

11-1543  
000-001  
961-01

발간등록번호

11-1543000-001961-01

사  
료  
비

절  
감  
을

위  
한

T  
M  
R

플  
랜  
트  
의

부  
산  
물  
사  
료

발  
효  
저  
장

통  
합  
관  
리

시  
스  
템

구  
축

농  
림  
축  
산  
식  
품  
부

# 첨단생산 기술 개발사업 R&D Report

## 사료비 절감을 위한 TMR 플랜트의 부산물사료 발효저장 통합관리 시스템 구축 최종보고서

2017 . 12. 14.

주관연구기관 / 경북대학교

농림축산식품부

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “사료비 절감을 위한 TMR 플랜트의 부산물사료 발효저장 통합관리 시스템 구축”(개발기간 : 2014.09.25. ~ 2017.09.24)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 12. 14.

주관연구기관명 : 경북대학교 산학협력단장



주관연구책임자 : 하 유 신  
연 구 원 : 우 승 민  
연 구 원 : 홍 동 혁  
참여기업책임자 : 장 홍 일

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

### 3. 보고서 요약서

#### 보고서 요약서

과제고유번호	114044-3	해당 단계 연구 기간	2014.09.25. 2017.09.24	단계 구분	3/3
연구사업명	단위사업				
	사업명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대과제명	(해당 없음)			
	세부과제명	사료비 절감을 위한 TMR 플랜트의 부산물사료 발효저장 통합관리 시스템 구축(Construction of by-product feed fermentation and storage integration management system in TMR plant for the feed cost saving)			
연구책임자	하유신	해당단계 참여 연구원 수	총: 14명 내부: 12명 외부: 2명	해당단계 연구개발 비	정부:150,000천원 민간: 50,000천원 계:200,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 42명 내부: 36명 외부: 6명	총 연구개발비	정부:450,000천원 민간:150,000천원 계:600,000천원
연구기관명 및 소속부서명	경북대학교 산학협력단			참여기업명:(주) 은성플랜트	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
<p>요약 : 본 연구는 사료비절감을 위한 TMR플랜트의 부산물사료 발효저장 통합관리 시스템 구축에 관한 것으로 전 세계적으로 처음 시도되는 방식의 플랜트 모델을 설계 및 개발하는데 그 의의가 있으며 공인인증기관을 통하여 성능을 인정받아 사업기간중 시제품으로 사업화를 진행하여 매출을 발생시켰으며 총 3군데의 기관으로 기술이전을 실시하였다. 부산물 사료의 특성분석을 통하여 최적의 발효조건을 구명하였으며, 전 발효 공정의 모델을 개발하였고 ARENA 시뮬레이션을 통하여 유의성을 검증하였다. 화성 낙농법인 TMR 공장에 현장실증사이트를 구축하여 단위기계를 제작 설치하였으며 통합관리 시스템의 도입으로 컴퓨터 및 휴대폰 앱을 통하여 실시간으로 부산물 발효저장조의 상태를 모니터링 할 수 있도록 하였다. 뿐만 아니라 개발 모델의 객관성을 확보하기 위하여 대기기계부품연구원 및 농업기술실용화재단을 통하여 공인인증을 확보하였으며, 현장 실증사이트에서의 시운전중 발생하는 문제점을 모두 수 정보완하여 구축된 시스템의 완성도를 더하였다.</p>				보고서 면수 : 262쪽	

#### 4. 국문 요약문

		코드번호	D-01		
연구의 목적 및 내용	<p>본 연구는 목표는 축산 사료산업의 사료비용을 절감하고, 축산사료 기계화 일관 모델을 개발하기 위하여, 부산물 사료를 쉽게 처리를 할 수 있도록 낙농·한우 단지별로 공동으로 이용 가능한 “사료비 절감을 위한 TMR 플랜트의 부산물사료 발효저장 통합관리 시스템 구축”에 관한 것이다.</p>				
연구개발성과	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 부산물사료의 기계적 특성 조사 및 요인 구명 : 부산물사료의 물리적 열전달특성 레올로지 특성을 분석하였으며 동결건조 및 UV 살균을 통하여 균수를 제어하는 최적의 발효조건 구명을 실시하여 연구된 적이 없는 부산물의 기초자료를 확립하였다</li> <li>2) 부산물사료 전발효공정 분석 및 시뮬레이션 : 예비실험 및 데이터 수집을 통하여 입력변수를 선정하여 3가지 서로 다른 공정을 개발하였으며 시뮬레이션을 통한 최적해찾기 기법을 통하여 공정을 분석하고 설계에 따른 모델의 적합성을 검증하였다.</li> <li>3) 부산물사료 전발효공정 모델 개발 및 적정규모 설계 : 모델별 기계형식 선정 및 작업공정을 설계하여 배치도(lay-out)를 그렸으며 소요기계의 제원을 결정하여 단위기계(반입,임시대기,수분조절 압착,프리믹스,발효저장조,살균시스템)를 제작하였다.</li> <li>4) 전발효공정의 소요기계 설계 및 제작 : 부산물사료 반입, 임시대기 및 저장 시스템 설계 및 제작, 부산물사료 살균 시스템 설계 및 제작, 부산물사료 수분조절 압착 시스템 설계 및 제작, 살균 부산물사료 임시대기 시스템 설계 및 제작, 부산물사료 프리믹스 시스템 설계 및 제작, 부산물사료 프리믹스사료 배출이송 시스템 설계 및 제작, 부산물사료 발효저장조 설계 및 제작, 발효 부산물사료 배출 시스템 설계 및 제작, 발효 부산물사료 계량 및 대기 시스템 설계 및 제작, 각 공정별의 전발효공정 이송 및 공급장치 설계 및 제작</li> <li>5) 통합 관리시스템 구축 : 부산물 발효저장조의 실시간 내부환경을 컴퓨터 및 휴대폰으로 볼수 있는 원격 모니터링 시스템을 구축하였으며 3가지 릴레이를 통한 원격제어 컨트롤 시스템을 구축하였다.</li> <li>6) 현장적용시험 및 수정보완 : 개발된 부산물 발효저장장치의 성능은 대구기계부품연구원 및 농업기술실용화 재단을 통하여 당초 목표로 하였던 공인인증항목을 모두 달성하였으며, 현장 실증사이트인 화성 낙농 TMR 플랜트에서 추가적으로 발생하는 단위기계의 문제점을 수정보완하였다.</li> </ol>				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 축산사료 전체 시스템의 병목현상 해결</li> <li>○ 고품질 저비용 사료 안정적 공급</li> <li>○ 사료 자급을 향상</li> <li>○ 친환경 축산 및 축산물의 안전화 기여</li> <li>○ 농기계 신규 시장 개척 및 활성화</li> <li>○ 수출 산업 기여</li> <li>○ 사료 생산비 절감</li> <li>○ 축산 사료산업 파생 연구의 활성화 및 기술 수준 업그레이드</li> <li>○ 다양한 축종에 활용</li> <li>○ 수입 부산물사료의 전발효공정 응용</li> <li>○ Food waste 기술 활용</li> <li>○ 국외(개도국) 축산 사료조제 기술 활용</li> <li>○ 단위 플랜트 상품화 활용</li> </ul>				
중심어 (5개 이내)	부산물 사료	TMR 플랜트	발효저장조	최적설계	모니터링 시스템



5. 영문 요약문

< SUMMARY >

		코드번호	D-02		
Purpose& Contents	This study aims to “ <b>build up an integrated management system for fermentation and storage of by-product feeds in TMR plants to save feed costs,</b> ” which can be jointly used in each of dairy and Korean native cattle (Hanwoo) complex for easy processing of by-product feeds to save feed costs in the livestock feed industry and to develop a consistent mechanization model of livestock feeds.				
Results	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>Investigation of mechanical characteristics of by-product feeds and research of factors:</b> This study analyzed physical heat transfer characteristics and rheological characteristics of by-product feeds and established the basic data on by-products, which have not been researched by investigating the optimal fermented condition controlling the counts of bacteria through freeze drying and UV pasteurization.</li> <li>2) <b>Analysis and simulation of the pre-fermentation process of by-product feeds:</b> This study developed three different processes, selecting input variables through preliminary experiment and data collection, analyzed the processes through the technique of finding the optimal solution through simulation and verified the suitability of the model according to the design.</li> <li>3) <b>Development of pre-fermentation process of by-product feeds model and design of the optimum scale:</b> This study drew lay-out, selecting the form of machines and designing the working process by each model and produced unit machines (Carry-in, temporary stand-by, moisture control compression, premix, fermentation/storage pool and pasteurization system), deciding specifications of the machines required.</li> <li>4) <b>Design and production of machines required in the pre-fermentation process:</b> This study designed and produced systems for carrying-in, temporary stand-by and storage of by-product feeds, a system for the pasteurization of by-product feeds, a system for the moisture control and compression of by-product feeds, a system for the temporary stand-by of pasteurized by-product feeds, a system for the premix of by-product feeds, a system for the discharge and conveyance of the premixed</li> <li>5) <b>Building up an integrated management system:</b> This study built up a remote monitoring system through which the internal environment of the fermentation/storage pool of by-products could be viewed on computer and mobile phone in real time and built up a remote-control system through three relays.</li> <li>6) <b>Test of field adaptation and correction/supplementation:</b> The performance of the developed fermentation/storage device of by-products achieved all public certification items initially aimed through the Daegu Machinery Institute of Components &amp; Materials and the Foundation for the Commercialization of Agricultural Technologies, and the additional problems of the unit machines were corrected and supplemented at the Hwaseong Dairy TMR Plant, a field demonstration site.</li> </ol>				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Solving the bottleneck phenomenon of the entire system of livestock feed               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Contributing to the safety of eco-friendly livestock and livestock products</li> <li>○ Exploiting and vitalizing new markets of farm machinery</li> <li>○ Contributing to the export industry</li> <li>○ Saving feed production costs</li> <li>○ Vitalizing studies derived from livestock feed industry and upgrading the level of technology</li> <li>○ Utilization in various kinds of livestock</li> <li>○ Application of imported by-product feeds in the pre-fermentation process</li> <li>○ Utilizing food waste technology</li> <li>○ Utilizing the technology of overseas (developing countries) for preparing livestock feed</li> <li>○ Unit plant commercialization and utilization</li> </ul> </li> </ul>				
Keywords	By-product feeds	TMR plant	Fermentation/storage pool	Optimal design	Monitoring system

## 6. 영문목차

1. Outline of the R&D Project .....	12
2. Domestic/Foreign State of Technology Development .....	18
3. Contents and Results of Research Performance .....	21
Chapter 1 Investigation of mechanical characteristics of by-product feeds and research of factors .....	21
Part 1 Research on geometric characteristics .....	21
Part 2 Research on physical characteristics .....	25
Part 3 Research on rheological characteristics .....	28
Part 4 Research on heat transfer characteristics .....	31
Part 5 Measurement of specific heat .....	33
Part 6 Measurement of the condition of pasteurization .....	34
Part 7 Research on the condition of fermentation .....	39
Chapter 2 Analysis and simulation of the entire process of the fermentation of by-product feeds .....	48
Part 1 Process analysis .....	48
Part 2 process design .....	51
Part 3 Optimization through simulation .....	55
Part 4 Model development through simulation .....	61
Chapter 3 Development of a model for the entire process of the fermentation of by-product feeds and design of the optimum scale .....	69
Part 1 Selection of the form of machines .....	69
Part 2 Design of the working process .....	76
Part 3 Design of layout .....	81
Part 4 Decision of specifications of machines required .....	83
Chapter 4 Research on the optimum condition of fermentation of by-product feeds (Additional research) .....	86
Part 1 Fermentation/storage experiment utilizing the Taguchi method .....	86
Part 2 Reproducibility experiment using a laboratory-sized fermentation/storage pool .....	97
Part 3 Analysis of microbe profiles during the fermentation of by-product feeds .....	99
Chapter 5 Design and production of machines required for by-product feeds ..	112
Part 1 Design and production of systems for carrying-in, temporary stand-by and storage of by-product feeds .....	112
Part 2 Design and production of a system for the pasteurization of by-product feeds .....	115
Part 3 Design and production of a system for the moisture control and compression of by-product feeds .....	117
Part 4 Design and production of a system for temporary stand-by of by-product feeds .....	119
Part 5 Design and production of a system for the premix of by-product feeds .....	120

Part 6 Design and production of a system for the discharge/conveyance of premixed by-product feeds .....	122
Part 7 Design and production of a fermentation/storage pool for by-product feeds .....	124
Part 8 Design and production of a system for input/discharge of by-product feeds .....	131
Part 9 Design and production of a device for pressure control in fermented/storage pool for by-product feeds .....	137
Part 10 Design and production of a system for the discharge/conveyance of by-product feeds .....	139
Chapter 6 Building up an integrated management system .....	142
Part 1 Building up a real-time remote monitoring system for the internal environment of the fermentation/storage pool of by-products .....	142
Part 2 Development of a smart remote-control system .....	155
Chapter 7 Field adaptation test and correction/supplementation of the system .....	179
Part 1 Correction/supplementation of the bucket elevator .....	179
Part 2 Correction/supplementation of the fermentation/storage pool of by-products .....	181
Part 3 Correction/supplementation of sweep auger .....	182
Chapter 8 Performance test and feed quality .....	184
Part 1 Processing capacity of unit machines .....	184
Part 2 Storage capacity of the entire fermentation process .....	187
Part 3 Loss factor of by-product feeds .....	188
Part 4 Uniformity of mixing of by-product feeds .....	190
Part 5 Control temperature of the entire fermentation process .....	191
Part 6 Experiment of long-term fermentation of by-product feeds .....	193
Part 7 Remote controller implementation and performance test .....	199
Part 8 Experiment of measuring the current value in the feed discharge device .....	206
Part 9 Feed quality analysis .....	208
Chapter 9 Economic feasibility analysis .....	211
Part 1 Investment costs .....	211
Part 2 Costs used .....	212
Part 3 Result and Discussion .....	213
Chapter 10 Research Results .....	215
Part 1 Patent .....	215
Part 2 Program registration .....	220
Part 3 Paper .....	221
Part 4 Technology transfer .....	237
Part 5 Commercialization .....	240
Part 6 Training and consultancy .....	241
Part 7 PR performance .....	243
Part 8 Award winning performance .....	245

4. Goal achievement and contribution to related fields .....	246
5. Plan for the utilization of the research results .....	249
6. Overseas information about science/technology collected during the research process .....	250
7. Security level of R&D results .....	256
8. Status of research facilities and equipment registered to the National Science and Technology Information System .....	256
9. Result of the implementation of safety precautions at laboratories, etc. according to the R&D project performance .....	256
10. Representative research result of the R&D project .....	257
11. Others .....	257
12. References .....	257

<Appendix> Written opinion about self-evaluation

## 7. 본문목차

### < 목 차 >

1. 연구개발과제의개요 .....	12
2. 국내외 기술개발 현황 .....	18
3. 연구수행 내용 및 결과 .....	21
제1장 부산물 사료의 기계적 특성조사 및 요인구명 .....	21
제1절 기하학적 특성 구명 .....	21
제2절 물리적 특성 구명 .....	25
제3절 레올로지 특성 구명 .....	28
제4절 열전달 특성 구명 .....	31
제5절 비열 측정 .....	33
제6절 살균조건 측정 .....	34
제7절 발효조건 구명 .....	39
제2장 부산물사료 전 발효공정 분석 및 시뮬레이션 .....	48
제1절 공정분석 .....	48
제2절 공정설계 .....	51
제3절 시뮬레이션을 통한 최적화 .....	55
제4절 시뮬레이션을 통한 모델개발 .....	61
제3장 부산물사료 전 발효공정 모델 개발 및 적정규모 설계 .....	69
제1절 기계형식 선정 .....	69
제2절 작업공정 설계 .....	76
제3절 배치도(layout) 설계 .....	81
제4절 소요기계 제원결정 .....	83
제4장 부산물사료 최적의 발효조건 구명 .....	86
제1절 다구찌 기법을 활용한 발효저장실험 .....	86
제2절 실험실 규모의 발효저장조를 사용한 재연성실험 .....	97
제3절 부산물사료 발효중 미생물 프로파일 분석 .....	99
제5장 부산물사료 소요기계 설계 및 제작 .....	112

제1절 부산물사료 반입, 임시대기 및 저장 시스템 설계 및 제작	112
제2절 부산물사료 살균 시스템 설계 및 제작	115
제3절 부산물사료 수분조절 압착 시스템 설계 및 제작	117
제4절 살균 부산물사료 임시대기 시스템 설계 및 제작	119
제5절 부산물사료 프리믹스 시스템 설계 및 제작	120
제6절 부산물사료 프리믹스사료 배출이송 시스템 설계 및 제작	122
제7절 부산물사료 발효저장조 설계 및 제작	124
제8절 부산물사료 투입, 배출시스템 설계 및 제작	131
제9절 부산물 사료 발효저장조 압력조절장치 설계 및 제작	137
제10절 부산물 사료 배출 이송시스템 설계 및 제작	139
제6장 통합관리 시스템구축	142
제1절 부산물 발효저장조의 내부환경 실시간 원격모니터링 시스템구축	142
제2절 스마트 원격제어 시스템 개발	155
제7장 시스템의 현장적응시험 및 수정보완	179
제1절 버켓엘리베이터 수정보완	179
제2절 부산물 발효저장조 수정보완	181
제3절 스위프오거 수정보완	182
제8장 성능시험 및 사료품질	184
제1절 단위기계 처리능력	184
제2절 전발효 공정 저장능력	187
제3절 부산물 사료 손실율	188
제4절 부산물 사료 혼합 균일도	190
제5절 전 발효 공정 제어온도	191
제6절 부산물사료 장기발효 실험	193
제7절 원격제어 컨트롤러 구현 및 성능테스트	199
제8절 사료배출장치 전류치 측정실험	206
제9절 사료품질분석	208
제9장 경제성 분석	211
제1절 투자비용	211
제2절 이용비용	212
제3절 결과 및 고찰	213

제10장 대표적 연구실적 .....	215
제1절 특허 .....	215
제2절 프로그램 등록 .....	220
제3절 논문 .....	221
제4절 기술이전 .....	237
제5절 사업화 .....	240
제6절 교육 및 컨설팅 .....	241
제7절 홍보실적 .....	243
제8절 수상실적 .....	245
4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	246
5. 연구결과의 활용계획 등 .....	249
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	250
7. 연구개발성과의 보안등급 .....	256
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황 .....	256
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 .....	256
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적 .....	257
11. 기타사항 .....	257
12. 참고문헌 .....	257
<별첨> 자체평가의견서	

# 1. 연구개발과제의 개요

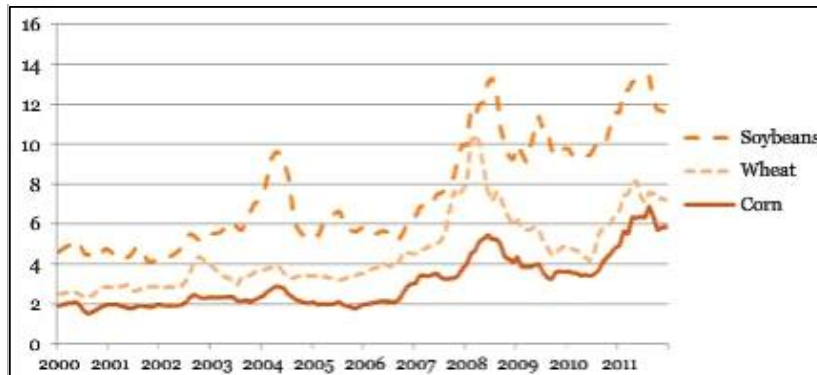
코드번호	D-03
------	------

## 1-1. 연구개발 목적

### 가. 사료가격 증가

#### ○ 국제곡물가격 증가

세계 곡물가격이 크게 상승하면서(그림1), 전 세계적으로 사료 생산기업과 축산농가의 어려움이 심화되고 있다. 우리나라 축산업은 농후사료의 주원료인 사료곡물뿐만 아니라, 식물성 단백질 사료 및 조사료까지 수입에 의존하고 있어 세계 곡물가격에 크게 영향을 받는 구조이다. 따라서 국내 축산업의 국제경쟁력을 높이기 위해서는 고품질이면서 저비용의 사료를 공급할 수 있는 사료산업 대책이 시급한 실정이다.



<주요 사료 곡물 가격동향(단위: \$/bushel)>

#### ○ 축산사료비 최소화 방안필요

축산경영비 중 사료비가 80%를 차지하고 있으며, 고품질의 사료를 최소의 비용으로 급여할 필요가 있다. 사료비 구성요소를 살펴보면 표 1과 같이 사료구입비, 사료가공비, 조사료 생산비로 나눌 수가 있다. 그 중 사료구입비는 농후사료와 부산물사료, 조사료 구입비로 분류하며 배합사료, 곡류, 강피류, 맥주박, 대두박, 목초 등의 구입비용이며, 사료가공비는 배합, 급여 등의 이용비용, 조사료생산비는 랩사일리지 생산비 등을 포함한다. 이러한 요소들의 비용을 최소화하는 방안이 필요하다.



[사료비 구성요소]

사료비 구성요소		세부 구성요소
사료 구입비	농후사료	• 배합사료, 곡류, 강피류 등 구입비용
	부산물사료	• 맥주박, 대두박 등 식품부산물 구입비용
	조사료	• 볏짚, 목초, 알팔파큐브 등 구입비용
사료 가공비		• 사료 가공 기계(세절, 배합, 급여) 이용비용
조사료 생산비		• 랩사일리지 생산비용, 기계 이용비용

나. 부산물사료 이용의 문제점

- 또한, 사료 생산에서 중요한 것이 품질요소이다. 양질의 원료를 이용하여 사료의 오염원과 위해요소를 제어하여 안전하고 균일한 사료를 공급하는 것이 중요하다. 이를 통하여 사료를 고품질화하면 증체량과 산유량의 증가, 유질 및 육질향상, 사료비절감, 축산물 안전화 등의 효과가 있다.
- 그 중에서 사료를 발효시켜 급여하면 젖소의 유량을 증가시키고 육우의 경우는 육질을 개선한다. 또한 이들이 생산하는 효소와 면역활성물질은 소화를 돕고 병원성 미생물의 오염을 막아 축우의 생산성과 사료효율을 개선한다. 또한 무엇보다도 농업부산물, 식품부산물 등 부존 사료자원을 최대한으로 활용할 수 있는 장점이 있어 사료비를 절감할 수 있다.
- 그러나, 아직까지 사료 생산에 있어서 품질적인 측면과 가격적인 측면에서 아직 해결해야 할 부분들이 많다. 특히, 본 연구는 기계화 시스템에 있어서 사료 생산 공정별로 해결해야 할 부분을 요약해 보면, 부산물 사료 이용시 품질 저하가 문제이다. 사료비용의 절감을 위해 소(한우, 젖소)에는 부산물 사료를 이용하고 있지만 품질적인 면에서 아직까지 문제가 많으며, 부산물 사료의 이용은 향후 양돈농가(임신돈, 비육돈)로 확대될 것이기 때문에 이에 대한 부산물 사료의 품질을 높일 수 있는 가공시설 및 모델이 필요하다.
- 한우나 젖소가 1일 필요로 하는 조사료, 농후사료, 비타민, 미네랄, 기타 미량요소 등 모든 영양소를 함유하도록 여러 종류의 단미사료와 부산물 및 미생물을 접종하여 일정기간 발효·숙성시킨 것을 TMF사료(Total Mixed Fermentation, 완전혼합발효사료)라 한다. TMF사료의 최대 특징은 반추위의 작용을 최대한으로 이용하는 점에 있으며, 최근의 사료체계도 TMR사료(Total Mixed Ration)에서 TMF사료로 전환되고 있다.
- 돼지의 경우에도, 양돈사료의 주된 원료인 곡물이 폭등함에 따라 식품 부산물이나 농산 부산물을 조사료(IRG 사일리지, 청보리 등)와 함께 발효시켜 돼지에 급여함으로써 사료

비 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

- 최근 사료비를 절감하는 방안으로 식품가공부산물이나 수입부산물에 대한 관심이 증대되고 있다. 주요 부산물사료의 종류에는 발효미생물에 의한 맥주박, 맥아박, 장유박 등과 비발효에 의한 전분박, 감귤박, 사과박, 두부박, 버섯배지, 미강, 맥강 등이 있다. 이러한 부산물사료 중 수분이 높은 사료는 운반과 저장 과정에서 변질(부패) 또는 병원균에 오염이 우려되기 때문에, 살균과정을 거치고 사료가치를 높이기 위하여 몇 일간의 발효공정을 거친다. 그 후 조사료와 배합사료를 혼합하여 TMF사료로 제조된다.
- 최근 농가에서는 미생물 발효배합기를 이용하여 생균제를 투입하여, 적절한 온도를 유지시킨 다음 1~2일 정도 교반한 후 발효된 사료를 급여하는 방식이 이용되고 있다. 이 방식은 소규모의 축산농가에 사용되는 방식으로 공장형 타입에는 적용되기가 어렵다.
- 대부분의 TMR 공장에서 부산물사료의 살균과 발효 공정상 문제점을 살펴보면,
  - (가) 발효배합기가 없는 공장에서는 살균과 발효과정을 거치지 않고 TMF사료라고 판매하고 있다.
  - (나) 발효배합기가 있는 공장에서는 3톤 발효배합기 3대로 0.5~1시간 발효공정을 거친다. 발효기간은 최소한 2일 정도 발효가 되도록 해야 하지만, 1일 100톤 생산규모의 공장에서는 생산성이 크게 저하되기 때문에 제대로 된 발효과정을 거치지 못하고 있으며, 공장형 타입에는 적합하지 않다(그림 2).
  - (다) 실제로 부산물사료 저장조는 HACCP 기준에 크게 미치지 못하고 있기 때문에 안전한 사료 생산에 큰 문제점이 되고 있다.



<기존 배치식 발효 배합기>

- 또한, 일반적으로 TMR 공장에서 부산물 사료의 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(그림 3).



<기존 부산물사료의 저장 창고>

## 1-2. 연구개발의 필요성

### 가. 안전한 품질의 부산물 사료공급 및 용량설정

- 고온고압 스팀을 이용하여 원료 속에 들어 있을 수도 있는 유해균들을 완전히 살균한 다음 적당한 온도에서 미생물 발효제를 투입하는 공정을 설계할 필요가 있다.
- 부산물 사료의 벌크 저장시 부패로 인한 사료의 손실을 줄이고, 정체가 발생하는 발효배합기는 공정에서 큰 문제를 발생시키기 때문에 새로운 개념의 발효저장조의 개발이 필요하다.
- 신개념 발효저장조는 부산물사료와 발효미생물 등을 프리믹스하여 발효저장조에 저장하고, 발효된 프리믹스사료를 배합기로 이송하는 공정을 설계한다면 정체가 없이 원활한 생산이 가능할 것이다. 이때 1일 100톤 생산규모에서 프리믹스사료 발효저장조의 용량은 50톤이어야 하고 최소한 3일 발효기간을 감안하면 3개의 저장조가 필요할 것이다.
- 발효온도는 정밀한 온도(20~40℃)가 되도록 제어한다. 여름철에는 과도한 발효열이 문제가 되므로 유기산 등을 활용하여 발효열을 억제시켜야 하고, 겨울철에는 기온이 낮아 발효가 진행되지 않는 문제점이 있으므로 20℃ 이상을 유지해주도록 하는 기계의 개발이 필요할 것이다.
- 따라서, 신개념의 부산물 사료의 저장, 살균, 발효, 저장, 공급시스템이 반드시 필요하다.

## 1-3. 연구개발 범위

### 가. 부산물사료의 기계적 특성 조사 및 요인 구명

- 공시재료 : 버섯배지, 전분박, 맥주박, 사과박 등
- 열전달 특성(살균조건) 구명 : 살균방법, 살균온도, 살균시간 등
- 물리적 특성 구명 : 산물밀도, 안식각 등
- 레올로지 특성 구명 : 점착력, 부착력, 응집력 등
- 발효조건 구명 : 온도, 함수율, 저장기간 등

- 기하학적 특성 구명 : 입자크기, 균일도 등

## 2) 부산물사료 전발효공정 분석 및 시뮬레이션

- 공정분석 : 전발효공정의 예비실험 및 데이터 수집을 통한 입력변수 (전발효공정별 처리용량 : 부산물사료 반입-임시 대기 및 저장-살균-수분조절 압착-살균 부산물사료 임시대기-프리믹스-프리믹스사료 압송-발효-저장-선입선출 배출-계량 및 대기-공급)
- 공정설계 : 육종별(한우, 젓소), 사료종류별(발효미생물에 의한 맥주박, 맥아박, 장유박 등과 비발효에 의한 전분박, 감귤박, 사과박, 두부박, 버섯배지, 미강, 맥강 등), 생산규모별(100톤/일, 50톤/일, 10톤/일)의 입력변수에 따른 전발효공정 모델별 공정설계
- 시뮬레이션을 통한 최적화 : 공정별 처리시간, 정체시간, 단위기계의 가동률, 시간당 생산용량, 병목현상 등 출력변수의 비교분석

## 3) 부산물사료 전발효공정 모델 개발 및 적정규모 설계

- 모델별 기계형식 선정 : 기존 보급된 투입기, 살균기, 프리믹스 배합기, 발효저장조, 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, 부산물사료 종류별, 사료 가공형태별 등)을 조합한 최적 배치도 설계
- 모델별 소요기계 제원 결정 : 각 모델별로 소요기계(투입기, 살균기, 프리믹스 배합기, 발효저장조, 반송기 등)의 용량, 크기, 소요동력 등을 결정

## 4) 전발효공정의 소요기계 설계 및 제작

- 부산물사료 반입, 임시대기 및 저장 시스템 설계 및 제작
- 부산물사료 살균 시스템 설계 및 제작
  - 고온고압 스팀을 이용하여 원료 속에 들어 있을 수도 있는 유해균들을 완전히 살균할 수 있는 시스템 설계 및 제작
- 부산물사료 수분조절 압착 시스템 설계 및 제작
  - 고함수율의 부산물사료의 수분조절
- 살균 부산물사료 임시대기 시스템 설계 및 제작
- 부산물사료 프리믹스 시스템 설계 및 제작
  - 정체가 발생하는 기존 발효배합기를 대체할 수 있도록, 부산물사료와 발효미생물 등을 프리믹스하여 발효저장조에 저장
- 부산물사료 프리믹스사료 배출이송 시스템 설계 및 제작
- 부산물사료 발효저장조 설계 및 제작
  - 이때 1일 100톤 생산규모에서 프리믹스사료 발효저장조의 용량은 50톤이어야 하고 최소한 2일 발효기간을 감안하면 3개 이상의 저장조가 필요
- 발효 부산물사료 배출 시스템 설계 및 제작
  - 부산물사료가 선입·선출이 되도록 하부에서 발효가 완료된 사료의 배출 시스템 설계 및 제작

- 발효 부산물사료 계량 및 대기 시스템 설계 및 제작
- 각 공정별의 전발효공정 이송 및 공급장치 설계 및 제작

5) 통합 관리시스템 구축

- 각 단위기계의 통합 연결시스템 설계 및 제작
- 각 단위기계별 개별 및 통합 제어시스템 설계 및 제작
  - 살균, 프리믹스, 발효저장 등 각 단위기계별 제어시스템 설계 및 제작
  - 저장조 내부의 발효열과 발효가스 등 제어시스템 설계 및 제작 : 발효가스가 희석되는 것을 크게 감소시키고 유익한 발효환경과 보존에 기여하고, 부산물사료의 감소 및 변질 최적 제어
  - 발효온도 정밀 제어시스템 설계 및 제작 : 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)

6) 현장적응시험 및 수정보완

- 전발효장치의 현장적응시험 : 기존 농가형 TMR/TMF 플랜트 또는 단독 플랜트 설치 및 시운전
- 전발효공정별 문제점 분석 및 수정 보완 : 부산물사료 반입-임시 대기 및 저장-살균-수분조절 압착-살균 부산물사료 임시대기-프리믹스-프리믹스사료 압송-발효-저장-선입 선출 배출-계량 및 대기-공급
- 시설 및 기계의 내구성 및 안전성 향상 연구
- 시스템 효율 및 성능 검사 : 단위기계 처리능력, 전발효공정 저장능력, 제어온도, 손실율, 저장기간, 혼합균일도 등 검사
- 부산물사료 및 TMR사료의 품질 평가 : 발효품질(pH 등) 평가

## 2. 국내외 기술개발 현황

코드번호	D-04
2-1 국내외 연구현황	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○. 우리나라의 농업의 기계화는 수도작 위주로 정책이 수행되어 왔다. 따라서 축산이나 밭작물에 대한 기계화·자동화는 매우 낙후되어 있다. 더욱이 이들의 작업이 매우 다양하기 때문에 많은 기계의 종류가 필요로 하지만 소요대수는 매우 적어 상업화하기가 어려운 실정이었다.</li> <li>○. 세계 10대 선진국 중에서 농업을 기반으로 두지 않은 국가는 하나도 없다. 이웃 일본만 하더라도 홋카이도 지역에는 거대한 낙농 단지가 조성되어 있다. 우리나라에서 축산은 농업에서 쌀 다음으로 큰 산업이고, 그 중에서 낙농·비육이 차지하는 비중은 1차 산업에서 3차 산업에까지 매우 다양하게 연결이 되어 있다.</li> <li>○. 그러나 우리나라의 축산, 특히 낙농과 비육은 사료의 기반 없이는 일어날 수가 없다. 다행히도 지난 몇 년간 담리작을 이용한 조사료 생산 기반이 상당히 구축이 되었고, 또한 앞으로 수도작의 휴경 정책이 시행되면 대체 작물로 조사료의 생산이 더욱더 증가될 것으로 예상된다. 그러나 아무리 조사료 생산기반이 구축이 되어도 우리나라는 사료를 대부분 수입하여 사용하기 때문에 국내 부존자원을 충분히 이용하여야 한다. 사료비용을 절감할 수 있는 부산물 사료의 이용기반이 없는 것은 마지막 단계에서 병목현상이 될 수가 있다.</li> <li>○. 국내외 연구현황을 살펴보면 축산 사료에 관한 연구는 대부분 조사료와 관련한 플랜트 또는 기계 시스템에 관한 연구이다. 부산물 사료의 활용에 대한 연구는 전무하며, 이를 활용할 수 있는 시스템을 없고, 단순히 콘크리트 바닥에 저장하는 시스템이 주를 이루고 있다.</li> <li>○. TMR 사료 플랜트는 전국에 약 200개소가 운영되고 있는데, 최근 한우용 TMR의 보급에 따라 한우용 TMR 플랜트(섬유질사료공장)도 증가추세에 있다. 일반적으로 TMR 플랜트는 원료저장시설, 배합장치, 계량 및 포장장치, 반송장치 등으로 구성된다. 곡물사료 등을 저장빈에 저장하였다가 TMR 배합비에 따라 일정량의 원료가 배합기에 투입됨과 동시에 사각베일 형태의 베일을 투입시켜 배합하는데 부산물 사료의 활용시스템은 전무하다.</li> <li>○. 조사료의 활용성을 높이기 위하여 기존의 상업용 또는 조합공동 TMR플랜트에 국내산 원형베일로 가공된 마른 볏짚, 생볏짚 곤포 사일리지 또는 맥류 곤포사일리지를 포함한 조사료를 TMR플랜트 생산성에 맞게 연속적으로 반입→적절한 길이로 세절→흙먼지 및 이물질 제거 공정을 거친 후에 정량으로 배합기에 쉽게 투입이 가능하도록 일정 무게 및 사이즈로 규격화 가공의 기능을 가진 TMR플랜트용 원형 베일 조사료 전처리 가공시스템이 개발되었는데, 이 또한 부산물의 활용할 수 있는 시스템은 전무하다.</li> <li>○. 국내 양돈농가에 조사료가 첨가된 TMR 발효사료를 공급할 수 있는 제조 및 급이 시스템이 없어, 양돈급이에 적합하도록 원형베일을 해체, 세절, 연화시켜 배합사료와 혼합랩-베일을 조제하여 발효시키거나, 펠렛으로 성형하는 양돈용 TMR사료 조제하거나, 조제한 발효사료와 펠렛사료를 돼지에 자동 급이 하는 기술 등 조사료가 첨가된 양돈용 TMR 발효사료 조제 및 자동 급이 일관기계화체계를 확립한 연구가 수행되었으나, 이</li> </ul>	

또한 부산물의 활용할 수 있는 시스템은 전무하다.

- . 따라서, 가격이 비싼 시설 및 기계의 구입 비용은 소규모 농가에서 뿐 아니라 대규모 농가에서도 수지맞는 경영을 할 수가 없다. 따라서 부산물 사료를 쉽게 처리를 할 수 있는 낙농·한우 단지별로 공동으로 이용 가능한 “사료비 절감을 위한 TMR 플랜트의 부산물 사료 발효저장 모델 개발”은 우리나라 축산업에 매우 중요한 연구의 과제라고 생각이 된다.

## 2-2. 선행연구

- . 본 연구팀의 부산물사료 발효저장관련하여 선행연구는 그림 4와 같이 전라북도 정읍의 보리마을에서 실시하였다. 여러 종류의 부산물사료를 배합하여 톤백이나 플라스틱 용기에 약 400~700kg으로 밀봉하여 혐기발효가 되도록 발효저장을 하였다. 생산된 부산물 사료를 간이형 비닐온실에 숙성하였다가 조사료, 농후사료 등을 다시 혼합하여 TMR 배합하여 TMR 사료를 생산하였다. 생산된 TMR사료를 한우에 급이한 결과 사료비가 약 30% 절감되었고, 1등급 출현율이 약 90%정도로 나타나, 부산물사료를 발효화 시키는 것이 매우 효과적인 것으로 나타났다. 그러나, 부산물사료 제조시 노동력의 투자시간이 과대하여 생산성이 저하될 뿐만아니라 TMR 플랜트의 용도로는 부적합한 것으로 나타났다. 또한, 계절별로 발효기간 및 발효상태가 불규칙하여 정밀한 온도제어가 필요한 것으로 나타났으며, 소규모농가에서는 부산물 원료 확보에 상당한 어려움이 있었다. 이러한 문제점을 해결할 수 있고 TMR 플랜트에 적합하도록 부산물사료 발효저장 공정의 합리적인 설계가 필요한 것으로 나타났다.



<본 연구팀의 부산물사료 발효저장 관련 선행연구>

- . 또한, 본 연구팀은 1995년부터 현재까지 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아 아래의 표와 그림 5, 6, 7과 같이 TMR 사료와 관련된 연구를 성공적으로 수행하였다. 이상과 같이 본 연구실은 답리작에 의한 조사료 기계화 생산기술, 조사료 세절·급이용 작업기, 조사료 배합용 TMR 배합기의 개발, TMR 플랜트 모델 개발, TMR 전처리 공정 개발, 양돈용 TMR 사료생산 시스템 개발 등의 많은 연구를 수행한 바 있으며 이에 대한 많은 Know-How를 가지고 있다.
- . 그러나, 아직까지 연구되지 않은 분야가 부산물사료와 관련된 시스템이 전무하여 이에 대한 연구가 반드시 필요할 것이다. 그렇게 될 경우 축산 사료분야에서 전체 시스템의 연결고리가 이어지며, 병목현상도 자연스럽게 해소될 것이다.



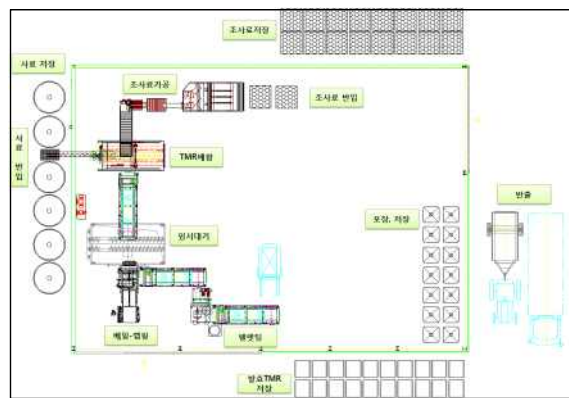
연구수행기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
경북대학교	조사료 배합을 위한 트랙터 부착형 TMR 배합기의 개발	기술이전 및 사업화 : TMR배합기 (99-M-3-5)
경북대학교	답리작 조사료 랩-사일리지 생산을 위한 모델 및 기계 개발	조사료 생산 인프라 구축 기술이전 및 사업화 : 원형베일러 (98-M-1-254), 원형베일러퍼 (99-M-3-5)
경북대학교	트랙터 견인형 원형베일 세절 급여기 개발	특허등록 제10-0470326호
경북대학교	한우 및 낙농 단지용 소형 TMR 플랜트 모델 개발	특허등록 제10-0742526호 기술이전 : 보리마을농장 농림부 선정 대표기술
경북대학교	TMR 플랜트용 국내산 원형베일 전처리 가공시스템의 모델 개발	특허등록 제10-0834707호 기술이전 : 보리마을농장
경북대학교	양돈용 TMR 사료조제 및 자동급이 시스템 연구	특허출원 제10-2013-0137915호 신개발 농업기계 현장평가회



<공장형 TMR 플랜트 모델 개발>



<농가용 TMR 플랜트 모델 개발>



<양돈용 TMR 플랜트 모델 개발>



### 3. 연구수행 내용 및 결과

코드번호	D-05
------	------

## 제1장 부산물 사료의 기계적 특성조사 및 요인구명

본 장에서는 개발되는 시스템의 공시재료인 부산물 사료의 기하학적, 물리적, 레올로지, 열특성 및 비열을 분석하였으며, 살균조건 및 최적발효조건 구명을 실시하여 시스템 설계의 기초자료로 활용하였다.

### 제1절 기하학적 특성 구명

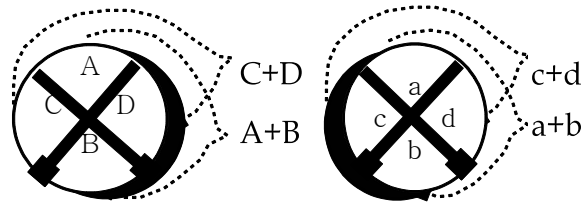
- 부산물사료는 버섯배지, 맥주박, 두부박, 주정박, 면실박, 팜박, 미강 등 총 10종을 이용하였다. 부산물은 수분함량이 낮은 건식 부산물사료와 수분함량이 높은 습식 부산물사료로 분류할 수 있다. 부산물사료를 발효저장시 수분함량이 매우 중요하기 때문에 다음과 같이 수분을 측정하고, 수분에 따른 배합비를 조성하였다. 시험요인별로 함수율이 변수에 영향을 미치는 설계요인시험은 함수율 5수준(40%, 50%, 60%, 70%, 80%)으로 제조하여 실험하였고, 혼합부산물은 30%, 40%, 50%의 수준으로 제조하여 실험에 이용하였다. 함수율은 135℃-2시간-50g 오븐법을 이용하여 측정하였고, 제조된 재료는 0℃ 저온저장을 하여 보관하여 사용하였다.
- 혼합부산물1의 공시재료는 버섯배지, 맥주박, 두부박, 면실박, 전분박 등을 혼합한 후, 고수분의 재료에 미강 등 수분이 낮은 사료를 첨가하여 적정함수율에 도달할 때까지 시료를 조제하여 사용하였다. 혼합부산물2의 공시재료는 주정박, 들깨박, 옥수수배아박, 면실박, 팜박 등을 혼합한 후, 고수분의 재료를 압착하여 수분을 제거한 후 적정함수율에 도달할 때까지 시료를 조제하여 사용하였다.

#### <부산물사료의 함수율>

부산물사료	버섯배지	맥주박	두부박	사과박	주정박
함수율(w.b.%)	47.0	72.2	79.7	83.1	79.2
부산물사료	들깨박	옥수수배아박	면실박	팜박	미강
함수율(w.b.%)	5.9	21.8	7.4	11.5	8.8

혼합부산물	혼합부산물1			혼합부산물2		
함수율(w.b.%)	32.0	44.4	53.2	31.8	42.7	52.3

- 입자도와 균일도는 농산물검사검정의 표준계측 및 검정방법의 시료측분 및 체별방법을 이용하여 분석하였다. 균분기로 측분을 하지 않고 보조방법으로 4분법에 의하여 측분하여 시료를 사용하였다. 시료는 측분 전에 충분히 혼합하였고, 혼합한 시료를 다음 그림과 같이 원형으로 평평히 얇게 펴놓고 중횡으로 선을 그어 4등분하였다. 시료의 체별은 수동방법을 사용하였으며, 자세를 바로 하고 양 팔꿈치를 양 허리에 부착시켜 팔꿈치와 손과 체판을 수평으로 하고 체별하고, 그물체 및 삼각눈의 판체는 정면에서 보아 체눈이 정방형 및 정삼각형이 되도록 잡고 치며, 세로눈의 판체 및 줄체와 둥근눈의 판체는 체눈의 방향으로 잡고 치며, 편심원을 그리며 치며, 체별 횟수 및 시간은 20초 동안에 좌우 30회를 체별하였다.



<4분법 측분법>

- 입자도와 균일도는 흙의 입도시험방법(표준KS규격 KSF 2502)에 준용하여 10개의 체 (5mm, 4mm, 2.8mm, 2mm, 1.7mm, 1mm, 850 $\mu$ m, 600 $\mu$ m, 425 $\mu$ m, 300 $\mu$ m)를 사용하여 시험하였다.



<시료 체별>

- 입자도와 균일도 시험결과 다음의 표와 같이 규정된 체에 남은 무게를 측정하였고, 그 백분율에 의해 다음과 같이 산출하였다. 굵은 입자가 시료를 제조하는 과정에서 건조를 시키면 연약해지고 쉽게 부스러지게 되므로, 사료의 성질이 크게 달라질 수 있다. 부산

물사료 발효저장 시스템을 설계할 때 사료의 건조한 상태보다는 수분이 많은 상태에서 사료의 제조와 저장, 발효, 이송이 되기 때문에 습윤상태에서 실험을 하였다.

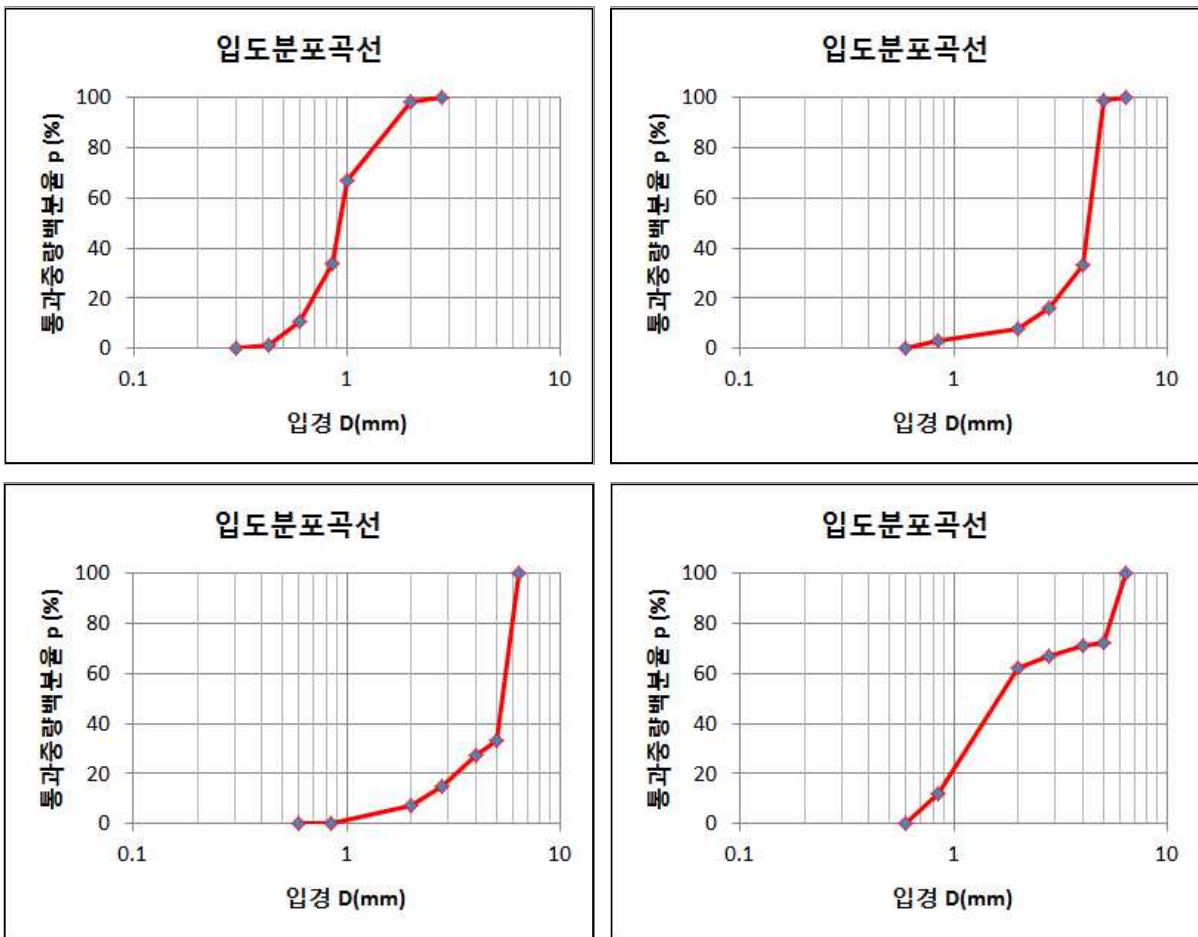
- 유효경, 균등계수, 곡률계수는 일반적으로 사료의 굵은 입자, 가는 입자 등 입도 배분에 대한 표시법으로 사료의 입경이 고른지 아닌지를 대략적으로 알아볼 수 있는 계수이다. 균등계수가 1에 가까워지면 양호한 입도분포를 의미하며 입경의 구성이 고루 균등하다는 것을 나타낸다. 수치가 크면 클수록 입경의 크기 분포가 넓은 것을 의미다. 유효경(D10)은 수분의 투수성과 상관성이 높아 유효경이 작을수록 수분의 침투는 낮은 것으로 볼 수 있다. 균등계수는=  $D60/D10$ , 곡률계수= $(D30)^2/(D10*D60)$ 의 식으로 구하였다.

<부산물 사료별, 함수율별 입자도>

체눈크기	미강	팜박	옥수수배아박	들깨박	체눈크기	버섯배지
2mm	0.85	100.61	9.15	6.02	5mm	77.12
1mm	85.6	197.35	154.73	323.4	4mm	47.76
850 $\mu$ m	164.58	119.41	164.17	84.33	2.8mm	126.16
600 $\mu$ m	161.62	48.98	112.97	41.07	2mm	85.15
425 $\mu$ m	62.51	14.04	47.86	24.42	850 $\mu$ m	125.79
Pan	21.49	5.24	5.34	15.16	Pan	22.42
Total	496.65	485.63	494.22	494.4	Total	484.4

체눈크기	혼합부산물1 (30%)	혼합부산물1 (40%)	혼합부산물1 (50%)	혼합부산물2 (30%)	혼합부산물2 (40%)	혼합부산물2 (50%)
5mm	46.77	113.45	328.34	138.75	141.91	151.35
4mm	13.16	32.56	28.92	5.4	5.78	6.4
2.8mm	32.36	74.91	59.53	20.19	20.46	24.83
2mm	33.78	161.75	37.78	23.76	24.58	24.16
850 $\mu$ m	282.06	112.6	34.61	249.48	171.6	162.1
Pan	87.3	2.58	0.67	60.43	126.76	125.27
Total	495.43	497.85	489.85	498.01	491.09	494.11

- 각 부산물 사료별, 혼합사료의 함수율별로 체별법에 의해 체별한 후 결과는 다음의 표와 같다. 이를 입도분포곡선 작성법을 이용하여 그림과 같이 입도분포곡선을 작성하고, 이에 따른 유효경D10, D30, D60을 산출하였다. 미강, 옥수수배아박의 균등계수가 1.65, 1.66으로 나타나 입도분포가 균등하였으며, 버섯배지는 유효경이 2.19로 크고, 균등계수도 2.01로 사료의 입자도의 분포가 균일하지 않는 것으로 나타났다. 또한, 혼합부산물사료는 여러 가지 부산물사료를 배합하였기 때문에 균등계수가 2.30~3.29로 매우 높게 나타나 입자도의 분포가 균일하지 않는 것으로 나타났다. 수분이 증가함에 따라 균등계수도 증가하는 것으로 미루어 볼 때 수분이 사료를 응집시켜 입자도가 불균일하게 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 부산물사료 혼합시에 사료의 입자 균일도는 사료의 혼합시에 사료간의 응집과 수분의 흡습 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.



<사료별 입도분포곡선(미강, 버섯배지, 혼합사료1, 2)>

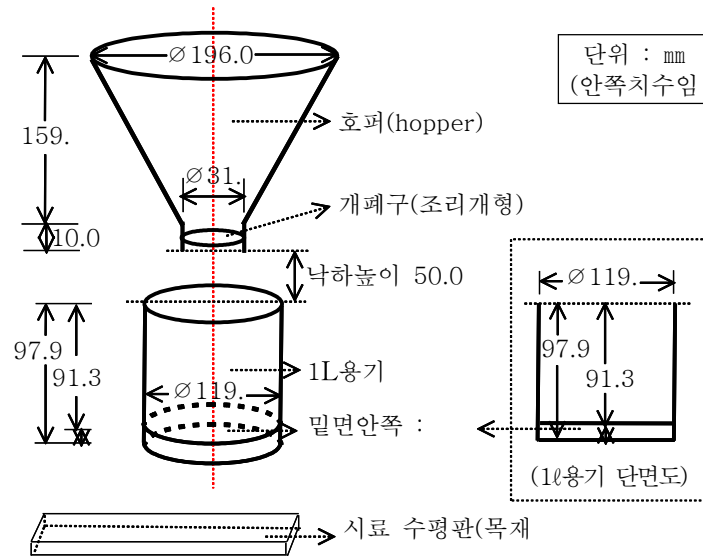
<부산물 사료별, 함수율별 입자도 및 균일도>

체눈크기	유효경(D10)	유효경(D30)	유효경(D60)	균등계수	곡률계수
미강	0.59	0.81	0.97	1.66	1.16
팜박	0.75	0.95	1.53	2.04	0.78
옥수수배아박	0.59	0.81	0.97	1.65	1.16
들깨박	0.66	0.97	1.41	2.13	1.01
버섯배지	2.19	3.76	4.41	2.01	1.47
혼합부산물1(30%)	0.74	1.10	1.71	2.30	1.59
혼합부산물1(40%)	1.33	2.17	3.15	2.36	1.12
혼합부산물1(50%)	2.29	4.50	5.54	2.42	0.96
혼합부산물2(30%)	0.81	1.26	1.95	2.42	1.01
혼합부산물2(40%)	0.70	0.99	1.98	2.83	0.71
혼합부산물2(50%)	0.70	1.01	2.30	3.29	0.64

## 제2절 물리적 특성 구명

○ 부산물사료의 배합탱크, 발효저장조 등의 크기 설계에 필요한 산물밀도는 다음과 같이 계산하였다. 부산물 사료의 산물밀도는 아래의 그림과 같이 용기를 준비하여 시료 1.2L를 호퍼에 넣고 개폐구를 잠은 시간에 완전히 가볍게 열어 1L 용기에 넘치도록 한 다음 시료수평판을 수직한 상태로 1L 용기의 한쪽 면에서 가볍게 놓고 지그재그로 반복하여 시료를 수평으로 만든 후 저울로 계량하였다. 이를 3회 반복 측정치의 평균값으로 계산하였다.

- 1L 용기는 안쪽지름 119.6mm, 안쪽높이 91.3mm의 용기로 제작하여 내용적이 1000.0mL
- 호퍼(hopper)는 상부 안쪽지름 196mm, 수직 높이 169mm(개폐구간 10mm포함)의 원뿔대 형태
- 개폐구(조리개형) 크기는 호퍼 하부 안쪽지름 31.8mm
- 낙하높이는 호퍼 밑면에서 1L 용기 상단까지 50mm
- 시료 수평판은 목재 230mm×70mm×8mm, 지지대, 수평기, 시료회수통 등 용적중을 안정되게 측정



<산물밀도 측정장치 및 방법>

- 부산물사료의 이송, 호퍼각도, 배출장치 등의 설계에 필요한 정안식각은 경사면 피마찰 계 4종류(스테인레스강, 유리, 고무, 아크릴) 이용하였고, 동안식각은 시험은 2수준(배출, 퇴적)으로 측정하였다.



<동안식각(배출, 퇴적), 정안식각 측정장치 및 방법>

- 부산물사료의 산물밀도는 사과박이  $729 \text{ kg/m}^3$ , 미강  $282 \text{ kg/m}^3$ , 버섯배지  $432 \text{ kg/m}^3$ 로 나타났으며, 수분이 높은 재료일수록 산물밀도는 크게 나타났다. 또한, 혼합부산물도 함수율이 증가할수록 산물밀도도 증가하였으며, 함수율이 40%일 때 혼합된 부산물의 산물밀도는  $507 \sim 566 \text{ kg/m}^3$ 으로 나타났다. 이를 부산물사료 저장탱크 크기 설계에 적용하였다.

<부산물 사료 종류별, 함수율별 산물 밀도>

부산물사료 종류	사과박	두부박	맥주박	버섯배지	미강
산물 밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	729	530	536	432	282
부산물사료 종류	팜박	옥수수배아박	들깨박	면실박	
산물 밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	622	510	179	342	

부산물사료 함수율별 (w.b.%)	혼합부산물1	혼합부산물2
30	469	483
40	566	507
50	744	535

<부산물 사료의 정안식각>

부산물 종류	스테인레스		아크릴		유리		고무	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
면실박	33.5	1.7	27.5	1.0	32.6	2.3	41.1	1.6
미강	43.9	1.0	37.8	1.4	48.2	2.2	47.2	1.0
버섯배지	28.6	0.9	41.5	2.0	36.0	0.7	34.0	1.0
들깨박	27.1	1.6	30.5	1.5	29.5	0.9	32.6	0.8
옥수수배아박	44.3	1.0	51.9	1.5	41.8	1.8	50.7	1.7
주정박	38.1	1.1	50.4	3.0	52.0	5.3	59.4	0.8
혼합부산물1 (수분 30%)	37.6	0.7	48.6	0.9	47.8	1.0	36.4	1.1
혼합부산물1 (수분 40%)	38.3	1.8	47.5	0.7	47.9	1.4	38.4	0.9
혼합부산물1 (수분 50%)	46.4	0.9	48.0	0.8	46.8	1.8	44.2	1.4
혼합부산물2 (수분 30%)	32.6	1.1	38.4	1.1	38.1	1.6	31.4	1.1
혼합부산물2 (수분 40%)	33.3	2.2	38.2	1.3	40.2	1.3	35.0	0.8
혼합부산물2 (수분 50%)	46.6	2.9	41.2	0.9	42.4	0.7	37.9	0.5

<부산물 사료의 동안식각>

부산물 종류	동안식각 배출시		동안식각 퇴적시	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
면실박	58.7	1.5	37.9	2.2
미강	75.7	2.6	39.4	2.2
버섯배지	44.7	1.0	35.0	2.7
들깨박	23.3	0.5	40.1	2.0
옥수수배아박	63.1	4.8	31.0	1.9
혼합부산물1 (수분 30%)	45.6	1.9	32.3	2.7
혼합부산물1 (수분 40%)	49.6	1.2	44.3	3.8
혼합부산물1 (수분 50%)	52.3	2.1	46.8	4.1
혼합부산물2 (수분 30%)	48.9	1.3	30.0	2.4
혼합부산물2 (수분 40%)	51.1	1.2	38.0	1.5
혼합부산물2 (수분 50%)	50.6	2.5	42.8	2.1

- 부산물사료의 정안식각은 스테인레스일 경우 면실박 33.5°, 미강 43.9°, 버섯배지 28.6°, 주정박 38.1°로 나타났으며, 혼합부산물의 경우 함수율이 증가함에 따라 정안식각도 증가하는 것으로 나타났다. 혼합부산물의 정안식각은 스테인레스일 경우 32.3~46.6°로 나타나, 탱크 설계시 일반 곡물보다 각도를 더 경사지게 설계해야 되는 것으로 나타났다.
- 부산물사료의 동안식각은 배출시에 면실박 58.7°, 미강 74.7°, 버섯배지 44.7°, 들깨박 23.3°로 나타났다. 퇴적시 동안식각은 면실박 37.9°, 미강 39.4°, 버섯배지 35.0°, 들깨박 40.1°로 나타났다. 혼합부산물의 동안식각의 배출시 각도는 45.6~51.1°, 퇴적시 각도는 30.0~46.8° 나타났다. 혼합부산물의 경우 함수율이 증가함에 따라 동안식각의 배출, 퇴적시 동안식각도 증가하는 것으로 나타나, 이는 수분이 사료를 접촉시키는 접촉력의 영향인 것으로 판단되었다. 사료의 투입보다 배출시에 각도가 매우 크므로 탱크나 호퍼 설계시 여유를 두고 설계해야 되는 것으로 판단되었다.

### 제3절 레올로지 특성 구명

- 대부분의 부산물사료는 수분을 함유하고 있으며, 여러 가지 처리공정이나 저장, 발효과정 중에도 조직의 변화가 끊임없이 일어난다. 이러한 변화는 이들이 함유하고 있는 수분과 주위의 온도, 습도 등에 큰 영향을 받기 때문이다. 또한 부산물사료의 경우 여러



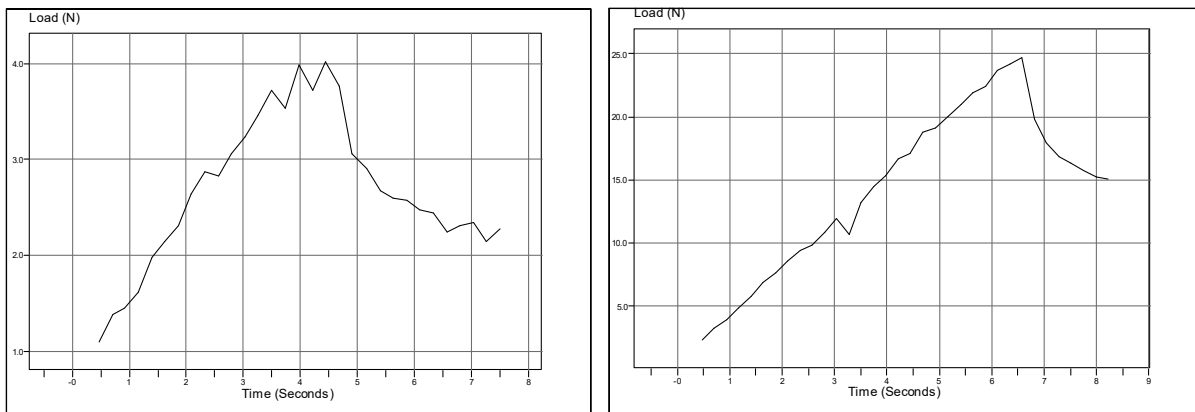
가지가 혼합되어 저장되어야 하기 때문에 이에 따른 기계적 거동상태도 다르게 나타난다. 따라서 각종 처리공정 중에 기계적인 외력을 받을 때 나타나는 응집력과 부착력을 측정하였다.

- 물성측정기(LTCM-100, Ametek, USA)와 실린더프로브(50 mm)를 이용한 부착력과 볼프로브( $\Phi 10$ )를 이용한 응집력을 함수율 별로 5수준(40%, 50%, 60%, 70%, 80%)으로 측정하였다. 부착력은 저장조나 기계에 부산물사료가 결합되거나 접촉되는 힘이며, 응집력은 부산물사료 간의 결합이나 접촉되는 힘으로 규정하였다.

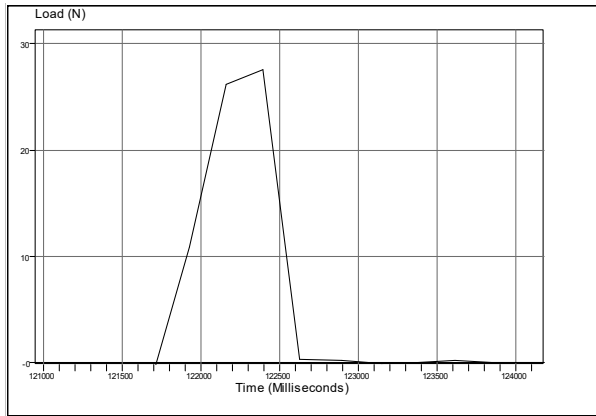
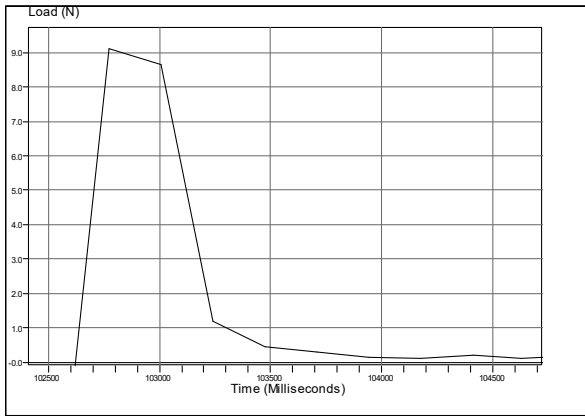


<부착력과 응집력 측정장치 및 방법>

- 부산물재료의 부착력은 맥주박의 경우 20.2 N이며, 대체적으로 함수율과 정비례 관계를 가지며 미강의 경우 60%대 함수율에서 최고치를 보였다. 응집력의 경우 맥주박은 12.5 N으로 측정되었으며, 부착력과는 반대로 함수율과는 반비례 관계를 나타내었다.



