<표지>

(옆면) (앞면)

317016-3

과제명

ICT 기반 한우 및 젖소용 고품질 사료 진단 및 자동급이 시스템 개발

최종보고서

2019

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( ), 발간등록번호(○)

발간등록번호 11-1543000-003131-01

ICT 기반 한우 및 젖소용 고품질 사료 진단 및 자동급이 시스템 개발

최종보고서

2019. 12. 31.

주관연구기관 / 주식회사 다운
협동연구기관 / 경북대학교 산학협력단
위탁연구기관 / 순천대학교 산학협력단

농 림 축 산 식 품 부

농림식품기술기획평가원

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “ICT 기반 한우 및 젖소용 고품질 사료 진단 및 자동급이 시스템 개발” (개발기간 : 2017. 04. ~ 2019. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 12. 31.

주관연구기관명 : 주식회사 다운 (최영경) (인)

협동연구기관명 : 경북대학교 산학협력단(임기병) (인)

위탁연구기관명 : 순천대학교 산학협력단(허재선) (인)

주관연구책임자 : 유태석
협동연구책임자 : 박두산
위탁기관책임자 : 이상석

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

<보고서 요약서>

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>317016-3</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>19.01.01. ~
19.12.31.</td><td>단 계 구 분</td><td>3차연도/3차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>단 위 사 업</td><td colspan="4">농식품기술개발사업</td></tr>
<tr><td>사 업 명</td><td colspan="4">ICT 융복합 시스템</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">(해당 없음)</td></tr>
<tr><td>세부 과제명</td><td colspan="4">ICT기반 한우 및 젖소용 고품질 사료 진단 및 자동급이 시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">유태석</td><td>해당단계
참여연구원 수</td><td>총: 25명
내부: 25명
외부: 0명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부:300,000천원
민간:130,000천원
계:430,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여연구원 수</td><td>총: 77명
내부: 77명
외부: 0명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:880,000천원
민간:380,000천원
계:1,260,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="3">주식회사 다운
경북대학교 산학협력단
순천대학교 산학협력단</td><td colspan="2">참여기업명
주식회사 다운</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">(해당 없음)</td><td colspan="2">(해당 없음)</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="3">연구기관명:
순천대학교 산학협력단</td><td colspan="2">연구책임자:
이상석</td></tr>
</table>

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4에 따른 분류(보안과제 및 일반과제)에 해당하지 않음

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁번호	∨	∨	∨								

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

요약

본 연구를 통하여 ICT 기반으로 현장에서 조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등을 신속하게 품질평가가 가능하고, 안전하게 공급할 수 있는 사료 진단 센서 및 자동 급이 시스템을 개발하였음. 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델을 개발하였고, 간이식(농가보급용) 및 연속식(공장용) 사료용 센서(수분, pH 등) 개발 및 제품화하였으며, 사료 제조공정, 급이 시 스마트폰 기반 사료의 위해요소 신속 검출기를 개발하였음. 또한 ICT 기반 통합 개체관리 기술 및 TMR 사료 자동 급이 시스템 자율주행 기술을 개발, 모바일 기반 급이 제어 기술을 구현하여 자동 사료급이 시스템을 개발하였음. 본 연구를 토대로 개발된 사료 진단 시스템과 자동 급이기의 현장 실증 및 사업화를 추진하였음

보고서 면수

358

<요약문>

연구의 목적 및 내용	○ ICT기반으로 현장에서 조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등을 신속하게 품질 평가가 가능하고, 안전하게 공급할 수 있는 사료 진단 및 자동 급이 시스템 개발 - 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델 개발 - 간이식(농가보급용) 및 연속식(공장용) 사료용 센서(수분, pH 등) 개발 및 제품화 - 사료 제조공정, 급이 시 스마트폰 기반 사료의 위해요소 신속 검출기 개발 - 사료급여의 지능화 구현 기술 개발 ○ 자동 사료급이시스템 개발 - ICT 기반 통합 개체관리 기술 개발 - TMR 사료 자동 급이 시스템 자율주행 기술 개발 - 모바일 기반 급이 제어 기술 개발 ○ 개발된 사료 진단 시스템과 자동 급이기의 현장 실증 연구 및 사업화
연구개발성과	○ 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델 개발 - 사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계 : 처리규모별(10톤/일, 5톤/일, 1톤/일), 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형), 생산방법별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등), 축종별(한우, 젖소) 등에 따른 제조공정설계 및 품질체계 모델 설계 - 모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축 - 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발 - 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시 ○ 간이식(농가보급용) 및 연속식(공장용) 사료용 센서(수분, pH 등) 센서 개발 및 제품화 - 사료종류별(부산물사료, 조사료, TMR 사료, TMF 사료), 사료생산형태별(간이식, 연속식)에 적합한 센서 선발 및 시험 - 사료용 센서 calibration 표준화(2.0% 오차율) 및 적합한 센서 구조 개선(TDR / FDR 방식) - 사료용 센서의 디스플레이 및 소프트웨어 개발 ○ 사료 제조공정, 급이시 스마트폰 기반 사료의 위해요소 신속 검출기 개발 - 축산 사료의 병원성 미생물 (대장균, 살모넬라 등) 측정을 위한 현장용 간이 센서 개발 - 병원성 미생물의 다중 검출이 가능하고, 측정한도가 100 CFU/mL 이하 인 간이 센서 개발 - 간이 센서 측정 결과를 스마트폰으로 분석하고 결과를 사용자에게 보고하는 사용자 인터페이스 어플리케이션(앱) 개발 ○ 사료급여의 지능화 구현 기술 개발 - 축종별(한우, 젖소), 급이두수별(50두, 100두 등) 사료의 배출량, 배출시간 자동조절 장치 개발 - 사료 위해요소 신속검출 후 사료급이 인지(판단) 기술 개발

	○ 자동 사료급이시스템 개발 - ICT 기반 통합 개체관리 기술 개발 - TMR 사료 자동 급이 시스템 자율주행 기술 개발 - 사료급여의 지능화 구현 기술 개발 - 모바일 기반 급이 제어 기술 개발 - 스마트폰 기반 급이 위치 자동인식 및 주행 기술 개발 - 개체식별장치 및 제어시스템 개발을 통한 개체관리 통합시스템 구축 ○ 자동 사료급이 시스템 시작품 제작 - 보급 가능 프로토 타입 모델 제작 - 자동급이 시스템, 사료섭취량 조사 시스템의 통합 시스템 구축 - 원격 관리(관리자) 서비스 구축 ○ 개발된 사료진단 센서와 자동 사료 급이 시스템의 현장 실증 연구 및 사업화 - 축산 사료의 병원성 미생물(대장균, 살모넬라 등) 측정을 위한 현장용 간이 센서의 실험실 검증 - 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발의 실험실 검증 및 농가현장검증 - 사료용 센서(수분, pH 등) 개발 에 따른 사료종류별, 사료생산형태별 실험실검증 및 농가 현장검증 - 자동 사료 급이로봇의 Test-bed 운영, 한우 50두 이상 보유농가 3개소 이상, 젖소 50두 이상 보유농가 2개소 이상 현장 검증 - 자동 사료 급이로봇의 시스템 검증 및 업그레이드 실시
연구개발 성과의 활용계획 (기대효과)	○ 표준화된 사료의 품질 및 안전 진단 기능 추가를 통해 고품질 안전한 축산 사료 생산 ○ 사료 생산 라인, 농가, 특히, 완전혼합발효사료(TMF)를 생산하는데 사용하는 사료용 센서의 표준/기준 수립을 통해 고품질 사료를 생산하는데 기여 ○ 안전한 축산 사료 공급에 수월성과 현장성 기여 ○ 로봇 기반 기술을 적용하여 기존의 인력에 의존한 노동 방식으로 운영되고 있는 축우 농가에 자동 사료 급이 시스템을 보급, 한우 및 젖소의 사료급이를 자동화·무인화함으로써 농가의 인력난을 해소 가능 ○ 인력난 해소를 통하여 노동비 절감 및 생산성 향상, 농가의 소득 향상 ○ 사료 급여 시스템의 통합으로 축산 사료 안전성 측정 자동화 시스템 개발 가능

국문핵심어 (5개 이내)	한우	젖소	사료	자동급이	스마트팜
영문핵심어 (5개 이내)	korean native cattle	milk cow	feed	automatic feeding	smartfarm

<본문목차>

〈 목 차 〉

1장 연구개발과제의 개요 ····· 1
1절 연구개발 목적 ····· 1
2절 연구개발의 필요성 ····· 9

2장 연구수행 내용 및 결과(2-1. 주식회사 다운) ····· 14
1절 자동 사료급이 시스템 시작품 2호기 제작 ····· 14
2절 농장설치 및 운영, 시스템 검증 ····· 110
3절 업그레이드 모델 개발 ····· 149
4절 보급 준비 ····· 152

2장 연구수행 내용 및 결과(2-2. 경북대학교) ····· 173
1절 사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계 ····· 173
2절 모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축 ····· 207
3절 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발 ····· 234
4절 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시 ···· 246
5절 간이식(농가보급형) 및 연속식(공장용) 사료용 센서(수분, pH) 조사 ····· 270
6절 사료의 위해요소 검출을 위한 기반기술 정립 ····· 280
7절 사료용 센서의 표준화 및 용도에 따른 구조 개선 ····· 284
8절 사료의 위해요소 신속 검출기 개발 ····· 287
9절 사료용 센서의 사용자 편의 기능 개발 ····· 294
10절 사료 위해요소 측정용 센서 개발 ····· 306

2장 연구수행 내용 및 결과(2-3. 순천대학교) ····· 313

3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 332
1절 목표 ····· 332
2절 목표 달성여부 ····· 345

4장 연구결과의 활용 계획 등 ····· 354

붙임. 참고문헌 ····· 358

1장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발 목적

1. 최종 목표

가. ICT기반으로 현장에서 조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등을 신속하게 품질평가가 가능하고, 안전하게 공급할 수 있는 사료진단 및 자동급이 시스템 개발

나. 본 과제의 기술 개발 목표를 중심으로 다음 3개 핵심 목표를 진행함

(1) 농가 생산성 향상, 한우·젖소 정밀관리의 필요성 증대에 따라 중·대형 축산농가에서 안전이 확인된 사료를 정량으로 축사에 급이 할 수 있는 ICT기반 시스템 구축

(2) 사료 위험요소 식별을 위한 간이용 센서 및 공장형 센서 개발

(3) 현장 테스트베드 구축 및 실증

다. End Product

(1) 간이식, 연속식 축산 사료의 병원성 미생물 측정 센서

(2) 자동 사료 급이 시스템 (자율주행 급이, 섭취량조사, 통합 제어 솔루션)

(가) 자율주행 급이기

(나) 사료 섭취량 조사기

(다) 센서노드 및 연결기

(라) 개체 식별기

(3) 통합 개체관리 솔루션

(가) 로컬 서버 및 저장소

(나) 원격 서버 (클라우드 컴퓨팅)

(다) 모바일 및 PC를 위한 웹 사이트 및 어플리케이션

라. 주요 기능

(1) 배출량, 배출시간 자동조절

(2) 자율주행 로봇 기반 사료급이

(3) 사료의 위해요소 검출시 긴급 급이중단 및 알림

(4) 모바일 기반 급이 위치 제어

(5) 통합 개체관리

(6) 모델 기반 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측

(7) 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션

2. 세부 목표

가. 자동 사료급이시스템 주요 연구내용

(1) 주요 기능

(가) 기존 사료 자동급이기는 센서를 따라 축사에 급이로봇은 축종별(한우, 젖소), 급이두수별(50두, 100두 등) 사료의 배출량, 배출시간 자동조절

(나) 사료 배합기는 사료급이 전에 사료의 위해요소가 검출되면 급이 중단

(다) 모바일, PC 등으로 급이로봇이 급이할 위치를 지정 가능

(라) 급이로봇은 바닥의 마그네틱을 트래킹하여 축사 진입 후 자율주행 기반으로 급이 위치 인식 및 급이 시작

(마) 개체식별장치 및 제어시스템 개발을 통한 개체관리

(2) 주요 성능치

분류	성능치 항목	세계 최고 기준 (네덜란드 Lely 社)	㈜다운 목표성능
자동로봇	배터리	48V/55Ah	24V/240A
	로봇 무게	1485 kg	2500 kg
	크기(mm)	2460 * 1620 * (1930~2780)	2860 * 1650 * 2205
	컨트롤	모바일 컨트롤 중앙제어센터	전용 컨트롤러 중앙제어센터 웹 기반 모니터링
	사료밀기	내장	내장
	사료 위험요소 인지	없음	배합기 연동 불량 사료 차단
안전 사양	센서	초음파, 유도 센서	초음파, 레이더, 전도 센서
	비상정지	비상정지버튼	비상정지버튼
	알림	비상벨 울림 비상등	비상벨, 비상등
	접근 제어	안전 키, 안전 범퍼	안전 키, 안전 범퍼
	동작	장애물 알림, 다중센서 경로 탐색, 과충전 방지	장애물 알림, 다중센서 경로 탐색, 과충전 방지, 회피기동
요구 사항	지표면	평면	평면
	경사	5%	10%
	최소 통로 폭: 양쪽 급이시 (mm)	3,250	3,350
	최소 통로 폭: 한쪽 급이시(선회필요시) (mm)	3,100	3,150

(3) 핵심 기술

(가) 축사의 ICT 기반 통합 개체 관리 기술 (세계 5위권 경쟁)

(나) 회피기동, 장애물감지, 생체감지 등 축사 내 로봇 자율주행 기술 (국내 최초, 세계 5위권 경쟁)

(다) 자동 사료 급이 정밀 제어 기술 (세계 5위권 경쟁)

(4) 적용 범위

(가) (섭취량조사기술) 많은 노동력 부족을 겪고 있거나, 관리의 어려움을 겪고 있는 중·대형 돈사, 양계 등의 관련 축산농가에서 정밀관리에 활용

(나) (로봇안전센서) 최근 자율화되고 있는 트랙터 등의 농기계에서 사람 및 가축의 안전을 확보하기 위해 활용

나. 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델 개발

(1) 주요 기능

(가) 사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계

(나) 모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축

(다) 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발

(라) 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시

(2) 주요 성능

항목	주요 개발사항	목표치	비고
모델 개발	처리규모별 모델	3종	10톤/일, 5톤/일, 1톤/일
	생산형태별 모델	3종	농가형, 공동농가형, 공장형
	생산방법별 모델	4종	조사료, TMR, TMF, 부산물사료
	축종별 모델	2종	한우, 젖소
품질평가	제조공정별 사료품질 평가	2종	수분, pH

(3) 핵심기술

(가) 품질 안전 사료 공정 분석 및 표준화 모델(국내 최초)

(나) 온도에 따른 사료품질 예측모델(국내 최초)

(4) 적용범위

(가) 품질안전 사료 제조 및 급이 표준화 모델 : 처리규모별(10톤/일, 5톤/일, 1톤/일), 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형), 생산방법별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등), 축종별(한우, 젖소) 등에 따른 사료 제조 및 급이 시스템에 활용 가능

(나) 사료 품질 평가체계 : 사료 저장→제조→급이 공정 간의 품질평가 시스템에 활용 가능

(5) 주요 연구내용

(가) 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델 개발

<사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계>
○ 공정 분석 - 공정 시뮬레이션을 위한 입력 변수 및 데이터 수집 ○ 공정 설계 - 처리규모별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 10톤/일, 5톤/일, 1톤/일 - 생산형태별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 농가형, 공동농가형, 공장형 - 생산방법별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 조사료, TMR, TMF, 부산물사료

- 축종별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 한우, 젖소

○ 최적화 시뮬레이션

- 시뮬레이션을 통한 공정별 처리시간, 정체시간, 단위기계의 가동률, 시간당 생산용량, 병목현상 등 비교분석

- 처리규모별(10톤/일, 5톤/일, 1톤/일), 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형), 생산방법별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등), 축종별(한우, 젖소) 등에 따른 제조 공정설계 및 품질체계 모델 산출

○ 표준화 모델 개발

- 모델별 기계형식 선정 : 세절기, 연화기, 배합기, 포장기, 급이기, 반송기 등 여러 기종의 장단점을 분석하여 모델별로 적합한 기계 선정

- 모델별 작업공정 설계 : 각 모델별로 예비시험을 통하여 모델의 작업사이클 및 가공공정도(process flow diagram) 설계

- 모델별 배치도(layout) 설계 : 각 모델별로 노동량과 노동시간이 최소가 되는 최적 배치도 설계와 여러 가지 모델(육종별, 사료형태별, 생산시스템별, 이용형태별, 사육규모별)을 조합한 최적 배치도 설계

- 모델별 소요기계 제원 결정 : 각 모델별로 소요기계(세절기, 연화기, 배합기, 포장기, 급이기, 반송기 등)의 용량, 크기 결정

<모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축>

○ 사료제조 공정별 품질변화 측정

- 수분, pH 센서를 이용한 사료 저장→제조→급이 공정 간의 품질변화 측정

○ 품질평가 체계 구축

- 사료 저장→제조→급이 공정 간의 품질평가 방법 작성

- 사료 종류별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료) 품질평가 방법 작성

- 축종별(한우, 젖소) 사료 품질평가 방법 작성

○ 초분광 영상 카메라를 통해 사료의 품질 평가 시스템 설계 및 개발

<사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발>

○ 사료 품질 인자 선발

- 사료종류별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료)로 품질(신선도, 안전)과 관련한 인자 탐색 및 선발

○ 품질변화 예측 모델 개발

- 사료종류별 주요 품질변화 변수(계절별 온도)에 따른 품질변화 측정

- 배합, 저장, 급이 공정 간의 품질변화 변수(계절별 온도)에 따른 사료의 품질예측 모델 개발

<사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인

제시>
○ 사료품질 모니터링 통합 솔루션 구축 - 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형)로 사료의 위해요소, 변패, 품질관리를 할 수 있는 사료 저장→제조→급이 공정의 품질관련 센서(수분, pH) 적용방법 및 모니터링 솔루션 탐색 - 기존 사료제조 및 급이 장치의 모니터링 시스템과 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 시스템의 통합 연동 솔루션 탐색 ○ 안전 대응 가이드라인 제시 - 사료관련 장치와 관련된 저장→제조→급이 공정 간의 안전관리 방법 제시 - 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조 및 급이 공정의 안전관리 모델 제시

(나) 간이식 및 연속식 사료용 센서 개발 및 제품화

○ 현장에서 사용하고 있는 사료용 센서들의 성능 및 특성을 분석하고 사료 종류별, 사료생산 형태별 센서 선정 기준을 제시하고 사료용 센서들의 표준화 기준을 제시 ○ 센서의 사용 단계에 따른 구조를 개선하여 표준화 기준에 반영 ○ 향후 축산 스마트팜 적용 가능성을 위해 센서들의 디스플레이, IoT 인터페이스 및 원격 측정/제어 시스템 설계

(다) 사료 제조공정, 급이시 스마트폰 기반 사료의 위해요소 신속 검출기 개발

○ 위해요소 검출을 위한 사료 기본 전처리 공정 최적화 ○ 사료 제조공정 또는 개별 농가에서 사료 관리 중에 사용할 수 있는 축산 병원성 미생물 (대장균, 살모넬라) 검출용 간이 센서 개발 ○ 해당 병원성 위해 미생물의 항체를 굴절율이 높은 마이크로 비드에 고정하고 마이크로 비드의 응집반응 정도에 따른 광 산란을 측정하여 위해 미생물의 농도 측정. ○ 하나의 시료를 통해 병원성 미생물의 다중검출이 가능하고 100CFU/mL 이하의 검출한도를 갖는 스마트폰 형 축산 병원성 미생물 검출용 센서 개발 ○ 스마트폰 기반의 미생물 검출용 센서의 사용자 중심의 스마트폰 어플리케이션(앱) 개발 ○ 사료 제조공정에서 사용 가능한 공정-온라인형 병원성 미생물 검출 센서 개발

3. 당해연도 연구개발의 목표 및 범위

가. 연구개발 목표

(1) 주관연구기관(주식회사 다운) : 보급형 자동 사료 급이 시스템 모델 확립 및 사업화 실증

(2) 협동연구기관(경북대학교) : 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시, 사료용 센서의 사용자 편의 기능 개발, 사료 위해요소 측정용 센서 개발

(3) 위탁연구기관(순천대학교) : 개발중인 간이센서, 사료급이 시스템및 자동 급이기의 현장 실증 연구

나. 개발 내용 및 범위

(1) 주관연구기관(주식회사 다운) :

세부 개발 목표	세부 개발내용 및 범위
현장설치 가능한 사료진단 및 자동 사료급이 시스템 시작품 2호기 제작	○ 보급 가능 프로토타입 모델 제작 ○ 자동 사료 급이로봇 설치 및 시스템 연동 ○ 자동급여시스템, 사료섭취량 시스템 등의 통합시스템 구축 ○ 메인 프로세서 및 웹 서버 데이터 연계처리 ○ 시스템 검증 및 시험준비 - 내구성, 신뢰성, 내환경성에 대한 평가기준 수립 및 평가 - 선행특허기술의 체계적인 분석 및 회피 전략 수립을 통한 특허 등록 - 농업기술실용화재단의 인증 및 공인인증기관의 공인인증 시험성적 획득
농장설치 및 운영, 시스템 검증	○ 일반 낙농농장 설치 및 시험가동 ○ 성능확인 및 업그레이드 실시 - 축산현장 전문가의 의견 위주로 수렴하여 시제품의 시운전 검증 결과에 대한 객관성·신뢰성을 제고하고 제품의 현장적응력을 높이는 방향으로 개선 - 시운전 기간 중 발생한 Failure mode 모니터링 및 DB 구축을 통하여 고장상황별 카테고리를 설정하고, 이후 발생되는 Failure mode는 카테고리별로 분류하여 구체적이고 실제적인 대응이 가능하도록 가이드 제작
보급 준비	○ 보급 위한 마케팅 및 대리점 교육 ○ 전국 대리점 제품 소개 및 서비스 교육 ○ 전시회/박람회 출품 및 홍보 ○ 각종 축산광고 및 신문 인터넷광고

(2) 협동연구기관(경북대학교) :

세부 연구 목표	세부 연구 내용	세부 연구 범위
사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시	사료품질 모니터링 통합 솔루션 구축	○ 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형)로 사료의 위해요소, 변패, 품질관리를 할 수 있는 사료 저장→제조→급이 공정의 품질관련 센서(수분, pH) 적용방법 및 모니터링 솔루션 탐색 ○ 기존 사료제조 및 급이 장치의 모니터링 시스템과 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 시스템의 통합 연동 솔루션 탐색
	안전 대응 가이드라인 제시	○ 사료관련 장치와 관련된 저장→제조→급이 공정간의 안전관리 방법 제시 ○ 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조 및 급이 공정의 안전관리 모델 제시
사료용 센서의 사용자 편의 기능 개발	디스플레이, IoT 인터페이스, 원격수신을 플랫폼 개발	○ 사료용 센서의 사용자 편의를 위한 디스플레이 모듈 개발 ○ 스마트팜 대비를 위한 센서의 IoT 인터페이스 개발 ○ 센서 신호의 원격 수신을 위한 플랫폼 개발 ○ 사료 함수율 측정을 위한 초분광 카메라의 현장 적용 실험
사료 위해요소 측정용 센서 개발	스마트폰 기반 간이식, 공장용 연속식 사료 위해요소 측정용 센서의 개발, 성능분석, 보완	○ 간이식, 연속식(공장용) 사료 위해요소 검출 센서에 대한 성능분석 ○ 현장 시료 적용 ○ 성능 및 보완 ○ 공장용의 경우, 센서의 자동화 설계 ○ 간이형의 경우, 사용자 편의 어플케이션 개발

(3) 위탁연구기관(순천대학교) : 농가에서 수집한 사료를 실험실에서 균수 측정을 하여 개발 중인 병원성 미생물(대장균, 살모넬라 등) 측정을 위한 현장용 간이 센서 와의 비교검증

○ AFS(Auto feeding system)을 이용한 한우 단계별 사료효율, 급여량, 일당증체, 경제성 분석

○ 실증 실험농가 중 한우 700두 규모의 구일농장에서 대조구(차량급여) 와 처리구(로봇급이기)로 분류하여 실험 진행. 섭취량, 일당증체량, 사료효율, 반추위pH 및 도체성적 분석 예정

2절 연구개발의 필요성

1. 축산업 개황

가. 환경의 변화로 인한 ICT 기반 농업의 첨단 과학화 요구

농업인구, 경지면적의 감소와 함께 식량 및 곡물 자급률 추이 또한 감소되고 식량 자원화 추세에 따른 식량 안보에 대한 위험이 증대되고 있음. 2018년 한국은 고령인구 14% 이상의 고령 사회에서 2026년 고령인구 20% 이상의 초고령 사회로 진입이 예상되며, 지능형 로봇을 이용하여 고령자에게도 농업 활동 수단의 제공 가능하기 때문에 고령농의 농업생산성 향상을 위해 조작이 편리한 농업기계의 개발이 시급함

최근 국내 농업환경은 농가인구의 감소 및 고령화로 인한 노동력 부족, 농지 감소, 소규모 자작농의 한계, 기상이변에 따른 각종 자연재해 등으로 인해 어려움을 겪고 있음. 또한 FTA에 의한 시장 개방과 시장 개방에 의한 식량안보 전략, 위해식품에 의한 안전한 먹거리 문제, 지속적인 인구증가와 식량난, 온난화에 의한 농업 재배환경 변화 등에 대응하기 위한 노력들이 더욱 절실함

도농 간의 소득 격차와 소득구조 취약성, 양극화 및 고령화 등 농촌·농업이 당면한 문제들을 해결하고 지속가능한 농업으로 발전하기 위해서는 전통적인 경영방식에서 벗어난 첨단 과학기술과의 융합을 통한 농업기술 혁신이 필요하다. 이러한 노력의 일환으로 전통산업인 1차 산업에 2, 3차 산업을 융·복합하여 새로운 부가가치와 일자리를 창출하는 “농업의 6차 산업화”가 국내외에서 진행되고 있다.

6차산업화는 첨단과학 기술을 도입하여 ‘스마트 농업화’하고 이를 통해서 생산·유통·소비·농업·농촌 등의 농업 전 부문에서 신 성장 동력원을 창출하게 되고 농업의 생산 과정에서 고부가가치 창출을 가능하게 할 수 있음. 특히, 생산부문에서는 사물인터넷(IoT)와 같은 ICT 기술과 이를 통해 수집되는 다양한 정보를 분석하고 활용하여 농산물 생산을 효율적이고 효과적으로 스마트하게 제어하고 관리함으로써 농작물의 생산성과 품질향상은 물론 농가는 영농활동에서 비용절감과 영농의 생산성을 제고함.

이러한 스마트 농업 생산 시스템을 구축하기 위해서는 각종 센서들과 제어 시스템, 자동화 장치, 안전장치, 통합농업정보시스템 등의 구축이 필요

나. 고품질 한우 및 젖소를 경쟁력있게 생산하기 위한 표준화 및 자동화 필요

상대적으로 낮은 가격의 외국산 수입육을 구입해 본 소비자가 동일한 소비 형태를 고착화하지 않으리란 보장이 없기 때문에 현 시점에서 가격 경쟁력을 확보하려면 기호성의 증가를 위한 국내산 쇠고기, 돼지고기의 품질 향상과 더불어 농가 생산성의 개선이 매우 시급한 상황임. 이에 농가들이 자체적인 생산비절감에 대한 필요성을 체감하고 관련 기술 및 연구에 대한 수요가 늘어나고 있는 실정임

국내에서는 생산성 극대화를 위한 가장 기본적이면서도 중요한 사양관리가 체계 및 원리가 농가에서 제대로 이루어지지 않고 있으며, 이른바 소모성 질병의 만영과 잘못된 사양관리에서 기인한 높은 폐사율로 인해 가격이 높은 호황기에도 흑자를 기록하는 농가는 그리 많지 않은 실정임

국내 농가의 가격경쟁력을 향상시키기 위한 방안은 이미 여러 해 전부터 많은 양돈업계 종

사자들을 통하여 제시되어 왔고 해마다 새로운 내용이 추가되어 왔음. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 국내 양돈 농가의 비육돈 두당 수익성은 특별히 개선되고 있지 않으며, 시간 변화에 따른 물가 상승률을 감안한다면 오히려 감소했다고 봐도 무방한 상황임.

다. 생산성 증가를 위한 사료모델 개선 및 자동화 정밀 관리

사양관리 및 생산성 향상의 정체가 일어나는 이유는 국내의 낙농 현장에 걸맞는 맞춤형 사양관리 기술이 적용되지 못하고, 노령의 인구가 365일 이루어져야 하는 고위험 고강도의 노동에 노출되어 있기 때문으로, 이는 국내 축산 산업의 양적인 성장에 비해 질적인 성장에 걸림돌이기도 함.

현재 여러 가지 사양 기법 및 사육가이드가 존재하고 있으나, 고도의 품질관리가 필요한 한우 및 젖소에 부분별한 관리가 혼동되어 사용되는 양상을 해결하기 위한 객관적인 검증 실험은 물론 새로운 기술개발을 위한 연구들이 요구됨. 또한 농장관리의 효율적인 운영, 생산비 절감, 생산성 향상을 위한 학적·자동화 스마트 농기계 적용을 위하여 ICT융합 기술을 기반으로 하는 경쟁력을 갖추어야 함

2. 농가 소득 향상 방안

가. 농가소득에 대한 정의와 증가 방안

농가소득 = 조수입(원유판매액, 부산물수입) - 경영비(사료비, 가축비, 수도광열비 등)

나. 조수입 증가

사양기술 향상을 통하여 원유 생산량을 늘리고 유성분 함량 증가와 위생관리 철저로 원유 판매가격을 제고하는 것이 경영비의 증가를 최소화 하면서 조수입을 늘리는 방안임.

단, 부산물수입은 조수입에서 차지하는 비중이 낮을 뿐만 아니라 부산물의 판매가격이 상황에 따라 변동성이 크기 때문에 제외함. 원유기본가격은 협상에 따라 고정되기 때문에 개별 낙농가에서 결정할 수 없지만 유성분 함량과 위생등급은 낙농가의 사양기술, 의지에 따라 달라질 수 있음. ※사료품질을 향상시키면 원유 생산량을 단기간에 효과적으로 증가시킬 수 있음.

다. 경영비 감소

경영비에서 가장 큰 비중을 차지하는 비목은 사료비이지만 저품질의 사료를 쓸 경우 원유 생산량이 감소하고 품질도 저하될 수 있음.

※ 사료비 : 464원/L (경영비 대비 비중 69.3%, 2013년 축산물생산비조사, 통계청) 따라서, 사료의 품질을 유지하면서 사료비를 절감하려면 기본적으로 사양기술을 향상시키고 위생관리를 철저히 할 뿐만 아니라 사료의 결제방법을 변경하여(예: 외상 → 현금 → 선금) 수수료를 절감하는 것이 효과적인 방안임

라. 과잉생산 조절

원유의 과잉생산은 조수입과 경영비를 동시에 증가시키기 때문에 농가소득을 극대화 하기

위해서는 조수입이 경영비보다 더 많이 늘어나야 하지만, 생산량 과잉이 될 경우 그에 따른 원유 가격 인하로 손실을 초래할 수 있음. 따라서, 개별 낙농가는 재무능력, 사양기술 수준 등을 고려하여 원유 생산량을 감소하거나 또는 쿼터 인수 등을 통하여 농가소득을 극대화 할 수 있음

마. 표준모델 개발을 통한 산업화 모델 개발

농축산 시설의 ICT 융합을 통한 첨단화 이전에 적절한 농축산 표준화의 보급이 선행되어야 함. 표준화가 미흡하면 적합한 사료의 급이를 어렵게 하고 비용이 증가해 결과적으로 관리의 생략 및 부적절한 급이 등으로 축사 사양관리의 선진화가 어렵게 됨

안전한 농축산 급이체계를 설계하고 유지·관리하는 것은 재해예방을 위한 핵심기술로 급이를 위한 세부 체계 및 다양한 사양이 적용된 모델의 규격화 또는 표준화가 필요함

이와 같이 표준화된 체계를 구축 한 후, 최적 모델, 설계 기준 등 ICT를 융합한 산업화 모델을 개발해야 함

사료계측센서 관련하여 축산분야에 맞게 측정영역·정밀성 향상을 우선적인 추진하는 것과 함께 이를 기반으로 지능형으로 사료를 급이 하는 자동화 시스템과 이를 체계적으로 관리하는 통합 시스템의 도입이 시급한 실정임

ICT-사료계측센서 및 급이 시스템과 더불어 사료의 제조공정 또는 저장/보관 중 안전성 확보는 축산물의 품질 뿐만 아니라 축산 농가의 수익과 직결되는 문제로서 유해성 검출 시스템과 급이 시스템이 통합된 시스템의 개발을 통해 새로운 사료 급이 시스템 및 산업화 모델을 만들어 낼 수 있을 것으로 기대함

3. 국내 농업여건과 생산환경 변화 대응

가. 고령화 · 개방화 · 기후변화 등으로 인한 인력 대체 및 자동화, 고속 작업수단 요구 증가

그림 5 국내 농업 추세

나. 농업인력 부족 심화 및 농작업 기피현상 가속화

(1) 농가인구 지속적 감소: ('90) 15.5 → ('00) 7.1 → ('13) 5.7%

(2) 2010년 '농업총조사'에 따르면 농가의 0-14세 인구는 37만 명으로 농가인구의 9.8%, 2020년 예상한 0-14세 인구는 5.8만 명으로 농가 인구의 2.5%에 불과하여 향후 노동력 부족의 극심화 초래 예상

(3) 전체 농가 인구에서 65세 이상 노인 인구의 비율은 1960년 6.9%에서 2010년 38.7% 로 증가, 2020년 추계한 65세 이상 노인 인구는 105만 명으로 농가인구의 44.7% 에 해당하여 지속적으로 고령화 진행

(4) 농촌의 고령화와 농가인구 감소, 농업 형태의 변화로 농업노동과 농업경영에서 농가 여성의 역할이 증대

→ 농기계의 자동화 및 지능화에 대한 수요가 증대할 것으로 예상

다. 농업은 위험한 산업분야 2위(2003년 미국 BLS)로서 고역 · 위험작업 대체 필요

(1) 광업 다음으로 산업재해율이 높음

(2) 작업개선 등 직업성질환 예방대책 필요

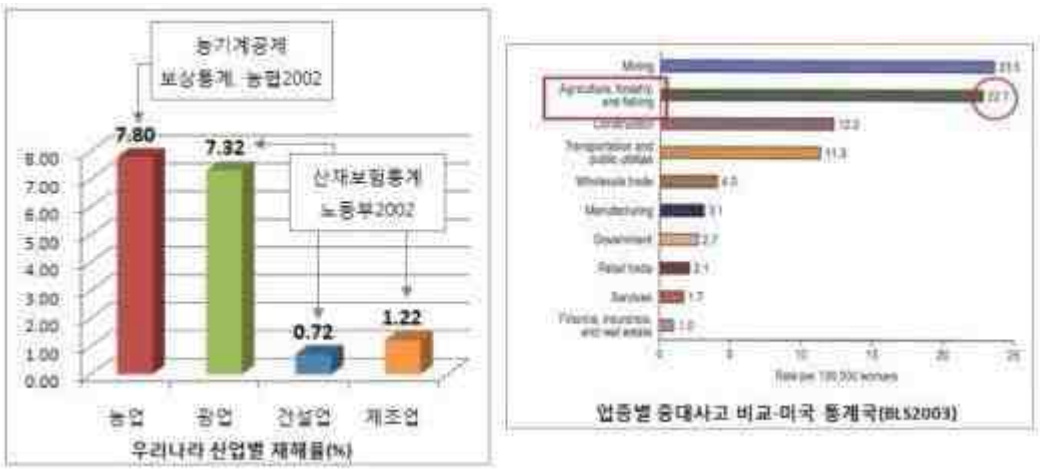


그림 6 산업별 재해율과 업종별 중대 사고 비교

라. 지식정보기반 농업으로의 전환 및 차세대 농업생산시스템 확립 필요

(1) 센서와 정보처리기반의 농업로봇을 통해 지식정보기반 농법으로 전환 계기 마련이 요구됨

(2) 로봇기술의 도입을 통한 농작업의 지능화, 정밀화 및 스마트화 가능

(3) 차세대 농업발전을 위한 새로운 패러다임으로서 농축산업 생산시스템의 규모화 및 자동화가 필요한 시점임

(4) 기후변화 등 생산여건 변화에 관계없이 안정적 생산 환경에서 고품질 안심 · 안전 농축산물의 연중 계획생산 체계 필요

라. 농업용 로봇의 개발 필요성

개도국의 경제성장에 따른 급속한 인구증가로 식량 수요가 공급을 초과하는 식량부족 현상을 초래하고 있음. 식량공급 확산을 위하여 신품종 개발 및 기계화를 통한 농업생산성 향상을 추진하였지만, 만족할 수준의 식량 공급이 부정적으로 전망됨

농산물 생산기반과 생산성이 지속적으로 감소하는 상황에서 해결방안은 단위면적당(10a) 생

산량을 증대시키는 것으로 첨단IT기술을 농기계와 융복합을 통한 농업용 로봇의 개발이 절대적으로 필요하며 정부차원의 정책적 지원이 매우 중요함. 현재 국내외에서는 혁신적 농작물 생산도구로 첨단IT기술을 융복합한 농업용 로봇을 활용하고 있으며, 지속적으로 확대 적용하고 있음. 채소자동접목로봇, 벼 제초로봇 등 농업로봇 선행 사례가 제시되고 있음

표 16 농업용 로봇 활용 사례

그림 7 채소 자동 접목로봇	그림 8 벼 제초 로봇
- 노동력 절감 50~70% - 생산비 절감 23%	- 작업성능 10a/h, 제초율 80%이상 - 농민 대비 노동력 16배

2장 연구수행 내용 및 결과(2-1. 주식회사 다운)

1절 자동 사료급이 시스템 시작품 2호기 제작

1. 보급 가능 프로토 타입 모델 제작

가. TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 프로토 타입 모델 개요

(1) TMR 자동 사료급이 시스템의 개요

TMR 자동 사료급이 시스템은 축산 농가의 사료 급이에 소요되는 과도한 노동력 및 사양관리의 어려움을 해소하기 위하여 자율주행 방식을 채택한 섬유질 혼합사료(TMR) 급이기이다. TMR 사료를 배합기에서 보충하여 스스로 축사로 이동, TMR 사료를 자동급이, 급이를 완료한 후에는 스스로 충전기로 복귀하는 무인로봇으로 사료급이에 소요되는 농가의 노동력 절감을 도모하고, 공급되는 사료의 신선도를 유지하여 가축 성장을 촉진하기 위하여 개발하였다.

그림 9 자율주행형 TMR 자동 사료급이 로봇

표 17 TMR 자동 사료급이 시스템 구성

구성	설명
TMR 배합기	기존 농장보유제품 이용
TMR 배합기 원격제어기	기존배합기를 원격제어하기 위한 제어기 설치
사료 상차 시스템	컨베이어 방식 상차기로 배합기의 사료를 TMR로봇에 공급함
TMR 이송급이로봇	1회 500 Kg - 1 ton 정도를 운반 급이가 가능
TMR 로봇 제어시스템	관리자와 로봇과의 신호 인터페이싱 및 시스템 전반제어
AGV	무인 자율주행 로봇

표 18 TMR 자동 사료급이 시스템 제원

항목	제원	비고
크기	1,600(L) × 1,100(W) × 950(H) mm	AGV, 사료공급기포함
중량	550 Kg	공차 중량
적재중량	약 600 Kg (수분함량이 40%인 경우)	수분함량에 따라 상이
이동속도	15 m/min	
사용 모터	DC 24V, 750W×2개 DC 24V, 40W×3개	AGV구동/이동모터 TMR 급이/토출/이동
AGV	무인 자율주행 로봇	

그림 10 TMR 급이로봇을 이용한 사료 급이 모습

자율주행 구현을 위하여 TMR 자동 사료급이 시스템은 급이 위치 자동 인식 및 안전 기능을 탑재하였다. 레이저 거리 스캐너에 기반한 주행 경로 추출기술, 고속 CPU를 적용한 레이저 거리 스캔 데이터의 실시간 자료 처리기술, 인공표식 및 센서를 이용한 위치추정 기법, 동적 환경에서 장애물 감지 및 충돌회피 기술을 개발하였다.

또한 주행 안정성을 확보하기 위하여 다양한 센서기술을 탑재하였다. 차체의 이동방향과 경사도를 측정하여 동력을 자동 보조하고 로봇 진행 방향과 가속도를 측정하여 동력전달을 제어하기 위한 3축 센서, 농장의 파이프 구조물 또는 동물 등과 로봇의 거리를 측정하는 거리측정용 초음파 센서, 레이저의 반사파를 수신하여 시간차의 원리로 거리를 측정하는 레이저 스캐너 등의 기술을 적용하여 자율주행의 안정성을 높이고 충돌을 방지하였다.

자세 제어 알고리즘은 3축 센서와 자이로 센서의 사용으로 직진 성능을 보정하며, 드론에 사용되는 위치 탐지 알고리즘을 활용하여 해당 위치에서 자율주행하는 변수값을 최적화하여 공간 내에 효율적인 자율주행을 수행하도록 개발하였다. 충전기로 복귀 시에는 자세제어 및 방향 판별 관련 알고리즘이 주로 사용되어 도킹시간을 줄이고 안정된 동작을 구현하도록 하였다.

그림 11 TMR 급이로봇 3D 설계도(등각, 좌측 하단 피드 푸셔 포함)

그림 12 TMR 급이로봇 3D 설계도(등각)

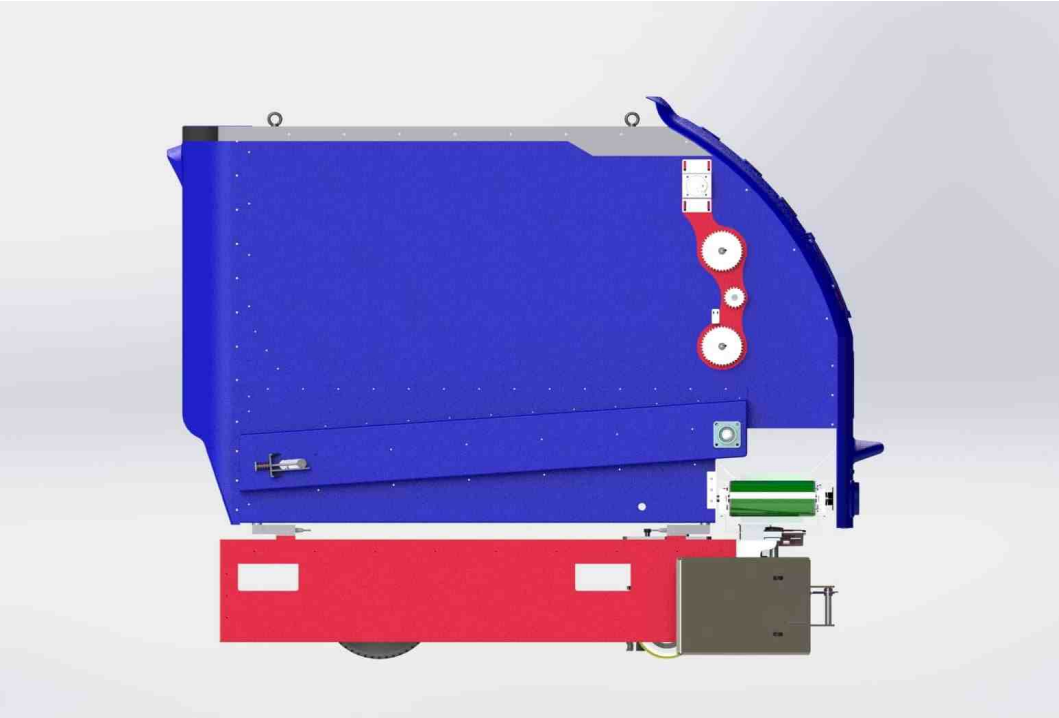


그림 13 TMR 급이로봇 3D 설계도(좌측면도)

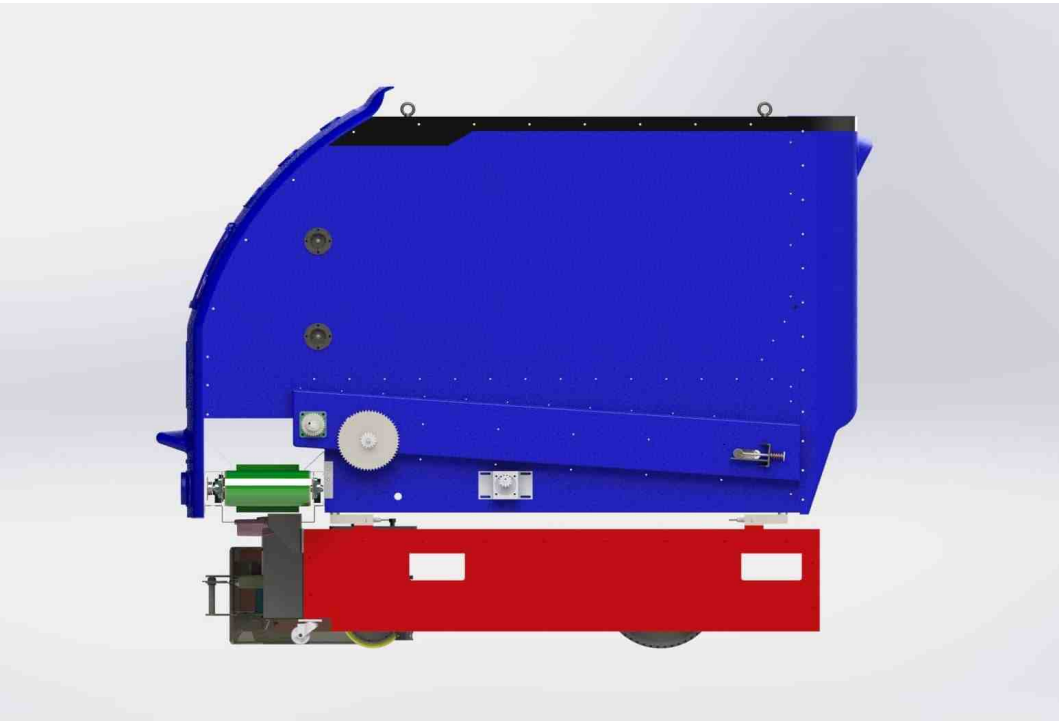


그림 14 TMR 급이로봇 3D 설계도(우측면도)

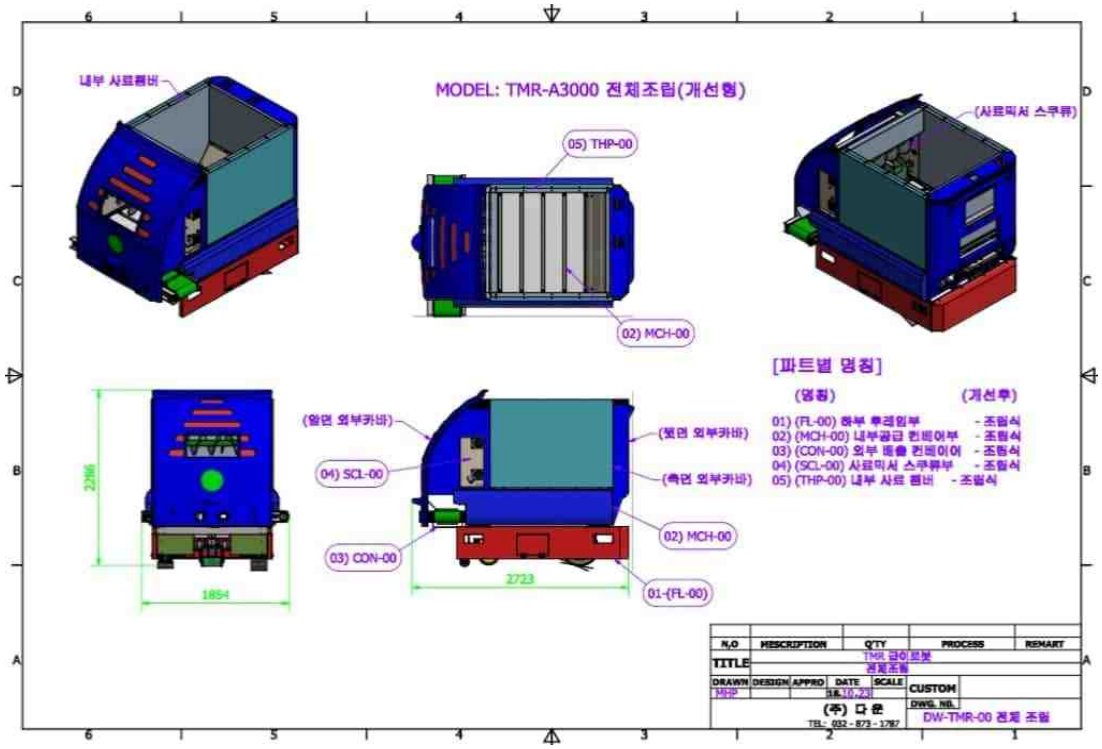


그림 15 TMR 급이로봇(개선형) 전체 조립도

나. TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 하드웨어 개발

(1) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 Main board 설계 및 제작

개선형 Main board의 PCB를 설계 및 연결 회로도를 작성후 제작하였다. 연결 회로도는 TMR 자동 사료급이로봇의 리모트 컨트롤, 저울, 모터 드라이브, 좌우 레이저 모듈, 무선모뎀(900, 433), 무선통신, 외부 DC모터 제어 컨트롤러 요소를 포함한다. 외부 DC모터 제어 컨트롤러는 회로상 오픈콜렉터, 옵터커플러를 고려하여 회로도를 작성하였다. PCB 설계도 및 회로 연결도, 실제 PCB 제작품은 아래 그림에 제시하였다.

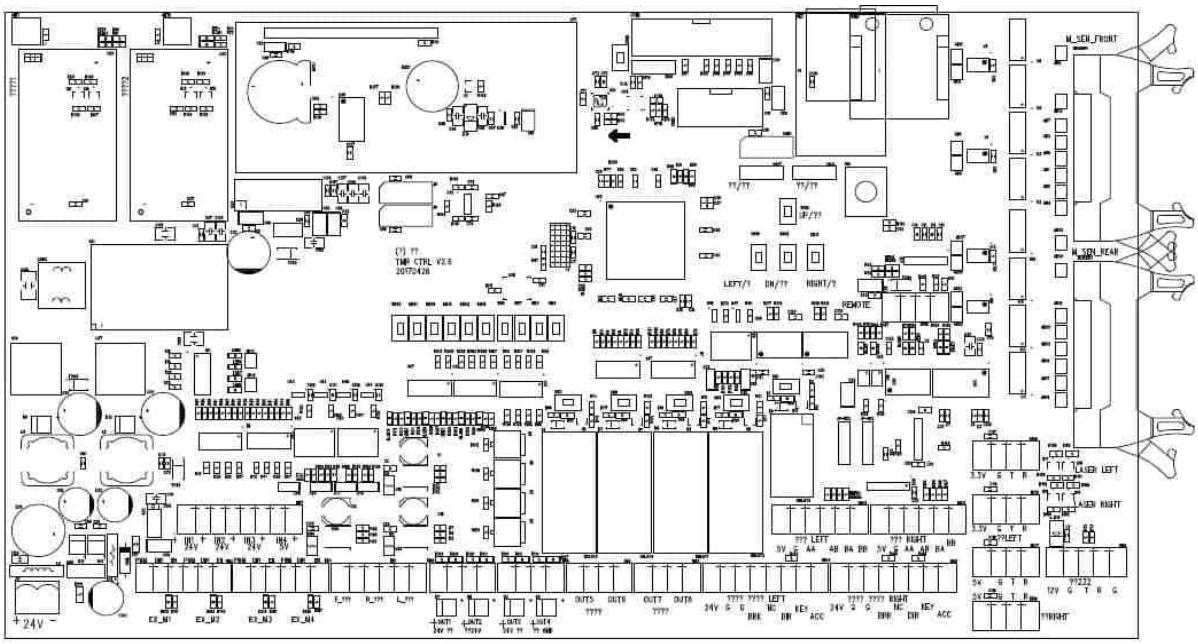


그림 16 TMR Main PCB (Front) 설계

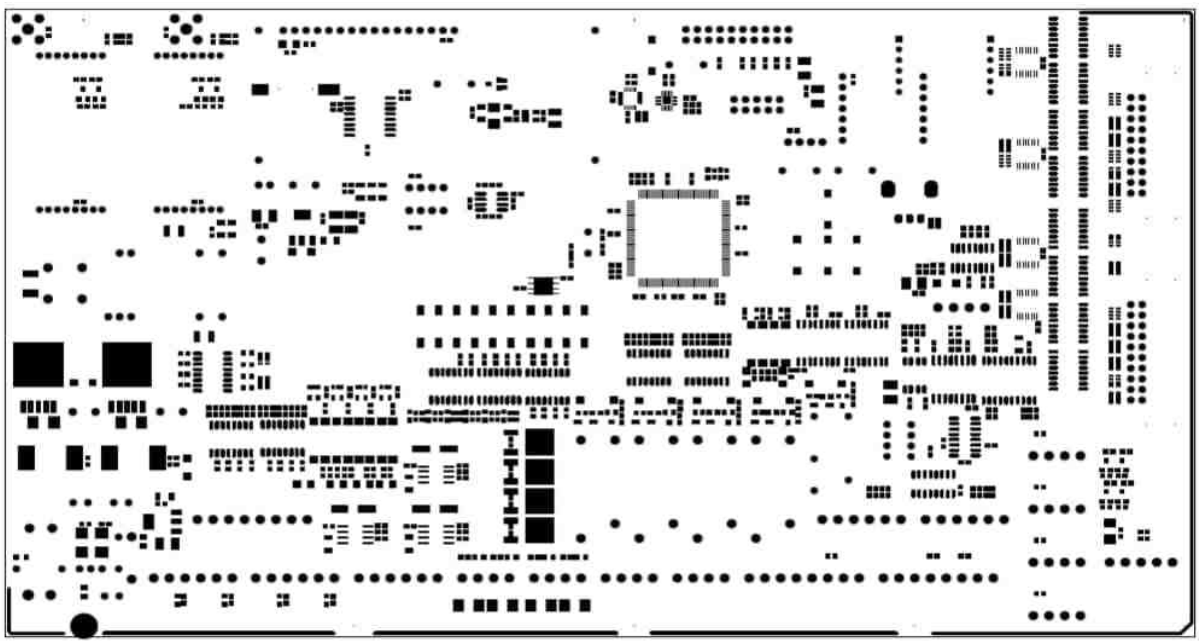


그림 17 TMR Main PCB (Back) 설계

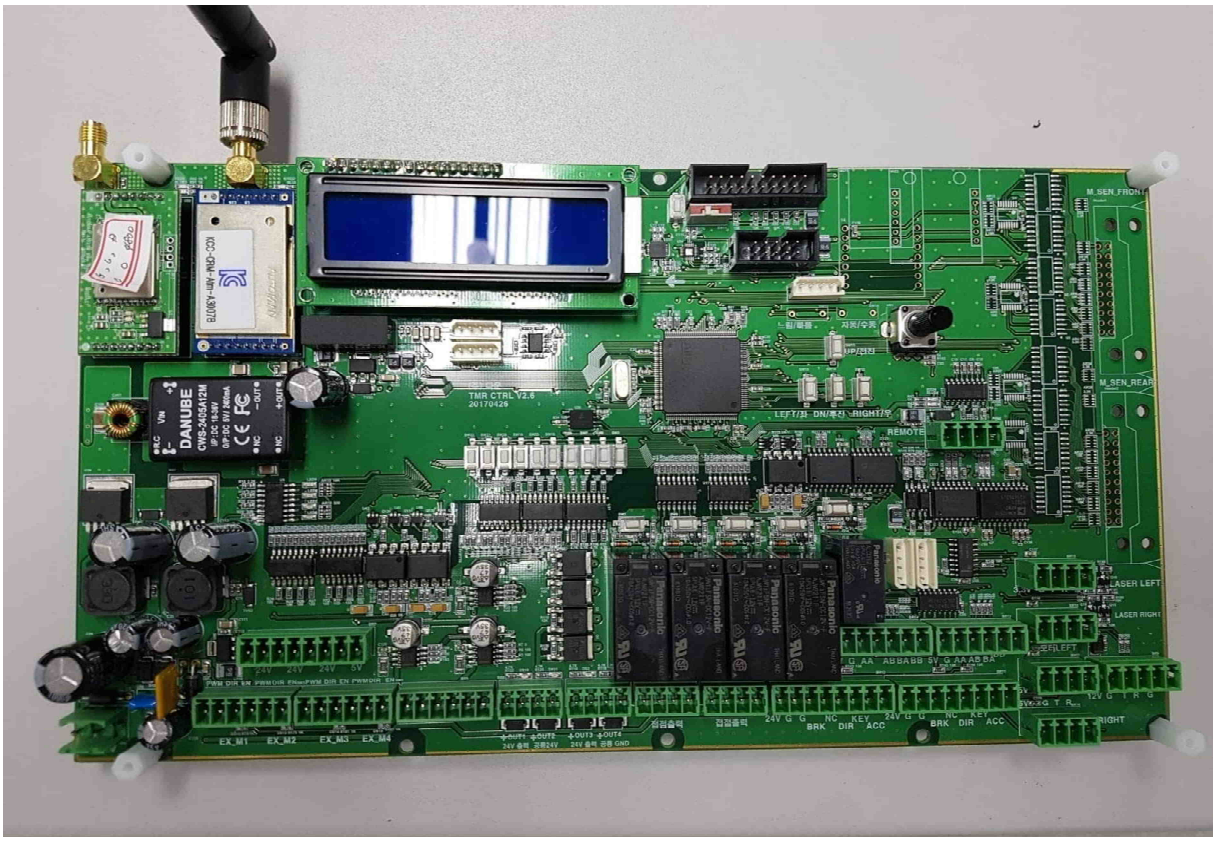


그림 18 TMR Main PCB 실제작

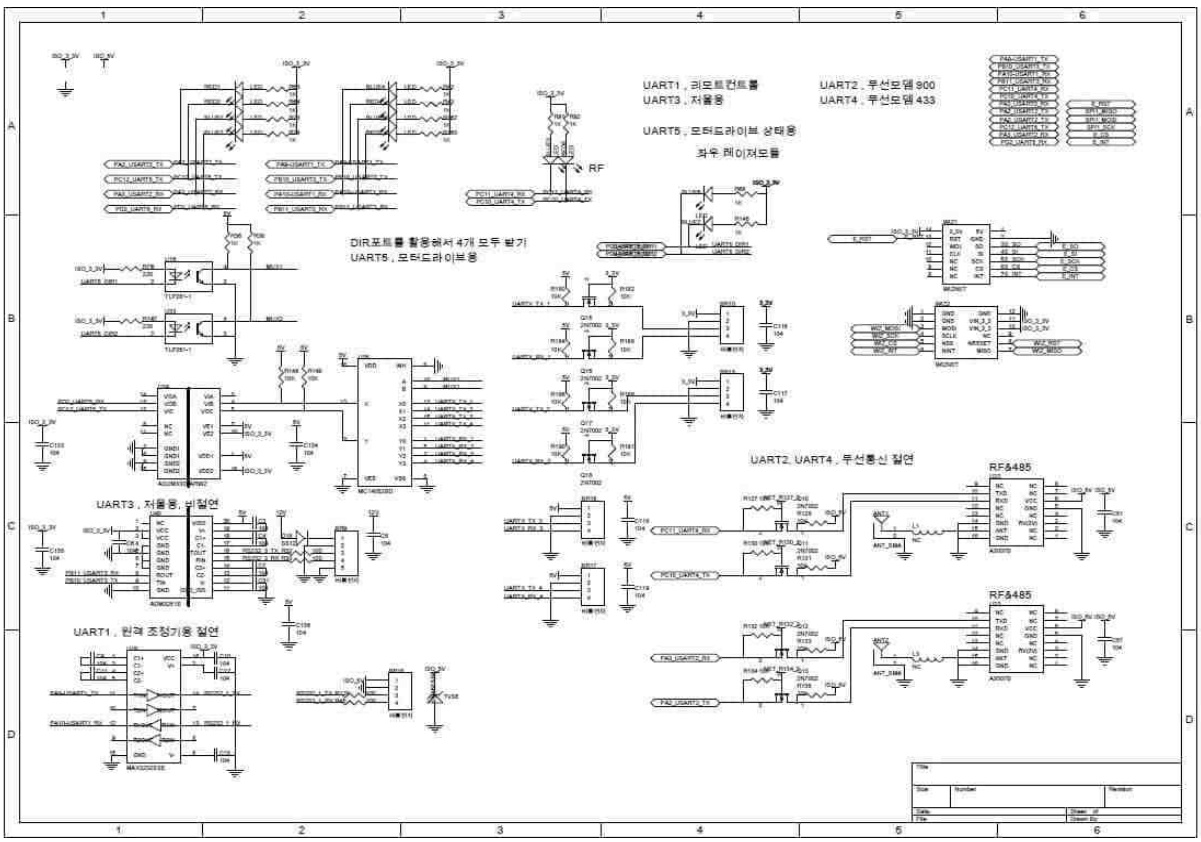


그림 19 TMR Main SCH

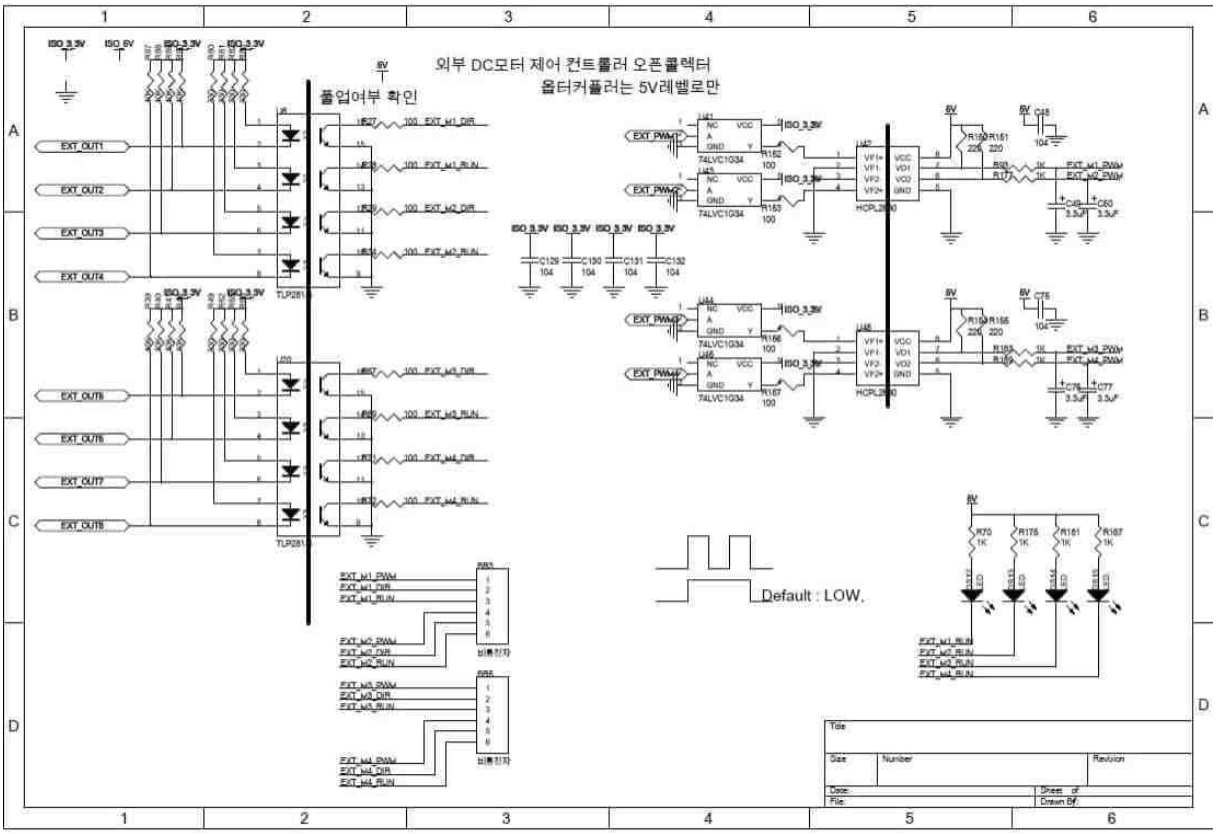


그림 20 TMR Main SCH

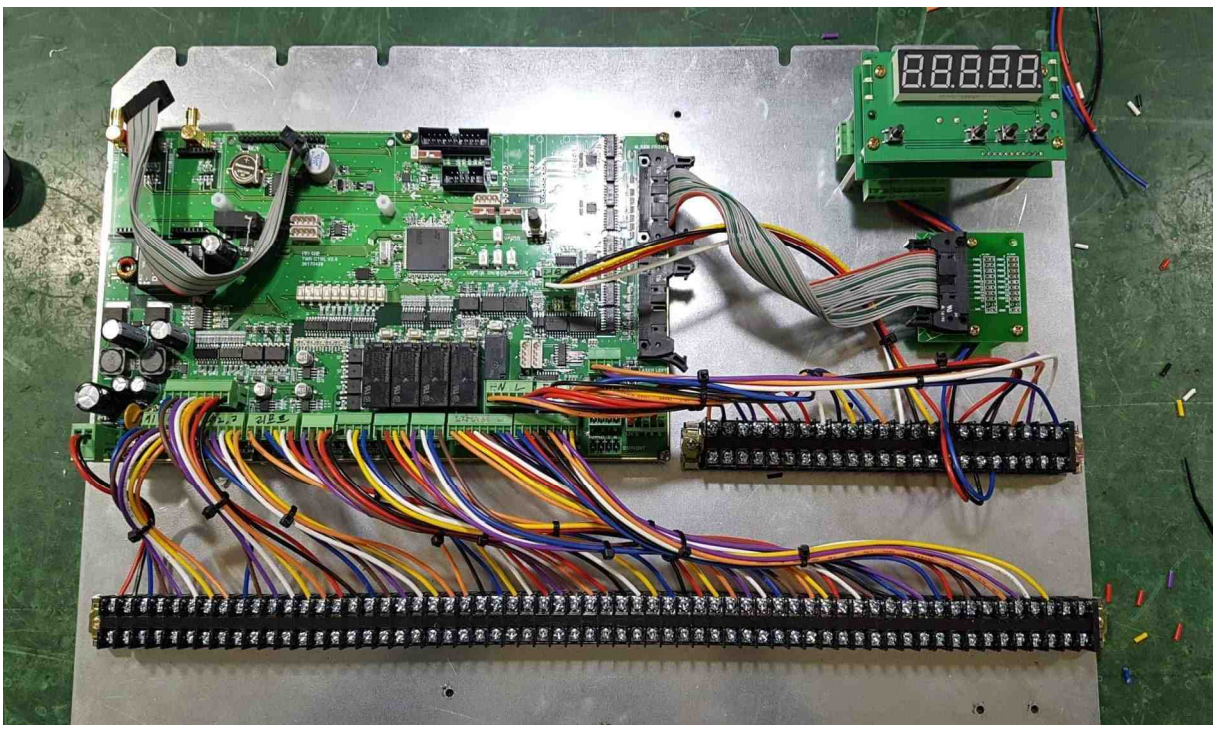


그림 21 TMR Main 회로 실제작

(2) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 Converter board 설계 및 제작

초기 제작은 외부 제품 Converter board를 도입하여 회로에 연결하는 것으로 개발 계획을 수립하였으나 외부 제품 테스트 결과 TMR 급이로봇에 적용 시에 Converter 동작에 따른 출력 전압이 적합하지 않고, 출력 전압의 안정성이 보증되지 않는 문제점이 발견되었다. 따라서 외부 제품 도입이 적절치 않다고 판단하여, 자체 개발로 변경하여 진행하였다. Converter board의 PCB를 설계 및 제작 후 안정성을 검증하였다.

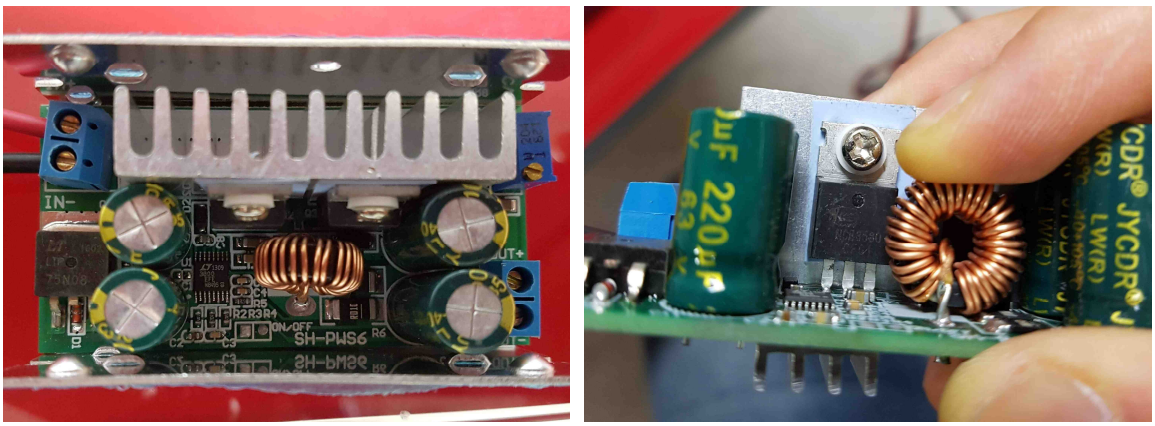


그림 22 초기 테스트 수행하였던 외부 Converter 제품(부적합)

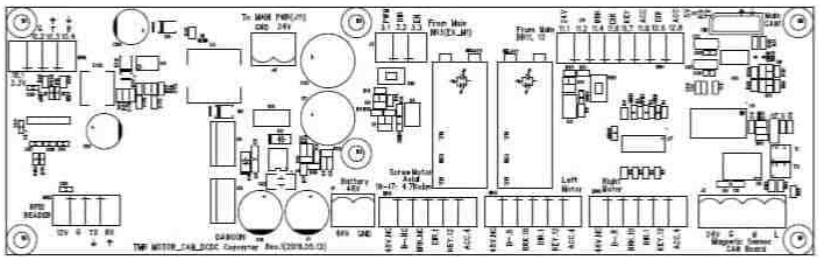


그림 23 TMR Converter board PCB (Front) 자체 설계

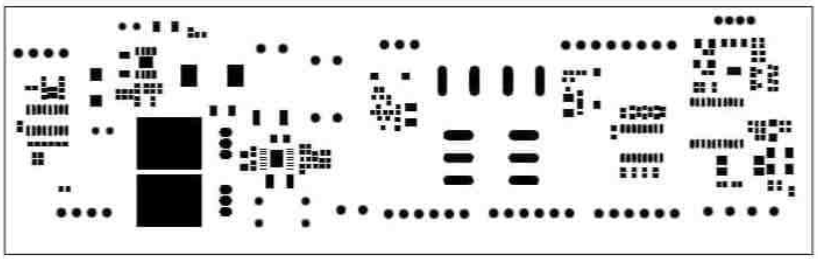


그림 24 TMR Converter board PCB (Back) 자체 설계

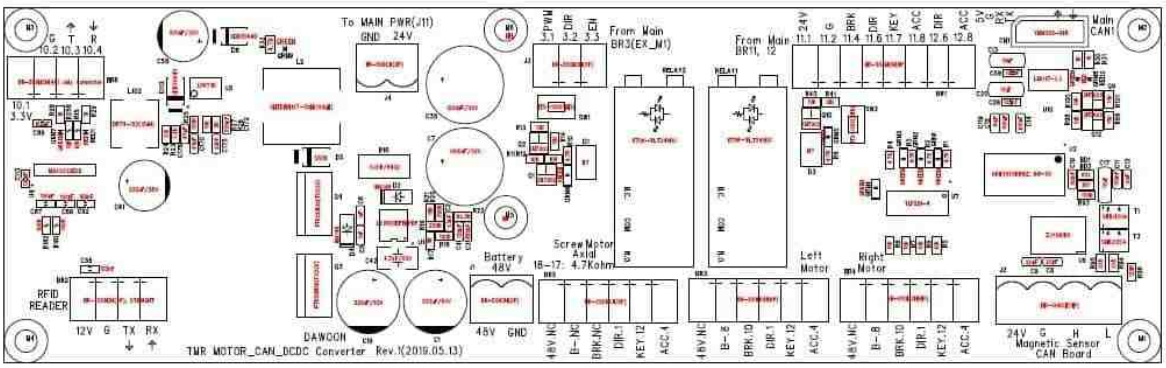


그림 25 TMR Converter board 작업도

그림 27 TMR Converter board PCB 실제작

(3) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 Converter board 기능 및 점검

TMR 개선형 Main board 및 Converter board를 연결하여 컨버터의 동작 안정성을 확인하였다. 점검 목적 및 항목은 Converter 적용 시 TMR 급이로봇 운용에 적절한 전압이 출력되는지 기능 점검, 출력 전압의 안정성 점검이다.

출력 전압 점검 시에 전원공급기의 입력전압을 약 48 V, 약 0.3 A - 0.8 A 범위로 제공하였으며, 점검 결과 Converter 적용에 따른 출력 전압은 24.36 - 24.44 V 으로 약 24 V 로 TMR 급이로봇의 운용에 적합한 전압으로 출력이 유지되며 Converter board의 기능이 원활히 수행됨을 확인하였다.

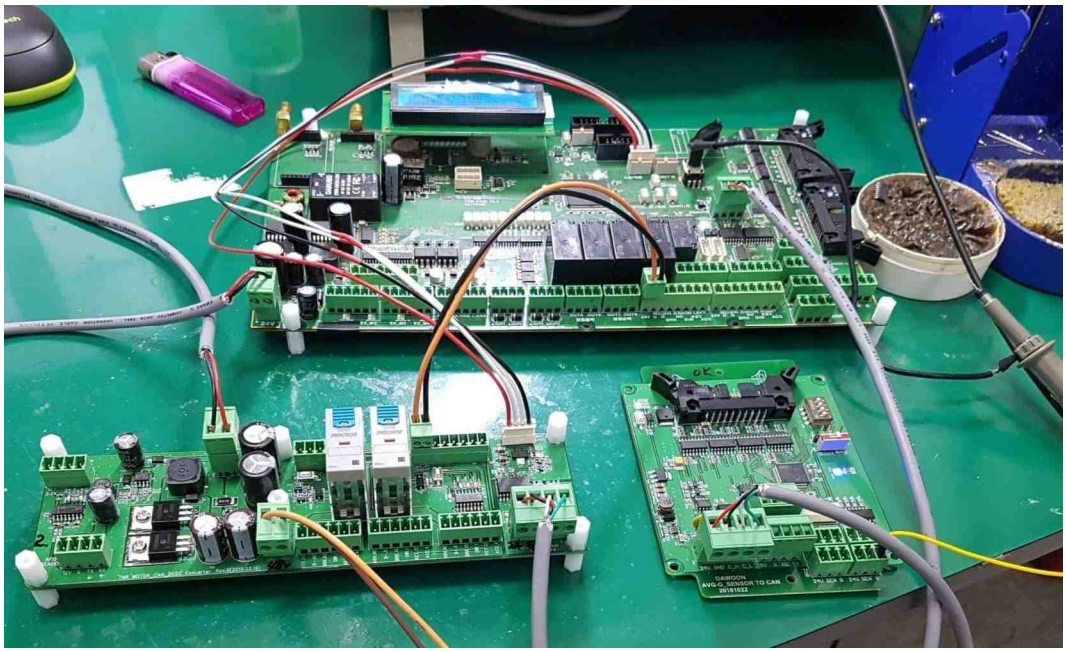


그림 28 Main board 및 Converter board 연결 작업

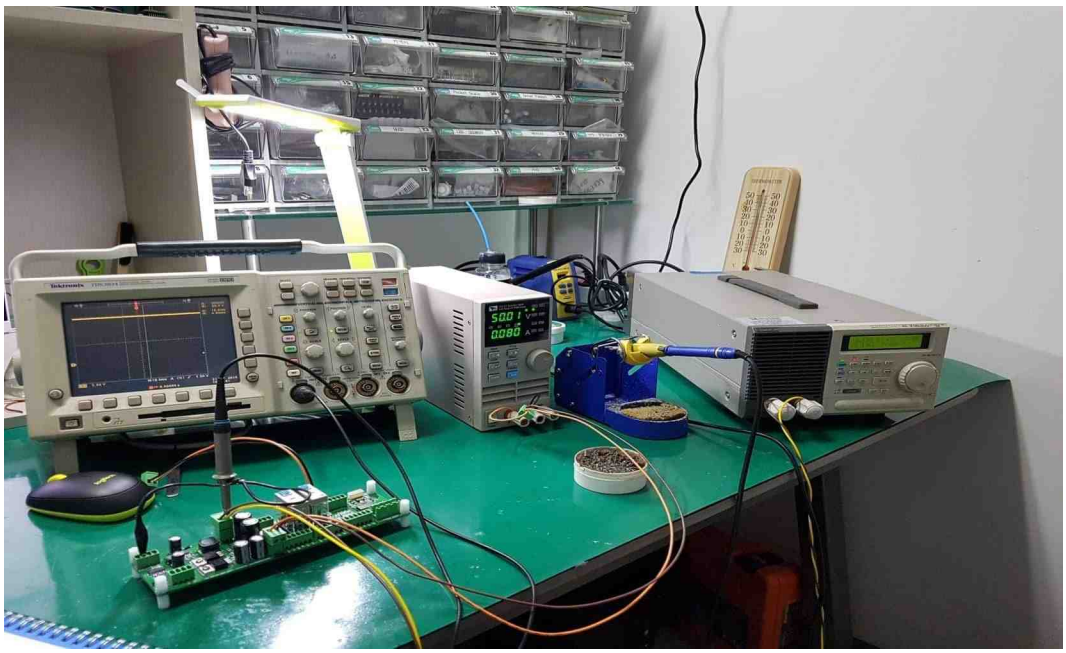


그림 29 Converter의 출력 안정성 테스트 환경

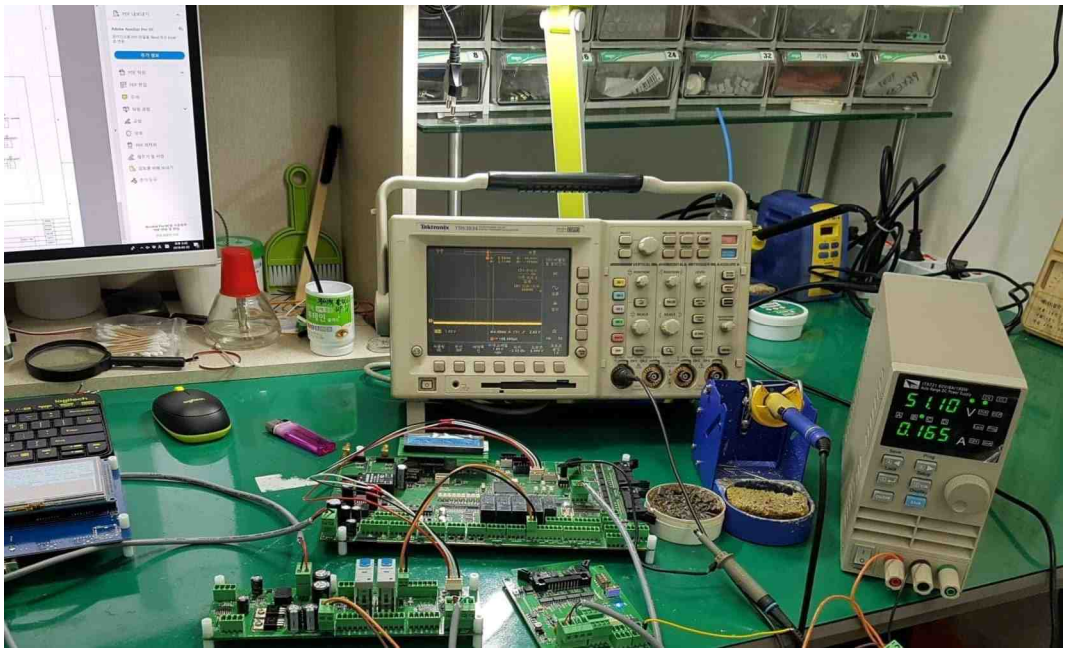


그림 30 Main board 및 Converter board 연결 후 출력 안정성 점검

그림 31 전원 공급기를 통한 입력 전압 및 전류, 출력 전압 및 전류 테스트

반복적인 출력 전압 테스트를 통하여 출력 전압의 안정성을 점검하였다. 출력 전압을 모니터링하며 변동성을 계측한 결과, 약 24 V 출력 전압은 피크에서 미세하게 변동하였으며, 변동 시 피크-피크 값 Δ는 약 4.4 mV - 36 mV 범위에서 근소하게 나타났다. 테스트 결과 컨버터 board의 출력 전압은 변동성이 근소하며, 안정성이 우수한 것으로 판단된다.

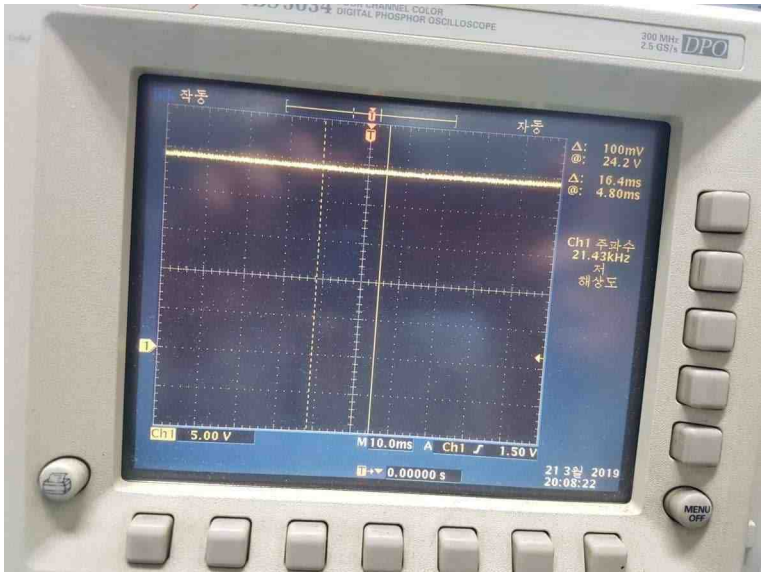


그림 32 약 24 V에서 출력 안정성 확인

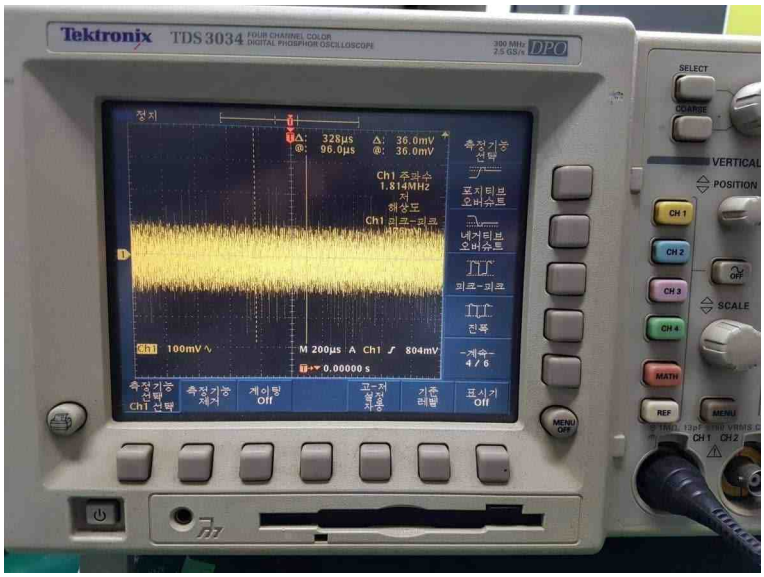


그림 33 피크-피크 Δ 값 확인

(4) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 Converter board 연결

설계한 PCB board 연결 회로도를 작성 후 제작하였다. 연결 회로도는 모터드라이브, RFID reader, 메인 MCU의 CAN 통신을 포함하여 작성 후 작업도를 준비하였다. 제작 시에 주의사항을 포함하여 결선과정을 아래에 그림으로 제시하였다.

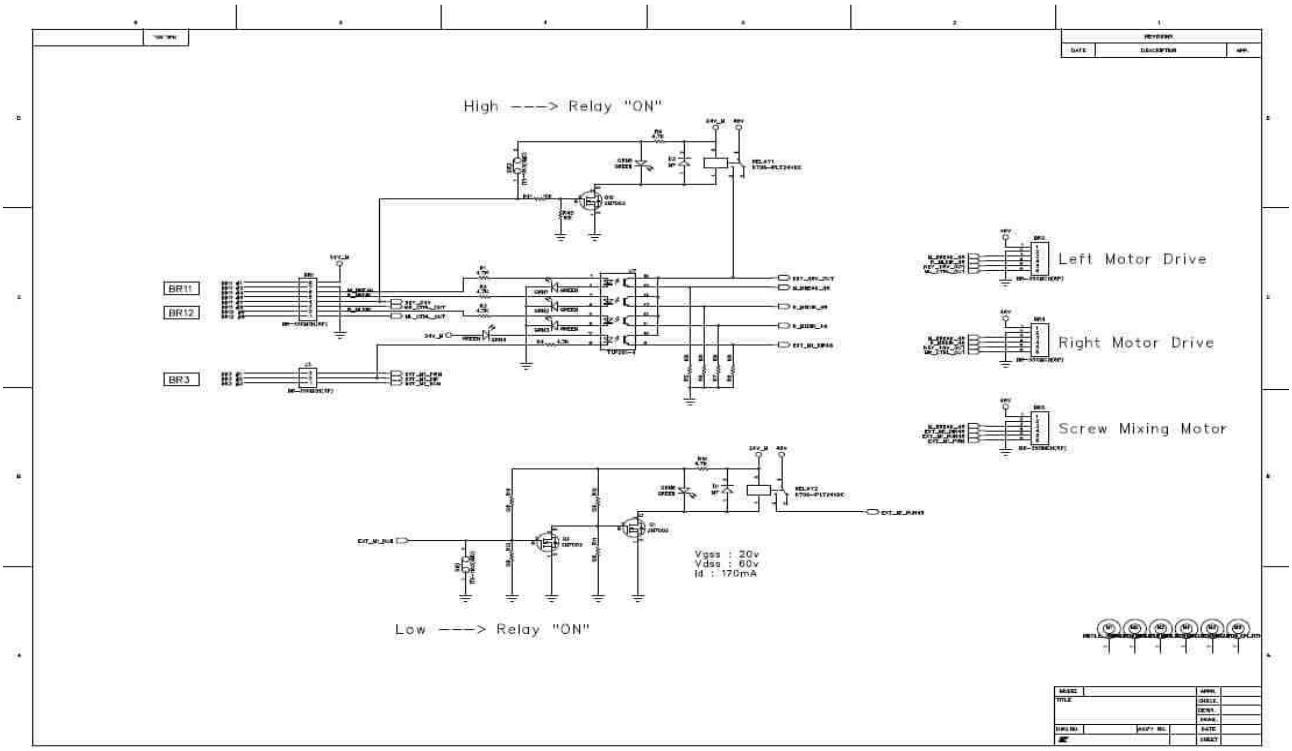


그림 34 TMR Converter board SCH

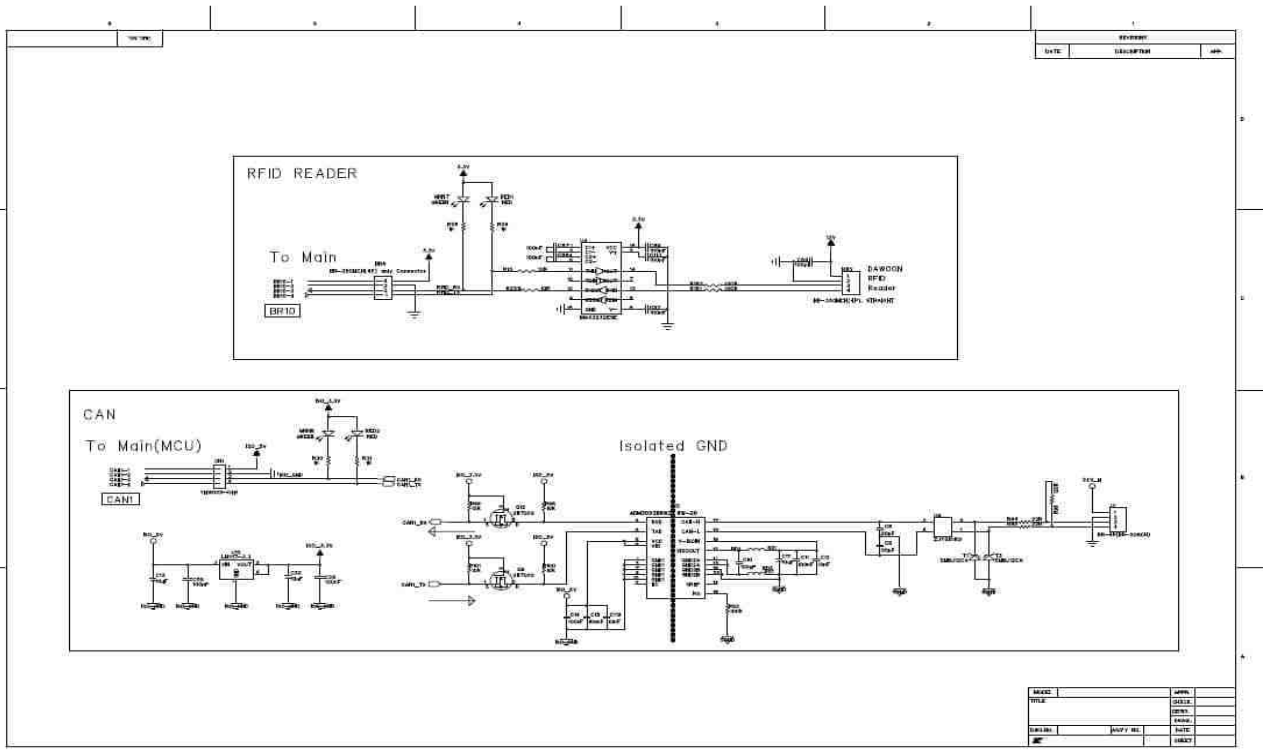


그림 36 TMR Converter board SCH (RFID reader, CAN)

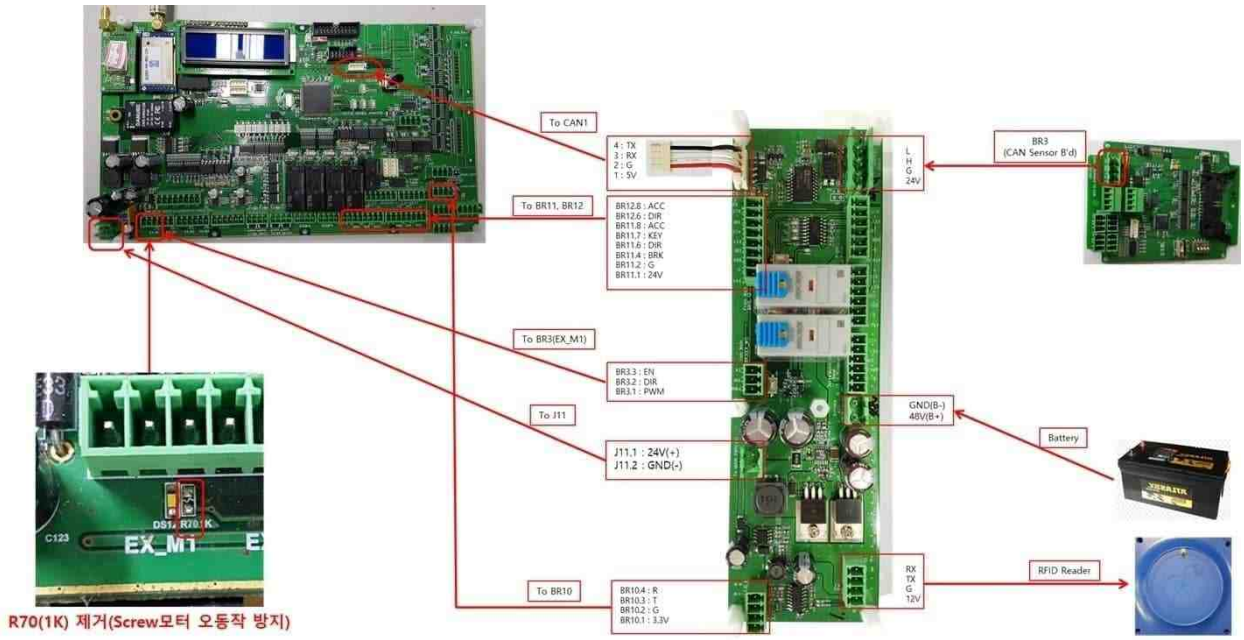


그림 37 TMR 급이로봇 board 결선 과정

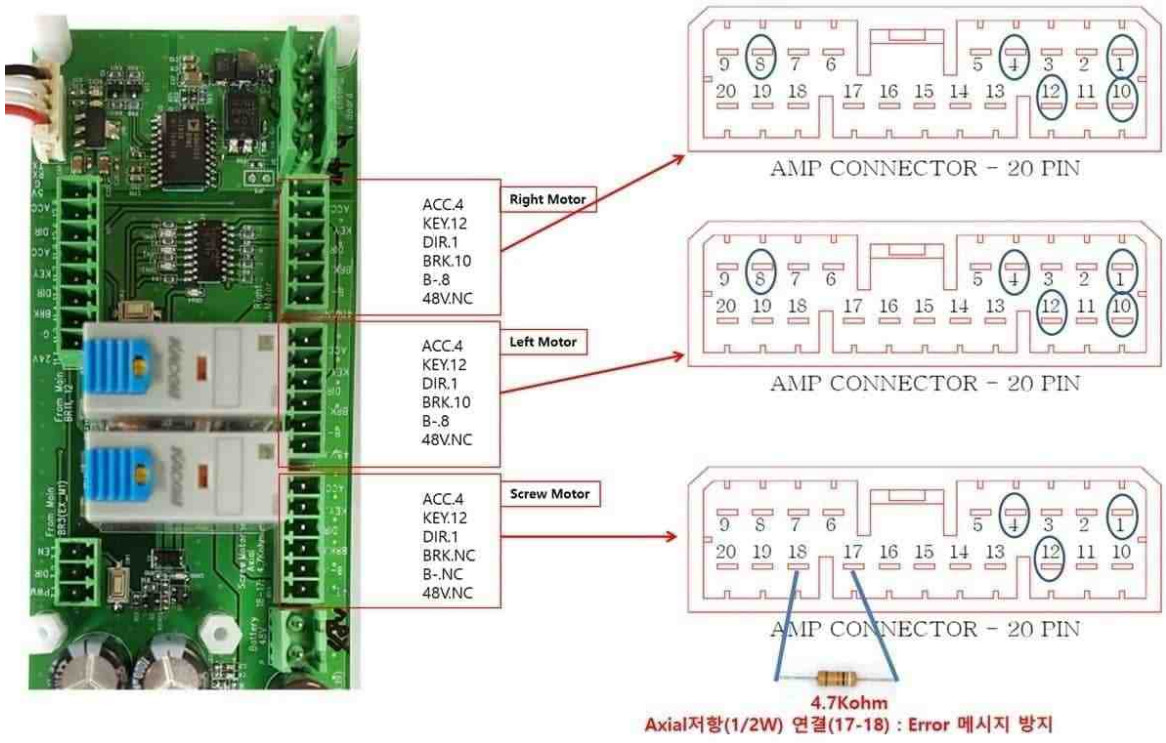


그림 38 TMR 급이로봇 board 결선 과정(Motor 연결 상세)

다. TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 외부 프레임

(1) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 커버 설계

그림 39 TMR 급이로봇의 기존 시작품 모델(주식회사 다운 공장)

시작품 모델(2018년형)에서 한 단계 개선된 개선형 모델(2019년형)은 농가에 보급을 고려하여 상품성을 높이기 위해 외형적 디자인을 개선해야할 필요성이 요구되었다. 이에 따라 개선형 TMR 급이로봇의 외부 프레임을 설계 및 제작하였다. 설계 작업은 Solid Works 기반으로 3D 모델링을 추진하여 급이로봇 프레임을 자체 설계하였다.

그림 40 TMR 급이로봇 전면부 프레임 3D 설계도

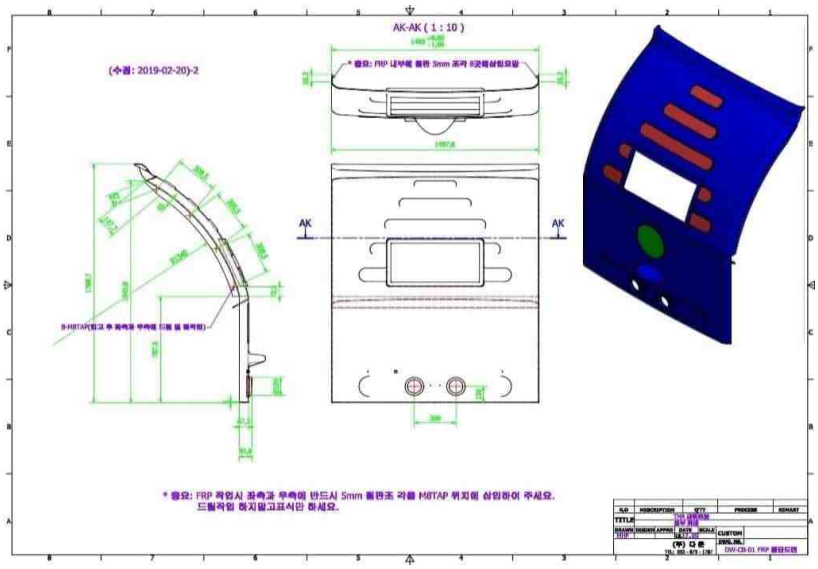


그림 41 전면부 프레임 조립도

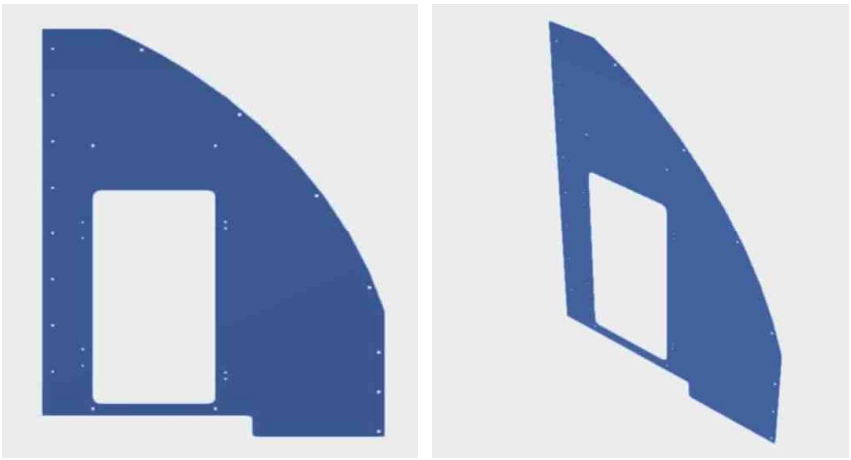


그림 42 측면부 프레임 3D 설계

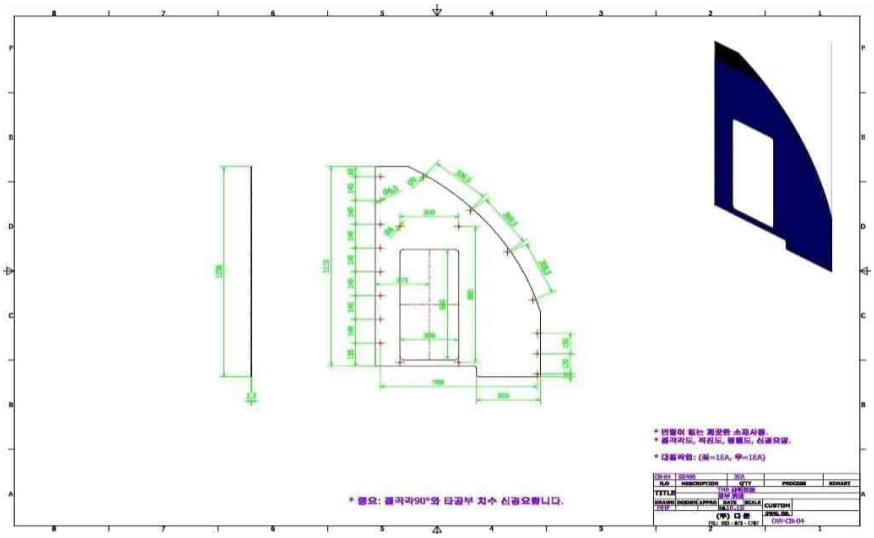


그림 43 측면부 프레임의 조립도

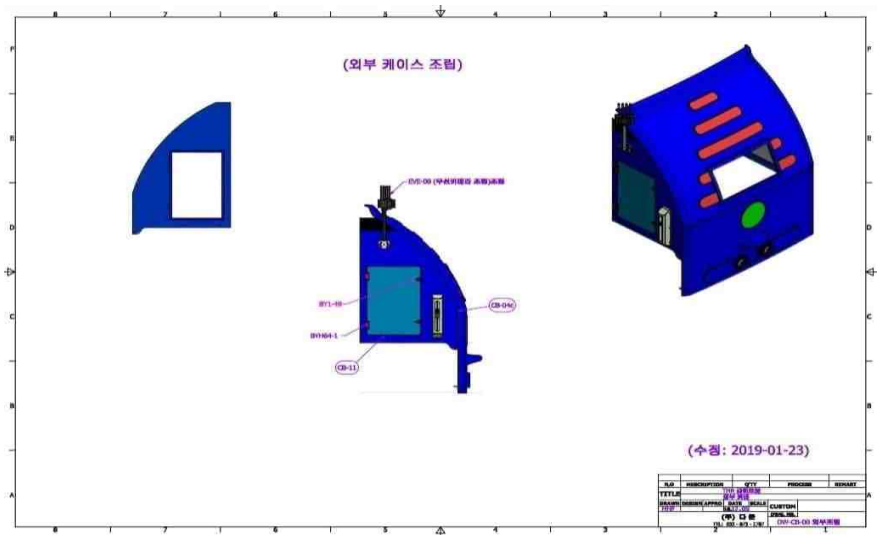


그림 44 전면부·측면부 프레임 조립도

기존 모델(2018년형)의 개발 결과, 급이로봇 제조과정의 대부분을 용접으로 처리하여 제작에 과다한 시간 및 과중한 작업량, 노동량을 소요하는 문제가 지적된 바 있다. 또한 고장수리 시 용접한 프레임을 절단하여 수리한 후, 재용접 과정을 거쳐야 하므로 AS 제공에 과다한 인력 및 시간이 투입되는 단점이 발생하였다. 또한 실증농가 시범 운행 결과, 사료 적재량이 실제 필요에 비해 부족하다는 농가 사용인의 의견이 있었다.
개선형 모델(2019년형) 설계 및 제작에는 이러한 사항을 고려하여 사료 적재량을 최대 2 ton까지 증량하여 설계, 사료운반능력을 개선하였다. 사료 수송량 증량으로 인하여 기기 중량이 증가하는 단점을 해소하기 위하여 외부 재질을 기존 철강판(2018년형)에서 FRP 소재(2019년형)으로 변경함으로써 급이로봇의 총 중량을 경량화하는 한편, 해체와 재조립을 용이하게 하여 AS 제공에 과중한 인력과 노동이 투입되는 문제를 해소하였다. 또한 소비자 눈높이에 맞추어 고급화된 디자인을 출시, 제품 시장경쟁력을 제고하였다.

(2) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형의 하부 설계

TMR 급이로봇의 하부는 하부 프레임 및 이동부, 이동부를 구동할 구동부로 이어진다. 하부 프레임은 TMR 급이로봇의 전체 하중을 고르게 감당할 수 있도록 설계한다. 이동부는 TMR 급이로봇의 이동을 담당하는 구성요소를 포함한다. 바퀴는 우레탄 소재의 것을 사용하고 용접은 알곤용접 한다. 압축스프링은 강성을 고려하여 내경 21 mm 이상을 사용하였다. 감속기는 후륜 구동부에 부착되어있다.

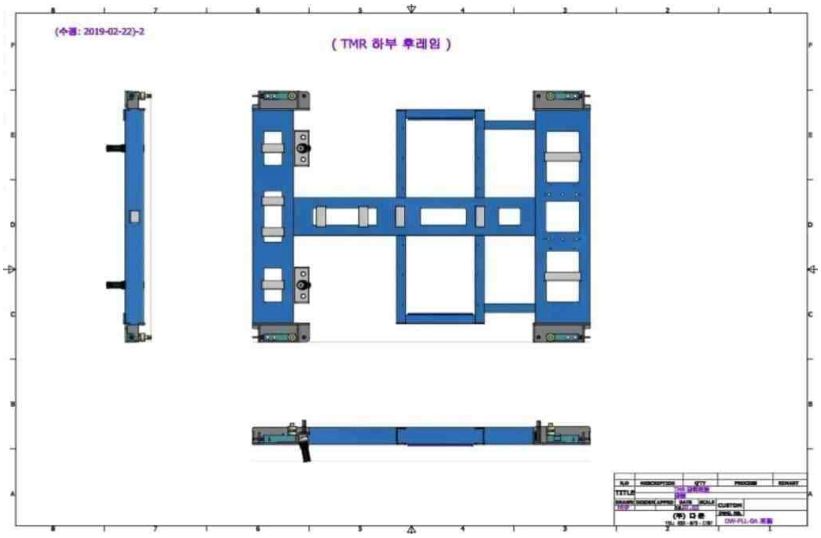


그림 45 하부 프레임 설계 조립도

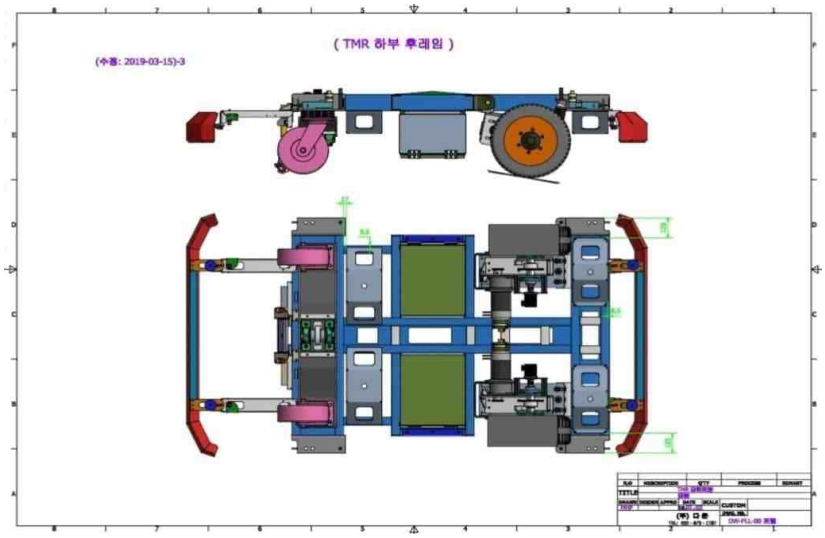


그림 46 하부 프레임 설계 조립도(범퍼 및 구동부 포함)

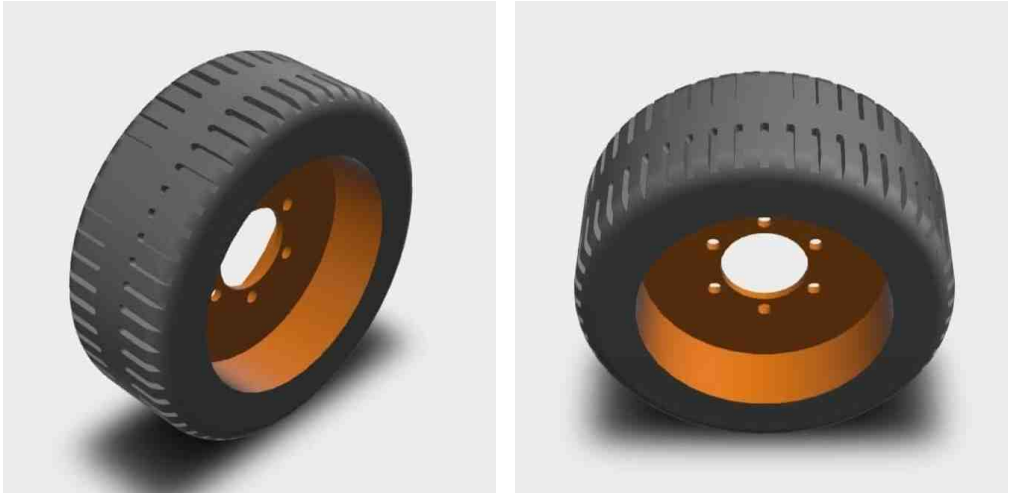


그림 47 앞바퀴 3D 설계도

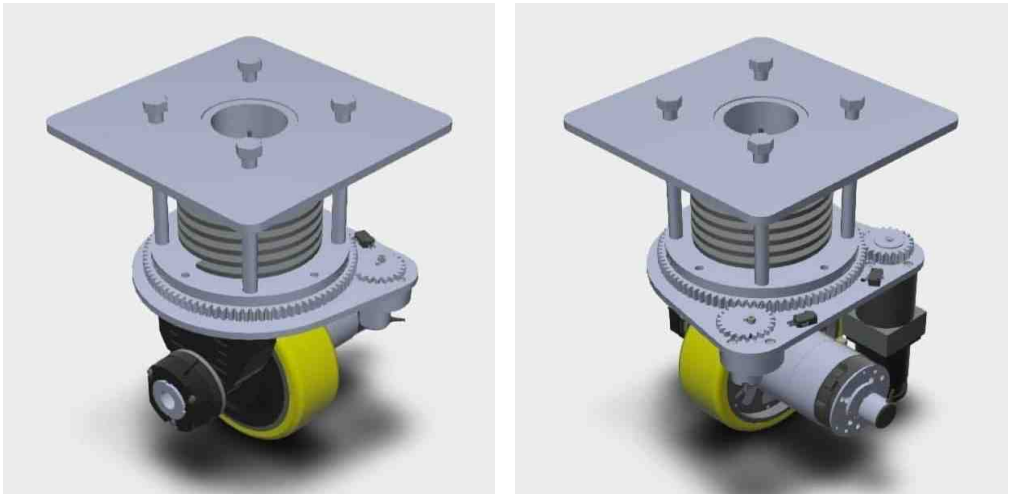


그림 48 전륜 바퀴

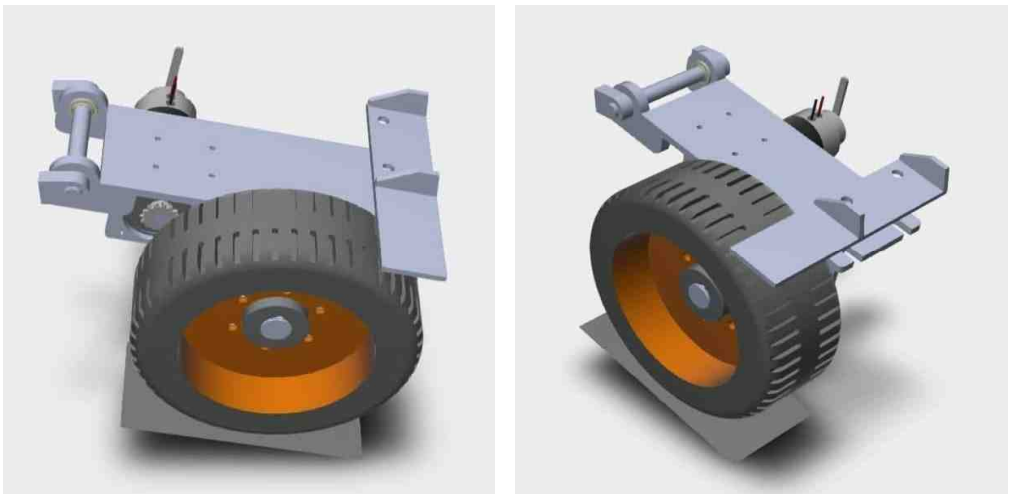


그림 49 후륜 바퀴

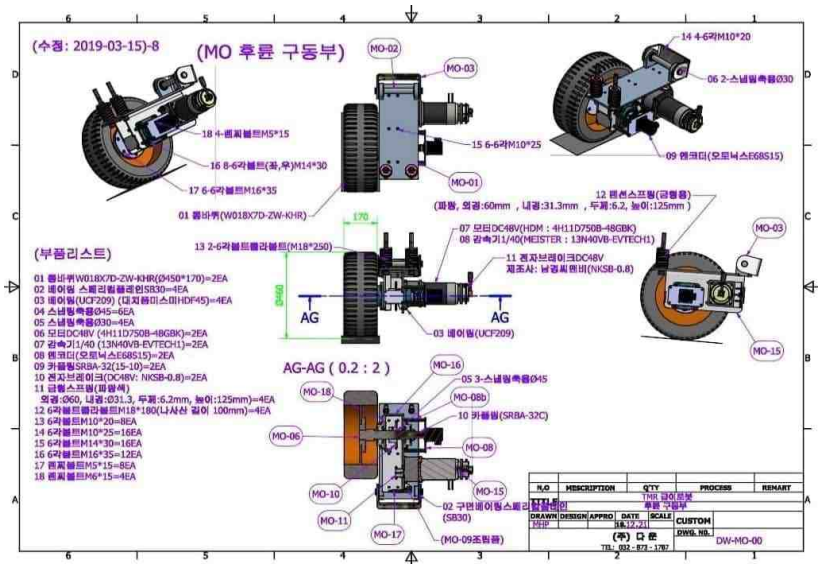


그림 50 후륜 바퀴 및 구동부의 조립도

표 19 후륜 바퀴 및 구동부 제작 부품 사양

항목	세부사양	수량(EA)
바퀴	∅450×170	2
베어링 스페리컬플레인	SB30	4
베어링	UCF2019	4
스냅링축용	∅45	6
스냅링축용	∅30	4
모터	DC48V	2
감속기	1/40	2
엔코더	오토닉스E68S15	2
카풀링	SRBA-32(15-10)	2
전자브레이크	DC48V	2
금형스프링	외경∅60 내경∅31.3	4
6각볼트콜라볼트M	18×180	4
6각볼트M	10×20	8
6각볼트M	10×25	16
6각볼트M	14×30	16
6각볼트M	16×35	12
렌찌볼트M	5×15	8
렌찌볼트M	6×15	4

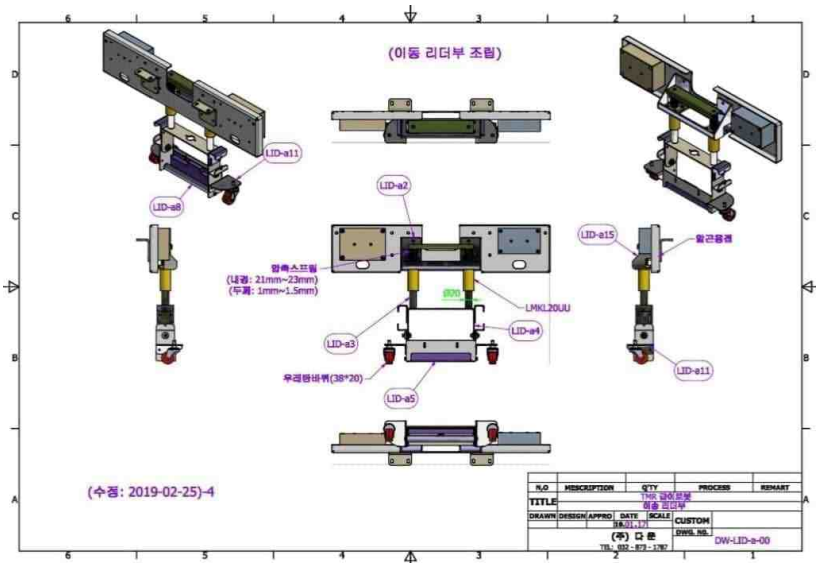


그림 51 이동 리더부 조립도

TMR 급이로봇의 구동부는 외경 ∅68 mm의 축형 incremental 로터리 엔코더를 적용하였으며 단독기능 및 강성 점검을 실내에서 충분히 점검 후 제품 제작에 도입하였다. 드라이브 컨트롤러는 농용・산업용 운반차에 적합한 제품을 채택하여 도입하였다.

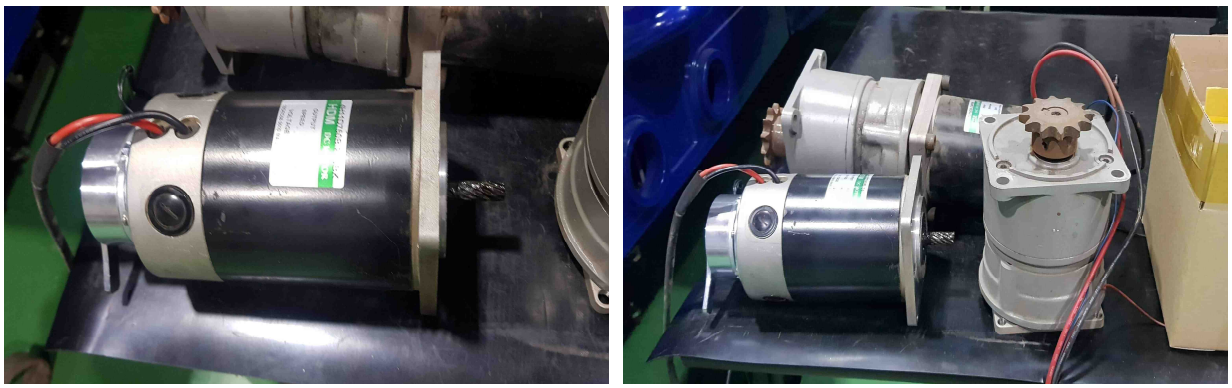


그림 52 로터리 엔코터 및 구동 모터의 작동 점검 후 설치 진행

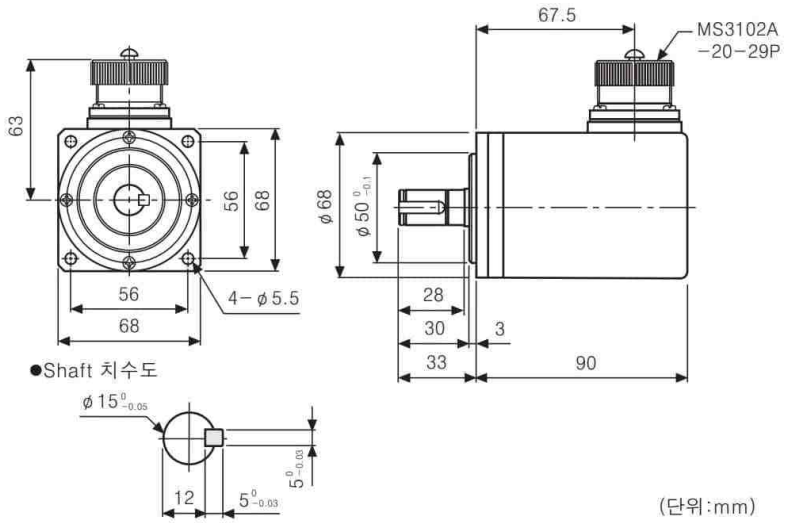


그림 53 로터리 엔코더 세부 규격

표 20 로터리 엔코더 사양

항목		세부사양
모델명		E68S15-1024-6-L-5
중량		550 g
분해능(P/R)		1024 P/R
내진동		10 - 55 Hz (주기 1분간, 2시간)
내충격		50 G 이하
사용 주위 온도		-10 ~ 70 ℃
사용 주위 습도		35 - 85% RH
보호 구조		IP64 (IEC 규격)
전기적 사양	응답속도	0.5 ㎲ 이하
	전원전압	5 VDC
	최대응답주파수	180 KHz
	소비전류	50 mA
	절연저항	100 MΩ 이상
	내전압	750 VAC 50/60 Hz에서 1분
	접속방식	Connector 접속
기계 사양	기동 토오크	1.5 kgf·cm (0.15 N·m 이하)
	축허용 하중	Radial: 20 kgf, Thrust: 10 kgf
	최대허용회전수	6,500 rpm

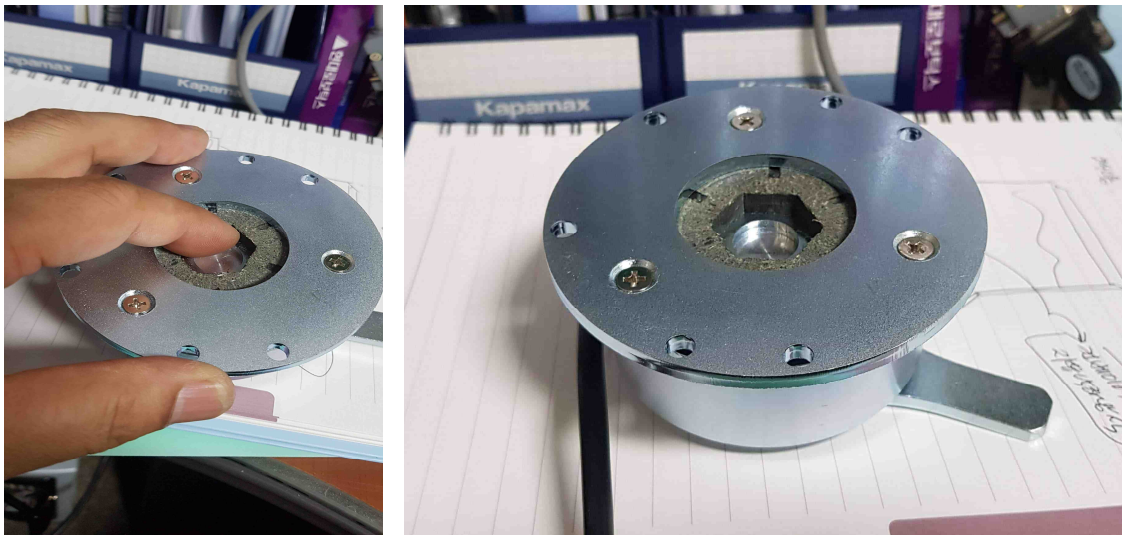


그림 54 EM(Electronic Magnet) 브레이크

표 21 드라이브 컨트롤러 사양

항목	세부사양
모델명	MINI
외형크기	162(W) × 98(H) × 51.5(D) mm
중량	0.8 Kg
배터리 전압	12 - 248 V
전류 제한값	110 A / 60 A
동작 온도	-40 ~ 85℃
습도	최대 95%
스위칭주파수	20 KHz

표 22 하부 구동부 제작 및 검증 순서

그림 56 소재입고

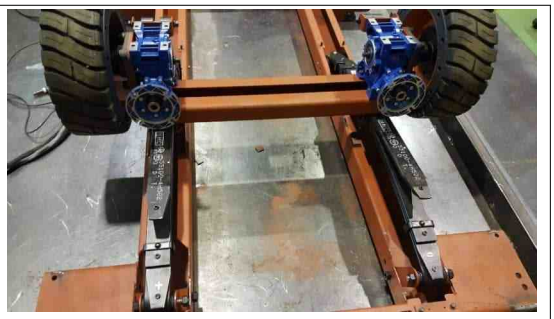


그림 57 구동부 제작

그림 58 감속기 설치 및 강성검증

그림 59 600킬로그램 실하중 테스트

그림 60 판스프링 강도 검증 및 쇼바테스트

(3) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형의 안전 범퍼

TMR 급이로봇의 안전범퍼는 하부 프레임의 하단, 전면바퀴의 전단부에 설치된다. 기본적으로 차량용 범퍼와 동일한 역할을 수행하여, 충돌 시에 TMR 급이로봇을 보호하는 역할을 한다. 충돌물이 있을 경우 급이로봇보다 먼저 충돌하여 충격을 흡수할 수 있도록 급이로봇의 전면보다 안전범퍼가 돌출되게 조립한다.

