

GOVP1199908586

631.3  
L2937

최종보고서

고품질 쌀 생산을 위한 곡물 선별, 건조, 저장,  
공기이송 시스템들의 개발 및 자동화

Development and Automation of Separation,  
Drying, Storage, Pneumatic Conveying Systems  
of Grains for Producing Rice of High Quality

1998. 12

연구기관  
전남대학교

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “고품질 쌀 생산을 위한 곡물 선별, 건조, 저장, 공기이송 시스템들의 개발 및 자동화” 연구과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 12

주관연구기관 : 전 남 대 학 교

총괄연구책임자 : 교 수 이 종 욱

세부연구책임자 : 교 수 정 종 훈

책임 연구원 : 교 수 유 수 남

선임 연구원 : 교 수 최 영 수

연구원 : 공학박사 장 영 창

연구원 : 농학박사 김 기 복

연구원 : 신 사 현

협력 기업 : 선일기계공업사

대 표 정 재 일

연구원 : 정 광 훈 정 재 찬

협력 기업 : (주)부성기업

대 표 정 종 팔

# 요 약 문

**I. 제목:** 고품질 쌀 생산을 위한 곡물 선별, 건조, 저장, 공기이송 시스템들의 개발 및 자동화

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

현재 국내에서는 고품질의 쌀을 생산하고 우리 쌀의 국제 경쟁력을 높이기 위해서 전국적으로 미곡종합처리장을 설치하고 있다. 그러나 미곡종합처리장의 설치에 앞서 충분한 기술적 검토가 이루어지지 않아 곡물 선별, 건조, 저장 및 이송장치 등에서 많은 문제점이 야기되고 있다. 이러한 미곡종합처리장의 문제점들을 해결하기 위해서 각 단위기계들의 성능을 개선하고 고성능의 기계들을 개발하며 시스템을 자동화하는 연구가 절실히 요구되었다.

따라서, 본 연구에서는 고품질의 쌀을 생산하기 위해서 곡물 조선기, 사일로 건조저장시스템, 곡물 냉각시스템 및 공기이송 시스템들을 개발하고 성능을 향상시키며 시스템들을 자동화시키고자 하였다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

- 1) 기존 조선기의 문제점을 규명한 후, 곡물 속에 포함된 지푸라기, 검불, 쪽정어, 쇠붙이, 종이 등의 이물질들을 잘 제거할 수 있는 고성능의 대형 곡물조선기를 설계하고 개발한다.
- 2) 사일로 내의 곡물 상태와 곡물퇴적고 및 외기조건들을 연속적으로 모니터링하는 계측시스템을 개발하고, 사일로 시스템을 자동화하며 자동화된 연속식 건조시스템을 개발한다.
- 3) PC 및 PLC를 이용한 곡물 사일로의 중저온 저장시스템을 개발하고 자동화한다. 또한 중저온 저장시스템으로 곡물냉각기를 개발하고, 사일로의 적정 단열처리방법을 개발하며 그 효과를 분석하도록 한다.
- 4) 곡물의 공기이송시스템을 개발하고 자동화시킨 후 성능을 평가한다.

#### IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

##### 1. 본 연구의 결과

- 1) 곡물 조선키를 이론적으로 분석하여 좌우요동형 곡물 조선키를 개발한 후 성능을 평가하고 성능을 개선시켰다.
- 2) 곡물의 상태를 연속적으로 모니터링하고 부속장치들을 자동제어할 수 있는 사일로 시스템을 개발하였고, 곡물을 자동으로 원하는 함수율까지 건조시킬 수 있는 PLC 자동건조시스템을 개발하였다.
- 3) 곡물 사일로에서 곡물을 안전하게 저장하고 관리할 수 있는 PC를 이용한 사일로 자동 저장건조시스템을 개발하였다.
- 4) 곡물 퇴적고를 자동으로 측정할 수 있는 초음파를 이용한 곡물 퇴적고 자동측정장치를 개발하였다.
- 5) 곡물을 중저온으로 저장할 수 있는 약 30kW용량의 곡물 냉각기를 개발하고 성능을 평가하였다.
- 6) 사일로 내의 곡물을 배출시 남는 잔곡문제를 해결하고 곡물을 원하는 장소로 손쉽게 이송시킬 수 있는 곡물 공기이송계량시스템을 개발하였다.

##### 2. 연구결과 활용에 대한 건의

- 1) 개발한 대형 곡물조선키를 미곡종합처리장에 보급함으로써 곡물 조선키의 문제점을 해결하고 수입대체 효과를 얻는다.
- 2) 개발한 사일로 건조저장시스템을 미곡종합처리장 등에 널리 보급함으로써 곡물을 효율적으로 건조하고 안전하게 저장하도록 한다.
- 3) 개발한 곡물 냉각시스템을 널리 보급하여 곡물을 중저온으로 저장함으로써 쌀을 고품질화한다.
- 4) 개발한 곡물 공기이송시스템을 농가에 보급하여 곡물 이송비용을 줄이고 곡물을 효율적으로 이송시킨다.

# SUMMARY

**I. Subject** : Development and Automation of Separation, Drying, Storage, Pneumatic Conveying Systems of Grains for Producing Rice of High Quality.

## **II. Purpose of This Study**

Rice processing complexes have been installed to produce rice of high quality and to increase an international competitive power of rice in Korea. However, they have some problems in separation, drying, storage and conveying of grain due to insufficient technical consideration. So, it was necessary to develop unit machines and automatic systems of high performance and to improve them. Therefore, this study was carried out to develop a grain cleaner, an automatic drying and storage system for silo, a grain cooling system and a grain pneumatic conveying system and to improve them for the production of rice with high quality.

## **III. Contents and Range of This Study**

The contents and range of this study was

- 1) to develop a large scale grain cleaner of high performance.
- 2) to develop a continuous monitoring system for grain conditions and grain depth in silo.
- 3) to develop an automatic silo drying system using PLC and PC.
- 4) to develop an automatic silo storage system using PC.
- 5) to develop an alternative insulation method for silo.

- 6) to develop a grain chiller for grain storage at low temperature.
- 7) to develop a grain pneumatic conveying system.

#### **IV. Result of study and Their Application Plan**

##### 1. Results of Study

- 1) A large scale grain cleaner of the right and left vibration type was developed and improved.
- 2) A continuous monitoring system for grain conditions and grain depth in silo was developed.
- 3) An automatic silo drying system using PLC and PC was also developed and evaluated.
- 4) An automatic silo storage system was developed using PLC and PC.
- 5) As an alternative insulation method, a grain silo was insulated with a coating material.
- 6) A grain chiller of about 30kW was developed, evaluated and applied.
- 7) A grain pneumatic conveying system with an automatic hopper scale was developed.

##### 2. Application Plan

- 1) The developed grain cleaner was industrialized and applied to some rice processing complexes.
- 2) The automatic drying and storage system for silo will be spreaded out and applied to grain drying and storage facilities of rice processing complexes.
- 3) The developed grain chiller will be industrialized and applied to grain drying and storage system of rice processing complexes.
- 4) The developed grain pneumatic system will be industrialized and applied in conveying and discharging grain from silos.

# CONTENTS

<b>CHAPTER 1 INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>Section 1 Necessity of Study .....</b>	<b>1</b>
1. Background of Study .....	1
2. Necessity of Study .....	3
3. Technical State at Home and Abroad .....	9
4. Analysis and Evaluation on the Technical State of Home and Abroad .....	14
5. Current State of Domestic Study .....	18
6. Future Outlook .....	21
<b>Section 2 Purpose, Range and Plan of Study .....</b>	<b>22</b>
1. Purpose of Study .....	22
2. Annual Purpose and Range .....	23
3. Strategy and Method .....	25
4. Proceeding Plan .....	28
<b>CHAPTER 2 DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF GRAIN CLEANER .....</b>	<b>31</b>
<b>Section 1 Background and Purpose .....</b>	<b>31</b>
<b>Section 2 Comparison of Structure and Performance of Domestic         Grain Cleaners .....</b>	<b>34</b>
<b>Section 3 Performance Evaluation of Grain Cleaner of Rotary         Type .....</b>	<b>41</b>

Section 4 Development of Grain Cleaner of the Left and Right Vibration Type .....	44
1. Theoretical Analysis and Basic Design of Grain Cleaner .	44
2. Performance Evaluation of Grain Cleaner of the Left and Right Vibration Type .....	66
3. Performance Improvement of Grain Cleaner of the Left and Right Vibration Type .....	66

### **CHAPTER 3 DEVELOPMENT AND AUTOMATION OF GRAIN SILO AND DRYING SYSTEM .....**

Section 1 Introduction .....	76
Section 2 Literature Review .....	78
Section 3 Materials and Method .....	81
Section 4 Results and Discussion .....	93
1. Development and Automation of Grain Silo System .....	93
2. Drying Experiment at Drying System of Silo .....	101
Section 5 Conclusion .....	106

### **CHAPTER 4 DEVELOPMENT AND AUTOMATION OF STORAGE AND DRYING SYSTEM OF GRAIN SILO .....**

Section 1 Introduction .....	107
Section 2 Materials and Method .....	108



Section 3 Results and Discussion .....	109
1. Development of Device for Grain Depth Measurement .....	109
2. Development and Automation of Storage and Drying System of Grain Silo .....	112
Section 4 Conclusion .....	171

## CHAPTER 5 DEVELOPMENT OF PNEUMATIC

CONVEYING SYSTEM FOR GRAIN .....	172
Section 1 Introduction .....	172
Section 2 Literature Review .....	173
Section 3 Materials and Method .....	175
Section 4 Results and Discussion .....	177
1. Characteristics of Pneumatic Conveying System .....	177
2. Performance Evaluation of Pneumatic Conveying System	178
Section 5 Conclusion .....	179

## CHAPTER 6 DEVELOPMENT OF GRAIN CHILLING SYSTEM .....

SYSTEM .....	185
Section 1 Introduction .....	185
Section 2 Literature Review .....	186
1. Insulation of Silo .....	186
2. Grain Chiller .....	188
Section 3 Materials and Method .....	192
1. Insulation of Silo .....	192

2. Development of Grain Chiller .....	192
Section 4 Results and Discussion .....	223
1. Development of Alternative Insulation Method .....	223
2. Development of Grain Chiller .....	224
Section 5 Conclusion .....	238

## CHAPTER 7 EXPECTED OUTCOME AND

APPLICATION PLAN .....	240
Section 1 Expected Effect .....	240
1. Technical Effect .....	240
2. Economical Effect .....	241
Section 2 APPLICATION PLAN .....	242

## CHAPTER 8 COMPLEX CONCLUSION .....

1. Development and Performance Evaluation of Grain Cleaner ..	244
2. Development and Automation of Grain Silo and Drying System .....	245
3. Development and Automation of Storage and Drying System of Grain Silo .....	246
4. Development of Pneumatic Conveying System for Grain .....	247
5. Development of Grain Chilling System .....	247

Literature Review .....	249
-------------------------	-----

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구개발의 필요성 .....	1
1. 연구의 배경 .....	1
2. 연구개발의 필요성 .....	3
3. 국내외 기술현황 .....	9
4. 국내외 연구개발현황에 대한 종합적 분석 및 평가 .....	14
5. 국내 연구개발의 현주소 및 취약성 .....	18
6. 개발에 따른 앞으로의 전망 .....	21
제 2 절 연구 목표, 범위 및 계획 .....	22
1. 본 연구의 최종목표 .....	22
2. 연차별 연구 목표 및 범위 (세부과제별) .....	23
3. 추진전략 및 방법 .....	25
4. 연구 추진계획 .....	28
제 2 장 곡물 조선기의 개발과 성능평가 .....	31
제 1 절 연구배경 및 목표 .....	31
제 2 절 국산 조선기의 구조 및 성능 비교분석 .....	34
제 3 절 로터리식 곡물 조선기의 성능평가 .....	41
제 4 절 좌우요동 선별판식 곡물 조선기의 개발 .....	44
1. 곡물 조선기의 이론적 분석 및 기초설계 .....	44
2. 좌우요동형 곡물조선기의 성능평가 .....	66
3. 좌우요동형 곡물 조선기의 성능개선 .....	66

제 3 장 곡물 사일로 및 건조 시스템의 개발과 자동화 .....	76
제 1 절 서언 .....	76
제 2 절 연구사 .....	78
제 3 절 재료 및 방법 .....	81
제 4 절 결과 및 고찰 .....	93
1. 곡물 사일로 시스템의 개발 및 자동화 .....	93
2. 사일로 건조시스템에서의 곡물 건조실험 .....	101
제 5 절 결론 .....	106
제 4 장 곡물 사일로 저장건조 시스템의 개발 및 자동화 ....	107
제 1 절 서언 .....	107
제 2 절 재료 및 방법 .....	108
제 3 절 결과 및 고찰 .....	109
1. 곡물 퇴적고 측정장치 개발 .....	109
2. 사일로 저장·건조시스템의 개발 및 자동화 .....	112
제 4 절 결론 .....	171
제 5 장 곡물 공기이송시스템의 개발 .....	172
제 1 절 서론 .....	172
제 2 절 연구사 .....	173
제 3 절 재료 및 방법 .....	175
제 4 절 결과 및 고찰 .....	177
1. 곡물 공기이송시스템의 특징 .....	177
2. 곡물 공기이송시스템의 성능평가 .....	178
제 5 절 결론 .....	179

제 6 장 곡물 냉각시스템의 개발 .....	185
제 1 절 서언 .....	185
제 2 절 연구사 .....	186
1. 사일로 단열처리 .....	186
2. 곡물 냉각기 .....	188
제 3 절 재료 및 방법 .....	192
1. 사일로 단열처리 .....	192
2. 곡물 냉각기의 개발 .....	192
제 4 절 결과 및 고찰 .....	223
1. 대체 단열처리방법 개발 .....	223
2. 곡물 냉각기의 개발 .....	224
제 5 절 결론 .....	238
제 7 장 기대효과 및 활용방안 .....	240
제 1 절 기대효과 .....	240
1. 기술적 측면 .....	240
2. 경제, 산업적 측면 .....	241
제 2 절 활용방안 .....	242

제 8 장 종합 결론 .....	244
1. 곡물 조선키의 개발과 성능평가 .....	244
2. 곡물 사일로 및 건조 시스템 개발과 자동화 .....	245
3. 곡물 사일로 저장건조시스템의 개발 및 자동화 .....	246
4. 곡물 공기이송시스템의 개발 .....	247
5. 곡물 냉각시스템의 개발 .....	247
참고 문헌 .....	249

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구개발의 필요성

### 1. 연구의 배경

현재 국내에서는 고품질의 쌀을 생산하고 우리 쌀의 국제 경쟁력을 높이기 위해서 전국적으로 곡물종합처리시설인 미곡종합처리장을 설치하고 있다. 그러나 미곡종합처리장의 설치에 앞서 충분한 기술적 검토가 이루어지지 않아 반입시설, 건조·저장시설, 가공시설부분에서 많은 문제점이 야기되고 있다. 이같은 기술적 문제점을 검토하여 적정 시설 및 기계들을 선택해야 함은 물론이요 각 시설의 단위 기계들의 성능도 개선하고 국산화도 해서 향후 건설할 미곡종합처리장은 효율적으로 운용될 수 있도록 해야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 현 미곡종합처리장의 가장 큰 문제점들을 해결하고 고품질의 쌀 생산하기 위해서 미곡 선별, 건조, 저장, 공기이송 시스템들을 개발하고 성능을 향상시키며 단위기계 및 시스템들을 자동화시키고자 하였다. 이에 본 연구의 배경 및 필요성을 나열하면 다음과 같았다.

첫째로, 미곡종합처리장의 반입 시설의 하나로 설치된 조선기는 건벼의 경우 별문제 없이 이물질을 정선하나, 물벼가 반입될 때에는 제대로 정선이 되지 않고 처리 능력이 낮아 원료 흐름의 정체 현상을 야기시키며 후속 공정기계들의 성능을 떨어뜨리는 등 가장 큰 문제점을 야기시키고 있다. 이에 하루 빨리 성능이 좋고 처리 능력이 높은 국산 조선기의 개발이 시급한 실정이다.

둘째로, 미곡종합처리장의 건조시설로서 화력건조기인 순환식 건조기와 연속식 건조기를 많이 채택하고 있으며 보조 건조시설로서 사각빈 시스템을 설

치하고 있다. 일부 미곡종합처리장에서는 순환식 건조기나 대형 연속식 건조기를 채택하여 건조하고 있거나 앞으로 계획 중에 있다. 이들 화력건조기는 55℃ 이상의 고온을 사용하여 빠른 속도로 건조하기 때문에 미질의 손상을 가져오며 높은 건조 비용을 야기한다. 특히 대형 연속식 건조기는 매우 고가이면서 1개월밖에 사용하지 않으며, 소형 순환식 건조기는 대량으로 곡물이 반입될 때에는 처리능력면에서 불충분한데 이들 시설에 대한 충분한 검토가 필요하다. 우리 나라는 대만, 일본 등과는 달리 수확 시기의 건조 잠재력이 매우 높아서 상온 통풍으로 사일로에서 건조를 실시한다면 미질의 향상을 가져올 수 있을 뿐만 아니라 건조 비용도 줄일 수 있고 도정시에는 쉼미를 줄일 수 있어 고품질의 쌀을 저렴하게 생산할 수 있다. 따라서 대표적인 건조 시설의 경제성, 건조 성능 및 건조된 곡물의 품질 등을 비교 분석하여 사일로 건조 시스템의 타당성 여부를 조사하고 사일로 건조 시스템을 개발하고 자동화시키고자 한다.

셋째로, 미곡종합처리장의 저장시설로 건물내의 사각 빈을 주로 채택하여 왔으나 처리 규모의 한계성 및 시설의 경제성으로 인하여 요즘에는 철제 원형사일로를 많이 설치하고 있다. 저장시설로서의 철제 원형사일로는 배출 방식에 따라 호퍼식과 플랫(flat)식으로 구분되어 있는데 우리 실정에 적합한 형태가 설치될 수 있도록 이에 대한 연구가 절실해 요구되어 지며, 원형 철제 사일로의 단열 처리의 필요성 여부, 단열처리 방법 및 그 효과분석에 대한 연구 또한 필요한 실정이다. 그리고 사일로에서의 곡물의 함수율 및 온도를 연속적으로 모니터링하고 곡물을 자동으로 관리할 수 있는 컴퓨터를 이용한 저장시스템의 개발이 요구된다. 또한 철제 사일로는 외기의 영향을 많이 받아서 단열처리를 해도 곡온을 15℃이하로 유지하기 힘들기 때문에, 미질의 최상유지를 위해서 곡물을 저온으로 저장할 수 있도록 곡물 냉각장치가 설치된 곡물 사일로 중저온 저장시스템의 개발이 요구된다.



넷째로, 곡물의 이송장치로서 체인컨베이어나 스크류컨베이어를 많이 사용하고 있는데 체인컨베이어는 곡물에 많은 손상을 줄 뿐 아니라 시설비용도 높고, 스크류컨베이어는 튜브에 곡물을 남겨 놓아 부패를 일으킬 염려가 있다. 따라서 곡물 이송장치의 시설단가를 줄이고 곡물의 손상을 최소화하기 위해서 곡물 반입과 반출을 위한 공기이송 시스템을 개발하고자 한다.

## 2. 연구개발의 필요성

### 가. 기술적 측면

1) 미곡종합처리장 반입부의 선별장치인 조선키가 국내 3~5 개 회사에서 생산되고 있으나 그 선별성능이 떨어지고 처리능력이 부족해 거의 모든 미곡종합처리장에서 문제점으로 지적되고 있다. 특히 물벼가 대량으로 반입될 때 종이전표, 나이론줄, 철사줄, 지푸라기 등의 기타 이물질은 90%이상 제거하지 못함으로써 승강기가 막히거나 건조시 불균일한 건조를 야기하고 저장시에는 부패의 원인이 되기도 한다. 대부분의 조선키들이 건벼를 기준으로 해서 설계, 제작되어서 실제로 물벼가 들어올 때 전혀 그 기능을 발휘하지 못하고 있으며 스크레이퍼 등이 설치되지 않아서 이물질의 배출이 제대로 되지 않고 있다. 또한 조선키에는 쇄불이 및 철사줄 등을 제거하는 기능이 없어서 이를 선별할 수 없으므로 제철기를 개발된 조선키에 부착하거나 연속공정으로 조선키전에 설치하는 것이 필요하다. 따라서 곡물의 이물질을 효율적으로 선별할 수 있는 성능 높은 종합조선키의 개발이 절실히 요구된다.

2) 곡물의 건조시스템을 건조방법, 건조속도 및 건조조건에 따라 곡물의 품질에 커다란 영향을 미친다. 아직도 많은 농가나 영농단지에서는 노천에서 자연건조를 하고 있으며 미곡종합처리장에서는 순환식건조기를 사용해 건조하려고 있다. 이러한 순환식 건조기는 물벼가 대량으로 반입될 때 처리능력의 한계가 있으며 빠른 건조속도와 고온으로 인하여 동할미 및 쉐미를 발생시킨다. 현재 미곡종합처리장에 순환식 건조기를 6~7대씩 설치하고 600톤

용량의 사각 빈을 설치하여 연간 1,200톤 ~1,800톤의 건조 능력을 갖고 있으나 실제로 미곡종합처리장의 가공능력은(가동일수 150일 기준)연간 7,500톤 이상에 달해 절대적으로 건조 및 저장시설이 부족하기 때문에 미곡종합처리장의 건조 및 저장시설을 확충하고자 철제 사일로를 설치하고 있다. 또한 전국의 각면의 미곡생산량이 약 5,000톤~6,000톤에 달하나 각군에 1~2개 정도의 미곡종합처리장밖에 없어서 각 면단위에도 위성 건조 및 저장시설로서 철제 원형사일로 시스템이 절대적으로 필요한 실정이다. 철제 원형사일로 건조 시스템이 개발되어 상온통풍으로 인공건조를 실시한다면 건조비용도 감소시키고 미질의 향상을 가져오며 건조 후에는 건조용 사일로가 저장용 사일로로 이용될 수 있어 연중 내내 다용도로 사용될 수 있다. 현재 일부 미곡종합처리장에는 건조용 사일로가 설치되어 있으나 기술축적이 안되어 있고 자동화된 건조시스템이 없어서 전혀 활용되지 않고 있는 실정이다. 또한 설치된 원형사일로(flat bin)의 곡물 배출장치가 수동으로 되어 있어 곡물 배출의 어려움이 많고, 사일로 내부에 자동 함수율 측정장치들이 없어서 원하는 수준까지 자동으로 건조할 수 없을 뿐 아니라 반입량이 많을 때에는 사일로를 연속식 건조기로 사용할 수 있는데도 불구하고 이러한 건조시스템이 갖추어져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 사일로의 곡물배출장치를 자동화하고 함수율 자동측정장치를 포함하는 사일로 건조시스템을 개발하고 자동화시키고자 한다.

3) 곡물의 저장시설로서 미곡종합처리장의 건물내에 사각 빈을 설치하여 왔으나 600톤 용량의 저장한계로 최근에는 철제 원형사일로를 증축하고 있다. 이에 저장용 원형사일로에서 곡물을 저장 관리할 수 있는 사일로 저장 시스템을 개발하여 자동화하고 컴퓨터를 이용한 곡물 저장관리시스템을 개발하고자 한다. 현재 미곡종합처리장의 저장시설에는 단지 곡물온도 측정장치만이 설치되어 곡온만 모니터링한 채 이 곡온을 기초로 저장관리를 자동화하지 않고 있는 실정이며 저장시설에 함수율 측정장치도 설치되어 있지 않다. 또한 저장시설에는 곡물의 재고량 즉 저장량을 측정할 수 있는 장치가 없어서 현재에는 각 저장시설의 곡물량을 정확하게 알 수 없는 실정이다. 이에 각

원형사일로 마다 계측장치를 설치해서 곡물의 퇴적고를 파악할 수 있는 시스템을 개발한 후 컴퓨터에 접속해서 각 사일로의 재고량을 알 수 있는 재고관리 프로그램을 개발하고자 한다. 최근의 저장시설로서 많이 설치되고 있는 철제 원형사일로는 외기에 노출되어 여름철에는 곡온이 많이 상승되므로 단열처리를 하려고 하는 바 이에 적합한 적정 단열처리 방법을 개발하고 그 처리 효과를 분석하고자 한다. 따라서 곡물사일로 저장 시스템을 개발하고 종합적으로 곡물을 관리할 수 있는 컴퓨터 시스템을 개발한 후 개발된 시스템의 성능을 평가하고, 최종적으로 저장미곡의 품질을 조사하고자 한다.

4) 우리 쌀의 경쟁력을 높이고 미질을 향상시키기 위해서는 수확이후 곡물 건조 및 저장방법이 매우 중요하다. 이에 곡물의 함수율을 14%까지 건조할 것이 아니라 함수율을 16%수준까지 상온통풍으로 건조시킨 후 저장 사일로에서 중저온(약 15℃)으로 간헐 통풍시켜 가공 시에도 약 16% 수준에서 도정될 수 있도록 저장하는 것이 쌀의 품질을 최상으로 하는 가장 좋은 방법이다. 이를 위해서 곡물 통풍장치를 설치하여 사일로 저장 시스템을 개발하고자 한다. 현재 유럽이나 대만, 일본에서는 곡물 냉각 시스템을 사용하여 곡물을 중저온으로 저장하고 있다. 저장 사일로나 도정공장내의 원료 탱크 등에 곡물 냉각시스템을 설치하여 곡물을 중저온으로 저장함으로써 곡물의 건물손실(dry matter loss)을 최소화하고 해충 및 균의 번식을 억제하여 곡물의 품질을 최상으로 유지하기 위해서 자동화된 곡물 통풍시스템의 사용이 절실히 요구된다.

5) 곡물을 건조 및 저장시설에서 반입 또는 반출시킬 때 또는 저장시설로부터 도정공장내의 원료탱크로 이송시킬 때 주로 승강기와 체인컨베이어를 사용하고 있는데 이들의 시설단가가 매우 높고 특히 체인컨베이어에서 곡물에 손상을 많이 주어 썩미가 많이 발생하기 때문에 공기를 이용한 이송시스템의 개발이 요구된다. 특히 영농단이나 농가에서는 건조 및 저장용 사일리에 승강기나 체인컨베이어 장치를 설치하면 경제성이 매우 낮기 때문에 사일리에 고정적으로 이송 파이프를 설치하고 공기이송장치의 동력장치를 이동시

키면서 곡물을 반입하거나 반출한다면 곡물을 손쉽게 이송시킬 수 있다. 따라서 벼의 공기 역학적 특성을 고려한 공기이송 시스템을 개발하고 자동화하여 미곡종합처리장이나 기계화 영농단과 농가에 널리 보급하고자 한다. 현재 외국에서도 사일로의 반입 및 반출장치로서 공기이송장치를 개발하고 있으며 일부 시설에는 이미 설치하여 사용하고 있다.

#### 나. 경제·사회적 측면

우리 나라는 쌀을 주식으로 연간 600만톤 이상의 미곡을 생산하여 소비하고 있다. 특히 전남지역에서는 재배면적 약 16만ha에서 연간 약 90만톤의 벼를 생산하고 있으나 우리 쌀의 생산단가가 높아 국제 경쟁력이 뒤떨어진 관계로 점차로 우리 농민들은 생산을 기피하고 있다. 그러나 쌀은 우리의 주식이고 우리 농민의 주 소득원일 뿐 아니라 전세계적으로 쌀 생산량이 점차로 줄어들어 쌀의 국제 가격은 급격히 상승하고 있어 적어도 우리 쌀로 자급자족할 수 있도록 국가적 및 안보적인 차원에서 우리 쌀의 경쟁력을 높이기 위해서 고품위의 쌀을 생산하지 않으면 장차 우리 국민조차도 저렴한 수입 쌀에 의존할 지도 모른다. 따라서 우리는 성능이 우수하며 자동화된 첨단 선별, 건조, 저장, 통풍 및 공기이송 시스템들을 개발하여 미곡의 양적 및 질적 손실을 최소화하고 고품위의 양질미를 생산하여야 할 것이다. 이에 각 세부과제별로 연구의 필요성을 경제·사회적 측면에서 구체적으로 서술하면 다음과 같다.

1) 현재 건설중인 미곡종합처리장의 반입시설은 처리능력이 시간당 15톤 ~ 20톤으로 설치되고 있는데, 반입시설중 선별장치인 조선기의 처리능력이 매우 낮고 이물질을 제거하는 선별성능이 뒤떨어져 이 공정에서 정체현상이 야기되고 있다. 이에 조선기의 낮은 성능이 미곡종합처리장의 전체적인 효율을 떨어뜨리며 조선공정 후의 건조공정에서는 불균일한 건조를 야기하고 건조비용을 상승시키며 저장 곡물에서는 균과 해충의 번식을 촉진시켜 곡물의 양적 및 질적 손실을 야기시킨다. 또한 도정공정에서는 종합 석발기에 무리

한 부하를 주고 현미기 및 정미기에서는 기계의 성능을 떨어뜨리고 기계의 수명을 단축시킴으로써 경제적 손실을 가져다 주므로 하루빨리 성능이 좋은 조선기를 개발하여 보급하여야 하겠다. 따라서 성능이 좋은 석발기를 개발하여 국산화한다면 외제 조선기도 수입할 필요가 없어서 수입대체 효과도 누릴 수 있을 것이다.

2) 미곡종합처리장에서 곡물의 건조시설로서 순환식 건조기만을 사용하면 10여대 이상의 건조기가 소요될 뿐 아니라 1대의 1회 건조용량도 5톤밖에 되지 않아 수시로 곡물을 반입 및 반출시켜야 하기 때문에 이송비용도 많이 들고 곡물의 손상을 가져 올 수도 있다. 또한 이러한 건조기는 한달 정도만 사용하고 그 외에는 사용하지 않기 때문에 시설의 고정비용을 높이고 미곡종합처리장의 수익성을 떨어뜨리고 있다. 이에 최근에는 순환식 건조기 대신에 대형의 연속식 화력건조기를 외국에서 수입하여 설치하고 있으나 이는 1대당 가격이 1억원에 육박할 정도로 매우 고가이고 이 역시 한달 정도밖에 사용하지 못하며, 물벼의 반입량이 적을 때는 사용하기 힘들기 때문에 그 경제성이 매우 의문시되고 있다. 따라서 연속식 건조기의 성능, 운용비용, 건조된 벼의 품질, 건조기의 가격 등을 고려한 경제성 검토 등에 관한 연구가 선행된 후에 미곡종합처리장이나 기계화 영농단 등에 도입되어야 함에도 불구하고 무조건 수입하여 설치하고 있어서 이에 대한 연구가 절실히 필요한 실정이다. 그리고 선진국에서는 철제 원형사일로에서 주로 상온통풍 또는 저온 열풍으로 건조시킨 후 추후에 건조용 사일로를 저장용 사일로로 이용하고 있다. 이에 우리 나라에서도 철제 원형사일로에 자동 건조 및 저장 시스템을 개발하여 사용한다면 별도의 건조기가 필요없이 곡물을 저장할 수 있어서 건조 시설에 소요되는 고정비용을 크게 감소시킬 수 있다. 또한 건조용 사일로부터 낮에는 주로 상온 통풍으로 밤에는 보조 열원을 사용하여 곡물을 건조하기 때문에 곡물 건조 비용도 크게 줄일 수 있으리라 사료된다.

3) 미곡 저장시설로서 철제 원형사일로는 사각빈 등의 타 저장시설에 비해 시설비용이 적게 들며 설치가 용이할 뿐 아니라 곡물을 손쉽게 관리할 수

있다. 이에 원형사일로에 적정 소재를 사용하여 단열처리를 하고 자동화된 컴퓨터 저장관리시스템을 개발하여 설치한다면 곡물의 양적 및 질적 손실을 크게 감소시킬 수 있으며 이같은 사일로 저온저장 시스템의 개발 및 자동화가 절실히 요구된다. 또한 사일로 단열처리에 많은 비용이 소요되는데 이를 저렴하게 처리할 수 있는 방법이 개발되어야 하며 곡물을 안전하게 저장할 수 있는 사일로 중저온 저장시스템의 개발이 요구된다.

4) 현재 외국에서는 곡물 저장시설에 냉각장치를 설치하여 곡물을 저온으로 저장 관리하여 고품질의 쌀을 생산하고 있다. 이에 우리나라에서도 자동 통풍시스템을 개발하여 저장시설에 설치한다면 곡물을 안전하게 저온으로 저장하여 고품질의 쌀을 생산할 수 있어서 우리 쌀의 국제 경쟁력을 높이고 우리 쌀의 소비증대를 가져올 것이며 이에 따라 우리 농민들도 벼농사에 의욕을 가지고 쌀을 생산할 것이다. 특히 자동 통풍시스템으로 사일로에 저장된 곡물을 컴퓨터를 이용해 자동으로 관리한다면 저장 곡물의 양적 손실을 막고 미질을 최상으로 유지할 수 있어서 총 쌀 생산량의 약 2%정도 이상의 곡물 손실을 줄일 수 있으리라 사료된다. 그리고 미곡의 품질검사 장치를 개발하여 미곡의 품질에 따라 등급을 매김으로써 미곡의 유통구조를 새롭게 해야 하며 최고의 양질미를 생산할 수 있도록 해야 한다.

5) 곡물의 이송장치로서 승강기와 체인컨베이어 장치를 많이 설치하는데 이들은 시설비용이 매우 높고 곡물에 손상을 주기 때문에 이를 대체할 수 있는 공기이송 시스템의 개발이 요구된다. 공기이송 시스템은 시설단가가 싸고 설치하기 용이하리라 생각되기 때문에 개발되면 대부분의 곡물 건조저장시설에서 많이 사용되리라 사료되며, 곡물의 이송시설에 소요되는 비용을 상당히 줄일 수 있으리라 생각된다.

#### 다. 사회적 측면

현재 설치하고 있는 미곡종합처리장들은 우리 쌀의 국제경쟁력을 높이고

고품질의 쌀을 생산하여 커다란 기여를 하리라 생각된다. 그러나 많은 시설 비용을 투자하면서도 시설의 미흡 및 불안전, 단위 기계들의 성능 부족, 그리고 시스템들의 미비 및 비자동화로 인하여 미곡종합처리장이 제대로 가동되지 않는다면 우리 쌀의 국제경쟁력은 약화되고 수입 쌀의 의존하게 되어 우리의 농업은 꺾이고 황폐화되어 경쟁력을 잃을 것이며 우리 농민들은 더 이상 벼농사를 짓지 않고 농촌을 떠나게 될 것이다. 따라서 국내에서도 고품질의 쌀을 생산할 수 있도록 곡물 선별, 건조, 저장 및 공기이송 시스템들의 개발이 절실히 요구되고 있다.

### 3. 국내외 기술현황

#### 가. 국내 기술현황

1) 곡물 선별시스템 : 국내에서는 일부 기업들이 조선기를 개발하여 미곡종합처리장에 설치하고 있으나 견벼를 기준으로 하여 개발하였기 때문에 그 성능이 매우 떨어져 문제점이 되고 있다. 특히 국산 조선기에서는 검불이나 지푸라기, 종이전표, 철사줄 등이 제대로 제거되지 않아 승강기나 이송 슈트를 막히게 하고 조선기 자체 내에서도 배출되지 않고 쌓여 곡물이 전혀 정선되지 않는 경우가 많다. 일부 국산 조선기들은 송풍장치가 없어 이물질들을 제대로 배출시키지 못하며 선별판에 끼인 이물질들을 제거해주는 스크레이퍼 장치가 없어서 그 성능이 매우 떨어지고 있다. 물벼의 공기 역학적 특성 및 마찰특성 등을 고려해서 조선기를 이론적으로 설계해야 함에도 불구하고 외제를 모방하는 수준에서 조선기를 제작하고 있는 실정이다.

