

11
1543000
002122
01

발간등록번호

11-1543000-002122-01

축산보급형

신선조사료

재배장치개발

최종보고서

2018

농림축산식품부

첨단생산기술개발사업 R&D Report

**축산보급형 신선조사료
재배장치 개발**

최종보고서

2018.01.31.

주관연구기관 / (주)보람이앤지
협동연구기관 /

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “축산보급형 신선조사료 재배장치 개발” (개발기간 : 2015.12.18 ~ 2017.12.17)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018 . 01 . 31 .

주관연구기관명 : (주)보람이앤지 (대표자) 유 일
협동연구기관명 : (대표자) (인)
참여기관명 : 충남대학교 (대표자) 이왕희



(인) 

주관연구책임자 : 유 일
협동연구책임자 :
참여기관책임자 : 이왕희

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제고유번호	115061-2	해 당 단 계 연 구 기 간	2016-12-18 ~ 2017-12-17	단 계 구 분	2016-12-18 ~ 2017-12-17 / 2015-12-18 ~ 2017-12-17
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	축산보급형 신선조사료 재배장치 개발			
	세 부 과 제 명	<ul style="list-style-type: none"> • 신선 조사료재배장치 시스템 설계 • 신선 조사료재배장치 시제품 생산 • 조사료 재배 환경 분석 및 요인 구명 • 조사료 재배 환경 최적화 및 검증 • 신선 조사료재배장치 성능평가 및 분석 			
연구책임자	유 일	해당단계 참 여 연구원 수	총: 3명 내부: 3명 외부: 명	해당단계 연 구 개 발 비	정부: 90,000천원 민간: 30,000천원 계: 120,000천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 4명 내부: 4명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 180,000천원 민간: 30,000천원 계: 240,000천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)보람이앤지			참여기업명	
위탁연구	연구기관명: 충남대학교			연구책임자: 이왕희	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 신선 조사료재배장치 개발. 2. 연중 생산이 가능한 시스템 설계. 3. 신선 조사료용 작물재배에 필요한 제반 환경 분석 4. 조사료 재배환경분석 및 요인 구명 5. 조사료 재배 환경 최적화 및 검증 				보고서 면수	

4. 국문 요약문

		코드번호	D-01
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신선 조사료재배장치 시스템 설계 및 실용화 개발 ○ 날씨와 관계없이 연중 생산이 가능한 이동형 시스템 설계 및 개발 ○ 조사료 재배 환경 분석 및 요인 구명 ○ 조사료 재배 환경 최적화 및 검증 		
연구개발성과	<p>제 1 절 신선 조사료 제반 환경 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 신선 조사료용 작물재배에 필요한 제반 환경 분석 <ol style="list-style-type: none"> 가. 사료의 목적으로 활용 가능한 작물별 생육조건 환경을 조사하여 조사료재배장치에 가장 적합한 작물의 환경을 분석. 나. 조사된 6종의 작물에서 조사료재배장치에서 재배하기 가장 적합한 작물을 선정. <ol style="list-style-type: none"> 1) 청보리 2) 귀리 3) 이탈리아안 라이그라스 2. 가축별 사육시 사료비율 최적화 연구 및 필요 조사료의 양 <ol style="list-style-type: none"> 가. 소 나. 양 다. 말 3. 조사료 재배 환경 분석 및 요인 구명 <ol style="list-style-type: none"> 가. 재배 공정의 환경 분석 및 다양한 환경조건 요인 분석 방법론 탐색 <ol style="list-style-type: none"> 1) 생육조건 확인 및 사료작물 별 특징 조사 2) 환경조건 요인 분석을 위한 통계적 방법 수립 및 적용(조사료 기반 우유 성분 변화 조사) 나. 주요 환경 요인 구명 : Italian ryegrass 환경인자 탐색 <ol style="list-style-type: none"> 1) 재배장치의 생육 제반 환경(조도, 온도, 수분) 분석 2) 주요 환경 조건을 이용한 최적 조건 도출을 위한 실험 설계 <p>제 2 절 신선 조사료재배장치 설계 및 실용화</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 신선 조사료재배장치 설계 및 부품 개발 <ol style="list-style-type: none"> 가. 각 부품별 설계 및 BOM 구축 나. 신선 조사료 생산량 대비 모델별 설계 : 5종(이동형) 다. 신선 조사료 생산량 대비 모델별 설계 : 대형(10ton/日) 이상 2. 시제품 성능실험 및 수정 보완 		

	<p>가. 신선 조사료용 보리새싹(미국산 청보리) 재배 성능실험 완료 나. 전시회 참가 다. 보리새싹 성분분석을 통한 데이터 구축</p> <p>제 3 절 성능평가 및 분석</p> <p>1. 조사료 재배 환경 최적화 및 검증 가. 환경 요인 기반 조사료 생육 예측 모델 개발 나. 조사료 재배 최적 환경 구명 및 신선 조사료 재배 장치의 최적 환경 조건 기준 분석 다. 모델을 통해 규명한 최적생육조건을 검증하기 위한 실험을 수행하고, 탐색한 최적 생육 조건이 실제로 생산량을 최대로 하는지 검증.</p> <p>2. 성능평가 및 분석 가. 청보리를 활용한 사료용 새싹보리 재배 성능평가 1) 파종에서 수확까지 최단기간 검증 : 6日 2) 재배의 균형을 위한 적당한 뿌리의 패드 형성과 17~20cm 정도의 새싹을 재배 나. 사료용 작물 재배 추가 성능평가 1) 이탈리아인 라이그라스 : 파종에서 수확까지 약 8일 2) 귀리 : 파종에서 수확까지 약 7일</p>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>□ 활용계획</p> <p>1. 사업화(제품화) 가. 연구개발을 통해 개발된 신선 조사료재배장치 연구개발을 통한 제작. 나. 연구과제 종료 후 농기계 모델등록을 통한 시장개척. 다. 실용화를 통한 양산 및 판매로 매출 증대.</p> <p>2. 연구개발 가. 종료 후 꾸준한 연구개발을 통한 재배작물의 다변화. 나. 기능성 신선 조사료 개발. 다. 기업부설연구소 설립.</p> <p>3. 고용인력창출 가. 생산 및 영업의 고용인력창출 나. 기업부설연구소 연구원 창출</p> <p>□ 기대효과</p> <p>1. 축산농가 사료비의 절약 2. 축산관련 시범사업 참여 3. 전시회 및 박람회를 통한 홍보마케팅 4. 지속적인 기술개발효과 기대</p>				
<p>중심어 (5개 이내)</p>	<p>신선 조사료</p>	<p>조사료 수경재배장치</p>	<p>분무수경재배</p>	<p>새싹사료</p>	<p>조사료 식물공장</p>

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

		코드번호	D-02
Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ To design and commercialize the fresh forage growing system ○ To design the fresh forage growing system that is portable and cultivates for whole year regardless of weather. ○ To analyze and identify the environmental factors controlled in the fresh forage growing system ○ To optimize the environmental factors for maximizing yield of the fresh forage growing system and to validate the identified optimized condition 		
Results	<p>I. Analysis of growth conditions for fresh forage cultivation</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Analysis of growth conditions for fresh forage cultivation <ul style="list-style-type: none"> 가. Explore crops and their growth conditions and identify the best crop suitable for the fresh forage growing system. 나. Based on the 6 crops, select the best crop for the fresh forage growing system <ol style="list-style-type: none"> 1) Forage barley 2) Oat 3) Italian ryegrass 2. Study regarding the amount and ratio of forage by livestock <ul style="list-style-type: none"> 가. Cattle 나. Sheep 다. Horse 3. Analysis and optimization of growth conditions for the fresh forage growing system <ul style="list-style-type: none"> 가. Analysis of growth conditions and investigation of methodology applicable for growth condition data <ol style="list-style-type: none"> 1) Investigate the growth conditions for available forage crop 2) Establish statistical method for analyzing growth conditions and apply it into real data (study on milk components from cattle raised by fresh forage) 나. Identification of main growth factors for Italian ryegrass <ol style="list-style-type: none"> 1) Identify the main factors (temperature and humidity) applicable for the system 2) Design experiment for identifying the optimal growth conditions of the fresh forage growing system <p>II. Design and commercialization of the fresh forage growing system</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Design the fresh forage growing system and develop its parts <ul style="list-style-type: none"> 가. Parts design and BOM construction 나. Model development by forage yield: 5 types (portable) 다. Model development by forage yield: Big size (over 10 ton per day) 2. Performance test of prototype and improvement <ul style="list-style-type: none"> 가. Completion of performance test of the system by using fresh barley sprout 나. Participate exhibitions 다. Database construction for nutritional components of barley sprout 		

	<p>III. Performance evaluation and system analysis</p> <p>1. Optimization and validation of growth condition of the fresh forage system 가. Develop a predictive model for yield as a function of environmental factors. 나. Identify and analysis of the optimal growth conditions for the fresh forage system 다. Validate the identified optimal condition by using real experiment</p> <p>2. Performance evaluation and analysis 가. Growing performance test by using forage barley sprout 1) Assess the shortest growing duration from seeding to harvesting: 6 days 2) Develop optimal root pad and cultivate sprout sized 17~20 cm 나. Additional test of forage crop 1) Italian ryegrass: 8 days for harvesting after seeding 2) Oats: 7 days for harvesting after seeding</p>				
<p>Expected Contribution</p>	<p><input type="checkbox"/> Application plan</p> <p>1. Commercialization 가. Construction of the fresh forage growing system developed by the project 나. Market development with registration to agricultural facility and machine after completing the project 다. Increase profit by mass production connected with commercialization</p> <p>2. Research and development 가. Application of the system into various crops available for forage 나. Development of functional fresh forage 다. Establishment of research laboratory of the company</p> <p>3. Creation of employment 가. Creation of employment in production and marketing 나. Creation of employment in research and development</p> <p><input type="checkbox"/> Expected effect</p> <p>1. Reduction in feed cost for stock farm 2. Participation in demonstration project regarding livestock business 3. Promotion by exhibition events 4. Sustainable research and technology development</p>				
<p>Keywords</p>	<p>Fresh forage</p>	<p>Hydroponics system for forage</p>	<p>Sprayed water culture</p>	<p>Sprout forage</p>	<p>Plant factor for forage</p>

6. 영문목차

< Contents >

1. Overview of Research and Development	
1) Objective of R&D	11
2) Necessity of R&D	11
3) Scope of R&D	15
2. R&D Status in Domestic and Abroad	18
3. Results and Discussion	
1) Analysis of growth conditions for fresh forage cultivation	22
2) Design and commercialization of the fresh forage growing system	39
3) Performance evaluation and system analysis	50
4) Summary and conclusions	88
4. Achievements and Contributions	
1) Achievement of goals	94
2) Contribution to related fields	95
5. Plans for the Practical Use of Results	96
6. International Science and Technology Information	97
7. References	98

<Annex> Statement of self evaluation

7. 본문목차

< 목 차 >

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목적	11
제 2 절 연구개발의 필요성	11
제 3 절 연구개발 범위	15

제 2 장 국내외 기술개발 현황 18

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 신선 조사료 제반 환경 분석	22
제 2 절 신선 조사료재배장치 설계 및 실용화	39
제 3 절 성능평가 및 분석	50
제 4 절 종합연구결과	88

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

제 1 절 목표달성도	94
제 2 절 관련분야 기여도	95

제 5 장 연구결과의 활용계획 96

제 6 장 연구과정에서 수집한 해외과학기술 정보 97

제 7 장 참고문헌 98

<Annex> Statement of self evaluation

8. 뒷면지

주 의

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

제 1 장 연구개발과제의 개요

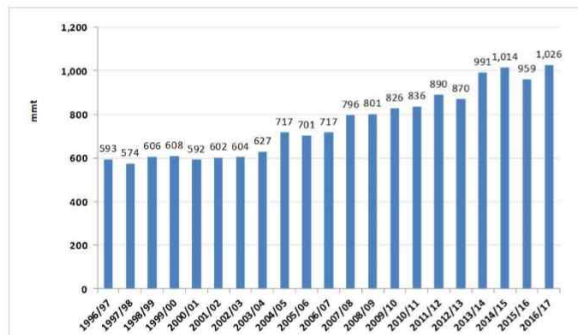
코드번호	D-03
------	------

제 1 절 연구개발 목적

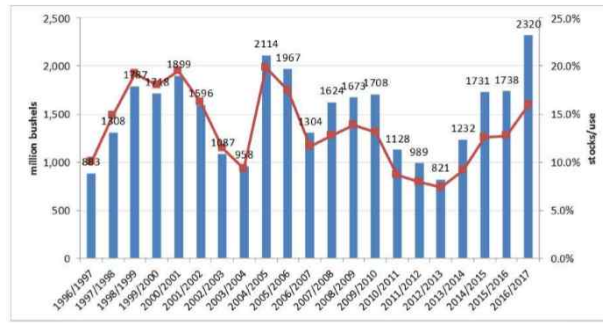
- 신선 조사료재배장치 개발
 - 조사료 연중 생산이 가능한 수경재배기 실용화 기술 개발
 - 축산농가 보급형으로 이동이 가능한 박스형 타입 기술 개발
 - 온도 및 습도의 환경적 제어가 가능한 실용화 시스템 개발
 - 광합성 작용을 위한 LED 적용 설계 개발
 - 분무수경 재배방식을 채택한 실용화 기술 개발
- 신선 조사료 재배 공정의 재배 환경을 분석하고 주요 환경 요인을 구명함 (위탁)
- 구명된 환경요인을 바탕으로 개발 장치의 환경요인 최적화 기준 제시 (위탁)

제 2 절 연구개발의 필요성

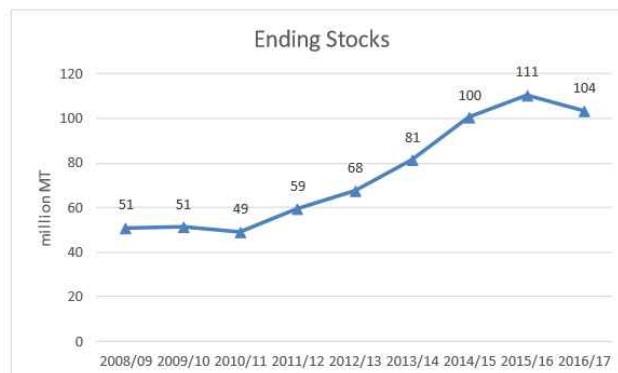
- 장기적 관점의 사료곡물 수급 및 가격현황
 - 2013년 하반기부터 국제 곡물가격은 안정세를 보여왔으나 2016년 하반기 들어 남미 주산지 기상악화로 대두가격을 중심으로 곡물 국제가격이 일시적으로 상승.
 - 하지만, 수급적으로는 작황호조 및 생육지역의 우호적인 기상여건으로 세계 곡물 기말재고율은 최근 몇 년 사이 가장 높은 수준을 나타내고 있음.
 - 지난 2016년 11월 발표한 미국곡물협회의 수급전망 자료 및 한국농촌경제연구원 최근의 곡물전망자료를 바탕으로 국제곡물 수급 및 가격전망 조사
 - 먼저 옥수수 시황을 살펴보면, 최근 10년간 세계 옥수수 수요 및 공급상황은 2012년 이후로 수급적인 안정적인 수치와 기상이변 등의 이유 부재로 안정적인 가격을 나타냈으며, 특히 남미 옥수수의 작황호조로 인하여 세계 옥수수 기말재고 등이 증가



<세계 옥수수 재고량(1996~2016) , 출처 : USGC>



<미산 옥수수 재고(1996~2016) , 출처 : USGC>



<중국 옥수수 재고량 , 출처 : USGC>

- 위 자료를 토대로 전망하면, 전 세계적으로 풍부한 공급량을 바탕으로 수급적인 요인은 하락세를 타타낼 적으로 예상되나, 여러 가지 대내외적인 요소들은 곡물가격 변동에 영향을 줄 것으로 예상됨
- 그러나 향후 바이오연료 산업의 지속적인 개발과, 국제 유가의 변동 및 기상이변 및 대내외적인 환경으로 인해 반동할 요인도 상존하고 있음

○ 축산농가의 경쟁력 확보를 위한 신선 조사료배장치의 필요성

- 과거 2012년 여름 엘니뇨가 발달하면서 미국, 러시아, 남미 등 주요 곡물 생산지역을 중심으로 가뭄과 이상고온 현상 등 기상이변이 확산되어 곡물 공급이 불안해질 것으로 예상되는 가운데 투기적 자금이 곡물시장에 유입되면서 국제 곡물가격이 급등한 사례가 있음 (2012.09.05. 기준자료)



- 2008년 식량위기와 애그플레이션으로 인해 수입가격은 전년대비 65% 상승한 451\$/톤으로 급등하였으며, 미국·러시아·유럽 등 세계 각지에서 발생한 이상기후 현상으로 인한 곡물작황 부진으로 2011년에도 수입가격 상승함



<수입가격(\$/Ton) : ('07)273 → ('08)451 → ('10)302 → ('11)420 → ('12)364>

- 따라서 연중 신선한 조사료를 생산할 수 있는 ‘조사료재배장치’의 개발과 상용화 연구의 필요성이 절실함

○ 연구개발 대상의 중요성

- 조사료는 가축의 사육에 있어서 매우 중요한 역할을 하기 때문에 안정적 확보 및 비용 절감을 위한 다양한 작부체계가 개발되어 왔음
 - 논에서의 재배 연구는 동계작물과 하계작물을 연계한 이모작 재배방법이 연구되었으며, 하계작물로는 옥수수과 수수류가 동계작물로는 호밀, 청보리, 이탈리아안라이그라스(IRG) 등이 대표적으로 연구되어 왔음(그림 1)
 - 남부지방에서는 이모작 방식 외에도 조사료 생산량을 최대화하기 위해 조생종 벼와 귀리, 호밀을 연계한 3모작 재배방법이 연구된 바 있음

구 분	작부조합	작부체계												비고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
대조구	수수류 + IRG						수수X수단그라스						IRG	
대조구	옥수수 + 귀리					옥수수					귀리			
처리1	수수류 + (IRG+귀리)						수수X수단그라스					IRG+귀리		IRG
처리2	옥수수 + (IRG+귀리)					옥수수					IRG+귀리		IRG	

그림 1. 논외 벼대체 사료작물의 작부조합(국립축산과학원 과제보고서 ‘벼 대체 사료작물 재배 양질조사료 최대생산 수익모델에 관한 연구’, 2015)

- 자원안보, 기후변화, 환경문제가 대두됨에 따라 안전한 작물의 연중재배 및 효율적인 작황관리가 가능한 식물공장의 중요성이 부각되고 있음
 - 식물공장에서 작물의 성장환경에 관한 연구는 농업·IT 융합 분야의 기술력과 직결되는 사항임
 - 기술력은 네덜란드, 일본, 미국 등이 해외시장을 점유하고 있으며 특히 네덜란드와 일본은 이상 징후 대응 전략제시를 위한 전문가 시스템 개발이나 성장환경 분석 알고리즘 분야에서 시장 우위를 유지하고 있음
- 사료의 안정적 확보를 위하여 식물공장 기반의 조사료생산 시스템이 개발되고 있으며 생산성의 향상과 영양학적 우수성의 확보가 가능하여 사용 범위가 확대되고 있음(표 1)
 - 식물공장에서 조사료로 재배되는 보리는 씨앗 파종 후 6일 만에 수확되는데 비료와 작물 보호제 없이 물만으로 재배되어 생산단가가 높지 않음
 - 기후에 상관없이 연중 재배 가능하고 식물공장의 특성상 일반 노지에 비해 공간활용도가 높기 때문에 단위면적당 생산량이 매우 우수함
 - 2012년 충북도농업기술원에서 도입한 조사료 생산 식물공장은 1단의 면적이 19.8m²(약 6평)인 7개의 재배단으로 구성되어있으며 청보리나 밀 등과 같은 맥류종자를 매일 500kg, 연간 180 t을 생산할 수 있으며 이는 초지 약 8 ha를 대체할 수 있는 양임
 - 2013년 충북 괴산에서 부족한 초지면적을 극복하고 안정적으로 TMR 배합사료의 원료를 재배하기 위해 보리새싹사료용 식물공장을 도입(대전일보, 2013.7.31.)
- 조사료생육 시스템에서 7일간 재배한 밀의 평균 생산량 및 수율은 12,052g, 669%로 관측되었는데 이는 노지에서 약 100~120일간 재배되는 밀의 생산량이 단위면적(m²)당 생산량이 1,650g 인 것에 비해 아주 큰 차이를 보였으며, 또한 외부 기후에 상관없이 연중 생산 가능한 점과 공간 활용성을 고려한다면, 노지재배에 비해 매우 높은 효율성으로 안정적인 재배가 가능할 것으로 보임.

표 1. 사료 작물별 초지 대체 효과

구분	생산량 (톤)/ha	식물공장 생산량 (톤)/년	초지대체 (ha)	초지대체 (평)
양질조사료	7.7	180	23.38	70,714
옥수수사일리지	50	180	3.60	10,890
청보리사일리지	23	180	7.83	23,674
벼짚	10	180	18.00	54,450
중부작부체계(호밀/옥수수/호밀)	102	180	1.76	5,338
남부작부체계(청보리/옥수수/청보리)	136	180	1.32	4,004

농진청 행정간행물 '강소농육성을 위한 품목별 농업소득 운영매뉴얼(축산분야)', 2011)

○ 연구개발의 필요성

- 우리나라의 식물공장 관련 기술수준은 전반적으로 아직 미흡한 것으로 평가되고 있다. 인공조명 설비, 수경재배 기술 등 개별 기술수준은 세계 최고 대비 50~80% 수준에 그치는 것으로 평가되고 있음
 - 국내의 식물공장은 아직 상업화 단계에는 도달하지 못했으나, 1990년 이후로 지속적으로 연구개발을 진행하고 있으며, 대부분의 연구는 스마트 제어 및 환경 센싱에 집중되어 있음(식물공장의 국내외 추진 동향, 2016)
 - 우리나라의 경우 식물공장 시설산업부분 시장규모는 2010년 기준 약 2억원으로 추정되었으며, 기술수준은 2011년 기준 선진국의 60%중반 수준으로 기술 격차가 높음 (한국농업연감, 2010~2011)
- 식물공장 기반의 재배 시스템은 시설 제어도 중요하지만 조사료와 같은 생산성의 증가 및 안정적 확보가 필요한 작물의 재배에서는 시설내의 적정 생육환경의 탐색이 반드시 필요함
 - 조사료의 생산성 향상을 위해서는 적합한 환경 조건에서 재배가 이루어져야 함에도 불구하고, 조사료로 널리 활용되고 있는 작물인 보리의 경우 노지 생육에 관해서는 많은 연구가 수행된 반면, 온실 및 식물공장과 같은 농업 시설 내에서 생육을 최적화하기 위한 환경 조성에 관한 연구는 미흡한 실정임
 - 식물공장이나 재배장치와 같은 시설에서는 적극적인 환경 조절이 가능하므로, 적절한 생육환경의 조성을 위해서는 생육과 환경 요인과의 관계 분석을 통해 가장 적절한 범위의 생육 조건을 찾는 것이 필요함
 - 국내의 경우 식물공장 같은 완전제어 생산시스템에서의 생육환경 기반에 대한 연구는 미비한 실정으로 실용적인 조사료 생산을 위해서는 환경 분석이 필수적임
- 시설 내 생육 환경의 최적화를 위해서는 시스템을 통해서 획득하는 데이터의 가공 및 처리와 모델링과 같은 방법을 이용하여 구동 전에 최적 조건을 탐색하는 것이 효과적임

제 3 절 연구개발 범위

○ 신선 조사료재배장치 시스템 설계

- 시스템 라인업 설계
 - 연구개발 대상모델 : 청보리 새싹을 기준으로 300kg/일 생산량 출하가 가능한 이동형 모델의 개발
 - 온도제어 : 사계절 일정한 온도유지를 위한 냉/난방 겸용으로 공조 설계
 - 습도제어 : 산업용 초음파 가습을 적용하여 작물재배에 최적화된 습도유지 설계

- 식물전용 LED : 2Color(적, 청) 이상을 적용한 식물전용 LED 적용
- 급수 : 직수연결은 급수 온도로 인해 종자에 충격을 줄 수 있으므로, 히팅이 가능한 워터탱크로 급수하여 종자에 살수
- 컨트롤 : 조작의 편의성과 효율성을 감안하여 간편한 인터페이스로 구성
- 배수 : 조사료배장치 바닥에 경사도를 구성하여 자연적인 배수
- 재질 : 전체적으로 습도에 내구성이 강한 SUS 및 PVC 사용

○ 환경 분석 및 요인을 구명하기 위한 통계학적 방법 조사 수행 및 통계 방법 선택

- 조사료 생육 실험 데이터의 분석에 적합한 통계 방법을 선택하기 위한 주요 통계방법 (상관관계, 다변량 및 반응표면 분석법 등) 별 이론 탐색(그림 2)

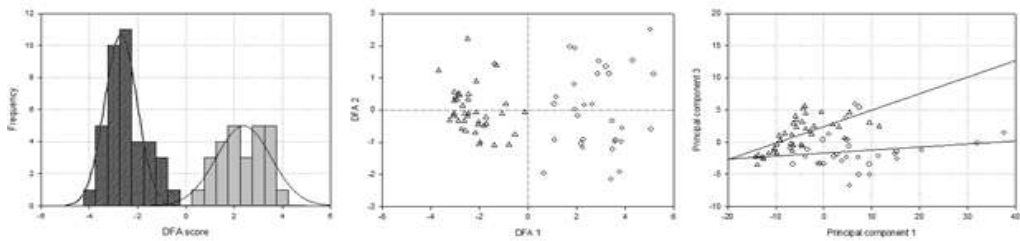


그림 2. 판별분석법과 회귀분석을 이용한 최적 영향 인자 규명 및 데이터 분류 예시

○ 재배 공정의 환경 분석 및 다양한 환경조건 요인 분석 및 주요 환경요인 구명

- 국내 조사료 및 생육환경 관련 선행연구 조사를 통해 조사료 재배에 영향을 끼치는 주요 환경인자 구명

○ 환경 요인 기반 조사료 재배를 예측 모델 개발

- 통계적 모델링을 활용하여 환경 인자에 따른 조사료 재배 지표(생산량 등) 예측 모델 개발

○ 조사료 재배 최적 환경 구명 및 신선 조사료 재배 장치의 최적 환경 조건 기준 제시

- 반응표면분석법을 활용한 신선 조사료 재배 장치의 최적 환경 조건 기준 제시(그림 3)

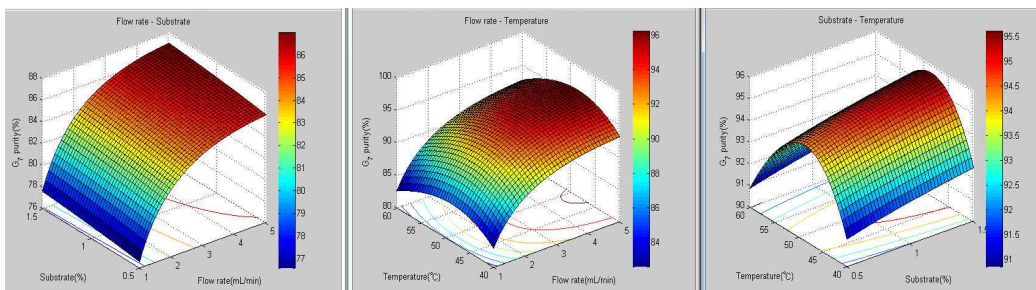


그림 3. 반응표면분석법을 이용한 최적 조건 규명 예시

○ 주관기관과의 협업을 통한 현장시험을 통한 최적화 검증

- 모델을 통해 예측한 최적 조건을 이용하여 생산량 최대화 여부를 실험으로 검증함

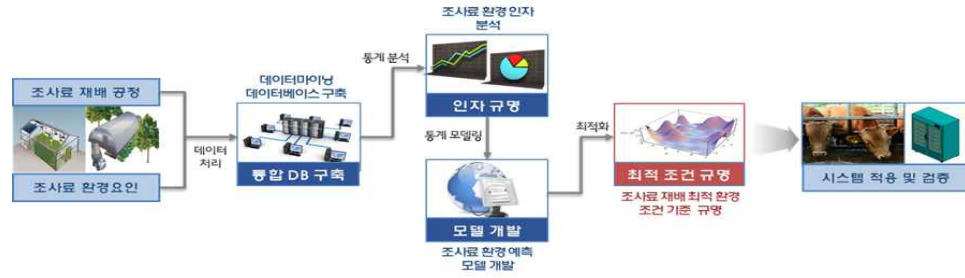


그림 3. 최적 재배 환경 구명을 위한 모델링 및 최적화

제 2 장 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

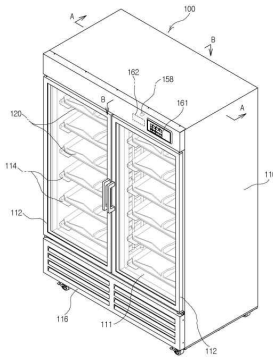
1. 조사료 재배장치 기술개발 현황

- 국내에 출원된 관련 특허·실용신안 검색건수 총 128건(Kipris, 2017年 12月)에서 유효 특허 건수 58건은 조사료재배장치 2건, 기타 운전제어 및 컨트롤러와 주로 절단 및 이송 컨베이어류에 국한되어 본 연구와 연관성은 적음
- 조사료수경재배기 국내 농업기계 등록(제품) 현황<2017년 농업기계 목록집>
 - 총7개社 15여종의 모델 등록
 - 이중 4개社 10여종의 모델은 등록만 유지하고 유명무실한 상태로 판단됨
 - 직접적으로 양산하여 판매하는 3개사는 홍보부족과 부족한 기술력으로 폭 넓은 시장에 대비하여 실용화 및 제품화에 미흡함

2. 조사료수경재배기 국내외 제품 시장현황

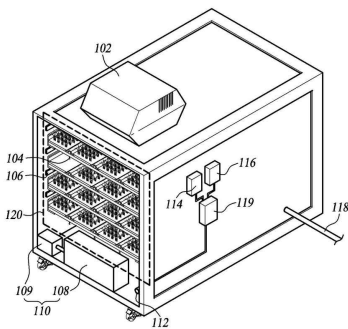
○ 국내 제품 시장현황

• (주)보람이앤지



- 특허 등록번호 : 1015295340000
- 업소형 냉장고(양문형) 형태로 보리새싹 기준 25kg/日 생산량으로 축산농가에선 부족한 조사료의 생산량을 보이며, 소규모 축산농가(3두 이내) 또는 양계 목적이 적합함
- 전반적으로 재배실, 전면 글라스도어, 재배트레이, 급수(분무)장치, LED(White), 컨트롤러로 짜임새 있도록 잘 구성되어 있으나 생산량이 적어 적당하지 못함

• (주)유양디앤유



- 특허 등록번호 : 1012839150000
- 지식경제부 글로벌전문기술개발사업(WC-300) 과제물
- 연구과제명 : 고효율 SMPS를 기반으로 IT와 재생에너지 융복합형 유비쿼터스 인텔리전트 LED 조명시스템
- 전반적으로 LED에 치중하여 광합성 형태의 성장을 목적으로 한 조사료수경재배기로서 호주의 FODDER사와 유사한 제품
- 종자의 파종 및 수확은 밀어넣기 방식으로 작업자의 효율성이 다소 떨어짐

- (주)포더시스템



- 특허 등록번호 : 없음 (OEM)
- 국외 호주의 포더사(FODDER SYSTEM) 조사료재배장치를 국내에 도입하여 유통
- 전체적으로 현재까지 가장 적합한 보급형 제품
- 그러나 상당히 높은 단가를 유지하고 있어 축산농가 보급에 한계가 있음

- 국외 제품 시장현황

- 호주 - Fodder Solution



- 호주의 포더솔루션(Fodder Solution)사에서 연구개발한 ‘신선 조사료재배’ 시스템이 실용화되어 축산농가에 보급되어 있으며, 전세계 축산농가 시장 진출을 위한 영업 활동을 하고 있음. <출처 : Fodder Solution Homepage>
- 국내의 유통채널로 앞서 소개한 (주)포더시스템 국내에서 활동중
- 이동형에서 고정형(대형 식물공장)까지 다양한 라인업을 구성하고 있으며, 재배 노하우로 특화되어 있음.

