

321006-  
2

첨가제를 활용한 생분해성 복합체 개발  
바이오매스 유래 나노셀룰로오스계

2022

농림식품기술기획평가원  
농림축산식품부

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( ) 발간등록번호( O )  
농업에너지자립형산업모델기술개발 2022년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004391-01

# 바이오매스 유래 나노셀룰로오스계 첨가제를 활용한 생분해성 복합체 개발

2023. 05. 26.

주관연구기관 / 한솔제지  
협동연구기관 / 안코바이오플라스틱스  
/ 한국생산기술연구원

농림축산식품부  
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “바이오매스 유래 나노셀룰로오스계 첨가제를 활용한 생분해성 복합체 개발 ”(개발기간 : 2021. 4. ~ 2022. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 5. 26.

주관연구기관명 : 한솔제지 (대표자) 한철규 (인)

협동연구기관명 : 안코바이오플라스틱스 (대표자) 임헌영 (인)

협동연구기관명 : 한국생산기술연구원 (대표자) 이낙규 (인)

주관연구책임자 : 김정수

협동연구책임자 : 유명제

협동연구책임자 : 홍성우

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

## < 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

|                        |                |  |     |                    |                          |                              |     |   |
|------------------------|----------------|--|-----|--------------------|--------------------------|------------------------------|-----|---|
| 사업명                    |                | 농림에너지자립형산업모델기술개발   |     |                    | 총괄연구개발 식별번호<br>(해당 시 작성) |                              |     | - |
| 내역사업명<br>(해당 시 작성)     |                | 목질계 바이오에너지 산업화   |     |                    | 연구개발과제번호                 |                              |     | - |
| 기술<br>분류               | 국가과학기술<br>표준분류 | Y04  | 35% | LB12               | 35%                      | LB1206                       | 30% |   |
|                        | 농림식품<br>과학기술분류 | PB   | 35% | PB02               | 35%                      | PB0299                       | 30% |   |
| 총괄연구개발명<br>(해당 시 작성)   |                | -  |     |                    |                          |                              |     |   |
| 연구개발과제명                |                | 바이오매스 유래 나노셀룰로오스계 첨가제를 활용한 생분해성 복합체 개발   |     |                    |                          |                              |     |   |
| 전체 연구개발기간              |                | 2021.04.01~ 2022.12.31   |     |                    |                          |                              |     |   |
| 총 연구개발비                |                | 총 1,101,860천원<br>(정부지원연구개발비:870,000천원, 기관부담연구개발비 : 231,860천원)  |     |                    |                          |                              |     |   |
| 연구개발단계                 |                | 기초[ ] 응용[ ] 개발[O ]<br>기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]   |     | 기술성숙도<br>(해당 시 기재) |                          | 착수시점 기준( 3 )<br>종료시점 목표( 6 ) |     |   |
| 연구개발과제 유형<br>(해당 시 작성) |                | -  |     |                    |                          |                              |     |   |
| 연구개발과제 특성<br>(해당 시 작성) |                | -  |     |                    |                          |                              |     |   |
| 연구개발<br>목표 및 내용        | 최종 목표          | <p>본 과제의 최종 목표는 생분해 플라스틱의 기계적 물성을 향상시켜 생분해 플라스틱의 적용성을 넓히는 것으로서,</p> <p>① 다양한 형태의 셀룰로오스계 섬유소재를 개발하여 수지복합화에 적합한 맞춤형 제품을 개발하고,<br/>                 ② 셀룰로오스 섬유와 생분해 고분자의 혼화성을 증대할 수 있는 첨가제 및 복합화 기술을 개발하여,<br/>                 ③ 나노셀룰로오스와 생분해 고분자의 복합화를 통한 일회용 봉투 등 시제품을 개발하는 것이다.</p> <p>이를 위한 기술적인 해결과제로 셀룰로오스 섬유를 생분해 수지 내에 얼마나 잘 분산시킬 수 있는지와 셀룰로오스 섬유와 수지와의 계면친화성을 확보하는 것이었다. 즉 적절한 첨가제의 개발을 통해</p> <p>① 수지 내에서 3-D 네트워크를 구현할 수 있는 기술과<br/>                 ② 수지와의 상용성을 확보하는 것이 핵심기술이라 할 수 있다.</p> <p>세부적으로는 셀룰로오스계 섬유소재의 적합 원료 선정, 최적 미분쇄 공정개발, 경제적인 표면개질/반응 공정 개발, 생분해 고분자/CNF 복합화 기술, 재분산이 가능한 건조 기술 및 스케일업이 가능한 셀룰로오스의 표면개질 기술의 개발을 통해 생분해성 복합체의 시장 적용성 확대를 목표로 함. 이를 통해 향후 기계적 물성이 향상된 생분해 플라스틱이 일반 플라스틱을 대체하여 미세 플라스틱 이슈를 해결할 수 있는 기술-산업적 토대를 마련하고자 하였다.</p> |     |                    |                          |                              |     |   |

|                           |  |   |  |
|---------------------------|--|---|--|
| 연구개발<br>목표 및 내용           | 전체 내용  |   | <p>본 과제는 “기계적 특성이 향상된 생분해성 복합체 개발”이란 목표 달성을 위해, 선행 연구 이력과 연구개발을 수행하기 위한 설비 등을 보유한 기관들로 구성하였다. 나노셀룰로오스 제조, 특성분석, 적용기술 개발 측면에서 기술노하우가 축적된 한솔제지와 이종 계면활성제를 활용한 나노셀룰로오스와 생분해성 고분자의 혼화성 개선에 대한 선행연구를 진행한 바 있는 한국생산기술연구원, 국내 최대규모의 생분해 플라스틱을 생산중인 안코바이오플라스틱의 협업으로 단기간 내에 생분해성 고분자 복합체 시제품 제조와 양산 공정 기술 개발이 가능하였다. 안코바이오플라스틱은 생분해성 고분자를 한국생산기술연구원에 제공하고, 한국생산기술연구원은 선형 및 고리형 계면활성제 합성 및 콜로이드 입자 복합화 기술을 개발하여 한솔제지에 제공하며, 한솔제지는 이를 활용하여 맞춤형 파우더 제품 개발 및 공정 최적화를 추진하였다. 개발된 복합파우더를 활용하여 안코바이오플라스틱에서는 마스터배치 제조 및 시제품 제조를 수행하였다. 각 기관의 유기적인 역할 구분으로 나노셀룰로오스계 첨가제 (복합파우더)를 개발하였고, 생분해성 플라스틱에 적용된 기능성 마스터 배치 개발을 통해 과제 목표인 생분해성 필름의 인장강도와 연신율을 향상시킬 수 있었다. 향후에는 개발된 기술을 바탕으로 생분해성 플라스틱의 활용도를 높이고, 미세플라스틱 이슈에 대응하는데 기여할 수 있도록 실제적인 제품 출시 및 사업화를 추진할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.</p> |
|                           | 1단계<br>(해당 시 작성)   | <p>목표</p> <p>· 셀룰로오스 복합체를 통해 생분해 플라스틱으로 사출한 필름의 물성 향상 : 인장강도 31 MPa 이상</p> <p>내용</p> <p>· 나노셀룰로오스계 첨가제 개발 및 컴파운딩 기술 최적화<br/>- 수소결합 억제 및 상용성 확보 가능한 첨가제 개발<br/>- 첨가제와 나노셀룰로오스의 복합체 개발<br/>- 컴파운딩 기술 개발</p> |  |
| 연구개발성과                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 생분해 고분자 복합화에 적합한 맞춤형 나노셀룰로오스 개발</li> <li>· 셀룰로오스 제조 공정에서 소요에너지 3000kWh/톤 미만 달성으로 기존대비 소요에너지 49% 절감 기술 확보</li> <li>· 첨가제 2종 개발을 통한 셀룰로오스 섬유의 컴파운딩 시 분산성 확보</li> <li>· 수차례의 Pilot test를 통한 기계적 물성 향상 가능성 검증</li> <li>· 시제품 2건 생산 (쇼핑 봉투, 멀칭 필름)</li> </ul>  |   |  |
| 연구개발성과<br>활용계획 및<br>기대 효과 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 상기의 기반 기술 확보를 통해 적용하고자 하는 우선 제품 타겟은 “일회용 봉투”이며, 개발된 제품을 활용하여 필름류 외에도 일회용 빨대, 일회용 식기 및 용기류 등 다양한 일회용 플라스틱에 적용될 수 있을 것으로 기대함.</li> <li>· 지속가능한 천연 핵심 소재 제조 및 개질 원천 기술 확보와 이를 활용한 친환경 기능성 복합 소재 제조 원천 기술 확보를 통해 향후 지속가능한 친환경 복합 소재와 관련된 전주기적 생산 기술 확보 가능함.</li> <li>· 개발된 친환경 제품은 그린바이오 분야에 대한 파급효과가 크고 핵심기반 기술이기 때문에 이에 대한 국제적 기술 수준과 경쟁력을 확보하면 선진국에 대한 기술 의존 탈피 가능할 것으로 기대함.</li> <li>· 생분해 플라스틱 원료부터 제품 생산, 실증 및 사업화까지 전주가 기술 및 사업화 지원으로 미국, 일본 대비 기술격차 해소 및 친환경 소재시장 확대 기대함</li> <li>· 발생된 폐플라스틱 처리 및 생분해 기술의 안정적인 도입을 지원하며 신규 산업을 통한 부가가치 창출 및 환경오염을 유발하는 미세플라스틱 발생 감축으로 글로벌 환경적, 사회적 문제점 해결 가능하며, 국내 바이오플라스틱 산업에서 원료의 다변화와 관련분야의 새로운 고용을 창출하면서 바이오 뉴딜사업에 기여할 것으로 기대함.</li> </ul> |   |  |

| 연구개발성과의<br>비공개여부 및 사유       | 공개            |              |             |                         |                |              |             |              |              |                            |     |    |
|-----------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------------------|-----|----|
| 연구개발성과의<br>등록·기탁 건수         | 논문            | 특허           | 보고서<br>원문   | 연구<br>시설<br>·장비         | 기술<br>요약<br>정보 | 소프트<br>웨어    | 표준          | 생명자원         |              | 화합물                        | 신품종 |    |
|                             |               |              |             |                         |                |              |             | 생명<br>정보     | 생물<br>자원     |                            | 정보  | 실물 |
|                             | 1             | 6            | 0           | 0                       | 0              | 0            | 0           | 0            | 0            | 0                          | 0   | 0  |
| 연구시설·장비<br>종합정보시스템<br>등록 현황 | 구입<br>기관      | 연구시설<br>·장비명 | 규격<br>(모델명) | 수량                      | 구입<br>연월일      | 구입가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화) | 비고<br>(설치장소) | ZEUS<br>등록번호 |                            |     |    |
|                             | -             | -            | -           | -                       | -              | -            | -           | -            | -            |                            | -   | -  |
| 국문핵심어<br>(5개 이내)            | 나노셀룰로오스       |              |             | 표면개질                    |                | 첨가제          |             | 재분산          |              | 생분해성 복합체                   |     |    |
| 영문핵심어<br>(5개 이내)            | Nanocellulose |              |             | Surface<br>modification |                | Additives    |             | Redispersion |              | Biodegradable<br>composite |     |    |

| 최종보고서                   |                |                 |  |                                     |                 |           | 보안등급            |       |                            |  |
|-------------------------|----------------|-----------------|--|-------------------------------------|-----------------|-----------|-----------------|-------|----------------------------|--|
|                         |                |                 |  |                                     |                 |           | 일반[√], 보안[ ]    |       |                            |  |
| 중앙행정기관명                 | 농림축산식품부        |                 |  | 사업명                                 | 사업명             |           | 목질계 바이오 에너지 산업화 |       |                            |  |
| 전문기관명<br>(해당 시 작성)      | 농림식품기술기획평가원    |                 |  |                                     | 내역사업명<br>(시 작성) |           | -               |       |                            |  |
| 공고번호                    | 농축2021-27호     |                 |  | 총괄연구개발 식별번호<br>(해당 시 작성)            |                 | -         |                 |       |                            |  |
|                         |                |                 |  | 연구개발과제번호                            |                 | 321006-02 |                 |       |                            |  |
| 기술분류                    | 국가과학기술<br>표준분류 | Y04             | 35%  | LB12                                | 35%             | LB1206    | 30%             |       |                            |  |
|                         | 농림식품과학기술분류     | PB              | 35%  | PB02                                | 35%             | LB0299    | 30%             |       |                            |  |
| 총괄연구개발명<br>(해당 시 작성)    |                | 국문              | -  |                                     |                 |           |                 |       |                            |  |
|                         |                | 영문              | -  |                                     |                 |           |                 |       |                            |  |
| 연구개발과제명                 |                | 국문              | 바이오매스 유래 나노셀룰로오스계 첨가제를 활용한 생분해성 복합체 개발   |                                     |                 |           |                 |       |                            |  |
|                         |                | 영문              | Development of biodegradable composite synthesized using biomass-derived additive based on nanocellulose |                                     |                 |           |                 |       |                            |  |
| 주관연구개발기관                |                | 기관명             | 한솔제지   |                                     | 사업자등록번호         |           | 104-86-58322    |       |                            |  |
|                         |                | 주소              | (04551)서울특별시 중구 을지로 100 24층 (을지로2가, 24)  |                                     | 법인등록번호          |           | 110111-5604700  |       |                            |  |
| 연구책임자                   |                | 성명              | 김정수  |                                     | 직위              |           | 수석              |       |                            |  |
|                         |                | 연락처             | 직장전화   | *****                               |                 | 휴대전화      |                 | ***** |                            |  |
|                         |                |                 | 전자우편   | *****                               |                 | 국가연구자번호   |                 | ***** |                            |  |
| 연구개발기간                  |                | 전체              | 2021.04.01. - 2022. 12. 31 (1년 9개월)  |                                     |                 |           |                 |       |                            |  |
|                         |                | 단계<br>(해당 시 작성) | 1단계  | 2021.04.01. - 2022. 12. 31 (1년 9개월) |                 |           |                 |       |                            |  |
|                         |                |                 | n단계  | -                                   |                 |           |                 |       |                            |  |
| 연구개발비<br>(단위: 천원)       |                | 정부지원            | 기관부담   |                                     |                 |           | 그 외 기관 등의 지원금   |       | 연구개발<br>비외<br>지원금          |  |
|                         |                | 연구개발비           | 연구개발비  |                                     | 지방자치단체          |           | 기타( )           |       |                            |  |
|                         |                | 현금              | 현금   | 현물                                  | 현금              | 현물        | 현금              | 현물    | 합계                         |  |
| 총계                      |                | 870,000         | -  | 231,840                             | -               | -         | -               | -     | 870,000 231,860, 1,101,860 |  |
| 1단계                     | 1년차            | 370,000         | -  | 103,140                             | -               | -         | -               | -     | 370,000 103,140 473,140    |  |
|                         | 2년차            | 500,000         | -  | 128,720                             | -               | -         | -               | -     | 500,000 128,720 628,720    |  |
| 공동연구개발기관 등<br>(해당 시 작성) |                | 기관명             | 책임자  |                                     | 직위              | 휴대전화      | 전자우편            | 비고    |                            |  |
| 공동연구개발기관                |                | (주)안코바이오플라ستيك스 | 유명제  |                                     | -               | -         | -               | 공동    | 중소기업                       |  |
|                         |                | 한국생산기술연구원       | 홍성우  |                                     | -               | -         | -               | 공동    | 정부출연연구소                    |  |
| 연구개발담당자<br>실무담당자        |                | 성명              | 류재호  |                                     | 직위              |           | 수석              |       |                            |  |
|                         |                | 연락처             | 직장전화   | *****                               |                 | 휴대전화      |                 | ***** |                            |  |
|                         |                |                 | 전자우편   | *****                               |                 | 국가연구자번호   |                 | ***** |                            |  |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 2 월 24 일

연구책임자: 한솔제지 김정수 (인)

주관연구개발기관의 장: 한솔제지 한 철 규 (직인)

공동연구개발기관의 장: 안코바이오플라ستيك스 임 현 영 (직인)

공동연구개발기관의 장: 한국생산기술연구원 이 낙 규 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

## < 목 차 >

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. 연구개발과제의 개요 .....               | 1  |
| 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 .....     | 2  |
| 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ..... | 47 |
| 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) .....    | 68 |
| 5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ..... | 70 |
| 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 .....       | 71 |
| <별첨 자료>.....                      | 72 |
| 별첨 1.....                         | 73 |
| 별첨 2.....                         | 76 |
| 별첨 3.....                         | 79 |

## 1. 연구개발과제의 개요

본 연구개발과제의 목표는 생분해 플라스틱의 기계적 물성을 향상시켜 생분해 플라스틱의 적용성을 넓히는 것으로서, 각 기관별 목표를 ① 다양한 형태의 셀룰로오스계 섬유소재를 수지 복합화에 적합한 맞춤형 제품 개발 (한솔제지), ② 셀룰로오스와 생분해 고분자의 혼화성을 증대할 수 있는 첨가제 및 복합화 기술 개발 (한국생산기술연구원), ③ 나노셀룰로오스와 생분해 고분자의 복합화를 통한 일회용 봉투 등 제품 개발 (안코바이오플라스틱스)로 소재 개발부터 적용 기술 개발까지 통합적으로 연구개발을 추진하였다.

기술적으로는 셀룰로오스 섬유를 생분해 수지 내에 얼마나 잘 분산시킬 수 있는지와 셀룰로오스 섬유와 수지와의 계면친화성 (혹은 계면접착성) 확보가 중요하였다. 첫째, 수지 내에서 3-D 네트워크를 구현할 수 있는 기술 개발과 둘째, 수지와의 상용성 확보를 통한 기계적 물성 향상이 핵심 기술이었다. 3-D 네트워크의 구현은 섬유상 물질의 분산성 확보를 통해 검증할 수 있었고, 상용성 확보는 기계적 물성의 향상 (인장강도의 20% 향상 등)을 통해 검증할 수 있었다.

과제목표의 달성을 위해 추진된 연구내용은 셀룰로오스계 섬유소재의 적합 원료 선정, 최적 미분쇄 공정개발, 경제적인 표면개질/반응 공정 개발, 생분해 고분자/CNF 복합화 기술, 재분산이 가능한 건조 기술 및 스케일업이 가능한 셀룰로오스의 표면개질 기술, 콜로이드 입자를 통한 복합화 및 상용성 확보 기술, 컴파운딩 기술 등의 연구개발이 진행되었다.

상기의 기반 기술 확보를 통해 우선 제품 타겟으로 “일회용 봉투”의 시제품이 제조되었으며, 이와 병행하여 멀칭 필름도 생산되어 그 가능성을 확인하였다. 본 연구과제를 통해 개발된 기술들을 활용하면, 향후 일회용 빨대, 일회용 식기 및 용기류 등 다양한 일회용 플라스틱에 적용될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.



## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

### 2.1 최적 펄프 원료의 선정 및 나노화 공정 최적화 기술

전 세계적으로 펄프의 연간 생산량은 12억톤 정도로 2010년 이래로 비슷한 수준을 유지하고 있다. 또한 대부분의 펄프들은 목재의 보속생산을 통해 만들어지고 있는데, 다양한 수종 및 지역에 따라 펄프의 특성은 조금씩 다르다. 제지 산업에서는 생산되는 펄프의 약 40% 정도를 사용하고 있으며, 제지용 펄프의 경우 요구되는 종이 물성에 적합한 수종 및 산지의 펄프가 채택되고 있다. 특히 최근에는 침엽수 펄프의 가격 상승에 따라 활엽수 펄프의 사용이 늘어나고 있는 추세이다. 또한 펄프의 고해를 통해 적절한 수준의 종이 물성을 만들어내기 때문에 고해에 필요한 동력=에너지를 줄이는 것이 매우 중요한 산업적 트렌드라고 할 수 있다. 반면 비제지용 펄프는 주로 셀룰로오스 유도체(HEC, HPC, MC, TAC 등)의 원료가 되는데, 펄프의 산화반응 등 화학반응을 통해 제조되기 때문에 요구되는 물성 중 최종 제품의 수율이 대표적으로 중요하며, 화학반응이 원활하게 이루어 질 수 있도록 셀룰로오스 이외의 물질 (Residue)의 함량이 적절한 수준으로 관리되는 것이 필수적이다.

나노셀룰로스를 만드는 공정은 펄프로부터 출발하며, 그중 셀룰로오스 나노섬유 (Cellulose Nanofiber\_CNF)를 만드는 공정은 대표적으로 2가지 공정이 있다. 펄프 섬유 1차벽의 공고한 구조를 느슨하게 만드는 전처리 공정의 차이로 구분할 수 있는데, 기계적 전처리와 화학적 전처리가 대표적이라고 할 수 있다. 전처리 이후의 미분쇄 공정은 공통적인 부분이기 때문에 전처리 공정에서 펄프 섬유의 차이에 따라 최종 CNF의 형태학적 특성이 달라진다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 우선적으로 파우더 형태의 나노셀룰로오스를 통해서 첨가제의 개발 및 컴파운딩 분산성 향상 연구가 각 기관별로 동시에 진행되기 때문에, 기계적 전처리와 화학적 전처리의 비교우위를 우선적으로 평가 할 필요가 있었다. 특히 플라스틱 컴파운딩은 소재의 내열성이 활용에 있어서 중요한 지표이기 때문에 전처리 방식에 따른 내열성 평가를 우선적으로 진행하였다.

#### 2.1.1 최적 펄프 원료의 선정

초기 연구에서 각 전처리 방식에 의한 내열성을 우선적으로 비교하였다. TEMPO 산화반응에 의한 화학적 전처리 샘플(T-CNF)의 경우 열분해 개시온도 (Onset Temp., Weight loss 10% 수준)가 가장 낮았으며, 섬유표면에 다량의  $\text{Na}^+$ 이 존재하기 때문으로 추정된다. Chloroacetic acid에 의해 Methyl Carboxylic acid기가 도입된 C-CNF의 경우 T-CNF의 열분해개시온도에 비해 40℃ 높은 수치를 나타내었다. 또한 기계적 전처리에 의한 E-CNF의 경우 열분해개시온도는 266℃를로 C-CNF와 유사한 수준으로 나타났다. 반면 노르웨이의 선진사인 B社 제품의 경우 열분해개시온도가 309℃로 상대적으로 높은 열분해개시온도를 나타내었다 (그림 1.).

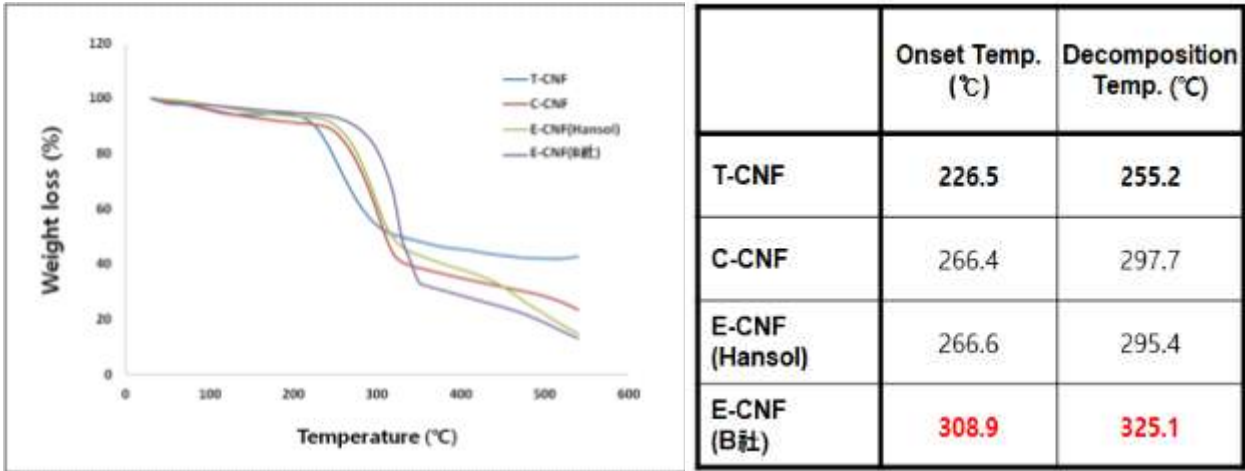


그림 1. 제조 조건 별 TGA 평가 결과\_열분해개시온도 비교.

생분해플라스틱의 컴파운딩 온도는 160°C 정도로 컴파운딩시 소재의 사용은 충분히 가능할 것으로 판단할 수 있다. 그러나 열분해개시온도의 차이의 원인을 분석할 필요가 있었고, 우선적으로 추정되는 원인은 펄프 섬유에 주된 구성물질인 셀룰로오스의 중합도였다. 화학적 전처리에 의해 셀룰로오스 섬유의 중합도 (DP, Degree of Polymerization)는 300~400까지 감소하는 것으로 보고되고 있으며, 기계적 전처리의 경우에도 최종 미분쇄 단계까지 진행된 경우 DP가 800~900 수준까지 감소하는 것으로 보고되고 있다. 중합도의 감소는 본래의 펄프가 가진 초기 DP에 의존하기 때문에 펄프의 종류 또한 내열성 측면에서는 중요하게 다뤄져야 할 요소였다. 또한 기계적 물성 측면에서도 중합도는 강도를 좌우하는 중요한 원인중 하나로 알려져 있다. 특히 활엽수 펄프와 침엽수 펄프는 섬유의 구조적 특성이 상이하기 때문에 수종 관점에서의 내열성 비교가 필요하였다.

표 1은 각 수종에 따른 열분해 개시온도와 전처리 방식 및 표면처리에 따른 열분해개시온도의 변화를 나타내었다. 기계적 전처리 방식의 경우 활엽수보다 침엽수 펄프의 열분해개시온도가 50°C 이상 증가하였으며, B社와의 비교에서도 침엽수인 Spruce의 결과와 유사한 수준으로 나타났다. 따라서 내열성 측면에서 펄프 섬유의 수종은 활엽수보다 침엽수의 선택이 유리할 수 있다. 또한 화학적 처리의 경우 표면에 AKD 후처리를 통해 소수성 물질을 도입할 때, 도입하는 양의 증가에 따라 열분해개시온도가 소폭 증가하였다. 그러나 증가 폭으로 볼 때 표면개질을 통한 내열성 향상은 그 정도가 크지 않았기 때문에, 기계적 전처리 방식과 침엽수 수종의 선정이 가장 유리한 선택이라고 할 수 있다.

|                  | 전처리 방식            | 열분해개시온도, °C | 탄화온도, °C |
|------------------|-------------------|-------------|----------|
| 활엽수 (Eucalyptus) | 기계적               | 266.6       | 295.4    |
| 침엽수 (Pine)       |                   | 309.0       | 326.0    |
| 침엽수 (Spruce), B社 |                   | 308.9       | 325.1    |
| 침엽수 (Pine)       | 화학적(C)            | 266.6       | 297.7    |
|                  | 화학적(T)            | 226.5       | 255.2    |
|                  | 화학적(T)+AKD 후처리(小) | 230.7       | 266.6    |
|                  | 화학적(T)+AKD 후처리(中) | 237         | 276.5    |

표 1. 수종 및 전처리 방식에 따른 열분해 특성

이상의 결과를 통해 본 절에서는 다양한 제조 공정 및 펄프 수종에 따른 열분해 특성에 대해 파악하였고, 컴파운딩시 열에 의한 셀룰로오스 섬유의 물성 저하를 최소화 할 수 있는 최적의 펄프 원료 및 전처리 방식을 선정할 수 있었다.

### 2.1.2 나노화 공정 최적화 기술

펄프 섬유를 원료로 한 나노셀룰로오스 제조 공정은 2010년대에 이르러 Pilot scale로 꾸준히 발전되어 왔다. 기계적 전처리를 통한 나노셀룰로오스 제조의 대표적인 기업은 노르웨이의 보가드社로 2013년 Pilot 공정을 완성하고, 2017년 1천톤/년 Capa.의 설비를 구축하였다. 일본에서는 주로 화학적 전처리를 통한 나노셀룰로오스 제조 공정이 발전하였는데 대표적으로 일본제지社가 2013년 Pilot 공정을 완성하였고, 2017년 500톤/년 Capa.의 설비를 구축하였다. 현재까지 전세계에서 기계적 전처리와 화학적 전처리 방식의 최대 생산 Capa.를 보유하고 있는 두 선진사의 제품을 나노셀룰로오스의 레퍼런스 품질로 하여 비교 평가를 통해 초기 연구 단계에서의 현수준을 분석하였다. 2.1.1에서 선정된 펄프 원료를 기준으로 제조한 CNF의 품질을 그림 3. 및 그림 4.에서 비교 평가하였다.

우선 본 연구에서 진행된 Pilot 공정으로 생산된 기계적 전처리에 의한 CNF와 선진사인 B社의 제품을 비교 평가한 결과 나노섬유의 형태 (폭과 길이)와 점도는 유사한 특성을 나타내었다 (그림 2.).

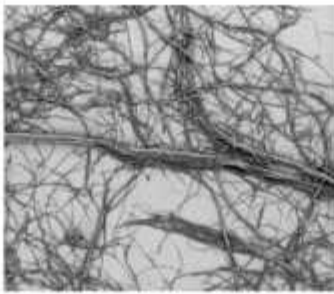
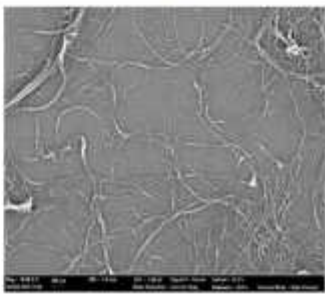
|                            | B社  | 한솔   |
|----------------------------|---|--|
| Morphology                 |  |  |
| 점도 ( @10 s <sup>-1</sup> ) | ①180 cPs / ②290 cPs   | 170~290 cPs  |
| 폭                          | ~ 50 nm, 1 um 내외  | ~ 50 nm, 1 um 내외   |
| 내열성<br>(TGA, on-set Temp.) | 309   | 267  |
| 수종                         | Spruce (NB)   | Eucalyptus (LB)  |

그림 2. 기계적 전처리에 의한 CNF 특성 비교\_B社

화학적 전처리에 의한 비교 평가 결과도 선진사의 제품과 유사한 수준의 형태적 특징을 나타내었다 (그림 3.).

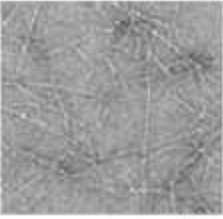
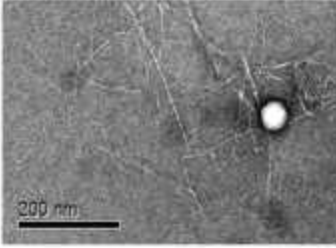
|                | N社  | 한솔   |
|----------------|---|--|
| Morphology     | <br>20nm | <br>200 nm |
| 점도 ( @ 60 rpm) | 2000~6000   | 4000~9000  |
| 폭              | 3~4 nm  | 3~4 nm   |
| 카르복실기 함량       | 1.3~1.6 mmol/g  | 1.0~2.0 mmol/g   |

그림 3. 화학적 전처리에 의한 CNF 특성 비교\_N社

이상의 결과를 통해 본 연구를 통해 진행된 Pilot scale에서 나노화 공정의 최적화는 선진사 제품 수준과 비교하였을 때 폭과 길이의 측면에서는 동등 수준까지 진행되었다고 볼 수 있다. 다만 점도는 여러 가지 품질 지표 중 품질을 가장 민감하게 반영할 수 있는 지표로 알려져 있는데, 현탁액에서의 농도, 섬유 길이와 종횡비 등에 따라 3D 네트워크의 복잡성을 조절할 수 있으며, 이에 대한 연구결과는 2.2절에서 나타내었다.

## 2.2 나노셀룰로오스의 종횡비 조절 및 Morphology 분석 기술 표준화

기계적 처리 방식에서 수종에 따른 CNF의 형태적 특성은 상당한 차이를 보였다 (그림 4.). 그러나 통계적으로 폭과 길이 및 이를 통한 종횡비 분석을 위해 분석 기술을 표준화 할 필요가 있었다.

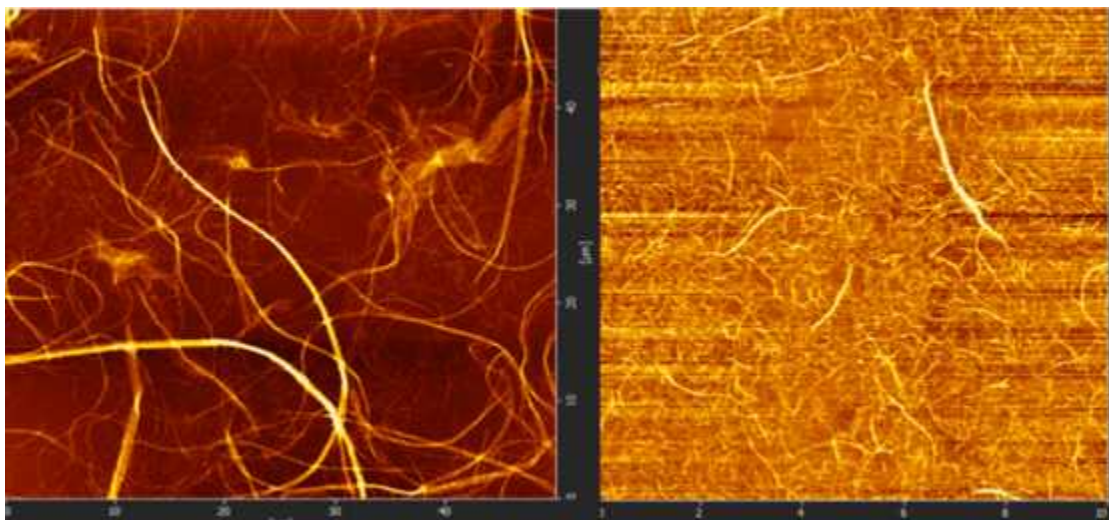


그림 4. 펄프의 수종에 따른 Morphology의 차이.

(좌\_활엽수\_Eucalyptus, 우\_침엽수\_Pine)

나노셀룰로오스의 종횡비 조절은 크게 2가지 방식으로 접근할 수 있다. 첫째로 펄프 원료의 특성에 따라 좌우되는 측면이 있고, 둘째로 전처리 방식에 따라 종횡비 조절이 가능하다. 본 연구에서는 동일한 제조 공정에서 펄프 원료에 따른 차이와 전처리 방식에 따른 차이를 살펴보

았다. 이를 위해 Morphology 분석 기술의 표준화가 선행되었으며, AFM (Atomic Force Microscope)을 이용한 이미지 분석을 통해 통계적으로 유의미한 수준으로 분석을 진행하였다. 이후 종횡비 조절, 즉 형태적 특성을 조절할 수 있는 방안에 대한 연구를 수행하였다.

### 2.2.1 Morphology 분석 기술 표준화

AFM을 통한 이미지 분석에서 가장 중요한 것은 매끄러운 Glass 표면에 나노섬유를 잘 펼쳐진 상태로 로딩하는 것이다. 샘플 준비가 분석이 가능한 이미지를 얻는데 가장 중요하였기 때문에 샘플 준비를 위한 프로토콜을 표준화할 필요가 있었다.

셀룰로오스 섬유의 표면은 전처리 방식에 따라 약한 음이온성에서 강한 음이온성을 띠고 있기 때문에 양이온성 선형고분자인 PEI (Polyethylene imine)을 1nm 수준으로 얇게 입힌 다음 샘플을 로딩하였을 때 보다 효과적으로 기제 상에 나노섬유가 고르게 퍼진 상태를 구현할 수 있었다. 다만 화학적 전처리의 경우 카르복실기에 의해 표면전위가  $-40 \sim -50$  mV 수준으로 높게 형성되었으며, 기계적 전처리의 경우 대부분이 수산기로 표면전위가  $-10 \sim -20$  mV 수준이었다. 따라서 PEI의 양이온성을 적절하게 조절할 필요가 있었으며, pH 조건에 따라 PEI의 양이온성은 조절할 수 있었기 때문에 이미지를 보다 용이하게 얻을 수 있는 PEI의 조건을 탐색하였다. 그 결과 PEI는 Mw ~2000 수준의 선형고분자를 선정하였고, 전처리 방식에 따른 각각의 CNF에 따라 PEI의 양이온성을 pH 3 및 pH 10으로 선정하였다. PEI의 농도는 0.1% 수용액으로 희석하여 사용하였다. 그 외에도 스핀 코팅의 조건, CNF의 조건 등 샘플의 준비 방법은 여러 시행착오를 거쳐 표 2.와 같이 표준화를 진행하였다. 기제는 커버 Glass ( $R_q < 1$  nm)를 사용하였다.

|                   | 화학적 전처리 CNF            | 기계적 전처리 CNF        |
|-------------------|------------------------|--------------------|
| PEI 표면 코팅 (0.1%)  | pH 3, 1회               | pH 10, 1회          |
| PEI drop 후 지연 시간  | 3분                     | 1분                 |
| 스핀 코팅 조건          | 5000 rpm, 60 sec       |                    |
| 세척수 1 drop 후 스핀코팅 | 0회                     | 1회                 |
| CNF 샘플 준비         | 0.1% 희석, 6000 rpm에서 3분 |                    |
| CNF 샘플 로딩 후 스핀코팅  | 2회                     | 1회                 |
| 세척수 1 drop 후 스핀코팅 | 1회                     | 1회                 |
| 비고                | 기제 표면에 섬유 로딩 과소 경향     | 기제 표면에 섬유 로딩 과다 경향 |

표 2. 기제 상 샘플 로딩 및 샘플 준비 프로토콜

AMF을 이용해 적절한 수준으로 펼쳐진 상태의 이미지를 확보한 다음 그림 5.에서와 같이 36개의 그리드를 구분하여 1 그리드에서 임의로 1개의 섬유를 선택하여 폭과 길이를 측정하였다. 섬유의 폭은 AFM의 측정 기작을 고려하여 높이로 평가를 진행하였다. 이후 36개의 평균값으로 섬유의 폭과 길이를 분석하였다. 통계적으로 30개 이상의 샘플이 정규분포를 이루기 때문에 가능한 범위에서 최대한의 섬유 개수를 평가하였고, 이들의 평균값이 통계적으로 유의미한 수준일 것으로 판단하였다.

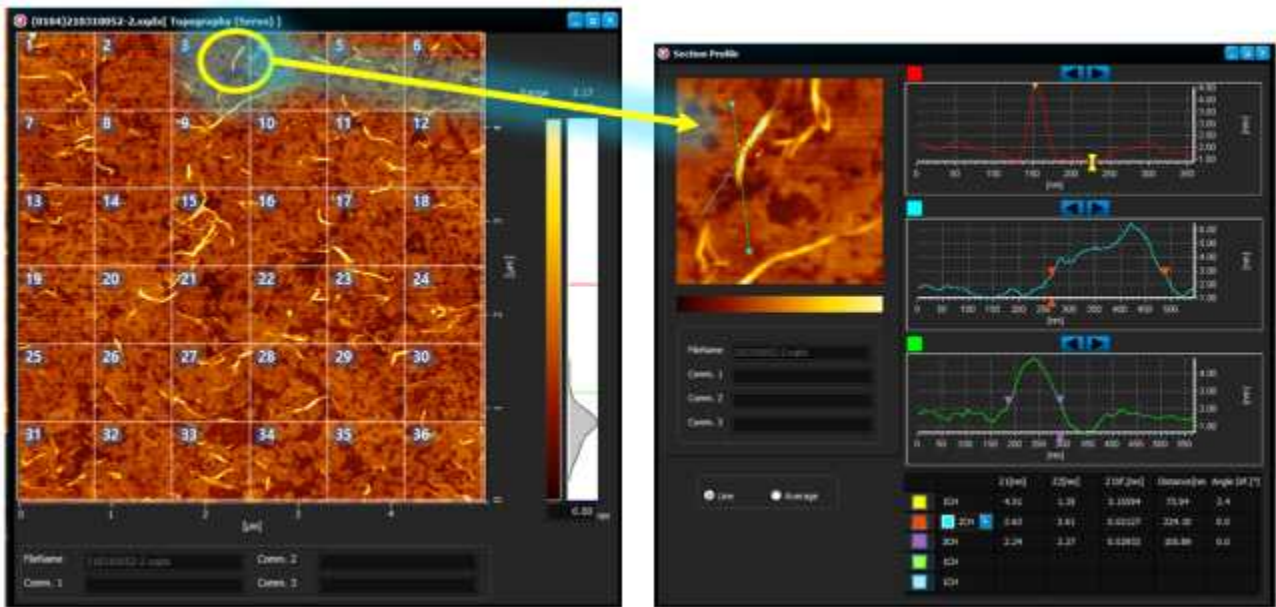


그림 5. 그리드 구분에 의한 섬유 선정 및 섬유폭, 길이 평가

이때 CNF의 대략적인 크기에 따라 스캔이미지의 크기를 조절할 필요가 있었다. 화학적 전처리에 의한 CNF의 경우 스캔이미지는  $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$  가 적절하였으며, 기계적 전처리의 경우  $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$  가 적절하였다. 때에 따라서 섬유의 길이가 이미지의 크기를 상회하는 경우에는  $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$  수준으로 스캔이 필요한 경우도 있었다.