그림 61 안전범퍼 3D 설계도

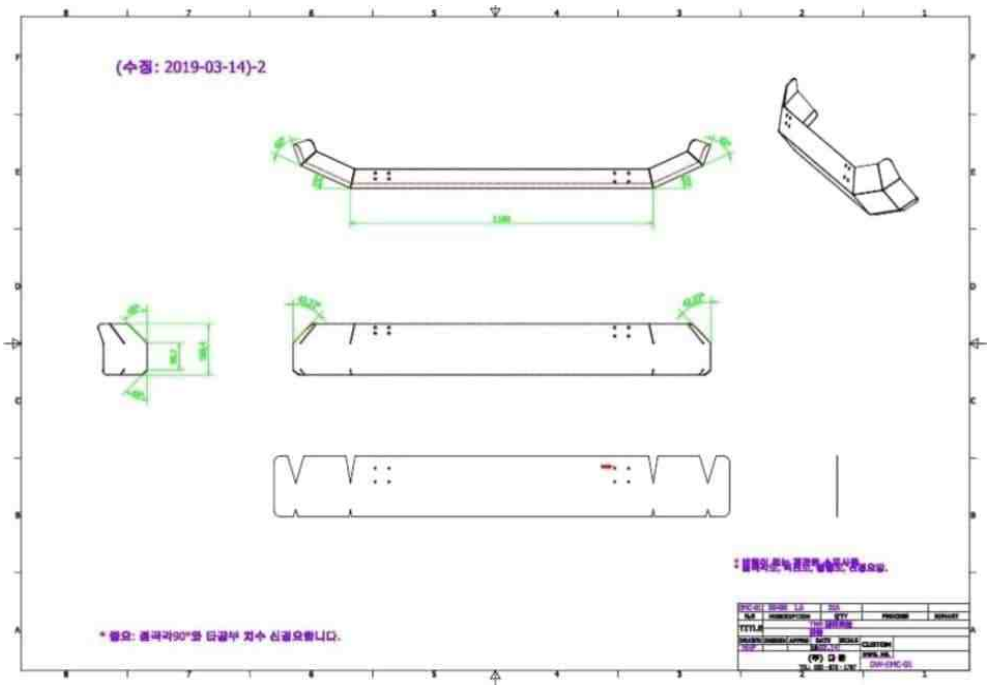


그림 62 안전범퍼 전개도 및 제작조립도

라. TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 상부 믹서부

TMR 급이로봇의 상부에 배합사료를 믹싱하기 위한 믹서를 설치한다.

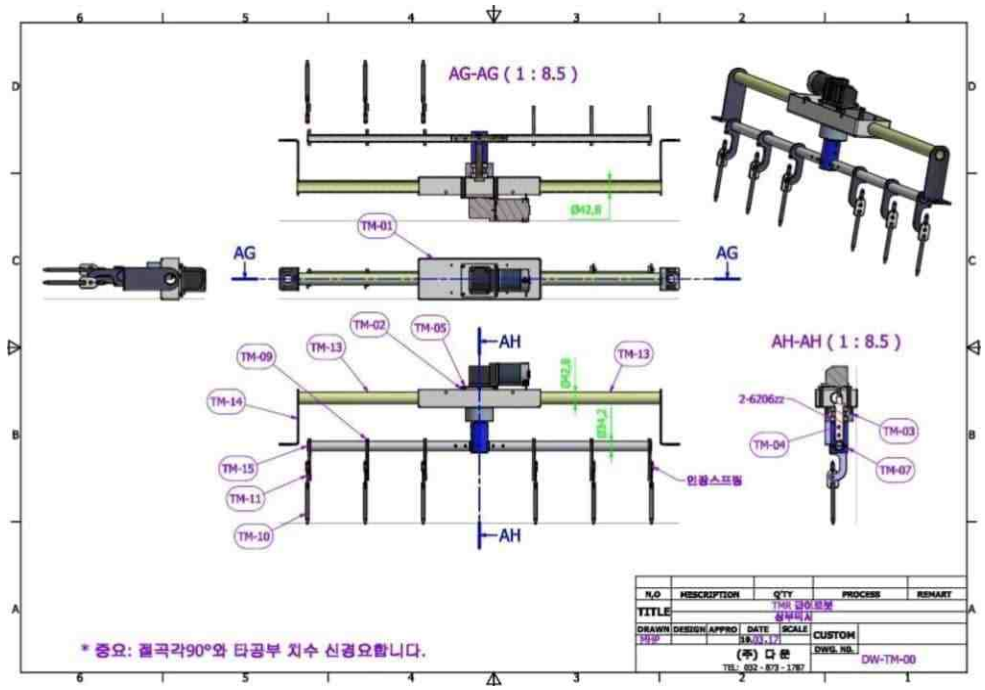


그림 63 상부 믹서의 조립도

그림 64 급이로봇의 상부 믹서 설치 3D 설계도

표 23 측부·상부 제작 및 검증 순서

그림 65 측판제작

그림 66 사료이송 베이스 제작

그림 67 스큐류 제작

그림 68 스크류 격판 제작

그림 69 하측 구동장치 조립완료

그림 70 상부 조립

그림 71 판스프링 방식 제품 제작 테스트

마. TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 제어부 설계 및 제작

TMR 급이로봇의 시스템 제어부가 설치될 공간이다. 각종 Board 및 전선, 모터, 배터리, 드라이브가 급이로봇에 탑재되며 이를 제어할 수 있는 사용자용 제어부가 설계 및 제작된다. 사용자용 제어부에는 전원, 정지, 입력, 취소 등의 기능 버튼 및 키패드, 터치 인식이 가능한 LCD 모니터가 포함된다. 사용자는 LCD 화면을 이용해 진행과정을 볼 수 있고 조작버튼을 사용하여 실시간으로 명령을 입력, 수정, 저장이 가능하다.
기존 연도의 연구개발 성과에서 시작품으로 제조한 제어부의 충분한 성능과 실용성을 사전에 입증한 바 있으므로 당해연도 모델(2019년형) 완제품의 생산을 목표로 디자인을 개선하였다.

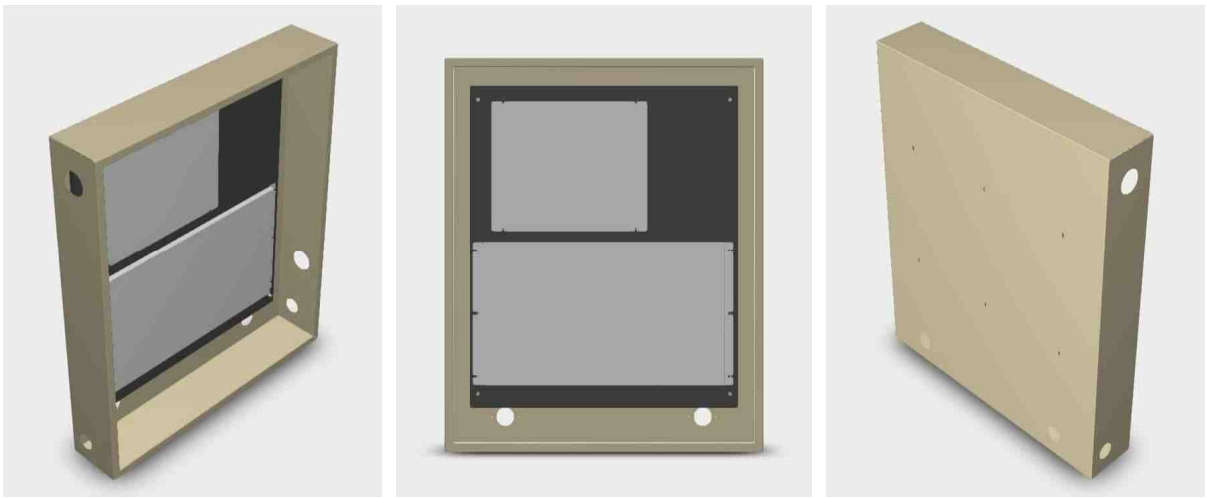


그림 72 사용자용 제어부의 외부 박스 3D 설계

그림 73 사용자용 제어부의 생산과정과 완제품

사용자용 제어부는 제품 완성 후 제어부 단독기능을 실내(lab-scale)에서 1차 작동점검을 수

행한다. LCD의 작동 원활, 작동 키패드의 작동 원활, 설치 소프트웨어의 작동 원활 등을 점검한다. 이후 TMR 급이로봇에 연결하여, 연결기능의 작동점검을 제조공장 실외(lab-scale)에서 2차로 수행한다.

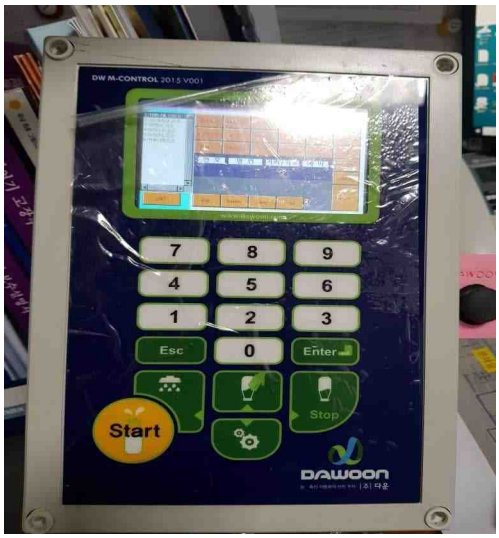


그림 74 사용자 제어부의 LCD 점검

그림 75 급이로봇에 사용자 제어부 설치 후 상태

그림 76 사용자 제어부의 급이로봇 연결성 및 작동성 점검(실외)

설계・제작한 PCB board 및 모터드라이브를 회로도를 기반으로 하여 결선 작업 진행 후, 실제 TMR 급이로봇 운용 가능한 제어부를 구성하였다. 모터드라이브는 결선 상태 및 작동 상태를 점검하였다. 작업 완료 후 사진을 아래에 제시하였다.

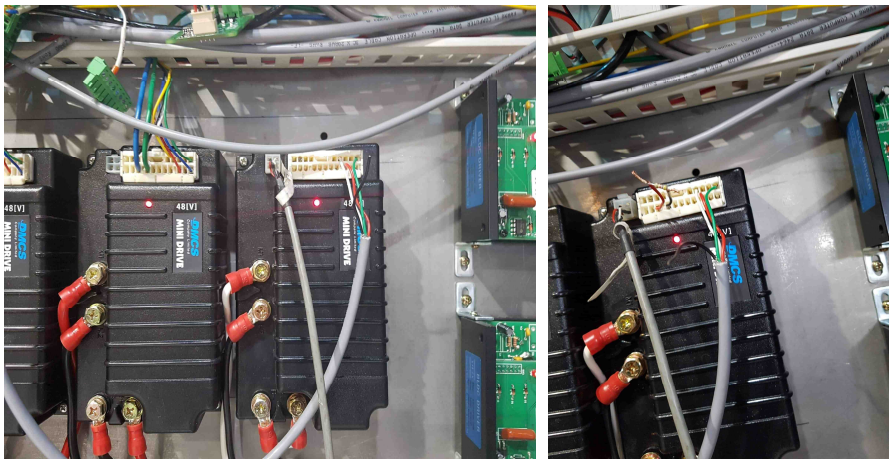


그림 77 모터드라이브 연결 및 작동 확인

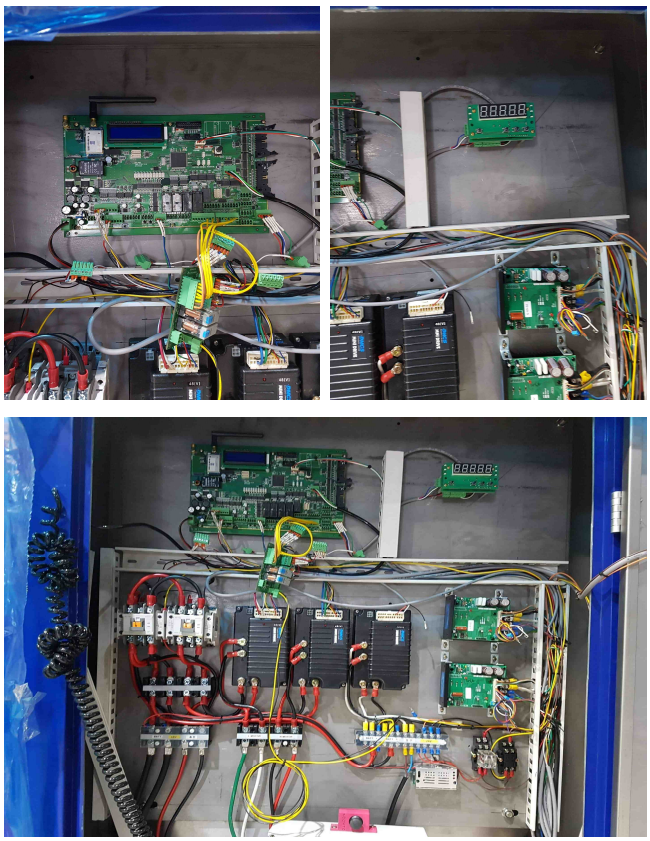


그림 78 결선작업 완료 후 상태

그림 79 급이로봇의 제어부 완성 상태

바. TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 충전부

TMR 급이로봇은 충전장소 자동 복귀 및 충전부에 자동 도킹함으로써 운행을 마치게 된다. 충전부 설계 이미지 및 급이로봇이 충전부에 도킹 시의 설계 이미지를 아래에 제시하였다.

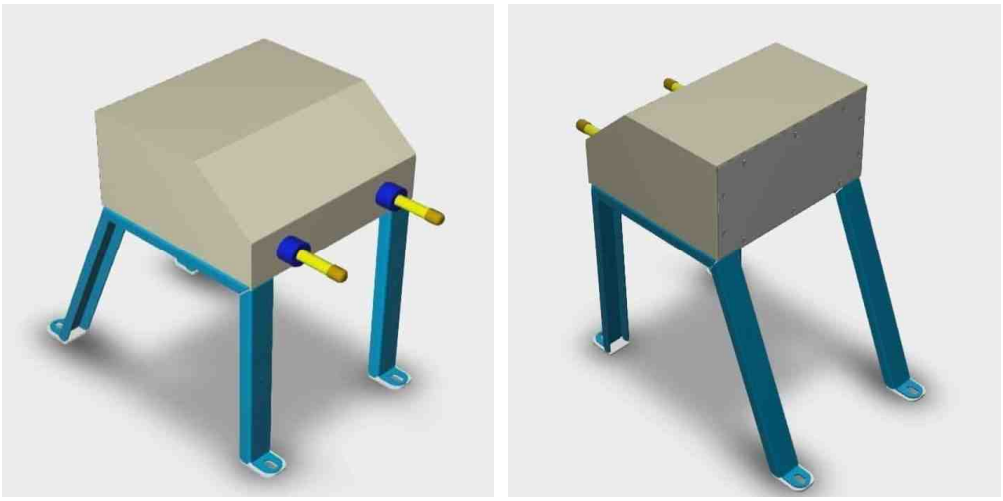


그림 80 충전부 3D 설계도 (등각)

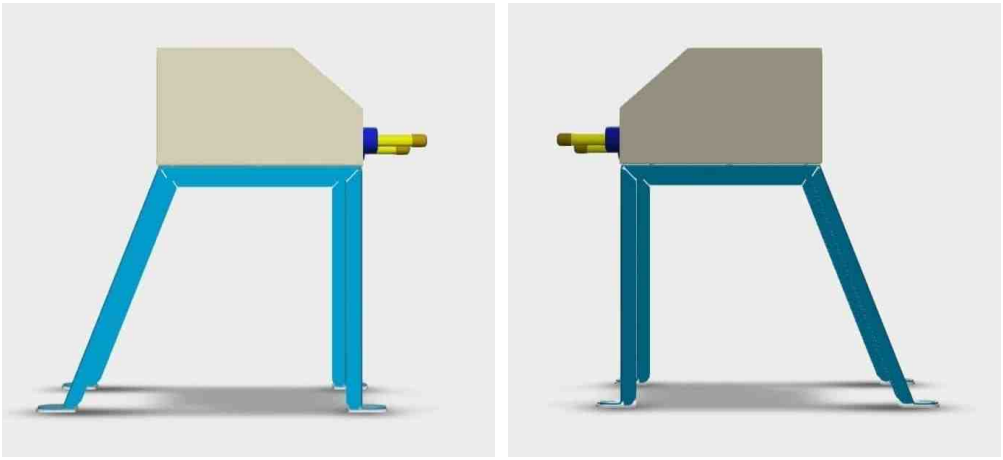


그림 81 충전부 3D 설계도 (좌우측면)

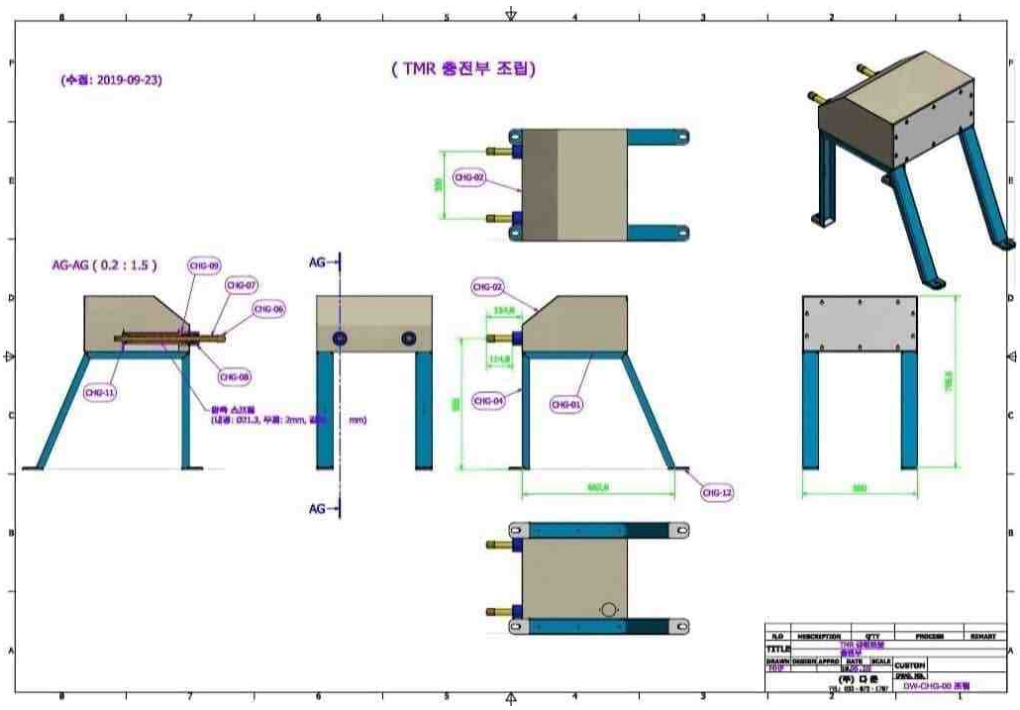


그림 82 충전부 조립도

그림 83 충전부 도킹 시의 급이로봇 3D 설계 이미지

충전기 개발

- 기존 충전기에 대한 많은 문제점을 경험함. 기존 딥사이클 밧데리의 증류수의 잦은 소진으로 인한 밧데리 충전불량으로 많은 수리 서비스 발생. 무인로봇의 특성상 사용자의 관리가 없더라도 문제없이 주행 가능해야함
- 국내 제작되고 있는 충전기중 성능 좋은 제품 확인, 충전 시간별 충전값 검사
- 현장 검증을 통해 안정성 확보했으나 공급 가격이 너무 높음
- 소비자 공급용 제작 필요

표 24 충전기 개선을 위한 제품 검토 사항

고려 제품	검토 사항
	- 젤타입 딥사이클 밧데리로 전량 고체함 - 충전기능 개선
	- 아날로그 충전기 사용 - 충전 잘안됨 - 최소 10A이상의 충전능력이 있어야함.
	- 고출력 충전기 사용 - 충전능력 향상 - 밧데리 과열 - 증류수 소진이 자주됨. - 일주일에 한번정도 증류수 공급필요함. - 밧데리 수명단축 가능성 확인 전량 회수
	- 중국산 고가 디지털충전기 구입 - 현장검증 - 충전전압이 61.4볼트까지 올라감. - 과충전 문제 발생으로 사용불가

고려 제품	검토 사항
	- 국내 제작 제품 A사 - 충전완료가 잘 안됨. - 충전완충이 잘 안되어 로봇의 주행능력이 부실해 짐. - 회수결정
	- 국내 제작 제품으로 다양한 전동차 사용 - 검증시 안정적인 동작 확인됨 - 가격이 너무 높음.

개발관련 협의

48V용 연축전지를 약10간 충전율로 충전할 수 있는 자동충전기 제어보드를 개발하는 걸로 요약됩니다.

제대로 충전하기 위해서는 어느 정도 방전한 상태에서는 정전류 충전으로 충전하다 완충전압에 다달았을 때 정전압 모드로 바꾸어 차량처럼 일정한 전압을 가한 상태에서 유지하는 형태가 가장 바람직해보입니다.

구현방법에 따라 개발할 내용이 많이 달라지므로 다음 사항에 대해 좀 더 자세한 내용이나 선택을 해주시면 개발견적을 드리겠습니다.

1. 전원공급 방법(선택사항)
   1) 약 1Kw급 48V의 트랜스를 쓰는 것으로 전제하고 그 출력을 가지고 콘트롤 보드를 만드는 경우
   2) 약 1Kw급 SMPS를 개발하는 것 포함
2. 전압전류 동시 표현 가능하며, 이것을 쪽기판 형태로 하여 케이스에 붙일 것인지 주 보드에 탑재할 것인지(선택)
3. 디스플레이를 3자리 2조의 FND로 할 것인지 문자형 LCD모듈로 할 것인지(선택)
4. 예상수요(년간) 혹은 개발 후 일괄양도 여부

[참고사항]

12V 4개 혹은 24V 2개의 배터리로 48V를 만들 것이라 여겨집니다만, 직렬로 연결하여 충전을 할 경우 어느 한 배터리가 나빠지면 전체적으로 고르게 충전되지 않거나 특정배터리가 과충전되거나 하는 것은 피할 수 없습니다.

만약, 배터리 중간 연결단자의 전압입력을 받을 수 있다면(선을 콘트롤러로 뺄 수있다면) 심하게 언발란스난 배터리를 경고할 수 있으나 그러지 않을 경우 불균형 발생은 피할 수 없습니다. 병렬로 충전하는 것이 그나마 가장 좋은 방법이나 이 또한 대차의 구조에 따라 가능불가능이 나뉠 것입니다.

직렬로 연결한 배터리의 중간선을 인출할 수 있을 경우 충전자체를 균형있게 할 수도 있으나 이는 아주 고가에만 적용되는 방식이므로 여기서는 적용될 여지가 별로 없을거라 생각됩니다만 참고만 하시길 바랍니다.

(이 방법과 병렬충전을 언급한 이유는 다른 충전기들이 기본적인 충전기능이 미흡한 면이 있을수도 있지만 그거 외에 오래 사용할 경우 배터리의 불균형 충전은 전체적으로 제대로 충전을 못하게 하는 현상을 가속하기 때문에 참고사항으로 적었습니다.)

표 25 충전기 어셈블리 프로그램 예시

```
        TITLE   'SCR-type Charging Controller ;
        LIST    P=16F1829
        INCLUDE         "P16F1829.INC"
;       [OSC=HS         16MHz WDT=ON]
;       [CHKSUM]= 8888
;
; __config 0x2F3C
 __CONFIG _CONFIG1, _FOSC_INTOSC & _WDTE_OFF & _PWRTE_OFF & _MCLRE_OFF & _CP_ON
  & _CPD_OFF & _BOREN_ON & _CLKOUTEN_OFF & _IESO_OFF & _FCMEN_OFF
; __config 0x1AFF
 __CONFIG _CONFIG2, _WRT_OFF & _PLLEN_OFF & _STVREN_OFF & _BORV_HI & _LVP_OFF
;
;================================================
;
;       [ Working Register Define ]
;
;
TMP_FSR EQU     21H
FLAG1   EQU     22H
FLAG2   EQU     23H
TMRtmr  EQU     24H
;
CtlModR EQU     25H
AdcBufH EQU     26H
AdcBufL EQU     27H
CtlVbfH EQU     28H
;       [24/16 bits Div_Sub]

;       24/16 Bit Unsigned Fixed Point Divide 24/16 -> 24.16

;       Input:  24 bit unsigned fixed point dividend in ACCbUP, ACCbHI,ACCbLO
;               16 bit unsigned fixed point divisor in ACCaHI, ACCaLO

;       Use:    CALL    D_divS

;       Output: 24 bit unsigned fixed point quotient in ACCbUP, ACCbHI,ACCbLO
;               16 bit unsigned fixed point remainder in ACCcHI, ACCcLO

;       Result:ACCbRG, ACCcRG(REM)  <--  ACCbRG / ACCaRG

;
D_divS          CLRF            ACCcHI
                CLRF            ACCcLO
                CLRF            temp
                RLF             ACCbUP,W
                RLF             ACCcLO, F
                MOVF            ACCaLO,W
```

```
                SUBWF       ACCcLO, F
                MOVF        ACCaHI,W
                BTFSS       _C
                INCFSZ      ACCaHI,W
                SUBWF       ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSS       _C
                MOVLW       1
                SUBWF       temp, F
                RLF         ACCbUP, F
                MOVLW       7
                MOVWF       count
LOOPU2416A      clrwdt
                RLF         ACCbUP,W
                RLF         ACCcLO, F
                RLF         ACCcHI, F
                RLF         temp, F
                MOVF        ACCaLO,W
                BTFSS       ACCbUP,LSB
                GOTO        UADD46LA
                SUBWF       ACCcLO, F
                MOVF        ACCaHI,W
                BTFSS       _C
                INCFSZ      ACCaHI,W
                SUBWF       ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSS       _C
                MOVLW       1
                SUBWF       temp, F
                GOTO        UOK46LA
;;
UADD46LA        ADDWF       ACCcLO, F
                MOVF        ACCaHI,W
                BTFSC       _C
                INCFSZ      ACCaHI,W
                ADDWF       ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSC       _C
                MOVLW       1
                ADDWF       temp, F
UOK46LA         RLF         ACCbUP, F
                DECFSZ      count, F
                GOTO        LOOPU2416A
                RLF         ACCbHI,W
                RLF         ACCcLO, F
                RLF         ACCcHI, F
                RLF         temp, F
                MOVF        ACCaLO,W
```

```
                BTFSS           ACCbUP,LSB
                GOTO             UADD46L8
                SUBWF            ACCcLO, F
                MOVF             ACCaHI,W
                BTFSS           _C
                INCFSZ           ACCaHI,W
                SUBWF            ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSS           _C
                MOVLW              1
                SUBWF            temp, F
                GOTO             UOK46L8
UADD46L8          ADDWF                ACCcLO, F
                MOVF             ACCaHI,W
                BTFSC           _C
                INCFSZ           ACCaHI,W
                ADDWF              ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSC           _C
                MOVLW              1
                ADDWF              temp, F
UOK46L8           RLF              ACCbHI, F
                MOVLW              7
                MOVWF              count
LOOPU2416B        RLF              ACCbHI,W
                RLF             ACCcLO, F
                RLF             ACCcHI, F
                RLF             temp, F
                MOVF             ACCaLO,W
                BTFSS           ACCbHI,LSB
                GOTO             UADD46LB
                SUBWF            ACCcLO, F
                MOVF             ACCaHI,W
                BTFSS           _C
                INCFSZ           ACCaHI,W
                SUBWF            ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSS           _C
                MOVLW              1
                SUBWF            temp, F
                GOTO             UOK46LB
UADD46LB          ADDWF                ACCcLO, F
                MOVF             ACCaHI,W
                BTFSC           _C
                INCFSZ           ACCaHI,W
                ADDWF              ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSC           _C
```

```
                MOVLW     1
                ADDWF     temp, F
UOK46LB           RLF     ACCbHI, F
                DECFSZ    count, F
                GOTO      LOOPU2416B
                RLF       ACCbLO,W
                RLF       ACCcLO, F
                RLF       ACCcHI, F
                RLF       temp, F
                MOVF      ACCaLO,W
                BTFSS     ACCbHI,LSB
                GOTO      UADD46L16
                SUBWF     ACCcLO, F
                MOVF      ACCaHI,W
                BTFSS     _C
                INCFSZ    ACCaHI,W
                SUBWF     ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSS     _C
                MOVLW     1
                SUBWF     temp, F
                GOTO      UOK46L16
UADD46L16         ADDWF       ACCcLO, F
                MOVF      ACCaHI,W
                BTFSC     _C
                INCFSZ    ACCaHI,W
                ADDWF     ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSC     _C
                MOVLW     1
                ADDWF     temp, F
UOK46L16          RLF     ACCbLO, F
                MOVLW     7
                MOVWF     count
LOOPU2416C        RLF     ACCbLO,W
                RLF       ACCcLO, F
                RLF       ACCcHI, F
                RLF       temp, F
                MOVF      ACCaLO,W
                BTFSS     ACCbLO,LSB
                GOTO      UADD46LC
                SUBWF     ACCcLO, F
                MOVF      ACCaHI,W
                BTFSS     _C
                INCFSZ    ACCaHI,W
                SUBWF     ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSS     _C
```

```
                MOVLW           1
                SUBWF           temp, F
                GOTO            UOK46LC
UADD46LC        ADDWF           ACCcLO, F
                MOVF            ACCaHI,W
                BTFSC           _C
                INCFSZ          ACCaHI,W
                ADDWF           ACCcHI, F
                CLRW
                BTFSC           _C
                MOVLW           1
                ADDWF           temp, F
UOK46LC         RLF             ACCbLO, F
                DECFSZ          count, F
                GOTO            LOOPU2416C
                BTFSC           ACCbLO,LSB
                GOTO            UOK46L
                MOVF            ACCaLO,W
                ADDWF           ACCcLO, F
                MOVF            ACCaHI,W
                BTFSC           _C
                INCFSZ          ACCaHI,W
                ADDWF           ACCcHI, F

UOK46L          RETLW           0x00
;
;
;
;*****************************************************************
;       Double Precision Addition ( ACCb + ACCa -> ACCb )
;
D_add   movf    ACCaLO,w        ; Addition ( ACCb + ACCa -> ACCb )
        addwf   ACCbLO          ;add lsb
        btfsc   _C      ;add in carry
        incf    ACCbHI
        movf    ACCaHI,w
        addwf   ACCbHI          ;add msb
        retlw   0
;
        END
```

사. TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 컨베이어

(1) TMR 사료 이송을 위한 컨베이어 벨트 설계

TMR 급이로봇의 사료 이송 역할을 하는 컨베이어 벨트의 설계 및 조립도를 작성하였다. 벨트의 재질은 변형이 없는 안정성을 고려하여 PVC 소재를 적용하였다. 벨트의 단순 두께는

3 mm이며 전체에 일정 간격으로 높이 25 mm 지그를 고주파 부착하여 섬유질 사료의 이송이 가능하도록 하였다. 컨베이어 벨트의 롤러 지름은 139 mm이며 벨트의 양끝에서 회전한다.

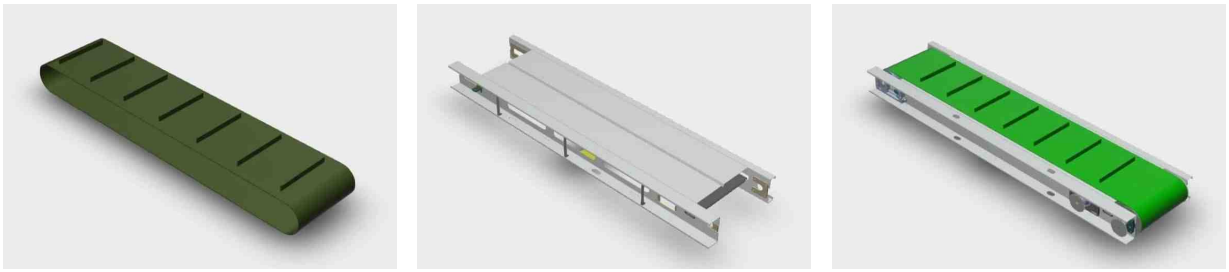


그림 91 컨베이어 벨트 롤러의 조립 단계

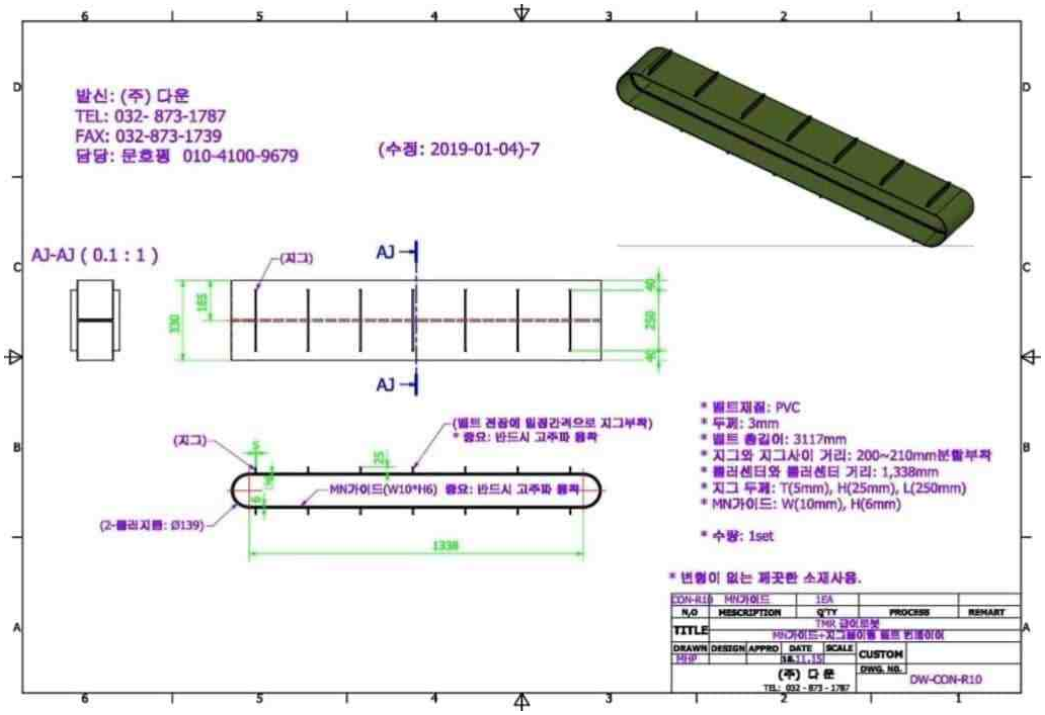


그림 92 컨베이어 벨트 상세 규격

표 26 컨베이어 벨트 롤러 사양

항목	세부사양
벨트 재질	PVC
두께	3 mm
벨트 총 길이	3,117 mm
지그와 지그 거리	200 - 210 mm 분할 부착
롤러 센터와 롤러 센터 거리	1,338 mm
지그 두께	25(H), 250(L), 5(T) mm
MN 가이트	10(W), 6(H) mm
수량	1 set

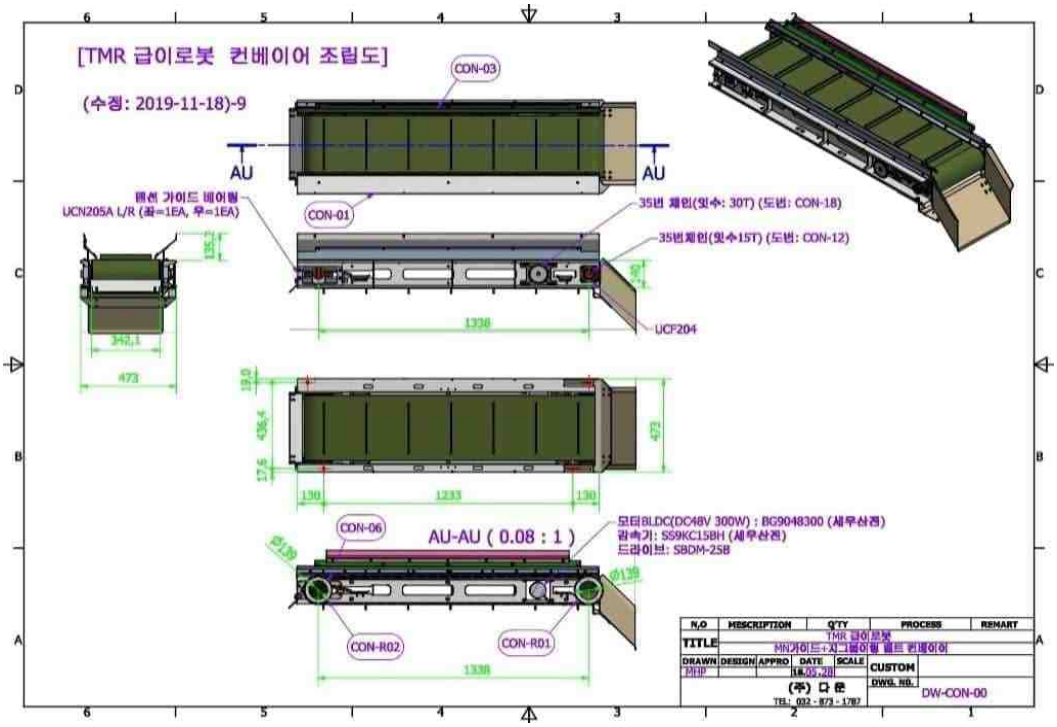


그림 93 컨베이어 벨트 조립도

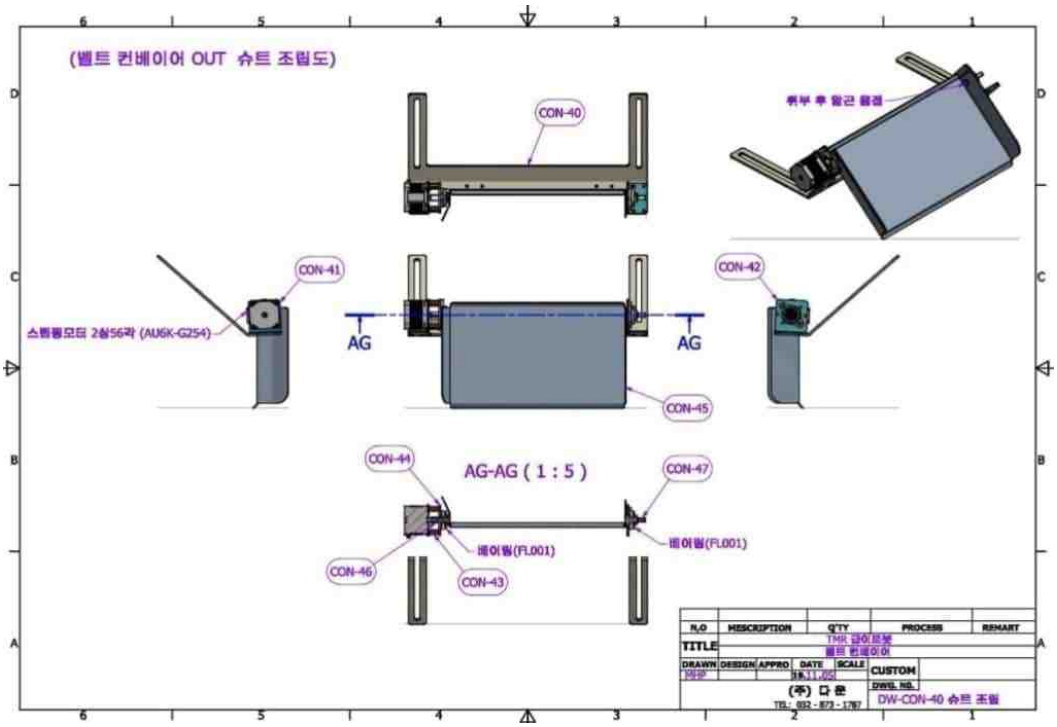


그림 94 컨베이어 벨트 OUT 슈트 조립도

(2) TMR 사료 이송을 위한 컨베이어 벨트 제작 및 사출 능력 검증

섬유질 배합사료는 TMR 급이로봇의 컨베이어 벨트를 통해 이송된 후, 벨트의 말단에서 사출되어 축우가 섭취할 수 있도록 축사 앞에 떨어진다. 컨베이어 벨트의 회전력에 따른 사료

운반 능력은 TMR 사료가 축사 앞에 떨어지는 거리를 결정한다. BLDC 모터가 충분한 RPM을 획득하지 못 하여 컨베이어 벨트의 회전력이 부족할 경우 섬유질 배합사료의 무게로 인해 사료가 조기 탈락하여 TMR 급이로봇 바퀴의 전단부에 추락할 소지가 있고, 충분한 추진력을 얻지 못 한 사료가 축사와의 거리가 먼 위치에 급이되면 축사 옆으로 축우가 머리를 내밀어도 먹이에 닿지 못 할 소지가 있다.

그림 95 BLDC MOTOR (48 V 150 W 제품 적용)

이러한 컨베이어 벨트의 회전력 부족으로 인하여 급이 작업이 적절히 수행되지 못 하는 경우, 축우가 사료를 제대로 섭취하지 못 하는 경우, 사료의 유실 또는 낭비가 벌어지는 문제를 방지하기 위하여 사전에 컨베이어 벨트의 회전력을 검증하여야 한다. 본 연구에서는 컨베이어 벨트의 효율적인 설계와 적절한 롤러 회전의 속도, 그로 인하여 떨어지는 사료의 거리 정도를 사전에 검증하여 컨베이어 벨트의 정확한 설계 요건을 확정하였다.

그림 96 컨베이어 벨트 조립 및 제작 상태

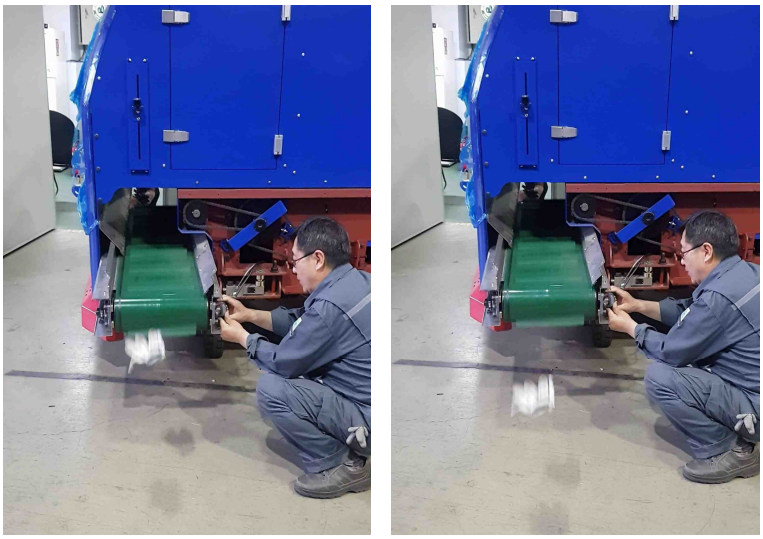


그림 97 컨베이어 벨트의 사출능력 검증

그림 98 컨베이터 벨트로부터 낙하거리 측정 및 적절한 RPM 확정

아. TMR 자동 사료급이 시스템 개선형의 적용 센서

(1) 근거리 탐지 센서

TMR 급이로봇의 외부 프레임의 전면 및 측면에 근거리 탐지 센서를 설치하여, TMR 급이로봇의 주행 안전성을 제고하였다. 급이로봇이 전진할 시 프레임의 전면 및 측면에 부착된 초음파 센서가 주변 거리를 탐지하며, 탐지 범위 내에 장애물이 들어오면 신호를 발생시켜 급이로봇이 속도를 줄이거나 주행을 중단할 수 있도록 한다. 본 연구개발에서는 탐지거리 0.5 - 3 m 범위의 초음파 방식의 거리 탐지 센서를 도입하였다.

그림 99 초음파 거리 탐지 센서

표 27 초음파 거리 탐지 센서 사양

항목	세부사양	비고
모델명	DAS-UDS10	
외형크기	27(W) × 24(H) × 49(D) mm	
중량	25 g	
주파수	40 kHz	초음파
탐지거리	0.5 - 3 m	공장초기값
최대거리	5 m	
전원	15 - 20 VDC	
소비전류	< 30 mA	

그림 100 거리 탐지 센서 테스트

(2) 가이드 센서

TMR 급이로봇의 자율주행 안정성을 보장하기 위하여 가이드센서를 적용하여 급이로봇의 하단에 설치한다.

그림 101 가이드 센서

표 28 가이드 센서 사양

항목	세부사양
모델명	AGS-15
외형크기	155(W) × 50(H) × 29(D) mm
중량	220 g
자석 센서 타입	자석 테이프 N극(폭: 20 - 60 mm)
권장 동작 범위	5 - 20 mm
최대 동작 범위	3 - 40 mm
입력 전압	10 - 32 VDC
소비 전류	< 200 mA
사용 온도	-10 ~ 60℃
자석 감도	5 Gauss 이상 (North-pole)
자석 검출 범위	140 mm (10 mm 간격)
센서 감지 출력 전압	-5 ~ 5 VDC
게이트 출력	+50 VDC
응답 시간	2.0 ms

자. TMR 자동 사료급이 시스템 개선형(2019년형) 제품 제작

(1) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 외부 커버 제작

TMR 급이로봇의 커버 제작에 앞서 Solid works 기반으로 3D 설계한 외부 커버를 목형으로 예비 제작하였다. 이는 실제 개선형(2019년형) 제작에 들어가기 전 설계 디자인의 점검 및 외부 커버의 결합부, 조립성을 선행 검증하기 위한 사전작업이다. 목형 예비 커버를 제조 후 조립의 결합성에 문제가 없음을 확인하였으며, FRP 소재를 채택하여 실제 개선형 모델의 외부 커버 제작에 착수 및 완성하였다.

그림 102 외부 커버 목형(예비 제작)

그림 103 외부 커버 FRP 제작(실제품용)

그림 104 측면, 후면 프레임의 제작 및 조립 현장

(2) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형의 하부 제작

TMR 급이로봇의 하부 프레임 및 이동부를 제작하였다. 모든 제작은 주관연구기관(주식회사

다운)의 인천 소재 공장에서 설계에 따라 전문 기술인력으로 자체 제작하였다. 하부 프레임의 경우 초기 제작 상태에서 바퀴 연결 점검을 수행한 후 도색, 구동부 설치를 진행한다.

그림 105 TMR 급이로봇 제작 현장(주식회사 다운 공장)

그림 106 TMR 급이로봇의 하부 프레임 초기 제작

그림 107 TMR 급이로봇의 하부 프레임 용접

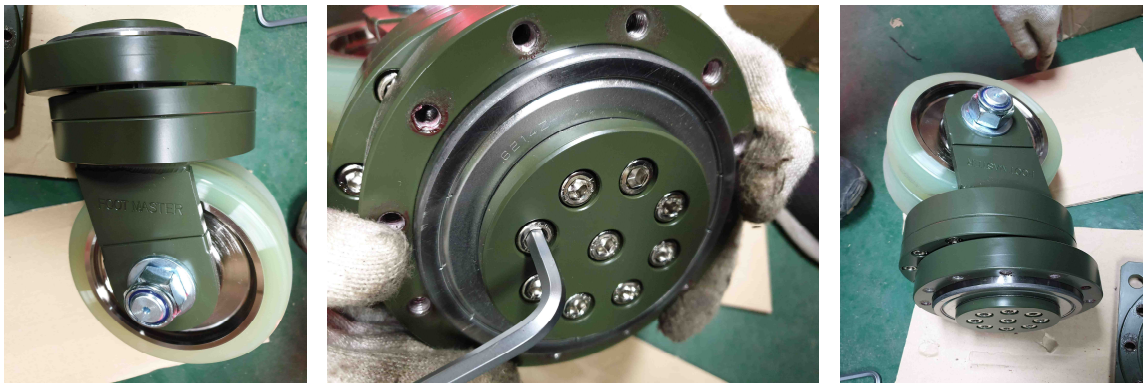


그림 108 구동 바퀴의 조립

그림 109 하부 프레임의 바퀴 연결 상태

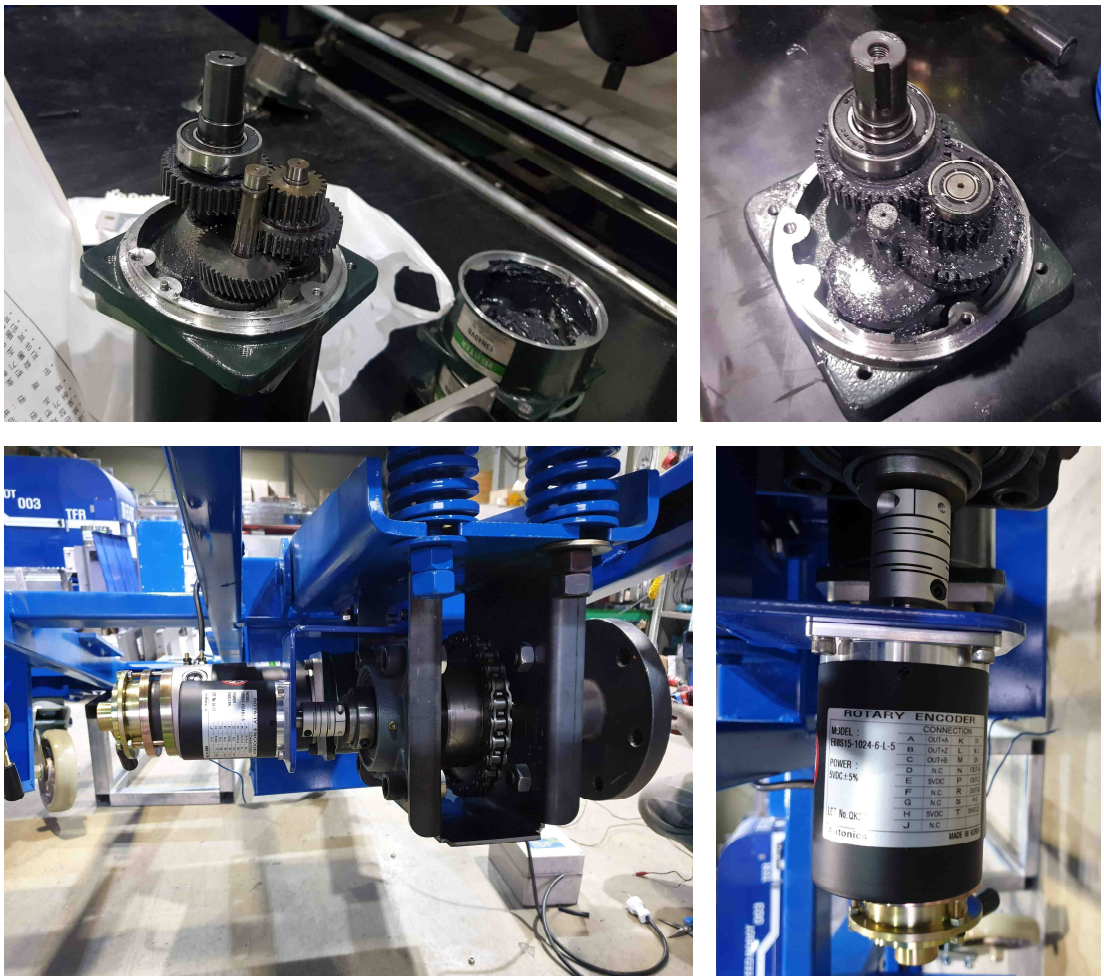


그림 110 로터리 엔코더의 구동부 설치 작업(하부 프레임은 도색 상태)

그림 111 구동부 완성 및 후륜 바퀴 조립 준비 상태

그림 112 컨베이어 체인 부품 및 설치 상태

기존 수입하여 사용하였던 체인을 국산화 개발하였다. 수입제품에 대한 의존도를 낮추고 수입기간으로 인해 제조 시일이 지연되는 문제점을 해결하기 위해 개발 및 제작하였다. 개발된 체인은 자체 검증을 거쳐 2019년형 모델부터 전량 국산화 부품을 적용하였다.

그림 113 컨베이어 벨트 제작 작업 및 완료 상태

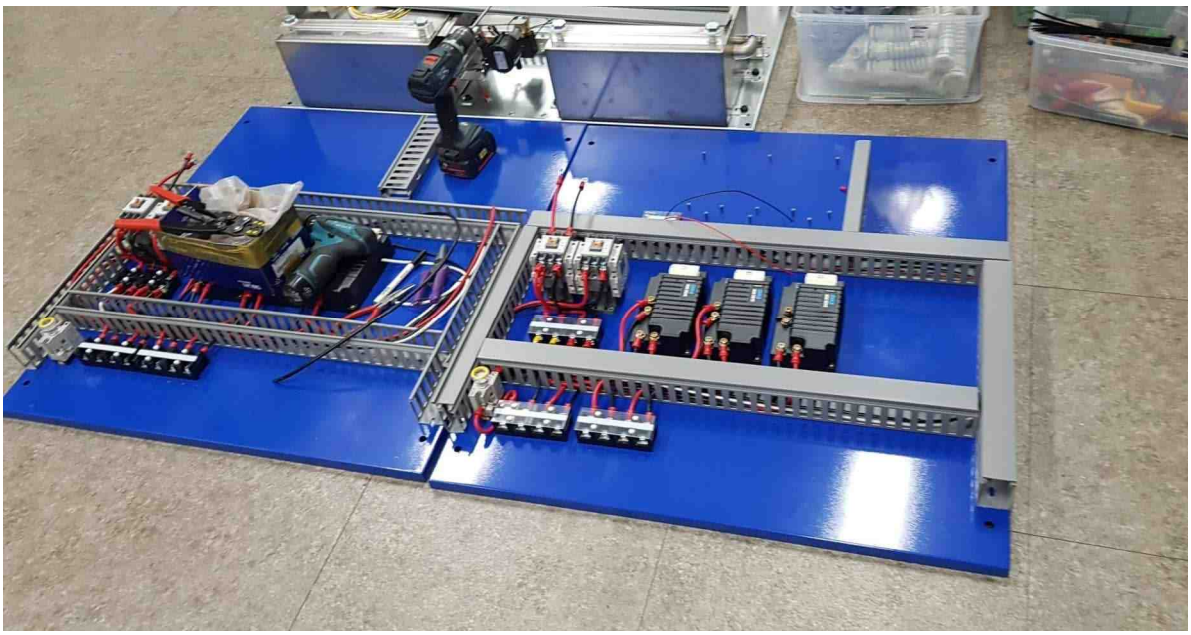


그림 114 제어부 결선 작업 및 TMR 급이로봇에 설치 준비 상태

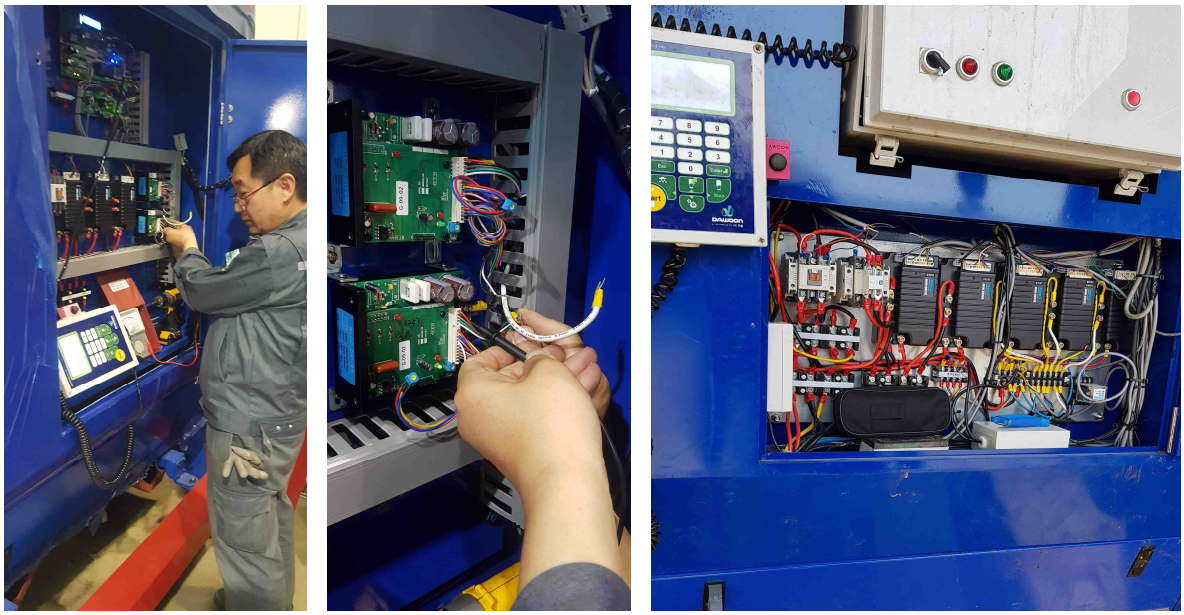


그림 115 제어부 TMR 급이로봇에 설치 작업 및 완료 상태

그림 116 TMR 급이로봇의 하부(좌), 상부(우) 조립 상태

그림 117 TMR 급이로봇의 상하부 조립 및 커버 조립 상태

그림 118 후륜 바퀴 완성 상태 점검

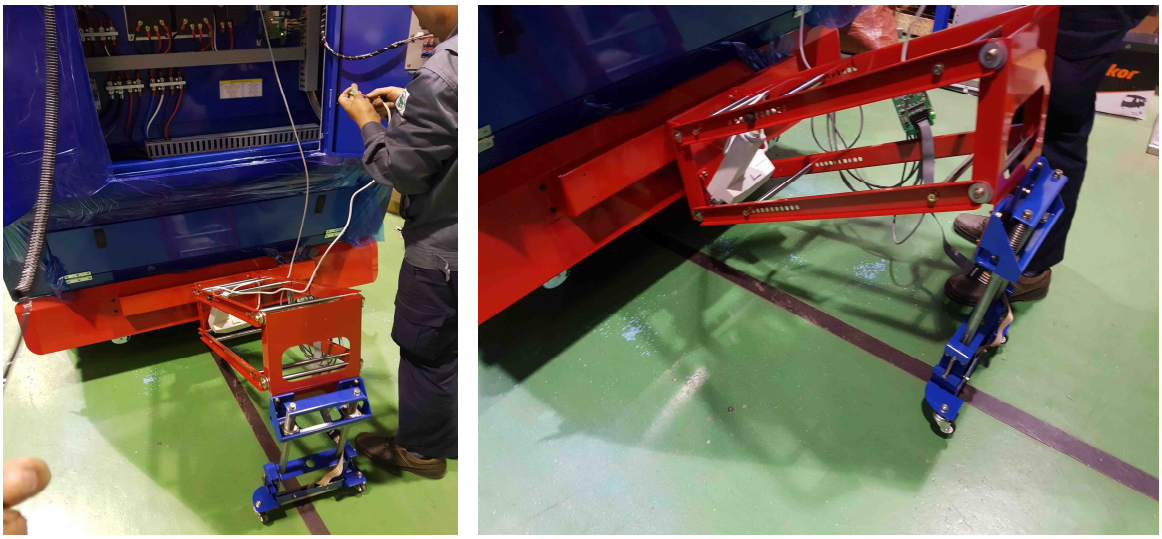


그림 119 가이드 센서 설치 및 마그네틱 코일 감지능력 점검

(3) TMR 자동 사료급이 시스템 개선형 제품 완성

TMR 급이로봇의 각 부를 제작·조립하여 시제품을 완성하였다. 아래 그림은 출고 전 형태로, 배송 중 손상을 방지하기 위하여 외부 커버에 비닐을 부착한 상태이다. 제품 완성을 마친 후에는 실제 농가 현장에 도입하기 전, 주관연구기관 제작 현장의 외부(lab scale)에서 기능 및 작동 점검을 수행하였다.

그림 120 TMR 급이로봇의 제품 완성 후 출고 전 상태

그림 121 TMR 급이로봇의 출고 전 작동 점검(주식회사 다운 공장 외부)

2. 자동 사료 급이로봇 설치 및 시스템 연동

가. 자동 사료 급이로봇의 Test-bed 설치(국립축산과학원 축산연구소)

Test-bed 검증은 농촌진흥청 산하 국립축산과학원의 축산연구소(충남 천안시 서북구 성환읍 소재)의 실험용 우사에서 수행하였다. 검증 수행을 위하여 제조공장에서 기능을 검사한 TMR 급이로봇(2019년형) 시제품을 test-bed로 이송하였고, 실험용 우사의 TMR 사료 배합기에 급이로봇과 연동 가능한 제어기를 설치하였다.

그림 122 Test-bed 로 TMR 급이로봇 이송

그림 123 TMR 사료 배합기에 급이로봇 제어기 설치 상태

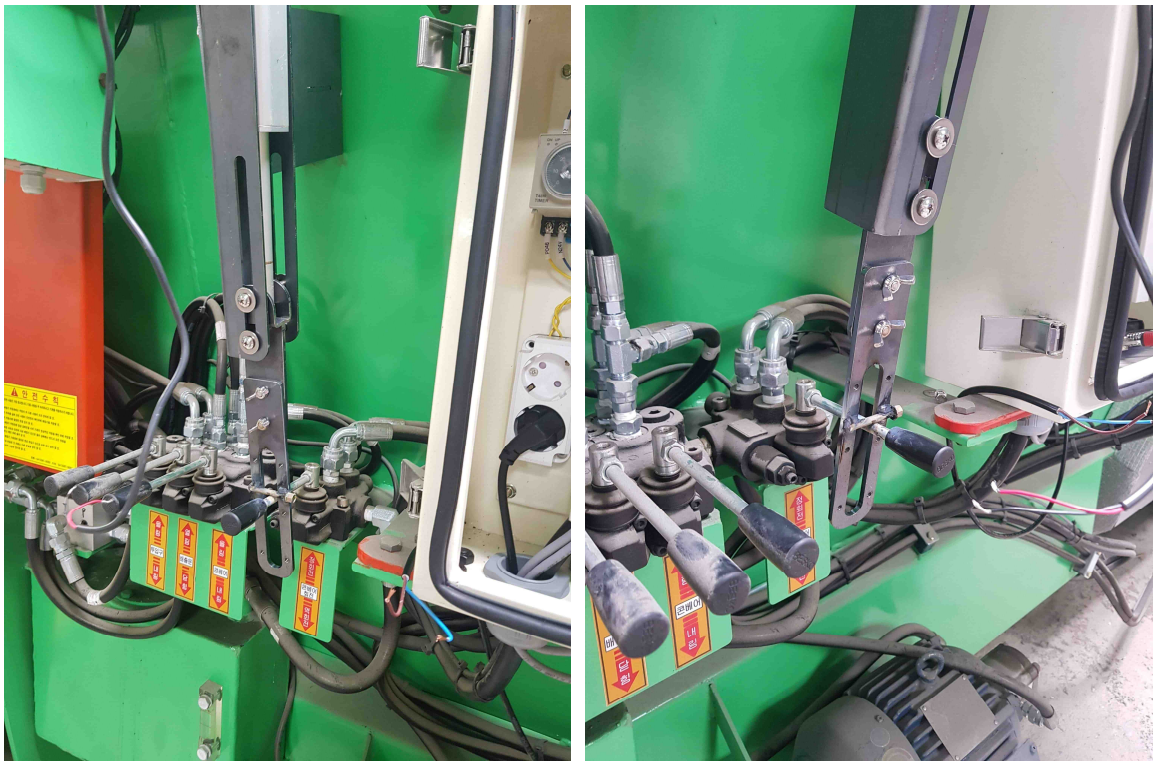


그림 124 TMR 급이로봇 제어기 및 사료 배합기 결선 상태 점검

나. 자동 사료 급이로봇의 Test-bed 운영

TMR 급이로봇의 주행을 위하여 제어부의 통신을 연결하였고 시험주행을 실시하여

calibration 진행하였다. 시험 주행은 라인 주행 기능 및 정지기능을 우선 시험한 후 급이기능을 시험하였다.

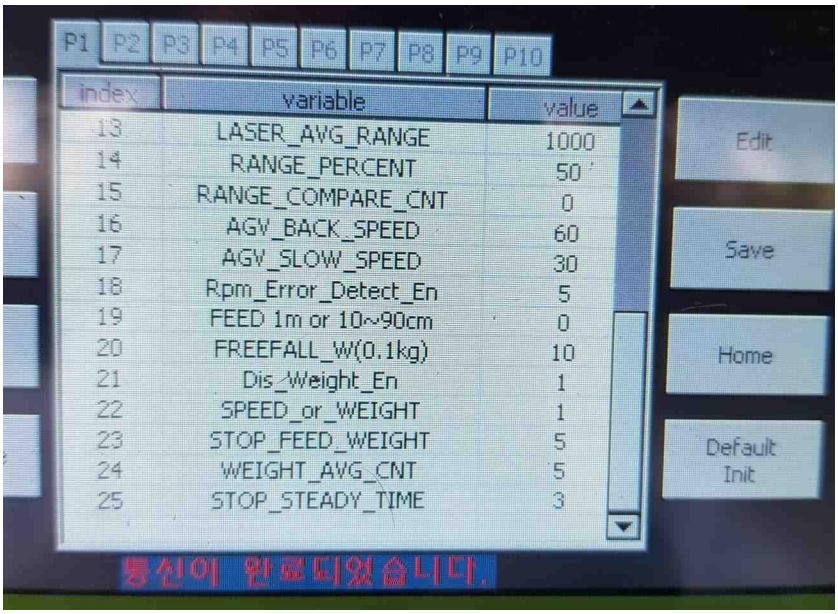


그림 125 통신 연결 완료

그림 126 Calibration 완료

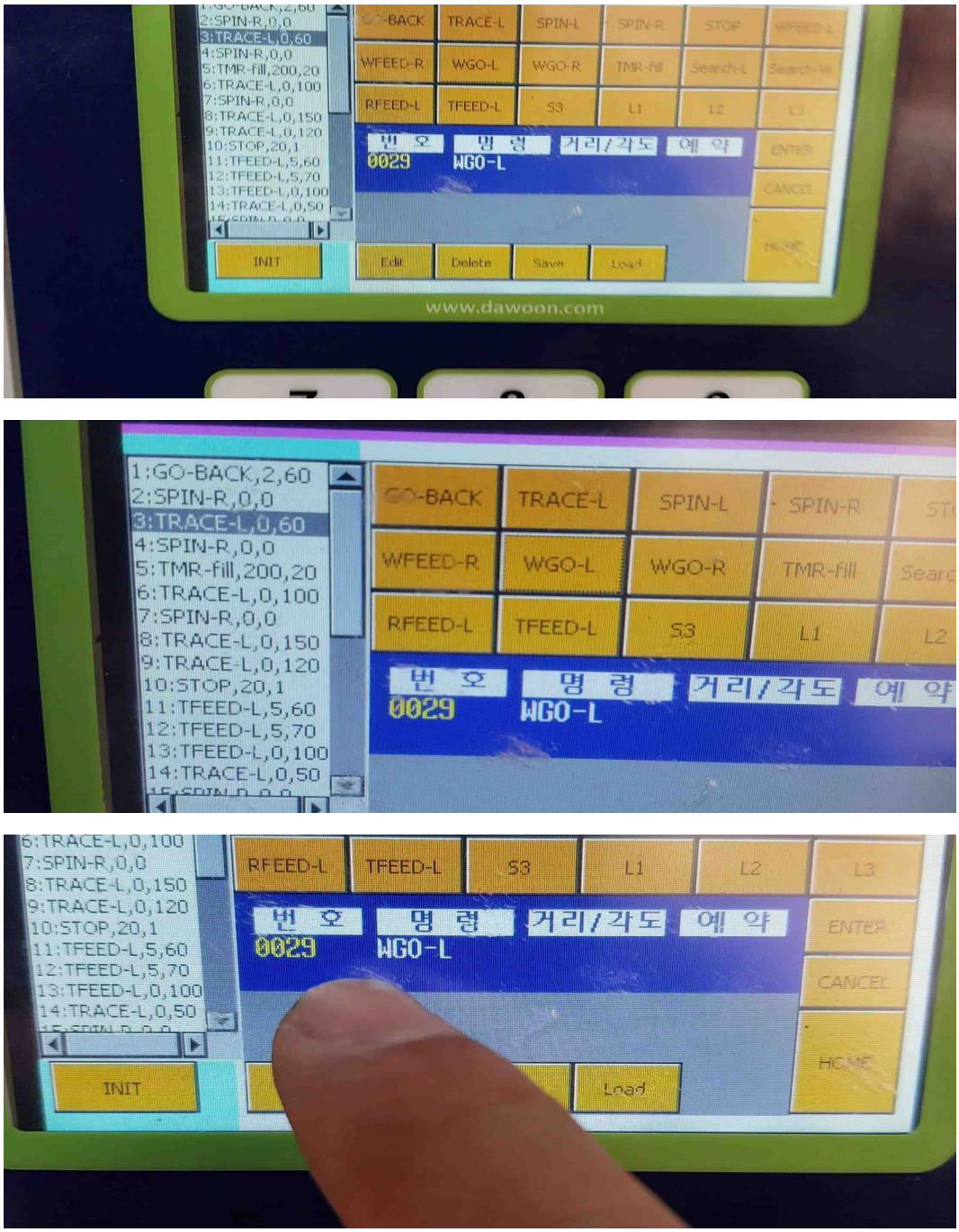


그림 127 명령 번호 및 명령 내용을 지정

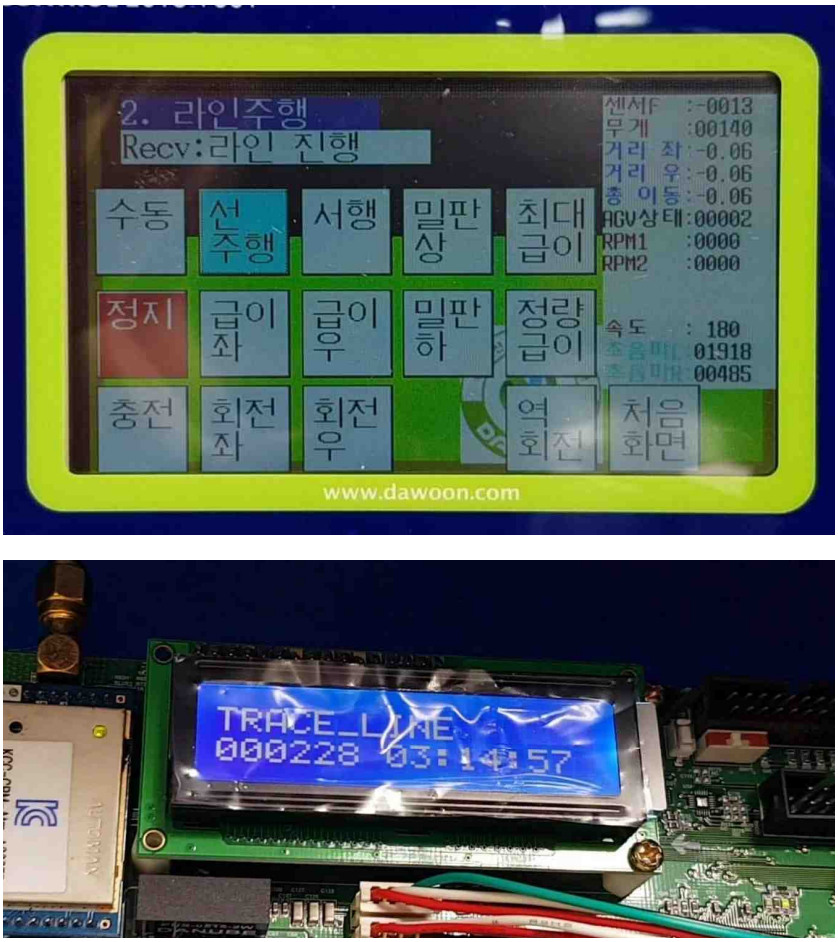


그림 128 라인 주행명령 시 동작 상태(제어부)

그림 129 라인 주행명령 시 급이로봇 하단 가이드센서 동작 중

그림 130 라인 주행명령 시 이동속도의 증감 기능 시험

그림 131 급이 목표량 시험설정 및 동작명령 시험

그림 132 급이 진행 및 급이 중지 시험

그림 133 명령 완료 시 모두 정지 화면

그림 134 실제 급이 목표량 설정 및 시험 급이 수행

3. 자동급이 시스템, 사료섭취량 조사 시스템의 통합 시스템 구축

가. TMR 자동 사료 급이 시스템의 무선 패킷 개발

TMR 급이로봇과 사료섭취량 시스템을 연동을 위하여 통신 프로토콜이 요구된다. 통신은 자동 급이로봇과 사료섭취량 시스템 연결기 간의 무선통신을 기본으로 하고, 무선통신을 통하여 섭취량시스템 사료조의 사료 잔량을 확인 및 사료량이 부족한 사료조에 TMR 급이로봇이 이동하여 TMR 사료를 공급함을 복적으로 한다.

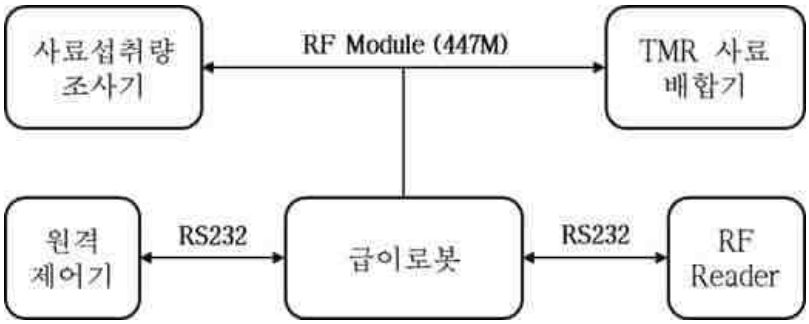


그림 135 사료섭취량 조사기 및 급이로봇의 통신 모식도

표 29 사료섭취량 조사 시스템과 연동하기 위해 개발 요구되는 사항

개발 위치	추가 개발 요구사항
TMR Main	- RF Reader H/W 인터페이스 - RF Reader 통신 F/W 인터페이스 - 섭취량조사기 통신 F/W 인터페이스 - Line Trace 기능 + RF tag 인식 주행 처리 기능 - RF Tag Feed 경로 추가 - RF Reader RS232C포트 TMR 추가 필요
원격 제어기	- RF Tag Feed UI 및 command 추가

사료섭취량 조사 시스템의 사료조에 사료잔량이 부족하다고 판단될 경우, TMR 급이로봇이 급이를 개시하기 위한 기준항목 설정 및 기준치 판단이 요구된다. 급이가 개시되기 위한 조건을 판단하는 기준항목은 아래 요소이다.

표 30 사료조에 급이로봇이 급이 개시하기 위한 조건 항목

항목	항목 정의
최저 기준 잔량(A)	사료 추가 공급을 위한 최저 기준 잔량
보충 급이량(B)	A값이 기준 이하일 때 공급할 사료량
현재 잔량(C)	현재 사료 잔량 (사료조 번호 n)
TMR 사료 무게(D)	TMR에 적재된 사료 무게

위와 같은 항목에서 C(n) < A일 때 TMR 급이로봇의 급이가 개시된다.

표 31 TMR 급이로봇과 섭취량 조사 시스템 연동을 위한 통신 패킷 예시

<table>
<tr><th>항목</th><th>통신 패킷 예시</th></tr>
<tr><td>RF Tag Reader</td><td>Baud rate:9600bps, 8bit, none, stop bit:2
5.2 Packet (Rx only)
<table><tr><td>02 Head</td><td>2bit+ 8bit card number(ASCII)</td><td>Check value</td><td>0D</td><td>0A</td><td>03Tail</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>섭취량 조사 시스템</td><td>Baud rate:9600bps, 8bit, none, stop bit:1
Tx packet
<table><tr><td>HEAD
(0xAB)</td><td>Op
(0x01)</td><td>Data Length
(0x01~0x3F)</td><td>Data</td></tr></table>
Data
<table><tr><td>Addr
(‘2’)</td><td>RecNo
(‘0’~‘9’)</td><td>0x0D</td></tr></table>
Rx packet
<table><tr><td>Data Length
(0x01~0x3F)</td><td>Data</td></tr></table>
Data
<table><tr><td>Addr
(‘2’)</td><td>RecNo
(‘0’~‘9’)</td><td>L(1)NXX
(‘1’~‘9’)</td><td>L(1)XNX
(‘1’~‘9’)</td><td>L(1)XXN
(‘1’~‘9’)</td><td>…</td><td>L(8)NXX
(‘1’~‘9’)</td><td>L(8)XNX
(‘1’~‘9’)</td><td>L(8)XXN
(‘1’~‘9’)</td><td>0x0D</td></tr></table></td></tr>
</table>

통신을 위한 모뎀은 높은 수신감도와 좁은 대역폭으로 RF 송수신이 가능한 모델을 채택하였다. 사용자가 손쉽게 제어할 수 있도록 UART 인터페이스를 제공하고, 외부의 호스트 컴퓨터나 MCU (micro-controller unit)를 사용하여 인식할 수 있는 데이터를 전달하면 RF 송수신 동작을 수행 가능하다.

그림 136 RF 모뎀

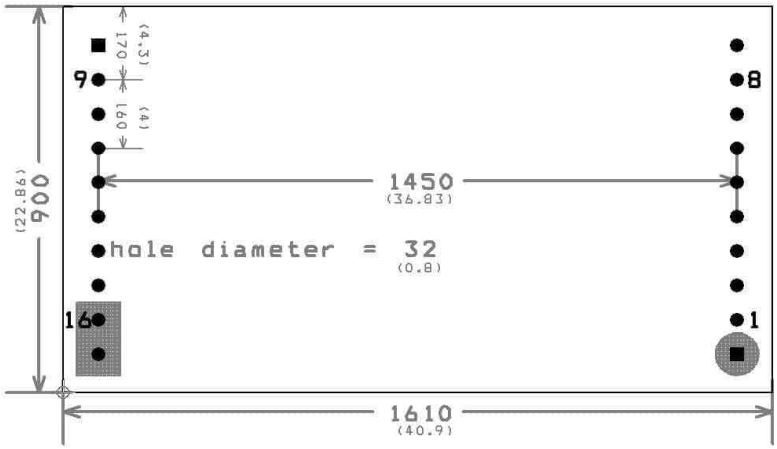


그림 137 RF 모듈 규격

표 37 RF 모듈 사양

항목		세부사양
일반 사항	모델명	A3007B
	전원 전압	3.3 - 8 V
	UART data rate	9.6 KBps
	RF data rate	KBaud
	RX to TX turn time	12 ms
	TX to RX turn time	2 ms
	Modem power on time	100 ms
	RF impedance	50 Ω
	작동 온도	-30 ~ 80 ℃
송신	RF 전력	-20 ~ 11 dBm
	소비 전류	45 mA
	변조	1.0 - 2.0 KHz
	Spurious	45 dBc
수신	감도	-110 ~ -120 dBm
	소비 전류	35 mA

나. TMR 자동 사료 급이 시스템의 RF 방식 적용

RF 방식을 TMR 자동 사료 급이 시스템에 연결하여 test-bed 현장(국립축산과학원 실험용 우사)에서 운영하였다. Test-bed 실험용 우사에는 사료섭취량 조사 시스템, TMR 급이로봇을 함께 적용하여 개발기술의 연동성이 원활한지 시험 가동하였다.

RF 방식 연동을 위하여 TMR 자동 급이로봇의 펌웨어 업그레이드, 사료섭취량 조사 시스템의 펌웨어 업그레이드를 진행하였다.

TMR 급이로봇에는 RF Reader를 부착하였고, 사료섭취량 조사 시스템의 사료조에는 RF Tag를 부착하여 사료조에 부여된 번호를 RF 통신기술로 인식한 급이로봇이 사료잔량이 부족한 번호의 사료조에 적절한 양의 TMR 사료를 공급할 수 있도록 한다.

그림 138 사료섭취량 조사 시스템(국립축산과학원 실험용 우사, 주식회사 다운 제품)

그림 139 사료섭취량 조사시스템의 제어기에 급이로봇 통신기술 연동

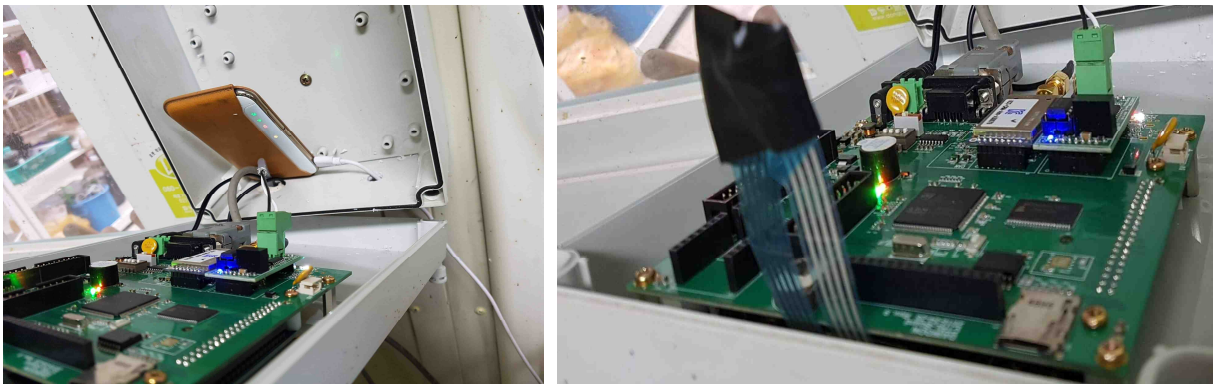


그림 140 통신기술 적용을 위한 제어기 펌웨어 업그레이드 및 점검

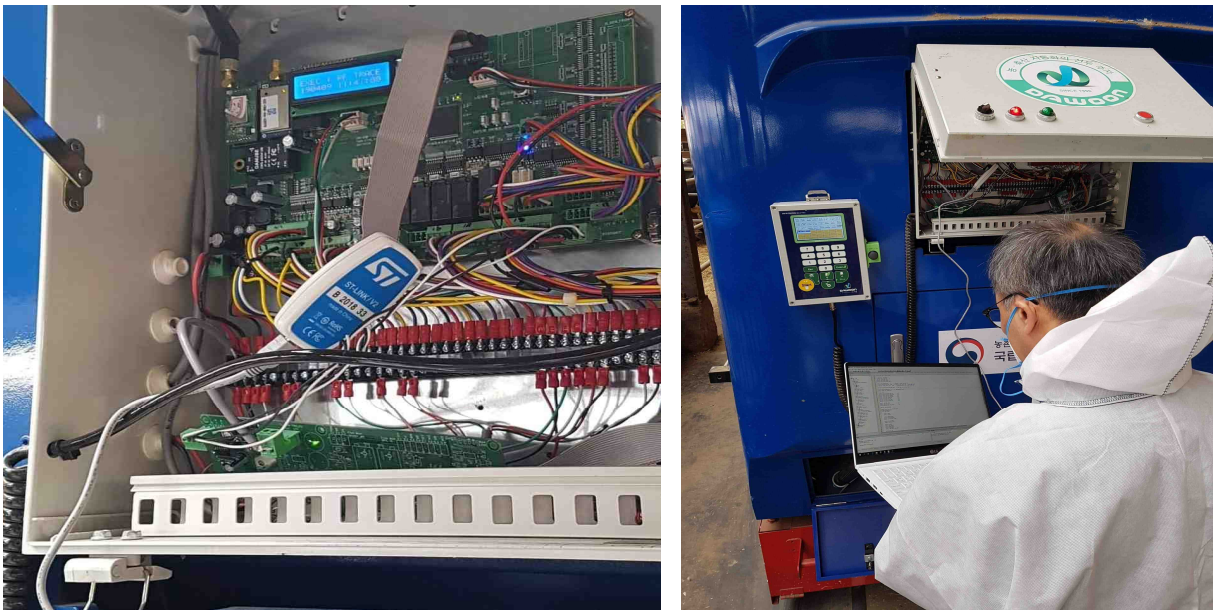


그림 141 RF 통신기술 적용을 위하여 급이로봇 펌웨어 업그레이드

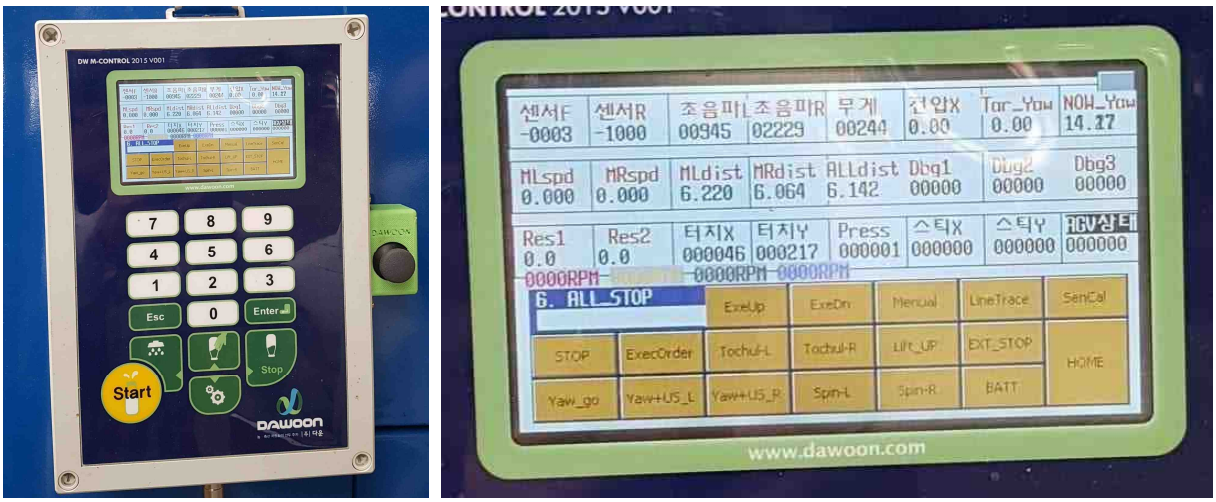


그림 142 급이로봇의 사용자 제어부에서 RF 모듈 적용을 확인

그림 143 RF Reader를 급이로봇에 장치한 상태

그림 144 RF Reader 부착한 상태에서 기능 점검

TMR 급이로봇과 사료섭취량 조사 시스템의 연동을 위하여, 자율주행 중에 급이로봇이 사료섭취량 조사기의 사료조에 충돌하지 않고 안정적으로 진로를 유지하기 위한 개선책이 요구되었다.

사료섭취량 조사 시스템의 사료조 앞을 직접 주행하기 전에, 바닥에 임시로 가설한 주행 지시 라인을 따라 급이로봇이 안전하게 주행하는지 선행 점검을 거쳤고, 이 주행 지시 라인을 사료섭취량 조사기의 사료조 앞에 실제 설치 후 급이로봇의 주행을 2차 점검을 수행하였다. 1차, 2차 점검 모두 급이로봇은 주행 지시선을 침범하지 않고 사료조에 충돌하지 않게 자율주행하였다.

그림 145 사료조 충돌을 방지하기 위한 지시선 설치 및 TMR 급이로봇의 주행 점검

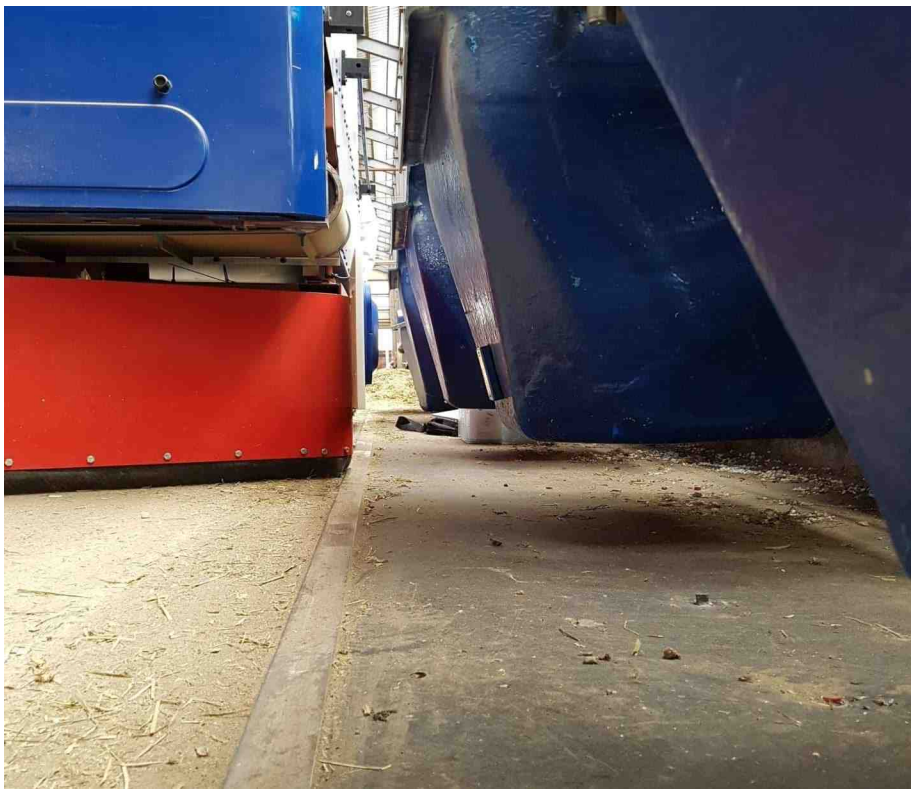


그림 146 사료조에 충돌하지 않는 TMR 급이로봇의 안정적인 주행

또한 사료섭취량 조사 시스템과 TMR 사료 급이로봇이 연동하려면, 사료조 안에 TMR 사료가 공급되도록 급이로봇의 사료 토출구 위치와 섭취량조사기의 사료조 위치가 적절히 맞아야 한다. 따라서 급이로봇의 정지 시 사료가 토출되는 컨베이어 벨트의 위치가 사료조의 위치와 일직선이 되는지 주의할 필요가 있으며, 급이로봇이 사료조 앞에 충분히 도달하기 전

주행을 먼저 정지하거나 사료조를 지나쳐 정지할 경우, 컨베이어 벨트에서 토출된 TMR 사료가 섭취량 조사 시스템의 사료조를 이탈해 축사 주변에 떨어지는 상황이 발생할 우려가 있다.

이렇게 TMR 급이로봇이 적정거리를 확보하지 못 하고 토출된 TMR 사료가 사료조 내에 안정적으로 투하되지 못 할 경우, 사료가 섭취량조사 시스템 주변에 떨어져 낭비되고, 낭비된 사료를 치우는 일에 불필요한 노동력이 소모될 수 있다. 이러한 문제를 미연에 방지하기 위하여 TMR 급이로봇의 사료 토출구의 위치가 섭취량 조사 시스템의 사료조 앞에 적절히 정지하는지 정지거리를 점검하였다.

그림 147 사료섭취량 조사 시스템의 사료조에 번호 부여 및 RF Tag 부착

그림 148 급이로봇의 RF Reader가 사료조의 RF Tag를 인식하여 해당 사료조 앞으로 이동

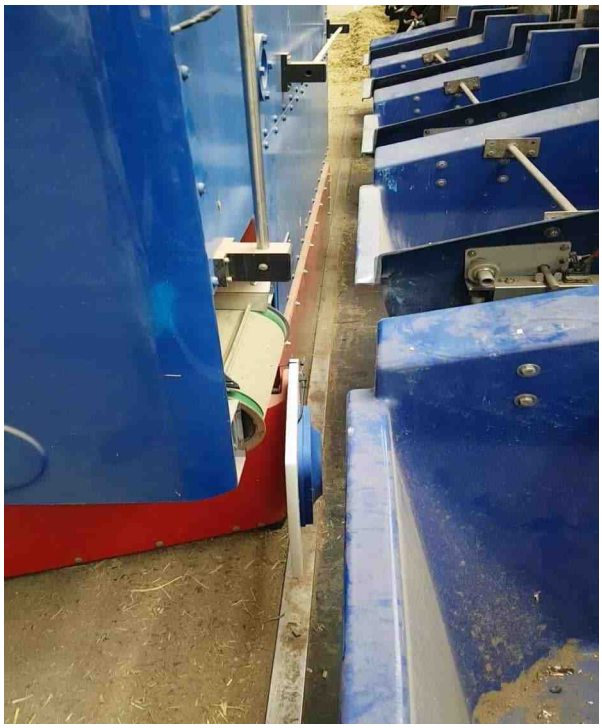


그림 149 급이로봇의 사료조 앞 정지(부적정)

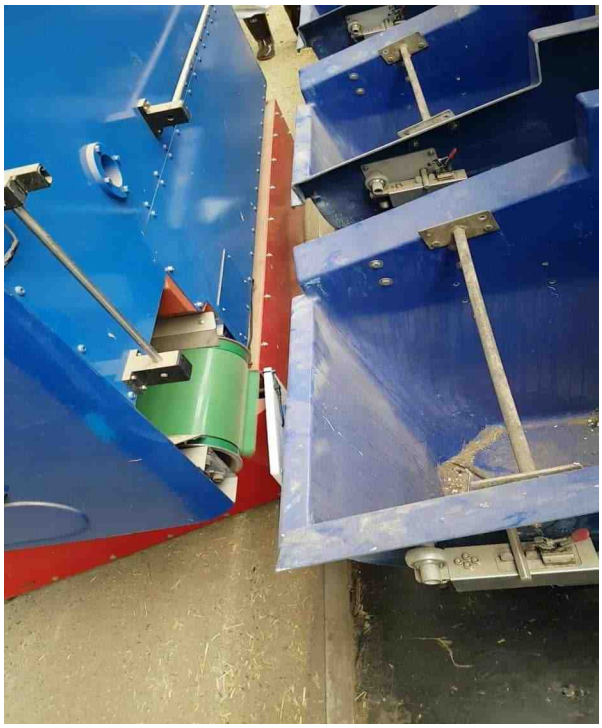


그림 150 급이로봇의 사료조 앞 정지(적정)

그림 151 급이로봇의 사료토출구와 사료조 위치가 일직선

4. 메인 프로세서 및 웹 서버 데이터 연계 처리

가. TMR 자동 사료 급이 시스템의 통신 규약

TMR 자동 사료 급이시스템에서 웹사이트로 급이 자료 및 동작상태 모니터링 자료를 송신

한다. 이를 위하여 TMR 자동 사료 급이 시스템의 메인프로세서와 웹 서버 간의 통신 규약을 정의하였다.

MQTT 기반의 표준 IoT 프로토콜을 적용하였으며, data sheet, chart, grid 방식 등 접근유연성을 고려하여 독자적인 data를 유지하면서 내부 공유가 가능한 시스템을 구축하였다. 설정값 변경 또는 저장 시 event 발생 로직을 통하여 Web server로 데이터를 자동전송, server 변경사항을 자동 수신하여 적용하는 시스템을 구현하였다.

표 38 TMR 급이로봇 정보 웹 전송 API

JSON 예제	JSON 적용	Description
"COMPCD":"9999"	"COMPCD":"9999"	농장 코드
, "TMRCD":"97"	, "TMRCD":"97"	TMR 기기코드
, "TMRDATE":"2019-05-09"	, "TMRDATE":"2019-05-09"	작동일시
, "STARTTIME":"03:00"	, "STARTTIME":"03:00"	시작시간
, "ENDTIME":"03:48"	, "ENDTIME":"03:48"	종료시간
, "ACTCD":"97"	, "ACTCD":"97"	메모리No
, "STARTFEEDAMT":"36120"	, "STARTFEEDAMT":"36120"	시작사료량
, "CHARGINGAMT":"50000"	, "CHARGINGAMT":"50000"	사료충전후 사료량
, "ENDFEEDAMT" :"35700"	, "ENDFEEDAMT" :"35700"	동작 완료후 사료량
, "TOTALDSTNC":"1280"	, "TOTALDSTNC":"1280"	총 이동거리
, "FEEDDSTNC":"780"	, "FEEDDSTNC":"780"	급이거리
, "ROUTCMDCD":"9999"	, "ROUTECMDCD":"9999"	수행명령
, "ORDERVAL1":"9999"	, "PARAM1":"9999"	파라메터1
, "ORDERVAL2":"9999"	, "PARAM2":"9999"	파라메터2
, "TMRVOLT":"28.3"	, "TMRVOLT":"28.3"	시스템전압
, "SEQNO":"99"	, "SEQNO":"99"	시퀀스NO
, "ERRCD":"99"	, "ERRORCD":"99"	TMR 에러코드
, "TARGET":"L"	, "TARGET":"L"	L:로그데이터/T:TMR정보/A:TMR 및 로그데이터 저장
, "ISSUEID":"JADE00"	, "ISSUEID":"JADE00"	저장자 ID(해당 농장에 코드 속한 ID 이어야 함, 불일치시 Incorrect Auth 반환)

표 39 TMR 급이로봇 ROUTCMDCD

정의	Value	TMR 동작상태 GUI 표시	비고
GO-BACK	1	후진	ERRORCD 발생시 동시 표시
TRACE-L	2	전진	ERRORCD 발생시 동시 표시
SPIN-L	3	회전	ERRORCD 발생시 동시 표시
SPIN-R	4	회전	ERRORCD 발생시 동시 표시
STOP	5		
WFEED-L	6	사료 급이	ERRORCD 발생시 동시 표시
WFEED-R	7	사료 급이	ERRORCD 발생시 동시 표시
WGO-L	8	전진	ERRORCD 발생시 동시 표시
WGO-R	9	전진	ERRORCD 발생시 동시 표시
TMR-fill	10	사료 수급	ERRORCD 발생시 동시 표시
Search-L	11		
Search-W	12		
RFEED-L	13	사료 급이	ERRORCD 발생시 동시 표시
TFEED-L	14	사료 급이	ERRORCD 발생시 동시 표시
Reserved	15 ~ 24		
ExecStart	43690(0xAAAA)		
ExeComplete	34952(0x8888)	충전 (ERRCD = 0일 것) 이상 정지(ERRCD != 0 경우)	하단에 "ERRORCD정의" 표시
ScheduleStart	48059(0xBBBB)		

표 40 TMR 급이로봇 에러코드

ERROR CODE 정의	Value	의미
NO_ERROR	0	
Reserved	1	
RET_AGV_TIMEOUT	2	마그네틱센서 미검지
RET_AGV_ERROR	3	
MAGSENS_NODET_TOUT	1000	시간, 거리 기준 이내에 마그네틱 감지가 되지 않는 경우 정지 및 ERROR처리
MAGSENS_DET_NODET_TOUT	1001	마그네틱감지 후 주행중 시간내 다시 감지가 되지 않는 경우 정지 및 ERROR처리
TMRFILL_NO_EXEC	1002	배합기 통신 전송 후 배합사료 공급이 되면 무게 변화가 있으나 8분 동안 변화가 없을 경우 정지 및 Error처리
TMRTURN_US_LIMT_OUT	1003	회전 중 마그네틱 감지 전 지정된 벽간 거리(order.val2) 보다 가깝게(value는 작게) 검지가 되면 위험하여 정지 및 Error처리(미지정시 상관없음)
TMRBUMP_DET_STOP	1004	주행중 또는 주행시작 전 범퍼 검지가 된 상태(충돌 상태로 추정) 정지 및 Error처리
TMRUS_OUTOFRANGE_STOP	1005	US기준 주행중 일정 시간동안 2.2M를 초과하는 경우 정지 및 Error처리
TMREXEC_YAWINIT_FAIL_STOP	1006	TMR 자동실행시 초기 Gyro(MPU6050)의 offset초기화가 되지 않은 경우 시작 못함

표 41 TMR 급이로봇 웹사이트 Log

Column	Type	Size	Column Name	Default
compCd	INT		회사 코드	'0'
tmrCd	SMALLINT		TMR Serial No	''
tmrDate	VARCHAR	10	날짜	''
startTime	VARCHAR	5	동작시작시간	''
endTime	VARCHAR	5	동작종료시간	''
actCd	VARCHAR	5	동작코드	''
startFeedAmt	VARCHAR	10	시작사료량	''
chargingAmt	VARCHAR	10	사료충전후 사료량	''
endFeedAmt	VARCHAR	10	동작 완료후 사료량	''
totalDstnc	VARCHAR	10	총 이동거리	''
feedDstnc	VARCHAR	10	급이거리	''
stopCnt	VARCHAR	10	동작중 정지횟수	''
startVolt	VARCHAR	10	시작 전압	''
endVolt	VARCHAR	10	종료 전압	''
statusCd	VARCHAR	5	Status 코드(공통코드)	''
flagYN	VARCHAR	1	가용여부(Y:접수/N:삭제)	'Y'
regDate	DATETIME		최초저장일	getdate()
issueDate	DATETIME		최종저장일	getdate()
issueID	VARCHAR	20	최종저장자 ID	''

나. TMR 자동 사료 급이 시스템의 웹, 모바일 기반 이용

(1) TMR 자동 사료 급이 시스템의 웹 기반 이용 개선

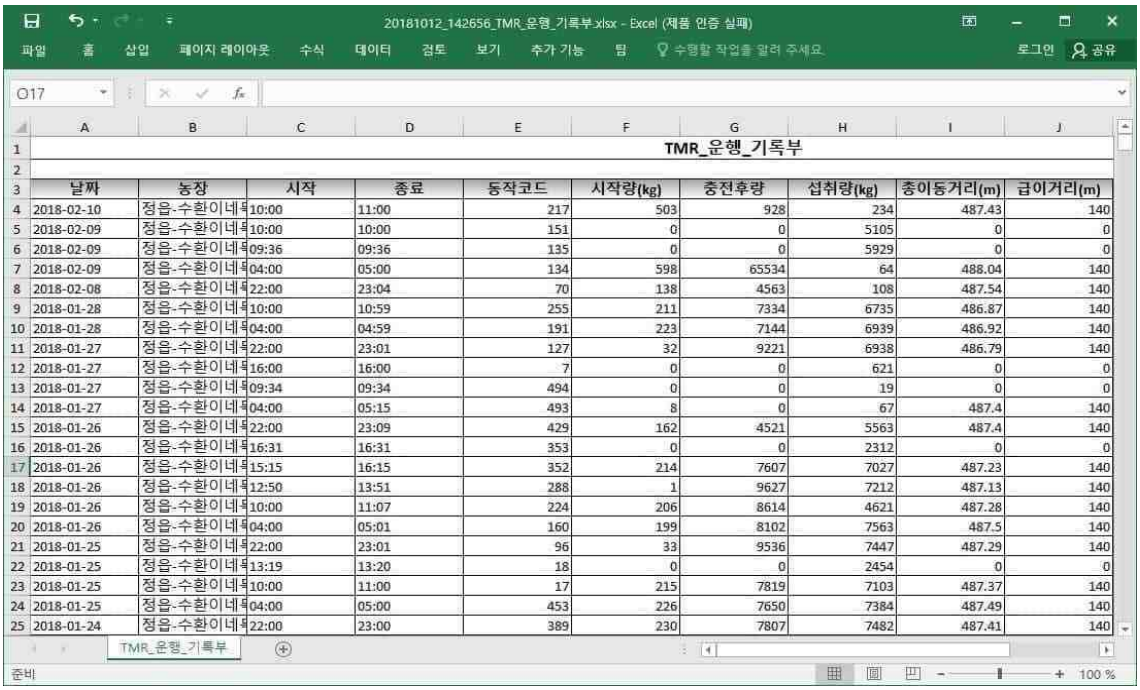
TMR 급이로봇의 웹 기반 제어기능을 구현 및 개선하였다. 인터넷이 가능한 PC에서 웹사이트 접속을 통하여, 사용자 로그인 후 농가의 TMR 급이로봇 운영 상태를 실시간 모니터링 및 제어 가능하다.

TMR 급이로봇의 데이터는 정의된 통신규약을 통해 웹 서버로 자동 전송되며, 저장 기능을 구현하여 로봇을 이용한 농가의 급이 관련 자료를 웹상에서 조회, 열람 가능하도록 하였다. 웹사이트에서 TMR 급이로봇의 운영상황, 월간 급이량, 이동거리 등을 표 및 그래프 형식으로 열람 가능하다. 또한 조회한 급이 데이터를 EXCEL 시트 형태로 저장 및 출력이 가능하다. (단, Microsoft office EXCEL 프로그램이 설치되어 있는 PC에 한함)

口	날짜	농장	시작	종료	동작코드	시작량(kg)	충전후량	섭취량(kg)	총이동거리(m)	급이거리(m)	정지횟수	시작전압	종료전압
1	2018-04-08	정읍-수환이네목장	17:02	17:02	256	0	0	2199	0	0	43690	0	2.6
2	2018-04-08	정읍-수환이네목장	16:00	16:56	255	200	8197	7684	485.60	140.00	63	0	26.2
3	2018-04-08	정읍-수환이네목장	09:26	10:24	191	48	9716	7827	486.32	140.00	63	209.6	23.6
4	2018-04-07	정읍-수환이네목장	18:17	18:18	114	0	0	767	0	0	43690	0	2.4
5	2018-04-07	정읍-수환이네목장	15:02	15:03	101	0	0	1708	0	0	43690	0	2.4
6	2018-04-07	정읍-수환이네목장	14:32	14:32	90	0	0	2146	0	0	43690	0	2.6
7	2018-04-07	정읍-수환이네목장	09:41	10:40	89	92	9086	7558	486.20	140.00	63	205.8	23.8
8	2018-04-06	정읍-수환이네목장	16:02	16:02	20	0	0	400	0	0	43690	0	2.4
9	2018-04-06	정읍-수환이네목장	15:30	15:30	2	0	0	2099	0	0	43690	0	2.4

< 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 >

그림 152 TMR 급이로봇 웹사이트 제어 화면



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TMR_운행_기록부									
2										
3	날짜	농장	시작	종료	동작코드	시작량(kg)	충전후량	섭취량(kg)	총이동거리(m)	급이거리(m)
4	2018-02-10	정읍-수환이네목	10:00	11:00	217	503	928	234	487.43	140
5	2018-02-09	정읍-수환이네목	10:00	10:00	151	0	0	5105	0	0
6	2018-02-09	정읍-수환이네목	09:36	09:36	135	0	0	5929	0	0
7	2018-02-09	정읍-수환이네목	04:00	05:00	134	598	65534	64	488.04	140
8	2018-02-08	정읍-수환이네목	22:00	23:04	70	138	4563	108	487.54	140
9	2018-01-28	정읍-수환이네목	10:00	10:59	255	211	7334	6735	486.87	140
10	2018-01-28	정읍-수환이네목	04:00	04:59	191	223	7144	6939	486.92	140
11	2018-01-27	정읍-수환이네목	22:00	23:01	127	32	9221	6938	486.79	140
12	2018-01-27	정읍-수환이네목	16:00	16:00	7	0	0	621	0	0
13	2018-01-27	정읍-수환이네목	09:34	09:34	494	0	0	19	0	0
14	2018-01-27	정읍-수환이네목	04:00	05:15	493	8	0	67	487.4	140
15	2018-01-26	정읍-수환이네목	22:00	23:09	429	162	4521	5563	487.4	140
16	2018-01-26	정읍-수환이네목	16:31	16:31	353	0	0	2312	0	0
17	2018-01-26	정읍-수환이네목	15:15	16:15	352	214	7607	7027	487.23	140
18	2018-01-26	정읍-수환이네목	12:50	13:51	288	1	9627	7212	487.13	140
19	2018-01-26	정읍-수환이네목	10:00	11:07	224	206	8614	4621	487.28	140
20	2018-01-26	정읍-수환이네목	04:00	05:01	160	199	8102	7563	487.5	140
21	2018-01-25	정읍-수환이네목	22:00	23:01	96	33	9536	7447	487.29	140
22	2018-01-25	정읍-수환이네목	13:19	13:20	18	0	0	2454	0	0
23	2018-01-25	정읍-수환이네목	10:00	11:00	17	215	7819	7103	487.37	140
24	2018-01-25	정읍-수환이네목	04:00	05:00	453	226	7650	7384	487.49	140
25	2018-01-24	정읍-수환이네목	22:00	23:00	389	230	7807	7482	487.41	140

그림 153 TMR 급이로봇 급이자료 다운로드(EXCEL 파일)

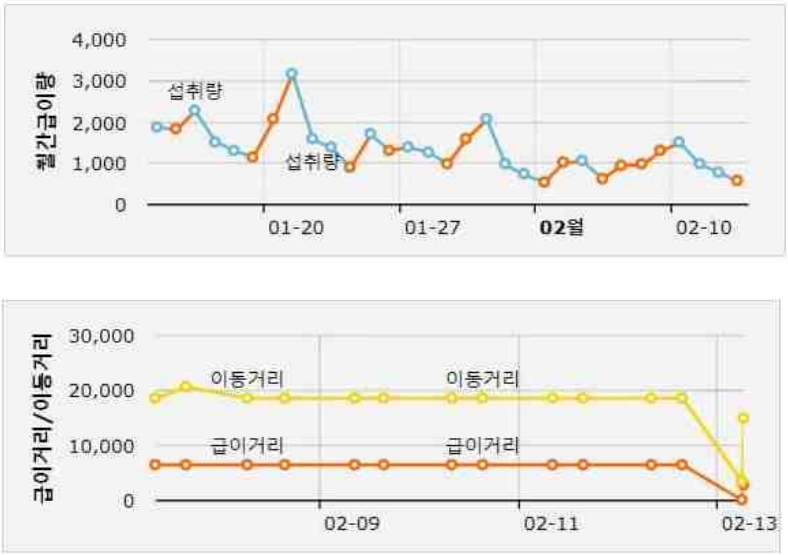


그림 154 TMR 급이로봇 웹사이트 정보 열람(그래프 형식)

(2) TMR 자동 사료 급이 시스템의 모바일 기반 어플리케이션 개발

TMR 급이로봇을 사용자가 원격제어 가능한 모바일 어플리케이션을 개발하였다. 인터넷이 가능한 안드로이드 기반 스마트폰에서 어플리케이션 다운로드 및 실행, 사용자 로그인 후 농가의 TMR 급이로봇 운영 상태를 실시간 모니터링 및 제어 가능하다.

TMR 급이로봇의 주행 경로 지정 및 변경, 장치 설정, 급이 스케줄 관리, 급이 날짜 및 시간 등을 지정 가능하다.

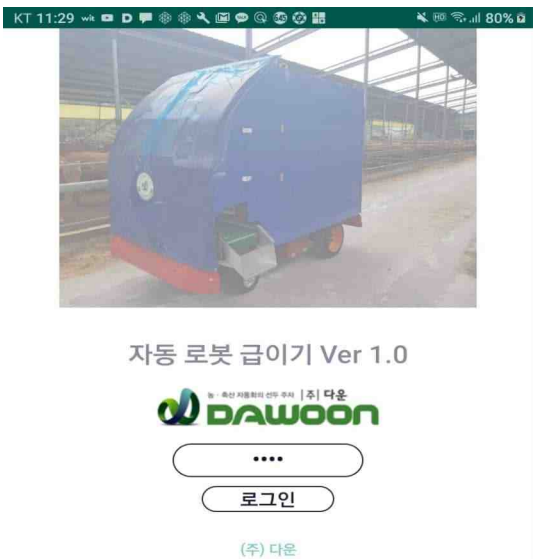


그림 155 모바일 어플리케이션 초기 화면

그림 156 어플리케이션 경로 수정 화면

그림 157 어플리케이션 기기 관리자 화면

그림 158 어플리케이션 장치 설정 화면

그림 159 어플리케이션 스케줄 관리 화면

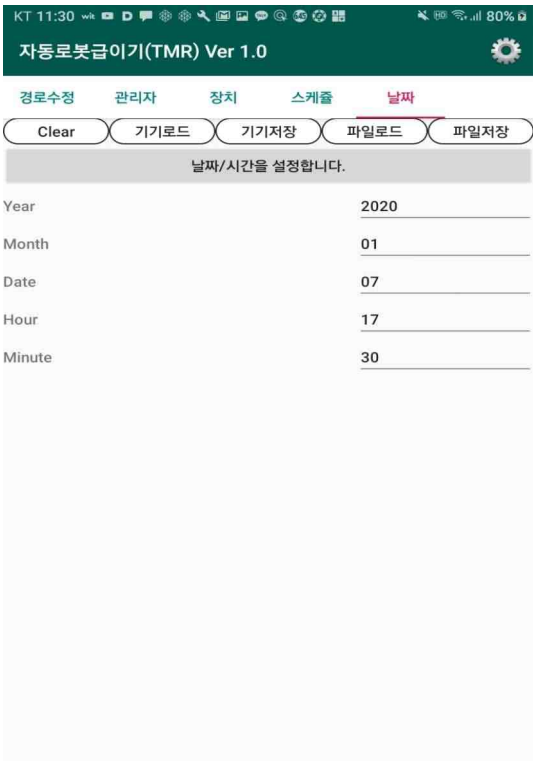
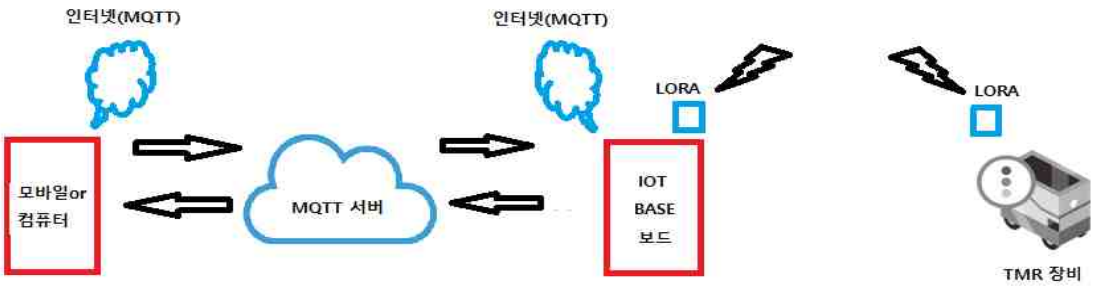


그림 160 어플리케이션 날짜 지정 화면

그림 161 어플리케이션 사용자 설정

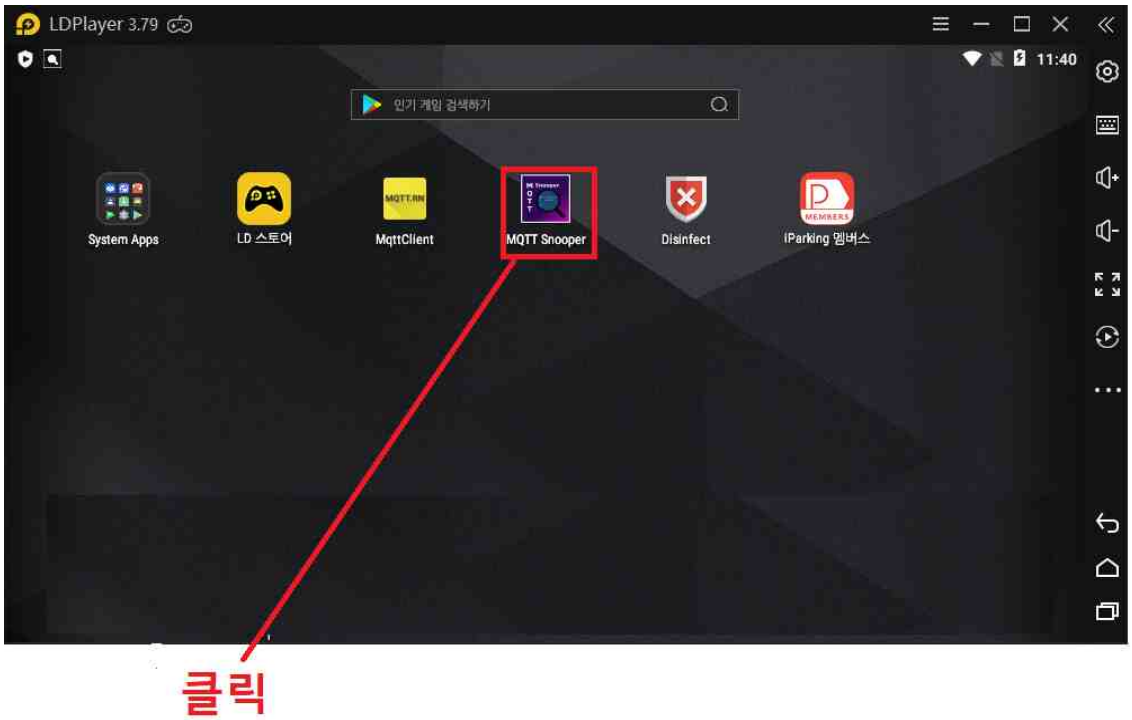
다. 농가의 TMR 급이로봇 원격 관리(관리자) 서비스

IOT BASE 보드를 설치하여 원격으로 해당 농가 확인 및 TMR 급이로봇을 설정할 수 있다. 원격 접속 가능한 기능은 오더 항목 읽기, ADMIN 항목 읽기, DEVICE 항목 읽기, SCHEDULE 항목 읽기, DATE/TIME 항목 읽기, 오더의 내용 변경하기, ADMIN의 항목 변경하기, DEVICE 항목 변경하기, SCHEDULE 항목 변경하기, DATE/TIME 항목 변경하기 등이다. 관리자가 원격으로 MQTT를 이용해 해당 프로토콜들을 전달, LORA 모듈로 통신하면 TMR 급이로봇이 해당 프로토콜에 대해 응답하여 회신하는 방식으로 동작한다.