3. 국내 연구 현황

- 축산조사료의 재배환경에 관한 연구

- 2000년대 중반까지 국내농가에서는 조사료 자급에 대한 인식이 부족하여 매년 막대한 양의 외국산 조사료를 수입하였고 조사료로써 벗짚 의존도가 높았음. 이후 정부에서는 자급률을 높이기 위해 남부지방을 중심으로 조사료 재배면적을 확대했지만 평야지가 많은 남부지방에서 생산되는 조사료에 의존하게 되었고 이를 극복하기 위해 지역별 기후에 적합한 작부체계에 관한 연구가 수행되어 왔음
- 국내 주요 조사료의 사료가치 평가기준을 확립하기 위해 동계 및 하계 사료작물을 대상으로 생산 지역별 사료가치, 품질 관여 요인 등에 대한 연구가 수행된 바 있음
- 2015년에는 국립축산과학원에서 기존에 개발된 품종들을 활용하여 지역별로 사료작물을 생산하기에 적합한 재배방법과 작부체계를 개발하기 위한 연구를 수행하였으며 이를 통해 각 지역별로 맞춤형 연중 조사료 작부체계를 제공하였음(국립축산과학원, 2015)

- 식물공장 내 작물재배에 관한 환경 분석

- 국내에는 2010년 경기도 농업기술원에서 식물재배 시스템 도입의 초기단계로서 환경 제어형 식물공장이 시범적으로 운영되었고 식물공장에 사용되는 광원에 대한 연구가 진행되면서 LED 광원을 기준으로 작물의 생육과 관련된 정보인 광포화점, 광합성유효방사 등에 대한 연구가 진행되었음 (경기도농업기술원, 2010)
- 식물공장의 기술적인 측면에서 성장환경 모니터링 시스템 구축, 식물공장용 체인컨베이어식 작물 조건 조절장치, 생육환경 관리 플랫폼 등에 대한 연구가 활발히 수행되고 있음 (김 등, 2010; 연 등, 2016; 문 등, 2011)
- 식물공장에서 조성한 환경들에 따라 작물별로 나타나는 성장 특성에 대한 연구들이 수행되고 있으며, 대표적으로 광원별 엽채류의 성장특성 구명 (엄 등, 2010), 발아조건과 배지종류 및 양액 농도에 따른 청경채와 상추의 묘 생육특성 (최 등, 2011), 생육온도 및 광주기에 따른 허브식물의 생육반응 (문 등, 2012)이 있음

○ 농업분야 작물 생육과 관련된 반응표면분석 적용 사례

- 최적화와 관련된 대부분의 연구는 반응표면분석을 사용해 왔으며 다양한 분야에 걸쳐 활용되는 대표적인 통계 기반의 분석 방법으로써 농업분야에서는 농작물 가공공정 최적화 등에서 특히 많이 사용되고 있음
- 작물의 생육과 관련한 반응표면분석의 적용사례로는 게르마늄 함유 인삼 부정근의 성장 증대를 위한 액체배양 조건의 최적화 (장 등, 2009), 시설재배 참외-반응표면분석에 의한 참외 관비액 농도결정 (서 등, 2012), 적양배추 새싹채소의 발아 및 저장 조건 최적화 (백 등, 2013) 등이 연구 된 바 있음

4. 국외 연구 현황

○ 축산조사료로서 보리에 관한 연구

- 조사료 작물 중 보리 품종(*Hordeum vulgare*)이 미국, 호주 등 낙농업이 발달된 나라에서 널리 재배되고 있으며 가축의 조사료로써 높은 가치를 가진 것으로 평가되고 있음 (Bhat et al, 1999)
- 보리의 생육환경과 관련한 선행 연구로는 주로 보리의 생산성과 품질에 관한연구가 많이 수행되었으며, 토양에 포함된 특정 화학 성분(NaCl, Na 등)에 노출 되었을 때 보리의 생장이 원활하게 이루어지지 않은 점을 분석한 연구(WEI et al, 2003), 서로 다른 품종의 보리를 혼파 했을 때 각각의 생산량의 변동 및 성장에 관한 연구(Dhima et al, 2000), 보리의 성장 단계에 따라 화학적 조성, 영양학적 가치, 사일리지 제조에 어떤 영향이 있는 지에 관한 연구(Hargreaves et al, 2009) 등이 수행되었음
- 보리의 유전적 성분분석을 통해 다양한 환경에서 발현되는 특성과 수확량과의 연관성을

분석한 연구가 수행된 바 있음(Kakani et al, 2010)

○ 국가별 식물공장관련 연구 현황

- 시설원예의 환경제어와 관련해서 네덜란드 등 주요 선진국에서는 지난 수십년 이상 각종 센서와 제어솔루션 개발과 활용을 통해 생산량 증대, 품질 향상 등을 추구해 왔음
- 최근 식물공장에 대해 가장 활발히 연구가 진행되는 나라는 일본이며, 박물관형 식품공장, 채소공장 운영 등과 같은 상용화와 더불어 국가 연구소 및 대학에서도 식물공장 설비를 갖추어 연구 중이며, 인공광형 식물공장이 사업화 진행 중임
- 미국은 도심의 대규모 고층빌딩 형태의 수직 식물공장 형태로 진화하고, 유럽은 농작업 공정자동화, 주간조절 장치의 자동화 등에 대한 연구가 진행되고 있음

○ 농업분야 작물과 관련된 반응표면분석 적용 사례

- 미래 환경변화에 대응하는 작물기술 개발의 일환으로 반응표면 분석을 활용되었는데, CERES-Wheat 모델 및 HADCM2 기후 시뮬레이션 모델과 관련하여 반응 표면 분석(RSM)을 사용하여 높은 CO₂ 환경에서 겨울 밀의 생산량을 최대화하는 식물 특성 및 관리 방법 최적화를 수행하였음(Dhungana et al, 2006)
- 해외 농업분야 최적화 기법은 주로 농작물 처리공정 최적화, 농작물을 대상으로 특정 물질 추출 공정 등의 환경을 최적화 하는데 주로 사용되고 있으며(Moghaddam, 2010; Saravanan et al, 2013; Maran, 2013), 이 외에도 바이오 디젤 생산과 관련하여 생산공정 최적화 (Abnisa, 2011) 등에 널리 활용되고 있음

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

코드번호	D-05
------	------

제 1 절 신선 조사료 제반 환경 분석

1. 신선 조사료용 작물재배에 필요한 제반 환경 분석

가. 생육조건 확인 및 사료작물 별 특징 조사

(1) 생육 조건 및 사료작물 특징

- (가) 식물공장이나 재배장치와 같은 시설에서는 보다 적극적인 환경 조절이 가능하므로, 생육과 환경 요인과의 관계 분석을 통해 가장 적절한 범위의 생육 조건을 찾는 것이 필요함
- (나) 작물의 생육은 다양한 주변 환경에 영향을 받기 때문에 식물 생육에 유리한 환경 조건에서 재배가 이루어져야만 함. 따라서 식물 생육에 유리한 환경을 인위적으로 조성해 주기 위해 온도, 광, 토양, 수분, 공기 등의 환경과 식물 생육과의 관계를 이해하는 것이 매우 중요함
- (다) 일반적으로 우리나라에서 재배되고 있는 목초는 서늘한 기후조건에서 잘 자라는 북방형 목초로 생육적온은 15~21℃라고 할 수 있으나, 생육에 알맞은 온도는 초종에 따라서, 생육시기에 따라서, 그리고 식물의 부위에 따라서 달라짐. 대체로 목초의 영양 성장에 대한 적온은 개화나 종자결실에 대한 적온보다 낮으며, 또 지하부의 생육적온은 지상부 보다 다소 낮음
- (라) 북방형 목초의 생육은 이른 봄 일평균기온이 4~5℃ 정도가 되면 시작되어 4월 하순부터 5월에 걸쳐 가장 왕성해지고, 한 여름철 일평균기온이 24~25℃ 이상 올라가면 일시적으로 생육이 정지되는 여름타기(하고)가 나타남. 그 후 다시 일평균 기온이 20℃ 이하로 내려가는 9월경에 조금 생육하였다가 10월 중·하순경에는 월동준비를 시작함. 특히 오차드그라스 등 북방형 목초는 27℃ 이상이 되면 식물체에서 일어나는 저장물질의 대사기능장애로 피해는 커지게 됨
- (마) 강수량도 목초의 생육에 큰 영향을 미치나 기온처럼 뚜렷하지는 않으며, 우리나라 대부분 지역의 강수량이 1,000~1,300mm 정도로 목초가 자라는 데는 지장이 없음. 그러나 목초는 연중 비가 고르게 내리는 지역에서 생육이 좋은데, 우리나라는 강우가 여름철에 장마와 폭우등으로 집중되는 반면 봄과 가을철에는 다소 건조하여 목초가 제 능력을 최대한 발휘 하기는 어려움(고온기 가축 및 축사과리 기술서)
- (바) 우리나라에서 목초는 연간 생산량의 60%이상이 봄철에 얻어지며 여름과 가을철의 생산성은 높지 못함

(2) 사료 작물별 생육 조건

(가) 옥수수

- ① 옥수수는 열대성 작물로 기온이 높은 기후를 좋아하나 환경 적응범위가 넓어 우리나라에서는 전국 어디서나 재배가 가능함
- ② 특히 옥수수는 사료작물의 왕이라 불릴 만큼 가축의 기호성이 좋고 품질 및 사료가치가 우수하며, 가소화양분수량이 많고 당분과 전분함량이 높음

(나) 수단그라스

- ① 수단그라스는 기온이 높고 건조한 지방에서 재배가 잘 되는 사료작물로 가뭄에 강하며 옥수수보다 수분 요구량이 적음
- ② 옥수수보다 생육에 고온을 요구하므로 대관령 같은 산간지역에서는 옥수수 재배보다 불리하며, 생산량은 옥수수와 비슷하거나 높지만 가소화영양소총량(TDN)은 옥수수에 비해 떨어짐. 하지만, 수단그라스는 재배의 안정성이 높고 관리와 이용이 쉬워 널리 재배되고 있음

(다) 귀리

- ① 귀리(연맥)는 봄철과 가을철 재배가 가능한 단경기 사료작물로 파종 후 두 달이 지나면 청예로 이용할 수 있음
- ② 귀리는 목초에 가까운 특성을 가지며, 가축 기호성이 우수하다. 초장은 1.1~1.3m 정도이며 이삭이 나와도 줄기의 굳어짐이 느리고 잎이 많아 사료가치가 우수함
- ③ 토양은 약한 산성토양에 잘 적응하며, 수분 요구량이 높음

(라) 이탈리아인 라이그라스

- ① 이탈리아인 라이그라스는 월년생 또는 일년생의 화분과 작물로 9월 하순~10월 상순에 파종하여 이듬해 5월에 수확 이용할 수 있는 월동 사료작물임
- ② 단일 사료작물 중 우리나라에서 재배면적이 가장 넓음
- ③ 기온이 따뜻해지는 4월 중순~5월 상순에 생육이 매우 왕성하고 비료를 좋아하는 다비성 작물로 토양이 비옥하고 수분조건이 좋으면, 높은 수확량을 얻을 수 있음
- ④ 하지만, 추위에 다소 약해 내한성 증대와 파종적기 준수가 재배지역 확대에 중요함

(마) 청보리

- ① 보리는 재배 역사가 오래된 작물로서 기계화 재배기술이 일반화되어 있고, 일반적인 생육적온은 4~20℃, 강수량은 1,000mm 지대에 잘 적응하는 작물이며, 토양은 양토 또는 식양토가 알맞음
- ② 보리는 건조한 토양보다 약간 습한 논토양에서 생육이 좋으며 배수가 불량한 논은 반드시 배수로를 설치해 주어야 생육 도중 습해를 받지 않음
- ③ 청보리의 최대장점은 알곡이 배합사료 대체효과가 크다는 것임

(바) 호밀

- ① 호밀은 어느 사료작물보다 추위에 강하고 척박한 토양에서도 잘 견디는 등 환경에 대한 적응성이 매우 높아 겨울이 추운 중북부 지방에서 중요한 월동 사료작물임

- ② 특히 호밀은 봄철에 빨리 자라는 특성을 갖고 있어 조기 수확에 의한 계절적 사료공급을 위한 청예용 사료작물로 각광을 받아왔으며, 청예, 건조, 방목, 사일리지, 원형곤포사일리지 등 다방면으로 이용할 수 있음
- ③ 호밀은 재배의 안정성이 매우 높다.
- ④ 호밀은 출수 이후 사료가치 감소폭이 크고 가축의 기호성이 떨어지며, 키가 커 도복이 우려되고 기계화 수확에 다소 불리할 수 있음
- ⑤ 아직까지 호밀 종자는 전량 수입에 의존하고 있음

2. 가축별 사육시 사료비율 최적화 조사료의 양

가. 경기도 00목장 사료비 절감효과 참조 (젓소 33마리)

사료명	단가	기존사양 프로그램		적용기 (11.18~11.27)		1단계 (11.28~12.25)		2단계 (12.26~ 현재)	
		Kg	가격	Kg	가격	Kg	가격	Kg	가격
신선조사료(보리새싹)	100	0	0	10.0	1,000	10.0	1,000	12.0	1,200
볏짚	200	1.0	200	1.0	200	1.5	300	1.5	300
알파파	600	2.3	1,380	2.3	1,380	2.5	1,500	2.5	1,500
양초	400	1.0	400	0	0	0	0	0	0
연맥건초	550	3.0	1,650	1.8	990	1.5	825	1.0	550
클라인건초	400	1.0	400	1.0	400	1.5	600	1.0	400
티모시건초	550	3.0	1,650	2.0	1,100	1.5	825	0	0
면실	480	2.5	1,200	2.5	1,200	2.0	960	2.0	960
비트펄프펠릿	400	2.5	1,000	2.5	1,000	2.5	1,000	2.5	1,000
서울축협 밀타	550	7.0	3,850	7.0	3,850	6.0	3,300	6.0	3,300
콘 믹스	550	2.1	1,155	2.1	1,155	2.0	1,100	2.0	1,100
한일 수퍼	550	2.0	1,100	2.0	1,100	1.5	825	1.5	825
한일 프로파우더	550	2.0	1,100	2.0	1,100	0	0	0	0
두당 일 사료비		29.8	15,085	36.6	14,745	32.5	12,235	32.0	11,135
두당 일 사료비 절감액					-1,287		-2,850		-3,950

두당 3,950원 절감 x 평균 33두 x 30일 **사료비 절감 효과 / 월** 3,910,500

• 유지(소모)비용 집계

구분	금액	산출기준
전기료	₩84,456	3kw × 24hr × 30day = 2,160kw(농사용 '을' 39.1원/kw)
상수도료	₩13,140	300L × 30day = 9,000L (9m ³ /月)
인건비	₩0	기존 사료업무 중복
합계	₩97,596	

• 절감비용 합계

사료비 절감액	유지(소모)비용 합계	총 절감비용
₩3,910,500	₩97,596	₩3,812,904

나. 소(牛)

소(牛)					
가축 체중	보리새싹	건 초 (알파파, 벣짚, 옥수수대...)	농후사료	합계	비 고
250kg ~ 350kg	10 kg	4 kg	1 kg	15 kg	
350kg ~ 500kg	11 kg	6 kg	2 kg	19 kg	
500kg ~ 650kg	12 kg	6 kg	3 kg	21 kg	
650kg ~ 800kg	14 kg	8 kg	4 kg	26 kg	

다. 양(羊)

양(羊)					
가축 체중	보리새싹	건 초 (알파파, 벣짚, 옥수수대...)	농후사료	합계	비 고
30kg ~ 40kg	4 kg	1 kg	-	5 kg	
40kg ~ 50kg	5 kg	1 kg	-	6 kg	
50kg ~ 60kg	6 kg	1 kg	-	7 kg	
60kg ~ 70kg	7 kg	1 kg	-	8 kg	

라. 말(馬)

말(馬) - Pony type					
가축 체중	보리새싹	건 초 (알파파, 벣짚, 옥수수대...)	농후사료	합계	비 고
~ 300kg	6 kg	2 kg	-	7 kg	
300 ~ 500kg	8 kg	2 kg	-	9 kg	
500 ~ 800kg	10 kg	2 kg	-	11 kg	

3. 조사료 재배 환경 분석 및 요인 구명

가. 재배 공정의 환경 분석 및 다양한 환경조건 요인 분석 방법론 탐색

- (1) 선택한 환경 요인의 분석을 위해 필요한 통계학적 이론(상관관계 분석, 다변량 분석 및 반응표면분석법) 탐색 및 최적 방법의 선택과 적용
- (2) 주요 인자의 개별적 관계분석을 위해서는 상관관계 분석이 필요하며, 종합적인 환경 요인의 고려를 위해서는 다변량 분석, 구명한 요인을 바탕으로 최적화를 수행하기 위해서는 반응표면분석법(RSM)을 이용한 접근이 필요함

나. 주요 환경 요인 구명

- (1) 선행연구 조사 및 분석을 통한 조사료 재배 장치의 주요 환경 요인 구명
- (2) 주요 조사료인 Italian ryegrass (IRG)를 대상으로 주요 환경 인자를 탐색하였으며 온도 및 습도가 가장 주요한 인자로 판단되었음.
- (3) 이외에도 광량, 생육기간 및 질소 농도가 영향을 끼치는 환경인자로 사료됨

다. 조사료 재배 환경 최적화 및 검증

(1) 환경 요인 기반 조사료 생육 예측 모델 개발

(가) 조사료 생육조건 최적화를 위한 모델개발용 데이터 획득을 위하여 중심합성계획법을 이용하여, 온도(16℃ ~ 22℃)와 습도(40% ~ 100%)의 변화에 따른 보리 생산량을 측정하기 위한 실험을 설계하여 수행함(주관기관 협조)

(나) 실험 데이터를 기반으로 반응표면분석법을 적용하여 생육 조건에 따른 보리생산량을 예측하는 통계 모델 개발함

(2) 조사료 재배 최적 환경 구명 및 신선 조사료 재배 장치의 최적 환경 조건 기준 제시

(가) 개발된 예측 모델을 활용하여 보리 사료의 생산량을 최대로 하는 최적 생육 조건을 규명함

(나) 조사료생육시스템에서 재배되는 보리의 경우, 온도 19.70℃, 분무량 1.38 l/h(=습도 65%) 인 생육환경에서 최대의 생산량을 보일 것으로 분석함(그림 2)

(다)

(3) 주관기관과의 협업으로 현장시험을 통한 최적화 검증

모델을 통해 규명한 최적생육조건을 검증하기 위한 실험을 수행하여, 탐색한 최적 생육 조건이 실제로 생산량을 최대로 하는지를 검증함

라. 생육 제반 환경 분석

(1) 조도

(가) 조도(광)의 영향

① 작물을 암흑 속에 두면 광합성이 일어나지 않으므로 호흡에 의해 산소가 흡수되고 이산화탄소가 방출됨. 그러나 이 식물체에 광을 쬐이면 광합성이 시작되어 가스교환이 반대로 나타나며 광도가 어느 점에 도달하면 산소와 이산화탄소의 출입이 겉에 나타나지 않게 됨(이것은 호흡과 광합성의 진행 정도가 균형을 이룰 때이며, 이때의 광의 강도를 광합성의 보상점이라고 함)

② 광도가 더 높아지면 광합성이 활발하게 되고 이산화탄소의 흡수와 산소의 방출이 겉에 나타남. 비교적 낮은 광도의 범위에서는 광합성의 속도는 광도에 정비례적으로 증가하나 점차 증가추세가 둔화되어 마침내는 광도를 높여도 광합성의 속도는 증가하지 않게 되는데, 이때의 광의 강도를 광포화점이라고 함

③ 광포화의 상태는 광 이외의 요인이 광합성의 속도를 제약하는 상태로서 식물자체의 내적요인 외에 외적요인으로서 이산화탄소의 농도, 온도, 습도, 풍속 등이 관련성이 있음

(나) 재배 장치 조도 설정

① 식물은 광합성을 통해서 탄화수소를 합성하므로, 식물에서의 빛의 역할은 광합성을 위한 에너지원이라 할 수 있고, 또한 형태형성을 위한 신호로 해석할 수 있음

- ② 광도는 작물의 광합성과 호흡에 영향을 미칠 뿐만 아니라 작물의 종류에 따라서 생육에 적합한 광도도 달라짐. 광도가 낮아짐에 따라서 광합성작용이 저하되므로 탄수화물의 생성이 불충분하며 생육과 수량이 감퇴되는데 그 정도는 작물의 종류에 따라 차이가 매우 큼
- ③ 식물공장과 같이 식물을 대량으로 외부환경의 영향 없이 재배하는 장치에 있어서 태양광을 대체할 수 있는 광원으로 LED가 가장 널리 사용되고 있음

(다) 재배 장치 조도에 따른 결과

- ① 본 연구의 연구개발 시제품에서는 아래와 같은 조도(파장)를 이용하여 조사료의 성장속도를 측정하였음
 - ✓ R : RED - 45~50 nm
 - ✓ G : Green - 60~65 nm
 - ✓ B : Blue - 사용안함

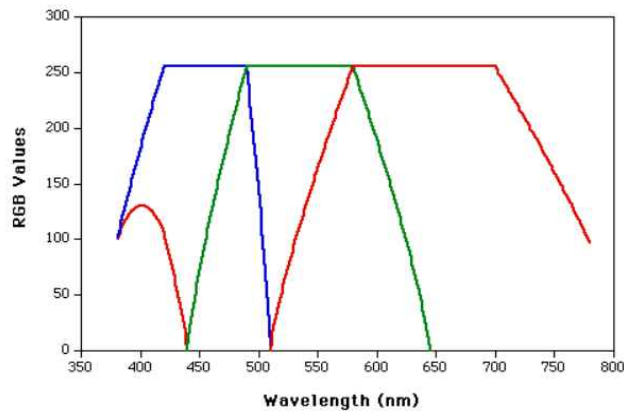


그림 19. 파장에 따른 RGB 값

- ② 실험 결과에 따르면 위의 복합(적색+녹색) LED를 이용하였을 때, 일반 주광색 LED 대비 성장속도가 빠르고, 엽록체(녹색)의 신선도를 유지하였음
- ③ 따라서 최적 조도는 적색과 녹색이라고 사료되며, 조도를 바탕으로 최적 광량을 결정하는 실험이 추가 수행되어야 광원 최적화를 할 수 있을 것으로 보임

(2) 온도

(가) 온도 영향

- ① 작물이 생육하는 데 적절한 온도를 생육 적온이라 하며, 일반적으로, 생육적온보다 높으면 생육이 촉진되고 낮으면 생육이 떨어짐
- ② 작물에 따라서 생육이 가장 잘되는 최적 온도, 생육의 하한 온도인 최저 온도, 상한 온도인 최고 온도가 각각 다름
 - ✓ 일반적으로, 원산지가 고위도인 작물에서는 최적 온도가 전반적으로 낮고, 저위도, 즉 열대 지역이나 아열대 지역이 원산지인 작물에서는 최적 온도가 높은 편임
 - ✓ 예를 들어, 열대 지역 원산인 고추, 토마토, 수박 등의 최적 온도는 25도 내외이

며, 최저 온도는 10~15도 이고, 최고 온도는 35도임. 그러나 배추, 상추, 딸기, 완두등과 같은 온대 이북 지역이 원산지인 작물에서는 최적온도는 17~20도이고, 최저 온도는 4~5도 이며, 최고 온도는 25~30도로 전반적으로 낮은 편임

- ③ 생육 적온은 밤과 낮에 따라서도 다를 수 있음. 여러 작물에서 밤의 적온은 낮의 적온에 비해 현저히 낮음. 한편, 생육 적온은 전 생육 기간을 통하여 일정한 것이 아니라 생육 단계에 따라 다르며, 생육 한계 온도도 조건에 따라 크게 달라짐
- ④ 작물의 온도에 대한 반응은 대체적으로 어느 한계까지 온도가 높아짐에 따라서 대사 작용이 촉진되고 이에 따라 생장도 가속화되지만 그 한계의 온도를 벗어나게 되면 작물의 생리대사는 급격히 변화하게 됨
- ⑤ 작물의 경우 15~20℃ 부근에 양분흡수의 변화점이 있으며, 일반적으로 30℃ 이상 또는 15℃ 이하의 온도에서는 생리대사에 이상이 생겨 정상적인 생육을 못하고 장애증상을 보이게 됨
- ⑥ 귀리는 온화한 기후를 좋아하고 추위에 견디는 힘이 약한 화본과 작물로 발아 온도는 3~5℃ 이고 생육온도는 6~8℃이며 -4℃까지는 견디지만 생육적온은 18~25℃ 정도임
- ⑦ 일반적으로 우리나라에서 재배되고 있는 목초는 서늘한 기후조건에서 잘 자라는 북방형 목초로 생육적온은 15~21℃라고 할 수 있음

(나) 재배 장치 온도 설정

- ① 수경재배에서 성장온도는 필요한 식물의 성장 환경을 맞춰주는 가장 큰 요인이며, 온도에 따라 연중 365일이 가능할 수 있음. 또한 균의 번식을 촉진시키는 촉매제 역할을 함.
- ② 앞선 선행연구 조사에 따르면 우리나라에서 조사료로 사용되는 작물은 대개 15~25℃ 사이로 보이며, 30℃ 이상 또는 15℃ 이하의 온도에서는 생리대사에 이상이 생겨 정상적인 생육을 못하고 장애증상을 보이게 된다고 함.
- ③ 따라서 온도에 따른 조사료의 생육 기간 및 상태를 조사하기 위하여 실험 온도의 범위를 15~22℃의 범위로 한정짓고 세단계로 나누어 실험을 수행하였음

(다) 재배 장치 온도에 따른 결과

- ① 개발된 시제품을 이용하여 15~22℃의 범위에서 온도 변화에 따른 조사료의 생육 상태를 측정하였음
 - 1. 15~17℃ : 발아 시점이 늦고 성장속도가 둔화되며, 잎이 가늘고 빈약해 보임
 - 2. 17~19℃ : 발아에서 수확까지 6일이 가능하여 조사료로서 최적의 상태를 보임
 - 3. 19~22℃ : 발아부터 성장속도는 빠르나, 곰팡이균이 뿌리에서 번식 함
- ① 실험결과에 따르면, 가장 빠른 성장은 19~22℃에서 관찰되었으나 이 경우 곰팡이균이 번식하여 이에 대한 대책이 필요하며, 15~17℃에서는 발아 시점이 늦고 성장속도가 둔화되며, 잎이 가늘고 빈약하여 생산량이 감소됨
- ② 따라서 곰팡이균의 번식이 억제되면서 빠른 성장속도를 보인 17~19℃가 가장 적합한 재배 온도로 사료됨
- ③ 추후에는 더 넓은 범위의 온도에 대해서 실험을 설계하여 온도 최적화를 수행할 필요

가 있을 것으로 사료됨

(2) 수분(습도)

