

321078-02

미이용
산림바이오매스를
활용한
펠릿
제조 시
불순물
제거
기술
개발

최
종
보
고
서

2022

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
농업에너지 자립형산업모델 기술개발 사업 2022년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004393-01

미이용 산림바이오매스를 활용한 펠릿 제조 시 불순물 제거 기술 개발

2023.06.07

주관연구기관 / (주)신영이앤피
협동연구기관 / 해표산업(주)

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “미이용 산림바이오매스를 활용한 펠릿 제조 시 이물질 제거 기술 개발”
(개발기간 : 2021. 04. ~ 2022. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023.06.07

주관연구기관명 : (주)신영이앤피 채현규



협동연구기관명 : 해표산업(주) 홍동호



주관연구책임자 : 채현규

협동연구책임자 : 윤경석

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	농업에너지 자립형 산업모델 기술개발			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)	목질계 바이오에너지 산업화			연구개발과제번호		321078-2	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	1순위 EF0603	60%	2순위 EA0804	40%	3순위	%
	농림식품 과학기술분류	1순위 CA0203	60%	2순위 RC0302	40%	3순위	%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		미이용 산림바이오매스를 활용한 펠릿 제조 시 불순물 제거 기술 개발					
전체 연구개발기간		2021.04.01.~2022.12.31					
총 연구개발비		총 1,118,400 천원 (정부지원연구개발비: 870,000 천원, 기관부담연구개발비 : 248,400 천원, 지방자치단체: 0 천원, 그 외 지원금: 0 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(2) 종료시점 목표(6)	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	(소형 제조시설을 기반으로) 미이용 산림바이오매스의 펠릿 제 조를 위해 불순물(흄모래 등 회분) 제거 등 전처리 기술개발					
	전체 내용	<p>○ 1차년(2021년도) 미이용 산림바이오매스 펠릿 제조시 불순물 혼입 사례 조사 및 형상별 불순물 제거 실험을 통한 데이터 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> - 구축한 실험 데이터를 기반으로 산림바이오매스 수집 또는 가공 공정에서 불순물 제거 공정 설계 - 설비 최소화를 위해 기존 불순물 제거기보다 컴팩트화 설계 - 목질계 바이오매스에 대한 톱압화 전, 후 공정에서 물리적 불순물 제거기술 개발 - 수종별, 목재 부위별 특화된 불순물 제거기술 개발을 통한 펠릿 품질 개선 - 불순물 제거 시작기 요소별 구조해석 - 바이오매스 열화학적 물성 분석 <p>○ 2차년(2022년도) 미이용 산림바이오매스 펠릿 전처리 공정의 현장 실증</p> <ul style="list-style-type: none"> - 불순물 제거 시작기 소요 동력 및 경제성 분석 - 시제품 제작 및 단시간 테스트, 연속가동 테스트 시행 - 불순물 제거 공정을 실제 목재펠릿 생산에 적용하여 펠릿품질 개선 효과 검증 					
연구개발성과							

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> - 불순물 제거장치를 통해 제조된 목재펠릿 제품은 국립산림과학원(국립산림과학원고시 제2020-3호) 품질규격 중 산업용 1등급을 충족하여 산업화 가능하도록 함 - 연구개발을 통해 마련된 실증설비는 미이용 산림바이오매스를 연계기술 부족으로 인해 어려움에 처한 지역 소규모 제조시설에 기술이전하여 분산형 에너지 공급체계 구축에 기여하고 동시에 수입산 목재펠릿의 무분별한 국내 유입을 대체할 수 있도록 함 - 경제적 기대 효과 											
	구분		2024년	2025년	2026년	2027년	2028년	합계				
	매출 추정액		2,400	5,600	10,000	12,800	14,400	45,200				
	생산유발효과		7,979	18,617	33,245	42,553	47,872	150,266				
	부가가치유발효과		1,555	3,628	6,478	8,292	9,328	29,281				
	고용유발효과		16	37	67	86	96	302				
	수입유발효과		845	1,972	3,522	4,508	5,072	15,919				
연구개발성과의 비공개여부 및 사유												
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
		2						생명 정보	생물 자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설 ·장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호		
국문핵심어 (5개 이내)	미이용 산림바이오매스		목재펠릿		전처리		불순물		소형화			
영문핵심어 (5개 이내)	Unused forest biomass		Wood pellet		Pretreatment		Impurity		downsizing			

최종보고서							보안등급				
							일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]				
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		농업에너지 자립형산업모델 기술개발				
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			내역사업명 (해당 시 작성)		목질계바이오에너지산업화				
공고번호		농림축산식품부 공고 제 농축2021-27호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		연구개발과제번호				
							321078-2				
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 EF0603	60%	2순위 EA0804	40%	3순위	%				
	농림식품과학기술분류	1순위 CA0203	60%	2순위 RC0302	40%	3순위	%				
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문									
		영문									
연구개발과제명		국문		미이용 산림바이오매스를 활용한 펠릿 제조 시 불순물 제거 기술 개발							
		영문		Development of Impurity Removal Technology for Pellets Manufacturing Using Unused Forest Biomass							
주관연구개발기관		기관명		(주)신영이앤피		사업자등록번호		317-81-00358			
		주소		(28135)충청북도 청주시 청원구 북이면 장재금대로 384		법인등록번호		150111-0096243			
연구책임자		성명		채현규		직위		대표이사			
		연락처		직장전화		휴대전화					
				전자우편		국가연구자번호					
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)							
		단계		1단계 2021. 04. 01 - 2021. 12. 31(0년 9개월)							
		(해당 시 작성) n단계		2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(1년 0개월)							
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금		합계		연구개발비 외	
		현금		현금		지방자치단체		현금		지원금	
		현금		현금		기타()		현금			
총계		870,000		-		248,400		870,000		248,400	1,118,400
1단계	1년차	370,000		-		123,400		370,000		123,400	493,400
	2년차	500,000		-		125,000		500,000		125,000	625,000
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편	
		공동연구개발기관		해표산업(주)		윤경석		이사			
		위탁연구개발기관		충북대학교		이동훈		교수			
연구개발담당자 실무담당자		성명		강민서		직위		사원			
		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 6 월 7 일

연구책임자: 채현규 (인)

주관연구개발기관의 장: (주)신영이앤피 대표이사 채현규 (직인)

공동연구개발기관의 장: 해표산업(주) 대표이사 홍동호 (직인)

위탁연구개발기관의 장: 충북대학교산학협력단장 이영성 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

〈 목 차 〉

I. 연구개발과제의 개요	6
II. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	7
III. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	132
IV. 목표 미달 시 원인분석	137
V. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	139
VI. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	140
<별첨 자료>	
별첨1 신영이애플 특허증	142

I. 연구개발과제의 개요

○ 연구개발 배경

- 산불, 산사태, 산림병해충 예방 및 임지에 방치되는 임목 부산물의 재자원화로 산림순환에 기여하는 미이용 산림바이오매스는 대부분 가지류로 이루어져있어 수집비용이 높고, 흙·돌 등 불순물이 다량 포함되어 있음
- 미이용 산림바이오매스는 복수의 선별과정을 위하여 설비가 대형화되고 선별비용이 상승함에 따라 수입 목재펠릿 대비 가격경쟁력 확보가 어렵고, 소규모 제조시설의 경우 대형설비 도입 문제로 사실상 생산 곤란
- 지역밀착형인 2만 톤 미만의 현존 제조시설에 대하여 R&D를 실시함으로써 불순물 전처리를 통해 품질향상을 도모함으로써 지역 산림자원의 선순환 구축에 기여할 필요

○ 연구개발 목표

- **(1차년도)** 미이용 산림바이오매스 종류별 이물질 분포 조사 및 측정을 통해 특성분류. 물, 바람, 물리력 등을 이용한 불순물 제거 실험을 통해 미이용 산림바이오매스 종류별 적합한 불순물 제거 방안 도출
- **(2차년도)** 수종별, 목재 부위별 특화된 불순물 제거 공정 설계 및 기술 개발. 시운전을 통한 성능평가 분석을 거쳐 최종 제품화 완료
- **(최종목표)** 불순물 제거장치 제품화를 통한 펠릿 품질 개선하여 국내 미이용 산림바이오매스 펠릿 보급 확산에 기여

Ⅱ. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

목 차

1. 연구배경 및 목표, 추진방향

가. 연구배경

나. 연구목표

다. 참여 기관별 세부 추진방향

1) 1차 년도(2021)

2) 2차 년도(2022)

라. R&D 참여설비 : (주)신영이엔피

마. 표준화 전략

2. 미이용 산림바이오매스 개발

가. 미이용 산림 바이오매스에 대한 제도/정책적 접근 및 연구의 타당성

1) (제도적 측면) 미이용 산림바이오매스 이용 활성화

2) (정책적, 국제적 측면) 미이용 산림바이오매스 이용의 합리성

3) (산업적, 인구적, 국민안전 측면) 미이용 산림바이오매스와 산림건강

4) 소결

나. 미이용 산림바이오매스 불순물 선별공정에 대한 문헌적 접근

1) 선행특허

2) 선행연구

3) 기술의견

4) 소결

다. 국내외 선별기술 자료 조사 실험실 테스트 통한 기초 설계

1) 국내·외 시스템 적용처 및 경제성 분석

2) 관련 경쟁사 제품 및 선별 시스템 분석

3) 선별기의 분류

3. 미이용 산림바이오매스와 불순물

가. 현장 분석을 통한 이물질 현황 분석

1) 미이용 산림바이오매스 수집 현장

2) 이물질 혼입 사례와 피해사례

나. 미이용 산림바이오매스 기본 품질측정과 선별기 개발을 위한 기초실험

1) 측정법

2) 공통측정기구

3) 미이용 산림바이오매스 기본품질 측정

4) 소결

다. 선별기 개발을 위한 기초실험

1) 입도선별

2) 비중선별

3) 소결

4. 선별기 설치

가. 선별 흐름 선택

나. 현 제조시설에 적용 가능한 설비 설계 사양 선정 및 상세설계/수치해석

- 1) 전체 시스템 Layout 작성
- 2) 선별기술 시스템 주요 부품 세부 사양 선정
- 3) 2D 및 3D 데이터 기반의 상세설계
- 4) 불순물 제거 전용 기계요소별 구조해석

다. 불순물 제거 전용 입도선별장치

- 1) 미이용 산림바이오매스 형태별 선별 size별 3단 선별장치 개발
- 2) 유입형태별 조절 가능한 선별망 교체 기술 개발

라. 불순물 제거 전용 자력선별장치

- 1) 연속식 자동배출 제철 장치 개발
- 2) 효율적인 제철 가능 균등 투입장치 개발
- 3) 자력선별장치의 효율적인 제철가능 자력 규격 선정

마. 불순물 제거 전용 비중선별장치

- 1) 외기배출을 최소화한 내부순환형 풍력 비중선별장치 개발
- 2) 입자크기/무게별 분류량 조절 가능 선별장치 개발

5. 선별기 가동준비 및 실증테스트

가. 공장 보수 및 선별기 설치

- 1) 공장 설비점검 및 보수
- 2) 선별기 설치
- 3) 선별기 구조변경

나. 실가동 품질 자가측정

6. 최종 선별장치 설계 및 목표 달성도 확인

가. 불순물 처리속도

나. 설비 콤팩트화 확인

- 1) 설비 비교

다. 펠릿 품질규격 공인 시험성적의뢰

라. 선별 전/후 최종 바이오매스 산출물 회분 함량, 저위발열량 평가

- 1) 분석방법
- 2) 분석결과

1. 연구배경 및 목표, 추진방향

가. 연구배경

- 산불, 산사태, 산림병해충 예방 및 임지에 방치되는 임목 부산물의 재자원화로 산림순환에 기여하는 미이용 산림바이오매스는 대부분 가지류로 구성되는바, 수집 비용이 높고, 흙, 돌 등 불순물이 다량 포함되어 있다.
- 미이용 산림바이오매스는 복수의 선별과정을 위하여 설비가 대형화되고 선별비용이 높아 가격경쟁력 확보가 어렵고, 소규모 제조시설은 대형설비 도입 문제로 사실상 양질의 제품생산이 곤란한 것으로 파악된다.
- 따라서, 생산규모 2만 톤 미만의 현존 제조시설에 대하여 R&D를 실시함으로써 불순물 전처리를 통해 품질향상을 도모함으로써 지역 산림자원의 선순환 구축에 기여할 필요가 높다.

나. 연구목표

- **(1차 년도)** 미이용 산림바이오매스 종류별 이물질 분포 조사 및 측정을 통해 특성분류. 물, 바람, 물리력 등을 이용한 불순물 제거 실험을 통해 미이용 산림바이오매스 종류별 적합한 불순물 제거방안을 도출한다.
- **(2차 년도)** 수종별, 목재 부위별 특화된 불순물 제거 공정 설계 및 기술 개발. 시운전을 통한 성능 평가 분석을 거쳐 최종 제품화 완료한다.
- **(최종목표)** 불순물 제거장치 제품화를 통한 펠릿 품질 개선하여 국내 미이용 산림바이오매스 펠릿 보급 확산에 기여한다(소형제조시설 기반).

※ 단계별 적합한 품질 여부를 테스트하고 적정 품질로 귀결하기 위해 국립산림과학원에서 마련한 품질시험방법에 따라 지속 점검하여 목표 품질(II)에 도달 추진

다. 참여 기관별 세부 추진방향

표 1. 참여 기관별 세부 추진방향

<p>(주)신영이앤피 : 주관연구사</p>	<p>해표산업(주) : 공동연구개발기관 충북대학교 : 위탁연구개발기관</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 미이용 산림바이오매스 원재료 수급 ● 미이용 산림바이오매스 제품 테스트 ● 설치제품 실증운영 ● 불순물 제거기술 개발 및 설계참여 ● 인력채용 및 연구논문 수행 ● 특허등록 	<ul style="list-style-type: none"> ● 미이용 산림바이오매스 불순물 제거기술 개발 ● 불순물 제거공정 설계 ● 기존 불순물 제거기보다 콤팩트화 설계 ● 연구논문 수행 ● 제품개발 및 기술이전 ● 특허등록 ● (위탁) 시작기 요소별 구조해석 및 통합 시작기 경제성 평가

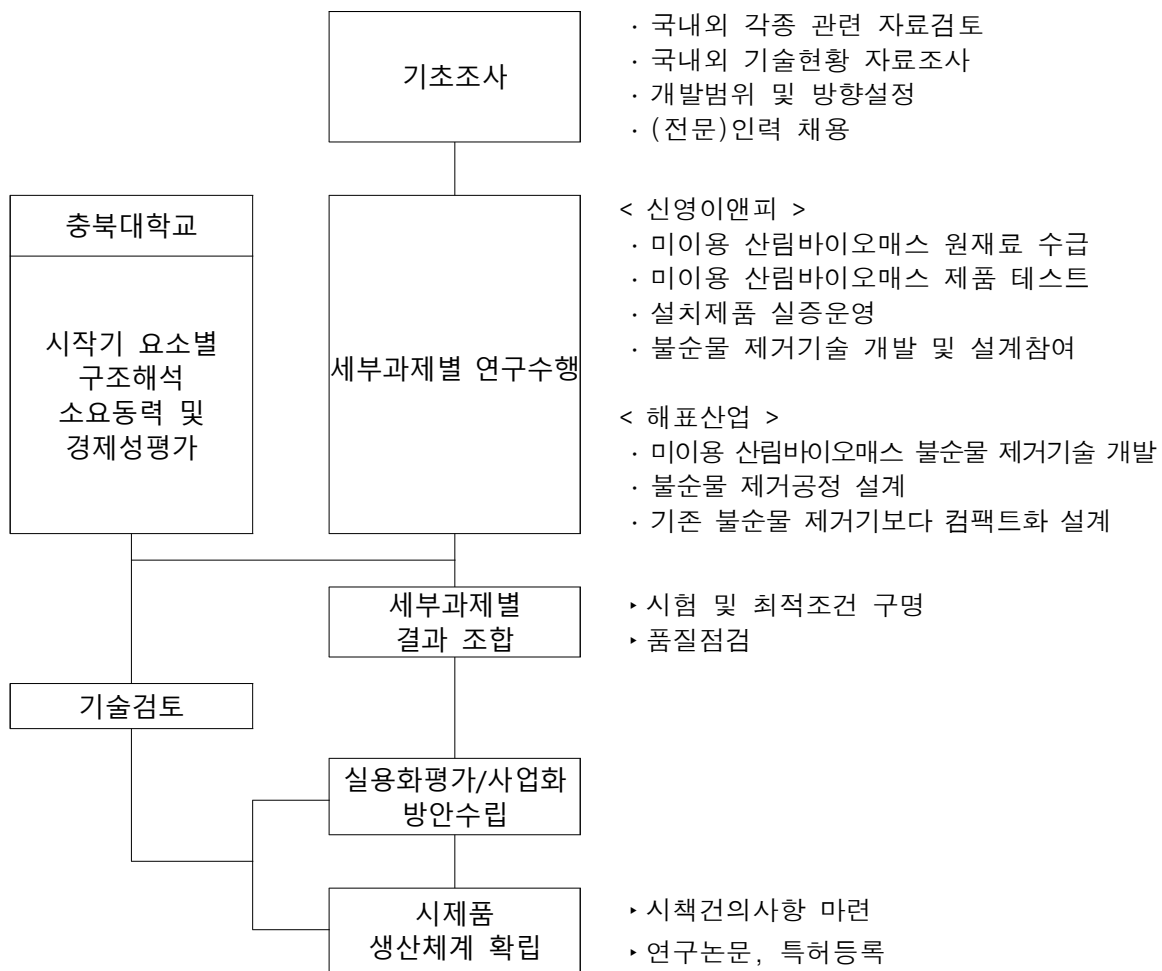


그림 1. 연구개발 수행 모식도.

1) 1차 년도(2021)

가) 주관연구기관(신영이앤피)

- 세부목표 1-1 : 사례별 미이용 산림바이오매스 불순물 유입형태 조사 및 특성 측정
 - (1) 주요내용 1 : 선행기술, 공정, 미이용원재료 조사
 - 선행연구 문헌조사
 - 미이용 종류별 이물질 종류와 양 측정
 - 대상공정(건조 후)에서 공급되는 원재료 특성 측정(톱밥 및 이물질의 종류, 양, 형태, 비중, 함수 등 측정)
 - (2) 주요내용 2 : 선별기 설계 및 시뮬레이션
 - 조사 및 측정한 데이터를 바탕으로 한 선별기 설계 및 시뮬레이션
 - 일부 선별기 제작

나) 협동연구기관(해표산업)

- 세부목표 1-2 : 국내외 선별기술 자료 조사 실험실 테스트 통한 기초 설계
 - (1) 주요내용 1 : 국내·외 시스템 적용처 및 경제성 분석
 - (2) 주요내용 2 : 관련 경쟁사 제품 및 선별 시스템 분석
 - 실험실 단계 테스트를 통한 최적의 불순물 제거기술 개발
 - 실험결과를 기반으로 한 초기설계 마련
 - 사례별 미이용 산림바이오매스 불순물 유입형태 합동 조사
- 세부목표 1-3 : 현 제조시설에 적용가능한 실증가능 설비 설계 사양선정 및 상세 설계/수치해석
 - (1) 주요내용 1 : 전체 시스템 Layout 작성
 - (3) 주요내용 2 : 선별기술 시스템 주요 부품 세부 사양 선정
 - (4) 주요내용 3 : 2D 및 3D 데이터 기반의 상세 설계
 - (5) 주요내용 4 : 각 부품의 도면을 작성 후 stl 파일로 위탁기관(충북대학교) 제공
 - (6) 주요내용 5 : 주요 부품의 기구학적 간섭 검토 및 구동테스트
- 세부목표 1-4 : 불순물 제거 전용 입도선별장치
 - (1) 주요내용 1 : 미이용 산림바이오매스 형태별 선별 size별 3단 선별장치 개발
 - (2) 주요내용 2 : 유입형태별 조절 가능한 선별망 교체 기술개발

다) 위탁연구기관(충북대학교)

- 세부목표 1-5: 불순물 제거 전용 기계 요소별 구조 해석
 - (1) 주요내용 1 : 입도 선별장치 구조 해석 및 최적화 설계. Mesh 작업과 적절한 FEM (유한요소해석법) 기반 정력학적 조합응력 분포 시뮬레이션 강도, 강성 설계 적합성 검증 및 개선사항 도출
 - (2) 주요내용 2 : 자력 선별장치 구조해석 및 최적화 설계
 - (3) 주요내용 3 : 비중 선별장치 구조해석 및 최적화 설계

2) 2차 년도(2022)

가) 주관연구기관(신영이앤피)

- 세부목표 2-1 : 미이용 산림바이오매스 불순물 제거 시작기 통합운영 및 평가

(1) 주요내용 1 : 선별기 제작 및 운전 테스트

- 선별기 제작 및 설치
- 미이용 원재료별 선별기 운전 테스트 : 투입 원재료에 포함된 이물질(토분, 작은 돌, 철, 비철)이 공정상에 투입되어 제품으로 생산되므로 제품내 포함된 회분측정으로 선별효율 측정이 가능함.(추가적으로 선별되어 배출되는 이물질량 측정)
- 선별기 보완 및 재 테스트(연속운전 테스트를 통한 안정성 확보)

(2) 주요내용 2 : 최종 테스트 및 특허출원

- 최적의 미이용 원재료 조합
- 최종 목적물 품질테스트
- 최종보고서, 논문, 특허출원 등

나) 협동연구기관(해표산업)

- 세부목표 2-2 : 불순물 제거 전용 자력선별장치

- (1) 주요내용 1 : 연속식 자동배출 제철 장치 개발
- (2) 주요내용 2 : 효율적인 제철가능 균등 투입장치 개발
- (3) 주요내용 3 : 효율적인 제철가능 균등 투입장치 개발자력선별장치는 자석의 자계 강도를 이용하여 자성을 가진 물체와 비자성물체를 분리하는 장비로서 자계 강도는 Biot-Savart 법칙 적용 시도

- 세부목표 2-3 : 불순물 제거 전용 비중선별장치

- (1) 주요내용 1 : 외기배출을 최소화한 내부순환형 풍력 비중선별장치 개발
- (2) 주요내용 2 : 입자 크기/무게별 분류량 조절 가능 선별장치 개발

- 세부목표 2-4 : 불순물 제거공정 설치 및 운영을 통한 최적 조건 구명

- (1) 주요내용 1 : 불순물 제거장치 제작 및 성능 평가를 통한 최적 조건 구명
- (2) 주요내용 2 : 미이용 바이오매스 불순물 제거 시스템 확립
- (3) 주요내용 3 : 제안하는 시스템에서 부하가 가장 많이 걸리는 부분은 비중선별장치이며, 비중선별장치는 선진사인 IMAL PAL Group사의 비중선별장치 중 1.6M 모델(처리량 30톤 이상)을 Bench Marking 하겠으며, 각 부의 정략적인 목표는 M2, M3, M5, M6 부분의 모터 용량을 1.6M 모델의 용량보다 작게 하여 설비의 사용전력을 낮추겠음

다) 위탁연구기관(충북대학교)

- 세부목표 2-5 : 산림바이오매스 불순물 제거 시작기 성능 및 경제성 분석

(1) 주요내용 1 : 통합 시작기 연동 소요 동력 분석

- 통합 기계 미세부 단기 사용시 IMU 센서 기반 진동 실시간 평가
- 통합 기계 미세부 장기 사용시 IR 센서 기반 저위 발열량 실시간 평가

(2) 주요내용 2 : 선별전/후, 최종 바이오매스 산출물 회분함량, 저위발열량 평가

(3) 주요내용 3 : 선별 시스템 사용에 따른 경제성 분석

라. R&D 참여설비 : ㈜신영이앤피

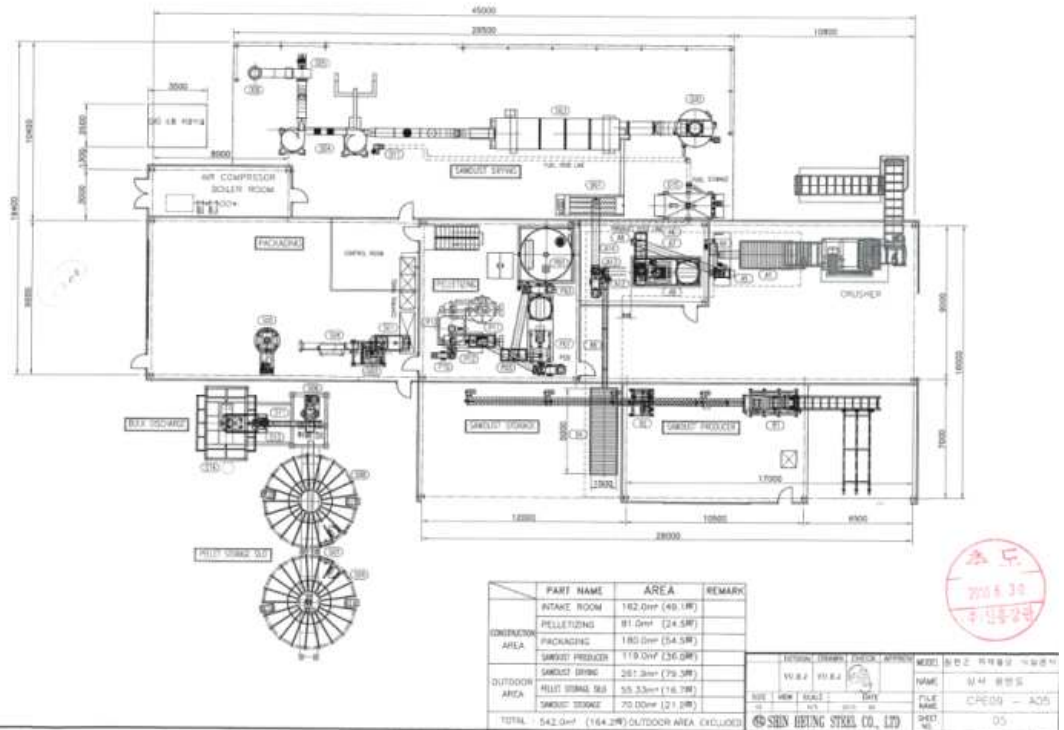
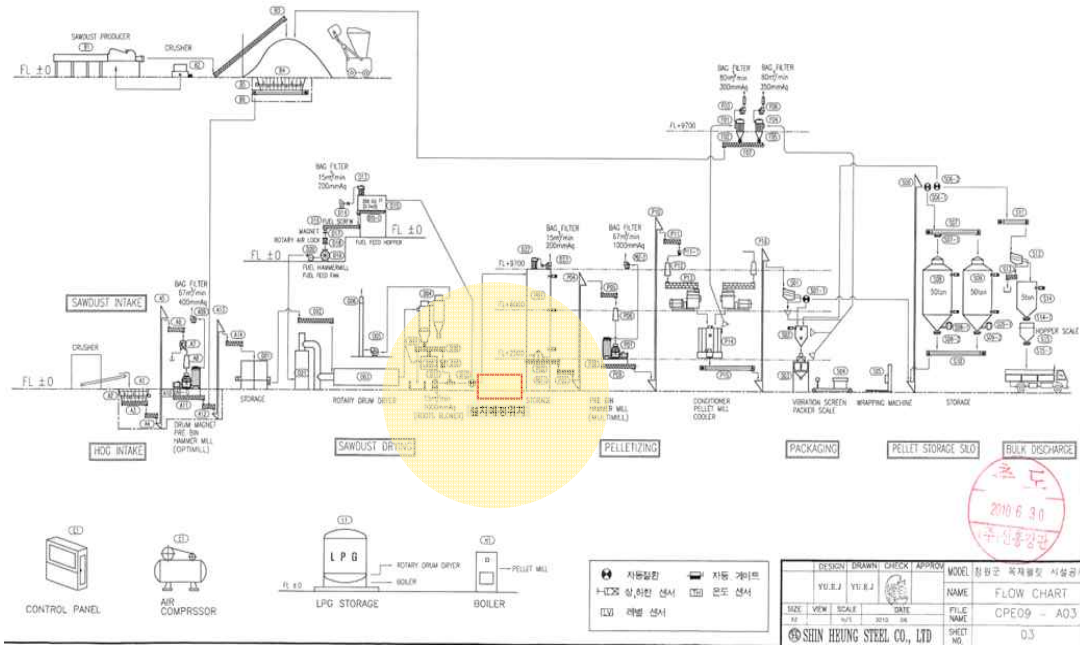


그림 2. ㈜신영이앤피 설비.

마. 표준화 전략

- 미이용 바이오매스 반입 성장에 따른 입도선별장치의 타공망 크기 및 비중선별장치의 풍량설정등 불순물 제거장치의 모듈 표준화
- 국내 기존 목재펠릿 생산시설 중 연간 2만 톤 이하 시설 적용가능한 미이용 바이오매스 불순물 처리장치의 표준화된 처리량 및 Scale 확립
- 미이용 바이오매스 처리량별 따른 불순물 처리장치의 규격 확립



그림 3 표준화 전략.

2. 미이용 산림바이오매스 개괄

가. 미이용 산림바이오매스에 대한 제도/정책적 접근 및 연구의 타당성

1) (제도적 측면) 미이용 산림바이오매스 이용 활성화

- 미이용 산림바이오매스는 「산림바이오매스에너지의 이용·보급 촉진에 관한 규정(산림청 고시 제2022-82호)에 의거, “국내 산림경영활동 등으로 발생한 산물 중 원목 규격에 못 미치거나 수집이 어려워 이용이 원활하지 않은 산물”을 지칭한다.
- 그 종류에 대하여는 제2조의 정의 및 범위에 명시하고 있는바, 총 6종이 선정되어 있으며, 해당 고시 규정에 따라 기존 목재산업 등에서 기술적 한계, 비경제성 등으로 저부가가치 목재(나뭇가지 등)을 이용하고 있으며, 그 종류는 아래와 같다.
- (6종) ① 수확, 수종갱신 및 산지개발을 위한 벌채를 통해 나온 원목생산에 이용되지 않는 부산물, ② 숲가꾸기를 위한 벌채를 통해 나온 산물, ③ 산림병해충 피해목 제거 등 방제 과정에서 나온 벌채 산물, ④ 「도시 숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률」 제2조에 따른 도시 숲·생활 숲·가로수의 조성·관리 과정에서 나온 산물, ⑤ 산불 피해목으로 원목생산에 이용되지 않는 산물, ⑥ 풍해·수해·설해 등으로 발생하여 원목으로 사용되지 않는 산물
- 해당 제도는 폐목재와의 혼입을 방지하고, 부족한 수집 경제성을 보완하기 위하여 상당한 난이도의 구체적인 체계성과 엄밀성을 갖추므로써, 산업통상자원부의 「신재생에너지 공급의무화(RPS)」 제도와 연결성을 마련하여 운영 중이다.



그림 4 미이용 산림바이오매스 증명절차도(산림청)

- 산업통상자원부는 RPS제도를 통해 신재생에너지원별 별도의 가중치를 부여하고 있는데, 미이용 산림바이오매스의 경우에는 높은 산림에서부터 인력으로 수집하고, 이를 다시 벌

크/현장파쇄 형태로 제조시설에 운반한 뒤, 목재펠릿으로 별도의 선별 및 가공과정을 통해 발전소에 공급되는 구조다.

- 발전소의 경우, 국산 제품에 해당하는 미이용 산림바이오매스를 사용하는 경우, 연소의 형태에 따라 마련된 인센티브를 부여받는 등, “낙수효과”를 통해 발전소의 연료구매비용이 산주에게까지 전파되는 사회경제적인 효과를 지니고 있다.
- 한국에너지공단의 「2021년 신재생에너지 보급통계」¹⁾에 따르면, (1) 총1차 에너지 중 바이오에너지 비중은 '21년 기준 1.4%였으며, 신재생에너지 중 바이오에너지 비중은 '21년 30.45%로 조사되었다. 특히 목재펠릿은 최근 5년간 가장 높은 에너지 생산량을 통해 바이오에너지 중 중심적 역할 강화 추이 뚜렷했는바, 목재펠릿은 총1차 에너지 중 0.59%, 신재생에너지 중 12.77%, 바이오에너지 중 41.92%를 차지하였다.
- (2) 총발전량의 경우, 바이오에너지 발전량이 '21년 최대값을 기록하였는데, 세부적으로 살펴보면, 총발전량 중 바이오에너지 비중은 '21년 기준 1.93%, 신재생에너지 중 바이오에너지 비중이 23.27%로 나타났다. 총1차 에너지와 마찬가지로 목재펠릿은 최근 5년간 가장 높은 발전량을 보였는데, 이는 총발전량 중 1.11%, 신재생에너지 중 13.41%, 바이오에너지 중 57.64%라는 기록을 보였음. 총 발전량 중 목재칩 발전량의 성장세(4.23배)에 주목할 필요가 있다.
- 다만, 우리나라 목재펠릿 수급형태를 살펴보면²⁾, 아래의 표와 같은바, 수입산의 경우, '09년 12천 톤에서 '21년 3,178천 톤으로 증가하였고, '23년 임업전망대회 자료집³⁾에 따르면, '22년 기준으로 수입산 목재펠릿 4,494천 톤을 기록하였다. 국산의 경우 '09년 8.5천 톤이 생산된 이래, '21년 658천 톤, 그리고 '22년 추정값은 709천 톤으로 나타났으며 국산화 비율은 최종 년도인 '22년 15.8%였음. 불균형적 구조에 따른 무역 측면에서의 외화 유출 문제도 상당한 수준으로 보인다.

1) 한국에너지공단, 2022, 2021년 신재생에너지 보급통계, <https://www.knrec.or.kr/biz/pds/statistic/view.do?no=170> (Accessed 31 Jan, 2023), 울산

2) 산림청, 목재펠릿 생산 및 판매량, https://www.forest.go.kr/kfswweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS_02_01_11_04_02&cmsId=FC_000811 (Accessed 31 Jan, 2023), 대전

3) 이수민, 2023, 목재펠릿 수급 동향과 전망, 2023 산림임업전망대회, p.252-283.

표 2. 연도별 목재펠릿 생산량 (산림청, 2023)

연도별	계	국산(톤)	수입산(톤)	자급률(%)
2021	3,836,896	658,336	3,178,560	17.2
2020	3,257,798	331,202	2,926,596	10.2
2019	2,809,845	243,287	2,566,558	8.7
2018	3,200,190	187,745	3,012,445	5.9
2017	1,773,294	67,446	1,705,848	3.8
2016	1,769,213	52,572	1,716,641	3.0
2015	1,552,821	82,137	1,470,684	5.3
2014	1,940,103	90,462	1,849,641	5
2013	550,271	65,603	484,668	12
2012	173,790	51,343	122,447	30
2011	64,013	34,335	29,678	54
2010	33,981	13,088	20,893	38.5
2009	20,569	8,527	12,042	41.5

- 우리나라의 경우, '18년 마련된 미이용 산림바이오매스 생산량을 중심으로 양적, 질적 확대가 이뤄지는 것으로 볼 수 있는데, 이는 「2023 산림임업전망」 자료에서 확인 가능하다. 결과적으로 원재료에 해당하는 미이용 산림바이오매스 증명량은 '19년 대비 2022년 5.1배 성장했으며, 목재펠릿 제품으로 상당량 전환된 것으로 유추할 수 있다. 반면에 최근에는 미이용 산림바이오매스를 활용한 목재칩으로 상당량 유입되고 있음을 확인 가능하다.

표 3. 연도별 목재펠릿 생산량 (이수민, 2023)

년도	2019	2020	2021	2022 ^P
증명량 (원재료)	220,177	495,793	829,399	1,124,852
목재펠릿 (제품)	139,200	299,492	510,479	644,170
목재칩 (제품)	16,574	56,734	83,239	170,108

- 위 표의 데이터에서 알 수 있듯, 원재료 투입량 대비 목재펠릿으로의 전환율과 목재칩으로의 전환율에는 다소간의 차이가 있는데, 이는 위에서 언급한 산림청의 동일 고시 제4조 인정기준에 따라 미이용 산림바이오매스로 생산 시 인정 가능한 목재펠릿의 인정기준은 “원재료 중량 * 0.7”, 목재칩의 형상은 “원재료 중량 * 0.85”에서 기인함을 확인 가능하며, 이는 수집 과정에서 비표면적이 넓은 산지 부산물 수집과정에서 발생한 불가피한 측면이 반영된 것이다.
- 다만, 미이용 산림바이오매스를 단순 파쇄 후 별도의 가공 공정 없이 발전소로 직납품되는 목재칩은 상대적으로 손실률이 적으나, 목재펠릿은 수집부터 가공까지 수차례의 선별 과정을 거치게 된다.
- 특히 목재펠릿은 국립산림과학원의 「목재제품의 규격과 품질기준(국립산림과학원 고시 제2020-3호)」에 따른 “부속서 11. 목재펠릿” 품질규격을 준수해야 하기 때문이며, 해당

고시는 ISO 국제규격을 준용한 것으로서 국제적으로 통용되는 품질기준에 해당한다.

- 이를 다시 해석하면, 원목과 같은 상대적으로 선별가공이 쉬운 원재료로 활용하는 가정용 목재펠릿이나 수입산 목재펠릿 대비, 미이용 산림바이오매스를 활용한 목재펠릿 가공 기술은 상당한 기술력과 노하우를 필요로 함을 유추할 수 있다⁴⁾. 다만, 미이용 산림바이오매스는 흙이나 돌, 철 등 예측 불가 수준의 불순물(사진은 본문에 후첨)이 함유되어 있다. 이를 현실에서 대량으로 취급할 수 있는 첨단 설비는 국내 총 25개 제조시설 중 소수에 불과하다는 것이 현장 의견이다.
- 소규모 제조시설의 경우, 목부성 미이용 산림바이오매스(산불피해목, 병해충방제 등)를 활용하는 것으로 추정된다. 특히, 상대적으로 자본조달, 인플레이션 등 다양한 대내외적 한계로 소규모 제조시설의 미이용 산림바이오매스에 대한 접근성을 기술적 한계 극복으로 개선할 필요가 있다.
- 아래의 그림에서 알 수 있듯, 전국에 분포된 제조시설 위치를 감안하면, 인근에서 발생하는 자원의 최단 거리 활용 가능성 또한 높은 실정임에도, 기술장벽이 높다는 점에 주목할 필요가 있다.



그림 5 목재펠릿 제조시설 현황(산림청, 2023)

2) (정책적, 국제적 측면) 미이용 산림바이오매스 이용의 합리성

- 정책적 측면에서 보면, 최근 산업통상자원부는 「재생에너지 정책 개선방안, 2022.11월」을 통해 “국산 목재펠릿이 경제성을 갖출 수 있도록 관계기관과 협의”한다는 정책방향을 밝혔으며, 주무 부처인 산림청 또한 「국산목재 및 산림바이오매스 활성화」가 새정부 국정과제에 선정되는 등 정책적 의지가 뚜렷함을 확인 가능하다.

4) 이승록 & 한규성, 2022, “목재펠릿과 주택용 목재펠릿보일러의 품질기준에 관한 국내외 비교연구”, 농업과학연구 제38권 제2호 (충북대학교).

- 이에, 기술적 접근을 통해 에너지 안보와 자원안보, 산림의 건강성 증진 차원에서 국산 목재를 사용한다는 정책적 기조에 부합할 필요가 있다.
- 또한, 우리나라가 UN 기후변화협약사무국에 국무회의 의결을 거쳐 '20년 12월에 제출한 「대한민국 2050 탄소중립 전략」에 따르면⁵⁾, 목재는 탄소중립 자원으로서 목재제품 이용 확대는 온실가스 감축 효과가 존재하고, 생산 단계에서는 조림과 산림경영 등을 통해 산림의 이산화탄소 흡수 능력을 단계적으로 개선해 나가야 하며, 소비 단계에서는 국산 목재의 이용률을 높여 순환적인 산림자원 활용체계를 구축해야 한다고 명시한 바 있다. 아울러 지속가능한 산림경영을 통해 생산되는 산림바이오매스의 에너지 활용은 온실가스 배출 저감과 재생에너지원의 변동성을 보완할 것이라 강조했다.

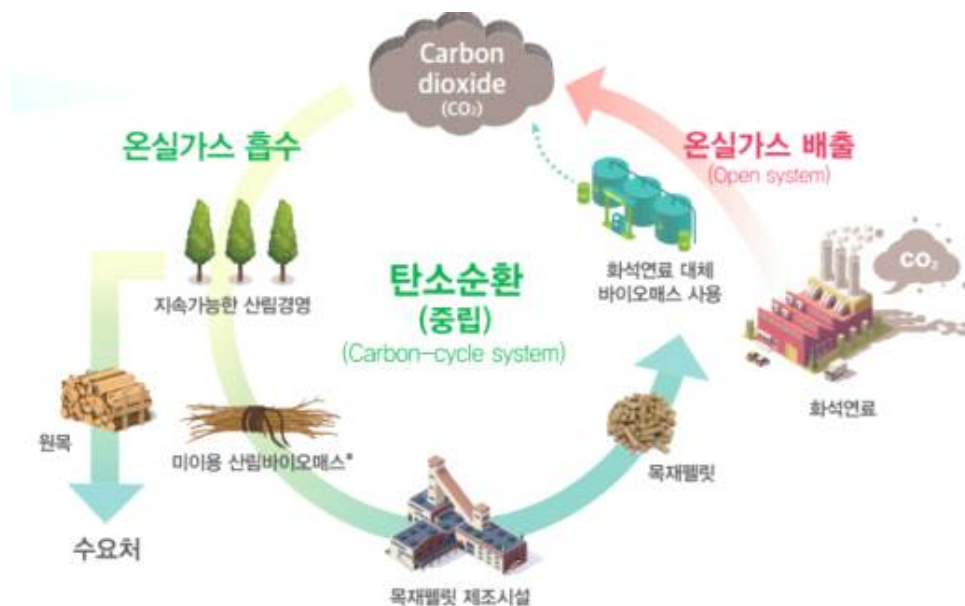


그림 6 목재펠릿과 탄소순환 (산림청, 2023)

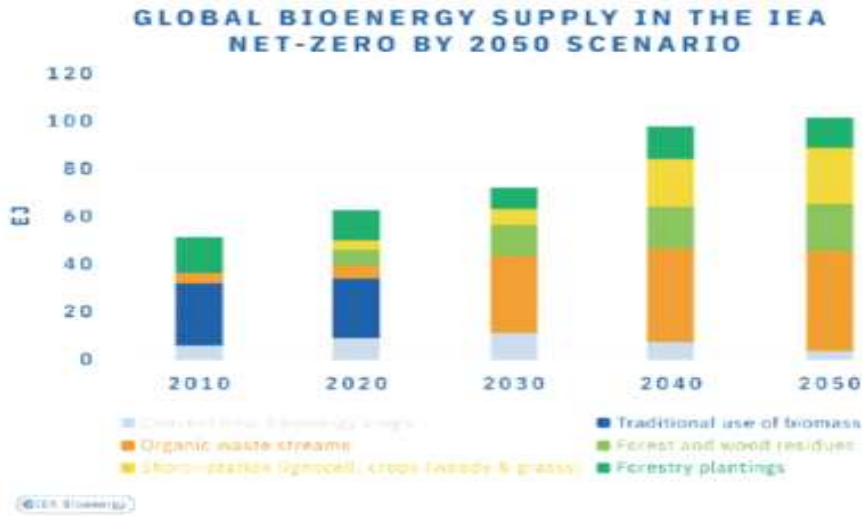
- 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)에 따르면, “임업 부산물은 유용한 에너지원이 될 수 있다”고 「Climate Change 2000」을 통해 약 20년 전 견해를 밝힌 바 있으며, 최근의 1.5°C 보고서에도 같은 내용이 반영되었다⁶⁾⁷⁾.
- 국제 에너지기구(IEA)에 따르면, 나뭇가지나 손상된 목부, 간벌 등의 임산업 부산물로 에너지를 생성하여 순GHG 배출량을 줄일 가능성이 높으며, 2050년까지 바이오매스의 전통적 형태를 줄이고, 산림부산물 등으로 바이오에너지 공급량이 확대될 것이라 예측한 바 있다.