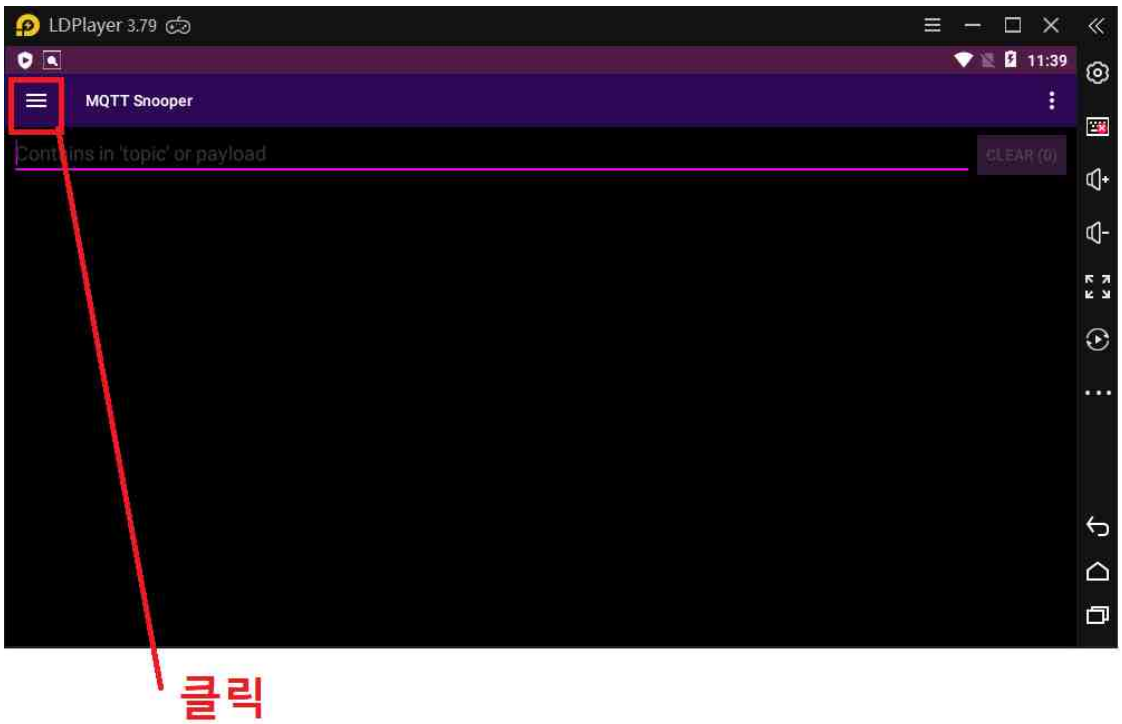


해당 동작을 하기 위해 원격서비스를 제공하는 관리자 PC에 MQTT를 제어할 수 있는 프로그램이 요구된다. (예시: MQTT Snooper)

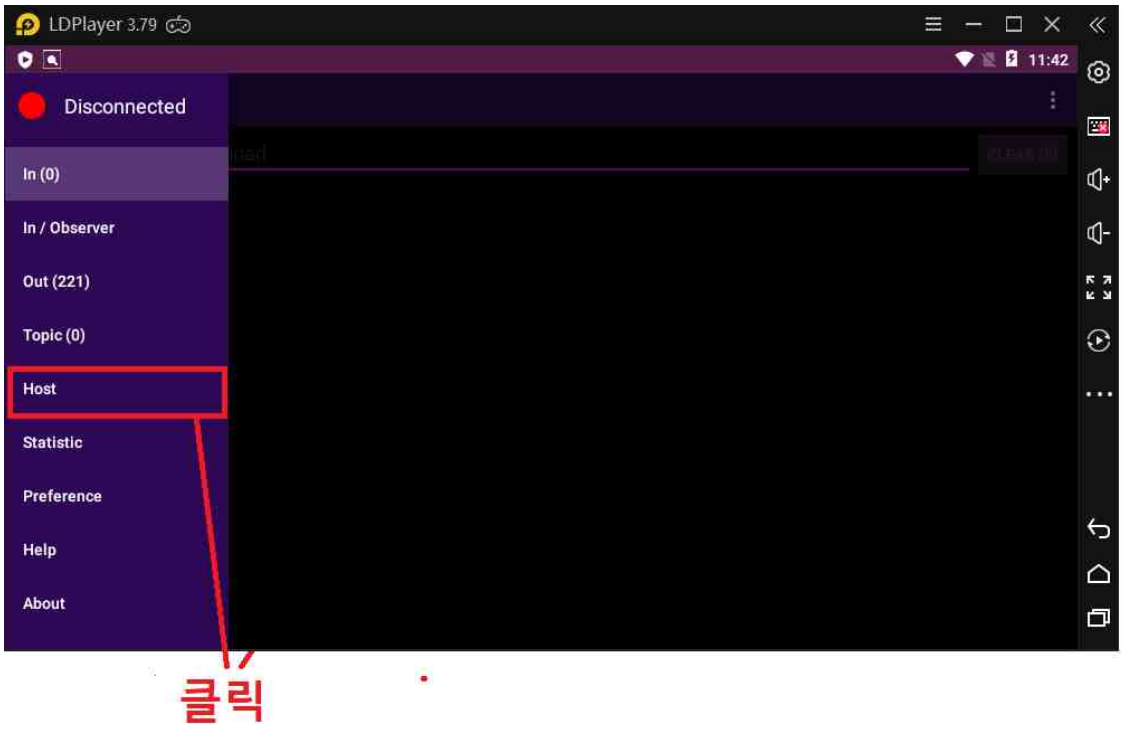
원격 관리 예시로 TMR 항목 중 DATE/TIME의 항목을 읽기에 대해 아래 순서를 나열하였다. MQTT를 제어할 수 있는 프로그램 아이콘 클릭, 프로그램 실행한다.



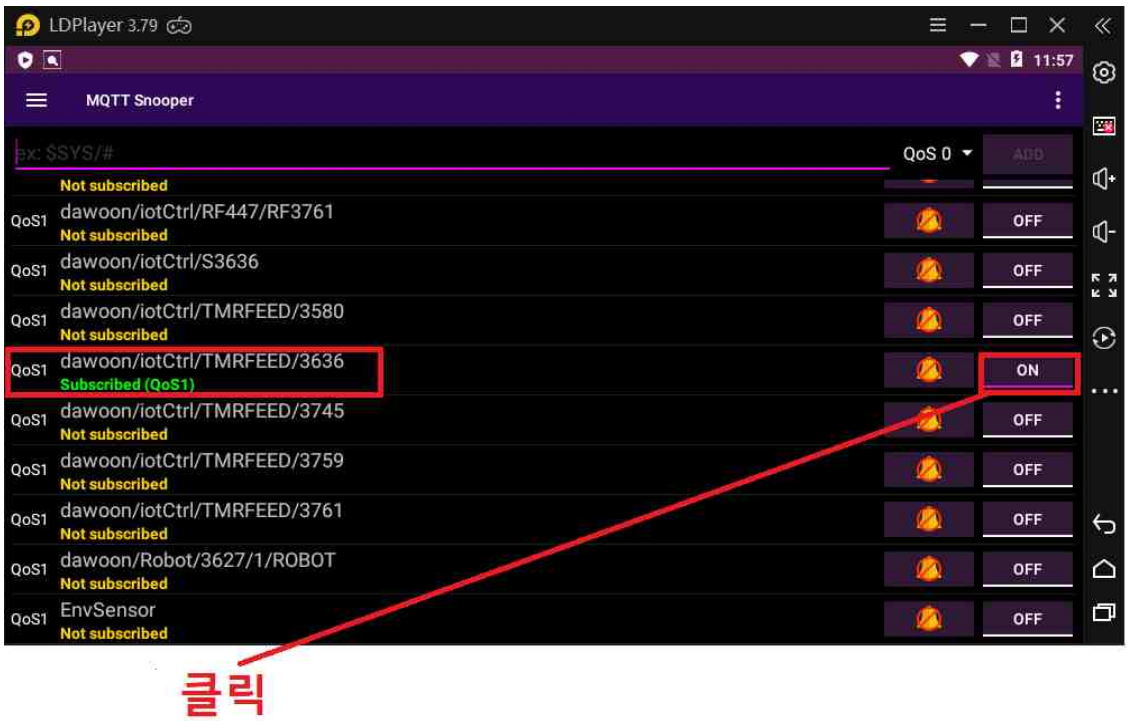
그림에서 빨간색으로 표시된 MQTT 제어 메뉴 항목을 클릭한다.



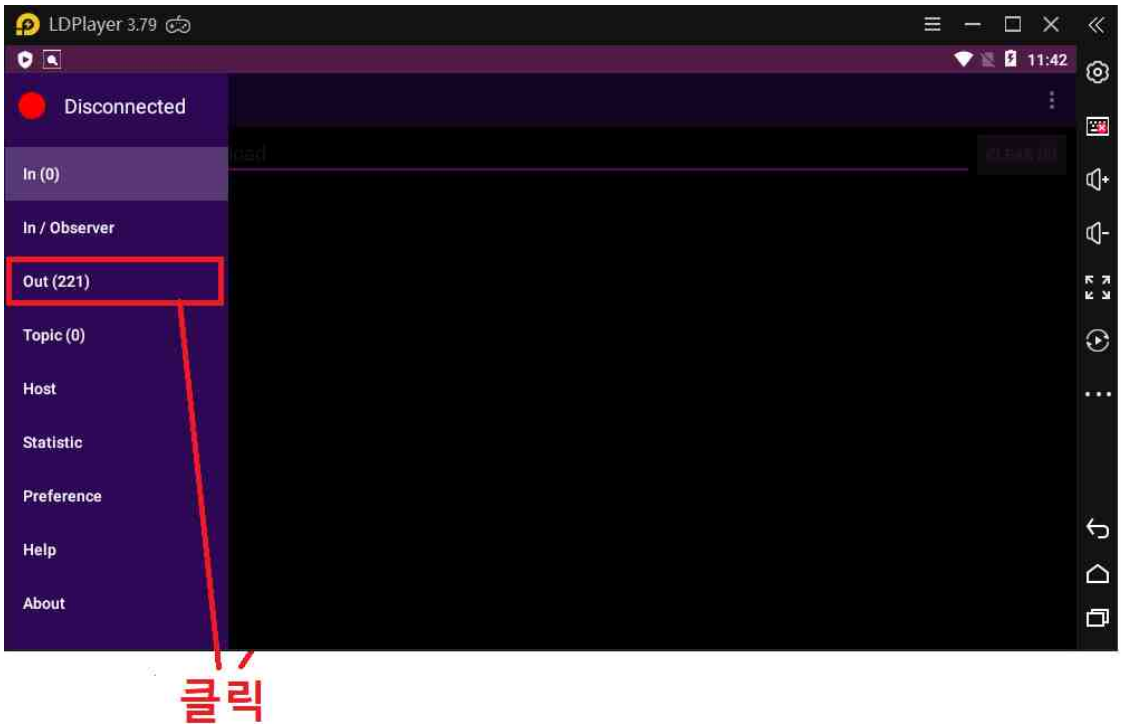
HOST로 MQTT 서버에 접속한다.



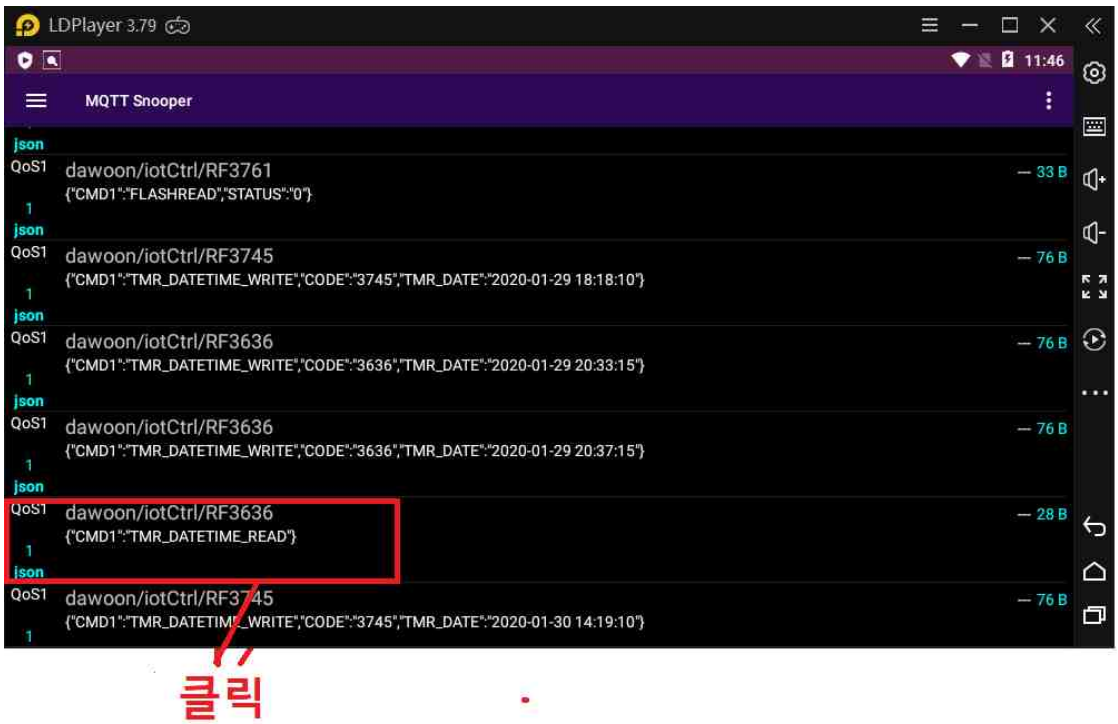
메뉴에 Topic 항목을 눌러 Topic : dawoon/iotCtrl/TMRFEED/농가코드를 등록한다. 농가코드는 농가를 식별하기 위한 네 자리 숫자로 형성된다.



Out을 클릭한다.

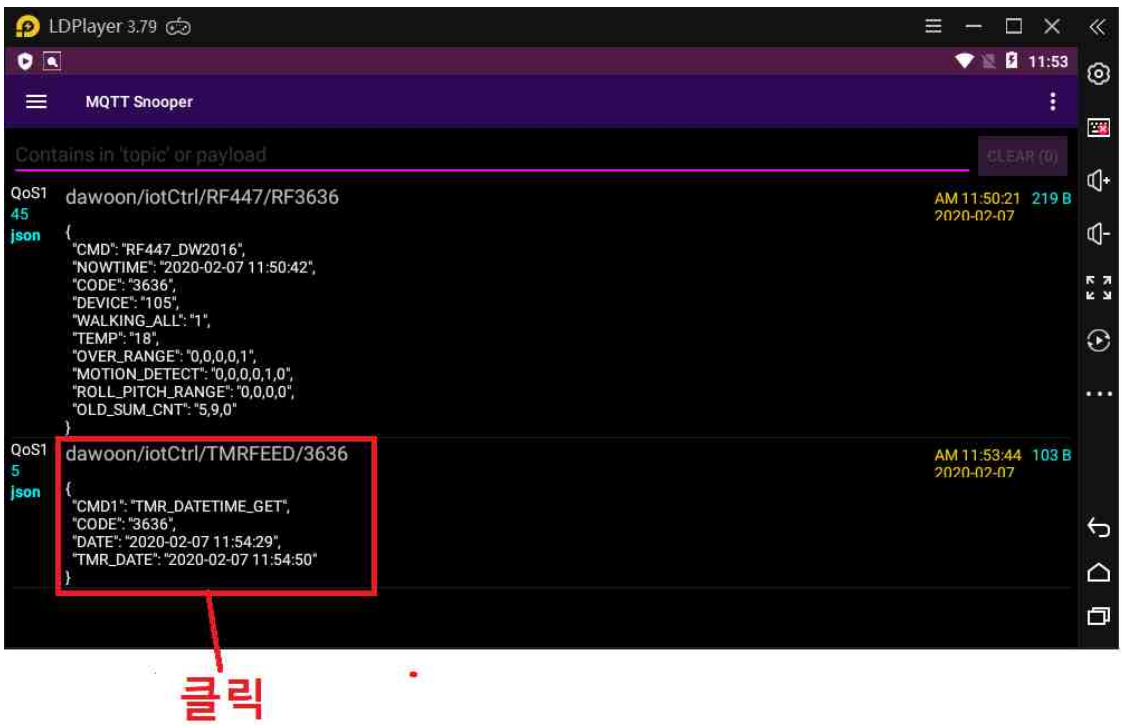


확인 및 변경하려는 농가의 토픽과 명령을 전송한다.
(예시) Topic : dawoon/iotCtrl/RF3636
시간읽기 명령일 경우 { “CMD1” :” TMR_DATETIME_READ” }



메뉴를 클릭해 In의 항목을 클릭한다.

TMR 장비로부터 회신된 내용이 아래와 같이 출력된다.



여기까지 MQTT 제어 프로그램 및 절차로 위와 같은 명령 제어를 통하여 ADMIN, DEVICE, SCHEDULE, DATE/TIME, 오더 수행항목을 관리자가 원격으로 확인 및 변경 가능하다.

표 42 MQTT 원격제어 가능한 항목(읽기 정보)

번호	위치	읽기 정보	설명	비고
1	PC	{"CMD1":"TMR_ORDER_ALL_READ"}	오더 읽기 요청	

	장비	{
		"CMD":"TMR_ORDER_GET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0509:40:46",
		"NOW-MAX":"1-2",
		"ORDER1":"1,1,0,0,0,0",
		"ORDER2":"2,1,1,0,0,0",
		"ORDER3":"3,2,0,0,0,0"
		}
			오더 읽기 응답
			농장코드
			날짜시간
			진행번호-최종번호
			INDEX,ORDER,VALUE1,VALUE2,VALUE3,RESERVED값
			INDEX,ORDER,VALUE1,VALUE2,VALUE3,RESERVED값
			INDEX,ORDER,VALUE1,VALUE2,VALUE3,RESERVED값
				진행번호가 최종번호와 같아질 때까지 전송됨.

2	PC	{"CMD1":"TMR_DEVICE_FUN_READ"}	장비 설정값 읽기 요청	

	장비	{
		"CMD":"TMR_DEVICE_GET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0509:35:28",
		"DEVICE":"1500,800,1000,0,180,120,60,1100,
		1800,1000,0,150,1000,50,0,80,30,0,0,2,1,1,
		5,40,3,20,3636,298,6,1,30,0,0,0,60,45"
		}
			장비 읽기 응답
			농장코드
			날짜시간
			장비설정값 전송
				Device 항목의 Struct 내용 순서대로 전송 됨. (decimal값)

3	PC	{"CMD1":"TMR_ADMIN_FUN_READ"}	ADMIN 설정값 읽기 요청	

	장비	{
		"CMD":"TMR_ADMIN_GET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0509:57:24",
		"ADMIN":"0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,
		3636,356,1,0,0,1,0,0,50,10,0,190,30,0,11,1,0"
		}
			ADMIN 읽기 응답
			농장코드
			날짜시간
			ADMIN설정값 전송
				ADMIN 항목의 Struct 내용 순서대로 전송 됨. (decimal값)

번호	위치	읽기 정보	설명	비고
4	PC	{"CMD1":"TMR_SCHEDULE_FUN_READ"}	SCHEDULE 설정값 읽기 요청	

	장비	{
		"CMD":"TMR_SCHEDULE_GET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0510:03:00",
		"SCHEDULE1":"1,15,15",
		"SCHEDULE2":"1,16,15",
		"SCHEDULE3":"1,17,15",
		"SCHEDULE4":"1,18,15",
		"SCHEDULE5":"0,5,15",
		"SCHEDULE6":"0,6,15",
		"SCHEDULE7":"0,7,15",
		"SCHEDULE8":"0,8,15",
		"SCHEDULE9":"1,9,15",
		"SCHEDULE10":"0,10,15"
		}
			SCHEDULE 읽기 응답
			농장코드
			날짜시간
			사용여부,시간,분
			사용여부,시간,분
			사용여부,시간,분
			사용여부,시간,분
			사용여부,시간,분
			사용여부,시간,분
			사용여부,시간,분
			사용여부,시간,분
			사용여부,시간,분
			사용여부,시간,분
				10개의 스케쥴 항목값을 전송

5	PC	{"CMD1":"TMR_DATETIME_READ"}	TMR 날짜시간 읽기 요청	

	장비	{
		"CMD":"TMR_DATETIME_GET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0510:06:43",
		"TMR_DATE":"2019-12-0510:07:11"
		}
			현재 시간 읽기 요청 응답
			농장코드
			날짜시간
			TMR날짜시간	

표 43 MQTT 원격제어 가능한 항목(동작명령 정보)

번호	위치	동작명령 정보	설명
1	PC	{"CMD1":"TMR_CMD_ORDER_START"}	TMR 오더 시작 요청 (0번부터시작)

	장비	{
		"CMD":"TMR_ORDER_START",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0510:32:01"
		}
			TMR오더시작응답
			농장코드
			날짜시간

2	PC	{"CMD1":"TMR_CMD_ORDER_STOP"}	TMR 오더 모두 정지 요청

	장비	{
		"CMD":"TMR_ORDER_STOP",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0510:32:49"
		}
			TMR오더정지응답
			농장코드
			날짜시간

표 44 MQTT 원격제어 가능한 항목(저장 정보)

번호	위치	쓰기 정보	설명	비고

1	PC 1번	{
		"CMD1":"TMR_ORDER_ALL_WRITE",
		"CODE":"3636",
		"ORDER_TOTAL":"12",
		"NOW_MAX":"1,2",
		"ORDER1":"1,1,0,0,0,0",
		"ORDER2":"2,1,1,0,0,0",
		"ORDER3":"3,2,0,0,0,0",
		"ORDER4":"4,1,1,0,0,0",
		"ORDER5":"5,1,0,0,0,0",
		"ORDER6":"6,1,1,0,0,0",
		"ORDER7":"7,1,0,0,0,0",
		"ORDER8":"8,10,100,0,0,0",
		"ORDER9":"9,1,0,0,0,0",
		"ORDER10":"10,1,3,1,0,0"
		}
			오더 저장 요청 1/2	전체오더수에따라전송하는MQTT 수가달라짐.
				1회전송하는최대오더수는10개씩이고 최대오더가 52개라면 MQTT 전송은 10개 5번 2개 1번 전송하여MQTT완료된다.
				
				*최대오더 198개라면 10개 19회 8개 1회 전송 동작.

	PC 2번	{
		"CMD1":"TMR_ORDER_ALL_WRITE",
		"CODE":"3636",
		"ORDER_TOTAL":"12",
		"NOW_MAX":"2,2",
		"ORDER11":"11,1,0,0,0,0",
		"ORDER12":"12,1,0,0,0,0"
		}
			오더 저장 요청 2/2	CODE-해당농가코드
				ORDER_TOTAL-최대오더수
				NOW_MAX- 진행번호 / 최대번호
				ORDER1 - 오더번호
				
				INDEX,ORDER,VALUE1,VALUE2,VALUE3,RESERVED

	장비	{
		"CMD":"TMR_ORDER_LORA_SET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0510:52:16"
		}
			오더저장완료후응답
			농장코드
			날짜시간	

2	PC	{
		"CMD1":"TMR_DEVICE_FUN_WRITE",
		"CODE":"3636",
		"DEVICE":"1500,800,1000,0,180,120,60,1100,1800,
		1000,0,150,1000,50,0,80,30,0,0,2,1,1,5,40,3,20,
		3636,298,6,1,30,0,0,0,60,45"
		}
			장비
			설정값
			저장 요청
				Device 의 Struct 값 순서대로 전송

	장비	{
		"CMD":"TMR_DEVICE_LORA_SET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0510:44:51"
		}
			장비저장완료시응답
			농장코드
			응답날짜시간	

번호	위치	쓰기 정보	설명	비고

3	PC	{
		"CMD1":"TMR_ADMIN_FUN_WRITE",
		"CODE":"3636",
		"ADMIN":"0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,3636,356,
		1,0,0,1,0,0,50,10,0,190,30,0,11,1,0"
		}
			ADMIN 설정값 저장 요청	ADMIN 의 Struct 값 순서대로 전송

	장비	{
		"CMD":"TMR_ADMIN_LORA_SET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0510:41:47"
		}
			ADMIN저장완료시응답
			농장코드
			응답날짜시간	

4	PC	{
		"CMD1":"TMR_SCHEDULE_FUN_WRITE",
		"CODE":"3636",
		"SCHEDULE1":"1,15,15",
		"SCHEDULE2":"1,16,15",
		"SCHEDULE3":"1,17,15",
		"SCHEDULE4":"1,18,15",
		"SCHEDULE5":"0,05,15",
		"SCHEDULE6":"0,06,15",
		"SCHEDULE7":"0,07,15",
		"SCHEDULE8":"0,08,15",
		"SCHEDULE9":"1,09,15",
		"SCHEDULE10":"0,10,15"
		}
			SCHEDULE 설정값 저장 요청	Schedule 의 Struct 값 순서대로 전송

	장비	{
		"CMD":"TMR_SCHEDULE_LORA_SET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0510:46:38"
		}
			SCHEDULE저장완료시응답
			농장코드
			응답날짜시간	

5	PC	{
		"CMD1":"TMR_DATETIME_WRITE",
		"CODE":"3636",
		"TMR_DATE":"2019-12-0510:39:57"
		}
			TMR 날짜시간 저장 요청	현재 날짜 시간 전송

	장비	{
		"CMD":"TMR_DATETIME_LORA_SET",
		"CODE":"3636",
		"DATE":"2019-12-0510:40:23"
		}
			현재시간저장완료시응답
			농장코드
			응답날짜시간	

5. 시스템 검증 및 시험 준비

연구개발 제품은 국내 최초 개발된 것으로 관련 인증에 대한 기준이 미비한 상태이다. 현재 인증제도를 시행 중인 관련 기구가 없어, 실용화재단 및 기타 농업기계 관련 연구기관에 의뢰를 하였다. 제품 인증 기준이 확보되는 대로 시스템의 인증을 추진하여 공인인증을 취득할 예정이다.

가. TMR 사료 급이장치 특허 등록

(1) 선행 특허기술 분석

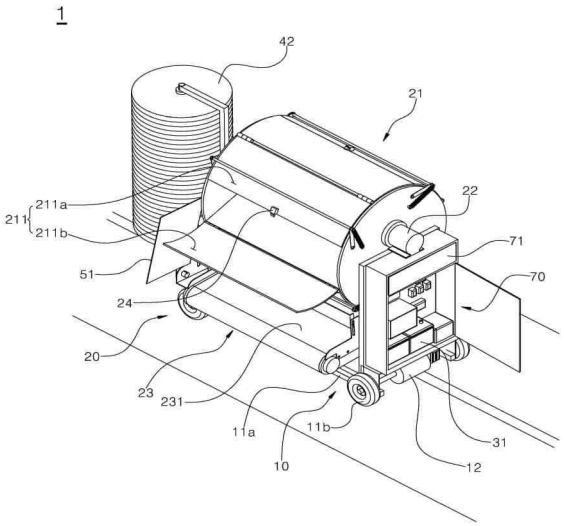


그림 171 선행 특허기술(공개 특허 10-2015-0061523호)

선행 특허기술로 제시한 축사용 이동식 무인 사료 공급 및 청소장치(A)는 다수의 사료실로 분할 구성된 사료통을 갖는 사료 공급 장치가 축사 내에서 무인으로 왕복 이동하며 각각의 사료를 해당 막사별로 선택적으로 공급할 수 있도록 함과 동시에, 급여된 사료가 막사 주변으로 모이도록 정리할 수 있는 측면밀기판이 구비한 기술이다.

선행 특허기술은 본 연구개발과제의 연구성과물 TMR 사료 자동 급이 시스템과 비교하여, 가축의 사료 공급을 위한 자동화 시스템을 구축했다는 점에서 유사하나, (A)기술은 사료통 내에 가축에게 공급 가능한 사료가 단순 저장되어, 사료실 내의 사료 소진시 가축에게 공급 가능한 사료를 사료통 내에 재공급해야 하고, 공급가능한 사료를 수시로 재공급하여 사용에 큰 불편함이 있다. 또한, (A)기술의 경우 주행부 저면 각 모서리에 설치된 바퀴에 의해 주행부의 회전 반경이 넓게 형성되어 협소한 공간 내에서 회전이 불가하고, 주행부의 이동방향 경로가 길어져 주행시간이 오래 걸리는 문제점이 발견되었다.

(2) 회피전략 수립을 통한 특허 등록

상술한 (A)기술과의 유사점을 회피하고 기존에 보고된 문제점을 해결하기 위한 전략을 수립하여, 본 연구개발과제의 성과물인 TMR 사료 급이장치(B)의 특허 등록을 추진하였다.

본 발명의 목적은 저면 전단에 단일의 조향바퀴를 형성하되, 후단에 주행바퀴를 형성한 이동대차를 구비하고, 이동대차 상부에 일면에 토출구를 형성한 사료수용부를 형성하며, 사료

수용부 바닥면에 다단 구조로 형성된 교반장치를 구비하고, 교반장치 외면에 절단칼날을 형성하며, 이동대차 일 측면에 사료를 이동대차 일측 방향으로 이동시키는 사료공급컨베이어를 형성함으로써, 조향바퀴로 이동대차의 주행방향을 자유롭게 결정하면서, 사료수용부 내의 사료를 교반장치로 교반함과 동시에 절단 칼날로 절단하여, 토출구를 통해 사료가 토출되도록 하고, 이때, 토출구를 통해 토출된 사료가 사료공급컨베이어에 의해 사료통 방향으로 이동되게 하여, 사료통으로 사료를 자동 공급하는 TMR 사료 급이장치를 제공하는 것이다.

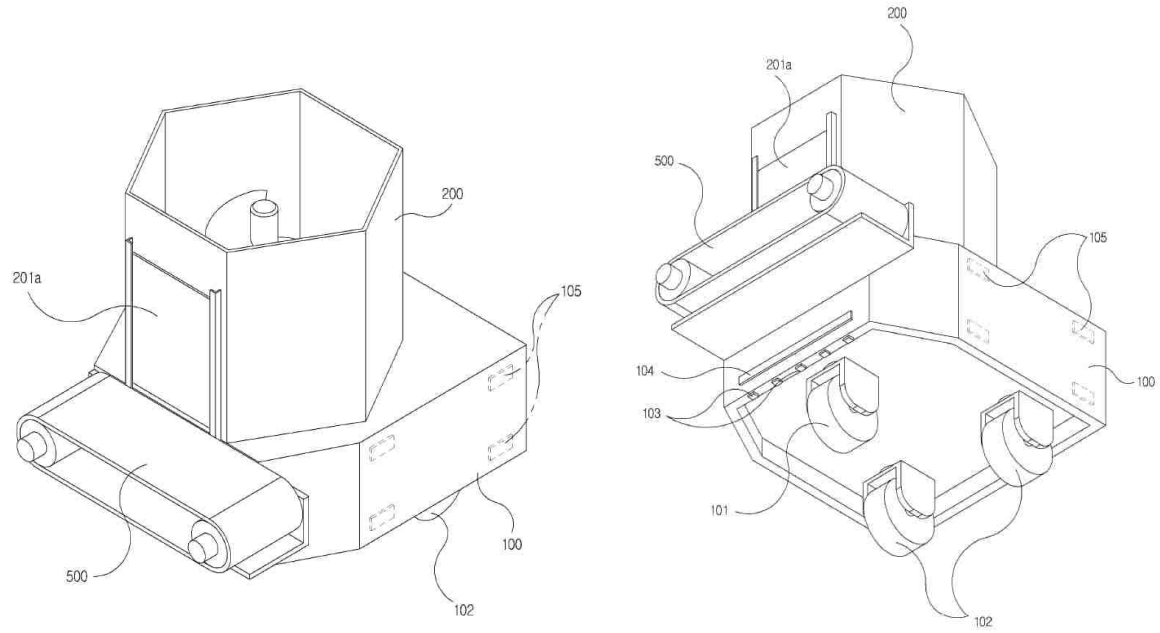


그림 172 TMR 사료 급이장치 특허 도면

TMR 사료 급이장치(B) 기술은 공기순환장치에 관한 것으로, 저면 전단에 단일의 조향바퀴를 형성하되, 후단에 주행바퀴를 형성한 이동대차를 구비하고, 이동대차 상부에 일면에 토출구를 형성한 사료수용부를 형성하며, 사료수용부 바닥면에 다단 구조로 형성된 교반장치를 구비하고, 교반장치 외면에 절단칼날을 형성하며, 이동대차 일 측면에 사료를 이동대차 일측 방향으로 이동시키는 사료공급컨베이어를 형성함으로써, 조향바퀴로 이동대차의 주행방향을 자유롭게 결정하면서, 사료수용부 내의 사료를 교반장치로 교반함과 동시에 절단칼날로 절단하여, 토출구를 통해 사료가 토출되도록 하고, 이때, 토출구를 통해 토출된 사료가 사료공급컨베이어에 의해 사료통 방향으로 이동되게 하여, 사료통으로 사료를 자동 공급한다.

본 기술(B)에 따르면, 360도 회전가능한 단일의 조향바퀴가 이동대차의 이동 방향을 결정하여 회전반경이 축소되고, 회전반경 축소로 이동대차를 협소한 공간에서 손쉽게 회전시킬 수 있으며, 특히, 이동대차의 방향 변경이 자유로워 이동대차의 주행 거리가 짧아지고, 또한, 사료수용부 내에서 사료의 교반 및 절단 작업을 진행하여, 가축에게 공급가능한 사료를 즉석에서 신속하게 제작할 수 있으며, 가축에게 사료수용부 내에서 즉석 제작된 사료를 공급하여, 사료의 위생이 청결함과 동시에 영양 가치가 상승되는 장점이 있다.

표 45 TMR 사료 급이장치 특허 청구 범위

청구항	청구 범위
1항	저면 전단에 360도 각도로 회전되어 주행방향을 결정하는 단일의 조향바퀴를 형성하고, 후단에 주행을 가능하게 하는 주행바퀴를 형성하여, 정해진 방향으로 주행하는 이동대차 상부가 개방된 중공형상으로 상기 이동대차 상부에 설치되어 사료를 수용하고, 일면에 사료를 외부로 토출하는 토출구를 형성한 사료수용부; 상기 사료수용부 바닥면에 회전가능하게 설치되고, 다단 구조로 형성되어 상기 사료수용부 내에 수용된 사료를 교반하는 교반장치; 상기 교반장치 외면을 따라 정해진 간격 이격되게 형성되어, 상기 교반장치에 의해 교반되는 사료를 절단하는 절단칼날; 상기 이동대차 일 측면에 설치되어 상기 사료수용부의 토출구를 통해 토출되는 사료를 공급받고, 이 사료를 상기 이동대차의 일측 방향으로 이동시켜 사료통으로 사료를 공급하는 사료공급컨베이어로 구성된 것을 특징으로 하는 TMR 사료 급이장치
2항	제 1항에 있어서, 상기 이동대차는, 저면 전단에 바닥면에 설치된 마그네틱선을 인식하여, 상기 이동대차가 상기 마그네틱선(L)을 따라 이동하도록 안내하는 마그네틱센서를 더 형성한 것을 특징으로 하는 TMR 사료 급이장치
3항	제 1항에 있어서, 상기 이동대차는, 주행 방향에 대응하는 일면에 주변 지형지물 및 장애물을 감지하여, 상기 이동대차의 주행 방향을 제어하는 레이져스캔센서를 더 형성한 것을 특징으로 하는 TMR 사료 급이장치
4항	제 1항에 있어서, 상기 이동대차는, 외면 내측에 상기 이동대차와의 접촉 여부를 감지하여, 상기 이동대차의 주행 및 교반장치의 작동을 제어하는 터치감지센서를 더 형성한 것을 특징으로 하는 TMR 사료 급이장치
5항	제 1항에 있어서, 상기 교반장치는, 상기 사료수용) 바닥에 수용된 사료를 상기 사료수용부 중심으로 집결시키되, 상방으로 끌어올리면서 교반하도록 스크류 형상으로 형성되는 것을 특징으로 하는 TMR 사료 급이장치
6항	제 1항에 있어서, 상기 사료수용부는, 바닥면 내측에 설치되어 상기 사료수용 내에 수용된 사료량을 감지하는 전자저울을 더 형성한 것을 특징으로 하는 TMR 사료 급이장치

나. 축사용 무인 사료 자동 정리장치 특허 등록

(1) 선행 특허기술 분석

선행 기술인 종래의 축사용 이동식 무인 사료 공급 및 청소장치(A)는 마그네틱가이드를 따라 이동하는 주행부와, 주행부 상부에 좌, 우측 방향으로 틸팅 가능하도록 설치되어 사료를 배출하는 사료공급부와, 사료공급부 상부에 회전가능하게 설치되어 사료공급부로 사료를 배출하는 사료통 및 주행부 전방에 회전가능하게 설치되어 사료를 수용하는 사료통을 청소하는 청소부로 구성된다.

여기서, 제어부를 제어하여 마그네틱가이드를 따라 주행부가 주행되도록 하면, 전방에 설치된 청소부의 회전브러쉬가 좌측 또는 우측방향으로 회전되고, 그 상태에서 사료통 내의 먼지를 제거하게 된다. 그리고, 상기 사료배출수단의 컨베이어벨트가 회전브러쉬의 회전방향으로 기울어진 상태로 작동되고, 이때, 사료통의 개폐문이 개방되면서 사료통에서 낙하된 사료가 컨베이어벨트에 안내되어 사료통으로 사료를 공급하는 것이다.

이때, 사료통은 그 외면에 복수개의 개폐문이 형성되어 있고, 이 개폐문은 상기 사료공급부에 도달하는 시점에서 자유낙하방식에 의해 하방으로 개폐되어 상기 컨베이어벨트 상으로 사료를 낙하시키는 것이다. 그 다음, 상기 회전브러쉬가 상기와 반대되는 방향으로 회전되

어 사료통 내의 먼지 또는 이물질을 제거하고, 그 상태에서 상기와 같이 사료통 내로 사료를 공급하여, 가축들이 사료를 섭취할 수 있는 것이다.
이때, 상기 회전브러쉬는 제어부의 조작 방식에 따라 좌, 우측으로 반복 회전되면서 사료통을 청소하거나 혹은 어느 한쪽의 길이방향으로 사료통을 청소 한후, 반대쪽의 사료통을 청소할 수 있다. 이후, 가축이 섭취하지 못한 사료통 내의 사료 또는 사료통 내에 남겨진 사료는 작업자가 사료통의 길이방향으로 이동하면서, 사료를 밀어내어 사료를 정해진 장소에 집결시키는 것이다.
하지만, 상기와 같은 선행 특허기술(A)는 사료 섭취가 완료된 사료통 내의 사료를 수거하는 기능을 전혀 구현할 수 없고, 이 기능 구현 불가로 작업자가 사료통 내의 사료를 직접 수거해야 하는 불편함이 있으며, 일일 기준 적어도 3번 이상의 시간을 소요하여 작업자가 사료통 내에 쌓여진 사료를 직접 정리하여 작업자의 노동력 필요와 동시에 작업 시간이 지연되고, 또한, 사료통 내의 사료를 밀어내어 집결시키는 과정에서 사료의 량이 증가하여 작업자의 완력으로 사료를 밀어내는데 큰 어려움이 있어, 제품의 신뢰성이 저하되는 문제점이 있다.

(2) 회피전략 수립을 통한 특허 등록

상술한 (A)기술과의 유사점을 회피하고 기존에 보고된 문제점을 해결하기 위한 전략을 수립하여, 본 연구개발과제의 성과물인 축사용 무인 사료 자동 정리장치(C)의 특허 등록을 추진하였다.
축사용 무인 사료 자동 정리장치(C) 기술의 목적은 이동대차 외측에 회전작동되어 사료를 집결하면서 밀어내는 가압부재를 구비하고, 이 이동대차와 가압부재 사이를 연결링크로 연결하며, 이동대차 내측에 연결링크를 회전 및 승강 이동시키는 구동부를 설치하여, 가압부재가 사료통 내에 위치되도록 구동부로 연결링크를 회전시켜 가압부재의 위치를 조절하되, 연결링크를 승강 작동시켜 가압부재의 높이를 조절하고, 그 상태에서 가압부재를 회전작동시키면서 이동대차를 무인으로 이동시켜, 사료통 내에 흩어져 있는 사료들이 가압부재에 의해 집결되면서 일 방향으로 밀려나도록 하는 축사용 무인 사료 자동 정리장치를 제공하는 것이다.

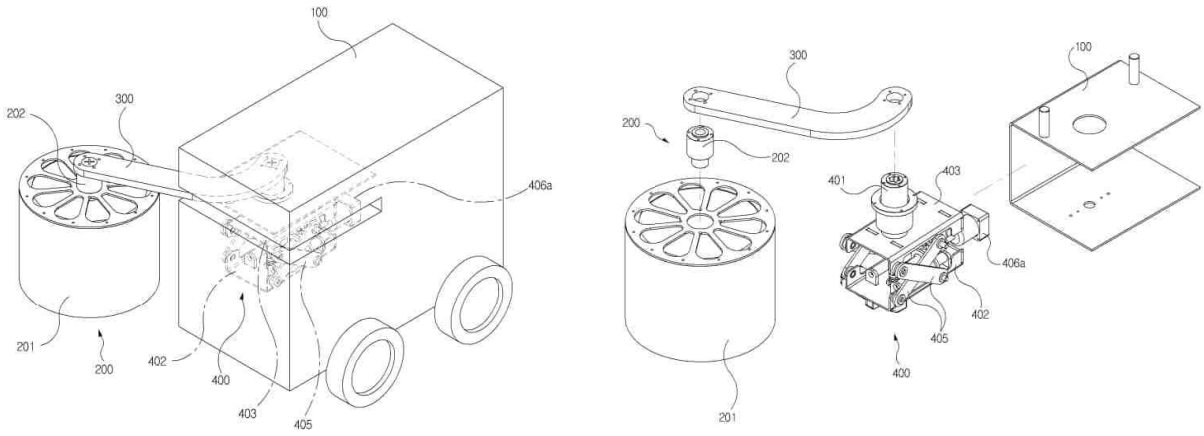


그림 173 축사용 무인 사료 자동 정리장치 특허 도면(좌: 대표도, 우: 분해도)

축사용 무인 사료 자동 정리장치(C) 기술은 이동대차 외측에 회전작동되어 사료를 집결하면

서 밀어내는 가압부재를 구비하고, 이 이동대차와 가압부재 사이를 연결링크로 연결하며, 이동대차 내측에 연결링크를 회전 및 승강 이동시키는 구동부를 설치하여, 가압부재가 사료통 내에 위치되도록 구동부로 연결링크를 회전시켜 가압부재의 위치를 조절하되, 연결링크를 승강 작동시켜 가압부재의 높이를 조절하고, 그 상태에서 가압부재를 회전작동시키면서 이동대차를 무인으로 이동시켜, 사료통 내에 흩어져 있는 사료들이 가압부재에 의해 집결되면서 일 방향으로 밀려나도록 한다.

본 기술(C)에 따르면, 이동대차에 의해 가압부재가 사료통 내에서 흩어져 있는 사료를 집결하면서 일 방향으로 이동시켜, 사료를 손쉽게 정리할 수 있고, 회전작동되는 가압부재로 사료들을 사료통과 가압부재 사이의 공간으로 밀어내면서 일 방향으로 이동시켜, 사료들의 엉킴 및 사료들이 가압부재 전단에 쌓여지는 것이 방지되고, 사료들이 쌓여지는 것이 방지되어 상대적으로 많은 량의 사료를 밀어낼 수 있으며, 특히, 이동대차가 무인으로 작동되어 작업자의 노동력이 절감되어 인력 시간감축과 동시에 인건비를 절감할 수 있고, 집결된 사료를 가축에게 재공급하여 사료의 낭비를 최소화 하는 장점이 있다.

표 46 축사용 무인 사료 자동 정리장치 특허 청구 범위

청구항	청구 범위
1항	정해진 방향으로 이동하는 이동대차와; 상기 이동대차에서 정해진 거리 이격되도록 설치되고, 회전작동되면서 길이방향으로 형성된 사료통 내에서 흩어져 있는 사료를 집결시키면서 밀어내는 가압부재; 일단이 상기 이동대차에 연결되고 타단이 상기 가압부재에 연결되며, 상기 가압부재에 연결된 타단을 축으로 회전 또는 승강 작동되어 상기 가압부재)의 위치 및 높이를 조절하는 연결링크; 상기 이동대차 내측에 설치되고, 상면에 상기 연결링크 일단과 연결되는 축부를 형성하여, 상기 축부를 승강 이동시키거나 혹은 회전작동시키는 구동부;로 구성되고, 상기 구동부는, 상기 이동대차 내측 바닥면에 고정 설치된 고정판부와; 상기 고정판부 상부로 정해진 간격 이격되게 설치되어 상기 축부를 승강 이동시키는 승강판부; 상기 고정판부 및 상기 승강판부 내측에 수평이동 가능하게 설치된 이동부재; 서로 엇갈리도록 교차되어 상기 구동부 양측에 구비되고, 그 일단이 상기 고정판부 및 승강판부 일단 각각에 회전가능하도록 결합되며, 타단이 상기 이동부재에 회전가능하도록 결합되고, 수평이동하는 상기 이동부재에 밀리거나 혹은 당겨져 상기 승강판부를 승강 이동시키는 링크부재; 일단이 상기 고정판부 일측으로 노출되게 설치되되, 타단이 상기 이동부재에 연결되어 상기 이동부재를 수평 이동시키는 이동안내바; 및 상기 고정판부 하부에 고정 설치되되, 일단이 상기 축부)와 연결되어 상기 축부를 회전시키는 제2구동모터;로 구성된 것을 특징으로 하는 축사용 무인 사료 자동 정리장치
2항	제 1항에 있어서, 상기 가압부재(200)는, 중공형상의 회전통체와; 상단이 상기 연결링크 타단에 고정되되, 하단이 상기 가압부재 상면에 일체로 고정되어, 상기 가압부재를 회전시키는 제1구동모터;로 구성된 것을 특징으로 하는 축사용 무인 사료 자동 정리장치
3항	제 2항에 있어서, 상기 가압부재의 회전통체는, 사료통 내의 사료들을 사료통과 회전통체 사이의 공간으로 집결시켜, 이 사료들을 밀어내도록 원통형상으로 형성된 것을 특징으로 하는 축사용 무인 사료 자동 정리장치
4항	삭제
5항	제 1항에 있어서, 상기 고정판부 및 상기 승강판부 내측에는 서로 평행하게 한 쌍으로 돌출 형성된 가이드봉이 형성되어 있고, 상기 이동부재는 상기 가이드봉에 슬라이딩 결합되어 상기 이동부재가 상기 가이드봉을 따라 수평이동 하도록 안내하는 안내공을 더 형성한 것을 특징으로 하는 축사용 무인 사료 자동 정리장치
6항	제 1항에 있어서, 상기 이동부재와 상기 이동안내바는 볼 스크류 방식으로 연결되어, 상기 이동안내바의 회전작동에 의해 상기 이동부재가 수평이동하는 것을 특징으로 하는 축사용 무인 사료 자동 정리장치

2절 농장설치 및 운영, 시스템 검증

1. 일반 농장 설치 및 시험가동

가. 자동 사료 급이로봇 개선형 모델(2019년형)의 실증 농가(1호) 설치

강원도 양양 소재의 실증 농가(1호)를 선정하여 TMR 자동 급이로봇의 실제 현장 도입 및 운영을 실시하였다. TMR 급이로봇 도입을 위한 마그네틱 코일을 축사에 시공하였고, 농가의 사료 배합기에 TMR 급이로봇 연동 설비를 추가하였다.

그림 174 축사 내 전경 및 마그네틱 코일 시공 현장

그림 175 사료 배합기와 TMR 급이로봇 연동

나. 자동 사료 급이로봇 개선형 모델(2019년형)의 시험가동 전 기능 점검 테스트

주행 라인을 설정하여 마그네틱 코일 시공을 완료한 후 TMR 급이로봇의 가동 전 기능 점검을 수행하였다.

우선 시험 주행을 통하여 자율주행 이동 기능을 점검하였다. 시험 주행 경로는 ①충전장소에서 TMR 급이로봇 출발, ②사료 배합기로 이동, ③축사로 이동, ④충전장소로 복귀까지이다. 해당 실증농가의 경우 사료 배합기에서 축사로 주행하는 길과 축사 앞 진입로에 약한 각도의 경사로가 있는 점을 주안점으로 두고 주행 테스트를 거쳐 경사로의 등판능력을 실험하였다.

그림 176 충전장소(대기상태)에서 시험 주행 시작

그림 177 충전장소 출발(주행상태)

그림 178 사료배합기로 이동 성공

그림 179 축사로 이동 중

그림 180 축사 진입 및 축사 내부 주행 중

그림 181 충전장소로 복귀 이동 중

그림 182 충전장소 복귀 성공, 시험 주행 완료

시험 주행결과 마그네틱 코일 감지에 문제가 없음을 확인하였으며, TMR 급이로봇의 경사로 등판능력을 안정적으로 입증하였고 장애물 감지센서가 작동하여 충돌 또는 경로의 이탈 없이 원활하게 주행하였다. 이동 기능 점검 결과 TMR 급이로봇은 시험 경로를 안전하게 주행하여 충전장소 복귀를 완수하였다.

그림 183 축사 앞 경사로의 등판능력 테스트

그림 184 TMR 급이로봇이 축사 앞 경사로의 등판 가능함을 확인

TMR 급이로봇의 시험가동에 앞서 주행 기능 점검 후, 사료 토출 기능을 점검하였다. 사료 토출 기능은 사료 토출구의 양쪽 이용을 고려하여 컨베이어 벨트가 양방향으로 원활히 회전되는지, 사료의 토출속도 및 토출 거리를 점검하였다. 점검결과 사료의 양방향 토출은 원활히 이루어졌으며 TMR 급이로봇의 시험가동에 돌입을 결정하였다.

그림 185 사료 토출 기능 점검(상: 좌측 토출, 하: 우측 토출)

다. 자동 사료 급이로봇 개선형 모델(2019년형)의 시험가동

실제 사료를 충전하여 TMR 급이로봇의 급이 기능을 수행하였다. 급이 과정은 배합기에서 TMR 사료를 충전한 후, 축사 내부를 주행하되 사료 토출 기능은 좌측 토출을 이용하였다. 축사의 입구부터 끝까지 주행한 급이로봇은 축사의 끝에서 회차하여 동일한 사료 토출구로 급이를 지속한다.

그림 186 시험 가동 및 좌측 토출구 이용 실제사료 급이

그림 187 축사 끝에서 회차 후 사료 급이는 좌측 토출구로 계속진행

라. 자동 사료 급이로봇 개선형 모델(2019년형)의 실증 농가(2호) 설치

충청남도 태안 소재의 실증 농가(2호)를 선정하여 TMR 자동 급이로봇의 실제 현장 도입 및 운영을 실시하였다. 실증 농가(2호)는 160여 두 사육 규모의 한우 농가이다. TMR 급이로봇 도입을 위한 마그네틱 코일을 축사에 시공하였고, 농가의 사료 배합기에 TMR 급이로봇 연동 설비를 추가하였다.

그림 188 사료 배합기와 TMR 급이로봇 연동(실증농가 2호)

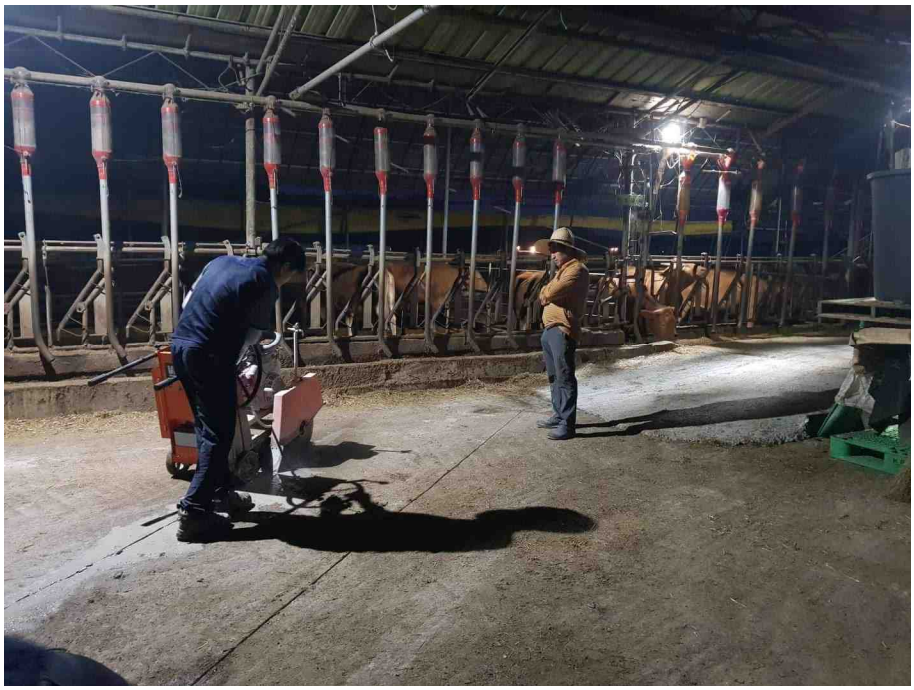


그림 189 축사 내 마그네틱 코일 설치 현장(실증농가 2호)

그림 190 실증 농가 2호 급이로봇 주행 기능 점검

그림 191 실증 농가 2호 사료 급이 중

자동 사료 급이로봇 개선형 모델(2019년형)의 태안 실증 농가(2호) 도입에 있어 실증 농가 1호와 차이점은 농가 내 축사의 좌우 넓이 요소이다. 양양 실증 농가(1호)의 경우 축사 내를 주행한 TMR 급이로봇이 축사의 끝에서 회차(U턴)하여 나올 만한 주행경로의 폭이 넉넉하였으나, 태안 실증 농가(2호)의 경우 충분한 주행경로의 폭이 확보되지 않아 TMR 급이로봇의 회차가 불가능하였다.

따라서 태안 실증 농가(2호)에 설치한 TMR 급이로봇은 오른쪽 토출구로 사료를 급이하며

전진 주행하여 축사 끝에 다다른 후, 회차 없이 후진 주행으로 변경 및 왼쪽 토출구로 사료를 지속적으로 급이하며 축사 내를 빠져나오도록 주행 방식을 변경하였다.
이러한 농가 사정에 맞추어 적용이 가능하도록 TMR 급이로봇은 컨베이어 벨트가 양쪽으로 회전하여 양쪽 사료 토출구를 번갈아 이용할 수 있는 급이 기능을 제공하고 있다. 단 TMR 급이로봇의 후진 주행에 안정성을 기하기 위하여 급이로봇의 후미에 마그네틱 코일을 감지하는 가이드센서를 추가적으로 부착하였다.

그림 192 실증 농가 2호의 축사 내 주행 통로의 폭(회차 불가)

그림 193 급이로봇의 후미에 가이드 센서 추가 부착

그림 194 후미에 부착한 가이드 센서를 통하여 후진 주행 안정성 테스트

그림 195 사료 급이 중 전진 주행(사료 토출구: 우측), 후진 주행(사료 토출구: 좌측)

2. 성능확인 및 업그레이드 실시

실증 농가에서 제품을 장시간 사용할 시 구동의 안전성, 메커니즘의 신뢰성을 대상으로 테스트를 수행하였다. 그러나 한우의 경우 성적 확인 시 최소 3년이 소요되며, 시험운영 결과가 실증농가의 판매 등급 향상이나 이윤 향상 등의 경영지표가 나타나기엔 기간이 짧은 문제가 있었다.

따라서 성능실험 결과가 사용 시간 및 운영 기록에 집중되었고, 제품의 성능 검증에 집중하였다. 시험 운영 기간 동안 발견된 시스템 운영상의 문제점에 대한 기기 교정 및 해결, 펌웨어 업그레이드를 통한 성능 개선, 사용자 편의 개선을 수행하여 연구성과물의 안정적인 운영 및 품질 향상을 도모하였다.

가. 사료 섭취량 조사기 및 TMR 급이로봇 연동 성능 확인

사료 섭취량 조사기 및 TMR 급이로봇의 펌웨어 연동을 확인하였다. 기능 확인은 ①사료를 공급해야 할 사료조 앞에 급이로봇이 이동 및 정지, ②사료조에 TMR 사료 공급, ③공급량이 목표량 도달 시 사료조에 사료 공급 중단, ④종료 또는 ①의 과정을 재시작하는 기능을 점검하였다. TMR 급이로봇과 사료 섭취량 조사기의 연동 기능 점검 결과 원활히 수행되는 것으로 나타났다.

그림 196 사료섭취량 조사기 사료조에 TMR 사료 공급 중인 급이로봇

그림 197 사료섭취량 조사기의 사료공급량 계측

그림 198 공급량이 목표량 도달 시 사료공급 중단

그림 199 사료 공급해야 할 다음 사료조로 급이로봇이 이동 및 정지

그림 200 다음 사료조에 TMR 사료 공급 수행

나. 사료 정리 기능을 고려한 안전 범퍼 업그레이드

축사에 TMR 사료를 급이할 경우, 사료통에 떨어진 사료는 축우의 섭취행동으로 인하여 밀려나게 된다. 축우는 사료 섭취 중 머리나 주둥이로 사료를 헤집는 행동, 밀어내는 행동 등을 하여 무게가 가벼운 TMR 사료를 사료통 밖으로 밀어내는데, 이렇게 밀려난 사료가 급이로봇의 급이로봇의 주행 방향에 쌓여있을 경우 급이로봇의 전진에 저해를 주게 된다.
이러한 문제점을 해결하고 전진방향에 쌓인 사료를 밀어내며 주행할 수 있도록 TMR 급이로봇의 안전 범퍼의 하단을 보강하였다. 먼저 안전 범퍼의 설계 자체를 수정하여 범퍼의 면적을 확장하였고, 추가적으로 안전 범퍼 하단에 사료 푸시(push)가 가능하도록 설비하였다. 사료 푸시 장치의 형태는 여러 차례 보완 및 수정을 거듭하여 장착 및 효과 시험을 수행하였다.

그림 201 하단 범퍼 보강형태 1차

그림 202 하단 범퍼 1차 보강형태로 사료 푸시(push) 기능 점검

1차 보강 형태로 하단 범퍼를 보강하여 사료 푸시 기능을 점검한 결과 사료 푸시 기능은 원활히 수행되는 것으로 나타났다. 그러나 하단 범퍼에 위해 푸시된 사료가 중 급이로봇의 측면으로 밀려나 사료통으로 돌아가기보다, 급이로봇의 전면에 사료를 푸시한 채로 급이로봇이 계속 전진 주행하는 현상이 발견되었다. 이 문제는 하단 범퍼의 전면이 평평한 사각 형태이기 때문인 것으로 원인이 지적된 바, 하단 범퍼의 형태를 삼각 형태로 변경하기로 하여 새로 설계를 수행, 2차 보강 형태로 업그레이드하였다.
또한 하단 범퍼의 면적이 커져 축사 내 주행 중이 아닌 축사 간 이동, 축사와 사료 배합기 간 이동 중에 하단 범퍼의 지면 쓸림이 지속적으로 발생하는 바, 하단 범퍼의 불필요한 손상을 줄이고자 하였다. 따라서 사료 푸시 기능이 필요 없을 때를 대비하여 하단 범퍼의 상승, 하강 기능을 새로이 갖추었다. 하단 범퍼가 상승 상태일 때는 급이로봇이 주행하더라도 하단 범퍼가 지면에 마찰하지 않으며, 하단 범퍼가 하강 상태일 때만 급이로봇의 주행상태에서 지면과의 마찰 및 장애물(사료) 푸시 기능이 수행된다.

그림 203 하단 범퍼 보강형태 2차

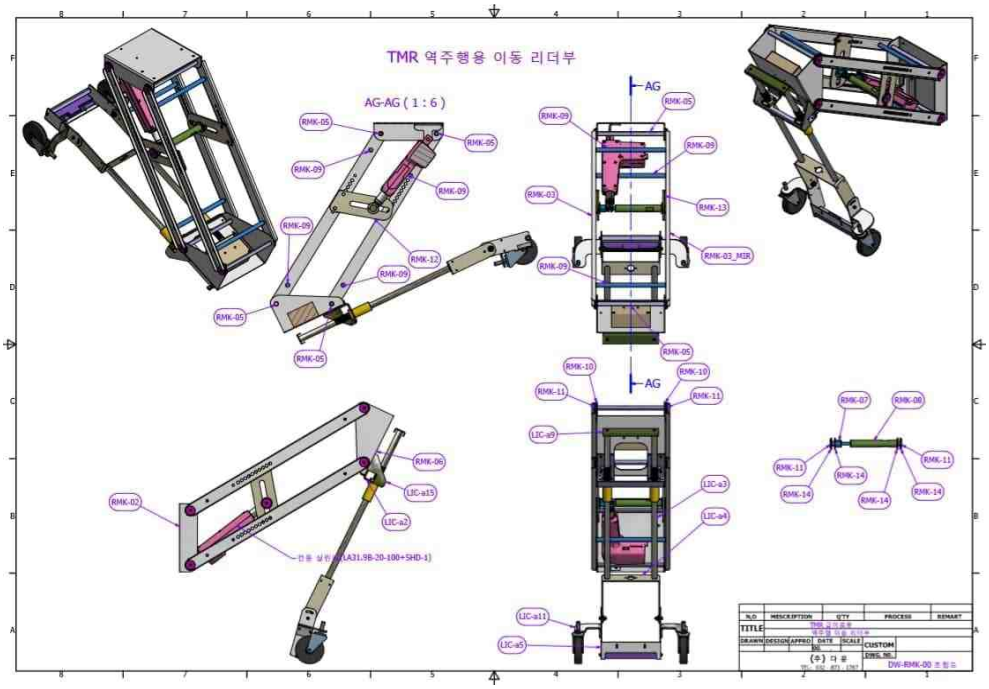
그림 204 하단 범퍼 보강형태 2차(정면)

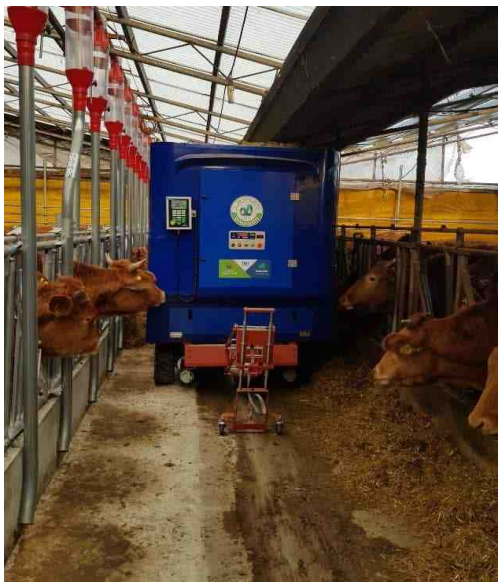
그림 205 급이로봇 동작 상태에 따른 하단 범퍼의 위치(좌: 상승, 우: 하강)

그림 206 하단 범퍼 2차 보강형태로 사료 푸시(push) 기능 점검

다. 후진 급이기능 개발

진입로가 좁은 농장에서 사료급이를 하고 회전이 어려울경우 후진으로 빠져 나와야 하는 경우가 있는데 주행센서가 전방에 위치할 경우 후진을 할수 가 없음. 후진 센서는 뒷바퀴를 중심으로 일정 거리에 있어야 하므로 로봇의 뒷축에 고정하는 것은 문제가 발생됨
뒤축간 거리와 센서와의 거리가 1:1일 경우 직진성이 좋아지므로 센서가 필요에 따라서 뒤로 길어지고 사용안할경우에는 접어져야 운행상 불편이 없을수 있으므로 자동 접이식 장치를 고안하여 제품을 제작 하였다. 후진하는 경우에 노면의 평탄화가 되지 않았거나 약간의 언덕을 내려올 경우에 센서의 높이가 자동 조절되어야 하는 이유로 복잡한 형상의 제품을 고안 하여 현장에 적용하였다. 후진전 센서를 내려서 후진하고 후진을 완료하면 센서를 들어올려서 차체에 고정후 이동한다.





라. 사료 토출 및 낙하 거리를 고려한 장비 업그레이드 설치

시험 가동 운영 중, 급이된 TMR 사료가 사료통 주변에 흩어지는 현상이 관찰되었다. 이는 TMR 사료의 특성 상 낙하 시에 바로 추락하지 않고 공중에 비산하는 문제, 비산한 사료가 모아지지 않고 흩어지는 문제, 토출구와 사료통 간의 거리가 적절하지 않은 등의 사유로 발생한 문제이다.

이렇게 주변에 흩어진 사료의 경우 축우가 축사 울타리 밖으로 머리를 내밀어도 입이 사료에 닿지 않아 사료를 섭취할 수 없다. 따라서 사료의 낭비를 야기할 수 있고, 이렇게 주변에 떨어진 사료를 농가근로자가 도구를 사용해 사료통 안쪽으로 밀어넣어 축우가 섭취할 수 있도록 정리해주어야 하므로 추가적인 노동력이 소요된다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여, 토출된 사료가 사료통 내에 안정적으로 투하될 수 있도

록 사료 토출구를 연장하여 업그레이드를 실시하였다. 연장부 설치 결과, 사료 토출거리가 향상되어 TMR 사료가 축우의 머리가 닿는 거리에 안정적으로 낙하할 수 있도록 보완되었다. 급이사료가 사료통에 일렬로 낙하하여 외부로 밀려나는 사료량이 줄어들었고, 사료 정리를 위한 추가적인 노동력이 소요되지 않음을 확인하였다.

그림 211 사료통 주변으로 TMR 사료가 흩어져있는 문제 관찰

그림 212 사료 토출구 연장 시도

사료토출 유도장치 설계 및 적용하였다. 사료가 기기주변에 흘러 주변이 오염되는 문제를 해결하기 위하여 유도대를 설치하였고, 로봇 주변에 떨어지던 사료 정리되었다.

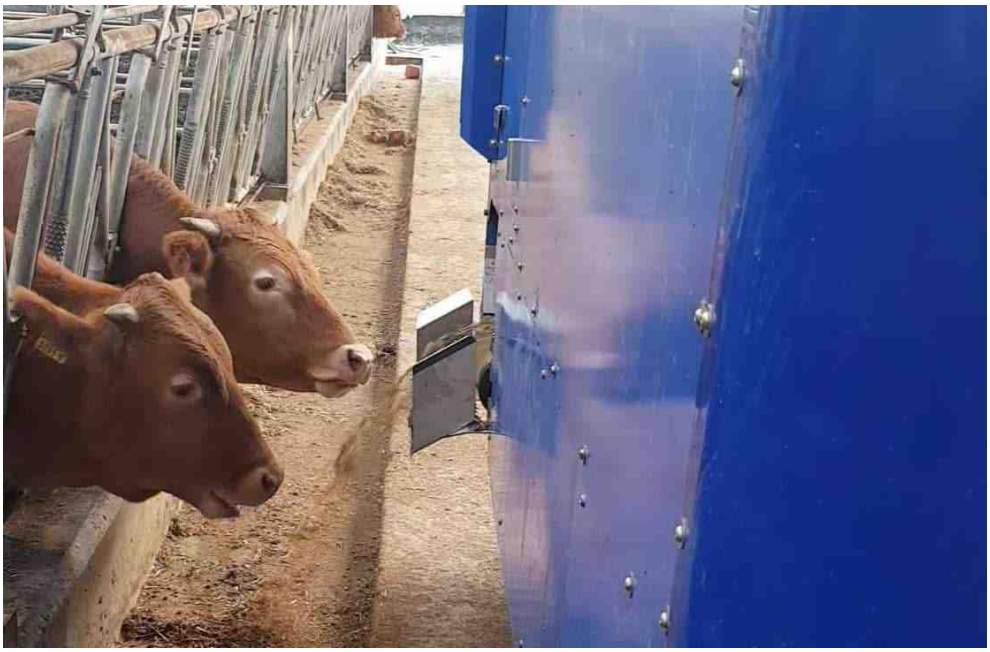


그림 213 급이로봇의 사료 토출구 연장 업그레이드

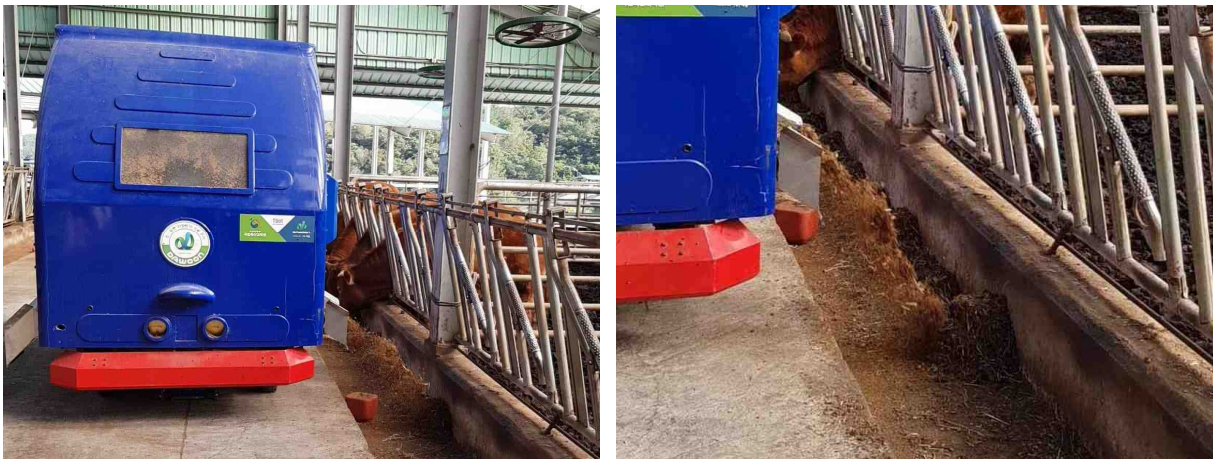


그림 214 사료 토출구 연장 업그레이드 후 사료 급이 실행

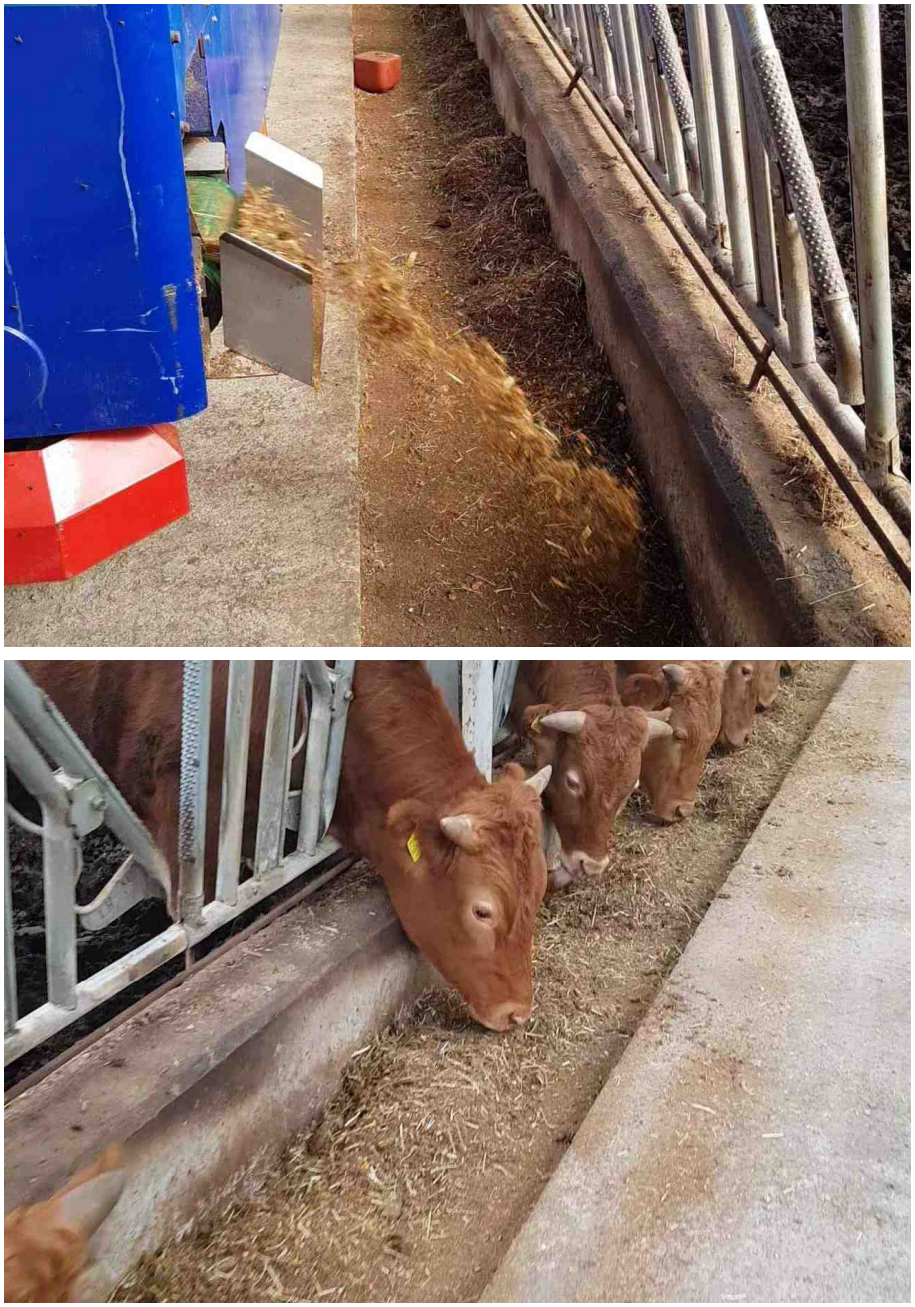


그림 215 사료통에 사료가 일렬로 안착, 문제 개선

마. 현장 적응 시험 이슈 발생 및 해결

표 47 성능확인 및 현장 적응 시험 이슈 발생 및 해결 내용

<table>
<tr><th>이슈 발생 및 해결 내용</th></tr>
<tr><td>

- 앞바퀴의 접지성 강화를 위해 중앙지지식 장치를 개발 적용했으나 고중량을 견디지 못하고 좋지않은 결과만 만듬
- 캐스터 바퀴가 회전반경이 최소화 되는 고가의 제품을 채용하여 전진후 후진시 해드부분이 심하게 흔들리는 현상을 줄이려는 노력이 있었으나, 중량의 문제로 인해 좋지 않은결과를 초래함
</td></tr>
<tr><td>

불규칙적인 노면 진행 시 마그네틱 라인추종능력 개선을 위한 센서 기구물 디자인 적용을 통한 노면주행 성능 강화
</td></tr>
<tr><td>

-일반 버티컬식 감속기 채용후 현장검증중 문제 발생
- 감속기 기어가 깨지는 문제로 주행불가 및 로봇제어불가로 사고 발생위험 확인
- 전수 검사 및 경사도 테스트 결과 감속기 사용불가 결정
- 전 제품 회수 및 설계수정
</td></tr>
</table>

이슈 발생 및 해결 내용

- 안정성을 고려한 수입제품으로 전량 교체
- 안정성 검증지수 0.98 (1.0양호)
- 전체 하중 및 이동속도를 고려한 안정성 지수 확보 및 현장테스트 합격
- 감속비율 선정
- 1차 - 40:1 (등판능력저하)
- 2차 - 80:1 (제자리 턴 기능저하)
- 3차 - 145:1 (중간감속기 채용)
  적합도 확인
- 경사도 15도 이상 안정주행

- 구동모터 제어기 고출력 방식으로 교체
- 기존 110A 모델의 출력 부족으로 소손 발생
- 250A 모델로 전체 교체를 통한 여유전류 확보함.

이슈 발생 및 해결 내용

- 차량이 후진할 경우 켈리퍼에 회전에 의해서 정확한 후진이 않되는 문제발생
- 충전시설 진입시 충전위치가 변하는 문제 발생
- 유도 파이프를 통해서 충전위치 도킹 능력을 대폭 개선함.
- 충전도킹 문제 및 후진방향 문제 해결

그림 224 사료 자동 공급방식 농가

그림 225 500킬로그램 지대사료 투여농가

- 농가 요청에 의해 설계 및 제작
- 개방형 급이로봇 특수제작 및 공급
- 청소 및 사료 공급의 용의성 확보
- 설계 제작 및 현장검증 확인.

이슈 발생 및 해결 내용

- 컨베이어 벨트 감속비율 조정
- 기존 350W BLDC모터 10:1 감속기 적용
- 벨트 연결시 2:1 감속으로 총 20 : 1 감속되었음.
- 과부하시 모터 에러 발생빈도 많음.
- 기존 최대 토출거리 1.2미터

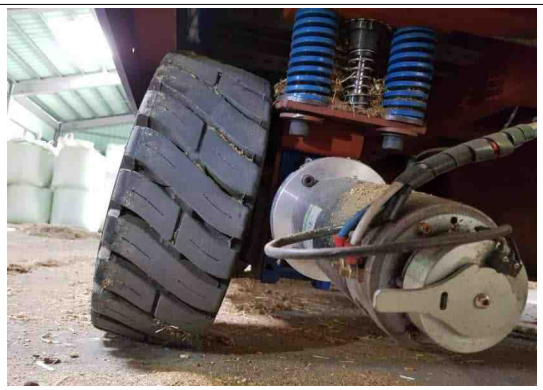
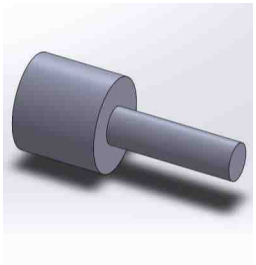
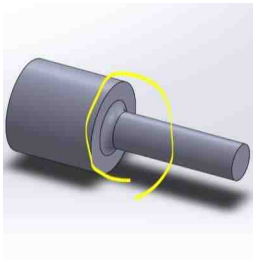
[수정]

- 벨트 연결시 1:1 감속으로 총 10 : 1 감속되었음.
- 과부하시 모터 에러 발생빈도 많음.
- 기존 최대 토출거리 70센티
- 무리하게 멀리 토출할 필요가 없음.,.
- 안정도 대폭증가

스크류 구동 감속비율 조정

- 기존 : 750W모터 10:1 감속 적용
- 수정 : 750W모터 20:1 감속 적용
- 수정후 강한힘으로 회전력 증가
- 사료 걸리는 문제점 해결됨.

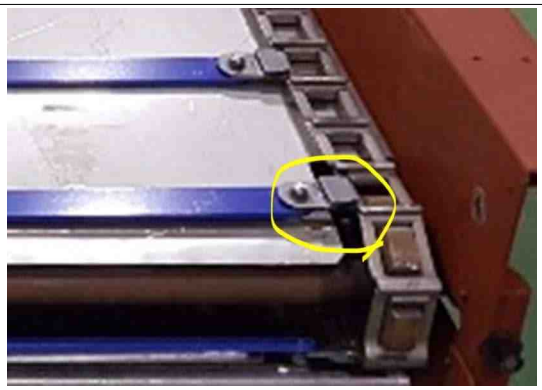
이슈 발생 및 해결 내용

- 바퀴축 파손으로 로봇사용불가
- 가공방법 개선을 통한 문제해결 추진
- 필렛가공을 통한 경계선 없앰으로 안정성 확보
- 전체적인 구경을 변화할 필요성 있음을 확인하여 신제품에 반영키로 함.

- 체인컨베이어 구동용 체인 단락문제 발생
- 이물질이 걸리거나 무리한 운행시 체인파손 발생됨 .
- 체인의 규격을 상향조정하여 전체 제품을 교체하였음.
- 물체가 걸린상태로 운행할 경우에도 체인파손문제는 발생하지 않음을 확인함.

- 체인컨베이어 장력 조절장치 개선
- 방식의 전환을 통한 안정성 확보

이슈 발생 및 해결 내용
 - 밀판 간격 조정 (기존 체인 5개당 1개 삽입) - 밀판 간격 조정 (현재 체인 3개당 1개 삽입으로 조밀해짐) - 연결대 보강 (이물질이 있을 경우 용접부위 떨어짐 문제 발생 보강함.)
 - 연결대 두께 수정함. - 기존 5밀리 평철 사용 - 수정 (9밀리 평철 사용으로 휘어짐 없음)

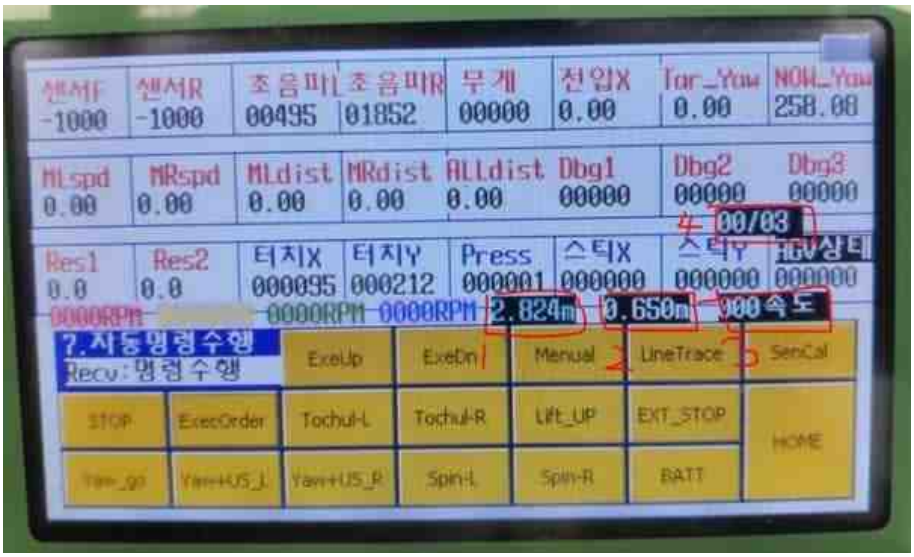
바. TMR 급이로봇 test-bed 운영 및 현장 실증 중 펌웨어 업그레이드

펌웨어 변경 및 업그레이드 시, 모든 수정 사항은 실제 운영 중인 급이로봇에 적용 후, 테스트를 거쳐 적용 또는 미적용 여부를 판단하였다.

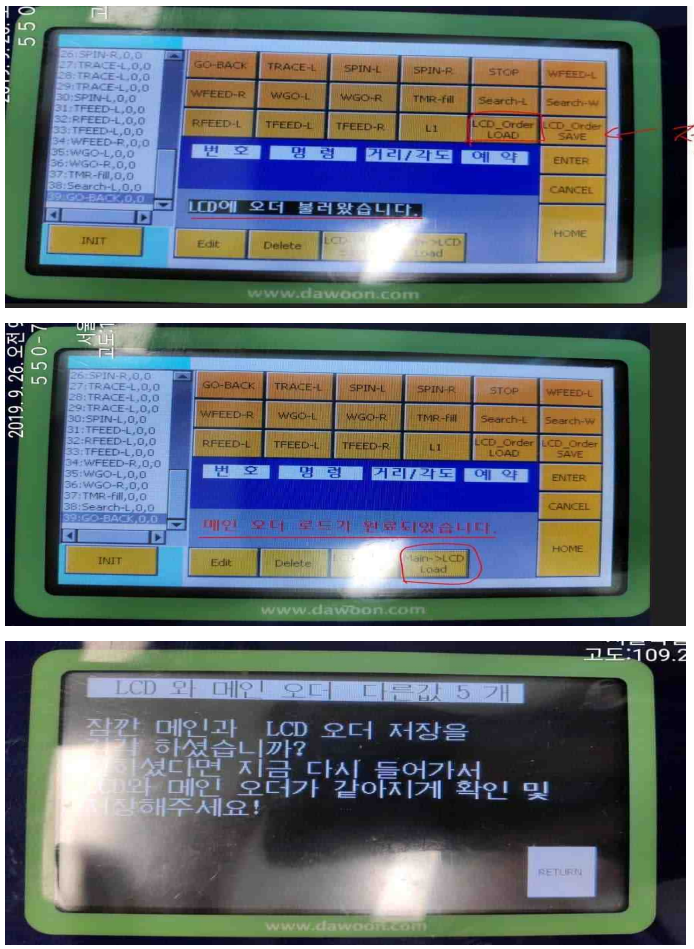
표 48 TMR 급이로봇 펌웨어 수정 및 업그레이드

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
F40	- 레이저 센서로 거리 측정하여 TMR 속도 조정 가능하도록 TMR 보드 메인을 수정하였음. TMR 보드 메인에 LaserSensor.c / LaserSensor.h 파일 새로 생성함. void Laser_Range_Continue_Run(uint16_t Postion)에 Postion 값을 1로 지정할 경우 오른쪽(보드 상 LASER RIGHT)으로 동작, Postion 값이 1이 아닌 값으로 지정할 경우 왼쪽(보드 상 LASER LEFT)으로 동작하도록 설정됨. 위의 루틴을 거쳐 LSS.OffFlag 값이 1에서 2, LSS.LaserEnable 값이 1이 되면 동작이 시작됨	19.07.08

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	표 49 레이저 센서를 이용한 속도 조절 값을 넣을 위치 case ORDER_WALL_FEEDING_LEFT : case ORDER_WALL_FEEDING_RIGHT : case ORDER_TRACE_LINE_FEED_LEFT : - 레이저 센서 정지는 void Laser_Range_Stop(void) 루틴을 들어가면 LSS.OffFlag 값이 0이 아닐 때 정지동작이 실행됨 표 50 레이저 센서를 이용한 정지 값을 넣을 위치 case OP_AGV_STOP : 그림 242 Device 화면 - 설정에서 ①Device 버튼을 눌러 진입하여 13, 14, 15번 값을 확인함. ②13번은 레이저 거리 조건(사료 높이 기준)의 설정 값을 mm 단위로 입력함. 즉 1.000 M 설정 시에 입력값은 1000을 넣음. ③14번 레이저 거리 조건이 만족되지 않을 때 몇 퍼센트(%)로 속도를 낮출 것인지 설정함. 즉 50 넣으면 조건이 안 될 때 50% 저하된 속도로 동작 시작됨. ④15번은 레이저 거리 조건을 만족하기 위해 들어와야 할 센서 측정값의 횟수를 몇 회 카운트할지 설정함. 즉 3회로 설정하면 해당 사료높이 조건을 충족하는 센서 측정값이 3회 들어와야 정상 속도로 변경됨	

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	 그림 243 레이저 센서로 거리 측정된 값 화면 ①레이저 센서로 거리 측정된 값(mm 단위 표시) ②현재 설정된 레이저 센서 거리값 ①번 거리값 < ②번 거리값일 경우 사료 높이가 만족되므로 ④번 00(카운트)/03(설정카운트) 값이 1씩 증가, 설정된 카운트 값까지 횟수가 1씩 증가하여 설정 조건이 만족되면 ③번의 속도가(급이동작시 고정 60으로 되어있음) 정상 60으로 변경됨 - 반면, ①번 거리값 > ②번 거리값일 경우 사료 높이가 만족되지 않으므로 ④번 값이 00/03으로 초기화되며 ③번 속도값은 설정된 속도(%) 기준으로 동작됨. 예시) 50%로 설정되어있을 경우 속도가 60에서 30으로 저하됨	
	- CAN 보드 펌웨어 수정함. CAN 통신이 기존 일방 송신 동작만 가능하였으나 양방향 동작하도록 변경하였음. CAN보드에서 송신 및 수신 동작이 가능하여 메인에서 신호를 받고 바로 ACK 신호를 전송함 - CAN 통신 보드 쪽에서 정상적인 경우는 10 - 50 ms 범위의 수신속도를 유지하나, 5초 이상 지속적으로 수신이 동작하지 않을 경우 Watchdog이 동작하여 자동 초기화되도록 변경함. 메인 쪽에서도 CAN 통신 부분에 TIMEOUT Flag가 발생하면 CAN 통신 초기화를 동작하여 자동 복구되도록 변경함	19.09.19

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	 그림 244 속도 증가, 감소가 가능하도록 LCD 수정 화면 - LCD의 메뉴에서 특정 오더의 속도를 변경할 수 있도록 수정함. 메뉴에서 퇴장했다가 다시 진입하면 이전 오더 번호가 제대로 표시 안 되는 버그를 수정함	
	- 속도 관련하여 Device 항목 하단에 설정기능을 추가하였음. 후진명령 시 속도가 전진명령 속도와 동일한 문제를 시정하기 위하여 Device 항목 하단에 후진명령 시 속도 항목 추가하여 설정이 가능하게 하였음. 기본 속도는 60으로 설정됨. 또한 서행 명령 시 지정된 기본 속도 값으로만 서행하는데 상황에 따라 사용자가 대응하여 속도 변경 가능하도록 Device 항목 하단에 서행 속도 지정 항목을 추가함 - '사료공급정지' 버튼을 도입하여 축사 내부 주행 중 사료가 많이 쌓여있는 구간에서는 사료공급을 정지할 수 있도록 하는 기능 및 긴급정지버튼을 추가하였음. 기존 명령 진행 항목에 급이정지 버튼 추가하여 테스트 수행할 계획임. 또한 급이 동작 중, 사료 급이중지 명령을 내릴 경우 벨트컨베이어가 5초 정도 더 회전 후 정지하는 문제를 바로 정지하도록 시정함. 정지 명령이 벨트컨베이어의 다른 출력과 작동을 동일하게 수행되도록 하여 일시에 정지되도록 함 - 정지 명령 후 재시작 설정값 테스트 수행함. 설정값 0일 경우 시간 맞추어 정지하고 시간 맞추어 재출발함. 설정값 1일 경우 좌측에 사료 5 Kg 급이 후 출발, 설정값 2일 경우 우측에 사료 5 Kg 급이 후 출발하는 수정사항은 원활히 구동하지 않아 펌웨어 재수정 및 테스트 재수행 요구됨. 설정값 3일 경우 사료 밀판 내림 동작, 설정값 4일 경우 사료 밀판 올림 동작은 원활히 수행되는 것으로 나타남 - Device 항목에 Manual Key 항목을 추가함. Manual Key 항목에 진입하면 전방 센서 및 범퍼 센서의 감지 상태가 표시되도록 수정함. 그에 따라 역회전 버튼은 오른쪽으로 이동하였음. 전방 센서에 장애물이 감지될 경우 Device 설정에 'Slow_SPEED' 항목에 지정된 속도로 변경되며 이동속도가 저하됨. 범퍼 센서에 장애물이 감지될 경우 일시정지 동작으로 전환되어 멈춤. 내부 기능 정지에 관하여 향후 자세한 점검이 요구됨 - 스크루벨트의 RPM 값의 사용 및 설정이 가능하도록 Device 항목에 추가함. CAN 보드에서 해당 RPM 값이 수신되지 않을 경우 급이 중이던 사료가 토출되어 고장이 일어나지 않도록 기능을 수정함. 토출 후 5초 내에도 RPM 값이 지속적으로 수신되지 않을 경우 급이정지됨. RPM 에러플래그는 정지 버튼을 누르거나 리프트 역회전 명령이 종료되는 시점에 해제되며, 해당 수정사항은 반영 및 테스트 완료하였으나 사용자의 주의가 요구되는 바임 - 사용자 편의성을 위하여 버튼의 영어 메뉴를 한글로 변경을 추진해야 할 것으로	19.09.25

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	사료됨. 디자인 시안을 고려 중임	
	- LCD 수정 시행함. 기존에는 HOME 버튼을 눌러 메뉴를 이탈하면 진행 중이던 명령이 자동 저장되어, 사용자의 작업 손실을 막도록 개발하였으나, 해당 기능으로 인해 잘못된 명령, 미비한 명령 등이 과도하게 저장되는 불편이 발생하였음. 따라서 LCD 상에 'LCD Order SAVE' 버튼을 정비하여 사용자가 직접 버튼을 눌러서 저장하도록 하고, 저장되지 않은 명령은 취소되도록 기능을 수정함. 또한 명령의 저장 없이 메뉴를 이탈할 경우, 사용자의 재확인을 진행하도록 하여 작업 손실을 방지하도록 함  그림 245 저장 및 손실 문제를 고려한 LCD 수정 - LCD Setting에 메인보드 'Admin Device Schedule'의 값을 공장 초기화하는 'Default Init.' 버튼을 생성하였음. 해당 버튼을 2회 누르면 공장초기화가 진행됨. 사용자의 주의를 요하는 기능임 - 속도 가변하는 기능 수행 중 현재 속도의 값이 감소하면서 가감 목표치와 동일한 값이 되었을 때 가감값을 변경하지 못 하는 버그를 수정하였음	19.09.26
	- TMR 메인에 중량급이 기능을 추가하여, 기존의 속도급이 또는 중량급이 설정이 가능함. Device 설정에서 'SPEED_or_WEIGHT'의 설정값이 0일 경우 기존의 속도급이 모드 및 정지 방식을 유지, 설정값이 1 또는 2일 경우 새로운 중량급이 모드로 전환되어 현재 중량값 기준에서 설정량 만큼 빠져나감. 설정값이	19.10.02

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	1일 경우 중량급이 정지 시 좌측에 5 Kg 급이 후 정지하는 방식, 설정값이 2일 경우 중량급이 정지 시 우측에 5 Kg 급이 후 정지하는 방식으로 동작함. 급이 모드가 변경될 경우 화면이 변경되어 해당 상태를 확인할 수 있도록 LCD 수정 하였음. 버그 사항이 발생하는지 지속적인 검토가 요구됨 그림 246 라인 따라 좌/우 급이 수정된 LCD 화면	
	- 급이 중 타임오버 기능을 추가함. 시간은 120초 기준으로 타임오버 기능이 동작하며, 급이가 진행될 때 1 m 마다 시간이 갱신되지만 한 구간에 머무는 시간이 120초 넘어갈 경우 사료 토출이 정지되고 라인 주행만 지속하는 기능임. 타임오버가 실행될 경우 화면에 표시됨 - 중량급이 시 종료시점에 중량 평균값을 검토하여 현재 중량의 ±0.2 Kg 범위에 중량 평균값이 포함되고 중량 안정상태 값을 확인하여, 중량이 안정 상태로 판단될 경우 다음으로 진행 가능하게 변경함. 단, 중량 상태 안정을 판단하기 위해서는 해당 거리에 도달 시 거리정지가 무조건 발생되니 주의가 요구됨	19.10.04
	- 급이 중 급이명령마다 급이량이 조절 가능하게 변경하였음. '증가/감소' 버튼을 누른 뒤 약 2초 후 해당 설정값들이 저장됨. 또한 메인 화면에 한글로 표시되도록 변경함	19.10.07

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	 그림 247 한글로 표시 변경된 메인 화면 - 현장에서 TMR 급이로봇 전원을 켤 경우, 메인의 부팅이 완료되지 않은 상태에서 LCD를 조작할 경우 오작동이 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 화면을 추가로 삽입함. 또한 자동급이 진입 시, 속도급이인지 중량급이인지 확인 가능하도록 화면에 표시하였음	
	- '증가/감소' 버튼의 사용 중 급이 감소는 -5까지로 제한, 급이 증가는 최대 +100까지 가능하도록 변경하였음 - 수동 조작으로 라인 주행 시 원래 속도가 아닌 감소된 속도로 주행되는 버그를 발견하여 수정함. 아울러 자동급이 라인 주행 시 상태를 확인할 수 있는 값을 추가적으로 표시되도록 변경함 그림 248 자동급이 라인 주행 시 상태를 확인할 수 있는 LCD 화면 - 주행 시 문제가 발생되었을 때 어떤 문제인지 용이하게 파악하기 위하여 라인(L) 메시지 및 O, F, C 값들을 LCD 화면 상에 표시되도록 추가함. 오른쪽 상단	19.10.08

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	에 노출되는 라인(L) 메시지로 아래와 같이 확인 가능함(그림 7 참조) ①L:N다음준비 : 라인 감지 벗어난 지 0.2초 이상 되었을 때 노출됨. ②번 진행의 전단계 ②L:8cm다음오더 : 라인이 감지에서 벗어나 0.2초 이상 지날 경우, 이후 8 cm 거리를 이동했을 때 라인이 감지되면 해당 메시지 나옴. 이후 다음 명령이 수행됨 ③L:8초Timeout : 처음부터 라인이 감지되지 않고 9초 이상 경과하면 노출되는 에러메시지 ④L:감지벗어남 : 라인 감지가 되지 않고 벗어난 상태 ⑤L:감지시작 : 라인 감지 범위 안으로 들어온 상태 - 그외 화면 중앙부에 노출되는 메시지로 다음 상태를 확인 가능함 O199cm : 라인 감지 벗어나서 지나가고 있는 거리 값을 나타냄 F184cm : 라인 감지되고 있을 때 마지막으로 축정된 거리 값을 나타냄. 즉 O값에서 F값을 빼면 이동된 거리가 측정됨. 현재 199 - 184 = 15 cm를 이동한 값이 그림 화면에 표시됨 C1530 : ms로 표시된 타임값을 나타냄. 현재 1.530초로 표시됨	
	- 일시정지 버튼을 누른 뒤 다른 화면 전환 시, 일시정지가 해제되는 버그를 발견하여 수정함. 다른 화면 전환 시에도 일시정지는 계속 유지됨 - 급이 중 타임오버 기능의 기준 시간을 기존 120초(2분)에서 5분으로 상향 조정하였음	19.10.10
	- 후진 주행을 위한 후면 마그네틱을 추가하여 개선하였으며 그에 따라 후면 동작에 요구되는 CAN 통신 및 보드를 수정하였음 표 51 후면 동작에 요구되는 CAN 통신 및 보드 1. 후면 CAN 통신 및 전원라인은 전면 CAN 보드와 동일하게 연결 2. DIP 스위치는 전면은 모두 내리고(OFF) 후면은 1번을 올리고(ON) 나머지 내린 상태(OFF) 3. 후진 주행(GO-BACK) 명령 1번은 거리, 명령 2번은 모드를 의미함. 명령 2번의 모드를 '4'로 지정하면 후면 CAN 보드를 동작 가능 - CAN 보드에 전송 횟수가 50회 이상 도달할 때까지 진행되지 않으므로 CAN 통신의 전면, 후면 전환 시 시간이 소요됨. 후면 동작은 기본 설정에 따라 전면의 반대방향으로 동작하며, 최초 후면 동작 시 올바른 방향이 적용되었는지 사용자의 점검이 요구됨	19.10.11
	- 주행 거리의 단위를 기존 1 m에서 0.1 m로 수정함. 즉 입력값이 '4'라면 기존에는 4 m를 이동했으나, 변경사항 적용 후에는 0.4 m 거리를 이동하며 입력값을 '40'으로 정정하여야 4 m를 이동함. 이 변경사항을 적용할 시 이동거리를 10 cm 단위로 세밀하게 조정할 수 있는 장점이 있으나, 기존에 4 - 6 등으로 지정하였던 입력값을 40 - 60 등으로 변경해주어야 하므로 주의가 요구됨	19.10.14
	- 기존 최대 한도가 100개였던 명령 횟수를 200개로 증대하였음. 기존 명령개수가 100개가 넘어가면 발생하던 오류를 최대 한도를 증대함으로써 해소함 - 명령 저장 시 통신 오류가 발생하여 저장이 되지 않았는데 저장이 완료되었다고 표시되는 버그를 수정하였음. 또한 통신 오류 발생 시 명시적으로 확인하기	19.10.15

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	쉽도록 에러 메시지가 붉은색으로 표기되도록 변경하였음	
2.209	- RPM 기능 사용 시 오류가 발생할 경우 LCD에 표시 안 되는 문제를 발견하여, LCD에 표시가 되게끔 수정함. 부저 소리도 발생하도록 추가하였으며 오류 발생 시 '모두정지' 버튼을 눌러야 RPM 에러 상태가 해제됨. '일시정지' 버튼으로는 에러 상태가 해제되지 않으므로 주의 요함 그림 249 RPM 에러 메시지 사용 화면	19.10.24
2.217	- CAN 송신 이상 시, 횟수 저하 문제로 동작이 불가능한 기준을 50회에서 20회로 하향 조정하였음. 해당 횟수가 실제 동작 중에 얼마인지 확인 가능하도록 횟수를 보이게 추가함. '캔:××회', 'CAN 안정화 대기중'과 같은 메시지 형태로 표시됨. 또한 CAN 안정화 대기 시에 시간을 나타내는 부분이 계속 갱신되도록 변경하였음 - 'FILL' 동작 시 움직이는 거리를 설정할 수 있도록 기능 추가였음. 'FILL MOVE DIST'에 입력값 cm 단위로 입력하여 최소 1 - 최대 150 cm 범위 내에서 지정 및 이동 가능함 - 리프트 UP/DOWN 시간을 조정함. 기존 리프트UP 20초에서 15초로 변경, 리프트 DOWN 4초에서 15초로 변경함. 리프트 UP 동작 조건은 ①처음 메인 전원	19.10.25

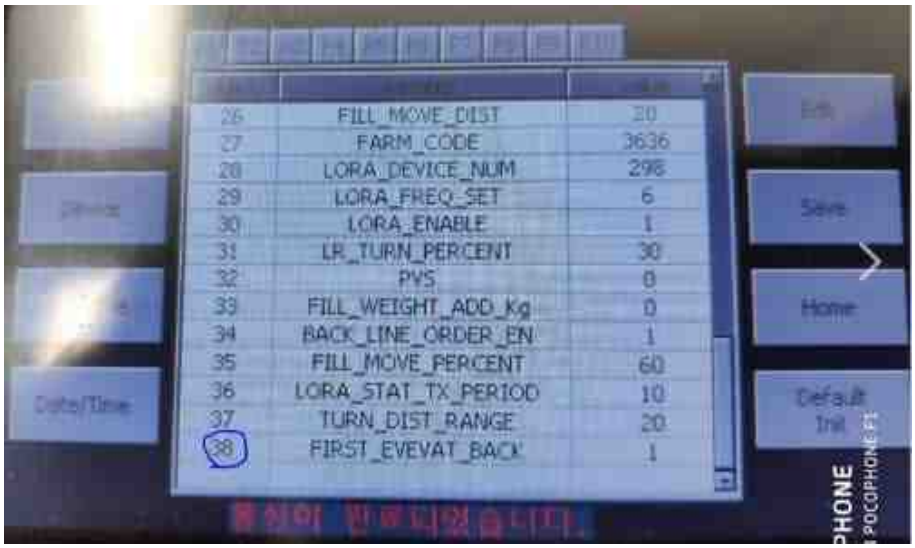
펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	을 켰을 때, ②수동으로 리프트 UP 동작을 했을 때, ③정지 후, 리프트 UP 명령을 할 때 외에는 리프트 UP/DOWN 실행되지 않도록 변경하였음. 따라서 리프트 UP/DOWN은 수동으로 제어하여야 하며 명령을 필수로 지정하여야 함 - TMR 사료 공급 시 '공급종료' 버튼을 생성하였음. 해당 버튼을 1회 누르면 공급이 종료되고 다음 명령으로 진행함 - 후면 주행 시 급이동작 좌/우 메뉴 추가하였음. 해당 변경 사항 테스트 요구됨 - 모든 명령이 종료될 시마다 급이 오버타임 관련 값들을 초기화하도록 변경함	
2.227	- 기존 급이 명령 시 입력 거리에 따라 급이동작 수행하는 시점을 변경함. 급이 설정할 경우 입력값이 1 - 10 (0.1 m - 1 m) 범위일 경우 해당 급이동작은 이동 거리를 이동한 후에 급이가 수행됨. 입력값 11 (1.1 m) 이상부터는 기존과 동일하게 이동하면서 급이를 동시 수행하는 것으로 유지함 표 52 거리 입력값과 급이동작 수행시점 조정 급이명령 거리가 짧은 경우: 1 - 10 (0.1m~ 1.0m) 까지는 이동 후 급이동작 급이명령 거리가 일정 이상: 11 (1.1m) 이상부터는 이동하면서 급이동작 - 위의 사항 개선 후 급이 시 이동 중에는 '일시정지' 버튼이 문제 없이 동작하나, 이동이 완료되고 급이 시작 시 '일시정지' 버튼을 눌러도 급이가 일시정지되지 않는 버그가 발견되어 수정하였음 - LoRa 기능을 수정 및 추가하였음 표 53 LCD 상에서 LoRa 기능 관련 설정 LCD의 DEVICE 항목 설정 시 27번 농장코드 (FARM_CODE) : 해당 농가 코드 입력 28번 LoRa 모듈 그룹번호 : 200 - 999번까지 설정 가능 29번 LoRa 주파수 : IoT BASE 보드와 동일한 주파수 번호로 설정하며 0-6 범위 내 30번 LoRa 보드 사용 여부 : 데이터를 전송 여부를 0(사용안함), 1(사용함)으로 지정 내부 LOG에 500개의 데이터는 지속적으로 저장됨	19.11.04
2.307	- 1 m 거리 이하의 급이동작 내용을 다음과 같이 재수정하였음, ①기존 1 m 이내를 이동한 뒤에 정지하여 안정시간(설정값) 유지 후에 급이 동작 수행, 목표치 무게 도달한 후 다음 명령으로 진행하도록 기능을 개선한 바 있음. 기존 ①의 동작은 동일하게 유지하되 다음 명령으로 진행하기 전 동작을 추가함. ②모터 및 급이 출력 정지 후, 다시 안정시간(설정값) 유지, ③급이동작전 총 무게와 급이 동작 후 현재의 무게를 비교하여 원하는 목표치 만큼 급이하였는지 검증 과정을 수행함. 목표량(설정값 - 낙차값)이 불만족 시 급이 동작 재실행, ④목표량(설정값 - 낙차값)이 만족 시 다음 명령으로 진행함	19.11.11

<table>
<tr><th>펌웨어 버전</th><th>업그레이드 내용</th><th>일자</th></tr>
<tr><td></td><td>표 54 1 m 이하 거리 이동시 급이동작 재조정
<table><tr><td>기존 변경사항</td><td>①1 m 이내를 이동한 뒤에 정지하여 안정시간(설정값) 유지, 급이 동작 수행
②해당 무게 도달 시 다음 명령으로 진행</td></tr><tr><td>재변경 사항</td><td>①1 m 이내를 이동한 뒤에 정지하여 안정시간(설정값) 유지, 급이 동작 수행
②모터 및 급이 출력 정지 후, 다시 안정시간(설정값) 유지
③급이동작전 총 무게와 급이 동작 후 현재의 무게를 비교하여 원하는 목표값 만큼 급이하였는지 검증함. 목표량(설정값 - 낙차값)이 불만족 시 급이 동작 재실행
④목표량(설정값 - 낙차값)이 만족 시 다음 명령으로 진행</td></tr></table>
③의 변경사항이 무한반복 될 소지가 있으므로, 목표 무게 도달 여부는 최대 6회까지 검증 수행하도록 한 후, 검증 완료가 안 되었더라도 7회부터는 다음 명령으로 진행하도록 개선하였음
- 위 사항 개선 중, 발생한 버그에 관하여 수정하였음</td><td></td></tr>
<tr><td>2.312</td><td>- 사료 공급 중 타임오버 기능에 관하여 수정함. 기존 8분 동안 사료공급이 끝나지 않으면 타임오버 기능으로 완전 정지되던 것에서, 변경 후에는 8분 동안 사료 공급이 끝나지 않으면 대기상태에 머무르며 아래와 같은 화면이 LCD에 표시됨

그림 250 공급 시 오버타임 경고 메시지
- 해당 메시지 화면에서 ①‘공급종료’ 버튼을 누를 경우 다음 명령으로 진행함. 또는 ②수동 공급을 진행함. 또는 ③‘급이정지’ 버튼을 천천히 2회 누르면 오버타임이 해제되고 다시 사료 공급 타임이 동작하여 작업이 재동작됨. 오버타임 후 ‘완전정지’ 상태로는 변환되지 않음
- TMR 공급동작 수행 시 입력된 전체 명령을 합산하여 급이에 필요한 최종 중량값을 계산 후, 계산한 최종 중량값이 설정된 공급동작의 목표값보다 크면 해당</td><td>19.11.14</td></tr>
</table>

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	부족분을 자동으로 증량하여 사료를 공급하는 기능을 추가함. 이 개선을 통하여 사료 공급량이 부족하여 급이명령 수행 중 사료가 고갈되는 문제를 방지할 수 있음 표 55 사료 공급량 부족분 계산 및 자동 증량기능 TMR 공급동작 400 Kg 전체 급이명령에 소요되는 사료량을 합산하여 450 Kg일 경우, 400 - 450 = -50 Kg 급이명령 수행 시 50 Kg의 사료가 부족하게 되므로, 공급동작에 해당 부족분이 자동 증량되어 TMR 공급동작 목표값이 450 Kg으로 수정됨 - 이때 설정값에 추가공급량이 설정되어있을 경우, 자동 증감으로 수정된 목표값에 추가공급량이 합산됨. 예시) 추가공급량이 30 Kg 설정되어있다면 최종 공급동작은 수정된 목표값 450 + 추가공급량 30 = 총 480 Kg의 사료가 공급됨. 사료가 부족해질 사태를 방지하기 위하여 본 개선기능을 추가하였으나, 최종적으로 사료의 과다공급이 이루어질 수 있는 단점을 고려하여 적절한 주의가 필요함 - 명령 수정 중 발생하던 기타 버그, 계산 오차, LCD 화면 오차 등을 수정하였음	
2.316	- CAN 통신에 큰 문제가 없음을 테스트 완료한 후, 후진 주행 통신을 일반 주행 통신과 통합 작업 수행하였음. 통합하며 Device 설정 중 'BACK_LINE_ORDER_EN' 값이 1로 하면 후진 주행 모드, 0으로 하면 일반 주행모드로 적용하였으므로 평소에는 '0'으로 이용이 가능함 - Device 설정 중 'DEVICE ADMIN' 항목을 1회 이상 클릭시 스크롤바가 사라지는 버그 수정하였음	19.11.19
2.318	- 마그네틱 감지하는 CAN 보드 초기화하는 부분에 문제 해결함. CAN 통신하는 포트에 풀업 기능이 안 발생하는 문제로, 보드에 따라 해당 부분 신호가 HIGH 일 때는 이상 없지만 LOW로 떨어졌을 때 HARDFAULT 발생하는 오류 해결함	19.11.21
2.319	- 자동 스케줄 동작 시 화면 전환되게 수정함 ①해당 동작은 처음화면에서만 동작 가능함. 수동조작, 주행설정, 검사진행, 기기설정 화면에서는 동작 안 함 ②자동 급이 화면일 경우, 동작주행 버튼이 눌러진 상태로 전환됨	19.11.22
2.320	- CAN 동작을 하는 플래그가 다시 켜지지 않는 버그 수정함	19.11.25
2.325	- TMR 공급동작을 여러 번 하는 문제 수정함 ①FILL_WEIGHT_ADD_Kg 설정값을 0으로 하면 예전 방식으로 동작 ②1-999 값을 설정해놓으면 전체 급이동작 값을 다 합친 합산량으로 동작 변경	19.12.04

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
2.329	 그림 251 수동조작 화면에서 후진수동 버튼을 메뉴전환 버튼으로 변경	19.12.11
2.331	- 정지 시 왼쪽 또는 오른쪽 급이 동작 중 RPM error 발생하여 RPM 관련 데이터를 초기화하는 기능 설정함 ①정지 동작 시 설정값 시간 만큼 안정 유지 후, 안정 유지하는 시간 동안 해당 RPM 관련 데이터가 초기화되도록 함 ②CAN 통신 안정 문제 발생 시에도 해당 RPM 관련 데이터 초기화 동작하도록 함 ③명령이 끝날 때 RPM 관련 데이터 초기화 동작함	19.12.19
2.332	- 후진주행 급이 동작 시 RPM 에러 문제 부분을 해당 명령을 수행 시에만 시간이 계속 갱신되도록 변경함	19.12.20
2.334	- 토출구의 최대급이 및 정량급이 동작이 수동조작에서만 가능하게 변경함. 이와 같은 변경이 사용자에게 용어의 혼선을 줄 수 있으므로 LCD 화면에서 수동조작 기능 관련 용어를 변경함 - 최대급이→수동최대로 표시되도록 변경함 - 정량급이→수동정량으로 표시되도록 변경함 - 전방센서 속도가 71부터 감지되도록 변경함 - 수동조작(왼쪽, 오른쪽)으로 최초 명령 동작 및 공급 동작(이때 해당 역회전 후 벨트 및 스크루 동작 기능 세팅됨) 후 급이 진행시 1회 동작되게 수정하함 ①엘리베이터 컨베이어 역회전 5초 동작 및 벨트컨베이어 동작함 ②스크루컨베이어와 엘리베이터 컨베이어 정회전 5초 이후에 동작함 위 내용을 수동조작에도 동일하게 동작되게 추가함	19.12.23
2.336	①TMR FILL 기능 동작 후 최초 1회(급이동작)시 엘리베이터 컨베이어 후진 5초간 동작 후 정상 진행하는 기능에 ON, OFF 설정이 가능하도록 추가하였음. 해당 기능을 사용 중이 아닐 때에는 38번을 0으로 설정, 사용 중일 때에는 38번을 1로 설정하면 수행됨. 설정을 변경 후 TMR-FILL 동작을 실시해주어야 해당 기능이 동작됨	191227

펌웨어 버전	업그레이드 내용	일자
	 그림 252 엘리베이터 컨베이어 후진 5초 간 기능 ON, OFF 입력 ②컨베이어벨트 과부하 시 INPUT 2번에 과부하 입력 신호가 들어오면 모터 키드라이버 전원이 OFF 되고 일시정지 상태로 변경되도록 함. 이때 일시정지 키를 다시 누르면 모터 키드라이버 전원은 다시 ON으로 변경됨 ③왼쪽 회전, 오른쪽 회전 동작 시 다음 명령으로 진행하여 라인이 감지되지 않고 계속 회전 이동을 하는 문제 보완함 - 최초 명령(왼쪽 회전, 오른쪽 회전)을 지시하였을 때는 값이 모두 0인 상태이며, 1회 동작하여 정상적인 라인 감지 후 종료된 이후부터 해당 값이 보이도록 수정함. 회전 동작 명령은 최대 20개까지 가능함	

3절 업그레이드 모델 개발

1. 보급형 업그레이드 모델 개발 및 출시

가. TMR 급이로봇 업그레이드 설계

농가 검증 및 test-bed 실증을 거쳐 TMR 급이로봇의 설계도를 업그레이드 하였다.

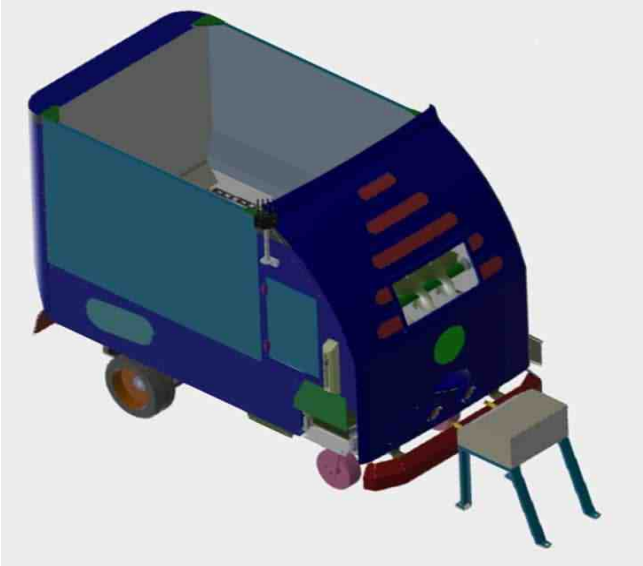


그림 253 TMR 급이로봇 업그레이드 설계(충전부 포함)

그림 254 TMR 급이로봇 업그레이드 설계(충전부 포함 좌측면도, 우측면도)

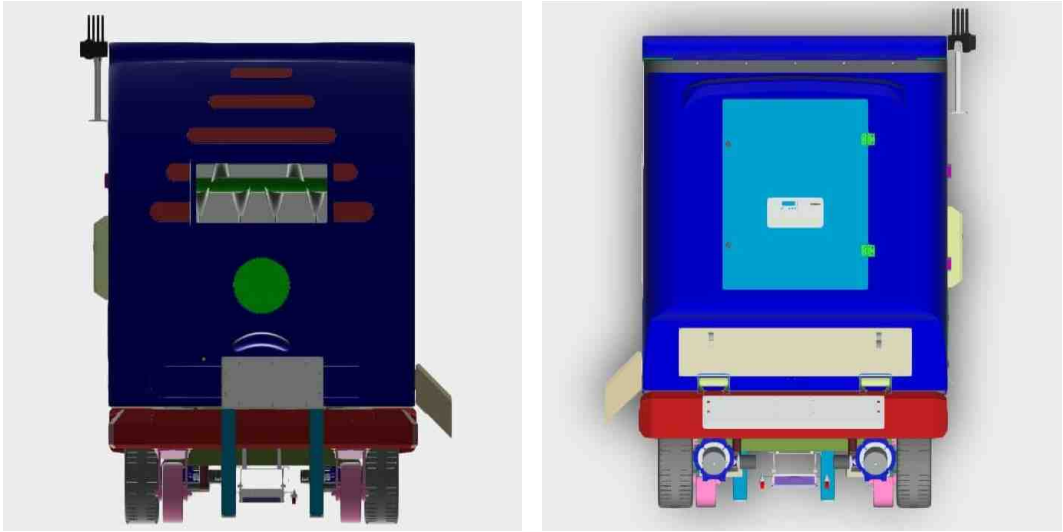


그림 255 TMR 급이로봇 업그레이드 설계(충전부 포함 전면도, 후면도)

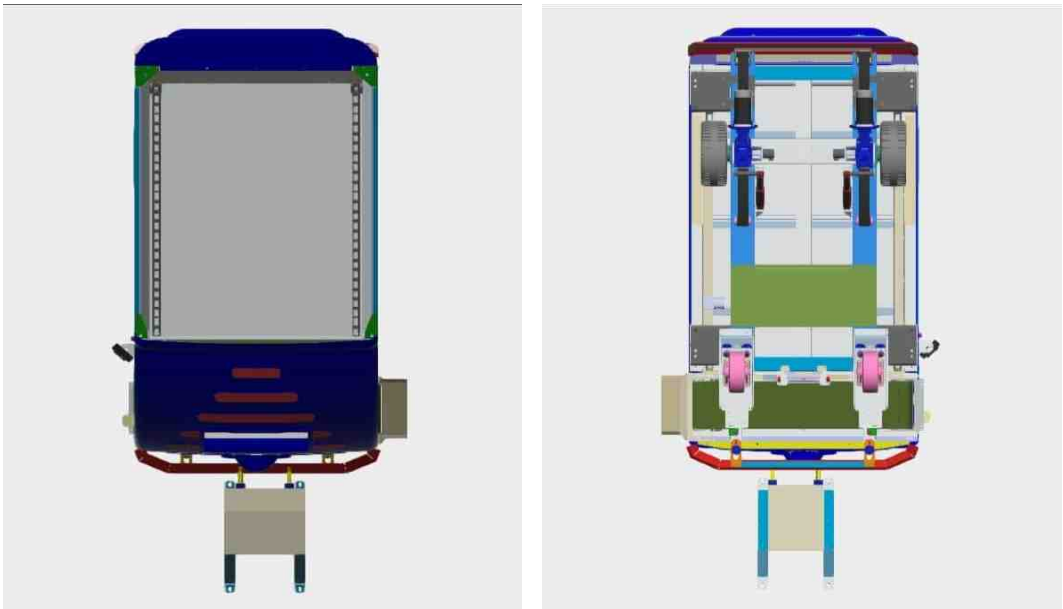


그림 256 TMR 급이로봇 업그레이드 설계도(상면도, 하면도)

나. TMR 급이로봇 업그레이드 제작 및 출시

기존 제품보다 적재용량 개선을 중시하여 보강·제작 및 출시하였다. 자체 생산 및 검증을 통하여 주관연구기관 주식회사 다운의 인천공장에서 제조, 농가 현장에서 사용 중이다. 전국 각지의 12개 농가에 시설 및 보급하여 6억 원의 매출을 달성하였다.

4절 보급 준비

1. 정부 지원정책 활용 및 홍보 활동

활발한 보급을 위하여 정부 지원과 연계한 농가 자금지원프로그램, 개발제품의 확대적용 가능한 정부정책을 조사하여 공급가격 인하 방안을 모색하였다. 연구성과물은 농촌진흥청 기술보급과의 축산신기술 보급제품으로 선정되어 현재 전국에 시범사업 보급 중이다. 또한 일부 지자체의 농업기술센터와 협조하여 시범사업을 추진, 보급 중이다.

가. 전시회/박람회 출품 활동

국내외 박람회 및 농기자재 설명회에 출품하여 참여하여 축산 기자재 분야의 동향 파악, 제품 및 기업 홍보 효과를 제고하였다. 또한 본 연구과제 성과물의 국제경쟁력 검토 및 컨설팅을 추진하여 보급 기회를 확대하였다.