2) 곡물 자동건조시스템 : 국내에서도 철제원형사일로가 건조저장시설로서 본격적으로 도입되고 있다. 그러나 건조용 사일로에 함수율 측정장치 등 자동건조시스템이 설치되지 않아 앞으로 건조용 사일로를 운용하는데 많은 애로사항이 발생되리라 생각된다. 또한 사일로에서 곡물을 배출하는 장치가 약

하고 자동화가 되어 있지 않으며 곡물 배출 후에도 곡물이 완전히 배출되지 않아 사일로 내에 잔곡이 남는 문제점이 발생되고 있다. 그리고 국내에 최근 설치된 플랫폼태의 곡물 사일로는 산업용이 아닌 농가용이어서 사일로 교반 장치의 down auger들이 약하고 바닥부의 스위프오거가 수동이며 제대로 작동이 안되고 있다. 즉 사일로의 부속장치 및 건조시스템들이 자동화가 되어 있지 않기 때문에 이들 시스템의 개발 및 자동화 그리고 국산화가 시급히 요구되고 있다. 특히 곡물의 함수율이 미질에 가장 큰 영향을 미치므로 함수율 18% 수준으로 1차 건조한 후 18% 함수율에서 16% 함수율로 저온 또는 자연 통풍으로 템퍼링시키면서 건조할 수 있는 자동건조시스템의 개발이 절실히 요구된다. 금동혁(1995)등은 곡물 사일로에서 누적건조방법을 이용하면서 벼를 상온통풍으로 건조시키는 실험을 실시하였다. 교반장치를 사용해 함수율을 균일하게 하면서 곡물을 건조시킬 수 있다고 하였다. 그러나 이 건조용 사일로에는 자동건조시스템은 설치되지 않아서 수동으로 함수율을 측정하면서 건조실험을 수행하였다. 현재 설치 중에 있는 미곡종합처리장은 작업의 성력화 및 효율화를 위해서 기계화되고 자동화가 되고 있는데 건조용 사일리에 자동건조시스템이 설치되지 않는다면 미곡종합처리장의 전체 작업효율은 매우 떨어지게 될 것이다. 또한 국내에서는 아직까지 사일로를 연속식 건조기로 활용한 적이 없으며 이에 대한 연구도 전혀 없기 때문에 일부에서는 대형 연속식 화력건조기를 고가로 수입하여 사용하려고 있으며 일부에서는 이미 수입하여 사용하고 있다.

3) 곡물 사일로 저장 시스템 : 국내에서는 최근에 저장시설로서 철제 원형 사일로를 많이 설치하고 있다. 그러나 외부에 설치되는 관계로 저장 사일리에 단열처리를 하려고 하고 있으나 이에 대한 충분한 기술적 검토가 이루어져 있지 않아서 많은 시행착오를 겪고 있다. 단열처리 방법으로 스티로폼을 단열재로 사용하거나 또는 우레탄 판을 단열재로 사용하여 사일리에 부착하고 있으며 일부에서는 우레탄 폼을 발사시켜 단열처리하고 있다. 이들 처리방법에 따라 시설비용이 매우 차이가 있고 그 단열처리 효과도 매우 다르



리라 사료된다. 따라서 적정 단열처리 방법이 강구되어야 하며 가능한 한 시설비용을 줄여야 하겠다. 또한 외기에 노출되는 사일로에 저장된 곡물을 중저온으로 저장할 수 있는 냉각시스템의 도입이 절실히 요구되고 있으나 이에 대한 연구개발이 전혀 이루어지지 않았다. 양질미를 생산하기 위해서는 함수율 16% 수준에서 가공될 수 있도록 곡물을 15℃ 이하에서 저장할 수 있는 냉각시스템의 개발이 요구되며 이 시스템의 자동화가 요구되고 있다. 그리고 저장용 사일로에 곡물을 자동으로 관리할 수 있는 시스템이 개발되지 않아 곡물의 재고량도 알 수 없을 뿐 아니라 곡물 함수율과 온도에 따른 자동환기도 이루어지지 않아서 곡물을 안전하게 저장관리 하는데 어려움이 많이 있다. 현재 미곡종합처리장의 저장시설에 곡온 측정장치가 설치되어 있음에도 불구하고 이 곡온 자료를 기초로 곡물을 자동환기시키는 시스템이 설치되어 있지 않으며, 곡물간에 온도차이가 있어도 이에 대한 적정 처리방법도 몰라 그냥 곡물을 방치하고 있다. 또한 사일로 내의 곡물 퇴적고를 알 수 있는 계측장치의 개발과 곡물을 안전하게 자동으로 저장관리할 수 있는 자동화된 사일로 저장 시스템의 개발이 요구되고 있다.

4) 공기이송 시스템 : 국내에서는 곡물의 이송을 위해 승강기나 체인컨베이어장치들을 주로 사용하고 있다. 현재 미곡종합처리장에서는 곡물 반입, 반출 및 이송을 위해서 승강기와 체인컨베이어 그리고 벨트컨베이어를 주로 사용하고 부분적으로 스크루컨베이어를 사용하고 있으나 이들 시설단가가 높아서 많은 고정시설 비용이 요구되고 있다. 따라서 외국과 같이 곡물 이송에 저렴하게 설치될 수 있는 공기이송 시스템의 도입이 요구되고 있으나 이에 대한 연구개발이 전혀 이루어지지 않고 있다. 국내에서도 부분적으로 일부 제분공장에서는, 사료 및 제분이송에 공기 이송장치가 사용되고 있다. 국내에서는 일부 학자들에 의해 곡물의 공기 역학적 특성이 구명된 바 있으나 곡물 공기 이송시스템의 개발에 대한 연구는 보고된 바 없다.

## 나. 국외의 기술현황

1) 곡물 선별시스템 : 곡물의 선별시스템은 곡물을 많이 생산하는 미국에서 주로 대형 선별기계들이 개발되어 사용되어 왔으며, 근래에는 일본에서 미곡종합처리시설이 건설되면서 우리 실정에 적합한 소규모의 미곡 선별시스템이 개발됨에 따라 우리 나라에 수입되어 사용되기 시작했다. 특히 일본의 대학 연구소 및 업체에서는 곡물 선별장치에 막대한 연구비를 투자해 지금의 기계들을 개발하여 사용하고 있으며 전세계에 널리 보급하고 있다. 일본의 사다케, 도요, 안자이, 구보다 등의 농업기계회사들이 곡물의 물리적 및 광학적 특성에 기초하여 성능 좋은 조선기, 쇄미선별기, 색채선별기 등의 곡물선별장치들을 생산하고 있다.

2) 곡물 자동 건조시스템 : 미국에서는 1960년대부터 곡물을 포대식 저장으로부터 산물식 저장방법으로 변환하면서 곡물 철제 원형사일로를 개발하여 전국적으로 보급하기 시작했다. 지금에는 미국내의 곡물 총생산량의 1/2이상이 철제 원형사일로에서 건조되면서 저장되고 있다. 이에 사일로용 자동 건조장치를 개발하여 사일로를 연속식 건조기로 사용하면서 상온통풍 또는 저온열풍으로 건조하고 있다. 미국에서는 곡물 사일로는 GSI, Buttler, Chief, Yoke, Brock, MFS 등의 10여개 회사에서 생산되고 있으며, 사일로 부속장치를 포함한 자동 건조장치는 Sukup, DMC 등의 몇개 전문회사에서 생산되고 있다. 그러나 미국의 사일로 건조장치들은 완전 자동화가 되어있지 않고 단지 함수율에 의해 장치들이 자동제어 되도록 되어 있으며 건조방법도 자연가스를 이용한 버너시스템을 사용하고 있다. 이에 우리의 기후조건과 실정에 적합한 사일로 건조시스템의 개발과 자동화가 요구된다. 일본과 대만에서는 습도가 매우높아 별로 사용하지 않고 다만 저장시설로서 많이 설치하고 있으며 건조시설로 순환식 또는 연속식 건조기를 많이 사용하고 있다. 그러나 우리 나라에서는 벼 수확시기에 미국처럼 건조잠재력이 매우 높아 사일로를 건조장치로 활용할 수 있기 때문에 건조비용을 절감하고 성력화를 위해서 우리

실정에 적합한 사일로 자동건조시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다.

미국에서 Verma(1984)등은 곡물 사일로에서 벼를 건조할 때 외기의 온도에 따라 천연가스의 양을 자동으로 조절하는 gas modulating burner를 사용해 건조에너지 및 건조비용의 절감효과를 분석한 바 있다. Chung(1989)은 전기저항식 센서와 온·습도센서를 사용해 사일로 내의 곡물의 함수율을 예측하여 사일로의 부속장치들을 자동제어하는 연구를 하였다. 이 연구에서 전기저항식 수분센서는 곡물 건조시에, 온·습도 센서는 곡물 저장시에 함수율을 예측하는데 더욱 적합하다고 하였다. 미국의 DMC사에서는 유전율 방식의 수분센서를 개발하였는데 이 수분센서를 사일로의 곡물배출오거에 사용해 곡물의 함수율을 측정함으로써 사일로 부속장치를 자동제어하는 자동건조장치를 개발하였다. 일본에서는 전기저항식 수분센서를 승강기나 곡물 이송부에 설치하여 곡물의 함수율을 측정하였으나 일본에는 건조용 사일로는 별로 보급되지 않아 사일로 자동건조시스템에 대한 연구는 거의 없다. Bakker-Arkema(1977)는 연속식 건조기의 개발에 관한 연구를 하였으며, 사일로를 배치식 및 연속식 건조기로 사용할 수 있는 Top Dry System의 개발에 관한 연구도 한 바 있다.

3) 곡물 사일로 저장 시스템 : 외국에서는 곡물을 철제 사일로에 저장하여 곡온을 측정함으로써 곡물을 안전하게 관리하고 있다. 특히 대만의 미곡종합처리장에서는 곡물냉각장치를 단열처리된 사일로에 설치함으로써 곡물을 15℃이하, 함수율 16% 수준에서 저장하며 곡물을 도정하고 있다. 대만의 Engrain회사는 대만국립대학 및 대만중흥대학과 산학협동으로 미곡종합처리시설들을 연구개발하여 설치하고 있으며, 특히 곡물 냉각시스템을 개발하여 대만의 미곡종합처리장에 널리 보급하고 있다. 대만에서는 두께 1cm의 단열재를 사일로 외벽에 설치하고 지붕부분에는 내부에 단열재를 설치하여 단열처리를 함으로써 곡물을 안전하게 관리하고 있다. 일본에서는 두께 5cm의 단열재를 사일로에 부착시켜 단열처리를 의무화하고 있다. 이러한 일본과 대만을 고온 다습지역이어서 우리의 실정과 기후조건이 다르기 때문에 우리에

적합한 사일로 단열처리 방법의 개발이 요구된다. 미국에서는 곡물을 함수율 12~13% 수준까지 건조하여 저장하고 있으며 간헐적으로 통풍시켜 곡물을 관리하고 있으며 일부에서는 저장 사일로에서 곡물의 온도를 측정하여 온도 구배가 관측되면 자동으로 곡물을 통풍시켜 사일로 내의 곡물 온도와 함수율을 균일하게 하여 곡물을 안전하게 저장관리하고 있다.

4) 곡물 공기이송시스템 : 미국의 DMC사는 사일로 부속장치들을 생산하는 회사로서 최근에 옥수수 공기이송시스템을 연구개발하여 철제 사일로에 설치하고 있다. 외국에서는 승강기와 체인컨베이어 대신에 압송식 또는 흡인식 공기이송 시스템을 설치하여 곡물을 사일로에 반입하거나 반출시키고 있다. 일부 곡물 터미널에서도 공기 이송시스템을 사용하여 고정 시설비용을 줄이고 있으며 곡물뿐 아니라 부산물인 왕겨 및 제분 등을 이송하는데도 사용하고 있다.

#### 4. 국내외 연구개발현황에 대한 종합적 분석 및 평가

곡물의 선별, 건조 및 저온저장 시스템들에 대한 연구개발사례가 국내에서는 매우 미진하며 그 필요성에 따라 시작단계에 있어서, 절실히 이들 시스템들의 개발과 자동화에 대한 연구가 절실히 요구된다. 또한 곡물 공기 이송시스템 역시 외국에서는 이미 개발하여 사용하고 있으나 우리의 곡물 이송시설로서 전혀 도입되지 않고 있는 바 우리 실정에 적합한 곡물 공기이송시스템의 개발이 요구된다, 따라서 앞으로 전국적으로 곡물의 건조저장시설로써 보급된 조전기 등의 선별장치, 사일로 건조·저장 시스템 및 공기이송시스템에 대한 연구개발이 절실히 요구된다.

가. 국내외 기술사항의 비교분석

1) 국·내외 기술수준 비교표

연구 내용	국내외	기술 수준 정도								
		하하	하중	하상	중하	중중	중상	상하	상중	상상
곡물 선별시스템	국 내	→								
	국 외						→			
곡물 자동건조시스템	국 내	→								
	국 외							→		
곡물사일로저장시스템	국 내	→								
	국 외							→		
곡물 공기이송시스템	국 내	→								
	국 외							→		

2) 국내외 기술수준의 분석평가

가) 외국의 경우

(1) 곡물 선별시스템 : 선진국에서는 곡물의 물성을 분석하고 이를 기초로 상당한 수준의 선별장치를 개발하고 있으며, 특히 곡물의 물리적, 전기적 및 광학적 특성을 이용한 첨단 선별장치들을 개발하고 있다. 일본에서는 이미 물벼 수매시스템을 도입하여 물벼 속의 이물질 제거를 위해 곡물 조선키를 개발하였으며 성능향상을 위해 이에 대한 연구개발을 계속하고 있다.

(2) 곡물 건조시스템 : 곡물 사일로를 이용한 자동화된 연속식 건조시스템이 부분적으로 개발되어 있다. 또한 대형 연속식 건조기들이 많이 개발되어

사용되고 있다.

(3) 곡물 사일로 저장시스템 : 곡물 사일로를 단열처리하고 곡은 관리시스템을 설치하여 곡물을 부분적으로 자동관리하고 있으나 완전한 곡물 자동 저장관리 시스템은 개발되어 있지 않은 상태이다.

(4) 곡물 공기이송 시스템 : 현재 선진국에서는 공기이송시스템을 개발하여 승강기나 체인컨베이어 장치 대신에 곡물을 이송시키는데 사용하고 있다.

#### (나) 국내의 경우

(1) 곡물 선별시스템 : 곡물 조선키가 국내에서 생산되고 있으나 그 성능이 떨어져 많은 문제점을 야기하고 있어서 이에 대한 연구개발이 시급한 실정임. 국산 쇠미선별기 및 자력선별기 역시 그 성능들이 떨어져 성능개선이 요구되며 미강속에 섞여 폐기되는 배아를 선별하여 배아를 사용할 수 있도록 배아 선별기의 개발이 요구됨

(2) 곡물 건조시스템 : 곡물 건조방법에 대한 기술적 축적이 제대로 안되어 여러종류의 건조시설 및 장치들이 도입되고 있다. 이에 우리실정에 알맞는 적정 건조시설이 선정되어야 하며, 선정된 건조시설에 자동화된, 건조시스템의 개발이 절대적으로 요구되고 있다. 이에 저장시설로서 보급되고 있는 곡물 사일로의 자동화된 연속식 건조시스템 개발이 요구되고 있다.

(3) 곡물 사일로 저장시스템 : 곡물의 저장시설로서 널리 보급되기 시작한 곡물 사일리에 자동화된 저장관리 시스템이 설치되지 않아 곡물사일리에 곡물을 저장할 경우 곡물의 부패가 염려됨. 이에 곡물의 미질을 좋게 하기 위해 곡물냉각 시스템의 개발이 요구되며 자동으로 곡물을 안전하게 자동으로 관리할 수 있는 저장관리 시스템의 개발이 요구된다.

(4) 곡물 공기이송 시스템 : 국내에서는 곡물을 이송시키는데 공기이송 시스템이 사용되지 않고 있으며 이에 대한 연구가 제대로 이루어져 있지 않다. 현재 시설 단가가 높은 승강기와 체인컨베이어 장치를 대체할 공기이송 시스템의 개발이 요구된다.

## 나. 기술개발에 대한 종합적 평가

### 1) 기술적인 평가

우리 쌀의 경쟁력을 높이기 위해서 미곡종합처리장을 전국적으로 설치하고 있으나 곡물 건조·저장시설부분에 기술적 축적이 제대로 안되어 많은 문제점이 야기되고 있다. 특히 물벼를 정선하는데 곡물 조선기의 성능이 떨어져 거의 모든 미곡종합처리장에서 조선부분에서 정체현상을 일으키고 후속 공정에서의 작업효율을 떨어뜨리고 있다. 그리고 우리 실정에 적합한 곡물 건조·저장시설이 설치되지 않아 시설비용의 낭비가 있고 적정 건조 및 저온 저장 시스템이 설치되지 않아서 많은 노동력을 요하며 곡물의 양적 및 질적 손실을 야기하고 있다. 또한 건조·저장시설로서 플랫폼형의 곡물 사일로를 미곡종합처리장에 설치하고 있으나 산업용이 아닌 농가용 사일로들이 설치되어서 곡물배출시에 수작업으로 하도록 되어 있으며 배출오거의 날 두께들이 얇아 내마모성이 적으며 모든 부속장치들이 매우 약하게 설치되어 있다. 따라서 미곡종합처리장은 성력화와 비용절감 그리고 고품질의 쌀 생산을 목적으로 설치되고 있는 바 이를 위해서는 적정 건조·저장시설, 선별시설 그리고 공기이송 시설들의 개발 및 자동화에 대한 연구가 절대적으로 요구되고 있다.

### 2) 경제적인 평가

곡물의 선별장치들을 개발하고 성능을 개선시킴으로써 조선기와 같은 장치들의 문제점을 해소하고 미곡종합처리장의 전반적인 작업효율을 높임으로써 미곡종합처리장의 시설투자에 대한 경제성을 드높일 수 있다. 또한 외제 선별장치들을 수입할 필요가 없기 때문에 수입대체효과도 올릴 수 있다. 곡물 건조·저장시설의 경우에도 적정 시설들이 설치되지 않아 과잉투자를 하게 되고 시설비용의 낭비를 초래하게 된다. 따라서 적정 건조·저장시설과 시스템들이 개발되고 자동화되면 시설비용을 줄일 수 있고 곡물의 양적 및 질적 손실을 총 생산량의 2~3%이상 줄일 수 있어 커다란 경제적 이득을 가

저울 수 있다. 특히 곡물 공기이송시스템이 개발되고 자동화되면 곡물의 반입, 반출 및 이송에 소요되는 시설비용을 50~60% 수준으로 줄일 수 있다.

### 3) 산업기술에 미치는 파급효과

곡물 선별, 건조, 저장 그리고 공기이송 시스템들이 개발되고 자동화되면 연간 600만톤 이상씩 생산되는 벼를 효율적으로 관리할 수 있을 뿐 아니라 고품질의 쌀을 생산할 수 있어서 우리 쌀의 국제 경쟁력을 높일 수 있다. 또한 새로이 개발된 기술들을 미곡종합처리장의 건설에 활용함으로써 농민과 농업 그리고 국가산업 발전에 큰 기여를 하리라 사료된다.

## 5. 국내 연구개발의 현주소 및 취약성

### 가. 지금까지의 연구개발 실적

현재 국내에서는 미곡종합처리장을 건설해 양질미를 생산하려고 있으나 이에 대한 충분한 연구개발이 이루어지지 않아서 많은 문제점을 야기하고 있다. 특히 우리실정에 적합한 건조시설이 선정되지 않아서 순환식 건조기 또는 연속식 건조기를 사용해 화력건조를 실시하려고 있으며 일부에서는 철제 원형사일로에서 상온통풍 또는 저온열풍 건조를 시도하려고 있다. 사실은 현재 설치 중에 있는 미곡종합처리장의 건설에 앞서 1) 조선기와 같은 각종 곡물 선별장치의 개발, 2) 적정 건조시스템의 개발 및 자동화 3) 사일로 저장시스템의 자동화, 4) 사일로의 단열처리 필요성 및 처리방법의 개발 그리고 단열처리의 효과 및 경제성 분석, 5) 곡물을 안전하게 저장할 수 있는 곡물 통풍시스템의 개발, 6) 곡물의 적정 이송시스템의 개발 등에 관한 연구가 충분히 선행되어야 함에도 불구하고 이같은 연구도 없이 시행착오를 겪으며 미곡종합처리장을 짓고 있다. 국내에서는 겨우 철제 원형사일로에서 곡물을 상온



통풍으로 건조하거나 곡물의 저장에 관한 연구가 이루어졌을 뿐이다. 또한 외 제 연속식 건조기의 성능평가에 대한 연구도 보고된 바가 없다.

현재 일부 미곡종합처리장에는 철제 원형사일로를 건조 및 저장 시설로서 설치해 놓았음에도 불구하고, 일부 부속장치의 잘못된 설치 및 사용기술 부족, 건조 및 저장관리 시스템의 미비 및 비자동화 등으로 인하여 시설이 제대로 운용되지 않고 있다. 그리고 국내에서는 곡물 냉각시스템을 이용한 저온 저장을 한 적도 없고 이에 대한 연구도 전혀 없으나, 유럽, 일본 및 대만에서는 미질의 최상 유지를 위해서 곡물 냉각시스템을 개발하여 응용하고 있는 실정이다. 또한 곡물의 이송시스템으로서 국내 업체들은 승강기와 체인컨베이어 장치를 설치하여 사용하고 있으나 미국의 어떤 기업에서는 시설비용을 낮추고 곡물의 손실을 줄이기 위해서 공기이송 시스템을 개발하여 널리 보급하려고 하고 있다. 그러나 우리 나라에서는 곡물의 공기이송 시스템의 개발에 대한 연구가 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이기 때문에 이에 대한 연구를 수행하여 미곡종합처리장의 이송시설로서 응용될 수 있으리라 사료된다.

#### 나. 현 기술상태의 취약성

1) 미곡종합처리장에 설치되고 있는 선별시설인 조선기의 성능과 처리능력이 매우 떨어져 가장 큰 문제점으로 대두되고 있기 때문에 새로운 조선기의 개발과 성능개선이 요구된다. 현재 조선기에 대한 연구개발이 전혀 안되어 있어서 국내 조선기 생산업체의 기술수준이 매우 낮은 실정이다.

2) 국내의 기업들이 미곡종합처리장에 건조시설로서 순환식 건조기를 주로 설치하여 화력건조를 실시하고 있으며 최근에는 연속식 건조기를 도입하여 대량의 곡물을 건조하려 하고 있으나 곡물의 품질을 잘 유지하면서 저렴하게 건조할 수 있는 건조시설로서 철제 원형사일로 시스템이라 사료되어 일부 기업들에서는 철제 원형사일로를 설치하고 있지만 이에 대한 기술개발 및 연구 부족으로 말미암아 곡물을 제대로 건조시키고 있지 못하고 있다. 따라

서 철제 원형사일로의 건조시스템을 개발하고 자동화하여 곡물을 저렴하게 고품질로 건조할 수 있도록 해야 하는데 이에 대한 기술개발이 전혀 이루어지지 않고 있다.

3) 곡물 저장용으로 설치되고 있는 철제 원형사일로의 자동화된 사일로 저장 시스템 및 곡물 관리시스템의 개발이 매우 미비하다. 현재는 사일로내의 곡물 온도만을 측정하여 단지 기록하고 있다. 따라서 저장곡물의 온도와 함수율을 연속적으로 측정하여 곡물을 자동으로 관리할 수 있는 시스템이 요구되고 있는데 이에 대한 기술개발이 전혀 이루어지지 않고 있다. 특히 곡물 저장사일로에서 곡물의 안전 저장을 위해 단열처리를 하려고 있는데 이에 대한 기술축적이 미비하여 적정 단열처리 방법도 개발되지 않았으며 그 처리효과도 알려지지 않고 있다.

4) 국내에서는 곡물을 대부분 포대에 담아 창고에 저장하고 있으나 미곡 종합처리장에서는 산물식으로 건물내의 사각빈과 외부에 설치된 철제 원형사일로에 함수율 14%이하로 저장하고 있다. 외국에서는 미질을 좋게 하기 위해서 이미 곡물 냉각용 공기조화 시스템을 개발하여 철제 원형사일로에 설치함으로써 곡물을 15℃이하 및 함수율 16% 수준에서 저장관리하고 있다. 그러나 우리의 미곡종합처리장은 이같은 시설을 전혀 설치하지 않고 있으며 이 시스템의 개발 및 도입여부에 대한 연구가 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이다. 궁극적으로 우리 쌀의 미질 향상을 위해서는 곡물 자동 통풍시스템의 도입과 이 시설의 적절한 활용이 요구된다.

5) 국내에서는 곡물의 공기이송 시스템이 전혀 개발되지 않았으며 이에 대한 연구도 전혀 없는 실정이다. 곡물의 공기 역학적 특성 및 곡물의 마찰 특성에 관한 연구는 부분적으로 행하여 졌으나 승강기나 체인컨베이어를 대신할 공기이송 시스템에 대한 연구는 전혀 없는 실정이다. 현재 외국에서는 곡물의 공기이송 시스템을 개발하여 사용하고 있는 바 국내에서는 이에 대한 연구와 기술개발이 전혀 없기 때문에 하루속히 저렴하고 시설이 용이한 공기이송 시스템의 개발과 자동화가 절실히 요구되고 있다.

## 6. 개발에 따른 앞으로의 전망

곡물의 선별, 건조, 저장 및 공기이송 시스템들이 개발되고 자동화되면, 현재 설치중이거나 계획중인 미곡종합처리장의 기술적 문제점들을 해결하고 곡물의 양적 및 질적 손실없이 곡물을 안전하게 자동 관리할 수 있을 뿐 아니라 시설들의 설치비용을 감소시킴으로써 미곡종합처리장을 효율적으로 운영할 수 있게 된다. 또한 이러한 기술들을 기계화 영농단, 위탁영농회사, 농민조합, 농가 등에 보급함으로써 고품위의 쌀을 생산할 수 있어 우리 쌀의 국제경쟁력을 높일 수 있고 우리 농민의 소득증진을 꾀할 수 있다. 특히 상기의 기술들이 개발되면 약 20억 이상씩 투자하면서 갖고 있는 미곡종합처리장을 활성화시킬 수 있으며 효율적 운영을 가져오게 함으로써 미곡종합처리장을 성공적으로 이끌어 나갈 수 있다. 특히 현재 갖고 있는 미곡종합처리장을 성력화의 목적으로 기계화 및 자동화한다면서 실제의 많은 시설들이 수동적으로 운용되고 있는 실정이다. 곡물 선별 건조, 저장 및 공기이송 시스템들을 개발하여 전부 자동화하고 컴퓨터를 이용한 통합운영 프로그램을 개발하여 사용한다면 미곡종합처리장은 더욱 더 효율적으로 운영될 뿐 아니라 수익성도 향상될 것이다. 또한 이들 시스템들의 개발로 국내의 곡물처리시설들의 수준도 향상되어지며 외국산 수입기계들의 대체효과도 있을 것으로 사료된다.

## 제 2 절 연구 목표, 범위 및 계획

### 1. 본 연구의 최종목표

1) 기존 조선기의 문제점을 규명한 후, 곡물속에 포함된 지푸라기, 검불, 쪽정어, 쇠붙이, 종이 등의 이물질을 잘 제거할 수 있는 고성능의 대형 곡물 조선기를 설계하고 개발한다.

2) 사일로내 곡물 상태와 곡물퇴적고 및 외기조건들을 연속적으로 모니터링하는 계측시스템을 개발하고, 사일로 시스템을 자동화하며 자동화된 연속식 건조시스템을 개발한다.

3) PC 및 PLC 이용한 곡물 사일로의 중저온 저장시스템을 개발하고 자동화한다. 또한 중저온 저장시스템으로 곡물 냉각기를 개발하고, 사일로의 적정 단열처리방법을 개발하며 그 효과를 분석하도록 한다.

4) 곡물의 공기이송시스템을 개발하고 자동화 시킨 후 성능을 평가한다.

## 2. 연차별 연구 목표 및 범위 (세부과제별)

### 1) 제1 세부과제: 곡물의 선별 및 공기이송 시스템 개발 및 자동화

구 분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위	비고
1차년도 (1996)	기존 조선기의 성능평가 및 성능개선	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 자료 및 정보 수집</li> <li>2. 기존 조선기의 구조분석 및 성능평가</li> <li>3. 기존 조선기의 문제점 구명 및 개선책 제시</li> <li>4. 기존 조선기의 성능실험</li> <li>5. 기존 조선기의 성능개선</li> <li>5. 조선기의 작동원리 분석 및 역학적 분석</li> <li>6. 신형 고성능 조선기의 기초설계</li> </ol>	
2차년도 (1997)	최신 고성능 곡물 조선기의 이론적 분석, 설계, 제작 및 개발 그리고 성능평가	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 조선기의 이론적 분석</li> <li>2. 조선기의 구동부 설계, 제작 및 개발</li> <li>3. 조선기의 선별부 설계, 제작 및 개발</li> <li>4. 조선기의 자동화장치 제작 및 개발</li> <li>5. 조선기의 성능 실험 및 성능평가</li> <li>6. 조선기의 성능분석</li> </ol>	
3차년도 (1998)	곡물 공기이송 시스템의 개발	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 공기이송시스템의 기초설계</li> <li>2. 공기이송 시스템의 제작 및 개발</li> <li>3. 공기이송 시스템의 자동화</li> <li>4. 공기이송 시스템의 성능평가 및 성능분석</li> <li>5. 공기이송 시스템의 성능개선</li> <li>6. 공기이송 시스템의 활용 및 응용</li> <li>7. 공기이송 시스템의 종합적 성능평가</li> </ol>	

2) 제 2 세부과제 : 곡물 건조 및 저장시스템의 개발 및 자동화

구 분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위	비고
1차년도 (1996)	사일로 건조시스템의 개발 및 자동화	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 곡물함수율의 자동계측 및 제어장치 개발</li> <li>2. 온도의 자동 계측 및 제어장치 개발</li> <li>3. 상대습도의 자동 계측 및 제어장치 개발</li> <li>4. 사일로 건조시스템의 자동화장치 개발</li> <li>5. 건조시스템의 소프트웨어 개발</li> <li>6. 사일로 건조시스템의 성능실험</li> <li>7. 건조시스템의 성능평가 및 성능개선</li> <li>8. 사일로에서 건조된 미곡의 품질검사</li> <li>9. 기존 건조시설들과의 미곡 품질 비교분석</li> </ol>	
2차년도 (1997)	사일로 저장 시스템의 개발 및 자동화	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 곡물 퇴적고 측정장치의 개발</li> <li>2. 컴퓨터 저장관리 프로그램의 개발</li> <li>3. 사일로 저장시스템의 개발 및 자동화</li> <li>4. 사일로 저장시스템의 저장실험</li> <li>5. 컴퓨터 저장시스템의 성능평가 및 분석</li> <li>6. 저장 미곡의 품질 변화 분석</li> <li>7. 사일로 저장시스템의 성능개선</li> </ol>	
3차년도 (1998)	사일로에서의 적정 단열처리 방법 개발 및 곡물 냉각기의 개발	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 자료 및 정보수집</li> <li>2. 적정 단열처리방법의 개발</li> <li>3. 사일로 단열처리 실시</li> <li>4. 단열처리의 효과분석</li> <li>5. 곡물 냉각기의 설계</li> <li>6. 곡물 냉각기의 개발</li> <li>6. 사일로 저장시스템의 종합적 성능평가</li> </ol>	

### 3. 추진전략 및 방법

#### 가. 추진전략

1) 주관연구기관인 전남대학교 농과대학의 식품공학과와 농공학과에서는 참여기업인 (주)북성기업과 선일기계공업사의 기술적 지원을 받아 본 연구사업을 공동으로 추진한다.

2) 본 주관연구기관은 필요시에 한국농업기계학회의 곡물종합처리시설 연구회의 전문가 자문과 한국식품개발연구원, 농촌진흥청 농업기계화연구소의 자문 그리고 농협중앙회 미곡종합처리장 사업단의 지원을 받도록 한다.

3) 본 주관연구기관은 현재 교류중인 미국의 David Manufacturing Company(DMC)로 부터 공기이송 시스템에 관한 기술정보 및 자료를 수집하도록 한다.

4) 본 연구기관은 대만의 大中市에 있는 Engrain Company로 부터 곡물저온 저장관리 시스템에 대한 기술정보 및 자료를 얻도록 한다.

5) 본 연구기관은 본 연구를 위해 외국의 연속식 건조기 및 사일로 건조, 저온저장 시스템에 대한 기술정보 및 자료를 수집하고 있다.

6) 본 연구기관은 시스템들의 자동화를 위해서 참여기업 및 연구소의 전문가들로부터 자문 및 지원을 받도록 한다.

#### 나. 연구방법

##### 1) 곡물의 선별 시스템 개발과 자동화

국내의 곡물 조선키들이 마른 벼를 정선하기 위해서 제작되어 왔기 때문에 요즈음 콤바인에 의해 수확된 물벼들을 정선하기에는 적합하지 않다. 물벼 속에 섞인 검불, 지푸라기, 종이전표, 나일론줄 및 철사줄 등이 제거되지 않아 조선키가 정지하게 되고 작업자가 수시로 조선키에 끼인 이물질을 꺼내야 하는 등 후속작업의 연속적 공정을 중단하게 함으로써 전체 곡물 처리공정들의 효율을 떨어뜨리고 있다. 이에 새로운 곡물 조선키의 개발이 요구됨

에 따라 물벼의 공기 역학적 및 마찰 특성, 시간당 처리량 그리고 이물질의 형태 등을 고려하여 조선기를 개발하고자 한다. 수분이 많은 검불과 지푸라기 등을 우선적으로 제거할 수 있도록 작게 절단하여 자동으로 제거하고 곡립보다 비중이 작은 이물질들은 송풍팬에 의해서 제거하도록 곡물 조선기를 설계하도록 한다. 따라서 크기가 큰 종이전표, 나이론줄, 철사줄, 지푸라기 등이 원통에 부착된 검불 제거장치와 칼날에 의해 절단되어 우선적으로 손쉽게 잘 제거될 수 있도록 설계하며, 곡립들은 선별판의 구멍들을 통해 잘 빠져 나갈 수 있도록 구멍의 크기를 적정 수준으로 하고 선별판에 끼인 이물질들을 연속적으로 자동 스크레이퍼를 사용해 제거하도록 설계한다. 또한 선별판의 선별기능을 극대화하기 위해서 진동장치의 회전수 및 스트로크(stroke)의 길이, 선별판의 경사각 등의 적정 수준을 구명하도록 한다. 또한 곡립보다 작은 돌멩이 등의 이물질을 제거하도록 또 다른 선별판을 설치하여 제작하도록 한다. 그리고 개발된 조선기의 성능평가 실험을 통하여 성능을 개선시키고 최대한으로 자동화시킨다.

## 2) 곡물의 건조 및 저장시스템 개발과 자동화

가) 곡물 사일로를 연속식 건조기로 사용할 수 있도록 곡물 배출장치를 자동화하고 사일로 부속장치들을 자동화한다. 또한 사일로 내에 반입되는 양을 자동으로 계측할 수 있도록 호퍼 스케일을 설치하도록 한다.

나) 곡물 사일로 내에서 곡물의 함수율을 연속적으로 측정할 수 있는 정전용량 방식의 함수율 자동계측 및 제어시스템을 개발하고 자동화한다.

다) 곡물 사일로에서 건조 중에 곡물의 온도, 함수율을 정확하게 계측할 수 있는 장치와 이들 수치에 따라 송풍기, 히터, 교반장치, 스위프오거 및 배출오거 등을 자동제어할 수 있는 곡물 자동건조시스템을 개발하고 그 성능을 평가한다.