<부산물 사료의 시간에 따른 응집력 변화>



<부산물 사료의 시간에 따른 부착력 변화>

<부산물 사료별, 함수율별 응집력과 부착력>

Item		사과박	두부박	맥주박	버섯배지	미강
응집력 (N)	40%	77.23±6.29	100.66±15.22	51.03±2.92	14.67±0.51	22.18±0.60
	50%	62.31±2.83	131.99±20.07	21.84±2.46	9.03±0.39	12.15±0.47
	60%	37.19±6.29	56.74±1.75	15.46±2.98	5.59±0.46	5.72±0.09
	70%	23.44±6.29	38.84±4.29	5.36±0.32	1.37±0.17	1.77±0.08
	80%	6.02±6.29	12.48±0.19	1.84±0.38	0.60±6.29	0.88±0.05
부착력 (N)	40%	0.36±0.17	0.14±0.02	0.07±0.07	0.14±0.05	11.74±1.09
	50%	1.56±0.30	0.21±0.08	0.16±0.05	0.20±0.05	9.88±0.37
	60%	2.90±0.50	0.24±0.07	8.00±0.28	0.29±0.10	50.37±4.84
	70%	3.34±0.60	0.39±0.06	10.36±2.83	0.28±0.10	43.84±4.95
	80%	43.61±4.01	24.81±0.81	20.18±1.58	0.29±0.10	26.39±4.32

○ 혼합 부산물사료는 함수율과 어느 정도 비례적인 관계를 나타내고 있으나, 사료 종류에 따라 그 특성이 매우 다르게 나타났다. 특히 부산물사료는 수분이 높은 재료가 혼입이 됨으로써 부착력은 증가하는 추세를 보이고 있는 것으로 나타났다. 이는 수분이 높은 부산물 사료 이송시에 탱크 벽면에 부착되기 때문에 이러한 점을 고려하여 최대한 내벽에 매끈한 재질이거나, 되도록 평면적인설계가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

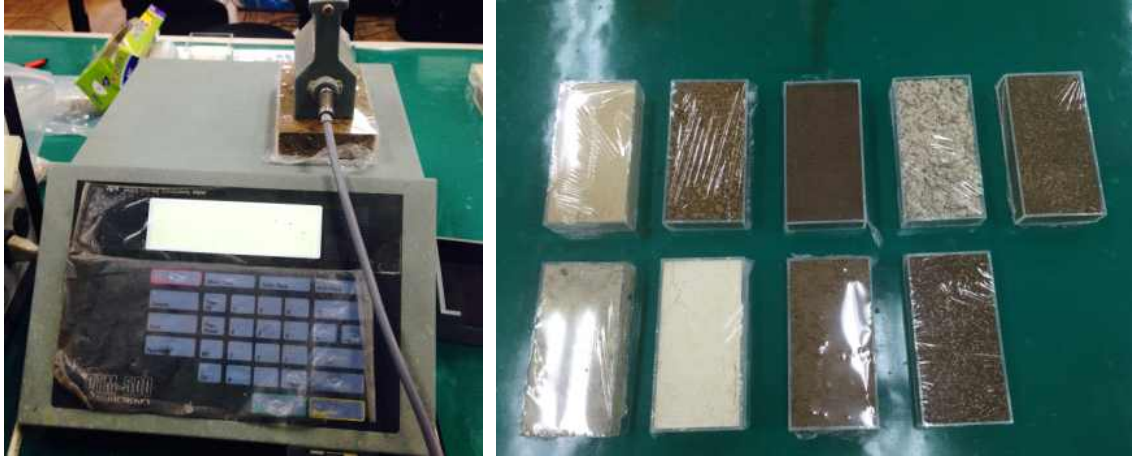
<혼합 부산물 사료의 함수율별 응집력과 부착력>

Item	함수율(w.b.%)	혼합 부산물사료1	혼합 부산물사료2
응집력 (N)	30	8.53±0.63	0.22±0.05
	40	12.71±1.53	0.13±0.09
	50	38.09±13.51	0.16±0.02
부착력 (N)	30	0.14±0.05	11.74±1.09
	40	0.20±0.05	9.88±0.37
	50	0.29±0.10	50.37±4.84

## 제4절 열전달 특성 구명

### 1. 열전도계수 측정

- 열전도계수는 사료의 열이 얼마나 잘 전도시키는 것인가를 나타내는 척도이고, 열전도계수 값이 큰 물질은 그 만큼 열을 잘 전도시킨다는 것을 뜻한다. 열전도계수에 영향을 미치는 인자는 공극율, 크기와 형상 등이 영향을 미치는데, 탱크 설계시에 산물상태로 혼입되기 때문에 산물상태로 열전도계수를 측정하였다.
- 열전도계수를 측정하기 위한 실험지그 160\*80\*25mm의 아크릴상자를 제작하여 측정하려는 부산물사료를 산물상태로 채우고 그림과 같은 열전도계수 측정기(QTM-500, Kyoto electronics, Kyoto, Japan)를 사용하여 사료의 종류별로 열전도계수를 측정하였으며, 이때 측정용 배지의 샘플은 매뉴얼에 따라 그림과 같이 만들어 사용하였다. 또한 열전도계수는 함수비에 따라 달라지기 때문에 사료 샘플의 함수별로 측정하였고, 샘플 3점씩 만들어 각 샘플에 대하여 3회 열전도계수를 측정하여 평균값을 사료의 열전도계수로 하였다.
- 열전도계수를 측정방식은 박스식 probe법이며, 측정범위는 0.023~12 W/m·K이다. 측정은 20℃ 항온실에서 실온에서 측정하였으며, 재현성이 나타나도록 reference plate에서 ±3% 이내로 들어올 때 측정을 하였다. 측정시간은 60초 이내에서 측정되도록 하였다. 측정후에는 방열판에서 충분히 냉각시킨 후 다시 측정하였다.



<부산물사료의 열전도계수 측정장치 및 방법>

- 열전도계수는 면실박 0.0679 W/m·K, 미강 0.0829 W/m·K, 버섯배지 0.1454 W/m·K, 들깨박 0.0687 W/m·K, 옥수수배아박 0.1090 W/m·K, 주정박 0.3578 W/m·K, 두부박 0.3830 W/m·K 등으로 나타났다. 수분이 높은 재료는 열전도계수가 높게 나타났으면, 수분이 낮은 재료는 열전도계수가 낮게 나타났다. 또한, 재료를 혼합하여 수분에 따른 부산물사료의 열전도계수는 재료에 종류에 따라 달라지지만 함수율에 증가함에 따라 열전도계수도 증가하는 것으로 나타났다. 혼합부산물의 경우 열전도계수는 0.1244~0.2774 W/m·K의 범위로 나타났다. 이를 활용하여 탱크 설계시 부산물사료는 외기 기온에 영향을 받기 때문에 단열의 필요성이 제시되었다.

<부산물 사료의 열전도계수>

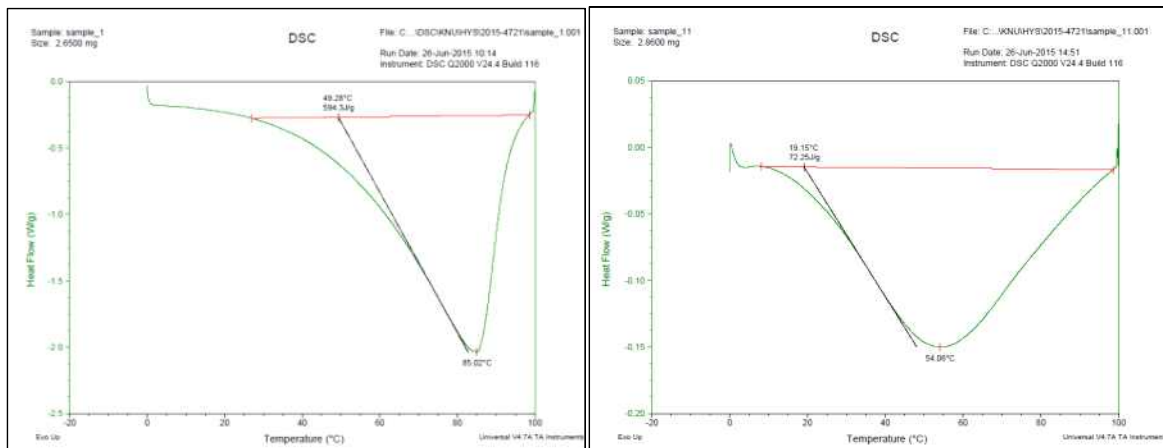
부산물 종류	열전도계수 (W/m·K)	부산물 종류	열전도계수 (W/m·K)
면실박	0.0679	두부박	0.3830
미강	0.0829	혼합부산물1 (수분 30%)	0.1244
버섯배지	0.1454	혼합부산물1 (수분 40%)	0.1915
들깨박	0.0687	혼합부산물1 (수분 50%)	0.2774
옥수수배아박	0.1090	혼합부산물2 (수분 30%)	0.1346
주정박	0.3578	혼합부산물2 (수분 40%)	0.1501
팜박	0.1109	혼합부산물2 (수분 50%)	0.1890

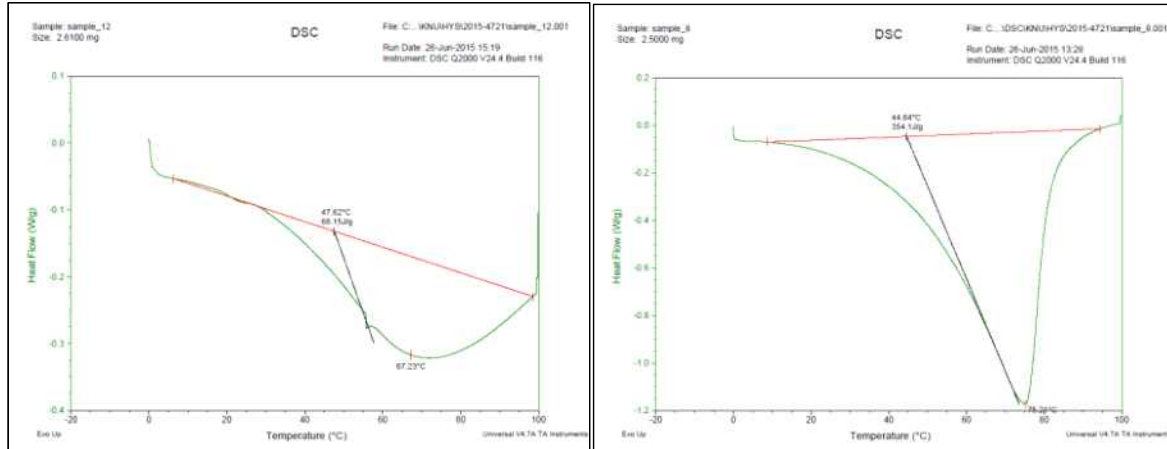
## 제5절 비열 측정

- 비열은 사료를 냉각시키거나 가열시킬 때 열부하 계산에 반드시 필요하다. 특히 겨울철에는 외기온이 낮아 발효시에 온도가 너무 낮으면 발효시간이 오래 걸리기 때문에, 사료를 가온할 필요가 있다. 비열의 측정방법은 사료의 온도를 일정속도로 승온하여 측정 시료간의 열흐름의 차이를 측정하여 비열을 측정하였다. 실험장치는 열분석기(DSC, Q2000, US)을 이용하여 측정하였으며, 측정방법은 분석조건은 0~100℃ 구간을 분당 5℃씩 상승하여 실험하였다.



<부산물사료의 비열 측정장치 및 방법>





<부산물사료의 온도에 따른 열량 변화>

○ 비열은 면실박 55.12 J/g·°C, 미강 68.15 J/g·°C, 버섯배지 72.25 J/g·°C, 들깨박 93.04 J/g·°C 옥수수배아박 97.74 J/g·°C, 주정박 354.1 J/g·°C 등으로 나타났다. 혼합부산물사료의 경우 수분이 높을수록 비열은 반비례적인 특성을 있는 것으로 나타났다. 혼합부산물의 경우 비열은 307.8~594.3 J/g·°C의 범위로 나타났다. 이를 활용하여 탱크 설계시 가열기의 열량 산정에 이용할 수 있을 것으로 판단되었다.

<부산물사료의 비열>

부산물 종류	비열 (J/g·°C)	부산물 종류	비열 (J/g·°C)
면실박	55.12	팜박	77.35
미강	68.15	장유박	110.7
버섯배지	72.25	혼합부산물1 (수분 30%)	594.3
들깨박	93.04	혼합부산물1 (수분 40%)	417.7
옥수수배아박	97.74	혼합부산물1 (수분 50%)	307.8
주정박	354.1		

## 제6절 살균조건 측정

- 부산물사료의 균의 오염정도를 측정하고, 이를 통하여 살균의 범위를 설계에 반영하기 위하여 다음의 방법으로 살균조건을 측정하였다.
- 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.

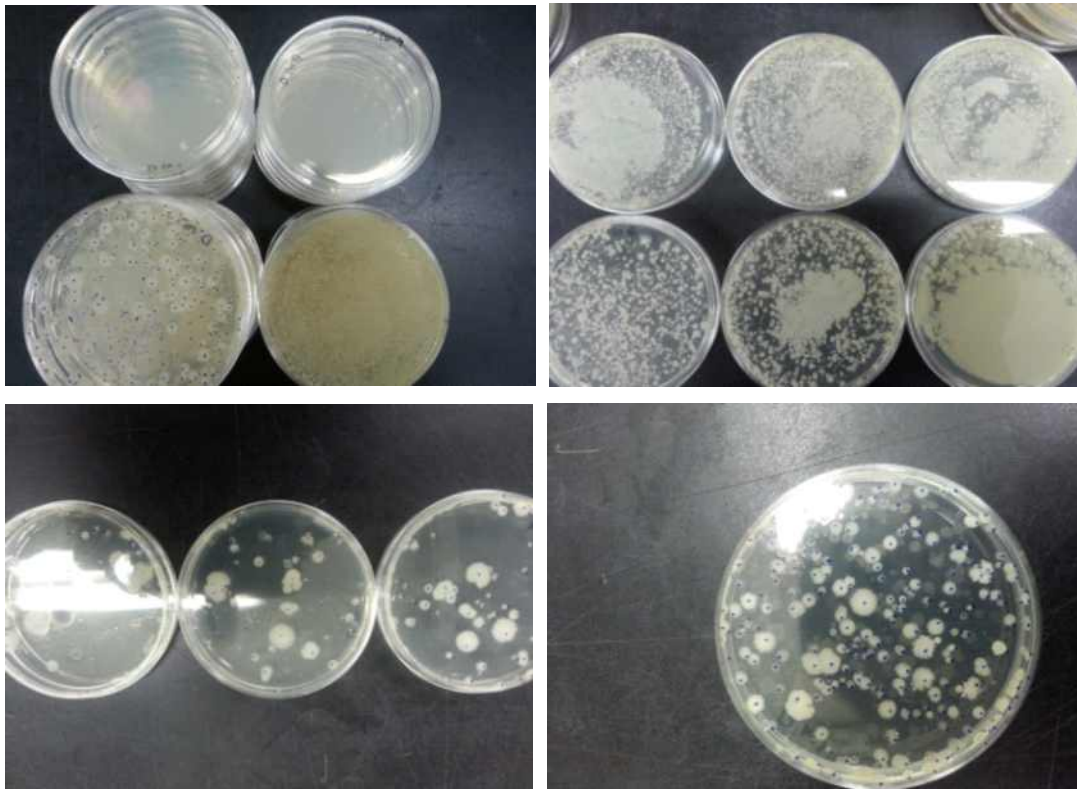


- 600 ml의 증류수에 24g의 Tryptic soy agar(TSA)를 넣어 magnetic stirrer corning PC-4200을 이용하여 360 RPM 의 회전속도로 교반하고, 동일한 방법으로 400 ml의 증류수에 12g의 Tryptic soy broth(TSB)를 넣고 400 ml의 증류수에 6g 의 peptone water을 넣어 magnetic stirrer corning PC-4200을 이용하여 360 RPM 의 회전속도로 교반하였다. 모든 시약은 규격 살균법에 의거하여 autoclave를 사용하여 121℃ 15분으로 살균하였다.
- 혼합부산물사료1(함수율40%) 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 살레에 1ml씩 균일하게 뿌린 후 멸균스프레더를 사용하여 확산하였다. 제작된 27개의 살레를 37℃ 24시간 조건으로 인큐베이터에서 배양하였다.



<부산물사료의 살균시험장치 및 방법>

- 마킹펜을 사용하여 살레 뒷면에 총균수를 계수하였으며, 이후 균 개체수가 25~250 범위의 집단만 활용하여 세균농도를 계산하였다. g당 세균농도는 확산판법에 의한 희석인자에 집단을 곱하여 계산하였다.



<부산물사료의 살균 전후 균수 측정>

○ 60℃ 15분, 80℃ 15분, 100℃ 15분, 121℃ 15분의 4가지 다른 살균조건으로 고압 증기 발생 기계를 사용하여 경주TMR의 부산물 사료(함수율 40%)를 25g씩 살균하였다. 상기의 세균수 측정과 동일한 실험법으로 3분류의 실험군의 총균수를 측정하였고, 마킹펜을 사용하여 살레 뒷면에 총균수를 계수하였으며, 이후 균 개체수가 25~250 범위의 집단만 활용하여 세균농도를 계산하였다.



<부산물사료의 살균장치>



<무처리구의 총균수>

Dilution	1	2	3
10 <sup>-1</sup>	++	++	++
10 <sup>-2</sup>	++	++	++
10 <sup>-3</sup>	195	176	182
10 <sup>-4</sup>	55	48	59
10 <sup>-5</sup>	8	2	14
10 <sup>-6</sup>	-	-	-
10 <sup>-7</sup>	-	-	-
10 <sup>-8</sup>	-	-	-
10 <sup>-9</sup>	-	-	-

- No growth, ++ Uncountable growth

<살균방법에 따른 총균수 측정(60℃-15min)>

Dilution	1	2	3
10 <sup>-1</sup>	++	++	++
10 <sup>-2</sup>	++	++	++
10 <sup>-3</sup>	++	++	++
10 <sup>-4</sup>	8	13	27
10 <sup>-5</sup>	-	-	-
10 <sup>-6</sup>	-	-	-
10 <sup>-7</sup>	-	-	-
10 <sup>-8</sup>	-	-	-
10 <sup>-9</sup>	-	-	-

- No growth, ++ Uncountable growth

<살균방법에 따른 총균수 측정(80℃-15min)>

Dilution	1	2	3
10 <sup>-1</sup>	70	53	86
10 <sup>-2</sup>	32	25	51
10 <sup>-3</sup>	10	6	2
10 <sup>-4</sup>	-	-	-
10 <sup>-5</sup>	-	-	-
10 <sup>-6</sup>	-	-	-
10 <sup>-7</sup>	-	-	-
10 <sup>-8</sup>	-	-	-
10 <sup>-9</sup>	-	-	-

- No growth, ++ Uncountable growth

<살균방법에 따른 총균수 측정(100℃-15min)>

Dilution	1	2	3
10 <sup>-1</sup>	-	-	-
10 <sup>-2</sup>	-	-	-
10 <sup>-3</sup>	-	-	-
10 <sup>-4</sup>	-	-	-
10 <sup>-5</sup>	-	-	-
10 <sup>-6</sup>	-	-	-
10 <sup>-7</sup>	-	-	-
10 <sup>-8</sup>	-	-	-
10 <sup>-9</sup>	-	-	-

- No growth, ++ Uncountable growth

<살균방법에 따른 총균수 측정(121℃-15min)>

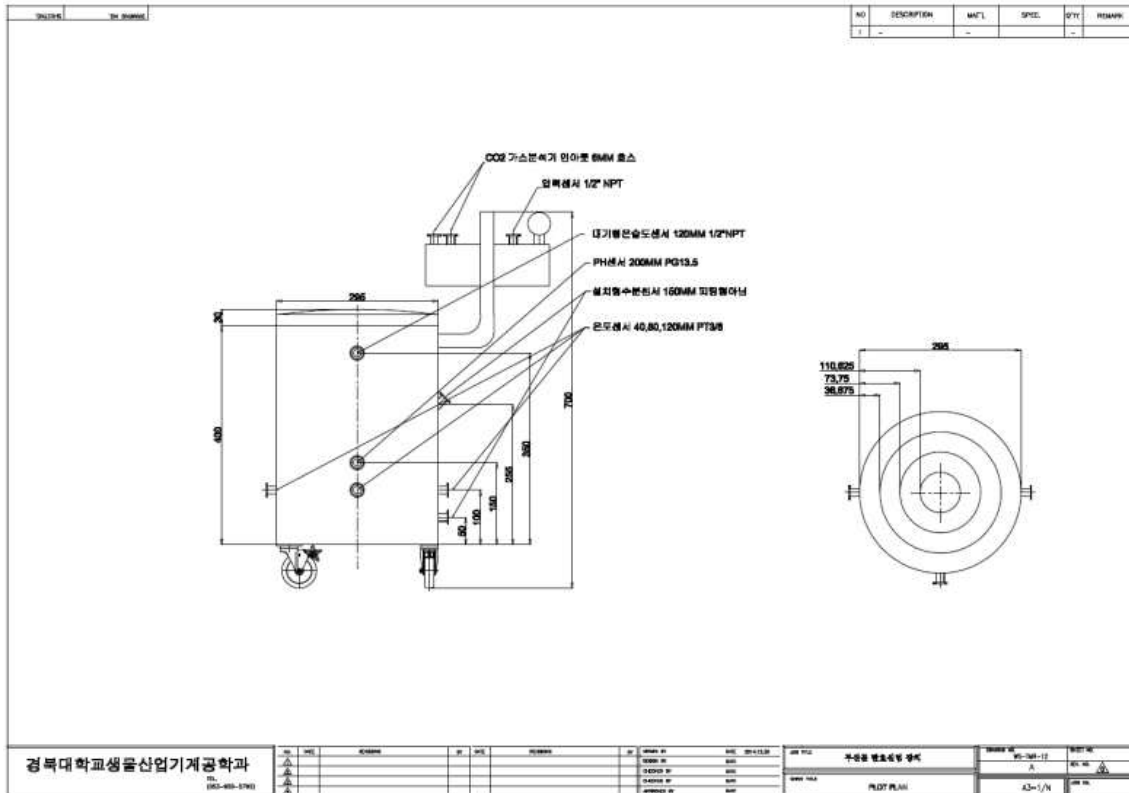
Dilution	1	2	3
10 <sup>-1</sup>	-	-	-
10 <sup>-2</sup>	-	-	-
10 <sup>-3</sup>	-	-	-
10 <sup>-4</sup>	-	-	-
10 <sup>-5</sup>	-	-	-
10 <sup>-6</sup>	-	-	-
10 <sup>-7</sup>	-	-	-
10 <sup>-8</sup>	-	-	-
10 <sup>-9</sup>	-	-	-

- No growth, ++ Uncountable growth

- 총균수는 살균처리하지 않은 무처리는 2.2×10<sup>5</sup> cfu/g로 나타났다. 60℃ 처리균은 6.4×10<sup>4</sup> cfu/g, 80℃ 처리균은 1.4×10<sup>3</sup> cfu/g로 줄어들었으며, 100℃, 121℃ 처리균은 세균이 나타나지 않았다. 균의 종류는 주로 바실러스속으로 나타났으며, 이는 호기성 또는 혐기성으로 보통 널리 분포하는 종으로 알려져 있다. 이상의 결과와 문헌 등을 고찰해 보면 1×10<sup>6</sup> cfu/g 이하이면 식품에서도 크게 유해하지 않다고 보는데, 살균처리하지 않은 무처리구의 총균수를 보더라도 큰 위해요소가 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 발효 후 낮은 pH(4.5 미만)에서는 유해한 세균은 성장을 방지하는 것으로 미루어 볼 때, 연속식 살균라인에서 100℃ 이하의 열로 어느 정도 지속성을 주거나 스팀으로 고온 짧은 시간에 살균하더라도 위해요소는 많이 줄어들 것이라고 판단된다.

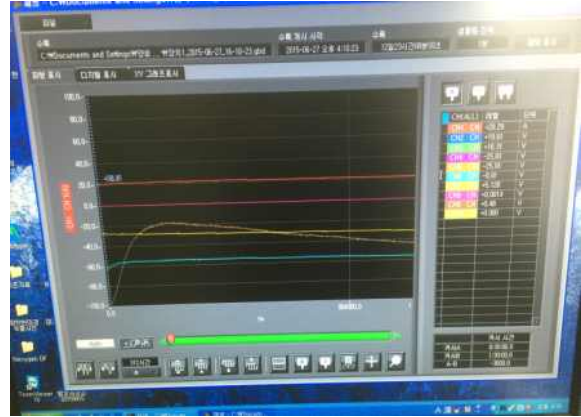
## 제7절 발효조건 구명

- 다음의 그림은 부산물사료 발효저장조 시험장치로서 발효저장조를 설계하기 위한 전단계로 실제 발효저장조의 형태와 크기를 축척하여 설계하였다. 시험장치는  $\phi 300 \times 400L$ 의 원통형으로 제작하였고, 사료의 발효온도, pH 등을 측정하고, 발효가스의  $CO_2$ , 압력 등을 측정할 수 있도록 피팅을 설계하였다.



<부산물사료 발효저장조 시험장치 설계>

- 발효조건을 구명하기 위해 온도,  $CO_2$ , pH, 압력 등을 측정할 수 있는 실험 장치( $\phi 300 \times 400L$  mm)를 제작하였고, 항온항습기에서 외기온도를 조절할 수 있도록 하였다. 첫 번째 부산물사료는 혼합부산물사료2에 균주는 생균제 EM을 혼합하여 10 kg을 저장조에 투입하였고 외기온도는  $30^\circ C$ 를 유지한 다음, 온도,  $CO_2$ , pH, 압력 등은 데이터로그를 이용하여 안정화 될 때까지 변화를 측정하였다. 두 번째 부산물사료는 혼합부산물사료1에 균주는 유산균, 효모, 고초균을 이용하였으며, 외기온은  $20^\circ C$ 를 유지한 후 발효과정 변화를 측정하였다.



<발효저장조를 이용한 발효조건 시험>

- 혼합부산물의 배합기준은 한우사양표준2012 프로그램을 이용하여 배합비 구성을 하였다. 수분함량의 하한과 상한치를 설정하고, 이에 따른 원료를 선택하여 배합비 구성에 따른 영양소 공급량의 산출과 배합비를 산출하여 시료를 조제하였다.

한우사양표준 2012(www.kvri.go.kr) 한우사양표준 2012(www.kvri.go.kr) 한우사양표준 배합비(제시) (복합비 계산)										
목표 품종: 배합비 계산   혼합보조사료   동물발육										
육종 목표: 3단계(거세 육질(6-13))   영양성분   표준 요구량   배합비 계산(FB)   재계산 목표										
종류	물량	제공 (kg)	필요량 (kg/일)	수분함량(%)		배합비 (kg)				
				하한	상한		하한	상한	상한	상한
거세우 육질 및 비육	10	290	0.9	30	50	60				
항목	요구량	요구량 계한(%)	요구량	현재	영양소 함량(%)	상한	상한	상한	상한	상한
수분함량(%)	30.00	100	167	41.92	+11.92	41.92%인물				
원물섭취량(g)	9.71	100	140	11.71	+2.00					
건물섭취량(kg 건물)	6.00	100	100	6.00		58.98%인물	↓			
조사료비율(% 건물)	35.00	100	180	0.00	-35.00	0%인물	↓			
TDR(kg)	4.66	100	120	5.37	+0.71	78.99%인물				
조단백(g)	982.00	100	190	982.06	+0.06	14.44%인물	↓			
칼슘(g)	43.00	100	190	43.08	+0.08	0.63%인물	↓			
인(g)	23.00	100	190	23.00		0.34%인물	↓			
원료구분	원료명	단가 (원/kg)	배합량(kg)	배합비 (%)	배합비 계한(%)	하한	상한	원물	물건물(12%)	합인기 (원/kg)
합계			11.710	60	100.00			956.7	995	
농후사료	면실	500	1.370	7	11.70	10.00	100.00	70.2		
	옥수수전분	550	1.170	5	9.99	10.00	100.00	95.0	↓	
	우부	90	3.874	20	33.09	10.00	100.00	29.8		
농산부산물	착유박설	60	1.170	5	9.99	10.00	100.00	6.0	↓	
	버섯부산물(노타리)	60	1.170	5	9.99	10.00	20.00	6.0	↓	
	비리리광물질첨가제	2,000	2.663	15	24.45	0.25	100.00	499.0		
보충사료	석회석	50	0.072	0	0.62		1.50	0.3		
	소금	250	0.020	0	0.17	0.20	0.25	0.4	↓	

<부산물사료의 배합비 및 영양소요구량 계산>

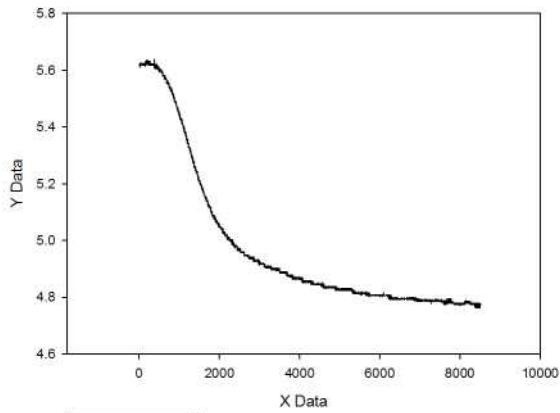
속종	물량	관중 (kg)	인입농도 (g/말)		수분함량(%)		배합비 (kg)				
			하한	상한	하한	상한					
거세우 흑신 및 반흑	10	260	0.9		30	50	60				
원목	1000 (원목)	요구량 제한(%요구량)	하한	상한	인입농도 (g/말)	면차	영양소 함량(%)	상태	장점가 (원/단위)		
수분함량(%)	30.00	100	167	48.56	+18.56	48.56 %원목					
필름성취량(kg)	9.71	100	140	13.22	+3.51						
건물성취량(kg 건물)	6.80	100	100	6.80				51.44 %원목			
조사료비율(% 건물)	35.00	100	180	0.00	-35.00	0 %건물					
TDN(kg)	4.66	100	120	4.98	+0.32	73.26 %건물					
조단백(g)	982.00	100	150	1,480.95	+498.95	21.78 %건물			-1		
칼슘(g)	43.00	100	150	43.05	+0.05	0.63 %건물					
인(g)	23.00	100	150	41.06	+18.06	0.6 %건물			-1		
원료구분	원료명	단가 (원/kg)	배합량(kg)		배합비 (%)		배합비 제한(%)		금액(원/g)		합계
			두당	배치	하한	상한	하한	상한	원목	총건물(12%)	합계 (원/g)
합계		13.22	60	100.00					270.9	463.4	
농후사료	면실	600	1.31	6	9.91	10.00	100.00		59.5		200.7
	목베아박	400	1.57	7	11.08	12.00	100.00		47.5		190.5
	곰박 (곰커넬말)	250	2.22	10	16.79	17.00	100.00		42.0		162.8
	비지(병)	70	3.52	16	26.63	27.00	100.00		18.6		43.4
농후부산물	임자박(불꽃박)	360	0.52	2	3.90	4.00	100.00		14.2		403.8
	주정박(발력주정)	70	3.52	16	26.63	27.00	100.00		18.6		67.0
보충사료	비타민균물질첨가제	2,000	0.46	2	3.47	0.25	100.00		69.6		
	석회석	50	0.07	0	0.53				1.50		0.3
	소금	250	0.03	0	0.23	0.20			0.6		

<부산물사료의 배합비 및 영양소요구량 계산>

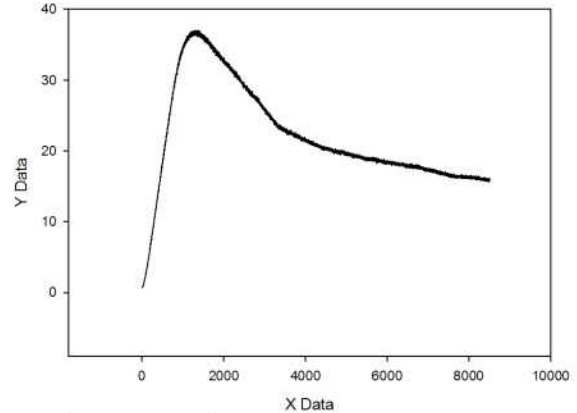
- 외기온을 30℃로 설정한 발효조건 구멍 실험에서 발효시 온도는 44℃까지 상승하다 낮아졌으며, pH 수치도 6.2까지 상승하다 4.2로 안정화 되었으나, 발효조건은 부산물사료의 함수율, 외기온도, 사료의 다짐정도에 따라 달라지기 때문에 이에 대한 정밀한 분석이 필요한 것으로 나타났다.시간의 변화로 볼 때 약 1.5일에 안정화 변곡점이 나타났으며, 2~3일 정도에 안정화에 도달되는 것으로 나타났다.
- 다음 그림과 같이 약간의 공기와 접촉이 있도록 저장조 상부에 밸브를 만들어 소량의 공기가 인입되도록 하여 발효 시킨 후 사료의 상태를 살펴보았다. 상단부 사료는 곰팡이가 피었으며, 수분의 증발이 있는 것으로 나타났다. 따라서 발효시 공기의 접촉이 되지 않도록 밀폐하는 것이 중요한 것으로 나타났다.



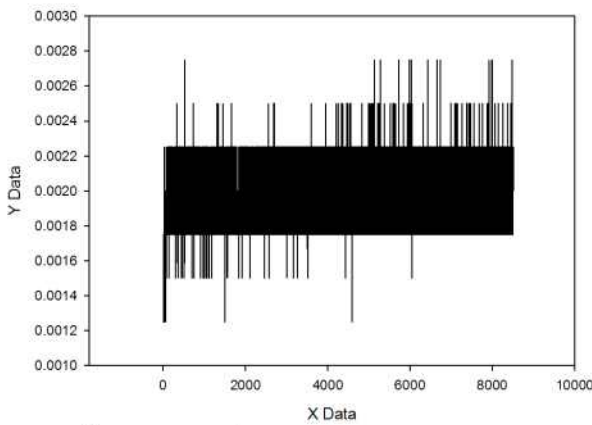
<발효 부산물사료- 공기접촉(좌), 밀폐(우)>



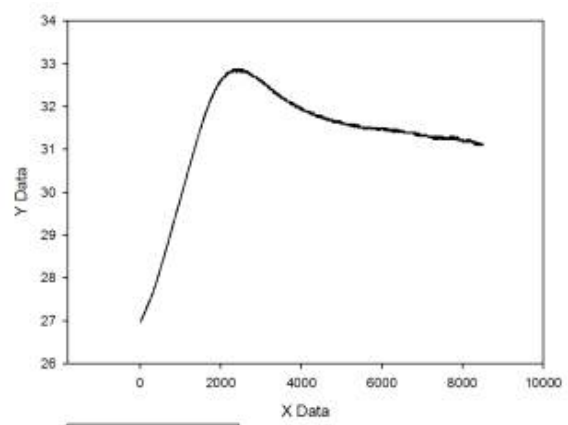
— 시간 vs Ph



— 시간 vs Co2



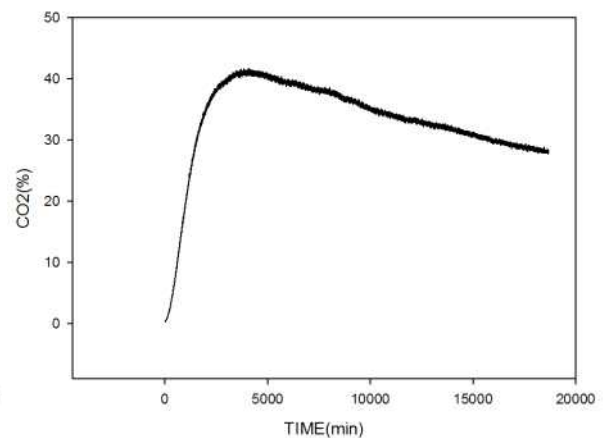
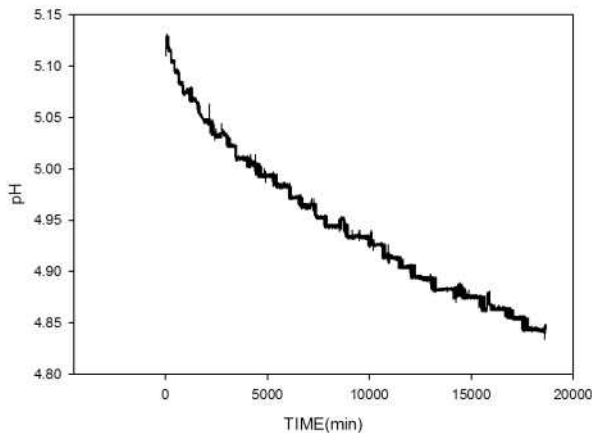
— 시간 vs 압력

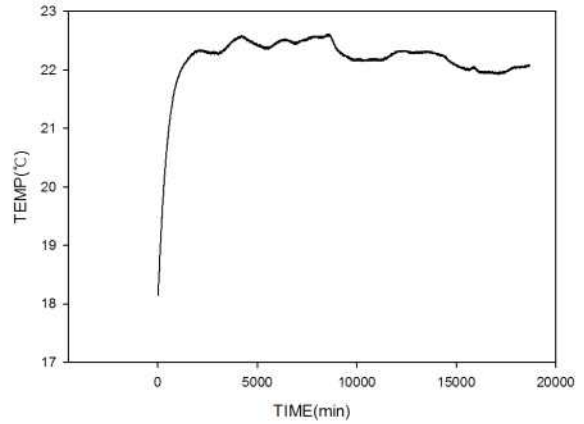
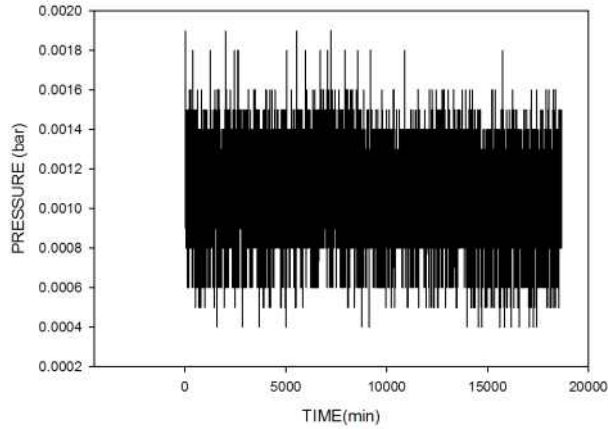


— 시간 vs 온도 120

<발효저장조 내부의 발효조건 변화-외기온 30℃>

- 외기온을 20℃로 설정하고, 공기와 완전히 차단한 발효조건 구멍 실험에서 발효시 온도는 23℃까지 상승하다 낮아졌으며, pH 수치도 5.1까지 상승하다 4.8로 안정화 되었다. 이 조건은 약간의 공기와 접촉이 없는 경우 상단부 사료에 곰팡이와 수분의 증발도 없으며, 발효 후 상단과 하단부의 수분의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 온도가 낮을 경우 안정화되는 시간이 30℃보다 1.5배 정도 더 길게 나타났다.





<발효저장조 내부의 발효조건 변화-외기온 20℃>

○ 직교배열법과 다구찌법 이용하여 아래의 표와 같이 온도, 함수율, 밀도, 발효기간의 4가지 요인과 요인별 3수준의 시험을 하였다. 외기온도는 20, 40, 60℃, 함수율은 30, 40, 50%, 밀도는 0.4, 0.5, 0.6 kg/m<sup>3</sup>, 발효기간은 2, 3, 4일로 하여 시험을 하였다. 각 실험번호별로 3반복하여 시험하였다. 실험 후 pH와 유기산 분석을 하여 발효품질을 분석하였다.

<직교배열법을 이용한 소규모 발효시험방법>

실험 번호	실험요인			
	온도	함수율	밀도	발효기간
1	0	0	0	0
2	0	1	1	1
3	0	2	2	2
4	1	0	1	2
5	1	1	2	0
6	1	2	0	1
7	2	0	2	1
8	2	1	0	2
9	2	2	1	0

실험요인	0	1	2
온도(℃)	20	40	60
함수율(%)	30	40	50
밀도(kg/m <sup>3</sup> )	소(0.4)	중(0.5)	대(0.6)
발효기간(h)	48	72	96





<발효조건에 따른 소규모 발효시험장치 및 방법>

- 시료채취방법은 락앤락 깊이로 상층부(90%지점), 중양부(50%지점), 하층부(10%지점)를 동일한 양으로 샘플링하여 혼합하여 시료로 사용하였고, 발효가 완료된 사료의 상층부, 중양부, 하층부 동일량 채취하여 잘 혼합후 15g을 채취하여 샘플병에 증류수 150ml와 섞어 진탕을 만들었다. 제조된 1,5,9번 실험군 시료진탕을 여과지(5A)로 여과하여 추출 물을 얻었으며, pH Ferm Probe/Sensor (F635-B120-DH)을 이용하여 pH를 반복 측정 하였고, 유기산측정을 위하여 원심관(e-Tube)에 추출물을 보관하였다.



<발효조건에 따른 pH 및 유기산 전처리장치 및 방법>



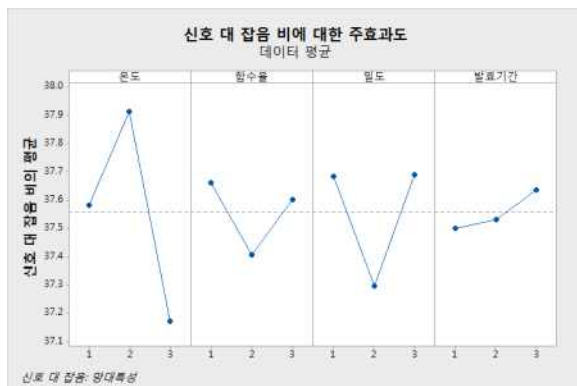
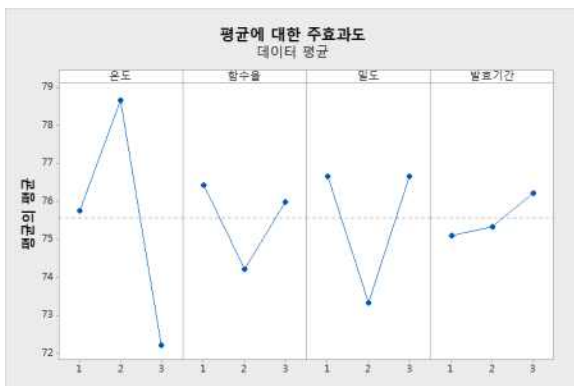
○ 유기산은 HPLC(Shimadzu, Promience, Japan)을 이용하여 총유기산(구연산, 사과산, 젖산, 초산, 낙산)을 측정하였으며, condition은 다음과 같다. 유기산은 사일리지 품질감정법(Flieg and Zimmer, 1966)을 이용하여 품질점수를 산정하였다.

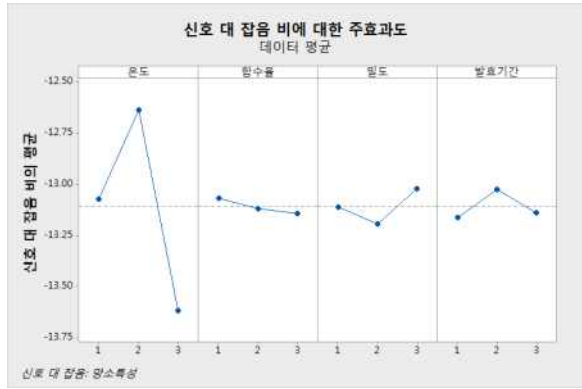
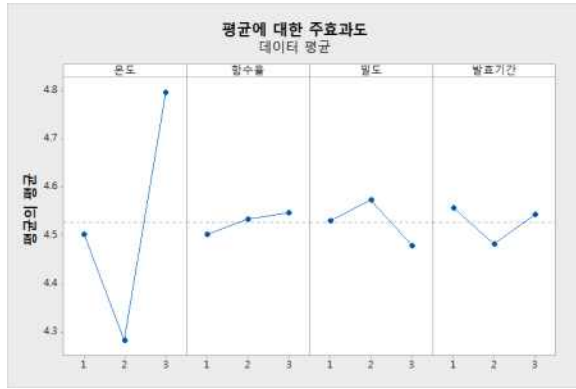
- Instrument : Waters Co. 600E model
- Column : PL Hi-Plex H size: ID, 7.7mm; length, 300mm
- Column temp: 65°C
- Mobile phase: 0.005M  $H_2SO_4$  in water
- Flow rate : 0.6 ml/min
- Sample injection vol: 20  $\mu$ l
- Detector : Refractive Index Detector(RI, model 410)

○ 품질점수와 pH의 경우 전반적으로 발효의 품질은 “우” 이상으로 나타났다. pH의 경우 망소특성으로 온도 > 밀도 > 함수율 > 발효기간 순으로 중요도가 나타났다. 최적발효 조건은 온도 40°C, 함수율 40%, 밀도 0.4, 발효기간 4일 정도로 나타났다.

<혼합부산물사료2의 발효조건에 따른 품질평가>

실험번호	젖산(%)	초산(%)	낙산(%)	품질점수	pH
1	39.5	15.8	0.0	77.3	4.51
2	33.3	17.6	0.0	72.0	4.51
3	40.6	13.7	0.0	78.0	4.49
4	42.9	15.2	0.0	78.0	4.32
5	44.2	15.5	0.0	78.0	4.27
6	43.9	14.8	0.0	80.0	4.26
7	30.4	14.4	0.0	74.0	4.68
8	29.4	12.7	0.0	72.7	4.82
9	19.1	11.4	0.0	70.0	4.89



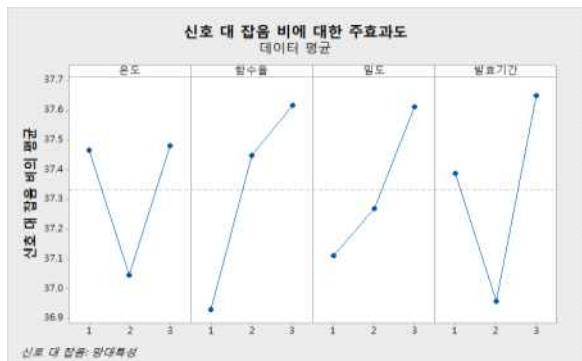
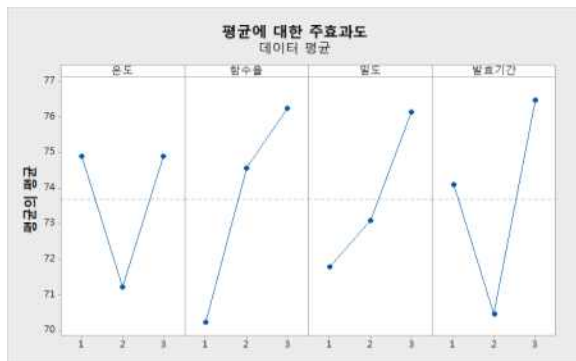


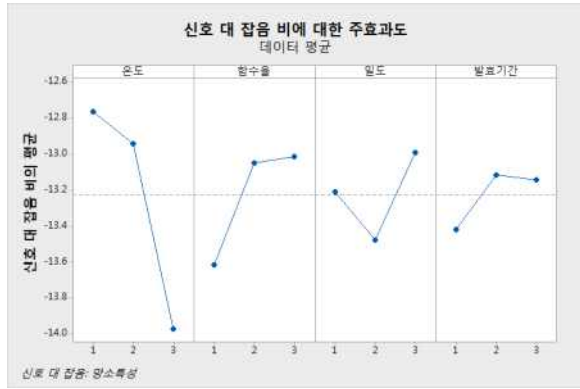
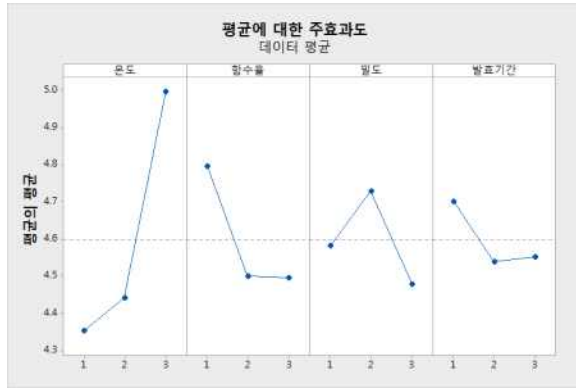
<다구찌방법을 이용한 혼합부산물사료2의 발효조건에 따른 품질평가>

- 품질점수와 pH의 경우 전반적으로 발효의 품질은 “우” 이상으로 나타났다. pH의 경우 망소특성으로 온도 > 함수율 > 밀도 > 발효기간 순으로 중요도가 나타났다. 최적발효 조건은 온도 20℃, 함수율 40%, 밀도 0.4, 발효기간 4일 정도로 나타났다.

<혼합부산물사료1의 발효조건에 따른 품질평가>

실험번호	젖산(%)	초산(%)	낙산(%)	품질점수	pH
1	21.4	8.0	0.0	70.0	4.64
2	27.2	6.4	0.0	72.0	4.33
3	48.8	11.0	0.0	82.7	4.09
4	18.2	10.0	0.0	70.0	4.73
5	40.7	19.2	0.0	75.0	4.33
6	41.3	30.7	0.0	68.7	4.27
7	21.4	7.8	0.0	70.7	5.02
8	36.3	8.2	0.0	76.7	4.84
9	38.6	11.1	0.0	77.3	5.13





<다구찌방법을 이용한 혼합부산물사료1의 발효조건에 따른 품질평가>

- 이상의 결과로 미루어볼 때, 사료의 종류에 따라 품질점수와 pH에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났으며, 집중되는 균의 종류에 따라서도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나, 온도, 함수율, 밀도, 발효기간이 영향을 미치지만 발효 품질은 전반적으로 양호한 것으로 나타났다. 특히, 온도와 함수율이 발효에 미치는 영향이 커 이에 대한 발효 탱크 설계시 대책이 필요한 것으로 나타났다. 발효시 프리믹스 배합기에서 사료의 수분 조절과 온도를 상승시킨 후 발효저장조에 투입하고, 발효저장조에서도 보온과 가온 설계가 필요한 것으로 나타났다.

## 제2장 부산물사료 전 발효공정 분석 및 시뮬레이션

본 장에서는 현행 사용되고 있는 부산물사료 발효 공정을 분석하여 개발 시스템의 발효공정을 설계하였으며 시뮬레이션 프로그램인 ARENA V15의 최적해찾기 기법을 사용하여 단위기계의 용량을 산정하고 그 모델을 개발 하였다.

### 제1절 공정분석

- 전 발효공정의 공정과 처리용량을 산정하기 위하여 안동TMR, 경주TMR, 상주TMR, 정읍농가용TMR 등을 방문하여 예비실험 및 데이터 수집을 통한 입력변수를 산정하였다. 전발효공정별 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 식품 부산물의 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.





<안동민속 TMR공장의 부산물사료 활용 공정>

- 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.



<상주 TMR공장의 부산물사료 활용 공정>

- 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 제조 시 노동력과 투자시간이 과대하고 계절별 발효기간 및 발효상태가 불규칙한 것이 단점



이다.



<정읍 농가용TMR공장의 부산물사료 활용 공정>

- 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.



<경주 TMR공장의 부산물사료 활용 공정1>

- 본 과제가 시작하기 전에 방문한 곳이 바로 위의 그림과 같은 형태인데, 현재는 본 연구팀이 이용형태를 컨설팅한 후 부산물 활용공정을 아래의 그림과 같이 변경한 곳이다. 건식사료는 주로 콘크리트 저장고에 저장하였고, 부패나 산패가 큰 습식 부산물 사료는 여러 대의 저장빈을 활용하여 각각의 부산물사료를 저장빈에 저장하여 배합시에 정량 배출되도록 설계되었다. 예전보다 습사료의 활용도가 매우 높아졌으며, 본 연구에서도 이 시스템을 활용할 예정이다.

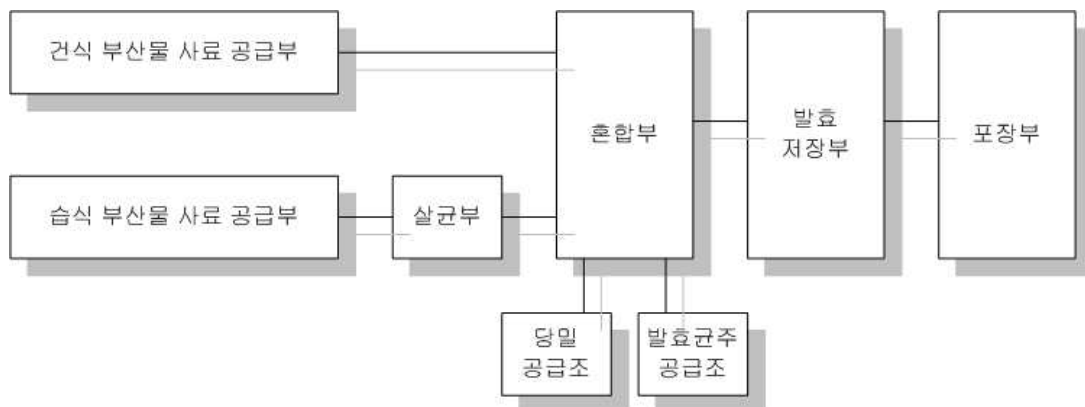


<경주천년한우TMF공장의 부산물사료 활용 공정2>

## 제2절 공정설계

- 공정설계 : 육종별(한우, 젃소), 사료종류별(발효미생물에 의한 맥주박, 맥아박, 장유박 등과 비발효에 의한 전분박, 감귤박, 사과박, 두부박, 버섯배지, 미강, 맥강 등), 생산규모별(100톤/일, 50톤/일, 10톤/일)의 입력변수에 따른 전발효공정 모델별 공정설계하였다.
- KBFS-A 모델인 경우부산물 사료 발효 저장공정은 부산물 사료 공급부, 살균부, 혼합부, 발효 저장부 및 포장부를 포함하여 이루어진다. 부산물 사료란 농산물 또는 식품의 제조 과정에서 나오는 강피류, 박류 등 가축의 사료로 이용될 수 있는 2차 산물을 의미하며, 발효 미생물에 의한 맥주박, 맥아박, 장유박 등과, 비발효에 의한 전분박, 감귤박, 사과박, 두부박, 버섯배지, 미강, 맥강 등이 있다. 부산물 사료 공급부는 건식 부산물 사료 공급부와 습식 부산물 사료 공급부를 포함한다. 건식 부산물 사료 공급부는 상기 부산물 사료 중 수분을 함유하지 않는 건조한 부산물 사료, 특히 가루 형태의 부산물 사

료를 계량하여 혼합부로 공급하는 역할을 한다. 습식 부산물 사료 공급부는 상기 부산물 사료 중 수분 함유량이 높은 부산물 사료를 계량하여 후술하는 혼합부로 공급하는 역할을 한다. 이러한 부산물 사료 공급부는 혼합부에 의해 혼합되는 혼합 사료가 발효에 적절한 수분 함량인 30~40%의 수분 함량을 가지는 혼합 사료를 생성할 수 있도록 건식 부산물 사료 공급부와 습식 부산물 사료 공급부를 통해 건조한 부산물 사료와 수분 함량이 많은 부산물 사료를 적절하게 계량하여 혼합부로 공급하도록 하였다. 이로 인해 습식 부산물 사료 공급부로 공급되는 습식 부산물 사료의 수분을 제거하기 위한 별도의 작업 공정 및 장치가 요구되지 않아 생산성이 향상될 뿐 아니라 생산 비용을 절감할 수 있게 되는 공정이다.



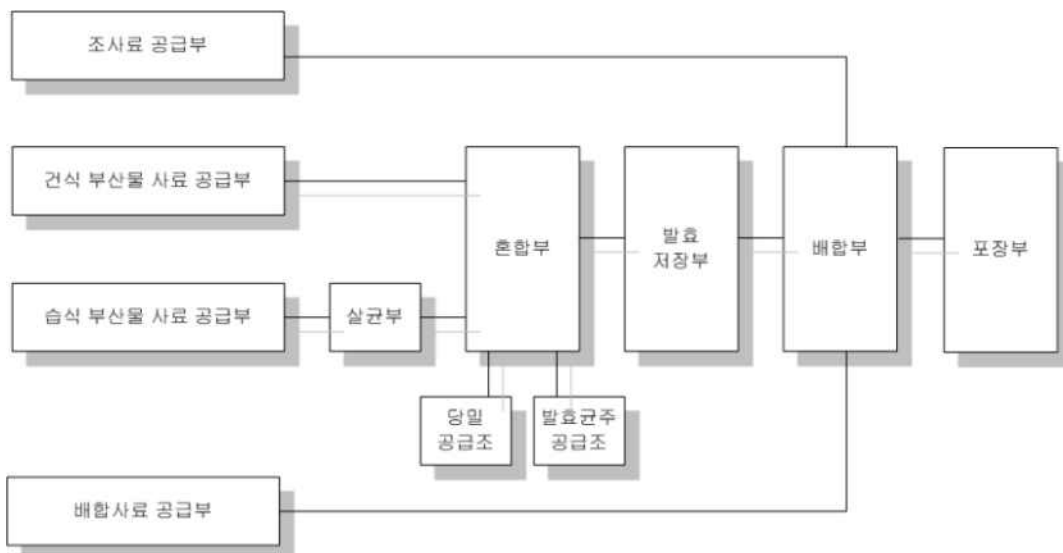
<모델 KBFS-A>

- 수분 함량이 많은 습식 부산물 사료는 운반과 저장 과정에서 변질 또는 병원균에 오염될 우려가 있으므로 습식 부산물 사료 공급부와 혼합부 간에 살균부를 더 구비하는 것이 바람직하다. 살균부는 습식 부산물 사료 공급부로부터 후술하는 혼합부로 공급되는 습식 부산물 사료를 살균하기 위한 것으로서, 호퍼, 이송관, 노즐 및 스팀 공급기를 포함한다. 호퍼는 습식 부산물 사료 공급부로부터 공급되는 습식 부산물 사료를 저장 및 배출하는 역할을 한다. 이송관은 내부에 이송 스크류가 설치되고, 호퍼로부터 배출되는 습식 부산물을 일방향으로 이송하는 역할을 한다. 노즐은 이송관의 내면 일측에 습식 부산물 사료의 이송 경로를 따라 복수개가 설치되고, 이송관을 통해 이송되는 습식 부산물 사료에 고온 고압의 스팀을 분사하는 역할을 한다. 스팀 공급기는 복수개의 노즐로 고온 고압의 스팀을 공급하는 역할을 한다. 위와 같이, 일방향으로 이송되는 습식 부산물에 고온 고압의 스팀을 분사하여 연속적으로 살균함으로써, 습식 부산물을 보다 확실하게 살균할 수 있다.
- 혼합부는 건식 부산물 사료 공급부로부터 공급되는 건식 부산물 사료와 습식 부산물 사료 공급부로부터 공급되는 습식 부산물 사료와 발효제를 혼합하여 혼합 사료를 제조하는 역할을 한다. 이러한 혼합부는 건식 부산물 사료 및 습식 부산물 사료와 혼합하기 위한 발효제를 투입하는 발효제 투입수단이 구비되며, 이러한 발효제 투입수단은 액상 당밀 공급조와 액상 효모 공급조를 포함한다. 액상 당밀 공급조는 혼합부로 액상 당밀



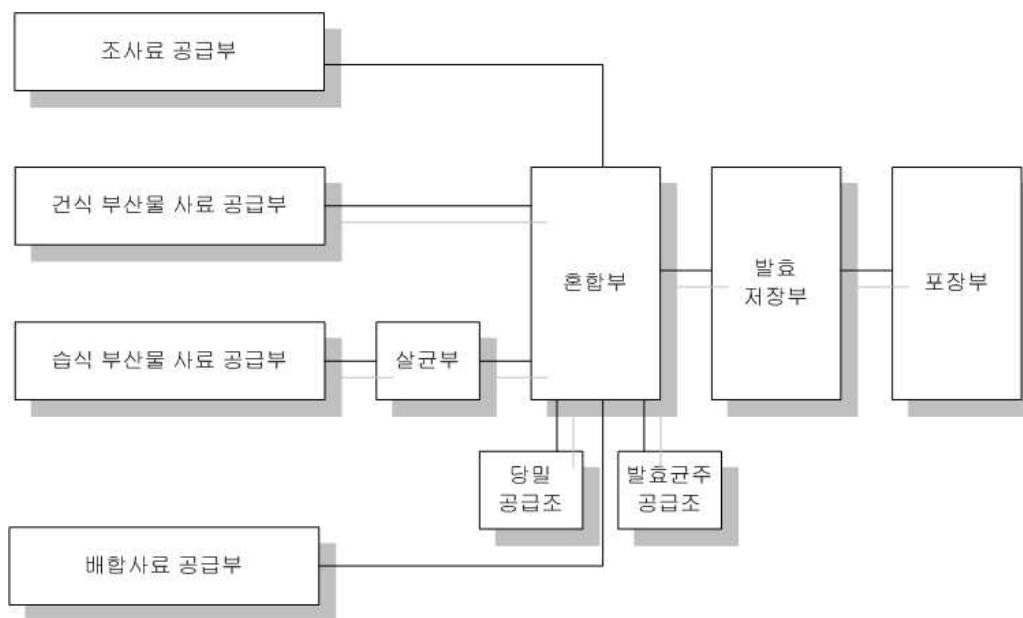
을 공급하는 역할을 한다. 여기서, 액상 당밀은 당성분을 탄소원으로 하여 후술하는 액상 효모 공급조로부터 혼합부로 공급되는 액상 효모가 혼합 사료를 발효시키는 과정에서 에너지원으로 사용된다. 액상 효모 공급조는 혼합부로 건식 부산물 사료 및 습식 부산물 사료를 발효시키기 위한 액상 효모를 공급하는 역할을 한다.

- 발효 저장부는 혼합부로부터 혼합 사료를 공급받아 혼합 사료를 저장함과 아울러 발효시키는 역할을 한다. 이러한 발효 저장부는 발효 저장조, 온도 제어수단을 포함한다. 발효 저장조는 내부에 저장 공간이 형성되며, 상부에 혼합부를 통해 혼합된 혼합 사료가 투입되는 투입구가 형성되며, 하부에 발효 과정을 통해 발효된 발효 사료가 배출되는 배출구가 형성된다. 위와 같은 구조로 인해 발효 저장조는 혼합사료를 투입되는 순서대로 발순차적으로 발효시켜 배출할 수 있게 된다. 이로 인해 발효 저장조로 투입되는 혼합 사료가 미 발효되어 배출되는 것을 방지하게 되며, 혼합 사료를 투입되는 순서대로 순차적으로 발효시켜 배출하는 선입선출 방식으로 인해 연속적인 공정이 가능하게 된다. 아울러, 발효 저장조는 발효제 투입수단을 통해 공급된 효모에 의해 혼합 사료의 혐기성 발효가 이루어지는 공간을 제공하는 것으로서, 밀폐 구조로 이루어진다. 온도 제어수단은 기온이 낮은 겨울철에 발효 저장조의 내부 온도를 발효에 적합한 온도로 유지시키기 위한 것으로서, 온도 재킷, 냉온수 공급유닛 및 제어 유닛을 포함한다. 온도 재킷은 발효 저장조의 외면을 감싸도록 설치되고, 내부에 수용공간이 형성된다. 냉온수 공급유닛은 온도 재킷의 수용공간으로 냉수 또는 온수를 공급하는 역할을 한다. 제어 유닛은 냉온수 공급유닛을 통해 온도 재킷의 수용공간으로 공급되는 냉수 또는 온수의 상대적인 공급량을 조절하여 온도 재킷의 수용공간으로 공급되는 냉수 또는 온수의 온도를 조절함으로써, 이를 통해 발효 저장조 내부의 온도를 발효에 적합한 온도인 20℃~40℃를 유지할 수 있도록 하는 제어하는 역할을 한다. 온도 제어수단을 통해 발효 저장조의 내부 온도를 정밀 제어하여 발효에 적합한 최적 온도를 제공함으로써, 발효 과정에서 부산물 사료가 변질되는 것을 방지할 뿐 아니라 발효 효율이 보다 향상된다.



<모델 KBFS-B>

- 부산물 사료 발효 저장 시스템은 혼합부로부터 발효 저장조의 투입구로 혼합 사료를 공급하는 공급 라인과, 발효 저장조의 배출구로부터 배출되는 발효된 혼합 사료를 후방으로 배출하는 배출 라인을 포함하고, 공급 라인과 발효 저장조의 투입구의 연결 부위 및 배출 라인과 발효 저장조의 배출구의 연결 부위는 밀폐 구조로 이루어진 것을 특징으로 한다. 이로 인해 발효 저장조로 공급되는 혼합 사료와 발효 저장조로부터 배출되는 발효된 혼합 사료가 공기에 접촉되는 것을 방지함으로써, 혼합 사료 중에 포함된 부산물 사료의 발효 품질이 향상됨과 아울러 저장 기간을 오랫동안 유지할 수 있게 된다.
- 포장부는 발효 저장부로부터 공급되는 발효 사료를 축산 농가에 공급할 수 있도록 포장하는 역할을 하는 공정이다.
- KBFS-B 모델인 경우 공정도는 그림과 같다. 부산물 사료 발효 저장 시스템은 KBFS-A모델에서 조사료 공급부, 배합 사료 공급부 및 배합부가 추가되며, 다른 구성들은 앞서 설명한 내용과 동일하다. 조사료 공급부는 조사료를 계량하여 배합부로 공급하는 역할을 한다. 여기서, 조사료란 목초, 건초, 사일리지, 볏짚 등 섬유질이 높고 가소화 성분 함량이 적은 사료를 의미한다. 배합 사료 공급부는 배합 사료를 계량하여 배합부로 공급하는 역할을 한다. 여기서 배합 사료란 농후 사료에 첨가제를 혼합하여 가축에게 필요한 영양분을 골고루 포함하고 있는 사료를 의미한다. 농후 사료는 섬유질이 적고 가소화 성분이 많은 곡류, 겨류, 깻묵류 등의 사료를 의미하고, 첨가제로는 무기질, 비타민류, 아미노산류, 항생물질, 생균제 및 완충제 등이 사용된다. 배합부는 조사료 공급부로부터 공급되는 조사료 또는 배합 사료 공급부로부터 공급되는 배합사료와 발효 저장부로부터 공급되는 발효사료를 적절하게 배합하여 완전 혼합 발효 사료(Total Mixed Fermentation, TMF)를 제조한다. 상기와 같이, 부산물 사료 발효 저장 시스템은 혼합사료를 투입되는 순서대로 순차적으로 발효시켜 배출하는 선입선출 방식의 발효 저장부로 인해 연속적인 공정이 가능하여 기존의 조사료와 배합 사료를 배합하여 완전 혼합 사료(Total Mixed Ration, TMR)을 제조하는 완전 혼합 사료(Total Mixed Ration, TMR) 제조 공정에 간단하게 적용하여 완전 혼합 발효 사료(TMFB)의 제조가 가능하다.
- KBFS-C 모델인 경우 공정도는 그림과 같다. 부산물 사료 발효 저장 시스템은 KBFS-B 모델과 유사하나, 조사료 공급부, 배합 사료 공급부, 부산물 사료 공급부로부터 공급되는 조사료, 배합사료 및 부산물 사료를 혼합부를 통해 발효제와 혼합하고, 혼합부에서 혼합된 사료를 발효 저장부를 통해 순차적으로 발효시켜 배출하는 선입선출 방식인 것을 특징으로 한다. 부산물 사료 발효 저장 시스템은 부산물 사료를 이용하는 완전 혼합 사료(Total Mixed Ration, TMR) 제조 공정에 발효 저장부를 간단하게 추가하여 완전 혼합 발효 사료(Total Mixed Fermentation, TMFB)를 용이하게 제조할 수 있게 된다.