(가) 습도 영향

- ① 노지재배 작물의 경우 바람에 의해 공기습도는 쉽게 평형을 유지할 수 있지만 시설재배 작물은 노지작물과는 매우 다른 환경에 접하게 되는데 무엇보다도 적정토양수분과 공기습도에서 현저한 차이를 보이게 됨
- ② 시설 내 적정습도의 유지는 재배기술 측면에서 매우 중요시되며, 특히 겨울철 하우스 재배의 경우 난방기나 열풍기 등의 사용 없이 재배 되면, 공기습도가 포화상태가 되고 증산작용이 정지되면 이것이 양분의 원활한 흡수와 이동을 방해하며 광합성이나 기타 대사 작용에도 큰 제한 요인이 됨
- ③ 시설 내 공기 중의 습도는 작물의 생육뿐만 아니라 토양수분 함량에도 영향을 끼침.
 - 공기습도를 낮게 유지하려면 작물체로부터의 증산량이 증가하며, 이에 따라 수분흡수가 촉진되어 토양수분 함량에 영향을 줄 수 있음
- ④ 시설내 공기습도의 효과적인 관리방법은 환기시설을 통해 적절한 습도를 유지할 수 있도록 하는 것이나, 현재의 관리여건 하에서는 충분한 온도가 주어지는 주간의 몇 시간외에는 거의 환기가 불가능한 경우가 많으므로, 대부분의 시간이 포화상태에 가까운 다습조건에 놓이기 쉬움
- ⑤ 따라서 이러한 문제점에 대한 대응책을 채택하여 공기습도관리에 유의하는 것이 특히 중요함
- ⑥ 또한 시설내의 공기습도가 반대로 지나치게 낮아져서 지장을 받는 경우도 있음
 - 하우스가 지나치게 건조한 토질에 건립된 경우, 투광량이 높고 난방이 용이한 유리온실의 경우, 난방 기구를 과도하게 작동하는 경우, 식물을 과건한 상태로 재배하는 경우 등에는 지나친 건조에 의하여 식물체에 일시적인 위조현상에 이어서 생육부진, 병해충 발생 증가, 수량 감소 등의 결과가 초래됨

(나) 재배 장치 습도 설정

- ① 대부분의 작물생장에서는 경우 과습조건에 의한 피해가 특히 문제시되므로 적절한 관수장치의 채택과 가온장치의 가동으로 과습 환경에 적극적으로 대처하는 것이 강조됨.
- ② 이 연구에서는 수경재배의 수분공급 방식을 분석하여 가장 적합한 형태의 공급 방식을 결정하고자 하였음.
- ③ 수경재배 수분공급 방식
 - 담액식 수경재배: 뿌리가 액체배지(즉, 배양액 속에 담겨있음) 상태에서 지상부는 베드위에서 재배하는 방식으로 가장 단순하고 고전적인 방식. 단, 종자의 산소공급에 대한 문제점이 발생함(그림 5)

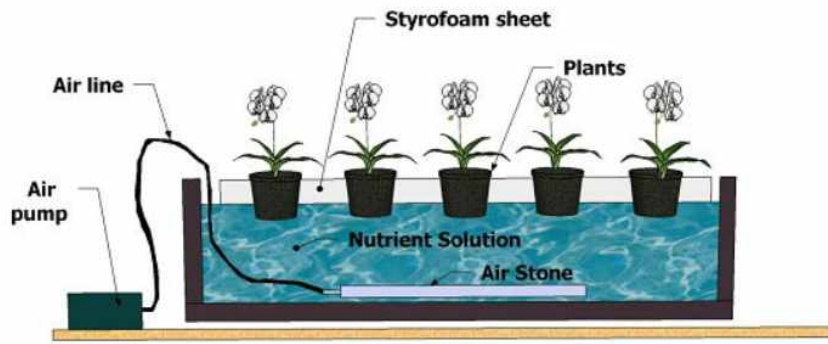


그림 20. 담액식 수경재배

- 분무식 수경재배 : 고압의 펌프를 이용하여 양액을 아주 작은 입자 상태로 살포하는 시스템. 이 과정을 통해 수분뿐만 아니라 대량의 산소도 공급할 수 있음. 단, 기술적으로 가장 복잡한 수경재배 방법임(그림 6)

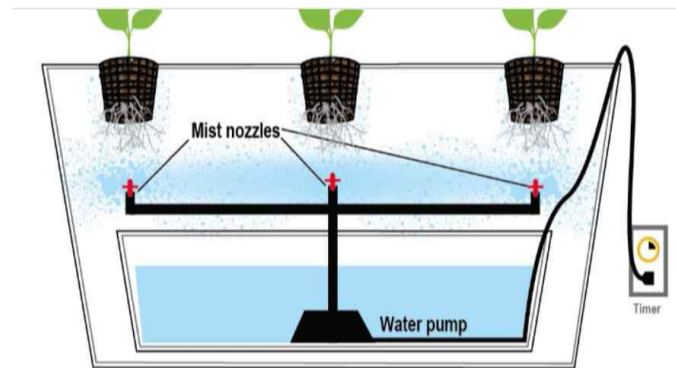


그림 21. 분사식 수경재배

- 기술적으로 복잡하지만, 수분과 대량의 산소 공급이 동시에 가능한 분무식 수경재배를 시제품 테스트에서 선택하여, 다음과 같이 설계 및 실험함(상부 분사형태)
- 30분 단위로 20초 분무
- 가습을 통한 75~80% 습도 유지 가능

(다) 재배 장치 습도 설정 결과

- ① 수분의 공급 시간을 분단위로 조절하기 위하여 Solenoid Valve 채택함
 - 전자밸브로서, 전기가 통하면 플랜지가 올라가 밸브가 열리고 전기가 차단되면 플랜지 무게에 의하여 자동적으로 닫힘
 - PCB Controller 테스트를 통한 30분 단위 20초 분무 테스트
 - 재배단 별 제어가 가능한 MICOM 방식 PCB Controller 개발이 필요함
- ② 수분 공급 장치에 따른 습도에 따라 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었음
 - 75% 이하: 성장속도 둔화.
 - 80% 이상: 온도의 영향에 따라 균의 번식이 생김

4. 조사료 재배 환경 분석 및 요인 규명

가. 환경조건 요인 분석을 위한 통계적 방법 수립

(1) 상관관계 분석

(가) 상관관계 분석법 개요

- ① 2개 혹은 그 이상 변수간의 선형관계(상관관계)의 정도를 분석하는 기법
- ② 상관분석은 회귀분석의 수행 전에 변수 간의 관련성을 탐색하기 위하여 수행됨

(나) 상관계수

- ① 아래의 공식에 의해 (선형)상관관계를 정량적으로 표현한 값
- ② Pearson 상관계수(표본상관계수) = r

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{관측값 : } (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$$

- $-1 \leq r \leq 1$
- r이 -1 또는 1에 가까우면 관측값은 직선에 가까우나, r이 0에 가까우면 직선관계가 약함
- ③ Spearman's rank 상관계수
 - 관측치 값을 이용하지 않고 관측치들의 순위(rank)를 이용하여 상관계수를 계산
- ④ Kendall's rank 상관계수
 - Spearman의 상관계수와 거의 차이가 없는 것으로 서수적 자료를 갖는 관측치들의 순위를 이용
- ⑤ Partial 상관계수(편상관계수)
 - 여러 확률변수 중에서 두 변수 X, Y만 가변적이고 다른 모든 변수는 고정되어 있다고 가정할 때 이용

(다) 상관관계의 해석

- ① 일반적으로 pearson의 적률상관을 사용
- ② 상관계수 r은 결정계수로 해석

(라) 상관분석법 선행연구 조사

- ① Lee, Jae Gu, et al. "Correlation analyses on body size traits, carcass traits and primal cuts in Hanwoo Steers." Journal of Animal Science and Technology 55.5 (2013): 351-358
 - 생체상태에서 부분육 및 도체형질과 상관도가 높은 체척형질을 발굴하여 부분육 예

측 모형 설정을 위한 기초자료를 제시

- ② Vogel, Kenneth P., et al. "Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, and IVDMD forage analysis." *Crop Science* 39.1 (1999): 276-279
 - 비순차적 중성, 산성 세제 섬유 결정에 대한 필터 가방 시스템과 기존의 비순차적 시스템과의 비교 분석
- ③ da Silva, Joaquim Fernando Mendes, et al. "Correlation analysis between phenolic levels of Brazilian propolis extracts and their antimicrobial and antioxidant activities." *Food Chemistry* 99.3 (2006): 431-435
 - 프로폴리스 추출물의 페놀과 플라보노이드 성분 사이에서의 파라미터를 상관비교 분석함
- ④ Choi, Eun Jeong, Moon Cheol Jeong, and Kyung Hyung Ku. "Effect of seasonal cabbage cultivar (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinesis*) on the quality characteristics of salted-Kimchi cabbages during storage period." *Korean Journal of Food Preservation* 22.3 (2015): 303-313
 - 상관분석을 이용하여 계절별 절임배추의 물리화학적 및 미생물 품질 차이를 파악

(2) 다변량 분석

(가) 주성분분석법 개요

- ① 다변량분석의 변수축약 분석 중 하나로써 여러 개의 양적변수들 사이의 공분산행렬과 상관행렬을 이용
- ② 이러한 변수들의 선형결합으로 표시되는 주성분을 찾고, 이 중에서 중요한 개의 주성분으로 전체변동의 대부분을 설명하고자 함

(나) 주성분의 개념

- ① 다변량 자료의 변수를 (선형, 직교) 변환하여 서로 상관관계가 없도록 얻어진 변수
- ② 확률벡터가 모평균벡터와 모공분산행렬을 가진다고 하면 수학적으로 p-차원에 놓이게 되며 원래 변수의 선형결합 또는 회전 변환을 통해 p개의 새로운 좌표축을 형성함
- ③ 데이터의 변동을 최대로 설명해주는 동시에 공분산 구조에 대한 해석을 용이하게 하도록 만들어질 수 있음(그림 7)
 - 첫 번째 주성분(제1주성분): 변동을 최대로 설명해주는 방향으로 변수들의 선형 결합식
 - 두 번째 주성분(제2주성분): 첫 번째 주성분 다음으로 변동을 가장 많이 설명해주는 변수들의 선형 결합식이며 첫 번째 주성분과는 독립임

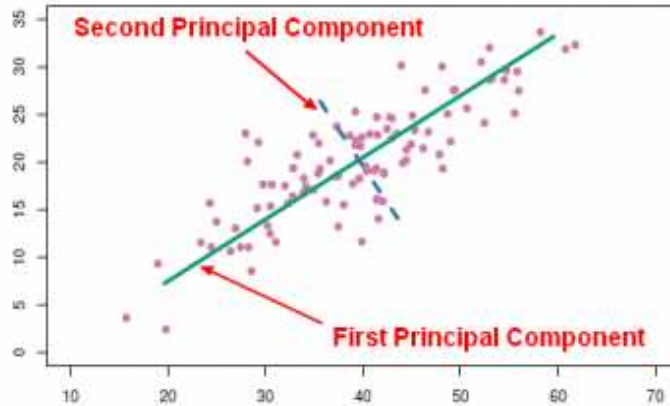


그림 22. PCA 그래프의 예시

(다) 주성분의 특징

- ① 다변량 자료의 단순화(다른 분석을 위한 사전분석)시켜 다른 분석에 이용
- ② 공분산행렬이나 상관행렬을 이용
- ③ 새로운 변수간에는 상관관계가 없음
- ④ 새로운 변수의 분산 총합은 원래의 변수 분산 총합과 같음

표 2. 다변량 분석 방법 중 주성분 분석 활용

	변수들 관계탐색	자료 탐색	새 변수 만들기	개체 분류	그룹간 평균 비교	변수 그룹	차원 줄이기
주성분분석	때때로	언제나	YES	NO	가능	가능	언제나

(라) 주성분 분석 결과의 사용

- ① 회귀분석에 포함시킬 설명 변수의 수를 결정할 때
- ② 군집분석의 입력변수
- ③ 인자분석에서 인자수를 구할 때
- ④ 주성분들의 산점도 Q-Q plot를 이용 정규성 검정 및 이상치 탐색에 이용

(마) 주성분분석법 선행연구 조사

- ① 주성분분석의 이론과 응용이 활발히 진행되어 농학, 생물학, 화학, 기후학, 지질학, 식품영양학 등 여러 분야에 꾸준히 응용되고 있음
 - Lee, Seung-Joo. "Big Data Analysis Using Principal Component Analysis." Journal of Korean Institute of Intelligent Systems 25.6 (2015): 592-599
- ② 다변량 통계분석의 대표적인 주성분분석을 이용하여 효율적인 데이터분석을 위한 방법론을 연구

- Kim, Jung-Hoan, et al. "Application of Principal Component Analysis to Shelf-Life Determination of Processed Food." Korean Journal of Food Science and Technology 27.5 (1995): 703-707
- ③ 주성분분석을 이용하여 식품의 저장 중 품질변화 평가
 - Chung, K. Y., Y. S. Jung, and B. J. Hwang. "Classification of snowfall regions using principal component analysis." J Korean Meteor Soc 35 (1999): 466-473
- ④ 주성분분석을 이용한 한반도 강설 지역 구분
 - Shao, Renping, et al. "The fault feature extraction and classification of gear using principal component analysis and kernel principal component analysis based on the wavelet packet transform." Measurement 54 (2014): 118-132
- ⑤ 기어 시스템의 분류와 다수의 기어 손상을 새로운 신호 특징 방법으로 추출해 내는 것을 제시함
 - Ha, D. W., et al. "A Study on the Body Type of Hanwoo (Korean Cattle) Steer by Using Principal Components Analysis." Journal of Animal Science and Technology 44.6 (2002): 643-652
- ⑥ 주성분분석을 이용하여 거세한우의 체형 분류

(3) 반응표면분석

(가) 반응표면분석법 개요

- ① RSM(Response Surface Methodology, RSM)은 반응표면분석법 이라고도 하며, 공학 분야에서 가장 오랫동안 널리 사용된 통계 기반 근사 모델로써 현재는 농·식품 분야에서 최적 결과를 얻기 위한 실험 조건을 도출하기 위해서 많이 활용되고 있음
- ② 큰 범위로는 회귀분석에 속하며, 회귀분석에는 단순회귀, 곡선회귀, 다중회귀, RSM이 있으며, 대개는 RSM의 범위가 크기 때문에 별도로 분류
- ③ RSM을 이용하기 위한 기본적인 이론 및 과정은 다음과 같음
 - 변수들 간의 인과관계를 다항식 형태로 미리 정의하고 최소자승법을 사용하여 다항함수의 회귀계수를 정함
 - 최소승자법(least square method)은 오차의 제곱의 합을 최소화 시켜 추정하는 방법
 - 실제 회귀 모델(regression model)은 직선 함수 및 곡선 함수가 혼합된 형태로 나타남
 - 직선함수는 first-order model로 표현 할 수 있으며 독립변수(independent variable)가 선형함수(linear function)로 정의 될 때 사용하며, 2개의 독립변수를 가질 때 다음과 같이 나타냄

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \epsilon$$

- 곡선함수는 second-order model로 표현 할 수 있으며 곡률(curvature) 형태 일 때 2개의 독립변수에 대하여 다음과 같이 나타냄

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_2x_2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \epsilon$$

- ④ 실험을 통해 획득한 data를 통합적으로 분석하여 각각의 구성요소들이 결과에 얼마만큼의 영향을 미치는지 회귀식을 통해 확인할 수 있으며, 최적화 지점을 찾는 것과 더불어 변수의 조절에 따른 반응의 변화를 시각적으로 나타낼 수 있음
- RSM의 목적은 최적화 지점(optimum response)을 찾아 대상의 최적조건을 분석하며, 주된 특성으로는, 변수의 조절에 따른 변화의 양상을 시각적으로 보여줌(그림 8)

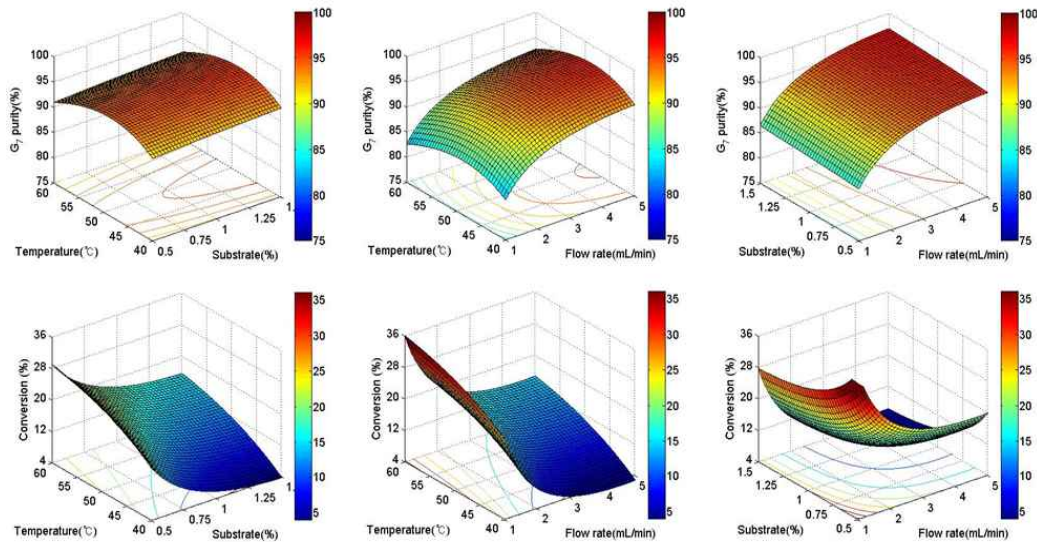


그림 23. 반응표면분석법의 결과 도출 예시

(나) 반응표면분석법 절차

- ① RSM은 기본적으로 다음과 같은 절차를 통해 수행
- ② 아래의 절차를 통해 개별적으로 수행된 data를 기반으로 최적 조건 및 최적값에 대해 통합적으로 예측할 수 있으며 변수의 조절에 따른 반응의 변화를 확인할 수 있음
- ③ ANOVA (Analysis of variance)
 - 분산 분석을 통한 회귀방정식의 계수 도출
 - R-square 값을 통해 설명변수가 결과를 잘 설명하는지 판단(R-square > 0.7)
 - 각 변수가 결과에 유의한 영향을 미치는지 p-value(<0.05)를 통해 검정
 - 동시에 회귀방정식을 구성하는 회귀계수 결정
- ④ Lack of fit test
 - 적합결여 검정으로서, 구축된 회귀식이 적합한지를 평가
 - R-square 값과는 다른 의미의 값이며 p-value가 0.05 이상인 경우에 적합
 - p-value가 0.05 미만일 경우 회귀식의 차수나 설명변수의 추가를 고려하여야 함
- ⑤ Canonical analysis(정준분석)
 - 구축된 회귀식으로 부터 극값에 해당하는 정상점(stationary point) 산출
 - 고유치(eigenvalue)의 부호에 따라 해당 반응표면(response surface)의 형태 최대점, 최소점 혹은 안장점을 가지는지 판별

- 고유치가 모두(+)이면 최소점, 모두 (-)이면 최대점, 혼합되어 있으면 안정점을 가짐
 - 안정점인 경우 범위내의 최적값을 위해 능선분석(ridge analysis)를 추가적으로 수행
- ⑥ Response surface plot(반응표면선도)
- 구축된 회귀방정식을 기반으로 반응표면을 도식화
 - 2개의 독립변수의 변화에 따른 종속변수의 변화의 추이를 보여줌
 - 2차원 형태인 contour plot이나 3차원형태, 또는 두 가지를 혼합해서 표기 가능

(다) 반응표면분석법 선행연구 조사

- ① 본 연구에서 반응표면분석법을 활용하여 조사료 환경요인의 최적화하기 위한 이론적 근거 및 방법을 설계하기 위하여 선행연구를 조사하였음
- ② 선행연구의 분야는 농·식품 분야로 한정하였으며, 이는 유사한 분야의 적용 사례를 검토하여 적용성이 높은 연구를 탐색하기 위함임
- ③ 다양한 독립변수에 의해 영향을 받는 종속변수를 대상으로 최적의 반응지점이나 조건을 규명하는 RSM의 특성으로 인해 다양한 분야에서 널리 사용되어 왔으며, 이를 이용한 연구를 비롯해 review 역시 꾸준히 이루어지고 있음
- ④ Khuri AI & Mukhopadhyay S (2010) Response surface methodology. Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat. 2, 128-149
 - RSM의 개념이 도입된 1950년을 시작으로 현대까지 RSM의 이론과 분야가 발전해 왔는지에 대한 리뷰가 지난 2010년에 publish 되었음
- ⑤ Baş D & Boyacı İH (2007) Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. J. Food Eng. 78, 836-845
 - 기존의 선행연구를 통해 chemical, biochemical process에서 RSM을 적용 할 때의 한계점과 일반적인 실수에 대한 review
- ⑥ Bezerra MA, Santelli RE, Oliveira EP, Villar LS & Escaleira L a. (2008) Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. Talanta 76, 965-977
 - 이 논문은 분석화학분야에 대한 RSM의 효용성을 제고한 논문이며, 해당 분야에 효과적으로 사용하기위한 response surface design을 중심으로 RSM modeling을 서술하고 있음
- ⑦ Vicente G, Coteron a. & Martinez, M., Aracil J (1998) Application of the factorial design of experiments and response surface methodology to optimize biodiesel production. Ind. Crops Prod. 8, 29-35
 - 1998년 바이오디젤 생산의 최적화에 RSM을 사용
- ⑧ Quanhong L & Caili F (2005) Application of response surface methodology for extraction optimization of germinant pumpkin seeds protein. Food Chem. 92, 701-706
 - 2005년 중국에서 발아한 호박 씨앗으로부터 단백질을 추출하는 공정을 RSM을 통해 최적화
- ⑨ Li Z, Database N, Quality N, City K & Liu Y (2012) Performing response surface analysis using the SAS RSREG procedure, 1-10

- 정보처리 및 program의 발달로 인해 RSM은 전문적인 통계프로그램을 통해 보다 효과적으로 수행할 수 있게 되었으며, SAS는 RSM을 수행하는 효과적인 tool로 알려져 있음
- ⑩ 이기동 (2000). 식품공업에서 반응표면분석의 응용. 한국식품과학회, 33권(1), 33-45
 - 국내 식품분야에서 2000년대에 RSM의 활용성을 제고한 이후, 공정조건 최적화나 성분 추출조건 분석에 널리 사용되고 있음
- ⑪ Jeon S, Baek J, Jeong E & Cha Y (2012) Optimal Extraction Conditions of Flavonoids from Onion Peels via Response Surface Methodology. Korean Soc Food Sci Nutr 41, 695 ~ 699
 - 양파껍질로부터 Flavonoid 물질의 추출조건 최적화
- ⑫ Noh, Y.-I., Kim, J.-S. (2012). Optimization Processing Conditions of Water Soluble Fraction from Alaska Pollock Theragra chalcogramma Head and Non-forming Sea Tangle Laminaria japonica under High Temperature/High Pressure. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 45(3), 207-214
 - 명태 두부와 비정형 다시마로부터 고온가압 추출물의 최적제조 조건
- ⑬ Cuong NP, Lee W-H, Oh I-N, Thuy NM, Kim D-G, Park J-T & Park K-H (2015) Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized Pyrococcus furiosus thermostable amylase. Process Biochem
 - 식품효소분야에서는 cyclodextrin으로부터 pure maltodextrin을 추출하는 공정에서 RSM을 통해 최적 추출 조건을 규명한 연구가 수행되었음

(4) 수립된 통계적 방법의 활용성 여부를 시험하기 위한 조사료 재배 시스템 사료 급여 소의 우유성분 변화 조사

(가) 데이터 개요

- ① 주관기관에서 실험한 데이터를 획득하여 통계적 방법을 적용하여 신선 조사료 기반의 사양이 우유 성분에 미치는 효과를 검증하고자 하였음
- ② 획득한 데이터는 36마리의 젖소에 대해서 11월 19일부터 신선조사료 기반의 사양을 시작하여 유량, 유지율, 유단백질, 무지고형분율, 체세포, 우유 내 요소태 질소로 구성되어 있음
 - 11월 18일은 기존의 급여프로그램으로 얻은 우유이며, 12월 14일자로 11월 19일부터 사용한 신선조사료 기반의 사양에 대한 데이터를 획득하였음

(나) 데이터 분석 방법

- ① 다중 비교(t-test)를 이용하여 신선조사료 기반으로 사양된 젖소의 우유와 기존 프로그램으로 사양된 조소의 우유성분을 비교하였음
- ② 다중 비교는 두 개 이상의 그룹을 평균과 표준편차를 기준으로 동시에 비교하여 그룹간의 차이를 판단하는 통계 분석기법으로써, 실험을 기반으로 한 대부분의 연구에서 주요 분석 도구로써 널리 활용되고 있음.

③ 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 하였으며, SAS 통계 소프트웨어 패키지(version 9.4, SAS Institute Inc, NC, USA)를 이용하여 분석하였음

(다) 데이터 분석 결과

- ① 데이터 분석 결과 유지량과 무지고형분율에서 통계적으로 유의한 차이가 발생하였음(표).
- ② 따라서 유지량과 무지고형분율은 유의확률이 각각 0.024와 0.013으로 착유 전,후의 평균이 유의한 차이가 있었음(표 3 및 그림 9)
- ③ 반면에 유지율, 유단백질, 체세포, MUN은 유의확률이 0.05보다 크기 때문에 각각 성분의 평균치 차이가 없다고 할 수 있음. 비록 통계적인 차이는 없으나 전체적인 지표의 값이 산출한 것으로 보아 신선조사료 기반 사양은 효과적인 방법으로 간주할 수 있으나, 표본집단을 증가하여 추가적인 분석이 필요할 것으로 보임
- ④ 결론적으로 신선조사료 기반의 사양은 유지량을 증가시키고 무지고형분율을 높이는 효과를 가지고 있으므로, 평균착유량을 높이고자 할 경우에 신선조사료 기반의 사양은 효과적이라 할 수 있음

표 3. 조사료 급여 소 및 비급여 소의 우유 성분 통계분석 결과

	Mean±SD		P-Value	비고
유지량(kg)	전	30.96±5.79	0.024	전 : 11/18 후 : 12/14
	후	33.88±4.98		
유지율(%)	전	4.34±0.48	0.425	
	후	4.45±0.69		
유단백질(%)	전	3.33±0.33	0.149	
	후	3.45±0.37		
무지고형분율(%)	전	8.05±0.3	0.013	
	후	8.24±0.33		
체세포(천)	전	136.2±110.3	0.802	
	후	143.5±136.9		
MUN	전	12.32±2.83	0.637	
	후	12.03±2.34		

*MUN : Milk Urea Nitrogen: 우유내 요소태 질소 레벨 테스트 - 소들의 단백질 섭취량이 적절한지에 관한 테스트이며 쉽게 말해소의 건강상태를 가늠할 수 있는 테스트(레벨 8~16이 "Acceptable" 수준이고, 10~14가 "Desirable". 단위는 mg/dl)

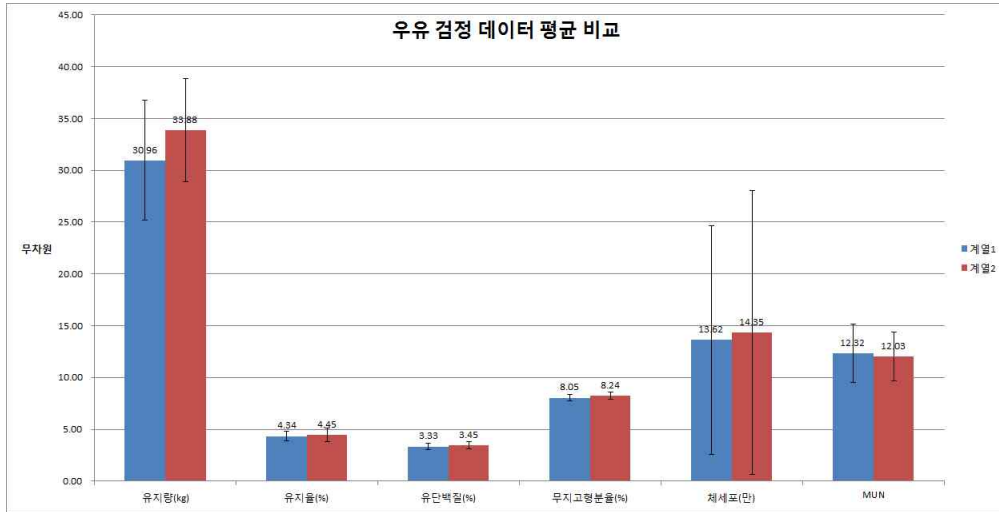
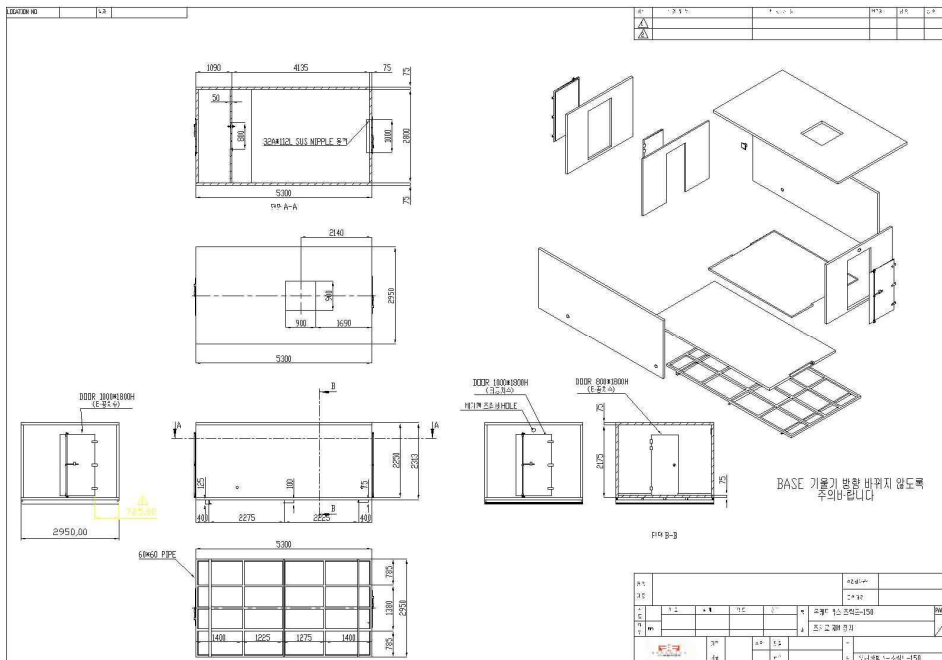