AFM 이미지에 의한 나노섬유의 폭과 길이의 분석을 통해 종횡비를 산출하였다. 다만 AFM 분석을 통해 본연구에서 지향하는 바는 종횡비 분석 그자체에 있는 것이 아니라, 섬유의 Morphology가 CNF의 품질을 가장 민감하게 대변할 수 있는 점도와 상관성을 밝히는 것이 중요하였다. 서로 다른 점도의 CNF 샘플을 AFM 이미지를 통해 비교해보면 육안상으로는 큰 차이를 보기 어렵다 (그림 6.).

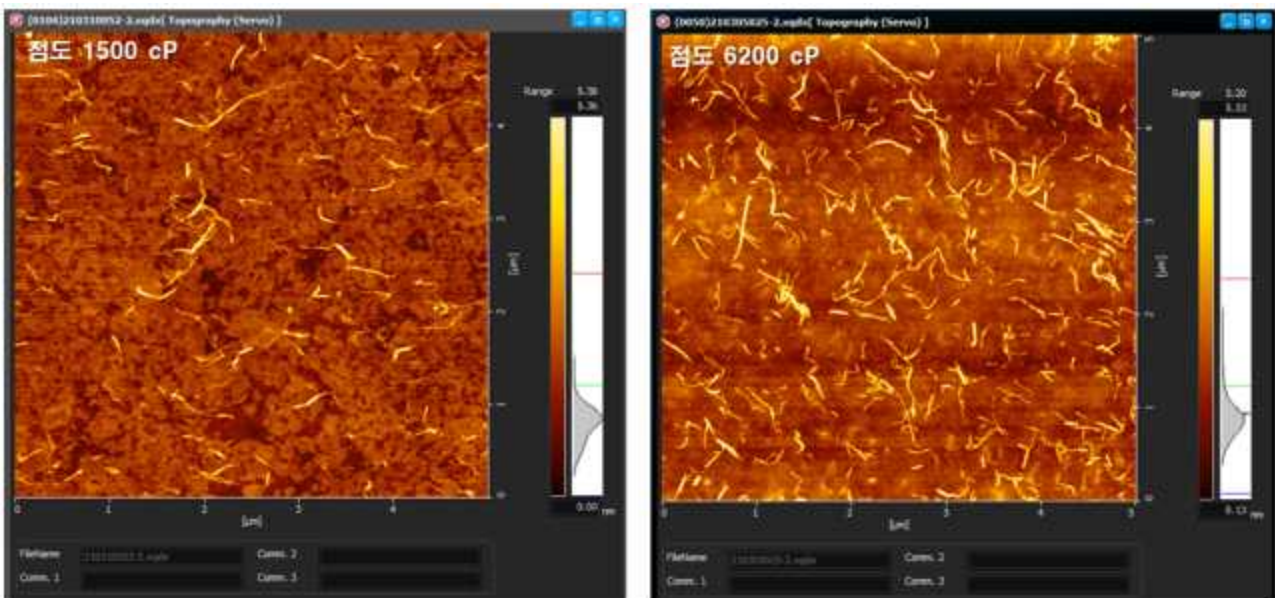


그림 6. AFM 이미지 (좌\_점도 1500 cP, 우\_점도 6200 cP)

그러나 본 연구를 통해 표준화된 분석방식으로 섬유폭과 길이 분석을 통한 종횡비의 비교는 종횡비와 점도의 상관성을 보여준다. 평균 종횡비 기준으로 종횡비가 약 30% 증가할 경우 점도는 300%이상 증가하였다 (표 3.)

| 수종                                    | Southern Pine   | Radieta Pine     |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|
| 점도 (2%, 10 sec <sup>-1</sup> , 1 min) | 1,500 cP        | 6,200 cP         |
| 평균 섬유폭                                | 3.4 nm          | 3 nm             |
| 평균 섬유장 (최대 섬유장)                       | 328 nm (980 nm) | 395 nm (1150 nm) |
| 평균 종횡비 (최대 종횡비)                       | 103 (288)       | 136 (383)        |

표 3. 화학적 전처리 시 수종 및 점도 차이에 따른 형태적 특성

또한 본 연구를 통해 개발된 섬유폭과 섬유장의 분포 분석 방법을 활용할 때, 형태적인 차이 분석을 통해 수종별 나노셀룰로오스 분석을 보다 고도화 할 수 있을 것으로 기대할 수 있다 (그림 7.). 예를 들어 소나무 계열의 펄프일지라도 수종과 산지에 따라 나노셀룰로오스의 폭과 길이의 차이는 매우 근소한 수준이지만, 분포로 비교해보면 모폴로지 영역의 차이를 나타내며 이는 점도의 차이와 연결된다고 볼 수 있다.

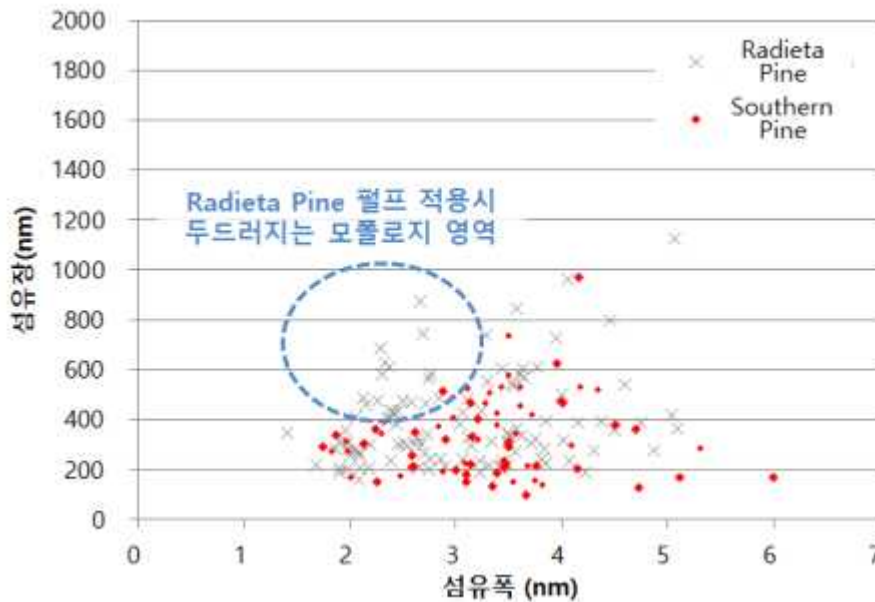


그림 7. 수종에 따른 섬유폭 및 섬유장 분포

상기와 같은 분석 방식으로 기계적 전처리에 의한 CNF를 동일 수종에서의 펄프 산지별로 분석하였다. Southern Pine 펄프의 경우 북미에서 주로 생산되는데, Southern Pine ①의 경우 북미 해안, Southern Pine ②의 경우 북미 내륙을 산지로 하였다. 목재칩 및 펄프의 산지에 따라 형태적 특성은 약간의 차이를 나타내었으나, 점도의 차이는 약 10% 수준으로 크지 않았다 (그림 8., 표 4)

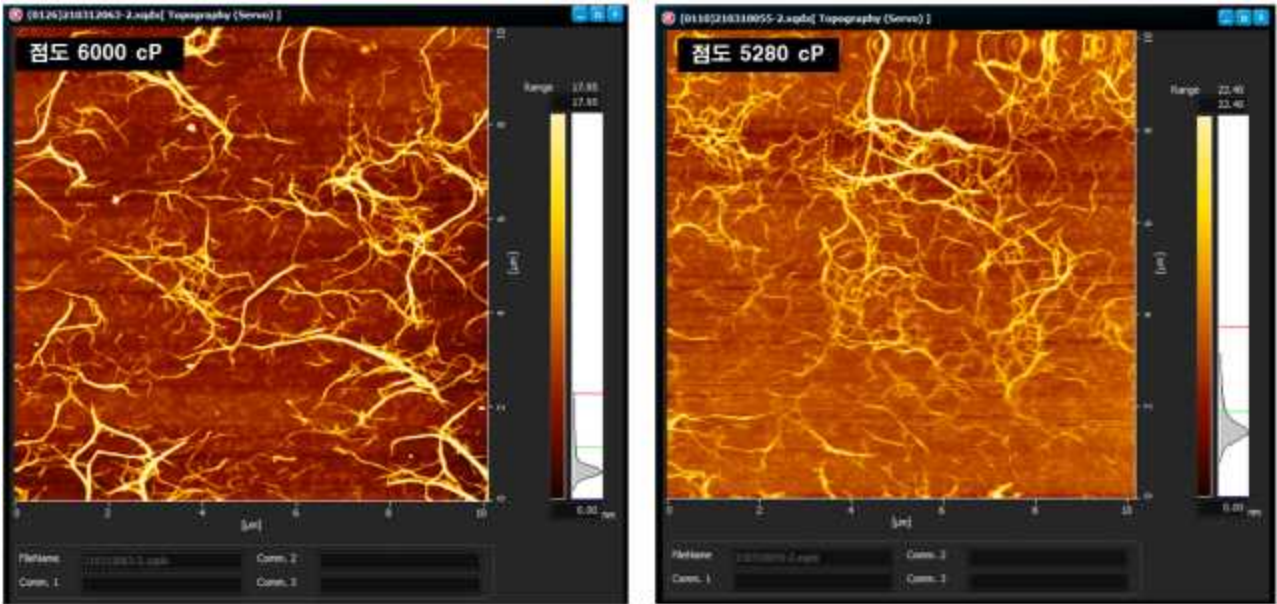


그림 8. AFM 이미지 (좌\_점도 6000 cP, 우\_점도 5280 cP)

그림 9.에서는 Southern Pine의 산지(해안, 내륙)에 따른 섬유폭과 섬유장의 분포를 살펴보았다. 표 4의 결과에서와 같이 산지에 따라 평균 섬유장, 섬유폭, 종횡비의 차이는 크지 않았고, 이에 따른 점도의 차이도 10% 내외로 크지 않았다. 그러나 분포의 경우에는 해안 지역에서 성장한 나무로 만든 펄프의 경우, CNF로 만들었을 때 섬유폭과 섬유장의 분포가 다소 넓게 나타났다. 이러한 차이는 본 연구에서의 목적과 같이 생분해성 플라스틱의 강화 섬유로 활용하고자 하는 목적에서는 유의미한 차이로 볼 수 없다. 그러나 향후 나노입자의 분산, 촉매의 합성 등 적용분야의 확대 차원에서, 셀룰로오스 나노섬유를 템플릿으로 활용하고자 하는 경우에는 유의미한 차이로 구분할 수 있고, 활용이 가능할 것으로 판단한다.

| 수종                                    | Southern Pine ①   | Southern Pine ②  |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|
| 점도 (2%, 10 sec <sup>-1</sup> , 1 min) | 6000 cP           | 5280 cP          |
| 평균 섬유폭                                | 11 nm             | 7 nm             |
| 평균 섬유장 (최대 섬유장)                       | 1587 nm (5000 nm) | 742 nm (1500 nm) |
| 평균 종횡비 (최대 종횡비)                       | 142 (454)         | 133 (214)        |

표 4. 기계적 전처리 시 산지 및 점도 차이에 따른 형태적 특성



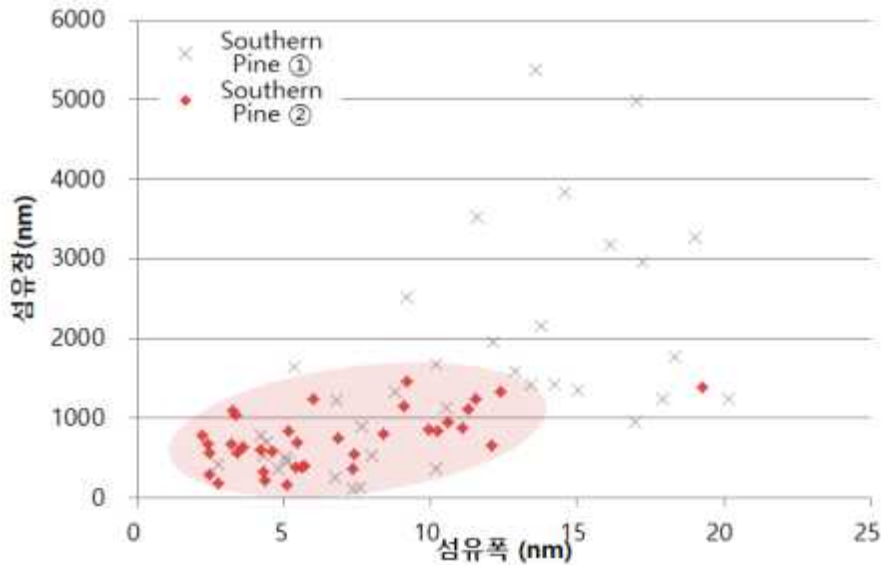


그림 9. 산지에 따른 섬유폭 및 섬유장 분포

### 2.2.2 나노셀룰로오스의 종횡비 조절

2.2.1절에서 수증, 산지, 전처리 방식에 따른 종횡비 조절을 살펴보았다면, 본 절에서는 공정 별 종횡비 조절 관점에서 진행한 내용을 정리하였다. 공정은 화학적 전처리 방식과 기계적 전처리 방식으로 구분할 수 있다.

화학적 전처리 방식은 TEMPO를 촉매로 한 산화 반응 과정에서 차염소산나트륨의 염소 함량과 반응시간이 조절 가능한 조건이었다. 이때 나노셀룰로오스의 최종 형태에 있어서 나노섬유의 폭은 3~4 nm 수준으로 일정하였지만, 산화 반응의 정도에 따라 섬유의 길이는 점차 감소하는 경향의 확인할 수 있었다. 따라서 종횡비의 조절은 원료가 가지고 있는 최대의 섬유장으로부터 반응의 정도를 심화하여 섬유장을 짧게 조절함으로써 종횡비를 조절하는 방향으로 접근이 가능하였다. 또한 반응이 완료된 시점에서 효소 반응을 통해 미분쇄 공정에서의 분쇄 효율을 극대화하는 방안을 생각해 볼 수 있었다.

기계적 전처리 방식에 있어서는 고압호모게나이저를 이용한 미분쇄 과정에서 섬유의 폭의 감소와 섬유 장의 감소가 동시에 일어나게 되는데, 초기 미분쇄 과정에서는 섬유의 폭의 감소 경향이 섬유 장의 감소 보다 우월하게 일어나기 때문에 미분쇄 횟수 (처리 횟수 = Pass number)에 비례하여 점도는 지속적으로 증가하였다. 그러나 처리 횟수 5회를 초과하게 되면 점도는 일정수준으로 유지되는 경향을 나타내었다. 이상의 선행 연구 결과를 통해 기계적 전처리 방식에서는 원료의 종류를 변화시켜 최종 품질을 조절하는 방향이 제시될 수 있을 것으로 기대하였다.

#### 2.2.2.1 화학적 전처리 방식에서의 종횡비 조절

산화 반응에 있어서 차염소산 나트륨의 투입량과 반응 시간은 산화 반응의 정도를 조절할 수 있는 인자이다. 또한 미분쇄 과정에서 효소 처리를 통해 추가적인 섬유장의 감소가 가능하였고 이는 최종 점도의 감소로 나타났다. 그림 10.에서 Lab test 과정에 대한 모식도를 나타내었다. 1단계에서는 차염소산 나트륨의 투입량과 반응시간의 조절을 진행하였고, 2단계에서는 미분쇄 과정에서 효소 처리를 진행하였다. 본 절에서의 결과는 Lab scale로 테스트한 결과이

다. TEMPO와 NaBr 등 기타 약품의 사용량을 동일하게 고정하였다.

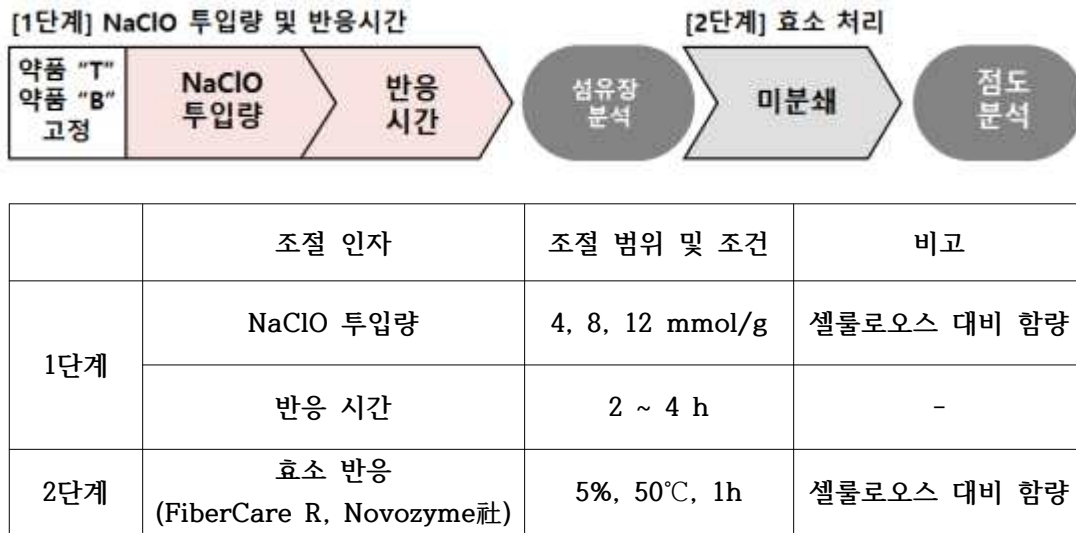


그림 10. 섬유장 감소를 통한 점도 감소 테스트 과정 (Lab scale).

선행연구에서 CNF의 형태적 특성 (Morphology)과 점도의 상관성에 대해 섬유의 종횡비와 점도의 비례성에 대해 보고된 바가 있다 (그림 11.). 고점도의 CNF는 높은 종횡비의 섬유로 이루어져 있으며, 저점도의 CNF는 종횡비가 감소하는 경향을 나타내었다. 본 연구에서는 산화반응이 끝난 시점에서 펄프 섬유의 Morphology를 Fiber Tester를 이용하여 평가하였다.

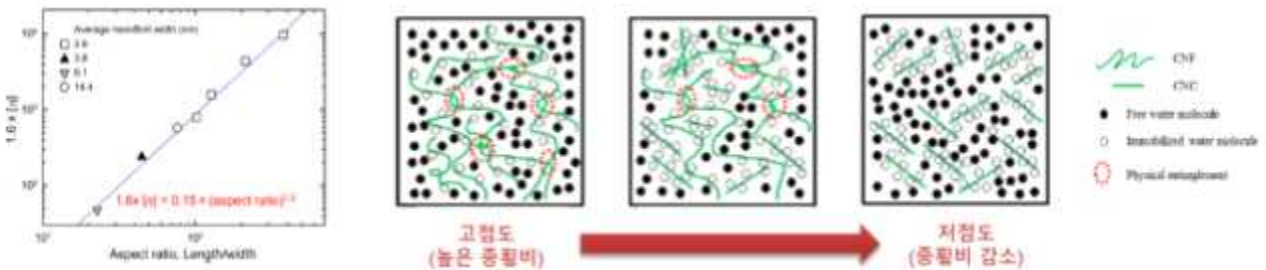


그림 11. 선행연구자료 : 종횡비와 점도의 상관관계  
(Progress in Polymer Science (2018) 86, 122.)

NaClO의 표준조건 대비 투입량이 증가할수록, 반응시간이 증가할수록 초기 섬유장과 섬유폭 분포의 변화가 크게 나타났으며, 단섬유화도 촉진되는 것으로 나타났다 (그림 12.).

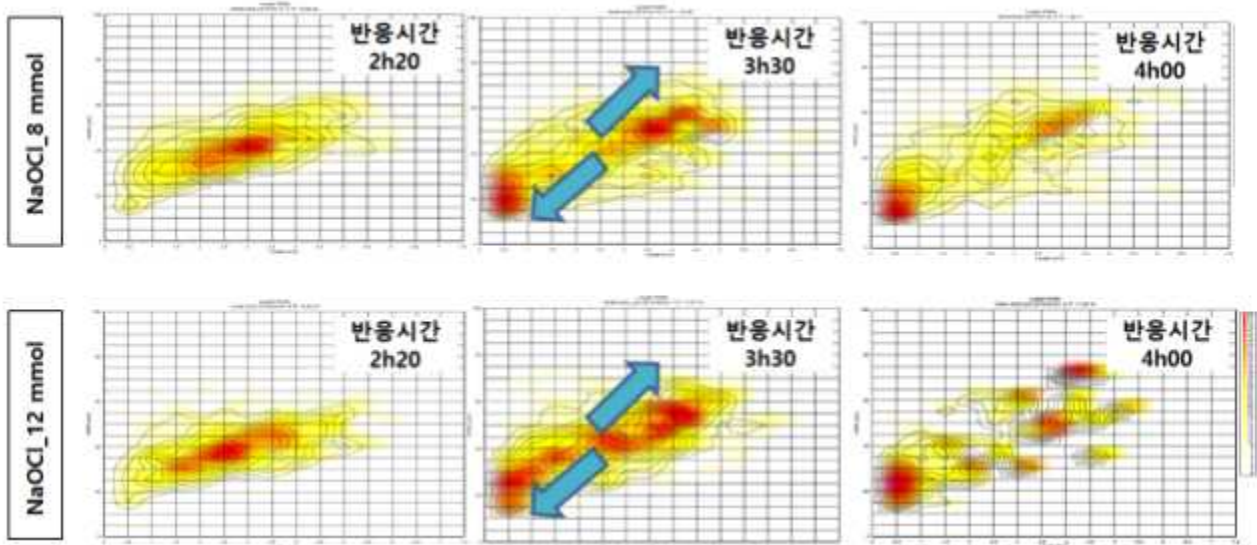


그림 12. 반응시간 및 차염소산나트륨의 투입량에 따른 점도의 형태 변화 (1단계).

고압호모게나이저를 이용한 미분쇄 결과 미분쇄 시간에 따른 점도의 변화를 그림 13.에서 나타내었다. NaClO 4 mmol/g 조건에서는 미분쇄 시간의 증가에 따라서 점도가 상승후 20,000 cP 이상의 고점도를 유지하였다. NaClO 8 mmol/g, 2h 반응 조건에서는 초기 점도에서 약간 상승후 유지되는 경향을 나타내었으나, 3h 이상 반응 조건에서는 미분쇄 시간에 따라 점도가 감소하였고, 그 경향을 반응시간의 증가에 비례하여 빠른 속도를 나타내었다. NaClO 12 mmol/g 조건에서는 미분쇄 시간의 증가에 따라 즉각적인 점도의 감소를 나타내었다. 따라서 점도 감소 즉, 중형비의 감소를 위해서는 일정수준 이상의 Excess NaClO가 투입되어야 함을 알 수 있었다.

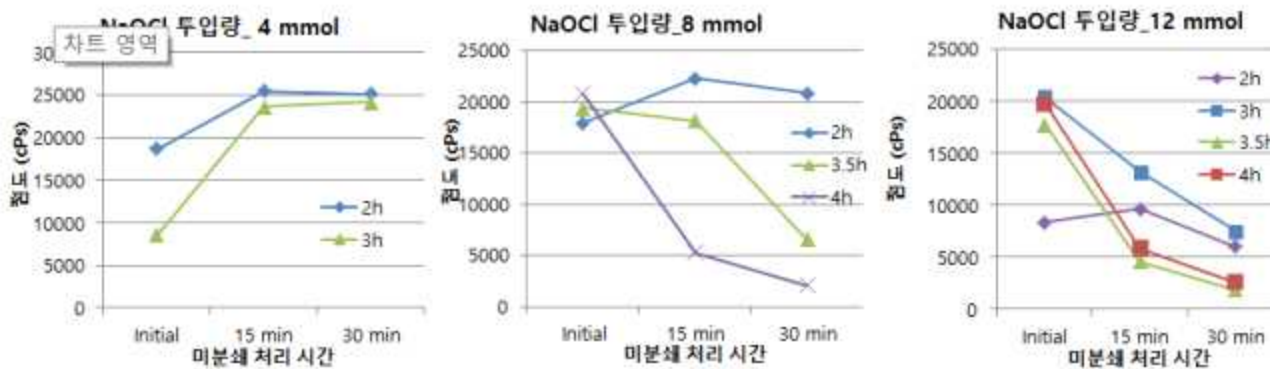


그림 13. 반응시간 및 미분쇄 시간에 따른 점도 변화 경향 (1단계).

이상의 결과를 검증하기 위해 산화반응에 의한 카르복실기의 치환도를 평가하였다 (그림 14). 산화반응 시간의 증가에 따라 카르복실기 함량은 증가하였고, ~2.5 mmol/g까지 포화 범위가 존재함을 알 수 있었다. 또한 포화 범위 이상의 NaClO가 단섬유화를 유발하여 점도가 감소하는 것으로 판단하였다. 따라서 저점도의 CNF 혹은 낮은 중형비의 CNF를 제조할 경우에는 NaClO의 투입량을 증량하는 것이 CNF 중형비 조절의 접근 방향이 될 수 있다.

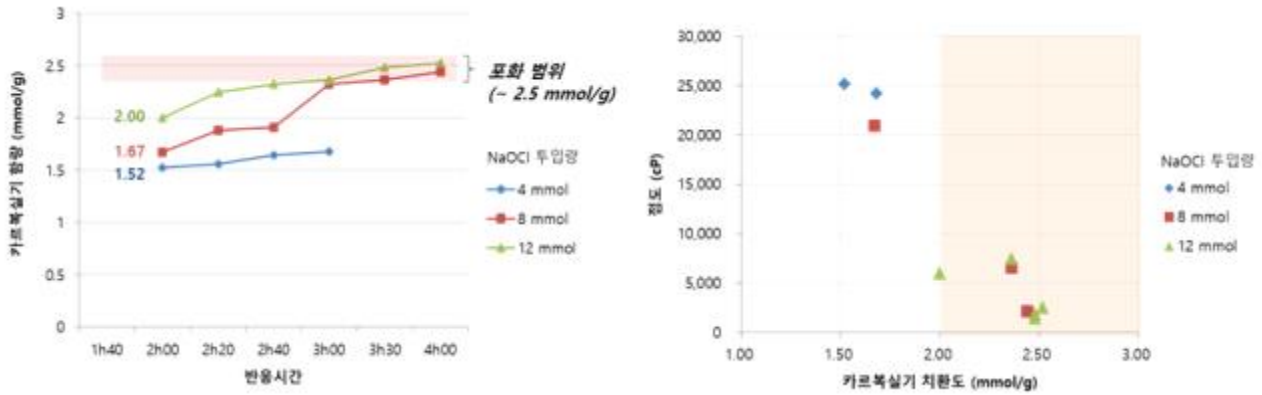


그림 14. NaClO 투입량 별 카르복실기 함량 평가.

미분쇄 과정에서 효소 처리를 통해 섬유질의 종횡비 감소 및 이를 통한 점도 감소를 구현할 수 있을 것으로 예상하였고, 2단계 조건으로 효소를 처리한 결과 1,378 cP에서 228 cP로 점도는 크게 감소하였다. 즉 효소 반응에 의한 미분쇄 과정에서  $\beta$ -1,4 glucosidic bond의 단절을 통해 미분쇄 효율을 증가시킬 수 있었다 (그림 15.).

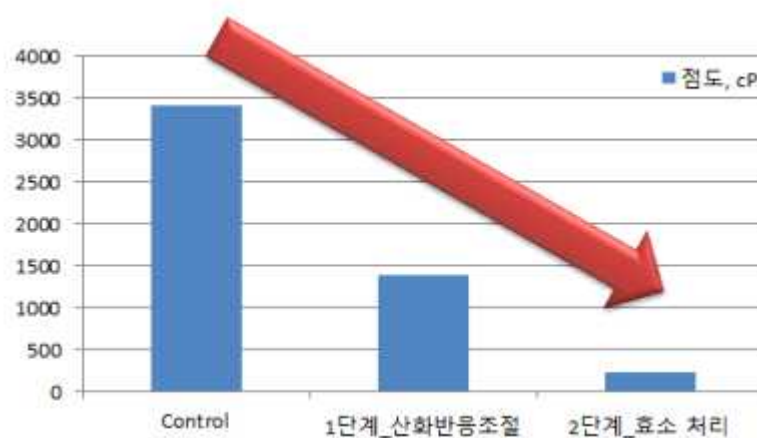


그림 15. 산화반응 조절 및 효소 처리에 의한 점도 감소 효과 (종횡비 감소).

본 절에서는 화학적 전처리를 통한 CNF의 제조 과정에서 나노 섬유의 형태를 조절하기 위한 접근 방법을 살펴 보았고, 산화 반응과정에서 NaClO의 초과 투입이나 미분쇄 과정에서 효소의 사용을 통해 종횡비 감소 및 이를 통한 점도 감소를 촉진할 수 있음을 알 수 있었다.

상기의 결과를 바탕으로 NaClO 투입량 (12 mmol), 반응시간(4h)을 최적화하여 Pilot scale에서 CNF를 제조하였다. 펄프 수종은 Southern Pine을 사용하였다. 표 4에서 ①은 전처리 조건을 최적화 했을 때의 종횡비 결과로 276을 나타내었으며, ②는 효소 후처리를 통해 미분쇄한 결과로 종횡비가 121까지 줄어들었다. 이상의 결과를 바탕으로 CNF Morphology 조절 즉, 종횡비는 121~276 범위에서 조절 가능한 기술을 확보했다고 볼 수 있다.

|                                       | Southern Pine ① | Southern Pine ②  |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|
| 제조 공정                                 | 전처리 최적화         | 전처리 최적화 + 효소 후처리 |
| 점도 (2%, 10 sec <sup>-1</sup> , 1 min) | 8,000 cP        | 1,500 cP         |
| 평균 섬유폭                                | 3 nm            | 3 nm             |
| 평균 섬유장                                | 830 nm          | 364 nm           |
| 평균 종횡비                                | 276             | 121              |

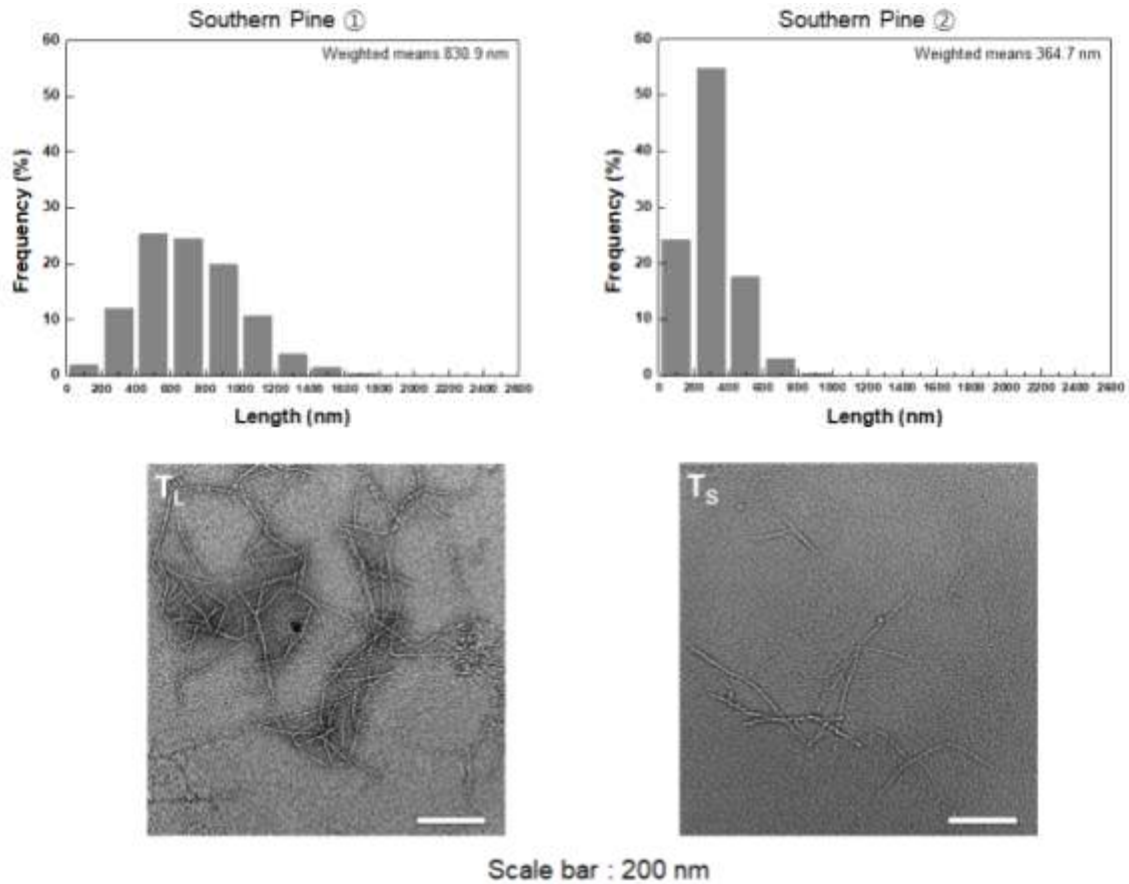


표 5. 화학적 전처리 최적화 및 후처리를 통한 종횡비 조절 결과

### 2.2.2.2 기계적 전처리 방식에서의 종횡비 조절

기계적 전처리에 의한 CNF의 품질에 영향을 미치는 인자는 펄프 원료의 종류, 리파이닝 에너지, 미분쇄 에너지, 효소 반응 등이 있다. 본 절에서는 전처리 과정에서 리파이닝 정도, 효소의 투입량, 리파이닝 바의 디자인 관점에서 연구를 진행한 결과를 정리하였다. 또한 상기 방식으로 제조되는 CNF의 형태는 단일 섬유라기보다는 피브릴화가 진행된 섬유에 가깝기 때문에 종횡비와 점도의 상관성이 있다는 것으로 설명하기 어려운 점이 있다. 따라서 분석 방법의 고도화를 위해 점도 차이를 설명할 수 있는 다른 품질 지표의 도입이 필요하였다.

기계적 전처리 방식의 CNF 제조 공정은 리파이닝 공정과 미분쇄 공정으로 구분할 수 있다. 리파이닝 공정은 미분쇄 공정에서 펄프 섬유를 적합한 크기로 줄여서 원료의 피딩을 원활하게 하고, 미분쇄 에너지를 절감할 수 있는 방안으로서 채택되고 있으며, 리파이닝 과정에서 효소의 반응은 미분쇄 에너지를 절감할 수 있는 방법으로 보고되고 있다. 따라서 기계적 전처리-

리파이닝의 효과는 미분쇄 공정을 거친후 CNF의 점도 평가를 통해 확인할 수 있다. 그림 16. 은 Lab scale의 리파이닝 설비를 이용하여 여수도를 CSF 100 mL 수준으로 동일하게 처리한 후 고압호모게나이저를 이용하여 처리 횟수에 대한 점도 변화를 나타낸 것이다.

리파이닝 처리시 점도는 80~120 cP 수준으로 리파이닝 방식과 펄프의 종류 (Wet vs. Dry pulp)에 따른 차이는 크지 않았다. 점도는 섬유들간의 네트워크와 네트워크의 복잡성에 비례하기 때문에 이때의 펄프 섬유는 형태적으로 큰 차이가 있다고 보기 어렵다. 그러나 고압호모게나이저를 이용한 미분쇄 처리시 점도의 변화 정도는 큰 차이를 나타낸다. 동일한 Dry pulp의 경우에서 PFI mill과 Valley beater은 점도 상승 과정에서 차이를 나타내었고, PFI mill의 경우 상대적으로 더 높은 미분쇄 효율을 보여주었다. 또한 동일한 PFI mill의 경우 Dry pulp에 비해 Wet pulp의 미분쇄 효율이 훨씬 높았다. 그리고 미분쇄 효율이 높은 경우에 있어서는 처리횟수 4회에서 가장 높은 점도를 나타내었으며, 5회 처리시 오히려 점도가 감소하였기 때문에 이때 부터는 피브릴화 보다 단섬유화가 더 우세하게 나타났음을 추측할 수 있다.

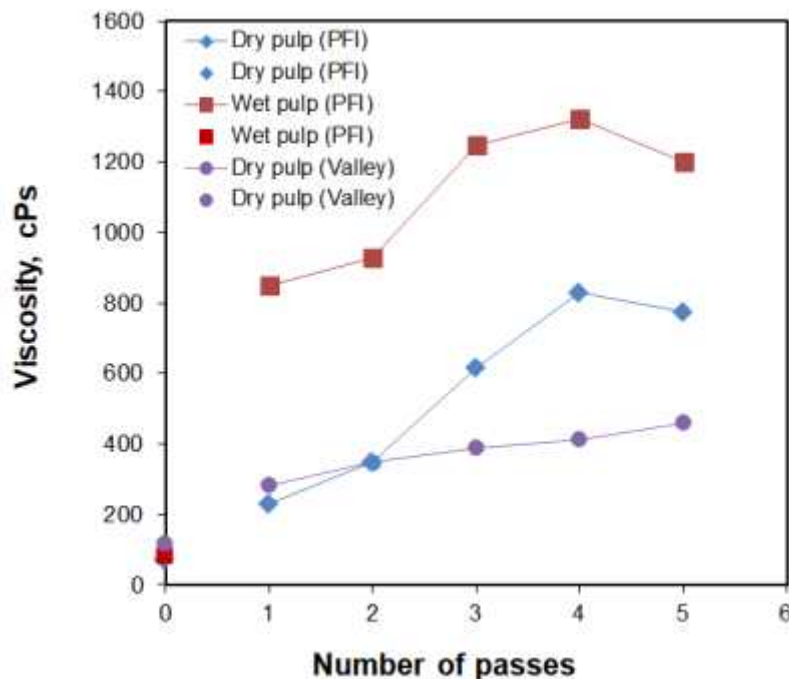


그림 16. 전처리 방식 및 펄프의 종류에 따른 미분쇄 효율.

