

농산물의 유통기간 증가를 위한 항균 기능을 갖는 투명 나노섬유 포장필름개발 및 고속전기방사 시스템 개발 최종보고서

2019. 2. 15.

주관연구기관 / 주식회사 팜조아 농업회사법인
협동연구기관 / 전북대학교, 캠틱종합기술원

농 립 축 산 식 품 부
농림식품기술기획평가원

투명 나노섬유 포장필름 개발 및 고속전기방사 시스템 개발
최종보고서

농산물의 유통기간 증가를 위한 항균 기능을 갖는

2019

농림수산물기술기획평가원
농 립 축 산 식 품 부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농산물의 유통기간 증가를 위한 항균 기능을 갖는 투명 나노섬유 포장필름 개발 및 고속전기방사 시스템 개발”(개발기간 : 2016. 09. 05 ~ 2018. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 2. 15.

주관연구기관명 : (주)팜조아 농업회사법인	(대표자) 황 은 경 (인)
참 여 기 관 명 : (사)캠텍종합기술원	(대표자) 양 균 의 (인)
참 여 기 관 명 : 전북대학교	(대표자) 김 동 원 (인)

주관연구책임자 : 유정욱

참여기관책임자 : 정우석

참여기관책임자 : 박찬희

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	116052-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2018.01.01.~ 2018.12.31.	단 계 구 분	3/3
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	농산물의 유통기간 증가를 위한 항균 기능을 갖는 투명 나노섬유 포장필름개발 및 고속전기방사 시스템 개발			
연구책임자	유정옥	해당단계 참여연구원 수	총 : 24명 내부 : 14명 외부 : 10명	해당단계 연구개발비	정부 : 300,000천원 민간 : 100,000천원 계 : 400,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총 : 64명 내부 : 33명 외부 : 31명	총 연구개발비	정부 : 700,000천원 민간 : 233,334천원 계 : 938,334천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)팜조아 농업회사법인 연구소			전북대학교 기계설계공학부 (사)캠텍종합기술원	
국제공동연구	(해당없음)			(해당없음)	
위탁연구	(해당없음)			(해당없음)	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	(해당없음)
----------------------	--------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약 농산물 유통기간 증가를 위한 항균 기능 및 투명도를 갖는 나노섬유 포장필름 및 고속전기방사 시스템 개발에 관한 연구	보고서 면수 : 167
--	--------------

연구의 목적 및 내용	○ 농산물의 유통기간 증가를 위한 항균 기능 및 투명도를 갖는 수백 나노미터 크기의 나노섬유 포장필름개발 및 고속전기방사 시스템 개발				
연구개발성과	○ 농산물 포장용 항균 기능을 갖는 투명 나노섬유 포장된 전용 포장필름 개발 - 국내 최초 고속 전기방사 기법을 적용한 나노섬유 필름 농산물 포장지 개발로 농산물 유통기간을 증가시킬 수 있는 원천 기술 확보 ○ 항균 기능을 갖는 투명 나노섬유 포장필름 제조 시스템 - 계피 등 천연 물질을 이용한 기능성 나노섬유 개발로 유통과정에서 농산물의 부패균의 증식을 억제하는 기술 확보 ○ 항균 기능을 갖는 투명 나노섬유 포장필름을 이용한 농산물 포장필름 사업화 추진				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 본 연구개발을 통하여 개발한 기술은 S/W기술이 융합된 새로운 시장 창출뿐만 아니라, 농식품 분야에서도 적용 가능하여 완전히 새로운 시장을 개척 가능할 것으로 전망됨 ○ 새로운 기능을 갖는 포장기술 개발은 기존에 유통과정에서 발생하는 농산물의 부패율을 축소시키고, 국내 농산물의 해외 수출에 기여 할 것으로 전망됨				
국문핵심어 (5개 이내)	포장	나노섬유	고속 전기방사	유통기간	항균
영문핵심어 (5개 이내)	Packaging	Nanofibers	High-speed electrospinning	Shelf life	Antibacterial

* 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	6
가. 연구개발 개요	6
(1) 관련 기술 개요	6
나. 연구개발 필요성	9
(1) 농산물의 부패	9
(2) 농산물 유통과정	10
(3) 나노물질을 이용한 포장기술개발	11
2. 연구수행 내용 및 결과	12
가. 연구개발 추진전략 및 방법	12
(1) 연구개발 추진전략	12
(2) 테스트베드 구축방안	12
나. 연구개발 추진체계	13
다. 연구개발 추진 일정	14
라. 연구개발성과	16
(1) 연구개발성과 및 평가지표	16
(2) 성과목표에 대한 자체 평가	16
(3) 연구성과	18
마. 연구결과	21
(1) 기술적 성과	21
3. 목표달성도 및 관련 분야 기여도	111
가. 목표	111
(1) 연도별 연구목표	111
(2) 성능지표	114
나. 목표 달성여부	114
(1) 연도별 연구계획대비 진도표	114
다. 목표 미달성 원인 및 차후대책	117
(1) 목표 미달성 부분 및 원인	117
(2) 사후 목표 달성을 위한 차후대책	117
4. 연구결과의 활용계획 등	118
가. 연구개발 결과 활용방안	118
(1) 사업화 추진 계획	118
붙임1. 참고문헌	119
붙임2. 첨부자료	126

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 개요

(1) 관련 기술 개요

(가) 나노섬유 관련 기술 개요

- 나노섬유는 산업 전반에 걸쳐 고성능을 발현하는 소재로서, 부직포를 이용한 필터, 전자기기의 소형화, 고기능화, 생체조직 용도 등 나노소재의 적용범위가 확대되고 있으며, 기계, 화학산업 등 전통산업에서도 고기능화를 위한 나노소재의 적용이 점차 증가하고 있음

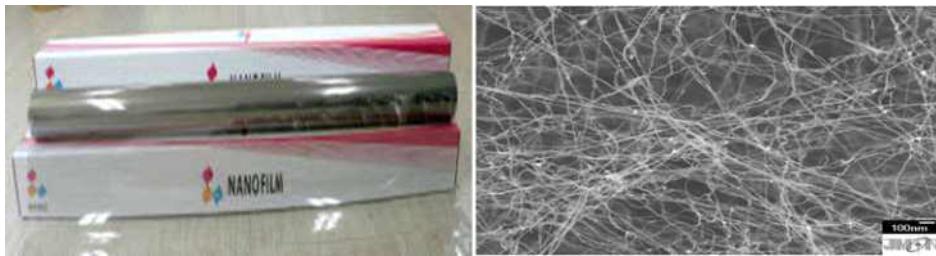


그림 1. 나노 섬유 필름을 이용한 제품 및 표면 이미지(SEM)

- 나노 필름의 응용분야는 전자제품 포장 및 운반용구, 디스크 드라이브, 자동차연료시스템 등에 이용될 수 있는 정전기 방전 재료 및 전자파 차폐 재료, 자동차 외장용 e-painting 분야 등을 들 수 있음

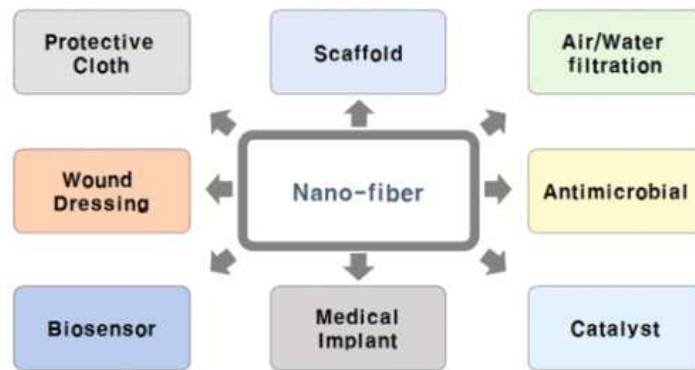


그림 2. 나노섬유를 이용한 적용 가능 산업분야

- 엔진필터나 차세대 클린룸용 필터와 같은 환경 재료, 2차전지 세퍼레이터, 전극재료 및 센서 팁 등 IT 관련재료, 재생의료용 지지체(scaffold) 등 바이오관련 재료와 같이 IT, 바이오, 환경 등 최첨단 산업을 뒷받침하는 재료로 많이 이용되고 있음
- 현재 대부분의 나노 섬유 필름은 전계방사법(Electro spinning) 을 가장 많이 이용하고 있음
- 전계방사법은 1795년 Bose가 모세관 끝에 매달려있는 물방울에 고전압을 부여하면 표면장력에 의해 물방울 표면에서 미세 필라멘트가 방출되는 정전 스프레이 현상을 발견한 것으로부터 시작되었으며, 점도를 가진 고분자 용액이나 용융체에 정전기력이 주어질 경우 섬유가 형성되는 현상을 말함

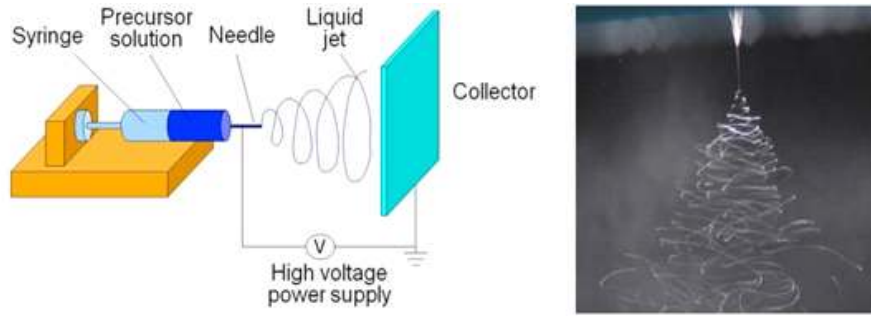


그림 3. Single nozzle를 이용한 전계방사법에 대한 원리 및 방사이미지

- 전계방사법에 의한 나노섬유 제조기술은 현재 재료화학으로부터 생명과학에 이르기까지 다양하게 연구되고 있음
- 최근에는 이러한 전기방사법에 대한 연구에서 균일한 나노섬유의 안정된 방사와 생산성 증가의 측면으로 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 이러한 연구는 Yarin, Zuusman과 Theron 등에 의해서 진행되었음.
- 특히, Theron은 외부에 electric lens와 같은 외부전기장을 도입하여, 방사되는 나노섬유의 집중화를 유도 하였고, 이들의 연구는 노즐부위의 방사공정 안정화와 주변 노즐에서 방사된 나노섬유간의 전하에 의한 간접효과를 줄이는 구조적인 문제에 대해 주로 접근하고 있음
- 일반적으로 전계방사법은 하나의 노즐에서 시간당 수 그램 이하의 적은 용액을 압출하여 섬유를 제조하는 방법으로, 생산속도가 매우 낮아 경제적 측면에서 문제를 안고 있음. 나노급 섬유의 경우 더 적은 용액을 방출시켜 제조해야하므로 생산성 측면에서 개선 필요성이 더욱 높은 상황임
- 국내에서는 아직까지 대량 생산을 위한 관련 기술개발은 미미한 수준이지만, 특정 연구소에서는 나노섬유의 양산화 기술을 확보하기 위하여 활발하게 연구개발을 진행하는 중임
- 나노섬유의 대량 생산을 위한 방법으로는 일반적으로 다중 노즐(Multi nozzle)을 사용하여 생산력을 증가시키는 방법이 이용되고 있으나, 아직까지는 단순히 Single nozzle을 1개에서 많게는 10개 정도 배열하여 사용하는 수준의 기술개발이 이루어지고 있는 추세임

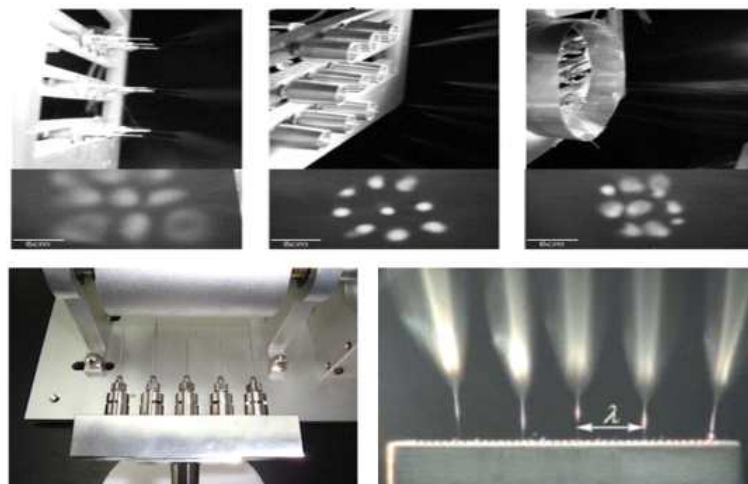


그림 4. 나노섬유 대량 생산을 위한 multi nozzle 및 이를 이용한 전기방사

(나) 항균 작용 및 이산화탄소 흡착 관련기술 개요

- 농산물 등에 적용 가능한 항균물질중 대표적인 재료는 계피이며, 계피에 함유되어 있는 특이한 향과 맛을 내는 화학성분 Cinnamomaldehyde는 미생물 성장을 저해하여 식품의 산화를 방지하는 기능을 가지고 있음



그림 5. 항균 기능을 갖는 계피

- 활성화는 복사의 흡수나 고속입자선의 충격 등으로 인하여 원자나 분자 또는 이온 등이 고에너지 상태로 되어 화학반응이나 결정격자를 일으키기 쉬운 상태로 변화하는 것을 말함
- 활성화가 되면 주위의 분자·이온과의 반응성이 커지므로 흡착성을 높여 기체나 습기를 흡수할 수 있음

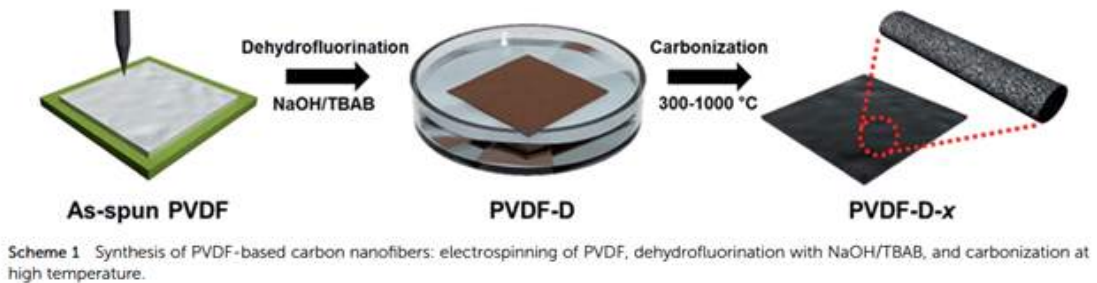


그림 6. 나노파이버 탄화 예시

- 전기방사된 PVDF(polyvinylidene fluoride)을 탄화하여 CO₂ 포집 다공성 CNF(carbon nanofibers)를 제작함
 - 기공은 300~1,000°C 온도에서 탄화할 때 플루오르가 제거 되면서 생김
 - 탄화 온도가 높을수록 PVDF-based CNFs의 표면적이 넓어지며, CO₂ 흡착능이 증가됨

(다) 과일 포장관련 개요

- 식품포장의 변화
 - 편의성을 높인 가공식품 시장의 급성장으로 포장기술의 다양한 기술개발 증가
 - 타산업과의 융복합 가속: 표시사항의 구체적인 정보 요구
 - 식품안전, 건강식에 대한 관심 고조
- 식품용기 특성상 환경부하 감소를 위한 포장의 3R(Reduce, Replace, Reuse) 중 일부 유리 병 용기를 제외하고는 재사용이 어려움

- 때문에, Reduce와 Replace에 집중하여 기술·제품을 개발하고 있음
- 포장재의 두께를 줄이거나 중량을 줄이는 기술을 넘어서, 새로운 소재의 개발과 생산기술이 진보하고 있음
- 식품 포장재에 최적의 성능을 구현할 수 있는 전용 플라스틱 원료를 개발하고 있음
- 인쇄된 판지를 이용한 자동화된 묶음 포장, 투명 PP, PET sheet 케이스, 플라스틱 사출 밴드 등이 대표적임



그림 7. 과일 포장 사례

- PP 재질은 내열성이 우수하여 충전·살균 및 전자레인지용 식품 포장재로 적합
 - 재질 중 안전성이 검증되어 사용량이 증가하고 있음
 - 뜨거운 물과 전자레인지 조리시 사용하는 편의점과 군용 제품 상품화 증가
- 유럽연합 프로젝트: FACET(향신료, 첨가제와 식품 접촉 물질의 섭취량 분석 연구)는 식품과 포장재로부터 화학물질에 대한 소비자의 실시간 노출에 대한 새로운 모델 개발
 - 식품의 장기보존을 위하여 포장재의 살균은 필수
 - 식품포장재는 과산화수소수 같은 산화제나 빙초산 등을 사용
 - 자외선, 적외선, 열풍과 같은 비화학적, 비가열 살균 방법을 대안으로 개발하고 있음
- 식품 포장재의 표시사항은 계속 증가하는 추세
 - 휴대단말기의 이용에 의한 정보제공 증가
 - NFC(Near Field Communication), 인쇄전자(printable electronics, PE)를 이용한 RFID 기술의 적용 범위가 확대되는 추세

나. 연구개발 필요성

(1) 농산물의 부패

- 태풍 혹은 수해로 인한 피해가 과수에 집중되면서 남은 과실의 품질향상을 위해 각별한 관리가 요구되는 경우가 많음
- 과일의 상품성을 높이기 위해서는 품종 고유의 특성이 잘 발현되도록, 가급적이면 완숙된 것을 수확해야 하는데, 유통과정에서 일어나는 부패는 상품성을 크게 떨어뜨리므로, 대부분의 과일은 완숙되기 최소 1주일 전에 수확하여 유통하게 됨

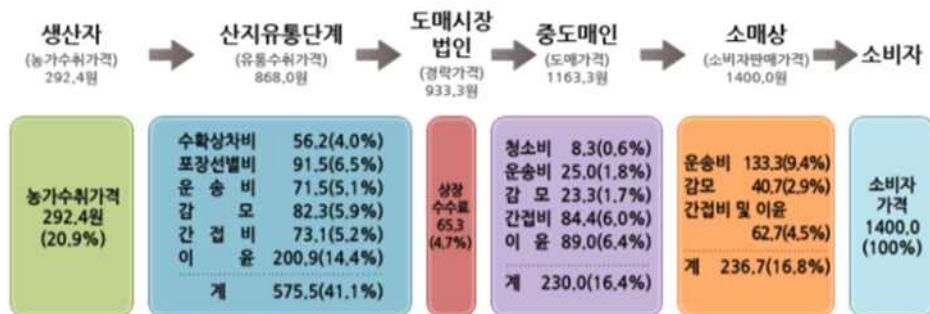


그림 8. 유통과정에서 발생하는 과실의 부패현상

- 과일의 품종에 따라 차이는 있겠지만, 유통과정에서 일어나는 손실을 줄고자 무리하게 앞당겨 수확을 할 경우, 맛과 향 등 상품성은 물론 장기적으로는 소비자의 신뢰마저 잃게 될 수 있으며, 이로 인해 발생하는 부담은 농민에게 전가될 수밖에 없음
- 그러나, 현재로서 유통과정에서 일어나는 부패를 줄이는 기술은 수확한 과일 중 상처가 나거나 병충해를 입은 과실을 철저히 선별하는 것과 저온 저장고를 이용하는 방법 외에는 거의 없음
- 과일을 저장할 때는 온도뿐만 아니라 습도 또한 품질 유지에 큰 변수가 되며, 과일은 수확 당시 수분함량이 많아 상처와 병해충 피해를 입기 쉬우며 증산작용이 왕성하여 그대로 저장고에 넣으면 과습해져 미생물의 과다번식으로 부패가 급속히 진행될 수 있음
- 수확한 과일은 입고 전에 그늘지고 통풍이 잘되는 곳에서 과일 온도를 낮추고 껍질의 수분도 충분히 말린 다음 저장하는 것이 중요한데, 이 과정에서 막대한 비용과 시간이 투입됨

(2) 농산물 유통과정

- 보통 농산물의 유통 단계는 생산자 → 산지유통 조직 → 도매시장 → 중도매인 → 소매상 → 소비자로 구성됨
- 이러한 유통 단계에서 생산자는 통상적으로 소비자 구입가의 약 20%만을 가져가며, 나머지 80%는 유통비용이 되는 구조
- 농산물의 경우 공산품에 비해 유통 마진의 비중이 매우 높게 나타나는데, 이는 유통과정에서 상품의 부패 및 변질이 쉽고, 부피가 크고 무거우며, 산지가 전국으로 퍼져있는데 반해 생산규모는 영세하여, 수집·선별·포장·운송 등 유통과정에서 많은 비용이 발생하기 때문



출처 : KRFDA 농산물 유통구조개선 사업군 재정사업 상송평가 2012

그림 9. 배추 유통단계별 비용 및 가격 비교

- 또한, 유통단계에서 일어나는 부패 및 변질로 인한 손실은 결국 최종 소비자에게 전가됨
- 만약, 유통과정에서 일어나는 부패 및 변질을 최소화 할 수 있게 된다면, 소비자 구매가의 인하를 기대할 수 있게 되며, 동시에 농산물의 가격경쟁력 또한 제고할 수 있음

(3) 나노물질을 이용한 포장기술개발

- 농산물을 개별 포장하는 가장 중요한 이유는 농산물의 신선도 유지에 있음
 - 농산물 소포장을 위하여 일반적으로 OPP 필름과 PLA 필름으로 통기성비천공필름(산소투과도 5000~20000cc/m²·day·atm)이 사용됨
- 그러나, 개별포장을 하더라도 농산물 포장재의 통기성이 낮을 경우 부패가 쉽게 일어남
 - 신선 농산물은 살아있는 생명체이기 때문에 수확 이후에도 호흡을 하게 되는데, 이때 공기 중의 산소를 받아들이고 대사산물로 이산화탄소와 에틸렌가스를 배출함
 - 최근 연구 결과에 따르면, 통기성이 매우 낮은 (5000cc/m²·day·atm) 포장지를 이용하여 소포장 할 경우 농산물의 호흡으로 인해 포장 내부의 이산화탄소 농도가 증가하게 되고 산소농도는 매우 낮아져 농산물이 부패되는 문제점이 있음
 - 이러한 문제로 인해 장기간 유통되는 경우, 통기성이 높은 (20000cc/m²·day·atm) 포장재를 사용하게 됨
 - 추가적인 문제점으로 통기성이 매우 높은 포장지를 이용할 경우에도, 포장지 내부에 수분 함량이 높아지게 되면, 농산물에 곰팡이균 증식이 활발해지는 문제점을 가지고 있음
- 새로운 기능을 가진 농산물 포장기술 개발을 통해, 유통과정에서 나타나는 농산물의 부패를 최소화 하는데 기여하고자 함
 - 본 과제에서는 이상의 문제를 OPP필름이나 PLA필름으로 제작된 포장재에 통기성이 높은 나노섬유를 부착함으로써 해결하고자 하였고, 다음과 같은 접근방식으로 연구를 진행함
 - 첫 번째, 나노섬유에 이산화탄소를 흡착할 수 있는 충전제를 혼합함으로써, 농산물의 호흡으로 발생하는 이산화탄소를 흡착하여 포장지 내부의 이산화탄소 농도를 조절
 - 두 번째, 포장지 내에서 발생하는 수분을 나노섬유를 이용하여 포집
 - 세 번째, 나노섬유에 항균 기능을 갖는 계피, 피톤치드를 첨가하여 부패균의 번식을 억제

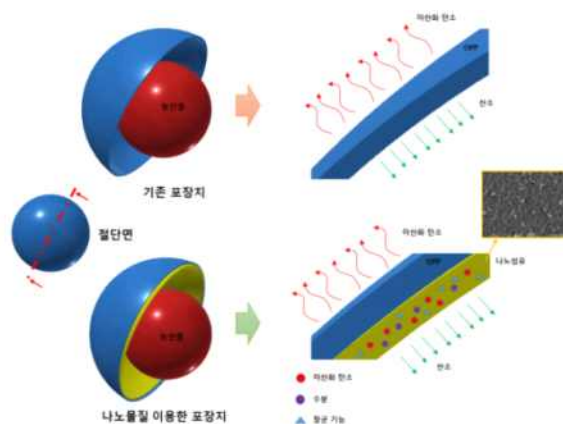


그림 10. 나노섬유를 이용한 포장기술

2. 연구수행 내용 및 결과

가. 연구개발 추진전략 및 방법

(1) 연구개발 추진전략

(가) 실험실 개발 자료를 이용하여 소프트웨어와 하드웨어 기술을 개발하고, 1차 시제품 개발 추진

- ① (주)팜조아 (주관기관)은 나노방사 섬유 등 주요 제품기능, 설계요구 담당, 상용화 담당
- ② (사)캠텍 (연구소)은 시제품과 양산품을 위한 기술 개발 및 제조 담당
- ③ 전북대학교 (대학)에서는 연구결과 테스트, 재질 특성 개발 담당

(나) 연계 전문가 확보 및 기술정보 수집

- ① 포장기계협회를 중심으로 컨설팅 자문을 통해 비즈니스 모델 구축
- ② 스페인 (FRUTARIA) 유통업체와 업무협력을 통해 요구사항 도출
- ③ 네덜란드 (HESSING), 프랑스 생산업체와 업무협력으로 상용화 진출 전략
- ④ 태국, 중국, 러시아, 카자흐스탄 등 생산 및 유통업체와 업무협력으로 상용화 준비

(2) 테스트베드 구축방안

(가) 테스트베드 구축 및 시범서비스를 통한 기술홍보 및 상용화 추진 등

- ① 유럽, 동남아 포장 및 식품 전시회 참가 등을 통한 기술 및 제품 상용화 추진
- ② 자체 공장설립으로 테스트베드 구축 및 시범서비스 추진
- ③ 협력사 발굴을 통해 해외시장 진출 전략 수립

나. 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	농산물의 유통기간 증가를 위한 항균 기능을 갖는 투명 나노섬유 포장필름개발 및 고속전기방사 장치 개발	주관연구책임자 (유정옥)외 총 19명

기관별 참여 현황		
구분	연구기관수	참여연구원수
중소기업	1	10
대학	1	4
기타	1	7

주관기관_㈜팜조아	참여기관_(사)캠텍종합기술원	참여기관_전북대학교
<p>농산물의 유통기간 증가를 위한 항균 기능을 갖는 투명 나노섬유 포장필름개발 및 고속전기방사 장치 개발</p> <p>연구책임자 유정옥 외 9명</p>	<p>투명 나노섬유 생산을 위한 고속전기방사 시스템 개발</p> <p>연구책임자 정우석 외 4명</p>	<p>농산물 포장지 코팅을 위한 고분자 최적 방사 연구 및 체외 세포 안정성 평가</p> <p>연구책임자 박찬희 외 3명</p>
담당기술개발내용	담당기술개발내용	담당기술개발내용
<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 나노섬유 과일 포장지 제조를 위한 전기방사 나노섬유 제조 시스템 레이아웃 설계 - 포장지 제조 실험을 위한 Lab Type 전기방사 장치 설계 - 나노섬유를 이용한 전용 포장지 제작에 대한 공정 설계 및 사업추진 방향 계획 수립 	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과일 포장용 나노섬유 포장지 제조 공정 및 조건실험을 위한 전용 Lab Type 전기방사 장치 개발 - Lab Type전용 Cylinder type 노즐 설계 - 전기장 해석을 통한 설계 최적화 	<p>[1차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 투명나노섬유 제조용 전기방사 시스템을 위한 전기장 시뮬레이션 수행 - 해석 Data를 반영한 Lab type 시스템 레이아웃 설계검토 - 정렬나노섬유 생성을 위한 전기방사 시스템 전기장 해석을 위한 자료 수집 및 논문 분석
<p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lab Type 전기방사 장치를 이용한 투명 나노섬유 생산 테스트 - 생산된 투명 나노섬유를 이용한 포장지 적용 추진 - 투명 나노섬유를 이용한 포장지 시제품 제작 	<p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lab Type용 나노섬유 필름 제조장치 제작 완료 - 포장 필름 생산을 위한 양산기술이 적용된 전기방사 시스템 개발 - Multi-nozzle 설계 및 해석 진행 - 전용 Syringe pump 개발 - 전용 Power supply 개발 	<p>[2차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 항균 기능을 갖는 농산물 포장용 나노섬유 제조
<p>[3차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발한 나노섬유 필름 제조 장치를 이용한 포장지 전용 항균 나노필름 생산 및 시스템 최적화 - 개발한 나노섬유를 이용한 포장지 제작 - 나노섬유 코팅된 농산물 전용 포장지 사업화 추진 	<p>[3차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 폭 1m 양산형 전기방사 장치 제작 완료 - 통합제어시스템 구축 - 시스템 운영을 위한 전용 프로그램 개발 	<p>[3차년도]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농산물 포장에 최적화된 투명 나노섬유 직경 및 필름 두께 컨트롤에 대한 연구 - 투명 나노섬유에 정렬도 및 투시도 분석 - 나노섬유 필름의 기계적 강도 향상을 위한 연구

다. 연구개발 추진 일정

1차년도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	계획수립 및 자료조사									■					-	공통사항
2	시스템 레이아웃 설계									■	■				78,334	이영찬 (㈜팜조아)
3	Lab Type 전기방사 설계 및 제작										■	■	■			
4	포장지 필름 제조 공정 검토									■	■	■				
6	나노섬유 포장지 제조 공정 설계									■	■				32,500	김재원 (((사)캠틱종합기술원)
7	전기방사 장치 노즐 설계 및 제작										■	■	■			
8	노즐 해석											■	■			
10	투명나노섬유 제조방법 검토									■	■	■			25,500	박찬희 (전북대학교)
11	전기장 해석											■	■			
12	관련 자료 조사 및 분석										■	■	■			
13	주요평가방법에 따른 성능평가 진행												■	■	-	공통사항
14	1차년도 보고서 제출												■	■		
2차년도																
1	Lab Type 전기방사 장치 제작	■	■	■											235,000	유정욱 (㈜팜조아)
2	투명 나노 섬유 생산 테스트		■	■	■	■	■	■	■							
3	적용 가능 포장지 분야 검토					■	■	■	■							
4	투명 나노섬유를 이용한 포장지 시제품 제작								■	■	■	■	■			
5	Lab Type 전기방사 장치 제작 완료	■	■	■											110,000	김재원 (((사)캠틱종합기술원)

라. 연구개발성과

(1) 연구개발성과 및 평가지표

성과 목표	사업화지표											연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교 육 지 도	인 력 양 성	정책 활용-홍보		기 타 (타 연 구 활 용 등)	
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시		
												SC I	비 SC I								
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	5	10	2	5	5	10	5	5	10	10	5			2	10	5	5	5	5	-	
최종목표	2	2	-	1	20	3	2,600	4,100	10	2	1	3	3	-	3	2	2	2	3	-	
1차년도	목표	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	-	1	0	0	0	0	-	
	실적	2	8	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	-	1	0	0	0	0	-	
2차년도	목표	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	-	1	0	0	0	1	-	
	실적	4	0	0	0	0	0	0	5	1	1	2	0	3.909	3	0	0	0	4	-	
3차년도	목표	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	-	
	실적	0	5	0	1	20	0	0	0	12	0	2	0	7.416	1	0	1	0	8	-	
소계	목표	2	1	0	0	0	1	0	0	4	1	1	3	3	-	3	1	1	1	2	-
	실적	6	13	0	1	20	0	0	0	22	1	1	5	0	5.662	5	0	1	0	12	-
종료 1차년도	0	1	0	1	20	1	100	100	2	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	
종료 2차년도	0	0	0	0	0	1	500	1,000	2	0	0	0	0	-	0	0	0	0	1	-	
종료 3차년도	0	0	0	0	0	0	2,000	3,000	2	1	0	0	0	-	0	1	1	1	0	-	
소계	0	1	0	1	20	2	2,600	4,100	6	1	0	0	0	-	0	1	1	1	1	-	
합계	6	13	0	1	20	0	0	0	22	1	1	5	0	5.662	5	3	1	0	12	-	

(2) 성과목표에 대한 자체 평가

	성과목표	자 체 평 가-
1차	특허 출원 2건 상표 이전 8건	1.출원 : 동맥류 치료용 나노섬유품 및 이의 제조방법- 2.출원 : 골조직 재생용 하이드로겔 및 이의 제조방법

년 도		3.상표이전: 친정엄마꾸러미(4건), 친정아빠꾸러미(4건)
	고용창출 5명	1.이영찬 연구소장(사업 관리 총괄) 2.유정옥 영업이사(사업화 추진 계획 및 수행) 3.이종운 사원(생산부) 4.황인석 이사(경영) 5.권종국 대리(물류)
	SCI급 논문 제출: 1건 학술대회 발표: 1건	1. SCI급 논문 : AMER SCIENTIFIC PUBLISHERS (Preliminary Study for Measurement of Shear Stress and Heomocompatibility Using Commercialized Lab on a Chip) - <i>Accepted (Published in 2018.0.01)</i> 2. 학술대회 발표 1 : “폭 50cm 나노섬유 정렬을 위한 상향식 전기방사 시스템의 전기장 해석 연구”, 한국정밀공학회 2016년도 추계학술대회
2 차 년 도	특허 출원 4건	1.출원 : 농산물 포장지용 숨쉬는 나노섬유 스티커 및 포장지 2.출원 : 노즐에서 솔루션이 넘치는 것을 방지하는 상향식 전기방사장치 3.출원 : 나노섬유가 코팅된 농작물 포장지 제조장치 및 농작물 포장지 4.출원 : 연속공급형 전기방사 장치
	고용창출 5명	1.전경선 사원 (생산부) 2.설재웅 대리 (품질관리부) 3.김대하 주임 (생산부) 4.김한중 과장 (생산관리부) 5.김소원 주임 (경영지원부)
	SCI급 논문 제출: 2건 학술대회 발표: 3건	1. SCI급 논문 : International Journal of Biological Macromolecules (Nature derived scaffolds for tissue engineering applications: Design and fabrication of a composite scaffold incorporating chitosan-g-d,l-lactic acid and cellulose nanocrystals from <i>Lactuca sativa</i> L. cv green leaf) - <i>Accepted (Published in 2018.04.15)</i> 2. SCI급 논문 : International Journal of Biological Macromolecules (Development of Bioactive Cellulose Nanocrystals Derived from Dominant Cellulose Polymorphs I and II from <i>Capsosiphon Fulvescens</i> for Biomedical Applications) - <i>Accepted (Published in 2018.04.15)</i> 3. 학술대회 발표 1 : “Development of Fruit Packing Technology for Prolong the Shelf Life of Fruits using Biocompatible Nanofibers”, 2017년 한국생체재료학회 춘계 학술대회 4. 학술대회 발표 2 : “항균기능을 갖는 나노섬유 포장지 제조를 위한 폭 500mm 전기방사 장치 개발”, 2017 한국포장학회 학술대회 5. 학술대회 발표 3 : “Prolong the shelf life of peach by prevent the anthracnose using antibacterial nanofiber packaging technique”, 2017년 한국 생체재료학회 추계 학술대회
	프로그램 등록: 1건	1. 등록 : 나노섬유 포장필름개발을 위한 폭 500mm 전기방사장치의 시스템 운영 프로그램 개발
	특허 등록 5건	1.등록 : 동맥류 치료용 나노섬유 폼 및 이의 제조방법 2.등록 : 골조직 재생용 하이드로겔 및 이의 제조방법 3.등록 : 노즐에서 솔루션이 넘치는 것을 방지하는 상향식 전기방사장치 4.등록 : 나노섬유가 코팅된 농작물 포장지 제조장치 및 농작물 포장지 5.등록 : 농작물용 및 농작물 포장지용 나노섬유 코팅장치
3 차 년 도	기술 실시 1건 기술료 20백만원	1. 기술실시 : 나노섬유가 코팅된 농작물 포장지 제조장치 및 농작물 포장지 - 기술료 20백만원(팜조아-전북대학교 산학협력단)
	고용창출 12명	1. 양일석 사원(생산부) 2. 이재숙 사원(생산부) 3. 최지명 사원(생산부) 4. 문이동 사원(생산부) 5. 지태형 사원(생산부) 6. 이종진 사원(생산부) 7. 조우양 사원(생산부) 8. 조 안 사원(생산부) 9. 최금화 사원(생산부) 10. 신명옥 사원(생산부) 11. 정해용 사원(생산부)

	12. 왕진링 사원(생산부)
인력양성 1명	1. 이도희 : '농작물용 및 농작물 포장지용 나노섬유 코팅장치' 특허기술 발명에 기여, 2018년 2월 박사학위 취득
SCI급 논문 제출: 2건 학술대회 발표 : 1건	1. SCI급 논문 : CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL (Lactic acid assisted fabrication of bioactive three-dimensional PLLA/ β -TCPfibrous scaffold for biomedical application) - <i>Published in 2018.09.01</i> 2. SCI급 논문 : ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES (pH/NIR-Responsive Polypyrrole-Functionalized Fibrous Localized Drug-Delivery Platform for Synergistic Cancer Therapy) - <i>Published in 2018.06.20</i> 3. 학술대회 발표 1 : "Non-vascular stent coating with core/shell structural nanofibers to control the drug release", The 5th International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment

(3) 연구성과

(가) 국내외 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	Preliminary Study for Measurement of Shear Stress and Hemocompatibility Using Commercialized Lab on a Chip	JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY	Joshua Lee, Chan Hee Park, Cheol Sang Kim	2	USA	AMERICAN SCIENTIFIC PUBLISHERS	SCI(E)	2018.02.01	https://doi.org/10.1166/jnn.2018.14862
2	Nature derived scaffolds for tissue engineering applications: Design and fabrication of a composite scaffold incorporating chitosan-g-d,l-lactic acid and cellulose nanocrystals from <i>Lactuca sativa</i> L. cv green leaf	International Journal of Biological Macromolecules	Sung Won Ko, Juan Paolo E. Soriano, Chan Hee Park, Cheol Sang Kim	-	Netherlands	ELSEVIER SCIENCE BV	SCI(E)	2018.04.15	https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.109
3	Development of Bioactive Cellulose Nanocrystals Derived from Dominant Cellulose Polymorphs I and II from <i>Capsosiphon Fulvescens</i> for Biomedical Applications	International Journal of Biological Macromolecules	Sung Won Ko, Chan Hee Park, Cheol Sang Kim	-	Netherlands	ELSEVIER SCIENCE BV	SCI(E)	2018.04.15	https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.047
4	Lactic acid assisted fabrication of bioactive three-dimensional PLLA/ β -TCPfibrous scaffold for biomedical application	CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL	Sunny Lee, Mahesh Kumar Joshi, Chan Hee Park, Cheol Sang Kim	-	SWITZERLAND	ELSEVIER SCIENCE SA	SCI(E)	2018.09.01	https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.158
5	pH/NIR-Responsive Polypyrrole-Functionalized Fibrous Localized Drug-Delivery Platform for Synergistic Cancer Therapy	ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES	Arjun Prasad Tiwari Chan Hee Park, Cheol Sang Kim	-	USA	AMERICAN CHEMICAL SOCIETY	SCI(E)	2018.06.20	https://doi.org/10.1021/acsami.7b17664

(나) 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	한국정밀공학회 2016년도 추계학술대회	김재원, 박찬희, 이정호, 이준호, 이지연, 이영찬	2016. 10. 26 ~ 2016. 10. 28	여수	폭 50cm 나노섬유 정렬을 위한 상향식 전기방사 시스템의 전기장 해석 연구
2	2017년 한국생체재료학회 춘계 학술대회	이지연, 이서연, 장세림, 이영찬, 황은경, 이정호, 김재원, 박찬희, 김철생	2017. 03. 31	한국과학기술원(KAIST), KI빌딩 퓨전홀	생체적합성 나노파이버를 이용한 과일의 유통기한 연장을 위한 식품포장기술 개발
3	2017 한국포장학회 학술대회	이정호, 김재원, 이준호, 박찬희, 이지연, 황은경, 유정욱	2017. 10. 19	익산 국가식품클러스터	항균기능을 갖는 나노섬유 포장지 제조를 위한 폭 500mm 전기방사 장치 개발
4	2017년 한국생체재료학회 추계 학술대회	이지연, 장세림, 박찬희, 김철생	2017. 10. 20	성남 차바이오컴플렉스	복숭아 유통기한연장을 위한 탄저병을 방지하는 항균성나노파이버를 이용한 포장 기술
5	The 5th International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment	이지연, 박찬희, 김철생	2018. 11. 11 ~ 2018. 11. 14	제주도	약물방출을 제어하기 위한 코어/셸 구조 나노섬유를 사용한 비혈관 스텐트 코팅

(다) 지식재산권 (특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	동맥류 치료용 나노섬유 폼 및 이의 제조방법	대한민국	김철생, 박찬희, 조시마헤시 쿠마	2016. 11. 28	10-2016-0159226	김철생, 박찬희, 조시마헤시 쿠마	2018. 03. 23	10-1843347	100(%)
2	골조직 재생용 하이드로겔 및 이의 제조방법	대한민국	김철생, 박찬희, 조시마헤시 쿠마	2016. 11. 28	10-2016-0159233	김철생, 박찬희, 조시마헤시 쿠마	2018. 04. 30	10-1855255	100(%)
3	농산물 포장지용 숨쉬는 나노섬유 스티커 및 포장지	대한민국	(주)팜조아 농업회사법인, (사)캠텍종합기술원, 전북대학교 산학협력단	2017. 08. 30	10-2017-0110400	-	-	-	100%
4	노즐에서 솔루션이 넘치는 것을 방지하는 상향식 전기방사장치	대한민국	김철생, 박찬희, 이정호, 이지연, 김정인	2017. 01. 12	10-2017-0005204	김철생, 박찬희, 이정호, 이지연, 김정인	2018. 05. 04	10-1856964	100(%)
5	나노섬유가 코팅된 농작물 포장지 제조장치 및 농작물 포장지	대한민국	박찬희, 김재원, 이정호	2017. 01. 12	10-2017-0097616	박찬희, 김재원, 이정호	2018. 08. 03	10-1887158	100(%)
6	농작물용 및 농작물 포장지용 나노섬유 코팅 장치	대한민국	김철생, 박찬희, 김정인, 이도희, 이준희	2016. 09. 30	10-2016-0126489	김철생, 박찬희, 김정인, 이도희, 이준희	2018. 05. 02	10-1856011	100%

(라) 저작권 (소프트웨어, 서적 등)

No	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	나노섬유 포장필름개발을 위한 폭 500mm 전기방사장치의 시스템 운영 프로그램 개발	2017. 07. 28	(사)캠텍종합기술원	2017. 08. 04	제 C-2017-018301호	(사)캠텍종합기술원	100%

(마) 사업화 실적

① 사업화성과

항목	세부항목			성 과
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	(해당 없음)
			향후 3년간 매출	
	관련제품	개발후 현재까지		
		향후 3년간 매출		
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	
			향후 3년간 매출	
	관련제품	개발후 현재까지		
		향후 3년간 매출		
세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위			
	3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위			

※ 사업 선정 시, 사업계획서에서 사업화 추진은 사업종료 이후로 계획됨

② 사업 종료 이후 사업화 추진계획

구분		(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년	(2021년) 개발 종료 후 3년
국 내	시장점유율(%)	1	5	10
	판매량(단위:)	-	-	-
	판매단가(원)	-	-	-
	국내매출액(백만원)	500	2,000	3,000
해 외	시장점유율(%)	1	2	5
	판매량(단위:)	-	-	-
	판매단가(\$)	-	-	-
	해외매출액(백만\$)	2	10	20
당사 생산능력1)				

③ 사업화 투자 계획

항목		(2019년) 개발 종료 후 1년	(2020년) 개발 종료 후 2년	(2021년) 개발 종료 후 3년
매출원가1)		500	1,000	2,000
판매관리비2)		100	200	300
자본적 지출	토지	-	-	-
	건물/구축물	300	500	100
	기계장치등	500	100	100
자본적지출 합계		800	600	200

마. 연구결과

(1) 기술적 성과

(가) 주관기관 ((주)팜조아)

① 1차년도 : 농산물 포장용 나노섬유 제작을 위한 전기방사장치 레이아웃 설계 및 사업 총괄

② 나노섬유 과일 포장지 제조를 위한 전기방사 나노섬유 제조 시스템 레이아웃 설계

- 농산물 전용 포장지 제작에 적합한 나노섬유 필름 제조 공정 설계
- 필름 제조를 위한 Mat 공급 → 나노섬유 코팅 → 열처리(열처리를 통한 솔벤트 제거) → 포장지 제작을 위한 나노섬유 생산 완료 → 재단(포장지에 적용 가능한 구조로 가공) → 포장공정에 나노섬유 필름 적용
- 본 연구에서 최종 생산하고자하는 포장지에 적용 가능한 양산형 나노섬유 생산 장치에 대한 전체 시스템 레이아웃 검토 및 전체 사업 총괄 수행
- 실제 주관기관에서 운영 가능한 시스템 레이아웃 설계 검토

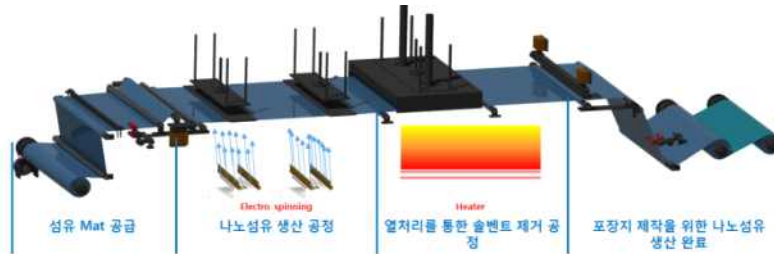


그림 11. 나노섬유 필름 생산 공정 레이아웃

- Lab Type 시스템 레이아웃 설계

- 전용 구동장치 레이아웃 디자인
- Roll to Roll system으로 포장지 필름 공급부와 엔코더, 장력센서, 전기방사부, 회수부로 구성됨.
- 전기방사를 위한 Multi-nozzle 및 솔루션 공급을 위한 Pump, 그리고 시스템 제어부로 구성

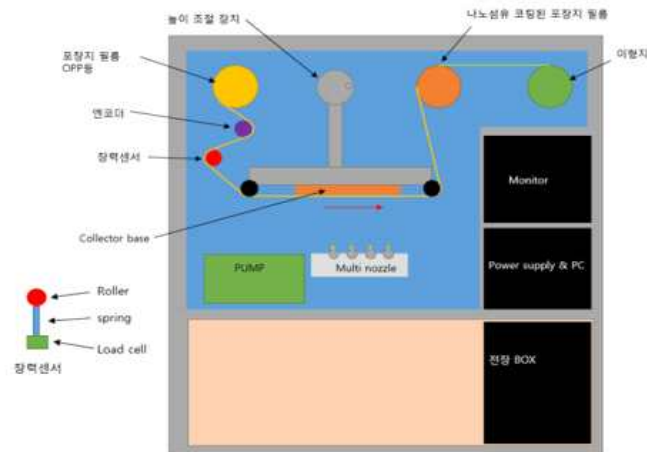


그림 12. 전기방사 테스트를 위한 Lab Type 시스템 레이아웃 설계

㉔ 포장지 제조 실험을 위한 Lab type 전기방사 장치 설계

■ 전기방사를 통한 나노섬유 생산할 수 있는 시스템

- Lab type 전기방사 장치 설계 완료

- 상향식 전기방사 방법을 적용함.
- Roll to Roll 방식
- Syringe pump에서 고분자 Solution을 Multi-nozzle에 공급하는 방식

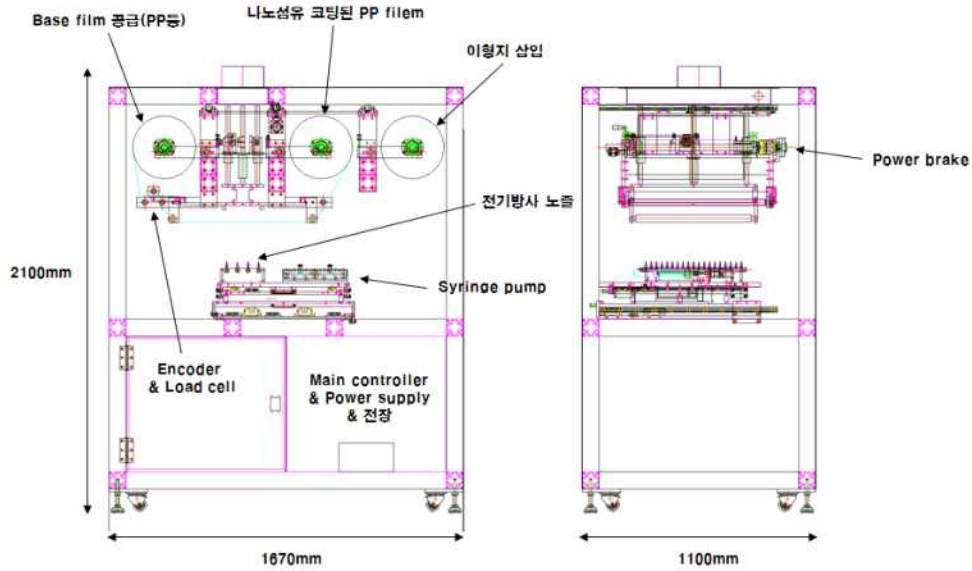


그림 15. Lab Type 전기방사장치 개발을 위한 시스템 설계 완료

- 편리한 유지보수 기능을 위한 구조 설계 완료

- Roll 공급 및 회수의 편리성을 위한 Roll 공급부 1단 슬라이딩 구조 설계 완료
- Multi-nozzle 편리한 유지보수를 위하여 2단 슬라이드 구조를 적용
- Multi-nozzle은 외부로 완벽하게 오픈 가능

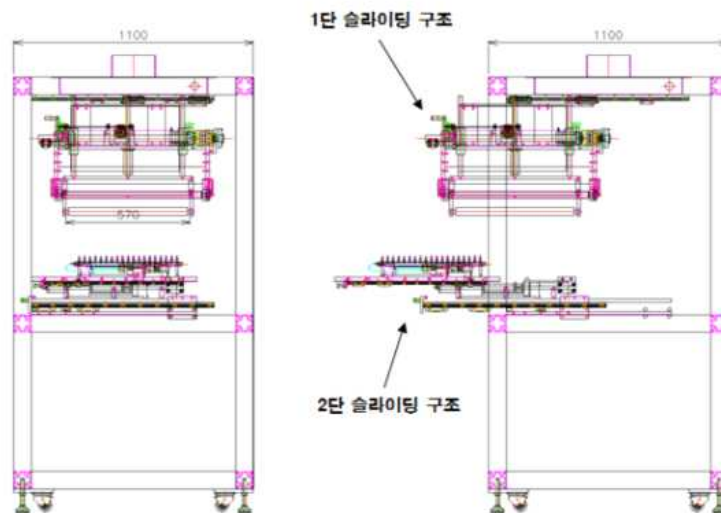


그림 16. 편리한 유지보수를 위한 외부로 이동되는 전기방사 및 코팅부

㉔ 나노섬유를 이용한 전용 포장지 제작에 대한 공정 설계 및 사업추진 계획 수립

- 연구를 통하여 생산한 나노섬유 필름을 이용한 포장지 제조에 공정 레이아웃 개발
- 나노섬유필름을 이용한 포장지 제작 공정 : 기존 포장지 회의 및 자문

		
연구원 회의: 전북대	연구원 회의: 팜조아	포장 업체 방문
		
포장기계 및 포장재 회의	블루베리 냉동 포장	딸기 냉동 포장
		
참바다 견학	포장 라인	딸기 냉동 포장

- 생산라인을 고려한 기계 및 공정 설계 : 기존 기술 및 포장 기계



그림 17. 포장 필름 생산 라인



그림 18. 포장필름 생산 공정도



그림 19. 농산물 포장재


- 식품전처리공장 신축: 2016년 12월 준공
- 원물 저장 및 처리, 볶음야채믹스 공장
- 사무실 2층: 경영지원부, 인터넷사업부, 생산관리부, 영업부, 연구소

		
2016년 3월	2016년 7월	2016년 8월
		
2016년 10월	2016년 11월	2016년 12월

- CCM(Customer Centered Management) 준비

		
CCM 배경	교육 참석	인증기업 견학

- 본 과제에의 성과물인 전기방사장치를 사용하여 나노섬유 필름 생산 공간 확보

		
연구소 입구	기업부설연구소 (16.11.08)	실험실/검사실 입구

② 2차년도 : 나노섬유제조장치 개발 및 나노섬유를 이용한 포장기술 개발 총괄

㉔ Lab Type 시스템을 이용한 투명 나노섬유 생산 테스트 수행

■ 개발한 Lab Type 전기방사 장치를 이용한 나노섬유 생산 진행

- Lab type 전기방사 장치 시스템 셋업 완료
- 나노섬유필름 생산 진행
 - 포장지 제조를 위하여 폭 500mm PE 필름에 나노섬유 코팅 생산 실험 진행
 - PE필름 표면에 나노섬유 코팅후 농산물 부패과정 실험진행 완료

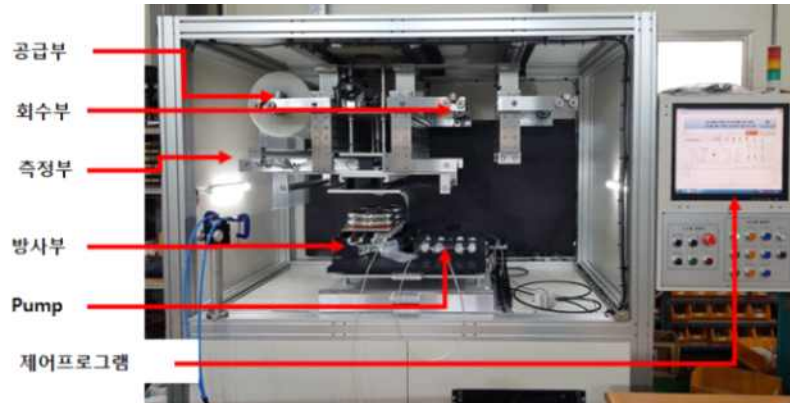


그림 20. 개발 완료된 Lab Type 전기방사 장치

■ 포장지 개발을 위한 조건별 나노섬유 생산 시스템 운영

- 포장지에 적합한 조건의 나노섬유 생산
- 솔루션 공급량 조건, 전압 조건, 필름 두께 조건별 생산 조건 검토
- 생산된 나노섬유를 이용한 포장지 적용 검토
- 다양한 조건의 나노섬유 제조 테스트 진행
 - 나노섬유 생산을 위한 고분자 폴리머 제조
 - 전압 및 유량 조건등에 따른 다양한 실험 진행
 - 1차년도 개발된 Cylinder type Multi-nozzle 및 Syringe pump TEST 진행

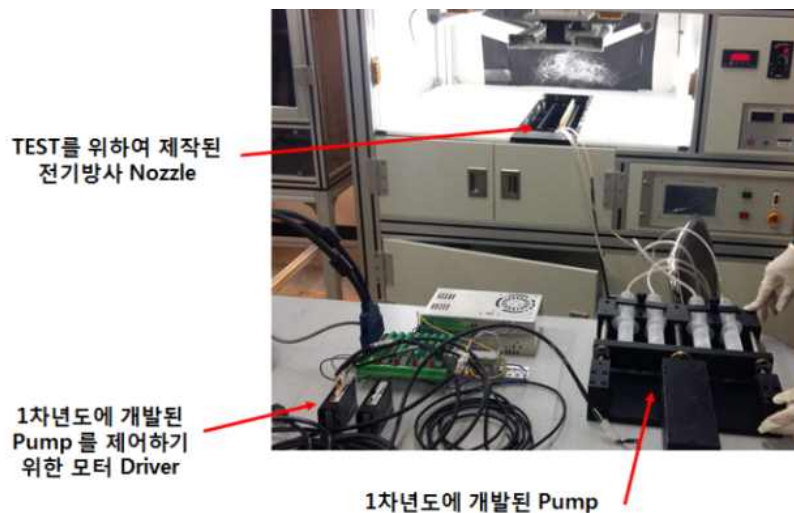


그림 21. 1차년도에 개발된 Pump 및 Cylinder type의 Multi-nozzle TEST 진행



그림 22. 개발된 Pump와 노즐을 이용한 전기방사 진행되는 것을 확인함.