그림 24. 우유 검정 데이터의 평균 비교 그래프

제 2 절 신선 조사료재배장치 설계 및 실용화

1. 신선 조사료재배장치 설계 및 부품 개발

가. 부품별 설계 및 BOM 구축



- 재배장치의 외박스는 단열을 위해 발포폴리스티렌(PS) 단열재 판넬을 적용.
- 신선 조사료의 청보리 새싹 기준 생산량(日)에 따라 모델별로 분리
- 지그를 활용한 프레임 : 25kg, 100kg
- PS 단열재 판넬 : 150kg, 300kg, 500kg

• 발포폴리스티렌(PS) 단열재 - 압출법 1호 70T 시험성적서

the way to trust **KCL** 시험성적서 094-426-1761-016

1. 성적서 번호 : CT15-130495
 2. 열 회 지
 ○ 입 체 명 : 금호석유화학(주)
 ○ 주 소 : 서울특별시 중구 황제대로 100 (수요동, 시그니처타워스서울)

3. 시험기간 : 2015년 12월 07일 ~ 2016년 01월 06일
 4. 시험성적서의 용도 : 품질관리
 5. 시 료 명 : 발포폴리스티렌(PS) 단열재 - 압출법 1호 70T
 6. 시험방법
 (1) KS K 3918:2011

2016년 01월 06일
한국건설생활환경시험연구원

기상시험연구원 : 065-03 서울특별시 금천구 가산디지털1로 199 02-2102-2500
 고객센터 : 1588-0212(02-2633)

영사QP-20-01-06(4)

the way to trust **KCL** 시험성적서

성적서번호 : CT15-130495

7. 시험결과
 1) 발포폴리스티렌(PS) 단열재 - 압출법 1호 70T

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비 고
단열 성능	mm (1)	70		
초기열전도율 (한국표준시험법)	W/m·K (1)	0.024		
굴곡파괴하중	N (1)	69		
압축강도	N/cm² (1)	22		
연소성 (연소시간)	초 (1)	60		
연소성 (연소길이)	mm (1)	60		
연소성 (연소중량)	mm (1)	42		
연소성 (연소중량)	mm (1)	41		
연소성 (연소중량)	mm (1)	47		
연소성 (연소중량)	mm (1)	45		
연소성 (연소중량)	mm (1)	42		
연소성 (연소중량)	mm (1)	41		
연소성 (연소중량)	mm (1)	45		

--- 이 리 미 배 ---

영사QP-20-01-06(4)

• 표준규격 대비 시험성적 결과 (기준 : 압출법 1호 단열)

구 분	열전도율 [평균온도 23±2°C] (W/m·k)		굴곡파괴하중 (N)	압축강도 (N/cm²)	연소성
	초기열전도율	장기열전도율			
기 준	0.028이하	0.030이하	35이상	18이상	시간 : 120초 이내 길이 : 60mm 이하
성적결과	0.024		69	22	시간 : 60초 길이 : 41~47

(1) 배수 설계

- (가) 자연적 경사각(전면과 후면의 기울기)을 주어 설계
- (나) 별도의 배수펌프 또는 방류시스템을 적용하지 않음(펌프 및 시스템의 오작동으로 인한 혹한기 동결 방지)

(2) 구획 설계

- (가) 작업자(축산농가)의 연중 작업시간을 고려하여 2구획으로 구분 설계
- (나) 전면에는 시스템의 컨트롤이 위치하고, 각종 기계기구류를 배치
- (다) 안쪽으로 순수 재배실을 배치
- (라) 혹한 및 혹서기 작업자의 환경을 고려하여 조사료재배장치 실내에서 안전하고 쾌적하게 작업할 수 있는 공간으로 설계

(3) 공조 설계

(가) 조사료 재배작물의 특성을 고려하여 연중 18℃~21℃(±2℃) 유지하고, 공간의 효율성을 감안하여 천정형 냉난방 시스템 설계 적용

(나) 계절별 리모콘 온도조절세팅(냉/난방 천정용)

계절구분	운전선택	온도값	편차
봄 (3~5月)	자동	19℃	±3
여름 (6~8月)	냉방	19℃	±2
가을 (9~11月)	자동	19℃	±3
겨울 (12~2月)	난방	19℃	±2

(다) 환기구는 공기흐름을 유지하며 원활한 급·배기를 위하여 재배실 및 전실의 상단부 및 하단부에 설계

(4) 조도

(가) 맥스스펙을 적용한 식물전용 LED 설계

(나) 스펙정립에 대한 (실)측정값 반영

조건	모델명	인가 전압 [V]	최대전류 [mA]	소비 전력 [W]	조도 [Lux]	광합성량 [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]	특징	지향각동	사용 온도	길이
일반 스펙	BPL-9W	DC24V ~26.5V	330mANor ~440mA	8W ~12W	200 이상	13 이상	Dimming 10~30V	single 120°	-20℃~60℃	0.8 m
MAX 스펙	BPL-9W	ACorDC 31.5V	660mA Max	20W	360 이상	23 이상	"	"	"	0.8 m

(5) 습도

(가) 재배실 실내습도 70%(±5%) 유지

(나) 초음파 가습기 적용 : 전체적인 재배실 습도분포를 위하여 가습 연장관 설계

(다) 실내습도 유지를 위한 데이터를 분석하여 PCB를 통해 살수시간(미스트 분무)을 셋팅하고 추가적으로 초음파 가습기를 적용하여 타이머를 통한 세팅값으로 적정습도를 유지

- ① 실내온도 19℃(+2℃, -1℃), 실내습도 55% 를 기준으로 일별 살수량(1L/hr ~ 2L/hr)을 조절하며 실험
- ② 상기 조건에서 살수량 1.25~1.4L/hr 일 때 실내습도는 65%를 유지함.
- ③ 부족한 습도유지를 위해 살수량을 높일 경우 보리새싹에 직접적인 생육 영향으로 대기중 습도를 유지
- ④ 초음파 가습을 적용하여 시간당 133.2cc (약 0.14L)의 추가적 대기분무를 유지

(6) 재배실

- (가) 재배트레이 규격설계
- (나) 재배단 배치를 위한 프레임 설계
- (다) 원활한 배수를 위한 프레임 설계각도 유지
- (라) 습도에 강한 내구성을 위한 SUS 재질 설계 반영
- (마) 분무경 노즐의 분사 각도를 고려한 배치

(7) 기계실(전실)

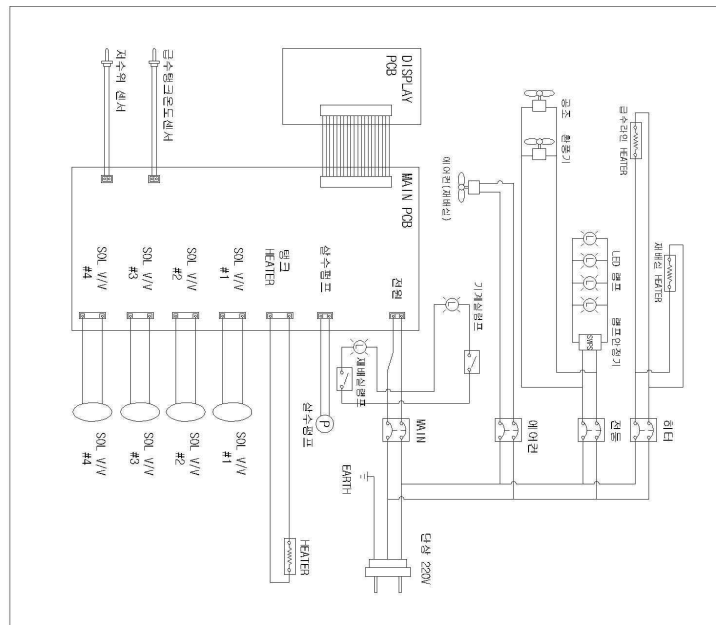
- (가) 컨트롤러, 워터탱크, 급수관, 냉난방 컨트롤러, LED 관장 SMPS
- (나) 작업동선을 반영한 시스템 설계

(8) 외부설계

- (가) 급수구 및 전원부 위치 설계 : 전면 좌측으로 집중
- (나) 냉난방 시스템 실외기 프레임 설계
- (다) 냉난방 시스템 실내기 타공점 설계 : 상부노출 TOP cover 마감 설계(NCT)

(9) PCB 설계

- (가) 재배솔루션 제어 PCB 설계
- (나) 전기회로도를 감안한 설계

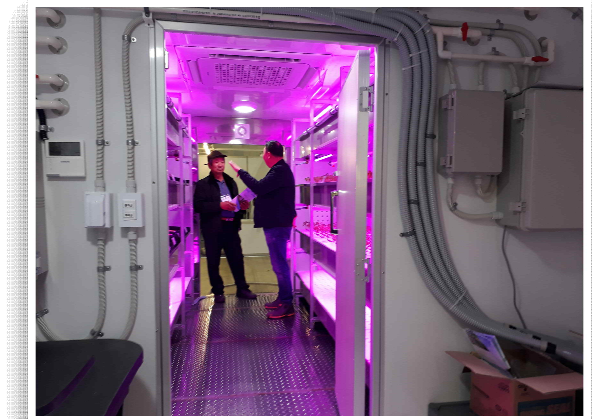


나. 신선 조사료 생산량 대비 모델별 설계 : 5종(이동형)

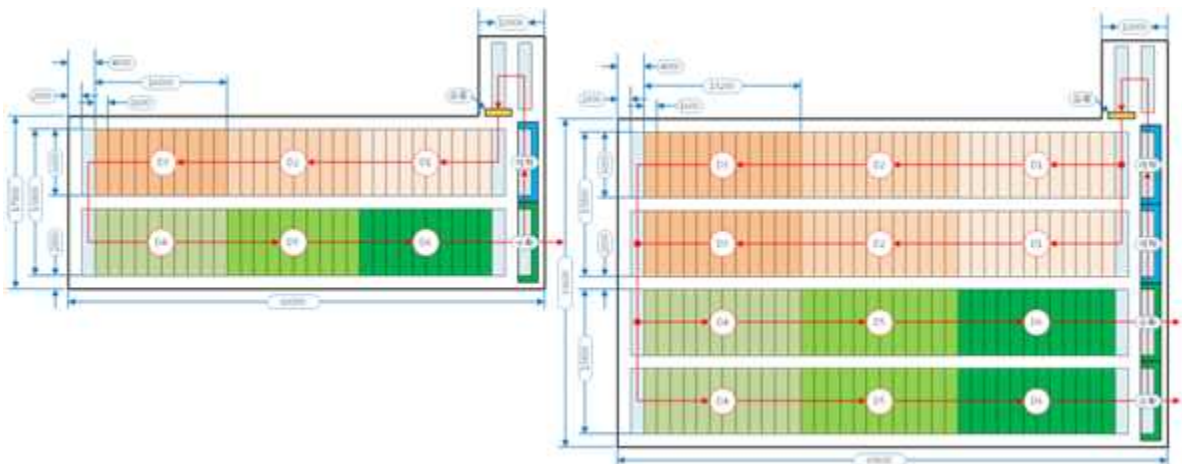
(1) 이동형 모델(청보리새싹 日 생산량 기준) : 5종

(가) 25kg, 100kg, 150kg, 300kg, 500kg

(나) 시제품 제작 : 중간형 150kg 모델



다. 신선 조사료 생산량 대비 모델별 설계 : 대형(10ton/日 생산량) 이상



<대형 자동화 시스템 (일 10~100ton 생산) 설계>

라. BOM LIST

스마트팜 수경재배기 자재현황(BOM)

레벨				품명	규격	수량
1				축산보급형 신선조사료 재배장치	150kg	1
	1			우레탄박스	4700x2950x2460	
		1		천정형냉난방기	삼성 AC0*****	
		2		제어실		
			1	온열기(컴백터)	750W	
			2	물통		
			1	물통	680x680x400	
			2	물통받침대	530x530x380	
			3	고무발통	φ 30xL=20	
			4	나사	SUS 등근머리 M5xL=15mm	
			5	너트	SUS 너트 M6	
			6	플레팅 밸브	볼탑SET	
			7	여과기	필터 120메시	
			8	레듀샤	20A-15A	
			9	신주호스닛블	15A-15A	
			10	신주호스닛블	15A-20A	
			11	고압에어호스	16A (M)	
			12	반도	30mm	
			13	한일펌프	PH-400W-B 1HP	
			14	서비스소켓	15A-70	
			15	엑셀롱 엘보	15A	
			16	엑셀 나비 밸브	15A	
			17	중 PT 닛블	15A	
			18	물탱크소켓	15A	
			19	물탱크소켓	25A	
			20	투입히터(온수히터)	1" 220V/1KW 250L	
			21	육각볼트/스프링와셔/평와셔	M10-30	
			22	HEATER BK	SUS	
			23	새들BASE	EGI 백색도장	
			24	새들-15 CAP	EGI 백색도장	
			25	PIPE FLANGE	EGI 백색도장	
			26	PIPE FLANGE 23	EGI 백색도장	
			27	PIPE FLANGE 31	EGI 백색도장	

			28	스폰지	4T*20*80	
			29	저수위 SENSOR		
			30	온도소켓		
		3		컨트롤박스		
			1	투명 PC박스	400x500x160	
			2	CONTROL COVER	EGI / 백색도장	
			3	CONTROL INNER BOX	EGI	
			4	ELB BASE	EGI	
			5	LS누전차단기	32GRHD/2.5KA 30A	
			6	LS누전차단기	32GRHD/2.5KA 20A	
			7	고정식단자대	10A -10P	
			8	고정식단자대	20A -4P	
			9	고정식단자대	60A -3P	
			10	타이머(24시간)	SJD CP 16 디지털	
			11	그라운드(접지선)	4SQ	
			12	난연콘넥타	16A (M)	
			13	GW 후렉시블 콘넥타	16A	
			14	MAIN PCB		
			15	DISPLAY PCB		
			16	IN-LAY CONTROL 라벨		
			17	CONTROL 사용라벨		
			18	스위치 라벨		
			19	경고라벨		
		4		LED (SMPS박스)		
			1	ABS박스	400x500x200	
			2	SMPS(SP-500S 24A)	DC24V/21AC 500W)	
			3	타이머(24시간)	SJD CP 16 디지털	
			4	펜 (SJ1238 HA2)	220V~240V AC 50/60HZ(0.13A)	
			5	난연콘넥타	16A	
		5		전기배선 및 전선		
			1	산업용가습기	MH-401A	
			2	가습기 받침대		
			3	LED 직부등	220V	
			4	방우형 등매 2구 접지 콘센트	접지핀타입	
			5	2구1로 캡형 스위치		
			6	ABS박스	80x110x70	
			7	난연콘넥타	16A	
			8	GW 후렉시블	16A	

			9	싱크대호스	16A	(M)
			10	호스연결구	16A	(M)
			11	난연 CD관 (백색)	16A	(M)
			12	ABS박스	150*200*100	
		6		하네스		
			1	HEATER	L=600	
			2	살수펌프	L=570	
			3	SOL #1	L=670	
			4	SOL #2	L=640	
			5	SOL #3	L=610	
			6	SOL #4	L=580	
			7	전원	L=1000	
			8	저수위 SENSOR	L=620	
			9	탱크온도 SENSOR	L=430	
			10	탱크온도 SENSOR	L=1000	
			11	HEATER	L=1000	
			12	HEATER1	L=300	
			13	PUMP	L=1000	
			14	저수위 SENSOR CABLE	L=300	
			15	저수위 SENSOR CABLE	L=1000	
			16	전원분배배선1	흰색 2.5 SQ	
			17	전원분배배선2	검정 2.5 SQ	
		7		급수배관		
			1	슬밸브/물에어/나사식	20A-HPW2150 (AC220V, 3/4")	
			2	신주부싱/나사식	20A-15A	
			3	PVC 발브소켓	15A	
			4	PVC 파이프	15A*L=4M	
			5	PVC 엘보	15A	
			6	PVC T	15A	
			7	PVC 볼 밸브(접착식)	15A	
			8	PVC 유니온 (접착식)	15A	
			9	철소켓	15A	
			10	철소켓 (배수용)	32A	
			11	알루미늄 호스닛블(배수용)	32A	
			12	신주호수닛블	15A-15	
			13	엑셀 파이프	16A	(M)
			14	엑셀 수전엘보	15A	
			15	엑셀 롱엘보	15A	

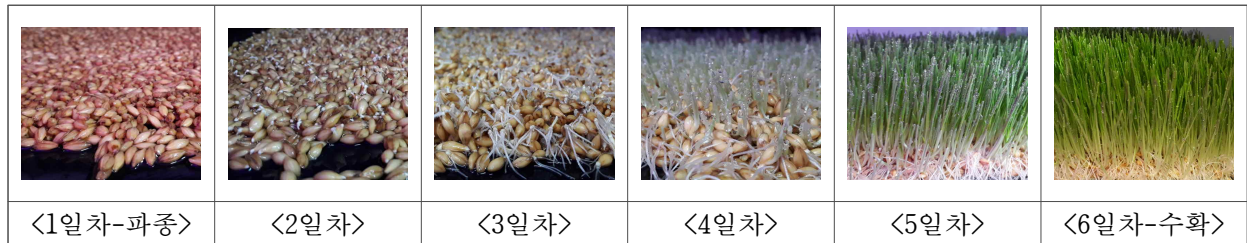
			16	엑셀 레버 핫다밸브-KS/무퇴	15A	
			17	엑셀 삼티	15A	
			18	엑셀 양엘보	15A	
			19	엑셀 고정엘보	15A	
			20	신주호스 엘보	15A	
			21	물탱크 소켓	15A	
			22	보온재 (엑셀용)	16A	(M)
			23	알루미늄 테이프	110mm폭	(롤)
			24	알루미늄 테이프	70mm폭	(롤)
			25	WELD ON본드	717"PVC-U250ml	(통)
			26	PVC새들	16A	
			27	PVC새들	25A	
			28	PVC새들	30A	
			29	편사호스	16A	(M)
			30	이중편사호스	16A	(M)
			31	물조리개		
			32	하부노즐	광분사포구 20L~30L / hr	
			33	미스트노즐	ND5171213	
			34	낙수방지	ND790248	
			35	PVC 소켓	15A	
			36	신주 크로스터	15A	
		8		재배단		
			1	GUIDE ANGLE-FR	3030*2T*3005	
			2	GUIDE ANGLE	3030*2T*800	
			3	40 PIPE-FRONT/REAR	2525*1.5T*2040	
			4	물받이베이스1010	SUS L=1010mm	
			5	물받이베이스1024.3 -01,02	SUS L=1024.3mm	
			6	물받이커버-01	SUS	
			7	물받이커버-02	SUS	
			8	멀티재배단트레이브라켓트	SUS	
			9	브라이드리벳	φ 4.8*11	
			10	PIPE 고정BK-1	3057*25	
			11	PIPE 고정BK-2	3080*25	
			12	케이블타이	L=150	(봉)
			13	케이블타이	L=200	(봉)
			14	케이블타이	L=300	(봉)
			15	직결나사	둥근머리와셔붙이 L=13mm/15mm	
			16	철판피스나사	둥근머리	

			17	환풍기		
			18	식물용 LED	BPL61-800mm(DC24V*9W)	
			19	3M 4956 테이프	VHB25mm*30M (M)	
			20	케이블덕트(PVC)	20x35x2000	
			21	몰딩사각	소(1,2호)	
			22	루바	200x200	
			23	환풍기캡 (후드캡)	φ 100	
			24	DUCT COVER	SUS	
			25	조사료재배 Tray	960 x 800	
		9		케이블		
			1	VCTF	4SQ - 3C (M)	
			2	VCTF	2.5SQ - 2C (M)	
			3	VCTF	1.5SQ - 2C (M)	
			4	VCTF	0.75SQ - 2C (M)	
			5	VCTFK	0.75SQ - 2C 회색 (M)	
		10		에에콘 TOP COVER	SUS 1100*1100*300	
		11		에에콘 TOP 보온재	보온판2호 50Tx900mmx1800mm	
		12		ABS박스	250*350*140	
		13		접지봉	동봉 500mm	
		14		세척통	400*260*150	
		15		분무기	500ml	
		16		계량컵	2000ml	
		17		편사호스(배수용)	32A (M)	

2. 시제품 성능실험 및 수정 보완

가. 신선 조사료용 보리새싹(미국산 청보리) 재배 성능실험 완료

(1) 시제품에서 실제 재배되는 사진



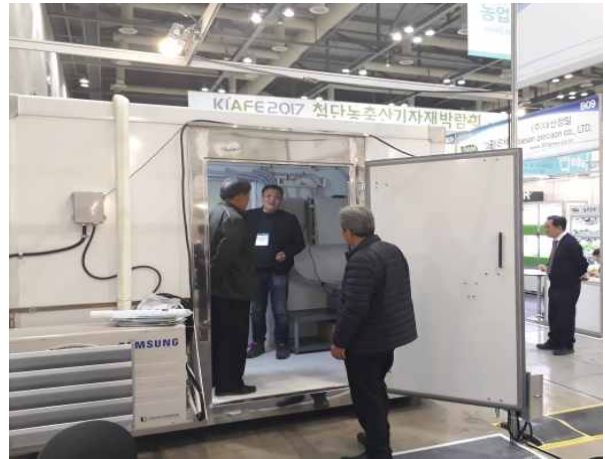
(2) 각 일자별 재배상태

(가) 1일차(파종) : 1,000g * 3구획(1Tray) = 총 3,000g 파종

(나) 2일차 : 발아가 시작되어 눈이 올라온 상태

- (다) 3일차 : 3가지로 줄기가 뻗어나오기 시작함(그중 2줄기는 뿌리로, 1줄기는 새싹으로)
- (라) 4일차 : 자리를 잡아가며 형체를 형성함(약 3~5cm)
- (마) 5일차 : 24시간 사이 급속한 성장세를 보임(약 9~13cm)
- (바) 6일차(수확) : 한 묶음으로 패드가 형성되었으며, 새싹의 전체길이는 18~20cm 정도로 성장하였음 (생산량 : 22,200g , 생산수율 : 약 7.4배)

나. 전시회 참가 : 2017 첨단농축산기자재박람회 - 일산 Kintex



다. 보리새싹 성분분석을 통한 데이터 구축

- (1) 시료명 : 미국산 겉보리 새싹
- (2) 시험종류 : 수분, 미네랄, 조섬유, 조단백, 조지방, 유리아미노산
- (3) 수량 : 24종
- (4) 분석(검증)담당기관 : (주)카보엑스퍼트 (충남대학교 內)
- (5) 의뢰일자 : 2017년 9월
- (6) 성분분석(검증)자료 : 표30 - 축산조사료용 보리 싹과 뿌리의 성분함량.

제 3 절 성능평가 및 분석

1. 조사료 재배 환경 최적화 설계 및 검증

가. 반응 표면 설계를 이용한 축산조사료 생육조건 실험설계

(1) 실험설계

(가) 축산조사료 재배 장치의 생육조건 최적화를 위해 반응표면설계(Response Surface Design)를 이용해 실험조건을 설계함

- 업체로부터 획득한 조절 가능한 조작변인은 온도(16~22℃)와 습도(50~100%)이며 각각 1℃, 1% 단위로 조절이 가능하였음

(나) RSM에서는 실험범위의 표준화를 위해 부호화(code)를 하며 다음 식을 통해 실험 범위에 따른 실험 값(actual level)의 부호화 된 값(coded value)를 계산할 수 있음

$$Coded\ value(X) = \frac{\left[Actual\ level - \left(\frac{High\ level + Low\ level}{2} \right) \right]}{\left(\frac{High\ level - Low\ level}{2} \right)}$$

(다) RSM design에는 각각의 experimental point에 대응하는 coded value가 정해져 있으며, 본 실험 설계에서는 정해진 coded value를 기반으로 실험 범위(low level, high level) 조절을 통해 생육조건 최적화 실험을 위한 적절한 experimental point 구성을 목표로 함

(라) 실험 설계는 반응표면분석법(Response surface methodology) 중 second-order model을 fitting에 적합한 데이터를 도출하기 위하여 central composite design(CCD) 및 equiradial design을 활용함

- 보통 2개의 변수로 구성되는 CCD는 9개의 points와 13개의 experimental trial로 구성되며 이때 13 trials에는 5개의 중복된 central point(0, 0)가 포함되어 있음(표 4).
- 또한 CCD와 trial은 동일하지만 실험 범위를 고려해 외접하는 원의 반지름의 크기를 1로 줄인 Inscribed central composite design(ICC)가 있음 (그림 10)

표 4. Central composite design for two variables

experimental trial	Central Composite Design	
	x1	x2
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	-1.414	0
6	1.414	0
7	0	-1.414
8	0	1.414
9	0	0

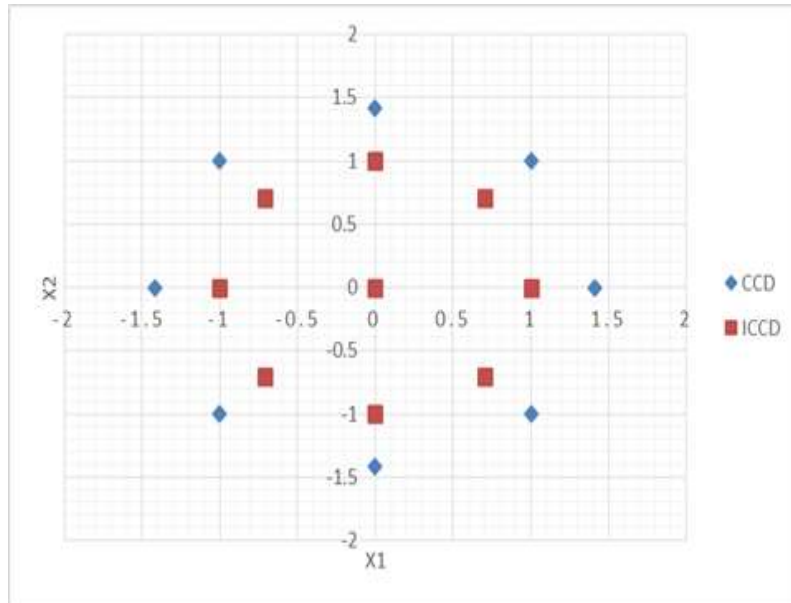


그림 42. Inscribed central composite design(ICCD)

(마) Rotatable equiradial design 중 2개의 변수를 이용한 실험설계에 많이 쓰이는 것은 pentagon과 hexagon이며 본 설계에서는 둘 중 trial이 적은 pentagon을 사용 (pentagon design은 5개의 외접 point와 1개 이상의 center point로 구성) (표 5)

표 5. Pentagonal design for two variables

experimental trial	Equiradial design	
	x1	x2
1	0.951	0.309
2	0.588	-0.809
3	0	0
4	0	1
5	-0.588	-0.809
6	-0.951	0.309

(2) 설계 시나리오의 구성

(가) CCD fixed coded value (-1) at 17°C/50%

- ① 온도(X1)의 경우 설정 가능한 최소값이 16°C이며 coded value 값 중 -1.414가 있는 것을 감안해 -1에 해당하는 coded value 값을 17°C로 설정
- ② 실험 조건 최소값(coded value = -1)을 17°C에 맞춰 최대 온도(17~22)에 따른 point 별 실험 온도 산출(표 6)
- ③ 실험 조건 최소값(coded value = -1)을 50%에 맞춰 최대 습도(50~100)에 따른 point 별 실험 습도 산출(표 7)

표 6. Actual experimental point of temperature with fixed minimum temperature of 17°C

coded value	maximum temperature					
	17	18	19	20	21	22
-1	17	17	17	17	17	17
1	17	18	19	20	21	22
-1	17	17	17	17	17	17
1	17	18	19	20	21	22
-1.414	17	16.793	16.586	16.379	16.172	15.965
1.414	17	18.207	19.414	20.621	21.828	23.035
0	17	17.5	18	18.5	19	19.5
0	17	17.5	18	18.5	19	19.5
0	17	17.5	18	18.5	19	19.5

표 7. Actual experimental point of humidity with fixed minimum humidity of 50%.

coded value	maximum humidity					
	50	60	70	80	90	100
-1	50	50	50	50	50	50
-1	50	50	50	50	50	50
1	50	60	70	80	90	100
1	50	60	70	80	90	100
0	50	55	60	65	70	75
0	50	55	60	65	70	75
-1.414	50	47.93	45.86	43.79	41.72	39.65
1.414	50	62.07	74.14	86.21	98.28	110.35
0	50	55	60	65	70	75

(나) CCD fixed coded value (1) at 21°C/90%

- ① 온도(X1)의 경우 설정 가능한 최대값이 22°C이며 coded value 값 중 1.414가 있는 것을 감안해 1에 해당하는 coded value 값을 21°C로 설정
- ② 실험 조건 최대값(coded value = 1)을 21°C에 맞춰 최소 온도(21~17)에 따른 point 별 실험 온도 산출 (표 8)
- ③ 습도(X2)의 경우 설정 가능한 최대값이 100%이며 coded value 값 중 1.414가 있는 것을 감안해 1에 해당하는 coded value 값을 90%로 설정
- ④ 실험 조건 최대값(coded value = 1)을 90%에 맞춰 최소 습도(90~50)에 따른 point 별 실험 습도 산출 (표 9)

표 8. Actual experimental point of temperature with fixed maximum temperature of 21°C

coded value	minimum temperature					
	16	17	18	19	20	21
-1	16	17	18	19	20	21
1	21	21	21	21	21	21
-1	16	17	18	19	20	21
1	21	21	21	21	21	21
-1.414	14.965	16.172	17.379	18.586	19.793	21
1.414	22.035	21.828	21.621	21.414	21.207	21
0	18.5	19	19.5	20	20.5	21
0	18.5	19	19.5	20	20.5	21
0	18.5	19	19.5	20	20.5	21

표 9. Actual experimental point of humidity with fixed maximum humidity of 90%.

coded value	minimum humidity				
	50	60	70	80	90
-1	50	60	70	80	90
-1	50	60	70	80	90
1	90	90	90	90	90
1	90	90	90	90	90
0	70	75	80	85	90
0	70	75	80	85	90
-1.414	41.72	53.79	65.86	77.93	90
1.414	98.28	96.21	94.14	92.07	90
0	70	75	80	85	90

(다) ICCD fixed coded value (-1) at 16°C/50%

- ① 온도(X1)의 경우 설정 가능한 최소값이 16°C이며 coded value 값 중 -1이 최소값이므로 -1에 해당하는 coded value 값을 16°C로 설정
- ② 실험 조건 최소값(coded value = -1)을 16°C에 맞춰 최대 온도(16~22)에 따른 point 별 실험 온도 산출 (표 10)
- ③ 습도(X2)의 경우 설정 가능한 최소값이 50%이며 coded value 값 중 -1이 최소값이므로 -1에 해당하는 coded value 값을 50%로 설정
- ④ 실험 조건 최소값(coded value = -1)을 50%에 맞춰 최대 습도(50~100)에 따른 point 별 실험 습도 산출 (표 11)

표 10. Actual experimental point of temperature with fixed minimum temperature of 16°C

coded value	minimum temperature						
	16	17	18	19	20	21	22
-0.707	16.879	17.7325	18.586	19.4395	20.293	21.1465	22
0.707	21.121	21.2675	21.414	21.5605	21.707	21.8535	22
-0.707	16.879	17.7325	18.586	19.4395	20.293	21.1465	22
0.707	21.121	21.2675	21.414	21.5605	21.707	21.8535	22
-1	16	17	18	19	20	21	22
1	22	22	22	22	22	22	22
0	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22
0	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22
0	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22

표 11. Actual experimental point of humidity with fixed minimum humidity of 50%

coded value	minimum humidity					
	50	60	70	80	90	100
-0.707	57.325	65.86	74.395	82.93	91.465	100
-0.707	57.325	65.86	74.395	82.93	91.465	100
0.707	92.675	94.14	95.605	97.07	98.535	100
0.707	92.675	94.14	95.605	97.07	98.535	100
0	75	80	85	90	95	100
0	75	80	85	90	95	100
-1	50	60	70	80	90	100
1	100	100	100	100	100	100
0	75	80	85	90	95	100

①

(라) ICCD fixed coded value (1) at 22°C/100%.