리파이닝 방식에 따른 미분쇄 효율의 차이는 보다 효율적인 리파이닝 방식이 있음을 의미한다. 또한 리파이너의 Scale up에 따른 영향도 살펴볼 필요가 있었다. 그림 17.에서는 동일한 Dry pulp로 리파이닝 설비의 scale-up에 따른 미분쇄 효율을 살펴보았다. Pilot scale의 리파이너는 Single disk type의 리파이너로 고정판과 회전판 사이의 바 들을 펄프 섬유가 통과하면서 기계적인 에너지를 전달받아 피브릴화 및 단섬유화가 일어나는 기작이다. Lab scale의 리파이닝 설비에 비해 Pilot scale의 리파이닝 설비로 전처리를 진행한 경우 미분쇄 효율이 300% 이상 증가함을 확인할 수 있었고, 이것은 리파이닝 방식이 상대적으로 더 효율적임을 의미한다.

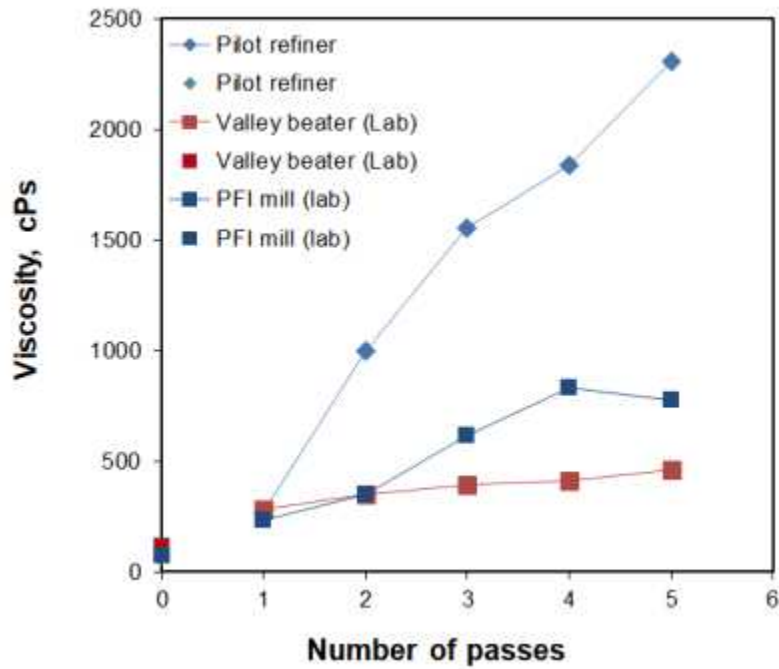


그림 17. 리파이닝 설비의 scale-up에 따른 미분쇄 효율

Pilot 리파이너를 사용하여 섬유의 형태적 특성을 조절 할 수 있었다. 일반적으로 리파이닝 시간의 증가에 따라 펄프 섬유에 작용하는 기계적 에너지의 양이 증가하기 때문에 소비된 에너지의 양에 따라 펄프 섬유의 형태는 달라지게 된다. Pilot 리파이너의 표준 운전 조건으로 에너지에 따른 주요 섬유 품질 지표들을 표 6에 나타내었다. 섬유 품질 평가는 Fiber tester (L&W社)를 이용하였다. 펄프 원료는 활엽수 펄프를 사용하였다.

섬유장은 리파이닝 과정에서 단섬유화가 일어났으며, 0.692 mm에서 0.375 mm까지 감소하였다. 섬유폭의 증가는 Fiber tester의 측정 기작에 따른 “projection width”의 증가를 의미하며 이것은 단섬유화와 동시에 피브릴화가 일어남을 의미한다. 미세분의 함량은 지속적으로 증가하였고, 여수도는 400 kWh/ton이 소비된 시점에서 측정 불가 수준으로 떨어졌다. 선행 연구에서는 여수도 100 mL 이하에서는 고압호모게나이저의 피딩이 가능해져 이 수준으로 기계적 전처리를 마무리 하였으나, 본 연구에서는 리파이닝 시 플레이트 사이에서 펄프섬유에 의한 매트가 형성되지 않는 수준까지 리파이닝을 지속하였다.

| 소비에너지, kWh/ton | 섬유장, mm | 섬유폭, $\mu\text{m}$ | 미세분, % | 여수도, mL   |
|----------------|---------|--------------------|--------|-----------|
| 0              | 0.692   | 15.9               | 6.3    | 625       |
| 100            | 0.709   | 16.2               | 6.2    | 220       |
| 200            | 0.684   | 16.7               | 7.8    | 60        |
| 300            | 0.664   | 17                 | 9.9    | 40        |
| 400            | 0.538   | 17.4               | 14.6   | 120 (백탁액) |
| 500            | 0.583   | 18.2               | 20.3   | 350 (백탁액) |
| 600            | 0.428   | 19.4               | 38.9   | 610 (백탁액) |
| 700            | 0.392   | 20.2               | 54.8   | 780 (백탁액) |
| 750            | 0.375   | 20.5               | 71.6   | 850 (백탁액) |

표 6. 리파이닝 에너지에 따른 주요 섬유 물성

상기 결과에서 섬유장의 변화는 섬유폭, 미세분 함량, 여수도 등을 대표할 수 있기 때문에 이하에서는 다양한 리파이닝-전처리 조건에서 섬유장의 변화를 대표 품질로 살펴보았다.

셀룰로오스 섬유유의 종합도는 기계적 처리에 비례하여 감소한다. 적절한 종류의 효소 처리는 종합도의 감소를 촉진시킬 수 있다. 그림 18.에서는 효소의 투입량에 따른 리파이닝 과정에서 섬유유의 변화를 나타내었다. 선행 연구에서 표준 조건으로 수립된 효소의 투입량은 셀룰로오스 섬유 1g 당 0.17  $\mu\text{l}$ 였다. Pilot 리파이닝은 500L를 한 배치로 하여 진행되었고, 이때 펄프 섬유유는 전건기준 17.5 kg이 사용되었다. 따라서 표준 조건에서 투입되는 효소는 3 mL였다. 본 연구에서는 Pilot scale에서 리파이닝 효과가 Lab scale에서의 효과와 많은 차이를 보였기 때문에 효소의 투입량을 증량하여 실험을 진행하였다. 섬유유는 리파이닝 과정에서 소비 에너지의 증가에 따라 지속적으로 감소하였다. 효소의 투입량이 기존 대비 10배 증가하였을 때 섬유유의 감소 효과는 더 증가하였다. 이 때 동일한 수준의 섬유유를 기준으로 리파이닝 에너지는 750 kWh/ton에서 500 kWh/ton 수준으로 줄어들어 에너지 효율은 약 33% 증가하였다.

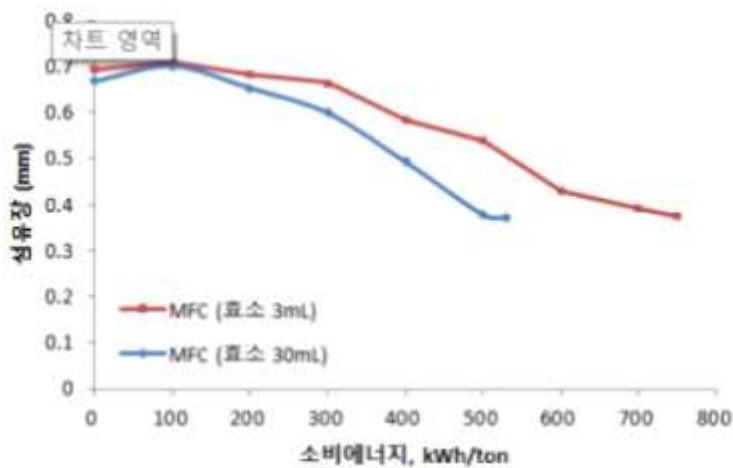


그림 18. 효소 투입량 증가에 따른 리파이닝 에너지 효율.

그림 19.에서는 리파이닝 플레이트의 바 폭에 의한 에너지 효율을 평가하였다. 바 폭이 좁아 질수록 시간당 펄프 섬유유에 가해지는 에너지는 증가하게 되는데, 이때 유량과 무부하 동력 등 다양한 인자가 리파이닝 효율에 영향할 수 있다. 다양한 인자들의 총합을 동일한 섬유유를 기준으로 에너지 효율을 평가할 수 있었다. 바 폭이 3 mm에서 1.5 mm로 감소하는 경우, 섬유장 0.41mm 기준으로 에너지 효율은 100% 증가하였다.

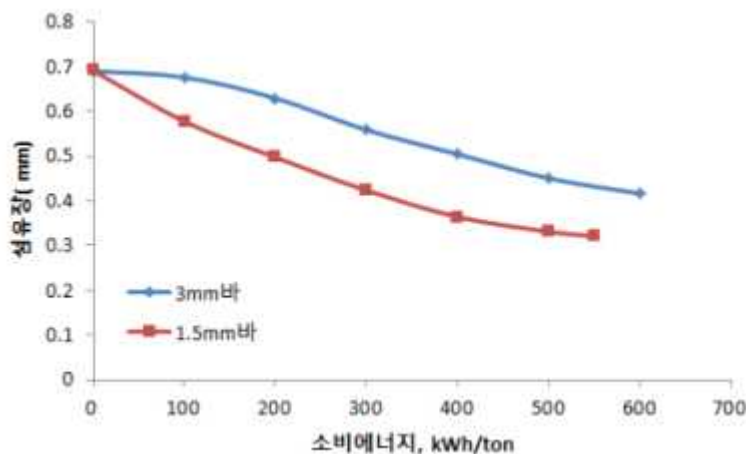


그림 19. 바 폭에 따른 리파이닝 에너지 효율.



상기 결과를 종합할 때 기계적 전처리 공정으로서 가장 효과적인 방식을 채택할 때 리파이닝 에너지는 300 kWh/ton이 사용된다. 또한 미분쇄 공정에서 고압호모게나이저의 운영은 유량 1000 L/h, 지료의 농도 3%, 1000 bar의 운영 조건에서 5 pass 시 2548 kWh/ton으로 산출되었다. 따라서 펄프 1톤을 셀룰로오스 나노섬유로 만드는 에너지는 2848 kWh/ton으로 연구 개발 목표인 3000 kWh/ton 미만을 달성하였다 (표 7).

| 공정                   | 산출값          | 비고  |
|----------------------|--------------|---|
| 기계적 전처리 공정<br>(리파이닝) | 300 kWh/ton  | 무부하 동력 + 부하 동력, 3.5%                                    |
| 미분쇄 공정               | 30.58 kW     | 1000 L/h X 1000 bar / 32700                             |
|                      | 3%           | 처리 농도   |
|                      | 1019 kW/ton  | 1톤당 소비에너지   |
|                      | 2548 kWh/ton | 500 L x 5 pass / 1000 L/h = 2.5h<br>1019 kW/ton X 2.5 h |
| 에너지 소요 총계            | 2848 kWh/ton | 300 kWh/ton + 2548 kWh/ton                              |

표 7. 나노셀룰로스 고품분 1톤 생산시 소비에너지 산출 결과

기계적 에너지의 처리 수준에 따라 리파이닝 공정까지 처리된 섬유를 1단계 (300kWh/ton), 리파이닝 및 미분쇄 공정까지 처리된 CNF를 2단계 (2848 kWh/ton)로 명명하였다. 그림 20에 펄프 원료의 수종과 에너지 부과 정도에 따른 CNF의 형태적 특성을 나타내었다.

광학이미지를 관찰한 결과로는 에너지의 부과 정도에 따라 형태적 특성이 크게 구분되는 것을 알 수 있다. 그러나 브랜치 타입의 섬유들의 점도는 종횡비 외 다른 지표로 평가하는 것이 더 필요하였고, 이를 설명할 수 있는 방법으로 네트워크의 복잡성을 나타낼 수 있는 지표인 b index를 도입하였다. b index는 대략 1~3 범위로 도출 될 수 있는데, 1은 1D의 막대형태, 2는 2D의 원판 형태, 3은 3D의 구형태로 이미지화 할 수 있다.

수종에 관계없이 미분쇄 공정까지 처리된 경우 b index의 값은 2~2.5 수준이었다. 흥미로운 것은 침엽수의 경우 저 에너지의 1단계 처리만으로 상당히 높은 수준의 b index 인 2.41을 나타낸 것이다. 수지 복합체를 제조함에 있어서 섬유 네트워크에 의한 기계적 보강효과를 추구할 때 섬유 1가닥의 형태 보다는 전체적으로 분산된 상태의 네트워크 구현이 관건으로 볼 수 있기 때문에, 적절한 펄프 원료의 선택은 저 에너지비용으로 최대의 효과를 기대할 수 있게 한다.

이상에서 펄프 원료, 수종, 전처리 방식, 소요 에너지, 나노 섬유의 네트워크 특성 등의 관점으로 연구 결과를 정리하였다. 이를 통해 수분산 상태에서 제조되는 CNF의 제조 품질과 스케일업 관점에서 최적화를 진행하였다고 볼 수 있으며, 향후 진행된 건조 기술의 연구를 위한 기계적 전처리에 의한 CNF의 표준 제조 방법이 확립되었다.

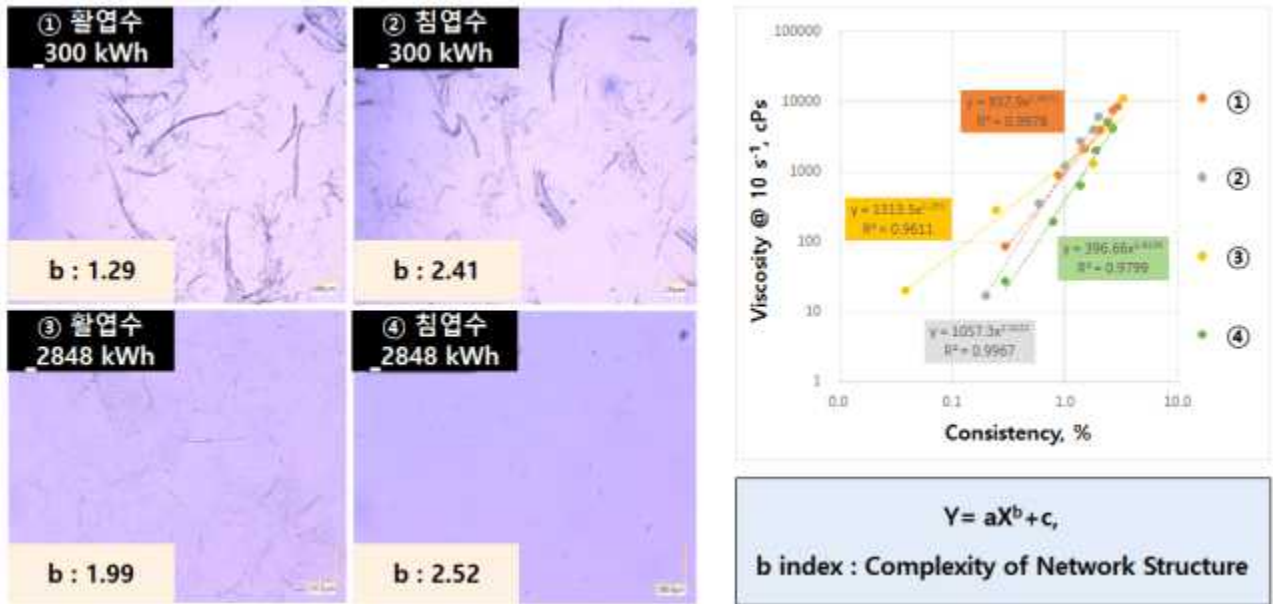


그림 20. 펄프 수종 및 에너지 부과 정도에 따른 네트워크의 복잡성.

### 2.3 Wet 파우더 및 Dry 파우더 제조 기술 개발

본 절에서는 수계에 분산된 상태로 제조되는 CNF를 건조하여 파우더 형태를 제조하는 연구 결과를 기술하였다. 생분해성 플라스틱은 컴파운딩을 통해 서로 다른 종류의 고분자를 블렌딩하거나, 필러를 분산시키게 된다. 이때 수분은 공정상에 유입되면 Vapor를 형성하여 플라스틱으로 사출 시 Defect를 생성할 수 있다. 따라서 일반적으로는 수분이 제거된 필러가 선호된다. 본 연구에서는 먼저 Dry 파우더를 제조하는 연구를 수행하였다.

#### ○ Dry 파우더

Dry 파우더는 다양한 건조 방식으로 제조될 수 있으나, 본 연구에서는 우선 분무 건조 방식을 채택하여 Dry 파우더를 제조하였다. 분무 건조 방식은 액적을 열풍 조건에 분무하여 액체의 기화를 빠른 시간에 일으켜 수분을 제거하는 방식으로 다른 건조 방식에 비해 상대적으로 가장 높은 효율을 가지기 때문이다. 본 연구에서 사용한 분무건조기의 운전 조건은 피딩 유량 10 L/min, 피딩 농도 2%, 챔버 온도 160~170°C였으며, 파우더 제조 수율은 75%~80% 수준이었다. 화학적 전처리 방식으로 제조되는 CNF는 A타입, 기계적 전처리 방식으로 제조되는 CNF는 B타입으로 명명하였다.

그림 21.는 A타입과 B타입 파우더의 형태적 특성을 SEM을 이용해 분석한 결과이다. A타입의 경우에는 구형의 입자로 평균 입도가 약 2 μm였으며, B타입의 경우에는 타원형과 섬유 형태가 혼재되어 있었으며, 타원형의 입자의 입도 약 10 μm, 섬유폭은 6.5 μm 수준으로 관찰되었다.

그림 22.와 그림 23.은 다양한 배율에서 파우더의 이미지를 관찰한 결과를 나타내었다.

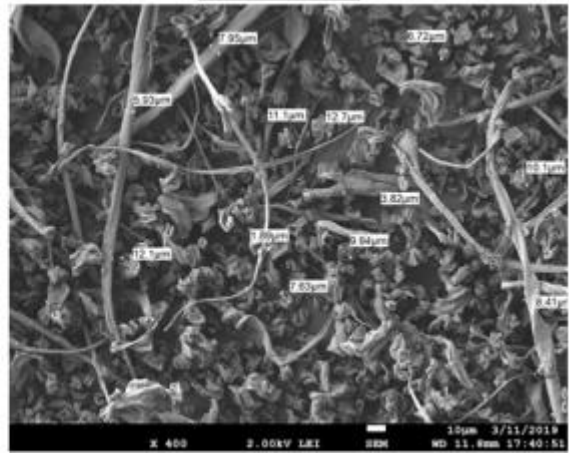
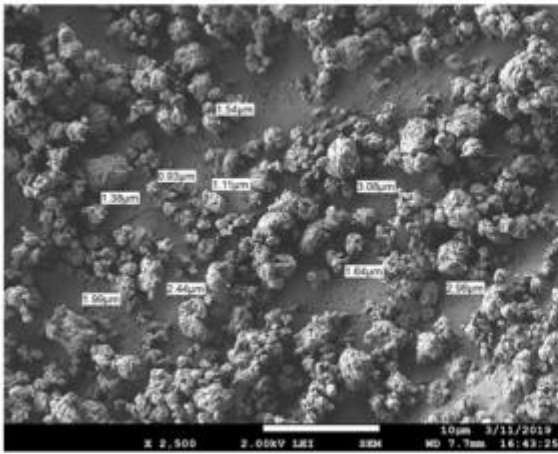


그림 21. Dry 파우더 이미지 (좌\_A타입, 우\_B타입)

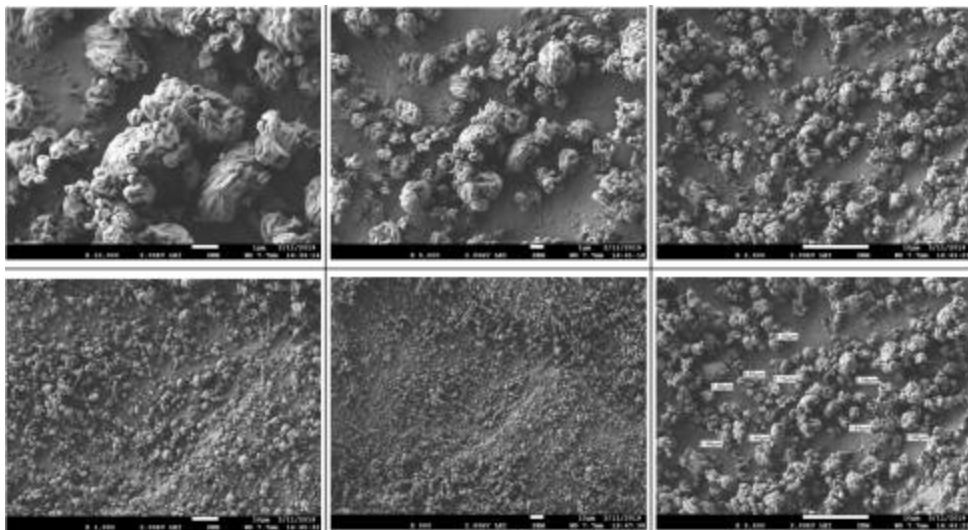


그림 22. A타입 Dry 파우더.

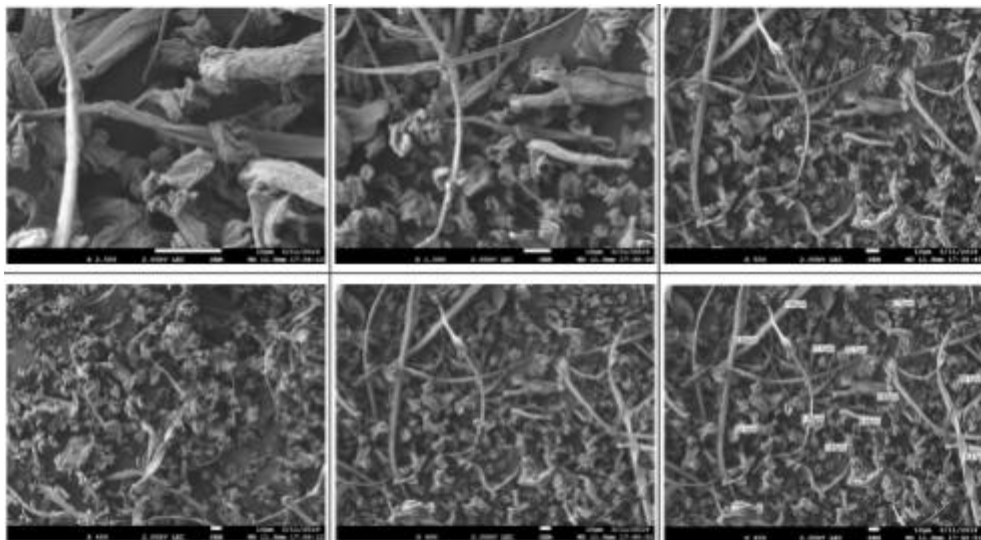


그림 23. B타입 Dry 파우더.

파우더의 평균적인 입도와 입도 분포를 분석하기 위하여 광산란 패턴 분석을 통해 데이터를 산출하는 Malvern mastersizer 2000으로 Dry 파우더에 대한 추가적인 분석을 실시하였다 (그림 24.). 분산 용매는 굴절율 1.36의 에탄올을 사용하였고, 나노셀룰로오스의 굴절율은 1.52로

입력하여 평가하였다. A타입의 경우에는 평균 2.1  $\mu\text{m}$ 를 나타내어 SEM 이미지를 통한 평가 결과와 유사한 결과가 산출되었다. B타입의 경우에는 입도의 분포가 다봉으로 나타났고, 이것으로 타원형의 입자와 섬유상의 입자가 혼재되어 있는 상태이기 때문으로 추측된다. 다만 평균 입도는 13  $\mu\text{m}$  수준으로 나타났으며, 입도의 분포는  $\sim 200 \mu\text{m}$ 까지 다소 넓게 나타났다.

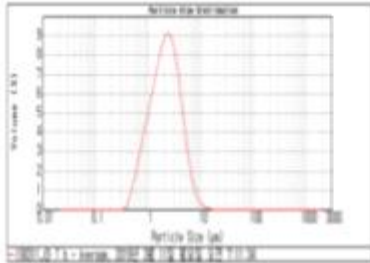
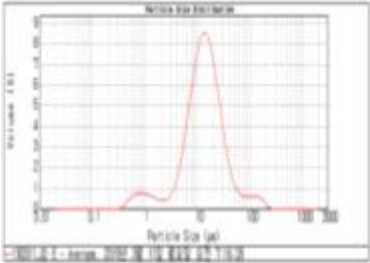
|        | A 타입  | B 타입   |
|--------|---|--|
| d(0.1) | 0.86 $\mu\text{m}$  | 45   |
| d(0.5) | 2.1 $\mu\text{m}$   | 13   |
| d(0.9) | 4.7 $\mu\text{m}$   | 35   |
| 분포     |  |  |
| 비고     | 평균 2 $\mu\text{m}$ , 90% 5 $\mu\text{m}$ 이하                                       | 다봉 분포로 입자 크기 특정 어려움<br>90% 35 $\mu\text{m}$ 이하                                     |

그림 24. 광산란에 의한 Dry 파우더의 입도 분석 결과.

#### ○ Wet 파우더

Wet 파우더는 친수성 표면을 가진 나노셀룰로오스를 양이온성 계면활성제를 사용하여 소수성으로 개질하는 목적으로 연구를 진행하였다. Wet 파우더는 카르복실기 도입에 의해 강한 음이온성 (제타전위 :  $-50 \text{ mV} \sim -60 \text{ mV}$ )을 가지는 A타입 CNF에 한정하여 연구를 진행하였다. A 타입의 경우 강한 음이온성에 의해 나노 섬유들이 정전기적 반발력을 갖게 되지만, B 타입에 비해 크기가 더 작고, 물의 제거-탈수의 관점에서 탈수를 억제하는 요소이기 때문에 음이온의 중화 혹은 "전하 스크리닝 효과"를 통해 나노 섬유들을 응집시킬 필요가 있었다. 이를 위해 양이온성 계면활성제를 사용하였다.

양이온성 계면활성제는 선행연구를 통해 선정된 P50 (친수성 부분 : 4차아민계, 소수성 알킬기-C 12~14)을 사용하였다. 선행 연구에서는 셀룰로오스와 계면활성제의 1:1 몰비를 기준으로 투입량 실험을 진행하였다. 그러나 본 연구에서는 스케일-업 관점에서 양이온성 계면활성제의 투입량을 최적화를 진행하였다. 투입량의 최적화는 세척 공정의 축소 및 품질 조건의 확보를 목적으로 진행되었다.

계면활성제는 수계에서 일정 수준 이상으로 투입되면 Micell을 형성하게 되고 이때의 농도를 임계농도 (Critical Micelle Concentration, CM C)라고 한다. CNF가 존재하는 상황에서도 이러한 개념은 통용될 수 있으며, 최적 투입량 이상에서, 초과 투입되는 계면활성제는 자기조립에 의한 Micelle이 형성될 수 있다.

그림 25.는 양이온성 계면활성제가 A타입 현탁액에 투입될 때의 전기전도도 변화를 나타내었다. 전기전도도의 변화에 따라 3개의 Phase로 구분할 수 있다. Phase 1의 경우 계면활성제가 CN F 표면에 정전기적으로 흡착되는 구간이며, Phase 2의 경우에는 Micelle-like 응집이 발생하면서 나노섬유의 침전이 시작되는 구간이다. Phase 3에서는 CNF에 비해 계면활성제가 초

과 투입되는 상황으로, 과잉 계면활성제는 Free micelle로 존재하게 되면서 CNF 응집체가 본격적으로 형성되는 구간으로 볼 수 있다.

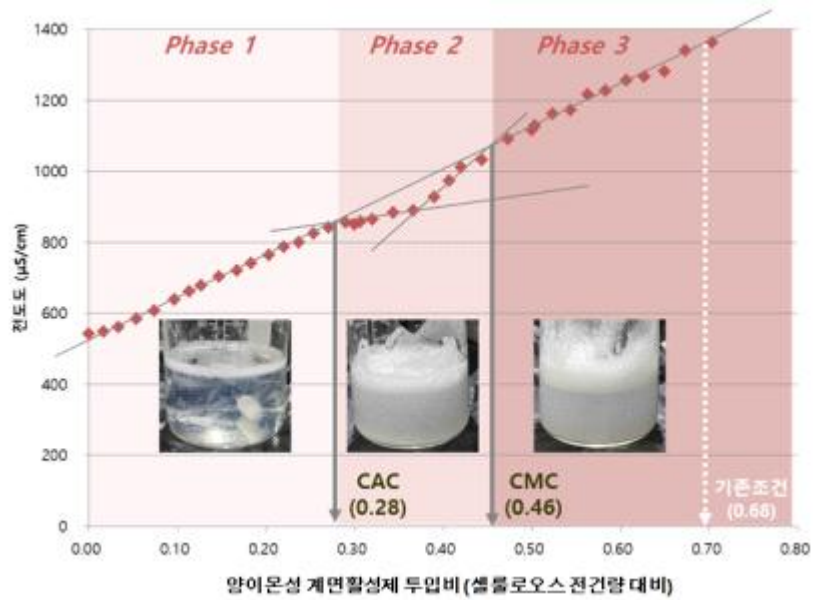


그림 25. 양이온성 계면활성제 투입량에 따른 전기전도도.

그림 26.은 응집을 통해 침전되는 고형분의 분율을 계면활성제의 투입비율에 따라 도식화한 그림이다. Phase 2부터 침전되는 고형분의 분율은 급격히 증가함을 알 수 있다. 원심분리 조건에서 침전이 된다는 것은 물과 응집체 간의 상분리가 일어난다는 의미이고, 이것은 탈수가 가능한 상태로의 변환을 의미한다.

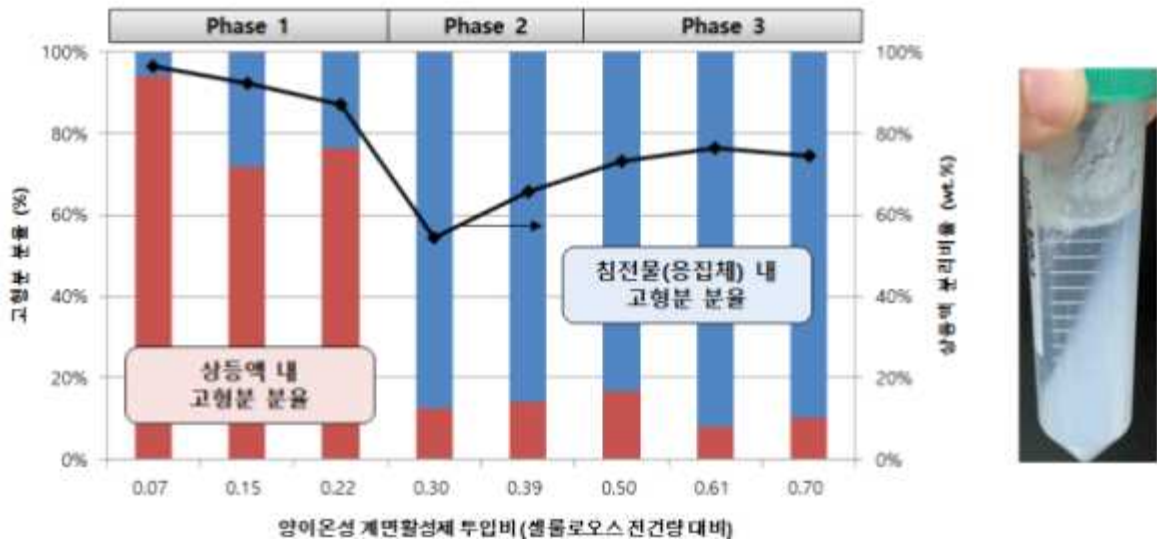


그림 26. 양이온성 계면활성제 투입에 의한 고형분 분율 (침전 응집체).

스케일-업은 반응 배치 기준 4 L - 20 L - 160 L 순으로 진행되었다. 이때 탈수 후 응집체의 고형분 함량은 대략 15% 수준이었다. 양이온성 계면활성제에 의한 표면 개질은 MEK 용매분산을 통해 평가하였다. 분산 방법은 Homo mixer를 이용하여 10,000 rpm에서 15분간 처리하였다. 그림 27.에서 Lab scale 및 Pre-Pilot scale에서의 평가결과를 나타내었다. 160 L 2차

의 경우 탈수를 Pilot scale 설비인 필터프레스를 활용하였고, 이때 고형분 함량은 19.1%였다.







| 관리 범위                   |                                | Lab scale   |   | Pre-pilot scale   |  |   |   |
|-------------------------|--------------------------------|---|---|---|--|---|---|
|                         |                                | 4.0 L   |   | 20 L  |  | 160 L   |   |
|                         |                                | 1차  | 2차  | 1차  | 2차   | 1차  | 2차<br>(필터프레스)   |
| 상등액 전도도                 | 50~150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 82  | 100   | 90.3  | 80.6   | 85.0  | 107.8   |
| 응집체 고형분                 | 15% ↑                          | 15.2  | 16.1  | 14.7  | 15.0   | 14.5  | 19.1  |
| 1% 점도*                  | 20 cP ↑                        | 385.3   | 625.3   | 644.8   | 533.2  | 735.9   | 455.6   |
| 0.1% 탁도*                | 20 NTU ↓                       | 12.4  | 17.3  | 12.3  | 12.4   | 11.8  | 32.1  |
| 용매분산 사진*<br>(*MEK 용매분산) |                                |  |  |  |  |  |  |

그림 27. Lab ~ Pre-pilot scale에서 Wet 파우더 제조 및 품질 평가 결과.

필터프레스에 의한 탈수 공정의 최적화를 진행하였다. 미반응 계면활성제의 제거를 위해 총 3회의 세척이 필요하였다. 3차례 탈수를 거친 Wet 파우더는 고형분 함량 24.3%, 생산수율 85.4%의 결과를 나타내었다 (그림 28.).

| 구분         |                    | 1차 탈수                        | 2차 탈수                       | 3차 탈수                        |
|------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Feeding 조건 | 농도                 | 0.76%                        | 0.78%                       | 5.23%                        |
|            | 투입량                | 320 kg-wet                   | 217 kg-wet                  | 39.4 kg-wet                  |
|            | 전도도                | 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 91 $\mu\text{S}/\text{cm}$   |
|            | 여액 배출량             | 295 kg                       | 210 kg                      | 31.5 kg                      |
|            | 추산 농도*             | 9.0%                         | 23.5%                       | 24.3%                        |
| 최종 응집체     | 실 농도               | 13.5% ( $\pm 2.8$ )          | 22.4% ( $\pm 0.4$ )         | 24.0% ( $\pm 0.8$ )          |
|            | 생산량                | 16.6 kg-wet<br>(2.25 kg-dry) | 9.4 kg-wet<br>(2.11 kg-dry) | 8.64 kg-wet<br>(2.08 kg-dry) |
|            | 생산 수율 <sup>‡</sup> | 92.7%                        | 86.6%                       | 85.4%                        |

\* 추산 농도(%) = Feeding고형분/(투입량-여액배출량) x 평균 수율(0.93)

‡ 초기 원료량 (2.43 kg) : 1차 feeding 원료의 농도와 투입량에서 산출한 값(나노셀룰로오스+계면활성제의 합).

그림 28. Pilot scale 탈수 공정에서의 피딩 조건 및 최종 응집체 (Wet 파우더) 수율.

그림 29.에서는 2차례의 Pilot test를 통해 스케일업 공정을 최적화한 결과를 나타내었다. 이를 통해 균일한 농도 분포를 가진 응집체 (탈수 Cake) 제조 및 공정 셋업을 완료할 수 있었다.

| 순서 | 단계       | 소요시간<br>(1, 2차) | 1차 (160L)   | 2차 (320L [160L x 2])  |
|----|----------|-----------------|---|---|
| 1  | 반응       | 원료              | A타입, 2% 표준제품 → 0.5% 희석 / 교반                                   |   |
| 2  |          | 약품투입            | P50 (1:1) / Dropwise / 교반                                     |   |
| 3  |          | 약품반응            | 5HP Dissolver, 600~700 rpm                                    |   |
| 4  | 세척 / 탈수  | 1회              | Mesh 0.5, 6bar (2h)<br>Air blowing (1h)<br>교반세척@200rpm (0.5h) | Mesh 0.5, 3.5bar (3.5h)<br>Air blowing, 2bar (0.5h)<br>교반세척@450rpm (1h)   |
| 5  |          | 2회              | Mesh 0.5, +Alt,<br>0.5bar (4h)                                | Mesh 0.5, 2bar (0.2h)<br>Air blowing, 0.5bar (0.5h)<br>교반세척@450rpm (0.5h) |
| 6  |          | 3회              | 없음  | Mesh 0.5, 0bar (0.2h)<br>Air blowing, 0.1bar (0.25h)                      |
| 비고 | 생산 순소요시간 |                 | 9h  | 9.7h<br>(※ 단일 batch 시, 7.7h)  |

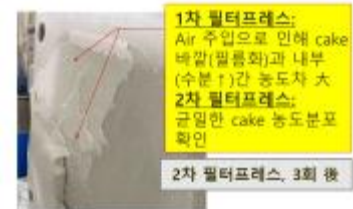


그림 29. Pilot scale 탈수 공정 셋업 결과.

## 2.4 복합소재 맞춤형 제품 개발을 위한 나노셀룰로오스 제조 공정

다양한 펄프 섬유의 화학적 전처리 혹은 기계적 전처리 공정과 미분쇄 공정을 통해 수계 분산된 상태의 셀룰로오스 나노섬유를 제조할 수 있었다. 제조된 CNF는 후처리 공정 중, 분무 건조방식을 통해 파우더 형태로 제조하거나, 농축을 통해 세척 및 고형분 함량 증대가 가능하였다. 그림 30.에서 나노셀룰로오스 제조 공정을 요약한 모식도를 나타내었다.



그림 30. 나노셀룰로오스 제조 공정 모식도.

## 2.5 선형 혹은 고리형 이중 계면활성제 기반 생분해성 복합소재 개발

범용 플라스틱은 활용도가 높은 소재이긴 하지만 높은 화학적 안정성으로 인해 한번 사용되고 버려지는 플라스틱들은 썩지 않고 삼림 또는 해양과 같은 자연 생태계를 파괴함으로써 심각한 환경 오염 문제를 초래하고 있는 실정이다.

이에 현재 널리 사용되고 있는 범용 플라스틱을 생분해성 고분자로 대체하는 움직임이 대두되고 있는데, 특히 최근 들어 오일 달러의 급등과 온실가스, 지구온난화의 환경 관련 규제에 따른 일환으로 생분해성 고분자 기반 제품들이 큰 관심을 받고 있을 뿐만 아니라 관련 시장의 규모도 증가하고 있는 추세이다.

하지만 생분해성 고분자는 범용 플라스틱에 기계적 물성이 매우 낮다는 단점을 가지고 있기 때문에 현재 상황에서는 범용 플라스틱을 대체하는데 있어 큰 어려움을 보이고 있으며, 이러

한 문제점들을 해결하기 위해 복합화 등을 통해 기계적 물성을 높이는 연구들이 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

나노셀룰로오스는 목질계 유래 펄프에서 얻을 수 있는 지속 가능한 천연 소재로서 포스트 탄소 섬유로 불리는 꿈의 신소재로서 전 세계 연구소, 대학, 기업 등으로 큰 각광을 받고 있는 소재이다. 나노셀룰로오스는 열에 의한 변형이 적어 melt blending 공정에서도 이점을 가질 뿐 아니라, 무게는 철의 1/5배 수준이지만 비강도는 철의 5배 이상이며, 최종 제품의 투명도가 좋고, 비표면적이 크기 때문에 충전제로 첨가하면, 낮은 밀도로 인한 경량화가 가능할 뿐만 아니라 적은 양을 첨가하고도 충분한 수준의 기계적 물성을 확보할 수 있는 다양한 장점을 가지고 있기 때문에 생분해성 고분자와의 나노복합화를 통해 기계적 물성을 향상시키는 것이 가능할 것으로 판단된다.