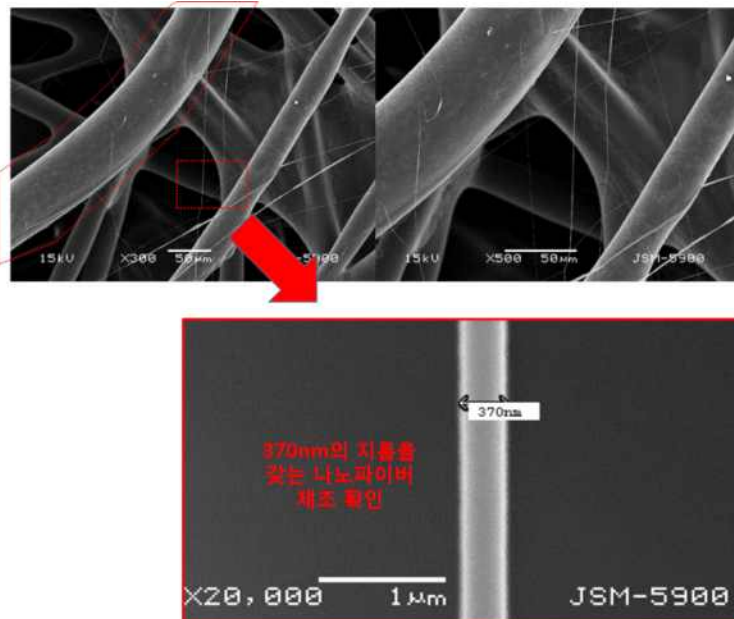


그림 23. 실험결과분석 -SEM 이미지를 이용한 분석 진행

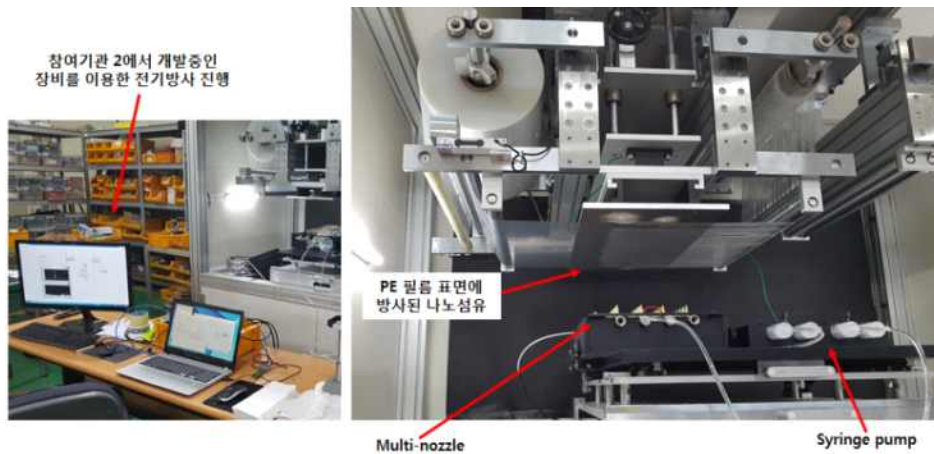


그림 24. 개발중인 장비를 이용한 전기방사 실험 진행



그림 25. PE 필름 표면에 방사된 나노섬유

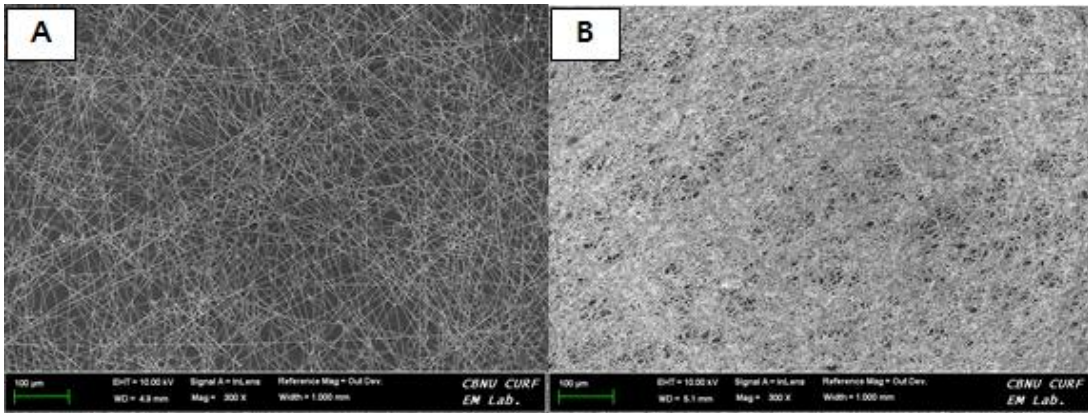


그림 26. 생산속도에 따른 SEM 분석 진행. (A) 500mm/min (B) 250mm/min

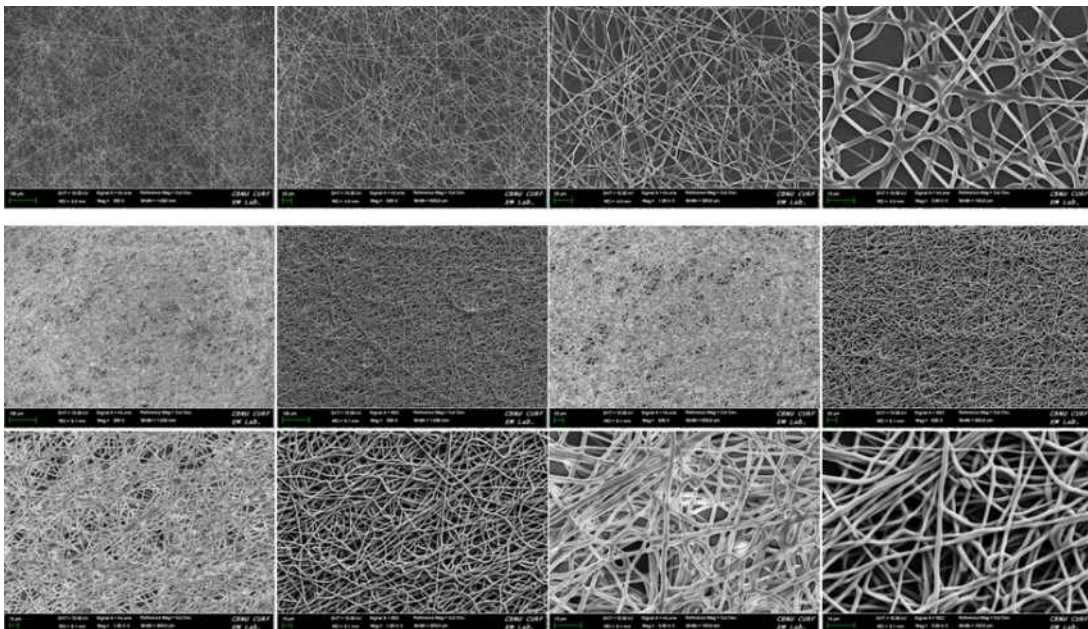


그림 27. 조건별 나노섬유의 SEM 분석 이미지

- 환경조건에 따른 방사 결과물 문제 발생 확인

- 전기방사시 다양한 변수 존재
- 온도, 습도, 고분자솔루션의 점도, 방사거리, 전압 등에 의한 영향을 받음
- 습도가 높으면 전기방사 진행시 습도에 영향을 받아 균일한 나노섬유가 생성되지 않으며, 노즐이 막히면서 균일한 방사가 불가능

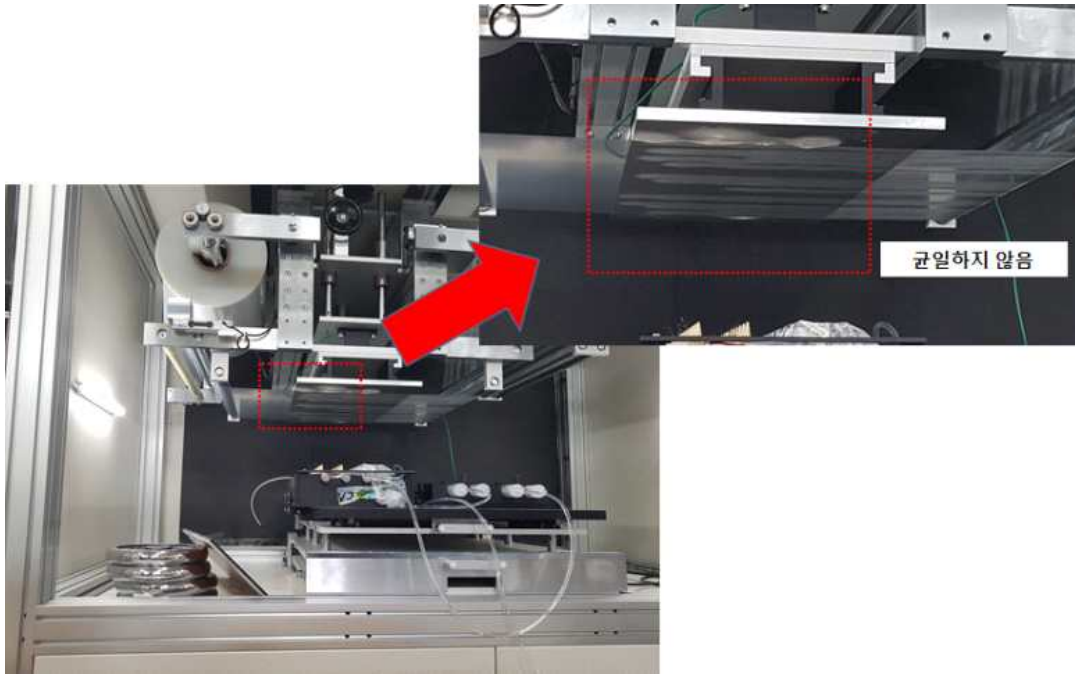


그림 28. 습도 문제로 인하여 균일하지 못한 전기방사 실험 결과

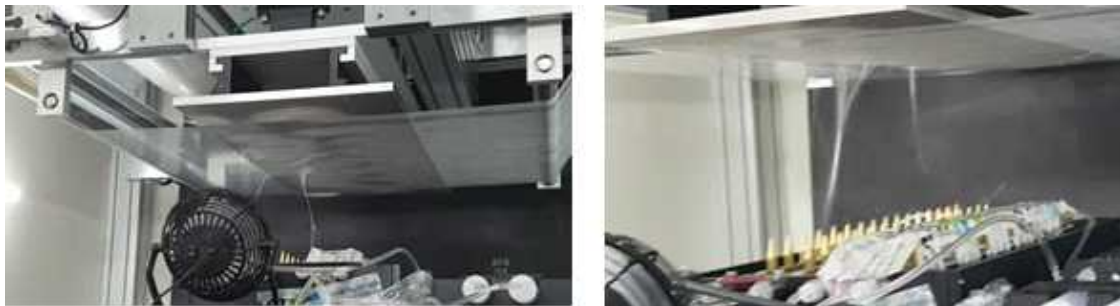


그림 29. 나노섬유 비드가 발생하는 현상

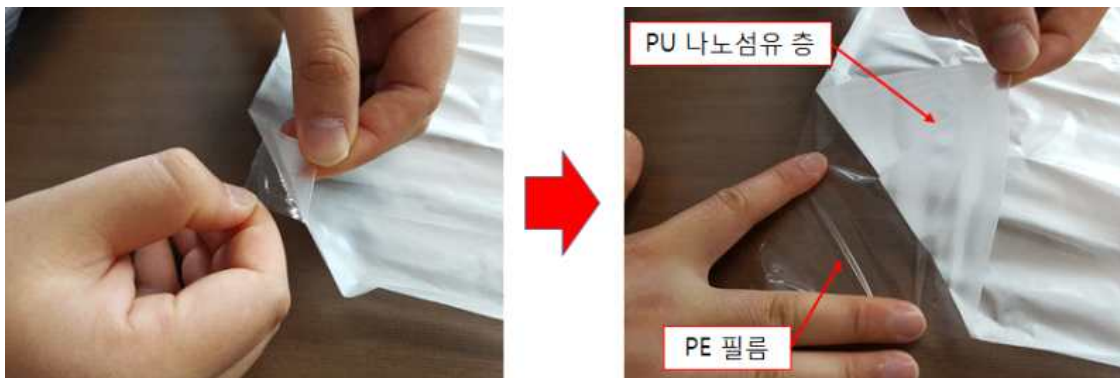


그림 30. PE 필름 표면에 방사된 나노섬유

- PE필름 표면에 나노섬유 코팅하여 투명도 확인



그림 31. PE 필름 표면에 방사된 나노섬유. 코팅 두께에 따라 투명도에 영향을 미침

- Lab Type 운영을 통하여 양산형 시스템 제작시 설계 변수 피드백
 - 참여기관에서 양산형 시스템 설계시 조건 및 시스템에 따른 설계 변수 검토 진행
 - Lab type 시스템 구동하면서 수정사항 체크 및 이를 반영한 양산형 설계 진행 적용
- ㉞ 생산한 투명 나노섬유를 이용한 포장 적용 가능한 사업 분야에 대한 추진 계획 수립
 - 생산한 나노섬유를 이용한 포장지 적용 가능 분야 검토
 - 유통되는 과일에 포장지 적용 방법 마련 및 이를 위한 포장지 제작
 - 포장지 내부에 나노섬유를 직접 방사하여 내부에 나노섬유 필름 구조 형성하여 포장지 적용 검토
 - 포장지 나노섬유 손상 최소화를 위한 포장기술 개발
 - 생산되는 제품을 이용하여 개발한 포장지 적용한 유통 추진 예정
 - 전용 생산 공장 라인 구축
 - 시스템 운영을 위한 전담인력 배치
 - 해외 협력업체 발굴 및 사업 진행
 - 개발 배경
 - 농산물 중 신선도가 요구되는 품목으로는 대부분 과실 및 채소가 차지
 - 농산물은 수확 후 살아 있는 유기체로서 물질대사와 일반 생리작용을 유지하고 환경조건이 적합할 경우 조직의 성장과 발육 지속
 - 생체라는 특성상 다량의 수분을 함유하고 있고 부피가 커 수확 후 품질저하 및 변질
 - 신선 농산물의 대한 수요가 증가함에 따라 농산물의 신선도 유지는 상품성과 밀접한 관계
 - 신선 농산물에 대한 소비자들의 욕구 증가됨에 따라 소비권의 장거리화에 따른 농산물의 장기 보존 필요성 대두
 - 본 연구의 목적은 산소 투기성 실험을 통하여 농산물의 신선도를 장기간 유지할 수 있는 포장재 소재의 특성을 연구하기 위함임.

㉔ 투명 나노섬유를 이용한 포장지 시제품 제작

■ 나노섬유를 이용한 포장지 시제품 제작

- 전용 포장지 시제품 제작 완료 및 이를 이용한 포장 테스트



- 실온보관 트레이는 2일째에 습기가 발생하며, 5일째부터 팽창하기 시작하며, 7일째 갈변 시작함

- 냉장창고 보관 트레이는 3일째부터 습기가 발생함

- 높은 온도일수록 에틸렌 발생률 증가하여 물질대사가 활발하게 일어나 호흡이 증가됨.

■ 실제 유통되는 농산물에 나노섬유 필름 포장지 적용 테스트

- 필드 테스트를 통한 유통기한 향상에 대한 분석 진행

- 필드에서 사용성 테스트 후 개선사항 마련하여 3차년도에 수정

- (주)팜조아 PB(Private Brand) 상품으로 본 과제의 기계와 포장재로 포장 박스 개발 및 테스트

■ 실험 방법

- 나노 섬유를 이용한 부패 시간 지연에 대한 경시적 실험

- 햇사레 등 국내에서 생산되는 트레이 사용

- 필름은 PE 필름 사용

- 나노섬유의 고분자는 PU 사용

- 온도에 따른 활성탄소의 흡착 효율을 위한 실험 실행

* 일정 온도가 지속되는 냉장창고와 실온 보관을 각각 실험 진행

- 포장재의 산소 투기성 효율을 알아보기 위하여 밀봉포장구와 일반포장, 나노섬유 포장구로 비교분석 실험

* 같은 크기, 같은 모양의 포장재를 준비



표 32. 비교분석에 사용된 포장재

	일반 포장	밀봉 포장	나노섬유 포장
1 일째			
5 일째			
8 일째			
10 일째			
13 일째			

표 33. 나노섬유를 사용한 농산물 부패 지연 실험 결과

■ 실험 결과

- 밀봉포장 내의 산소농도는 급격히 감소하여 5일째에 갈변 발생
- 나노섬유 포장재의 경우 공기의 투과도가 높은 특성에 따라 대조구 중 신선도 유지
- 동일한 두께로 포장하였지만 포장 내부 공기의 투과도에 따라 밀봉된 포장구가 가장 낮은 수준
- 저장기간 중 가장 신선도 유지가 되지 않았던 포장구는 밀봉포장구 확인
- 대조구는 저장기간 중 중량이 점차 감소하여 저장 8일 후에는 11.8%의 손실을 발생, 외관상으로 뚜렷이 상품성 저하 확인
- 나노섬유 포장구가 저장 기간 중 가장 중량손실율이 적음
- 저장 중 복숭아의 변색, 조직감, 부패 등을 종합적으로 평가하였던 바 전반적으로 5일 이후에는 급격히 상품적 가치 손실
- 공기 흐름 필요 : CO₂, O₂, 에틸렌
- 포장 재료 : PET
- 향균 물질을 포함한 나노섬유 실험 진행 필요
- 물성 실험, 인체유해 여부 실험 필요
- 산소, 이산화탄소, 에틸렌 등 호흡속도 측정 필요
- 상품성 향상 및 장기 저장 등을 위한 숨을 쉬는 포장재 필요 (소비기간 연장)

③ 3차년도 : 개발한 나노섬유를 이용한 농산물 전용 포장지 제작 및 사업화 추진기반 마련

㉔ 나노섬유 필름 제조 시스템을 이용한 과일 포장용 향균 나노필름 제조

■ 개발한 나노섬유 필름 제조 장치를 이용한 포장지 전용 향균 나노필름 제조

- 포장지에 적용 가능한 나노섬유 시제품 생산
 - 삶은 나물 (시금치, 유채, 청경채, 취나물 外)
 - 과일 (딸기, 토마토, 복숭아)
- 전용 생산 공장 라인 구축 및 운영 (□ 표시구역)



그림 34. 전용 생산 공장 라인 배치 구역

- 시스템 운영을 위한 이공계 경력자 채용 전담인력 배치
- 나노섬유 연속 생산 및 사업화 추진기반 마련
 - 생산 - 2018년 3차년도 경영계획에 목표 부여
 - 세부추진전략 - 2018년도 경영계획에 별도 수립
- 공정도



그림 35. 과일 포장 사업화 공정도



그림 36. 삶은 나물류 포장 사업화 공정도

㉔ 개발한 나노섬유를 이용한 포장지 제작

- 삶은 나물, 과일 유통 향상을 위한 나노섬유가 적용된 전용 포장지 개발
- 나노섬유를 이용한 대량생산을 위한 포장지 업체 대상 사업설명회 실시 및 포장지 시제품 제작
- 습도 제어가 가능한 나노섬유 포장지를 이용한 유통라인 구축 및 운영
- 개발된 나노섬유의 농산물 선도 유지 효과 비교 분석
- 일반 PE 및 포장지와 개발된 나노섬유의 선도유지 비교 분석 진행
- 선도유지 비교 분석을 위한 식품전문시험검사기관 또는 자가품질 위탁시험 검사기관의 검사 의뢰를 통한 신뢰성 확보 및 연구 수행

㉔ 나노섬유 포장지를 이용한 수출 사업화 추진

- 새만금 농생명용지 농업특화단지 직영생산 품목인 딸기, 토마토, 엽채류 대상 수출 사업화
- 전략1 : 협력업체 발굴 및 사업 진행
- 전략2 : 국내 및 해외 포장기계 업체, 포장지 제조업체와 협력
- 해외 파트너 발굴: 스페인, 네덜란드, 러시아, 미국, 카자흐스탄, 중국, 동남아 등

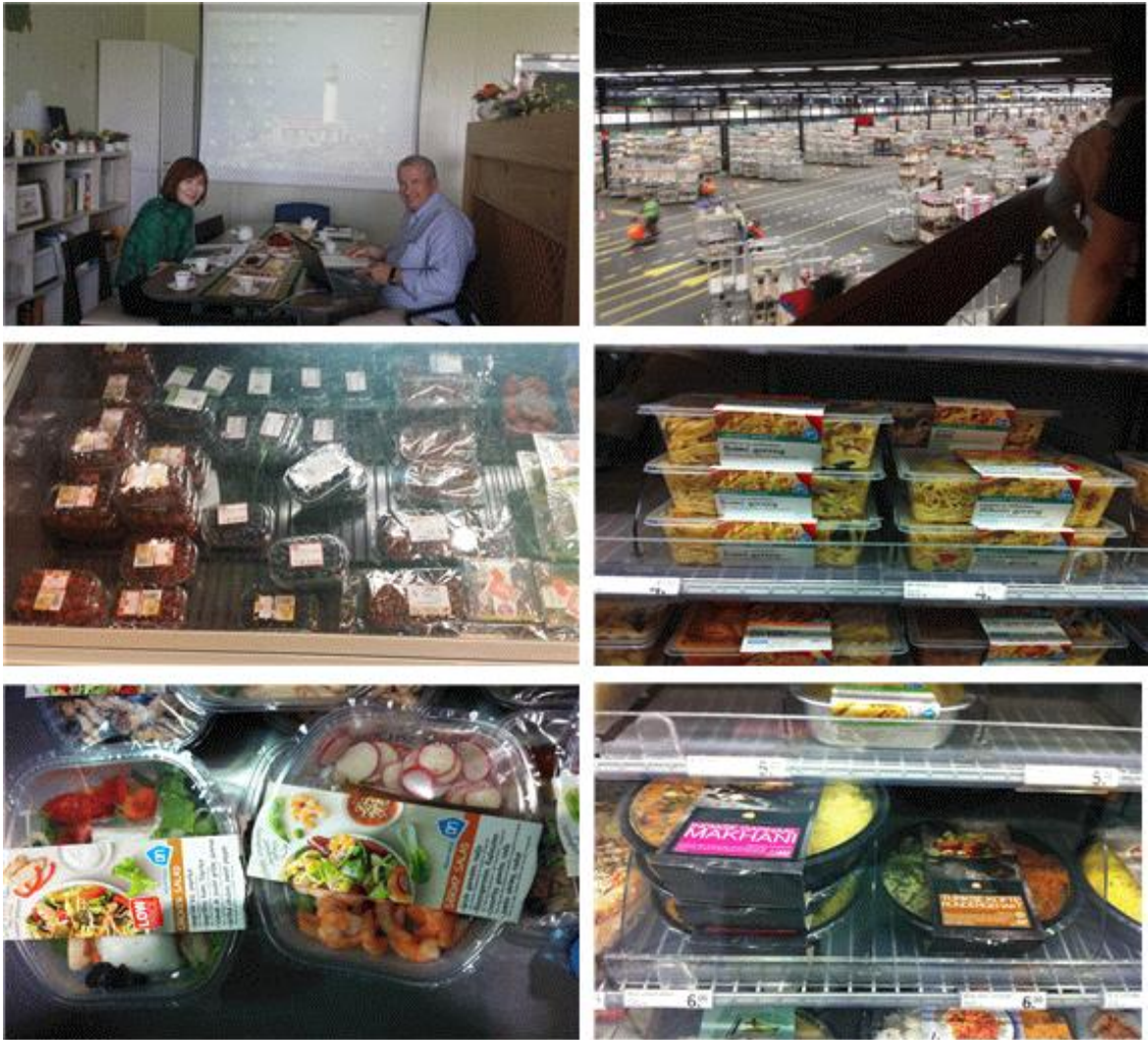


그림 37. 국외 식품 포장 및 유통

㉕ 나노섬유 포장지의 재료 단가 분석

■ 나노섬유 재료 단가 (기존 대비 변경 재료)

- 생산속도 300mm/min으로 1m² 면적을 생산하기 위하여 소요되는 시간은 200sec 소요됨.
- 이때, 소비되는 고분자솔루션의 양은 표준 공급속도 40ml/h 기준으로 2.2ml 소비됨.
- 보통 고분자솔루션에 사용되는 고분자는 15wt%이므로, 0.33g 사용됨.
- wt/wt 계산한다고 가정을 한 경우 2.2ml에 대한 15wt%의 중량은 Solvent 1.87g, polymer 0.33g 해당
- 생산속도 300mm/min으로 0.5 m² 면적해당하는 재료량은 Solvent 0.935g, polymer

0.165g

- 폴리머 0.165g 에 대한 고분자 가격 : 1.65원
(산정기준 - PU 소재 단위 g당 가격 : 10원/g (Sigma aldrich 기준))
(기존기준 - PCL 소재 단위 g당 가격 : 602원/g , 200원/0.33g (Sigma aldrich 기준))
 - 솔벤트 0.935g 에 대한 솔벤트 가격 : 19.87원
(산정기준 - DMF Solvent 단위 ml당 가격 : 9.4원/ml → 비중 0.95이므로 단위 g당 가격 : 9.89원/g; THF Solvent 단위 ml당 가격 : 10원/ml → 비중 0.88이므로 단위 g당 가격 : 11.36원/g (Sigma aldrich기준))
(기존기준 - MC Solvent 단위 ml당 가격 : 92.5원/ml → 비중 2.0이므로 단위 g당 가격 : 32원/g , 60원/1.87g (Sigma aldrich기준))
 - 총 2.2ml 솔루션의 가격은 : 약 21.52원
- ※ Sigma aldrich에서 판매하는 가격 기준으로 산정하였으며, 공급되는 원재료의 가격변동으로 인하여 전체 금액이 변경 될 수도 있음. 또한, 장비 운영비용 및 운영이익 등은 제외한 금액.
- 나노섬유 생산량 분석
 - 생산속도 300mm/min이라 가정할 때, 1시간당 18m 생산 가능
 - 하루 생산시간을 10시간으로 가정할 때, 180m 생산 가능

(나) 참여기관 1 ((사)캠텍종합기술원)

- ① 1차년도 : 농산물 포장용 나노섬유 포장지 제조 공정 및 조건실험을 위한 전용 Lab Type 전기방사 장치 개발
- ② Lab type에 최적화 및 양산성 검증을 위한 전기방사 장치 Cylinder type 노즐 설계
 - 테스트용 나노섬유 필름 생산을 위한 전용 Cylinder type의 나노파이버 발생장치 설계
 - 폭 500mm Lab type 전기방사 장치에서 테스트 가능한 전용 Cylinder type의 Multi-nozzle 설계 완료
 - Base 소재는 Stainless steel을 사용하여 내화학성 및 기계적 안정성을 확보하도록 설계 완료
 - 1개의 채널에서 총 19개의 nozzle 연결 가능한 구조 설계 완료
 - nozzle간의 간격은 25mm 이며, 필요에 따라 nozzle 개수를 조절 할 수 있는 구조
 - 1차년도에는 Cylinder type의 Multi-nozzle을 2ch까지 장착 가능한 전용 Jig 설계 완료
 - 전용 Jig 소재 : MC흑(Nylon)
 - 2D 설계 완료

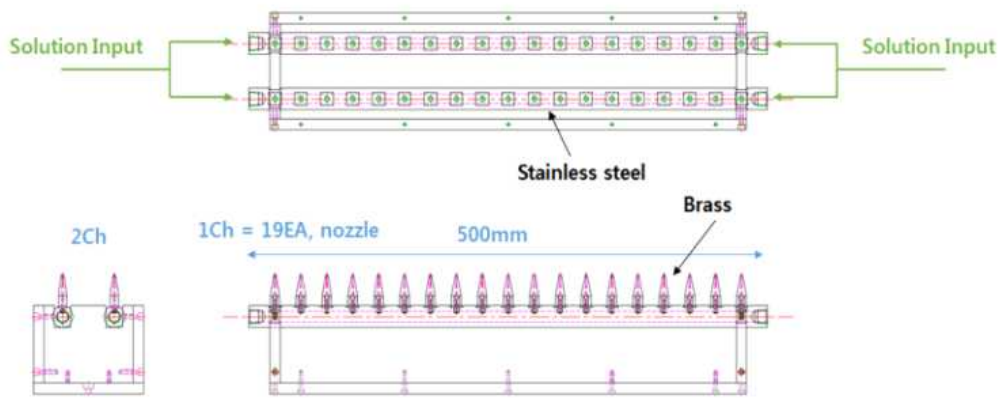


그림 38. 나노섬유 필름 생산 전용 Cylinder type 나노파이버 발생장치 설계

- Cylinder type 나노파이버 발생장치 제작 완료 및 제작 사진



그림 39. Cylinder type 나노파이버 발생장치 제작 (Base)

- Cylinder type 전용 Nozzle 설계 완료
- 기존 nozzle에 많이 사용되던 stainless steel소재보다 전기 전도성이 높은 황동 소재 적용
- Stainless steel로 설계된 Base에 연결하여, 고분자 솔루션 용액이 공급되고, 공급된 고분자 솔루션이 토출부로 토출되면, 전기적 반발력에 의하여 나노섬유 생성
- 토출부 사이즈 : $\varnothing 0.8\text{mm}$
- Nozzle 외부는 8mm 육각으로 제작하여, 일반 공구로 쉽게 조립 및 분해 가능하도록 설계
- 2D 설계 완료

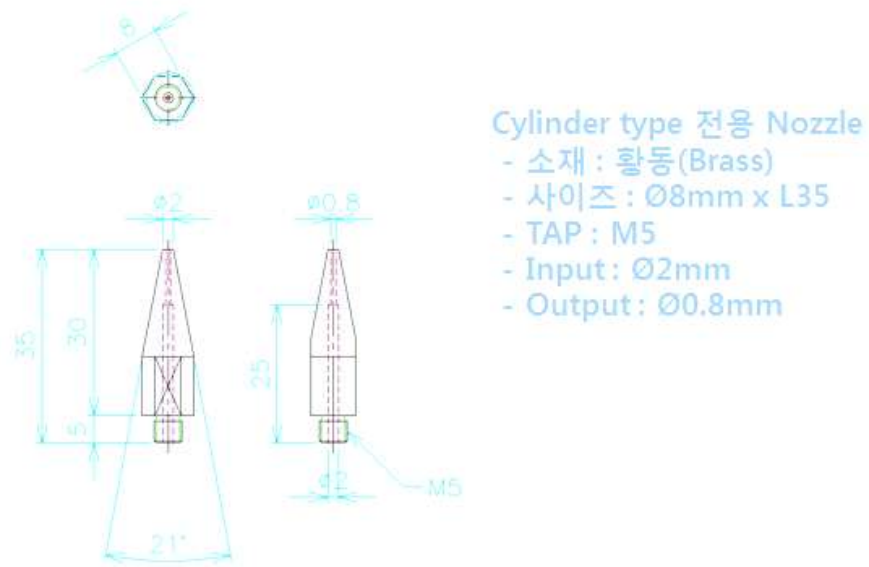


그림 40. Cylinder type 전용 Nozzle 설계 완료

- 조립성 검토를 위한 3D 모델링 완료, Cylinder type(Base 및 Nozzle)

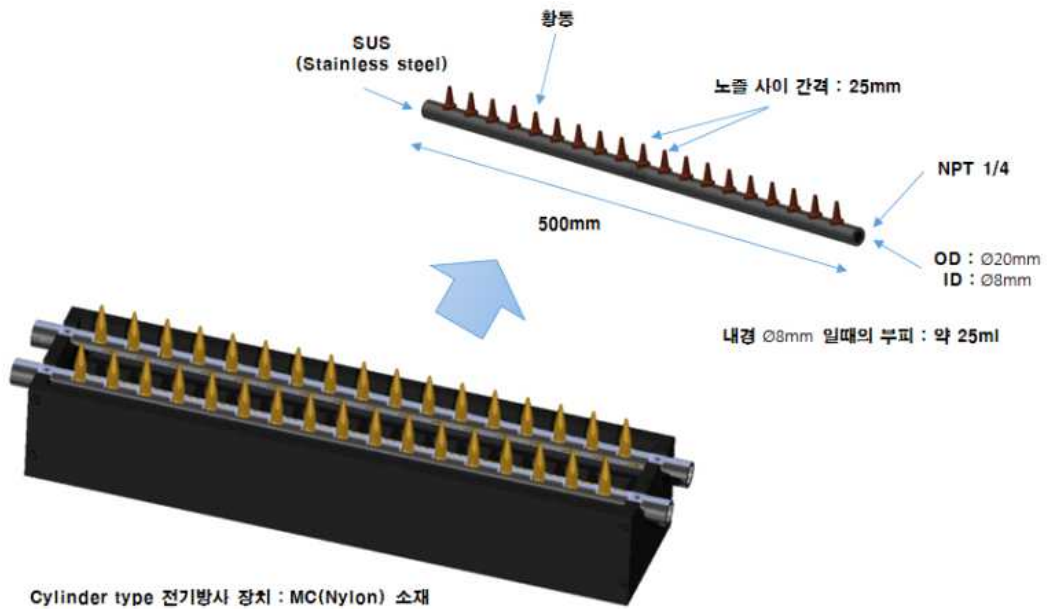


그림 41. 3D Tool을 이용한 Multi-nozzle 조립성 검토 및 가공성 확인 완료

- 전용 Nozzle 제작 완료 사진



그림 42. Cylinder type 전용 Nozzle 제작 완료

㉔ Cylinder type Multi nozzle 테스트를 위한 전용 Syringe pump 개발

- 개발한 Cylinder type Multi nozzle에 고분자 솔루션을 주입하기 위한 전용 Syringe pump
- 기존 실린지 펌프의 경우 장착 가능한 Syringe 사이즈의 한계 및 출력 가능한 토크가 약하여, 본 시스템에 최적화된 전용 Syringe pump 개발이 필요
- 이를 위한 전용 Syringe pump 설계
- 총 4개의 Syringe 장착 가능 (50ml기준)
- Step Motor를 이용하여 Syringe 공급, (Motor 속도 조절을 통한 유량 조절)
- 고분자 솔루션에 공급되는 고전압에 영향을 미치지 않기 위한 MC(Nylon) 소재 적용
- 2D 설계 완료

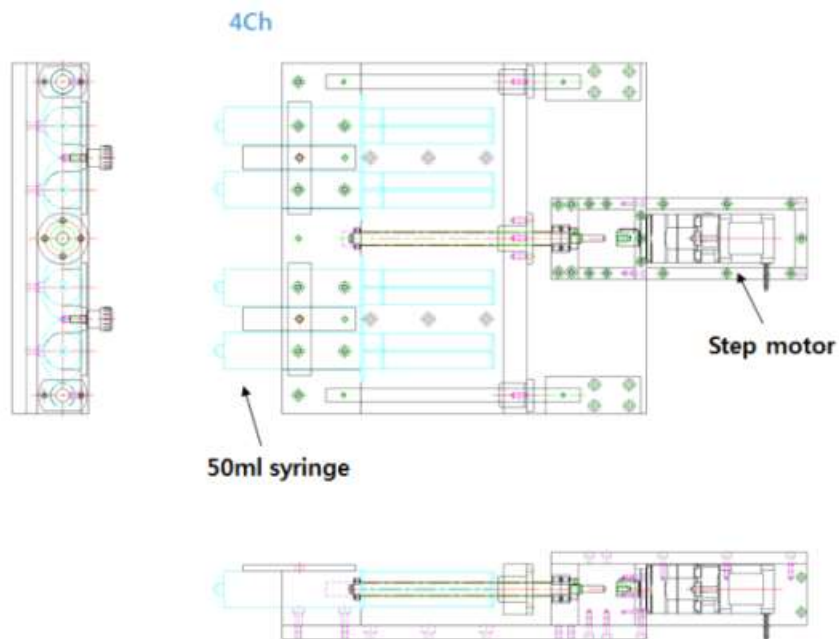


그림 43. 4개의 50ml 사이즈 Syringe 장착 가능한 전용 syringe pump 설계 완료

- 조립성 검토를 위한 3D 모델링 완료

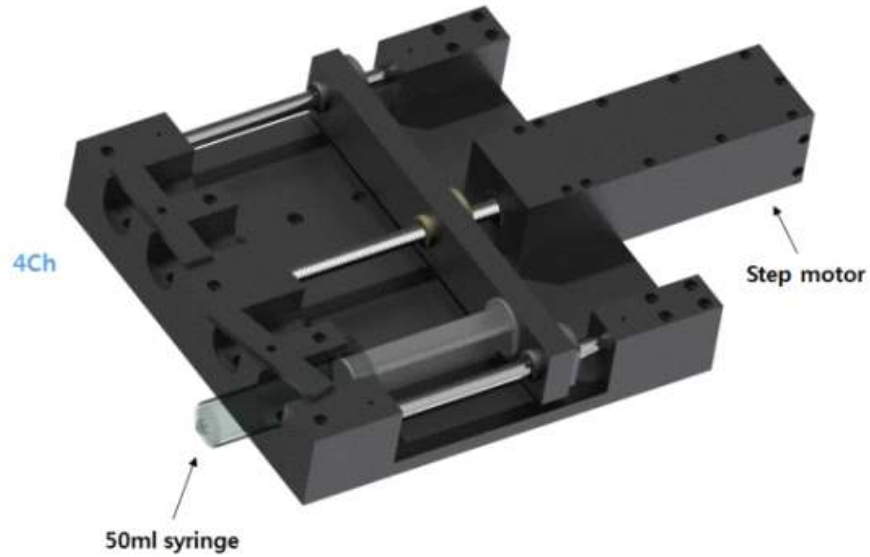


그림 44. 3D Tool을 이용한 syringe pump 조립성 및 가공성 확인 완료

- Syringe pump 제작 완료 사진

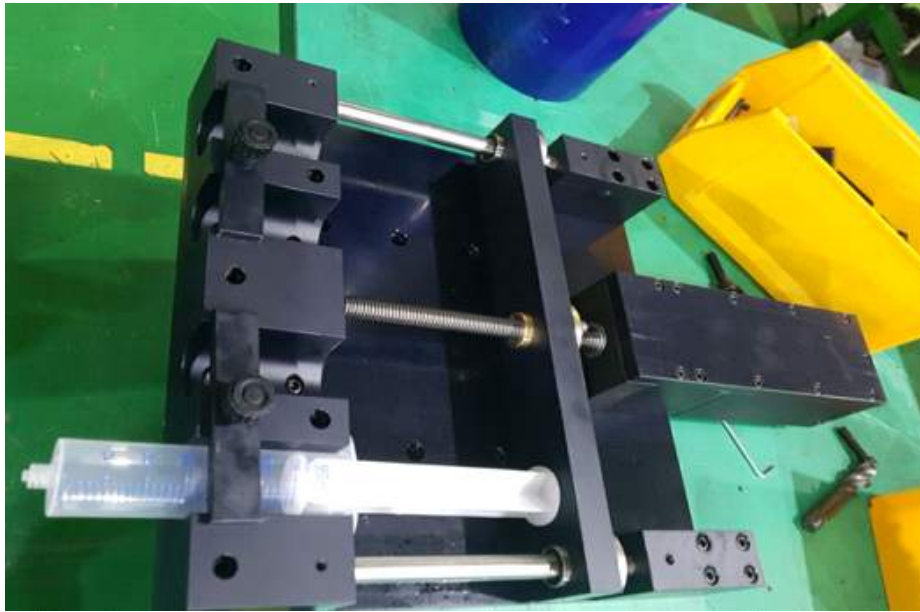


그림 45. Syringe pump 가공 및 조립 완료 사진

- 설계한 Syringe pump의 구동 가능 힘 계산
- 사다리꼴 나사 계산을 통한 실린지 펌프 설계 검토
- 설치된 Step Motor의 토크 : $0.5\text{N}\cdot\text{m}$
- 사다리꼴 나사 : 30°
- 사다리꼴 나사의 리드: 2mm
- 해당 나사의 효율: 0.207
- 계산식

$$\text{부하토크 } T(N \cdot m) = \frac{F_s \cdot R}{2\pi \cdot \eta}$$

(F_s = 축 방향 하중)
(η = 나사 효율)
(R = 리드)

* 해당 식에 의하여

$$F_s = \frac{T \cdot 2\pi \cdot \eta}{R}$$

$$= \frac{4.5 \times 2\pi \times 0.207}{0.002}$$

$$= 2924.91N$$

$$= \text{약 } 292kg_f$$

수식 1. 설계된 Syringe pump의
허용 가능한 Force

㉔ 전기장 및 유동 해석을 통한 Cylinder type 노즐 설계 최적화 설계

- 나노섬유 정렬을 위한 폭 500mm 전기방사 장치의 전기장 해석 검토 진행
 - COMSOL Multiphysics의 Electrical AC/DC Module을 이용한 전기장 해석 진행
 - 나노섬유 정렬에 대한 해석
 - Multi-nozzle을 Collector base 아래 설치하여 상향식 전기방사 구조, Collector base에 3개의 구리판을 배열하여 구리판 아래로 나노섬유를 포집하기 위한 Perform mat가 흘러가는 구조

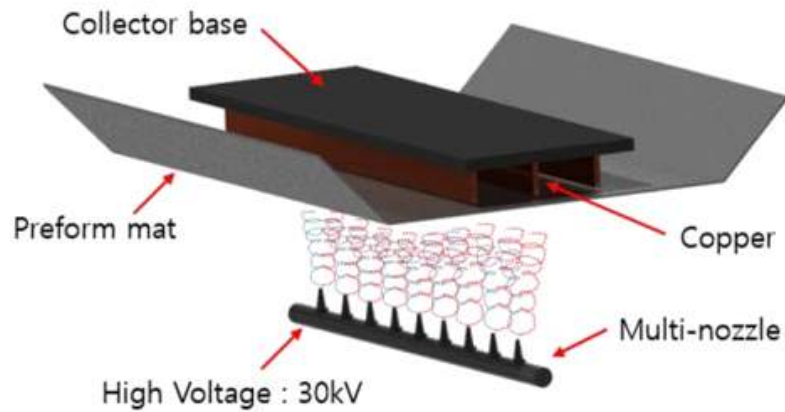


그림 46. 전기장 해석을 위한 모델 구성

- 설계된 Multi-nozzle에 약 30kV의 고전압을 연결
- 정렬되는 Collector base에 Ground 연결
- Multi-nozzle 및 Collector base의 소재는 Aluminum으로 설정
- 주변 공기 조건을 입력하고 해석 진행

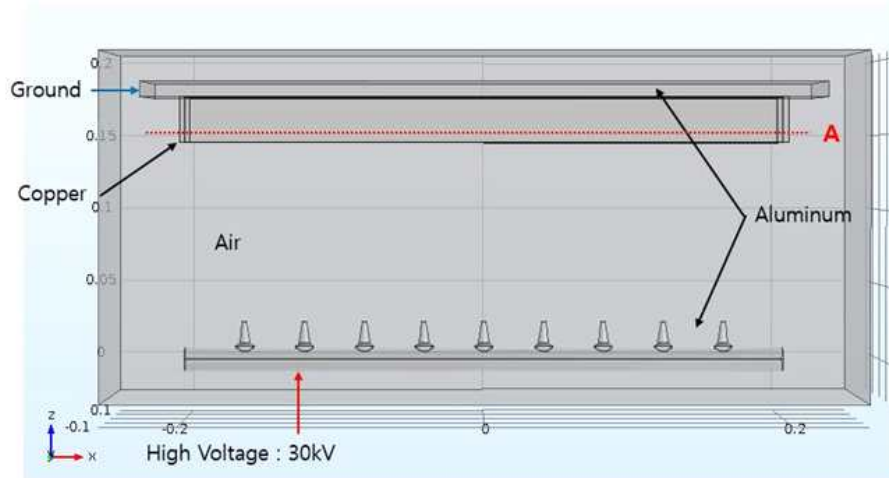


그림 47. COMSOL Multiphysics의 전기장 해석 조건 입력

- 전기장 해석 결과

- Multi-nozzle과 Collector base 사이에서의 전기장의 분포를 확인
- Multi-nozzle의 왼쪽에는 음의 전기장이 형성되고, 오른쪽에는 양의 전기장이 형성됨
- Collector base에서는 반대로 왼쪽에 양의 전기장이 형성되고, 오른쪽에서 음의 전기장이 형성됨
- 그리고 전기장의 방향은 Multi-nozzle에서 Collector base를 향하고 있음
- Collector base에 부착된 구리판에 의하여 전기장의 방향성을 가지고 있으며, 방사된 나노 섬유가 전기장의 방향에 따라 정렬 될 수 있다는 것을 전기장 분석을 통하여 확인함

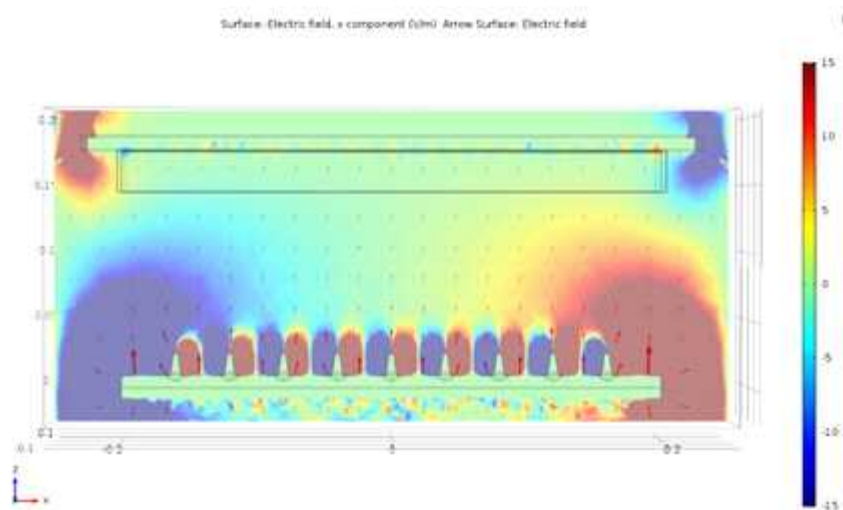


그림 48. 전기장 분석 결과

- Collector base에서 왼쪽의 전기장은 약 11V/m
- Collector base에서 오른쪽 전기장은 약 -11V/m

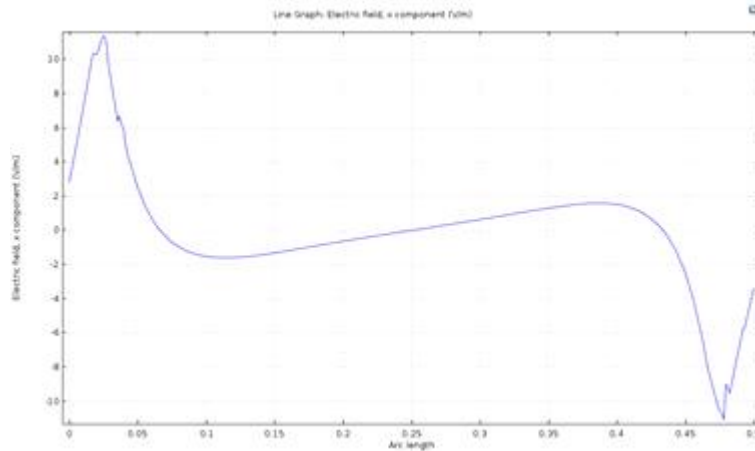


그림 49. Collector base에서의 전기장 분포 그래프

- Multi-nozzle과 Collector base 간격 거리에 따른 전기장 분석

- Multi-nozzle과 Collector base의 간격을 200, 150, 100으로 조절하여 Case 1, Case 2, Case 3라고 정의한다.