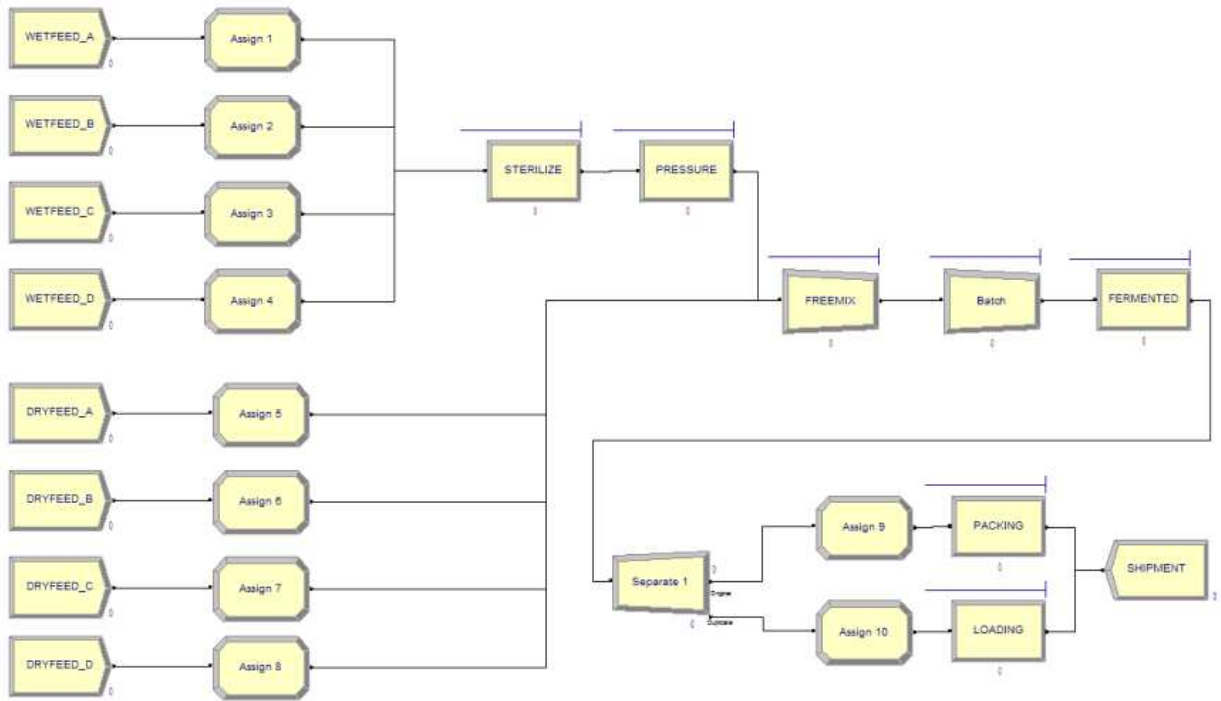


<모델 KBFS-C>

### 제3절 시뮬레이션을 통한 최적화

- 시뮬레이션 모델링은 ARENA V12.0(Rockwell Automation Inc., Pittsburgh, USA)을 이용하였다. 모델 개발에 사용된 기본적인 가정은 50 ton 규모의 발효 저장부의 발효기간이 3일인 것을 감안하여 전처리 공정인 살균 및 수분조절 압착공정과 발효 후 포장공정의 기계 가동을 점검을 위하여 총 4일의 시뮬레이션 플레이 시간을 기준으로 3회 반복 수행하였고 이때의 단위시간은 분으로 가정하였으며. 기계의 고장 및 기타의 지연 요인은 없다고 가정하였다. 사용되는 분포함수는 일괄적으로 정규분포인 NORM 함수를 사용하고 표준편차는 평균값의 5%로 가정하여 시뮬레이션 하였다.
- 처음 원료의 반입과정은 8개의 CREATE 모듈을 사용하여 습식부산물 사료와 건식부산물 사료가 각각 4종류씩 생성되게 하였고 습식부산물의 경우 4개의 CREATE 모듈에서 40분당 하나의 개체를 생성하며, 이후 ASSIGN 모듈을 활용하여 개당 875 kg의 값을 지정해주어 총 3.5 ton의 용량으로 생성되어 PROCESS 모듈로 생성된 살균기에서의 15분의 살균작업과 동일한 형태의 PROCESS 모듈로 생성한 수분압착조절기에서 5분의 수분조절작업을 거쳐 프리믹스로 투입된다. 건식부산물의 경우 4개의 CREATE 모듈에서 60분당 하나의 개체를 생성하며, 이후 ASSIGN 모듈을 활용하여 375 kg의 값을 지정해주어 총 1.5 ton의 용량이 생성되며 이때의 건식부산물과 습식부산물의 혼합비율이 7:3으로 프리믹스로 투입되게 모델링하였다. 이후 BATCH 모듈을 이용하여 혼합된 부산물 사료를 50 ton의 1개체로 묶은 다음 발효저장부로 공급되어 72시간의 발효과정을 거친 후 SEPARATE 모듈을 이용하여 동일한 비율로 2가지 개체로 분리하여 ASSIGN 모듈로 분리된 각각의 개체에 벌크포장과 차량운반의 속성을 부여한 후 PROCESS 모듈로 생성된 벌크포장과 차량운반에 의해 출하되도록 하였다. 개발된 시

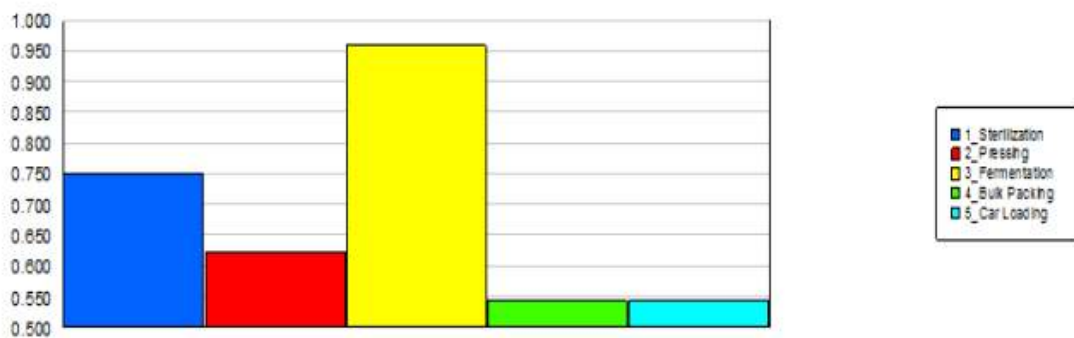
플레이션을 3회 반복하여 나타난 결과값을 통하여 단위기계의 가동률 및 공정별 처리 시간, 정체시간을 분석하였다.



<시뮬레이션 모델의 공정도>

Scheduled Utilization

	Value
1_Sterilization	0.7500
2_Pressing	0.6224
3_Fermentation	0.9583
4_Bulk Packing	0.5416
5_Car Loading	0.5416



<단위기계 가동률 그래프>

- 시뮬레이션 결과 단위기계의 가동률은 부산물발효조가 95.8%로 처리용량이 우수하였고, 발효전처리 단위기계인 살균기와 수분조정압착기가 각각 75%와 62%로 양호하게 나타났으며 발효후처리 과정의 단위기계인 벌크포장기와 차량적재장치가 54%로 낮은

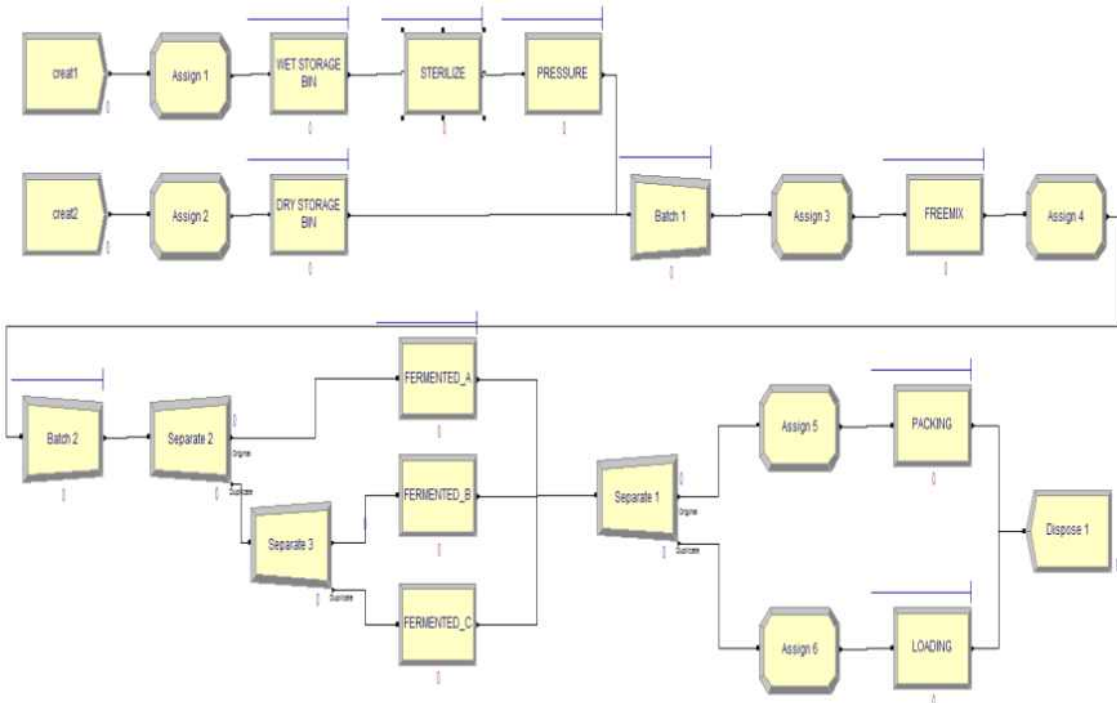
수준의 가동률을 보이고 있으나 설비의 처리용량은 부족하지 않은 것으로 나타났다.

<단위기계 처리시간>

공정	가동률 (%)	처리시간 (min)	정체시간 (min/entity)
살균기	75.0	4320.0	0
수분조절압착기	62.0	3582.7	0
부산물 발효조	95.8	5518.1	0
벌크포장	54.3	3116.2	0
차량적재	54.3	3116.2	0

- 단위기계의 부산물 처리시간은 총 시물레이션 플레이타임 96시간중 살균기 4320분(약 72시간), 수분조절압착기 3582.7분(약 60시간), 부산물발효조 5518.1분(약 92시간), 벌크포장과 차량적재가 3116.2분(약 52시간)으로 나타났다. 개발된 시물레이션모델은 결정되지 않은 부산물 사료의 종류와 배합비의 가정을 바탕으로 한 전제하에서 초기 변수인 습식부산물 사료와 건식부산물 사료의 중량을 각각 875 kg, 과 375 kg 으로 산정하여 이루어진 분석으로 실제 모델과 비교해 개발 시물레이션모델이 갖는 많은 공통점과 유사성으로 실제 개발 모델의 기계가동률 및 용량부족, 배치 오류에 의한 정체 및 과부하 오류가 없음을 우선적으로 분석한 것이다
- 단위기계의 가동률을 보다 정밀하게 분석하여 최적화된 기계가동률로 기계효율을 높일 수 있는 기계용량을 제시하였다. 선행 시물레이션 결과로 얻어진 기계용량과 배치를 바탕으로 하여 초기 변수인 습식부산물 사료와 건식부산물 사료의 무게를 확정하여, 단위기계를 중심으로 세밀한 공정별 시물레이션을 추가로 실시하였다 시물레이션의 설정은 총 4일의 플레이 시간인 96시간을 기준으로 100회 반복하여 수행하였고 이때의 단위시간은 분으로 가정하였으며, 기계의 고장 및 기타의 지연 요인은 없다고 설정하였다. 사용되는 분포함수는 일괄적으로 정규분포인 NORM 함수를 사용하고 표준편차는 평균값의 5%로 가정하여 시물레이션 하였다.
- 처음 원료의 반입은 2개의 CREATE 모듈을 사용하여 습식부산물 사료와 건식부산물 사료가 7:3의 비율로 20분당 각각 3.5 ton 과 1.5 ton을 생성하도록 하였고 이후 PROCESS 모듈로 생성된 각각의 임시 대기빈에서 습식부산물이 42분 건식부산물이 18분 대기후 습식부산물은 PROCESS 모듈로 생성된 시간당 5ton의 처리용량의 살균기에서 42분의 살균작업을 거치고 동일한 용량의 수분압착조절기에서 42분의 수분조절작업을 거친 후 프리믹스로 투입되고, 건식부산물 사료는 바로 프리믹스로 투입된다. 각각의 부산물 사료는 60분의 프리믹스 공정으로 배합된 뒤 BATCH 모듈을 통하여 50 ton의 1개체로 묶여 다음 50 ton/ 3 days 용량의 3개의 발효저장부로 각기 공급되어 72시간 발효되며 이후 SEPARATE 모듈을 이용하여 동일한 비율로 2가지 개체로 분리하여 ASSIGN 모듈로 각각의 개체에 벌크포장과 차량운반의 속성을 부여한 후 PROCESS 모듈로 생성된 벌크포장과 차량운반에 의해 출하되도록 하였다 개발된 시물레이션은

100회 반복하여 나타난 결과값을 도출하였으며 이를 통하여 단위기계의 가동률을 분석하였다.

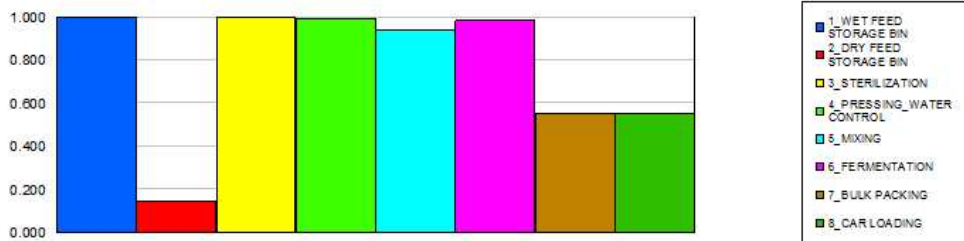


<기계가동률 분석을 위한 시뮬레이션 공정도>

### Resource

#### Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
1_WET FEED STORAGE BIN	1.0000	0.00	1.0000	1.0000
2_DRY FEED STORAGE BIN	0.1411	0.00	0.1411	0.1411
3_STERILIZATION	0.9958	0.00	0.9958	0.9958
4_PRESSING_WATER CONTROL	0.9917	0.00	0.9917	0.9917
5_MIXING	0.9369	0.00	0.9369	0.9369
6_FERMENTATION	0.9815	0.00	0.9815	0.9815
7_BULK PACKING	0.5530	0.00	0.5530	0.5530
8_CAR LOADING	0.5530	0.00	0.5530	0.5530



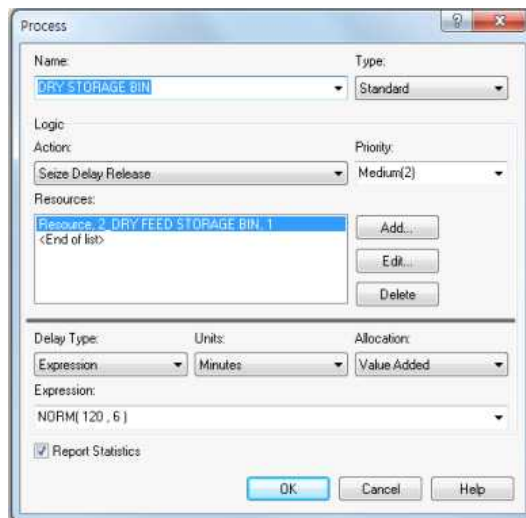
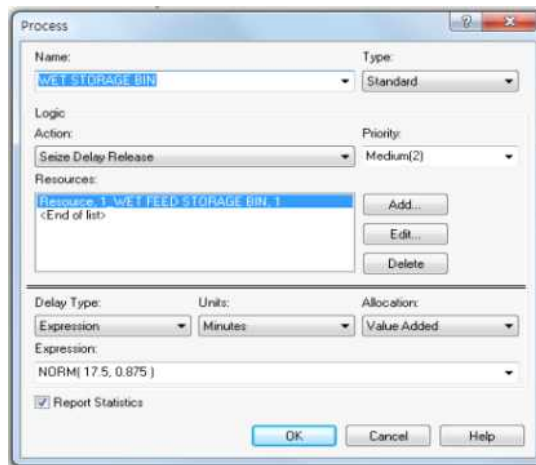
<단위기계 가동률 그래프>

○ 시뮬레이션 결과 단위기계의 가동률은 부산물발효조가 93.7%로 처리용량이 우수하였

고, 습식부산물 발효전처리 단위기계인 살균기와 수분조절압착기가 각각 99.6%와 99.2%로 나타났으며, 습식부산물과 건식부산물의 믹서기가 93.7%로 단위기계 모두 우수한 가동률을 나타냈다. 발효후 처리 과정은 해당 단위기계인 벨크포장기와 차량적재장치가 55.3%로 낮은 수준의 가동률을 보이고 있으나 설비의 처리용량에 있어 부족하지 않으며 벨트컨베이어 형식의 설비인 점을 감안할 때 용량조절은 불필요할 것이라 분석된다. 단위기계의 가동률 그래프 상 문제가 되는 습식사료와 건식사료의 저장빈의 가동률은 습식부산물 저장빈의 경우 가동률이 100% 이상으로 병목현상 및 정체현상을 나타내 기계용량을 높여 가동률을 낮출 필요가 있으며 건식부산물 사료저장빈의 경우 습식부산물 사료 저장빈과는 반대로 기계 용량을 낮춰 기계 가동률을 높여야 한다.

<시뮬레이션에 적용한 단위기계용량 >

변수	1_습식사료대기빈	2_건식사료대기빈	3_살균기	4_압착수분조절기	5_프리믹서	6_발효조	7_포장	8_차량적재
처리중량 ton	3.5	1.5	3.5	3.5	5	50	25	25
처리시간 min	42	18	42	42	60	4320	300	300
처리용량 ton/h	5	5	5	5	5	50 ton/3days	5	5

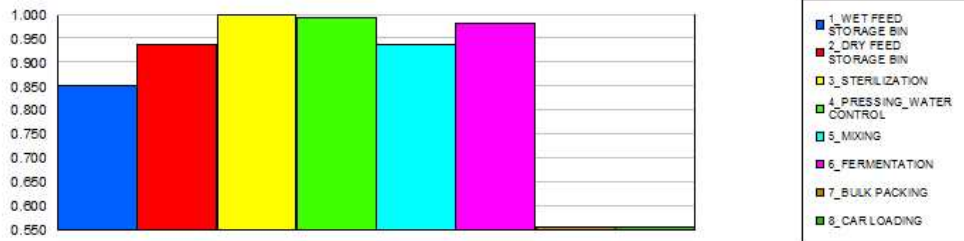


<습식, 건식사료 대기빈 용량조절>

## Resource

### Usage

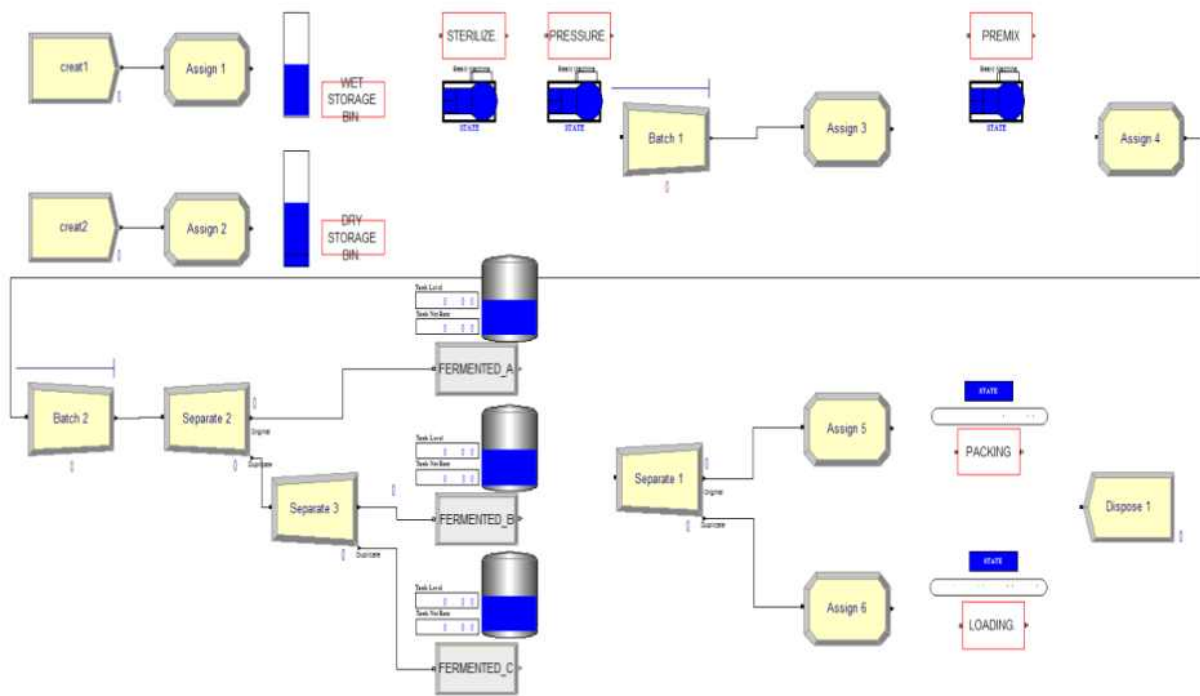
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
1_WET FEED STORAGE BIN	0.8500	0.00	0.8500	0.8500
2_DRY FEED STORAGE BIN	0.9381	0.00	0.9381	0.9381
3_STERILIZATION	0.9983	0.00	0.9983	0.9983
4_PRESSING_WATER CONTROL	0.9941	0.00	0.9941	0.9941
5_MIXING	0.9370	0.00	0.9370	0.9370
6_FERMENTATION	0.9821	0.00	0.9821	0.9821
7_BULK PACKING	0.5536	0.00	0.5536	0.5536
8_CAR LOADING	0.5536	0.00	0.5536	0.5536



<시뮬레이션을 통하여 최적화된 단위기계 가동률 그래프>

- 습식사료 대기빈과 건식사료 대기빈이 개발 시스템에서 최적화된 기계가동률을 보이는 기계용량을 확인하기 위하여 최적실험계획법을 바탕으로 변수 범위를 좁혀가며 반복시뮬레이션 하였으며 그 결과 습식사료대기빈의 경우 3.5 ton의 습식부산물 사료를 17.5분에 처리하는 기계용량 12 ton/h에서 정체현상과 병목현상이 없는 최적화된 기계가동률을 나타내었고, 건식사료대기빈의 경우 1.5 ton의 건식부산물 사료를 120분에 처리하는 기계용량 0.75 ton/h에서 가동률이 90% 이상으로 나타나 기계효율이 우수한 것으로 나타났다.
- 습식부산물사료와 건식부산물사료의 임시저장탱크는 처리용량 뿐만이 아닌 부산물의 함수율에 따른 산물밀도를 바탕으로 기계부피와 저장기간을 고려하여야 하며, TMR 사료 생산공법에 따른 부산물사료 종류와 시스템이 설치되는 화성에서 부산물사료 생산지까지의 거리 및 배송 간격등을 바탕으로 선정되어야 한다 본 연구로 개발된 시뮬레이션 모델은 많은 가정과 제약의 전제하에서 이루어진 분석으로 최적해라고 하기 보다는 실제 모델과 비교해 볼 때 많은 유사성을 바탕으로한 최적실험설계법에 따른 반복된 결과값의 분석으로 유용성을 가지는 모델에 있어 최적의 효율을 갖는 기계용량을 제시한 것이며, 최종적으로 프로그램의 애니메이션 모듈을 활용하여 기계용량에 따른 모델의 공정도를 그림과 같이 나타내었다.





<애니메이션 모듈을 활용한 시뮬레이션 공정도>

#### 제4절 시뮬레이션을 통한 모델개발

- 시뮬레이션에 적용할 낙농용 TMF사료는 표1과 같이 크게 3가지 종류의 혼합사료이다. 혼합사료의 함수율은 초기배합시60% 수준이며 스팀살균공정을 마친 후 80%로 증가된다. 이후 선행되어 구멍된 부산물 발효의 최적조건(2016,우)에 따라, 수분조절 압착장치를 통하여 50% 대의 함수율로 조절하여 부산물 발효 저장조로 투입된다

<낙농용 혼합사료 종류별 배합비율 및 함수율>

	By-Product	Weight (Kg)	Ratio (%)	Water (Kg)	Dry measure. (Kg)	Moisture Content. (%)
1	Concentrated	1020	34	565	455	55
2	Roughage	690	23	105	585	15
3	By-Product	1290	43	1130	160	88
4.	Total	3,000	100	1,800	1,200	60

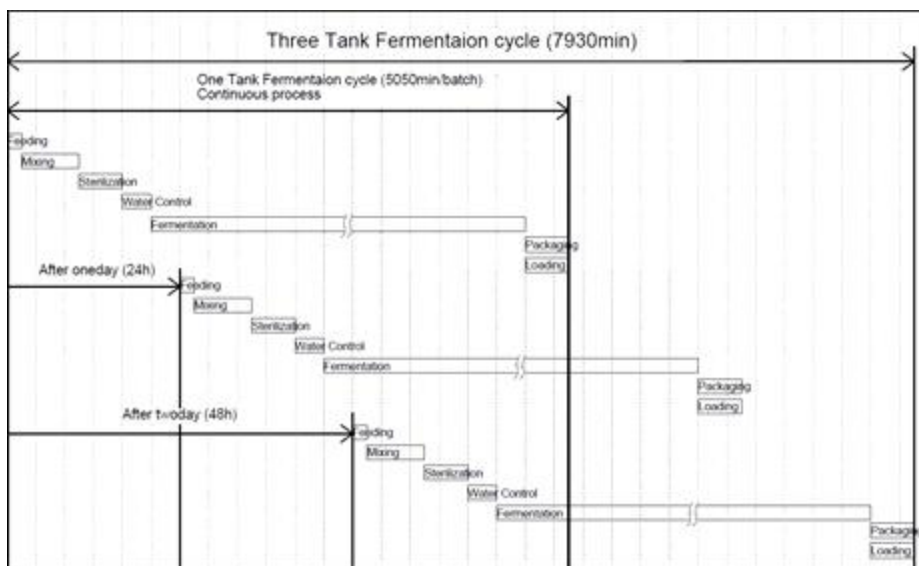
- 공정별 소요시간은 발효탱크의 50 Ton 용량을 기준하여 초기 사료의 투입에 100분이

소요되며, 배합에 400분, 스팀살균 300분, 수분조절 200분으로 총 1,000분이 소요되거나 연속공정에 따른 시스템의 특성에 의하여 430분에 부산물의 전처리 공정이 완료되며, 이후 발효에 4,320분, 발효후 배출공정에 300분이 소요되어 총 5050분의 시간에 1기의 부산물 발효탱크에서의 시스템 공정이 완료된다.

<공정별 소요시간>

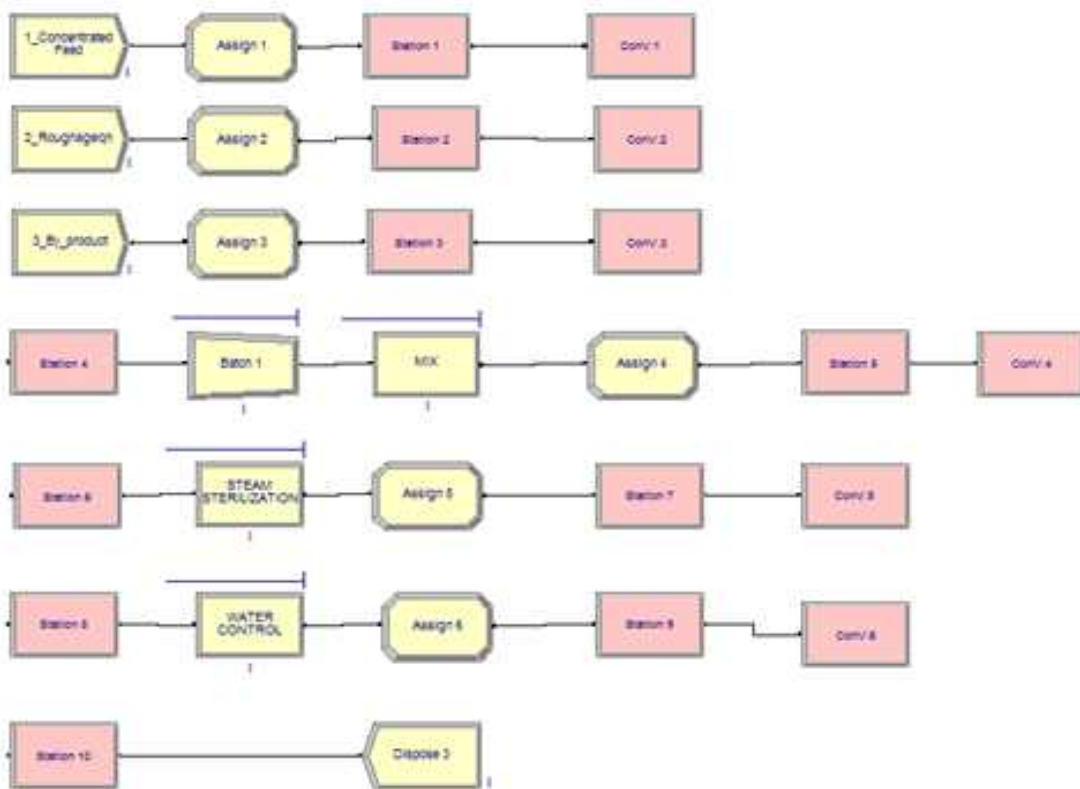
Process	Detail Process	Mean(min)	Remark
Pre Fermentaion	Feeding	100	Simultaneous working (430min)
	Mixing	400	
	Sterilization	300	
	Water Control	200	
Fermentation	Fermentation of By-product	4320	Simultaneous working (4620min)
After Fermentation	Packging	300	
	Loading		
Total processing cycle (min/batch)		5620( * 5050)	* Continuous process

- 3기의 발효 탱크에서의 시스템 공정을 타임차트로 확인하면 발효전처리 과정에서 소요되는 430분의 시간과 발효과정에서의 4,320분 발효후처리 과정에서의 배출시간 300분이 연속공정에서 누적되어 1탱크의 연속작업 시간은 5050분이며, 최종적으로 7,930분에 3기의 발효 탱크에서의 시스템의 공정이 완료된다.



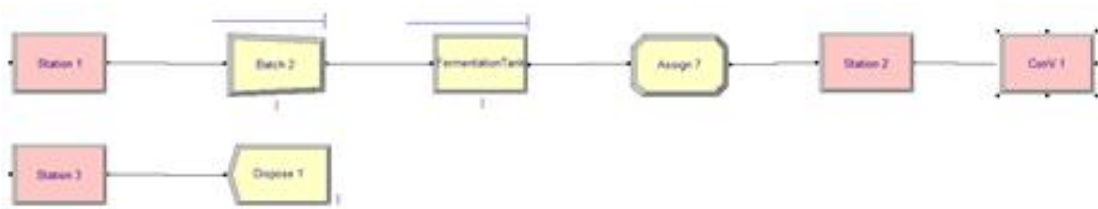
<타임차트>

- 본 장에서는 낙농용 TMF 사료의 발효저장시스템 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. (Kelton 등, 2007) 시뮬레이션은 1일 8시간 기준 365일 구동하였으며 기타 기계의 고장 및 지연요소는 없는 것으로 가정하였다. 모델 개발과 수정의 편리성을 위하여 시스템 전체의 프로세스를 분석한후 3가지 모듈로 분할하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다



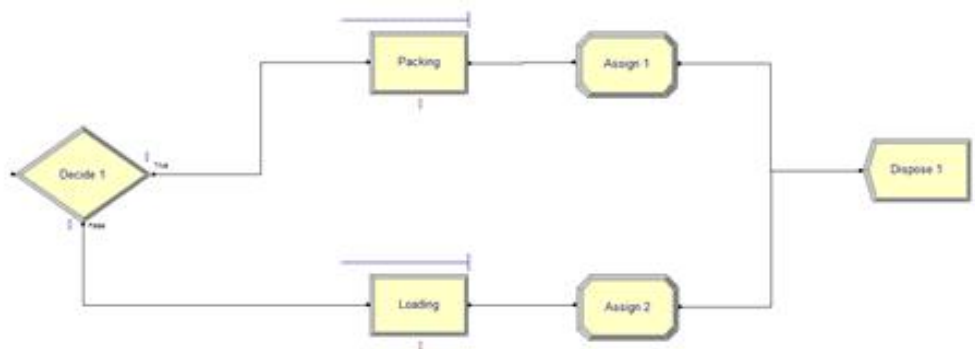
<발효전처리 모듈>

- 발효전처리 과정은 함수율 변화에 따라 단위기계의 용량을 선정하는 모듈이다. 이는 본 연구의 목적인 경제성 있는 낙농사료 발효저장 시스템을 구축하기 위한 단위기계의 용량을 산정하는 모듈이다. 사료의 투입은 2.1장에 기술된 바와 같이 3가지 종류(농후사료, 조사료, 부산물사료)의 사료를 배합비율에 맞추어 시뮬레이션 프로그램의 개체로 생성하였다. 2.3절에 기술되어 있는 프로세스와 3.2절에 기술되어 있는 각 공정에서의 함수율 자료를 기초로 하였으며, 교호작용을 고려한 단위기계의 용량을 산정하였다. 또한 Opt-Quest의 기능을 활용하여 설비가동률이 80% 이상의 효율있는 단위기계장치 용량을 산정하였다.



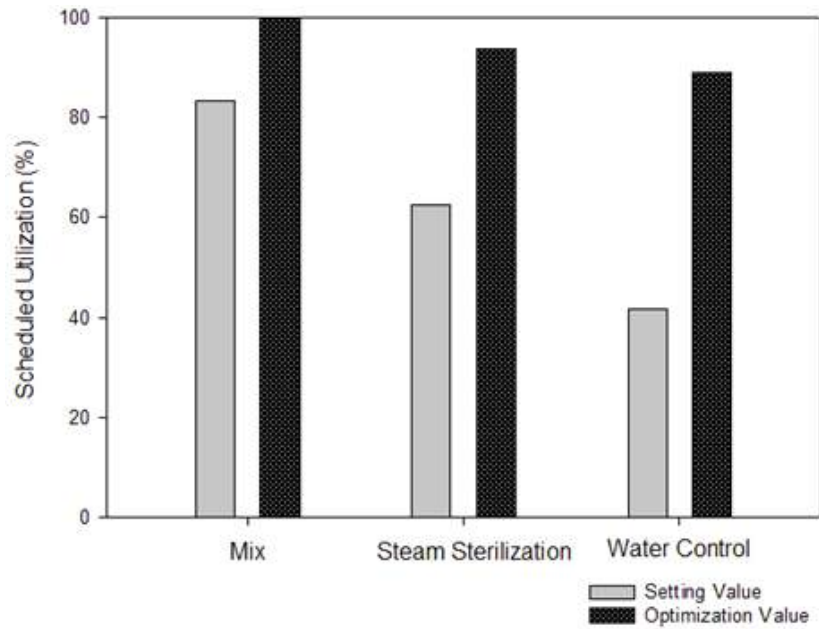
<발효 모듈>

- 발효모듈은 50톤 규모의 발효탱크 3기를 이용한 혼합사료의 발효를 진행하는 모듈로써 3.1절의 제약조건을 기초하였다. 본 모듈에서의 총 시뮬레이션 시간은 3.2절에 기술된 공정별 시뮬레이션 시간에 의해서 5760분으로 하였으며, 궁극적으로 사료의 투입 및 배출에 있어서의 발효탱크의 병목현상 및 발효조의 가동률을 분석하는 기능을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램의 개체 생성은 Arena의 스케줄 기능을 활용하여 24시간중 정규 작업시간인 오전 8시부터 오후 5시까지의 8시간(점심시간 1시간 미포함)의 작업을 기준으로 하였으며, 발효저장조는 Arena의 SET 기능을 활용한 선입선출 방식으로 탱크 A~C 까지 순차적으로 투입과 배출이 이루어지도록 설정하였다



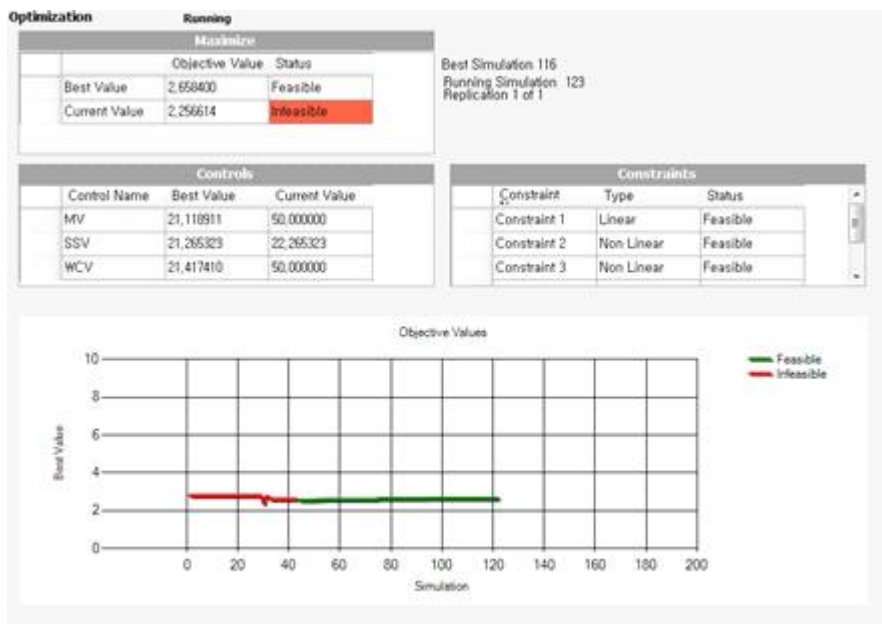
<발효 후처리 모듈>

- 발효사료 배출 과정은 발효완료된 낙농용 TMF사료를 차량적재 및 포장의 8 : 2 비율로 배출하는 모듈이다. 시뮬레이션 프로그램에서 2.5톤의 속성값을 갖는 개체를 총 20개 생성하여 50톤의 발효부산물인 Decide 모듈을 통해 차량적재와 포장공정으로 분리 배출하였다. 또한 Opt-quest기능을 활용하여 초기 설정값과 최적화된 단위기계의 용량 및 그에 따른 가동률을 분석하는 기능을 수행하였다



<발효 전처리 단위기계 용량산정 결과>

- 초기 용량에 따라 발효 전처리 단계의 단위기계의 가동률을 분석한 결과 배합기의 기계가동률은 83%로 나타나 우수한 것으로 분석되나 스팀 살균기와 수분조절 압착기의 가동률은 각각 63%와 42%로 낮게 측정되어 기계용량의 조절이 필요한 것으로 분석되었다.

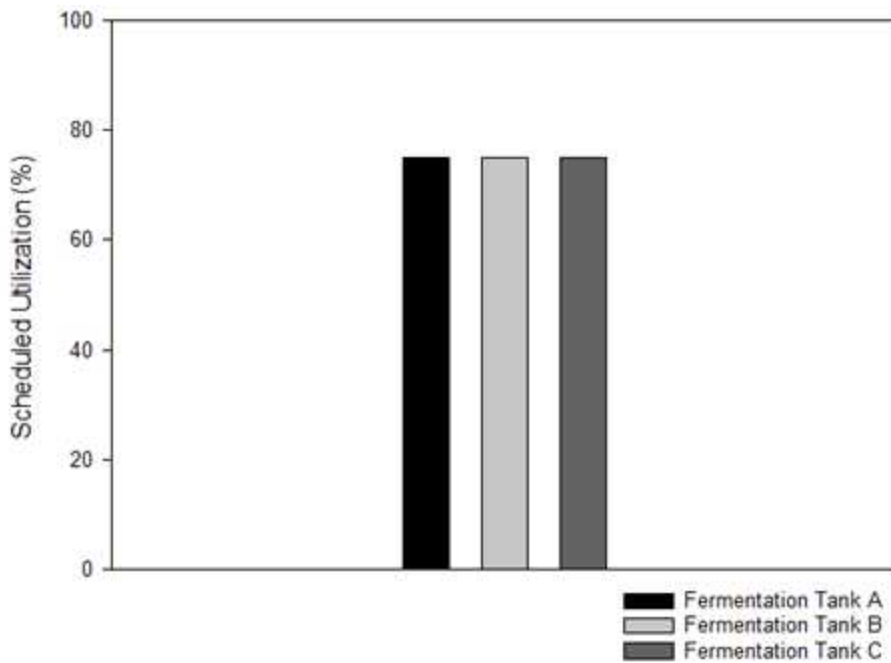


<OPT-QUEST를 활용한 최적해 찾기>

○ 기계용량을 조절하기 위하여 Opt-Qeust를 활용하여 믹서와 스팀살균기 수분조절기의 가동률이 80% 이상의 목적값을 갖도록 제한식을 설정하였고, 발생하는 개체가 막힘이나 병목현상 없이 모두 배출되도록 구성하였다. 그 결과 배합기 8.5ton/h, 스팀살균기 17.7ton/h, 수분조절기 7ton/h, 의 용량에서 단위기계의 기계가동률이 믹서99%, 스팀살균기93% 수분조절기89%로 나타났고, 이는 발효전처리 단위기계의 적절한 기계용량으로 판단된다.

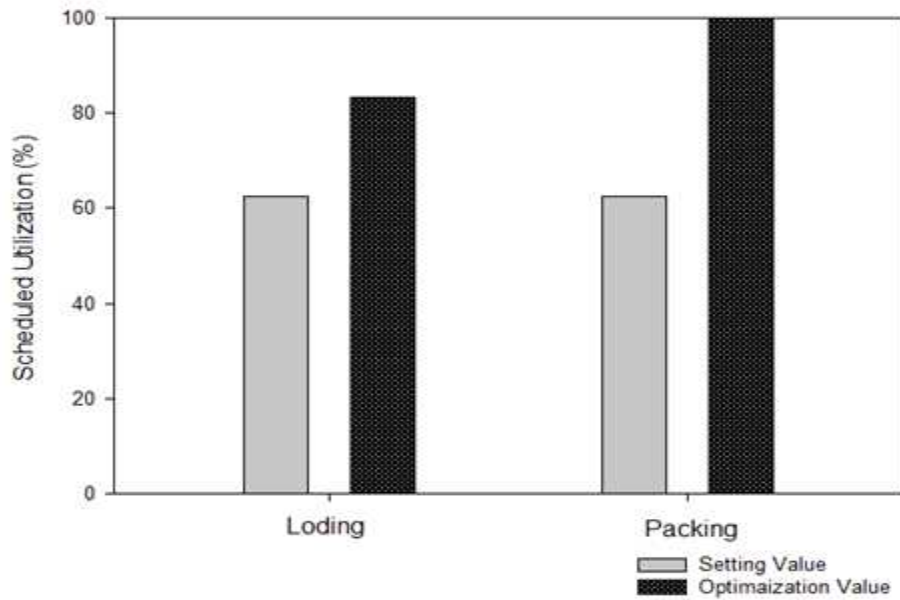
<발효 전처리 단계의 단위기계 용량산정값>

Optimization Value	Moisture Content (%)	Weight (Ton)	Time (min)	Capacity (Ton/h)
Mix	60	5	21.1	8.5
Sterilization	80	6.25	21.3	17.6
Water Control	50	2.5	21.4	7.0



<발효단계 정체 및 병목현상 분석 결과>

○ 시뮬레이션 결과 발효단계 공정에서 정체 및 병목현상은 발생하지 않았으며, 부산물 발효저장조의 가동률은 모두 75%의 가동률로 80%에는 미치지 않았다. 하지만 이는 발효과정중 발생하는 가스에 의한 탱크내부 압력조절의 목적으로 설치되는 브리딩 시스템에 따른 유힬공간을 고려하였을때, 합리적인 용량으로 판단된다.



<발효후 배출단계의 단위기계 용량산정 결과>

- 배출단계의 단위기계 가동률은 초기 설정값에서 차량적재와 포장모두62.5%로 나타났으며 Opt-Quest를 활용하여 최적화된 기계용량을 산출하였다



<OPT-QUEST를 활용한 최적해 찾기>

- 그 결과 기계용량이 차량적재 12.8 Ton/h 포장 2.67 Ton/h 에서 단위기계 가동률이 각

각 83.3%와 100%로 나타났다

<발효 후 배출 단계 단위기계 용량산정값>

Type	Setting Value		Optimization Value	
	Loading	Packing	Loading	Packing
Capacity	8 Ton/h	2 Ton/h	12.8 Ton/h	2.67 Ton/h
2.5 Ton/ Time	18.75 min	75 min	30 min	100 min

- ARENA V15프로그램을 활용하여 시뮬레이션을 통한 낙농용 TMF 사료의 발효저장 시스템 모델을 개발한 결과를 요약하면 다음과 같다.
- 혼합사료는 조사료, 농후사료, 부산물 사료로 구성되며 중량은 각각 1020 Kg, 690 Kg, 1290Kg 이며, 공정별로 믹싱후 60% 스팀살균후 80% 수분조절 압착후 50%의 함수율로 변한다.
- 개발 모델은 발효 전처리모듈 , 발효모듈, 발효사료 배출모듈 3가지로 구분하였으며, 발효전처리단계는 믹스 와 스팀살균, 수분조절 압착장치로 구성되어 있으며 발효모듈의 탱크 용량은 일 50ton 규모이고, 발효사료 배출모듈은 차량적재 와 포장으로 구분하였다.
- 단위기계의 초기용량은 배합기 9 Ton/h, 스팀살균기 25 Ton/h, 수분조절 압착기 15 Ton/h, 차량적재 장치 8Ton/h, 포장기 2 Ton/h, 이다.
- 공정별 소요시간은 연속공정에 따라 430분에 전처리 공정이 완료되며 이후 발효에 4,320 분 배출공정에 300분이 소요되어 총 5050분의 시간에 1기의 시스템의 공정이 완료되며 7,930분에 3기의 발효탱크로 구성된 전체의 시스템 모델의 공정이 완료된다.
- 시뮬레이션을 통한 단위기계의 최적 가동률을 고려한 용량산정 결과 배합기는 8.5 Ton/h 용량에서 가동률 99%, 스팀살균기 17.7 Ton/h 용량에서 가동률 93% 수분조절 압착기 89 Ton/h 용량에서 89%로 분석되었으며, 차량적재 장치는 용량12.8 Ton/h, 포장장치는 용량 2.67 Ton/h 에서 각각 83.3%와 100%의 가동률로 분석되어 최적의 단위기계 가동률의 산정에 따른 기계용량 선정이라 판단된다.



## 제3장 부산물사료 전 발효공정 모델 개발 및 적정규모 설계

- 본장에서는 국내의 낙농가, 한우 농가의 사료 급여 현실에 부합하며 경제적으로도 이익을 남길 수 있는 부산물 발효사료 조제를 위한 종합적인 시스템에 소요되는 기존 보급된 투입기, 살균기, 프리믹스 배합기, 발효저장조, 반송기 등 여러 기종의 장단점을 분석하여 모델별로 적합한 기계 선정하고, 각 모델별로 예비시험을 통하여 모델의 작업 사이클 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.

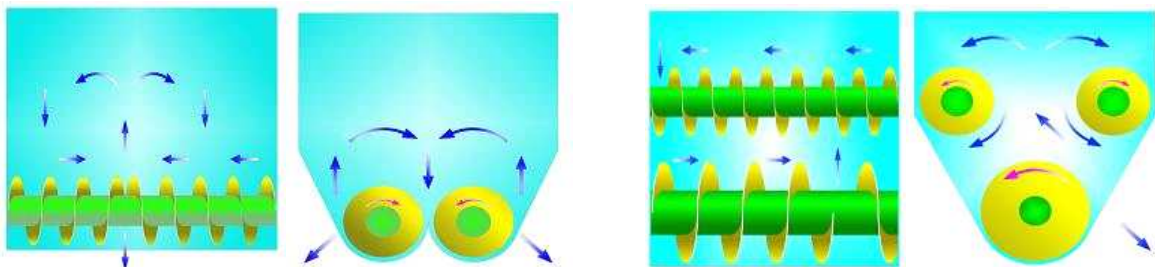
### 제1절 기계형식 선정

- 부산물사료를 쉽게 처리할 수 있고 낙농·한우 단지별로 공동으로 이용 가능한 “TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델 개발”에 핵심공정인 부산물사료 반입-임시 대기 및 저장-살균-수분조절 압착-살균 부산물사료 임시대기-프리믹스-프리믹스사료 압송-발효-저장-선입선출 배출-계량 및 대기-공급할 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

- TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델에 이용될 수 있는 적합한 모델을 제시하고자 현재 국내에 보급된 배합기의 기종을 조사하고 각각의 장단점을 파악하여 적합한 기종을 선정한 후 설계에 반영하였다. 본 연구의 “TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델”에서 사용될 “배합부”의 전반적인 기능을 살펴보면, ①부산물사료를 반드시 배합기에 함께 투입하여 배합할 수 있어야 하며, ②부산물사료 배합이 골고루 잘 되어야 하며, ③생산규모에 맞게 배합탱크의 용량이 적당해야 하며, ④투입된 부산물사료 등의 무게를 쟀 수 있는 계량장치가 있어야 하며, ⑤배합된 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 부산물사료에서는 습식사료와 건식사료형태로 분류되기 때문에 여기에 적합한 믹서를 선정하여야 한다.

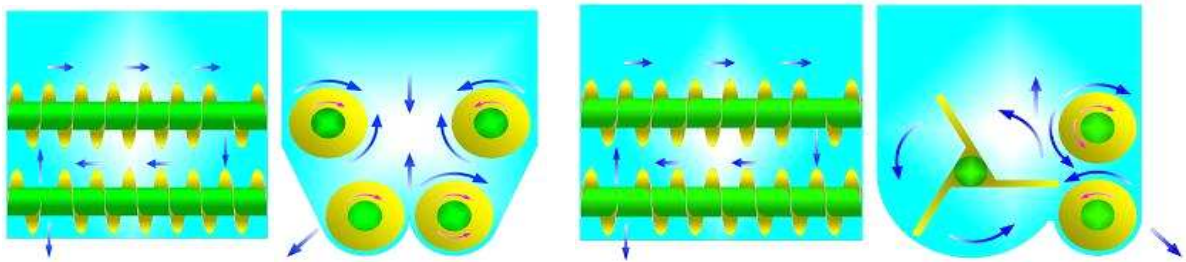
○ 오거(Auger)형 배합기는 일반적으로 TMR믹서로 가장 많이 사용되는 믹서로서 낙농목장에서는 물론, 대규모 비육우 농장에서도 널리 사용되고 있다. 윗부분이 열려있어 위로부터 사료원료를 투입하도록 되어 있으며, 믹서내부에 2~4개의 오거가 내장되어 있어 이 오거가 회전하면서 사료를 섞고 밀어내어 배합하도록 되어 있다. 다른 형태의 어떤 믹서보다도 조사료와 농후사료를 동시에 골고루 강력하게 혼합할 수 있어서 낙농용으로 적합하다고 판단된다. 오거형 배합기 중 2오거형은 양방향에서 가운데 쪽으로 밀어내는 방식의 구조로 제작되어 있으며 기계 구조가 간단하며 배합 효율이 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.



<오거형 측면도와 정면도(좌), 3오거형 측면도와 정면도(우)>

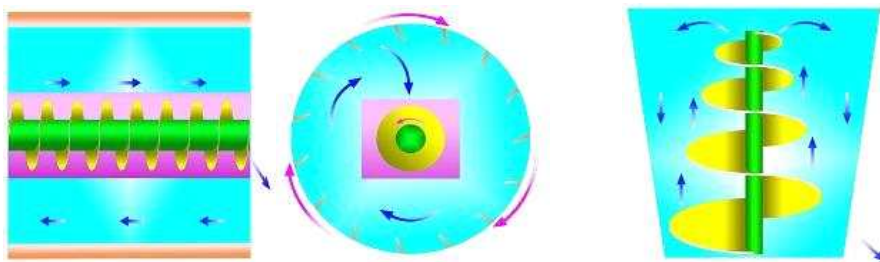
○ 릴(Reel)형 배합기는 윗부분이 열려 있으며, 믹서내부에 대형의 열레(Reel)가 1개 있고, 작은 오거가 2개 있어서 릴이 주로 사료배합을 하는데, 오거는 사료배합을 보조하고 조사료의 부분절단과 사료의 토출을 돕는 역할을 한다. 릴의 가로막대(Cross-Bar) 연결부위에 스프링이 장치되어 있어서 릴의 회전시 믹서 바닥과 릴 사이에 부피가 큰 사료가 끼이거나 과부하가 될 경우 압력을 줄여서 릴이 원만히 회전되도록 되어 있다. 릴이 단순 회전운동만 하므로 사료가 한쪽으로 혼합되어 불완전한 배합이 될 우려가 있으며, 긴 조사료가 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(순

환나선형의 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 일반적이거나 간혹 앞쪽이 뒷쪽보다 높아 경사지게 설치된 믹서도 있다. 이 드럼형 믹서는 길이가 긴 건조나 조사료를 동시에 혼합하기가 다소 어려운데, 드럼이 회전하면서 사료를 오거튜브(Auger Tube)에 퍼넣는 부분, 즉 국자 날개와 오거가 접촉되는 부분에 조사료가 끼여서 과부하되어 배합이 원활하지 못한 결점이 있을 수 있다.



<4오거형 측면도와 정면도(좌), 릴형 측면도와 정면도(우)>

- 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.



<드럼형 배합기(좌), 수직오거형 배합기(우)>

<국내 생산중인 배합기 제조회사>

업체명	수입 및 국산여부	배합형식	형식명
대성기공(주)	국산	오거형	DST80/540
대한통상(주)	지코	오거형	DSH150
동조물산(주)	세코	오거형	450/70C
린도(주)	국산	릴 및 오거형	CRT-50
신일	국산	오거형	SI-170N
(주)라이브맥	불독	오거형	WMT6
일성농기계	국산	오거형	IS-500
명성	국산	오거형	MST-9000

- 따라서, 본 연구인 “TMR 플랜트용 부산물발효저장 모델”에 설치될 “배합부”는 ①사료 배합시 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 부산물사료 등의 무게를 잴 수 있는 계량장치가 있어야 하며, ⑤배합된 사료를 배출할 수 있는 배출장치가 있어야 하므로, 본 연구에서의 “배합부”는 사료종류별로 습식사료는 릴형 배합조, 건식사료는 오거형으로 선정하였다.

2. 살균 및 수분조절 시스템의 선정

- 수분 함량이 많은 습식 부산물 사료는 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 습식부산물 사료의 함수율 및 산물밀도가 높아져 수분의 증량으로 기계장치의 부하 및 사료 품질에 영향을 줄 수 있어 습식 부산물의 함수율은 조절되어야 한다. 이에 자체적으로 설계된 습식부산물 사료에 적합한 수분조절 압착시스템은 습식부산물을 직접적으로 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 부산물 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 병크사일로, 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.

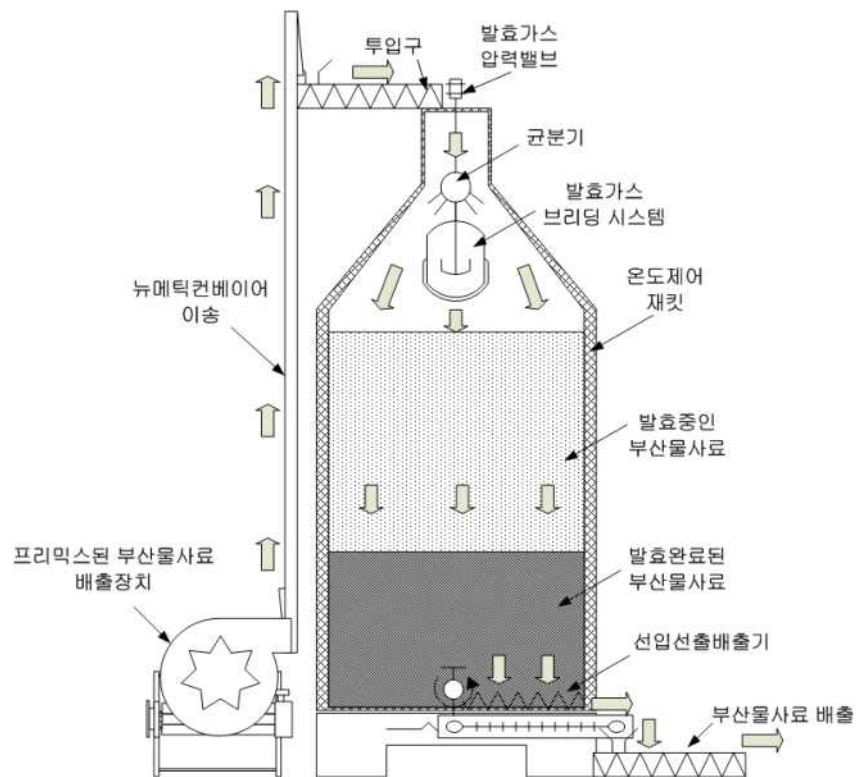


<기존 부산물사료 저장관련 기술>

- 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 충전하고 발효된 사료는 아래에서 꺼내는 구조로 설계한다. 기밀 사일로의 특성상 계절에 관계없이 발효사료가 생산되면 계속해서 위로 새로운 재료를 충전해 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 정밀 제어장치를 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.



<부산물사료 발효저장조 구상도>

#### 4. 포장부의 선정

- 발효저장조에서 발효가 완료된 제품들은 차량이나 포장기에서 500kg 단위로 타이콘 백에 채워져 반출되도록 하는 시스템이다. “TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델”은 작업자 1명이 시스템을 운영하여야 하기 때문에, 계량-포장-적재 작업까지 1명의 인원이 1 배합주기 동안 작업이 가능하도록 포장시스템이 구성되어야 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 “TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델의 공정은 부산물사료 반입-임시대기 및 저장-살균-수분조절 압착-살균 부산물사료 임시대기-프리믹스-프리믹스사료 압송-발효-저장-선입선출 배출-계량 및 대기-공급의 순서로 설계된다.
- 본 연구의 “TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델”에서는 여러 개의 공정이 조합되어 하나의 체계를 이루게 되므로 이와 같은 경우에는 각 공정을 연결하는 반송기계 가 필요하게 된다. 따라서 본 시스템에서 선정되어야 할 반송시스템은 크게 ①다양한 부산물들을 프리믹스기에 에 투입시키는 시스템, ②프리믹스된 부산물 혼합사료를 발효 저장조에 투입시키는 시스템과 ③발효저장이 완료된 TMR을 포장시스템에 연결하여 주는 시스템으로 나눌 수 있다. 부산물사료는 수분이 많은 습식사료의 경우 점성, 수분에 의한 손실 등이 가장 많은 부분을 차지하기 때문에, 짧은 시간 내에 대량 운반할 수 있는 체계를 이용하여 부산물사료 등을 운반하며 설계시에 플랜트 특성에 맞도록 각기 다른 특성을 갖고 있는 다양한 종류의 반송기를 선택하는 것이 중요하다.
- 반송장치는 부산물사료의 품질상태에 따라 필요한 능력을 발휘할 수 있도록 선택, 설계, 이용에 유의하여야 한다. 이를 위하여 앞서 요인시험에 측정된 부산물사료의 입도, 안식각, 산물밀도 등의 물성을 이용하여 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 부산물사료를 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 부산물 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.

## 제2절 작업공정 설계

부산물사료 발효저장 플랜트도 일종의 플랜트이다. 일반적으로 플랜트의 수명은 콘크리트 구조물의 경우 40~50년, 철관 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 신속적인 대응을 할 수 있는 구조가 되도록 설계가 이루어지도록 하였다.

특히 본 모델 공장은 기본적으로

- 작업자는 1명이 하고,
- 가능하면 작업을 단순화 시키고
- 최소의 투자비용이 소요되도록 하였으며,
- 작업효율을 높일 수가 있고,
- 장래에 시설확장이 용이하며,
- 유지 및 관리비를 절감하고,
- 새로운 종류의 사료 생산에 쉽게 적응할 수 있고,
- 궁극적으로는 제품의 품질을 향상시킬 수 있고, 생산비를 절감할 수가 있는 플랜트가 되도록 하였다. 이러한 “TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델”의 계획은 ① 사료의 수집 및 분석, ②예비공정도 작성, ③예비 Layout을 설계하였다.

### 1. 부산물 원료의 저장 작업

- TMR공장에서 사용이 되는 주원료는 표와 같이 ①맥주박과 같은 습부산물 사료, ②소맥피와 같은 강피류, ③대두박, 면실박과 같은 박류, ④옥수수과 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.

< TMR 배합에 사용될 수 있는 사료의 종류 >

구분	사료 종류
부산물사료	비트펠프 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 15분 이상 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 습식부산물 사료는 함수율 및 산물밀도가 높아졌으며 수분조절 없이 후속공정으로 진행될 경우 수분의 질량으로 인하여 기계장치에 부하를 줄 수 있고 무엇보다 사료품질에 영향을 끼칠 수 있으므로 살균후 습식 부산물 사료가 건식부산물 사료와 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 공정작업이 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 옥수수과 같은 곡류사료, 소맥피 등과 같은 건사료, 맥주박과 같은 습사료의 부산물 사료를 투입할 수가 있다. 배합기는 이때부터 배합 작업을 시작하는데 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 10분과 투입이 완료된 10분 등 모두 20분간 배합 작업이 이루어진다. 이에 대한 연구는 이미 본 연구실에서 수행이 완료된 “우리나라 낙농가에 적합한 트랙터 견인형 TMR배합기의 개발”에서 이미 보고 된 바가 있다.

### 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.

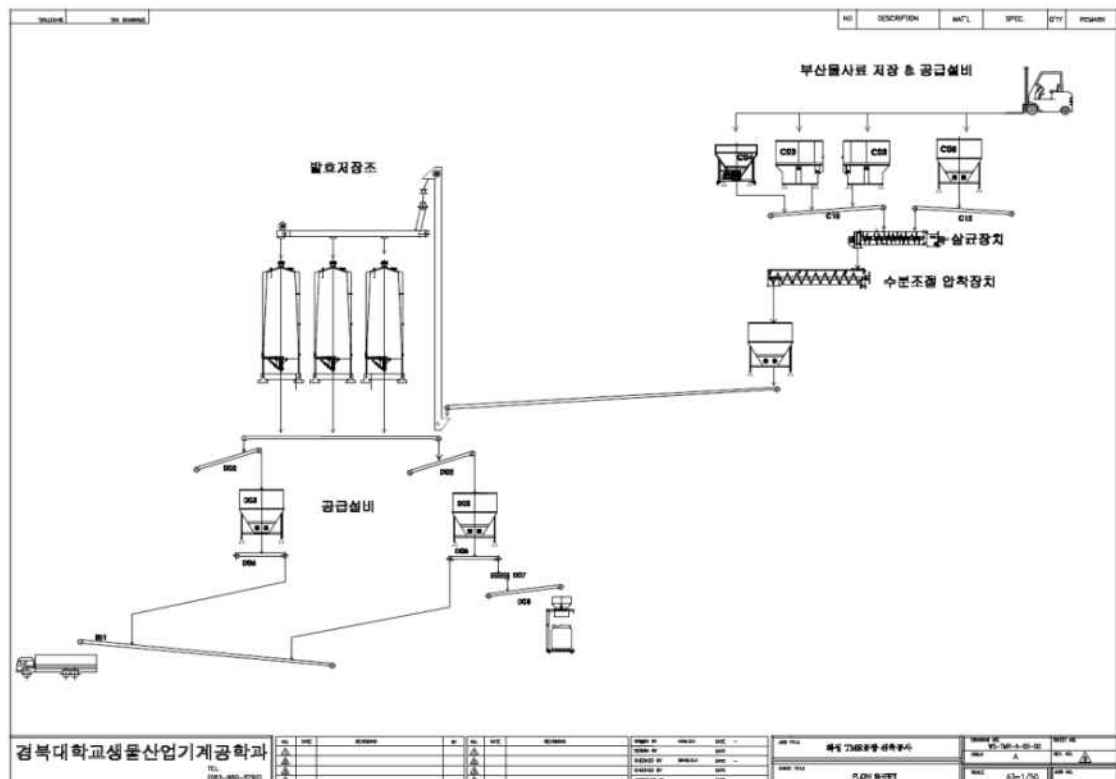
### 7. 작업 사이클

- 이와 같은 일련의 발효저장조 투입작업까지의 공정을 그림으로 나타내면 다음과 같다. 부산물사료의 경우 수분이 40%일 경우 산물밀도는 요인시험결과에서 약 500 kg/m<sup>3</sup>로

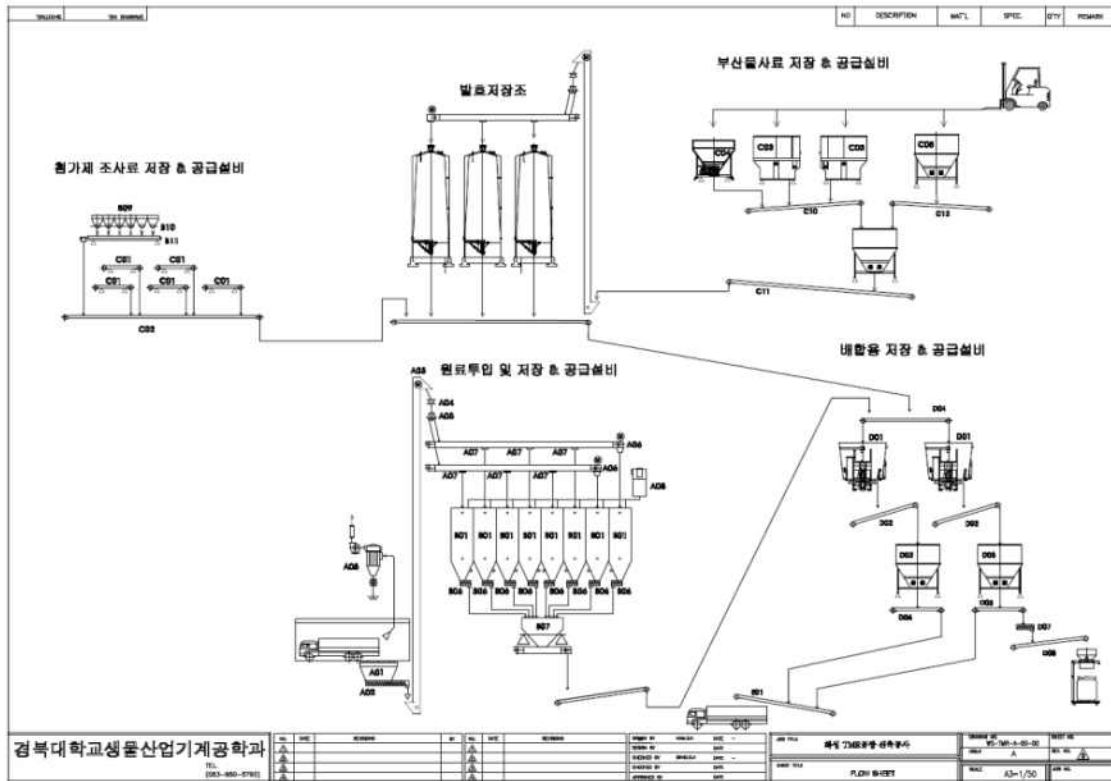
나타났기 때문에, 1회 5톤 작업에 소요되는 작업이 20분이며, 1 시간당 3사이클인 약 15톤 배합이 가능한 것으로 나타났다. 발효저장조가 50톤 규모일 경우 약 4시간 미만이면 작업이 가능한 것으로 나타났다.