하지만, 나노셀룰로오스의 뛰어난 기계적 물성에도 불구하고 나노셀룰로오스가 첨가된 복합재료의 물성은 기대 이하로 나오는 경우가 대부분인데, 이는 (1) 셀룰로오스에 존재하는 수산화기로 인해 기인하는 것으로 나노셀룰로오스의 친수성으로 인해 소수성인 고분자 매트릭스와의 친화성이 낮기 때문이며 (2) 수많은 수산화기로 인한 나노셀룰로오스 간 강한 수소 결합력으로 인해 한번 뭉친 나노셀룰로오스는 쉽게 떨어지지 않기에 나노셀룰로오스를 이용하여 복합화를 할 경우 낮은 분산도로 인해 오히려 기계적 물성이 감소하기 때문으로 해석할 수 있다. 고분자 매트릭스와의 친화성을 향상시키기 위해 나노셀룰로오스 표면에 있는 수산화기를 acetyl group 같이 고분자와 친화성이 있는 작용기들로 바꾸는 연구들이 진행되었지만, 친환경이라는 측면에서 볼 때 화학적으로 표면을 개질하기 위해선 일반적으로 나노셀룰로오스 무게 대비 20배에 달하는 유기 용매를 사용해야하고 개질에 유해한 화학 물질들이 사용된다는 점에서 바람직하지 않다고 볼 수 있다.

따라서, 생분해성 고분자의 기계적 물성을 향상시키기 위해서는 생분해성 고분자 내 나노셀룰로오스를 잘 분산시켜야 하며 이를 구현하기 위해 친환경적으로 나노셀룰로오스 표면을 물리적으로 개질하는 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 기존 선행 연구에서 도출해낸 이중 고리 물질이 더 강한 수소 결합력을 생성시킨다는 결과를 이용하여, 이중 고리 구조를 가지는 옥수수에서 유래되어 친환경적이고 최근 삼양사에서 양산에 성공해 가격 경쟁력이 뛰어난 이소소바이드 기반 계면활성제를 합성하였으며 이를 활용하여 기계적 물성이 향상된 생분해성 고분자 복합체를 제조하고자 하였다. 나노셀룰로오스 간 약한 수소 결합력은 더 강력한 수소 결합력을 가지는 이중 고리 기반 계면활성제로 인해 나노셀룰로오스 간의 수소 결합을 깨고 나노셀룰로오스의 박리를 유도할 수 있었을 뿐만 아니라 종국적으로 최종 제품의 기계적 물성을 향상시킬 수 있었다.




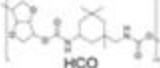
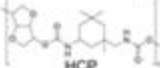
| Materials |  | Sample designation | Composition (wt.%) |     |                                |
|-----------|--|--------------------|--------------------|-----|--------------------------------|
|           |  |                    | PBS                | CNF | CNF / Surfactant nanocomposite |
| PBS       | Polybutylene succinate (PBS)   | PBS                | 100                | -   | -                              |
| PC        | (PBS + CNF) BNC  | PC                 | 97                 | 3   | -                              |
| PCHL      | (PBS+CNF+HL) BNC<br>  | PCHL               | 97                 | -   | 3                              |
| PCHCO     | (PBS+CNF+HCO) BNC<br> | PCHCO              | 97                 | -   | 3                              |
| PCHCP     | (PBS+CNF+HCP) BNC<br> | PCHCP              | 97                 | -   | 3                              |

그림 31. 계면활성제의 구조 및 조성비.

본 연구에서는 모두 다섯 종류의 샘플들을 제조하였으며 각 샘플에 사용된 계면활성제의 구조 및 조성비는 그림 31에 제시하였다. 참고로, 여기서 CNF는 나노셀룰로오스를, HL은 이중 선형 계면활성제(Heteroliner Surfactant)를, HCO 및 HCP는 각각 올리고머 형태의 이중 고리 계면활성제(Heterocyclic Oligomer Surfactant) 및 고분자 형태의 이중 고리 계면활성제(Heterocyclic Polymeric Surfactant)를 의미한다. 또한, 고분자 매트릭스는 polybutylene succinate (PBS)를 사용하였으며, PC는 PBS와 CNF로 구성된 생분해성 고분자 복합체(BNC), PCHL은 PBS, CNF, HL로 구성된 BNC, PCHCO는 PBS, CNF, HCO로 구성된 BNC, PCHCP는 PBS, CNF, HCP로 구성된 BNC를 의미한다.

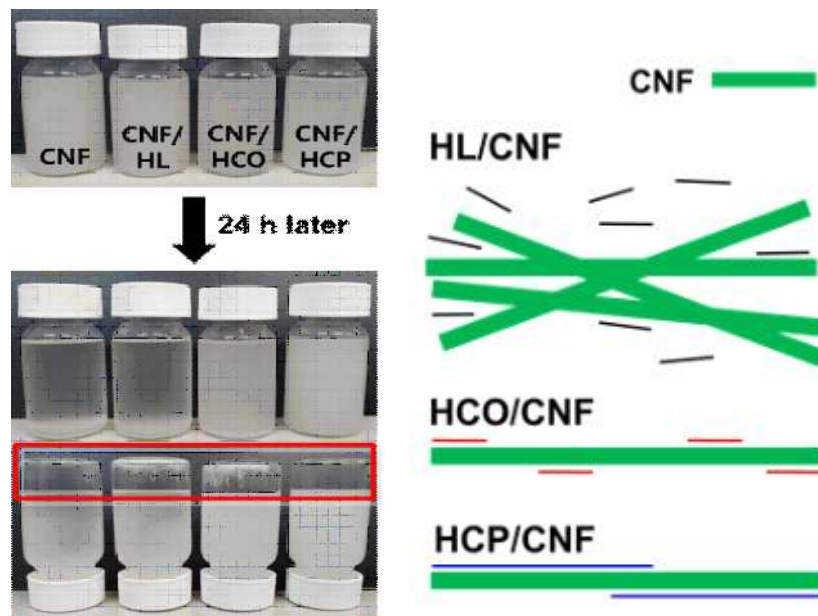


그림 32. 다양한 종류의 계면 활성제를 이용한 나노셀룰로오스 분산성 테스트(좌) 및 각각의 계면 활성제가 나노셀룰로오스를 wrapping하는 모식도(우).

그림 32에서 볼 수 있듯이 CNF, CNF/HL, CNF/HCO, CNF/HCP를 각각 1 wt% chloroform에서 초음파 처리를 통해 분산시킨 후 4시간 뒤에 비교한 결과 4개 샘플 모두 초음파 처리 직후에는 용매에 잘 분산되어 있는 것처럼 보이지만, 순수 CNF 분산액은 24시간 후 분산 용매가 투명해 보일 정도로 침전물이 많이 발생하였는데 이는 CNF의 재응집을 막아줄 수 있는 계면활성제가 존재하지 않기 때문에 시간이 지날수록 CNF 간 강한 수소 결합에 의해 일시적으로

분산된 CNF가 재응집되어 침전되는 것으로 판단된다.

HL/CNF 또한 시간이 지난 후 용액이 투명해지면서 CNF가 바닥에 침전되는 모습을 보이는데, 이는 이종 선형 구조를 가지는 HL 역시 약한 수소 결합력으로 인해 CNF간 응집을 막지 못하기 때문인 것으로 판단되며 순수 CNF의 경우와 마찬가지로 시간이 지남에 따라 CNF 간의 재응집이 발생하고 바닥에 침전물이 생기게 되는 것으로 해석할 수 있다.

이종 고리 구조 형태의 HCO/CNF는 HCO에 CNF간의 뭉침을 박리할 수 있는 강력한 수소 결합력을 가지기 때문에 분산성 향상을 기대할 수 있었으며, 그로 인해 순수 CNF 및 CNF/HL과는 달리 24시간 후에도 여전히 분산성이 유지되는 것으로 볼 수 있다. 하지만 여전히 일부 침전물들이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며 이는 짧은 사슬 길이를 가진 이종 고리 올리고머 형태의 계면활성제인 HCO가 위 그림에서 볼 수 있듯이 충분히 CNF를 wrapping하지 못하고 짧은 구간만 불연속적으로 wrapping하고 있어 CNF 간의 재응집을 일으킬 수 있는 구간이 존재하기 때문에 침전이 생기는 것으로 해석할 수 있다.

이에 반해 HCP/CNFs는 시간이 지난 후에도 뛰어난 분산성을 유지함으로써 침전물이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 HCP가 CNF 간 박리를 충분히 일으킬 수 있는 강력한 수소 결합력을 유도할 수 있는 이종 고리 구조를 가지고 있을 뿐만 아니라 아래 그림에서 볼 수 있듯이 긴 사슬 길이로 CNF를 충분히 wrapping할 수 있어 재응집을 막을 수 있었기 때문으로 해석할 수 있다.

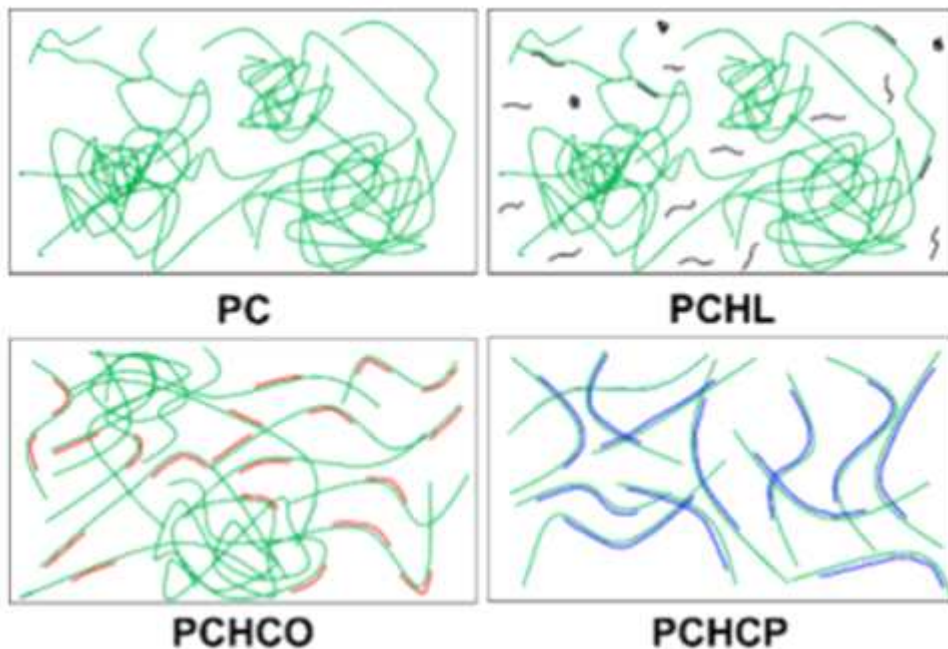


그림 33. 고분자 매트릭스인 PBS 내에서 다양한 종류의 계면활성제가 나노셀룰로오스를 분산시키는 과정을 나타내는 모식도.

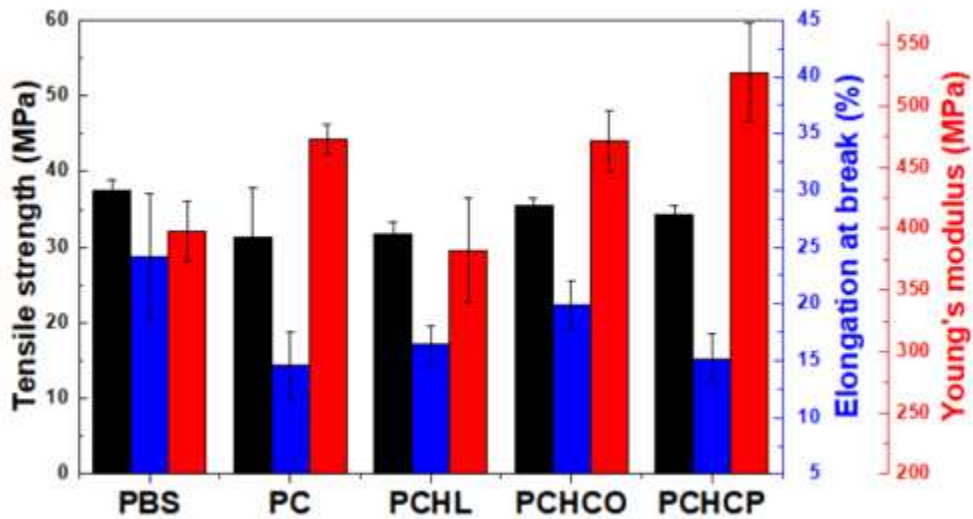


그림 34. PBS, PC 및 PBS에 다양한 종류의 계면 활성제를 도입한 생분해성 고분자 복합체의 기계적 물성을 나타낸 결과.

그림 34는 본 연구에서 제조한 샘플들의 기계적 물성을 정리한 결과로서 PC는 PBS와 비슷한 인장 강도를 보이지만 연신율은 낮아지고 모듈러스는 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 CNF의 뭉침과 표면의 수산기로 인한 낮은 계면 친화성으로 인해 복합체 내 생성된 미세 공극에 의해 연신율이 낮아지는 것으로 해석되며 모듈러스는 CNF의 높은 기계적 특성에 의해 복합체 내 물성 강화 효과가 생기게 되고 이는 인장 시험에서 발생하는 응력이 전달될 때 힘이 더 잘 전달되기 때문에 향상된 것으로 해석된다.

이에 반해 PCHL은 연신율, 모듈러스가 모두 감소함으로써 오히려 기계적 물성에 악영향을 미친다는 것을 볼 수 있다. 이는 master batch 공정 시 HL이 CNF의 박리를 일으킬 수 있는 충분한 수소 결합력을 가지고 있지 않기 때문에 CNF를 wrapping하지 못하고 잔여물로 남기 때문에 복합체 내에서 결합으로 작용하기 때문으로 해석할 수 있다.

PCHCO는 PC에 비해 높은 인장강도와 미세한 모듈러스 증가가 관찰되는데, 이는 HCO가 CNF 표면을 일부 wrapping 하면서 CNF의 수산화기와 PBS 매트릭스 간 접촉 면적을 감소시켜 낮은 계면 친화성을 일부 극복할 수 있었기 때문에 가능한 것으로 해석할 수 있으며 또한 계면활성제 내 이중 고리 구조 형태의 isosorbide가 강력한 수소 결합력으로 CNF를 박리함으로써 복합재료 내 분산성을 향상시키기 때문에 이와 같은 물성 강화 효과가 생기는 것으로 판단된다.

하지만 분산 안정성 테스트 결과와 마찬가지로 PCHCO는 melt blending 공정 과정 중에 HCO가 충분히 CNF를 wrapping 하지 못하기 때문에 CNF의 일부 구간에 존재하는 수산화기에 의한 재뭉침이 일어나게 되어 CNF의 PBS 내 분산성이 감소함으로써 모듈러스의 증가가 미비한 것으로 판단된다.

끝으로, PCHCP 또한 PC에 비해 강화된 인장강도를 보이며, 특히 모듈러스의 경우 약 520 MPa로서 본 연구에서 제조한 샘플들 중 가장 높은 모듈러스를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 PCHCO에서의 경우와 마찬가지로 (1) 이중 고리 기반 계면활성제로 인한 동일한 강화 효과 뿐만 아니라 (2) HCP는 HCO에 비해 CNF의 더 넓은 범위를 wrapping 함으로써

CNF 표면의 수산화기와 PBS의 접촉 면적을 최소화하게 되어 낮은 계면 친화성도 극복할 수 있으며 (3) 복합체 제조 공정에 있어 재분침이 발생하는 가능성을 낮춤으로써 PBS 내 CNF의 분산성을 높여 가장 높은 모듈러스를 보이는 것으로 해석할 수 있다.

### 2.6 콜로이드 첨가제로 코팅된 마이크로셀룰로오스 기반 생분해성 복합 소재 개발

본 연구에서는 복합체의 매트릭스와 같은 소재의 콜로이드 첨가제로 셀룰로오스를 코팅하여, 셀룰로오스 간의 응집을 방지하여 분산성을 향상시키고, 매트릭스와 강화제 사이의 상용성을 강화시켰으며 이를 활용하여 기계적 물성이 향상된 생분해성 고분자 복합체를 제조하고자 하였다.

마이크로셀룰로오스 간 수소 결합을 콜로이드 형태의 PLA와 수소 결합을 하여 콜로이드 첨가제로 인해 마이크로셀룰로오스 간의 수소 결합을 깨고 마이크로셀룰로오스의 박리를 유도할 수 있었을 뿐만 아니라 종국적으로 최종 제품의 기계적 물성을 향상시킬 수 있었다.

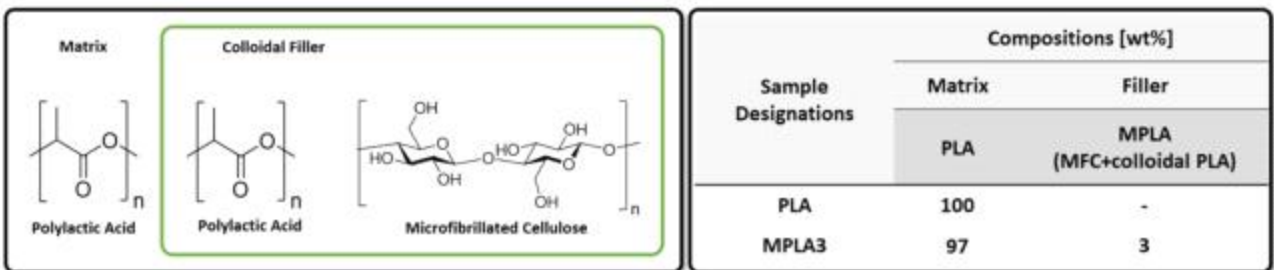


그림 35. 콜로이드 첨가제의 구조 및 조성비.

본 연구에서는 모두 콜로이드 첨가제의 조성비에 따라 샘플들을 다르게 제조하였으며 각 샘플에 사용된 콜로이드 첨가제의 구조 및 조성비는 그림 35에 제시하였다. 참고로, 여기서 PLA는 폴리락트산(Polylactic Acid)을, MFC는 마이크로셀룰로오스(Microfibrillated Cellulose)를, MPLA는 콜로이드 첨가제로 코팅된 마이크로셀룰로오스(Colloidal PLA Coated Microfibrillated Cellulose)를 의미한다. 또한, 고분자 매트릭스는 polylactic acid (PLA)를 사용하였으며, MPLA3는 매트릭스와 강화제의 비율이 97대 3인 복합체를 의미한다.

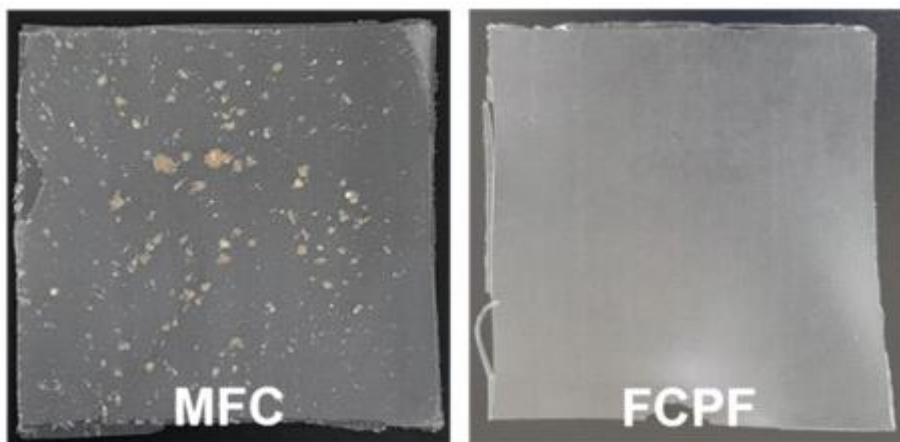


그림 36. 콜로이드 첨가제를 넣지 않고 마이크로셀룰로오스를 첨가하여 제조한 고분자 시트(좌) 및 콜로이드 첨가제로 코팅된 마이크로셀룰로오스를 첨가하여 제조한 고분자 시트(우).

그림 36에서 볼 수 있듯이 MFC, MPLA를 각각 3 wt% 고분자 매트릭스에 20분간 용융 블렌딩 처리로 섞은 후 175℃에서 7t의 압력으로 시트를 제조한 후 비교한 결과 MFC만 첨가하여 제조한 샘플에서는 MFC의 응집을 육안으로 확인할 수 있었고, MPLA를 첨가하여 제조한 샘플은 표면적으로 매끈하였다. 이는 MFC의 응집을 막아줄 수 있는 콜로이드 첨가제가 존재하지 않기 때문에 용융 블렌딩 공정에서 MFC 간 강한 수소 결합에 의해 MFC가 응집되었고 콜로이드 첨가제로 코팅된 MFC 간의 수소 결합이 약해져 분산이 고르게 이루어진 것으로 판단된다. 참고로, 여기서 FCPF는 콜로이드 형태의 PLA로 wrapping되어 응집력이 낮아진 셀룰로오스(functional cellulose / PLA filler)를 의미한다.

고분자 복합체 매트릭스와 같은 소재인 PLA로 이루어진 콜로이드 첨가제의 같은 물질끼리의 높은 상용성으로 인해 첨가제와 매트릭스 간의 균일한 블렌딩이 이루어지기 때문에 높은 접착성과 분산성 향상을 기대할 수 있었으며, 그로 인해 순수 MFC와는 달리 MFC를 충분히 wrapping할 수 있어 응집을 막을 수 있었으므로 복합체 시트 상태에서 깨끗한 표면을 가지는 복합체가 되는 것으로 해석할 수 있다.

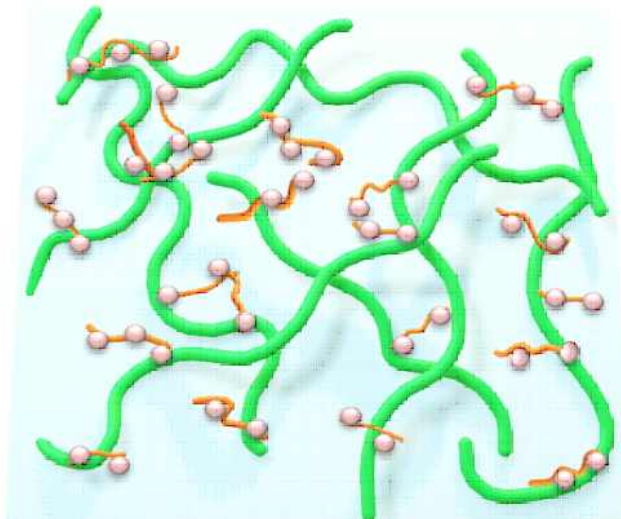


그림 37. 고분자 매트릭스인 PLA 내 콜로이드 첨가제가 셀룰로오스 섬유를 코팅하여 분산시킨 복합체의 모식도.

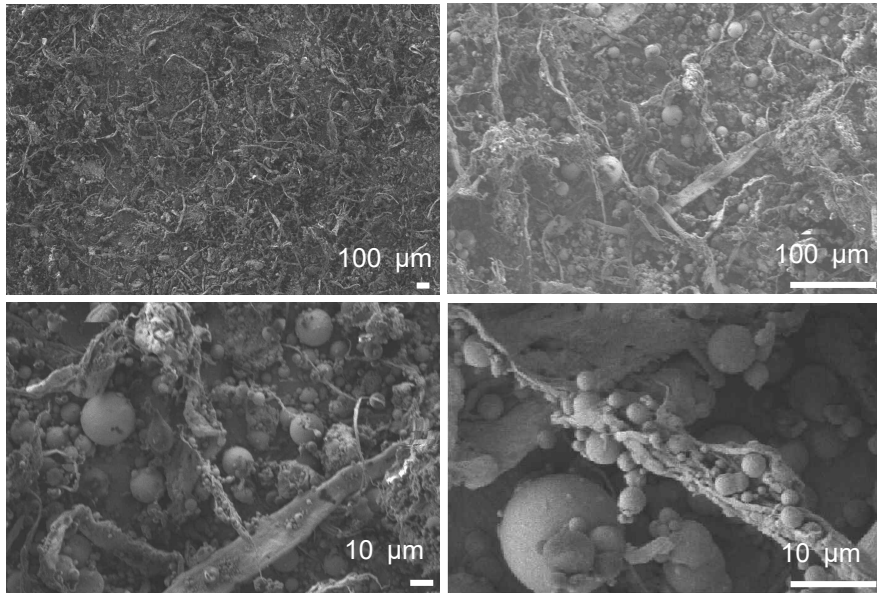


그림 38. 고분자 매트릭스인 PLA 내 콜로이드 첨가제가 셀룰로오스 섬유를 코팅하여 분산시킨 복합체를 SEM 촬영 사진.

그림 38에 PLA 매트릭스 내 콜로이드 PLA 첨가제로 코팅된 MFC 필름의 표면을 현미경으로 촬영한 결과를 나타내었다. 그림 37.을 참고하여 사진을 보면 콜로이드 PLA의 첨가 유무에 따라 필름의 결의 크기의 차이가 관찰되었으며 마이크로셀룰로오스의 입자의 경우 마이크로 단위로 주사전자현미경광으로 측정이 가능하였다.

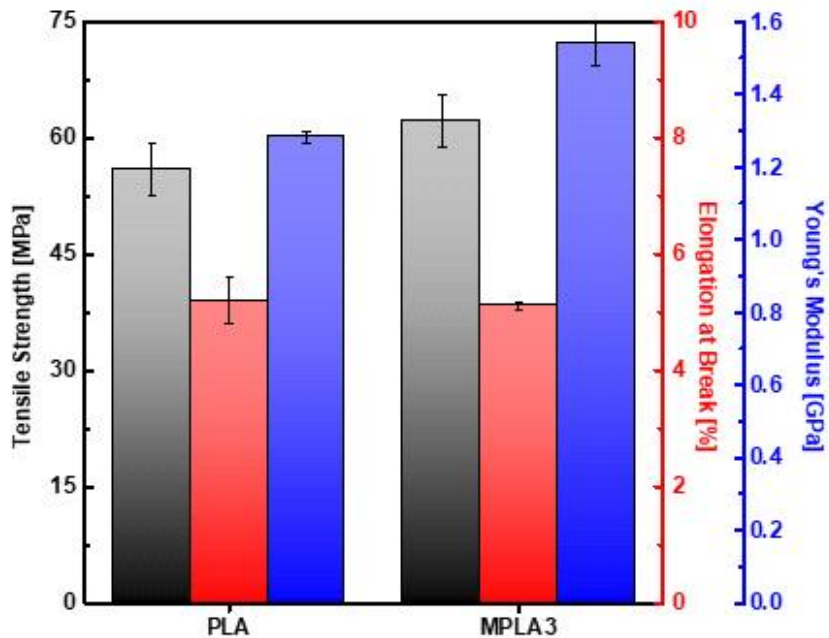


그림 39. PLA에 MFC, MPLA를 각각 도입한 생분해성 고분자 복합체의 기계적 물성을 나타낸 결과.

그림 39는 본 연구에서 제조한 샘플들의 기계적 물성을 정리한 결과로서 PLA는 MPLA3와 비슷한 연신율을 보이지만 미세하게 낮아지고 인장강도와 모듈러스는 증가하는 것을 볼 수 있는

데, 이는 MFC의 뭉침과 표면의 수산기로 인한 낮은 계면 친화성으로 인해 복합체 내 생성된 미세 공극에 의해 연신율이 낮아지는 것으로 해석되며 인장강도와 모듈러스는 MFC의 높은 기계적 특성에 의해 복합체 내 물성 강화 효과가 생기게 되고 이는 인장 시험에서 발생하는 응력이 전달될 때 힘이 더 잘 전달되기 때문에 향상된 것으로 해석된다.

복합체에서 고분자 매트릭스에 대한 MPLA의 비율을 0, 1, 2, 3 wt%(무게중량비)로 계산하여 MPLA3 샘플과 동일한 공정으로 제조하여 기계적 물성을 분석한 결과에서 콜로이드 첨가제의 양의 많아질수록 인장강도와 모듈러스 증가가 관찰되었다. 이는 복합체 매트릭스와 콜로이드 첨가제로 코팅된 셀룰로오스 간의 향상된 상용성과 콜로이드 첨가제로 셀룰로오스를 코팅하여 감소한 셀룰로오스 간의 수소 결합으로 인해 분산성이 향상되었을 것이므로 판단된다.

## 2.7 콜로이드 첨가제로 코팅된 나노셀룰로오스 기반 생분해성 복합 소재 개발

본 연구에서는 복합체의 매트릭스와 같은 소재의 콜로이드 첨가제로 셀룰로오스를 코팅하여, 셀룰로오스 간의 응집을 방지하여 분산성을 향상시키고, 매트릭스와 강화제 사이의 상용성을 강화시켰으며 이를 활용하여 기계적 물성이 향상된 생분해성 고분자 복합체를 제조하고자 하였다.

나노셀룰로오스 간 수소 결합을 콜로이드 형태의 PLA와 수소 결합을 하여 콜로이드 첨가제로 인해 나노셀룰로오스 간의 수소 결합을 깨고 나노셀룰로오스의 박리를 유도할 수 있었을 뿐만 아니라 종국적으로 최종 제품의 기계적 물성을 향상시킬 수 있었다.

| Sample Designations                         | Compositions [wt%] |           |          |                |
|---|--------------------|-----------|----------|----------------|
|   | Matrix             |           | Filler   |                |
|   | PLA                | PBAT      | NPLA     | Chain Extender |
| Reference                                   |                    | 80        | -        | -              |
| <b>P/B<sub>78</sub>NPLA<sub>1.5</sub>CE</b> | <b>20</b>          | <b>77</b> | <b>3</b> | <b>0.2</b>     |

그림 40. 콜로이드 첨가제의 조성비.

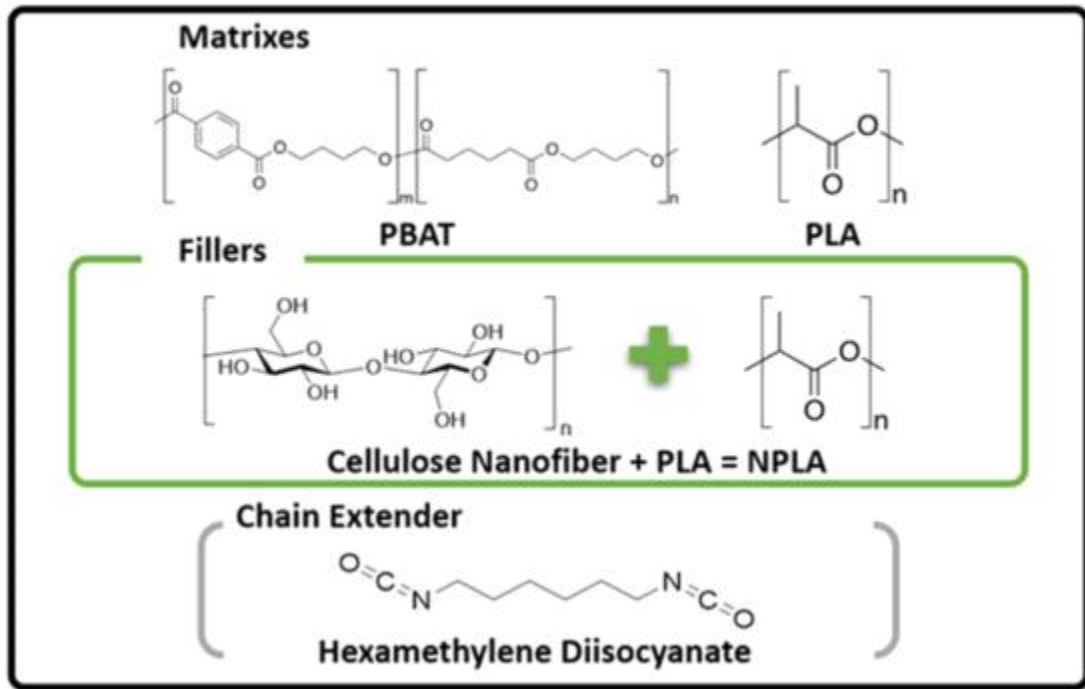


그림 41. 콜로이드 첨가제의 구조

본 연구에서는 모두 콜로이드 첨가제, 셀룰로오스의 사이즈, 매트릭스, chain extender의 조성비에 따라 샘플들을 다르게 제조하였으며 각 샘플에 사용된 콜로이드 첨가제의 조성비는 그림 40에 제시하였고, 콜로이드 첨가제의 구조는 그림 41에 제시하였다. 참고로, 여기서 PBAT는 폴리부틸렌 아디페이트 테레프탈레이트(Polybutylene Adipate Terephthalate)을, NPLA는 콜로이드 첨가제로 코팅된 나노셀룰로오스(Colloidal PLA Coated Cellulose Nanofiber)를, reference는 PLA 대 PBAT의 비율이 2 대 8로 구성된 생분해성 고분자를 P/B<sub>78</sub>NPLA<sub>1.5</sub>CE는 복합체에 대한 PLA의 비율이 20 중량비, 복합체에 대한 PBAT의 비율이 78 중량비, 복합체에 대한 콜로이드 PLA 첨가제로 코팅된 CNF의 비율이 1.5, 복합체에 대한 chain extender로 사용된 hexamethylene diisocyanate의 비율이 0.2 phr으로 구성된 생분해성 복합체를 의미한다. 또한, 고분자 매트릭스는 PLA와 PBAT를 사용하였으며, 복합체에 대한 PLA의 비율은 20 대 100으로 고정하였고, PBAT, 콜로이드 첨가제, 셀룰로오스의 비율과 chain extender 첨가 유무에 따라 다르게 조성하였다.



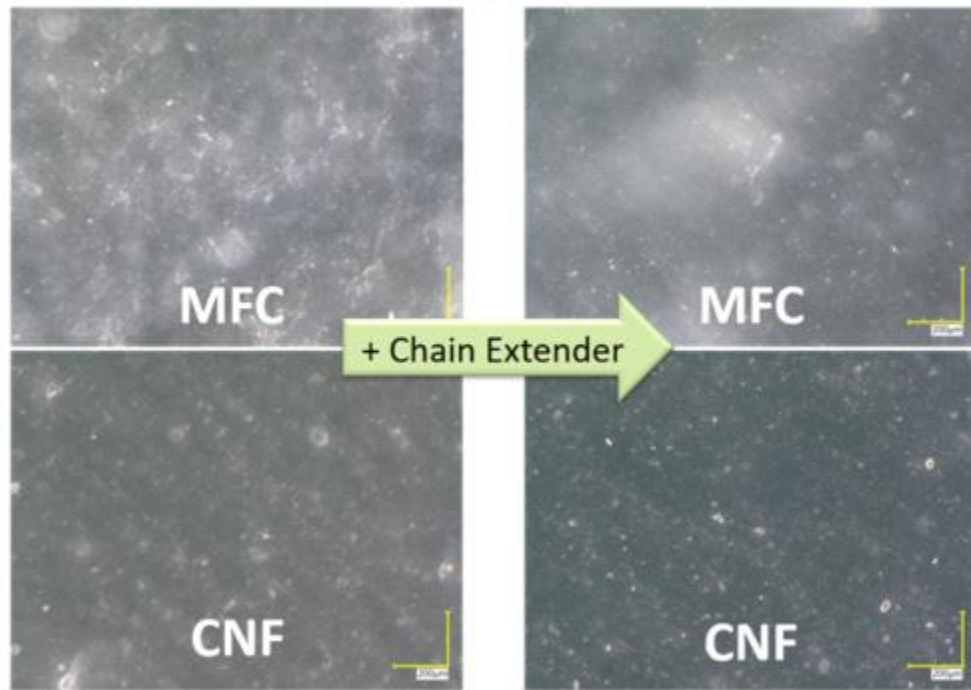


그림 42. 콜로이드 첨가제, 셀룰로오스를 고분자 매트릭스에 첨가하여 제조한 생분해성 복합체 시트(좌) 및 같은 조성의 생분해성 복합체에 chain extender 첨가하여 제조한 시트(우)의 광학 현미경 사진.

그림 42에서 볼 수 있듯이 MPLA, NPLA를 각각 1.5% 투입량으로 고분자 매트릭스에 용융 블렌딩 공정을 거쳐서 섞은 후 blown film을 제조한 후 광학 현미경 사진으로 비교하였으며 나노셀룰로오스의 입자의 경우 광학현미경으로 측정하기 불가능하였다. MPLA 및 NPLA만 첨가하여 제조한 샘플에서는 첨가제의 응집이 chain extender를 첨가하여 제조한 샘플보다 분산도가 낮은 것을 확인하였다. 이는 MFC의 응집을 막아줄 수 있는 콜로이드 첨가제의 사슬 길이가 chain extender의 첨가로 인해 길어지기 때문에 셀룰로오스 wrapping을 잘 이루어져 용융 블렌딩 공정에서 셀룰로오스 간 강한 수소 결합에 의해 셀룰로오스가 응집되었고 콜로이드 첨가제로 코팅된 셀룰로오스 간의 수소 결합이 약해져 분산이 고르게 이루어진 것으로 판단된다.

광학 현미경 사진의 MFC와 CNF를 비교하여 분석한 결과 MFC를 첨가하여 제조한 샘플의 분산성이 CNF를 첨가하여 제조한 샘플보다 분산도가 낮은 것을 확인하였다. 이는 나노 사이즈의 셀룰로오스와 콜로이드 PLA 첨가제 및 chain extender의 결합으로 인해 셀룰로오스 간의 수소 결합을 방지하는 wrapping이 효과적으로 이루어져 용융 블렌딩 공정에서 셀룰로오스 간 강한 수소 결합에 의해 셀룰로오스가 응집되었고 콜로이드 첨가제로 코팅된 셀룰로오스 간의 수소 결합이 약해져 분산이 고르게 이루어진 것으로 해석할 수 있다.

고분자 복합체 매트릭스와 동일한 물질인 PLA로 이루어진 콜로이드 첨가제의 동일한 물질끼리의 높은 상용성으로 인해 첨가제와 매트릭스 간의 균일한 블렌딩이 이루어지기 때문에 높은 접착성과 분산성 향상을 기대할 수 있었으며, 그로 인해 순수 셀룰로오스와는 달리 셀룰로오스를 충분히 wrapping할 수 있어 응집을 막을 수 있었으므로 복합체 시트 상태에서 깨끗한 표면을 가지는 복합체가 되는 것으로 해석할 수 있다.

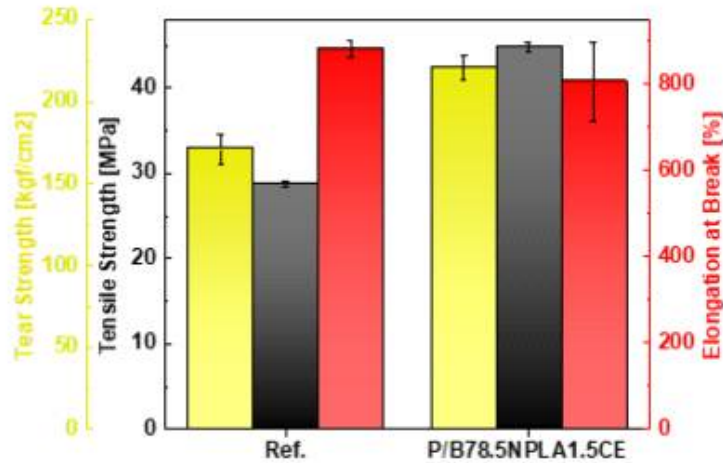


그림 43. PLA에 MFC, MPLA를 각각 도입한 생분해성 고분자 복합체의 기계적 물성을 나타낸 결과.