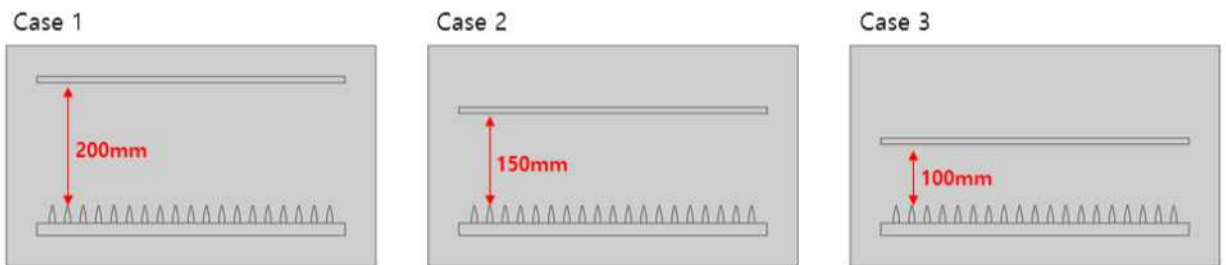


그림 50. Multi-nozzle과 Collector base의 간격에 따른 해석 조건 정의

- 경계조건에서 소재 물성은 Collector base와 Multi-nozzle의 Base는 Aluminum 소재를 적용 하였으며, Multi-nozzle의 nozzle 부분은 Copper를 적용, 그리고 주변은 Air 물성을 정의하였음
- 전기방사를 위한 전압 조건은 Multi-nozzle에 30kV 전압을 인가하고, Collector base에 Ground를 인가하여 전기 상사를 위한 경계 조건을 정의함

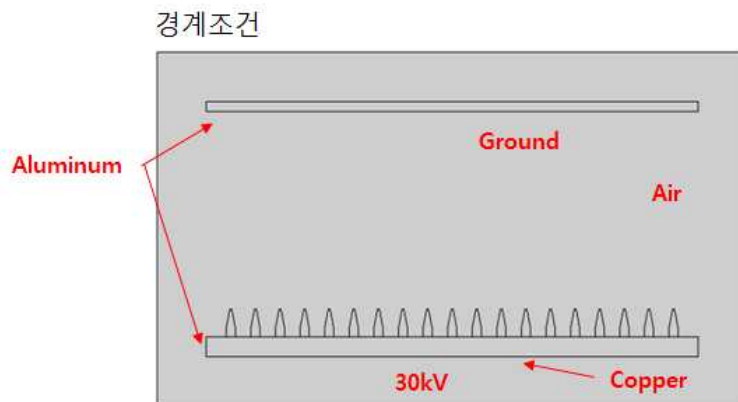


그림 51. Multi-nozzle과 Collector base의 간격에 따른 해석을 위한 경계조건

- 전압 분포에 대한 해석 결과 거리가 가까워질수록 Multi-nozzle과 Collector 사이에는 전압 하강 그래프가 높게 나타나며, 거리가 멀수록 같은 위치에서의 전압이 높게 나옴

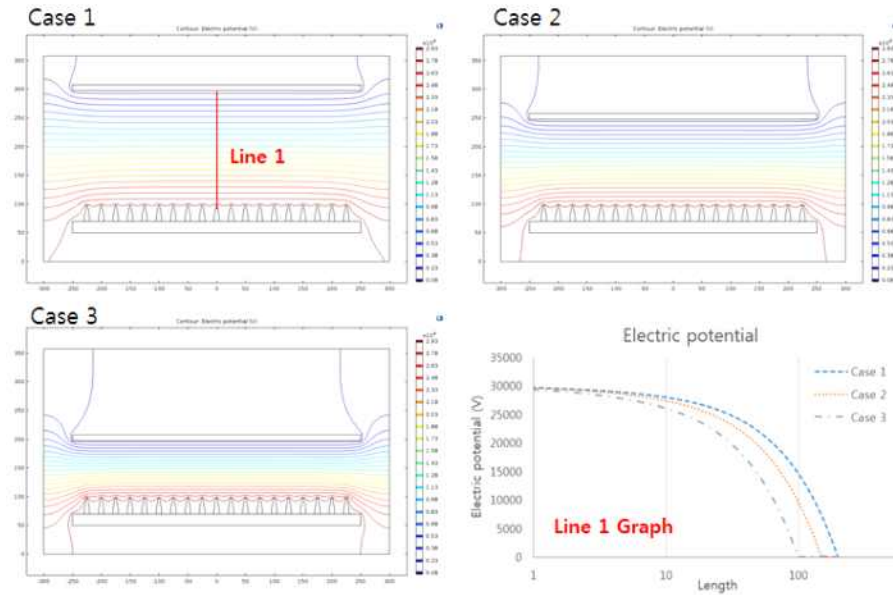


그림 52. 각 Case에 대한 전압 분포 및 그래프

- 전기장 분포에 대한 해석 결과 (Y축 기준) 전기장이 가장 많이 밀집된 곳은 Nozzle tip 부분으로 해당 위치에서 Tyler cone이 만들어져 나노섬유가 발생할 것으로 예상됨

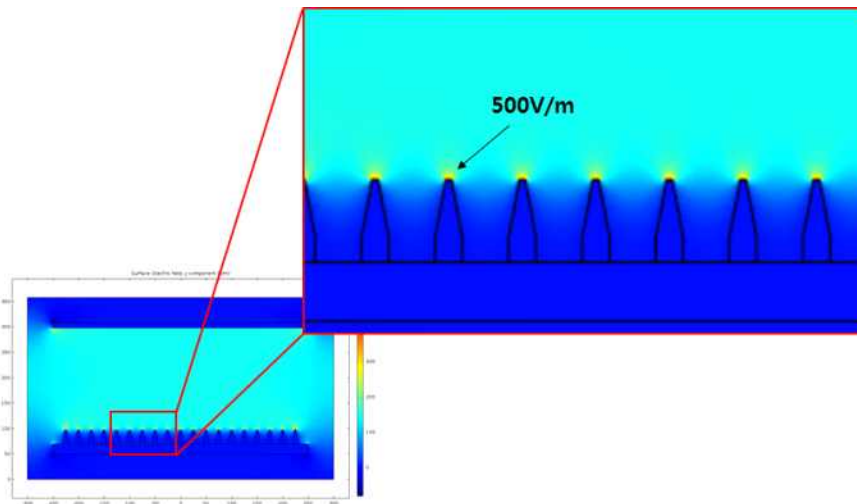


그림 53. Multi-nozzle tip에 발생하는 전기장 분포

- “Line 2” 위치에서의 Case 1~3까지 전기장 밀도를 비교해본 결과, Multi-nozzle과 Collector base간의 사이가 가까울수록 형성되는 전기장의 밀도가 높은 것으로 확인

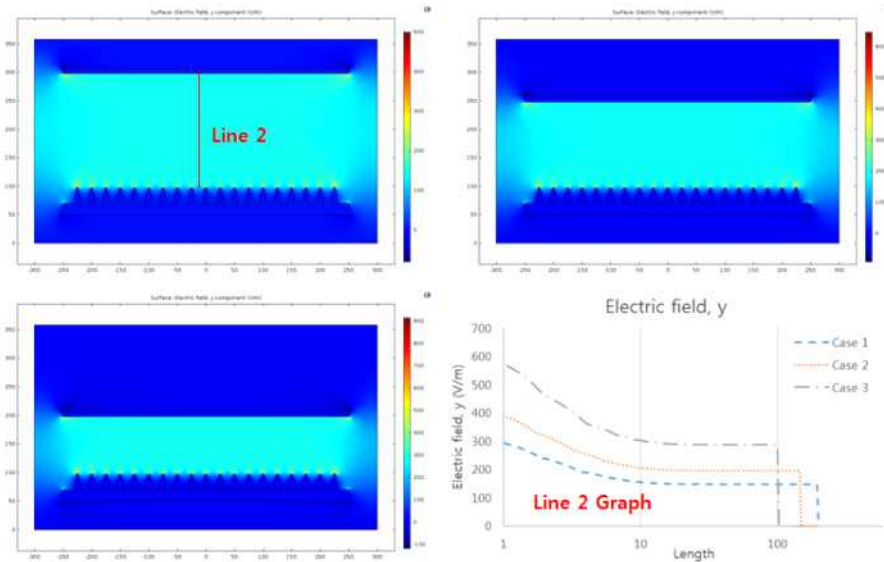


그림 54. 각 Case에 대한 전기장 분포 및 그래프

- 이렇게 Multi-nozzle과 collector 사이의 간격 조절로 전압 및 전기장을 변화 시킬 수 있으며, 이를 이용하여 생성되는 나노섬유의 굵기에 영향을 줄 것으로 예측

② 2차년도 : 농산물 포장용 투명 나노섬유 제조장치 시스템 설계 및 제작

㉠ Lab Type용 나노섬유 필름 제조 시스템 제작 완료

- 1차 년도에서 시스템 설계 및 조건 반영한 Lab Type 전용 나노섬유 필름 제조시스템 개발 완료
- Lab Type용 전기방사 장치 3D 모델링을 통한 설계 검증 및 조립성 검토 완료
 - 1차년도에 설계 완료된 Lab type 전기방사 장치 제작 진행
 - 설계검증을 위한 3D 모델링을 통한 가공성 및 조립성 검증 완료(Inventor 2012사용)
 - 설계 Data를 기반으로 각 파트도면의 모델링 작업 후 기구부 조립성 검증 진행
 - 3D 모델링 후 조립성 확인 및 필요에 따라 설계 Data 수정 진행 완료함
 - 하중조건에 의한 파손 및 처짐에 대한 설계 검증을 위한 기구부 해석 진행 완료

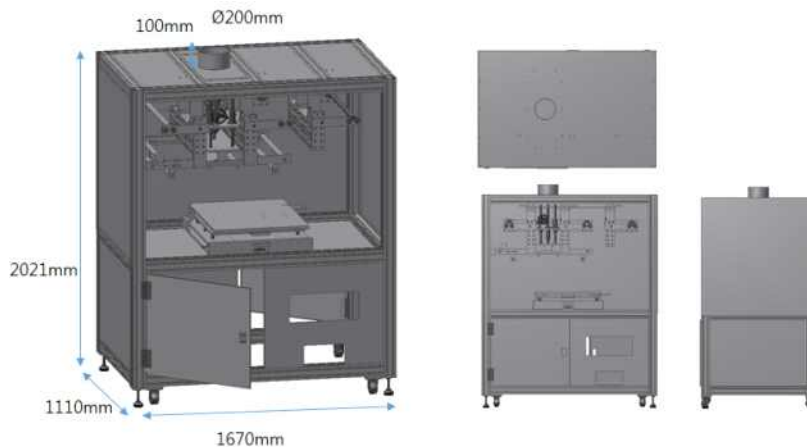


그림 55. Lab type 전기방사 장치 3D 모델링을 통한 설계검증 완료

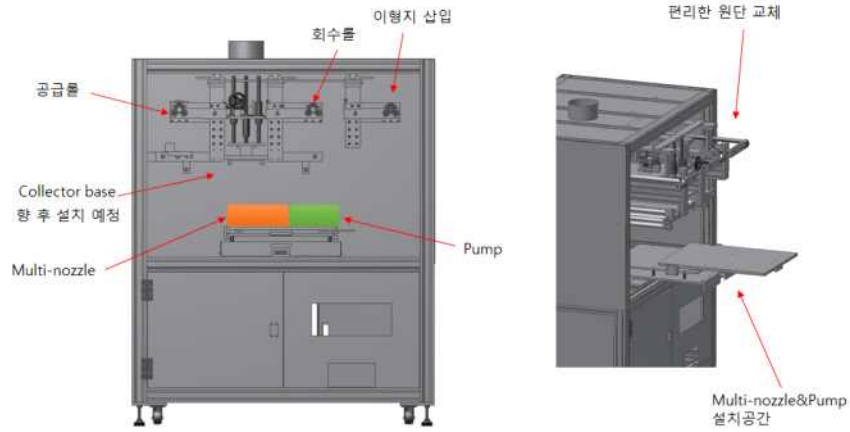


그림 56. 각 기구부 명칭 및 정의

- Lab Type 전기방사 장치 제작을 위한 프레임 가공 및 조립
 - 프레임 제작을 위하여 프로파일 가공 작업 및 조립 진행 완료
 - Roll to roll 기구부 제작을 위한 부품 가공 및 조립 진행후 프레임에 고정 완료
 - Lab Type 전기방사 장치 제작을 위한 조립진행
 - Roll 공급 및 회수의 편리성을 위한 1단 슬라이딩 구조 제작 완료
 - Multi-nozzle의 편리한 유지보수를 위한 2단 슬라이드 구조 제작 완료
 - 상향식 방법의 전기방사 진행하기 위한 기구부 제작 완료
 - Multi-nozzle 과 Pump를 설치하기 위한 공간 확보 완료

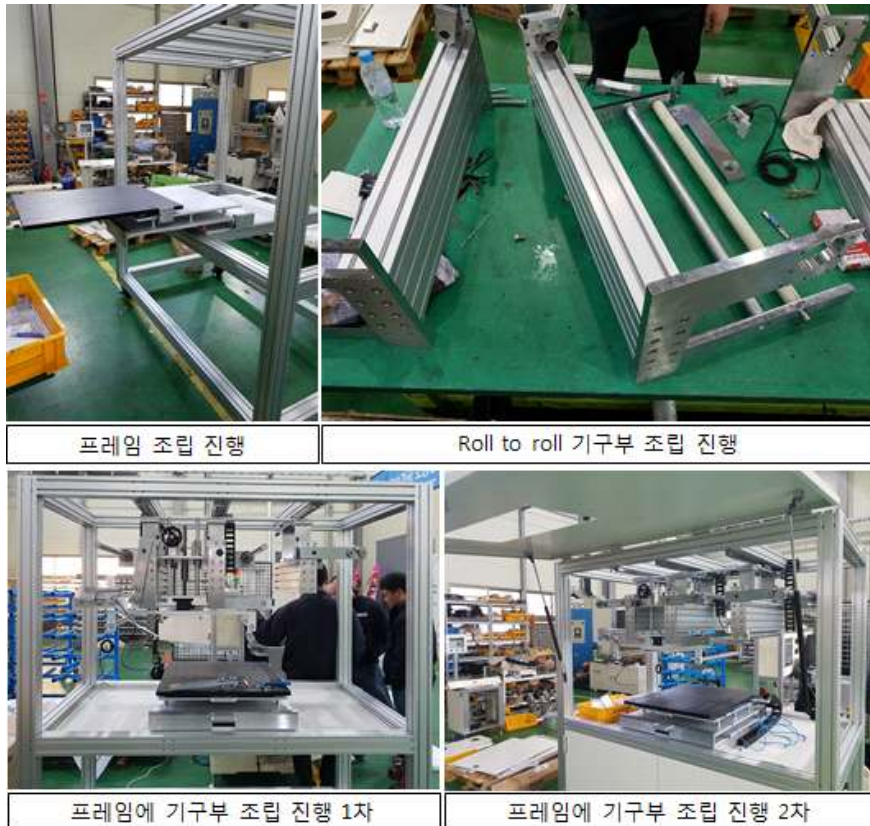


그림 57. 프레임 및 각 기구부 조립 진행 사항

- 전기방사를 위한 전용 DC Power supply 개발
 - 전압 전류 증폭기 및 고속 데이터 수집 시스템 개발
 - 전류 증폭기 회로 : 총 M1 모듈부터 M7까지 회로도 구성
 - 총 60kV까지 전압 출력할 수 있도록 파워서플라이 개발 완료

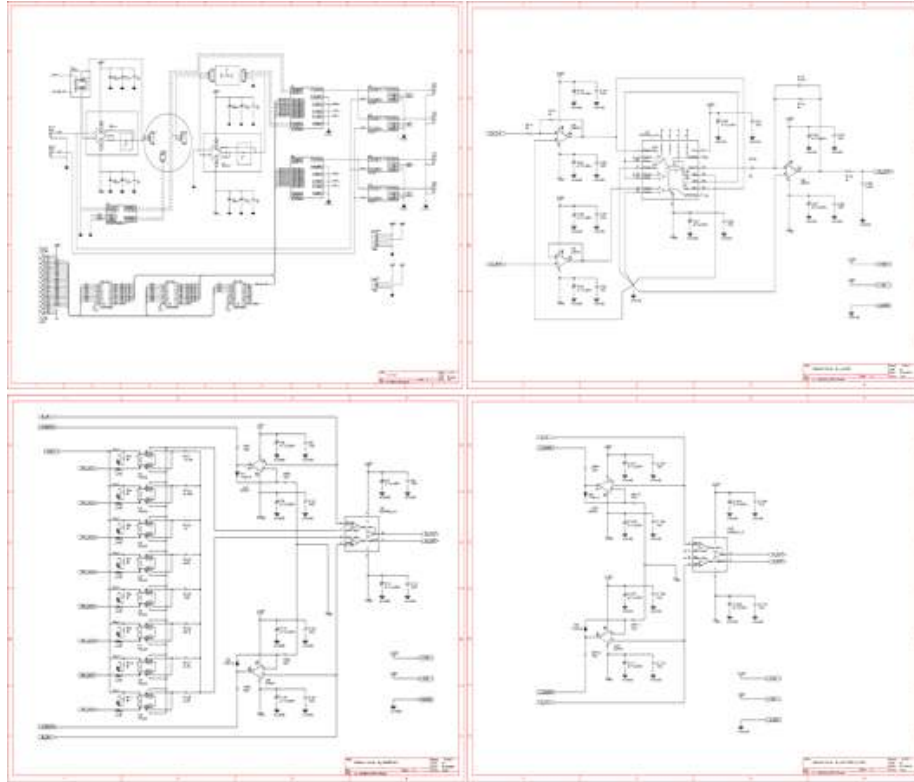


그림 58. 전압 증폭기 회로

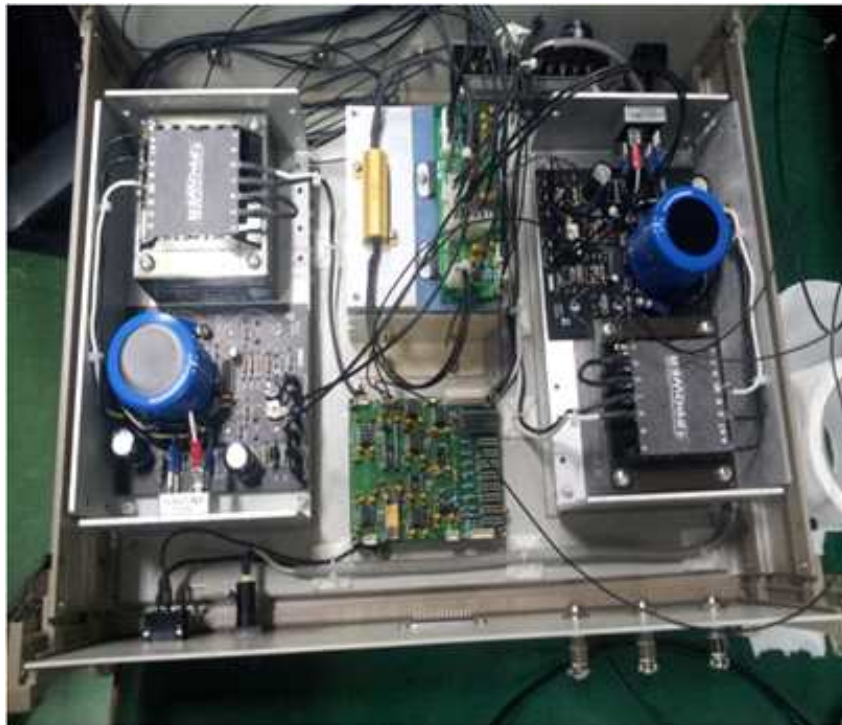


그림 59. 전압 증폭기 회로 개발 완료된 사진

- Main 제어기에서 파워서플라이의 전압 출력제어를 위하여 Analog 신호를 받아 (0~5V) 파워서플라이의 출력 전압을 제어 할 수 있는 기능 삽입 완료
 - ▶ 개발된 Lab Type 전기방사 장치에서 파워서플라이의 방전 전압을 제어 할 수 있음.
 - ▶ 즉, 나노파이버 생산을 위하여 설정된 사양에 따라 파워서플라이의 방전 전압 조절



그림 60. 파워서플라이의 방전 전압을 제어 하기 위한 외부 접속 회로

- ▶ Linear method 로 Analog output voltage 출력 전압 0V 가 파워 서플라이 출력 전압 0V, Analog output voltage 출력 전압 5V 가 60kV 로서, 이 사이를 Linear 하게 보간하여 출력 전압을 프로그램으로 제어 함.
- 솔루션 공급을 위한 Lab type 전용 Pump system 개발 완료
 - Syringe pump H/W 개발 완료
 - ▶ Syringe pump H/W 개발 완료후 프로그램 이용한 동작 테스트 진행 완료
 - ▶ 총 4개의 50ml Syringe 결합 가능한 구조

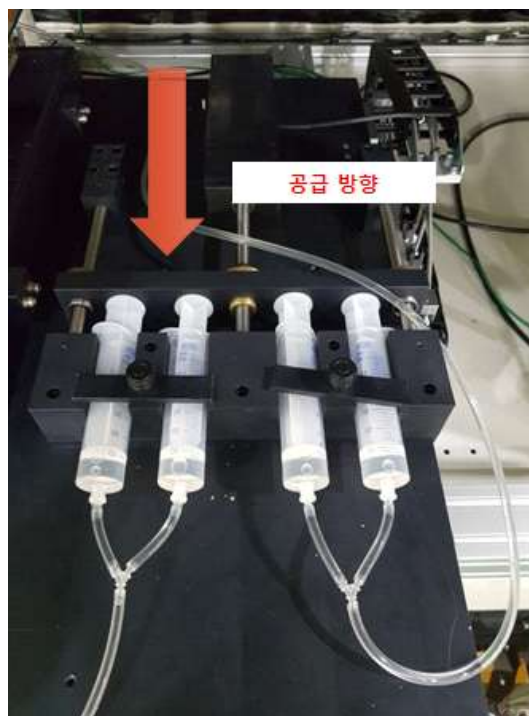


그림 61. 개발 완료된 Syringe pump

- Syringe pump 제어를 위한 레이아웃 및 전용프로그램 개발 완료
 - ▶ Pump 제어를 위한 시스템 레이아웃

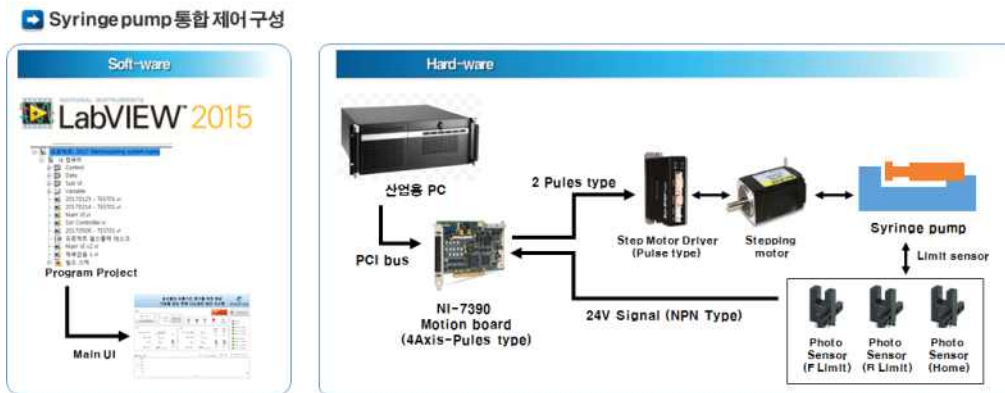


그림 62. Syringe pump 통합 제어구성 완료

- ① NI사의 LabVIEW 2015를 이용한 Motion control 진행
- ② Motion controller : 4Axis Pulse Output type _ Limit DI 적용
- ③ 2 Pules type Stepping motor를 이용한 Syringe pump 동작 구현

- ▶ Pump 제어 프로그램 개발을 위한 프로그램 설계
 - 1) User Interface에 의한 Syringe pump 구동 Flow chart

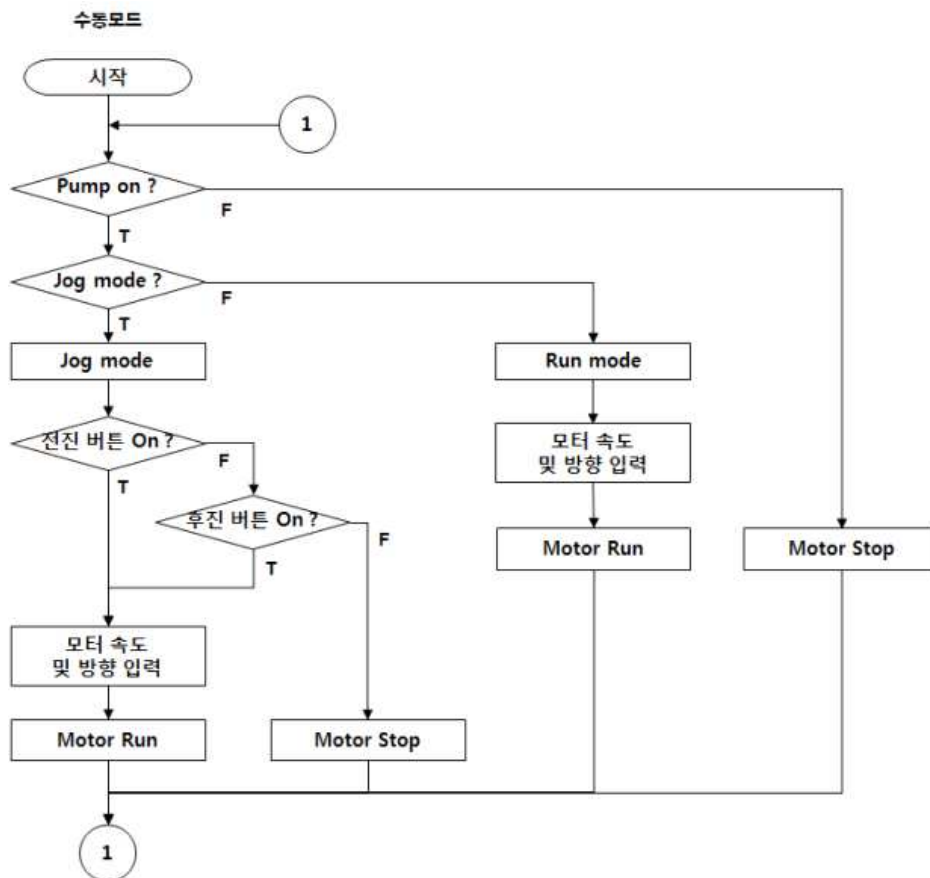


그림 63. Syringe pump의 수동 모드 동작 Flow chart

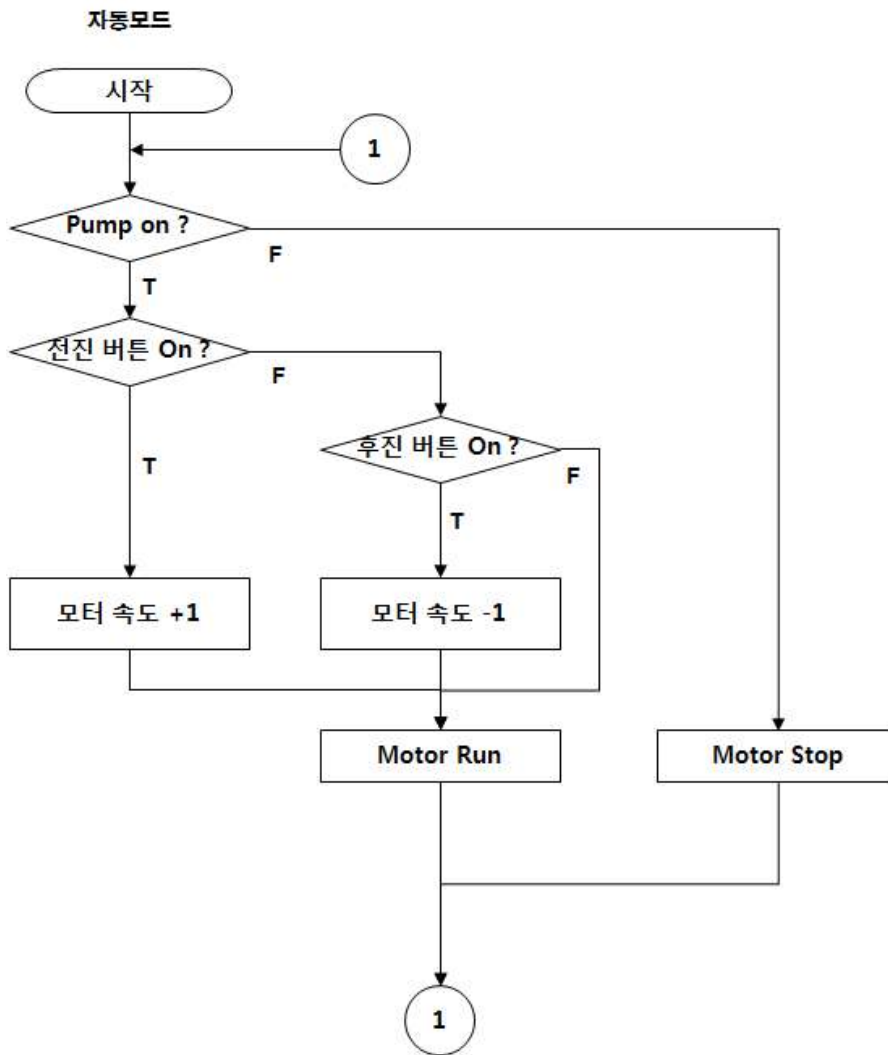


그림 64. Syringe pump의 자동 모드 동작 Flow chart

2) Syringe pump에 적용된 사다리꼴나사의 피치와 Syringe, Motor Step를 이용한 유량 연산

- ① 적용 Syringe 제원 :
- ② Motor 1회전 Step(분해능) : 적용된 모터의 분해능은 10,000step이며, 10이므로, “100,000step/rotation” 임.
- ③ Motor Step당 Pump 이동 거리 : 3mm 피치를 갖는 사다리꼴 나사를 적용하였으므로, $3\text{mm}/100,000\text{step} = 0.000003\text{mm}/\text{step}$
- ④ Syringe 단면적 사이즈 : “A”mm² 이라 가정.
- ⑤ “A” 단면적 사이즈의 Syringe를 개발된 pump에 연결하면, 0.003ml/step이 되므로 모터의 속도를 조절하여 Syringe pump의 유량을 조절 할 수 있음.

▶ 솔루션 정량 공급을 위한 Syringe pump 프로그램 개발

1) Syringe pump 동작을 위한 프로그램 UI 개발 완료

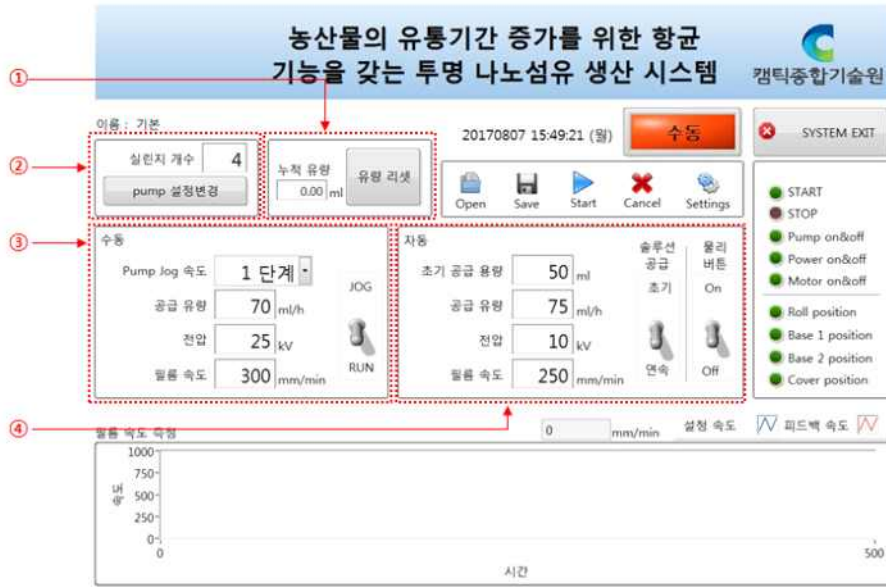


그림 65. Pump 구동을 위한 Pump 전용 프로그램 UI 개발 완료

- ① 누적 유량 디스플레이 및 data초기화 : Pump에 연결된 Motor의 회전수를 계산하여 공급된 유량을 연산하고 표시함. “유량 리셋”버튼은 표시되는 연산된 값을 0으로 초기화 함.
- ② 실린지 개수 설정 : 개발된 전용 Pump는 총 4개의 Syringe를 결합할 수 있으며, 결합된 개수에 따라 모터의 이동량에 대한 공급유량이 결정되므로, Pump 사용시 결합된 Syringe 개수를 정의함. (유량 연산시 변수로 활용)
- ③ 수동모드 탭 : 수동모드에서 공급 유량을 설정함. Pump의 Jog Mode와 Run Mode를 정의함.
- ④ 자동모드 탭 : 자동모드에서 공급 유량을 설정함.

2) Pump 구동을 위한 프로그램 코딩

- ① 개발된 전용 Pump 제어를 위한 Motor Mode 초기화 코딩

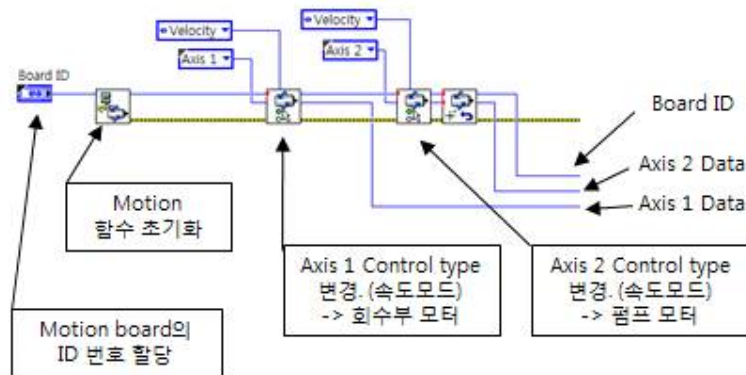


그림 66. LabVIEW의 Motion controller 사용을 위한 초기화 코딩

- ② Pump 자동모드에서 동작 On 명령에 의한 Motor 속도 및 가속도 정의 그리고, Motor 회전 시작 명령어 코딩 완료

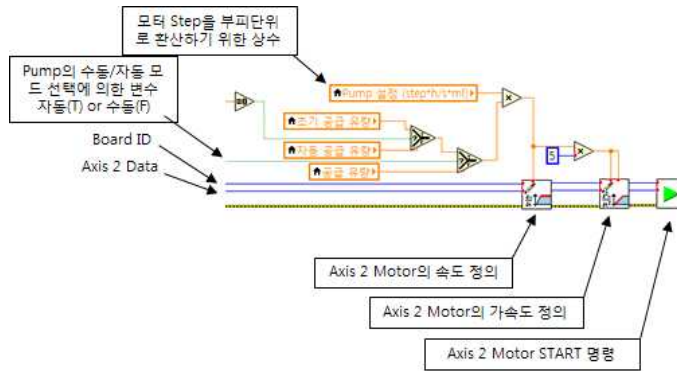


그림 67. Pump On 명령에 의한 Motor 동작 코딩

- ③ Pump 수동모드에서 전진, 후진 버튼에 의한 동작 및 속도 선택에 대한 프로그램 코딩 완료

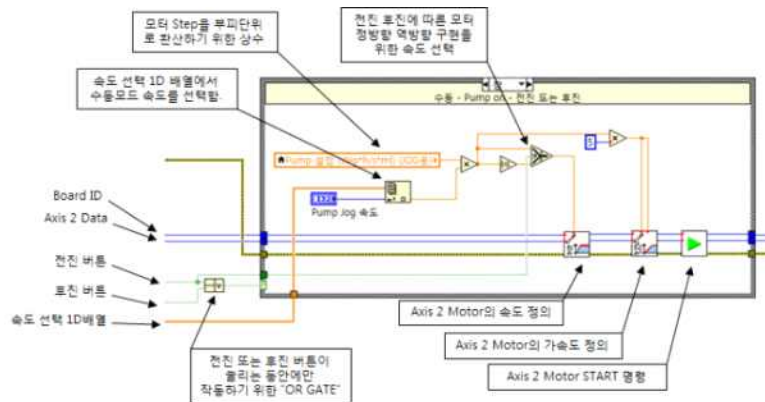


그림 68. Pump 수동 모드에서 전진, 후진에 의한 모터 구동 코딩

- Lab type 전기방사 장치의 통합 제어 시스템 개발 완료
- 시스템 통합 제어 레이아웃 구성 완료

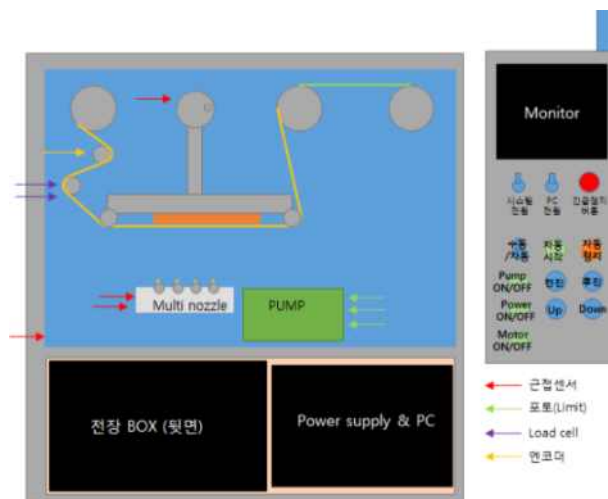


그림 69. Lab type 전기방사 장치의 통합 제어 시스템 레이아웃 구성 완료

- ▶ 설정된 속도로 필름 연속 공급을 위한 공급부 제어 시스템 구성
- ▶ 공급되는 필름의 장력을 유지하기 위하여 장력 측정 및 장력유지 시스템 구성
- ▶ Lab type 전기방사 시스템의 각 기구부 위치를 확인하기 위하여 위치 검출 센서 장착
- ▶ 각종 동작 버튼 Data 수집 및 User-Interface 구성
- ▶ 시스템 제어 구현을 위한 전장 시스템 개발
- 회수부 모터 제어를 위한 공급부 제어기 구성
 - ▶ 일정한 필름 공급 속도 제어를 위한 시스템 구성 완료

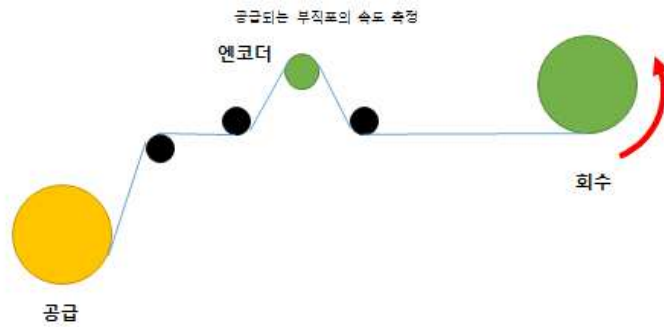


그림 70. 회수부 시스템 구조

- ① 회수모터가 회전하면서 지판에 연결된 필름을 공급시킴.
- ② 이때, 회수모터에 연결된 회수지판은 회전량이 커질수록 지름이 커져 회전속도를 감소해야함.
- ③ 감속되는 속도를 제어하기 위해, 엔코더를 적용하고 엔코더 Data를 이용하여 회전 모터의 속도를 PID 제어를 통하여 제어함.

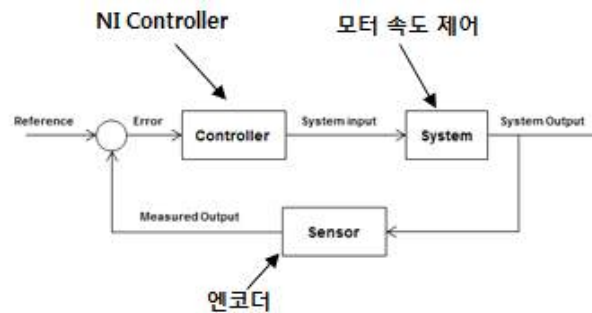


그림 71. 속도 제어를 위한 Close Loop 적용

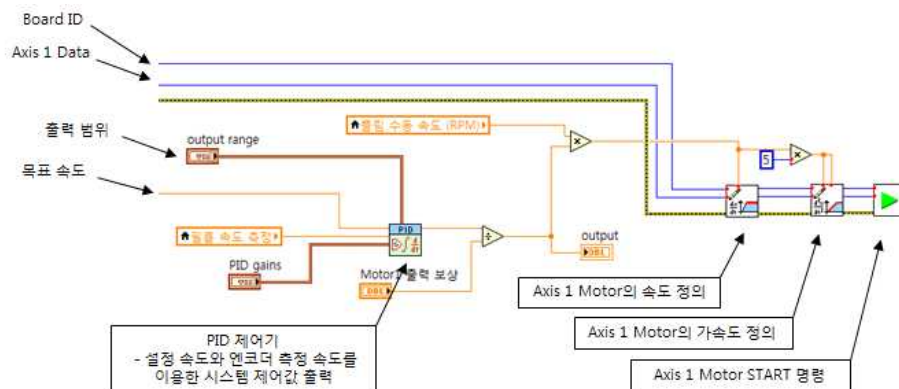


그림 72. 모터 속도 제어를 위한 LabVIEW program 코딩

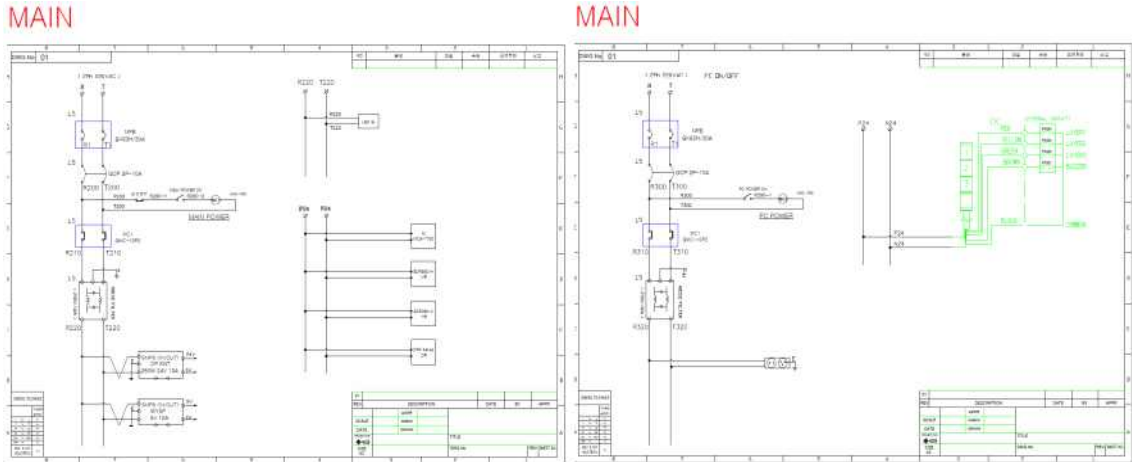


그림 76. Main 전기 공급 관련 전장 회로 설계 완료

2) 회수부 및 Pump에 장착된 Motor 구동을 위한 각 모터 드라이버에 따른 전장 회로 설계 완료

- ① NI board(NI7390)에서 MPB-42L 모터 드라이브와 연결을 위한 회로 구성
- ② Axis 1, 2 모두 Pulse type 제어 방식을 이용
- ③ Axis 2번 Pump는 F&R Limit 및 Home 사용함.

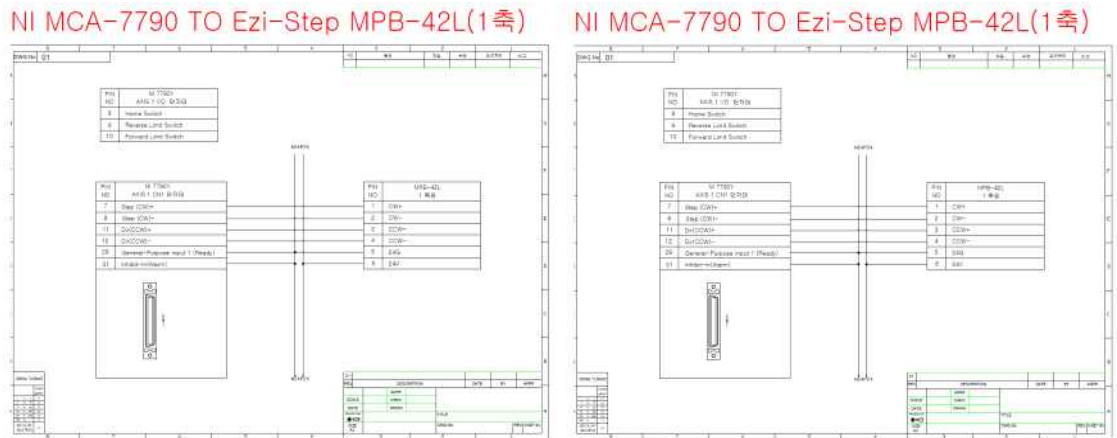


그림 77. 설치된 2개의 모터 제어를 위한 전장함 회로 설계 완료

3) 시스템 신호 수집 및 제어를 위한 AIO & DIO board부 전장 회로 설계 완료

- ① NI 신호 수집 및 제어 보드(NI 6321)를 이용
- ② NI PCIe-6321 스펙
 - Analog Input : 16ch (16bit, 250kS/s)
 - Analog Output : 2ch (900kS/s)
 - Digital In&Output : 24ch

NI 6321 단자대 (com이 없음)

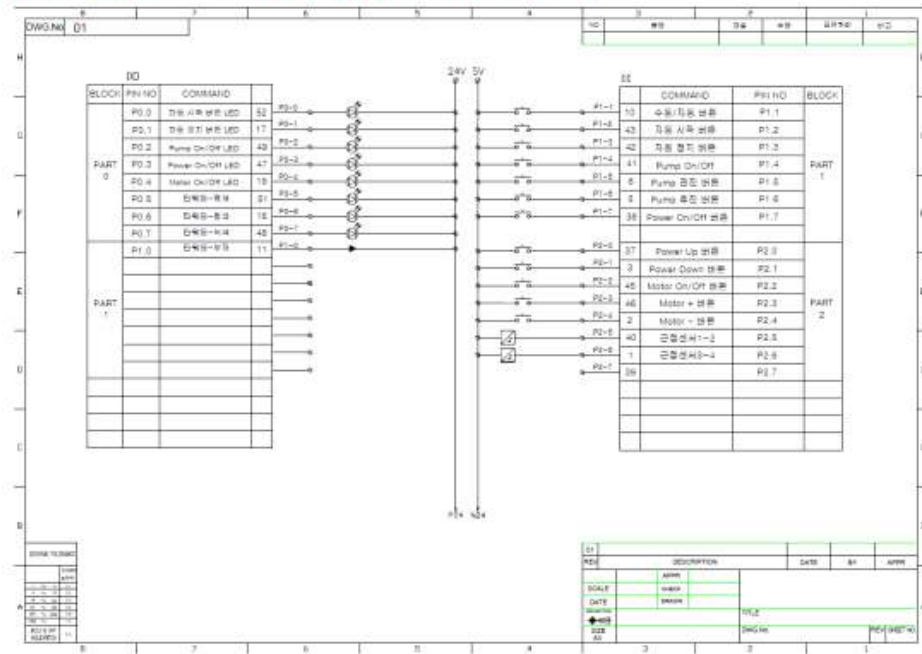


그림 78. 각종 IO 신호 수집 및 제어를 위한 AIO & DIO board 관련 전장함 회로 설계 완료

▶ 전장부 제작 완료

Main 전원 관련
Input : 220V 60Hz
Output : 24V SMPS, 5V SMPS
전류 차단기, 노이즈필터 등 장착

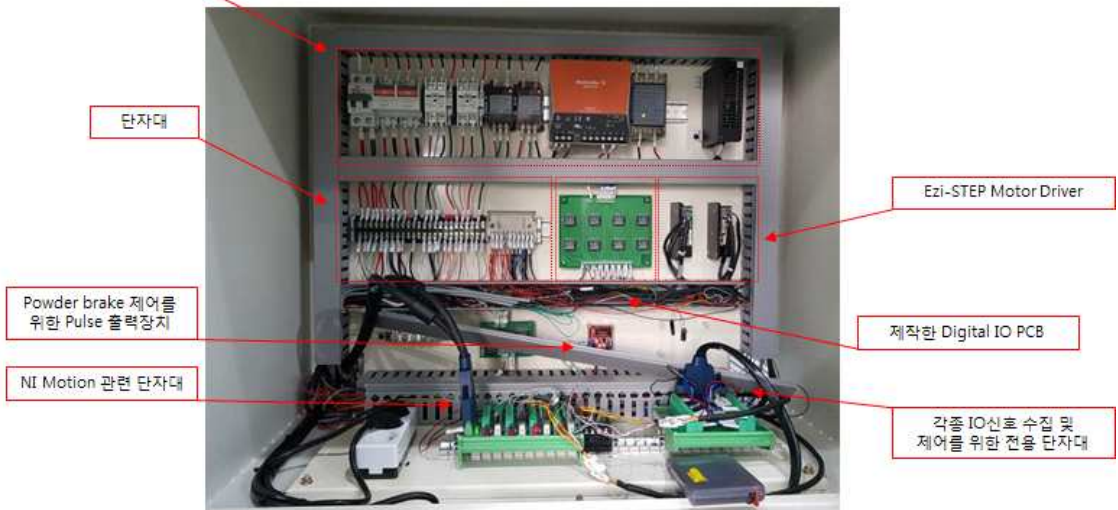


그림 79. 제작 완료된 전장부

- 통합 제어 시스템 개발 완료
 - 시스템 구성을 위한 통합 제어 레이아웃 구성 완료

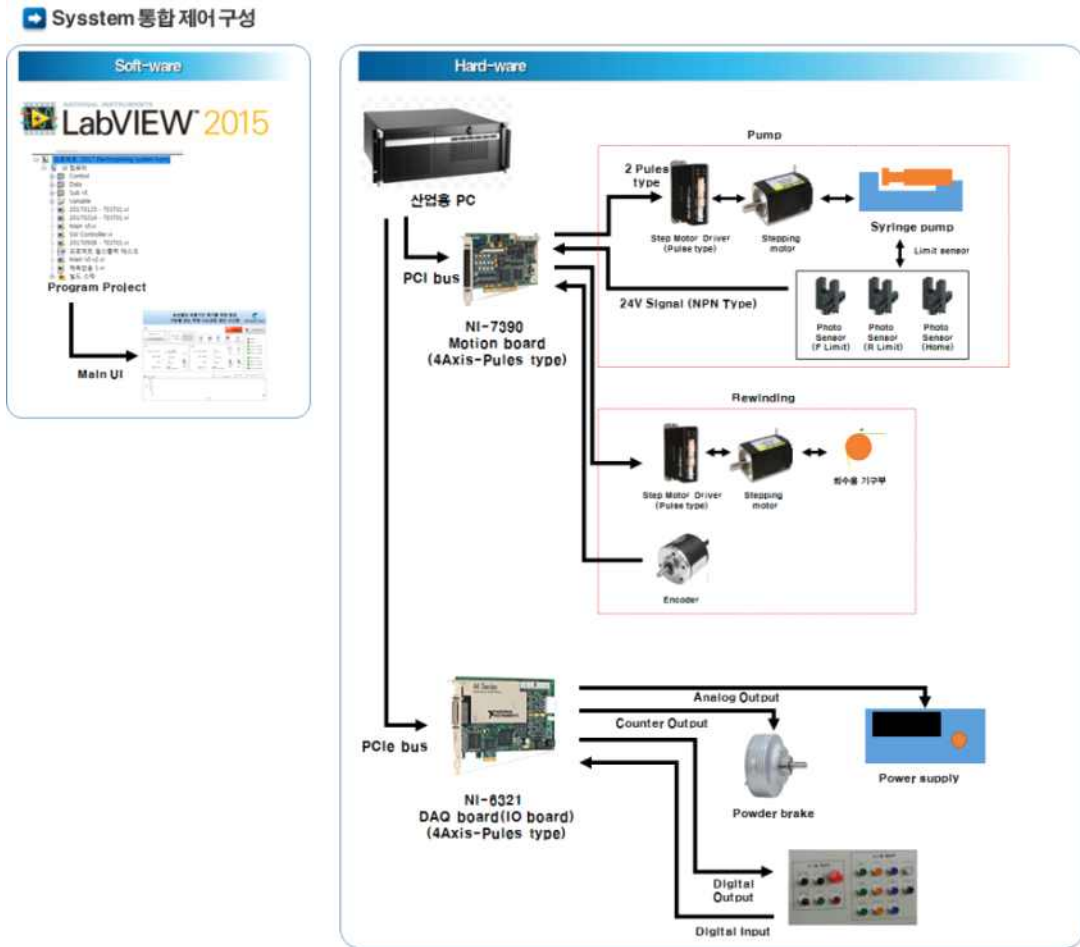


그림 80. 통합 제어 시스템 구성 완료

- 통합 제어 시스템이 적용된 Lab Type 전기방사 장치 개발 완료
 - ▶ 개발 완료된 Lab Type 전기방사 장치

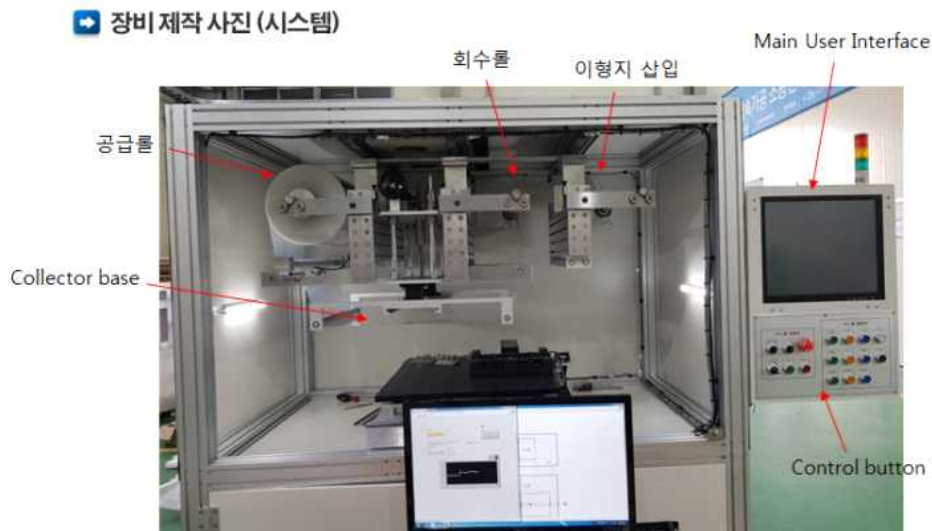


그림 81. 개발 완료된 Lab Type 전기방사 장치

▶ 외부로 돌출 가능한 구조 적용완료 및 공급부&Collector base

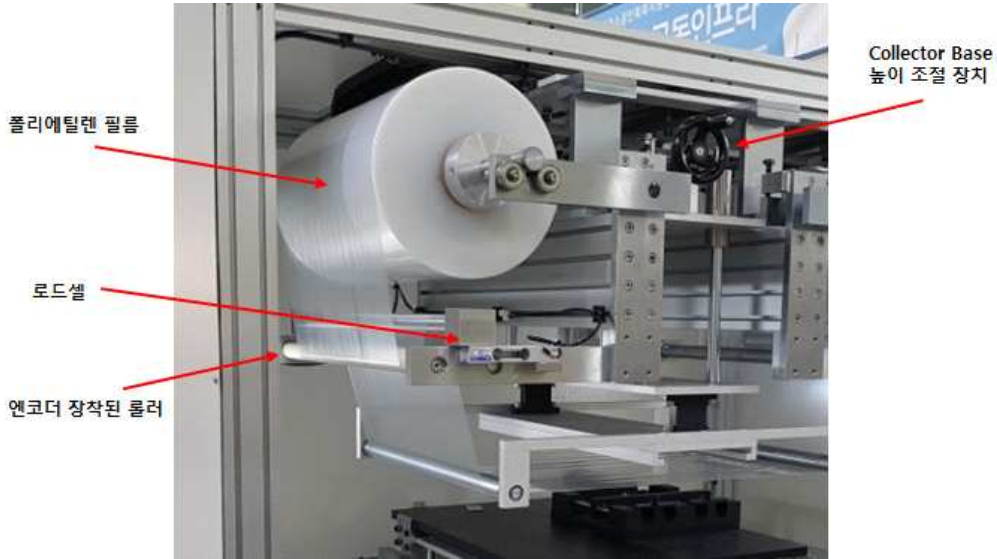


그림 82. 외부로 돌출 가능한 구조 적용 완료

- ① 롤러 교체 및 편리한 유지보수를 위하여 외부로 돌출 가능한 구조 적용 완료
- ② 돌출 가능한 거리 : 250mm
- ③ 방사 거리 조절을 위한 Collector base 높이 조절 장치 적용 완료
- ④ 이를 이용한 방사 거리별 실험 진행 가능

㉔ 포장 필름 생산을 위한 양산기술이 적용된 고속전기방사 시스템 개발

- 포장을 위한 나노섬유 생산 가능한 전용 고속 전기방사 장치 시스템 설계
 - 나노섬유가 코팅된 포장지 생산을 위한 양산성이 확보된 전용 전기방사 장치 설계
 - Roll to Roll 형태로 이형지 필름위에 나노섬유를 코팅하여 필름을 생산할 수 있는 구조 설계
 - 공급되는 Roll에 작업자가 코팅하고자 하는 대상체를 삽입하여 직접 코팅



그림 83. Roll to Roll 구조로 필름을 공급할 수 있는 구조의 설계 완료

- Cylinder type의 Multi nozzle 나노파이버 발생장치 개발
- 양산형 고속 전기방사 장치에 적용 가능한 전용 어답터(Adopter) 제작
 - ① 6개의 Cylinder type Multi-nozzle 고정 가능한 구조 적용
 - ② Nozzle tip 교체 가능한 구조
 - ③ Cylinder구조에서 양쪽에서 고분자 솔루션 공급되는 구조

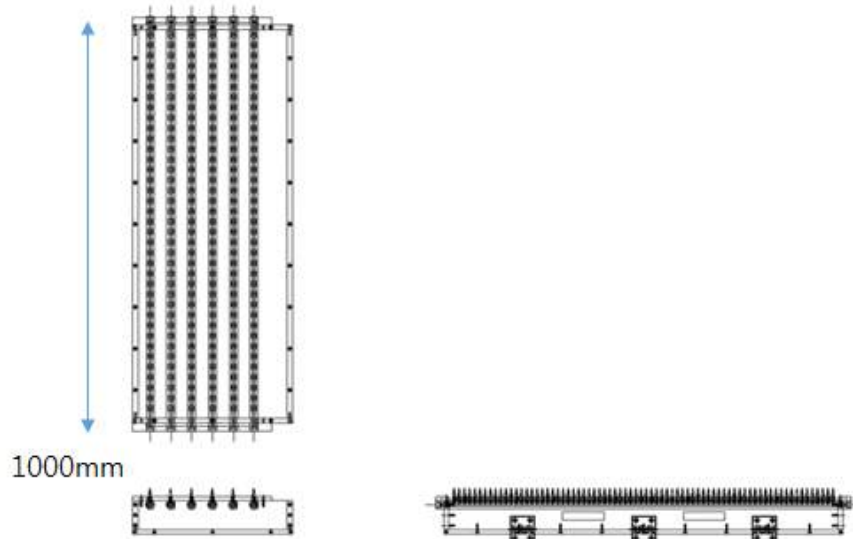


그림 84. 양산형전기방사 장치에 적용하기 위한 전용 Cylinder type Multi nozzle 설계 완료

- Cylinder에 연속적으로 솔루션이 토출 가능한 구조 및 Taylor con 발생 유도를 위한 토출부 설계
 - ① 전기방사 장치에 설치되는 Cylinder type의 Multi-nozzle이 교차 구조로 최적의 Taylor con이 발생할 수 있도록 함
 - ② 3차년도에 노즐 간격에 따른 나노섬유 특성에 대한 실험 진행 후 최적 노즐 제작 진행 예정

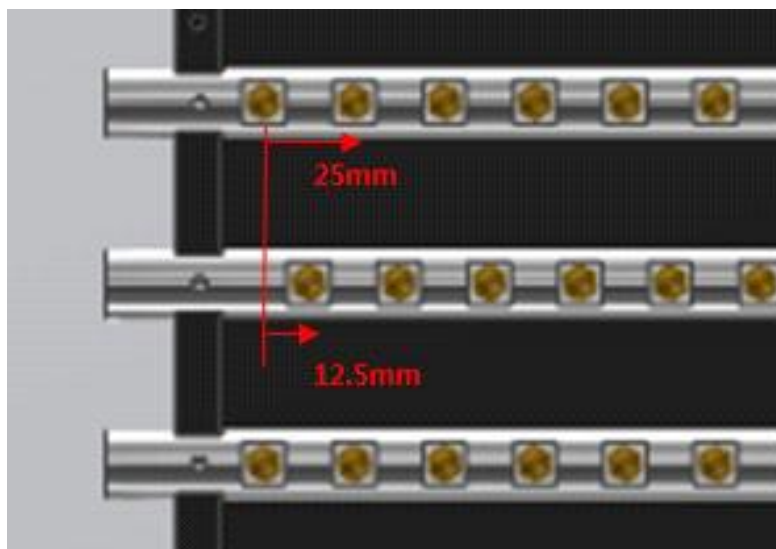


그림 85. Cylinder type Multi-nozzle의 토출부 교차 구조

- 고 전압 인가에 따른 외부 기기 간섭 최소화를 위한 나노파이버 발생장치 전용 Jig 제작
 - ① 절연소재 적용
- 솔벤트에 의한 부식 방지를 위한 소재 적용 검토
 - ① Cylinder제작시 Stainless-steel 적용.
 - ② Aluminum 소재의 경우 산화피막 코팅 진행
 - ③ 기계적 강도 고려하여 MC 소재등 플라스틱 계열 소재 적용 검토

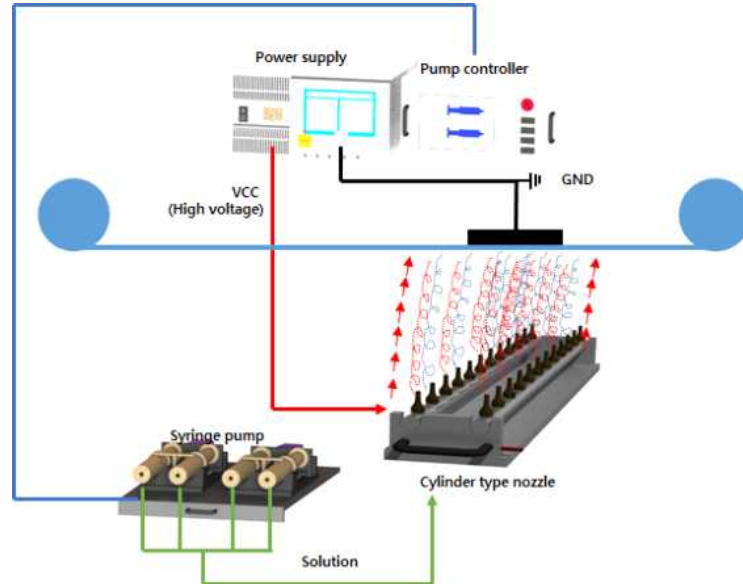


그림 35. Cylinder type의 Multi-nozzle 적용 예

- Cylinder type의 Multi nozzle 전기장 해석 검토 완료
 - COMSOL Multiphysics®의 Electrical AC/DC Module을 이용한 전기장 해석 진행
 - 1차년도에는 1개의 Multi nozzle 해석 진행 하였으며, 2차년도에는 실제 적용되는 총 4개의 Multi-nozzle 이용한 해석 진행 후 전기장 분포에 대한분석 진행 완료
 - ▶ Multinozzle에 약 30kV의 전압을 인가후 Collector base에 Ground 연결하여 전기를 방전시키고, Nozzle과 Collector 사이에서의 전기장 방향 및 세기를 분석함.

