점점 짙어졌다. PS 함량이 높아지면서 압출기 처리된 용융물이 점차적으로 Harder하게 경향을 보였다.



그림 5. 컴파운딩된 복합소재의 냉각공정

○ Poly Sulfone계 (Coupling Agent : C.B)첨가에 따른 물성을 확인하였다.

표 9. 폴리설폰과 상용화제 컴파운딩용 co-rotating 이축압출기 공정조건

Part Names	BARREL.1	BARREL.2	BARREL.3	BARREL.4	BARREL.5	Adapter	Die
Temperature Setting(°C)	210	330	330	330	330	320	300
Part Names	Extruder	Screw Feeder	Side Feeder		Vacuum Gauge(Mpa)	Resin Pressure(Bar)	Resin Temperature(°C)
PV(Rpm)	50	12	-		0.09	26	342
SV(Rpm)	50	12	-				

- Sulfone계 & Coupling Agent Blending 후 Screw Feeder Speed 12 rpm (약 23.0g/min) 투입하였음. 그림 6에서 나타낸 바와 같이 carbon black 첨가로 인하여 고분자 복합소재가 변색된 것을 확인하였다.



그림 6. 압출 호퍼부분과 carbon black 첨가로 인한 변색된 고분자복합소재

- Extruder Screw Speed를 50rpm으로 고정 진행하였으며 고분자 Resin이 Barrel내 머무는 시간 약 3분 40초이다. Extruder 처리 후 나온 Sample을 건조 후 Pelletizer로 펠릿화 진행을 하였으며 제작한 펠릿의 사진을 그림 7에 나타내었다.

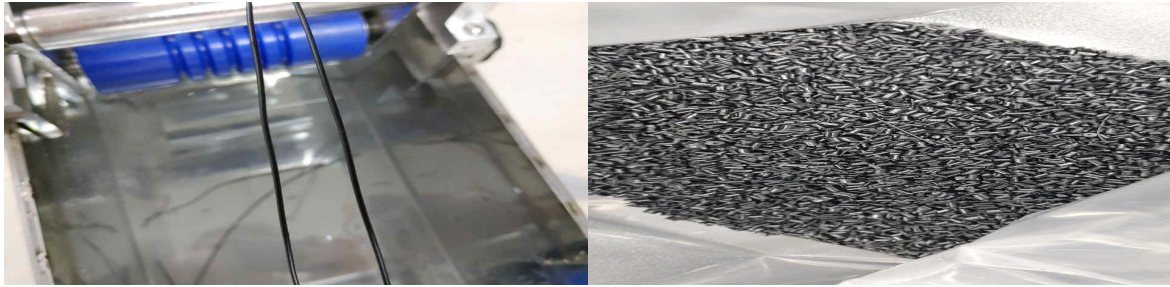


그림 7. 건조된 고분자복합소재 필라멘트와 펠릿

○ Polysulfone계에 (Coupling Agent: 前 TEST Sample 조건 + KC 추가) 첨가에 따른 물성 확인하였다.

표 10. 폴리설펜과 카올린 컴파운딩용 co-rotating 이축압출기 공정조건

Part Names	BARREL.1	BARREL.2	BARREL.3	BARREL.4	BARREL.5	Adapter	Die
Temperature Setting(°C)	210	330	330	330	330	320	300
Part Names	Extruder	Screw Feeder	Side Feeder		Vacuum Gauge(Mpa)	Resin Pressure(Bar)	Resin Temperature(°C)
PV	50	12	-		0.09	24	347
SV	50	12	-				

- 폴리설펜과 Coupling Agent를 前 TEST Sample 조건 + KC 추가한 실험을 진행하였으며 3D 프린팅용 필라멘트 제작을 진행하였다. 그림 8과 그림 9에 필라멘트 제작 후 나오는 Sample(TSC1)을 건조 후 Pelletizer로 펠릿화 진행한 사진 및 필라멘트를 나타내었다.

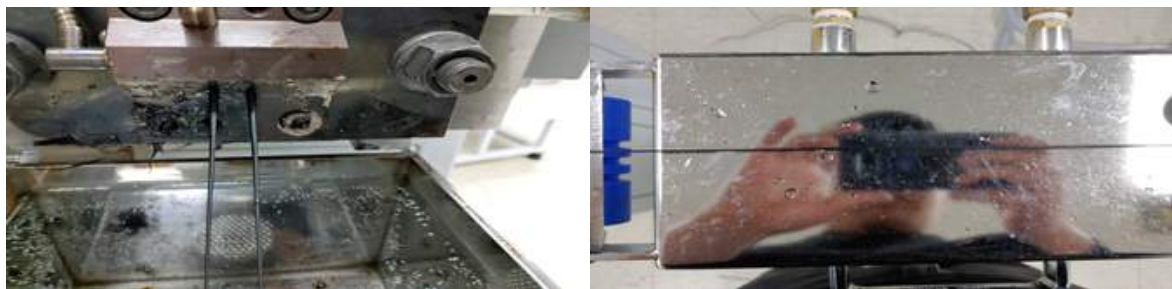


그림 8. 컴파운딩된 폴리설펜, 카올린, 카본블랙 복합소재



그림 9. 펠릿화 및 필라멘트화 된 폴리설펜, 카올린, 카본블랙 복합소재

2) 고내열 고분자 복합소재 열분석 결과

- 제작한 고내열 고분자 복합소재의 특성을 분석하기 위하여 수원대학교에서 자체적으로 DSC 분석을 수행하였으며 분석 결과, 유리 전이 온도(Tg)는 190℃에서 측정되었으며, Enthalpy (ΔH) 값은 113J/g 측정 되었다. TGA의 경우 열분해 온도(Td) 값이 333℃에서 시작 되었다.

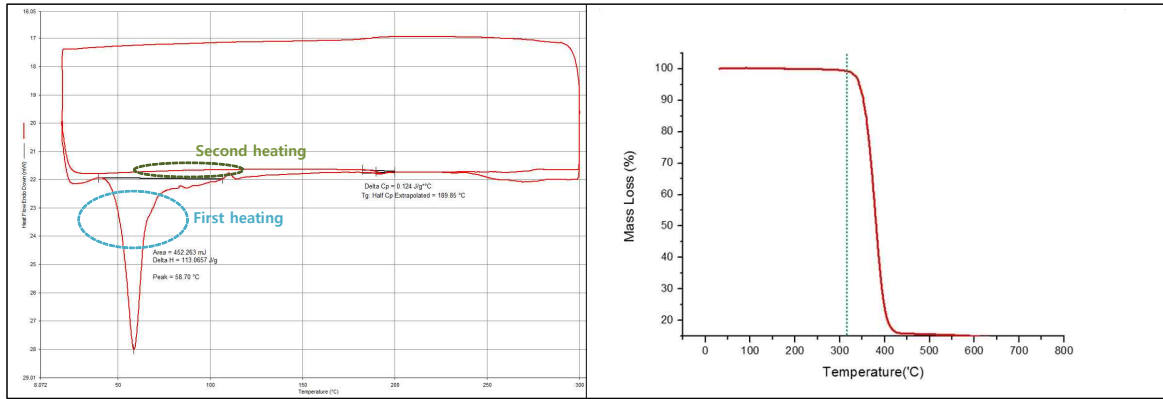


그림 10. 폴리설폰, 카올린, 카본블랙 복합소재의 자체 열분석 (DSC, TGA)

- 제작한 고내열 고분자 복합소재의 특성을 분석하기 위하여 외부 공인인증 기관인 한국고분자시험연구소에서 TGA 분석을 진행하였다. 그림 11에 공인인증기관에서 측정한 열안정성 평가 결과를 나타내었다. 수원대에서 측정한 결과 대비 Koptri에서 측정한 열분해 온도(Td) 값이 317℃로 약 16℃ 정도의 오차가 있었다.

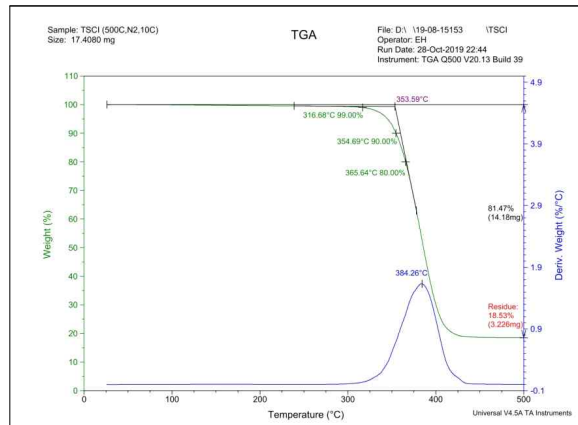


그림 11. 공인인증기관의 열안정성 평가

- 제작한 고내열 고분자 복합소재의 TMA 분석을 외부 공인 기관을 통하여 진행하였으며 TMA의 경우 열팽창 계수(Tc) 값이 43 ppm/℃으로 측정되어 1차년도 정량적인 목표인 45 ppm/℃ 이하를 달성하였다. 또한, Koptri에서 측정한 유리전이온도(Tg) 값이 203℃로 측정되어 유리전이온도 특성도 1차년도 정량 목표를 달성하였다.

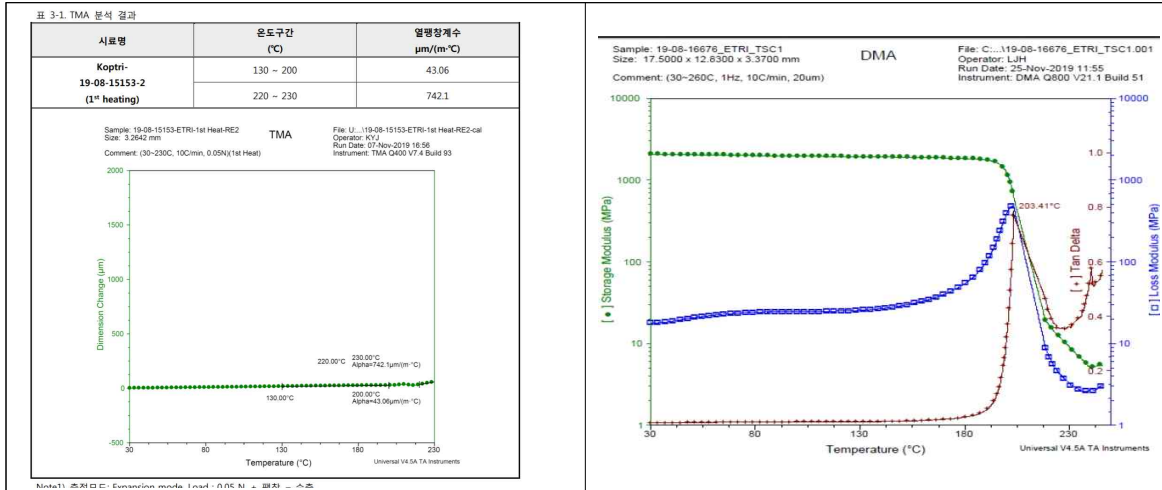


그림 12. 공인인증기관의 열팽창계수 및 유리전이온도 평가

3) 유리전이온도 향상을 위한 고분자복합소재 개발

○ 마이크로버블을 이용한 고분자복합소재화

- HGMa(밀도: 0.46)과 HG Mb(밀도:0.60) 마이크로유리버블을 이용해서 유리버블의 깨짐 정도를 feeding zone에 따라 실험을 하였으며 실험 결과 그림 13에서 나타난 바와 같이 마이크로유리버블의 보존율이 달라지는 것을 확인하였다. 위의 결과를 통해 Feeding zone 위치의 중요성을 확인하였다.

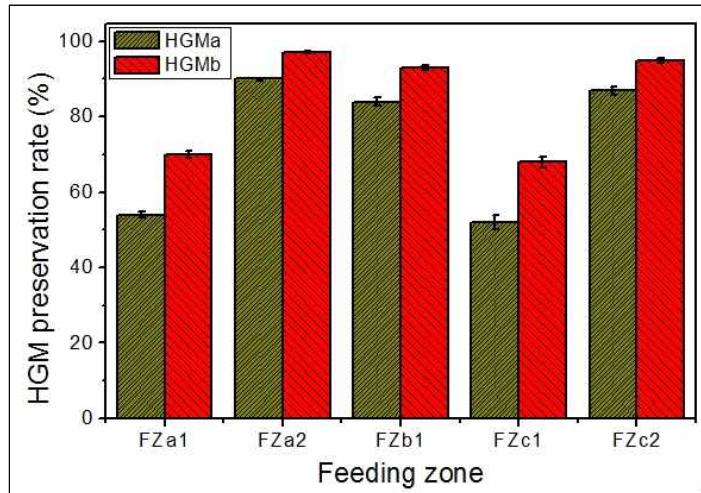


그림 13. 피딩존 콘트롤에 따른 마이크로버블 보존율

- 유리버블의 함량이 증가함에 따라, 고분자복합소재의 비중이 점점 감소함을 그림 14에 나타내었으며 HG Mb의 경우 HG Ma에 비해 다소 비중이 높아, 최종 고분자복합소재의 비중 또한 상대적으로 다소 높았다. HG Mb가 비중은 높으나, 껍질의 두께가 두꺼워, 유리버블 보존율은 HG Ma에 비해 높은 것을 확인하였다.