- ① 온도(X1)의 경우 설정 가능한 최대값이 22°C이며 coded value 값 중 1이 최대이므로 1에 해당하는 coded value 값을 22°C로 설정
- ② 실험 조건 최대값(coded value = 1)을 22°C에 맞춰 최소 온도(22~16)에 따른 point 별 실험 온도 산출 (표 12)
- ③ 습도(X2)의 경우 설정 가능한 최대값이 100%이며 coded value 값 중 1이 최대이므로 1에 해당하는 coded value 값을 100%로 설정
- ④ 실험 조건 최대값(coded value = 1)을 100%에 맞춰 최소 습도(100~50)에 따른 point 별 실험 습도 산출 (표 13)

표 12. Actual experimental point of temperature with fixed maximum temperature of 22°C

coded value	maximum temperature						
	16	17	18	19	20	21	22
-0.707	16	16.1465	16.293	16.4395	16.586	16.7325	16.879
0.707	16	16.8535	17.707	18.5605	19.414	20.2675	21.121
-0.707	16	16.1465	16.293	16.4395	16.586	16.7325	16.879
0.707	16	16.8535	17.707	18.5605	19.414	20.2675	21.121
-1	16	16	16	16	16	16	16
1	16	17	18	19	20	21	22
0	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19
0	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19
0	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19

표 13. Actual experimental point of humidity with fixed maximum humidity of 100%.

coded value	maximum humidity					
	50	60	70	80	90	100
-0.707	50	51.465	52.93	54.395	55.86	57.325
-0.707	50	51.465	52.93	54.395	55.86	57.325
0.707	50	58.535	67.07	75.605	84.14	92.675
0.707	50	58.535	67.07	75.605	84.14	92.675
0	50	55	60	65	70	75
0	50	55	60	65	70	75
-1	50	50	50	50	50	50
1	50	60	70	80	90	100
0	50	55	60	65	70	75

(마) Equiradial design(pentagon) fixed coded value (-1) at 17°C/60%.

- ① 온도(X1)의 경우 설정 가능한 최소값이 16°C이며 coded value 값 중 -1.61735가 있는 것을 감안해 -1에 해당하는 coded value 값을 17°C로 설정
- ② 실험 조건 최소값(coded value = -1)을 17°C에 맞춰 최대 온도(17~22)에 따른 point 별 실험 온도 산출 (표 14)
- ③ 습도(X2)의 경우 설정 가능한 최소값이 50%이며 coded value 값 중 -1.37585가 있는 것을 감안해 -1에 해당하는 coded value 값을 60%로 설정
- ④ 실험 조건 최소값(coded value = -1)을 60%에 맞춰 최대 습도(60~100)에 따른 point 별 실험 습도 산출 (표 15)

표 14. Actual experimental point of temperature with fixed minimum temperature of 17°C

coded value	minimum temperature						
	16	17	18	19	20	21	22
-0.707	16.879	17.7325	18.586	19.4395	20.293	21.1465	22
0.707	21.121	21.2675	21.414	21.5605	21.707	21.8535	22
-0.707	16.879	17.7325	18.586	19.4395	20.293	21.1465	22
0.707	21.121	21.2675	21.414	21.5605	21.707	21.8535	22
-1	16	17	18	19	20	21	22
1	22	22	22	22	22	22	22
0	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22
0	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22
0	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22

표 15. Actual experimental point of humidity with fixed minimum humidity of 60%.

coded value	minimum humidity					
	50	60	70	80	90	100
-0.707	57.325	65.86	74.395	82.93	91.465	100
-0.707	57.325	65.86	74.395	82.93	91.465	100
0.707	92.675	94.14	95.605	97.07	98.535	100
0.707	92.675	94.14	95.605	97.07	98.535	100
0	75	80	85	90	95	100
0	75	80	85	90	95	100
-1	50	60	70	80	90	100
1	100	100	100	100	100	100
0	75	80	85	90	95	100

(3) 결과 정리

(가) 실험 범위 조건과 coded value에 의해 산출된 값이 실제 실험 시 설정 가능 한(정수에 가까운) 값인가를 고려하여 시나리오 별 효율적이라고 판단되는 실험 범위를 선정

(나) 온도(X1)의 경우 설정 가능한 실험온도범위(16~22℃)를 적절히 포함하고 central point (0,0)의 값이 정수이며, 실험 최대 온도 및 최소 온도를 넘지 않는 적정 범위를 선정

(다) 습도의(X2)의 경우 설정 가능한 실험온도범위(50~100%)를 적절히 포함하고 central point (0,0)의 값이 정수이며, 실험 최대 습도 및 최소 습도를 넘지 않는 적정 범위를 선정

① CCD_fixed coded value (-1)=17℃, 50%)

㉠ 위의 조건에 부합하는 적정 온도 범위로는 16.172 ~ 21.828℃가 타당하다고 판단

㉡ 위의 조건에 부합하는 적정 습도 범위로는 41.72 ~ 98.28%가 타당하다고 판단

② CCD_fixed coded value (1)=21℃, 90%)

㉠ 위의 조건에 부합하는 적정 온도 범위로는 21.828 ~ 16.172℃가 타당하다고 판단

㉡ 위의 조건에 부합하는 적정 습도 범위는 98.28 ~ 41.72%가 타당하다고 판단

③ ICCD_fixed coded value (-1)=16℃, 50%)

㉠ 위의 조건에 부합하는 적정 온도 범위로는 16 ~ 22℃가 타당하다고 판단

㉡ 위의 조건에 부합하는 적정 습도 범위는 50 ~ 90%가 타당하다고 판단

④ ICCD_fixed coded value (1)=22℃, 100%)

㉠ 위의 조건에 부합하는 적정 온도 범위로는 22 ~ 16℃가 타당하다고 판단

㉡ 위의 조건에 부합하는 적정 습도 범위는 100 ~ 60%가 타당하다고 판단

⑤ Equiradial design(pentagon)_fixed coded value (-1)=17°C, 60%)

㉗ 위의 조건에 가장 부합하는 적정 온도 범위는 15.77 ~ 22.23°C가 타당하다고 판단

㉘ 위의 조건에 부합하는 적정 습도 범위는 54.36 ~ 100.51%가 타당하다고 판단

(라) 결과 분석

① CCD: 서로 다른 coded value를 기준으로 최대/최소 실험범위를 달리하여 실험 point를 계산한 결과 15.77 ~ 22.23°C, 41.72 ~ 98.28%가 적절하다는 동일한 결론을 도출하였으며, 이는 온/습도 각각 5수준, 11~13 trials로 구성되는 설계임

② ICCD: 서로 다른 coded value를 기준으로 최대/최소 실험범위를 달리하여 실험 point를 계산한 결과 온도의 경우 16 ~ 22°C가 적절하다는 동일함 결론을 도출하였으며, 습도의 경우 50 ~ 90%, 60 ~ 100%가 적절하다는 결론을 도출하였음

③ ICCD 역시 CCD와 마찬가지로 온/습도 각각 5수준, 11~13 trials로 구성되며, 두 설계 모두 실험 범위 자체는 비슷하므로 세부적인 실험 point를 산출한 데 그 의의가 있음

④ Pentagon design: -1의 coded value를 기준으로 최대 실험범위를 달리하여 실험 point를 계산한 결과 온도 15.77 ~ 22.23°C 범위의 5수준, 습도 54.36 ~ 100.51% 범위의 4수준으로 구성된 6~8 trials의 실험을 설계함

⑤ Equiradial design의 특성상 CCD만큼의 실험 수준을 포함하되 그 횟수가 적은 것이 특징이지만, 온/습도 모두 CCD에 비해 넓은 범위인데 반해 trial이 적은 만큼 정확도는 떨어질 것으로 사료됨

(4) 종합 결론

(가) 위의 실험 설계는 축산조사료 생육조건 최적화를 위한 실험 범위를 설정에 대한 가이드라인이며, 조절 가능한 인자 온도/습도에 대하여 다음과 같은 실험 시나리오를 제시함

(나) 실제 실험 시 시스템에서 실제로 조절 가능한 범위 및 정밀도를 고려하여, 설정할 수 있는 조건에 가장 가까운 시나리오를 선택하는 것이 바람직함

(다) 따라서 다음과 같은 최종 3개의 실험 설계 후보안을 선정함

① Scenario 1: Central composite design (9 ~ 13 trials)

㉗ 온도 16.172°C ~ 21.828°C 내 5수준 (16.172°C, 17°C, 19°C, 21°C, 21.828°C) 및 습도 41.72% ~ 98.28% 내 5 수준 (41.72%, 50%, 70%, 90%, 98.28%)에 대하여 아래와 같이 설정(표 16)

㉘ 1회 실험(experimental trial) 당 하나의 결과값을 획득하는 것을 기준으로 총 13 회 (13 trials)까지 수행(단, 한 번의 실험에서 복수의 결과값을 얻을 수 있으면 11 ~ 13 차 실험은 수행하지 않아도 무방)

표 16. Scenario 1

Scenario 1		
Experimental trial	Temperature (°C)	Humidity (%)
1	17	50
2	21	50
3	17	90
4	21	90
5	16.172	70
6	21.828	70
7	19	41.72
8	19	98.28
9	19	70
10	19	70
11	19	70
12	19	70
13	19	70

② Scenario 2: Inscribed Central composite design (9 ~ 13 trials)

- ㉠ 온도 16°C ~ 22°C 내 5 수준 (16°C, 16.879°C, 19°C, 21.121°C, 2°C) 및 습도 50% ~ 90% 습도 내 5 수준 (50%, 55.86%, 70%, 84.14%, 90%) 혹은 습도 60% ~ 100% 내 5 수준(60%, 65.86%, 80%, 94.14%, 100%) 중 하나에 대하여 아래와 같이 설정(표 17)
- ㉡ 1회 실험(experimental trial) 당 하나의 결과값을 획득하는 것을 기준으로 총 13 회 (13 trials)까지 수행(단, 한 번의 실험에서 복수의 결과값을 얻을 수 있으면 11 ~ 13 차 실험은 수행하지 않아도 무방)

표 17. Scenario 2

Scenario 2			
Experimental trial	Temperature (°C)	Humidity (%)	
1	16.879	55.86	65.86
2	21.121	55.86	65.86
3	16.879	84.14	94.14
4	21.121	84.14	94.14
5	16	70	80
6	22	70	80
7	19	50	60
8	19	90	100
9	19	70	80
10	19	70	80
11	19	70	80
12	19	70	80
13	19	70	80

③ Scenario 3: Equiradial Design - Pentagon (6 ~ 8 trials)

㉠ 온도 15.77°C ~ 22.23°C 내 5수준 (15.76°C, 17°C, 19°C, 21°C, 22.23°C) 및 습도 54.36% ~ 100.51% 내 4수준 (54.36%, 75%, 82.88%, 100.51%)에 대하여 아래와 같이 설정(표 18)

㉡ 1회 실험(experimental trial) 당 하나의 결과값을 획득하는 것을 기준으로 총 8 회(8 trials)까지 수행(단, 한 번의 실험에서 복수의 결과값을 얻을 수 있으면 7 ~ 8차 실험은 수행하지 않아도 무방)

표 18. Scenario 3

Scenario 3		
Experimental trial	Temperature (°C)	Humidity (%)
1	22.234694	82.88265
2	21	54.36225
3	19	100.5102
4	17	54.36225
5	15.7653	82.88265
6	19	75
7	19	75
8	19	75

나. 최적생육조건 검증을 위한 생육실험 DATA 획득 및 정리

(1) data 정리 개요

- (가) 축산조사자료로 쓰이는 미국산 겉보리의 생육조건 최적화를 수행하기 위해 연구를 진행
- (나) 반응표면설계(Response Surface Design)를 이용해, 온도(16~22℃)와 습도(50~100%)에 따라 CCD, ICCD 및 Ecuradial design를 이용해 3개의 실험 시나리오를 최종적으로 구성함
- (다) 실제 시스템 운영 가능 및 모델 개발의 정확성을 위해서 13 trials의 CCD 시나리오를 최종적으로 선택하였고, 그에 따른 실험기록 양식에 따라 정리(그림 11)
 - 조작변인: 온도, 습도
 - 종속변인: 무게, 수율
- (라) 그림 8의 생육기록일지를 기반으로 실험계획 대비 결과를 고찰해보고 RSM에 필요한 형태의 data form으로 정리하였음
 - 세부적으로는 실험일지 전반에 대한 개요를 파악하고 실험변수인 온도와 습도, 종속 변수인 겉보리 생산량/수율 3가지 변수를 중심으로 data를 정리함

(2) 재료 및 방법

- 1~13 trial을 탭 별로 구분하여 생육결과에 대한 내용이며 trial당 2개의 tray에서 재배
- 총 6일간 생육하였으며 재배 일자, 온도, 분무량, 일자별 중량 및 수율을 기록(그림 11 및 12)

개요	미국산겉보리 생육 실험 data 기록			
	- 1 trial 당 7일간 생육하며, 매일 온/습도 및 무게 측정 후 기입			
	- 1~8 trial까지는 각각 1주일간 2개의 tray에서 생육(6 trial의 경우 4개 tray 염소처리 2tray, 무처리 2 tray)			
	- 9~13 trial은 동시에 5개의 tray에서 생육(염소처리 3 tray, 무처리 2tray)			
	-			
통제변인	파종	tray 1/3구획당 800g->	tray 당 2.4 kg	
	LED			
조작변인	온도(Temperature)			
	습도(Humidity)			
종속변인	무게(Weight)			
	수율(yield)			
실험 Scenario				
	Experimental trial	Temperature (°C)	Humidity (%)	
	1	17	50	> trial 1 sheet
	2	21	50	> trial 2 sheet
	3	17	90	> trial 3 sheet
	4	21	90	> trial 4 sheet
	5	16	70	> trial 5 sheet
	6	22	70	> trial 6 sheet
	7	19	40	> trial 7 sheet
	8	19	100	> trial 8 sheet
	9	19	70	
	10	19	70	
	11	19	70	> trial 9-13 sheet
	12	19	70	
	13	19	70	

그림 43. 생육실험 기록 양식

신선조사료(새싹보리) 생육일지							
RE) Experimental trial 1.						2017年	
시나리오 조건	온도(20°C)		분무량(1.4l/h)	생육기간(6 day)	환경(분무수경재배)		
Tray NO.	일자	일차	온도(°C)	분무량(l/h)	중량(g)	수율(배)	비 고
#1	09 / 01	1	20.0	1.4	1,800	1.0	
	09 / 02	2	19.5		3,102	1.7	
	09 / 03	3	19.8		4,917	2.7	
	09 / 04	4	21.0		6,921	3.8	
	09 / 05	5	20.7		9,791	5.4	
	09 / 06	6	20.0		11,699	6.5	
							전체중량 3,841
							Tray중량 2,041
							5,143
							6,958
							8,962
							11,832
							13,740
							평균온도 20.2
Tray NO.	일자	일차	온도(°C)	분무량(l/h)	중량(g)	수율(배)	비 고
#2	09 / 01	1	20.0	1.4	1,800	1.0	
	09 / 02	2	19.5		3,046	1.7	
	09 / 03	3	19.8		4,717	2.6	
	09 / 04	4	21.0		7,001	3.9	
	09 / 05	5	20.7		9,701	5.4	
	09 / 06	6	20.0		11,490	6.4	
							전체중량 3,841
							Tray중량 2,041
							5,087
							6,758
							9,042
							11,742
							13,531
							평균온도 20.2

그림 44. 실험 일지 format

① Experimental trials

㉠ 실험설계는 총 13trials로 구성되지만 세부적으로 9개의 실험 point에 대해 수행

- 9~13 trials는 central point로서 반복실험 구간임

㉡ 기본적으로 trial 당 2개의 실험 결과값이 존재하며, 반복구간인 9~13 trials는 5개의 결과값이 존재

- 6 trial(22°C/70%)의 경우 4개의 결과값이 존재
- 9~13 trial의 5개의 결과 중 3개는 염소처리가 되었음(농도 1ppm - 1일 2회 분사)

② Weight

㉠ 1일차에 1800g을 파종하고 일자별 중량 및 초기무게 대비 수율을 측정

- 1 trial의 경우 2400g을 파종하였기 때문에 결과적으로 6일차에 더 큰 중량을 가지며, 이를 보정하기 위해 data 정리 시 3/4를 곱하였음

㉡ Data 정리

- 분석에는 6일차의 순수중량(총 중량-tray 무게)을 사용하였으며, ‘중량’ 이라 표기

③ Temperature

㉠ Tray 2개에서 재배되어 결과값은 2개지만 동일한 기간 동일한 환경에서 재배되었기 때문에 trial 별로 온도는 동일함

㉡ 시스템 운용상의 한계로 인하여 실제 온도와 설계온도의 차이가 발생하였음 (표 16)

- 5개 trials의 평균온도가 실험 설계온도에 비해 1°C 이상의 차이가 발생(다른 실험 point를 침범)

- 특히 5th trial은 2.6°C의 오차를 보임
- ㉔ Data 정리
- 분석에 사용할 독립변수에는 생육기간 동안의 평균온도를 사용하였으며, ‘실험온도’라 표기
- ④ Humidity
- ㉕ 시간당 분무량으로 습도를 조절하였으며 시간 당 분무량(l/h)을 기입함
- ㉖ 하지만 5 points의 설정 습도(40, 50, 70, 90, 100)와 시간당 분무량(0.6, 1.2, 1.5, 1.8, 1.8)이 모두 정비례하지 않음(표 19)
- 습도 50~70%는 1.2~1.8과 선형적으로 비례하지만 40%의 0.6은 선형적이진 않음
 - 습도 100%는 지나친 습도로 인해 온습도계가 망가지는 관계로 임의로 분무량을 낮췄다고 함
- ㉔ Data 정리
- 분석에 사용할 독립변수에 습도를 사용할지 분무량을 사용할지 고려가 필요하며, ‘설정습도’, ‘분무량’ 모두 data 구성에 포함시켜 다양한 시나리오 별 분석을 통해 보다 정확한 모델의 개발이 가능한 데이터를 사용하는 것으로 판단함

표 19. Trial 별 설정온도와 실험온도 차이

Trial	설정온도(°C)	설정습도(%)	실험온도(°C)	분무량(l/h)	분무량(m l/h)
1	17	50	16.7	1.2	1200
2	21	50	19.5	1.2	1200
3	17	90	16.5	1.8	1800
4	21	90	22.4	1.8	1800
5	16	70	18.6	1.5	1500
6	22	70	22.1	1.5	1500
7	19	40	19.6	0.6	600
8	19	100	20.3	1.8	1800
9	19	70	20.5	1.5	1500

(3) 정리 결과 및 고찰

- 엑셀 시트에 결과 별로 재정리(그림 13)
- 실험일지 내용을 sheet 1에 재정리(trial/ Tray/일차/생육온도/설정습도/분무량/중량/수율(배)/수율(무게)/비고)
- sheet2에는 SAS에 입력할 data set을 구성

Trial	Tray NO.	일자	온도(°C)	설정습도(%)	분무량(l/h)	중량(g)	수율(배)	수율(증감)	비고
1	#1	1	17.0	50	1.2	2,400	1.00	0.0	평균온도
		2	16.3	50	1.2	3,826	1.59	1,426.0	16.7
		3	14.5	50	1.2	4,532	1.89	706.0	초기중량이 2400g
		4	17.6	50	1.2	5,808	2.42	1,276.0	
		5	17.7	50	1.2	7,377	3.07	1,569.0	
		6	16.8	50	1.2	12,532	5.22	5,155.0	
	#2	1	17.0	50	1.2	2,400	1.00	0.0	평균온도
		2	16.3	50	1.2	3,778	1.57	1,378.0	16.7
		3	14.5	50	1.2	4,618	1.92	840.0	초기중량이 2400g
		4	17.6	50	1.2	6,141	2.56	1,523.0	
		5	17.7	50	1.2	8,247	3.44	2,106.0	
		6	16.8	50	1.2	14,115	5.88	5,868.0	
2	#1	1	17.5	50	1.2	1,800	1.00	0.0	평균온도
		2	22.2	50	1.2	2,870	1.59	1,070.0	19.5
		3	19.1	50	1.2	3,587	1.99	717.0	
		4	19.3	50	1.2	5,014	2.79	1,427.0	
		5	20.5	50	1.2	7,809	4.34	2,795.0	
		6	18.5	50	1.2	10,249	5.69	2,440.0	
	#2	1	17.5	50	1.2	1,800	1.00	0.0	평균온도
		2	22.2	50	1.2	3,078	1.71	1,278.0	19.5
		3	19.1	50	1.2	4,037	2.24	959.0	
		4	19.3	50	1.2	6,186	3.44	2,149.0	
		5	20.5	50	1.2	8,541	4.75	2,355.0	
		6	18.5	50	1.2	12,230	6.79	3,689.0	

그림 45. 생육실험 일지 요약

(가) data set

○ 요약한 data를 SAS에 입력할 dataset으로 구성함(표 20)

- 온도의 경우 6일간의 평균 온도를 입력하였으며, 정확성 향상을 위해 반올림한 값도 추가하였음
- 습도의 경우 분무량을 추가하였고, 1000을 곱한 (ml/h)도 추가하였음
- 중량은 6일차의 중량을 사용
- 그 외 trial 별 설정 온도 및 습도 정보도 추가하였음

표 20. 조사료 재배 장치의 겉보리 생육 및 생산량 data

Trials	실험온도(°C)	실험온도-반올림(°C)	분무량(ℓ/h)	분무량(mℓ/h)	중량(g)	Yield(%)
1	16.7	17	1.2	1200	9399	522
1	16.7	17	1.2	1200	10586	588
2	19.5	20	1.2	1200	10249	569
2	19.5	20	1.2	1200	12230	679
3	16.5	17	1.8	1800	10412	578
3	16.5	17	1.8	1800	10082	560
4	22.4	22	1.8	1800	11334	630
4	22.4	22	1.8	1800	9026	501
5	18.6	19	1.5	1500	9969	554
5	18.6	19	1.5	1500	7687	427
6	22.1	22	1.5	1500	10639	591
6	22.1	22	1.5	1500	11043	614
6	22.1	22	1.5	1500	10815	601
6	22.1	22	1.5	1500	11006	611
7	19.6	20	0.6	600	10835	602
7	19.6	20	0.6	600	9017	501
8	20.3	20	1.8	1800	11419	634
8	20.3	20	1.8	1800	11639	647
9	20.5	21	1.5	1500	11851	658
9	20.5	21	1.5	1500	11713	651
9	20.5	21	1.5	1500	11866	659
9	20.5	21	1.5	1500	11940	663
9	20.5	21	1.5	1500	11820	657

(나) Discussion

- ① 분석을 위한 dataset은 구성하였지만 실제 설계 point와 맞지 않음(그림 14)
 - 실험설계(아래 그림 우측)와 같이 data point가 분산되어야 하나, 온/습도 모두 point가 실제 구동 point(아래 그림 좌측)가 설계 point와 일치 하지 않음
 - 특히 온도에서 16°C의 point는 나타나지 않았음
- ② 실험상의 오차로만 간주하기에는 오차가 큰 부분이 존재하므로 추가 실험을 수행함
 - trial 5(16°C/70%)를 비롯한 온도 오차가 1°C 이상인 부분은 추가 실험을 요청
 - 분석 시 다양한 시나리오 구성 및 data 정리를 시도해야 할 것으로 보임

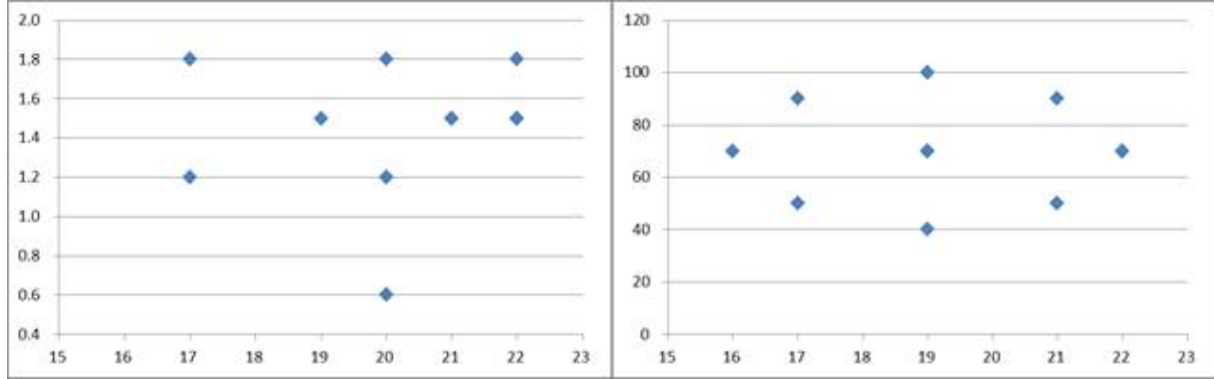


그림 46. 생육 실험설계 및 실험 결과 생육 point 비교

(4) Conclusion

- 미국산 겔보리의 생육조건 최적화를 수행하기 위한 생육 data 정리에 대한 내용으로 CCD 반응표면설계(Response Surface Design)에 따른 실험 일지를 고찰하고 분석용 data로 정리하였음
- 종속변수인 생산량은 6일차의 중량(g)을 사용하였음
- 독립변수인 온도는 6일 동안의 평균생육온도를 사용하였으며 dataset에는 설정온도, 실험온도, 실험온도-반올림 값을 포함하였음
- 또 다른 독립변수인 습도는 실험일지에 분무량으로 기입되어있었으며 dataset에는 설정습도, 분무량(l/h), 분무량(ml/h)을 포함하였음
- 과반이상 trial에서 실험설계 값과의 차이가 발생하였으며, 오차의 크기가 다른 실험 point를 초과하는 경우도 발생함
- 추가실험 이전에는 현재 구성한 database를 기반으로 다양한 시나리오 구성 및 data 편집을 활용해 분석이 필요할 것으로 사료됨.

(5) 생육온도와 분무량을 이용한 반응표면분석 수행

(가) 개요

- ① 이전 분석을 통해 생육실험 data를 통계분석에 필요한 data로 정리하였으나 실험 설계조건대로 실험이 잘 수행되지 않아 분석하기 쉽지 않음
- ㉗ 온도의 경우 절반이상의 data가 실험설계 조건을 1℃ 이상 초과하며, 이로 인해 CCD에 필요한 experimental point가 충족되지 않음
- ㉘ 습도의 경우 습도가 아닌 분무량이 기록되었으며 설계된 습도와 실제 분무량이 완전히 비례하지 않아서 experimental point가 충족되지 않음
- ② 구성된 data로 RSM을 초기 구동한 결과 설명력을 비롯해 적합결여 검정도 유의하지 않게 나타남
- ㉗ 유의한 결과를 도출하기 위해 다양한 방법의 접근이 필요할 것으로 판단됨
- ㉘ 실험 결과값을 실험 설계와 유사하게 맞춰주기 위한 data 보정 등
- ③ 따라서 본 분석에서는 다양한 분석 시나리오를 구성하여 유의한 결과를 보이는 통

계분석에 초점을 맞추었음

- ㉓ 분석에 사용한 독립변수는 실제 실험 결과를 그대로 반영하기 위해 생육평균 온도와 분무량을 사용함
- ㉔ 세부적으로는 실험 설계의 범위를 그대로 반영하기 위해 부호화 한 독립변수를 SAS에 입력하여 구동하였으며, 입력 data를 변경하는 시나리오를 기반으로 반복수행 하였음
- ㉕ 실제 실험 온도 및 습도가 실험설계 point와 다르기 때문에 SAS에서 자체적으로 code화를 수행할 경우, 실험 설계 시 설정한 값과 다른 code화 값을 가짐
- ㉖ 분무량의 경우 해당습도와 대응하도록 code화를 수행함

(나) Materials and Methods

- ① 분석용 Raw data
 - ㉓ 총 24개의 data로 구성되어 있으며 central point가 반복되는 9~13 trial을 제외하고 trial당 2개의 data가 존재함(표 18)
 - 6 trial(22°C/70%)의 경우 4개의 data가 존재

표 21. Growth results of barley based on central composite design under different temperature and humidity.