### 8. 가공 공정도(Process Flow Diagram)

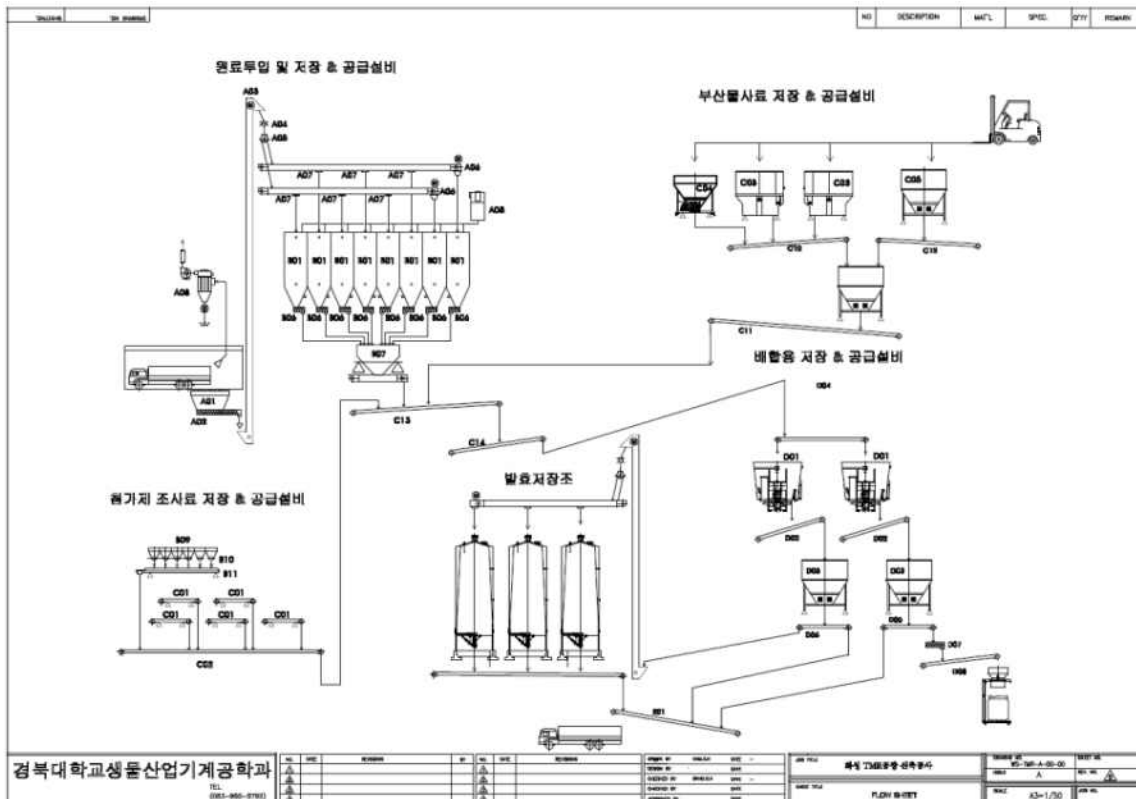
- 앞서 자료의 수집 및 분석에서 제시된 TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델 시스템에 대한 공정도를 3가지 형태로 나타내었다. 모델의 공정은 부산물사료 반입-임시 대기 및 저장-살균-수분조절 압착-살균 부산물사료 임시대기-프리믹스-프리믹스사료 압송-발효-저장-선입선출 배출-계량 및 대기-공급의 순서의 공정을 포함하고 있다.
- KBFS-A 모델의 경우, 단독 부산물사료 발효저장 모델로서 TMR플랜트와 별도로 운영이 될 수 있다. 발효저장된 부산물사료는 베이스사료(원료) 형태로 농가에 공급되거나 기존 TMR 공장에 공급되어 조사료와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



<부산물사료 TMR 플랜트의 공정도(모델 KBFS-A)>



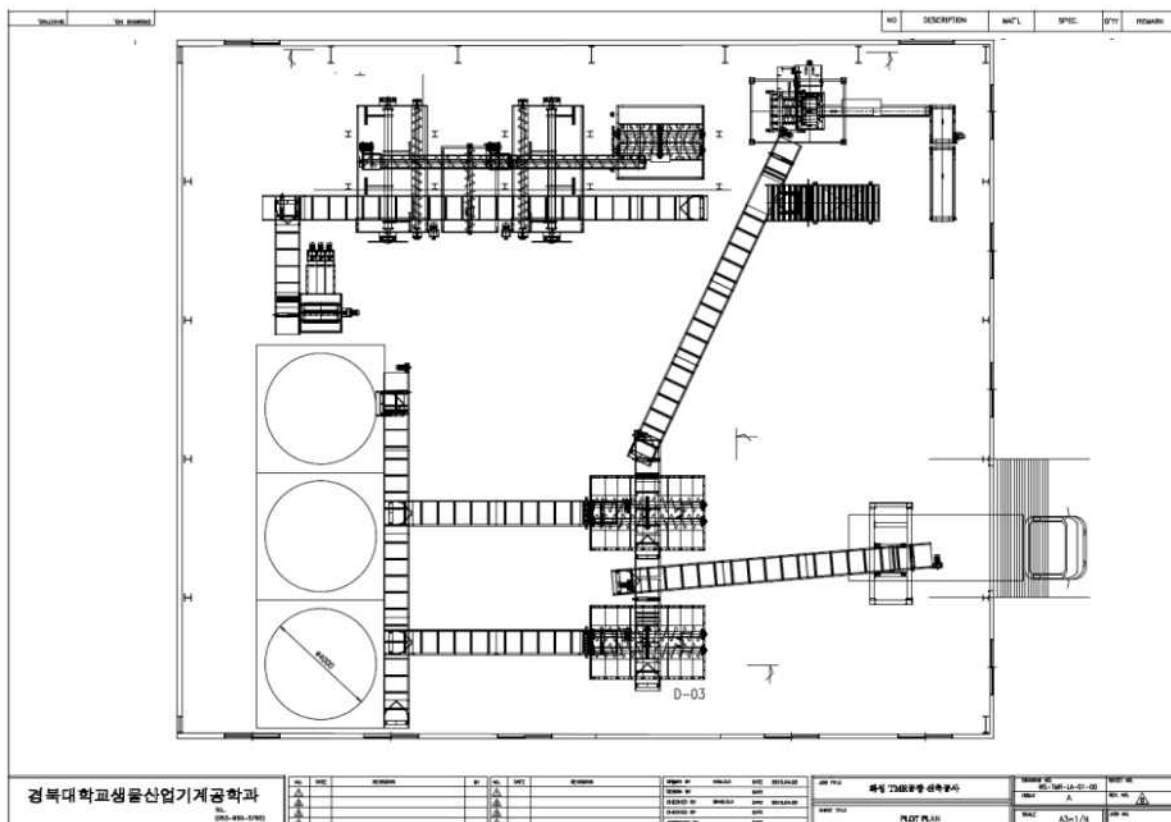
<부산물사료 TMR 플랜트의 공정도(모델 KBFS-B)>



<부산물사료 TMR 플랜트의 공정도(모델 KBFS-C)>

### 제3절 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 생산제품의 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.



<부산물사료 TMR 플랜트의 배치도(모델 KBFS-A)>

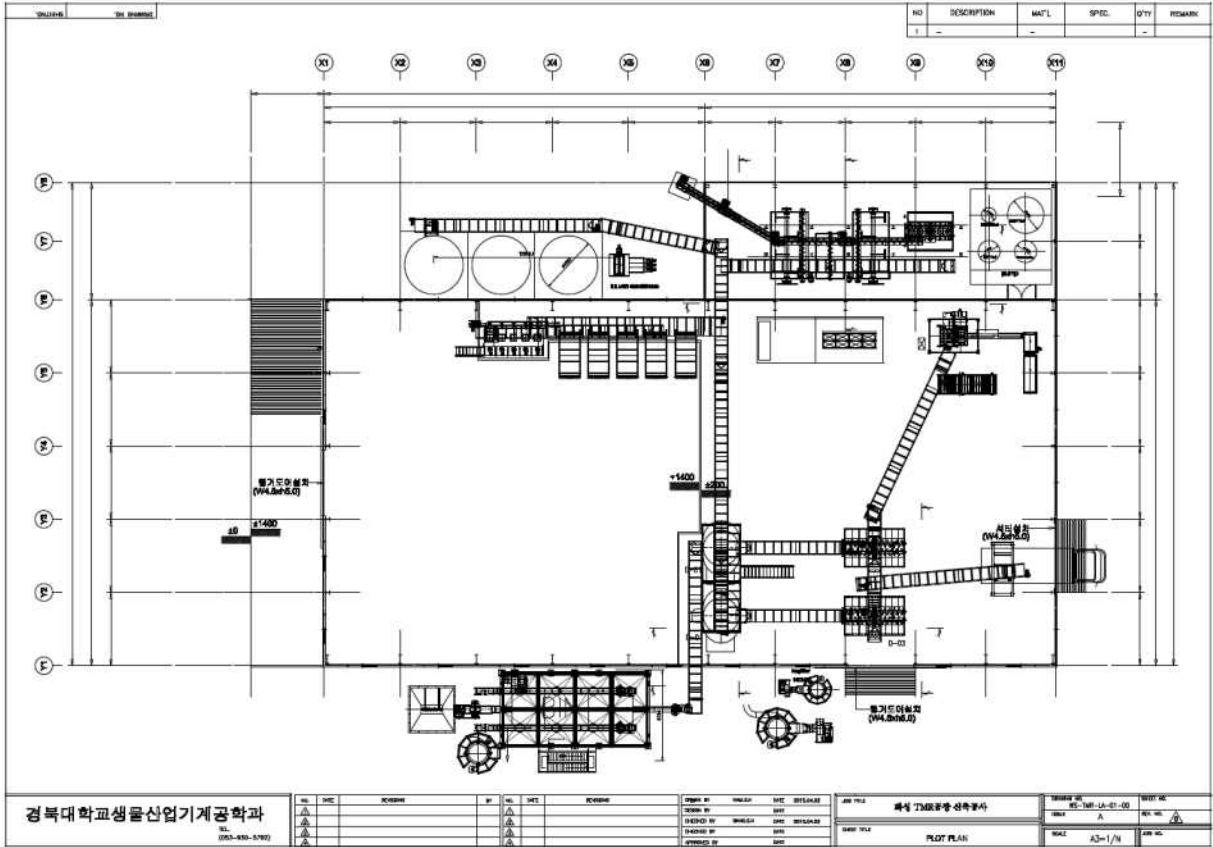


그림 17 부산물사료 TMR 플랜트의 배치도(모델 KBFS-B)

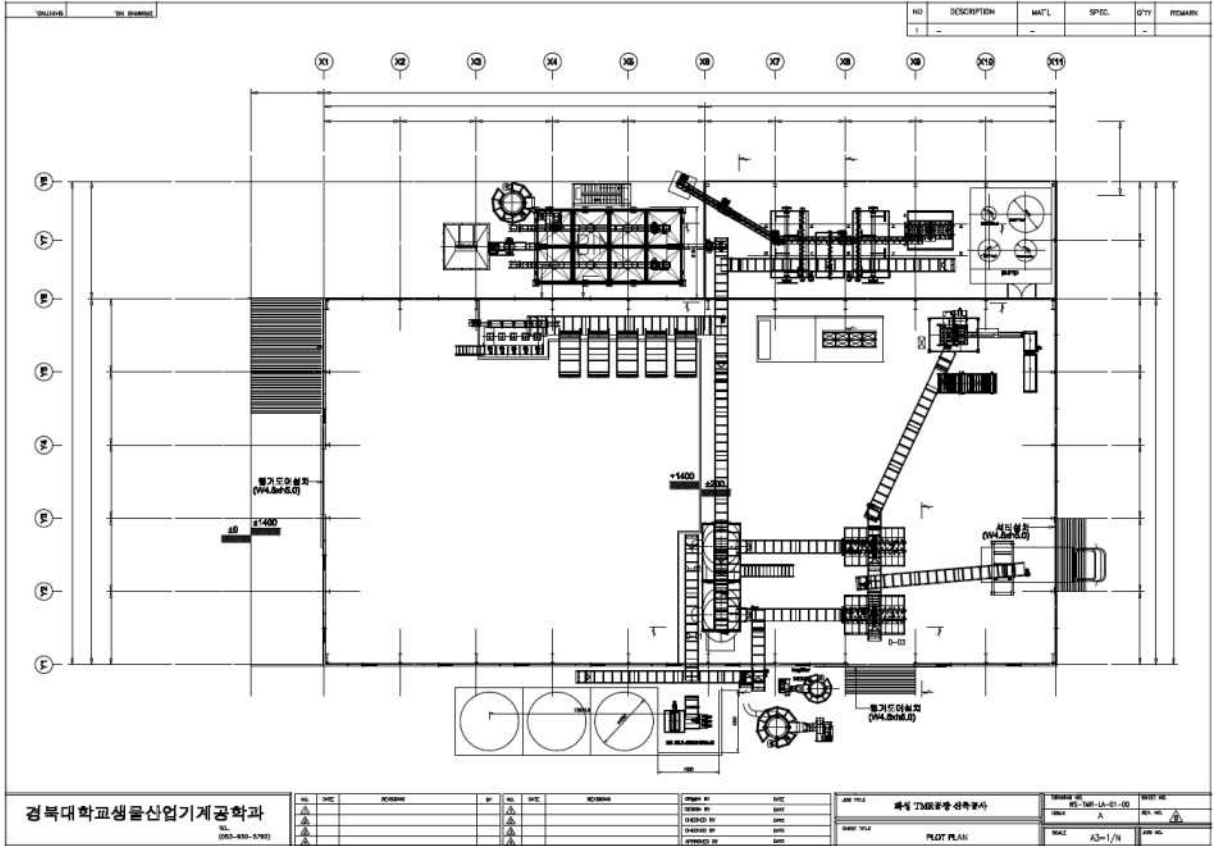


그림 17 부산물사료 TMR 플랜트의 배치도(모델 KBFS-C)

- 앞서 공정도에서와 같이 KBFS-A 모델의 경우, 발효저장된 부산물사료는 베이스사료(원료) 형태로 농가에 공급되거나 기존 TMR 공장에 공급되어 조사료와 부족한 곡류사료를 재투입하여 배합시키면 TMR사료로 완성되는 형태로 배치하였다. KBFS-B, KBFS-C 모델의 경우는 기존 TMR 플랜트에 적용이 가능한 모델이다. B 모델의 경우는 A모델과 같이 부산물사료를 혼합하고 발효저장된 것을 기존 배합기의 원료로 투입이 되도록 하는 배치하였다. 또는 베이스사료 형태로 농가에 공급될 수 있는 형태이다. KBFS-C 모델의 경우는 발효저장조를 마지막 공정에 배치한 경우로서, 부산물사료와 조사료, 곡류사료 등을 혼합한 TMR사료를 발효저장조에 투입하여 2~3일 간 발효 후 포장이 가능하도록 설계하였다.

#### 제4절 소요기계 제원 결정

일반적으로 배합기, 발효저장조 등의 가격이 매우 비싸기 때문에 규모화된 농가가 아니면 구입하기가 부담스럽다. 따라서 본 연구에서의 “TMR 플랜트용 부산물사료 발효저장 모델”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 농가용단위의 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 장치개발이 필요하다.
- 한우의 경우 부산물사료의 사용량을 약 50%로 사용한다고 가정하였고, 젖소는 부산물사용이 적기 때문에 KBFS-A, KBFS-B 모델보다는 KBFS-C모델을 이용하는 것이 바람직하다고 판단된다. KBFS-A-100 모델의 경우 TMR 생산량이 1일 100톤 기준일 때 저장조의 용량은 100m<sup>3</sup>(50톤)의 용량을 가지며, 발효저장시 2~3일 기준으로 발효가 된다면, 발효저장조는 3개정도가 필요할 것이다. 따라서 발효가 완료된 부산물사료는 1개의 발효저장조가 1일 생산에 필요한 원료로서 공급될 것이고, 나머지 발효저장조는 발

효 중에 있으며, 3개가 순환되면서 원료를 공급하면서 TMR 생산이 될 수 있도록 하는 구조이다.

<발효저장조의 모델별(KBFS-A, B) 제원>

모델	KBFS-A-100	KBFS-A-50	KBFS-A-10
	KBFS-B-100	KBFS-B-50	KBFS-B-10
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 (m <sup>3</sup> )	100 (50톤)	50 (25톤)	10 (5톤)
직경 (m)	4	3	2
높이 (m)	8	7	3.5

<발효저장조의 모델별(KBFS-C) 제원>

모델	KBFS-C-100	KBFS-C-50	KBFS-C-10
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 (m <sup>3</sup> )	250 (100톤)	125 (50톤)	25 (10톤)
직경 (m)	5.5	4	2.5
높이 (m)	11	10	6

2. 프리믹스 배합기의 용량

- 부산물 사료의 비중은 0.5 정도 매우 낮다. 표는 일반적인 TMR배합기의 용량을 나타내고 있는데 1회 배합 용량이 11m<sup>3</sup>이면 중량으로 환산하면 약 5톤이 되며, 배합주기가 20분이면, 1시간동안 발효저장조에 투입하는 양은 25톤 정도 되면 약 2시간이면 KBFS-A-100 모델에 투입을 할 수 있다. 배합용량이 커지면 발효조에 투입할 수 있는 시간을 절감할 수 있으며, 이는 모델에 따라서 달리 선정할 필요가 있다.
- TMR 플랜트에서 부산물 원료의 공급이 일정치 않거나, 한꺼번에 많은 물량이 들어온다면 배합기의 용량을 크게 하는 것도 바람직하다. 또한 프리믹스 배합기에 투입하기 위한 부산물사료 임시대기빈의 경우에는 한꺼번에 많은 물량을 받을 수 있는 저장조를 여러 개 설치하여 부산물사료의 안정적으로 공급하는 시스템의 설계도 고려해야 한다.



<프리믹스 배합기의 모델별 제원>

모델	Mixer-6	Mixer-11	Mixer-13	Mixer-16
배합기의 용량(m³)	6(3톤)	11(5톤)	13(6.5톤)	16(8톤)
길이(mm)	4440	5160	5790	6500
폭(mm)	2000	2140	2220	2280
높이(mm)	2270	2560	2720	2810
적용마력(Hp)	43	50	60	70

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, 모델 KBFS-C-100일 경우에는 차량으로 벌크상태로 반출하는 시스템도 겸용으로 사용할 수 있도록 하였다. 임시대기빈→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.

<기타 소요기기의 모델별 제원>

모델		KBFS-A-10	KBFS-B-50	KBFS-C-100
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→프리믹스배합기)	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

## 제4장 부산물사료 최적의 발효조건 구명

선행되었던 부산물사료의 발효조건 구명실험은 실험설계와 결과값 분석에 있어서 문제점이 없었지만 공시재료의 초기함수율 및 균주를 적정수준으로 일정하게 제어하지 못하여 다소 미흡하였다는 자체판단이 있었다. 이에 본 연구에서는 당초 계획 되어있는 전 발효공정 소요기계 설계 및 제작과 통합관리 시스템 구축의 연구에 앞서 추가적으로 함수율 및 균주를 일정수준으로 제어하는 전처리 과정을 거친 부산물사료의 최적의 발효조건을 구명하는 연구를 진행하였고 그 결과값을 발효저장조 설계 및 제작과 원격 모니터링 시스템 구축의 기초자료로 활용하였다. 또한 발효사료의 품질을 평가하기 위하여 발효사료 생산기간, 생산조건에 따른 발효 중 미생물의 프로파일을 실시하여 다양한 균주를 단독 또는 혼합 접종하여 선택배지를 통해 생균수를 확인하고, HPLC와 pH미터를 이용 발효사료 내 초산, 젖산, 에탄올, pH의 변화도 확인하였다.

### 제1절. 다구찌 기법을 활용한 발효저장실험

#### 1. 공시재료

- 공시재료는 안동과 경주에 위치한 각기 다른 TMF 공장에서 사용하는 서로 다른 형태의 혼합된 부산물인 TMF A(안동) 와 TMF G(경주)를 사용하였고 혼합된 초기함수율을 135℃-2시간-50g 오븐법을 이용하여 측정하였다

<부산물사료 발효조건 구명에 사용한 공시재료>

	TMF A	TMF G
1	면실박 (w.b. 7.4%)	주정박 (w.b. 79.2%)
2	옥수수전분박 (w.b. 21.8%)	버섯배지 (w.b. 47.0%)
3	두부박 (w.b. 79.7%)	두유박 (w.b. 78.5%)
4	미강 (w.b. 8.8%)	장유박 (w.b. 80.5%)
5	버섯배지 (w.b. 47.0%)	미강 (w.b. 8.8%)
6	팜박 (w.b. 11.5%)	소맥피 (w.b. 5.2%)
7	석회석 (w.b. 7.2%)	석회석 (w.b. 7.2%)



<부산물사료 초기함수율 측정>

## 2. 동결건조

- 발효에 있어 함수율의 차이는 발효기간 및 생산품의 품질에 영향을 끼친다. 부산물 사료는 대부분 높은 수준의 함수율로 이루어져 있으며 그 구성이 일정치 않아 혼합하였을 경우 함수율에 따른 발효조건을 구별하기가 힘들다. 이에 함수율 조절을 위하여 함수율이 낮은 부산물이나 조사료를 혼합할 경우 원재료의 구성비가 틀려져 사료의 영양학적 가치와 경제성이 변하는 단점이 있고 열풍이나 자연건조를 통하여 함수율을 조절할 경우 발효 실험전에 유해균이 활성화 되는 전발효 과정이 발생하여 발효조건 구별 실험에 있어 일정치 않은 결과 값을 나타내는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 수용액이나 다량의 수분을 함유한 재료를 동결시키고 감압(減壓)함으로써 얼음을 승화시켜 수분을 제거하여 건조물을 얻는 방법인 동결건조로 공시재료인 TMF A 와 TMF B를 -40℃로 96시간 전처리하여 일정 수준의 낮은 함수율로 만들었으며 이후 가수(加水)를 통하여 실험조건에 맞는 함수율로 공시재료를 후처리 하여 사용하였다.

<공시재료의 동결건조 전후 함수율>

함수율(w.b.%)	TMF A	TMF B
동결건조전	57.8%	62.4%
동결건조후	10.5%	11.2%



<동결건조기(PVTFD20R, ILSHIN, KOREA)>

- 식품부산물은 일정한 종류의 균을 보유하고 있으며 발효에 있어 집중되는 균주인 효모균, 고초균, 바실로스균과의 상호 작용을 통하여 순기능 및 역기능을 나타내며 이는 생산품의 품질이 일정치 않는 문제점으로 나타나며 초기에 보유하고 있는 유해균은 발효후에도 미량 존재하여 식품부산물의 TMR 활용에 있어 발효전 살균은 중요하지만 국내 대부분의 TMR 공장에서는 살균의 과정을 거치지 않으며 살균을 하는 일부분의 공장의 경우에도 스팀을 통한 살균으로 원재료의 함유율을 높여 발효품질에 영향을 끼치는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 식품부산물의 함유율에 영향을 끼치지 않으며 초기조건에 있어 동일한 균주로 발효조건구명 실험을 실시하기 위한 일환으로 UV 광선을 통하여 동결건조된 부산물사료 공시재료를 살균하였으며 전후 균 검사를 통하여 미생물의 유무를 판단하였다.



<UV를 통한 부산물사료의 살균>



- 살균실험은 공시재료인 TMF A 와 TMF G를 100g 씩 3분류로 나뉘어 UV를 통하여 총 3시간 살균하였으며 UV 살균 전후의 세균수 측정을 통하여 총균수를 계수하여 살균의 유무를 판단하였으며 이후 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 살레에 1ml씩 균일하게 뿌린 후 멸균스프레더를 사용하여 확산하였다. 제작된 27개의 살레를 37℃ 24시간 조건으로 인큐베이터에서 배양하였다.





<UV를 통한 부산물사료의 살균>

- 마킹펜을 사용하여 살레 뒷면에 총균수를 계수하였으며, 이후 균 개체수가 25~250 범위의 집단만 활용하여 세균농도를 계산하였다. g당 세균농도는 확산판법에 의한 희석 인자에 집단을 곱하여 계산하였다.



<UV를 통한 살균 전후의 균수 측정>



○ 총균수는 살균처리하지 않은 무처리는  $1.9 \times 10^5$  cfu/g로 나타났으며, UV를 적용한 처리균은 세균이 나타나지 않았다. 균의 종류는 주로 바실러스속으로 나타났으며, 이는 호기성 또는 혐기성으로 보통 널리 분포하는 종으로 알려져 있다.

<무처리구의 총균수 및 UV를 통한 살균후의 총균수>

Dilution	1	2	3
$10^{-1}$	++	++	++
$10^{-2}$	++	++	++
$10^{-3}$	198	196	177
$10^{-4}$	68	54	63
$10^{-5}$	9	3	12
$10^{-6}$	-	-	-
$10^{-7}$	-	-	-
$10^{-8}$	-	-	-
$10^{-9}$	-	-	-

- No growth, ++ Uncountable growth

Dilution	1	2	3
$10^{-1}$	-	-	-
$10^{-2}$	-	-	-
$10^{-3}$	-	-	-
$10^{-4}$	-	-	-
$10^{-5}$	-	-	-
$10^{-6}$	-	-	-
$10^{-7}$	-	-	-
$10^{-8}$	-	-	-
$10^{-9}$	-	-	-

- No growth, ++ Uncountable growth

### 3. 실험설계

- 실험설계에 의하여 온도, 밀도, 함수율, 발효시간의 3가지 제어인자별 각기 다른 9가지의 발효 실험을 소규모 밀폐저장조를 사용하여 3 반복하여 27개의 시료를 만들었으며 소규모 밀폐 저장조의 상층부(90%지점), 중앙부(50%지점), 하층부(10%지점)에서 5g씩 동일한 양을 혼합하여 15g의 샘플을 채취하였다.

<발효저장실험 제어인자 >

Factors	1	2	3
Temp.(°C)	20	40	60
M. C (%)	30	40	50
Density (kg/m <sup>3</sup> )	0.4	0.5	0.6
Time(h)	48	72	96



<발효조건에 따른 소규모 발효시험>

#### 4. 실험방법

- pH와 유기산 분석을 통한 품질검사를 위하여 소규모 밀폐저장조 실험으로 얻은 혼합 부산물 발효샘플을 용액상태로 추출하는 전처리를 실시 하였다 전처리 과정은 준비된 샘플 15g을 증류수 150ml와 섞어 진탕을 만들어 때때로 흔들어주며 24시간 경과시킨후 여과지(5A) 로 여과하여 추출액을 얻는 순서로 진행하였다. 이후, pH 의 측정은 얻어진 추출액 50ml를 pH Ferm Probe/Sensor (F635-B120-DH) 이용하여 측정하였고, 유기산분석은 고정도 필터를 이용하여 추출액을 한번더 여과하고 여과액 15를 HPLC(Shimadzu, Promience, Japan) 장비에 주사하여 용액 내에 존재하는 총유기산(구연산, 사과산, 젖산, 초산, 낙산)을 측정하였으며, 그 결과를 사일리지 품질감정법(Flieg and Zimmer, 1966)에 의거하여 품질점수로 산정하였다.



<발효조건에 따른 pH 및 유기산측정 따른 품질점수 산정>

## 5. 실험결과

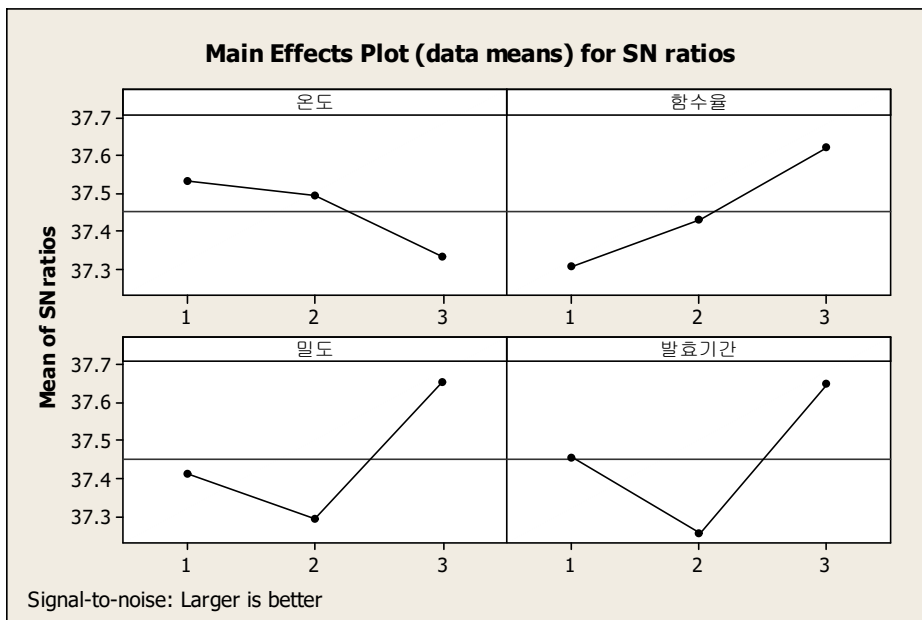
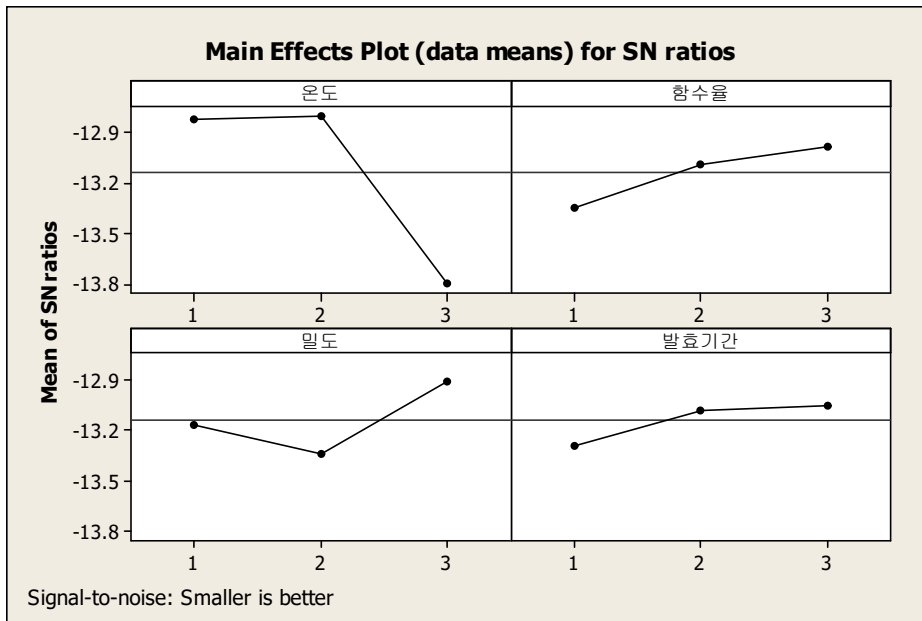
유기산은 HPLC(Shimadzu, Promience, Japan)을 이용하여 총유기산(구연산, 사과산, 젖산, 초산, 낙산)을 측정하였으며, condition은 다음과 같다. 유기산은 사일리지 품질감정법(Flieg and Zimmer, 1966)을 이용하여 품질점수를 산정하였다.

- Instrument : Waters Co. 600E model
- Column : PL Hi-Plex H size: ID, 7.7mm; length, 300mm
- Column temp: 65°C
- Mobile phase: 0.005M  $H_2SO_4$  in water
- Flow rate : 0.6 ml/min
- Sample injection vol: 20  $\mu\ell$
- Detector : Refractive Index Detector(RI, model 410)

### <품질점수 산정결과>

No.	Inner array				Outer array		$\bar{Y}$	SN ratio
	Temp.	M.C.	Density	Fermentation time	TMR A	TMR G		
1	1	1	1	1	4.51	4.64	4.58	-13.22
					77.3	70	73.65	37.34
2	1	2	2	2	4.51	4.33	4.42	-12.91
					72	72	72	37.15
3	1	3	3	3	4.19	4.09	4.14	-12.34
					78	82.7	80.35	38.10
4	2	1	2	3	4.32	4.73	4.53	-13.12
					78	70	74	37.38
5	2	2	3	1	4.27	4.33	4.30	-12.67
					78	75	76.5	37.67
6	2	3	1	2	4.26	4.27	4.27	-12.61
					80	68.7	74.35	37.43
7	3	1	3	2	4.68	5.02	4.85	-13.71
					74	70.7	72.35	37.19
8	3	2	1	3	4.82	4.84	4.83	-13.68
					72.7	76.7	74.7	37.47
9	3	3	2	1	4.89	5.13	5.01	-14.00
					70	77.3	73.65	37.34

- 제어인자의 조건에 따른 최적의 발효조건을 분석한 결과 온도 20℃ 함수율 50% 밀도 0.6kg/m<sup>3</sup> 발효기간 96시간인 3번째 조건에서 pH 평균 4.14 품질점수 평균 80.35점으로 가장 높게 나타났으며 교호작용을 고려하지 않은 각각의 제어인자가 발효품질에 미치는 영향을 Minitab (V10) 프로그램으로 분석한 결과 온도 > 밀도 > 함수율 > 발효기간순으로 중요도가 나타났다.



<제어인자별 발효품질에 미치는 영향분석(Minitab v10)>

## 제2절. 실험실 규모의 발효저장조를 사용한 재연성실험

### 1. 실험방법

- 구멍된 부산물사료의 발효조건에 따른 재현성 실험의 일환으로 원통형의 실험실용 발효저장조( $\phi 300 \times 400L$ )를 제작하여 부산물사료의 발효에 따른 pH, 온도, CO<sub>2</sub>, 의 변화를 각각의 센서로 측정 데이터로그로 연속적으로 수집하여 분석하였다.



<실험실용 발효저장조를 사용한 재연성 실험>

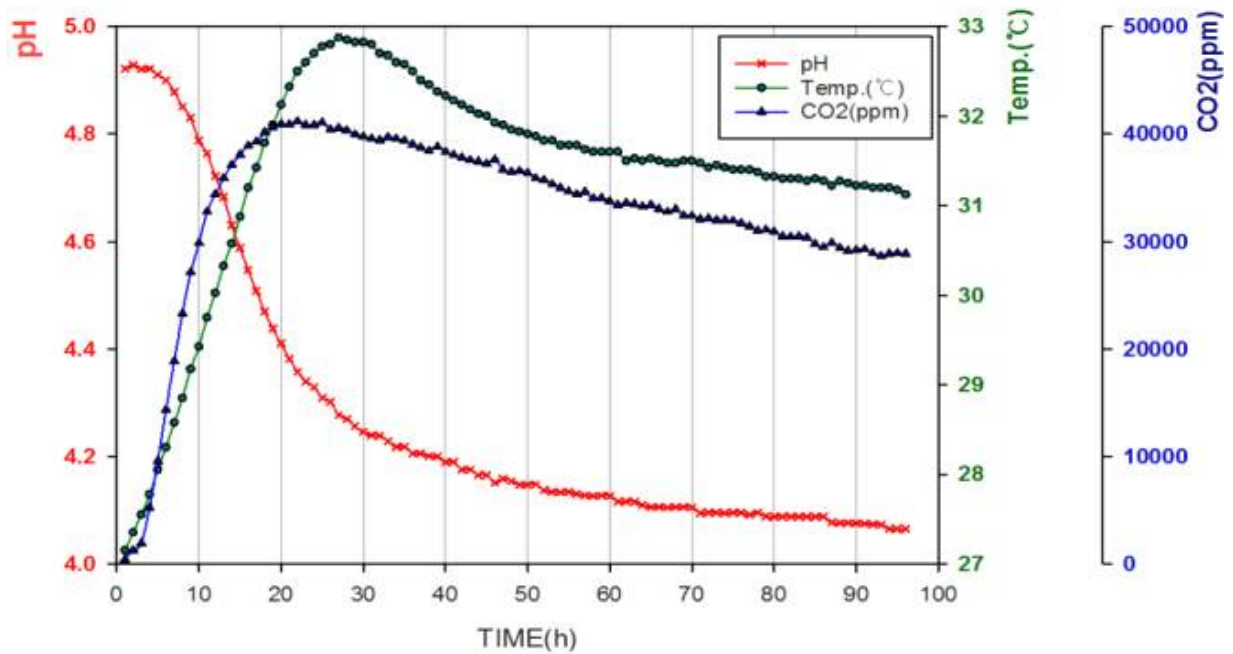


<실험실용 발효저장조 적용 센서사양>

Factor	Sensor
pH	FermProbe/F635BDH
Temp.(°C)	Sensys-tsrt 0100064
CO2	HITOX-IR600
Data logger	Graphtec-GL220

2. 실험결과

- 재연성 실험을 실시한 결과 초기 4.90의 값에서 급격한 경사를 이루며 낮아지던 pH 측정값은 36시간 지점에서 차츰 완만한 기울기로 수렴하였으며 84시간 지점에서 약4.00의 값으로 안정화 되는 것으로 나타났다. 또한 96시간 경과한 시점에서 샘플을 채취하여 사일리지 품질감정법(Flieg and Zimmer, 1966)에 의거하여 품질점수를 분석한 결과 유기산 총량 1.4930 대비하여 낙산(Butyric acid)은 검출되지 않았으며 젖산(Lactic acid)의 비율이 48.76 % 초산(Acetic acid)의 비율이 11.45 %로 총82점의 우수한 품질점수를 나타내었다



<온도, co2, pH 상태변화 그래프>



### 제3절 부산물사료 발효중 미생물 프로파일 분석

#### 1. 공시재료

가. 사용원료: 당밀 : 미강 : 소맥피 : 파쇄옥 (0.7 : 2 : 2: 2.7), 90℃, 15분간 처리

나. 사용 균주

가. Lab: 효모 (*S. cerevisiae*), 유산균 (*L. plantarum*), 고초균 (*B. subtilis*), 사료 무게의 0.5% 접종

나. Field: 현재 Field에서 사용 중인 효모, 유산균, 접종량도 현재 생산되는 조건으로 진행

다. 사용 배지

(1). YPD agar + Amp + Kan: 효모선택용 배지로 사용, 일반적인 영양배지에 항균제인 엠피실린과 카나마이신을 섞어서 사용, 배지조성: Yeast extract 10 g/L, Peptone 20 g/L, Agar 20 g/L, Ampicillin (100 ug/mL), Kanamycin (50 ug/mL)

(2). MRS agar + Sodium azide: 유산균선택용 배지로 사용, 일반적인 유산균 전용 배지에 항진균제인 Sodium azide를 섞어서 사용, 배지조성: MRS 55 g/L, Agar 2 g/L, Sodium azide 0.2 g/L

(3). MYP agar: 고초균 선택용 배지로 사용, 배지조성: MYP agar 43 g/L

#### 2. 실험방법

가. Lab: 온도 (20℃, 30℃, 40℃), 밀도 (0.7), 수분함량 (45%)

나. Field: 온도 (35℃), 밀도 (0.7), 수분함량 (45%)

다. 측정

(1). 총 10일간 발효, 샘플측정 7번 (0, 1, 2, 3, 5, 7, 10일), Lab, Field 동일

(2). 생균수: 모든 Sample (Lab, Field 포함), 선택배지 사용

(3). HPLC 측정: 모든 Sample, lactic acid, acetic acid, ethanol 측정

(4). pH 변화 측정: 모든 Sample

라.장비

(가). HPLC (고속 액체 크로마토그래피; High-performance liquid chromatography)

① Agilent Technologies 1260 Series, Santa Clara, CA, USA

② 분석한 성분 : 사료 내 초산(Acetate) 및 젖산(Lactate), 에탄올(Ethanol) 분석에 이용

③ 조건

○ Column : Rezex ROA-Organic Acid H+ (8%) coulmn(Phenomenex)

Inc.,Torrance, CA)

- Mobile phase : 0.005 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Flow rate : 0.6 mL/min
- Column temperature : 50 °C
- Detector : RI detector



< HPLC (Agilent Technologies 1260 Series, Santa Clara, CA, USA) >

(나). pH meter

- Mettler Toledo, S220 SevenCompact™ pH/Ion, Columbus, OH, USA
- 사료 내 pH 분석에 이용

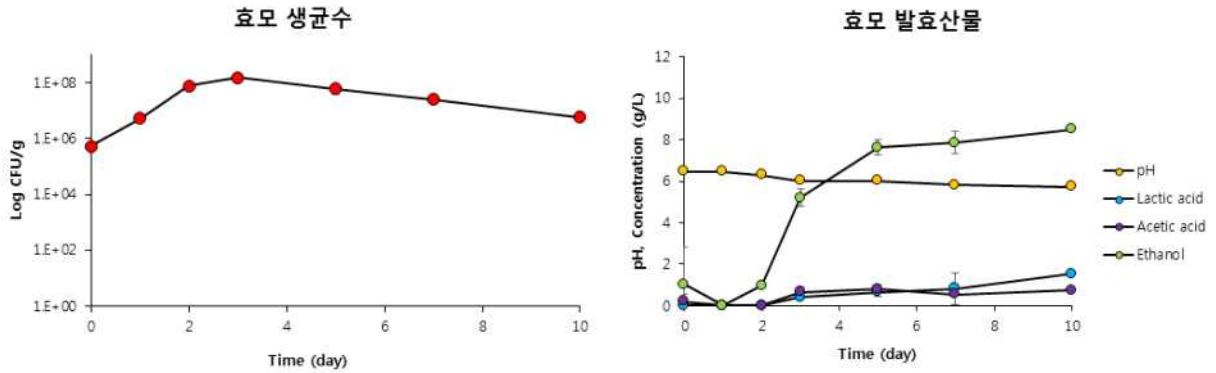


< pH meter >

### 3. 실험결과

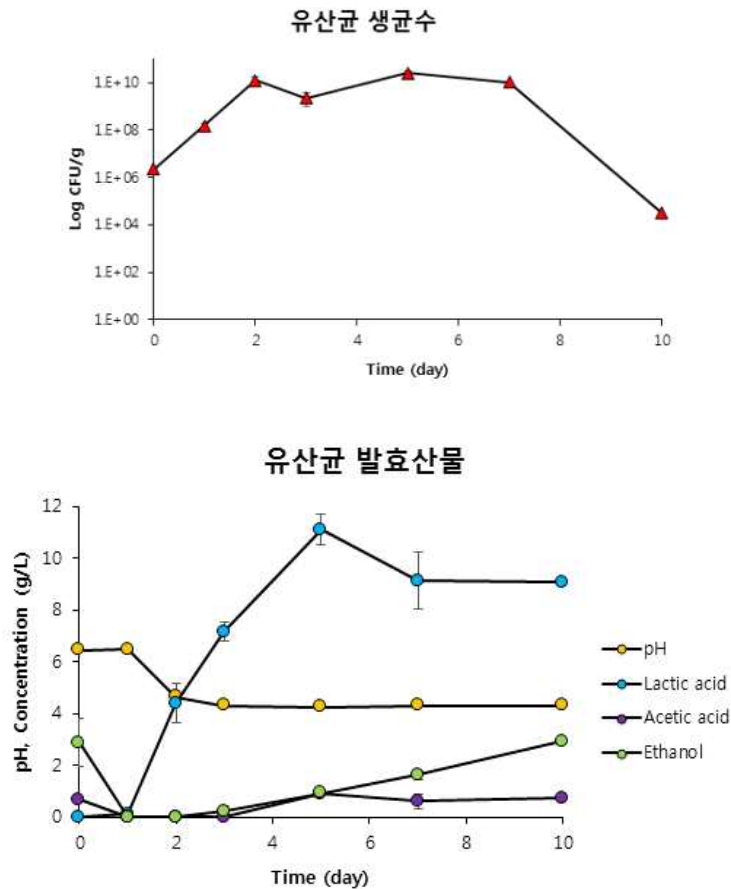
가. Lab

(1). 20°C, 효모 단독 배양



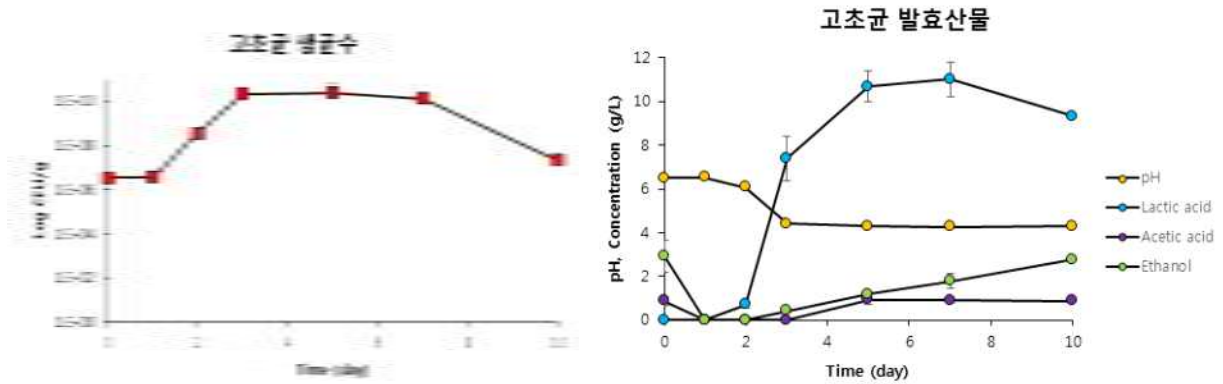
○ 20°C에서 효모만 단독배양한 경우, 생균수는 3일차까지 증가한 후 서서히 감소, 효모발효 시 생성되는 에탄올의 농도가 증가하는 모습을 보임.

(2). 20°C, 유산균 단독 배양



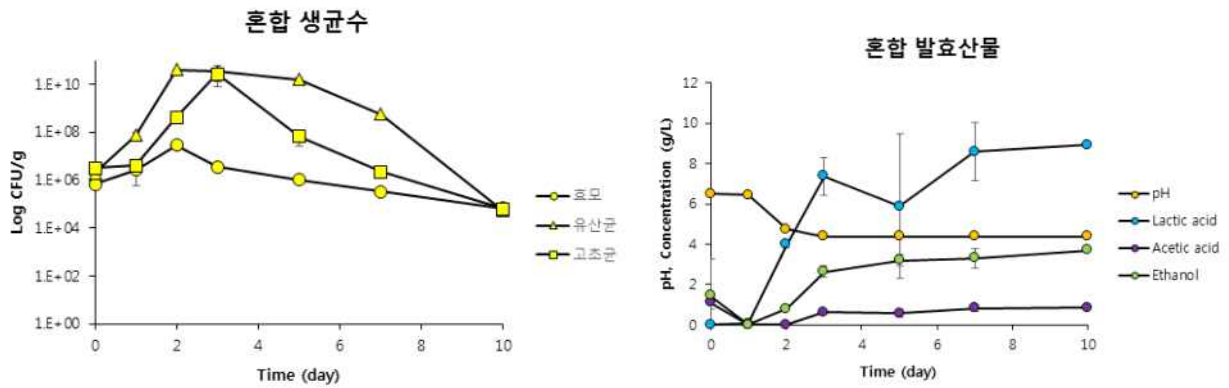
○ 20°C에서 유산균만 단독배양한 경우, 생균수는 2일차까지 증가 후 유지되다가 7일차 부터 감소하는 모습을 보임, 유산균 발효시 생성되는 젖산의 함량이 높아지는 것을 보임

(3). 20°C, 고초균 단독 배양



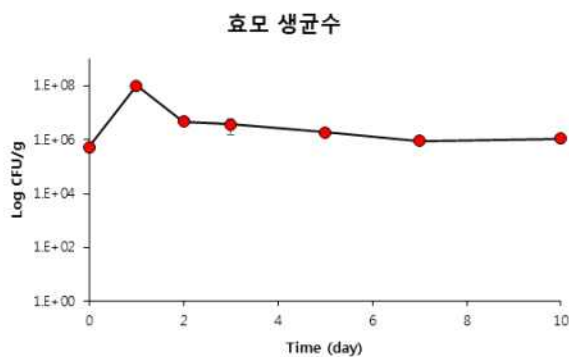
○ 20°C에서 고초균만 단독배양한 경우 생균수는 3일차까지 증가후 일정하게 유지됨, 젖산의 함량이 증가하는 것을 확인함

(4). 20°C, 혼합 배양

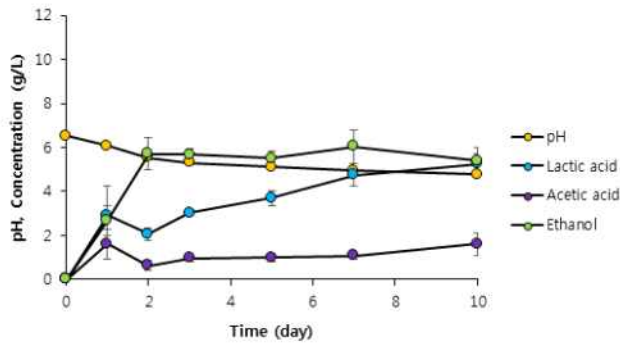


○ 각각 단독배양했을 때와 달리 전체적으로 생균수가 빨리 감소하는 모습을 보임, 젖산과 에탄올의 농도가 증가하는 모습을 보임.

(5). 30°C, 효모 단독 배양



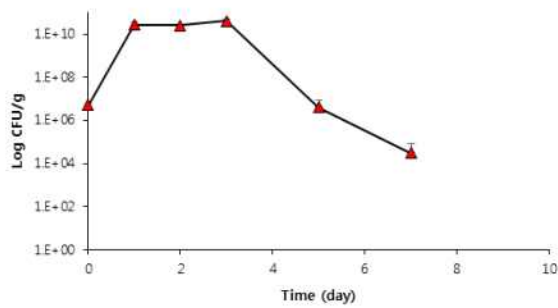
### 효모 발효산물



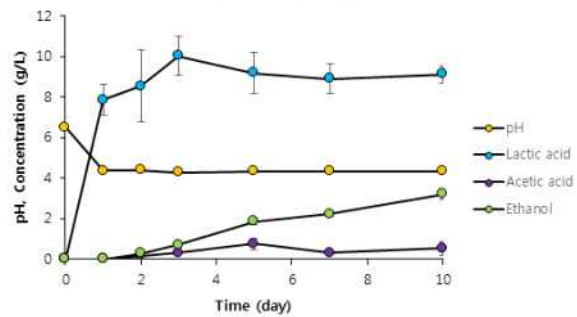
- 접종 초기 1일차에 생균수가 증가한 후 2일차부터 감소하여 일정한 수가 유지됨, 에탄올과 젖산의 함량이 증가하는 모습을 보임, 순수한 효모말고 사료시료에도 균이 섞여있을 것으로 판단.

### (6). 30°C, 유산균 단독 배양

#### 유산균 생균수



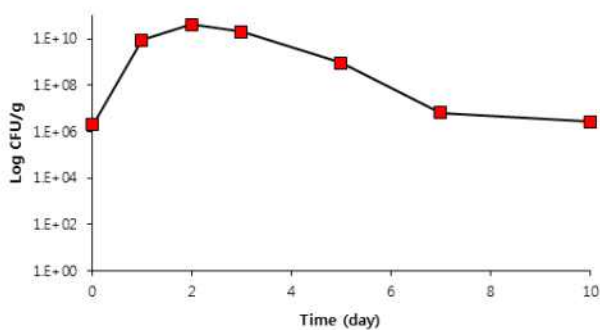
#### 유산균 발효산물



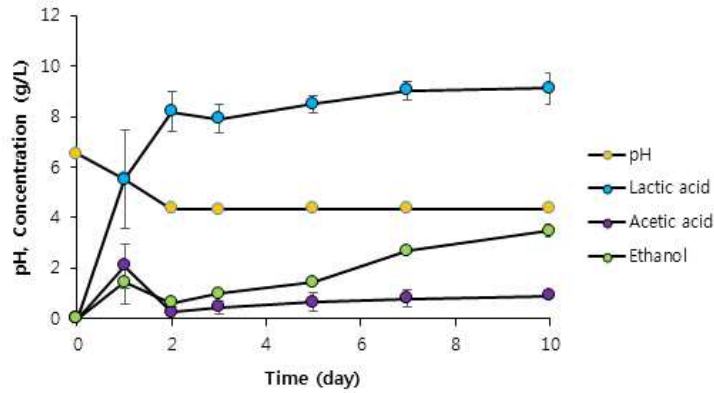
- 유산균의 경우 1일차에 급격히 증가한 후 일정기간 유지되다가 급격히 감소하여 10일차에는 검출되지 않음, 유산균 발효시 생성되는 젖산의 농도가 증가하는 모습을 보임.

### (7). 30°C, 고초균 단독 배양

#### 고초균 생균수



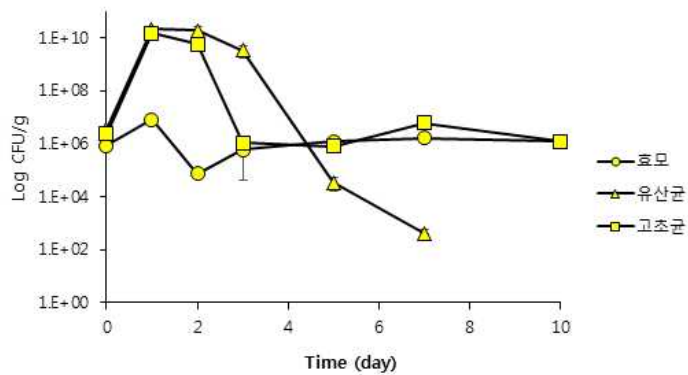
고초균 발효산물



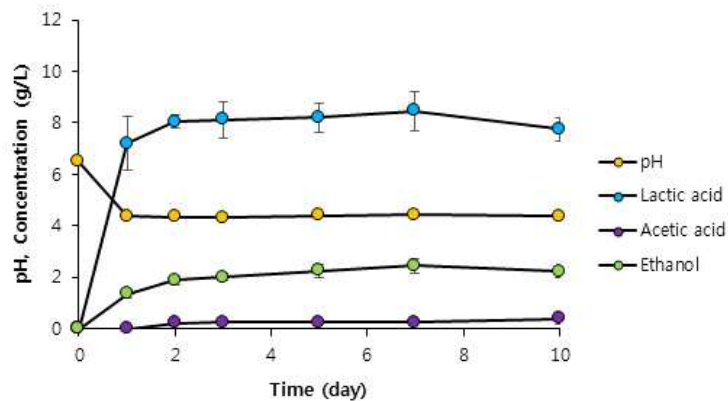
○ 고초균의 경우 2일차까지 균수가 증가한 후 이후 서서히 감소, 젖산의 량이 증가하는 모습을 보임

(8). 30°C, 혼합 배양

혼합 생균수

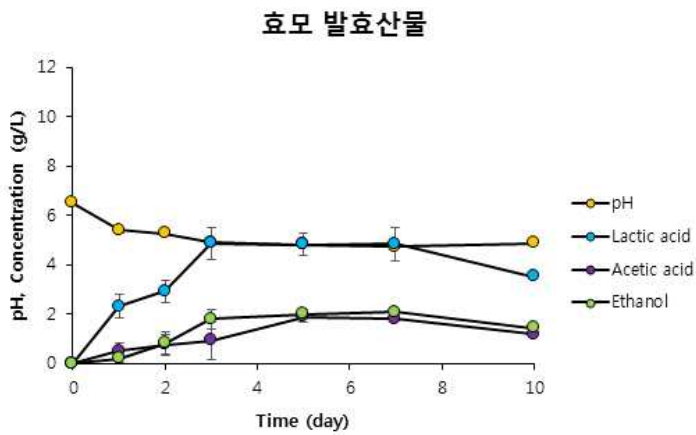
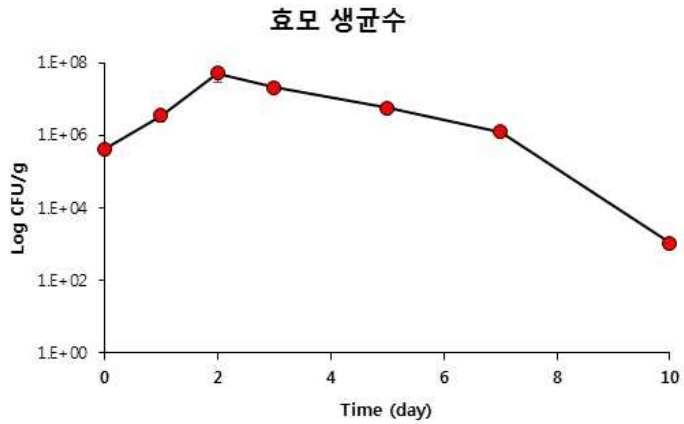


혼합 발효산물



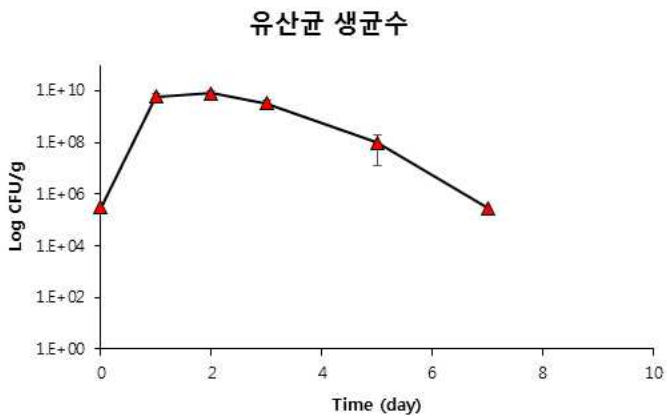
○ 전체적으로 단독배양했을 때와 비슷한 모습을 보임, 젖산과 에탄올의 농도가 증가하는 모습을 보이나, 에탄올은 효모단독배양 할 때 보다 양이 적음

(9). 40°C, 효모 단독 배양



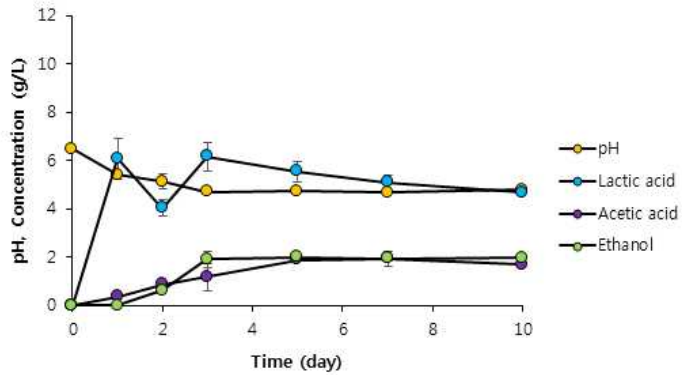
- 2일차까지 균수가 증가한 후 서서히 감소하는 모습을 보임. 젖산과 에탄올의 농도가 증가하는 모습을 보임, 다른 조건에 비해 에탄올의 농도가 낮는데 효모 뿐만 아니라 시료에 남아있는 다른 균주가 있을 것으로 추정됨

(10). 40°C, 유산균 단독 배양





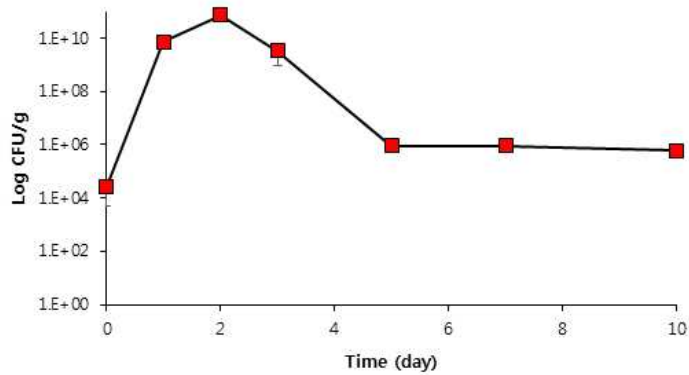
### 유산균 발효산물



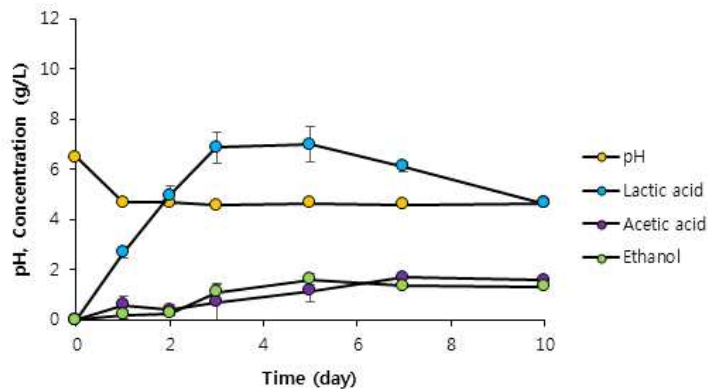
○ 1일차까지 균수가 급격히 증가 후 서서히 감소하여 10일차에는 검출되지 않음, 유산균 발효산물인 젖산의 농도가 증가하는 것을 보임.

(11). 40°C, 고초균 단독 배양

### 고초균 생균수

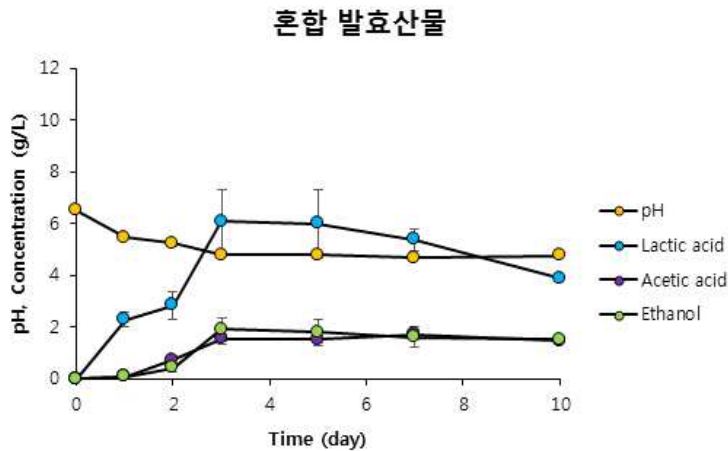
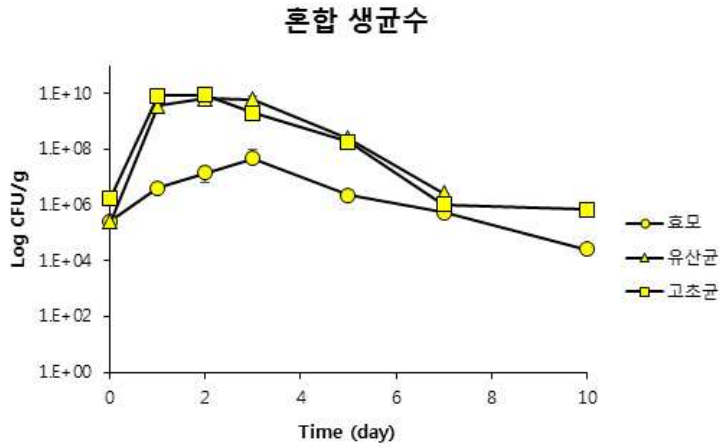


### 고초균 발효산물



○ 고초균의 경우 2일차까지 균수가 증가한 후 5일차까지 서서히 감소하여 일정한 수가 유지되는 모습을 보임, 젖산의 농도가 증가하는 모습을 보임.

(12). 40°C, 혼합 배양



○ 생균수는 각각 단독배양할 때와 유사한 모습을 보임, 젖산과 에탄올의 농도가 증가하는 모습을 보이고, 다른 온도와 다르게 초산의 농도가 높음.

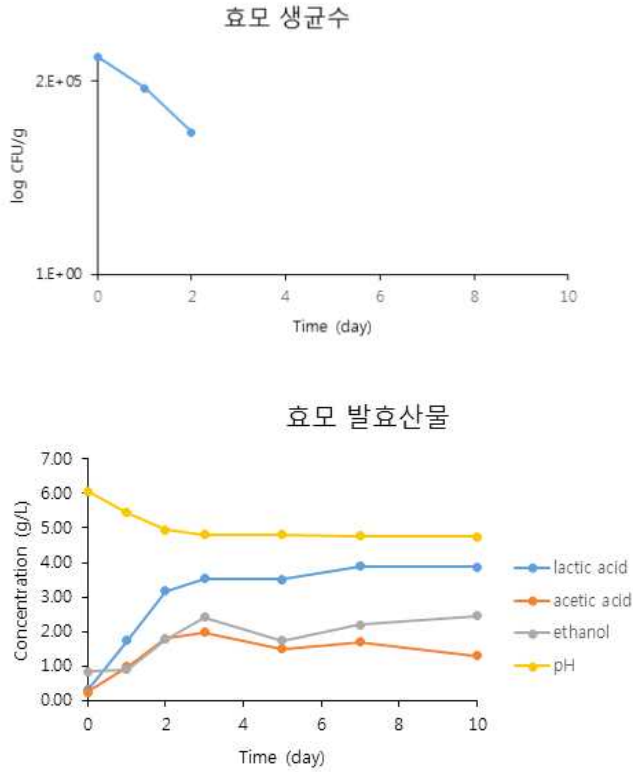
(13). 요약

- (가) 발효온도에 따라 균주의 생육패턴이 다른 모습을 확인함
- (나) 단독배양과 혼합배양에서 생균수의 패턴은 어느 정도 차이가 있음
- (다) pH는 생균수의 증가에 반비례하는 모습을 보임
- (라) 특정 생균수가 증가하면 그 균주가 생성하는 물질이 증가함, 그 외 물질은 큰 변화없음
- (마) 따라서 효율적인 발효사료 생산을 위해서는 발효온도와 균주에 따른 최적조건 확립이 필요하다고 판단됨, 3일 이후로는 생균수나, 발효산물의 큰 변화가 없거나 감소하므로 발효기간은 3일 정도가 적당하다고 판단됨. 균주가 생산하는 특정 물질의 농도를 가지고도 발효 여부를 어느 정도 확인 할 수 있다고

생각됨.

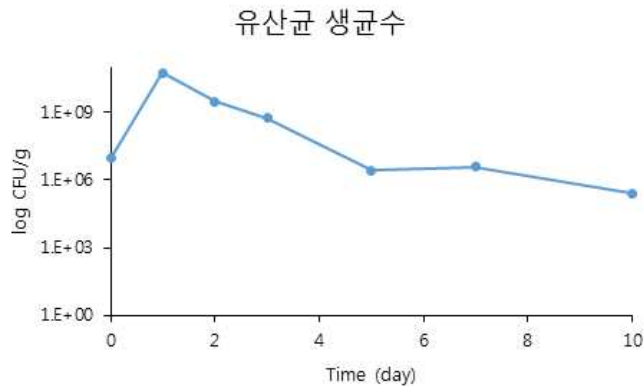
## 나. Field

### (1). 효모

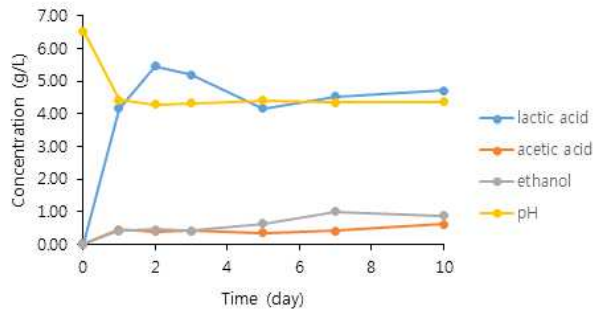


- 2일차부터 생균수가 검출되지 않음, 이는 내부압력으로인해 내부 온도가 효모의 적정생육온도를 넘어갔기 때문이라고 생각됨. 발효산물은 젖산, 에탄올, 초산이 모두 증가하는 모습을 보임, 이는 살균되지 않은 시료로 발효를 진행하였기 때문이라고 판단됨

### (2). 유산균



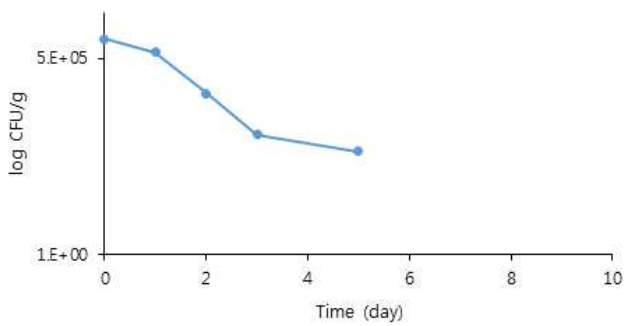
유산균 발효산물



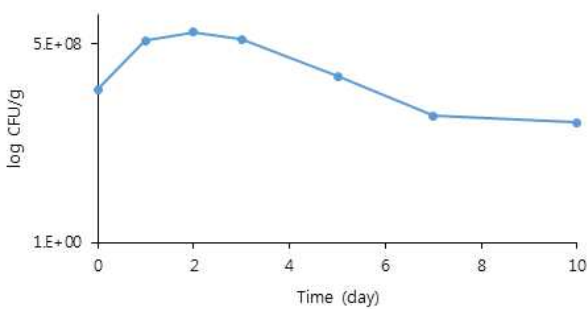
○ 1일차에 생균수가 증가하였다가 서서히 감소하는 모습을 보임, 유산균 발효산물인 젖산의 농도가 증가하는 모습을 보임.