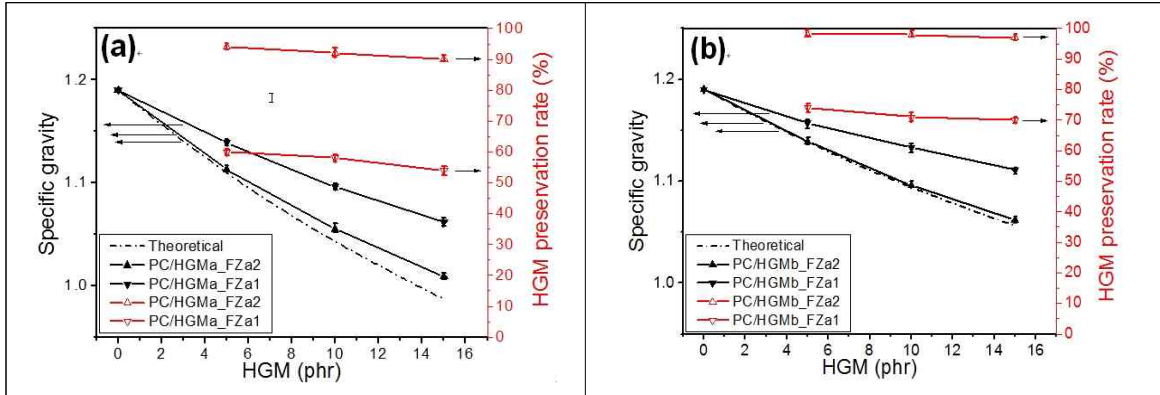


그림 14. 마이크로버블의 함량별 복합소재의 비중 및 보존율

- 사출성형시 사출압에 따른 유리버블의 보존율을 연구하였으며 압출성형시와 유사하게, HGMA가 HGMb보다 더 잘 깨지는 경향이 나타났다. 그림 15에서 사출압에 따른 마이크로버블의 보존율을 나타내었으며 더 깨지기 쉬운 HGMA의 경우 예상 비중보다 더 높게 나타날 것으로 예측이 된다.

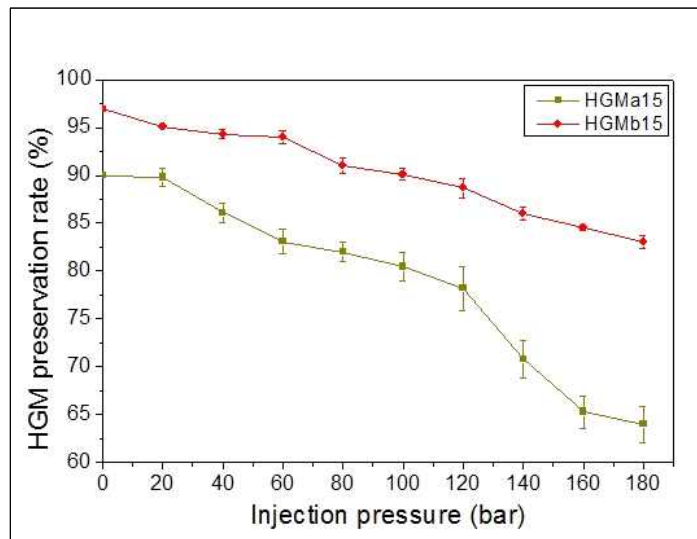


그림 15. 사출압에 따른 마이크로버블의 보존율

- 압출, 사출 조건에 따른 유리버블의 보존율 및 사출시편 설계도를 그림 16에 나타내었으며 압출조건과 사출조건을 고려해 보면, pinpoint gate와 main feeding을 동시에 병행하였을 경우, 최종 복합소재 제품의 유리버블 보존율이 가장 낮았다. 반면에 상대적으로 온화한 조건인 사이드 피딩과 edge gate일 경우 유리버블의 보존율이 가장 높았다. 따라서, 사출조건과 압출조건을 고려해 연구를 진행해야한다.

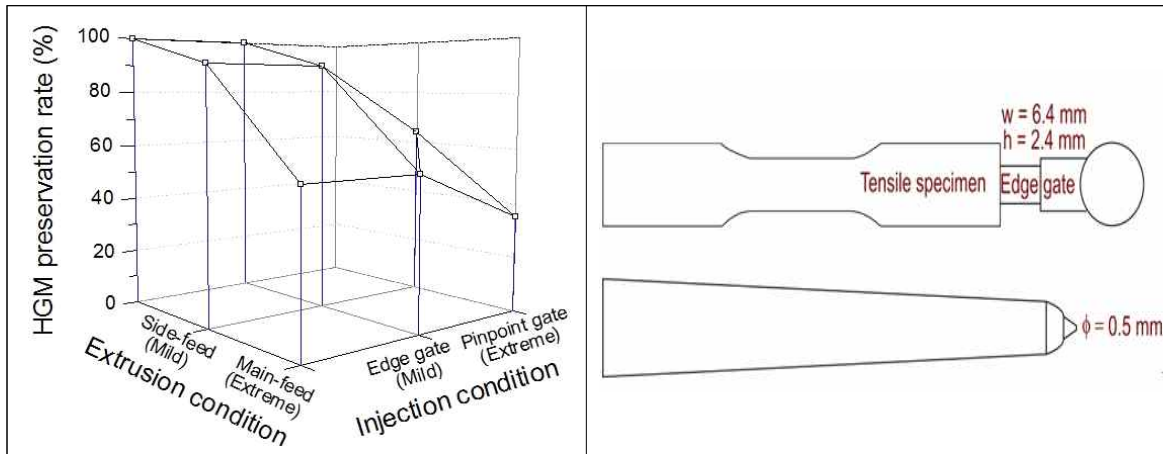


그림 16. 압출, 사출 조건에 따른 유리버블의 보존율 및 사출시편 설계도

- 유리버블의 함량이 증가함에 따라 기계적 물성 중 modulus가 증가하였다. 다만, 함량이 증가할수록 elongation과 toughness가 감소하였다.

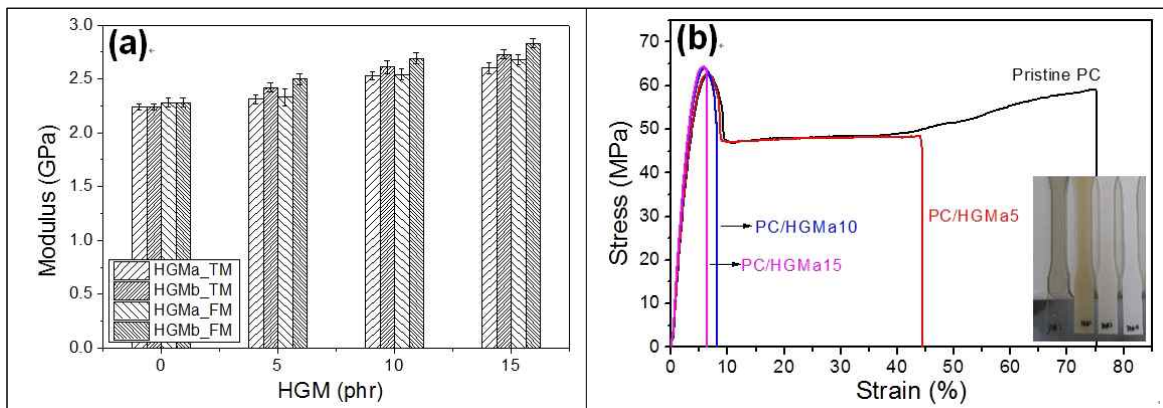


그림 17. 마이크로버블의 함량별 기계적 물성

- 소량의 유리버블 첨가로 내충격성과 찢어짐에 견디는 저항이 약해졌다. 유리성분의 함량이 상대적으로 적은 HGMa의 물성감소 폭이 상대적으로 더 작았다.

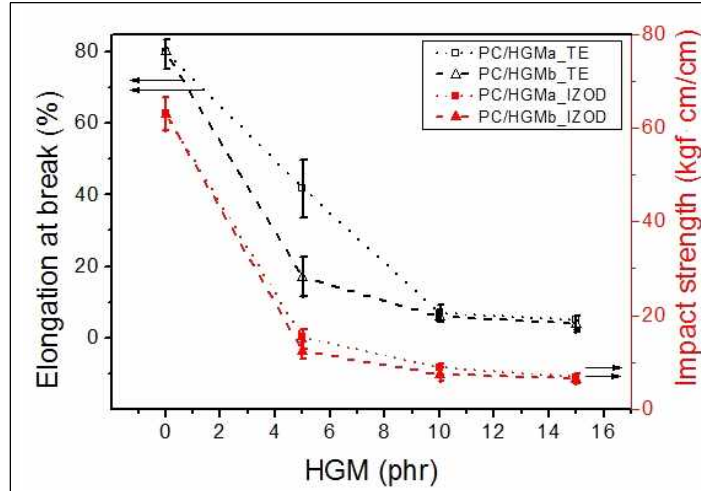


그림 18. 마이크로버블 고분자복합소재의 연성 및 내충격성

- 유리버블의 함량이 증가할수록 고분자 매트릭스의 분자량과 HDT는 감소하였다. 하지만, 시차주사열량계에 의한 유리전이온도는 거의 변화가 없었다.

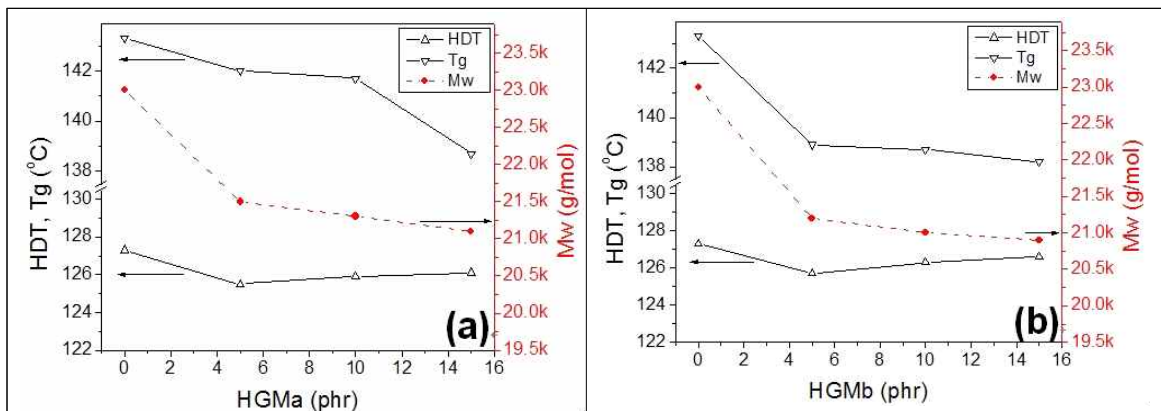


그림 19. 마이크로버블 고분자복합소재의 열변형온도 및 분자량

- 유리버블의 함량이 증가할수록 수치안정성은 향상되었으며 열적기계적변이 분석법을 통한 최종제품의 유리전이온도는 향상되었다. 이러한 차이점은 분석법의 차이에 기인하였다. 시차주사열량계는 고분자매트릭스만의 열량변화 감지를 통한 유리전이온도 결정법이지만, 열적기계적변이 분석법은 고분자 매트릭스 및 첨가제 전체에 대한 유리전이온도이다.