라) 개발된 자동 건조시스템을 곡물 사일리에 설치하고 그 종합적 평가를 위해서 곡물 건조실험을 실시한 후 그들의 건조특성을 구명하고 건조된 벼의



미질을 분석하도록 한다. 건조된 벼의 미질 분석을 위해서 쌀의 동할율을 조사하고 마른벼 단립들의 함수율 분포를 조사하여 건조의 균일성을 분석한다.

(마) 곡물 사일로의 적정 단열처리방법을 개발한 후 곡물 사일리에 단열처리를 한다. 단열처리된 곡물 사일로부터의 단열처리 효과를 분석한다.

(바) 단열처리되고 곡물 통풍장치가 설치된 곡물 사일로부터 곡물을 안전하게 저장하며 자동으로 통풍시킬 수 있는 자동 저장관리 프로그램을 개발한다.

(사) 개발된 곡물 사일로 저장 시스템에서의 곡물 저장 실험을 실시하여 저장된 곡물의 온도 및 함수율, 평형상대습도 그리고 공기부패지수 등의 변화를 저장시간에 따라 비교분석함으로써 저장시스템을 평가한다.

(아) 곡물 처리량, 벼의 물성, 이송거리 등을 고려하여 공기이송 시스템의 송풍부와 로터리 벨브 그리고 파이프 시스템을 설계하고 제작한다.

(자) 공기이송시스템을 개발하고 자동화한 후, 개발된 시스템의 성능평가에 대한 실험을 실시한다. 성능평가 실험에서 소요동력, 이송능력 및 곡물 품질 등을 분석한다.

(카) 공기이송 시스템들을 곡물 사일로 시스템에 설치하고 그 활용효과를 종합적으로 분석한다.

#### 4. 연구 추진계획

##### 가. 1차년도 세부과제별 추진계획

연구 내용	연구 책임자	추진 일정												비고	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
기존 곡물조선기의 성능평가 및 성능개선 ○ 자료 및 정보수집 ○ 기존 조선기의 구조 분석 및 성능평가 ○ 기존 조선기의 성능 실험 및 성능개선 ○ 조선기의 기초설계 ○ 중간보고서	정종훈														
사일로 건조시스템의 개발 및 자동화 ○ 곡은 자동 계측 및 제어장치 개발 ○ 함수율 자동 측정 및 제어장치 개발 ○ 상대습도 자동 측정 및 제어장치 개발 ○ 건조시스템의 자동화 장치 및 소프트웨어 개발 ○ 사일로 건조시스템의 성능실험 및 미곡품질검사 ○ 중간보고서	이종욱														
사업진도 (%)		30		60			80			100					

나. 2차년도 세부과제별 추진계획

연구 내용	연구 책임자	추진 일정												비고	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
최신 고성능 곡물 조선기의 설계 및 개발 ○ 이론적 분석 및 설계 ○ 구동부 설계 및 제작 ○ 선별부 설계 및 제작 ○ 조선기 부속장치제작 ○ 개발된 조선기의 성능 실험 ○ 중간보고서	정종훈														
사일로 저장시스템의 개발 및 자동화 ○ 곡물 퇴적고 측정 장치의 개발 ○ 저장시스템의 컴퓨터 프로그램 개발 ○ 저장시스템의 개발 및 자동화 ○ 사일로 저장실험 ○ 저장시스템의성능평가 ○ 미곡의 품질 검사 및 시스템 성능개선 ○ 중간보고서	이종욱														
사업진도 (%)		30		60		80		100							

다. 3차년도 세부과제별 추진계획

연구 내용	연구 책임자	추진 일정												비고	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
공기이송 시스템의 개발 ○ 곡물 조선키의 성능 개선 및 이송장치설계 ○ 공기이송 시스템의 제작 및 개발 ○ 공기이송 시스템의 성능검사 ○ 곡물의 품질검사 ○ 최종보고서	정종훈														
사일로 적정 단열처리방법개발 및 냉각기 개발 ○ 자료 수집 ○ 단열처리방법 개발 ○ 곡물냉각기 개발 ○ 저장실험 ○ 처리효과 분석 ○ 최종보고서	이종욱														
사업진도 (%)		30		60			80			100					

## 제 2 장 곡물 조선기의 개발과 성능평가

### 제 1 절 연구배경 및 목표

우리 쌀의 고품질화와 국제 경쟁력을 증진시키기 위해서 전국적으로 미곡 종합처리장을 설치하고 있다. 96년까지 농협에 148개소, 민간인에 72개소 총 220개소의 미곡종합처리장이 완공되고, 앞으로 2000년까지 약 180여개의 미곡 종합처리장을 더 건설하려고 하고 있다. 그러나 짧은 시간에 미곡종합처리장을 건설하다보니 기술축적이 제대로 되지 않아 많은 시행착오를 겪고 있는 실정이다. 그 대표적인 일례로 대부분의 미곡종합처리장에 설치된 곡물 조선기가 마른 벼에 기준하여 설계되고 제작됨으로써 물벼의 경우에는 제대로 처리하지 못하고 성능이 떨어져 조선기에서 곡물이 막히는 현상이 많으며, 지푸라기와 나이론 줄과 같은 이물질이 수시로 손으로 빼내는 등 많은 문제점이 야기되고 있다. 따라서 선별성능이 좋은 곡물 조선기의 개발을 절실히 요구하고 있다. 특히 콤바인 수확작업시 벼를 포대에 담기 때문에 포대줄, 전표, 철사줄 등의 이물질이 검불이나 지푸라기와 함께 곡물을 조선기에서 문제점을 야기하고 있다. 이에 하루빨리 포대를 사용하지 않는 산물수확체제로 전환하여 이물질의 함유량을 줄여야 하고, 곡물 조선기도 물벼의 물성에 알맞게 설계되고 제작되어야 한다. 물벼는 함수율이 높기 때문에 건벼때와 달리 선별판에 경사각을 더 주고, 진동을 주는 편심 스트로크도 높게해야 하며, 선별판의 구멍도 크고, 풍량 및 풍압도 높게하여 선별의 주된 변수들을 잘 결정하여 제작하여야 한다.

일본에서도 물벼를 수확하여 미곡종합시설에 반입하기 때문에 고성능 곡물 조선기를 최근에 개발하여 물벼 상태에 따라 선별판을 교체하며 조선기내에 이물질이 많을 때에는 이물질을 센서가 감지하여 일시적으로 조선기에 곡물이 반입되지 않도록하여 조선기의 선별효율을 높일 수 있도록 하였다. 그리고 조선기의 선별판에도 처리능력에서 한계가 있기 때문에 구멍이 크게 뚫린 선별판을 두개 설치하여 시간당 20톤이상 충분히 물벼를 처리할 수 있도록 하였다.

또한 국내 조선기에서는 선별판이 상하 진동을 하도록 되어 있는데 비해 최근에 개발된 일제 조선기는 선별판이 좌우로 진동되면서 손쉽게 곡립들이 아래로 내려오면서 검불 및 지푸라기 등의 이물질이 선별되도록 제작되어 있었다.

따라서 본 연구에서는 국내 조선기에 대해 성능 및 자료를 분석하고, 로터리식 곡물 조선기의 성능을 평가하여 사용 가능성을 타진하며, 우리의 미곡종합처리장 실정에 알맞는 고성능 대형 곡물 조선기를 개발하고자 하였다.

## 2. 연구목표

- 1) 정치형의 기존 곡물조선기의 구조 및 성능을 비교 분석하고 문제점을 분석한다.
- 2) 이동식의 회전 원통형의 로터리식 조선기를 제작하고 그 성능을 평가한다.
- 3) 정치형의 좌우요동식 곡물 조선기를 이론적으로 분석하고 개발한다.
- 4) 개발한 곡물 조선기를 성능 평가하고 성능을 개선시킨다.

## 3. 연구 방법

1) 여러 미곡종합처리장에 설치된 국내외 조선기들의 구조 및 특징을 비교 분석하였고 문제점을 파악하였다.

2) 이동식의 회전 원통형 로터리식의 조선기를 제작하여 성능실험을 실시함으로써 농가 및 미곡종합처리장의 1차 조선기로서의 사용 가능성을 조사하였다.

3) 실내에 설치하는 정치형의 곡물 조선기를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 이론적으로 분석하였고, 이를 기초로 정치형의 곡물 조선기를 개발하였다.

- 4) 개발된 곡물 조선기의 성능을 평가하고 성능을 개선시켰다.

#### 4. 기대효과

1) 국내 미곡종합처리장의 가장 큰 문제점의 하나는 곡물 조선기의 성능 불량으로 원료가 제대로 반입되지 못하고 공정이 멈추는 일이다. 이에 국내 여러 미곡종합처리장들을 방문하여 현재 설치된 조선기들뿐만 아니라 본 대학에 설치한 조선기의 구조, 성능 및 문제점들을 조사하였고 그 특징들을 비교 분석하였다. 또한 조선기 제조업체에 대해 설문조사를 함으로써 각 조선기의 기능 및 특징을 비교하였다. 이에 분석된 조선기들의 문제점 및 성능 개선책들이 새로운 곡물 조선기 개발과 기존 조선기의 성능개선의 기초자료로서 활용되리라 사료된다.

2) 국내에 설치된 모든 조선기는 정치형으로서 주로 요동식의 선별판으로서 구성되어 있으나 반입되는 원료벼에 지푸라기외에 줄 및 종이 등의 이물질이 많이 포함되어 있어 그 처리능력과 성능이 매우 떨어진다. 따라서 포장에서 1차로 이동식 로터리형 조선기를 사용해 선별하고, 미곡종합처리장에서도 이 조선기를 사용할 수 있도록 하여 정치형의 곡물 조선기의 효율을 높이고 작업효율을 높이는 것이 필요하다고 생각된다. 이에 이동식의 로터리식 곡물 조선기를 제작 완료하여 그 성능을 평가하고 사용가능성을 진단하는 것은 곡물 조선작업의 효율 향상측면에서 매우 의미있는 일이라 하겠다. 특히 국내 처음으로 이동형의 로터리식 곡물 조선기를 제작하여 평가하고 개선함으로써 국내 미곡종합처리장이나 농가의 곡물 1차 선별작업에 큰 기여를 하리라 생각한다.

3) 현재 국내의 미곡종합처리장에 설치되어 있는 정치형의 곡물조선기들이 처리능력이 부족하고 선별효율이 매우 떨어져 많은 문제점을 야기하고 있는데, 이는 곡물 조선기들이 마른벼를 기준해서 설계되었고, 또한 이론적으로 분석하고 설계하지 않는데에서 비롯하였다고 생각한다. 따라서 곡물 조선기의 가장 중요 부분인 선별판의 작동원리를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 이론적으로 분석하여 적정 설계를 하는 것은 곡물 조선기의 성능향상에 큰 기여를 할 것이다. 또한 고성능의 곡물 조선기 개발이 미곡종합처리장에서 이물질 제거 작업에 큰 기여를 할 것으로 사료된다.

## 제 2 절 국산 조선기의 구조 및 성능 비교분석

### 1. 연구 내용 및 방법

#### 1) 자료 및 정보 수집:

곡물 조선기에 관련된 참고문헌을 조사하였으며, 국내 조선기 제조업체에 대한 설문조사를 통해 국산 조선기의 구조, 기능 및 특징들을 비교 분석하였다.

#### 2) 기존 조선기의 구조분석 및 성능평가

국내에 설치된 미곡종합처리장들을 방문하여 조선기의 구조 및 특징들을 살펴보고 작동현황 및 성능을 평가하였으며 그 문제점과 개선책을 제시하였다.

#### 3) 기존 조선기의 성능실험 및 성능분석

본 대학의 곡물 사일로시설의 반입장치의 하나로 진동선별판으로 구성된 정치형 조선기를 설치하여 그 성능을 실험하였다.

### 2. 연구 결과

#### 가. 국산 곡물 조선기의 구조 및 성능 비교분석

(1) 국내 미곡종합처리장들을 방문하여 현재 설치된 조선기들의 성능, 특징 및 문제점들을 조사하였다. 거의 모든 곡물 조선기들에서 처리능력이 부족하였고 성능이 떨어져 지푸라기, 검불 등의 이 물질을 제대로 제거하지 못할 뿐 아니라 이물질을 제대로 분리시키지 못해서 조선기에서 막히는 현상이 발생하였다(사진 2-1 및 2-2). 이에 정치형 조선기를 생산하는 국내 여섯개 업체에 대해서 조선기의 구조 및 성능에 대한 설문조사를 실시하여 조선기들의 특징 및 장단점을 비교 분석한 결과는 표 2-1과 같았다.

(2) 국산 조선기와 외제 조선기를 비교 분석하기 위해서 충북 성환농협 현장



에 설치된 일제S사의 조선기(사진 2-3)의 구조 및 특징을 분석하였다. 일제 조선기의 특징은 원료의 균일한 공급, 흡입팬에서 1차 조선, 경사선별판(사진 2-4)에서 2차 조선을 실시하였으며, 광센서를 사용하여 선별판위의 이물질 정도 여하에 따라 원료가 자동으로 조절되도록 되어 있다. 국산 조선기에 비해 일제 조선기가 구조 및 성능면에서 나왔으나 가격면에서 2배이상의 고가이었고 재탈곡 기능은 없었다.

(3) 국내 A미곡종합처리장에 설치된 M사의 조선기를 성능 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 조선기 투입구에 원료를 균일하게 공급시키는 장치가 없어서 균일하게 선별되지 않았다.

② 흡입팬이 설치되지 않아 지푸라기 및 검불이 충분히 제거되지 않았다.

③ 선별판위의 스크레이퍼가 선별판 상단부에 설치되지 않아 선별판 상단부에서는 지푸라기 및 검불이 제대로 제거되지 않았다. (사진 2-5)

④ 우레탄으로 만들어진 스크레이퍼가 지그재그식으로 설치되지 않아 그 기능이 충분치 않았다. (사진 2-6)

⑤ 미탈곡된 벼를 탈곡시킬 수 있는 장치가 설치되지 않았다.

⑥ 선별판의 폭이 적어 시간당 25ton이상의 처리능력을 갖고 있지 않았다.

⑦ 선별판에 뚫려 있는 구멍의 방향 및 크기가 적합하지 않았다.

⑧ 지푸라기 및 검불이 제대로 배출되지 않고 배출구에서 막히는 현상이 발생하였다.

⑨ 선별판의 경사각을 조절할 수 없었고 선별판도 교체가 불가능했다.

⑩ 선별판의 경사각, 구멍 크기, 구동 스트로크(편심각), 스크레이퍼의 성능 등이 조선기 성능에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

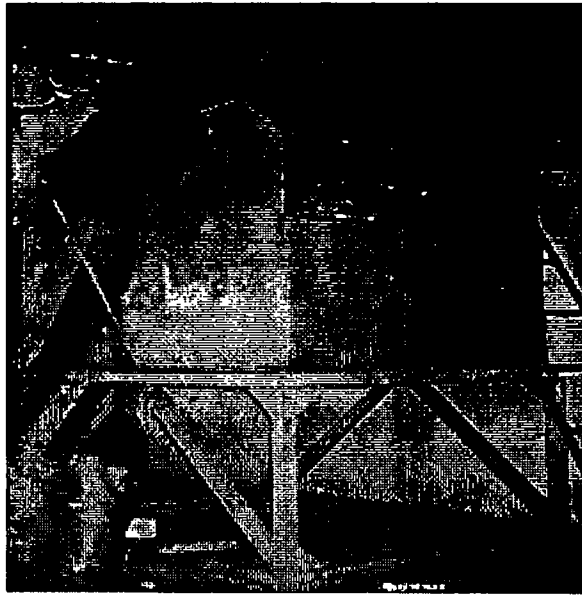


사진 2-1 A미곡종합처리장에 설치된 정치형 곡물 조선기의 외형

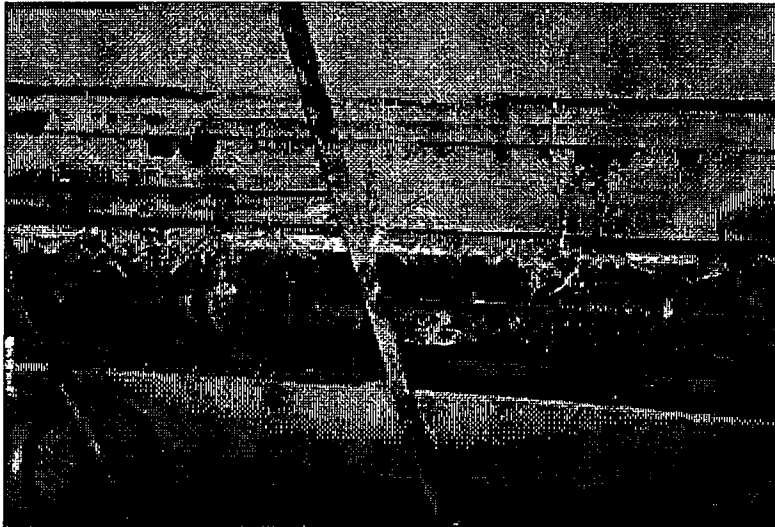


사진 2-2. 위의 곡물 조선기에서 검불,나이론줄 등의 이물질로 막혀 있는 상태

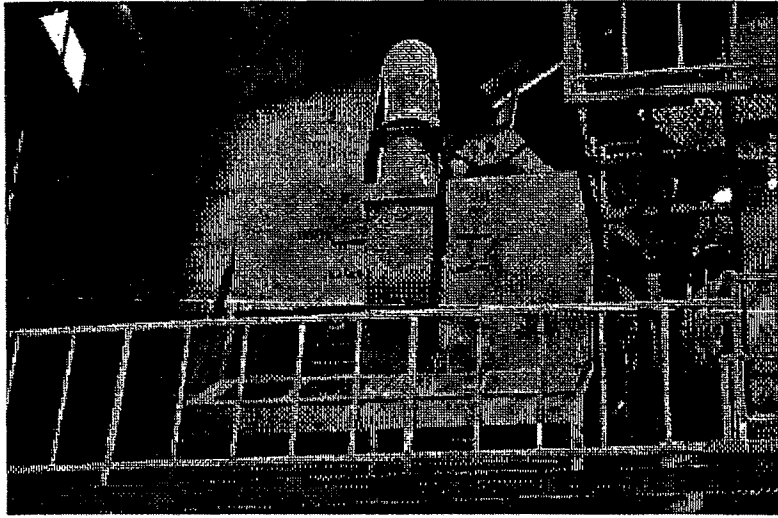


그림 2-3 B 미곡종합처리장에 설치된 외제 곡물 조선기의 외형

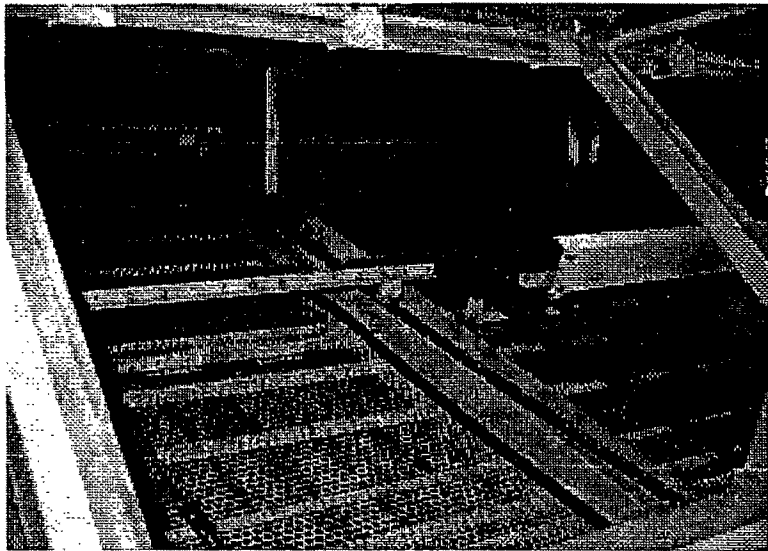


사진 2-4. 외제 곡물 조선기의 선별판, 스크레이퍼 등의 내부구조 모습

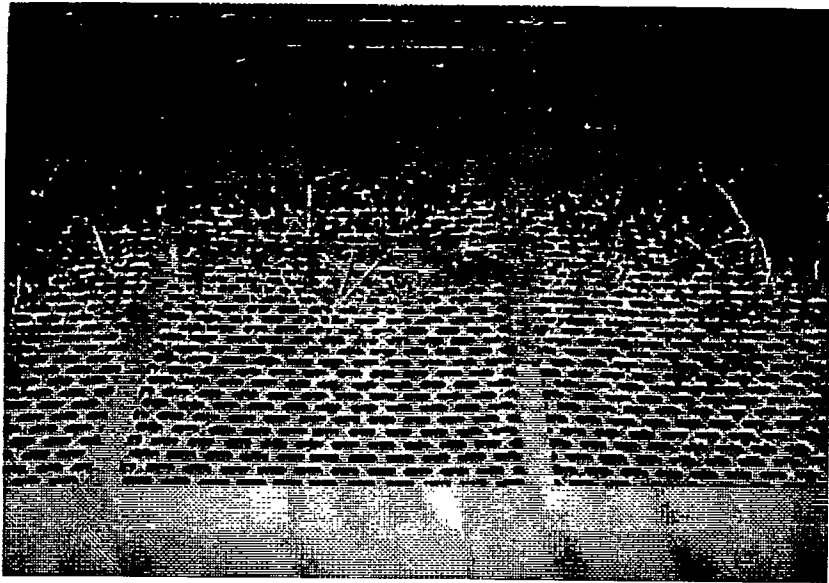


사진 2-5. 미곡종합처리장에 설치된 조선기 상부에서 선별이 잘 안되는 모습

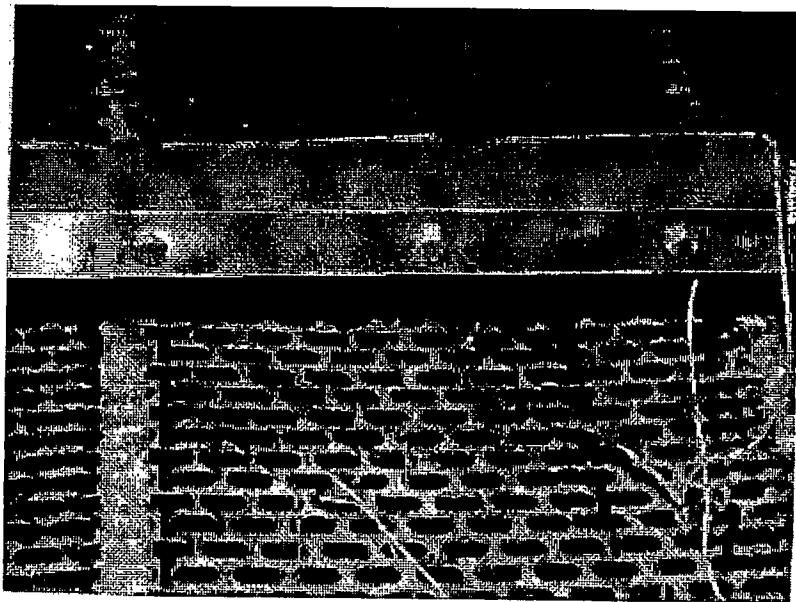


사진 2-6. 위의 곡물조선기에 설치된 스크레이퍼 형태

표 2-1. 국내외 곡물조선키의 모델별 비교분석

구분	S사	M사	E사	OD사	Y사	D사	
처리용량 (ton/hr)	건벼 30	건벼 30 물벼 20	물벼 20	물벼 20~25	건벼 25 물벼 15	물벼 20	
치수	2440×232 0×3852	1800×260 0×3320	2440×227 0×2318	2050×2650 ×3300	2520×1640 ×3460	3100×1800 ×3900	
동 력	스펠퍼	-	-	0.5Hp	-	0.5Hp	0.5HP
	흡입팬	10Hp	10Hp	-	10Hp	1Hp	원심
	선별판	2Hp	5Hp×6극	-	2Hp	3Hp	
	스크레이퍼	0.12Hp	0.5Hp	-	-	0.5Hp	
	기타	-	2Hp	-	1Hp	-	
총동력	12.3Hp	7Hp	5Hp	13Hp	5Hp		
스 펠 퍼	직경	-	1500×120 0×1200	610	-	710	육각스크린 600
	동력	-	0.5Hp	-	-	0.5Hp	
	길이	-	-	1585	-	1040	1450
	구멍크기	-	-	직경 2.5	-	-	#25×20
	구멍간격	-	-	-	-	23.7	
회전수	-	-	650	-	15rpm		
흡 입 팬	회전수	-	-	-	-	-	
	동력	10Hp	10Hp	-	-	1Hp	
	풍압 (mmAq)	-	120	-	-	-	
흡입량 (m <sup>3</sup> /min)	130	150	150	-	-	198	
선 별 판	동력	2Hp	5Hp	-	2Hp	3Hp	
	직경	10.12	-	2.5	-	∅14	
	선별판 구멍크기	1차 ∅14 2차 ∅2	1차 ∅12 2차 ∅4	sq 15	12	-	5×20 1.5×20
	구멍간격 (mm)	1차 16 2차 3.5	-	-	3	-	1차 3.5 2차 2.0
	선별판 폭 (mm)	1차 948 2차 950	1500	-	800	-	1800
	선별판 길이 (mm)	1차975×2 2차 1800	2300	1585	2200	-	3100
	선별판 구동 스트로크(m m)	-	10m/m 660rpm	-	60	-	캠편심 7.5 경사각 8-14°
스 크 레 이 퍼	치수 (mm)	889×5T	15t×60#	-	700	1350×2440	
	재질	우레탄	우레탄 3T	-	우레탄	-	
	구동동력	0.12Hp	1Hp	-	-	3Hp	
	회전수(rpm)	-	60	-	-	350	

구분	S사	M사	E사	OD사	Y사	D사
주요구성장치	균분기, 풍량조절부, 풍량조절단, 공합량조절부, 스크레이퍼, 구동축, 선별판, 정품배출부	진동스크린 2단, 흡인 식선별기, 1단망, 2단 망	원료투입구, 공급롤러, 조절v/v, 정선롤러, 팬, 스크류 v/v, 알곡과 이물질·먼 지배출구	투입정선부 ,선별부, 배출부, 구동부, 몸체	투입구,낙차조 절기,송풍량조 절기,송풍기,검 불제거기,다공 판,검불배출구, 집진구,낙차판, 검불제거기,캠 샤프트	공급롤러, 탈망 장치, 원통회전 체, 흡입팬, 먼 지배출구, 검불 배출구, 선별판
장단점및개선사항	-본체는 밀 폐방진형으 로 설계되어 있음 - 이물질양 감지센서가 설치됨. -고가임. 재탈곡 기 능 없음 -좌우진동 방식임. -선별판이 두 개이고 선별판교체 가 가능함	-흡입팬 없 음 -스크레이 퍼 기능강 화 -선별성능 향상이 요 구됨 -재탈곡 기 능 없음 -선별판 교 체 불가 -선별판 경 사각 조절 이 필요함	-물벼 반입 시용량 증대 요 -양 조절용 이 -흡입기능 보완, -재탈곡 기 능 없음 -요동식선 별판이 없음	-흡입팬 없 음 -선별성능 개선이 요구됨 -재탈곡 기 능 없음 -선별판 교 체불가	-선별판을 쉽 게 교환할 수 있도록 설계 제작 및 시공 되어야함. -성능개선이 요구됨.	-탈망장치에서 벼 손상 가능 성 있음. -스크레이퍼 설치 포함. -선별판 경사 각 조절가능. -흡입팬조절가 능.
설치능협	천안 성환농 협 설치함	포천 기산, 용인 이동, 철원동송 등 한잠모 텔에 다수 설치 진원	평택 팽성, 청원 오창, 고흥 포두, 이천 모가, 괴산 증평, 광주 본량	예산 봉산, 보성 농협	구례 구례, 화 순 도곡, 보성 조성, 강진 도 암, 청원 옥산, 북파주, 양평	

## 제 3 절 로터리식 곡물 조선기의 성능평가

### 1. 연구 방법

#### 가. 로터리식 곡물조선기의 구조분석, 제작 및 성능평가

원통 회전체형의 이동식 곡물 조선기를 부품들을 구입하여 제작하였다(사진 2-7). 본 조선기의 특징은 이동식이며 두 개의 원통형 회전체에 스크린망이 설치되어서 이 물질과 벼를 분리하도록 되어 있다. 두 개의 원통형 회전체가 경사지게 설치되어 있어 곡물이 자체 무게에 의해 이송되면서 선별되기 때문에 소요동력이 1.5PS로 매우 적었다. 그러나 재탈곡 기능이 없고 집진 기능이 미약한 단점이 있었다. 이 이동형의 로터리식 조선기의 정확한 성능평가 및 성능개선을 위해서 벼짚, 검불 등의 이물질이 포함된 함수율 약 15% 및 24%의 동진벼로 성능실험을 하였다. 이때 예비실험의 기초자료를 근거로 조선기의 로터리부의 경사각을 약 11도로 하였으며, 이물질 제거율, 정선립율, 곡립손실을 등을 조사하였다.

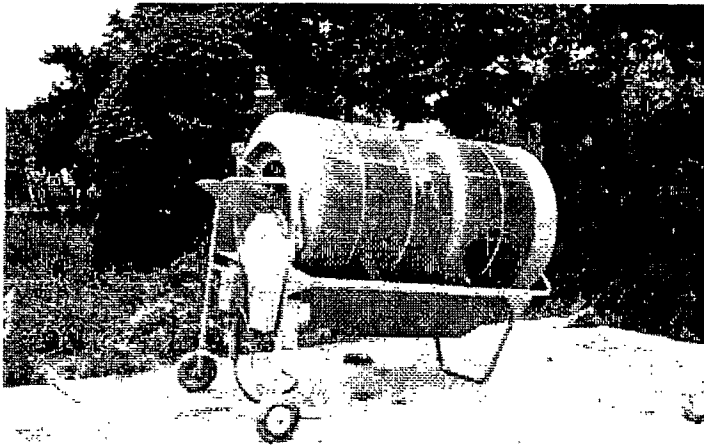


사진 2-7 제작한 이동형의 로터리식 곡물 조선기

## 2. 연구결과

성능시험한 결과, 이물질이 적은 곡물에서는 로터리식 조선키가 잘 작동되었으나, 곡물속에 벧짚이나 잡초줄기가 많이 섞인 경우에는 이물질 때문에 한번이 약 5 mm인 안쪽 스크린망안에서 곡물이 이물질과 섞여 일부 곡립이 이물질과 같이 빠져 나오는 경우가 있었다. 따라서 이물질이 아주 많을 경우에는, 곡립이 빠져나오도록 되어 있는 안쪽 스크린의 목의 크기를 크게한 스크린으로 교체하면 선별성능이 훨씬 향상될 것으로 사료되었다. 또한 콤바인 작업으로 수확된 곡물속에 외관상 벧짚과 잡초줄기가 많이 포함되어 있어 이물질의 무게를 측정한 결과 그 무게비는 0.1% 이내로서 무시할 정도이었다. 그리고 곡물조선키에는 반드시 흡입팬이 설치되어야 가벼운 검불들을 손쉽게 제거할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 다음은 건벼와 물벼에서의 성능을 평가한 구체적인 결과이다.

### 가. 건벼에서의 로터리식 조선키 성능평가

로터리식(rotary type) 소형 곡물 조선키를 제작하여 성능 평가실험을 실시하였다. 로터리식 곡물 조선키의 소요동력은 1.5마력이고, 처리능력은 시간당 약 2t/h이었다. 예비실험 결과 로터리 회전체의 기울기는 11°가 가장 적합하여, 이 상태에서 본 조선키의 선별 성능실험을 실시한 결과는 표 2-1(a)과 같았다. 처리 1과 처리2의 시료는 제초 상태가 매우 나쁘고 구형 콤바인을 사용하여 이물질이 많이 함유된 건벼 상태로서 선별회전체의 경사각에 따라 달리 실험하였다. 이때 예비실험을 통해 두수준의 선별회전체 경사각을 선정한 바, 처리1의 경우의 선별회전체 경사각은 14도이었고, 처리2의 경우 11도이었다. 이때 정선(립)율은 처리1과 처리2에서 공히 약 95%로 비교적 높았으나, 처리 1에서 이물질제거율은 45%, 손실립율은 1.6%, 처리2에서는 이물질제거율은 71%, 손실립율은 약 1.8%로서 선별회전체의 경사각이 11도 일 때가 이물질 제거율이 높았다.



표 2-1(a) 로터리식 소형 곡물조선키의 성능실험 결과 (건벼의 경우)

처 리	물 질	출 구 (kg)		계(kg)	구성비 (%)	성 능		
		정상벼 출구	이물질 출구			이물질 제거율	손실립율	정선(립)율
처리1 건벼 15%	건전한 벼	114.4	2.0	116.4	97.2%	45%	1.6%	95.6%
	미숙립 및 이물질	1.8	1.5	3.3	2.8%			
	계	116.2	3.5	119.7	100%			
처리2 건벼 15%	건전한 벼	111.6	2.2	113.8	97.0%	71%	1.8%	95.1%
	미숙립 및 이물질	1.0	2.5	3.5	2.1%			
	계	112.6	4.7	117.3	100%			

2) 물벼에서의 로터리조선키의 성능평가

신형 콤바인을 사용하여 수확한 물벼를 시료로 사용하여 로터리조선키의 성능실험을 실시하였다. 선별회전체의 경사각은 예비실험을 실시한 바 약 11도 수준이 좋은 것으로 사료되어 이 경사각에서 성능실험을 실시하였다. 신형 콤바인을 사용하였기 때문에 원 시료의 이물질 함유량이 0.5% 정도로 매우 낮았다. 표 2-1(b)는 24%의 물벼에서 로터리조선키의 성능실험의 결과를 나타낸 것이다. 정선율이 약 99%로 매우 높았고 이물질 제거율도 45-71%로 비교적 높았으며 손실립율도 약 0.25%로 건벼의 경우에 비해 매우 낮게 나타났다. 이처럼 성능이 좋은 콤바인을 사용하여 원시료에 이물질량이 낮을 경우 정선율은 매우 높게 나타났으며 손실립율도 낮게 나타났고 이물질 제거율도 비교적 높게 나타나, 1차 조선키로서 충분히 사용될 수 있음을 알 수 있었다

표 2-1(b) 로터리식 소형 곡물조선키의 성능실험 결과 (물벼의 경우)

처 리	물 질	출 구 (kg)		계(kg)	구성비 (%)	성 능		
		정상벼 출구	이물질 출구			이물질 제거율	손실립율	정선(립)율
처리3 반복1 24%	건전한 벼	198.3	0.4	198.7	99.5%	71%	0.2%	99.3%
	미숙립 및 이물질	0.26	0.64	0.9	0.5%			
	계	198.56	1.04	199.6	100%			
처리3 반복2 24%	건전한 벼	174.12	0.56	174.68	99.3%	45%	0.3%	99.0%
	미숙립 및 이물질	0.66	0.54	1.2	0.7%			
	계	174.78	1.1	175.88	100%			

## 제 4 절 좌우요동 선별판식 곡물 조선기의 개발

### 1. 곡물 조선기의 이론적 분석 및 기초설계

#### 가. 연구사

요동체에 관한 연구는 많이 행하여 졌으나, 최근에는 국내에서 그 연구가 미미한 실정이다. 김(1981)등은 수망을 통과한 탈곡물의 선별문제를 해결하기 위하여 요동체 선별 방법에 관한 연구를 수행하였다. 생탈곡물에서 건탈곡물의 경우보다 선별성능이 떨어지는 것은 기체내의 선별팬과 배진팬에 의한 풍력관계가 생탈곡물에 적합하지 않는 경우에 발생한다고 보고하였다. 김(1982)은 탈곡부 수망밑으로 낙하하는 고수분의 짚풀이 혼합된 곡물을 효과적으로 분리 및 선별하기 위하여 타원운동형 요동체에 대한 기계적 요인을 구명하였다. 요동체의 회전방향이 con-flow이고 요동체 구동축 회전수가 460rpm 이상에서 선별성능이 향상되고 유곡판 높이가 10cm이고 선별부분의 풍속이 7m/s일 때 효과적인 요동체 작업조건인 것으로 보고하였다.