5) 대한민국 정부, 2020, 탄소중립포털,

https://www.gihoo.or.kr/netzero/site/cntnts/CNTNTS_003.do (Accessed 31 Jan, 2023)

6) ipcc, 2000, Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.). Climate change 2000: Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge. <https://www.ipcc.ch/report/emissions-scenarios/> (Accessed Jan 31, 2023)

7) IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009157940> <https://www.ipcc.ch/sr15/> (Accessed 27 Jan, 2023)



Sustainable bioenergy should provide 100 EJ of energy in 2050 (Source: IEA Net Zero by 2050 Roadmap)

그림 7 IEA의 넷제로 시나리오(바이오에너지 부문) (원출처 : IEA, 2021)

3) (산업적, 인구적, 국민안전 측면) 미이용 산림바이오매스와 산림건강

- 산업적 측면에서 보면⁸⁾, 2011년 국내 목재산업의 원목 사용량은 4,210천 m³(국가 목재자급률 15.3%) 수준이었으나, 2021년 기준으로는 3,811천 m³(국가 목재자급률 15.9%)으로 나타났다. 산림청은 분석 의견에서, “21년은 전년 대비 임목 부산물 수집량이 20.8%(442천m³) 증가하여 목재자급률 유지에 기여”했다고 밝히는 등 건설경기 침체와 함께 기후위기 시대를 맞이하여 혁신기술 기반의 핵심 수요처가 새롭게 부각되는 흐름을 나타낸다고 유추할 수 있다.
- 아울러, 「2023 임업전망대회」에서 ‘27년까지 국내 목재 수요가 ‘19년 27,649천m³대비 25,479천m³으로 나타나 전반적인 수요폭이 줄어드는 경향이다. 하지만, 산림의 건강성 증진(영급불균형)과 국민안전 등 공/사편의 증진을 위한 산림관리는 필수 불가결하다. 이에, 점차 산림부산물 이용 체계로 접근할 필요가 높다고 볼 수 있다.
- 인구적 측면에서 보면, ‘20년 1,459천 명이던 산촌지역 466개 읍·면 인구가 2022년 1,368천 명, ‘27년에는 1,289천 명으로 단기간 내 170천 명이 감소할 것으로 보인다. 즉, 지역의 25개 목재펠릿 제조시설은 대부분 산촌에 위치한다는 점에 미루어 보아 미이용 산림바이오매스 활성화는 지역경제 활성화와 직결되는 사안으로 볼 수 있다.
- 국민안전 측면에서 보면, 최근 대형화되는 산불과 관련하여 국민 재산에 큰 영향을 끼치는 것으로 보이는바, 통상적으로 산불의 3요소(연료, 열, 산소)⁹⁾가 중요한 바, 연료는 임목과 지표면에 쌓인 산림부산물을 의미한다. 3요소 중에서 인간이 통제 가능한 것은 연료와 열에 해당할 것이다. 미이용 산림바이오매스 또한 산림부산물을 중심으로 활용되므로 국민안전 확립에 도움된다고 생각된다.

4) 소결

8) 산림청, 2023, 목재수급실적(2011, 2021)

https://www.forest.go.kr/kfswweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS_02_01_04_03_02&cmsId=FC_003582 (Accessed 31, Jan, 2023)

9) 정재소, 2022, “산불 3요소 잡아 산불위험 사전 차단한다”, 경남일보

(<http://www.gnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=499037>) Accessed 1 Feb 2023

- **제도적 측면**에서 볼 때, 국가적 차원에서 체계화된 접근으로 나뭇가지와 같은 저부가가치 산림부산물 수집체계를 갖추고 있는 것으로 확인되었으나, 목재펠릿의 수입의존성과 목재펠릿 대비 상대적으로 생산성이 높은 목재칩으로의 자원활용 측면이 확대되고 있다. 목재펠릿의 품질규격과 관련하여서는, 기술적 접근이 용이한 원목 활용 펠릿과 동일한 수준을 요구하는바, 결과적으로 흙, 돌, 철 등 불순물 함량이 높은 미이용 산림바이오매스의 선별 과정이 핵심임을 유추 가능하다.
- **정책적 측면과 국제적 측면**에서 볼 때, 국산 자원의 활용도를 높이고자 하는 의지가 강했으며, 이는 국제 동향과 부합한 방향으로 진행된다는 점에 주목할 필요가 있다. 아울러 **산업적 측면**에서 보면, 국내 목재산업은 미이용 산림바이오매스 중심으로 핵심 수요처가 부각되는 추세가 뚜렷했다. 또한 **인구적 측면**에서 미이용 산림바이오매스가 산촌 경제 활력의 핵심이 될 수 있을 것이며, **국민안전 측면**에서 볼 때, 산림부산물의 적정 수거 및 활용 정책은 산불예방에도 도움될 것이라 본다.
- 결과적으로, 본 연구를 통해 콤팩트화된 선별기술의 보급으로 적정 품질의 목재펠릿 제조 기술이 확보된다면, 전국에 분포한 산림부산물 수거 및 처리는 물론이거니와, 보다 쉽고 간편한 선별설비의 운영을 통해 소규모 기업들의 투자여건도 개선될 여지가 있다고 사료된다.

나. 미이용 산림바이오매스 불순물 선별공정에 대한 문헌적 접근

1) 선행특허

- 목재펠릿의 제조와 관련한 특허는 다양한 선례가 존재하였는바, 통상적으로 고철 제거를 위해 대체로 자력선별기를 활용하는 부분은 일반화된 접근법임을 확인할 수 있었다. 이외에도 비철금속 선별기, 별도의 세척분쇄 가공(보일링 후 침전), 초음파 처리(폐합성수지+ 톱밥), 수조 통과방식, 회전선별기 방식, 회전부와 경사도를 이용한 선별방식, 비연소물질을 제거하는 햄머콜리션 유닛 등이 존재함을 확인했다. 다만, 연번4의 경우에는 규모화된 제조시설을 바탕으로 한 것으로서, 본 연구와 직접 연계성은 적다(등록특허 10-2215582 ('21.2.5.)). 다만, 특허기술 중 본 연구에 참여한 기업의 경우에는 별도로 언급하지 않았다.

표 4. 유사 특허기술 주요사항

연번	발명의 명칭	등록번호/ 등록일	비고
1	파쇄물의 선별 및 이물질 제거가 가능한 목재폐기물 처리장치 및 이를 이용한 처리방법	등록특허 10-2133185 (‘20.7.7.)	파쇄기→입도에 따라 선별하는 진동선별기→ 자력 선별기 →비철금속 선별기→성형기
2	펠릿 제조용 이물질 제거장치	등록특허 10-2161229 (‘20.9.23.)	목재 껍질인 수피를 별도로 세척분쇄가공 하여 별도 이물질 제거 과정이 요구치 않는 펠릿제조용 이물질 제거장치(이물질이 많이 묻은 목재의 수피를 펠릿제조에 적합하도록 세척 및 반가공) 탈피된 수피를 끓여서 이물질을 제거하는 보일링 부 →보일링을 거친 수피의 이물질을 침전시키는 침

			전부→이물질이 제거된 수피를 걸러서 이동시키는 가동거름부→가동거름부에서 공급되는 수피를 칩 형태로 가공하는 압착분쇄부
3	목재부산물을 이용한 연료용 복합펠릿의 제조방법	공개특허 10-2016-0112129 (‘16.9.28.)	연료용 복합펠릿(목재부산물 또는 바이오매스에 미립화된 폐플라스틱 또는 폐비닐 분말을 소정량 첨가하고 수분을 소량 분사한 다음 열처리 및 초음파 처리 를 동시에 인가함으로써, 톱밥 등 목재부산물 및 폐합성수지를 재활용) / 톱밥→회전선별기/자력선별기→분쇄
4	친환경 펠릿 제조방법	등록특허 10-2215582 (‘21.2.5.)	<p>분쇄된 파쇄물을 선별 및 건조하는 전처리 공정에 있어서, 상기 분쇄된 파쇄물을 스크린 형태의 선별기를 이용하여 사이즈 별로 선별하는 단계 이후에, 제1 자력 선별기를 이용하여 금속 1차 선별 및 진동으로 공급량을 조절해 주는 바이브레이팅 피더(Vibrating Feeder)와 마그네틱 드럼(Magnetic Drum)을 통과하면서 철판 자력선별하는 단계를 수행하고, 상기 단계 이후 상기 파쇄물은 금속 디텍터(Metal Detector)가 상부에 배치된 컨베이어 벨트를 포함하는 이물질 비중 선별기를 통과하면서 철(Fe)을 포함하는 금속과 알루미늄(Al), 구리(Cu) 및 SUS(Steel Use Stainless)를 포함하는 비철금속 및 이물질을 분리하는 단계를 수행</p>
5	미이용 산림자원을 이용하여 화력발전소의 연료로 사용하기 위한 마이크로 우드칩 제조 방법	등록특허 10-2202452 (‘21.1.7.)	미이용 산림자원을 이용한 마이크로 우드칩 제조방법 (선별된 우드칩을 수조로 통과 시켜 표면의 미세 흙 등의 이물질 제거 후 15~20% 함수율로 건조) 치핑→진동스크리닝→이물질제거→건조→패턴 프레스/리팅 프레스를 통과
6	목질원료 및 목재를 이용한 연료용 펠릿 및 그 제조방법	등록특허 10-1007651 (‘11.1.5.)	분쇄단계와 건조단계 후, 분쇄된 재료와 건조된 건조재료에 포함된 이물질을 자석이 구비된 이물질 선별기 를 통해 각각 제거하기 위한 1,2차 이물질 제거단계를 추가한다. 이물질 제거단계에서 이물질이 제거된 건조재료의 수분함량 8% 이하일 경우, 스팀기를 통해 수분함량 8-12%를 갖도록 함. 12% 이상이면 열풍기를 통과하도록 재건조단계를 추가함
7	뿌리칩 이물질 제거장치	등록특허 10-1922521 (‘18.11.21.)	투입구로 투입된 뿌리칩은 상기 프레임의 내부에서 상기 회전부 와 함께 회전하며 이물질이 제거된 후에 상기 프레임의 전면부로 이동한 후에 상기 투입구로 배출되며, 상기 뿌리칩에서 분리된 이물질은 상기 메쉬부를 통과해 하부로 배출
8	폐목재의 재활용을 통한	등록특허	철물류가 제거된 폐목재를 샌딩 챔버로 이송하는 단계→오염물질이 제거된 폐목재를 파쇄하여 우드

	우드펠릿 제조 방법	10-1533924 (15.6.29.)	펠릿으로 가공하는 단계→상기 샌딩챔버에서 분리된 오염물질 및 모래를 컨베이어를 이용하여 수조 챔버로 이송시키는 단계→상기 수조 챔버 내에서 오염물질을 비중 차이에 따라 모래에서 부유시켜 분리하는 단계; 및 상기 수조 챔버 내에서 부유 처리된 오염물질을 고압 성형하여 배출시키는 단계를 포함
9	미이용 목재류를 이용한 연료 제조방법 및 그 장치	공개특허 10-2020-00 49066 (18.10.31.)	목재선별기유닛과, 상기 목재선별기유닛에 의해 분리된 제2목재를 2차 분쇄하는 제2분쇄유닛과, 제2분쇄유닛에 의해 분쇄된 2차 분쇄목재로부터 이동시키는 제3컨베이어와 인접되게 설치되어 금속재를 분리하는 제3금속제거유닛을 포함하며, 상기 목재선별기유닛에 의해 분리된 제3분쇄목재의 표면에 부착된 비연소 물질을 제거하는 햄머컬리션유닛과, 상기 햄머컬리션유닛에 의해 처리된 제3분쇄목재로부터 비연소물질을 제거하기 위한 스크린유닛과, 상기 스크린유닛을 통과한 제 3분쇄목재를 제4컨베이어에 설치되어 비연소물질이 제거된 제3분쇄목재로부터 금속재를 제거하는 제4금속제거유닛을 포함

2) 선행연구 (국내적 환경 고려)

- 최윤성 등(2021)에 따르면¹⁰⁾ 벌채부산물 선별처리에 따른 목재칩 연료특성을 비교분석하기 위해 선별작업을 실시하였다. 선별을 위해서는 자주식 로터리 선별기계(MRS-24, MOROOKA, Japan)를 이용하였는바, 선별된 목재칩의 경우, 미세분 감소 회분함량 감소, 발열량 증가 결과가 도출됨으로써, 결과적으로 선별처리를 통해 품질등급에 부합한 목재칩 제품을 생산할 수 있다고 분석했다.
- (안병준 등(2013)에 따르면¹¹⁾ 국내에서 발생한 주요 숲가꾸기 산물인 일본잎갈나무와 활엽수 혼합수종을 말구직경에 따라 분류(별도 선별과정 없음)한 뒤, 분쇄와 건조를 수행하였으나, 원료의 물리·화학적 차이에 의해 생산되는 목재펠릿 품질에 차이가 발생함을 확인했고(발열량과 품질기준은 충족), 생산성과 품질 향상을 위해 원료에 따른 공정 최적화가 중요한 요소임을 확인했다.
- 최영찬 등(2021)에 따르면¹²⁾ 농업/임업 부산물의 높은 회분이나 과량 포함된 알칼리 미네랄 성분(K, Na, Cl 등)으로 인해 발전용 연료로 적용 시 내부 파울링, 클링커, 고온부식 등의 연소 장애가 존재하는 바, 이를 제거하기 위해 저회분 바이오매스 연료를 개발하였다. 이에 따르면, 기존의 회분제거 방식인 고온/고압의 전처리 방식이 아닌, 90℃ 이하의 상온/상압의 조건에서 바이오매스에 포함된 알칼리 미네랄 성분을 약 95% 이상 제거가

10) 최윤성, 정인선, 조민재, 문호성, & 오재현. (2021). 목재수확 방법에 따른 벌채부산물 목재칩의 생산 및 연료 특성. 한국산림과학회지 (구 한국임학회지), 110(2), 217-232.

11) 안병준, 김용식, 이오규, 조성택, 최돈하, & 이수민. (2013). 국내 숲가꾸기산물을 이용한 목재펠릿의 제조와 품질. 목재공학 (Journal of the Korean Wood Science and Technology), 41(4), 346-357.

12) 최영찬, 이영주, 송규섭, 박주형, 노영훈, 김진성, & 김용구. (2021). 미이용 바이오매스를 활용한 저회분 바이오매스 생산 기술 개발. 한국에너지기후변화학회 학술대회, 43-43.

가능하도록 공정을 구성하였으며, 파일럿 유동층 설비(0.1 MW_{th})에서 연소 결과, 파울링 저감을 약 93%, 고온부식을 유발하는 HCl 가스 약 90%를 저감하는 결과를 도출했다.

- 이은주 등(2021)에 따르면¹³⁾ 미활용 바이오매스(버섯폐배지, 간벌재, 칩 등)을 이용하여 증기폭쇄를 통해 바이오매스를 매우 작은 입자로 분쇄한 결과, 압력 500-1,000 kg/m³에서 펠릿밀도 1,200 kg/m³ 이상이 되도록 성형하였고, 증기폭쇄 반응시간과 온도가 증가할수록 펠릿 성형에 필요한 압력은 감소하는 것으로 확인되었다.

3) 기술의견 (생산공정)

- 미이용 산림바이오매스를 활용한 30만톤급 목재펠릿 제조시설의 주요 공정은 아래의 표와 같다. 현장 전문의견에 따르면, 최종수요자인 발전사업자는 보일러 특성상 이물질 수용 한계와, 회분 요소에 대한 발전설비 민감성을 중요한 요소로 삼고 있는바, 그간 원목을 파쇄한 가정용 펠릿 생산형태와는 다소 상이한 접근 방법이 요구되었다.
- 미이용 산림바이오매스 특성상 불순물이 높아 소모품 사용시간도 기업의 부담요인으로 제기되었다. 즉, 파쇄와 분쇄설비의 날물류 사용시간이 현저히 감소했으며, 성형설비 소모품 사용시간, 선별설비 추가 및 소모품 비용증가 등이 발생하는바, 결과적으로 양질의 선별된 원재료가 매우 중대한 요인으로 작용하는 것으로 나타났다. 결과적으로 국립산림과학원의 목재펠릿 품질규격을 충족시키는 선별기술력이 핵심인 것으로 인터뷰 결과 도출되었다.

13) 이은주, 정소연, 이형우, & 이재원. (2021). 미활용 바이오매스를 이용한 펠릿 성형특성. In 한국목재공학 학술발표논문집 (Conference Proceedings) (Vol. 2021, No. 1, pp. 76-76). 한국목재공학회.

표5. 미이용 산림바이오매스 목재펠릿 제조 Flow

미이용 산림바이오매스 목재펠릿 제조 Flow	비고
원재료 입고	
파쇄	타이거 크러셔 등
1차 크기 선별	외부칩 포함, oversize 선별기 등
칩 보관창고로 이송	레더피더 이용
1차 철류 선별	생산라인 투입, 마그네틱 벨트 이용
2차 크기 선별	* 오버사이즈-재파쇄 후 투입 * 정사이즈, 미세칩 - 비중선별기로 이물질 추가선별
1차 분쇄	
건조기 투입 → 건조	
3차 크기 선별	* 모래 등 이물질 재선별 0.4mm분진(텐시맷으로 모래선별) 0.4~2mm 작은칩(비중선별기 투입) 2mm이상(별도 비중선별기 투입) * 크기에 따라 사일로 이동 2mm 이하→소더스트 사일로 이동 2mm 이상→2차 분쇄기 파인 그라인더 투입 후 소더스트 사일로 이동
성형기	
쿨링(냉각)	추가 분진선별
펠릿창고(사일로) 보관	
수요처 공급	

4) 소결

- 산림부산물에 대한 제품화에 몇몇 시도와 선행연구가 존재하였는바, 불순물이 많은 산업군 활용체계 및 에너지 체계에 가장 근접한 연구는 최윤성 등(2021)으로 보인다. 국내 산림자원만의 특수성을 감안할 때, 국내 상황에 집중하여 살핀 결과 선별 기계가 투입되더라도 제품화는 목재칩 단계에 그쳤거나, 별도의 추가 선별과정을 거치지 않는 등 몇몇 한계가 있었다.
- 선행 특허에 대한 확인결과, 기존의 선별기들은 금속/비금속 선별에 집중하는 형태로 발달되는 경향이 뚜렷하였고, 일부는 수자원(물) 활용이 수반되는 형태가 나타났다. 결과적으로 실제 현장 적용을 위한 전처리 과정 및 설비의 콤팩트화에 대한 연구나 기술 및 특허는 존재하지 않았다.
- 따라서, 수분함유량이 높은 미이용 산림바이오매스로부터 흙, 돌, 철 등의 이물질을 제거

하는 기술은 기존 기술(마그네틱 선별기, 비중선별기 등)을 참조하되 다양한 실험을 통하여 최적화된 개발을 본 연구과제를 진행하고자 한다.

다. 국내외 선별기술 자료 조사 실험실 테스트 통한 기초 설계

1) 국내·외 시스템 적용처 및 경제성 분석

가) 건설폐기물 내 가연성 폐목재 선별을 위한 풍력선별기 분석

- 풍력선별 장치는 오래된 기술로서 다양한 형태/크기의 선별장치가 상용화 되어있다. 이 중, 선진사 IMAL PAL社 의 풍력선별장치인 Wind sifter와 Densimat를 비교하여 적절한 설비를 선정하기로 하였다.

(1) IMAL PAL社의 Wind sifter 선별과정 및 도면¹⁴⁾



그림 8. Wind sifter 실제 적용사진

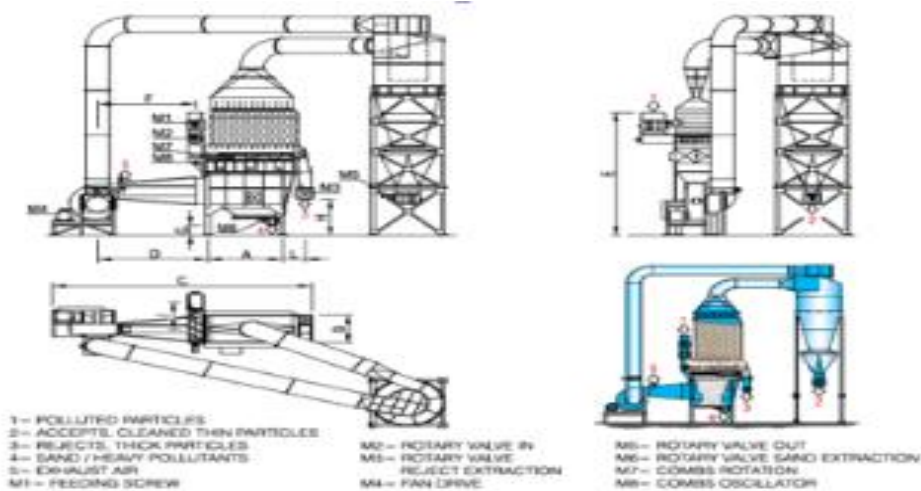


그림 9. Wind sifter 구조도면 및 원리

14) PAL사 제공

표 6. Wind sifter 용량 및 규격

OVERALL DIMENSIONS mm										
MODEL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L
WS 1.6	2340	800	8065	3181	7328	2811	1200	2690	-	877
WS 2.0	2290	806	8439	3181	7588	2811	1200	2690	-	877
WS 2.5	2290	1008	8439	3181	7664	2811	1200	2690	-	877
WS 3.1	2250	1258	8798	3150	8234	2810	1200	2690	1622	881
WS 3.5	2250	1436	8839	3450	8234	2980	1200	2560	1368	881
WS 4.0	2450	1458	9098	3450	8355	3087	1200	2600	1372	956
WS 4.5	2450	1626	9288	3550	8382	3082	1200	2600	1481	956
WS 5.3	3212	1506	10049	3550	9023	3023	1200	2600	1547	955
WS 6.2	3212	1758	10049	3550	8978	2972	1200	2600	1622	955
WS 7.5	3212	2306	10554	3550	9670	2965	1200	2600	1775	955
WS 8.3	3111	2480	11150	4070	9211	3485	1200	2600	2126	955
WS 9.0	3717	2580	11150	4070	9215	3485	1200	2600	2158	955
WS 10.0	3717	3500	12248	4515	9450	3931	1047	2500	2477	960
WS 12.5	3717	3500	12248	4515	9450	3947	1047	2500	2477	960

Note: Inlet and outlet have to be sized and located according to the process data for processed material and outfeed profile.

MODEL	CAPACITY %/h								INSTALLED POWER kW								EXHAUST AIR m ³ /h	WEIGHT* kg
	S.L. DRY	C.L. DRY	OVERSIZE DRY	RECT MIX	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12		
WS 1.6	2.9	4.8	5.8	5.5	-	3.0	1.5	3.0	-	1.5	-	-	-	-	-	6000	6000	
WS 2.0	3.6	4.0	7.2	7.0	-	3.0	1.5	3.0	0.75	1.5	-	-	-	-	-	7500	9000	
WS 2.5	4.5	7.3	9.0	8.8	-	3.0	1.5	3.0	0.75	1.5	-	-	-	-	-	9000	9000	
WS 3.1	5.8	8.3	11.7	10.8	4.0	3.0	3.0	3.0	0.75	1.5	-	-	-	-	-	12500	12500	
WS 3.5	6.3	10.5	13.6	12.3	4.0	4.0	3.0	3.0	0.75	1.5	-	-	-	-	-	12000	12000	
WS 4.0	7.2	12.0	14.4	14.8	4.0	4.0	3.0	3.0	0.75	2.2	0.55	-	-	-	-	12000	12000	
WS 4.5	8.1	13.5	16.2	15.8	4.0	4.0	3.0	3.0	0.75	2.2	0.55	-	-	-	-	12500	12500	
WS 5.3	8.5	15.9	19.1	18.6	4.0	4.0	3.0	3.0	0.75	2.2	0.55	-	-	-	-	12000	12000	
WS 6.2	11.2	18.6	21.7	21.7	7.5	5.5	3.0	3.0	0.75	2.2	0.55	-	-	-	-	14000	14000	
WS 7.5	13.5	22.5	27.0	26.3	7.5	5.5	4.0	4.0	0.75	2.2	0.55	-	-	-	-	14500	14500	
WS 8.3	14.9	24.9	29.9	29.1	7.5	5.5	4.0	4.0	0.75	2.2	0.55	-	-	-	-	15000	15000	
WS 9.0	16.2	27.0	32.4	31.5	7.5	5.5	4.0	4.0	0.75	2.2	0.55	-	-	-	-	15800	15800	
WS 10.0	18.0	30.0	36.0	35.0	9.2	5.5	4.0	4.0	0.75	2.2	0.55	-	-	-	-	20000	20000	
WS 12.5	21.3	37.5	45.0	43.7	9.2	5.5	4.0	4.0	0.75	2.2	0.55	-	-	-	-	46400	46400	

(2) Densimat의 선별 과정 및 도면15)



그림 10. Densimat 실제 적용사진

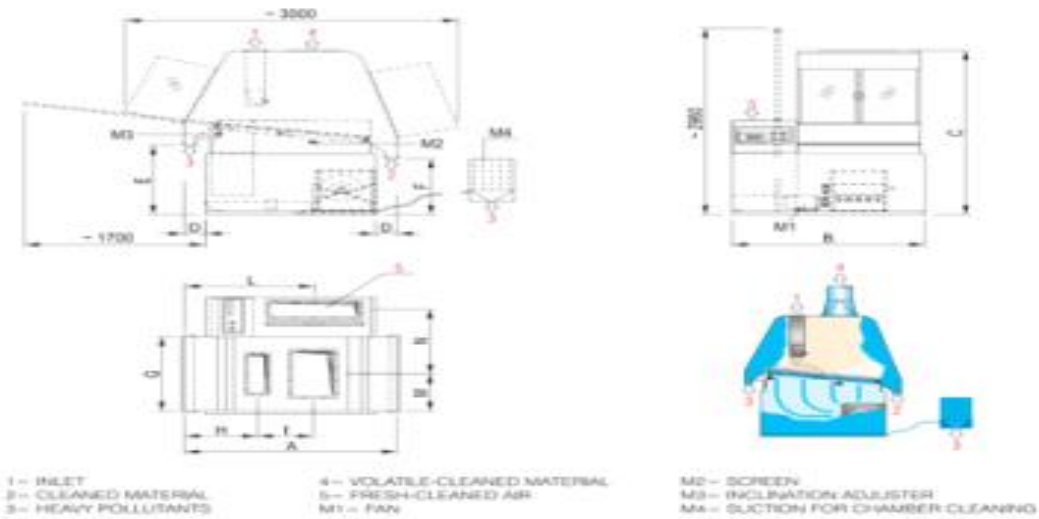


그림 11. Densimat 구조도면 및 원리

표 7. Densimat 용량 및 규격

MODEL	OVERALL DIMENSIONS (mm)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N
DSM.15.D	2000	1815	2543	200	1070	865	1150	687	525	1224	575	1000
DSM.15.D-CHIPS	2000	1815	2543	200	1070	865	1150	687	525	1224	575	1000

MODEL	CAPACITY (t/h)				SUCTION S1		INSTALLED POWER (kW)				WEIGHT APPROX. (kg)
	DUST	COARSE S.L.	COARSE C.L.	RECY-WET PARTICLES	THROUGHPUT (m ³ /h)	AIR SPEED (m/s)	M1	M2	M3	M4	
DSM.15.D	0.5-12	1.4-1.6	1.4-1.6	1.2-1.6	*	29	4.0	0.75	0.17	1.0	1360
	POLLUTED CHIPS FROM DCC										
DSM.15.D-CHIPS	2.0-2.5				16000	29	11.0	0.75	0.17	1.0	1360

*4000 m³/h for dust or 6000 m³/h for other materials.

(3) 재원 비교

- 불순물처리 용량 10ton/hr의 경우로 산정시 Wind sifter와 Densimat를 비교하였다.

표 8. Wind sifter와 Densimat 비교표

설비명	비교모델	설비 용량	소요동력 (kW)	무게 (kg)	Size (mm)
Wind sifter	1.6M	11.6ton/hr	5.25	7,500	7,398(L) × 806(W) × 11,700(H)
Densimat 2기	DSM.15.D	5 ton/hr x2	5.92 x2대	1,360 x2대	2,000(L) × 1,575(W) × 2,543(H) x2대

나) 건설 폐기물 내 가연물 선별/분리를 위한 pilot-scale 광학선별 분석¹⁶⁾

- 건설폐기물 내에 혼합되어있는 목재는 연료로 사용되거나 다른 사업의 재료로 재활용될 수 있으며 종이, 섬유제, 플라스틱, 비닐, 합성수지재 등과 같은 기타 가연물도 연료나 재활용 재료에 이용될 수 있다. 하지만 현재 선별이 되지 못하고 대부분 매립되어 재활용에 어려움이 있다. 이에 플라스틱류 및 PET류 등에 적용됐던 광학선별법을 건설폐기물에 포함되어있는 목재류 및 가연물 선별에 적용하여 이원 분리를 수행한다.

16) 김상근, 이용수, 박승태.(2010).건설폐기물내 가연물 선별/분리를 위한 pilot-scale 광학선별 연구.한국지반환경공학회 학술발표회논문집,(0),115-119.

표 9. 광학선별 가연물류 성상분석 자료

광학선별-가연물류		입도			비율	
		100mm이상	50mm~100mm	50mm 이하		
가연물	목재 외 가연물류	비닐류	0.0	0.0	0.5	0.5
		플라스틱류	0.0	4.7	20.7	25.4
		종이류	0.0	2.5	25.8	28.4
		섬유류	0.0	0.0	0.0	0.0
		기타 가연물	0.0	0.0	0.0	0.0
	비율		0.0	7.3	46.5	54.3
	목재류	자연목	0.0	0.0	0.0	0.0
		각재 등 제재목	0.0	0.2	2.1	2.3
		합판	0.0	0.0	1.4	1.4
		MDF	0.0	3.0	6.7	9.7
		PB	0.0	14.4	7.9	22.3
		기타 가연물	0.0	0.0	0.0	0.0
		비율		0.0	17.6	18.1
	비율 합계		0.0	24.9	65.1	90
	불연물	유리/자기류	0.0	0.0	0.0	0.0
금속류		0.0	0.0	0.0	0.0	
토사류		0.0	0.0	7.5	7.5	
벽돌류		0.0	0.0	2.5	2.5	
기타 불연물		0.0	0.0	0.0	0.0	
비율 합계		0.0	0.0	10	10	
총계		0.0	24.9	75.1	100.0	

- 광학선별기의 가연물 선별결과, 가연물은 약 54% 정도가 선별되었다. 일부 목재류 및 불연물류도 검출되었는데 이는 광학선별기 내에서 종이류 및 비닐 플라스틱류가 일부 목재류와 겹쳐져 인식을 못 하는 것으로 추정된다. 또한 토사류도 검출되므로, 광학선별기를 목재선별에 사용하기 위해서는 토사를 스크린장치 및 습식 선별 등의 선처리를 거친 후 광학선별기에 투입하여 선별효율을 극대화할 필요가 있다.

다) 농산물의 선별기술 현황 및 연구 동향

- 현재 우리나라에서 생산, 보급되고 있는 선별기는 중량선별기와 드럼식 형상 선별기로서 선별기술 수준이 낮은 것으로 판단된다. 중량선별기의 종류는 스프링식, 저울추방식의 기계식과 전자식이 모두 생산되어 보급되고 있으나, 화상 처리식 선별 방식은 아직 산업화되어 있지 않고 학계 및 기업체에서 연구 개발 단계에 머물러 있다.
- 기계식 중량선별기 제조업체는 세원산업, 동원, 보상 및 한성 등이 있다. 선별능력은 보통 시간당 4500~5000개 정도, 선별범위는 7~10단계, 선별정밀도는 약 5g 정도이다.

표 10. 국산 전자식 중량선별기의 특성

구 분	A	B	C
처리능력	5500개/시간	5500개/시간	30000개/시간
선별단계	8단	10단	8단
선별범위	20 ~ 990g	20 ~ 999g	20 ~ 999g
정 밀 도	± 5g	± 5g	± 5g
소용동력	0.2Kw	0.2 Kw	0.75Kw
설치면적	3600 × 2040 × 1100m/m	4180 × 2040 × 1100m/m	14000 × 2250 × 1100m/m
가 격	390만원	480만원	7,500만원

라) 건설 폐기물 내 폐목재 및 기타 가연물의 효율적 선별·분리를 위한 건식선별공정¹⁷⁾

- 페콘크리트, 페아스콘, 폐목재, 철근류, 토사 등의 건설 폐기물의 처리공정은 수거된 건설 폐기물을 1차 파쇄기로 파쇄 후 1차 자력선별기에 의해 철재류의 분리 및 2단 진동 바스크린에 의해 1차 분리되고, 수(手)선별과 이후 송풍과 물을 통한 비중선별로 이물질이 분리 배출되며, 비닐, 섬유 및 폐목재류 등의 각종 폐기물 혼합되어 분리 배출된다.
- 이후 2차 파쇄 및 선택적으로 제3차 파쇄기에 의해 재생골재로서 입형이 마무리되며, 선별기에 의해 다양한 크기의 재생골재가 생성된다. 그러나 이와 같은 선별 방법은 건설폐기물에서 비닐류, 섬유류, 폐목재류 등이 혼합된 건설폐기물은 수선별을 거쳐 조대폐기물 분리 및 파쇄 후 풍력이나 물탱크 수조의 부력으로 비중선별을 하고 있으나 혼재된 폐기물 중 폐목재의 완전한 분리는 불가능하다.
- 본 연구에서는 건설폐기물의 폐목재 및 기타 가연물을 입도·성상별로 효과적인 선별·분리를 통해 연료화할 수 있는 시스템을 구축하기 위한 공정을 검토하여 개발을 제안한다.

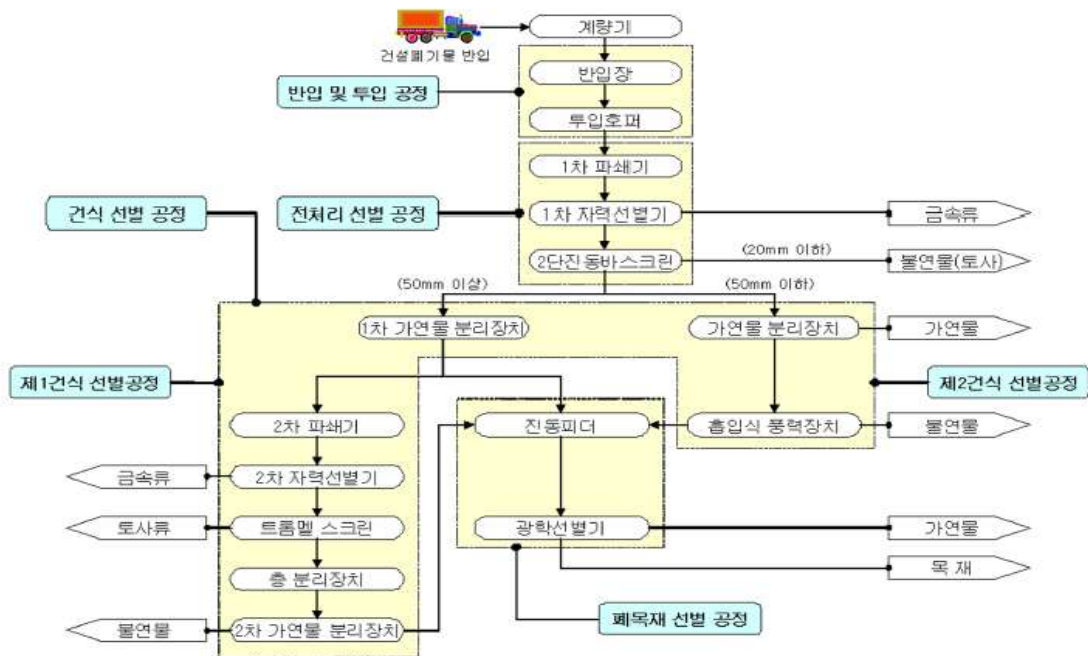


그림 12. 건식선별 공정 흐름도

- 본 공정은 건설폐기물 내 폐목재 및 기타 가연물을 효율적으로 분리하기 위하여 계획적이고 적절한 설비를 선택하여 구성하였고, 투입되는 건설폐기물의 입도 및 성상 변화에 대비할 수 있는 유연성을 확보하고, 각 단계별 공정에서의 효율성을 극대화 시켜 건설 폐기물 내 폐목재의 회수율을 90% 이상 회수할 수 있도록 공정을 구성한다.

마) 무기계, 건설폐기물 처리 및 자원화: 근적외선 분광법을 이용한 건설폐기물 내 폐목재 선별 분리¹⁸⁾

- 본 연구에서는 플라스틱류 및 PET류 등에 많이 적용되어왔던 근적외선 분광법(Near-Infrared Spectra)을 건설폐기물에 포함되어 있는 목재류 선별에도 적용하여 건설폐기물

17) 이윤성; 한완수; 김승준; 서완석; 이병선; 나경덕 한국폐기물자원순환학회 춘계학술발표논문집 (2010-05)

18) 김상근; 정하익 식별저자; 유준; 박승태 한국폐기물자원순환학회 춘계학술발표논문집 (2009-05)

내 가연물 및 목재류 등의 이원분리를 수행한다.

- 선별 실험 장치는 독일 T사 광학선별기 제품이다. NIR 및 VIS 센서의 기능을 갖춘 제품으로서 기계 동작 중에 투입물질에 대한 재질과 색상, 위치 및 크기 등을 인식하며 원하는 선별물질의 흐름에서 에어노즐을 통하여 선별한다.

(1) 공정순서

- ① 투입 성상의 중량 측정 ⇨
- ② 광학선별기 효율을 위하여 미립자(10mm 이하) 사전 수선별로 분류 ⇨
- ③ 미립자를 제외한 시료를 1차로 광학선별기에 투입 ⇨
- ④ 광학선별기를 통해 1차 목재류 선별 ⇨
- ⑤ 나머지 물질(Pass Fraction)을 2차로 광학선별기에 투입 ⇨
- ⑥ 광학선별기를 통해 2차 목재류를 재선별 ⇨
- ⑦ 선별된 물질에서 수선별을 통해 성분 분석재를 선별

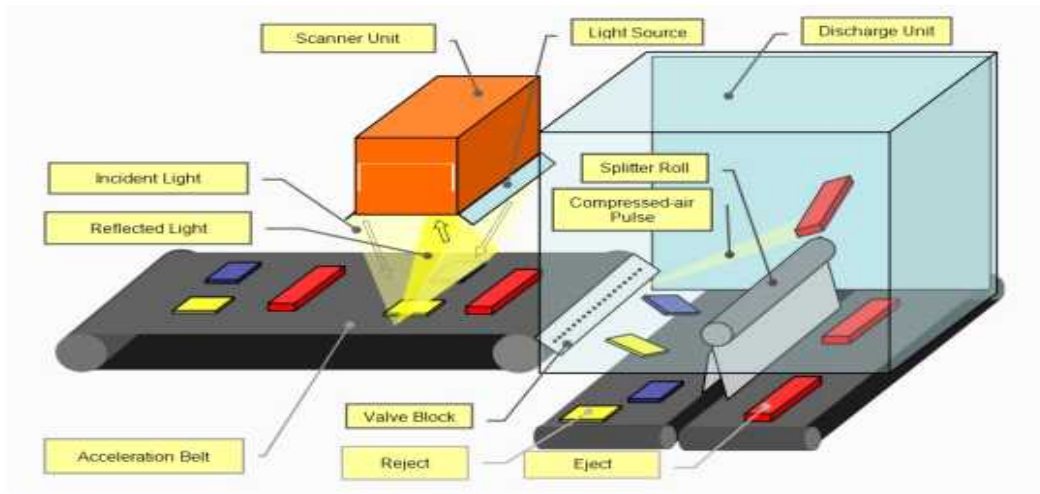


그림 13. T사 광학선별기 제품

- 토사 및 미립분을 수선별로 약 35% 제거하고 1차 및 2차 광학선별을 수행한 결과, 전체 투입량 25.12kg에서 18.58kg의 목재가 회수되어 약 74%가 선별되었으며 선별물 19.36kg 중 18.58kg이 순수 목재이므로 순도율은 약 96%로 분석된다.

바) 자력선별장비의 유형과 활용¹⁹⁾

- 자력선별 장비는 일반적으로 광산업 및 재활용 분야에서 사용되어왔으며, 다양한 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 자력선별장비는 비철재료로부터 철 스크랩 분리를 위한 조립자용 선별장비와 3mm 이하 미립 강자성체를 농축하기 위한 미립자용 선별장비로 구분된다.
- 또한 미립자용 선별장비는 저자력 선별장비와 고자력 선별장비로 세분된다. 저자력 선별장비는 강자성체나 높은 자화율의 상자성체를 분리하는데 사용되고, 고자력 선별장비는 낮은 자화율의 상자성체를 분리하는데 사용된다. 저자력 및 고자력 선별장비 모두

19) 자원리사이클링 v.27 no.6 , 2018년, pp.11 - 22 <http://dx.doi.org/10.7844/kirr.2018.27.6.11>
이상훈(계명대학교), 양인재(한국광해관리공단), 최승진(한국광해관리공단), 박제현(한국광해관리공단 광해기술원)

습식과 건식으로 활용될 수 있다. 최근 0.7 Tesla미만 영역에서 활용되는 전자석 고구배 자력선별장비는 1980년대 이후 사용화된 희토류 영구자석으로 제조된 자력선별장비로 점진적으로 대체되는 추세이며, 환경분야와 생물분야에서 합성자성물질과 관련된 나노기술의 확대는 향후 자력선별기술의 발전에 긍정적으로 기여할 것으로 기대된다.

(1) 고자력 선별장치

(가) 건식 선별장치

- 전자석을 사용하는 대표적인 철 스크랩용 자력선별기는 상향식(suspended) 자력선별기이다. 이는 공정물질 stream에 작용하는 자기장을 일정하게 유지하기 위해 공정물질의 쌓인 깊이의 일정함과 자성물질의 균질성이 확보되지 않으면 자력선별이 제대로 이루어질 수 없다는 단점이 있다.