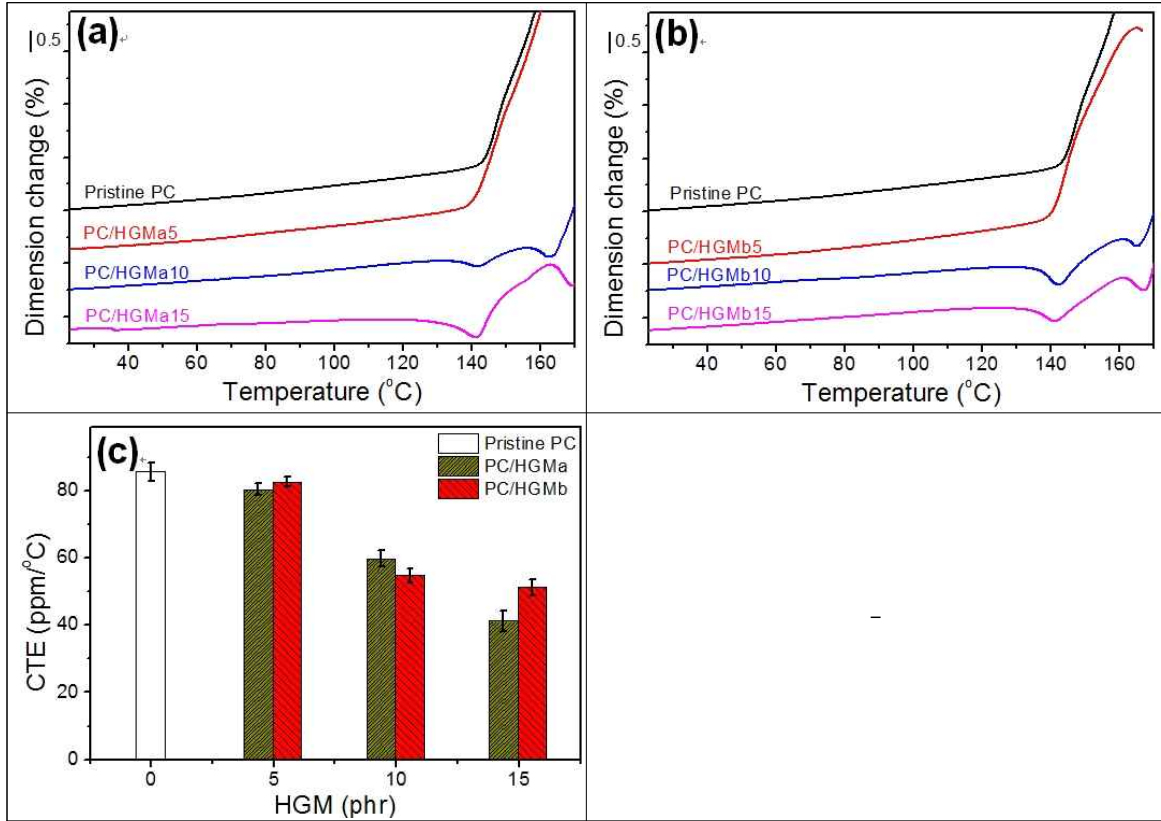


그림 20. 마이크로버블 함량별 고분자복합소재의 열팽창계수

- 용융흐름성은 유리버블의 함량이 증가할수록 향상되었으며 그 결과를 그림 21에 나타내었다.

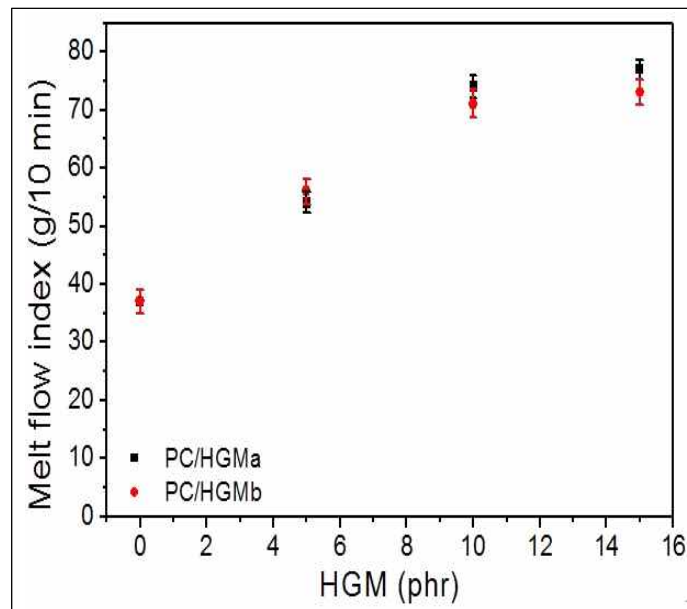


그림 21. 마이크로버블의 함량별 melt flow index 변화

- 가공성을 알아보기 위해 유변학적 특성에 대한 연구도 진행하였으며 유리버블의 보존율이

매우 높은 상태임을 SEM 이미지를 통하여 확인하였다. 이와 관련된 결과를 그림 22와 그림 23에 나타내었다.

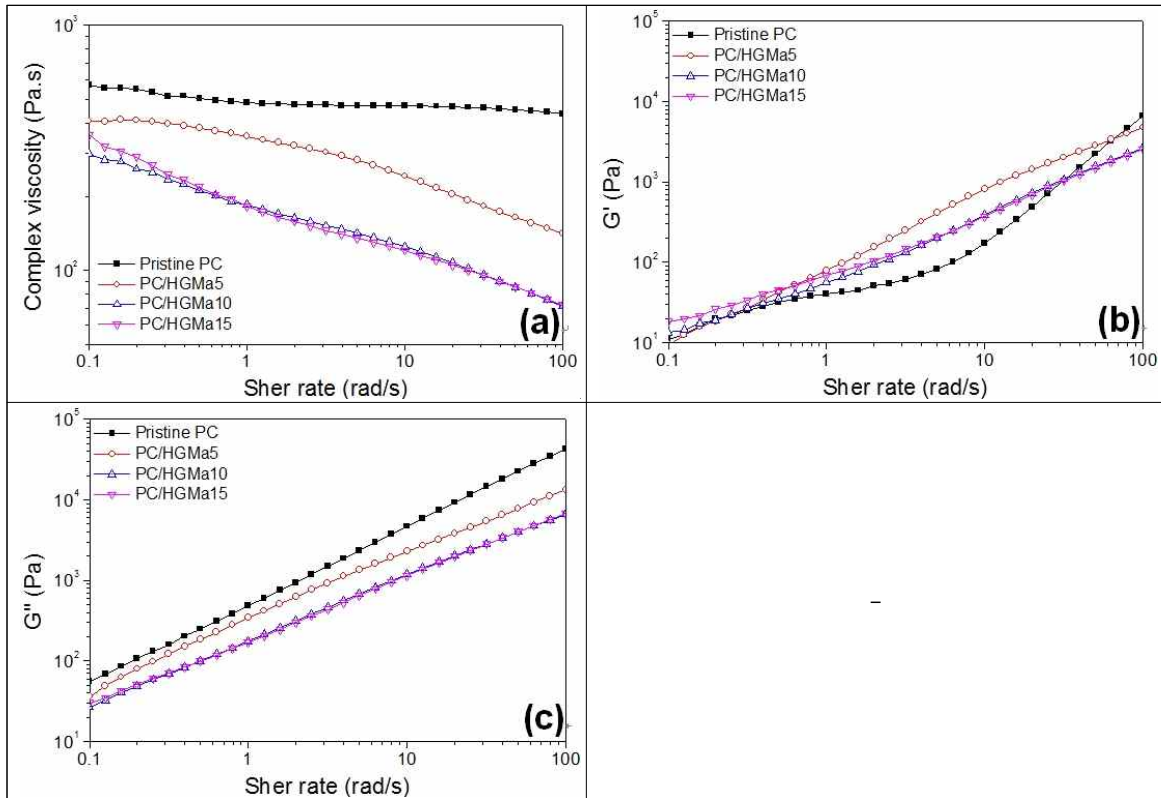


그림 22. 마이크로버블 고분자복합소재의 유변학적 특성

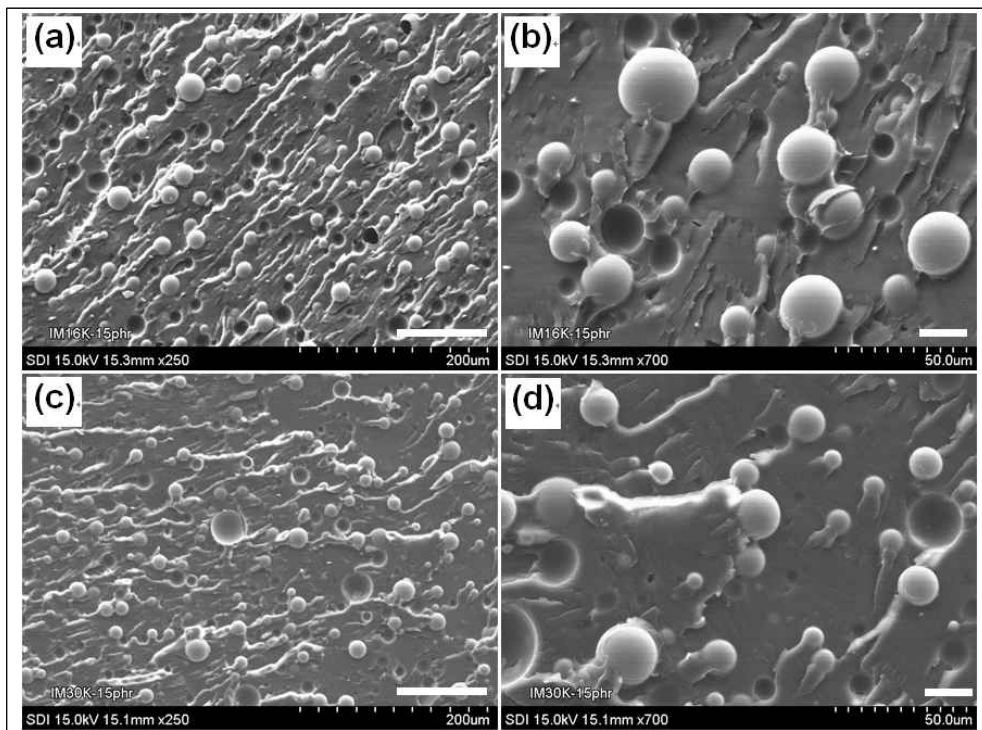


그림 23. 마이크로버블/고분자 복합소재의 형태학 (SEM 사진)

- 압출조건 중 스크루의 rpm을 증가시킴에 따라 유리버블의 보존율이 감소하였다. 메인 피딩 시 유리보존율이 사이드 피딩의 경우보다 낮으며 상대적으로 겹질의 두께가 두꺼운 HGMB가 보존율이 더 높다.

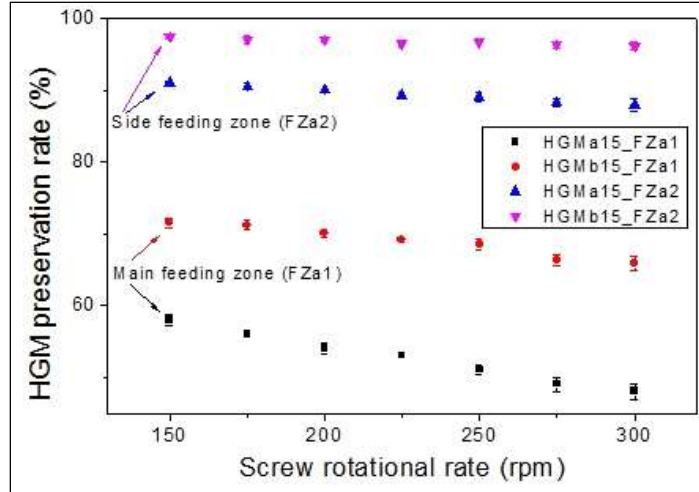


그림 24. 스크루 회전력에 따른 마이크로버블의 보존율

- 압출조건 중 feeding rate에 따른 보존율을 분석하였으며 그 결과를 그림 25에 나타내었다. Feeding rate가 증가함에 따라 압출기 안에서의 체류시간이 짧아져 보존율이 높았다. Side feeding을 통하여 유리버블을 투입하는 방법이 특성 개선에 우수하며 앞선 결과와 유사하게 HGMB의 경우 보존율이 더 우수하다.

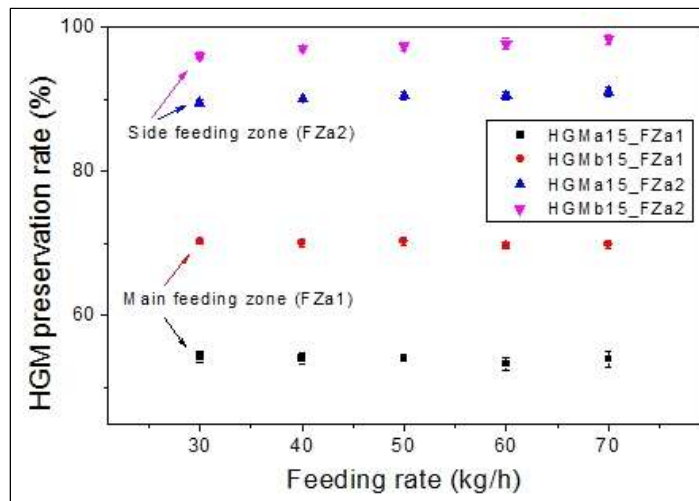


그림 25. 이축압출기 피딩속도에 따른 유리버블의 보존율

- 압출온도가 증가함에 따라 고분자의 유연성이 향상되고 열화에 의한 분자량 감소로 인해 보존율이 증가하였다.