Trial	설정온도 (°C)	설정습도 (%)	실험온도-반올림(°C)	분무량 (l/h)	온도 coded	분무량 coded	중량(g)	trial 별 무게차이(g)
1.1	17	50	17	1.2	-1	-1.0	9399	
1.2	17	50	17	1.2	-1	-1.0	10586	-1187
2.1	21	50	20	1.2	0.5	-1.0	10249	
2.2	21	50	20	1.2	0.5	-1.0	12230	-1981
3.1	17	90	17	1.8	-1	1.0	10412	
3.2	17	90	17	1.8	-1	1.0	10082	330
4.1	21	90	22	1.8	1.5	1.0	11334	
4.2	21	90	22	1.8	1.5	1.0	9026	2308
5.1	16	70	19	1.5	0	0.0	9969	
5.2	16	70	19	1.5	0	0.0	7687	2282
6.1	22	70	22	1.5	1.5	0.0	10639	
6.2	22	70	22	1.5	1.5	0.0	11043	-404
6.3	22	70	22	1.5	1.5	0.0	10815	228
6.4	22	70	22	1.5	1.5	0.0	11006	-191
7.1	19	40	20	0.6	0.5	-3.0	10835	
7.2	19	40	20	0.6	0.5	-3.0	9017	1818
8.1	19	100	20	1.8	0.5	1.0	11419	
8.2	19	100	20	1.8	0.5	1.0	11639	-220
9.1	19	70	21	1.5	1	0.0	11851	
9.2	19	70	21	1.5	1	0.0	11713	138
9.3	19	70	21	1.5	1	0.0	11866	-153
9.4	19	70	21	1.5	1	0.0	11940	-74
9.5	19	70	21	1.5	1	0.0	11820	120

㉞ 초기 구동결과 설명력과 유의확률, 적합결여검정 모두 미달

- 동일 조건에서도 중량의 차이가 많이 발생하기 때문인 것으로 사료됨
- 최초 생육무게(1800g) 이상으로 차이가 나는 trial이 4개 존재
- 이상치를 선별 후 제거하는 것이 가장 이상적이지만 trial 당 2개의 값만 존재하기 때문에 어떤 것이 이상치인지 판별하기 어려움
- 따라서 결과값에 큰 차이를 보이는 trial을 대상으로 각각 1개씩의 data를 소거하는 경우의 수에 따라 modeling하는 scenario를 구성

② Coded value

- ㉞ RSM에서는 실험범위의 표준화를 위해 부호화(code)를 하며 다음 식을 통해 실험 범위에 따른 실험 값(actual level)의 부호화 된 값(coded value)를 계산할 수 있음

$$Coded\ value(X) = \frac{\left[Actual \leq vel - \left(\frac{High \leq vel + Low \leq vel}{2} \right) \right]}{\left(\frac{High \leq vel - Low \leq vel}{2} \right)}$$

- ㉞ SAS의 자동 부호화를 실행할 경우 실험설계 값과 다른 값을 이용해 부호화를 수행함
 - 이는 실제 실험온도가 설계온도와 일치하지 않아서 발생하는 문제
 - 따라서 자체적으로 부호화를 한 후 SAS에서 부호화 없이 modeling 하도록 coding
- ㉞ Raw data의 부호화는 최초 실험설계 한 값을 기준으로 부호화를 수행
 - 실험설계 기준, coded value -1, 0, 1에 대응하는 온도/ 습도의 값은 각각 17, 19, 20°C, 50, 70, 90%
 - 실제 실험에서는 습도가 아닌 분무량을 사용했으며 각각의 습도에 대응하는 분무량은 1.2, 1.5, 1.8 L/h

③ Scenario 구성

- ㉞ 결과값이 초기 값 1800g 초과를 초과한 trial이 모델 적합성을 방해하는 것으로 판단함
- ㉞ 그 중 trial 5의 경우 유달리 낮은 결과값을 보이며, 또한 설계온도에도 크게 벗어나있기에 해당 trial의 값은 모두 제거하였으며, 남은 3개의 trial(2,4,7 trial)에서 data 하나 씩 소거하는 경우의 수를 기반으로 scenario를 구성함(표 22)

표 22. RSM scenarios according to elimination of data

Scenario	Description(제거 trial)	Scenario	Description(제거 trial)
scenario 1	2-1, 4-1, 7-1	Scenario 5	2-2, 4-1, 7-1
scenario 2	2-1, 4-1, 7-2	Scenario 6	2-2 4-1, 7-2
scenario 3	2-1, 4-2, 7-1	Scenario 7	2-2, 4-2, 7-1
Scenario 4	2-1, 4-2, 7-2	Scenario 8	2-2, 4-2, 7-2

(다) 결과 및 고찰

① Regression analysis

- ㉞ 모든 scenario의 유의확률이 0.05보다 작아 통계적으로 유의하며, R-square도 대부분 0.7이상으로 준수한 값을 보임(표 23)
 - Scenario6, 8은 설명력이 다소 떨어지므로 해당 scenarios는 각각

표 23. Regression analysis

Scenario	scenario 1		scenario 2		scenario 3		Scenario 4	
Regression	R-Square	Pr > F	R-Square	Pr > F	R-Square	Pr > F	R-Square	Pr > F
Linear	0.1469	0.0008	0.1248	0.0049	0.4093	0.0002	0.3453	0.0015
Quadratic	0.7062	<.0001	0.6504	<.0001	0.4588	0.0001	0.477	0.0004
Cross product	0.0835	0.0018	0.1372	0.001	0	0.9556	0.002	0.7151
Total Model	0.9366	<.0001	0.9124	<.0001	0.8681	<.0001	0.8244	0.0003

Scenario	scenario 5		scenario 6		scenario 7		Scenario 8	
Regression	R-Square	Pr > F	R-Square	Pr > F	R-Square	Pr > F	R-Square	Pr > F
Linear	0.2341	0.0248	0.1348	0.1813	0.576	0.0003	0.4287	0.0076
Quadratic	0.4446	0.0031	0.3723	0.0206	0.2161	0.0118	0.2248	0.0482
Crossproduct	0.0467	0.1787	0.0835	0.1436	0.0105	0.4392	0.0047	0.6908
Total Model	0.7254	0.0042	0.5906	0.0362	0.8026	0.0007	0.6583	0.0139

② Lack of fit test (적합결여검정)

- 적합결여검정($p > 0.05$)을 통해 설계된 model의 적합도를 판단할 수 있는데 scenario 1,2,4의 model이 적합한 것으로 나타남(표 24)
- 그 외 검정 값이 유의하지 않은 scenario 3, 5, 7 기각

표 24. Lack of fit test Regression analysis

Scenario	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
Lack of Fit	0.3898	0.2625	0.0502	0.0004

Scenario	scenario 5	scenario 6	scenario 7	scenario 8
Lack of Fit	0.0004	0.0002	0.0064	0.0025

(라) ANOVA

- ① 현재까지 기각되지 않은 scenario를 중심으로 해석하면 상수항을 비롯한 온도 1차항 및 2차항, 분무량 1차항 및 2차항, 교차항 까지 모두 유의한 것으로 나타남
 - 단, scenario 4에서는 분무량 1차항 및 2차항, 교차항은 유의하지 않은 것으로 나타남
- ② 위의 시나리오를 바탕으로 회귀식을 도출하면 다음과 같으며, 사용되는 변수들은 부호화(coded value)값임(표 25)

표 25. Regression analysis result

Scenario	scenario 1		scenario 2		scenario 3	
	Estimate	Pr > t	Estimate	Pr > t	Estimate	Pr > t
Intercept	12406	<.0001	12271	<.0001	11985	<.0001
temp_coded	607.8227	<.0001	677.6777	<.0001	676.2237	<.0001
spray_coded	-280.3854	0.0174	-331.9906	0.0086	41.8673	0.7533
temp_coded*temp_coded	-1124.7899	<.0001	-1106.7432	<.0001	-870.5790	0.0001
spray_coded*temp_coded	-450.2616	0.0018	-510.4368	0.001	8.2314	0.9556
spray_coded*spray_coded	-548.9799	<.0001	-366.2837	<.0001	-321.9756	0.0007

Scenario	scenario 4		scenario 5		scenario 6	
	Estimate	Pr > t	Estimate	Pr > t	Estimate	Pr > t
Intercept	11850	<.0001	11890	<.0001	11755	<.0001
temp_coded	746.07868	<.0001	531.77567	0.0119	601.63068	0.0093
spray_coded	-9.73781	0.9391	-59.26830	0.7746	-110.87346	0.6222
temp_coded*temp_coded	-852.53229	0.0001	-838.55949	0.0051	-820.51273	0.0093
spray_coded*temp_coded	-51.94377	0.7151	-321.80808	0.1787	-381.98327	0.1436
spray_coded*spray_coded	-139.27946	0.0629	-420.72063	0.0024	-238.02446	0.0694

Scenario	scenario 7		scenario 8	
	Estimate	Pr > t	Estimate	Pr > t
Intercept	11469	<.0001	11334	<.0001
temp_coded	600.17668	0.0009	670.03169	0.0008
spray_coded	262.98444	0.1122	211.37929	0.2338
temp_coded*temp_coded	-584.34862	0.0084	-566.30187	0.0168
spray_coded*temp_coded	136.68496	0.4392	76.50978	0.6908
spray_coded*spray_coded	-193.71639	0.0389	-11.02022	0.9065

③ 변수의 유의성을 검정한 결과 scenario 3에서는 분무량이 유의하지 않을 것으로 나옴 (표 26)

- 온도와 분무량은 결과값에 유의한 인자인 것을 이미 가정하고 있으므로, 가정에 위배되는 scenario 3 기각

표 26 Significance test of factors in regression analysis

Scenario	scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
Factor	Pr > F	Pr > F	Pr > F	Pr > F
temp_coded	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001
spray_coded	<.0001	0.0002	0.0002	0.1148

Scenario	scenario 5	scenario 6	scenario 7	scenario 8
Factor	Pr > F	Pr > F	Pr > F	Pr > F
temp_coded	0.0119	0.0137	0.0053	0.0059
spray_coded	0.0042	0.193	0.0014	0.3258

(마) 3.4 Canonical analysis (정준분석)

- ① 정준분석을 통해 정상점의 좌표 및 반응표면의 형상을 예측할 수 있음
- ② 모든 scenario의 정준형식에서 고유치(eigen vector)의 부호가 모두 음수이므로 stationary point(정상점)은 최대점을 나타냄
- ③ 각 scenario 별 정상점은 다음과 같음(표 27)

표 27. Canonical analysis 결과

Scenario	scenario 1		scenario 2		scenario 3	
Factor	Critical Value	원본값	Critical Value	원본값	Critical Value	원본값
temp_coded	0.350038	19.700076	0.489283	19.978566	0.388707	19.777414
spray_coded	-0.398917	1.3803249	-0.794109	1.2617673	0.069985	1.5209955
Predicted value at stationary point	12568	maximum	12568	maximum	12117	maximum

Scenario	scenario 4		scenario 5		scenario 6	
Factor	Critical Value	원본값	Critical Value	원본값	Critical Value	원본값
temp_coded	0.441137	19.882274	0.356774	19.713548	0.517486	20.034972
spray_coded	-0.117218	1.4648346	-0.206884	1.4379348	-0.648136	1.3055592
Predicted value at stationary point	12015	maximum	11991	maximum	11946	maximum

Scenario	scenario 7		scenario 8	
Factor	Critical Value	원본값	Critical Value	원본값
temp_coded	0.618449	20.236898	1.619124	22.238248
spray_coded	0.896974	1.7690922	15.211049	6.0633147

Predicted value
at stationary
point

11772

maximum

13484

maximum

(바) Conclusion

- ① 본 분석에서는 다양한 분석 시나리오를 구성하여 유의한 RSM 결과를 도출하는데 초점을 맞추었음
 - 결과값에 큰 차이를 보이는 trial을 대상으로 각각 1개씩의 data를 소거하는 경우의 수에 따라 modeling하는 scenario를 구성
- ② 분석에 사용한 독립변수는 실제 실험 결과를 그대로 반영하기 위해 생육평균 온도와 분무량을 사용하였으며, 부호화는 실험설계 값을 기준으로 하였음
 - 실험설계 기준, coded value -1, 0, 1에 대응하는 온도/ 습도의 값은 각각 17, 19, 20℃, 50, 70, 90%이며 각각의 습도에 대응하는 분무량은 1.2, 1.5, 1.8 L/h
- ③ 동일한 조건하에 결과값이 크게 다른 trial들의 data를 하나 씩 소거하는 경우의 수를 기반으로 8개의 scenario를 구성
- ④ 구동 결과 8개의 scenario 중 6개의 scenario가 충분한 설명력을 가짐
 - 설명력이 부족한 scenario 6, 8 기각
- ⑤ 적합결여 검정 결과 3개의 scenario가 적합한 model로 판명
 - 검정 값이 유의하지 않은 scenario 3, 5, 7 기각
- ⑥ ANOVA 결과 상수항을 비롯한 모든 변수가 유의한 것으로 나타남
 - 단, scenario 3에서는 분무량이 유의하지 않은 변수로 나타났으며, 이는 기본가정(온도, 분무량 모두 생육량에 대해 유의한 변수)에 위배되므로 해당 scenario 기각
- ⑦ 정준분석 결과 기존에 기각된 scenario들을 포함한 모든 scenario의 정상점은 최대점으로 나타남
 - 기각되지 않은 scenario 1, 2는 각각 19.7℃, 1.38L/h와 19.98℃, 1.26L/h의 조건에서 12,568g의 동일한 최대값을 가질 것으로 예상
- ⑧ 본 분석 결과 조사료 생육시스템으로 재배하는 걸보리는 19~20℃의 온도 및 1.25~1.4L/h(약 53~63%) 분무 조건에서 생산량이 최대가 될 것으로 보임
- ⑨ 향후 위의 최적조건으로 실제 생육을 하여 분석에 대한 검증이 필요

(6) 반응표면분석법을 이용한 생육조건 별 생산량 시뮬레이션

(가) Conditional plot

- ① 분무량 및 온도의 coded value를 각각 -1, 0, 1 세 구간으로 나누어 고정하였을 때 다른 변수의 변화에 따른 생산량의 변화를 나타내는 도표임
- ② 분무량의 coded value를 고정하였을 경우, 전반적으로 온도의 coded value가 0~0.5 사이에서 구간의 최대 생산량을 보이며 이때 분무량의 coded value가 1일 때 보다는 -1, 0인 지점의 생산량이 높게 나타났음(그림 15)
- ③ 온도를 coded value를 -1, 0, 1 로 고정하였을 경우, 온도의 coded value가 각각 0~0.5, -0.5~0, -1~ -0.5인 구간에서 각각의 최대 생산량이 나타나며 그 차이가 온도

의 coded value에 따라 뚜렷하게 나타났음(그림 16)

- ④ 분무량의 coded value에 비해 온도의 coded value를 고정하였을 때, 생산량의 차이가 확연한 것으로 보아, 분무량보다는 온도가 생산량에 큰 영향을 끼치는 것을 알 수 있음

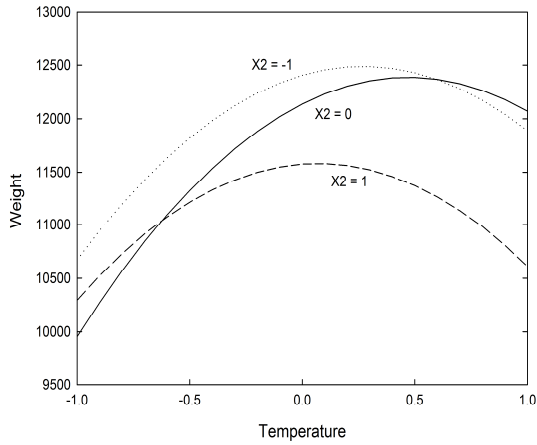


그림 47. Conditional plot with fixation of humidity

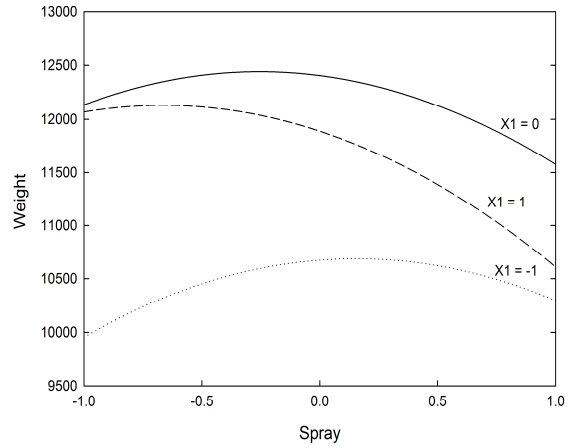


그림 48. Conditional plot with fixation of temperature

(나) Response surface plot

- ① 도출된 회귀식을 기반으로 온도와 분무량에 대한 보리생산량을 시각적으로 확인 할 수 있도록 3차원 그래프인 반응표면도로 표시함(그림 17)

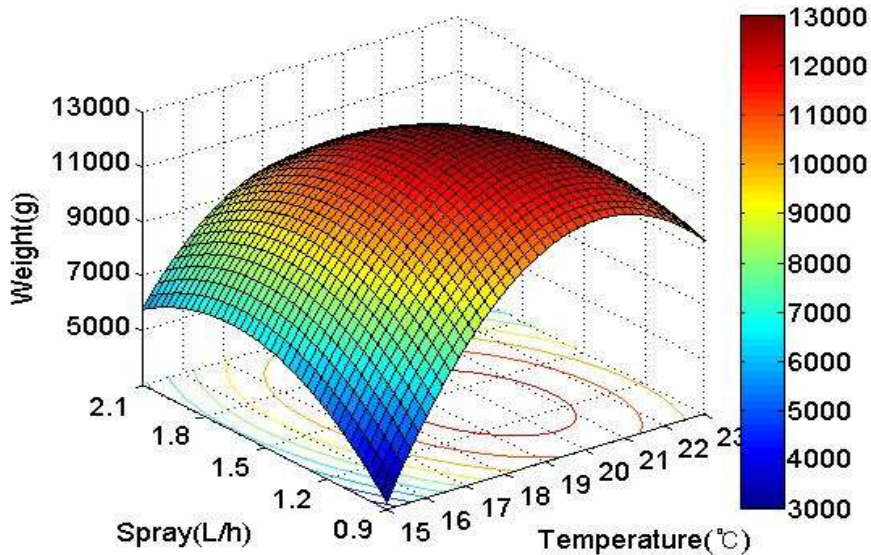


그림 49. Response surface plot of growth condition of barley according to the change of temperature and spray

- ② 온도의 경우 약 20°C에 가까워 질수록 생산량이 높게 나타나다가 감소하였으며, 분무량은 1.4 l/h에 가까워 질수록 생산량이 높게 나타남

- ③ 정준분석을 통해 도출된 정상점의 좌표는 약 19.7°C 및 1.38 l/h 일 때 12568g의 값을 가짐(표 28)
- ④ 고유값(eigen value)의 부호를 통해 도출된 정상점이 최소점, 최대점 혹은 안장점인지 판별 할 수 있는데 고유치의 부호가 모두 음수면 최대점, 모두 양수면 최소점, 양수와 음수가 같이 있으면 안장점을 가짐
- ⑤ 따라서 보리는 온도가 19.70°C, 분무량이 1.38 l/h 인 생육환경에서 12568g의 최대 생산량이 나타날 것으로 예측되었음

표 28. 정준 분석 결과 및 정상점 예측

Factor	Critical values			Eigenvalues	Stationary point
	Coded	Uncoded	Predicted value		
Temperature (X1, °C)	0.350	19.700	12,568	-471.408	Maximum
Spray (X2, l/h)	-0.399	1.380		-1202.362	

(7) 현장실험을 통한 최적생육조건 검증

(가) 검증 실험 설계

- ① 통계모델링을 통해 도출된 새싹보리 생산량의 최대화를 위한 최적 생육조건이 실제 상황에서 적용되는지 확인하기 위한 검증실험을 수행
- ② 검증실험은 최적조건을 실험군으로 두고, 생육 조건을 각각 다르게 설정한 3가지 조건을 대조군으로 설정하여 검증실험을 진행하였음(표 29)
- ③ 분석에 큰 최적 조건은 온도가 19.70°C, 분무량이 1.38 l/h 이나 실제 설정 가능한 수치로 보정 한 결과, 실험군의 생육조건은 20°C, 1.38 l/h으로 설정하였음
- ④ 대조군은 총 3가지로 설정하였으며 각각 높은 습도, 낮은 온도, 높은 온도 조건을 상정하였음

표 29. Validation experiments for verifying optimal growth conditions

Trials	Description	Temperature (°C)	Spray (l/h)	Weight (g)	Yield (%)
1	Treatment group (optimalcondition)	20	1.4	11094 ±563	616
2	Control group 1 (differenthumidity)	20	1.8	10101 ± 620	561
3	Control group 2 (differenttemperature)	18	1.4	9757 ± 461	542
4	Control group 3 (differenttemperature)	23	1.4	10233 ± 347	568

- ⑤ 실험군에서 6일간 생육한 보리의 생산량은 평균 11,094g으로 모든 검증실험 중에 가

장 높은 값을 보였으며, 이를 통해 분석을 통해 도출한 최적조건이 실제로도 가장 높은 생산량을 보이는 것을 검증할 수 있었음

(나) 검증 실험 보리의 성분분석

- ① 보리 생산량은 최적 조건일 때 최대인 것을 확인하였으며, 이때 품질의 유지 여부를 확인하기 위해 조사료 재배장치에서 재배한 보리의 성분분석을 진행하였음
- ② 성분분석은 각 trial 별 3개의 sample에 대해 싹 부분과 뿌리부분으로 나누어 수분, 조단백질, 조지방, 조섬유, 무기질(칼슘, 철분, 칼륨, 나트륨, 인), 유리아미노산의 함량을 측정함
- ③ 수분은 g과 %, 조지방, 조단백, 조섬유는 %, 무기질은 ppm, 아미노산은 umole/g을 기준으로 결과를 정리함(표 30)

표 30. 축산조사료용 보리 싹과 뿌리의 성분함량

Trial	부위	수분		조단백	조지방	조섬유	미네랄(ppm)					아미노산
		g	%	%	%	%	Ca	Fe	K	Na	P	umole/g
Trial 1	뿌리 1-1	2.08	86.95	1.67	0.50	1.89	16.78	1.12	64.36	7.61	89.08	202.13
	뿌리 1-2	2.05	84.32	1.62	0.51	1.82	15.71	0.99	67.36	8.72	85.20	205.22
	뿌리 2-1	2.01	86.86	1.94	0.62	2.07	15.16	1.05	76.78	5.14	88.82	188.55
	뿌리 2-2	2.03	87.09	1.90	0.61	2.04	16.76	1.19	99.82	8.56	115.84	173.73
	뿌리 3-1	2.04	81.27	1.63	0.52	1.80	14.59	1.71	99.76	6.48	108.08	131.83
	뿌리 3-2	2.00	85.95	1.63	0.52	1.76	13.72	1.27	98.80	5.23	99.60	184.80
	싹 1-1	2.01	92.14	2.37	0.14	1.87	13.68	0.87	166.12	7.15	105.30	309.32
	싹 1-2	2.02	91.98	2.33	0.14	1.87	13.62	0.82	150.00	5.78	100.96	234.65
	싹 2-1	2.04	91.8	2.48	0.12	1.82	10.86	0.94	164.00	5.65	103.32	105.33
	싹 2-2	2.06	91.5	2.43	0.12	1.75	9.89	1.17	163.96	4.54	103.02	132.41
	싹 3-1	2.03	91.21	2.38	0.17	1.65	10.04	0.97	143.06	4.39	99.26	86.72
	싹 3-2	2.03	90.83	2.40	0.18	1.60	13.59	1.12	155.78	6.08	109.38	233.88
	뿌리 1-1	2.07	83.78	2.34	0.57	2.09	16.25	1.65	85.68	7.87	109.28	207.59
	뿌리 1-2	2.03	84.88	2.37	0.58	1.96	14.33	1.41	81.36	6.85	111.18	98.78
	뿌리 2-1	2.07	87.18	1.70	0.51	2.12	9.61	0.53	55.50	7.37	54.74	211.44
뿌리 2-2	2.01	88.12	1.74	0.50	2.00	12.48	3.05	60.56	7.14	67.06	226.30	
Trial 2	뿌리 3-1	2.09	87.27	1.67	0.62	2.13	14.41	1.37	64.14	5.72	85.20	122.98
	뿌리 3-2	2.07	88.62	1.70	0.61	2.13	11.44	1.02	51.38	5.18	65.26	169.73
	싹 1-1	2.02	92.26	2.31	0.16	1.58	9.70	0.57	170.90	5.82	87.00	211.94
	싹 1-2	2.00	92.66	2.30	0.16	1.57	12.24	0.98	199.26	6.25	103.04	90.78
	싹 2-1	2.05	93.49	2.38	0.14	1.59	15.65	0.93	125.86	6.50	92.68	331.22
	싹	2.02	93.62	2.41	0.15	1.61	17.00	1.10	137.44	6.63	103.22	204.65

Trial 3	2-2												
	3-1	2.03	92.85	2.29	0.17	1.69	13.84	1.70	137.10	4.88	95.50	218.56	
	3-2	2.07	93.18	2.30	0.17	1.62	13.70	2.08	136.84	4.46	95.12	157.54	
	부리 1-1	2.01	87.83	1.54	0.64	1.82	15.34	1.99	87.92	6.78	104.48	241.89	
	부리 1-2	2.06	87.46	1.56	0.66	1.91	16.84	1.73	81.86	8.23	95.72	251.94	
	부리 2-1	2.00	86.86	1.45	0.53	2.31	14.41	1.55	52.80	6.11	62.58	204.63	
	부리 2-2	2.03	88.1	1.49	0.53	2.27	14.25	1.60	54.38	5.66	62.84	194.77	
	부리 3-1	2.05	86.64	1.71	0.52	2.18	14.00	1.54	133.22	5.98	98.26	216.64	
	부리 3-2	2.05	86.74	1.69	0.54	2.30	14.95	2.79	64.30	7.83	70.78	207.45	
	1-1	2.04	92.43	2.71	0.20	2.54	19.19	1.40	144.32	5.30	105.30	114.60	
	1-2	2.07	92.49	2.74	0.19	2.40	18.58	1.21	130.46	5.24	103.14	235.69	
	2-1	2.03	92.64	2.73	0.14	2.27	19.65	1.26	124.54	6.30	102.54	188.10	
	2-2	2.04	92.67	2.74	0.16	2.30	16.35	0.94	103.86	4.57	81.08	251.49	
	3-1	2.04	92.49	2.64	0.21	2.23	18.33	1.93	63.14	5.51	66.90	260.76	
	3-2	2.09	92.56	2.61	0.22	2.24	19.92	2.27	138.02	5.54	109.24	269.06	
	Trial 4	부리 1-1	2.01	88.1	2.35	0.60	2.34	17.48	1.36	91.04	5.99	100.08	353.39
		부리 1-2	2.08	86.98	2.36	0.60	2.67	18.63	1.81	103.44	6.58	109.88	352.72
		부리 2-1	2.05	82.97	2.30	0.65	2.61	15.02	1.00	87.84	5.75	96.48	371.86
부리 2-2		2.08	84.06	2.33	0.66	2.57	16.79	2.51	100.50	5.60	115.30	355.61	
부리 3-1		2.06	83.17	1.98	0.60	2.09	20.35	1.92	87.72	8.12	110.90	281.41	
부리 3-2		2.01	84.64	2.04	0.62	2.21	18.62	1.70	76.72	6.71	97.76	400.07	
1-1		2.05	92.78	2.76	0.20	1.77	14.40	1.21	161.72	5.38	100.22	206.51	
1-2		2.02	93.31	2.72	0.19	1.72	15.36	0.96	157.94	5.32	99.88	217.15	
2-1		2.07	92.32	2.64	0.19	1.70	13.41	1.18	149.44	5.24	106.98	257.97	
2-2		2.05	92.22	2.69	0.18	1.74	14.83	1.13	150.04	4.83	106.00	304.47	
3-1		2.02	92.43	2.52	0.11	1.78	10.90	0.89	138.70	4.19	87.38	188.59	
3-2		2.04	92.28	2.51	0.12	1.66	16.93	1.05	144.44	5.30	96.24	188.68	

(다) 생육조건에 따른 보리의 부위 별 성분함량 다변량분산분석

○ 사용된 보리가 생육조건에 따라 영양성분이 통계적으로 유의한 차이가 있는지에 대해 통계 분석을 수행

① 재료 및 방법

㉠ 통계분석용 dataset 구성

- 4개의 실험 trial 내 싹과 뿌리 각각 3개의 sample을 독립변수로, 그에 따른 성분들 종속변수로 선정함

- 수분, 조단백질, 조지방, 조섬유, 무기질, 아미노산
- ㉞ 다변량분산분석 (MANOVA, Multivariate Analysis of variance)
 - 종속변수의 수가 2개 이상일 경우에 이용되는 분산분석 방법으로 ANOVA를 확장한 개념으로 다변량분산분석을 수행할 수 있음
 - 본 연구에서는 4개 집단으로 구분되는 하나의 독립변수(trial)에 대한 다수의 보리 영양성분(종속변수)이 평균치 차이를 분석하고자 사용함