이(1986)등은 고정된 선별망 속에서 로터를 회전시켜 짚속에 섞여 있는 곡립을 선별할 수 있는 원뿔형과 원통형의 2종의 모형 축류 선별장치의 선별성능실험을 통하여 여러 가지 설계변수가 선별특성에 미치는 영향을 조사하였다. 정(1988)등은 콤바인 선별실에 대한 공기선별의 현상을 구명하기 위하여 탈곡 생성물의 공기역학적 특성을 실험적으로 구명하였고, 주어진 선별실 구조와 여러 가지 흡입팬과 송풍팬의 회전속도에 대한 위치별 유속의 크기 분포와 흐름의 방향을 측정 분석하였으며 검출출구의 손실 발생현상을 관측하였다. 이(1989)등은 곡물의 종말속도와 같은 공기동력학적 특성을 구명하기 위하여 송풍식 균일관의 수직풍동을 사용할 경우 수직풍동의 구성요소의 종류, 크기, 수, 설치 위치 등이 수직관내의 유속 분포에 미치는 영향을 분석하여 곡물을 비롯한 농산물의 공기동력학적 특성을 정도 높게 측정할 수 있는 수직풍동의 설계 지침을 마련하였다. 이(1974)등은 곡물선별 성능을 측정하는 방법을 연구하였고, 생탈곡시 선별손실이 1.0~3.0%로 건탈곡에 비해 높은 것

으로 보고하였다.

국외에서는 선별에 관한 실험적 연구와 아울러 분석적인 연구도 활발히 수행되었다. 요동체의 운동궤적은 요동체위의 곡물이송 속도와 선별성능에 영향을 주며 그의 운동기구에 의해 왕복운동, 원운동, 타원운동으로 나눌 수 있는데, Schertz(1963)등은 진동 conveyer의 운동방정식을 상기 3가지 운동 궤적을 포함하는 기구로 세워 이송물체의 평균 이송 속도를 구해냈다. 岩尾(1972)등은 왕복운동의 경우 진동수, 진폭, 투사각에 의한 영향을 받으며 타원운동은 진동수, 진폭의 비율, 투사각, 운동방향에 의해, 원운동은 진동수, 진폭, 운동방향에 의해 영향은 받으며 각각의 운동궤적에 따라 적정 회전수가 결정된다고 보고하였다.

Lee(1969), German(1969), 江崎(1972)등은 왕복운동형 요동체에 관한 연구를 수행하였다. 江崎(1972)등은 탈곡부의 수망밀 누하물의 선별에서 투사각도  $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$  일 때 이송성능 및 선별성능이 양호했으며 진동수가 증가하면 낙하분포는 요동체 선단으로 이동하여 넘치는 경향도 보여 가능한 한 길이를 길게 할 것을 제안하였다. 공급량이 많으면 1번구에 짚풀 및 지경부착립의 비율이 증가하는 것으로 발표했다. German(1969)등은 진동수와 공급량 및 풍속의 관계에서 공급량이 많을 경우 진동수 및 풍속의 증가에 의한 손실의 감소를 확인하였다.

竹内(1973)등은 풍력에 의해 곡물과 짚을 혼합상태에서 분리되는 속도를 연구하여 건재에서 밀과 호밀의 경우  $6 \sim 9\text{m/s}$ 에서 선별효과를 보여 짚이 94~98% 제거된 후 곡물의 비산이 시작되는 것으로 발표하였다. 손상립 발생 문제 해결을 위해 Hamdy(1967)등은 원심력에 의한 탈곡 및 선별법을 연구하였고 Labor(1963)등은 cone형의 탈곡통에 의한 높은 선별효과를 발표하였다. 소요동력에 관한 연구에서 Burrough(1954)는 콤바인의 경우 탈곡통 소요동력은 전체의 약 50%정도였으며 마찰손실은 20~30%로 보고하였다. 川村(1968)등은 콤바인의 소요동력 측정에서 탈곡은 주로 급동길이 1/2전에 끝나며 단에 의한 공급보다 풀어서 공급할 때 70%정도의 소요동력이 소요되는 것으로 보고하였다.

나. 상하요동형 곡물 조선기의 이론적 분석

<크랭크 구동기구가 원운동을 하는 평판 스크린>

크랭크구동기구(그림2-1)에서 록커(rocker)와 연결봉의 길이가 크랭크암(crank arm)보다 훨씬 길다면 선별판은 직선왕복운동을 하는 것으로 간주할 수 있다. 스크린의 진동방향은 크랭크구동기구의 연결봉이 운동하는 방향과 일치한다. 스크린이 수평면과 이루는 각을  $\beta$ 로 진동방향이 스크린과 이루는 각을  $\alpha$ 로 하며 스크린의 경사면과 일치하게 하여 아랫방향으로  $x$ 축을 그 직각 상방향으로  $y$ 축을 하여 스크린 위의 한 점의 변위를 기술하면 다음과 같이 나타낼 수 있다(그림2-2). 단  $\theta(\theta = \omega t)$ 는 크랭크 암의 변위각이다.

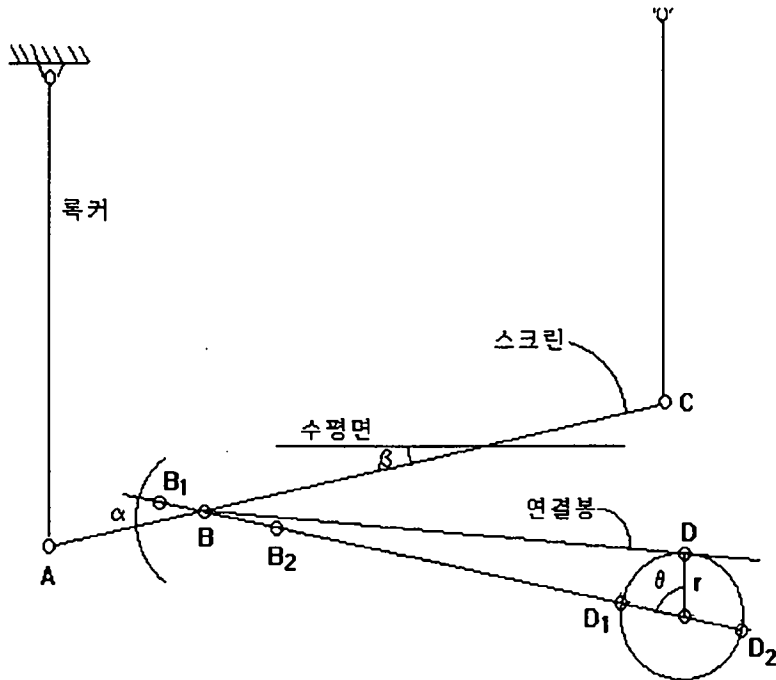


그림 2-1 스크린선별기의 크랭크 구동기구

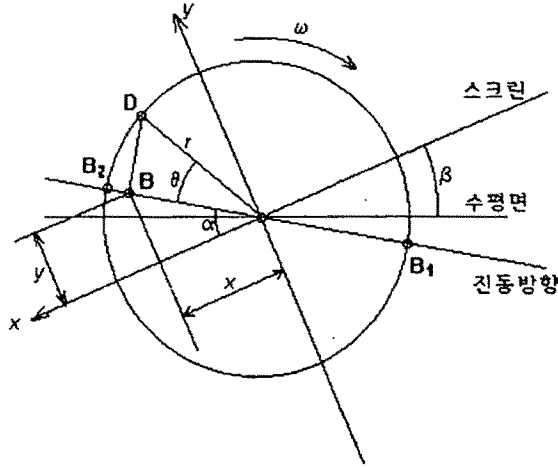


그림 2-2. 요동 스크린 상의 한 점의 좌표결정

$$x = r \cos \alpha \cos \theta \dots\dots\dots (1)$$

$$y = r \sin \alpha \cos \theta \dots\dots\dots (2)$$

단,  $r$ 은 크랭크구동기구의 회전반경

$x$  축 및  $y$  축 방향의 속도  $V_x$ ,  $V_y$ 와 가속도  $a_x$ ,  $a_y$ 는 각각 다음과 같이 표시된다.

$$V_x = -r\omega \cos \alpha \sin \theta \dots\dots\dots (3)$$

$$V_y = -r\omega \sin \alpha \sin \theta \dots\dots\dots (4)$$

$$a_x = -r\omega^2 \cos \alpha \cos \theta \dots\dots\dots (5)$$

$$a_y = -r\omega^2 \sin \alpha \cos \theta \dots\dots\dots (6)$$

스크린 상에 놓여 있는 질량  $m$ 을 가지는 입자에 작용되는 관성력( $I$ )을 보면 다음과 같다.

$$I_x = -ma_x = m r \omega^2 \cos \alpha \sin \theta \dots\dots\dots (7)$$

$$I_y = -ma_y = m r \omega^2 \sin \alpha \cos \theta \dots\dots\dots (8)$$

입자에는 관성력, 자중 및 마찰력이 작용되며, 관성력은 크랭크 암이 I상한과 IV상한(그림 2-3. 참조)에 위치할 때 (+)값이 되므로 다음과 같은 조건이 만족되면 입자는 아래쪽으로 미끄러진다.

$$I_x + mg \sin \beta > \mu (mg \cos \beta - I_y) \dots\dots (9)$$

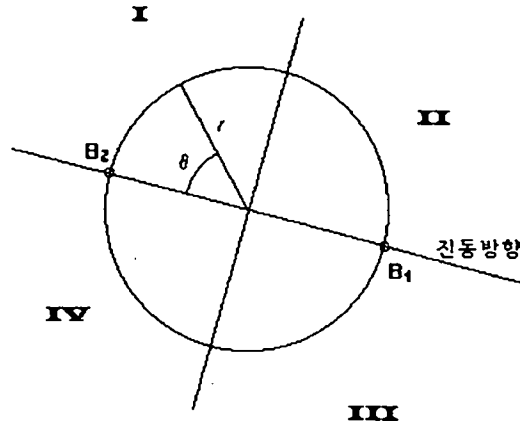


그림 2-3 크랭크 암의 각변위와 4분면

여기서,  $\mu$  는 입자와 스크린 사이의 마찰계수(마찰각  $\phi$ )이다. (7) 및 (8)식을 (9)식에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{r\omega^2}{g} > \frac{1}{\cos \theta} \{ \sin(\phi - \beta) / \cos(\alpha - \phi) \} \dots \dots \dots (10)$$

(10)식에서  $\alpha \cdot \beta$  및  $\phi$  를 주어진 값으로 생각하면, 우변의 값은  $\cos \theta = 1$  (이때 관성력은 최대가 됨)일 때 최소가 되므로 입자가 아래쪽으로 움직이기 위한 크랭크 암의 임계각속도 ( $\omega_{1c}$ )는 다음과 같다.

$$\omega_{1c} = \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha - \phi)}} \text{ (rad / sec)} \dots \dots \dots (11)$$

$$\eta_{1c} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha - \phi)}} \text{ (rpm)} \dots \dots \dots (12)$$

한편, (10)식에서 좌변  $r\omega^2/g = k$  라고 하면, 임계각속도에 대응하는  $k_1$  은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\frac{r\omega_{1c}^2}{g} = k_1 = \frac{\sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha - \phi)} \dots \dots \dots (13)$$

즉,  $k$ 가  $k_1$ 보다 클 때 입자는 아래쪽으로 미끄러진다.

다음은 크랭크 암이 II상한과 III상한(그림2-3 참조)에 위치할 때  $\cos < 0$  이므로 관성력은 (-)값이 되며, 다음과 같은 조건이 만족되면 입자는 위쪽으로 움직인다.

$$I_x - mg \sin \beta > \mu (mg \cos \beta + I_y) \dots\dots\dots (14)$$

(14)식에  $-I_x$ 와  $-I_y$ 를 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{r\omega^2}{g} > \frac{1}{-\cos \theta} \left\{ \frac{\sin(\phi + \beta)}{\cos(\alpha + \phi)} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

따라서, 입자가 아래쪽으로 움직일 때와 같은 논리에 의하면 입자가 위쪽으로 움직이기 위한 크랭크 암의 임계각속도와  $k_2$  값은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\omega_{2c} = \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\sin(\phi + \beta)}{\cos(\alpha + \phi)}} \text{ (rad / sec)} \dots\dots\dots (16)$$

$$\eta_{2c} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\sin(\phi + \beta)}{\cos(\alpha + \phi)}} \text{ (rpm)} \dots\dots\dots (17)$$

$$\frac{r\omega_{2c}^2}{g} = k_2 = \frac{\sin(\phi + \beta)}{\cos(\alpha + \phi)} \dots\dots\dots (18)$$

즉,  $k$ 가  $k_2$ 보다 클 때 입자는 위쪽으로 움직인다.

또한, 크랭크 암이 I상한과 IV상한에 위치할 때  $I_y > mg \cos \beta$ 이면 입자는 스크린 표면에서 위로 떠오르게(tossing) 된다. 즉,

$$m r \omega^2 \sin \alpha \cos \theta > m g \cos \beta$$

$$\frac{r\omega^2}{g} > \frac{\cos \beta}{\cos \theta \sin \alpha} \text{ (단, } \alpha > 0 \text{ 으로 가정)} \dots\dots\dots (19)$$

토싱(tossing)현상을 유발시키는 크랭크 암의 임계속도와  $k_t$  값은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\omega_t = \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\cos \beta}{\sin \alpha}} \text{ ( rad / sec )} \dots\dots\dots (20)$$

$$\eta_t = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\cos \beta}{\sin \alpha}} \text{ ( rpm )} \dots\dots\dots (21)$$

$$\frac{r\omega_t^2}{g} = k_t = \frac{\cos \beta}{\sin \alpha} \dots\dots\dots (22)$$

지금까지의 분석결과를 종합하면 스크린상의 입자는  $k$  값에 따라 다음과 같은 운동을 한다는 것을 알 수 있다.

- 1)  $k \leq k_1$  이고,  $k \leq k_2$  이면 입자는 움직이지 않는다.
- 2)  $k_1 < k \leq k_2$  이면 입자는 아래쪽으로만 움직인다.
- 3)  $k_1 < k_2 < k$  이면 입자는 위쪽과 아래쪽으로 움직이면서 아래쪽으로 더 많이 움직인다.
- 4)  $k_2 < k_1 < k$  이면 입자는 위쪽과 아래쪽으로 움직이면서 위쪽으로 더 많이 움직인다.
- 5)  $k_2 < k \leq k_1$  이면 입자는 위쪽으로만 움직인다.
- 6)  $k_t < k$  이면 입자는 스크린 표면에서 떠오른다.

#### 다. 상하요동형 조선기의 설계요인 분석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션

정치형 곡물 조선기의 선별판 상하요동에 의한 조선작업을 하기 위하여서는 위에서 살펴 본 바와 같이 조선기 선별판의 적절한  $\alpha$  값과  $\beta$  값의 선정이 필요하다. 선택한  $\alpha$  값과  $\beta$  값이 적절한지 알기 위해서는  $k$  값과 그 해당되는 회전수를 알아보아야 한다. 이를 위해서 컴퓨터 프로그래밍을 하였는데 각도의 범위를 주어서 그 각 조건의 가부와 최소한으로 필요한 회전수를 찾을 수 있도록 하였다. 본 설계·분석 프로그램은 대화식으로 작성하여 쉽게 이용될 수 있도록 하였으며, 설계 요인 값을 범위로서 입력할 수 있어 다양한 설계요인의 조합을 가능하도록 하였다. 조선기 설계·분석 프로그램의 플로우차트



(flow chart)는 그림 2-4(1)와 같다.

프로그램에서 사용자는 스크린과 진동방향이 이루는 각  $\alpha$ 와 수평면과 스크린이 이루는 각  $\beta$ , 그리고 마찰각  $\phi$ 와 크랭크 구동기구의 반경  $r$ 을 입력한다. 각도의 입력은 범위와 스텝을 주어 입력할 수 있다. 출력은 각(angle) 조건이 가능한 것일 때의 최소 회전수이다.

이같은 프로그램으로 현재 보급된 곡물조선키의 상하진동식 선별판의 성능을 분석할 수 있으며, 앞으로 조선키를 설계할 때에도 이 프로그램을 사용하여 크랭크아암의 적정 회전수와 선별판의 각도 등을 결정할 수 있다. 이 프로그램을 사용하여 상하진동형 조선키를 이론적으로 분석한 일례로서 그 시뮬레이션의 결과는 다음과 같았다.

정치형 조선키의 선별성능에 영향을 주는 설계인자로는 앞에서 정의한 바와 같이  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\phi$ ,  $r$  등이 있으며, 각 인자들은 선별성능에 독립적인 영향을 주게 된다. 이 중  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $r$  는 조선키의 용량에 따른 구조에 의해 정해지고 마찰각  $\phi$ 는 벼의 상태에 따라 약간 달라지게 된다. 일반적으로 벼의 경우 스크린면과의 마찰각은  $33^\circ$  로 알려져 있으나 물벼인 경우는 이보다 큰값을 갖게 된다. 따라서 이미 제작된 조선키를 이용하여 벼의 함수율에 따른 선별효과를 향상시키기 위해서는 요동체의 경사나 크랭크 암의 회전속도를 조절할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 설계인자의 변화에 따른 설계 기준을 크랭크 암의 회전속도로 제시하고자 하였다.

크랭크 아암의 회전속도의 결정은 선별판 위의 벼에 어떤 운동을 유발시킬 것인가에 따라 달라진다. 벼를 단지 스크린의 하향으로만 운동시킬 수도 있으나 본 설계에서는 스크린 홈의 형상을 원형으로 택하고 있으므로 벼가 결과적으로 하향운동을 하는 범위내에서 벼에 토싱 현상을 유발시키고 더불어 벼가 스크린의 상향으로도 움직일 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 결과는 위 두가지 운동을 유발시킬 수 있는 최소 회전속도를 출력하며, 최종적인 결과로서 두 최소 회전속도 중 큰 값을 크랭크 암(캠편심)의 최소 회전속도 ( $N_{min}$ )로 선택하도록 하였다.

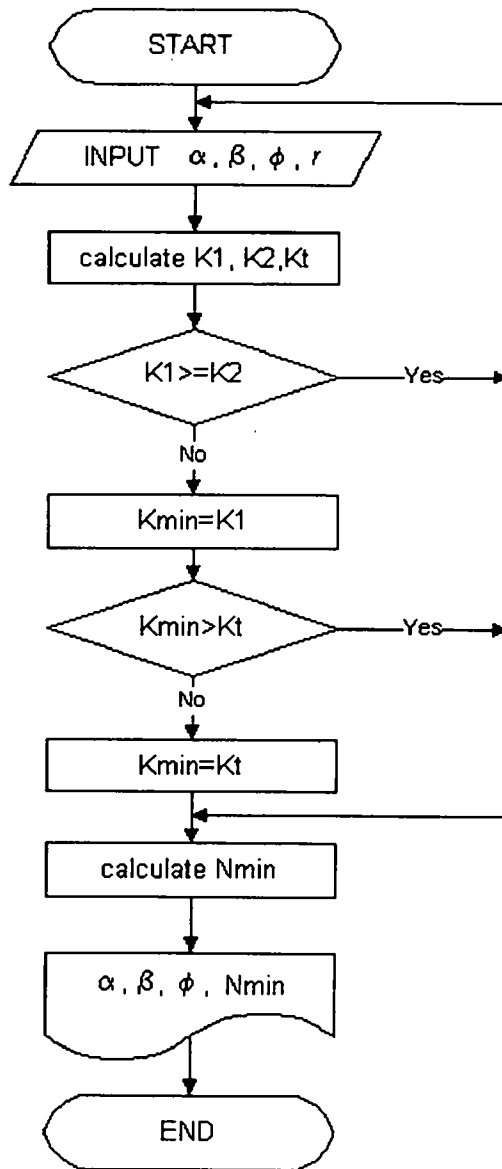


그림 2-4(1) 조선기 분석 프로그램의 순서도

본 프로그램의 실행 예로서 분석 프로그램 작동시 초기화면은 그림 2-4(2)와 같다.

Decision of the motion of particles on the screen.

[REYS]

PgUp

PgDn

arrow

ESC

Ctrl-P

ENTER

BS

SPACE

TAB

deg	from	to	step
$\alpha$			
$\beta$			
$\phi$			

r (mm)	10
--------	----

Date set No.: 1  
Last set No.: 1

그림 2-4(2) 분석 프로그램의 초기화면

시뮬레이션 분석은  $\alpha=30^\circ \sim 40^\circ$ ,  $\beta=8^\circ \sim 16^\circ$ ,  $\phi=32^\circ \sim 36^\circ$ , 캠퍼심  $r=20\sim 40\text{mm}$ 의 범위에서 수행하였다. 마찰각이  $32^\circ$ 에서만 전 분석조건에서 모두 토싱에 필요한 회전속도( $N_t$ )가 벼가 스크린의 상향으로 이동하는데 필요한 회전속도( $N_2$ )보다 크게 나타났을 뿐 다른 범위에서는  $N_2$ 가  $N_t$ 보다 크게 나타났다. 또한 대부분의 분석범위에서  $N_t$ 는 4rpm 이내의 조정만으로 원하는 벼의 운동을 유발시킬 수 있는 것으로 나타나 벼의 상향 운동을 고려하지 않는다면  $N_t$ 를 기준으로 크랭크 암의 회전속도를 결정하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 특히 분석결과  $N_t$ 는 분석범위내에서  $\beta$ 와 마찰각  $\phi$ 의 영향은 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

벼가 스크린 위에서 토싱작용을 받고 상향운동이 필요하다는 조건하에서

분석결과를 요약하면 다음과 같다. 설계조건외 분석범위에서 크랭크 암의 길이(캠편심, r)가 20mm인 경우에는 Nmin이 289~304rpm이 되어야하고 r이 30mm인 경우에는 236~265rpm, r이 40mm인 경우에는 204~229rpm이 되어야 하는 것으로 분석되었다. 특히 각 경우의 최대값은 마찰각이 큰 경우이므로 벼의 함수율에 따라 적응성을 향상시키기 위해서는 스크린의 경사각과 크랭크 암의 회전속도를 변화시킬 수 있는 구조가 필요한 것으로 판단되었다. 표 2-2에는 분석결과를 요약하여 나타내었다.

표 2-2. 상하요동형 조선키의 설계요인에 따른 크랭크 암의 최소회전속도 분석

크랭크암의 길이, 캠편심 (mm)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\phi$ (°)	크랭크암의 최소속도 (rpm)
20	35	8	34	289
	35	14	36	304
30	35	8	34	236
	35	14	36	265
40	35	8	34	204
	35	14	36	229

#### 라. 정치형 곡물 조선키의 설계기준 설정

정치형 곡물 조선키를 다음과 같은 설계기준에 의해 기초 설계하였다.

- ㄱ) 곡물 조선키의 처리능력을 시간당 20톤으로 한다.
- ㄴ) 검불 및 가벼운 지푸라기 등의 가벼운 이물질들을 제거할 수 있도록 10마력 이상의 흡입팬을 설치한다. 이때 송풍량을 조절할 수 있도록 하여 풍압역시 조절가능토록 한다.
- ㄷ) 곡물 투입구에서는 원료가 균일하게 투입되도록 투입용 롤러를 설치한다.

- ㄹ) 지푸라기 및 벚짚, 줄, 전표 등의 이물질들이 제거하도록 1차 이물질 선별장치를 설치한다.
- ㄴ) 처리능력을 높이고 선별효율을 높이기 위해 2차 선별판은 2개로 구성한다.
- ㄷ) 선별판의 경사각을 조절할 수 있도록 하며, 건벼 및 물벼에 따라 구멍의 크기가 다른 선별판을 교체할 수 있도록 설계한다. 선별판의 경사각은 8도에서 15도까지 조절할 수 있도록 한다.
- ㄹ) 조선기의 선별판은 좌우요동 또는 상하요동 하도록 한다.
- ㅇ) 선별판의 효율을 높이기 위해서 선별판위에 스크레이퍼를 설치한다. 스크레이퍼는 선별판 전체를 커버할 수 있도록 하며, 스크레이퍼의 우레탄은 지그재그식으로 설치하여 곡물이 스크레이퍼에 의해 방해받지 않도록 하며 곡물이 순조롭게 흘러내리도록 한다.
- ㅈ) 선별판위에서 이물질이 많이 있거나 곡립이 제대로 선별되지 않을 때에는 곡물 투입이 일시 중단되도록 설계한다.
- ㅊ) 곡물 조선기 설계제작시 선별판 작동 및 분석에 관한 시뮬레이션 모델을 사용한다.

위와 같은 설계지침에 의해 이상적인 좌우요동형 곡물 조선기를 그림 2-5 및 2-6과 같이 설계하였고, 상하요동형의 곡물 조선기를 그림 2-7과 같이 두 가지 형태의 모델로 기초 설계하였다. 이같은 정치형 곡물 조선기의 기초설계를 토대로 검토한 후 최종적으로 모델을 결정하여 조선기 부분별로 구체적인 설계를 하고 제작하고자 하였다.

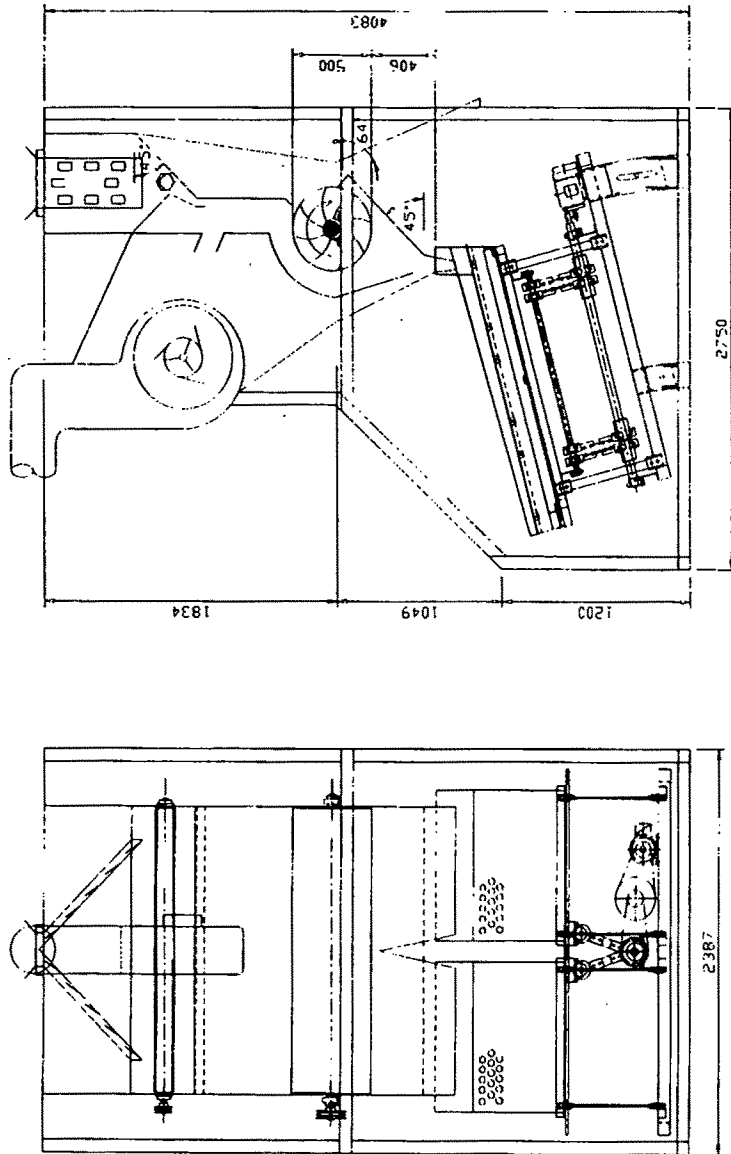
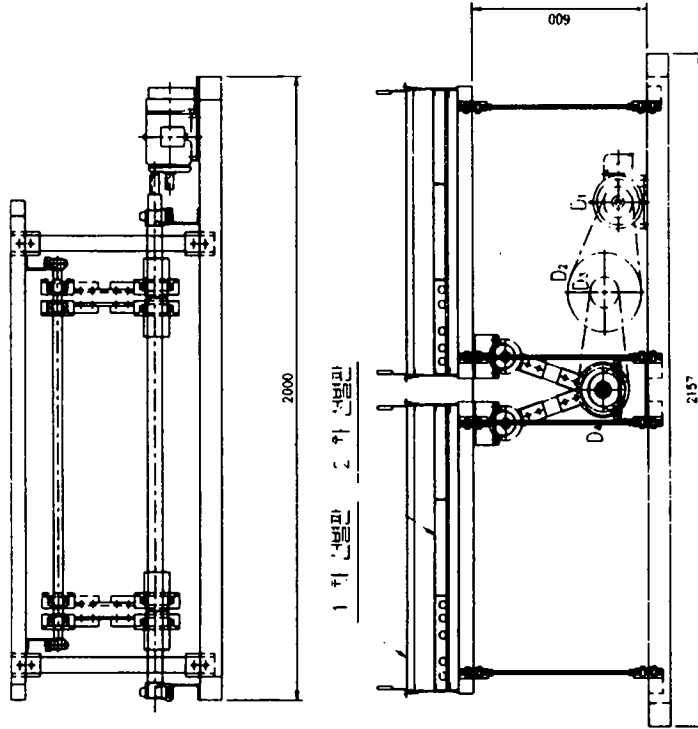


그림 2-5 좌우요동형 곡물 조선기의 구조도



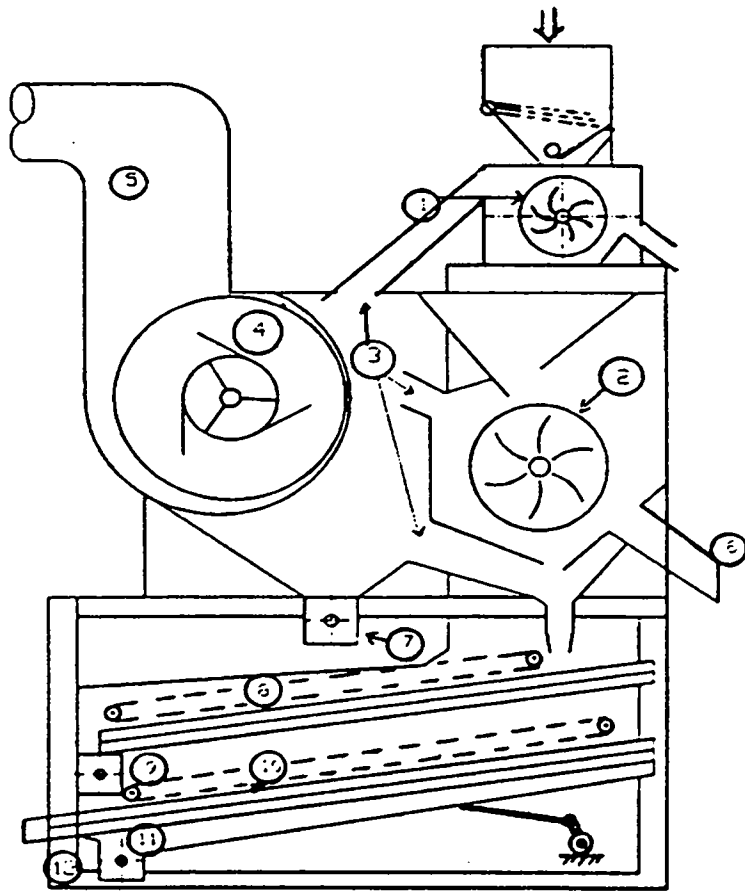
선별판 규격 : 914 × 210 × 16t, 4EA  
 2240-φ16 HOLES  
 E1 : ZHF, 1750PPM  
 회 전 비 : P2 P1 = D1 D2 = 03 04  
 = 400 PPM

D1 = 120  
 D2 = 254  
 D3 = 120  
 D4 = 178

< 캠 직경 : 178 >

캠은 중심축으로부터 5.55mm 편심  
 선별판 간격이 약 8 내지 15° 의 경사각 유지

그림 2-6 좌우요동형 곡물 조선키의 선별판



- |                  |                |               |
|------------------|----------------|---------------|
| 1. 1차 스펀퍼        | 2. 2차 스펀퍼      | 3. 흡입구        |
| 4. 흡입팬           | 5. 먼지 배출구      | 6. 검볼 배출구     |
| 7. 스크루우 컨베이어     | 8. 1차 스크레이퍼    | 9. 2차 스크레이퍼   |
| 10. 상하요동식 2중 선별판 | 11. 작은 이물질 배출구 | 12. 선별된 벼 배출구 |

그림 2-7 상하요동형의 곡물 조선키의 구조도



마. 좌우요동형 곡물조선키의 이론적 분석

1) 선별판의 작동원리

본 연구에서 제작한 조선키의 선별판의 운동은 상하방향 아닌 측면방향으로 진동하도록 설계하였다. 구동장치는 구동축에 편심원판을 고정하고 편심원판 위에 연결봉이 부착된 원판을 베어링으로써 고정하였다. 따라서 구동축의 편심원판은 크랭크암과 같은 기능을 수행하게 된다. 편심원판의 편심은 7.5mm이며, 선별판의 경사각은 작물의 특성에 따라  $13^{\circ} \sim 17^{\circ}$  까지 조절이 가능하도록 하였다.

스크린의 진동방향은 연결봉이 운동하는 방향과 일치한다. 선별판의 운동을 수학적으로 묘사하기 위해 선별판을 그림2-8에 나타내었다. 그림 평면상의 수평방향을  $x$ 축, 스크린의 경사면과 일치하게 하여 아랫방향으로  $z$ 축을, 그 직각 상방향으로  $y$  축으로 나타내었다. 스크린이 수평면과 이루는 각을  $\beta$ 로, 진동방향이 스크린과 이루는 각을  $\alpha$ 로 하여 스크린 위 입자의 운동을 나타내기 위하여 선별판위의 한 점은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $\theta$  ( $\theta = \omega t$ )는 크랭크암의 변위각이다.