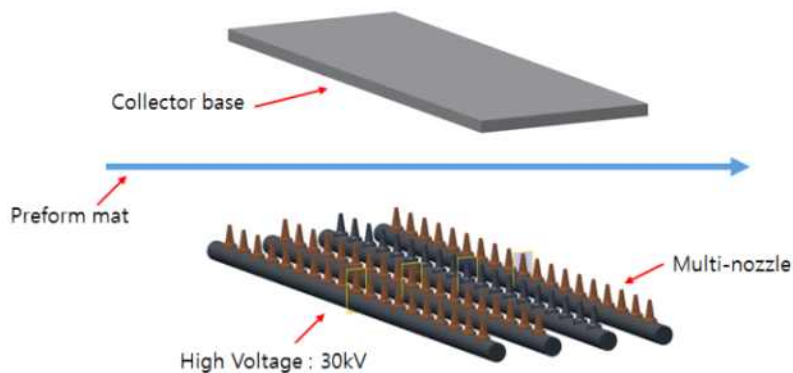


그림 87. 전기장 해석을 위한 모델 구성

▶ 해석 경계 조건 입력

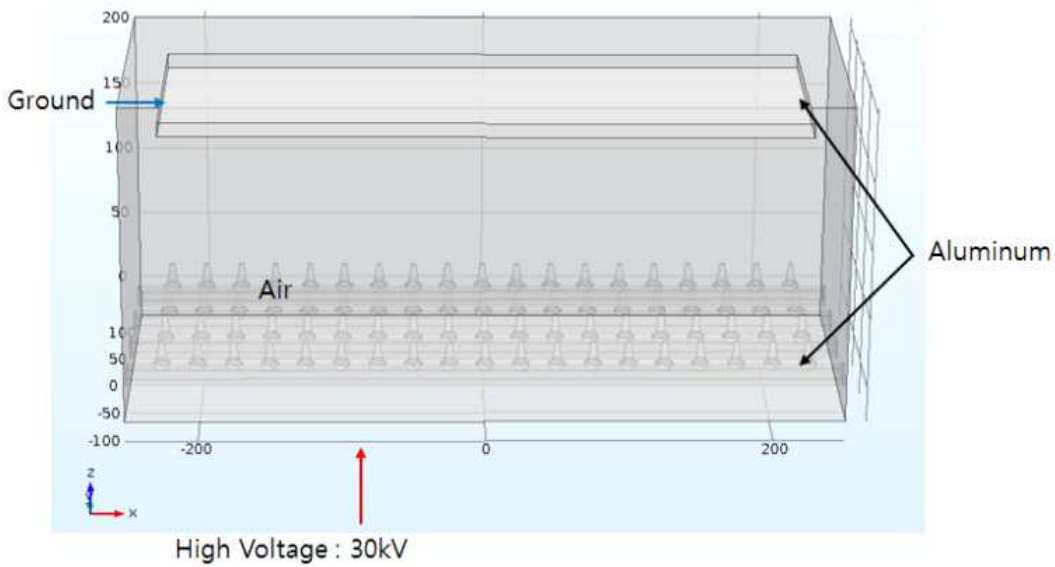


그림 88. COMSOL Multiphysics의 전기장 해석 조건 입력

▶ 전기장 해석 결과

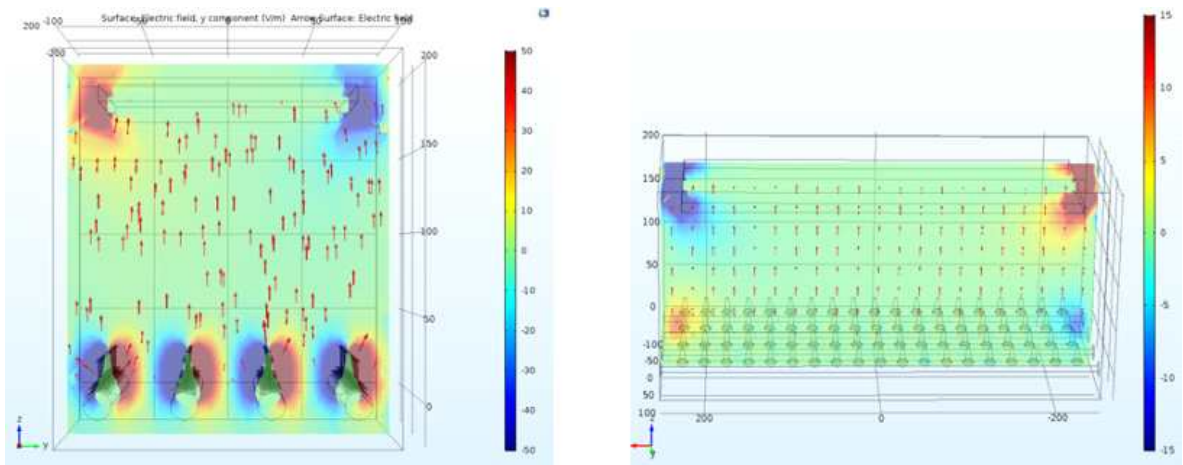


그림 89. 전기장 분석 결과 정면(좌), 측면(우)

① Collector base 방향으로 전기장이 형성되어 있으며, 노즐의 거리가 가까울수록 전기장의 간섭이 발생한다.

- 개발한 Cylinder type의 Multi nozzle에 고분자 솔루션 공급을 위한 전용 Pump system 개발
 - 맥동 없는 솔루션 공급을 위한 전용 pump 개발
 - 연속 생산을 위한 대용량 syringe pump 및 전용 syringe 제작

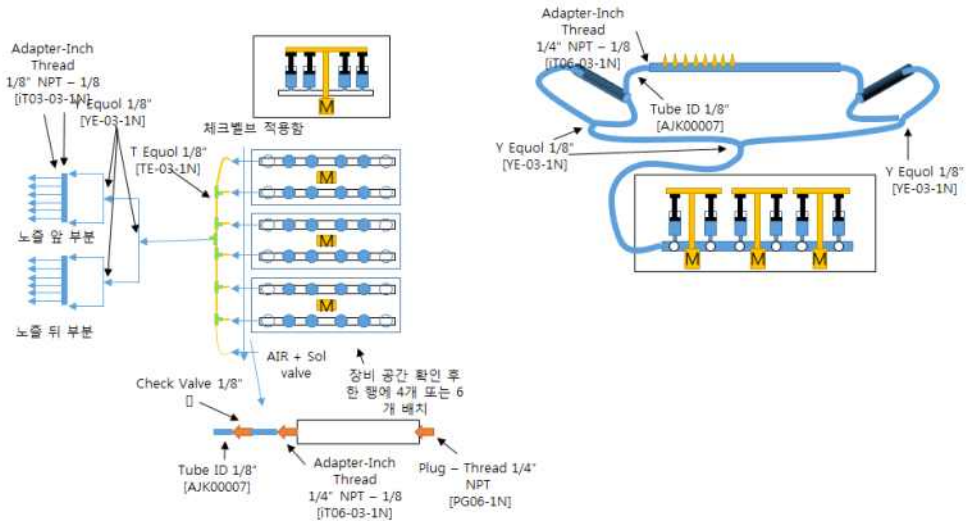


그림 90. 맥동없이 연속 공급 가능한 구조의 Syringe pump 레이아웃 구성 완료

- 고전압으로부터 회로 보호를 위한 전용 Bracket 제작

- 고전압 및 연속 공급이 가능한 구조의 설계 완료
- 절연소재를 이용한 분리 가능한 구조 설계
- 범용 실린지(일회용)를 이용하여 편리한 수급 및 내구성에 대한 문제 해결
 - ▶ PEEK소재를 이용하여 제작하는 경우, 개당 가격이 매우 비싸 현실성이 없음.
 - ▶ PEEK Syringe 예상 가격 (200ml 사이즈) : 250만원
 - ▶ 소모성 50ml 일회용 Syringe 가격 : 1200원 -> 200ml 기준으로 500배 차이남.

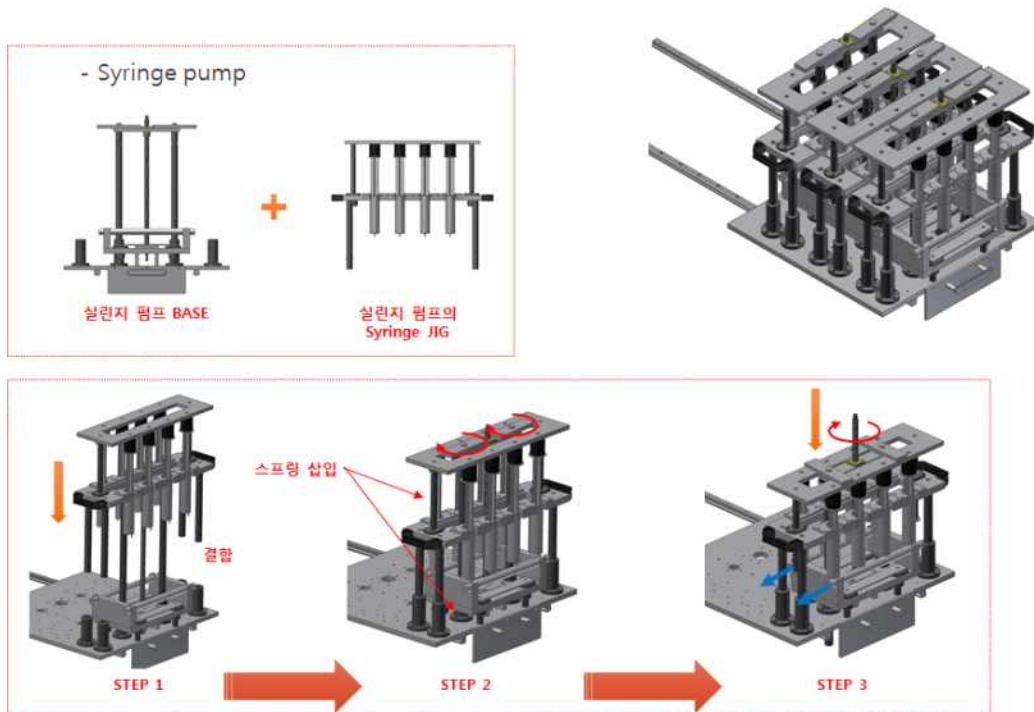


그림 91. 연속공급이 가능 구조의 전용 Syringe pump 설계 완료

▶ 테스트를 위한 1Set 제작 진행

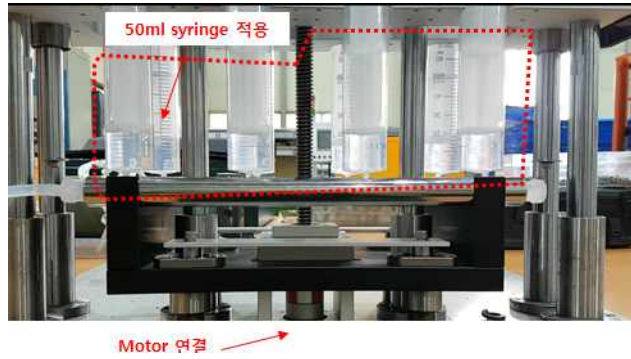


그림 92. 연속 공급 가능한 전용 Syringe pump 1Set 제작하여 TEST 진행

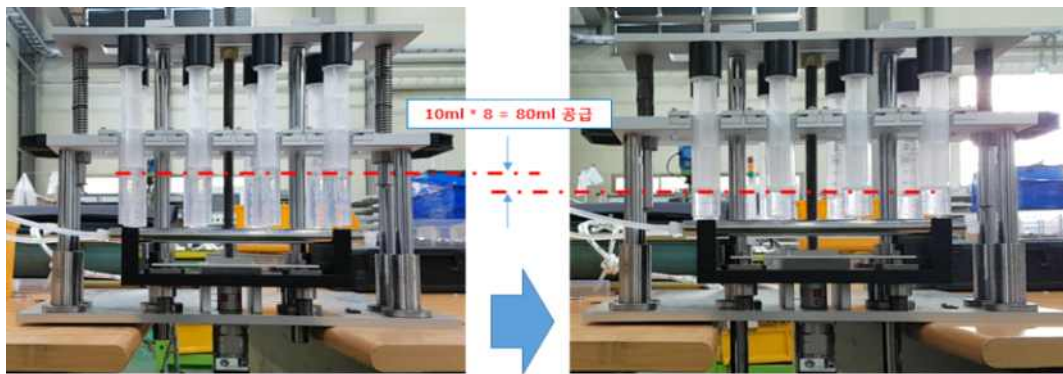


그림 93. 연속 공급 가능한 전용 Syringe pump 공급 테스트

▶ 성능확인을 위하여 개발된 Lab Type 전기방사 시스템에 연결하여 실험 진행 완료

- ① 고분자 솔루션 공급 문제없음
- ② 누수없음
- ③ 30kV 인가 하였는데 문제없이 전기방사 진행됨
- ④ 양산형 장치에 적용 가능할 것으로 판단되며, 3차년도에 장비 적용하기 위한 Syringe pump 제작 진행

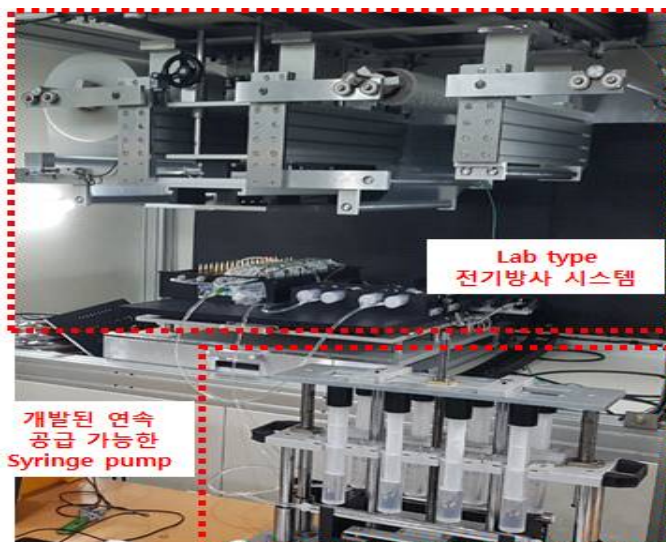


그림 94. Labtype 전기방사 시스템에 연결하여 테스트 진행

③ 3차년도 : 농산물 포장용 투명 나노섬유 제조장치 시스템 최적화 개발

㉠ 폭 1m 양산형 전기방사 장치 제작 완료

■ 나노섬유 필름 제조 가능한 양산형 고속전기 방사 시스템 개발

- 2차년도에 설계 전기방사장치의 시스템 최적화를 위해 기구부 개선 및 수정 완료

- 검증된 3D 모델링의 가공성 및 조립성 등을 기반으로 설계 Data 진행 및 제작

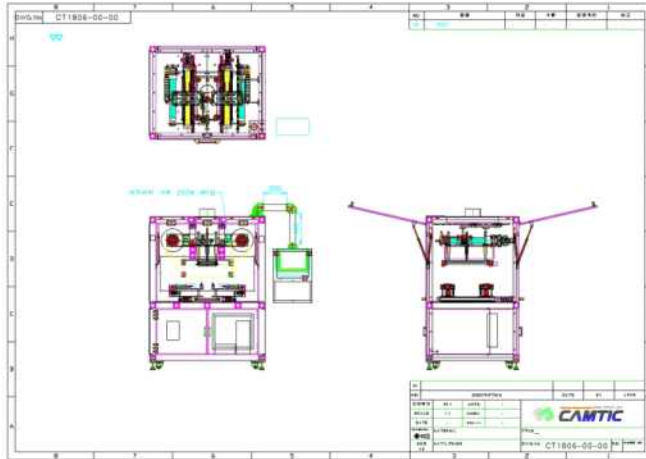


그림 95. 나노섬유 제조장치 최적화 개발을 위한 폭 1m 양산형 전기방사장치 레이아웃



그림 96. 나노섬유 제조장치 양산형 전기방사장치 개발

- 기구부는 조립성을 높이기 위해 앞뒤 개폐형 도어로 설치하여 Roll to Roll 방식과 노즐 청소 및 관리가 용이하도록 설계
- 정면 도어 방사부 전면은 아크릴 처리하여 전기 방사 과정을 관찰가능하도록 설계
- 옆면은 눈높이에 맞추어 아크릴 처리하여 Roll의 위치와 원단의 상태를 확인 가능

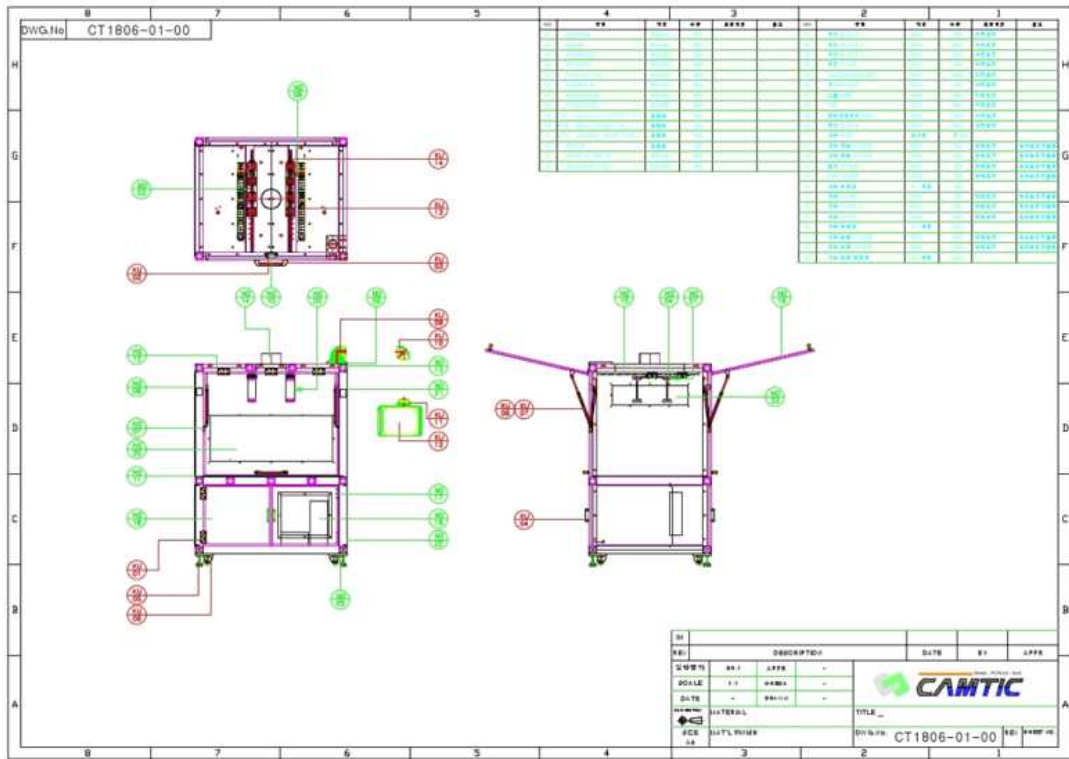


그림 97. 조립성을 높은 기구부 설계



그림 98. 개폐형 도어 및 아크릴 전면부를 적용한 기구부 제작

- Roll to Roll type 포장지 제조를 위한 전용 나노섬유 필름 생산 가능한 시스템 개발
 - Lab Type 시스템을 통하여 양산형 장치의 변수 수정
 - 엔코더를 이용한 피드백 제어를 통해 텐션 제어 시스템 구성
 - 균일한 나노섬유 제조를 위한 Air 공급 장치 추가
 - 식품포장지 규정을 만족하기 위한 적용 소재 변경, 설계 변수 수정 및 전기방사 장치 제작
 - 공급되는 필름에 맞추어 에어샤프트 인치 조절 위해 분해조립 가능한 형태로 제작

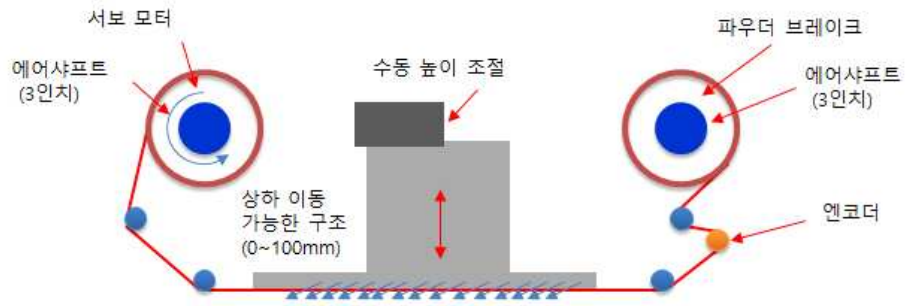


그림 99. Roll to Roll type의 고속 전기방사 장치 개발 레이아웃

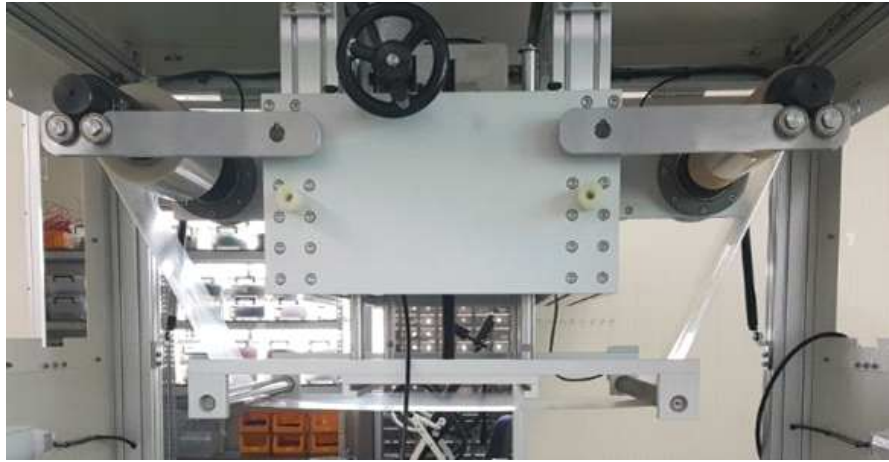


그림 100. Roll to Roll type 장치 제작

- 공급 필름의 크기에 맞추어 'Ø55', 'Ø75' 로 분류하여 제작함
- 공급 필름 크기가 변경되면 크기에 맞추어 추가 제작 가능하도록 구성

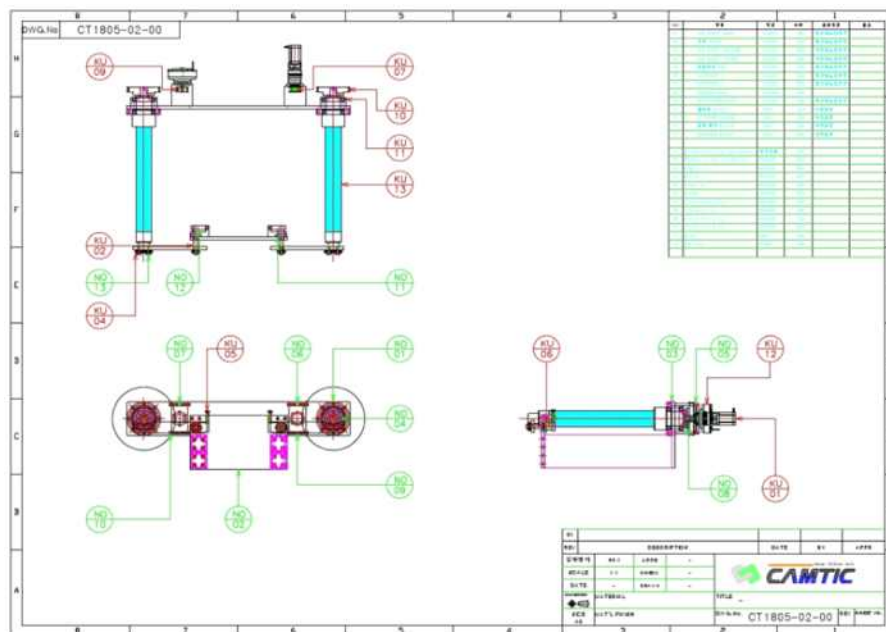


그림 101. 분리가능한 Roll to Roll 방식 설계

분리 가능타입

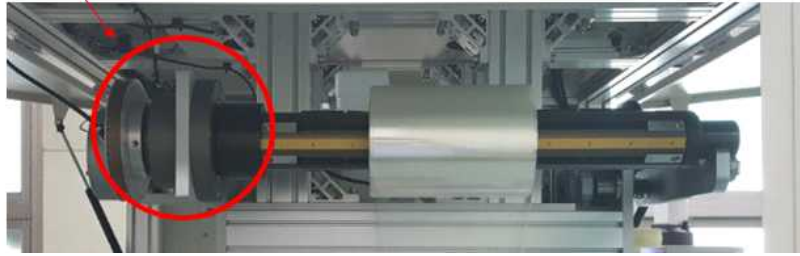


그림 102. 분해조립 가능한 타입의 에어샤프트를 이용한 필름 공급부



그림 103. 분해조립 가능한 타입 공급부 제작

- Roll to Roll type 포장지 제조를 위한 Collect base 구조 설계 및 제작
- Collect base는 전기방사 조건을 변경 가능하도록 설계
- 휠로 높낮이를 조절하며 웜기어를 이용하여 콜렉터 베이스의 낙하를 방지함
- 조절 높이는 노즐로부터 150~300mm 거리 조절이 가능함

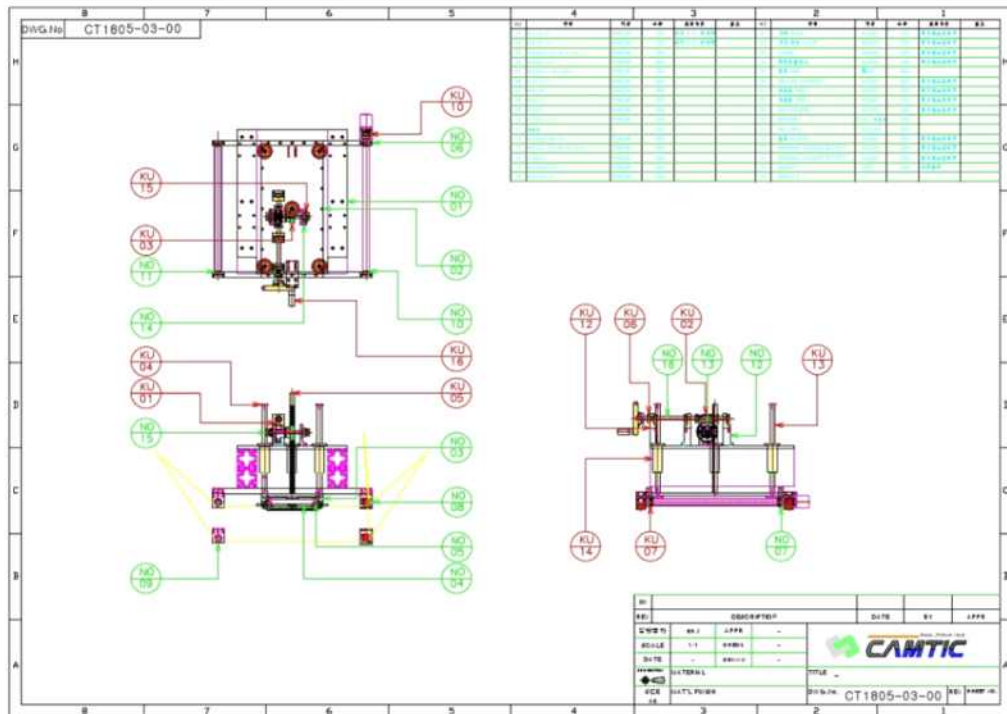


그림 104. 높이 조절 가능한 Collect base 구조 설계

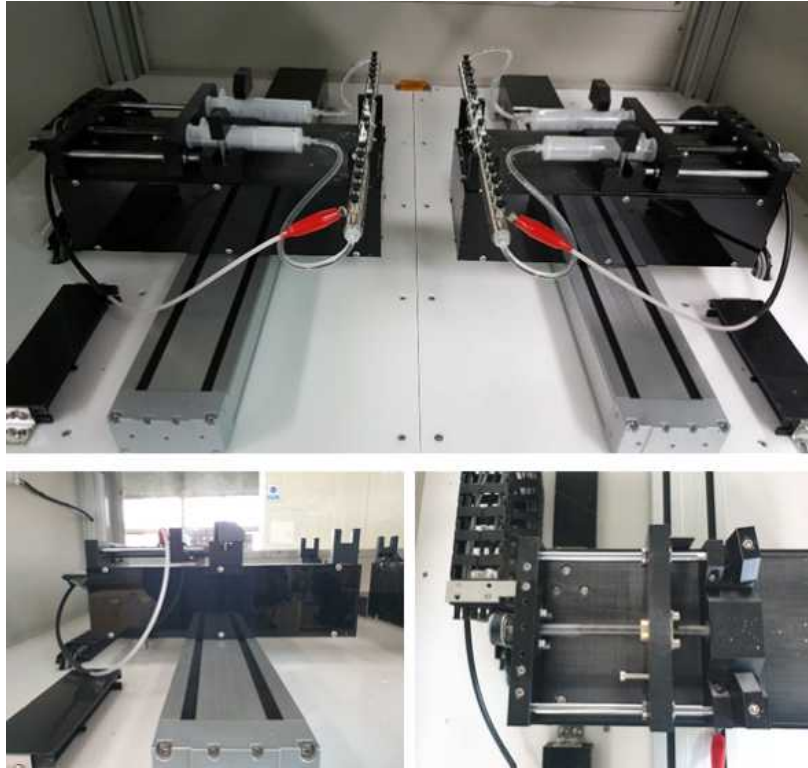


그림 107. 고속 전기방사를 위한 펌프 통합형 시스템 개발

- 전용 Nozzle 방사 조건을 위한 DC Power supply 개별 공급
 - 1차년도 방사 조건 검증을 통해 노즐간 거리에 따라 전압 강하가 발생함
 - 또한, 교차 운동으로 인해 Nozzle은 고정되지 않아 전원 공급부 끝단을 연결하기 불가능한 구조
 - 전원 케이블은 고전압이기 때문에 병렬식 케이블로 제작시 누전의 위험이 발생함
 - DC Power supply를 Nozzle 별로 공급하는 방식

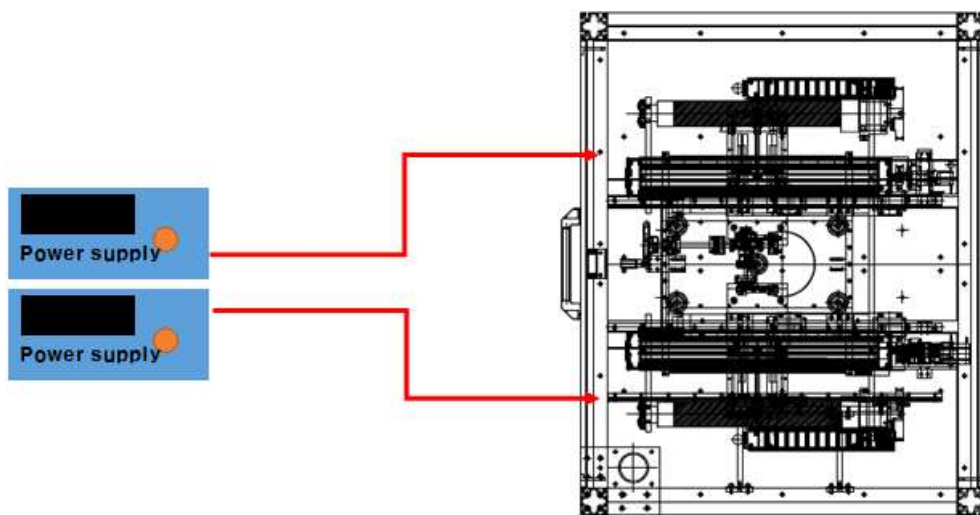


그림 108. Nozzle별 DC Power supply 공급



그림 109. DC Power supply 개별 동작

㉔ 통합제어시스템 구축

- 양산형 나노섬유 제조를 위한 전용 통합 제어 시스템 구축
- Roll to Roll을 이용한 나노섬유 필름 생산 시스템 통합 제어
 - 균일한 Rewinding을 위한 텐션 제어 컨트롤 알고리즘 및 회로 구성
 - HOME 검출 후 Zero 이동을 위한 설정값 지정
 - 모터는 시계방향이 '+'임
 - 연결되는 직교축에서 시계방향으로 회전시 이동되는 방향에 Forward limit 설치함

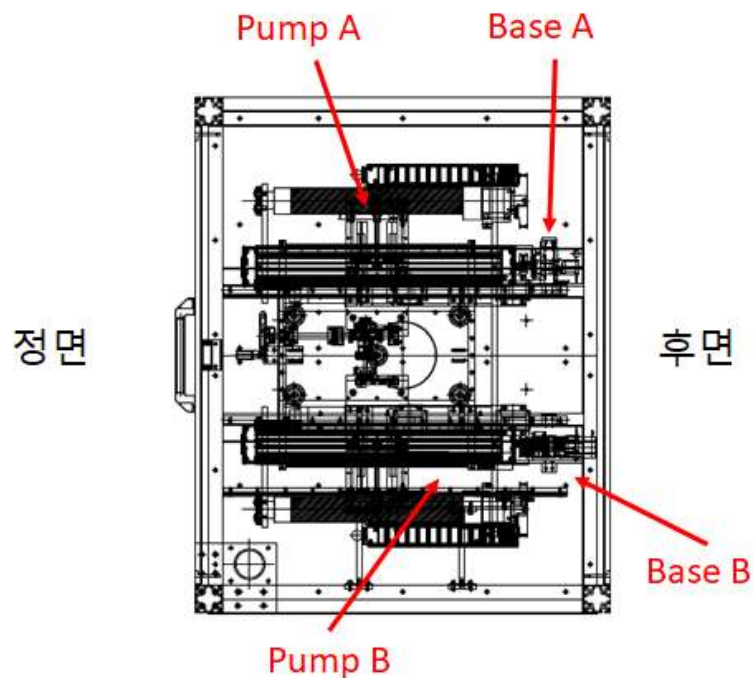


그림 110. 통합제어시스템 구축을 위한 HOME 설정

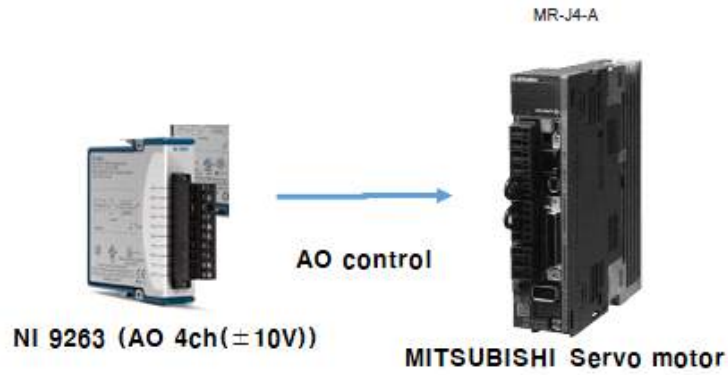


그림 111. Roll to Roll 제어 컨트롤용 Servo motor

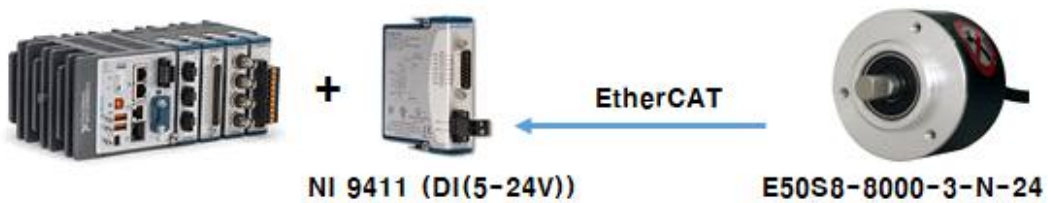


그림 112. Roll to Roll을 이용한 필름 생산 시스템 통합 제어

- 엔코더 펄스 : 1회전 32,000step
 - 롤러 지름 : 30mm
 - 최소 필름 이동속도 : 50mm/min(283step/sec)
 - 필름 이동속도의 안정적 제어를 위해 약 3배수 증가
- 개발한 전용 Pump와 DC Power Supply 통합 제어
- FASTEC Step Motor 적용(왕복이동기구 : 1EA, 총 2EA)
 - EtherCAT 통신을 이용한 전용 Pump 제어
 - Servo Motor에 신호는 N24로 입력하여 릴레이를 추가함
 - NI보드에서 P24 출력을 위해 NPN Type 회로로 구현함



그림 113. 나노섬유 제조를 위한 Step moter 제어(펌프 모터)



그림 114. 전용 Pump 및 DC Power Supply 통합 제어 시스템

- 적용 모터에 따른 각 기구부 속도 정의

정의		구동부(Y Axis)	Pump	공급(회수부)
기구부 정보	감속비	5:1	50:1	50:1 (플리비 3:1)
	피치	10mm	2mm	5:1
속도범위		0.03~50mm/s	0.18~271ml/h(10ml) 0.43~655ml/h(50ml)	0.009~2669mm/min(R:85mm) 31.4~9420mm/min(R:300mm)

㊤ 시스템 운영을 위한 전용 프로그램 개발

- 양산형 고속전기방사 시스템 전용 프로그램 개발

- 기능 구현

- 초기 Host 프로그램 시작시 무조건 초기화 진행함
- Y-Axis(방사부 Nozzle) 초기화시 기구 충돌 검토
- 기구적으로 해결하기 위해 Home 검색 위치를 충돌하지 않는 위치부터 시작함

RT 구조

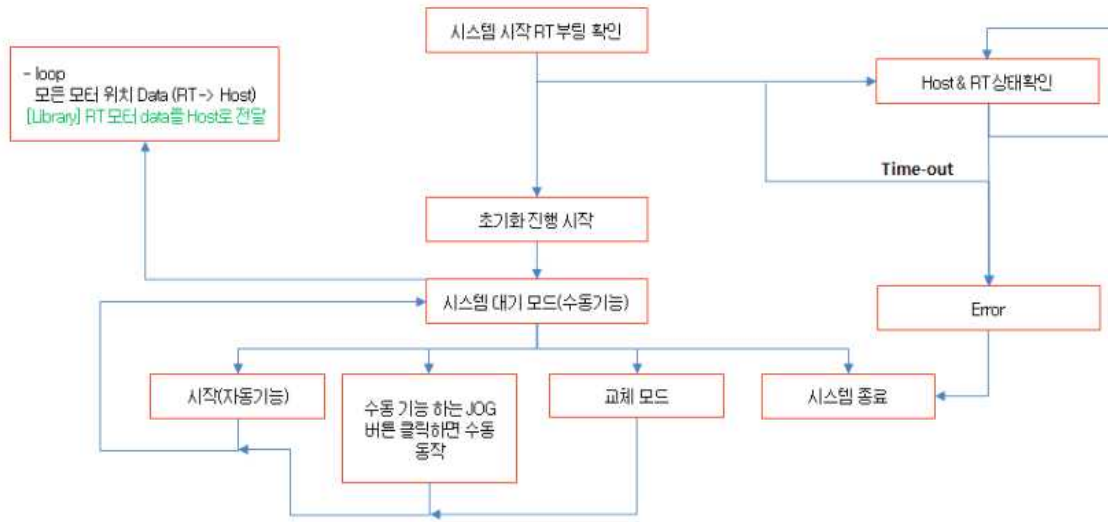


그림 115. 프로그램 Flow chart

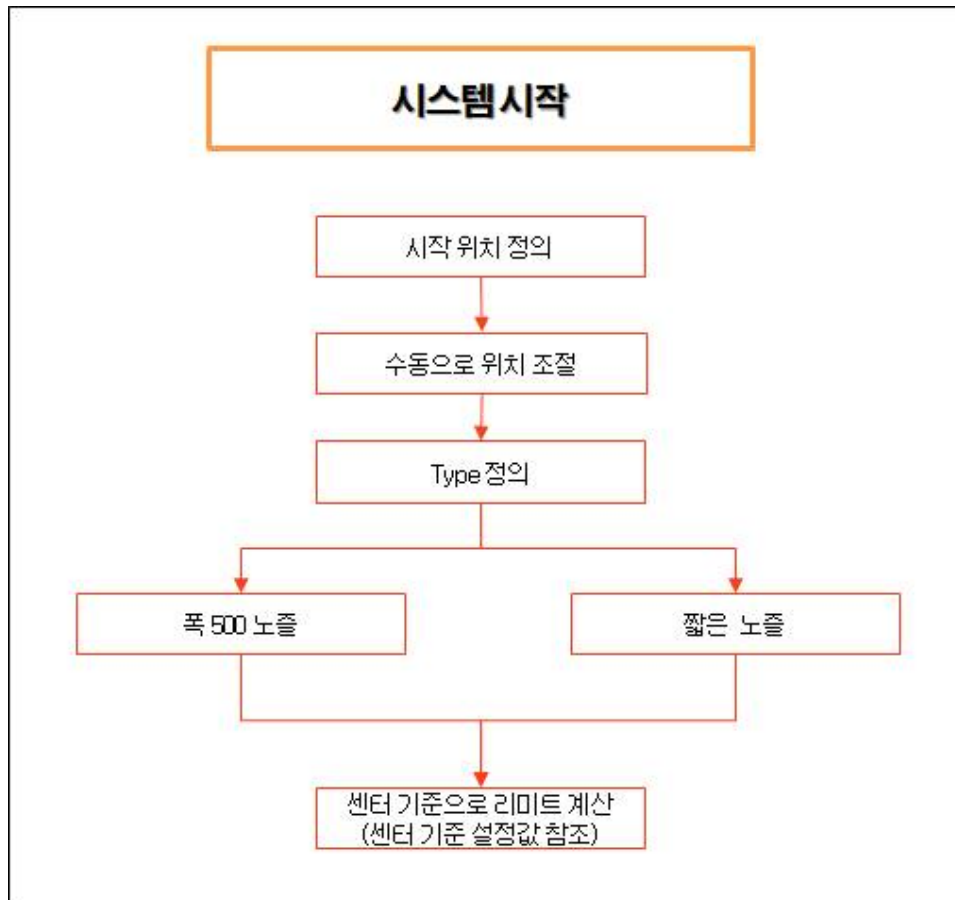


그림 116. Y-Axis(방사부 Nozzle) 구동 관련 알고리즘

- 메인 조작



그림 117. 메인 컨트롤러 구성

- ① 터치스크린 모니터 : 장치의 운전 및 설정, 상태 확인
- ② 공급 필름 텐션 유지 장치
- ③ 시스템 전원부
 - 시스템 전원 : 장비의 전체 전원 공급 스위치 (PC 제외)
 - PC 전원 장치 : PC, 모니터에 전원 공급 스위치
 - HI-VOLT : 파워서플라이의 전원을 공급하는 스위치
 - 운전 버튼 : 전기방사 진행 시작 버튼
 - 정지 버튼 : 전기방사 장치 정지 버튼

- 메인 UI

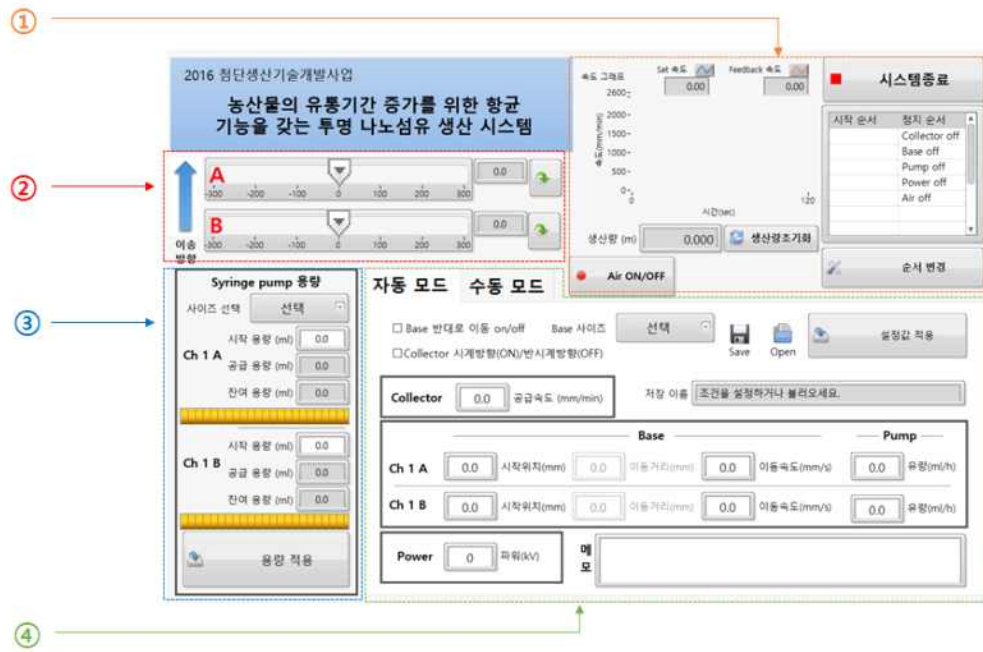


그림 118. 운영 프로그램 Main UI

- ① 시스템 정지 & 속도 측정 & 동작 순서 정의
 - 시스템 정지 : 프로그램 종료 버튼
 - 속도 측정 : Roll to roll 시스템의 필름 이송 속도 측정 및 생산량 표시
 - 동작 순서 정의 : “시작 & 정지” 버튼에 따른 각 기구부 동작 순서 정의
- ② Base 이송방향 및 위치 정의
 - Base A&B 기구부의 위치 Data 표시
- ③ 실린지 선택 및 용량 정보
 - 시스템에 설치되는 실린지 사이즈 선택 (사이즈는 설정에서 정의 가능)
 - Ch 1 A & B에 대하여 시작 용량 정의
 - 정의된 시작 용량과 시스템의 공급유량에 따라 공급용량, 잔여 용량 표시됨.
- ④ 자동/수동 모드 기능
 - 자동 모드 기능 활용 가능
 - 수동 모드 기능 활용 가능

- 자동 모드 메인 UI
- 1) Syringe 설정



그림 119. 자동 모드 메인 UI 확인하기

- ① Syringe 선택하기
 - 장비에 장착되는 실린지를 선택함. (실린지 용량)
 - Syringe 종류 변경 및 추가는 제 2장 운영 프로그램 - 4부가 기능 활용하기 - 가. 일반 사용자 변수 변경하기 - 2) 실린지 사이즈 변경 참조
- ② 시작 용량 입력하기
 - Ch 1 A&B의 시작 용량 입력 (단위 ml)
- ③ 용량 적용 버튼 클릭하기
 - 입력된 시작 용량 기준으로 공급용량 & 잔여용량을 표시함.
 - 공급유량 및 잔여 용량은 Pump의 이동 거리와 선택된 실린지의 사이즈에 따라 자동 계산된
- ④ Pump A&B 유량 입력

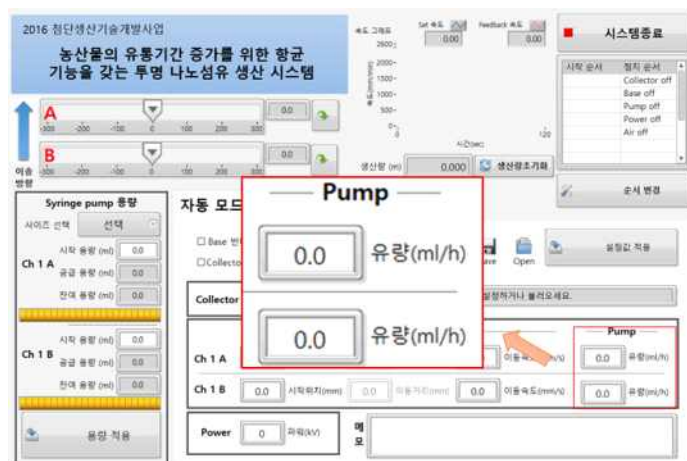


그림 120. 공급 유량 입력

- 실린지 펌프의 공급 유량을 입력함
- 입력된 공급유량단위로 Pump구동
- 입력 가능 범위 : 0~200ml

2) Base 설정

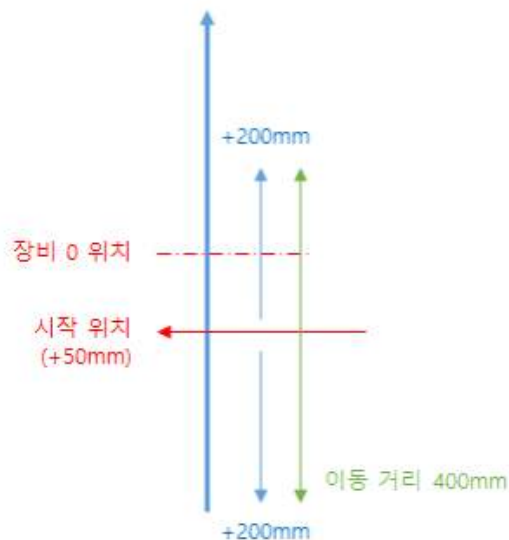
① Base 사이즈 선택하기



그림 121. Base 사이즈 선택창

- Base에 설치되는 Nozzle의 사이즈 설치
- Base의 크기에 따라 Base A&B의 시작 위치 및 이동거리가 제한됨.
- Base 사이즈 변경 및 추가는 제 2장 운영 프로그램 - 4부가 기능 활용하기 - 가. 일반 사용자 변수 변경하기 - 3) Base 종류 추가 및 리미트 변경 참조

② Base A&B 시작위치 입력



전체 장비 이동 가능거리

그림 122. Base 시작 위치 및 이동 거리 정의

- 반복 이동시 기준 시작 위치 정의
 - 필름 위치에 따라 조절하여 사용
- ### ③ Base A&B 이동거리 입력
- 반복 이동 하고자 하는 총 거리를 입력함.
 - 시작위치에서 (\pm 이동거리/2) 위치로 이동됨

- ④ Base A&B 이동속도 입력
 - 이동 속도 입력
- ⑤ Base B 이동방향 결정하기

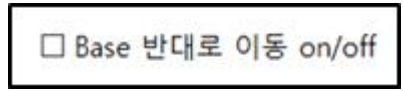


그림 123. Base 반대 이동 선택 아이콘

- Base A&B의 이동방향 교차 동작 사용 여부 결정

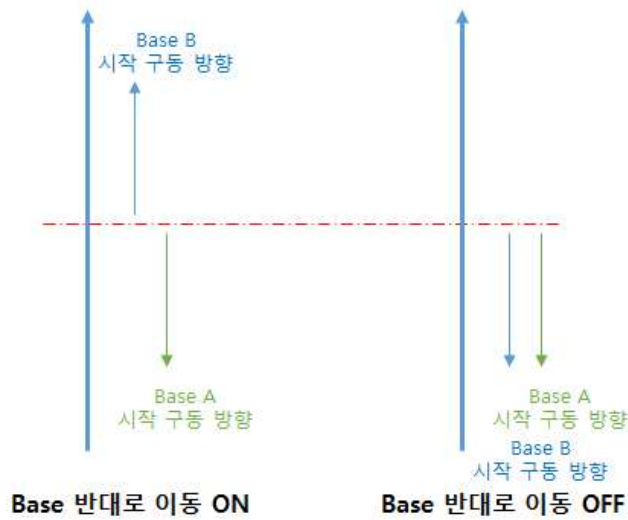


그림 124. Base 반대 방향 ON/OFF 에 따른 동작 순서

3) Power 설정

- ① Power 설정하기



그림 125. 파워서플라이 출력 전압값 입력

- 전기방사 출력 전압 값 입력
- 입력 범위 : 0~50kV

4) Collector 설정

- ① Collector 공급 속도 입력하기

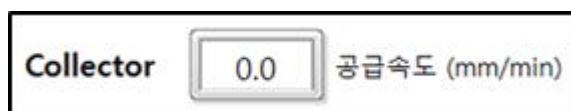


그림 126. Collector 공급 속도 입력창

- 필름 이송 속도를 결정함.
- 시스템에 장착된 엔코더를 이용하여 필름 이송 속도를 측정하여 피드백 제어함.

② Collector 회전 방향 선택하기



그림 127. Collector 회전 방향 결정하기

- Collector 회전방향 시계 또는 반시계방향 선택

5) 전기방사 진행중 변경 가능한 설정값

- Base A&B의 이동거리 및 이동속도
- Pump A&B의 유량
- Collector 공급 속도
- Power 출력 전압
- 변경후 "설정값 적용"버튼 클릭하여 적용 완료되어야 실제 시스템에 적용됨

• 수동 모드 메인 UI

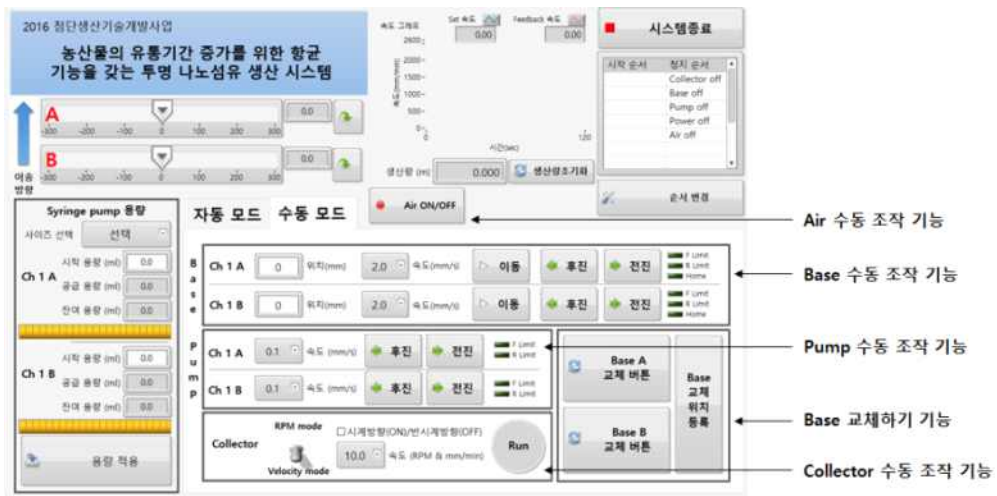


그림 128. 수동 모드 메인 UI 확인하기

1) Base 수동조작



그림 129. Base 수동조작 UI

① Base H/W Limit

- 기구부에 설치된 Limit 센서 신호 모니터링
- 시스템 초기화 및 기구 동작시 물리적인 Limit 신호
- 해당 시스템에 문제 발생시 초기 Homing이 불가능할 수 있습니다.