(나) 습식 선별장치

- 철 스크랩용 자력선별기는 영구자석을 사용하기도 하고 전자석을 사용하기도 한다. 영구자석 자력선별기에서 영구자석은 고정되어 있고 물질들이 유체와 함께 영구자석을 통과하는 방식이다. 이 방식은 영구 자석을 통과하는 물질 내 철 스크랩함량(농도)이 낮을 때 사용하는 방식이다. 종류로는 (판형(plate), 석쇠형(grate), 트랩형(Trap)이 있다.

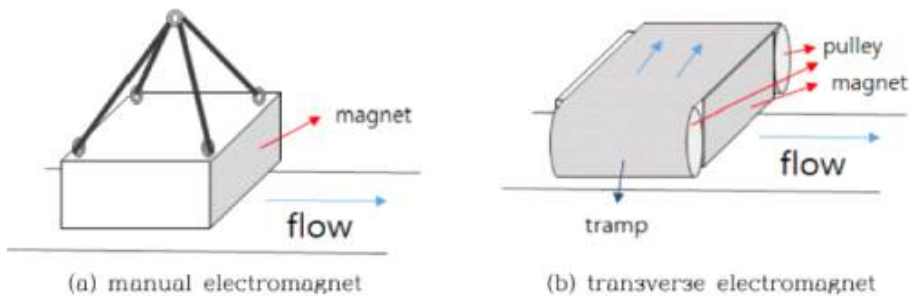


그림 14. 건식 선별장치(고자력)

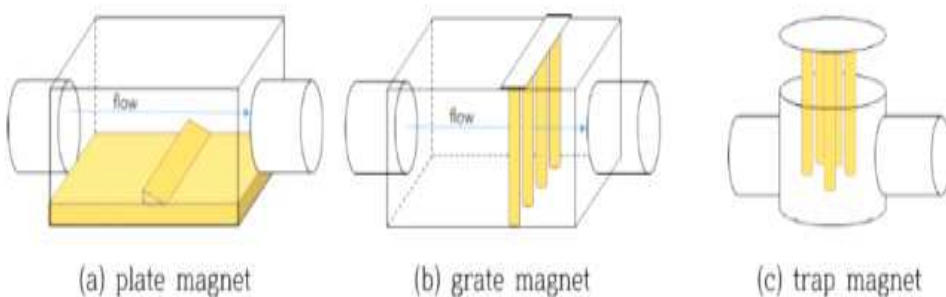


그림 15. 습식 선별장치(고자력)

(2) 저자력 선별장치

(가) 건식 선별장비

- N극과 S극의 극성을 교대로 하는 자석의 사용은 Ball-Norton 자력선별기의 기본 원리이다. 건식 컨베이어벨트를 활용한 드럼 선별장치의 문제점 중의 하나는 74 μm 이하의 비자성 입자가 정전기력의 영향을 받아 벨트에 계속 부착됨으로서 선별효율을 감소시키는 것이다. 이 문제를 해결하기 위해 기존 호퍼의 위치를 드럼자석 직상부에 위치시켜 비자성입자와 벨트와의 접촉시간을 줄임으로써 정전기력을 최소화하는 방법이 제시된다.

(나) 습식선별장비

- 습식 드럼 자력선별선별기는 드럼의 회전방향과 물의 흐름방향에 따라 아래에서 보는 바와 같이 정류방향(concurrent)방식, 역류방향(countercurrent)방식, 역회전(counterrotation)방식으로 대별된다. 정류방향 방식은 물의 흐름방향과 드럼의 회전방향이 같은 것으로 자성입자는 드럼에 붙어 더 길게 이동하고 드럼에 붙지 않은 물과 비자성입자는 드럼하우징 아래로 낙하되는 원리이다. 역류방향 및 역회전방식은 물의 흐름방향과 드럼의 회전방향이 반대인 선별방식이다.

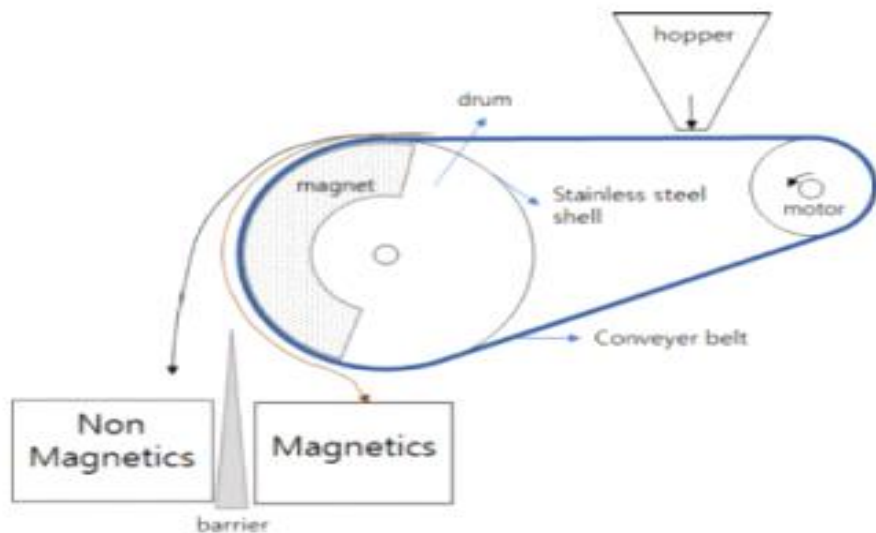


그림 16. 건식 선별장치(저자력)

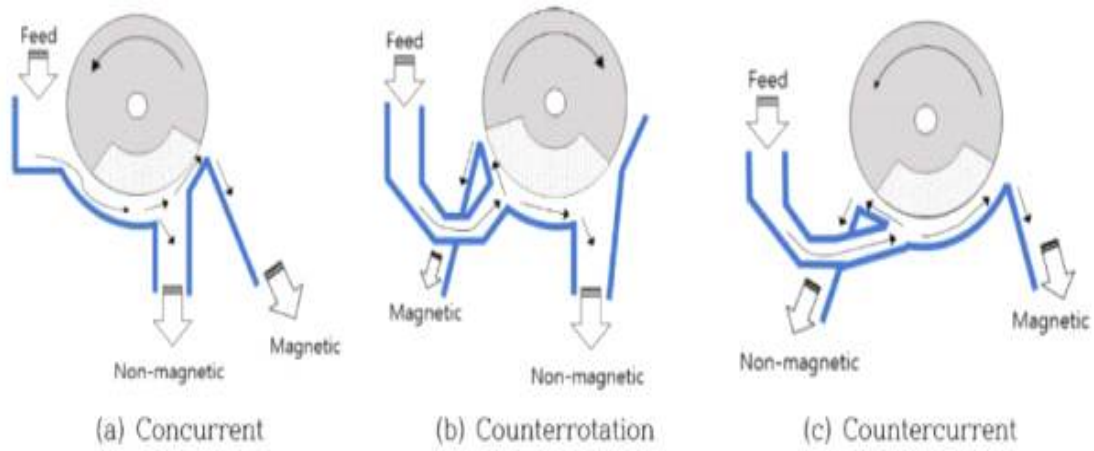


그림 17. 습식 선별장치(저자력)

사) 풍력 및 비중선별에 의한 건설폐기물 분리특성 분석²⁰⁾

- 본 연구에서는 재생골재로 재활용되는 건설폐기물에서 부산물로 생성되는 가연성 폐기물에 붙어있는 토사를 제거하는 것뿐만 아니라 가연성 폐기물의 비중차로 인한 비중 및 풍력선별을 건설폐기물에 포함되어 있는 목재류 선별에도 적용하여 건설폐기물 내 가연물 및 목재류 등의 이원분리를 수행하고자 한다.
- 최근에는 비중선별의 효율 향상과 처리할 수 있는 입자크기의 범위가 확대되고, 정밀한 선별기기 등이 개발되어, 각 분야로의 적용범위가 확대되고 있다. 비중선별에는 풍력선별과 관성선별, 박류선별(winding flowing separator) 등이 있다. 박류선별 중 테이블 선별법은 약간 경사진 테이블에 시료를 공급하고 테이블을 진동시키면서 분리하는 방법이다. 관성선별은 고형폐기물을 가볍고 무거운 입자로 선별하기 위하여 탄도 또는 중력 선별법을 이용한 것이다.

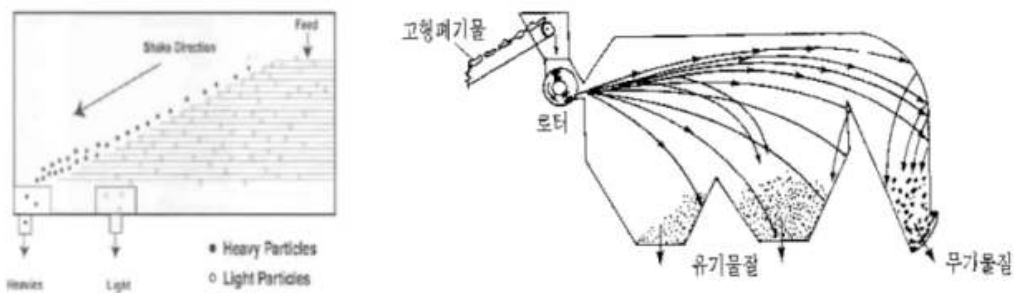


그림 18. 테이블 박류선별(좌), 관성선별 장치(우)

- 본 연구에서는 기존 경사식 컨베이어에 선별물의 비중차이 및 일정 공기압을 붙여넣어 공기압보다 무겁고 경사컨베이어의 각도에 의해 낙하하는 가연물을 선별한다.

20) 김상근, 정하익, 유준.(2009).풍력 및 비중선별에 의한 건설폐기물 분리특성 분석.한국지반환경공학회 학술발표회논문집, 122-125.

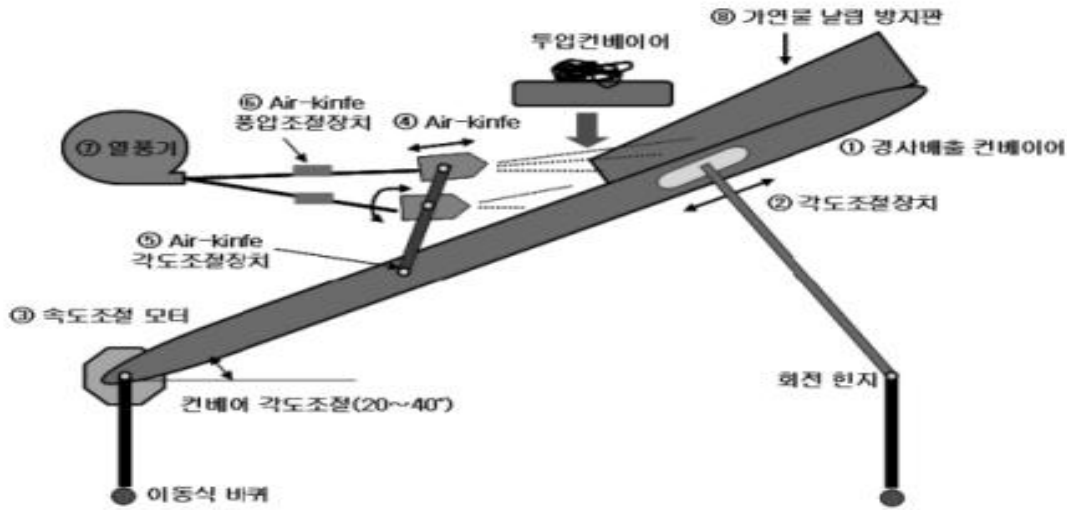


그림 19 Air-knife형 비중선별장치

- 비중선별 결과, 섬유류, 비닐류, 스티로폼류는 경사각 45도까지 시료 모두 벨트판에 접촉하거나 판 위로 상승하였다. 종이류는 크기에 따라 35도 이상부터 조금씩 낙하하였고 플라스틱류는 30도 이상부터 경사각이 커질수록 조금씩 아래로 낙하하였다. 목재류는 35도 이상부터는 모두 아래로 낙하하였다. 따라서, 컨베이어 각도는 35도 이상부터 목재류의 선별 분리가 가능할 것으로 판단되나 미세한 조정이 필할 것으로 보인다.

아) 선별 시스템 사용에 따른 경제성 분석

- 국내 목재펠릿 수요는 최근 매년 16% 이상 증가하였다.²¹⁾

▶ 국내 목재펠릿 수요 전망

[단위: 톤]

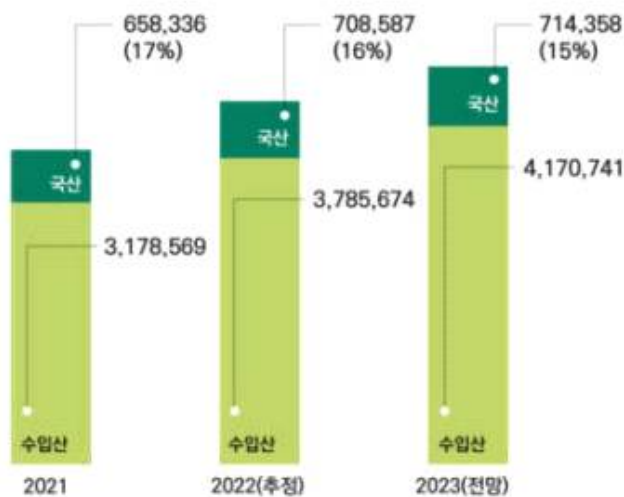


그림 20. 목재펠릿 수요전망

- 미이용 산림바이오매스 공급 추종치 또한 매년 30%씩 증가하였다.²²⁾ 국내에서 확보 가능한 미이용 산림바이오매스를 펠릿화하는 과정에서 충분한 원료확보 가능 및 수요대

21) 국립산림과학원_2023년 산림,임업,산촌의 핵심이슈 미래전망 발표자료

22) 국립산림과학원_2023년 산림, 임업, 산촌의 핵심이슈 미래전망 발표자료

비 공급이 가능한 것으로 분석된다. 장기적인 수요와 공급의 증가가 예상됨에 따라 해당 산업의 발전가능성 및 시장 점유에 이점 확보할 수 있다.

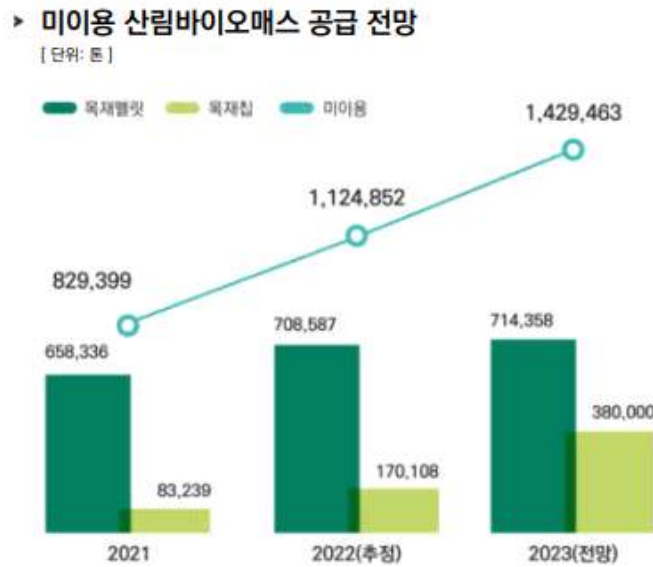


그림 21. 미이용 산림바이오매스 공급 전망

- NPV(Net Present Value)을 통한 경제성 분석²³⁾

$$\text{계산식: } NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0$$

t : 기간

C_t : t 시점에서의 현금 흐름(수익성)

r : 할인율,(출처 : 국회 예산 정책처, 물가상승률을 반영한 재무적 명목 할인율 3.86% 적용)

C₀ : 현재 시점에서 투자하는 금액

- 최초 수익률은 국내 목재펠릿 시장 점유율 1%로 선정하고 공급 및 수요 성장에 따른 n년차 수익 상승률 10%로 추정하였다. 계산 결과, 2년차 손익분기점 돌파 및 기업 소득 증대로 해당 시스템의 경제성은 우수한 것으로 분석된다.

표 11. 순현재가치법을 적용한 경제성 분석, ratio : 3.86%, 단위 : 백만원

시점(년차)	현금흐름(수익성)	PV
0	-1,000(초기투자)	
1	720	-307
2	792	427
3	871.2	1,205
4	958.3	2,029
5	1054.2	2,901

23) (출처 동백나무 재배 수익성 분석에 관한 연구, 박문수, 최수임, 2018, Journal of Agriculture & Life Science 53(1) pp.31-38)

2) 관련 경쟁사 제품 및 선별 시스템 분석

가) 국내외 주요제품

(1) 목재 선별기기 해외 시장 주요 업체 및 제품 현황

- 세계 목질계 바이오매스 선별기기 주요 해외 기업은 ANDRITZ GROUP, TOMRA, BINDER+CO, SPALECK GmbH & Co. KG, NIHOT, SOLLAU, Terra Select GmbH & Co. KG 등으로 조사되었다.

표 12. 해외 주요 기업별 목재 선별기기 제품

기업명	국가	선별 방식	주요 제품
TOMRA	노르웨이	광학선별	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AUTOSORT ▪ X-TRACT
BINDER+CO	오스트리아	진동선별	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BIVITEC Flip Flow Screens ▪ Recycling Screens ▪ BIVITEC e+
SPALECK GmbH & CO. KG	독일	진동선별	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3D Combi-Flip-Flow-Screen ▪ Density Separator ▪ Flip-Flow-Cassette for Screen ▪ Flip-Flow-Cassette for Vibratory Feeder ▪ Flip-Flow-Screen Elastica ▪ Recycling Waste Screen
SOLLAU	체코	자력선별	전자석 사용 <ul style="list-style-type: none"> ▪ DND-AC E 영구자석 사용 <ul style="list-style-type: none"> ▪ DND-AC Series(Ferriet/ Neodymium) ▪ DND-MC Series(Ferriet/ Neodymium)
NIHOT	네덜란드	풍력선별	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SDS windshifter series ▪ SDX windshifter series ▪ DDS windshifter series ▪ SDI windshifter series
Terra Select GmbH & Co. KG	독일	회전선별 (트롬멜)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TERRA SELECT T 40 ▪ TERRA SELECT T 50 ▪ TERRA SELECT T 55 ▪ TERRA SELECT T 60, T60T, DT60 ▪ TERRA SELECT T 70
		풍력 선별	<ul style="list-style-type: none"> ▪ W70

나) 목재 선별기기 국내 시장 주요 업체 및 제품 현황

- 국내 목질계 바이오매스 선별기기 주요 해외 기업은 테슬라 마그네틱스, (주)우성마그네트, JST 제이에스티, ACI 케미칼 등으로 조사되었다.

표 13. 국내 주요 기업별 목재 선별기기 제품

기업명	선별 방식	주요 제품
테슬라 마그네틱스	자력선별	전자석 이용 <ul style="list-style-type: none"> 철편 자동제거 전자석 선별기(ESS Series) 철편 수동제거 전자석 선별기(ESM Series) 전자석 드럼 선별기(TEDS Series) 영구자석 이용 <ul style="list-style-type: none"> 철편 자동제거 영구자석 선별기(PSS Series) 철편 수동제거 영구자석 선별기(PSS Series) 영구자석 드럼선별기(PDS Series)
(주)우성 마그네트	자력선별	전자석 이용 <ul style="list-style-type: none"> WMB 전자석 자력 선별기/자동식 WMS 전자석 자력 선별기/수동식 WMB-OL 전자석 자력 선별기/자동식 영구자석 이용 <ul style="list-style-type: none"> WMP 영구자석 선별기
(주)제이에스티	풍력선별	<ul style="list-style-type: none"> JISDS-800 JISDS-1600
	진동선별	<ul style="list-style-type: none"> JIV-1500 JIV-2000
ACI 케미칼	비중선별	<ul style="list-style-type: none"> ACI-AS Series (700, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000)
	발리스틱 선별	<ul style="list-style-type: none"> ACI-BC Series (40, 60, 80, 120)
	광학선별	<ul style="list-style-type: none"> MISTRAL+ Series

3) 선별기의 분류

가) 목재 선별기기 해외 시장 주요 업체 및 제품 현황

- 미이용 산림바이오매스 목질계 선별에 사용되는 선별기는 원리에 따라 분류할 수 있다. 본 보고서에서는 선별 원리에 따라 광학, 자력, 진동, 회전, 발리스틱, 풍력, 비중선별기로 분류하였다.

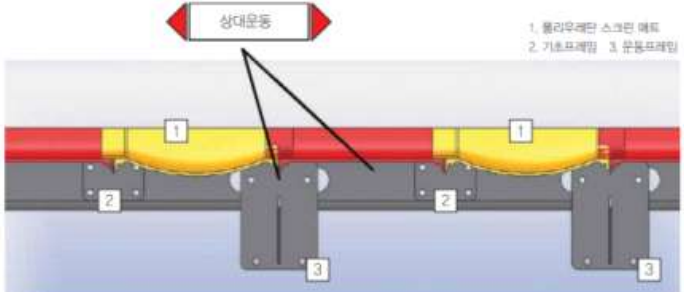

표 14. 선별원리별 목재선별기 분류

선별 원리	특징	예시 사진
광학 선별기	<ul style="list-style-type: none"> ▪ X선, 근적외선 등을 이용하는 광학기술을 이용하여 물질의 재질, 색상을 파악하여 이물질을 선별 	 <p><TOMRA사의 X-TRACT></p>
자력 선별기	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 전원을 공급하여 사용하는 전자석형과 네오디뮴 자석 혹은 페라이트 자석을 사용하는 영구자석형으로 나눌 수 있음 ▪ 컨베이어 벨트 위나 아래에 설치하여 주로 바이오매스에 섞여 있는 철금속(자성체)를 선별하는데 사용됨 	 <p><SOLLAU사의 DND-AC 모델></p>
진동 선별기	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 스크린 매트에 진동운동을 전달시켜 그 위에 있는 대상을 크기에 따라 선별 ▪ 고수분 및 건조 혼합물에 적합 	 <p><BINDER+CO사의 BIMTEC Flip Flow Screen></p>
회전 선별기 (트롬멜)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 회전식 혹은 트롬멜 스크린이라 불리며 비스듬하게 올려진 구멍이 뚫린 원통형 드럼으로 구성됨 ▪ 대상 혼합물이 회전드럼 아래로 내려가며 선별이 진행됨. 스크린 구멍보다 작은 물질은 스크린을 통과하고 크기가 큰 물질은 드럼의 다른 끝으로 나옴 	 <p><TERRA SELECT사의 T 50 모델></p>
발리스틱 선별기	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대상 혼합물을 발리스틱 패들의 회전을 통해 대상물을 선별하는 장치 	 <p><ACI 케미칼 사의 ACI-BC 모델></p>

<p>풍력 선별기</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대상 혼합물에 일정한 풍압과 풍속의 바람을 분사하여 가벼운 물질과 비교적 무거운 물질을 선별하는 장치 	 <p><NIHOT 사의 SDX 모델></p>
<p>비중 선별기</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 비중이 서로 다른 물질이 점성 유체 내에서 외력(중력, 원심력 등)을 받으면 비중차에 의해 서로 다른 낙하운동을 하게 되는데 이 원리를 이용하여 물질을 선별하는 장치 	 <p><ACI 케미칼 사의 ACI-AS 모델></p>

(표를 위한 여백)

나) 적용 대표 제품 상세 현황

제품명	SPALECK 플립-플로우 스크린 엘라스티카
제조사	SPALECK
제조국	독일
작동 방식	진동 선별 방식
제품 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 함수율이 높은 물질을 선별하는데 주로 이용됨 - 트롬멜 방식과 다르게 말림현상이 없으며 선별망의 크기는 약 0.2~120mm - 바이오매스, 혼합폐기물, 건설 폐기물 등을 대상으로 사용 - 운동프레임과 기초 프레임 사이에 설치된 선별매트는 두 개의 진동 프레임 사이에서 흔들리며 선별 - 샤프트와 편심모터가 기초 프레임을 진동시키며, 그 진동운동이 추진 고무를 통해 운동 프레임으로 전달 - 운동프레임과 기초 프레임 사이에 설치된 선별매트는 두 개의 진동 프레임 사이에서 흔들리며 선별 <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  <p>상대운동</p> <p>1. 폴리아미드 스크린 매트 2. 기초프레임 3. 운동프레임</p> </div> <p style="text-align: center;"><선별 원리></p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p style="text-align: center;"><제품 실제 사진></p>

제품명	철편 자동제거 영구자석 선별기(PSS)/ 철편 분리기
제조사	테슬라 마그네틱스
제조국	대한민국
작동 방식	자력 선별 방식
제품 내용	<p>- 전자석이 아닌 영구자석을 이용하여 컨베이어 벨트를 통해 운반되는 원료에서 자성체 제거</p> <p>- 선별 원료가 벨트와 자석 사이에 유입되지 않도록 사이드 스크트가 설치되어 있음</p> <p>- 목재칩/펠릿 등 상대적으로 가벼운 원료 속에 포함된 철편 제거</p> <div style="text-align: center;">  <p><제품 실제 사진></p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>오버헤드풀리(Over head pulley) / 인라인 (In-line) 설치</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>벨트 직교 (Cross over belt) 설치</p>  </div> </div> <div style="text-align: center;"> <p><제품 설치 사진></p> </div>

제품명	SDS 650-i/ SDS 800-i
제조사	NIHOT
제조국	네덜란드
작동 방식	풍력 선별 방식
제품 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 공정수정 없이 풍력 선별기를 이용하여, 송풍기 팬 및 투입 컨베이어 속도를 조정하는 방식 적용 - 3가지 모드로 프로그램을 설정하여 풍력 선별기의 성능을 스피드 컨트롤러로 제어하여 불순물 비율 조절이 가능 - 0~15mm 에서 0~150mm 사이즈까지의 물질 선별 가능 - 풍압과 풍량을 조절해 선별하고자 하는 물질의 낙하지점을 다르게 하여 3가지 종류까지 대상 물질을 선별 <div style="text-align: center;">  <p><제품 작동 원리></p> </div>

3. 미이용 산림바이오매스와 불순물

가. 현장 분석을 통한 이물질 현황 분석

1) 미이용 산림바이오매스 수집 현장

- 미이용 산림바이오매스는 별채하고 남은 산물, 피해목 등이 노지에 노출되어있는 상태로, 크레인 등을 이용하여 긁어모으는 방식으로 수집한다. 부피가 크고 무게가 높으므로 중장비를 이용하여 수집되며, 수거 과정에서 흙과 돌에 의한 불순물 유입이 심각하여 고도화된 선별장치 없이는 소규모 제조시설에서 사용하기 힘든 상황이다.
- 미이용 산림바이오매스의 상당수는 가지류가 주를 이룬다. 가지류는 잔가지, 넝쿨 등으로 인해 부피가 크기 때문에 수집현장에서 돌, 과일 등의 예측하기 힘든 다양한 이물질이 포함되어 수집될 수 있다. 또한 작업 장소와 날씨, 운방 방법 등의 외부요인에 영향을 받는다.



그림 22. 미이용 산림바이오매스 수집 현장.

2) 이물질 혼입사례와 피해사례

- 전술한 바와 같이, 중장비를 이용하는 수집과정에서 같이 포함되는 돌, 흙 외에도, 미이용 산림바이오매스 자체에 포함된 과일, 넝쿨, 잎 등이 많고, 작업 현장에서 버려지거나 유실되는 철 자재, 쓰레기, 공구 등도 발생하는 것으로 파악되었다.
- 그중에서도 돌과 흙은 제대로 선별되지 않을 경우, 펠릿 제조설비의 마모를 가속함에 따라, 제조시설 유지비용 상승의 주요 원인으로 작용한다. 또한, 높은 불순물 함량은 본래 특성인 목질 함유량을 낮춰 발열량을 낮추고 높은 회분량으로 목재펠릿 제품의 품질을 떨어뜨려 사용에 어려움이 발생하게 된다. 그 밖에 과일 및 넝쿨, 잎이 혼입될 경우, 순수 목질의 비율이 낮아지므로, 목재펠릿 제품의 품질 저하의 원인으로 작용한다.²⁴⁾

24) 류제윤, 강찬영, 이응수, 서준원, 이현중, 박현.(2010) 국내산 낙엽송의 톱밥 유형에 따른 펠릿특성에 관한 연구. 목재공학 38(1) 49-55



그림 23. 미이용 산림바이오매스 수집 과정에서 발생하는 이물질 혼입사례 (1).

- 산지 등에서 미이용 산림바이오매스를 수집하지만, 자연물 외의 이물질들도 다량 포함된다. 대표적으로는 공사현장에서 사용되는 공구, 철사, 파이프 등의 공사재료, 현장 및 방문객의 쓰레기 등이 있다. 이러한 이물질이 제거되지 않을 경우, 기계 마모, 목재펠릿 제품 품질 저하의 원인으로 작용한다.



그림 24. 미이용 산림바이오매스 수집 과정에서 발생하는 이물질 혼입사례 (2).

- 목재펠릿 생산공정은 목재를 파쇄·분쇄·건조·성형하는 공정으로 범주화할 수 있다. 칼날, 햄머밀 등으로 목재를 파쇄·분쇄하는 과정을 거쳐, 규격에 맞는 긴 원통형 모양으로 성형하기 위해 다이라는 틀에 넣고, 롤러셀이라는 장치로 압력을 가하여 압출하게 된다.
- 이러한 생산공정에서 각 기계의 부품들이 맞닿으며 마모가 일어나게 되는데, 이 과정에서 돌, 철 등의 단단한 이물질들이 포함될 경우, 설비의 마모가 가속화될 수 있다. 생산관계자의 말에 따르면 원재료를 파쇄하는 고속회전 설비인 햄머밀의 경우, 교체주기는 500~600시간 수준이나, 이물질이 다량 포함될 경우에는 무려 300시간 이하로 교체주기가 축소되어 제조원가 상승, 생산량 감소 등 어려움을 가중시키는 것으로 집계되었다.



그림 25. 미이용 산림바이오매스 수집 과정에서 발생하는 이물질 혼입사례 (3).

(내용을 위한 여백)

나. 미이용 산림바이오매스 기본품질측정과 선별기 개발을 위한 기초실험

- 미이용 산림바이오매스에 대한 펠릿 생산공정에서, 원료의 품질과 공정단계별 품질을 파악하여, 공정의 특성 및 선별기의 위치를 선정하기 위해 기본품질 측정을 진행할 필요가 있다. 또한, 선별기에 포함된 이물질 선별방법을 원료의 특성에 맞게 선택할 필요가 있다.
- 이에, 미이용 산림바이오매스의 품질측정은 「목재제품의 규격과 품질기준(시행 2020. 12. 30. 국립산림과학원고시 제2020-3호, 2020. 12. 30. 일부개정)」을 참고하여 진행하였다. 또한, 입고 과정에서 발견되거나 선별 시 분리·배출되는 이물질 종류를 파악하고, 문제점을 분석하였다.

1) 측정법

가) 물리적 품질측정

(1) 입자크기별 비율

- 입자크기의 분포를 알고자 샘플을 입자별로 분리하여 무게별 비율을 측정한다. 측정법은 샘플 채취 후, mesh망을 체 진동기로 스크리닝을 하여 각 입자 크기별로 분리한다.

(2) 비중 측정²⁵⁾

- 비중은 원재료의 무게를 부피로 나눈 값을 4℃ 물의 밀도의 비를 의미한다. 목분을 1.74L 부피를 가지는 철제용기에 넣어 비중을 측정한다. 이때, 목재펠릿 품질기준의 겉보기밀도 측정법을 참고토록 한다.

나) 화학적 품질

- 펠릿 생산에서 기본적으로 요구되는 품질인 함수율과 회분을 측정한다.

(1) 함수율

- 함수율이란 원재료 속에 포함된 수분을 나타내며, 목재에 포함된 수분은 목재와 화학결합이 되어있는 결합수, 자유롭게 이동하는 자유수 등이 있다. 측정법은 105℃에서 일정 시간 전건 시킨 후, 건조 전·후의 무게비를 이용하여 측정한다.

(2) 회분²⁶⁾

- 회분이란, 완전연소 후 남은 재를 뜻하며, 원재료 속 포함된 무기물 및 이물질의 양을 나타낸다. 전기로를 이용하여 완전연소 후, 무게비를 이용하여 측정한다.

25). 국립산림과학원, 제2020-3호, 2020. 12. 30., 일부개정, 겉보기밀도를 참고하여 진행

26). 국립산림과학원, 제2020-3호, 2020. 12. 30., 일부개정, 회분측정법을 참고하여 진행

2) 공통 측정기구

가) 중형 전자저울

- 제조사 : (주)카스
- 모델명 : 전기식 지시저울 WZ-2D
- 정보 : Max_6000g, Min_20g, e=d_0.5g

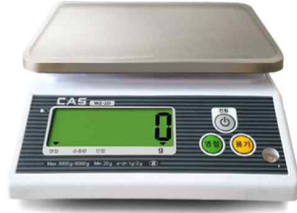


그림 26. 전기식 지시저울
WZ-2D.

나) 소형 전자저울

- 제조사 : A&D 전자저울
- 모델명 : FX-300I
- 정보 : Max_320g, Min_0.001g, e=d_0.001g



그림 27. A&D 전자저울
FX-300I.

다) 전기로

- 제조사 : (주)랩마트
- 모델명 : DMF-5T
- 정보 : 내부규격_150*260*130, Max_800℃



그림 28. 전기로
DMF-5T.

3) 미이용 산림바이오매스 기본품질 측정

가) 원재료 상대 품질

- SY에너지(주)의 협조를 얻어 입고되는 원재료 중 가장 비율이 높은 수확수종갱신 부산물, 피해목 목부성 원재료, 산지개발 부산물을 대상으로 생산공정에 투입 전의 함수율과 회분 등의 품질을 측정을 시행했다.



그림 29. (좌측부터)수확수종갱신 부산물, 피해목 목부성원재료, 산지개발 부산물.

- 측정 결과, 함수율과 회분은 산지개발 부산물, 수확수종갱신 부산물, 피해목 목부성 원재료 순으로 높게 나타났다. 산지개발 부산물의 경우, 노지에 오래 노출된 결과 품질이 낮게 나타난 것으로 추정된다. 피해목 목부성 원재료의 경우 상대적으로 적은 표면적으로 인해 높은 품질을 나타낸 것으로 보인다. 위 원재료들이 균일하게 혼합된다고 가정할 경우, 평균적인 회분량은 각 원재료 회분의 평균값인 6.04%로 예상된다. 결과적으로 이물질 제거하지 않은 상태로 생산공정에 투입할 경우, 상품 가치가 매우 낮은 펠릿이 제조되고 이물질로 인한 생산공정 부품의 마모 발생을 충분히 유추할 수 있다.

표 15. 미이용 산림바이오매스 원재료 기본측정 결과값

구 분	수확수종갱신 부산물	피해목 목부성 원재료	산지개발 부산물
함수율(%)	31.52	27.17	40.08
회분량(%)	4.44	1.18	12.49
총 평균 함수율(%)	32.92		
총 평균 회분량(%)	6.04		

나) 건조 후 품질

- SY에너지(주)의 협조를 얻어 생산공정에서 건조 후 배출되는 목분을 채취하여 시험을 진행하였다. 건조 후의 시료이기에 전체적인 함수율이 낮다. 또한 자력선별 및 풍력선별 등의 1차선별을 거쳐서 전체적인 회분함량은 낮아졌으나, 0.4 mm 이하의 목분에서는 회분량이 21.19%로 매우 높게 나왔다. 실제 생산공정에서는 0.4 mm 이상의 목분만을 이용하여야만 높은 품질등급의 펠릿을 생산할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 건조 이후 함수율이 낮아짐으로 인해, 미분 등의 먼지가 목부성 재료에 흡착되지 않는다는 문제가 존재한다. 이로 인해 입도선별 등 진동을 사용한 이물질 제거방식을 건조기 후단에 위치하는 것이 용이하다고 판단된다.

표 16. 미이용 산림바이오매스 건조 후 기본측정 결과값

구분	a>1.75	1.75>a>0.4	0.4>a
평균 무게 비율(%)	73.78	21.47	4.75
평균 비중	0.13	0.18	0.26
평균 함수율(%)	11.31	10.00	12.43
평균 회분량(%)	1.84	3.71	21.19
총 평균 비중	0.14		
총 평균 함수율(%)	11.08		
총 평균 회분량(%)	3.10		



그림 30. (좌측부터) 1.75mm 이상, 1.75mm~0.4mm, 0.4mm 이하의 회분 사진.

다) 2차파쇄 후 품질 측정

- SY에너지(주)의 공정 중 성형 전 단계에서 목분을 채취하여 품질을 측정했다. 펠릿 모양의 최종결과물이 되기 직전 단계이며, 총 평균값은 각 무게비율만큼 가중치를 두어 산출한다. 건조 후 파쇄공정을 거치며, 1.75 mm 수준으로 목분 입자크기가 작아지고 1.75mm이하 ~ 0.4 mm 이상 목분의 비율이 높아져 전체적인 비중 또한 증가하였다. 또한 0.4 mm 이하의 미분을 입도선별 단계에서 제거하여 전체적인 회분이 줄어들었다.
- 건조 후 파쇄공정을 거치며 1.75 mm 이상 목분의 입자크기가 작아지고 1.75 mm 이하~ 0.4 mm 이상 목분의 비율이 높아져서 전체적인 비중 또한 증가하였다. 아울러, 건식선별을 거쳤기에 전체적인 회분 함량이 낮아졌고 총 평균 회분량도 낮아졌다.

표 17. Sawdust 기본품질 측정 결과값

구분	a>1.75	1.75>a>0.4	0.4>a
평균 무게비율(%)	33.53	53.27	13.21
평균 비중	0.14	0.20	0.24
평균 함수율(%)	8.00	8.17	6.93
평균 회분량(%)	1.47	1.97	6.20
총 평균 비중	0.18		
총 평균 함수율(%)	7.95		
총 평균 회분량(%)	2.36		



그림 31. (좌측부터) 1.75mm 이상, 1.75mm~0.4mm, 0.4mm 이하 회분 사진.

4) 소결

- 미이용산림바이오매스의 경우, 수집방법 및 종류에 따라 각기 다른 품질을 나타내었다. 수확수종갱신 부산물, 피해목 목부성 원재료, 산지개발 부산물 순서대로 회분이 순서대로 4.44%, 1.18%, 12.49%로 편차가 컸으며, 이물질선별을 거치지 않고 펠릿생산을 할 경우 6.04%의 회분을 나타낼 것으로 예상된다.
- 전체적으로 제조 공정을 거칠수록 회분과 낮아진다. 이는 파쇄 및 선별이송과정에서 바람 등의 영향으로 흩날린 이물질들이 제거된 영향으로 보이며, 성형 전 단계에서는 높은 회분량을 가지는 0.4 mm 이하의 미분을 입도선별과정에서 제거하여 전체적인 회분이 낮아진 것으로 판단된다.
- 기본품질측정으로 건조 후의 공정에서 이물질 선별이 용이할 것으로 판단되었다. 또한, 성형기 투입 직전의 목분은 매우 작은 sawdust 상태로 존재해야 하는데, 이를 위해서는 분쇄과정이 필요할 것이다. 하지만 분쇄 이후 공정에서 선별기를 위치시키게 되면 분쇄기 및 전 공정들의 설비마모 우려가 높아지므로, “건조 후 단계 ~ Sawdust 분쇄단계” 사이에 선별기를 위치하는 것이 적절하다고 판단된다.



그림 32. 선정된 선별기 위치 (모식도).

다. 선별기 개발을 위한 기초실험

- 위 기초품질측정을 토대로 공정을 분석하고 선별흐름을 선택하였다. 다만 이물질선별 방식은 각 방법에 따라 장단점 및 효율의 차이가 있어 pilot 실험을 진행하여 측정하였다. 이물질 선별방식에서 대중적으로 사용되는 방법들은 다음의 표와 같다.

표 18. 보편적인 이물질 선별방식에 따른 장단점

종류	상세분류	장점	단점
자력선별	자력선별기	철제 이물질 한정 높은 선별능	비철물질 선별불가
입자선별	roll screen	단순구조 청소빈도가 낮음 큰 물질 선별 용이	입자크기를 상세분류 불가 높은 가격
	진동 스크린	입자 상세분류 가능 후단선별기의 효율상승	청소빈도가 높음 비교적 높은 가격
비중선별	풍력선별	효율이 높음 미세조정 가능	분진 발생 비교적 큰 설비 높은 가격 입자선별 필요
	침수선별	단순구조	재건조 필요 비용증가 폐수발생
	진동선별	효율 中 비교적 작은 크기 가격 中	분진 발생 입자선별 필요

- 본 연구에서는 위 선별법 중 설비가격이 높은 롤스크린과 건조비용이 추가되어 낮은 성능을 보이는 침수선별을 제외한 진동스크린, 바람선별, 진동선별을 선정하였으며, 해당 방식으로 실험을 진행하였다. 또한 선별이 완료된 물질들을 이용하여 펠릿성형 가능성을 확인하고자, 소형 펠릿기를 구매하여 테스트를 진행하였다. Pilot 실험 진행에 필요한 전력공급을 위해 외부 전기공사를 진행하여 각 선별기에 전력을 공급하였다.

1) 입도선별

가) 실험목적

- 이물질을 제거할 때, 입자크기의 편차 등으로 무게 차이가 클 경우, 비중이 아닌 입자별 무게차이가 많이 나기 때문에, 단순무게로 선별이 되어 선별효율이 낮아지게 된다. 이를 방지하기 위해 무게가 비슷한 입자끼리 분리하기 위해 입도 선별을 하여 원활한 이물질선별이 될 수 있도록 해야 한다. 이에 미이용 산림바이오매스의 입자 크기별 분포량과 품질을 측정하기 위해 입도선별을 아래와 같이 진행한다. Mesh망의 크기는 SY에 너지(주)의 입도선별장치의 Mesh망 크기를 참고하여 진행하였다.

나) 실험기구

(1) 진동선별기

- 제조사 : 동명바이프로
- 모델명 : DMTS-600 3단선별기
- 정보 : 2단선별망(1.75mm, 0.4mm)



그림 33. 3단 입도선별기.

다) 실험방법

- 투입할 원료를 선별기 상부에 투입한다.
- 투입 상부부터 1.75mm이상, 1.75mm~0.4mm, 0.4mm이하로 분리되어 나오는 시료를 채취한다.
- 분리되어 나온 시료를 무게별 분포를 확인하고 함수율 및 회분측정을 진행한다.

라) 실험결과

- 입도분포는 무게비율을 토대로 각 입자 크기별 분포 정도를 확인하였다. 무게비율의 경우, 1.75 mm 이상이 가장 높은 비율을 나타내고, 1.75 mm ~ 0.4 mm, 0.4 mm이하 순으로 나타났다. 또한 1.75 mm 이상과 1.75 mm ~ 0.4 mm 사이의 목분량이 2배 이상 차이가 발생함을 파악하였으며, 이물질 선별기 제작시 1.75 mm 이상 선별기는 용량을 1.75 mm ~ 0.4 mm 선별기 용량보다 2배 이상이 되어야 할 것으로 판단된다.