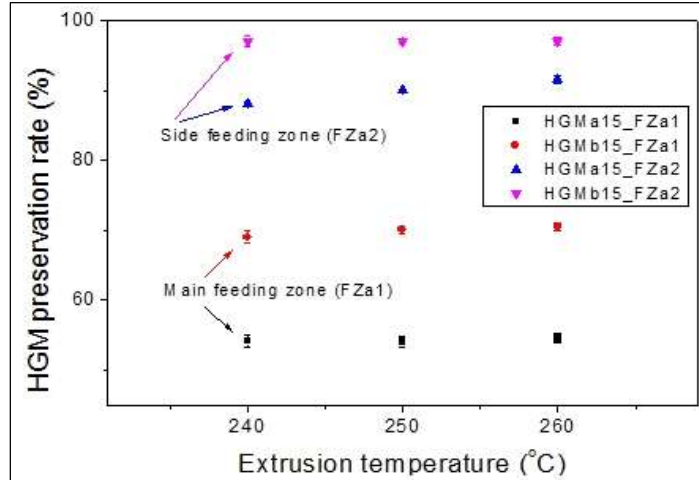


그림 26. 압출온도에 따른 유리버블의 보존율

- 사출조건 중 다소 온화한 조건인 edge gate 상에서는 사출압에 의한 보존율 영향이 거의 없음을 확인하였다.

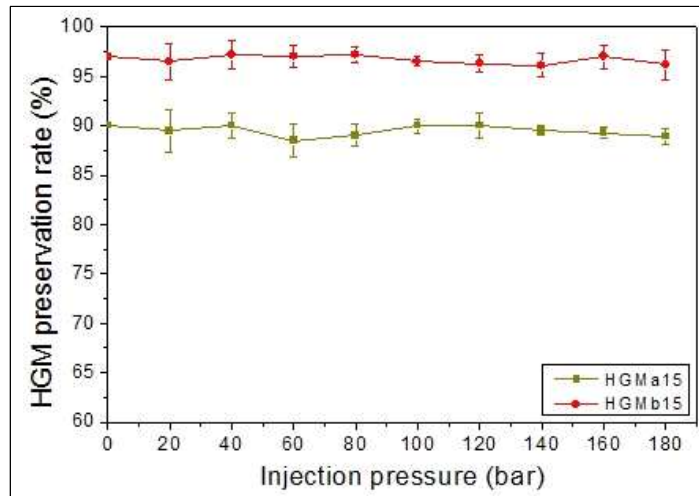


그림 27. 물성시편의 사출압에 따른 유리버블의 보존율

2.1.2.2 3D 프린팅 공정 기술 개발

1) 3D 프린터 고온용 업그레이드

- 저온용 3D 프린터를 고온용 3D 프린터로 업그레이드

기존에 보유하였던 PLA, ABS를 사용하는 저온 3D 프린터를 개발될 고내열용 유무기 복합 소재를 프린팅하기 위해 필라멘트를 용융시키는 프린팅 히팅부의 히터를 500°C까지 승온 가능한 고온용 히터로 교체하였다. 물론, 기존보다 더 큰 용량의 전력을 감당하기 위해서 power supply와 power supply control board를 교체하였다. 또한, 아래 그림 28에서 보듯이 저온용에서 노출되었던 히터를 단열 소재를 이용하여 열 손실을 차단하였고, 단열재 외부를 알루미늄 plate를 사용하여 보호하였다. 증가된 히터의 용량에 맞는 전선과 온도 센싱

용 센서를 모두 고온이 가능한 모델로 교체하였다. 특히, 온도 센서의 경우 장시간의 프린팅에 의해서 온도 센서의 소재가 산화되는 것을 방지하기 위하여 석영관을 사용하여 밀봉하여 히터 옆에 삽입하여 부착하였다.



그림 28. 500℃용 고온용 3D 프린팅 히팅 노즐 사진

- 고온용 3D 프린터 히팅 노즐이 장착된 3D 프린터

고온용 히팅 노즐이 장착된 3D 프린터의 외관과 고온용 히팅 노즐이 장착되어 프린팅하고 있는 사진이다. 그림 29의 오른쪽 사진에서 히팅 노즐부의 쿨링 팬옆에 장착된 적색 라인이 히팅 파워와 온도 센싱을 위한 전선이 연결된 것을 확인할 수 있다. 그리고, 삽입된 사진에 보면, 고온용 히팅 노즐의 온도와 히팅 베드의 온도가 표시되어 있다. 삽입 그림에서 보면, 히팅 노즐의 온도는 460℃이고 히팅 베드의 온도는 70℃ 인 것을 확인할 수 있다. 500℃까지 히팅 노즐 온도를 확인하고자 고온용 소재로 알려진 PEEK 소재를 프린팅하여 테스트 완료하였다.

2) 고온용 3D 프린팅을 위한 열수축 개선 공정 개발

- 고온용 소재를 사용하면 가장 큰 문제가 되는 것이 고온에서 프린팅된 소재가 냉각될 때, 열수축 계수가 큰 소재일 경우 프린팅 후 열수축에 의한 변형으로 인해서 warpage와 같은 변형이 발생 될 수 있다. 이런 변형을 최소화하는 공정을 개발하는 것이 고온용 3D 프린팅을 하기 위해서는 매우 중요한 공정 기술이라 할 수 있다. 그런데, 이러한 공정을 개발하는 방법은 크게 2가지로 생각할 수 있다. 첫 번째는 가장 이상적인 방법으로 소재가 가지는 물질 특성에서 열수축이 적은 소재를 선택하거나 설계하여 제작하는 것이다. 물론, 이 방법은 많은 시행 착오와 변수들이 고려되어야 하여서 단시간, 적은 비용으로는 매우 어렵다. 그러나 본 과제에서는 많은 문헌 조사와 그동안의 개발 경험을 바탕으로 고온용 저열수축 특성을 갖는 소재를 설계하고 개발하고 있다. 1차년도에 경우는 소재를 합성하고 혼합하고 압출하기 위한 공정 장비의 공정 조건 확보와 소재별 기본 특성을 확보하는데 치중하여 저열수

축 소재를 직접 적용하여 프린팅 테스트는 수행하지 못 했다. 두 번째로 프린팅된 소재의 열수축에 의한 변형이 최소화될 수 있도록 프린팅 베드와 프린팅 소재의 계면에서의 접착력을 향상시키는 것이다. 기존의 저온용 3D 프린터의 접착력 향상을 하는 방법은 금속이나 플라스틱 표면을 가지는 프린팅 베드에 프린터용 테이프를 붙여서 프린팅 소재와 베드 사이의 접촉 면적을 넓혀서 계면에서의 접착력을 향상시켜서 베드와 프린팅 소재의 이탈을 방지 하였다. 그러나 고온 소재 프린팅의 경우 기존의 프린터용 테이프를 붙여서는 고온에서의 압출되는 소재의 온도에 의해서 테이프의 접착제 성분이 녹아서 프린팅 소재의 열수축에 의한 변형을 막아주질 못한다. 그러한 프린팅 결과를 그림 30에 나타내었다.

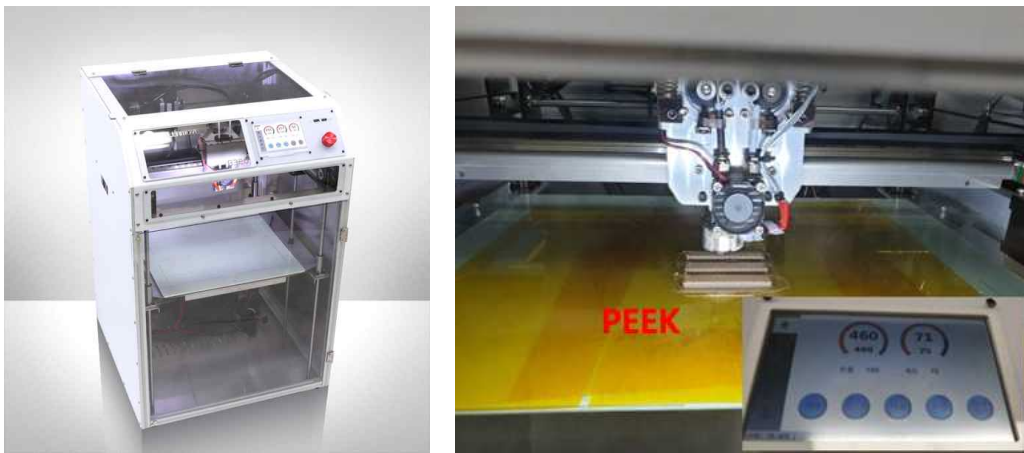


그림 29. 500°C용 고온용 3D 프린터 외관 및 고온용 히팅 노즐 장착 사진



그림 30. 고온용 3D 프린터의 프린팅 후 열수축 후 변형 사진

이러한 고온 프린팅의 열수축에 의한 접착력 문제점을 해결하고자, 고온에서 견딜 수 있는 프린팅용 테이프를 조사하여 고온에서 수축이나 변형이 적고 테이프의 접착력이 저하되지 않는 소재인 폴리이미드 테이프를 선택하였다. 그러나 폴리이미드 테이프만으로는 고온 폴리머 소재의 충분한 접착력 향상을 기대하기 어려워서, 폴리이미드 표면에 아크릴레이트/옥틸 아크릴 아마이드 코폴리머가 혼합되어 수용되어 있는 용액을 분무하여 고온 접착력을 향상시켰다. 이러한 폴리이미드 테이프와 아크릴레이트/옥틸 아크릴 아마이드 코폴리머를 도포하여 고온에서 프린팅한 결과를 그림 31에 나타내었다. 그림 31에서 보듯이, 바탕의 노란 색은 고온용 테이프인 폴리이미드이고, 프린팅한 형상 아래와 그 주변에 아크릴레이트/옥틸

아크릴 아마이드 코폴리머가 혼합된 수용액이 도포되어 접착력을 향상시켜, 프린팅한 PEEK 소재의 형상물이 warpage나 들뜸 현상 없이 프린터 베드면에 잘 부착되어 있는 것을 확인할 수 있다.

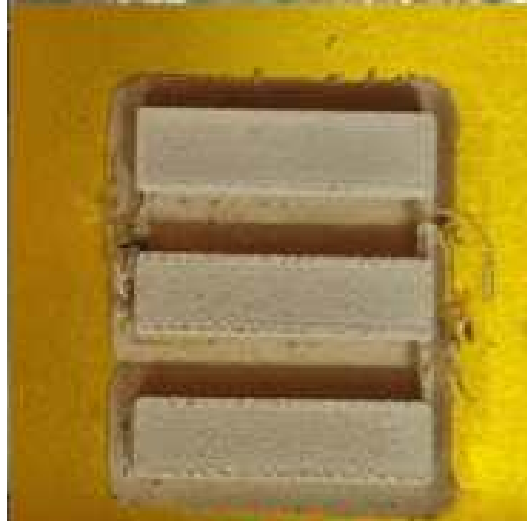


그림 31. 고온용 3D 프린터를 이용하여 열수축 없이 프린팅된 사진

PEEK 소재 이외의 또 다른 고온 소재에 대해서도 상기에서 언급한 고온용 테이프인 폴리이미드와 아크릴레이트/옥틸 아크릴 아마이드 코폴리머가 혼합된 수용액을 사용하여 접착력 향상 조건에서 프린팅한 결과를 그림 32에 나타내었다. 사용된 소재는 PPS(PolyPhenylene Sulfide)이고 PEEK 소재와 마찬가지로 표면 들뜸 현상이나 warpage 현상없이 대면적 프린팅에도 잘 적용되는 것을 알 수 있다. PPS(PolyPhenylene Sulfide)의 프린팅 온도는 350℃ 이고 베드 온도는 PEEK 소재와 마찬가지로 70℃를 사용하였다.(그림 33)

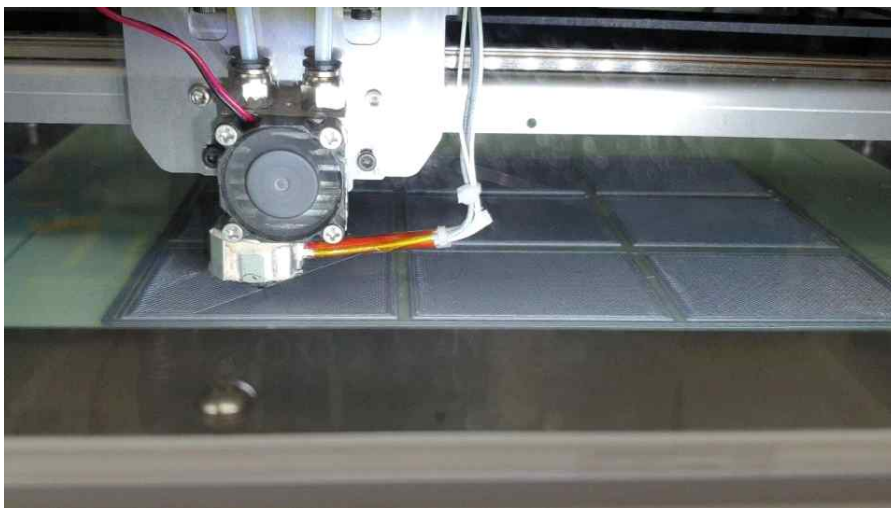


그림 32. 고온용 3D 프린터를 이용하여 PPS 소재를 프린팅하는 사진



그림 33. 고온용 3D 프린터를 이용한 PPS 소재 프린팅 온도

3) Ag 배선 소재 및 공정을 대체하는 Cu 배선 공정 개발

- 본 연구에서는 기존 고가의 Ag 금속 배선 공정을 대체하기 위한 저가의 Cu 기반의 금속 배선 공정을 프린팅 공정을 이용하여 개발함. 기존 3D 프린팅 소재를 이용하여 배선 공정 및 모듈 제작 공정을 수행할 경우 기존 소재의 낮은 녹는점 특성으로 인하여 배선 공정 및 모듈 제작 공정에서 사용할 수 있는 소재의 범위가 제한되게 된다. 본 과제에서는 이와 같은 낮은 3D 프린팅용 소재를 대체하는 소재를 개발하므로 배선 공정 및 모듈 제작 공정도 저가 가격 특성을 구현할 수 있는 Cu 배선을 적용한 연구를 진행하였다.