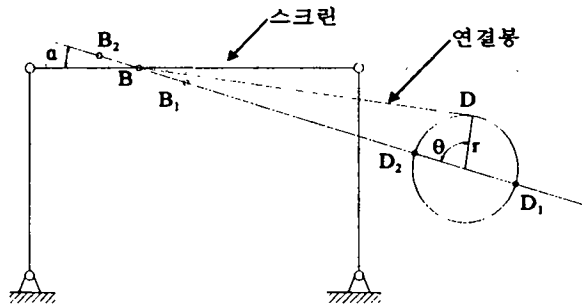


그림 2-8 스크린 선별기의 구동장치

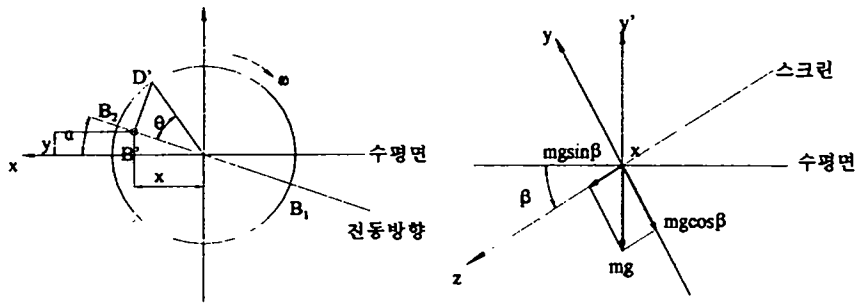


그림 2-9 요동 스크린 상의 한점의 좌표 결정

$$x = r \cos \alpha \cos \theta \dots\dots\dots (1)$$

$$y = r \sin \alpha \cos \theta \cos \beta \dots\dots\dots (2)$$

$$(\because y' = r \sin \alpha \cos \theta)$$

단,  $r$ 은 크랭크구동기구의 회전반경(구동원판의 편심)

$x$  축 및  $y$  축 방향의 속도  $V_x$ ,  $V_y$ 와 가속도  $a_x$ ,  $a_y$ 는 각각 다음과 같이 표시된다.

$$V_x = - r \omega \cos \alpha \sin \theta \dots\dots\dots (3)$$

$$V_y = - r \omega \sin \alpha \sin \theta \cos \beta \dots\dots\dots (4)$$

$$a_x = - r \omega^2 \cos \alpha \cos \theta \dots\dots\dots (5)$$

$$a_y = - r \omega^2 \sin \alpha \cos \theta \cos \beta \dots\dots\dots (6)$$

스크린상에 놓여 있는 질량  $m$ 을 가지는 입자에 작용되는 관성력( $I$ )을 보면 다음과 같다.

$$I_x = - m a_x = m r \omega^2 \cos \alpha \cos \theta \dots\dots\dots (7)$$

$$I_y = - m a_y = m r \omega^2 \sin \alpha \cos \theta \cos \beta \dots\dots\dots (8)$$

입자에는 慣性力, 自重 및 마찰력이 작용되며, 관성력은 크랭크암이 I 상한과 IV 상한(그림 2-10 참조)에 위치할 때 (+)값이 된다( $\cos \theta > 0$ ). 입자가 스크린의 아랫쪽으로 미끄러지지 않기 위해서는 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.

$$m g \sin \beta > \mu ( m g \cos \beta - I_y ) \dots\dots ( 9 )$$

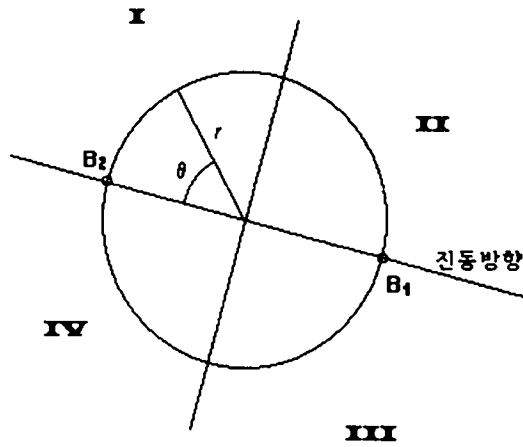


그림 2-10 크랭크암의 각변위와 4분면

여기서,  $\mu$  는 입자와 스크린 사이의 동마찰계수(동마찰각  $\phi$ )이다. (8)식을 (9)식에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 g \sin \beta &> \mu ( g \cos \beta - r \omega^2 \sin \alpha \cos \theta \cos \beta ) \\
 \frac{r \omega^2}{g} &> \frac{\mu \cos \beta - \sin \beta}{\mu \sin \alpha \cos \theta \cos \beta} \\
 &> \frac{\frac{\sin \phi}{\cos \phi} \cos \beta - \sin \beta}{\frac{\sin \phi}{\cos \phi} \sin \alpha \cos \theta \cos \beta} \\
 &> \frac{\sin \phi \cos \beta - \cos \phi \sin \beta}{\sin \phi \sin \alpha \cos \theta \cos \beta} \\
 &> \frac{\sin (\phi - \beta)}{\sin \phi \sin \alpha \cos \theta \cos \beta} \\
 &> \frac{1}{\cos \theta} \left\{ \frac{\sin (\phi - \beta)}{\sin \phi \sin \alpha \cos \beta} \right\}
 \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{r\omega^2}{g} > \frac{1}{\cos \theta} \{ \sin(\phi - \beta) / \sin \alpha \cos \beta \sin \phi \} \dots \dots \dots (10)$$

(10)식에서  $\alpha \cdot \beta$  및  $\phi$ 를 주어진 값으로 생각하면, 우변의 값은  $\cos \theta = 1$  (이때 관성력은 최대가 됨)일 때 최소가 되므로 입자가 아래쪽으로 움직이기 위한 크랭크암의 임계각속도 ( $\omega_{1c}$ )는 다음과 같다.

$$\omega_{1c} = \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\sin(\phi - \beta)}{\sin \alpha \sin \phi \cos \beta}} \text{ (rad / sec)} \dots \dots \dots (11)$$

$$\eta_{1c} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\sin(\phi - \beta)}{\sin \alpha \sin \phi \cos \beta}} \text{ (rpm)} \dots \dots \dots (12)$$

한편, (10)식에서 좌변  $\frac{r\omega^2}{g} = k$ 라고 하면, 임계각속도에 대응하는  $k_1$ 은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\frac{r\omega_{1c}^2}{g} = k_1 = \frac{\sin(\phi - \beta)}{\sin \alpha \sin \phi \cos \beta} \dots \dots \dots (13)$$

즉,  $k$ 가  $k_1$ 보다 클 때 입자는 아래 쪽으로 미끄러 진다.

다음은 크랭크암이 II상한과 III상한에 위치할 때  $\cos \theta < 0$  이므로 관성력은 (-)값이 되며, 다음과 같은 조건이 만족되면 입자는 위쪽으로 움직인다.

$$- mg \sin \beta > \mu (mg \cos \beta - I_y) \dots \dots \dots (14)$$

(14)식에  $-I_x$  와  $-I_y$ 를 대입하면

$$-g \sin \beta > \mu (g \cos \beta - r\omega^2 \sin \alpha \cos \theta \cos \beta)$$

$$\frac{r\omega^2}{g} < \frac{\mu \cos \beta + \sin \beta}{\mu \sin \alpha \cos \theta \cos \beta} \text{ (}\because \cos \theta < 0\text{)}$$

$$\begin{aligned}
&< \frac{\frac{\sin \phi}{\cos \phi} \cos \beta + \sin \beta}{\frac{\sin \phi}{\cos \phi} \sin \alpha \cos \theta \cos \beta} \\
&< \frac{\sin \phi \cos \beta + \cos \phi \sin \beta}{\sin \phi \sin \alpha \cos \theta \cos \beta} \\
&< \frac{\sin(\phi + \beta)}{\sin \phi \sin \alpha \cos \theta \cos \beta} \\
&< \frac{1}{\cos \theta} \left\{ \frac{\sin(\phi + \beta)}{\sin \phi \sin \alpha \cos \beta} \right\}
\end{aligned}$$

$$\therefore \frac{r\omega^2}{g} < \frac{1}{\cos \theta} \left\{ \frac{\sin(\phi + \beta)}{\sin \alpha \cos \beta \sin \phi} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

따라서, 입자가 아래쪽으로 움직일 때와 같은 논리에 의하면 입자가 위쪽으로 움직이기 위한 크랭크암의 임계각속도와  $k_2$  값은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\omega_{2c} = \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\sin(\phi + \beta)}{\sin \alpha \cos \beta \sin \phi}} \text{ (rad / sec)} \dots \dots \dots (16)$$

$$\eta_{2c} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\sin(\phi + \beta)}{\sin \alpha \cos \beta \sin \phi}} \text{ (rpm)} \dots \dots \dots (17)$$

$$\frac{r\omega_{2c}^2}{g} = k_2 = \frac{\sin(\phi + \beta)}{\sin \alpha \cos \beta \sin \phi} \dots \dots \dots (18)$$

즉,  $k$ 가  $k_2$ 보다 클 때 입자는 위쪽으로 움직인다.

또한, 크랭크암이 I상한과 IV상한에 위치할 때  $I_y > mg \cos \beta$ 이면 입자는 스크린 표면에서 위로 떠오르게(tossing) 된다. 즉,

$$m r \omega^2 \sin \alpha \cos \theta \cos \beta > m g \cos \beta$$

$$\frac{r\omega^2}{g} > \frac{\cos \beta}{\cos \theta \sin \alpha \cos \beta} \text{ (단, } \alpha > 0 \text{ 으로 가정)} \dots \dots (19)$$

토싱(tossing)현상을 유발시키는 크랭크암의 임계속도와  $k_1$  값은 다음과 같은

식으로 표시된다.

$$\omega_t = \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\cos \beta}{\sin \alpha \cos \beta}} \text{ ( rad / sec )} \dots\dots\dots (20)$$

$$\eta_t = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r} \frac{\cos \beta}{\sin \alpha \cos \beta}} \text{ ( rpm )} \dots\dots\dots (21)$$

$$\frac{r\omega_t^2}{g} = k_t = \frac{\cos \beta}{\sin \alpha \cos \beta} \dots\dots\dots (22)$$

2) 시작기의 작동 조건

본 연구에서 설계·제작된 곡물 조선기의 운동 특성을 결정 짓는 선별부의 주요 치수를 표 2-3에 나타내었다.

표 2-3 시작기(곡물 조선기) 선별부의 주요 치수

$\alpha$	$\beta$	$\phi$	r	함수율(%)
10°	15°	22°	7.5mm	22

철판 위에서 동마찰계수와 함수율의 관계는 다음과 같은 관계식을 이용하여 구하였고, 동마찰각  $\phi$ 는 동마찰 계수로 부터 구하였다.

$$\mu = 0.245 + 7.8 \times 10^{-3} \times m.c. \dots\dots\dots (23)$$

함수율이 약 15%일 때 동마찰계수는 약 0.35이고 표 2-3과 같은 조건에서 곡립 입자가 하향하는 크랭크암의 입계 회전수는 식 (12)로부터 400rpm으로 나타났다. 이 결과로써 크랭크암이 400rpm으로 회전 시키는 경우에는 입자의 운동이 스크린에서 하향운동이 이루어지는 것을 알 수 있다.

## 2. 좌우요동형 곡물조선기의 성능평가

정치형 곡물 조선기를 설계, 제작하여 성능실험을 실시하였다. 본 시험에 사용된 시료는 전남대학교 농장에서 3조식 신형 콤바인을 사용하여 수확된 동진벼이었다. 성능시험에 앞서 본 시료의 이물질량을 조사한 결과, 시료내 이물질 비율은 약 0.5%로 매우 낮게 나타났으며 함수율은 약 22%를 나타내었다. 조선기의 작업조건중에서 선별판의 경사각도를 15도로 하고 좌우진동의 편심을 7.5mm로 하여 1차 선별시험을 한 결과, 정선율 99.5%, 손실율 0.3%, 이물질율 0.2%로서 그 성능이 다른 기존 조선기의 성능에 비해 매우 우수하게 나타났다. 그러나 조선기의 여러가지 주요 요인들을 변화하여 최고 작업조건을 구명하며 성능을 개선시키고자 하였다.

표 2-4 시작기와 기존 조선기와의 성능비교

구 분	함수율 (%.wb)	처리량 (t/h)	정선율 (%)	이물질율 (%)	손실율 (%)	비고
시작기	22	20	99.5	0.2	0.3	경사각 15 도
기존 조선기 A	21.5	20	96.3	3.4	0.3	경사각 15.5도
기존 조선기 B	21.5	5	87.5	11.7	0.8	경사각 8 도

기존 조선기 자료: 농업기계화연구소('97)

## 3. 좌우요동형 곡물 조선기의 성능개선

### 1) 서언

좌우요동형의 정치형 곡물조선기를 이론적으로 분석하여 제작하였으나 곡물 조선기의 상단부에 있는 로터리식 회전체인 스퀘퍼에서 곡물이 튀겨 벧짚과 같은 이물질과 함께 이물질 배출구로 손실됨에 따라 곡물 조선기의 구조변경이 요구되었다. 이에 조선기의 상단부에서 스퀘퍼를 제거하고 대신에 fork-sieve(평철)형의 스크린을 설치하여 벧짚 및 검불 등의 이물질을 제거하

도록 하였다. 따라서 개조된 곡물조선키의 성능을 평가하고자 선별판의 각도 및 풍량에 따라 정선키된 곡립의 회수율, 곡립손실을 그리고 제거된 이물질 비율 등을 조사하고자 하였다.

## 2) 재료 및 방법

좌우요동형의 조선키인 공시기는 동력부, 흡입부, 투입구, fork-sieve형의 1차 선별부, 2단식 선별판으로 된 2차 선별부, 선별판용 스크레이퍼, 배출부 등으로 구성되어 있다. 조선키의 구조도는 그림 2-11, 12와 같으며, 그 주요부의 사양은 표 2-5와 같다.

1차 실험의 시료로는 97년에 수확한 동진벼를 사용하였으며, 벼는 길이가 7.3 mm, 폭 3.3 mm, 두께 2.25 mm, 함수율이 14.6% 그리고 천립중이 26.64gr이었다. 조선키에 공급되는 송풍량을 측정하기 위해 열선형 풍속계 (KANOMAX: Model 6081)를 사용하였으며, 이때 풍속은 덕트 벽면으로부터 5.5 cm 지점에서 측정하였다. 또한 풍압은 U형 마노미터를 사용하여 덕트내의 3지점에서(벽, 벽으로 부터 1/4지점, 중앙지점)의 정압을 측정하였으나 별 차이가 없어 벽지점에서 정압을 측정하였다.

1차 실험의 방법으로서, 1) 각 처리별 시료의 무게는 1톤으로 하였다. 2) 호퍼스케일 및 전자저울을 사용하여 정곡, 이물질 그리고 이물질속에 포함된 손실곡의 무게를 측정하였다. 3) 조선키의 요동수는 시뮬레이션 결과를 근거로 400 cycle/min에서 고정하였다. 4) 조선키 선별판의 경사각은 최대 15도와 최소 12.5도의 2수준으로 하였다. 5) 풍량은 조선키에 설치된 댐퍼로 조절하여 91, 107, 240, 280 cmm의 4 수준으로 하였다.

2차실험은 98년에 수확된 19%의 동진벼를 사용하여 1차실험에서와 같이 선별판 경사각을 15도로 하여 조선키 성능평가 실험을 실시하였다.



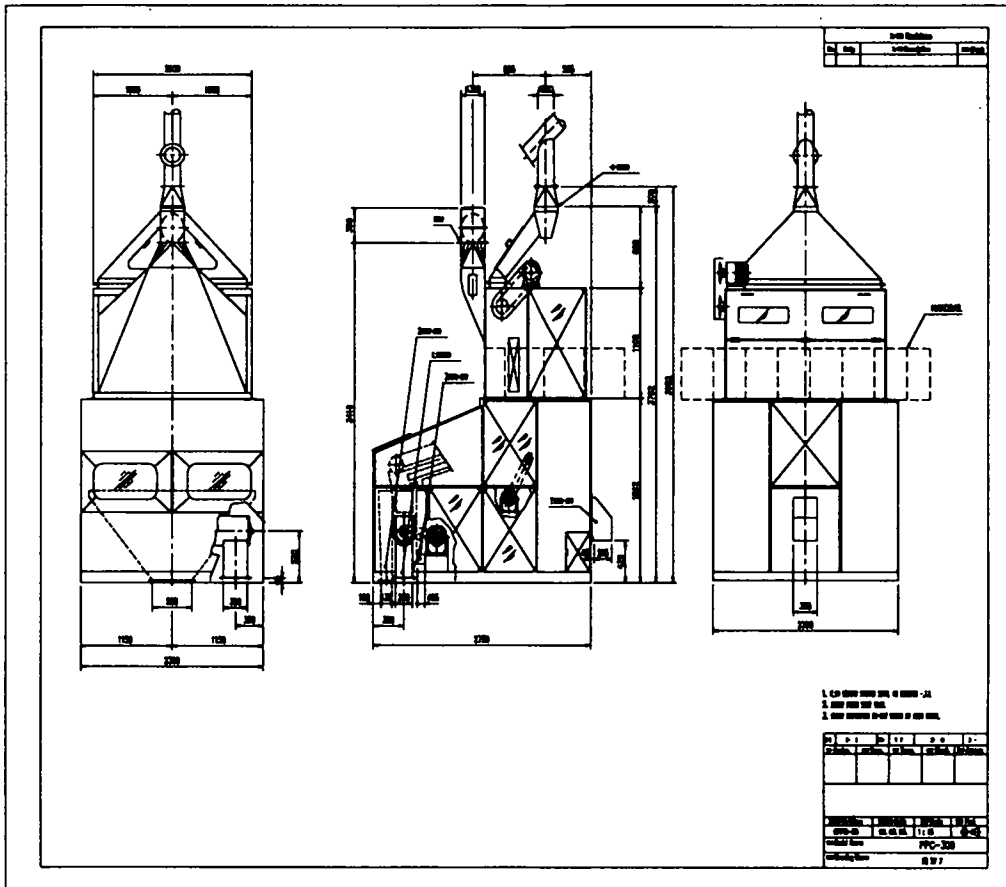


그림 2-11 개선된 좌우요동형 조선기의 구조도

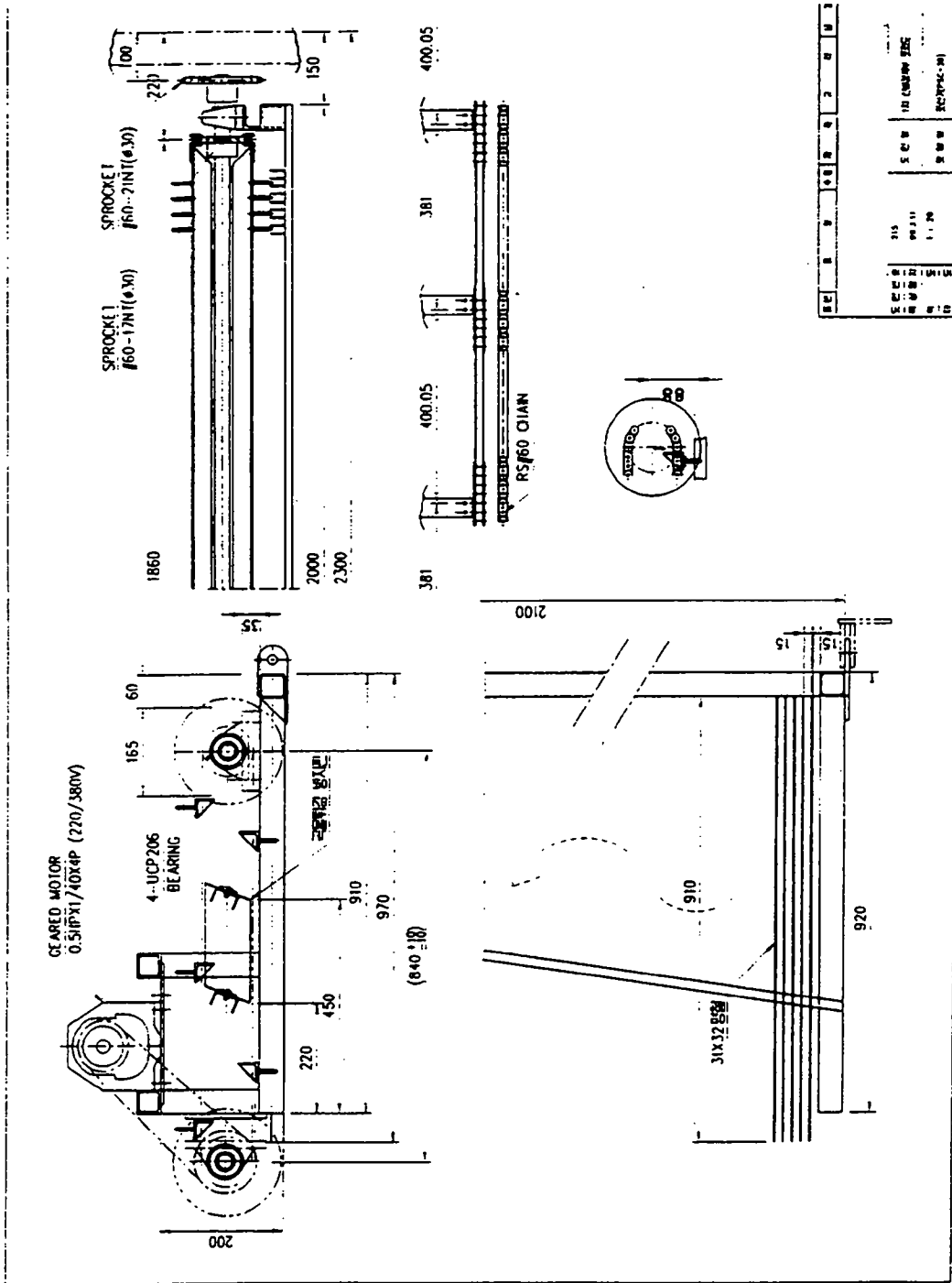


그림 2-11(2) 개선된 곡물조선키의 1차 선별장치의 구조도

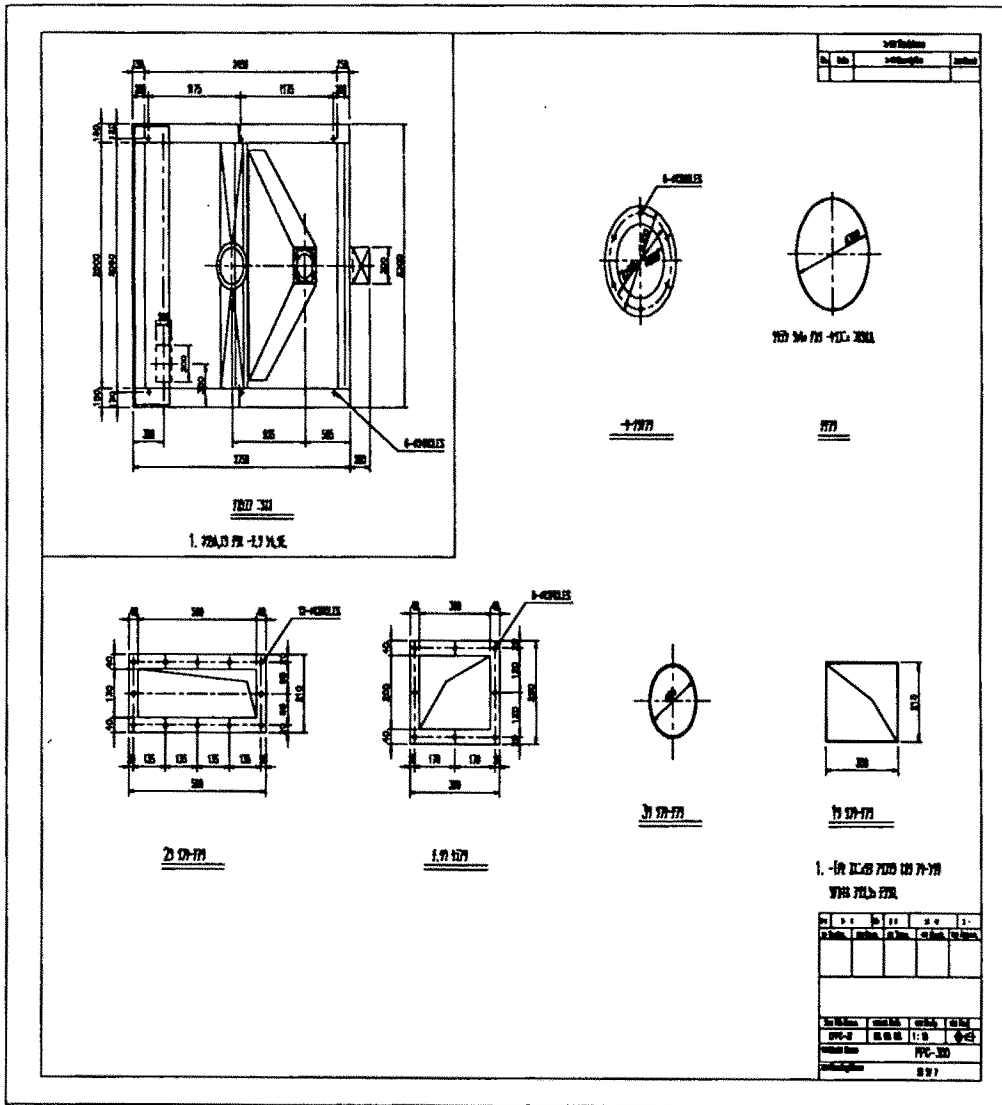


그림 2-12 좌우요동형 조선기의 원료 투입부 구조도

### 3) 결과 및 고찰

곡물조선키를 선별판 경사각과 풍량에 따라 함수율이 14.6% 인 벼 시료를 가지고 조선키의 성능을 평가한 결과는 표 2-6과 같으며, 특히 정선키립 비율(정선키) 및 제거된 이물질 비율 그리고 곡립손실량 비율은 표 2-7과 같다. 정선키율은 모든 처리조건에서 약 99.6%이상으로 정곡 회수율이 매우 높았고, 곡립손실량 비율도 약 0.001%-0.019%로 매우 낮게 나타났으며, 정선키된 곡립속의 이물질 비율도 약 0.00001%이하로 그 성능이 매우 우수하게 나타났다. 특히 선별판 경사각이 15도이고, 풍량이 약 240 cmm, 풍압이 약 150 mmAq 일때 성능이 우수하게 나타났다.

함수율이 19%인 시료 약 1.491톤을 가지고 선별판 경사각을 15도, 풍량 70 cmm, 정압 100 mmAq의 조건에서 2차실험한 결과, 정선키립이 회수된 비율은 99.54%로 나타났고, 곡립 손실량은 약 0.006%, 정선키된 곡립속의 이물질 비율은 약 0.0007%로 나타났다. 그리고 평철의 격자에 의해 걸러진 이물질 비율은 총 곡물의 0.02%, 1단(상단)의 선별판에 의해 제거된 이물질 비율은 0.034%, 3단의 집진판에는 0.35%가 수집되었다. 물벼 시료의 제한 때문에 반복 실험을 하지 못했지만, 이같은 실험결과는 풍량이 적고 수분함량이 약간 높아서 14.6% 건벼의 경우보다는 정선키립 회수비율은 0.06% 낮고, 정선키립속의 이물질 비율은 약 0.0007% 으로 높게 나타났다. 그러나 종합적인 성능 및 처리면에서 건벼때와 거의 비슷함을 알 수 있었다.



사진 2-8 전남대학교에 설치된 좌우요동형 곡물 조선기의 외형

표 2-5 좌우요동형 조선기 사양

구 분(Item)		형식 및 크기(Type and Size)	
모델 특징 (Model Characteristics)		좌우요동형, Fork-sieve에 검불제거장치설치	
처리용량(Capacity)		20 Ton/hr 이상 (w.b. 24% 기준)	
동 력 (Power)	Fork-sieve(평철 스크린)	0.5hp	소 요 전 력
	흡입팬(Suction Fan)	10hp	
	선별판(Screen)	3hp	
	스크레이퍼(Scraper)	0.5hp	
	배출스크류(Output Screw)	2hp	
	총동력(Total Power)	16hp(10hp 팬 부착시)	
흡입팬 (Suction Fan)	흡입관직경 (Suction Pipe Diameter)	Φ300mm	
	풍압 (Wind Pressure, mmAq)	150	
	풍량(Wind Quantity, m <sup>3</sup> /min)	300	
평철 스크린 (Fork -sieve)	치수 및 기능(Dimension & Function)	환봉 Φ8mm, 간격 20 mm, 길이 800mm 검불, 노끈, 줄 등의 이물질 1차 선별기능	
선별판 (Screen )	규격(Dimension)	폭915mm×길이1800(600×3EA)×2열	
	선별판 구멍 크기(Hole size)	1단:Φ12mm, 2단:1.6mm×2.5mm	
	선별판 구멍 간격 (Hole Interval)	1단:Φ14mm(흙간격), 2단:5mm	
	선별판 구동(Screen Driving)	3HP,6P, 1000/280, 400rpm, 편심 4.75mm	
선별판 경사각(Screen Angle)		15 °±3 °	
스크레 이퍼 (Scraper)	규격(Dimension)	900L×50h, 6EA×2열	
	재질(Material)	앵글30×30×5t, 우레판 50×3t	
	감속비(Reduction Rate)	1/20, 14T×12T, #50 스프로켓	
	회전수(Revolution & Speed)	60rpm, 0.3m/sec	
배출 스크류 (Output Screw)	규격(Specification)	Φ250×2500L	
	감속비(Reduction Rate)	1/15, 17T×17T, #50	
	회전수(Revolution)	120rpm	
	용량(Quantity)	20Ton/hr 이상(w.b. 24%기준)	

표 2-6. 곡물 조선키의 정선평립 비율(정선평), 이물질제거율, 곡립손실량 비율

처리	정선평립 비율 (%)	제거된 이물질 비율 (%)	곡립 손실량 비율 (%)	정선평립안의 이물질 비율 (%)	합수율
1	99.68	0.32	0.002	0.000008	14.5%
2	99.67	0.33	0.003	0.000009	
3	99.60	0.40	0.001	0.000001	
4	99.69	0.31	0.001	0.000003	
5	99.61	0.39	0.019	0.000003	
6	99.74	0.26	0.003	0.000005	
7	99.56	0.44	0.008	0.000001	
평 균	99.64	0.35	0.005	0.000004	
8	99.54	0.46	0.006	0.00073	19%

참고: 처리내용은 표 2-7 참조함

표 2-7 개선된 좌우요동형 조선기의 성능평가 결과

처리	선별판 경사 (°)	풍량 cmm	풍압 mmAq	시료 무게 (ton)	정립 비율 (%)	선별 위치별 이물질 배출 비율(%) (정립 손실 비율, %)				정선된 곡립안의 이물질 비율(%)
						격자	1단 선별판	3단 집진판	백필터	
1	15	91	106	1.055	99.7	0.003 (46.7)	0.010 (7.2)	0.085	0.23	0.000008%
2		107	100	1.068	99.7	0.004 (42.5)	0.022 (4.4)	0.046	0.26	0.000009%
3		240	150	1.052	99.6	0.005 (12.6)	0.010 (4.0)	0.042	0.34	0.000001%
4		280	134	1.078	99.7	0.003 (20.0)	0.007 (9.3)	0.040	0.26	0.000003%
평균 구성비				100	99.7	0.0038 (30.4)	0.0123 (6.2)	0.053	0.273	
5	12.5	91	106	1.048	99.6	0.020 (81.7)	0.012 (24.4)	0.038	0.34	0.000003%
6		107	100	1.053	99.7	0.003 (66.7)	0.006 (18.2)	0.037	0.22	0.000005%
7		280	134	1.048	99.5	0.010 (40.0)	0.017 (24.3)	0.077	0.42	0.000001%
평균 구성비				100	99.6	0.011 (62.8)	0.0117 (22.3)	0.051	0.327	
8	15	73	100	1.491	99.5	0.02	0.034	0.103	0.30	0.00073

\* 비율은 무게 비율임.

\*\* 정립 손실 비율은 선별 위치별 배출된 이물질 무게에 대한 배출 정립의 무게 비율임

\*\*\* 위에서 풍압은 덕트내 벽면에서 측정한 “-”의 진공압력임.



#### 4) 결 론

1. 개발된 좌우요동형 곡물 조선기의 처리능력을 견벼 기준으로 시간당 약 25톤이상으로 나타났다.
2. 조선기의 선별판 경사도가 15 °일 때가 12.5 °일 때에 비해 처리능력이 약간 높게 나타났으나, 두 경우 모두 선별판 상반부에서 모든 곡물을 효율적으로 처리함에 따라 물벼의 경우에도 시간당 20톤 이상의 곡물을 충분히 처리할 수 있었다.
3. 풍량과 선별판 경사에 관계없이 함수율이 14.6%인 경우, 조선기의 평균 정곡 회수율은 99.7 %로 매우 높게 나타났으며, 정선된 곡립에 포함된 이물질량은 0.00001 %이하로 정선립율은 평균 99.7 %이상으로 나타났다. 이때 조선기에서 제거된 이물질량 비율은 총 투입량의 약 0.3 %이상이었고, 조선기에서의 손실된 곡립량은 적정 조건에서 약 0.001 %로 매우 낮게 나타났다.
4. 벼 함수율이 19%이고 선별판 경사각 15도에서 실험한 결과, 정선곡립이 회수된 비율은 99.54%로 나타났고, 곡립 손실량은 약 0.006%, 정선된 곡립속의 이물질 비율은 약 0.0007%로 나타났다. 견벼의 경우보다 성능이 무시할 정도로 약간 떨어지지만 견벼의 경우와 같이 성능 및 처리능력이 매우 우수하게 나타났다.

# 제 3 장 곡물 사일로 및 건조 시스템의 개발과 자동화

## 제 1 절 서언

현재 전국적으로 짓고 있는 미곡종합처리장의 건조시설로서 화력건조기인 순환식 건조기와 연속식 건조기를 많이 채택하고 있으며 보조 건조시설로서 사각빈 시스템을 설치하고 있다. 일부 미곡종합처리장에서는 순환식 건조기나 대형 연속식 건조기를 채택하여 건조하고 있거나 앞으로 계획 중에 있다. 이들 화력건조기는 55℃ 이상의 고온을 사용하여 빠른 속도로 건조하기 때문에 미질의 손상을 가져오며 높은 건조 비용을 야기한다. 특히 대형 연속식 건조기는 매우 고가이면서 1개월밖에 사용하지 않으며, 소형 순환식 건조기는 대량으로 곡물이 반입될 때에는 처리능력면에서 불충분한데 이들 시설에 대한 충분한 검토가 필요하다. 우리 나라는 대만, 일본 등과는 달리 수확 시기의 건조 잠재력이 매우 높아서 상온 통풍으로 사일로에서 건조를 실시한다면 미질의 향상을 가져올 수 있을 뿐만 아니라 건조 비용도 줄일 수 있고 도정 시에는 쉐미를 줄일 수 있어 고품질의 쌀을 저렴하게 생산할 수 있다.

곡물의 건조시스템은 건조방법, 건조속도 및 건조조건에 따라 곡물의 품질에 커다란 영향을 미친다. 아직도 많은 농가나 영농단지에서는 노천에서 자연 건조를 하고 있으며 미곡종합처리장에서는 순환식건조기를 사용해 건조하려고 있다. 이러한 순환식 건조기는 물벼가 대량으로 반입될 때 처리능력의 한계가 있으며 빠른 건조속도와 고온으로 인하여 동할미 및 쉐미를 발생시킨다. 현재 미곡종합처리장에 순환식 건조기를 6~7대씩 설치하고 600톤 용량의 사각 빈을 설치하여 연간 1,200톤 ~1,800톤의 건조 능력을 갖고 있으나 실제로 미곡종합처리장의 가공능력은(가동일수 150일 기준)연간 7,500톤 이상에 달해

절대적으로 건조 및 저장시설이 부족하기 때문에 미곡종합처리장의 건조 및 저장시설을 확충하고자 철제 사일로를 설치하고 있다. 또한 전국의 각면의 미곡생산량이 약 5,000톤~6,000톤에 달하나 각군에 1~2개 정도의 미곡종합처리장밖에 없어서 각 면단위에도 위성 건조 및 저장시설로서 철제 원형사일로 시스템이 절대적으로 필요한 실정이다. 철제 원형사일로 건조시스템이 개발되어 상온통풍으로 인공건조를 실시한다면 건조비용도 감소시키고 미질의 향상을 가져오며 건조 후에는 건조용 사일로가 저장용 사일로로 이용될 수 있어 연중 내내 다용도로 사용될 수 있다. 현재 일부 미곡종합처리장에는 건조용 사일로가 설치되어 있으나 기술축적이 안되어 있고 자동화된 건조시스템이 없어서 전혀 활용되지 않고 있는 실정이다. 또한 설치된 원형사일로 (flat bin)의 곡물 배출장치가 수동으로 되어 있어 곡물 배출의 어려움이 많고, 사일로 내부에 자동 함수율 측정장치들이 없어서 원하는 수준까지 자동으로 건조할 수 없을 뿐 아니라 반입량이 많을 때에는 사일로를 연속식 건조기로 사용할 수 있는데도 불구하고 이러한 건조시스템이 갖추어져 있지 않다.