② 수동 조작 버튼 (후진/전진)

- Base A & B를 “④ 수동 동작 속도 지정”의 지정된 속도로 전진 또는 후진을 하기 위한 버튼

③ 지정 위치 이동 버튼

- “⑤ 수동 동작 위치 지정”에서 입력된 위치로 이동하기 위한 명령 버튼

④ 수동 동작 속도 지정

- 수동모드에서 Base A & B 사용시 속도 지정
- 사용자 설정에서 수동 속도 값을 변경 할 수 있음.

⑤ 수동 동작 위치 지정

- 일정 위치로 이동하고자 할 경우 이동하고자 하는 위치 지정값 입력

2) Pump 수동조작



그림 130. Pump 수동동작 UI

- Base 수동동작과 동일하게 Pump 수동 동작 하는 기능

3) Collector 수동조작

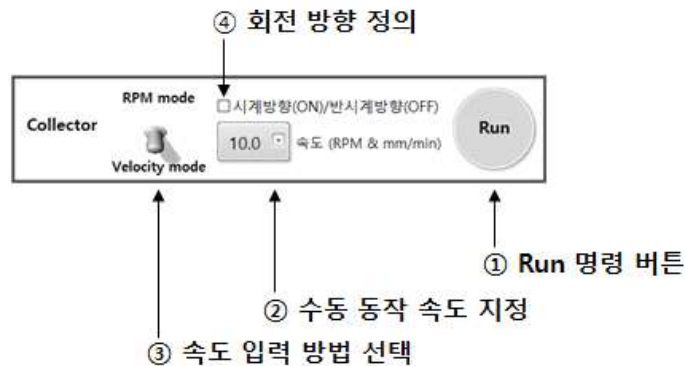


그림 131. Collector 수동동작 UI

① Run 명령 버튼

- Collector 동작 명령

② 수동 동작 속도 지정

- 수동속도 지정

- “③ 속도 입력 방법” 따라 단위가 변경됨

RPM mode	Collector의 이동속도를 회수부의 RPM으로 속도를 정의함. (RPM)
Velocity mode	Collector의 이동속도를 장착된 엔코더를 이용하여 피드백후 속도 지정 (mm/min)

③ 속도 입력 방법 선택

- 속도 입력 모드 선택

④ 회전 방향 정의

- Collector의 회전방향 선택 (롤에 감기는 방향 정의)

(다) 참여기관 2 (전북대학교)

① 1차년도 : 투명 나노섬유 제조를 위한 전기방사 시스템 전기장 해석 연구

㉠ 투명 나노섬유 제조용 전기방사 시스템을 위한 전기장 시뮬레이션 수행

■ COMSOL AC/DC 모듈을 이용한 전기방사 시뮬레이션

- 나노섬유를 제조하는데 사용되는 전기방사 장치를 COMSOL AC/DC 모듈을 사용하여 2D 모델링 함.

- 2D 모델링을 기반으로 시뮬레이션 및 이에 대한 결과 해석함.

• 2D 모델링에서 사용된 물성 정보

① 노즐 : 316L (UNS S31603) [solid, polished and oxidized] 사용함.

② 원통형 콜렉터 : Alumina 사용함.

구리부착 원통형 콜렉터 : Alumina + copper(부착한 부분) 사용함.

parallel 콜렉터 : copper 사용함.

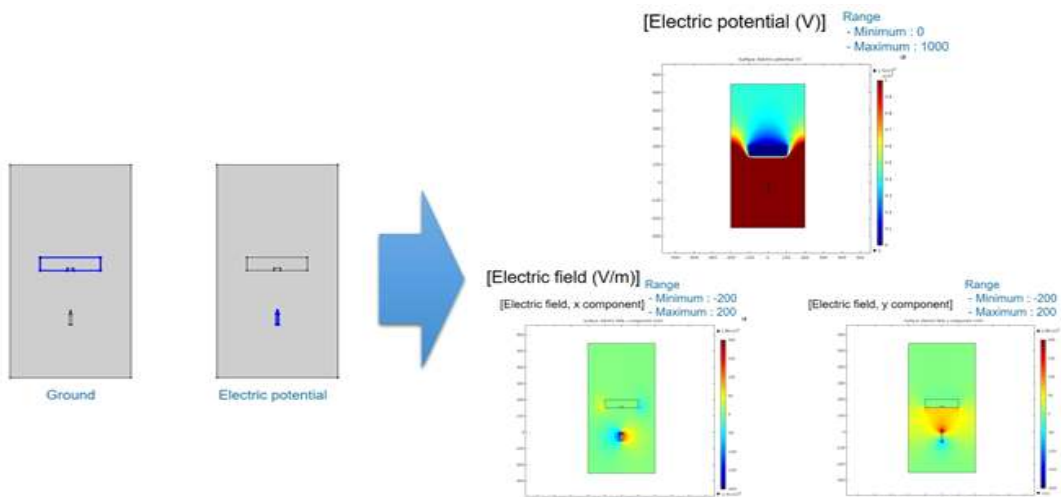


그림 132. 전기방사 장치의 2D 모델링 및 시뮬레이션 해석

- 나노섬유 정렬도에 따른 투명 나노섬유 제조에 대한 연구 수행
 - 투명 나노섬유를 제조하기 위한 다양한 형태의 콜렉터 2D 모델링 및 전기장 해석
 - 투명 나노섬유 제조용 콜렉터로 구리부착 원통형 콜렉터와 parallel 콜렉터를 모델링
 - 위의 두 종류의 콜렉터의 비교군 으로서 원통형 콜렉터를 설정함
 - 원통형, 구리부착 원통형, parallel 콜렉터 세 가지 모델에 대한 전기장해석을 진행함

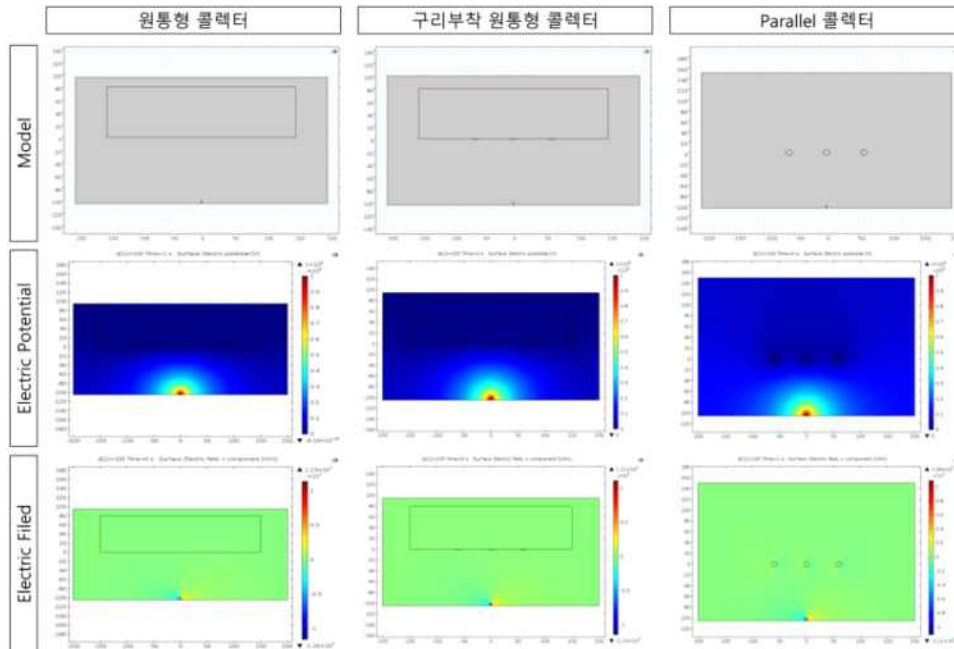


그림 133. 콜렉터 형태에 따른 2D모델링 및 해석

- 전기장 해석 결과
 - ① 콜렉터의 모양에 따른 전기장의 분포를 확인함
 - ② 콜렉터의 모양과 상관없이 노즐을 중심으로 왼쪽에 음의 전기장이 형성되고, 오른쪽에 양의 전기장이 형성됨
 - ③ 원통형 및 구리부착 원통형 콜렉터에는 전기장이 형성되지 않았고 이와 달리 parallel 콜렉터의 경우에는 콜렉터의 왼쪽에는 음의 전기장이 형성되고, 오른쪽에는 양의 전기장이 형성됨
 - ④ 그리고 전기장의 방향은 노즐에서 콜렉터로 향함
 - ⑤ 세 가지 형태의 콜렉터 중 parallel콜렉터에서 가장 뚜렷하게 전기장의 방향성이 있음을 알 수 있었고 구리부착 원통형의 콜렉터 역시 전기장의 방향성을 띄고 있음을 알 수 있었으며, 방사된 나노섬유가 전기장의 방향에 따라 정렬될 수 있다는 것을 전기장 분석을 통하여 확인함
- 방사 노즐의 개수와 각도 조절에 의한 전기장 형성 해석연구 수행
 - 각기 다른 콜렉터 모델에 방사 노즐의 개수와 각도를 달리하여 전기장 형성 시뮬레이션 수행함
 - 노즐의 개수의 경우에는 1, 3, 5개로 세 가지 조건으로 분석함
 - 노즐의 각도의 경우에는 0, 30, 60° 세 가지 조건으로 분석함

- 각 조건에 따른 Electric force 및 Electric field 분포 분석

- 전기장 해석 결과

- ① 방사 노즐의 개수에 따른 그리고 노즐의 각도에 따른 전기장의 분포를 확인함
- ② 모든 조건에서 동일하게 노즐을 중심으로 왼쪽에 음의 전기장이 형성되고, 오른쪽에 양의 전기장이 형성됨.
- ③ 원통형 콜렉터의 경우 콜렉터에서의 전기장 분포가 일어나지 않았고, 구리부착 및 parallel 콜렉터의 경우 콜렉터의 좌측에는 음의 전기장, 우측에는 양의 전기장 형성
- ④ 각각의 콜렉터 형태에서 노즐의 개수가 많아질수록 전기장의 세기가 약해짐
- ⑤ 각각의 콜렉터 형태에서 노즐의 각도가 커질수록 전기장의 세기가 약해짐
- ⑥ 높은 정렬도를 띤 나노섬유 제조에는 노즐의 각도가 0일 때가 가장 적절하고 노즐의 개수에 따라 전기장의 세기가 약해지는 것을 고려하여 실험에서 높은 전압 사용

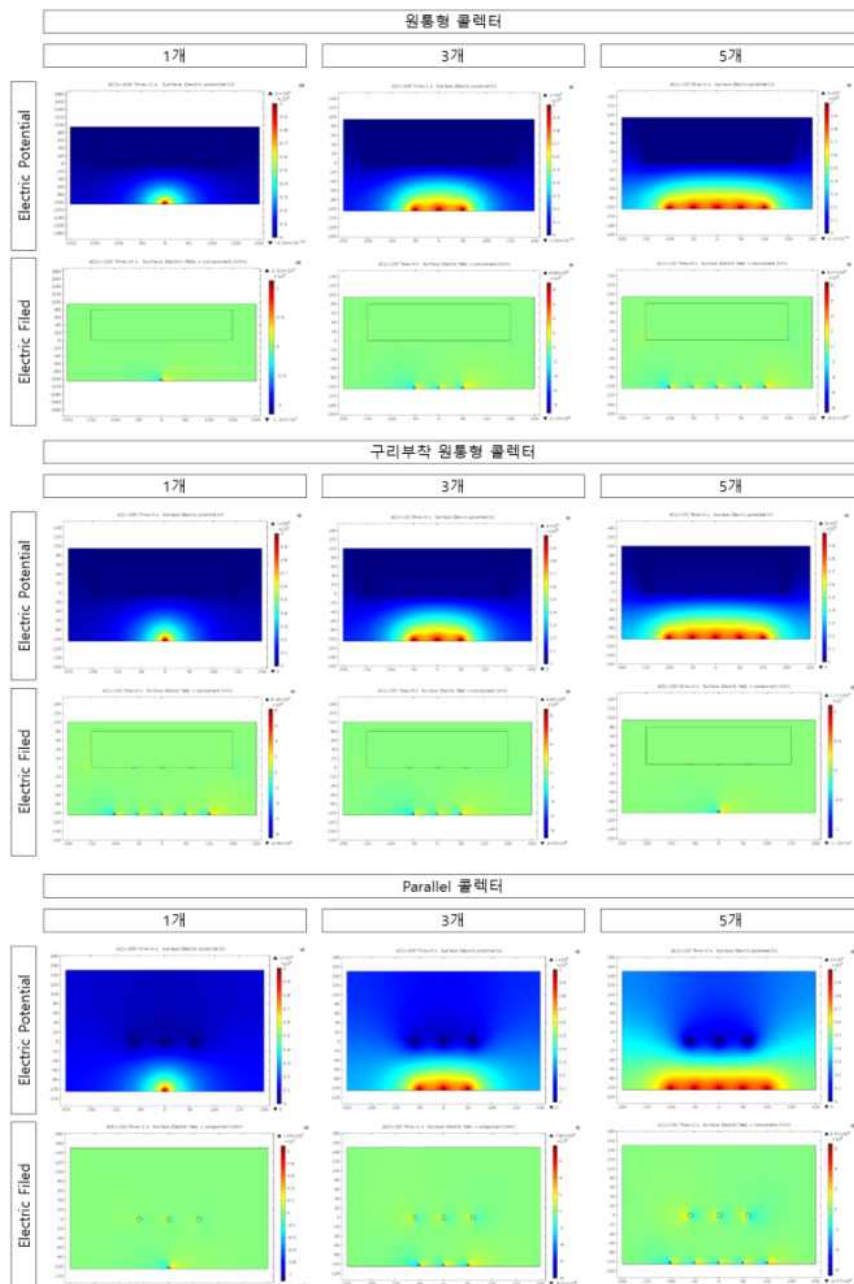


그림 134. 각기 다른 콜렉터에서의 노즐 개수에 따른 2D모델링 및 해석

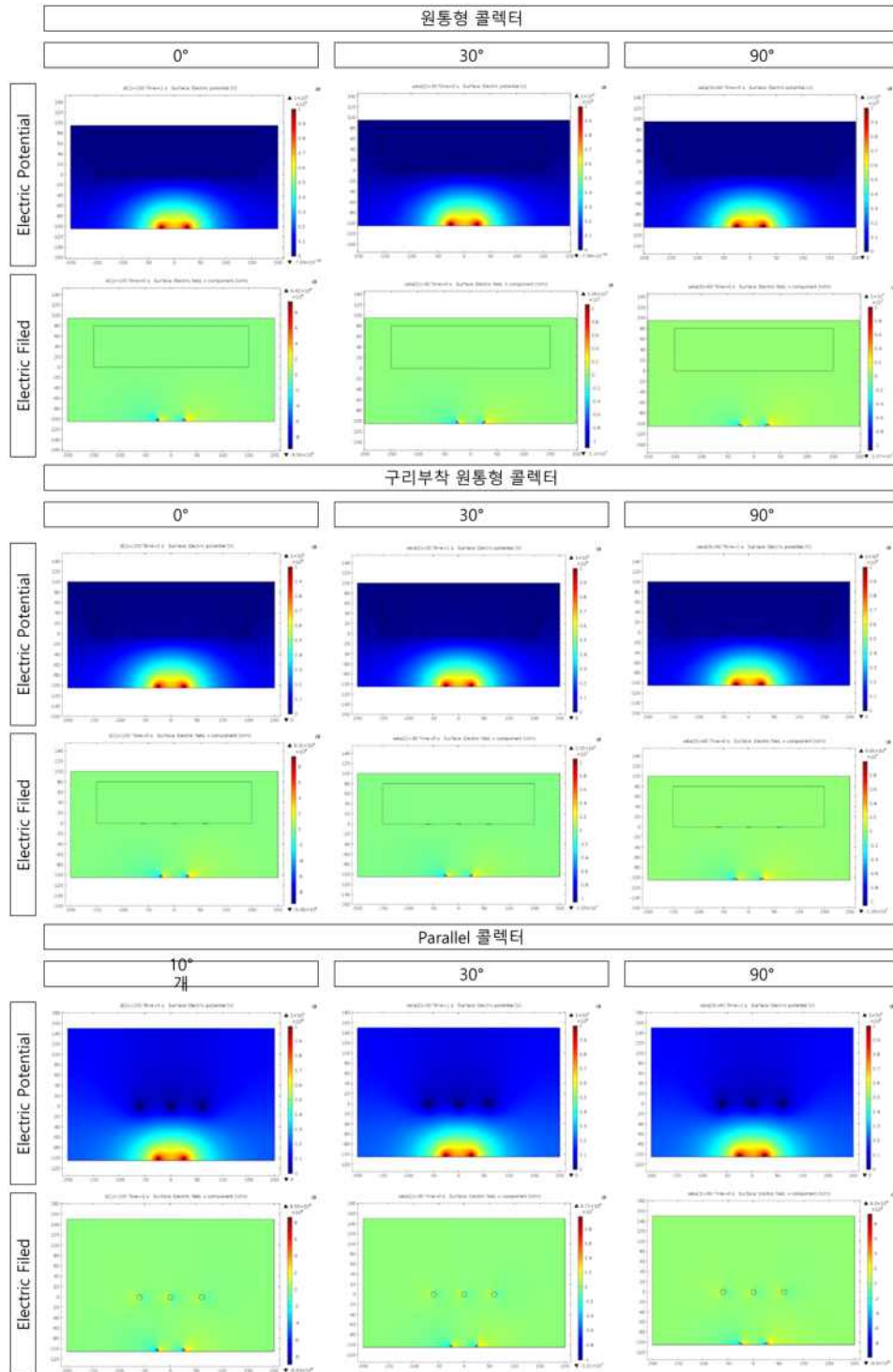


그림 135. 각기 다른 콜렉터에서의 노즐 각도에 따른 2D모델링 및 해석

- 콜렉터 베이스에서의 전기장 분포가 +에서 -로 연속 발생할 수 있는 구조 설계
 - 설계한 모델의 콜렉터 베이스에서의 Electric field가 +에서 -로 연속 발생 가능한지 여부에 대한 예비실험으로 시뮬레이션 수행함.
 - 대조군으로 사용한 원통형 콜렉터의 경우에는 x component를 기준으로 하여 관찰한 Electric field의 변화를 보기 어려운 반면 투명나노섬유 제조를 위한 두 가지 형태의 콜렉터 베이스의 경우에는 극명한 Electric field의 변화를 보임.

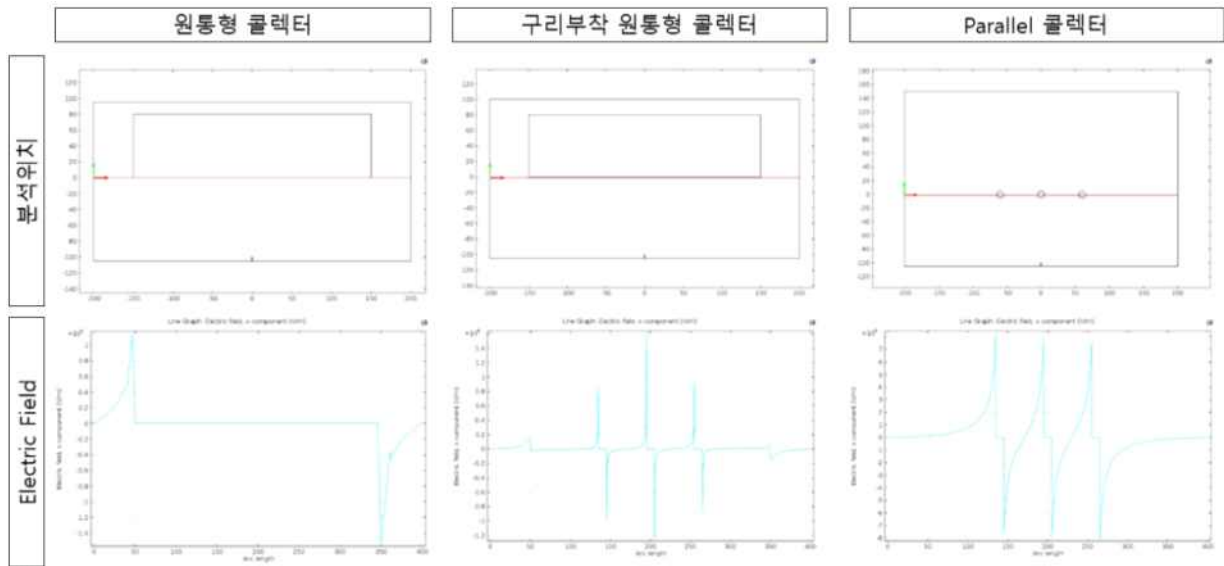


그림 136. 각기 다른 콜렉터 베이스에서의 Electric field

㉔ 해석 Data를 반영한 Lab type 시스템 레이아웃 설계 검토

- Collector 설계 및 nozzle과 collector간 최적 거리 확인
 - 기본 원통형 콜렉터의 모델을 이용하여 콜렉터와 nozzle간 거리가 각 100, 120, 140, 160, 180mm일 경우의 전기장을 해석
 - 전기장 해석 결과
 - ① 콜렉터에서 노즐까지의 거리에 따른 전기장의 분포를 확인
 - ② 콜렉터에서 노즐까지의 거리가 늘어남에 따라 콜렉터가 전기장의 영향을 덜 받게 됨을 확인

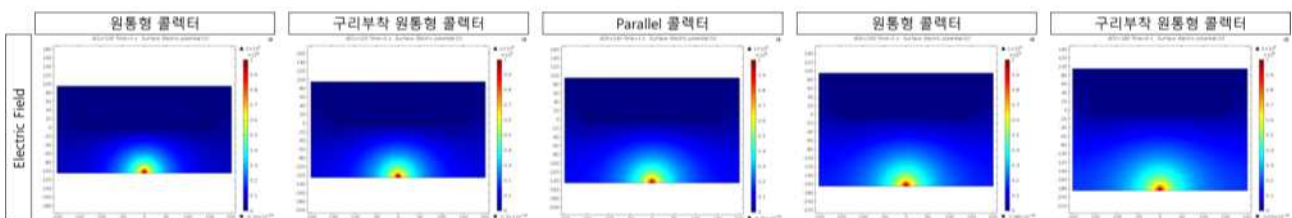


그림 137. 콜렉터와 nozzle간의 거리에 따른 electric potential 분석

- 방사속도, 노즐각도, 방사량 조건 확립
 - 방사속도 및 방사량의 경우 실제 전기방사를 통하여 최적화 된 거리 확인
 - 폴리머의 종류에 따른 최적화 된 방사속도 및 방사량이 다름을 확인
 - 위에서 각 콜렉터에 따른 0, 30, 60°에서의 2D 모델 시뮬레이션의 결과를 토대로 노즐 각도에 따라 형성되는 전기장 분석
- 실제 나노섬유가 식품에 미치는 영향 확인
 - 여러 종류의 식품 포장을 통한 나노섬유의 영향 확인
 - 버섯류 및 옆채류와 같이 부패가 빨리 진행되는 식품의 경우 최대 7일 비교
 - 애호박 및 피망과 같이 비교적 부패의 진행속도가 느린 식품의 경우 최대 21일 비교

- 각 식품에 따른 나노섬유의 영향 확인

• 식품의 관찰 결과

- ① 모든 식품에서 동일하게 포장을 한 경우에 비하여 포장을 하지 않은 경우의 식품들이 빠르게 건조되어 싱싱함을 잃어버림을 확인
- ② 특히 애호박의 경우 날이 지남에 따라 포장을 하지 않은 경우 문드러지는 현상을 관찰함
- ③ 다음 번 실험의 경우에는 포장을 할 경우에 봉합하는 방법을 바꿀 필요성이 있음



그림 138. 나노섬유를 이용하여 포장한 버섯류 및 엽채류의 변화 관찰

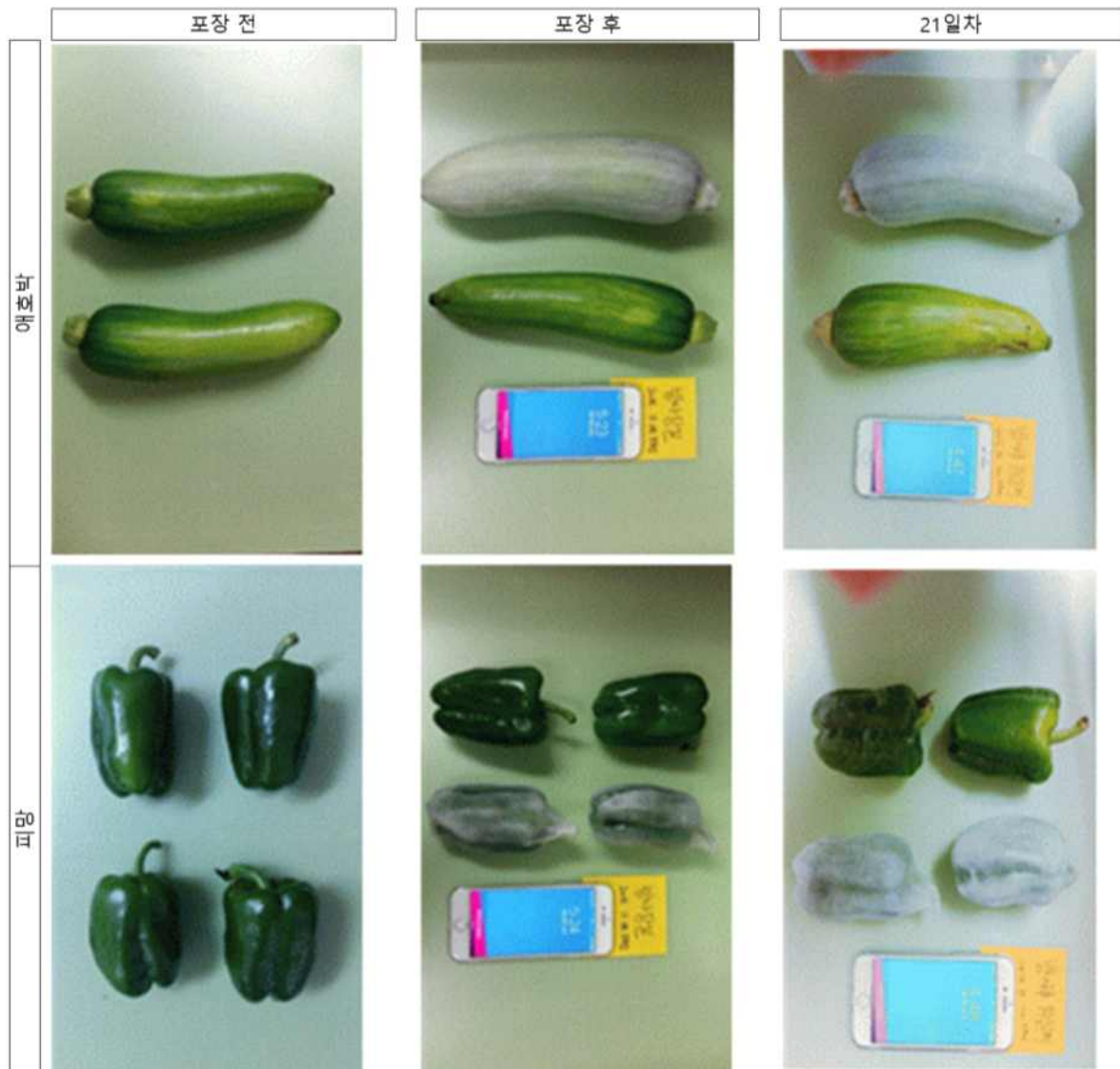


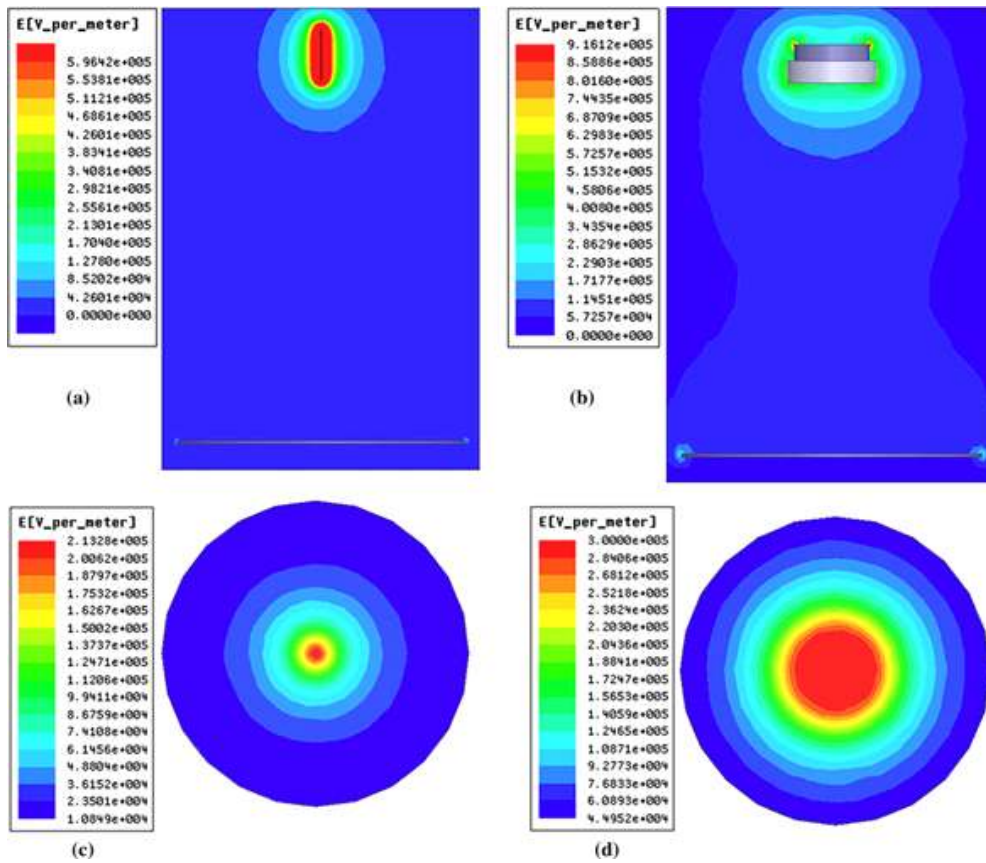
그림 139. 나노섬유를 이용하여 포장한 애호박 및 피망의 변화 관찰

㉔ 정렬나노섬유 생성을 위한 전기방사 시스템 전기장 해석을 위한 자료 수집 및 논문 분석

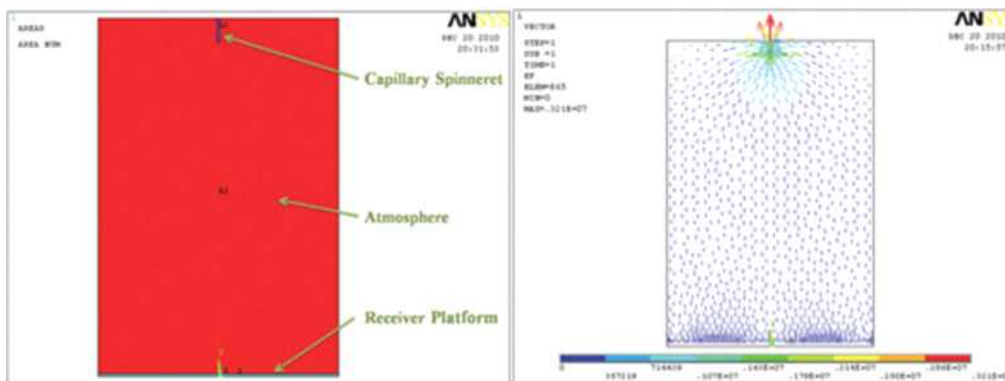
■ High Impact factor (I.F) 위주의 전기방사 장치 유한 요소 해석 논문 리뷰

- Zheng, Y., Xie, S. & Zeng, Y. J Mater Sci (2013) 48: 6647.

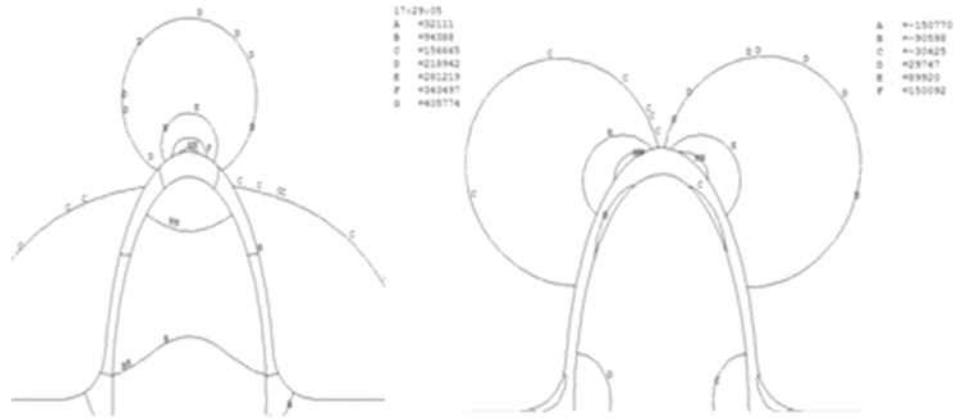
- Comparison of the electric field intensity distributions for the two configurations with a working distance of 25cm and an applied voltage of 25kV.
- The electric field distributions simulated by the Ansoft Maxwell 3D software for the single needle and the hole configurations.
- Compared with the single needle geometry, the hole geometry creates a much larger area of uniform electric field in the same horizontal plane.



- Xin Wang et al. Nanosci Nanotechnol 2013. 13(7):4680-5
 - Analysis model of electrospinning electrostatic field.
 - The distribution of electrostatic field between capillary and metal receiver platform was mainly considered that the simplified model includes only metal capillary spinneret, metal receiver platform and atmosphere medium.
 - Vector distribution of electrostatic field.



- Liang Dong, Yong Liu, Rui Wang, et al. Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, 2010, 3(2): 117-120.
 - The contour map of Y-axis electrical field.
 - The contour map of X-axis electrical field.



■ 핵심 특허 등록을 위한 기존 투명 나노 섬유 제조 시스템 설계 회피 방안 확립

- 기존의 투명 나노섬유 제조시스템의 특허 조사

- 근접장 전기방사법을 이용한 정렬된 나노 구조체의 제조방법(10-2008-0014949) : 근접장 전기방사법을 이용한 정렬된 나노 구조체의 제조방법 및 근접장 전기방사법을 이용한 유-무기 나노 복합체 또는 무기 나노 구조체 배열을 위한 방법임

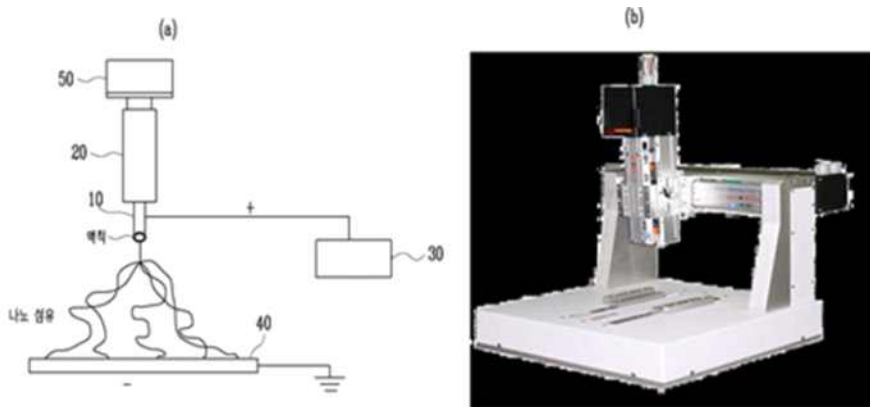


그림 143. 정렬된 나노섬유 제조를 위한 상기 유-무기 혼합용액 전기방사 장치도면

- 전기방사 장치, 전기방사 장치를 지지하는 지지대, 정렬된 나노 섬유 및 그의 제조 방법(10-2011-0103674) : 정렬된 나노 섬유를 제조하는 전기방사장치는 고분자 용액을 토출하는 방사 노즐, 상기 방사 노즐로부터 토출되는 고분자 용액을 수집하여 나노 섬유를 제조하는 케이지 콜렉터, 그리고 상기 방사노즐과 상기 케이지 콜렉터 사이에 위치하여 전류 흐름을 유도하는 제3의 극(Pole)을 포함

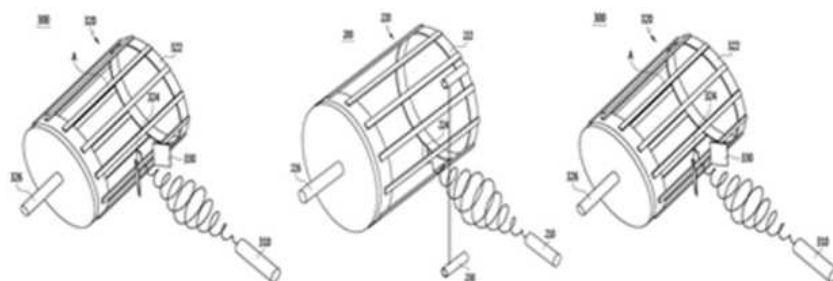


그림 144. 정렬된 나노섬유를 제조하기 위한 전기방사 장치 도면

- 근접장 전기방사법을 이용한 전도성 물질의 패터닝 방법 및 나노 물질의 수직 정렬 방법(10-2009-0061613) : 나노 물질 수직 정렬의 방법에 대한 것으로, 기판 상에 전도성 물질을 직접 도포함으로써 패턴을 형성하는 것으로 매우 간단하며, 다양한 기판 및 다양한 전도성 물질에 적용할 수 있음. 또한, 대기압 하에서 패턴의 구현이 가능하고 필요한 부분에만 물질을 도포함으로써 적은 비용으로 패턴 구현이 가능함

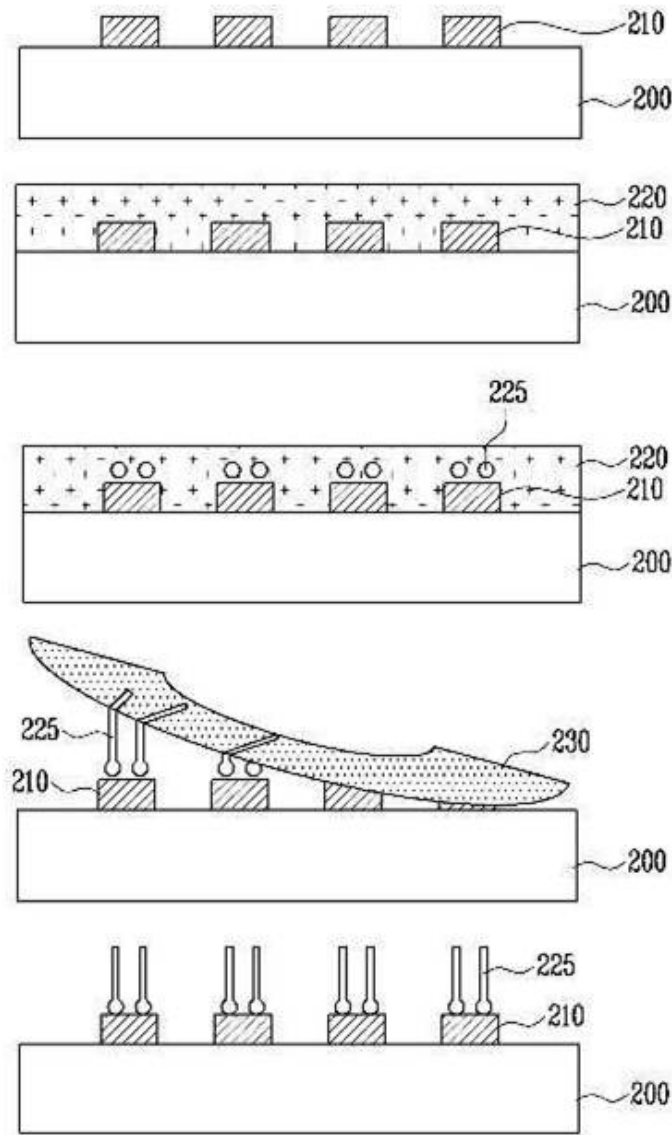


그림 145. 전도성 패턴 상에 수직 정렬된 나노물질을 가지는 소자를 형성한 순서도에 대한 공정도

- 핵심 특허 등록을 위한 새로운 시스템 설계에 필요로 한 방안 확립
 - 기존의 정렬된 나노섬유 제조를 위한 시스템 설계로는 근접장 전기방사, 전류 흐름을 유도하는 제 3극을 이용한 전기방사, 가판에 다양한 전도성 물질을 직접 도포하여 사용하는 전기방사 등 다양한 전기방사 시스템을 구축함.
 - 이와 차별성을 두기 위한 방법으로서 콜렉터의 모양을 다르게 함으로서 콜렉터 베이스에서의 전기장을 정렬된 나노섬유가 형성 될 수 있도록 유도하는 전기방사 시스템을 구축할 예정임.

② 2차년도 : 농산물 포장에 최적화된 투명 나노섬유 제조를 위한 고분자 폴리머 선정 및 조성비 연구

㉠ 항균 기능을 갖는 농산물 포장용 나노섬유 제조

■ 농산물 포장에 적합한 항균 물질 선정

- 논문 및 기존 연구들을 토대로 한 항균물질 및 이의 효과 조사

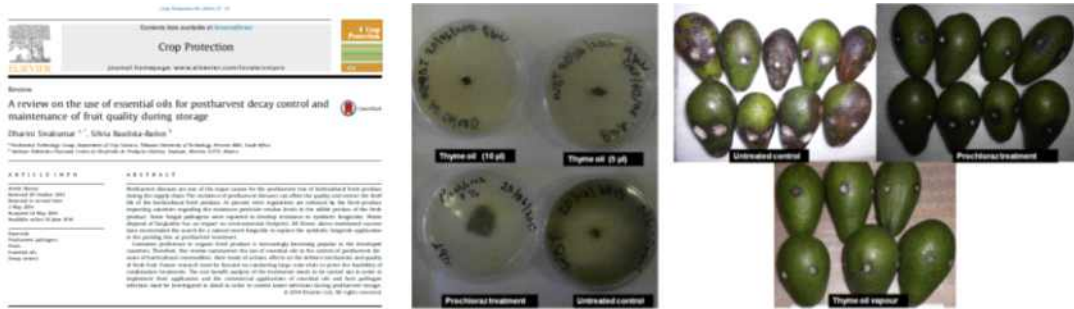


Table 2
Examples of the essential oils and coatings treatments researched to control postharvest decay in fruit.

Coating-essential oil	Fruit/vegetable	Postharvest pathogen	References
Chitosan-lemon oil	Strawberry	<i>Botrytis cinerea</i>	Pertiones et al. (2012)
Chitosan-cinnamon oil	Sweet pepper		Xing et al. (2010)
Modified chitosan and limonene or peppermint oil	Strawberry		Vu et al. (2011)
Chitosan- bergamot	Citrus	<i>Penicillium italicum</i>	Chäfer et al. (2012)
Shellac wax- Cinnamomum zeylanicum EO	Citrus	<i>P. digitatum</i> and <i>P. italicum</i>	Hugues et al.(2012)
Carnauba wax-Lippia scaberrima oil	Citrus	<i>P. digitatum</i>	Du plooy et al. (2009)
Hydroxyl propylmethyl cellulose and chitosan	Table grapes	<i>Botrytis cinerea</i>	Chäfer et al. (2012)
Carnauba wax-Lippia scaberrima oil	Avocado	<i>C. gloeosporioides</i>	Regnier et al. (2010)
Mesquite gum-Thyme or Mexican lime oil	papaya	<i>C. gloeosporioides</i> or <i>Rhizopus stolonifer</i>	Bosquez-Molina et al. (2010)
Gum arabic- cinnamon oil	papaya	<i>C. gloeosporioides</i> <i>C. musae</i>	Maqbool et al. (2010)

그림 146. 실험에 참고한 항균 관련 논문의 이미지

- 조사를 토대로 선정한 천연 항균물질 구매 진행 및 인공 항균물질의 제조

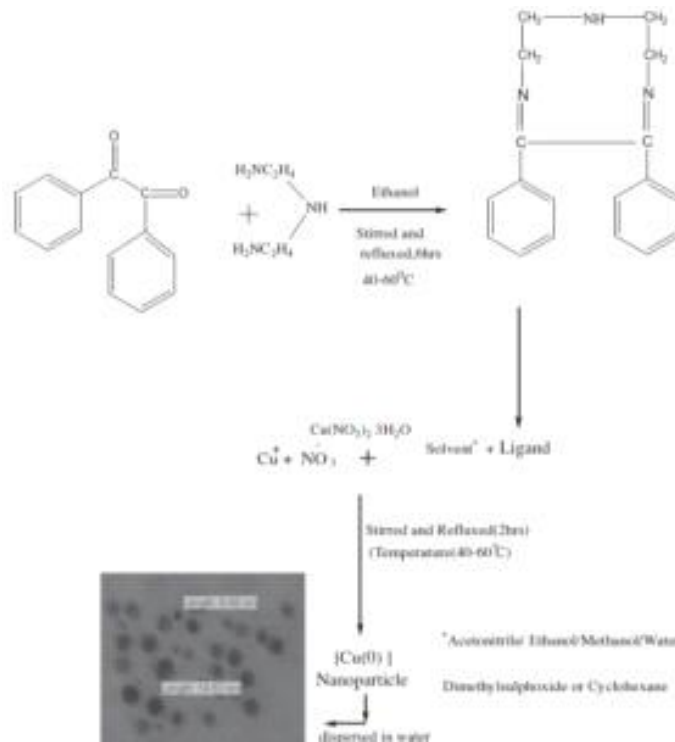


그림 147. 은 나노 파티클의 합성 방법 (“Synthesis and characterization of copper nanoparticles by reducing agent” 참고)



그림 148. 구매한 천연항균 물질

- 각 항균물질의 박테리아 inhibition 테스트 진행

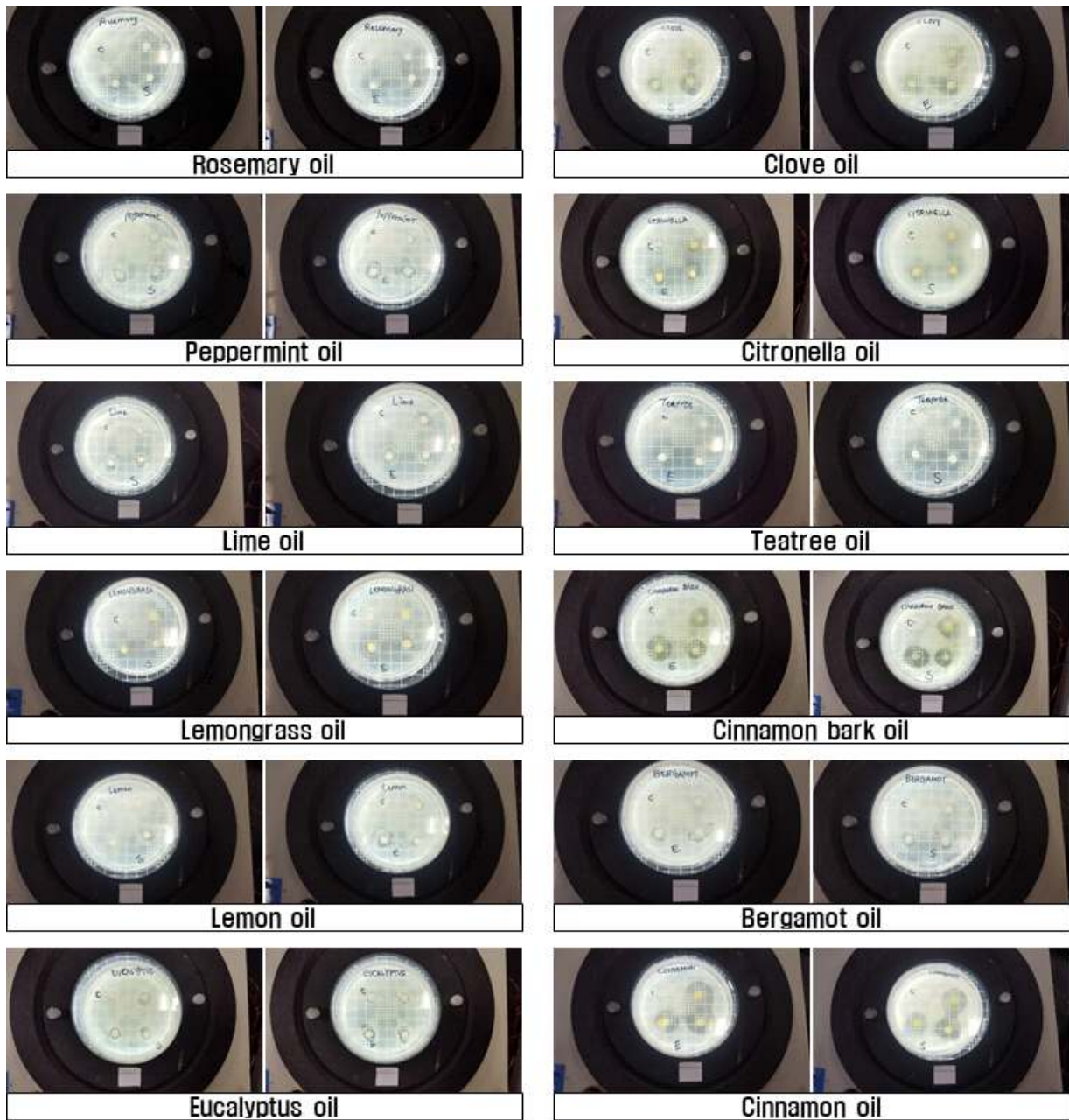


그림 149. 천연오일에 대한 inhibition test 결과

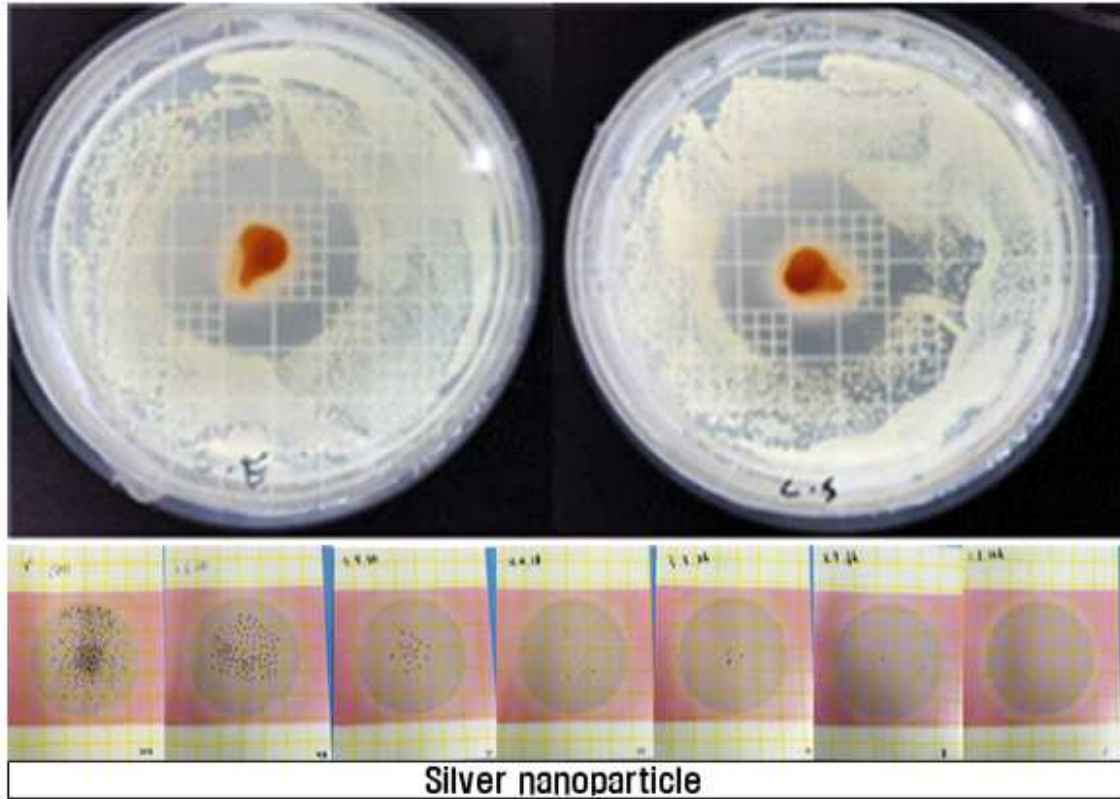


그림 150. 은 나노 파티클에 대한 inhibition test 및 counting test

- 박테리아 inhibition test 결과 분석

Name	S					E				
	control	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Ave	control	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Ave
Rosemary	0.771	1.165	0.934	0.942	0.243	0.796	1.540	0.983	1.369	0.501
Peppermint	0.813	1.235	1.575	1.281	0.551	0.772	1.737	1.324	1.071	0.605
Lime	0.754	0.895	1.098	1.063	0.265	0.802	1.546	0.855	1.457	0.484
Lemongrass	0.859	1.013	0.978	1.083	0.166	0.733	2.031	1.143	1.167	0.714
Lemon	0.720	1.106	1.173	0.966	0.362	0.759	1.187	0.862	1.582	0.657
Eucalyptus	0.734	1.242	1.003	0.979	0.341	0.698	1.475	1.317	1.194	0.631
Clove	0.647	1.872	2.130	1.607	1.223	0.624	1.502	1.427	1.771	0.942
Cotronella	0.740	1.160	1.126	1.404	0.49	0.975	1.252	1.577	1.363	0.422
Cinnamon	0.663	1.890	2.374	2.301	1.525	0.890	2.580	2.707	1.780	1.466
Cinnamon bark	0.709	2.110	1.914	2.223	1.373	0.638	2.075	1.546	1.599	1.102
Bergamot	0.631	1.071	1.085	1.045	0.436	0.648	1.146	1.968	1.389	0.853
Teatree	0.822	2.398	2.298	2.494	1.575	0.846	2.362	2.626	2.520	1.657

그림 151. 향균물질 inhibition test 분석 표

- 박테리아 inhibition test를 통하여 Teatree > Cinnamon > Cinnamon bark > Clove > etc 순으로 향균도가 높음을 알 수 있었으며 위의 네 가지 천연오일을 향균 물질로 선정
- 은나노 파티클의 경우 향균도는 높게 나타났으나 그에 비하여 단가가 수득률에 비해 높게 나와 향균물질에서 제외

■ 농산물 포장에 적합한 고분자 선정

- 논문 및 기존 연구들을 토대로 한 고분자 및 이의 효과 조사

- 논문 및 기존 연구들의 조사결과 Gelatin, PU(Polyurethane), PCL(Polycaprolactone) 과 같은 생체재료를 사용하여 실험을 진행하기로 함.