고내열 복합소재, Cu 배선 및 접합 공정을 이용한 센서 모듈의 구현 조건을 확립하기 위하여 기존 3D 프린팅용 소재를 이용하여 센서 모듈 구현을 진행하였다. 기존 3D 프린팅용 소재로는 압출 적층 조형(Fused Deposition Modeling, FDM)형식의 ABS, PPS 소재와 광경화 수지 조형의 기판을 사용하였다. 개발하는 Cu 배선의 특성을 비교하기 위하여 기성품인 Ag 배선과 그 특성을 비교하였다.

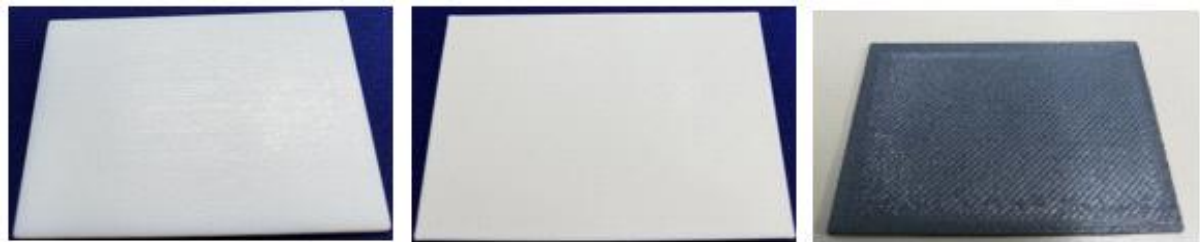


그림 34. 3D 프린팅용 소재 기판 잉크젯(좌), ABS(가운데), PPS(우)

우선, Ag Sintering Paste를 이용하여 배선 Printing 공정을 수행하기 위해 Voltera V-One 장비를 사용하였다. Voltera V-One 장비를 사용하기 위해서는 기판의 표면 거칠기가 중요하므로 잉크젯 기판과 ABS 기판은 표면의 거칠기가 양호하여 배선 공정을 바로 진행하였으며, PPS 기판의 표면 거칠기는 상대적으로 불규칙적이기 때문에 표면 작업 후 배선 공정을 진행하였다.

Cu particle이 포함된 Cu Paste를 이용하여 배선 Printing 공정을 수행하기 위해서 고성능 스크류 디스펜서를 사용하였다. Cu 배선을 경화시키기 위한 방법으로는 Laser selective 경화 방법을 채택하였다. 기존 열경화 방식의 경우 현재까지 개발된 소재는 열경화 온도를 견딜 수가 없기에 순간적으로 Cu 배선이 형성되는 부분만 열을 가하여 경화시키는 방식을 적용하였다. 디스펜서에 이용하여 Cu 배선을 형성한 후 Laser 경화를 통한 배선 공정을 개발하였다.

표 11. Ag paste Product Properties

Paste	Alloy	Metal Content	Application	Particle size	Sinter temperature	Compatible Surfaces	Sintering Atmosphere
ASP 295-79P2	Silver	86%	Dispensing	≤ 20 um	≥ 230 °C	Ag or Au	Air or N ₂



그림 35. Cu paste 배선 및 Laser 열경화를 위한 통합 장비

Ag Paste 배선 공정은 고가의 Voltera V-One 장비용 소재를 사용하여 배선 공정을 수행하였으므로 각 기판에 배선 Printing이 잘 이루어졌다. 그림 36에 다양한 기판에 형성한 센서 모듈의 Ag 배선을 나타내었다.

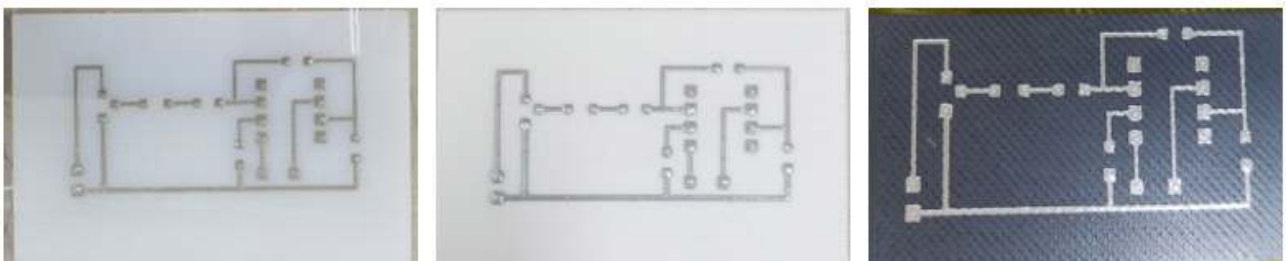


그림 36. Ag 배선 공정 후 잉크젯(좌), ABS(가운데), PPS(우) 기판

Cu Paste 배선 공정은 저가의 소재를 이용하여 스크류 디스펜서를 가지고 배선 공정을 수행하였으므로 각 기판에 배선 Printing이 잘 이루어졌다. 그림 37에 개발한 Cu 프린팅 방법을 이용하여 형성한 센서 모듈의 Cu 배선을 나타내었다.

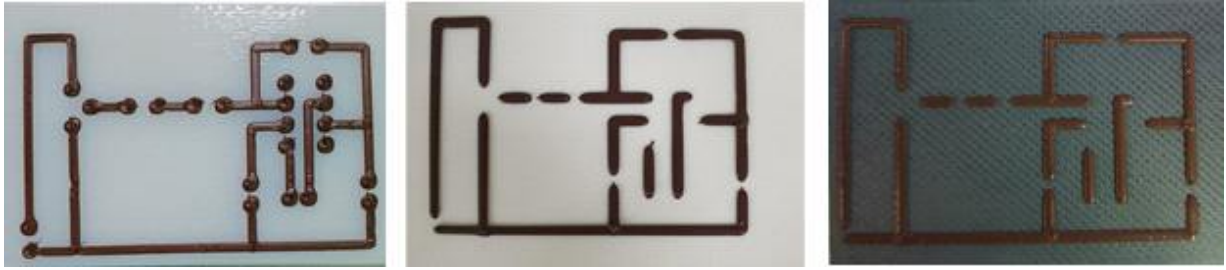


그림 37. Cu 배선 공정 후 잉크젯(좌), ABS(가운데), PPS(우) 기판

4) Ag/Cu 배선 경화 실험 개발

Ag 배선 공정 후 Oven(Forced Convection Oven)을 이용하여 Ag paste의 열경화 실험을 진행하여 제작한 다양한 기판의 열변성과 Ag paste의 열경화를 확인하였다. 잉크젯 기판 위에 Ag Paste가 배선된 샘플을 150°C에서 30분, 200°C에서 20분 curing 공정을 하여 기판의 전, 후 변화를 비교하였으며, Ag paste는 경화되었지만 높은 온도에 따른 기판의 변형으로 프린팅된 배선이 떨어지는 현상을 확인하였다.

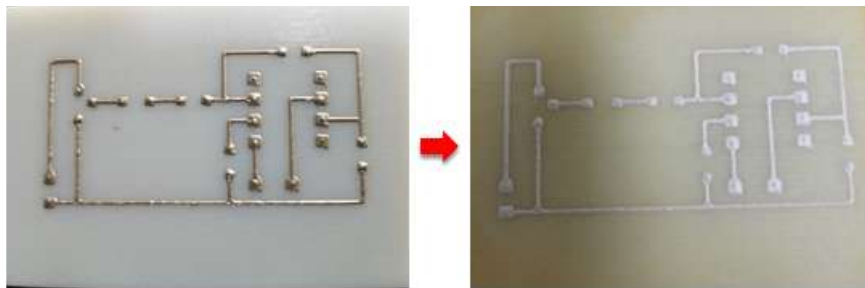


그림 38. Ag 배선을 이용한 잉크젯 기판의 curing 전, 후



그림 39. 높은 온도에 따른 Ag 배선의 damage와 기판 변형

앞에서 제작한 기판의 경우 경화를 진행하는 과정 중 기판의 변형이 일어나므로 경화 조건을 변경하여 진행하였다. Ag 배선이 프린팅된 ABS 기판을 150°C에서 30 min. 200 °C에서 10 min.의 공정 조건 변경하여 기판의 전, 후 변화를 비교하였으며, Paste는 경화되었지만 높은 온도에 따른 기판의 변형으로 프린팅된 배선에서 crack이 관찰되었다.

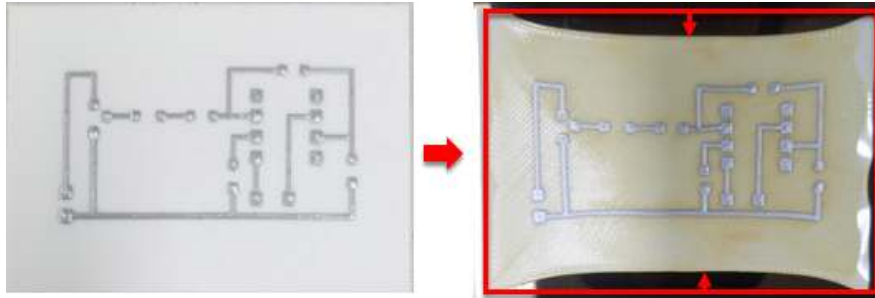


그림 40. ABS 기판에서 Ag 배선 Curing 전, 후

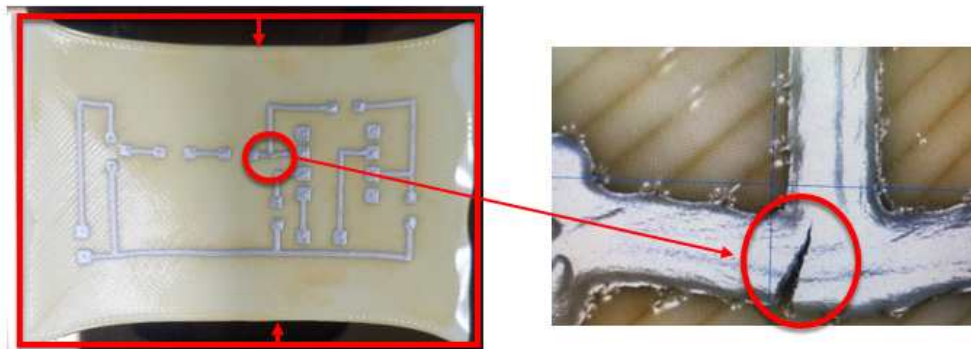


그림 41. 경화 온도에 따른 Ag 배선의 crack 발생

ABS 기판 위에 Cu Paste로 배선을 제작한 샘플을 열경화 방식이 아닌 Laser selective 경화를 통하여 기판의 변형 없이 경화 공정을 수행하였다.