따라서 곡물의 상태를 연속적으로 모니터링하면서 곡물을 연속으로 건조할 수 있고, 계측 및 시스템 제어가 자동화된 곡물 사일로 시스템을 개발하고자 하였다. 또한 개발된 사일로 시스템을 사용하여 곡물 건조실험을 행하고 미질조사를 함으로써 개발된 시스템을 검증하고자 하였다. 또한 대표적인 곡물 건조시설들의 건조성능 및 건조된 곡물의 품질, 가격 및 건조비용 등을 비교 분석하여 사일로 건조시스템의 건조시설로서의 타당성 여부를 조사하고자 하였다. 이에 본 연구의 구체적 목적은 다음과 같았다.

(1) 곡물수분 측정센서(DMC 센서)의 구조, 특징 및 성능을 분석하여 사일로내에서의 곡물의 함수율 측정장치로의 사용 가능성을 검토하고 분석한다.

(2) 곡물 사일로내에 있는 곡물의 함수율과 온도를 연속적으로 자동계측하고 부속장치들을 자동제어할 수 있는 자동화된 사일로 시스템을 개발한다.

(3) 곡물 사일로를 연속식 건조기로 사용할 수 있도록 양날개식의 고성능 동력스위프오거를 설치한 곡물 자동반출시스템을 개발한다.

(4) PLC를 사용한 자동화된 사일로 건조시스템과 건조용 소프트웨어를 개발한 후 사일로 건조시스템을 평가하고 건조된 미곡의 품질을 조사한다.

## 제 2 절 연구사

### 1. 국내의 곡물건조현황

국내에서도 철제원형사일로가 건조저장시설로서 본격적으로 도입되고 있다. 그러나 건조용 사일로에 함수율 측정장치 등 자동건조시스템이 설치되지 않아 앞으로 건조용 사일로를 운용하는데 많은 애로사항이 발생되리라 생각된다. 또한 사일로에서 곡물을 배출하는 장치가 약하고 자동화가 되어 있지 않으며 곡물 배출 후에도 곡물이 완전히 배출되지 않아 사일로 내에 잔곡이 남는 문제점이 발생되고 있다. 그리고 국내에 최근 설치된 플랫폼태의 곡물 사일로는 산업용이 아닌 농가용이어서 사일로 교반장치의 down auger들이 약하고 바닥부의 스위프오거가 수동이며 제대로 작동이 안되고 있다. 즉 사일로의 부속장치 및 건조시스템들이 자동화가 되어있지 않기 때문에 이들 시스템의 개발 및 자동화 그리고 국산화가 시급히 요구되고 있다. 특히 곡물의 함수율이 미질에 가장 큰 영향을 미치므로 함수율 18% 수준으로 1차 건조한 후 18% 함수율에서 16% 함수율로 저온 또는 자연통풍으로 템퍼링시키면서 건조할 수 있는 자동건조시스템의 개발이 절실히 요구된다. 금동혁(1995)등은 곡물 사일로에서 누적건조방법을 이용하면서 벼를 상온통풍으로 건조시키는 실험을 실시하였다. 교반장치를 사용해 함수율을 균일하게 하면서 곡물을 건조시킬 수 있다고 하였다. 그러나 이 건조용사일로에는 자동건조시스템은 설치되지 않아서 수동으로 함수율을 측정하면서 건조실험을 수행하였다. 현재 설치 중에 있는 미곡종합처리장은 작업의 성력화 및 효율화를 위해서 기

계화되고 자동화가 되고 있는데 건조용 사일로에 자동건조시스템이 설치되지 않는다면 미곡종합처리장의 전체 작업효율은 매우 떨어지게 될 것이다. 또한 국내에서는 아직까지 사일로를 연속식 건조기로 활용한 적이 없으며 이에 대한 연구도 전혀 없기 때문에 일부에서는 대형 연속식 화력건조기를 고가로 수입하여 사용하려고 있으며 일부에서는 이미 수입하여 사용하고 있다. 이처럼 곡물 산물건조방법에 대한 기술적 축적이 제대로 안되어 있어서 여러종류의 건조시설 및 장치들이 외국에서 도입되고 있는 실정이다. 이에 하루빨리 우리 실정에 알맞는 적정 건조시설이 선정되어야 하며, 선정된 건조시설에 자동화된 건조시스템의 개발이 절대적으로 요구되고 있다.

## 2. 국외의 곡물건조현황

미국에서는 1960년대부터 곡물을 포대식 저장으로부터 산물식 저장방법으로 변환하면서 곡물 철제 원형사일로를 개발하여 전국적으로 보급하기 시작했다. 지금에는 미국내의 곡물 총생산량의 1/2이상이 철제 원형사일로에서 건조되면서 저장되고 있다. 이에 사일로용 자동 건조장치를 개발하여 사일로를 연속식 건조기로 사용하면서 상온통풍 또는 저온열풍으로 건조하고 있다. 미국에서는 곡물 사일로는 GSI, Buttler, Chief, Yoke, Brock, MFS 등의 10여개 회사에서 생산되고 있으며, 사일로 부속장치를 포함한 자동 건조장치는 Sukup, DMC 등의 몇개 전문회사에서 생산되고 있다. 그러나 미국의 사일로 건조장치들은 완전 자동화가 되어있지 않고 단지 함수율에 의해 장치들이 자동제어 되도록 되어 있으며 건조방법도 자연가스를 이용한 버너시스템을 사용하고 있다. 이에 우리의 기후조건과 실정에 적합한 사일로 건조시스템의 개발과 자동화가 요구된다. 일본과 대만에서는 습도가 매우높아 별로 사용하지 않고 다만 저장시설로서 많이 설치하고 있으며 건조시설로 순환식 또는 연속식 건조기를 많이 사용하고 있다. 그러나 우리 나라에서는 벼 수확시기에 미국처럼 건조잠재력이 매우 높아 사일로를 건조장치로 활용할 수 있기

때문에 건조비용을 절감하고 성력화를 위해서 우리 실정에 적합한 사일로 자동건조시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다.

미국에서 Verma(1984)등은 곡물 사일로에서 벼를 건조할 때 외기의 온도에 따라 천연가스의 양을 자동으로 조절하는 gas modulating burner를 사용해 건조에너지 및 건조비용의 절감효과를 분석한 바 있다. Chung(1989)은 전기저항식 센서와 온·습도센서를 사용해 사일로 내의 곡물의 함수율을 예측하여 사일로의 부속장치들을 자동제어하는 연구를 하였다. 이 연구에서 전기저항식 수분센서는 곡물 건조시에, 온·습도 센서는 곡물 저장시에 함수율을 예측하는데 더욱 적합하다고 하였다. 미국의 DMC사에서는 유전율 방식의 수분센서를 개발하였는데 이 수분센서를 사일로의 곡물배출오거에 사용해 곡물의 함수율을 측정함으로써 사일로 부속장치를 자동제어하는 자동건조장치를 개발하였다. 일본에서는 전기저항식 수분센서를 승강기나 곡물 이송부에 설치하여 곡물의 함수율을 측정하였으나 일본에는 건조용 사일로는 별로 보급되지 않아 사일로 자동건조시스템에 대한 연구는 거의 없다. Bakker-Arkema(1977)는 연속식 건조기의 개발에 관한 연구를 하였으며, 사일로를 배치식 및 연속식 건조기로 사용할 수 있는 Top Dry System의 개발에 관한 연구도 한 바 있다.

## 제 3 절 재 료 및 방 법

전남대학교 농과대학 농장에 설치한 50톤 규모의 철계 원형 사일로를 연속식 곡물 건조기로 사용할 수 있도록 그림 3-1 및 3-2와 같이 사일로 건조 시스템을 개발하고 자동화하였다. 이 개발된 사일로 건조시스템을 사용하여 곡물 건조실험을 실시함으로써 개발된 시스템을 검증하고자 하였다. 본 건조 실험의 시료로서 전남대학교 봉황농장에서 재배되어 3조식 콤바인으로 수확된 물벼를 사용하였다.

### 1. 사일로 시스템의 개발 및 자동화

#### 가. 곡물 계량 및 함수율 측정의 자동화

사일로내에 반입되는 건조할 곡물 물량을 자동으로 계측할 수 있도록 호퍼스케일(그림 3-3 및 3-4)을 설치하도록 한다. 호퍼스케일의 1회 처리용량은 100kg으로 하며 3개의 로드셀을 설치하고 디지털지시계를 설치하여 매회의 무게 및 총무게를 알 수 있도록 하였다. 또한 호퍼스케일에 정전용량식 및 전기저항식 수분측정 센서를 설치하여 곡물의 함수율을 연속적으로 모니터링할 수 있도록 하였다.

#### 나. 사일로의 곡물반출시스템의 개발 및 자동화

곡물 사일로에서 곡물 배출이 가장 큰 문제점의 하나이었다. 일부에서는 사일로내에 필요에 따라 설치하는 수동식 스위프오거를 선택했으나 사일로내에 이것을 고정 설치함으로써 배출이 잘되지 않고 전선이 꼬여 화재도 발생하는 등 많은 문제점들을 야기하였다. 이에 대신해서 설치한 동력 스위프오거도 곡물부하에 의해 제대로 배출을 시키지 못하며, 배출하더라도 많은 잔곡을 남기는 문제점을 갖고 있다.

곡물 사일로를 연속식 건조기로 사용할 수 있도록 곡물 배출장치를 자동

화하고 사일로에서 곡물을 건조하면서 연속적으로 균일하게 자동으로 배출할 수 있는 강력한 배출오거장치를 설치하고자 하였다 (그림 3-5).

## 2. 곡물 건조시스템의 개발 및 자동화

곡물 사일로 내에서 곡물의 함수율과 온도를 연속적으로 측정할 수 있는 센서들을 설치하고(그림 3-6), 이들 측정치들을 기준으로 사일로 부속장치를 자동으로 제어하도록 하였다. 즉, 곡물 사일로에서 곡물 건조중에 곡물의 온도, 함수율을 정확하게 계측할 수 있는 장치와 이들 수치에 따라 송풍기, 히터, 교반장치, 스위프오거 및 배출오거 등을 자동제어할 수 있는 중앙제어반 등의 곡물 자동건조시스템을 개발하였고 그 성능을 평가하고자 하였다.

중앙제어반에서는 곡물처리를 자동과 수동의 두가지 형태(mode)로, 곡물처리를 자동으로 할 경우에는 자동반입, 자동건조, 자동반출 등이 가능하도록 하였으며, 수동으로 처리할 경우에는 송강기, 조선기, 계량기에 부착된 에어실린더의 개폐장치, 이중 댐퍼(two way damper), 곡물 균분기, 교반기, 동력스위프오거, 공기실 밑의 반출오거, 팬, 히터 등의 모든 사일로 부속장치들을 푸시버튼을 사용하여 수동으로 조작할 수 있도록 하였다. 또한 그래픽보오드에 매회 측정되는 호퍼스케일의 계량치와 곡물의 온도 등이 자동으로 나타나도록 되어 있으며, 곡물 건조시 원하는 함수율과 열풍의 온도도 그래픽보오드에서 설정할 수 있도록 하였다. 그러나 호퍼스케일과 사일로내의 곡물 함수율과 온도는 별도의 모니터에서 나타나도록 하였다. 중앙제어반에서 곡물 사일로시스템을 수동 및 자동으로 조작할 때 공정별 처리 순서는 다음과 같았다.

### 가. 수동제어

#### 1) 수동반입 순서

ㄱ) 곡물을 사일로에 반입시킬 때에는 two way damper의 레버를 수동으로 사일로로 곡물이 반입되도록 고정한다. ㄴ) 곡물 균분기를 작동한다. ㄷ) 곡물 균분기를 2-3초간 작동확인 후 사일로 반입 송강기들을 기동시킨다. ㄹ)



곡물 투입구의 레버를 조절하여 투입량을 시간당 5톤이하로 한 후, 조선기를 작동한다. ㄱ) 모든 이송라인이 기동되면 곡물을 투입하고 계량기 상부의 고속 및 저속 버튼으로 계량하고 설정된 양이 계량완료되면 배출버튼으로 곡물을 배출시키는 방법으로 사일로에 곡물 반입하도록 한다.

## 2) 건조공정 순서

ㄱ) 건조공정에 필요한 주전원을 켜다. ㄴ) 팬을 가동하기 전에 사일로 상부의 환기구들을 연다. ㄷ) 팬을 가동시킨다. ㄹ) 곡물의 함수율과 외기의 기후조건을 고려하여 선택적으로 히터를 가동시킨다. 그러나 공기실의 온도가 설정된 온도보다 높으면 히터를 켜더라도 자동으로 히터는 꺼지며, 공기실의 상대습도가 설정한 상대습도보다도 높으면 팬이 작동시 자동으로 히터가 꺼지도록 되어 있다. ㄴ) 곡물의 퇴적고를 파악하여 퇴적고가 50-60 cm이상이 되면 교반기를 작동시킴으로써 교반기에 무리가 가지 않도록 한다. ㅂ) 곡물의 온도가 지나치게 상승하거나 과건조가 된다고 생각하면 수동으로 히터를 정지한다. ㅅ) 사일로 중앙부에 설치되어 있는 곡물 수분측정센서를 곡물 퇴적고에 따라 그 높이를 조절하고 원하는 함수율까지 건조를 하면 먼저 히터를 끄고 일정시간 동안 곡물을 템퍼링시켜 균일한 곡온과 함수율을 유지하게 한 후에 최종적으로 팬을 정지한다.

## 3) 반출공정 순서

ㄱ) 사일로 배출구에 연결된 도정라인을 확인한다. ㄴ) 팬과 교반기를 가동한 후 공기실 밑의 반출오거를 작동시킨다. ㄷ) 다공철판에 있는 반출문(sump or gate)을 적당히 열어 중력에 의해 곡물을 반출시킨다. ㄹ) 곡물이 자체무게에 의해 반출된 후 나머지 곡물을 배출시키기 위해서, 일단 배출오거를 정지시킨 후 공기실 밑에 있는 반출오거와 동력스위프오거를 맞물려 외부로부터의 동력이 동력스위프오거에 전달되도록 한다. 그런 후에 배출오거와 동력스위프오거를 작동시킴으로써 나머지 곡물을 반출시킨다. 모든 곡물을 반출시킨 후 차례로 팬, 교반기, 동력스위프 그리고 반출오거를 정지시킨다.

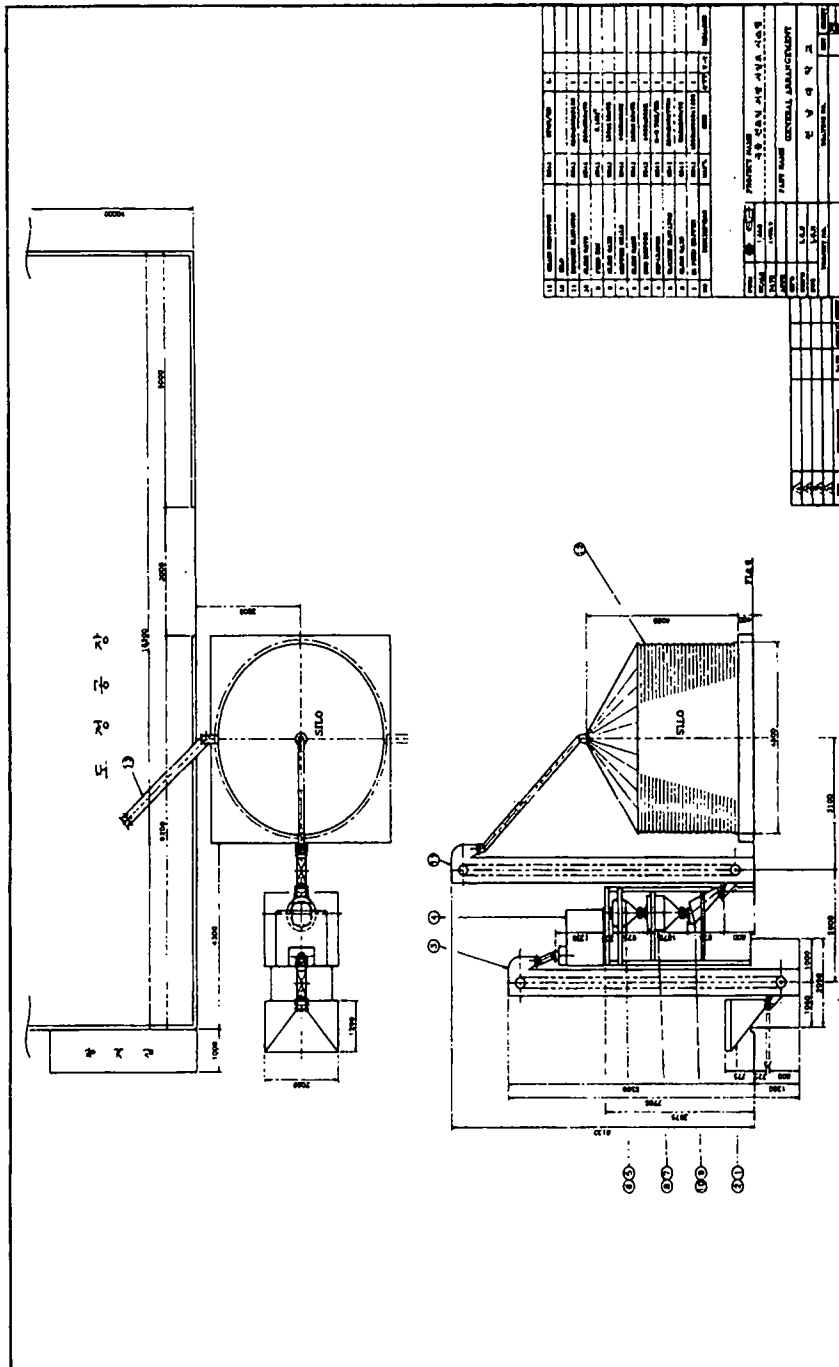
나. PLC(Programmable Logic Controller)에 의한 자동제어

PLC 및 릴레이들을 사용하여 곡물 반입, 계량, 건조, 배출 공정을 자동으로 제어할 수 있도록 PLC 하드웨어(그림 3-7) 및 프로그램(그림 3-8)을 개발하였다. 곡물이 5분동안 반입되지 않을 때에는 자동으로 사일로 부속장치들이 자동으로 멈추도록 하였다.

### 3. 사일로시스템에서의 건조실험 및 시스템평가

개발된 자동 건조시스템을 곡물 사일로에 설치하고 그 종합적 평가를 위해서 곡물 건조실험을 실시한 후 그들의 건조특성을 구명하고 건조된 벼의 미질을 분석하고자 하였다. 건조된 벼의 사일로내에서의 상하층 간의 함수율 차이를 조사분석하고, 건조된 벼의 미질분석을 위해서 쌀의 동할율과 마른벼 단립들의 함수율 분포를 조사하여 건조의 균일성을 분석하였다.

곡물 사일로에 콤파인으로 수확한 동진벼를 반입시켜 상온통풍으로 건조하였다. 96년 10월 9일부터 수확한 곡물은 함수율이 약 19%에서 20%사이에 분포하였고 수확시기에 따라 약간의 차이는 있었다. 곡물 교반기는 작동상 별 문제가 없도록 하기위해 반입량이 약 5톤에 달했을 때부터 작동하도록 하였다. 건조시간에 따라 곡물 반입량, 사일로내 각 지점에서의 곡물의 온도 및 함수율 그리고 대기의 온도 및 습도 등을 6시간 간격으로 측정하였다. 그리고 밤에는 재흡습을 줄이기 위해서 주간에의 송풍량의 30% 수준으로 송풍기를 연속적으로 작동시켰다. 함수율 측정은 사일로에 부착한 정전용량식 수분센서들을 보정하기 위해서 간이 전기저항식 수분측정기를 사용하여 각 지점들의 함수율을 측정였으며, 또한 이 전기저항식 수분측정기의 정확도를 검증하기 위해서 전기오븐을 사용해 동시에 시료들의 함수율을 측정하였다.



NO.	DESCRIPTION	UNIT	QTY	REMARKS
1	GRAIN SILO	NO.	1	
2	CONVEYOR	M	10000	
3	HOPPER	NO.	1	
4	DISCHARGE CHUTE	M	1000	
5	INTERNAL SHAFT	M	10000	
6	WHEELS	NO.	4	
7	DRIVE MOTOR	NO.	1	
8	STRUCTURAL STEEL	M	10000	
9	CONCRETE	M	10000	
10	FOUNDATION	M	10000	
11	PIPEWORK	M	10000	
12	ELECTRICAL	M	10000	
13	PAINT	M	10000	
14	LABOR	HOUR	10000	
15	PERMITS	NO.	1	
16	INSULATION	M	10000	
17	VALVES	NO.	4	
18	SCALES	NO.	1	
19	STAIRS	M	10000	
20	WALKWAYS	M	10000	
21	RAILINGS	M	10000	
22	DOORS	NO.	4	
23	WINDUYS	NO.	4	
24	ROOFING	M	10000	
25	FOUNDATION	M	10000	
26	CONCRETE	M	10000	
27	STEEL	M	10000	
28	PIPE	M	10000	
29	WELDING	HOUR	10000	
30	PAINT	M	10000	
31	LABOR	HOUR	10000	
32	PERMITS	NO.	1	
33	INSULATION	M	10000	
34	VALVES	NO.	4	
35	SCALES	NO.	1	
36	STAIRS	M	10000	
37	WALKWAYS	M	10000	
38	RAILINGS	M	10000	
39	DOORS	NO.	4	
40	WINDUYS	NO.	4	
41	ROOFING	M	10000	
42	FOUNDATION	M	10000	
43	CONCRETE	M	10000	
44	STEEL	M	10000	
45	PIPE	M	10000	
46	WELDING	HOUR	10000	
47	PAINT	M	10000	
48	LABOR	HOUR	10000	
49	PERMITS	NO.	1	
50	INSULATION	M	10000	
51	VALVES	NO.	4	
52	SCALES	NO.	1	
53	STAIRS	M	10000	
54	WALKWAYS	M	10000	
55	RAILINGS	M	10000	
56	DOORS	NO.	4	
57	WINDUYS	NO.	4	
58	ROOFING	M	10000	
59	FOUNDATION	M	10000	
60	CONCRETE	M	10000	
61	STEEL	M	10000	
62	PIPE	M	10000	
63	WELDING	HOUR	10000	
64	PAINT	M	10000	
65	LABOR	HOUR	10000	
66	PERMITS	NO.	1	
67	INSULATION	M	10000	
68	VALVES	NO.	4	
69	SCALES	NO.	1	
70	STAIRS	M	10000	
71	WALKWAYS	M	10000	
72	RAILINGS	M	10000	
73	DOORS	NO.	4	
74	WINDUYS	NO.	4	
75	ROOFING	M	10000	
76	FOUNDATION	M	10000	
77	CONCRETE	M	10000	
78	STEEL	M	10000	
79	PIPE	M	10000	
80	WELDING	HOUR	10000	
81	PAINT	M	10000	
82	LABOR	HOUR	10000	
83	PERMITS	NO.	1	
84	INSULATION	M	10000	
85	VALVES	NO.	4	
86	SCALES	NO.	1	
87	STAIRS	M	10000	
88	WALKWAYS	M	10000	
89	RAILINGS	M	10000	
90	DOORS	NO.	4	
91	WINDUYS	NO.	4	
92	ROOFING	M	10000	
93	FOUNDATION	M	10000	
94	CONCRETE	M	10000	
95	STEEL	M	10000	
96	PIPE	M	10000	
97	WELDING	HOUR	10000	
98	PAINT	M	10000	
99	LABOR	HOUR	10000	
100	PERMITS	NO.	1	

그림 3-1 곡물 사일로 시스템 배치도

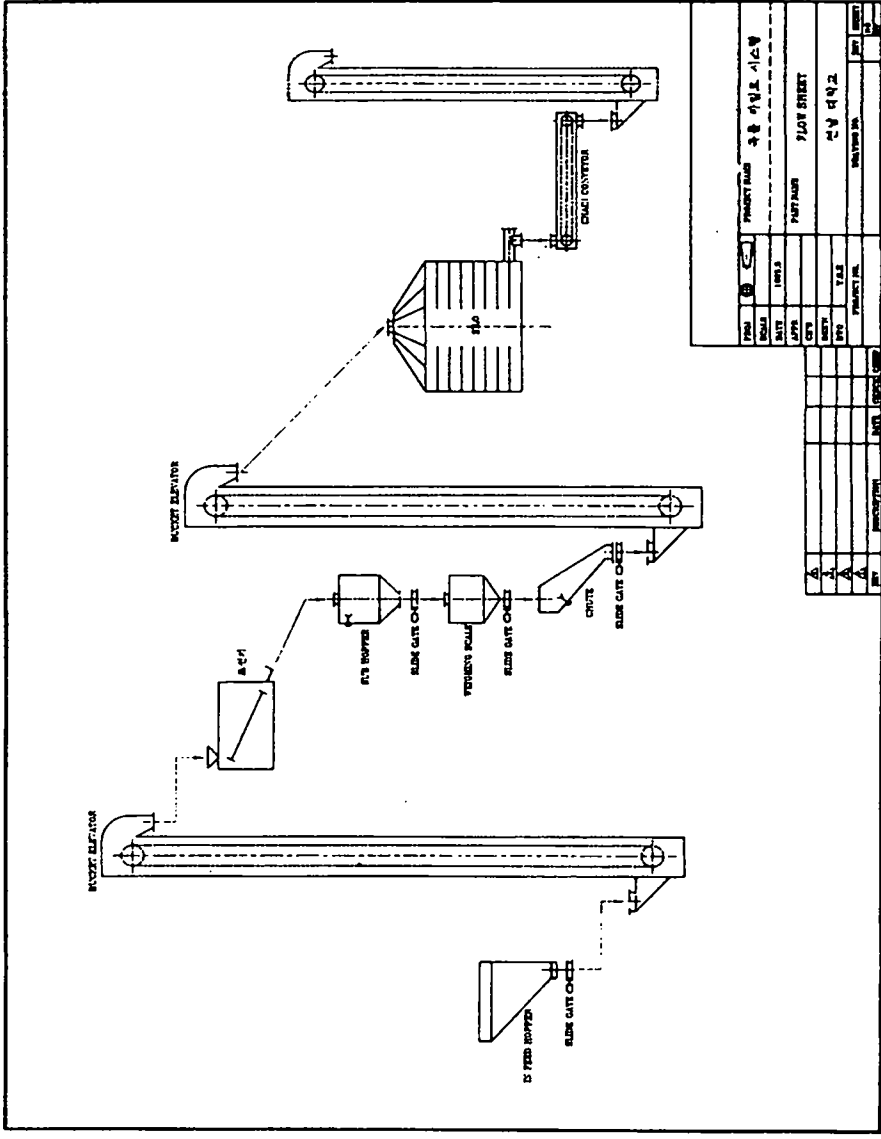
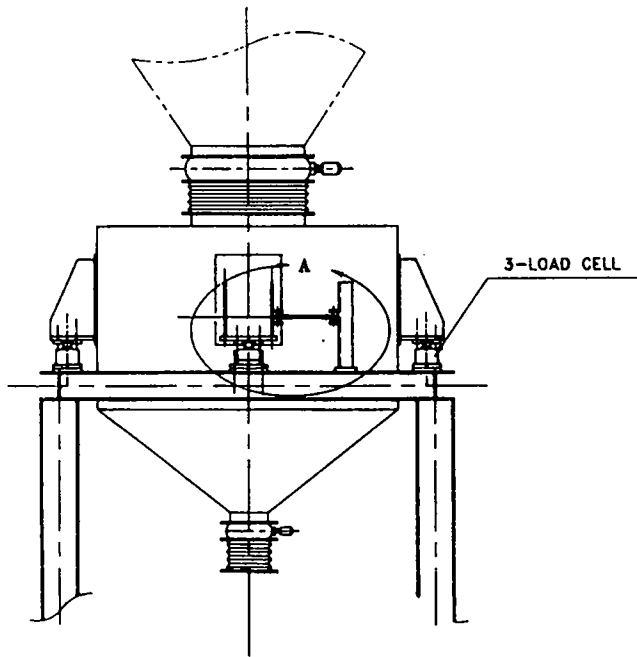
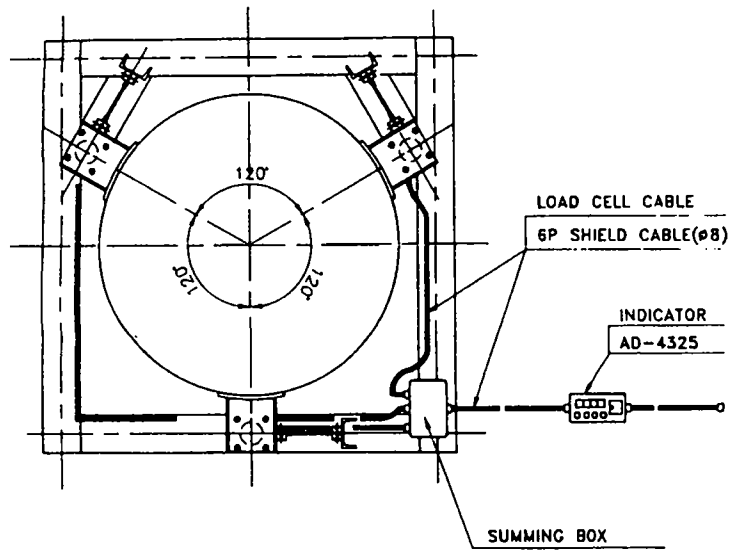


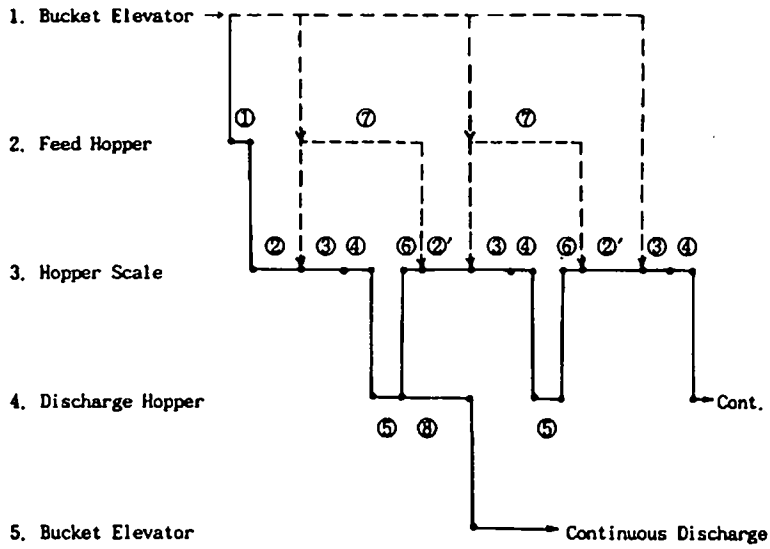
그림 3-2 곡물 사일로 시스템의 공정도



## HOPPER SCALE

그림 3-3 사일로 시스템의 호퍼스케일 구조도

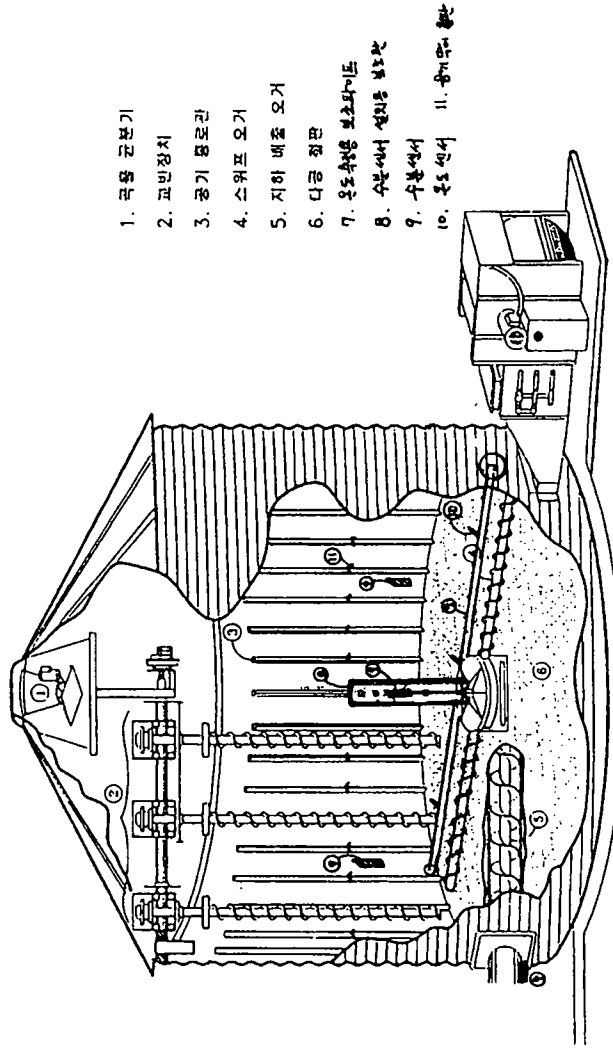
### Time Schedule of Weighing Process by Hopper Scale



No.	WEIGHING PROCESS	TIME (sec)
①	Delay Time for Scale Zero	1
②	Weighing Time for A Batch of 500 kg	② : 90 ②' : 75
③	Delay Time for Exact Scaling	1
④	Discharge Time, Gate Open	10
⑤	Delay Time for Scale Zero	2
⑥	Discharge Gate Close Inlet Gate Open	2
⑦	Storing Time in Feed Hopper	15
⑧	Discharged Time of Discharge Hopper	Continuous

그림 3-4 호퍼스케일의 시간 스케줄(Time Schedule)

사 일 로 내 부 구 조 도



1. 곡물 균분기
2. 교반장치
3. 중기 플로관
4. 스크프 오거
5. 지하 배출 오거
6. 다금 좌판
7. 온도 측정용 보초파이프
8. 수분센서 설치용 보초관
9. 수분센서
10. 온도센서
11. 용기유기 환

그림 3-5 곡물 사일로의 내부 구조도

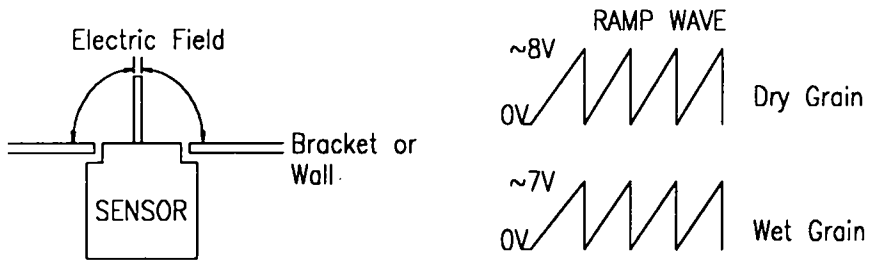
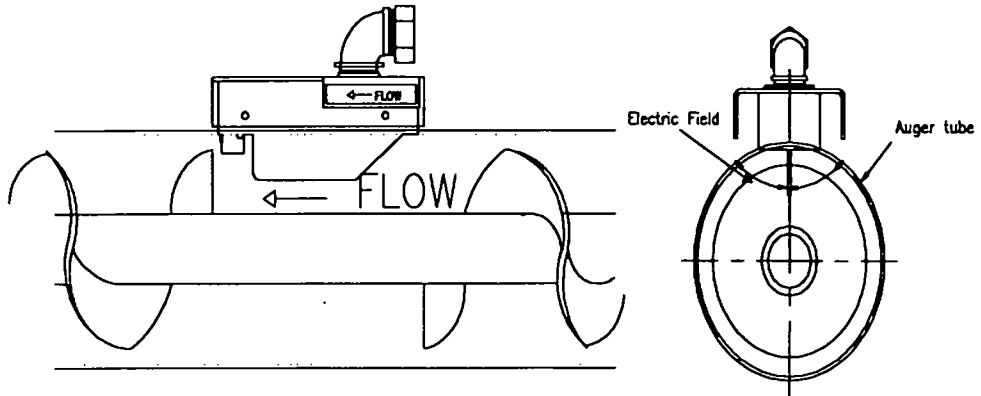