그림 43은 본 연구에서 제조한 샘플들의 기계적 물성을 정리한 결과로서 PLA 대 PBAT의 비율이 2 대 8로 구성된 생분해성 고분자인 reference가 P/B<sub>78</sub>NPLA<sub>1.5</sub>CE보다 높은 연신율을 보이지만 인장강도와 인열강도는 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 셀룰로오스의 뭉침과 표면의 수산기로 인한 낮은 계면 친화성으로 인해 복합체 내 생성된 미세 공극에 의해 연신율이 낮아지는 것으로 해석되며 인장강도와 인열강도는 셀룰로오스의 높은 기계적 특성에 의해 복합체 내 물성 강화 효과가 생기게 되고 이는 인장 시험에서 발생하는 응력이 전달될 때 힘이 더 잘 전달되기 때문에 향상된 것으로 해석된다.

복합체에서 고분자 매트릭스에 대한 콜로이드 PLA 첨가제로 wrapping된 셀룰로오스의 비율을 0, 1.5, 3, 5 wt%(무게중량비)로 계산하여 P/B<sub>78</sub>NPLA<sub>1.5</sub>CE 샘플과 동일한 공정으로 제조하여 기계적 물성을 분석한 결과에서 3 wt% 콜로이드 첨가제로 코팅된 CNF의 양으로 구성된 생분해성 고분자 복합체의 인장강도가 가장 높았고, 3 wt% 콜로이드 첨가제로 코팅된 CNF의 양으로 구성된 생분해성 고분자 복합체의 모듈러스가 가장 높은 값을 가지는 것이 관찰되었다. 이는 복합체 매트릭스와 콜로이드 첨가제로 코팅된 셀룰로오스 간의 향상된 상용성과 chain extender 첨가로 인해 사슬의 길이가 연장된 콜로이드 첨가제로 셀룰로오스를 코팅하여 감소한 셀룰로오스 간의 수소 결합과 나노 사이즈의 셀룰로오스의 사이즈로 인해 분산성이 향상되었을 것으로 판단된다.

끝으로, 고분자 복합체의 PBAT의 양이 증가할수록 강화된 연신율을 보이며 약 882.173 %로서 본 연구에서 제조한 샘플들 중 가장 높은 연신율을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 PLA와 PBAT의 블렌딩을 통해서 PLA의 투명하지만 높은 취성을 PBAT의 연성과 유연성이 보완해주는 것으로 해석할 수 있다.

## 2.8 생분해성 고분자와 나노셀룰로오스 첨가제간의 분자간 가교 특성 부여 기술 개발

일반적으로 고분자의 분자결합구조와 CNF(혹은 부산물)의 결합구조는 단순하게 용융압출을 한다고 했을 때 CNF이 불순물 역할을 하기 때문에 인장강도 및 연신율이 저하가 된다. 이때 이를 보완하기 위해 가교제(Chain extender)를 이용하여 널리 사용되는 제품이 diisocyanate이며 이는 생분해 고분자 폴리에스터의 수산기(-OH) 말단기와 반응하거나, 카르복실산(-COOH) 말단기와 반응하여 이산화탄소가 이탈하며 사슬구조를 연장하거나 이종의 소재와 결합하여 물성을 유지시킨다.

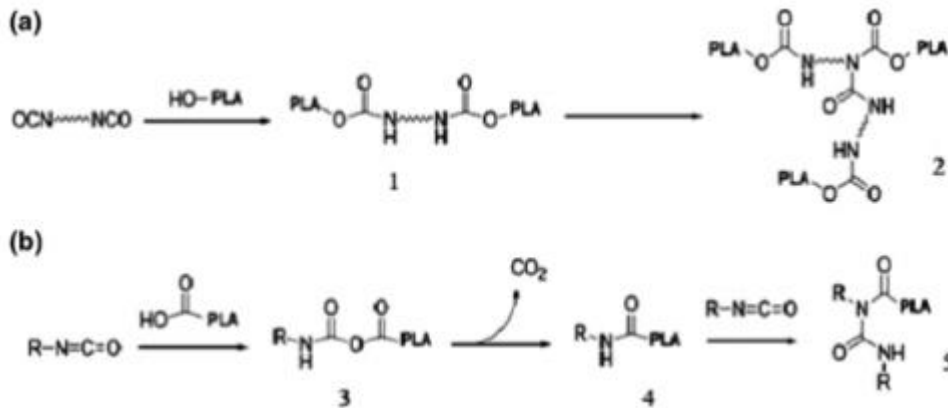


그림 44. PLA와 가교제(PDI)와의 가교반응 메커니즘  
[(a)-OH 말단 반응, (b)-COOH 말단 반응]

이와 다른 방법으로 BASF社에서 판매중인 가교제인 Joncryl은 생분해 고분자 폴리에스터의 수산기와 가교제의 에폭시 개환을 포함하여 공유결합을 형성하며 구조 연장 및 이종 소재와의 결합하는 방법이 있다. 그러나 수산기와 diisocyanate의 반응성이 epoxide보다 반응성이 크며 가격이 저렴하기에 많이 사용되고 있다.

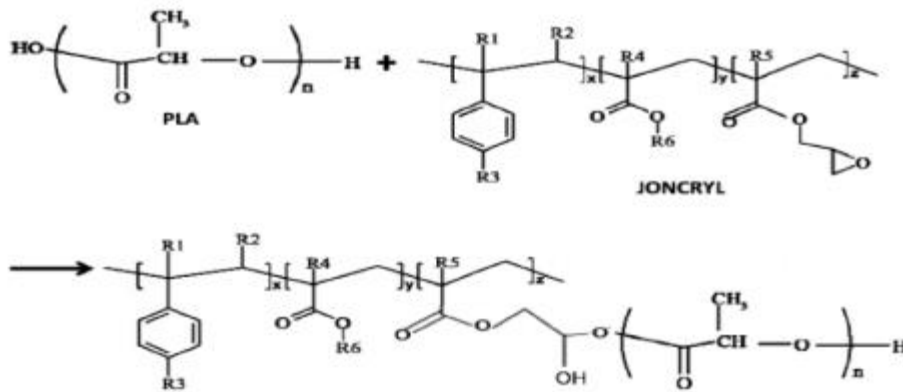


그림 45. PLA와 Joncryl과의 가교반응 메커니즘

1차년도에 우선적으로 상용화된 생분해성 컴파운드 레진들과 CNF의 순수한 나노셀룰로오스 파우더에 Chain extender 도입시의 효과를 판단하기 위해 일반적으로 통용되는 생분해성 필름 제품과 사출 제품에 적용하여 효과를 평가하였다. CNF의 종류는 총 2종(화학적 전처리 샘플: A타입, 기계적 전처리 샘플: B타입)을 평가하였으며, 각 첨가 함량을 1%, 3%로 설정하여 샘플명 옆에 숫자로 기입, 가교제의 유무에 따라 샘플명에 약어 C를 기입하여 구분하였다. 또한 필름제품의 Base 수지의 구성은 PBAT와 PLA로 이루어져 있으며 사출제품의 Base 수지의 구성은 PLA와 PBS로 이루어져 있다. 가교제의 최대 효과를 판단하기 위해 양산조건에서 가교제

투입량의 최대수치인 0.5%를 기준으로 투입하였다. 컴파운딩 (압출) 작업온도는 160~165℃로 설정하여 진행했으며 가교효과를 높이기 위해 Screw 내부에서 수지의 체류시간을 최소 1분 30초 가량 유지하였다.

| 구분    | 인장강도(MPa) |           | 연신율(%)      |              | 인열강도(kgf/cm) |             | 낙하 충격강도 (g) |
|-------|-----------|-----------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
|       | MD        | TD        | MD          | TD           | MD           | TD          |             |
| Base  | 32.1 ±3.4 | 20.4 ±3.8 | 359.3 ±40.5 | 650.3 ±40.5  | 146.1 ±10.6  | 97.7 ±5.9   | 306         |
| DA-1  | 필름 성형 불가  |           |             |              |              |             |             |
| DA-3  | 필름 성형 불가  |           |             |              |              |             |             |
| DAC-1 | 20.3 ±1.4 | 12.8 ±0.4 | 205.4 ±21.5 | 804.8 ±44.9  | 145.1 ±3.9   | 120.5 ±22.3 | N.D         |
| DAC-3 | 16.5 ±0.7 | 11 ±1.5   | 254.8 ±12.6 | 619.2 ±105.9 | 129.5 ±1.4   | 108 ±4.7    | N.D         |
| DB-1  | 15.7 ±0.2 | 10.9 ±1.3 | 333.3 ±31.4 | 771.5 ±54.3  | 130.6 ±2.6   | 114.8 ±5.3  | N.D         |
| DB-3  | 12.9 ±0.3 | 9.7 ±0.6  | 309.6 ±23.9 | 706.7 ±77.8  | 93.9 ±3.2    | 90 ±5.5     | N.D         |
| DBC-1 | 18.8 ±0.7 | 15.2 ±1.4 | 197.7 ±88.8 | 768 ±8.7     | 136 ±5.8     | 96.6 ±4.2   | 155.5       |
| DBC-3 | 15.9 ±0.7 | 12.6 ±0.6 | 188.6 ±9.7  | 703.8 ±34.1  | 136.5 ±0.7   | 86.2 ±4.8   | 146.5       |

\*N.D=측정불가

표 8. 나노셀룰로오스를 적용한 필름제품 물성 평가 결과

필름 조성에 나노셀룰로오스 파우더 첨가시 전반적으로 Base 물성보다 하향됨을 확인할 수 있었다. 이는 필름의 경우 생산 두께(약 30 $\mu$ m)가 얇기 때문에 미처 분산되지 못한 CNF들이 뭉침현상이 발생하여 물성저하가 크게 일어났다고 판단된다. 그럼에도 불구하고 화학적 전처리 샘플인 A타입에 비해 기계적 전처리 샘플인 B타입의 성형성이 상대적으로 더 양호한 결과를 나타내었다. 이는 B타입의 내열성 (on-set point 약 310℃)이 A타입(on-set point 약 260℃)에 비해 50℃ 정도 더 높기 때문인 것으로 판단된다. 마찬가지로 Chain extender의 적용시 상대적인 강도 저하가 더 완화되었음을 확인할 수 있었다. (표 8).

사출 조성에 나노셀룰로오스 파우더 첨가시 전반적으로 Base 물성보다 소폭 하향됨을 확인할 수 있었다. 이는 사출제품의 두께(약 5mm)가 두꺼워 CNF의 뭉침현상이 발생하더라도 상대적으로 분산될 면적이 넓기 때문으로 판단된다. 또한 화학적 전처리 샘플인 A타입에 비해 기계적 전처리 샘플인 B타입의 성형성이 필름 조성과 마찬가지로 상대적으로 더 양호한 결과를 나타내었다. 마찬가지로 Chain extender의 적용시 상대적인 강도 저하가 더 완화되었음을 확인할 수 있었다.(표 9).

| 구분   | 인장강도 (MPa) | 연신율 (%)   | 굴곡강도 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 굴곡탄성율 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 충격에너지 kgfcm | 충격강도 kgfcm/cm <sup>2</sup> |
|------|------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|-------------|----------------------------|
| Base | 42.3 ±1.4  | 11.9 ±0.5 | 624.1 ±23.1                 | 21,842 ±560.6                | 1.45 ±0.30  | 4.52 ±0.76                 |
| DA-1 | 37.5 ±3.6  | 8.8 ±2.8  | 626.2 ±14.6                 | 23,804 ±352.9                | 1.10 ±0.25  | 3.42 ±0.55                 |
| DA-3 | 33.2 ±4.5  | 5.4 ±2.3  | 608.5 ±16.2                 | 19,534 ±411.6                | 0.87 ±0.14  | 2.71 ±0.52                 |

|       |           |          |             |               |            |            |
|-------|-----------|----------|-------------|---------------|------------|------------|
| DAC-1 | 39.6 ±2.6 | 6.7 ±1.5 | 640.5 ±21.5 | 25,235 ±381.7 | 1.79 ±0.32 | 5.59 ±0.88 |
| DAC-3 | 37.4 ±1.7 | 4.6 ±2.3 | 623.9 ±15.8 | 21,976 ±165.2 | 1.68 ±0.26 | 5.23 ±0.43 |
| DB-1  | 39.9 ±1.2 | 9.7 ±2.7 | 638.8 ±13.7 | 24,886 ±268.8 | 1.77 ±0.41 | 5.52 ±0.47 |
| DB-3  | 39.2 ±0.7 | 7.4 ±0.9 | 635.2 ±10.6 | 23,575 ±250.9 | 1.68 ±0.27 | 5.24 ±0.51 |
| DBC-1 | 41.5 ±1.9 | 5.9 ±1.2 | 657.4 ±25.4 | 26,045 ±371.2 | 2.10 ±0.45 | 6.54 ±0.52 |
| DBC-3 | 41.8 ±0.5 | 5.2 ±1.6 | 655.9 ±18.6 | 25,960 ±311.6 | 1.89 ±0.43 | 5.89 ±0.40 |

표 9. 나노셀룰로오스를 적용한 사출제품의 물성평가 결과

필름과 사출품 대표적 조성에 나노셀룰로오스를 첨가하여 물성을 평가한 결과 A타입보다 B타입이 작업성능 및 기계적 물성이 우수함을 확인하였다. 또한 나노셀룰로오스의 함량의 증가함에 따라 필름의 경우 물성저하가 더 크며, 사출품의 경우 양호한 결과를 확인할 수 있었다.



그림 46. 나노셀룰로오스 적용 테스트 평가 사진(위: 압출작업, 아래: 필름 및 사출작업)

## 2.9 나노셀룰로오스 첨가제의 함량별 시작품 제조 및 물성 평가

한국생산기술연구원에서 1차년도에 개발된 계면활성제를 활용하여 나노셀룰로오스와 생분해 고분자의 Pilot scale의 컴파운딩 실험을 진행하였으며, 우선적으로 PBS를 Base 수지로하여 사출품의 물성평가 결과를 나타내었다. 아래의 표와 같이 충격강도, 인장강도, 연신율은 전반

적으로 하락하였는데 비하여 굴곡강도와 굴곡탄성율은 10%가량 향상되는 수치를 보였다. 다만 계면활성제의 투입양에 따라 Base 수지와와의 반응성이 빨라 압출기 내부에 짧은 시간을 체류하더라도 결정화가 되어 압출이 안되는 불량이 간혹 발생하였다. 이는 사용된 Pilot scale의 이축 압출기가 Main feeder 하나를 이용하여 파우더 형태의 첨가제를 투입하다 보니 일정부분 과량 투입되며 해당 사항이 발생하였다고 판단된다. 해당 문제는 양산 공정에서 Side feeder를 사용하여 첨가제를 투입시 해결할 수 있는 사항으로 판단된다.

| 구분         | 인장강도  |      | Young's modulus |       | 연신율   |       | 굴곡강도                   |       | 굴곡탄성율                  |       | 충격에너지 |      | 충격강도                  |      |
|------------|-------|------|-----------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|-------|------|-----------------------|------|
|            | (MPa) |      | (MPa)           |       | (%)   |       | (kgf/cm <sup>2</sup> ) |       | (kgf/cm <sup>2</sup> ) |       | kgfcm |      | kgfcm/cm <sup>2</sup> |      |
| PBS (Ref.) | 15.9  | ±6.7 | 414.28          | ±8.2  | 136.3 | ±3.8  | 611.1                  | ±12.8 | 24,683                 | ±1054 | 2.7   | ±0.3 | 4.0                   | ±0.5 |
| PC         | 14.7  | ±6.2 | 449.93          | ±12.8 | 130.7 | ±5.8  | 649.4                  | ±3.2  | 31,997                 | ±718  | 0.8   | ±0.2 | 1.2                   | ±0.3 |
| PCHL2      | 14.1  | ±5.9 | 410.61          | ±4.1  | 70.8  | ±18.8 | 649.4                  | ±3.2  | 32,321                 | ±287  | 1.3   | ±0.1 | 2.0                   | ±0.1 |
| PCHCP2     | 13.6  | ±0.4 | 458.02          | ±6.1  | 6.1   | ±0.8  | 684.1                  | ±7.6  | 36,852                 | ±1146 | 1.7   | ±0.2 | 2.5                   | ±0.3 |
| PCHC02     | 14.2  | ±0.2 | 431.44          | ±11.5 | 102.4 | ±25.9 | 662.1                  | ±4.4  | 34,953                 | ±729  | 1.5   | ±0.3 | 2.1                   | ±0.5 |
| PCHL1HC01  | 13.9  | ±5.8 | 409.53          | ±9.9  | 48.1  | ±14.9 | 654.3                  | ±12.9 | 32,135                 | ±1476 | 0.7   | ±0.1 | 1.0                   | ±0.2 |

표 10. 개발한 첨가제를 적용한 사출 샘플의 물성 평가 결과 (Pilot scale).



그림 47. 압출 작업간 첨가제 분산 및 결정화에 따른 불량발생

아래의 표에는 PBAT와 PLA를 Base 수지로 하여 필름제품의 물성평가 결과를 나타내었다. PBAT와 PLA의 비율은 기계적 물성을 고려하여 PBAT 80~90%, PLA 10~20%로 설정하고 실험을 진행하였다. 나노셀룰로오스는 앞선 실험의 결과에 따라 1%로 설정하였으며, 개발한 첨가제의 유무에 따른 기계적 물성을 측정하였다. 실험결과 Base 수지에 비해 CNF 및 개발한 첨가제를 첨가하였으나 생분해 고분자 수지의 분자체인과 충분한 결합이 형성되지 못했기 때문이라고 판단된다. 이에 개발된 첨가제와 함께 가교제(diisocyanate)를 활용하여 개발을 진행하였다.

| 구분         | 인장강도(MPa) |      | 연신율(%) |      | 인열강도(kgf/cm) |       | 낙하충격 강도 (g) |            |            |       |
|------------|-----------|------|--------|------|--------------|-------|-------------|------------|------------|-------|
|            | MD        | TD   | MD     | TD   | MD           | TD    |             |            |            |       |
| 9:1 0%     | 39.8      | ±1.6 | 39.6   | ±2.5 | 735.3        | ±49.3 | 1095.5 ±63  | 177.9 ±1.3 | 133.2 ±9.1 | 622.5 |
| 9:1 CNF 1% | 27.6      | ±1.6 | 29.9   | ±0.5 | 619.6        | ±34.4 | 1060.2 ±91  | 143.1 ±2.1 | 111.3 ±7.9 | 380.1 |

|                |           |           |             |            |            |            |       |
|----------------|-----------|-----------|-------------|------------|------------|------------|-------|
| 9:1 CNF/HCP 1% | 26.7 ±2.5 | 27.7 ±0.6 | 487.8 ±50.3 | 515.2 ±34  | 135.0 ±3.7 | 102.4 ±4.4 | 245.5 |
| 8:2 0%         | 31.9 ±3.6 | 39.3 ±3.2 | 442.7 ±78.9 | 877.7 ±85  | 208.6 ±6.1 | 165.9 ±6.6 | 514.5 |
| 8:2 CNF 1%     | 26.6 ±4.5 | 31.7 ±1.6 | 500.1 ±20.0 | 912.4 ±60  | 156.2 ±2.1 | 95.3 ±11   | 330.0 |
| 8:2 CNF/HCP 1% | 22.3 ±3.2 | 30.1 ±4.3 | 381.7 ±63.7 | 977.8 ±128 | 160.8 ±1.2 | 97.7 ±6.6  | 256.5 |

표 11. 개발한 첨가제를 적용한 필름샘플의 물성평가 결과(Pilot scale)

아래의 그림에 PBAT, PLA Base의 필름의 표면을 현미경으로 촬영한 결과를 나타내었다. 사진을 보면 나노셀룰로오스의 첨가 유무에 따라 필름의 결의 크기의 차이가 관찰되었으며, 나노셀룰로오스의 입자의 경우 광학현미경으로 측정하기는 불가능하였다. 이에 2차년도에 기계적 물성 평가와 함께 열적 특성 연구 및 SEM을 통하여 나노셀룰로오스의 역할을 정밀하게 분석 진행하였다.

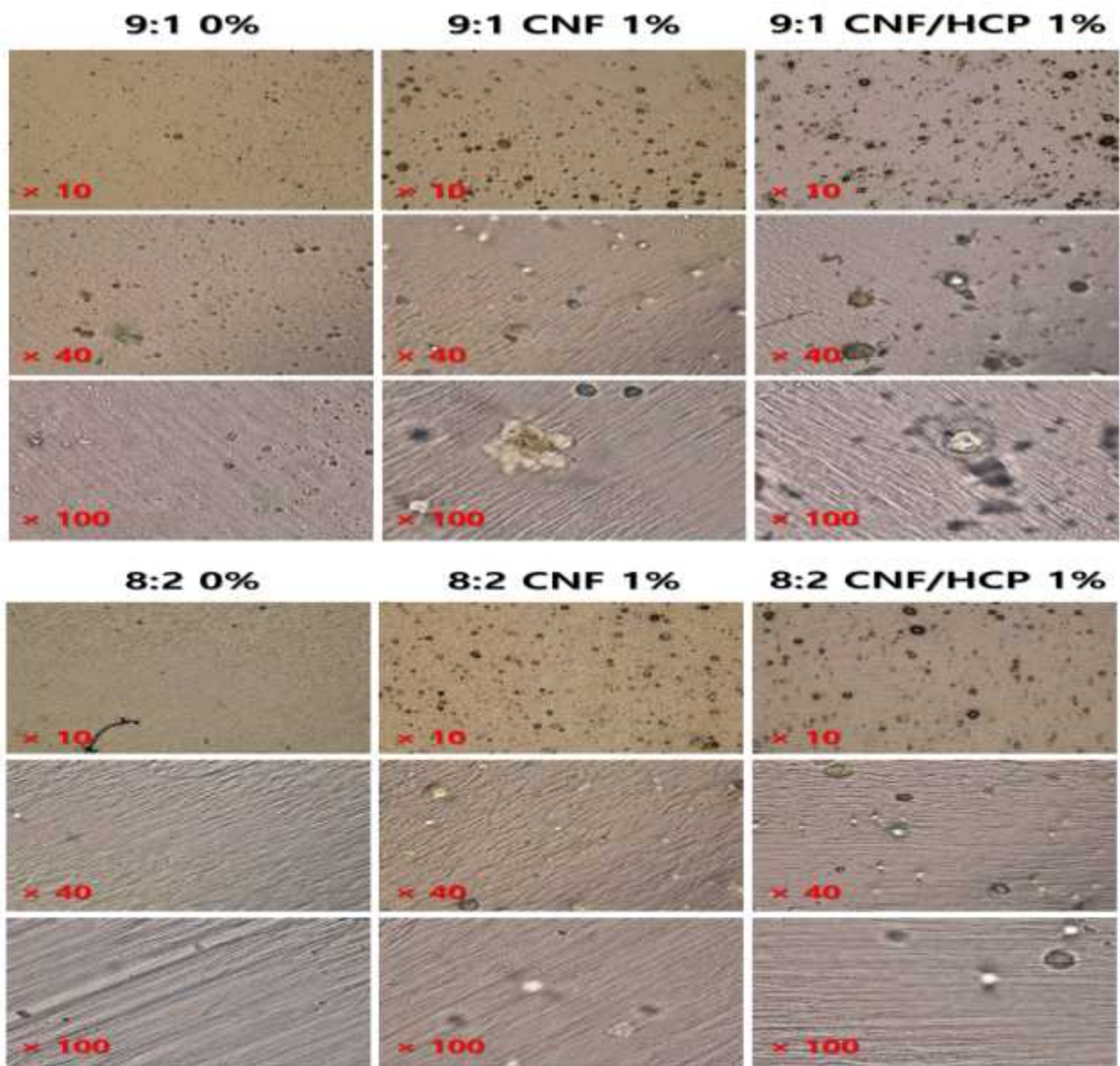


그림 48. 필름샘플 광학현미경 촬영사진(10배, 40배, 100배율)

## 2.10 나노셀룰로오스 복합소재를 이용한 시제품(레진) 최적함량 선정 실험

### 2.10.1 나노셀룰로오스 복합소재를 필름제품 최적함량 선정

주관기관인 한솔제지와 참여기관인 한국생산기술연구원이 개발한 나노셀룰로오스 기반의 생분해성 복합소재를 활용하여 본 과제의 개발 목표인 필름제품용 소재 및 사출제품용 소재의 시제품 제작을 위하여 기계적 물성 및 가공성 평가를 진행하였다. 필름제품용 소재의 경우 셀룰로오스 기반 생분해성 복합소재 2종(MFC 기반, CNF 기반)을 활용하여 가교제의 첨가여부를 구분하여 총 8종의 샘플을 제작하여 기계적 물성 측정을 진행하였다. 이때 가교제는 diisocyanate를 이용하여 실험을 진행하였다. 아래의 표는 진행된 샘플의 대략적인 함량비를 기재하였으나 정확한 함량은 대외비나 복합소재의 함량만 정량으로 기재하였음.

| 구분       | PBAT (%) | PLA (%) | MFC 복합소재 (%) | Chain extender (첨가여부) |
|----------|----------|---------|--------------|-----------------------|
| test 1-1 | 70~80    | 10~20   | 1.5          | X                     |
| test 1-2 | 70~80    | 10~20   | 1.5          | 0                     |
| test 1-3 | 70~80    | 10~20   | 3            | 0                     |
| test 1-4 | 70~80    | 10~20   | 5            | 0                     |
| 구분       | PBAT (%) | PLA (%) | CNF 복합소재 (%) | Chain extender (첨가여부) |
| test 1-5 | 70~80    | 10~20   | 1.5          | X                     |
| test 1-6 | 70~80    | 10~20   | 1.5          | 0                     |
| test 1-7 | 70~80    | 10~20   | 3            | 0                     |
| test 1-8 | 70~80    | 10~20   | 5            | 0                     |

표 12. 나노셀룰로오스 생분해성 복합소재 적용 필름평가 조성

| 구분           |      | Control | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Test 4 | Test 5 | Test 6 | Test 7 | Test 8 |
|--------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 인장강도(Mpa)    | MD   | 32.9    | 22.7   | 27.4   | 20.8   | 13.7   | 30.1   | 42.4   | 43.0   | 36.2   |
|              | 표준편차 | 1.7     | 1.0    | 1.3    | 1.1    | 0.9    | 1.8    | 1.5    | 0.1    | 3.6    |
|              | TD   | 37.0    | 20.3   | 23.4   | 19.9   | 13.3   | 34.2   | 42.2   | 39.6   | 32.0   |
|              | 표준편차 | 2.2     | 2.1    | 1.8    | 0.2    | 0.6    | 1.2    | 2.0    | 0.7    | 2.3    |
| 연신율(%)       | MD   | 494.3   | 331.9  | 432.8  | 470.6  | 268.0  | 455.6  | 378.4  | 467.0  | 448.3  |
|              | 표준편차 | 6.0     | 15.7   | 24.7   | 44.0   | 28.2   | 23.6   | 34.9   | 36.5   | 47.3   |
|              | TD   | 882.2   | 703.7  | 754.6  | 676.4  | 565.5  | 783.3  | 807.0  | 770.7  | 718.1  |
|              | 표준편차 | 20.0    | 47.2   | 12.4   | 21.3   | 12.8   | 61.6   | 91.6   | 41.9   | 41.4   |
| 인열강도(kgf/cm) | MD   | 193.1   | 123.5  | 157.8  | 136.3  | 117.4  | 162.2  | 233.4  | 231.0  | 203.2  |
|              | 표준편차 | 3.0     | 6.3    | 1.7    | 1.2    | 7.0    | 0.2    | 2.9    | 4.2    | 3.6    |
|              | TD   | 150.0   | 81.3   | 108.0  | 221.6  | 97.9   | 116.7  | 202.6  | 193.3  | 171.7  |
|              | 표준편차 | 1.7     | 3.0    | 3.2    | 78.4   | 12.2   | 2.3    | 6.9    | 4.6    | 5.3    |
| 낙하충격강도(g)    |      | 371.0   | 363.5  | 402.5  | 372.5  | 359.0  | 447.5  | 417.5  | 372.5  | 306.5  |

표 13. 나노셀룰로오스 생분해성 복합소재 적용 필름 물성평가 결과

기계적 물성평가 결과 대조군인 Control을 기준으로 MFC 생분해 복합소재를 이용한 Test 1부터 Test 4까지는 모두 낮은 특성을 가짐을 확인하였다. 이에 따라 최종 시제품 평가의 후보군에서 제외하였으며, CNF 생분해 복합소재를 적용한 Test 5부터 Test 8의 경우 Control 대비 대체로 높은 물성수치를 확인할 수 있었다. 그 중 가교제의 사용 여부에 따라 기계적 특성



의 차이가 크게 나타났으며, CNF 복합소재가 5% 이상 첨가될 때 물성이 저하됨을 확인하였다. 3%의 CNF 복합소재를 첨가하였을 때 가장 높은 물성수치를 나타냈으나, 1.5% 첨가한 Test 6과 큰 수치 차이가 없고 CNF의 높은 단가를 고려하여 Test 6번을 이용하여 생분해성 쇼핑봉투(제품명: BG8800) 및 멀칭필름(제품명: BG8800M) 가공을 진행하기로 결정하였다. Test 6의 인장강도는 Control 대비하여 MD 방향으로 31%, TD 방향으로 13% 향상되었다. 이때의 인열강도는 MD 19%, TD 31% 향상 되는 결과를 나타내었다.

아래의 그림은 TEST 1부터 TEST 8까지 필름의 표면을 광학전자현미경과 주사전자현미경(SEM)을 활용하여 촬영한 사진이다. 광학전자현미경 측정 결과 셀룰로오스 함량이 증가할수록 탁도가 올라가며 뭉침현상의 빈도가 높은 것을 알 수 있으며, MFC 대비 CNF의 분산성이 양호한 것을 확인 할 수 있다. 또한 SEM 사진에서는 MFC 복합소재와 CNF 복합소재 모두 함량이 증가할수록 셀룰로오스의 뭉침현상이 더 명확히 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

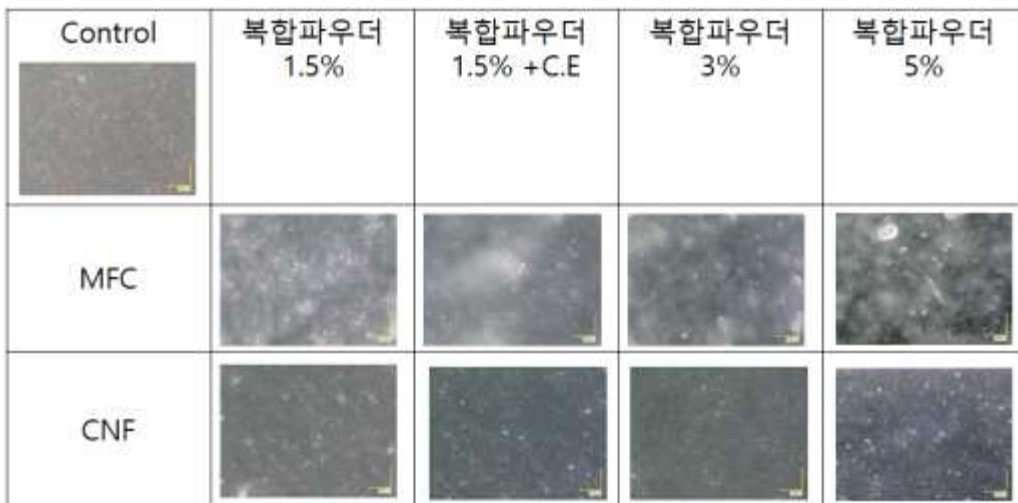
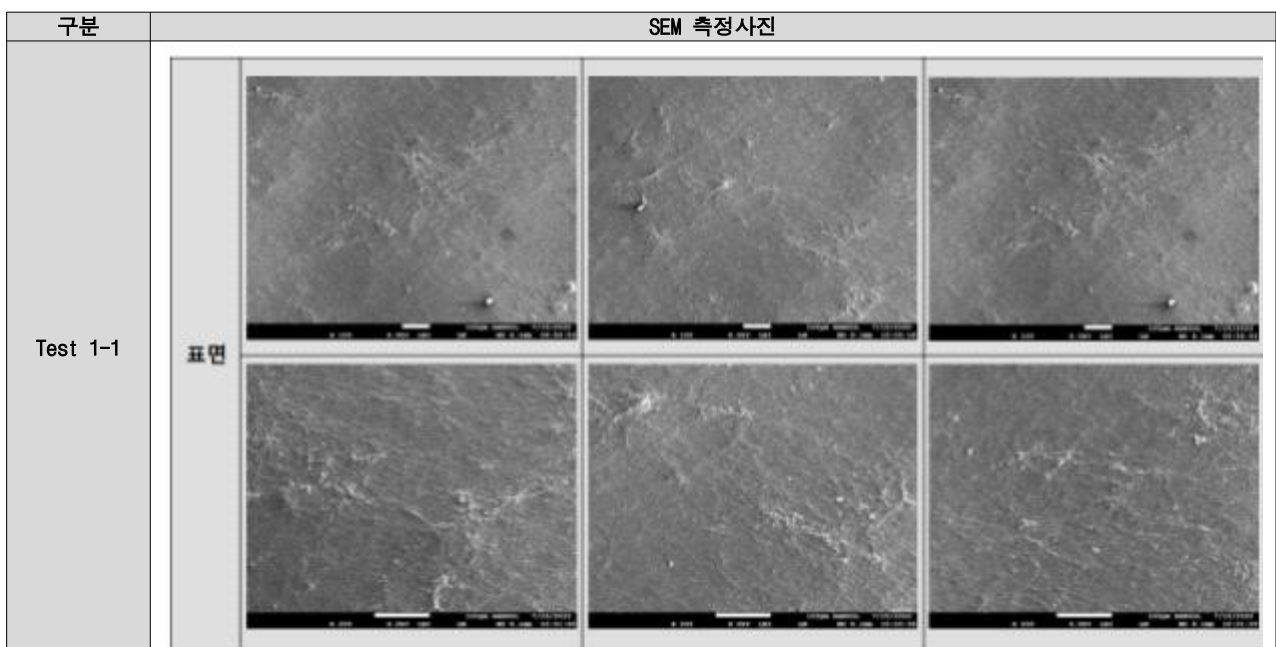
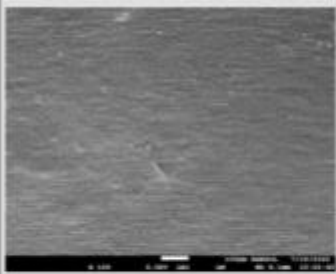
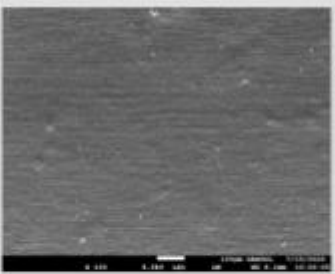
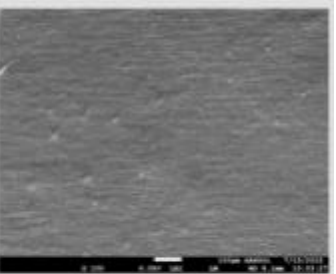
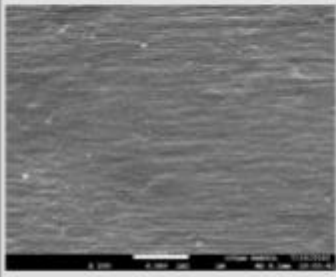
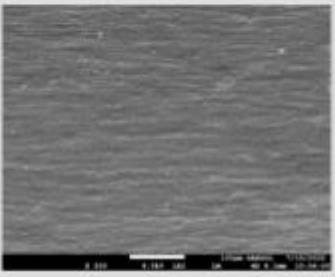
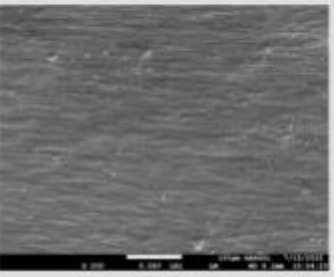
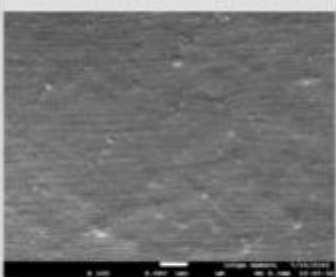
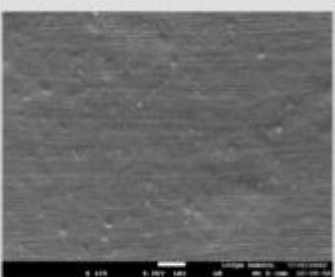
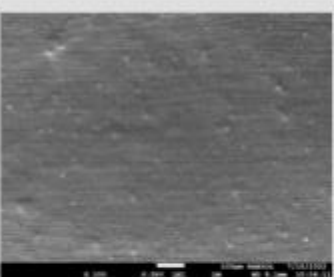
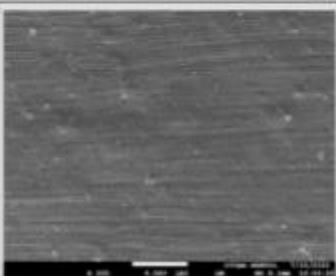
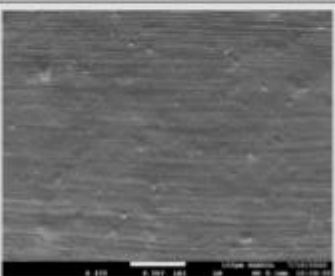
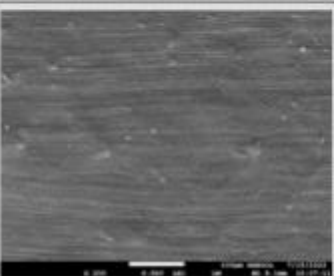
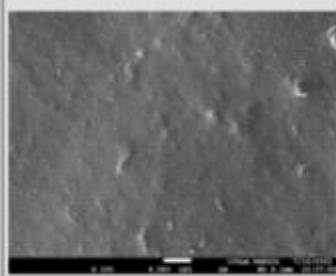
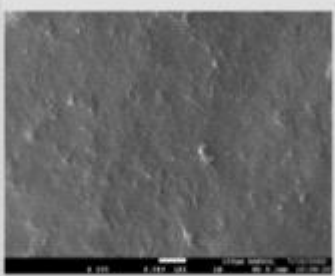
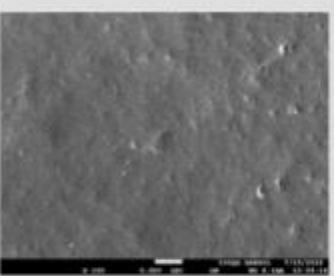
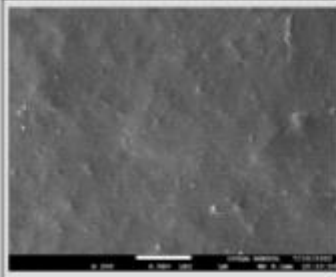
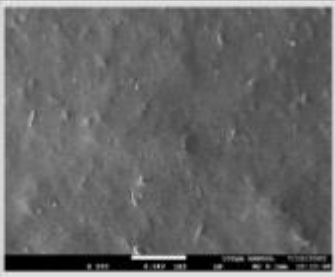
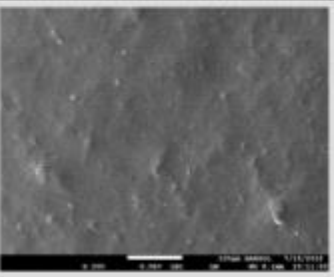
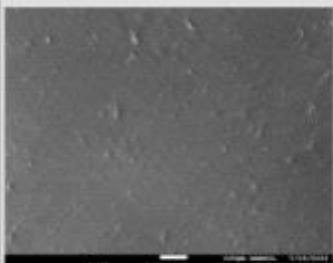
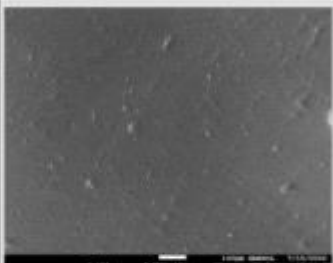
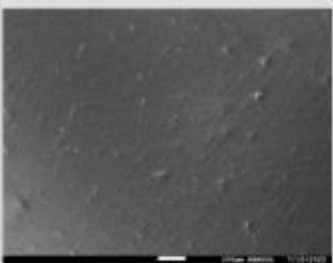
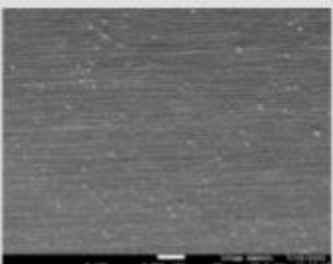
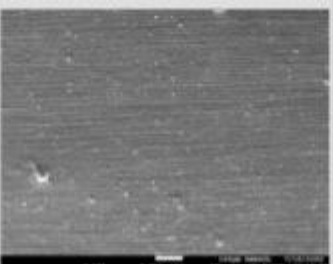
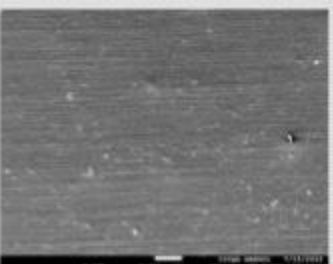
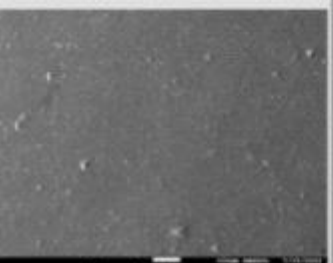
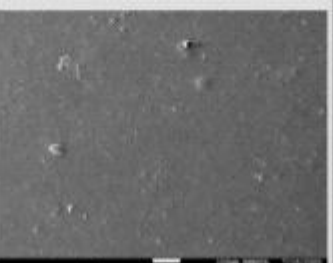
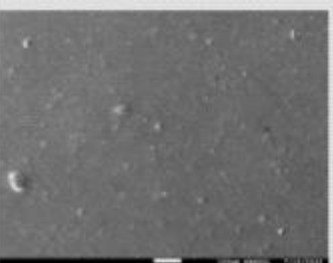