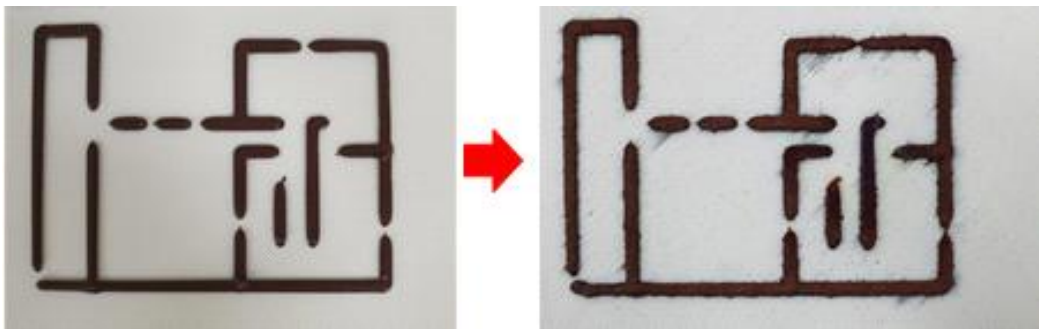


그림 42. ABS 기판에서 Cu 배선 curing 전, 후

Laser 경화 후에 배선의 Width가 넓어지는 현상이 있으므로 반도체 소자 및 수동 소자들이 접합될 Pad 부분이 없어도 충분한 Width를 가지고 있음을 확인하여 모듈 제작용 배선에서는 소자들이 접합되는 Pad를 제거한 배선으로 개발을 진행하였다.

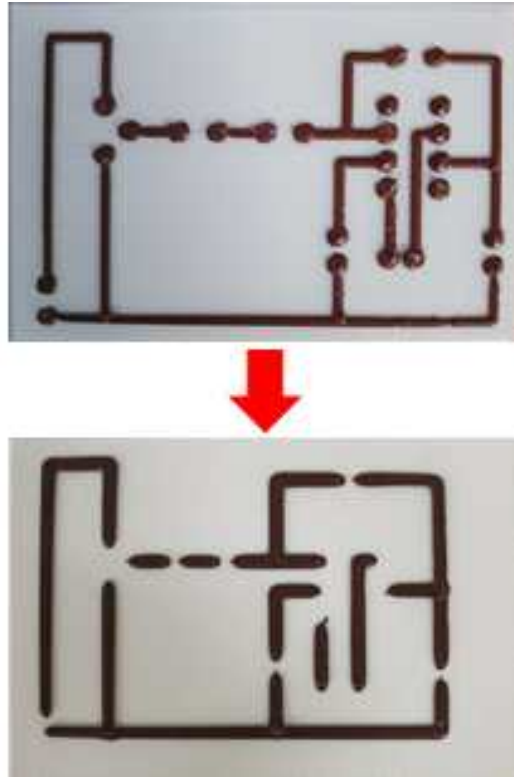


그림 43. Laser 경화에 의한 Cu 배선의 Width 증가 및 Pad 제거 배선 공정

개발한 Cu 배선의 전기적인 특성을 확인하기 위하여 상용 제품인 Ag paste를 이용하여 형성한 샘플과 전기적인 저항 특성을 비교하였다. 그림 44에 Ag 배선과 Cu 배선의 저항 측정 결과를 나타냈었다. Ag 배선과 Cu 배선의 라인별 저항 특성 분석 결과, 짧은 배선에서 Ag는 Cu에 비해 약 $0.1 \sim 0.2 \Omega$ 낮았으며 긴 배선에서는 $0.2 \sim 0.3 \Omega$ 낮게 나타났으며 Interconnection 성능에는 큰 차이가 없을 것으로 판단되었다. 3D 프린팅 기술을 이용한 배선 공정을 위하여 고가의 Ag Paste 소재를 대체할 수 있는 저가의 Cu Paste 소재를 이용한 배선 공정 기술을 개발하였다.

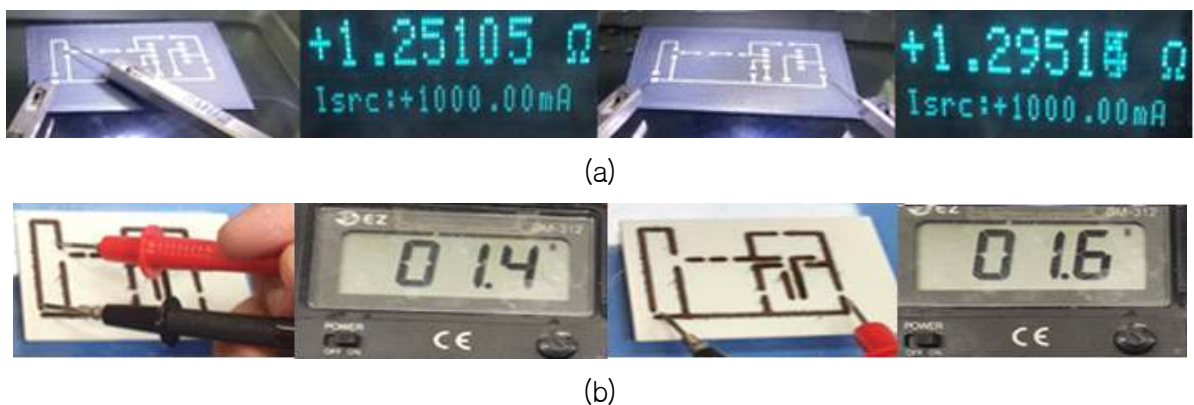


그림 44. 제작한 샘플의 Ag 배선과 Cu 배선의 저항 비교

5) 고온 프린팅 공정 및 Cu 배선 검증을 위한 센서 모듈 제작

1차년도에 개발한 고온 3D 프린팅 공정 및 Cu 배선 공정을 검증하기 위하여 2가지 공정 모두를 적용한 센서 모듈을 제작하여 그 특성을 검증하였다. 고온 3D 프린팅 공정이 필요한 PPS 기판을 이용하여 모듈을 제작하였다. 모듈 검증에서는 ETRI에서 제작한 압출 적층 조형(Fused Deposition Modeling, FDM)방식의 3D printer 장비로 350°C에서 출력한 PPS(PolyPhenylene Sulfide)기판을 사용하였으며 PPS 소재의 특성을 표 3에 나타내었다.



그림 45. ETRI에서 사용하는 고온 3D 프린터

표 12. PPS 소재 특성

Glass Transition (Tg)	85 - 95 °C
Cristallite Melting (Tm)	275 - 285 °C
Extruder Temperature	315 - 345°C
Bed Temperature	120 - 160°C
Density	1.35 g/cm ³
HDT @0.46 MPa	140 - 160 °C
HDT @1.8 MPa	100 - 135 °C
Thermal Insulation (Thermal Conductivity)	0.29 - 0.32 W/m.K

Ag 배선으로 프린팅한 PPS 기판의 경우 기존 실험보다 높은 160 °C에서 30min, 230 °C에서 20 min.의 열경화 조건으로 변경하여 열경화 공정을 수행하여도 기판 및 Paste의 경화와 관련하여 높은 온도에 따른 기판의 변형이 없음을 확인하였다.

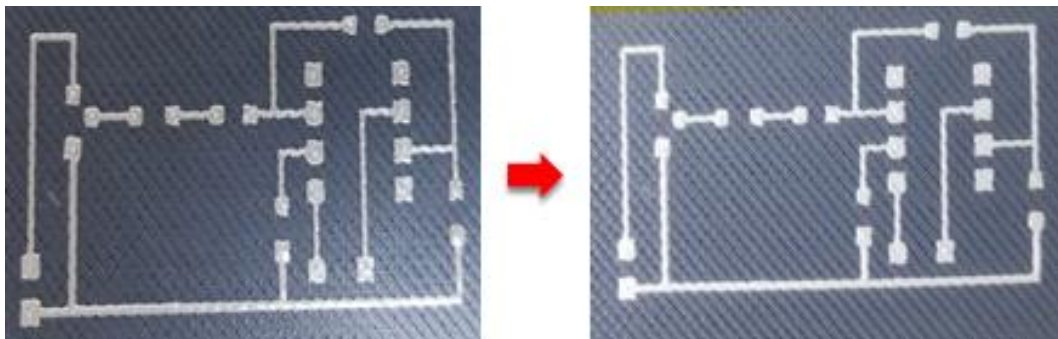


그림 46. PPS 기판의 Curing 전, 후

PPS기판에 Ag paste 및 Cu paste를 이용하여 배선된 샘플은 H20E(Ag Paste)로 센서 접합 후, Hot Plate를 이용하여 경화 공정을 수행하였다.

표 13. Silver Epoxy H20E Properties

Color	Part A: Silver, Part B: Silver
Mix Ratio By Weight:	1:1
Minimum Bond Line Cure Schedule	175°C-45Sec, 150°C-5Min, 120°C-15Min
Viscosity (@ 100 RPM/23°C)	2,200 – 3,200 cPs
Coefficient of Thermal Expansion (CTE)	Below T _g : 31 x 10 ⁻⁶ in/in/°C Above T _g : 158 x 10 ⁻⁶ in/in/°C
Shore D Hardness	75
Particle Size	≤45 Microns
Thermal Conductivity	29 W/mK

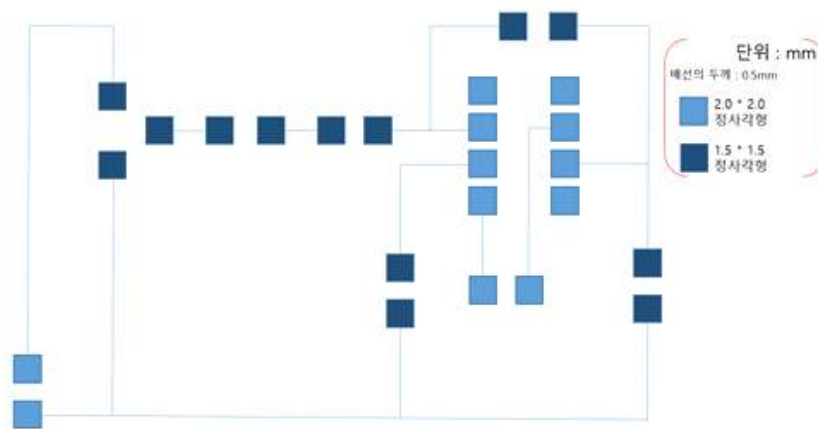
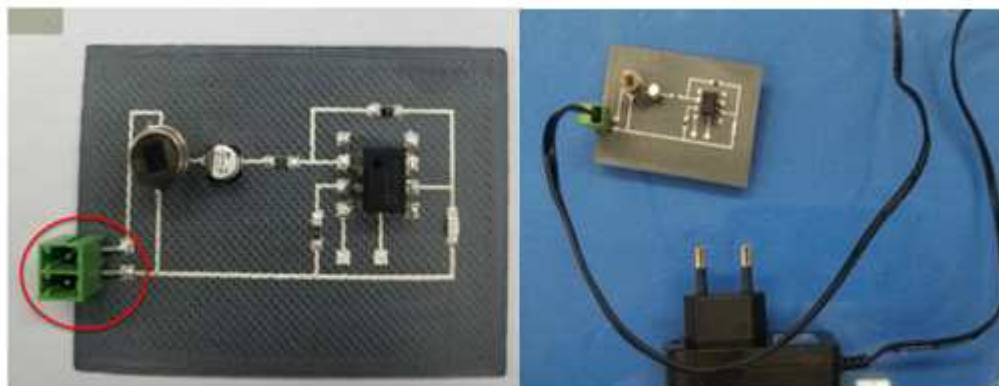


그림 47. 인체감지센서 모듈 회로도

인체감지센서 모듈에 전원 소켓을 접합하고, Ag 배선을 통해 완성된 모듈과 Cu 배선을 통해 완성된 모듈에 DC 5V의 직류 전원 장치를 결합하여 동작 테스트를 진행하였다.



*전원 소자 연결

그림 48. Ag 배선에 의한 인체감지센서 모듈 완성품

OP-Amp에 전압을 인가한 후, 인체감지센서 작동에 따른 LED 소자의 점등을 통하여 인체 감지센서가 정상적으로 잘 동작하는 것을 확인하였다.

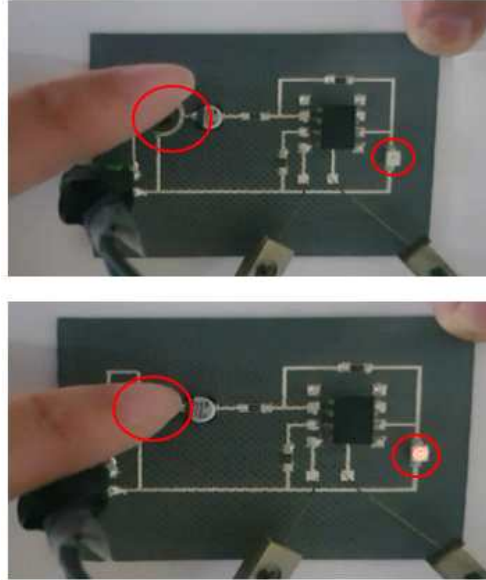


그림 50. 인체감지센서 작동에 따른 LED 소자의 점등 변화

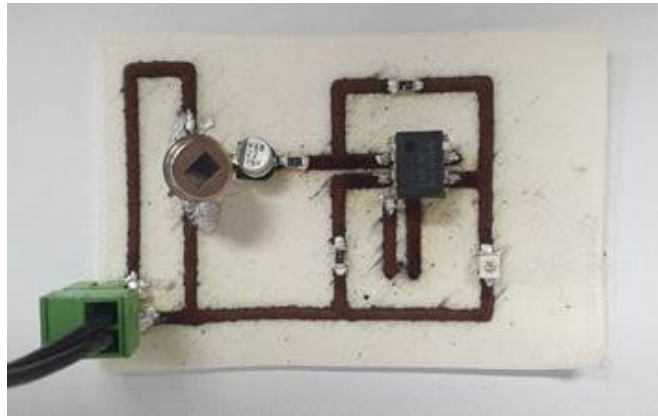


그림 51. Cu 배선에 의한 인체감지센서 모듈



그림 52. 인체감지센서 작동에 따른 LED 소자의 점등 변화

최종적으로 제작한 인체감지센서 모듈이 정상적으로 동작하는 것을 확인하여 1차년도에 개발한 고온 3D 프린팅 공정 및 Cu 배선 공정이 성공적으로 잘 개발되었음을 확인할 수 있었다.