(3). 효모, 유산균 혼합발효

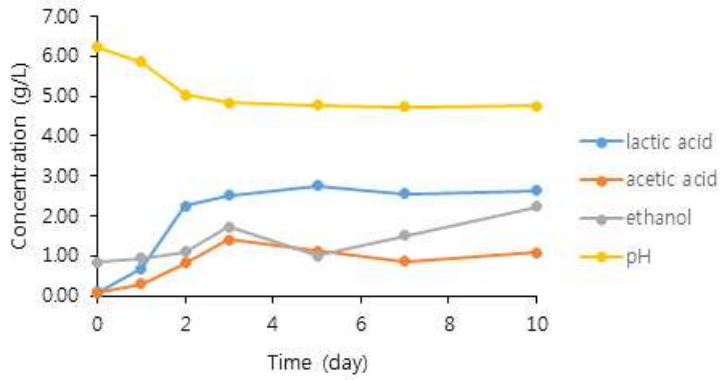
혼합 효모 생균수



혼합 유산균 생균수



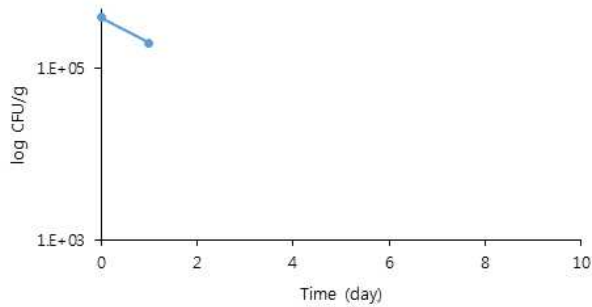
### 혼합 발효산물



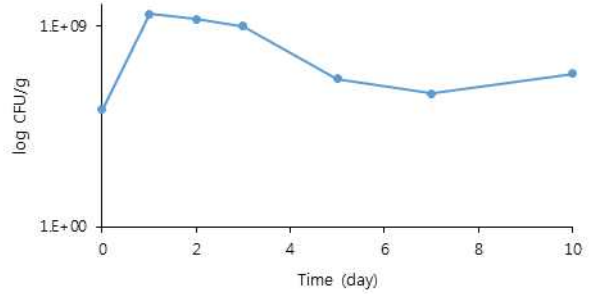
- 효모의 경우 단독배양과 다르게 5일차까지 생균이 검출됨, 그 이후로 검출되지 않음, 유산균은 2일차까지 증가하다가 감소하는 모습을 보임. 젖산과 에탄올의 농도가 증가하는 모습을 확인함

#### (4). EM 발효

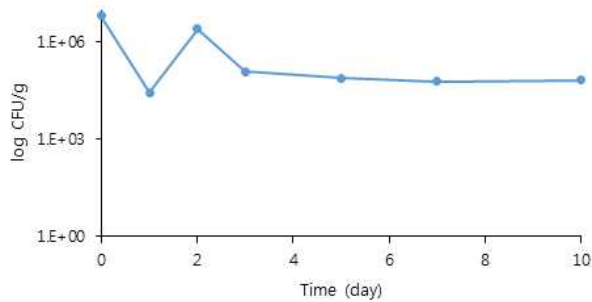
EM 효모 생균수



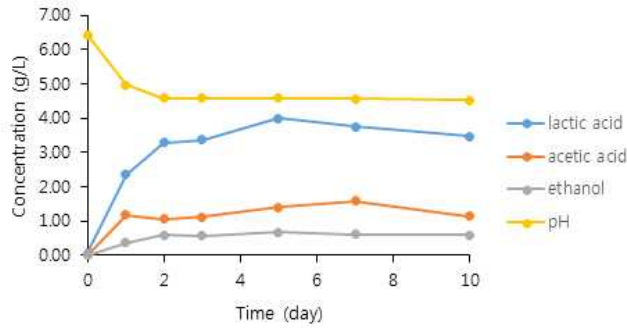
EM 유산균 생균수



EM 고초균 생균수



EM 발효산물



- 효모의 경우 1일차 이후로 검출되지 않음, 유산균은 1일차에 증가한 후 이후 서서히 감소하는 모습을 보임, 고초균의 경우 거의 일정한 수가 유지됨, 발효한물의 경우 젖산이 증가하는 모습을 보임, 효모의 생육이 저해된 것으로 판단되는데 에탄올 생성량 또한 거의 생성되지 않음. 이는 효모의 적정생육온도가 유산균이나 고초균 보다 낮기 때문에 생육이 저해되었다고 판단됨.

(5). 요약

- (가) Lab scale과 다르게 Field에서는 시료를 살균하지 않고 실험하였기 때문에 다른 균들이 성장하였을 것으로 추정됨
- (나) 효모의 경우 적정생육온도보다 발효시료내의 온도가 높아 사멸하였을 것으로 추정되며, 유산균과 고초균은 효모보다 고온에서 생육이 가능하므로 생균수가 검출된 것으로 판단됨
- (다) Lab과 마찬가지로 3일차 이후로는 큰 변화가 없거나 오히려 감소하는 모습이 확인되는 것으로 보아 발효기간은 3일 이내가 적당한 것으로 판단됨

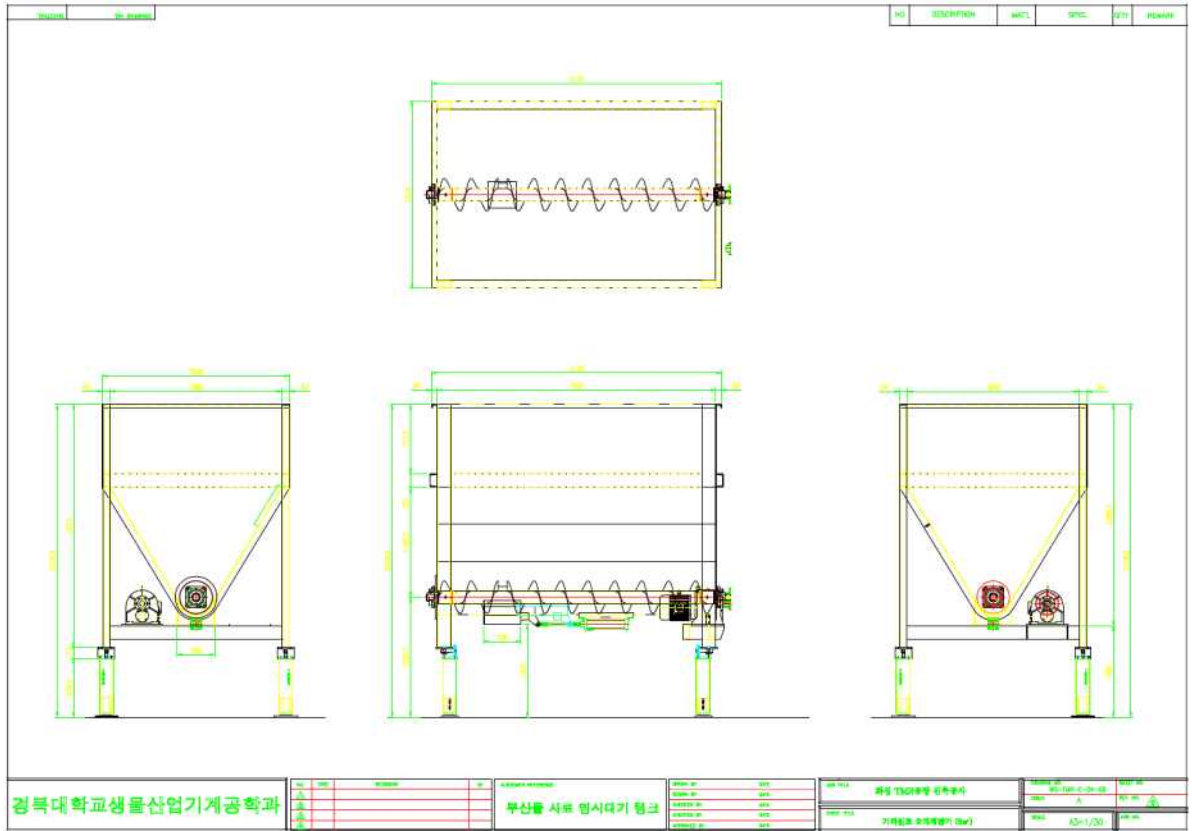
## 제5장 부산물사료 소요기계 설계 및 제작

본 장에서는 부산물사료의 발효전처리 구간의 단위기계인 반입 및 임시대기 저장시스템을 설계 및 제작하였고 살균 시스템, 수분조절압착, 프리믹스 시스템 및 부산물 발효저장조 버켓엘레베이터 브리딩백을 설계 및 제작하였다.

### 제1절 부산물사료 반입, 임시대기 및 저장 시스템 설계 및 제작

- 부산물 사료란 농산물 또는 식품의 제조 과정에서 나오는 강피류, 박류 등 가축의 사료로 이용될 수 있는 2차 산물을 의미하며, 발효 미생물에 의한 맥주박, 맥아박, 장유박 등과, 비발효에 의한 전분박, 감귤박, 사과박, 두부박, 버섯배지, 미강, 맥강 등이 있다. 부산물 사료 공급부는 건식 부산물 사료 공급부와 습식 부산물 사료 공급부를 포함한다. 건식 부산물 사료 공급부는 상기 부산물 사료 중 수분을 함유하지 않는 건조한 부산물 사료, 특히 가루 형태의 부산물 사료를 계량하여 후술하는 혼합부로 공급하는 역할을 한다. 습식 부산물 사료 공급부는 상기 부산물 사료 중 수분 함유량이 높은 부산물 사료를 계량하여 혼합부로 공급하는 역할을 한다. 이러한 부산물 사료 공급부는 혼합부에 의해 혼합되는 혼합 사료가 발효에 적절한 수분 함량인 30~40%의 수분 함량을 가지는 혼합 사료를 생성할 수 있도록 건식 부산물 사료 공급부와 습식 부산물 사료 공급부를 통해 건조한 부산물 사료와 수분 함량이 많은 부산물 사료를 적절하게 계량하여 혼합부로 공급하도록 하였다. 이로 인해 습식 부산물 사료 공급부로 공급되는 습식 부산물 사료의 수분을 제거하기 위한 별도의 작업 공정 및 장치가 요구되지 않아 생산성이 향상될 뿐 아니라 생산 비용을 절감할 수 있게 되는 공정으로 시스템의 사양은 시간당 5톤의 부산물 사료를 처리할 수 있는 용량으로 크기(W\*L\*H) 2800mm\*630mm\*700mm이고, 0.75kw, 4P, 1/20 감속비의 기어드모터의 주축이 분당 87회전하며 스크류컨베어를 구동시켜 계량된 부산물사료를 혼합부로 공급하는 형태이다.





<건식 부산물사료 임시대기 및 저장시스템 도면>

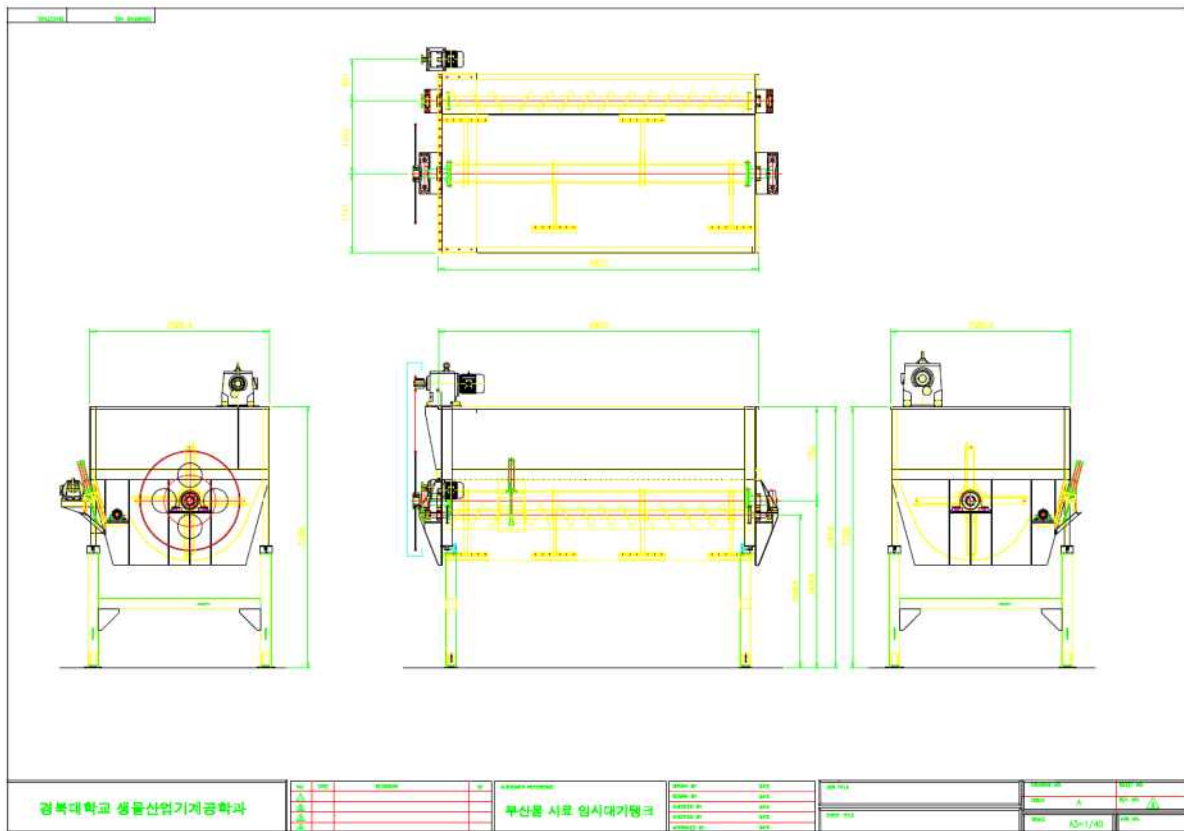


<제작된 건식 부산물사료 임시대기 및 저장 장치>

**<부산물사료 임시대기 및 저장시스템 제원>**

제원	반입 및 임시대기 저장시스템
용량	5 ton/h
구동 및 전력	0.75 kw x 4 P x 1/20
구동축(SHAFT) 회전속도	87 rpm
크기(W*L*H)	2800mm*630mm*700mm

- 또한 습사료 부산물의 경우는 빠른 시간에 교반할 수 있는 장점이 있는 릴(Reel)형 배합기를 사용하였다. 윗부분이 열려 있으며, 믹서내부에 대형의 알레(Reel)가 1개 있고, 작은 오거가 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 빠르고, 단지 임시대기빈의 역할을 하기 때문에 충분히 혼합부에 부산물사료를 공급할 수 있는 장점이 있다.



**<습식 부산물사료 임시대기 및 저장시스템 도면>**



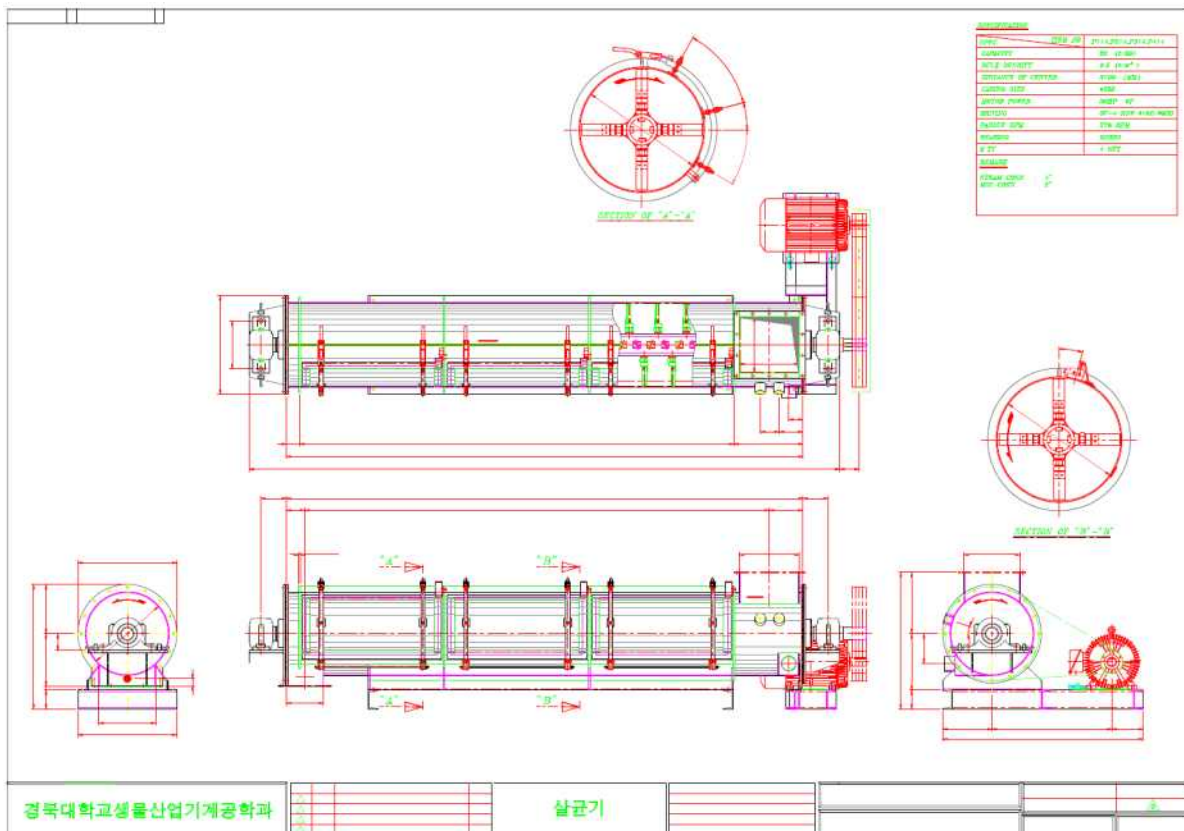
<제작된 습식 부산물사료 임시대기 및 저장 장치>

## 제2절 부산물사료 살균 시스템 설계 및 제작

- 수분 함량이 많은 습식 부산물 사료는 운반과 저장 과정에서 변질 또는 병원균에 오염될 우려가 있으므로 습식 부산물 사료 공급부와 혼합부 간에 살균부를 더 구비하는 것이 바람직하다. 살균부는 습식 부산물 사료 공급부로부터 후술하는 혼합부로 공급되는 습식 부산물 사료를 살균하기 위한 것으로서, 호퍼, 이송관, 노즐 및 스팀 공급기를 포함한다. 호퍼는 습식 부산물 사료 공급부로부터 공급되는 습식 부산물 사료를 저장 및 배출하는 역할을 한다. 이송관은 내부에 이송 스크류가 설치되고, 호퍼로부터 배출되는 습식 부산물을 일방향으로 이송하는 역할을 한다. 노즐은 이송관의 내면 일측에 습식 부산물 사료의 이송 경로를 따라 복수개가 설치되고, 이송관을 통해 이송되는 습식 부산물 사료에 고온 고압의 스팀을 분사하는 역할을 한다. 스팀 공급기는 복수개의 노즐로 고온 고압의 스팀을 공급하는 역할을 한다. 위와 같이, 일방향으로 이송되는 습식 부산물에 고온 고압의 스팀을 분사하여 연속적으로 살균함으로써, 습식 부산물을 보다 확실하게 살균할 수 있는 구조로서 시간당 20톤의 부산물 사료를 처리할 수 있는 용량에 크기(W\*L\*H)는660mm\*4000mm\*830mm 이며 30 마력 6P모터가 Ø150 폴리형식으로 Ø630 구동축에 벨트로 연결되어 있으며, 구동축은 분당 276 회전하는 제품사양으로 4 인치의 스팀공급라인으로 고온고압스팀이 부산물에 분사되는 구조이다.

<부산물사료 살균시스템 제원>

제원	부산물 사료 살균시스템
용량	20 ton/h
구동 및 전력	30HP*6P, 5V- 4 ROW, Ø150(모터)/Ø630(폴리)
구동축(SHAFT) 회전속도	276 rpm
크기(W*L*H)	660mm*4000mm*830mm
스팀라인	4 inch



<부산물사료 살균시스템 도면>



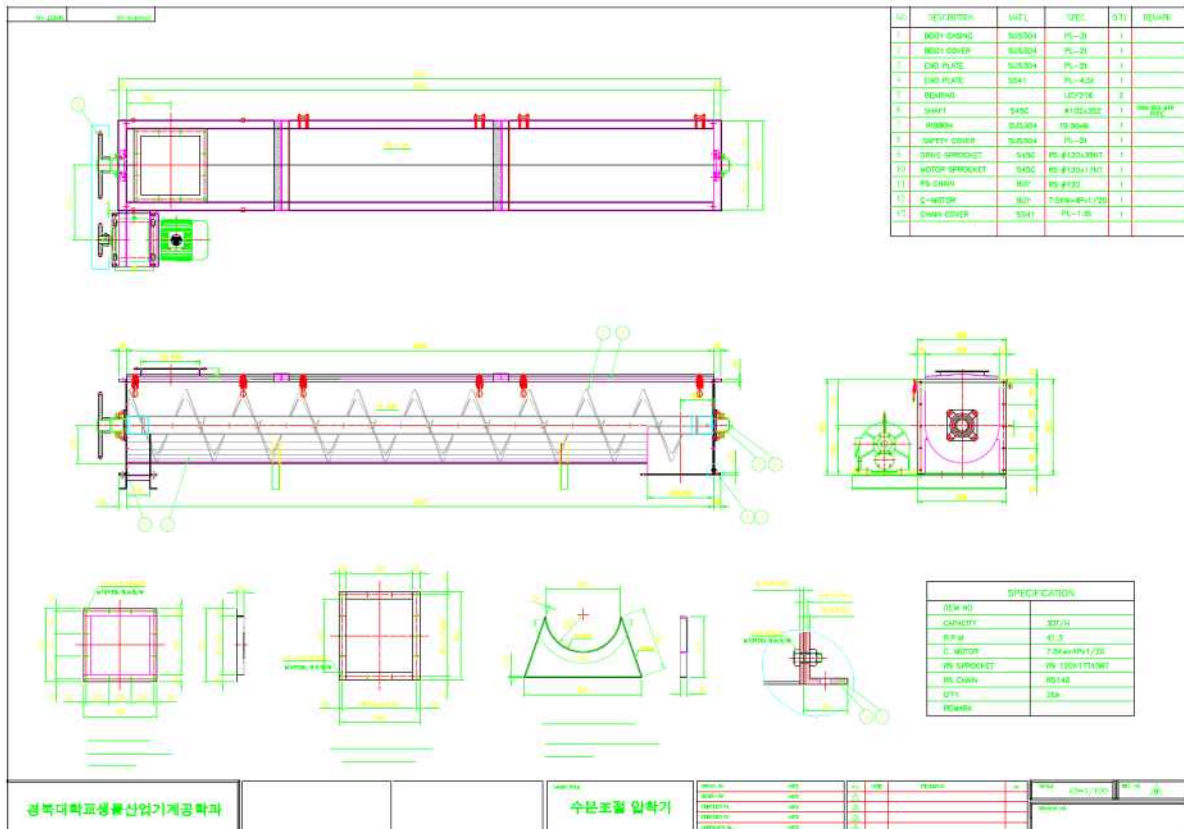
<제작된 부산물사료 살균시스템>

### 제3절 부산물사료 수분조절 압착 시스템 설계 및 제작

- 고온 고압의 스팀으로 살균처리된 습식부산물 사료는 스팀으로 인하여 부산물의 함유율 및 산물밀도가 높아졌으며, 이런 형태의 습식부산물 사료는 후속 공정으로 진행될 수록 수분의 질량으로 인하여 기계장치에 부하를 줄 수 있고, 무엇보다 품위가 높은 발효 TMR 사료를 생산하는데 부정적인 영향을 주기에 살균된 습식 부산물 사료의 함유율은 조정되어야 한다. 이에 습식 부산물 살균시스템 후단에 600mm \* 4100mm \* 650mm 크기(W\*L\*H)의 시간당 30톤의 용량을 처리할수 있는 수분조절 압착시스템을 설치하여 7.5kw x 4p x 1/20 의 기어드모터가 RS #120번 체인연결 방식으로 모터축과 구동부의 17NT : 36NT 의 기어비로 분당 41.3의 회전속도로 구동축을 회전시켜 구동축에 부착된 스크류가 살균된 습식 부산물을 압착하는 방식으로 수분을 배출시켜 조절토록 하였다.

<부산물사료 수분조절 압착시스템 제원>

제원	부산물 사료 수분조절 압착 시스템
용량	30 ton/h
구동 및 전력	7.5 kw x 4p x 1/20 RS # 120X36NT(구동스프로킷) RS # 120X17NT(모터스프로킷)
구동축(SHAFT) 회전속도	41.3 rpm
크기(W*L*H)	600mm*4100mm*650mm



<부산물사료 수분조절 압착시스템 도면>





<제작된 부산물사료 수분조절 압착시스템>

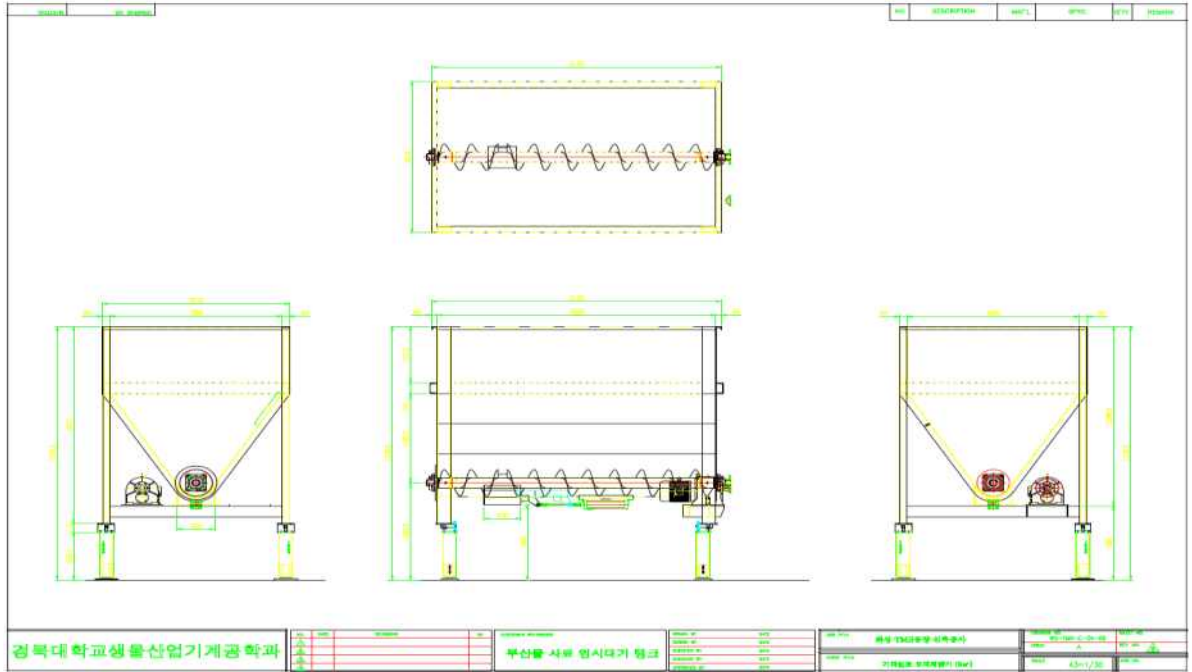
#### 제4절 살균 부산물사료 임시대기 시스템 설계 및 제작

- 살균 및 수분조절 압착처리를 거친 부산물 사료는 압착처리과정에서 덩어리형태로 뭉쳐져 있어 분말 형태의 건식 부산물사료와 혼합함에 있어 균일도에 의한 문제점으로 배합성이 저하된다. 이에 살균 및 수분조절 압착처리를 거친 습식부산물 사료를 프리믹스에 바로 투입하지 않고 임시대기 시스템을 거치도록 하여 임시대기 시스템에서 덩어리진 습식 부산물 사료를 균일한 형태의 사료형태로 분해하며 함수율을 조절한 후 프리믹스에 투입되도록 살균 부산물사료 임시대기 시스템을 설계 및 제작하였으며, 그 크기(W\*L\*H)는 습식 부산물의 수분조절 압착처리 후의 산물밀도를 고려하여 3100mm \* 2000mm \* 2400mm 로 하였으며 배치 당 5톤의 처리용량으로 분당 30회 회전하여 구동축을 회전시켜 스크류를 통하여 임시대기중인 부산물 사료가 배출되어 프리믹스 시스템으로 공급 되도록 제작하였다.

<부산물사료 임시대기 시스템 제원>

제원	부산물 사료 임시대기 시스템
용량	5 ton/ batch
구동 및 전력	0.75kw x 4p x 1/20
구동축(SHAFT) 회전속도	30rpm
크기(W*L*H)	3100mm*2000mm*2400mm





<부산물사료 임시대기 시스템 도면>



<제작된 부산물사료 임시대기 시스템>

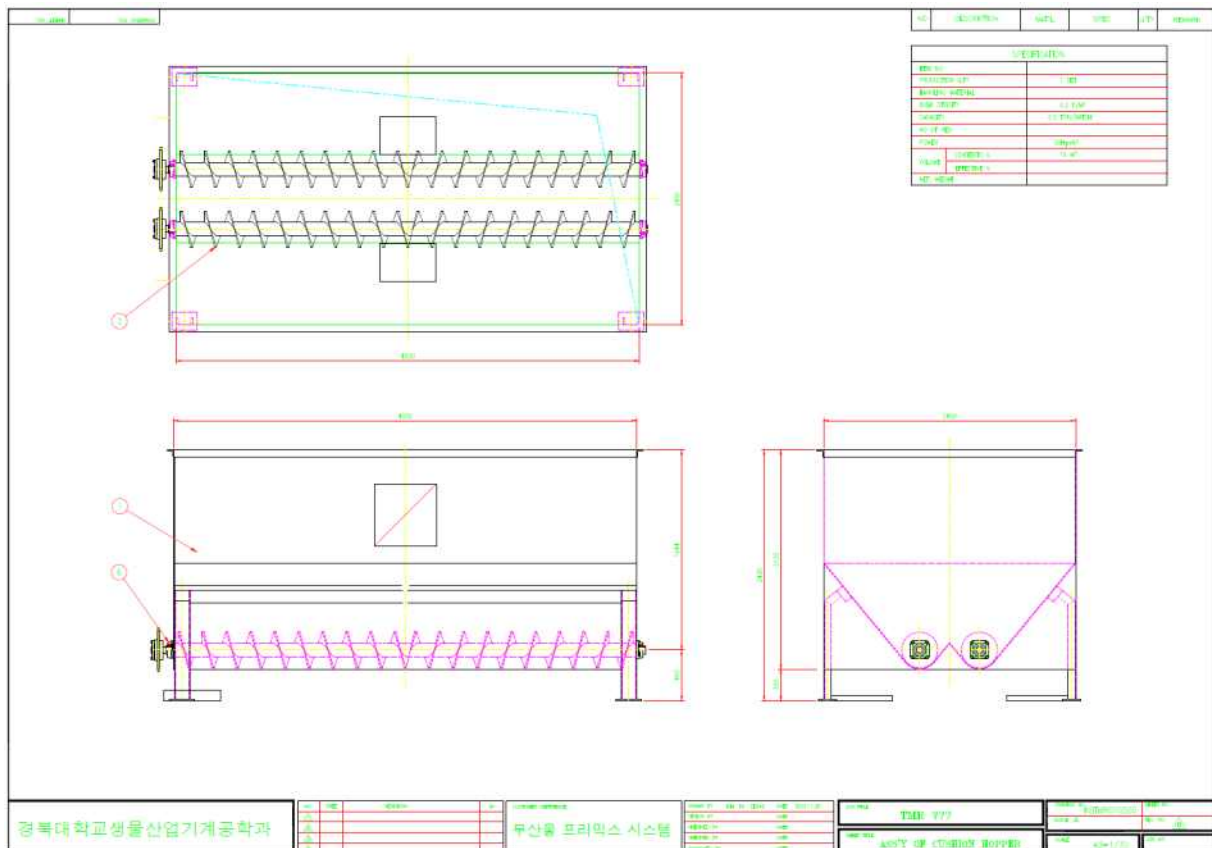
## 제5절 부산물사료 프리믹스 시스템 설계 및 제작

- 혼합부는 건식 부산물 사료 공급부로부터 공급되는 건식 부산물 사료와 습식 부산물 사료 공급부로부터 공급되는 습식 부산물 사료와 발효제를 혼합하여 혼합 사료를 제조하는 역할을 한다. 이러한 혼합부는 건식 부산물 사료 및 습식 부산물 사료와 혼합하기 위한 발효제를 투입하는 발효제 투입수단이 구비되며, 이러한 발효제 투입수단은 액상

당밀 공급조와 액상 효모 공급조를 포함한다. 액상 당밀 공급조는 혼합부로 액상 당밀을 공급하는 역할을 한다. 여기서, 액상 당밀은 당성분을 탄소원으로 하여 후술하는 액상 효모 공급조로부터 혼합부로 공급되는 액상 효모가 혼합 사료를 발효시키는 과정에서 에너지원으로 사용된다. 액상 효모 공급조는 혼합부로 건식 부산물 사료 및 습식 부산물 사료를 발효시키기 위한 액상 효모를 공급하는 역할을 하며 이러한 건식 및 습식 부산물 사료와 당밀 및 액상 효모의 발효제 혼합에 이용되는 부산물 사료 프리믹스 시스템은 2450mm \* 4500mm \* 2800mm의 크기(W\*L\*H) 시간당 5톤의 규모로 50hp x 6p의 동력으로 구동축을 분당 40회 회전하며 건식 및 습식 부산물 사료와 발효제를 혼합한다.

<부산물사료 프리믹스시스템 제원>

제원	부산물 사료 프리믹스 시스템
용량	5 ton/h
구동 및 전력	50 hp x 6p
구동축(SHAFT) 회전속도	40 rpm
크기(W*L*H)	2450mm*4500mm*2800mm



<부산물사료 프리믹스 시스템 도면>



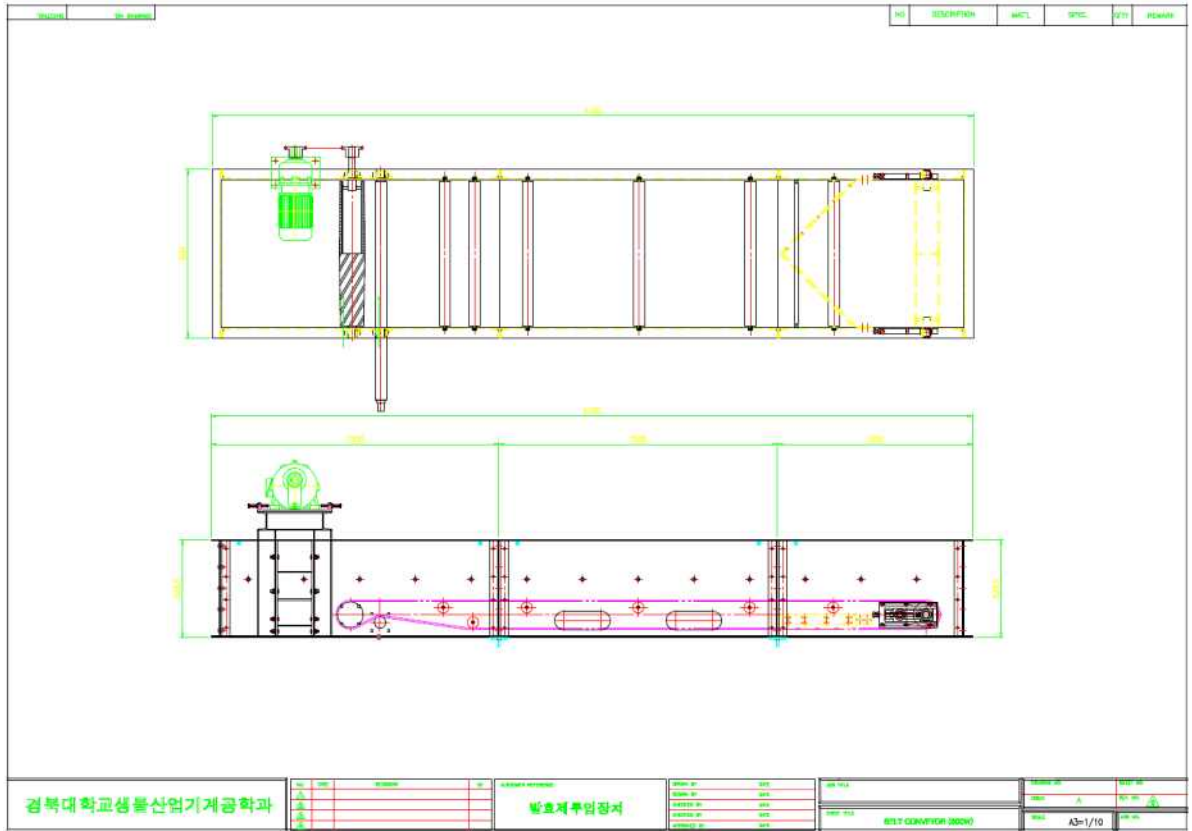
<제작된 부산물사료 프리믹스 시스템>

## 제6절 부산물사료 프리믹스사료 배출이송 시스템 설계 및 제작

- 부산물 사료 발효 저장 시스템은 혼합부로부터 발효 저장조의 투입구로 혼합 사료를 공급하는 공급 라인과, 발효 저장조의 배출구로부터 배출되는 발효된 혼합 사료를 후방으로 배출하는 배출 라인을 포함하고, 공급 라인과 발효 저장조의 투입구의 연결 부위 및 배출 라인과 발효 저장조의 배출구의 연결 부위는 밀폐 구조로 이루어진 것을 특징으로 한다. 이로 인해 발효 저장조로 공급되는 혼합 사료와 발효 저장조로부터 배출되는 발효된 혼합 사료가 공기에 접촉되는 것을 방지함으로써, 혼합 사료 중에 포함된 부산물 사료의 발효 품질이 향상됨과 아울러 저장 기간을 오랫동안 유지할 수 있게 된다. 프리믹스 사료 배출이송 시스템은 7.5kw, 4p, 1/20 감속비의 기어드모터를 구동원으로 분당 45회의 회전속도 구동축을 회전시키며 시간당 5톤의 부산물 사료를 배출 이송할 수 있는 용량이다.

<부산물사료 프리믹스사료 배출이송 시스템 제원>

제원	프리믹스사료 배출이송 시스템
용량	5 ton/h
구동 및 전력	7.5kw x 4p x 1/20
구동축(SHAFT) 회전속도	45rpm
크기(W*L*H)	800mm*4100mm*530mm



<부산물사료 프리믹스사료 배출이송 시스템 도면>

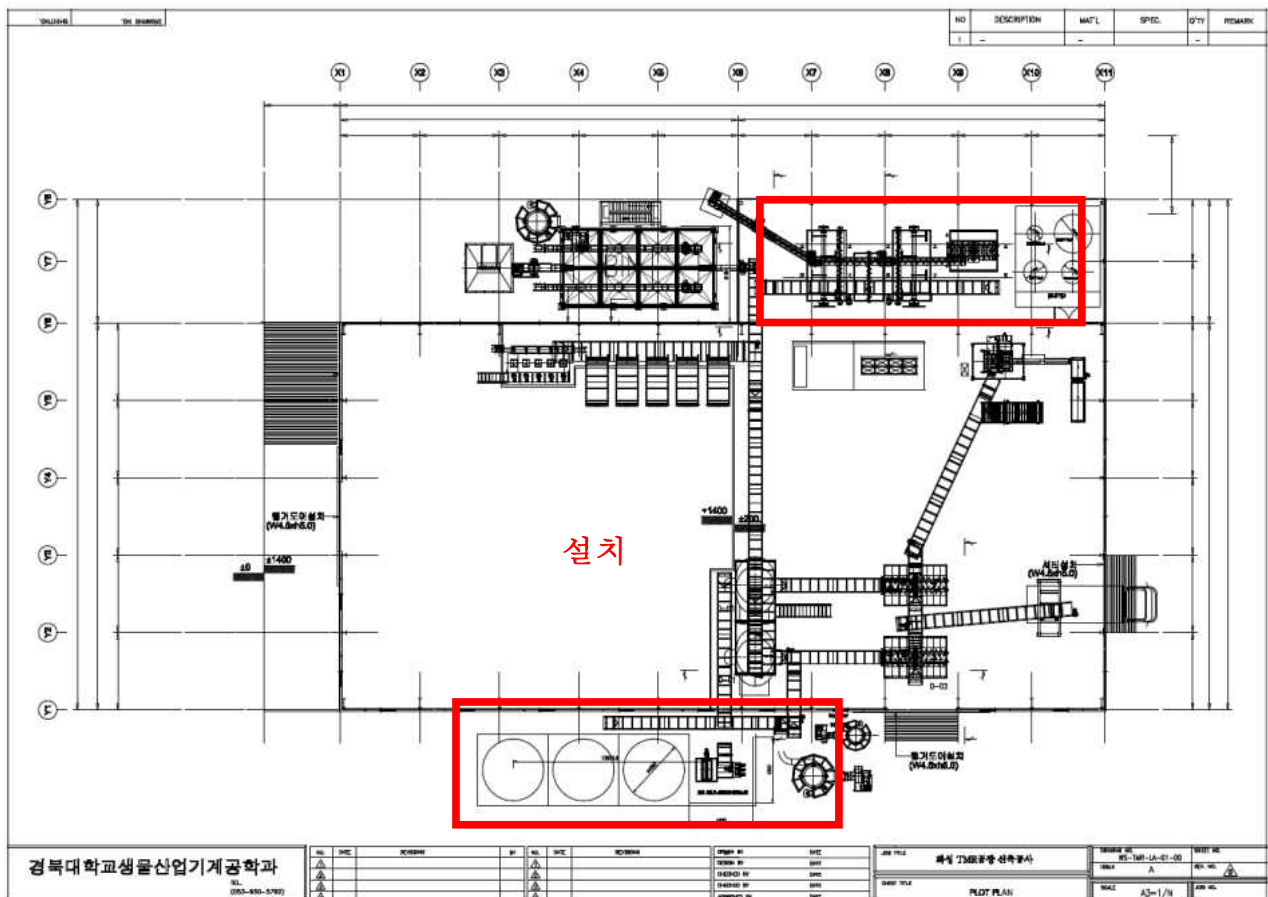


<제작된 부산물사료 프리믹스사료 배출이송 시스템>

## 제7절 부산물사료 발효저장조 설계 및 제작

### 1. TMR 플랜트 적용 모델 선정

○ 화성 낙농 TMR에 적용되는 부산물사료 발효저장조는 본연구의 1차년도 연구를 바탕으로 선정된 KBFS-C 모델이 적용된다. 이 모델은 부산물 발효저장조를 마지막 공정에 배치한 경우로서, 부산물사료와 조사료, 곡류사료 등을 혼합한 TMR사료를 발효저장조에 투입하여 2~3일 간 발효 후 포장이 가능하도록 한 모델이다.



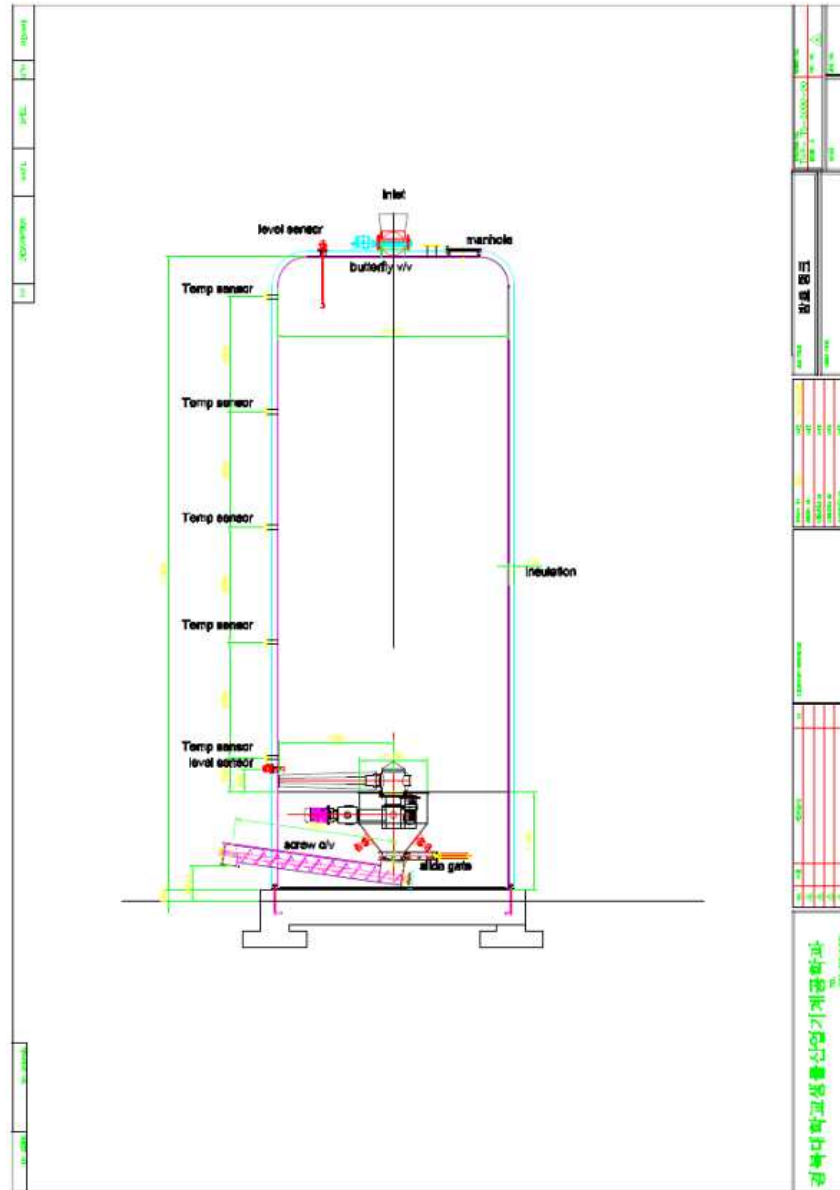
<화성낙농 TMR 플랜트 부산물 발효저장조 배치도(KBFS-C 모델)>



<부산물사료 발효저장조 설치기초공사>



가. 설계 및 제작



<부산물사료 발효저장조 초안>

- TMR 플랜트는 주로 1일 100톤 규모 생산의 공장이 대부분이다. 50톤 규모 생산은 여러 농가가 사용할 수 있는 공동농가용(영농조합체)이며, 10톤 규모는 규모화 되어있는 농가용단위의 모델로 적용되고 있다. 그러므로 100톤 규모의 TMR 플랜트 생산공장의 발효저장조 용량을 선정할 것이며 이때(대규모의 발효저장조 설계) 가장 중요한 요소는 비중이다. 요인시험 결과로부터 부산물혼합사료를 TMR의 원료로 사용할 때는 비중이 0.5 정도이며, 완성된 TMR사료의 비중은 0.4로 산정하였다. TMR 생산량이 1일 100톤 기준일 때 저장조의 용량은 100m<sup>3</sup>(50톤)의 용량을 가지며, 발효저장시 2~3일 기준으로 발효가 된다면, 발효저장조는 3개가 필요할 것이다. 따라서 발효가 완료된 부산



물사료는 1개의 발효저장조가 1일 생산에 필요한 원료로서 공급될 것이고, 나머지 발효저장조는 발효 중에 있으며, 3개가 순환되면서 원료를 공급하여 TMR이 생산 될 수 있도록 하는 구조로 내압력을 견디기 위한 원통형의 직경 4M 높이 15M 의 50 Ton 규모(125m<sup>3</sup>)로 용량을 산정하였다. 이는 한우의 경우 5,000두 젖소의 경우 2,000두의 급여가 가능한 용량으로 현재 보편적으로 운영되고 있는 TMR 공장의 운영규모에 적합한 것으로 판단된다. 또한 직경에 의한 높이의 비가 2.0이상에서 오는 부산물의 플러그형 흐름으로 안정화된 구조를 띄는 설계를 적용하였지만 높은 함수율의 부산물이 탱크 외벽에 붙어 떨어지지 않는 현상을 방지하기 위하여 2도의 경사를 적용하였다.

- TMR 플랜트는 1일 100 ton 규모 생산의 공장이 대부분이다. 50 ton 규모 생산은 여러 농가가 사용할 수 있는 공동농가용(영농조합체)이며, 10 ton 규모는 농가용단위의 모델로 적용되고 있다. 1일 100 ton 기준일 때 이는 한우의 경우 5,000두 젖소의 경우 2,000두의 급여가 가능한 용량으로 현재 대한민국에서 보편적으로 운영되고 있는 TMR 공장의 운영규모에 적합한 것으로 판단되어 부산물 발효탱크 설계에 적용하였다. 또한 혼합사료의 함수율에 따라 산물밀도 및 정안식각 동안식각이 높아지는 점에서 탱크의 용량을 설계하였으며 부착력 과 응집력이 함수율과 각각 정비례 반비례하는 점을 바탕으로 내벽의 재질을 선정하였다.
- 부산물 발효 저장조의 용량은 혼합부산물의 산물밀도가  $\rho = 0.4 \text{ ton/m}^3$  인점을 감안하여 50톤으로 하며, 발효저장시 3일을 기준으로 발효가 된다면 (2016.우) 발효저장조는 3개가 필요하다. 이는 발효가 완료된 1개의 발효저장조가 1일 생산에 필요한 원료로서 공급될 것이고, 나머지 발효저장조는 발효 중에 있으며, 3개가 순환되면서 원료를 공급하여 TMR이 생산 될 수 있도록 한다. 부산물 발효 저장조의 구조는 Janssen의 압력이론에 따라 수평압력\*과 수직압력\*\*을 견디기 위한 원통형의 직경 4 m 높이 12 m 의 50 ton 규모(150 m<sup>3</sup>)로 선정하였다.

$$P_h = kP_v = \frac{\rho g R}{\mu} (1 - e^{-k\mu y/R})^* \quad (\text{식1})$$

$$P_w = \mu P_h = \rho g R (1 - e^{-k\mu y/R})^{**} \quad (\text{식2})$$

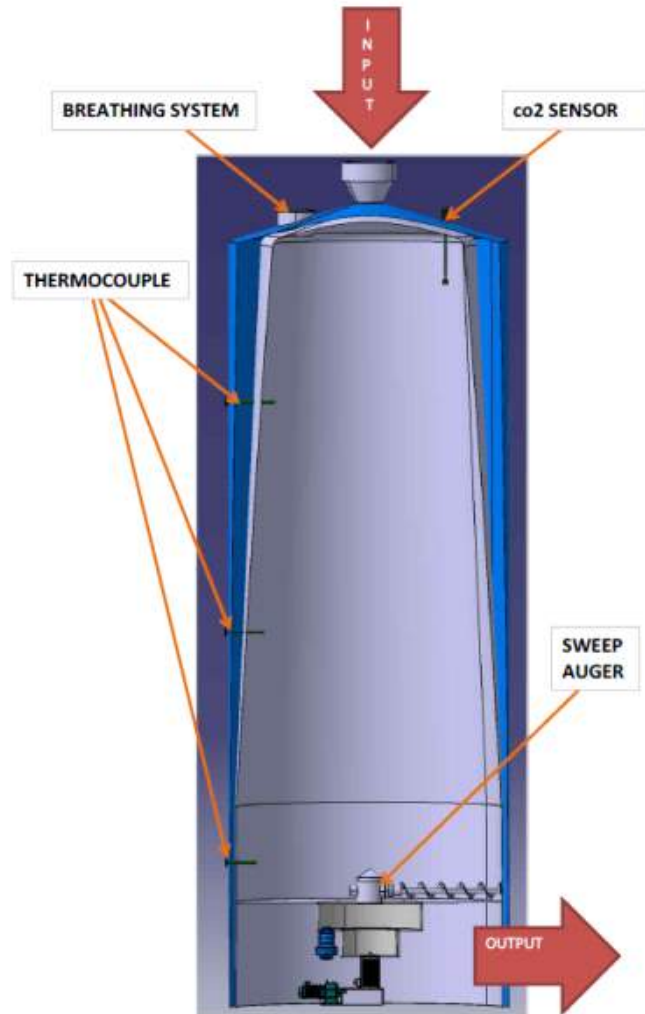
여기서  $\rho$  = 산물밀도

$\mu$  = 벽체와 사료간의 마찰계수

$\Phi$  = 사료의 내부 마찰계수

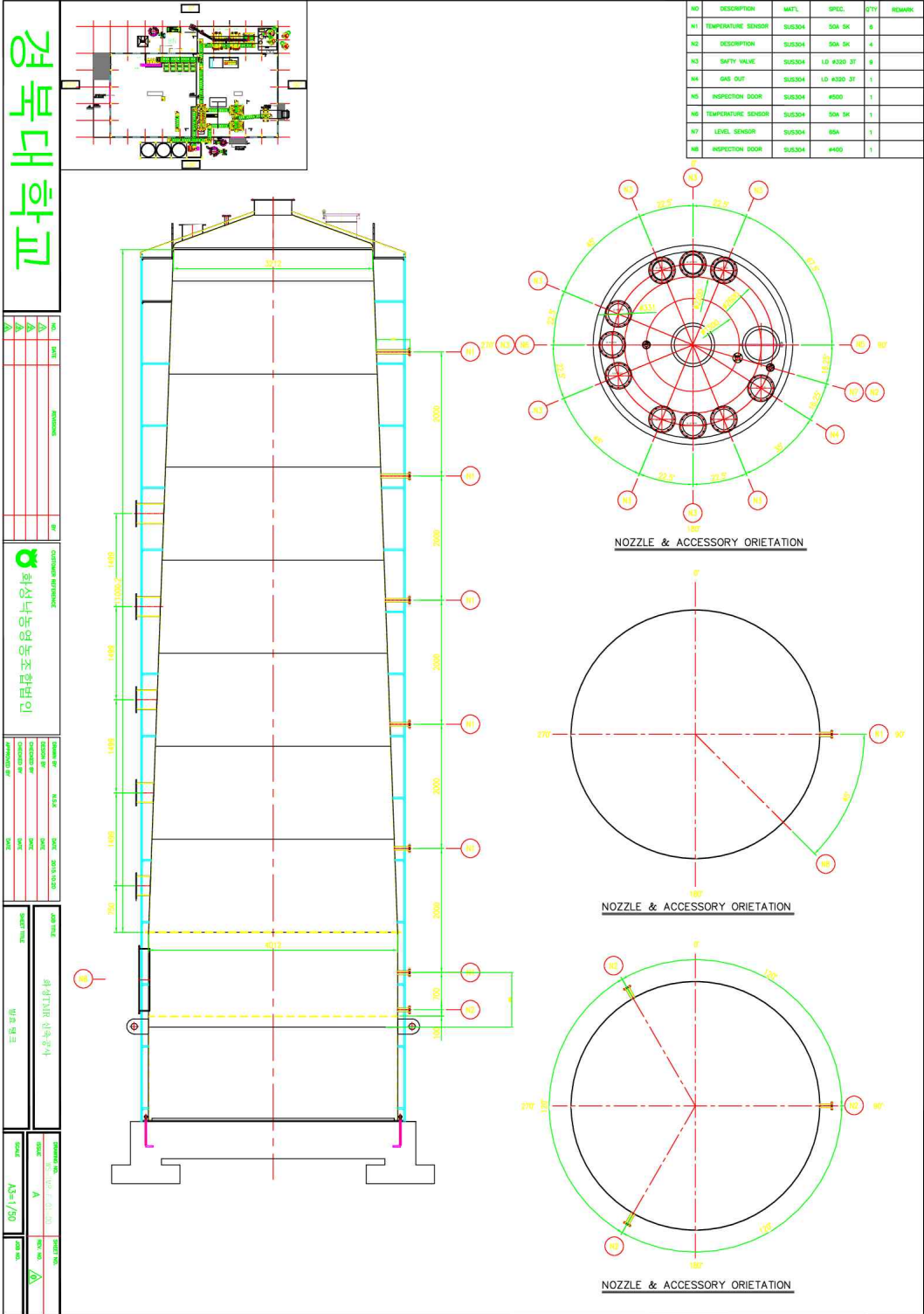
$$k = \frac{P_h}{P_v} = \tan^2(45^\circ - \frac{\Phi}{2})$$

- 또한 직경에 의한 높이의 비가 2.0 이상에서 오는 부산물의 플러그형 흐름으로 안정화된 구조를 띄는 설계를 적용하였지만 높은 함수율의 부산물이 점성에 의해서 탱크 외벽에 붙어 떨어지지 않는 현상을 방지하기 위하여 2 도의 측면경사를 적용하였다.



<발효저장조>

- 부산물 발효저장탱크의 투입 및 배출장치는 선입·선출 형식을 채택하였다. 이는 저장조 위로 사료를 충전하고 발효된 사료를 아래에서 꺼내는 구조로 되어 있으며, 기밀사일로 특성상 계절에 관계없이 발효사료가 생산되면 계속해서 위로 새로운 재료를 충전해 가면서 아래에서는 충분히 발효된 사료를 꺼내서 공급할 수 있기 때문에 연중순환 시스템이 가능하다. 따라서 사료의 갑작스런 변화로 인한 반추미생물의 적응기간 및 가축이 받는 영양적 충격을 줄일 수 있고, 발효기간이 짧은데서 오는 불충분한 발효로 인한 피해현상을 피할 수 있다.



<부산물사료 발효저장조 설계도>

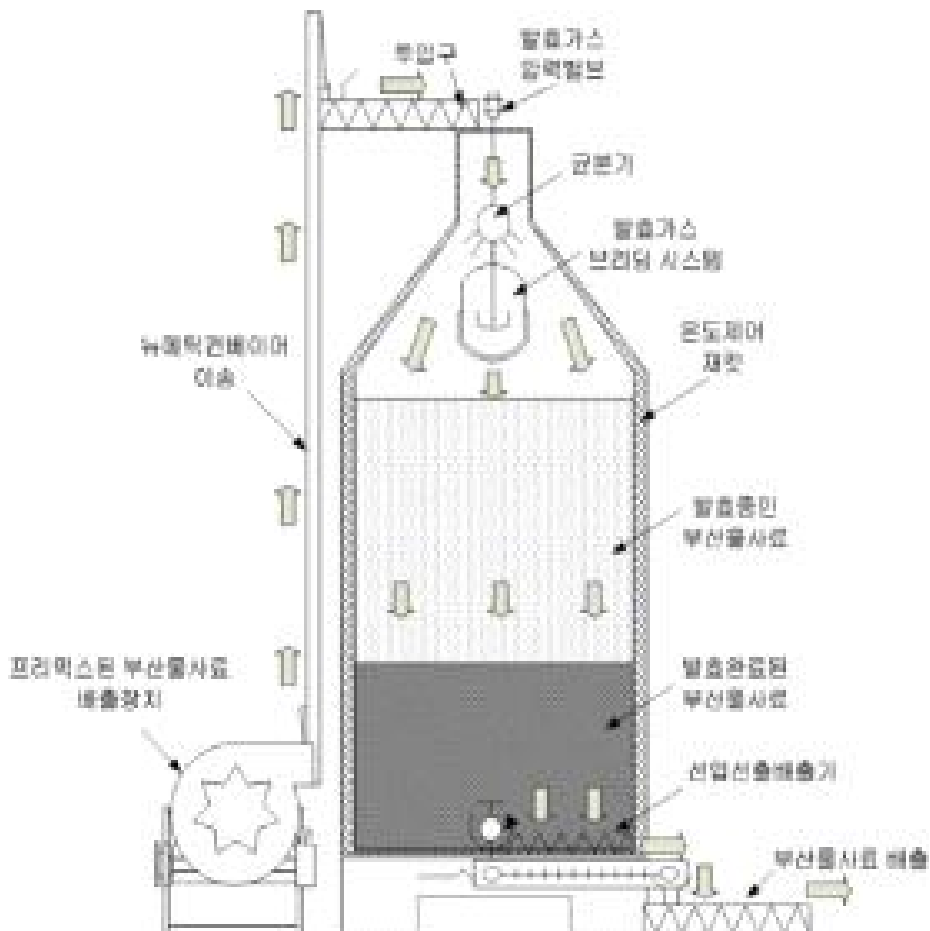


<부산물사료 발효저장조 제작사진>

## 제8절 부산물사료 투입, 배출시스템 설계 및 제작

### 1. 부산물 발효저장조 사료 투입 및 배출시스템 선정

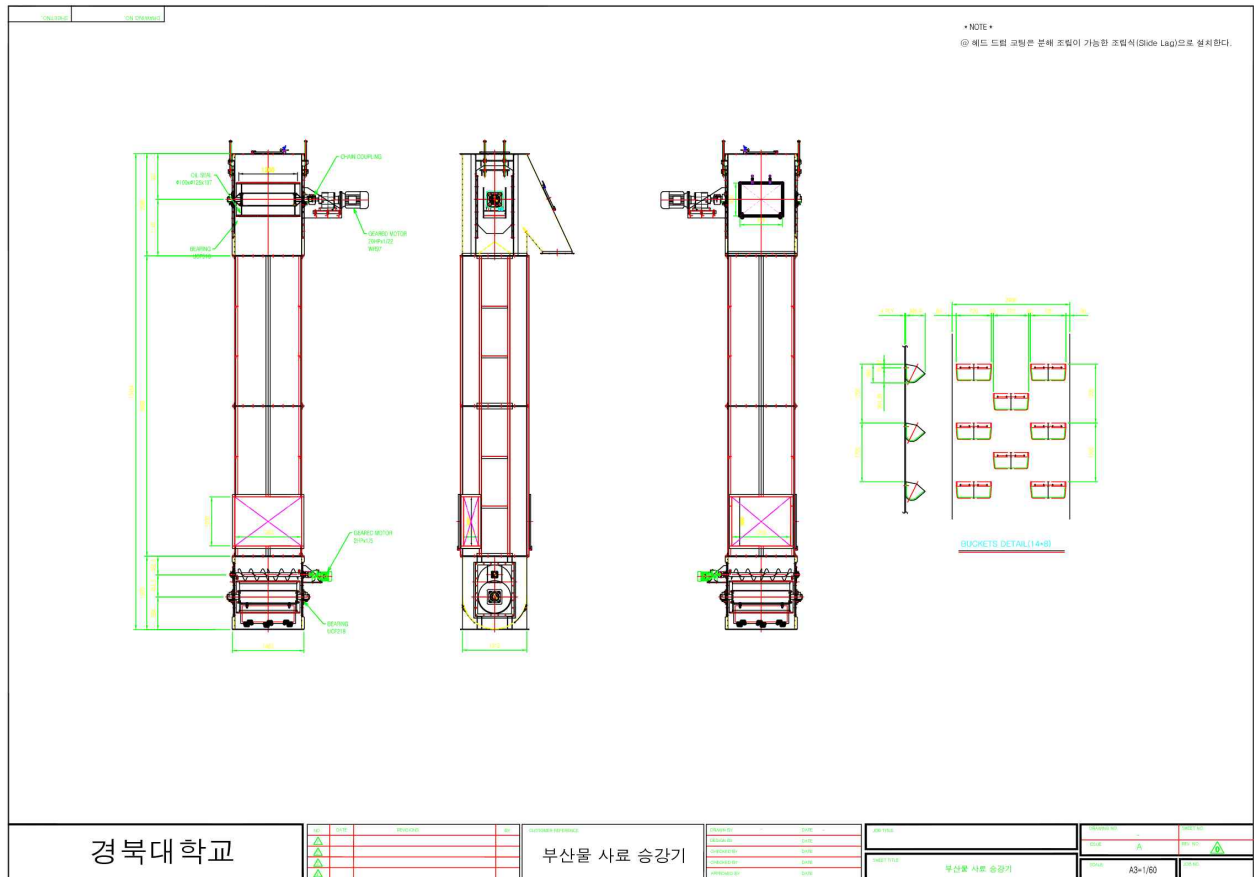
- 부산물사료가 선입·선출이 되는 시스템을 선정하였다. 이는 저장조 위로 사료를 충전하고 발효된 사료를 아래에서 꺼내는 구조로 되어 있으며, 기밀 사일로의 특성상 계절에 관계없이 발효사료가 생산되면 계속해서 위로 새로운 재료를 충전해 가면서 아래에서는 충분히 발효된 사료를 꺼내서 공급할 수 있기 때문에 연중 순환 시스템이 가능하다. 따라서 사료의 갑작스런 변화로 인한 반추미생물의 적응기간 및 가축이 받는 영양적 충격을 줄일 수 있고, 일부 딱딱한 재료의 발효기간이 짧아 불충분한 발효로 인한 현상을 피할 수 있다. 하단부에는 스위프오거를 탱크바닥면에 설치하여 발효된 부산물이 배출되는 구조로 시스템을 선정 하였다.



<부산물사료 발효저장조 구성도>

가. 사료투입 및 배출 장치설계

○ 사료의 투입에 적용된 버킷엘리베이터의 이송능력 Q는 표준치수 A형의 버킷(L=150, W=110, D=100, T=3.2 버킷용적 0.00087 m<sup>3</sup>)을 선정하여 산물밀도가 약 0.8 ton/m<sup>3</sup> 인 부산물의 1회 배합량 3 ton이 피트에서 저장빈으로 약 20 ton/h의 용량에 의해 10분 이내에 공급될 수 있도록 버킷 이송속도는 144 m/min, 용적효율은 70%, 버킷간격은 210 mm로 설계에 적용하였다.