(표를 위한 여백)

표 19. 건조 후 목재의 입도분포(무게비율)

회차	구분	a>1.75	1.75>a>0.4	0.4>a	총 무게
1	무게(kg)	10.9	2.8	0.6	14.3
	비율(%)	76.2	19.6	4.2	
2	무게(kg)	10.5	2.8	0.7	14
	비율(%)	75.0	20.0	5.0	
3	무게(kg)	10.2	2.5	0.5	13.2
	비율(%)	77.3	18.9	3.8	
4	무게(kg)	8.5	2.4	0.4	11.3
	비율(%)	75.2	21.2	3.5	
5	무게(kg)	7.7	3.6	0.7	12
	비율(%)	64.2	30.0	5.8	
평균 비율(%)		73.6	22.0	4.5	

- 입자크기별 품질 측정결과, 함수율에서는 목질 성분이 가장 많이 함유된 1.75 mm 이상이 가장 높은 수치를 나타내고 1.75 mm ~ 0.4 mm, 0.4 mm 이하 순으로 나타났다. 회분의 경우, 역순으로 나타났다. 0.4 mm 이하 입자는 회분량이 매우 높고, 무게에서 차지하는 비율도 매우 적기에 입도선별단계에서 제거하는 방향이 효율이 높을 것으로 판단된다. 또한 입도선별로 비슷한 무게의 입자끼리 분리되어 후단 비중선별 등의 선별효율을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

표 20. 건조 후 목재의 입자 크기별 품질

구분		a>1.75	1.75>a>0.4	0.4>a
1차	함수율(%)	10.89	9.22	6.54
	회분량(%)	1.70	6.30	38.90
2차	함수율(%)	11.74	9.85	5.95
	회분량(%)	2.16	7.43	45.76
3차	함수율(%)	10.89	9.38	6.21
	회분량(%)	1.45	6.24	42.77
4차	함수율(%)	10.03	9.48	7.89
	회분량(%)	1.72	7.11	40.84
5차	함수율(%)	10.90	9.87	6.54
	회분량(%)	2.18	4.54	36.39
평균 함수율(%)		10.89	9.56	6.63
평균 회분량(%)		1.84	6.32	40.93

2) 비중선별

- 비중선별은 산업계에서 대중적으로 사용하는 진동선별과 풍력선별을 사용하여 진행하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 침수선별의 경우, 건조된 목재를 다시 물에 혼합시키는 과정으로 인해 재건조가 필요하여 제작비용 상승 및 공정추가로 인해 효율이 떨어지므로 제외하였다.

가) 진동 비중선별

(1) 실험목적

- 진동을 통하여 비중에 따른 물질의 흐름 차이를 이용한 선별기의 성능을 확인하고자 한다. 연구비용의 한계와 비용대비 효율성 극대화를 위해 요철이 형성된 기울어진 플레이트를 진동시켜 가벼운 물질은 낙하시키고 무거운 물질은 위로 상승시키는 방식의 기계를 선정하였다. 비중선별기는 규모가 작고 선별물범위가 조절이 가능한 대륙기계사의 비중선별기를 선택하였다.



그림 34. 진동 비중선별기.

(2) 실험기구

(가) 비중선별기

- 제조사 : 대륙기계
- 모델명 : 비중선별기
- 정 보 : 요철플레이트 2단, 진동속도 조절, 선별물 범위 조정 가능.

(3) 실험방법

- 투입할 원료를 선별기 상부에 투입한다.
- 투입상부부터 1.75 mm 이상, 1.75 mm ~ 0.4 mm, 0.4 mm 이하로 분리되어 나오는 시료를 채취한다.
- 채취한 시료의 품질분석을 진행한다.
- 투입속도, 진동속도를 조절하여 위 단계를 반복한다.

(4) 실험결과

(가) 원재료 품질측정

- 본 실험진행에 앞서 원재료의 품질을 측정된 결과, 함수율 7.14%, 회분 35.62%로 측정되었다.

표 21. 투입원재료 품질

구 분	1차	2차	3차	평균
함수율	7.45	6.92	7.06	7.14
회분량	33.12	37.44	36.29	35.62

(나) 기본품질 측정

- 총 5회 측정을 시행했으며, 실험진행 결과 가벼운물질이 배출되는 하단에서는 대부분이 목질로 이루어져 있었고 상단에서는 돌, 모래 등의 이물질들이 주로 선별되었다. 이물질선별의 가능성이 파악되었으나 선별기의 한계로 완벽한 분리는 이루어지지 않았다.

표 22. 건조 후 목재의 입자 크기별 품질

구 분		무거운 물질	가벼운 물질
1차	함수율(%)	9.38	8.31
	회분량(%)	2.45	11.00
2차	함수율(%)	8.39	8.37
	회분량(%)	2.56	8.83
3차	함수율(%)	9.10	7.07
	회분량(%)	3.02	17.01
4차	함수율(%)	8.77	8.09
	회분량(%)	2.82	14.67
5차	함수율(%)	7.91	7.08
	회분량(%)	3.55	15.10
평균 함수율(%)		8.71	7.78
평균 회분량(%)		2.88	13.32



그림 34. 분리된 원료형상(왼쪽부터) 가벼운 물질, 무거운물질.

(다) 진동속도별 수율 및 품질

- 위의 실험으로 선별가능성이 파악되었는바, 선별속도별 목분의 분포 및 품질을 측정하였다. 각 실험은 5회씩 반복하여 측정한 평균치이며, 50 Hz 이하의 속도에서는 선별속도가 느려 선별기 외부로 시료가 넘치기에 측정이 불가하였다. 선별물이 실제 적용되려면 품질 외에도 50 % 이상의 수율이 나와야 유의미하다. 이에 따라 속도별 수율을 측정한 결과 55 Hz 미만으로 조정하여야 50% 이상의 수율이 나온다는 것이 아래의 표와 같이 확인되었다.

표 23. 진동속도별 수율

속도(Hz)	구 분	무거운 물질	가벼운물질	총 무게
50	무게(kg)	5.1	8	13.1
	비율(%)	38.9	61.1	
55	무게(kg)	7.3	5.5	12.8
	비율(%)	57.0	43.0	
60	무게(kg)	8.2	2.9	11.1
	비율(%)	73.9	26.1	

- 품질 또한 중요 요소이므로, 속도별 품질을 측정하였는바, 속도가 빠를수록 높은 선별 기능을 보였다. 다만 빠른 속도에서는 위와 같이 수율이 긍정적이지 않은 결과가 도출되었으므로, 진동선별방식 선택을 위해 기울기, 요철변경 등의 추가적인 조건을 통하여 보완이 필요하다.

표 24. 진동속도별 품질

속도(Hz)	구 분	가벼운물질	무거운물질
50	함수율(%)	8.06	5.71
	회분량(%)	5.90	38.19
55	함수율(%)	8.84	5.66
	회분량(%)	2.91	43.28
60	함수율(%)	7.65	5.15
	회분량(%)	1.70	31.70

나) 풍력 비중선별

(1) 실험목적

- 입구에 원료를 투입하면 풍력에 의해 발산되는 목분과 무게로 인하여, 아래로 낙하하는 이물질들을 분리하는 방식의 풍력 비중선별을 이용하였다. 비슷한 원리는 시료를 제공받은 SY에너지(주)가 Wind Sifter라는 장비를 사용하고 있으며, 실험에 사용된 선별기는 풍력선별기 중 전기동력을 사용하고 이물질을 수집하기 용이한 신성엔지니어링사의 왕겨 풍구를 사용하였다.

(2) 실험기구

(가) 풍력 비중선별기

- 제조사 : 신성엔지니어링
- 모델명 : 왕겨풍구
- 정보 : 풍력조절, 이물질 하단배출



그림 35. 풍력 비중선별기.

(3) 실험방법

- 투입할 원료를 선별기 상부에 투입한다.
- 하부의 이물질배출구의 시료를 포집한다.
- 투입량 대비 이물질배출량을 계산하여 양품의 품질을 추정한다.
- 풍력을 조절하며 위의 단계를 반복한다.

(4) 실험결과

- 본 실험 진행에 앞서 원재료의 품질을 측정을 진행하였고, 함수율 6.96%, 회분 29.03%로 측정되었다.

표 25. 투입 원재료 품질

구 분	1차	2차	3차	평 균
함수율	6.42	7.02	7.44	6.96
회분량	30.48	28.97	27.64	29.03

- 풍력 비중선별도 진동비 중선별과 마찬가지로 수율을 우선적으로 측정하였다. 이때, 선별물은 풍력에 의해 발산되므로 정확한 측정이 어려워 분리되는 이물질 양을 측정하여 추정하였다. 각 시료는 120 g 씩 투입하였으며 회수무게는 이물질량을 의미한다. 수율의 측정결과, 50Hz 이상의 풍력으로 진행해야 50% 이상의 수율이 측정되었다.

표 26. 풍력 속도별 수율

속도(Hz)	회수 무게(g)	수율(%)
30	98	18.3
40	82	31.7
50	66	45.0
60	57	52.5
70	45	62.5
80	33	72.5
90	26	78.3

- 품질측정은 수 율측정과 같이 낙하하는 이물질의 품질을 측정하여 양품의 품질을 추정하는 방식으로 진행하였다. 추정방식은 원재료의 이물질 양과 각 속도 별의 이물질 양의 차이를 양품의 이물질 양으로 추정하여 계산하였다.

표 27. 풍력 속도별 배출된 이물질 품질

속도(Hz)	구 분	1차	2차	3차	평균
30	함수율(%)	7.16	7.71	7.97	7.61
	회분량(%)	20.10	21.15	20.19	20.48
60	함수율(%)	6.91	7.11	7.00	7.00
	회분량(%)	26.28	29.25	30.51	28.68
90	함수율(%)	5.59	6.81	5.26	5.89
	회분량(%)	41.67	41.65	43.83	42.38

표 28. 추정된 풍력 속도별 양품의 품질

속도(Hz)	구 분	1차	2차	3차	평균
30	함수율(%)	3.10	4.13	5.36	4.20
	회분량(%)	74.78	62.45	59.82	65.73
60	함수율(%)	5.98	7.45	8.51	7.32
	회분량(%)	34.24	28.72	25.02	29.36
90	함수율(%)	6.65	7.08	8.04	7.26
	회분량(%)	27.35	25.45	23.03	25.29

3) 소결

- Pilot 실험을 바탕으로 실제 선별기에 적용될 이물질선별방법을 선택하였다. 본 실험의 목적은 콤팩트화된 이물질선별장치 개발이기 때문에, 가능한 낮은 비용과 작은 크기, 단순한 단계로 구성되어야 한다. 다만, 기본적으로 포함되어야 하는 자력선별 및 입도 선별을 거쳐야 좋은 원료가 확보 가능하므로, 이는 필수다.
- 비중선별 중 침수선별은 건조비용 증가 및 폐수 발생 등의 이유로 본 연구와는 적합하지 않다고 판단하여 제외하였다.
- 풍력선별 및 진동선별은 각기 고유한 장점이 존재하였다. 비중선별의 경우, 시료와 함께 이물질이 흐름에 휩쓸려가는 경향도 보여 단독 사용이 힘들 것으로 판단된다. 풍력선별은 풍량을 미세조절 한다면 좋은 효과를 보일 것이나, 가벼운 이물질들도 같이 포함되어 품질이 낮아지는 경향을 보였다.
- 두 선별법 모두 장단점이 강하게 나타났기에 단독적인 방법만은 어렵다. 따라서 두 가지를 합친 선별법을 사용함으로써, 기본토대는 진동선별방식을 채택하되, 이물질이 시료의 흐름에 휩쓸리는 현상을 방지하기 위해 하부에서 풍력을 불어넣어 목질을 부상시키며 선별을 돕는 방식을 고려하기로 하였다.

4. 선별기 설치

가. 선별 흐름 선택

- 선별방법은 앞선 실험들의 결과를 토대로 자력선별, 입도선별, 풍력·진동 비중선별을 사용하기로 하였다. 선별기의 흐름은 ① 가장 선별이 용이하고, 입자크기를 분리하지 않아도 되는 자력선별기가 최 상단에 위치하며, ② 비중선별을 용이하게 하기 위한 입도선별, ③ 풍력 비중선별과 진동 비중선별이 결합된 방식을 사용하였다.
- ③의 풍력 비중선별과 진동 비중선별을 합친 방법으로 Densimat이라는 장비를 참고하여 제작하였다.



그림 36. Densimat 제작 사진.

- 제작된 Densimat은 상부에서 원료가 투입될 시 진동 및 풍력을 이용하여 이물질을 상부, 목질류를 하부로 이송하여 스크류컨베이어로 이송하는 방식을 채택하였으며 상세 사양 등은 후술한다.

나. 현 제조시설에 적용 가능한 설비 설계 사양 선정 및 상세설계/수치해석

1) 전체 시스템 Layout 작성

가) 실증설비 설치를 위한 기존 현장 확인 및 실측



그림 37. 실증설비 설치 위치.

나) 실증설비 전체시스템 Layout

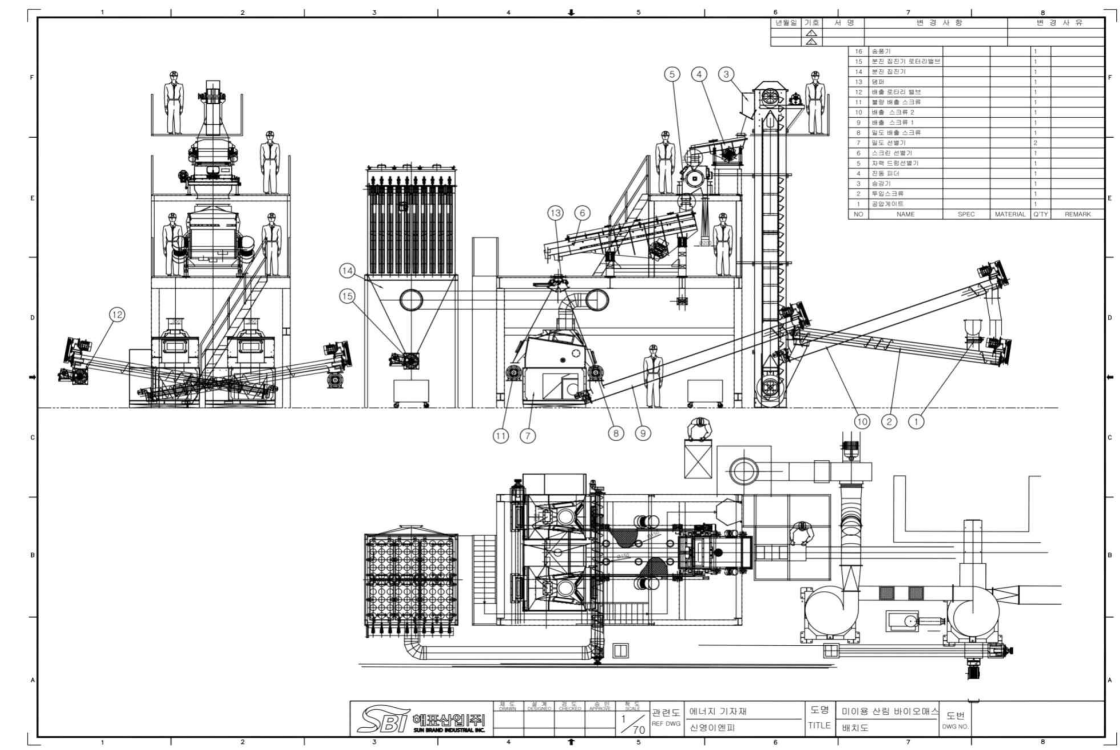


그림 38. 실증설비 Layout.

다) 실증설비 공정도

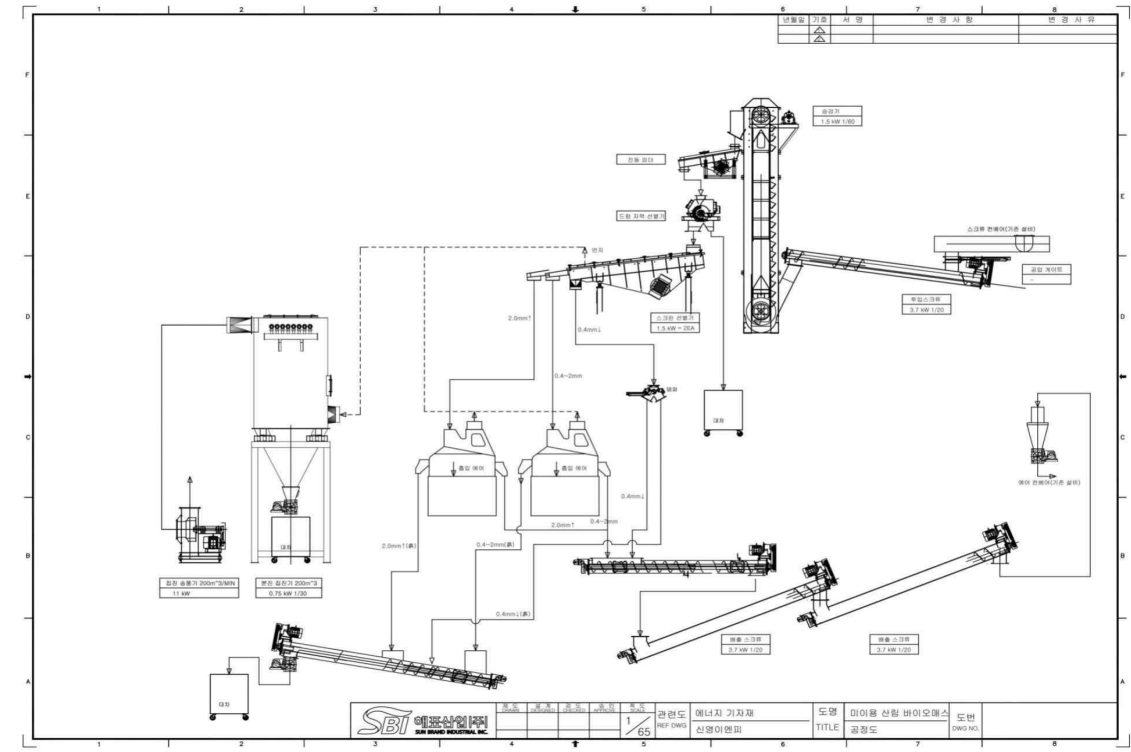


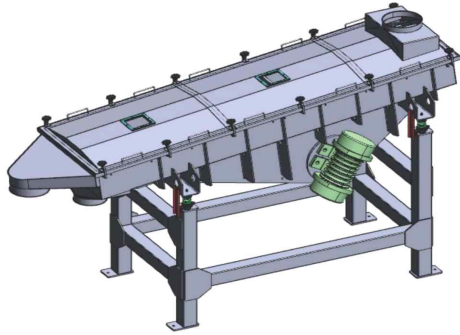
그림 39. 실증설비 공정도.

2) 선별기술 시스템 주요 부품 세부 사양 선정

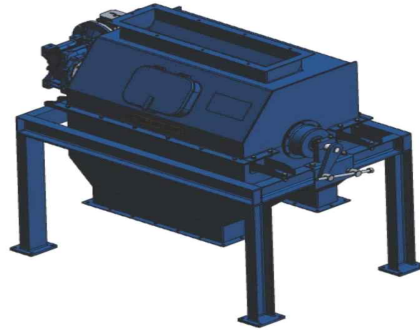
표 29. 각 선별기술 시스템 부품별 사양표

명 칭	규 격	비 고
자력선별기	- 처리량 : 건물(乾物)기준 5톤이하 - 동 력 : 2.2 kW - 규 격 : Ø406x9,000L 표면자석밀도 : 3000Gauss	
진동선별기	- 처리량 : 건물(乾物)기준 5톤이하 - 동 력 : 1.5 kW * 2EA - 규 격 : 900*3100(스크린)	
비중선별기	- 처리량 : 건물(乾物)기준 5톤이하 - 동 력 : 0.75kW(진동), 5.5kW(송풍기) - 규 격 : 984*1430(스크린)	
집진장치	- 처리량 : 건물(乾物)기준 5톤이하 - 규 격 : 200 M ³ /min / Ø150*2,000L = 100Ea	
기타 이송장치	- 처리량 : 건물(乾物)기준 5톤이하	

3) 2D 및 3D 데이터 기반의 상세설계



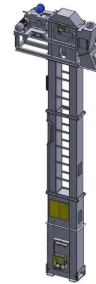
< 진동선별기 >



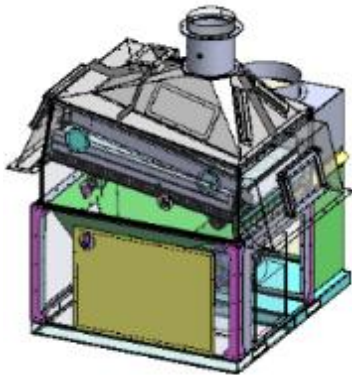
< 자력선별기 >



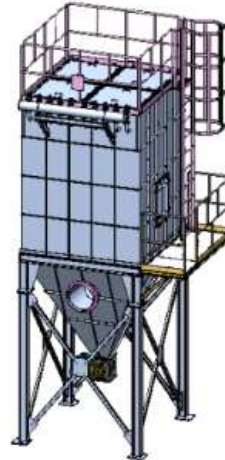
<스크류 컨베이어>



< 버킷엘리베이터 >



<Densimat>



< 집진기 >

그림 40. 주요부품 3D 디자인.

4) 불순물 제거 전용 기계 요소별 구조 해석

- 2D 도면을 3D로 구현하면서 설비의 간섭 및 조립도를 확인함. 기계요소별 구조해석은 위탁연구기관인 충북대학교 측에서 실시하였다.

가) 입도 선별장치 구조 해석

(1) 입도선별장치 구조해석

- 입도선별장치의 설계를 위해 진동에 의한 변형을 파악하기 위한 고유 진동수 해석과 하중에 의한 응력집중 및 변위, 변형률을 파악하기 위한 정적 해석 수행

을 진행하였다. 입도선별장치의 구성요소 중 미이용 바이오매스 선별을 위한 진동의 발생원으로 진동의 영향이 큰 진동모터와 입도선별장치를 지지하여 하중의 영향이 큰 프레임 요소 대해 해석을 진행하였다. 진동모터에 대해 고유진동수 해석을 진행하기 위해 5종류의 진동을 이용하여 해석을 진행함

(가) 실험방법

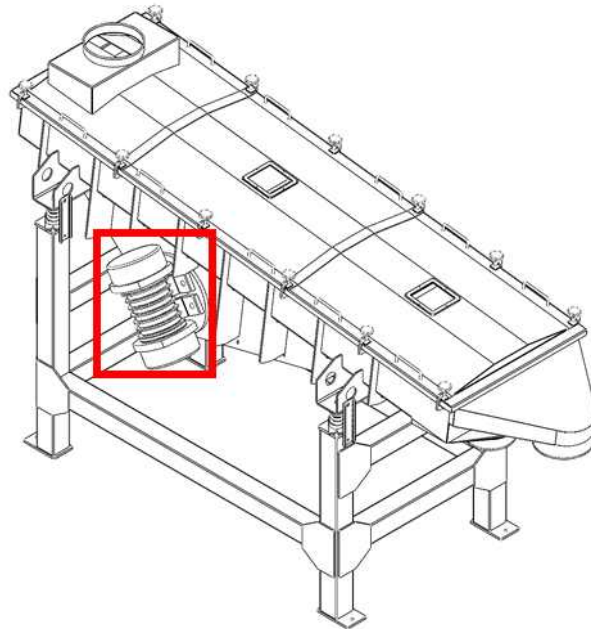


그림 41. 입도선별장치 - 진동모터.

- 진동모터의 재질로 1023 탄소 강판(SS)으로 선정하여 고유 진동수 해석 진행하였다.

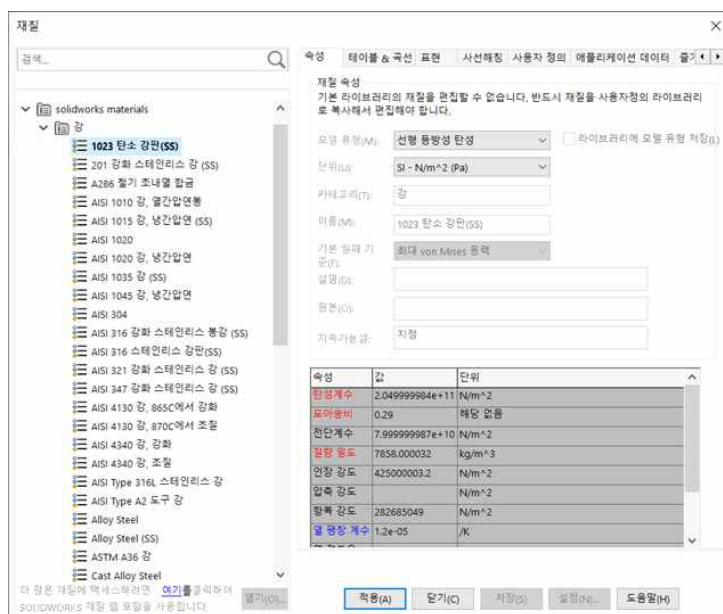


그림 42. 입도선별장치 - 진동모터 모델파라미터.

- 고유진동수 해석을 위한 진동모터 3D 모델을 기반으로 하여 Mesh 생성하였다.

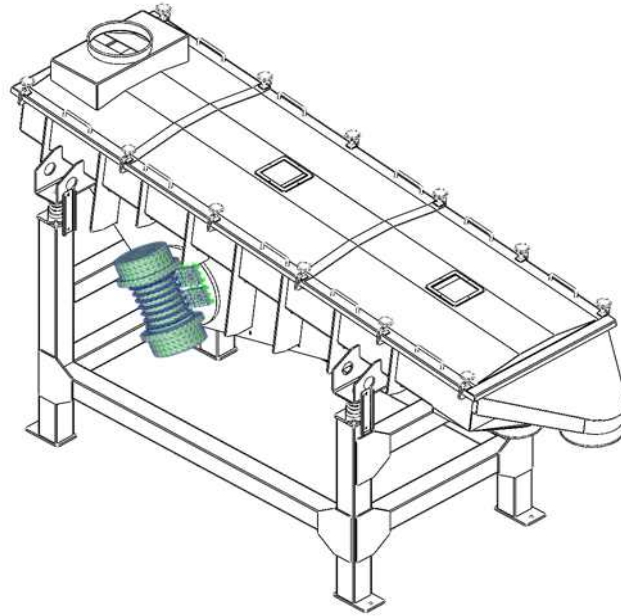


그림 43. 입도선별장치 - 진동모터 Mesh.

(나) 실험결과

- 1단계 진동의 주파수를 411.14 Hz로 설정하여 고유진동수 해석을 진행하였다. 1단계 진동이 발생 되었을 경우 입도선별장치의 접촉면 부근에서는 진폭이 작았지만 입도선별장치에서 멀어질수록 진폭이 커지는 경향을 보였다. 최종적으로 입도선별장치에서 가장 떨어진 원통의 모서리 부분에서 가장 큰 진폭이 발생하는 것으로 나타났다.

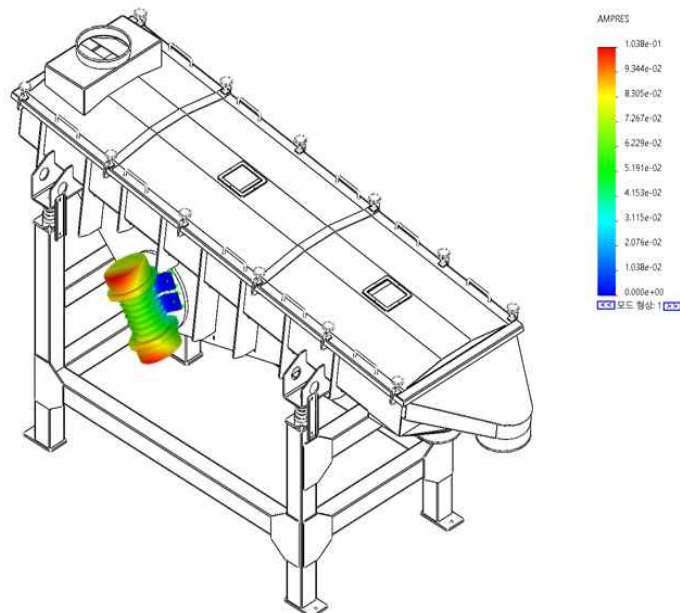


그림 44. 입도선별장치 - 진동모터 고유진동수 해석 1.

- 2단계 진동의 주파수를 500.92 Hz로 설정하여 고유진동수 해석을 진행하였다. 2단계 진동이 발생되었을 경우도 마찬가지로 입도선별장치의 접촉면 부근에서

는 진폭이 작았지만 입도선별장치에서 멀어질수록 진폭이 커지는 경향을 보였다. 2단계 진동에서는 진동모터를 반으로 나누었을 경우 입도선별장치에 가까운 면보다 먼 면에 큰 진폭이 발생하는 것으로 나타났다.

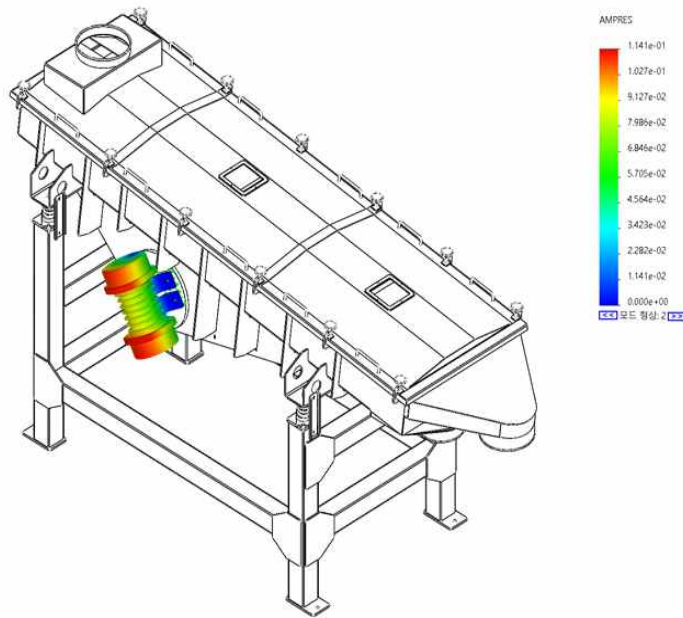


그림 45. 입도선별장치 - 진동모터 고유진동수 해석 2.

- 3단계 진동의 주파수를 511.21 Hz로 설정하여 고유진동수 해석을 진행하였다. 3단계 진동이 발생되었을 경우 입도선별장치의 접촉면과 입도선별장치 반대면 진동모터의 중앙부에서 진폭이 작았지만, 진동모터의 중앙부에서 멀어질수록 진폭이 커지는 경향을 보였다. 최종적으로 입도선별장치와 먼 진동모터의 원통 끝면에서 가장 큰 진폭이 발생하는 것으로 나타났다.

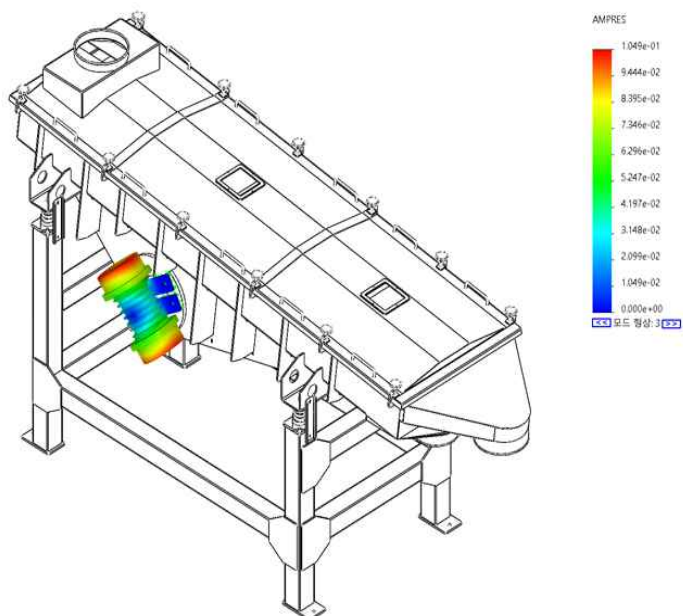


그림 46. 입도선별장치 - 진동모터 고유진동수 해석 3.

- 4단계 진동의 주파수를 1,124.8 Hz로 설정하여 고유진동수 해석을 진행하였다. 4단계 진동이 발생되었을 경우 1단계 진동과 마찬가지로 입도선별장치의 접촉면 부근에서는 진폭이 작았지만 입도선별장치에서 멀어질수록 진폭이 커지는 경향을 보였다. 최종적으로 입도선별장치와 먼 원통의 모서리 부분에서 가장 큰 진폭의 진동이 발생하며, 추가적으로 진동모터에 변형이 생기는 것으로 나타났다.

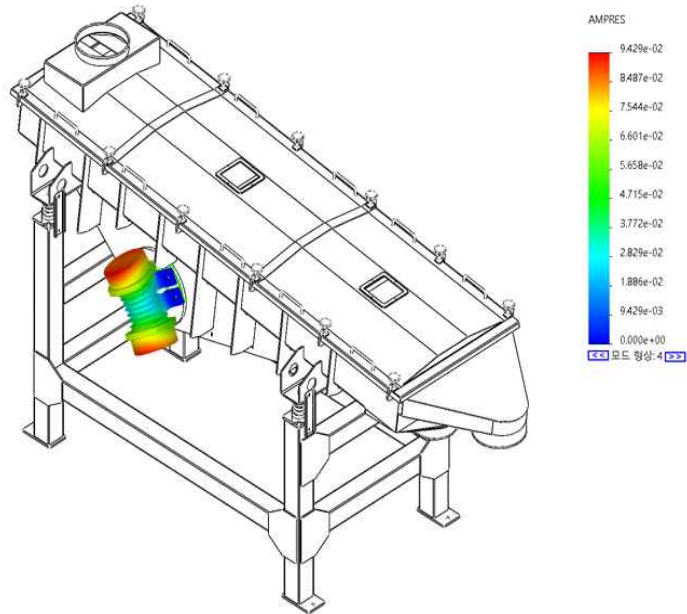


그림 47. 입도선별장치 - 진동모터 고유진동수 해석 4.

- 5단계 진동의 주파수를 1,161.5 Hz로 설정하여 고유진동수 해석을 진행하였다. 5단계 진동이 발생되었을 경우 입도선별장치의 접촉면 부근과 입도선별장치의 반대면 진동모터 부근에서 진폭이 작았지만 입도선별장치와 가까워질수록 진폭이 커지는 경향을 보였다. 최종적으로 입도선별장치와 가까운 원통의 모서리 부분에서 가장 큰 진폭의 진동이 발생하며, 추가적으로 진동모터에 변형이 생기는 것으로 나타났다.

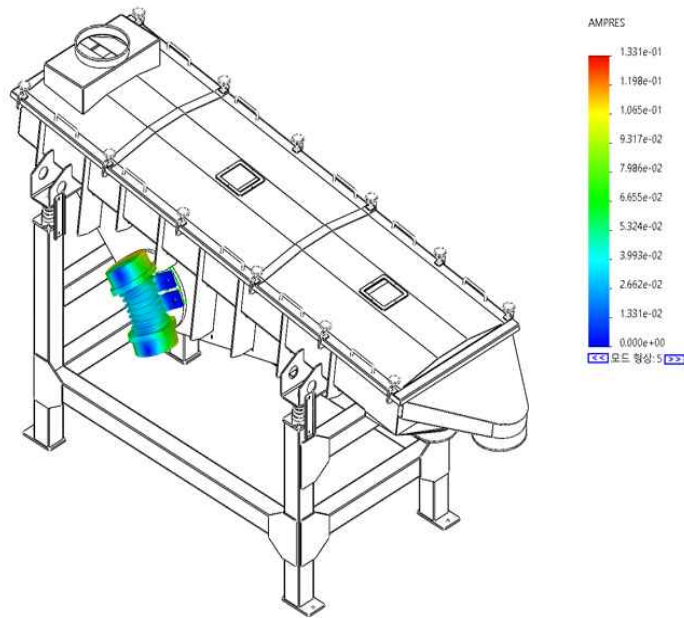


그림 48. 입도선별장치 - 진동모터 고유진동수 해석 5.

(2) 프레임 해석

(가) 실험방법

- 프레임에 대해 정적해석을 진행하였고 3가지 요소(응력, 변위, 변형률)에 대해 해석을 진행하였다.

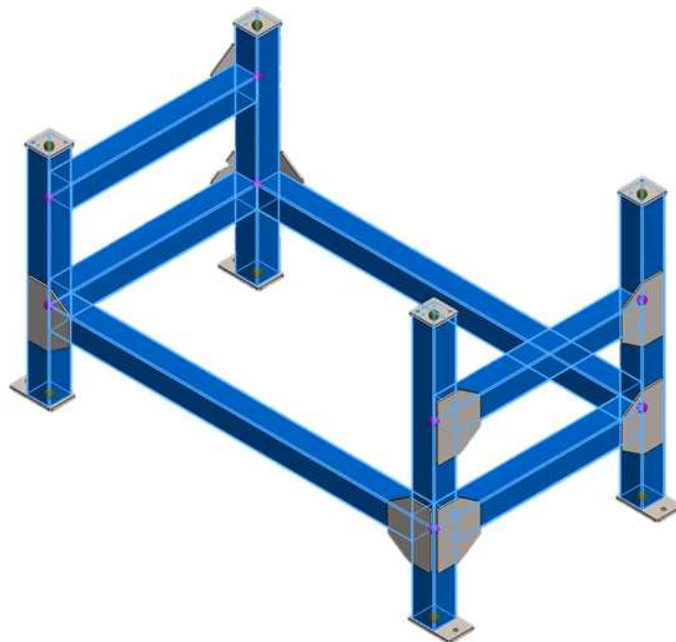


그림 49. 입도선별장치 - 프레임.

- 프레임 바디를 빔으로 가정하여 정적 해석을 진행하였다.

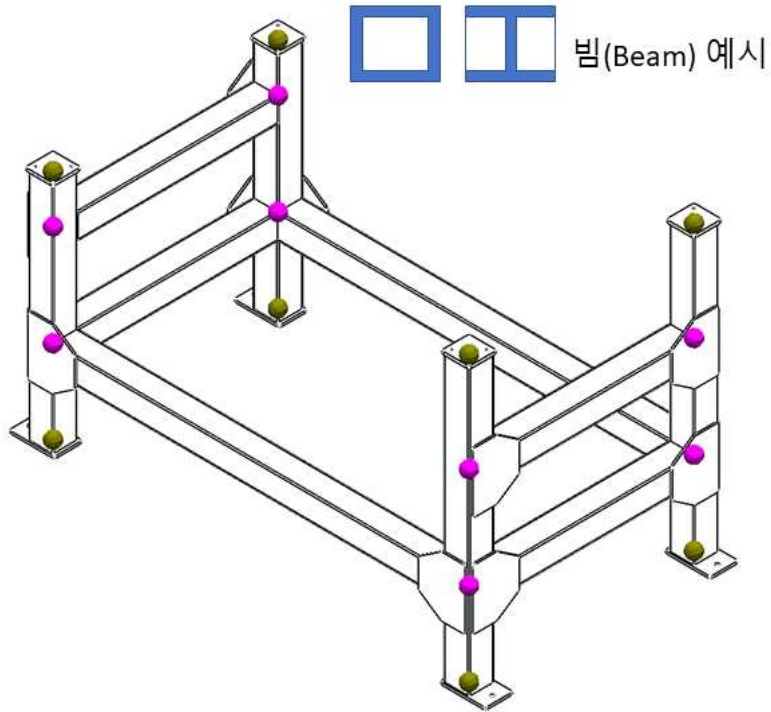


그림 50. 입도선별장치 - 프레임 빔 설정.

- 프레임에서 지지대인 4개의 기둥을 기준으로 아랫면은 고정, 윗면은 하중(1kN)이 작용한다고 가정하여 프레임 지오메트리를 구성하였다.

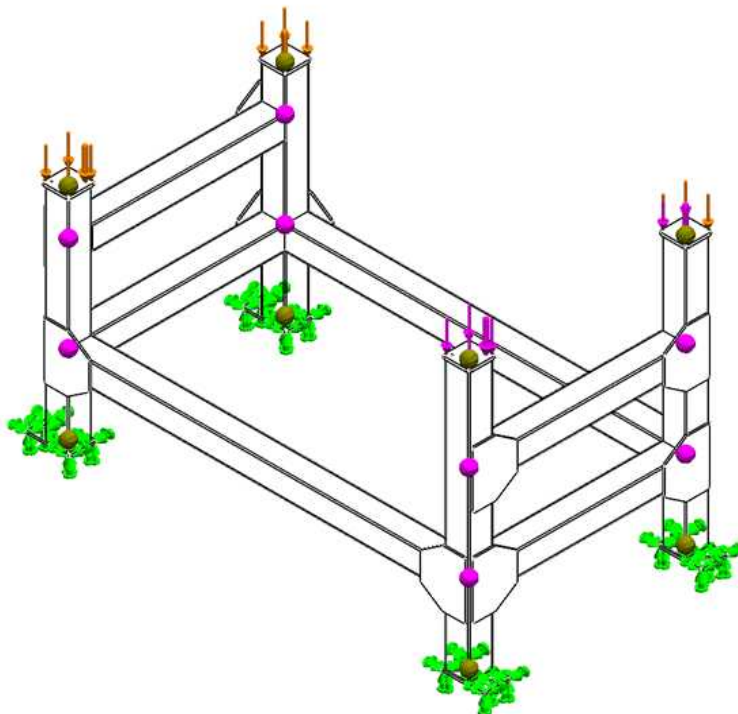


그림 51. 입도선별장치 - 프레임 지오메트리 설정.

- 정적해석을 위한 프레임 3D 모델을 기반으로 하여 Mesh를 생성하였다.

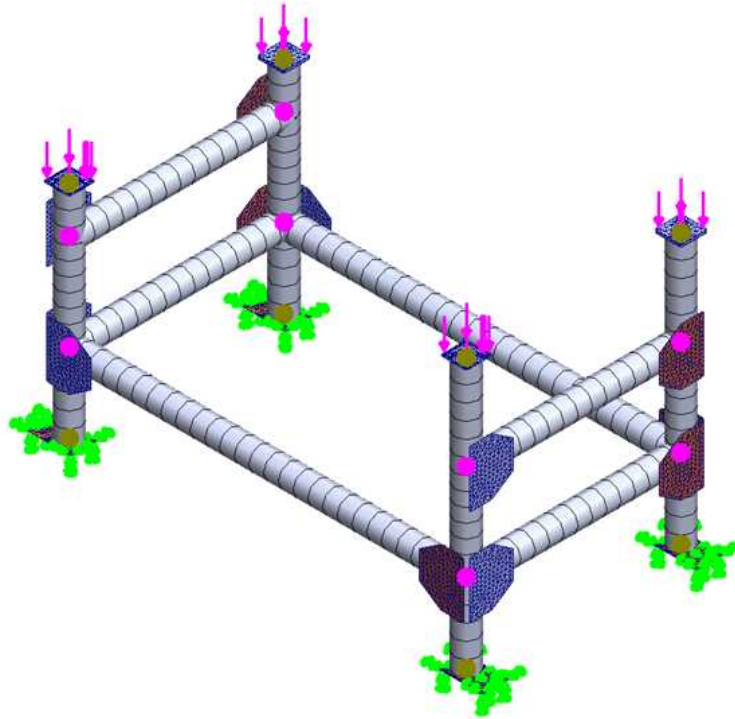


그림 52. 입도선별장치 - 프레임 Mesh.