2. 당해년도 추진현황

2.1. 기술개발 추진 일정

과제내용	추진 일정											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
고내열 고분자복합소재 개발 - 고내열 고분자 선정 - 유무기물 상용성 검증 - 복합소재 물성 측정				→				→				→
3D 프린팅 공정 기술 개발 - 3D 프린터 고온용 업그레이드 - 열수축 개선 공정 - 금속 배선 공정							→					→
주요 Milestone 완성점에서의 수행결과	<ul style="list-style-type: none"> • 프린팅 가능한 고온 필라멘트 샘플 • 고온용 3D 프린터 • 수축율 측정 확인서 • 결과보고서 및 기술 문서 											

2.2. 당해년도 추진실적

○ 기술개발 성과지표 (2019년도)

성과지표 (주요성능 Spec)	단위	세계최고 수준	기술개발 목표치	목표치 산출근거	검증방법	비고 (달성년도)
유리전이온도	℃	160(PEEK)	200		공인시험 확인서	2019
열안정성	℃	200 (Polylactide-D)	275		공인시험 확인서	2019
열팽창계수	ppm/ ℃	60 (PEEK)	45		공인시험 확인서	2019

○ 연구산출물 성과지표 (2019년도)

공통지표(필수제시)			자율지표(자율제시)	
지표명		2019년도	지표명	2019년도
과학적 성과	표준화된 IF 상위 20% SCI 논문(건)	1	표준화된 IF 상위 50% SCI 논문(건)	1
	특허활용률 (기술이전건수/ 특허등록보유건수)			
기술적 성과	국제표준특허(건)		국제 특허(건)	1
	국제표준승인표준기고 서(건)		국내 특허(건)	1
	3급 특허(건)			
경제적 성과	연구비 대비 기술료 수입(%)			

제 3 장 결 론

- 고내열 고분자복합소재 개발을 위한 전반적인 기본연구가 진행되었으며, 응용분야 확대를 위한 고분자 소재별 다양한 물성에 대한 연구가 진행되었다.
- 무기물을 화학적 또는 물리적 개질을 통한 고분자복합소재의 물성 향상을 이루었으며 특히, 수치안정성 및 열적 안정성을 향상시켰다.
- 고내열 고분자복합소재 제조 중 압출조건과 사출조건의 중요성에 대해서 인지하고, Supramolecular chemistry을 이용한 최종 목표 달성에 대한 가능성이 향상되었다.
- 350℃ 에서도 안정적으로 동작할 수 있는 고온용 3D 프린터 히팅 노즐이 장착된 3D 프린터를 개조하여 고온 3D 프린팅 공정 및 열수축 특성을 개선할 수 있는 고온 프린팅 공정을 개발하였다.
- 기존 3D 프린팅에서 사용하는 고가의 Ag를 이용한 배선 공정을 대체하기 위하여 3D 프린팅 공정에서는 원천적 소재인 Cu 기반의 배선 공정을 개발하고 열경화 공정을 개선하기 위하여 laser selective 경화 방식을 개발하였다.
- 최종적으로 개발한 고온 3D 프린팅 공정 및 Cu 배선 공정을 검증하기 위하여 인체감지센서 모듈을 제작하여 모듈이 정상적으로 잘 동작하는 것을 확인함으로써 개발한 공정을 성공적으로 확인하였다.

TEST REPORT

1. 의뢰기관 :

기관명: 한국전자통신연구원 (오애선 님)
주소: 대전 유성구 가정로 218 한국전자통신연구원

2. 의뢰일자 : 2019. 11. 18.

3. 용도 : 국가과거저출용

4. 시험대상품목 또는 물질, 시료명 : 표 1 참조

5. 시료형상 : Solid

6. 시험항목 : DMA 분석

7. 시험방법 : 표 2 참조

8. 시험기간 : 2019. 11. 20. ~ 2019. 11. 26.

9. 시험결과 : 표 2 참조

10. 시험자 : 이지혜 연구원

확인	실무자	승인자
	직 위: 연구원 성 명: 이지혜 <i>Jihye Lee</i>	직 위: 시험책임자 성 명: 안병준 <i>Byung-Jun Ahn</i>
본 Test report 는 의뢰자가 제공한 시료를 이용한 측정결과입니다. 본 Test report 는 사전협의 없이 선전, 방송 및 광고, 법적소송의 용도로 사용할 수 없습니다. ※ 불도의 요청이 없는 경우, 제공된 시료는 시험 완료 2주 후 자동 폐기합니다.		

2019년 11월 26일

국제공인시험기관 **한국고분자시험연구소(주) (인)**

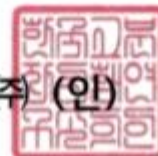



표 1. 시료명 및 시료사진

No	시료에 기재된 시료명	시험에 사용한 시료명	시료사진
1	DMA	Koptri- 19-08-16676-1	

Note 1) 시료가공 : Koptri () / 의뢰자 (○)

Note 2) 신청서에 기재된 시료명 : 해당사항 없음

표 2. 시험방법 및 시험결과 (DMA)

시료명	시험항목	단위	시험방법	시험결과
Koptri- 19-08-16676-1	Storage modulus	MPa	ASTM D4065에 준함	표 3 참고
	Loss modulus	MPa	ASTM D4065에 준함	표 3 참고
	Tangent delta	-	ASTM D4065에 준함	표 3 참고

Note) Mode: Single Cantilever Mode, 온도구간: (30 ~ 250) °C, 승온속도: 10 °C/min, 주파수: 1 Hz

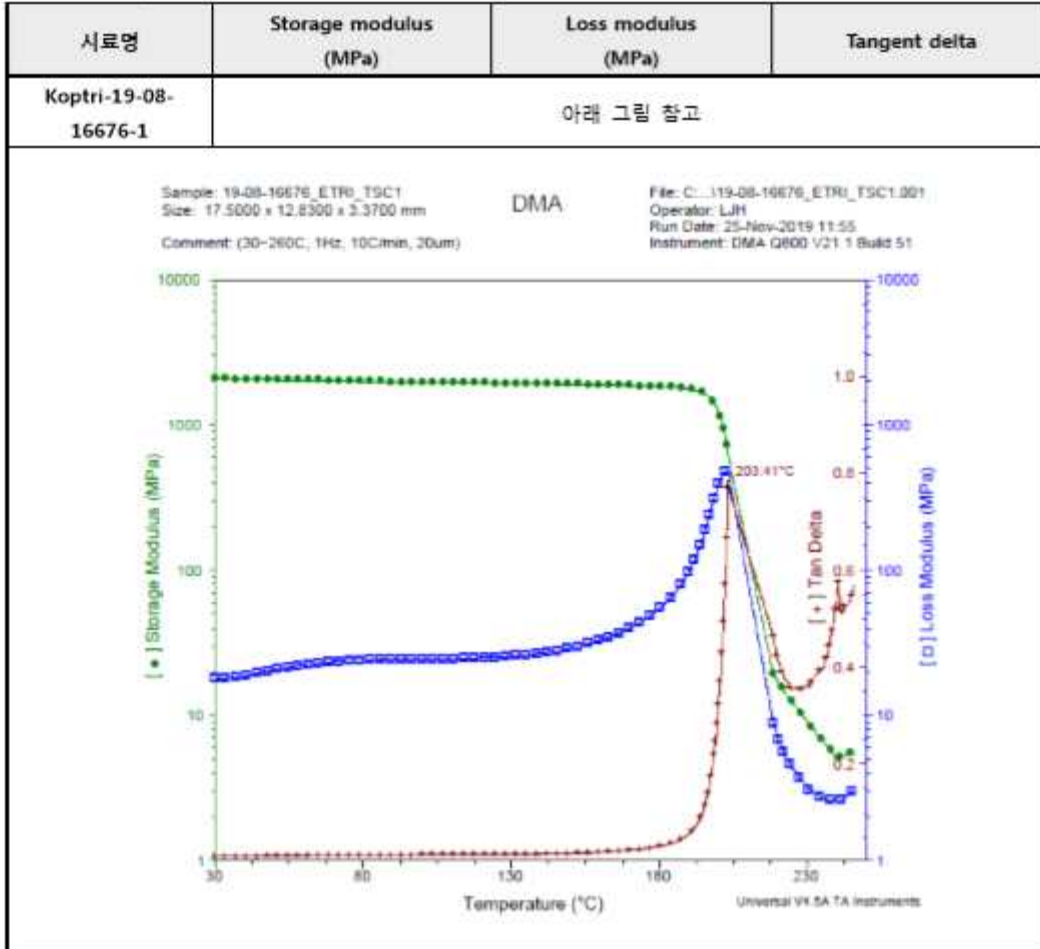
* Raw data

1. 시험조건

- (1) 시험방법 : ASTM D4065에 준함 (Standard Practice for Plastics: Dynamic Mechanical Properties: Determination and Report of Procedures)
- (2) 측정기기 : TA사 DMA Q800
- (3) 측정모드 : Single Cantilever Mode
- (4) 온도구간 : (30 ~ 250) °C
- (5) 승온속도 : 10 °C/min
- (6) 주파수 : 1 Hz
- (7) Amplitude : 20µm

2. 시험결과

표 3. DMA 시험 결과



Note) Mode: Single Cantilever Mode, 온도구간: (30 ~ 250) °C, 승온속도: 10 °C/min, 주파수: 1 Hz

TEST REPORT

1. 의뢰기관 :

기관명: 한국전자통신연구원 (오애선 님)

주소: 대전 유성구 가정로 218 한국전자통신연구원

2. 의뢰일자 : 2019. 10. 28.

3. 용도 : 국가과제제출용

4. 시험대상품목 또는 물질, 시료명 : 표 1 참조

5. 시료형상 : Solid

6. 시험항목 : TGA

7. 시험방법 : 표 2 참조

8. 시험기간 : 2019. 10. 28. ~ 2019. 11. 07.

9. 시험결과 : 표 2 참조

10. 시험자 : 정은혜 분석원

확 인	실무자	승인자
	직 위: 연구원 성 명: 이지혜 Jihye Lee	직 위: 시험책임자 성 명: 안병준 Byung-Joon Ahn

본 Test report 는 의뢰자가 제공한 시료를 이용한 측정결과입니다.
본 Test report 는 사전협의 없이 선전, 방송 및 광고, 법적소송의 용도로 사용할 수 없습니다.
※ 별도의 요청이 없는 경우, 제공된 시료는 시험 완료 2 주 후 자동 폐기합니다.