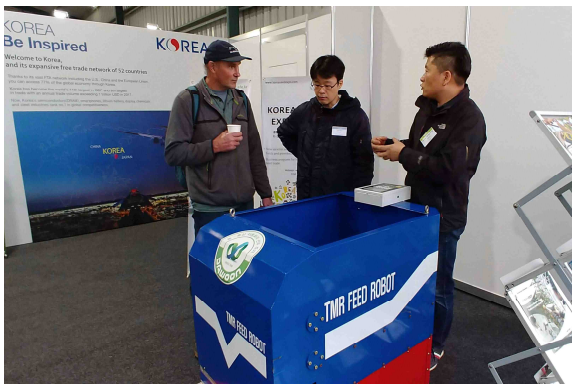


그림 260 Fieldays 국제박람회 참가(뉴질랜드 '19. 6.)

그림 261 농업기술박람회 출품(서울 '19. 6.)

그림 262 시범사업 종합 평가회(태안 '19. 12.)

나. 방송 및 신문, 인터넷, 축산 광고 게재

표 56 신문 및 인터넷 홍보, 광고 매체 게재

번호	홍보 매체명	매체 분류	제목	일자
1	한국농기계신문	전문지	[금주에 만난 사람] 최영경 다운 대표 '미래를 위한 투자에 망설임 없어야'	2019-01-17

UPDATED. 2019.03.07 09:35 (목)

한국농기계신문

검색어입력

전체 농기계 생산·유통 기자재 스마트 지방 오피니언 기획 비주얼뉴스 중고Market

로그인 회원가입 모바일웹 RSS

HOME > 기획 > 인터뷰

[금주에만난사람] 최영경 다운 대표 '미래를 위한 투자에 망설임 없어야'

이세한 기자 | 승인 2019.01.17 13:22 | 댓글 0

"다음 세대를 위한 성장보인트 매우 중요"

최영경 다운 대표

최근 중소기업의 연구원 부족으로 연구역량이 뒤처지면서 선진국과의 격차가 심화되고 있어, 연구개발 인력을 육성하는 노력이 필요하다는 지적이다. 이에 최영경 다운 대표는 "연구는 미래를 위한 투자로, 4~5년 앞선 기술을 보유해 시장판도 변화에 능동적으로 대처해야 한다"며 "연구개발은 당장의 성과로 나타나지 않더라도 나중에 보답할 것"이라고 말했다.

축산자동화 로봇시스템 전문기업 다운은 연구개발에 과감히 투자해 로봇모유기, 청소자동급이기, TMR급이로봇 등을 개발했으며, 올해는 TMR급이로봇과 유두자동세척장치를 시장에 선보인다. 특히 TMR급이로봇은 축산시장에 상당히 많은 영향력을 미칠 전망으로, 노동력 해소를 통해 축산업의 경쟁력을 높일 것이라는 평가를 받고 있다. 또 그간 진행하던 로봇착유기의 1차 개발이 완료돼 올해 1년간 현장 테스트를 진행하고 내년부터 공급에 들어갈 계획이다.

현재는 축사 전 과정 무인화 솔루션의 개발의 완성을 목표로 현재 실시간 사료 잔량확인시스템과 사료 자동배합시스템 등의 개발에 박차를 가하고 있다. 이처럼 다운은 축사의 노동력을 최소화할 수 있는 다양한 제품 개발에 집중해왔다.

올해 다운은 축산자동화 로봇시스템을 선도하는 기술력을 인정받아 아랍에미리트에 스마트팜 솔루션을 제공하며 해외까지 시장을 확장한다. 그간 진행했던 연구개발이 명성과 함께 보답한 것이다.

최 대표는 "그간 정부 R&D는 상용화를 목적으로 진행돼 기초기술이 부족했고, 이는 성과 위주의 제품 개발에만 그쳤다"며 "하지만 올해 과제 편성을 보니 상용화는 65%, 기초기술연구가 35%로 제조업 성장을 위한 정부 기조가 엿보인다"고 말했다. 정부의 변화에 맞춰 제조사도 성장을 위해 변화해야 한다는 것이 최 대표의 의견이다.

또 최 대표는 "정부정책변화 혹은 고객의 니즈변화 등 시장판도의 변화에 따라 신속한 제품 개발이 이뤄져야하지만 이를 진행하지 못한 것은 성과중심의 개발 때문"이라고 지적하며, "이는 카피워주의 시장을 만들었고 기업들의 위기대처능력을 떨어뜨린 원인"이라고 분석했다.

업계에 가장 큰 문제에 대해 최 대표는 '지금의 산업을 받아줄 수 있는 다음 세대의 부재'라고 평가했다. 최 대표는 "젊은 연구 인력들의 점차 줄어드는 것이 드러나 안타깝다"며 "최근 경북대학교 농업생명과학대학에서는 IT관련학과와 함께 수업을 교차 실시하는 등 학생 역량 강화에 중점을 두고 있어 기대가 크다"고 말했다.

최 대표는 농업의 미래를 학생들에게만 맡길 것이 아닌 기업 스스로가 미래를 위한 투자를 통해 학생들이 공부하고 연구할 수 있는 환경을 만들어야 한다고 촉구했다.

인기기사

1 [데타로보틱스 한아에코와이드] 국내 첫 매...
2 기호 1번 강창룡 · 기호 2번 김시갑 · 기호 3...
3 "농기계는 미래 농업 희망"... 여량 카일아
4 정지한 사료관리로 시스템 완성도 높여
5 [사설] 공정한 29대 조합장선거 선거
6 이세한 기자의 '일본 농기계시장' 들여다보기
7 농기계 불법 개조·오폭 처도개선 '필요'
8 올 농업기계화사업 어떻게 바뀌나
9 '안전 운전하고 조작하는 체험형 연 · 전시'...
10 농기계 가격표시제 운영현황 점검

최신중고매물

[중고매물] 대동공업 트랙터 L3501-D

[중고매물] 국제 트랙터 4715N

[중고매물] 대동공업 트랙터 D65

[중고매물] 대동 트랙터 RX730

[중고매물] 동양 트랙터 T550

번호	홍보 매체명	매체 분류	제목	일자
2	한국일보	일반일간지	'로봇이 한우 키운다' 태안군 사료공급 로봇 시범사업 운영	2019-11-04

2019. 12. 26. '로봇이 한우 키운다' 태안군 사료공급 로봇 시범사업 운영

정치 경제 사회 국제 문화 연예 라이프 스포츠 피플 지역 오피니언 기획특집 디지털스페셜 멀티미디어

한국일보

지역

수도권 대전/충청/강원 대구/경북 부산/경남 광주/호남/제주

'로봇이 한우 키운다' 태안군 사료공급 로봇 시범사업 운영

태안군 안면읍 한 축산농가에서 '자율주행형 사료 급이로봇'이 사료를 공급하고 있다. 태안군 제공

많이 본 뉴스

한우사육에 로봇을 투입하는 시범사업이 진행돼 주목 받고 있다.

충남 태안군 농업기술센터는 안면읍 축산농가 2곳을 대상으로 무인로봇 활용 섬유질 자가배합(TMR) 사료 급여 시범사업을 벌이고 있다고 4일 밝혔다.

로봇이 축산농가 일손 절감과 가축 생산성 향상에 어느 정도 도움이 되는지를 확인하기 위한 것이다. 사업에는 군비, 국비 1억원씩 총 2억원이 투입됐다.

로봇은 노면 밑에 설치된 자석 라인을 따라 자율주행하며 정확한 장소에 정량의 사료를 자동으로 공급한다. 사료 공급 중 소가 머리를 내밀면 서행하거나 멈추는 등 안전성도 갖췄다.

TMR 사료 공급은 부피가 크고 배합이 쉽지 않아 사람이 직접 공급하는 데 어려움이 많고 노동력이 가장 많은 소요되는 과정이다. 로봇투입으로 이런 문제를 쉽게 해결할 수 있어 노동력 절감에 도움이 되는 것으로 나타났다고 농업기술센터는 설명했다.

태안군은 무인로봇 사료급여 시스템 구축과 함께 기존 30개월이면 출하시기를 2개월 단축하는 '한우 거세우 28개월 고영양 단기 비육 프로그램'을 진행, 저비용 고영양 사료를 급여해 한우의 육량 및 육질등급을 높일 계획이다.

내년 중 로봇을 통한 사료 공급이 한우 출하 시기 단축의 도움 효과를 확인한 뒤 축산농가에 확대 보급할 방침이다.

https://www.hankookilbo.com/News/Read/201911041328075658 1/3

번호	홍보 매체명	매체 분류	제목	일자
3	월간 농기계	전문잡지	[조합원 탐방 : Interview] (주)다운 "축산분야 다양한 로봇 개발 집중"	2019-12-02

"2030년에는 세계시장에서
'다운'의 글로벌 브랜드 입지를
확고히 구축할 수 있도록
변함없는 자세로 더욱 노력하겠습니다."

"외국은 소를 초원에 방목해 키우기 때문에 먹이 다툼이 없지만, 밀식 사육을 하는 우리의 경우 힘센 소가 약한 소를 공격해 먹이를 빼앗아 먹어서 개체별로 체중 불균형이 있었습니다. 이를 해소하기 위해 부착형 강한 소 도식 방지장치를 개발해 수입제품과는 차별화된 경쟁력을 보유하게 됐습니다."

최 대표는 미래를 내다보는 안목도 탁월하다. 앞으로 축산업이 자동화, 로봇화 될 것이라고 예측하고 2010년부터 로봇 개발에 집중해온 것. 서울 연구소에 평균 7명의 연구인력을 두고 축산의 미래를 선도하기 위해 아낌없이 투자해 왔다.

다운의 송아지 로봇포유기는 자체 개발한 정밀센서를 적용해 송아지에게 최적한 대용유를 개체별로 설정된 양만큼 급이하며, 급이 후에는 자동으로 세척까지 한다. 한우 자동 사료급이기는 다운의 20년 노하우가 결집된 제품으로 완벽한 사료급이를 통해 사료비와 노동력을 절감하고 1등급 출현을 함상으로 농가 소득 증대를 실현시킨다.

TMR 급이로봇은 로봇 스스로 사료배합기로 이동해 사료를 보충한 후 농장으로 이동하여 가축에 사료를 급이하고, 작업을 마치면 충전시스템으로 복귀하는 자율주행기술 기반의 자능형 무인 급이로봇이다.

다운은 또, 철저한 사후관리를 위해 일찍이 ICT 기반 솔루션 개발에 착수해 2013년 내부 상용화를 거쳐 2016년에 ICT 통합형 솔루션을 개발했다. 농장주는 스마트폰으로 농장을 실시간으로 확인할 수 있고, 본사에서는 농가 통합관리와 원격 컨설팅이 가능한 스마트한 사후관리 시스템이다. 최근에는 20년간 축적된 600농가의 데이터를 기반으로 한 빅데이터 플랫폼 구축을 준비 중에 있다. 이렇듯 앞선 기술력을 기반으로 국내를 넘어 글로벌 기업으로 도약하고 있다.

"축산분야의 다양한 로봇 개발에 집중해 농민에게 더 나은 축산환경을 제공하고, 축산업의 밝은 미래를 열어가고 싶습니다. 2030년에는 세계시장에서 '다운'의 글로벌 브랜드 입지를 확고히 구축할 수 있도록 변함없는 자세로 더욱 노력하겠습니다."

(주)다운 ☎(032)873-1787

왕소 자동사료급이기 | 한우 자동사료급이기 | TMR 급이로봇 | 송아지 로봇포유기

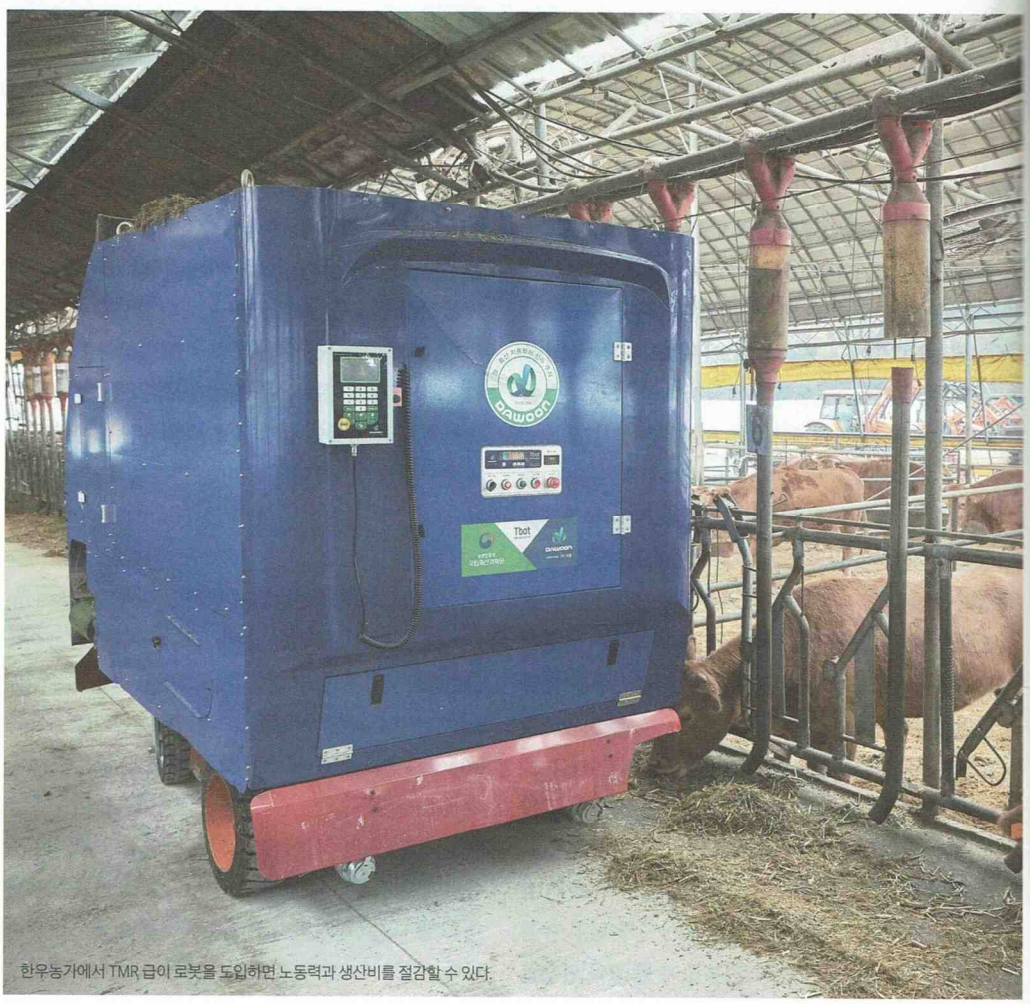
번호	홍보 매체명	매체 분류	제목	일자
4	월간 축산	전문잡지	[신기술 활용사례] TMR 급이로봇 생산비·일손 절감… 축사바닥만 평평하면 OK	2020-12-02

신기술 활용사례

TMR 급이 로봇 | 충남 은경농장

생산비·일손 절감… 축사바닥만 평평하면 OK

완전배합사료(TMR) 급이 로봇이 개발됐다. 국립축산과학원에서 개발한 이 로봇을 한우농가에서 활용하면 노동력과 생산비를 절감할 수 있을 뿐 아니라 농가소득도 높일 수 있다. 무인로봇을 활용한 섬유질 자가배합사료 급여시스템기술 시범사업 농가로 선정된 TMR 급이 로봇을 사용하고 있는 충남 태안 <은경농장>을 찾아가봤다. 글 장영내 사진 이민희

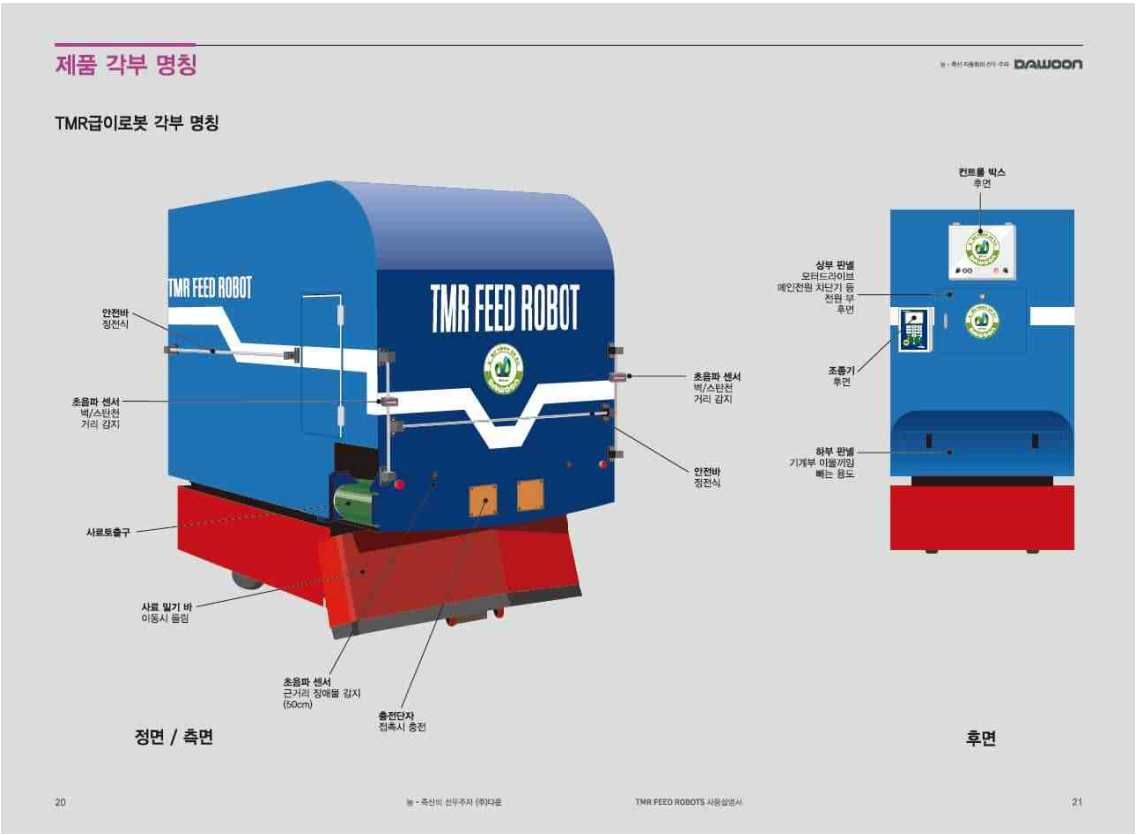


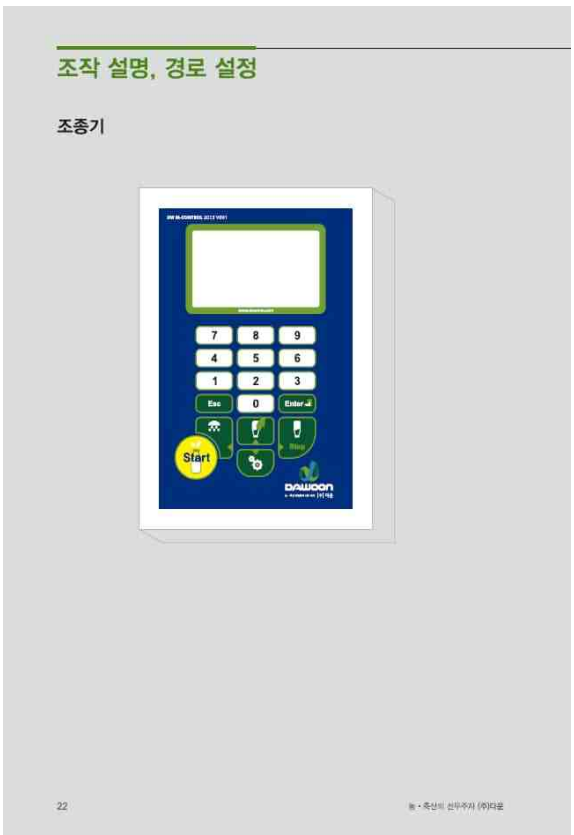
한우농가에서 TMR 급이 로봇을 도입하면 노동력과 생산비를 절감할 수 있다.

84

2. TMR 급이로봇 설명서 및 이용 가이드 보완 제작

가. TMR 급이로봇 이용 가이드 보완사항





모니터링 화면

모니터링 화면

센서F, 센서R : 마그네트 센서 감지 상태 표시 (이탈시 1000, -1000, 감지시 100~-100)

초음파L, R : 좌우 측 초음파 센서 감지값 표시, (mm단위로 표시)

무게 : TMR기기에 실린 사료 무게

전압 : 배터리 전압 (24v이상)

MLspd, MRspd : 좌우측 속도 표시 단위 m/s

MLdist, MRdist : 좌우측 이동 거리

ALLdist : 총 이동 거리

Dbg1,2,3 : 관리자용

Res1, Res2 : 좌우측 베터리 값 ※관리자용

버튼 설명

HOME : 상위 메뉴로 이동

ExecUP : 오더 명령 번호 증가, Exec order에만 사용

ExecDN : 오더 명령 번호 감소, Exec order에만 사용

Manual : 조이스틱 조작 수동 조종 모드, 해당모드시 충전모드 자동전환되지 않음

LineTracer : 마그네트 라인 주행 명령 구간을 만나면 종료

Sencal : 내부 센서 초기화

STop : 사용자 명령 모두 정지, 정지후 약 30초 지나면 자동 충전모드로 변경

Exec Order : 설정된 경로 주행 실행 명령

Tochul L : 60초 중인 왼쪽으로 사료 토출, 리프트 다운

Tochul R : 60초 중인 오른쪽으로 사료 토출, 리프트 다운

Lift up : 리프트 들기

Ext Stop : 토출기,베합기,승강기 정지

Yaw go : 직진명령

Yaw+US L : 직진+빅보고 주행, 왼쪽 , 초음파

Yaw+US R : 직진+빅보고 주행, 오른쪽, 초음파

Spin-L : 왼쪽으로 턴, 라인 만날 때 까지

Spin-R : 오른쪽으로 턴, 라인 만날 때 까지

BATT : 충전모드로 변경

경로편집 화면

경로 설정 방법 조종기에서 경로 편집 사용

상세 설명경로 설정 방법

GO-BACK : 명령1(필수) 명령2(x)
- 후산 : 명령1 거리만큼 (단위 m)

LINE TRACER : 명령1(옵션) 명령2(옵션)
- 라인 따라가기 명령1 거리만큼(단위 m), 0입력시 무제한, 명령2 속도 0입력시 기본

SPIN L, R : 명령1(x) 명령2(x)
- 방향으로 턴(라인감지시까지)

TMR-FILL : 명령1(필수) 명령2(x)
- 사료 채움, 명령1(단위 Kg) , 0은 무시, 사료 채움시 지정량의 반이상 채우면 35cm만큼 라인 이동

W-GO L, R : 명령1(필수) 명령2(옵션)
- 스탠천 따라 이동하기
- 명령1 : 이동거리
- 명령2 : 주행속도

WFEED L, R : 명령1(필수) 명령2(옵션)
- 스탠천 따라 이동하며 사료 토출
- 명령1 : 이동거리, 명령2 : 속도

SEARCH LINE : 명령1(필수) 명령2(옵션)
- 명령1만큼 라인을 찾기 위한 방향주행, 라인발견시 종료

STOP : 명령1(필수) 명령2(x)
- 명령1 : 시간만큼 정지 대기, 단위 S

S1,S2,S3 L1, L2, L3 : 예약,안씀

EDIT : 명령선택 후 수정하는 버튼

Delete : 명령선택 후 제거하는 버튼

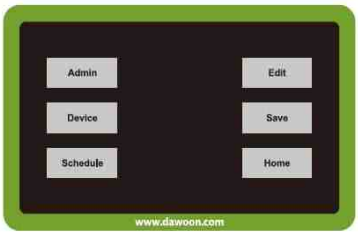
SAVE : 기기로 경로 저장

LOAD : 기기에서 경로 호출

INIT :경로 모두 삭제

경로 중간 삽입 방법 추가하고자 하는 명령위치 위에 선택후 맥정의 ENTER버튼 누른 뒤 명령 추가

환경설정 화면



설정은 3가지로 분류됩니다.

ADMIN
시스템의 주요한 기능 설정값을 변경합니다. 본사 담당자의 상의 후 변경해야 합니다.

DEVICE
기기의 진행 속도, 급이시 기기와 벽의 간격을 설정합니다. 본사담당자의 상의하여 수정하세요

Schedule : 자동 구동시간을 설정합니다.

ADMIN 설정

기기의 중요 설정값 셋팅
본사 담당자와 상의바랍니다.

DEVICE 설정

기기의 속도, 벽 주행시 이격 거리를 설정합니다.

기기 속도 단위는 m/S * 1000 형태입니다.
(단위 m/S * 1000, ex) 140 = 0.14)

AGV_MOVE_SPEED : 기기 이동시 속도, 라인 이동 기본 140

AGV_FEED_SPEED : 기기 급이시 속도, 토출, 벽주행 기본 140

AGV_TURN_SPEED : 턴 시 속도 기본 80

AGV_FEED_WIDTH : 벽 주행시 벽간 이격 거리, 단위 mm, 1100 = 1.1m, 기본 1100

AGV_FEED_MAX_WIDTH : 사용안함

AGV_FEED_MIN_WIDTH : 사용안함

AGV_ORDER_FIN_DELAY : 사용안함

AGV_MANUAL_SPEED : 수동조작시 속도, 기본 200

SCHEDULE 설정

최대 10개의 자동수행 명령 시간을 설정합니다.

order cmd : 명령 수행 여부
0=미사용, 1=사용
HH : 시간
MM : 분

최대 10개 설정가능
1회 명령 수행후 1시간 동안 수행 불가능(중복 방지)
따라서 설정시간은 최소 1시간 이상 차이가 발생해야함

수동 조작 유의사항

전진 후진 좌/우 회전 시 조이스틱이 한쪽으로 눌리지 않도록 주의.

매뉴얼 눌러도 구동하지 않으면, STOP명령 후 매뉴얼 버튼 재시작

운영 안전 수칙 및 점검표

TMR급이로봇 안전 수칙

주행시 : 동작중에는 기기 진행방향에 사용자 접근금지 및 장애물 적치 금지

우사 진행 및 급이시 : 스탠천과 기기 사이에 접근 금지

사료 적재용량 준수

일일 점검표 / 작업 시작 점검 / 작업 완료 점검

일일 점검
좌우 초음파센서의 고정 위치 및 입구 이형 확인
대기중 충전 상태 점검

주간 점검
일일점검 외 후면 잔량배출구 청소

기타 안전 수칙

기기 이상 시 : 본사로 연락

설치 환경

마그네틱 라인 설치 유의사항

로봇 구동에 필요한 충분한 공간 확보 필요

마그네틱 라인 설치 방향 주의 (매립시 방향 확인 필수)
무늬가 있는 방향이 센서를 향하도록 매립

지형지 특성 유의사항 (언덕, 경사로)
일반 한우 우사 경사 이상 언덕은 진입불가
언덕 진출시 기기가 직선으로 이동할 수 있도록 충분한 공간 필요

급경사 진입 불가 (한우 우사 진입 가능)
돌턱/단차 2cm이상 불가능
돌턱 제거 또는 단차 완화시공 필요

설치방법

명령 변경 구간

최소 이격 거리 15cm

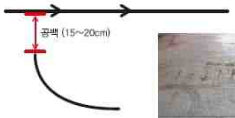
설치 예시

라인 종점 (턴구간, 종료 구간)

1구간에서 15~20cm 자석은 제거 하여 설치합니다.

교차로

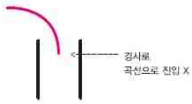
기기 이동 경로에 교차로가 필요한 경우 진행방향에 교차로를 감지 되지 않도록 설치하여 기기 이동 경로에 혼선이 없도록 설치한다

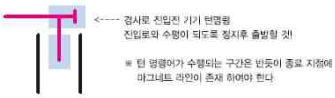


라인 복귀

급이 구간을 완료한 뒤 라인을 찾아 복귀하기 위한 경로 급이구간과 라인 대각선으로 설치하여 벽과 간격이 다르더라도 감지 할 수 있도록 설치한다

– 경사로는 직선으로 진입하고 직선으로 탈출해야 한다.





※ 턴 명령어가 수행되는 구간은 반듯이 종료 지점에 마그네트 라인이 존재 하여야 한다

경사로 진출 경사로 진출 시 차량이 직선으로 진출 가능한 사전 공간 필요(2m 이상)

설치 순서

- 배합기 / 충전기 위치 선정
- 무인차 이동구간(충전기–배합기–우사) 둔덕/단차/경사 확인
- 무인차를 수동조작 하여 가상의 경로 확보 (직진성 확보)
- 마그네트 라인 매설 (이동하는 전 구간)
- 우사 내부 턴 지점 마그네트 라인 매설
- 우사 진출로 유도 마그네트 라인 매설
- 명령 변경지점 마그네트 이격
- 충전라인 지점 확인 후 충전기 설치
- 명령 작성 후 테스트 및 보강

마그네트 라인 설치 유의사항

- 라인 중단 지점(턴 위치, 시작 위치)은 T자로 라인 매설
- 배합기 지점 선정은 TMR 배합라인 바로 뒷부분에 섭을 수 있도록 설정
- 내리막길 진입 전 명령 변경 구간을 반드시 확보
- 명령 변경 구간은 곡선구간에 설치할 수 없음, 또한 곡선구간을 탈출하고 1m 이상 직진 이후 설치

이상 발생시 조치사항

자동 명령 수행 도중 정지

TMR 메인 커버 열고 액정에 명령확인

명령 위치 판단 후 본사 연락

명령 위치 입력 후 자동 재시작 또는 수동으로 라인으로 이동 하여 충전 라인으로 복귀

라인 이탈

지속적인 라인 이탈시 전면 가이드 센서 확인 (센서 휘어짐, 센서 들림 등)

수동 조작으로 라인 인식 위치에 기기 이동하여 조종기의 센서값이 감지 되는지 확인 (–100 ~ 100 값이 입력되어야 정상)

충전 불량

충전기 전원 다시 인가, 단자 접속 확인

주행 도중 속도 감소

전면 장애물 감지, 정/측면 정전센서 감지시 운행속도에 2/3 속도로 3초간 감속

기기 토출기 속도 느려짐

토출기 속 사료 부스러기가 가득 쌓일 경우, 제거

토출기 벨트가 한쪽으로 치우침, 이격볼트 조절

지속적인 감소시 본사 연락

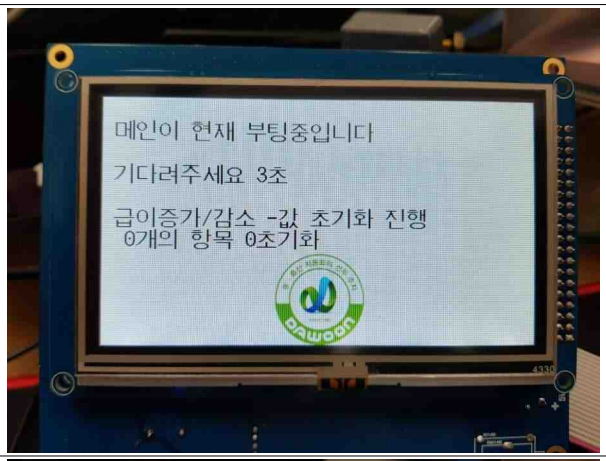
기기 내부 TMR 승강기이상, 큰 소리 발생

TMR이송이 이루어 지는지 확인

기기 내부 배합기 이상

배합기 1,2단 위치에 사료가 가득 쌓였으면 제거

표 57 화면 설명 보완

이미지	설명
	-전원을 켜면 약 5초간 대기한다. -조작기/메인제어기 통신대기 -화면이 전환 될 때까지 기다린다.
	-초기 조작 화면 -버젼 및 현재 날짜를 표시한다. -메뉴 표시하는 버튼을 출력 -5가지 메뉴를 선택할수 있다.
	- 수동조작 - 사용자의 수동조작 기능 - 센서상태 및 동작상태창 표시

처음화면	시작메뉴로 이동한다.
수동	수동명령을 수행하기 위해서 반드시 [수동] 버튼을 눌러야 함.(전원공급)
정지	명령 수행중 동작을 멈추거나 명령을 종료시킴
충전	로봇을 충전기에 위치시키고 충전을 시작하기 위해 선택 (일정시간 사용하지 않으면 자동으로 충전모드로 바뀜)

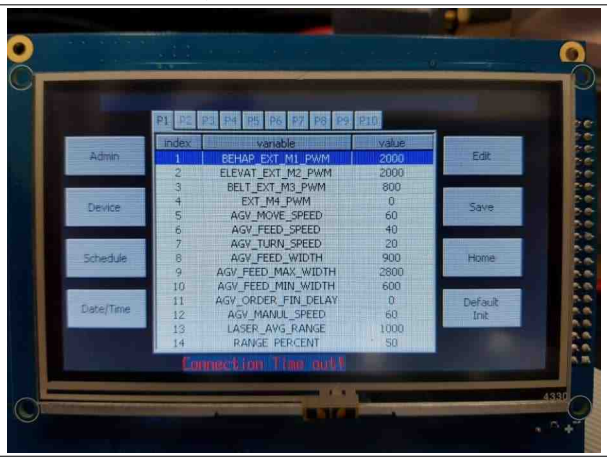
선주행 LINE- TRACE	바닥의 자석(마그네트)을 따라서 주행함. 주행속도는 환경설정 등록된 주행속도에 맞추어 주행. 주행중 선을 이탈할 경우 5초 이내에 자동정지함. 주행중 선이 10센티 이상 끊긴 경우 새롭게 자석을 만나면 정지함. (명령을 주고 명령의 끝을 알리는 용도로 계획되었음.)
서행 SLOW GO	자석선을 따라서 주행. 저속 주행명령으로 충전기에 도킹(접촉) 서행을 목적으로 사용되는 버튼 (선주행과 동일한 기능수행함.)
급이 좌	좌측으로 사료를 토출하는 기능 일정량의 사료를 밖으로 배출 기능테스트 용도로 사용. 정지 버튼을 누를 때 까지 동작.
급이 우	우측으로 사료를 토출하는 기능 일정량의 사료를 밖으로 배출 기능테스트 용도로 사용. 정지 버튼을 누를 때 까지 동작.
회전 좌	좌측으로 회전을 시작한다. 자석을 만날 때 까지 회전한다. 360도를 회전해도 자석이 없으면 자동으로 정지한다. 회전하면서 자석선을 찾는 용도로 사용한다. 환경설정에 지정된 회전속도로 회전한다.
회전 우	우측으로 회전을 시작한다. 자석을 만날 때 까지 회전한다. 360도를 회전해도 자석이 없으면 자동으로 정지한다. 회전하면서 자석선을 찾는 용도로 사용한다. 환경설정에 지정된 회전속도로 회전한다.
밀판 상	옵션으로 지정된 사료정리 장치나, 후진센서를 들어올린다. 주행중 사료정리장치가 내려와 있으면 주행에 지장이 있음
밀판 하	옵션으로 지정된 사료정리 장치나, 후진센서를 내린다. 주행중 밀려나온 사료정리를 한다. 후진 센서의 경우 후진센서를 측정가능한 위치로 내린다.
최대급이	공급되어 있는 TMR사료가 토출구에서 멀리 있어 사료토출 대기시간이 길어질 경우 사용하는 기능 (체인컨베이어 동작 : 최고이동속도) 이동 완료시 정지 버튼을 반드시 누른다.
정량급이	체인동작 속도를 저속으로 바꾼다. (체인컨베이어 동작 : 사료공급 평균속도)
역회전	공급장치에 사료가 걸렸거나 많은 사료를 공급 받았을 경우 사료 토출에 심각한 문제가 발생 할수 있다. 이런 경우 사료를 후진으로 밀어내야 함. 약 5초간 체인컨베이어를 후진 시킨다. 반복적으로 눌러 사료를 후진시킨후 부하요건을 개선후 재가동

표 58 센서 및 기기 모니터링 상태 출력부 설명 추가

이미지	설명
	센서 F : 전방 자석센서 상태표현 무게 : 현재 측정된 사료무게 거리 좌 : 좌측바퀴 이동거리 거리 우 :우측바퀴 이동거리 총 이동 : 총 이동거리 AGV 상태 : 명령수행번호 출력 RPM1 : 스크류 회전수 출력 RPM2: 사용안함 센서1 : 센서상태 센서2 : 센서상태 속도 : 현재 이동속도 초음파 L : 좌측 초음파 측정거리 초음파 R : 우측 초음파 측정거리
검사진행버튼 : 기기의 세밀한 상태 확인 및 다양한 제어 테스트	
	- 수동조작과 비슷한 동작 수행 - 엔지니어용 화면 - 일반 사용자 사용안함. - 기기상태 및 수동조작시 기기 상태 점검용 사용
기기설정 : 기기동작 및 세부 기능설정	
	- 총 4개의 메뉴설정 가능 - Admin - Device - Schedule -Date/Time

- ADMIN (관리자 설정)
- 본사설정 항목
- 사용안함. (주의)

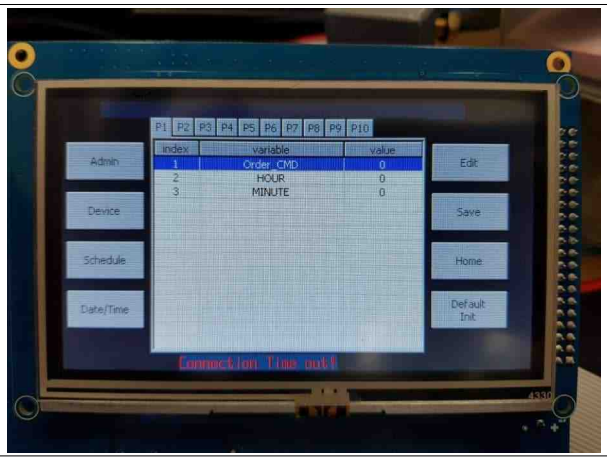
* 엔지니어 외 사용 금지

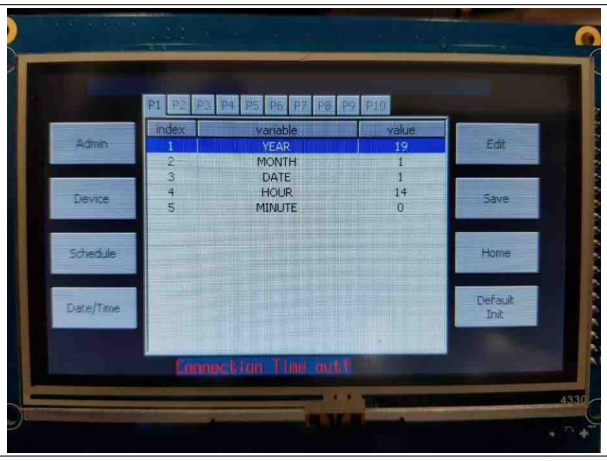


- DEVICE(장치동작설정)
- 전체 시스템에 중요한 설정기록
- 엔지니어 외 사용금지함.

* 농장 상황에 따라 변동가능한 값으로 현장 상황에 따라 수정합니다.
  전문가만 사용가능 합니다.

메뉴	메뉴설명	권장설정값
BEHAP_EXT_M1_PWM	대형 스크류 교반장치 회전수 설정	1500
ELEVAT_EXT_M2_PWM	승강용(체인컨베이어) 이동속도설정	600
BELT_EXT_M3_PWM	벨트 컨베이어 회전속도 설정	1000
EXT_M4_PWM	사용안함.	
AGV_MOVE_SPEED	로봇의 자석선 주행시 기본 주행속도	180
AGV_FEED_SPEED	사료급이중 주행속도	100
AGV_BACK_SPEED	후진 주행속도	60
AGV_SLOW_SPEED	서행 속도	35
AGV_MANUAL_SPEED	사용자 조작시 로봇 이동속도	100
SPEED_or_WEIGHT	속도주행 0: 사료급이량 속도비례 무게주행 1: 사료급이량 저울측정급이	1
STOP FEED WEIGHT	-정지후 일정량 급이 -명령시 급이되는 사료량 기록 STOP, 20 , 1 (20초 동안 설정량 사료를 왼쪽급이)	5Kg
WEIGHT_AVG_CNT	급이동작 완료될때 중량 판정하는 횟수 설정	
STOP_STEADY_TIME	정지동작 및 1m이하(급이동작) 시 중량 안정을 위해 대기하는 시간 (1당 1초)	
FILL_MOVE_DIST	사료 공급동작중 전체 무게의 반이상 공급되면 TMR 로봇이 해당 설정값 앞으로 이동 (1당 1cm값)	
FARM_CODE	농장 코드 값 (Lora 동작 관련 설정)	

LORA_DEVICE_NUM	LORA 그룹코드 값 설정 (200번 이상으로 설정)
LORA_FREQ_SET	LORA 주파수 설정(0~6까지 설정) 대역폭이 변화됨. (922.1 922.3 922.5 922.7 922.9 923.1 923.3) Mhz
LORA_ENABLE	LORA 모듈을 사용여부(0:사용안함,1:사용함) 1로 설정시 데이터 전송을 계속 시도합니다. (모듈없을때는 0으로 설정 할 것)
LR_TURN_PERCENT	왼쪽,오른쪽 턴 동작을 할때 순간적으로 해당 설정 퍼센트 만큼 속도를 증가 시켜 힘있게 동작하게함. (사료잔량 200kg이상 일때만 해당 동작)
PVS	
FILL_WEIGHT_ADD_Kg	사료급이 동작 전체 명령에서 (왼쪽급이,오른쪽급이,정지후왼쪽급이,정지후 오른쪽급이)의 급이 명령전체의 공급량을 모두 합산후 수급받을 량을 결정 함. - 수급총량 + 여분 사료량의 필요성 있음. 여분의 사료량을 기록함 (30Kg 기본) (증감or가감 급이도 포함) 예) 현재 중량값 : 0kg 사료공급 명령 : 100kg (TMR FILL 100) 전체 급이 오더의 총 합산값 150kg라면 FILL_WEIGHT_ADD_Kg 35kg 설정한경우 100 - 150 = 50kg 부족. 사료 공급 동작시 부족량 만큼 자동으로 설정됨 공급+부족량+FILL_WEIGHT_ADD = 총 공급 공급오더값에 100+50(부족분)+35(설정값) = 185 kg
자동급이 동작 시간설정 : 지정된 시간에 자동을 급이를 수행함. 한시간 이상의 간격이 필요함.	
	Order CMD : 자동급이 명령번호 HOUR : 급이시작 시간 MINUTE : 급이시작 분
날짜 및 시간설정 : 내부에 있는 시계장치의 시간설정	



- 년/월/일
- 시/분/초

주행설정(경로편집) : 자동 주행에 관한 명령을 제작 및 편집 한다.

GO-BACK : 명령1(필수) 명령2(x)
– 후진 : 명령1 거리만큼 (단위 m)

LINE TRACER : 명령1(옵션) 명령2(옵션)
– 라인 따라가기 명령1 거리만큼(단위 m), 0입력시 무제한, 명령2 속도 0입력시 기본

SPIN L, R : 명령1(x) 명령2(x)
– 방향으로 턴(라인감지시까지)

TMR-FILL : 명령1(필수) 명령2(x)
– 사료 채움, 명령1(단위 Kg) , 0은 무시, 사료 채울시 지정량의 반이상 채우면 35cm만큼 라인 이동

W-GO L, R : 명령1(필수) 명령2(옵션)
– 스탄천 따라 이동하기
– 명령1 : 이동거리
– 명령2 : 주행속도

WFEED L, R : 명령1(필수) 명령2(옵션)
– 스탄천 따라 이동하며 사료 토출
– 명령1 : 이동거리, 명령2 : 속도

SEARCH LINE : 명령1(필수) 명령2(옵션)
– 명령1만큼 라인을 찾기 위한 방향주행, 라인발견시 종료

STOP : 명령1(필수) 명령2(x)
– 명령1 : 시간만큼 정지 대기, 단위 S

S1,S2,S3 L1, L2, L3 : 예약,안씀

EDIT : 명령선택 후 수정하는 버튼

Delete : 명령선택 후 제거하는 버튼

SAVE : 기기로 경로 저장

LOAD : 기기에서 경로 호출

INIT :경로 모두 삭제

예) 선주행 10미터 속도 150 : 선을 따라서 150속도로 10미터를 주행한다.
[TRACE-L] , 100(10.0m) , 150(속도)

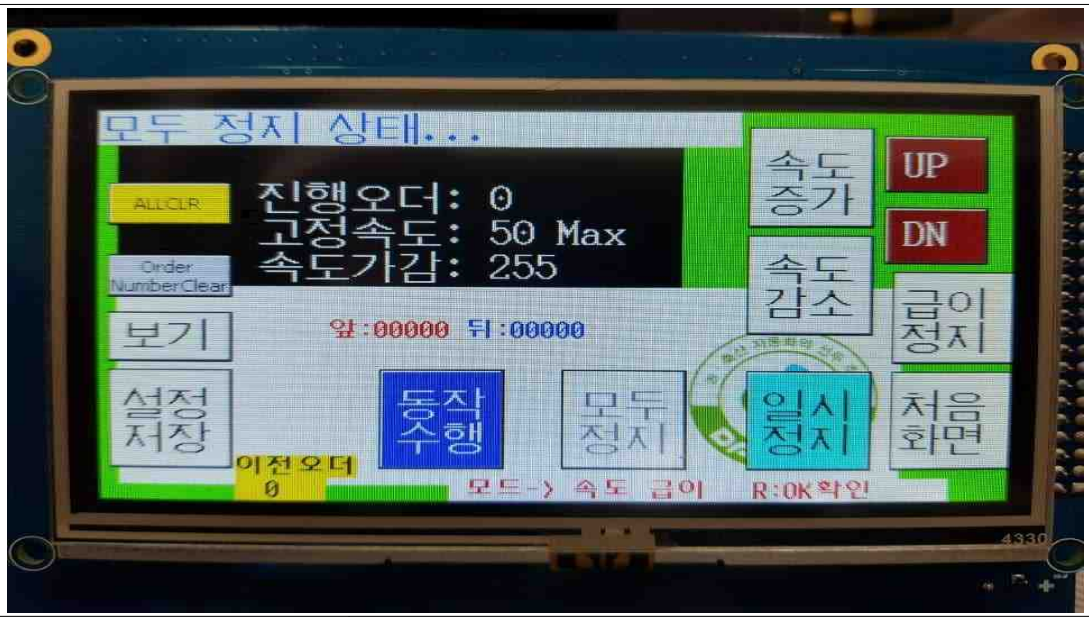
예) 좌회전 0 0 : 기본 속도로 좌회전 한다.
[TRACE-L] , 100(10.0m) , 150(속도)

예) 좌측으로 5미터를 20킬로를 급이한다. (1미터당 4Kg을 급이한다.)
[TFEED-L] , 50(5.0m) , 20(20Kg)

표 59 경로 설정 기능 설명 추가

<table>
<tr><td colspan="3">STOP기능 : 정지 및 사료토출 밀판제어 및 센서위치제어 동시수행
(다양한 기능을 하나의 명령에 부여하였음. 숙지요망)
시간 : 초 단위기록 , 예) 10초대기 : 10</td></tr>
<tr><td rowspan="5">STOP,시간,모드</td><td>모드 : 0</td><td>지정된 시간만큼 로봇이 대기함.</td></tr>
<tr><td>모드 : 1</td><td>- 좌측으로 지정된 량(STOP FEED WEIGHT)을
지정된 시간동안 급이를 개시함.
- 시간이 되면 급이량에 상관없이 명령 종료
- 지정된 량이 토출되면 명령종료</td></tr>
<tr><td>모드 : 2</td><td>- 우측으로 지정된 량(STOP FEED WEIGHT)을
지정된 시간동안 급이를 개시함.
- 시간이 되면 급이량에 상관없이 명령 종료
- 지정된 량이 토출되면 명령종료</td></tr>
<tr><td>모드 : 3</td><td>- 사료밀판 또는 후진감지센서 올림
사료 밀어주는 장치 들어올림</td></tr>
<tr><td>모드 : 4</td><td>- 사료밀판 또는 후진감지센서 내림
사료 밀어주는 장치 내림</td></tr>
<tr><td colspan="3">GO-BACK기능 : 후진에 대한 다양한 기능 구현
거리 : 10Cm단위(소수점없음) , 예) 2미터 이동 : 20</td></tr>
<tr><td rowspan="5">GO-BACK,거리,모드</td><td>모드 : 0</td><td>기본 속도로 후진 (자석센서 필요없음)</td></tr>
<tr><td>모드 : 1</td><td>예약</td></tr>
<tr><td>모드 : 2</td><td>예약</td></tr>
<tr><td>모드 : 3</td><td>예약</td></tr>
<tr><td>모드 : 4</td><td>기본 속도로 후진(자석센서 따라 자동주행)</td></tr>
</table>

표 60 자율주행 및 급이 동작 화면 설명 추가



버튼명/화면설명	설명	
ALLCLR	내부 메모리의 쓰레기 값을 초기화 합니다. 기기 설치후 1회만 사용하면 됩니다. (사용안함)	
Order Number Clear	진행오더 부분에 쓰여 있는 명령어 번호를 0으로 초기화 합니다. UP(+) DN(-)로 수정하기에 불편한 경우 사용합니다.	
보기	현재 수정된 속도값을 확인할수 있다.	
설정저장	수정된 속도값을 저장하여 다음 급이때 자동반영함.	
화면설명	진행오더	현재 진행중인 프로그램 명령번호
	고정속도	현재 설정된 속도
	속도가감	공급 사료량을 가감하기위해 이동속도를 조정하기위해 설정된 값. 속도증가,속도감소 버튼 누를 때 변화
속도증가	급이중 속도를 증가함(메모리설정값까지)	
속도감소	급이중 속도를 감소함(5단위)	
UP	진행하고 싶은 명령번호를 증가시킴	
DN	명령 번호를 감소시킴	
급이정지	사료 급이중일 경우 사료급이 행위를 중지하고 이동만 함.	
일시정지	모든 동작을 멈추고 일시대기함. 다시 누르면 원래동작 복귀함.	
처음으로	메뉴 선택 화면으로 이동함.	
동작수행	자동으로 사료공급을 개시함. 설정되어있는 순서대로 로봇이 진행하게됨.	
출발후 배합기로이동 급이하고자 하는 TMR사료를 공급 받음 - 사료수급 위치로 이동		
사료공급이 필요할 경우(잔량부족)		

사료잔량 양호할 경우

로봇에 공급되는 사료량은 공급하고자 하는 사료량을 계산하여 로봇이 적정한 량을 판단하여 사료를 공급받는다. 그러므로 사료 받는량은 시설상 오차가 존재하므로 전체급이량 보다 조금 많은 사료를 가지고 이동하게 되어있다.

이러한 량의 조정을 통해 최적의 사료를 운반할수 있게한다.

공급증가	총 수급량을 증가시킨다.
공급감소	총 수급량을 감소시킨다.
급이정지	현재 상태에서 급이를 중단한다.(사용안함)
공급종료	사료공급 받는 것을 중단한다.(사료수급 멈추고 싶을 경우) 수급을 중지하고 로봇이 급이위해 출발함.

사료 싣고 축사로 이동중

주행 라인을 따라 이동하면서 축사로 간다.
[일시정지] 버튼을 누르면 해당 위치에 정지함.
[일시정지] 버튼을 다시 누르면 이동.

<table>
<tr><td>
</td><td>- 이동중 충돌감지
- 범퍼센서 감지시 기기정지 (부저음 출력)
- 문제 해결시 다음행정 개시함.</td></tr>
<tr><td>
</td><td>- 이동중 장애물 감지
- 서행 (부저음 출력)
- 문제 해결시 정상속도 이동함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">축사 진입후 저울기반 자동 급이시작 화면</td></tr>
<tr><td colspan="2">

- 축사진입후 구간별 사료를 공급한다.
- 구간별 설정량을 50cm,1미터 단위로 환산한뒤 해당 사료를 공급한다.
- 해당 급이구간(50cm)이동전 사료잔량을 확인하고 이동후 공급량을 측정후 공급량이 적으면 로봇이 정지상 태에서 사료공급을 계속한다.
- 급이가 완료되었을 경우 다음 급이장소로 이동하면서 급이를 계속한다.</td></tr>
</table>

출력내용	설명
시작	급이시작시 저울값
목표	1구역별 전체급이 목표량
4차 : .0kg	현재 구간표시 : 구간급이 목표량
종료	급이후 실제 급이한량 (오차확인)
급이	현재급이중 사료량
진행/최종	현재위치 / 구간수량
이동	이동거리 표시 m
진행오더	현재 진행중인 명령번호
현재속도	현재속도
속도가감	속도 가감상태
OVER:003/120	한번 급이할 경우 120초가 최대 급이시간임 시간오버가 될 경우 급이를 모두 중지하고 복귀함. 사료가 없어서 급이할 필요없음.

센서F	전방 자석 감지센서의 상태를 보여줌 -1000 , 1000의 값일 경우 센서 이탈임.
버튼설명	
급이증가	사료급이량을 증가함 500그램단위
급이감소	사료급이량을 감소함 500그램단위
급이정지	사료급이를 중지하고 이동만 실행함.
일시정지	현재상태에서 모든걸 중지하고 대기함. 다시 누르면 복귀
모두정지	모든 명령을 종료하고 해당 화면을 빠져나감. 명령취소!
증가	이동속도를 증가시킴
감소	이동속도를 감소시킴

2장 연구수행 내용 및 결과(2-2. 경북대학교)

1절 사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계

1. 공정분석

가. 생산방법별(TMR) 공정분석

○ 한우 및 젖소용 사료 처리공정의 처리용량을 산정하기 위하여 공장형, 공동농가형 등의 이천TMR, 화성TMR, 경주TMR/TMF, 영천TMF 등에서 데이터 수집을 통한 입력변수를 산정하였다. 사료 반입-임시 대기 및 저장-배합-배출-계량 및 대기-공급의 공정을 분석하였다.

○ 일반적으로 TMR 플랜트의 TMR 사료 생산공정을 살펴보면 다음과 같다. 그림과 같이 TMR 플랜트의 주요시설은 원료저장시설, 배합장치, 계량 및 포장장치, 이송장치 등으로 구성된다. 곡물사료 등을 저장빈에 저장하였다가 TMR 배합비에 따라 일정량의 원료가 배합기에 투입됨과 동시에 사각베일 형태의 베일을 투입시켜 배합한다. 보통 2개의 배합기를 설치하여 한 배합기가 배합 및 배출 공정을 거치는 사이에 다른 배합기에 원료를 투입하는 방법으로 작업사이클을 단축시키고 있는데, 주로 원료의 투입 → 배합 → 배출 공정이 보통 15분 이내로 생산되고 있다. 배출이 완료되면 타이콘백에 정량으로 계량·포장한 후 주위 공간에 저장하였다가 사용농가로 반출되는 시스템이다. 이 모델은 젖소용 TMR로서 일 생산량 100톤 규모의 이천TMR 공장의 생산공정을 나타내고 있다.

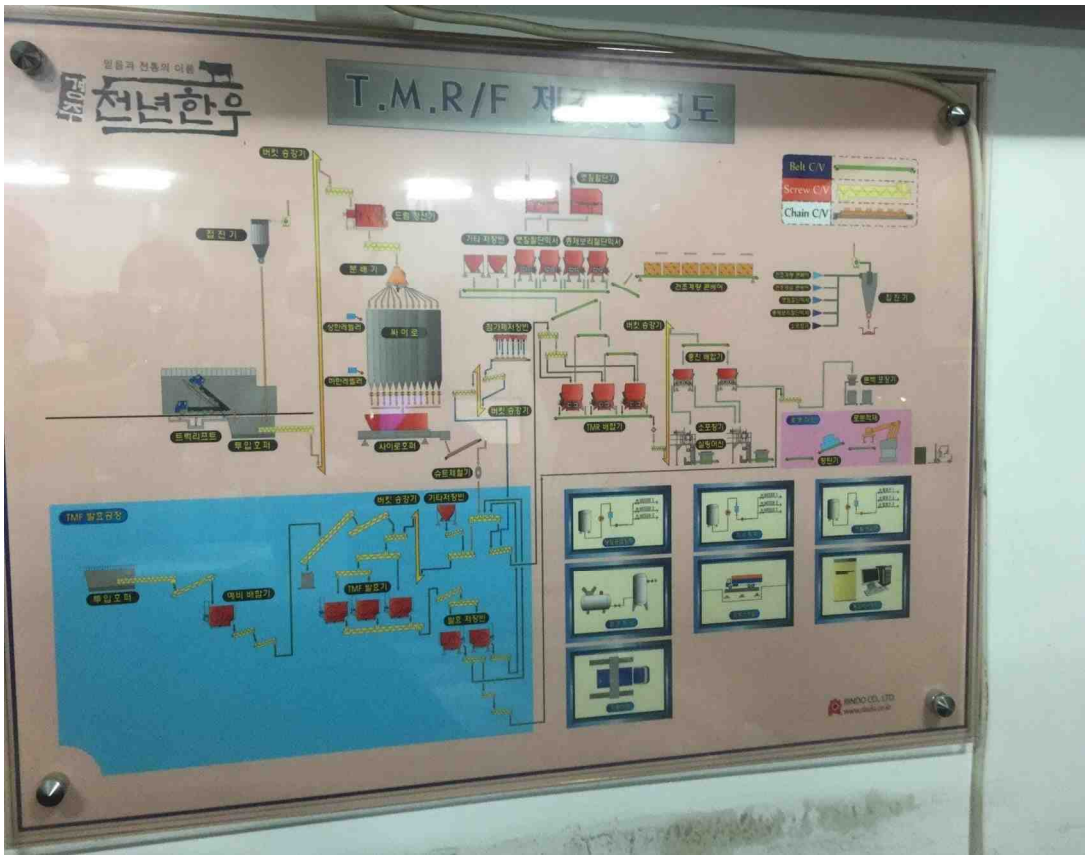
[그림] TMR 단위설비

○ 경기도 화성시 남양읍 온석리 199-7번지에 소재한 화성낙농영농조합법인은 일 생산량 50톤 규모의 공동농가형 플랜트로써 TMR 사료를 생산하고 있으며 부산물 발효저장조를 활용한 TMF사료 생산 시스템을 구축 중에 있다. 배합에 활용되는 사료는 농후사료와 수입 및 국내산 조사료, 부산물 사료를 활용하며 부산물 사료의 경우 파인애플박, 감귤박, 면실을 사용한다. 단위기계 설비는 3톤 용량의 배합기 2대를 기준으로 공장 내부에 조사료투입 위한 장치와 공장 외부에 탱크형식으로 구축되어 있는 농후사료 저장빈 부산물사료 임시저장 탱크가 있다. 이 모델은 젖소용 TMR과 TMF 겸용공장의 중간규모(공동농가형)의 생산공정을 나타내고 있다.

[그림] 화성 TMR

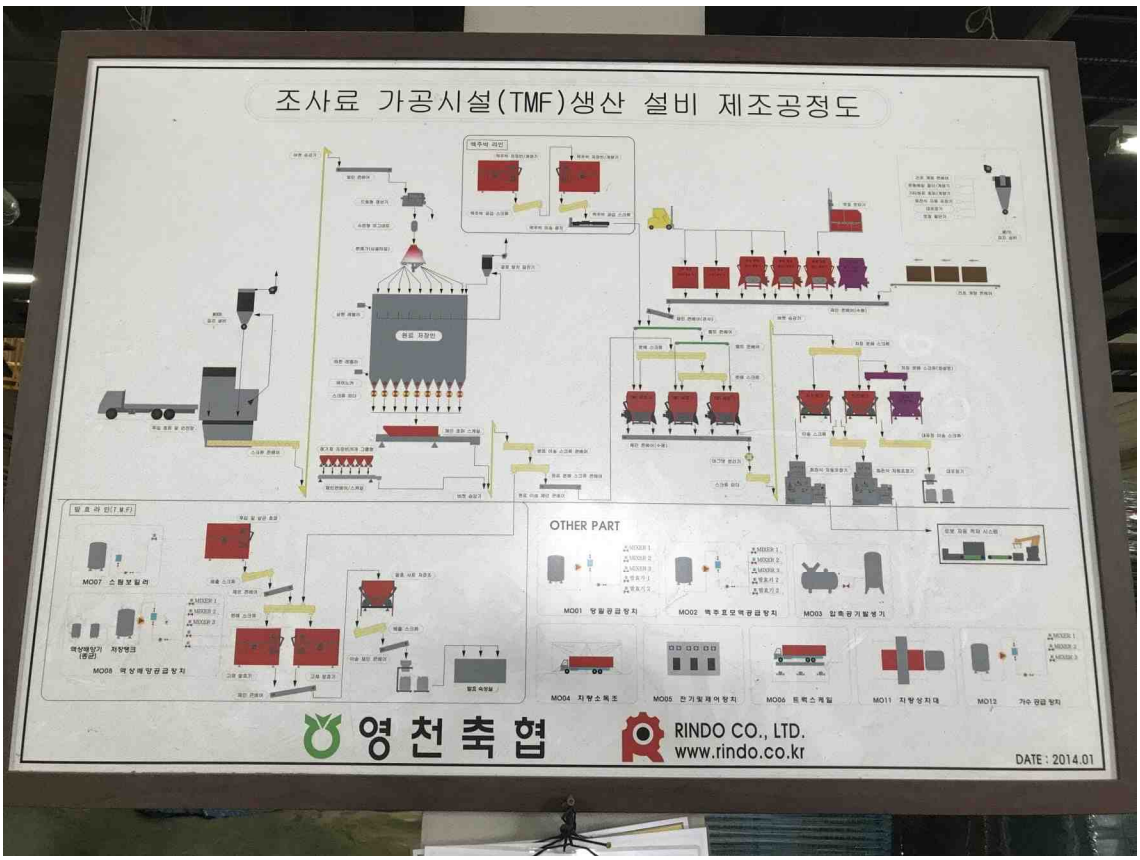
나. 생산방법별(TMF) 공정분석

○ 경주시 현곡면 무과리 3-1 번지에 소재한 경주 천년한우 TMR 공장은 100 ton 규모의 단위 플랜트로써 경주 인근의 한우농가에 TMR과 TMF 사료를 겸용으로 생산하여 공급한다. 특히 TMF 사료의 공급에 있어 3대의 TMF 발효기를 통하여 사료의 품질을 높이고 있으며 포장에 있어 6축 로봇을 활용하는 자동화 설비를 구축하고 있다. 이 모델은 한우용 TMR과 TMF 겸용공장의 공장형 생산공정을 나타내고 있다.



[그림] 경주 TMF

○ 영천시 명산길 22리에 소재한 영천 축협 TMF 공장은 100톤 규모의 단위 플랜트로써 부산물 사료인 밀기울 맥주박 미강을 활용하여 혼합사료를 제조한다. 특히 스팀보일러를 통한 살균 시스템과 액상배양을 통한 종균접종을 도입하여 TMF 사료의 품질을 높이고 있다. 이 모델은 한우용 TMF공장의 생산공정을 나타내고 있다.



[그림] 영천 TMF

다. 생산방법별(부산물사료) 공정분석

○ 부산물사료 처리공정의 처리용량을 산정하기 위하여 안동TMR, 경주TMR, 상주TMR, 정읍농가용TMR 등에서 데이터 수집을 통한 입력변수를 산정하였다. 부산물사료 반입-임시 대기 및 저장-살균-수분조절-살균 부산물사료 임시대기-프리믹스-프리믹스사료 압송-발효-저장-선입선출 배출-계량 및 대기-공급의 공정을 분석하였다.

○ 안동민속TMR 공장의 경우 부산물사료를 가장 많이 사용하는 곳 중에 하나인 TMR 공장으로, 부산물의 종류는 대부분은 식품부산물 등이 많이 사용되고 있었다. 여기서는 특별히 발효를 하지 않는 것으로 나타났다. 수분이 많거나 노지에 노출되어 있는 식품부산물의 곰팡이가 발생되기 때문에 항곰팡이제를 첨가하여 제조하고 있었다. 그러나 가끔씩 TMR 사료의 문제점으로 소들이 설사를 하는 경우가 발생하기도 한다고 한다. 이러한 문제점으로 발효가 필요할 것이라고 판단된다. 주로 습사료는 저장빈에 건사료는 외부 콘크리트 저장고에 저장하는 것으로 나타났다.

[그림] 안동 민속 TMR

○ 부산물사료는 저장빈에 저장하거나, 톤백 원료로 사용하는 것으로 나타났다. 맥주박과 같은 다즙성 원료는 외부의 저장빈에 별도로 저장하였다가 필요시 압송하여 사용하였다. 그러나 다즙성 원료는 여름철에는 부패가 심하고 사용이 불편하여 거의 사용하지 않는 것으로 조사되었다.

[그림] 부산물사료 처리를 위한 단위기계

○ 정읍의 농가용,TMR공장의 경우도 사료가격을 낮추기 위하여 부산물사료를 많이 이용하는 형태이다. 부산물 사료 이용공정을 살펴보면, 저장은 칸막이로 된 콘트리트 벽면 사이에 벌크형태로 저장하기 때문에 시간이 지나면서 곰팡이가 피거나 다즙성 사료는 즙액이 흘러나오는 문제점이 있다. 평균적으로 사료의 손실이 평균 20~30% 이상 되며, 특히 여름철에는 부패 정도가 심해 손실이 더 큰 것으로 나타났다. 또한 사료 조제 후 톤백이나 플라스틱 용기로 부산물사료를 발효저장하여 사용하나, 부산물 발효사료 제조시 노동력과 투자시간이 과대하고 계절별 발효기간 및 발효상태가 불규칙한 것이 단점이다.

[그림] 정읍 농가용 TMR

○ 대부분의 TMR 공장에서 부산물사료의 살균과 발효 공정을 살펴보면, 발효배합기가 없는 공장에서는 살균과 발효과정을 거치지 않고 톤백을 밀봉하여 몇 일간 발효저장 후 TMF사료를 판매하고 있으며, 발효배합기가 있는 공장에서는 3톤 발효배합기 3대로 0.5~1시간 살균과 온도를 높이는 공정을 거친다. 발효기간은 최소한 2일 정도 발효가 되도록 해야 하지만, 1일 100톤 생산규모의 공장에서는 생산성이 크게 저하되기 때문에 제대로 된 발효과정을 거치지 못하고 있으며, 최종 TMR 생산 후 톤백에 저장하여 TMF사료를 제조하고 있다. 이때 부산물 원료는 콘크리트 바닥에 방치하는 것으로 나타났다.

[그림] 부산물 저장모습

○ 건식사료는 주로 콘크리트 저장고에 저장하였고, 부패나 산패가 큰 습식 부산물 사료는 여러 대의 저장빈을 활용하여 각각의 부산물사료를 저장빈에 저장하여 배합시에 정량 배출되도록 설계되었다.

[그림] 부산물 처리모습

라. 생산방법별(조사료) 공정분석

○ 조사료 처리공정의 처리용량을 산정하기 위하여 칠보농협 조사료처리공장 등에서 데이터 수집을 통한 입력변수를 산정하였다. 조사료 반입-세절-배합 및 임시 대기-배출-계량-공급 및 저장의 공정을 분석하였다.

[그림] 조사료 처리공정

[그림] 조사료 처리모습

2. 공정설계

[표] 공정설계에 따른 분류

모델		A	B	C	D
축종별	1	한우	낙농	-	-
생산형태별	2	농가형	공동농가형	공장형	-
처리규모별(톤/일)	3	100	50	10	-
생산방법별	4	조사료	부산물사료	TMR	TMF

○ 공정설계는 처리규모별, 생산형태별, 생산방법별, 축종별 입력변수에 따른 모델별 공정설계를 하였다. 세부적으로는 다음과 같다.
- 처리규모별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 100톤/일, 50톤/일, 10톤/일
- 생산형태별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 농가형, 공동농가형, 공장형
- 생산방법별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 조사료, TMR, TMF, 부산물사료
- 축종별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 한우, 젖소

가. 원료저장 공정

○ 반입한 부산물 및 조사료 농후사료는 원료빈에 임시 저장하여 대기한다 이때 부산물 원료의 함수율이 높아 수분이 하부로 모이는 것을 감안하여 원료빈의 하부를 호퍼형식으로 제작하며, 하부에 드레인을 설치하여 모이는 수분을 배출할 수 있도록 한다. 사료 제조시 품질 안전화를 위해서는 원료 저장공정에서 사료(조사료, 부산물사료, 농후사료 등)의 수분 등을 측정하여 데이터를 확보하고 최종적으로 배출되는 시점에서 수분값 등을 측정하도록 하는 것이 중요하다.

○ 낙농사료 플랜트의 공정에서 1회 배합시 크게 농후사료 및 조사료 부산물 사료의 투입

공정과 발효 및 배합공정, 배출공정으로 구분되며 사용되는 혼합사료는 농후사료, 조사료, 부산물 사료가 각각 34, 23, 43%의 비율로 혼합되며 초기 함수율은 60%로 제조한다.

[표] 혼합사료 종류별 배합비율 및 함수율

	무게 (kg)	비율 (%)	수분량 (kg)	건량 (kg)	함수율 (%)
농후사료	1,020	34	565	455	55
조사료	690	23	105	585	15
부산물사료	1290	43	1130	160	88
계	3,000	100	1,800	1,200	60

나. 세절 및 연화 공정

○ 원형베일 상태로 반입된 조사료는 칼날부를 개조한 작두식 원형베일 세절기에서 세절이 된 후에 연화기로 투입되어 연화되며 배출구를 통하여 배합기로 투입된다. 이 기간 중에 작업자는 배합사료나 부산물 사료를 추가로 투입하여 배합비를 조절할 수 있다.

다. 배합 공정

○ 2날형태의 오거형 배합기를 적용한 TMR 사료의 일반적인 배합작업 소요시간은 20분인 것으로 알려지고 있다. 본 개발 모델 시스템에서 조사료는 투입 즉시 배합되며 시스템의 구동방식에 의하여 투입되는 5분과 배합되는 20분을 포함한 25분에 모든 배합작업이 완료된다. 사료 제조시 품질 안전화를 위해서는 배합공정에서 배합이 완료된 사료의 수분 등을 측정하여 최종적으로 배출되는 시점에서 측정이 가능하도록 하는 것이 중요하다.

라. 스팀살균장치

○ TMF 사료를 제조하는데 있어 부산물의 스팀살균은 매우 중요한 공정이다. 이는 초기 부산물의 유해균을 살균하여 접종함으로써 발효를 촉진시킬수 있을 뿐만 아니라 발효사료의 품질을 균일하고 안정되게 생산할 수 있는 공정이다. 사료 제조시 품질 안전화를 위해서는 스팀살균공정에서 수분이 증가하기 때문에 이를 측정하는 것이 중요하다.

마. 압착, 탈수장치

○ 혼합사료는 발효 및 보관에 용이하도록 수분을 조절하여야 한다 이에 수분추출의 효율이 높은 스크루타입의 프레스를 절단 세절장치의 다음 공정에 설치하여 절단 및 세절장

치의 수분추출이 이루어 질수 있도록 하며, 배출된 즙액의 회수 및 즙액이 추출된 고형물을 회수 할 수 있는 장치를 추가적으로 기계의 측면에 부착하였다. 사료 제조시 품질 안전화를 위해서는 압착탈수공정에서 수분이 감소하기 때문에 이를 측정하는 것이 중요하다.

바. 발효장치

○ TMF의 사료조제를 위하여 사용되는 발효저장장치는 배합이후 발효저장조로 투입되는 구조이며 50 ton 용량의 원형탱크형식을 취하고 있다. 선행연구에서 혼합사료의 발효에 3일의 기간이 최적화 되는 점을 감안하여 총 3기의 탱크를 구축하는 것으로 시스템을 설계하였다. 사료 제조시 품질 안전화를 위해서는 발효시 pH의 변화로 발효상태를 확인할 수 있기 때문에 이를 측정하는 것이 중요하다.

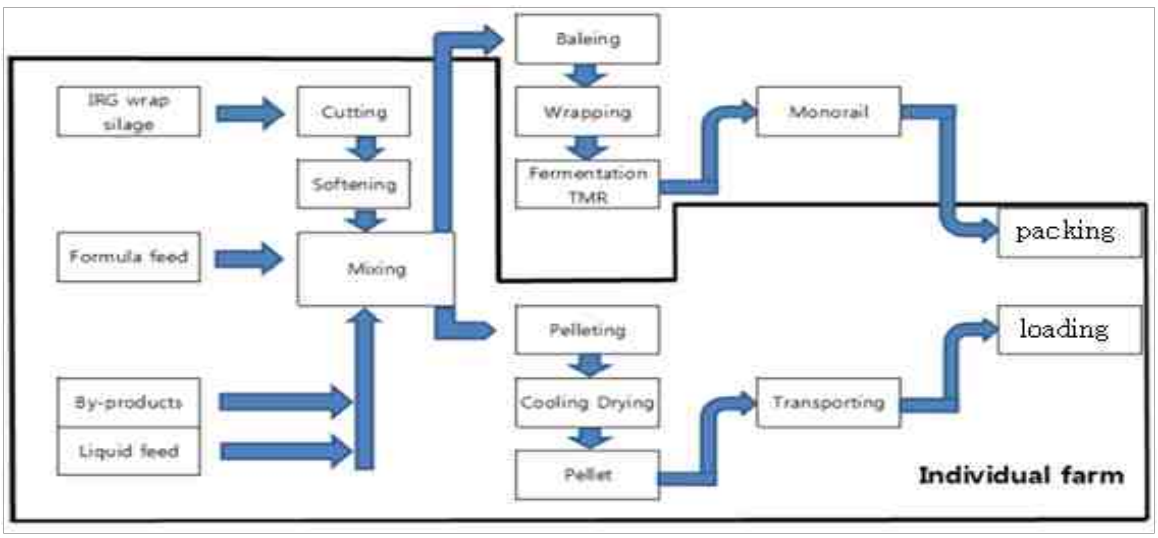
사. 배출장치

○ 배출구는 배합기의 하부측면에 제작되었으며 이를 통한 벨트 컨베이어에 의하여 저장빈 및 부산물발효저장조로 운송되는 구조이다. 일반적인 3톤 용량 기준의 TMR 배합기를 이용할 경우 사료 배출에 소요되는 시간은 7~8분이다

아. 포장 및 차량적재

○ 포장 및 차량적재 작업은 배합작업의 TMR 및 TMF의 사료조제용으로 개발된 시제품을 활용하며 포장은 후반부 약 15분의 작업시간이 필요하며, 차량적재는 20분의 시간이 소요된다

자. 공정별 소요시간



[그림] 표준공정도

○ 100톤 규모 TMF 공장에서의 공정별 소요시간을 평균화 하여 분석한 결과 초기 사료의 투입에 100분이 소요되며, 배합에 400분, 스팀살균 300분, 수분조절 200분으로 총 1,000분

이 소요되나 연속공정에 따른 시스템의 특성에 의하여 430분에 혼합사료의 전처리 공정이 완료되며, 이후 발효에 4,320분, 발효 후 배출공정에 300분이 소요되어 총 5050분의 시간에 1기의 부산물 발효탱크에서의 시스템 공정이 완료된다.

[표] TMF 공장의 공정별 소요시간

공정	세부공정	작업시간 (min)	비고
발효 전처리단계	급이	100	시뮬레이션 시간 (430min)
	배합	400	
	살균	300	
	수분조절	200	
발효단계	발효	4320	시뮬레이션 시간 (4620min)
발효 후처리단계	포장	300	
	차량적제		
총 작업시간 (min/batch)		5620(* 5050)	* 연속작업시 시간

○ 50톤 규모 TMR 공장에서의 공정별 소요시간을 평균화 하여 분석한 결과 초기 사료의 투입에 20분이 소요되며, 배합에 20분, 배출 및 포장에 29분이 소요되나 연속작업에 의해서 총 30분에 배치당 시스템의 공정이 종료된다.

[표] MR 공장의 공정별 소요시간

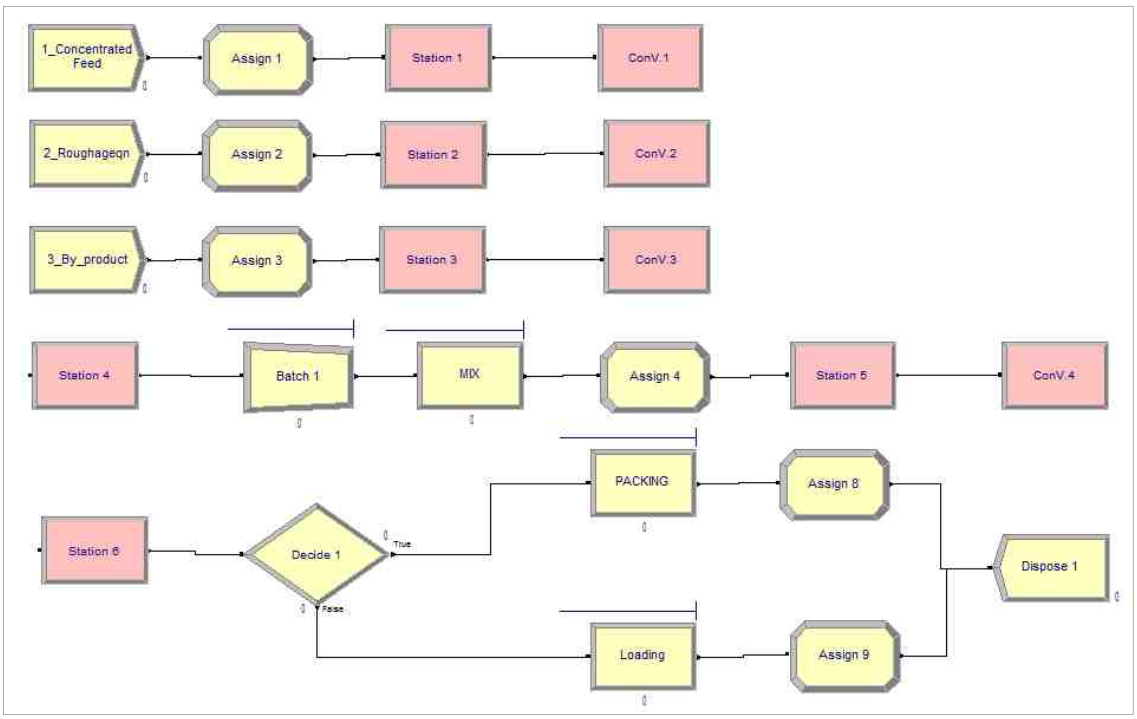
공정	세부 공정	작업시간 (min)	비고
반입 세절	원형베일 운반 및 적재	1	* 반입, 세절 및 배합공정은 동시작업
	원형베일 비닐 및 끈 제거	1	
	조사료 세절 및 투입	13	
	농후사료 및 벌크원료 투입	4	
	액상원료 및 미량원료 투입	1	
배합	배합	20	
배출	TMR사료 배출	5	* 배출 및 포장공정은 동시작업 가능
포장	소포장, 톤백포장	20	
	포장후 적재	4	
총 작업시간(min/batch)		30	* 연속작업시 시간

3. 최적화 시뮬레이션

○ 축산 및 낙농용 사료의 특성 분석 결과를 기초로 하여 시뮬레이션 모델을 구현하였다. 단위기계의 용량변화에 따른 운영조건을 알아내려면 많은 대안에 대한 실험이 필요하므로, 배치 방식으로 시뮬레이션 실행이 용이하며 최적화 툴(Opt-quest)로 연결될 수 있는 Arena가 적합한 것으로 판단되었다. 이에 본 연구에서는 Arena ver 15 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하였다. 시뮬레이션은 1일 8시간 기준 365일 구동하였으며 기타 기계의 고장 및 지연요소는 없는 것으로 가정하였다. 모델 개발과 수정의 편리성을 위하여 표와 같이 시스템 전체의 프로세스를 분석한 후 3가지 대표적인 모듈로 분할하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

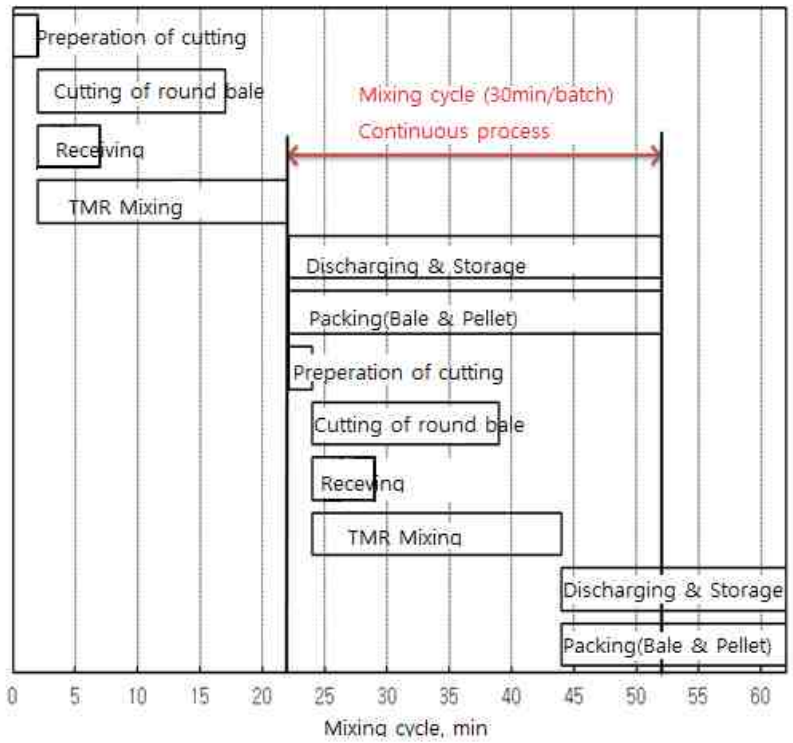
가. 한우 공장형 TMR 모델(1A-2C-3A-4C)

○ 한우 공장형 TMR 플랜트 모델의 경우 일 생산량 100톤을 기준으로 모델링하였으며, 모델링 시간은 하루 8시간 기준 365일을 진행하였고 기타 고장 및 지체요인은 없는 것으로 가정하였다. 또한 세절기 및 배합기등의 단위기계의 최적화를 위하여 ARENA의 OPT-QUEST 기능을 활용하였다.



[그림]한우 공장형 TMR (1A-2C-3A-4C)모델링

○ 개발 모델은 처음 CREATE 유닛을 사용하여 농후사료, 조사료, 부산물 사료가 100 ton 규모로 생산되게 모델링 하였으며 3톤의 배치형식으로 프로세서 모듈로 구현된 배합기에 투입되어 각각 포장과 차량 적재로 배출되도록 하였다.



[그림] 한우 공장형 TMR (1A-2C-3A-4C) 타임차트

○ 타임차트에서와 같이 배치당 시간은 연속공정에 의해서 30분에 1배치가 이루워지는 구조이며 OPT-QUEST를 활용한 단위기계의 가동률은 세절 연화기가 1,000kg/h에서 92%, 포장이 400kg/h에서 87% 차량적제가 5,000kg에서 89%로 분석되었다.

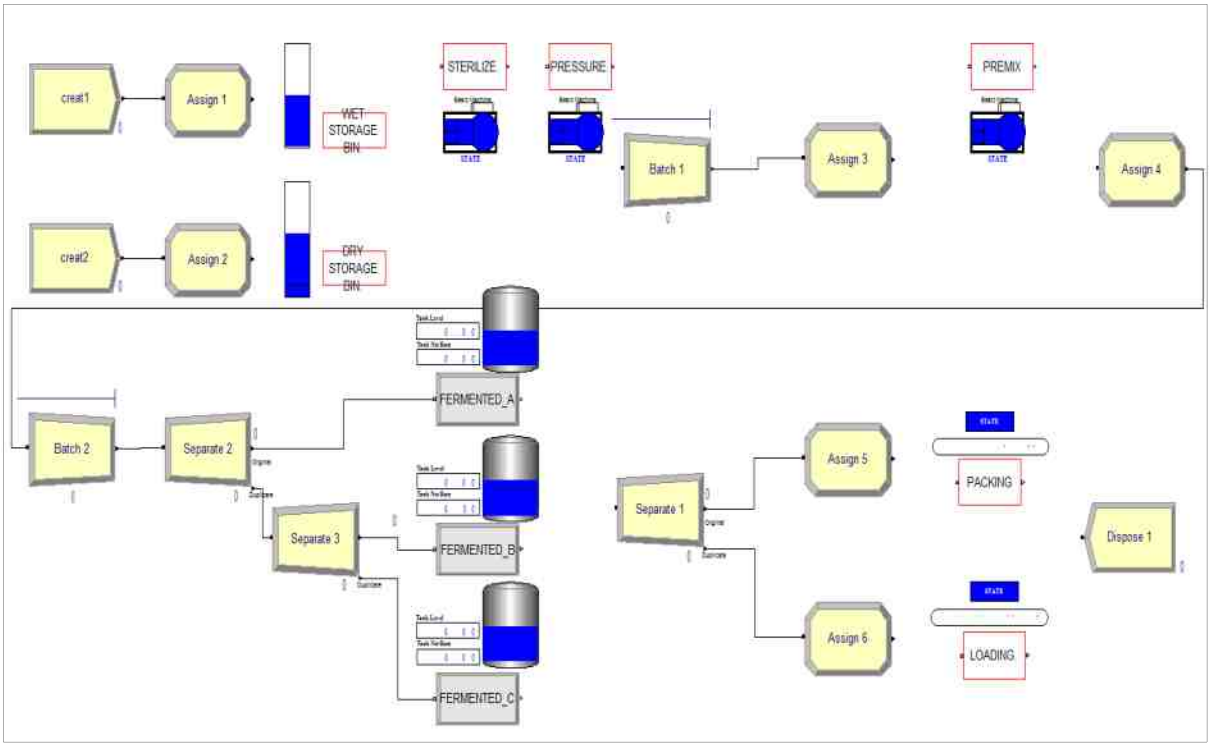
[표] OPT-QUEST를 활용한 단위기계 최적화

Process	Machinery	capacity	Operating ratio(%)
Prepare Mixing	Cutting, softening	1,400kg/h	62
		1,000kg/h	92
		600kg/h	overload
After Mixing	Bale-wrapping	600kg/h	44
		400kg/h	87
		200kg/h	overload
	Pelleting	5,400kg/h	72
		5,000kg/h	89
		4,600kg/h	overload

나. 한우 공장형 TMF 모델(1A-2C-3A-4D)

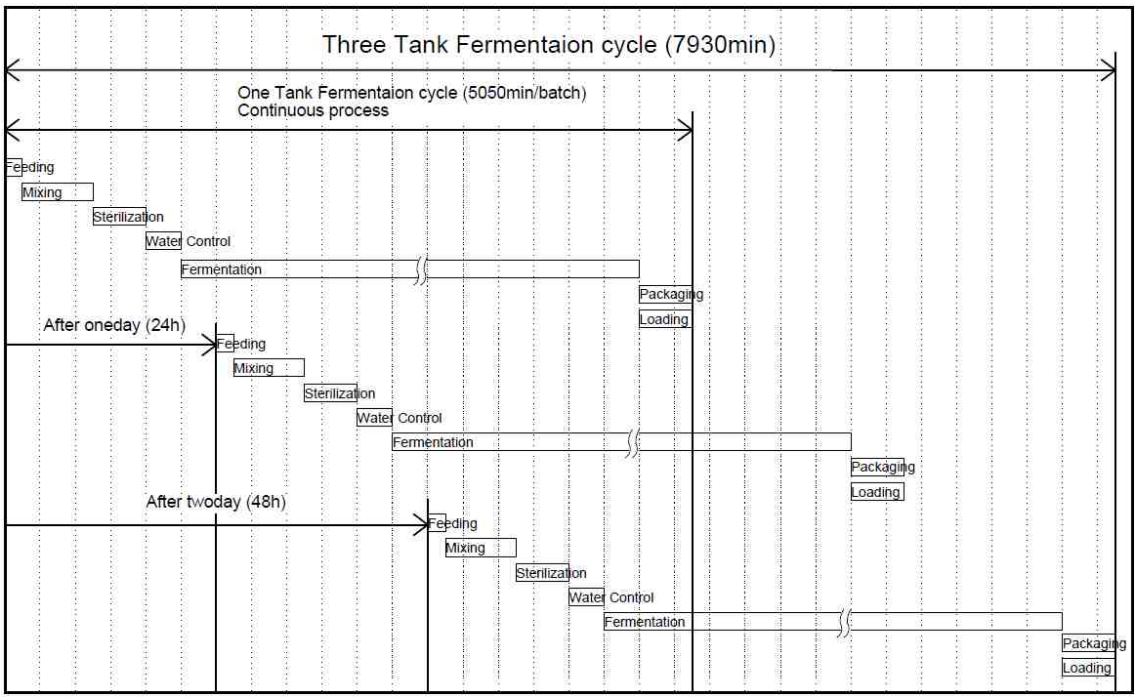
○ 가장 대표적으로 활용되고 있는 한우 공장형 TMF 모델은 앞서 조사하였던 한우 공장

형 TMR 모델에 발효저장 시스템이 도입되는 형식의 모델이다. 추가 되는 단위기계는 살균기, 수분조절 압착기, 발효저장탱크이며 전체적인 시스템에 있어서 배합기가 아닌 발효저장장치를 중심으로 모델링을 구현한다. 또한 시스템은 세부적으로 부산물사료만 발효시키는 공정과 혼합사료를 발효시키는 공정으로 나뉘는데 본 연구에서는 대부분의 한우 TMF 공장에서 활용되고 있는 부산물만 발효하는 공정을 적용하여 모델을 개발하였다.



[그림] 한우 공장형 TMF (1A-2C-3A-4D) 모델링

○ 처음 CREATE 모듈을 통하여 생성된 농후사료, 조사료, 부산물사료는 배합 프로세서를 거쳐 스팀살균기와 수분조절 압착기를 거친 후 발효저장조로 투입된다. 이후 3일 간의 발효단계를 거쳐 차량적제와 포장으로 배출되는데 이때 조사된 TMF 공장의 사료 조성비는 육종별, 비육단계별로 차이가 있지만 대부분 농후사료 34%, 조사료 23%, 부산물 및 기타 첨가제 43%로 구성되어 있다. 부산물사료 최적 발효조건에 따르면 TMF 사료는 최소 3일인 72시간의 발효시간이 필요하므로 부산물발효저장 탱크의 용량을 50 ton 3기를 설치하였다. 또한 발효 전처리 과정에서는 수분 변화가 이루워져 최적의 발효조건인 50%대의 함수율로 부산물 사료를 제조하였다.



[그림] 한우 공장형 TMF (1A-2C-3A-4D) 타임차트

○ 공정시간은 타임차트에서와 같이 사료의 투입에 100분이 소요되며, 배합에 400분, 스팀 살균 300분, 수분조절 200분으로 총 1,000분이 소요되나 연속공정에 따른 시스템의 특성에 의하여 430분에 혼합사료의 전처리 공정이 완료되며, 이후 발효에 4,320분, 발효 후 배출공정에 300분이 소요되어 총 5050분의 시간에 1기의 부산물 발효탱크에서의 시스템 공정이 완료된다

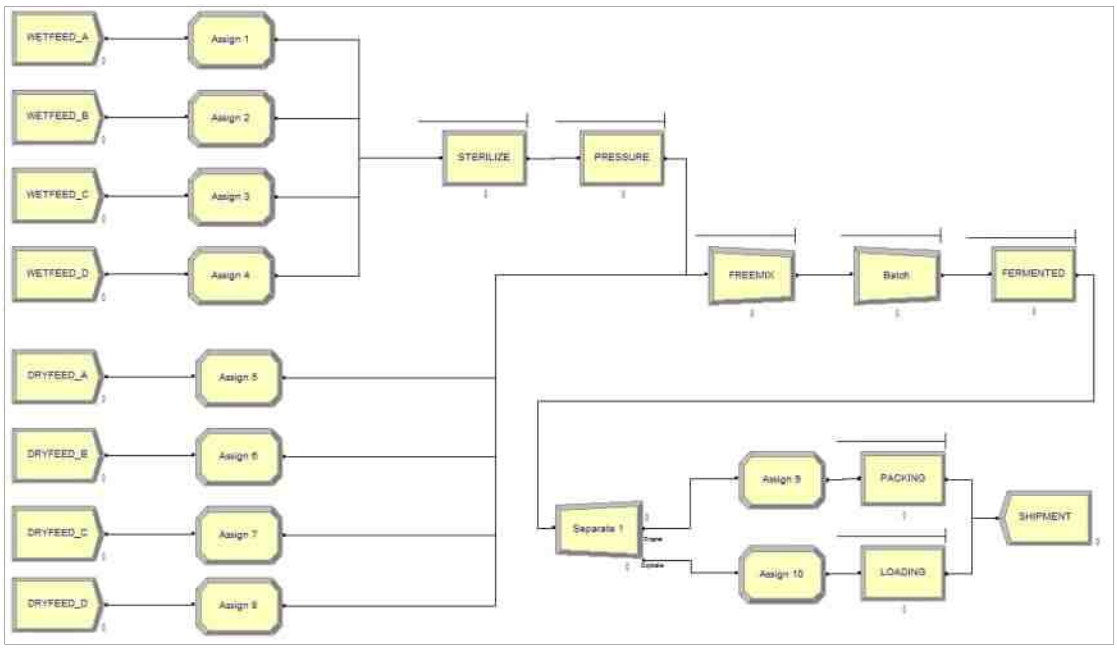
[그림] OPT-QUEST를 활용한 단위기계 최적화 결과

○ OPT-QUEST를 활용한 최적화 결과 배합기는 8.5 Ton/h 용량에서 가동률 99%, 스팀 살균기 17.7 Ton/h 용량에서 가동률 93% 수분조절 압착기 89 Ton/h 용량에서 89%로

분석되었으며, 차량적재 장치는 용량 12.8 Ton/h, 포장장치는 용량 2.67 Ton/h 에서 각각 83.3%와 100%의 가동률로 분석되어 최적의 단위기계 가동률의 산정에 따른 기계용량으로 나타났다.

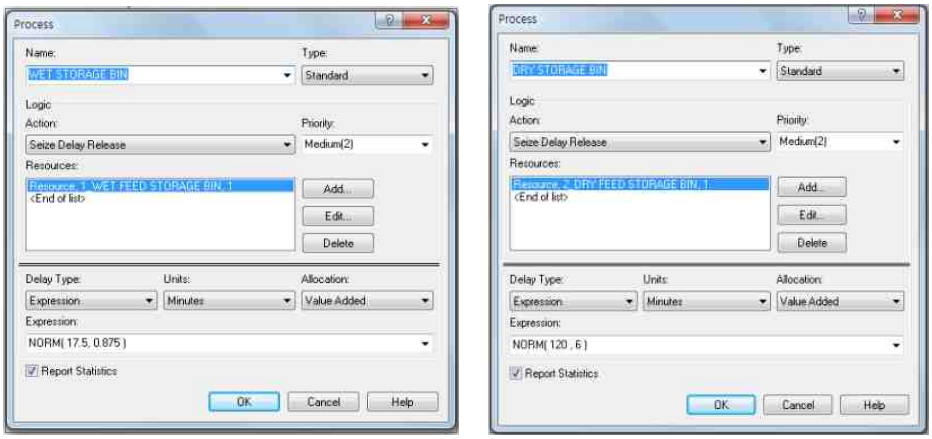
다. 젖소 공장형 TMF 모델(1B-2B-3B-4D)

○ 낙농 공동농가형 TMF 모델은 앞서 연구되었던 한우 공장형 TMF 모델과 유사하나 사용되어지는 사료와 플랜트의 용량(일일 생산량)에서 차이가 있다. 대부분의 한우 TMF 에서는 비육을 위하여 부산물 사료를 다양한 종류로 활용하지만 낙농 TMF 의 경우 유질의 품질을 유지하기 위하여 파인애플박과 감귤박 면실박과 같이 제한하여 이용하며 일일 생산량 역시 대부분의 한우 공장형 모델이 100 ton 인데 반하여 50 ton의 용량을 가지고 있다. 또한 발효에 있어 한우 TMF 모델과 달리 혼합사료를 모두 발효시키는 방식을 채택하고 있다.

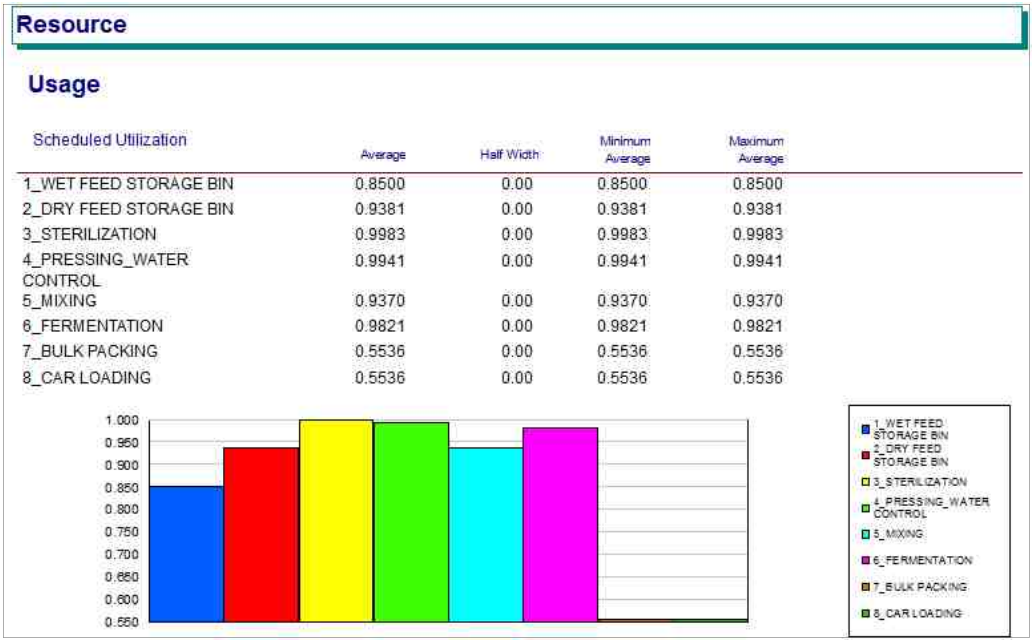


[그림] 젖소 공장형 TMF (1B-2B-3B-4D)모델링

○ 개발 모델은 투입된 사료를 크게 농후사료, 조사료, 부산물 사료 구분하며 부산물 사료는 배합공정에 들어가기전에 스팀살균과 수분조절 압착장치를 거치며 최종적으로 농후사료 조사료와의 배합에 의해서 50%의 함수율로 발효저장조로 투입된다. 이후 구명된 최적의 발효조건에 따라 3일간의 발효공정을 거친후 차량적제 및 포장의 방식으로 배출된다.

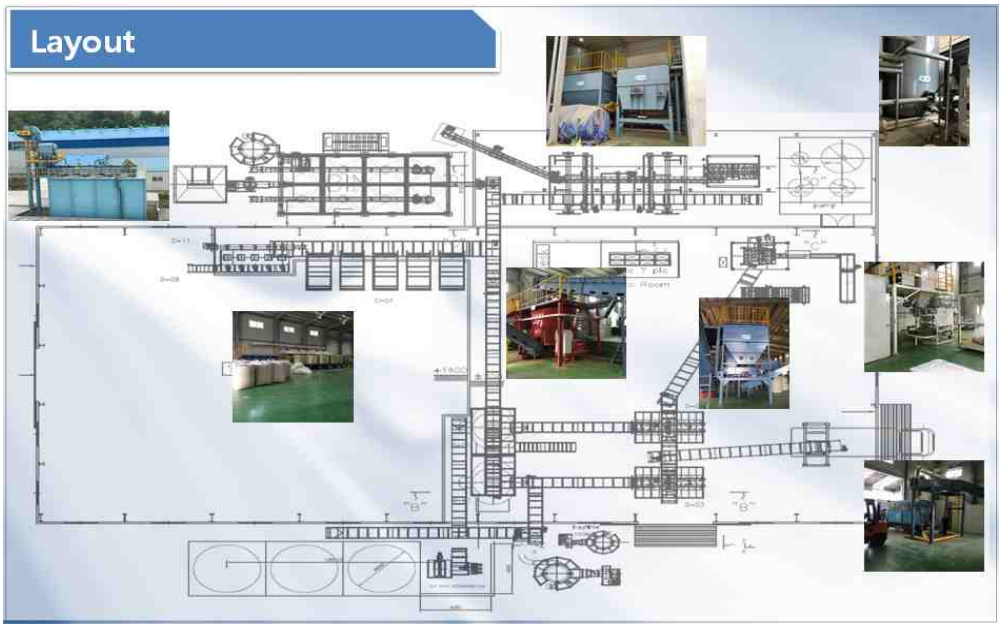


[그림] 시뮬레이션 설정



[그림] OPT-QUEST를 활용한 단위기계 최적화 결과

○ OPT-QUEST를 통한 단위기계의 최적화 결과 혼합사료 투입공정에서 85~93% 살균공정 및 수분조절 공정에서 99% 배합기에서 93% 발효저장조에서 98%로 높게 분석되었으며, 발효후 처리 공정의 해당 단위기계인 벌크포장기와 차량적재장치는 55.3%로 낮은 수준의 가동률을 보이고 있으나 설비의 처리용량에 있어 부족하지 않으며, 벨트컨베이어 형식의 설비이므로 용량조절은 불필요할 것이라 분석되었다. 본 연구로 개발된 3가지 시뮬레이션 모델은 많은 가정과 제약의 전제하에서 이루어진 분석으로 최적해라고 하기 보다는 실제 모델과 비교해 볼 때 많은 유사성을 바탕으로한 최적실험설계법에 따른 반복된 결과값의 분석이다 이는 유용성을 가지는 모델에 있어 최적의 효율을 갖는 기계용량을 제시한 것이며, 최종적으로 선정된 용량의 단위기계를 배치한 배치도를 그림과 같이 나타내었다.



[그림] 시뮬레이션을 통한 단위기계 배치도

4. 표준화 모델 개발

○ 본 연구의 과제에서는 국내의 낙농가, 한우 농가의 사료 급여 현실에 부합하며 경제적으로도 이익을 남길 수 있는 종합적인 시스템에 소요되는 기존 보급된 투입기, 살균기, 프리믹스 배합기, 발효저장조, 반송기, 자동급이기 등 여러 기종의 장단점을 분석하여 모델별로 적합한 기계 선정하고, 각 모델별로 예비시험을 통하여 모델의 작업사이클 및 가공공정도(process flow diagram) 설계, 각 모델별로 노동량과 노동시간이 최소가 되는 최적 배치도 설계와 여러 가지 모델(육종별, 부산물사료 종류별, 사료 가공형태별 등)을 조합한 최적 배치도 설계, 각 모델별로 소요기계(투입기, 살균기, 프리믹스 배합기, 발효저장조, 반송기 등)의 용량, 크기, 소요동력 등을 결정하였다.

가. 기계형식 선정

○ 낙농·한우 단지별로 공동으로 이용 가능한 “사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계” 에 핵심공정인 사료반입-임시 대기 및 저장-살균-수분조절 압착-살균 부산물사료 임시대기-프리믹스-프리믹스사료 압송-발효-저장-선입선출 배출-계량 및 대기-공급-자동급이 할 수 있는 기계를 국내에 보급된 여러 기종들의 시장조사 및 기계의 장단점을 분석하고, 조사료를 쉽게 처리할 수 있는 적합한 기계를 선정하여 실정에 맞도록 수정·개발하였다.

(1) 임시대기빈, 프리믹스 배합부의 선정

○ 사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계에 적합한 모델을 제시하고자 현재 국내에 보급된 배합기의 기종을 조사하고 각각의 장단점을 파악하여 적합한 기종을

선정한 후 설계에 반영하였다. 본 연구의 사용될 “배합부”의 전반적인 기능을 살펴보면, ①농후사료와 조사료 부산물사료를 반드시 배합기에 함께 투입하여 배합할 수 있어야 하며, ② 배합이 골고루 잘 되어야 하며, ③ 생산규모에 맞게 배합탱크의 용량이 적당해야 하며, ④투입된 사료 등의 무게를 잴 수 있는 계량장치가 있어야 하고, ⑤ 배합된 사료를 배출할 수 있는 배출장치가 있어야 한다.

○ 일반적으로 TMR용으로 사용되는 배합기에는 오거(Auger)형, 원통(Drum)형, 릴(Reel)형 등 크게 세가지 형태가 주류를 이루고 있으며, 기타 체인형(Chain-in-Slat), 리본형 등이 있으나 TMR 배합에 가장 많이 사용되는 배합기는 오거형이다. 그러나 혼합사료의 종류는 습식사료와 건식사료형태로 분류되기 때문에 여기에 적합한 믹서를 선정하여야 한다.

○ 오거(Auger)형 배합기는 일반적으로 TMR믹서로 가장 많이 사용되는 믹서로서 낙농목장에서는 물론, 대규모 비육우 농장에서도 널리 사용되고 있다. 윗부분이 열려있어 위로부터 사료원료를 투입하도록 되어 있으며, 믹서내부에 2~4개의 오거가 내장되어 있어 이 오거가 회전하면서 사료를 섞고 밀어내어 배합하도록 되어 있다. 다른 형태의 어떤 믹서보다도 조사료와 농후사료를 동시에 골고루 강력하게 혼합할 수 있어서 낙농용으로 적합하다고 판단된다. 오거형 배합기 중 2오거형은 양방향에서 가운데 쪽으로 미는 방식의 구조로 제작되어 있으며 기계 구조가 간단하며 배합 효능이 좋으나, 기계설계가 잘못되면 터널현상이 생긴다. 중앙으로 밀어 올려 자연 낙하함으로 기계의 높이가 다른 기계보다 약간 높다. 또한, 3오거형은 밑의 오거는 앞 방향으로 사료를 밀어서 위로 올리며 위 2개의 오거는 사료를 뒤로 보내는 방식으로 기계 높이를 낮게 제작이 가능하나, 밑에 오거가 위 오거보다 상대적으로 커서 밑에 오거를 잘 제작하지 않으면 축 휘임이 오거나 날개가 꺾이거나 떨어지는 경우가 발생한다. 베일을 통째로 넣을 경우 과부하로 인한 체인 감속장치의 체인이 종종 끊어진다. 4오거형은 밑에 오거를 2개 설치하고 위에 오거를 2개 설치한 것으로 밑에 2개 오거는 앞쪽으로 사료는 밀어서 올리고 위 오거 2개는 뒤로 보내 밑으로 떨어뜨리는 방식으로 기계 높이를 낮게 제작할 수 있으나 오거축수가 4개이므로 구동장치가 복잡하며, 베일을 통째로 넣을 경우 과부하로 인한 체인감속장치가 파손 될 경우가 있고, 기계구조가 2오거나 3오거 보다 다소 복잡하다. 또 가격이 2오거 보다 약간 높을 수가 있다.

○ 릴(Reel)형 배합기는 윗부분이 열려 있으며, 믹서내부에 대형의 얼레(Reel)가 1개 있고, 작은 오거가 2개 있어서 릴이 주로 사료배합을 하는데, 오거는 사료배합을 보조하고 조사료의 부분절단과 사료의 토출을 돕는 역할을 한다. 릴의 가로막대(Cross-Bar) 연결부위에 스프링이 장치되어 있어서 릴의 회전시 믹서 바닥과 릴 사이에 부피가 큰 사료가 끼이거나 과부하가 될 경우 압력을 줄여서 릴이 원만히 회전되도록 되어 있다. 릴이 단순 회전운동만 하므로 사료가 한쪽으로 혼합되어 불완전한 배합이 될 우려가 있으며, 긴 조사료가 잘 배합되지 못하고 릴의 축 한가운데 남아 있는 등의 결점이 있다. 릴믹서는 배합효율은 양호하지 못해도 오거믹서보다 배합시간이 빠르므로 조방적으로 사육해도 크게 문제가 되지 않는 대규모 비육우 농장용으로 잘 어울리는 믹서이지만, 낙농목장에서도 사용되고 있다. 또한 습사료 부산물의 경우 빠른시간에 교반할 수 있는 장점이 있다. 드럼(Drum or Tumble)형 배합기는 원통형으로 생긴 믹서로서 둥근 원형의 드럼통이 회전하면서 사료가 혼합된다. 제품에 따라 내부에 나선형의 연속된 철판날(순환나선형의

사료배합 이동날개)이 수직으로 솟아있거나 단락된 나선철판이 설치되어 있기도 하다. 한편 원료투입구와 토출구가 모두 앞쪽에 설치된 제품이 있는가 하면, 투입구는 앞쪽에 토출구는 뒷쪽에 설치된 제품도 있다. 또한 믹서 한가운데에 오거튜브가 설치되어 있는 제품이 있는 반면 없는 제품도 있으며, 드럼통이 수평으로 설치되어 있는 것이 일반적이나 간혹 앞쪽이 뒷쪽보다 높아 경사지게 설치된 믹서도 있다. 이 드럼형 믹서는 길이가 긴 건초나 조사료를 동시에 혼합하기가 다소 어려운데, 드럼이 회전하면서 사료를 오거튜브(Auger Tube)에 퍼넣는 부분, 즉 국자 날개와 오거가 접속되는 부분에 조사료가 끼여서 과부하되어 배합이 원활하지 못한 결점이 있을 수 있다.

○ 수직 오거형 배합기는 원통을 세워놓은 곳 중앙에 스크루를 세워 스크루의 중앙부위로 사료가 올라가며 가장자리 쪽으로 사료가 다시 내려가며 혼합되는 구조이다. 세워진 원통 중앙에 오거를 수직으로 2개를 세워 구동하는 관계로 부하가 적게 걸리며 기계구조가 간단하지만 기계를 크게 제작하기가 용이하지 않으며 견인식이나 자주식으로 이용하기가 불편하다. 그러나, 최근 TMR 공장이나 농가에 많이 공급되고 있는 형태이다. 또한, 국내에서 TMR 배합기를 생산하거나 수입되고 있는 제품을 조사하여 본 결과 아래 표 1과 같으며, 자가 TMR 농가에 주로 많이 보급되어 이용하고 있는 배합기 날 형태를 조사한 결과는 표 2와 같이 2오거, 4오거 형태로 55.7% 및 27.3%였으며 최근에 개발된 수직형 오거도 16.7%를 사용하고 있었다.

○ 따라서, 본 연구인 “사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델”에 설치될 “배합부”는 ①사료배합시 부산물사료(특히 습식부산물)를 반드시 배합기에 함께 투입하여 배합할 수 있어야 하며, ②사료배합이 골고루 잘 되어야 하며, ③농가의 사육규모에 맞게 배합탱크의 용량이 적당해야 하며, ④투입된 사료 등의 무게를 잴 수 있는 계량장치가 있어야 하며, ⑤배합된 사료를 배출할 수 있는 배출장치가 있어야 하고, ⑥배합장치에서 수분과 pH 등 사료의 품질을 신속하게 측정할 수 있도록, 본 연구에서의 “배합부”는 사료종류별로 습식사료는 릴형 배합조, 건식사료는 오거형으로 선정하였다.

(2) 살균 및 수분조절 시스템의 선정

○ 수분 함량이 많은 습식사료는 운반과 저장 과정에서 변질 또는 병원균에 오염될 우려가 살균기의 선정은 사료 품질에 있어 매우 중요하다 앞서의 요인실험 결과 100℃. 이상의 스팀을 15분 분사한 부산물 사료에서 바실러스 병원균이 검출되지 않은 점을 바탕으로 살균기는 100℃ 이상의 스팀발생기를 포함한 노즐을 통한 분사형식으로 이루어진 형태로 설계하였으며, 호퍼를 통하여 공급된 습식부산물 사료가 이송관의 내부 스크류를 따라 배출호퍼로 이동하면서 이송관 내부에 설치된 복수의 노즐을 통하여 스팀이 분사되는 형식으로 스팀공급기를 통하여 노즐로 이어지는 연속식 스팀라인은 사료의 안전을 위하여 부식에 강한 SUS 파이프를 적용하였다. 기존에 TMR 플랜트는 보일러 등을 보유하고 있기 때문에 이를 이용하는 것으로 하였다.

○ 스팀살균으로 인하여 습식 사료의 함수율 및 산물밀도가 높아져 수분의 중량으로 기계장치의 부하 및 사료 품질에 영향을 줄 수 있어 습식 사료의 함수율은 조절되어야 한다. 이에 자체적으로 설계된 습식사료에 적합한 수분조절 압착시스템은 습식부산물을 직접적

으로 압착하는 스크류의 회전을 RS 더블체인으로 연결된 기어드 감속기의 회전으로 조절하는 방식으로 큰 구동력으로 무거운 습식 부산물 사료를 충분히 압착할 수 있도록 시스템을 적용할 예정이다. 그러나, 특별히 수분조절 시스템을 이용하지 않고도 건식 사료를 이용하여 수분 조절할 수 있는 공정을 설계하는 것이 바람직할 수 있다.

(3) 발효저장조 선정

○ 기존 국내외 연구와 기술을 살펴보면 부산물사료의 영양가치, 부산물사료 발효시 품질에 대한 연구가 대다수를 이루고 있으며, 발효사료를 가축에게 급여했을 때 효과가 좋은 것으로 나타나 있다. 따라서, 본 연구에서 개발하고자 하는 부분은 이미 연구된 부산물사료의 발효시 품질부분을 이용하여 부산물사료 발효저장 기계 및 시스템을 개발하고자 하는 것이다. 기존 부산물사료 저장관련해서는 다음의 그림과 같이 사일로 백이나 벙크사일로, 저장빈 등을 이용한 옥수수부산물 등의 단일 부산물사료의 단순 저장조 개념이라서 본 연구에서 개발하고자 하는 부분과 상당히 다르다고 할 수 있다. 따라서 발효저장조는 직접 설계 개발하여 선정할 예정이다.

○ 부산물사료 발효저장 모델에서 가장 중요한 것이 발효저장조의 설계이다. 발효저장조의 컨셉은 그림과 같은 개념으로 설계할 예정이다. 발효저장조는 프리믹스된 부산물사료가 선입·선출이 되도록 시스템 설계를 할 것이다. 저장조 위로 사료를 충진하고 발효된 사료는 아래에서 꺼내는 구조로 설계한다. 기밀 사일로의 특성상 계절에 관계없이 발효사료가 생산되면 계속해서 위로 새로운 재료를 충진해 가면서 아래에서는 충분히 발효된 사료를 꺼내서 공급할 수 있기 때문에 연중 순환 시스템이 가능하다. 따라서 사료의 갑작스런 변화로 인한 반추미생물의 적응기간 및 가축이 받는 영양적 충격을 줄일 수 있고, 일부 딱딱한 재료의 발효기간이 짧아 불충분한 발효로 인한 현상을 피할 수 있다

○ 저장조 내부의 발효열과 발효가스 등 조절 시스템은 발생가스량이 많기 때문에 발효가스가 희석되는 것을 크게 감소시키고 유익한 발효환경과 보존에 기여하도록 제어할 수 있도록 브리딩(breathing) 시스템을 적용시켜 가스의 악취저감, 부산물사료의 감소 및 변질을 최적 제어할 것이다. 여름철에는 과도한 발효열이 문제가 되므로 유기산 등을 활용하여 발효열을 억제시켜야 하고, 겨울철에는 기온이 낮아 발효가 진행되지 않는 문제점이 있으므로 20℃ 이상 유지(정밀온도 20～40℃ 제어)할 수 있도록 발효온도 정밀제어장치를 설계할 예정이다. 발효과정에서 미생물 활용에 따른 영양가치 극대화를 위하여 한우 TMR에 사용되는 바실러스균 등을 이용한 생균제를 투입하여 부산물발효에 활용할 예정이다. 품질 요인으로는 저장조 내 공기, 수분함량, 재료특성, 저장온도, 진압과 밀봉 등이 있기 때문에 이에 대한 발효온도 제어, 압력제어, 발효가스 제어, 공기차단 등을 제어할 예정이다.

(4) 포장부의 선정

○ 혼합사료의 제품들을 차량이나 포장기에서 500kg 단위로 타이콘 백에 채워져 반출되도록 하는 시스템이다. “사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계”은 작업

자 1명이 시스템을 운영하여야 하기 때문에, 계량-포장-적재 작업까지 1명의 인원이 1 배합주기 동안 작업이 가능하도록 포장시스템이 구성되어져야 한다. 따라서 1일 생산량이 많다면 1 배합주기에 소요되는 시간을 줄이기 위하여 자동으로 포장시스템을 구성하는 것이 유리하다. 1일 생산량이 많지 않을 경우에는 간단한 톤백저울을 이용하여 저렴하게 구성하는 방법도 있다.

○ 자동으로 포장시스템의 구성요소를 살펴보면, ①계량을 위한 계량용 호퍼빈과 로드셀을 이용한 계량기로 구성된 계량부, ②투입슈터에 백 클램프(bag clamp)을 구성하여 백 입구를 간단히 체결하고 백을 매달아 수평을 유지해주는 스프링 행거로 이루어진 포장부, ③계량과 포장이 완료된 타이콘 백을 운반 적재하기 위하여 타이콘 백을 밀 수 있는 푸셔(pusher)와 적재 대기시켜 놓을 수 있는 원형롤러컨베이어로 구성된 적재부, ④계량부-포장부-적재부를 자동으로 제어하는 콘트롤러부와 에어시스템으로 구성될 수 있다. 현재 판매중인 자동사료계량기와 간단한 계량시스템으로 된 톤백저울을 나타내고 있다. 톤백저울의 경우는 저렴하지만 작업자가 인디게이터에 500kg의 숫자가 표시되면 수동으로 배출게이트를 닫고, 발효부산물사료 투입시스템을 정지시킨 다음, 포장과 적재 후에 다시 계량을 하는 시스템으로서 1배합주기가 커진다는 단점이 있다.

(5) 반송기의 선정

○ 본 연구의 “사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계”은 사료 반입-임시 대기 및 저장-살균-수분조절 압착-살균-임시대기-프리믹스-프리믹스사료 압송-발효-저장-선입선출 배출-계량 및 대기-공급의 순서로 설계된다.

○ 본 연구의 “사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계”에서는 여러 개의 공정이 조합되어 하나의 체계를 이루게 되므로 이와 같은 경우에는 각 공정을 연결하는 반송기계가 필요하게 된다. 따라서 본 시스템에서 선정되어야 할 반송시스템은 크게 ①다양한 혼합사료를 프리믹스기에 에 투입시키는 시스템, ②프리믹스된 혼합사료를 발효저장조에 투입시키는 시스템과 ③발효저장이 완료된 TMR을 포장시스템에 연결하여 주는 시스템으로 나눌 수 있다. 수분이 많은 습식사료의 경우 점성, 수분에 의한 손실 등이 가장 많은 부분을 차지하기 때문에, 짧은 시간 내에 대량 운반할 수 있는 체계를 이용하여 설계시에 플랜트 특성에 맞도록 각기 다른 특성을 갖고 있는 다양한 종류의 반송기를 선택하는 것이 중요하다.

○ 반송장치는 사료의 품질상태에 따라 필요한 능력을 발휘할 수 있도록 선택, 설계, 이용에 유의하여야 한다. 이를 위하여 버킷엘리베이터, 벨트컨베이어, 스크류컨베이어, 플라이트컨베이어, 드로어 등을 적용하였다.

○ 부산물사료, 강피류, 곡류 등의 습사료와 건사료를 배합기에 투입하는 시스템의 경우에는 원료를 받는 빈이 설치되어 있다면 스크류컨베이어를 이용하여 배합기에 투입되도록 할 수 있으며, 저장고에서 반출할 경우에는 스키더로드를 이용하여 직접 배합기에 투입하거나, 컨베이어를 이용하여 투입되도록 하며, 광물질, 소금 등과 같이 적은 양이 필요한 사료는 작업자가 간이 저울을 이용하거나 소형 스크류컨베이어를 통해 정량 투입하도록 한다.

○ 프리믹스된 사료를 발효저장조에 투입할 때 약 10m 이상의 높이를 이송하여야 하기 때문에 수직이송에 적합한 버킷엘리베이터를 적용할 예정이다. 습사료의 경우 점성 등이 크기 때문에 이에 적합한 버킷의 재질을 선정하고, 재료의 무게와 점성 등을 고려하여 원심배출형으로 선정할 예정이다.

○ 프리믹서된 혼합사료와 발효저장이 완료된 배합사료의 반송은 스크류컨베이어에 비하여 마력당 운반능력이 높고 벨트는 40°까지 경사지게 할 수 있으며, 최대 속도는 300rpm 정도로 할 수 있는 벨트 컨베이어를 이용한다. 이 시스템의 이용은 배합기 내에 부산물사료를 빠른 시간 내에 배출하여 전체 배합주기를 줄임으로써 1일 생산량을 최대로 늘릴 수 있도록 설계할 예정이다.