<사료투입장치(버킷엘레베이터) 설계도면>

○ 사료의 투입에는 버킷엘리베이터를 적용하였다. 이송능력은 그림2의 타임차트에서와 같이 발효전처리 연속공정의 430분 이후 혼합사료의 1회 배합량 3 ton 이 피트에서 저장빈으로 약 20 ton/h 의 용량에 의해 10분 이내에 공급될 수 있도록 다음의 식으로 버킷의 이송속도와 용적효율 피치를 구하였다.



$$Q = \frac{60 v q \Phi \rho}{p} \quad (\text{식3})$$

여기서  $Q$  : 이송능력(t/hr)

$v$  : 버킷의 이송속도(m/min)

$q$  : 버킷 1개의 용적( $m^3$ )

$\Phi$  : 버킷의 용적효율(소수)

$\rho$  : 이송물의 산물밀도

$p$  : 버킷의 피치

#### 나. 사료투입 및 배출장치 제작







<사료투입장치(버킷엘레베이터) 제작사진>

- 발효완료된 부산물의 배출은 하단에 스위프 오거를 통하여 다공철판으로 발효가 완료된 부산물 사료를 밀어내어 중력에 의하여 하단으로 배출되는 선입 선출 구조이며 구동 동력은 50hp 이며 인버터로 오거의 회전을 조정하여 초기 정지마찰력에 의한 과부하를 방지하였고 배출 이후 컨베이어를 통하여 이송되는 구조로 설계하였다.
- 발효가 완료된 부산물의 배출은 스위프 오거시스템을 적용하였다. 이는 오거의 회전을 통하여 다공철판으로 발효가 완료된 부산물 사료를 밀어내어 중력에 의하여 하단으로 배출되는 구조이며 스크류의 이송능력 Q는 다음의 식으로 구하였다

$$Q = 15\pi\Phi D^2 p N \rho \quad (\text{식4})$$

여기서, Q: 이송능력(ton/hr)

N:스크류의 회전수 (rpm)

$\Phi$ :용적효율(소수)

p:스크류 피치(m)

$\rho$ :이송물의 산물밀도(ton/m<sup>3</sup>)

D:스크류 외경(m)

- 또한 인버터로 오거의 회전을 조정하여 초기 정지마찰력에 의한 과부하를 방지하였고, 배출이후 컨베이어를 통하여 이송되는 구조로 설계하였으며 전동기의 용량산정을 위해서 스크류컨베이어의 소요동력을 다음의 식으로 구하였다.

$$L = \frac{Qg(kl+h)}{3600\eta} \quad (\text{식5})$$

여기서, L : 소요동력(kW)

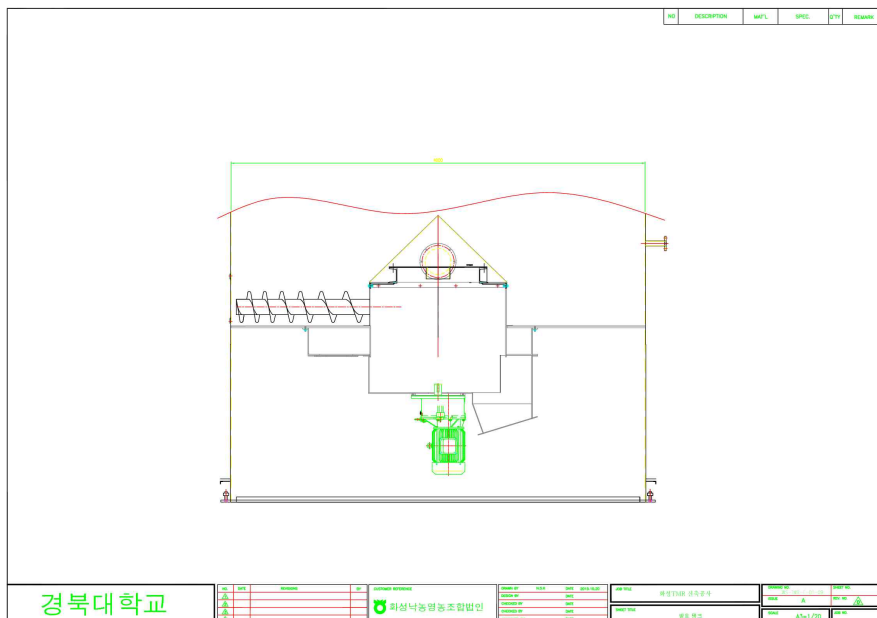
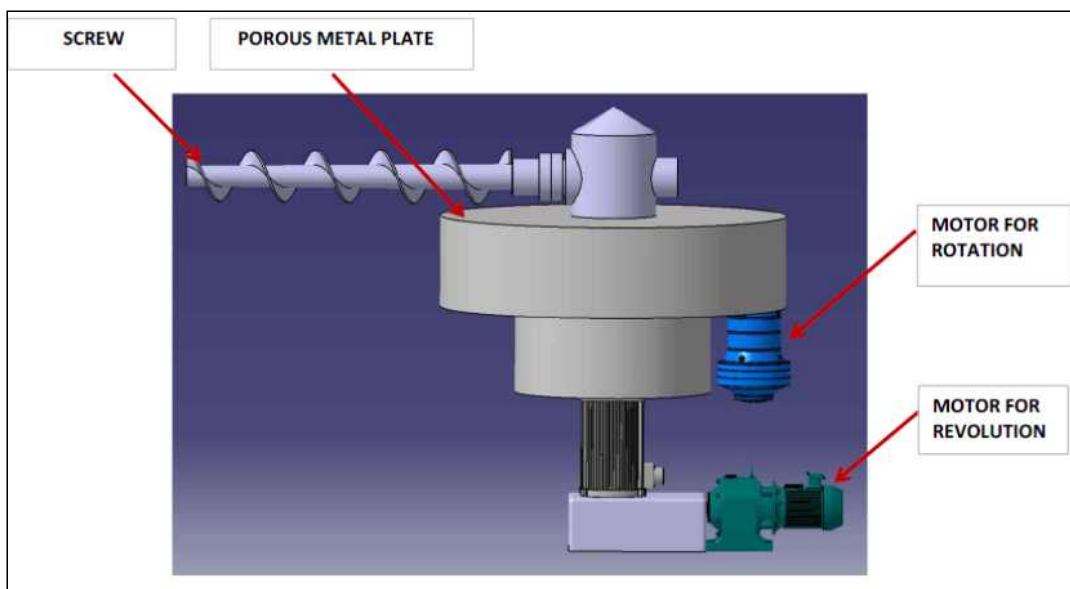
k : 이송물 종류에 따른 실험상수 (혼합사료1.2~3.0)

l : 스크류컨베이어의 길이(m)

h : 이송높이 (m)

Q : 이송능력 (ton/hr)

$\eta$  : 기계효율 (0.5)



<사료배출장치(스위프 오거) 설계도면>



<사료배출장치(스위프 오거) 제작사진>

## 제9절 부산물 사료 발효저장조 압력조절장치 설계 및 제작

### 1. 탱크내 압력 변화 방지를 위한 브리딩(breathing) 시스템 설치

- 발효과정중 발생하는 발효열과 발효가스는 밤낮의 기온 차에서는 오는 압력변화와 함께 부산물 발효저장조 내부의 기압의 변화로 이어져 탱크의 내구성에 문제가 생길뿐만 아니라 발효품질에도 영향을 끼친다. 이에 탱크내부에 주입된 질소가 압력에 따라 유동적으로 이동할 수 있는 백을 외부에 설치한 브리딩(breathing) 시스템을 적용시켰다.
- 발효과정중 발생하는 발효열과 발효가스는 밤낮의 기온 차에서는 오는 압력변화와 함께 부

산물 발효저장조 내부의 기압의 변화로 이어져 탱크의 내구성에 문제가 생길뿐만 아니라 발효품질에도 영향을 끼친다. 이에 탱크내부에 압력이 발효가스와 기온차로 높아지면 외부의백으로 가스가 이동해서 탱크 내부의 압력을 조절할 수 있는 백을 외부에 설치한 브리딩(breathing) 시스템을 적용시켰다.

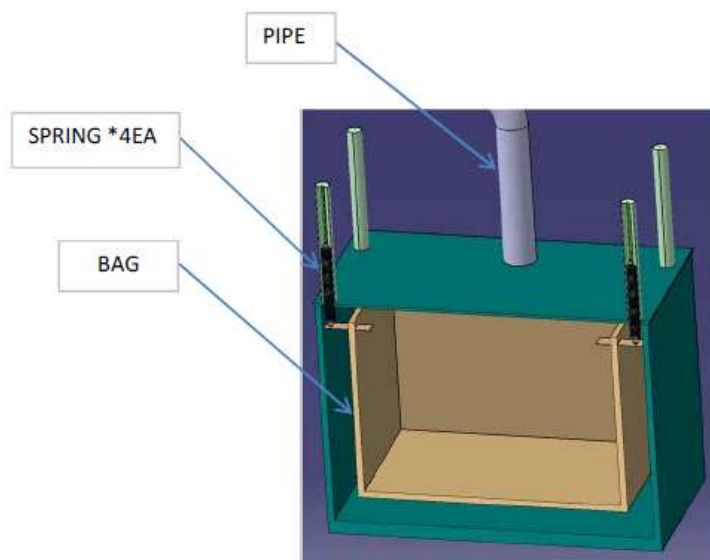
$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ (식6)}$$

여기서,  $P_1$  : 발효저장조 압력

$V_1$  : 발효저장조 상부체적

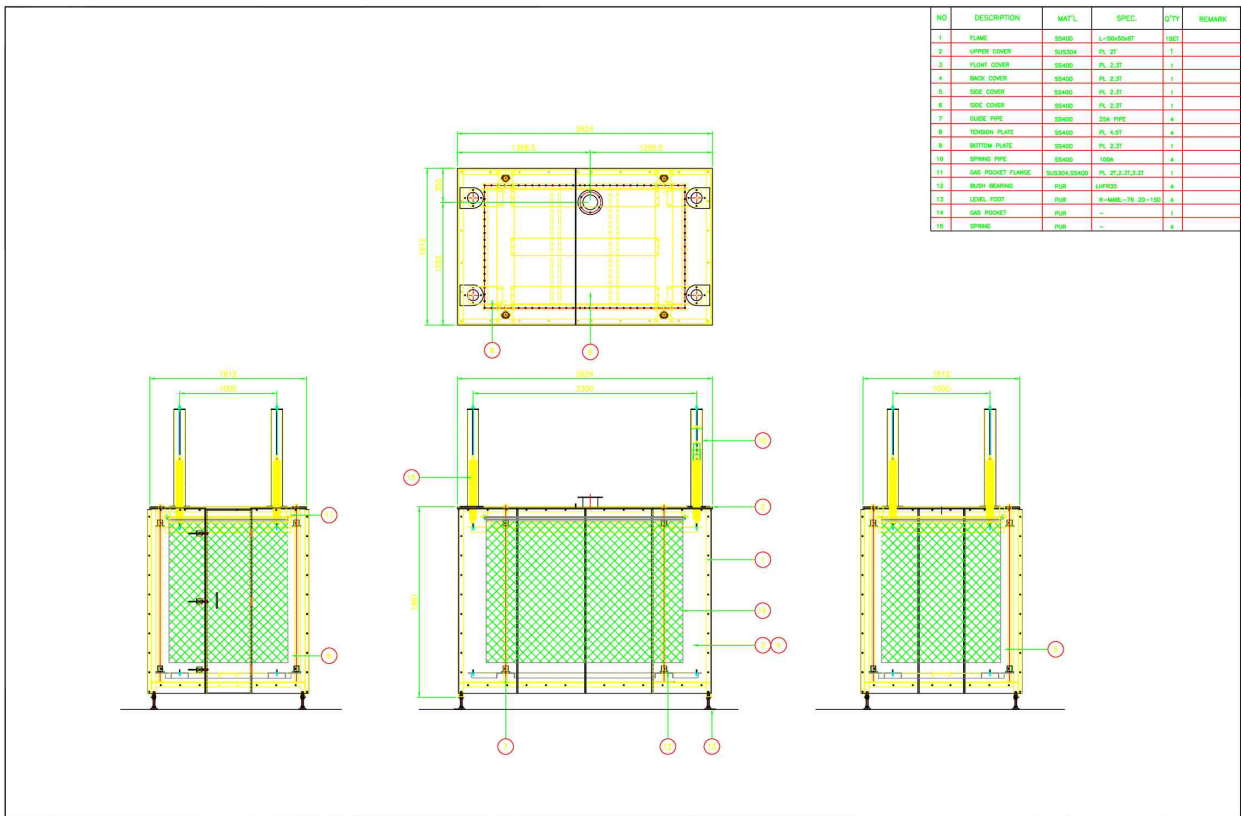
$P_2$  : 브리딩백 압력

$V_2$  : 브리딩백 체적



<브리딩 시스템 프로세스>





NO	DESCRIPTION	MATL	SPEC	QTY	REMARK
1	FLANGE	SS400	A-200x200T	100	
2	UPPER COVER	SS400	PL 2.0T	1	
3	FLOOR COVER	SS400	PL 2.0T	1	
4	BACK COVER	SS400	PL 2.0T	1	
5	SIDE COVER	SS400	PL 2.0T	1	
6	SIDE COVER	SS400	PL 2.0T	1	
7	GUIDE PIPE	SS400	150A PIPE	4	
8	TENSION PLATE	SS400	PL 4.0T	4	
9	BOTTOM PLATE	SS400	PL 2.0T	1	
10	SPRING PIPE	SS400	100A	4	
11	ONE POCKET FLANGE	SS400, SS400	PL 2T, 2.3T, 3.3T	1	
12	STEEL BEARING	PIR	LHFR20	4	
13	GUIDE FOOT	PIR	3-A400L-70 20-100	4	
14	ONE POCKET	PIR	-	1	
15	SPRING	PIR	-	4	

경북대학교

REV	DATE	REVISION	BY	APPROVED REFERENCE	DESIGN BY	DATE	DESIGN NO.	JOB TITLE	PROJECT NO.	PROJECT NAME	SCALE	DATE
1				회성낙농영농조합법인	DESIGN BY	DATE		회성TMR 건축공사				
2					CHECKED BY	DATE		광운테크 가스 저장장치			A3=1/30	
3					APPROVED BY	DATE						

<브리딩시스템 설계도면>

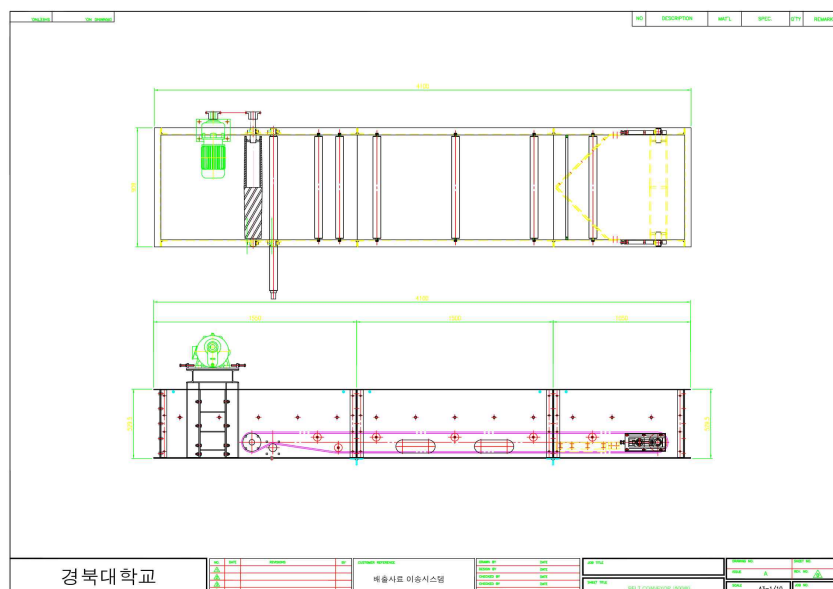




<브리딩시스템 제작 및 설치사진>

## 제10절 부산물 사료 배출 이송시스템 설계 및 제작

- 발효완료 되어 스위프 오거를 통하여 부산물발효저장조에서 배출된 부산물은 밀폐 구조로 이루어진 연결 부위를 통하여 계량시스템 전단계로 이송되는되는 구조로 이루어져있다. 시스템의 이송장치엔 벨트컨베이어와 체인컨베이어를 적용하였으며 7.5kw, 4p, 1/20 감속비의 기어드모터를 구동원으로 분당 45회의 회전속도 구동축을 회전시키며 시간당 5톤의 부산물 사료를 배출 이송할 수 있는 용량으로 설계하였다.



<부산물사료 배출 이송시스템 설계도면>







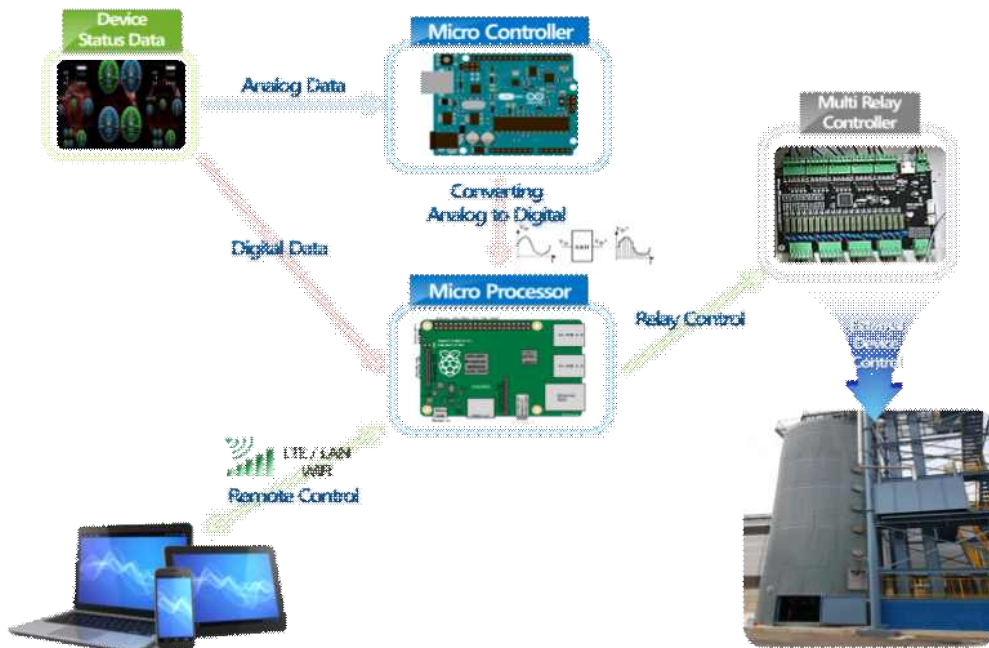
<부산물사료 배출 이송시스템 제작 및 설치사진>

## 제6장 통합관리 시스템구축

본장에서는 부산물사료의 발효상태를 PC와 휴대폰으로 실시간 확인할 수 있는 원격 모니터링 시스템과 저장조 내부의 발효열과 발효가스를 워터자켓을 통하여 제어할 수 있는 원격제어 시스템 및 부산물사료를 배출할 수 있는 시스템을 구축하였다.

### 제1절. 부산물 발효저장조의 내부환경 실시간 원격모니터링 시스템 구축

#### 1. 발효저장탱크 원격제어 개발



<발효저장탱크 원격제어시스템 구성도>

- 원격제어시스템은 디바이스 상태데이터, 아날로그데이터 처리를 위한 마이크로 컨트롤러, 원격신호 수신 및 제어 명령을 처리하는 마이크로프로세서, 직접적인 제어구동을 위한 멀티릴레이 컨트롤러로 구성됨.
- 디바이스 상태데이터는, 발효저장탱크의 제어와 관련된 현재 상태의 아날로그/디지털신호를 나타냄. 마이크로컨트롤러모듈 및 프로세서모듈은 각각 아날로그, 디지털 신호를 처리함.
- 마이크로컨트롤러 모듈은 소형 임베디드 시스템으로, 아날로그 신호처리,

ADC, 디지털데이터전송기능을 갖춘 펌웨어가 동작하고 있으며, 아날로그신호를 디지털로 변환하여 다시 마이크로프로세서모듈로 전달함.

○ 마이크로프로세서 모듈은 소형 Linux시스템을 갖추고 있어, 내부적으로 디지털 신호의 상태데이터를 처리하며, 외부적으로는 사용자의 컴퓨터, 태블릿, 스마트폰의 원격 요청 신호를 처리함. 외부 요청데이터의 경우, LTE를 이용함.

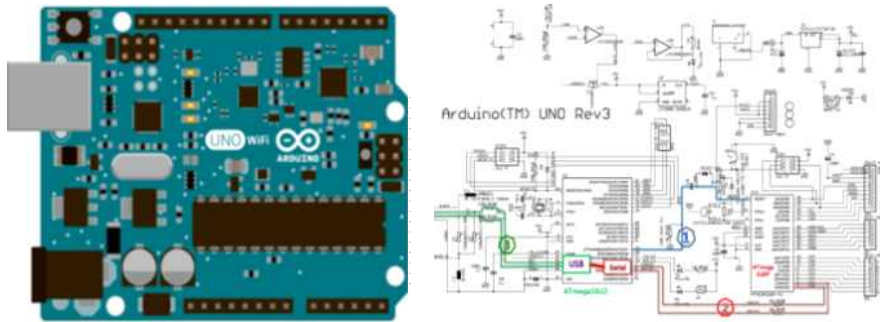
○ 마이크로프로세서 모듈은 오작동 방지를 위해, 현재 상태데이터를 기반으로 사용자의 원격제어요청에 대한 처리를 진행함. 내부적으로 원격제어요청이 가능한 상태이면, 멀티릴레이 컨트롤러에 신호를 전달하여 제어명령을 수행함.

○ 멀티릴레이 컨트롤러는 다수의 전기적 신호를 연결/차단하는 릴레이로 구성되어 있으며, 내부적으로는 마이크로프로세서 모듈에서 전달받은 디지털 신호에 따라 다수의 릴레이를 제어하는 펌웨어가 동작함. 컨트롤러의 각 릴레이의 최종 신호는 발효저장탱크의 각각의 제어요소(버킷엘리베이터 등)에 연결됨.

## 2. 시스템 개발내용

### 가. 마이크로컨트롤러(Arduino UNO R3)

○ 마이크로컨트롤러 모듈의 경우, 오픈소스를 기반으로 한 Arduino UNO R3으로 구현됨.



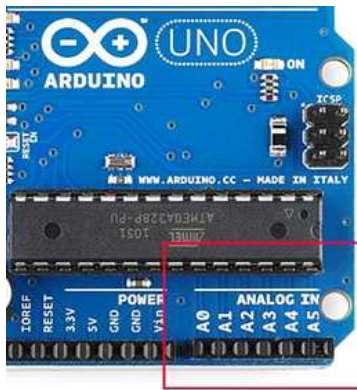
<마이크로컨트롤러 모듈(Arduino UNO R3)>

○ Arduino는 Sketch란 전용 프로그램으로 소스를 작성하고 업로드하는 방식으로 되어있음. 물리적인 인터페이스는 기본적으로 USB 방식(standard - mini B type)을 사용하며 내부적으로인 프로토콜은 Serial 방식을 사용하여 통신함.



<Sketch 툴 및 arduino 인터페이스>

- Arduino는 아날로그데이터 입력포트가 존재하기 때문에, 외부 아날로그 데이터 입력에 강점이 있음. 또한 디지털 데이터로 변환하는 코드 구현이 쉬움.



**Relating ADC Value to Voltage**

The ADC reports a arithmetic value. This means that the ADC assumes 5V is 1023 and anything less than 5V will be a ratio between 5V and 1023.

$$\frac{\text{Resolution of the ADC}}{\text{System Voltage}} = \frac{\text{ADC Reading}}{\text{Analog Voltage Measured}}$$

Analog to digital conversions are dependant on the system voltage. Because we predominantly use the 10-bit ADC of the Arduino on a 5V system, we can simplify the equation slightly.

$$\frac{1023}{5} = \frac{\text{ADC Reading}}{\text{Analog Voltage Measured}}$$

If your system is 3.3V you simply change 5V out with 3.3V in the equation. If your system is 3.3V and your ADC is reporting 512, what is the voltage measured? It is approximately 1.65V

If the analog voltage is 2.12V what will the ADC report as a value?

$$\frac{1023}{5.00V} = \frac{x}{2.12V}$$

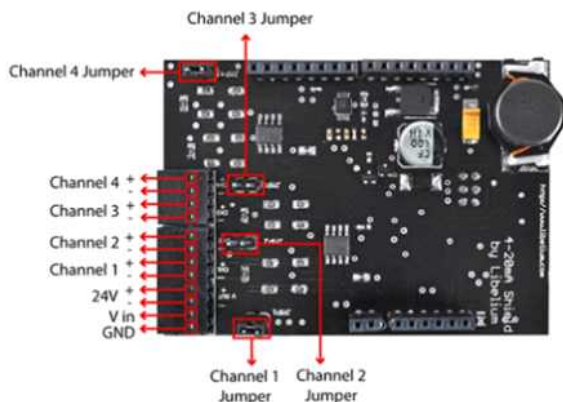
Rearrange things a bit and we get:

$$\frac{1023}{5.00V} * 2.12V = x$$

$$x = 434$$

<Analog Read 포트 및 ADC 관련 문서>

- 발효저장탱크의 일부 상태 데이터는 모듈이 바로 측정할 수 없는 값을 사용함. 이러한 산업용 센서 데이터 수신을 위해 루프전류 4-20mA신호처리 확장 쉴드를 사용함.



<4-20mA 신호처리 확장 쉴드>

#### 4-20mA 신호처리 주요 메소드 코드 일부

Description: Powers ON the 4-20mA 24V supply

```
void currentLoop::ON()
{
    pinMode(5, OUTPUT);
    digitalWrite(5, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(5, LOW);
}
```

```
void currentLoop::OFF()
{
    digitalWrite(5, HIGH);
}
```

Description: Get the sensor value in integer format

```
int currentLoop::readChannel(uint8_t channel)
{
    long analogValue = 0;

    for (int i = 0; i < 50 ; i ++){
        analogValue
            = analogValue + analogRead(channel);
    }

    return (analogValue / 50);
}
```

Description: Get the sensor value as a voltage in Volts

```
float currentLoop::readVoltage(uint8_t channel)
{
    return (readChannel(channel) * 5.0 /1023);
}
```



Description: Get the sensor value as a current in mA

```
float currentLoop::readCurrent(uint8_t channel)
{
    return (readVoltage(channel) / 165.0 * 1000);
}

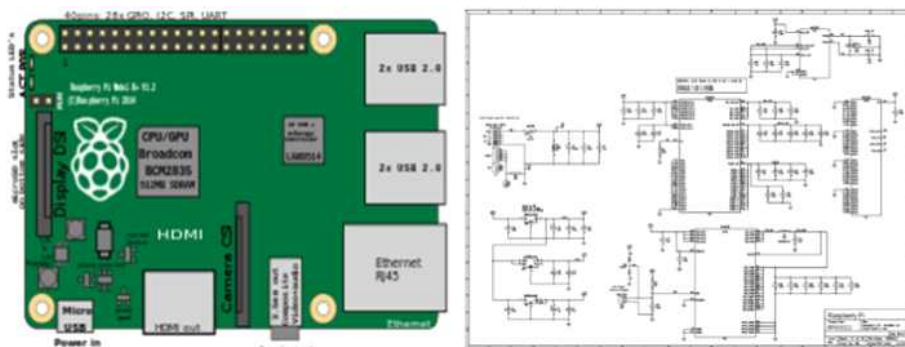
float currentLoop::readCurrent(uint8_t channel, float offSet)
{
    return ((readVoltage(channel) / 165.0 * 1000) - offSet);
}
```

Description: It checks if the current loop is well connected

```
uint8_t currentLoop::isConnected(uint8_t channel)
{
    if (readVoltage(channel) < 0.6)
        return 0;
    else
        return 1;
}
```

#### 나. 마이크로프로세서 (Raspberry Pi2)

- 마이크로프로세서는, 싱글 보드 컴퓨터인 Raspberry Pi2로 구현됨.



<마이크로프로세서 모듈(Raspberry Pi)>

- Raspberry Pi는 자체적으로 데비안 계열의 리눅스인 Raspbian OS 시스템으로 동작하며, 리눅스이미지가 저장된 외부 microSD카드를 인식하여 구동함.



<OS 부팅화면 및 microSD 인터페이스>

- Raspberry Pi는 자체적으로 데비안 계열의 리눅스인 Raspbian OS 시스템으로 동작하며, 리눅스이미지가 저장된 외부 microSD카드를 인식하여 구동함.
- 라즈베라파이 내부에는 상태데이터 정보처리, 원격제어요청 데이터처리, 멀티 릴레이 컨트롤러 제어처리 로직으로 구성됨.
- 상태데이터 로직은 아두이노에서 입력받는 데이터와, 자체 GPIO핀에서 입력받는 데이터 두가지로 구분됨. 아두이노 전송 데이터의 경우, 라즈베리파이의 USB 인터페이스를 이용하여, 내부적으로 시리얼 통신을 하여 데이터를 전송받음.



<라즈베리파이-아두이노 연동(좌)/Rpi내부 GPIO구성(우)>

```

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);
        }
    });

```

- 라즈베리파이 GPIO를 통한 데이터 수신은 wiringPi 라이브러리를 통하여 구현됨.

#### 라즈베리파이 GPIO 데이터 수신관련 코드 일부

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <errno.h>

#include <wiringPi.h>
#include <wiringPiSPI.h>

#define CS_MCP3208 6 // BCM_GPIO 25

#define SPI_CHANNEL 0
#define SPI_SPEED 1000000 // 1MHz

int read_mcp3208_adc(unsigned char adcChannel)
{
    unsigned char buff[3];
    int adcValue = 0;

    buff[0] = 0x06 | ((adcChannel & 0x07) >> 7);
    buff[1] = ((adcChannel & 0x07) << 6);
    buff[2] = 0x00;

    digitalWrite(CS_MCP3208, 0); // Low : CS Active

    wiringPiSPIDataRW(SPI_CHANNEL, buff, 3);

    buff[1] = 0x0F & buff[1];
    adcValue = ( buff[1] << 8) | buff[2];

    digitalWrite(CS_MCP3208, 1); // High : CS Inactive

    return adcValue;
}
```

```

int main (void)
{
    int adcChannel = 0;
    int adcValue = 0;

    if(wiringPiSetup() == -1)
    {
        fprintf (stdout, "Unable to start wiringPi: %s\n",
strerror(errno));
        return 1 ;
    }

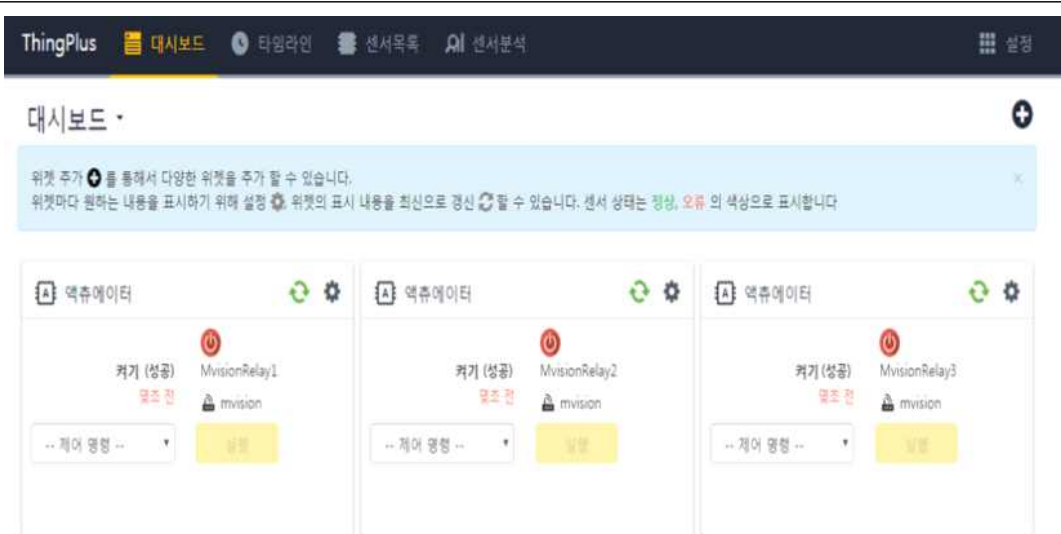
    if(wiringPiSPISetup(SPI_CHANNEL, SPI_SPEED) == -1)
    {
        fprintf(stdout, "wiringPiSPISetup Failed: %s\n",
strerror(errno));
        return 1 ;
    }

    pinMode(CS_MCP3208, OUTPUT);

    while(1)
    {
        adcValue = read_mcp3208_adc(adcChannel);
        printf("adc0 Value = %u\n", adcValue);
    }
    return 0;
}

```

- 원격제어요청데이터 처리는 웹서버를 이용한 방식으로 구현됨. 이는 PC, 태블릿, 스마트폰등 디바이스의 제약이 적은 장점이 있음.
- 웹서버의 구현은 달리웍스사의 Thing Plus IoT 플랫폼을 이용하여 구현함.



<ThingPlus를 이용한 원격제어요청 화면>

### ThingPlus 릴레이 제어 소스 코드 일부

app.js

```
{ // actuator
  id: [device0Id, 'Relay1'].join('-'),
  type: 'powerSwitch',
  name: 'Relay1',
  notification: false
},
{ // actuator
  id: [device0Id, 'Relay2'].join('-'),
  type: 'powerSwitch',
  name: 'Relay2',
  notification: false
},
{ // actuator
  id: [device0Id, 'Relay3'].join('-'),
  type: 'powerSwitch',
  name: 'Relay3',
  notification: false
}
```

grovePiSensor.js

```
self.sensors.Relay1.instance = new OnOffDigitalSensor(4);
```

```
self.sensors.Relay2.instance = new OnOffDigitalSensor(4);
self.sensors.Relay3.instance = new OnOffDigitalSensor(4);
```

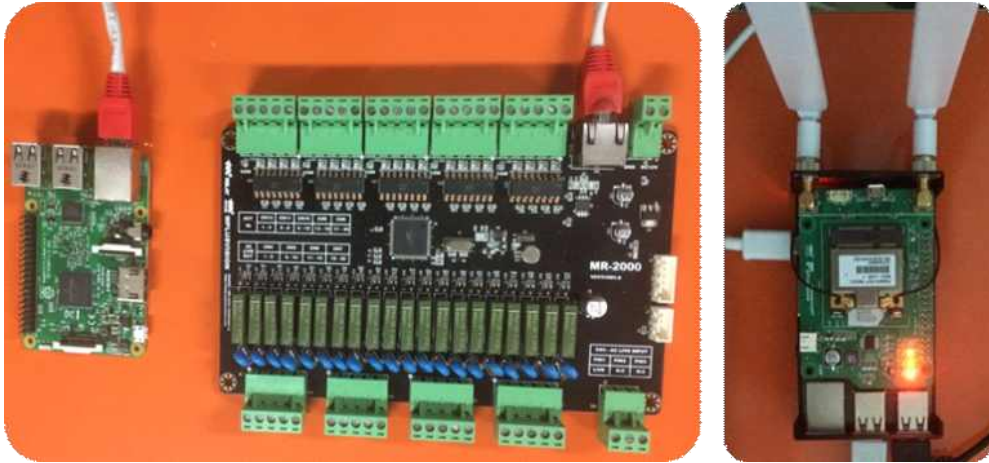
### **relay\_control.js**

```
function relayOn(state){
    if(state == 'Relay1'){
        console.log(state + ' On');
        sp.write(relayCommand.relay1ON);
    }
    else if(state == 'Relay2'){
        console.log(state + ' On');
        sp.write(relayCommand.relay2ON);
    }
    else if(state == 'Relay3'){
        console.log(state + ' On');
        sp.write(relayCommand.relay3ON);
    }
    else{
        console.log(state + 'ON err');
    }
}

function relayOff(state){
    if(state == 'Relay1'){
        console.log(state + ' Off');
        sp.write(relayCommand.relay1OFF);
    }
    else if(state == 'Relay2'){
        console.log(state + ' Off');
        sp.write(relayCommand.relay2OFF);
    }
    else if(state == 'Relay3'){
        console.log(state + ' Off');
        sp.write(relayCommand.relay3OFF);
    }
    else{
        console.log(state + 'OFF err');
    }
}
```

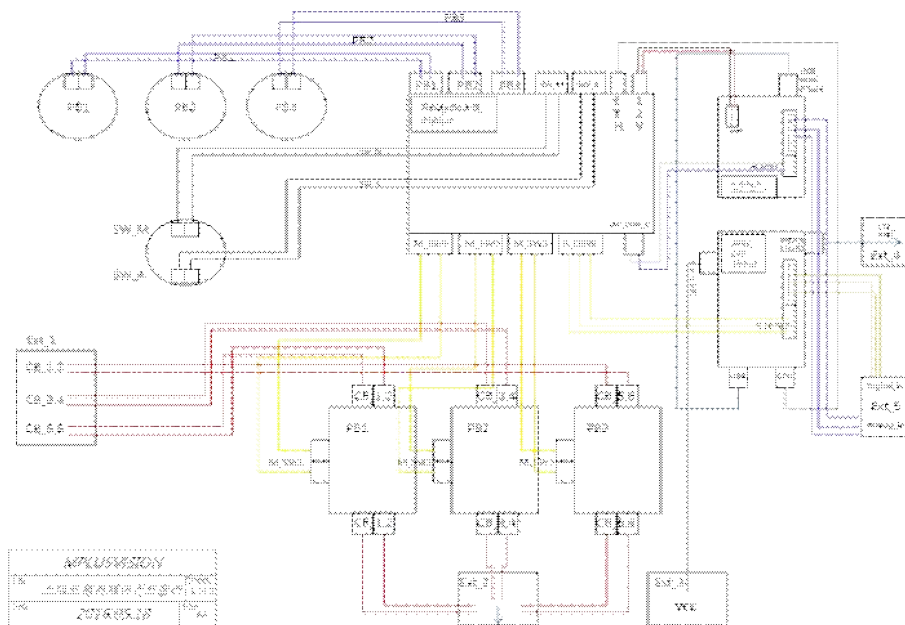
○ 라즈베리파이에서의 멀티릴레이 컨트롤러는 이더넷 인터페이스를 이용하며, 내부적으로는 RS485통신을 통하여 제어신호를 송/수신함.

○ 라즈베리파이의 외부 네트워크 통신은 LTE실드를 통해 이루어짐. LTE 실드는 LG U플러스사의 WDLX-LU202-F 모듈을 이용하며, M2M으로 발급된 USIM이 필요함. LTE망을 감지하기위한 안테나가 연결되어 있음.



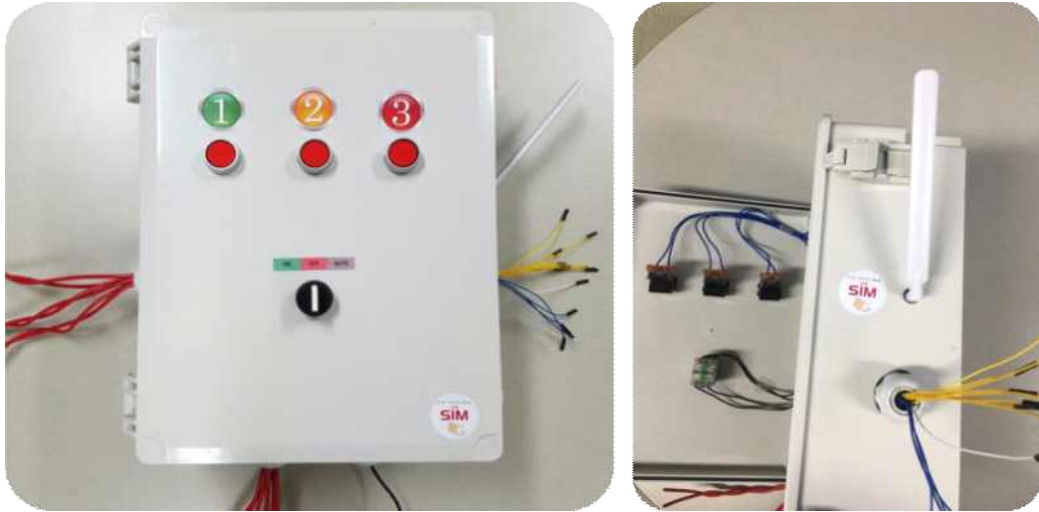
<멀티릴레이 연동(좌) / RPI-LTE실드 연동(우)>

### 3. 시스템 결과물



<발효저장탱크 원격제어 시스템 설계도>

○ 시스템 개발내용에 따라 마이크로컨트롤러, 마이크로프로세서, 멀티릴레이컨트롤러를 중심으로, 상태데이터 수신, 자동/수동 제어 선택을 위한 스위치, 푸시 스위치, 물리적인 전기신호 연결/차단을 위한 마그네틱 스위치등을 연동한 회로를 구성함.



<원격제어컨트롤박스 정면 / 측면>

○ 컨트롤박스 정면의 경우, 발효저장탱크 3개의 제어포인트를 위한 수동 푸시 스위치 및 자동/수동/OFF 스위치로 구성되어 있으며, 좌측과 하단부의 적색 전기선이 물리적으로 연결되어 있음

○ 우측 하단의 전기선의 경우 컨트롤박스 자체의 전원연결선이며, 우측 측면에는 LTE안테나 및 상태데이터 센싱을 위한 데이터선으로 구성되어 있음.

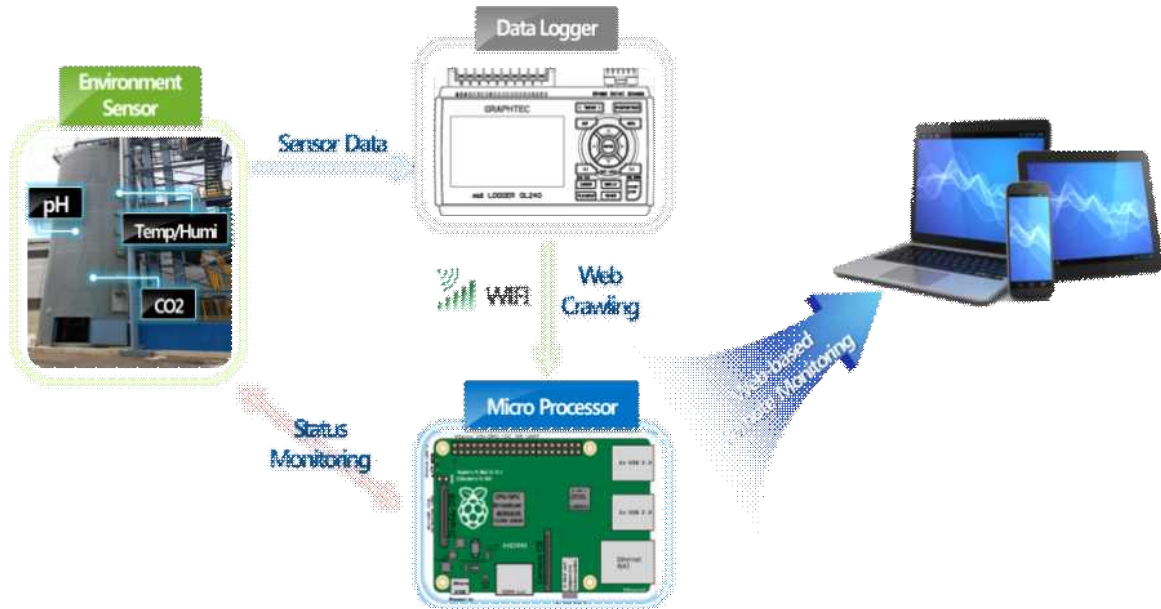


<원격제어컨트롤박스 내부>



## 제2절 스마트 원격제어 시스템 개발

### 1. 구성도



<발효저장탱크 센서모니터링시스템 구성도>

- 센서모니터링시스템은 발효저장탱크의 센서데이터를 기록하는 데이터로거, 센서의 상태모니터링 및 데이터로거에서 전달받은 센서데이터처리, 웹 모니터링 서비스를 위한 마이크로프로세서로 구성됨.
- 센서는 발효통 상단에 온습도센서, CO2센서가 부착되며, 측면에는 써머커플타입의 온도센서 3개와 사료원료 청소문 입구에 pH센서가 부착됨.

### 2. 시스템 개발내용

#### 가. 환경센서(온도, 습도, CO2, pH)

- 상단에 설치된 온습도센서는 NOVUS사의 RHT-DM을 사용하며 세부 사항은 다음과 같음.



### SPECIFICATIONS

#### Humidity measurement:

Accuracy: Refer to Fig. 01;  
 Repeatability:  $\pm 1\%$  RH;  
 Non-linearity:  $\ll 1\%$  RH;  
 Stability:  $< 1\%$  RH / year;  
 Span: any value between 0 and 100 % RH or -100 and 103 °C for dew point;  
 Response time: 4 seconds in slow moving air (63 %);

#### Temperature channel:

Accuracy: Refer to Fig. 01;  
 Repeatability:  $\pm 0.1\%$  °C;  
 Response time: up to 30 seconds in slow moving air (63 %);

#### General specifications:

Power supply: 12 Vdc to 30 Vdc (4-20 mA model)  
 18 to 30 Vdc / 15 mA. (0-10 V model)  
 Outputs: 4-20 mA or 20-4 mA current, 2-wire loop power supply;  
 0-10 Vdc / 2 mA max. (0-10 V model)  
 Output Load (RL): 4-20 mA output:  $RL \text{ (Ohms max.)} = (Vdc - 12) / 0.02$   
 let Vdc = Loop power supply (12 to 30 Vdc).  
 0-10 Vdc output: 2 mA max.  
 OUT1 output resolution: 0.006 mA (4-20 mA) or 0.003 V (0-10 V);  
 OUT2 output resolution: 0.022 mA (4-20 mA) or 0.015 V (0-10 V);  
 Channel isolation: the 4-20 mA outputs are isolated from each other. The 0-10 V outputs share a common ground;  
 Reverse polarity protection: YES  
 Protection: Electronic circuit case: IP65; Sensors capsule: IP40  
 Cable entrance: Compress fitting PG7,  
 Operating limits: Sensor and probe (RHT/DM): see Fig. 01;  
 Electronic circuit: -10 to +65 °C, 0 to 95 % RH.

### <Novus 온습도센서>

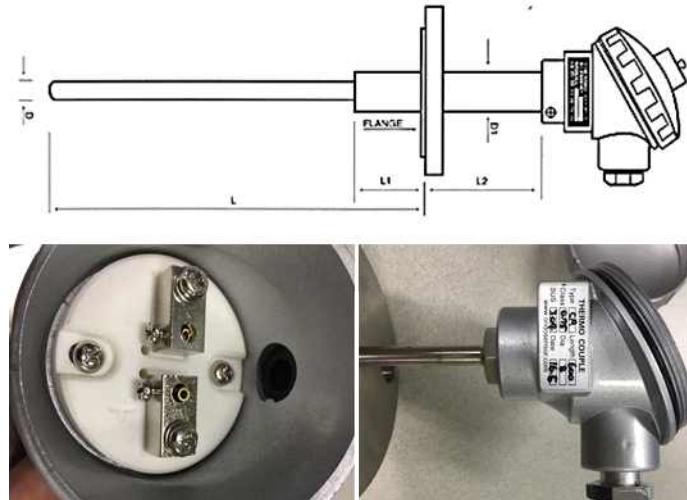
○ 상단에 설치된 CO2 센서의 경우 EYC사의 GT04-1118-D 모델을 사용함.



Environment		Electrical Regulation	
Working Temperature	0~50°C	Power Supply	24VDC±10%
Measuring Range	0~2000 PPM 0~5000 PPM 0~10000 PPM	Output Signal	4~20mA / 0~10VDC
Working Humidity	0~95%RH (Non-condensing)	Response Time	GT03: 20sec diffusion time GT04: <15min
Storage Humidity	0~95%RH	Current Consumption	< 70mA
Storage Temperature	-30~70°C	Load Resistance	≤ 500Ω for 4-20mA; ≥ 10KΩ for 0-10V.

### <EYC CO2센서>

○ 발효사료통 측면에 부착되는 써머커플타입의 온도센서는 국내업체인 삼원ENG사의 SS-2XXX시리즈 모델을 사용함.



<삼원ENG Themocouple>

- pH센서는 pH센서와 컨트롤러로 구성이 되어 있으며, 센서는 Wedgewood사의 SOTA-HF-S8을 사용하며, 컨트롤러는 디아이케이(주)의 WSP-100을 사용함.



<pH센서(좌) / pH컨트롤러(우)>

#### 나. Datalogger(GL240)

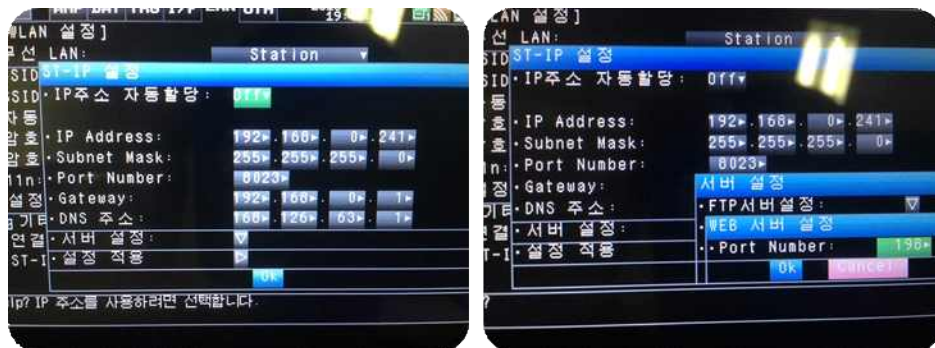
- Graphtec의 GL240데이터 로거는 자체적으로 센서데이터를 웹에서 모니터링 할 수 있는 기능이 포함되어 있음. 그러나 Thing Plus IoT 플랫폼을 통해 이전의 발효통 원격제어 시스템과 센서 상태 모니터링을 통합으로 구성할 경우에는 결국 마이크로프로세서 모듈을 통해 데이터를 처리해야함.
- 때문에, GL240자체의 웹 서버기능을 구동하고, 마이크로프로세서에서는 WebCrawling 기술을 이용하여 데이터로거의 센서데이터를 실시간으로 취득하도록 구현함.
- GL240 데이터로거의 웹서버 기능을 사용하기 위해서는 별도로 GL Wireless

LAN unit B-568모듈이 필요하며, 구형 버전에는 지원하지 않음.



<GL Wireless unit module>

○ 해당 모듈 장착시 데이터로거 메뉴에 LAN 설정 메뉴가 활성화됨. 설정에서 ST-IP설정, WEB서버와 관련된 IP, Subnet, Port, Gateway 값을 입력하여 설정함. 관련 정보는 GL240데이터로거가 접근하는 AP 포인트의 설정을 참고함.



<257 GL240 웹기능 설정>

다. 마이크로컨트롤러(Raspberry Pi 2)

○ 마이크로컨트롤러 모듈인 라즈베리파이에서는 GL-240에서 구동되는 Web상의 데이터를 추출해야함. 이는 WebCrawling을 지원하는 node.js의 npm모듈을 이용하여 구현함.

#### WebCrawling 소스 코드 일부

```
conn_info.js
```

```
module.exports =
    {url
```

```
};
```

```
'http://192.168.0.241:198/digital.cgi?chgrp=0?');
```

### **gl240.js**

```
var cheerio = require('cheerio');
var request = require('request');
var conninfo = require('./conn_info');
var url = conninfo.url;

function read(select_ch, callback){
  request(url, function(err, response, html){
    if(!err){
      $ = cheerio.load(html);
      $('table').first('tr').each(function(){

$(this).find('table').each(function(table_index){
      if(select_ch == table_index){

$(this).find('b').each(function(data_index){
      if(data_index ==
1){
      v a r
data = $(this).text();
callback(data);
      }
    });
  });
}
});
}
exports.read = read;
```

### **test\_dataRead.js**

```
var select_ch = 2;
```

```

var gl240 = require('./gl240');

gl240.read(select_ch-1, function(data){

    console.log(data);

});

```

- 라즈베리파이에서는 데이터 로거의 센서데이터를 가져온 후, IoT 플랫폼인 Thing Plus 관련 코드에 내부적으로 이를 명시하여, 웹상에서 통합으로 볼 수 있도록 하는 과정이 필요함. 다음은 이를 구현한 소스코드의 일부를 나타냄.

#### ThingPlus GL240 채널별 데이터 추가 소스코드 일부

**app.js**

```

DEVICES = [{
  deviceAddress: device0Id,
  sensors: [
    ...
    ...
    {
      id:[device0Id, 'gl240_ch1'].join('-'),
      type: 'number',
      name: 'gl240_ch1',
      notification: false
    },
    {
      id:[device0Id, 'gl240_ch2'].join('-'),
      type: 'number',
      name: 'gl240_ch1',
      notification: false
    },
    {
      id:[device0Id, 'gl240_ch3'].join('-'),
      type: 'number',
      name: 'gl240_ch1',
      notification: false
    }
  ]
}

```

```

    },
    ...
    {
      id:[deviceId, 'gl240_ch9'].join('-'),
      type: 'number',
      name: 'gl240_ch1',
      notification: false
    }
  ]
}];

```

### **grovePiSensors.js**

```

var gl240 = require('./gl240/gl240');

var gl240_dataArr = new Array();

GrovePiSensors.prototype.getData =
function (name) {
    ...

    else if(name === 'gl240_ch1'){
        gl240.read(0, function(data){
            gl240_dataArr[0] = parseFloat(data);
        });
        value = gl240_dataArr[0];
    },

    else if(name === 'gl240_ch2'){
        gl240.read(1, function(data){
            gl240_dataArr[1] = parseFloat(data);
        });
        value = gl240_dataArr[1];
    },

    ...
}

```



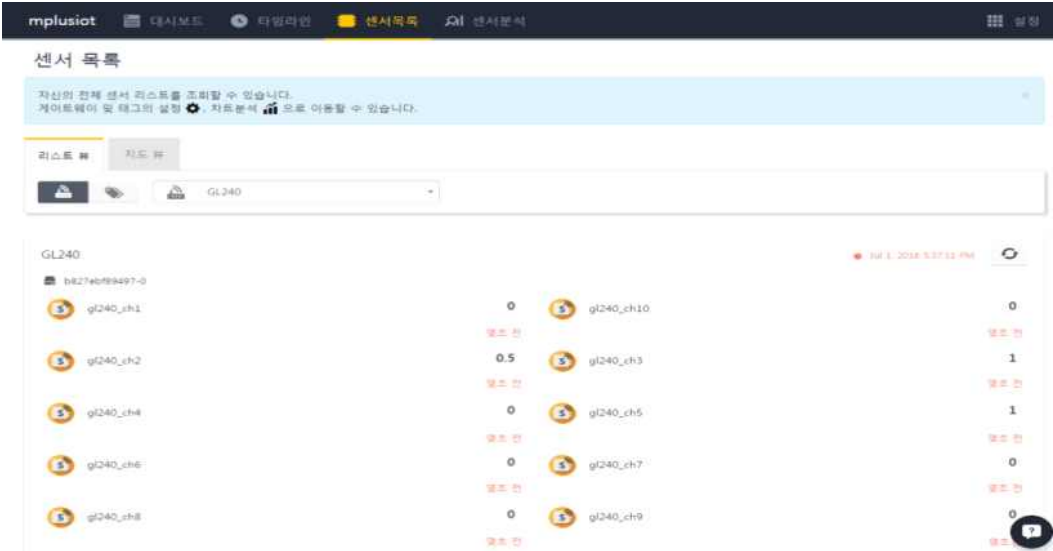
```

else if(name === 'gl240_ch10'){
    gl240.read(9, function(data){
        gl240_dataArr[9] = parseFloat(data);
    });
    value = gl240_dataArr[9];
}
}

```

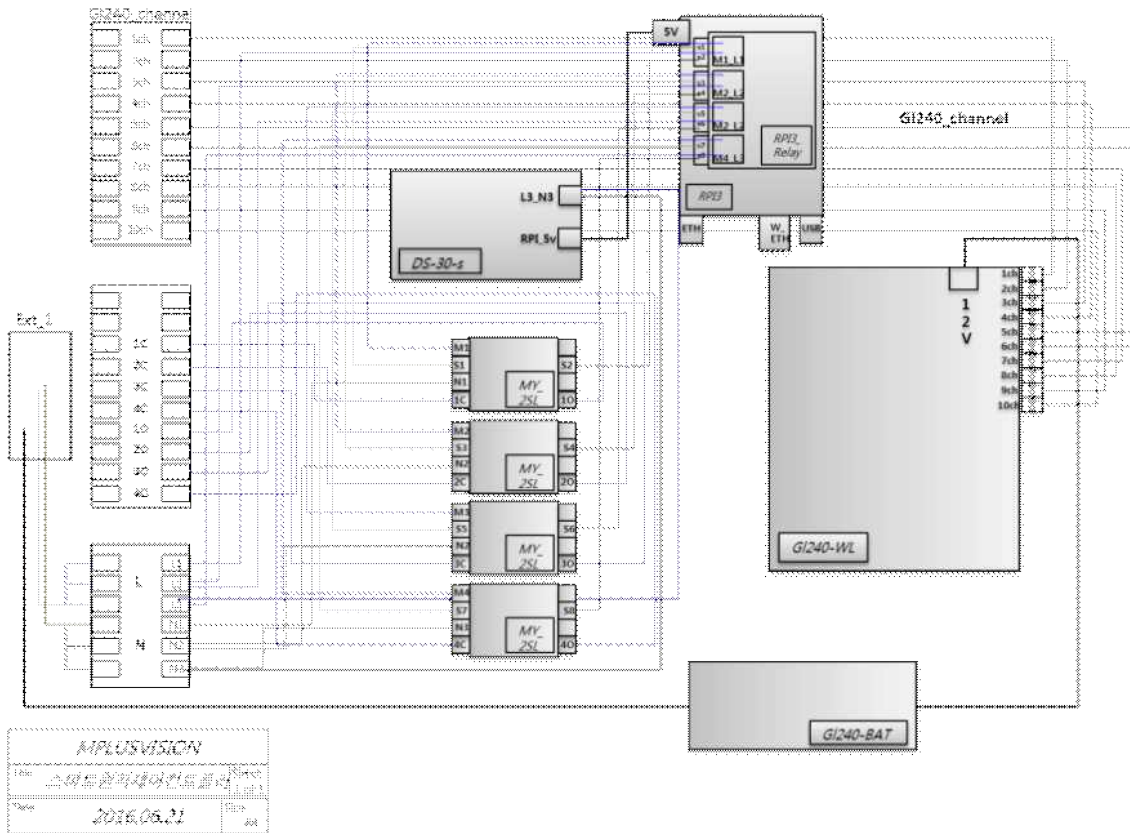
○ 데이터로그의 각 채널별로 연결된 센서의 전류 값에 대해 계산을 통한 실제 데이터를 추출하는 부분은 위의 소스의 각 채널데이터 저장하는 부분에 추가되며, 위의 예제에서는 이를 생략함.

○ 다음은 라즈베리파이와 GL240데이터로거를 연동한 ThingPlus IoT 플랫폼의 웹서버 결과 화면을 나타낸다.



<GL240 연동 ThingPlus 웹결과 화면>

3. 시스템 결과물



<발효저장탱크 센서모니터링 시스템 설계도>

- 발효저장탱크 센서모니터링 시스템은 마이크로컨트롤러, 데이터로거, 자체 전원공급을 위한 전원모듈, 제어확장을 위한 릴레이, 마그네틱 스위치등으로 구성되어 있음.
- GL240 채널에는 10개의 단자가 있으며, 이는 각 채널별 데이터로거의 입력채널과 연결됨. 마이크로컨트롤러에서는 WIFI모듈을 이용하여 데이터로거의 웹서비스에 접근하도록 구성되어 있음.
- 추가적으로 제어포인트 확장을 위해, 외부 단자와 마그네틱 스위치가 연결되어 있으며, 이에대한 제어는 마이크로컨트롤러 모듈에서 담당함. 스위치의 상태를 추가적으로 확인하기 위한 별도의 회로가 구성됨.



<센서모니터링 컨트롤박스 내부>

발효공정 분석을 위한 스마트 데이터 모니터링 및 배출 시스템 원격제어 통합관리 시스템을 개발한다.

개발 내용 및 범위 (시스템 구성도, 구조 등을 그림으로 구체적 표현)

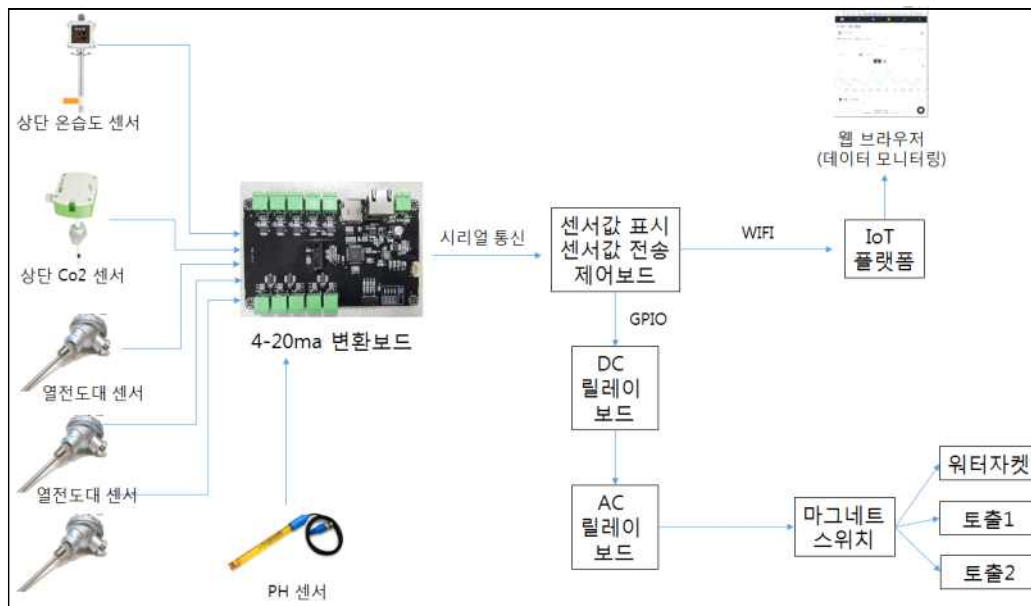
1. 센서 정보 수집 및 전송장치

- 4-20ma 타입의 온도센서, 습도센서, Co2 센서, pH에서 센서 정보를 수집할 수 있도록 한다.
- K 타입 써머커플 온도센서 2점에 대하여 센서 정보를 수집할 수 있도록 한다.
- 데이터 로거를 사용하지 않고 디렉트로 수집하여 IOT 서버에 데이터를 전송할 수 있도록 한다.
- 센서 데이터는 1분에 한번 수집할 수 있도록 한다.
- 수집된 데이터는 일자별로 혹은 그래프 혹은 테이블 형태로 PC 혹은 스마트폰에서 볼 수 있도록 한다.
- 센서정보 수집 및 전송장치는 화성낙농TRM 현장에 설치되고 현장에서 모니터를 통하여 실시간 현장 데이터와 수집상황을 관찰 할 수 있도록 한다.

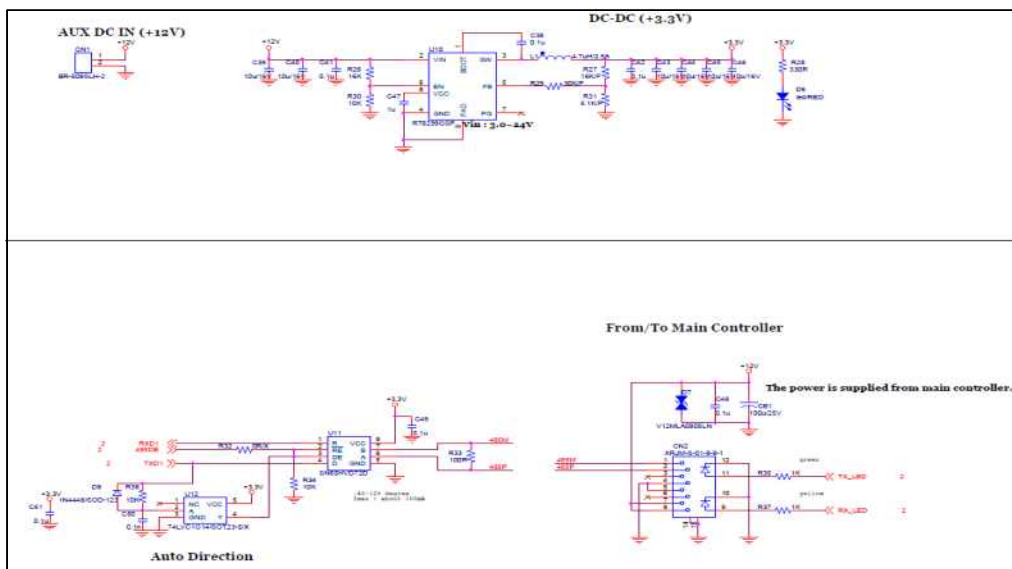
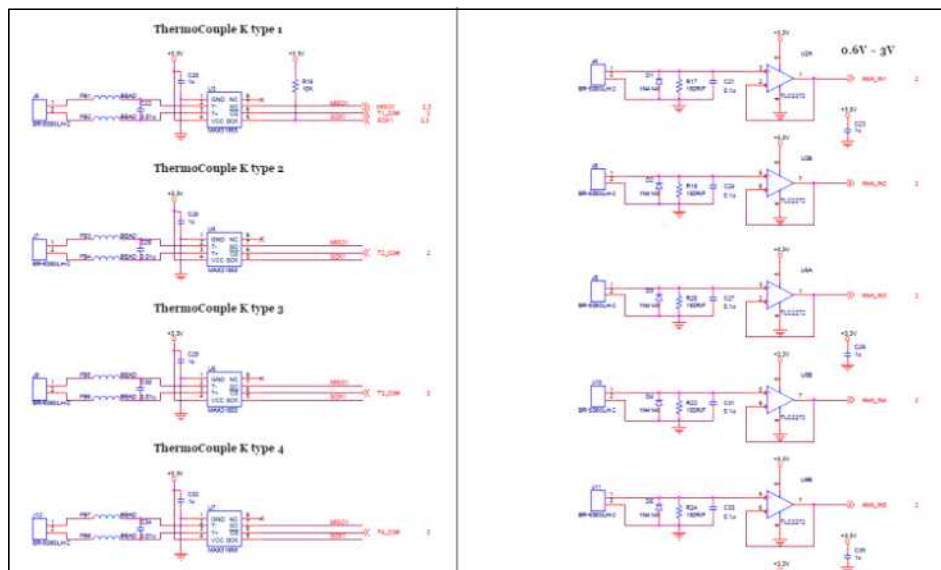
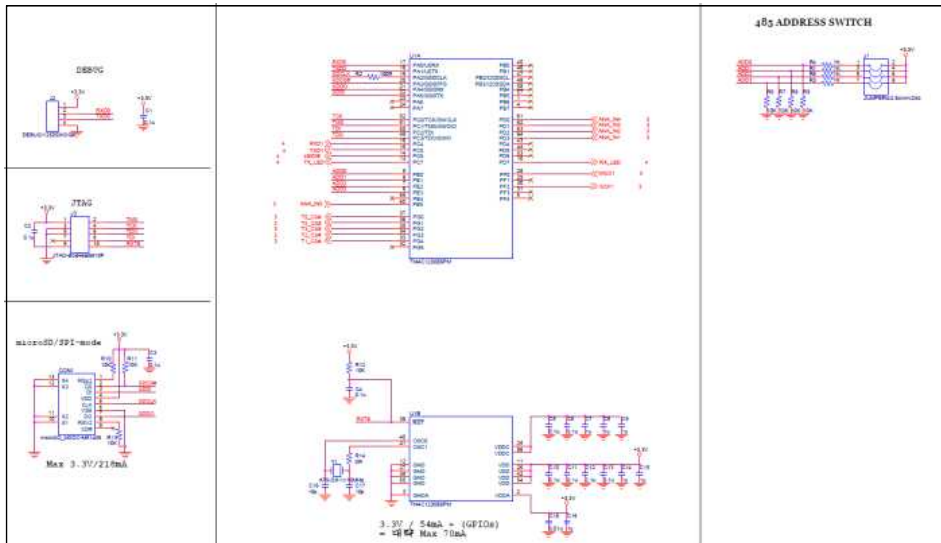
2. 센서값 모니터링 / 알람 설정 / 원격제어를 위한 웹사이트

- 현재 실시간 센서값을 대시보드 형태로 볼 수 있도록 한다.
- 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 한다.
- . 수집된 데이터는 텍스트 파일로 로컬 PC에 저장될 수 있도록 한다.
- . 발효통의 워터자켓 히터 2점, 발효 부산물 배출 1점, 총 3점에 대하여 원격지에서 ON/OFF 제어를 할 수 있도록 한다.
- . 원격 명령이 수행되었을 경우 이 명령이 실제 기계전기장치까지 도달했는지를 확인할 수 있는 로직을 설치하고 그 결과를 확인할 수 있도록 한다.

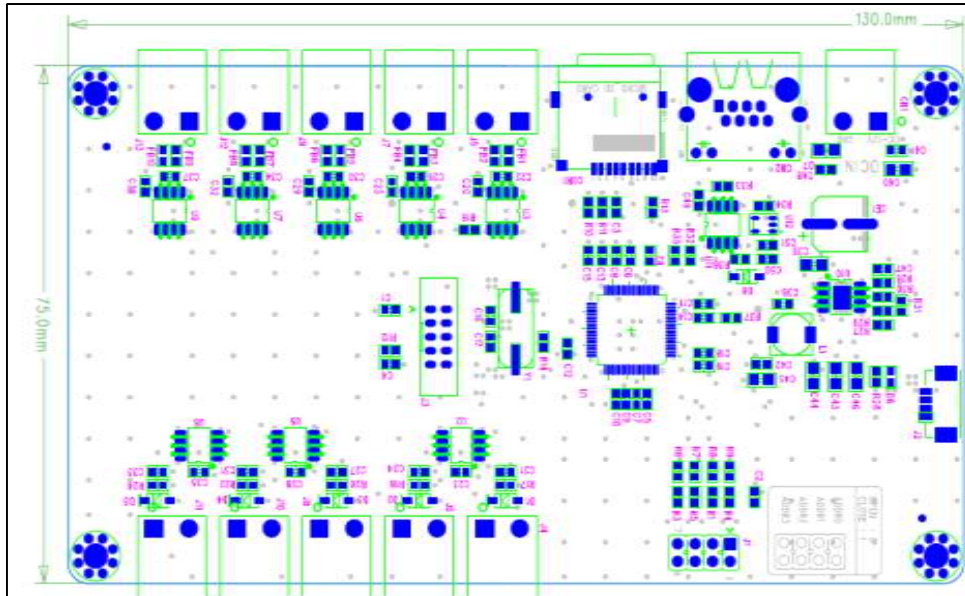


<시스템 구성도>

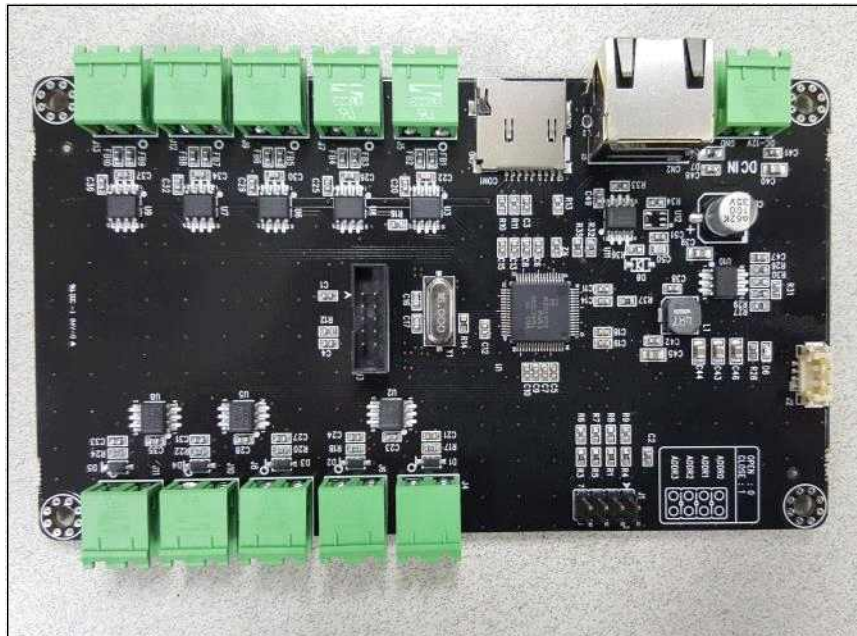


<4-20mA 변환 보드 설계>





<4-20mA 변환 보드 아트워크>



<4-20mA 변환 보드 제작>

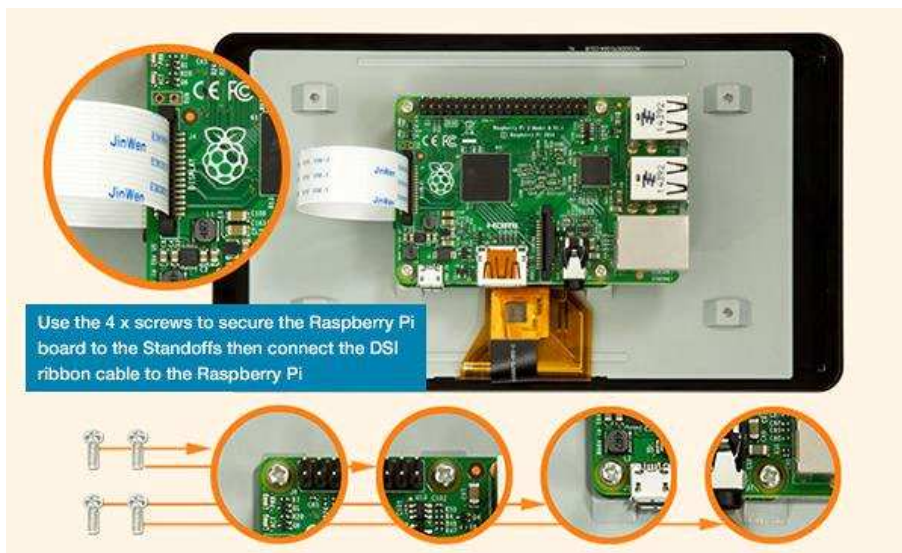
PACKET														
Master의 질의에 Slave가 응답하는 구조이다. SMS_Analog B/D는 Slave이다. 마태 매에서 SLAVE의 ID가 0x21 이라고 가정 한다.														
Read AllStatus														
5개의 Thermocouple sensor와 5개의 4-20mA input 결과 모두 읽는다. 응답 packet의 크기는 39byte이다.														
Master >>> Slave	STX	ID	CMD	MESSAGE	ETX									
	0xA1	0x21	0xC0	0x00	0xA2									
Slave >>> Master	STX	ID	CMD	MESSAGE					ETX					
	0xA1	0x21	0xC0	THERMO1	THERMO2	THERMO3	THERMO4	THERMO5	AinData1	AinData2	AinData3	AinData4	AinData5	0xA2
Read Thermocouple														
5개의 Thermocouple sensor 결과 읽는다. 응답 packet의 크기는 29byte이다.														
Master >>> Slave	STX	ID	CMD	MESSAGE	ETX									
	0xA1	0x21	0xC1	0x00	0xA2									
Slave >>> Master	STX	ID	CMD	MESSAGE			ETX							
	0xA1	0x21	0xC1	THERMO1	THERMO2	THERMO3	THERMO4	THERMO5	0xA2					
Read AnalogIn														
5개의 4-20mA Analog In 결과 모두 읽는다. 응답 packet의 크기는 14byte이다.														
Master >>> Slave	STX	ID	CMD	MESSAGE	ETX									
	0xA1	0x21	0xC2	0x00	0xA2									
Slave >>> Master	STX	ID	CMD	MESSAGE					ETX					
	0xA1	0x21	0xC2	AinData1	AinData2	AinData3	AinData4	AinData5	0xA2					

<4-20mA 변환 보드 펌웨어 제작(프로토콜 설계)>

○ 센서값 표시 / 센서값 전송 제어보드

○ 라즈베리파이3 + 라즈베리파이 공식 모니터

라즈베리파이3는 자체적으로 wifi 기능을 탑재하고 있으며 라즈비안이라는 리눅스 기반 OS가 탑재됨으로 IoT 플랫폼에 연동하기 가장 최적의 보드입니다. 또한 라즈베리파이 공식 모니터는 7인치 정전식 터치식 모니터이므로 센서값을 실시간으로 현장에서 디스플레이하고 제어 포인트를 화면상에서 터치하여 조작하는데 최적의 장치임.



○. 센서값 디스플레이 어플리케이션 제작

라즈베리파이3에 Qt 설치하고 어플리케이션을 제작하였음.



## Forage Permantation Monitor

Temperature 1	<input type="text"/> C	Humidity	<input type="text"/> %	Water Jacket	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>
Temperature 2	<input type="text"/> C	Co2	<input type="text"/> ppm	discharge 1	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>
Temperature 3	<input type="text"/> C	Ph	<input type="text"/> Ph	discharge 2	<input type="button" value="OFF"/>	<input type="button" value="ON"/>	<input type="button" value="OFF"/>
Temperature 4	<input type="text"/> C						

<센서값 디스플레이 어플리케이션 UI 디자인>

센서값 디스플레이 어플리케이션 소스코드 일부