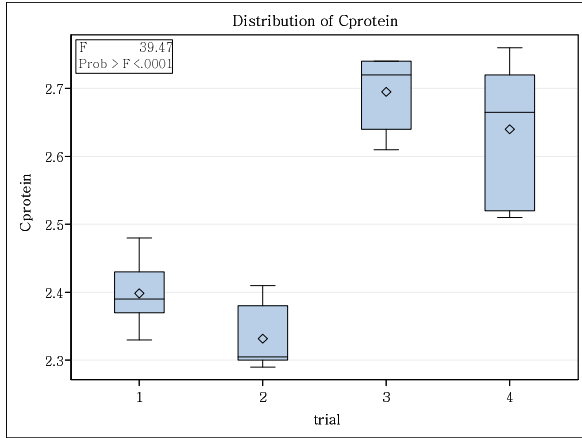
② 다변량분산분석 결과

- ㉞ 실험 그룹별 성분 함량 차에 대한 통계적 유의성 여부는 성분마다 차이가 있음(표 31)
 - 대체적으로 싹과 뿌리에서 동시에 유의적 차이가 발생함
 - 조단백, 조섬유, 일부 무기질(칼슘, 칼륨) 함량은 생육조건에 따른 유의적 차이가 발생
 - 수분, 조지방, 대부분 무기질(철분, 나트륨, 인)은 생육조건에 따른 유의적 차이가 없음
 - 아미노산의 경우 싹 부분은 차이가 없지만 뿌리부분은 통계적 차이가 발생하였음

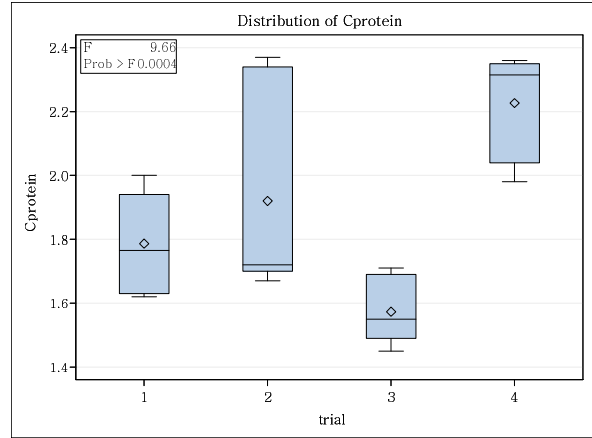
표 31. 다변량분산분석을 통한 생육조건에 따른 보리 성분함량의 통계적 차이 유무

	수분	조단백	조지방	조섬유	Ca	Fe	K	Na	P	Amino
싹	X	0	X	0	0	X	0	X	X	X
뿌리	X	0	X	0	0	X	X	X	X	0

- ㉞ 위의 통계적 차이 유무를 바탕으로 차이가 발생한 성분에 대하여 싹과 뿌리의 분석결과를 비교하였음
- 조단백질(그림 18)
 - 앞에서는 함량이 가장 낮은 trial 2가 뿌리에서는 함량이 가장 높게 나타남.
 - Trial 4의 경우 뿌리와 싹 모두에서 높게 나타남
 - 뿌리와 싹을 동시에 고려하면 trial 4를 제외한 1,2,3은 비슷해질 것으로 보임



Leaf

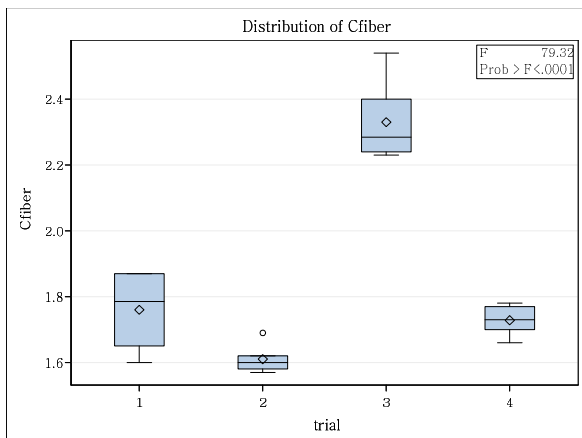


Root

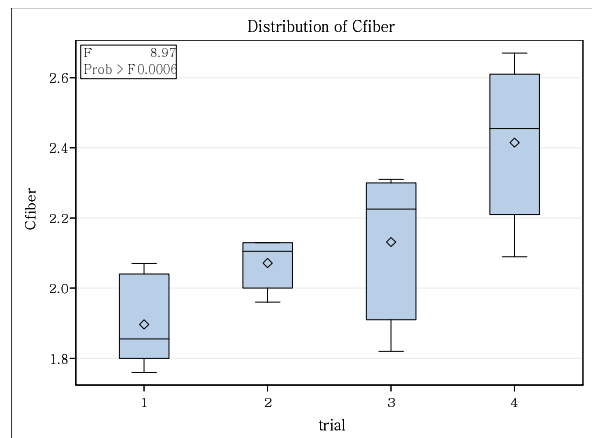
그림 50. 싹과 보리의 조단백질 성분 함량비교

○ 조섬유(그림 19)

- 뿌리에서 함량이 가장 높은 trial 4가 잎에서는 함량이 낮게 나타남
- Trial 3,4는 잎보다는 뿌리에서 값의 편차가 크게 나타남



Leaf

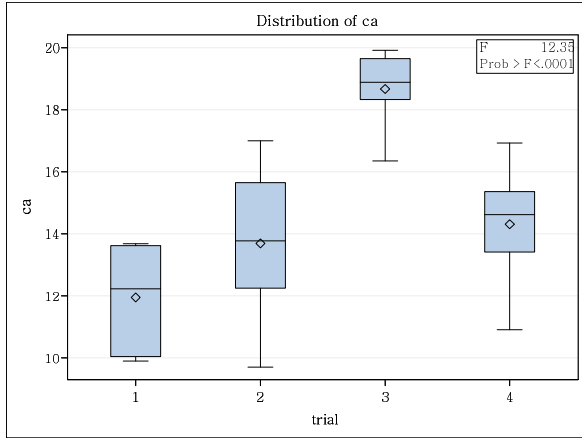


Root

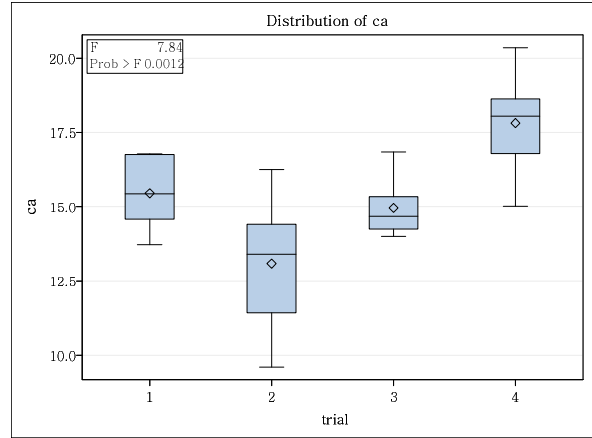
그림 51. 싹과 보리의 조섬유 성분 함량비교

○ 무기질- 칼슘(그림 20)

- trial 별로 차가 뚜렷하게 나타나지만, 각각의 오차범위가 매우 크게 나타났음
- 뿌리의 경우 15ppm을 기준으로 모든 trial의 값이 걸쳐있음



Leaf

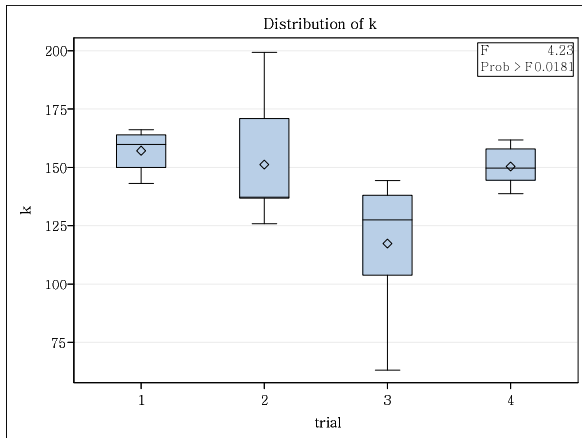


Root

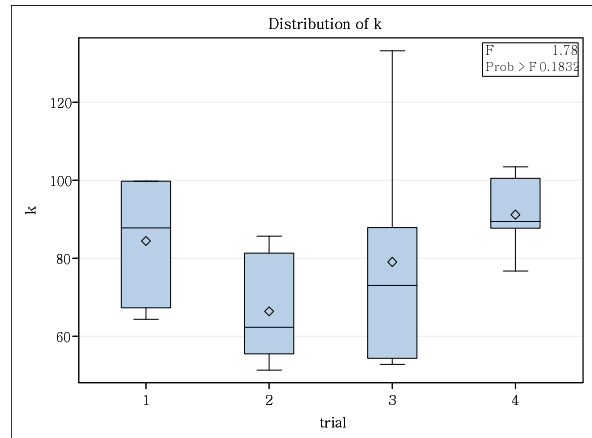
그림 52. 싹과 보리의 칼슘 성분 함량비교

○ 무기질- 칼륨(그림 21)

- 싹의 경우 trial 3의 최소값(63.14)를 제거하면 유의한 차이가 없어짐($p=0.0655$)
- 반대로, 뿌리의 경우 trial 3의 최대값(133.22)를 제거하면 유의한 차이가 발생($p=0.0196$)
- 다른 무기질들과 달리 뿌리와 싹의 함량 차이가 두드러짐



Leaf



Root

그림 53. 싹과 보리의 칼륨 성분 함량비교

○ 아미노산(그림 22)

- 잎에서는 trial에 따라 유의한 차이가 발생하지 않음
- 뿌리에서 trial 4가 유달리 높은 값을 가짐

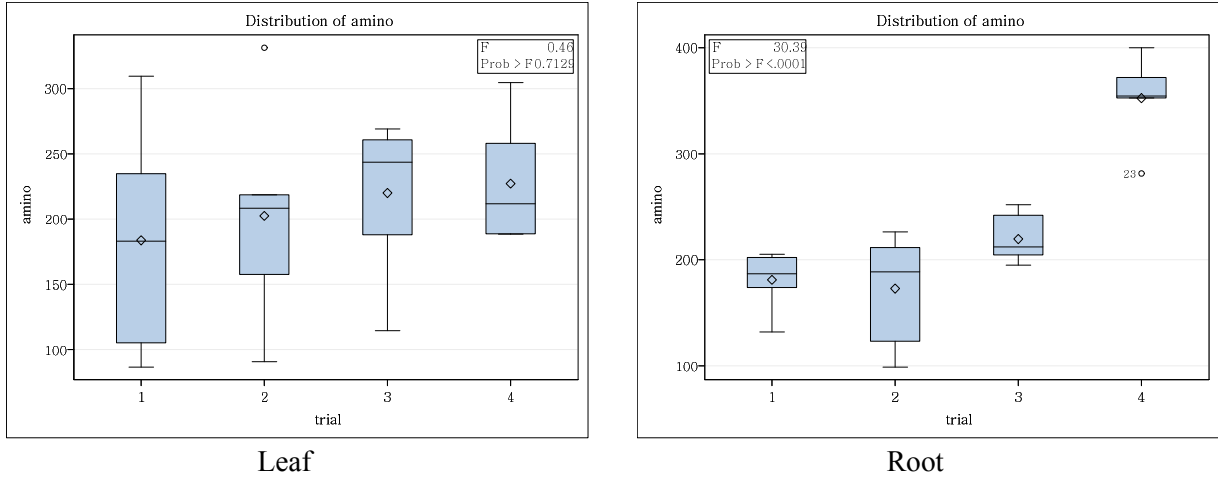


그림 54. 싹과 보리의 아미노산 성분 함량비교

③ 다변량분산분석 결론

㉠ 분석결과 성분마다 통계적 유의성 차이는 다르게 나타났음

- 조단백, 조섬유, 일부 무기질(칼슘, 칼륨) 함량은 생육조건에 따른 유의적 차이가 발생
- 수분, 조지방, 대부분 무기질(철분, 나트륨, 인)은 생육조건에 따른 유의적 차이가 없음

㉡ 대체적으로 싹과 뿌리에서 동시에 유의적 차이가 발생하였으며 함량에 있어서 상호보완적인 차이를 보였음

- 예외적으로 trial 4의 경우, 대체적으로 높은 값들을 가지며 특히 아미노산 함량이 매우 높음
- 뿌리와 싹을 동시에 고려하면 차이가 발생하지 않을 것으로 보이는 성분이 있음

㉢ 따라서 성분 함량의 통계적 유의한 차이 유무에 대해 확정적으로 구별하기 위하여 뿌리와 싹의 성분을 동시에 고려한 분석을 추가적으로 진행해야 할 것으로 보임

- 통계적으로 유의한 차이가 발생한다면 사후검정을 통해 그 수준을 파악하는 것이 필요

(라) 생육조건에 따른 보리 전체의 성분함량 다변량분산분석 및 사후검정

① 개요

㉠ 뿌리와 싹 부분으로 나누어 각각에 대해 trial 에 따른 통계적 유의성을 알아본 결과, 성분마다 통계적 유의성 차이는 다르게 나타났음

㉡ 대체적으로 싹과 뿌리에서 동시에 유의적 차이가 나타났으며 그 함량에 있어서 상호보완적인 차이를 보이는 성분들이 많았음

㉢ 따라서 보리 전체의 성분함량에 대해 Trial 별 통계적 차이를 구별하기 위하여 뿌리와 싹의 성분을 동시에 고려하여 분산분석 및 그에 사후검정을 수행함

② 재료 및 방법

㉠ 통계분석용 dataset 구성

- 4개의 실험 trial에서 sample별 싹과 뿌리의 평균값을 구해 새로운 dataset을 구성함

㉡ 다변량분산분석 (MANOVA, Multivariate Analysis of variance)

- 본 연구에서는 4개 집단으로 구분되는 하나의 독립변수(trial)에 대한 다수의 보리 영양성분(종속변수)이 평균치 차이를 분석하고자 사용함

㉢ 사후검정(Post-Hoc test)

- 분산분석은 엄밀히 말해 분산의 차이를 통해 검정하는 것이지만 평균 차이 자체를 검증하는 것은 아니므로, 각 집단 간 평균의 차이를 확인하기 위하여 사후검정을 실시
- 사후검정은 scheffe, tukey, duncan, dunnett, newman-keuls 검정법 등 다양함
- 사회과학 분야에서는 scheffe, 자연과학에서는 tukey 방법을 가장 많이 사용하며, tukey 방법이 가장 보수적인(귀무가설을 기각할 가능성이 낮은) 방법임
- Tukey W procedure: studentized range distribution
 - $W = \max(y) - \min(y)$ 이용하여 $q = w/s$ 표를 작성
 - 가장 보수적인 방법으로 자연과학계열에서 가장 많이 사용 됨
- Duncan multiple range test
 - Tukey와 매우 유사하나 수준별 표본 평균을 크기순으로 나열하여 차이가 가장 큰 것을 비교해 가면서 유의수준을 조정하여 검증(r은 검정 단계 순서)
 - 귀무가설을 기각할 확률이 매우 높음
 - 표본 간의 평균에 따라 A, B, C 등으로 grouping하며 이때 기준은 유의수준 및 표준오차, SSR, LSR에 의해 산출된 임계치 (critical value)에 의해 분류 됨
- Dunnett's procedure
 - 처리 효과의 수준 하나가 control(실험집단)인 경우 이 집단과 다른 집단들을 쌍으로 비교할 경우 사용

③ 통계분석 결과

- 다변량분산분석 및 3종류의 사후검정에 따라 성분의 유의적 차이는 약간의 차이가 있음 (표 32)

표 32. 다변량분산분석(MANOVA) 및 사후검정(던컨, 투키, 던넛) 방법에 따른 통계적 유의성 여부

Label (unit)	MANOVA	DUNCAN	TUKEY	DUNNETT
Water (g)	X	X	X	X
Water (%)	X	0	X	X
Crude protein (%)	0	0	0	0
Crude fat (%)	X	0	X	0
Crude fiber (%)	0	0	0	0
Mineral- Ca (ppm)	0	0	0	0
Mineral- Fe (ppm)	X	0	0	0
Mineral- K (ppm)	0	0	0	0
Mineral- Na (ppm)	X	X	X	X
Mineral- P (ppm)	0	0	X	X
Amino (μmole/g)	0	0	0	0

④ 보리전체 성분함량에 대한 다변량분산분석 결과

- 싹과 뿌리의 평균치는 다음과 같으며, 성분에 따라 통계적 유의성 여부는 차이가 있음 (표 33)
- 조단백, 조섬유, 일부 무기질(칼슘, 칼륨, 인) 함량은 생육조건에 따라 유의한 차이가 발생
- 수분, 조지방, 일부 무기질(철분, 나트륨)은 생육조건에 따라 유의한 차이가 없음

표 33. Mean scores and standard deviations (SD) of barley ingredients in four trials on different growth conditions.

Label (unit)	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4
Water (g)	2.03 ± 0.01	2.04 ± 0.02	2.04 ± 0.02	2.04 ± 0.02
Water (%)	88.49 ± 1.24	89.83 ± 1.18	89.91 ± 0.31	88.77 ± 1.21
Crude protein (%) ^a	2.07 ± 0.10	2.13 ± 0.16	2.13 ± 0.03	2.43 ± 0.14
Crude fat (%)	0.35 ± 0.02	0.36 ± 0.03	0.38 ± 0.04	0.39 ± 0.03
Crude fiber (%) ^a	1.83 ± 0.10	1.84 ± 0.05	2.23 ± 0.06	2.07 ± 0.12
Mineral- Ca (ppm) ^a	13.70 ± 1.08	13.39 ± 0.87	16.82 ± 0.91	16.06 ± 1.22
Mineral- Fe (ppm)	1.10 ± 0.16	1.37 ± 0.46	1.68 ± 0.45	1.39 ± 0.24
Mineral- K (ppm) ^a	120.82 ± 8.29	108.84 ± 20.40	98.24 ± 13.02	120.80 ± 7.95
Mineral- Na (ppm)	6.28 ± 0.91	6.22 ± 0.92	6.09 ± 0.61	5.75 ± 0.35
Mineral- P (ppm) ^a	100.66 ± 6.18	89.11 ± 12.16	88.57 ± 12.12	102.26 ± 4.89
Amino (μmole/g) ^a	182.38 ± 54.73	187.63 ± 59.58	219.75 ± 26.69	289.87 ± 32.85

^aLabels followed by a letter were found to be significantly different at the 95% confidence level by Multivariate analysis of variance (MANOVA).

⑤ 보리전체 성분함량에 대한 던컨 다중 비교검정

- 싹과 뿌리의 평균치는 다음과 같으며, 성분에 따라 통계적 유의성 여부는 차이가 있음 (표 34)

- 수분(g)과 일부 무기질(나트륨)은 생육조건에 따라 유의한 차이가 없음
- 수분(%), 조단백, 조섬유, 대부분 무기질(칼슘, 철분, 칼륨, 인), 아미노산 함량은 생육 조건에 따라 2~3 그룹으로 묶을 수 있음

표 34. Mean scores and standard deviations (SD) of barley ingredients in four trials on different growth conditions.

Label (unit)	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4
Water (g)	2.03 ± 0.01	2.04 ± 0.02	2.04 ± 0.02	2.04 ± 0.02
Water (%)*	88.49 ± 1.24 ^b	89.83 ± 1.18 ^{ab}	89.91 ± 0.31 ^a	88.77 ± 1.21 ^{ab}
Crude protein (%)*	2.07 ± 0.10 ^b	2.13 ± 0.16 ^b	2.13 ± 0.03 ^b	2.43 ± 0.14 ^a
Crude fat (%)*	0.35 ± 0.02 ^b	0.36 ± 0.03 ^{ab}	0.38 ± 0.04 ^{ab}	0.39 ± 0.03 ^a
Crude fiber (%)*	1.83 ± 0.10 ^c	1.84 ± 0.05 ^c	2.23 ± 0.06 ^a	2.07 ± 0.12 ^b
Mineral- Ca (ppm)*	13.70 ± 1.08 ^b	13.39 ± 0.87 ^b	16.82 ± 0.91 ^a	16.06 ± 1.22 ^a
Mineral- Fe (ppm)*	1.10 ± 0.16 ^b	1.37 ± 0.46 ^{ab}	1.68 ± 0.45 ^a	1.39 ± 0.24 ^{ab}
Mineral- K (ppm)*	120.82 ± 8.29 ^a	108.84 ± 20.40 ^{ab}	98.24 ± 13.02 ^b	120.80 ± 7.95 ^a
Mineral- Na (ppm)	6.28 ± 0.91	6.22 ± 0.92	6.09 ± 0.61	5.75 ± 0.35
Mineral- P (ppm)*	100.66 ± 6.18 ^a	89.11 ± 12.16 ^b	88.57 ± 12.12 ^b	102.26 ± 4.89 ^a
Amino (µmole/g)*	182.38 ± 54.73 ^b	187.63 ± 59.58 ^b	219.75 ± 26.69 ^b	289.87 ± 32.85 ^a

*Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

⑥ 보리전체 성분함량에 대한 튜키 다중 비교검정

- 싹과 뿌리의 평균치는 다음과 같으며, 성분에 따라 통계적 유의성 여부는 차이가 있음 (표 35)
- 수분(g), 수분(%), 조지방, 일부 무기질(나트륨, 인)은 생육조건에 따라 유의한 차이가 없음
- 조단백, 조섬유, 일부 무기질(칼슘, 철분, 칼륨), 아미노산 함량은 생육조건에 따라 trial 끼리 서로 유의한 차이가 있음

표 35. Mean scores and standard deviations (SD) of barley ingredients in four trials on different growth conditions.

Label (unit)	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4
Water (g)	2.03 ± 0.01	2.04 ± 0.02	2.04 ± 0.02	2.04 ± 0.02
Water (%)*	88.49 ± 1.24	89.83 ± 1.18	89.91 ± 0.31	88.77 ± 1.21
Crude protein (%)*	2.07 ± 0.10 ^a	2.13 ± 0.16 ^a	2.13 ± 0.03 ^a	2.43 ± 0.14 ^b
Crude fat (%)	0.35 ± 0.02	0.36 ± 0.03	0.38 ± 0.04	0.39 ± 0.03
Crude fiber (%)*	1.83 ± 0.10 ^a	1.84 ± 0.05 ^a	2.23 ± 0.06 ^b	2.07 ± 0.12 ^b
Mineral- Ca (ppm)*	13.70 ± 1.08 ^a	13.39 ± 0.87 ^a	16.82 ± 0.91 ^b	16.06 ± 1.22 ^b
Mineral- Fe (ppm)*	1.10 ± 0.16 ^a	1.37 ± 0.46 ^{ab}	1.68 ± 0.45 ^b	1.39 ± 0.24 ^{ab}
	120.82 ± 8.29 ^a	108.84 ± 20.40 ^{ab}	98.24 ± 13.02 ^b	120.80 ± 7.95 ^a

Mineral- K (ppm)*	6.28 ± 0.91	6.22 ± 0.92	6.09 ± 0.61	5.75 ± 0.35
Mineral- Na (ppm)	100.66 ± 6.18 ^a	89.11 ± 12.16 ^b	88.57 ± 12.12 ^b	102.26 ± 4.89 ^a
Mineral- P (ppm)				
Amino (μmole/g)*	182.38 ± 54.73 ^a	187.63 ± 59.58 ^a	219.75 ± 26.69 ^a	289.87 ± 32.85 ^b

*Means indicated by the same letters in a line do not significantly different at 5% level using Tukey's multiple range test.

⑦ 보리전체 성분함량에 대한 던넛 다중 비교검정

- 싹과 뿌리의 평균치는 다음과 같으며, 성분에 따라 Trial 1과의 통계적 유의성에는 차이가 있음(표 36)
- 수분(g), 수분(%), 일부 무기질(나트륨, 인)은 Trial 1과 다른 Trial들은 유의한 차이가 없음
- 조단백, 조섬유, 일부 무기질(칼슘, 철분, 칼륨), 아미노산 함량은 일부 Trial이 trial 1 과 유의한 차이가 있음

표 33. Mean scores and standard deviations (SD) of barley ingredients in four trials on different growth conditions

Label (unit)	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4
Water (g)	2.03 ± 0.01	2.04 ± 0.02	2.04 ± 0.02	2.04 ± 0.02
Water (%)*	88.49 ± 1.24	89.83 ± 1.18	89.91 ± 0.31	88.77 ± 1.21
Crude protein (%)*	2.07 ± 0.10	2.13 ± 0.16	2.13 ± 0.03	2.43 ± 0.14 ^a
Crude fat (%)	0.35 ± 0.02	0.36 ± 0.03	0.38 ± 0.04	0.39 ± 0.03 ^a
Crude fiber (%)*	1.83 ± 0.10	1.84 ± 0.05	2.23 ± 0.06	2.07 ± 0.12 ^a
Mineral- Ca (ppm)*	13.70 ± 1.08	13.39 ± 0.87	16.82 ± 0.91 ^a	16.06 ± 1.22 ^a
Mineral- Fe (ppm)*	1.10 ± 0.16	1.37 ± 0.46	1.68 ± 0.45 ^a	1.39 ± 0.24
Mineral- K (ppm)*	120.82 ± 8.29	108.84 ± 20.40	98.24 ± 13.02 ^a	120.80 ± 7.95
Mineral- Na (ppm)	6.28 ± 0.91	6.22 ± 0.92	6.09 ± 0.61	5.75 ± 0.35
Mineral- P (ppm)	100.66 ± 6.18	89.11 ± 12.16	88.57 ± 12.12	102.26 ± 4.89
Amino (μmole/g)*	182.38 ± 54.73	187.63 ± 59.58	219.75 ± 26.69	289.87 ± 32.85 ^a

*Default control group is the Trial 1. Means within a column followed by the same letter are significantly different from the Trial 1 at the 5% level by Dunnett's test.

⑧ 보리전체의 성분 함량 분산분석 및 사후검정 결론

- ㉑ 본 분석에서는 서로 다른 조건에서 생육된 미국산 겉보리가 성분적으로 차이가 있는지 확인하기 위해 통계적 유의성을 검정하였음
 - 최적조건을 treatment group으로 두고 다른 생육환경을 상정한 3개의 control group (높은 습도, 낮은 온도, 높은 온도)를 포함, 총 4 trial로 구성
- ㉒ 집단 간 평균차이를 검정하기 위해 뿌리와 싹의 평균값을 대상으로 다변량분산분석을 수행하였음
 - 분석을 위한 database는 종속변수(성분) 하나당 24개이며, trial 별로 6개로 구성되었음
- ㉓ 통계적으로 유의한 차이의 정도를 확인하기 위해 3가지 종류의 사후검정을 함께

실시함

- DUNCAN, TUKEY, DUNNETT 등을 사용하였으며, 각각 평균 크기에 따른 grouping, group 각각에 대한 유의성 및 차이 비교, 하나의 control group을 기준으로 비교를 수행함
- ㉠ 분석결과 성분마다 통계적 유의성 차이는 다르게 나타났음
 - 공통적으로 조단백, 조섬유, 일부 무기질(칼슘, 칼륨) 함량은 생육조건에 따른 유의적 차이가 발생
 - 수분, 조지방, 대부분 무기질(철분, 나트륨, 인)은 생육조건에 따른 유의적 차이가 있으며 세부적인 사항은 사후검정 방법에 따라 약간의 차이가 있음
- ㉡ 전반적으로 습도를 변경한 조건 (trial 2)보다 온도를 변경한 조건(Trial 2,3)의 성분 들에서 유의적 차이가 많이 발생하였음
 - 아미노산 함량에서 큰 차이가 있음
- ㉢ 생산량이 최대가 되는 조건인 Trial 1을 기준으로, 특정 성분을 제외하고는 통계적으로 유의한 차이가 나더라도 그 차이가 20%를 초과하지 않음
 - trial 1의 해당 성분 값 대비 Trial 3의 철분(35%), Trial 4의 철분(21%), 아미노산(37%) 이 20% 이상의 값을 보임.
- ㉣ 따라서 생산량을 대략적으로 고려한다면 보리에 포함된 전체적 성분의 양은 Trial 2와 3가 다소 떨어지고 Trial 1과 Trial 4가 비슷할 것으로 판단됨

다. 연구 결과 요약

(1) 환경 분석 및 요인을 구명하기 위한 통계학적 방법 조사 수행 및 통계 방법 선택

- 데이터 분석에 주로 쓰이는 통계 방법에 대한 이론적 탐색 수행 및 이를 바탕으로 조사료 재배 장치 환경 최적화에 회귀분석 및 반응표면분석법을 활용하였으며, 검증실험 및 성분분석 데이터의 분석에 다변량분산분석 및 다중비교를 활용하였음

(2) 재배 공정의 환경 분석 및 다양한 환경조건 요인 분석 및 주요 환경요인 구명

- (가) 국내 조사료 및 생육환경 관련 선행연구 조사를 통해서 주요 환경 인자인 조도, 온도 및 습도의 조사료 재배에 대한 영향 정도를 탐색하였음
- (나) 실제 축산조사료 재배 시스템에서 조절 가능한 인자인 온도와 습도를 주요 환경인자로 선정하여 향후 연구를 수행함

(3) 환경 요인 기반 조사료 재배를 예측 모델 개발

- (가) 반응표면분석법에 활용 가능한 3가지의 실험 설계법을 이용하여 5가지의 실험 시나리오를 구축하였으며, 이 중에서 실제 시스템의 운영 여건을 고려하여 CCD를 이용한 13 trial 실험을 선정함
- (나) 선정된 실험 설계를 실제 시스템에 적용하여 온도 및 습도 변화에 따른 조사료 생산량 실험을 수행하고 데이터를 획득함
- (다) 획득한 데이터를 데이터 전처리를 통하여 이상치를 제거하고 반응표면분석법의 수행에 적합한 데이터로 전환함

(라) 회귀분석과 반응표면분석법을 활용하여 축산 조사료 재배 장치의 온도 및 습도에 따른 생산량 변화 예측 모델을 개발함

(4) 조사료 재배 최적 환경 구명 및 신선 조사료 재배 장치의 최적 환경 조건 기준 제시

○ 모델 시뮬레이션을 통해서 생산량을 최대화 할 수 있는 조사료 재배 장치의 최적 온도 및 습도 조건 기준을 제시함(분석 결과 조사료 생육시스템으로 재배하는 겉보리는 19~20℃의 온도 및 1.25~1.4 L/h의 분무 조건(해당 상대습도 약 53~63%)에서 생산량이 최대가 될 것으로 보임)

(5) 주관기관과의 협업으로 현장시험을 통한 최적화 검증

(가) 모델링을 통해 도출된 조사료 생산량의 최대화를 위한 최적 생육조건이 실제 상황에서 적용되는지 확인하기 위한 검증실험을 수행하였으며, 최적조건과 온도와 습도를 조정 한 다른 3가지 조건을 비교하여 최적조건에서 가장 높은 생산량을 보이는 것을 확인함

(나) 조건에 따른 조사료의 품질변화를 확인하기 위하여 성분 분석(수분, 조단백, 조섬유, 무기질 및 아미노산)을 실시하였으며, 성분별로 온도 조건에 따른 차이가 발생함을 알 수 있었으나, 차이는 20% 이내로 생산량의 최대화에 비해서 품질변화의 폭이 크지 않았다고 판단함

제 4 절 종합연구결과

1. 연구개발 추진 일정

연구개발 추진 일정															
NO	연구내용	1차년(2015~2016)						2차년(2017~2017)						책임자 (소속기관)	
		12-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11		
1	통계학적 방법 조사 수행 및 통계 방법 선택	■	■												이왕희(충남대)
2	신선조사료 재배장치 설계 및 부품 개발		■	■	■				■	■					유일(보람이앤지)
3	시제품 성능시험 및 수정 보완						■	■				■	■		유일(보람이앤지)
4	환경조건 요인 분석 및 주요 환경요인 구명		■	■	■										이왕희(충남대)
5	성능평가 및 분석							■					■		유일(보람이앤지) 이왕희(충남대)
6	실험설계 및 실험데이터 획득						■	■	■	■	■				유일(보람이앤지) 이왕희(충남대)
7	생산량 예측 모델 개발										■	■	■		이왕희(충남대)
8	조사료 재배 최적 환경 구명											■	■		이왕희(충남대)
9	최적화 기준 검증												■	■	유일(보람이앤지) 이왕희(충남대)
10	성분 분석 및 비교												■		유일(보람이앤지) 이왕희(충남대)

2. 연구개발 성과

가. 논문성과

○ 논문 성과: 2편의 논문을 비SCI와 SCI에 게재하였으며, 1편의 논문을 SCI에 투고하여 현재 심사 중임

(1) (비SCI) Kim et al. (2016) A novel approach in analyzing agriculture and food systems:

Review of modeling and its applications. Korean Journal of Agricultural Science 43(2): 163~175

- 조사료 재배 장치 환경 분석 및 최적화에 에 필요한 모델링 기반 기술의 이론적 탐색 및 고찰을 수행하여 향후 관련 기술의 활용성을 높일 수 있도록 함

(2) (SCI) Byeon et al. (2017) Prediction of global geographic distribution of *Metcalfa pruinosa* using CLIMEX. Entomological Research (online published at 2017.09) doi:10.1111/1748-5967.12253

- 조사료의 생육에 피해를 끼칠 수 있는 해충의 기후변화대응 확산 및 분포를 연구하였으며, 이를 통해서 온도에 따른 해충에 의한 조사료 생산량의 피해 조사에 활용할 수 있는 기초자료를 제시함

(3) (SCI) Kim et al. (2017) Optimization of growth conditions controlled in Fresh forage growing system. Biosystems Engineering (submitted)

- 조사료생육시스템에서 재배되는 새싹보리의 생산량을 최대화하기 위한 최적 생육조건을 반응표면분석법을 활용하여 온도 및 습도에 따른 생산량 변화 모델을 개발함여 탐색 및 규명함

나. 특허성과 : 출원 2건

(1) 출원-1

(가) 발명의 명칭 : 조사료 재배기의 콘트롤방법 및 내부 프로그램 제어방법

(나) 출원연도 : 2018. 01. 15.