(6) 급이기의 선정

○ 급이기는 최근 널리 보급되고 있는 자동화 시스템을 도입한 로봇급이기와 급이기가 레일을 따라 이동하며 급이하는 자동급이기 두 종류를 선정하였다. 또한 선정된 급이기에 수분센서 및 pH 센서를 부착하여 사용자가 휴대폰을 통하여 급이되는 사료의 품질을 실시간 모니터링 할 수 있으며, 이상기후 발견시 알람으로 사용자에게 통보하는 기능을 추가 급이되는 사료의 품질을 안전하게 처리할 수 있도록 하였다.

나. 작업공정 설계

○ 일반적으로 플랜트의 수명은 콘크리트 구조물의 경우 40~50년, 철판 구조물의 경우 25~30년 정도가 되고, 투자비용이 매우 높다. 따라서 일단 공장이 만들어지면 구조변경이 어렵기 때문에 공장의 설계시에 장기적인 안목으로 최소의 투자비용으로 최대의 이익을 얻을 수 있으며 또한 미래의 여건 변화에도 신축적인 대응을 할 수 있는 구조가 되도록 설계가 이루어지도록 하였다.

특히 본 모델 공장은 기본적으로

① 작업자는 최소화 하고,

② 가능하면 작업을 단순화 시키고

③ 최소의 투자비용이 소요되도록 하였으며,

④ 작업효율을 높일 수가 있고,

⑤ 장래에 시설확장이 용이하며,

⑥ 유지 및 관리비를 절감하고,

⑦ 새로운 종류의 사료 생산에 쉽게 적응할 수 있고,

⑧ 궁극적으로는 제품의 품질을 향상시킬 수 있고, 생산비를 절감할 수가 있는 플랜트가 되도록 하였다. 이러한 “사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계”의 계획은 ①자료의 수집 및 분석, ②예비공정도 작성, ③예비 Layout을 설계하였다.

(1) 원료의 저장 작업

○ TMR공장에서 사용이 되는 주원료는 표와 같이 ①맥주박과 같은 습부산물 사료, ②소맥피와 같은 강피류, ③대두박, 면실박과 같은 박류, ④옥수수와 같은 곡류사료, ⑤소금, 비타민과 같은 첨가제 사료 등으로 구분이 된다. 여기서 옥수수와 같은 곡류사료는 TMR플랜트로 오기전에 이미 분말 형태로 분쇄가 된 원료를 말한다.

○ 일반적으로 이러한 원료는 모두 TMR배합기 주위에 마련된 공간에 ①첨가제 사료는 포대상태로, ② 사일리지와 같은 습사료는 트렌치 사일로에 또는 베일래퍼 상태로 플랜트 주변에, ③ 조사료는 배합기 주위의 공간에 칸막이로 설치된 공간에, 또한 ④ 소맥피, 박류 등도 배합기 주위의 공간에 칸막이로 설치된 공간에 일단 저장을 하는 것으로 하였다.

[표] TMR 배합에 사용될 수 있는 사료의 종류

구분	사료 종류
부산물사료	비트펄프 펠렛, 면실피 펠렛, 맥주박, 엿밥, 비지, 맥근, 사과박, 감귤박, 땅콩피, 주정박, 옥배아
강피류	소맥피, 단백피, 대두피, 루핀피, 옥피, 쌀겨, 탈지강
박 류	대두박, 면실박, 아마박, 야자박, 임자박, 장유박, 옥배아박, 채종박, 해바라기박
곡 류	옥수수, 연맥, 루핀
첨가제	비타민제(대개의 경우 광물질 포함), 염화칼리, 석회석, 린칼제제, 중조, 산화마그네슘, 소금, 징크제, 이스트류, AO제제, 바이패스 지방, 바이패스 단백질

(2) 부산물 원료의 살균 및 수분조절 작업

○ 습식 부산물 사료의 운반과 저장 과정에서 변질 또는 병원균에 의한 오염은 사료 손실에 따른 사료비 인상과 사료 품질저하에 직접적인 원인이 되기에 습식사료 저장 탱크 주변에 살균기를 배치하여 건식 부산물과는 다르게 살균작업을 거친 후 배합하는 것이 사료품질에 있어 좋은 영향을 끼치며 이때의 살균온도는 100℃ 이상의 스팀에서 15분이상 실시되었을 때 안전한 것으로 나타나 습식 부산물탱크에서 본 시스템으로 진입하는 지점에 스팀발생기를 구비한 4인치 스팀라인의 살균기를 배치하여 15분 이상의 살균과정을 거치도록 하였다. 기존 TMR 플랜트에서 보일러 등을 보유하고 있기 때문에 이를 활용하는 공정을 설계하거나, 발효저장조에서 혐기성 발효가 이루어지기 때문에 큰 위해요소가 없다면 적용되는 모델에 따라서 살균 공정을 제외하는 것도 바람직할 수 있다.

○ 고온 고압의 스팀으로 살균처리된 습식사료는 함수율 및 산물밀도가 높아졌으며 수분조절 없이 후속공정으로 진행될 경우 수분의 질량으로 인하여 기계장치에 부하를 줄 수 있고 무엇보다 사료품질에 영향을 끼칠 수 있으므로 살균후 습식사료가 건식사료와 함께 프리믹스 배합기로 투입되기 전 수분조절 시스템을 통해 함수율을 낮추도록 하였다. 그러나, 수분조절 시스템을 적용하지 않고, 건식 부산물사료의 혼합을 통해 수분조절하는 것이 바람직하기 때문에 적용되는 모델에 따라서 공정 작업이 이루어지지 않아도 되도록

하였다.

(3) 원료의 프리믹스 배합기에 투입

○ 일단 저장이 된 원료는 2톤 용량의 임기대기빈에서 프리믹스 배합기로 적정비율에 따라 투입이 되는데 투입되는 작업의 형태는 다음과 같다.
○ 이 기간중에 작업자는 옥수수와 같은 곡류사료, 소맥피 등과 같은 건사료, 맥주박과 같은 습사료의 부산물 사료를 투입할 수가 있다. 배합기는 이때부터 배합 작업을 시작을 하는데 아직까지 투입이 되지 못한 발효제, 첨가물 사료, 액상 사료 등이 배합 과정 중에 투입이 가능하다. 이에 소요되는 작업은 예비 실험 결과 대략 10분 정도로 나타났다.

(4) 배합 작업

○ 일반적으로 TMR배합기의 배합 작업은 10분이면 충분한 것으로 알려지고 있다. 본 연구에서는 부산물사료와 생균제 등의 혼합이기 때문에 조사료의 혼합 등에 소요되는 시간 등을 상당히 줄일 수 있다. 투입 후에 바로 배합기를 가동하기 때문에 원료 투입 기간 중인 5분과 투입이 완료된 20분 등 모두 25분간 배합 작업이 이루어진다.

(5) 발효저장 및 배출작업

○ 프리믹스 배합이 완료된 부산물사료는 함수율이 약 30~50%가 되는 습사료가 된다. 이는 배합기 측면에 설치된 유압식 슬라이더 게이트를 통하여 외부로 배출이 되고, 다시 경사진 벨트 컨베이어에 의해 운송이 되어 10~50톤 용량을 가진 발효저장조 탱크로 투입이 된다. 배출 소요시간은 대략 7~8분으로 나타났다. 발효저장 후 배출되는 부산물사료의 경우도 유사한 형태로 산정하였다.

(6) 포장 작업

○ 포장 작업은 발효저장 배출 후 500 kg 타이콘 백에 수동형인 톤백 저울로 작업을 하면 1개 포장 작업에 약 5분 정도 소요가 된다. 벌크 상태로 트럭으로 반출할 경우에는 차량의 크기에 따라서 달라지지만 25톤 사료차량의 경우는 10분 정도로 반출을 할 수 있다.

(7) 급이 작업

○ 급이 작업은 자동화 시스템을 도입하여 급이기가 레일을 타고 가면서 급이하는 방식과 로봇급이방식을 채택하였다. 이는 최근 축산 및 낙농가에서 활용하는 방법이며 급이기에 수분센서 및 pH 센서를 장착하여 급이되는 사료의 실시간 정보를 수집하며 이상징후 발

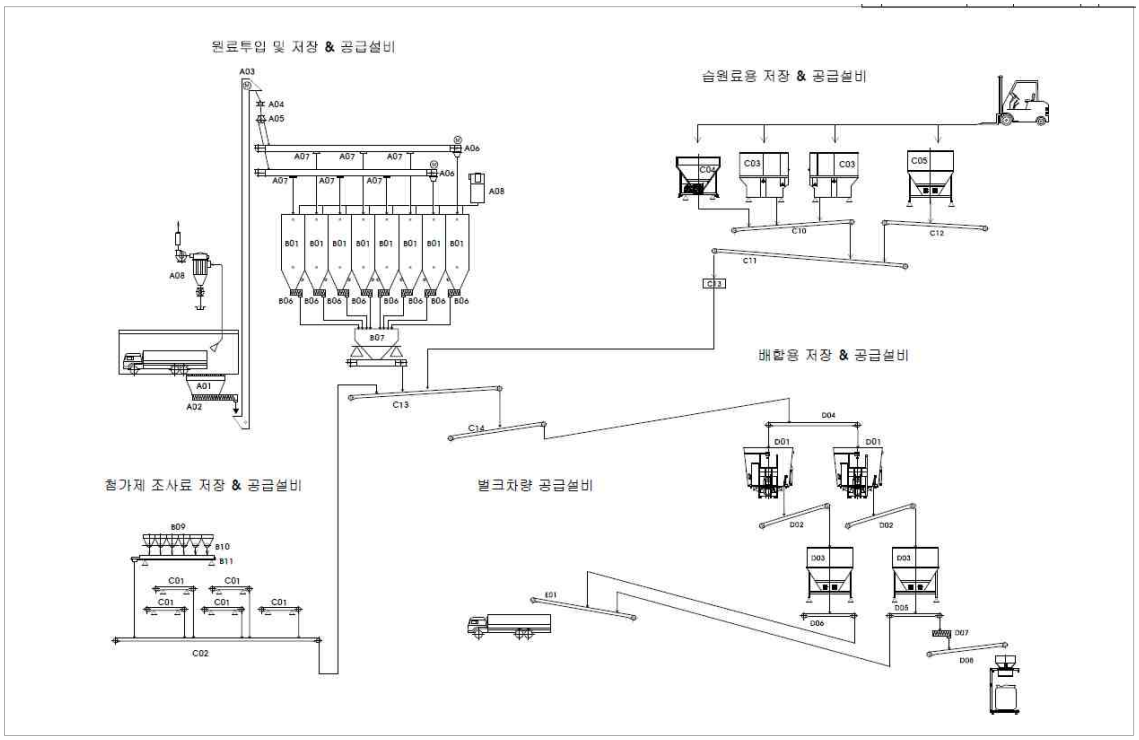
생시 사용자의 휴대폰을 통한 알람설정등의 부가 기능을 통하여 사료가 안전하고 균일하게 급이될 수 있도록 한다.

(8) 작업 사이클

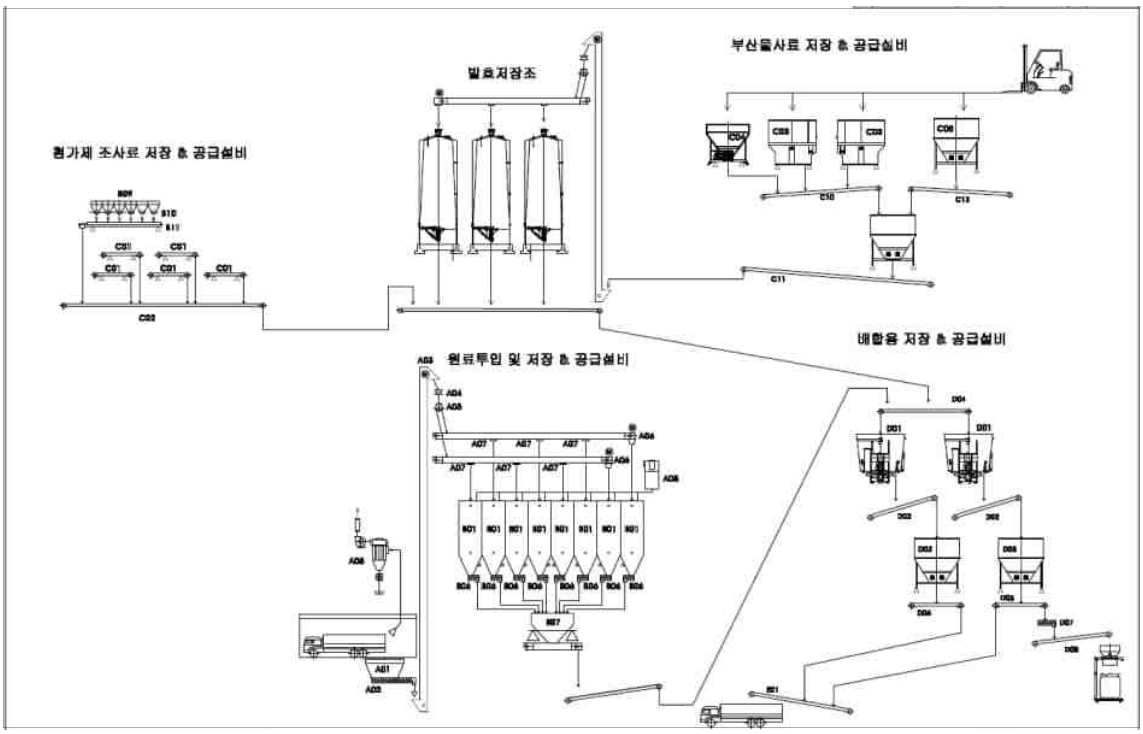
○ 이와 같은 일련의 투입작업까지의 공정을 그림으로 나타내면 다음과 같다. 부산물사료의 경우 수분이 40%일 경우 산물밀도는 요인시험결과에서 약 500 kg/㎥로 나타났기 때문에, 1회 5톤 작업에 소요되는 작업이 20분이며, 1 시간당 3사이클인 약 15톤 배합이 가능한 것으로 나타났다. 발효저장조가 50톤 규모일 경우 약 4시간 미만이면 작업이 가능한 것으로 나타났다.

(9) 가공 공정도(Process Flow Diagram)

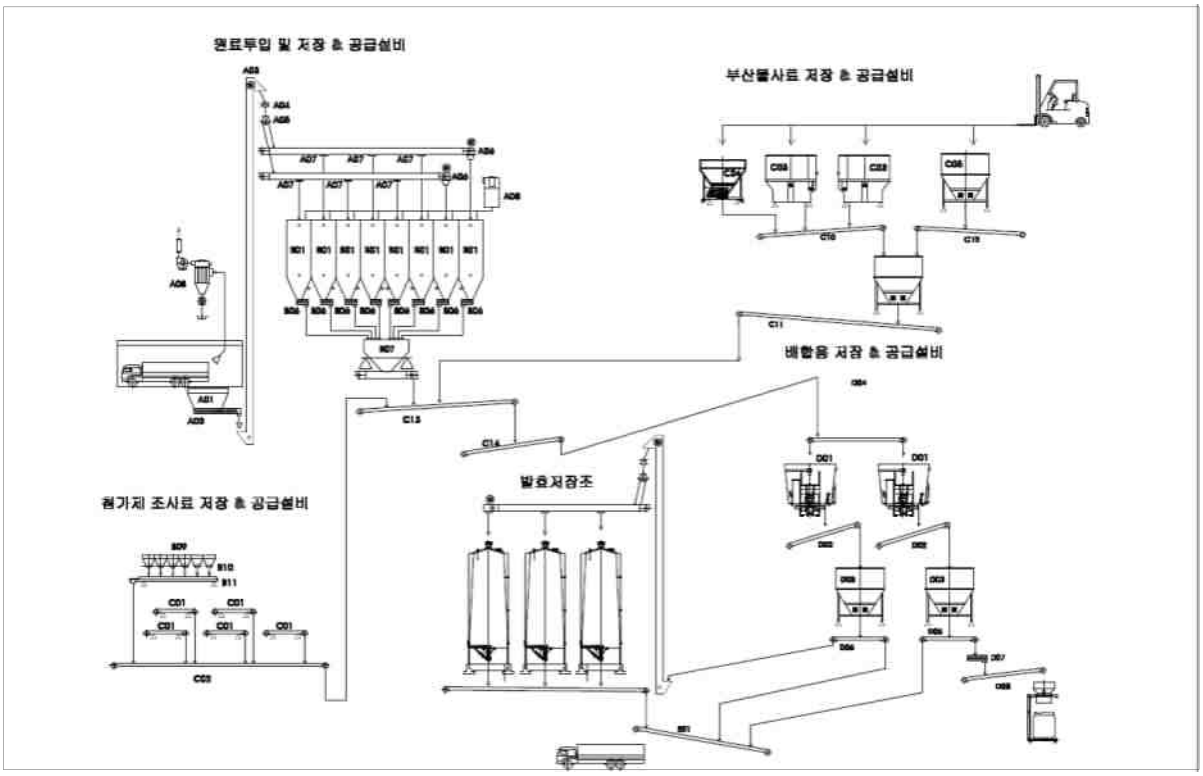
○ 앞서 자료의 수집 및 분석에서 제시된 TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델 시스템에 대한 공정도를 3가지 형태로 나타내었다. 모델의 공정은 사료반입-임시 대기 및 저장-살균-수분조절 압착-사료임시대기-프리믹스-프리믹스사료 압송-발효-저장-선입선출 배출-계량 및 대기-공급의 순서의 공정을 포함하고 있다.
○ 한우 공장형 TMR (1A-2C-3A-4C) 모델의 경우, 단독 부산물사료 발효저장 모델로서 TMR플랜트와 별도로 운영이 될 수 있다. 발효저장된 부산물사료는 베이스사료(원료) 형태로 농가에 공급되거나 기존 TMR 공장에 공급되어 조사료와 부족한 곡류사료를 재투입하여 배합시키면 TMR사료로 완성되는 형태이다.
○ 한우 공장형 TMF (1A-2C-3A-4D) 모델의 경우는 기존 TMR 플랜트에 적용이 가능한 모델이다. B 모델의 경우는 A모델과 달리 부산물사료를 혼합하고 발효저장된 것을 기존 배합기의 원료로 투입이 되도록 하는 것이다. 또는 베이스사료 형태로 농가에 공급될 수 있는 형태이다.
○ 젖소 공동농가용 TMF (1B-2B-3B-4D) 모델의 경우는 발효저장조를 마지막 공정에 배치한 경우로서, 부산물사료와 조사료, 곡류사료 등을 혼합한 TMR사료를 발효저장조에 투입하여 2~3일 간 발효 후 포장이 가능하도록 한 모델이다.



[그림] 한우 TMR 플랜트의 공정도(1A-2C-3A-4C)



[그림] 한우 TMF 플랜트의 공정도(1A-2C-3A-4D)



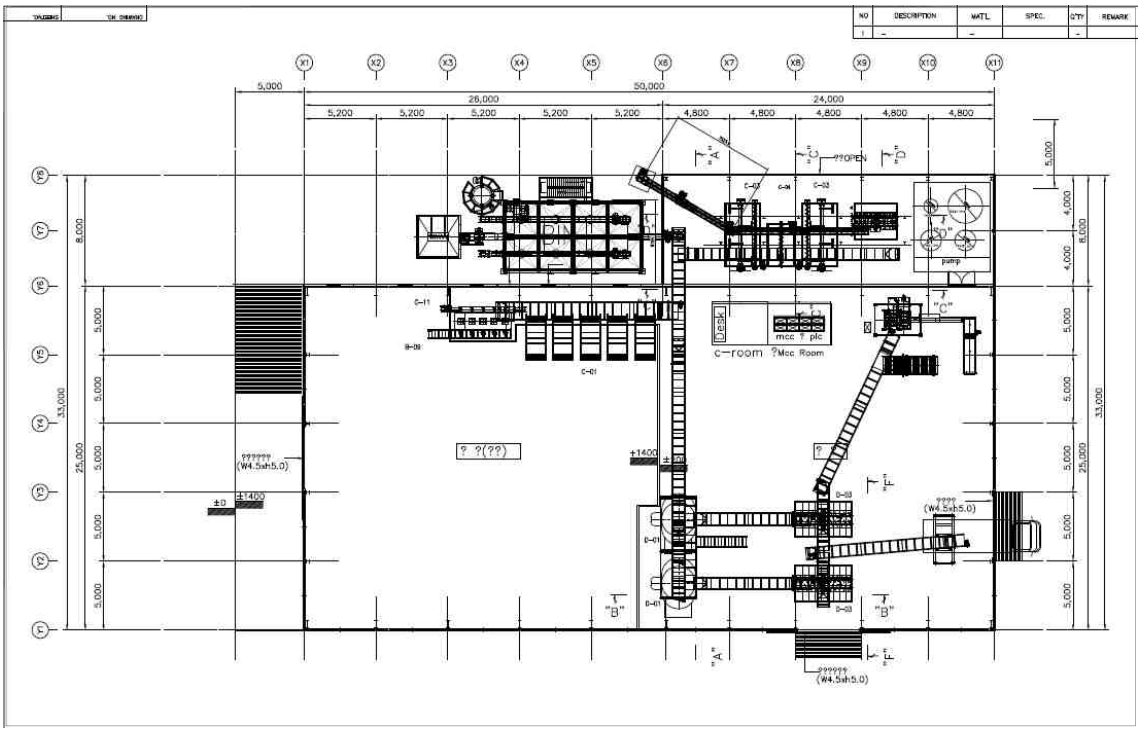
[그림]젖소 TMF 플랜트의 공정도(1B-2B-3B-4D)

다. 배치도(layout) 설계

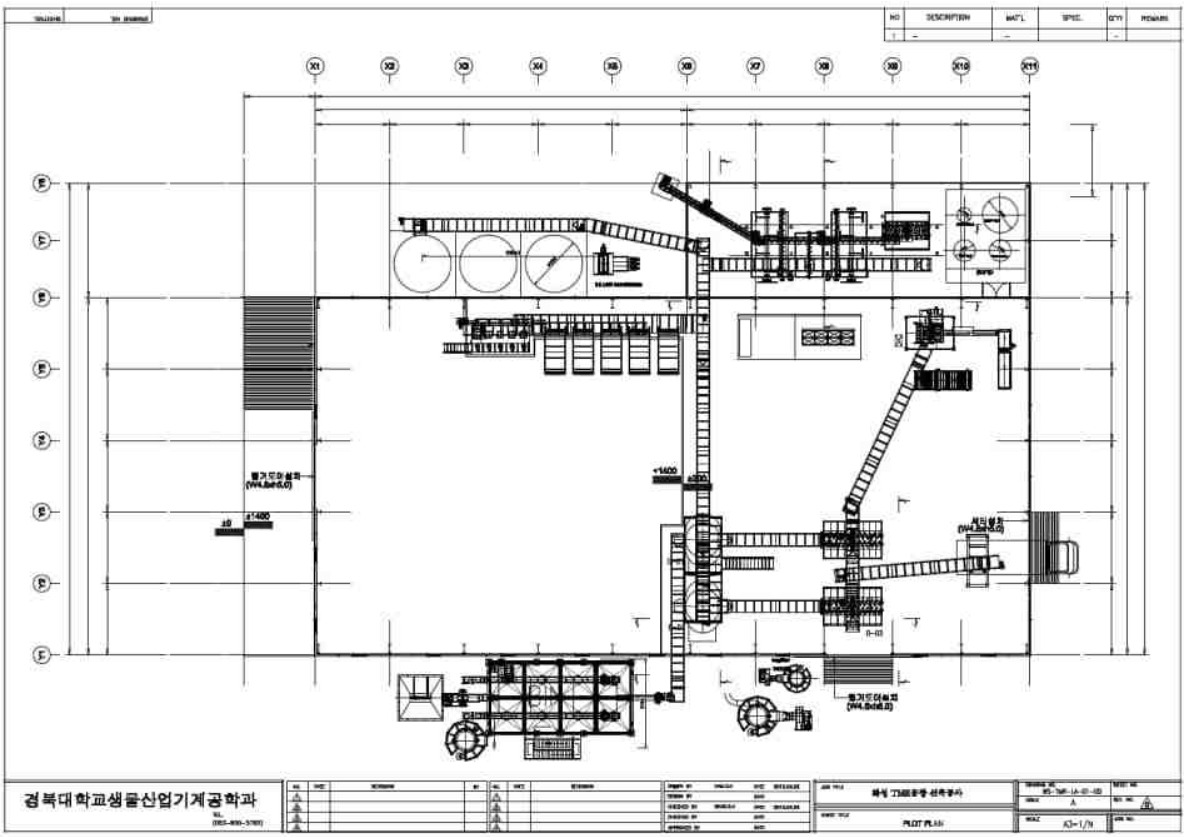
○ 기본적으로 모델 플랜트는 매우 단순하게 배치되었다. 가장 중심이 되는 배합기는 플랜트의 중심에 있으며 배합기의 한쪽은 원료의 반입 → 저장 → 배합기에 투입되는 장소이고, 다른 한쪽은 배합이 완료된 TMR 사료가 배출→ 저장 → 포장 → 반출이 되는 장소가 된다. 원료 빈 또는 사료저장고는 반입되는 원료의 종류와 양, 제품 빈은 생산 제품의 양을 고려하여 원료의 반입, 배합, 출하 등의 흐름에 방해 되지 않게 배열하고 장래의 시설확장에 대비하여 설계하였다. 또한 TMR 배합에 사용될 수 있는 사료의 종류에 따라 사료저장시설은 운반 트럭의 접근이 쉽고 저장된 사료를 배합기에 쉽게 넣을 수 있는 곳에 있어야 하며, 광물질, 소금 등과 같이 적은 양이 필요한 사료는 자루에 담거나 벌크 상태로 보관할 수 있는 공간과 사료창고가 확보되어야 한다. 배합기는 원료의 투입이 쉽게 되도록 지하에 설치를 하여 지상의 바닥이 배합기의 상부가 되도록 하였다. 또한 모델 플랜트의 가공 공정도로 위쪽은 배합기에 투입되는 원료의 공정을 보여 주고 있으며 아래쪽은 가공이 완료된 TMR사료가 배출이 되는 공정을 보여 주고 있다.

○ 앞서 공정도에서와 같이 한우 공장형 TMR (1A-2C-3A-4C) 모델의 경우, 베이스사료(원료) 형태로 농가에 공급되거나 기존 TMR 공장에 공급되어 조사료와 부족한 곡류사료를 재투입하여 배합시키면 TMR사료로 완성되는 형태로 배치하였다. 한우 공장형 TMF (1A-2C-3A-4D) 모델의 경우는 부산물사료를 혼합하고 발효저장된 것을 기존 배합기의 원료로 투입이 되도록 하는 배치하였다. 또는 베이스사료 형태로 농가에 공급될 수 있는 형태이다. 젖소 공동농가용 TMF (1B-2B-3B-4D)모델의 경우는 발효저장조를

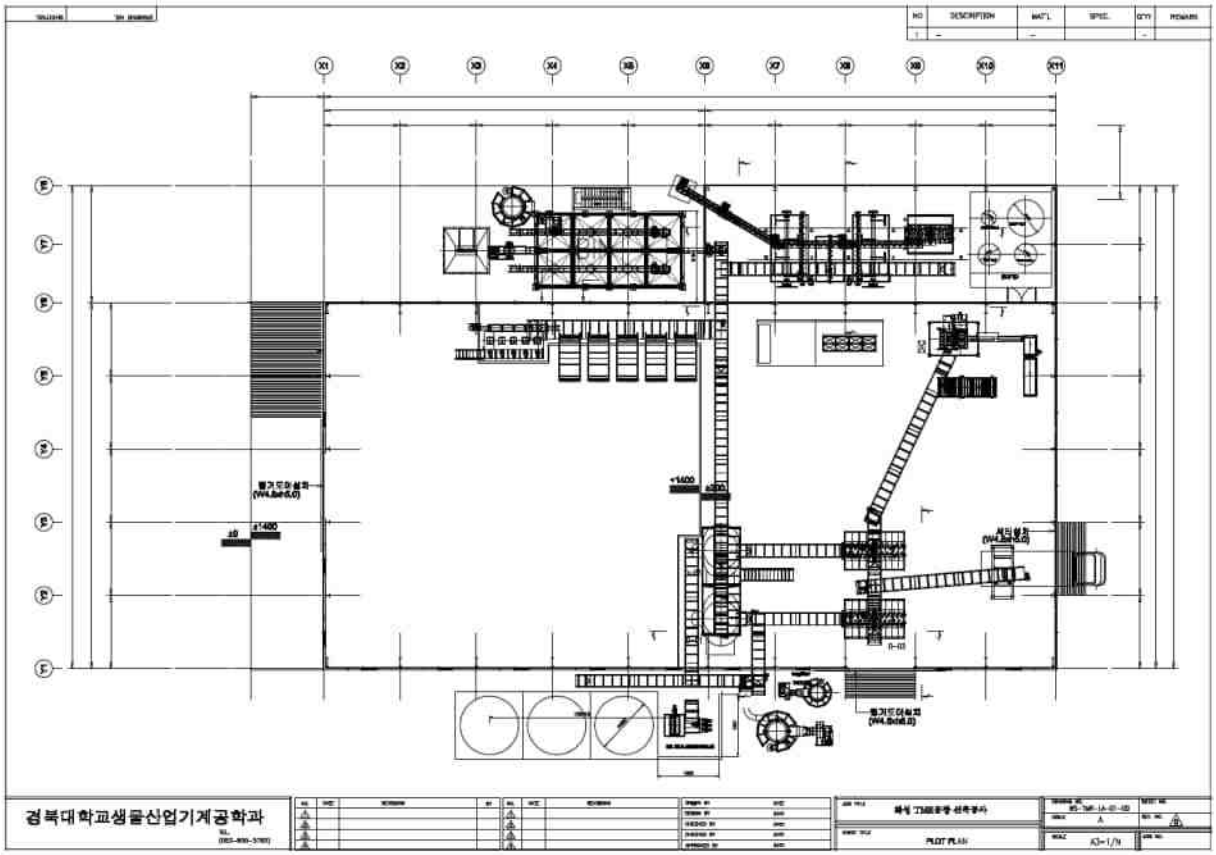
마지막 공정에 배치한 경우로서, 부산물사료와 조사료, 곡류사료 등을 혼합한 TMR사료를 발효저장조에 투입하여 2~3일 간 발효 후 포장이 가능하도록 설계하였다.



[그림] 한우 공장형 TMR (1A-2C-3A-4C)



[그림] 한우 공장형 TMF (1A-2C-3A-4D)



[그림] 젖소 공동농가형 TMF (1B-2B-3B-4D)

라. 소요기계 제원 결정

○ 일반적으로 배합기, 발효저장조 등의 가격이 매우 비싸기 때문에 규모화된 농가가 아니면 구입하기가 부담스럽다. 따라서 본 연구에서의 “사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계”의 경우 TMR공장이나, 규모화된 단독 농가 또는 여러 농가가 공동으로 사용을 하는 것으로 모델을 개발하였다.

(1) 발효저장조의 용량

○ TMR플랜트는 주로 1일 100톤 규모 생산의 공장이 대부분이다. 50톤 규모 생산은 여러 농가가 사용할 수 있는 공동농가용(영농조합체)이며, 10톤 규모는 규모화 되어있는 농가 용단위의 모델로 선정하였다.

○ 발효저장조 용량을 선정할 때 가장 중요한 요소는 비중이다. 요인시험 결과로부터 부산물혼합사료를 TMR의 원료로 사용할 때는 비중이 0.5 정도이며, 완성된 TMR사료의 비중은 0.4로 산정하였다. 발효저장조의 형태는 내압력을 견디기 위해 원통형으로 탱크용량 선정하였다. 탱크의 용량은 큰 규모일 경우 원료의 위험성이 크고, 작은 규모는 기계가격에 대한 부담으로 채산성이 좋지 않아 적정한 용량의 모델이 필요하다. 따라서 공장형 모델은 100톤 규모가 적정선이며, 농가단위로 할 때는 저가형으로 제작할 수 있는 장치 개발이 필요하다.

○ 한우의 경우 부산물사료의 사용량을 약 50%로 사용한다고 가정하였고, 젖소는 부산물

사용이 적기 때문에 한우 공장형 TMR (1A-2C-3A-4C), 한우 공장형 TMF (1A-2C-3A-4D) 모델보다는 젖소 공장형 TMF (1B-2B-3B-4D)모델을 이용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 한우 공장형 TMR (1A-2C-3A-4C) 모델의 경우 TMR 생산량이 1일 100톤 기준일 때이며, 한우 공장형 TMF (1A-2C-3A-4D) 또한 TMF의 생산량이 1일 100톤 기준이다 따라서 발효가 완료된 부산물사료는 1개의 발효저장조가 1일 생산에 필요한 원료로서 공급될 것이고, 나머지 발효저장조는 발효 중에 있으며, 3개가 순환되면서 원료를 공급하면서 TMR 생산이 될 수 있도록 하는 구조이다.

[표] 발효저장조의 모델별 제원

모델	공장형	공동농가형	농가형
TMR 생산량 (톤/일)	100	50	10
한우 급여두수 (두)	10,000	5,000	1,000
젖소 급여두수 (두)	4,000	2,000	400
저장조의 용량 (㎥)	100 (50톤)	50 (25톤)	10 (5톤)
직경 (m)	4	3	2
높이 (m)	8	7	3.5

(2) 배합기의 용량

○ 부산물 사료의 비중은 0.5 정도 매우 낮다. 표는 일반적인 TMR배합기의 용량을 나타내고 있는데 1회 배합 용량이 11㎥이면 중량으로 환산하면 약 5톤이 되며, 배합주기가 20분이면, 1시간동안 발효저장조에 투입하는 양은 25톤 정도 되면 약 2시간이면 한우 공장형 TMR (1A-2C-3A-4C)모델에 투입을 할 수 있다.

○ TMR 플랜트에서 혼합사료의 공급이 일정치 않거나, 한꺼번에 많은 물량이 들어온다면 배합기의 용량을 크게 하는 것도 바람직하다. 또한 TMF 공정에서는 프리믹스 배합기에 투입하기 위한 부산물사료 임시대기빈의 경우 한꺼번에 많은 물량을 받을 수 있는 저장조를 여러 개 설치하여 부산물사료의 안정적으로 공급하는 시스템의 설계도 고려해야 한다.

[표] 배합기의 모델별 제원

모델	공장형	공동농가형	농가형
배합기의 용량(㎥)	6(3톤)	11(5톤)	13(6.5톤)
길이(mm)	4440	5160	5790
폭(mm)	2000	2140	2220
높이(mm)	2270	2560	2720
적용마력(Hp)	43	50	60

(3) 기타 소요기기의 용량

○ 앞서 제시된 프리믹스 배합기 모델을 기준으로 반송기, 임시대기빈 및 계량·포장기의 용량을 결정할 수 있다. 이는 프리믹스 배합기가 배치형 타입이기 때문에 모든 제품은 배합기를 기준으로 설계될 수 밖에 없다. 계량·포장기는 중량 500kg의 타이콘백을 계량할 수 있는 모델이며, 차량으로 벌크상태로 반출하는 시스템도 겸용으로 사용할 수 있도록 하였다. 임기대기빈→프리믹스배합기→발효저장조→계량·포장기를 연결하여 주는 반송기의 용량은 1일 생산량을 최대로 늘리고 전체 배합주기를 줄이기 위하여 배합기에서 배합이 완료된 배합사료를 10분 내에 배출하도록 하였으며 벨트는 40°까지 경사지게 할 수 있도록 하였으며, 최대 속도는 300rpm, 벨트 컨베이어의 전체 길이는 약 10m 내외가 될 수 있도록 벨트의 폭과 소요마력수를 계산하여 결정하였다.

[표] 기타 소요기기의 모델별 제원

모델		공장형	공동농가형	농가형
임시대기빈	외형치수 (H×W×L)(m)	2.4×2.2×4.2	2.8×2.4×4.5	2.9×2.5×5.4
	소요마력 (hp)	15×2	20×2	25×2
반송기(1) (임시대기빈 →프리믹스 배합기)	벨트폭 (mm)	35	40	45
	소요마력 (hp)	3	5	7.5
살균시스템	외형치수 (m)	0.4×0.5×2.0	0.4×0.6×3.0	0.6×0.8×4.0
	소요마력 (hp)	10	20	30
반송기(2) (발효저장조 →계량포장)	벨트폭 (mm)	35	40	45
	소요마력 (hp)	3	5	7.5
계량 및 포장기	계량범위 (ton)	1	1	25

2절 모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축

1. 사료제조 공정별 품질변화 측정

가. 혼합사료의 수분과 pH를 측정

○ 혼합사료는 국내 TMR 공장에서 사용하고 있는 배합비와 제조공정별(저장, 배합, 급이)에 따라 9종류로 구분하여 혼합하였고 이때의 함수율을 표1과 같이 측정하였다.

○ pH는 9종류로 구분된 혼합사료를 균일하게 잘 혼합하여 각각 15g씩의 샘플을 채취하였으며 이를 증류수 150ml 에 침탕하여 24시간 지난후 5A 필터페이퍼 (Toyo Roshi Kaisha Ltd., Japan)로 여과하여 시액을 제조하였으며 그림 1과 같이 pH 센서 (F635-G120-DH, Broadley James Corp., USA)로 측정하였다.

[그림] 혼합사료의 pH 측정

[표] 혼합사료의 배합비 및 함수율과 pH

Group	By-products	Ratio	MC (%)	pH
A	Rice bran	20	35	5.29
	Mushroom	15		
	Soybean curd cake	15		
	Wheat bran	20		
	Distillers wet grain	30		
B	Rice bran	20	40	5.32
	Mushroom	15		
	Soybean curd cake	15		
	Wheat bran	20		
	Distillers wet grain	30		
C	Rice bran	20	34	5.26
	Mushroom	15		
	Soybean curd cake	15		
	Wheat bran	20		
	Distillers wet grain	30		
D	Rice bran	20	38	5.38
	Mushroom	15		

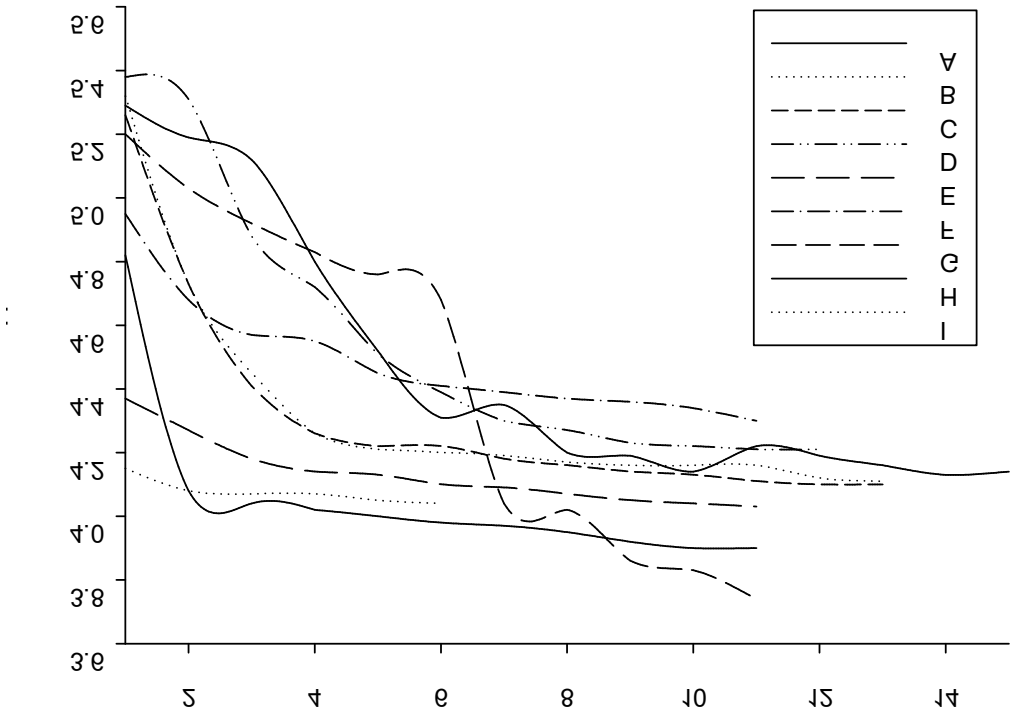
	Soybean curd cake	15		
	Wheat bran	20		
	Distillers wet grain	30		
E	Wheat bran	10	35	4.37
	Distillers dried grain	10		
	Distillers' wet grain	20		
	Palm kernel expeller	10		
	Rice bran	10		
	Cotton seed meal	10		
	Corn starch cake	10		
	Pineapple peal	20		
F	Rice bran	14	37	4.95
	Corn starch cake	14		
	Palm kernel expeller	24		
	Distillers wet grain	24		
	Cotton seed meal	24		
G	Mushroom	24	35	5.2
	Wheat bran	14		
	Corn starch cake	14		
	Pineapple peel	24		
	Distillers wet grain	24		
H	Distillers dried grain	14	40	4.04
	Pineapple	24		
	Distillers wet grain	24		
	Palm kernel expeller	24		
	Rice bran	14		
I	Bakery by-products	15	36	4.15
	Cottonseed meal	14		
	Corn starch cake	15		
	Rice bran	28		
	Distillers dried grain	28		

○ 함수율은 전반적으로 30~40%대로 나타나 배합사료에 활용되는 함수율과 유사성이 검증되었으며 pH 역시 4.04~5.38 로 나타나 선행되어 연구된 최적화된 사료의 발효조건구명에 적합한 것으로 분석되었다.

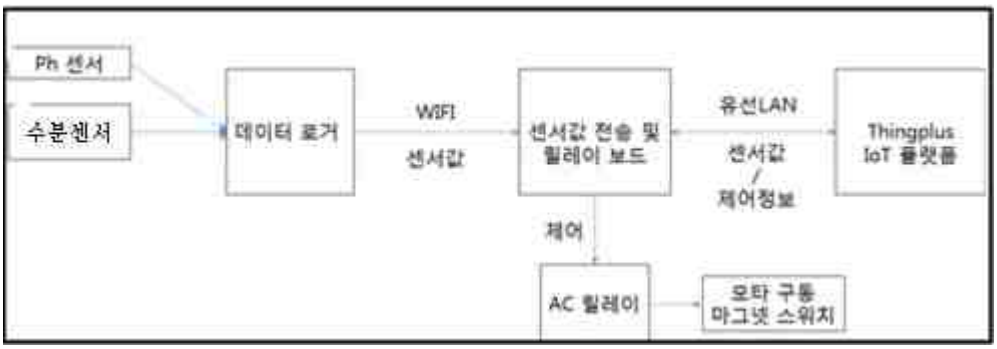
○ 본 연구에서 측정된 함수율과 pH를 바탕으로 품질평가체계 구축에서 HPLC를 활용하여 아미노산, 유기산, 당을 측정하였으며 이를 초분광 카메라와 비교 분석하여 예측모델을 개발하였다.

○ 또한 저장, 배합, 급이 공정 간에 함수율의 변화는 크게 나타나지 않았고 초기 함수율을 유지하였다. 하지만 pH의 경우 시간이 지남에 따라 아래 그래프와 같이 변화가 나타났으며 이는 초기의 높은 pH 값이 급격하게 감소하여 3일이 지나는 지점에서 서서히 완만하게 형성되는 모습으로 나타났으며 6일이 지나는 시점부터 안정화 되는 것으로 분석되었다. 이를 통하여 TMR 사료가 TMF 사료로 발효되어 사용되는데 최소 72시간 지나야 하는 것으로 분석되었다.

[그림] 발효과정중 pH 변화

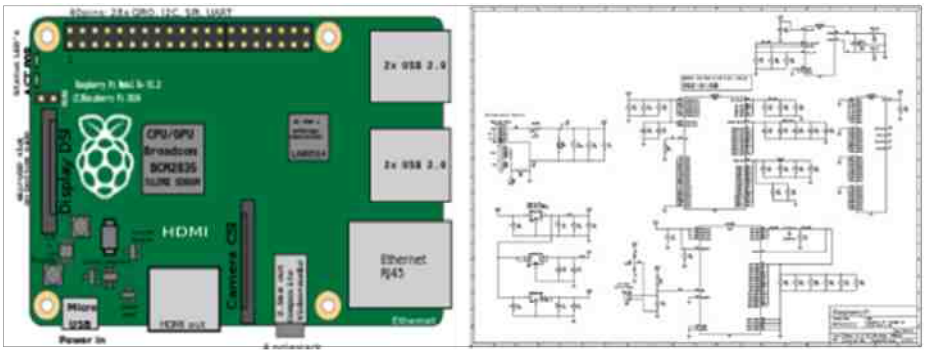


○ 본 연구에서 사용되거나 향후 개발될 각종 센서(수분, pH 등)는 4-20 mA 혹은 열전도대 방식으로 측정값을 데이터로거에 전송하며 데이터로거는 wifi를 통하여 웹으로 데이터를 게시할 수 있고, 이때 보드는 웹으로 획득된 센서 데이터를 IoT 플랫폼으로 전송하여 PC나 스마트폰으로 확인할 수 있도록 개발하였다.



[그림] 혼합사료 품질 원격측정 장치의 구상도

○ 마이크로프로세서는, 싱글 보드 컴퓨터인 Raspberry Pi2로 구현되며, 마이크로프로세서는 싱글 보드 컴퓨터인 Raspberry Pi2로 구현되었다. Raspberry Pi는 자체적으로 데비안 계열의 리눅스인 Raspbian OS 시스템으로 동작하며, 리눅스이미지가 저장된 외부 microSD카드를 인식하여 구동하도록 설계하였다.



[그림] 마이크로프로세서 모듈(Raspberry Pi)

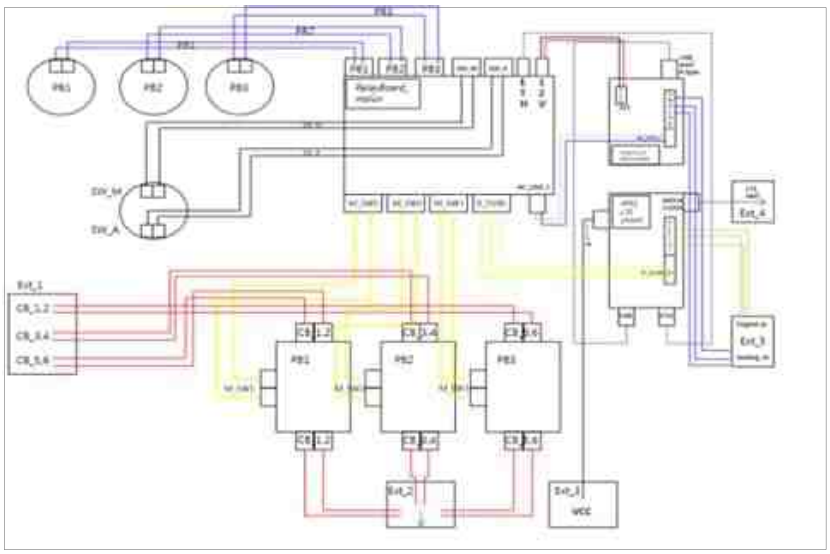
○ 상태데이터 로직은 아두이노에서 입력받는 데이터와, 자체 GPIO핀에서 입력받는 데이터 두가지로 구분됨. 아두이노 전송 데이터의 경우, 라즈베리파이의 USB 인터페이스를 이용하여, 내부적으로 시리얼 통신을 하여 데이터를 전송받을 수 있도록 설계하였다.

라즈베리파이 아두이노 데이터 수신관련 코드 일부

```
var serial = require("serialport");
var SerialPort = serial.SerialPort;

var arduino_conn = new SerialPort("/dev/ttyACM0", {

        baudrate: 115200,
        parser: serial.parsers.readline("\n")

});

arduino_conn.on("open", function(){

        console.log("arduino connected");

});

arduino_conn.on("data", function(arduinoData){

        var end = arduinoData.indexOf(":");  //ul: 12
        var flag = arduinoData.substring(end-2, end);//ul

        var parser_data =
                arduinoData.substring(end+1,
arduinoData.length);
```

```
        console.log(flag + " " + parser_data);

        if(flag == "ul"){
                io.emit("arduino_ul_read", {
                        data: parser_data
                });

        }else if(flag == "il"){
                io.emit("arduino_il_read", {
                        data: parser_data
                });
        }
});
arduino_conn.write(flag.data, function(err){
                                if(err){
                                        console.log(err);
                                }
});
```

○ 데이터 수신관련 코드를 바탕으로 사료의 품질 원격 측정 시스템 설계도를 그림과 같이 설계 하였다.



[그림] 품질 원격측정 시스템 설계도

○ 개발된 아두이노와 라즈베리파이 코딩을 활용하여 설계한 사료 품질 원격 측정 시스템은 높은 응답속도와 분해능을 바탕으로 안정적으로 활용할 수 있을 것으로 예상하며 추후 다른 사료의 품질을 측정하는 시스템의 기초연구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 품질평가 체계 구축

가. 혼합사료의 종류별 및 조건에 따른 HPLC를 활용한 품질평가 인자(아미노산, 유기산, 당) 분석

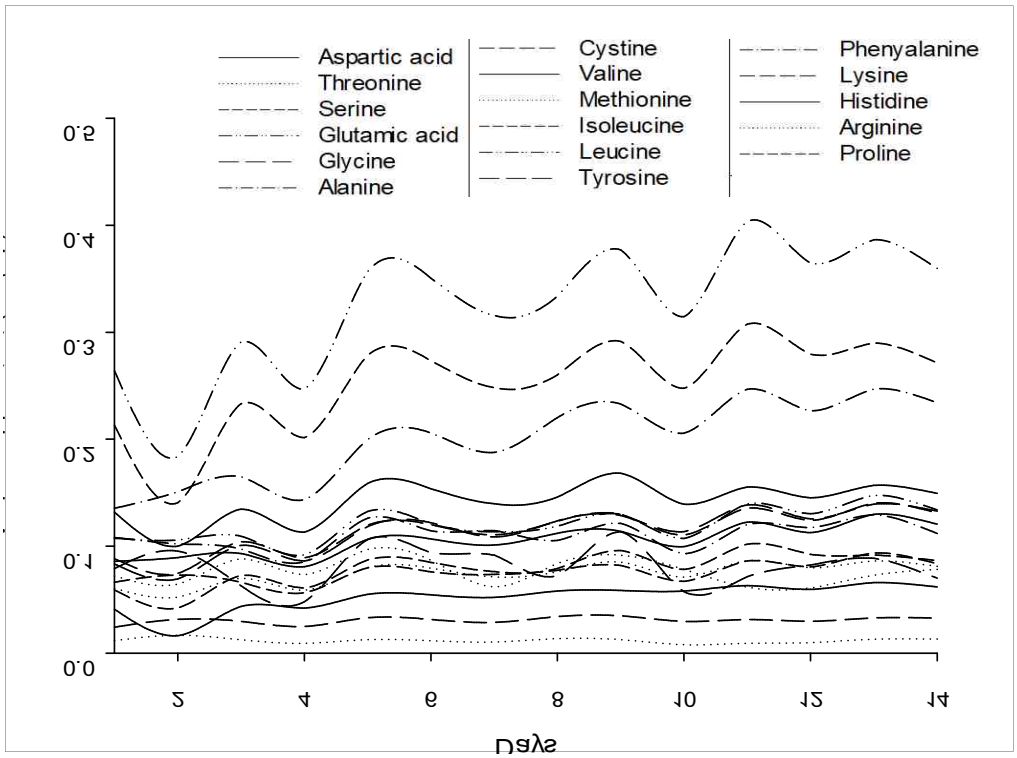
○ 서로 다른 배합비의 혼합사료를 각기 다른 온도와 함수율 발효촉매 발효기간으로 표2와 같이 구분하였으며 이를 바탕으로 HPLC를 활용한 아미노산, 유기산, 당을 측정하였고 초분광 카메라와 UNSCRAMBLER 프로그램으로 예측모델을 개발하였다.

[표] 혼합사료의 발효촉매와 온도 및 발효기간

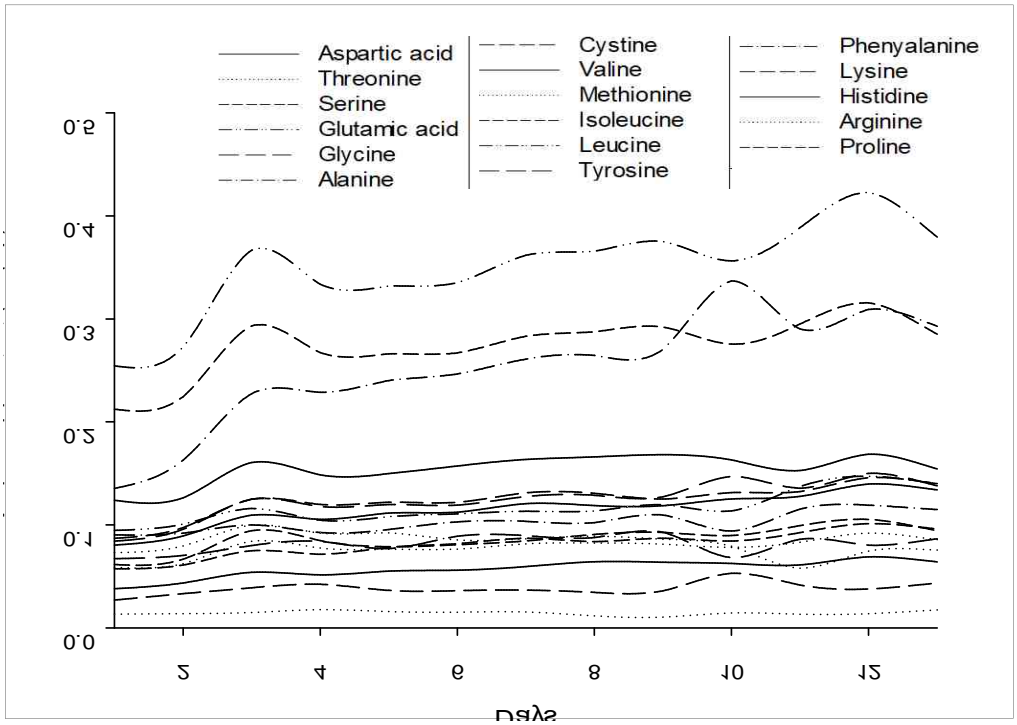
Group	Fermentation agent	Temperature (°C)	Fermentation period (Days)
A	100 μl each of *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus casei* and *Bacillus subtilis*	20	15
B	300 μl each of *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus casei* and *Bacillus subtilis*	30	13
C	600 μl each of *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus casei* and *Bacillus subtilis*	30	13
D	1 mL each of *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus casei* and *Bacillus subtilis*	20	12
E	100 μl of beer yeast	25	11
F	100 μl each of *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus casei* and *Bacillus subtilis*	25	11
G	100 μl each of beer yeast and *Lactobacillus*	35	11
H	100 μl of *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus casei* and *Bacillus subtilis*	35	11
I	100 μl of *Saccharomyces cerevisiae*	35	6

○ HPLC 장치를 활용하여 9종류로 구분된 혼합사료의 아미노산, 유기산, 당성분을 발효기간에 따라 1일씩 측정하여 총 103개의 데이터를 수집하였다. 이는 발효기간에 따른 성분의 변화 추이를 나타내어 발효과정중 품질평가 체계를 구축할 수 있는 자료로서 변화곡선을 분석하여 최종적으로 초분광카메라를 활용한 분석에 기초자료로 활용하였다.

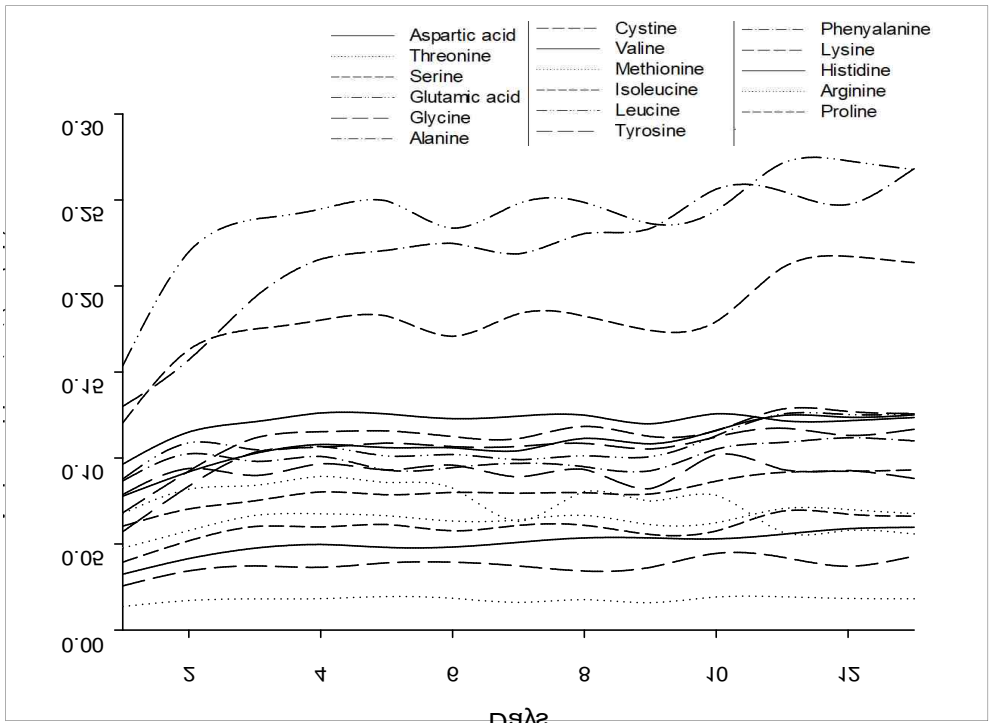
[그림] HPLC



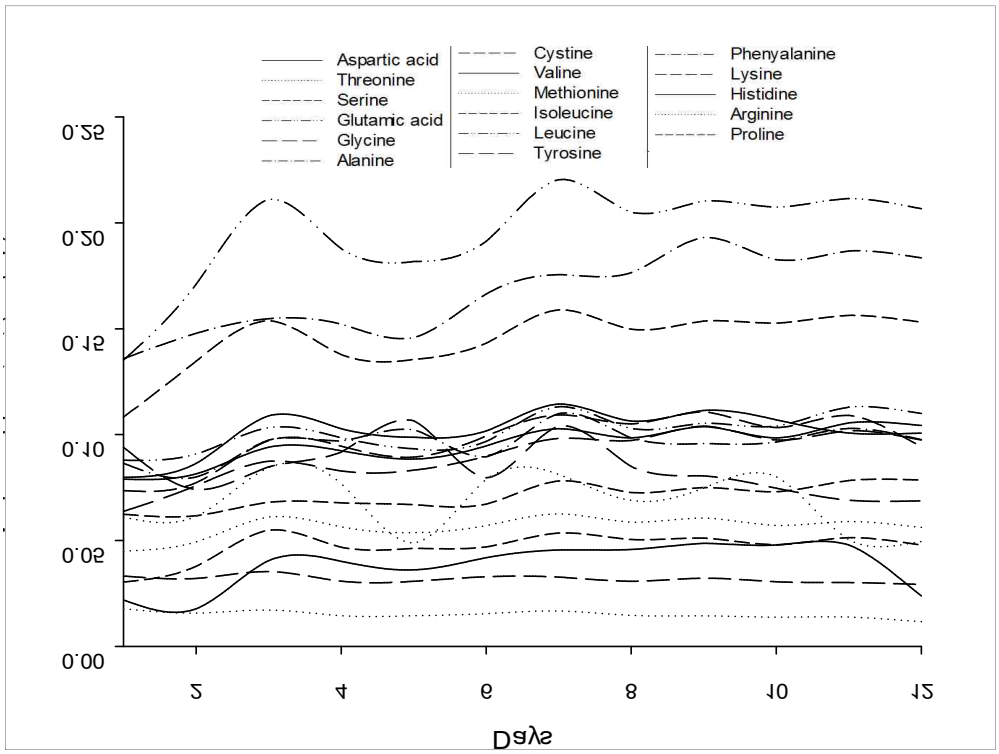
[그림] 혼합사료 그룹 A의 일자별 아미노산 변화곡선



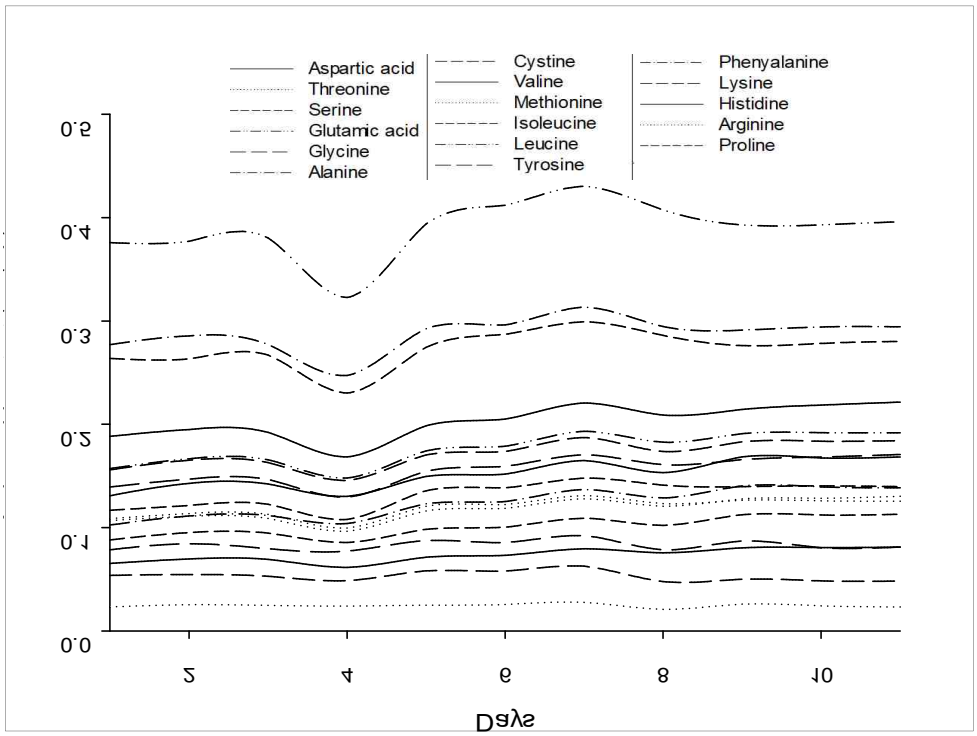
[그림] 혼합사료 그룹 B의 일자별 아미노산 변화곡선



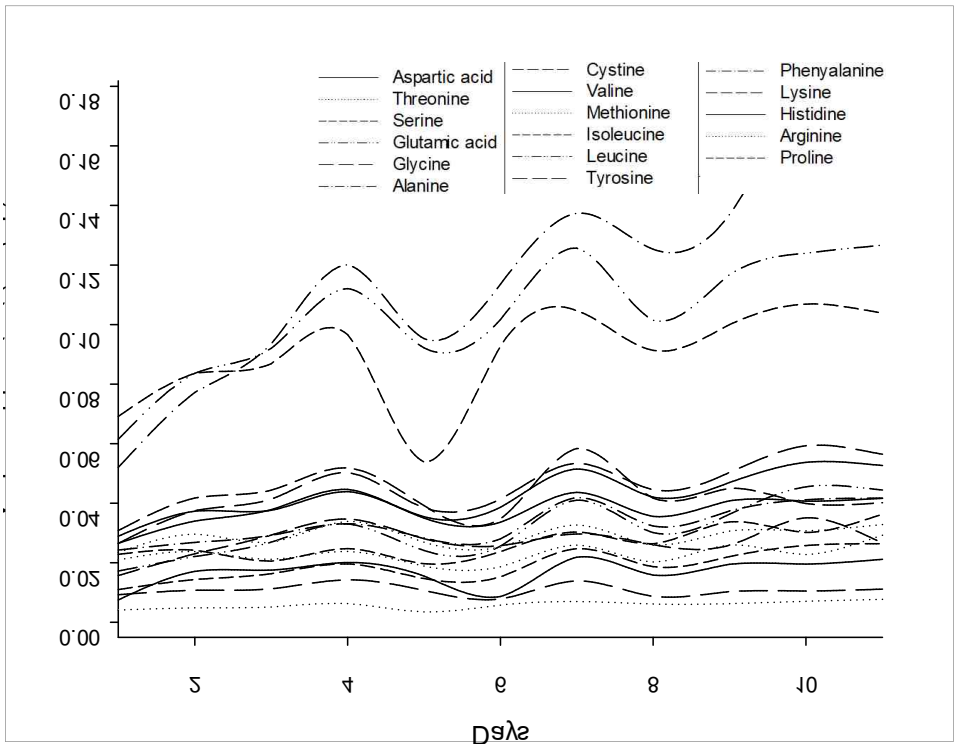
[그림] 혼합사료 그룹 C의 일자별 아미노산 변화곡선



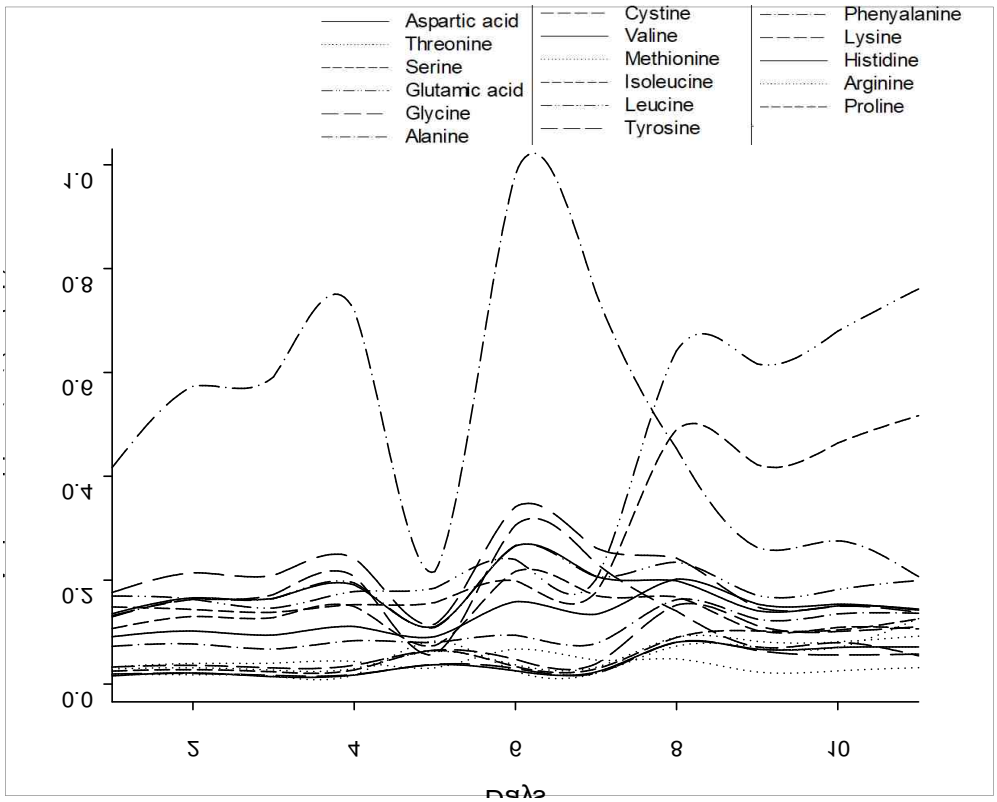
[그림] 혼합사료 그룹 D의 일자별 아미노산 변화곡선



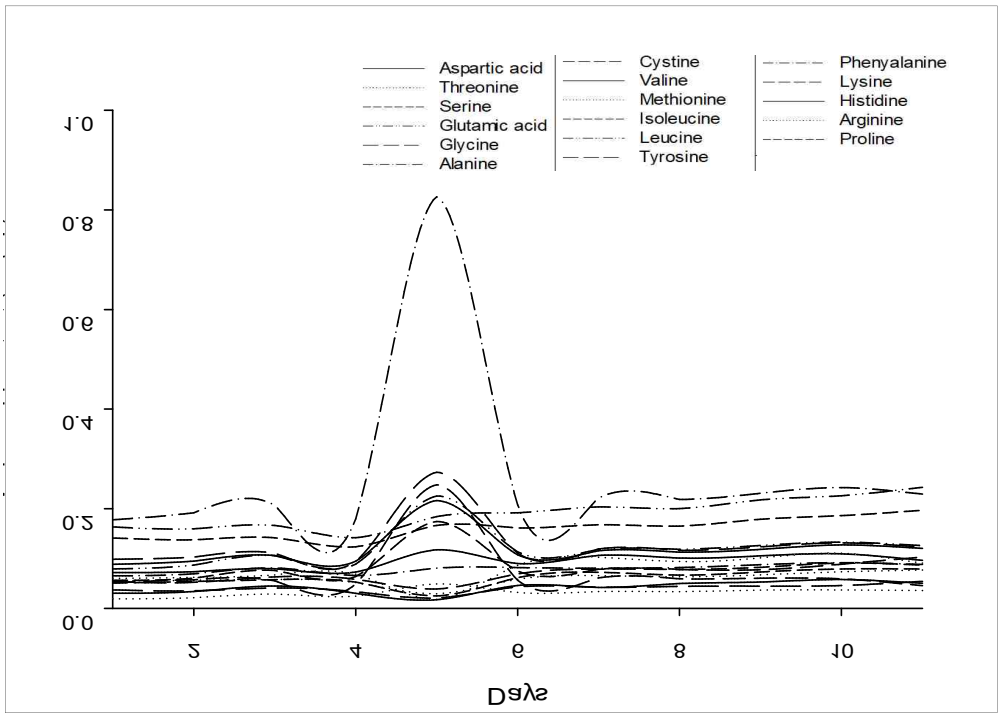
[그림] 혼합사료 그룹 E의 일자별 아미노산 변화곡선



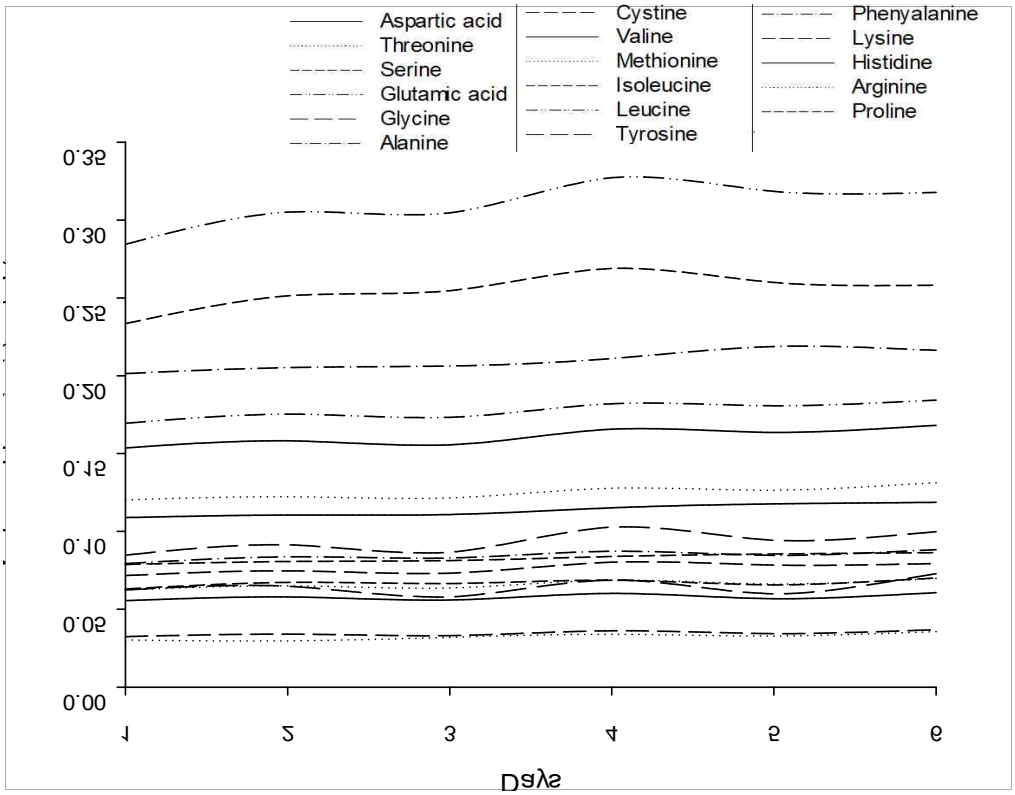
[그림] 혼합사료 그룹 F의 일자별 아미노산 변화곡선



[그림] 혼합사료 그룹 G의 일자별 아미노산 변화곡선



[그림] 혼합사료 그룹 H의 일자별 아미노산 변화곡선



[그림] 혼합사료 그룹 I의 일자별 아미노산 변화곡선

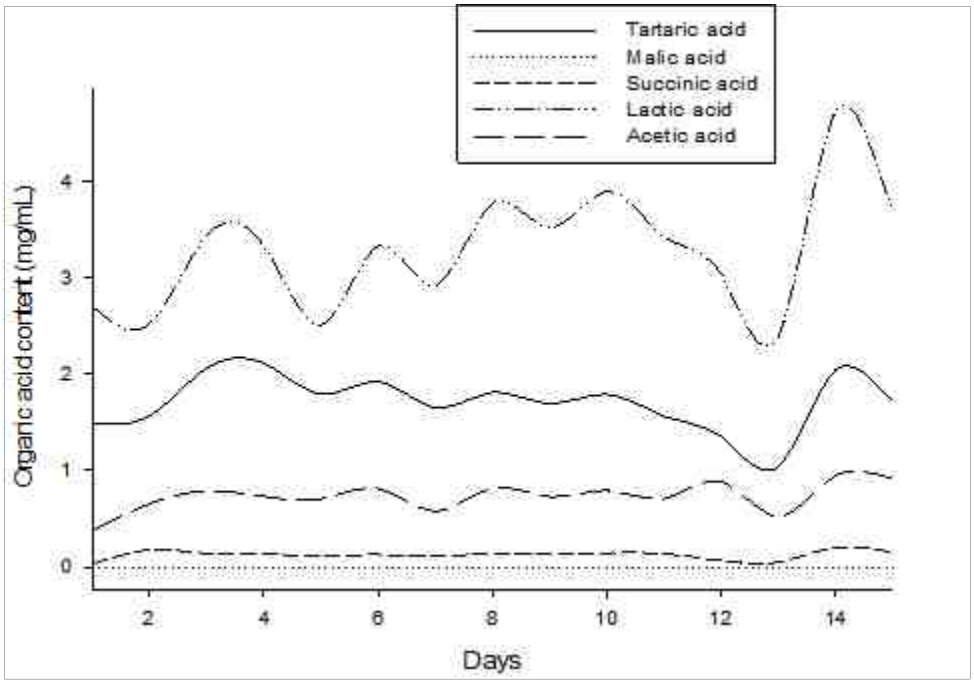
○ 발효는 혼합사료의 아미노산 함량에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 일반적으로 아미노산은 발효와 함께 증가 되며 이것은 단백질 분해의 결과라고 해석된다. 하지만 발효 물질의 아미노산 함량은 총 단백질의 8%로 나타났으며 결과적으로 모든 단백질이 아미

노산으로 변화하는 것은 아닌 것으로 분석되었다.

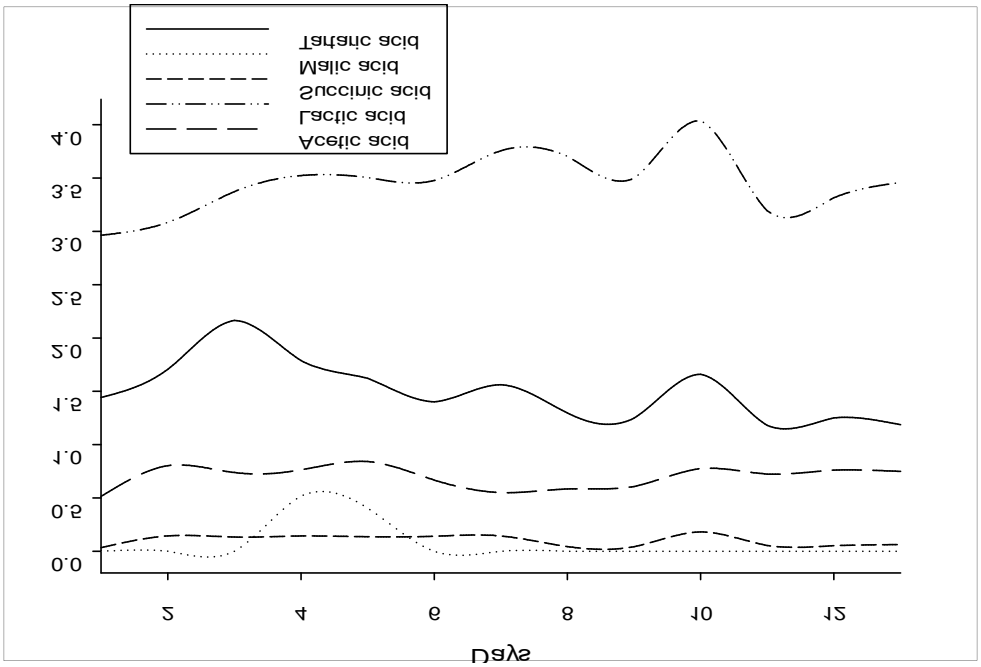
○ 본 연구에서 나타난 9가지 종류의 혼합사료의 발효과정별 아미노산의 함량은 불규칙한 패턴으로 나타났으며 이것은 발효과정에서 사용된 박테리아가 모두 다른 데서 오는 현상이라고 분석된다. 박테리아는 성장과정에서 당, 단백질, 지방과 같은 다른 영양소를 소비하는 것으로 알려져 있으며 이러한 변화가 아미노산의 출현을 불규칙한 패턴으로 만들었다고 분석되었다.

○ 이러한 결과에도 불구하고 모든 그래프의 경향을 통합적으로 분석하면 아미노산은 발효 첫날부터 시작해서 마지막날 까지 그 함량이 증가된 것으로 나타났다.

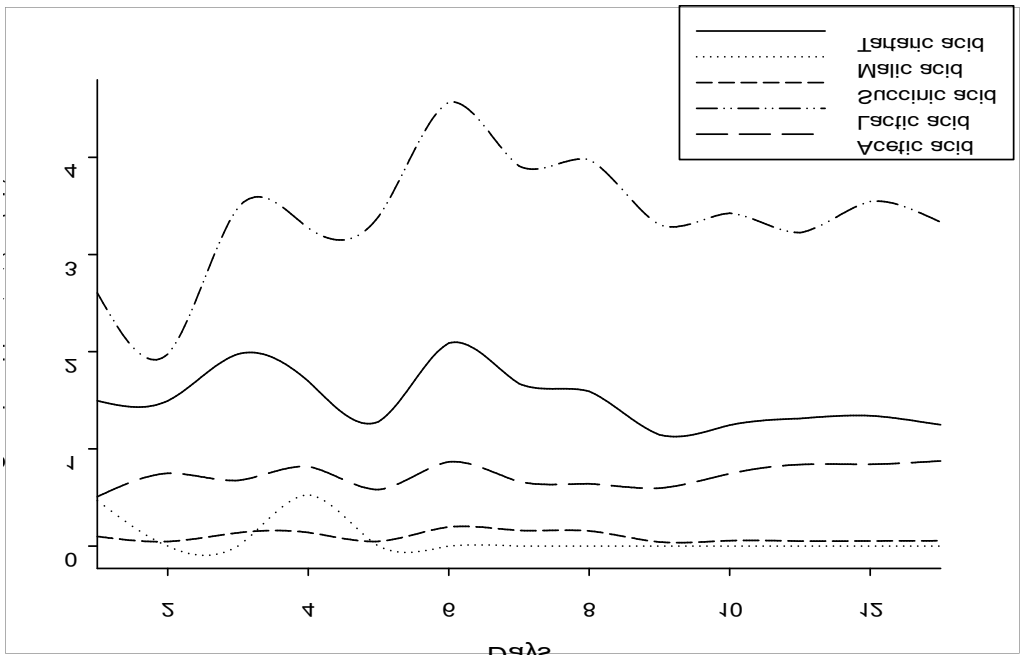
○ 이상의 결과를 바탕으로 혼합사료의 발효에 있어 아미노산이 증가하는 것으로 분석되며 이는 사료의 품질을 높일 수 있는 요인으로 해석되었다.



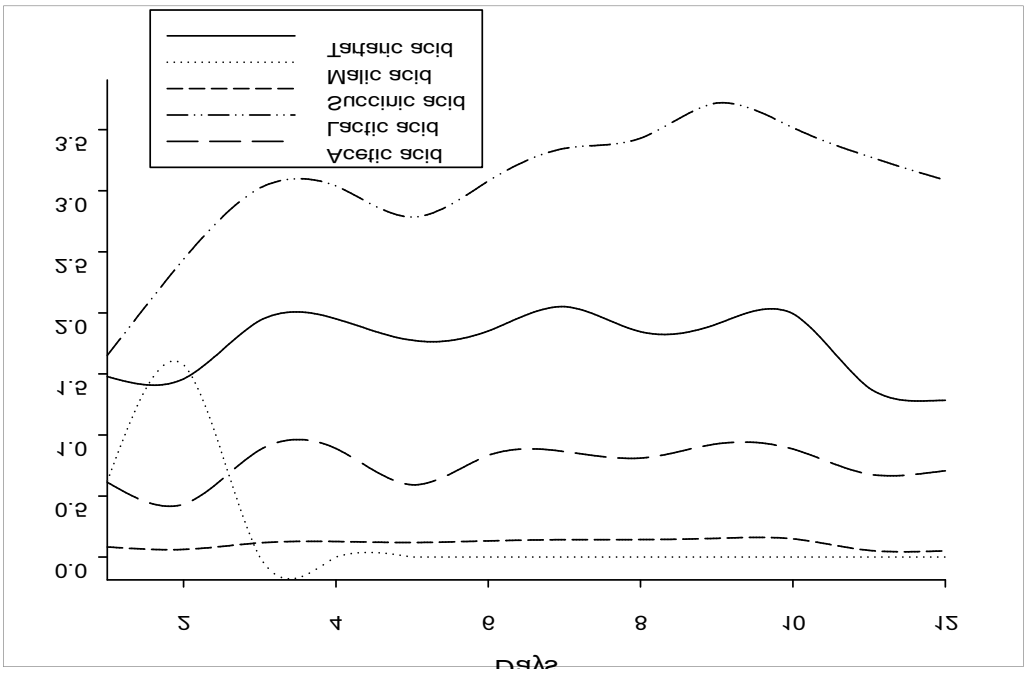
[그림] 혼합사료 그룹 A의 일자별 유기산 변화곡선



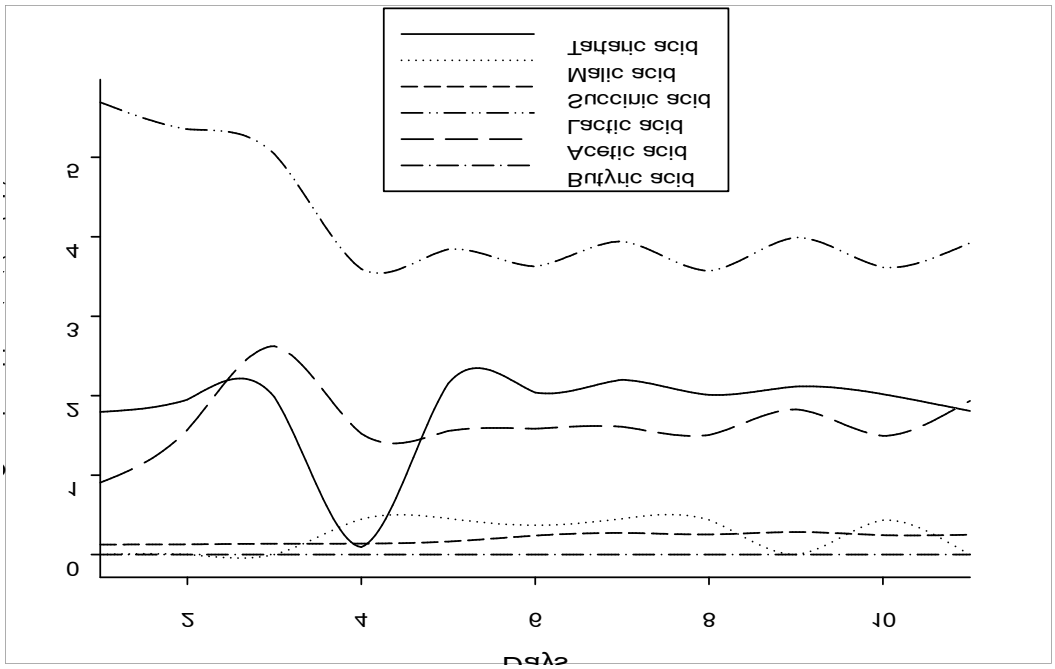
[그림] 혼합사료 그룹 B의 일자별 유기산 변화곡선



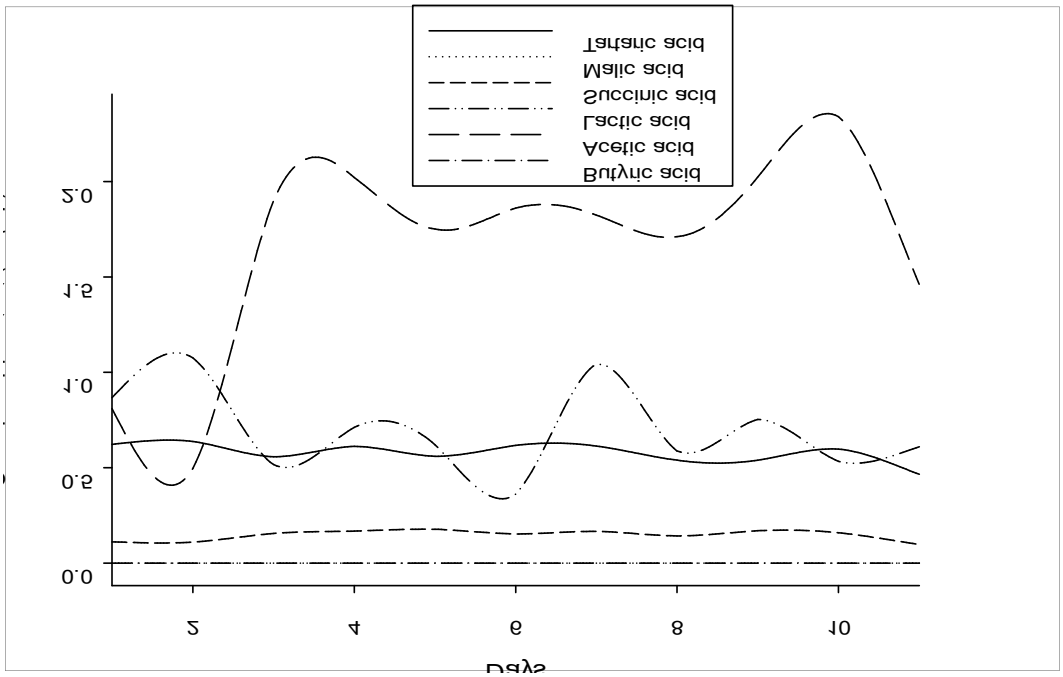
[그림] 혼합사료 그룹 C의 일자별 유기산 변화곡선



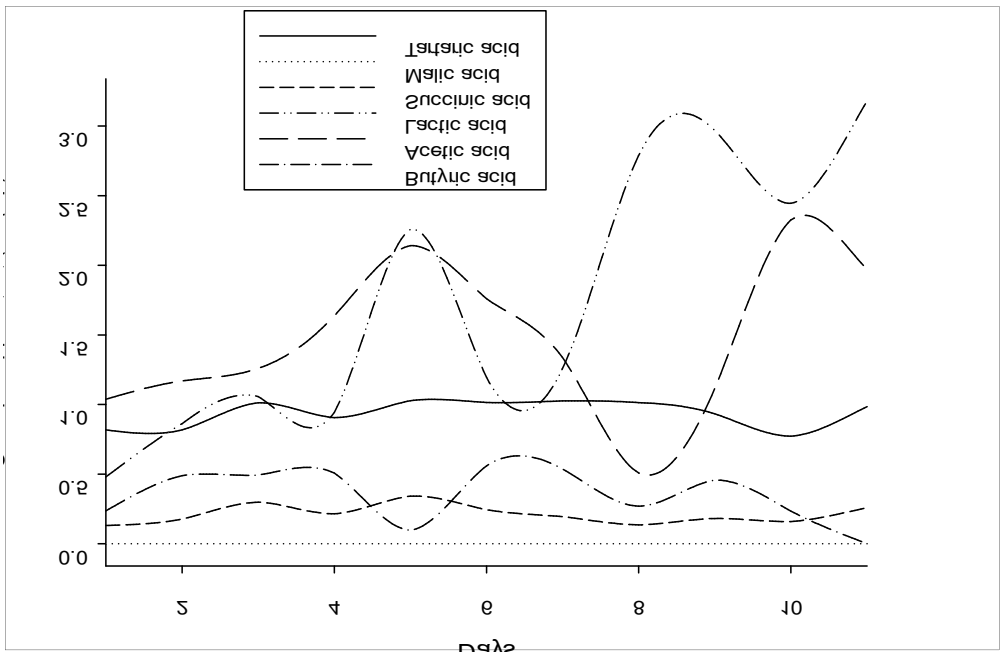
[그림] 혼합사료 그룹 D의 일자별 유기산 변화곡선



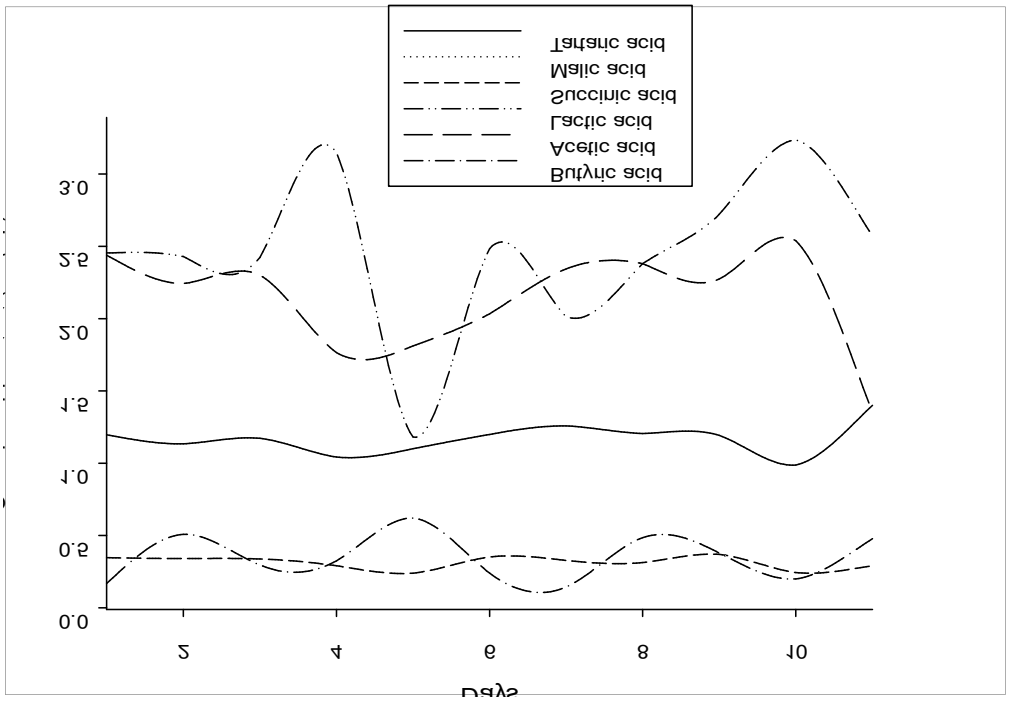
[그림] 혼합사료 그룹 E의 일자별 유기산 변화곡선



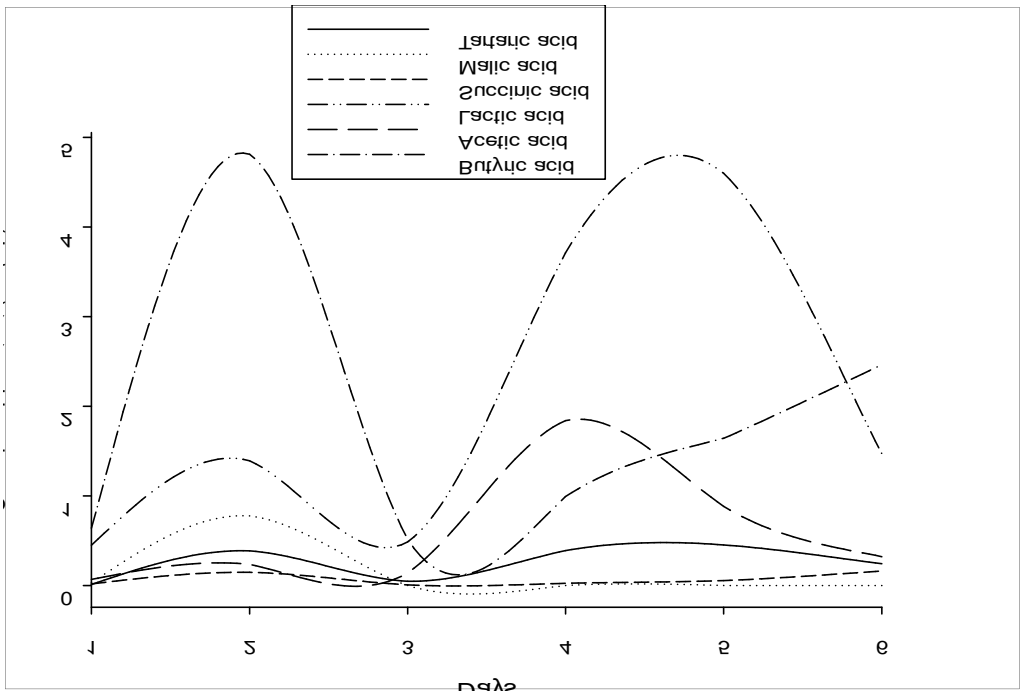
[그림] 혼합사료 그룹 F의 일자별 유기산 변화곡선



[그림] 혼합사료 그룹 G의 일자별 유기산 변화곡선



[그림] 혼합사료 그룹 H의 일자별 유기산 변화곡선



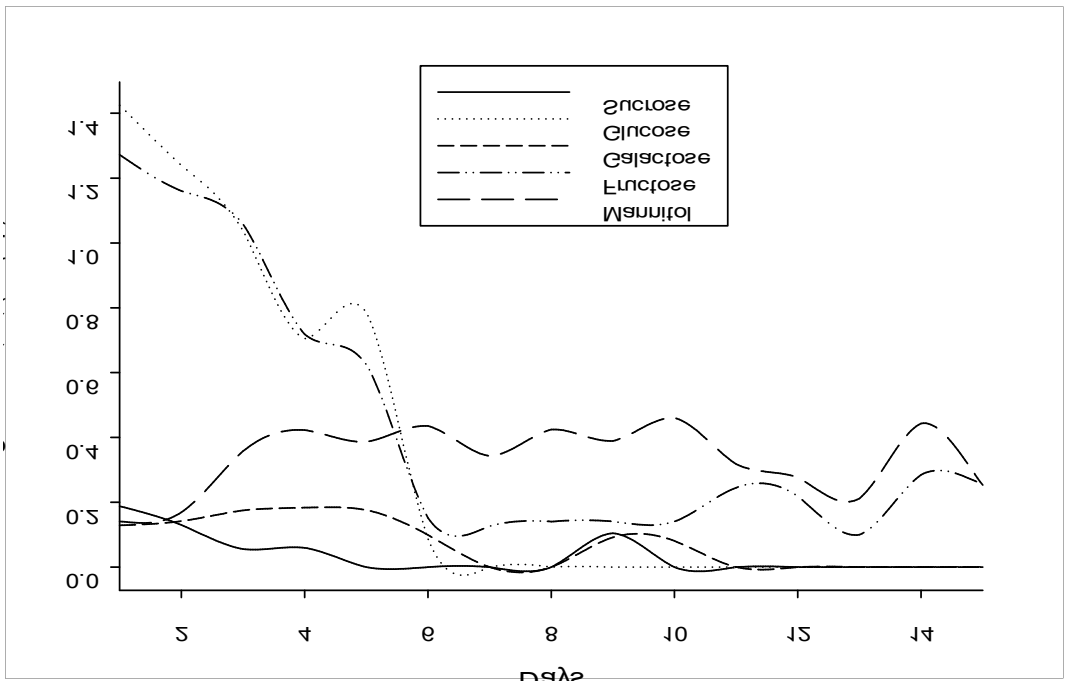
[그림] 혼합사료 그룹 I의 일자별 유기산 변화곡선

○ 유기산은 동물과 식물의 조직을 구성하는 성분이며 미생물의 발효과정에서 생성되는 연구가 많이 진행됐다. 미생물은 당을 소비하고 유기산을 생산한다. 따라서 발효과정에서 유기산의 증가가 예상되며 9종류의 혼합부산물 사료의 일자별 유기산 변화 곡선 추이를 살펴보면 아미노산과 같이 불규칙적이지만 전체적으로 증가 추세를 나타내고 있다.

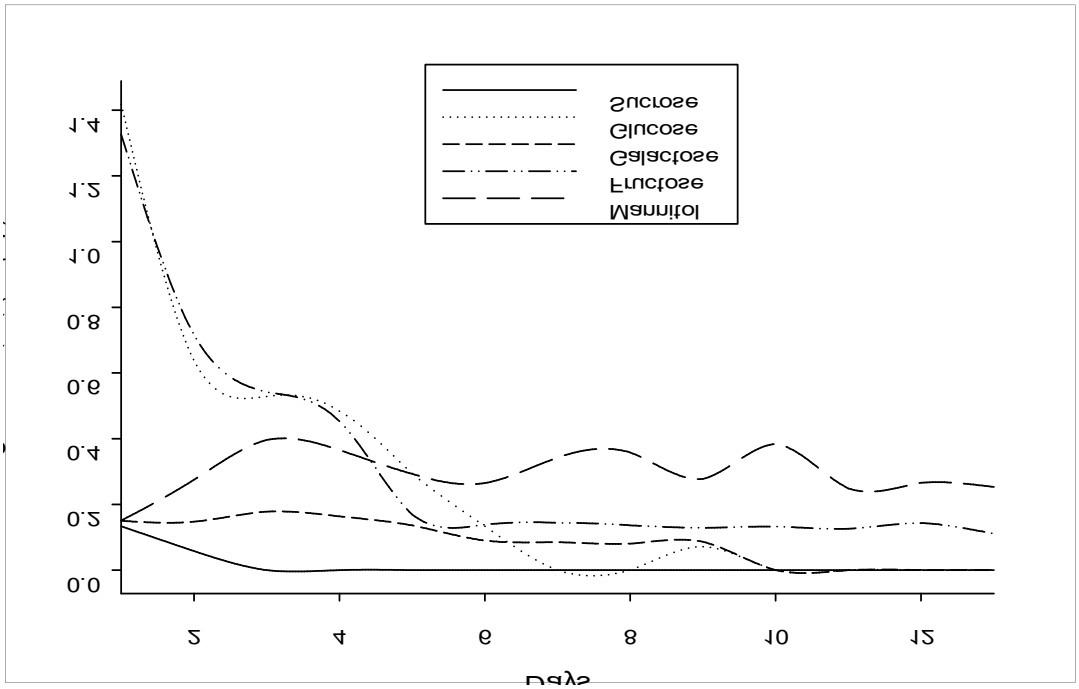
○ 유기산은 동물사료에 필수적으로 필요한 요소로서 사일리지의 품질을 평가하는 자료에서 지표로 사용되고 있다. 실험결과 불규칙한 변화와 말산과 타르타르산의 감소가 나타났으며 이는 발효에 활용된 미생물의 종류에 따라 차이가 있는 것으로 분석되었다.

○ 하지만 유기산 역시 아미노산과 마찬가지로 실험에 있어 전체적인 비중이 증가하는 경향으로 분석되었으며, 이는 발효품질을 높여 사료의 품질을 우수하게 유지할 수 있는 요인으로 분석되었다.

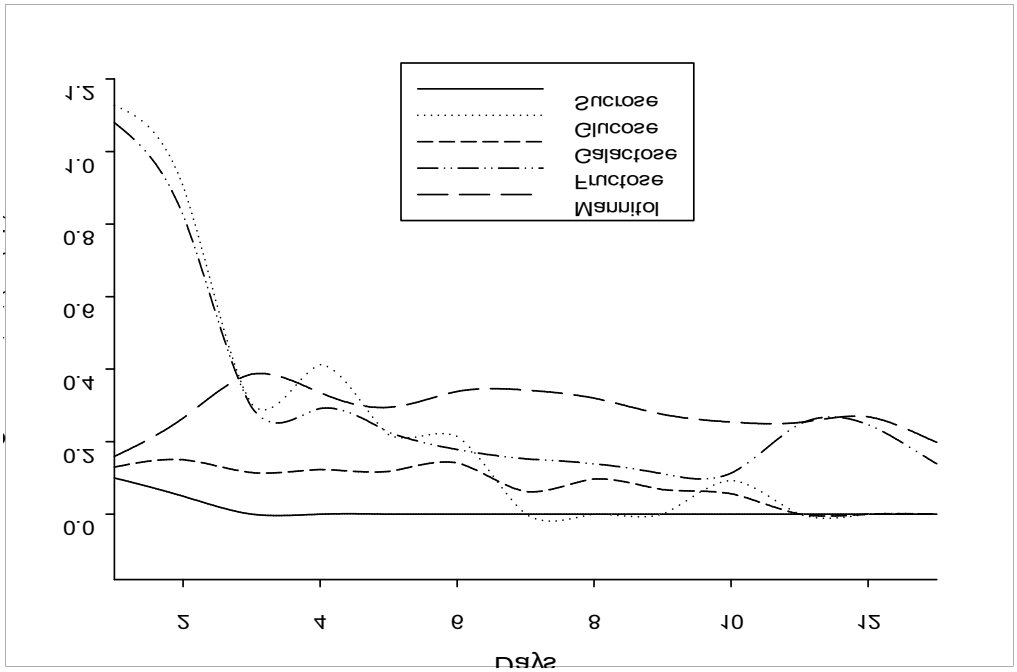
○ 다만 혼합사료의 종류가 아닌 발효촉매에 의해서 불규칙적으로 변하는 유기산의 변화 패턴을 분석하여 균일한 품질의 사료가 생산될 수 있도록 하는 추가적인 연구가 필요한 것으로 본 실험을 통하여 확인하였고 여기에 있어 추가적인 실험이 진행 중이다.



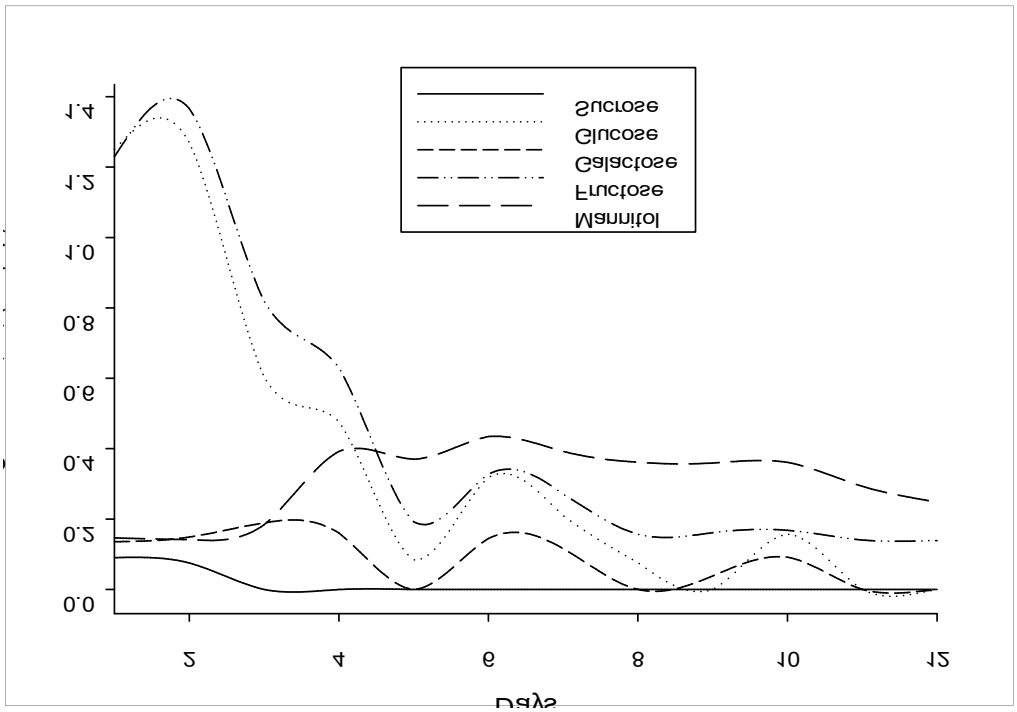
[그림] 혼합사료 그룹 A의 일자별 당 변화곡선



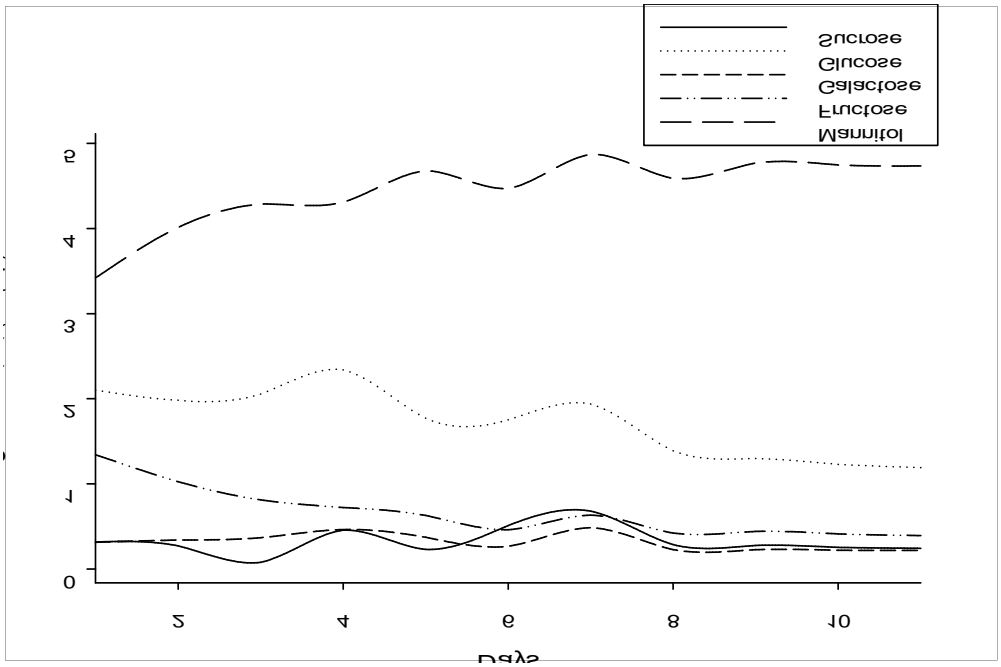
[그림] 혼합사료 그룹 B의 일자별 당 변화곡선



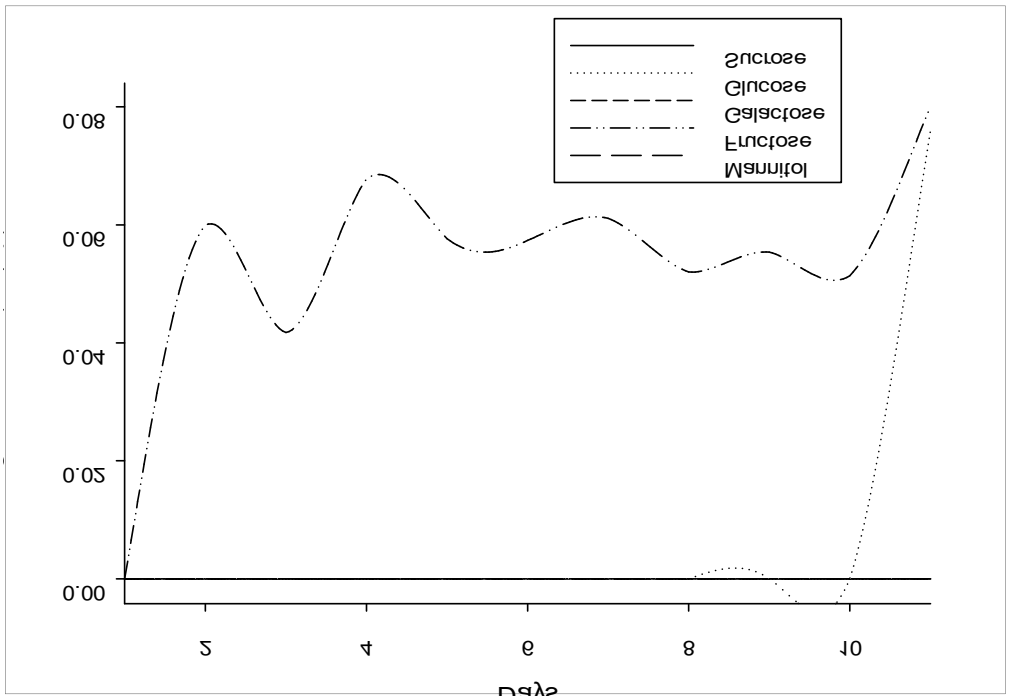
[그림] 혼합사료 그룹 C의 일자별 당 변화곡선



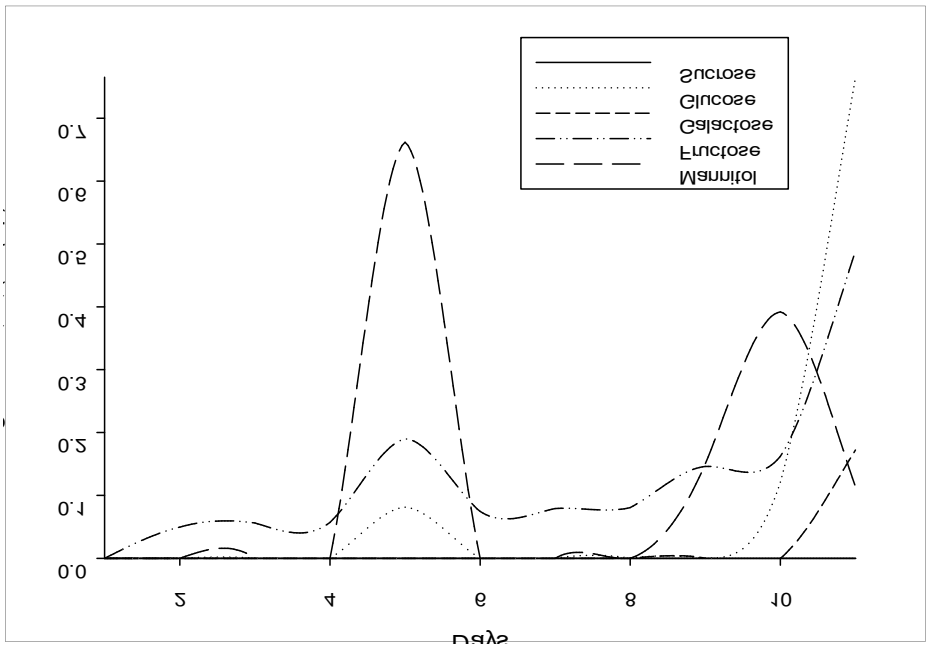
[그림] 혼합사료 그룹 D의 일자별 당 변화곡선



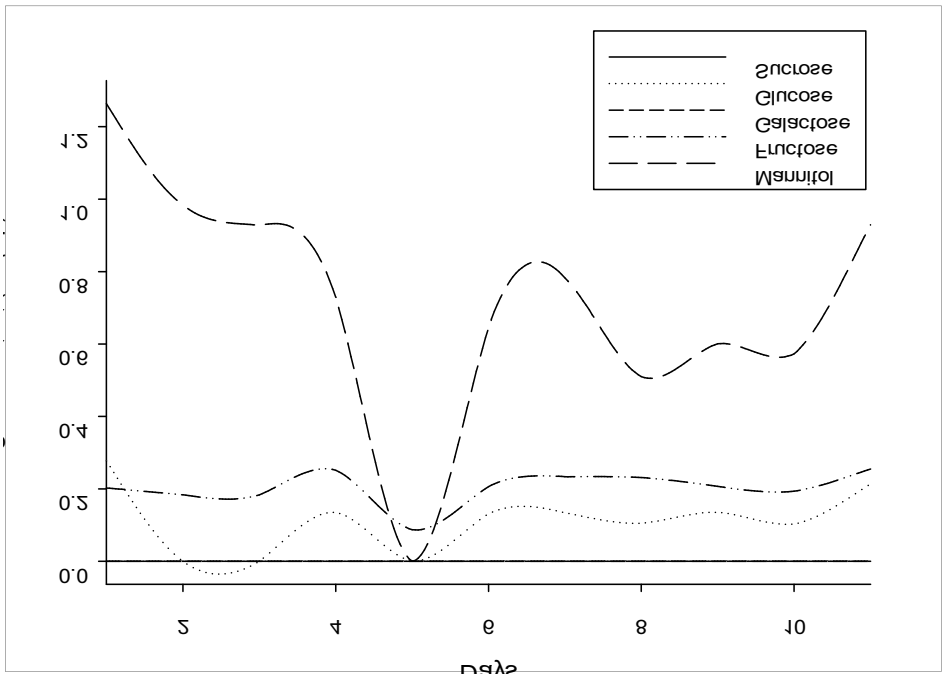
[그림] 혼합사료 그룹 E의 일자별 당 변화곡선



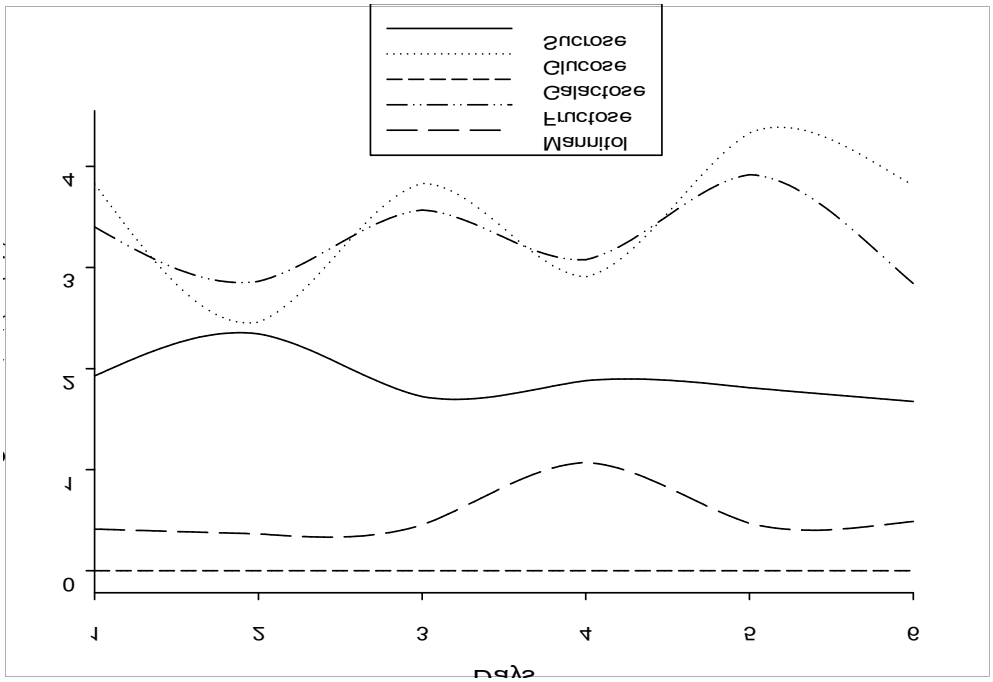
[그림] 혼합사료 그룹 F의 일자별 당 변화곡선



[그림] 혼합사료 그룹 G의 일자별 당 변화곡선



[그림] 혼합사료 그룹 H의 일자별 당 변화곡선

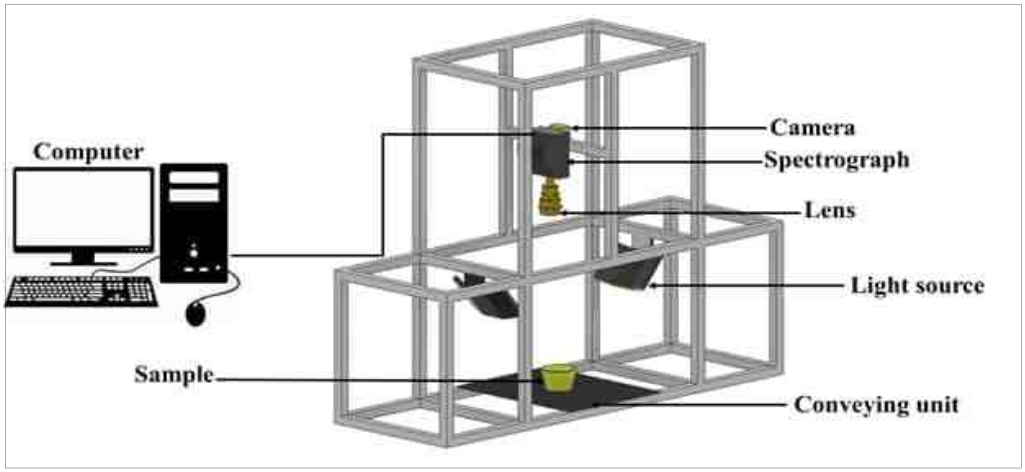


[그림] 혼합사료 그룹 I의 일자별 당 변화곡선

○ 식물에서 발견되는 단당류는 포도당, 갈락토스, 과당이며 이는 이당류와 다당류로 변환된다. 흔히 발효과정에 있어 미생물이 당을 섭취하여 소모하며 그 부산물로써 아미노산과 유기산을 생성하는 것으로 알려져 있다. 본 연구의 당의 변화를 살펴보면 전체적으로 감소하는 추세를 나타내고 있지만, 혼합부산물의 서로 다른 배합비와 미생물의 종류에 따라 그 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.

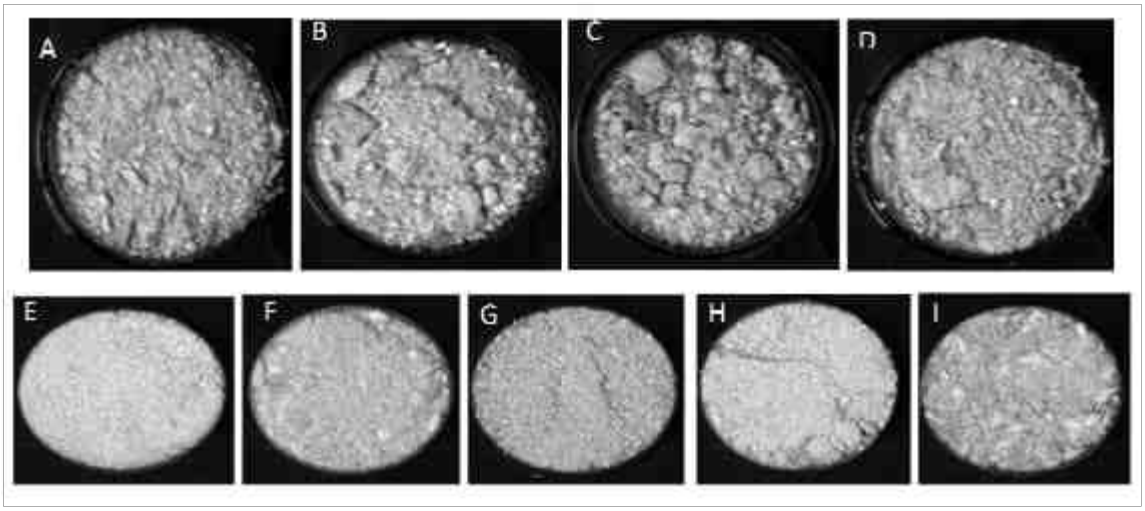
다. 초분광 카메라를 활용한 스펙트럼 분석 및 예측모델 개발

○ 비파괴적인 방법으로 일반사료, TMR 사료, TMR 사료의 아미노산, 유기산, 당, 함수율에 대해 품질의 변화량을 측정하기 위한 기초연구로 초분광카메라 이미지 모델을 개발하였다. 이를 활용하여 로봇 급여기에서 사료 급여시에 사료의 품질을 측정이 가능하도록 초분광 스펙트럼 카메라와 컨베이어 시스템을 설계하여 측정하였다.