그림 49. 복합파우더 투입량별 뭉침현상



|          |    |   |  |   |
|----------|----|---|--|---|
| Test 1-2 | 표면 |    |    |    |
|          |    |    |    |    |
| Test 1-3 | 표면 |   |   |   |
|          |    |  |  |  |
| Test 1-4 | 표면 |  |  |  |
|          |    |  |  |  |
| Test 1-5 |    |   |  |   |

|          |    |   |  |   |
|----------|----|---|--|---|
|          | 표면 |    |    |    |
| Test 1-6 | 표면 |   |   |   |
| Test 1-7 | 표면 |  |  |  |
| Test 1-8 |    |   |  |   |

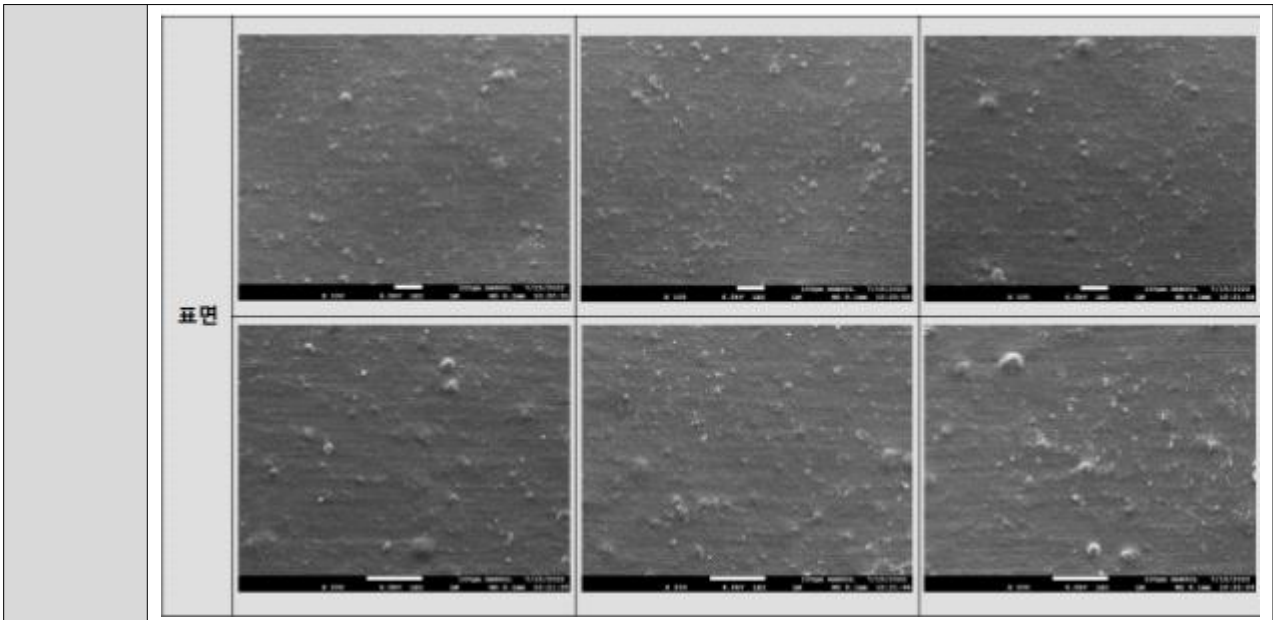


그림 50. 나노셀룰로오스 복합소재 적용 필름샘플 SEM 표면 측정사진

### 2.10.2 나노셀룰로오스 복합소재를 사출제품 최적함량 선정

앞선 필름제품의 결과를 토대로 사출제품의 경우 MFC 복합소재를 제외한 CNF 복합소재만을 이용하여 조성평가를 진행하였다. 기존 사출평가시 PLA와 PBS를 함께 적용한 제품에 적용하여 진행하였으나, Base 수지가 PLA만 들어간 제품과 CNF의 수산기 결합이 원활하게 진행됨을 기반연구를 통해 확인하였기 때문에 PBS를 제외한 레시피로 수정하여 평가를 진행하였음. 다만 이때 사출제품의 경우 용융흐름지수가 20g/10min(190℃, 2.16kg 기준) 이상의 수치가 나와야 원활한 성형성을 가지기 때문에 가교제는 최소량 첨가하여 실험을 진행하였다.

| 구분       | PLA (%) | CNF 복합소재 (%) | Chain extender (첨가여부) |
|----------|---------|--------------|-----------------------|
| Test 2-1 | 80~100  | 1            | 0                     |
| Test 2-2 | 80~100  | 3            | 0                     |
| Test 2-3 | 80~100  | 5            | 0                     |

표 14. 나노셀룰로오스 생분해성 복합소재 적용 사출평가 조성

| 구분       | 인장강도 (MPa) | 연신율 (%) | 굴곡강도 (MPa) | 굴곡탄성율 (MPa) | 충격강도 (E/cm <sup>2</sup> ) | 열적특성 |      |       |
|----------|------------|---------|------------|-------------|---------------------------|------|------|-------|
|          |            |         |            |             |                           | Tg   | Tc   | Tm    |
| Control  | 58.4       | 2.5     | 115.7      | 4213.4      | 1.9                       | 55.4 | 90.8 | 170.4 |
| Test 2-1 | 60.6       | 3.7     | 112.5      | 4168.4      | 1.8                       | 54.2 | 88.3 | 168.1 |
| Test 2-2 | 58.2       | 6.0     | 110.2      | 4222.1      | 1.4                       | 55.8 | 89.3 | 168.3 |
| Test 2-3 | 57.5       | 6.9     | 107.5      | 4099.2      | 1.6                       | 54.2 | 88.1 | 167.6 |

표 15. 나노셀룰로오스 생분해성 복합소재 적용 사출 물성평가 결과

위의 표 사출제품의 물성평가 결과로 보아 1% 함량의 CNF 복합소재를 첨가시 기계적 물성이

가장 우수한 결과를 보였으나 열적특성은 3% 함량을 첨가했을 때 Control과 가장 유사하게 측정되었다. 다만 CNF 첨가량에 따라 열적특성의 차이가 유의미 하지 않기 때문에 판매단가를 고려하여 1% 함량이 첨가된 Test 2-1제품을 사출제품용 레진(제품명: BG4400)으로 선정하였다.

### 2.11 나노셀룰로오스 복합소재 선정 레시피 생분해도 평가

선정된 필름용 및 사출용 레진을 이용하여 퇴비화 조건에서 생분해도 평가를 진행하여 45일간의 분해도 평가를 진행하였다. SAM1은 CNF가 적용된 사출용 레진, SAM2는 CNF가 적용된 필름용 레진, SAM3은 CNF가 미적용된 필름용 레진을 사용하여 평가한 결과 CNF를 사용시 미사용 제품보다 분해도 진행이 늦게 진행됨을 확인하였다. 이는 CNF와 고분자간의 가교를 진행하여 이때 분해진행을 더디게 하는 것으로 판단된다. 다만, 45일간 진행 시 모든 샘플이 50%이상이며 분해도 진행 곡선이 가파르게 상승하고 있는점에 미루어 180일 진행했을 때 기준시료 대비 90%이상의 분해가 진행될 것으로 기대된다.

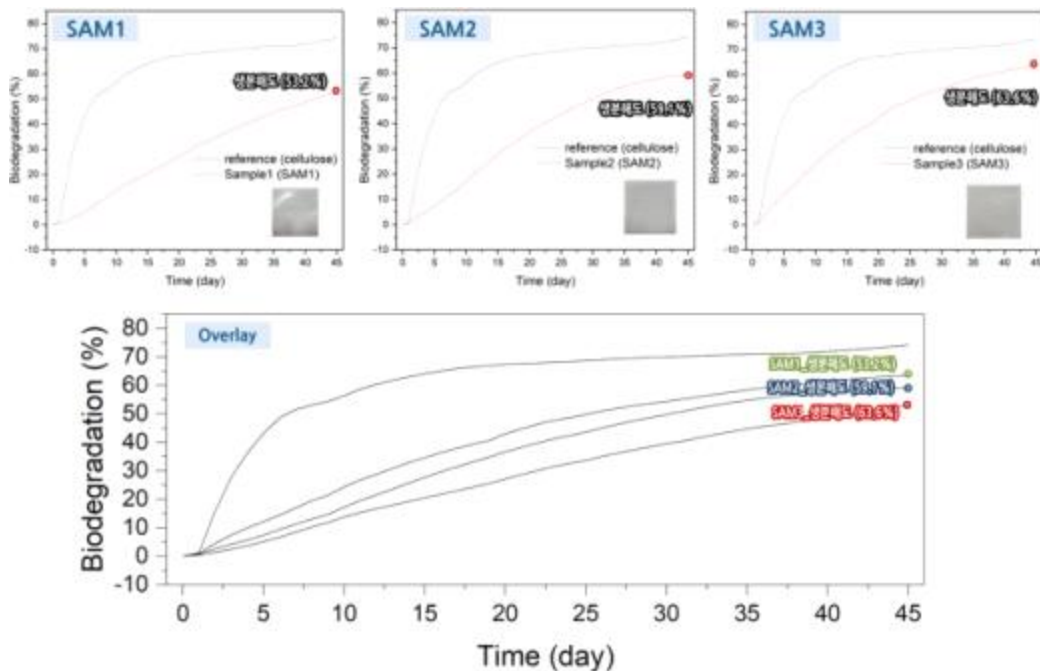


그림 51. 퇴비화 조건에서의 생분해도 평가 결과

필름제품의 시제품 제작 후 생분해도 평가(KS M ISO 14855-4 :2012) 진행하였을 때, 시험기간 45일 기준 표준물질(Cellulose) 대비 생분해도가 84.78%로 평가되어 생분해에 대한 유효성이 검증되었다.

### 2.12 나노셀룰로오스 복합소재 시제품 제작

#### 2.12.1 시제품 제작을 위한 나노셀룰로오스 복합소재 필름용 레진 생산

최종 조성으로 선정된 필름용 레진 제품 Test 1-6을 생분해성 제품의 대표적인 제품들인 쇼핑봉투(BG8800)와 멀칭필름(BG8800M)으로 구분하여 2개의 필름제품으로 각 시제품용 레진을 생산하였다. 기존 조성에 판매단가, 생산성 및 기능성을 고려하여 무기물, Anti blocking agent, Slip agent 등을 목적 제품에 맞추어 양산 이축압출기를 통해 생산하였다. 양산 라인에서 생산 후 품질 검사 관리 품목으로 용융흐름지수 및 수분함량을 관리하고 있으며 측정 결과

는 아래와 같다. 생산 수율의 경우 쇼핑봉투용 레진이 멀칭필름용 레진보다 약간 낮은 이유는 첫 생산 개시시 Loss량이 더 발생하며 생산량이 적어 드레인 하는 수지의 양이 많기 때문이다. 펠릿화된 레진은 생분해성 제품의 물성저하 최대요인인 수분을 제거하기 위하여 제습건조기를 이용하여 8~12시간 이상 제습건조 후 산소 및 수분이 차단될 수 있는 지대포장(혹은 톤백)을 이용하여 제품을 포장한다.

| 구분      | 용도   | 생산량 (kg) | Loss 량 (kg)      | 용융흐름지수 (g/10min) (190℃, 2.16kg) | 수분함량 (ppm) |
|---------|------|----------|------------------|---------------------------------|------------|
| BG8800  | 쇼핑봉투 | 1,000    | 83<br>(수율 약 92%) | 3.5                             | 500        |
| BG8800M | 멀칭필름 | 1,000    | 55<br>(수율 약 95%) | 4.5                             | 400        |

표 16. 나노셀룰로오스 생분해성 복합소재 적용 사출평가 조성

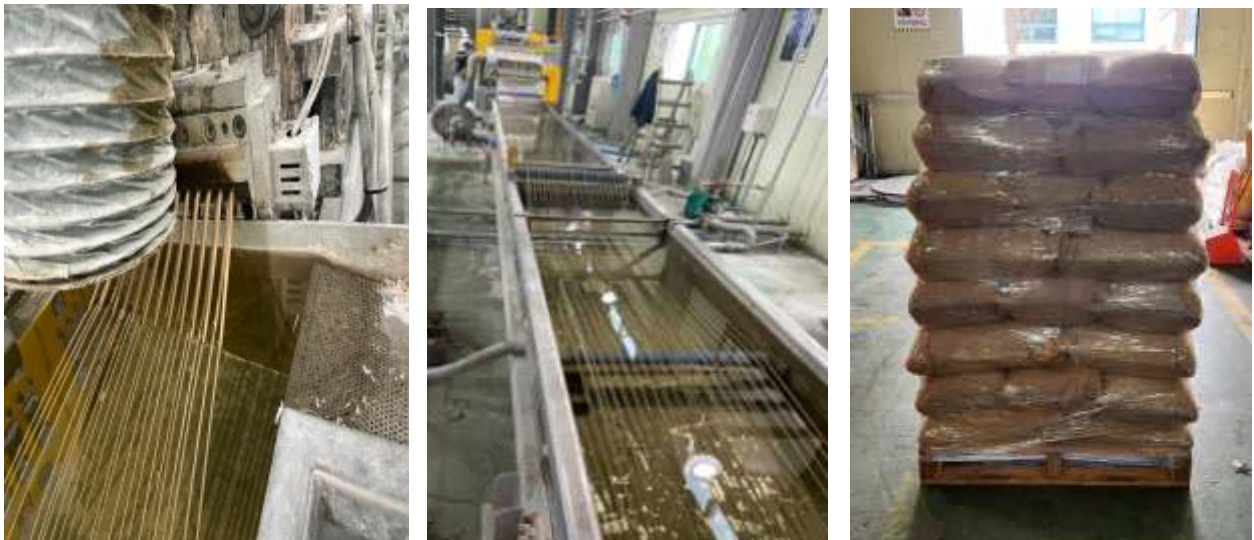


그림 52. 필름제품용 레진 양산 압출 생산사진 및 제품 포장된 파레트 사진

### 2.12.2 나노셀룰로오스 적용 생분해 쇼핑봉투 시제품 제작

양산 라인에서 생산된 레진을 각 협력사를 통해 실제 판매 제품과 동일한 사양의 시제품 가공 의뢰를 진행하였다. 아래의 사진과 같이 작업온도 조건은 163~170℃로 설정하였으며, 필름 작업간 생산 및 가공성에 별다른 특이사항이 발생하지 않았다. Blow film machine을 통해 생산되어 권취된 롤은 가공기인 봉투 제대기를 통해 쇼핑봉투 형태의 제품으로 가공하였다.



그림 53. 나노셀룰로오스 적용한 생분해 쇼핑봉투 시제품 생산사진



그림 54. 나노셀룰로오스를 적용한 생분해 쇼핑봉투 시제품 사진

### 2.12.3 나노셀룰로오스 적용 생분해 멀칭필름 시제품 제작

양산 라인에서 생산된 레진을 마찬가지로 각 협력사를 통해 실제 판매 제품과 동일한 사양의 시제품 가공의뢰를 진행하였다. 멀칭필름의 경우 양산 라인에서 생산된 레진 뿐만이 아닌 검정색 색상을 내기 위해 블랙 마스터배치를 추가하여 생산이 진행되었다. 멀칭필름 생산도 쇼핑봉투와 마찬가지로 생산간 별다른 특이사항은 발생하지 않았으나, 필름의 두께가 쇼핑봉투 (쇼핑봉투 두께 약  $30\mu\text{m}$ )보다 얇기 때문에 (멀칭필름 두께 약  $15\mu\text{m}$ ) 셀룰로오스의 뭉침현상이 필름 표면에서 관찰되었다.



그림 55. 나노셀룰로오스를 적용한 생분해 멀칭필름 시제품 사진



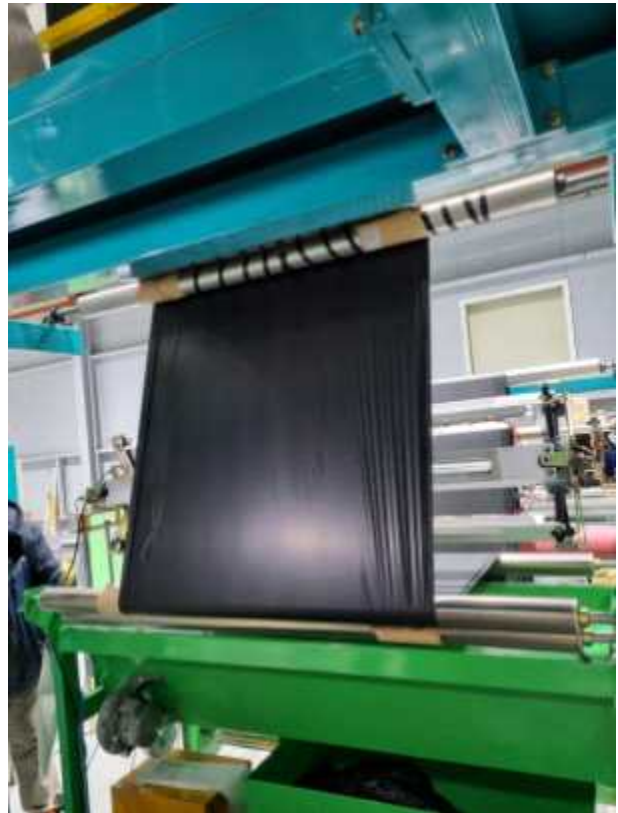


그림 56. 나노셀룰로오스 적용한 생분해 멀칭필름 시제품 생산사진

### 2.13 시제품 시장성 분석(기존 상용품과 비교)

시생산된 필름 시제품과 레진 시제품을 기준으로 기존 생분해성 제품이 판매되고 있는 단가와 비교 평가를 진행하였다. 다만, 판매단가를 산정하는 부분에 있어서 주관기관과 참여기관의 대외비이기 때문에 정확한 단가 산정방식이나 비용의 공개가 어렵기 때문에 레진 시제품을 제외한 필름 시제품의 경우 상대 비교하여 아래의 표로 나타내었다. 아래 상대비교표는 상용품의 단가를 원재료비 1,000원, 가공비 500원으로 설정하였을 때 시제품의 단가가 얼마나 상승되는지 여부를 비교한 표로 실제 시장단가와 차이는 있다. 다만 아래의 표에서 알 수 있듯이 각 시제품 모두 1%의 나노셀룰로오스 복합소재가 첨가됨에 따라 원재료비가 필름 제품은 17~18% 정도 상승하였으며, 사출제품은 10% 정도의 원재료비 상승폭을 보였다.

| 구분              | 상용제품<br>(쇼핑봉투<br>레진) | 시제품<br>(쇼핑봉투<br>레진) | 상용제품<br>(멀칭필름<br>레진) | 시제품<br>(멀칭필름<br>레진) | 상용제품<br>(사출용 레진) | 시제품<br>(사출용 레진) |
|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|------------------|-----------------|
| 원재료비<br>(원/kg)  | 1,000                | 1,170               | 1,000                | 1,180               | 1,000            | 1,100           |
| 가공비 등<br>(원/kg) | 500                  | 500                 | 500                  | 500                 | 500              | 500             |
| 판매단가<br>(원/kg)  | 1,500                | 1,670               | 1,500                | 1,680               | 1,500            | 1,600           |

표 17. 상용제품과 시제품(레진) 단가 비교(상대비교 자료)

가공비의 경우 상용제품과 시제품의 압출공정에서 발생하는 Loss량의 차이가 유의미하지 않아 차이가 없으며, 이때 포함될 수 있는 포장, 운임, 마진 등의 제조경비는 포함하지 않은 수치이다. 이를 토대로 필름으로 가공 및 봉투까지 제대하는 공정을 진행했을 때 쇼핑봉투 및 멀칭필름의 단가 비교는 아래와 같다. 다만, 봉투와 멀칭필름의 경우 비분해성 필름(Polyethylene 봉투)의 단가를 기준단가로 설정하여 상대비교 하였다. 쇼핑봉투의 경우 편의점에서 제공되는 중형의 쇼핑봉투 크기(30cm\*40cm\*0.003cm)를 기준으로 단가를 산정하였으며, 멀칭필름의 경우 폭 100cm\*1,000m 기준의 1 roll을 기준으로 산정하였다.

| 구분<br>(원/장 or<br>원/roll) | 상용제품<br>(PE 쇼핑봉투) | 상용제품<br>(생분해<br>쇼핑봉투) | 시제품<br>(CNF 쇼핑봉투) | 상용제품<br>(PE 멀칭필름) | 상용제품<br>(생분해<br>멀칭필름) | 시제품<br>(CNF 멀칭필름) |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| 원재료비                     | 17.3              | 39.6                  | 44.1              | 40,000            | 82,500                | 92,000            |
| 가공비 등                    | 6.7               | 8.4                   | 8.9               | 20,000            | 36,000                | 36,000            |
| 판매단가                     | 24                | 48                    | 53                | 60,000            | 118,500               | 128,000           |

표 18. 상용제품과 시제품(제품) 단가 비교(상대비교 자료)

위의 시제품의 단가 비교표를 확인했을 때 범용성 플라스틱 대비 생분해 제품의 원재료비가 약 2배 이상 비싼 것을 확인할 수 있으며, 이때의 가공비 역시 범용성 제품 대비 1.5배 가량 비싸게 책정하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 범용성 필름(비중: 0.98)의 생산성(속도, Loss량 등)보다 생분해 소재(비중: 1.25)를 사용했을 때 비중이 높기 때문에 가공비 및 책정된 마진을 가공업체들이 일반적으로 높게 책정하고 있기 때문이다. 이는 필름가공업체와 협의하여 생산성 향상을 통해 충분히 낮출 수 있는 사항으로 향후 제품의 생산량이 확대되어 협의가 가능할 것으로 기대한다.

위의 표에서 상용제품 중 PE 필름과 생분해 필름의 단가를 함께 적시해 둔 이유는 아직까지도 대부분의 사람들이 기존의 PE 제품 대비 비싸기 때문에 생분해 제품이 시장에 진입하기 어렵다라는 의견을 말하고 있다. 일반 범용성 플라스틱 제품과 생분해 제품의 경우 분명히 원재료비에서부터 단가적으로 비싸다. 그러나 2020년도 코로나-19 사태가 발생하고 일회용품에 대한 문제화두가 대두되면서 환경친화적인 제품에 대한 전 세계적인 이슈가 발생하자, 쇼핑봉투를 제공하는 전국의 각 기업들이 생분해 봉투, 생분해 빨대 등을 사용하기 시작하였다. 이러한 현상이 현재까지도 이어지고 있는 가운데 국내 환경부의 정책이 일회용 제품의 사용금지 및 재활용 정책을 고수하고 있음에도 불구하고 생분해 플라스틱으로의 제품 개발을 적용하고자 하는 기업들의 문의는 끊임없이 진행되고 있는 실정이다. 이 중 대표적으로 확장될 생분해 플라스틱 시장이 생분해 멀칭필름 시장으로 2022년 대비 2023년 현재 생분해 제품에 대한 공공기관과 각 지역 농협들의 보조 지원금 확대를 통해 작년 대비 사용량이 150% 이상 확대될 것으로 전망하고 있다. 이에 본 시제품으로 제작된 멀칭필름 및 쇼핑봉투 등의 영업활동을 활발하게 진행하여 기존 제품보다 높은 기계적 물성을 제시하여 고객사와 접촉할 계획이다.

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

#### ○ 생분해성 복합체 맞춤형 셀룰로오스 섬유 제조 기술 확보

##### ① 셀룰로오스 섬유 Morphology 조절 기술

- 기계적 전처리 방식 : 리파이닝, 효소 처리, 미분쇄 공정 최적화를 통한 Morphology 조절 기술 확보
  - b index 조절 범위 : 1.29 ~ 2.52
    - ※ b index : 수계 분산된 셀룰로오스 섬유 네트워크의 복잡성을 나타내는 지표.
- 화학적 전처리 방식 : 산화제 투입량, 반응시간, 효소 처리 공정 최적화를 통한 종횡비 조절 기술 확보
  - 종횡비 조절 범위 : 121 ~ 273
  - 선진사 (일본, N社) 제품과 동등 이상 수준의 종횡비 확보

##### ② 내열성 기반의 셀룰로오스 나노섬유 제조 방법 선정

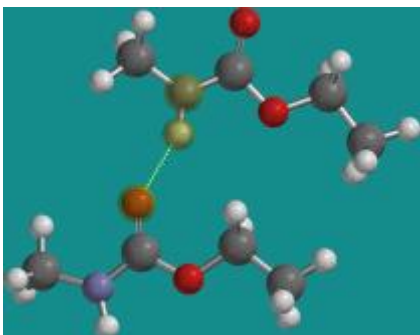
- 다양한 펄프 수종별 평가를 통해 펄프 수종 선정 : Southern Pine (침엽수)
  - 선진사 (노르웨이, B社) 제품과 동등 수준의 내열성 확보
    - ※ TGA 평가로 중량감소 15% 기준 on-set point 309°C (B社 제품 308°C )
- 생분해성 고분자와의 복합화 시 고온의 컴파운딩을 고려할 때, 기계적 전처리 방식에 의한 제조 방식이 더 바람직함

##### ③ 나노셀룰로오스 제조 방법 최적화 및 Scale-up 공정 설계

- 제조 에너지 절감 : 3000 kWh/톤 이하의 에너지 저감 기술 확보
  - Pilot 스케일에서 (1배치 500L) 리파이닝 방식, 효소처리를 통한 기계적 전처리 방식 최적화를 통해 고압호모게나이저에 의한 미분쇄 에너지 절감, 기존 대비 소요에너지 49% 감소.

#### ○ 이종 고리형 계면활성제의 분산성 메커니즘 제시

- 시뮬레이션 기법을 이용한 나노셀룰로오스와 계면활성제 간 상호작용력 제어 해석 기술
- 시뮬레이션 기법을 이용한 계면활성제와 생분해성 고분자 매트릭스간 제어 해석 기술
- 나노셀룰로오스/계면활성제/생분해성 고분자 매트릭스 간 상용성 향상 방안 제시



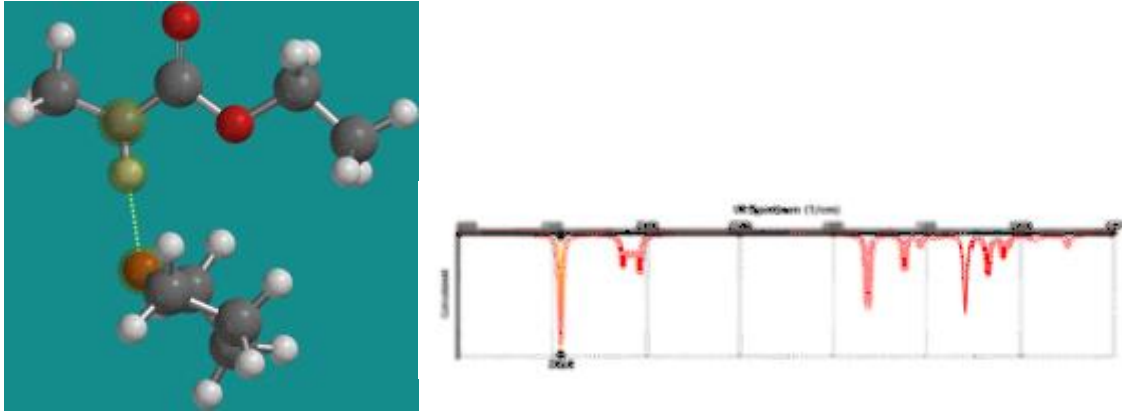


그림 56. 우레탄-우레탄 간 수소 결합력(위)보다 우레탄-이종고리 물질 간 수소 결합력(아래)이 더 강하다는 것을 증명한 시뮬레이션 결과  
(공동 연구: 고려대학교 김용주 교수)

○ 이종 고리 계면활성제 기반 생분해성 복합소재 제조 및 물성 제어

- 이종 고리 계면 활성제를 이용한 나노셀룰로오스와 생분해성 고분자 매트릭스 간 상용성 제어 기술
- 생분해성 복합소재 제조를 위한 용액 공정 기술 및 용융 공정 기술 최적화
- 생분해성 복합소재 내 구성 성분 간 계면 제어를 통한 기계적 물성 향상 기술

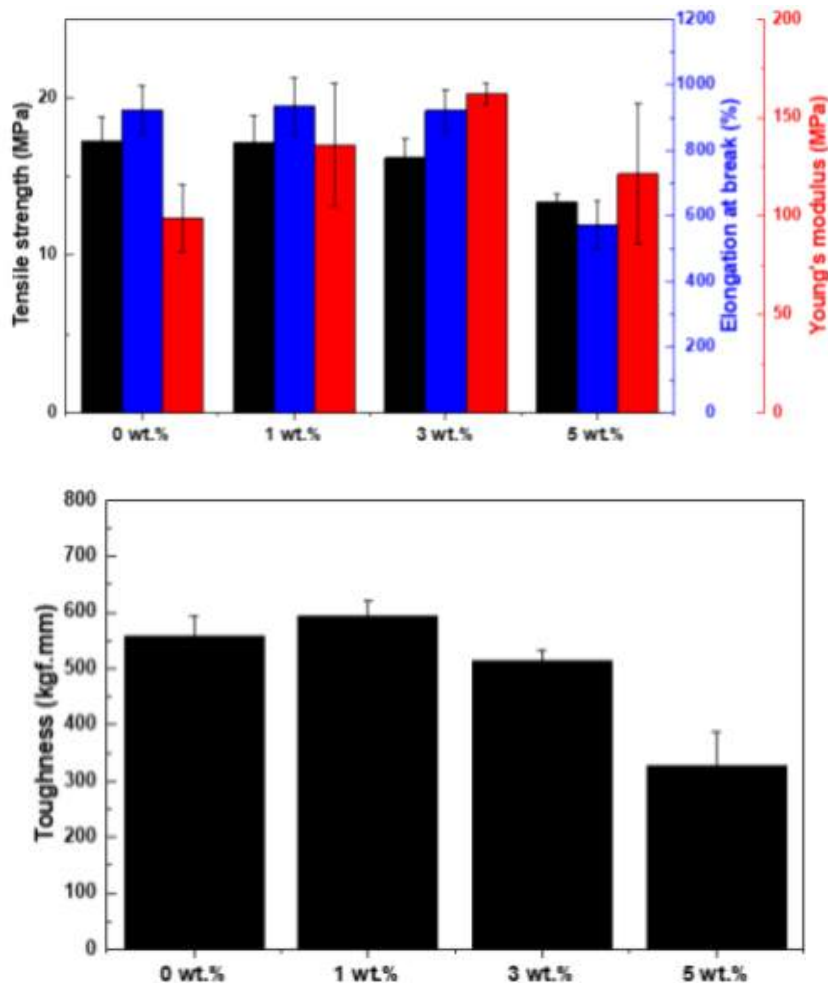


그림 57. PBAT/PLA blend (wt/wt=9/1)에 다양한 함량비로 HCP를 도입한 생분해성 고분자 복합체의 기계적 물성을 나타낸 결과

| Master batch CNF<br>함량 (wt.%) | Tensile strength<br>(MPa) / 표준편차 | Elongation at break<br>(%) / 표준편차 | Young's modulus<br>(MPa) / 표준편차 | Toughness (kgf mm)<br>/ 표준편차 |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 0                             | 17.3 / 1.5                       | 925 / 73.8                        | 98.8 / 17                       | 558.6 / 35.4                 |
| 1                             | 17.2 / 1.7                       | 935 / 85.7                        | 136.3 / 31.3                    | 594.7 / 27.6                 |
| 3                             | 16.2 / 1.2                       | 922 / 63.9                        | 162.1 / 5.5                     | 513 / 19.5                   |
| 5                             | 13.4 / 0.5                       | 573 / 74.6                        | 121.5 / 35.9                    | 327 / 59.6                   |

표 17. PBAT/PLA blend (wt/wt=9/1)에 다양한 함량비로 HCP를 도입한 생분해성 고분자 복합체의 기계적 물성을 나타낸 결과

○ 기능성 콜로이드 첨가제 기반 생분해성 복합소재 제조 및 물성 제어(1/2)

- 기능성 콜로이드 첨가제를 이용한 마이크로셀룰로오스와 생분해성 고분자 매트릭스 간 상용성 제어 기술
- 생분해성 복합소재 제조를 위한 용액 공정 기술 및 용융 공정 기술 최적화
- 생분해성 복합소재 내 구성 성분 간 계면 제어를 통한 기계적 물성 향상 기술

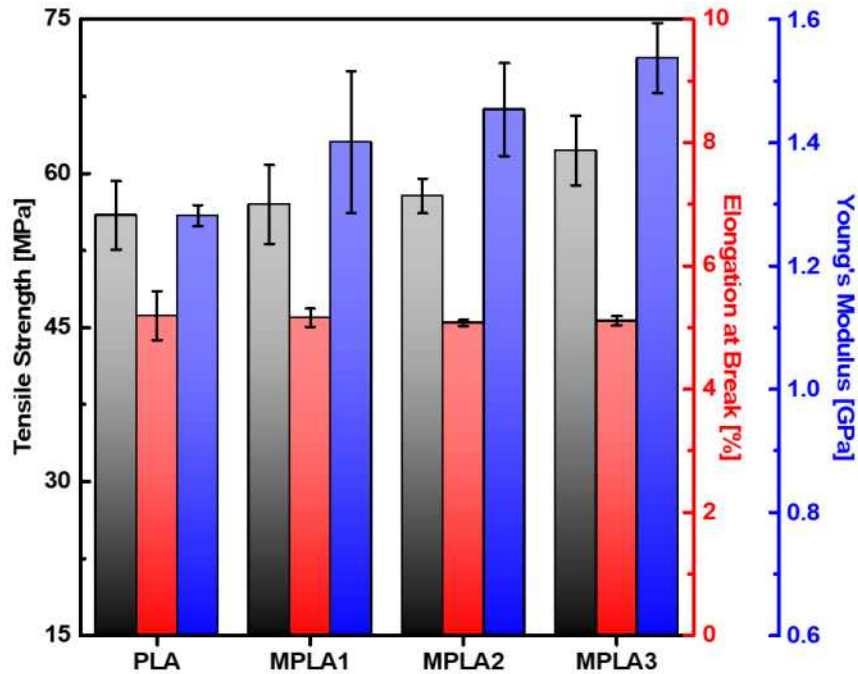


그림 58. PLA에 다양한 함량비로 MPLA를 도입한 생분해성 고분자 복합체의 기계적 물성을 나타낸 결과

| Colloidal PLA<br>함량 (wt.%) | Tensile strength<br>(MPa) ± 표준편차 | Elongation at break<br>(%) ± 표준편차 | Young's Modulus<br>(Mpa) ± 표준편차 |
|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 0                          | 55.93 ± 3.84                     | 5.19 ± 0.40                       | 1.28 ± 0.02                     |
| 1                          | 56.98 ± 3.84                     | 5.16 ± 0.15                       | 1.40 ± 0.11                     |
| 2                          | 57.81 ± 1.68                     | 5.07 ± 0.05                       | 1.45 ± 0.08                     |
| 3                          | 62.24 ± 3.40                     | 5.11 ± 0.07                       | 1.54 ± 0.06                     |

표 18. PLA에 다양한 함량비로 MPLA를 도입한 생분해성 고분자 복합체의 기계적 물성을

나타낸 결과

○ 기능성 콜로이드 첨가제 기반 생분해성 복합소재 제조 및 물성 제어(2/2)

- 기능성 콜로이드 첨가제를 이용한 나노셀룰로오스와 생분해성 고분자 매트릭스 간 상용성 제어 기술
- 생분해성 복합소재 제조를 위한 용액 공정 기술 및 용융 공정 기술 최적화
- 생분해성 복합소재 내 구성 성분 간 계면 제어를 통한 기계적 물성 향상 기술

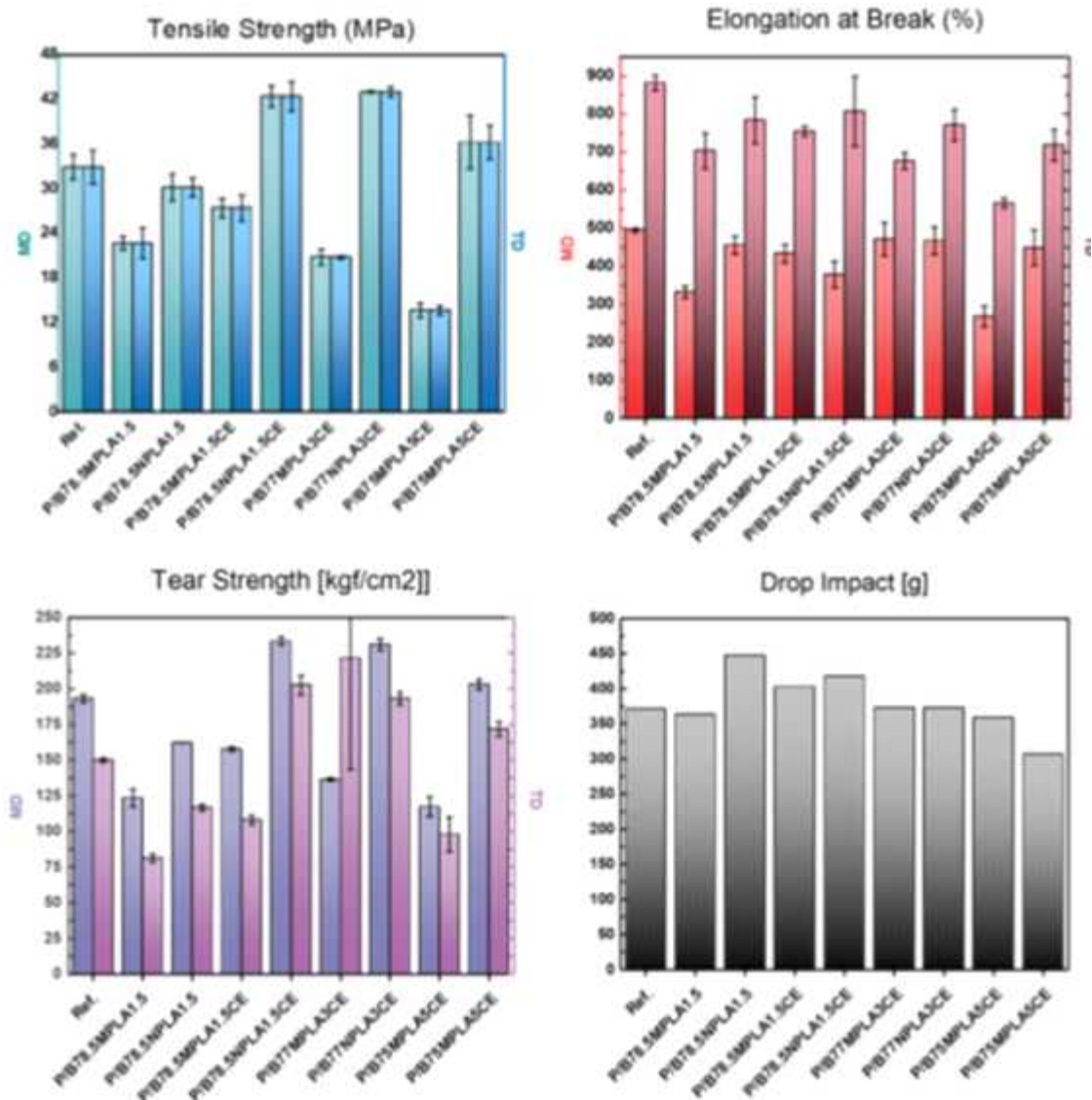


그림 59. PBAT/PLA blend (wt/wt=8/2)에 다양한 함량비로 MPLA를 도입한 생분해성 고분자 복합체의 기계적 물성을 나타낸 결과.