Table 5. Effect of packaging materials and methods on the shelf life of fruits and vegetables

Food/Treatment	Packaging materials/methods	Shelf life	Reference
Peach, Cauliflower, Truffle	Tray; PP, Cover: PE-LD/PET(40 μm), 0-14 microperforated package, all wrapped in PE	4 days at 4 °C	González-Buesa et al., 2009
Strawberry	stretch PVC	8 days at 1 °C	Stanes et al., 1995
Minimally processed fruits (kiwi, banana and prickly pear)	1) PE/Al/PET	4-12 days at 5 °C	Del Nobile et al., 2007
	2) Coex.polyolefinic high permeable film		
Sweet cherry	5 % O ₂ + 10 % CO ₂	80 days at 1 °C	Ai-Li et al., 2002
	PE: 13-18 % O ₂ + 2-4 % CO ₂	40 days at 1 °C	
	70 % O ₂ + 0 % CO ₂	20 days at 1 °C	
	Air	30 days at 1 °C	
Cactus pear fruits	Cryovac MY 15 Plastic box	9 days at 4 °C	Piga et al., 2003
Carrots, minimally processed	PP+OPP/OPP in:		Ayhan et al., 2008
	5 % O ₂ / 10% CO ₂ / 85 % N ₂	2 days at 4 °C	
	80 % O ₂ / 10 % CO ₂ / 10 % N ₂	7 days at 4 °C	
Cabbage, shredded	OPP (30 μm)	9-10 days at 3 °C	Pirovani et al., 1997
Cabbage, shredded	Glass jar; PE (30 μm); PP (30 μm) in:	7 days at 0 and 10 °C	Prestenjak et al., 2008
	Air		
	100 % N ₂		
	MAP 1: 100 % N ₂		
	MAP 2: 5 % O ₂ / 95 % N ₂		
	MAP 4: 70 % O ₂ / 30 % N ₂ and 100 % O ₂		

Lettuce (shredded)	OPP (30 μm)	8 days at 4 °C	Pirovani et al., 1998
Spinach Fresh-cut	PE-LD	8 days at 4 °C and 90 % HR	Pugentini and Gökırmis, 2002
	OPP	6 days at 4 °C and 90 % HR	
Lettuce	PE	10 days in the dark at 7 °C.	Zhang et al., 2007
Broccoli	PE-non-perforated	13 days at 4 °C; 3 days at 20 °C	Jin et al., 2009
	PE-2 holes (750 μm in dia.)	23 days at 4 °C;	
	PE-4 holes (8.8 mm in dia.)	5 days at 20 °C	
	unwrapped broccoli	10 days at 4 °C; 2.5 days at 20 °C	
Fresh-cut vegetables, ferns cut lettuce salads and shredded carrots	PA/PE (102 μm)		Corbo et al., 2006
	Air	less than 5 days at 4 °C	
	Vacuum	13.5 at 4 °C	
	MAP: 70 % N ₂ / 30 % CO ₂	5.8 at 4 °C	
Cherry tomatoes ozone treatment (5-30 mg/l ozone gas for 0-20 min)	CA 1: 5 % CO ₂ / 17 % O ₂ (7 °C)	20 days at 7 °C	Dag et al., 2006
	CA 2: 5 % CO ₂ / 15 % O ₂ (22 °C)		
	PE-LD (50 μm); MAP glass jar	10 days at 22 °C	
	MAP passive in:		
Melon, minimally fresh processed	PP mikroperforated	10 days at 5 °C	Aguayo et al., 2003
	BOFP		
	OPP		
	PP-makroperforated (control)		
Blueberry nectar Aseptically Filled (93-97 °C for 30 s)	PET 1: standard	9-12 months at 4-20 °C	Troit et al., 2009
	PET 2: O ₂ -absorber		
	PET 3: 5-layers		
	PET 4: 3-layers		
Tomato	PE-LD (50 mm) MAP + O ₂ -absorber	8 days at 20 °C	Charles et al., 2003

Table 8. Properties of some biodegradable plastics (Berkesch, 2005)

Material	Film preparation	Moisture barrier	Oxygen barrier	Mecanical properties
Starch/ Polyvinyl alcohol (PVAL)	Extrusion	-	+	+
Polyhydroxybutyrate/valerate (PHB/V)	Extrusion	+	+	+/-
Polylactic acid (PLA)	Extrusion	+/-	-	+



그림 152. 실험에 참고한 고분자 관련 논문의 중요 이미지

- 조사를 토대로 선정된 고분자의 나노파이버로의 제조
- 제조된 각 고분자별 나노파이버의 fibroblast cell(NIH-3T3;섬유아세포)를 이용한 Cyto-toxicity 결과를 Cell Counting Kit-8(CCK-8)을 이용하여 도출

Day 01

	1			2			3			Ave
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	
Control	0.6370	0.6820	0.6950	0.6130	1.0530	0.6050	0.7100	0.7360	0.7390	0.7189
PCL	0.4910	0.4570	0.4560	0.3990	0.4180	0.4230	0.3930	0.3930	0.3820	0.4236
PU	0.4220	0.4250	0.3990	0.3900	0.3940	0.3720	0.3970	0.3990	0.3980	0.3996
Gelatin	0.7410	0.7940	0.7980	0.6250	0.6240	0.6270	0.7180	0.7130	0.7200	0.7067

Day 03

<>	1			2			3			ave
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	
Control	2.1170	2.1190	2.0020	2.4090	2.3700	2.4010	2.2410	2.2320	2.3420	2.2481
PCL	0.7920	0.7380	0.7410	0.8420	0.7810	0.7100	1.1850	1.0060	1.1940	0.8877
PU	0.8240	0.7970	0.8180	0.7240	0.7580	0.7720	0.8450	0.5350	0.8470	0.7689
Gelatin	1.6880	1.7130	1.8180	1.8060	1.8570	1.8520	2.5940	2.5260	2.6290	2.0537

Day 05

<>	1			2			3			ave
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	
Control	3.2070	3.1400	3.3140	3.0320	3.1060	3.1670	3.4180	3.3100	3.2160	3.2122
PCL	1.4950	1.5090	1.4600	1.8540	1.8130	1.8400	1.7180	1.7530	1.8560	1.8057
PU	1.9350	1.9400	1.5680	1.8880	1.9670	1.9180	2.3880	2.2680	2.3020	2.1218
Gelatin	3.0300	2.9680	3.2310	3.5190	3.3280	3.1990	3.2250	3.1010	3.0640	3.2121

그림 153. 시간에 따른 CCK 결과 도표

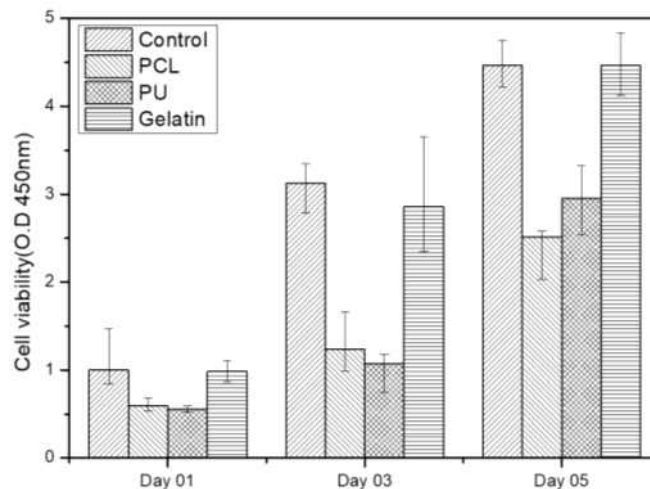


그림 154. 각 고분자별 Cell viability test 결과 그래프

- 실험을 통해 도출된 결과의 분석
 - Gelatin의 경우 초기 생체 적합성이 가장 우수한 것으로 보이나 시간이 경과함에 따라 점차 낮아지는 경향을 보임
 - PU의 경우 초기 cell growth가 낮으나 시간이 경과함에 따라 다른 폴리머에 비해 control과 유사한 경향성을 갖고 cell이 자라남을 알 수 있음
 - PCL의 경우 전반적으로 control에 비하여 상대적으로 cell growth가 떨어지는 것으로 보이나 시간이 지남에 따라 지속적으로 높아지는 것을 알 수 있음
- 선정된 항균 물질과 고분자간의 혼합비율 조성연구
- 앞서 선정된 항균 물질과 고분자를 다양한 비율로 혼합하여 전기방사를 진행
 - 15wt% PU, 15wt% PU+Cinnamon oil(1,3,5%), 15wt% PU+Cinnamon bark oil(1,3, 5%), 15wt% PU+Clove oil(1,3,5%), 15wt% PU+Teatree oil(1,3,5%)

- 15wt% PCL, 15wt% PCL + Cinnamon oil(1,3,5%), 15wt% PCL + Cinnamon bark oil(1,3, 5%), 15wt% PCL + Clove oil(1,3,5%), 15wt% PCL + Teatree oil(1,3,5%)
- 전기방사 한 샘플 SEM촬영을 통한 Morphology 확인
 - 각 샘플별로 x500, 100, 1500의 배율로 Morphology확인

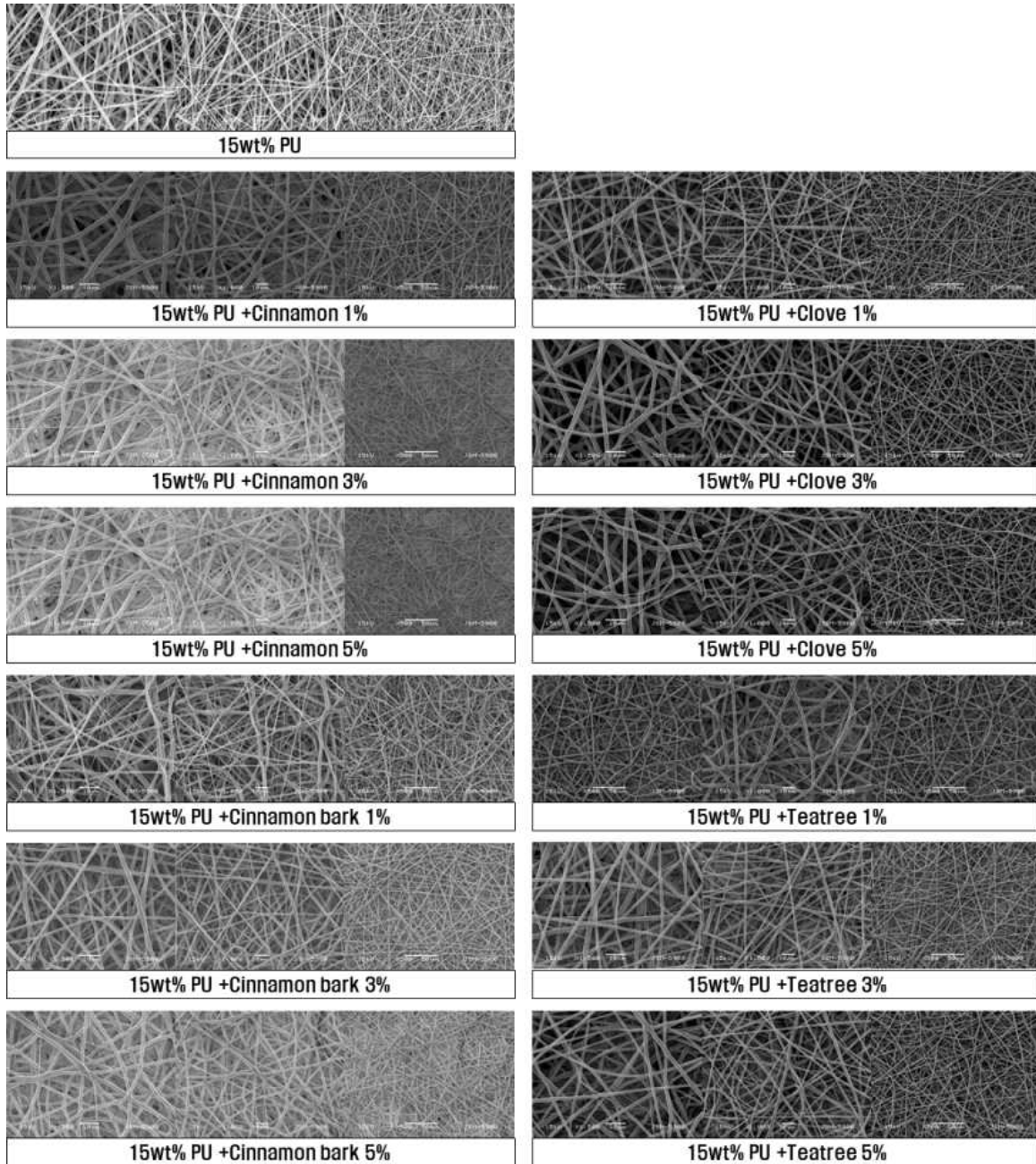


그림 155. PU를 base로 한 Nanofiber mat의 SEM 이미지

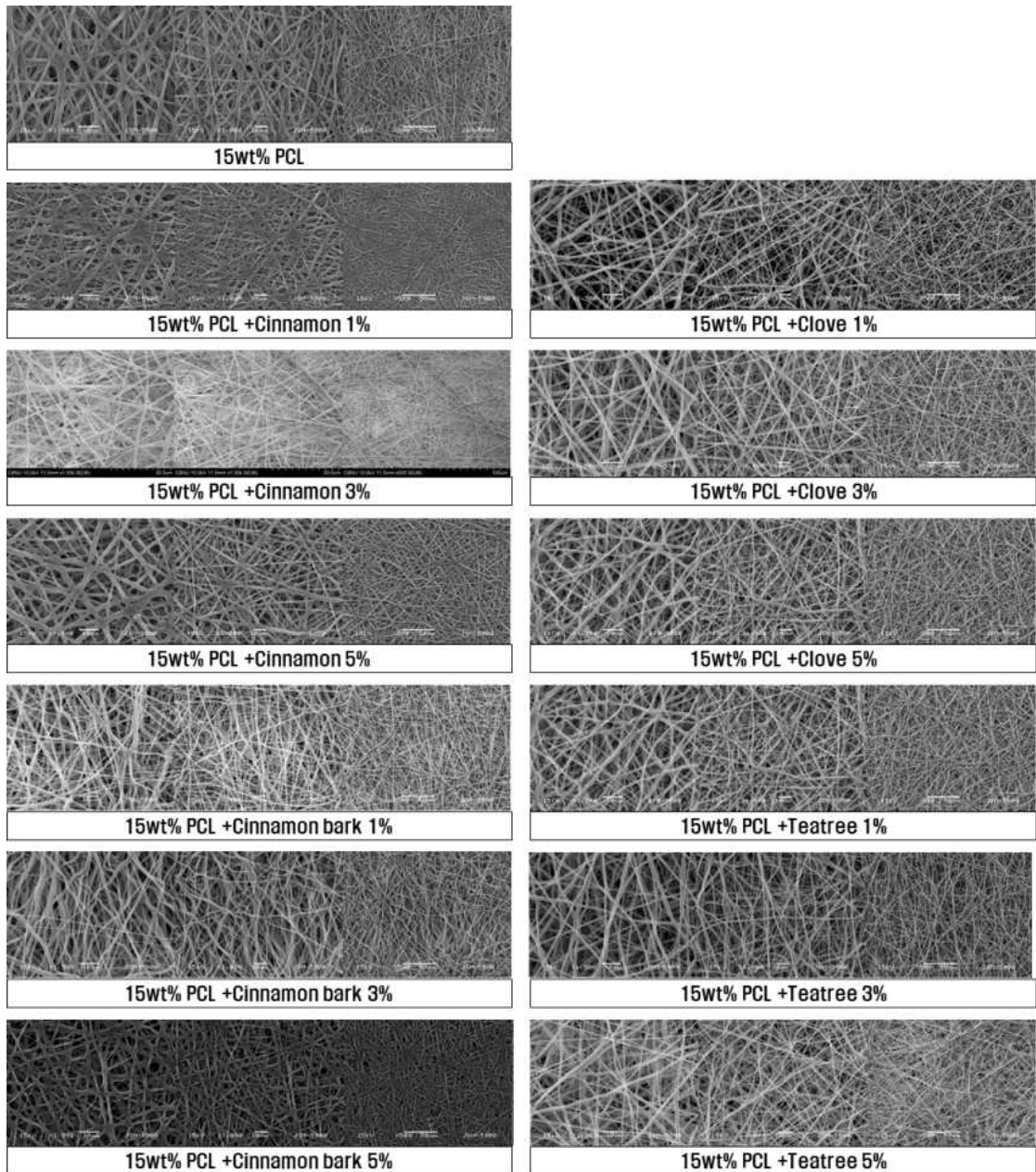


그림 156. PCL를 base로 한 Nanofiber mat의 SEM 이미지

- 전기방사 한 샘플의 fibroblast cell(NIH-3T3;섬유아세포)를 이용한 Cytotoxicity 결과를 Cell Counting Kit-8(CCK-8)을 이용하여 확인

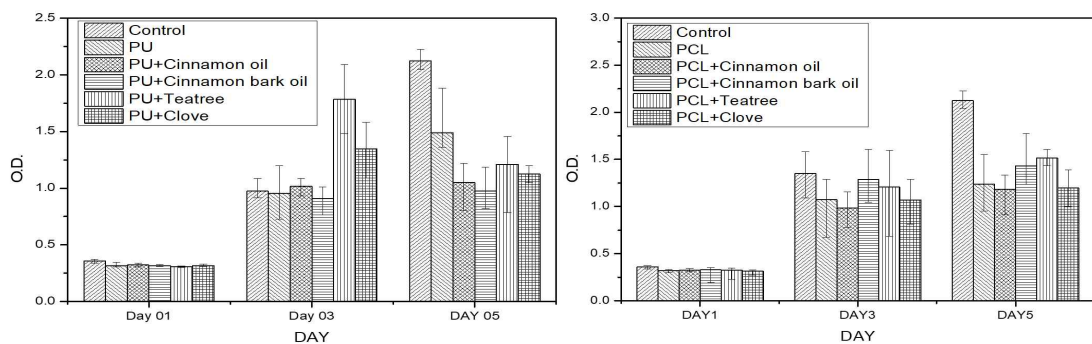


그림 157. PU base 및 PCL base의 Nanofiber의 Cytotoxicity 비교 그래프

- 실험을 통해 도출된 결과의 분석
 - PU base의 Nanofiber의 경우 Teatree oil과 Clove oil을 섞어 사용한 샘플의 cell viability가 control 및 Pure PU를 제외하고 3,5일 째 지속적으로 두드러짐을 확인
 - PCL base의 Nanofiber의 경우 Teatree oil과 Cinnamon bark oil을 섞어 사용한 샘플의 cell viability가 control 및 Pure PU를 제외하고 3,5일 째 가장 두드러지는 것을 볼 수 있으며 5일째의 경우 3일째와 달리 Teatree oil을 사용한 경우가 Cinnamon bark oil을 사용한 경우에 비해 더 cell viability가 높음을 알 수 있음
 - 샘플의 단가 및 morphology, cell viability를 비교하여 PU+Teatree(1,3,5%)샘플 및 PU+ Clove oil(1,3,5%)의 샘플을 선정
- 박테리아균을 이용한 항균 성능 평가 진행
- 앞의 실험들을 통해 선정된 PU+Teatree(1,3,5%)샘플 및 PU+Clove oil(1,3,5%)의 박테리아 테스트 진행
- 박테리아 inhibition test의 결과 확인

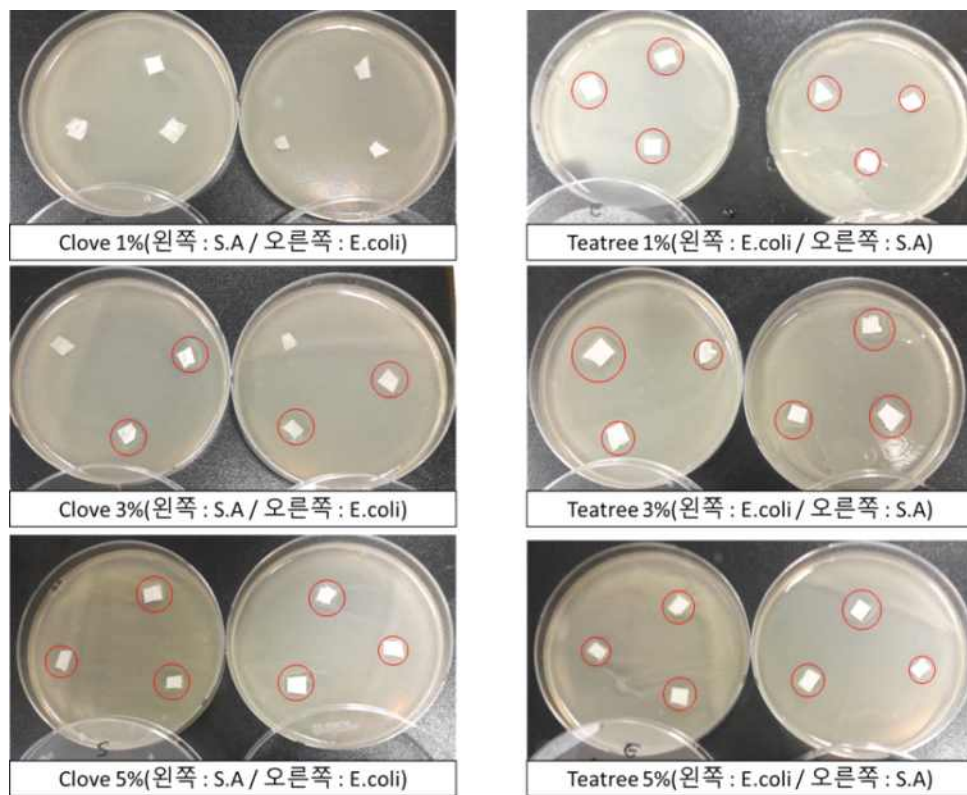


그림 158. 박테리아 inhibition test 결과 확인

- 실험을 통해 도출된 결과의 분석
 - Clove oil을 추가한 나노파이버에 비해 Teatree oil을 추가한 나노파이버가 항균도가 높음
 - Teatree oil을 추가한 나노파이버의 항균도는 1%에 비하여 3%, 5일 경우 더 높은 것으로 보이며 3%에서의 항균도와 5%에서의 항균도에는 큰 차이가 나타나지 않는 것으로 보임
 - 따라서 단가를 고려하여 3%의 Teatree oil을 추가한 PU nanofiber가 최적화 된 나노파이버인 것으로 판단됨

- ③ 3차년도 : 농산물 포장에 위한 최적 투명 나노섬유 조건 및 기계적 강도 향상을 위한 연구 수행
- ㉔ 농산물 포장에 최적화된 투명 나노섬유 직경 및 필름 두께 컨트롤에 대한 연구
 - 투명도를 확보하기 위한 나노섬유 최적 직경 제조 연구
 - Image J 프로그램을 사용한 전기방사 시 전압에 의한 나노섬유의 직경 비교

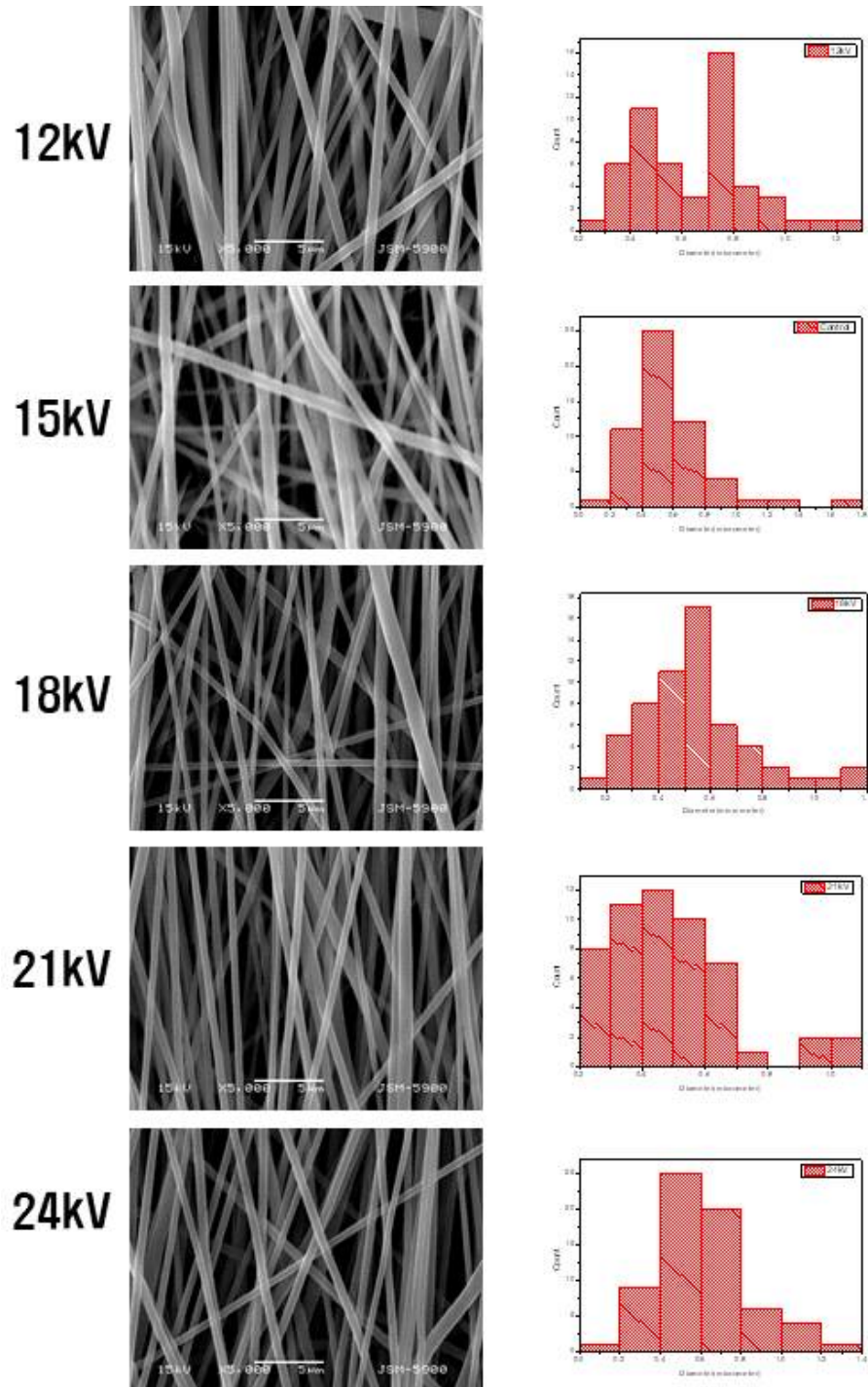


그림 159. 각 전압에 따른 SEM 이미지 및 이를 통한 나노파이버 직경의 히스토그램

- Image J 프로그램을 사용한 전기방사 시 노즐에서 콜렉터 사이의 거리에 의한 나노섬유의 직경 비교

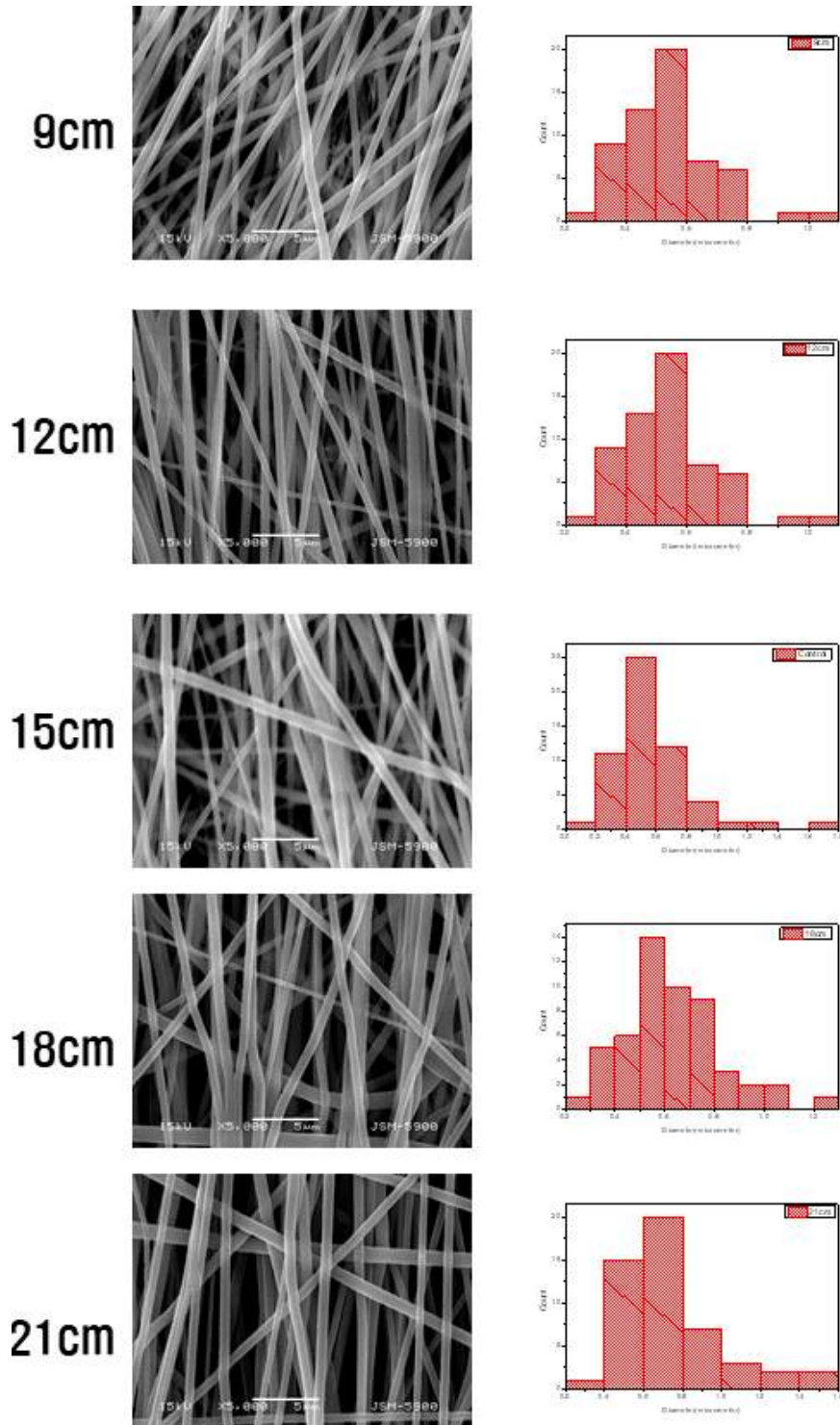


그림 160. 각 노즐과 콜렉터 사이의 거리에 따른 SEM 이미지 및 이를 통한 나노파이버 직경의 히스토그램

- Image J 프로그램을 사용한 전기방사 시 콜렉터의 속도에 의한 나노섬유의 직경 비교

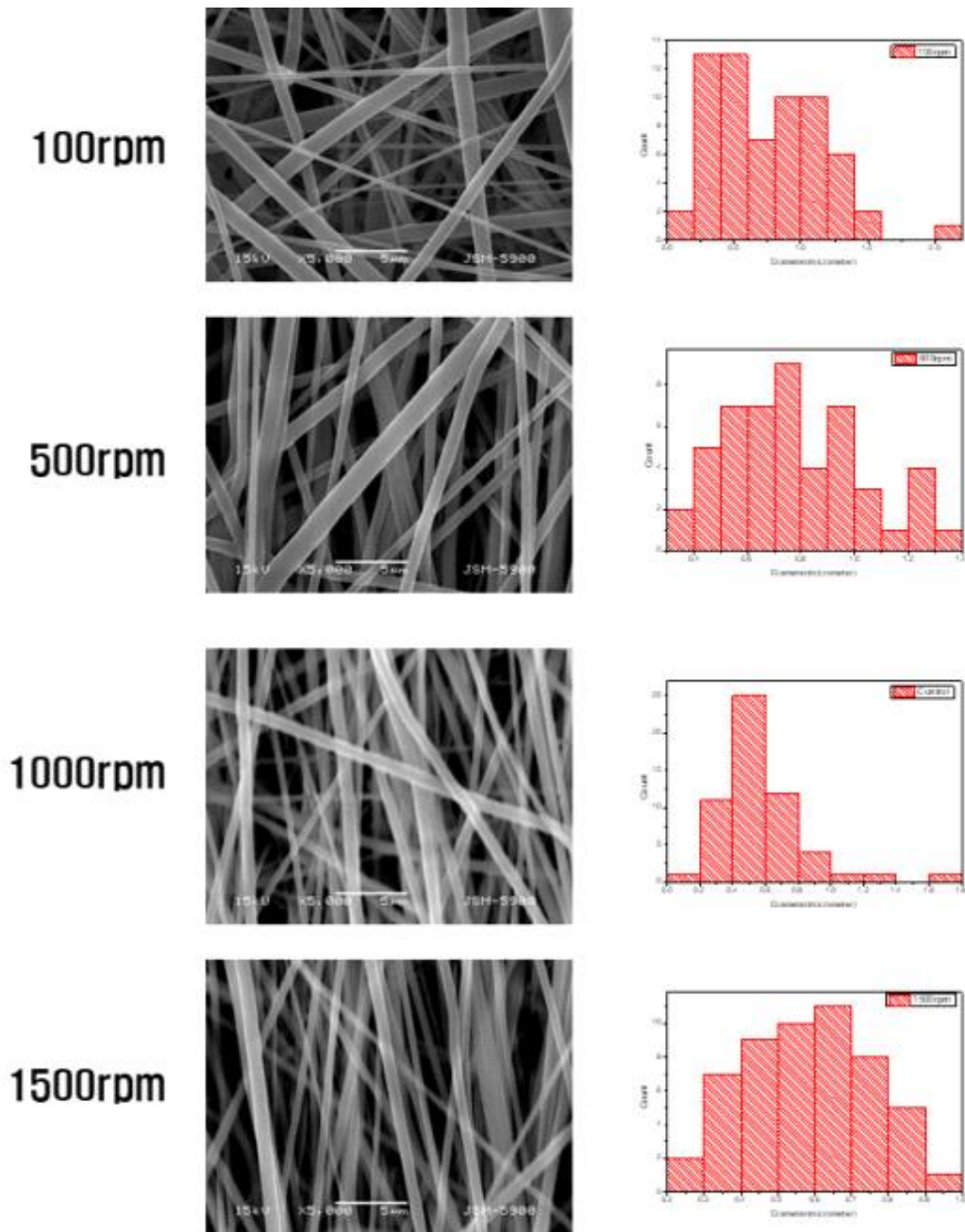


그림 161. 컬렉터의 회전속도에 따른 SEM 이미지 및 이를 통한 나노파이버 직경의 히스토그램

■ 나노섬유를 이용한 이산화탄소(CO₂) 흡착

- 이산화탄소 흡착 실험을 위한 장비 제작 및 software 프로그램 개발

- 가스챔버와 유사한 형태의 이산화탄소 흡착 실험을 위한 장비 외관 제작 및 센서 부착
- 아두이노를 통한 CO₂흡착 software 제작

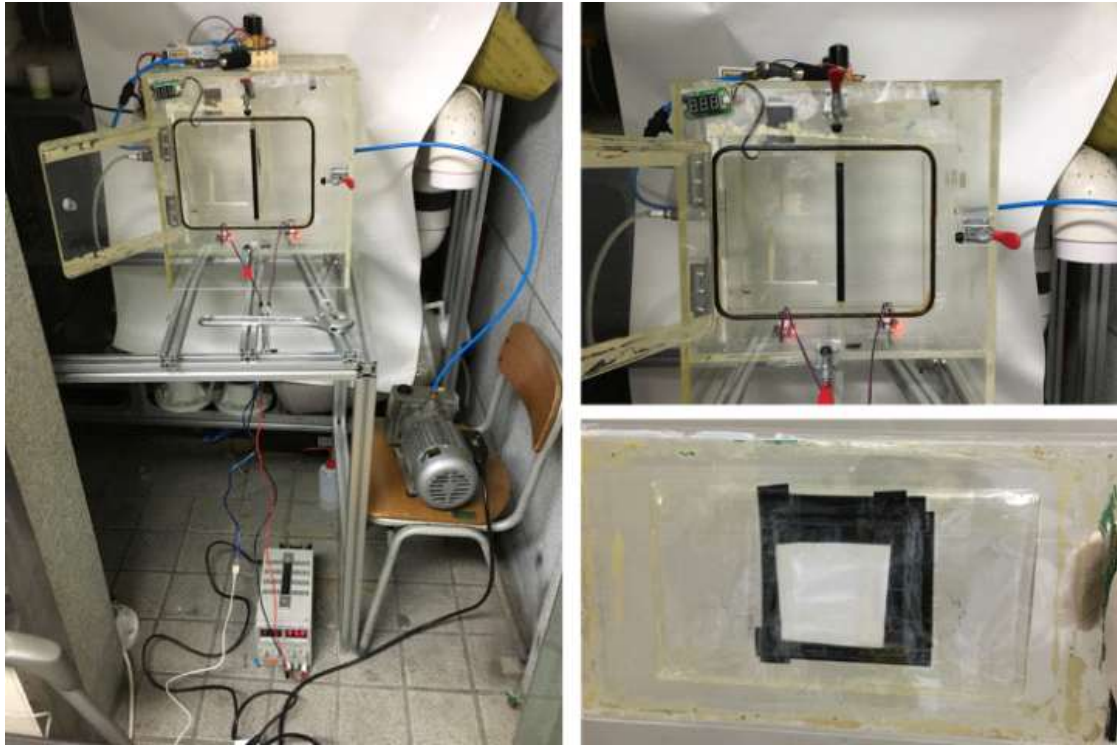


그림 162. 이산화탄소 흡착 실험을 위해 제작된 장비의 외관 및 나노섬유 부착

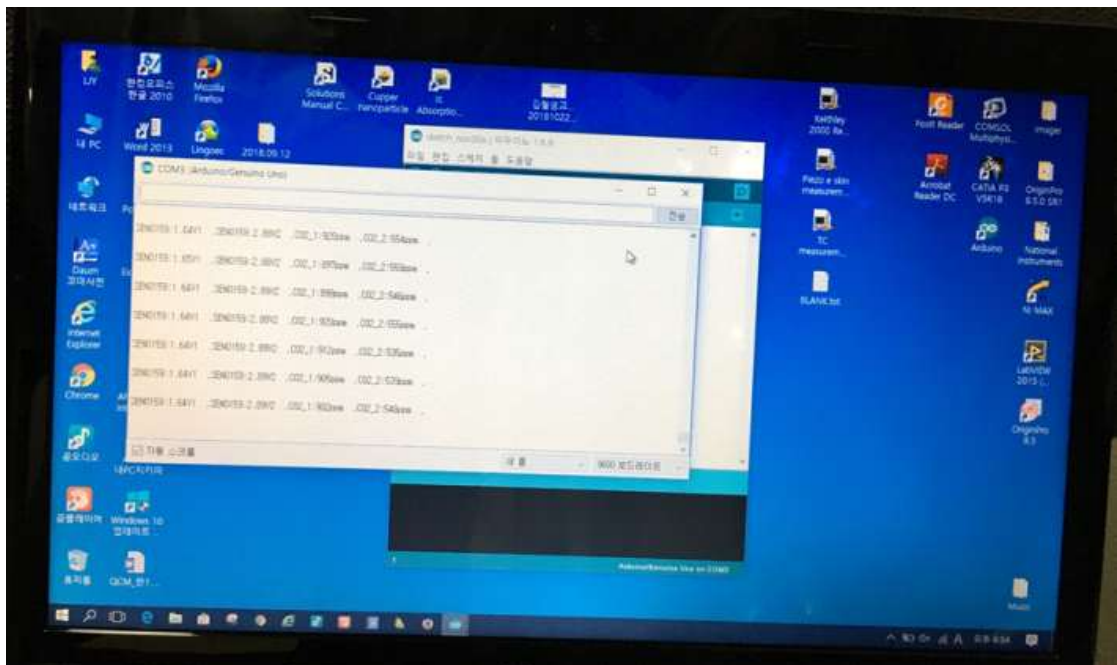


그림 163. 제작된 software의 구동 모습

- 실험을 통해 획득한 data를 analysis하기 위한 software를 Labview 프로그램을 이용해 제작 및 이를 통한 data analysis process 진행

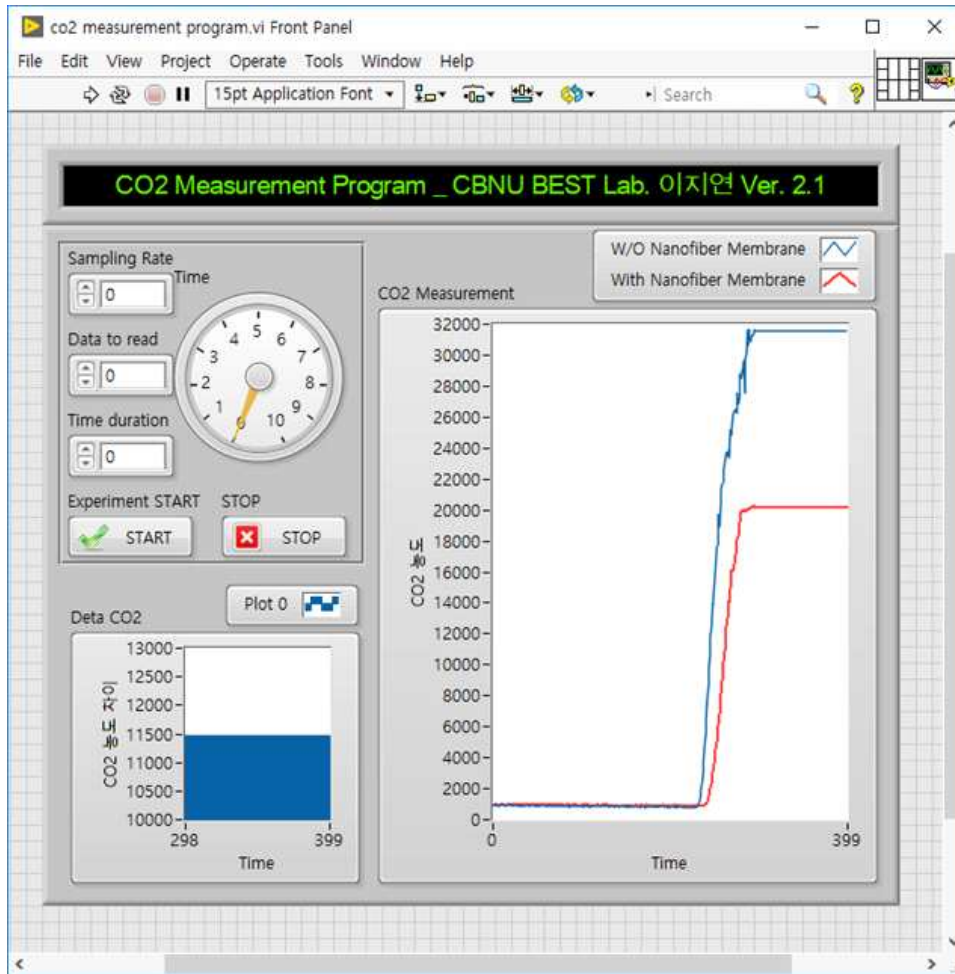


그림 164. 실험을 통해 획득한 data analysis process

- 제작된 장비를 통한 이산화탄소 흡착 실험의 결과

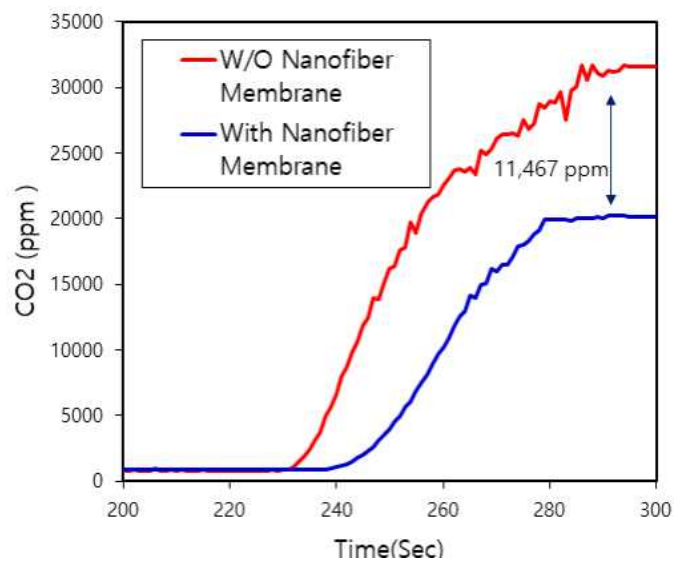


그림 165. 나노섬유 부착 여부에 따른 이산화탄소 흡착정도 비교 그래프

- 나노섬유 Mat 두께 컨트롤에 대한 연구
- 전기방사 시간에 따른 매트 두께 비교 및 분석

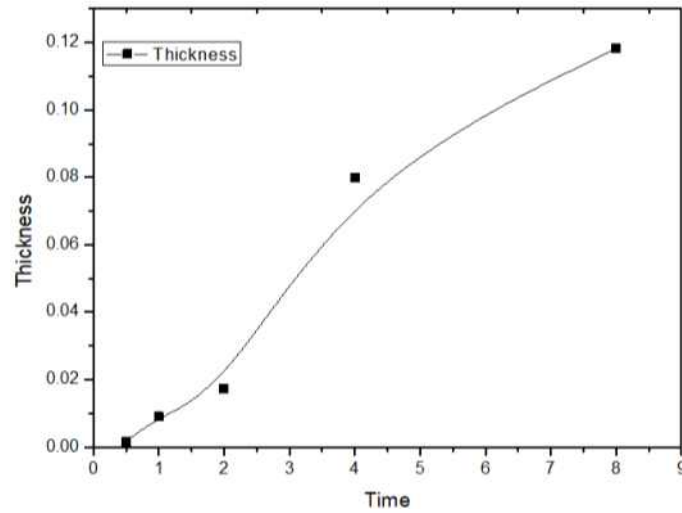


그림 166. 시간에 따른 나노섬유매트의 두께 변화 그래프

㉞ 투명 나노섬유에 정렬도 및 투시도 분석

- FFT (Fast fourier transfer) analysis 기법을 이용한 나노섬유의 정렬도 분석
- FFT기법을 이용한 전기방사 시 전압에 의한 나노섬유의 직경변화와 정렬도 이미지 비교 및 분석

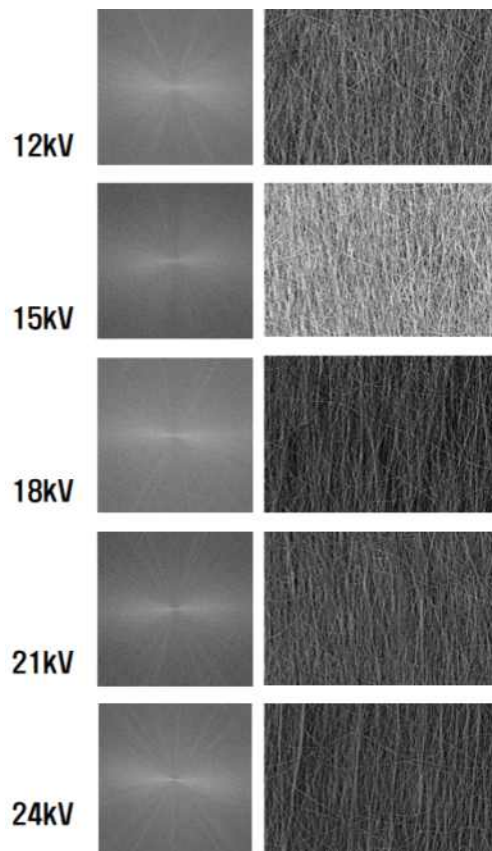


그림 167. 각 전압에 따른 SEM 이미지 및 이를 통한 FFT분석

- FFT기법을 이용한 전기방사 시 노즐에서 컬렉터 사이의 거리에 의한 나노섬유의 직경변화와 정렬도 이미지 비교 및 분석

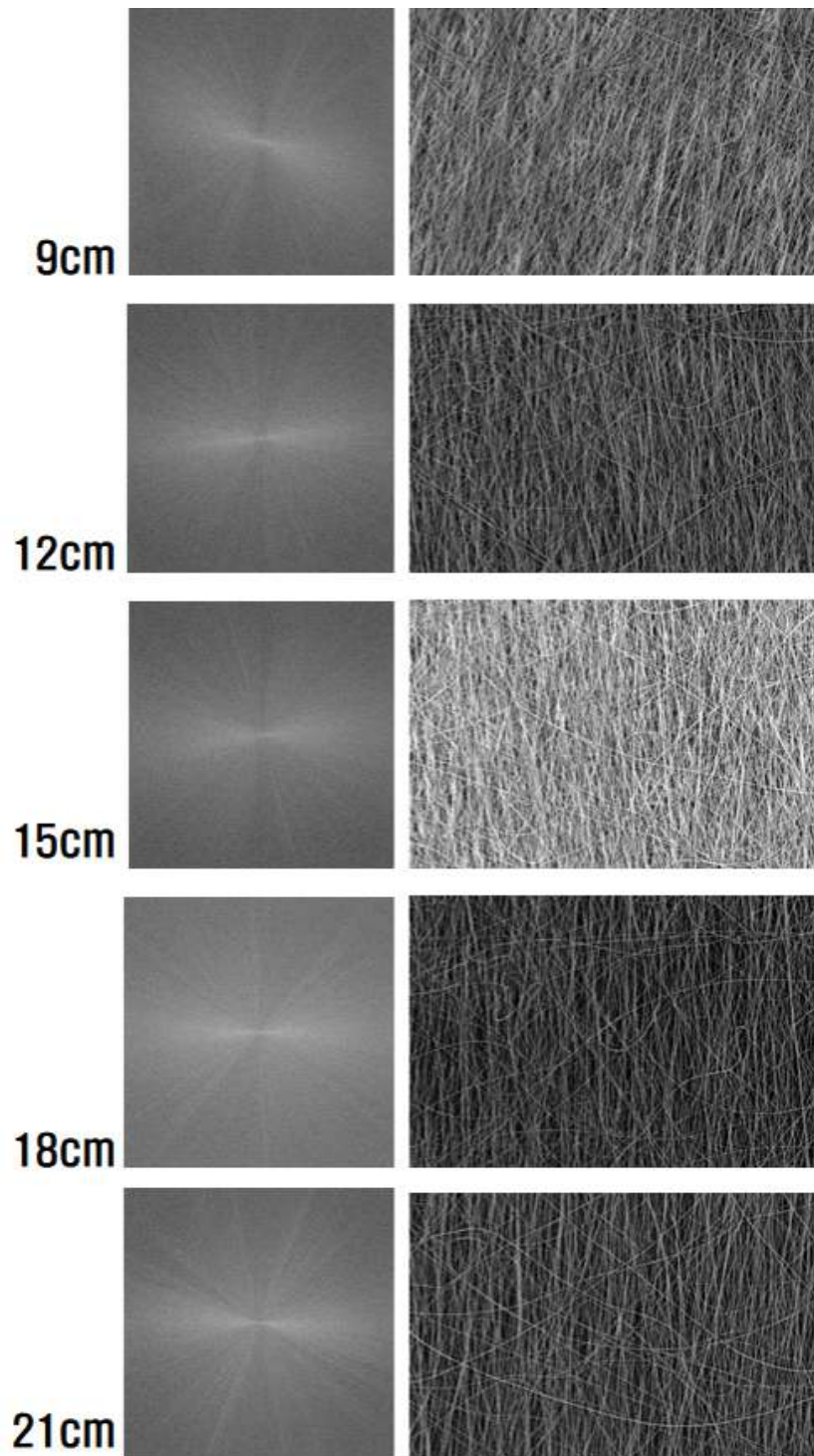


그림 168. 노즐과 컬렉터 사이의 거리에 따른 SEM 이미지 및 이를 통한 FFT분석

- FFT기법을 이용한 전기방사 시 콜렉터의 속도에 의한 나노섬유의 직경변화와 정렬도 이미지 비교 및 분석

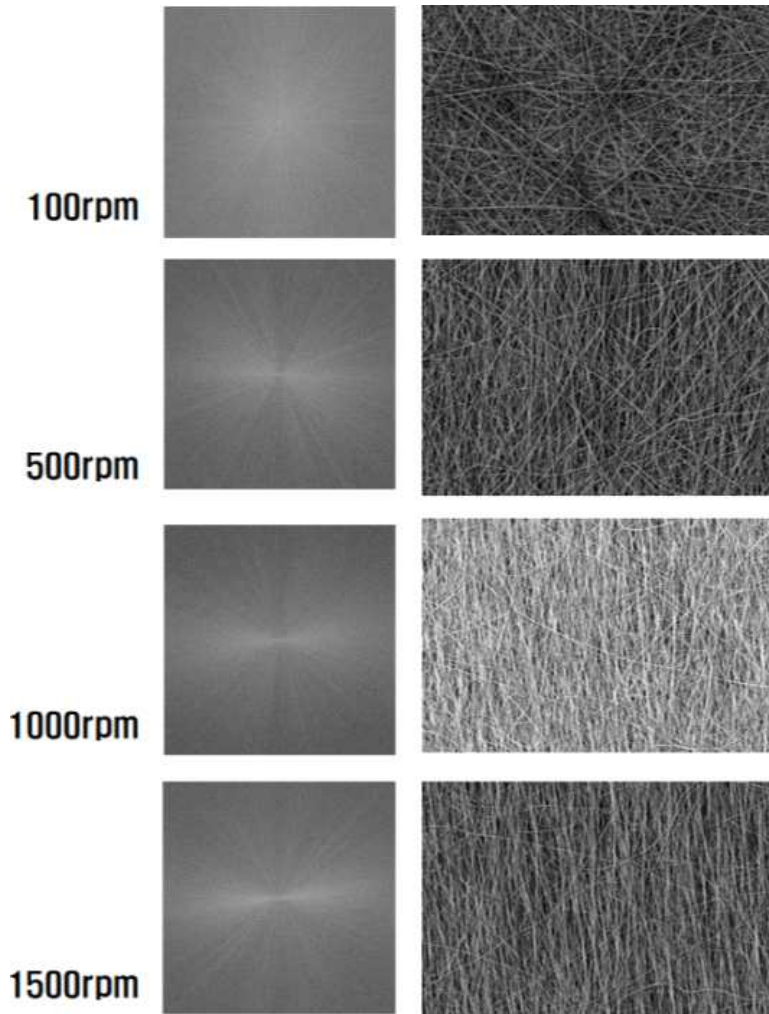


그림 169. 콜렉터의 회전속도에 따른 SEM 이미지 및 이를 통한 FFT분석

■ 나노섬유의 정렬도에 따른 투시도 분석

- FFT기법을 이용한 전기방사 시 전압에 의한 나노섬유의 직경변화와 픽셀 강도 변화 그래프의 비교 및 분석

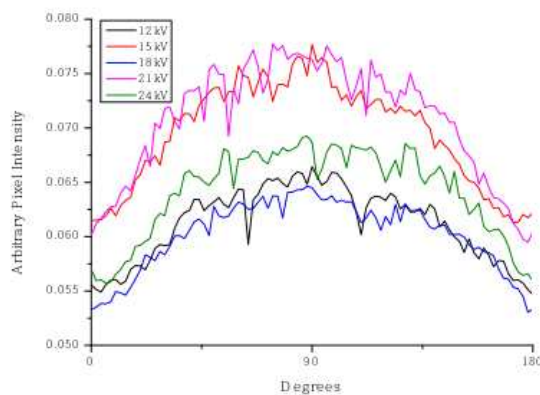


그림 170. 각 전압에 따른 FFT분석 결과를 이용한 Arbitrary pixel intensity 그래프

- FFT기법을 이용한 전기방사 시 노즐에서 콜렉터 사이의 거리에 의한 나노섬유의 직경변화와 픽셀 강도 변화 그래프의 비교 및 분석

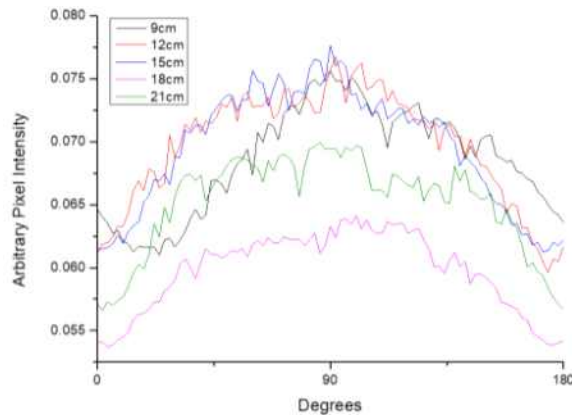


그림 171. 노즐과 콜렉터 사이 거리에 따른 FFT분석 결과를 이용한 Arbitrary pixel intensity 그래프

- FFT기법을 이용한 전기방사 시 콜렉터의 속도에 의한 나노섬유의 직경변화와 픽셀 강도 변화 그래프의 비교 및 분석

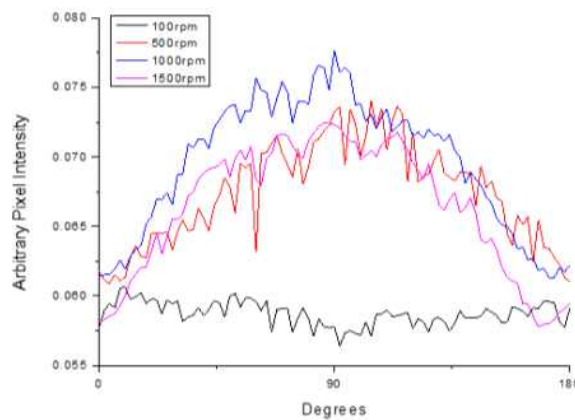


그림 172. 콜렉터의 회전속도에 따른 FFT분석 결과를 이용한 Arbitrary pixel intensity 그래프

■ 마이크로플레이트리더기 (MTT)를 통한 투명도 분석 진행

- MTT를 사용하여 전기방사 시 전압에 따른 나노섬유의 직경변화에 의한 380-780nm에서의 optical density 측정

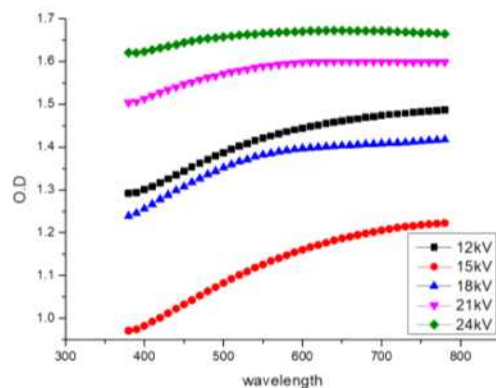


그림 173. 전압에 따른 optical density양의 변화 그래프

- MTT를 사용하여 전기방사 시 노즐에서 콜렉터 사이의 거리 변화에 따른 나노섬유의 직경 변화에 의한 380-780nm에서의 optical density 측정