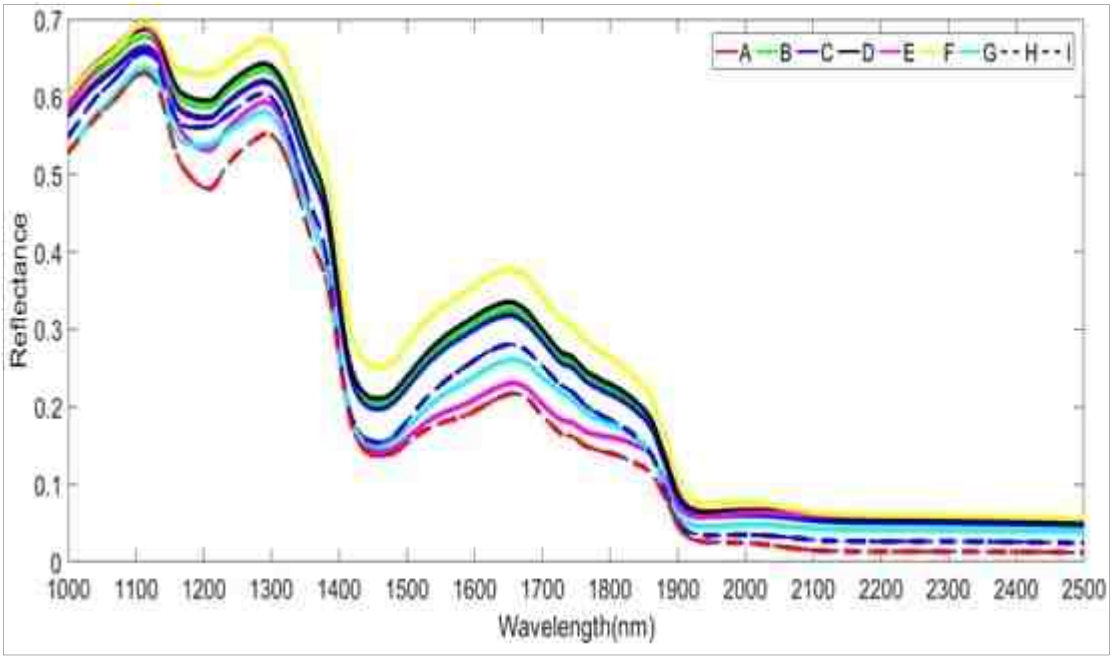
[그림] 초분광 스펙트럼 카메라

○ 선행 연구에서 구분된 혼합사료 9종을 초분광 카메라로 측정후 MATLAB 프로그램을 사용하여 스펙트럼 이미지로 변환하였다.



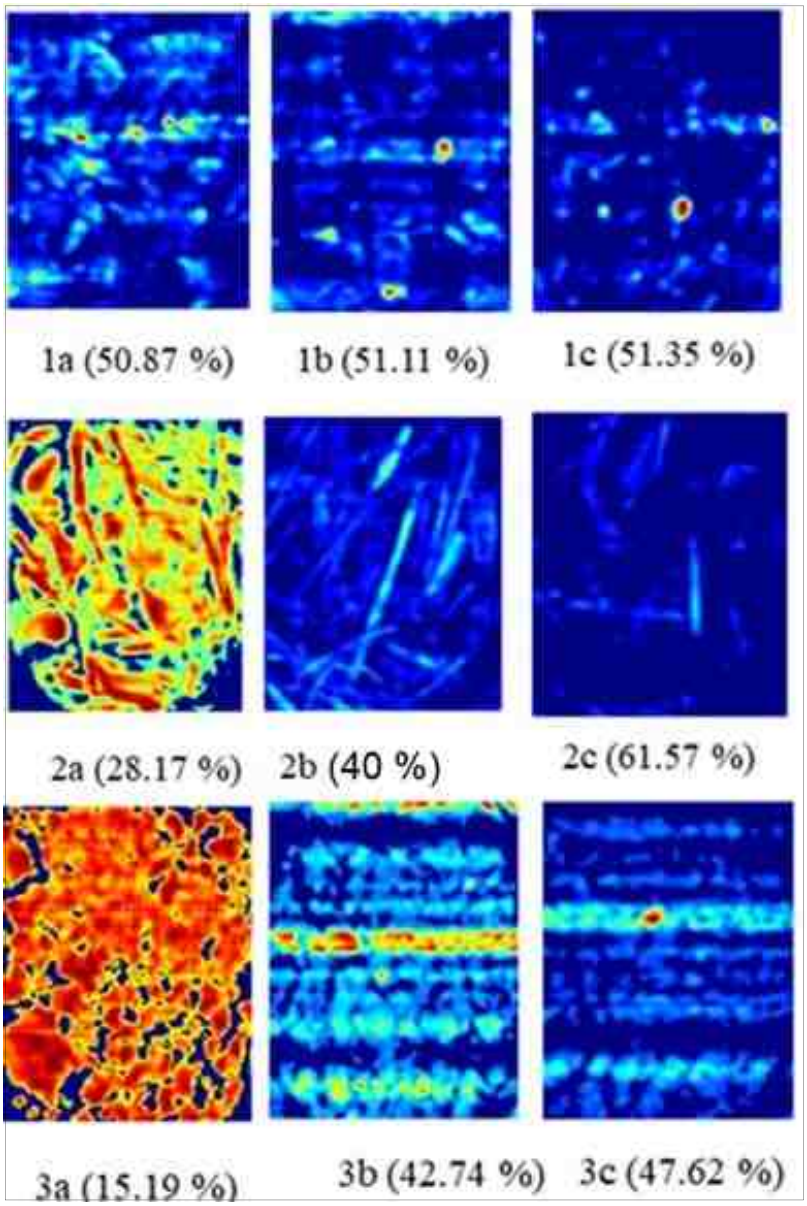
[그림] 초분광 카메라를 활용한 혼합사료 9종 촬영 사진

○ 스펙트럼 범위가 1000~2500nm 인 가시적 적외선 시스템 근처에서 스펙트럼을 획득하였으며 사용된 스펙트럼 영역은 O-H, C-H 그룹과 같은 광대역의 다양한 결과치와 관련이 있다.



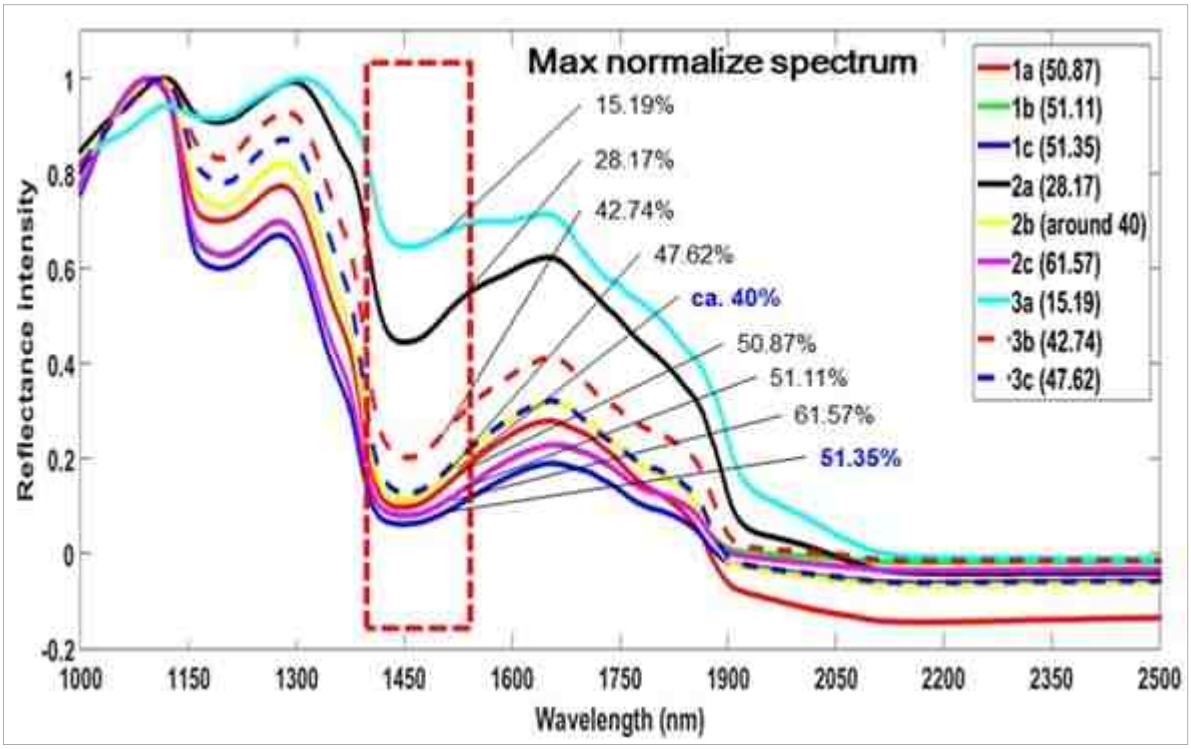
[그림] 혼합사료 9종의 스펙트럼 이미지

○ 함수율 측정의 샘플은 수분의 종류를 다양하게 하기 위하여 파인애플박, TMR, TMF 3가지로 하였으며 오븐측정법을 활용하여 함수율을 측정하였다. 그 결과 파인애플박(1a,1b,1c)의 함수율은 50.87%~51.35% 사이이며 TMR(2a,2b,2c)은 28.17%~61.51%사이 TMF(3a,3b,3c)는 15.19%~47.62% 사이로 분석되었다.



[그림] 초분광 카메라를 이용한 함수율 측정

○ 이는 초분광 카메라를 활용한 촬영에 있어 서로 다른 패턴으로 구분되었으며 함수율이 푸른색일 경우 47.62~61.57% 범위로 구분되었다. 이러한 사진을 바탕으로 함수율을 예측할 수 있는 프로그램 및 분석장치를 개발하는 기초 데이터로 본 연구의 결과물이 활용될 수 있을 것으로 판단되며 아래 그림에 분석된 스펙트럼의 변화에서와 같이 초분광 카메라를 활용한 스펙트럼의 변화를 예측할 수 있을 것이라 기대된다.

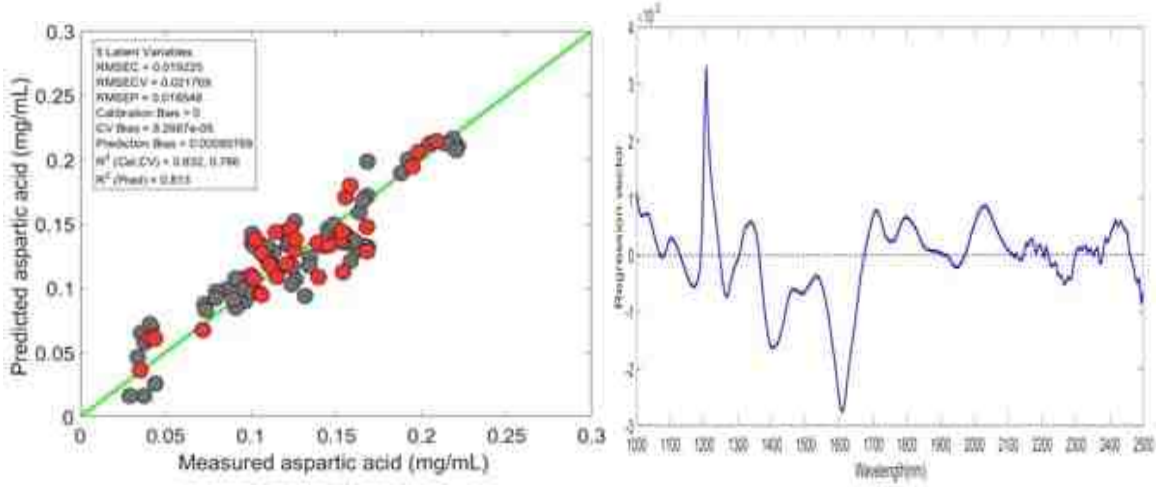


[그림] 파인애플박, TMR, TMF 의 스펙트라 이미지

○ 아미노산은 초분광 카메라로 측정후 MATLAB을 활용하여 이미지화 하였으며 UNSCRAMBLER 프로그램의 부분최소 회귀법(Partial least squares regression)과 회귀계수(regression coefficient)법을 통하여 그 모델을 개발하였다.

[표] 아미노산의 품질인자 측정값

Model	RMSEC	RMSECV	RMSEP	R^2_C	R^2_{CV}	R^2_P
Asp	0.019	0.022	0.019	0.832	0.786	0.813
Thr	0.010	0.012	0.012	0.831	0.776	0.826
Ser	0.017	0.019	0.016	0.727	0.673	0.684
Gln	0.050	0.056	0.052	0.741	0.675	0.689
Gly	0.014	0.017	0.021	0.846	0.771	0.778
Ala	0.024	0.032	0.037	0.850	0.734	0.580
Cys	0.010	0.013	0.020	0.846	0.758	0.823
Val	0.013	0.016	0.018	0.847	0.777	0.809
Met	0.006	0.007	0.007	0.640	0.590	0.557
Ile	0.012	0.015	0.012	0.861	0.781	0.803
Leu	0.021	0.023	0.018	0.820	0.771	0.781
Tyr	0.011	0.013	0.014	0.866	0.823	0.748
Phe	0.011	0.012	0.012	0.846	0.793	0.843
Lys	0.012	0.014	0.018	0.919	0.893	0.748
His	0.009	0.009	0.009	0.775	0.730	0.753
Arg	0.012	0.014	0.016	0.837	0.784	0.671
Pro	0.039	0.044	0.048	0.667	0.576	0.555

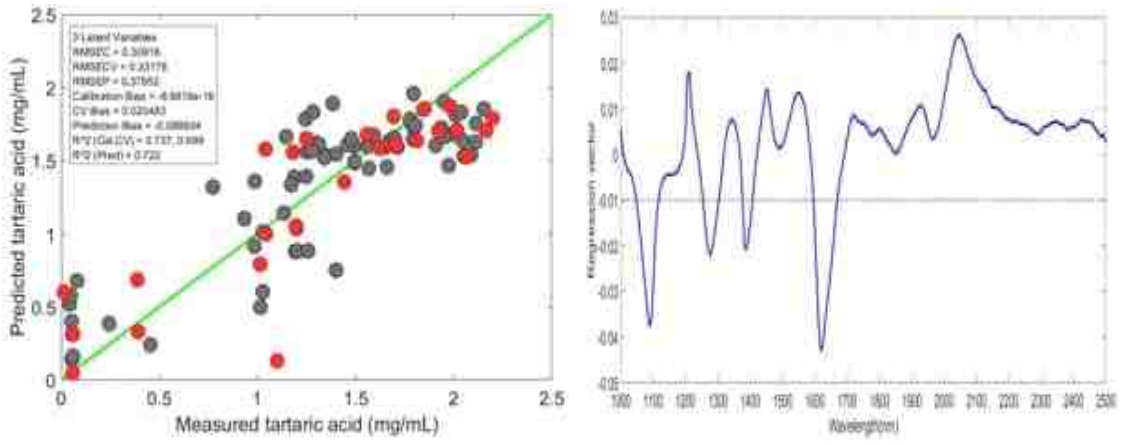


[그림] A:아미노산 예측 그래프(검정색:보정데이터, 빨간색:예측데이터)
B:regression coefficient 분석데이터>

○ 유기산 역시 초분광 카메라로 측정후 MATLAB을 활용하여 이미지화 하였으며 UNSCRAMBLER 프로그램의 부분최소 회귀법(Partial least squares regression)과 회귀계수(regression coefficient)법을 통하여 그 모델을 개발하였다.

[표] 유기산의 품질인자 측정값

Model	RMSEC	RMSECV	RMSEP	R C	R CV	R P
Tartaric acid	0.309	0.332	0.379	0.737	0.699	0.722
Succinic acid	0.056	0.066	0.073	0.496	0.335	0.384
Lactic acid	0.497	0.584	0.626	0.801	0.727	0.790
Acetic acid	0.233	0.306	0.360	0.829	0.709	0.758



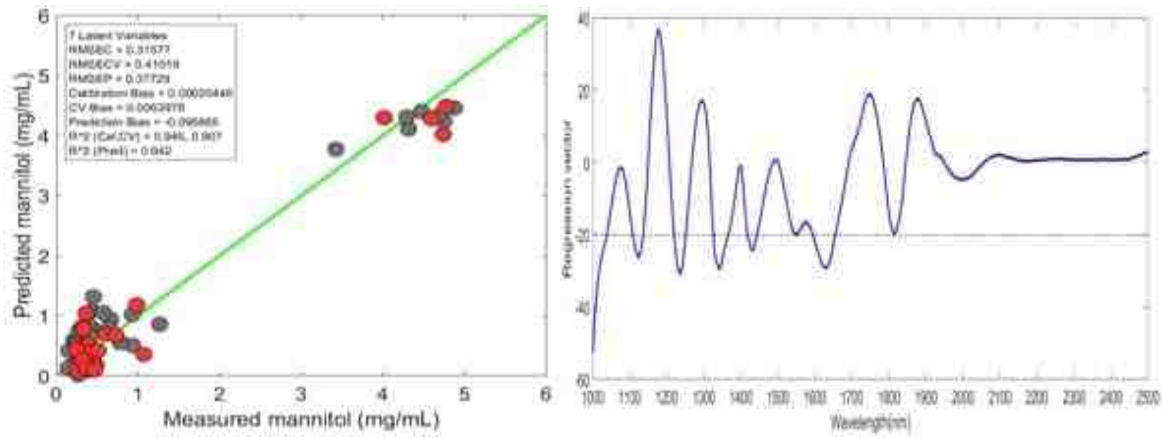
[그림] A:유기산 예측 그래프(검정색:보정데이터, 빨간색:예측데이터)
B:regression coefficient 분석데이터>

○ 당 또한 초분광 카메라로 측정후 MATLAB을 활용하여 이미지화 하였으며 UNSCRAMBLER 프로그램의 부분최소 회귀법(Partial least squares regression)과 회귀

계수(regression coefficient)법을 통하여 그 모델을 개발하였다.

[표] 당의 품질인자 측정값

Model	RMSEC	RMSECV	RMSEP	R^2C	R^2CV	R^2P
Sucrose	0.311	0.409	0.351	0.839	0.731	0.782
Glucose	0.504	0.576	0.524	0.799	0.739	0.762
Galactose	0.022	0.032	0.076	0.844	0.680	0.758
Fructose	0.213	0.276	0.326	0.909	0.849	0.875
Mannitol	0.316	0.410	0.377	0.945	0.907	0.942



[그림] A:당의 예측 그래프(검정색:보정데이터, 빨간색:예측데이터)
B:regression coefficient 분석데이터

○ 아미노산 유기산 당 성분의 초분광 카메라 측정 및 MATLAB을 활용한 이미화 예측 모델은 세 가지 모델에서 모두 선형으로 분석되엇으며 보정데이터와 예측데이터의 오차 범위가 크지 않는 것으로 분석되어 결과적으로 실험을 통한 값과 유사하게 분석되었다. 이는 예측프로그램의 정확도가 높은 것으로 분석되어지며 UNSCRAMBLER 프로그램을 활용한 부분최소 회귀법 및 회귀계수법 분석에 있어서도 높은 유의성을 나타내어 추후 추가적으로 진행되는 연구에 있어 기초자료로 활용이 가능하며 몇몇 데이터가 튀는 현상을 수정 보완하여 예측 모델로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3절 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발

1. 사료의 품질인자 선발

가. 사료종류별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료)로 품질(신선도, 안전)과 관련한 인자(곰팡이 균) 탐색 및 선발

○ 살균실험은 공시재료인 TMR A(화성) 와 TMR B(경주)는 균 개체수가 25~250 범위의 집단만 활용하여 세균농도를 계산하였다.

○ 총균수 측정에 사용된 실험장치는 Peptone water, Test tube, Distilled water, Micro pipet & tips, Petri dish, stirrer, magnetic stir bar, spreader, Tryptic soy agar (TSA), Tryptic soy broth (TSB), incubator, autoclave, voltex mixer, sterile spreader, Biosafety cabinet를 이용하여 측정하였다.

○ 600 ml의 증류수에 24g의 Tryptic soy agar(TSA)를 넣어 magnetic stirrer corning PC-4200을 이용하여 360 RPM 의 회전속도로 교반하고, 동일한 방법으로 400 ml의 증류수에 12g의 Tryptic soy broth(TSB)를 넣고 400 ml의 증류수에 6g 의 peptone water을 넣어 magnetic stirrer corning PC-4200을 이용하여 360 RPM 의 회전속도로 교반하였다. 모든 시약은 규격 살균법에 의거하여 autoclave를 사용하여 121℃ 15분으로 살균하였다.

○ 25g을 펩톤물 225ml에 희석하였고, 부산물사료 희석액을 stomacher를 사용하여 300초 동안 5의 속도로 균질화시켰다. 살균된 TSB 희석액을 9ml 씩 넣은 실험관을 9개 만들고, 펩톤물에 희석한 부산물사료액을 1ml를 최초의 TSB 실험관에 넣고 1ml씩 다음 실험관으로 넣었다. 9개의 실험관을 볼텍스 믹서로 잘 혼합한 후 확산판 방법에 의하여 각 실험관당 3개씩의 TSA를 뿌린 샬레에 1ml씩 균일하게 뿌린 후 멸균스프레더를 사용하여 확산하였다. 제작된 27개의 샬레를 37℃ 24시간 조건으로 인큐베이터에서 배양하였다.

[표] 1일차 미생물수

Dilution	Hwaseong TMR		Gyeonju TMR	
	Organism		Organism	
	Bacteria (CFU/g)	Fungi (CFU/g)	Bacteria (CFU/g)	Fungi (CFU/g)
10^{-1}	1.7×10^{2}	++	1.3×10^{2}	++
10^{-2}	0	2.4×10^{4}	0	7.2×10^{3}
10^{-3}	0	0	0	0
10^{-4}	0	0	0	0
10^{-5}	0	0	0	0
10^{-6}	0	0	0	0
10^{-7}	0	0	0	0
10^{-8}	0	0	0	0
10^{-9}	0	0	0	0

[표] 4일차 미생물수

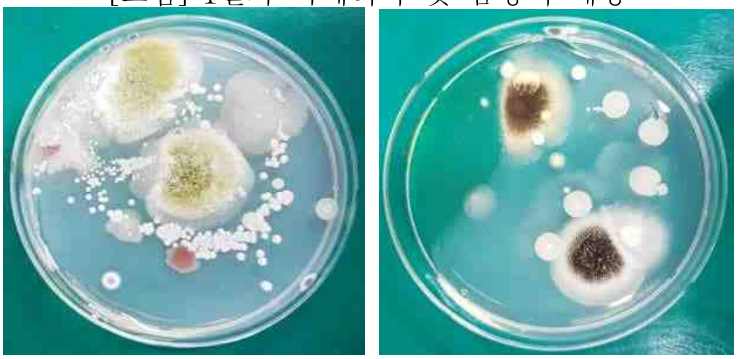
Dilution	Hwaseong TMR		Gyeonju TMR	
	Organism		Organism	
	Bacteria (CFU/g)	Fungi (CFU/g)	Bacteria (CFU/g)	Fungi (CFU/g)
10^{-1}	1.87×10^{2}	++	1.6×10^{2}	++
10^{-2}	0	++	0	++
10^{-3}	0	4.4×10^{3}	0	++
10^{-4}	0	-	0	++
10^{-5}	0	-	0	3.48×10^{7}
10^{-6}	0	-	0	-
10^{-7}	0	-	0	-
10^{-8}	0	-	0	-
10^{-9}	0	-	0	-

[표] 7일차 미생물수

Dilution	Hwaseong TMR		Gyeonju TMR	
	Organism		Organism	
	Bacteria (CFU/g)	Fungi (CFU/g)	Bacteria (CFU/g)	Fungi (CFU/g)
10^{-1}	++	++	++	++
10^{-2}	6.3×10^{3}	++	6.7×10^{2}	++
10^{-3}	0	++	0	++
10^{-4}	0	1.4×10^{5}	0	++
10^{-5}	0	-	0	++
10^{-6}	0	-	0	2.48×10^{7}
10^{-7}	0	-	0	-
10^{-8}	0	-	0	-
10^{-9}	0	-	0	-

○ 화성 및 경주 TMR 공장에서 채취한 포장된 공시재료는 곰팡이균 수에 있어서 1일차에서 화성 TMR의 경우 희석액 10-2 레벨에서 Fungi(CFU/g)가 2.4 x 104 로 나타났고 경주 TMR의 경우 10-2 레벨에서 Fungi(CFU/g)가 7.2 x 103 품질로 나타나 '좋음'으로 분석되었다. 그렇지만 이를 벌크상태로 보관시 4일이 지난 시점에서의 품질은 화성 TMR의 경우 희석액 10-3 레벨에서 Fungi(CFU/g)가 4.4 x 103로 나타났고 경주 TMR의 경우 희석액 10-5 레벨에서 Fungi(CFU/g)가 3.48 x 107로 나타나 품질이 '보통' 인 것으로 분석되었으며 7일이 지난 시점에서는 화성 TMR의 경우 희석액 10-4 레벨에서 Fungi(CFU/g)가 1.4 x 105로 나타났고 경주 TMR의 경우 10-6 레벨에서 Fungi(CFU/g)가 2.48 x 107로 나타나 '위험' 한 것으로 분석되었다. 이는 곰팡이의 증식에 따른 결과이며 박테리아 부하에서는 안전한 수준으로 분석되었다.

[그림] 1일차 박테리아 및 곰팡이 배양



[그림] 4일차 박테리아 및 곰팡이 배양

[그림] 7일차 박테리아 및 곰팡이 배양

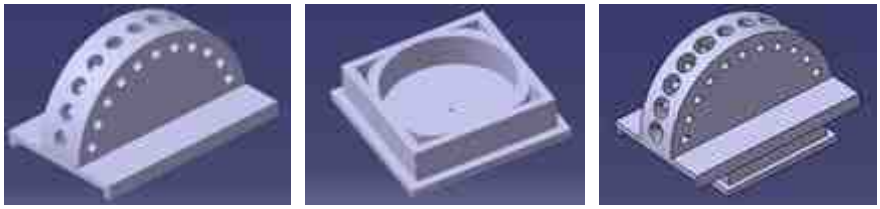
○ 이상의 결과는 일자의 변화에 따른 곰팡이균의 증식을 분석한 것으로 4일이 지나는 지점에서 곰팡이균이 빠른 속도로 증식하여 TMR사료의 품질을 저하 시키며 사료로써 가축에게 급이하기에 위험한 것으로 나타났다. 하지만 이번 연구는 상온(20~30)에서 이루어진 결과이며 벌크상태로 진행된 가장 일반화된 현상에 대한 연구이었으며 추후 벌크상태와 팩킹상태에서 온도를 다양한 수준으로 변화한 실험을 병행하여 실시하여 좀 더 높은 수준의 실험 결과를 바탕으로 데이터를 분석할 수 있는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

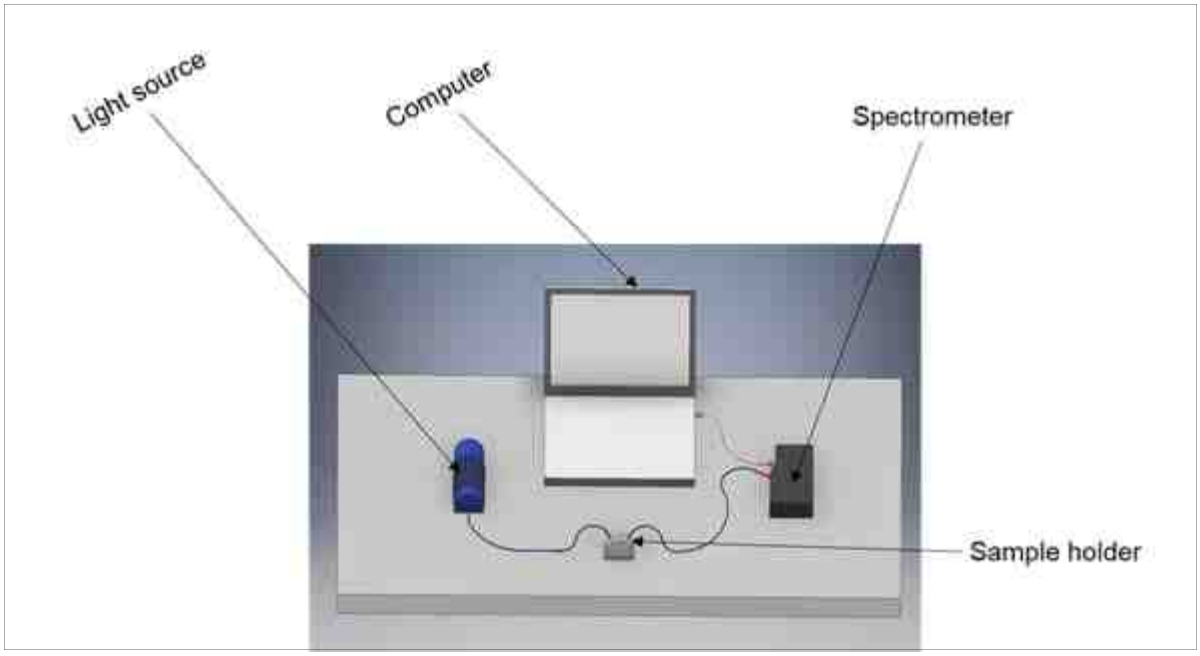
2. 품질변화 예측모델 개발

가. NIRS를 활용한 사료종류별 주요 품질변화(오가닉, 유기산, 당) 측정

○ NIRS 광분도계 (Model: FLAME-NIR-INTSMA25)는 컴퓨터와 연결되어 전용 소프트

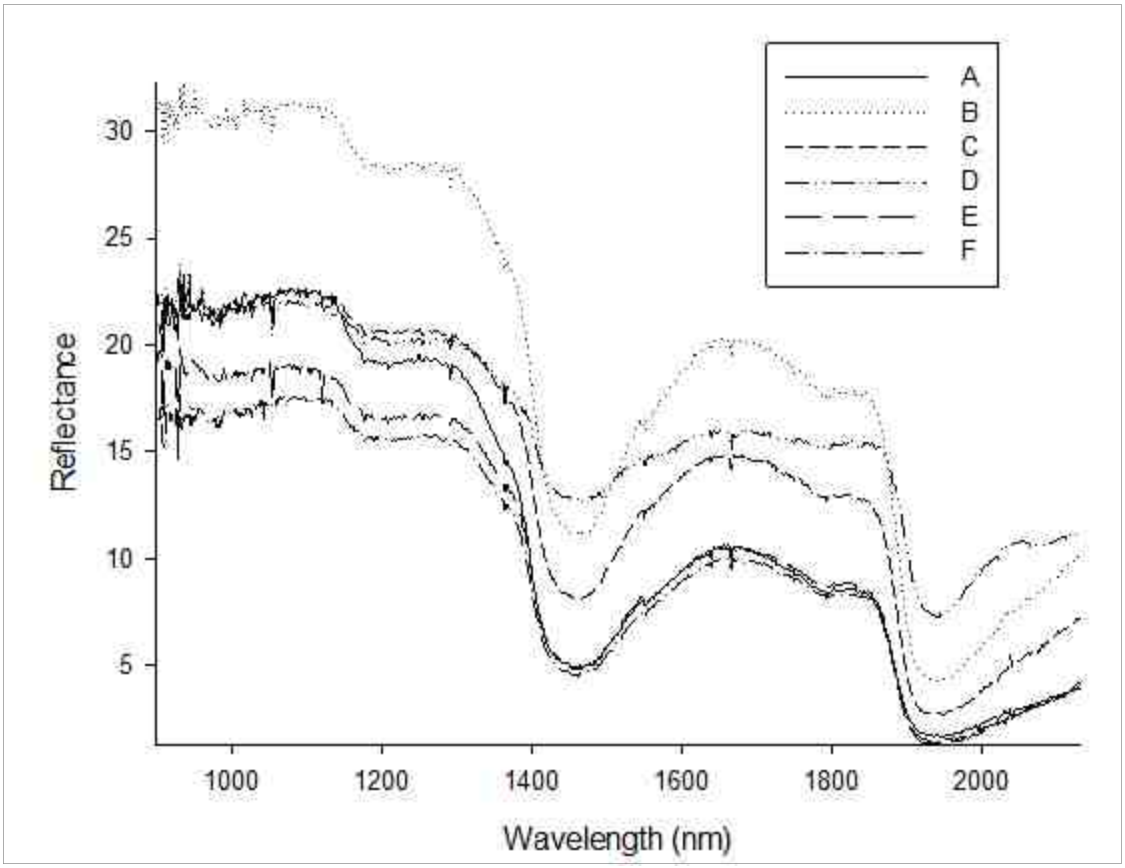
웨어로 분석되어지는 장치이다. 분광계는 흰색 세라믹 원형 플레이트로 구성되어 있으며 스펙트럼의 수집을 위하여 단색 빛이 방출되는 구조이다. 반사율에 있어서 2nm 간격으로 900~2200nm 영역대의 파장범위의 데이터를 수집할수 있으며 Petri 접시의 9개의 지점으로부터 측정 프로브로 부터 4.86mm에서 샘플까지의 지점을 고정하여 데이터를 수집하였다.





[그림] 스펙트럼 확보를 위한 홀더 및 NIRS 설정

[그림] NIRS를 활용한 스펙트럼 데이터수집

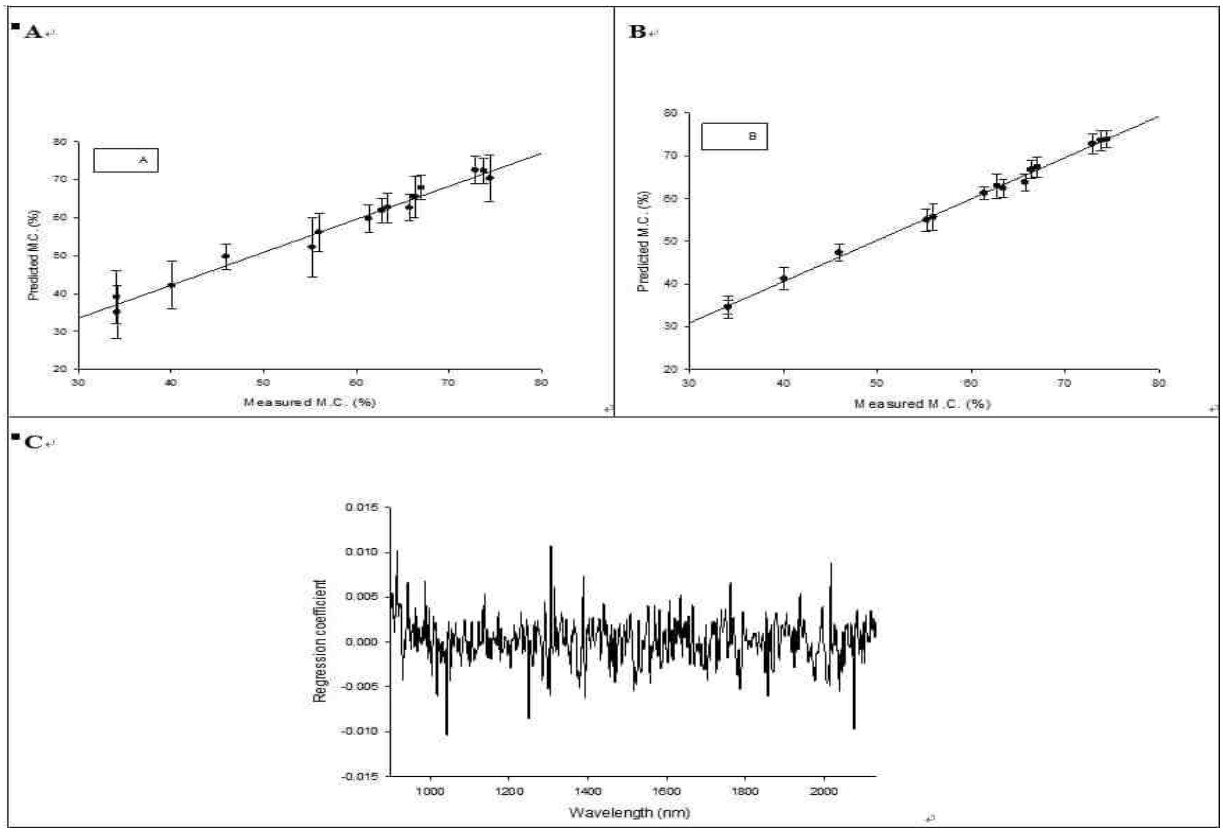


[그림] TMR 사료의 스펙트럼 데이터

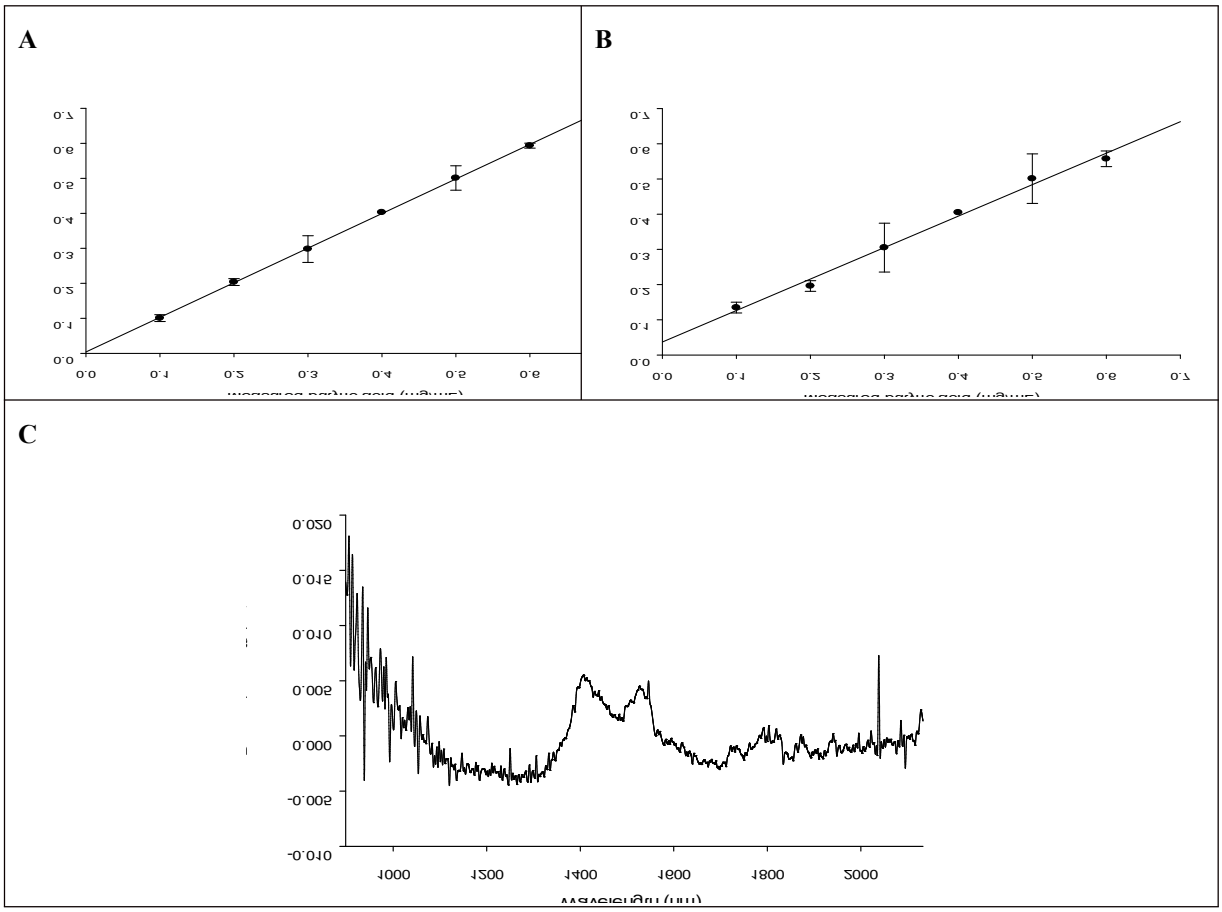
○ 초분광카메라와는 달리 NIRS는 특정 물질의 성분을 측정하며 이는 정확도 면에서 초분광카메라보다 다소 낮은 결과 값을 나타내나 본 실험에 있어서는 만족할 만한 유의성을 보였다. 함수율은 오븐법으로 측정하였고 그 범위는 34.1% 74.4% 사이였다. 유기산과 당의 경우 그 범위는 각각 부티산, 구연산, 젖산, 말산, 포도당 및 수크로스로 나타났고 UNSCRAMBLER 프로그램의 부분최소 회귀법(Partial least squares regression)과 회귀계수(regression coefficient)법을 활용한 예상모델은 그림과 같이 분석되었다.

[표] NIRS 및 UNSCRAMBLER를 활용한 분석결과

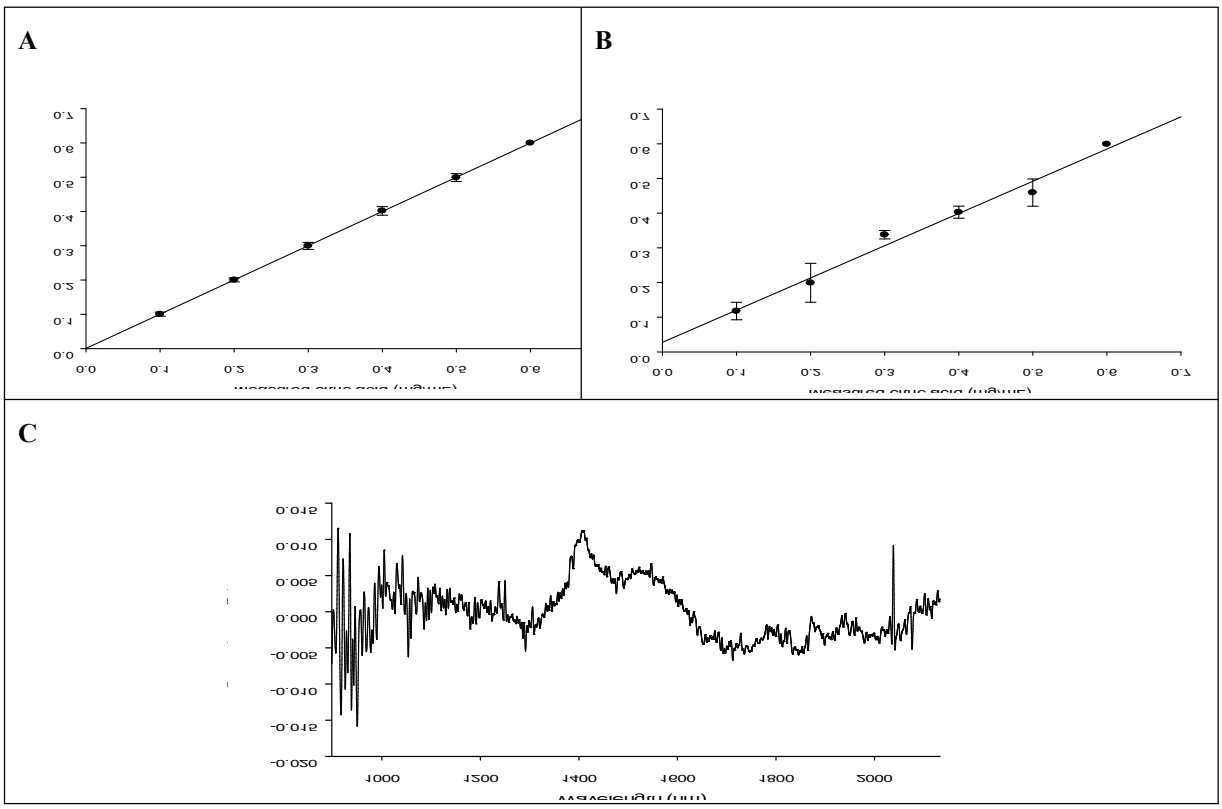
Class	Model	RMSEC	RMSEV	R C	R V
Water	MC	2.307	5.357	0.970	0.842
Organic acids	Butyric acid	0.018	0.041	0.989	0.948
	Citric acid	0.007	0.035	0.998	0.963
	Lactic acid	0.009	0.035	0.997	0.964
	Malic acid	0.013	0.033	0.994	0.968
Sugars	Sucrose	0.017	0.032	0.991	0.968
	Glucose	0.008	0.050	0.998	0.923



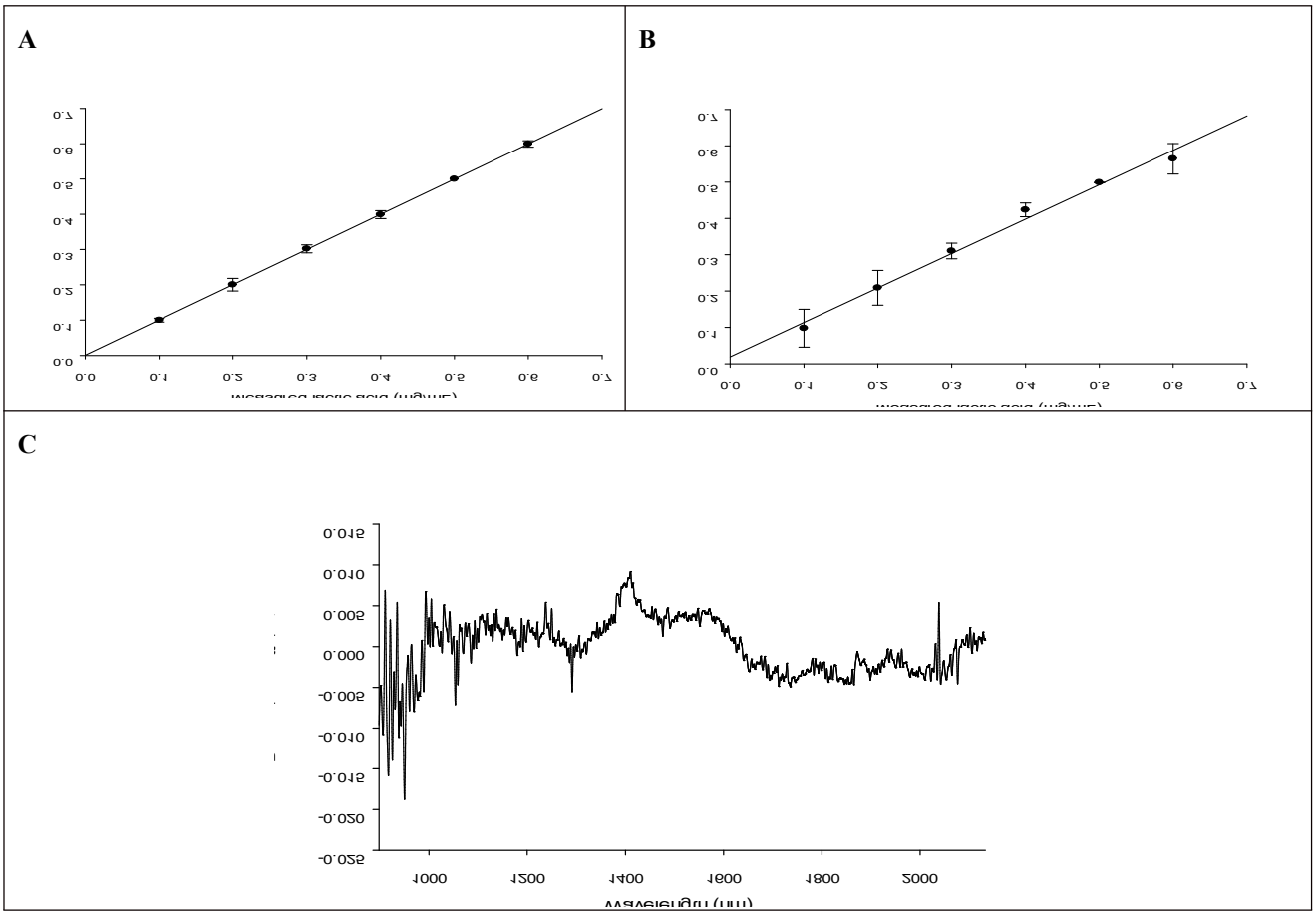
[그림] Water, M.C. (A) PLSR 회귀분석, (B) 보정 (C) 검증 및 회귀계수



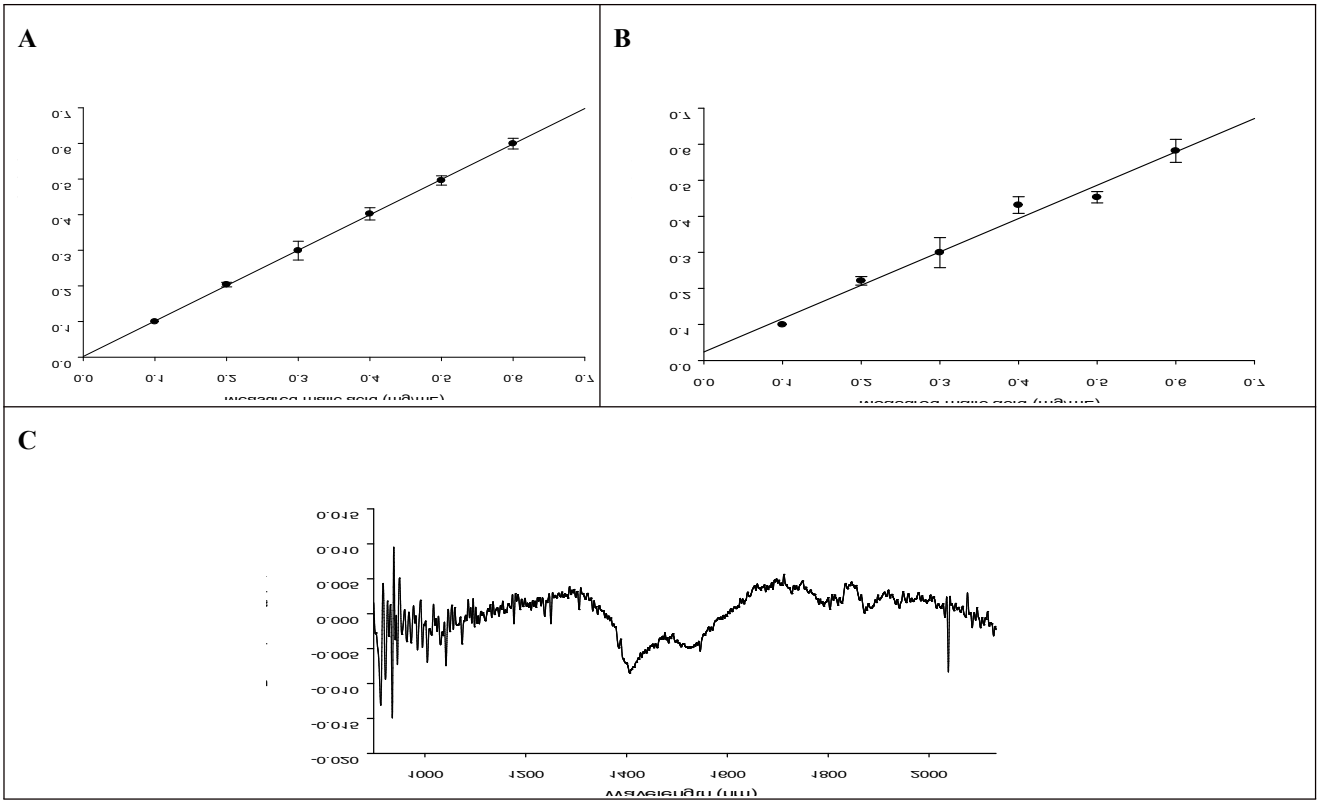
[그림] Organic acids Butyric acid (A) PLSR 회귀분석, (B) 보정 (C) 검증 및 회귀계수



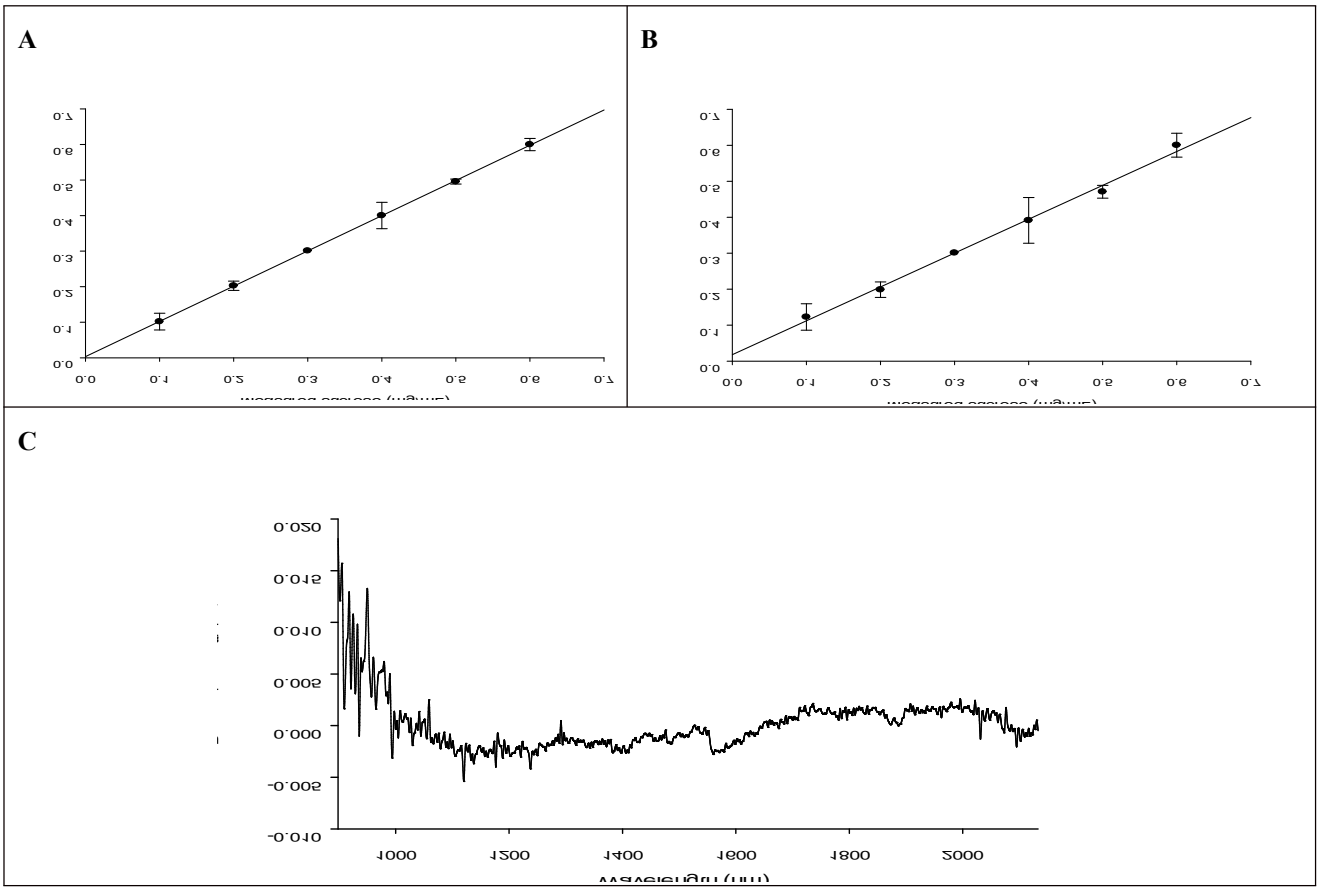
[그림] Organic acids Citric acid (A) PLSR 회귀분석, (B) 보정 (C) 검증 및 회귀계수



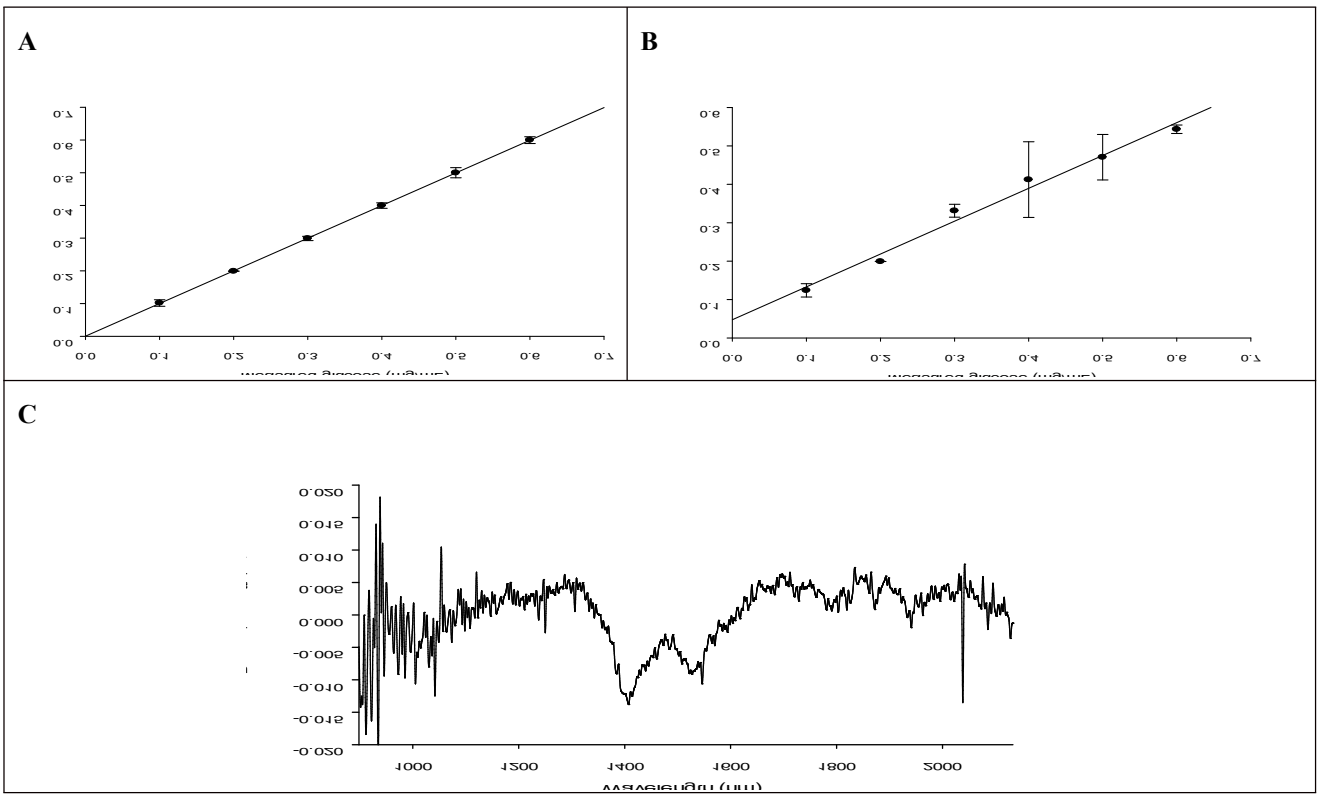
[그림] Organic acids Lactic acid (A) PLSR 회귀분석, (B) 보정 (C) 검증 및 회귀계수



[그림] Organic acids Malic acid (A) PLSR 회귀분석, (B) 보정 (C) 검증 및 회귀계수



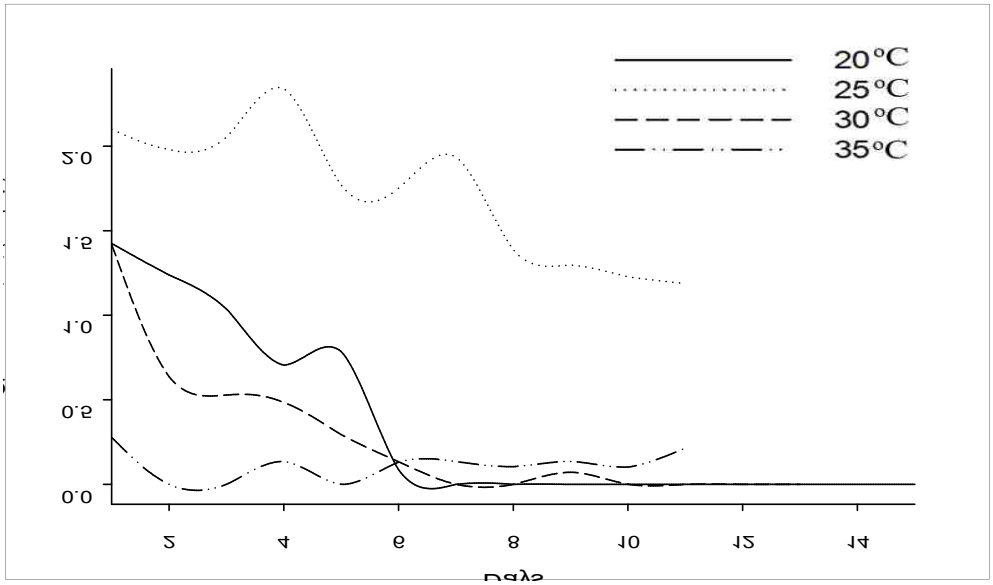
[그림] Sugars Malic acid (A) PLSR 회귀분석, (B) 보정 (C) 검증 및 회귀계수



[그림] Sugars Glucose acid (A) PLSR 회귀분석, (B) 보정 (C) 검증 및 회귀계수

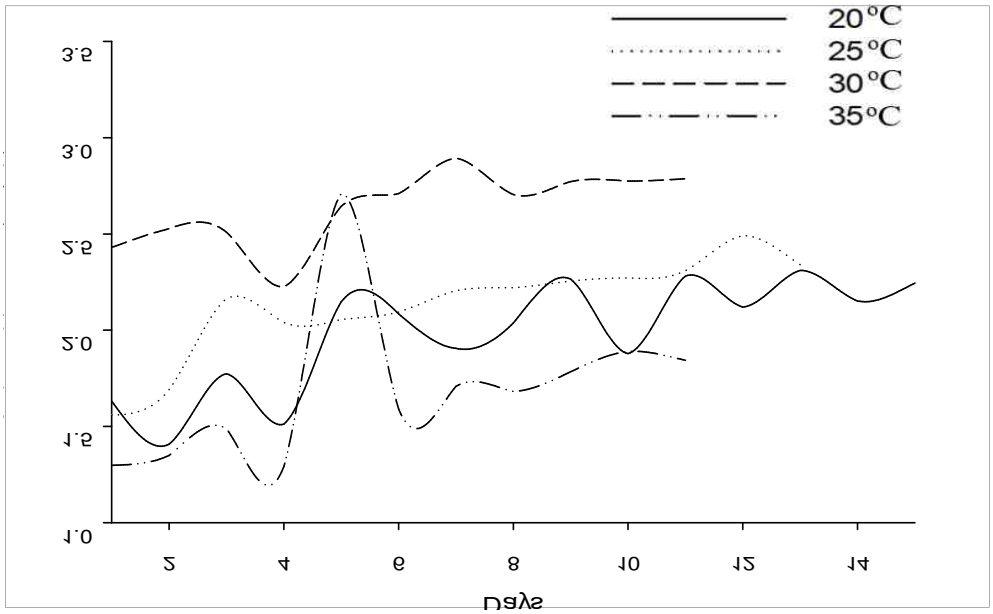
○ 이상의 결과는 초분광카메라와 MATLAB을 활용한 이미지화 분석보단 다소 신뢰성이 떨어지지만 충분히 활용할 수 있는 모델을 개발하였다는 점에서 그 의의가 크다고 할 수 있다. 추가적으로 UNSCRAMBLER 프로그램의 부분최소 회귀법(Partial least squares regression)과 회귀계수(regression coefficient)법을 활용한 예상모델은 신뢰도가 높게 분석되었으며 이상의 결과를 바탕으로 추후 배합비에 따라 서로 다른 성분의 혼합부산물을 초분광카메라로 측정하여 실시한 품질을 확인하는 연구의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 품질변화 변수(계절별 온도)에 따른 사료의 품질예측 모델 개발



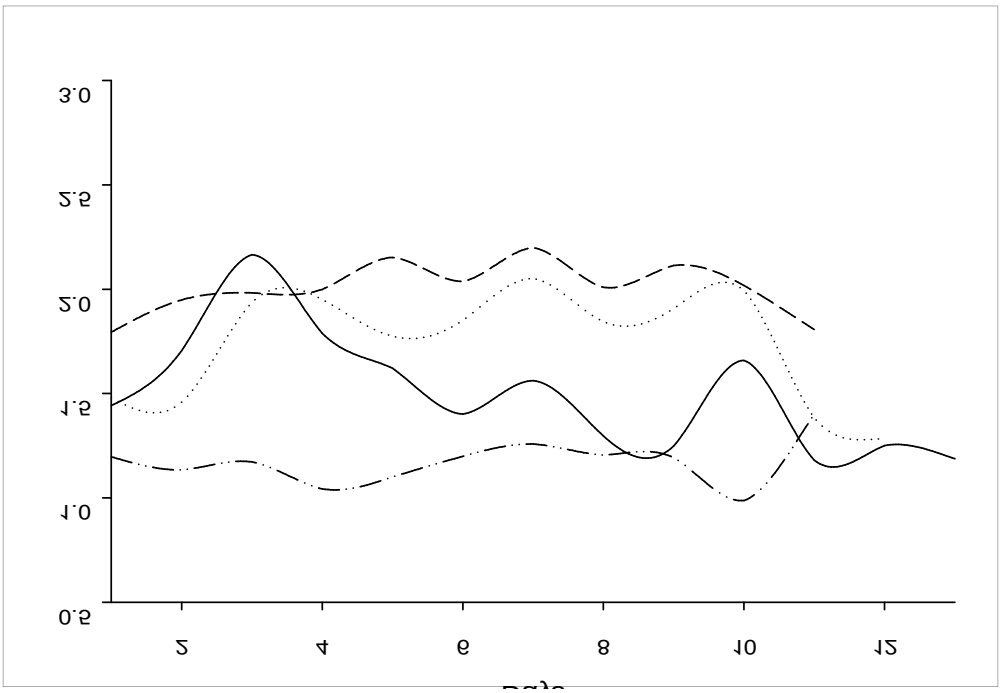
[그림] 당 성분의 온도별 변화

○ 혼합사료를 온도에 따라 당 성분을 분석한 결과 25℃에서 가장 높은값으로 나타났으며 30℃일때의 곡선이 가장 이상적인 것으로 분석되었다. 이는 발효가 진행됨에 따라 발효촉매제인 균주가 당을 소비함에 따라 서서히 감소하는 것으로 전반적인 그래프를 분석해 볼 때 6일이 지나는 시점에서 변화가 안정화 되는 것으로 분석되어 최소 6일의 발효기간 후 TMF 사료로서의 발효품질이 높아지는 것으로 분석되었다.



[그림] 아미노산의 온도별 변화

○ 아미노산은 발효과정중 발생하는 산중 발효품질에 밀접한 영향을 끼치는 요소로써 사일리지를 활용한 조사료의 품질을 평가하는데 있어서도 그 지표로 사용될 만큼 중요한 요소이다. 본 실험에서 나타난 온도별 아미노산의 변화는 일정하지 않은 곡선으로 나타났으나 그 경향에 있어 서서히 증가하는 형상을 나타내고 있다. 이는 혼합사료가 발효함에 따라 아미노산이 증가하는 경향을 나타내어 발효가 사료의 품질을 향상시키는 것으로 분석되며 앞서 조사된 당에서와 같이 6일을 기점으로 할 때 가장 상승률이 높은 것으로 나타났다.



[그림] 유기산의 온도별 변화

○ 유기산 역시 혼합사료를 발효한 TMF 사료의 품질을 결정하는 주요 요인중 하나이다. 본 연구를 통한 그래프를 분석해 볼 때 앞서 연구된 아미노산과 같이 불규칙한 패턴을 나타내나 전체적으로 그 총량이 증가함을 알 수 있다. 이는 혼합사료가 발효를 통하여 당을 소비하면서 아미노산과 유기산의 총량이 늘어나는 현상을 나타내며 충분히 발효된 6일 이후의 TMF 혼합사료의 품질이 아미노산과 유기산의 증가로 우수해지는 것으로 분석되었다.

○ 대습도는 사료의 함수율에 영향을끼치는 인자로 작용할수 있으나 본 연구의 대상이되는 tmf 사료는 대규모(50톤이상) 공장에서 혐기발효로 제작 되는것이라서 상대습도의 변화에 큰 영향을 받지 않는다. 따라서 상대습도 보단 사료의 함수율과 온도에 따른 연구를 실행한 것이며 추후 소규모 농가에서 제작되는 tmf사료의 보관에 있어 상대습도에 따른 사료의 함수율 변화추이를 추가적으로 연구할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

4절 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시

1. 사료품질 모니터링 통합 솔루션 구축

가. 생산형태별 저장→제조→급이 공정의 품질관련 센서 적용방법 및 모니터링 솔루션 탐색

(1) 사료의 저장 제조 급이 공정분석과 품질관련 센서(수분, pH)설치 방법 제시 및 기존 모니터링 시스템 조사

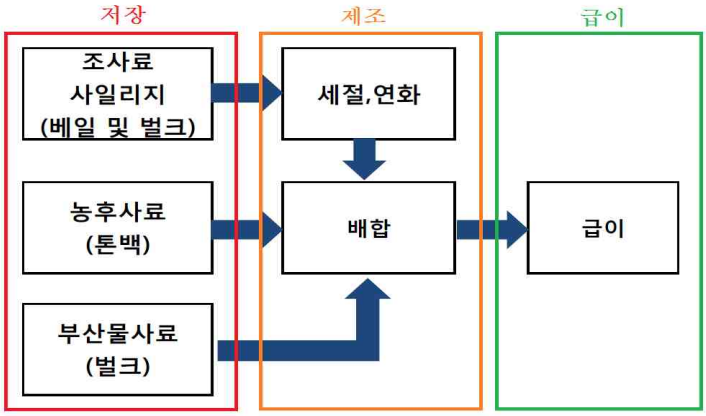
[표] 축산사료 생산형태별 모델 분류

항목	구분	비고
모델분류	처리규모에 따른 생산형태 및 생산방법별 모델	농가형(10톤/일) TMR사료 공동농가형(50톤/일) TMF사료 공장형(100톤/일) TMF사료
품질평가	제조공정별 사료품질 평가	수분, pH
위해요소	온도 및 습도	여름철 (온도30도이상,습도60%이상)
	보관방법별	밀폐형,벌크형
	저장기간	24시간이상 (온도30도이상,습도60%이상)

○ 사료의 품질을 모니터링하기 위해 필요한 농가형, 공장형 센서의 수요가 전국적으로 얼마나 분포되어 있는지 조사할 필요가 있으며 이를 바탕으로 정부 연계 수요자금 지원 등에 대해 검토할 필요가 있다.

○ 축산사료는 생산형태별로 농가형(10톤/일) TMR사료, 공동농가형(50톤/일) TMF사료, 공장형(100톤/일) TMF사료 3가지 모델로 구분된다. 품질평가에 있어 수분과 pH 2 가지 요인이 제조공정별 사료품질 평가에 따라 분류되며 위해요소는 온도 및 습도(온도 30도 이상, 습도 60%이상) 보관방법별(밀폐형,벌크형), 저장기간에(온도 30도 이상, 습도 60% 이상 일 때 최대 24시간) 따라 구분하여 적용된다.

(가) 농가형(10톤/일) TMR사료 품질관련 센서 적용방법

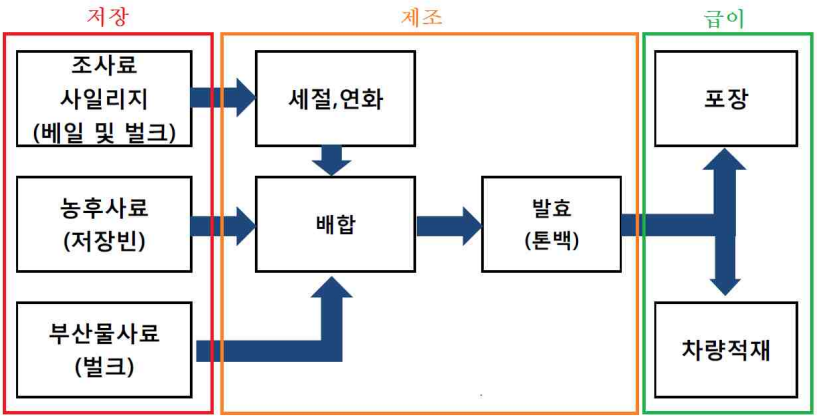


[그림] 축산사료 농가형 모델 공정도

○ 축산사료 생산형태별 모델 분류에 따라 농가형으로 구분된 모델은 일일 10톤의 생산규모를 가지는 모델로써 사료의 저장은 조사료와 사일리지는 베일과 벌크형식으로 저장되며 농후사료는 톤백에 부산물 사료는 벌크 형식으로 저장된다. 이때 혐기 발효하는 사일리지를 제외한 함수율 함량이 높은 부산물사료의 경우 수분센서를 활용하여 함수율을 측정하여 적정함수율로 저장되고 있는지 실시간 확인한다(위해요소 모니터링 시스템). 또한 계절에 따라 부산물사료의 저장 기간이 달라짐에 따라 함수율이 40%이상인 부산물사료가 24시간 이상 벌크형식으로 저장되지 않도록 한다(변패감시 모니터링 시스템). 제조공정에 있어 농가형의 경우 긴 시간이 요구되는 별도의 발효공정이 없어 pH 센서는 활용하지 않으며 급이공정에서는 본 연구로 개발된 로봇급이기와 레일을 따라 이동하며 급이하는 자동급이기 두 종류중 하나를 활용한다. 선정된 급이기에는 수분센서 및 pH 센서를 부착하여 사용자가 휴대폰을 통하여 급이되는 사료의 품질을 실시간 모니터링 할 수 있으며, 이상기후 발견시 알람으로 사용자에게 통보하는 기능을 추가하여 급이되는 사료의 품질을 안전하게 처리할 수 있도록 하였다(품질관리 모니터링 시스템).

[그림] 농가형 모델 센서 적용공정[○:수분센서,○:pH센서] >

(나) 공동농가형(50톤/일) TMF사료 품질관련 센서 적용방법

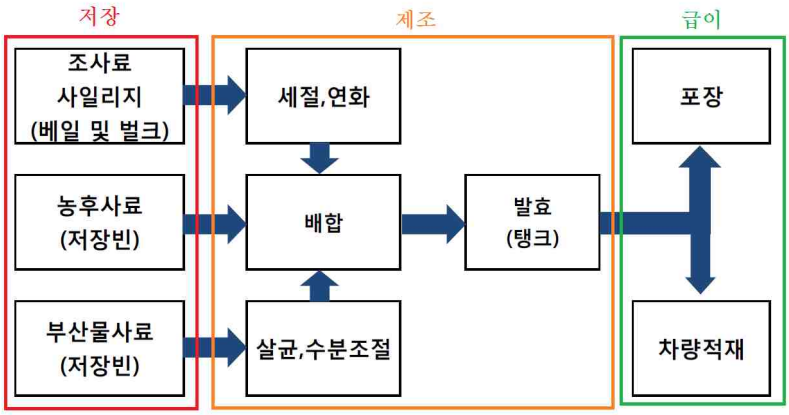


[그림] 축산사료 공동농가형 모델 공정도

○ 축산사료 생산형태별 모델 분류에 따라 공동농가형으로 구분된 모델은 일일 50톤의 생산규모를 가지는 모델로써 3~5개의 농가가 공동으로 운영하여 급이하는 체계이다. 사료의 저장은 농가형 모델과 같이 조사료와 사일리지는 베일과 벌크형식으로 저장되지만 농후사료는 별도의 저장빈에 저장되며 부산물 사료는 벌크 형식으로 저장된다. 부산물 사료의 저장에 있어서 함수율 측정과 톤백 발효에 있어서의 함수율 측정방법은 수분센서를 활용하여 측정하며 수분이 감지되면 센서의 정전 용량이 변화, 변화한 정전 용량이 전하증폭기를 거쳐 전압으로 증폭되어 출력된다. 출력된 데이터는 마이크로컨트롤러의 아날로그-디지털 변환기를 통해 디지털 값으로 변환되고 마이크로컨트롤러를 통해 LAN MODULE로 데이터 전송하며 수신된 데이터는 서버로 전송되어 PC 혹은 스마트폰으로 확인 가능하다(위해요소 모니터링 시스템). 또한 농가형 모델과 같이 계절에 따라 부산물사료의 저장 기간이 달라짐에 따라 함수율이 40%이상인 부산물사료가 24시간 이상 벌크형식으로 저장되지 않도록 한다(변패감시 모니터링 시스템). 제조 공정에 있어 공동농가형의 경우 톤백 발효가 이루워지며 설치된 pH 센서를 통하여 발효상황을 실시간으로 확인하며 이때의 pH 수치는 선행된 연구결과에 따라 3일이상 발효시 수치가 4.5~5로 안정화 되면 발효가 완료되었다고 판단한다(품질관리 모니터링 시스템). 급이공정은 계약농가에 운반을 위한 포장과 차량적재로 구분하여 이루워 지며 이때 발효 사료의 함수율이 30~40% 범위안에 있는지 수분센서를 급이공정에 설치하여 최종적으로 측정한다.

[그림] 공동농가형 모델 센서 적용공정[○:수분센서,○:pH센서]

(다) 공장형(100톤/일) TMF사료 품질관련 센서 적용방법



[그림] 축산사료 공장형 모델 공정도

○ 축산사료 생산형태별 모델 분류에 따라 공장형으로 구분된 모델은 일일 100톤의 생산규모를 가지는 모델로써 포장형태로 판매되거나 계약 농가에 차량적재 방식으로 운송되어 급이하는 형식이다. 사료의 저장은 농가형과 공동농가형 모델과 같이 조사료와 사일리지는 베일과 벌크형식으로 저장되고 농후사료는 별도의 저장빈에 저장되며 부산물 사료는 저장빈에 저장된다. 특히 부산물 사료의 경우 수집지역에 따른 편차로 인하여 하루 사용량이 수급되는데 있어 공장으로 마지막 입고되는 부산물사료가 처음 입고대비 최대 48시간이 소요되며, 이에 따라 여름철 고온다습한 환경에서 변패 될 수 있어 벌크 형식이 아닌 선입선출 방식의 저장빈에 저장되어야 한다. 저장빈에는 수분측정 센서를 상 중 하 세개의 지점에 설치하여 시간이 지남에 따라 수분이 하단으로 모였을 때를 고려 정확한 함수율을 측정할 수 있도록 하였으며, 지지대에 로드셀 설치하여 사료 무게를 실시간 모니터링 하거나 초음파 센서를 활용한 장치를 도입하여 저장빈 내부에 초음파를 발생 잔량을 측정하는 센서를 부착후 3점 이상의 포인트에 신호를 발생하여 반사되는 시간을 측정하는 방식으로 사료의 잔량을 판단할 수 있도록 한다(위해요소 모니터링 시스템). 또한 배합전에 스팀을 이용하여 유해균을 살균하고 수분조절을 통하여 발효전 사료의 함수율이 30~40% 의 범주로 맞추어서 발효를 시작할수 있도록 한다(변패감시 모니터링 시스템). 사료의 발효는 발효탱크를 사용하여 이루워지며 탱크 외부에 온도를 조절할 수 있는 워터자켓을 설치하여 계절에 관계없이 20도의 온도로 발효될 수 있도록 하며 탱크 내부에 수분센서 온도센서 pH센서를 설치하여 실시간 데이터를 수집, 발효의 진행과정을

모니터링 할수 있도록 한다(품질관리 모니터링 시스템). 급이공정은 공동농가형 모델과 같은 형식으로 계약농가에 운반을 위한 차량적재와 포장으로 구분하여 이루워 지며 이때 발효사료의 함수율이 30~40% 범위안에 있는지 수분센서를 설치하여 최종적으로 측정한다.

[그림]공장형 모델 센서 적용공정[○:수분센서,○:pH센서]

(라) 모니터링 솔루션 탐색

○ 축산사료의 생산형태별 모델 분류에 따라 처리규모와 생산형태별로 농가형, 공동농가형, 공장형으로 구분하였으며 계절별 기온차이와 사료의 저장방법에 따른 품질의 변화를 수분센서와 pH센서를 사용하여 공정별로 측정하는 방법을 적용하였다. 이때 사용된 시스템은 ① 위해요소 모니터링 시스템, ②변패감시 모니터링 시스템, ③품질관리 모니터링 시스템의 세가지로 구분된다. 먼저 위해요소 모니터링 시스템은 실시간 함수율을 센서를 통하여 측정하여 함수율이 높은 부산물 사료가 적정 함수율 이상으로 저장되는 것을 방지하는 것으로 사료의 저장과정에 적용된다. 변패 감시시스템은 높은 함수율의 사료가 계절별 날씨 변화와 밀폐유무에 따라 곰팡이균이 발생하는 사료상태 처리에 대한 모니터링 솔루션으로서 앞선 연구에서 구명된 결과에 따라 부산물 사료가 개별 적정 함수율 이상으로 여름철 최대 24시간 이상 저장되지 않도록 저장빈에 로드셀을 부착하거나 초음파 센서를 통하여 사료의 잔량을 확인하고 저장빈 측면에 내부감시 및 샘플 수집창을 설치하여 곰팡이의 발생유무를 감시하는 시스템이다. 마지막으로 품질관리 모니터링 시스템

은 사료의 제조, 급이 전과정에서 센서를 통하여 수집된 데이터가 설정된 값을 벗어나는 이상 데이터가 발생시 알람 및 담당자에게 메시지를 전송하는 시스템이며 특히 사료의 제조공정중 발효에 있어 pH의 변화 추이를 실시간으로 분석하여 72시간동안의 수치변화와 안정화 과정을 모니터링 하는 시스템이다.

[표] 모니터링 솔루션>

시스템명	구분	설명
위해요소 모니터링 시스템	데이터 수집 (실시간 함수율 측정)	저장,제조,급이 공정에서의 축산사료의 함수율 데이터 수집
	이상 데이터 처리 (축산사료의 함수율 상한값,하한값 설정)	축산사료의 함수율의 상한값과 하한값 설정에 따른 데이터 처리(알람 및 경고메세지 발송, 현장확인)
변패감시 모니터링 시스템	데이터 수집 (저장빈 내부 저장기간 측정)	여름철(온도30도이상,습도60%이상) 축산사료의 개별 저장기간 데이터수집
	이상 데이터 처리 (최대 24시간 저장가능 하도록 설정)	최대저장시간(24시간)을 초과한 데이터 발생시 처리(알람 및 경고메세지 발송,현장확인)
품질관리 모니터링 시스템	데이터 수집 (발효과정의 실시간 pH측정)	축산사료 발효과정에서의 실시간 pH 변화 데이터 수집
	이상 데이터 처리 (발효기간 72시간 pH 값 4~4.5로 설정)	수집된 pH 데이터를 분석하여 72시간의 발효진행에 있어 pH 변화값을 측정하여 변화가 없거나 안정화 되지 않을 경우의 데이터 처리(알람 및 경고메세지 발송, 현장확인)

(2) 기존 사료제조 및 급이 장치의 모니터링 시스템과 위해요소, 변패, 품질관리 시스템의 통합 연동 솔루션 탐색

(가) 위해요소, 변패감시, 품질관리 설정

○ 축산사료가 저장고에 고온상태로 저장되었을 경우 일정 시간후에 외부의 평균온도가 낮아짐에 따라 저장고의 벽을 따라 온도의 차이가 일어난다. 이와 같은 현상은 축산사료의 내부를 유동하는 공기가 수분을 흡수하여 응축하게 하며 과도한 수분축적이 일어나서 저장시 위해요소로 작용한다. 습식사료의 함수율이 초기 함수율 보다 높게 나타날 때 (예:

70%대의 습식 부산물 사료인 맥주박 두부박 주정박 파인애플박 등이 80%이상으로 측정될 때) 농가형의 경우 함수율이 낮은 축산사료와 배합을 통하여 함수율을 조정하여야 하며, 공동농가형, 공장형의 경우 저장빈 하부에 설치된 드레인을 통한 수분조절 작업으로 적정 함수율로 맞춰 주어야 한다. 변패는 여름철 고온(30도 이상) 다습(60%)한 환경에서 벌크로 저장되는 습식부산물 사료에서 쉽게 발생되며 40%이상의 함수율을 갖는 습식부산물은 처음 입고시 살균공정을 거쳐야 하며, 벌크로 저장할 경우 햇볕이 들지 않는 그늘에 보관하며 최대 저장기간인 24시간을 경과하지 않아야 된다.

○ 변패감시에 있어 축산사료에 문제가 되는 대부분의 곰팡이균이 성장하기에 적절한 온도는 25~30도 이며 상대습도의 범위는 65~93%인 것으로 연구되었다. 따라서 일정한 온도에서 상대습도 65% 이하가 되어야만 곰팡이균의 성장을 억제할 수 있다. 이는 온도가 27도인 경우 축산사료의 함수율이 12.5~13.5%의 범위 내에 있지 않는 한 안전하지 못하다. 농가형 생산형태에서의 경우 벌크형식으로 축산사료를 포대 등에 담지 않고 그대로 일정한 시설에 저장하는 방법을 사용한다. 이는 유동성이 있기 때문에 반송장치를 이용하여 사료를 용이하게 옮길수 있으며 노동력을 절감할수 있다. 하지만 외기에 노출된 형식으로 저장되는 방식에 따라 여름철 고온(30도 이상) 다습(습도 60% 이상)한 환경에서 24시간이 지나면 변패된 것으로 설정하였다. 공동농가형, 공장형 생산형태에서의 습식부산물은 선입선출 방식의 저장빈에 저장한다 이는 밀폐저장 방식으로 저장중 모든 가스와 유체의 출입을 억제시키는 저장기술로서 해충이나 쥐 등의 피해를 완전히 방지 할 수 있고 저장당시의 건조상태를 그대로 유지할수 있는 장점이 있다 또한 공동농가형, 공장형 생산형태의 경우 배합전에 스팀살균을 하는 공정을 거쳐 벌크형식보다 저장기간이 늘어나지만 여름철 고온(30도 이상) 다습(습도 60% 이상)한 환경에서 48시간을 경과하면 변패된 것으로 설정한다.

○ 품질관리는 저장 및 제조 급이 공정에 설치된 센서로부터 수집되는 데이터가 설정값을 벗어날 경우 알람을 울리며 관리자에게 메시지를 발송하며 무엇보다도 발효공정에 있어 72시간동안 pH의 변화를 분석하여 발효가 일어나지 않거나 pH 수치가 안정화 되지 않을 경우 제조된 TMF 사료의 품질에 문제가 있는 것으로 설정한다.

(나) 위해요소, 변패감시, 품질관리 모니터링 시스템 구성

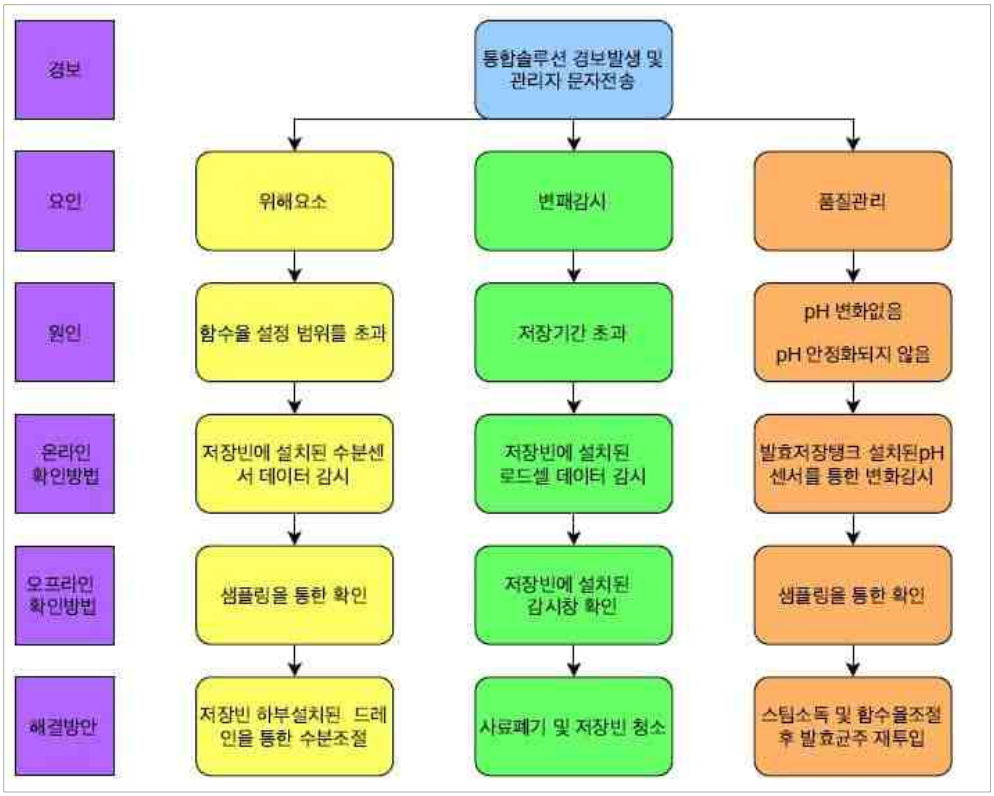
○ 4-20ma 타입의 수분센서, pH센서, 온도센서에서 센서 정보를 수집할 수 있도록 한다. 수분센서는 2차년도 연구되었던 TDR 방식의 센서 3종 (VWC T1, VWC 2G, Cube M40) 중 VWC T1모델을 적용하였고, pH 센서 역시 2차년도 3종의 사료에서 측정한 결과 선형성이 가장 뛰어난 HI99121 전극형 센서를 적용하였으며, 온도센서는 K 타입 써머커플 온도센서 TSRT100C64-90으로 데이터를 수집할 수 있도록 하며 서버를 통하여 데이터를 취합한다. 센서 데이터는 5분에 한번 수집할 수 있도록 주기를 설정하고 수집된 데이터는 일자별로 그래프를 그리거나 테이블 형태로 PC 혹은 스마트폰에서 볼 수 있도록 한다.

[그림] 시스템 구성도

○ 현재 실시간 센서값을 대시보드 형태로 볼 수 있도록 하며 지난 데이터에 대하여 개별로 기간을 지정하여 기간 내에 수집된 데이터를 그래프 혹은 테이블 형태로 볼 수 있도록 한다. 지난 데이터에 대하여 통합으로 혹은 원하는 센서값들만을 포함하여 지정된 기간 내에 수집된 데이터를 통합 그래프로 볼 수 있도록 한다. 각 센서값의 상한 값과 하한 값을 설정할 수 있도록 하고 센서값이 상한값과 하한값을 벗어났을 경우 해당 관리자에게 문자를 전송할 수 있도록 한다. 알람이 발생하였을 경우 알람을 받을 사람에 대하여 지정할 수 있도록 한다. 수집된 데이터는 6개월 동안 저장되도록 하고 텍스트 파일로 로컬 PC에 저장될 수 있도록 한다.

(다) 통합 연동 솔루션 탐색

○ 농가형, 공동농가형, 공장형으로 구분된 모델에 축산사료의 위해요소, 변패감시, 품질관리 모니터링 시스템 구축을 위한 센서 설치위치 및 방법, 모니터링 솔루션 구축, 모니터링 시스템설계를 바탕으로 통합 연동 솔루션을 탐색하였다. 이는 농가형, 공동농가형, 공장형 축산사료 생산시설에 센서의 위치 및 갯수를 조절하여 공동으로 적용할 수 있는 시스템이며, 최종적으로 농가에서 본 연구로 개발된 자동화급이기를 통하여 사료를 급이할 시 고품질의 사료가 공급되게 하려는 것이다. 이는 급이시 사료의 품질이 적합하지 않을 경우 사료의 저장, 제조 공정을 역으로 추적하여 문제점을 확인하여 개선하는데 그 목적이 있다.



[그림] 통합연동 시스템

○ 축산사료의 생산설비는 첨단화, 대용량화로 변화되어가고 있으며 저장, 제조, 급이의 개별시스템 정보 관리 중요도는 증가하고 있다. 현장에 설치되는 개별 시스템들은 각기 다른 공정과 기간을 통해 개별 설치되어 다양한 시스템과 데이터 산재, 분리된 정보 관리 실태, 상관관계 분석 등의 문제점이 있다. 각각의 시스템을 감시하는 관리자는 관리측면에서 볼 때 제한된 인원과 자원으로 많은 업무를 처리해야 한다.

[표] 운영관리자 수행업무

구 분	수 행 업 무
축산사료 생산설비 운영관리자	1. 위해요소(함수율) 원격 감시제어 2. 변패요인(저장기간,온도) 감시제어 3. 품질관리(pH)변화 감시제어 4. 수분, pH, 온도센서 및 로드셀 관리(검교정) 5. 시설 및 부대설비 일상점검 6. 저장,제조,급이 공정설비 관리(기기이력관리) 7. 발효탱크 균주투입 및 설비운영 8. 정전, 침수, 화재 등 비상상황 발생시 응급조치 9. 영상 및 CCTV, 센서 경보장치 감시, SMS 관리 10. 전용 어플리케이션을 활용한 스마트폰으로 표준운영일보 관리

○ 축산사료 생산설비 운영관리자는 전공정(저장,제조,급이)에 걸쳐서 수많은 제어와 점검 관리를 수행하여야 한다. 설비의 규모가 공동농가용, 공장형으로 확대되면 운영관리자를 추가로 채용하여 관리하면 될것이라고 판단할 수 있으나 축산사료 생산설비는 전공정에 있어서 유기적으로 영향을 미치고 있어서 산재된 여러 시스템의 정보를 단일 플랫폼으로 통합하고 효율적으로 대응하기 위한 시스템들의 통합관리가 우선적으로 필요하다. 이를 위해서 저장, 제조, 급이공정의 위해요소, 변패관리, 품질관리 감시를 위한 센서설치 및 통합된 현장관리 판넬을 설치하여야 하고, 이상 데이터 발생시 현장점검을 통하여 오프라인에서 이상유무를 명확히 판별하여 설정된 해결방법으로 조치를 위해야 한다. 또한 일정 시간마다 시설 및 부대설비의 일상점검과 함께 수분, pH, 온도센서와 로드셀의 검교정을 실시하여야 하며 현장관리 판넬의 오작동 유무를 점검하여야 한다.

○ 농가형, 공동농가형, 공장형 축산사료 생산설비 운영관리자는 본 연구로 개발된 통합 연동 솔루션 탐색을 통하여 수행업무를 진행하여야 하며 최종적으로 농가에서의 자동화 급이기를 통한 축산사료의 급이시 급이기에 설치된 수분과 pH 센서를 통하여 급이되는 사료의 품질을 실시간으로 확인하여서 이상 데이터발생시 어느 공정에서 문제점이 발생하였는지 파악하여 조치하여야 한다.

○ 실시간 감시를 위하여 센서를 통하여 수집된 데이터는 현장감시판넬로 전송되어 운영관리자가 확인할 수 있다. 또한 외부에서 인터넷을 사용하여 데이터를 확인하고 원격으로 시스템을 관리하기 위해서 측정된 센서값과 분석된 데이터값을 IoTMakers로 전송한다. IoTMakers로 전송된 데이터는 실시간 데이터를 관찰하거나 일정기간의 데이터는 그래프로 관찰할 수 있으며 특정이벤트(돌발사항발생)에 대하여 문자를 전송하여 외부에서 운영관리자가 통합솔루션을 관리하는데 도움을 준다.

[표] IOT MAKER 기능

IOTMakers 제공 기능	기능 설명
표준 통신 프로토콜 지원	KT 표준 I/F, 국제 표준 프로토콜 및 SDK의 제공으로 다양한 디바이스와 센서의 손쉬운 연동을 지원한다.
가상 디바이스 시뮬레이션	실제 디바이스가 없는 경우에도 가상의 데이터를 발생시켜 디바이스 연결 정보 수집을 테스트 할 수 있도록 가상 다바이스 시뮬레이터를 제공한다.
디바이스 복제	디바이스 복제 기능을 통해 동일한 디바이스의 등록이 쉽게 가능해진다.
디바이스 관리	자신이 등록한 디바이스와 태그 스트림을 관리하고 디바이스로부터 수집된 데이터를 로그형, 차트형식으로 확인할 수 있다.
GUI 기반 이벤트 및 워크플로우 설정	GUI 기반의 에디터를 통해 이벤트와 워크 플로우를 쉽게 설정할 수 있다.
대시보드를 통한 모니터링	나의 대시보드를 통해 디바이스로부터 수집되는 실시간 데이터를 모니터링 할 수 있다.
공개 디바이스	공개 디바이를 통해 타 이용자가 등록한 디바이스로부터 수집되는 태그 스트림 데이터 이벤트 정보들을 이용하여 나만의 IoT 서비스를 만들 수 있다.

2. 안전 대응 가이드라인 제시

가. 사료의 저장 제조 급이 공정간의 안전관리 방법 및 모델제시

(1) 초분광 카메라를 활용한 함수율 변화에 따른 사료의 이미지 분석

(가) 축산사료 표본준비

○ 수분 함량은 특히 온도에 좋은 TMF 공급의 변질율에 심각한 영향을 미친다. 현재의 수분 함량 결정 방법은 시간이 많이 걸리고 파괴적이며 총 샘플 분포를 제대로 나타내지 못한다. TMF 샘플을 공장에서 획득하여 공급 라인을 라인별로 스캔하고 TMF 공급부문의 실제 수분 함량을 추정하는 신속하고 비파괴적인 모델을 구축하였다. 표본은 ① 최초 표본, ② 최초 표본보다 낮은 습도의 표본 ③ 최초 표본보다 높은 습도의 표본 세 부분으로 나뉘었으며 최초 수분함량은 표준 오븐 방법에 의해 결정되었다. (135 °C for 2 hours)

[그림] Hyper Spectrum Image와 비파괴 모델 개발을 위한 TMF사료 준비

[그림] Hyper Spectrum Image와 비파괴 모델 개발을 위한 TMF 사료 함수율 조정

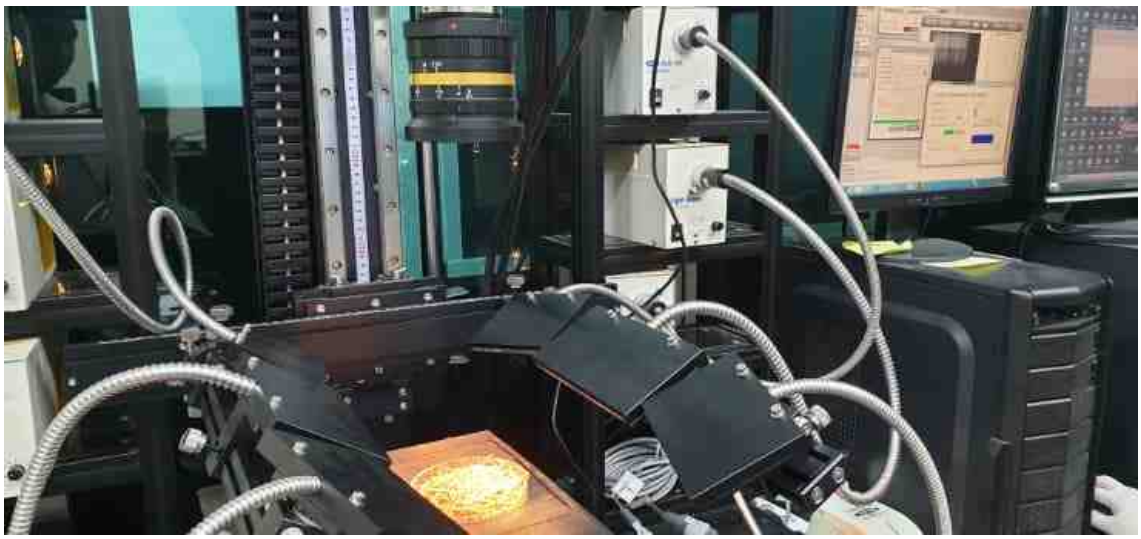
(나) Hyper Spectrum Image 측정

○ 표본의 Hyper Spectrum Image는 그림과 같이 라인 스캔 SWIR HSI 시스템(헤드월, 미국 보스턴)으로 구했다. 이 시스템은 수은 카드뮴 텔루르 화합물 검출기(Xeva-2.5-320; Xenics, Leuven, 벨기에) 및 25mm f/1.4의 초점 길이를 가진 객관적 렌즈로 구성되었다. 파장 범위는 1,000~2,500nm(208개 띠)이며 프레임 속도는 100Hz 및 320(공간) × 256(스펙트럼) 픽셀이었다. 할로겐 램프(100 W × 6)를 광원으로 사용하여 TMF 공급을 조명했다. 스테퍼 모터는 속도 및 카메라 파라미터를 조절하기 위해 마이크로소프트 비주얼 베이직 소프트웨어(버전 6.0)에 구현된 컴퓨터 제어 시스템을 탑재한

운반 장치로 설치되었다. 데이터 수집 장치가 설치되었다. 반사율 보정을 위해 흰색과 어두운(100% 및 0% 반사율) 기준 영상을 캡처했다. TMF 공급은 12μm/pixel의 공간 분해능에서 라인별로 스캔 되었다. 샘플 증가는 0.2 mm/scan이었고, 노출 시간은 7500 μs로 조정되었고, 충전 연결 장치의 냉각 온도는 200 K로 조정되었다. 공간 정보와 스펙트럼 정보를 모두 포함하여 획득한 3차원 영상을 분할하여 TMF 공급 이미지를 백그라운드에서 분할했다. MATLAB 소프트웨어(버전 2015a; MathWorks, Natick, MA, USA)를 사용한 추가 분석은 해당 영역이 격리된 영상에서 계산된 후 수행되었다. 식 1에서 흰색과 어두운 기준 영상을 사용하여 획득한 영상(R0)을 수정하여 카메라 암전류의 효과를 최소화하였다.

$$R = \frac{R_0 - D}{W - D}$$ (식 1)

○ R 은 수정된 사진, D는 암전류 사진 (<0% 반사율) 광원을 끄고 카메라 렌즈를 자체 비반사 불투명 블랙 캡으로 완전히 덮어서 CCD 검출기의 열 활동을 제거하며, W는 표준 화이트 테플론 타일을 사용하여 얻은 흰색 기준 영상이다. (>99% 반사율).



<TMF 공급 표본으로부터 얻은 스펙트럼을 위한 Hyper Spectrum Image 시스템>

(다) 스펙트럼 데이터를 얻기 위한 전처리 과정

○ 모델 개발 전 첫 번째 파생 모델(식 2)을 사용한 샘플 전처리(식 3) 및 TMF 공급 스펙트럼의 표준 정상 변동(식 4) 및 자동 스케일링(식 4)을 통해 스펙트럼 데이터에서 노이즈를 제거하였다. TMF 공급 스펙트럼 데이터의 사전 처리 단계는 MATLAB 및 Unscrambler를 사용하여 수행되었다.

$\lambda_n = X_n - X_n - 1$ (식 2)

※ X 는 λ_n로부터 측정된 스펙트럼

$$X_{corr} = \frac{X_{org} - a_o}{a_1}$$ (식 3)

※ a0은 보정할 TMF 공급의 스펙트럼이며 0으로 설정. TMF 공급 스펙트럼의 STDV는 a1로 표시.

$$_{IJ} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i}$$ (식 4)

※ x^-와 x는 전처리 단계 후의 값.

○ PLS 회귀 분석은 스펙트럼 데이터와 기준 측정에서 얻은 파라미터 값 사이의 예측의 선형 모델을 결정하기 위한 다변량 분석 및 회귀 방법으로 구현되었다. PLS는 분석을 위해 독립 변수와 종속 변수의 X 행렬과 Y 행렬을 각각 사용한다. X 변수와 Y 변수의 선형 관계는 분석에서 결정되며 Y 변수의 성능은 식 5에서 7까지와 같이 예측된다.

$$X = TP^T + E$$ (식 5)

$$Y = UQ^T + F$$ (식 6)

$$U = TB + G(B) = (T^T T)^{-1} T^T U$$ (식 7)

○ Y는 HPLC 및 AOAC 방법을 사용하여 얻은 기준 데이터에서 측정한 표본 값에 적합한 종속 변수의 행렬이다. X는 각 측정의 스펙트럼 변수에 해당하는 독립변수의 n × p 행렬이다. 매트릭스 X는 로딩 매트릭스 P, 점수 매트릭스 T, 오류 매트릭스 E로 붕괴한다. 매트릭스 Y는 로딩 매트릭스 Q, 점수 매트릭스 U 및 오류 매트릭스 F로 붕괴된다. 또한 점수 T와 U는 방정식 3에 정의된 내부 선형 상관관계에 의해 연계된다.

○ 표본에서 다양한 파라미터의 농도를 예측하는 데 있어서, PLS 모델의 X 행렬은 다양한 농도를 포함하는 표본의 평균값인 HSI 스펙트럼 데이터로 구성되었다. 한편, 반응 행렬 Y는 표준 방법(HPLC, AOAC 등)에서 얻은 기준 값으로 구성되었다. 또한 전체 X 및 Y 행렬 데이터는 교정용 데이터의 70%와 유효성 검사에 대한 30%로 구성된 보정 및 예측 세트로 나뉘었다. LS-SVM 방법은 식 9에 따라 식 8에 제시된 것과 같이 비교적 빠른 방법으로 선형 및 비선형 다변량 분석 문제를 모두 해결하기 위해 수정 및 채택되었다.

$$C = \frac{1}{2} W^T W + \frac{1}{2} \gamma \sum_{i-1}^{n} e_i^2$$ (식 8)

$$Y_i = W^T \varphi(X_k) + b + e_i, \qquad i = 1, \ldots\ldots\ldots n$$ (식 9)

○ 여기서 ϕ은 형상도를 나타내고, i는 표본 번호, ɣ은 오류 용어의 정규화 매개변수, ei는 오류 변수로서, ith 입력과 출력 변수는 각각 xi와 yi이다. 또한 모델의 성능 테스트에는 보정 및 예측 세트가 사용되었다. 잠재된 변수를 사용하여 모델을 언어 피팅 또는 오버피팅으로부터 피했다. 그러나 회귀 모형에 대해서는 최적의 수의 잠복 변수가 중요하다.

따라서, 최적의 잠재적 변수 수는 교차 검증 중에 수행된 방정식 10에 표시된 RMSE 방법에서 가장 낮은 값에 의해 신중하게 선택되었다. 여기서 n은 교정 세트의 관측치 수이며, ŷi와 yi는 각각 관심 성분의 예측 값과 측정된 농도 값이다.

$$RMSE_{cv} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad \text{(식 10)}$$

(라) TMF 공급 구성 요소 측정 모델 평가

○ 개발된 모델은 방정식 11과 12의 여러 통계적 매개변수를 사용하여 평가되었다. 여기에는 교정에 대한 결정 계수(R2cal), 예측에 대한 결정 계수(R2pred), 편차에 대한 비율 예측 및 교차 검증에 대한 결정 계수(R2cv)가 포함된다. 다른 항목으로는 해당하는 RMSEC(root-mean-square of calibration), 예측(RMSEP) 및 교차 검증이 있었다. (RMSEcv) 여기서 TMF 공급의 예측 및 측정 성분은 각각 ŷi와 yi이다. 설정된 관측치의 수는 n으로 표시되고 측정값 평균은 Ȳ으로 표시된다.

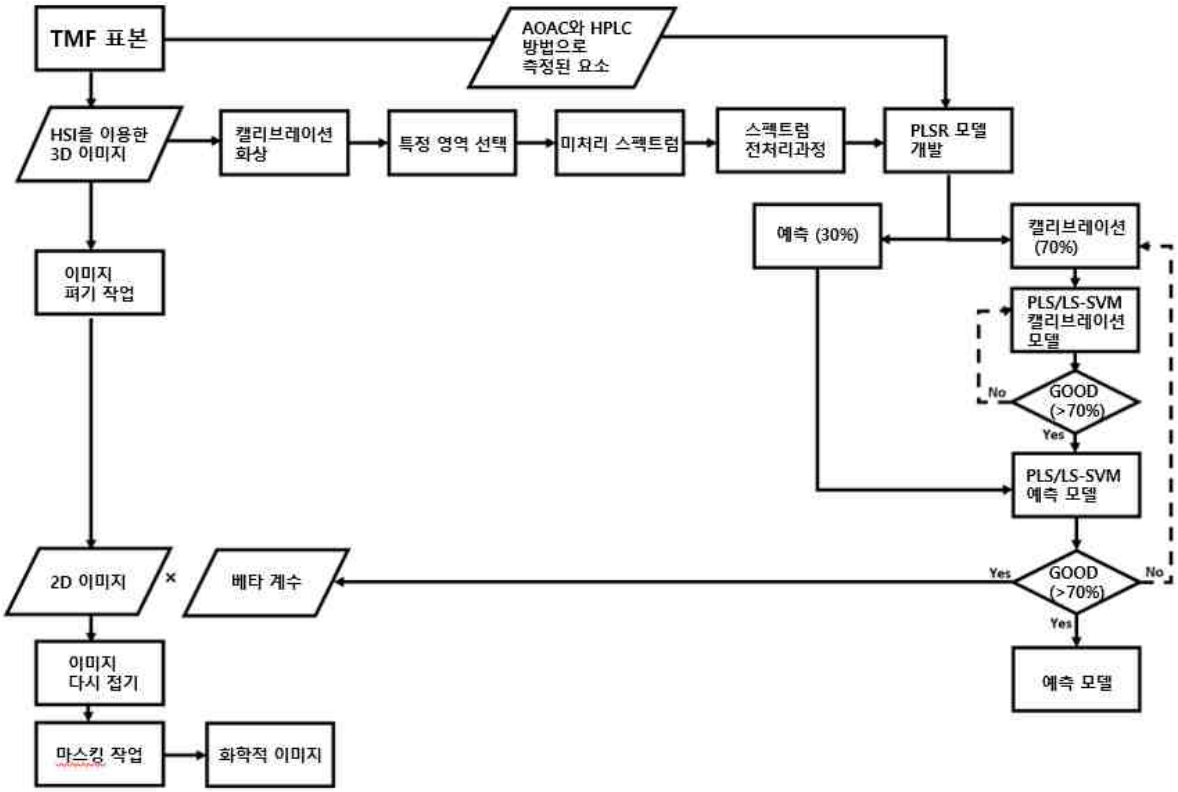
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{Y})^2} \quad \text{(식 11)}$$

$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad \text{(식 12)}$$

(마) TMF 공급 구성 요소의 영상 시각화 및 분포 지도

○ 각 픽셀에 대해 TMF 공급 구성요소의 농도를 계산하여 스펙트럼을 소유한 시상 영상에서 각 픽셀에 대해 가능한 해당 분포를 시각화 했다. 화학적 분석에 의해 샘플 내의 모든 픽셀의 정확한 품질 파라미터를 얻는 것은 현실적으로 불가능하지만, 최적의 보정 모델로 예측될 수 있다. 시상하부 영상은 2차원 매트릭스로 펼쳐졌다가 최상의 보정 모델에서 얻은 회귀계수를 곱해 선택한 파장에 적용했다. 그 결과 벡터는 다시 접혀져 4x4의 중앙 필터를 사용하여 시각적 디스플레이가 강화된 2D 이미지를 형성했다. 한 표본 내에서 예측된 속성의 차이와 다른 소스의 특성 차이를 재구성된 2D 영상에서 시각화할 수 있다.

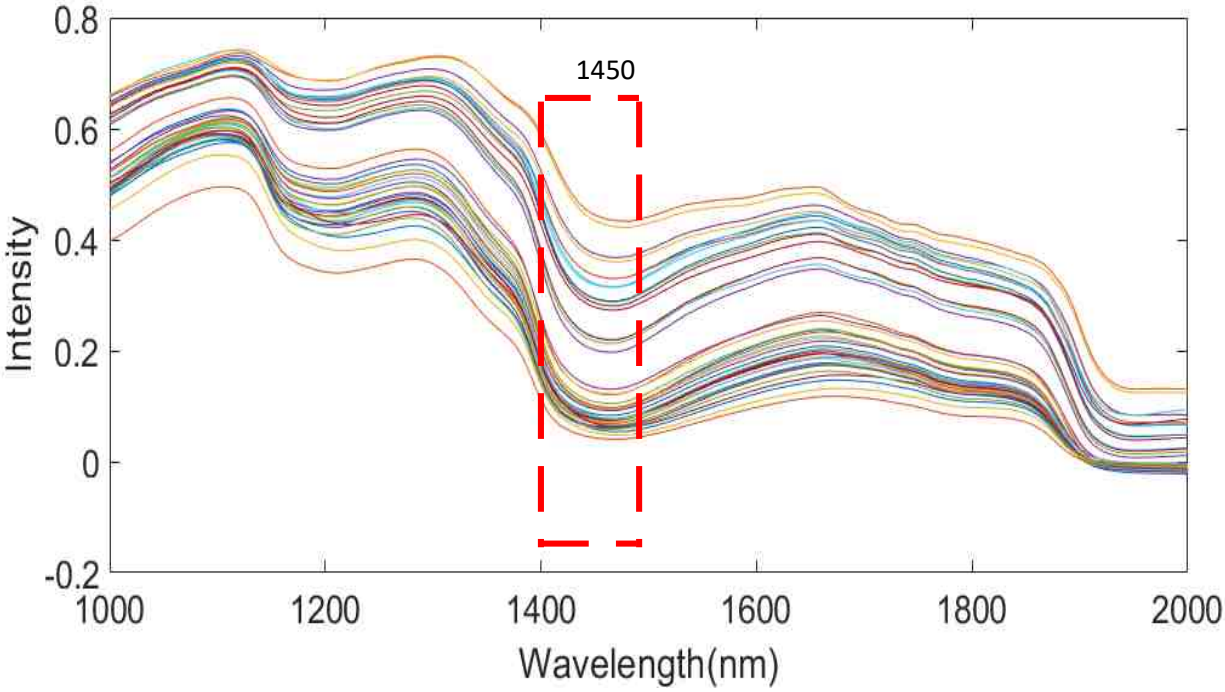
○ 모델 및 농도 지도 개발 단계는 Figure 10과 같으며 알고리즘은 MATLAB 버전 2016a에서 구현되었다.



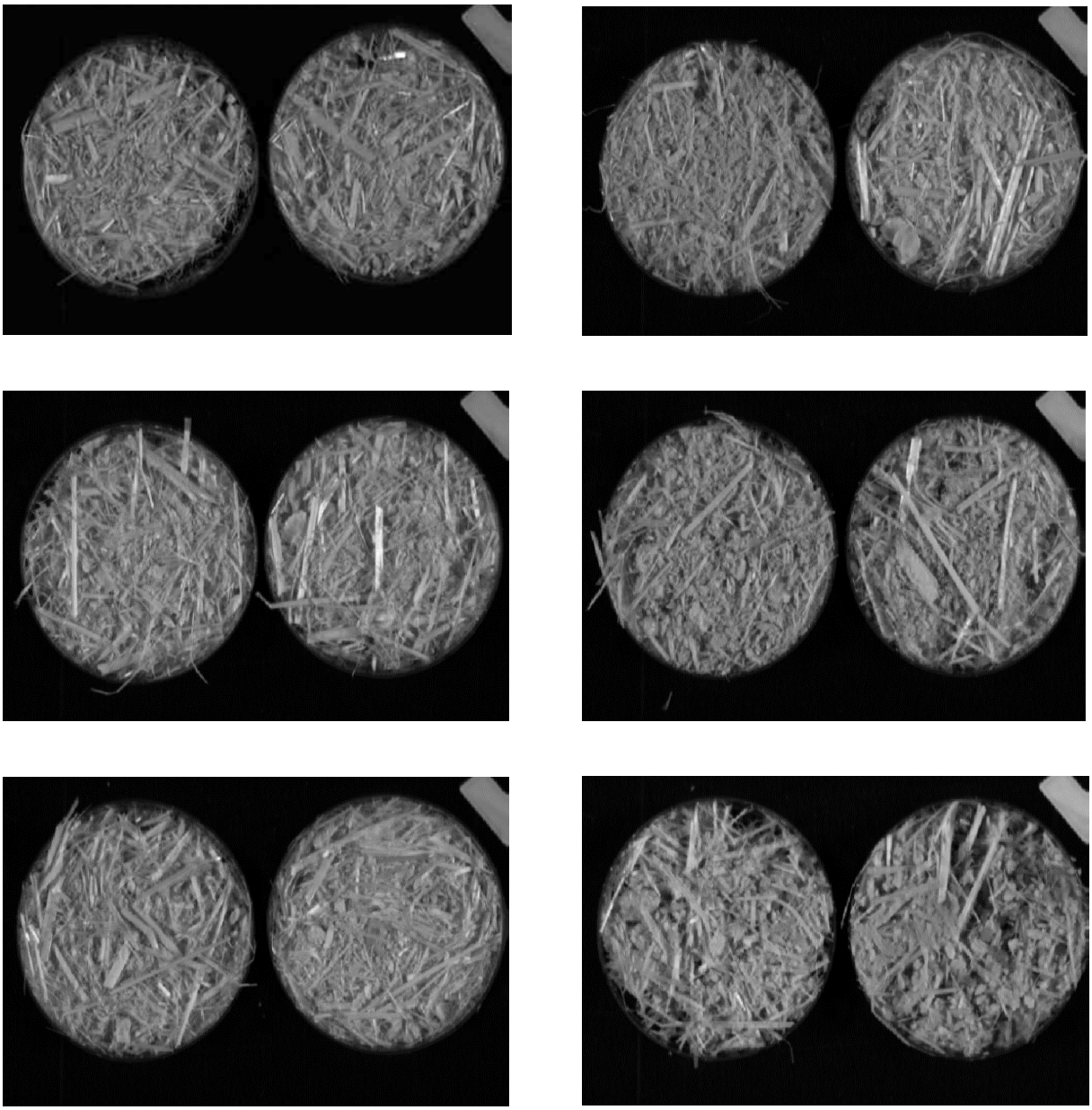
[그림] HSI를 이용한 TMF 3D 이미지 예측모델>

(바) 예측모델을 위한 부산물의 Hyper Spectrum Image특성

○ TMF 공급에 대한 표본의 평균 원시 스펙트럼(n= 20)은 아래 그림과 같다. 다른 재료비 및 조건으로 발효된 샘플 그룹의 원래 SWIR Hyper Spectrum Image가 다음 그림에 나타나 있다. 사용되는 스펙트럼 영역(1000~2500nm)은 O-H 및 C-H 기능 그룹과 같은 광대역통신의 다양한 피크에 관련된다. 부산물 표본 SWIR 스펙트럼에는 성분 농도에 해당하는 잘 배열된 스펙트럼 패턴이 나타났다. 성분의 농도가 높아짐에 따라 반사율이 감소하였다. 스펙트럼 감속도는 특히 1,100-1,500 nm 전후에 나타났다. Wavelength 1450 지점이 NIR 지역의 수분 함량 최고치로 기인하며 본 연구에 기록되었다. 표 3은 98%의 양호한 정확도를 보이는 모든 방법을 사용하여 서로 다른 사전 처리 방법에 대해 얻은 결과를 보여준다. TMF 공급의 수분 함량 예측 및 보정 그림은 아래 그림과 같다.