그림 3-6 사일로에 설치된 정전용량식 수분센서



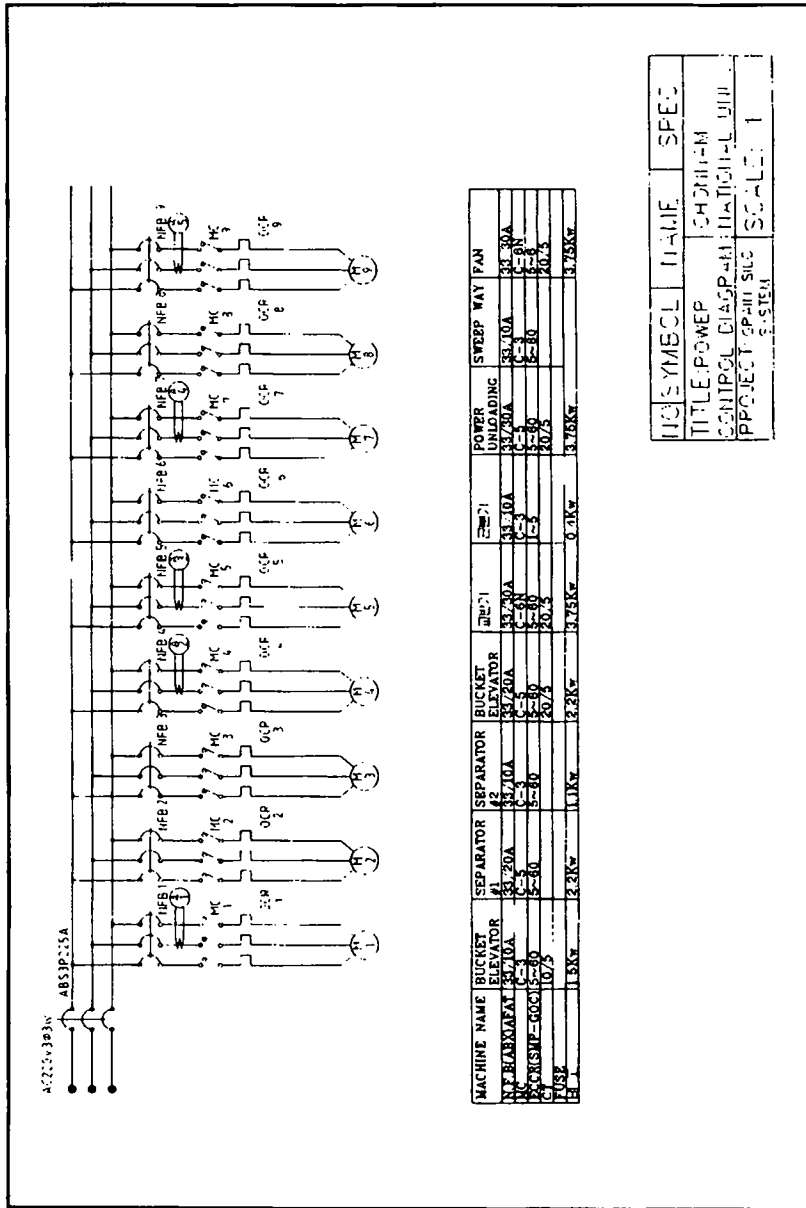


그림 3-7 곡물 사일로 시스템의 제어반 사양 및 회로도

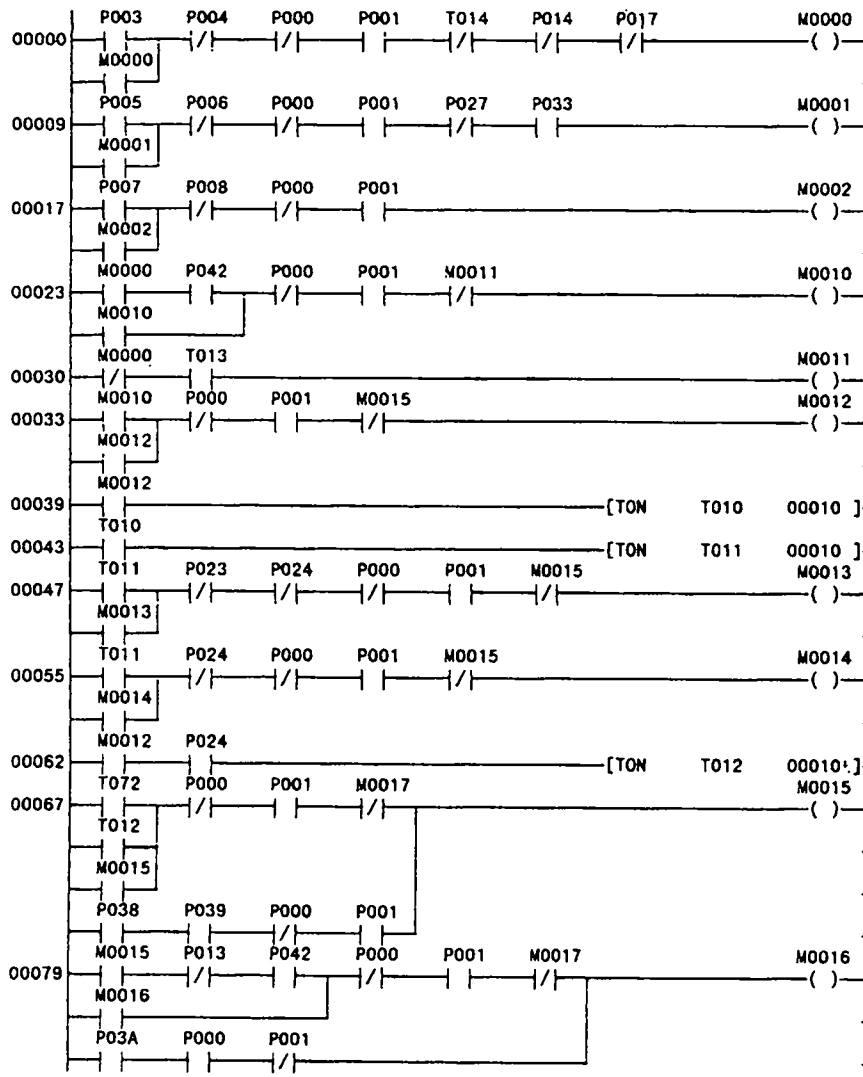


그림 3-8 곡물 사일로 시스템의 PLC 프로그램 일부

## 제 4 절 결과 및 고찰

### 1. 곡물 사일로 시스템의 개발 및 자동화

#### 가. 곡물 반입 및 계량 시스템의 특징

50톤 용량의 곡물 사일로에 곡물을 반입시키기 위해 소형 호퍼식 투입구를 설치했으며, 이 투입된 곡물을 조선기에 운반시키기 위해 시간당 5톤을 이송시키는 원심식 버킷엘리베이터를 설치하였다. 그리고 곡물에 포함된 이물질을 선별하기 위해서 시간당 5톤을 처리하는 소형 조선기를 설치하였다. 이물질이 제거된 곡물을 자동 계량하기 위해서 호퍼식 계량기를 설치하였으며, 1회에 최대 100kg을 계량할 수 있도록 3개의 로드셀을 호퍼에 설치하였다. 이 호퍼식 계량기는 정량식으로 2단계 방법으로 양을 조절하여 계량하고 각 배치당 무게와 총무게를 알 수 있도록 하였으며, 각 배치당 원하는 무게를 설정하여 허용오차도 조절 가능하도록 계기판을 설치하였다. 또한 마지막 계량시는 무게가 설정한 값에 미달하더라도 일정시간이 지나면 자동으로 계량되고 배출되도록 하였다. 이렇게 정선되고 계량된 곡물은 그림 3-2의 공정도처럼 50톤 용량의 사일로에 투입되거나 2.5톤의 소형 호퍼식 탱크에 저장하여 반출할 수 있도록 하였다. (사일로 시스템: 사진 3-1 참조)

#### 나. 곡물수분 자동측정시스템의 특징

사일로에 반입되는 곡물의 온도와 함수율을 자동으로 연속적으로 알 수 있도록 호퍼식 계량기에 곡온 및 수분측정 센서 및 장치를 설치하였다. 수분 측정기로 미국 DMC사의 정전용량식 접촉센서를 120도 간격으로 3곳에 설치하여 (사진 3-2) 계량기내의 각지점에서의 곡물 함수율을 측정하여 비교할 수 있도록 하였으며, 그들 평균값이 모니터에 나타나도록 하였다. 또한, 전기저항 및 분쇄식의 수분 측정센서를 계량기에 설치하여 곡물의 함수율을 이중으로 측정함으로써 두센서간의 정확도를 비교할 수 있도록 하였다.

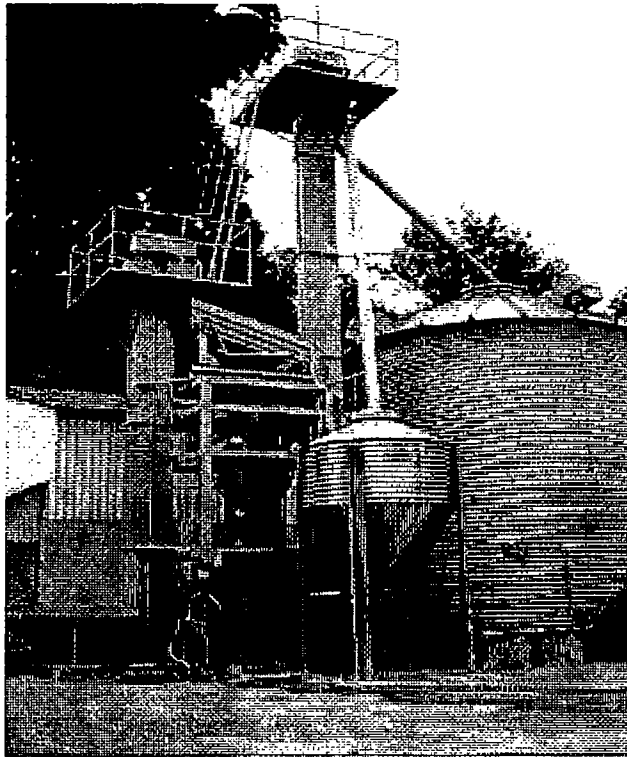


사진 3-1 반입장치, 조선키, 호퍼스케일 등으로 설치된 곡물 사일로 시스템

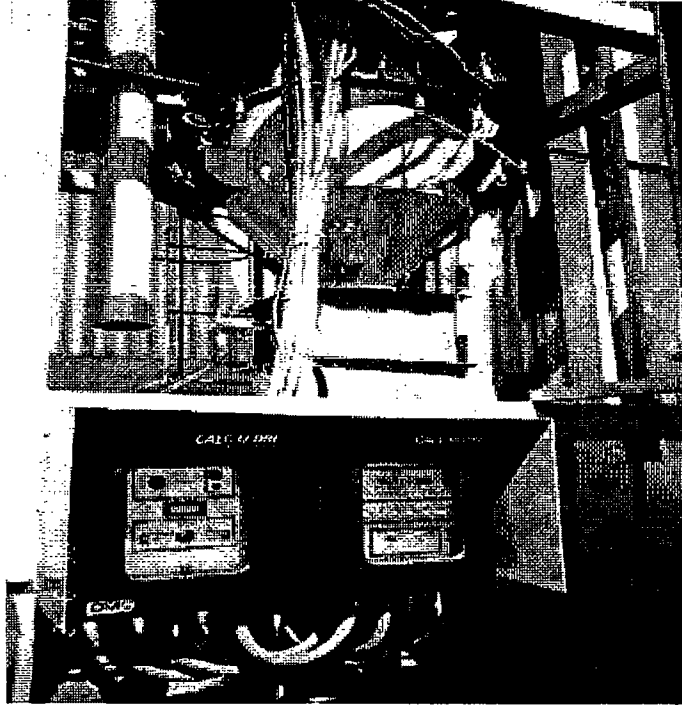


사진 3-2 호퍼스케일에 부착된 정전용량식 수분센서 및 모니터

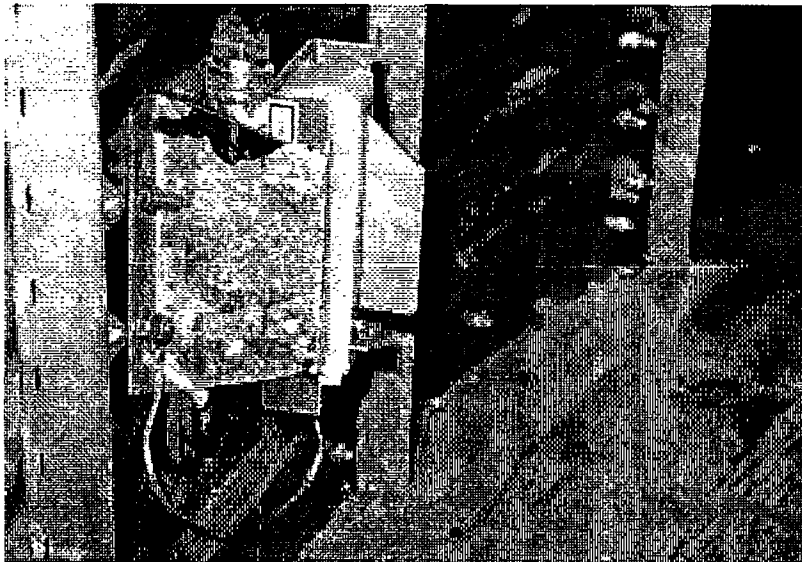


사진 3-3사일로 벽에 설치된 정전용량식 수분센서

#### 다. DMC사 수분센서의 특징 및 성능 분석

DMC사의 수분센서(사진 3-3)는 스테인레스 철판으로 구성된 센서부가 접촉할 때 정전용량이 변화하는 원리를 이용하는 것으로서, 곡물의 함수율에 따른 전기적인 신호변화는 내부에 설치된 콘덴서를 이용한 적분회로를 사용하여 시간변화에 따른 평균값을 산출하도록 되어 있었다. 즉 곡물과 센서의 접촉에 따라 정전용량의 변화가 있으므로 이 변화에 따른 전기신호를 이용하여 수분을 추정하도록 되어 있다. 센서의 하부에 젤리로 코팅된 부분은 약 4MHz의 수정발진자와 콘덴서, 증폭기 등으로 구성되어 있으며, 그 보드의 회로는 센서 신호의 연산 및 처리회로, LCD 구동회로로 구성되어 있었다.

이 수분센서에 대해 성능시험한 결과 센서의 안전성은 매우 양호하였다. 즉 센서 주위환경 및 측정시 센서위치 변경으로 인한 신호값의 변화는 거의 없었다. 그리고 수분 측정시 반응시간은 2-3초로 매우 짧았으나, 측정이 끝난 후 초기값으로의 복귀시간이 약 30초 소요되므로 수분 측정간격은 적어도 30초 이상이 좋을 것으로 사료되었다. 그러나 수분센서가 계속해서 곡물에 접촉하여 있으면 이러한 문제점은 우려할 필요가 없다고 본다. 또한 자연스런 투입상태에 (산물밀도 범위:  $0.54 - 0.60 \text{ g/cm}^3$ )에서의 결정계수값이 0.96정도로 높게 나타나 어느정도의 일정한 산물밀도에서는 산물밀도 변화에 대해 보정 없이 곡물의 함수율을 정확하게 측정할 수 있다고 사료되었다.

#### 라. 곡물 사일로의 부속장치

플랫형의 철제 원형 사일로(50톤 용량)에 부속장치들로서 곡물 균분기 (grain spreader), 3개의 오거가 달린 교반기, 양날개식의 동력스위프오거, 교반기의 작동 가능 시점과 곡물 과반입을 알려주는 곡물 레벨러, 사일로내의 곡물의 온도 및 함수율을 측정하는 센서 및 모니터, 다공철판 밑의 배출오거, 32 kW의 히터와 5마력의 원심식 팬, 공기실의 온도와 습도를 측정하여 자동으로 제어하는 제어기 등을 설치하였다.

#### 바. 사일로 자동건조장치의 특징

사일로내의 곡물 함수율과 온도를 자동으로 측정하기 위해서 벽면 2지점(다공철판으로부터 30cm 지점과 90cm지점)과 사일로 중앙(센서설치 높이 조절가능)에 DMC사의 수분센서를 설치하였다(사진 3-4). 그리고 다공철판 밑에 설치되어 있는 곡물 배출용 스크루오거의 튜브에 또하나의 DMC 수분센서를 설치해 배출되는 곡물의 함수율과 온도를 자동으로 측정하여 계기판에 나타나도록 하였다. 이들 수분센서로부터 측정된 곡물의 함수율이 설정된 함수율값과 비교하여 사일로에 설치된 팬, 가열장치, 교반장치가 자동으로 작동되도록 하였다. 즉 교반장치가 설치된 사일로내에서 곡물의 온도와 함수율을 자동으로 계측해서 사일로의 부속장치들을 자동으로 제어하도록 하였다. 또한, 곡물 사일로내의 하부 및 벽쪽 곡물의 온도를 측정하기 위해서 pt 100옴의 열전대를 사일로 하부(다공철판으로부터 약 20 cm)의 3지점에(사일로 중앙, 양쪽벽으로부터 1m 지점 2곳)에 설치하였다. 이 온도에 의해서 사일로에 부착되어 있는 히터(사진 3-5)가 자동으로 개폐되어 작동되도록 하였다. 그리고 사일로 다공철판 밑의 공기실에 온도와 상대습도를 측정하는 장치를 설치해 온도와 습도를 설정해 놓음으로써 가열장치를 자동으로 제어하도록 하였으며, 외기 온도와 상대습도도 연속적으로 일정 시간 간격으로 측정해 기록하도록 하였다.

#### 사. 사일로 곡물배출장치의 특징

사일로 외부에서 강력하게 구동되는 양날개식의 고성능의 동력스위프오거(twin power sweep auger)를 사일로내에 고정 설치해 곡물이 1m정도 사일로내에 퇴적되어 있더라도 연속적으로 곡물을 균일하게 배출시키고, 최종 곡물 반출시 잔곡을 최소화하도록 하였다(사진 3-6). 그리고 최종적으로 사일로에 남는 곡물은 본 연구에서 개발한 공기이송장치로 완전 배출하고자 하였다.

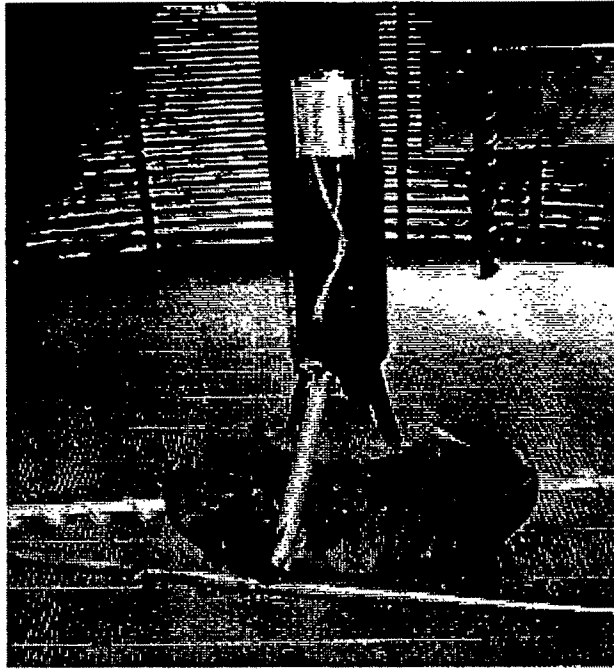


사진 3-4 사일로 중앙에 설치된 정전용량식  
수분센서 및 곡은 측정용 열전대

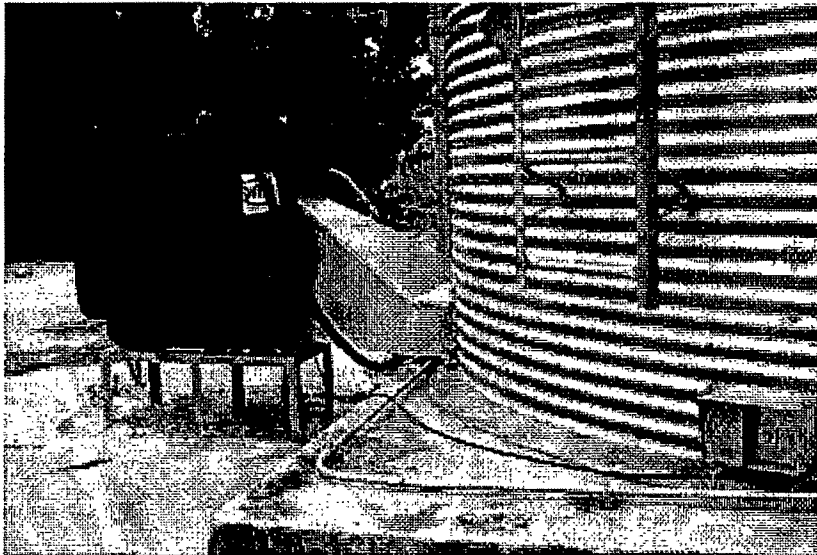


사진 3-5 히터를 자동제어하는 공기실의 온습도 장치



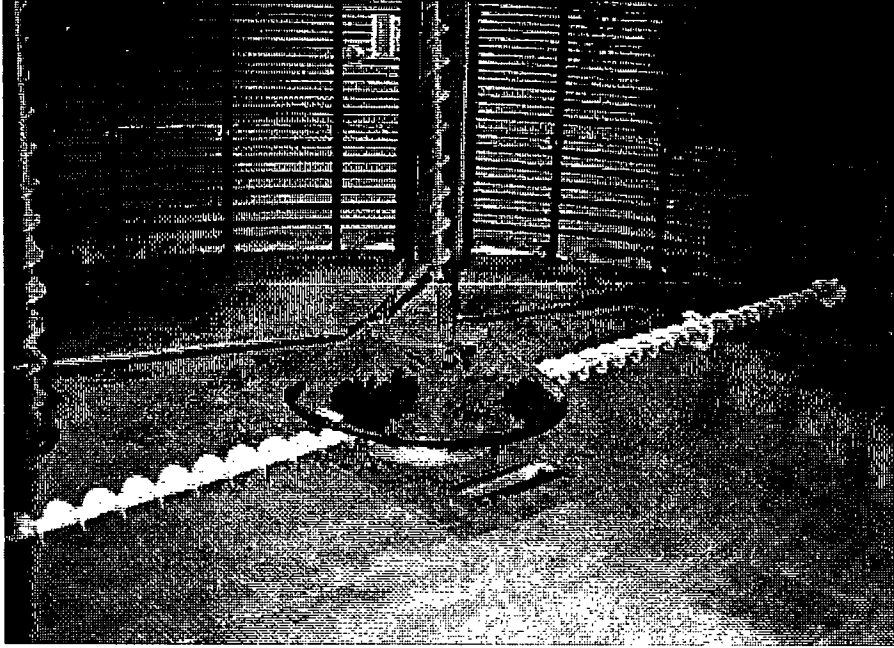


사진 3-6 양오거식의(twin auger) 고성능  
곡물 동력배출오거장치

#### 아. 사일로시스템의 자동제어장치의 특징

곡물의 반입, 조선, 계량, 이송 등의 공정들과 계측 및 제어과정을 한 번에 쉽게 볼 수 있도록 칼라 그래픽보드를 이용한 중앙제어반을 사진 3-7 및 3-8 과 같이 개발하였다. 중앙제어반에서는 자동과 수동의 두가지 형태(mode)로 곡물을 처리하도록 하였다. 곡물처리를 자동으로 할 경우에는 자동반입, 자동 자동반출 등이 가능하도록 하였으며, 수동으로 처리할 경우에는 승강기, 조선기, 계량기 개폐장치, 이중 댐퍼, 곡물 균분기, 교반기, 동력스위프오거, 공기 실 밑의 반출오거, 팬, 히터 등의 모든 사일로 부속장치들을 푸시버튼을 사용하여 수동으로 조작할 수 있도록 하였다.

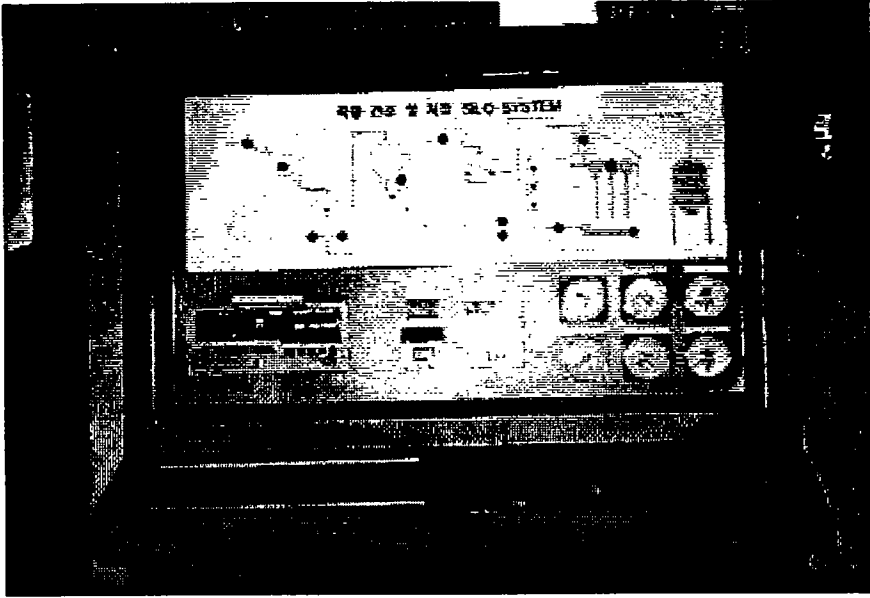


사진 3-7 사일로 시스템의 중앙집중제어반

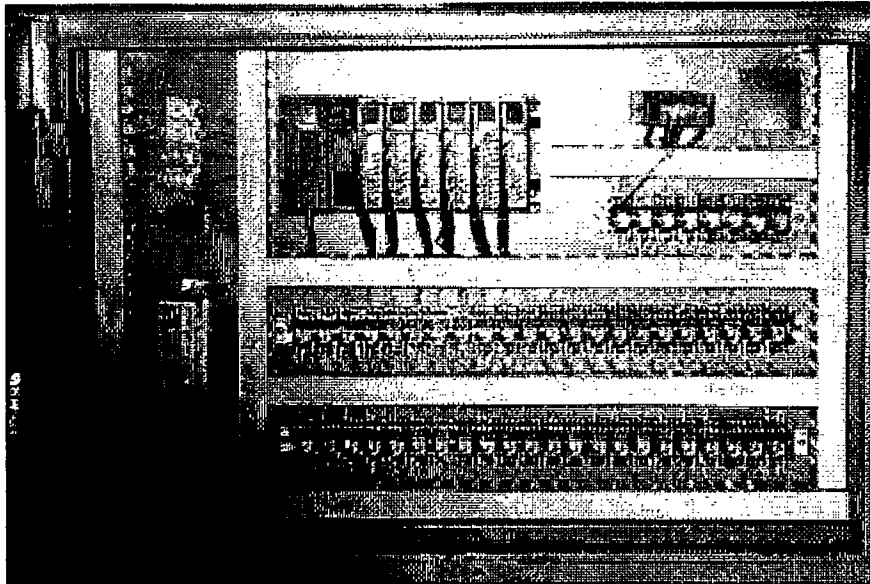


사진 3-8 중앙제어반의 PLC 및 릴레이 장치

## 2. 사일로 건조시스템에서의 곡물 건조실험

표 3-1은 개발된 사일로 건조시스템에서 건조실험한 결과이다. 곡물이 일시에 반입되어 건조된 것이 아니라 3일 동안 수확된 벼를 단계적으로 50톤 용량의 사일로에 반입시켜 건조하였기 때문에 벼 약 6.6톤(곡물깊이 약 70cm)을 15%이하까지 상온통풍으로 건조시키는 데, 약 80여시간이 소요되었다. 건조초기에는 각 지점에서 상하층간에 약 1-2% 이상의 함수율 차이가 있었으나 교반기를 작동하면서부터 상하층간에 거의 균일한 함수율 분포를 나타내었으며, 건조시간이 63시간 되었을 때부터는 상하층간의 함수율 차이가 0.5% 이내로 줄어들었다. 본 연구에서는 시료의 양이 6.6톤밖에 되지 않아서 야간에는 보조 히터를 작동시키지 않았으나 건조물량이 많을 때에는 야간의 대기온도가 주간에 비해 10-15도 이상 떨어지고 상대습도도 80% 이상으로 상승하기 때문에 보조열원을 사용해 주간의 건조조건과 비슷하게 맞추어 재흡습이 되지 않도록 균일하게 건조시킬 필요가 있었다. 그리고 간이 전기저항식 수분측정기에 의해 측정된 함수율 값들은 공기오븐식으로 측정된 함수율에 비해 0.5%이내에서 낮게 나타났으나, 전기저항식 수분측정기로 비교적 정확한 함수율을 측정할 수 있었다.

사일로내에 설치된 정전용량식 수분센서들에 의해 측정되는 함수율은 전기저항식 수분측정기로 측정된 함수율에 비해 약 0.5%정도 더 낮게 나타나 이를 보정하였다. 사일로내의 곡물온도는 건조공기의 온도에 따라 약간씩 변화하였는 데 주간에 건조공기의 온도 때문에 곡온이 약간씩 상승하며 또한 건조됨에 따라 점차적으로 곡온이 상승하였다. 따라서 사일로내의 곡물 함수율과 온도를 연속적으로 측정할 수 있었으며, 사일로로부터 배출되는 마른 벼의 함수율도 연속적으로 측정할 수 있었다. 그리고 이들 값들을 기초로 사일로 건조장치들을 자동으로 제어하면서 사일로 건조시스템을 대형 연속식 건조기로 사용할 수 있었다.

그림 3-9, 3-10, 3-11은 사일로내의 중심부지점, 중심부와 벽 중간지점, 그리고 벽지점의 세 지점에서 건조시간에 따라 하층(다공철판으로부터 10 cm), 중층(다공철판으로부터 25 cm), 상층(다공철판으로부터 40 cm), 최상층(다공철판으로부터 55 cm)에 있는 곡물의 함수율 변화를 나타낸 것으로서, 교반기에 의해 곡물이 잘 섞이면서 상,중,하층간에 함수율의 차이가 별로 없이 균일하게 건조되는 것을 보여주고 있다.

그림 3-12는 사일로내의 각층(최상,상,중,하층)별로 세지점에서의 벼의 평균함수율을 보여주고 있는 데, 건조시간에 따라 점차 함수율이 감소하다가 건조시간 40시간에서 물벼가 추가적으로 반입됨에 따라 각층간에 함수율의 차이를 보이고 있다. 그러나 건조시간이 증가하고 교반기를 작동시킴에 따라 상하층간의 함수율 차이를 약 0.5%내로 줄이며 균일한 건조를 할 수 있었다.

또한 사일로에서 상온통풍으로 건조한 벼의 동할립율을 검사한 결과 약 2% 이내로 나타났다. 이 결과는 순환식 건조기에서 건조된 벼의 동할립율 3%(40도에서 열풍건조), 5%(45도에서 열풍건조)와 8%(55도에서 열풍건조), 그리고 천일건조시 벧짚위 망사에서의 동할립율 약 10%와 콘크리트 위에서의 동할립율 약 16%에 비해 현저히 낮게 나타났다.

따라서 건조속도 및 건조온도 등의 건조방법이 벼의 동할에 절대적으로 영향을 미치고, 이러한 동할벼가 추후 도정시에 썩미가 되기 쉽기 때문에 적정 안전한계 송풍량으로 자동건조시스템을 사용하면서 원하는 함수율까지 상온 통풍·건조하는 것이 바람직하다고 사료되었다.

표 3-1. 곡물 사일로 시스템에서 상온통풍으로 건조한 결과 건조시간에 따른 함수율과 곡온의 변화

건조 시간,h r	건조 량 ton	벼온 도 ℃	사일로 중심지점 함수율 (A), %				사일로 중심과 벽의 중간지점 함수율 (B), %				사일로 벽 지점의 함수율 (C), %			
			하층	중층	상층	최상 층	하층	중층	상층	최상 층	하층	중층	상층	최상 층
0	2.7		18-19				18-19				18-19			
9		17	17.3	19.4	17.3		18.3	17.4	17.4		18.3	17.4	17.4	
15		20	16.1	18.5	17.5		15.9	17.5	18.4		16.4	16.5	15.3	
21		15	15.4	17.5	17.1		15.2	16.2	16.6		15.4	16.0	16.6	
33	3.4	17	15.7	16.1	16.3		15.4	16.0	16.0		15.8	15.7	16.0	
39	5.0	22	15.6	16.4	16.3	19.0	15.6	15.9	18.5	19.0	15.5	15.5	16.0	19.0
45		18	16.8	17.2	17.0	18.2	15.6	15.5	17.6	19.1	15.0	18.0	17.6	19.1
57	6.6	19	15.4	16.3	17.5	16.3	16.1	15.5	16.1	16.1	15.0	16.1	16.2	16.2
63		25	15.0	15.0	15.4	15.8	14.5	15.1	15.2	15.3	14.5	14.9	15.0	15.4
70		19	14.9	15.0	15.0	16.1	14.7	14.8	14.9	15.2	14.6	14.8	15.0	15.2
81		18	14.7	14.9	14.7	15.7	14.9	14.8	14.9	15.2	14.6	15.0	14.9	15.1
85		24	13.5	13.6	13.3	14.4	13.0	13.6	13.7	13.8	13.5	13.5	13.5	13.7
			(13.9	(14.3	(14.6	(14.8	(13.5	(13.7	(13.9	(14.	(13.8	(13.8	(13.7	(13.
			)	)	)	)	)	)	)	0)	)	)	)	8)

참고:1) 위의 함수율은 Kett의 전기저항식 수분측정기로 3회 반복 측정해 평균한 습량 기준함수율임.

2) ( )의 함수율은 전기오븐법을 사용하여 측정한 습량기준함수율임.

3) 건조량은 누적 총건조량을 뜻함.

4) 건조량 5톤부터(건조시간 39시) 곡물깊이가 50cm에 도달되어 교반기를 작동시킴.