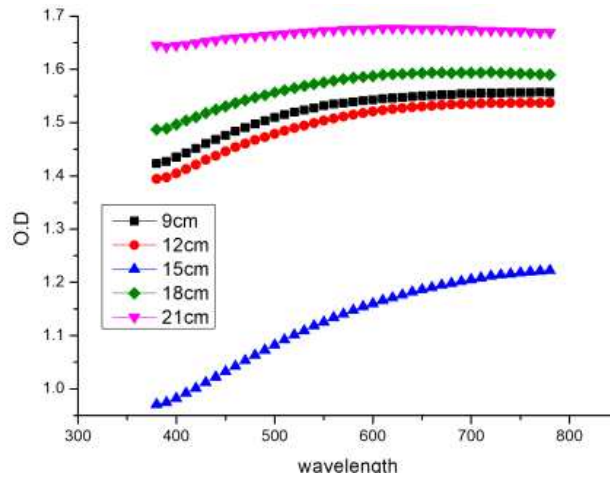


그림 174. 노즐과 콜렉터 사이 거리에 따른 optical density양의 변화 그래프

- MTT를 사용하여 전기방사 시 콜렉터의 회전 속도에 따른 나노섬유의 직경변화에 의한 380-780nm에서의 optical density 측정

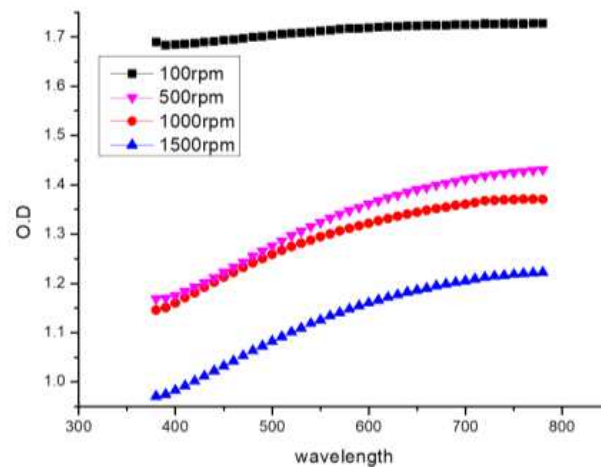


그림 175. 콜렉터 회전속도에 따른 optical density양의 변화 그래프

㉔ 나노섬유 필름의 기계적 강도 향상을 위한 연구

■ 나노섬유 필름 생산을 위한 솔루션의 기계적 강도 향상을 위한 첨가제 검토 연구

- 자료를 통하여 cellulose 계열의 powder를 혼합하여 나노섬유를 제작하는 경우 물리적 강성이 증가할 것을 예측함
 - PU만 방사한 결과에 비하여 다른 cellulose 계열의 첨가재를 넣은 나노섬유의 경우 더 좋은 물성치를 보임
 - 각 혼합물에 따라 증가되는 물성치가 다르기 때문에 이를 고려해 선택할 필요가 있음

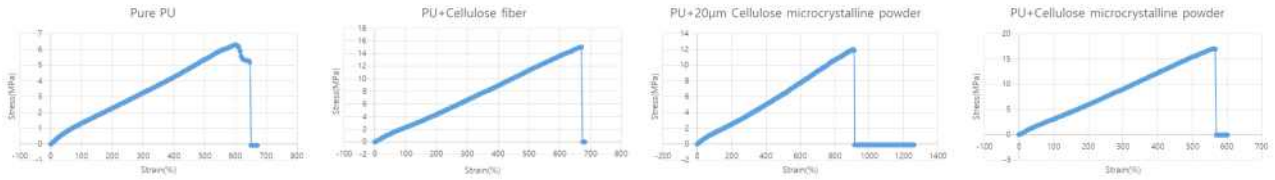


그림 176 PU와 각각의 다른 cellulose 계열의 첨가제를 혼합한 나노섬유의 기계적 강도 그래프

■ 코팅된 나노섬유의 기계적 강도 목표 (바이오 고분자 기준)

- 앞에서의 실험들을 통해 도출한 항균성이 뛰어난 Teatree oil을 첨가함으로써 물리적 강성에 미치는 영향을 비교
 - 실험을 통해 Teatree oil이 첨가된 나노섬유의 경우 stress와 strain 각각 약 2배의 증가를 보임
 - 또한 Teatree oil의 함유량이 증가됨에 따라 stress와 strain이 각각 소폭 증가하게 됨을 알 수 있음

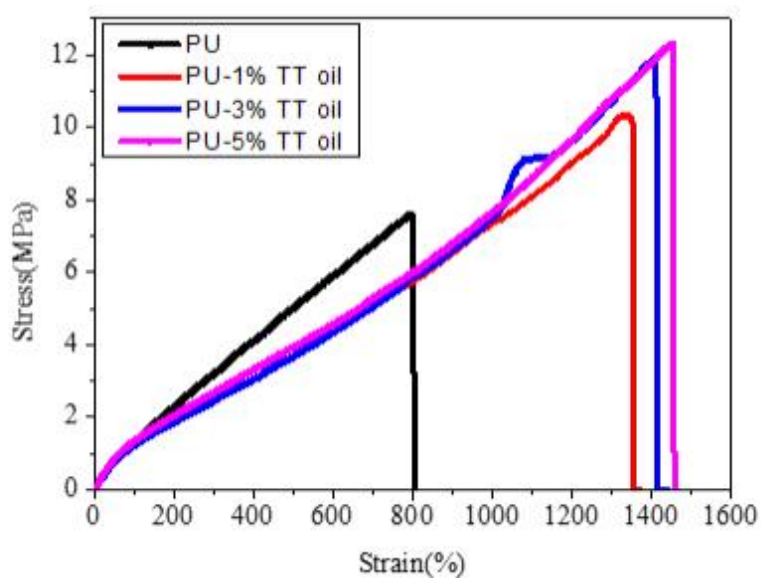


그림 177. Teatree oil의 함유에 따른 나노섬유의 물리적 강도 비교 그래프

3. 목표달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표

(1) 연도별 연구목표

(가) 주관기관 ((주)팜조아)

- ① 1차년도 : 농산물 포장용 나노섬유 제작을 위한 전기방사 장치 레이아웃 설계
- ㉠ 나노섬유 과일 포장지 제조를 위한 전기방사 나노섬유 제조 시스템 레이아웃 설계
 - 농산물 전용 포장지 제작에 적합한 나노섬유 필름제조 공정 설계
- ㉡ 포장지 제조 실험을 위한 Lab Type 전기방사 장치 설계
 - Lab type 형태로 나노섬유 생산 공정 기능을 갖는 시스템 설계
 - Cylinder type의 나노파이버 발생장치 테스트 공간 확보
 - 나노섬유 필름 생산 특성연구 수행
- ㉢ 나노섬유를 이용한 전용 포장지 제작에 대한 공정 설계 및 사업화 추진 계획 수립
 - 나노섬유 필름을 이용한 포장지 제조 공정 레이아웃 개발
 - 식품공장 신축하여 개발한 시스템 구동을 위한 공간 확보
- ② 2차년도 : 나노섬유제조장치 개발 및 나노섬유를 이용한 포장기술 개발 총괄
- ㉠ Lab Type 시스템을 이용한 투명 나노섬유 생산 테스트 수행
 - 개발한 Lab Type 전기방사 장치를 이용한 나노섬유 생산 진행
 - 포장지 개발을 위한 조건별 나노섬유 생산 시스템 운영
 - Lab Type 운영을 통하여 양산형 시스템 제작시 설계 변수 피드백
- ㉡ 생산한 투명 나노섬유를 이용한 포장 적용 가능한 사업 분야에 대한 추진 계획 수립
 - 생산한 나노섬유를 이용한 포장지 적용 가능 분야 검토
- ㉢ 투명 나노섬유를 이용한 포장지 시제품 제작
 - 나노섬유를 이용한 포장지 시제품 제작
 - 실제 유통되는 농산물에 나노섬유 필름 포장지 적용 테스트
- ③ 3차년도 : 개발된 나노섬유를 이용한 농산물 포장 전용 포장지 제작 및 사업화 추진
- ㉠ 나노섬유 필름 제조 시스템을 이용한 과일 포장용 향균 나노파이버 제조
 - 개발한 나노섬유 필름 제조 장치를 이용한 포장지 전용 향균 나노필름 제조
 - 시스템 운영을 위한 이공계 경력자 채용 전담인력 배치

㉔ 개발한 나노섬유를 이용한 포장지 제작

- 삶은 나물, 과일 유통 향상을 위한 나노섬유가 적용된 전용 포장지 개발
- 개발된 나노섬유가 농산물의 선도 유지 연장 비교 분석

㉕ 나노섬유 포장지를 이용한 수출 사업화 추진

- 새만금 농생명용지 농업특화단지 직영생산 품목인 딸기, 토마토, 엽채류 대상 수출 사업화

(나) 참여기관 1 ((사)캠텍종합기술원)

① 1차년도 : 농산물 포장용 나노섬유 포장지 제조 공정 및 조건실험을 위한 전용 Lab Type 전기방사 장치 개발

㉑ Lab type에 최적화 및 양산성 검증을 위한 전기방사 장치 Cylinder type 노즐 설계

- 테스트용 나노섬유 필름 생산을 위한 전용 Cylinder type 노즐 설계

㉒ Cylinder type Multi nozzle 테스트를 위한 전용 Syringe pump 개발

- 개발한 Cylinder type Multi nozzle에 고분자 솔루션을 주입하기 위한 전용 Syringe pump 설계

㉓ 전기방사 및 유동 해석을 통한 Cylinder type 노즐 설계 최적화 설계

- 나노섬유 정렬을 위한 폭 500mm 전기방사 장치의 전기장 해석 검토 진행

② 2차년도 : 농산물 포장용 투명 나노섬유 제조장치 시스템 설계 및 제작

㉑ Lab Type용 나노섬유 필름 제조 시스템 제작 완료

- 1차년도 시스템 설계 및 조건 반영한 Lab Type 전용 나노섬유 필름 제조시스템 개발 완료
- Lab type 전기방사 장치의 통합 제어 시스템 개발 완료
- Cylinder type의 Multi nozzle 나노파이버 발생장치 개발
- Cylinder type의 Multi nozzle 전기장 해석 검토 완료
- 개발한 Cylinder type의 Multi nozzle에 고분자 솔루션 공급을 위한 전용 Pump system 개발

③ 3차년도 : 농산물 포장용 투명 나노섬유 제조장치 시스템 최적화 개발

㉑ 폭 1m 양산형 전기방사 장치 제작완료

- 나노섬유 필름 제조 가능한 양산형 고속전기 방사 시스템 개발
- 생산성 향상 전기방사를 위한 노즐 추가 가능한 시스템 구조 설계 적용

㉒ 통합제어시스템 구축

- 양산형 나노섬유 제조를 위한 전용 통합 제어 시스템 구축

㉓ 시스템 운영을 위한 전용 프로그램 개발

- 양산형 고속전기방사 시스템 전용 프로그램 개발

(다) 참여기관 2 (전북대학교)

- ① 1차년도 : 투명 나노섬유 제조를 위한 전기방사 시스템 전기장 해석 연구
- ㉠ 투명 나노섬유 제조용 전기방사 시스템을 위한 전기장 시뮬레이션 수행
 - COMSOL AC/DC 모듈을 이용한 전기방사 시뮬레이션
 - 나노섬유 정렬도에 따른 투명 나노섬유 제조에 대한 연구 수행
- ㉡ 해석 Data를 반영한 Lab type 시스템 레이아웃 설계 검토
 - Collector 설계 및 nozzle과 collector간 최적 거리 확인
 - 방사속도, 노즐각도, 방사량 조건 확립
- ㉢ 정렬나노섬유 생성을 위한 전기방사 시스템 전기장 해석을 위한 자료 수집 및 논문 분석
 - High Impact factor (I.F) 위주의 전기방사 장치 유한 요소 해석 논문 리뷰
 - 핵심 특허 등록을 위한 기존 투명 나노 섬유 제조 시스템 설계 회피 방안 확립
- ② 2차년도 : 농산물 포장에 최적화된 투명 나노섬유 제조를 위한 고분자 폴리머 선정 및 조성비 연구
- ㉠ 향균 기능을 갖는 농산물 포장용 나노섬유 제조
 - 농산물 포장에 적합한 향균 물질 선정
 - 농산물 포장에 적합한 고분자 선정
 - 선정된 향균 물질과 고분자간의 혼합비율 조성연구
 - 박테리아균을 이용한 향균 성능 평가 진행
- ③ 3차년도 : 농산물 포장을 위한 최적 투명 나노섬유 조건 및 기계적 강도 향상을 위한 연구 수행
- ㉠ 농산물 포장에 최적화된 투명 나노섬유 직경 및 필름 두께 컨트롤에 대한 연구
 - 투명도를 확보하기 위한 나노섬유 최적 직경 제조 연구
 - 나노섬유를 이용한 이산화탄소(CO₂) 흡착
 - 나노섬유 Mat 두께 컨트롤에 대한 연구
- ㉡ 투명 나노섬유에 정렬도 및 투시도 분석
 - FFT (Fast fourier transfer) analysis 기법을 이용한 나노섬유의 정렬도 분석
 - 나노섬유의 정렬도에 따른 투시도 분석
 - 마이크로플레이트리더기 (MTT)를 통한 투명도 분석 진행
- ㉢ 나노섬유 필름의 기계적 강도 향상을 위한 연구
 - 나노섬유 필름 생산을 위한 솔루션의 기계적 강도 향상을 위한 첨가제 검토 연구

■ 코팅된 나노섬유의 기계적 강도 목표 (바이오 고분자 기준)

(2) 성능지표

평가 항목 (주요성능 Spec1))	단위	개발 목표치			평가 방법3)
		1차년도 (2016년)	2차년도 (2017년)	3차년도 (2018년)	
1. 나노파이버 투명도	A.U. (Arbitrary Unit)	-	1.5이하	1.0이하	광학밀도 (Optical density)
2. 나노파이버 생산속도	mm/min	-	100이상	300이상	생산속도 실제 측정
3. 나노파이버 코팅 두께 오차	%	-	20%이하	10%이하	SEM을 이용한 단면 분석
4. 출력인가전압정밀도(오차)	V	-	±20이하	±10이하	전압 측정 TEST
5. 평균도	%	-	30%이상	50%이상	In-vitro Test

나. 목표 달성여부

(1) 연도별 연구계획대비 진도표

(가) 주관기관 ((주)팜조아)

① 1차년도

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
○ 계획수립 및 자료조사																	100
○ 시스템 레이아웃 설계																	100
○ Lab type 전기방사 설계 및 제작																	100
○ 포장지 필름제조 공정 검토																	100

② 2차년도

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
○ Lab type 전기방사 장치 제작																100
○ 투명 나노섬유 생산 테스트																100
○ 적용 가능 포장지 분야 검토																100
○ 투명 나노섬유를 이용한 포장지 시제품 제작																100

③ 3차년도

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
○ 폭 1m 나노섬유 필름 생산실험																100
○ 나노섬유 이용한 포장지 제작																100
○ 나노섬유 포장지를 이용한 사업화 추진																66

(나) 참여기관 1 ((사)캠텍종합기술원)

① 1차년도

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
○ Lab type에 최적화 및 양산성 검증을 위한 전기방사 장치 Cylinder type 노즐 설계																100
○ Cylinder type Multi nozzle 테스트를 위한 전용 Syringe pump 개발																100
○ 전기방사 및 유동 해석을 통한 Cylinder type 노즐 설계 최적화 설계																100

② 2차년도

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
○ Lab Type용 나노섬유 필름 제조 시스템 제작 완료		■	■	■	■	■				■	■	■	■	■	100

③ 3차년도

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
○ 폭 1m 양산형 전기방사 장치 제작 완료		■	■	■	■	■	■	■	■						100
○ 통합제어 시스템 구축					■	■	■	■	■	■					100
○ 시스템 운영을 위한 전용 프로그램 개발					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	100

(다) 참여기관 2 (전북대학교)

① 1차년도

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
○ 투명 나노섬유 제조용 전기방사 시스템을 위한 전기장 시뮬레이션 수행													■	■	■	100
○ 해석 Data를 반영한 Lab type 시스템 레이아웃 설계 검토													■	■	■	100
○ 정렬나노섬유 생성을 위한 전기방사 시스템 전기장 해석을 위한 자료 수집 및 논문 분석													■	■	■	100

② 2차년도

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
○ 항균 기능 갖는 포장지 나노섬유 제조방법 연구		■	■	■	■	■				■	■	■	■	■	■	100

③ 3차년도

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
○ 농산물 포장에 최적화된 투명 나노섬유 직경 및 필름 두께 컨트롤에 대한 연구															100
○ 투명 나노섬유에 정렬도 및 투시도 분석															100
○ 나노섬유 필름의 기계적 강도 향상을 위한 연구															100

다. 목표 미달성 원인 및 차후대책

(1) 목표 미달성 부분 및 원인

(가) 논문 비SCI급 게재 실적

- SCI급 논문 초과 실적으로 대체

- 비SCI급 학술지에 게재하고자 준비하던 논문을 SCI급 학술지에 게재하여, 비SCI급 논문 실적 대신 SCI논문 실적을 초과달성(목표 3건, 실적 5건) 하였음

(나) 제품화 실적

- 행정적 절차(특허권 등록)지연으로 인한 성과 미달성

- 제품화 실적의 달성을 위해서는 신제품에 적용할 기술의 이전이 선행되어야 함
- 그러나 당초 사업추진 계획에서는 기술이전 시기를 사업종료 이후 1차년도로 계획하였음
- 이에 기술이전 추진을 앞당겨 추진하고, 이를 토대로 제품화를 추진하고자 하였음
- 그러나, 기술이전 대상 특허의 등록이 늦어지면서 기술이전 또한 지연될 수밖에 없었고, 2018년 12월 말이 되어서야 기술이전을 추진할 수 있었음

(다) 교육지도 실적

- 교육지도를 위한 충분한 경험적 성과 획득 실패

- 제품화 및 사업화의 조기 추진이 어려워지면서, 과업기간 내에 교육지도에 필요한 충분한 수준의 경험적 성과를 달성하지 못하였고, 이로 인해 교육지도 실적을 충족하지 못하였음

(라) 정책활용 실적

- 목표 달성 시기 설정 오류로 인한 미달성

- 본 과제를 통해 개발된 기술을 활용해 우리 농산물 제품의 해외 수출을 진행하고, 이를 토대로 우리 농산물의 해외 진출 확대를 위한 나노섬유 농산물 포장지의 보급 및 적용 범위 확대를 정책적으로 건의하고자 하였음
- 그러나, 이상의 실적은 당초 사업계획에서 사업 종료 후 1차년도 실적으로 계획되었어야 하나, 2차년도에 달성하는 것으로 설정되어 있었음

(2) 사후 목표 달성을 위한 차후대책

(가) 기술이전 조기 추진 등 제품화 및 사업화 추진 중

- 행정적 절차 마무리

- 시제품 양산 등 제품화 추진 지연의 주요 원인이었던 특허기술의 기술이전 절차가 조기에 마무리됨에 따라 2019년도 상반기부터 시제품 양산에 필요한 기계설비 도입 등 사업화를 위한 절차가 추진될 계획임

(나) 사업화 실적을 바탕으로 사후 목표 달성

- 과제 종료 직후인 2019년도 사업화 실적을 토대로 교육지도, 정책활용을 추진할 계획임

4. 연구결과의 활용계획 등

가. 연구개발 결과 활용방안

(1) 사업화 추진 계획

(가) 현장 적용

- 주관기관 (주)팜조아에서는 2019년도 상반기 사업화를 위한 제품라인 구축 예정
- 본 과제를 통해 개발된 식품 포장재를 적용한 제품을 런칭하고, 당사 공장에서 제품 양산 및 유통 사업 진행
- 상품가치 제고, 유통비용 절감 등 신기술 적용에 따른 효익을 현장에서 실증적으로 분석하고, 다른 상품군으로 확대해나가고자 함



그림 178. (주)팜조아 공장 신기술 적용 제품라인 구축 계획도

(나) 수출 계획 : 농업기술실용화재단(FACT)을 통한 해외 농산물 수출

- 해외시장 진출을 위한 사업전략 도출 기술
- 스페인(FRUTARIA) 유통업체와 기술개발 및 상용화 진행
- 네덜란드(HESSING), 독일 생산업체와 기술개발 및 상용화 진행
- 태국, 말레이시아, 러시아, 카자흐스탄 등
- 러시아, 영국: 국립원예특작과학원과 감귤연구소에서 공동으로 러시아 및 영국으로 감귤을 수출하는 사업과 협력하여, 본 연구 결과를 통하여 개발된 기술력을 기반으로 신선도가 유지되는 수출 분야 적용 추진

붙임1. 참고문헌

Zheng, Y., Xie, S. & Zeng, Y. J Mater Sci (2013) 48: 6647.

Xin Wang et al. Nanosci Nanotechnol 2013. 13(7):4680-5

Liang Dong, Yong Liu, Rui Wang, et al. Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, 2010, 3(2): 117-120.

붙임2. 첨부자료



Copyright © 2018 American Scientific Publishers
All rights reserved.
Printed in the United States of America

Article

Journal of
Nanoscience and Nanotechnology
Vol. 18, 1123–1126, 2018
www.aspbs.com/jnn

Preliminary Study for Measurement of Shear Stress and Hemocompatibility Using Commercialized Lab on a Chip

Joshua Lee¹, In Gi Kim¹, Young Min Oh^{2,3,*}, Chan-Hee Park^{1,4,*}, and Cheol Sang Kim^{1,4,*}

¹Department of Bionanosystem Engineering, Graduate School, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

²Department of Neurosurgery, Research Institute of Clinical Medicine, Chonbuk National University Medical School and Hospital, Jeonju, Korea

³Research Institute of Clinical Medicine of Chonbuk National University-Biomedical Research Institute of Chonbuk National University Hospital, Jeonju, Korea

⁴Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

We have investigated the effect of flow rate on shear stress and in turn thrombus formation on a lab-on-a-chip with a microchannel that is suitable for cell culture and growth. Using a combination of Arduino UNO, Arduino Motor Shield, and a SERVO stepper motor, we created a pump system that closely mimics the *in vivo* conditions of the human body. With this system, we achieved continuous flow of blood and observed attached platelets at the bottom of the collagen coated microslide, confirming that with shear stress, thrombus formation increases.

Keywords: Platelet Aggregation, Thrombosis, Arduino, Shear Stress, Collagen, Lab-on-a-Chip.

1. INTRODUCTION

The past decades of blood vessel research have revealed a variety of shear stress-mediated processes that are powerful regulators of thrombosis. Fluid shear forces have direct effects on the endothelium. In addition, shear forces can also have a direct mechanical effect on the vessel wall and can mediate the interactions of blood proteins and circulating cells with the luminal surface. As shear forces have been found to be integral in regulating many aspects of vascular biology, a number of studies have been carried out in order to examine the effects of shear forces on the endothelium.¹

In this work, we sought to create a flow system that was capable of creating steady flow in a channel. This is a critical parameter for studies that aim to examine the interaction between collagen and blood flow rate. In addition, shear stresses also mediate the interactions between the endothelium and blood.²

Shear stresses are powerful regulators of cellular function and potent mediators of the development of vascular disease. Shear stress is measured as the force per unit of area created when a tangential force acts on a surface. In the case of our study, the tangential force occurs from the flow of blood and the surface is the blood vessel wall or

microchannel wall. Endothelium lining is highly sensitive to the hemodynamic shear stresses that act in the direction of the flow of blood.^{3,4} There have been studies that have studied the effects of low and high shear stresses on the formation of thrombus that have gone deeper into what exactly causes this phenomenon.^{5,6} We have designed and optimized a system allowing blood to flow in a channel, simulating blood flow in a blood vessel.

By using a pump, flow can be driven continuously into the system. We optimized the design parameters for controlling blood velocity and flow rate. Arduino UNO as a microcontroller board is widely used in the literature for various applications, including pump systems such as the one described here and thus was chosen for our study.^{7,8}

We have a whole pipeline of different organs-on-chips that we are currently working on in our labs. These chips can mimic the functionality of some organs depending on how they are designed. The true power of this technology, however, really comes from the fact that we can fluidically link them. With fluid flowing over the cells, we can interconnect multiple different chips together to form what we can essentially call a virtual human-on-a-chip. We are not going to ever recreate a whole human in these chips, but our goal is to be able to recreate sufficient functionality so that we can make better predictions of what is going to happen in humans. The system used in this study is shown in Figure 1.

* Authors to whom correspondence should be addressed.



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijbiomac



Nature derived scaffolds for tissue engineering applications: Design and fabrication of a composite scaffold incorporating chitosan-g-D,L-lactic acid and cellulose nanocrystals from *Lactuca sativa* L. cv green leaf



Sung Won Ko^{a,1}, Juan Paolo E. Soriano^{a,1}, Ji Yeon Lee^b, Afeesh Rajan Unnithan^{a,c}, Chan Hee Park^{a,b,c,*}, Cheol Sang Kim^{a,b,c}

^a Department of Bionanosystem Engineering, Graduate School, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

^b Department of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

^c Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 September 2017

Received in revised form 12 October 2017

Accepted 16 October 2017

Available online 18 October 2017

Keywords:

Cellulose nanocrystals

Chitosan

Tissue engineering

ABSTRACT

Through exhaustive extraction via successive alkali and bleaching treatments cellulose was isolated from lettuce. The isolated cellulose was hydrolyzed using 64 wt% H₂SO₄ at 55 °C under constant stirring for 1 h to obtain cellulose nanocrystals (CNCs). Characterizations such as SEM, TEM, FTIR, TGA and XRD were done in order to determine differences in the physico-chemical characteristics of cellulose after each treatment step. The isolated CNCs have mean dimensions of 237 ± 26, 33 ± 12 and 32 ± 7 nm in length, thickness and height, respectively. These nanocrystals were incorporated to the formulations that were used to fabricate different chitosan-g-D,L-lactic acid (CgLA) scaffolds. Amide linkage formation between chitosan and lactic acid and further removal of water was facilitated by oven-drying under vacuum at 80 °C. Results show that an increase in the concentration of CNCs added, increase in porosity, degradability, drug release property and cell viability were observed from the fabricated composite scaffolds. These results can provide information on how nanofillers such as CNCs can alter the properties of tissue scaffolds through the chemical properties and interactions they provide. Moreover, these characteristics can give new properties that are necessary for certain tissue engineering applications.

© 2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Tissue engineering (TE) is an interdisciplinary field of science that employs principles of bioengineering, materials science, and life sciences in order to fabricate materials that will serve as biological substitutes that would cater the necessary restoration, maintenance and improvement of impaired tissue functions [1–3]. Advancements in TE have been rapidly expanding these recent years due to high demands for more efficient and effective biocompatible and biodegradable materials. Other than such properties, enhancement of cell differentiation, growth, and other attributes needed specifically for certain applications are being integrated by further exploiting the intrinsic properties of fabricating mate-

rials. In line with the progressive researches, discoveries have also led to viable researchers' interests on discovering new composite materials that have creditable applications in the field.

The principles behind TE involve the use of natural and/or synthetic supports wherein living cells can adhere, grow, and/or regenerate [4–6]. However, an underlying requirement is that the support must degrade at a certain rate in order to give way to the proliferation of living tissues. Furthermore, the construct must have the necessary structural and mechanical properties that are equal to or better than the one being replaced [7–9]. Fabrication of composite materials for TE has allowed tissue constructs to have the necessary properties, derived from each component or as bulk system, needed for certain applications. The use of nanofillers, which introduces particulate materials in nanoscale, has given new possibilities for materials fabrication and integrated new properties for tissue scaffolds [10–13].

CNCs are one of the most promising materials that can be used in this field. They are derived from cellulose which is the most

* Corresponding authors at: Department of Bionanosystem Engineering, Graduate School, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea.

E-mail addresses: biochan@jbnu.ac.kr (C.H. Park), chskim@jbnu.ac.kr (C.S. Kim).

¹ The two authors contributed equally.



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijbiomac



Development of bioactive cellulose nanocrystals derived from dominant cellulose polymorphs I and II from *Capsosiphon Fulvescens* for biomedical applications



Sung Won Ko^a, Juan Paolo E. Soriano^a, Afeesh Rajan Unnithan^{a,b}, Ji Yeon Lee^b, Chan Hee Park^{a,b,c,*}, Cheol Sang Kim^{a,b,c,*}

^a Department of Bionanosystem Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

^b Department of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

^c Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 September 2017

Received in revised form 20 October 2017

Accepted 8 November 2017

Available online 10 November 2017

Keywords:

Capsosiphon fulvescens

Cellulose nanocrystals

Cellulose polymorphs

ABSTRACT

Cellulose I and II polymorphs were isolated from *Capsosiphon fulvescens* (CF) using the conventional method of extraction and direct mercerization of raw sample, respectively. The morphological and structural differences between the isolated polymorphs were studied by FTIR, FESEM and XRD. Direct mercerization of raw CF yielded the transformation of highly crystalline cellulose I (81.3%) to II (63.7%) as observed in the shifting of XRD patterns. The derived cellulose I and II were hydrolyzed (60% w/w H₂SO₄, 55 °C, 1 h, 10 mL/g) to obtain the spindle-shaped cellulose nanocrystals. Cellulose nanocrystal I was observed to have a mean thickness and length of 12.67 ± 2.69 and 92.31 ± 21.31 nm, respectively; while cellulose nanocrystal II has a mean thickness and length of 15.58 ± 2.85 and 78.09 ± 18.22 nm, respectively. Furthermore, a fiber-like mat assembly, which could be used as supplement support structure for tissue engineering, was obtained after subjecting the aqueous cellulose nanocrystal suspensions to freeze-drying. A possible application of this material can be as a biocompatible and biodegradable composite for tissue engineering and other biomedical applications.

© 2017 Published by Elsevier B.V.

1. Introduction

The growing demand for natural materials from renewable resources has encouraged various studies in this field due to their vast sources, unique properties, inherent biodegradability, and low health and safety risks. Cellulose is one of such natural material that has undergone extensive research in recent years. It has long been used as engineering materials with flexibility and mechanical performance by taking advantage of its hierarchical structure. Other application demands have pushed researchers not only to further exploit its unique properties and structure but also find new sources from which it can be derived. Generally, most sources of cellulose come from constituent parts of higher plants. Cellulose from

these sources is found to associate with lignin and hemicelluloses to form a rigid structure that serves as support [1]. Other sources like fungi, algae and bacteria have also been studied and were determined to have different structural components, which may involve other naturally occurring polysaccharides or lack lignin as observed in most algae [2–5]. In the case of bacteria, several strains from the genera *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* and *Sarcina* were have been reported to produce cellulose [6–11]. On the other hand, a handful of studies have reported the isolation of highly crystalline cellulose from algae such as the single-celled *Valonia* sp. [12]. Recent studies as well have shown that cellulose can also be extracted from tunicates, which are the only discovered animal capable of biosynthesizing the compound [13,14].

The chemical structure of cellulose consists of D-glucopyranose units (10,000–15,000) linked by β-1,4-glycosidic bonds forming the linear and high molecular weight homopolymer [15]. Due to the predominance of hydroxyl groups in the backbone of cellulose, it is capable of both intra- and intermolecular hydrogen bonding. Hence, resulting to the formation of the metastable semicrystalline structure where an arrangement of highly ordered (crystalline) and less ordered (amorphous) domains are found. The molecular orientation of this semicrystalline structure can undergo modifications giving rise to different polymorphs depending on the source of

Abbreviations: CF, *Capsosiphon fulvescens*; CFN, *Capsosiphon fulvescens* treated with 0.5 M KOH; CFM, *Capsosiphon fulvescens* treated with 2.0 M KOH (mercerized); CFCl, cellulose I derived from *Capsosiphon fulvescens* treated with 0.5 M KOH; CFClI, cellulose II derived from *Capsosiphon fulvescens* treated with 2.0 M KOH; CFCNCl, cellulose nanocrystals hydrolyzed from cellulose I; CFCNClI, cellulose nanocrystals hydrolyzed from cellulose II.

* Corresponding authors at: Department of Bionanosystem Engineering, Graduate School, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea.

E-mail addresses: biochan@jbnu.ac.kr (C.H. Park), chskim@jbnu.ac.kr (C.S. Kim).



Contents lists available at ScienceDirect

Chemical Engineering Journal

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cej



Lactic acid assisted fabrication of bioactive three-dimensional PLLA/ β -TCP fibrous scaffold for biomedical application



Sunny Lee^{a,1}, Mahesh Kumar Joshi^{a,b,1}, Arjun Prasad Tiwari^a, Bikendra Maharjan^a, Kyung Suk Kim^{c,*}, Yeo-Heung Yun^d, Chan Hee Park^{a,*}, Cheol Sang Kim^{a,c,e,*}

^a Department of Bionanosystem Engineering, Graduate School, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

^b Department of Chemistry, Tri-Chandra Multiple Campus, Tribhuvan University, Kathmandu, Nepal

^c Department of Molecular Biology, College of Natural Science, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

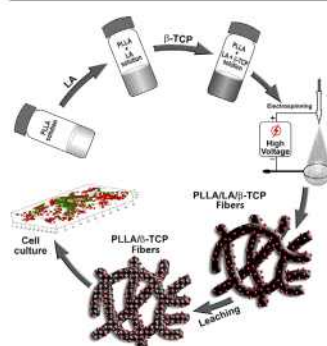
^d Department of Bioengineering, North Carolina Agricultural & Technical State University, Greensboro, NC 27411, United States

^e Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

HIGHLIGHTS

- 3-Dimensional novel biofunctional fluffy-type fiber was reported.
- Lactic acid was found to have a key role for formation.
- Ratio of PLLA/LA determines packing and morphology of fiber.
- Fluffy type fibrous mesh greatly improved the swelling properties, biomimetic mineralization, cell infiltration and growth.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Keywords:

Electrospinning
Post electrospinning process
3D fluffy scaffold
Cellular infiltration
Bone regeneration

ABSTRACT

Low-density, high porous bioactive fibrous scaffolds have attracted significant attention for tissue engineering. However, fabrication of biomimetic fibrous scaffolds having three-dimensional architecture along with bioactive materials still remains a challenging task for biomaterial scientists. Herein, for the first time, we developed a novel strategy to fabricate highly porous β -tricalcium phosphate (β -TCP) incorporated Poly (*L*-lactide) (PLLA) fibrous scaffold for bone tissue engineering. Blending of PLLA with its monomer, lactic acid (LA) produced the fluffy type highly porous nanofibrous mesh. The mass composition of the constituents of the blend solution was varied to control the morphology and packing of the nanofibers in the scaffold. The results showed that LA played the vital role in the generation of the 3D fluffy type fibrous mesh. β -TCP particles were incorporated in the blend solution prior to the electrospinning solution, to fabricate β -TCP incorporated PLLA fibrous scaffold. Later, LA was leached out by washing with distilled water, to avoid its adverse effect on biocompatibility. Digital and SEM images revealed the formation of spongy, low-density fibrous mesh. TEM images, IR, and TGA analysis confirmed the presence of β -TCP nanoparticles in the nanofibers after leaching of LA. Incorporation of the β -TCP enhanced the water uptake ability, *in vitro* bio-mineralization, and bioactivity of the fibrous scaffold. Confocal

* Corresponding authors at: Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea (C.S. Kim).

E-mail addresses: sukkim@jbnu.ac.kr (K.S. Kim), biochan@jbnu.ac.kr (C.H. Park), chskim@jbnu.ac.kr (C.S. Kim).

¹ Authors contributed equally to this work.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.158>

Received 22 October 2017; Received in revised form 23 April 2018; Accepted 23 April 2018

Available online 24 April 2018

1385-8947 / © 2018 Elsevier B.V. All rights reserved.

pH/NIR-Responsive Polypyrrole-Functionalized Fibrous Localized Drug-Delivery Platform for Synergistic Cancer Therapy

Arjun Prasad Tiwari,[†] Tae In Hwang,[†] Jung-Mi Oh,[‡] Bikendra Maharjan,[†] Sungkun Chun,[‡] Beom Su Kim,[§] Mahesh Kumar Joshi,^{†,1,⊕} Chan Hee Park,^{*,†,||} and Cheol Sang Kim^{*,†,||,⊕}

[†]Department of Bionanosystem Engineering, Graduate School, [‡]Department of Physiology, [§]Carbon Nano Convergence Technology Center for Next Generation Engineers, and ^{||}Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

¹Department of Chemistry, Tri-Chandra Multiple Campus, Tribhuvan University, Kathmandu 44605, Nepal

Supporting Information

ABSTRACT: Localized drug-delivery systems (LDDSs) are a promising approach for cancer treatment because they decrease systematic toxicity and enhance the therapeutic effect of the drugs via site-specific delivery of active compounds and possible gradual release. However, the development of LDDS with rationally controlled drug release and intelligent functionality holds great challenge. To this end, we have developed a tailorable fibrous site-specific drug-delivery platform functionalized with pH- and near-infrared (NIR)-responsive polypyrrole (PPy), with the aim of cancer treatment via a combination of photothermal ablation and chemotherapy. First, a paclitaxel (PTX)-loaded polycaprolactone (PCL) (PCL-PTX) mat was prepared by electrospinning and subsequently in situ membrane surface-functionalized with different concentrations of PPy. The obtained PPy-functionalized mats exhibited excellent photostability and heating property in response to NIR exposure. PPy-coated mats exhibited enhanced PTX release in a pH 5.5 environment compared to pH 7.4. Release was further accelerated in response to NIR under both conditions; however, superior release was observed at pH 5.5 compared to pH 7.4, indicating a dual stimuli-responsive (pH and NIR) drug-delivery platform. More importantly, the 808 nm NIR irradiation enabled markedly accelerated PTX release from PPy-coated PCL-PTX mats and slowed and sustained release following termination of laser irradiation, confirming representative stepwise drug-release properties. PPy-coated PCL-PTX mats presented significantly enhanced in vitro and in vivo anticancer efficacy under NIR irradiation compared to PPy-coated PCL-PTX mats not exposed to NIR or uncoated mats (PCL-PTX). This study has thus developed a promising fibrous site-specific drug-delivery platform with NIR- and pH-triggering that notably utilizes PPy as a dopant for synergistic photothermal chemotherapy.

KEYWORDS: polypyrrole, electrospinning, fibrous membrane, pH/NIR-responsive, photochemotherapy



1. INTRODUCTION

Recently, hybridization of effective treatments has offered combinational therapy with higher success rates, increased survivability, and improved quality of life. Several therapeutic particulate drug-delivery systems that integrate chemotherapies with photothermal agents, such as gold nanomaterials,^{1,2} carbon nanomaterials,^{3,4} gold/copper nanohybrids,⁵ and conjugated polymers,^{6,7} show great potential in cancer treatment. Near-infrared (NIR)-induced photothermal therapy (PTT) is currently being widely investigated and developed as an alternative to conventional cancer treatment modalities due to its less invasive nature and high selectivity.^{1,3,4,8} NIR falls in the 650–1450 nm region of the spectrum with the lowest absorption in tissue, therefore enabling maximum tissue penetration (5–30 mm) and use in PTT applications.⁹ PTT agents absorb NIR light and dissipate the absorbed energy through heating, which induces a temperature rise in the local milieu that results in irreversible cell damage.^{7,10} Nevertheless, PTT alone is unlikely to eradicate tumor cells because of the

heterogeneous distribution of heat in the tumor. Moreover, there is a possibility of survival of residual cells after therapy spreading to distant organs, resulting in cancer metastasis or tumor remission.^{11,12} On the other hand, chemotherapy, a common treatment for many cancer types, cannot by itself sufficiently eliminate tumors; rather, it induces many severe health issues, such as drug resistance and toxic side effects, due to nonspecific distribution.^{3,4,12,13} Photothermal agents alone or in combination with other drugs are generally encapsulated in polymers or protein materials as nanoparticles,^{1,6,14} liposomes,⁴ and micelles^{12,15} and subsequently delivered via systematic circulation. Chen et al.⁶ used an imageable and photothermal human serum albumin (HSA) indocyanine green (ICG) paclitaxel (PTX) (HSA-ICG-PTX) nanoparticle to treat subcutaneous and metastatic breast cancers, and the combina-

Received: November 20, 2017

Accepted: May 29, 2018

Published: May 29, 2018

폭 50cm 나노섬유 정렬을 위한 상향식 전기방사 시스템의 전기장 해석 연구

A study on Electric Field Analysis of up-ward electrospinning System for Fabricate aligned Nanofibers Mat

*김재원¹, #박찬희², 이정호¹, 이준호¹, 이지연², 이영찬³

*J. W. Kim¹, #C. H. Park(biochan@jbnu.ac.kr)², J. H. Lee¹, J. H. Lee¹, J. Y. Lee², E. C. Lee³

¹(사)캠텍종합기술원, ²전북대학교 기계설계공학부, ³(주)팜조아 농업회사법인

Key words : Electro-spinning, Aligned, Multi-nozzle, Electrical

1. 서론

최근 나노섬유를 이용한 다양한 응용분야에 대한 연구가 활발하게 진행되어 지고 있으며, 이러한 나노섬유는 대부분 전기방사법(Electro spinning)을 이용한 방법이 가장 많이 사용되어 지고 있다[1]. 보통 전기방사법에 의한 나노섬유는 랜덤한 나노섬유만 제조가 가능한데 최근에는 정렬된 나노섬유를 이용한 어플리케이션 분야에 기술적 트렌드로 자리잡고 있다[2] 투명한 나노섬유를 생산하기 위한 방법으로는 고속회전이 가능한 collector base 들 이용한 방법과, 전기장 (Electric field)을 이용한 방법이 주로 이용되어 지고 있다.

한편, 기존의 전기방사법은 생산성이 매우 낮아 경제성이 적은 단점을 가지고 있어, 본 연구에서는 이러한 생산성의 문제를 해결하고 정렬된 나노섬유를 생산하기 위하여 폭 50cm 의 상향식 전기방사 시스템 기반의 정렬된 나노섬유 생산 시스템을 설계 하고, 전기장 해석을 통하여 노즐과 collector base 사이의 전기장 변화에 대하여 연구하였다.

2. 정렬된 나노섬유 생산을 위한 Collector base 설계 및 해석 조건

본 연구에서는 정렬된 나노섬유 방사를 위하여 전기장 분포를 이용하였다. Collector base 위치에서 나노섬유가 포집 될 때 전하의 방향성에 따라 나노섬유가 정렬이 되도록 유도하기 위해 전용 Collector base 들 설계 하였다.

이를 위한 시스템 설계는 그림 1 과 같이

Multi-nozzle 을 Collector base 아래 설치하여 상향식 전기방사를 할 수 있도록 하고, Collector base 에 3 개의 구리판을 배열하여 구리판 아래로 나노섬유를 포집하기 위한 Preform mat 가 흘러가는 구조로 설계를 진행 하였다.

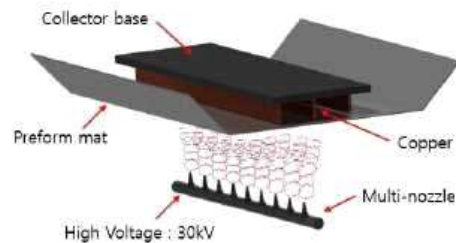


Fig 1 Design for aligned nanofiber structures

설계된 Collector base 의 전기장 해석을 위하여 COMSOL Multiphysics 의 Electrostatics module 을 이용하였다. 해석 조건은 그림 2 와 같이 Multi-nozzle 에 30kV 의 High Voltage 를 인가하고, Collector base 에 Ground 를 설정하여 전기장 해석을 진행 하였다.



Fig. 2 Condition for electric field analysis



Development of Fruit Packing Technology for Prolonging the Shelf Life of Fruits using Biocompatible Nanofibers

Ji Yeon Lee¹, Seo Yeon Lee², Se Rim Jang², Young Chan Lee³, Eun Kyung Hwang³, Jung Ho Lee⁴, Jae Won Kim⁴, Chan Hee Park^{2,5*}, Cheol Sang Kim^{2,5*}

¹ Mechanical Design Engineering Department, Chonbuk National University
² Biosystem Engineering Department, Chonbuk National University
³ EHRMADA, Mokcheon-dong, Beomseong 1-gil, 25stree trail Hwan-si, Jeonbuk
⁴ CAMTEC, #67, Seong-ro, Duijin-gu, Jeonju-city, Jeollabuk-do, 54852
⁵ Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University

*E-mail : swc2736630@gmail.com, biochan@jbnu.ac.kr, chskim@jbnu.ac.kr

BMS Biomaterials
SCIENCE & BIOSYSTEM

Abstract

The commercial use of nanofibers for fruit packaging is limited due to their poor mechanical and blocking properties. The most important factors of fruit coatings include water-resistance, absorption of oxygen (O₂), extraction of carbon dioxide (CO₂) and bioinertness. In this study, we discuss how to make an effective packaging for fruits to extend fruit shelf life and improve its mechanical and barrier properties. We utilize electrospinning for easy electrohydrodynamic fabrication of nanofibers by electric force to fabricate nano-sized fibers with high porosity for the exchange of oxygen and carbon dioxide. Moreover, when we make the solution prior to electrospinning, we blend silver nanoparticles with the biocompatible solution to minimize interaction between the fruit and nanofibers. We also compared the spoilage rate of the packaged fruit with the bare fruit to see the influence of the nanofibers. SEM images of the nanofibers for fruit coating were taken to visualize the fibers and the pores. These fibers have superior mechanical properties and may serve as effective fruit coatings and expect them to overcome the limits of previous studies.

Experimental Methods

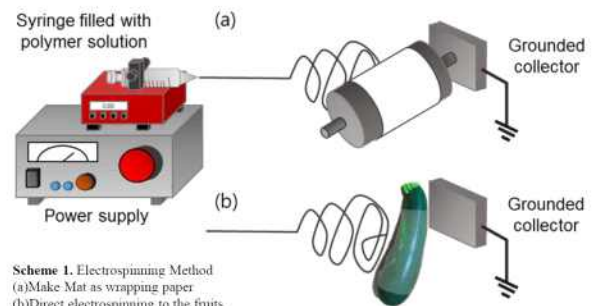
Synthesis of silver nanoparticles. A 10mL volume of 1.0mM silver nitrate (>99% AgNO₃) solution was added at a rate of 1 drop per second to 30mL of 2.0mM sodium borohydride (99% NaBH₄) solution in a cool water bath with vigorous stirring on a magnetic stir plate. The solution color turns light yellow after 2mL of silver nitrate solution is added and bright yellow after 3 minutes, when the all of the silver nitrate solution has been added. The stirrer is stopped and the particles washed using a centrifuge and pure water. Silver nanoparticles smaller than 100nm are produced by this method.



Figure 1. Photographs of the nanoparticles at different times. (A) Light yellow solution when 2mL of silver nitrate is added to 30mL of sodium borohydride solution. (B) Bright yellow solution when 10mL of silver nitrate solution is added to 30mL of sodium borohydride solution.

Electrospinning PCL(Polycaprolactone) with or without silver nanoparticles.

Electrospinning 10mL of the PCL solution with the silver nanoparticles at room temperature. The collecting roller was placed at a distance of 15cm from the capillary tip and a 18kV of voltage was applied.



Scheme 1. Electrospinning Method
(a) Make Mat as wrapping paper
(b) Direct electrospinning to the fruits

Results



Figure 2. Changes in agricultural products over time with different types of packing. (A-F) Control Group, (a-f) after packing, (g-l) after 1day, (m-r) after 3days, and (s-x) after 5days.

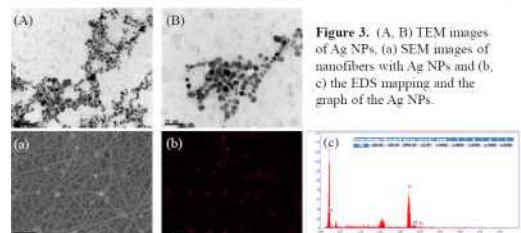


Figure 3. (A, B) TEM images of Ag NPs. (a) SEM images of nanofibers with Ag NPs and (b, c) the EDS mapping and the graph of the Ag NPs.

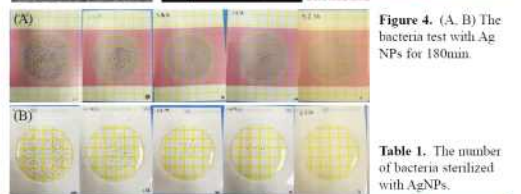


Figure 4. (A, B) The bacteria test with Ag NPs for 180min.

Table 1. The number of bacteria sterilized with AgNPs.

Sample	# of bacteria before sterilization	# of bacteria after sterilization (Control)	# of bacteria after sterilization (AgNPs)	# of bacteria after sterilization (Control)	# of bacteria after sterilization (AgNPs)
Sample1	205	85	15	12	2
Sample2	221	110	20	15	3
average	203.5	107.5	22.5	13.5	2.5

Reference

- Sally D. Solomon, Mozghan Bahadory, Aravindan V. Jeyarajasingum, Susan A. Rutkowsky, and Charles Boritz, *Synthesis and Study of Silver Nanoparticles*. Journal of Chemical Education, 2007. Vol. 84, No. 2.
- Arefe Rezaei, Ali Nasirpour, and Milad Fathi, *Application of Cellulose Nanofibers in Food Science Using Electrospinning and Its Potential Risk*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015. Vol. 14.

Acknowledgement

This research was supported by grants from the high-tech production technology development project of the ministry of agriculture, forestry and livestock. (No. 116052-03)

항균기능을 갖는 나노섬유 포장지 제조를 위한 폭500mm 전기방사 장치 개발

이정호¹, 김재원¹, 이준호¹, 박찬희², 이지연², 황은경³, 유정욱³

¹(사)캠텍종합기술원, ²전북대학교, ³위광조아 농업회사법인

농산물이 생산자에서 소비자까지 유통되는 과정에서 쉽게 부패 및 변질이 발생한다. 특히 농산물은 신선도가 매우 중요하므로, 유통과정에서의 신선도 유지는 상품의 가치를 평가할 정도로 중요하게 고려해야 하는 사항이다. 이러한 문제를 최소화하기 위하여 본 연구에서는 항균물질을 첨가한 농산물용 포장지에 대한 연구를 진행하였으며, 항균물질이 첨가된 나노섬유 포장지를 제작하기 위한 폭 500mm 전용 전기방사 장치를 개발하였다.

본 연구에서 개발된 전기방사 장치는 Roll to roll 기반의 구조를 적용하였으며, 전기방사를 위한 Nozzle, syringe pump, 고전압 공급 장치를 구성하였다. 그리고 통합제어가 가능한 제어기를 개발하였다.

개발된 전기방사 장치를 이용하여 PE필름 표면에 고분자 폴리우레탄(12wt%)을 이용하여 나노섬유 코팅 실험을 진행하였고, SEM 이미지를 통하여 확인하였다. 본 연구는 기존 항균물질을 포장지 표면에 직접 도포하는 구조가 아닌, 나노섬유에 항균물질을 첨가한 구조로 기존에 비하여 적은 양으로 효율을 높였다.

본 연구에서 개발된 전기방사 장치를 이용하여 제작된 포장지는 인장시험장치를 이용하여 인장시험을 진행하였고, Strain이 약 62%증가, Stress가 약 20%증가를 보였다. 또한, 항균물질 계피를 첨가하여 제작된 항균 나노섬유 포장지를 이용하여 복숭아의 부패 실험을 진행하였고, PE포장지에 비하여 부패 방지효과를 보였다. 본 연구를 통하여 항균물질이 코팅된 나노섬유 포장지의 유통기간이 증가에 대한 효과를 검증하였으며, 향후 실용화를 위해서는 항균 나노섬유 포장지의 단가를 낮추기 위한 양산시스템에 대한 연구가 필요하다.

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(116052-03).



전북대학교
CHONBUK NATIONAL
UNIVERSITY

Prolong the Shelf life of Peach by Prevent the Anthracnose using Antibacterial Nanofiber Packaging Technique

Ji Yeon Lee¹, Se Rim Jang², Chan Hee Park^{2,3,*}, Cheol Sang Kim^{2,3,*}

¹Mechanical Design Engineering Department, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea
²Biomaterials Engineering Department, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea
³Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

*E-mail : swc2736630@gmail.com, biochan@jbnu.ac.kr, chskim@jbnu.ac.kr

BMS Biomaterials
SCIENCE & BIOSYSTEM

Abstract

In case of peach, their shelf life was ridiculously short compared with other fruits, and it had the limitation that it could not be preserved for a long time because it was damaged by a small impact. In this study, we find out not only how to prolong the shelf life of peach but also prevent the anthracnose. One of the most important factors in preserving fruit for a long time is the concentration of oxygen (O₂) and carbon dioxide (CO₂) produced by the breathing of the fruits itself in the packaging. Therefore, to create the proper environment, it is recommended to create an environment where O₂ and CO₂ can be exchanged. So, the use of nanofibers which have nano-sized porous structure that can exchange air is very appropriate. In this study, we fabricate different types of nanofibers such as PU nanofiber, and PU nanofiber contain cinnamon oil. After that we modified the packaging by covering with different types of nanofibers and compared the sample to find out the most effective packaging type among them. These packaging technique will overcome the limitation of fruits life not only peach and also prevent a variety of diseases of fruits.