○ 생분해성 고분자-셀룰로오스 섬유 복합화 기술 최적화 및 시제품 제조

① 생분해성 고분자-셀룰로오스 분자간 가교 특성 부여

- Diisocyanate 사용으로 강도 가교 특성 부여하여 강도 보완

② 셀룰로오스 복합재료 투입량 최적화 및 시제품 제조

- 필름 레진 (PBS/PLA) : 복합재료 투입량 1.5%
  - 인장강도 22%↑ (MD 31%, TD 13%), 인열강도 25%↑ (MD 19%, TD 31%)
- 사출용 레진 (PLA) : 1%

→ 연신율 향상 (2.5% → 최대 6.9%)

### ③ 셀룰로오스 복합재료 시제품 제조

- 생분해 쇼핑봉투 1톤 생산 : 수율 92%
- 생분해 멀칭필름 1톤 생산 : 수율 95%

### ○ 생분해성 고분자 셀룰로오스계 복합체 개발과제 요약

- 한솔제지, 한국생산기술연구원, 안코바이오플라스틱스의 긴밀한 협업과 역할 분담을 통해 과제 목표인 인장강도 30 MPa 이상의 생분해성 쇼핑봉투 시제품 생산 (1톤)
  - 쇼핑봉투 뿐 만 아니라 멀칭 봉투와 일회용 사출 레진에도 분산성 및 적용가능성 확인

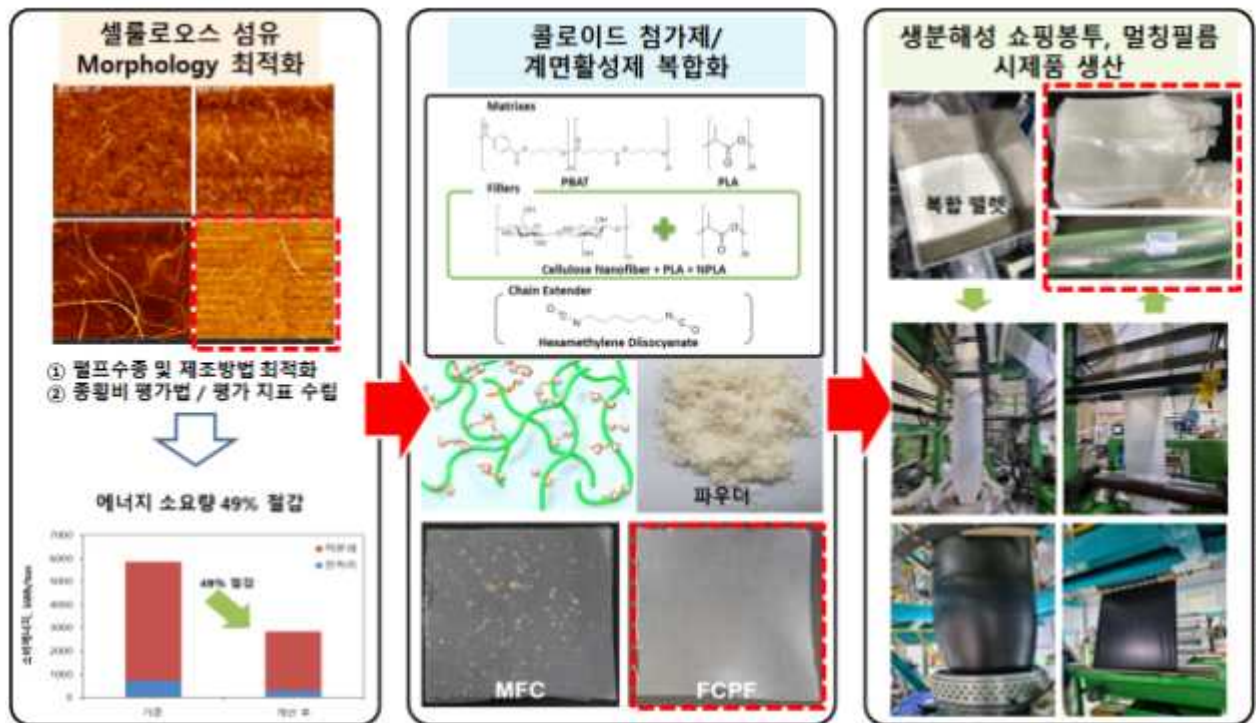


그림 60. 연구개발과제 진행결과 요약

## (2) 정량적 연구개발성과

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

| 성과지표명                         | 연도        | 1단계     |      | 계  | 가중치 (%) |    |
|-------------------------------|-----------|---------|------|----|---------|----|
|                               |           | 2021    | 2022 |    |         |    |
| 전담기관 등록·기탁 지표 <sup>1)</sup>   | 국내·외 논문게재 | 목표(단계별) |      |    | 10      |    |
|                               |           | 실적(누적)  |      | 1  |         | 1  |
|                               | 국내·외 학술대회 | 목표(단계별) |      |    |         | 10 |
|                               |           | 실적(누적)  | 2    | 3  | 5       |    |
|                               | 지식재산권(출원) | 목표(단계별) |      |    |         | 20 |
|                               |           | 실적(누적)  | 2    | 4  | 6       |    |
| 지식재산권(등록)                     | 목표(단계별)   |         |      |    | 20      |    |
|                               | 실적(누적)    |         | 1    | 1  |         |    |
| 연구개발과제 특성 반영 지표 <sup>2)</sup> | 고용창출      | 목표(단계별) |      |    | 20      |    |
|                               |           | 실적(누적)  | 4    | 3  |         | 7  |
|                               | 홍보실적      | 목표(단계별) |      |    |         | 20 |
|                               |           | 실적(누적)  |      | 3  | 3       |    |
|                               | 포상 및 수상실적 | 목표(단계별) |      |    |         | 0  |
|                               |           | 실적(누적)  | 1    | 1  | 2       |    |
| 계                             | 목표(단계별)   |         |      |    | 100     |    |
|                               | 실적(누적)    | 9       | 16   | 25 |         |    |

< 연구개발성과 성능지표 >

| 평가 항목 (주요성능 <sup>1)</sup> ) | 단위              | 전체 항목에서 차지하는 비중 <sup>2)</sup> (%) | 세계 최고    |                | 연구개발 전         | 연구개발 목표치        |                | 목표설정 근거                    |          |
|-----------------------------|-----------------|-----------------------------------|----------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------------------|----------|
|                             |                 |                                   | 보유국/보유기관 | 성능수준           | 국내 성능수준        | 1단계 (2021~2022) | 최종 성과          |                            |          |
| 1                           | 중형비             | nm/nm                             | 10       | 일본/일본제지        | ≥ 250          | 200             | ≥ 250          | <b>276</b>                 | 자체평가     |
| 2                           | 열용융 지수          | g/10min                           | 10       | 독일/BASF        | ≤6             | ≤8              | ≤6             | <b>3.5(봉투)<br/>3.6(밀칭)</b> | 공인시험 성적서 |
|                             |                 |                                   |          | 독일/BASF        | ≥20            | ≥15             | ≥20            | <b>33.0(사출)</b>            | 공인시험 성적서 |
| 3                           | 인장강도 (PE 필름 대체) | MPa                               | 10       | PE필름, 한국/롯데케미칼 | MD: ≥31        | 20 (PBAT 필름)    | ≥31 (PBAT 필름)  | <b>44.4</b>                | 공인시험 성적서 |
|                             |                 |                                   | 10       | PE필름, 한국/롯데케미칼 | TD: ≥31        | 15 (PBAT 필름)    | ≥31 (PBAT 필름)  | <b>45.3</b>                | 공인시험 성적서 |
| 4                           | 신장율 (PE 필름 대체)  | %                                 | 10       | PE필름, 한국/롯데케미칼 | MD: ≥500       | 80 (PBAT 필름)    | ≥500 (PBAT 필름) | <b>402</b>                 | 공인시험 성적서 |
|                             |                 |                                   | 10       | PE필름, 한국/롯데케미칼 | TD: ≥500       | 80 (PBAT 필름)    | ≥500 (PBAT 필름) | <b>381</b>                 | 공인시험 성적서 |
| 5                           | 생분해성            | %                                 | 20       | 독일/BASF        | ≥60(90일 이내)    | ≥60(90일 이내)     | ≥60(90일 이내)    | <b>≥60 (45일 측정시)</b>       | 공인시험 성적서 |
| 6                           | 안전성 평가          | mg/L                              | 6        | 독일/BASF        | 납: ≤1          | ≤1              | ≤1             | <b>불검출 (압출, 사출)</b>        | 공인시험 성적서 |
|                             |                 |                                   | 6        | 독일/BASF        | 과망간산칼륨소비량: ≤10 | ≤10             | ≤10            | <b>1 (압출, 사출)</b>          | 공인시험 성적서 |
|                             |                 |                                   | 8        | 독일/BASF        | 총 용출량: ≤30     | ≤30             | ≤30            | <b>≤30 (압출, 사출)</b>        | 공인시험 성적서 |



(3) 세부 정량적 연구개발성과 (해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명   | 학술지명     | 주저자명 | 호  | 국명  | 발행기관 | SCIE 여부 (SCIE/비SCIE) | 게재일           | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|----|---|----------|------|----|-----|------|----------------------|---------------|-------------|-----|
| 1  | Highly Self-Healable Polymeric Coating Materials with Enhanced Mechanical Properties Based on the Charge Transfer Complex | Polymers | 홍평화  | 23 | 스위스 | MDPI | SCIE                 | 2022. 11. 28. | 2073-4360   | 40% |

The screenshot shows the article's title, authors (Chanjae Ahn, Pyong Hwa Hong, Juheon Lee, Jinsil Kim, Gyeonmin Moon, Sungkoo Lee, In Park, Haksoo Han, and Sung Woo Hong), and the journal logo (polymers MDPI). The abstract discusses the development of a self-healing polymeric coating material (PCM) based on a charge transfer complex (CTC) for flexible displays. It highlights the material's improved thermal stability, fast self-healing kinetics (1 min), and high self-healing efficiency (98.1%) via CTC-induced multiple interactions between polymeric chains. The article also mentions the elimination of the trade-off between mechanical strength and self-healing capability compared to typical self-healing materials.

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭  | 발표자                                    | 발표 일시                         | 장소        | 국명   |
|----|--|--|-------------------------------|-----------|------|
| 1  | 2021년 한국고분자학회 추계학술대회<br>A Biodegradable and Sustainable Bio-nanocomposite based on Cellulose Nanofiber with Outstanding Mechanical Properties        | 홍평화, 김태용, 김기승, 김진실, 전해련, 이예진, 고민재, 홍성우 | 2021. 04. 08. ~ 2021. 04. 09. | 대전컨벤션센터   | 대한민국 |
| 2  | 2021년 한국고분자학회 추계학술대회<br>Effect of functional heterocyclic surfactant on the mechanical properties of biodegradable and sustainable bio-nanocomposite | 배성호, 고동원, 홍평화, 홍서우                     | 2021. 10. 20. ~ 2021. 10. 22. | 경주화백컨벤션센터 | 대한민국 |
| 3  | 2022년 한국고분자학회 춘계학술대회<br>Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 최기원, 권하늬, 홍평화, 고민재, 홍성우                | 2022. 04. 06. ~ 2022. 04. 08. | 대전컨벤션센터   | 대한민국 |
| 4  | 2022년 한국고분자학회 추계학술대회<br>A Biodegradable and Sustainable Polymeric Nanocomposite based on Microfibrillated Cellulose Coated with Polylactic Acid      | 권하늬, 권오경, 홍평화, 배성호, 류재호, 정현욱, 홍성우      | 2022. 10. 04. ~ 2022. 10. 06. | 대구컨벤션센터   | 대한민국 |
| 5  | 2022년 한국공업화학회 추계학술대회<br>A Biodegradable and Sustainable Polymeric Nanocomposite Based on Poly(butylene adipate terephthalate) and Cellulose Fibers   | 권하늬, 권오경, 홍평화, 유명제, 류재호, 정현욱, 홍성우      | 2022. 11. 02. ~ 2022. 11. 04. | 대전컨벤션센터   | 대한민국 |

2021년 추계학술대회

|         |  |
|---------|--|
| 2021-01 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-02 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-03 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-04 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-05 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-06 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-07 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-08 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-09 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-10 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-11 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-12 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |

2021년 추계학술대회 추계논문 목록

|         |  |         |  |
|---------|--|---------|--|
| 2021-01 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-01 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-02 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-02 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-03 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-03 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-04 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-04 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-05 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-05 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-06 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-06 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-07 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-07 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-08 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-08 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-09 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-09 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-10 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-10 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-11 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-11 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |
| 2021-12 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite | 2021-12 | Effect of Functional Heterocyclic Surfactant on the Mechanical Properties of Biodegradable and Sustainable Bio-Nanocomposite |



[기술적 성과]

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

| 번호 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                   | 국명   | 출원        |               |                 |            | 등록        |            |            | 기여율  | 활용 여부 |
|----|--|------|-----------|---------------|-----------------|------------|-----------|------------|------------|------|-------|
|    |  |      | 출원인       | 출원일           | 출원 번호           | 등록 번호      | 등록인       | 등록일        | 등록 번호      |      |       |
| 1  | 특허<br>생분해성 복합 수지 조성물 및 이로부터 유래된 생분해성 복합 수지 | 대한민국 | 한국생산기술연구원 | 2021. 09. 29. | 10-2021-0129141 | 10-2382284 | 한국생산기술연구원 | 2022.3. 30 | 10-2382284 | 100% |       |
| 2  | 특허<br>생분해성 복합 수지 조성물 및 이로부터 유래된 생분해성 복합 수지 | 대한민국 | 한국생산기술연구원 | 2021. 12. 29. | 10-2021-0191833 |            |           |            |            | 100% |       |
| 3  | 특허<br>생분해성 복합 수지 조성물 및 이로부터 유래된 생분해성 복합 수지 | 대한민국 | 한국생산기술연구원 | 2022.12 .22   | 10-2022-0182332 |            |           |            |            | 100% |       |
| 4  | 특허<br>고점도를 부여할 수 있는 셀룰로오스 기반 증점제 및 그 제조방법  | 대한민국 | 한솔제지      | 2022.07 .01   | 10-2022-0081448 |            |           |            |            | 100% |       |
| 5  | 특허<br>셀룰로오스 복합체 및 이를 포함하는 고무 조성물           | 대한민국 | 한솔제지      | 2022.10 .18   | 10-2022-0133786 |            |           |            |            | 100% |       |
| 6  | 특허<br>재분산성이 향상된 셀룰로오스 복합체 및 이의 제조 방법       | 대한민국 | 한솔제지      | 2022.12 .21   | 10-2022-0179972 |            |           |            |            | 100% |       |





| 성과                             |             | CNF 적용 생분해 필름용, 사출용 소재 |         |           |      |
|--------------------------------|-------------|------------------------|---------|-----------|------|
| 사업화 계획                         | 사업화 소요기간(년) | 1년                     |         |           |      |
|                                | 소요예산(천원)    | 30,000                 |         |           |      |
|                                | 예상 매출규모(천원) | 현재까지                   | 3년 후    | 5년 후      |      |
|                                |             | -                      | 300,000 | 1,000,000 |      |
|                                | 시장 점유율      | 단위(%)                  | 현재까지    | 3년 후      | 5년 후 |
|                                |             |                        | 국내      | -         | 3    |
| 국외                             |             |                        | -       | -         | -    |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 |             | 생분해 포장재 제품으로 제품적용 확대   |         |           |      |
| 무역 수지 개선 효과(천원)                | 수입대체(내수)    | 현재                     | 3년 후    | 5년 후      |      |
|                                | 수출          | -                      | 600,000 | 1,500,000 |      |

### □ 고용 창출

| 순번 | 사업화명            | 사업화 업체     | 고용창출 인원(명) |       | 합계 |
|----|-----------------|------------|------------|-------|----|
|    |                 |            | 2021년      | 2022년 |    |
| 1  | 목질계 바이오 에너지 산업화 | 한솔제지       | 3          | 2     | 5  |
| 2  | 목질계 바이오 에너지 산업화 | 안코바이오플라스틱스 | 1          | 1     | 2  |
| 합계 |                 |            | 4          | 3     | 7  |

### □ 경제적 파급 효과

#### [한솔제지]

(단위: 천원/년)

| 구분    | 사업화명           | 수입 대체 | 수출 증대   | 매출 증대   | 생산성 향상 | 고용 창출 (인력 양성 수) | 기타 |
|-------|----------------|-------|---------|---------|--------|-----------------|----|
| 해당 연도 | 생분해 레진용 CNF    | -     | -       | 40,000  | 1톤/년   | 2               |    |
| 기대 목표 | 생분해 레진용 CNF 생산 | -     | 400,000 | 500,000 | 10톤/년  | 4               |    |

#### [안코바이오플라스틱스]

(단위: 천원/년)

| 구분    | 사업화명               | 수입 대체 | 수출 증대     | 매출 증대     | 생산성 향상 | 고용 창출 (인력 양성 수) | 기타 |
|-------|--------------------|-------|-----------|-----------|--------|-----------------|----|
| 해당 연도 | CNF 적용 생분해 레진      | -     | -         | 300,000   | 70톤/년  | 2               |    |
| 기대 목표 | CNF 적용 생분해 레진 및 제품 | -     | 1,500,000 | 1,000,000 | 580톤/년 | 5               |    |

### [사회적 성과]

#### □ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명             | 제목                            | 홍보일        |
|----|-------|-----------------|-------------------------------|------------|
| 1  | 전시회   | KOREA PACK 2022 | 나노셀룰로오스 적용 일회용 봉투 외 생분해 제품 전시 | 2022.06.13 |
| 2  | 전시회   | 나노코리아 2022      | 나노셀룰로오스 및 적용제품 전시             | 2022.07.06 |
| 3  | 전시회   | 산업기술 R&D 유망기술   | 생분해성 복합 수지 기술 소개              | 2022.08.23 |



좌 : CNP 적용 시생산 봉투, 우 : CNP+우기를 적용 시생산 봉투



**Kelit** 한국화학연구원 KRICT, KITECH, KRISS, KITA, KITA-21, KITA-22, KITA-23, KITA-24, KITA-25, KITA-26, KITA-27, KITA-28, KITA-29, KITA-30, KITA-31, KITA-32, KITA-33, KITA-34, KITA-35, KITA-36, KITA-37, KITA-38, KITA-39, KITA-40, KITA-41, KITA-42, KITA-43, KITA-44, KITA-45, KITA-46, KITA-47, KITA-48, KITA-49, KITA-50, KITA-51, KITA-52, KITA-53, KITA-54, KITA-55, KITA-56, KITA-57, KITA-58, KITA-59, KITA-60, KITA-61, KITA-62, KITA-63, KITA-64, KITA-65, KITA-66, KITA-67, KITA-68, KITA-69, KITA-70, KITA-71, KITA-72, KITA-73, KITA-74, KITA-75, KITA-76, KITA-77, KITA-78, KITA-79, KITA-80, KITA-81, KITA-82, KITA-83, KITA-84, KITA-85, KITA-86, KITA-87, KITA-88, KITA-89, KITA-90, KITA-91, KITA-92, KITA-93, KITA-94, KITA-95, KITA-96, KITA-97, KITA-98, KITA-99, KITA-100

**표면 계질로 기계적 물성이 향상된 생분해성 복합수지**

기술이전: 한국화학연구원  
 전이 형태: 출원특허  
 기술이전 담당: 김희주 책임 / 02-4521-4000 / kilit@kitech.com

**기술 개요**

- 1. 1% 이상의 CNP를 함유한 100% 생분해성 수지 복합수지 개발을 통한 기계적 물성을 향상시킨 생분해성 복합수지 개발
- 2. 1% 이상의 CNP를 함유한 100% 생분해성 수지 복합수지 개발을 통한 기계적 물성을 향상시킨 생분해성 복합수지 개발

**기술 개발 배경**

- 1. 1% 이상의 CNP를 함유한 100% 생분해성 수지 복합수지 개발을 통한 기계적 물성을 향상시킨 생분해성 복합수지 개발
- 2. 1% 이상의 CNP를 함유한 100% 생분해성 수지 복합수지 개발을 통한 기계적 물성을 향상시킨 생분해성 복합수지 개발

**기술 완성도**

| 성질   | 1% CNP | 2% CNP | 3% CNP | 4% CNP | 5% CNP | 6% CNP | 7% CNP | 8% CNP | 9% CNP | 10% CNP |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 강도   | 100    | 110    | 120    | 130    | 140    | 150    | 160    | 170    | 180    | 190     |
| 연신율  | 100    | 110    | 120    | 130    | 140    | 150    | 160    | 170    | 180    | 190     |
| 인장강도 | 100    | 110    | 120    | 130    | 140    | 150    | 160    | 170    | 180    | 190     |
| 인장신율 | 100    | 110    | 120    | 130    | 140    | 150    | 160    | 170    | 180    | 190     |
| 인장강도 | 100    | 110    | 120    | 130    | 140    | 150    | 160    | 170    | 180    | 190     |
| 인장신율 | 100    | 110    | 120    | 130    | 140    | 150    | 160    | 170    | 180    | 190     |

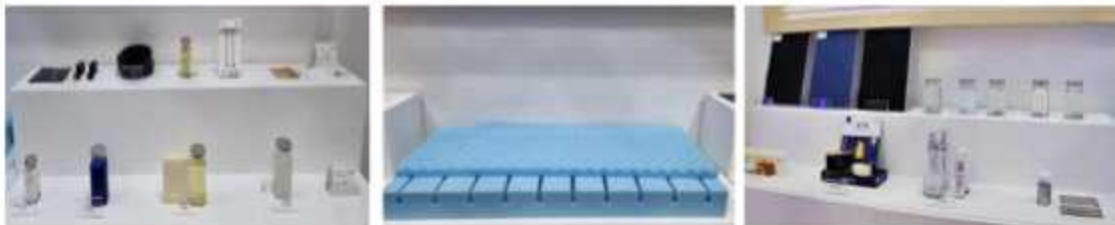
**기술의 특성**

- 1. 1% 이상의 CNP를 함유한 100% 생분해성 수지 복합수지 개발을 통한 기계적 물성을 향상시킨 생분해성 복합수지 개발
- 2. 1% 이상의 CNP를 함유한 100% 생분해성 수지 복합수지 개발을 통한 기계적 물성을 향상시킨 생분해성 복합수지 개발

**한솔제지 부스**



**샘플/시제품 전시**



**□ 포상 및 수상 실적**

| 번호 | 종류               | 포상명                                   | 포상 내용                                 | 포상 대상         | 포상일           | 포상 기관   |
|----|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|---------------|---------|
|    | 학회 발표<br>최우수포스터상 | 2021년<br>한국고분자학회<br>추계학술대회<br>최우수포스터상 | 2021년<br>한국고분자학회<br>추계학술대회<br>최우수포스터상 | 한국생산기술연구<br>원 | 2021. 10. 21. | 한국고분자학회 |
|    | 학회 발표<br>우수포스터상  | 2022년<br>한국공업화학회<br>추계학술대회<br>우수포스터상  | 2022년<br>한국공업화학회<br>추계학술대회<br>우수포스터상  | 한국생산기술연구<br>원 | 2022. 10. 21. | 한국공업화학회 |



[그 밖의 성과]

○ 추가 안전성 평가 (EU REACH, RoHS)

-나노셀룰로오스 복합소재 적용 생분해 소재 2종(필름용, 사출용)

EU REACH 시험성적서(좌: 필름용, 우:사출용)



RoHS 시험성적서(좌: 필름용, 우:사출용)



**SGS**

**Test Report No. F0801107.C160VAA22.44348** Issued Date: 2022.11.29 Page 1 of 6

**AMORR BIOPLASTICS CO., LTD.**  
216 Munsakgongda-gil, Munhak-eup,  
Wangju-si, Gangwon-do  
Korea

The following sample(s) was/were submitted and identified by/on behalf of the client as:-

|                   |  |
|-------------------|--|
| SGS File No.      | : AYA22-44348  |
| Product Name      | : D04600   |
| Item No./Part No. | : N/A  |
| Received Date     | : 2022.11.29   |
| Test Period       | : 2022.11.29 to 2022.11.29                               |
| Test Results      | : For further details, please refer to following page(s) |

SGS Korea Co., Ltd.  
  
Tommy Oh | Chemical Lab Mgr

**SGS**

**Test Report No. F0801107.C160VAA22.44348** Issued Date: 2022.11.29 Page 1 of 6

**AMORR BIOPLASTICS CO., LTD.**  
216 Munsakgongda-gil, Munhak-eup,  
Wangju-si, Gangwon-do  
Korea

The following sample(s) was/were submitted and identified by/on behalf of the client as:-

|                   |  |
|-------------------|--|
| SGS File No.      | : AYA22-44348  |
| Product Name      | : D04600   |
| Item No./Part No. | : N/A  |
| Received Date     | : 2022.11.29   |
| Test Period       | : 2022.11.29 to 2022.11.29                               |
| Test Results      | : For further details, please refer to following page(s) |

SGS Korea Co., Ltd.  
  
Tommy Oh | Chemical Lab Mgr



**(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)**

1. 고농도 CNF 제조 기술 확보
  - 화장품, 도료, 코팅제 등에 활용할 수 있는 고농도 나노셀룰로오스 제조 기술 확보
  - ‘23년 해당 기술이 도입된 제품으로 화장품 출시가 예상되며, 관련 업계에 큰 파급력이 있을 것으로 예상됨
  - 관련 내용에 대한 특허 1건 출원됨
  
2. 수지 복합화 기술 확대 적용
  - 생분해성 고분자 복합체 개발 과정에서 수분이 제거된 파우더 상의 복합재료가 개발됨
  - 이를 활용하여 플라스틱 필름 분야 외 고무, 폴리우레탄폼, 엘라스토머 등 최근 친환경 소재가 요구되는 다양한 분야에 적용할 수 있는 기술 기반이 확보되었음
  - 관련 내용에 대한 기술 특허가 2건 출원됨

## 2) 목표 달성 수준

| 추진 목표   | 달성 내용  | 달성도(%)  |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다양한 형태의 셀룰로오스계 섬유소재를 수지복합화에 적합한 맞춤형 제품 개발</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 나노화 공정 최적화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최적 펄프원료의 선정을 통한 선진사 동등 수준의 내열성 확보</li> </ul> </li> <li>○ Morphology 조절 기술 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>- AFM을 통한 분석 기술 자체 표준화</li> <li>- 분석 시간을 단축할 수 있는 기술 확보 (b index 평가법 : 8 h → 0.5 h)</li> <li>- 화학적/기계적 전처리 공정에서의 종횡비 조절 기술 확보</li> </ul> </li> <li>○ 파우더 상의 복합재료 제조 기술 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dry powder, Wet powder</li> </ul> </li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 100</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 셀룰로오스와 생분해 고분자의 혼화성을 증대할 수 있는 첨가제 및 복합화 기술 개발</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 나노셀룰로오스 분산성 향상을 위한 계면활성제 개발 완료               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 이중 고리 기반 계면활성제 2종</li> <li>- 계면활성제 합성 공정 최적화</li> <li>- 용액 내 나노셀룰로오스 분산성 향상</li> <li>- 분산성 향상을 해석할 수 있는 시뮬레이션 분석 툴 개발</li> </ul> </li> <li>○ 마이크로셀룰로오스 분산성 향상을 위한 계면활성제 개발 완료               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 이중 고리 기반 계면활성제 1종</li> <li>- 계면활성제 합성 공정 최적화</li> </ul> </li> <li>○ 나노셀룰로오스, 계면활성제, 생분해성 고분자 기반 생분해성 복합소재 개발 완료               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생분해성 복합소재 제조를 위한 용액 및 멜트 복합화 공정 최적화</li> <li>- 생분해성 복합소재 3종</li> <li>- 최종 소재의 기계적 물성 평가 완료</li> </ul> </li> <li>○ 마이크로셀룰로오스, 계면활성제, 생분해성 고분자 기반 생분해성 복합소재 개발 완료               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생분해성 복합소재 제조를 위한 멜트 공정 최적화</li> <li>- 생분해성 복합소재 1종</li> <li>- 최종 소재의 기계적 물성 평가 완료</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 100</li> </ul> |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 나노셀룰로오스와 생분해 고분자의 복합화를 통한 일회용 봉투 등 제품 개발</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 나노셀룰로오스 복합소재와 생분해 고분자와의 용융압출을 통한 레진 제품화 개발완료 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 레진 제조를 위한 양산공정 조건 수립</li> <li>- 생분해 필름용 레진 1종</li> <li>- 생분해 사출용 레진 1종</li> <li>- 제품의 용융흐름지수 및 안전성 수치달성</li> </ul> </li> <li>○ 나노셀룰로오스 적용 생분해 고분자 제품화 개발완료 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제품 생산을 위한 양산공정 조건 수립</li> <li>- 생분해 쇼핑봉투 1종</li> <li>- 생분해 멀칭필름 1종</li> <li>- 필름 제품에 대한 기계적 물성 평가 완료</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 100</li> </ul> |
|--|--|---|

#### 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

##### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 특허 등록 목표 미달 사유 및 향후 대책
  - 2021년 12월에 등록 심사를 요청했던 1건은 현재 심사 중(본 과제 기간은 2년; 통상적으로 특허 출원 후 등록 심사까지 보통 18~20개월이 소요)
  - 담당 특허사무소의 의견에 따르면 이미 출원된 특허가 2023년 상반기 중에 등록이 될 것으로 예상됨
- 논문 목표 미달 사유 및 향후 대책
  - 현재 일부 논문이 투고 중이거나 투고 준비 중
  - 투고 준비 중인 논문의 경우 논문을 공동 준비 중인 타기관(시뮬레이션 실험 및 해석 담당)의 요청에 의해 논문의 질을 높이기 위한 시뮬레이션 추가 실험을 진행 중
  - 추가 실험이 3월 중에 마무리 될 예정이기에 2023년 상반기 중에 게재예정증명서를 받을 것으로 예상됨
- 정량적 목표수치 중 신장율(PE 필름 대체)와 관련하여 최초 사업계획서 작성 시 기준으로 사용한 KPSM 1005, 쓰레기 봉투 단체표준규격(환경부 사이트에 고시 : [https://me.go.kr/home/web/policy\\_data/read.do?pagerOffset=3810&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=10259&orgCd=&condition.orderSeqId=2429&condition.rnSeq=3819&condition.deleteYn=N&seq=2538](https://me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pagerOffset=3810&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=10259&orgCd=&condition.orderSeqId=2429&condition.rnSeq=3819&condition.deleteYn=N&seq=2538)) 내에 기준으로 제시된 사항은 두께에 따라 신장율의 기준이 상이함.
  - 공인시험성적 시 제출한 필름의 두께는 약 30 $\mu$ m으로 요구 신장율이 350%이상으로 설정되어 있으며, 규격 내 최대 두께인 55 $\mu$ m일시에도 400%이상으로 규격을 고시하고 있음.

6. 품 질

6.1 필름의 결모양 7.4의 방법으로 시험하여 주름, 균열, 오염, 이물질은 없, 연질함분량 및 기타사용상 필요성이 없어야 한다.

6.2 치 수 치수는 (표 3)에 따른다.

6.3 PE봉투의 물성은 (표 4)에 따른다.

(표 4)

| 종류 | 호칭 두께 (m/m) | 인장강도 N/m(kgf/cm) | 신장율 % | 인열강도            |                  | 결합상태                 | 탄산칼슘 함량 (%) | 필름의 결모양            |
|----|-------------|------------------|-------|-----------------|------------------|----------------------|-------------|--------------------|
|    |             |                  |       | 보 통 N/m(kgf/cm) | 집은 곳 N/m(kgf/cm) |                      |             |                    |
| 1종 | 0.030       | 27.4(280)이상      | 350이상 | 117.6(120)이상    | 98.0(100)이상      | 공기를 넣어 1분간 견디어야 할 것. | 30%이상       | 규격과 상이한 정도가 10개 미만 |
| 2종 | 0.030       | 27.4(280)이상      | 350이상 | 117.6(120)이상    | 98.0(100)이상      |                      |             |                    |
| 3종 | 0.030       | 27.4(280)이상      | 350이상 | 117.6(120)이상    | 98.0(100)이상      |                      |             |                    |
| 4종 | 0.035       | 29.4(300)이상      | 400이상 | 127.4(130)이상    | 107.8(110)이상     |                      |             |                    |
| 5종 | 0.040       | 29.4(300)이상      | 400이상 | 127.4(130)이상    | 107.8(110)이상     |                      |             |                    |
| 6종 | 0.045       | 29.4(300)이상      | 400이상 | 127.4(130)이상    | 107.8(110)이상     |                      |             |                    |
| 7종 | 0.050       | 29.4(300)이상      | 400이상 | 127.4(130)이상    | 107.8(110)이상     |                      |             |                    |
| 8종 | 0.055       | 29.4(300)이상      | 400이상 | 127.4(130)이상    | 107.8(110)이상     |                      |             |                    |

※ ( )값은 참고 수치임

[ KPSM 1005 6.품질 내용 발췌 ]

- 최초 사업계획서 작성 시 오버 스펙으로 500%를 설정하여 제출이 되었으나, 이에 대한 목표치 수정이 이루어지지 않았음. 그 이유로 연구기간내 연구팀이 개발한 제품을 자체 평가 시 800% 이상의 신장율 결과값을 도출하였기 때문임.
- 이에 본 연구팀은 해당 목표치를 최종평가 전까지 공인시험 재의뢰를 통해 시험성적서를 제출하고자 함.
- 최초 개발목표였던 쓰레기 봉투에서 일회용 봉투 및 멀칭필름으로 적용 제품 변경 사유
  - 본 과제의 시작연도인 2020년부터 생분해 제품 시장은 하루가 다르게 시장상황이 변하였으며, 2021년 환경부의 일회용 제품 사용금지 발표에 따라 과제 사업계획서 제출 때 유망하던 제품인 쓰레기 봉투가 환경부의 재가 없이는 관련 인증 취득도 쉽지 않은 상황으로 변경되었음.
  - 이에 따라 본 과제의 성공적인 사업화를 위하여 기존에 활성화되어 판매가 원활이 이루어지고 있는 일회용 봉투와 환경부에서 제재를 가하지 않고 각 지역 공공기관 및 농림식품부에서 향후 확장하고자 하는 제품인 멀칭필름 제품으로 개발을 진행하였음.

2) 자체 보완활동

1. 특허 등록 : 2건 목표 중 1건은 등록되었으며, 나머지 1건은 '23년 상반기중 등록 예상
2. 연신율 목표 수준 : 30 μm 두께의 필름 연신율은 350% 이상으로 규정되어 있는바, 현 수준으로도 상용화 수준의 품질을 확보했다고 볼 수 있음
3. 시제품 종류 : 향후 상용화에 문제가 없는 품목으로 교체하여 시제품을 제조하였음

### 3) 연구개발 과정의 성실성

연구계획 단계에서 각 참여기관의 역할이 잘 수행되었고, 연구 개발 과정에서의 협업이 잘 이루어짐. 과제의 기술적인 목표들이 대부분 잘 달성되었으며, 특히 등록 등 미진한 부분들은 등록 기간의 소요 문제로 '23년 상반기 중에는 달성이 예상됨. 특히 당초 목표였던 4건 출원 대비 6건의 특허가 출원되었으며, 핵심 기술의 바탕으로 다양한 분야에 적용될 수 있는 원천 특허들이 개발되었기 때문에, 전체적으로 연구개발이 성실히 수행 되었다고 판단함.