- 프레임의 재질로 1023 탄소 강관(SS)으로 선정하여 정적해석을 진행하였다.

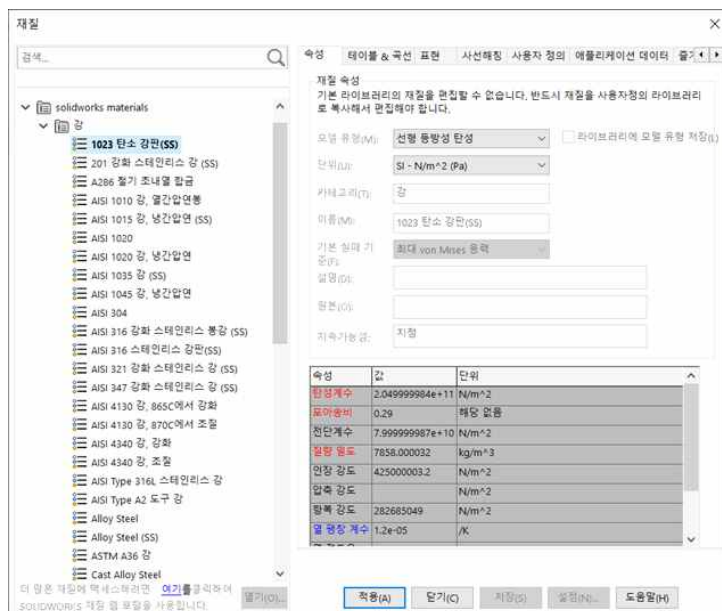


그림 53. 입도선별장치 - 프레임 모델파라미터.

(나) 실험결과

- 프레임의 정적 해석 중 응력을 기준으로 해석 진행하였다. 응력은 외력이 작용할 때 저항하는 힘을 나타내는 것으로, 다른 구조물에 비해 하중을 직접적으로 받는 입도선별장치 지지면에서 가장 큰 것으로 나타났다.

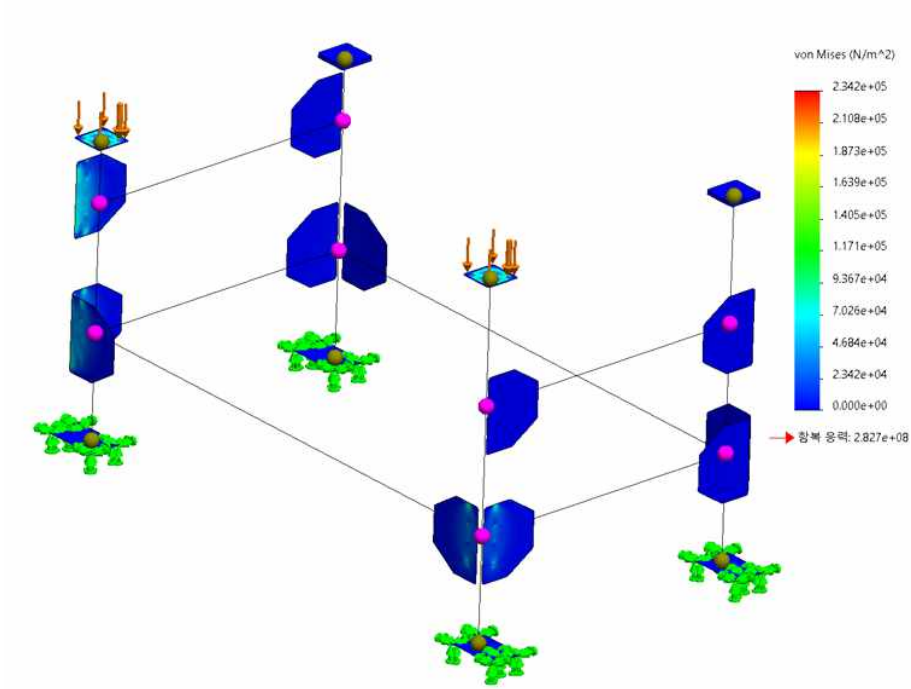


그림 54. 입도선별장치 - 프레임 정적해석 1.

- 프레임의 정적해석 중 변위를 기준으로 해석 진행하였다. 변위는 구조물의 임의의 점에서 측정된 점의 움직임을 나타내는 것으로, 고정되어 있는 하단부에서는 변위가 작았지만 고정되어 있지 않고 하중을 받는 상단부에 가까워질수록 변위가 커지는 경향을 보였다. 지지대 사이를 연결하는 기둥 중 짧은 기둥보다 긴 기둥의 변위가 더 큰 것으로 나타났으며, 최종적으로 입도선별장치를 지지하는 부분에서 가장 큰 변위가 생기는 것으로 나타났다.

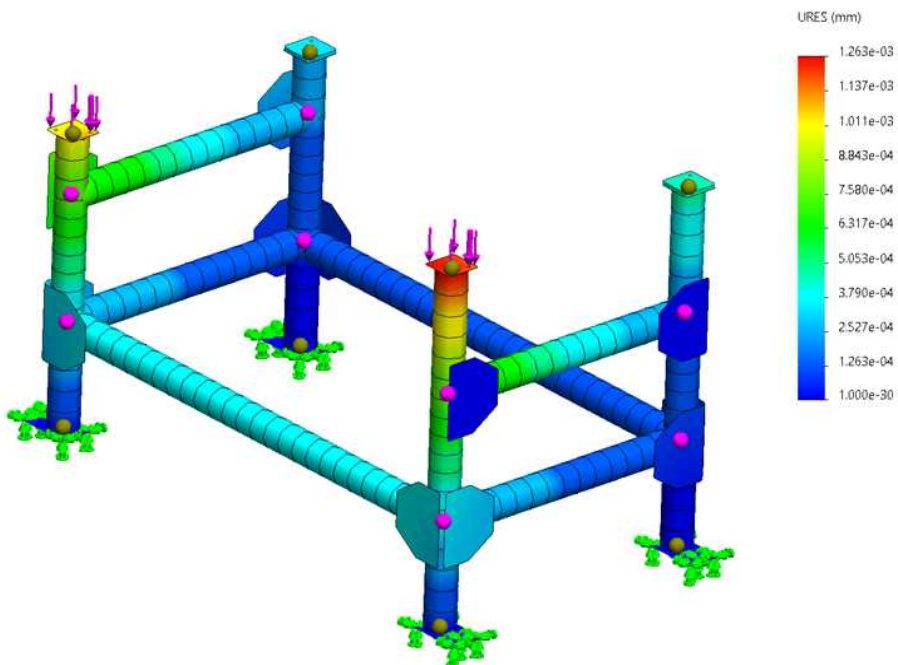


그림 55. 입도선별장치 - 프레임 정적해석 2.

- 프레임의 정적해석 중 변형률을 기준으로 해석 진행하였으며 변형률은 변형의 상대적인 크기를 나타내는 것으로, 다른 구조물에 비해 입도선별장치 지지면에서 가장 큰 것으로 나타났다.

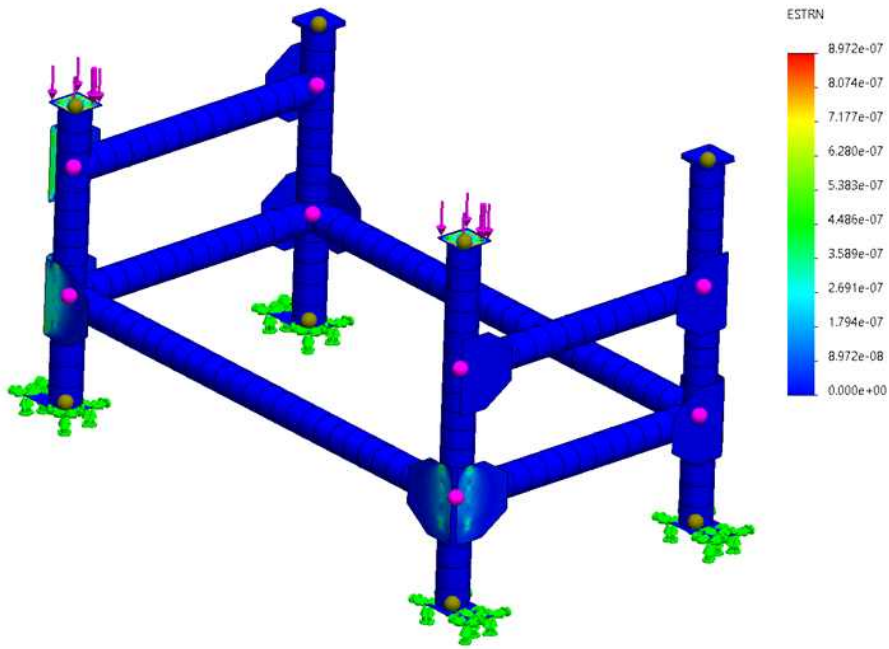


그림 56. 입도선별장치 - 프레임 정적해석 3.

나) 승강기 구조 해석

(1) 승강기 구조 해석

(가) 실험방법

- 승강기의 설계를 위해 하중에 의한 응력집중 및 변위, 변형률을 파악하기 위한 정적 해석 수행하였다. 입도 선별장치의 구성요소 중 승강기 전체를 지지하고 있어 하중의 영향이 큰 승강기의 테일파트와 수송을 위한 동력원인 고동 롤러에 대해 해석을 진행하였다. 승강기의 테일파트 중 미들파트에 대해 정적해석을 진행하였고 3가지 요소(응력, 변위, 변형률)에 대해 해석을 진행하였다.

(그림을 위한 여백)

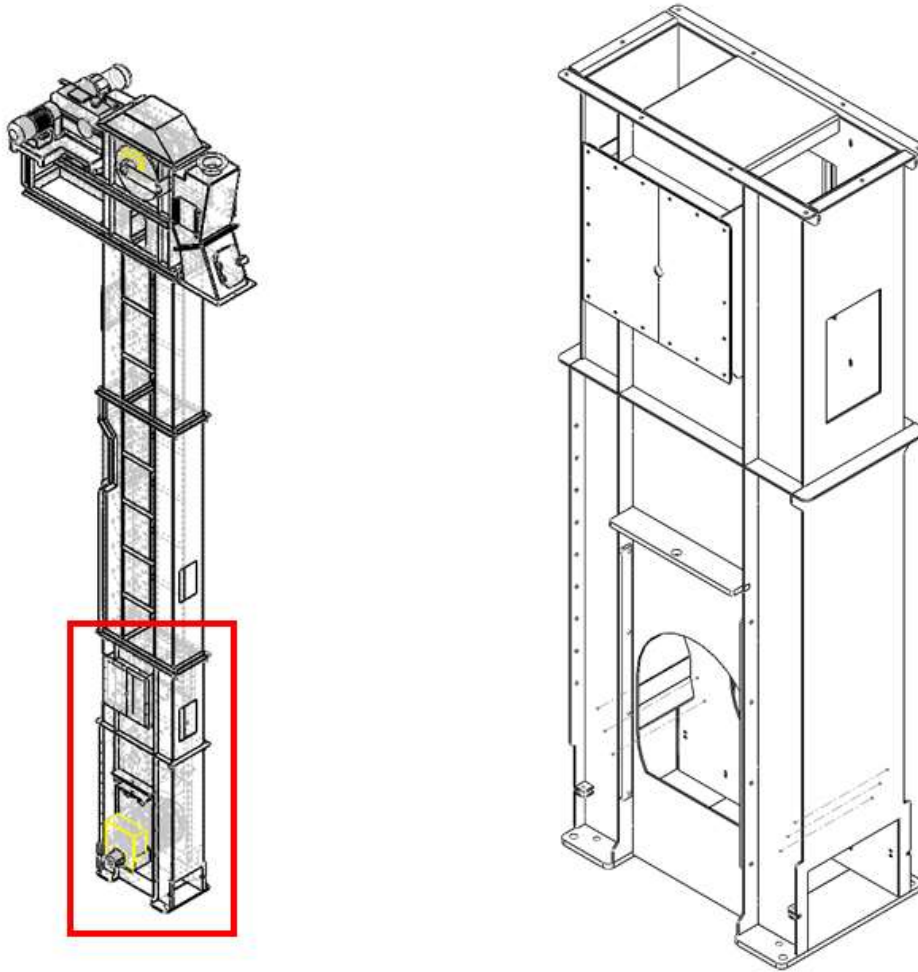


그림 57. 승강기 - 테일파트.

- 승강기의 테일파트에서 지면과 접촉면을 고정, 윗면은 하중(50N)이 작용한다고 가정하여 프레임 지오메트리 구성하였다.

(그림을 위한 여백)

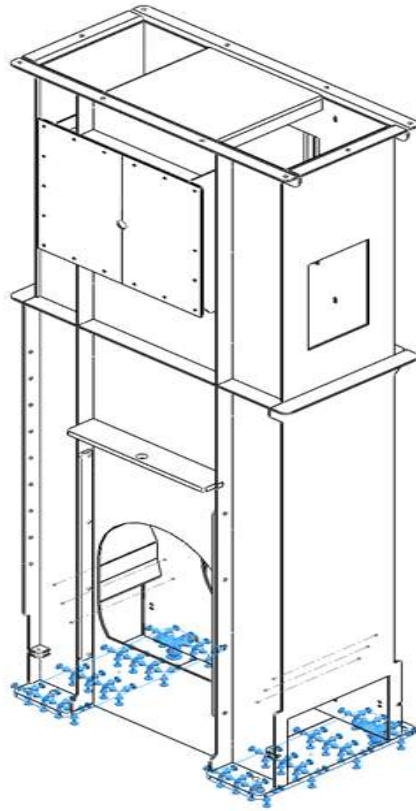


그림 58. 승강기 - 테일파트 지오메트리 설정.

- 승강기 바디를 빔으로 가정하여 정적 해석을 진행하였다.

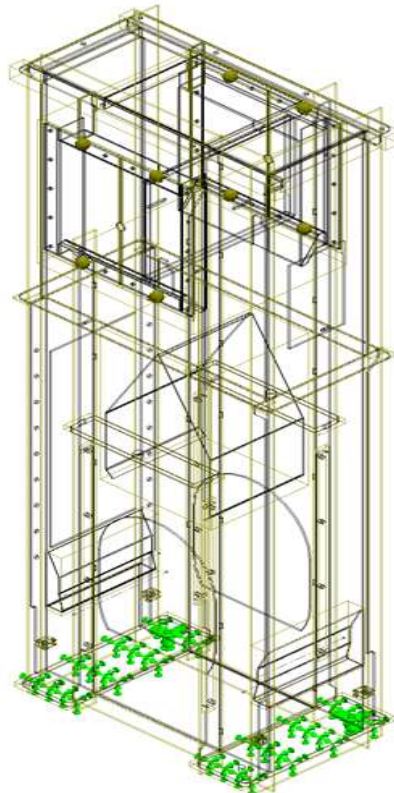


그림 59. 승강기 - 테일파트 빔 설정.

- 정적해석을 위한 승강기 테일파트 3D 모델을 기반으로 Mesh 생성하였다.

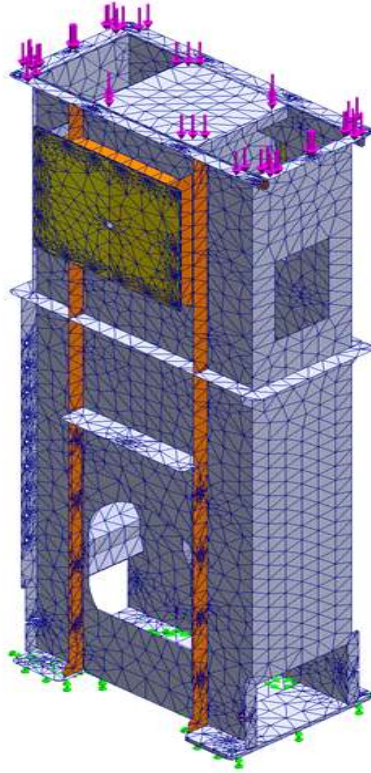


그림 60. 승강기 - 테일파트 Mesh.

- 해석 시간 감소를 위해 지지에 영향이 적은 부분을 제외하고 승강기의 테일파트 중 미들파트 부분만 이용하여 Mesh 재구성하였다.

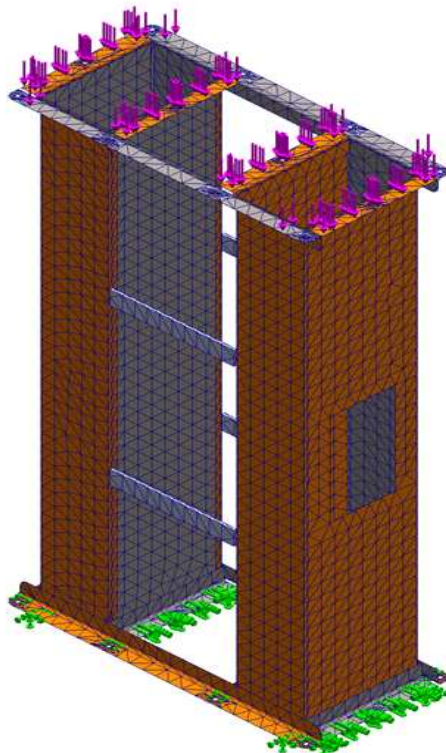


그림 61. 승강기 - 테일파트(미들파트) Mesh.

- 테일파트(미들파트)의 재질로 DIN 강(스테인리스) 중에서 1.4000 (X6Cr13)으로 선정하여 정적해석을 진행하였다.

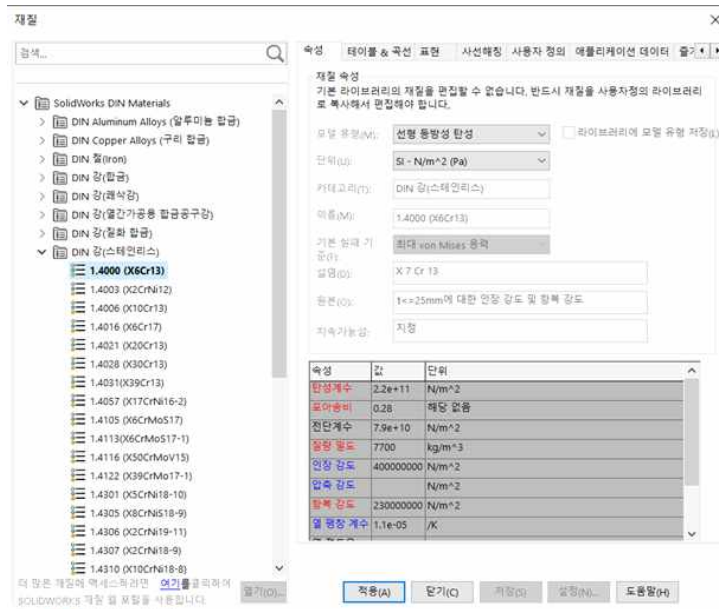


그림 62. 승강기 - 테일파트(미들파트) 모델파라미터.

(나) 실험결과

- 테일파트(미들파트)의 정적해석 중 응력을 기준으로 해석 진행하였으며 응력은 외력이 작용할 때 저항하는 힘을 나타내는 것으로, 전체적으로 응력이 낮은 것으로 나타났다.

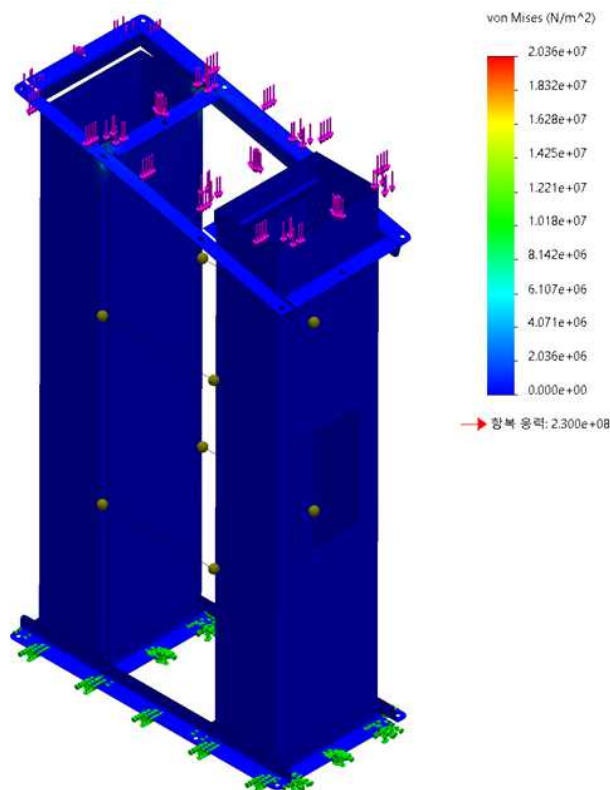


그림 63. 승강기 - 테일파트(미들파트) 정적해석 1.

- 테일파트(미들파트)의 정적해석 중 변위를 기준으로 해석 진행하였다. 변위는 구조물의 임의의 점에서 측정된 점의 움직임을 나타내는 것으로, 고정되어 있는 하단부와 지지 기둥에서는 변위가 작은 것으로 나타났다. 미들파트와 접하는 지지대에서 다양한 변위 분포가 나타났으며 비대칭적으로 분포가 되어있는 것으로 나타났다.

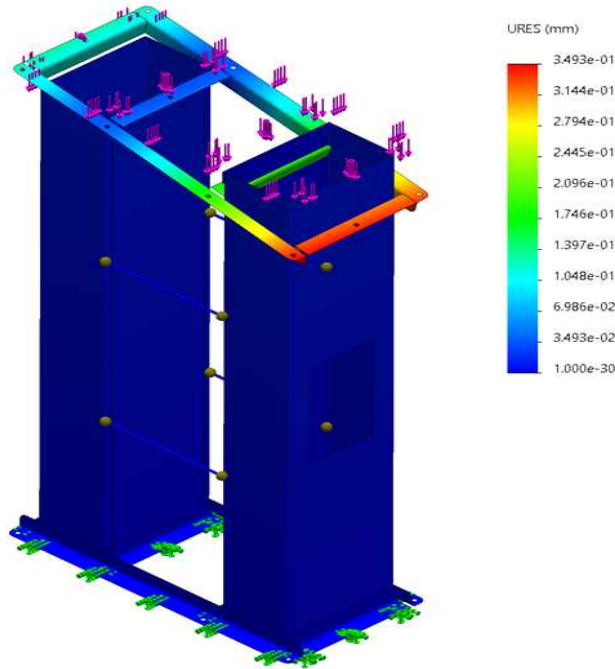


그림 64. 승강기 - 테일파트(미들파트) 정적해석 2.

- 테일파트(미들파트)의 정적해석 중 변형률을 기준으로 해석 진행으며 변형률은 변형의 상대적인 크기를 나타내는 것으로, 전체적으로 변형률이 낮은 것으로 나타났다.

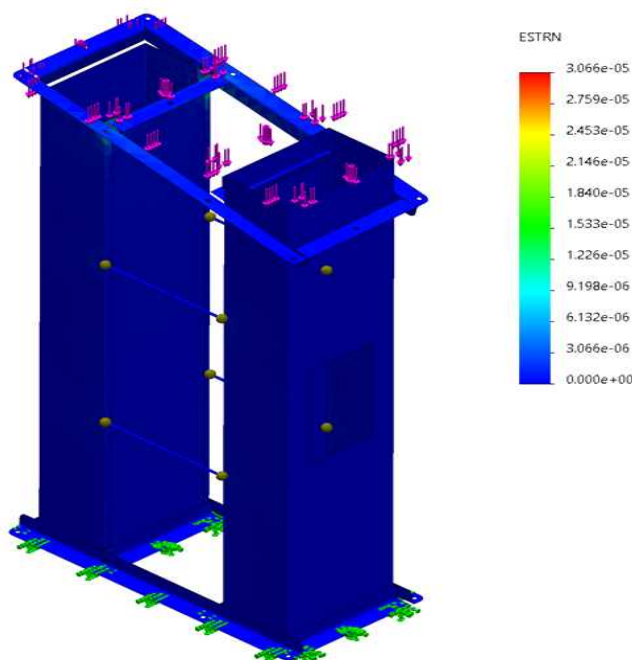


그림 65. 승강기 - 테일파트(미들파트) 정적해석 3.

(2) 구동롤러 해석

- 헤드 케이싱內 구동롤러에 대해 정적해석을 진행하였고 3가지 요소(응력, 변위, 변형률)에 대해 해석을 진행하였다.

(가) 실험방법

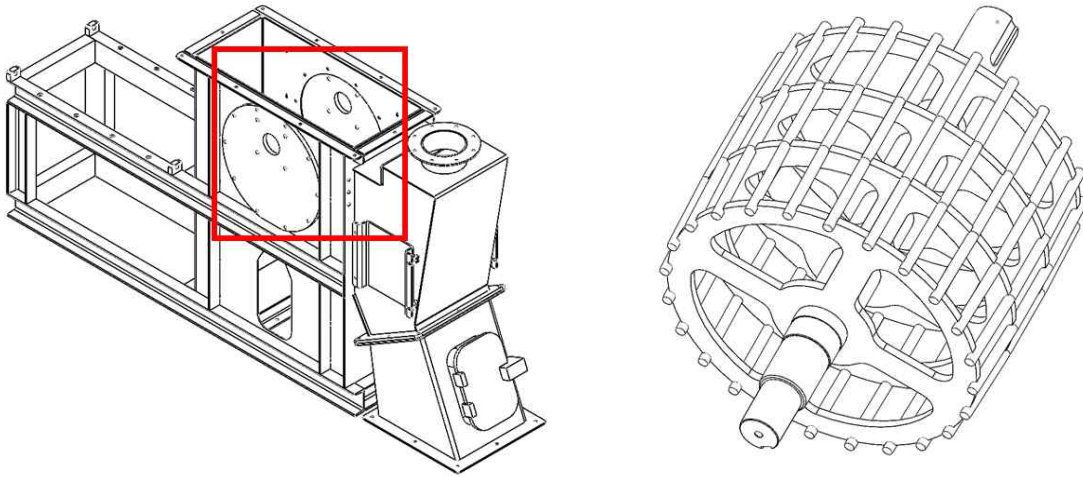


그림 66. 승강기(좌: 헤드 케이싱, 우: 헤드 케이싱內 구동롤러).

- 구동롤러의 파이환봉이 100rad으로 회전한다고 가정하고 지오메트리를 구성하였다.

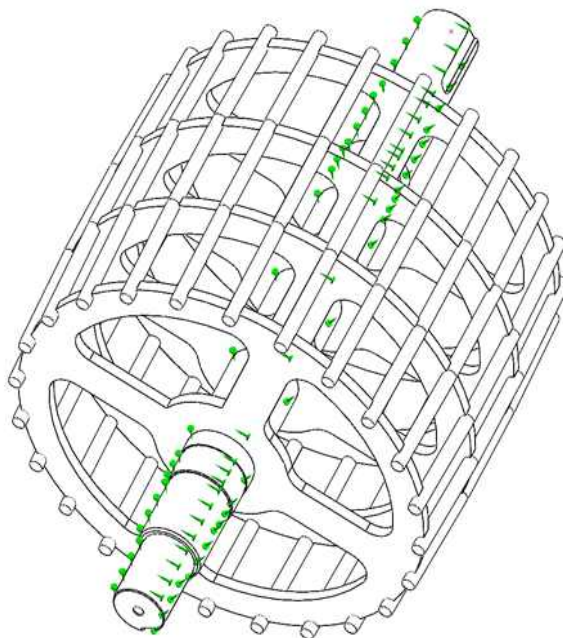


그림 67. 승강기 - 구동롤러 지오메트리 설정.

- 정적 해석을 위한 구동롤러 3D 모델을 기반으로 하여 Mesh를 생성하였다.

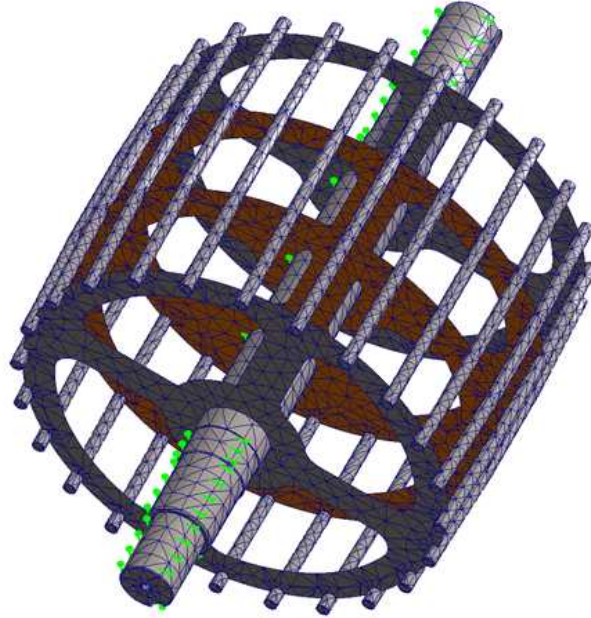


그림 68. 승강기 - 구동롤러 Mesh.

- 구동롤러의 파이환봉의 재질로 AISI 1045 강, 냉간압연으로 선정하여 정적해석을 진행하였다.

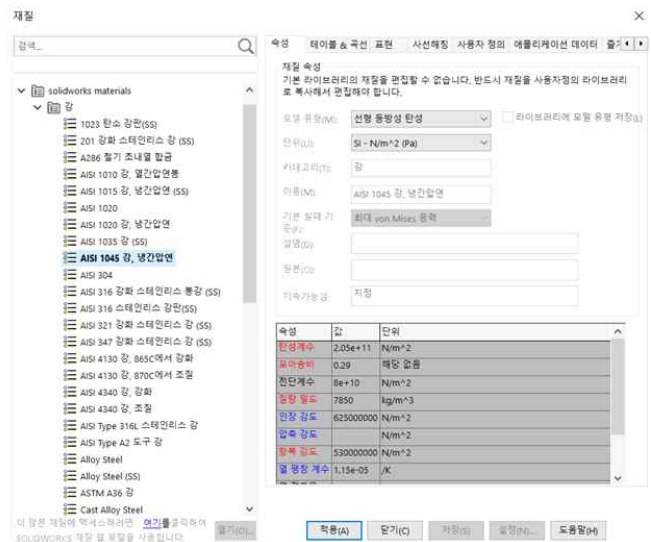
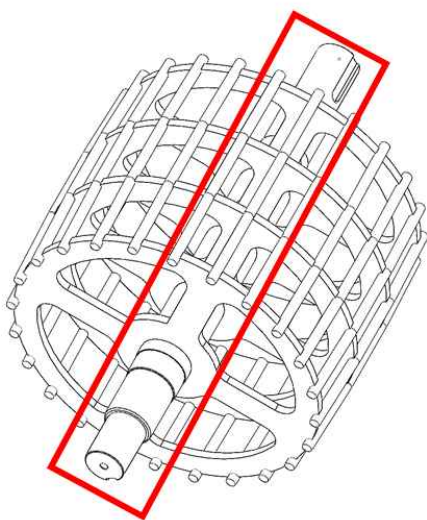


그림 69. 승강기 - 구동롤러 - 파이환봉 모델파라미터.

- 구동롤러의 체인커버의 재질로 1023 탄소 강판(SS)으로 선정하여 정적해석을 진행하였다.

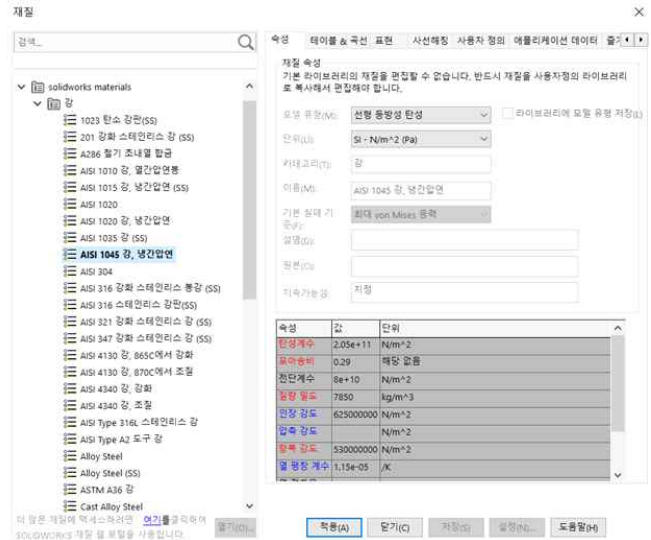
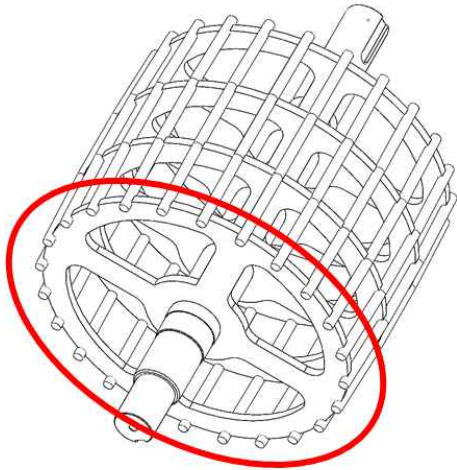


그림 70. 승강기 - 구동롤러 - 체인커버 모델파라미터.

(나) 실험결과

- 구동롤러의 정적해석 중 응력을 기준으로 해석 진행하였다. 응력은 외력이 작용할 때 저항하는 힘을 나타내는 것으로, 구동롤러 전체적으로 비교적 낮은 응력이 생성되는 것으로 나타났다.

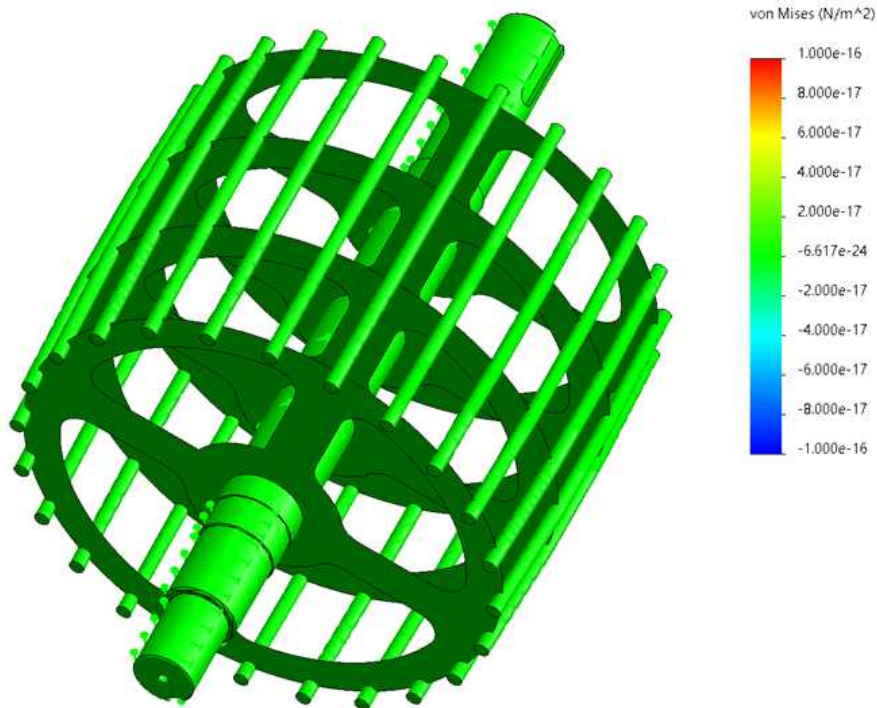


그림 71. 승강기 - 구동롤러 정적해석 1.

- 구동롤러의 정적해석 중 변위를 기준으로 해석 진행하였다. 변위는 구조물의 임의의 점에서 측정한 점의 움직임を示하는 것으로, 구동롤러 전체적으로 비교적 낮은 변위가 있는 것으로 나타났다.

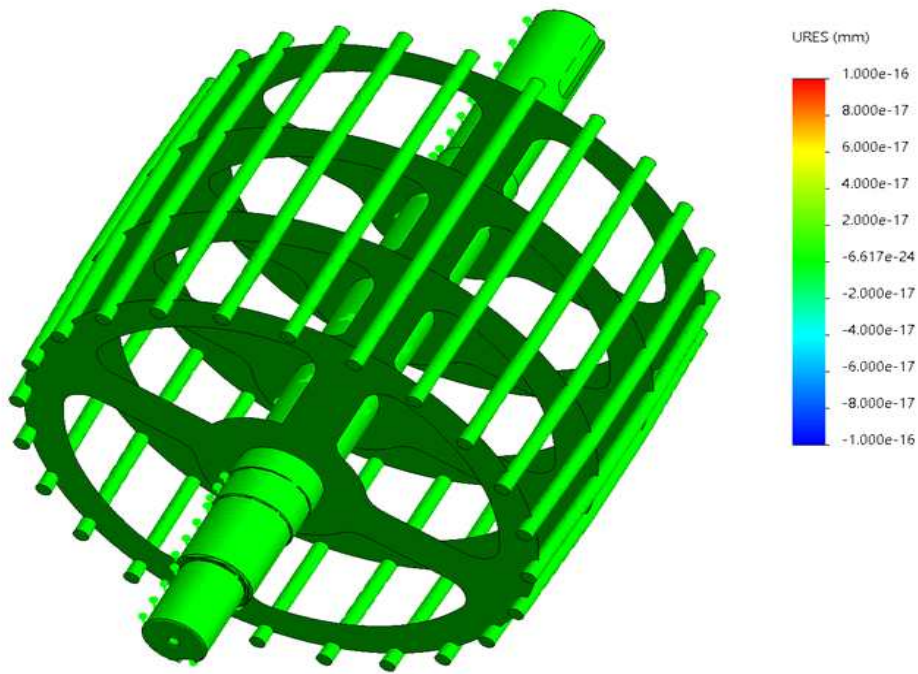


그림 72. 승강기 - 구동롤러 정적해석 2.

- 구동롤러의 정적해석 중 변형률을 기준으로 해석 진행하였다. 변형률은 변형의 상대적인 크기를 나타내는 것으로, 구동롤러 전체적으로 비교적 낮은 변형률을 가지고 있는 것으로 나타났다.

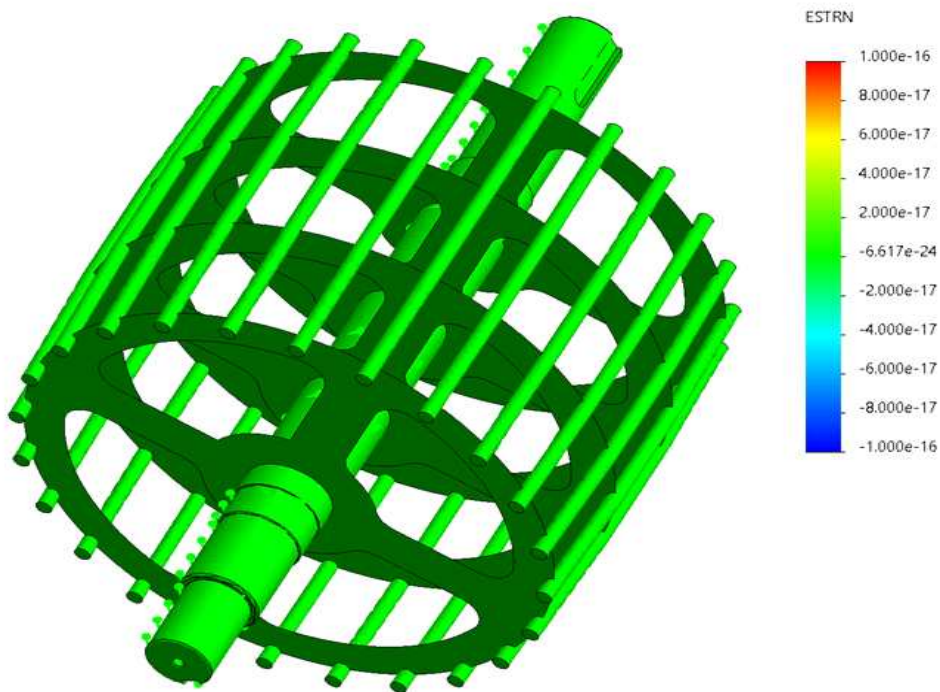


그림 73. 승강기 - 구동롤러 정적해석 3.

다) 통합 시작기 진동 안정성 분석 및 내구성 평가

- 실시간 진동 계측 센싱 장치 개발하여 다양한 통신이 가능한 원보드형 제품(Nano 33 BLE, 내장 9축 센서 : LSM9DS1) 및 배터리 연결로 무선통신 가능하도록 설계하였다. 또한 별도의 전원 공급 없이 원하는 위치에서 장시간 진동 데이터 취득이 가능하도록 설계하였다.
- 목질계 가공 기계에 부착하여 진동을 측정할 Sensor Node와 계측된 진동 정보를 수집하는 Gateway로 구성하였으며, 무선통신을 통해 센서 데이터를 수집한다. 진동측정을 위해 3축 가속도 센서를 이용하였으며, 3방향(x축, y축, z축)에 대한 진동 동시 측정 및 분석이 가능하도록 설계하였다.
- 센서의 소형화를 통해 기존에 진동을 측정하기 어려운 국소 지역에 부착하여 진동을 측정한다. 무선 센서 구현을 위해 저전력 통신인 BLE(Bluetooth Low Energy) 기반 무선 통신 시스템을 구성하였다. 사용자 편의성을 위해 Gateway와 디스플레이를 연동하여 계측 데이터 시각화 구현을 하였다.

표 30. LSM9DS1 9축 IMU 센서 주요 특징

Sections	Specifications
Acceleration full scale	±2, 4, 8, 16 g
Magnetic field full scale	±4, 8, 12, 16
Gauss and an angular rate	±245, ±500, ±200 dps
Operate extended temperature range	-40 °C to +85 °C

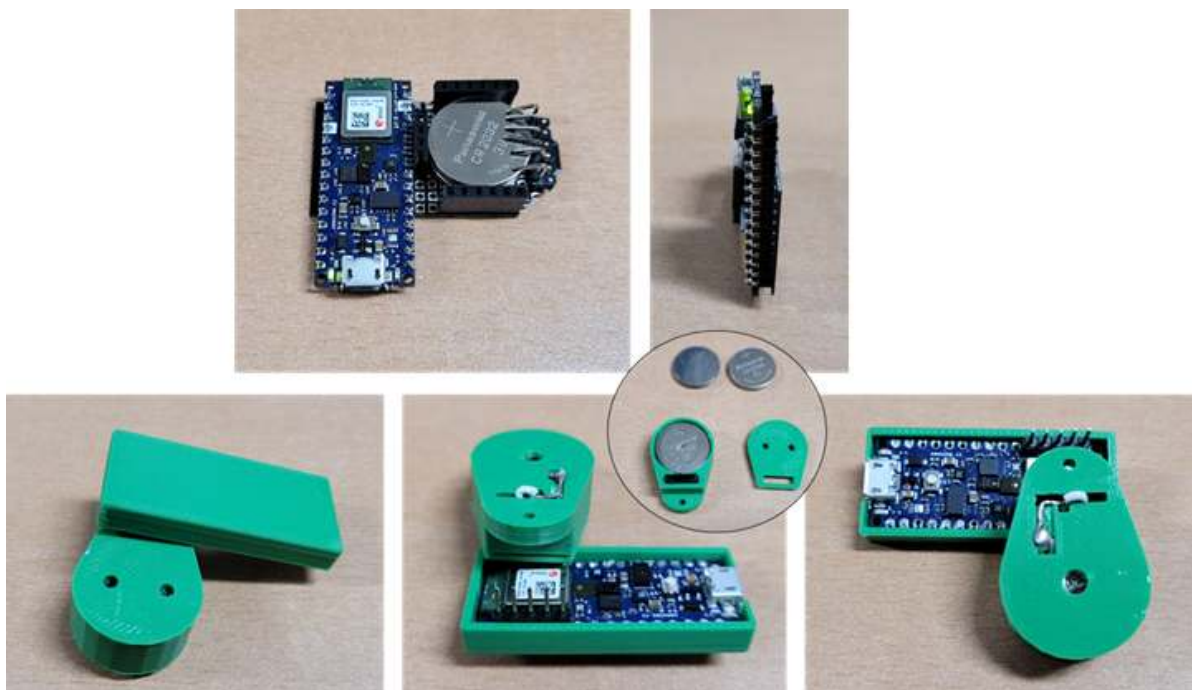


그림 74. 진동 측정장치 모듈 제작 과정.