```
#include <QTimer>
#include <QDebug>
#include "mainwindow.h"
#include "ui_mainwindow.h"

MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::MainWindow),
    bWaterJacket(false),
    bDischarge1(false),
    bDischarge2(false),
    qSharedMemoryRelay("relay-Shared-Memory")
{
    ui->setupUi(this);
    //set label color
    ui->lbWaterJacket->setStyleSheet("QLabel { background-color : red; color : black;}");
    ui->lbDischarge1->setStyleSheet("QLabel { background-color : red; color : black;}");
    ui->lbDischarge2->setStyleSheet("QLabel { background-color : red; color : black;}");
}
```

```

if(!qSharedMemoryRelay.attach()) {
    qDebug() << "Cannot attach to shared memory to update";
    qDebug() << "key :" << qSharedMemoryRelay.key();
    qSharedMemoryRelay.create(77);
    this->close();
    return;
}

pchRelay = (char *)qSharedMemoryRelay.data();

QTimer *m_pTimer = new QTimer(this);
connect(m_pTimer, SIGNAL(timeout()), this, SLOT(onTimer()));
onTimer();
m_pTimer->start(1000);
}

void MainWindow::onTimer()
{
    static unsigned uCount = 0;
    if ( 0 == (uCount++ % 10)) {
        int nRandomNumber = 0;
        //generate random number
        nRandomNumber = qrand() % 41 ;
        ui->lnTemperature1->display(QString::number(nRandomNumber));
        nRandomNumber = qrand() % 41 ;
        ui->lnTemperature2->display(QString::number(nRandomNumber));
        nRandomNumber = qrand() % 41 ;
        ui->lnTemperature3->display(QString::number(nRandomNumber));
        nRandomNumber = qrand() % 41 ;
        ui->lnTemperature4->display(QString::number(nRandomNumber));
        nRandomNumber = qrand() % 41 ;
        ui->lnHumidity->display(QString::number(nRandomNumber));
        nRandomNumber = qrand() % 5000 ;
        ui->lnCo2->display(QString::number(nRandomNumber));
        nRandomNumber = qrand() % 10 ;
        ui->lnPh->display(QString::number(nRandomNumber));
    }
}

```

```

//waterjacket state update
if ( 0 == pchRelay[WATERJACKET_STATE_IDX]) {
    ui->lbWaterJacket->setText("OFF");
    ui->lbWaterJacket->setStyleSheet("QLabel { background-color : red;
color : black;}");
    bWaterJacket = false;
} else {
    ui->lbWaterJacket->setText("ON");
    ui->lbWaterJacket->setStyleSheet("QLabel { background-color : green;
color : black;}");
    bWaterJacket = true;
}
//discharge1 state update
if ( 0 == pchRelay[DISCHARGE1_STATE_IDX]) {
    ui->lbDischarge1->setText("OFF");
    ui->lbDischarge1->setStyleSheet("QLabel { background-color : red;
color : black;}");
    bDischarge1 = false;
} else {
    ui->lbDischarge1->setText("ON");
    ui->lbDischarge1->setStyleSheet("QLabel { background-color : green;
color : black;}");
    bDischarge1 = true;
}

//discharge2 state update
if ( 0 == pchRelay[DISCHARGE2_STATE_IDX]) {
    ui->lbDischarge2->setText("OFF");
    ui->lbDischarge2->setStyleSheet("QLabel { background-color : red;
color : black;}");
    bDischarge2 = false;
} else {
    ui->lbDischarge2->setText("ON");
    ui->lbDischarge2->setStyleSheet("QLabel { background-color : green;
color : black;}");
    bDischarge2 = true;
}
}

```

```

}

MainWindow::~MainWindow()
{
    delete ui;
}

void MainWindow::on_pbWaterJacketOn_clicked()
{
    if ( false == bWaterJacket ) {
        pchRelay[WATERJACKET_ACTION_IDX] = 1;
    }
}

void MainWindow::on_pbWaterJacketOff_clicked()
{
    if ( true == bWaterJacket ) {
        pchRelay[WATERJACKET_ACTION_IDX] = 0;
    }
}

void MainWindow::on_pbDischarge1On_clicked()
{
    if ( false == bDischarge1 ) {
        pchRelay[DISCHARGE1_ACTION_IDX] = 1;
    }
}

void MainWindow::on_pbDischarge1Off_clicked()
{
    if ( true == bDischarge1 ) {
        pchRelay[DISCHARGE1_ACTION_IDX] = 0;
    }
}

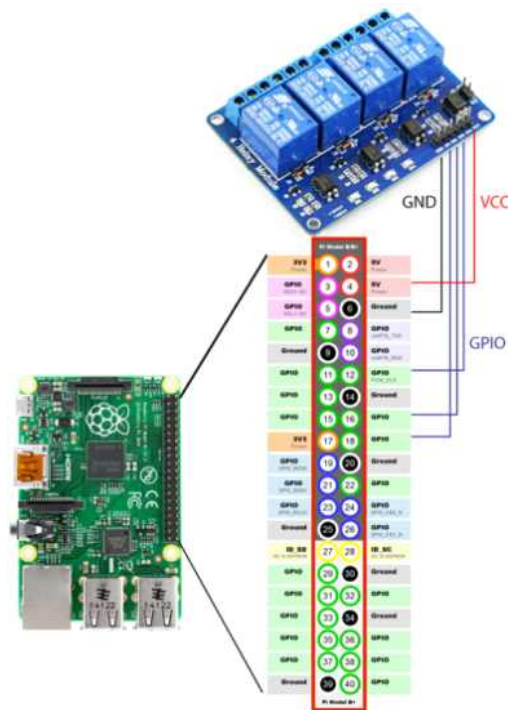
```

```
void MainWindow::on_pbDischarge2On_clicked()
{
    if ( false == bDischarge2 ) {
        pchRelay[DISCHARGE2_ACTION_IDX] = 1;
    }
}

void MainWindow::on_pbDischarge2Off_clicked()
{
    if ( true == bDischarge2 ) {
        pchRelay[DISCHARGE2_ACTION_IDX] = 0;
    }
}
```

### 3. 라즈베리파이와 릴레이 회로 연결

라즈베리파이에는 GPIO가 있어서 외부로 입출력이 가능하다. 릴레이로 마그네트 스위치를 바로 제어할 수 있지만 마그네트의 작동상태를 시스템에 반영하기 위하여 AC 릴레이를 설치하여 DC 릴레이로 AC 릴레이를 제어하고 AC 릴레이의 일부 접점을 릴레이 동작 상태를 점검하는 입력으로 이용한다.



<라즈베리파이 GPIO와 릴레이 보드>

라즈베리파이에 GPIO를 제어하기 위하여 wiringPi를 다운받은 후 컴파일하여 라이브러리를 만들고 이를 이용하여 GPIO의 입력과 출력을 제어하는 프로그램을 작성한다.

라즈베리파이 GPIO 출력 프로그램 일부

```
#include <wiringPi.h>
int main(void)
{
    wiringPiSetup();
    pinMode(0, OUTPUT);
    for(;;)
    {
        digitalWrite(0, HIGH);
        delay(500);
        digitalWrite(0, LOW);
    }
}
```

```

    delay(500);
}
return 0;
}

```

#### 라즈베리파이 GPIO 입력 프로그램 일부

```

#include <stdio.h>
#include <wiringPi.h>

#define SW 1 // BCM_GPIO 18

#define LED1 4 // BCM_GPIO 23
#define LED2 5 // BCM_GPIO 24

int main (void)
{
    if (wiringPiSetup() == -1)
        return 1 ;

    pinMode(SW, INPUT);

    pinMode(LED1, OUTPUT);
    pinMode(LED2, OUTPUT);

    for(;;)
    {
        digitalWrite(LED1, 0); // Off
        digitalWrite(LED2, 0); // Off

        if(digitalRead(SW) == 0)
        {
            digitalWrite(LED1, 1); // On
            digitalWrite(LED2, 1); // On
            delay(1000) ; // mS
        }
    }
    return 0 ;
}

```

#### 4. AC 릴레이

AC 릴레이는 4극의 LY4 릴레이를 사용한다. LY4 릴레이는 찬널형태의 LY4 릴레이 소켓을 사용하여 체결한다. DC 릴레이를 이용함 AC 릴레이를 제어하는데 4극이기 때문에 4극은 마그넷 스위치를 제어하여 워터 자켓이나 토출 모터를 제어한다. 나머지 2극은 제어명령을 내렸을 때 시제로 모터가 구동되고 있는지 모니터링 하기 위하여 라즈베리파이의 GPIO 입력으로 연결하여 릴레이가 OFF 일 경우 1을 릴레이가 ON일 경우 0을 입력하도록 한다.





<LY4 AC 릴레이>



< LY4 AC 릴레이 소켓>

### 5. IOT 플랫폼 연동

사료 발효 시스템에서 수집된 데이터는 IoTMakers로 전송한다. IoTMakers로 전송된 데이터는 실시간 데이터를 관찰하거나 일정기간의 데이터는 그래프로 관찰할 수 있으며 특정 이벤트에 대하여 문자를 전송할 수 있다.

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 디바이스 시뮬레이터를 제공한다.
디바이스 복제	디바이스 복제 기능을 통해 동일한 디바이스 다건 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 워크플로우를 쉽게 설정할 수 있다.
대시보드를 통한 모니터링	나의 대시보드를 통해 디바이스로부터 수집되는 실시간 데이터를 모니터링 할 수 있다.
공개 디바이스	공개 디바이스를 통해 타 이용자가 등록한 디바이스로부터 수집되는 태그 스트림 데이터 이벤트 정보들을 이용하여 나만의 IoT 서비

스를 만들 수 있다.

#### IOTMakers 통신 프로그램 일부

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <signal.h>
#include "iotmakers.h"
static int local_loop = (0);
static void SigHandler(int sig)
{
switch(sig)
{
case SIGTERM :
case SIGINT :
printf("accept signal SIGINT[%d]Wn", sig);
im_stop_service();
local_loop = (0);
break;
default :
;
};
return;
}
static void set_SigHandler()
{
signal(SIGINT, SigHandler);
signal(SIGTERM, SigHandler);
}
/* =====
main_sample2.c
- Sending the complex collection data
im_init_complexdata();
im_add_complex_data_number();
im_send_complexdata();
===== */
int main()
{
int i;
int rc;
double val = 0.0;
set_SigHandler();
printf("im_init()Wn");
rc = im_init_with_config_file("./config.txt");
if ( rc < 0 ) {
printf("fail im_init()Wn");
return -1;
}
im_set_loglevel(LOG_LEVEL_DEBUG);
printf("im_start_service()...Wn");
rc = im_start_service();
```

```

if ( rc < 0 ) {
printf("fail im_start_service()\Wn");
im_release();
return -1;
}
local_loop = (1);
val = 0;
while (local_loop == (1))
{
rc = im_init_complexdata();
if ( rc < 0 ) {
printf("ErrCode[%d]\Wn", im_get_LastErrCode());
break;
}
rc = im_add_complex_data_number("Latitude", (double)
35.460670);
if ( rc < 0 ) {
printf("ErrCode[%d]\Wn", im_get_LastErrCode());
break;
}
rc = im_add_complex_data_number("Longitude", (double)
126.914063);
if ( rc < 0 ) {
printf("ErrCode[%d]\Wn", im_get_LastErrCode());
break;
}
printf("im_send_complexdata()...\Wn");
rc = im_send_complexdata(0);
if ( rc < 0 ) {
printf("ErrCode[%d]\Wn", im_get_LastErrCode());
return -1;
}
sleep(5);
}
printf("im_stop_service()\Wn");
im_stop_service();
printf("im_release()\Wn");
im_release();
return 0;

```

## 제7장 시스템의 현장적응시험 및 수정보완

본 장에서는 현장실증 사이트인 화성낙농법인에 설치된 본 연구의 개발 모델인 부산물발효저장 시스템의 현장실험을 통하여 설비의 문제점을 분석하여 수정보완하였다.

### 제1절 버켓엘레베이터 수정보완

- 버켓엘레베이터 상부와 하부 드럼에 천공을 통하여 조사료와 함께 얽힌 부산물 사료가 끼어 부산물발효저장조로 투입되지 않고 버켓엘레베이터 내부에 남아 부패 및 산패되는 현상이 발생하였다. 이에 상하부 드럼의 천공을 모두 막는(브라인드) 작업을 통하여 수정 보완하였고 버켓엘레베이터 하단에 잔류 부산물이 남는 현상을 방지하고자 하부 드럼의 위치를 기존 설계 대비 더 낮게 수정 하여 재설치 하였다.





<버킷엘리베이터 문제점>



<버킷엘리베이터 수정보완>



## 제2절. 부산물 발효저장조 수정보완

- 버켓엘레베이터를 통하여 상부로 이송된 부산물사료를 부산물발효저장조로 투입하는 스크류컨베이어 형식의 사료투입장치가 세월이 일정치 않은 조사료에 의해 원활이 투입되지 않고 오버플로우 하는 현상이 발생하였고 스크류컨베이어와 투입벨브의 간격조절로 문제점을 해결하였다.



부산물 발효저장조 사료 투입장치 수정보완>

### 제3절. 스위프오거 수정보완

○ 부산물발효 저장조 하단에서 발효완료된 부산물을 배출하는 스위프오거는 당초 20마력으로 선정되었지만 3일의 발효기간을 거치는데 상부의 수분이 하부로 이동하는 현상이 발생하여 하부의 비중이 높아졌고 조사료가 서로 얽혀 있어 초기 정지마찰력이 당초 설계보다 커져 구동축이 휘어지는 현상이 나타났다. 이에 스위프오거의 정격용량을 50마력으로 상향하였으며 인버터를 설치하여 구동축의 자회전속도를 조절함으로써 높은 초기마찰력 문제를 해결하였다.







<스윙프오거 수정보완작업>



<토크모터(SEW MOTOR)>

## 제8장 성능시험 및 사료품질

본 장에서는 현장실험을 통하여 수정보완작업을 마친 현장실증 사이트(화성낙농법인)의 부산물 발효저장 시스템의 성능실험을 공인인증기관인 (재)대구기계부품연구원에 의뢰하여 실시 사업초기 목표로 하였던 정량적 지표에 부합하는 것을 확인하였으며, 장기발효에 있어 안정성 및 사료의 품질을 분석하였고, 원격제어 컨트롤러의 성능테스트 및 전류값 측정을 통하여 스위프오거의 모터 출력 범위를 검증하였다.

### 제1절 단위기계 처리능력

#### ○ 시험 방법

1. 공시재료는 화성 낙농법인에서 활용하는 부산물사료 4종을 활용하여 실험
1. 시험법을 혼합부산물의 발효저장조 투입과 배출로 구분하여 실험실시( 5 ton/h 이상)
2. 투입은 배합기에서 발효저장조로 투입되는양 측정 (배합기 로드셀 측정)
3. 배출은 발효저장조에서 충전기로 배출되는 양 측정 (충진기 로드셀 측정)

#### ○ 시험 장비 및 시료 :

- 장비 : Trioliet 배합기(SoloMix 1-1400)와 계량시스템, 은성플랜트 충전기와 계량시스템
- 시료 : 혼합부산물

#### ○ 시험 사진



<부산물사료 임시저장탱크>



<부산물사료 4종>



<부산물 투입사진>





<부산물 배출사진>

○ 시험 Data

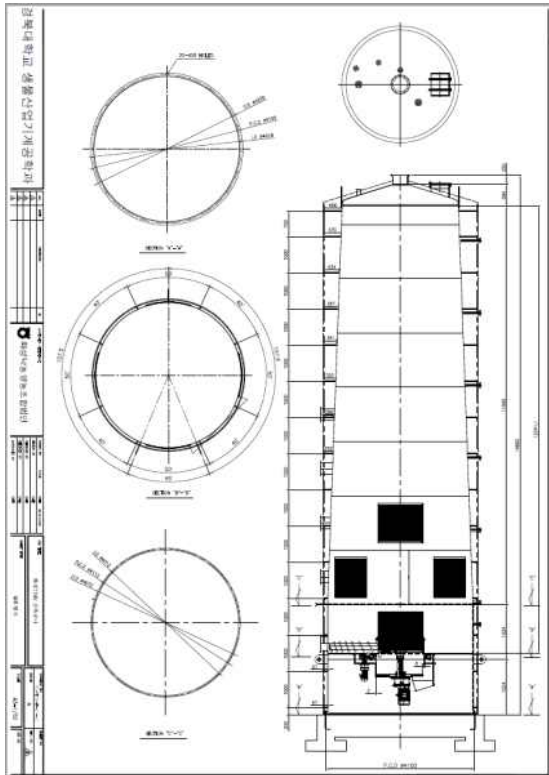
	투입			배출			
무게	3.5 TON	3.5 TON	3.5 TON	2.8 TON	2.5 TON	2.8 TON	2.4 TON
시간	5분40초	5분25초	6분5초	10분33초	10분22초	10분47초	11분02초
평균	36,783 Kg/h			14,756 kg/h			

○ 시험 결과

항목	개발목표	최종결과
단위기계 처리능력(투입)	5 ton/h	36,783 Kg/h (37 ton/h)
단위기계 처리능력(배출)	5 ton/h	14,756 Kg/h (15 ton/h)

## 제2절 전발효 공정 저장능력

- 시험 규격 : 부피 산정법, 현장 실험법
- 시험 방법
  1. 제작도면을 통한 발효저장조 부피산정
  2. 현장에서의 혼합사료 3배치 (10.5 ton) 투입을 통한 실증확인
- 시험 장비 및 시료 :
  - 장비 : AUTO CAD 및 줄자
  - 시료 : 혼합부산물
- 시험 사진



<저장능력 시험사진>

○ 시험 Data

	부피산정법	실험값
혼합사료 비중	0.3	0.3
탱크부피	$2m \times 2m \times \pi \times 12.5m = 157m^3$	10 ton 투입시 탱크바닥에서 2.7 m 적제됨
산정값	47,100 kg (47Ton)	46,296 kg (46Ton)

\* 비고 : 부산물사료 비중 0.5~0.7(평균 0.6) 적용시, 부산물사료 저장은 92,592 kg 가능

○ 시험 결과

항목	개발목표	최종결과
전발효 공정 저장능력	10 ton	46,296 kg (46 ton)

### 제3절 부산물 사료 손실율

○ 시험 방법

1. 발효저장조 투입무게 와 배출무게의 차이를 확인한다
2. 10 ton 의 혼합부산물의 투입 배출 시험에 있어 각 공정별 잔량의 총합을 측정하여 그 범위가 5% 이내에 있는지 확인한다.

○ 시험 장비 및 시료

- 장비 : CAS DB-200
- 시료 : 혼합부산물

○ 시험 사진



<사료 손실을 사진>

○ 시험 Data

	투입무게	배출무게	손실율
발효저장조	10,500 Kg	10,398 Kg	102 Kg
컨베이어 및 기타 공정기계	—		204 Kg
총합	—		306 Kg

○ 시험 결과

항목	개발목표	최종결과
부산물사료 손실율	5% 이내	2.85%



## 제4절 부산물 사료 혼합 균일도

○ 시험 규격 : 농업공학연구소 배합성능 적합판정기준 ( $CV^* < 30\%$ )

○ 시험 방법

1. 배합 전 1배치의 (3.5 ton) 공시시료에 면실을 6.6% (231 Kg) 투입하였다.
2. 샘플의 채취는 배합 후 배합기 배출구 및 포장기 배출구(2개의 지점)에서 공정단계별 10%, 50%, 90%(3개의 공정)에서 각각 1,000g씩 총 10개를 채취하였다.

3. 배합변이계수 산출\* (  $CV = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}} \times 100$  )

여기서, CV : 배합변이계수 (%)

n : 측정횟수

m : 측정값의 평균중량 (g)

$\sum x$  : 각 측정값의 합계 (g)

$\sum x^2$  : x값의 제곱의 합계 (g)

○ 시험 장비 및 시료

- 장비 : 전자저울 : FX-3000 (A&D Company,Limited)
- 시료 : 혼합부산물

○ 시험 사진



<혼합변이계수 측정사진>

○ 시험 Data

	10% (%)	50% (%)	90% (%)	Average (%)
1.배합기 배출구	10.22	9.11	8.43	9.25
2.발효저장탱크 배출구	11.25	10.85	8.87	10.32
재분리성 (2-1)	1.03	1.74	0.44	1.07

○ 시험 결과

항목	개발목표	최종결과	
부산물 사료 혼합 균일도	30% 이내	배합기 배출구	9.25 %
		발효저장탱크 배출구	10.32 %

※ 배합기 배출구와 발효저장탱크 배출구 사이의 CV값의 차이가 크지 않은 것으로 나타나 발효저장탱크에서의 배합사료의 재분리성이 낮은 것으로 판단된다.

## 제5절. 전 발효 공정 제어온도

○ 시험 방법

1. 워터자켓을 구동시켜 탱크 내부 온도가 20~40 ℃ 의 범위에 있는지 확인한다.

○ 시험 장비 및 시료

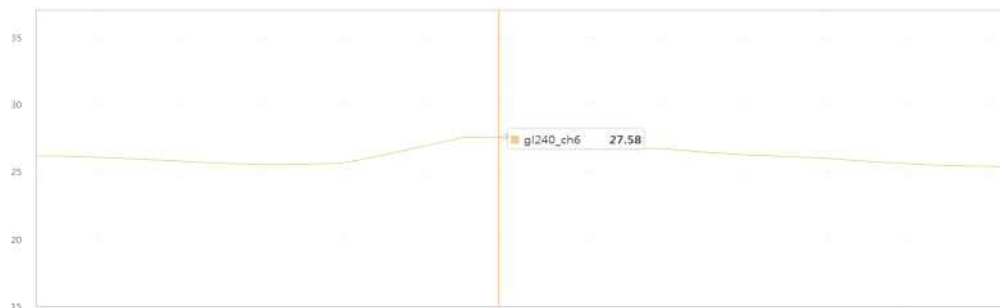
- 장비 : 온도센서 : STH-PD5N-F (시트로닉스), 데이터로거 : GL-220 (그래프텍)
- 시료 : 혼합부산물

○ 시험 사진



<발효 저장조 내부 온도 측정 및 데이터 수집>

○ 시험 Data(2017년 7월 6일 - 7일)



○ 시험 결과

항목	개발목표	최종결과
전발효공정 제어온도	20~40 °C	25.5~27.58°C (평균 26.2°C)

## 제6절. 부산물사료 장기발효 실험

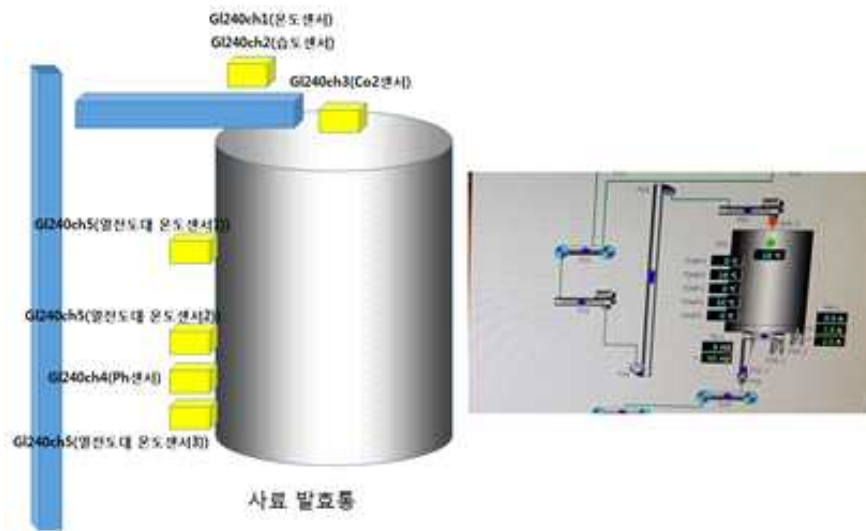
○ 시험 방법 :

화성 낙농 TMR 공장의 부산물 발효 저장조에 50ton 용량의 사료 [혼합부산물 4종(감귤박, 면실, 파인애플박, 옥수수과쇄옥)+조사료+농후사료]를 충전 후 센서를 통하여 장기 발효 과정의 온도, pH, co2, 압력, 습도의 변화를 측정

○ 시험 장비 :

사진	종류	제조사	품명	제조국
	온도 센서	Sensys	TSRT100C64-90/ 40-G/A-H	KOREA
	습도 센서	Rixen	MTR-731A	GERMANY
	co2 센서	Hitech- Instruments	IR600	U.K.
	pH 센서	Broadley James Corporation	F635- B120-DH	U.S.A.
	압력센서	WIKA	S-10	GERMANY
	데이터로 거	Graphtec	GL-220	JAPAN

○ 시험 사진 :

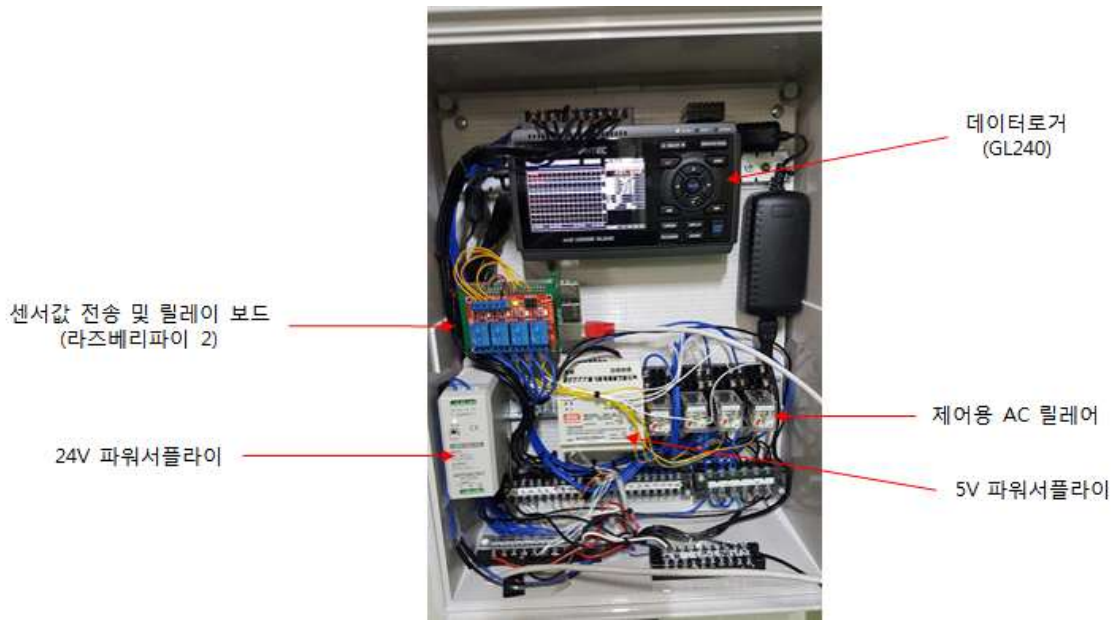


<부산물 발효 저장조 센서 설치 위치>

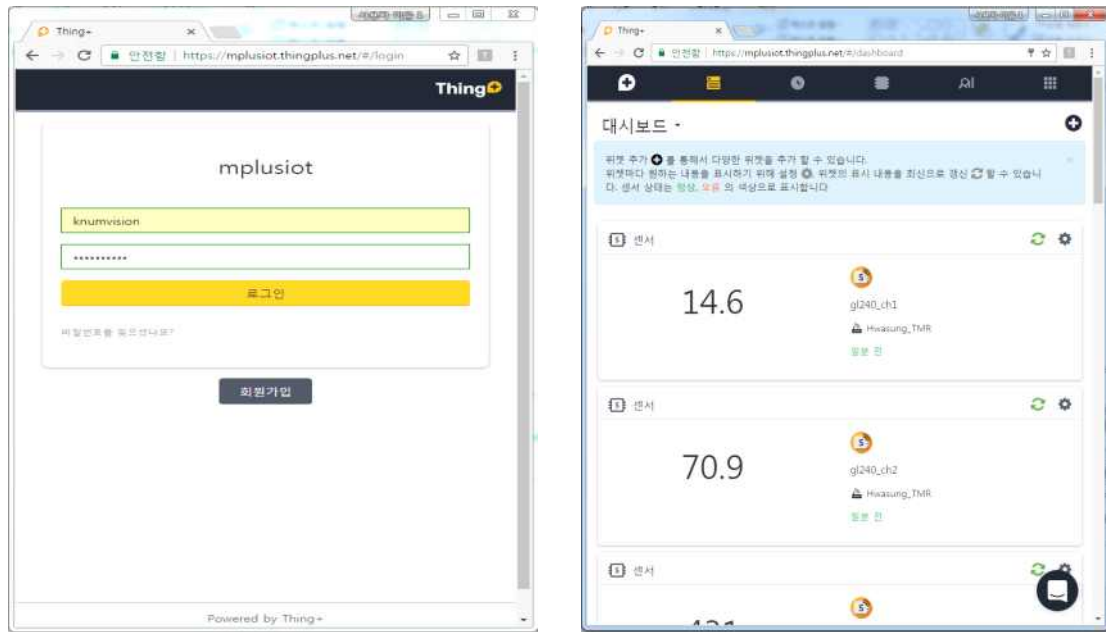


<50ton 발효 시험 사진>

○ 시험 사진 :



<데이터 획득을 위한 로거 판넬 사진>



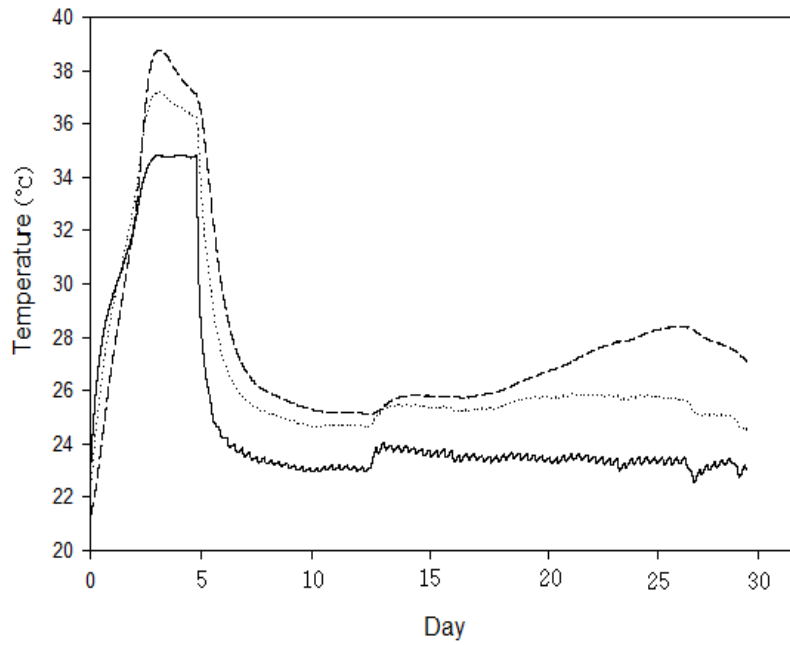
<IoT 플랫폼을 활용한 데이터 조회 확인 사진>



○ 시험 Data :

	1	2	3	4	5	6	7
	온도1	온도2	온도3	pH	CO2	압력	습도
1	6.0110	22.4370	21.3630	5.6230	0.3630	1.0100	81.7750
2	6.0110	22.6000	21.4370	5.6250	0.3690	1.0200	81.7690
3	6.0100	22.7500	21.5130	5.6200	0.3630	1.0100	81.6380
4	6.0100	22.9250	21.5880	5.7110	0.4060	1.0200	81.5620
5	6.0000	23.0940	21.6630	5.7110	0.4500	1.0300	81.6630
6	5.9990	23.2560	21.7380	5.6110	0.4250	1.0300	81.7750
7	5.9990	23.4440	21.8000	5.6200	0.4630	1.0200	82.0380
8	6.0010	23.6130	21.8940	5.6600	0.4560	1.0300	82.2630
9	5.9990	23.7750	21.9880	5.7850	0.4630	1.0300	82.5500
10	5.9940	23.9370	22.0750	5.8514	0.4190	1.0300	83.0190
11	5.9940	24.1150	22.1810	5.5512	0.4630	1.0300	83.7500
12	5.9920	24.2750	22.2630	5.4432	0.4690	1.0300	84.4810
13	5.9900	24.4560	22.3630	5.4443	0.4690	1.0300	85.2440
14	5.9920	24.6190	22.4750	5.5423	0.4630	1.0300	85.9810
15	5.9910	24.7750	22.5880	5.5456	0.4690	1.0200	86.7060
16	5.9910	24.9190	22.6940	5.4652	0.4690	1.0300	87.3880
17	5.9920	25.0810	22.8060	5.5682	0.4690	1.0200	87.8060
18	5.9880	25.2380	22.9130	5.6685	0.4690	1.0300	88.1500
19	5.9810	25.3750	23.0380	5.7852	0.4690	1.0300	88.5880
20	5.9800	25.5310	23.1500	5.7711	0.4750	1.0200	88.9750
21	5.9810	25.6630	23.2750	5.7651	0.4690	1.0200	89.3940
22	5.9800	25.8000	23.4000	5.6451	0.4750	1.0200	89.7630
23	5.9820	25.9500	23.5250	5.6515	0.4370	1.0200	89.9880
24	5.9800	26.0880	23.6380	5.8120	0.4370	1.0300	90.1560
25	5.9810	26.2250	23.7630	5.6521	0.4250	1.0300	90.3120
26	5.9730	26.3560	23.8940	5.7710	0.4370	1.0300	90.3500
27	5.9730	26.4810	24.0130	5.6852	0.4690	1.0300	90.4940
28	5.9730	26.6190	24.1500	5.4512	0.4690	1.0300	90.5560
29	5.9740	26.7380	24.2690	5.4423	0.4370	1.0300	90.5310
30	5.9730	26.8690	24.3940	5.5423	0.4690	1.0300	90.4060
31	5.9730	26.9880	24.5190	5.5525	0.4750	1.0300	90.2310
32	5.9730	27.1060	24.6560	5.9740	0.4370	1.0300	90.0250
33	5.9730	27.2250	24.7810	5.9730	0.4370	1.0300	89.8750
34	5.9730	27.3310	24.9000	5.9730	0.4690	1.0300	89.7880
35	5.9730	27.4370	25.0190	5.9730	0.4750	1.0100	89.5810
36	5.9730	27.5500	25.1440	5.9730	0.4370	1.0200	89.3940
37	5.9730	27.6560	25.2750	5.9730	0.4370	1.0300	89.3690
38	5.9740	27.7380	25.4000	5.9730	0.4440	1.0300	89.2690
39	5.9660	27.8440	25.5190	5.9730	0.4750	1.0300	89.1750
40	5.9630	27.9500	25.6380	5.9730	0.4370	1.0300	89.1870
41	5.9630	28.0440	25.7560	5.9740	0.4750	1.0300	89.2560
42	5.9610	28.1500	25.8680	5.9660	0.4370	1.0300	89.3120

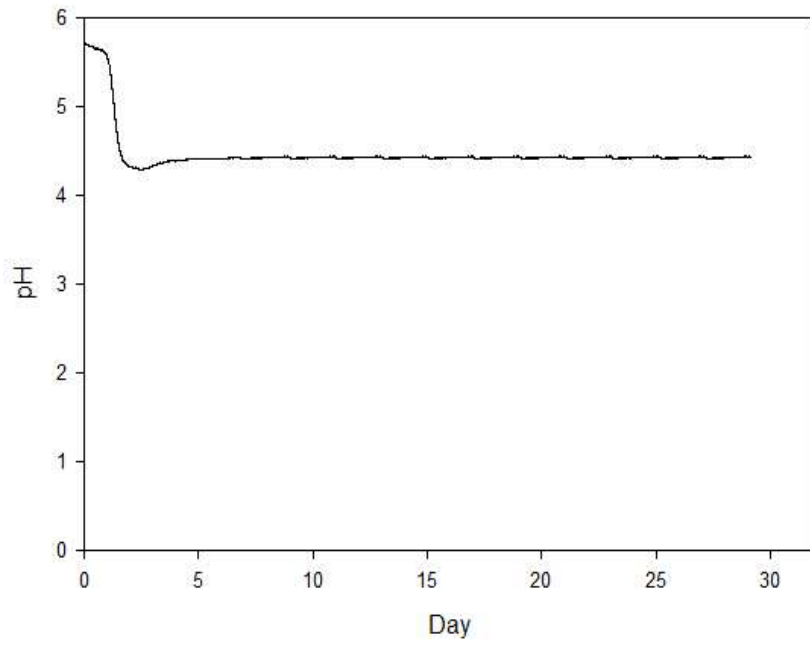
<Raw-Data 획득 확인 사진>



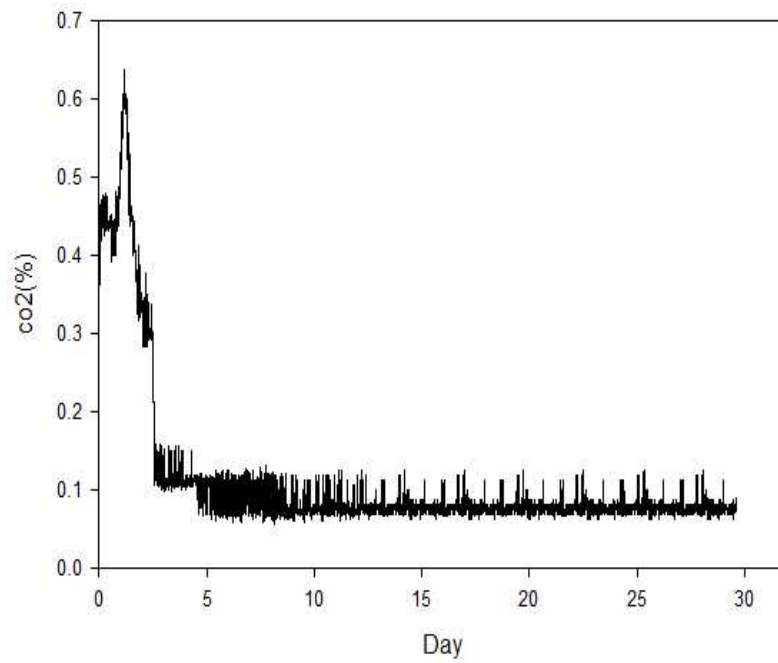
<온도 변화 곡선>



○ 시험 Data :

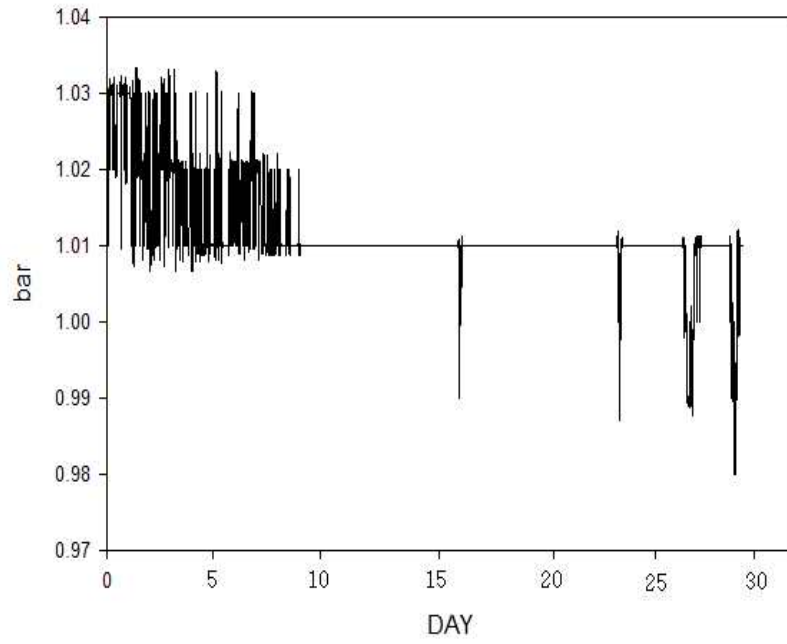


<pH 변화 곡선>

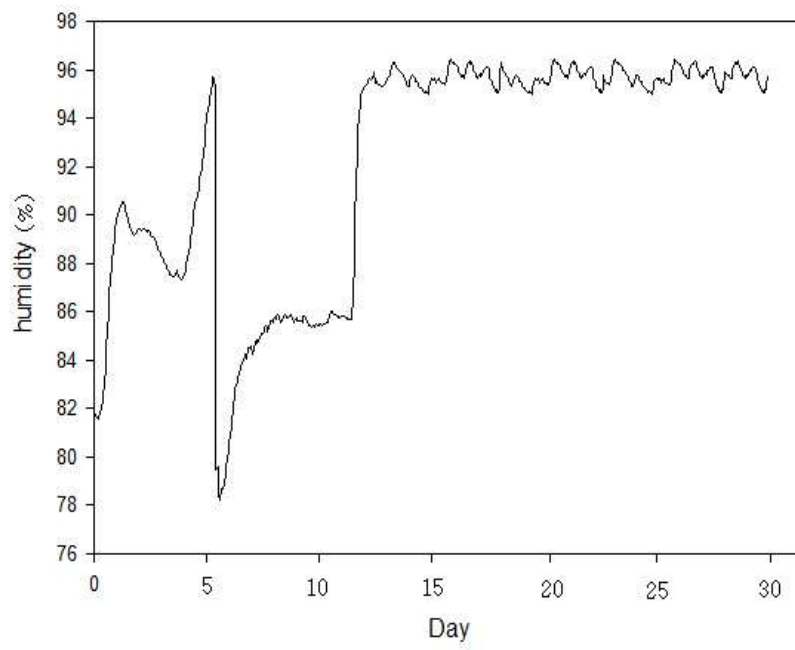


<co2 변화 곡선>

○ 시험 Data :



<압력 변화 곡선>



<습도 변화 곡선>

○ 시험 결과 :

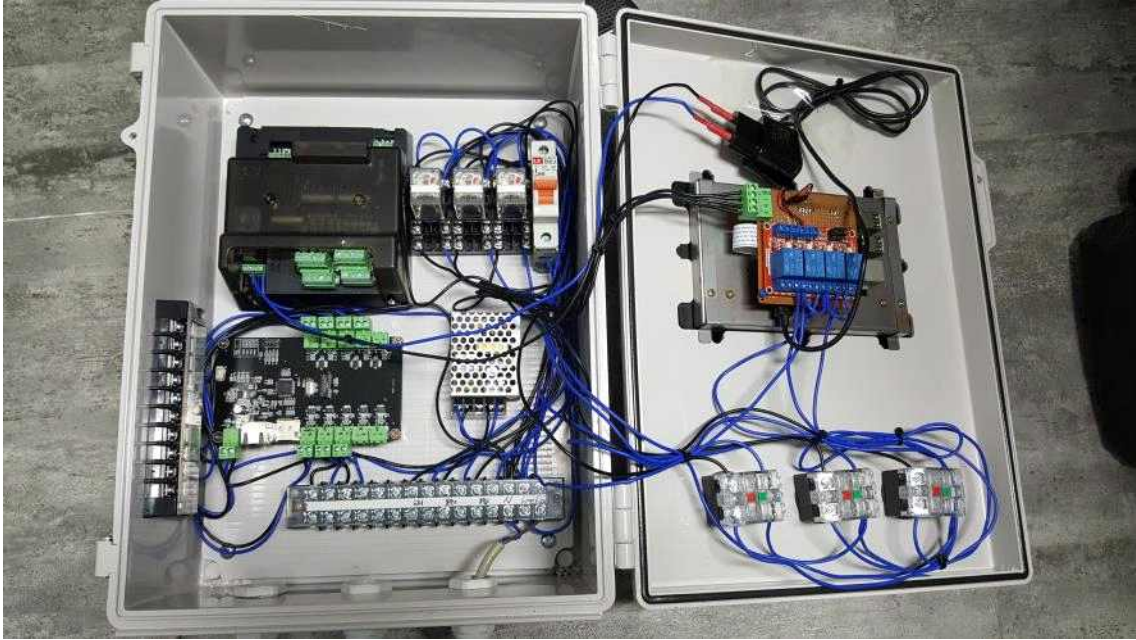
항목	단위	목표값	평균값(30일)	판정
온도	℃	20~30	27.5	적합
pH	-	4~4.5	4.25	적합
CO <sub>2</sub>	%	0~0.3	0.2	적합
압력	Bar	1±0.05	1.015	적합
습도	%	80~100	91	적합

※ 센서를 통하여 측정한 데이터의 변동 폭이 5% 이내로 수렴 하였을 때를 안정화 되었다고 판단

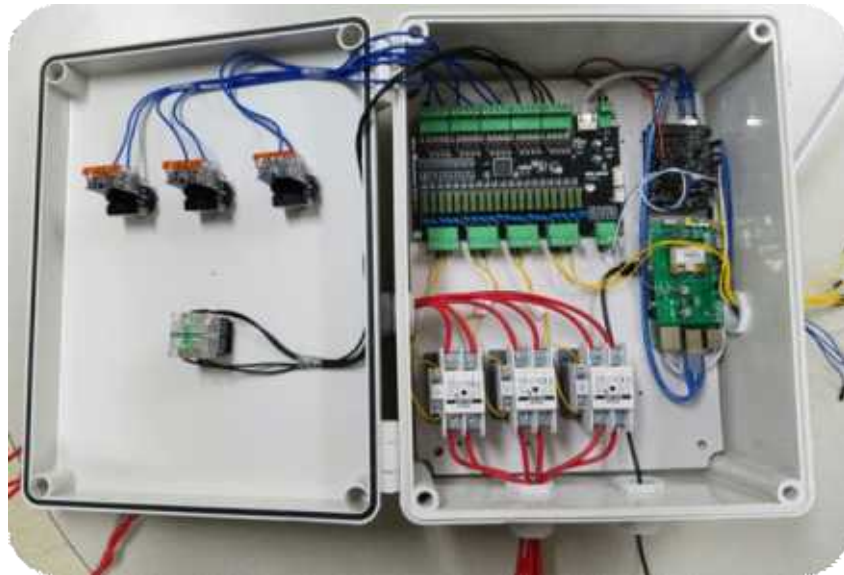
### 제7절 원격제어 컨트롤러 구현 및 성능테스트



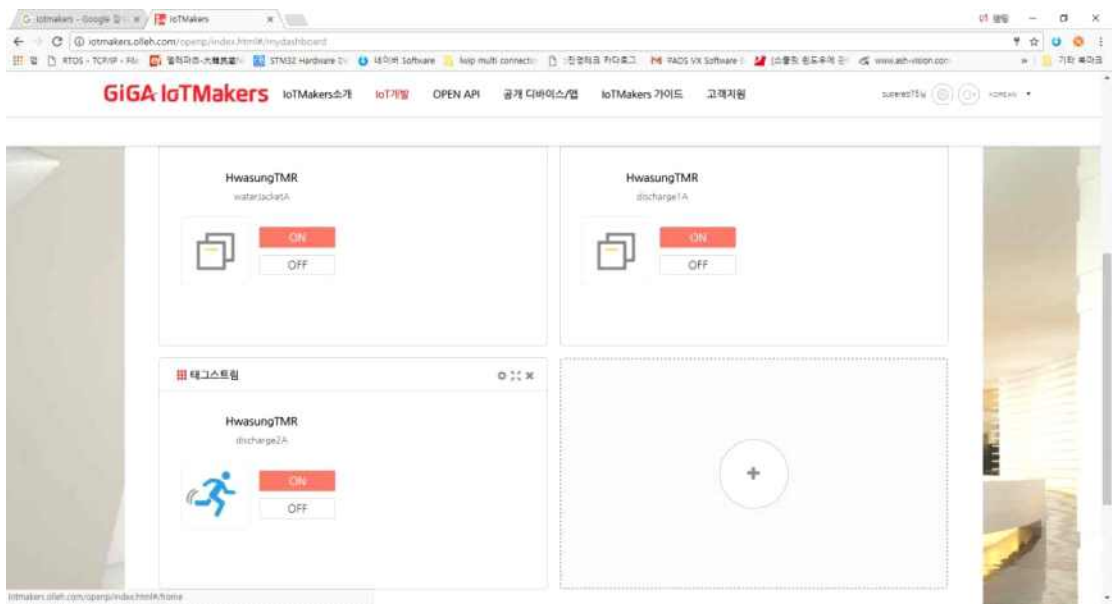
<사료 발효기 컨트롤러 외함 사진>



<사료 발효기 컨트롤러 내부구현>



<원격제어컨트롤박스 내부>



<IoT 서버 플랫폼(KT IoT Makers)>

1. 발효기 컨트롤러 소비전력

부산물 발효 저장장치 컨트롤러의 메인기능을 수행하는 소프트웨어를 기동한다.  
 원격 서버에서 컨트롤러의 센서상태를 모니터링하고 제어 포인트 3점을 모두 동작하였을 때의 최대 소비전력을 측정한다.

측정계측장비 제원

품명	모델 및 제조사	비고
정밀전력분석기	YOKOGAWA, WT-1800	-

측정SET-UP사진



### 측정결과



### 2. 발효기 컨트롤러 동작 반응속도

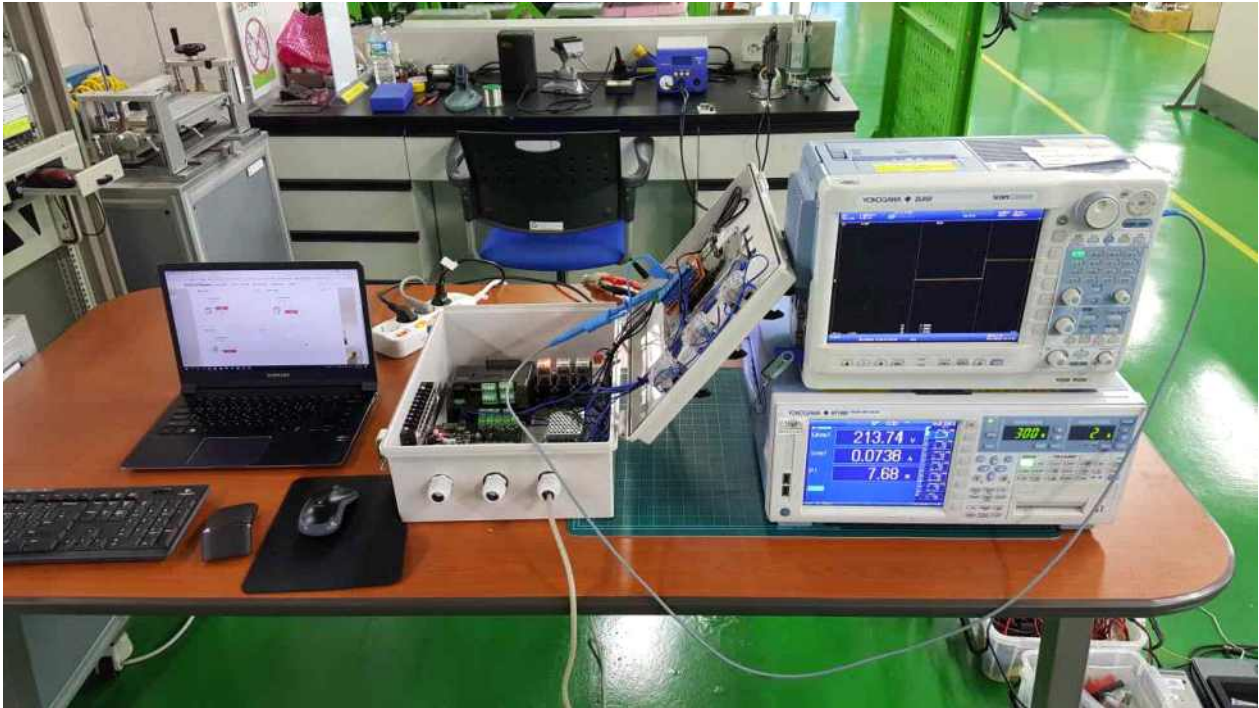
원격서버에서(KT IoT Makers)에서 부산물 발효 저장장치 컨트롤러 ON/OFF 제어명령을 송신했을 때부터 부산물 발효 저장장치 컨트롤러가 ON/OFF 제어명령을 최종적으로 수행한 시점까지 시간을 측정한다.

### 측정계측장비 제원

품명	모델 및 제조사	비고
스코프 코더	YOKOGAWA, DL-850	-



측정SET-UP사진



측정결과

품명	단위	측정결과값	비고
컨트롤러 동작 반응속도	초	1.7575	-

3.발효기 컨트롤러 동작 최대온도

부산물 발효 저장장치 컨트롤러의 메인 기능을 수행하는 소프트웨어를 기동한 상태에서 온도를 40℃ 로 한 시간 동안 유지하며 시스템의 정상적으로 동작을 하는지 확인한다.

측정계측장비 제원

품명	모델 및 제조사	비고
항온항습기	WEISS,C-600	-

측정SET-UP사진

측정결과사진



시험전-ON



시험전-OFF



시험후-ON



시험후-OFF

#### 4. 발효기 컨트롤러 동작 최소온도

부산물 발효 저장장치 컨트롤러의 메인 기능을 수행하는 소프트웨어를 기동한 상태에서 온도를  $-10^{\circ}\text{C}$  로 한 시간 동안 유지하며 시스템의 정상적으로 동작을 하는지 확인한다.

#### 측정계측장비 제원

품명	모델 및 제조사	비고
향온향습기	WEISS,C-600	-

#### 측정SET-UP사진



측정결과사진



시험전-ON



시험전-OFF



시험후-ON



시험후-OFF

### 5. 발효기 컨트롤러 원격실행 성공률

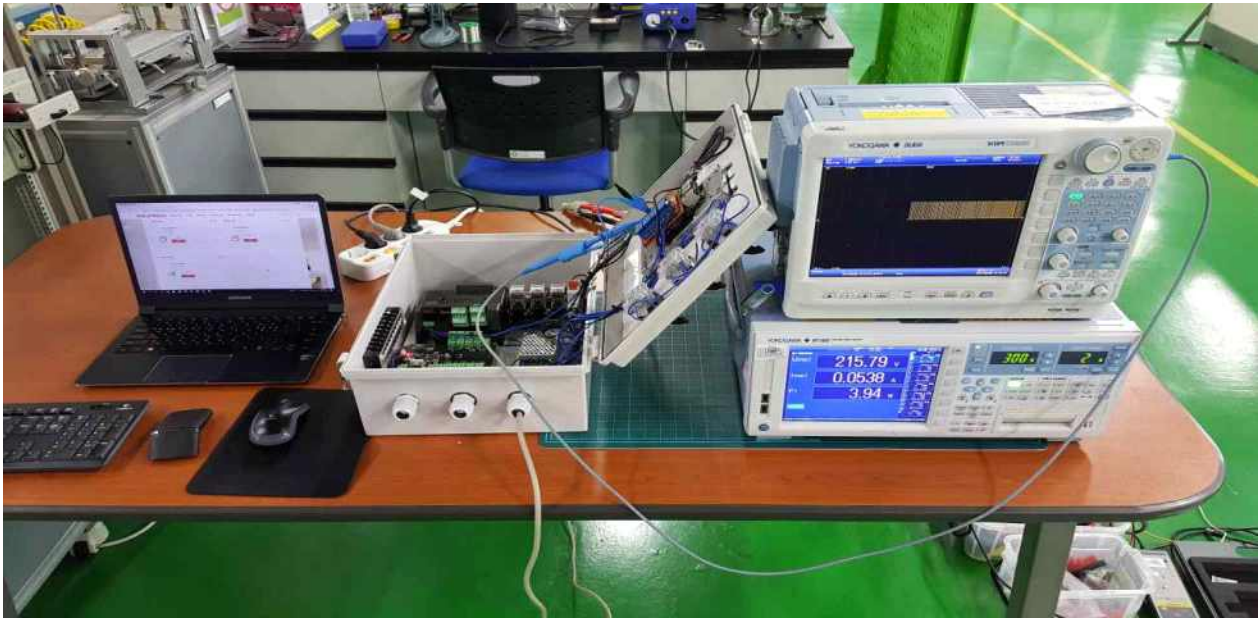
원격서버에서(KT IOT Makers)에서 부산물 발효 저장장치 컨트롤러로 ON/OFF 제어명령을 100번 송신했을 경우 성공적으로 ON/OFF 명령을 수행한 횟수를 측정한다

측정계측장비 제원

품명	모델 및 제조사	비고
스코프 코더	YOKOGAWA, DL-850	-

측정SET-UP사진





측정결과

시험구분	단위	측정결과값	비고
발효기 컨트롤러 원격실행 성공률	%	100	-

### 제8절 사료배출장치 전류치 측정실험

○ 시험 방법 :

화성 낙농 TMR 공장의 부산물 발효 저장조에 하단의 스위프 오거의 설계용량을 검증하기 위하여 10 ton 부하중 후크메터를 활용하여 전류치를 측정하였다.

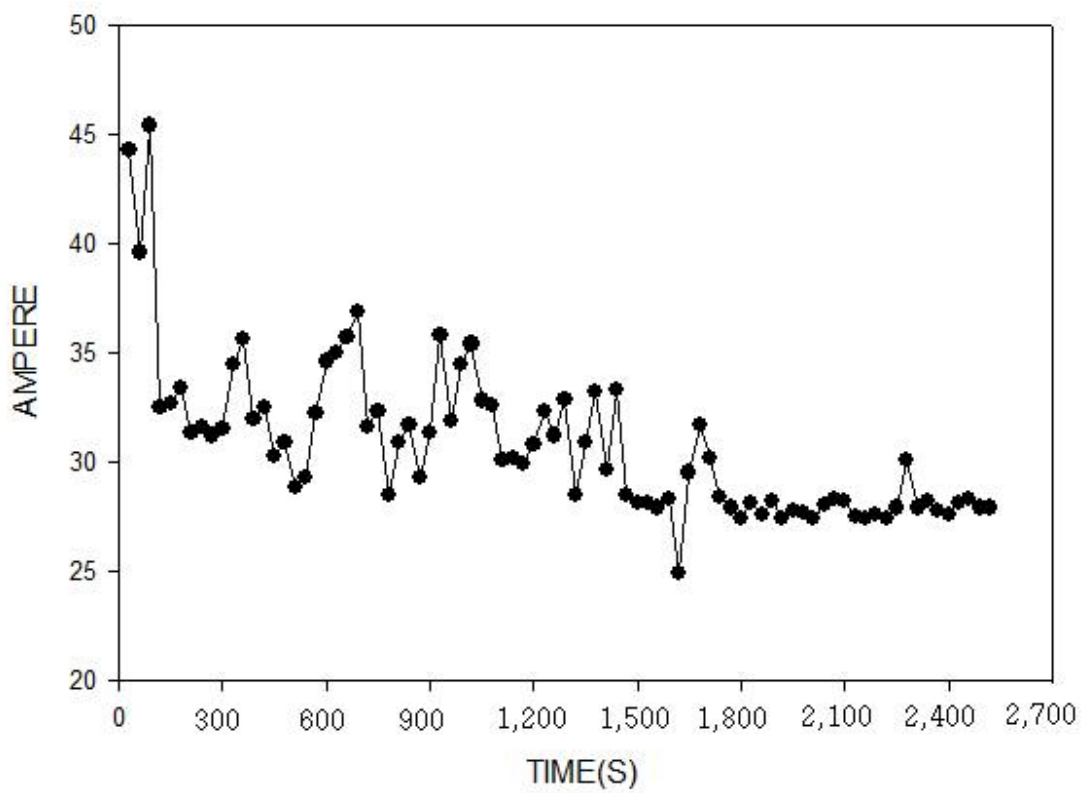
○ 시험 장비 : fluke-325 후크메터



○ 시험 사진 :



○ 시험 Data :



○ 시험 결과

ROW DATA를 선형 회귀분석 결과  $y = y_0 + ax$  에서  $y_0=35.09$ ,  $a=-0.1017$ 로 나타났으며 10 ton 하중의 부하실험인 점을 감안하여 역산으로 50 ton 사료 충전시 스크류에 걸리는 부하를 산정한 결과 25.7 kW 로 약 34.27마력으로 나타났지만 초기 정지마찰력을 넘어서기 까지 평균마력보다 높은 마력이 필요한 것으로 분석된다.

### 제9절 사료품질분석

○ 시험 방법 :

화성낙농법인의 TMR 혼합사료에 균주를 접종하여 발효 전후의 2개 군으로 구분하고 구분된 발효후의 샘플은 다시 항온항습조를 이용한 온도 및 습도제어가 이루어진 것과 아닌 것으로 구분하여 실험을 진행하였으며 그 성분 및 유기산을 농업기술실용화 재단을 통하여 품질분석의뢰 하였다.