### 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

(단위 : 백만원, %)

| 총괄과제명                                 | 세부과제명   | 기관명        | 유형        | 총 연구개발비 (A)    | 정부지원 연구개발비 (B) | 정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A) | 성과 유형   | 기술기여도     |       |
|---------------------------------------|---|------------|-----------|----------------|----------------|-----------------------|---------|-----------|-------|
|                                       |   |            |           |                |                |                       |         | 산정 근거     | 비율    |
| 바이오매스유래 나노셀룰로오스계 첨가제를 활용한 생분해성 복합체 개발 | 셀룰로오스와 생분해 고분자의 혼화성을 증대할 수 있는 첨가제 및 복합화 기술 개발 | 한국생산기술연구원  | 출연연 (비영리) | 260            | 260            | 1.000                 | 신규 기술개발 | 해당 없음     | -     |
|                                       | 수지복합화에 적합한 맞춤형 셀룰로오스 복합 제품 개발                 | 한솔제지       | 중견기업 (영리) | 558.5          | 390            | 69.829                | 신규 기술개발 | 정부지원/총개발비 | 69.83 |
|                                       | 나노셀룰로오스와 생분해 고분자의 복합화를 통한 일회용 봉투 등 제품 개발      | 안코바이오플라스틱스 | 중소기업 (영리) | 283.3          | 220            | 77.656                | 신규 기술개발 | 정부지원/총개발비 | 77.66 |
| <b>계</b>                              |   |            |           | <b>1,101.8</b> | <b>870</b>     | -                     | -       | -         | -     |

## 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

### 1. 매출액

- 한솔제지 : '25년 사업화 가능할 것으로 예상되며, 이때부터 매출 발생 예상
- 안코바이오 플라스틱 : 상동

### 2. 기술료

- 한솔제지, 안코바이오플라스틱스는 정부지원금에 대한 정액 기술료 납부를 희망함

### 3. 기술이전

- 한국생산기술연구원 : 개발된 계면활성제 기술이전

### 4. 신기술 인증

- 신기술 인증을 통해 초기시장 진출기반 확보. 사업화 추진 2년 전부터 진행할 수 있으므로, '24년에 인증 절차 추진 예정 (사업화 추진 계획 : '25년부터)

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

| 구분(정량 및 정성적 성과 항목)  |              | 연구개발 종료 후 5년 이내 |          |          |         |           |
|---------------------|--------------|-----------------|----------|----------|---------|-----------|
|                     |              | 2023            | 2024     | 2025     | 2026    | 2027      |
| 국외논문                | SCIE         | 3               |          |          |         |           |
|                     | 비SCIE        |                 |          |          |         |           |
| 국내논문                | SCIE         |                 |          |          |         |           |
|                     | 비SCIE        |                 |          |          |         |           |
| 특허출원                | 국내           |                 |          |          |         |           |
|                     | 국외           | 1               |          |          |         |           |
| 특허등록                | 국내           | 1               | 1        | 3        |         |           |
|                     | 국외           |                 |          |          |         |           |
| 인력양성                | 학사           |                 |          |          |         |           |
|                     | 석사           |                 |          |          |         |           |
|                     | 박사           |                 |          |          |         |           |
| 사업화                 | 시제품개발        |                 |          |          |         |           |
|                     | 상품출시         |                 | 2        |          |         |           |
|                     | 기술이전         |                 |          |          |         |           |
|                     | 공정개발         |                 |          |          |         |           |
|                     | 매출액(단위 : 천원) |                 |          | 300,000  | 500,000 | 1,000,000 |
| 기술료(단위 : 천원)        |              |                 | 10,474.5 | 17,457.5 | 11,068  |           |
| 비임상시험 실시            |              |                 |          |          |         |           |
| 임상시험 실시<br>(IND 승인) | 의약품          | 1상              |          |          |         |           |
|                     |              | 2상              |          |          |         |           |
|                     |              | 3상              |          |          |         |           |
|                     | 의료기기         |                 |          |          |         |           |
| 진료지침개발              |              |                 |          |          |         |           |
| 신의료기술개발             |              |                 |          |          |         |           |
| 성과홍보                |              |                 |          | 1        |         | 1         |
| 포상 및 수상실적           |              |                 |          |          |         |           |
| 정성적 성과 주요 내용        |              |                 |          |          |         |           |

\* 기술료 납부액 한도는 중소기업의 경우 해당기관이 받은 정부출연금의 10% 기준 (한솔제지 39백만원, 안코바이오플라스틱스 22백만원).

\* 기술료 산출식 : 당해연도 매출액 x 0.05(중소기업 기술요율 5%) x 69.83%(기술기여도) x 0.2(과제참여 감면율 80%) x 0.7(일시납 감면율 30%)

< 별첨 자료 >

| 중앙행정기관 요구사항 | 별첨 자료                                     |
|-------------|---|
| 1.          | 1) 자체평가의견서<br>2) 연구성과 활용계획서<br>3) 공인시험성적서 |

## 자체평가의견서

1.

|                       |  |                            |         |           |           |
|-----------------------|--|----------------------------|---------|-----------|-----------|
|                       | 과제번호                                   |                            |         | 321006-02 |           |
| 사업구분                  | 목질계 바이오에너지 산업화 사업                      |                            |         |           |           |
| 연구분야                  | 가공기술-임산공학-임산화학                         |                            |         | 과제구분      | 단위        |
| 사업명                   | 목질계 바이오에너지 산업화 사업                      |                            |         |           | 주관        |
| 총괄과제                  | 기재하지 않음                                |                            |         | 총괄책임자     | 기재하지 않음   |
| 과제명                   | 바이오매스 유래 나노셀룰로오스계 첨가제를 활용한 생분해성 복합체 개발 |                            |         | 과제유형      | (개발)      |
| 연구개발기관                | 한솔제지                                   |                            |         | 연구책임자     | 김정수       |
| 연구기간<br>연구개발비<br>(천원) | 연차                                     | 기간                         | 정부      | 민간        | 계         |
|                       | 1차년도                                   | 2021.04.01.<br>~2021.12.31 | 370,000 | 103,140   | 473,140   |
|                       | 2차년도                                   | 2022.01.01.<br>~2022.12.31 | 500,000 | 128,720   | 628,720   |
|                       | 3차년도                                   |                            |         |           |           |
|                       | 4차년도                                   |                            |         |           |           |
|                       | 5차년도                                   |                            |         |           |           |
|                       | 계                                      | 2021.04.01.<br>~2022.12.31 | 870,000 | 231,860   | 1,101,860 |
| 참여기업                  | 안코바이오플라스틱스, 한국생산기술연구원                  |                            |         |           |           |
| 상대국                   | -                                      | 상대국연구개발기관                  | -       |           |           |

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2023.02.21

3. 평가자(연구책임자) :

|      |    |     |
|------|----|-----|
| 소속   | 직위 | 성명  |
| 한솔제지 | 수석 | 김정수 |

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

|    |     |
|----|-----|
| 확약 | 김정수 |
|----|-----|



## I. 연구개발실적

다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

### 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

본 연구과제는 친환경 신소재로 평가받고 있는 셀룰로오스 나노섬유를 생분해성 플라스틱에 활용하기 위하여 수분이 제거된 셀룰로오스 제품형태를 개발하였으며, 기계적 물성의 향상을 위해 분산성의 향상과 고분자-셀룰로오스 간 Interaction을 구현한 측면에서 새로운 소재의 상업적 이용에 대한 단초를 제시한 의의가 있다.

개발 과정에서 셀룰로오스의 Morphology 조절, 평가법 표준화 및 공정 최적화 연구가 진행되었으며, 계면활성제의 개발, 컴파운딩 기술 최적화 등 다양한 챌린지에 대해 각 기관들이 계획된 연구개발을 성실히 수행하였다. 최종 개발 목표인 시제품 1건 이외 추가적으로 시제품 1건을 개발하였으며, 사출용 수지에 대해서는 컴파운드까지 제조하여 향후 추가적인 활용성을 기대할 수 있게 되었다. 향후 수요/생산량 확대에 의한 고정비 절감이 가능하게 되면 충분히 상용화 될 수 있는, 기반 기술을 확보한 것으로 평가할 수 있다.

### 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

기계적 물성이 상대적으로 낮은 수준인 생분해성 필름에 대해 기존의 PE필름 수준의 물성 대비 우수한 기계적 물성을 확보하여, 기술적인 적용 가능성이 우선 검증되었다. 뿐만 아니라 사출 레진에도 적용 가능성이 확인되었기 때문에, 향후 생분해성 플라스틱의 사용이 확대되는데 긍정적으로 영향할 것으로 예상된다. 셀룰로오스 섬유 복합재료 개발은 생분해성 플라스틱 분야 뿐 만 아니라 고무, 폴리우레탄 등 기존 산업에도 최근이 친환경 요구에 대응하여 적용될 수 있는 가능성이 높고, 생분해 플라스틱이라는 신규 시장이 창출될 수 있기 때문에, 향후 여러 분야에서 다양한 시도들이 일어날 것으로 예상되며, 친환경 소재의 활용성 증가에 기여가 클 것으로 판단한다.

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

본 연구과제를 통해 요구되는 기술 요소들은 대부분 해결되었다고 볼 수 있다. 향후 수요 확대를 통해 고정비 절감 효과가 있는 시점에서 기업에서의 설비 투자가 이루어질 수 있다. 현재는 '25년으로 예상되며 이후 일회용 봉투, 멀칭 필름, 일회용 사출제품 등 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 뿐만 아니라, 연구 기간 동안 축적된 노하우를 바탕으로 폴리우레탄 폼 (연질폼) 분야인 매트리스, 자동차 시트, 완충폼 등과 전동벨트, 타이어 등 고무 적용 분야에도 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

1년 9개월이라는 연구개발 기간 동안, 맞춤형 소재 개발 및 스케일업, 계면활성제/콜로이드달 파티클 기술 개발에 의한 상용성 확보, 컴파운딩 기술 최적화 및 시제품 제조가 이루어졌다. 각 참여기관들의 역할을 매우 성실히 수행한 결과로 판단한다.

### 5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

논문 1건, 학회 발표 5건, 특허 출원 6건 (등록 1건), 전시회 출품 3건 등 개발성과를 활용하기 위한 적극적인 활동들이 진행되었다. 과제 종료 이후에도 전시회 등 홍보 활동들은 나노코리아, KOREA PACK 등에 기업들이 참여하면서 지속적으로 이어질 것으로 예상된다.

## II. 연구목표 달성도

| 세부연구목표<br>(연구계획서상의 목표)                        | 비중<br>(%) | 달성도<br>(%) | 자체평가 |
|---|-----------|------------|------|
| 수지복합화에 적합한 맞춤형 셀룰로오스 복합 제품 개발                 | 40        | 100        | 우수   |
| 셀룰로오스와 생분해 고분자의 혼화성을 증대할 수 있는 첨가제 및 복합화 기술 개발 | 30        | 100        | 우수   |
| 나노셀룰로오스와 생분해 고분자의 복합화를 통한 일회용 봉투 등 제품 개발      | 30        | 100        | 우수   |
| 합계  | 100       |            |      |

## III. 종합의견

### 1. 대한 종합의견

본 연구는 생분해플라스틱의 활용성을 높일수 있는 기술 포인트를 기계적 물성 향상에 있다고 보고, 나노셀룰로오스계 첨가제를 활용하여 기계적 물성을 보완할 수 있는 기술 개발을 하는 것을 목표로 하였다. 이때 타겟 물성은 기존 PE필름의 물성 수준을 잡았고, 수지 내 셀룰로오스 섬유 분산성 향상과 수지와 셀룰로오스 섬유간 상용성 확보를 통해 기계적 물성을 향상시키고자 하였다. 셀룰로오스의 Morphology 최적화 및 나노화 공정 최적화, 첨가제의 개발, 컴파운딩을 통한 마스터 배치 제조의 단계를 통해 인장강도 20% 향상을 검증할 수 있었다. 최종적으로 생분해성 일회용 봉투 시제품을 생산하였고 (1톤), 기술적인 활용성이 검증되었다고 볼 수 있다. 뿐만 아니라 생분해성 멀칭 필름에 대한 시제품도 생산하여 확인을 하였다. 따라서 과제 목표를 달성하기 위한 세부 기술 요소들이 잘 수행된 것으로 판단하였다.

### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

사업화 부분은 과제 종료후 2년~3년 후부터 매출이 발생할 수 있을 것으로 예상된다. 충분한 판매량 및 생산량이 확보되어야 고정비 절감 효과를 바탕으로 사용자가 부담할 수 있는 원가증가분을 최소화 할 수 있기 때문이다. 이를 위하여 한솔제지는 생분해 플라스틱 뿐만 아니라, 화장품, 코팅제, 고무벨트, 매트리스 폼 등 다양한 분야의 시제품 개발을 동시에 진행하고 있다.

### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

한솔제지는 '23년 하반기 양산설비 투자 검토, '24년 설비 구축, '25년 사업화 시작의 계획을 가지고 있다. 본 연구개발 성과를 포함하여, 자동차 시트, 전자제품 완충재, 전동 벨트, 접착제, 이차전지 전극 소재 등 다양한 분야에 적용될 수 있는 소재 개발을 통해 친환경 신소재의 사업화를 이루어 나갈 계획이다.

## 연구성과 활용계획서

### 1. 연구과제 개요

|          |   |           |                |
|----------|---|-----------|----------------|
| 사업추진형태   | <input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제  | 분 야       | 임산가공-임산화학-복합재  |
| 연구과제명    | 바이오매스 유래 나노셀룰로오스계 첨가제를 활용한 생분해성 복합체 개발  |           |                |
| 주관연구개발기관 | 한솔제지  |           | 주관연구책임자<br>김정수 |
| 연구개발비    | 정부지원<br>연구개발비   | 기관부담연구개발비 | 기타             |
|          | 870,000   | 231,860   | -              |
| 연구개발기간   | 2021. 04. 01. - 2022. 12. 31 (1년 9개월)   |           |                |
| 주요활용유형   | <input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타(        )<br><input checked="" type="checkbox"/> 미활용 (사유: 한솔제지 및 안코바이오플라스틱스가 직접 실시) |           |                |

### 2. 연구목표 대비 결과

| 당초목표  | 당초연구목표 대비 연구결과 |
|---|----------------|
| ① 수지복합화에 적합한 맞춤형 셀룰로오스 복합 제품 개발                 | 목표 달성          |
| ② 셀룰로오스와 생분해 고분자의 혼화성을 증대할 수 있는 첨가제 및 복합화 기술 개발 | 목표 달성          |
| ③ 나노셀룰로오스와 생분해 고분자의 복합화를 통한 일회용 봉투 등 제품 개발      | 목표 달성          |

### 3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

| 성과 목표   | 사업화지표  |      |      |                               |            |     |     |     |     |       | 연구기반지표 |      |       |         |      |       |       |          |         |                |
|---------|--------|------|------|-------------------------------|------------|-----|-----|-----|-----|-------|--------|------|-------|---------|------|-------|-------|----------|---------|----------------|
|         | 지식 재산권 |      |      |                               | 기술 실시 (이전) |     | 사업화 |     |     |       | 기술인증   | 학술성과 |       |         |      | 교육 지도 | 인력 양성 | 정책 활용·홍보 |         | 기타 (타연구활용액)(명) |
|         | 특허출원   | 특허등록 | 품종등록 | S M A R T P R O T E C T I O N | 건수         | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용 창출 |        | 투자유치 | 논문    |         | 학술발표 |       |       | 정 책 활 용  | 홍 보 전 시 |                |
|         |        |      |      |                               |            |     |     |     |     |       |        |      | S C I | 비 S C I |      |       |       |          |         |                |
| 단위      | 건      | 건    | 건    | 건                             | 건          | 백만원 | 건   | 백만원 | 백만원 | 명     | 백만원    | 건    | 건     | 건       | 명    | 건     | 건     |          |         |                |
| 가중치     | 20     | 20   |      |                               |            |     |     |     |     | 20    |        |      | 10    | 10      |      |       | 20    |          |         |                |
| 최종 목표   | 4      | 2    |      |                               |            |     |     |     |     | 7     |        |      | 3     | 6       | 4    |       |       | 2        |         |                |
| 당해 년도   | 목표     | 2    | 2    |                               |            |     |     |     |     | 4     |        |      | 2     | 4       | 2    |       |       | 1        |         |                |
|         | 실적     | 5    | 1    |                               |            |     |     |     |     | 4     |        |      | 1     | 4       | 3    |       |       | 3        |         |                |
| 달성률 (%) | 250    | 50   |      |                               |            |     |     |     |     | 100   |        |      | 50    | 100     | 150  |       |       | 300      |         |                |

4. 핵심기술

| 구분 | 핵심기술명                                |
|----|--------------------------------------|
| ①  | 셀룰로오스 섬유 Morphology 조절기술             |
| ②  | 생분해고분자-셀룰로오스 간 혼화성을 증가시킬 수 있는 첨가제 개발 |
| ③  | 셀룰로오스계 복합재료 컴파운딩 기술                  |

5. 연구결과별 기술적 수준

| 구분    | 핵심기술 수준 |       |         |            |            | 기술의 활용유형(복수표기 가능) |             |         |       |    |
|-------|---------|-------|---------|------------|------------|-------------------|-------------|---------|-------|----|
|       | 세계 최초   | 국내 최초 | 외국기술 복제 | 외국기술 소화·흡수 | 외국기술 개선·개량 | 특허 출원             | 산업체이전 (상품화) | 현장애로 해결 | 정책 자료 | 기타 |
| ①의 기술 |         | v     |         |            |            | v                 | v           |         |       | v  |
| ②의 기술 | v       |       |         |            |            | v                 | v           |         |       |    |
| ③의 기술 |         | v     |         |            |            |                   | v           |         |       | v  |

\* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

| 핵심기술명 | 핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과 |
|-------|-----------------------|
| ①의 기술 | 상품화에 적용               |
| ②의 기술 | 기술 이전                 |
| ③의 기술 | 상품화에 적용               |

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

| 성과 목표         | 사업화지표  |      |      |           |            |     |     |     |     |       | 연구기반지표 |      |        |         |       |       |           |       |             |
|---------------|--------|------|------|-----------|------------|-----|-----|-----|-----|-------|--------|------|--------|---------|-------|-------|-----------|-------|-------------|
|               | 지식 재산권 |      |      |           | 기술 실시 (이전) |     | 사업화 |     |     |       | 기술 인증  | 학술성과 |        |         | 교육 지도 | 인력 양성 | 정책 활용·홍보  |       | 기타 (타연구활용등) |
|               | 특허출원   | 특허등록 | 품종등록 | S M A R T | 건수         | 기술료 | 제품화 | 매출액 | 수출액 | 고용 창출 |        | 투자유치 | 논문 SCI | 논문 비SCI |       |       | 논문 평균 I F | 학술 발표 |             |
| 단위            | 건      | 건    | 건    | 건         | 건          | 백만원 | 건   | 백만원 | 백만원 | 명     | 백만원    | 건    | 건      | 건       | 건     | 명     | 명         | 건     | 건           |
| 가중치           | 20     | 20   |      |           |            |     |     |     |     | 20    |        |      |        | 10      | 10    |       |           |       | 20          |
| 최종목표          | 4      | 2    |      |           | 1          | 39  | 1   | 285 |     | 7     |        | 3    |        | 6       | 4     |       |           |       | 4           |
| 연구기간내 달성실적    | 6      | 1    |      |           |            |     |     |     |     | 7     |        | 1    |        | 4       | 5     |       |           |       | 3           |
| 연구종료후 성과창출 계획 |        | 5    |      |           | 1          | 39  | 1   | 500 |     | 5     |        | 2    |        | 2       |       |       |           |       | 3           |

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

|                          |   |                       |          |
|--------------------------|---|-----------------------|----------|
| 핵심기술명 <sup>1)</sup>      | 생분해고분자-셀룰로오스 간 혼화성을 증가시킬 수 있는 첨가제 개발  |                       |          |
| 이전형태                     | <input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상  | 기술료 예정액               | 50,000천원 |
| 이전방식 <sup>2)</sup>       | <input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협약결정<br><input type="checkbox"/> 기타( ) |                       |          |
| 이전소요기간                   | 1년  | 실용화예상시기 <sup>3)</sup> | 2025년    |
| 기술이전시 선행조건 <sup>4)</sup> | 생산 설비 및 장비 보유 업체 대상   |                       |          |

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리  
 통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

성적서 Test - 용융흐름지수 필름용(쇼핑봉투용)

**TEST REPORT**

주 12014 경기도 과천시 과학원로 99층(합동) TEL: 02-3374-8100 FAX: 02-3374-8888  
 연락처: 156-202-0311 출 수 일 자: 2023년 02월 07일  
 대 표 자: 김현영 시험번호일자: 2023년 02월 21일  
 대 표 명: (주)한국화학융합시험연구원  
 주 소: 강원 원주시 문막읍 문막공단길 216  
 시 료 명: DC8000J (TH04T+PLA0200)

**시험결과**

| 시험항목                   | 단위      | 시험구분 | 결과치 | 시험방법                   |
|------------------------|---------|------|-----|------------------------|
| 용융흐름지수(190도, 2.1kg, A) | g/10min | -    | 3.5 | KS M ISO 1103-1 : 2012 |

비고: 1. 본 성적서는 시험자가 제시한 시료 및 시험방법에 의거한 결과로서 현재 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인에는 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
 2. 본 성적서는 원료, 연료, 온도 및 속도를 임의로 사용할 수 없으며, 원료, 연료의 사용을 증명합니다.  
 3. 본 성적서는 시험(재)방법에 포함된 표준품에, 시험 및 검사 인체(재)방법은 문제가 없음을 증명합니다.  
 본 성적서는 KCS 인증번호 1195 및 KTLAS 인증번호에 대한 품질을 증명합니다.

2023년 02월 21일  
**KTR 한국화학융합시험연구원장**  
 대표이사: 김현영  
 Tel: 02-330-3300

성적서 Test - 용융흐름지수 필름용(멀칭필름용)

**TEST REPORT**

주 12014 경기도 과천시 과학원로 99층(합동) TEL: 02-3374-8100 FAX: 02-3374-8888  
 연락처: 156-202-0311 출 수 일 자: 2023년 02월 07일  
 대 표 자: 김현영 시험번호일자: 2023년 02월 21일  
 대 표 명: (주)한국화학융합시험연구원  
 주 소: 강원 원주시 문막읍 문막공단길 216  
 시 료 명: DC8000J (TH04T+PLA0200)

**시험결과**

| 시험항목                   | 단위      | 시험구분 | 결과치 | 시험방법                   |
|------------------------|---------|------|-----|------------------------|
| 용융흐름지수(190도, 2.1kg, A) | g/10min | -    | 3.6 | KS M ISO 1103-1 : 2012 |

비고: 1. 본 성적서는 시험자가 제시한 시료 및 시험방법에 의거한 결과로서 현재 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인에는 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
 2. 본 성적서는 원료, 연료, 온도 및 속도를 임의로 사용할 수 없으며, 원료, 연료의 사용을 증명합니다.  
 3. 본 성적서는 시험(재)방법에 포함된 표준품에, 시험 및 검사 인체(재)방법은 문제가 없음을 증명합니다.  
 본 성적서는 KCS 인증번호 1195 및 KTLAS 인증번호에 대한 품질을 증명합니다.

2023년 02월 21일  
**KTR 한국화학융합시험연구원장**  
 대표이사: 김현영  
 Tel: 02-330-3300

성적서 Test - 용융흐름지수 사출용

**시험성적서**

1. 발 주 서 번 호: CT23-002874  
 2. 의뢰자: ○ 원 재 명: 주식회사 한국화학융합시험연구원  
 ○ 주 소: 강원도 원주시 문막읍 문막공단길 216 (본계리)  
 3. 시험기간: 2023년 01월 18일 ~ 2023년 02월 13일  
 4. 시험항목의 품도: 표재번호서  
 5. 시 료 명: CNF 적용 색소 샘플(사출용)  
 6. 시험방법: (1) ASTM D 1238-21E01  
 7. 시험결과: (1) CNF 적용 색소 샘플(사출용)

| 시험항목                   | 단위      | 시험방법 | 시험결과 | 비 고 | 시험 표준 |
|------------------------|---------|------|------|-----|-------|
| 용융흐름지수(190도, 2.1kg, A) | g/10min | (1)  | 3.5  | -   | KS    |

주 소명: A : (주)한국화학융합시험연구원

2023년 02월 13일  
**한국건설생활환경시험연구원장**

발주처명: (주)한국화학융합시험연구원 (주)한국화학융합시험연구원 (주)한국화학융합시험연구원  
 연락처: 02-330-3300

성적서 Test - 필름 인장강도, 신장률

**시험성적서**

1. 발 주 서 번 호: CT23-002874  
 2. 의뢰자: ○ 원 재 명: 주식회사 한국화학융합시험연구원  
 ○ 주 소: 강원도 원주시 문막읍 문막공단길 216 (본계리)  
 3. 시험기간: 2023년 01월 05일 ~ 2023년 02월 07일  
 4. 시험항목의 품도: 표재번호서  
 5. 시 료 명: CNF 적용 필름 샘플  
 6. 시험방법: (1) KS M 3001-2020에 준함  
 7. 시험결과: (1) CNF 적용 필름 샘플

| 시험항목       | 단위  | 시험방법 | 시험결과 | 비 고     |
|------------|-----|------|------|---------|
| 인장 강도 - 가로 | MPa | (1)  | 4.48 | (표재번호서) |
| 인장 강도 - 세로 | MPa | (1)  | 4.53 | (표재번호서) |
| 신장률 - 가로   | %   | (1)  | 4.02 | (표재번호서) |
| 신장률 - 세로   | %   | (1)  | 3.81 | (표재번호서) |

비고: 1. 이 성적서는 시험자가 제시한 시료 및 시험방법에 의거한 결과로서 현재 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인에는 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
 2. 이 성적서는 원료, 연료, 온도 및 속도를 임의로 사용할 수 없으며, 원료, 연료의 사용을 증명합니다.  
 3. 이 성적서는 시험(재)방법에 포함된 표준품에, 시험 및 검사 인체(재)방법은 문제가 없음을 증명합니다.  
 4. 이 성적서의 진위확인에는 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.

2023년 02월 07일  
**한국건설생활환경시험연구원장**

발주처명: (주)한국화학융합시험연구원 (주)한국화학융합시험연구원 (주)한국화학융합시험연구원  
 연락처: 02-330-3300



## 시험성적서

1. 성적서 번호 : 021-0665296  
 2. 품목명 : 주사침사 한국생이오물라스틱스  
 3. 시험기간 : 2021년 08월 12일 - 2021년 08월 22일  
 4. 시험성적서의 용도 : 원고용(의뢰자 확인)  
 5. 시료명 : T1  
 6. 시험방법 : (1) 사용용 기구 및 용기모양, 공정에 관한  
 7. 시험결과 : 1) T1

| 시험항목           | 단위  | 시험방법 | 시험결과 | 비고 |
|----------------|-----|------|------|----|
| 중량 함량(%)       | wt% | T1   | 불응용  | -  |
| 중량 분산도(중량분산비율) | wt% | T1   | 1    | -  |
| 중량 분산도(4% 초과)  | wt% | T1   | 불    | -  |
| 중량 분산도(5% 초과)  | wt% | T1   | 불    | -  |
| 중량 분산도(10% 초과) | wt% | T1   | 불    | -  |
| 중량 분산도(20% 초과) | wt% | T1   | 불    | -  |
| 중량 분산도(30% 초과) | wt% | T1   | 불    | -  |

▶ 제품 : Polyethylene

확인: 박성길, 이효근

기술책임자: 박경훈

2021년 08월 22일

한국건설생활환경시험연구원

주소: 06650 서울특별시 영등포구 신길1로111, 500 (구신길) 제 002100-0967




## 시험성적서

1. 성적서 번호 : 021-0665296  
 2. 품목명 : 주사침사 한국생이오물라스틱스  
 3. 시험기간 : 2021년 08월 10일 - 2021년 08월 22일  
 4. 시험성적서의 용도 : 원고용(의뢰자 확인)  
 5. 시료명 : T2  
 6. 시험방법 : (1) 사용용 기구 및 용기모양, 공정에 관한  
 7. 시험결과 : 1) T2

| 시험항목           | 단위  | 시험방법 | 시험결과 | 비고 |
|----------------|-----|------|------|----|
| 중량 함량(%)       | wt% | T1   | 불응용  | -  |
| 중량 분산도(중량분산비율) | wt% | T1   | 1    | -  |
| 중량 분산도(4% 초과)  | wt% | T1   | 10   | -  |
| 중량 분산도(5% 초과)  | wt% | T1   | 5    | -  |
| 중량 분산도(10% 초과) | wt% | T1   | 9    | -  |
| 중량 분산도(20% 초과) | wt% | T1   | 11   | -  |
| 중량 분산도(30% 초과) | wt% | T1   | 10   | -  |

▶ 제품 : Polyethylene

확인: 박성길, 이효근

기술책임자: 박경훈

2021년 08월 22일

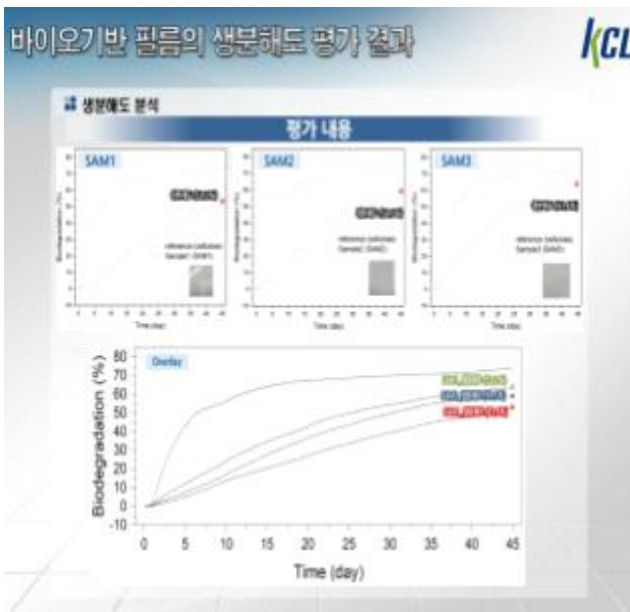
한국건설생활환경시험연구원

주소: 06650 서울특별시 영등포구 신길1로111, 500 (구신길) 제 002100-0967



외부기관 시험결과 - 생분해도 평가결과

시험접수증 - 퇴비화조건 생분해도 평가



## 접수증

발주처(회사): (주)한국건설생활환경시험연구원

발주명: (주)한국건설생활환경시험연구원

주소: 서울특별시 영등포구 신길1로111, 500 (구신길) 제 002100-0967

발주처: KCLAS(주)한국건설생활환경시험연구원

시료명: CNF 적용 필름 샘플

시료수량: 1

접수일자: 2021-01-02

발주금액: 6,005,000 원

시험항목: 퇴비화 조건 생분해도 평가

발주금액: 600,500 원

합계: 6,605,500 원

※ 안내사항

- 시험결과 문의사항은 우리연구원 홈페이지(www.kcl.or.kr) "시험결과조회"를 이용하여 안내받을 수 있습니다.
- 시험결과서의 인터넷주소는 http://www.kcl.or.kr "회원관리" > "고객서비스" > "성적서조회" 상에서 다운로드 가능 합니다.
- 시험의 보유기간은 성적서 최종발행일로부터 4년 3개월 초과하지 않으며, 보유기간 경과 후에는 자동 폐기됩니다. (필요한 경우 문의사항이 있는 경우에는 그외 가능함)
- 성적서의 재발행 가능기간은 최종발행일로부터 4년입니다. (재발행서는 재발행 불가)
- 시험결과 후 성적서의 분할발급, 정보변경(이름, 연락처, 대표자, 주소 등 포함) 및 취소는 불가능합니다.
- 발주처에 오류(오류) 통지 확인된 경우, 수정 가능기간은 최종발행일로부터 1년 이내입니다.
- 시험 종료 전 취소신청시 시험진행상황에 따른 수수료 차감 후 환불 됩니다.

시험 진행 10% 이내인 경우에는 수수료 10% 차감

※ 시험발행금액의 10% 환불 가능합니다. FAX발송

문의처: 국민은행 - 계좌번호: 164-01-0001-515 | 계급부: 한국건설생활환경시험연구원

(재)한국건설생활환경시험연구원

[http://www.kcl.or.kr, 인공영역서 남동구 당포로 111]

the way to find **KCL**

## 시험성적서

성적서번호 : CT23-000194K  
 2. 시험결과

■ 시험 결과

| 구분                  | 이산화탄소 발생량에 의한<br>표준화 질량 생분해도 (%) | 시험기간 (일) | 검출사항                         |
|---------------------|----------------------------------|----------|------------------------------|
| 표준물질<br>(GalT1996)  | 95.00                            | 45       | 원래의 함수율, 색상, 냄새 등<br>특이사항 없음 |
| 시험물질                | 93.02                            |          |                              |
| 표준물질 대비<br>생분해도 (%) | 97.79                            |          |                              |

■ 유효성 평가 기준

1. 표준물질의 시험 45일 이내에 75% 이상 분해되었는가?  예  아니오

2. 시험한 표준 시험물 표준물질이 담긴 시 용기의 무게변화 3%과 0.5% 이내인가?  
 (예, 즉 시험물 변화도 3%과 10% 이내인가) → 결과별로 생분해도 계산함 (표준화)  예  아니오

3. 해당 시험에서 시험 시작 3일 이내에 원래의 무게와 1g의 차생되는 이산화탄소의 양이 평균 150-300 mg의 범위에 속하는가?  예  아니오

- 다음페이지 계속 -

본 기 용의 본 기 용이다      연락처: 02-41-0311



the way to find **KCL**

## 시험성적서

성적서번호 : CT23-000194K

■ 생분해도 시험조건

45 x 150 14000-12012에 호리 2,7 L 의 직사육 용기에 각기 340 g, 표준물질 및 시험물질로 20 g (표준물질 및 시험물질의 건조 무게의 5%를 총합하여, (2.58 x 2) g 의 양으로 유지되고, 5.5%의 수분함, 3.0%의 산소와 1.0%의 이산화탄소) 이산화탄소 발생량, 질량에 의해 45 일 동안 해당 필름 필름 한 이산화탄소 발생 측정하였다.

<표준물질>

표준물질은 필름의 크기가 25 x 40 cm의 1.12(적외, 코폴리머(2.58)) 필름 표준물질은 (Bioga-Air-100, LGA)를 사용하였다.

<총 유기 탄소(TOC)>

이학적 이산화탄소 발생량과 계산한 무게, 표준화 표준물질 및 시험물질의 총 유기 탄소 (TOC)는 45 x 150 14000-12012에 호리 측정하였다.

<표준물질>

표준물질은 2000년 10월 20일 2000년 10월 20일 사용하였다.

| 구분   | 유기 탄소량 | TOC                    | 총 건조<br>고형물 함량 (%)    | 표준화 고형물 함량 (%)        | TOC (%)               | TOC (%) |
|------|--------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|
| 표준물질 | 20.44  | 11.34                  | 36.50                 | 35.21                 | 18.21                 | 18.21   |
| 시험물질 | -      | 7.6 x 10 <sup>-3</sup> | 10 x 10 <sup>-3</sup> | 15 x 10 <sup>-3</sup> | 30 x 10 <sup>-3</sup> | 19.40   |

<표준물질 및 시험물질 분석>

| 구분                 | 총 건조<br>고형물 함량 (%) | 표준화 고형물 함량 (%) | TOC (%) | TOC (%) |
|--------------------|--------------------|----------------|---------|---------|
| 표준물질<br>(GalT1996) | 37.30              | 37.20          | 42.31   | 33.31   |
| 시험물질               | 36.08              | 39.30          | 52.80   | 36.57   |

- 다음페이지 계속 -

본 기 용의 본 기 용이다      연락처: 02-41-0311




the way to find **KCL**

## 시험성적서

성적서번호 : CT23-000194K


<표준물질>



<표준물질>




<시험물질>



- 다음페이지 계속 -

본 기 용의 본 기 용이다      연락처: 02-41-0311

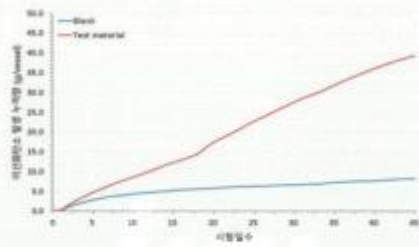


the way to find **KCL**

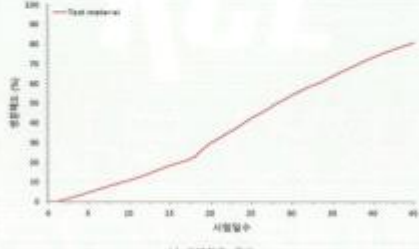
## 시험성적서

성적서번호 : CT23-000194K

■ 이산화탄소 누적 발생량 및 생분해도 그래프 - 시험물질




4) 이산화탄소 누적 발생량 곡선



5) 생분해도 곡선

본 기 용의 본 기 용이다      연락처: 02-41-0311





성적서 Test - 원료 EU REACH(필름용)

성적서 Test - 원료 EU REACH(사출용)

**SGS**  
**Test Report No. F0801017.CT69AA2.4431** Issued Date: 2022. 11. 29 Page 1 of 6

**ANKOR BIOPLASTICS CO., LTD.**  
 216 Munmugongda-gil, Munmug-eup  
 Wonsu-si, Gangwon-do  
 Korea

The following sample(s) was/were submitted and identified by/on behalf of the client as:-

**SGS File No.** : AYAA22-4431  
**Product Name** : B20000  
**Item No./Part No.** : NA  
**Received Date** : 2022. 11. 22  
**Test Period** : 2022. 11. 22 to 2022. 11. 29

**Test Requested** : As requested by client, SVHC screening is performed according to:  
 - Two hundred and forty-four (244) substances in the Candidate List of Substances of Very High Concern (SVHC) published by European Chemicals Agency (ECHA) on June 18, 2022 regarding Regulation (EC) No. 1907/2006 concerning the REACH.  
 - Nine (9) substances newly included in the Candidate List of Substances of Very High Concern (SVHC) published by European Chemicals Agency (ECHA) on September 2, 2022 regarding Regulation (EC) No. 1907/2006 concerning the REACH.

**Test Method** : Please refer to test page(s).  
**Test Result(s) Summary** : According to the specified scope and evaluation screening, the test results of SVHC are as follows in the articles of the submitted article(s).

SGS Korea Co., Ltd.  
  
 Tommy Oh / Chemical Lab Mgr

**SGS**  
**Test Report No. F0801017.CT69AA2.4431** Issued Date: 2022. 11. 29 Page 1 of 6

**ANKOR BIOPLASTICS CO., LTD.**  
 216 Munmugongda-gil, Munmug-eup  
 Wonsu-si, Gangwon-do  
 Korea

The following sample(s) was/were submitted and identified by/on behalf of the client as:-

**SGS File No.** : AYAA22-4431  
**Product Name** : B20000  
**Item No./Part No.** : NA  
**Received Date** : 2022. 11. 22  
**Test Period** : 2022. 11. 22 to 2022. 11. 29

**Test Requested** : As requested by client, SVHC screening is performed according to:  
 - Two hundred and forty-four (244) substances in the Candidate List of Substances of Very High Concern (SVHC) published by European Chemicals Agency (ECHA) on June 18, 2022 regarding Regulation (EC) No. 1907/2006 concerning the REACH.  
 - Nine (9) substances newly included in the Candidate List of Substances of Very High Concern (SVHC) published by European Chemicals Agency (ECHA) on September 2, 2022 regarding Regulation (EC) No. 1907/2006 concerning the REACH.

**Test Method** : Please refer to test page(s).  
**Test Result(s) Summary** : According to the specified scope and evaluation screening, the test results of SVHC are as follows in the articles of the submitted sample(s).

SGS Korea Co., Ltd.  
  
 Tommy Oh / Chemical Lab Mgr

성적서 Test - 원료 RoHS(필름용)

성적서 Test - 원료 RoHS(사출용)

**SGS**  
**Test Report No. F0801017.CT69AA22.4431** Issued Date: 2022. 11. 29 Page 1 of 6

**ANKOR BIOPLASTICS CO., LTD.**  
 216 Munmugongda-gil, Munmug-eup  
 Wonsu-si, Gangwon-do  
 Korea

The following sample(s) was/were submitted and identified by/on behalf of the client as:-

**SGS File No.** : AYAA22-4431  
**Product Name** : B20000  
**Item No./Part No.** : NA  
**Received Date** : 2022. 11. 22  
**Test Period** : 2022. 11. 22 to 2022. 11. 29

**Test Results** : For further details, please refer to following page(s).

SGS Korea Co., Ltd.  
  
 Tommy Oh / Chemical Lab Mgr

**SGS**  
**Test Report No. F0801017.CT69AA22.4431** Issued Date: 2022. 11. 29 Page 1 of 6

**ANKOR BIOPLASTICS CO., LTD.**  
 216 Munmugongda-gil, Munmug-eup  
 Wonsu-si, Gangwon-do  
 Korea

The following sample(s) was/were submitted and identified by/on behalf of the client as:-

**SGS File No.** : AYAA22-4431  
**Product Name** : B20000  
**Item No./Part No.** : NA  
**Received Date** : 2022. 11. 22  
**Test Period** : 2022. 11. 22 to 2022. 11. 29

**Test Results** : For further details, please refer to following page(s).

SGS Korea Co., Ltd.  
  
 Tommy Oh / Chemical Lab Mgr

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 목질계 바이오에너지 산업화 연구개발사업 바이오매스 유래 나노셀룰로오스계 첨가제를 활용한 생분해성 복합체 개발 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 목질계 바이오에너지 산업화 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.