- Gateway에서 수집한 진동 정보를 Nextion 디스플레이 기반 HMI를 통해 데이터 시각화 구현하였다. 디스플레이를 2개의 구역으로 나누어 2개의 센서씩 데이터를 확인할 수 있도록 화면 구성하였다. 하나의 센서 노드에서 측정된 3개(x축, y축, z축)의 진동 정보를 그래프의 선 색상을 통해 한번에 확인할 수 있도록 구현하였다. 시각화를 통해 기기에서 발생하는 이상진동에 대한 모니터링이 가능, 발생할 수 있는 고장 가능성에 대한 대응책 확보하였다. IOT 기술 바탕으로 계측이 가능하고 산업 표준을 고려한 호환성 높은 디바이스 설계하였다. 또한 센서의 소형화를 통해 센서 설치가 어려운 국소부 및 진동특성 모델링이 난해한 조건에서 실시간 분석이 가능하다.



그림 75. Nextion 디스플레이 기반 시각화 구현.

- 저가형 IMU 센서는 부정확한 스케일링 factor, 축의 조정불량 등 다양한 원인으로 시스템의 오류로 인해 오차값을 출력한다. 이에 일정 주기로 다양한 자세로 변경하며 얻은 최초 데이터를 바탕으로 가속도의 오차를 측정하였다. 캘리브레이션은 통해 imu센서의 특징 중 장시간 사용하는 경우 발생하는 offset 및 sensitivity error를 극복한 데이터 취득하였다.

```

함수 및 상수 정의
#include <Arduino_LSM9DS1.h>

float mx, my, mz;
float gx, gy, gz;
float ax, ay, az;

Set up
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  IMU.begin();
}

Loop
void loop()
{
  read_Accel();
  read_Gyro();
  read_Magneto();
  delay(100);
  Accel data read 함수
  void read_Accel()
  {
    if (IMU.accelerationAvailable())
    {
      IMU.readAcceleration(ax, ay, az);

      Serial.print(ax);
      Serial.print("\t");
      Serial.print(ay);
      Serial.print("\t");
      Serial.print(az);
      Serial.print("\t");
    }
  }

  Gyro data read 함수
  void read_Gyro()
  {
    if (IMU.gyroscopeAvailable())
    {
      IMU.readGyroscope(gx, gy, gz);

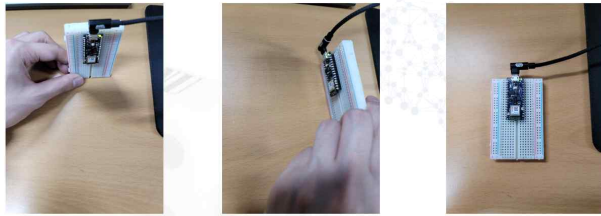
      Serial.print(gx);
      Serial.print("\t");
      Serial.print(gy);
      Serial.print("\t");
      Serial.print(gz);
      Serial.print("\t");
    }
  }

  Magneto data read 함수
  void read_Magneto()
  {
    if (IMU.magneticFieldAvailable())
    {
      IMU.readMagneticField(mx, my, mz);

      Serial.print(mx);
      Serial.print("\t");
      Serial.print(my);
      Serial.print("\t");
      Serial.println(mz);
    }
  }

```

그림 76. 측정 가속도 데이터의 안정성 확보를 위한 캘리브레이션 과정1.



x축 가속도 실험

y축 가속도 실험

z축 가속도 실험

	x축 실험	y축 실험	z축 실험
x	-0.03G	-1.01G	-0.01G
y	-0.04G	-0.04G	-1.03G
z	0.98G	-0.02G	-0.05G

```

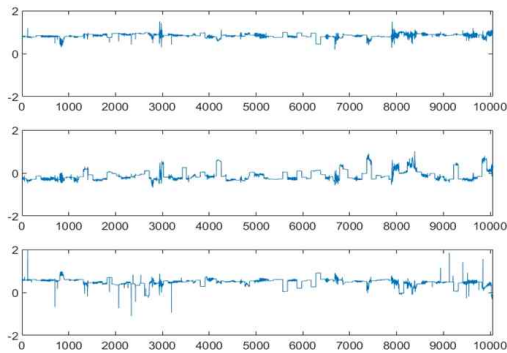
상수 정의
// x, y, z 가속도 오차의 평균값
// 중력방향인 1G 아닌 방향을 0라고 가정
#define AX_OFFSET 0.02 // (0.03 + 0.01 + 0.01)/3
#define AY_OFFSET 0.04 // (0.04 + 0.04 + 0.03)/3
#define AZ_OFFSET 0.03 // (0.02 + 0.02 + 0.05)/3

Accel Calibration 함수
void Calibration_Accel(float *ax, float *ay, float *az)
{
    *ax += AX_OFFSET;
    *ay += AY_OFFSET;
    *az += AZ_OFFSET;
}

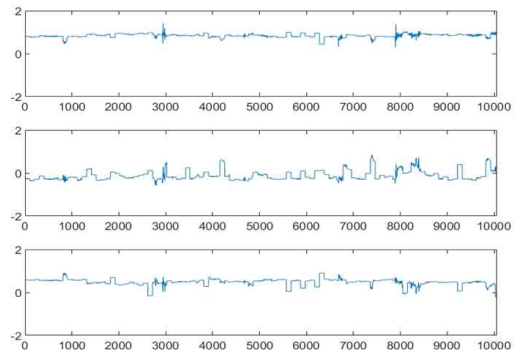
Accel data read 함수
void read_Accel()
{
    if (IMU.accelerationAvailable())
    {
        IMU.readAcceleration(ax, ay, az);
        Calibration_Accel(&ax, &ay, &az);
        Serial.print(ax);
        Serial.print('\t');
        Serial.print(ay);
        Serial.print('\t');
        Serial.print(az);
        Serial.print('\t');
    }
}
    
```

그림 77. 측정 가속도 데이터의 안정성 확보를 위한 캘리브레이션 과정2.

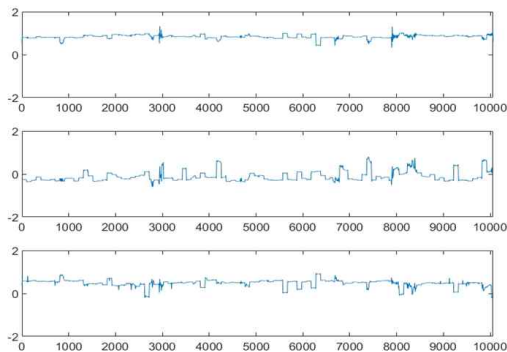
- 고정된 값에서 발생하는 각 축의 offset 보정을 진행하였다(연산속도 고려한 Filtering 기법 검토). 노이즈 저감을 위해 Raw 데이터 특정 영역대의 filtering을 적용하여 데이터 특성 및 적용 검토하였다.
- 순간적인 노이즈를 제거하기에는 Median filter의 성능이 가장 우수했으며, Low pass filter는 지속적인 노이즈를 제거하기 우수하였다. High pass filter는 고주파의 노이즈만 검출될 뿐 계측 데이터의 확인 및 노이즈 제거가 미비하였다. 자체 보정을 적용한 진동측정 모듈에 적용하기 위해 Median filter 기법 적용하였다.



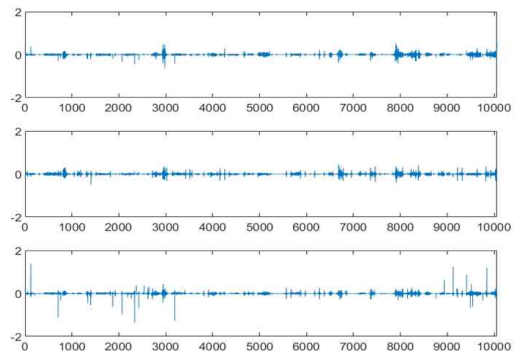
<Raw data>



<Median filter>



<Low pass filter>



<High pass filter>

그림 78. 측정된 가속도 데이터.

- 진동 측정 후 평가를 위한 실효값(r.m.s.) 도출결과는 다음과 같다.²⁷⁾

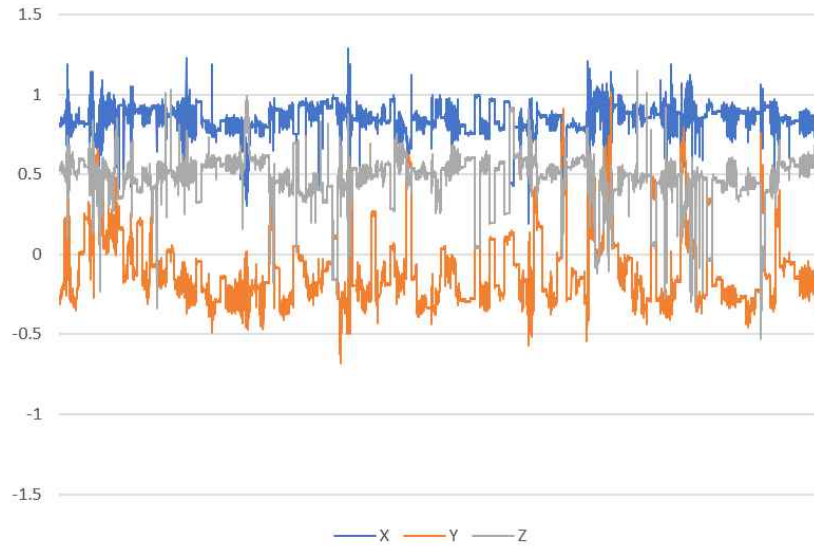


그림 79. 입도선별장치 구동 간 진동측정.

$$V_s = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

v(t) : 시간에 따른 진동 속도

T : v(t)를 구성하는 주요 주파수 성분의 어떤 주기보다 더 긴 샘플링 시간
 각 축의 실효값 (X : 0.72, Y : 0.06, Z : 0.25)

3축 합계 실효값 : 1.03

- 진동에 의한 안정성 및 내구성 예측 결과 장시간 무리 없는 A 구간 등급으로 분석되었다.

- r.m.s. 6.0 이상은 기계에 손상이 예상되거나 장기적으로 제한된 시간 구동을 요구하는 C, D로 분류되며 측정 결과 장시간 진동에 따른 고장 위험도에서 안전하다고 분석하였다.

라) 통합 기계 미세부 장기 사용시 IR 센서 기반 실시간 평가

- 기계 및 구조물의 결함 및 기능을 판단하기 위한 진단을 진행한다. 통합 시작기의 동력 구동 간 손실 및 위험 예측을 진동평가와 더불어 IR 센서 기반 측정 테스트 진행하였다.

- IR 센서 모듈 제작 및 데이터 통합 관리 서버 AP를 구현하였으며, 호환성이 높은 비접촉 적외선 온도 측정 센서 선정(GY906-MLX9061)하였다.

27) 관련근거 ISO 10186-1

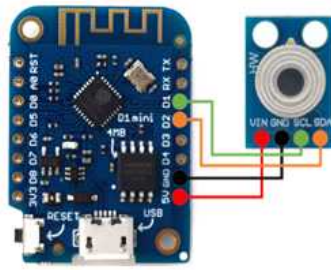


그림 80. IR 센서 모듈 결선도.

- 센서 결선 및 신호 무결성 검증 테스트를 진행하였으며 회로 설계 및 성형과정을 거친 후 결선을 완성하였다. 다양한 환경에서 사용할 수 있도록 하우징 처리하여 IR 측정 장비 제작하였다.

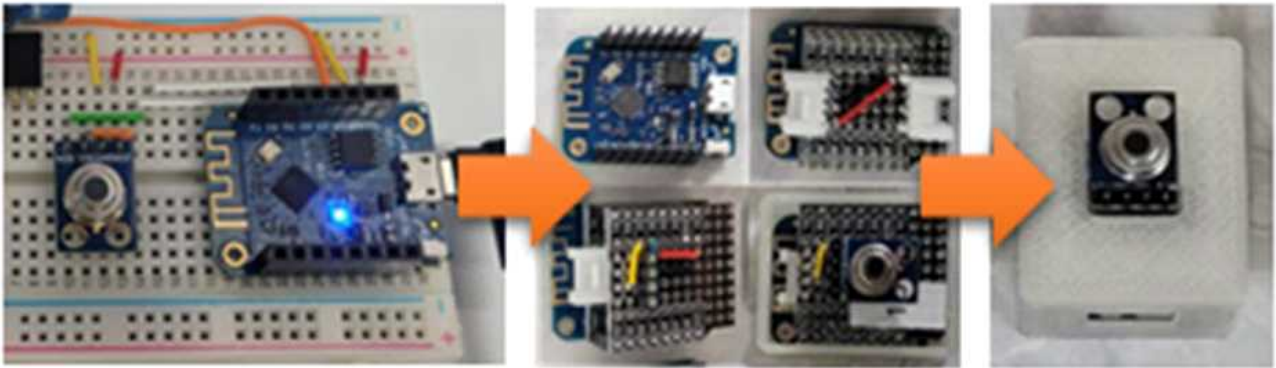


그림 81. IR 측정 장비 제작 과정.

(1) 실험방법

- IR 센서를 활용한 선별기 가동 시 기기발열에 따른 부하를 예측한다. 이상 탐지를 위한 보조수단으로 선별장치 가동 시 온도 상승여부를 개발된 장치를 통해 모니터링을 진행한다. 측정 시 정확성 향상을 위해 Offset, Ambient 및 Object의 온도를 측정한다. 또한 에러값 보상 및 필터링의 과정을 거쳐 측정 시 오차를 최소화한다.

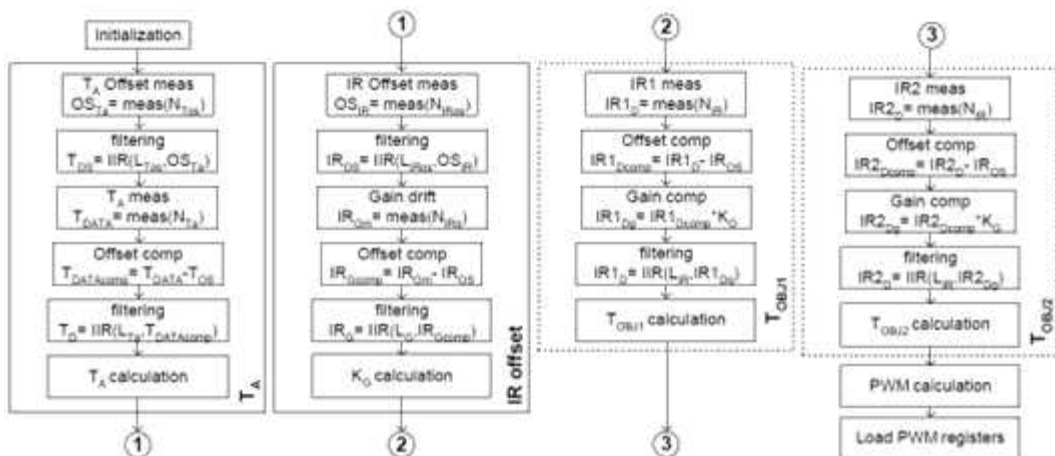


그림 82. Measurement and Data processing.

(2) 측정결과

- 필터링이 이루어지는 구간은 미세한 열 상승이 포착되었다. 선별과정 종료 후에도 선별기 주요부위 열 상승은 미비한 것으로 분석된다. 장시간 선별기 구동간 시료의 이동 및 선별과정에서 발생하는 마찰열은 거의 발생하지 않는 수준으로 판단되며, 장시간 사용 시 기기의 크랙 및 구조적 이상이 발생했을 경우 빠른 대처를 기대할 수 있다(진동측정 검출 시스템으로 이상치 탐지, 적외선 열화상 진단 시스템으로 미세열 손실구간 측정).

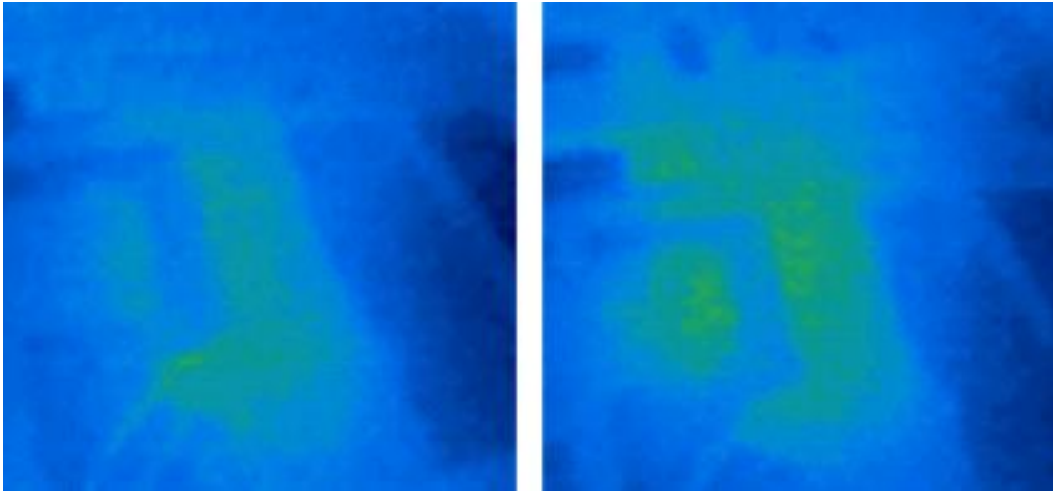


그림 83. 장기 구동 시 미세부 IR 센서 기반 측정.(좌 : 구동 직후, 후 : 종료 시)

(내용을 위한 여백)

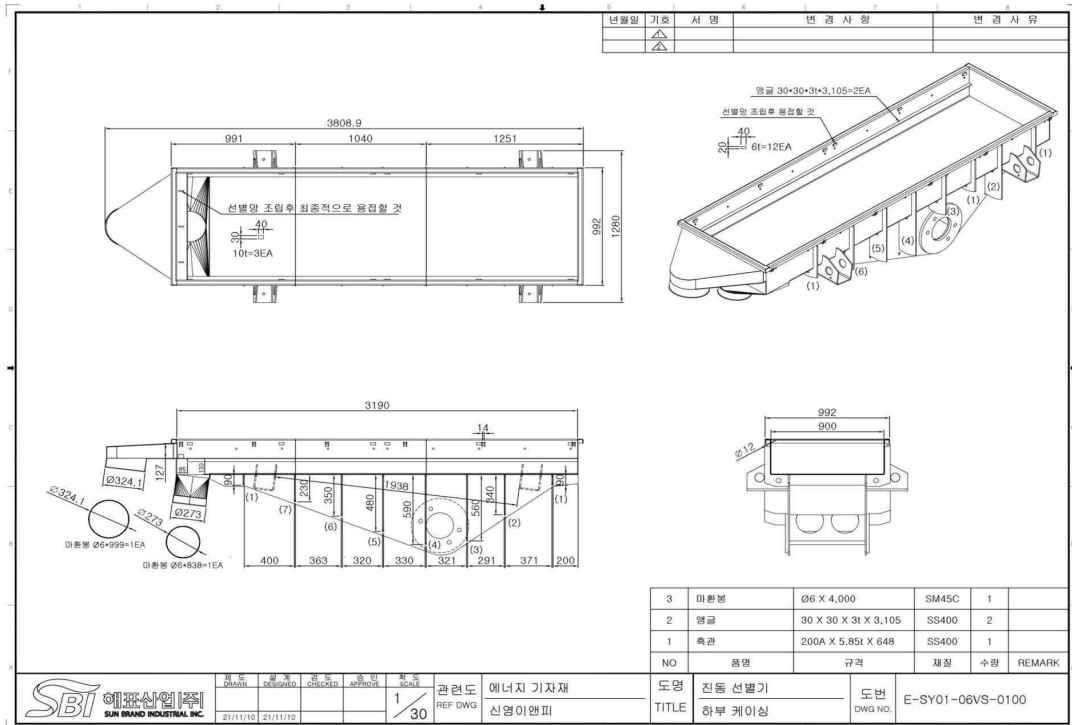


그림 85. 진동선별기 도면 2.

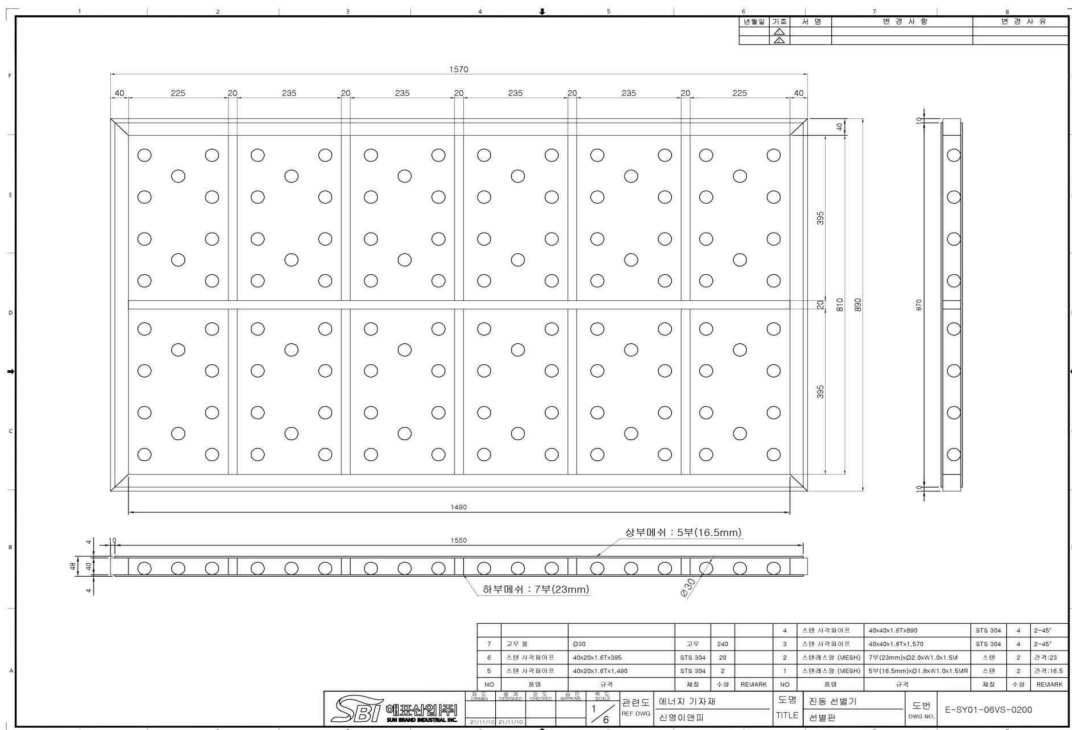


그림 86. 진동선별기 도면 3.



그림 89. 설치된 진동선별기.

(1) 실험결과

표 31. 진동선별기 실험결과

선 별 망	1차	2차	3차
1단 (0.8 mm이하)	9 %	12%	10%
2단 (Ø 0.8 mm ~ Ø 2.0 mm)	41 %	37%	44%
3단 (Ø 2.0 mm 이상)	50 %	51%	46%

- 1단(Ø 0.8 mm 타공망)에 의해서 선별되는 원료는 전체의 10% 이내이며, 주로 0.8mm이하의 흙먼지가 많이 포함되어 있으며 선별되는 원료의 회분율은 40% 이상이므로 폐기처리한다.
- 2단 (Ø 0.8 mm ~ Ø 2.0 mm 타공망)에 의해서 선별되는 원료는 Densimat 2번으로 투입하며 원료 전체의 50% 정도 해당한다.
- 3단 (Ø 2.0 mm 타공망) 에 의해서 선별되는 원료는 Densimat 1번으로 투입하며 원료 전체의 40% 정도 해당한다.
- 소형선별기를 통한 사전 실험결과와 선별 비율이 유사하며, 0.8mm이하의 입자는 Densimat의 메쉬망의 크기와 동일하므로 추가선별보다는 이물질배출라인으로 제거하는 방안으로 선택하였다.

나) 원료 이송장치(버킷엘리베이터) 설계 및 제작

- 주요장치로 원료를 이송하는 장치
- 버킷엘리베이터 이송량 계산 및 제작

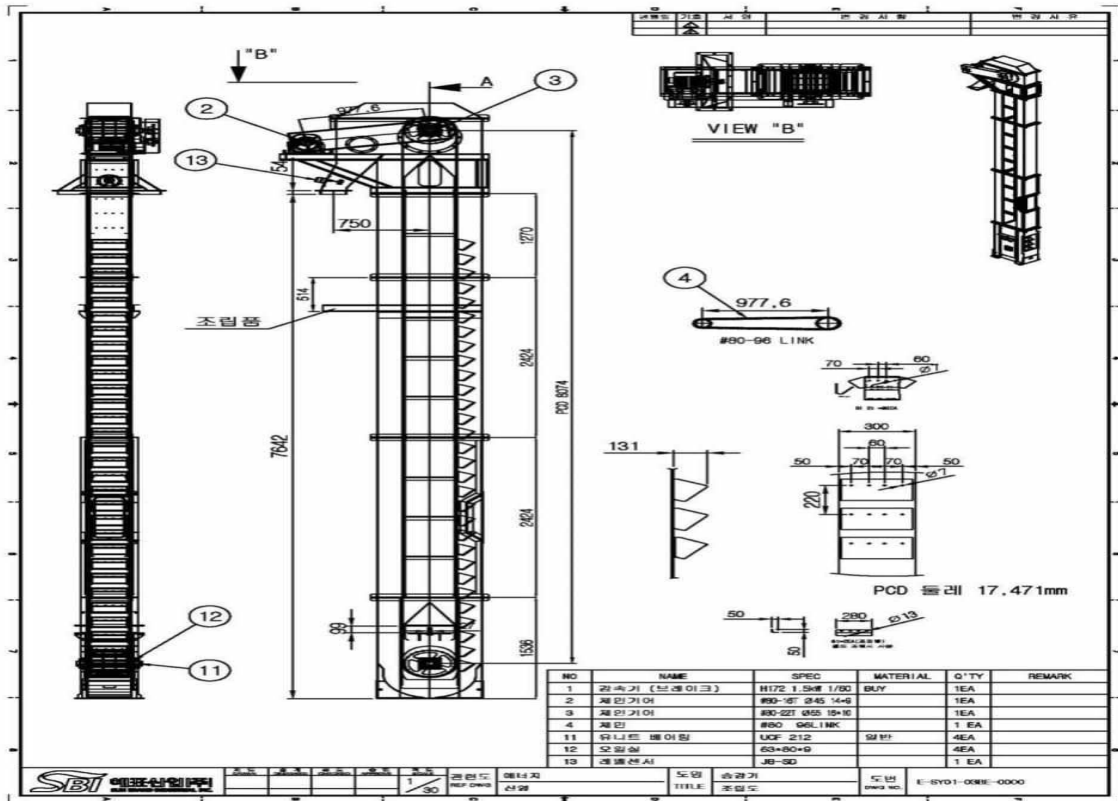


그림 90. 버킷엘리베이터 도면 1.

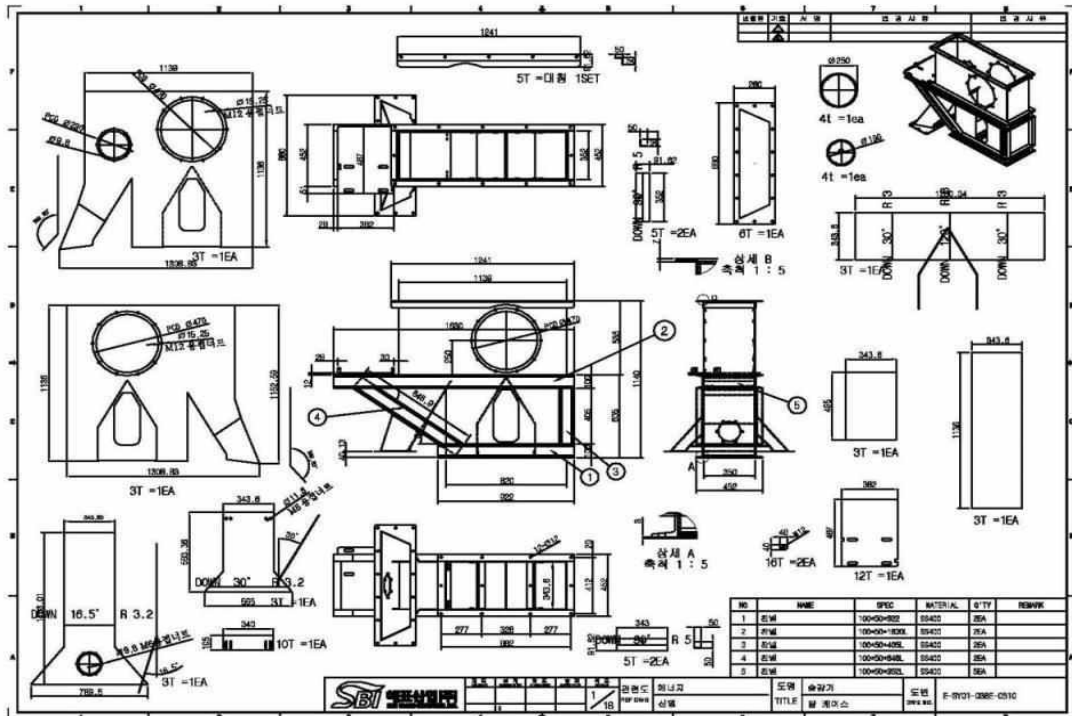


그림 91. 버킷엘리베이터 도면 2.

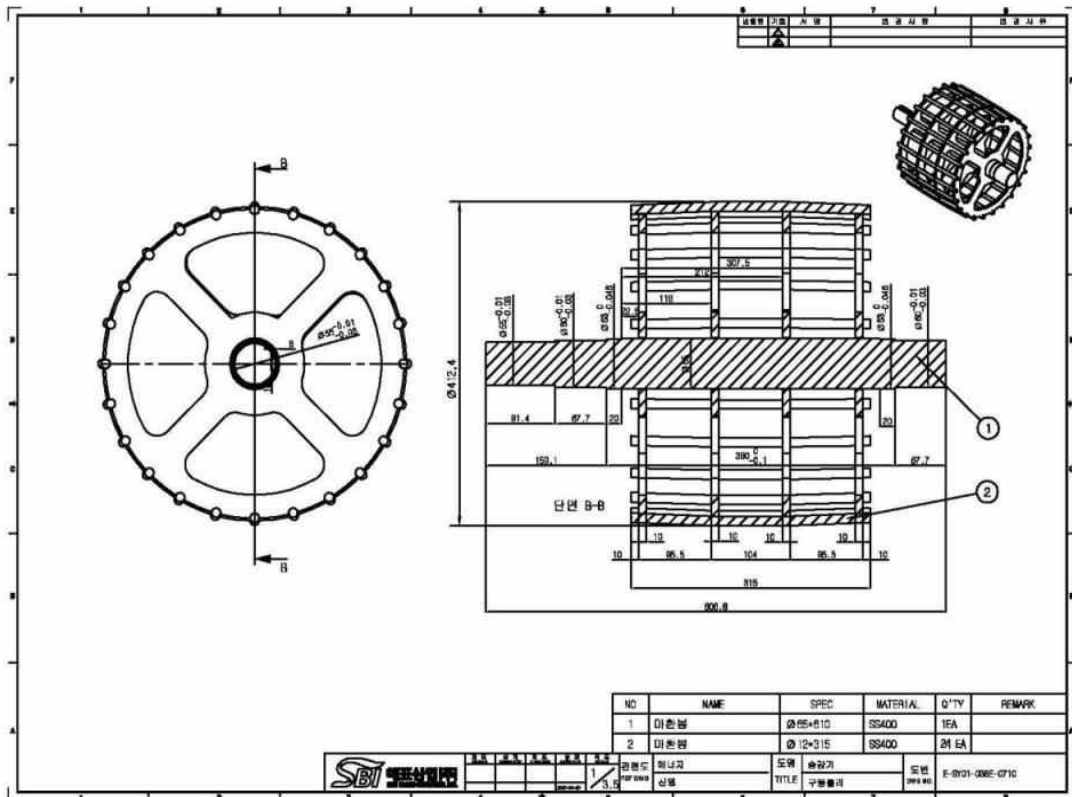
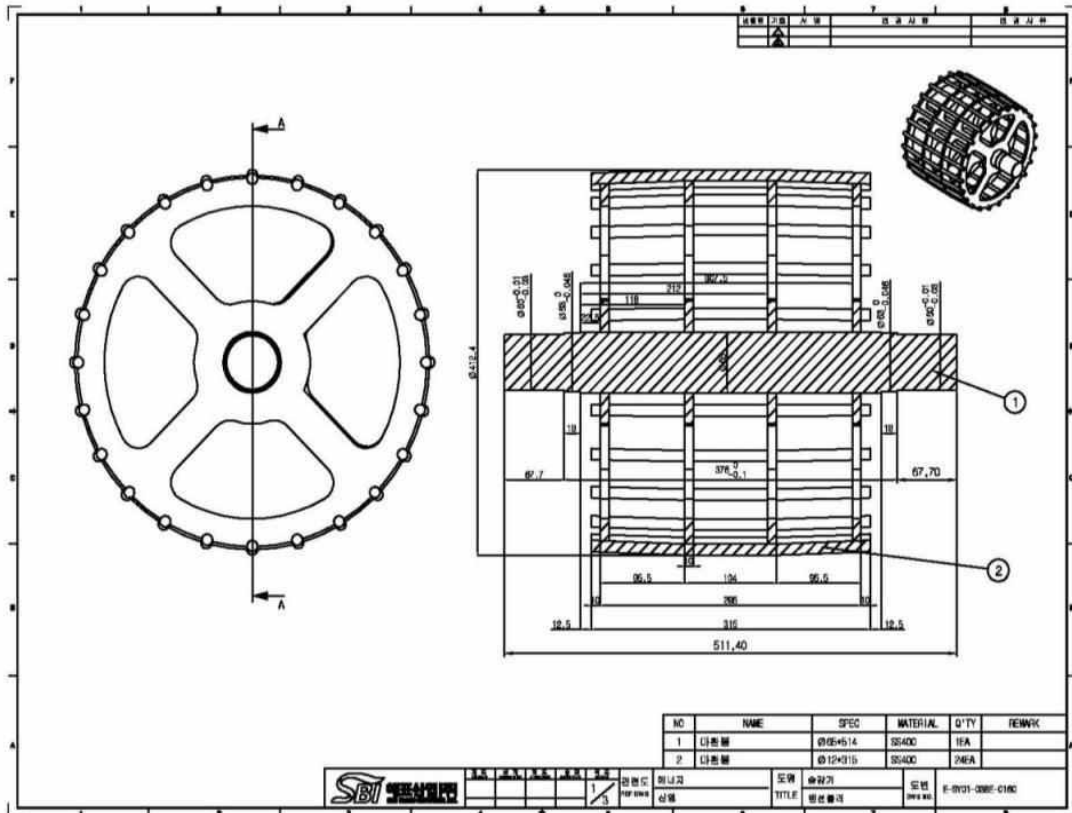


그림 92. 버킷엘리베이터 도면 3.

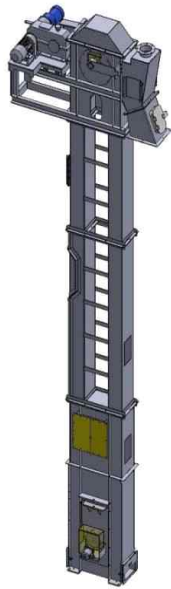


그림 93. 버킷엘리베이터 3D도면 및 실제 제작사진.

- 버킷엘리베이터 이송량 계산식

◆ ITEM NAME. : INPUT ELEVATOR (IE-014)

o 설계 조건 운반물 : Dust

외관비중 : 250 (Kg/m³) 0.25 (Ton/m³)
운반량 : 5000 (Kg/Hr) 5.0 (Ton/Hr)

o BUCKET ELEVATOR 사양

Vertical Lift : 8074 Hmm
Inclination : 90°
Speed : 28.2 m/min
Electric Source : AC460V, 60HZ, 3φ

1. Basic Calculation

1.1 수송용량 검토

기본요구용량 : Qr = 5.0 t/h를 기준으로 처리용량을 검토한다.

A = Bucket 용적 (m ³ /m)	A : Bucket 용적(개당)	0.00405 m ³
= 0.0184 m ³ /m (버킷 1용적/m당)	P : Bucket Pitch	0.22 m
= 0.00405 m ³ /개 (버킷 1개당 용적)	H : 수송물의 높이	8.074 m
Q = 60 × A × V × Y × n / P	Y : 수송물의 겉보기비중	0.25 t/m ³
= 60 × 0.00405 × 28.2 × 0.25 × 0.75 / 0.22	V : 운반속도	28.2m/min
= 5.84 t/h (비중 Y=0.25t/m ³ 일 경우)	n : 단면수송효율	75%

$$Q = \left[\frac{V \times S \times r \times \eta \times 60}{P} \right]$$

1.2 수송용량에 따른 Speed Check

Qr = 5.0 t/h를 기준으로 수송속도를 계산하면,

Q = (60 × A × V × Y × n)에서	V = 버킷 1개의 용적	m ³
V = Q / (60 × A × Y × n) 이므로	S = 수송속도	m/min
= 5.0 / (60 × 0.0184 × 0.25 × 0.75)	P = 버킷의 피치	m
V = 24.15 m/min	Y = 수송물의 외관비중	
	n = 버킷의 떠올리기효율	75%
	Qr = 요구용량	5.0t/h

* Chain Speed : 28.2 m/min로 결정함.

1.3 Main Conveying Chain 선정

1.3.1 Effective Tension for Conveying Chain = F

(a) 긴장측 장력 (T1)	$T1 = (Wc + W) \times (H + H0) + C$ $= (13 + 2.96) \times (8.074 + 4.18) + 40$ $= 235.57$	F : Chain에 작용하는 장력 kg Qr : 요구용량 (Max기준) 5.0 t/h V : 운반속도 28.2 m/min H : 수직중심거리 8.074 m Wc : Belt + Bucket의 중량 13 kg/m W : 수송물 1m당 중량 $= (16.7 \times Q) / V = (16.7 \times 5) / 28.2$ $= 2.96 \text{ kg/m}$
(b) 미완측 장력 (T2)	$T2 = Wc \times (H + H0) + C$ $= 199.3$	H0 : $10 \times D = 10 \times 0.418 =$ 4.18 m D : Drum 직경 0.418 m C : Tack up weight 40 kg
(b) 구동측 장력 (T3)	$T3 = T1 - T2$ $= 36.27$	
(c) 주축 장력 (T4)	$T4 = T1 + T2$ $= 434.87$	
(d) 역전하중 (T5)	$T5 = W \times (H + 1)$ $= 2.96 \times (8.074 + 1)$ $= 26.86 \text{ kg}$	

1.6 Driving Chain의 선정

1.6.1 Head Shaft의 Torque 계산

Head Shaft에 작용하는 Torque : T_H

$$T_H = 97.400 \times \frac{P_m}{N_H}$$

$$= 4,620.8 \text{ kg-cm}$$

Dr1 : Drive Sprocket Dia.	13.0 cm
Dr2 : Driven Sprocket Dia.	17.8 cm
N_M : Motor Speed	1800 rpm
N_R : Reducer Speed	30 rpm
N_H : Head Shaft Speed	21.5 rpm
NT_1 : Drive Sprocket 잇수	16
NT_2 : Driven Sprocket 잇수	22
P_m : Motor Actual Power	1.02 kw

1.6.2 Driving Chain의 선정

Driving Chain : RS#80 x 1Row 선정하면

P_b : RS Chain의 파단강도 5,650 kg

Driving Chain의 장력 계산

$$T_C = \frac{2 \times T_H}{Dr_2}$$

$$= 519.2 \text{ kg}$$

Driving Chain의 안전율 Check

$$Sf = \frac{P_D}{T_C}$$

$$= 10.88 > \text{허용안전율 } Sf = 8 \text{ 이므로 매우 안전하다.}$$

(체인속도 20~40m/min일 때 적용)

(1) 소결

- 이송량은 계산식에 의해 규격을 정한 후 안전율을 고려하여 제작한다.
- 이송량은 케이싱 직경 및 회전수에 의해 결정되며, 이송량이 부족할 경우 체인 변경을 통해 조정이 가능하도록 설계하였다.
- 실험목표인 5톤 이상 원료이송이 가능하도록 설계하였다,

다) 원료이송장치 (스크류 컨베이어)

- 원료이송장치는 설비의 주요장치로 원료를 이송하는 장치이다.
- 스크류컨베이어 이송량을 계산하여 도면 및 실제작을 진행하였다.

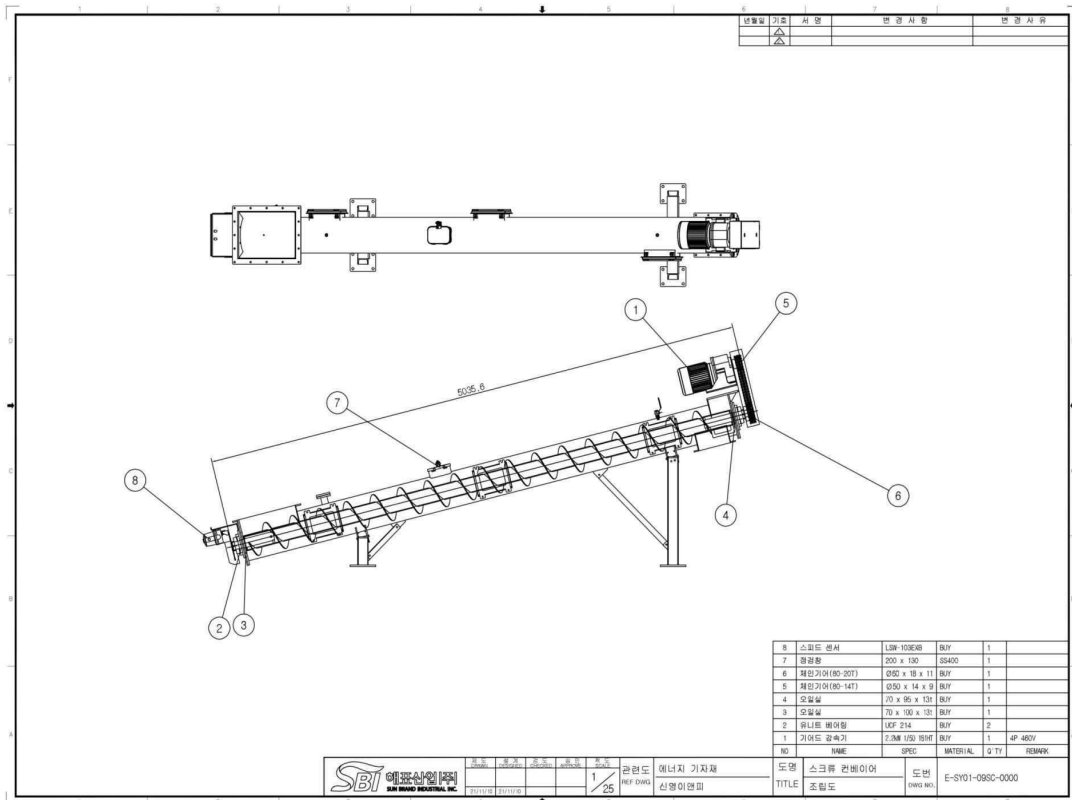


그림 94. 스크류컨베이어 상세도면 1.