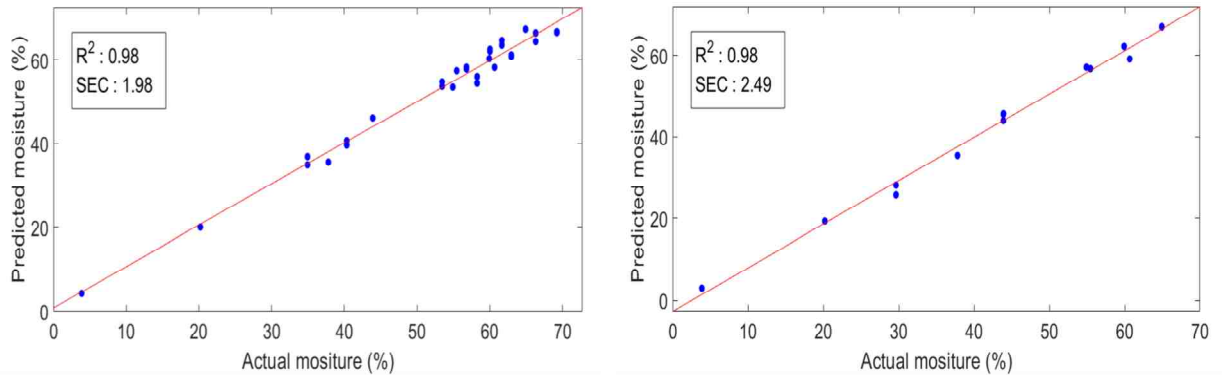
[그림] 전처리된 모든 수분 함량 시료의 평균 스펙트럼(n=20)



[그림] TMF 시료의 SWIR hyperspectral image

[표] 사료 시료 수분의 예측 결과

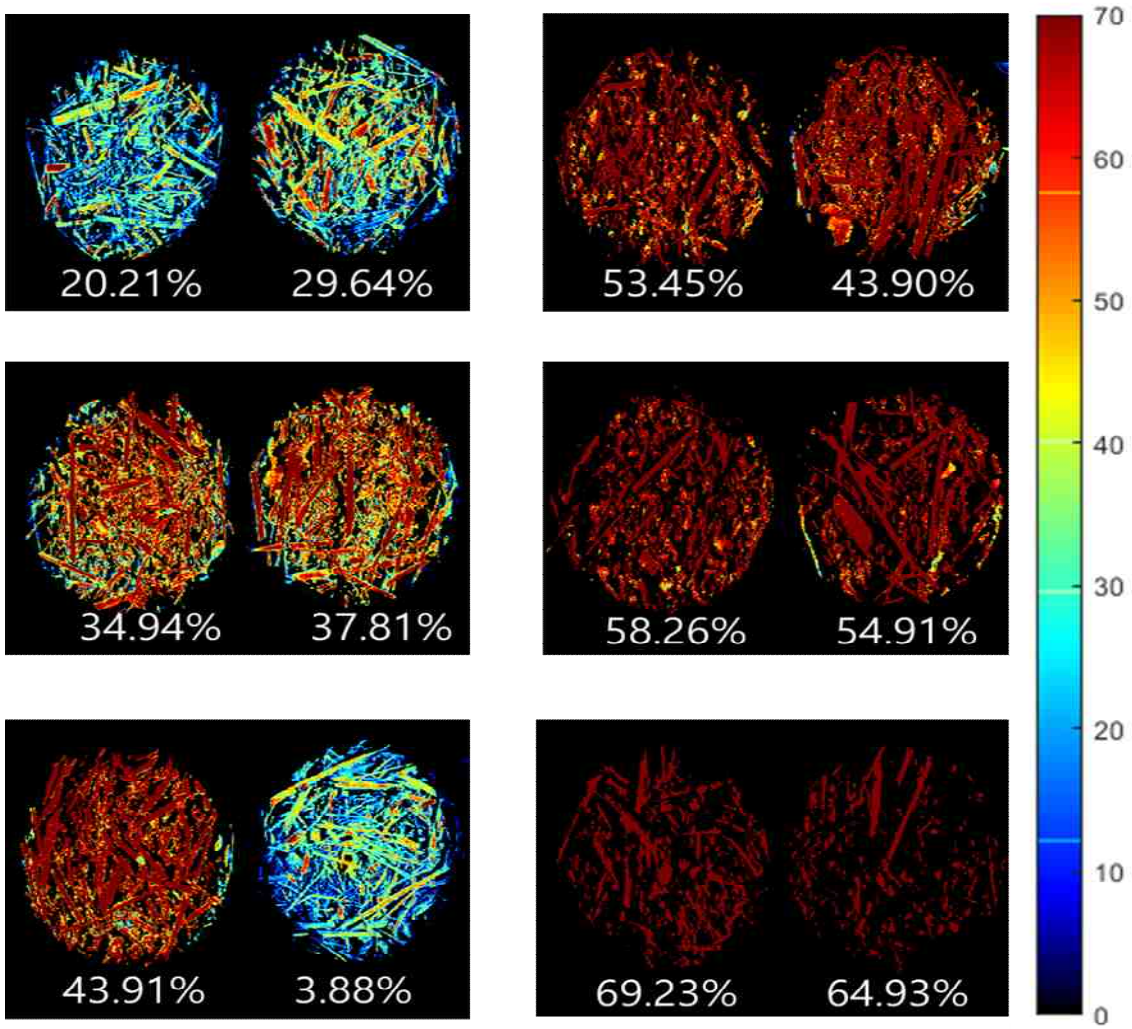
Moisture content	Calibration		Prediction	
Preprocessing	R2C	SEC	R2P	SEP
Mean	0.98	2.09	0.97	2.99
Max	0.98	1.96	0.98	2.54
MSC	0.98	1.94	0.98	3.21
SNV	0.98	1.98	0.98	2.49
Raw	0.98	1.94	0.99	2.03



(a) (b)

[그림] TMF 사료 수분예측 (a) Calibration plot (b) Prediction plot>

○ 시상하부 영상의 각 픽셀에는 고유의 스펙트럼이 있다. 따라서 샘플에 포함된 픽셀의 스펙트럼은 수분 함량의 농도를 계산하는 데 사용될 수 있다. 모든 픽셀에서 암호화된 방대한 스펙트럼 정보는 그 자체로 예측 데이터셋으로 사용될 수 있으며, 개발된 보정 모델은 화학적 영상에 적용되거나 때로는 분포 지도 라고도 한다. 각 구성 요소는 그 강도에 해당하는 다른 시각적 외관으로 표시되고 발견된다. Figure 13은 TMF 공급의 수분 함량 분포도를 나타낸다. 다양한 색상은 TMF 공급의 수분 수준에 해당하며 개별 픽셀의 스펙트럼 차이에 비례한다. 이 지도들은 상대적 강도가 색상 막대로 표시되는 공간 분포에 빠르고 쉽게 접근할 수 있도록 해준다. 취득한 배부 지도는 기존의 영상법이나 기존의 분광법으로 얻을 수 없기 때문에 TMF 사료와 같은 이질성 검체를 분석할 때 HSI의 장점을 검증한다.



[그림] 사료 시료의 수분예측 사진

(2) 함수율별 사료의 변패기간 분석으로 안전관리 방법 및 모델제시

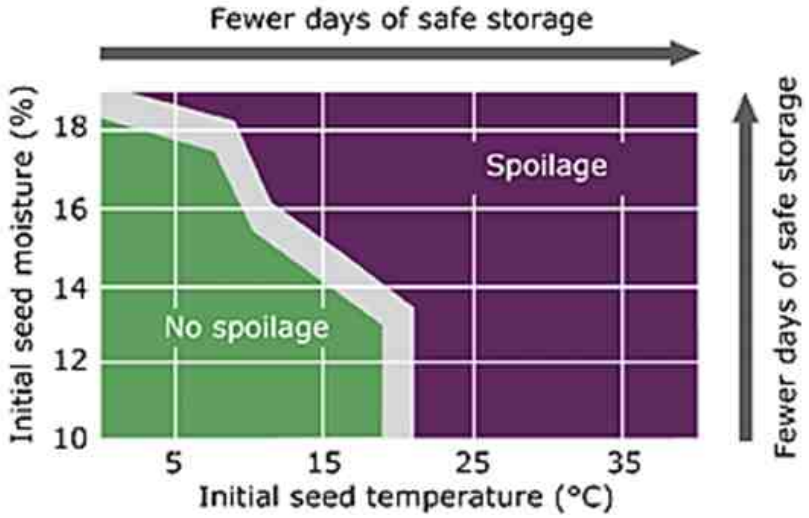
(가) 함수율에 따른 사료의 변패기간 분석

○ 균들은 곡류와 콩과 식물과 같은 가축 사료 부패의 주된 원인이다. 게다가, 몇몇 곰팡이 종들은 먹이를 먹는 동물들에게 심각한 질병을 유발하는 독소를 일으킬 수 있다. 수분 함량이 신진대사를 할 수 있을 정도로 충분할 경우 세균성 변질도 발생할 수 있다. 균류는 박테리아와 달리 건조기 사료를 박테리아에 비해 증식 시킬 수 있지만 습기가 많은 환경에서는 더욱 악화될 수 있다. 가축 사료는 몇몇 병원균의 근원일지도 모른다. 탄저균, 리스테리오증, 살모넬로증 등은 오염된 사료의 섭취에 따라 감염될 수 있는 세균성 질환의 예시로서, 보툴리즘은 미리 형성된 독소의 섭취와 관련이 있다.

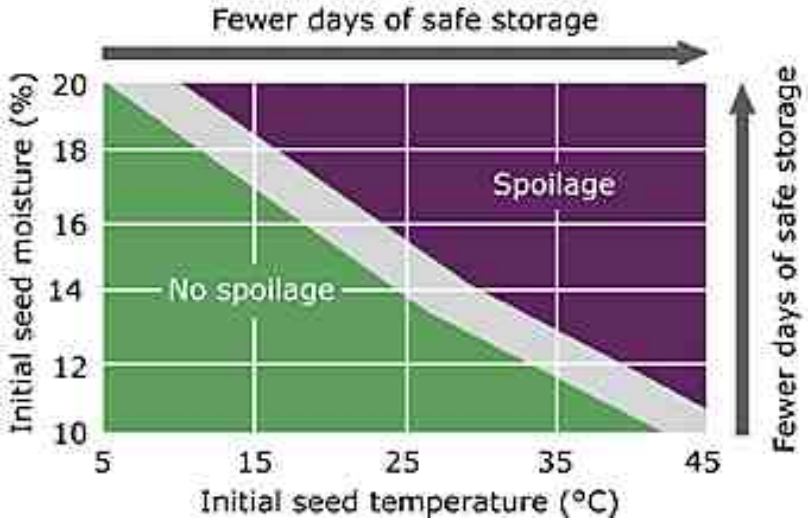
○ 반대로 소의 TMF 공급을 분류하게 되면 소비된 탄수화물이 의도한 것보다 더 많이 발효되고 유효 섬유질이 낮아져 아급성제일위과산증 등 질병의 위험이 높아질 수 있다. 건조된 TMF에 물을 첨가하는 것은 전통적으로 사료 분류 량을 줄이는 유익한 관리 관행

으로 여겨져 왔다.

○ 물 첨가제를 통해 TMF 건조물 농도를 80%에서 64%로 줄이면 긴 입자에 대한 사료 정렬 범위가 감소하고 짧은 입자에 유리하며 NDF 섭취가 증가하며 유지방 비율이 높아진다는 사실이 입증되었다 (3.41 vs. 3.31%). 단, 물 첨가제를 통해 건조물 농도를 57.6에서 47.9%로 줄이면 주로 건초 및 사일리지 선원이 포함된 TMF의 공급 분류가 개선되고 DMI가 감소한다. 높은 수분 TMF는 안정성이 떨어지고 환경온도 상승 및 장기간 보관 시 변질되기 쉽다.



[그림] 보리의 수분함량, 온도, 변질과의 관계



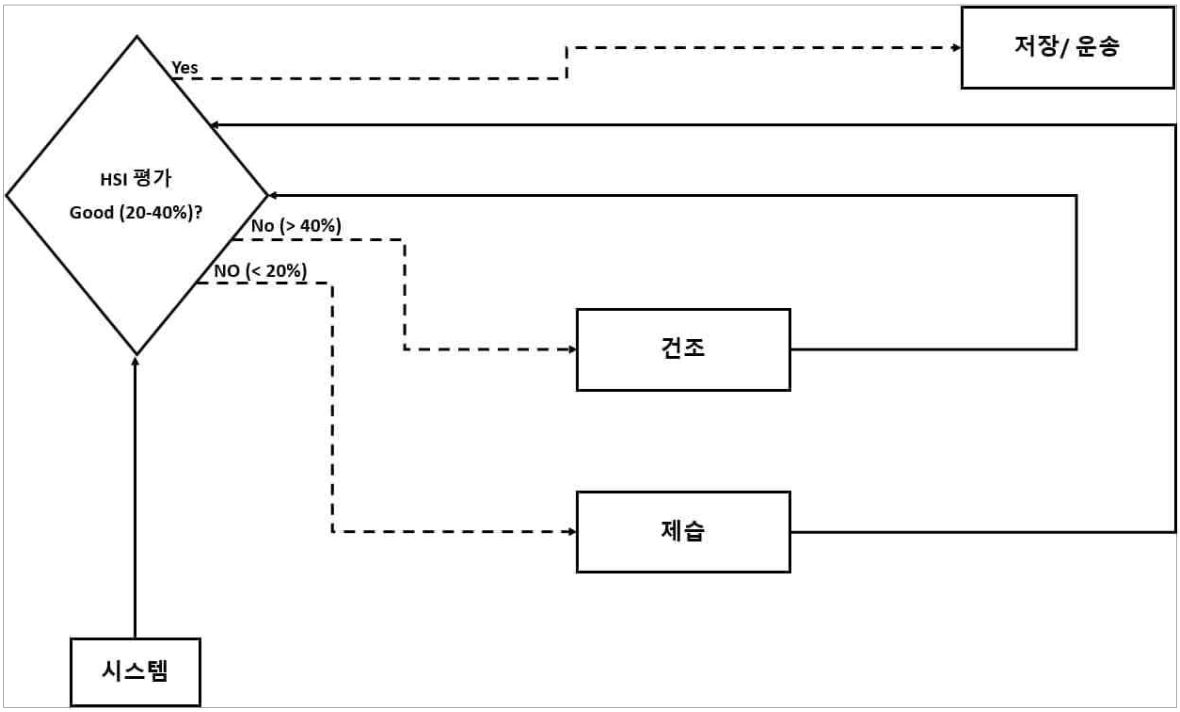
[그림] 콩 제품의 수분함량, 온도, 변질과의 관계

○ 기질이 액체든 고체든 모든 미생물은 수용액에서만 자란다. 중간 조건의 경우, 일부 유기체의 성장은 사료나 사료의 수분 함량에 따라 발생할 수 있다. 사료 속의 물의 상태가 곰팡이, 효모, 박테리아의 성장에 미치는 영향과 온도에 따라 달라지며, 저장 방법과 기간에 대해 논의가 요구된다. 사료나 사료의 수분 함량과 온도를 측정하여 보관할 것을

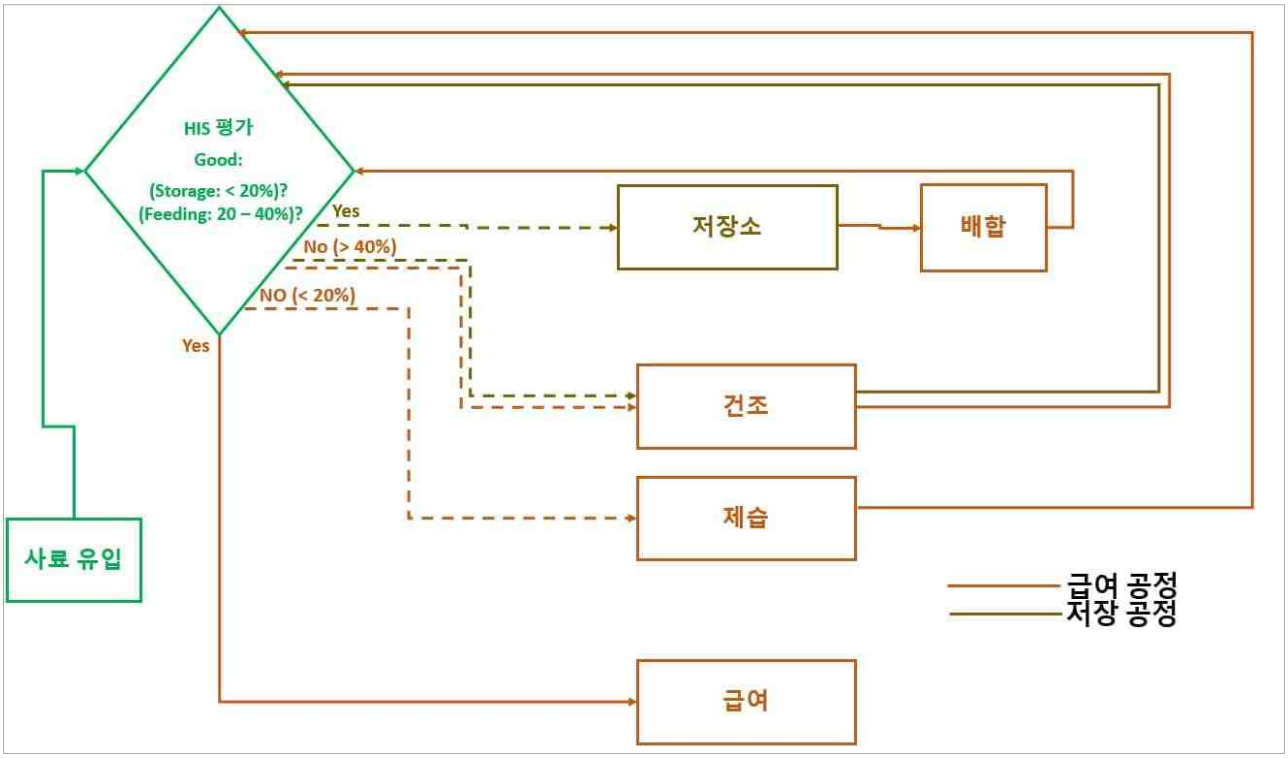
권장한다. 보리의 부패는 초기 온도가 5℃ ~ 20℃이고 각 습도가 18% ~ 10%인 경우 보리의 변질 그래프와 같이 재료 유형에 따라 권장 백분율 및 온도를 유지해야 한다. 콩제품의 경우 초기 온도가5% ~ 42%이고 각 습도가 20% ~ 10%인 경우 콩제품 변질 그래프와 같이 부식이 발생한다.

○ 대류 전류로 인해 저장 중 벌크 소재의 수분 함량과 온도에 급격한 변화가 발생하여 국부적인 부식을 초래할 수 있다. 대량 재료 또는 공급의 상단 중심을 보관 또는 공기 사용 내내 정기적으로 모니터링할 것을 권장한다.

(나) 안전관리 방법 및 모델제시



[그림] 공동농가형, 공장용 축산사료 TMF 모델



[그림] 농장용 축산사료 TMR 모델

○ 두 가지 모델은 양질의 안전한 한우 TMF 공급장치를 생산하기 위해 제안되었다. 수분 함량은 한우 사료에서 매우 중요한 변수다. 그것은 저장성과 특히 배경에서 논의된 아플라톡신 B1과 같은 독소의 생산을 담당하는 아스페르길루스 종과 같은 위험한 미생물의 확산에 중요한 역할을 한다. 게다가, 한우의 식단에 필요한 고품질 사료의 매우 중요한 요소인 건조 물질에 반비례하며, 동물의 체중에 의존한다. 그것은 또한 사료비와 궁극적으로는 수익성에 영향을 미치고 산후 감염을 예방하는 가장 중요한 단일 요인이다. 현재 TMF 공급의 수분 함량을 추정하는 방법은 파괴적이고 시간이 많이 소요된다. 본 연구에서는 한우의 안전한 생산, 보관, 급식을 위해 컨베이어 벨트를 통과하는 모든 사료 시료의 신속하고 비파괴적인 라인 투 라인 스캔에서 Hyper Spectrum Image 기술을 사용할 수 있는 가능성을 실증하였다.

○ 첫 번째 제안 모델에서는, TMR 공급 라인이 포장에 앞서 전달되는 것을 스캔하고, 저장 및 이송을 농장으로 하기 위해 Hyper Spectrum Image 시스템을 설치한다. 사료가 수분 함량이 만족스럽지 않을 경우, 40%를 초과할 경우, 건조하거나 수분 함량이 20% 미만일 경우 재침습이 될 수 있는 후퇴용으로 전환된다. 수분 함량은 먹이를 주는 동물의 등급에 따라 달라진다. 후퇴 과정 후, 허용 가능한 기준에 도달할 때까지 매번 사료를 다시 검사한다.

○ 농장의 경우인 두 번째 제안 모델에서는 농장의 도착 시 사료를 검사하기 위해 시상 영상 시스템을 설치한다. 대칭 검사 후 동물의 등급에 따라 다음과 같은 결정이 내려진다. ① 수분 함량40% 이상: 건조, ② 수분 함량20% 이하: 저장.

○ 농장의 상황에서는 농장에 사료가 더 오래 저장될 가능성이 가장 높기 때문에 20% 미만의 수분 함량이 저장될 수 있다. 게다가, 부산물이나 거칠기와의 혼합은 보관 후에 수행될 것이다. 혼합물은 이 단계에서 수분 함량의 균형을 잡는 데 사용할 수 있다. 단, 혼합 후 수분 함량이 허용 공급 기준 미만으로 떨어지면 40%를 초과하는 경우 TMF 사료를 건조하거나 공급 상황에 따라 20%를 재습해야 한다. 이 과정은 허용 가능한 표준이 달성될 때까지 반복된다.

○ 안전한 고품질 TMF 한우 사료를 생산하기 위한 공장용 모델과 농장용 모델 모두에서, TMF 공장의 컨베이어 벨트 속도가 Hyper Spectrum Image 범위와 일치하는지 여부를 검사하기 위해 하나의 Hyper Spectrum Image 시스템이 제안되고 평가된다. 그러나 데이터를 실시간으로 사전 처리하려면 높은 연산 능력이 필요할 것이다.

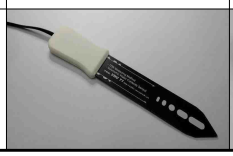
5절 간이식(농가보급형) 및 연속식(공장용) 사료용 센서(수분, pH) 조사

1. 사료 센서의 조사 및 특성 분석

○ 축산 사료의 상태를 모니터링 하거나 측정하기 위한 센서는 주로 수분/함수율 센서와 pH 센서를 들 수 있다. 수분 센서 또는 pH 센서는 접촉식으로 전극형 센서가 주를 이루고 비접촉식으로는 근적외선, 마이크로파를 이용한 센서들이다. 이들 센서는 가격, 특성, 적용 가능한 환경이 각각 다르기 때문에 사료를 가공하거나 배합하는 환경에 부적합한 센서들도 다수 있다. 또한, 축산 사료는 모양과 조성이 제각각이고 생산자와 생산지가 각각 다르기 때문에 사료의 안전성을 관리하기 수월하지 않으며 현장에서 사용되는 여러 센서들의 성능과 특성을 고려한 센서들의 기준과 표준화 제시가 필요하다. 따라서, 수분 센서 및 pH센서를 이용해 측정한 함수율 및 pH와 정량화 방법을 이용해 측정한 함수율, pH를 비교하여 사료용 함수율 센서 및 pH 센서 선발 기준 마련에 활용하고자 하였다.

가. 사료용 수분센서를 이용한 함수율 측정

○ 축산시설에서 사용하는 수분 및 pH센서를 조사한 결과 사료용 센서는 없었으며, 따라서 사료와 가장 물성이 비슷한 토양수분센서를 구입하여 실험을 진행하였다. 사료는 영천축협 TMF 사료공장에서 구입하였다. 사료 종류별(미강, 밀기울, 맥주박, TMF, TMR) 각 센서로 측정한 raw data는 오븐건조법으로 측정한 함수율과 비교분석하여 사료 종류별 센서 선정기준을 제시한다.

	VWC T1	VWC 2G	Cube M40	WT 1000A	WT 1000B
제조사	TSE	TSE	TSE	(주) 미래센서	(주) 미래센서
Sensor type	TDR (Time Domain Reflectometry)	TDR (Time Domain Reflectometry)	TDR (Time Domain Reflectometry)	FDR (Frequency Domain Reflectometry)	FDR (Frequency Domain Reflectometry)
측정 범위	0% ~ 70%	0% ~ 70%	0% ~ 60%	0% ~ 99.9%	0% ~ 99.9%
정확도	±2%(30% 미만 시) ±3%(30% 이상 시)	±2%(40% 미만 시) ±3%(40% 이상 시)	±2%(30% 미만 시) ±3%(30% 이상 시)	±2%	±1%
특징	거친 측정환경 및 장기측정 가능	거친 측정환경 및 장기측정 가능	층위별 수분 측정 가능	가장 저렴	여러 종류의 시스템에 적용 가능
제품 사진					

[표] 5종의 사료 및 부산물 사료의 함수율 측정을 위한 다양한 종류의 수분 센서 특성

○ 5종의 사료 및 부산물 사료(미강, 밀기울, 맥주박, TMR, TMF)의 초기 함수율을 오븐 건조법을 이용하여 분석하였다. 초기 함수율을 기준으로 물을 더하여 4-5 수준의 함수율을 갖는 시료를 준비하였다.

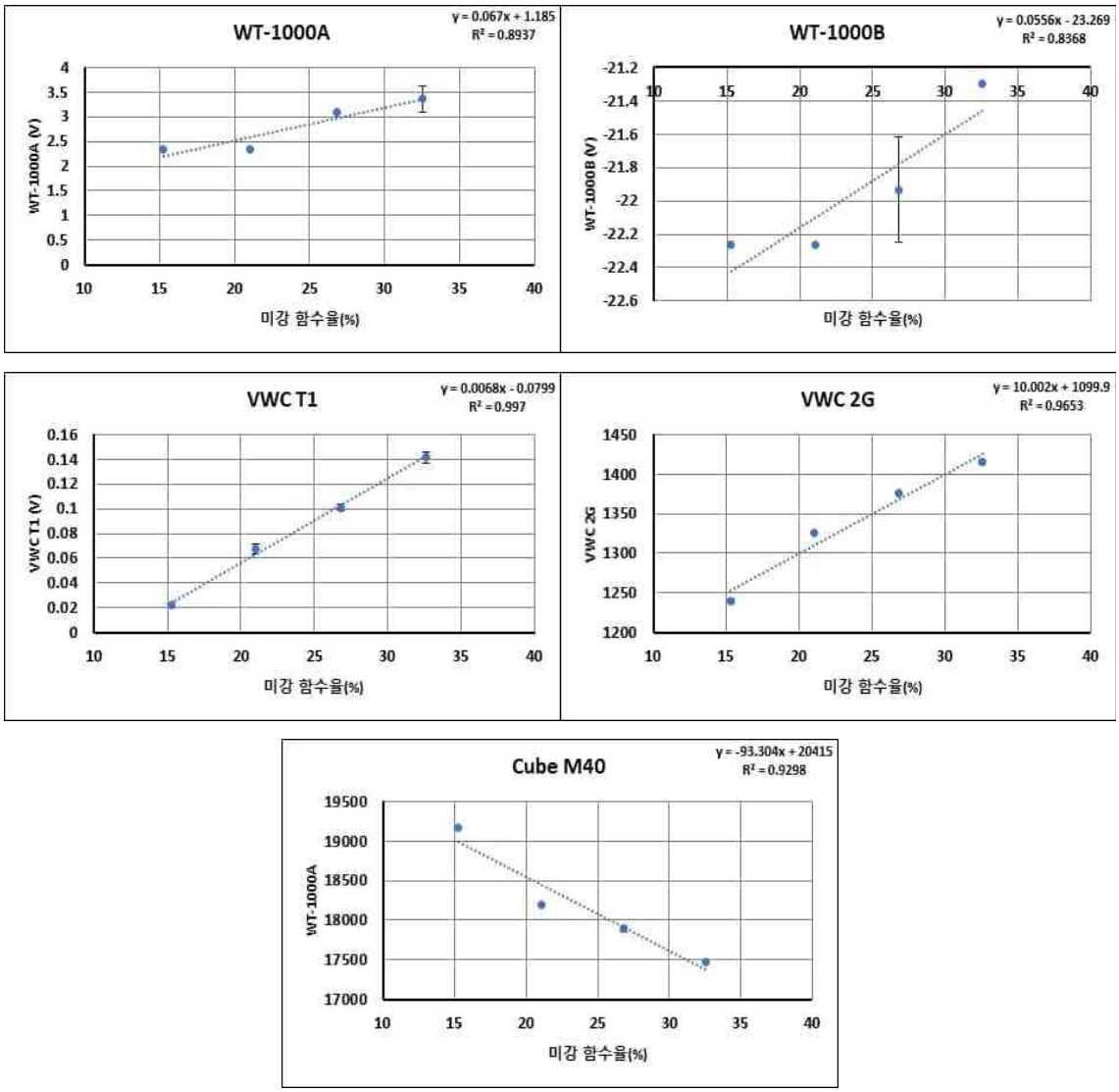
[그림] 다양한 종류의 수분 센서를 이용한 사료의 수분 측정

[그림] 데이터 로거를 이용한 수분 센서의 데이터 수집

(1) 수분센서 측정 결과

1-1. 미강

○ 미강의 경우, 함수율 15.27, 21.03, 26.8, 32.56%에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R^2) WT-1000A(0.8937), WT-1000B(0.8368), VWC T1(0.997), VWC 2G(0.9653), Cube M40(0.9298)의 관계를 나타냈으며 이 중 VWC T1이 가장 높은 선형성을 보였다. 또한 WT-1000B 센서는 함수율 26.8%에서 가장 큰 오차 0.32를 나타냈다.

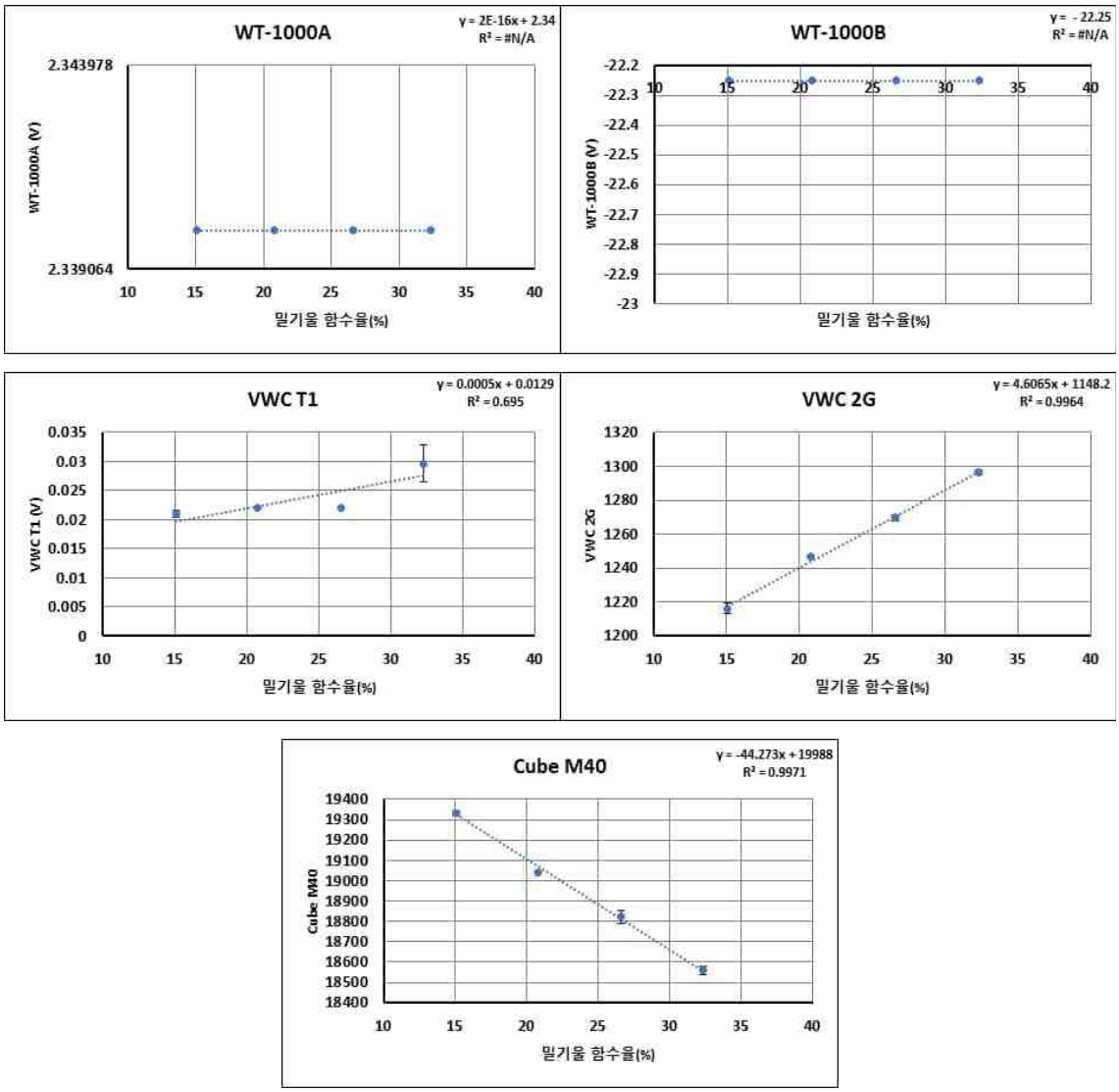


[그림] 센서 종류 별 미강 함수율 표준 곡선

1-2. 밀기울

○ 밀기울의 경우, 함수율 15.08, 20.8, 26.56, 32.31%에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R^2) WT-1000A(-), WT-1000B(-), VWC T1(0.695), VWC 2G(0.9964), Cube M40(0.9971)의 관계를 나타냈으며 이 중 Cube M40이 가장 높은 선형성을 보였다. 또한 VWC T1 센서는 함수율 32.31%에서 가장 큰 오차 0.00318을 나타냈다. 미강에서 가장 높은 선형성을 보인 VWC T1이 밀기울에서 낮은 선형성을 보인 결과로 봐 사료 조성의

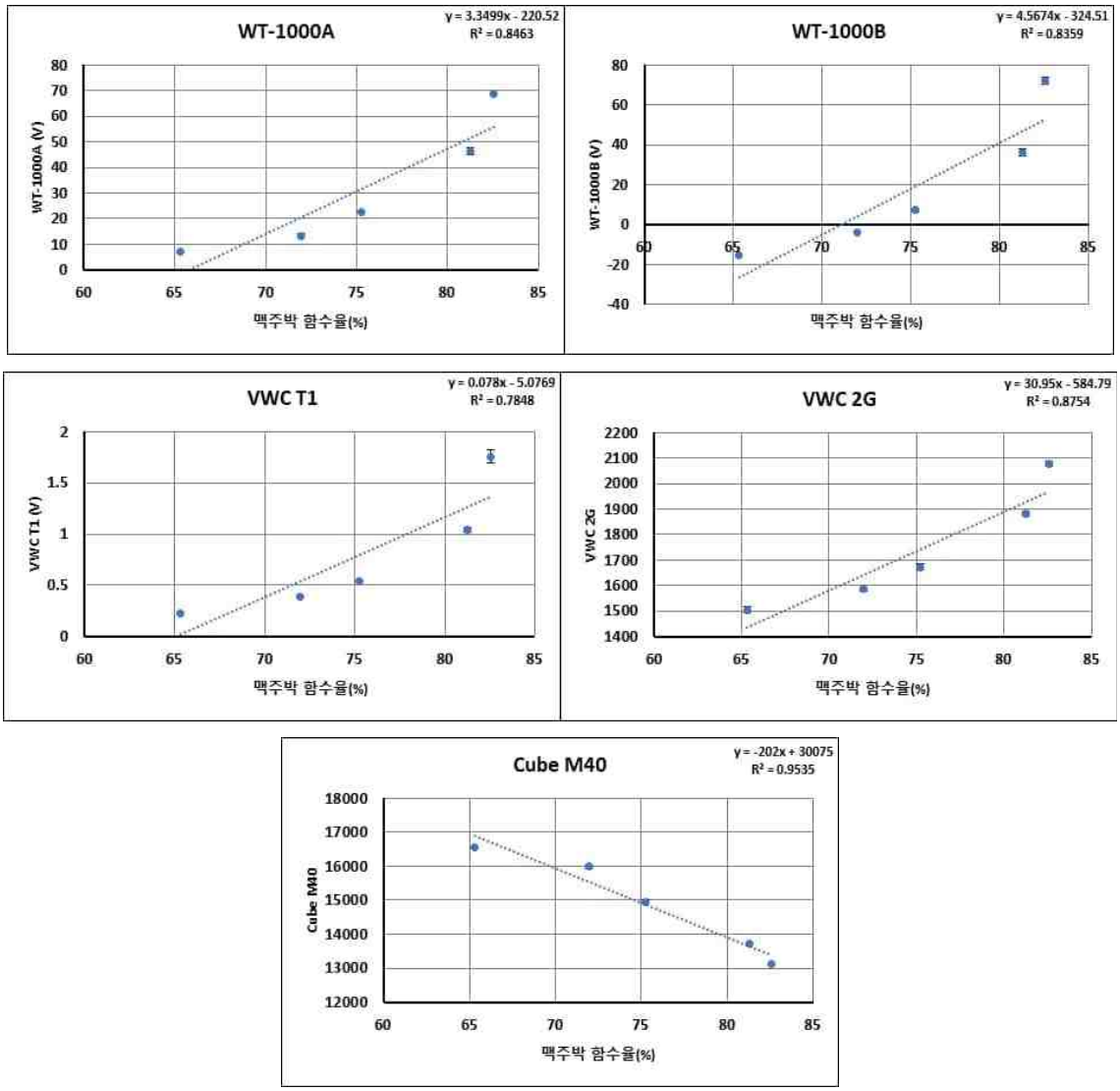
영향을 많이 받는 센서이다.



[그림] 센서 종류 별 밀기울 함수율 표준 곡선

1-3. 맥주박

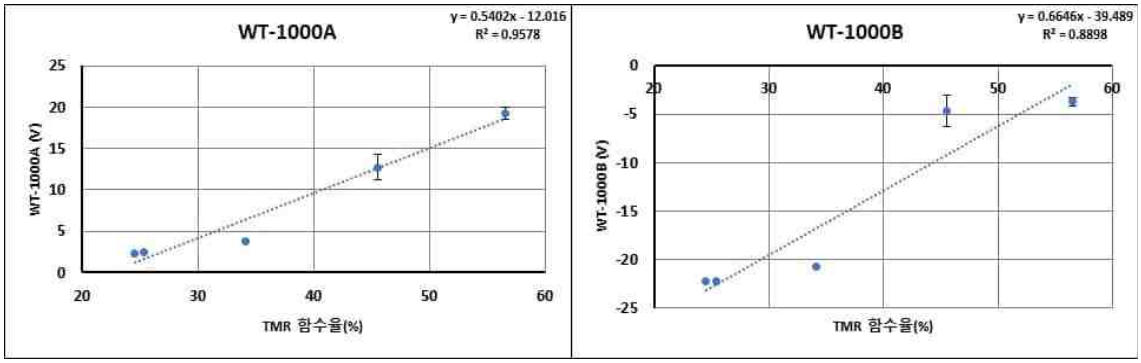
○ 맥주박의 경우, 함수율 65.33, 71.97, 75.23, 81.27, 82.54%에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R^2) WT-1000A(0.8463), WT-1000B(0.8359), VWC T1(0.7848), VWC 2G(0.8754), Cube M40(0.9535)의 관계를 나타냈으며 이 중 Cube M40이 가장 높은 선형성을 보였다. 또한 VWC T1 센서는 함수율 82.54%에서 가장 큰 오차 0.062357을 나타냈다. 맥주박은 육안으로 보기에도 토양과 가장 물성이 비슷한 상태로, 이로 인해 5개의 센서 모두 높은 선형성과 낮은 오차를 보여주었다.

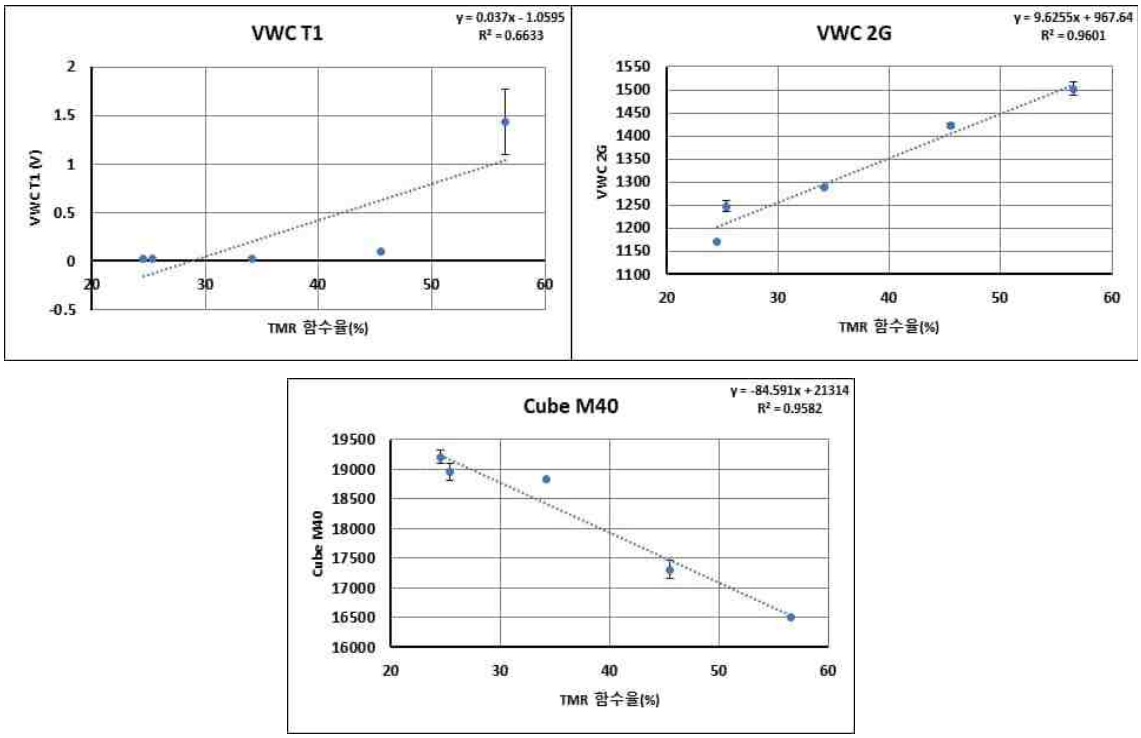


[그림] 센서 종류 별 맥주박 함수율 표준 곡선

1-4. TMR

○ TMR의 경우, 함수율 24.54, 25.38, 34.16, 45.53, 56.54%에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R^2) WT-1000A(0.9578), WT-1000B(0.8898), VWC T1(0.6635), VWC 2G(0.9601), Cube M40(0.9582)의 관계를 나타냈으며 이 중 VWC 2G가 가장 높은 선형성을 보였다. 또한 VWC T1 센서는 함수율 56.54%에서 가장 큰 오차 0.341679를 나타냈다.

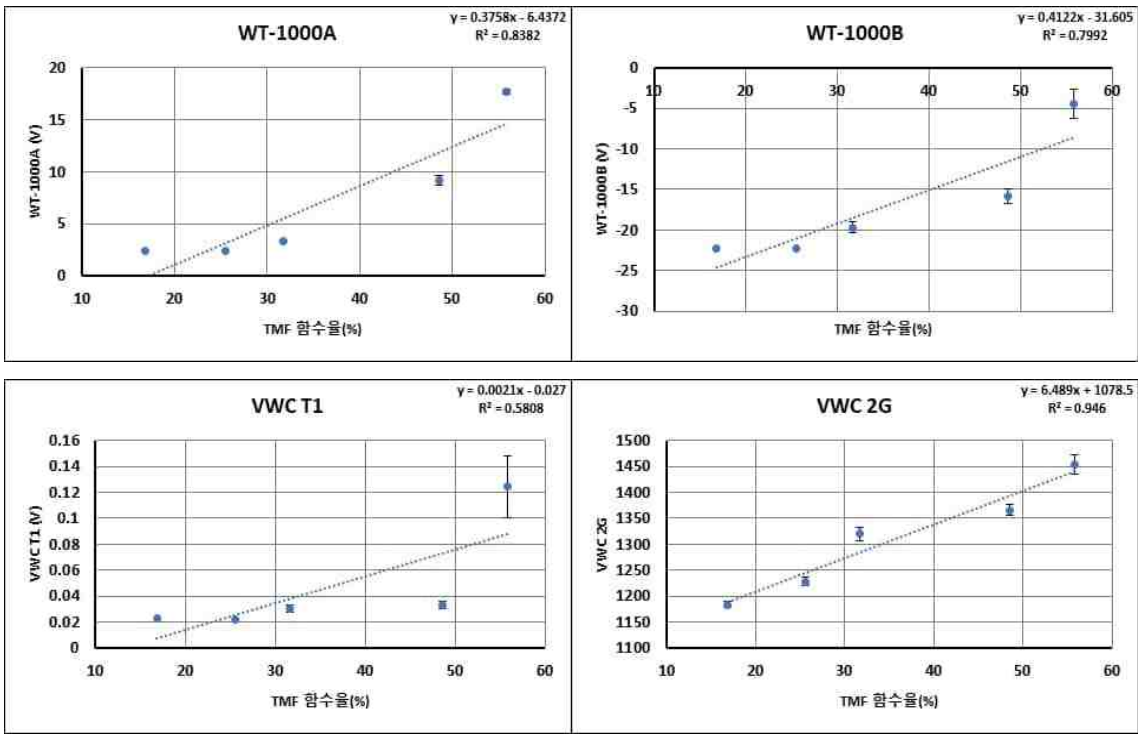


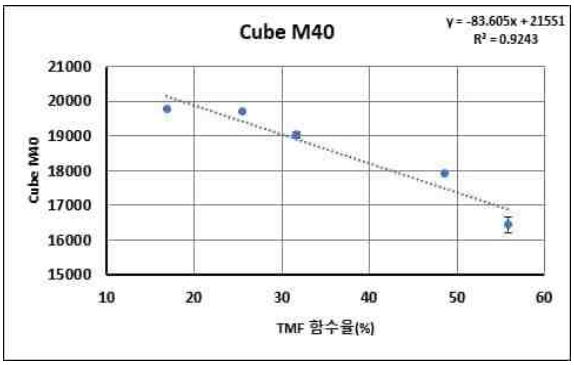


[그림] 센서 종류 별 TMR 함수율 표준 곡선

1-5. TMF

○ TMF의 경우, 함수율 16.85, 25.53, 31.67, 48.55, 55.82%에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R^2) WT-1000A(0.8382), WT-1000B(0.7992), VWC T1(0.5808), VWC 2G(0.946), Cube M40(0.9243)의 관계를 나타냈으며 이 중 VWC 2G가 가장 높은 선형성을 보였다. 또한 VWC T1 센서는 함수율 55.82%에서 가장 큰 오차 0.023511을 나타냈다.





[그림] 오븐건조법으로 측정한 결과값과 센서로 측정한 결과값 선형성 분석

○ 5종의 토양 수분센서를 이용하여 축산 사료 5종의 함수율 측정에 적용한 결과 FDR(frequency domain reflectometry)방식의 함수율 센서는 함수율에 대한 감도와 선형성이 낮거나 밀기울의 경우 측정이 불가하였다. 이와 반면에 TDR (time domain reflectometry) 방식의 함수율 센서는 5종의 축산 사료 종으로부터 함수율 측정은 가능하였지만, 선형성 0.9 이상을 나타낸 센서는 단 1종에 불과하였다.

	WT-1000A	WT-1000B	VWC T1	VWC 2G	Cube M40
미강	0.8937	0.8368	0.997	0.9653	0.9298
밀기울	측정 불가	측정 불가	0.695	0.9964	0.9971
맥주박	0.8463	0.8359	0.7848	0.8754	0.9535
TMR	0.9578	0.8898	0.6633	0.9601	0.9582
TMF	0.8382	0.7992	0.5808	0.946	0.9243

나) 사료용 pH센서를 이용한 pH 측정

	SK-05	SP-T-300	HI99121	ZD-18
제조사	SKZ	Grand	HANNA	ZD INSTRU
측정 범위	3 ~ 8 pH	3.5 ~ 9.0 pH	-2.00 ~ 16.00 pH	3.0 ~ 14 pH
정확도	±0.3 pH	±0.5 pH	±0.02 pH	±0.2 pH
특징	배터리 필요없음.	산도, 온도, 수분, 광도 측정 가능	농업, 임업, 원예등 다양한 용도 사용 가능	토양 전문 측정용
제품 사진				

[표] 3종의 사료 및 부산물 사료의 pH 측정을 위한 pH 센서의 특성

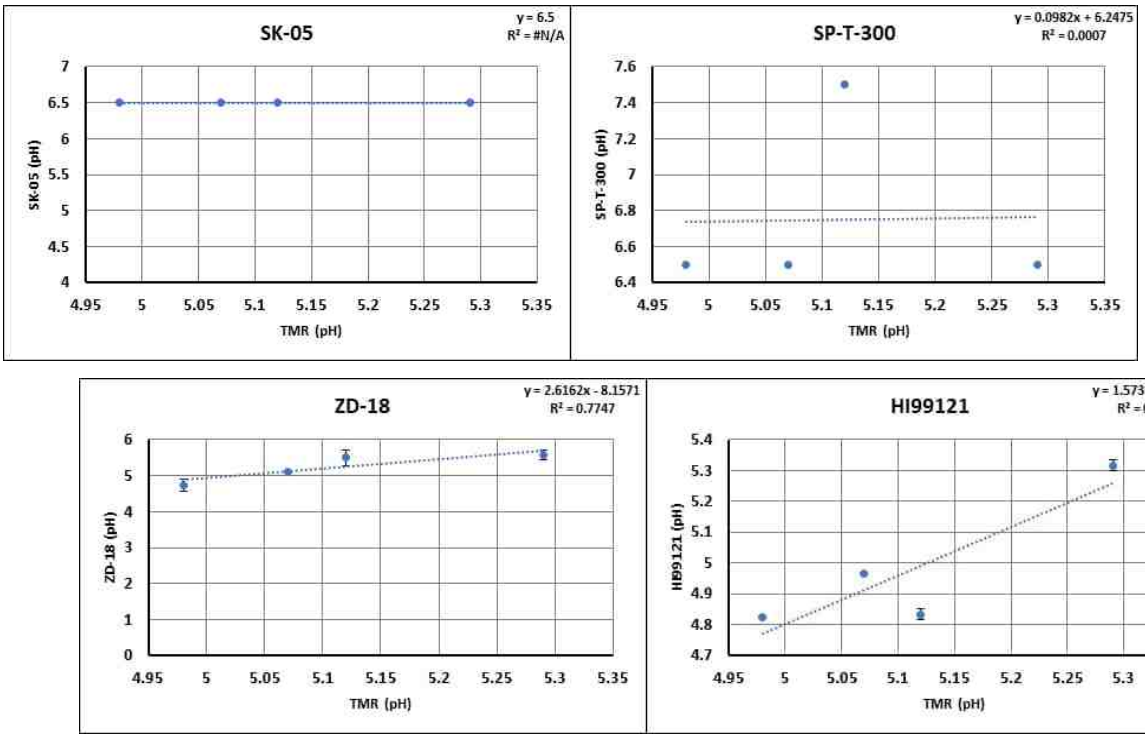
(2) pH 센서 측정 결과

○ 사료의 pH를 측정하기 위해 버퍼 용액(pH 4.5, 5.0, 5.5)을 준비하고 20mL의 버퍼용액을 100g의 사료와 혼합하여 24시간 상온에 유지시켰다. pH 센서 전극을 사료와 직접 접촉시켜 측정하였고, 용출액을 거름종이로 걸러 실험실 pH 미터로 재차 측정하여 검증하였다.

[그림] 사료용 pH 센서를 이용한 사료의 pH 분석

2-1. TMR

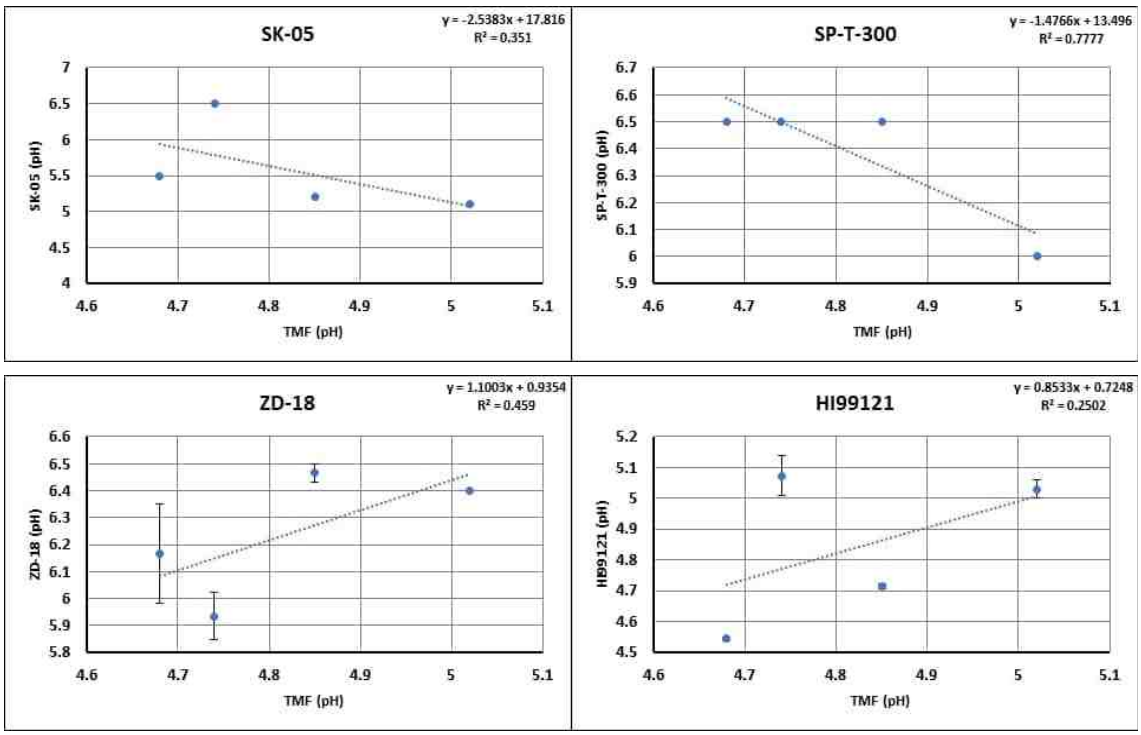
○ TMR의 경우, pH 4.98, 5.07, 5.12, 5.29에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R2) SK-05(-), SP-T-300(0.0007), ZD-18(0.7747), HI99121(0.7894)의 관계를 나타냈으며 이 중 HI99121가 가장 높은 선형성을 보였다.



[그림] TMR 추출물의 pH 값과 센서로 측정한 pH 값 사이의 선형성 분석

2-2. TMF

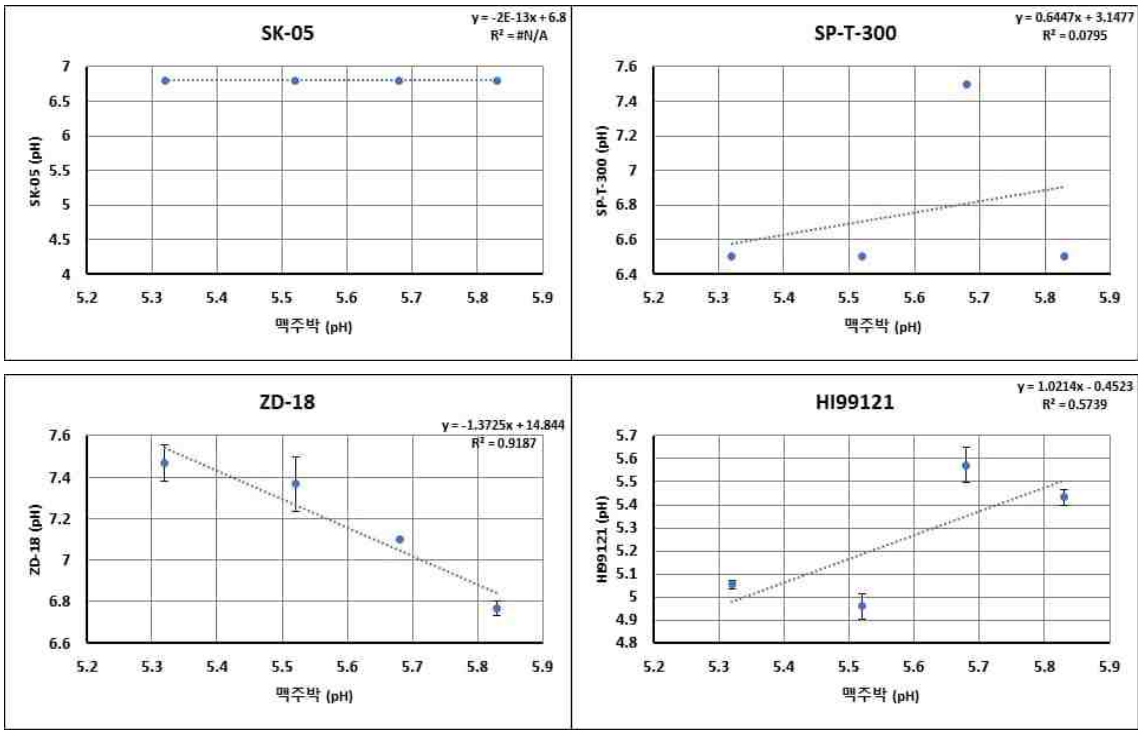
○ TMF의 경우, pH 4.68, 4.74, 4.85, 5.02 에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R2) SK-05(반비례), SP-T-300(반비례), ZD-18(0.459), HI99121(0.2502)의 관계를 나타냈으며 이 중 ZD-18이 가장 높은 선형성을 보였다. 또한 ZD-18 센서는 pH 4.68에서 가장 큰 오차 0.185592를 보였다.



[그림] TMF 추출물의 pH 값과 센서로 측정한 pH 값 사이의 선형성 분석

2-3. 맥주박

○ 맥주박의 경우, pH 5.32, 5.52, 5.68, 5.83 에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R2) SK-05(-), SP-T-300(0.0795), ZD-18(반비례), HI99121(0.5739)의 관계를 나타냈으며 이 중 HI99121가 가장 높은 선형성을 보였다.



[그림] 맥주박 추출물의 pH 값과 센서로 측정한 pH 값 사이의 선형성 분석

	SK-05	SP-T-300	ZD-18	HI99121
TMR	측정불가	0.0007	0.7747	0.7894
TMF	0.351	0.7777 (반비례)	0.459	0.2502
맥주박	측정불가	0.0795	0.9187 (반비례)	0.5739

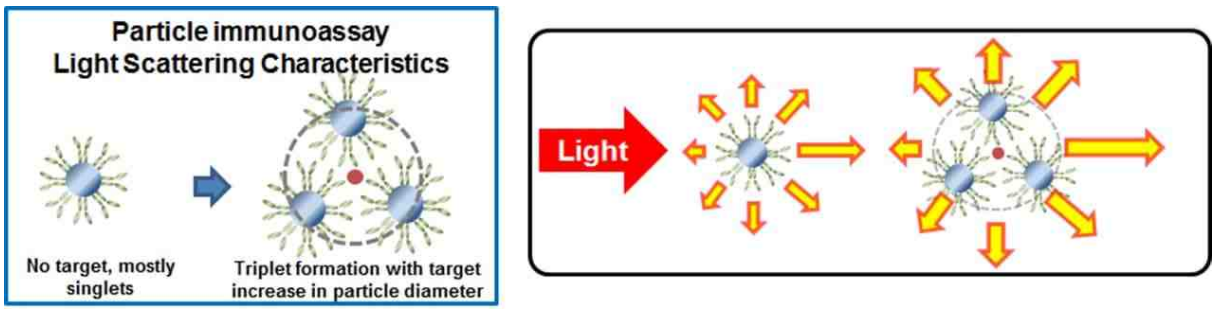
○ 이상 4종의 pH 센서를 통해 사료의 pH를 측정한 결과, 이들 pH 센서를 사료에 적용하기에 부적합하다고 판단하였다. 추가 pH센서를 선정하여 사료의 pH를 측정하는데 적합한 센서를 선발하는 과정이 필요하다고 판단된다.

6절 사료의 위해요소 검출을 위한 기반기술 정립

1. 항원-항체 반응 특성 및 시료 전처리 공정

가. 항체의 마이크로 비드에 고정화 기술 정립

○ 대장균과 살모넬라는 사료의 대표적인 병원성 미생물 오염원으로 이들을 측정하기 위해서는 항원-항체 반응을 이용한 바이오센서의 개발이 필요하다. 축산 사료로부터 살모넬라와 대장균을 검출하기 위해 개발하고자 하는 바이오센서는 Mie 산란을 측정하는 원리로서 광 산란체에 고정된 항체와 병원성 미생물인 항원의 결합으로 인한 광 산란 정도의 차이를 검출하는 방법이다. 광 산란체는 폴리스티렌 입자를 사용하며 대표적인 살모넬라의 항체 Salmonella typhimurium Antibody와 Goat E. coli Antibody를 마이크로비드에 고정화하는 기술을 사용하였다.



[그림] Mie 산란법을 이용한 바이오센서 개발의 개념도

○ 폴리스티렌 입자에 항체 고정하는 방법은 4uL의 polystyrene latex 입자를 996uL의 증류수와 교반하고 수차례 세척과정을 거친다.

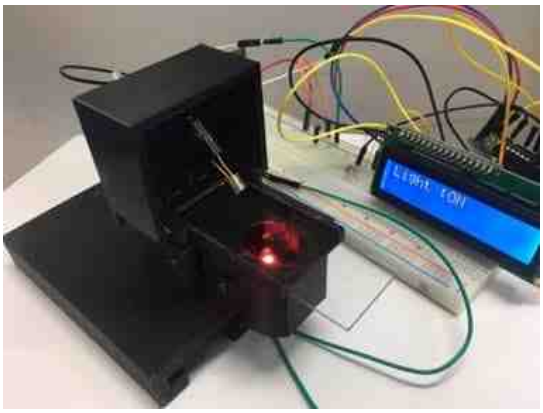
원심 분리기 9,000 RCF로 25분 → 내려앉은 0.91um polystyrene latex를 제외하고 DI water 버린다. → 다시 DI water 를 넣어 섞는다. → 원심 분리기 9000 RCF로 25분 → 같은 방법으로 DI water 버린다.

증류수를 넣어서 전체 용량을 1ml로 만든 다음에 2개로 나눈다. 분리된 각각의 튜브에 500uL의 EDAC를 넣어준다. 실온에서 25분 동안 섞어준다. (orbital shaker사용) 원심분리기에 9000 RCF로 25분 동안 분리 / PBS로 re-suspend 후, 다시 원심 분리 후 알갱이들이 가라앉을 때까지 반복한다.

500uL PBS로 닦는다. / 원심분리기 9000 RCF로 25분간 원심분리하고 새로운 용기에 항체 용액과 교반한다. 실온에서 3시간 동안 교반 후, 세척과정을 거쳐 500ul의 hydroxylamine을 섞는다. 원심분리기 9000 RCF로 25분 돌려서 가라앉은 결합물(항체- Polystyrene Latex)을 제외하고 나머지 용액을 빼낸 후, DI water 500ul을 넣고 섞는다.

○ 마이크로비드에 고정된 항체와 병원성 미생물인 항원의 결합으로 인한 광산란 정도의 차이를 검출하기 전에 결합물(마이크로비드+항체)의 농도를 균일하게 하기 위해 광학 플랫폼을 제작하였다. 결합물이 위치할 슬라이드 글라스 아래 90도 방향에서는 광원이 조

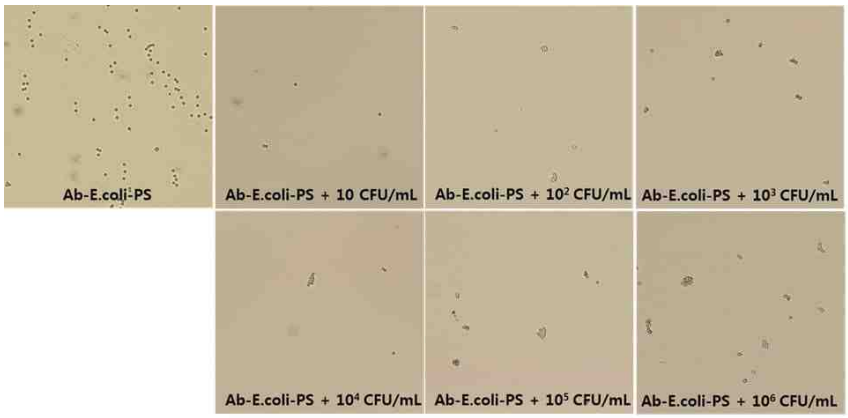
사되고 슬라이드 글라스 위의 130도 방향에 는 산란의 세기를 측정할 포토다이오드가 위치한다. 포토다이오드에서 읽어들인 산란의 세기는 아두이노를 통해 전기적인 신호로 읽어 들인다.



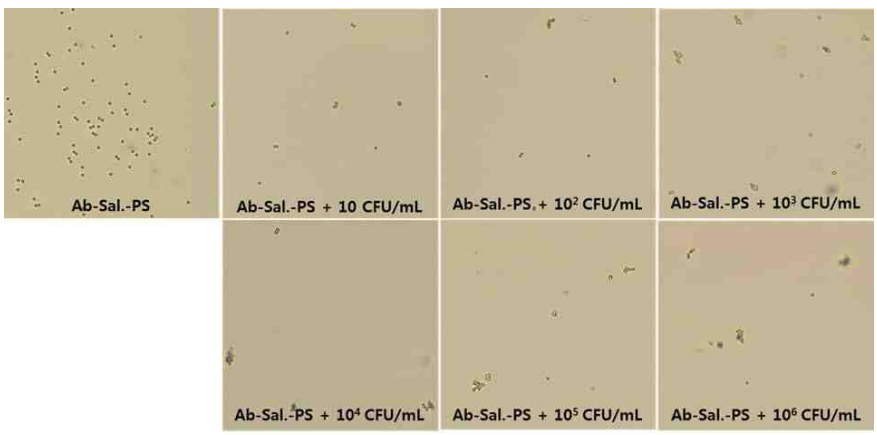
[그림] 최종 결합물의 농도를 확인하기 위한 간이 측정기 시제품

나. 병원성 미생물과 마이크로비드에 고정된 항체와의 반응 특성 분석

(1) Anti-E. coli-polystyrene 입자와 E.coli 와의 반응 특성 분석



(2) Anti-Salmonella-polystyrene 입자와 Salmonella typhimurium 와의 반응 특성 분석



○ 각각의 항체가 고정된 폴리스티렌 입자를 여러 농도의 항원과 섞고 폴리스티렌의 입자

를 현미경 관찰하였다. 항원과 섞이지 않은 항체가 고정된 입자는 매우 균일한 형태로 단일입자를 유지하고 있는 한편, 항원과 섞인 입자는 항원의 농도가 높아질수록 입자의 크기가 증가하면서 클러스터를 형성하는 것을 확인하였다. 이로서 항체와 폴리스티렌의 고정화 과정이 성공적이라고 판단된다.

다. 사료의 전처리 공정 확립 (유해균 추출)

- 사료에서 E. coli, Salmonella typhimurium 추출 방법

1) E.coli, Salmonella 각각 10^7 CFU/mL 준비

2) Serial dilution(PBS) 10^1~10^5 CFU/mL

3) TMR 사료에 농도별로 균을 접종한다. (1mL)

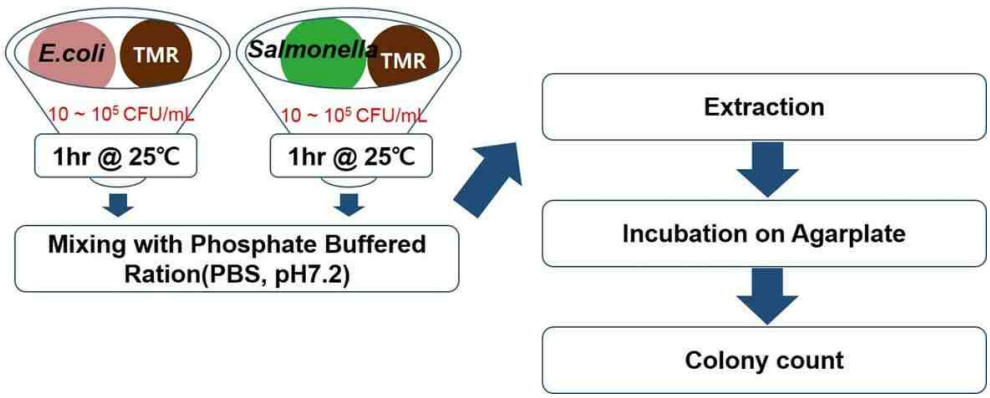
농도 5 x 3반복 x 2종류(E.coli, salmonella) = 30EA

4) 균이 충분히 자리 잡을때까지 1시간동안 대기한다.

5) 추출물과 추출 사료량(부피) 대비 9배 PBS 용액으로 10분동안 섞는다.

6) 용액을 추출한 뒤 plating한다.

Agar plate 접종 / 10시간 배양 / Colony count

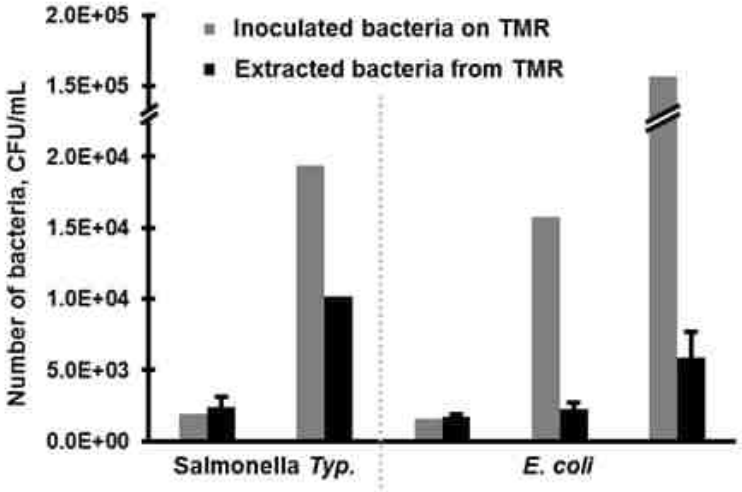


(1) 사료에서 E. coli, Salmonella 추출

TMR 사료에 여러 농도의 균을 접종하고 이로부터 buffer 용액을 이용하여 접종균을 추출하는 실험을 수행하였다. 낮은 농도의 균을 접종하였을 때와 높은 농도의 균을 접종하였을 때, 추출율에 차이가 나타났다. 특히, 대장균의 경우, 접종균의 농도가 높더라도 대부분 10^3CFU/mL의 농도 수준으로 추출되었다.

	접종균 농도	추출균 농도
Salmonella	1.94×10^{3} CFU/ml	3.1×10^{3} CFU/ml
		1.7×10^{3} CFU/ml
	1.94×10^{4} CFU/ml	1.02×10^{4} CFU/ml
E.coli	1.58×10^{3} CFU/ml	2.1×10^{3} CFU/ml
		1.6×10^{3} CFU/ml
		1.5×10^{3} CFU/ml
	1.58×10^{4} CFU/ml	2.2×10^{3} CFU/ml
		3.1×10^{3} CFU/ml
		1.6×10^{3} CFU/ml
	1.58×10^{5} CFU/ml	3.7×10^{3} CFU/ml
		4.4×10^{3} CFU/ml
		9.5×10^{3} CFU/ml

[그림] 접종균 농도 대비 추출균 농도



[그림] 접종액 농도 대비 추출액 농도

7절 사료용 센서의 표준화 및 용도에 따른 구조 개선

1. 사료용 센서의 표준화 및 용도에 따른 구조 개선

가. 사료 상태 측정을 위한 센서의 기준 제시와 표준화 기준 제시

○ 축산 사료의 상태를 모니터링 하기 위해 주로 사료의 수분/함수율과 pH를 측정한다. 이를 측정하기 위한 센서들은 종류와 측정 방식이 다양하기 때문에 측정하고자 하는 환경의 특성에 맞게 선정되어야 한다. 또한, 축산 사료는 조성이 제각각이고 생산자와 생산지가 다르기 때문에 사료의 안정성을 관리하기 수월하지 않으며 현장에서 사용되는 여러 센서들의 성능과 특성을 고려한 센서들의 기준과 표준화 제시를 하고자 한다.

(1) 수분 센서

○ 배합을 마친 축산 사료의 경우 보통 40~50%의 함수율을 가진다고 알려져 있다. 사료의 상품성은 무게에 따라 좌우되기 때문에 미세한 함수율 차이도 중요하다. 그러므로 수분/함수율 센서의 경우 측정 범위도 중요하지만 측정의 정확도가 더욱 중요하다. 센서의 형태 또한 중요하다. 축산 사료의 경우 토양과는 다르게 입자의 크기와 형태가 다양하기 때문에 센서 전극 사이에 끼어 수분 측정에 영향을 끼쳐서는 안 된다. 수분 센서는 측정 방식에 따라 크게 TDR(Time domain reflectometry) 방식과 FDR(Frequency domain reflectometry) 방식으로 나뉜다.

○ 선정된 5종의 수분 센서 측정 결과와 표준 방법인 135°C 건조법 결과 사이의 선형성을 분석하였다. 미강의 경우, 함수율 15.27, 21.03, 26.8, 32.56%에서 각각 측정을 실시한 결과 VWC T1이 가장 높은 선형성을 보였다. 반면 WT-1000B 센서는 함수율 26.8%에서 가장 큰 오차 0.32를 나타내었다. 밀기울의 경우 WT-1000A,B는 측정 불가하였으며 Cube M40이 가장 높은 선형성을 나타내었다. 그러나 미강에서 가장 높은 선형성을 보인 VWC T1이 밀기울에서 낮은 선형성을 보인 결과로 보아 사료 조성의 영향을 가장 많이 받는 센서라고 할 수 있다. 맥주박의 경우, 토양과 가장 물성이 비슷한 상태로 5개의 센서 모두 높은 선형성과 낮은 오차를 보여주었다. TMR의 경우 측정 불가한 센서는 없었으며 VTWC T1 센서가 함수율 56.54%에서 가장 큰 오차 0.341679를 나타내었다. 발효가 진행된 TM의 경우 역시 측정 불가한 센서는 없었으며 VWC T1 센서가 높은 수준의 함수율을 측정 시 큰 오차값을 나타내었다.

○ FDR 방식의 센서 2종(WT-1000A, WT-1000B)은 밀기울의 수분을 측정할 수 없었다. 반면 TDR 방식의 센서 3종(VWC T1, VWC 2G, Cube M40)은 사료 5종의 수분을 모두 측정할 수 있었고, FDR 방식에 비해 더욱 높은 선형성의 결과를 나타내었다. 이는 TDR 방식의 수분 센서를 선택하는 것이 축산 사료의 수분을 측정하는 데 더욱 유리하다고 판단할 수 있다. 그러므로 축산 사료의 수분 측정을 위한 수분 센서의 선택 기준을 다음과 같이 제시할 수 있다. 첫 번째, 수분 센서는 적어도 0~50%의 측정 범위를 가져야 한다.

두 번째, 가능한 측정의 정확도가 높은 센서를 선택해야 한다. 세 번째, FDR 방식의 수분 센서가 아닌 TDR 방식의 수분 센서를 선택해야 한다. 마지막으로 축산 사료 수분 측정 간에 사료가 센서의 전극 사이에 낄 위험이 있는 형태의 센서는 선택을 피해야 한다.

(2) pH 센서

○ 수많은 축산 사료 종류 중에서 pH 측정이 유의미한 사료 3종을 선발하여 pH를 측정하였다. 사료의 pH는 발효 과정 초기에 증가하였다가 시간이 지나감에 따라 감소하면서 pH 4.0에 도달하면 안정화 상태에 도달한 것이라고 알려져 있다.

○ TMR의 경우, pH 4.98, 5.07, 5.12, 5.29에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R2) SK-05(-), SP-T-300(0.0007), ZD-18(0.7747), HI99121(0.7894)의 관계를 나타냈으며 이 중 HI99121가 가장 높은 선형성을 보였다. TMF의 경우, 산도 4.68, 4.74, 4.85, 5.02pH 에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R2) SK-05(반비례), SP-T-300(반비례), ZD-18(0.459), HI99121(0.2502)의 관계를 나타냈으며 이 중 ZD-18이 가장 높은 선형성을 보였다. 또한 ZD-18 센서는 pH 4.68에서 가장 큰 오차 0.185592를 보였다. 맥주박의 경우, 산도 5.32, 5.52, 5.68, 5.83pH 에서 각각 측정하였다. 각 센서의 판별계수(R2) SK-05(-), SP-T-300(0.0795), ZD-18(반비례), HI99121(0.5739)의 관계를 나타냈으며 이 중 HI99121가 가장 높은 선형성을 보였다.

○ 실험 결과 3종의 사료에서 선형성이 가장 뛰어난 H199121의 경우 전극형 pH 센서이기 때문에 현장에서의 적용이 어렵다. 반면 토양 pH 센서로 사용되는 3종의 성능이 매우 낮기 때문에 표준 센서로 사용되기는 어렵다. 현재, 시중에 판매되는 사료용 pH 센서가 없기 때문에 차선으로 토양 pH 센서를 선택하여 사용하여야 하나 이는 사료의 pH를 측정하기에 적합하지 않다. 그러므로 축산 사료의 pH를 측정하기 위해서는 다른 방법을 모색해야 할 것으로 판단된다.

나. 공정별 또는 사용자별 사용가능한 센서 종류 제시

○ 사료제조 공정은 크게 저장 → 제조 → 급이로 나뉜다. 각 공정을 거치면서 사료의 품질(수분, pH 등)이 변화할 수 있기 때문에 공정 간에 품질변화를 측정하는 것이 중요하다. 저장 탱크 내의 사료는 대용량이기 때문에 높이마다 사료의 품질(수분, pH)가 다를 수 있다. 그러므로 층위별 수분 측정이 가능한 형태의 센서를 사용해야 한다.

○ 농가 현장에서 급이 직전에 사료의 품질을 파악하기 위해 사용자가 사용하여야 할 센서는 들고 다니기 쉬운 형태이여야 한다. 또한, 사료마다 모양, 크기가 다양하기 때문에 측정 시 사료가 전극 사이에 낄 위험이 있어서는 안 된다.

○ 축산 사료의 품질을 측정하기에 적합하다고 판단된 수분 센서 5종, pH 센서 4종에 대

해 진행한 실험 결과를 바탕으로 공정별 사용가능한 센서 종류를 제시하고자 한다.

○ 수분 센서의 측정 방식에 따라 크게 TDR 방식, FDR 방식으로 나뉜다. FDR 방식을 채택하고 있는 2종의 센서는 WT 1000A, WT 1000B이다. TDR 방식을 채택하고 있는 3종의 센서는 VWC T1, VWC 2G, Cube M40이다. 위 5종의 센서를 이용하여 축산 사료 5종(미강, 밀기울, 맥주박, TMR, TMF)의 수분을 측정한 결과, 모든 사료에 대해서 높은 선형성을 띈 센서는 Cube M40 였다. 그러므로 공정에서 사용할 수 있는 센서는 Cube M40이라 판단하였다.

○ pH 센서는 토양 pH 센서로 사용되는 3종(SK-05, SP-T-300, ZD-18), 유리 전극형 pH 센서 1종(HI99121)을 선정하여 실험을 진행하였다. 실험 결과, 유리 전극형 pH 센서의 성능이 가장 뛰어났지만, 사료 추출물의 pH값과 센서로 측정한 pH값 선형성이 0.7894 수준이었다. 사료의 물성이 가장 비슷한 토양의 pH를 측정하기 위한 센서 3종의 경우 측정불가한 경우도 있었고, 선형성이 높지 않았다. 그러나 유리 전극형 센서의 경우 보통 액체 상태의 샘플의 pH를 측정하는 데 사용되므로 직접적으로 사료의 pH를 측정하는 데 한계가 있다.

8절 사료의 위해요소 신속 검출기 개발

1. 사료의 위해요소 신속 검출기 개발

가. 스마트폰 기반 간이형 위해요소 측정 센서 플랫폼 개발

(1) 항체의 마이크로비드에 고정화 기술 수정 및 최적화

폴리스티렌 입자에 항체 고정하는 방법은 4uL의 polystyrene latex 입자를 996uL의 EDC 활성 버퍼인 MES와 교반하고 수차례 세척과정을 거친다.

원심 분리기 9,000 RCF로 5분 → 내려앉은 0.91um polystyrene latex를 제외하고 MES 버린다. → 다시 MES 를 넣어 섞는다. → 원심 분리기 9000 RCF로 5분 → 같은 방법으로 MES 버린다.

튜브를 나누지 않고 1 mg/mL EDC를 1mL 넣어 준다. 실온에서 25분 동안 섞어준다. (Orbital shaker 사용) 원심분리기에 9,000RCF로 25분 동안 분리 / PBS로 re-suspend 후, 다시 원심분리 후 알갱이들이 가라앉 을 때까지 반복한다.

1mL PBS로 닦는다. / 원심 분리기 9,000 RCF로 25분간 원심 분리하고 새로운 용기에 항체 용액과 교반한다. 실온에서 3시간 동안 교반 후, 세척과정을 거쳐 1mL의 hydroxylamine을 섞는다. 원심 분리기 9,000 RCF로 25분 돌려서 가라앉은 결합물(항체- Polystyrene Latex)을 제외하고 나머지 용액을 빼낸 후, DI water 500ul을 넣고 섞는다.

○ 기존의 프로토콜에서는 최초의 polystyrene latex 입자 세척과정에서 DI water를 사용하였다. 그러나 수정된 프로토콜에서는 DI water 대신 pH 6.0의 50mM MES를 사용하였다. MES는 Latex 입자 표면의 카르복실기와 항체의 아민기를 결합시키기 위한 가교제 역할의 EDC를 활성화시킨다. 고정화 과정에 소요되는 시간을 줄이기 위해 원심 분리 시간을 단축하였다.

(2) 종이형 미세유체흐름칩의 패턴 설계

○ 종이형 미세유체흐름칩을 만드는 방법에는 크게 두 가지가 있다. 첫 번째는 감광제라고 불리는 SU-8 photoresist를 이용하여 제작하는 방법, 두 번째는 왁스 프린터를 활용한 제작 방법이다. 첫 번째 제작 방법에 비해 더욱 빠르고 간편한 방법인 두 번째 제작 방법을 택하여 종이형 미세유체흐름칩을 제작하였다.

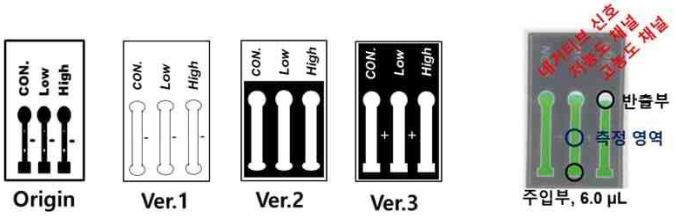
○ 왁스 프린터를 이용하여 제작할 경우 왁스 융해 과정을 거치면서 패턴 채널 폭의 정밀함이 떨어진다는 단점이 있다. 채널의 길이와 폭에 비해 측정하고자 하는 샘플의 양이 과하게 많다면 샘플이 이동하면서 사전에 로딩되어 있는 결합물(마이크로비드+항체)을 밀고 측정 영역을 벗어나 측정의 정확도가 떨어질 위험이 있다.

○ 측정하고자 하는 샘플의 양에 따라 패턴의 디자인을 적절하게 설계할 필요가 있다. 1회당 측정하고자 하는 샘플의 양이 약 6.0 μL이므로 채널의 길이와 폭을 각각 1.7 cm, 0.3 cm로 설계하였다.

○ 아래의 사진은 종이형 미세유체흐름칩 제작도 및 완성된 형태의 종이형 미세유체흐름칩이다. 결합물과 항원이 반응하였을 때, 결합물의 농도에 따라 신호 특성이 다르기 때문에 저농도 채널, 고농도 채널 각각 설계하였다. 그리고 마이크로비드에 항체가 고정되지 않아 항원이 유입되어도 반응하지 않는 신호를 제거하기 위해 네거티브 신호 채널을 추가로 설계하였다.

○ 샘플을 약 6.0 μL를 떨어뜨렸을 때, 반출부의 끝 또는 반 정도까지 도달하는 것으로 보아 측정 샘플의 양에 맞게 채널이 설계되었다고 볼 수 있다. 또한, 왁스 프린터를 이용하여 종이형 미세유체흐름칩을 제작한 경우, 융해 과정에서 왁스가 충분히 녹지 못하면 채널이 제대로 형성되지 않는다. 이러한 경우 샘플이 흐르는 도중에 채널에서의 누수가 발생할 수도 있는데 최종 형태의 패턴에서는 샘플의 누수 또한 없었다.

[그림] 왁스 프린터를 이용한 종이형 미세흐름칩 제작도



[그림] 종이형 미세흐름칩 디자인 및 설명

(3) 측정 플랫폼 설계 및 실험 조건 최적화

○ 스마트폰 기반 간이형 위해요소 측정 센서 플랫폼의 경우, 측정 시 외부 광원을 일반 형광등으로 설정하였기 때문에 별도의 광원이 필요가 없다. 그러나 형광등 바로 아래에서 실험을 진행할 경우 너무 많은 광이 종이에 조사되어 최적의 결과를 얻기 힘들기 때문에 형광등 바로 아래서 실험을 진행하는 것을 피하였다.

○ 측정 시 센서의 신호를 최대로 얻을 수 있는 조건인 스마트폰과 종이형 미세유체흐름칩 사이의 거리와 각도를 각각 9 cm, 65° 로 설정하였다. 일정한 각도에 스마트폰을 고정시

키기 위해 각도 스테이션을 Inventor로 제작하여 3D 프린트 하였다.

○ 신호 정규화를 위해 필요한 배경 신호를 얻기 위해 샘플을 떨어뜨리기 전에 이미지를 획득하였다. 그리고 샘플을 떨어뜨리고 약 30초 후에 이미지를 획득하였다. 하나의 칩 당 두 개의 이미지를 획득하였으며, 이때 카메라는 자동 초점/자동 노출을 고정시킨 조건 하에서 이미지를 획득하였다.

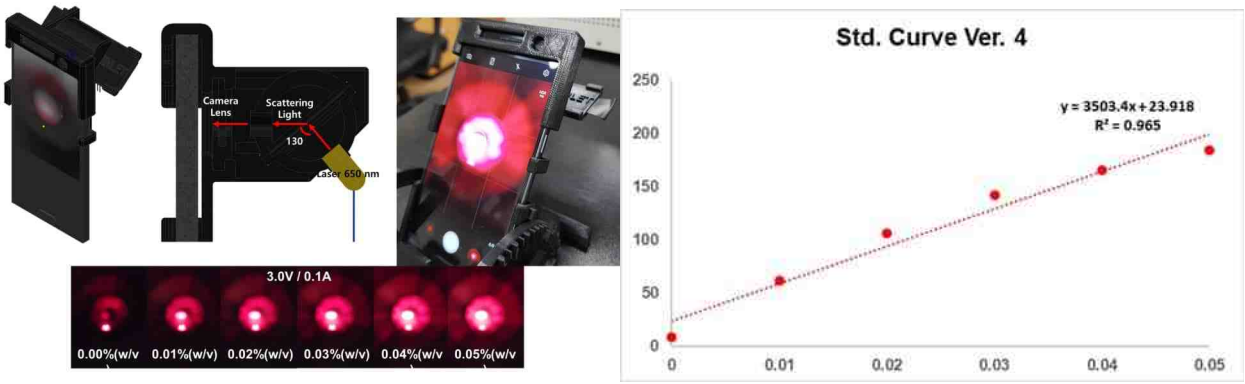
[그림] 스마트폰 기반 간이형 센서 플랫폼 및 측정 방법

(4) 스마트폰을 이용한 최종 결합물(마이크로비드 + 항체) 농도 측정 플랫폼 설계

○ 결합물의 농도를 일정한 수준으로 유지 또는 조절을 위해 결합물의 농도를 측정할 필요가 있다. 결합물의 농도를 확인하기 위해 만들어진 기존의 플랫폼은 회로 설계 및 복잡한 데이터 수집 방법의 어려움이 문제가 있었다. 보다 쉽게 결합물의 농도를 측정하기 위해 스마트폰을 이용하여 플랫폼을 설계하였다. 스마트폰을 이용할 경우 별도의 저장장치와 포토다이오드를 필요로 하지 않으므로 장치가 더욱 간단해진다는 장점이 있다.

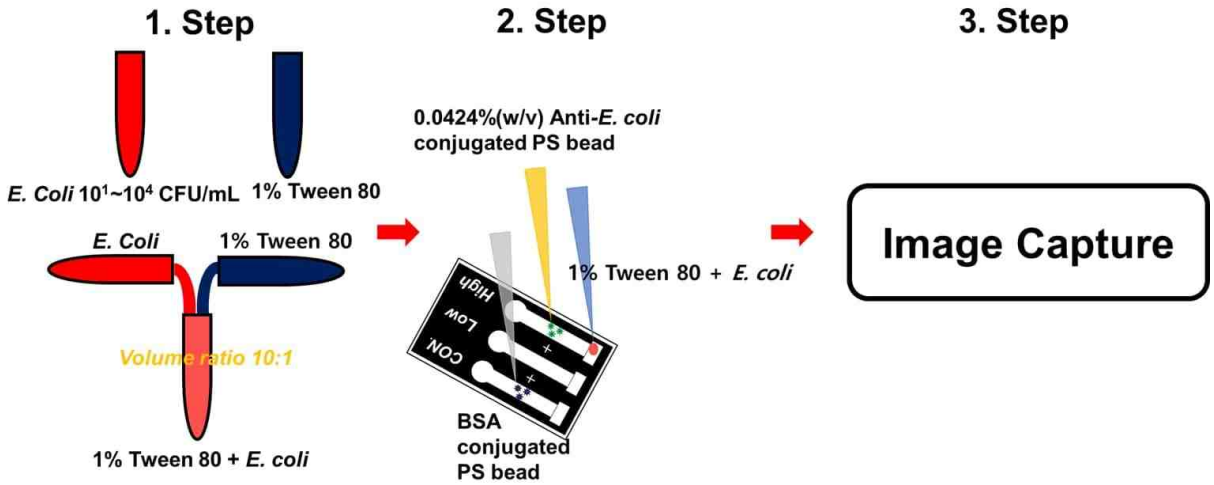
○ 광원은 이전과 동일하게 650 nm의 레이저를 사용하였다. 광원과 스마트폰 카메라 렌즈 사이의 각도는 130°이며 레이저에 3.0V를 인가하여 작동시키면 마이크로비드가 산란을 하고 농도에 따른 산란 특성을 스마트폰 카메라로 측정한다.

○ 획득한 이미지를 RGB로 각각 나눈 후, Green 값을 Image J 소프트웨어를 이용하여 분석하여 최종 결합물 농도 추정 표준 곡선을 개발하였다. 표준 곡선은 판별계수(R^2) 0.9479의 성능을 나타내었다.



[그림] 종이형 미세흐름칩

(5) 종이형 미세유체흐름칩을 이용한 위해요소(대장균) 검출



- 위해요소 검출 실험 진행 방법 -

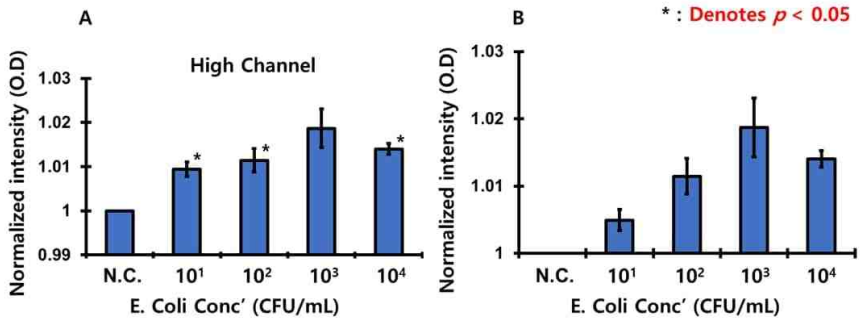
1) 1% Tween 80 및 E. coli K-12 10^8 CFU/mL 준비 (TSB 용액에 약 18시간 배양)
2) Serial dilution(DI water) 10^1~10^4 CFU/mL
3) 1% Tween 80 와 농도별로 섞음(부피비 10 : 1 = E. coli : Tween 80)
4) 농도가 측정된 최종 결합물(마이크로비드+항체)를 측정 영역에 로딩. 이때 저농도 채널, 고농도 채널에 각각 3.5 μL, 5.8 μL 로딩. 네거티브 채널의 경우 마이크로비드에 항체가 아닌 BSA를 고정시킨 결합물을 3.5 μL 로딩.
5) 1% Tween 80 + E. coli를 농도별로 주입부에 6.0 μL만큼 주입
6) 이미지 획득 및 분석

○ 농도 측정 플랫폼을 이용하여 항체가 고정된 비드의 농도를 확인한 결과 0.0424%(w/v)로 측정되었다. 매 실험마다 새 미세유체흐름칩을 사용하였다. 노이즈 신호 및 칩과 칩 사이의 데이터 편차를 제거하기 위해 정규화 과정을 거쳤고 또한 10^1~10^4 CFU/mL에서의 센서 신호에 대해서 기준 신호(N.C.)와의 유의 검정(T-test)을 진행하였다.

○ (A)에서 10^1,10^2,10^4 CFU/mL의 신호와 기준 신호(N.C.) 사이에 유의적인 차이가 있는 것으로 보아 제작한 스마트폰 기반 간이형 유해요소 검출 센서는 유해요소의 유무는 판

별 가능한 것으로 판단된다. 또한, 마이크로 비드의 농도를 정밀하게 조절할 경우 원하는 위해요소 농도에서 신호의 최댓값을 얻을 수 있다(Cho et al., 2017). Cho et al. (2017)은 10^1 CFU/mL에서 유의미한 결과를 얻기 위해 0.01%(w/v) 비드를 사용하였다고 보고되었다. 사용된 0.0424%(w/v)의 비드는 너무 농도가 높아 10^1 CFU/mL에서 유의미한 결과를 얻을 수 없었다.

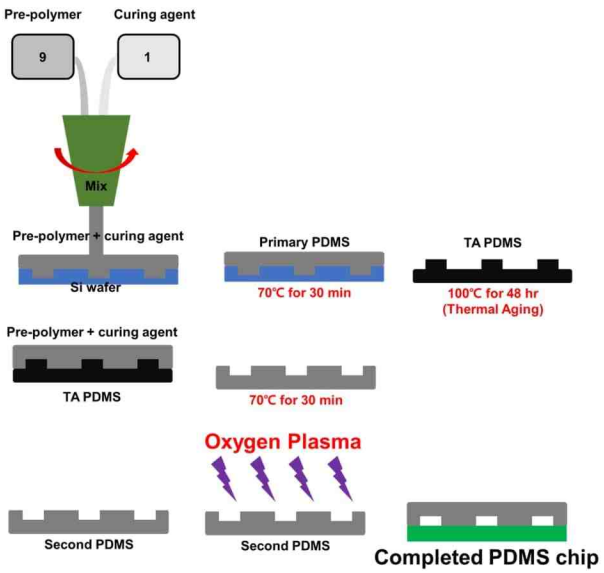
○ 스마트폰 기반 농도 측정 플랫폼을 이용하여 마이크로 비드의 농도를 적절하게 조절할 수 있고, 조절된 최종 결합물(마이크로비드+항체)을 이용하여 위해요소 검출 실험을 진행할 경우 (C)와 같은 개형의 위해요소 농도 표준 곡선을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.



[그림] 스마트폰 기반 간이식 위해요소 측정 센서를 이요한 위해요소 측정 결과

나. 연속형 위해요소 측정 센서 플랫폼 개발

(1) 연속형 사료 위해요소 측정 센서 플랫폼을 위한 PDMS 칩 제작



[그림] PDMS를 이용한 microfluidics chip 더블 캐스팅 방법

PDMS 프리폴리머와 경화제를 9:1 비율로 섞음 → Si 웨이퍼 표면에 질소가스를 증착, 프리폴

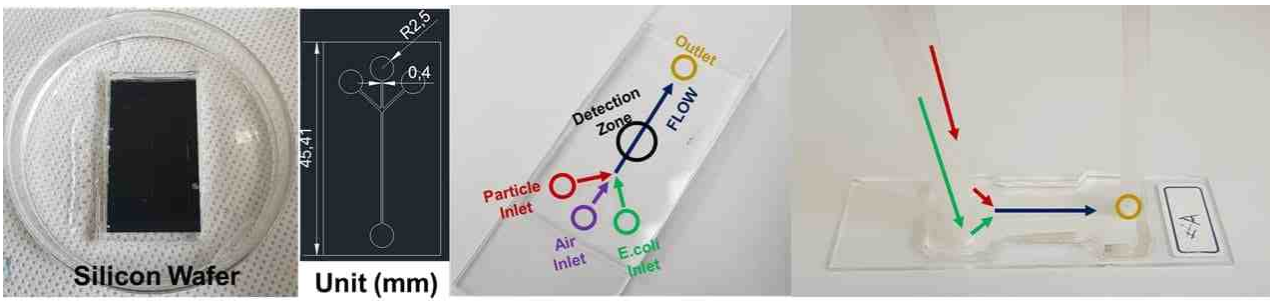
리머-경화제 혼합물을 Si 웨이퍼에 부어 기포가 제거될 때까지 대기

기포가 제거되면 70℃에서 30분 동안 경화(1차 PDMS) → 1차 PDMS를 100℃에서 48시간 동안 thermal aging(TA PDMS) → TA PDMS를 꺼내어 다시 프리폴리머-경화제 혼합물을 부음 → 기포가 제거되면 70℃에서 30분 동안 경화(완성 PDMS)

완성 PDMS 표면과 슬라이드 글라스 표면에 산소 플라즈마 처리 → 플라즈마 처리가 완료된 PDMS와 슬라이드 글라스를 붙이고 약 10분 동안 압력을 가함

○ 재사용으로 인한 원본 Si 웨이퍼의 훼손을 막기 위해 더블 캐스팅 방법을 택하였다. 사용하던 PDMS 칩이 파손된 경우 Si 웨이퍼 없이 TA PDMS만 이용하여 다시 만들 수 있다. Auto CAD를 이용하여 패턴 설계 시, 패턴의 채널 영역을 음각으로 설계해야 한다. 패턴의 채널이 음각인 경우에만 더블 캐스팅 제작 방법을 이용할 수 있다.

○ 완성된 형태의 PDMS 칩을 만들고 난 후 주입부, 반출부에 실리콘 튜브를 삽관하였다. 각 주입부, 반출부에 피스톤을 연결하여 유체를 흘렸을 때 압력이 높아져 발생할 수 있는 유체의 누수는 발생하지 않았다.



[그림] PDMS 형 microfluidic chip 채널 디자인

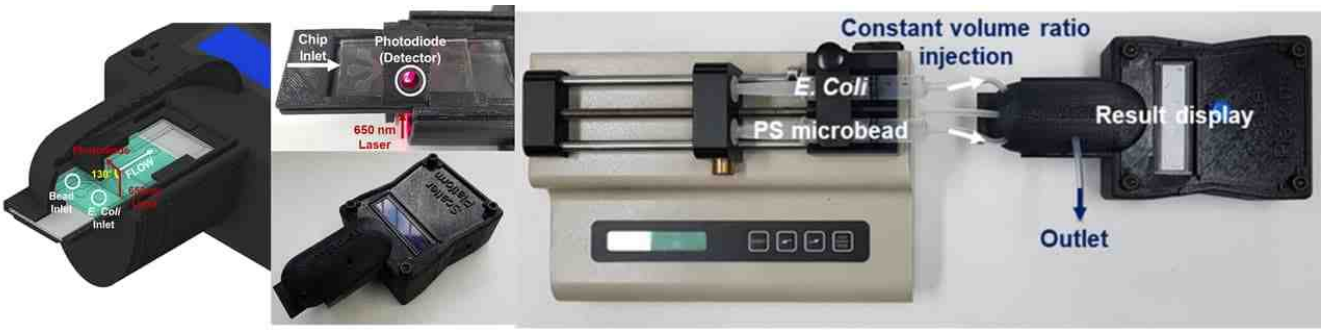
(2) 연속형 사료 위해요소 검출 센서 플랫폼 설계 및 특성 분석

○ PDMS 미세유체흐름칩을 이용하여 사료로부터 추출된 균의 농도를 연속적으로 측정하기 위해 광학 플랫폼을 설계하였다. 항원에 의해 서로 응집된 광산란체로부터 산란광을 최대로 얻기 위해 650 nm의 광원 포토다이오드 사이의 각도를 130°로 설계하였다.

○ 포토다이오드로부터 읽어 들인 신호를 컴퓨터로 받아 저장 및 분석을 하기 위해 아두이노 나노 마이크로프로세서를 이용하여 회로를 제작하였다. 회로는 직류 12V의 작동전압을 가지며 증폭 회로가 내장되어 있어 미세한 차이의 산란 세기를 정밀하게 측정할 수 있게 설계되었다. 포토다이오드에서 발생한 전기 신호는 회로를 통해 증폭되어 마이크로프로세서에 입력된다. 마이크로프로세서가 0~5V의 입력 신호를 0~1023의 값으로 변환시켜 컴퓨터에 입력된다. 측정된 균 농도를 플랫폼에서 바로 확인할 수 있도록 LCD 디스

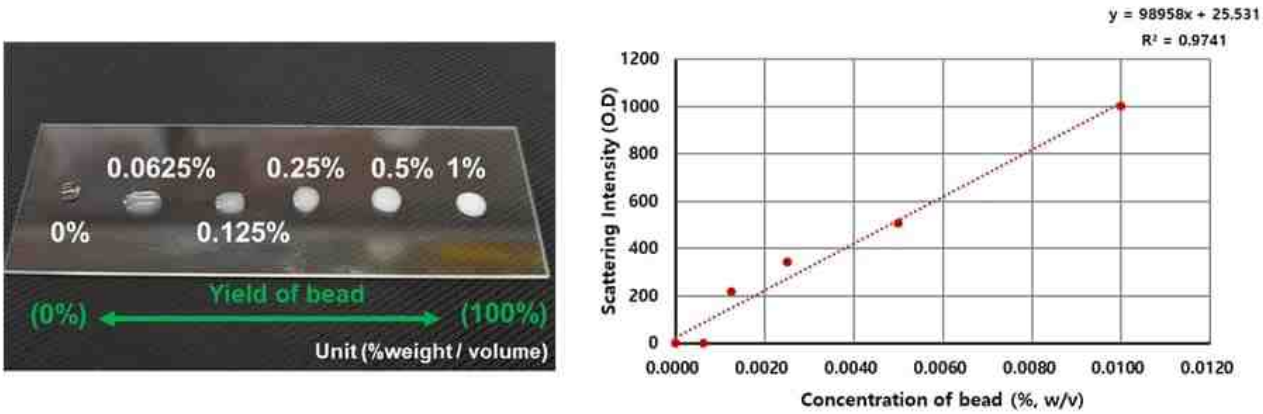
플레이를 설치하였다.

○ 사료로부터 추출된 균과 최종 결합물(마이크로비드+항체)을 미량의 부피비로 일정하게 주입하기 위해 실린지 펌프를 사용하였다. 실린지 펌프는 유량을 마이크로리터 수준까지 조절이 가능하며 듀얼 실린지 제어 방식이다.



[그림] 공장용 연속식 위해요소 측정 플랫폼 디자인

○ 제작한 연속형 플랫폼을 이용하여 항체가 고정되어 있지 않은 마이크로비드의 농도를 변화시켜가며 서로 다른 산란 특성을 측정할 수 있는지에 대한 실험을 수행하였다. 마이크로비드는 총 0~1% 6개 수준의 농도를 준비하였다. 연속형 플랫폼을 이용하여 각 농도별 비드의 산란 세기를 측정하였다. 이 결과를 이용해 마이크로비드의 농도를 추정할 수 있는 표준 곡선을 개발하였고 표준 곡선의 판별계수(R2)는 0.9741이었다.



[그림] 공장용 연속식 위해요소 측정 플랫폼을 이용한 농도에 따른 비드의 산란 세기 특성

9절 사료용 센서의 사용자 편의 기능 개발

1. 디스플레이, IoT 인터페이스 원격수신을 위한 플랫폼 개발

가. 디스플레이, IoT 인터페이스 기반 사료용 수분 센서

○사료에 대한 수분센서, pH 센서 선정 실험 및 결과를 바탕으로 플랫폼 개발에 적용할 수 있는 수분 센서를 선택하였다. 층위별 수분 측정이 가능하며 실험에 사용된 총 5종의 사료(미강, 밀기울, 맥주박, TMR, TMF)에 대해 선형성이 우수한 Cube M40 제품을 선택하여 원격수신 플랫폼을 개발하였다.

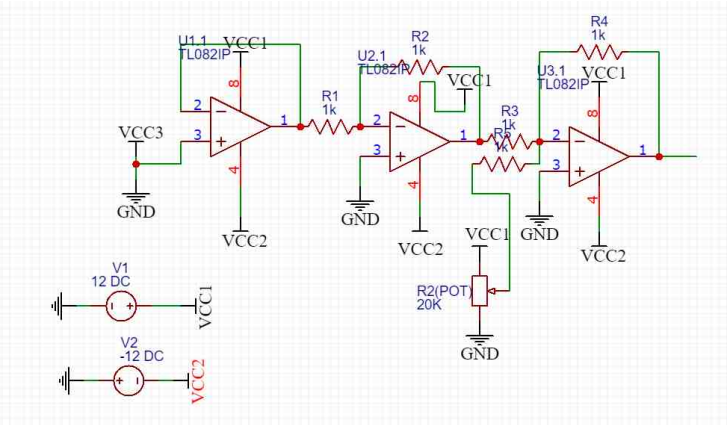
○ Cube M40의 Raw data를 원격수신을 위한 별도의 어댑터를 장착하였다. 어댑터를 장착함으로써 실시간 데이터 수신이 가능하며 이를 스마트폰 또는 웹페이지에 실시간으로 디스플레이 하게 된다.

[그림] 원격수신이 가능한 수분 센서 플랫폼

나. 디스플레이, IoT 인터페이스 기반 사료용 pH 센서

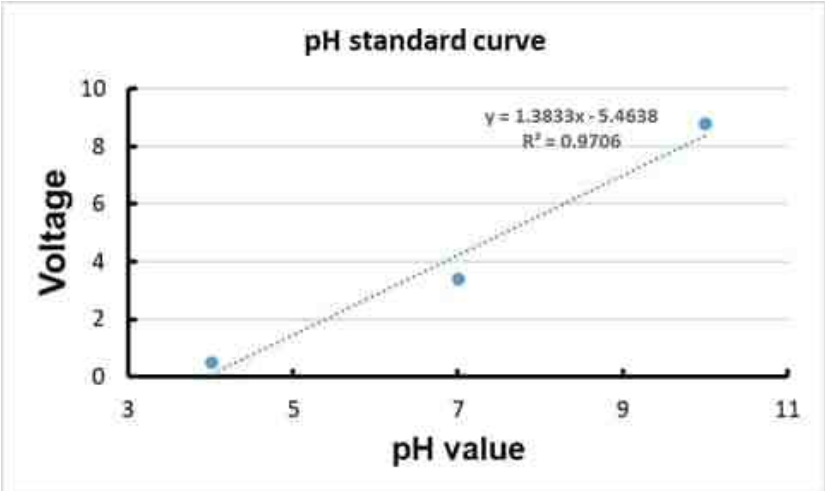
○ pH 센서의 경우 시중에 '사료용 센서'로 판매되고 있는 제품이 없기 때문에 실험을 통해 선정하였다. pH 센서의 경우 총 3종의 사료(TMR, TMF, 맥주박)에 대해 선형성이 우수한 유리전극 형 pH 센서를 선택하여 원격수신 플랫폼을 개발하였다.

○ 유리전극 형 pH 센서의 경우 일반적으로 BNC 케이블을 이용하여 신호를 획득할 수 있다. 유리전극 형 pH 센서는 저항값이 매우 높으므로 측정된 신호를 증폭할 수 있는 증폭회로가 없는 경우 정교한 측정이 불가하다. 원격수신 플랫폼을 제작하기 위해 직접 PCB 기판을 설계하고 제작하여 pH 센서를 만들었다.



[그림] 유리전극형 pH 센서 제작을 위한 증폭 회로도

○ 제작된 기판에 ADC 12 어댑터를 부착하여 DC 12V를 인가한다. 인가된 전압은 회로를 작동시키며 신호 증폭비는 10^6였다. 제작한 pH 센서를 이용하여 pH calibration을 실시하였다.



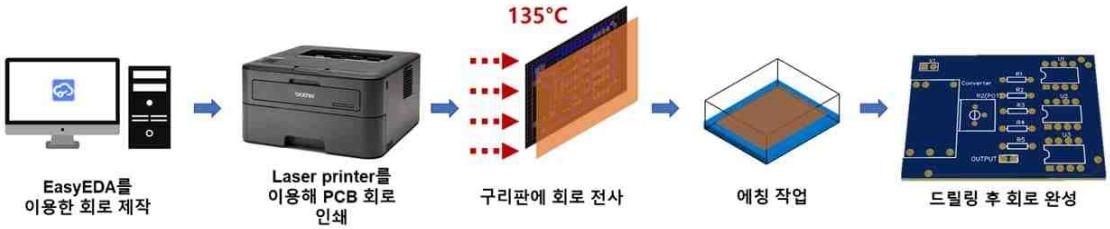
[그림] 제작한 pH 센서를 이용해 개발한 pH 표준곡선

○ 제작된 기판에 ADC 12 어댑터를 부착하여 DC 12V를 인가한다. 인가된 전압은 회로를 작동시키며 신호 증폭비는 10^6였다. 제작한 pH 센서를 이용하여 pH calibration을 실시하였다.

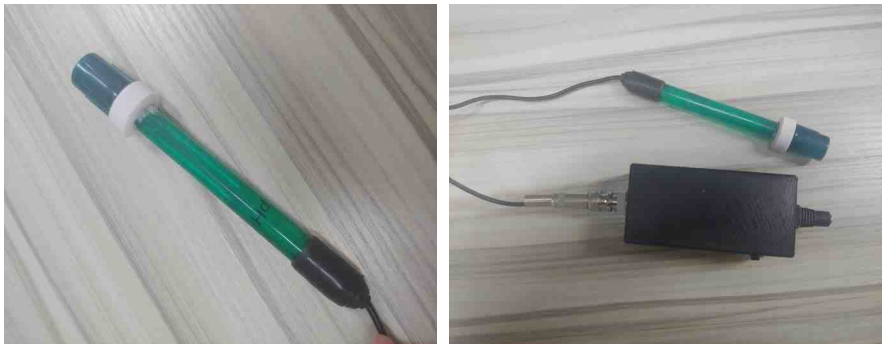
○ pH 4.01, 7.01, 10.01의 완충용액을 준비하였다. 유리전극을 시료에 넣고 1분 이내에 시그널이 안정적으로 획득되었다. 개발된 표준곡선에 측정값을 대입하면 시료의 pH 값을 구할 수 있다. 측정 가능한 pH 범위는 4.01 - 10.01이며 개발된 표준곡선의 결정계수는 0.9706로 매우 우수하였다.