(다) 출원인 명칭 : (주)보람이앤지

(라) 출원국 : 대한민국

(마) 출원번호 : 10-2018-0004897

(2) 출원-2

(가) 발명의 명칭 : 축산 신선조사료 분무수경 재배장치

(나) 출원연도 : 2018. 01. 18.

(다) 출원인 명칭 : (주)보람이앤지

(라) 출원국 : 대한민국

(마) 출원번호 : 10-2018-0006468

다. 사업화(제품화)성과 : 기술실시(1건), 제품화(1건)

(1) 기술실시

(2) 제품화

라. 학술발표 : 8건

(1) 발표제목 : Change in Quality Parameters of Tomatoes

(가) 발표일 : 2016. 08. 19.

(나) 학술회의명 : 2016 한국식품과학회 국제심포지움 및 정기학술대회

(다) 발표자 : 이왕희

(라) 개최장소 : 대구 / 대한민국

(마) 발표내용 : In this study, we are to provide basic data by reviewing changes of various quality indices of tomato under the storage conditions, and to introduce predictive models of tomato quality as a function of quality indices.

(2) 발표제목 : Comparison of predictive geographical distributions of invasive species in response to different climate change scenarios

(가) 발표일 : 2016. 10. 14.

(나) 학술회의명 : 2016 한국생물공학회 춘계학술대회발표 및 국제심포지움

(다) 발표자 : 이왕희

(라) 개최장소 : 광주 / 대한민국

(마) 발표내용 : In this study, we were to compare predictions of the notorious invasive species (yellow crazy ant) resulted from 3 different climate change scenarios. Three climate change scenarios used in this study were SRES (Special Report on Emissions Scenarios) A1 (standard CO₂: 720 ppm) and A2 (standard CO₂: 830 ppm), and Representative Concentration Pathways (RCP) 8.5 scenario (standard CO₂: 940 ppm).

(3) 발표제목 : Procedure for developing metabolic network model in metabolic reconstruction: a review

(가) 발표일 : 2017. 04. 06.

(나) 학술회의명 : 2017 한국생물공학회 춘계학술대회 및 국제심포지움

(다) 발표자 : 이왕희, 김도균

(라) 개최장소 : 경주 / 대한민국

(마) 발표내용 : Network 및 통계 기반의 모델링 기법의 전체적인 리뷰

(4) 발표제목 : Response Surface Design for Optimizing Growth Conditions for Fresh Forage Growing System

(가) 발표일 : 2017. 04. 21.

(나) 학술회의명 : 2017년 한국산업식품공학회 춘계학술대회

(다) 발표자 : 이왕희, 김도균

(라) 개최장소 : 서울 / 대한민국

(마) 발표내용 : 반응표면분석법을 이용한 조사료 재배 시스템의 생육 조건 최적화 실험 설계

(5) 발표제목 : Metabolic Network Reconstruction of Milk Production in Cattle Mammary Gland Epithelial Cell

(가) 발표일 : 2017. 10. 12.

(나) 학술회의명 : 2017 한국생물공학회 추계학술대회 및 국제심포지움

(다) 발표자 : 이왕희, 김도균, 서성원

(라) 개최장소 : 부산 / 대한민국

(마) 발표내용 : 모델링을 활용한 소의 우유대사과정 분석

(6) 발표제목 : Modeling Big-size Climate Data to Predict Potential Distribution of Metcalfa Pruinosa

(가) 발표일 : 2017. 11. 08.

(나) 학술회의명 : AFELISA 2017

(다) 발표자 : 이왕희, 정성훈, 변대현

(라) 개최장소 : 일본 / 국외

(마) 발표내용 : 작물 및 조사료의 주요 해충인 미국선녀벌레의 확산 가능성 예측

(7) 발표제목 : 반응표면분석을 이용한 신선조사료 생육환경 최적화

(가) 발표일 : 2017. 10. 27.

(나) 학술회의명 : 2017 한국농업기계학회 추계학술대회

(다) 발표자 : 이왕희, 김도균, 고명준, 김규완

(라) 개최장소 : 광주 / 대한민국

(마) 발표내용 : 반응표면분석을 이용한 신선조사료 생육환경 예측 모델의 개발 및 모델 기반 생육 환경 최적화 수행

(8) 발표제목 : Experimental validation of optimal growth conditions for barley production in fresh forage growing system

(가) 발표일 : 2017. 11. 03.

(나) 학술회의명 : 2017년 한국산업식품공학회 추계학술대회

(다) 발표자 : 이왕희, 김도균, 김규완

(라) 개최장소 : 강릉 / 대한민국

(마) 발표내용 : 조사료 최적화 및 최적화 환경에서 생육한 조사료의 산출량 검증 실험 수행

마. 인력양성 : 석사 2명

(1) 심준용 - 석사 - 2017년

○ 인력양성내용 : 생육조건 탐색을 위한 다변량 분석법 학습, 적용 및 소프트웨어 프로그래밍. 반응표면분석법 학습 및 적용법 연구

(2) 김도균 - 석사 - 2016년

○ 인력양성내용 : 조사료 생산량을 최대화 할 수 있는 최적 생육조건(온도 및 습도)를 탐색하기 위한 반응표면분석법 학습, 적용 및 소프트웨어 프로그래밍

바. 홍보전시 : 1건

○ 행사명칭 : 2017 첨단농축산기자재박람회

• 행사일정 : 2017. 11. 15. ~ 2017. 11. 17.

• 행사장소 : KINTEX(일산) / 대한민국

• 참여품목 : 조사료수경재배기

3. 연구결과

가. 기술적 성과

(1) 경쟁사 제품비교

(가) 국내경쟁사

- ① 국내에서 조사료 재배장치를 개발하여 언론 및 연구개발과제 발표를 실시한 곳은 약 7개社 로 추정됨
- ② 대부분 개발에서 OEM 진행 등 부진한 상태이며, 실질적인 농가보급 실용화 단계에 도달하지 못함

상 호	업 종	주력품목	기술수준	내 용
(주)보람이앤지	제조업	수경재배기	90%	100% 국산화 성공
포더시스템	판매업	수경재배기		OEM
(주)유양디앤유	제조업	디지털 디스플레이 신재생에너지		홈페이지 확인불가
효성에너텍(주)	제조업	농업용 히팅케이בל 새싹보리조사료		농업기계등록
(주)더윈	제조업	플라즈마 살균기, 산소공급기 등		홈페이지 확인불가

(나) 국제경쟁사

상 호	국 적	주력품목	기술수준	내 용
FODDER SOLUTION	호주	조사료 수경재배기	100%	최초 조사료 재배장치 개발

(2) 기술수준 비교

개발기술명	관련기술 최고보유국	개발 前 기술수준		기술개발 목표수준	기술개발 완성수준	비 고
		국내	주관기관			
조사료 재배장치	호주	70%	70%	95%	100%	

(가) 경제적 성과 예측 도표

- ① 현재 국내에서 생산되는 대부분의 조사료 재배장치 시스템은 호주의 포더솔루션(Fodder Solution)社에서 출시한 제품의 모방(디자인 부문)이 주력을 이루고 있으며 이는 국내 축산농가 농민의 고령화를 감안하였을 경우 작업의 편의성 및 생산성이 떨어지는 문제점이 있음.
- ② 우선 계절별 혹서기와 혹한기의 구분이 뚜렷한 우리나라에서는 생산 작업자의 노동 환경이 기후에 따라 변하므로, 편의성이 반영된 작업환경이 필요함
- ③ 또한, 외국의 축산 및 조사료 생산 환경은 국내와 많이 달라 제품 도입에 문제점을 가지고 있으며, 사후관리 측면에서도 불편하며 축산농가 입장에서 가격적 부담이 매우 높음.
- ④ 아래 주관기관인 (주)보람이앤지의 2017년 매출실적(연구개발로 출시된 조사료 재배장

치 기준)을 대비하여 경제적 성과 도표를 추정함				
생산성향상	시장점유율	매출액증대	고용창출	산업기여도
30%	10%	1,000%	200%	40%

○ 사업화성과 및 매출실적

✓ 사업화 성과

항목	세부항목			성 과
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	0.5 억원
			향후 3년간 매출	25.0 억원
		관련제품	개발후 현재까지	0.0 억원
			향후 3년간 매출	15.0 억원
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 0.0 % 국외 : 0.0 %
			향후 3년간 매출	국내 : 30.0 % 국외 : 2.0 %
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : 0.0 % 국외 : 0.0 %
			향후 3년간 매출	국내 : 10.0 % 국외 : 0.2 %
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		- 위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		5 위

✓ 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목		성 과		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		1		
	소요예산(백만원)		450		
	예상 매출규모 (억원)		현재까지	3년후	5년후
			0.5	25.0	70.0
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	0.0	30.0	45.0
국외		0.0	0.2	3.0	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		분무수경재배방식을 활용한 약용새싹 재배 최적 시스템 및 모델 개발			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)		현재	3년후	5년후
	수입대체(내수)				
	수 출				

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

		코드번호	D-06
제 1 절 목표달성도			
구분 (연도)	세부연구목표	연구개발의 내용	달성도
1차년도 (2016년)	신선 조사료용 작물재배에 필요한 제반 환경 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 생육조건 확인 및 사료작물 별 특징 조사 • 재배장치의 생육 제반 환경(조도, 온도, 수분) 분석 	100
	가축별 사육시 최적의 사료비율 도출 및 조사료 공급량 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 영양균형을 생각한 가축별 공급사료 비율 선정 (소, 양, 말) • 기존 사료 영양 비율 조사를 통한 시스템 개발 방향 도출 • 사료비 절약 사례 	80
	조사료 재배 환경 분석 및 요인 구명	<ul style="list-style-type: none"> • 환경조건 요인 분석을 위한 통계적 방법 수립 • 수립된 통계적 방법의 적용에 따른 조사료 기반 우수성분 변화 조사 	100
	최적화 실험설계	<ul style="list-style-type: none"> • 반응표면분석법을 활용하여 5가지 실험 시나리오를 구상하고 시스템 운영 여건을 고려하여 최적 실험을 선정함 	100
	신선 조사료재배장치 설계 및 부품 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 기본모델 선정 및 구조, 기능적 부품설계 및 구조 분석 • 주요 핵심부품 사양 선정 • 구조 요소 설계 • 시제품 제작 및 시험, 성능 및 신뢰성 평가 	100
2차년도 (2017년)	환경 요인 기반 조사료 생육 예측 모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 실험 수행을 통한 데이터 획득 및 데이터 전처리 • 모델 개발을 위한 축산조사료 생육 DB 구축 	100
	조사료 재배 환경 최적화 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 환경인자인 생육온도와 분무량에 대한 반응표면분석 수행 • 생산량 예측 통계 모델 개발 및 생산량 시뮬레이션 • 조사료 생산량을 최대화 하는 최적 생육 조건 제시 	100
	현장 시험 및 수정, 보완	<ul style="list-style-type: none"> • 검증실험 설계 및 최적 조건하에서의 생산량 최대화 검증 • 보리의 부위 별 영양성분함량의 차에 대해 다변량분산분석 수행 및 영양성분함량 차이 통계 비교 	100
	성능평가 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 기능부품별 수정, 보완 및 2차 시제품 개발 • 성능평가 (부품별 기능시험, 보리 외 재배효율성 분석) • 경제성 분석 • 상용화를 위한 양산체제 구축 	100

제 2 절 관련분야 기여도

1. 기대효과

- 조사료 재배 장치의 환경에 최적화를 통해서 시스템의 개발에 있어서 주요 착안점인 생산량의 최대화에 활용 가능한 정보를 제공함
- 생육 데이터기반의 최적 생산 모델 구축 과정은 현재 국내 스마트팜 추진과정의 주요 착안점인 농업시설의 빅데이터 기반의 환경제어 모델의 개발, 작목에 따른 생육 최적표준 환경설정 표준안 마련에 활용할 수 있음
- 2011년 기준 선진국의 60% 중반 수준인 농업과 IT융합 기술 분야에서 식물공장 기술과 관련하여 생산 환경 제어를 통한 생산량 및 품질 향상 관련 연구로서 활용 가능함
컨테이너형 식물공장 개발과 관련하여 서비스 플랫폼 구축에 필수적인 시설 최적 제어관리에 필요한 최적 생육조건에 대한 정보로 활용 가능
- 조사료용 겉보리에 특화된 생산량 예측 모델은 누적되는 데이터를 반영하여 보다 정확한 생산량 예측이 가능하며, 이는 축산 농가 경영에 도움이 됨
- 환경 조절이 가능한 생산 시스템에서 작물의 최적 생육조건 규명 프로세스는 다른 작물의 생육 최적화에 적용될 가이드라인으로 활용 가능

2. 기대효과

- 신선 조사료재배장치 실용화를 통해 최소한의 면적에서 안전하고 질 좋은 새싹 사료를 농약을 사용하지 않고 날씨와 관계없이 연중 생산할 수 있음
- 종래 곡물사료를 기반으로 하는 농가의 가축사료 관행을 경제적인 측면에서 균형된 배합을 통한 사료비의 절감으로 축산농가의 비용이 절감 될 수 있음
- 신선 조사료에 함유된 항산화제(비타민 A,B,C, 셀레늄 및 아연으로 구성)는 가축의 몸을 중성화 함으로서 질병을 스스로 치유하고 면역체계를 향상시킬 수 있음
- 조사료 재배장치를 통해 초지를 대체하여 활용도를 높일 수 있음
- 순수한 분무수경 재배방식을 통한 추가적인 연구개발의 초석이 될 수 있음

제 5 장 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

1. 추가적 연구의 필요성

- 가. 본 연구개발을 통해 신서 조사료재배장치의 실용화 및 제품화를 마치며 추가적인 연구개발의 필요성을 인지함
- 나. 하나, 다양한 종류의 사료용 재배작물을 더 연구하여 현재 연구개발된 조사료 재배장치의 환경제어(온도, 습도, 조도 원격제어) 폭을 넓여야 함
- 다. 들, 반드시 축산용 신선 조사료 생산을 목적으로 사용하는 것을 넘어 농축산용의 다용도 재배기(새싹 및 육묘)로 추가적 연구가 필요함
- 라. 셋, 4차산업 접목을 통한 데이터의 수집과 공동 네트워크 활용을 추가적으로 연구할 필요성이 있음

2. 타 연구에의 응용

- 가. 분무수경 재배방식을 응용하여 과실류, 화훼류, 엽채류의 수경재배 방식에 응용
- 나. 이는 현재 통용되는 담수식, 순환식 수경재배 방식의 불편함을 해소할 수 있으며, 위생적 환경 측면에서 세균의 번식을 억제할 수 있음
- 다. LED의 조도 및 파장을 제어하는 기술로 과실류의 당도를 제어하는 특화 작물의 재배에 응용할 수 있음
- 라. 분무수경의 1차 집수 과정의 워터탱크에서 양질의 양액 및 기능성 물을 혼합하여 기능성 엽채류를 재배할 수 있음. 이는 환자의 식단개선 용도 및 식단조절 기능인자로 활용할 수 있음.

3. 연구 결과의 활용 가능성

- 가. 통계모델의 특성상 데이터가 누적될수록 정확한 예측이 가능하며, 생육데이터가 누적된다면 이를 통해 최적조건 뿐만이 아닌 생산량에 대해서도 보다 정확하게 예측가능 할 것으로 보임
- 나. 식물공장에서 재배되는 축산조사료용 보리 종에 대한 작물 최적 생육조건을 실제 현장에 적용함으로써 농가 생산성 향상과 에너지 등의 운영비용 절감에 도움이 될 것으로 보임
- 다. 또한 본 연구에서 규명한 축산조사료용 보리의 최적생육환경 조건을 통해 생산되는 보리는 초지대체효과를 보다 높여 주며 식물공장에서 재배되는 다른 보리과 작물의 생육환경에 적용 가능

제 6 장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

코드번호	D-08
<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 연구에서 사용한 작물인 보리는 축산업이 발달한 국가에서 조사료로 높은 가치를 가진 작물로 평가되고 있으며, 이러한 보리의 생육에 영향을 미치는 요소가 매우 다양함. 기본적으로 생육온도를 비롯하여 토양에 포함된 나트륨 성분 에 따라 생장이 저해되기도 하고 서로 품종이 다른 보리를 혼파했을 경우 품종에 따라 그 생육정도가 차이가 나기도 함 (Bhat et al, 1999; Wei et al, 2003; Kakani et al, 2010) ○ 식물공장의 발전 형태는 나라별로 그 주안점이 다르며, 완전 자동화제어에 중점을 두는 나라는 네덜란드로서 생산량 증대 및 품질향상을 위한 제어솔루션 개발을 하고 있으며, 가장 활발하게 식물공장을 연구하는 나라는 일본으로 채소공장, 식품공장 형태의 상용화가 진행되고 있음 (Kozai et al. 2015) ○ 반응표면분석은 주로 생산제조공정, 생산배지 최적화에 이용되며 작물생육최적화에는 상대적으로 적게 사용되지만, 미래 기후변화 대응 작물 최적조건을 예측하거나 주어진 환경 내에서 최적 조건을 산출하는데 매우 효과적인 분석방법이며 높은 정확도를 보이는 방법임 (Dhungana et al, 2006; Moghaddam, 2010; Saravanan et al, 2013; Maran, 2013) 	

제 7 장 참고문헌

	코드번호	D-14
<ul style="list-style-type: none"> • 이상우. Optical science and technology. 경기도농업기술원 2010, 30-37. • 김종덕. 조사료 품질평가 기준설정 및 사양프로그램 개발연구. 2014. • 국립축산과학원. 벼 대체 사료작물 재배 양질조사료 최대생산 수익모델. 2015.1. • 김보경; 이완직; 허석렬. 센서 네트워크를 이용한 인공 광 이용 형 유비쿼터스 식물공장 모니터링 시스템 테스트 베드 구축. In: Proceedings of KIIT Summer Conference. 2010. p. 272-275. • 이기동. 식품공업에서 반응표면분석의 응용. 한국식품과학회, 2000, 33권(1), 33-45 • 연인원; 이원철. 식물 생육환경 모니터링을 위한 DB 연동형 아두이노 시스템. 한국통신학회 학술대회논문집, 2016, 83-84. • 문애경; 리송; 김규형. 식물공장을 위한 컴포넌트 기반 온실통합관리 플랫폼에 대한 연구. 한국통신학회 학술대회논문집, 2011, 754-755. • 엄영철, et al. 컨테이너 식물공장의 개발과 이를 활용한 광원별 엽채류의 성장특성. 생물환경조절학회지, 2010, 19.4: 333-342. • 최효길, et al. 발아조건과 배지종류 및 양액 농도에 따른 식물공장 재배 청경채와 상추의 묘 생육특성. 생물환경조절학회지, 2011, 20.4: 320-325. • 문정섭, et al. 완전 폐쇄형 식물공장 시스템에서 생육온도 및 광주기에 따른 허브식물의 생육반응. 한국자원식물학회 학술심포지엄, 2012, 60-60. • 백경환, et al. 적양배추 새싹채소의 발아 및 저장 조건 최적화. 한국식품과학회지, 2013, 45.1: 13-19. • 서영진, et al. 반응표면분석에 의한 참외 관비액 농도결정. 한국토양비료학회지, 2012, 45.4: 492-496. • 장은정; 오훈일. 게르마늄 함유 인삼 부정근의 성장 증대를 위한 액체배양 조건의 최적화. Journal of Ginseng Research, 2009, 33.2: 143-148. • Park J-H, Yoon K-Y, Noh S-S, Lee J-H, Lee J-S. 중부지역에서 유기조사료 생산을 위한 작부체계 확립. KOREAN J. Org. Agric. 2011, 19:373-384. • Hong-sang K, Myoung-ki L, Sungeun Y. 창조농업 실현을 위한 ICT 기술융합의 전략과 과제. 2014. • BHAT, P. N.; BANSIL, P. C. Grains and Roughage Production and Its Utilization in Asian-Australasian Region-Review. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 1999, 12.3: 481-492. • WEI, Wenxue, et al. Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. Plant and Soil, 2003, 250.2: 183-191. • Dhima K V., Eleftherohorinos IG, Vasilakoglou IB. Interference between Avena sterilis, Phalaris minor and five barley cultivars. Weed Res. 2000, 40:549-559. • Hargreaves A, Hill J, Leaver JD. Effect of stage of growth on the chemical composition, nutritive value and ensilability of whole-crop barley. Anim. Feed Sci. 		

Technol. 2009, 152:50-61.

- KAKANI RK, SHARMA Y. Genetic component analysis for yield and yield contributing traits under diverse environments in Barley. SABRAO J. Breed. Genet. 2010, 42:9-20.
- Dhungana P, Eskridge KM, Weiss A, Baenziger PS. Designing crop technology for a future climate: An example using response surface methodology and the CERES-Wheat model. Agric. Syst. 2006, 87:63-79.
- SARAVANAN, P.; MUTHUVELAYUDHAM, R.; VIRUTHAGIRI, T. Enhanced production of cellulase from pineapple waste by response surface methodology. Journal of Engineering, 2013, 2013.
- ABNISA, Faisal; DAUD, WMA Wan; SAHU, J. N. Optimization and characterization studies on bio-oil production from palm shell by pyrolysis using response surface methodology. Biomass and Bioenergy, 2011, 35.8: 3604-3616.
- MARAN, J. Prakash, et al. Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel. Carbohydrate polymers, 2013, 97.2: 703-709.
- MOGHADDAM, S. Sadri; MOGHADDAM, MR Alavi; ARAMI, M. Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: optimization through response surface methodology. Journal of hazardous materials, 2010, 175.1: 651-657.
- KOZAI, Toyoki; NIU, Genhua; TAKAGAKI, Michiko (ed.). Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. Academic Press, 2015.
- Khuri AI & Mukhopadhyay S, Response surface methodology. Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat, 2010, 2, 128-149
- Başı D & Boyacı İH Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. J. Food Eng., 2007, 78, 836-845
- Bezerra MA, Santelli RE, Oliveira EP, Villar LS & Escaleira L a., Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. Talanta, 2007, 76, 965-977
- Vicente G, Coteron a. & Martinez, M., Aracil J, Application of the factorial design of experiments and response surface methodology to optimize biodiesel production. Ind. Crops Prod., 1998, 8, 29-35
- Quanhong L & Caili F, Application of response surface methodology for extraction optimization of germinant pumpkin seeds protein. Food Chem., 2005, 92, 701-706
- Li Z, Database N, Quality N, City K & Liu Y, Performing response surface analysis using the SAS RSREG procedure. 2012 , 1-10.
- Jeon S, Baek J, Jeong E & Cha Y Optimal Extraction Conditions of Flavonoids from Onion Peels via Response Surface Methodology. Korean Soc Food Sci Nutr, 2012, 41, 695 ~ 699
- Noh, Y.-I., Kim, J.-S., Optimization Processing Conditions of Water Soluble Fraction from Alaska Pollock Theragra chalcogramma Head and Non-forming Sea Tangle Laminaria japonica under High Temperature/High Pressure. Korean Journal of Fisheries and

Aquatic Sciences, 2012, 45(3), 207-214.

- Cuong NP, Lee W-H, Oh I-N, Thuy NM, Kim D-G, Park J-T & Park K-H, Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized *Pyrococcus furiosus* thermostable amylase. 2015, Process Biochem
- Lee, Seung-Joo. "Big Data Analysis Using Principal Component Analysis." Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, 2015: 592-599.
- Kim, Jung-Hoan, et al. "Application of Principal Component Analysis to Shelf-Life Determination of Processed Food." Korean Journal of Food Science and Technology, 1995 27.5 : 703-707.
- Chung, K. Y., Y. S. Jung, and B. J. Hwang. "Classification of snowfall regions using principal component analysis." J Korean Meteor Soc, 1999, 35: 466-473.
- Shao, Renping, et al. "The fault feature extraction and classification of gear using principal component analysis and kernel principal component analysis based on the wavelet packet transform." Measurement, 2014, 54: 118-132
- Ha, D. W., et al. "A Study on the Body Type of Hanwoo (Korean Cattle) Steer by Using Principal Components Analysis." Journal of Animal Science and Technology, 2002, 44.6 : 643-652.
- Lee, Jae Gu, et al. "Correlation analyses on body size traits, carcass traits and primal cuts in Hanwoo Steers." Journal of Animal Science and Technology, 2013, 55.5: 351-358
- Vogel, Kenneth P., et al. "Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, and IVDMD forage analysis." Crop Science, 1999, 39.1: 276-279
- da Silva, Joaquim Fernando Mendes, et al. "Correlation analysis between phenolic levels of Brazilian propolis extracts and their antimicrobial and antioxidant activities." Food Chemistry, 2006, 99.3: 431-435.
- Choi, Eun Jeong, Moon Cheol Jeong, and Kyung Hyung Ku. "Effect of seasonal cabbage cultivar (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinesis*) on the quality characteristics of salted-Kimchi cabbages during storage period." Korean Journal of Food Preservation, 2015, 22.3: 303-313.
- Lee, Jae Gu, et al. "Correlation analyses on body size traits, carcass traits and primal cuts in Hanwoo Steers." Journal of Animal Science and Technology 2013, 55.5: 351-358
- Lee, Seung-Joo. "Big Data Analysis Using Principal Component Analysis." Journal of Korean Institute of Intelligent Systems 2015, 25.6: 592-599
- Kim, Jung-Hoan, et al. "Application of Principal Component Analysis to Shelf-Life Determination of Processed Food." Korean Journal of Food Science and Technology 1995, 27.5: 703-707
- Chung, K. Y., Y. S. Jung, and B. J. Hwang. "Classification of snowfall regions using principal component analysis." J Korean Meteor Soc 1999 35: 466-473
- Shao, Renping, et al. "The fault feature extraction and classification of gear using principal component analysis and kernel principal component analysis based on the

wavelet packet transform.“ Measurement, 2014, 54: 118-132

- Ha, D. W., et al. “A Study on the Body Type of Hanwoo (Korean Cattle) Steer by Using Principal Components Analysis.“ Journal of Animal Science and Technology 2002, 44.6 : 643-652.

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.