2019 년 11 월 8 일

국제공인시험기관 한국고분자시험연구소(주) (인)

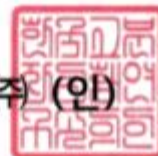


표 1 시료명 및 시료사진

No	시료에 기재된 시료명	시험에 사용한 시료명	시료사진
1	TSC 1 (TGA)	Koptri- 19-08-15153-1	

Note 1) 시편가공 : Koptri () / 의뢰자 (○)

Note 2) 신청서에 기재된 시료명 : TSC

표 2 시험방법 및 시험결과 (TGA)

시료명	시험항목	분위기	단위	시험방법	시험결과
Koptri- 19-08-15153-1	1% 분해온도	N ₂	°C	TGA 장비를 이용한 열분석	316.7

* Raw data

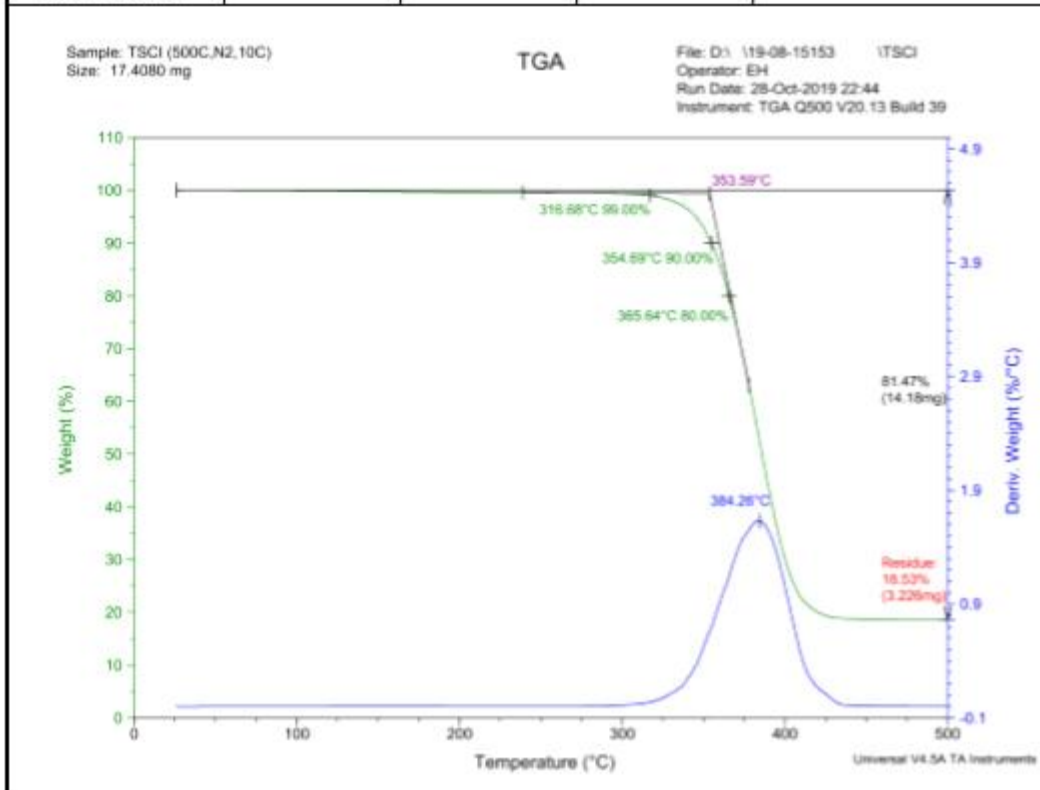
1. 시험조건

- (1) 분석기기 : TA Instrument 사, TGA Q500
- (2) 승온속도 : 10 °C/min
- (3) 온도범위 : RT ~ 500 °C
- (4) 분위기 : N₂
- (5) Furnace : EGA

2. 시험결과

표 3. TGA 분석결과

시료명	온도 (°C)	승온속도	분위기	1% 분해온도 (°C)
Koptri-19-08-15153-1	RT ~ 500	10 °C/min	N ₂	316.7



☞

TEST REPORT

1. 의뢰기관 :

기관명: 한국전자통신연구원 (오앤선 빌)
주소: 대전 유성구 가청로 218 한국전자통신연구원

2. 의뢰일자 : 2019. 10. 28.

3. 용도 : 국가과거저출용

4. 시험대상품목 또는 물질, 시료명 : 표 1 참조

5. 시료형상 : Solid

6. 시험항목 : TMA

7. 시험방법 : 표 2 참조

8. 시험기간 : 2019. 10. 28. ~ 2019. 11. 07.

9. 시험결과 : 표 2 참조

10. 시험자 : 김윤정 분석원

확인	실무자	승인자
	직 위: 연구원 성 명: 이지혜 <i>Jihye Lee</i>	직 위: 시험책임자 성 명: 안병준 <i>Byung Jun Ahn</i>
본 Test report 는 의뢰자가 제공한 시료를 이용한 측정결과입니다. 본 Test report 는 사전협의 없이 선전, 방송 및 광고, 법적소송의 용도로 사용할 수 없습니다. ※ 별도의 요청이 없는 경우, 제공된 시료는 시험 완료 2주 후 자동 폐기합니다.		

2019년 11월 8일

국제공인시험기관 한국고분자시험연구소(주) (인)

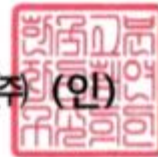


표 1. 시료명 및 시료사진

No	시료에 기재된 시료명	시험에 사용한 시료명	시료사진
1	TSC 1 (TMA)	Koptri- 19-08-15153-2	

Note 1) 시편가공 : Koptri () / 의뢰자 (○)

Note 2) 신청서에 기재된 시료명 : TSC

표 2. 시험방법 및 시험결과 (TMA 분석)

시료명	시험항목	단위	시험방법	시험결과
Koptri- 19-08-15153-2 (1 st heating)	열팽창계수 (130 ~ 200) °C	μm/(m·°C)	TMA를 이용한 ASTM E 831에 준한 방법	43
	열팽창계수 (220 ~ 230) °C	μm/(m·°C)	TMA를 이용한 ASTM E 831에 준한 방법	742
Koptri- 19-08-15153-2 (2 nd heating)	열팽창계수 (130 ~ 200) °C	μm/(m·°C)	TMA를 이용한 ASTM E 831에 준한 방법	60
	열팽창계수 (220 ~ 230) °C	μm/(m·°C)	TMA를 이용한 ASTM E 831에 준한 방법	- 4 003

Note1) 측정모드: Expansion mode. Load : 0.05 N. + 팽창. - 수축

Note2) 시험조건: Step 1 : (30 ~ 230) °C, 10 °C/min (1st heating)

Step 2 : (230 ~ RT) °C (1st cooling)

Step 3 : (30 ~ 230) °C, 10 °C/min (2nd heating)

*** Raw data**

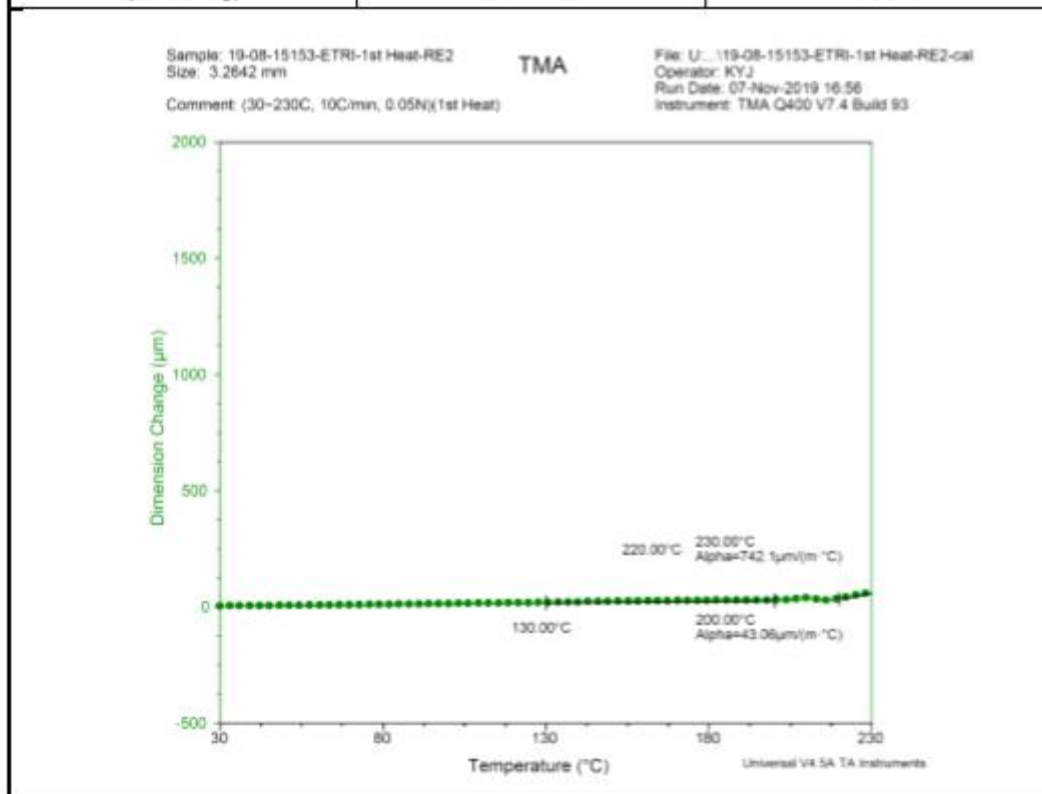
1. 시험조건

- (1) 시험방법 : ASTM E8310에 준함
(Standard Test Method for Linear Thermal Film/Fiber of Solid Materials
by Thermomechanical Analysis)
- (2) 시험기기 : TMA (TA Instrument 사)
- (3) 측정모드 : Expansion mode (1)
- (4) 승온속도 : 10 °C/min
- (5) 하중 : 0.05 N
- (6) 온도구간 : Step 1 : (30 ~ 230) °C (1st heating)
Step 2 : (230 ~ RT) °C (1st cooling)
Step 3 : (30 ~ 230) °C (2nd heating)
- (7) 분위기 : N₂, Flow rate (50 mL/min)

2. 시험결과

표 3-1. TMA 분석 결과

시료명	온도구간 (°C)	열팽창계수 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$
Koptri- 19-08-15153-2 (1 st heating)	130 ~ 200	43.06
	220 ~ 230	742.1



Note1) 측정모드: Expansion mode, Load : 0.05 N, + 팽창 - 수축

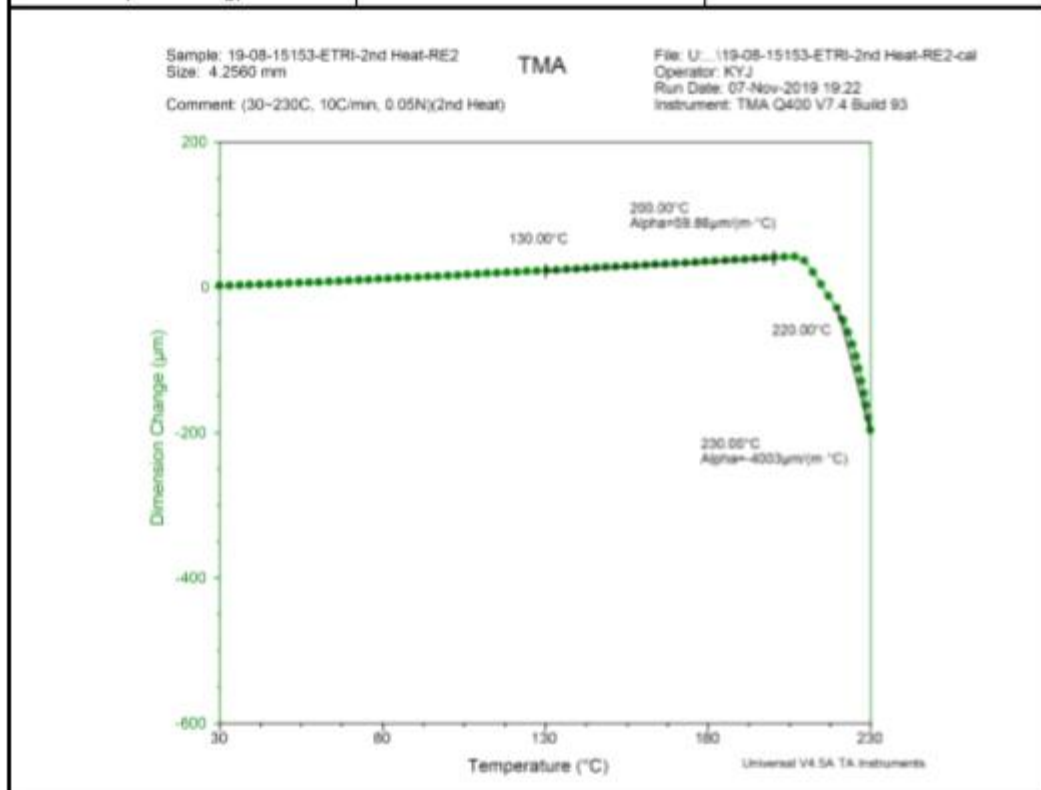
Note2) 시험조건: Step 1 : (30 ~ 230) $^\circ\text{C}$, 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ (1st heating)

Step 2 : (230 ~ RT) $^\circ\text{C}$ (1st cooling)

Step 3 : (30 ~ 230) $^\circ\text{C}$, 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ (2nd heating)

표 3-2. TMA 분석 결과

시료명	온도구간 (°C)	열팽창계수 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$
Koptri- 19-08-15153-2 (2 nd heating)	130 ~ 200	59.86
	220 ~ 230	- 4.003



Note1) 측정모드: Expansion mode. Load : 0.05 N, + 팽창, - 수축

Note2) 시험조건: Step 1 : (30 ~ 230) $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (1st heating)

Step 2 : (230 ~ RT) $^{\circ}\text{C}$ (1st cooling)

Step 3 : (30 ~ 230) $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (2nd heating)

■