- PCB 기판 제작 방법 -

1) 제작하고자 하는 회로를 오픈 소프트웨어인 EasyEDA를 이용하여 구성
2) 와이어링이 끝난 PCB 회로를 코팅 종이에 레이저 토너 프린터를 이용하여 인쇄
3) 회로가 인쇄된 종이를 구리 동판에 밀착 후 약 135°C로 2분 동안 가열하여 전사
4) 전사가 완료된 구리동판을 에칭 용액에 담그어 불필요한 부분을 제거
5) 에칭이 완료된 기판에 드릴링 또는 납땜하여 기판 완성



[그림] 회로 제작 플로우 차트



[그림] 원격수신이 가능한 유리전극 형 pH 센서

다. 사료용 센서(수분, pH) IoT 디스플레이, 인터페이스

(1) 수분, pH센서 하드웨어 구성

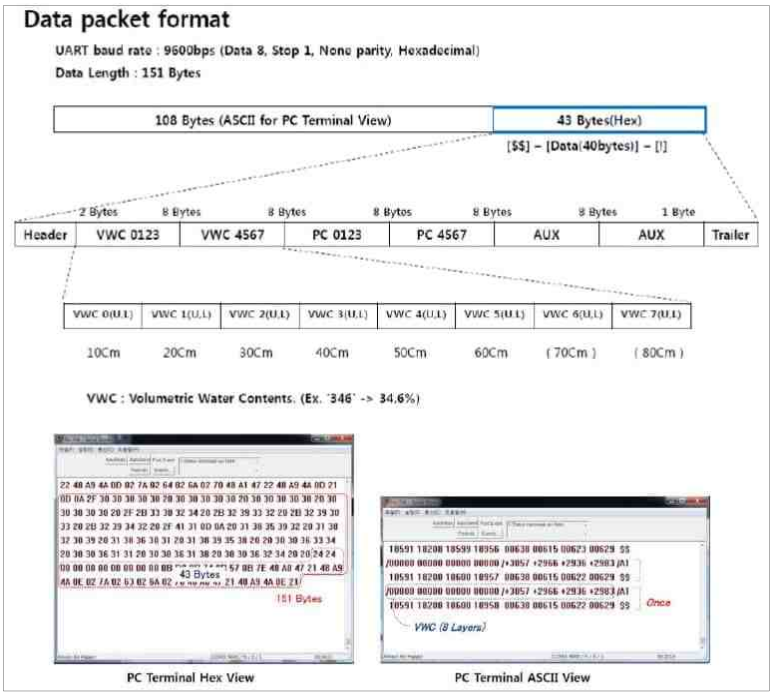
1-1. 수분센서

[그림] 송수신 모듈이 부착된 토양수분센서

○ 토양수분센서는 깊이(10cm)별로 각각 수분정보가 측정되는데, 사용한 모델은 40cm 깊이까지 측정되어 4개의 깊이별 함수율정보(함수율 10, 함수율 20, 함수율 30, 함수율 40)

를 측정

○ 사용한 토양수분센서는 시리얼 통신이 가능한 모델로 RS232 to USB 컨버터를 활용하여 측정된 정보를 수신할 수 있다. 전달되는 데이터 패킷의 포맷은 아래와 같음

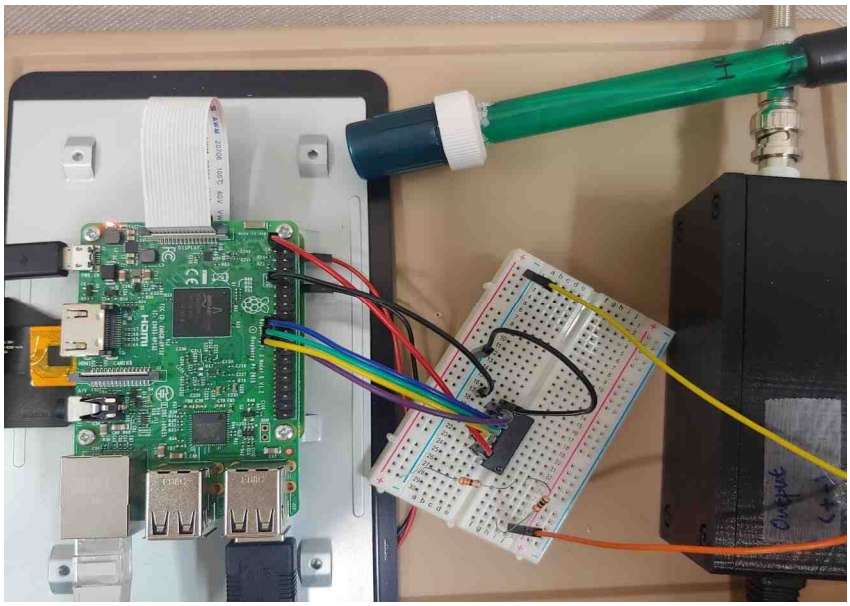


[그림] 토양수분센서 통신 프로토콜

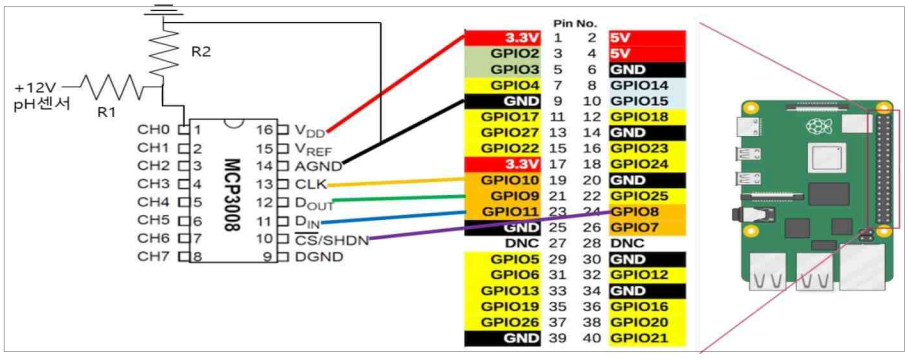
1-2. pH센서

○ 유리전극형 pH센서 Raw data를 수신하고, 클라우드로 전송할 수 있는 pH 플랫폼을 위해 pH 센서와 아날로그-디지털 컨버터를 연결함

○ pH 센서를 통해 측정된 전압을 전위차 법을 이용하여 $\frac{R2}{R1+R2}$의 비율로 낮추고, 낮춰진 전압을 아날로그 디지탈 컨버터(mc3008, ADC소자)를 이용하여 디지털값으로 변환하여 측정

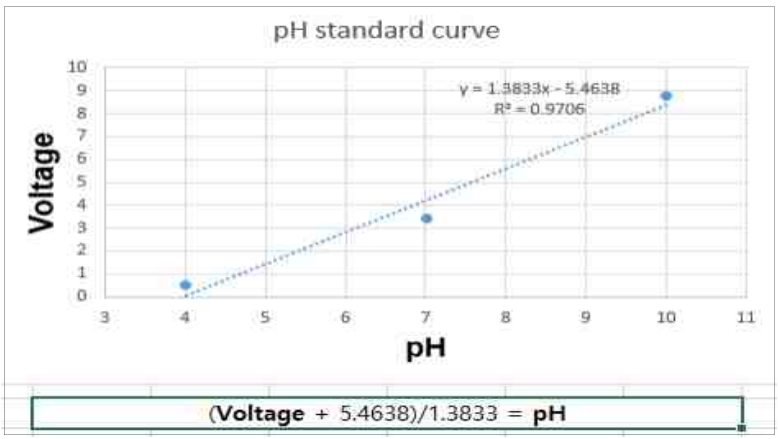


[그림] pH 센서와 아날로그-디지털 컨버터(mcp3008)



[그림] 사용한 ADC(mcp3008) 회로도

○ 라즈베리파이를 통해 획득한 디지털값을 pH 값으로 환산하기 위해 아래와 같은 표준곡선을 이용함



[그림] pH 센서 디지털값 전환 공식

(2) 데이터 베이스 정보

입력 센서정보	입력 테이블명	측정범위	DB입력 정보 예시
pH	observation, current observation	0~14 (pH)	5.3 pH
함수율10	observation, current observation	0~100 (%)	56.4 %
함수율20	observation, current observation	0~100 (%)	76.4 %
함수율30	observation, current observation	0~100 (%)	46.4 %
함수율40	observation, current observation	0~100 (%)	36.4 %

(3) 작성된 코드 샘플

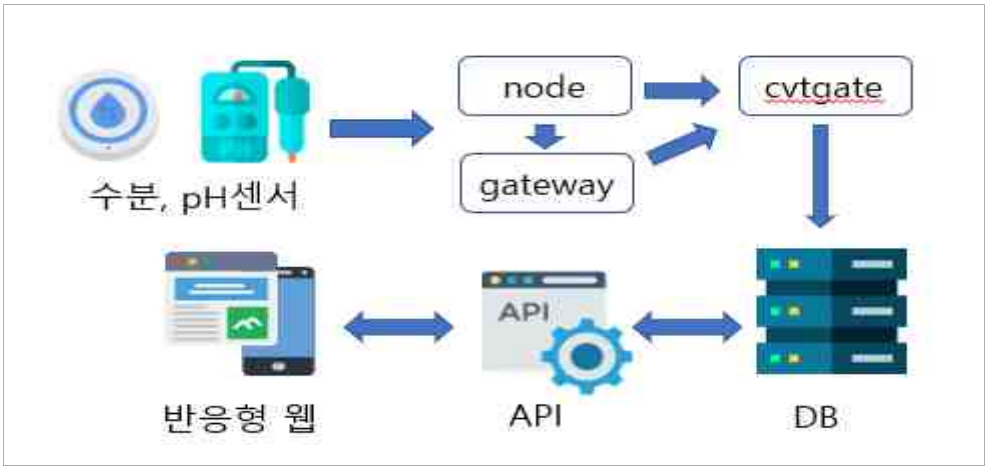
```
    def analog_read(self, channel):
        spi = spidev.SpiDev()
        spi.open(0,0)
        spi.max_speed_hz = 1000

        values = []
        for i in range(10):
            r = spi.xfer2([1, (8 + channel) << 4, 0])
            values.append(((r[1]&3) << 8) + r[2])
        spi.close()
        return values

    def readmsg(self):
        readinglist = self.analog_read(0)
        readinglist.sort()
        temp = readinglist[2:8]
        obs = sum(temp)/len(temp)
        print "obs", obs

        gw = self._devinfo.getgw()
        nd = gw["children"][0]
        dev = nd["children"][0]

        obsblk = Observation(nd["id"])
        obsblk.setobservation(nd["id"], 0, StatCode.READY)
        obsblk.setobservation(dev["id"],    self.getvalue(dev["id"],    obs),
StatCode.READY)
        self._msgq.append(obsblk)
```

(4) 웹 인터페이스 개발

1-1. 하드웨어 및 네트워크 설계

○ 개발된 플랫폼으로부터 송신되는 값을 수신하여 실시간 모니터링이 가능한 웹 인터페이스를 개발

1) 수신된 센서 데이터 정보를 차트 형식으로 조회할 수 있음
2) 수신된 센서 데이터 정보를 엑셀 형식으로 다운받을 수 있음
3) 수신된 센서 데이터의 현재값을 조회할 수 있음
4) 웹 및 모바일 형식으로 조회가 가능

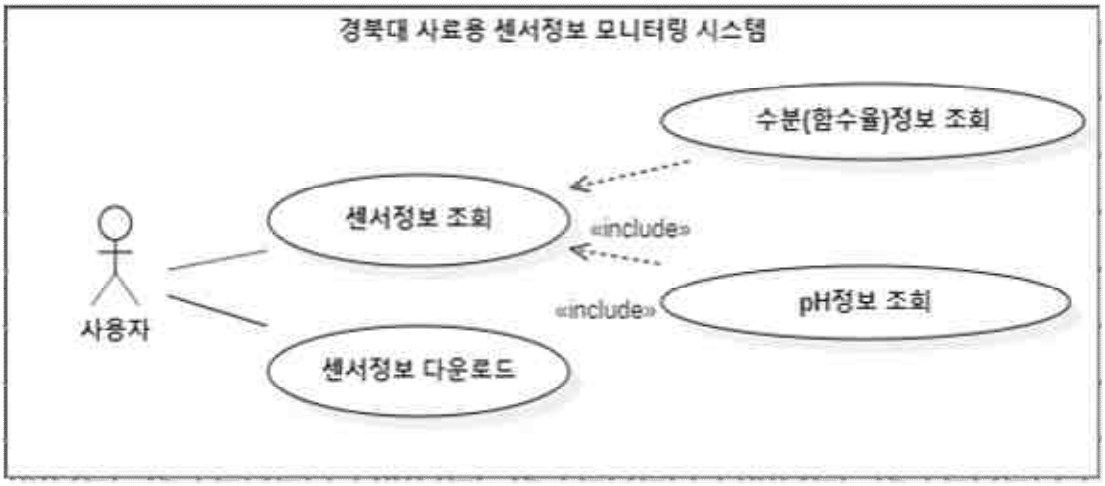


[그림] 사료정보 측정시스템 하드웨어 및 네트워크 구성도

○ 센서로부터 송신되는 데이터를 수집하기 위해 cvtgate(데이터수집엔진)을 사용

○ cvtgate(데이터수집엔진)은 디바이스 연동을 위한 미들웨어이며 json 기반 설정에 따라 데이터 변환이 가능한 특징을 가지고 있으며 mate라는 모듈을 추가를 통해 특정 장비와의 연결을 손쉽게 할 수 있다는 장점이 있음

○ DB로 수집된 센서 정보는 Rest API를 사용하여 반응형 웹형태의 사용자 인터페이스(UI)에서 보여지게 됨



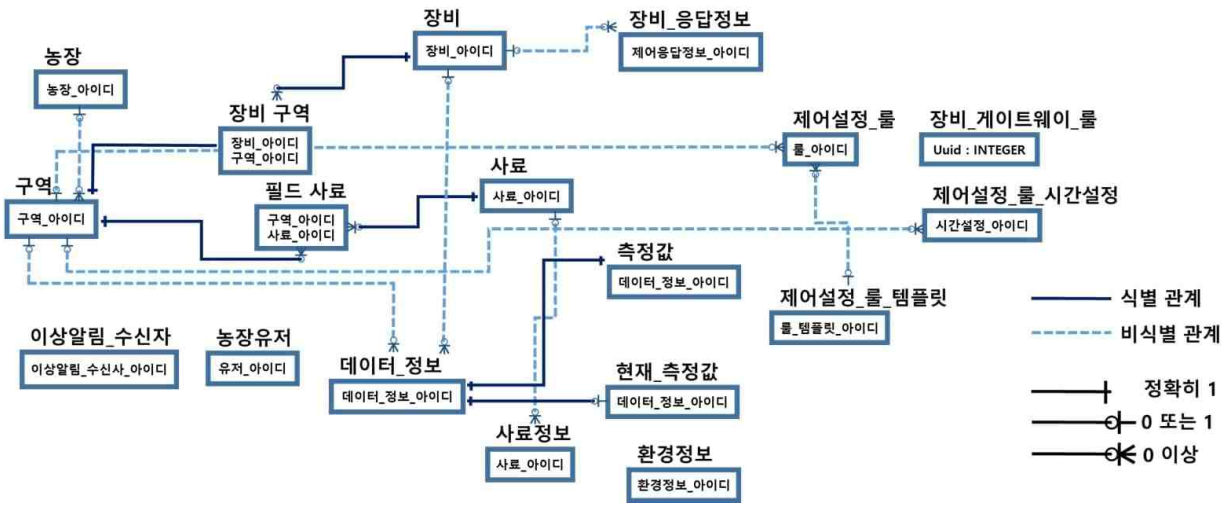
[그림] 사료용 센서정보 모니터링 시스템 유즈케이스

○ 사료용 센서정보 모니터링 시스템의 경우 사용자가 경우에 따라 센서정보를 실시간으로 조회도 가능하며 엑셀자료로 다운로드도 가능함

○ 일별 센서정보를 엑셀자료로 다운로드 되면 수분, pH 정보가 저장되어 있음

○ 스마트폰으로 실시간 모니터링이 가능하며 수분, pH 정보 조회가 가능함

1-2. 센서정보 모니터링 논리



[그림] 사료용 센서정보 모니터링 시스템 논리 ERD

○ ERD는 실체와 이들의 관계를 도형으로 표현한 것으로 실체 연관도라 불림. 실체 상관관계 다이어그램은 사용자와 어플리케이션 개발자 간의 자료를 공통적으로 이해할 수 있도록 하는 유용한 매체

○ 사료용 센서정보 모니터링 시스템은 측정에 있어 문제가 생기면 즉시 알림을 사용자에게 날려 이를 인지할 수 있도록 설계되었음

○ 사용자가 정의한 아이디로 로그인 할 경우, 필요에 따라 센서정보 실시간 모니터링 또는 축적된 데이터를 엑셀 형식으로 다운로드가 가능함

1-3. 센서정보 모니터링 테이블 정의서

① farm

순번	칼럼	칼럼명	데이터타입
1	id	농장_아이디	int(11)
2	name	농장명	text
3	info	농장정보	text

② observations

순번	칼럼	칼럼명	데이터타입
1	data_id	데이터_아이디	int(11)
2	obs_time	측정날짜	datetime
3	nvalue	측정값	double

③ current_observations

순번	칼럼	칼럼명	데이터타입
1	data_id	데이터_아이디	int(11)
2	obs_time	측정날짜	datetime
3	nvalue	측정값	double
4	modified_time	수정시간	datetime

1-4. 센서정보 모니터링 Restful API

○ REST는 WWW와 같은 분산 하이퍼미디어 시스템을 위한 소트프웨어 아키텍처의 한 형식으로 REST는 네트워크 아키텍처 원리의 모음을 의미

○ 네트워크 아키텍처 원리란 자원을 정의하고 자원에 대한 주소를 지정하는 방법 전반을 일컫는 것으로 REST는 요소로는 크게 리소스, 메서드, 메시지 3가지 요소로 구성되며 이러한 행위에 대한 메서드로 HTTP 메서드를 그대로 사용

○ 특히 REST에서는 CRUD(Create Read Update Delete)에 해당하는 4가지의 메서드만을

사용

○ 그러므로 특히 HTTP 형식의 웹에 특화되어 있으며 본 연구과제의 사료정보 모니터링 인터페이스는 웹 형식의 인터페이스이므로 REST 방식을 선택하여 API를 설계

Paths	method	설 명
/feed/observation	get	사료 센서 정보를 조회한다
/feed/current/observation	get	사료 센서 정보 현재값을 조회한다
/feed/download	get	사료 센서 정보를 다운로드 한다

[그림] 사료정보 모니터링 서비스 REST API 명세서

① /feed/observation

② /feed/current/observation

③ /feed/download 개요

1-5. 센서정보 모니터링

① 센서정보 조회화면

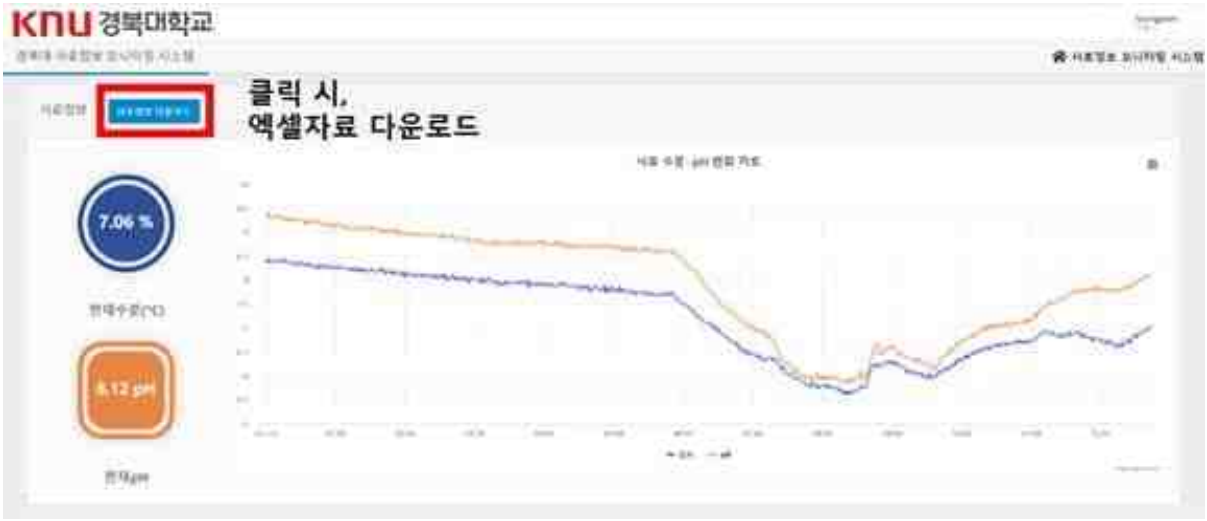
○ 센서 출력값을 모니터링 하기 위해 정해진 주소를 입력하면 다음과 같은 화면이 뜸

○ 센서 출력값 조회화면으로 사료용 센서 측정정보와 현재값 정보를 조회할 수 있음

○ 조회화면에서는 일별 센서정보를 조회할 수 있으며 pH, 함수율 정보 시계열 차트로 조회할 수 있음

[그림] 원격수신이 가능한 사료용 센서를 이용한 사료 정보 모니터링 시스템, 웹페이지 (상), 스마트폰 어플 (하) 화면

② 센서정보 다운로드



[그림] 웹페이지 형식의 모니터링 시스템에서 엑셀자료 다운로드

○ 일별 센서정보(pH, 함수율) 엑셀형식으로 다운로드가 가능함

○ 개발된 원격수신 pH, 수분 센서를 이용하면 실제 현장에서 측정된 사료의 pH 또는 함수율을 실시간 모니터링이 가능하다. 시간 별로 pH, 함수율을 추이를 분석할 수 있을 뿐만 아니라 사료의 품질 향상 또는 균일화를 위해 적시에 조치가 가능해진다. 웹페이지에서 뿐만 아니라 스마트폰으로도 원격 모니터링이 가능하다.

10절 사료 위해요소 측정용 센서 개발

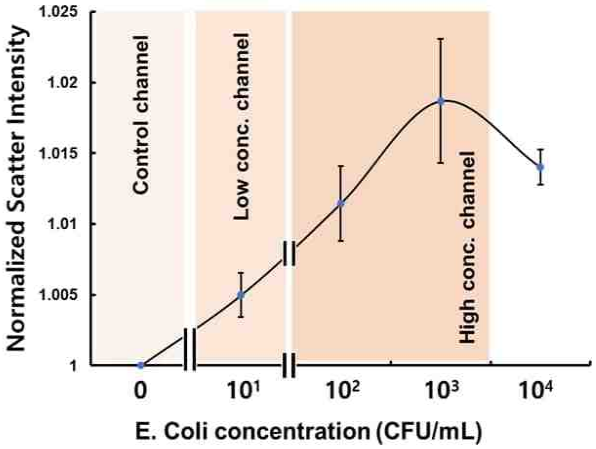
1. 스마트폰 기반 간이식 사료 위해요소 측정용 센서 개발

가. 간이식 측정용 센서를 이용한 센서 표준곡선 개발

○ 2차년도에서 마이크로비드에 항체를 고정화하는 방법을 최적화 하였음. 이를 바탕으로 만든 항체가 고정된 마이크로비드를 이용하여 표준곡선을 개발함

○ 매 실험마다 새 미세유체흐름칩을 사용하였으며 노이즈 신호 및 칩과 칩 사이의 데이터 편차를 제거하기 위해 정규화 과정을 거침

○ 데이터 획득에 최적화된 각도(스마트폰 - 종이 칩)를 유지하며 노출, 초점을 고정시킨 후 이미지를 획득하였음



농도(CFU/mL) / 반복수	10^1	10^2	10^3	10^4
#1	1.00188	1.0147	1.0157	1.0162
#2	1.00692	1.0062	1.0130	1.0120
#3	100607	1.0134	1.0273	1.0137

[그림] 간이식 측정용 센서를 이용한 센서 표준곡선 및 산란값 테이블 표

○ 획득한 이미지에서 관심 영역의 R, G, B 값을 각각 분석하여 정규화하여 데이터를 산출한 후 그래프로 나타내었음. 최초 목표하였던 0 - 100 CFU/mL 사이의 데이터를 획득하였음. 제작된 종이 미세유체칩에는 총 3개의 채널이 존재하는데 검출하고자 하는 위해요소의 농도에 따라 분석해야 하는 채널이 다름. Low conc. 채널에서는 10^1 CFU/mL 수준의 균을 측정할 수 있고, High conc. 채널에서는 10^2-10^3 CFU/mL 수준의 균을 측정할 수 있음

○ 각 채널에서 측정 가능한 균의 농도가 다른 이유는 로딩되어 있는 항체-비드의 농도가 다르기 때문임. 항체-비드의 농도가 증가하면 할수록 반응 시 발생하는 산란의 특성이 변화하는데 이 때문에 산란 세기의 최고점의 위치가 달라짐. 고농도의 항체-비드 일수록 고농도의 균을 측정하는 데 유리함.

○ 본 연구에서는 약 0.02%(w/v) 농도의 항체-비드를 사용하였음. 그 결과, 0 - 10^3 CFU/mL 범위의 표준곡선은 (158.73 x Normalized Intensity) - 159.13 이며 결정계수는 0.9932로 매우 우수한 성능을 보였음

나. 사용자 편의 애플리케이션 개발

○ 간이식 위해요소 센서를 이용할 경우, 스마트폰과 종이형 미세유체흐름칩 사이의 각도는 65도. 각도를 유지하며 이미지를 획득하여야 최적의 결과를 획득할 수 있음. 현장에서 위해요소 측정 시, 사용자를 고려하여 편의성을 제공하기 위해 전용 애플리케이션을 개발함.

○ 애플리케이션은 실행하면 초점, 가이드라인, 촬영 버튼이 나타남. 종이를 가이드라인에 맞추어 위치한 후, 초점 버튼을 눌리면 초점과 노출이 고정됨.

○ 종이형 미세유체흐름칩 위치의 가이드라인 뿐만 아니라 분석 영역 가이드라인도 함께 디스플레이되어 있기 때문에 사용자가 적절하게 분석에 유리하게 위치를 조절할 수 있도록 설계하였음.

○ 위치를 고정한 후, 상단의 촬영버튼을 누르면 이미지를 분석한 결과가 결과창에 디스플레이 됨.

○ 애플리케이션 실행부터 결과 디스플레이까지는 약 2분이 걸리며 매우 신속하고 간편하게 위해요소를 측정할 수 있음.

[그림] 사용자 편의 애플리케이션을 이용한 위해요소 분석

2. 연속식 공장용 사료 위해요소 측정용 센서 개발

가. 공장용 연속식 플랫폼 자동화 설계

○ 샘플 주입부터 결과값 출력까지 자동화를 위해 아두이노 나노를 활용하였음. 연속식 공장용 플랫폼 내에 아두이노 나노가 내장된 PCB 기판이 있으며 이는 각 액추에이터를 작동 및 센서의 출력을 수신함. 아두이노는 다음과 같은 장점을 가짐

(1) 소프트웨어 개발을 위한 통합 환경(IDE)이 간소화되었음. 즉, 아두이노는 컴파일된 펌웨어를 보드 내 USB 포트에서 PC의 USB 포트로 케이블을 연결하는 것만으로 쉽게 업

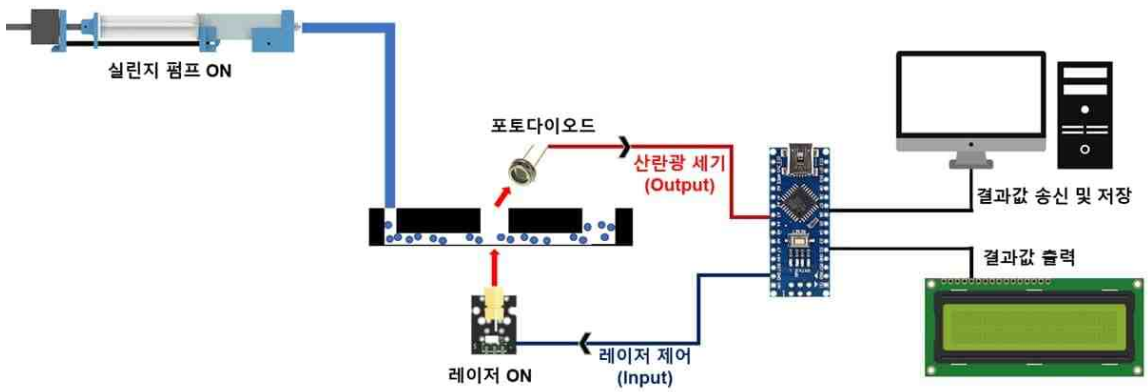
로드 할 수 있음

(2) Windows를 비롯한 Mac OS X 및 Linux와 같은 다양한 OS 환경을 지원

(3) 다양한 소프트웨어와 연동이 가능함

(4) 가격이 매우 저렴하며 아두이노와 호환되는 액추에이터 또는 센서가 매우 다양함

(5) 아두이노는 오픈 소스이기 때문에 각 사용자의 목적에 맞게 코딩하여 플랫폼을 제작할 수 있음



[그림] 아두이노 나노를 이용한 공장용 연속식 위해요소 측정 플랫폼의 자동화

○ 샘플이 주입 후, 레이저를 작동시키면 측정이 자동적으로 시작됨. 레이저는 아두이노 나노로부터 5V의 전압을 인가받아 작동되며 측정부에서 측정되는 산란광 세기는 포토다이오드를 통해 측정.

○ 포토다이오드는 매 초마다 데이터를 아두이노 나노로 송신하며 아두이노 나노는 이를 디지털값으로 변환하여 출력함. 이때, 플랫폼에 내장된 LCD 디스플레이에 결과값을 출력할 뿐만 아니라 시리얼 통신으로 연결된 컴퓨터에도 결과값을 출력 및 저장하기 위해 PLX-DAQ 오픈소스 코드를 활용하였음.

[사용된 아두이노 코드]

```
const int buttonPin = 4;
const int LaserPin =  2;
int row = 0;
int Photodiode = 3;
int DiodeVal;

int Laser_stat = 0;
int buttonState = 0;
unsigned long int milli_time;
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,2);
```

```
void setup() {
   lcd.init();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Scatter Platform");
Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Computer   Time,Time   (Milli   Sec.),Intensity,Raw
data");
  delay(1000);

  pinMode(LaserPin, OUTPUT);
  pinMode(Photodiode, INPUT);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
}
void loop(){
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  DiodeVal = analogRead(A3);
  float voltage = DiodeVal * (5.0 / 1023.0);

  if (buttonState == HIGH && Laser_stat == 0)
 {
    Laser_stat = 1;
    if(Laser_stat == 1){
      Laser_ON();
          }
 }
    else if(buttonState == HIGH && Laser_stat == 1)
    {
      Laser_stat = 0;
      if (Laser_stat == 0) {
        Laser_OFF();
      }
  }
if(Laser_stat == 1)
{
          milli_time = millis();
          Serial.print("DATA,TIME,");
          Serial.print(milli_time/1000);
           Serial.print(",");
          Serial.println(DiodeVal);
           row ++;
}
    if(row  == 30)
   {
     row = 0;
     Serial.println("ROW,SET,2");
```

```
   }
  delay(1000);
}
void Laser_ON()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,1);
   lcd.print("Light :");
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print("ON");
  digitalWrite(LaserPin,HIGH);
}
void Laser_OFF()
{
   lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,1);
   lcd.print("Light :");
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print("OFF");
  digitalWrite(LaserPin,LOW);
}
```

○ 시리얼 통신을 통해 획득되는 결과값은 엑셀 파일에 저장 및 출력되며 이를 사용자가 저장하여 데이터를 활용할 수 있음.

나. 공장용 연속식 플랫폼을 이용한 센서 표준곡선 개발

○ 간이식 위해요소 측정 센서 플랫폼에서 사용한 항체 고정된 마이크로비드를 사용하여 표준곡선을 개발하였음

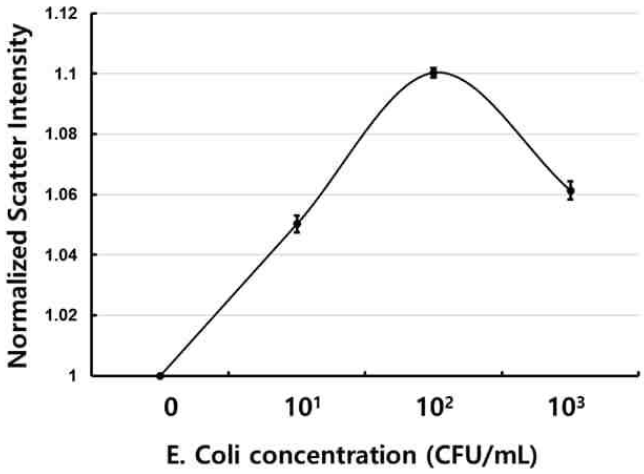
○ 서로 다른 농도의 균과 항체가 고정된 마이크로비드를 일정한 부피비로 주입하여 반응시킴. 이때 PDMS 미세유체흐름칩에 기밀 유지가 잘 되지 않는 경우, 일정한 부피비로 유지한 채 유체를 주입할 수 없으나 제작한 PDMS 미세유체흐름칩은 기밀 유지가 매우 잘 됨을 확인하였음

○ 약 1분간 반응을 시킨 후, 650 nm의 광원을 조사하여 산란광을 발생시키고 포토다이오드로 산란광 세기를 받아들임. 이때, 데이터는 매초마다 획득되며 이는 시리얼 통신을 통해 컴퓨터에 저장 및 출력되며 동시에 결과값이 LCD 디스플레이에 나타남

○ 획득한 Raw data를 정규화하여 그래프로 나타내었음. 네거티브 신호 대비 파지티브 신호 세기의 증가율을 구하여 그래프에 플로팅하였음.

○ PDMS 형 미세흐름칩을 이용한 연속식 위해요소 플랫폼을 이용할 경우 간이식 위해요

소 측정 센서와는 다른 결과를 얻을 수 있음. 간이식 위해요소 플랫폼에서는 채널이 3개인 종이형 미세흐름칩을 사용하기 때문에 하나의 시료에서 여러 신호를 동시에 받을 수 있음.



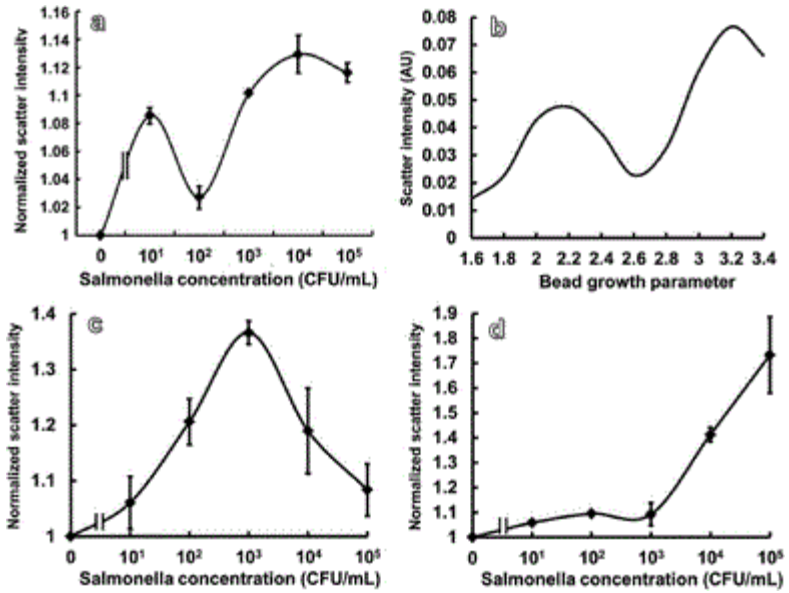
[그림] 공장용 연속식 위해요소 측정 센서 플랫폼을 이용하여 개발한 표준곡선

○ 그래프를 통하여 확인할 수 있듯, 최초 목표하였던 0 - 100 CFU/mL 범위에서의 위해요소 측정이 가능하며 개발된 표준곡선의 결정계수 또한 0.99 이상으로 매우 우수하였음

○ 0 - 100 CFU/mL 범위에서의 표준곡선은 (19.92 x Normalized Intensity) - 20.42의 식을 가지며 샘플 주입부터 결과값 출력까지 약 3분의 시간이 소요됨. 매우 신속하고 연속적으로 위해요소의 측정이 가능함.

○ 사료 내에서 증식할 수 있는 균주 중에서 반추동물에 위험요소를 제공할 수 있는 균주를 본 시스템으로 측정할 수 있을 것으로 기대됨.

○ 추후 본 연구에서 개발한 바이오센서의 성능을 검증할 수 있는 공공기관을 찾아 성능에 대한 검증 및 인증을 받을 것을 검토.



[그림] (a) 분석 전에 균과 항체-비드를 반응시킨 후, 분광기 시스템을 이용하여 측정한 산란 특성 결과. (b) 면역응집반응을 통해 변화하는 입자의 유효지름이 변화함에 따른 입자의 산란 특성의 시뮬레이션. (c) 저농도 채널에서 획득한 산란 세기 결과값. (d) 고농도 채널에서 획득한 산란 세기 결과값. (Park et al., 2013)

○ PDMS형 미세흐름칩을 이용하여 획득한 데이터는 종이형 미세흐름칩을 사용한 경우와 다른 양상의 결과를 얻었음. 실험에 사용한 항체-비드는 약 0.02%(w/v)로서 10^2 CFU/mL 농도에서 가장 강한 신호 세기를 얻었음.

○ 이 결과는 기존의 연구와 유사한 양상이며 더 높은 농도의 균을 측정하고자 할 때는 고농도의 항체-비드를 사용함으로써 측정 범위를 넓힐 수 있음.

2장 연구수행 내용 및 결과(2-3. 순천대학교)

1. 순천대학교 부설농장에서 자동사료급이기 및 간이센서의 예비검증

<AFS시스템의 예비검증 및 업그레이드 진행>

2. 순천대학교 부설농장에서 자동사료급이기의 실증실험 진행(육성기)

장소: 순천대학교 부설농장

공시동물: 한우 미경산우 30두(육성기)

분석항목: 사료섭취량, 사료손실율, 증체량, 혈액분석

○ 미경산 한우 육성기 성장특성

- 급여사료

표. 미경산 한우 육성기 사료배합비

사료군	사료명	육성기 (% DM)
조사료	티모시	9.26
	알팔파건초	13.95
	옥수수사일리지	-
	이탈리안라이그라스사일리지	-
농 후 사 료	단백피	12.83
	루핀	10.94
	소맥피	12.45
	옥수수	17.33
	연맥	21.09
보 충 사 료	비타민광물질첨가제	0.69
	석회석	1.23
	소금	0.24

- 급여 시스템

급여 시스템

○ 고정식 사료배합기

- 실험에 사용된 TMR사료급여기는(RAT - 130 13 50HP 6480 x 1900 x 3020 ㈜ 린도) 하루에 한 번 사료를 배합하여, 자동사료급이기로 이송될 수 있도록 하였다.

○ 모노레일식 급이로봇

- 실험에 사용된 모노레일식 급이 로봇은 12V 100A 납축전지를 4개 보유하여 24볼트로 구동되며, 1회 충전 시 최대 120분정도의 운전이 가능하다. 적재 가능한 중량은 1회 500kg이며, 로드셀이 장착되어 있어 섭취량조사기에서 원하는 사료의 양을 분배한다.. 본 실험에서 한우 두당 일일 사료의 급여량은 최대 14kg으로 설정하였으며, 섭취량조사기에 사료의 잔량이 5kg미만일 때 무선통신으로 자동급이로봇에 정보를 전달하여 섭취량조사기에 설정된 사료량 만큼 분배하는 형태로 진행되었다. 수동급이 역시 일일급여량을 최대 14kg으로 설정하고 일일 2회 급여하였다.

급여 시스템

그림. 모노레일식 급이로봇 및 섭취량 조사기

- 실험결과

실험 결과

○ 자동사료급이기 평가(한우 30두)

구분	자동사료급이	수동급이
각 TMR 단계 (적재, 혼합)에 대한 효과적인 근무 시간 (min • day-1);	(30min • day-1);	(30min • day-1);
자동급이로봇의 일별 에너지 소비량 (kWh • day-1);	(20kWh-day-1)	0
TMR 단계 (배급 관리)에 필요한 인력 (h • day-1).	(0h • day-1);	(1h • day-1);

- 자동사료급이기를 활용한 미 경산우 사양실험에서 육성기간 증체량, 일당증체량 및 사료효율은 유의적 차이가 없었으나, 자동사료급이기를 활용한 처리구가 높은 경향을 보여, 비육기 실험에서는 충분이 유의적 차이나 나타날 것으로 사료된다.

표. 미경산 한우 육성기 성장특성

실험 결과

구분	자동사료급이	수동급이
개시체중, kg/두	225.7±21.8	225.4±30.1
종료체중, kg/두	356.9±30.6	335.3±30.1
일당증체량, kg/일	0.93	0.78
일일섭취량, kg/일	9.3	9.1
사료효율	0.10	0.085

- 미경산 한우 육성기 혈액특성

표. 미경산 한우 육성기 혈액특성

항목	자동사료급이	수동급이
ALB (g/dL)	3.10	3.01
AST (U/L)	103.20	92.70
Glucose (mg/dL)	92.00	95.70
Total cholesterol (mg/dL)	100.00	105.20
BUN (mg/dL)	14.50	13.50
Total protein (mg/dL)	7.16	6.90

- 미경산 한우 육성기 혈액특성에서는 자동사료급이와 수동급이 간 차이가 없었다.

3. 순천대학교 부설농장에서 자동사료급이기의 실증실험 진행(비육기)

장소: 순천대학교 부설농장
공시동물: 한우 미경산우 30두(비육기)
분석항목: 사료섭취량, 사료손실율, 증체량, 혈액분석

○ 미경산 한우 육성기 성장특성

- 급여사료

표. 미경산 한우 비육기 사료배합비

사료군	사료명	비육기 (% DM)
조사료	티모시	-
	알팔파건초	-
	옥수수사일리지	4.26
	볏짚	8
농 후 사 료	단백피	12.83
	루핀	10.94
	소맥피	12.45
	옥수수	31.28
	연맥	21.09
보 충 사 료	비타민광물질첨가제	0.69
	석회석	1.23
	소금	0.24

- 급여 시스템

급여 시스템

○ 고정식 사료배합기

- 실험에 사용된 TMR사료급여기는(RAT - 130 13 50HP 6480 x 1900 x 3020 ㈜ 린도) 하루에 한 번 사료를 배합하여, 자동사료급이기로 이송될 수 있도록 하였다.

급여 시스템

○ 모노레일식 급이로봇

- 실험에 사용된 모노레일식 급이 로봇은 12V 100A 납축전지를 4개 보유하여 24볼트로 구동되며, 1회 충전 시 최대 120분정도의 운전이 가능하다. 적재 가능한 중량은 1회 500kg이며, 로드셀이 장착되어 있어 섭취량조사기에서 원하는 사료의 양을 분배한다.. 본 실험에서 한우 두당 일일 사료의 급여량은 최대 15kg으로 설정하였으며, 섭취량조사기에 사료의 잔량이 5kg미만일 때 무선통신으로 자동급이로봇에 정보를 전달하여 섭취량조사기에 설정된 사료량 만큼 분배하는 형태로 진행되었다. 수동급이 역시 일일급여량을 최대 15kg으로 설정하고 일일 2회 급여하였다.

그림. 모노레일식 급이로봇 및 섭취량 조사기

- 실험결과

실험 결과

○ 자동사료급이기 평가(한우 30두)

구분	자동사료급이	수동급이
각 TMR 단계 (적재, 혼합)에 대한 효과적인 근무 시간 (min • day-1);	(30min • day-1);	(30min • day-1);
자동급이로봇의 일별 에너지 소비량 (kWh • day-1);	(20kWh-day-1)	0
TMR 단계 (배급 관리)에 필요한 인력 (h • day-1).	(0h • day-1);	(1.2h • day-1);

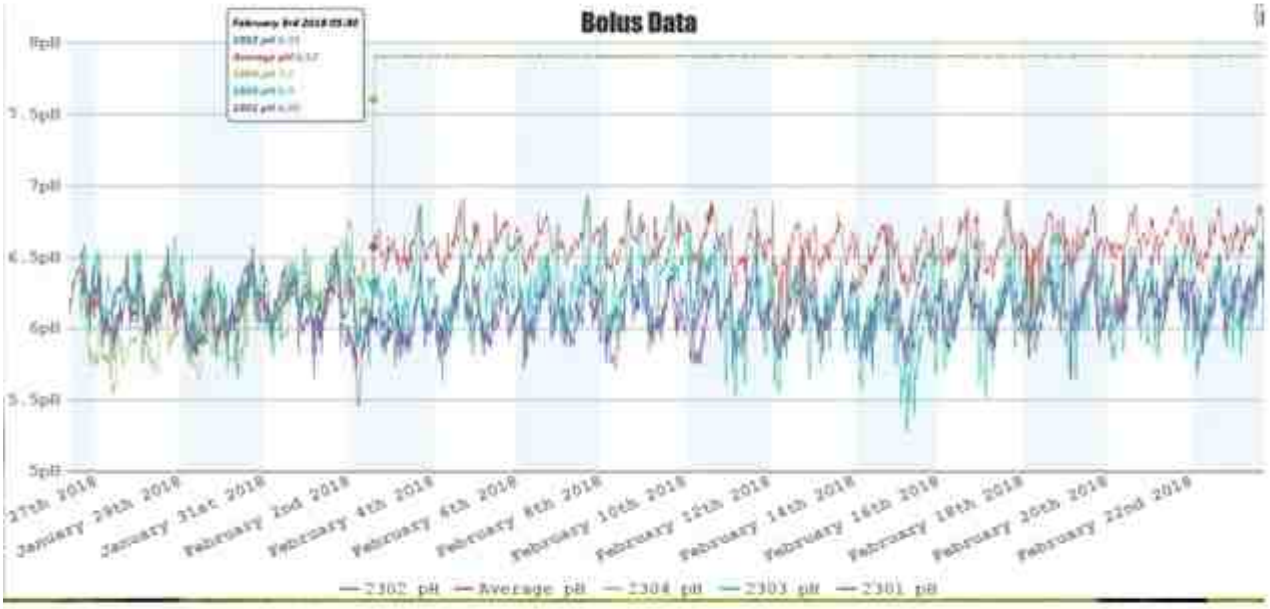
- 자동사료급이기를 활용한 미 경산우 사양실험에서 육성기간 증체량, 일당증체량 및 사료효율은 자동사료급이기를 활용한 처리구가 높은 경향을 보였다.

표. 미경산 한우 육성기 성장특성

구분	자동사료급이	수동급이
개시체중, kg/두	356.9±30.6	335.3±30.1
종료체중, kg/두	632.3±23.7	590.3±29.7
일당증체량, kg/일	0.86	0.79
일일섭취량, kg/일	10.6	10.1
사료효율	0.081	0.078

4. 반추 위 내 pH, 센서 검증

○ 한우거세 26개월령(4두)로 반추위 pH를 15일간 측정하였다. 측정된 결과는 아래와 같으며, 사료급여 시간 및 개체간 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.



5. 개발 중인 간이 센서의 예비 검증을 위한 사료의 수분, pH 및 미생물의 변화

○ 수분 변화

- 초기 수분함량은 배합시 조사료의 함량 및 조성에 따라 약간 차이가 있었다. 시간이 경과함에 따라 지속적으로 수분함량이 증가하였다. 일반적으로 TMR에 사용되는 사료원료는 곡물류를 제외하고는 대부분 수분이 많은 조사료원과 국산 식품부산물을 사용하기 때문에 대체적으로 수분함량이 높을 수 있다. 이에 시중에 사용중인 TMR내의 수분함량은 35 ~ 40% 내외로 맞추어 주는 것이 사료 섭취량을 증가시키는 효과뿐만 아니라 사료입자를 서로 부착시켜 선택 섭취를 방지하는데 도움이 된다.

○ pH 변화

- 0일차 6.84-8.19에서 14일 경과 후 pH는 5.17-4.82를 나타났다. 국내산 조사료사일리지를 첨가한 T1 과 T2에서 대조구 보다 pH 변화폭이 크게 나타냈으며 이는 사일리지의 첨가에 따라 유산균의 증식속도가 빠르게 진행된 것으로 사료된다.

○ 미생물 변화

- 총 3 종류의 미생물을 전용배지를 이용하여 유산균, 효모 및 곰팡이를 조사 하였다. Lactobacilli는 14일까지 증식 일정한 균수를 유지하였다. 이 중 T2에서 14일까지 가장 높은 수를 나타내었다. 효모역시 14일까지 증식하였다. 호기성균으로 부패 원인이 되는 곰팡이는 1차년도 연구에서는 호기발효 시 증식하였지만, 혐기발효 시에는 발생하지 않았다.

Item	Con			T1			T2			SEM	P-value (effect)		
	NF	7d-F	14d-F	NF	7d-F	14d-F	NF	7d-F	14d-F		T	F	T x F
Fermentation profile													
pH	6.84^{c}	5.35^{d}	5.17^{e}	8.13^{e}	5.04^{b}	4.82^{g}	8.19^{i}	5.10^{f}	4.91^{h}	0.00658	<.0001	<.0001	<.0001
Lactate (mmol L^{-1})	19.11^{cd}	20.56^{c}	22.96^{bc}	7.70^{e}	31.80^{a}	36.25^{a}	13.33^{de}	29.63^{ab}	32.74^{a}	1.81005	0.0544	<.0001	0.0011
Acetate (mmol L^{-1})	77.04^{a}	14.60^{bc}	12.67^{c}	8.18^{d}	12.98^{c}	12.53^{c}	nd	12.64^{c}	17.99^{b}	0.8471	<.0001	<.0001	<.0001
Propionate (mmol L^{-1})	5.63^{ab}	nd	nd	5.54a	2.78^{bc}	2.88^{bc}	3.79^{ab}	2.88^{bc}	1.75^{c}	0.92504	0.3437	0.0088	0.7027
Butyrate (mmol L^{-1})	39.24^{b}	40.96^{b}	47.70^{a}	41.56^{b}	15.39^{c}	7.84^{d}	43.95^{ab}	10.59^{cd}	0.94^{e}	1.59443	<.0001	<.0001	<.0001
NH_3-N (mgdL^{-1})	0.03^{g}	0.61^{f}	1.34^{e}	2.89^{d}	4.24^{b}	4.46^{ab}	3.35^{c}	4.66^{a}	4.85^{a}	0.10903	<.0001	<.0001	0.0869
Chemical composition													
Moisture	27.40^{e}	29.32^{d}	29.74^{d}	39.21^{b}	37.47^{c}	38.61^{b}	37.01^{c}	39.92^{a}	40.17^{a}	0.19149	<.0001	<.0001	<.0001
Crude protein	12.91^{a}	11.97^{c}	12.37^{b}	8.59^{f}	9.89^{d}	10.25^{d}	9.44^{e}	10.10^{d}	10.09^{d}	0.10681	<.0001	<.0001	<.0001
Crude fat	0.91^{d}	0.90^{d}	0.96^{d}	0.69^{d}	1.23^{b}	1.34^{ab}	0.70^{e}	1.09^{c}	1.42^{a}	0.03087	<.0001	<.0001	<.0001
Crude fiber	18.72^{a}	17.24^{b}	16.48^{c}	14.70^{e}	15.32^{d}	13.51^{f}	16.07^{c}	13.16^{f}	13.26^{f}	0.13697	<.0001	<.0001	<.0001
Crude ash	4.83^{d}	4.80^{d}	4.82^{d}	5.55^{a}	5.17^{b}	5.15^{b}	5.11^{b}	5.01^{c}	5.07^{bc}	0.02827	<.0001	<.0001	0.0002
NDF	40.32	40.3	40.29	41.37	41.38	41.35	41.4	41.37	41.38	0.19329	0.7243	0.5089	0.044
ADF	23.15	23.12	23.1	22.95	22.91	22.87	23.23	23.24	23.22	0.13817	0.2941	0.0581	0.0323
Microbial profile (cfu mL^{-1})													

LAB	nd	3.0 x 10^6	1.9 x 10^6	nd	7.5 x 10^7	6.4 x 10^7	nd	1.1 x 10^8	7.8 x 10^7			
Yeast	nd	2.5 x 10^3	6.4 x 10^4	nd	9.0 x 10^3	3.0 x 10^3	nd	nd	nd			
Mold	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd			

Means in the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$)

*Con=수입건초; T1=국내산조사료+수입건초; T2=국내산조사료

*Non-fermented (NF) = TMR only (no inoculant)

*7d-F = TMR + (Lactobacillus acidophilus + Bacillus subtilis) fermented for 7 days

*14d-F = TMR + (Lactobacillus acidophilus + Bacillus subtilis) fermented for 14 days

*nd= not detected

6. 농가 방문 실태조사, 환경조사, 설문지 작성을 통한 각 농장별 컨설팅 진행

- 수완이네목장

컨설팅 업무수행

일반사항			
농 가 명	수완이네목장	축 종	한우
일 시	2017년 9월 4일		
작 성 자	김 우 중		
농 장 주 소	전북 정읍시 입암면 단곡리 [illegible]		

구 분	사진자료	비 고

NO

2017년 "TMR사료 자동급이로봇 사용을 위한 설문조사

안녕하십니까?

[illegible]

진심으로 감사드립니다

2017년 9월

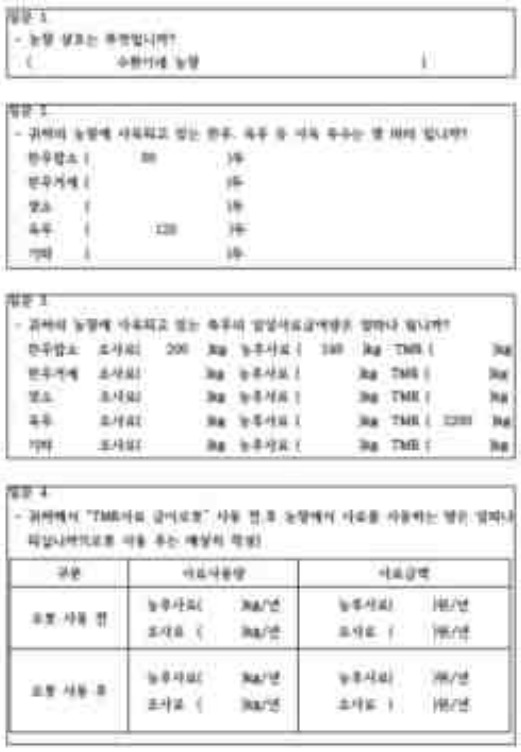
[illegible]

* 본 조사에 대한 의문 사항이 있으시면 아래 연락처로 문의해 주시기 바랍니다.

연 락 처 : 063-850-0237 E-mail : [illegible]

기본 정보

· 성별	✓ 남 ○ 여
· 나이	○30대 이하 ✓40대 ○50대 ○60대 이상
· 주소 (마을명)	수완이네 농장
· 축종	✓한우암소 ○한우거세 ○젖소 ✓젖소육우
· 축산형태	
· 급이자동화 종류	○레일식 ✓TMR ○TMF
TMR자동급이로봇 사용유무 (2016년~현재까지)	✓예 ○아니오



질문 1

- 농장 설치는 주변입니까?

(수완이네 농장)

질문 2

- 귀하의 농장에 사육되고 있는 한우, 육우 등 어떤 우수는 몇 마리 입니까?

한우암소 (80)두
한우거세 ( )두
젖소 ( )두
육우 (120)두
기타 ( )두

질문 3

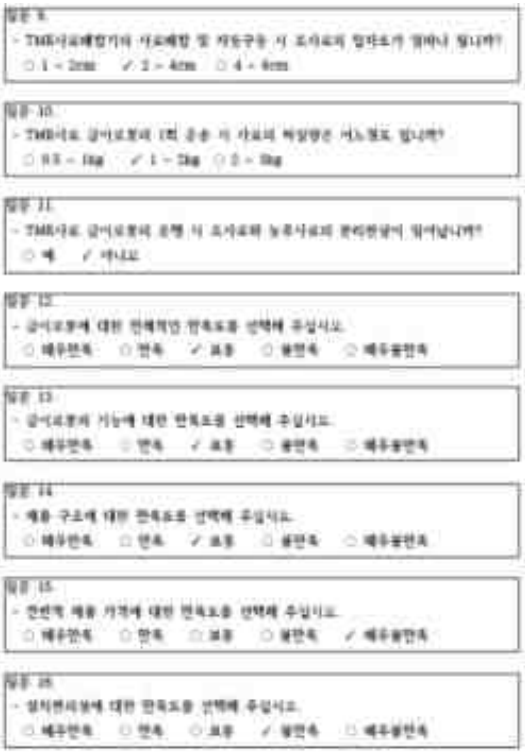
- 귀하의 농장에 사육되고 있는 축우의 일일사료급여량은 얼마나 됩니까?

한우암소	조사료(	200	kg	농후사료 (	160	kg	TMR (	kg
한우거세	조사료(		kg	농후사료 (		kg	TMR (	kg
젖소	조사료(		kg	농후사료 (		kg	TMR (	kg
육우	조사료(		kg	농후사료 (		kg	TMR (2200	kg
기타	조사료(		kg	농후사료 (		kg	TMR (	kg

질문 4

- 귀하께서 "TMR사료 급이로봇" 사용 전 후 농장에서 사료를 사용하는 방식 입니까 (급여하시는 방식으로 적용 주는 해당하는 곳에)

구분	사료사용량	사료금액
로봇 사용 전	농후사료(kg/년 조사료 (kg/년	농후사료(원/년 조사료 (원/년
로봇 사용 후	농후사료(kg/년 조사료 (kg/년	농후사료(원/년 조사료 (원/년



질문 9.

- TMR사료배합기의 사료배합 및 자동구동 시 조사료의 절단조기 얼마나 됩니까?

○ 1 ~ 2cm ✓ 2 ~ 4cm ○ 4 ~ 6cm

질문 10.

- TMR사료 급이로봇의 1회 공급 시 사료의 허용량은 어느정도 입니까?

○ 0.5 ~ 1kg ✓ 1 ~ 2kg ○ 2 ~ 3kg

질문 11.

- TMR사료 급이로봇의 운행 시 조사료와 농후사료의 분리현상이 일어납니까?

○ 예 ✓ 아니오

질문 12.

- 급이로봇에 대한 전체적인 만족도를 선택해 주십시오.

○ 매우만족 ○ 만족 ✓ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 13.

- 급이로봇의 기능에 대한 만족도를 선택해 주십시오.

○ 매우만족 ○ 만족 ✓ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 14.

- 제품 구조에 대한 만족도로 선택해 주십시오.

○ 매우만족 ○ 만족 ✓ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 15.

- 전반적 제품 가격에 대한 만족도를 선택해 주십시오.

○ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ✓ 매우불만족

질문 16.

- 설치환경에 대한 만족도를 선택해 주십시오.

○ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ✓ 불만족 ○ 매우불만족

- 양지목장

컨설팅 업무수행

일반사항			
농가명	양지목장	축종	한우
일 시	2017년 9월 4일		
대 표 자	최수현		
농장주소	[illegible]		

구 분	사진자료	비 고

질문 3.
- 귀하께서 "TMR사료 급이로봇" 사용 전·후 농장에서 사료 급여를 위해 투입되는 인력은 어떻게 파악하시는지 사용 후는 예상치 작성!

구분	인력수(작업시간)
로봇 사용 전	( ) 명/시간
로봇 사용 후	( ) 명/시간

질문 4.
- "TMR사료 급이로봇" 사용 전·후 젖소생산량의 차이가 있습니까?

구분	평균 포획량	측정등급
로봇 사용 전	( ) kg	1등급 ( ) 마리 1+등급 ( ) 마리 1++등급( ) 마리
로봇 사용 후	( ) kg	1등급 ( ) 마리 1+등급 ( ) 마리 1++등급( ) 마리

질문 7.
- "TMR사료 급이로봇" 사용으로 발생되는 효과는 사료비 절감, 인건비절감, 사육기간단축이 예상됩니다. 귀하께서 위의 로봇을 사용 후 상기 효과 외 다른 효과가 발생할 것으로 예상되는 것을 자유롭게 작성해 주십시오.
(로봇사용 전 → 로봇사용 후로 개선 사항 간단히 기술해주세요.)

질문 8.
- "TMR사료 급이로봇"의 사료공급 시 운송속도와 정확한 투하지점에 대한 문제점이 있다면 자유롭게 작성해 주십시오.
(로봇이 간격마다 멈추어 정량 도출이 되면 좋겠습니다.)

질문 1.
- 농장 형태는 무엇입니까?
(영치농장)

질문 2.
- 귀하의 농장에 사육하고 있는 한우, 육우 등 사육 두수는 몇 마리 입니까?

한우암소	80	두
한우거세	120	두
암소	( )	두
육우	( )	두
기타	( )	두

(송아지 : 암(0), 수(0))

질문 3.
- 귀하의 농장에 사육하고 있는 축우의 일일사료급여량은 얼마나 됩니까?

한우암소	조사료(	7	kg	농후사료(	3	kg	TMR( ) kg
한우거세	조사료(		kg	농후사료(		kg	TMR(14 kg
암소	조사료(		kg	농후사료(		kg	TMR( ) kg
육우	조사료(		kg	농후사료(		kg	TMR( ) kg
기타	조사료(		kg	농후사료(		kg	TMR( ) kg

질문 4.
- 귀하께서 "TMR사료 급이로봇" 사용 전·후 농장에서 사료를 사용하는 양은 얼마나 되십니까?(로봇 사용 후는 예상치 작성) 중복형

구분	사료사용량	사료금액
로봇 사용 전	농후사료( ) kg/년 조사료 ( ) kg/년	농후사료( ) 원/년 조사료 ( ) 원/년
로봇 사용 후	농후사료( ) kg/년 조사료 ( ) kg/년	농후사료( ) 원/년 조사료 ( ) 원/년

질문 9.
- TMR사료배합기의 사료배합 및 자동구동 시 소리로와 입력오기 없습니까?
○ 1 ~ 2min ○ 2 ~ 4min ○ 4 ~ 6min [농가가 필요 조정할 양(?ton), 수 (kms)]

질문 10.
- TMR사료 급이로봇의 1회 운송 시 사료의 적정량은 어느정도 입니까?
✓ 0.5 ~ 1kg ○ 1 ~ 2kg ○ 2 ~ 3kg

질문 11.
- TMR사료 급이로봇의 운행 시 소리로와 농후사료의 분리현상이 있습니까?
○ 예 ○ 아니오 ○ 보통

질문 12.
- 급이로봇에 대한 전체적인 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 13.
- 급이로봇의 기능에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
✓ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 14.
- 제품 구조에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 15.
- 전반적 제품 가격에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ○ 만족 ✓ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 16.
- 업체판매상에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

- 재열목장

컨설팅 업무수행

일반사항			
농가명	재열목장	축주	정소
일 시	2017년 10월 9일		
대 표 자	이재열		
농장주소	충남 아산시 영인면 삼목리 [illegible]		

구 분	사진자료	비 고

질문 5.
- 귀하께서 "TMR사료 급이프로" 사용 전후 농장에서 사료 급여를 위해 투입되는 인력은 어떻게 되십니까?(프로 사용 후는 예상치 작성)

구분	인력수	
프로 사용 전	1	2 명
프로 사용 후	1	0 명

질문 6.
- "TMR사료 급이프로" 사용 전후 출하성적의 차이가 있습니까?
(2017년9월~현재까지)

구분	평균 조체중	육질등급	
프로 사용 전	1 kg	1등급	1 마리
		1+등급	1 마리
		1++등급	1 마리
프로 사용 후	1 kg	1등급	1 마리
		1+등급	1 마리
		1++등급	1 마리

질문 7.
- "TMR사료 급이프로" 사용으로 발생되는 효과는 사료비 절감, 인건비감소, 사육기간단축이 예상됩니다. 귀하께서 직접 프로를 사용 후 같이 효과 외 다른 효과가 발생할 것으로 예상되는 것을 자유롭게 작성해 주십시오.

질문 8.
- "TMR사료 급이프로"의 사료공급 시 공급속도와 혼합된 조사료량에 대한 문제점이 있다면 자유롭게 작성해 주십시오.

질문 1.
- 농장 설치는 무한입니까?
(재 원)

질문 2.
- 귀하의 농장에 사육되고 있는 한우, 육우 등 사육 두수는 몇 마리 입니까?
한우암소 (1두
한우거세 (1두
정소 (140) 1두
육우 (1두
기타 (1두

질문 3.
- 귀하의 농장에 사육되고 있는 축우의 일일사료급여량은 얼마나 됩니까?

한우암소	조사료		kg	농후사료		kg	TMR	kg
한우거세	조사료		kg	농후사료		kg	TMR	kg
정소	조사료	1500	kg	농후사료	1000	kg	TMR	2500 kg
육우	조사료		kg	농후사료		kg	TMR	kg
기타	조사료		kg	농후사료		kg	TMR	kg

질문 4.
- 귀하께서 "TMR사료 급이프로" 사용 전후 농장에서 사료를 사용하는 양은 얼마나 되십니까?(프로 사용 후는 예상치 작성)

구분	사료사용량		사료금액	
프로 사용 전	농후사료	kg/년	농후사료	원/년
	조사료 1	kg/년	조사료 (	원/년
프로 사용 후	농후사료	kg/년	농후사료	원/년
	조사료 1	kg/년	조사료 (	원/년

질문 9.
- TMR사료배합기의 사료배합 및 자동공급 시 조사료의 절단크기 정도가 어떻습니까?
✓ 1 ~ 2cm ○ 2 ~ 4cm ○ 4 ~ 6cm

질문 10.
- TMR사료 급이프로의 1회 공급 시 사료의 배합량은 어느정도 입니까?
○ 0.5 ~ 0kg ○ 1 ~ 2kg ○ 2 ~ 3kg

질문 11.
- TMR사료 급이프로의 운행 시 조사료와 농후사료의 분리현상이 일어났습니까?
○ 예 ○ 아니오

질문 12.
- 급이프로에 대한 전체적인 만족도를 선택해 주십시오.
✓ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 13.
- 급이프로의 기능에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 14.
- 제품 구조에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 15.
- 전반적 제품 가격에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 16.
- 장치판리상에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
✓ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

- 광산목장

컨설팅 업무수행

일반사항			
농가명	광산목장	축종	젖소
일 시	2017년 10월 5일		
대 표 자	이종욱		
농장주소	경기도 화성시 양감면 향설로123번-1		

구 분	사진자료	비 고

질문 5
- 귀하께서 "TMR사료 급이로봇" 사용 전·후 농장에서 사료 급여를 위해 투입되는 인력은 어떻게 파십니까?(로봇 사용 후는 예상치 작성)

구분	인력수
로봇 사용 전	(1인) 개
로봇 사용 후	(0명) 개

질문 6
- "TMR사료 급이로봇" 사용 전·후 출하성적의 차이가 있습니까?

구분	평균 도체중	육질등급
로봇 사용 전	(kg	1등급 (%이하) 1+등급 (%이하) 1++등급(%이하)
로봇 사용 후	(kg	1등급 (%이하) 1+등급 (%이하) 1++등급(%이하)

질문 7
- "TMR사료 급이로봇" 사용으로 발생되는 효과는 사료비 절감, 인건비절감, 사육기간단축이 예상됩니다. 귀하께서 적정 로봇을 사용 후 상기 효과 이 다른 효과가 발생할 것으로 예상되는 것을 자유롭게 작성해 주십시오.
(예: 예방, 사료오염 감소, 유산방지, 유해성수정소, 스트레스 감소)

질문 8
- "TMR사료 급이로봇"의 사료공급 시 공용속도와 정확한 투여시점에 대한 문제점이 있다면 자유롭게 작성해 주십시오.

질문 1
- 농장 상호는 무엇입니까?
(광산 목장)

질문 2
- 귀하의 농장에 사육하고 있는 현우, 육우 등 사육 두수는 몇 마리 입니까?

현우암소	(5	)두
현우거세	(1	)두
젖소	(125	)두
육우	(	)두
기타	(	)두

질문 3
- 귀하의 농장에 사육하고 있는 두수의 일일사료급여량은 얼마나 됩니까?

현우암소	조사료(	)kg	농후사료 (	4	)kg	TMR (		)kg
현우거세	조사료(	)kg	농후사료 (	1	)kg	TMR (		)kg
젖소	조사료(	)kg	농후사료 (	12	)kg	TMR (	15	)kg
육우	조사료(	)kg	농후사료 (		)kg	TMR (		)kg
기타	조사료(	)kg	농후사료 (		)kg	TMR (		)kg

질문 4
- 귀하께서 "TMR사료 급이로봇" 사용 전·후 농장에서 사료를 사용하는 양은 얼마나 되십니까?(로봇 사용 후는 예상치 작성)

구분	사료사용량		사료금액	
로봇 사용 전	농후사료	kg/년	농후사료	원/년
	조사료 (	kg/년	조사료 (	원/년
로봇 사용 후	농후사료	kg/년	농후사료	원/년
	조사료 (	kg/년	조사료 (	원/년

질문 9
- TMR사료배합기의 사료배합 및 자동구동 시 조사료의 절단조가 얼마나 필요합니까?
○ 1 ~ 3cm ✓ 3 ~ 4cm ○ 4 ~ 8cm

질문 10
- TMR사료 급이로봇의 1회 운송 시 사료의 적절량은 어느정도 입니까?
○ 0.5 ~ 1kg ○ 1 ~ 2kg ○ 2 ~ 3kg

질문 11
- TMR사료 급이로봇의 운행 시 조사료와 농후사료의 분리현상이 일어납니까?
○ 예 ○ 아니오

질문 12
- 급이로봇에 대한 전체적인 만족도를 선택해 주십시오.
✓ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 13
- 급이로봇의 기능에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
✓ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 14
- 제품 구조에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 15
- 전반적 제품 가격에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 16
- 설치환경에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
✓ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

- 구일목장

건설업 업무수행

일반사항			
농가명	구일농장	축종	한우거세
일 시	2017년 10월 3일		
대 표 자	이상용		
농장주소	전남 영광군 묘한면 죽전리 1085-1		

구 분	세부내용	비 고

질문 1.
- 귀하께서 "TMR사료 급이조장" 사용 전 후 농장에서 사료 급여를 위해 투입되는 인력은 어떻게 되십니까?(조장 사용 주는 예상치 적성)

구분	인력수
조장 사용 전	(하루 3시간)명
조장 사용 후	(하루 0시간)명

질문 2.
- "TMR사료 급이조장" 사용 전 후 올바설적의 차이가 있습니까?

구분	평균 소재중	폭정등급
조장 사용 전	( )kg	1등급 ( )마리 1-등급 ( )마리 1--등급( )마리
조장 사용 후	( )kg	1등급 ( )마리 1-등급 ( )마리 1--등급( )마리

질문 3.
- "TMR사료 급이조장" 사용으로 절감되는 효과는 사료비 절감, 인건비감소, 우수기간단축이 예상됩니다. 귀하께서 직접 조장을 사용 후 상기 효과 외 다른 효과가 발생할 것으로 예상되는 것을 자유롭게 작성해 주십시오.

질문 4.
- "TMR사료 급이조장"의 사료조장 시 공손속도와 정확한 무게이탈에 대한 문제점이 있다면 자유롭게 작성해 주십시오.

질문 1.
- 농장 명호는 무엇입니까?
(구일농장)

질문 2.
- 귀하의 농장에 사육되고 있는 한우, 육우 등 사육 두수는 몇 마리 입니까?
한우암소 ( )두
한우거세 (60)두
젖소 ( )두
육우 ( )두
기타 ( )두

질문 3.
- 귀하의 농장에 사육되고 있는 축우의 일일사료급여량은 얼마나 됩니까?
한우암소 조사료( )kg 농후사료( )kg TMR( )kg
한우거세 조사료(3)kg 농후사료( )kg TMR(17)kg
젖소 조사료( )kg 농후사료( )kg TMR( )kg
육우 조사료( )kg 농후사료( )kg TMR( )kg
기타 조사료( )kg 농후사료( )kg TMR( )kg

질문 4.
- 귀하께서 "TMR사료 급이조장" 사용 전 후 농장에서 사료를 사용하는 양은 얼마나 되십니까?(조장 사용 주는 예상치 적성)

구분	사료사용량	사료금액
조장 사용 전	농후사료( )kg/년 조사료 ( )kg/년	농후사료( )원/년 조사료 ( )원/년
조장 사용 후	농후사료( )kg/년 조사료 ( )kg/년	농후사료( )원/년 조사료 ( )원/년

질문 5.
- TMR사료배합기의 사료배합 및 자동구동 시 조사료의 입자도가 얼마나 됩니까?
○ 1 ~ 2cm ✓ 2 ~ 4cm ○ 4 ~ 6cm

질문 10.
- TMR사료 급이조장의 1회 공손 시 사료의 허실량은 어느정도 입니까?
○ 0.5 ~ 1kg ✓ 1 ~ 2kg ○ 2 ~ 3kg

질문 11.
- TMR사료 급이조장의 공행 시 조사료와 농후사료의 분리현상이 일어납니까?
○ 예 ○ 아니오

질문 12.
- 급이조장에 대한 전체적인 만족도를 선택해 주십시오.
✓ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 13.
- 급이조장의 기능에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
✓ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 14.
- 제품 구조에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 15.
- 전반적 제품 가격에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
○ 매우만족 ✓ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

질문 16.
- 업체관리상에 대한 만족도를 선택해 주십시오.
✓ 매우만족 ○ 만족 ○ 보통 ○ 불만족 ○ 매우불만족

- 유민목장(2020년 1월 시운전)	
농장주: 김병림 사육두수: 한우 108두	

불편사항 및 질문	문제해결
1. 번식우 급이 시 각 우방마다 개별사양을 위한 급여량 조절	개체별 급여량 조절은 안되지만 각 우방마다 급여량 조절 가능하게 업그레이드 완료
2. TMR배합기 가동시 역회전 후 가동이 가능하게 요청	초기 가동 시 역회전 가능하게 업그레이드 완료
3. 급여시간이 너무길어 이동시 속도조절 가능하게 요청	이동 시 기기의 속도 조절 완료

○ 일일노동시간 (한우108두)

구분	자동사료급이	수동급이
각 TMR 단계 (적재, 혼합)에 대한 효과적인 근무 시간 (min • day-1);	(30min • day-1);	(30min • day-1);
자동급이로봇의 일별 에너지 소비량 (kWh • day-1);	(20kWh-day-1)	0
TMR 단계 (배급 관리)에 필요한 인력 (h • day-1).	(0h • day-1);	(1h • day-1);

- 녹색목장(2020년 1월 시운전)	
농장주: 노민섭 사육두수: 한우 200두	

불편사항 및 질문	문제해결
1. 방목형태의 번식우 사육 시 개체별 급여량 조절 안됨	개체별 급여량조절은 안되지만 각 우방마다 급여량 조절 가능하게 업그레이드 완료
2. TMR배합기 가동시 역회전 후 가동이 가능하게 요청	초기 가동 시 역회전 가능하게 업그레이드 완료
3. 급여시간이 너무길어 이동시 속도조절 가능하게 요청	이동 시 기기의 속도 조절 완료
4. 급이 로봇의 높이가 높아 사료의 투입 시 컨베이어 높이가 높아져 사료가 바닥에 떨어짐	각 농가들의 다른 환경에 따른 문제로 기기의 맞춤이 필요할 것으로 사료됨
5. 급이로봇의 가동 시 막힘현상	센서의 오작동으로 확인되어 교체

○ 일일노동시간 (한우200두)

구분	자동사료급이	수동급이
각 TMR 단계 (적재, 혼합)에 대한 효과적인 근무 시간 (min • day-1);	(50min • day-1);	(50min • day-1);
자동급이로봇의 일별 에너지 소비량 (kWh • day-1);	(20kWh-day-1)	0
TMR 단계 (배급 관리)에 필요한 인력 (h • day-1).	(0h • day-1);	(2h • day-1);

7. TMR급이로봇 구입 예정농가 자료조사 한우거세 700두)

장소: 전남 고흥군 회진면 회진리

규모: 한우거세 700두

○ 사료배합비

발효사료(TMF) 제조 배합비 : 10일 저장

원료명	투입량 (%)
베이스사료	65.5
볏짚	5.6
미생물	1.0
물	29.0

급여 사료 배합 : 저장된 발효사료 이용

원료명	투입량 (%)
발효사료	88.0
조사료	12.0

급여 사료 영양성분표

성분명	함량 (%)
수분	31.2
TDN	75.4
조단백질	14.7
칼슘	0.3
인	0.5

○ 축사형태: 통로 5 m, 우방 5 m * 10 m * 16칸

○ 사료급여방법: TMR배합 후 차량 및 레일식 급이기로 급여

○ 일일노동시간 (한우700두)

구분	수동급이
각 TMR 단계 (적재, 혼합)에 대한 효과적인 근무 시간 (min • day-1);	(2h • day-3)
자동급이로봇의 일별 에너지 소비량 (kWh • day-1);	0
TMR 단계 (배급 관리)에 필요한 인력 (h • day-1).	(2h • day-3)

3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1절 목표

1. 최종 성과목표

가. ICT기반으로 현장에서 조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등을 신속하게 품질평가가 가능하고, 안전하게 공급할 수 있는 사료진단 및 자동급이 시스템 개발

나. 본 과제의 기술 개발 목표를 중심으로 다음 3개 핵심 목표를 진행함

(1) 농가 생산성 향상, 한우·젖소 정밀관리의 필요성 증대에 따라 중·대형 축산농가에서 안전이 확인된 사료를 정량으로 축사에 급이 할 수 있는 ICT기반 시스템 구축

(2) 사료 위험요소 식별을 위한 간이용 센서 및 공장형 센서 개발

(3) 현장 테스트베드 구축 및 실증

다. End Product

(1) 간이식, 연속식 축산 사료의 병원성 미생물 측정 센서

(2) 자동 사료 급이 시스템 (자율주행 급이, 섭취량조사, 통합 제어 솔루션)

(가) 자율주행 급이기

(나) 사료 섭취량 조사기

(다) 센서노드 및 연결기

(라) 개체 식별기

(3) 통합 개체관리 솔루션

(가) 로컬 서버 및 저장소

(나) 원격 서버 (클라우드 컴퓨팅)

(다) 모바일 및 PC를 위한 웹 사이트 및 어플리케이션

라. 주요 기능

(1) 배출량, 배출시간 자동조절

(2) 자율주행 로봇 기반 사료급이

(3) 사료의 위해요소 검출시 긴급 급이중단 및 알림

(4) 모바일 기반 급이 위치 제어

(5) 통합 개체관리

(6) 모델 기반 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측

(7) 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션

2. 세부 목표

가. 자동 사료급이시스템 주요 연구내용

(1) 주요 기능

(가) 기존 사료 자동급이기는 센서를 따라 축사에 급이로봇은 축종별(한우, 젖소), 급이두수별(50두, 100두 등) 사료의 배출량, 배출시간 자동조절

(나) 사료 배합기는 사료급이 전에 사료의 위해요소가 검출되면 급이 중단

(다) 모바일, PC 등으로 급이로봇이 급이할 위치를 지정 가능

(라) 급이로봇은 바닥의 마그네틱을 트래킹하여 축사 진입 후 자율주행 기반으로 급이 위치 인식 및 급이 시작

(마) 개체식별장치 및 제어시스템 개발을 통한 개체관리

(2) 주요 성능치

분류	성능치 항목	세계 최고 기준 (네덜란드 Lely 社)	㈜다운 목표성능
자동로봇	배터리	48V/55Ah	24V/240A
	로봇 무게	1485 kg	2500 kg
	크기(mm)	2460 * 1620 * (1930~2780)	2860 * 1650 * 2205
	컨트롤	모바일 컨트롤 중앙제어센터	전용 컨트롤러 중앙제어센터 웹 기반 모니터링
	사료밀기	내장	내장
	사료 위험요소 인지	없음	배합기 연동 불량 사료 차단
안전 사양	센서	초음파, 유도 센서	초음파, 레이더, 전도 센서
	비상정지	비상정지버튼	비상정지버튼
	알림	비상벨 울림 비상등	비상벨, 비상등
	접근 제어	안전 키, 안전 범퍼	안전 키, 안전 범퍼
	동작	장애물 알림, 다중센서 경로 탐색, 과충전 방지	장애물 알림, 다중센서 경로 탐색, 과충전 방지, 회피기동
요구 사항	지표면	평면	평면
	경사	5%	10%
	최소 통로 폭: 양쪽 급이시 (mm)	3,250	3,350
	최소 통로 폭: 한쪽 급이시(선회필요시) (mm)	3,100	3,150

(3) 핵심 기술

(가) 축사의 ICT 기반 통합 개체 관리 기술 (세계 5위권 경쟁)

(나) 회피기동, 장애물감지, 생체감지 등 축사 내 로봇 자율주행 기술 (국내 최초, 세계 5위권 경쟁)

(다) 자동 사료 급이 정밀 제어 기술 (세계 5위권 경쟁)

(4) 적용 범위

(가) (섭취량조사기술) 많은 노동력 부족을 겪고 있거나, 관리의 어려움을 겪고 있는 중·대형 돈사, 양계 등의 관련 축산농가에서 정밀관리에 활용

(나) (로봇안전센서) 최근 자율화되고 있는 트랙터 등의 농기계에서 사람 및 가축의 안전을 확보하기 위해 활용

나. 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델 개발

(1) 주요 기능

(가) 사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계

(나) 모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축

(다) 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발

(라) 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시

(2) 주요 성능

항목	주요 개발사항	목표치	비고
모델 개발	처리규모별 모델	3종	10톤/일, 5톤/일, 1톤/일
	생산형태별 모델	3종	농가형, 공동농가형, 공장형
	생산방법별 모델	4종	조사료, TMR, TMF, 부산물사료
	축종별 모델	2종	한우, 젖소
품질평가	제조공정별 사료품질 평가	2종	수분, pH

(3) 핵심기술

(가) 품질 안전 사료 공정 분석 및 표준화 모델(국내 최초)

(나) 온도에 따른 사료품질 예측모델(국내 최초)

(4) 적용범위

(가) 품질안전 사료 제조 및 급이 표준화 모델 : 처리규모별(10톤/일, 5톤/일, 1톤/일), 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형), 생산방법별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등), 축종별(한우, 젖소) 등에 따른 사료 제조 및 급이 시스템에 활용 가능

(나) 사료 품질 평가체계 : 사료 저장→제조→급이 공정 간의 품질평가 시스템에 활용 가능

(5) 주요 연구내용

(가) 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델 개발

<사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계>
○ 공정 분석 - 공정 시뮬레이션을 위한 입력 변수 및 데이터 수집 ○ 공정 설계 - 처리규모별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 10톤/일, 5톤/일, 1톤/일 - 생산형태별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 농가형, 공동농가형, 공장형 - 생산방법별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 조사료, TMR, TMF, 부산물사료

- 축종별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 한우, 젖소

○ 최적화 시뮬레이션

- 시뮬레이션을 통한 공정별 처리시간, 정체시간, 단위기계의 가동률, 시간당 생산용량, 병목현상 등 비교분석

- 처리규모별(10톤/일, 5톤/일, 1톤/일), 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형), 생산방법별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등), 축종별(한우, 젖소) 등에 따른 제조 공정설계 및 품질체계 모델 산출

○ 표준화 모델 개발

- 모델별 기계형식 선정 : 세절기, 연화기, 배합기, 포장기, 급이기, 반송기 등 여러 기종의 장단점을 분석하여 모델별로 적합한 기계 선정

- 모델별 작업공정 설계 : 각 모델별로 예비시험을 통하여 모델의 작업사이클 및 가공공정도(process flow diagram) 설계

- 모델별 배치도(layout) 설계 : 각 모델별로 노동량과 노동시간이 최소가 되는 최적 배치도 설계와 여러 가지 모델(육종별, 사료형태별, 생산시스템별, 이용형태별, 사육규모별)을 조합한 최적 배치도 설계

- 모델별 소요기계 제원 결정 : 각 모델별로 소요기계(세절기, 연화기, 배합기, 포장기, 급이기, 반송기 등)의 용량, 크기 결정

<모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축>

○ 사료제조 공정별 품질변화 측정

- 수분, pH 센서를 이용한 사료 저장→제조→급이 공정 간의 품질변화 측정

○ 품질평가 체계 구축

- 사료 저장→제조→급이 공정 간의 품질평가 방법 작성

- 사료 종류별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료) 품질평가 방법 작성

- 축종별(한우, 젖소) 사료 품질평가 방법 작성

○ 초분광 영상 카메라를 통해 사료의 품질 평가 시스템 설계 및 개발

<사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발>

○ 사료 품질 인자 선발

- 사료종류별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료)로 품질(신선도, 안전)과 관련한 인자 탐색 및 선발

○ 품질변화 예측 모델 개발

- 사료종류별 주요 품질변화 변수(계절별 온도)에 따른 품질변화 측정

- 배합, 저장, 급이 공정 간의 품질변화 변수(계절별 온도)에 따른 사료의 품질예측 모델 개발

<사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인

제시>
○ 사료품질 모니터링 통합 솔루션 구축 - 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형)로 사료의 위해요소, 변패, 품질관리를 할 수 있는 사료 저장→제조→급이 공정의 품질관련 센서(수분, pH) 적용방법 및 모니터링 솔루션 탐색 - 기존 사료제조 및 급이 장치의 모니터링 시스템과 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 시스템의 통합 연동 솔루션 탐색 ○ 안전 대응 가이드라인 제시 - 사료관련 장치와 관련된 저장→제조→급이 공정 간의 안전관리 방법 제시 - 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조 및 급이 공정의 안전관리 모델 제시

(나) 간이식 및 연속식 사료용 센서 개발 및 제품화

○ 현장에서 사용하고 있는 사료용 센서들의 성능 및 특성을 분석하고 사료 종류별, 사료생산 형태별 센서 선정 기준을 제시하고 사료용 센서들의 표준화 기준을 제시 ○ 센서의 사용 단계에 따른 구조를 개선하여 표준화 기준에 반영 ○ 향후 축산 스마트팜 적용 가능성을 위해 센서들의 디스플레이, IoT 인터페이스 및 원격 측정/제어 시스템 설계

(다) 사료 제조공정, 급이시 스마트폰 기반 사료의 위해요소 신속 검출기 개발

○ 위해요소 검출을 위한 사료 기본 전처리 공정 최적화 ○ 사료 제조공정 또는 개별 농가에서 사료 관리 중에 사용할 수 있는 축산 병원성 미생물 (대장균, 살모넬라) 검출용 간이 센서 개발 ○ 해당 병원성 위해 미생물의 항체를 굴절율이 높은 마이크로 비드에 고정하고 마이크로 비드의 응집반응 정도에 따른 광 산란을 측정하여 위해 미생물의 농도 측정. ○ 하나의 시료를 통해 병원성 미생물의 다중검출이 가능하고 100CFU/mL 이하의 검출한도를 갖는 스마트폰 형 축산 병원성 미생물 검출용 센서 개발 ○ 스마트폰 기반의 미생물 검출용 센서의 사용자 중심의 스마트폰 어플리케이션(앱) 개발 ○ 사료 제조공정에서 사용 가능한 공정-온라인형 병원성 미생물 검출 센서 개발

3. 연차별 성과목표

가. 1차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관((주) 다운) : 자동 사료급이시스템 세부 기능 설계 및 요소기술 개발
- 협동연구기관(경북대학교) : 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델 개발
- 위탁연구기관(순천대학교) : 현장실증 농가 실태조사 및 환경조사

② 개발 내용 및 범위 (시스템 구성도, 구조 등을 그림으로 구체적 표현)
- 주관연구기관((주) 다운) :

요소기술	개발상태
개체인식기 및 인식장치 기술	기술개발 확보됨
TMR 사료급이 로봇	기술개발 확보됨
위험사료 차단 기술	예비시험을 통한 기술 확보
사료 섭취량 조사 기술	발명특허 : 10-2004-0036061
로봇 사료급여기 자율주행 기술	예비시험을 통한 기술 확보
농장 데이터 저장 기술	기술개발 확보됨
ICT기반 통합 개체관리 기술	예비시험을 통한 기술 확보
모바일 기반 급이 제어 기술	예비시험을 통한 기술 확보

- 자율주행 기술의 성능개선 및 현장적응시험 필요
- 사료 위험요소 발견 시 자동 차단 기능 개발 및 협업 필요
- 모바일 및 웹 기반에서의 자동사료급이시스템 위치 제어 추가 개발 필요

○ 위험사료 차단 기술

배합기 연계 위험사료 판단 및 차단 - 로봇급이기 공급중지 - 사용자 알림 - 배합기 차단	

○ 로봇 사료급여기 자율주행 기술

급이 위치 자동 인식 및 안전 기능 - 레이져 거리 스캐너에 기반한 주행 경로 추출기술 개발 - 인공표식 및 저가센서를 이용한 각종 위치추정 기법 개발 - 동적 환경에서 장애물 감지 및 충돌회피 기술 개발 - 고속 CPU를 사용한 레이져 스캔 데이터 실시간 자료 처리기술 개발	

- 동작원리
  - 목장주가 설정한 배합비와 시간에 맞춰 자동으로 시작 > 전방 레이저 스캔 > 스캔데이터처리 > 경로확보 > 사료섭취량조사기 위치 확보 > 농장서버 사료 급이 명령 > 사료 급이 > 종료
  - 인공표식 및 저가센서 이용 사료섭취량 조사기 위치 확인 후 사료 전달
  - 카메라 신호처리 기법 개발 및 실시간 처리기술 개발필수.

○ 웹 기반 급이시스템 관리 기술

- 개체데이터, 농장환경, 사료데이터 정의
  - 사료데이터: 사료량, 사료 종류, 사료급이 날짜, 사료 상태, 온습도, 첨가제 내역 등의 데이터베이스 설계

정보	설명
사료 등급	사료 등급에 대한 자료를 기록
사료 날자	사료를 가져온 날자를 기록
기기등록일	기기에 입장을 시작한 날을 기록
사료 종류	다양한 급여방법을 선택 할 수 있음.
사료공급방법	사료급여 방법을 선택 가능. 회차에 의한 급여(급이 횟수 자동/수동, 급여량 지정) 상시급여 (시간별 섭취가능량을 상시 급여함) 유량, 월령, 일령에 의한 회차 및 급여량 지정 급여 로봇포유기 급이방법 설정
현재상태	사육중/건유중/폐축선언등 사육조건 기록함.
급이목표설정	
첨가제 1	첨가제 사료량을 기록한다.(첨가제, 글리세린, 액상등)
첨가제 2	첨가제 사료량을 기록한다.(첨가제, 글리세린, 액상등)
증감시작일	사료를 자동으로 증가/감소급여를 할 경우 시작일 기록
증감경과일	증감경과를 자동으로 출력함.
장비코드	장비번호를 기록함
구입단가	개체 구입단가를 기록하여 결산에 반영함.
메모	치료 및 주의 기록에 대해 기록함.

○ ICT기반 통합 개체관리 및 제어 기술개발(웹/모바일 서비스 플랫폼구축)

모니터링 기술개발(웹/모바일 서비스 플랫폼구축) - 모바일, PC 등 인터넷 환경에서의 급이 위치, 배출량, 배출시간 관리기능 제공 • 로컬 서버 및 저장소 • 원격 서버 (클라우드 컴퓨팅) • 모바일 및 PC를 위한 웹 사이트 및 어플리케이션 • 자율주행 급이기 • 사료 섭취량 조사기 • 센서노드 및 연결기 • 개체 식별기 - 개체별 RFID 센서 통신 연결	

- 하루 단위 시간 급이 횟수에 따라 사료를 1Kg 단위로 자동 배출하는 자동 급이 기능 고도화

- 협동연구기관(경북대학교) : 사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계

세부연구 목표	세부연구 내용	세부연구 범위
사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계	공정 분석	• 공정 시뮬레이션을 위한 입력 변수 및 데이터 수집
	공정 설계	• 처리규모별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 10톤/일, 5톤/일, 1톤/일 • 생산형태별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 농가형, 공동농가형, 공장형 • 생산방법별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 조사료, TMR, TMF, 부산물사료 • 축종별 공정설계 및 품질체계 모델 설계 : 한우, 젖소
	최적화 시뮬레이션	• 시뮬레이션을 통한 공정별 처리시간, 정체시간, 단위기계의 가동률, 시간당 생산용량, 병목현상 등 비교분석 • 처리규모별(10톤/일, 5톤/일, 1톤/일), 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형), 생산방법별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료 등), 축종별(한우, 젖소) 등에 따른 제조 공정설계 및 품질체계 모델 산출
	표준화 모델 개발	• 모델별 기계형식 선정 : 세절기, 연화기, 배합기, 포장기, 급이기, 반송기 등 여러 기종의 장단점을 분석하여 모델별로 적합한 기계 선정 • 모델별 작업공정 설계 : 각 모델별로 예비시험을 통하여 모델의 작업사이클 및 가공공정도(process flow diagram) 설계 • 모델별 배치도(layout) 설계 : 각 모델별로 노동량과 노동시간이 최소가 되는 최적 배치도 설계와 여러 가지 모델(육종별, 사료형태별, 생산시스템별, 이용형태별, 사육규모별)을 조합한 최적 배치도 설계 • 모델별 소요기계 제원 결정 : 각 모델별로 소요기계(세절기, 연화기, 배합기, 포장기, 급이기, 반송기 등)의 용량, 크기 결정
간이식(농가 보급형) 및 연속식(공장용) 사료용 센서(수분, pH등) 조사	사료 센서의 조사 및 특성 분석	• 사료 종류별(부산물 사료, 조사료, TMR 사료, TMF 사료)에 따른 수분, pH 센서 사용 조사 • 사료생산형태별(간이식, 연속식)에 따른 수분, pH 센서 사용 조사 • 각 센서의 특성 비교 분석 • 초분광 카메라를 이용한 사료 특성 분석
사료의 위해요소 검출을 위한 기반기술 정립	항원-항체 반응 특성 및 시료 전처리 공정	• 축산 사료에서 발생하는 병원성 미생물 (대장균, 살모넬라)의 유형 분석 및 이에 따른 항체 발굴 • 항체의 마이크로 비드에 고정화 기술 정립 • 병원성 미생물과 마이크로 비드에 고정된 항체와의 반응 특성 분석 • 축산 사료의 전처리 공정 확립

- 위탁연구기관 (순천대학교) :

○ 실험전 농가 실태조사, 환경조사 및 사전 컨설팅을 통한 진단 및 차년도 실험을 위한 시스템 설치

나. 2차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관((주) 다운) : 요소기술 고도화 및 관리프로그램 개발 및 현장실증 시스템 제작
- 협동연구기관(경북대학교) : 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델 개발
- 위탁연구기관 (순천대학교) : 개발된 간이센서, 사료급이 시스템및 자동 급이기의 현장 실증 연구

② 개발 내용 및 범위 (시스템 구성도, 구조 등을 그림으로 구체적 표현)

- 주관연구기관((주) 다운) :

○ 메인 농장서버 고도화

- 배합기 자동 제어기능 구현
- 자동 급이 중단 장치 구현
- 불량 사료 검출 시 급이 로봇 자동 귀환 구현
- 농장용 센서 노드 데이터 통신 구현
- 모니터링 및 제어 기술 구현

○ 급이 요소기술을 결합한 시스템구축 및 현장 테스트 실시

- 사료섭취량 조사기 연동 자동 급여로봇 제작 및 배합기 설치
- 배합기 시스템 설치 및 농장서버 시스템 연동
- 자동급여시스템, 사료섭취량 조사 시스템 등의 설치 및 연동
- 메인 프로세서 데이터 연계처리
- 시스템 검증 및 시험 준비

○ 각각의 요소기술을 적용한 사료진단 및 자동급이로봇 시작품 제작

- 데모장치용으로 1차 시작품 제작
- 사료위험요소 인식 및 사료 자동탈락 관련기술 집중 시험
- 사료측정기 연동 및 기타 세부기능은 3년차 과제 수행.

○ ICT 실증시험 농장 설치 및 시험가동

- 1기 현장설치 및 시험운영

○ 문제점 분석 및 업그레이드

- 사료 모델 기반 자동 진단 시스템 확립
- 로봇 제어기술 및 안전체계 확립

- 협동연구기관(경북대학교) : 모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축, 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발

세부연구 목표	세부연구 내용	세부연구 범위
모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축	사료제조 공정별 품질변화 측정	• 수분, pH 센서를 이용한 사료 저장→제조→급이 공정 간의 품질 변화 측정
	품질평가 체계 구축	• 사료 저장→제조→급이 공정 간의 품질평가 방법 작성 • 사료 종류별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료) 품질평가 방법 작성 • 축종별(한우, 젖소) 사료 품질평가 방법 작성
사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발	사료 품질 인자 선발	• 사료종류별(조사료, TMR, TMF, 부산물사료)로 품질(신선도, 안전)과 관련한 인자 탐색 및 선발
	품질변화 예측 모델 개발	• 사료종류별 주요 품질변화 변수(계절별 온도)에 따른 품질변화 측정 • 배합, 저장, 급이 공정 간의 품질변화 변수(계절별 온도)에 따른 사료의 품질예측 모델 개발
사료용 센서의 표준화 및 용도에 따른 구조 개선	사료용 센서의 표준화 기준 제시	• 사료 상태 측정을 위한 센서의 기준 제시와 표준화 기준 제시 • 공정별 또는 사용자별 사용가능한 센서 종류 제시 • 초분광 카메라를 이용한 사료별 함수율 측정 모델 개발
사료의 위해요소 신속 검출기 개발	스마트폰 기반 간이형 위해요소 측정 센서 플랫폼 개발	• 1회용 종이형 사료 위해요소 측정 센서 플랫폼 개발 • 센서 표준곡선 특성 분석 • 센서 보정 연구 • 시료 전처리 조건 및 사료 종류에 따른 감응특성 분석
	연속형 위해요소 측정 센서 플랫폼 개발	• 공장용 연속형 사료 위해요소 측정 센서 플랫폼 개발 • 센서 표준곡선 특성 분석 • 신호 보정 연구 • 시료 전처리 조건 및 사료 종류에 따른 감응특성 분석

- 위탁연구기관 (순천대학교) :
  - ○ 농가에서 샘플링한 사료를 실험실에서 카운팅 하여 개발된 병원성 미생물(대장균, 살모넬라 등) 측정을 위한 현장용 간이 센서 와의 매칭검증
  - ○ 농가에서 샘플링한 사료를 실험실에서 수분, pH를 측정하여 개발된 사료용 센서(수분, pH 등) 와의 매칭검증
  - ○ AFS(Auto feeding system)을 이용한 한우 단계별 사료효율, 급여량, 일당증체, 경제성 분석

다. 3차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관((주) 다운) : 보급형 자동 사료 급이 시스템 모델 확립 및 사업화 실증
- 협동연구기관(경북대학교) : 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조공정 및 급이 표준모델 개발

- 위탁연구기관 (순천대학교) : 개발된 간이센서, 사료급이 시스템및 자동 급이기의 현장 실증 연구

② 개발 내용 및 범위 (시스템 구성도, 구조 등을 그림으로 구체적 표현)

- 주관연구기관((주) 다운) :

○ 현장설치 가능한 사료진단 및 자동 사료급이 시스템 시작품 2호기 제작

- 보급가능 프로토타입 모델 제작
- 자동 사료 급이로봇 설치 및 시스템 연동
- 자동급여시스템, 사료섭취량 시스템 등의 통합시스템 구축
- 메인 프로세서 및 웹 서버 데이터 연계처리
- 시스템 검증 및 시험준비

○ 농장설치 및 운영, 시스템 검증

- 일반 낙농농장 설치 및 시험가동
- 성능확인 및 업그레이드실시

○ 보급준비

- 보급위한 마케팅 및 대리점 교육
- 전국 대리점 제품 소개 및 서비스 교육
- 전시회 및 박람회 출품 / 홍보
- 각종 축산광고 및 신문 인터넷광고

- 협동연구기관(경북대학교) : 사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발, 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시

세부연구 목표	세부연구 내용	세부연구 범위
사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시	사료품질 모니터링 통합 솔루션 구축	• 생산형태별(농가형, 공동농가형, 공장형)로 사료의 위해요소, 변패, 품질관리를 할 수 있는 사료 저장→제조→급이 공정의 품질 관련 센서(수분, pH) 적용방법 및 모니터링 솔루션 탐색 • 기존 사료제조 및 급이 장치의 모니터링 시스템과 사료의 위해요소, 변패, 품질관리 시스템의 통합 연동 솔루션 탐색
	안전 대응 가이드라인 제시	• 사료관련 장치와 관련된 저장→제조→급이 공정 간의 안전관리 방법 제시 • 현장적용을 위한 고품질 안전사료 제조 및 급이 공정의 안전관리 모델 제시
사료용 센서의 사용자 편의 기능 개발	디스플레이, IoT 인터페이스, 원격수신을 플랫폼 개발	• 사료용 센서의 사용자 편의를 위한 디스플레이 모듈 개발 • 스마트팜 대비를 위한 센서의 IoT 인터베이스 개발 • 센서 신호의 원격 수신을 위한 플랫폼 개발 • 사료 함수율 측정을 위한 초분광 카메라의 현장 적용 실험
사료 위해요소 측정용 센서 개발	스마트폰 기반 간이식, 공장용 연속식 사료 위해요소 측정용 센서의 개발, 성능분석, 보완	• 간이식, 연속식 사료 위해요소 검출 센서에 대한 성능분석 • 현장 시료 적용 • 성능 및 보완 • 공장용의 경우, 센서의 자동화 설계 • 간이형의 경우, 사용자 편의 어플리케이션 개발

- 위탁연구기관 (순천대학교) :
  ○ 농가에서 샘플링한 사료를 실험실에서 카운팅 하여 개발된 병원성 미생물(대장균, 살모넬라 등) 측정을 위한 현장용 간이 센서 와의 매칭검증
  ○ 농가에서 샘플링한 사료를 실험실에서 수분, pH를 측정하여 개발된 사료용 센서(수분, pH 등) 와의 매칭검증
  ○ AFS(Auto feeding system)을 이용한 한우 단계별 사료효율, 급여량, 일당증체, 경제성 분석

2절 목표 달성여부

1. 연구개발 성과 평가방법

연구기관	연차	평가의 착안점 및 기준	가중치	연구결과
㈜다운	1차년도 (2017)	섭취량조사기 연동 자동급이 시스템 개발은 되었는가?	20%	개발 완료
		개체인식기 및 인식장치 개발은 되었는가?	10%	개발 완료
		급이 로봇 구동부 개발은 되었는가?	10%	개발 완료
		로봇 자율 주행 개발은 되었는가?	15%	개발 완료
		로봇 안전 관련 센서 기술 개발은 되었는가?	10%	개발 완료
		스마트폰 기반 제어 기술개발은 되었는가?	15%	개발 완료
		사료위해요소 알림 및 배급 차단 개발은 되었는가?	10%	개발 완료
		개체별 급여시간, 급여량 조절 개발은 되었는가?	10%	개발 완료
	2차년도 (2018)	전용 메인프로세서 개발은 되었는가?	30%	개발 완료
		요소기술 통합 로봇시스템 1차 시작품 제작은 되었는가?	40%	제작 완료
		현장설치 및 문제점 분석은 되었는가?	30%	수행 완료
	3차년도 (2019)	현장투입용 로봇시스템 2차 시작품제작은 되었는가?	40%	제작 완료
		일반농장 실증시험은 되었는가?	30%	수행 완료
		개체 통합관리 시스템 개발은 되었는가?	30%	개발 완료
경북대학교	1차년도 (2017)	사료 제조공정별 품질 안전화 처리체계 표준화 모델 설계되었는가?	30%	설계 완료
		간이식(농가보급형) 및 연속식(공장용) 사료용 센서(수분, pH등) 조사 되었는가?	30%	수행 완료
		사료의 위해요소 검출을 위한 기반기술 정립이 되었는가?	40%	수행 완료
	2차년도 (2018)	모델에 따른 사료 제조공정별 품질(수분, pH 등) 변화 및 평가체계 구축이 되었는가?	20%	수행 완료
		사료의 스마트 품질(신선도, 안전) 예측 모델 개발이 되었는가?	20%	개발 완료
		사료용 센서의 표준화 및 용도에 따른 구조 개선이 되었는가?	30%	수행 완료
		사료의 위해요소 신속 검출기 개발이 되었는가?	30%	개발 완료
	3차년도 (2019)	사료의 위해요소, 변패, 품질관리 모니터링 통합 솔루션 구축 및 안전 대응 가이드라인 제시가 되었는가?	30%	제시 완료
		사료용 센서의 사용자 편의 기능 개발이 되었는가?	35%	개발 완료
		사료 위해요소 측정용 센서 개발이 되었는가?	35%	개발 완료

연구기관	연차	평가의 착안점 및 기준	가중치	연구결과
순천대학교	1차년도(2017)	실험 전 농가 실태조사, 환경조사 및 사전 컨설팅을 통한 진단 및 차년도 실험을 위한 시스템 설치가 되었는가?	100%	수행 완료
	2차년도(2018)	농가에서 샘플링한 사료를 실험실에서 카운팅 하여 개발된 병원성 미생물(대장균, 살모넬라 등) 측정을 위한 현장용 간이 센서와의 매칭검증이 되었는가?	30%	수행 완료
		농가에서 샘플링한 사료를 실험실에서 수분, pH를 측정하여 개발된 사료용 센서(수분, pH 등) 와의 매칭검증이 되었는가?	35%	수행 완료
		AFS(Auto feeding system)을 이용한 한우 단계별 사료효율, 급여량, 일당증체, 경제성 분석이 되었는가?	35%	수행 완료
	3차년도(2019)	농가에서 샘플링한 사료를 실험실에서 카운팅 하여 개발된 병원성 미생물(대장균, 살모넬라 등) 측정을 위한 현장용 간이 센서와의 매칭검증 보완이 되었는가?	30%	수행 완료
		농가에서 샘플링한 사료를 실험실에서 수분, pH를 측정하여 개발된 사료용 센서(수분, pH 등) 와의 매칭검증 보완이 되었는가?	35%	수행 완료
		AFS(Auto feeding system)을 이용한 한우 단계별 사료효율, 급여량, 일당증체, 경제성 분석 보완이 되었는가?	35%	수행 완료

2. 정량적 성과 달성 여부

가. 정량적 성과 목표

성과목표		사업화지표											연구기반지표								
		지식재산권			기술실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타(타연구활용 등)
													논문								
		특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		SCI	비SCI	논문평균IF	학술발표			정책활용	홍보전시	
단위		건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건		건		명	건	건	
가중치		10	15		15		40	-		5					0	5		5		5	
최종목표		4	3		1		3	24,000		4			3	4	(4)	6		5		30	
1차연도	목표	1					1			2			1	1	1.5	2		1		1	
	실적	1					1	90						1		2		1		5	
2차연도	목표	2					1			1			1	2	1.5	2		2		2	
	실적	2			1		1	51		6			1	1		6		1		6	

3차연도	목표		2		1		1			1			1	1	1.5	2		2		3	
	실적		2		1		1	600		1			3	1		3		4		9	
소계	목표	3	2		1		3			4			3	4		6		5		6	
	실적	3	2		2		3	741		7			4	3		11		6		20	
종료 1차연도		1						1,500						1		2		1		5	
종료 2차연도			1					7,500												9	
종료 3차연도								15,000												10	
소 계		1	1					24,000												24	
합 계		4	3		1		3	24,000		4			3	4	4.5 (4)	6		5		30	

나. 정량적 성과 달성 내용

(1) 기술거래(이전) 등

No	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술실시권 유형	유무상 여부	기술 유형
1	사료 배합장치	(주)다운	2017-11-13	통상실시권	유상	특허 출원
2	축사용 무인 사료 자동 정리장치	(주)다운	2019-11-05	직접실시	유상	특허 출원

(2) 사업화 현황

(단위 : 명, 원)

연도	제품명	업체명	사업화 형태	고용창출 인원	당해연도 매출액
2017	자율주행형 TMR 급이로봇	(주)다운	기존업체-상품화	-	90,000,000
2018	〃	〃	〃	6	51,000,000
2019	자율주행형 TMR 급이로봇 외 2종	〃	〃	1	609,375,000

*별도 자료: 당해연도 사업화 실적 보고서

표 141 별도 자료: 당해연도(2019) 사업화 실적 보고

구분	제품명	제품사진	제품 출시일	매출액 (백만원)	해당기술의 매출액 기여율 (%)	원산지	품질 인증 여부

구분	제품명	제품사진	제품 출시일	매출액 (백만원)		해당기술의 매출액 기여율 (%)	원산지	품질 인증 여부
1	TMR 자동사료급이로봇 (합천)		19.10.24.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
2	TMR 급이로봇 (태안)		19.10.25.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
3	자율주행형 급이로봇 (박영도)		19.10.25.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
4	자동사료 급이로봇 (합천)		19.10.25.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
5	무인급이로봇 (진성우)		19.10.31.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
6	TMR 사료 무인급이로봇 (김제)		19.10.31.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
7	자율주행 TMR 무인로봇시스템		19.11.13.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
8	TMR사료 급이시스템(청주)		19.11.13.	국내	50	100	대한민국	
				해외				

구분	제품명	제품사진	제품 출시일	매출액 (백만원)		해당기술의 매출액 기여율 (%)	원산지	품질 인증 여부
9	TMR 사료 무인급이시스템		19.11.28.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
10	TMR사료 자동 급이로봇(양양)		19.11.28.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
11	자율주행형 무인 급이시스템(강진)		19.12.12.	국내	50	100	대한민국	
				해외				
12	자동 급이로봇 1식(녹색목장)		19.12.12.	국내	50	100	대한민국	
				해외				

(3) 고용 창출

No	고용인력	고용기관명	고용창출일	고용형태	고용 창출 내용
1	오○○	㈜다운	2018-05-08	정규직	홍보 및 판매, 영업 상담 및 마케팅
2	김○○	〃	2018-04-02	〃	메인보드 설계, 제조, 시스템 개발
3	문○○	〃	2018-04-16	〃	프레임 및 내부 기판 제조, 유지보수
4	허○○	〃	2018-05-14	〃	프레임 및 내부 기판 제조, 유지보수
5	강○○	〃	2018-05-28	〃	시스템설계 및 기기제조인력 고용
6	송○○	〃	2018-09-12	〃	메인보드 설계, 제조, 시스템 개발
7	김○○	〃	2019-08-29	〃	시스템설계 및 기기제조인력 고용
8	허○○	〃	2020-01-01	〃	생산제조 및 기술 전문 인력 고용
9	김○○	〃	2020-02-24	〃	제조 및 조립 담당 고용
10	김○○	〃	2020-02-24	〃	메인보드 설계, 시스템 개발

(4) 교육 및 컨설팅

No	교육 및 컨설팅명	교육 및 컨설팅 교재명	주요내용	활용 년도
1	무인로봇 TMR 자동급여기 활용한 <섬유질 자가배합사료 급여>	무인로봇 TMR 자동급여기 활용한 <섬유질 자가배합사료 급여>	TMR 무인 급이로봇 개발자의 현장 시연 강의 및 교육상담 ▲섬유질 자가배합사료 급이 ▲TMR 무인 급이로봇 사용법 및 작동 사양 ▲무인 급이로봇을 활용한 TMR사료 급이 현장시연	2019

(5) 연구인력활용/양성 성과

No	인력양성 구분	학위	계열	연도	인력 대상 수
1	박사 수료	박사	공학계열	2017	1
2	박사 졸업	박사	공학계열	2018	1
3	박사 졸업	박사	공학계열	2019	1
4	석사 졸업	석사	공학계열	2019	1
5	학사 졸업	학사	공학계열	2019	2
5	학사 졸업	학사	공학계열	2020	1

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

No	출원등록명	산업재산권 종류	출원/등록		
			출원/등록인	출원/등록일	출원/등록번호
1	가축의 음식 섭취를 기반으로 하는 이상 징후 모니터링 시스템 및 방법	특허출원	(주)다운	2017-10-25	10-2017-0139257
2	축사용 무인 사료 자동 정리장치	특허출원	〃	2018-10-12	10-2018-0121684
3	TMR 사료 급이장치	특허출원	〃	2018-11-06	10-2018-0134948
4	가축의 음식 섭취를 기반으로 하는 이상 징후 모니터링 시스템 및 방법	특허등록	〃	2019-08-09	10-2011401
5	축사용 무인 사료 자동 정리장치	특허등록	〃	2019-12-16	10-2057969
6	TMR 사료 급이장치	특허등록	〃	2020-05-18	10-2114171

(7) 국내외 논문 게재

No	논문명	주저자명	학술지명	권호	국내/국외	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일
1	Applications of Smartphone Cameras in Agriculture, Environment, and Food: A review	권오준	Journal of Biosystems Engineering	42(4)	국외	비SCI	2017-12-01
2	Interactive livestock feed ration optimization using evolutionary algorithms	두윰 우예 다니엘	Computers and electronics in agriculture	155	국외	SCI	2018-10-05

No	논문명	주저자명	학술지명	권호	국내/국외	SCI여부(SCI/비SCI)	게재일
3	A fermentation and storage TMR model for dairy cattle	우승민	Engineering in agriculture, environment and food	12(1)	국외	비SCI	2018-10-22
4	Recent insight and future techniques to enhance rumen fermentation in dairy goats	로벨리아 마무에드	Asian-Australasian Journal of Animal Sciences	32(8)	국외	SCI	2019-06-17
5	Analyses of Mechanical Propeties of BY-Products for Development of Livestock Feed Bioreactor	우승민	Applied engineering in agriculture	35(3)	국외	SCI	2019-07-01
6	Rumen fermentation and microbial community composition influenced by live Enterococcus faecium supplementation	로벨리아 마무에드	AMB Express	9	국외	SCI	2019-07-30
7	A study on the optimal fermentation conditions for mixed by-products in livestock feed production	우승민	Engineering in Agriculture, Environment and Food	12 (2019)	국외	비SCI	2019-09-01

(8) 국내 및 국제학술회의 발표

No	학술회의명	발표제목	발표자	발표일시	장소	국명
1	2017 한국농업기계학회 추계 학술대회	A Preliminary Study for Detection of Salmonella and E.coli in Livestock Feed by particle Immunoarray	박하은	2017-10-27	김대중컨벤션센터	대한민국
2	2017 한국농업기계학회 추계 학술대회	Optimization of Total Mixed Ration (TMR) Feed Formulation for Cattle Using Evolutionary Systems	두윰 우예다니엘	2017-10-28	김대중컨벤션센터	대한민국
3	American Society of Agriculture and Biological Engineers 2018 Annual International Meeting	Interactive Total Mixed Ration formulation using Differential evolution	두윰 우예다니엘	2018-07-31	COBO CENTER, Detroit, Michigan	USA

No	학술회의명	발표제목	발표자	발표일시	장소	국명
4	American Society of Agriculture and Biological Engineers 2018 Annual International Meeting	An Optical biosensor platform to detect E.coli from animal feed	신원진	2018-07-31	COBO CENTER, Detroit, Michigan	USA
5	American Society of Agriculture and Biological Engineers 2018 Annual International Meeting	Analysis of mixed ratio of waste cooking-oils in biodiesel production process using near-infrared spectroscopy	이호서	2018-07-31	COBO CENTER, Detroit, Michigan	USA
6	International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering	Non-Destructive Determination of Moisture Content of Livestock Feed	두윰 우예 다니엘	2018-05-29	KAL Hotel, 제주	대한민국
7	ASIAN-AUSTRALASIAN ANIMAL PRODUCTION CONGRESS	Reductive Acetogenic Bacteria as Direct Fed Microbe in Improving	김선호	2018-08-01	Borneo Convention Center Kuching, Sarawak	Malasyia
8	ASIAN-AUSTRALASIAN ANIMAL PRODUCTION CONGRESS	Supplementation of Reductive Acetogenic Bacteria on Lactating Dairy	김선호	2018-08-02	Borneo Convention Center Kuching, Sarawak	Malasyia
9	2019 ADSA Anuual Meeting	Fermentation of total mixed ration using microbial inoculants and its effect on in vitro rumen fermentation and microbial population in Hanwoo cows	M. A. Miguel	2019-06-26	Cincinnati, Ohio	USA
10	한국축산학회 학술발표회	여주발효사료첨가제 급여가 한우도체특성, 지방산함량 및 혈액의 이화학적 특성에 미치는 영향	정창대	2019-06-27	경상대학교 GNU 컨벤션센터	대한민국
11	2019 ASABE Annual International Meeting	Non-destructive determination of crude fiber in food and agricultural by-products	두윰 우예 다니엘	2019-07-09	Marriott Copley Place, Boston, Massachusetts	USA

(10) 홍보실적

No	유형	매체명	제목	일시
1	중앙 전문지	축산신문	<2017년 신년특집>신기술 현장을 찾아- (주)다운 'ICT 축사관리 시스템'	2017-01-06
2	중앙 전문지	축산신문	<내일을 여는 축산기업>주율주행형 사료급이 로봇 개발 (주)다운	2017-09-27
3	지방TV 방송	전주MBC	생방송 VIEW "4차 산업시대! 농업의 미래를 말하다"	2018-01-09
4	중앙TV 방송	KBS1	KBS 스페셜 [미래혁명 스마트팜 제1부 로봇농부]	2018-05-03
5	중앙 전문지	한국농기계신문	ICT기반 무인 급이시스템 개발에 구슬땀	2018-06-15
6	중앙 전문지	한국농기계신문	[금주에 만난 사람] 최영경 다운 대표 '미래를 위한 투자에 망설임 없어야'	2019-01-17
7	지방TV 방송	대전 SBS	로봇으로 사료 공급 가능할까? 태안서 시범사업 진행	2019-11-04
8	중앙 일간지	한국일보	'로봇이 한우 키운다' 태안군 사료공급 로봇 시범사업 운영	2019-11-04
9	지방TV 방송	대전 MBC	[뉴스투데이] 스마트 팜 시대 소 먹이 주는 로봇 등장	2019-11-05
10	월간 잡지	월간 농기계	[조합원 탐방 : Interview] (주)다운 "축산분야 다양한 로봇 개발 집중"	2019-12-02
11	월간 잡지	월간 축산	[신기술 활용사례] TMR 급이로봇 생산비·일손 절감… 축사바닥만 평평하면 OK	2019-12-02
12	지방TV 방송	YTN Science	<황금 나침반> 기술자들 - 변화하는 축산 기술	2019-12-21

(11) 전시회 참가(전시회, 박람회, 제품설명회 등)

No	유형	행사명	전시 품목	장소	활용 년도
1	국제박람회	2017 Fieldays	TMR 급이로봇 외	Mystery Creek, Hamilton, New Zealand	2017
2	국내전시회	귀농귀촌박람회	TMR 급이로봇 외	농수산물유통공사 종합전시컨벤션	2017
3	국내전시회	로보유니버스	TMR 급이로봇 외	일산 킨텍스	2017
4	국제박람회	2018 ILDEX	TMR 급이로봇 외	SECC, Ho Chi Min, Vietnam	2018
5	국제박람회	2018 Fieldays	TMR 급이로봇 외	Mystery Creek, Hamilton, New Zealand	2018
6	국내박람회	한국축산기자재박람회	TMR 급이로봇 외	세종컨벤션센터	2018
7	국제박람회	2019 Fieldays	TMR 급이로봇 외	Mystery Creek, Hamilton, New Zealand	2019
8	국내박람회	농업기술박람회	TMR 급이로봇 외	양재 aT센터	2019
9	제품설명회	예산군 TMR 급이로봇 보급 시범사업	TMR 급이로봇	충청남도 예산군 대술면	2020

4장 연구결과의 활용 계획 등

1. 연구 성과의 활용분야 및 활용방안

가. 기술개발 활용 방안

- 기존 개발된 제품과 연계하여 로봇급이기의 활용 시 로봇포유기, 자동급여기, 각종 생체신호 처리장치와 호환성으로 낙농 젖소관리 시스템으로 통합
- 로봇급이 시스템 구축 기술과 테스트베드 검정성적을 활용하여 안정된 제품으로 사업화
- 제품모듈별 자동화환경에 적합한 기술을 타기업 및 기관을 대상으로 기존의 인프라 환경을 개선하는 지능형 임베디드 장치를 제공, 사업화
- 개발된 제품을 소규모 및 대형 농장 환경에 적합하도록 개선 및 보급하고 성능을 개선함으로 새로운 주력 상품으로 로봇급이 시스템의 국산화에 활용
- 사료의 안전한 제조공정 모델을 사료 생산 공정에 적용하여 고품질 안전 사료 생산에 활용
- 급이 표준모델을 급이 시스템에 도입·연계하여 개체별 급이량을 조절하는 시스템으로 연계
- 사료용 센서 표준화를 통해 축산 사료의 저장 및 관리에 사용되는 센서 선발 기준 마련
- 사료용 센서의 IoT 연계 시스템 개발을 통해 축산 스마트팜 연동 기술 마련
- 사료의 위해요소 검출 센서 개발로 스마트폰 기반 현장용 간이형 센서의 제품화 방안 마련
- 공장용 사료 위해요소 검출 센서의 사료 제조공정 적용을 통해 안전 사료 생산에 활용
- 병원성 미생물 측정을 위한 현장용 간이 센서 의 실험실 검증을 통한 신뢰성 확보
- 사료용 센서(수분, pH 등) 실험실 검증 및 농가 현장검증에 따른 센서의 정확성 확보
- 개발된 자동사료급이기 시스템의 현장검증을 통한 오류 수정 및 정확성확보

나. 축산농가

- 노동력절감 및 삶의 질 향상을 위한 고기능 로봇 시스템 보급
- 잉여 노동력을 활용한 축산업의 6차산업화 유도
- 경쟁력 있는 축산업 위상을 제시
- 고품질, 안전한 사료의 수급 및 급이를 통한 안정적인 영농

다. 기술개발 연구

- 로봇 제어관련 소프트웨어기반의 알고리즘 개발
- 통합형 농장 자동화시스템 구축 및 서비스
- 급이 효율성을 높이기 위한 최적의 급이조건수립
- 로봇제어 기술 개발로 노동력 절감 기술을 제시
- 개발된 사료급이 시스템을 활용한 동물 연구

라. 산업적 활용

- ICT분야 인프라 구축, 기술발달 등 관련 산업의 활성화 도모
- 급이노동 해방으로 낙농인 삶의 질 개선 : 후계 낙농인 육성 가능
- 로봇 시스템 개발시 국내보급은 물론 동남아 수출산업화 가능

- 2021년부터 상하이·베트남 등의 박람회 참가 및 수출실현에 노력
- 사료 제조공정 또는 공장에서 사료 위해요소 검출 센서의 적용을 통해 안전 사료 생산에 활용

마. 관련분야 기대효과

- 축산사료 전체 시스템의 병목현상 해결 : 대부분 축산 사료 관련 연구는 사료 가치와 품질, 조사료 육종 등의 연구가 이루어져 있다. 이러한 연구들을 대규모 기계화 시스템으로 연결하여 활성화하는 것이 중요하지만 아직까지 사료가 생산에서 급여로 이어지는 단계에 통합적인 연결고리가 잘 이루어지지 않고 있음. 본 연구는 특히 5가지의 핵심 연구를 통하여 축산 사료 전체 시스템의 병목현상을 해결하여 시스템의 연결고리가 잘 이루어지도록 하는 통합 네트워크 연구임
- 고품질 저비용 사료 안정적 공급 : 98%의 사료를 수입에 의존하는 국내 사료산업에 미래 전략적으로 사료비용의 절감과 고품질의 사료를 연중 공급할 수 있는 시스템의 개발이 반드시 필요함
- 사료 자급율 향상 : 통합 네트워크 기반으로 한우, 젖소, 돼지, 말 등의 사육농가와 조사료생산법인체, TMR공장과 지역의 부산물사료 거점센터로 이어져 최소비용 생산 및 유통 시스템 구축으로 사료 자급율의 향상이 가능함
- 친환경 축산 및 축산물의 안전화 기여 : 친환경 축산지역 거점센터에서 사료의 안정적 공급과 사양프로그램 등의 기술지원을 바탕으로 하기 때문에 친환경 축산 및 고급육 생산이 가능함 이를 통하여 사료를 고품질화하면 증체량과 산유량의 증가, 유질 및 육질향상, 사료비절감, 축산물 안전화 등의 효과가 있음
- 농기계 신규 시장 개척 및 활성화 : 플랜트에 소요되는 단위기계를 상품화할 수 있어, 산업체의 경우 신규 시장(약 1조원 규모)을 개척할 수 있음
- 수출 산업 기여 : 해외농장을 개발하여 공급을 추진하고 있다. 이 기술을 활용하여 외국에 수출할 수 있음
- 사료 생산비 절감 : 적정작업조건에 따른 기계개발로 기계효율이 향상되고 노동력과 작업시간이 줄일 수 있음
- 축산 사료산업 파생 연구의 활성화 및 기술 수준 업그레이드 : 이 연구를 기반으로 다양한 사료의 가공기술과 품질 규격화 기술, 부산물사료의 안전화 기술, 축종별 사료 급여 기술 등의 파생되는 연구가 많이 진행될 것이며, 축산업의 기술 수준을 한 단계 끌어올릴 수 있음
- 다양한 축종에 활용 : 본 연구에서 개발되는 모델은 하나의 축종에 적용되는 것이 아니라, 대표적으로 소(한우, 젖소), 돼지(모돈, 비육돈) 등에 적용할 수 있음
- Food waste 기술 활용 : 전발효공정 기술을 응용하여 부산물의 원료가 되는 식품업체 등과 연계하여 사료 산업에 다양하게 활용할 수 있음
- 국외(개도국) 축산 사료조제 기술 활용 : 국내에서 태동된 이 기술은 세계의 소, 돼지 산업에도 적용될 가능성이 크므로 특히 개도국이나 후진국의 소, 돼지 산업에로의 접목이 가능하다고 판단되므로 수출상품으로서의 발전을 지원할 필요가 있고 이는 외국에 소나 돼지 사양기술을 포함한 사료조제 기술을 수출할 수 있는 기회를 제공해 줄 수 있음
- 단위 플랜트 표준화 활용 : 국내에 300여개소의 시군 거점센터에 시설을 설치할 수 있을

것으로 예측되며, 가칭 사료종합처리장(FPC)나 사료위성시설(FSC)과 같은 단위 플랜트로 표준화할 수 있음

2. 기업화 추진 방안

가. 생산 계획

구분		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021년) 개발 종료 후 2년	(2022년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	3%	8%	15%
	판매량(단위: 대)	25	50	100
	판매단가(원)	6천만	6천만	6천만
	국내매출액(백만원)	1,500	7,500	15,000
해외	시장점유율(%)	1%	3%	5%
	판매량(단위: 대)	2	12	25
	판매단가($)	3만 5천	3만 5천	3만 5천
	해외매출액(백만$)	0.071	0.427	0.89
당사 생산능력1)		100%	100%	100%

(※ 연구기관 및 제조·판매 업체로서 국내 매출에 높은 기대치를 가지고 목표를 설정하였으나, 연구성과물의 품질에 집중하여 연 6-8억 원대의 판매 성과를 누적하고 있음. 해외 판매의 경우 해외 Test-bed 개설 및 수출 관련 협의를 진행하였으나, 개발과정 중 충분한 안정성과 성능이 입증된 후 수출 개시하는 것이 옳다고 판단하여 해외 공급을 유보하였음. 향후 성능의 보완과 업그레이드에 충실을 기하여 해외 매출에 대한 기대에 부응할 예정임)

나. 투자 계획

항목		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021년) 개발 종료 후 2년	(2022년) 개발 종료 후 3년
매출원가		1,155	5,775	11,550
판매관리비		165	825	1,650
자본적 지출	토지	57	288	577
	건물/구축물	72	360	721
	기계장치등	144	721	1,443
자본적지출 합계		924	1,155	2,310

본 연구성과물은 200두 이상 규모의 소 사육농가 기준으로 시장가격이 약 5,500 - 6,500만 원 선으로 형성되며, 동종 제품인 해외 수입산(Lely 社, 네덜란드) 제품의 약 1억 원 선으로 형성된 시장가격에 비하여 5,000만 원 가까이 저렴하다. 유지보수 및 관리비용 또한 연구개발된 국산 제품은 연간 350만 원 내외로 예상되나 동종 수입산 제품의 경우 연간 700만 원 이상 소요되어 국산 제품이 유지관리 측면에서 경제적인 것으로 분석된다. 개발된 시스템의 국내 유사 기종은 현재까지 없으며, 수입제품과 비교한 상세한 경제성 분석을 추진하여 소비자에게 정보를 제공할 예정이다.

다. 사업화 전략

구분	구체적인 내용
형태/규모	○국내 대리점을 통한 제품 영업 및 판매, 전국적인 사후지원 경험, 해외 사료 급이 로봇 대비 50% 가량 저렴한 예상 단가 → 시장창출형 시제품 생산 ○국내외 전시회 참가지원 및 기타홍보활동 ○전국 지자체 및 수요대상자, 관련 연구자 초청 테스트베드 홍보 시연 ○현장(작목별) 맞춤형 농업용 로봇 매뉴얼 개발 및 배포 ○국내 지역별 농식품인력 교육프로그램 연계 설명회 ○국제 농업박람회(INTERNATIONAL AGRICULTURAL EXHIBITION), 터키 농업박람회(GROWTECH EURASIA) 등 홍보 ○2022년 150억 규모의 시장 확대를 위해 국내 점유율 80%에 달하는 기존 판매루트와 정부기관 지원 활용
상용화 능력 및 자원보유	○전국에 분포한 당사 대리점, 기업부설연구소, 20년 이상의 다품종 생산능력을 갖춘 자체 공장 활용 및 점진적 확장 ○2020년 기존 제2공장을 로봇관련 전문공장으로 운영 ○2022년 전문 로봇개발인력 2명 충원으로 로봇 생산성 보강
상용화 계획 및 일정	○2020년 25기 국내 상용화, 2022년까지 국내 시장점유율 15%달성 ○2020년 2기 국외 상용화, 2022년까지 세계 시장점유율 5% 달성

붙임. 참고문헌

Cho, S. H., Park, T. S., Reynolds, K. A., Yoon, J. Y. (2017). Multi-normalization and interpolation protocol to improve norovirus immunoagglutination assay from paper microfludics with smartphone detection, SLAS Technology, 22(6):609-615

You, D. J., Geshell, K. J., R., Yoon, J. Y. (2011). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. Biosensors and Bioelectronics 28(1): 399-406.

Fronczek, C. F., Yoon, J. Y. (2015). Biosensors for Monitoring Airborne Pathogens. SLAS Technology, 20(4): 390-410.

Angus, S. V., Kwon. H. J., Yoon, J. Y. (2012). Field-Deployable and Near-Real-Time Optical Microfluidic Biosensors for Single-Oocyst-Level Detection of Cryptosporidium parvum from Field Water Samples. Environmental Science: Processes & Impacts, 14(12): 3295-3304.

Park, T. S., Li, W., McCracken, K. E., Yoon, J. Y. (2013). Smartphone quantifies Salmonella from paper microfludics. Lab chip, 13:4832

Park, T. S., Yoon, J. Y. (2015). Smartphone detection of Escherichia coli from field water samples on paper microfluidics. IEEE Sensors Journal, 15(3): 1902-1907

<뒷면지>

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.