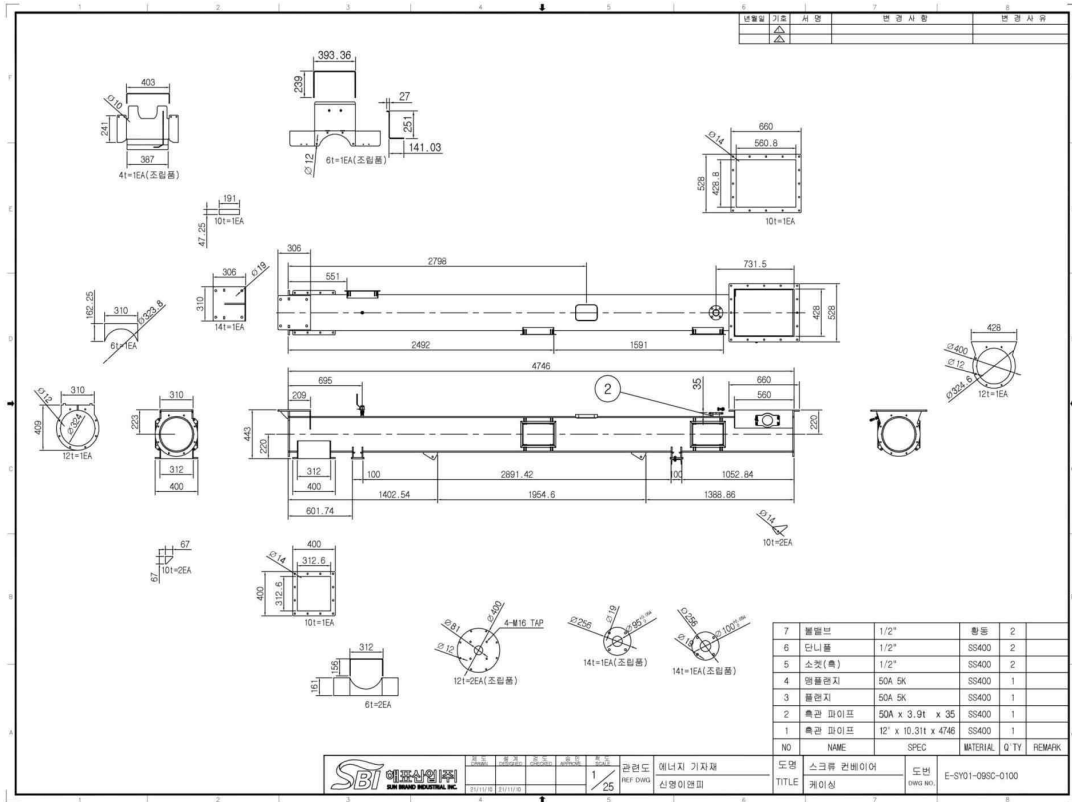


그림 95. 스크류컨베이어 상세도면 2.

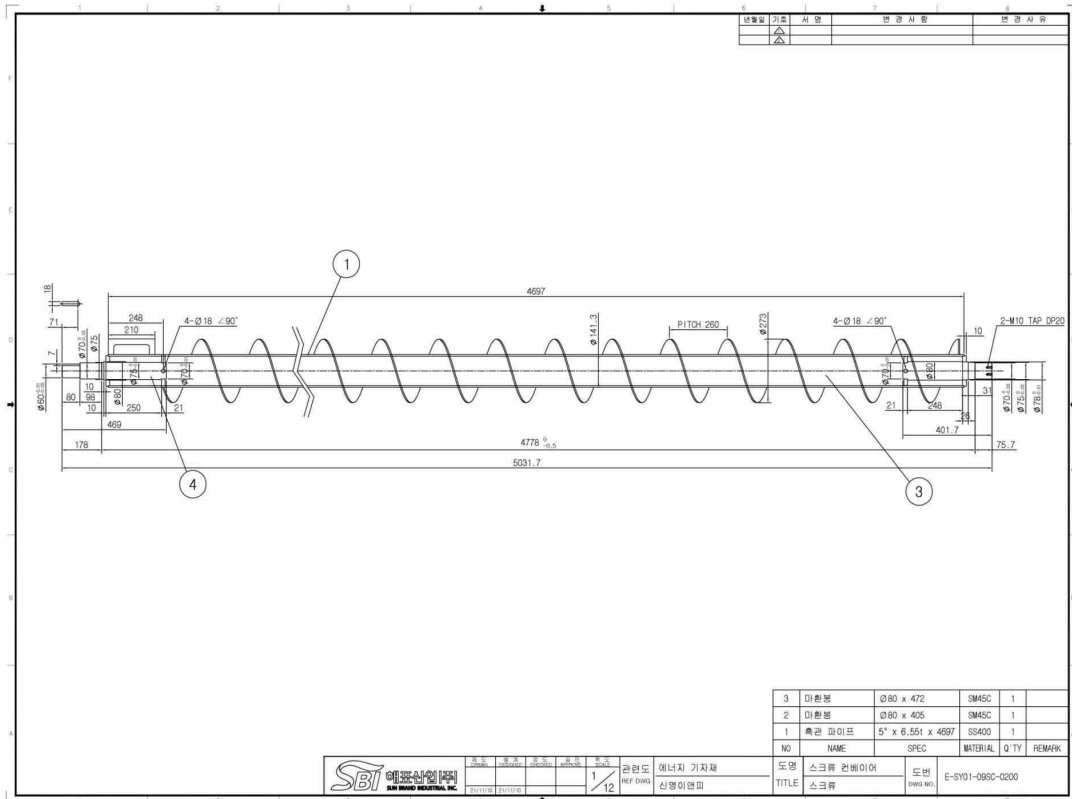


그림 96. 스크류컨베이어 상세도면 3.



그림 99. 제작된 스크류컨베이어.

- 스크류컨베이어 이송량 계산식

◆ ITEM NAME : SCREW CONVEYOR

○ 설계 조건 ☞ 운 반 물 : Wood Dust
 ☞ 외 관 비 중 : 250 (Kg/m³) 0.25 (Ton/m³)
 ☞ 운 반 량 : 5000 (Kg/Hr) 5.0 (Ton/Hr)

○ SCREW CONVEYOR 사양
 ☞ D (BLADE DIA) : 275 (mm) 0.275 (m)
 ☞ d (SHAFT DIA) : 139.8 (mm) 0.1398 (m)
 ☞ P (BLADE PITCH) : 260 (mm) 0.26 (m)
 ☞ L (S/C LENGTH) : 4,642 (mm) 4.642 (m)
 ☞ N (S/C R.P.M) : 60 (R.P.M)
 ☞ ε (EFF - 충전율) : 50 (%) 0.5
 ☞ K (보정계수) : 1.8
 ☞ α (안 전 율) : 1.5
 ☞ η (MOTOR 효율) : 70 (%) 0.7
 ☞ S/C 의 경사각도 : 7 (°)
 ☞ H (S/C의 양정) : 700 (mm)

1. Capacity 검토

$$Q = \left[\frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \times P \times N \times \epsilon \times 60 \right]$$

$$= \left[\frac{3.14 \times (0.275^2 - 0.1398^2)}{4} \times 0.26 \times 60 \times 0.5 \times 60 \right]$$

$$= 20.6(\text{m}^3/\text{Hr}) \quad \text{--->}$$

$$= 5.15 (\text{Ton}/\text{Hr}) \quad > \quad 5.0 (\text{Ton}/\text{Hr}) \quad \text{---> O.K}$$

2 Motor Power 검토

$$\begin{aligned}
 Kw &= \left[\left(\frac{K \times Q \times L}{270} \right) \times \alpha + \eta \right] + \left(\frac{Q \times H}{270} \right) \\
 &= \left[\left(\frac{1.8 \times 5.15 \times 4.642}{270} \right) \times 1.5 + 0.7 \right] + \left(\frac{5.15 \times 0.7}{270} \right) \\
 &= 0.355 \text{ (Kw)} \\
 &= 0.473 \text{ (Hp)} \quad \Rightarrow 5 \text{ (Hp)} \times 4 \text{ P} \times 1 / 30 \text{ (MOTOR RPM : 60)}
 \end{aligned}$$

3. Spirals Shaft 검토

$$\Rightarrow \text{Spiral : } \Phi 275 / \Phi 139.8 \text{ } 6 \text{ t} \times 18 \text{ EA} \quad 2.24 \text{ (Kg/EA)}$$

$$\Rightarrow \text{Spiral Shaft : STPG PIPE 125A \#40} \quad \Rightarrow D \text{ (Pipe O.D.) : } 139.8 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow d \text{ (Pipe I.D.) : } 126.6 \text{ (mm)}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow Ix_1 &= \frac{\pi \times (D^4 - d^4)}{64} \\
 &= \frac{3.14 \times (13.98^4 - 12.66^4)}{64} \\
 &= 613.7 \text{ (Cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow Ix_2 &= \left(\frac{b^3 \times h}{12} \right) \times 18 \text{ EA} \\
 &= \left(\frac{0.6^3 \times 5.5}{12} \right) \times 18 \\
 &= 1.782 \text{ (Cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow Ix &= Ix_1 + Ix_2 \\
 &= 613.7 \text{ (Cm}^4\text{)} + 1.782 \text{ (Cm}^4\text{)} \\
 &= 615.482 \text{ (Cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow Zx_1 &= \left[\frac{\pi \times (D^4 - d^4) / D}{32} \right] \\
 &= \left[\frac{3.14 \times (13.98^4 - 12.66^4) / 13.98}{32} \right] \\
 &= 87.8 \text{ (Cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow Zx_2 &= \left(\frac{b \times h^2}{6} \right) \times 18 \text{ EA} \\
 &= \left(\frac{0.6 \times 5.5^2}{6} \right) \times 18 \\
 &= 54.45 \text{ (Cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow Zx &= Zx_1 + Zx_2 \\
 &= 87.8 \text{ (Cm}^4\text{)} + 54.45 \text{ (Cm}^4\text{)} \\
 &= 142.25 \text{ (Cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow \text{Shaft Length} &: 4.642 \text{ (m)} \\
 \Rightarrow \text{Blade Weight} &: 40.32 \text{ (Kg)} \\
 \Rightarrow \text{Shaft Weight} &: 98.45 \text{ (Kg)} \\
 \Rightarrow \text{Total Weight} &: 138.77 \text{ (Kg)}
 \end{aligned}$$

3-1. TORQUE 계산

$$\begin{aligned}
 T &= (71,820 \times \text{HP}) / N \\
 &= (71,820 \times 5) / 60 \\
 &= 5,968 \text{ (Kg.cm)}
 \end{aligned}$$

3-2. MOMENT

☆ 굽힘 MOMENT

$$\begin{aligned}
 M &= (W \times L) / 8 \\
 &= (0.299 \times 464.2) / 8 \\
 &= 17.35 \text{ (Kg.cm)}
 \end{aligned}$$

4. Chain 검토

$$\begin{aligned} \text{전단력 } F &= 75 \times (\text{HP} / V) \\ &= 75 \times (5 / 0.574) \\ &= 653.3 \text{ (Kg)} \\ \Rightarrow D &: 182.84 \text{ (mm)} \text{ (RS 100 x 18T 일 경우)} \\ V &= N \times (D \times 3.14) / 60 \\ &= 60 \times (0.18284 \times 3.14) / 60 \\ &= 0.574 \text{ (M/Sec)} \end{aligned}$$

\Rightarrow Chain Speed 가 20 ~ 30 (m/min) 일 경우 Safty Factor 가 5 ~ 6 이고
Chain Speed 가 30 ~ 40 (m/min) 일 경우 Safty Factor 가 7 ~ 8 이므로
 $\therefore 653.3 \text{ (Kg)} \times 6 = 3,919.8 \text{ (Kg)}$

\Rightarrow RS 100 Chain 사용시 파단강도가 8,850 (Kg) 이므로
 $\therefore 3,919.8 \text{ (Kg)} < 8,850 \text{ (Kg)} \Rightarrow \text{O.K}$

5. Drive Shaft 검토

$$\begin{aligned} T_n &= (4,500 \times \text{HP}) / V \\ &= (4,500 \times 5) / (0.574 \times 60) \\ &= 653.3 \text{ (Kg)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= T_n \times L_1 \\ &= 653.3 \times 10 \\ &= 6,533 \text{ (Kg.cm)} \end{aligned}$$

$$M_e = 0.35^2 \times M + 0.65^{1/2} \times (M + T_n)$$

$$\begin{aligned} 2 \quad 1/2 &= 0.35 \times 6,533 + 0.65 \times (6,533 + 653.3) \\ &= 6,554.2 \text{ (Kg)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \{(32^{1/3} M_e) / (3.14 \times \tau)\} \\ 1/3 &= \{(32 \times 6,554.2) / (3.14 \times 600)\} \\ &= 4.81 \text{ (Cm)} \end{aligned}$$

$\therefore 48.1 \text{ (mm)} < \text{Bearing 축경 } 80 \text{ (mm)} \Rightarrow \text{O.K}$
(Bearing NO. : UCF214)

(1) 소결

- 이송량은 계산식에 의해 규격을 정한 후 안전율을 고려하여 제작하였다.
- 이송량은 케이싱직경 및 회전수에 의해 결정되며, 이송량이 부족할 경우 체인 변경을 통해 조정이 가능하다.
- 5톤 이상 이송이 가능하다.

2) 유입형태별 조절 가능한 선별망 교체 기술 개발

- 설비에 공급되는 오염된 원료물질의 입도별 차지하는 비율이 상이하다.
- 후단 설비인 Desimat는 2대로 병렬운전이 되며, 각 설비당 동일한 양을 공급하여 설비별 부하를 균등 분배할 필요가 있다.
- 이에, 경우에 따라 선별망의 교체가 필요하다.
- 진동선별기의 선별망은 오염된 원료물질의 입도의 분포에 따라 교체가능하도록 설계되어 있다.

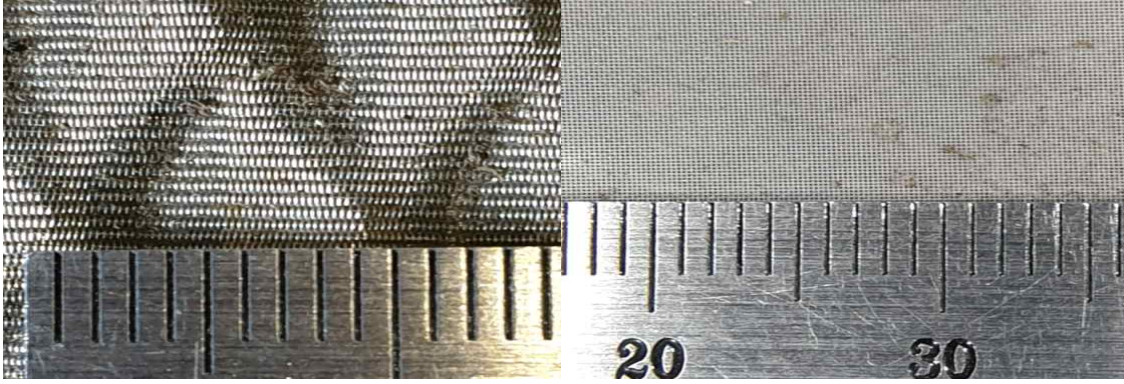


그림 100. 선별망 종류(왼쪽부터 40holes/inch, 150holes/inch 선별망).

가) 소결

- 선별망 교체가 용이하도록 구조 설계 및 제작을 진행하였다. 투입하는 원료의 품질이 일정하지 않기 때문에 입자크기 및 이물질 함량에 따른 Mesh망의 크기변환이 필요하다고 판단하였다. 이에 선별효율 또는 투입하는 원료에 따라 Mesh망의 크기를 변환하여 사용이 가능하다.

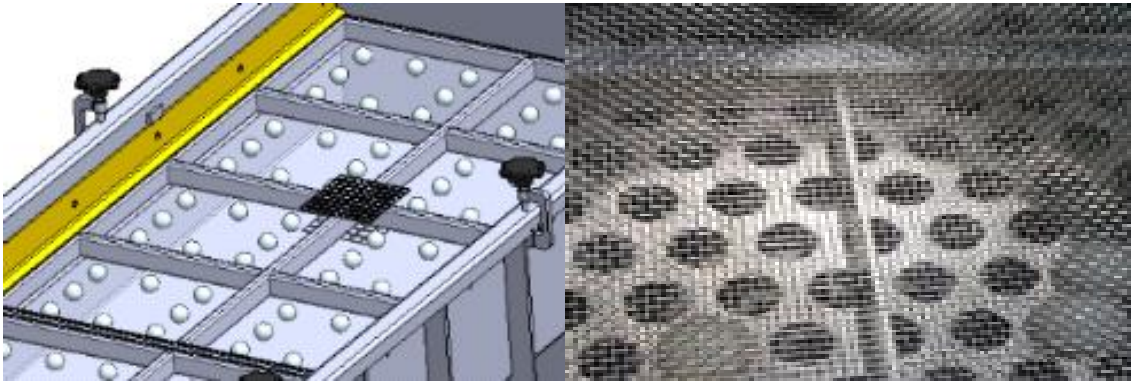


그림 101. 선별망 내부 구조도 및 사진.

(그림을 위한 여백)

라. 불순물 제거 전용 자력선별장치

1) 연속식 자동배출 제철 장치 개발

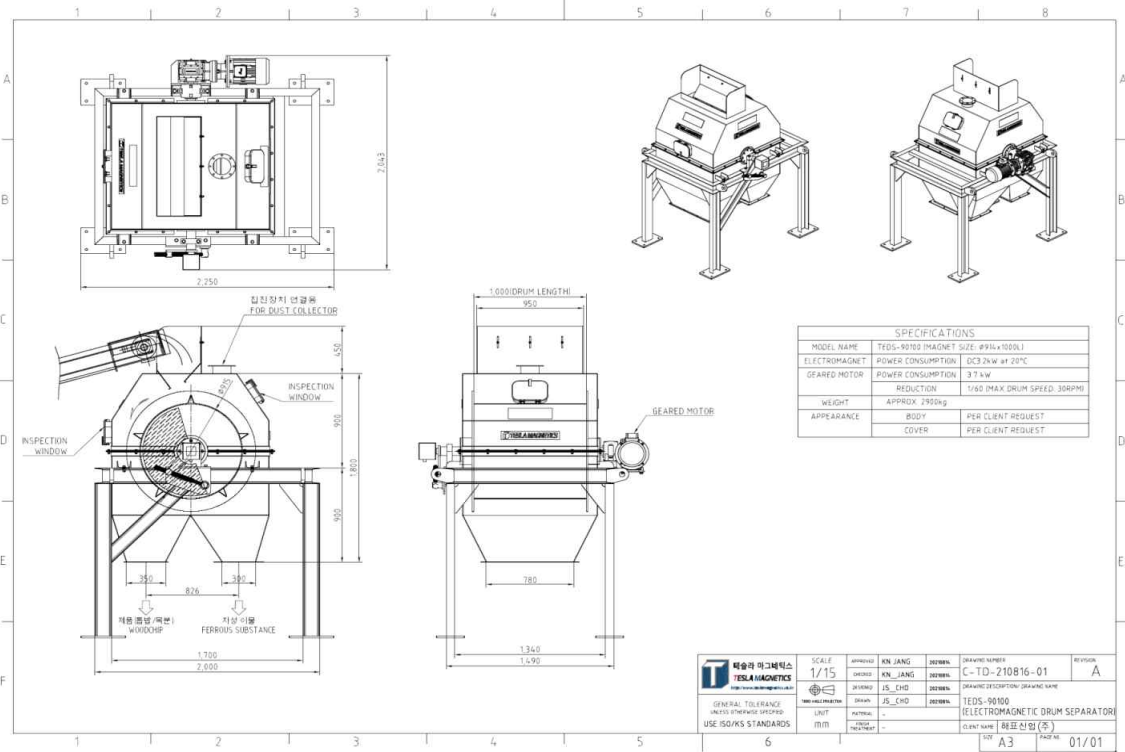


그림 102. 자력선별장치 도면.

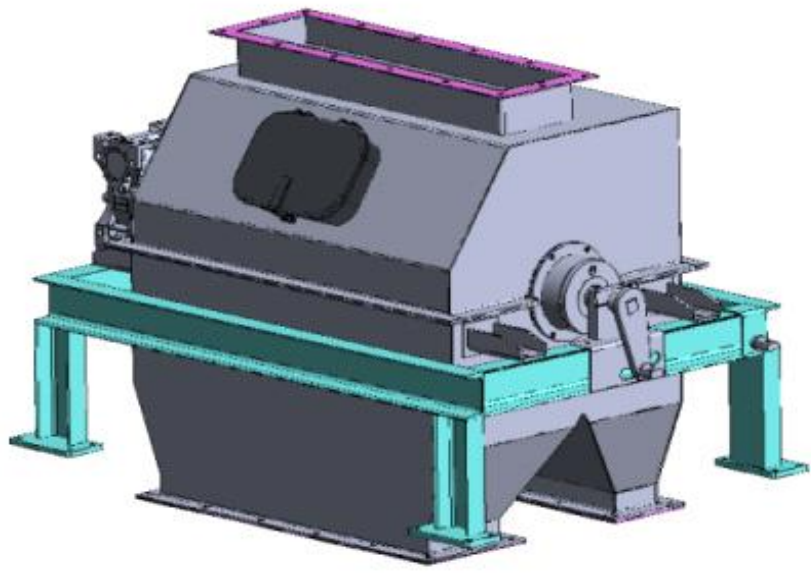


그림 103. 자력선별장치 3D도면.



그림 104. 자력선별장치 제작사진.

- Magnetic Size: $\phi 406 \times 900L$
- Magnetic type: Neodymium (3000Gauss on surface)
- Geared Motor: Power Consumption 1.5kW
- Rotation Speed: Drum speed: 34RPM

가) 소결

- 실험조건 : 회차별 운전시간 (1시간) , 투입량 2.5~ 3.0톤 / 시간

표 32. 제철량 측정 실험결과

구 분	1차	2차	3차
제철량	10g	22g	5g

- 운전 중 제철량은 거의 미미한 것으로 나타났으며, 이유는 사전처리과정에서 원료 내 포함된 대부분 철성분이 제거된 것으로 판단된다.



그림 105. 자력선별장치 설치사진 및 철 폐기물 사진.

2) 효율적인 제철 가능 균등 투입장치 개발

- 자력선별기는 단독으로 사용될 수도 있지만, 철물류 제거의 효율을 높이기 위해서 선별기에 닿는 원료의 면적을 높이는 방법이 있다. 본 설비에서도 자력선별기 전단에 진동피더를 추가하여, 원료가 자력선별기 입구에 균일하게 투입되도록 한다.

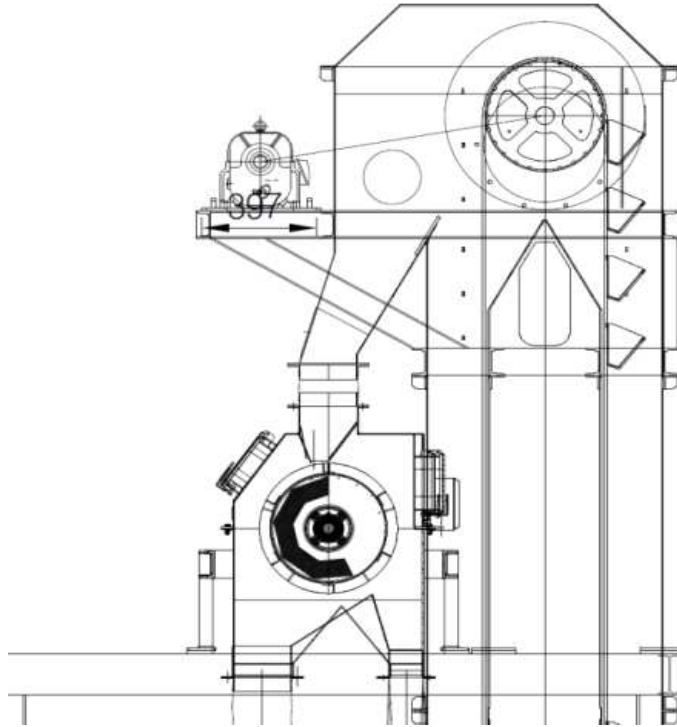


그림 106. 초기 Layout.

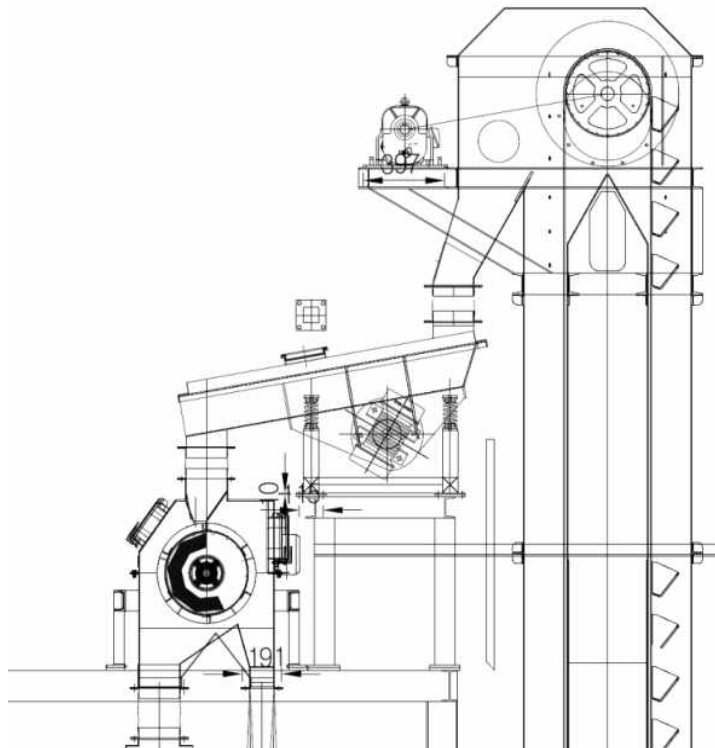


그림 107. 진동피더가 추가된 Layout.

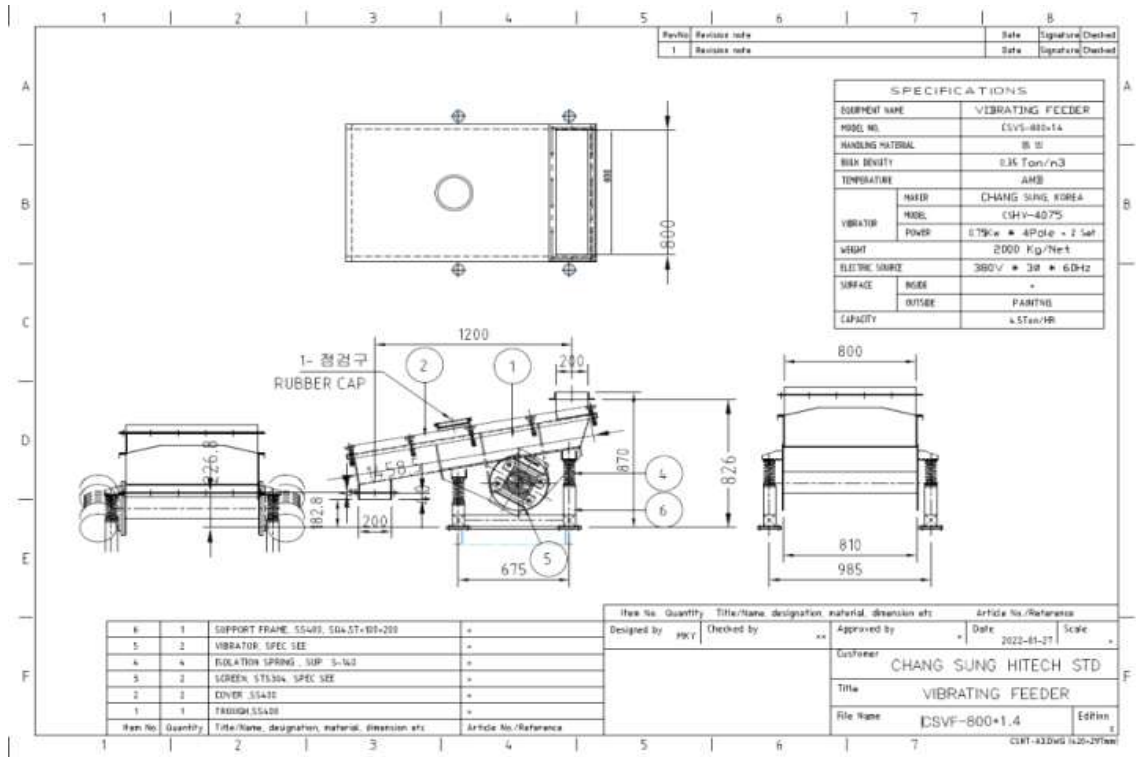


그림 108. 진동피더 설계도면.



그림 109. 진동피더 실제 사진.

- capacity: 4.5ton/hr
- Vibrator: 0.75kW × 4 Pole × 2 Set
- Weight: 2000kg/Net

가) 소결

표 33. 진동피더 실험결과

구 분	1차	2차	3차
분포정도	양호	양호	양호



그림 110. 진동피더 설치사진 및 내부 이송 사진.

- 진동피더를 통한 입자투입 시 균등하게 배출되는 것으로 확인되었으며, 자력선별 성능 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

3) 자력선별장치의 효율적인 제철가능 자력 규격 선정

- 자력선별기는 원료가 드럼표면에 접촉한 후 자성 이물이 드럼표면과 최소의 공극(Air Gap)을 가지도록 만들어 선별 효율을 최대화하도록 구성되어 있다. 이러한 구조로 투입구를 통해 유입된 자성 이물은 3000Gauss 이상의 자속밀도를 가지는 자기장 분위기 속에 위치하게 되며, 이때 자성 이물에 작용하는 인력(Attraction Force)은 아래의 식으로 계산할 수 있다. 제거하고자 하는 자성 이물의 종류는 못, 볼트, 너트, 나사못 등의 10~50mm이내의 크기이다.

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0}$$

F:자기력(N) B:자속밀도(T) A:자기장이 통과하는 단면적(m²)

μ_0 :진공 또는 공기중에서의 투자율(Permeability) $4\pi \times 10^{-7}H/m$

- 톱밥이나 우드칩 속에 들어있는 1cm 입방체 형태의 자성 이물이 있다고 가정할 때 자기장에 의한 인력을 계산해보면,

$$F[N] = \frac{0.3^2 \times 0.01^2}{2 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 0.0358N = 0.0365kgf = 36.5gf$$

- 1cm 입방체의 자성 이물이 철이라고 가정했을 때, 비중이 7.9이고 중력에 의해 작용하는 무게는 7.9gf가 되며 자기력에 의한 인력대비/자중의 비는 약 4.6이다. 이때 선별드럼의 회전으로 인한 원심력과 비자성 원료(톱밥)의 흐름에 따른 외력을 감안해도 충분히 자기장에 의한 인력으로 분리가 가능할 것으로 판단된다.

마. 불순물 제거 전용 비중선별장치

1) 외기배출을 최소화한 내부순환형 풍력 비중선별장치 개발

- 사용되는 비중선별장치의 모델인 Densimat은 신영포르투에 설치된 Densimat의 사양을 기초로 하여 제작한다. 3단진동선별기의 작동 형태에 의거 각각 적용 가능한 2대의 Densimat을 적용하였다.

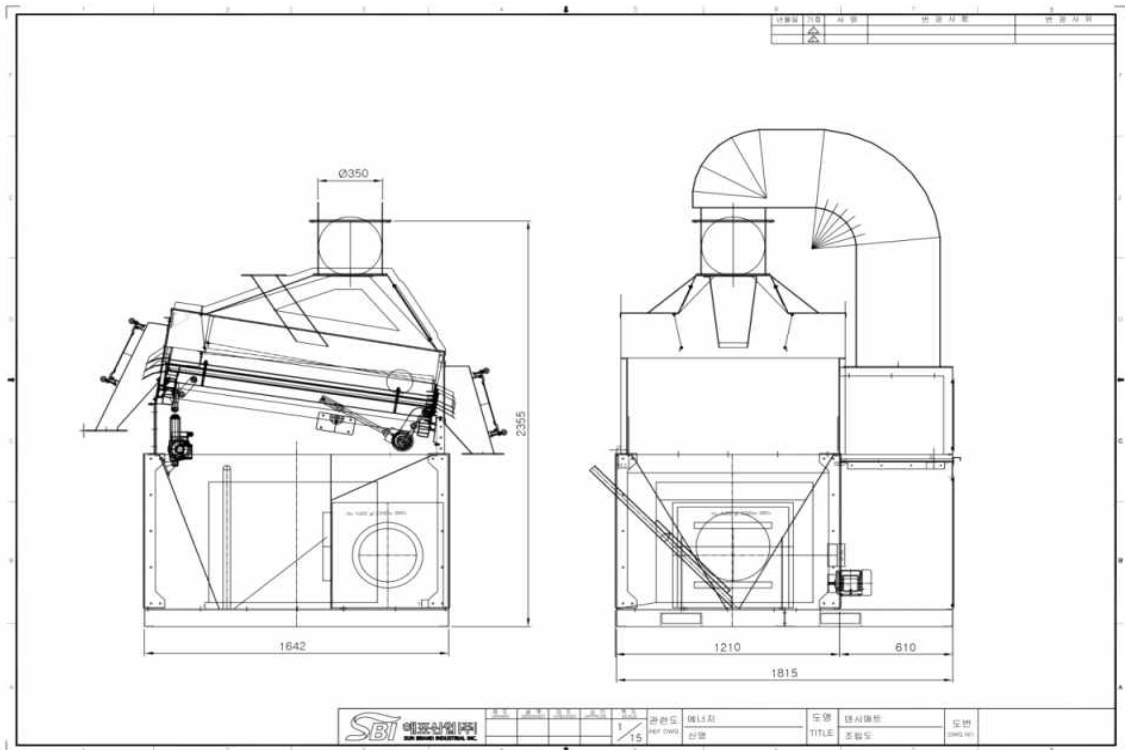


그림 111. Densimat 설계도면.

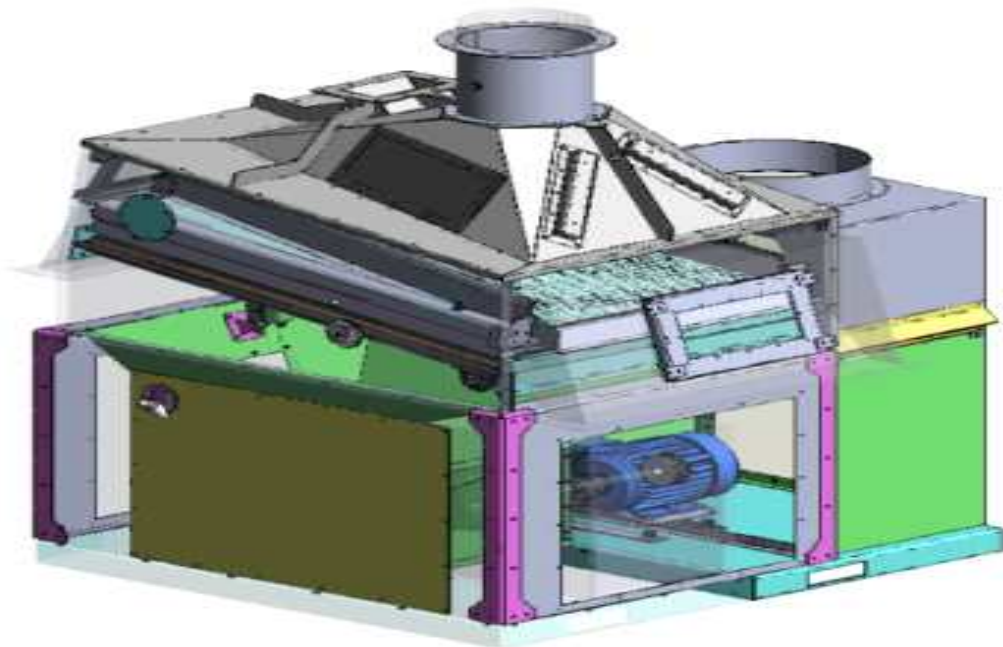


그림 112. Densimat 3D도면.



그림 113. Densimat 실제사진.

가) 자체 테스트

(1) Densimat 1번

- 진동선별 (타공망 \varnothing 2.0 mm)에 의해서 분류된 원료로서 전체량의 약 40% 투입되었다. 송풍량은 20Hz, 30Hz, 40Hz로 주파수를 변경하여 측정하였으며, 30Hz가 적합하였다. 40Hz의 경우 진동이 강하여 발산된 미분들이 포함되어 회분이 높아진 것으로 판단된다.

표 34. Densimat 1번을 통해 정품으로 선별된 원료의 회분량

송풍량 주파수	1차	2차	3차
20Hz, 회분량	풍압에 의해 원료 부양이 원활하지 않음		
30Hz, 회분량	1.5%	1.23%	1.2%
40Hz, 회분량	2.1%	1.7%	1.8%

(2) Densimat 2번

- 진동선별 (타공망 \varnothing 0.8~ 2.0 mm)에 의해서 분류된 원료로서 전체량의 약 50% 투입되었다. 송풍량 20Hz, 30Hz, 40Hz로 주파수를 변경하여 측정하였으며, 40Hz가 적합하였다.

표 35. Densimat 2번을 통해 정품으로 선별된 원료의 회분량

송풍량 주파수	1차	2차	3차
20Hz, 회분량	풍압에 의해 원료 부양이 원활하지 않음		
30Hz, 회분량	원료 부양이 원활치 않으며, 비품배출구로 정품이 다수 이동함		
40Hz, 회분량	2.1%	2.3%	2.6%
50Hz, 회분량	3.2%	소음과다 정지	2.9%



그림 114. Densimat 1번 선별사진.



그림 115. Densimat 2번 선별사진.



그림 116. Densimat 선별물 배출사진.

나) 소결

- 3단 진동선별장치에 의해 입도가 분류된 원료를 Densimat으로 비중선별한 결과 Densimat으로 투입 전 회분율에 비해서 매우 개선된 효과를 나타냈다. Densimat 1은 30Hz \pm 5, Densimat2 40Hz \pm 5의 송풍량에서 투입원료의 성상에 따라 적절한 조정이 필요하다.

2) 입자크기/무게별 분류량 조절 가능 선별장치 개발

- Densimat의 유량을 만드는 블로워를 인버터의 주파수Hz를 통하여 조절한다. 이를 통해서 상대적으로 비중이 큰 오염원을 제거할 수 있다.



그림 117. 인버터 조작반 사진.



그림 118. 블로워 설치 사진.

가) 결과

- 투입원료의 입도크기에 따라 블로워 주파수(Hz) 조정이 가능하다.
- 원료입도에 따라 20~50Hz 조정하여 운전하였으며, Densimat 1은 30Hz, Densimat 40Hz 운전이 적합한 것으로 파악되었으며, 그 이유는 진동 3단선별기에서 분류된 원료의 입도에 따라 차이가 발생한 것으로 보인다.
- 백필터 집진장치를 통해 포집되는 미세분은 10톤 운전 시 약 10kg 정도이며, 사전 조사를 통해 미세분에 포함된 흙먼지에 의해 폐기하기로 하였다.

5. 선별기 가동준비 및 테스트

가. 공장 보수 및 선별기 설치

- 실가동테스트에 앞서 공가동을 통한 설비점검 및 공장보수를 진행하였으며 가동에 필요한 소모품 구매를 진행하였다. 또한 기존공정 사이에 새로운 선별기를 설치하므로 선별기에 필요한 전력공사 및 신규 HMI를 설치하여 별도로 운영할 수 있도록 진행하였다.

1) 공장 설비점검 및 보수

- 선별기 설치에 앞서 공장의 전체적인 설비들을 점검하고 보수를 진행하였다. 또한 실가동 중 사용되는 소모품들의 구매를 진행하였다.

가) 설비점검

- 설비의 경우 실가동 전 전체적인 점검을 실시하였다. 점검 중 파손 및 노후로 교체가 필요한 설비의 경우 보수업체에 위탁을 맡겨 보수를 진행하였다.

나) 설비 보수 및 소모품 구매

- 각 공정마다 필요한 설비의 소모품들을 확인하여 구매를 진행하였다. 각 부품들의 경우 투입되는 원재료의 이물질함유량에 따라 마모속도가 달라진다. 파쇄기의 경우 스크린 망, 건조기는 임펠러, 드럼롤러, 베어링, 성형기는 링다이, 롤러셀, 봉마그네트, 집진기는 백필터 등을 구비하였으며 전체적인 설비가동에서 필요한 그리스 및 기어오일을 구비하였다.

2) 선별기 설치

- Pilot실험 및 설비의 구조해석 등을 토대로 최종적인 선별기의 설계를 완료하였으므로 선별기설치는 해표산업에서 직접 실시했으며 선별기에 전력공급을 위한 1차 전기공사는 광명전업사라는 업체에서 진행하였다.