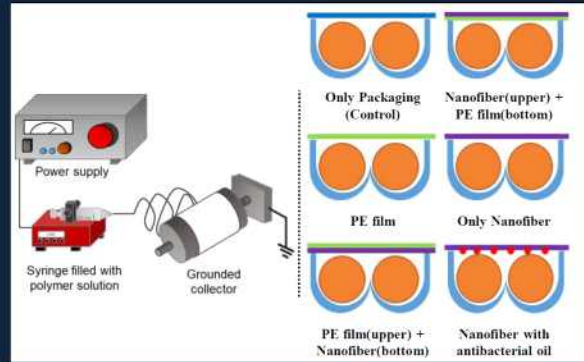
Materials and Methods

1. Electrospinning Process.

A electrospinning setup was used in this study (Scheme). The electrospinning solution (about 10mL) was used and connect the plastic syringe with metal nozzle through a plastic tube. A syringe pump was used to control the feed rate. Electrospinning was performed at high voltage. Fibers were collected on the non-woven matrix attached to the grounded collector. Each mat is fabricated by different kinds of method.

2. Characterization.

Field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) was used to observe the surface morphology of each samples. The mechanical properties of the electrospun nanofiber mats were obtained using a testing machine (5565, Instron). The antibacterial properties of nanofibers were investigated against Escherichia coli(E. coli, ATCC 10536) and Staphylococcus aureus (S. aureus, ATCC 25923) bacteria. For cytotoxicity test, NIH3T3 mouse fibroblasts were used in this study. And also Cell viability was quantitatively evaluated by a count kit-8 (CCK-8; Beyotime). Also, we compare the peach in each condition with different kinds of packaging during 10 days.



Scheme 1. Electrospinning process and various type of packaging methods

Results and discussion

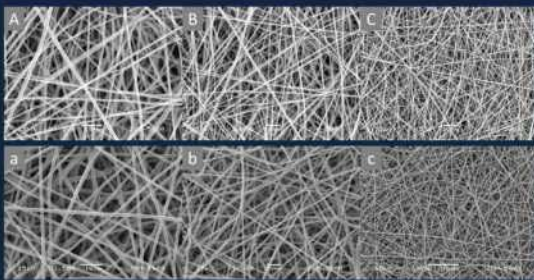


Figure 1. SEM images of different type of nanofibers which electrospun. (A, B, C) represent the mats obtained by electrospinning of pure PU solution and (a, b, c) represent the mat obtained by electrospinning of blended PU and cinnamon oil solution)

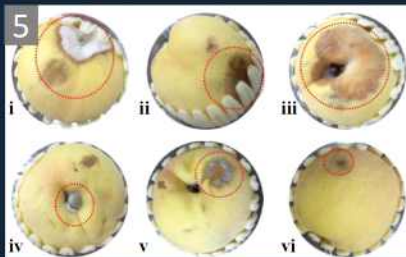


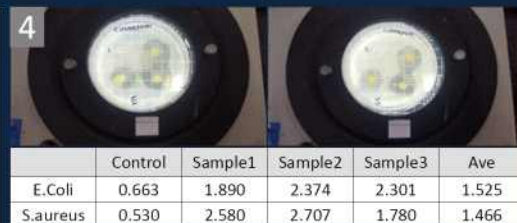
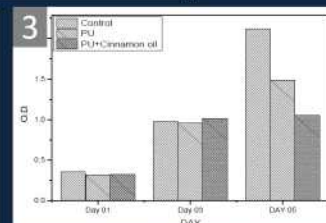
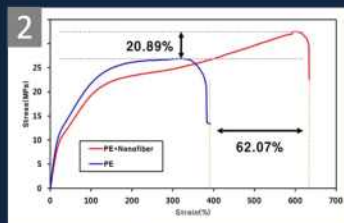
Figure 5. It shows the 10 days after the packing the peach at room temperature. (i: only packaging, ii: PE film, iii: PE film(upper)+Nanofiber(bottom), iv: Nanofiber(upper)+PE film(bottom), v: only nanofiber, vi: Nanofiber with antibacterial oil)

Figure 2. Mechanical strength graph to compare with only PE film and PE film with nanofiber

Figure 3. CCK for cytotoxicity of packaging materials.

Figure 4. Antibacterial test result about cinnamon 100% oil with control group using two different kinds of bacteria (Left: Escherichia coli, Right: Staphylococcus aureus)

Table 1. Quantified antibacterial test result about cinnamon 100% oil with control group using two different kinds of bacteria which is Escherichia coli and Staphylococcus aureus



Reference

- 1) Atefe Rezaei, Ali Nasirpour, and Milad Fathi, *Application of Cellulosic Nanofibers in Food Science Using Electrospinning and Its Potential Risk*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2015, Vol.14.
- 2) Sally D. Solomon, Mozghan Bahadory, Aravindan V. Jeyarajasingam, Susan A. Rutkowsky, and Charles Boritz, *Synthesis and Study of Silver Nanoparticles*. Journal of Chemical Education, 2007, Vol.84, No.2.

전북대학교 CHONBUK NATIONAL UNIVERSITY

Non-vascular stent coating with core/shell structural nanofibers to control the drug release

Ji Yeon Lee, Chan Hee Park, Cheol Sang Kim

Chonbuk National University
(e-mail: biochan@jbnu.ac.kr; chskim@jbnu.ac.kr)

1. Abstract

Studies on non-vascular stents that release drugs have been extensively progressing as their potential efficacies. Most drug eluting non-vascular stents(DES) have been studied by simply loading the drug onto the surface by dipping method or by covering the stents with nanofibers containing drug, but this has the obvious drawback that the drug is release rapidly in the early stages. In this study, we aimed to control the rate of drug release by structurally converting the nanofibers coated with stent using co-axial nozzles. Also, in order to prevent infection after stent implantation, we try to overcome these limitations by using a material obtained from nature called Caffeic Acid(CA) which has anti-inflammation and anti-bacterial effect. The physicochemical properties of samples were investigated by using field emission scanning electron microscopy(FE-SEM), transmission electron microscope(TEM), fourier-transform infrared spectroscopy(FTIR) and contact angle. Antibacterial studies show that CA which we known as a material that has advantages of the excellent antibacterial could show their antibacterial properties. And biocompatibility was confirmed through the fibroblast(NIH-3T3) cell lines. Therefore, these studies are expected not only to overcome the disadvantages of the existing non-vascular stent but also to be applicable to other vascular stents.

2. Method

Preparation of Silk fibroin

Silk fibroin was extracted from cocoons of Bombyx mori as previous described. In Short, cut cocoons will boiled with sodium carbonate solution for 30minutes and 3times rinse with distilled water after that air dry. With dry fibroin fibers, fibroin solubilization in LiBr on 60°C and Silk-LiBr solution transfer to dialysis bag and dialysis during 48hr. After that, lyophilize the silk aqueous solution.

Preparation of sample

Prepare the silk solution and PCL solution. And electrospinning the solution with different ratio silk solution and PCL solution as Table 1 using co-axial nozzle (outer layer is silk aqueous solution and inner layer is PCL solution). Figure 1 shows process of electrospinning. After that, we also prepare the optimized sample contain the CA powder.

	PCL solution	Silk solution
SP11	1	1
SP21	1	2
SP31	1	3
SP41	1	4
Blended solution	1	4

Table 1. Ratio of silk solution and PCL solution.

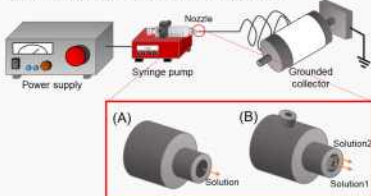


Figure 1. Overall process of electrospinning of silk and PCL with co-axial nozzle to produce the nanofiber mat.

Characterization

FE-SEM, TEM, Contact angle, FTIR, Mechanical test, Antibacterial test, Drug release test, In vitro(NIH3T3)

4. Conclusion

In this study, we were presented the comparison of the samples for each of the experiment based on the derived test items and test methods. The result of this study provided test is necessary and can be applied in developing other biomedical applications. This is supposed to will be able to improve the public health.

3. Results

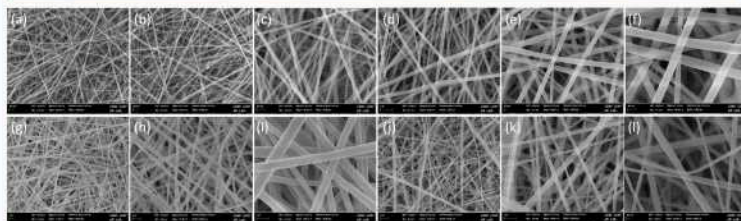


Figure 2. FE-SEM images with three different magnification (x20k, 50k and 100k). (a-c) Only silk nanofiber, (d-f) Only PCL nanofiber, (g-i) Blended nanofiber, and (j-l) SP41 nanofiber.

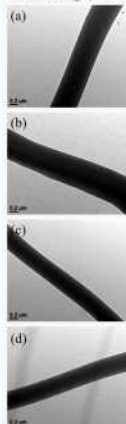


Figure 3. TEM images of (a) SP11 nanofiber, (b) SP21 nanofiber, (c) SP31 nanofiber, and (d) SP41 nanofiber.



Figure 4. Each contact angle images on 1cm 5second of (a, d) Only PCL nanofiber, (b, e) Only silk nanofiber and (c, f) SP41 nanofiber.

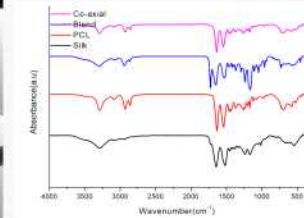


Figure 5. FTIR data of each kinds of nanofibers : SP41 nanofiber(Co-axial), blended nanofiber, Only PCL nanofiber, and Only silk nanofiber.

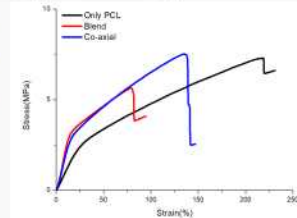


Figure 6. Mechanical test of each kinds of nanofibers : SP41 nanofiber(Co-axial), blended nanofiber, and Only PCL nanofiber



Figure 7. Antibacterial test result of three kinds of samples (Control, CA powder, and SP41 nanofiber with CA) using Staphylococcus Aureus (S.a) bacteria.

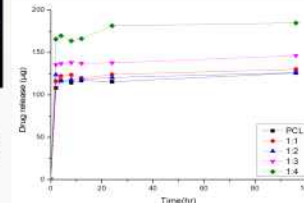


Figure 8. Drug release test with different ratio of silk and PCL nanofiber as only PCL, 1:1, 2:1, 3:1, and 4:1.

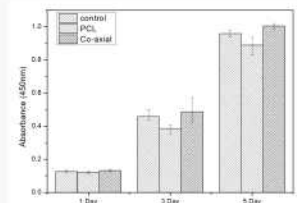


Figure 9. CCK-8 assay shown proliferation of NIH-3T3 on different samples such as Control, Only PCL nanofiber, and SP41 nanofiber(Co-axial).

Acknowledgement

Research supported by NRF(National Research Foundation of Korea) Grant funded by the Korean Government(NRF-2017-Fostering Core Leaders of the Future Basic Science Program/Global Ph.D. Fellowship Program) and 2017H1D8A2030449.

특허증

CERTIFICATE OF PATENT



특허 제 10-1856964 호
Patent Number

출원번호 제 10-2017-0005204 호
Application Number

출원일 2017년 01월 12일
Filing Date

등록일 2018년 05월 04일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention
노즐에서 슬루선이 넘치는 것을 방지하는 삼항식 전기방사장치

특허권자 Patentee
전북대학교산학협력단(210171-*****)
전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (덕진동1가)

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2018년 05월 04일



QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

성 은 모

특허증

CERTIFICATE OF PATENT



특허 제 10-1887158 호
Patent Number

출원번호 제 10-2017-0097616 호
Application Number

출원일 2017년 08월 01일
Filing Date

등록일 2018년 08월 03일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention

나노섬유가 코팅된 농작물 포장지 제조장치 및 농작물 포장지

특허권자 Patentee

등록사항란에 기재

발명자 Inventor

등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



특허청
Korean Intellectual
Property Office

2018년 08월 03일

특허청장
COMMISSIONER
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

성근모



QR코드로 전자기증
등록사항을 확인하세요

특허증

CERTIFICATE OF PATENT



특허 제 10-1843347 호
Patent Number

출원번호 제 10-2016-0159226 호
Application Number

출원일 2016년 11월 28일
Filing Date

등록일 2018년 03월 23일
Registration Date

발명명칭 Title of the Invention
동맥류 치료용 나노섬유품 및 이의 제조방법

특허권자 Patentee
전북대학교산학협력단(210171-*****)
전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (덕진동1가)

발명자 Inventor
등록사항한에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2018년 03월 23일

특허청장
COMMISSIONER
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

성 은 모

특허증
CERTIFICATE OF PATENT



특허 제 10-1855255 호
Patent Number

출원번호 제 10-2016-0159233 호
Application Number

출원일 2016년 11월 28일
Filing Date

등록일 2018년 04월 30일
Registration Date

발명명칭 Title of the Invention
골조직 재생용 하이드로겔 및 이의 제조방법

특허권자 Patentee
전북대학교산학협력단(210171-*****)
전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (덕진동1가)

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention
has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2018년 04월 30일



QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

성 은 모



발명의 명칭 Title of the invention
연속 공급형 전기방사장치

특허권자 Patentee
사단법인 캠틡종합기술원(210121-*****)
전라북도 전주시 덕진구 유상로 67, 전주첨단벤처단지 (팔복동2가)

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention
has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2018년 06월 01일



QR코드로 현재기준
등록사항은 확인하세요

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

성 은 모

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2017.08.30
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(17LP039)
출원번호 10-2017-0110400 (접수번호 1-1-2017-0842842-22)
출원인명칭 주식회사 팜조아 농업회사법인(1-2016-051403-3) 외 2명
대리인성명 이정현(9-2006-000701-0)
발명자성명 황은경 유정욱 김재원 이정호 이준호 정우석 박찬희 김철생
이지연
발명의명칭 농산물 포장지용 숨쉬는 나노섬유 스티커 및 포장지

특 허 청 장

제 C-2017-018301 호



저작권 등록증

- | | |
|-----------------|---|
| 1. 저작물의 제호(명칭) | 나노섬유 포장필름개발을 위한 폭 500mm 전기방사장치의 시스템 운영 프로그램 개발 |
| 2. 저작물의 종류 | 컴퓨터프로그램저작물>시스템프로그램>제어프로그램(OS)>Windows 계열 |
| 3. 저작자 성명(법인명) | 사단법인 캠텍종합기술원
전라북도 전주시 덕진구 유상로 |
| 4. 생년월일(법인등록번호) | 210121-0005604 |
| 5. 창작연월일 | 2017년07월28일 |
| 6. 공표연월일 | 2017년07월28일 |
| 7. 등록연월일 | 2017년08월04일 |
| 8. 등록사항 | 저작자 : 사단법인 캠텍종합기술원,
창작 : 2017.07.28, 공표 : 2017.07.28 |

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2017년 08월 07일



한국저작권위원회



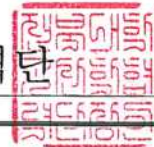


자체 실험 결과 보고서

평가 항목 1번에 대해서 자체 실험한 결과임을 증명합니다.

2017년 10월 16일

전북대학교 산학협력단



□ 평가 기본 정보

- 시험 주체 : 전북대학교 산학협력단
- 주소 : 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567
- 평가 일시 : 2017년 10월 16일
- 평가 장소 : 전북대학교 9호관 815호 의용생체공학 실험실
- 시료명 : 나노섬유 Mat
- 시험항목 : 투명도(Optical Density)
- 평가 측정기 : MTT(마이크로플레이트리더기)
- 총 실험 횟수 : 각 조건당 20회
-

□ 세부 시험 내역

1. 시험 목적 : 당해연도 연구목표인 투명도 시험
2. 시료명 : 나노섬유 Mat
3. 시험 장비



그림 1. 마이크로플레이트리더기 외관

4. 시험 방법

- 샘플을 96well plate 내부에 삽입 가능한 크기로 자른 후 동일 샘플을 3개씩 순서에 맞게 삽입
- 마이크로플레이트리더기에 96well plate를 넣은 후, 샘플을 넣은 영역을 프로그램을 통해 설정 및 원하는 파장대에 대한 정보를 기입
- 이후 마이크로플레이트리더기 프로그램 가동 및 시간 경과 후 알람음이 나오에 따라 삽입한 96well plate 제거 및 산출된 데이터 값 확인

	1	2	
A	0.343	0.417	Read 1380
B	0.288	0.262	Read 1380
C	0.285	0.346	Read 1380
D			Read 1380
E			Read 1380
F			Read 1380
G			Read 1380
H			Read 1380

	1	2	
A	0.638	0.955	Mean OD [Read 2380]
B	0.523	1.048	Mean OD [Read 2380]
C	0.499	0.997	Mean OD [Read 2380]
D			Mean OD [Read 2380]
E			Mean OD [Read 2380]
F			Mean OD [Read 2380]
G			Mean OD [Read 2380]
H			Mean OD [Read 2380]

그림 2. 380nm에서의 O.D값

	1	2	
A	0.341	0.293	Read 1570
B	0.284	0.271	Read 1570
C	0.277	0.243	Read 1570
D			Read 1570
E			Read 1570
F			Read 1570
G			Read 1570
H			Read 1570

	1	2	
A	0.624	0.906	Mean OD [Read 2570]
B	0.516	1.014	Mean OD [Read 2570]
C	0.489	0.966	Mean OD [Read 2570]
D			Mean OD [Read 2570]
E			Mean OD [Read 2570]
F			Mean OD [Read 2570]
G			Mean OD [Read 2570]
H			Mean OD [Read 2570]

그림 3. 570nm에서의 O.D값

570nm, 1time		
Sample name	Without PBS	With PBS
Sample 1	0.341	0.293
Sample 2	0.284	0.271
Sample 3	0.277	0.243
570nm, 20times		
Sample name	Without PBS	With PBS
Sample 1	0.624	0.906
Sample 2	0.516	1.014
Sample 3	0.489	0.966
380nm, 1time		
Sample name	Without PBS	With PBS
Sample 1	0.343	0.417
Sample 2	0.288	0.262
Sample 3	0.285	0.346
380nm, 20times		
Sample name	Without PBS	With PBS
Sample 1	0.638	0.955
Sample 2	0.523	1.048
Sample 3	0.499	0.997

표 1. 각 파장대에서의 O.D값

6. 실험 결과

- 투명도 20회 실험을 수행한 결과

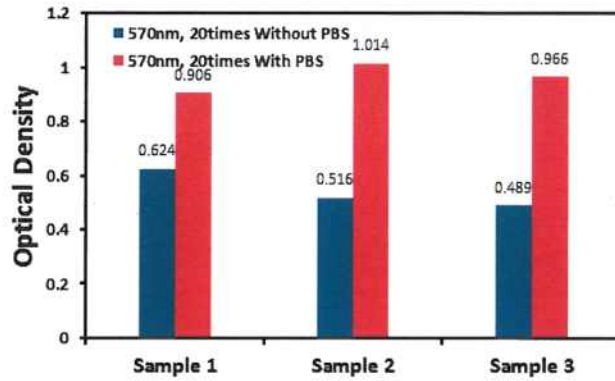


그림 4. 570nm에서의 O.D값

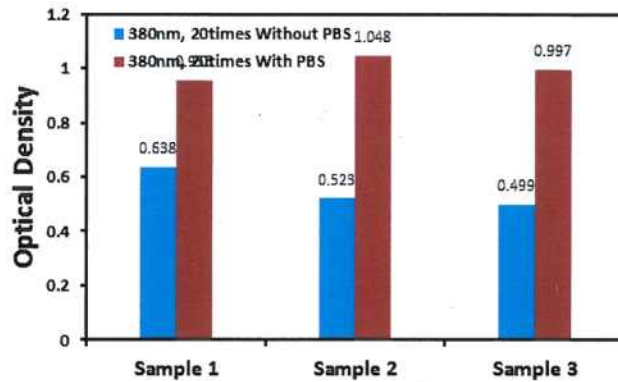


그림 5. 380nm에서의 O.D값

- 나노섬유 샘플 총 20회 측정 결과 약 최대 1.014(570nm), 1.048(320nm) 로 측정되었으며, 과제 목표인 1.5 이하로 모두 측정됨.

sample #	1	2	3	평균
투명도(Optical Density) 파장대역 570nm	0.906	1.014	0.966	0.96
투명도(Optical Density) 파장대역 380nm	0.955	1.048	0.997	1.00

- 끝 -



자체 실험 결과 보고서

평가 항목 1번에 대해서 자체 실험한 결과임을 증명합니다.

2018년 08월 03일

전북대학교 산학협력단

□ 평가 기본 정보

- 시험 주체 : 전북대학교 산학협력단
- 주소 : 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567
- 평가 일시 : 2018년 08월 03일
- 평가 장소 : 전북대학교 9호관 815호 의용생체공학 실험실
- 시료명 : 나노섬유 Mat
- 시험항목 : 투명도(Optical Density)
- 평가 계측기 : MTT(마이크로플레이트리더기)
- 총 실험 횟수 : 각 조건당 3회

□ 세부 시험 내역

1. 시험 목적 : 3차년도 연구목표 투명도 시험
2. 시료명 : 나노섬유 Mat
3. 시험 장비



그림 1. 마이크로플레이트리더기 외관

4. 시험 방법

- 샘플을 96well plate 내부에 삽입 가능한 크기로 자른 후 동일 샘플을 3개씩 순서에 맞게 삽입 (A1: 제조된 투명나노섬유 / A2: 일반 나노섬유)
- 마이크로플레이트리더기에 96well plate를 넣은 후, 샘플을 넣은 영역을 프로그램을 통해 설정 및 원하는 파장대에 대한 정보를 기입
- 이후 마이크로플레이트리더기 프로그램 가동 및 시간 경과 후 알람음이 나옴에 따라 삽입한 96well plate 제거 및 산출된 데이터 값 확인

Wavelength	A1	A1	A1	A2	A2	A2
380	0.663	0.651	0.699	1.693	1.761	1.614
390	0.666	0.655	0.703	1.688	1.753	1.61
400	0.673	0.663	0.712	1.688	1.752	1.613
410	0.682	0.673	0.721	1.689	1.752	1.615
420	0.691	0.682	0.731	1.69	1.752	1.617
430	0.701	0.693	0.742	1.692	1.754	1.621
440	0.712	0.703	0.752	1.694	1.754	1.623
450	0.721	0.713	0.763	1.696	1.755	1.627
460	0.732	0.723	0.773	1.698	1.756	1.629
470	0.743	0.733	0.783	1.699	1.758	1.633
480	0.754	0.743	0.793	1.702	1.759	1.636
490	0.764	0.753	0.802	1.703	1.76	1.639
500	0.773	0.763	0.812	1.705	1.762	1.642
510	0.783	0.772	0.821	1.708	1.763	1.645
520	0.793	0.781	0.83	1.709	1.764	1.648
530	0.801	0.789	0.838	1.711	1.765	1.651
540	0.81	0.798	0.847	1.712	1.767	1.652
550	0.818	0.805	0.854	1.714	1.767	1.655
560	0.827	0.813	0.862	1.716	1.768	1.657
570	0.834	0.819	0.869	1.718	1.769	1.659
580	0.841	0.826	0.875	1.719	1.77	1.661
590	0.849	0.833	0.881	1.72	1.77	1.662
600	0.855	0.839	0.886	1.721	1.77	1.664
610	0.862	0.846	0.891	1.722	1.771	1.666
620	0.868	0.851	0.895	1.723	1.771	1.667
630	0.873	0.857	0.9	1.724	1.772	1.668
640	0.879	0.863	0.904	1.725	1.772	1.669
650	0.884	0.867	0.908	1.724	1.773	1.67
660	0.888	0.872	0.911	1.726	1.773	1.671
670	0.893	0.877	0.914	1.727	1.773	1.671
680	0.897	0.882	0.916	1.726	1.773	1.672
690	0.901	0.886	0.919	1.727	1.773	1.673
700	0.905	0.89	0.921	1.728	1.773	1.673
710	0.909	0.895	0.922	1.728	1.774	1.674
720	0.913	0.9	0.923	1.729	1.775	1.676
730	0.916	0.902	0.925	1.729	1.774	1.675
740	0.918	0.904	0.926	1.729	1.775	1.676
750	0.92	0.907	0.927	1.73	1.774	1.676
760	0.923	0.909	0.928	1.729	1.774	1.677
770	0.924	0.91	0.929	1.73	1.775	1.678
780	0.926	0.912	0.93	1.729	1.774	1.678

그림 3. PBS가 없는 경우 380nm에서 780nm까지의 O.D값

Wavelength	A1	A1	A1	A2	A2	A2
380	0.813	0.879	0.845	1.233	1.254	1.02
390	0.818	0.885	0.849	1.234	1.256	1.02
400	0.828	0.895	0.858	1.241	1.261	1.025
410	0.838	0.906	0.869	1.25	1.269	1.032
420	0.848	0.916	0.878	1.26	1.278	1.04
430	0.859	0.928	0.89	1.271	1.285	1.049
440	0.869	0.939	0.899	1.282	1.295	1.058
450	0.879	0.949	0.91	1.292	1.305	1.07
460	0.888	0.959	0.919	1.304	1.317	1.08
470	0.898	0.97	0.929	1.315	1.328	1.09
480	0.907	0.98	0.938	1.326	1.338	1.101
490	0.915	0.989	0.948	1.337	1.347	1.112
500	0.923	0.997	0.957	1.347	1.357	1.123
510	0.931	1.004	0.966	1.358	1.368	1.134
520	0.939	1.01	0.974	1.368	1.377	1.145
530	0.946	1.016	0.982	1.376	1.386	1.155
540	0.954	1.021	0.988	1.384	1.397	1.165
550	0.961	1.027	0.996	1.392	1.404	1.176
560	0.968	1.032	1.001	1.399	1.413	1.185
570	0.974	1.037	1.007	1.406	1.421	1.194
580	0.98	1.042	1.012	1.413	1.427	1.202
590	0.986	1.047	1.017	1.42	1.434	1.21
600	0.992	1.052	1.021	1.426	1.44	1.218
610	0.997	1.058	1.025	1.432	1.446	1.225
620	1.002	1.063	1.029	1.438	1.452	1.232
630	1.007	1.068	1.033	1.443	1.456	1.239
640	1.011	1.073	1.037	1.448	1.462	1.246
650	1.014	1.078	1.04	1.453	1.466	1.251
660	1.018	1.083	1.044	1.457	1.47	1.257
670	1.021	1.087	1.047	1.461	1.475	1.263
680	1.023	1.091	1.05	1.464	1.479	1.268
690	1.026	1.094	1.054	1.467	1.482	1.273
700	1.028	1.096	1.057	1.47	1.486	1.278
710	1.031	1.1	1.061	1.472	1.491	1.282
720	1.034	1.103	1.065	1.474	1.495	1.286
730	1.035	1.103	1.067	1.475	1.496	1.29
740	1.035	1.104	1.069	1.476	1.5	1.294
750	1.036	1.103	1.071	1.476	1.502	1.297
760	1.036	1.103	1.073	1.476	1.505	1.301
770	1.036	1.102	1.074	1.477	1.507	1.304
780	1.035	1.101	1.075	1.476	1.509	1.307

그림 4. PBS가 있는 경우 380nm에서 780nm까지의 O.D값

570nm		
Sample name	Without PBS	With PBS
Sample 1	0.84067	1.006
Sample 2	1.71533	1.34033

380nm		
Sample name	Without PBS	With PBS
Sample 1	0.671	0.84567
Sample 2	1.68933	1.169

표 1. 각 파장대에서의 평균 O.D값

6. 실험 결과

- 투명도 3회 실험을 수행한 결과

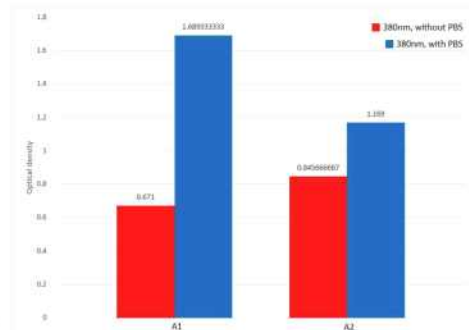


그림 5. 380nm에서의 O.D값

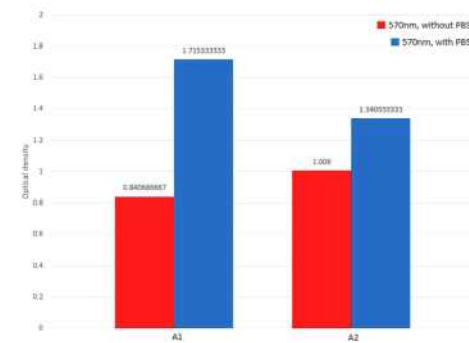


그림 6. 570nm에서의 O.D값

- 나노섬유 샘플 총 3회 측정 결과 PBS가 없는 경우 투명나노섬유의 경우, 전 파장 (380nm에서 750nm까지)에서 1.0보다 작은 값으로 측정되었으며, 과제 목표인 1.0 이하를 충족함.

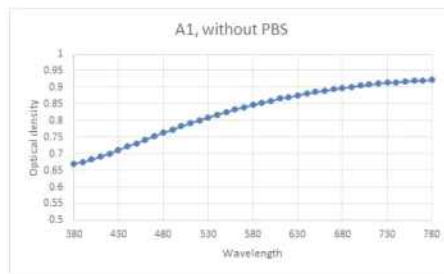






그림 7. A1 sample의 O.D 그래프

- 끝 -

시험성적서 (TEST REPORT)

 KETI Korea Electronics Technology Institute 전자부품연구원	접수번호 : I2017-09-0008 Report No. 페이지(1) / (총 8) Page of Pages	
<p>1. 의뢰인 (Client) 기관명 (Name) : (사)캠텍종합기술원 주소 (Address) : 전북 전주시 덕진구 유상로 67 의뢰일자 (Data of Receipt) : 2017. 09. 13</p> <p>2. 보고서의 용도 (Use of Report) : 과제 제출용</p> <p>3. 대상품목/물질/시료명 (Test Sample) : 전기방사장치</p> <p>4. 기간 (Date of Test) : 2017. 09. 25</p> <p>5. 규격/방법 (Test Standard/Method) : 의뢰자 제시 방법</p> <p>6. 시험실 환경(Testing Environment) 온도 (Temperature) : (26.0 ± 3.0) °C 습도 (Humidity) : (51 ± 9) % R.H.</p> <p>7. 시험 결과 (Test Results) : 시험내역 참조</p> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;"> 비고(Note) : 1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 대한 시험결과이며, 2. 우리 원의 사전 동의 없이 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사 할 수 없습니다. 3. 본 시험성적서는 납품, 선전, 소송 및 기타 법적 요건으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다. </p>		
확인 Affirmation	담당자(Person in charge) 성명(Name) : 임광진 	승인자(Manager) 성명(Name) : 김동신 
2017-10-23 전자부품연구원 전북지역본부장 		
전라북도 전주시 덕진구 반룡로 111(111, banlyong-ro, deogjin-gu, jeonju-si, jeonlabug-do) Tel : 065-219-0000 Fax : 063-219-0099		

세 부 시 험 내 역

1. 시료정보

1-1 시 료 명 : 전기방사장치

1-2 시료개수 : 1 ea

1-3 시료사진

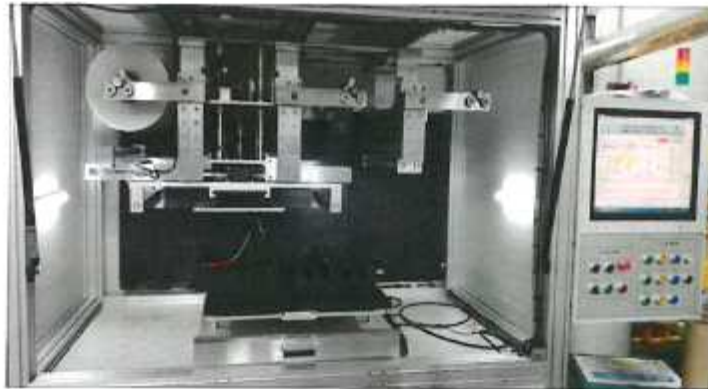


그림 1. 시료 사진

전
기
방
사
장
치
의
나
노
파
이
버
생
산
속
도
및
나
노
파
이
버
코
팅
여
부
확
인

2. 시험 항목 및 조건

시 험 항 목	시 험 조 건
1. 나노파이버 생산속도 확인	· 전기방사장치의 나노파이버 생산속도 및 나노파이버 코팅 여부 확인
2. 출력 인가 전압 정밀도 확인	· 디지털멀티미터를 활용하여 전기방사장치의 출력 인가 전압 확인

※ 위의 시험은 컷팅종합기술원 내 에서 컷팅종합기술원 담당자 말하하여 입회시험으로 진행함
 ※ 본 시험은 전자부품연구원 전북지역본부의 시험원이 컷팅종합기술원에 방문하여, 실험 확인 및 필요 data를 취득하여 진행하였음

※ 위의 시험 조건은 의뢰자가 제시한 시험방법에 대한 조건임

표 1. 시험항목 및 시험조건

3. 시험장비

(1) 디지털멀티미터(Digital Multimeter)

- ① 모델명 : 34410A(MY47021772)
- ② 제작업체 : Agilent
- ③ 교정기관 : 에이치씨티
- ④ 교정/차기교정일 : 2016. 12. 02 / 2017. 12. 02



(1) 디지털멀티미터

4. 시험기간 : 2017. 09. 25

2017. 09. 25
2017. 09. 25
2017. 09. 25
2017. 09. 25
2017. 09. 25
2017. 09. 25
2017. 09. 25
2017. 09. 25

5. 시험결과

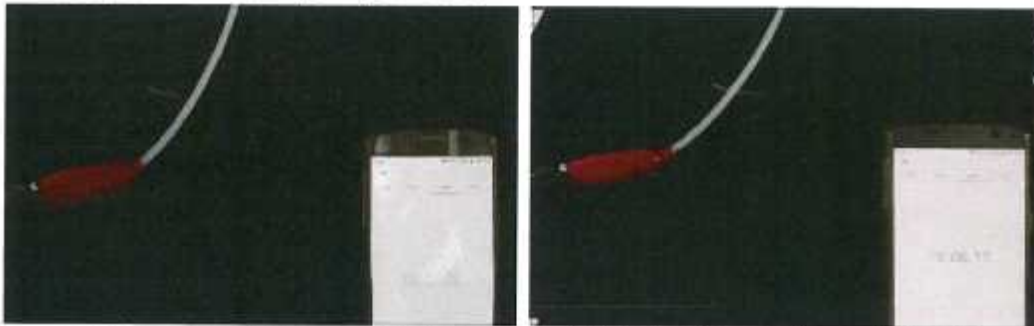
(1) 나노파이버 생산속도 확인

- 전기방사장치 내부의 전극판을 지나가는 필름(길이 : 30 cm) 시간 126 s를 확인함
- 필름 길이 : 30 cm



그림 2. 필름 길이 30 cm 측정 사진

- 필름(길이 : 30 cm) 이동 시간 : 126 s



<필름(길이 : 30 cm) 이동 전 시간 : 0 s>

<필름(길이 : 30 cm) 이동 후 시간 : 126 s>

그림 3. 필름(길이 : 30 cm) 이동 시간 측정 사진

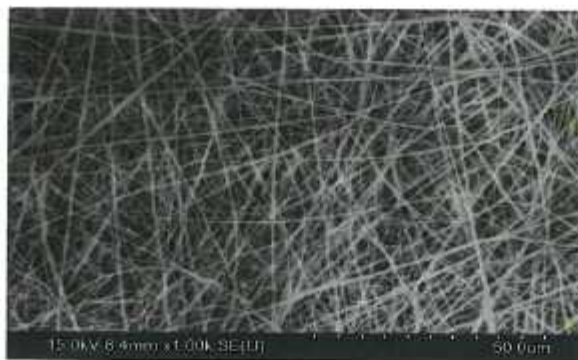


그림 4. 나노파이버 코팅 확인 사진

(2) 출력 인가 전압 정밀도 확인

- 디지털멀티미터를 활용하여 전기방사장치의 각 DC 100 V, DC 200 V 출력 인가 전압 5회 측정 후 표준편차를 산출함

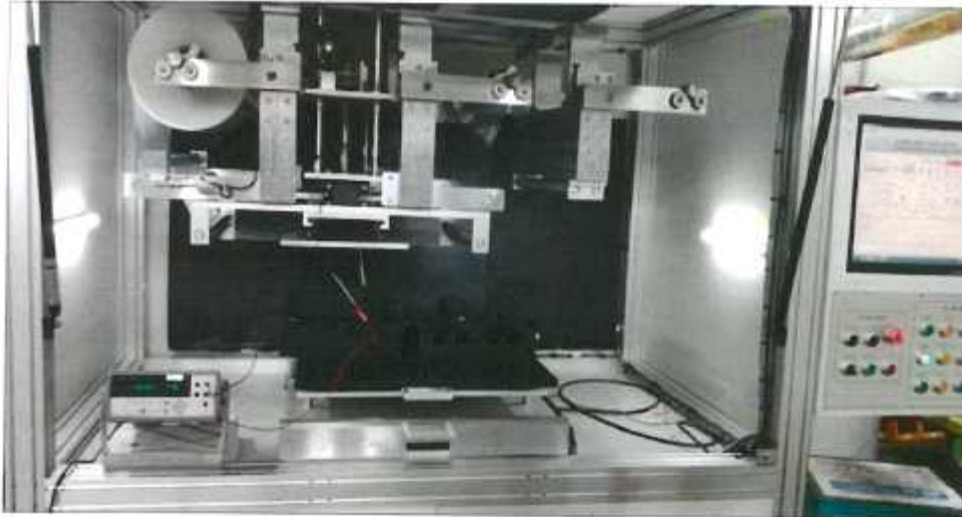


그림 5. 출력 인가 전압 측정 사진

구분	횟수	출력 인가 전압 : DC 100 V					평균	편차
		1회	2회	3회	4회	5회		
측정 전압 [V]		100.967	100.773	100.805	100.948	100.899	100.878	0.086

표 2. DC 100 V 출력 인가 전압 5회 측정 데이터

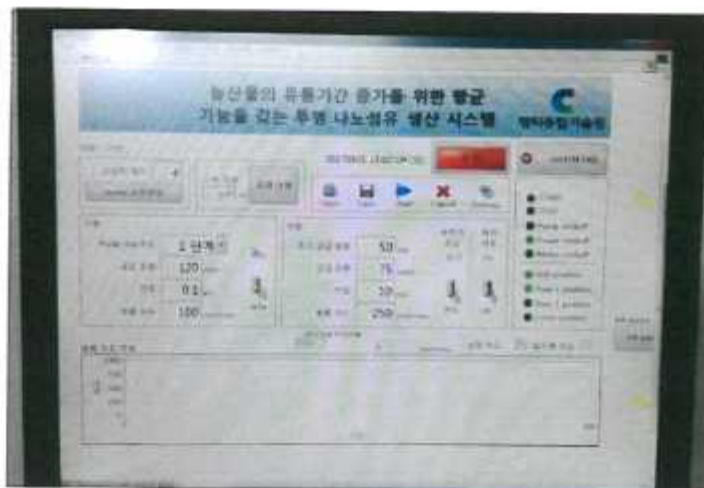


그림 6. 전기방사장치의 출력 인가 설정 전압(DC 100 V) 사진



<출력 인가 전압 1회 측정 : 100.967 V>



<출력 인가 전압 2회 측정 : 100.773 V>



<출력 인가 전압 3회 측정 : 100.805 V>



<출력 인가 전압 4회 측정 : 100.948 V>



<출력 인가 전압 5회 측정 : 100.899 V>

그림 7. 전기방사장치의 DC 100 V 출력 인가 전압 측정 데이터 사진

구분	횟수	출력 인가 전압 : DC 200 V					평균	편차
		1회	2회	3회	4회	5회		
측정 전압 [V]		204.36	204.28	204.48	204.55	204.38	204.41	0.106

표 3. DC 200 V 출력 인가 전압 5회 측정 데이터



그림 8. 전기방사장치의 출력 인가 설정 전압(DC 200 V) 사진



<출력 인가 전압 1회 측정 : 204.36 V>



<출력 인가 전압 2회 측정 : 204.28 V>



<출력 인가 전압 3회 측정 : 204.48 V>



<출력 인가 전압 4회 측정 : 204.55 V>







<출력 인가 전압 5회 측정 : 204.38 V>

그림 9. 전기방사장치의 DC 200 V 출력 인가 전압 측정 데이터 사진

-끝-

전 자 부 품 연 구 원
전 북 지 역 본 부
2017. 09. 08

시 험 성 적 서 (TEST REPORT)

 KETI Korea Electronics Technology Institute 전자부품연구원	접수번호 : N2017-10-0065 Report No. 페이지(1) / (총 6) Page of Pages	
1. 의뢰인 (Client) 기 관 명 (Name) : (사)캠텍종합기술원 주 소 (Address) : 전북 전주시 덕진구 유상로 67 의뢰일자 (Data of Receipt) : 2017. 10. 17.		
2. 보고서의 용도 (Use of Report) : 자료 제출용		
3. 대상품목/물질/시료명 (Test Sample) : 나노파이버 제품명 (Description) : - 기 타 (Remark) : -		
4. 기간 (Date of Test) : 2017년 10월 17일		
5. 규격/방법 (Test Standard/Method) : 표면 형상 및 단면 두께 측정		
6. 시험실 환경(Testing Environment) 온도 (Temperature) : (22.0 ± 0.5)°C 습도 (Humidity) : (40 ± 10) % R.H.		
7. 시험 결과 (Test Results) : 시험내역 참조		
비교(Note) : 1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 대한 시험결과입니다. 2. 우리 원의 사전 동의 없이 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사 할 수 없습니다. 3. 본 시험성적서는 납품, 선진, 소송 및 기타 법적 요건으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.		
확 인 Affirmation	담당자(Person in charge) 성 명(Name) : 강 혜 정 	승인자(Manager) 성 명(Name) : 이 범 주 
2017-10-25 전자부품연구원 전북지역본부장 (직인) 		
전라북도 전주시 덕진구 반룡로 111 111. banlyong_ro, deogjin_gu, jeonju_si, jeonlabug_do) Tel : 063-219-0000 Fax : 063-219-0099		

세 부 시 험 내 역

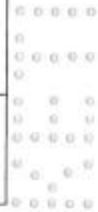
1. 시료정보

1-1 시 료 명 : 나노파이버

1-2 시료개수 : 6ea

2. 시험 항목 및 조건

시 험 항 목	시 험 조 건
표면 형상 및 단면 두께 측정	가속전압 : 15kV, 배율 : x300 ~ 10K



3. 시험장비

(1) FE-SEM(주사전자현미경)

- ① 모델명 : S-4800
- ② 제작업체/국가 : HITACHI/일본

- 모델사양 : - Sample Size : ~150mm
 - Measurement Mode : SE, SE+, BSE, STEM, EDS, CL
 - Resolution : 1.0nm@15kV(SE)
 - Magnification : x30 ~ x800,000
 - EDS : Horiba EX-250
 - CL(Cathode Luminescence) : Gatan Mono CL3



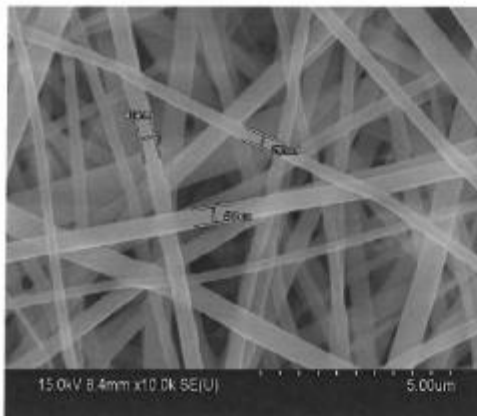
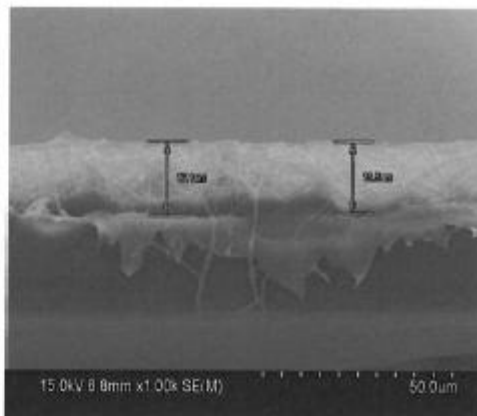
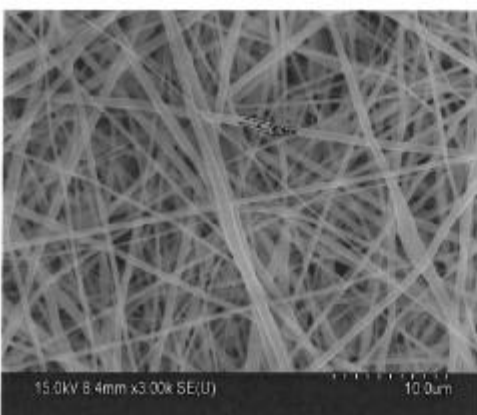
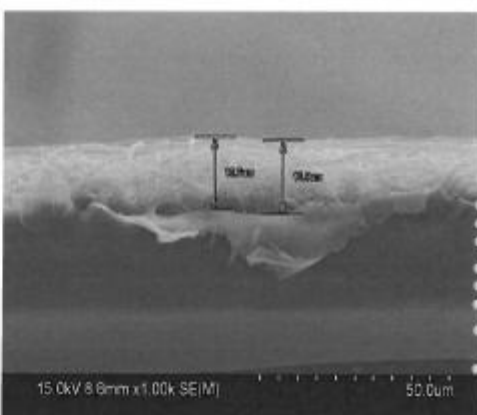
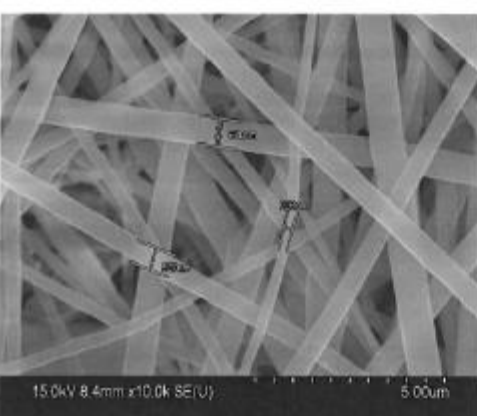
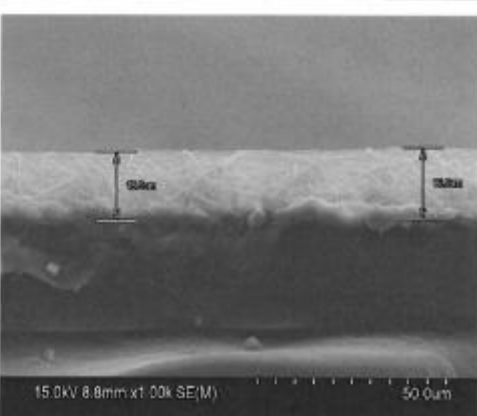
FE-SEM



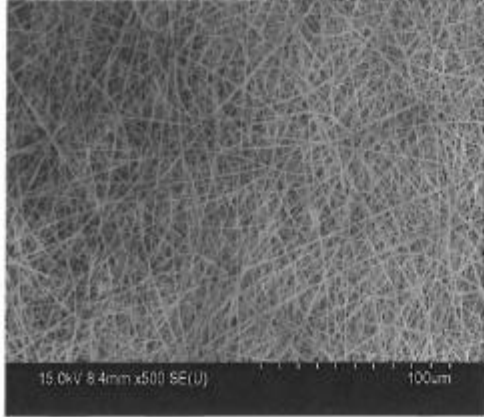
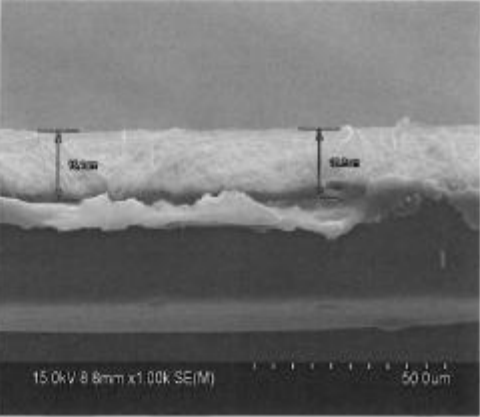
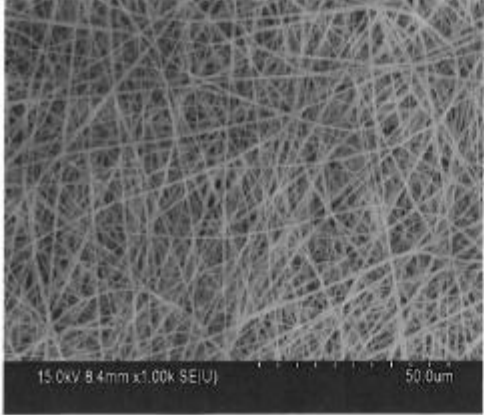
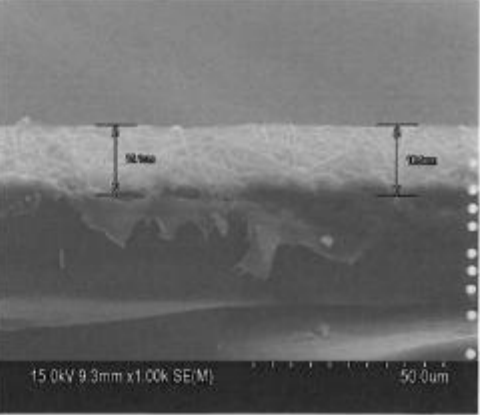
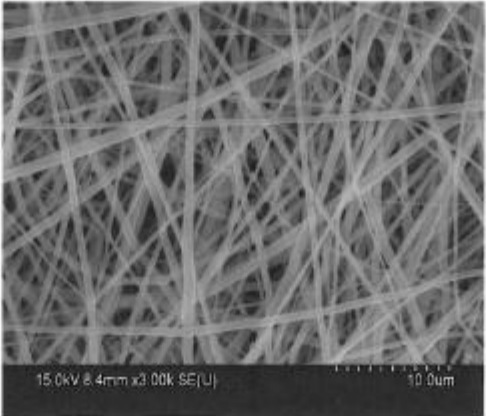
4. 시험기간

- (1) 2017. 10. 17.

5. 시험결과

No.	표면 및 단면 형상	
1		
2		
3		

5. 시험결과

No.	표면 및 단면 형상	
4		
5		
6		

5. 시험결과

- 단면 두께

	1	2	3	4	5
두께(um)	17.1	16.7	15.9	16.1	16.1
	16.5	16.9	16.5	16.3	16.5



-끝-

시험 성적서

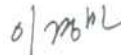
신청자 : 전북대학교산학협력단	KATRI NO : JJAA18-00005789
주소 : 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (금암동, 본부별 관3층)	접수일자 : 2018.12.05
제출처 :	발급일자 : 2018.12.20
시료명 : 기타제품 1 점	용도 : 제출용
S/# : Cinnamon Ba,K	PAGE(S) : 1 / 3

시험항목	시험결과
	시료1
항균도 (%) : KS K 0693:2016 준용	
정균감소율	> 99.9
* 주) 1. 시험균종 : - 시험균 : <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538 (황색포도상구균)	
2. 점종균액의 농도 : - 시험균 : 0.9×10^5 CFU/mL	
3. 대조편 : 표준면포	
4. 비이온계면활성제 : Tween 80, 점종균액의 0.05 % 첨가	
5. 시험편: 필름	

[시료사진별첨]

한국의류시험연구원장

시험자 : 강민지 

기술책임자 : 이경민 



비고 1. 이 성적서는 신청자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 당 시험연구원의 사전 서면동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

시험성적서


신청자 : 전북대학교산학협력단 주소 : 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (금암동, 본부별 관3층) 제출처 : 시료명 : 기타제품 1 점 S/# : Cinnamon	KATRI NO : JJAA18-00005787 접수일자 : 2018.12.05 발급일자 : 2018.12.20 용도 : 제출용 PAGE(S) : 1 / 2
---	---

시험항목	시험결과
	시료1
항균도 (%) : KS K 0693:2016 준용	
정균감소율	> 99.9
* 주) 1. 시험균종	
- 시험균 : <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538 (황색포도상구균)	
2. 점종균액의 농도 :	
- 시험균 : 0.9×10^5 CFU/mL	
3. 대조편 : 표준면포	
4. 비이온계면활성제 : Tween 80, 점종균액의 0.05 % 첨가	
5. 시험편 : 필름	

[시료사진별첨]

한국의류시험연구원장

시험자 : 강민지 

기술책임자 : 이경민 



비고 1. 이 성적서는 신청자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
 2. 이 성적서는 당 시험연구원의 사전 서면동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

시험 성적서

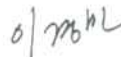
신청자 : 전북대학교산학협력단 주소 : 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (금암동, 본부별 관3층) 제출처 : 시료명 : 기타제품 1 점 S/# : CLOVE	KATRI NO : JJAA18-00005790 접수일자 : 2018.12.05 발급일자 : 2018.12.20 용도 : 제출용 PAGE(S) : 1 / 2
--	---

시험항목	시험결과
	시료1
항균도 (%) : KS K 0693:2016 준용	
정균감소율	> 99.9
* 주) 1. 시험균종 : - 시험균 : <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538 (황색포도상구균) 2. 점종균액의 농도 : - 시험균 : 0.9×10^5 CFU/mL 3. 대조편 : 표준면포 4. 비이온계면활성제 : Tween 80, 점종균액의 0.05 % 첨가 5. 시험편 : 필름	

[시료사진별첨]

한국의류시험연구원장

시험자 : 강민지 

기술책임자 : 이경민 



비고 1. 이 성적서는 신청자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
 2. 이 성적서는 당 시험연구원의 사전 서면동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

시험 성적서

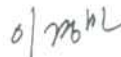
신청자 : 전북대학교산학협력단 주소 : 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (금암동, 본부별 관3층) 제출처 : 시료명 : 기타제품 1 점 S/# : Tea tree	KATRI NO : JJAA18-00005788 접수일자 : 2018.12.05 발급일자 : 2018.12.20 용도 : 제출용 PAGE(S) : 1 / 2
---	---

시험항목	시험결과
	시료1
항균도 (%) : KS K 0693:2016 준용	
정균감소율	> 99.9
* 주) 1. 시험균종 : - 시험균 : <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538 (황색포도상구균) 2. 점종균액의 농도 : - 시험균 : 0.9×10^5 CFU/mL 3. 대조편 : 표준면포 4. 비이온계면활성제 : Tween 80, 점종균액의 0.05 % 첨가 5. 시험편 : 필름	

[시료사진별첨]

한국의류시험연구원장

시험자 : 강민지 

기술책임자 : 이경민 



비고 1. 이 성적서는 신청자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
 2. 이 성적서는 당 시험연구원의 사전 서면동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.