○ 시험 장비 : HPLC(액체크로마토그래프), 단백질분석기, 아미노산분석기, 조지방분석기, 칼로리측정장치



○ 시험 사진 :



사료검정증명서			
유관번호/주소 16429 경기도 수원시 권선구 수인로 126(서둔동 251) 전화번호 031)8012-9660 FAX 031)8012-9669			
문서번호 17-C-2319 시험일 2017.09.28 주소 신 경복대학교 산학협력단			
접수번호	U-17-01963	접수연월일	2017.09.18
검정번호	17-FEED-1-01153	검정일	2017.09.28
제조사	명칭 경복대학교 산학협력단 주소 41566 대구광역시 북구 대학로 80 (산격동) 경복대학교 농생대 3호관 106호		
제품명	A 제조일:		
비위성분	검정결과	검정방법	
수분	50.01 %	사료표준분석방법	
조단백질	7.62 %		
조지방	6.57 %		
조섬유	3.17 %		
조회분	3.09 %		
요소	0.010 %		
칼로리	2499 cal/g		
유기산 Acetic acid(초산)	410.10 mg/kg		
유기산 Butyric acid(낙산)	0.00 mg/kg		
유기산 L-lactic acid(유산)	3.11 %		
유기산(propionic acid)프로피온산	735.31 mg/kg		
	이하 여백		
「사료관리법」 제20조에 따라 검정을 실시한 결과 위와 같이 검정되었음을 증명합니다. 2017년 09월 28일			
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">농업기술실용화재단 이사장</div> </div>			
<small>           * 사료명칭: 검정승격용에 한하여 "사료명칭"을 기재            * 사료성세: 성분(반제, 분말용제로 포함)은 정확히 표시하지 않고서는 시료제하를 할 수 없는 경우            또는 계량(관제, 분말용제로 포함)되지 않은 상태, 밀크물 포함)으로 기재            * 제조 또는 수입, 변질된 제품 포함하여 있는 제조 또는 수입 변질된 기재         </small>			
1 / 1			

○ 시험 Data :

	A	B	C	D	B-D평균	E	F	G	E-G평균
수분 (%)	50.01	51.01	50.72	50.81	50.84667	50.91	50.47	49.87	50.41667
조단백질 (%)	7.62	7.52	7.36	7.3	7.393333	7.25	7.3	7.42	7.323333
조지방 (%)	6.57	5.85	6.28	5.93	6.02	6.45	6.07	6.13	6.216667
조섬유 (%)	3.17	3.09	3.12	3.14	3.116667	3.09	3.13	3.05	3.09
조회분 (%)	3.09	3.05	3.05	2.98	3.026667	2.96	2.96	3.03	2.983333
요소 (%)	0.01	0.016	0.011	0.007	0.011333	0.008	0.006	0.004	0.006
칼로리 (cal/g)	2499	2462	2466	2459	2462.333	2447	2476	2447	2456.667
유기산(초산) (mg/kg)	410.1	438.93	532.41	1375.94	782.4267	873.03	1011.2	758.23	880.82
유기산(낙산) (mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
유기산(유산) (%)	3.11	2.67	3.22	3.56	3.15	3.98	3.71	3.09	3.593333
유기산(프로피온산) (mg/kg)	735.31	3236.78	1769.56	1420.89	2142.41	1644.73	1217.25	1307.33	1389.77

○ 시험 결과

유기산 조성비율에 의한 사일리지 품질감정법(Flieg,Zimmer,1966)의거하여 발효전, 향온항습조를 활용한 발효, 대기중 발효의 3개군에서의 발효품질점수를 환산한 결과 발효전 시료의 점수는 57점 발효후 시료중 향온항습조에서 온도와 습도를 조절한 경우 63점 조절하지 않은 경우 54점으로 나타났다. 이는 초기 접종한 균주가 온습도 조절에 의해서 발효가 원활이 진행될 경우 유기산의 비율이 이상적으로 변하나 그렇지 못할 경우 접종한 균이 소멸되는 것으로 분석된다. 또한 3종류의 군으로 구별된 실험값을 미니탭을 이용한 일원분산분석 결과 조성분인 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분, 요소, 칼로리에서의 유의성은 나타나지 않았으나 품질점수를 결정하는 초산과 프로피온산에서 표에서와 같이 발효전과 발효후의 그룹으로 유의성을 띄는 것으로 95%의 신뢰구간에서 구분되었다.

<초산 일원분산분석>

		F-VALUE	P-VALUE
발효전	410.1 <sup>B</sup>	10.97	0.010
향온항습조 발효	583 <sup>AB</sup>		
대기중 발효	880.8 <sup>A</sup>		

<프로피온산 일원분산분석>

		F-VALUE	P-VALUE
발효전	735.3 <sup>B</sup>	22.83	0.002
향온항습조 발효	1616 <sup>A</sup>		
대기중 발효	1390 <sup>A</sup>		

## 제9장 경제성분석

본 연구로 개발된 부산물사료 발효저장 시스템은 많은 현장 테스트와 이에 대한 수정 및 보완 등을 거치면서 실증 시험한 결과 매우 만족스런 결과를 보였다. 그러나 개발된 시스템이 실제로 설치되어 운영한 후 이용비용에 경제성이 있는가 하는 문제는 매우 중요한 요소가 된다. 특히 본 연구가 현장에서 한우 및 낙농가에게 직접적으로 혜택을 줄 수 있어야 하기 때문에 경제성 분석은 매우 중요한 의미를 가진다 할 수 있다. 따라서 본 장에서는 현재 설치되어 운영 중인 시스템의 현장 적응시험 및 성능시험을 통하여 획득된 자료를 바탕으로 모델 시스템에 의한 TMF 사료 생산시와 관행에 의한 TMF 사료 제조 경우의 비용 및 절감효과를 비교 분석하였다.

### 제1절 투자비용

- 개발 모델의 투자비용은 토지구입비, 토목·건축비, 기계설비비, 전기시설비, 기타비용으로 구분하여 분석하였다. 토지구입비는 기계설비의 배치, 원료와 TMR 사료의 저장공간, 운반 등을 고려하여 토지면적을 구하여 비용을 산출하였다. 본 연구에서의 모델 플랜트의 토지면적은 약 110 m<sup>2</sup>이 필요한 것으로 나타났다. 토지비용은 전국의 광역시를 제외한 기타비목지의 표준 공시지가 226,500 원/m<sup>2</sup>을 기준으로 하였다.(국토교통부, 2016) 토목·건축비는 일반적으로 농산물 보관창고와 같은 건축물과 토목공사 설계비 산정 기준을 적용하였다. 여기서 설계, 건축, 토목공사, 각종 인허가사항 등을 포함하여 222,000 원/m<sup>2</sup>을 기준으로 산정하였으며, 이때 모델 플랜트의 건평은 약 110 m<sup>2</sup>으로 나타났다. 기계설비의 가격은 농업기계가격집과 기계제작회사에 의뢰하여 조사하였다.(한국농기계공업협동조합, 2016) 여기서 모델 플랜트에 소요된 기계제원 및 시설비용은 표와 같다. 기계제원은 총3일의 발효기간을 감안하여 3기의 부산물 발효저장조가 설치되는 비용으로 산정하였다. 전기시설비는 전술한 기계시설에 필요한 소요동력을 계산하여 수변전공사비용과 전기공사비용으로 나누어 적용하였다. 수변전공사비용과 전기공사비용은 한국전력공사에서 고시한 단가 86,000 원/kw와 70,000 원/m<sup>2</sup>을 적용하였다.(한국전력공사 2017). 또한 기계장치의 총 소요동력은 59 kW로 나타났고 유틸리티는 각각의 배관 공사비 등을 계산하였다.

<모델 시스템의 기계사양 및 시설비용>

항목		소요동력(kW)	구입비용(천원)
부산물발효 저장시스템	버킷엘레베이터	22	50,000
	부산물발효저장조	-	280,000
	스위프오거	37	70,000
합계		59	400,000

- 표와 같이 모델 플랜트의 기계시설비 투자비용은 약 800,000천원 (부산물발효저장조 3 세트) 이지만, 부지 구입비, 토목·건축비, 전기시설비, 유틸리티를 포함한 모델 플랜트의 투자비용은 총 870,097천원으로 나타났다.

<모델의 투자비용 내역 (단위: 천원)>

항목	투자비용
부지구입	24,915
토목, 건축	24,420
기계설비	800,000
전기시설(통합콘트롤 포함)	15,762
유틸리티	5,000
합계	870,097

## 제2절 이용비용

본 연구에서는 부산물 발효저장 시스템에 소요되는 이용비용을 고정비와 변동비로 구분하였다. 모델 시스템의 부산물 발효저장조의 부산물 충전은 버킷엘레베이터로 배출은 스위프오거 시스템을 적용하였으며 관행 사용되고 있는 벌크형식과의 이용비용을 비교 분석하였다.

### 1. 고정비

- 기계 이용시의 고정비용은 감가상각비, 수리비, 이자, 전력비(기본요금) 등의 합으로 계산되며 작업에 이용된 기계의 구입가격은 조사된 가격을 기준으로 하였다.
- 모델의 건물 및 시설비용에 대한 감가상각비는 직선법을 적용하여 산출하였다(정 등, 1995). 내구연한은 문헌 등을 참조하여(농촌진흥청 2015), 구조물의 경우 20년, 기계류는 8년, 운반장비는 10년으로 하였으며, 폐기가격은 구입가격의 5%로 가정하였다. 전기시설은 수변전설비의 경우 20년으로 폐기가격은 0%로, 전기공사의 경우 10년으로 폐기가격은 5%를 각각 적용하였다.
- 이자는 총 투자비용에 대하여 적용하였는데, 농림부의 사료제조시설지원조건에서 용자 70%에 대하여는 연리 4%를 적용하고 자부담 30%에 대해서는 농업인 대출금리 3%를

적용한 다음, 변동금리를 감안하여 일률적으로 4%의 이자를 적용하였다. 보험은 건물과 시설 투자비용의 연간 0.1%를 적용하였다. 건물 및 시설의 수리비는 고정비에 포함시켜 결정하였는데, 문헌을 참조하여(정 등, 1995) 일반적으로 적용되는 연간 3%를 수리비로 적용하였다. 기계류의 경우 기계구입가의 연간 6.5%를 적용하였으며, 나머지는 연간 3%를 적용하였다. 차고비는 기계 구입가의 1%로 하였다.

## 2. 변동비

- 모델 플랜트의 이용시 변동비용은 다음의 식으로 산출하였다.

$$VC = H(L + E)$$

여기서, VC : 변동비용(원/년)  
H : 연간 기계 이용시간(시간/년)  
L : 시간당 노동임금(원/시간)  
E : 시간당 소모 전력비(원/시간)

- 연간 이용시간은 적용시험 및 성능시험을 통하여 산정된 모델 플랜트의 소요기계별 이용시간을 적용하였으며 이를 이용하여 연간이용시간으로 환산하였다. 전력비는 농업용 ‘을’ 을 기준으로 기본료 930 원/kW·월과 사용료 26.3 원/kWh의 합으로 계산되는데, (한국전력공사,2017), 기본료는 고정비로 사용료는 변동비로 분류하여 산출하였다.시간당 노임은 2016년 농촌 노동임금 전국평균치인 성인 남자 1인의 경우 101,220 원/일 로 하였다.(농촌진흥청,2016)

## 3. 사료 손실율

- 개발플랜트에서의 사료 손실율은 선행 연구에서 5% 이내로 측정되어 5%를 적용하였으며 관행의 톤백을 사용한 TMF생산 공정에서의 사료 손실율은 20~30%로 평균치인 25%를 적용하여 1일 생산량인 50 ton에 적합하도록 경제성 분석하였다.

## 제3절 결과 및 고찰

### 1. 연간 이용비용

- 이상에서 언급한 내용을 토대로 모델 시스템을 이용하였을 경우에 TMF 사료 생산량 별 연간 이용비용을 계산하여 그 결과를 표에 나타내었다. 연간 고정비는 약 217,057

천원/년으로 나타났으며, 고정비와 변동비를 합한 연간 이용비용은 148,761천원으로 나타났습니다.

<연간 이용비용 (단위: 천원)>

항목		개발플랜트	관행 TMF
고정비 (원/년)	감가상각비	49,721	2,220
	이자	33,777	1,776
	수리비	28,333	1,332
	전력비(기본)	973	-
	보험	2,533	133
	소계	115,337	5,461
변동비 (원/년)	노임	30,000	180,000
	전력비(사용)	3,424	-
	포장비	-	73,000
	소계	33,424	253,000
년간이용비용 (원/년)		148,761	258,461

2. 손익분기점

- 본 연구로 개발된 부산물발효저장 시스템에서의 TMF 사료 생산비용과 시판되는 TMF 사료 생산비용을 분석한 결과 1일 50 ton 기준 사료의 손실율을 감안할 때 개발플랜트는 52.5 ton 이 생산되어야 하며 벌크형식의 관행 TMF의 경우 62.5 ton의 TMR 사료가 필요하다. 또한 노동력에 있어서 개발플랜트는 1일 작업 8시간 기준 1명의 상주 근무자가 필요한 반면 관행 TMF 생산의 경우 2명의 작업자가 20분당 400kg의 부산물을 생산하여 1일 8시간 작업기준 9.6ton의 생산이 이루어지고 하루 62.5ton의 생산량을 만족시키기 위해서 총 6명의 근무자가 필요한 것으로 분석된다. 50톤 생산규모, 관행TMF는 톤백저장(4명 포장, 2명 반입반출, 재활용횟수 10회) 발효저장시스템 연간이용비용 148,761천원으로 연간 약 1.1억원 절감 (투자비용대비 손익분기점 8년, 발효저장조의 내구연한을 20~30년으로 설정함)



## 제10장 대표적 연구실적

본 장에서는 당초 본연구의 연구실적으로 계획하여 달성한 부분과 추가로 달성한 부분을 정리하였다.

### 제1절 특허출원/등록

#### 1. 부산물발효저장 시스템 (특허출원)

가. 내용: 본 발명은 부산물 사료 발효 저장 시스템에 관한 것으로서, 부산물 사료를 공급하는 부산물 사료 공급부 및 상기 부산물 사료를 발효제와 혼합하는 혼합부 및 상기 혼합부로부터 혼합된 혼합 사료를 발효시키는 발효 저장부를 포함하되, 상기 발효 저장부는 상기 혼합 사료를 투입되는 순서대로 순차적으로 발효시켜 배출하는 선입선출 방식인 것을 특징으로 한다.상기와 같은 본 발명에 의하면, 부산물 사료를 순차적으로 발효시켜 공급되도록 함으로써, 미 발효되어 배출되는 부산물 사료가 발생하는 것을 방지할 수 있다.

또한, 부산물 사료를 투입되는 순서대로 순차적으로 발효시켜 배출되도록 함으로써, 연속적인 공정이 가능해져 기존의 조사료와 배합사료를 배합하여 완전 혼합 사료(Total Mixed Ration, TMR)을 제조하는 완전 혼합 사료(Total MixedRation, TMR) 제조 공정에 간단하게 적용하여 완전 혼합 발효 사료(TMf)의 제조가 가능하다. 특히 발효전 처리와 발효 후처리를 포함한 전체 공정에 대한 특허출원이다.

나. 출원번호: 10-2015-0095021

## 2. 부산물 발효저장탱크(특허출원)

가. 내용: 부산물사료 발효저장 시스템은, 상단에 구비되어 부산물사료가 투입되는 투입구 및 하단에 구비되어 부산물사료가 배출되는 배출구를 포함하는 발효저장 탱크; 및 상기 발효저장 탱크의 일 측에 연결되어 상기 발효저장 탱크 내부의 압력을 조절하는 압력 조절부;를 포함하고, 상기 압력 조절부는 상기 부산물사료의 발효 중에 발생하는 발효가스가 상기 발효저장 탱크 내부로부터 이동되는 가스 수용 부재를 포함할 수 있다.

나. 출원번호: 10-2016-0143212

### 3. 부산물사료 발효저장 시스템(PCT특허출원)

가. 내용: 본 발명은 부산물 사료 발효 저장 시스템에 관한 것으로서, 부산물 사료를 공급하는 부산물 사료 공급부 및 상기 부산물 사료를 발효제와 혼합하는 혼합부 및 상기 혼합부로부터 혼합된 혼합 사료를 발효시키는 발효 저장부를 포함하되, 상기 발효 저장부는 상기 혼합 사료를 투입되는 순서대로 순차적으로 발효시켜 배출하는 선입선출 방식인 것을 특징으로 한다

나. 출원번호: 10-2016-0143212

4. 부산물 사료 발효 저장 시스템(특허등록)

가. 내용: 본 발명은 부산물 사료 발효 저장 시스템에 관한 것으로서, 부산물 사료를 공급하는 부산물 사료 공급부 및 상기 부산물 사료를 발효제와 혼합하는 혼합부 및 상기 혼합부로부터 혼합된 혼합 사료를 발효시키는 발효 저장부를 포함하되, 상기 발효 저장부는 상기 혼합 사료를 투입되는 순서대로 순차적으로 발효시켜 배출하는 선입선출 방식인 것을 특징으로 한다.

나. 등록번호: 10-1795138-0000

5. 가스 수용 부재가 구비된 부산물사료 발효저장 시스템 (특허등록)

가. 내용: 부산물사료 발효저장 시스템은, 상단에 구비되어 부산물사료가 투입되는 투입구 및 하단에 구비되어 부산물사료가 배출되는 배출구를 포함하는 발효저장 탱크; 및 상기 발효저장 탱크의 일 측에 연결되어 상기 발효저장 탱크 내부의 압력을 조절하는 압력 조절부;를 포함하고, 상기 압력 조절부는 상기 부산물 사료의 발효 중에 발생하는 발효가스가 상기 발효저장 탱크 내부로부터 이동되는 가스 수용 부재를 포함할 수 있다.

나. 등록번호 : 10-1795311-0000

## 제2절 프로그램등록

### 1. 부산물 발효저장탱크 원격모니터링 시스템

- 내용 : 스마트폰/PC를 이용한 실시간 센서데이터 모니터링 및 원격제어가 가능한 MEAN Stack 기반 IoT 솔루션으로써 온도, 습도, CO2, pH센서 값을 1분주기로 기록하여 LTE/Ethernet 망을 통한 센서데이터 모니터링 및 웹 브라우저를 통한 실시간 원격제어 형식으로 데비안 계열 리눅스 환경에서 node.js/npm 패키지 설치후 npm install 실행. node\_modules 생성확인후에 node app.js 파일 실행하는 구성으로 이루어져 있다.



## 제3절 논문

### 1. 논문등록

#### 가. Journal of biosystems engineering [국내전문학술지, 비SCI]

A water-spraying type automatic glochids removal system for cactus (*Opuntia humifusa*) stem was developed, and its performance was evaluated. The system was developed to reduce intensive human labor in removing glochids from cactus stem skin without inducing damage prior to further processing into value-added products. Methods: The developed system consists of conveyor and water-spraying systems. The conveyor system delivers cactus stems through water-spraying compartments and finally to a collecting box. In order to remove the glochids, rotating nozzles spray water over all areas (i.e., front and back faces and sides) of the cactus skin under controlled water pressure.

나. Emirates Journal of Food and Agriculture [국외전문학술지, SCI]

Indica type rice (a common staple in the world) is usually treated using the parboiling process. Loss in grain quantity and quality during this treatment is currently observed in many communities of the world. However, due to its non-availability in Korea, Japonica variety (a widely grown rice in Korea) was investigated in this study to establish optimal parboiling condition(s) for milling. The Taguchi L9 (34) orthogonal array optimization method was adopted.

## 2. 논문심사중

### 가. 중국농공학회[IJABE] 심사중

The increase in global grain price has left livestock farms with difficulty in feeding their animals. As a plan, total mixed ration (TMR) mixed with food and agricultural by-products are being considered for alternative animal feeds. However, it has problem with easy decaying due to high moisture content. In order to solve the problem, fermentation technology was brought up on TMRs. But the fermentation condition may vary depend on the composition of the TMRs. This study set out to identify and determine a fermentation conditions which can be applied regardless of the TMR composition. The Taguchi method and the L9 (3<sup>4</sup>) orthogonal array was adopted in this research. The study analyzed fermentation quality using 3 levels of 4 controllable factors (temperature, moisture content, bulk density, and fermentation period) and 2 uncontrollable factors (2 types of TMR samples). Quality score was calculated using the silage quality assessment method by analyzing pH and total organic acid content (citric acid, malic acid, lactic acid, acetic acid, and butyric acid). Fermentation chamber

나. 미국농공학회[ASABE] 심사중

International grain prices are rising due to various factors including bioenergy production, recent energy shortages, increased demand for grains in emerging Asian nations like China, and weather variances due to global warming. This has a direct relationship to the rise in production cost of livestock feed. Various research on the utility of by-product feed has been under consideration, but most studies are focused on its effects. Byproducts are organic matter with moisture content in the range of 60-80% and mostly requires anaerobic fermentation to prevent deterioration, decomposition, and acidification during the transportation and storage process. As a preceding study for developing a storage system for byproduct fermentation, analysis of mechanical characteristics of by-products was done. Geometric, physical and rheology characteristics were examined

using different tools. Heat transfer coefficient and specific heat were determined. An extremely high uniformity coefficient of 2.30-3.29 for the mixed byproducts was recorded with a static repose angle of 32.3~46.6°. The adhesive force increased when materials high in moisture are mixed. The heat transfer coefficient was in the range of 0.1244~0.2774 W/m • K and specific heat at 307.8~594.3 J/g • °C. Design parameters for the development of by product storage and fermentation tank were examined and reported.

다. 이란농공학회[JAST] 심사증

Total Mixed Ration (TMR), a system that combines different materials into a feed for animals is a complex process especially when by-products are utilized. This involves several steps and unit machines. The current study focused on modeling a fermentation and storage system utilizing by-products for TMR feed production aimed at dairy cattle using the Arena V15 simulation program. Process time, operation rate, and bottleneck phenomenon were analyzed and the optimal capacities of unit machines were estimated using Opt-quest, an extension of the simulation program. Results showed the optimal operation rate of the mixer was 99% at 8.5 ton/h capacity and that of the steam sterilizer was 93% at 17.7 ton/h capacity. Moisture regulator was 89% at 89 ton/h capacity, while those of the vehicle loader and packaging device were 83.3 and 100% at 12.8 and 2.67 ton/h respectively. Field trial to verify the simulated results was conducted at Hwaseong Dairy Corporation. It shows mean square error and standard deviation between the simulated results and the field trial were within 5% range indicating a significant relationship. This work developed a model for fermentation and storage system to produce fermented total mixed ration for dairy cattle at an optimal performance.

#### 4. 학술대회 논문발표

가. 한국농업기계학회/생물환경조절학회 2015 춘계공동학술대회 논문집 pp.196-197  
(2015.4.30.)

- 부산물사료가 안전하고 균일한 상태를 유지하고 노동력을 절감하기 위해서는 발효저장 시스템의 개발이 필요하였다. 본 연구에서는 부산물사료 발효저장 시스템 개발을 위한 전 단계로서 부산물사료 종류별로 기계적 물성 특성을 조사하고 이에 따른 부산물사료 발효저장 시스템의 설계요인을 분석함

나. 한국농업기계학회/ 2015 추계학술대회 논문집 pp.123-124 (2015.10.29.)

- 부산물 사료는 활용목적(축종별, 용종별)에 따라 각기 다른 혼합비로 사용되고 이는 일정하지 않은 발효에 따른 불규칙한 품질 문제로 나타나고 있다 이에 본 연구에서는 대규모 부산물 사료 발효 저장 시스템 개발의 전 단계로 다구찌 기법을 활용하여 부산물의 발효조건을 구명하고, 품질을 평가함으로써 발효저장 시스템 개발의 최적화를 도모하였다.



다. 한국산학기술학회/ 2015 춘계학술발표 논문집 pp.275-276 (2015.12.18.)

- 부산물사료가 안전하고 균일한 상태를 유지하고 노동력을 절감하기 위해서는 대규모 발효저장 시스템의 개발을 필요로 한다. 본 연구에서는 부산물사료 발효저장 시스템 개발을 위한 전 단계로서 발효저장 시스템 모델을 개발하여 시뮬레이션을 통한 공정별 단위기계의 처리시간 가동률 병목현상등을 비교 분석하여 최적화된 부산물 사료 발효저장 시스템 모델의 단위기계 용량을 제시하였다.

라. 한국산학기술학회/ 2015 춘계학술발표 논문집 pp.272-274 (2015.12.18.)

- Bacteria plays a very important role in the Total Mixed Ration (TMR) process. They are divided into two groups; the type that are needed which includes the lactic acid bacteria and the unwanted ones which are involved in anaerobic spoilage (e.g. Clostridia & Enterobacteria) and those involved in aerobic spoilage (e.g. Listeria, moulds, etc.). The unwanted bacteria decrease the nutritional value of the silage and also have a detrimental effect on animal health and products such as milk quality, meat quality, etc. (Driehuis et al, 2000). The needed ones facilitates the fermentation process. Due to

마. 한국농업기계학회/ 2016 춘계공동학술대회 논문집 pp.227-228 (2016.4.29.)

- 부산물사료의 발효저장조는 그 특성에 있어서 기존의 조사료 및 곡물 저장의 스토리지 탱크 및 사일로와는 다른 방식의 설계 조건이 적용되어야 한다. 먼저 높은 함수율의 저장물이 그 점성에 의하여 외벽에 붙는 현상을 해소해야 하며, 다음으로 발효기간 중 탱크하부로 집중되는 수분이동에 따른 배출장치의 부담도 감안하여야 된다. 또한 발효열과 발효가스에 의한 탱크내부 기압변화에 따른 내구성 및 발효상태의 변화에도 유동적으로 대처할 수 있어야 한다 이에 본연구에서는 이러한 부산물 발효저장조의 특성을 고려한 세부 설계에 관한 연구를 진행하였다.

바. American Society of Agricultural and Biological Engineers/ASABE 2016 논문번호  
(162458577) (2016.7.17.)

- By-product stock feed reduce the cost of TMR( Total mixed ration) for cattle feeding on livestock farms. Currently there is no study that has established optimal condition for fermentation and storage which leads to rancidity and deterioration. This study examined and established optimal conditions for fermentation and storage by using the Taguchi method in controlling and testing factors of temperature, moisture content, density and fermentation time and uncontrollable factors of different mixes of by-products.

사. 한국농업기계학회/한국정밀농업학회 2016 추계공동학술대회 논문집 pp.155  
(2016.11.03.)

- 개발 시스템은 1일 100톤 규모의 TMR 공장의 부산물 사료 발효저장시스템을 기준으로 설계하였으며, 시스템 모델의 공정은 크게 건식 및 습식 저장 탱크, 스팀살균, 압착 수분조절, 프리믹스, 발효저장, 벌크 및 차량운반으로 구분하여 설계하였다. 최적화를 위한 개발 모델의 시뮬레이션은 ARENA V12.0(Rockwell Automation Inc., Pittsburgh, USA)을 이용하였다.

아. 한국농업기계학회/한국정밀농업학회 2016 추계공동학술대회 논문집 pp.155  
(2016.11.03.)

- This study focused on establishing an efficient fermentation and packaging protocol for a safe by-product feed by conducting analyses exploiting different sterilization protocols. Results indicated mixed by-products in this study contains *Bacillus* spp. and an effective microbe; lactic acid bacteria in the control. Steam sterilization reduced the cells of *Bacillus* spp. to less than  $10^6$  at the different treatment conditions whereas UV did not. Results of this study will help in production of safe and efficient feed at a low cost as primary consideration and design parameters for development of a smart tank with by-product feed sterilizer as a component as secondary consideration.

자. 한국농업기계학회/발농업기계개발연구센터 2017 춘계공동학술대회 초록집 pp.73  
(2017.04.06.)

- 본 연구에서는 사료비절감을 위한 식품부산물 발효탱크의 개발을 통해 발효탱크 밑부분을 구성하고 있는 스위프오거와 이를 고정하면서 Z축으로 회전하는 고정부를 대상으로 하여 시각화 할 수 있는 FEM 시뮬레이션 기법을 이용하여 작업 중 적용되는 하중에 대해 충분한 구조 안전성을 가지고 있는지 해석하였다.



차. 한국농업기계학회/발농업기계개발연구센터 2017 춘계공동학술대회 초록집 pp.73  
(2017.04.06.)

- The potential biological, chemical, and physical hazards that may exist in every step of the production process were identified, and then critical control points (CCPs) were selected. This will ensure the safety of products made from livestock that consumes by-product feed. These includes cheese, milk, beef, etc.

카. American Society of Agricultural and Biological Engineers/ASABE 2017 논문번호 (1700877) (2017.7.18.)

- Mixed by-products were collected from TMR plant in Gyeongju, South Korea using aseptic techniques. Initial analyses indicated the presence of *Bacillus cereus* ( $3.0 \times 10^6$  CFU/g), Yeast (less than  $10^6$  CFU/g) and Lactic Acid Bacteria ( $10^6$  CFU/g) in the untreated samples. Different selected conditions of steam treatment (121°C, 100°C, and 80°C at 15 minutes respectively) and Ultra Violet (UV) radiation (320 nm for 15 minutes) were investigated. Enumeration for the pathogenic microbe (*Bacillus cereus*) after sterilization confirmed presence of less than  $10^6$  CFU/g at the different steam treatment conditions whereas UV treatment reduced the concentration to  $10^6$  CFU/g. Steam sterilization was more efficient and considered for inclusion in setting up a fermentation smart tank. Keywords. By-products, Steam treatment, Sterilization, Total mixed ration, Ultra-violet radiation

## 제4절 기술이전

### 1. 부산물사료 발효 저장 시스템(은성플랜트의 전용실시권)

가. 기술료 2,000만원

나. 경북대학교 산학협력단(이하 "경북대"라 한다)과 (주)은성플랜트(이하 "회사"라 한다)는 "경북대"가 보유한 '부산물 발효 저장 시스템'에 관한 기술을 경북대학교 농업생명과학대학 농업토목생물산업기계공학부 하유신 교수를 기술이전책임자로 하여 '회사'에 이전하는 계약을 "한국발명진흥회"의 중개 및 자문을 통하여 다음과 같이 계약을 체결한다.

## 2. 부산물사료 발효 저장 시스템((주)세운의 통상실시권)

가. 기술료 200만원

나. 경북대학교 산학협력단(이하 "경북대"라 한다)과 주식회사 세운(이하 "회사"라 한다)는 "경북대"가 보유한 '부산물사료 발효저장 시스템'에 관한 기술을 농업생명과학대학 농업토목생물산업공학부 하유신 교수를 "기술이전책임자"로 하여 "회사"에 이전하는 계약을 "한국발명진흥회 지식재산중개소"의 중개 및 자문을 통하여 다음과 같이 계약을 체결한다.

### 3. 부산물사료 발효 저장 시스템((주)성원의 통상실시권)

가. 기술료 200만원

나. 경북대학교 산학협력단(이하 "경북대"라 한다)과 주식회사 성원(이하 "회사"라 한다)는 "경북대"가 보유한 '부산물사료 발효저장 시스템'에 관한 기술을 농업생명과학대학 농업토목생물산업공학부 하유신 교수를 "기술이전책임자"로 하여 "회사"에 이전하는 계약을 "한국발명진흥회 지식재산중개소"의 중개 및 자문을 통하여 다음과 같이 계약을 체결한다.

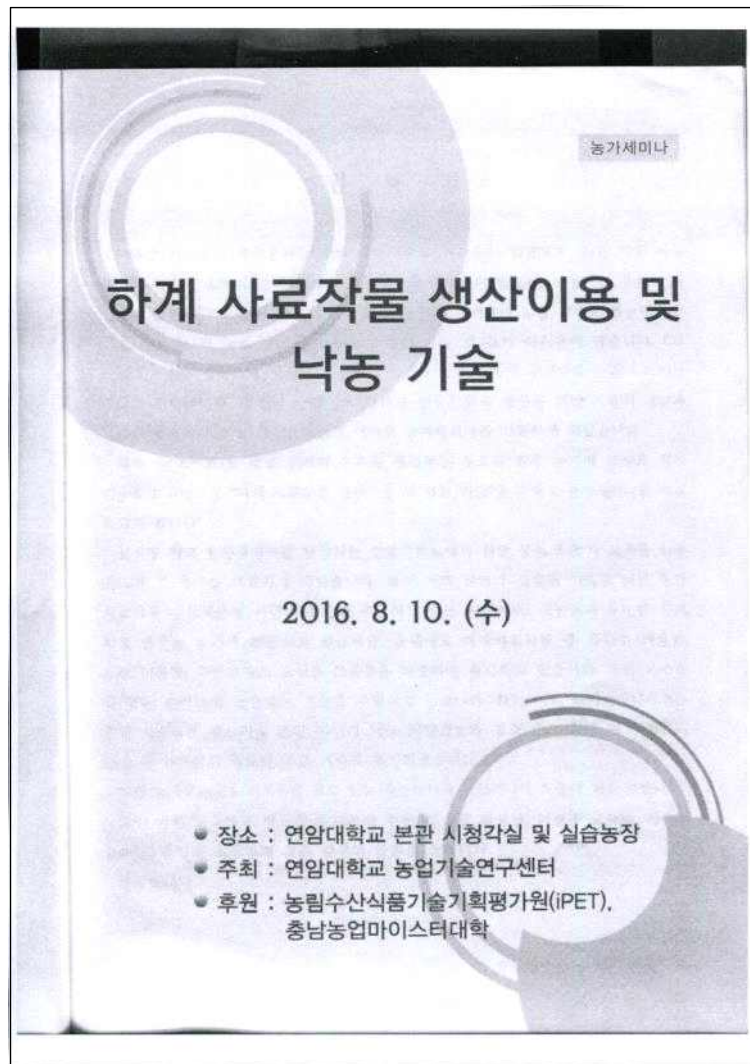
## 제5절 사업화

주관기관인 경북대학교에서 기술이전 하였으며, 본 사업의 참여기업인 은성플랜트가 상주시 축협 TMR 축산사료 플랜트의 설계 및 제작에 있어 본 과제를 통한 기술개발 내용인 부산물 발효 저장장치의 일부부분을 제품화하여 사업화에 성공하였으며, 9억원의 매출을 발생시켰다.

## 제6절 교육 및 컨설팅

연암대학교(본관 시청각실 및 실습농장)

- 가. 교육목표 : 축산농민, 조사료 생산 경영체 및 관련 종사자의 하계사료작물생산 및 낙농 실무 능력 향상
- 나. 교육대상자 : 농민, 조사료 생산 경영체, 학생 및 관련 종사자
- 다. 교육일시 : 2016년 8월 10일 10시~15시(수)





## 2. 경북농민사관학교 첨단농업기계영농활용과정

가. 4차 산업혁명과 농업 소개

나. 미래 농축산기계 전망 소개

다. 첨단 농축산기계 개발현황 소개

라. 농업기계 및 시스템 소개

마. 축산기계 및 시스템 소개 (부산물사료 발효저장 시스템 소개)

## 제7절 홍보실적

월간인물 BEST R&D 부분의 인터뷰 진행(부산물 발효사료 시스템 소개)

월간한국인 “2017 대한민국 혁신 한국인 & 파워브랜드 기획 pr” 분야에 본 과제의 결과물인 부산 물 사료 발효저장 시스템 개발에 대한 내용 홍보

## 제8절 수상실적

사)한국농업기계학회 2015년 춘계학술대회 농산물, 식품가공공학에서 발표한 논문의 구성  
과 발표력이 우수하여 논문발표우수상을 수상함.

#### 4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

				코드번호	D-06
4-1. 목표달성도					
연도	비중	달성도	연구개발 목표	연구개발 범위	
1차년도	10	100	부산물사료의 기계적 특성 조사 및 요인 구명	○ 공시재료(버섯배지, 전분박, 맥주박, 사과박 등)을 이용한 기계적 특성조사 및 요인 구명	
				○ 열전달 특성을 구명하기 위한 열전도계수, 비열, 살균조건 측정	
				○ 물리적 특성 구명하기 위해 산물밀도, 정안식각, 동안식각 측정	
				○ 레올로지 특성 구명하기 위해 점착력, 부착력, 응집력 측정	
				○ 발효조건 구명을 위한 실험실용 발효저장조와 소규모 밀폐저장조를 활용한 발효시험 및 품질분석	
○ 기하학적 특성 구명을 위한 입자도, 균일도 산출					
1차년도	10	100	부산물사료의 전 발효공정 분석 및 시뮬레이션	○ 공정분석 : 전발효공정의 예비실험 및 데이터 수집을 통한 입력변수	
				○ 공정설계 : TMR플랜트용 부산물사료 발효저장시스템의 3가지 공정 설계	
				○ 시뮬레이션을 통한 최적화 : 공정분석과 공정설계에 따른 모델의 적합성 검증	
1차년도	10	100	부산물사료 전 발효공정 모델 개발 및 적정규모 설계	○ 모델별 기계형식 선정	
				○ 모델별 작업공정 설계	
				○ 모델별 배치도(layout) 설계	
				○ 모델별 소요기계 제원 결정	

1차년도	10	100	전발효공정의 소 요기계 설계 및 제작	○ 부산물사료 반입, 임시대기 및 저장 시스템 설계 및 제작
				○ 부산물사료 살균 시스템 설계 및 제작
				○ 부산물사료 수분조절 압착 시스템 설계 및 제 작
				○ 살균 부산물사료 임시대기 시스템 설계 및 제 작
				○ 부산물사료 프리믹스 시스템 설계 및 제작
				○ 부산물사료 프리믹스사료 배출이송 시스템 설 계 및 제작
2차년도	10	100	부산물사료 최적 의 발효조건 구 명	○ 동결건조를 통한 부산물 사료의 함수율조절
				○ UV를 통한 부산물 사료의 살균
				○ 다구찌 기법을 활용한 발효저장실험
				○ 실험실 규모의 발효저장조를 사용한 재연성실험
2차년도	10	100	전 발효공정의 소요기계 설계 및 제작	○ 부산물사료 발효저장조 설계 및 제작
				○ 부산물사료 투입, 배출시스템 설계 및 제작
				○ 부산물 사료 발효저장조 압력조절장치 설계 및 제작
				○ 부산물 사료 배출 이송시스템 설계 및 제작
2차년도	10	100	통합 관리시스템 구축	○ 부산물 발효저장조의 내부환경 실시간 원격모 니터링 시스템구축
				○ 부산물 발효저장조의 원격제어 컨트롤 시스템 구축
3차년도	10	100	발효중 미생물 프로파일 분석	○ 발효온도에 따라 균주의 생육패턴 분석
				○ 단독배양과 혼합배양에서 생균수의 패턴 분석
				○ 유해미생물 균종 검사를 실시하여 살균의 필 요유무를 선행하여 구명
3차년도	20	100	현장적응시험 및 수정보완	○ 발효전후의 사료를 농림축산식품부에서 고시 한 표준분석방법에 따라 성분분석 정량적 품 질 평가의 척도를 제시
				○ 대규모 (50ton) 발효를 통한 전 발효 시스템 장치의 현장 적응시험을 실시
				○ 전발효공정별 문제점 분석 및 수정 보완
				○ 시스템 효율 및 성능 검사
				○ 개발 플랜트의 시스템은 공인된 외부 기관을 통하여 효율 및 성능평가에 관한 인증

#### 4-2. 관련분야 기여도

- **축산사료 전체 시스템의 병목현상 해결** : 대부분 축산 사료 관련 연구는 사료 가치와 품질, 조 사료 육종 등의 연구가 이루어져 있다. 이러한 연구들을 대규모 기계화 시스템으로 연결하여 활성화 하는 것이 중요하지만 아직까지 사료가 생산에서 급여로 이어지는 단계에 통합적인 연결고리가 잘 이루어지지 않고 있다. 축산 사료 전체 시스템의 병목현상을 해결하여 시스템의 연결고리가 잘 이루어지도록 할 것이다.
- **고품질 저비용 사료 안정적 공급** : 98%의 사료를 수입에 의존하는 국내 사료산업에 미래 전략 적으로 사료비용의 절감과 고품질의 사료를 연중 공급할 수 있는 시스템의 개발이 반드시 필요 하다.
- **사료 자급율 향상** : 통합 네트워크 기반으로 한우, 젖소, 돼지, 말 등의 사육농가와 조사료생산 법인체, TMR공장과 지역의 부산물사료 거점센터로 이어져 최소비용 생산 및 유통시스템 구축 으로 사료 자급율의 향상이 가능하다.
- **친환경 축산 및 축산물의 안전화 기여** : 친환경 축산지역 거점센터에서 사료의 안정적 공급과 사양프로그램 등의 기술지원을 바탕으로 하기 때문에 친환경 축산 및 고급육 생산이 가능하다. 이를 통하여 사료를 고품질화하면 증체량과 산유량의 증가, 유질 및 육질향상, 사료비절감, 축산 물 안전화 등의 효과가 있다.
- **농기계 신규 시장 개척 및 활성화** : 플랜트에 소요되는 반송기, 정전기, 건조기, 저장빈, 계량 기, 발효저장빈, 살균기 등의 단위기계를 상품화할 수 있어, 산업체의 경우 신규 시장(약 1조원 규모)을 개척할 수 있다.
- **수출 산업 기여** : 해외농장을 개발하여 공급을 추진하고 있다. 이 기술을 활용하여 외국에 수출 할 수 있다.
- **사료 생산비 절감** : 적정작업조건에 따른 기계개발로 기계효율이 향상되고 노동력과 작업시간 이 줄일 수 있다.



## 5. 연구결과의 활용계획

코드번호	D-07
<p><b>활용계획</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>축산 사료산업 파생 연구의 활성화 및 기술 수준 업그레이드</b> : 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 있다.</li> <li>○ <b>다양한 축종에 활용</b> : 본 연구에서 개발되는 모델은 하나의 축종에 적용되는 것이 아니라, 대표적으로 소(한우, 젓소), 돼지(모돈, 비육돈) 등에 적용할 수 있다.</li> <li>○ <b>수입 부산물사료의 전발효공정 응용</b> : 해외에서 값싼 부산물사료(팜박, 옥수수박, 대두박 등)가 단일 품종으로 수입이 많이 되고 있지만, 이를 발효제와 함께 몇가지의 부산물을 혼합하고 전발효공정을 거친 후 수입된다면 사료가치가 높고 안전하게 국내에 공급될 수 있을 것이다. 이는 베이스 원료로 이용될 수 있고 여기에 조사료만 추가하여 공급하면 생산 공정단계를 획기적으로 줄일 수 있어 사료비용을 낮출 수 있다.</li> <li>○ <b>Food waste 기술 활용</b> : 전발효공정 기술을 응용하여 부산물의 원료가 되는 식품업체 등과 연계하여 사료 산업에 다양하게 활용할 수 있다.</li> <li>○ <b>국외(개도국) 축산 사료조제 기술 활용</b> : 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 있다.</li> <li>○ <b>단위 플랜트 표준화 활용</b> : 국내에 300여개소의 시군 거점센터에 시설을 설치할 수 있을 것으로 예측되며, <u>가칭 사료종합처리장(FPC)나 사료위성시설(FSC)과 같은 단위 플랜트로 표준화</u>할 수 있다.</li> <li>○ <b>데이터 획득 및 모니터링 시스템 자체개발</b> : 시스템의 안정성과 단가를 낮추기 위하여 시스템에 최적의 성능을 보일 수 있는 저렴한 센서들을 발굴하여 사용할 예정이다. GL240의 로거를 제거하고 센서 데이터 수집을 위한 MCU보드를 전량 자체 제작하여 안정성과 신뢰성을 확보하고 단가를 획기적으로 낮출 계획이다. KT IotMakers나 thingplug를 사용하지 않고 Iot플랫폼을 자체 제작하여 시스템 운영에 맞춤화되고 최적의 기능들을 구현하고 사용요금도 획기적으로 낮추며 라이선스 및 추가비용 문제를 회피할 계획이다.</li> </ul>	



## Considerations for Using By-Product Feeds

John K. Bernard

Department of Animal and Dairy Science

### Introduction

Feeding by-product feeds to cattle is not a new concept. Feed companies have used by-product feeds in commercial concentrates as a source of nutrients for years. However, the use of by-product feeds in rations mixed on-farm may be new to many producers. By-product feeds come from a variety of sources, including grain processing, production of human foods and beverages, and manufacturing of fiber products. Although many of these feeds have been used for years, others are relatively new. Research has been conducted on most by-product feeds and the guidelines for their use are well documented; however, limited information is available on the feeding value or guidelines for using some by-product feeds. This publication discusses factors that should be considered when feeding by-product feeds.

The primary reason producers should consider by-product feeds is to reduce feed cost. Feed is the primary cost associated with growing replacement heifers and producing milk, so cheaper feeds that offer the potential to lower feed cost and improve the bottom line are worth considering. Some by-product feeds provide nutrients in a specific form, such as rumen undegradable protein (RUP) or highly digestible fiber, that are desirable for improving ruminal fermentation and animal health. When forage supplies are limited during a drought or when animal numbers are increased without increased forage production, other high-fiber by-product feeds may be used to extend forage supplies.

There are disadvantages of by-product feeds that producers should consider as well. Additional time for purchasing and arranging delivery, and for formulating and mixing rations will be required. Specialized storage and feeding facilities needed for certain by-product feeds may require construction of additional

buildings or equipment purchases, both of which will require additional investments. If a by-product feed is only available seasonally or in insufficient amounts, it is questionable whether changing the current feeding program would be justifiable. These factors must be taken into consideration before using by-product feeds.

### Economics

The main factor producers should consider when using by-product feeds is economics. Producers should check with several brokers to determine the market price and nutrient profile of each by-product feed considered. Prices vary throughout the year, so a few phone calls can save several hundred dollars over the course of the year. Once a delivery price has been established, the next step is to calculate the true cost for using the by-product feed. A sample worksheet for computing the total cost of a by-product feed is presented in Table 1.

For example, a producer is considering a by-product feed that can be purchased for \$125 per ton delivered to the farm. If 23 tons are delivered, then the initial cost is \$2,875. Interest costs equal \$71.88 assuming an interest rate of 10 percent and that the load will be fed in three months. Shrinkage losses vary, but range from 15 to 30 percent for wet by-product feeds, 4 to 10 percent for dry feeds stored in a commodity shed, and 2 to 6 percent for the dry feeds stored in bins. If shrinkage and storage losses are maintained at 7 percent, an additional \$201.25 is added to the cost. Extra time for handling the by-product feed can easily add another \$50 or more to the cost. The total cost of the by-product feed is actually closer to \$139.05 per ton. Failure to include these additional costs does not provide the producer a true evaluation of the by-product feed's potential for reducing overall feed cost.

## STORAGE OF WET CORN CO-PRODUCTS

By G. Erickson, T. Klopfenstein, R. Rasby, A. Stalker, B. Plugge, D. Bauer, D. Mark, D. Adams, J. Benton, M. Greenquist, B. Nuttleman, L. Kovarik, M. Peterson, J. Waterbury and M. Wilken

### Opportunities For Storage

Three types of distillers grains can be produced that vary in moisture content. Ethanol plants may dry some or all of their distillers grains to produce dry distillers grains plus solubles (DDGS; 90% dry matter [DM]). However, many plants that have a market for wet distillers locally (i.e., Nebraska) may choose not to dry their distillers grains due to cost advantages. Wet distillers grains plus solubles (WDGS) is 30-35% DM. Modified wet distillers grains plus solubles (MWDGS) is 42-50% DM. It is important to note that plants may vary from one another in DM percentage, and may vary both within and across days for the moisture (i.e., DM) percentage. Figure 1 depicts different forms of distillers grains that may be used by beef producers. There are advantages and disadvantages to each of these feeds.



**Figure 1.** Different forms of distillers grains: A. WDGS (approximately 35% DM), B. DDGS in a meal form (90% DM), C. DDGS in a pelleted form (3/8 in. pellet, 90% DM, approximately 96% DDGS) and D. DDGS in a cube form (3/4 in. cubes, 90% DM, approximately 70% DDGS).



## **By-Product Feedstuffs in Dairy Cattle Diets in the Upper Midwest**

**Randy Shaver**

**Professor and Extension Dairy Nutritionist  
Department of Dairy Science  
College of Agricultural and Life Sciences  
University of Wisconsin –Madison  
University of Wisconsin Extension**

### **Introduction**

The purpose of this paper is to review by-product feedstuffs commonly used in dairy cattle diets in the Upper Midwest. Typical nutrient analyses of most of these feedstuffs are provided in Table 1. Otherwise nutrient composition is listed in the text. Tabular listings of nutrient analyses are average values, and the variation in nutrient content of by-product feedstuffs can be large (Dairy NRC, 2001). Laboratory testing of by-product feedstuffs for actual nutrient content is recommended.

Break-even costs can be calculated using FEEDVAL4 (Howard and Shaver, 1993; <http://www.uwex.edu/ces/dairynutrition/spreadsheets.cfm>) where blood meal (rumen undegraded protein; RUP), urea (rumen degraded protein; RDP), shelled corn (energy), tallow (fat), dicalcium phosphate (phosphorus) and calcium carbonate (calcium) serve as referee feedstuffs. Break-even costs are not provided herein, because they vary as prices of the referee feedstuffs change from month to month, year to year, supplier to supplier, and location to location. Calculation of relevant breakeven prices is recommended.

Some general guidelines on upper feeding limits for by-product feedstuffs (Howard, 1988) are provided herein, however, actual feeding rates should be determined through formulation of diets to meet specifications for neutral detergent fiber (NDF), nonfiber carbohydrate (NFC), fat and protein fractions (crude protein; CP, RDP, and RUP). Fiber effectiveness factors and feedstuff definitions provided herein were obtained from Armentano and Clark (1992) and The Feed Industry Red Book (1994), respectively.

### **High-Fiber Byproducts**

**Beet Pulp** is the dried residue from sugar beets which has been cleaned and freed from crowns, leaves and sand, and which has been extracted in the process of manufacturing sugar. Beet pulp with molasses includes the beet molasses obtained in the manufacture of sugar. Beet pulp is bulky and highly palatable. It may be fed dry or wet. It may be sold in either pelleted or meal form. Upper feeding limits on beet pulp are about half of the grain concentrate or 8 to 15 lb of dry matter (DM) per cow per day. Beet pulp is often used to reduce the content of NFC in dairy cattle diets. Much of the NFC in beet pulp is pectin which has a propensity for acetate versus propionate

## Recommendations for Feeding Selected By-Product Feeds to Dairy Cattle<sup>1</sup>

Dr. Brinton A. Hopkins and Dr. Lon W. Whitlow  
Dairy Nutrition Extension Specialists

### Introduction

In addition to lowering feed costs, commodity or by-product feeds can be used to increase the nutrient density of the diet. Some of these feeds provide rumen undegradable protein (RUP) and the amino acids methionine and lysine. Certain other by-product feeds serve as a substitute for roughage and can increase fiber in the diet. Because of their often unique nutrient composition, by-product feeds must be used as a component of a nutritionally balanced ration.

### Using By-Product Feeds to Boost Nutrient Density

Whole cottonseed is an example of a by-product feed that is often fed to increase the nutrient density of the diet. The fat in whole cottonseed increases the energy density of the ration while providing a good source of crude protein and acid-detergent fiber. This allows the energy level and fiber in the diet to be increased without feeding excessive grain or causing

problems with acidosis or low milk fat tests. Feeding fat in the form of whole cottonseed to increase energy density is also important during hot weather when dry matter intake decreases.

### Using By-Product Feeds to Increase RUP in the Ration

By-product feeds are often included in the ration to increase the level of rumen undegradable protein. Dried brewers' grains and distillers' grains with solubles are good sources of RUP, although both are low in lysine. Blood meal is a good source of lysine, while corn gluten meal is a good source of methionine. Lysine and methionine are often limiting or co-limiting for milk protein synthesis. The ratio of lysine:methionine in the total diet should be about 3:1 when minimal requirements for each are met.

<sup>1</sup> Reviewed by: Dr. Vivek Fellner (Department of Animal Science, NC State), Sheila Jordan (N.C. Department of Agriculture & Consumer Services), Nancy Keith (N.C. Cooperative Extension Service), Tony McGaha (N.C. CES), and Ken Vaughn (N.C. CES).





## Feeding of by-products completely replaced cereals and pulses in dairy cows and enhanced edible feed conversion ratio

P. Ertl,<sup>\*†</sup> Q. Zebeli,<sup>†</sup> W. Zollitsch,<sup>\*</sup> and W. Knaus<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Department of Sustainable Agricultural Systems, Division of Livestock Sciences, BOKU–University of Natural Resources and Life Sciences, 1180 Vienna, Austria

<sup>†</sup>Department for Farm Animals and Veterinary Public Health, Institute of Animal Nutrition and Functional Plant Compounds, University of Veterinary Medicine, 1210 Vienna, Austria

### ABSTRACT

When fed human-edible feeds, such as grains and pulses, dairy cows are very inefficient in transforming them into animal products. Therefore, strategies to reduce human-edible inputs in dairy cow feeding are needed to improve food efficiency. The aim of this feeding trial was to analyze the effect of the full substitution of a common concentrate mixture with a by-product concentrate mixture on milk production, feed intake, blood values, and the edible feed conversion ratio (eFCR), defined as human-edible output per human edible input. The experiment was conducted as a change-over design, with each experimental period lasting for 7 wk. Thirteen multiparous and 5 primiparous Holstein cows were randomly assigned to 1 of 2 treatments. Treatments consisted of a grass silage-based forage diet supplemented with either conventional ingredients or solely by-products from the food processing industry (BP). The BP mixture had higher contents of fiber and ether extract, whereas starch content was reduced compared with the conventional mixture. Milk yield and milk solids were not affected by treatment. The eFCR in the BP group were about 4 and 2.7 times higher for energy and protein, respectively. Blood values did not indicate negative effects on cows' metabolic health status. Results of this feeding trial suggest that by-products could replace common concentrate supplements in dairy cow feeding, resulting in an increased eFCR for energy and protein which emphasizes the unique role of dairy cows as net food producers.

**Key words:** organic, dairy cow, efficiency, by-product, feed conversion

### INTRODUCTION

Global crop demands are predicted to increase about 100 to 110% by the year 2050 (from 2005 as baseline

year) and concerns about future food security are rising (Godfray et al., 2010; Tilman et al., 2011). This reinforces pressure on livestock systems because animals are very inefficient in converting feed into animal products (Bradford, 1999). According to Cassidy et al. (2013), 89% of crop-produced calories fed to animals are lost and do not recur as human food in form of animal products. However, when fed human-inedible feed, livestock can provide a net gain in food supply (CAST, 1999). With their ability to convert human-inedible fibrous plant substrates into high-quality animal products, ruminants have always played a unique role in animal agriculture. However, the high performance levels of modern dairy cows have made it necessary to feed high amounts of grains and pulses to dairy cows, which also lead to an increase in the feed versus food competition between dairy cows and humans (Knaus, 2009, 2013).

Wilkinson (2011) introduced the concept of the edible feed conversion ratio (eFCR) to compare human-edible input versus output. Oltjen and Beckett (1996) were the first to analyze dairy cow rations in terms of food balance. Their results showed that, for cows receiving 50% concentrates, the human-edible food output in form of meat and milk was lower than the potentially human-edible input with feeds (57 and 96% for energy and protein, respectively). In other words, these cows consume more human food than they produce. In this debate, the potential of by-products to improve food balances of dairy production has been addressed several times (Eastridge, 2006; CAST, 2013; Gill, 2013). Bradford (1999) attributed the global supply of by-products within a year the potential to energetically support 500 million tons of milk production. According to Bocquier and González-García (2010), using by-products as feed is also a strategy to become less dependent on cereals and oil seeds, which will become more important in human nutrition in the future.

By-products strongly vary in their chemical composition, and their effect on milk yield and other production indicators depends markedly on the type and amount of the by-product included in the ration. In general,

Received September 3, 2014.

Accepted October 27, 2014.

<sup>†</sup>Corresponding author: [paul.ertl@boku.ac.at](mailto:paul.ertl@boku.ac.at)

# Locally Produced Agricultural By-Products as Feed Sources for Pigs

**Keywords:** Raw fiber concentrates; Agricultural by-products; Cellulose content; Animal health

## Abstract

Raw fiber concentrates, products with high content in cellulose, hemicellulose and lignin, are new sources of concentrates with high biological and functional value. Recent studies have demonstrated that raw fiber concentrated products have a positive influence on intestinal development, in health status of piglets and in sows. Agricultural by-products with high lignocellulose content are commonly used as supplementary feeds for animals and with their low or zero cost can also improve the economic efficiency of animal production. The materials that have been studied in this work currently are wasted or in best case are used as pellets fuel.

In order to explore these potentials a series of by-products were investigated: walnut shell, olive kernel, grape branches, woody parts of oregano, corn cobs, corn stalks, woody parts of potato, cotton stems, sawdust mix of oak, spruce and pine and cottonseed fiber. The quality of those by-products is evaluated after a series of classical feed analysis. Samples were collected from the region of Thessaly in Greece. The chemical composition of these by-products was determined in order to develop a proper feeding system for livestock. Our results showed high availability and lignocellulose content in a lot of by-products. These should be used to produce concentrated raw fiber feeds in order to improve the animal production and farmers' livelihood.

## Introduction

The intensive system of livestock production and the high cost of conventional feeds have aroused interest in the search for cheaper feedstuffs as substitutes. Agro-industrial by-products which are generated in large amounts every year would be an excellent choice in conventional diets for the animals due to their availability, their low cost, and their constituents (proteins, minerals, vitamins and trace elements). Countries according to the environmental legislation should seriously take into consideration the economic benefits that result from the use of these by-products [1-4]. Several studies have demonstrated that when sows are fed with raw fiber (high content in cellulose hemicellulose and lignin) there is a positive influence on their health status [5-7].

Cellulose is a major structural component of plant cell walls, which is responsible for mechanical strength. It is made up of a linear polymer chain, which in turn consists of a series of hydroglucose units in glucan chains. The hydroglucose units are held together by 1-4 glycosidic linkages, producing a crystalline structure that can be broken down more readily to monomeric sugars. Hemicellulose macromolecules are repeated polymers of pentoses and hexoses and thus can be a source of various polysaccharides, like xylose, galactose, mannose and arabinose. It has been also reported [8] that hemicellulose water holding capacity is greater to that of cellulose. Lignin is a complex polymer of aromatic alcohols known as monolignols. Lignin contains three aromatic alcohols (coniferyl

Open Access

Research Article

## Journal of Veterinary Science & Medicine

Kostas Katsoulis<sup>1</sup>, Leonidas Leontides<sup>2</sup> and George Kontopidis<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, University of Thessaly, Trikolon 224, Karditsa, 4313-1, Greece

<sup>2</sup>Department of Epidemiology, Biostatistics and Animal Health Economics, Faculty of Veterinary Medicine, University of Thessaly, Trikolon 224, Karditsa, 4313-1, Greece

\*Address for Correspondence

George Kontopidis, Department of Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, University of Thessaly, Trikolon 224, Karditsa, 4313-1, Greece, Tel: +302441066017; Fax: +30 24410 66041; E-mail: gkontopidis@vet.uoi.gr

Submission: 14 March, 2018

Accepted: 09 May, 2018

Published: 13 May, 2018

Copyright: © 2018 Katsoulis K, et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Reviewed & Approved by: Dr. Ehsanj Christaki, Faculty of Veterinary Medicine, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

alcohol, sinapyl alcohol and coumaryl alcohol) that are produced through a biosynthetic process and forms a protective seal around the other two components [9-11].

Feeds may be classified as concentrates and roughages, depending on their composition. Concentrates contain a high density of digestible nutrients (crude fiber content less than 18% of dry matter). The term raw fiber concentrates describes raw fiber ingredients with at least 60% raw fiber content. This is mostly achieved by the use of concentration processes, which can be of a physical or thermo-mechanical nature. Raw fiber concentrates are new sources of fiber concentrate with high biological and functional value; they can be mixed in concentrated high-energy ratio for sows and they increase the fiber content of the diet without significantly reducing its energy content [12-14]. The beneficial effects of high-fiber concentrated feedstuffs have been shown in several studies [15,16]. High fiber diets appear to promote resting behavior in sows and indirectly results in a reduction in aggressive behavior in group housing systems [17-23]. Dietary fiber has been shown to prolong postprandial satiety, to increase welfare and to reduce stereotypic behaviors in pigs by reducing feeding motivation [24]. Raw fiber has a satiation effect on sows, which in turn has a calming effect. Therefore the addition of raw fiber to the diet reduces aggressive behavior and fights when pregnant sows are housed in groups. The water holding capacity (WHC), describes the ability of feed to bind water under atmospheric pressure and it is particularly important for effective digestion. In addition raw fibers reduce the feed intake in *ad libitum* feeding systems in order to prevent too much weight gain. Therefore the satiation effect occurs very quickly and with the dosage of raw fiber concentrates the desired feed intake can be regulated [17]. Also, calves fed with raw fiber concentrate had better fecal score than the control group in the entire experimental period. These observations could be due to the increased role of raw fiber concentrate in peristalsis movements of



7. 연구개발결과의 보안등급

	코드번호	D-09
○		

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

					코드번호		D-10	
구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

	코드번호	D-11
○		

## 10. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	특허	부산물사료 발효저장 시스템	경북대학 교		대한민국		2017.11.01		
2	특허	가스수용 부재가 구비된 부산물사료 발효저장 시스템	경북대학 교		대한민국		2017.11.01		
3	논문	Development of a Water-Spraying Type Automatic Glochids Removal System for Cactus (Opuntia humifusa) Stem	경북대학 교	주저자	대한민국		2016-09-0 1	중복사사	비SCI
4	논문	Optimization of parboiling conditions for enhanced Japonica rice milling	경북대학 교	주저자	UAE	0.623	2016-11-3 0	중복사사	SCI
5									

## 11. 기타사항

코드번호	D-13
○	

## 12. 참고문헌

코드번호	D-14
	<p>Belyea R. L., Steevens B. J., Restrepo R. J., and Clubb A. P. 1989. Variation in Composition of By-Product Feeds. J Dairy Sci 72:2339-2345</p> <p>Borling W. J., Lyberg K., Passoth V. and Olstorpe M. 2015. Combined moist airtight storage and feed fermentation of barley by the yeast Wickerhamomyces anomalus and a lactic acid bacteria consortium. Front. Plant Sci. 6:270. doi: 10.3389/fpls.00270.</p>

- Bretschneider G., Mattera J., Cuatrin A., Arias D., Wanzenried R. 2015. Effect of ensiling a total mixed ration on feed quality for cattle in smallholder dairy farms. *Arch Med Vet* 47, 225–229
- Clark J.H., Murphy M.R., Crooker B.A. 1987. Supplying the Protein Needs of Dairy Cattle from By-Product Feeds. *Journal of Dairy Science*. Volume 70, Issue 5, Pages 1092–1109.
- John K. B. 2012. Considerations for Using By-Product Feeds. UGA Cooperative Extension Bulletin 862.
- Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. 2002. Composition and Feeding Value of Cottonseed Feed Products for Beef Cattle. <http://www.oznet.ksu.edu>
- Kolver E.S., Muller L.D. 1998. Performance and Nutrient Intake of High Producing Holstein Cows Consuming Pasture or a Total Mixed Ration. *Journal of Dairy Science*. Volume 81, Issue 5, Pages 1403–1411.
- Kononoff P.J., Heinrichs A.J., Buckmaster D.R. 2003. Modification of the Penn State Forage and Total Mixed Ration Particle Separator and the Effects of Moisture Content on its Measurements. *Journal of Dairy Science*. Volume 86, Issue 5, Pages 1858–1863.
- Kung L. Jr, Sheperd A.C., Smagala A.M., Endres K.M., Bessett C.A., Ranjit N.K., Glancey J.L. 1998. The Effect of Preservatives Based on Propionic Acid on the Fermentation and Aerobic Stability of Corn Silage and a Total Mixed Ration. *Journal of Dairy Science*. Volume 81, Issue 5, Pages 1322–1330.
- Li Y., Wang F., Nishino N. 2016. Lactic Acid Bacteria in Total Mixed Ration Silage Containing Soybean Curd Residue: Their Isolation, Identification and Ability to Inhibit Aerobic Deterioration. *Asian-Australas J Anim Sci.*; 29(4): 516–522.

Millard C. Calhoun. 2004. Variation in the Nutrient and Gossypol Content of Whole Cottonseed and Cottonseed Meal. <http://cottonseed.org/publications/Calhoun%20Nutrition%20Values.pdf>.

National Academy of Sciences. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition.

Nishino N, Ogata Y, Han H, Yamamoto Y. 2015. Identification of bacteria in total mixed ration silage produced with and without crop silage as an ingredient. *Anim Sci J.* ;86(1):45–50. doi: 10.1111/asj.12234.

Nishino N., Wada H., Yoshida M.,

Shiota H. 2004. Microbial Counts, Fermentation Products, and Aerobic Stability of Whole Crop Corn and a Total Mixed Ration Ensiled With and Without Inoculation of *Lactobacillus casei* or *Lactobacillus buchneri*. *Journal of Dairy Science*. Volume 87, Issue 8, Pages 2563–2570

Ricardo M. M., Pedro C. M., Paulina B. and Richard B. M. 2012. Use of Food Wastes for the Production of Lactic Silage. Vol.55, n. 1: pp.115–126, ISSN 1516–8913.

White S.L., Bertrand J.A., Wade M.R., Washburn S.P., Green J.T. Jr., Jenkins T.C., 2001. Comparison of Fatty Acid Content of Milk from Jersey and Holstein Cows Consuming Pasture or a Total Mixed Ration. *Journal of Dairy Science*. Volume 84, Issue 10, Pages 2295–2301.

Xu C. C., Cai Y., Zhang J. G., Ogawa M. 2014. Fermentation quality and nutritive value of a total mixed ration silage containing coffee grounds at ten or twenty percent of dry matter. *J. Anim. Sci.* 85:1024–1029 doi:10.2527/jas.2005–628

April, J., Glover, F., Kelly, J., and Laguna, Manuel. (2001). Simulation/optimization using “real–world” applications”, *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, USA, pp. 134–138.

Center for Disease control. (2016). Steam Sterilization. Accessed from <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/sterilization/steam.html>

- Doane, P. H., Schofield, P., & Pell, A. N. (1997). Neutral detergent fiber disappearance and gas and volatile fatty acid production during the in vitro fermentation of six forages. *Journal of animal science*, 75(12), 3342–3352.
- Ha, Y.S., Hong, D.H. and Park K.K. (2009). Modelling of a small group scale TMR plant for Beef cattle and Dairy farm in Korea (I)– Development of TMR model plant. *Journal of Biosystems Engineering*. Vol. 35, No. 5, pp. 342–350.
- Ha, Y.S., Hong, D.H. and Park K.K. (2010). Modelling of a small group scale TMR plant for Beef cattle and Dairy farm in Korea (II)– Performance test and cost analysis of the model plant. *Journal of Biosystems Engineering*. Vol. 35, No. 2, pp. 91–99.
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S., (2012). Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of food science and technology*, 49(3), 278–293.
- Katongole, C. B., Bakeeva, A., Passoth, V., & Lindberg, J. E. (2017). Effect of solid–state fermentation with *Arxula adenivorans* or *Hypocrea jecorina* (anamorph *Trichoderma reesei*) on hygienic quality and in–vitro digestibility of banana peels by mono–gastric animals. *Livestock Science*, 199, 14–21.
- Kleijnen, J.P.C., and Wan, J., (2007). “Optimization of simulated systems: OptQuest and alternatives”, *Simulation Modelling Practice and Theory* Volume 15, Issue 3, pp. 354–362.
- Nguyen, Thi Kim Dong., (2005). Evaluation of agro–industrial by–products as protein sources for duck production in the Mekong Delta of Vietnam. Vol. 2005. No. 81.
- Su, An–Kuo, and Heng–Chun Station., (1996). Utilization of agricultural by–products in Taiwan. ASPAC Food & Fertilizer Technology Center, 1996.
- Swart, C. W., Dithebe, K., Pohl, C. H., Swart, H. C., Coetsee, E., van Wyk, P. W., & Kock, J. L. (2012). Gas bubble formation in the cytoplasm of a fermenting yeast. *FEMS yeast research*, 12(7), 867–869.

Tuah, A. K. (1998). Utilization of agricultural by-products for village and commercial production of sheep rations in Ghana. Proceedings of the First Joint PANESA AND ARNAB Workshop on utilization of research results on forage and agricultural by-product materials as animal feed resources in Africa

Uyeh, D. D., Woo, S. M., Kim, J., Ha, Y. S. (2017). Assessment of sterilization methods on by-products used in Total Mixed Ration for safe feed production. ASABE 2017 Annual International Meeting. Washington.

Welin, J. B., Lyberg, K., Passoth, V., & Olstorpe, M. (2015) Combined moist airtight storage and feed fermentation of barley by the yeast *Wickerhamomyces anomalus* and a lactic acid bacteria consortium. *Frontiers in plant science*, 6.

Wilson, W. W., Koo, W. W., Taylor, R. D., & Dahl, B. L. (2005). Fundamental factors affecting world grain trade in the next two decades. *Agribusiness and applied Economics*.

Woo, S. M., Uyeh, D. D., Ha Y.S., (2016). Optimization of Design Parameters for By-Product Feed Fermentation using Taguchi Method. 2016 ASABE Annual International Meeting, Florida

#### 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.