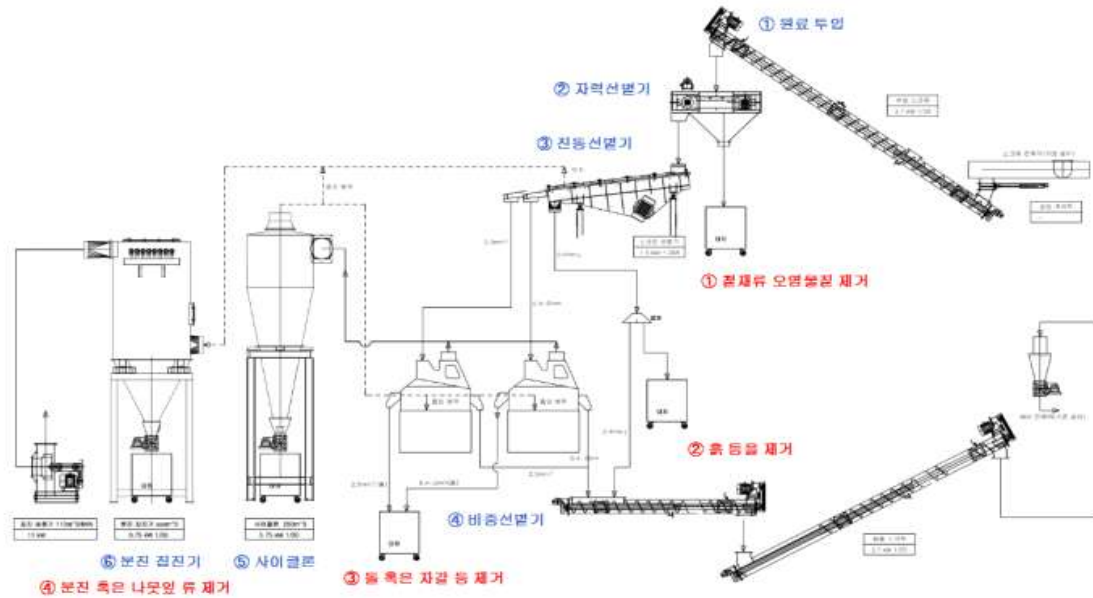


그림 119. 최종 선별기 공정도.



그림 120. 최종 선별기 설치 실증사진.

- 선별기의 이물질선별공정은 다음과 같다.
- ①자력선별기에 의해 철재류의 오염물질을 제거
- ②진동 선별기를 통하여 흙과 같은 오염물질을 제거
- ③비중 선별기를 통하여 돌 혹은 자갈을 제거
- 이후 사이클론으로 공기 이송되며 이 중 비중이 분진 혹은 나뭇잎에 비해 큰 원료 물질은 사이클론 하단으로 배출되며, 비중이 낮은 분진 혹은 나뭇잎 등은 분진 집진기로 이송

3) 선별기 구조변경

가) 이물질배출라인 증설

- 입도선별기 사이즈변경으로 이물질배출라인 증설. 中선별물의 품질이 안좋을 경우 전량폐기를 위한 이물질배출라인 증설. 기존이물질배출 예상량보다 훨씬증가로 인한 대차가 아닌 암물박스가 들어갈 수 있는 구조 및 용량으로 변경하였다.

나) 입도선별기 mesh망 변경

- 원활한 품질분석 및 양 배출라인의 고른 투입량을 위해 선별기의 Mesh망 사이즈를 변경하였다. 원료의 투입조건에 따라 유동적으로 Mesh망을 교체할 수 있도록 설계·제작되었으며. 이로 인한 이물질배출량 증가가능성으로 이물질배출라인 증설까지 진행하였다.

다) Densimat 진동망 Mesh사이즈 변경

- Densimat 또한 입도선별기와 마찬가지로 원료의 투입조건에 따라서 유동적인 이물질 제거조건이 변경 가능하여야 한다. 기존은 각도, 풍량, 진동세기만 조절을 하는 방안으로 설계하였으나 Mesh망까지 변경이 가능하도록 변경하였다.

라) 별도 투입호퍼 설치

- 기존투입은 건조기 전단 파쇄기 이전 투입호퍼에서 원료를 투입하는 방식으로 설계를 진행하였다. 하지만 기존방식은 원료가 선별기까지 도달하는데 시간이 오래 걸리고 투입라인에 잔류하는 원료가 많아지기 때문에 일정한 품질을 확보하는데 어려움이 있다. 따라서 본 이물질 제거장치에는 원료를 직접 투입할 수 있는 호퍼를 설치하여 실험을 진행하였다.



그림 121. 신규 투입호퍼 설치사진.

나. 실가동 품질 자가측정

- 성형기로 투입되기 전, Densimat의 후단에서 시료를 채취하여 품질분석을 진행하였다.

선별기 투입전 측정된 원재료의 품질에서는 함수율 7.14%, 회분 35.62%로 나타났다.

표 36. 투입원료 품질

구 분	1차	2차	3차	평균
함수율	7.45	6.92	7.06	7.14
회분량	33.12	37.44	36.29	35.62

- 실가동 품질측정결과 2.0mm이상의 Densimat에서는 함수율 8.23%, 회분1.85%가 측정되었다. 또한 2.0mm~0.8mm의 Densimat에서는 함수율 7.79%, 회분 2.09%가 측정되었다.
- 두 Densimat 모두 목표치인 회분 0.7%에는 도달하지 못하였으나 원료의 회분량인 35.62%과 비교하였을 때 이물질이 매우 감소하였음을 알 수 있다.

표 37. Densimat후단 선별물 품질

구 분		1차	2차	3차	4차	평균
2.0mm 이상	함수율(%)	8.34	7.82	8.99	7.76	8.23
	회분량(%)	2.96	1.62	1.35	1.50	1.85
2.0mm~ 0.8mm	함수율(%)	7.74	7.62	7.94	7.88	7.79
	회분량(%)	2.32	2.03	2.23	1.77	2.09

(내용을 위한 여백)

6. 최종 선별장치 설계 및 목표 달성도 확인

가. 불순물 처리속도

- 연구개발 목표치는 5톤/Hr 분쇄된 톱밥은 함수율에 따라 무게가 달라진다.

표 38. 목재의 함수율에 따른 무게변화

함수율	40%	30%	20%	10%
무게	5,000 kg	4,280 kg	3,750 kg	3,300 kg

- 분쇄된 톱밥의 무게는 함수율에 따라 변동되지만, 부피는 함수율과 관계없이 거의 일정하다. 따라서 실증현장에 반입되는 톱밥은 함수율 10%이하의 원료임에 따라, 실증시험시 불순물 처리속도의 목표는 최소 3,300kg/Hr을 기준으로 하였다.
- 처리량 검사는 한국건설환경시험연구원(KCL)의 입회하에 진행하였으며, ‘미이용 산림바이오매스를 활용한 펠릿제조시 불순물 제거기술’의 불순물 처리속도를 측정한 결과 3,500kg의 처리속도를 확보하였다. 자세한 사항은 아래 성적서와 같다.

(그림을 위한 여백)



시험성적서

1. 성적서 번호 : CT22-098744K
2. 의뢰자
 - 업체명 : 해표산업 (주)
 - 주소 : 전라남도 장성군 남면 나노산단5로 52 (상태리)
3. 시험기간 : 2022년 10월 20일 ~ 2023년 02월 01일
4. 시험성적서의 용도 : 성능평가
5. 시료명 : 미이용 산림바이오매스를 활용한 펠릿 제조시 불순물 제거 기술
6. 시험방법
 - (1) 의뢰자 제시방법



확인	작성자명 성명	오창순		기술책임자명 성명	신홍철	
비고 : 1. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련이 없으며, 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다. 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다. 3. 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다. 4. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.						

2023년 02월 01일

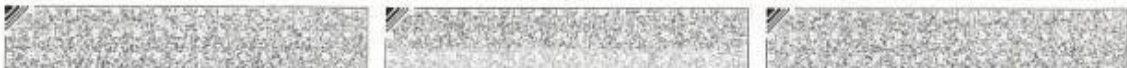
한국건설생활환경시험연구원



결과문의 : 34113 대전광역시 유성구 가정북로 26-34 (장동) ☎ (042)723-3009

총 6페이지 중 1페이지

양식TOP-12-01-03(1)



시험성적서

성적서번호 : CT22-086744K

7. 시험결과

7.1. 시험 개요

가. 시험기준

고객이 의뢰한 "미이용 산림 바이오 매스를 활용한 펠릿 제조시 불순물 제거 기술" 관련하여, 고객이 제공하는 시험항목, 시험절차, 시험환경에 따라 시험을 수행하고 결과를 확인한다.

나. 시험대상제품

제품명	제조사	버전	시험장소
미이용 산림 바이오 매스를 활용한 펠릿 제조시 불순물 제거 장치	해표산업(주)	-	충북 청주시 청원구 복이면 장재금대로 384

다. 시험항목

번호	시험항목 (Test Items)	단위 (Test Unit)	시험목표 (Test Target)	목표치 (Goal)
1	불순물 처리 속도	톤/hr	불순물 처리 속도를 확인한다.	2.5 이상

라. 시험방법

항목	시험방법 (Test Methods)
1	1) 투입 버켓을 사이를 측정한다. 2) 투입 버켓에 시료를 담고 무게를 측정한다. 3) 시료의 비중을 측정한다. 4) 투입 버켓을 통해 불순물 제거 장치의 투입 호퍼에 시료 일정량을 넣는다. 5) 투입 호퍼의 시료가 모두 처리 될 때까지 시간을 측정한다. ※ 투입 호퍼내의 시료가 모두 없어진 시간을 측정



시험성적서

성적서번호 : CT22-098744K

7. 시험결과 7.2. 시험환경



[시험현장 : 불순물제거장치]



[시료 : 미마용 산정바이오 매스]



[투입버켓]



[투입호퍼]

● 500(지) 호 580(지)

양식QP-20-01-06(6)




시험성적서

성적서번호 : CT22-096744K

7. 시험결과

7.4. 시험 결과 (상세)

항목 1	물순출 처리속도
시험목표	물순출 처리속도를 확인한다.
시험결과 상세	<p>1. 시험 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 물순출 처리속도 : 3.5 톤/hr <p>2. 결과 확인</p> <ul style="list-style-type: none"> - 투입버킷 부피 : 가로×세로×높이 : 137×120×52 cm = 854880 cm³ - 시료 비중측정 : 0.37 g/cm³ 용기내 시료무게(1200 g) / 측정용기 부피(3241.01 cm³) = 0.37 g/cm³  <ul style="list-style-type: none"> - 버킷 내 시료무게 : 316523.6 g 시료비중(0.37 g/cm³) × 버킷부피(854880 cm³) - 1버킷 처리시간 : 5분 20초 - 처리속도 : 316523.6 g / 320 초 = 989.14 g/초 = 3560890.5 g/hr 3.5 톤/hr <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> [시료 투입] [투입된 시료] </div>

총 65801리톤 5800리

광학09-20-01-06(6)



그림 122. 선별기 처리량검사 시험성적서

나. 설비 콤팩트화 확인

- 본 연구의 목표는 외산대비 외형 scale 70%이하의 선별기 제작이었으며 SY에너지(주)의 선별기 규모와 비교하여 설비크기를 비교하였다.

1) 설비 비교

- 외산은 현재 본사 인근의 목재펠릿 제조시설인 SY에너지(주)에서 운영하는 이물질 선별장치를 기준으로 비교하였다.
- 아래와 같이 용적이 외산 대비 scale 7.95%로 결과가 나옴으로써 목표치인 대형설비 대비 70%이하 규모를 달성하였다. 외산설비의 경우 생산량이 매우 높지만, 이송라인과 집진설비 등 부가설비를 제외한 면적임에도 목표치의 10분의 1 수준이라는 점에서 콤팩트화 달성은 성공적이라 판단된다.

가) SY에너지 선별기 규모



그림 123. SY에너지 입도선별기 위치 및 사진.

- scale 계산 : (가로 8.2m) × (세로10.5m) × (높이6.2m) = 533.8m³



그림 124. SY에너지 풍력선별기 위치 및 사진.

- scale 계산 : (가로 11.4m) × (세로 17.2m) × (높이 15.9m) = 3117.7m³

총합 : 3651.5m³(단, 이송라인 및 집진시설 제외)

나) 실증설비 선별기 규모



그림 125. 실증설비 선별기 배치도 및 사진.

- scale 계산 : (가로 7.5 m) × (세로 4.3 m) × (높이 9.0m) = 290.25m³

다. 펠릿 품질규격 공인 시험성적 의뢰

- 원료 및 생산된 펠릿의 정확한 품질측정을 위해 공인된 인증기관에서 시험성적을 의뢰하였다. 시험성적은 대전에 위치한 대덕분석기술연구원에서 진행하였다.
- 공인시험의 결과, 함수율 6.9%, 회분 2.1%로 확인되었다. 함수율은 펠릿품질 1등급기준을 만족하나 회분은 3등급의 기준에 못 미치는 결과가 나왔다. 자세한내용은 다음과 같다.

(그림을 위한 여백)

접수번호	D-22-14430	시험방법	Refer to test result
접수일	2022. 12. 27	발행일	2022. 12. 30
의뢰자	(주)신영이엔피		

시료 시료명 펠릿
 분석기간 2022. 12. 27 ~ 2022. 12. 30
 시험장소 ■ 고정실험실 □ 현장실험
 (주소: 대전광역시 유성구 국제과학로 33(신동))
 제조사 (주)신영이엔피

시험결과

항목	기준	단위	측정결과	시험방법
직경	-	mm	6.1	Notification No. 2020-3 by National Institute of Forest Science
길이	-	mm	12.1	
겉보기밀도	ar	kg/m ³	700	
함수율	ar	wt%	6.9	
회분	d	wt%	2.1	
미세분	ar	wt%	2.5	
내구성	ar	wt%	94.6	
저위발열량	ar	MJ/kg	17.6	
	ar	kcal/kg	4 190	

-다음 페이지 계속-

작성자 임진솔

승인자 오무혁

㈜대덕분석기술연구원 대표이사



회사명 - 대덕분석기술연구원 - 사업자번호 - 214-81-03405 - 주소 - 대전광역시 유성구 국제과학로33 - www.darilab.kr

1. 이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서, 판매제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 정확하지 않거나 틀린 것일 수 있습니다.
2. 이 성적서는 사생활의 침해, 안전, 방화 및 범죄, 법적 소송의 용도로 사용하지 않습니다.
3. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KDAAS 인증과 부합함을 증명합니다.
4. 이 성적서의 진위확인용 QR Code로 확인 가능합니다.



DARI-F-TOP-14-03(1)

접수번호 D-22-14430

시험결과

항목	기준	단위	측정결과	시험방법
염소	d	wt%	< 0.01	Notification No. 2020-3 by National Institute of Forest Science
황	d	wt%	0.04	
질소	d	wt%	0.3	
비소	d	mg/kg	< 0.5	
카드뮴	d	mg/kg	0.1	
크로뮴	d	mg/kg	8	
구리	d	mg/kg	3	
납	d	mg/kg	< 1	
수은	d	mg/kg	< 0.01	
니켈	d	mg/kg	3	
아연	d	mg/kg	15	

비고

ar: As received basis, ad: Air dried basis, d: Dried basis

-끝-

소재명 : 대덕분석기술연구원 · 계약번호 : 21A-46-01485 · 주소 : 대전광역시 유성구 국제과학로333 · www.dari.or.kr

1. 이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체내용에 대한 책임을 보증하지 않으며, 시료명은 오류자가 제시된 사항입니다.
2. 이 성적서는 사전협의 없이 사진, 황송 및 콩고, 열적 소용의 용도로 사용할 수 없습니다.
3. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 무관함을 알려드립니다.
4. 이 성적서의 진위확인은 QR Code로 확인 가능합니다.

2/2



DARI-F-TQP-14-09(1)

그림 126. 선별기로 생산된 목재펠릿 시험성적서

- 시험성적서의 결과와 목재펠릿 품질규격 고시의 품질을 비교하면 다음과 같다.

표 39. 목재펠릿 품질규격고시와 시험성적서 비교표

물성	등급	단위	산업용 1등급 (I1)	제작된 펠릿
직경(D), 및 길이(L)		mm	D06, 6 ± 1 3.15 < L ≤ 40 D08, 8 ± 1 3.15 < L ≤ 40	6.1
함수율		수령 시 w-%, 습량	≤ 10	6.9
회분		w-%, 건량	≤ 1.5	2.1
내구성		수령 시 w-%	≥ 97.5	94.6
미세분		수령 시 w-%	≤ 4.0	2.5
첨가제		수령 시 w-% (종류 및 첨가량 명시)	≤ 3	x
순발열량		수령 시 MJ/kg	≥ 16.5	17.6
겉보기밀도		수령 시 kg/m³	≥ 600	700
질소(N)		w-% 건량	≤ 0.5	0.3
황(S)		w-% 건량	≤ 0.05	0.04
염소(Cl)		w-% 건량	≤ 0.03	≤ 0.01
비소(As)		mg/kg 건량	≤ 1	≤ 0.5
카드뮴(Cd)		mg/kg 건량	≤ 0.5	0.1
크로뮴(Cr)		mg/kg 건량	≤ 10	8
구리(Cu)		mg/kg 건량	≤ 10	3
납(Pb)		mg/kg 건량	≤ 10	< 1
수은(Hg)		mg/kg 건량	≤ 0.1	≤ 0.01
니켈(Ni)		mg/kg 건량	≤ 10	3
아연(Zn)		mg/kg 건량	≤ 100	15
회분융점 (권장사항)		DT, °C	명시	명시

- 현재 목표결과치에 달성하지 못한 항목은 회분, 내구성으로 나타났다. 회분의 경우 실제 사용되는 원료보다 이물질함유량이 매우 높은 원료를 사용하였기 때문에 콤팩트화 된 본 설비의 처리능력의 한계로 보인다. 따라서 실제 사용되는 원료를 사용하여 처리를 할 경우 목표치에 근사할 것으로 예상된다.

- 내구성의 경우 성형기로의 투입 전 입자크기가 크기 때문으로 예상되며, 압축 및 성형이 원활하게 되지 않아 발생하는 문제로 판단된다. 따라서 본 설비를 통과한 원료를 성형에 용이하도록 분쇄공정을 거친다면 문제가 해결될 것으로 생각된다.

- 회분과 내구성을 제외한 항목들은 모두 1등급 목표치에 도달하였으며, 회분은 2등급 기준에 달성하였다. 다만 발전소에서 요구하는 납품기준에는 충족하여 사업성 및 상용화에는 문제가 없을 것이라 판단된다.

표 40. 한국남동발전주식회사 영동예코발전본부 목재펠릿 입찰안내서

항 목	단 위	보 증 규 격	응 찰 자 보 증	
지름(Diameter)	mm	5.5~8.4	5.5~8.4	
길이(Length)	mm	3.15 $\leq L \leq 32$	3.15 $\leq L \leq 32$	
겉보기밀도(Unit Volume Mass, As Received Basis)	kg/m ³	600~750	600~750	
총수분(Total Moisture, As Received Basis)	% wt	≤ 10	≤ 10	
총열량(Dried Basis)	kcal/kg	$\geq 4,300$	$\geq 4,300$	
총열량(Air Dried Basis)	kcal/kg	$\geq 4,200$	$\geq 4,200$	
총열량(As Received Basis)	kcal/kg	$\geq 4,100$	$\geq 4,100$	
순열량(As Received Basis)	kcal/kg	$\geq 4,000$	$\geq 4,000$	
회분(Ash, Dried Basis)	% wt	≤ 3.0	≤ 3.0	
미세분,미립자(Fines, As Received Basis)	%	< 2.0	< 2.0	
내구성,강도(Durability, As Received Basis)	% wt	≥ 95	≥ 95	
염소(Chlorine, Dried Basis)	% wt	≤ 0.05	≤ 0.05	
유황(Sulphur, Dried Basis)	% wt	≤ 0.05	≤ 0.05	
질소(Nitrogen, Dried Basis)	% wt	≤ 0.3	≤ 0.3	
회용점(Ash Fusion Temperature, IDT) (Reducing Atmosphere)	℃	$\geq 1,150$	$\geq 1,150$	
미량 원소(Dried Basis)	비소(As)	mg/kg	≤ 1.0	≤ 1.0
	카드뮴(Cd)		≤ 0.5	≤ 0.5
	크롬(Cr)		≤ 5	≤ 5
	구리(Cu)		≤ 10	≤ 10
	납(Pb)		≤ 10	≤ 10
	수은(Hg)		≤ 0.05	≤ 0.05
	니켈(Ni)		≤ 10	≤ 10
	아연(Zn)		≤ 80	≤ 80
기타 물질, 이물질(Other Substances)(As Received Basis)	% wt	< 2.0	< 2.0	
DNA 테스트(왕겨)		Negative	Negative	
입자크기(평형기반) < 3.15mm < 2.0mm < 1.0mm	% wt	$\geq 95\%$ $\geq 90\%$ $\geq 50\%$	$\geq 95\%$ $\geq 90\%$ $\geq 50\%$	

※ 상기 각각의 항목은 대한민국 산림청 국립산림과학원 고시 제2020-3호('20.12.30)와 영동 예코발전본부 발전설비에 사용 가능한 기준에 따라 결정된 값이다.

라. 선별 전/후 최종 바이오매스 산출물 회분 함량, 저위발열량 평가

- 바이오매스 목재펠릿의 연료 효율 지표 분석을 위한 평가를 하였다. 비교를 위한 관련 자료 검토 결과 재료 수집 및 분류에 대한 메카니즘이 각기 다른 관계로 일괄적인 비교가 어렵다.
- 폐목재, 왕겨, 무연탄 등의 회분율은 각각 0.8%, 18.7%, 11.3% 이고, 저위발열량(LHV)는 각각 3,890 kcal/kg, 3,240 kcal/kg, 3,690 kcal/kg으로 조사되었다²⁸⁾ 또한 순수 농업 부산물을 재활용하여 바이오연료화 하는 자원 중 경우 콩대 3,735 kcal/kg, 고춧대 3,807 kcal/kg, 들깨대 3,757 kcal/kg, 수수대 3,331 kcal/kg의 저위발열량을 지녔으며(방탄화 작업 등 추가 작업을 거치지 않은 연료), 바이오연료 가치의 비교가 가능하다.²⁹⁾
- 선별 전의 원료를 사용하는 경우 낮은 발열량 및 높은 회분율로 인해 연료 가치가 낮은 결과 예상된다. 3차 선별 후 불순물을 제거할 시 탄소 함유량 증가 및 함수율 감소로 높은 발열량 기대된다.

1) 분석방법

- 고시된 평가방법으로 발열량 분석³⁰⁾ (MJ -> kcal로 적용)
- $Ql = Qh - 600(9H + W)$
- $Qh = \text{고위발열량} (Qh = 8100C + 34000(H - O/8) + 2500S)$
 - Ql : 저위발열량
 - 600 : 일반적인 산출 계산식에서의 물의 증발잠열
 - H : 수소의 비율(함유량)
 - W : 시료의 함수율(함유량)
 - O : 산소의 비율(함유량)
 - S : 황의 비율(함유량)
 - 발열량 단위 : kcal/kg

2) 분석결과

- 미이용 산림바이오매스의 경우 C=42%, H=4.6%, O=16.5%, S=0.08로 분석
- $Qh = 8100 \times 0.42 + (0.046 - \frac{0.165}{8}) + 2500 \times 0.0008$ - 최종 산출물 고위발열량 계산
- $Ql = Qh - 600(9 \times 0.046 + 0.069)$
- Qh : 4266.75 kcal/kg
- Ql : 3976.95 kcal/kg
- 선별 후 최종 산출물의 저위발열량은 약 3976 kcal/kg으로 예측되며 원료 합성 및 가공

28) (출처 : 바이오매스에 바인더 첨가에 따른 폐기물 고품형연료 특성 및 환경성평가, 이형돈, 조준형, 김인득, 김윤수, 오광중. 2011, CLEAN TECHNOLOGY, vol.7(4), pp. 336-345)

29) (출처 : 바이오매스 연료로서 미활용 농업부산물의 방탄화 특성, 윤여성, 강구, 박성직, 홍성구. 2017, 한국농공학회논문집, 59(5), pp17-24.)

30) (출처 : 목재제품의 규격과 품질기준, [국립산림과학원고시 제2020-3호, 2020. 12. 30., 일부개정])

공정을 거치지 않은 순수 재활용 산림바이오매스 및 일반 농업 부산물 자원과 비교했을 때 우수한 발열 에너지를 가진다고 판단된다. 연료 에너지 상승을 위한 화학물 첨가 및 원료합성 시 더욱 높은 효율성을 나타낼 것으로 예상된다.

- 선별 전 후의 회분율 비교 결과 : 선별 전 7.8%, 선별 후 2.1% 선별 전의 저위발열량 결과 3634.35 kcal/kg의 결과를 나타내었다. 선별 전과 후에 저위발열량에 미치는 가장 큰 차이는 원료의 탄소 함유 및 함수율인 것으로 판단된다(회분의 상승은 계산식에 고려되지 않음).
- 선별 전 후의 회분 함량 및 저위발열량 분석 결과 에너지원으로 평가할 수 있는 가치는 명백하게 구분되며 일반 순수 재활용 목재 바이오 펠릿과의 비교 또한 우수한 것으로 분석된다.

Ⅲ. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 사전 배경기술 조사

- 선례의 비슷한 기술조사로 종래기술의 단점 파악
- 펠릿공장의 소재파악 및 해외기술조사로 향후 사업성 파악
- 펠릿시장의 증대가능성 확인

○ 이물질선별의 가능성

- 이물질선별의 가능성을 통한 생산설비 소모품의 사용기간 증가 기대
- 이물질종류의 파악으로 적합한 이물질 선별방법 선택

○ 이물질 선별 테스트를 통한 향후 계획 수립

- 각 입자 크기별 분포 확인을 통한 생산량 조절
- 입자별 품질 파악을 통한 효율적 이물질선별 가능
- 이물질별 효율적인 선별 방법 파악

○ 국내·외 시스템 적용처 및 경제성 분석

○ 관련 경쟁사 제품 및 선별 시스템 분석

- 실험실 단계 테스트를 통한 최적의 불순물 제거기술 개발
- 실험결과를 기반으로 한 초기설계 마련
- 사례별 미이용 산림바이오매스 불순물 유입형태 합동조사

○ 현 제조시설에 적용가능한 실증가능 설비 설계 사양선정 및 상세설계/수치해석

- 전체 시스템 Layout 작성
- 선별기술 시스템 주요 부품 세부 사양 선정
- 2D 및 3D 데이터 기반의 상세 설계
- 각 부품의 도면을 작성 후 stl 파일로 위탁기관(충북대학교) 제공
- 주요 부품의 기구학적 간섭 검토 및 구동테스트

○ 불순물 제거 전용 기계 요소별 구조 해석

(1) 입도 선별장치 구조 해석

- 진동모터의 5가지 진동에 대한 고유진동수 해석
- 입도선별장치 프레임에 대한 정적 해석 및 3가지(응력, 변위, 변형률) 요소에 대한 해석

(2) 승강기 구조 해석

- 승강기 - 테일파트에 대한 정적 해석 및 3가지(응력, 변위, 변형률) 요소에 대한 해석
- 승강기 - 구동롤러에 대한 정적 해석 및 3가지(응력, 변위, 변형률) 요소에 대한 해석

○ 연구성과물의 경쟁력

(1) 설비의 경쟁력

- 외산대비 7.95%의 규모로 소규모 목재펠릿 제조업체에 적용가능
- 시간당 5톤(건조 전 원재료기준)의 목재펠릿생산에 적합한 처리량
- 입도선별장치 프레임에 대한 정적 해석 및 3가지(응력, 변위, 변형률) 요소에 대한 해석
- 간단하고 직관적인 제어패널을 이용하여 조정하며, 설정 후 추가조작이 필요없기 때문에 전문인력양성 불필요로 추가비용이 발생하지않음

(2) 설비 외 경쟁력

- 이물질선별장치의 부재로 원목만 사용하던 업체가 가지 등의 미이용 산림바이오매스 적용가능
- 원목대신 가지를 사용 시, 원료 매입단가 하락(평균 2만원/톤 하락). 이를 기준으로 연 2만톤생산공장에서 적용 시 투입량 28,571톤(미이용 투입량대비 생산량 70%인정 기준), 연간 원재료구매비용 5.7억원으로 설비판매가 4.5억을 상회함.
- 원료 선택폭의 다양화로 원료수급 용이

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

성과지표명			연도			가중치 (%)
			2021	2022	계	
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	특허	목표		2	2	10
		실적		2	2	
	논문	목표		2	2	
		실적				
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	고용창출	목표	2	2	4	20
		실적	2	2	4	
	인력양성	목표	1		1	10
		실적	1	1	2	
	기술이전	목표		1	1	10
		실적	1		1	
	정책활용	목표		1	1	20
		실적				
	제품화	목표		1	1	30
		실적		1	1	
계	목표		3	9	12	100
	실적		4	6	10	

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

[과학적 성과]

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	ICCC 2021, Korea (International Conference on Convergence Content)	강대원	2021. 12. 20.	제주 라마다 호텔	한국
2	2021년 춘계 공동학술대회	강대원	2021. 04. 30.	국립농업과학원 농업공학부 강당	한국
3	AAAP Animal Science Congress	이정규	2022. 08. 25.	제주 국제컨벤션 센터	한국

[기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	특허등록	미이용 산림바이 오매스를 이용한 목재펠릿 의 제조방법	(주)신영이 앤피	2021.11 .11	10-2021 -015449 0	(주)신영이 앤피	2022.09. 20	10-2446 5520000	100%	여	
2	특허등록	미이용 산림 바이오매 스 선별 장치	해표산업 (주)	2022.06 .14	10-2022 -007197 9	해표산업 (주)	2022.12. 23	10-2482 2420000	100%	여	

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	√									

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
1	성능평가	한국건설생활환경시험 연구원	불순물 처리 속도	CT22-098744K	23.02.01	대한민국
2	품질평가	(주)대덕분석기술연구원	펠릿 품질규격고시	D-22-14430	22.12.30	대한민국

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	미이용 산림바이오매 스 선별 장치	22.09.30	해표산업(주)	(주)신영이앤피	목재펠릿 제조	1년6개월	대덕분석기술 연구원	22.12.30

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	기술노하우	산림부산물 자원화를 위한 자력, 중력 선별 기술	(주)해표산업	2021.09.01		

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2021년	2022년	
1	충북대학교 산학협력단	충북대학교 산학협력단	1		1
2	연구 및 생산가동대비 인원충원	(주)신영이앤피	1	2	3
합계			2	2	4

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력		1
		생산인력		0
	개발 후	연구인력		2
		생산인력		2

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도		2024		2024		2023	
기대 목표	가정용 목재펠릿 자체생산	회사 수입물량 전량 대체		자체생산으로 인한 중간비용 절감		12	

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	학사	2021			(1)			(1)		(1)				
2	학사	2022			(1)		(1)			(1)				

[그 밖의 성과]

1. 논문

분류: SCI

논문명: Prediction of storage conditions to increase the bioenergy efficiency of giant-miscanthus pellets produced through on-site integrated pretreatment machines

등록처: energies

등록일 : 2023.01.18

진행상황: major revision 진행 중

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 목재펠릿 품질규격고시 가정용 1등급 달성	○ 회분 2.1%, 내구성 94.6%, 미세분 2.5%를 제외한 모든항목 달성	○ 90%
○ 기존설비 대비 70%규모의 컴팩트화 된 설비 제작	○ 외산대비 규모 7.95%로 목표치 상회 달성	○ 100%
○ 습량 기준 원료 5ton/h(함수 10%기준 3.3ton/h)의 처리량 달성	○ 함수율 10%기준 원료로 3.5ton/h의 처리량 달성	○ 100%
○ 논문 2편 등록	○ 1편 major revision 진행중.(23.01.18 등록)	○ 50%
○ 특허 2건 등록	○ 2건 등록완료(22.09.20, 22.12.23)	○ 100%

IV. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

1. 목재펠릿 품질규격고시 미달

기존 목재펠릿에 실사용되는 원료의 회분은 실험결과에 따라 약 6%로 나타난다. 하지만 본 연구에서 사용되는 투입호퍼의 문제로, 실사용 원료를 사용 시 투입구가 막히는 현상이 발생하였다. 따라서 실사용 원료가 아닌 물류투입이 원활한 회분 약 35%의 원료를 사용하였다.

기존 달성목표인 목재펠릿 품질규격고시의 산업용 펠릿 1등급 기준인 회분 1.5%를 달성하지는 못하였지만, 원료를 2.1%로 이물질양을 낮추는 결과를 확인하였다. 이는 실 원료 사용 및 선별기의 상세조정을 통해 달성이 가능할 것으로 판단된다. 다만 산업용 목재펠릿 2등급으로 발전소 납품기준에는 충족였기에 상업성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

또한 내구성의 경우 설비의 고장으로 분쇄공정을 거치지 못해 성형이 용이하지 못하였다. 입자의 크기가 일반 펠릿성형시보다 크기 때문에 압축이 제대로 되지 않은 것으로 보이며, 분쇄공정이 정상적으로 작동할 경우 해결될 것으로 판단된다.

2. 정책 활용 미달

연구기간내 선별기 설치 및 품질테스트 결과도출이 지연되었다. 정책활용의 경우 연구결과를 토대로 신빙성을 뒷받침할 근거가 필요하다. 본 연구에서 미이용 산림바이오매스에 대한 이물질선별능이 판단되었으므로, 미이용 산림바이오매스 수급 및 이용에 관한 확대정책을 건의를 준비해야 한다.

3. 논문성과 미달

연구기간내 결론도출이 늦어짐에 따라 성과를 토대로한 논문 작성이 늦어지게 되었다. 이에 논문작성이 늦게 시작되었으며 현재 1건은 투고되어 심사중(23.01.18 등록), 1건은 작성 진행 중이다.

2) 자체 보완활동

1. 목재펠릿 품질규격 등급 상승

- 회분의 경우 현기준 2등급으로 발전소납품으로는 가능하나 목표치에는 미달되었다. 이는 선별기 후단부인 Densimat의 진동 및 바람세기의 세부조절이나 입자선별기에서 전량폐기되는 小크기의 분류사이즈를 키우는 방식으로 해결이 가능할 것으로 판단된다.

2. 정책 활용

- 정책활용에 대한 내용 및 안건정리 후 바이오매스에너지협회를 통하여 정책제안 진행

3. 논문 투고

- 데이터 정리 후 23년도 내에 1건 추가 투고준비
-

3) 연구개발 과정의 성실성

1. 문제발생에 대한 빠른 피드백

- 빠른 실험진행을 위해 목재펠릿 제조시설의 투입라인이 아닌 선별기에 자체적으로 투입호퍼 설치
- 투입호퍼의 막힘 발생으로 원료변경
- 제조시설의 고장으로 인한 자체수리 및 대안방안 모색

2. 실험 결과의 신뢰성

- 실험결과의 신뢰성을 위해 자체실험이 아닌 외부기관의 시험성적 진행
 - 제조된 펠릿의 품질측정, 제작된 이물질선별기의 처리량 검사의 시험성적서 발행
-
-

V. 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
	미이용 산림 바이오매스를 활용한 펄릿 제조 시 불순물 제거 기술 개발	(주)신영이앤피	중소기업 (영리)	498.15	390	78.289	신규 기술개발	해당 없음	78.29
		해표산업(주)	중소기업 (영리)	620.25	480	77.388	신규 기술개발 및 시제품 제작	해당 없음	77.39
계				1,118.4	870	-	-	-	-

VI. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE					
	비SCIE					
국내논문	SCIE					
	비SCIE					
특허출원	국내					
	국외					
특허등록	국내					
	국외					
인력양성	학사			1		
	석사			1		
	박사					
사업화	시제품개발	1				
	상품출시		1			
	기술이전				1	
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	450,000	900,000	1800,000	2880,000	4608,000
	기술료(단위 : 천원)	2,466	4,932	9,865	15,783	25,253
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보						
포상 및 수상실적						
정성적 성과 주요 내용						

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
	1) 특허증 2부

특허증

CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-2446552 호
Patent Number

출원번호 제 10-2021-0154490 호
Application Number

출원일 2021년 11월 11일
Filing Date

등록일 2022년 09월 20일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention
미이용 산림바이오매스를 이용한 목재펠릿의 제조방법

특허권자 Patentee
(주)신영이앤피(150111-*****)
충청북도 청주시 청원구 북이면 장재금대로 384

발명자 Inventor
김지응

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

2022년 09월 20일



QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요



특허청

Korean Intellectual
Property Office

특허청장

COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

이인신



특허증

CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-2482242 호
Patent Number

출원번호 제 10-2022-0071979 호
Application Number

출원일 2022년 06월 14일
Filing Date

등록일 2022년 12월 23일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention

미이용 산림 바이오매스 선별 장치

특허권자 Patentee

해표산업 주식회사(204311-*****)
전라남도 장성군 남면 나노산단 5로 52

발명자 Inventor

박제갑

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.

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



2022년 12월 23일

특허청장

COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

이인실



QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요



자체평가의견서

1. 과제 현황

		과제번호	321078-2		
사업구분	농업에너지 자립형산업모델 기술개발사업				
연구분야	목질계바이오에너지산업화		과제구분	단위	
사업명	농업에너지 자립형 산업모델 기술개발			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	미이용 산림바이오매스를 활용한 펠릿 제조 시 불순물 제거 기술 개발		과제유형	개발	
연구개발기관	(주)신영이앤피		연구책임자	채현규	
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2021.04.01.~ 2021.12.31	370,000	123,400	493,400
	2차년도	2022.01.01.~ 2022.12.31	500,000	125,000	625,000
	계	2021.04.01.~ 2022.12.31	870,000	248,400	1,118,400
참여기업	해표산업(주), 충북대학교				
상대국	상대국연구개발기관				

2. 평가일 : 2023.02.27

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(주)신영이앤피	대표이사	채현규

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

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

확약	채현규
----	-----



I. 연구개발실적

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

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

30% 이상의 회분으로 구성된 미이용 산림바이오매스를 약 2% 정도 수준으로 낮추는 결과를 보임. 실제 원료로 투입되는 미이용 산림바이오매스는 대부분 약 10%이므로 실사용에 적용될 경우, 더 높은 효율을 보일 것으로 예상됨.

단순한 고효율의 선별기가 아닌 작은 규모의 목재펠릿 제조시설에도 적용이 가능하도록 설계되어 활용성이 높음.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

대형설비가 아닌 콤팩트화 된 규모로 소규모의 목재펠릿 제조시설에 적용이 가능. 이로 인한 국내 목재펠릿 보급에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상되며, 펠릿시장의 선순환을 나타낼 것으로 사료 됨. 또한 국내 미이용 산림바이오매스의 활용도가 높아져 펠릿의 해외 수입의존도도 낮아질 것으로 판단됨.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

대형설비가 아닌 소규모의 이물질선별기로, 대규모의 목재펠릿 제조시설이 아닌 소규모의 제조시설에 어울림. 공장의 부지가 작거나 대형설비 가격이 부담되어 구매하기가 어려운 소규모 목재펠릿 제조시설에서의 활용도가 높을 것으로 예상됨.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

직관적인 구조설계로 사용법 숙지 및 교체에 용이하도록 설계함으로 목표달성 외에 편의성을 고려하여 제작. 다양한 문제해결을 위해 주도적으로 노력함.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

특허 2건 등록, 학술발표 3회, 논문 1건 심사진행 및 1건 작성 중.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
미이용 산림바이오매스 펠릿제조 시 불순물 혼입사례 조사 및 형상별 불순물 제거 실험을 통한 데이터 구축	20	100	국내·외의 사례 및 이물질선별기에 활용되는 기술 조사. 미이용 산림바이오매스의 품질 및 자체실험을 통한 데이터화 진행. 실제 피해사례 및 이물질종류의 분석 진행. 본 연구 및 향후 후속연구에 도움 이 될 기초데이터로의 가치가 높음
구축한 실험데이터를 기반한 불순물 제거 공정 설계	20	100	컴팩트화 된 이물질선별기에 적합한 불순물 제거 공정 설계. 본 연구의 취지에 맞는 설계가 된 것으로 판단
기존 불순물 제거기보다 컴팩트화 설계	20	100	대형 목재펠릿 제조설비 규모의 약 8%정도의 규모로 당초 목표했던 70% 이하를 상회하여 달성
물리적 불순물 제거기술 개발	20	100	본 연구에 맞는 물류흐름을 가지는 불순물 제거기술을 선택하여 제품개발 완료.
미이용 산림바이오매스 펠릿 전처리 공정의 현장실증	20	90	30%의 회분을 가지는 미이용 산림바이오매스를 2%까지 낮추는 결과를 보임. 목표였던 1%는 아니지만 실사용되는 미이용 산림바이오매스의 회분인 10%의 원재료를 사용할 경우 달성이 가능할 것으로 보임.
합계	100점	98%	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

중소규모에 맞는 컴팩트화 된 이물질제거설비 개발, 높은 이물질 제거성능 등 높은 완성도를 보임. 컴팩트화 된 설비이기 때문에 가격부담이 적어 높은 사용량이 기대됨. 목재펠릿 제조시설의 증가로 목재펠릿 시설 활성화, 국산 목재펠릿의 경쟁력 확보 등 사회적으로도 이로운 효과를 일으킬 것으로 보임. 설비가 사용자친화적으로 구성되어있기 때문에 설비숙련기간을 단축시켜 생산이 용이할 것으로 판단됨.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

직접 미이용산림바이오매스를 이용하여 펠릿제조.
이물질 선별설비를 제작하여 중소규모의 목재펠릿 제조회사에 판매.
실사용 원료를 투입할 수 있는 방안을 모색하여 품질 재확인.

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	목질계바이오에너지산업화		
연구과제명	미이용 산림바이오매스를 활용한 펠릿 제조 시 불순물 제거 기술 개발				
주관연구개발기관	(주)신영이앤피		주관연구책임자	채현규	
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비	
	870,000	248,400		1,118,400	
연구개발기간	2021.04.01.~2022.12.31				
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(자체생산 및 설비 판매) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)				

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 기존설비대비 70%이하 규모의 이물질선별장치 개발	기존대비 7.95%규모 달성
② 회분 1.5% 달성	회분 2.1% 달성.(회분함유량이 30%이상인 원료 사용)
③ 5ton/h의 처리속도를 가진 이물질선별장치 개발 (함수10% 기준 3.3ton/h)	함수 10%기준 3.5ton/h 달성
특허 2건 등록	2건 등록완료(22.09.20, 22.12.23)

3. 연구목표 대비 성과

(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 (타연구활용예외)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문 S C I	비 S C I			논 문 평 균 I F	학 술 발 표	
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건	
가중치		10			10		30			20						10	20		
최종 목표		2			1		1			4						1	1		
당해 년도	목표	2			1		1			2		2					1		
	실적	2					1			2									
달성률 (%)		100					100			100		0					0		

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	컴팩트화 된 목재펠릿 제조시 이물질선별장치
②	
③	

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										
③의 기술										
·										
·										

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	2023년도 내 실제생산이 가능하도록 설비가동준비 (제어 및 장비 등 인력 8인 이상 창출, 기존설비의 가동을 위한 보수) 소형펠릿제조시설에서도 이물질선별장치를 적용한 목재펠릿 제조가능
②의 기술	
③의 기술	

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 (타연구활용비) (이)
	특허 출원	특허 등록	품 종 등 록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
													SCI	비 SCI						
단위	건	건	건	건	건	백만 원	건	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	명	건	건			
가중치		10			10			30		20					10	20				
최종목표		2			2			1350		8		2			1	2				
연구기간내 달성실적		2			1					4					1					
연구종료후 성과장출 계획					1			1350		4		2				2				

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	컴팩트화 규모의 목재펠릿 제조시 이물질 제거장치		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	1년	실용화예상시기 ³⁾	2023년
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	이물질선별기 외의 펠릿생산설비 보유		

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농업에너지 자립형산업모델 기술개발 연구개발사업 미이용 산림바이오매스를 활용한 펠릿 제조시 불순물 제거 기술개발 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 농업에너지 자립형산업모델 기술개발 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.