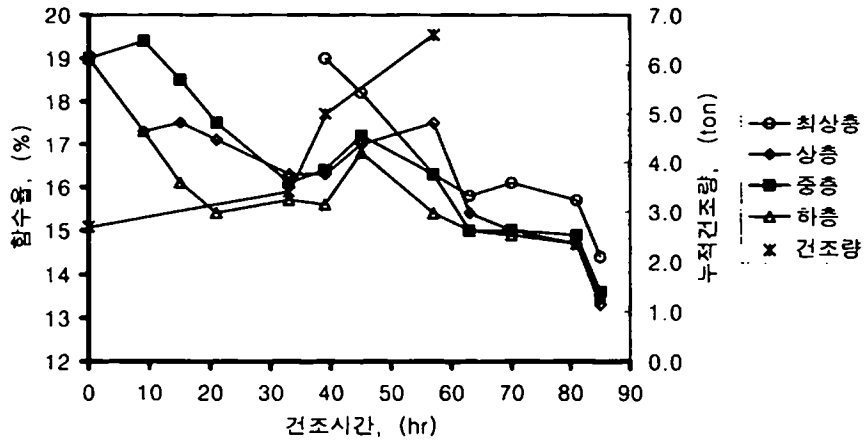


그림 3-9 누적건조량과 사일로 중심부에서의 건조시간에 따른 함수율 변화

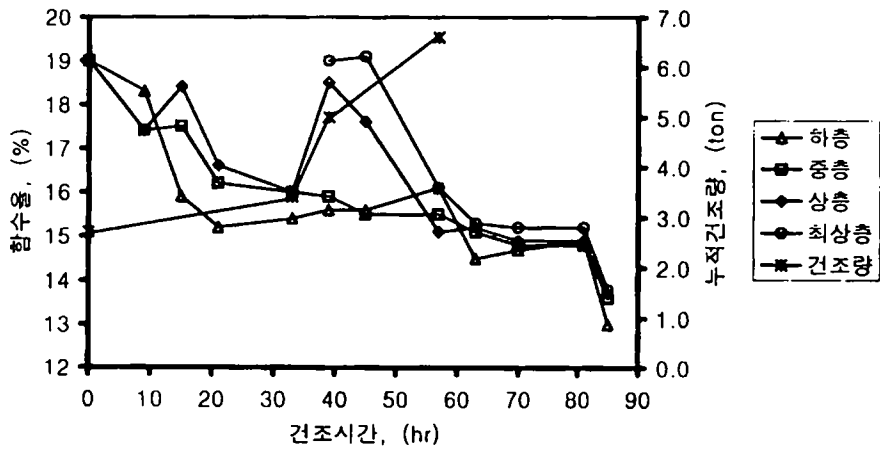


그림 3-10 누적건조량과 사일로 중심부와 벽 중간지점에서의 건조시간에 따른 함수율 변화

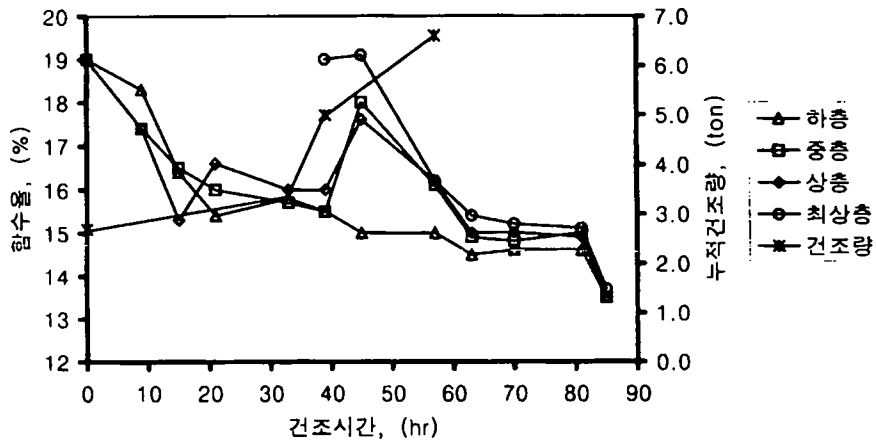


그림 3-11 누적건조량과 사일로 벽쪽지점에서의 건조시간에 따른 함수율 변화

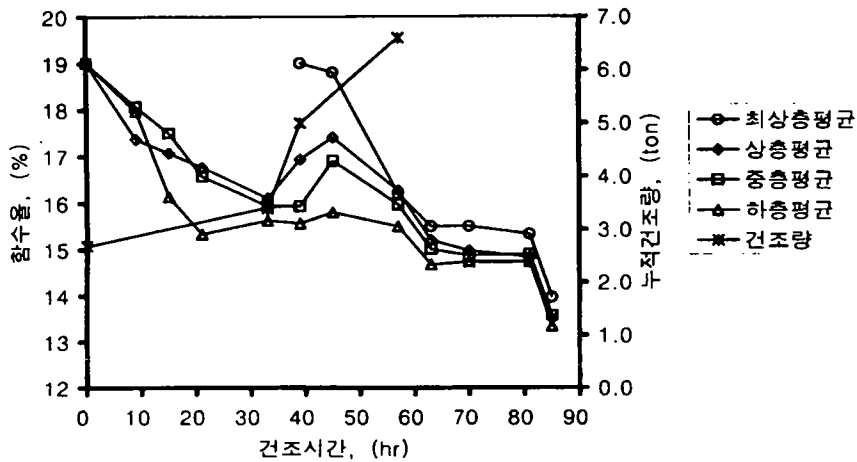


그림 3-12 누적건조량과 사일로내의 각층에서의 함수율 변화

## 제 5 절 결 론

곡물 사일로에 반입장치, 자동 계량장치, 고성능 배출장치 등의 부속장치들을 설치한 후 온도 및 수분센서 이용해 곡물의 상태를 연속적으로 모니터링하고 부속장치들을 자동제어 하는 PLC 자동건조시스템을 개발하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같았다.

1. 곡물 반입부에 호퍼스케일을 설치하고 여기에 120도 각도로 정전용량식 수분센서 3개를 설치하여 연속적으로 사일로로 반입되는 벼의 수분을 측정하며 계량할 수 있는 시스템을 개발하였다.

2. 사일로 외부에서 구동되는 양날개식의 고성능 동력스위프오거를 사일로 내에 고정 설치해 곡물이 1m정도 사일로내에 퇴적되어 있더라도 연속적으로 곡물을 균일하게 배출시키고, 최종 곡물 반출시 잔곡을 최소화하도록 하였다.

3. 정전용량식 수분센서를 사일로 중앙과 내벽 그리고 배출오거에 설치하여 벼 함수율과 곡온을 연속적으로 모니터링하고, 이들 값들을 설정한 함수율값과 비교하여 사일로에 설치된 팬, 가열장치, 교반장치 등의 부속장치들이 자동으로 작동하도록 PLC를 이용한 자동건조시스템을 개발하였다. 즉 교반장치가 설치된 사일로내에서 곡물의 온도와 함수율을 자동으로 계측해서 사일로의 부속장치들을 자동으로 제어하도록 하였다.

4. 개발된 사일로 건조시스템을 이용해 곡물을 건조한 결과, 원하는 수준까지 곡물을 자동으로 안전하게 건조시킬 수 있었다. 건조초기에는 각 지점에서 상하층간에 약 1-2% 이상의 함수율 차이가 있었으나 교반기를 작동하면서부터 상하층간의 함수율 차이가 0.5% 정도로 거의 균일한 함수율 분포를 나타내었다. 또한 사일로에서 상온통풍으로 건조한 벼의 동할립율을 검사한 결과 약 2% 이내로 나타났다. 이 결과는 순환식 건조기에서 건조된 벼의 동할립율 3%(40도에서 열풍건조), 5%(45도에서 열풍건조)와 8%(55도에서 열풍건조), 그리고 천일건조시 벧짚위 망사에서 동할립율 약 10%와 콘크리트 위에서의 동할립율 약 16%에 비해 현저히 낮게 나타났다.



# 제 4 장 곡물 사일로 저장건조시스템의 개발 및 자동화

## 제 1 절 서언

현재 미곡종합처리장의 저장시설로서 곡물 사일로가 많이 설치되고 있으나, 이를 운용하는 시스템과 부속장치의 개발 그리고 자동화가 이루어지지 않아 곡물 관리에 있어서 애로사항이 많다. 특히 곡물을 안전하게 관리하기 위해서 곡물의 상태를 자동으로 연속적 계측하고 모니터링하며 필요시에 자동으로 통풍하고 냉각할 수 있는 저장시스템의 개발이 절실히 요구되었다. 그리고 곡물 사일로내에 있는 곡물의 양을 자동으로 측정할 수 있는 곡물 퇴적고 자동 측정장치의 개발이 필요하였다.

현재 설치된 곡물 사일로에는 겨우 곡물 온도를 측정할 수 있는 열전대만이 일부 사일로에 설치되어 있으나, 곡물 사일로를 함수율, 곡온, 외기조건, 평형상대습도 등을 고려하여 자동으로 관리하는 경우는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구의 주목적은 사일로 저장시스템의 개발 및 자동화로서, 사일로내의 곡물 퇴적고를 자동으로 모니터링할 수 있는 초음파측정장치를 개발하고, 개인용 컴퓨터를 사용한 사일로 저장시스템의 자동화장치 및 소프트웨어 개발하며, 또한 개발된 시스템을 사용하여 건조 및 저장실험을 실시하여 시스템을 검증하고자 한다. 본 연구의 구체적 목적은 다음과 같았다.

- 1) 초음파 센서를 사용하여 사일로내의 곡물 퇴적고를 자동으로 모니터링할 수 있는 장치를 개발한다.
- 2) 곡물 함수율 및 온도를 자동으로 측정하기 위해서, 사일로 중심 및 내부에 정전용량식 수분센서들을 설치하였다. 그리고 사일로내벽쪽에 온습도센서를 설치하여 연속적으로 곡물의 평형온도, 평형상대습도를 측정하여 평형함수율을 추정하도록 하였으며 이들 자료를 기초로 부속장치들을 자동제어하도록 하였다. 또한 사일로 공기실의 온도와 평형상대

습도를 자동으로 계측하고 이들 값에 의해 사일로에 부착된 부속장치들을 자동으로 작동할 수 있도록 개발한다.

- 3) 사일로내에 저장된 곡물의 온도, 평형상대습도, 함수율, 퇴적고, Deterioration index 등을 연속적으로 모니터링하고 이들 자료를 자동으로 저장하고 출력하며, 곡물 상태에 따라 사일로에 설치된 송풍기, 히터, 교반기, 배출장치 등의 부속장치들을 자동으로 제어할 수 있는 사일로 저장건조시스템을 개발한다.
- 4) 개발된 곡물 사일로 저장건조시스템의 성능평가를 위해 벼 건조, 저장실험을 실시한다.

## 제 2 절 재료 및 방법

### 1. 곡물 사일로 저장건조시스템의 개발과 자동화

전남대학교 농과대학 농장에 설치한 50톤 규모의 철제 원형 사일로를 곡물 건조기로 사용하고 건조후에는 저장시설로서 활용할 수 있도록 다음과 같이 사일로 저장건조 시스템을 개발하고 자동화하였다. 이 개발된 사일로 저장건조 시스템을 사용하여 곡물 건조 및 저장실험을 실시함으로써 개발된 시스템을 검증하고자 하였다. 본 건조 및 저장실험의 시료로서 전남대 농장에서 재배되어 3조식 콤바인으로 수확된 동진벼를 사용하였다.

#### 가. 곡물 퇴적고 자동측정장치의 개발

초음파 센서를 사일로 내부의 상단부에 설치하고 이를 자료수집장치 및 컴퓨터에 연결하여 연속적으로 곡물의 퇴적고를 모니터링할 수 있는 곡물 퇴적고 자동측정장치를 개발하고자 하였다. 그리고 곡물 퇴적고 자동측정장치의 성능을 평가하고자 하였다.

## 나. 곡물 저장시스템의 개발 및 자동화

곡물 사일로 내에서 곡물의 함수율과 온도를 연속적으로 측정할 수 있는 정전용량식 수분센서와 곡물평형상대습도와 곡물평형온도를 측정할 수 있는 정전용량식 온,습도 센서를 설치하였다. 그리고 대기와 공기실의 온도 및 상대습도를 측정할 수 있도록 온습도 센서를 설치하였으며, 곡물들의 온도도 별도로 측정할 수 있도록 3개의 열전대를 설치하였다. 이들 센서들로부터 얻어지는 자료를 기초로 곡물 상태를 판정하여 자동으로 곡물 건조 및 저장을 할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 이같은 곡물 저장관리 프로그램으로 곡물 상태에 따라 사일로 부속장치들을 자동으로 제어함으로써 곡물을 안전하게 관리할 수 있는 시스템을 개발하였다. 즉, 곡물 사일로에서 곡물 건조 및 저장중에 곡물의 온도, 함수율을 정확하게 계측할 수 있는 장치와 이들 수치에 따라 송풍기, 히터, 교반장치, 냉각기, 스위프오거 및 배출오거 등을 자동제어할 수 있는 곡물 자동 건조저장시스템을 개발하였고 그 성능을 평가하고자 하였다.

## 다. 사일로시스템에서의 건조,저장실험 및 시스템평가

개발된 자동 저장건조시스템이 설치된 곡물 사일로 시스템의 종합적 성능 평가를 위해서 곡물 건조 및 저장실험을 실시한 후 그들의 건조 및 저장특성을 구명하고 벼의 미질을 분석하고자 하였다.

# 제 3 절 결과 및 고찰

## 1. 곡물 퇴적고 측정장치 개발

곡물 사일로내에 곡물 퇴적고를 자동으로 측정하기 위해서 사일로 상부(4.36m)에 초음파 센서(모델 : VEGASON 73-1)를 설치하였고, 디지털 지시계(indicator)는 사일로 외부에 설치하였다. 또한 초음파 센서의 신호는 자료

수집장치 보드에 연결되어 컴퓨터에서 자동으로 곡물 퇴적고를 알 수 있도록 하였다. 실제로 측정한 곡물 퇴적고와 초음파 센서를 사용해 측정한 곡물 퇴적고간의 상관관계는 0.999 이상으로 매우 높아서 곡물 퇴적고를 자동으로 정확하게 측정할 수 있었다.

표 4-1. 곡물퇴적고 측정을 위한 사용된 초음파센서의 사양

I T E M		Specification	
Type	VEGASON	73-1	
Power supply	Operating voltage standard	$U_{nenn} = 230VAC(90 \sim 120V), 50/60Hz$	
	Power consumption at $U_{nenn}$ and max. load	12VA/5W	
	Fuse	for version for version 16~42V AC or 16~60V AC =2A 90~250V AC = 500mA	
Minimum distance	at liquids or solids particle size $\geq 5mm$ particle size $\leq 5mm$	0.8 m 1.0 m	
Maximum distance	product and process dependent	10 m	
Measuring data	min. measuring distance	10 cm	
	display in scanning	cm 3 mm	
	measuring frequency	33 kHz	
	measuring range	0.4	
	angle of reflection(at -3dB)	12°	
acc. to	linearity error empty /full adjustment	<0.1% of measuring range	
	temperature error of electronics	0.1%/10 k of measuring range	
Indication	LC-display	2,4-digits each	
Relay output	max. 2 modules	2 relay 1 spdt per relay each	
	contact material	AgCdO and Au plated	
	min. turn-on voltage	10 mV	
	switching current	10 $\mu A$	
	max. turn-on voltage	250V AC, 60V DC	
	switching current	2A AC, 1A (DC)	
	mas. breaking capacity	125VA, 60W	
Current outputs	Module	with	2 outputs
		range	0/4...20 mA
		resolution	0.05 % of range
		load	max. 500 Ohm
Ambient Conditions	transducer 71R ... 73R	-20~+55°C/-4~131°F	

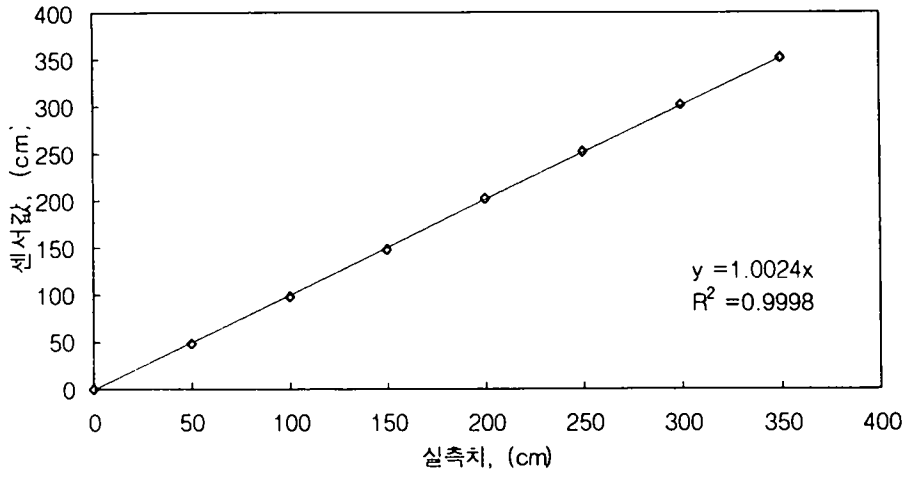


그림 4-1 사일로에 설치한 초음파센서에 의한 거리값과 실제 측정된 값과의 상관관계

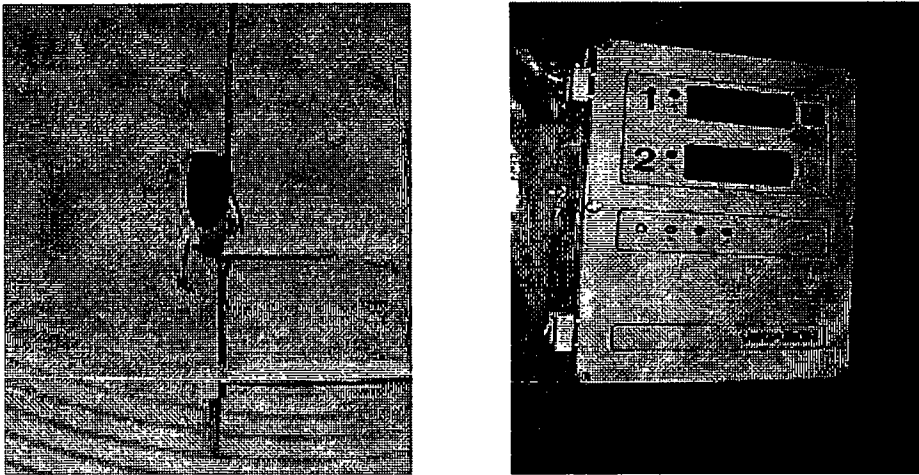


사진 4-1 사일로에 설치된 초음파센서와 PC에 연결된 디지털 지시계

## 2. 사일로 저장·건조시스템의 개발 및 자동화

### 가. 저장시스템의 특징 :

PC를 이용해 개발한 곡물 사일로 저장시스템의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 곡물의 상태와 외기 조건을 연속적으로 모니터링하고 이를 기초로 사일로 부속장치들을 자동제어하여 곡물을 안전하게 건조, 저장하도록 하였다.
- 2) 시스템 운전자가 계측 및 제어인자들을 자유로이 선택하고 계측간격, 제어기준, 작동시간 등을 가능한 자유롭게 설정할 수 있도록 하였다.
- 3) 시스템 프로그램은 대화형의 Pull-Down Menu 방식으로 작성하여 사용자가 손쉽게 사용할 수 있도록 하였다..
- 4) 주 프로그램에 추가로 Real time 그래픽용 보조프로그램을 제작하였다.

### 나. 시스템 프로그램의 주메뉴와 특징:

저장시스템 프로그램의 주메뉴와 그들의 특징은 다음과 같다.

- 1) 자동 계측: 계측간격, 계측인자선택, 출력변수
- 2) 수동 제어: 제어장치선택, 작동시간설정
- 3) 자동 건조: 제어인자선택, 인자기준설정, 제어장치선택, 작동시간설정
- 4) 자동 저장: 제어인자선택, 인자기준설정, 제어장치선택, 작동시간설정
- 5) 자료 출력: 출력인자, 장치작동상태 -- 모니터 또는 프린터

#### 1) 자동 계측

##### (1) 모니터에 표시되는 계측인자

- 외기온도 ( °C), 외기 상대습도 ( %), DI 수치 ( )
- 공기실온도 ( °C), 공기실 상대습도 ( %)
- 곡물 평형온도 ( °C), 곡물 평형상대습도 ( %)
- 사일로벽쪽 곡온 GT1 ( °C), 사일로중간 곡온 GT2 ( °C), 사일로중심 곡온 GT3 ( °C)

- 사일로 중심부 곡물 함수율 ( %), 사일로 벽쪽 곡물 함수율 ( %)
- 곡물 퇴적고 ( m), 곡물 재고량 ( ton)
- 탄산가스량 ( ppm)

참고: 1) 팬, 히터, 냉각기, 교반기들의 작동여부를 모니터에 색상변화로 나타냄.  
 2) 위의 계측인자값들을 모니터상 사일로 그림에 표시함.

(2) 계측인자들에 대한 설명

입력신호수

- 곡물온도 : GT1, GT2, GT3 ---> pt 100Ω 사용 : 3
- 함수율 : 사일로 중심부 ( MCCEN ), 사일로 벽쪽 ( MCWALL ) : 2  
 ----> ( DMC sensor, 4~20mA )
- 곡물퇴적고: 센서로부터 곡물 표면까지 깊이(DEPTH) : 1  
 곡물 재고량 ( WEIGHT),

- 초음파 센서, 4~20mA 4 mA : DEPTH =10 m, 20 mA : DEPTH = 0 m
- 곡물 재고량(WEIGHT)

$$WEITGHT(\text{톤})=3.141592 * 4.5 * 4.5 / 4 * (S\text{Height} - \text{DEPTH}) * 0.58$$

여기서, SHeight: 다공철판으로부터 초음파센서 높이

○ 공기온도/상대습도

- |         |                        |        |   |
|---------|------------------------|--------|---|
| 온습도 센서1 | ○ 외기 상대습도 ( RHAMB )    | 4~20mA | 1 |
|         | ○ 외기 온도 ( TAMB )       | 4~20mA | 1 |
| 온습도 센서2 | ○ 공기실 상대습도 ( RHPLE )   | 4~20mA | 1 |
|         | ○ 공기실 온도 ( TPLE )      | 4~20mA | 1 |
| 온습도 센서3 | ○ 곡물 평형상대습도 ( RHSILO ) | 4~20mA | 1 |
|         | ○ 곡물 평형 온도 ( TSILO )   | 4~20mA | 1 |

참고: 1) 온습도 센서2는 사일로 공기실(압력실)에 설치함.

2) 온습도 센서3은 사일로내에 설치하여 곡물과 평형이된 공기의 온도 및 상대 습도를 측정.

- Gas sensor (GAS) 미정 4-20mA 1

참고: ( )은 각 항목에 대한 프로그램 변수로 함.

## 2) 수동제어

### (1). 제어장치 및 동력

시스템의 제어장치 종류와 그들의 동력은 다음과 같다.

제어장치:	1) 팬(Fan)	2)히터 (Heater)	3)교반기 (Stirrer)	4)냉각기 (Chiller)
동 력:	3.75kW	8 X 4 kW	5 kW	20 kW

### (2) 수동제어 지침

사일로의 부속장치들을 필요에 따라 부분적으로 제어하고자 할 때 수동제어를 한다. 제어할 장치들을 선택하고, 작동시간을 설정하며 제어장치들의 작동상태를 모니터상에 나타내도록 한다. 그리고 수동제어에 대한 자료를 저장하여 자료출력 모드에서 제어장치들의 현 작동시간과 총 작동시간을 알 수 있도록 한다.

#### ○ 제어장치 선택

- ① 팬 (Fan) : (Y, N)                      ② 히터 ( Heater) : (Y, N)
- ③ 교반기 (Stirrer) : (Y, N)            ④ 곡물 냉각기 (Chiller) : (Y, N)
- ⑤ 곡물배출장치 (OUT): (Y, N)

참고: Default 는 작동하지 않음.

#### ○ 작동시간 설정

- ① 팬 작동시간            ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ② 히터 작동시간        ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ③ 교반기 작동시간    ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ④ 냉각기 작동시간    ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ⑤ 배출장치 작동시간 ( 1 시간, 2 시간, 기타 )

참고: 작동시간은 1 시간이 Default 임.

### 3) 자동 저장

우선적으로 자동계측 모드에서 계측간격과 인자들을 설정한 후, 자동저장 모드에서 곡물저장의 주요 인자들을 선택하여 자동으로 제어할 수 있도록 한다. 즉 운전자가 저장인자들의 안전기준을 설정하고 제어장치를 선택하며 제



어장치들의 작동시간을 설정한다.그리고 저장의 제어인자들을 선택하도록 한다. 선택된 제어인자들의 제어기준에 따라 계측값들을 차례로 비교 조사하면서 제어기준에 해당되면 작동명령을 내린다.

또한, 각 장치가 작동될 때 해당된 1) 제어인자 (SDGT, SDAT, SMC, SGT, SRHSILO, SGAS), 2) 현 작동시간, 3) 총 작동시간 들의 자료를 저장하여 어떤 장치가 어떤 제어인자에 의해 총 얼마동안 작동되었는지 알 수 있도록 한다. 즉, 모니터상에 계측인자값들을 나타내고, 장치들의 작동상태를 색상으로 나타내며 이때 해당된 제어인자들을 모니터 화면 아래에 나타내고 색상으로 표시하도록 한다.

그리고 제어기준에 따라 일단 제어장치들이 작동되면 그 순간부터 작동되는 시간동안에는 단지 계측만 하도록 한다. 즉 그 작동시간에는 자동계측 모드로 돌아가 계측만 한다. 계측간격을 설정하지 않을 경우에는 3시간 간격으로 모든 계측인자들을 측정하도록 하며, 작동시간을 설정하지 않았을 때에는 자동으로 1시간 동안만 작동하도록 한다.

(1) 저장인자 안전기준 설정

- ① 곡물온도간의 차이 (SDGT): ( 6 도, 8 도, 기타 )
- ② 대기온도와 곡물온도와의 차이 (SDAT): ( 8 도, 6 도, 기타)
- ③ 안전저장 함수율 (SMC) : (14 %, 15 %, 기타)
- ④ 안전저장 곡물온도 (SGT): (15 도, 20 도, 기타)
- ⑤ 곡물 평형상대습도 (SRHSILO): (75 %, 80 %, 기타)
- ⑥ 안전 탄산가스량 (SGAS): (600 ppm, 800 ppm, 기타)

참고: 각 변수의 밑줄친 값은 default 값임.

(2) 제어장치 선택

- ① 팬 (Fan) : (Y, N)                      ② 히터 ( Heater ) : (Y, N)
- ③ 교반기 (Stir) : (Y, N)              ④ 곡물 냉각기 (Chill) : (Y, N)
- ⑤ 곡물배출장치 (OUT): (Y, N)

참고: 1) 밑줄 친부분은 default 임.

2) 제어장치 선택에서 선택되지 않으면 제어기준에서 작동명령을 해도 작동 안됨.

3) 단, 교반기는 곡물의 양이 적으면 (사일로 다공철판위 30 cm지점에 설치되어 있는 low level sensor로 판단함) 작동시키지 않음.

(3) 제어장치 작동시간 설정:

- ① 팬 작동시간 ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ② 히터 작동시간 ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ③ 교반기 작동시간 ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ④ 냉각기 작동시간 ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ⑤ 배출장치 작동시간 ( 1 시간, 2 시간, 기타 )

참고: 작동시간은 1 시간이 Default 임.

(4). 제어인자 선택:

- ① 곡물 온도 (GT1, GT2, GT3) : ( Y, N )
- ② 곡물 함수율 (MCCEN) : ( Y, N )
- ③ 곡물 평형상대습도 (RHSILO) : ( Y, N )
- ④ 곡물 평형함수율 (EMC) : ( Y, N )
- ⑤ 탄산 가스량 (GAS) : ( Y, N )

참고: 1) 제어인자선택에서 선택된 항목들만의 제어기준에 따라 시스템이 작동되도록 함.

2) Default는 1), 2), 3) 4)항을 제어인자로 선택함. 예를들어 제어인자로 곡물온도, 곡물함수율, 곡물 평형상대습도를 선택하면 마)의 1)항, 2)항, 3)항 등의 제어기준 ( Control Logic)에 따라 검색을 하고 작동명령을 내리게 한다.

(5) 자동저장에서의 제어인자들의 제어기준:

① 곡물 온도 :

ㄱ) 곡물 온도 (GT2, GT3)가 곡물의 안전저장온도인 SGT(15 ℃) 이상이면 팬, 교반기, 냉각기를 작동시킨다.

ㄴ) 곡물간의 온도차이 ( DGT= | GT1- GT2 | 또는 | GT1 - GT3 | )가 안전구배인 SDGT(6 ℃) 이상이면 설정한 작동시간 동안 팬과 교반기를 작동시킨다.

ㄷ) 오전 9시 및 오후 6시의 외기온도(TAMB)와 곡물온도(GT3)와의 차이 (DAT = | TAMB - GT3 |)가 안전기준인 SDAT(8℃) 이상이면 팬과 교반기를 작동시켜 통풍함으로써 결로현상을 줄이도록 한다. 단) 위의 ㄱ)과

ㄴ)의 경우에 외기습도 (RHAMB)가 90% 이상이고 DI(공기부패지수, 또는 통풍지수) 값이 5 이상이면, 팬과 냉각기는 작동 중지하고 교반기만 작동시킨다.

참고 : DI ( Deterioration Index ) 값 산출식

$$DI = ( RHAMB - 65 ) * PAS / 10000$$

여기서  $PAS = \exp ( X/Y + 16.91134 )$

$$X = -27405.526 + ( TA * 97.5413 ) - ( 0.146244 * TA^2 )$$

$$+ ( 0.00012558 * TA^3 ) - ( 0.48502E-07 * TA^4 )$$

$$Y = 4.34903 * TA - 0.3938E-02 * TA^2 )$$

$$TA = TAMB + 273.96$$

② 곡물함수율:

ㄱ) 사일로내의 곡물 함수율 ( MCCEN과 MCWALL )이 18% 이상이면 팬, 히터, 교반기를 작동한다. 그러나 곡물온도 ( GT1 or GT2 or GT3 )가 30℃ 이상이면 히터는 작동을 중지한다.

ㄴ) 사일로내의 곡물 함수율 ( MCCEN과 MCWALL )이 18% 이하이고 안전저장 함수율인 SMC(15%) 이상이면 팬과 교반기를 작동시킨다. 단, 외기습도(RHAMB)가 90% 이상이고 DI값이 5 이상이면, 팬과 교반기의 작동을 중지한다.

③ 곡물 평형상대습도:

사일로내에 설치된 습도센서로부터 곡물과 평형이된 평형상대습도(RHSILO)를 계측하여 이값이 안전기준 평형상대습도인 SRHSILO(75%) 이상이면 팬과 교반기를 작동시킨다. 단, 외기습도가 ( RHAMB )가 90% 이상이고 DI 값이 5 이상이면 모든 작동을 중지한다.

④ 곡물 평형함수율:

곡물 평형상대습도 ( RHSILO, % )와 곡물 평형온도 ( TSILO )를 계측하여 곡물의 평형함수율(EMC)을 추정한다. EMC 값이 안전저장 함수율인 SMC(15%) 이상이면 2)항 처럼 팬과 교반기 그리고 냉각기를 작동시킨다.

단, 외기습도가 ( RHAMB )가 90% 이상이고 DI 값이 5 이상이면 모든 작동을 중지한다.

$$ME = \left[ \frac{-\ln\left(1 - \frac{RHSILO}{100}\right)}{7.64 \times 10^{-6} \times (TSILO + 273)} \right]^{\frac{1}{2.24}}$$

$$EMC = \frac{100ME}{100 + ME} \quad (\%, \text{ 곡물평형 함수율})$$

⑤ 탄산가스량(GAS)이 SGAS ppm 이상이면 팬과 교반기를 가동한다.

#### 4) 자료 출력

자료출력에서는 먼저 자동계측, 수동제어, 자동건조, 자동저장 모드에서 저장한 값들을 모니터나 프린터에 출력한다. 먼저 출력인자들을 선택하고 출력방법들을 설정하도록 한다.

##### (1) 출력인자

- ① 자동계측 모드에서 저장하는 모든 계측인자들을 선택하여 출력할 수 있도록 한다.
- ② 수동제어, 자동건조, 자동저장 등에서 제어장치의 작동상태, 제어기준, 현작동시간, 총 작동시간을 알 수 있도록 한다.

##### (2). 출력방법

- ① 자동계측 모드에서의 모든 계측인자들의 시간에 따른 변화값들을 선그래프 또는 단순 자료제공방식으로 모니터나 프린터에 출력하도록 한다.
- ② 수동제어, 자동건조, 자동저장 모드에서 작동되는 모든 제어장치들의 현 작동시간, 총 작동시간 등을 막대그래프나 단순 자료제공방식으로 모니터나 프린터로 출력할 수 있도록 한다.

#### 5) 자동 건조

곡물의 적정 건조를 위해서 외기의 상태, 곡물의 초기조건, 건조방법 및 건조조건, 건조요인, 안전건조를 위한 건조기준 등을 고려하여 사일로 부속장치들인 팬, 히터, 교반기, 냉각기, 배출장치 등을 제어하도록 한다.

(1) 건조인자의 안전기준 및 초기조건 설정

- ① 최대 적정 건조온도 (SDRYT): (30 도, 35 도, 기타)
- ② 1차건조 적정함수율 (SMC1): (18 %, 17 %, 기타)
- ③ 2차건조 적정함수율 (SMC2): (16 %, 15 %, 기타)
- ④ 곡물 초기 함수율 (IMC) : (24 %, 22 %, 기타)

(2) 제어장치 선택

- ① 팬 (Fan) : (Y, N)                      ② 히터 ( Heater) : (Y, N)
- ③ 교반기 (Stir) : (Y, N)                ④ 곡물 냉각기 (Chill) : (Y, N)
- ⑤ 곡물배출장치 (OUT): (Y, N)

참고: 1) 밑줄 친 부분은 default 임.

2) 제어장치 선택에서 선택되지 않으면 제어기준에서 작동명령을 해도 작동 안됨.

3) 단, 교반기는 곡물의 양이 적으면 (사일로 다공철판위 30 cm지점에 설치되어 있는 low level sensor로 판단함) 작동시키지 않음.

(3) 제어장치 작동시간 설정

- ① 팬 작동시간            ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ② 히터 작동시간        ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ③ 교반기 작동시간    ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ④ 냉각기 작동시간    ( 1 시간, 2 시간, 기타 )
- ⑤ 배출장치 작동시간 ( 1 시간, 2 시간, 기타 )

참고: 작동시간은 1 시간이 Default 임.

(4) 건조방법 선택:

- ① 자연통풍 건조
- ② 저온열풍 건조
- ③ 연속건조

참고: 위의 세 방법중 하나를 선택함.

(5) 건조방법에 따른 제어기준

① 자연통풍건조

곡물 초기함수율(IMC)에 관계없이 팬과 교반기를 작동시킨다. 물론 교반기는 자동저장 모드에서와 공통적으로 곡물량이 적으면 작동시키지 않는다. 곡물함수율(MCCEN과 MCWALL)이 2차 건조함수율인 SMC2 이하이면 팬과 교반기의 작동을 중지한다.

② 저온열풍건조

- ㄱ) 곡물 초기함수율(IMC)이 20% 이상이면 팬, 히터, 교반기를 작동한다. 곡물함수율(MCCEN과 MC4WALL)이 1차 건조함수율인 SMC1 이하이면 히터만 작동을 중지한다. 그러나 이때에 대기의 온도(TAMB)가 15도 이하이면 중지하지 않는다. 그리고 곡물함수율(MCCEN과 MCWALL)이 2차 건조함수율인 SMC2 이하이면 팬과 교반기, 히터의 작동을 중지한다.
- ㄴ) 곡물 초기함수율(IMC)이 20% 이하이면 팬, 교반기를 작동한다. 그러나 대기의 온도(TAMB)가 15도 이하이면 히터를 작동하고 15도 이상이면 히터를 끈다. 그리고 곡물함수율(MCCEN과 MCWALL)이 2차 건조함수율인 SMC2 이하이면 팬과 교반기의 작동도 중지한다.

③ 연속 건조

연속건조시에는 팬, 히터, 교반기를 작동하고 곡물함수율(MCCEN과 MC4WALL)이 1차 건조함수율인 SMC1 이하이면 히터만 작동을 중지하나, 그러나 이때에 대기의 온도(TAMB)가 15도 이하이면 중지하지 않고 대기온도가 15도 이상이면 히터를 끈다. 그리고 곡물함수율(MCCEN과 MCWALL)이 2차 건조함수율인 SMC2 이하이면 팬과 교반기, 히터의 작동을 중지하고 배출장치를 작동시킨다. (이때 WARNING으로서 배출GATE를 열고 동력전달여부를 조사한다.)

## 다. 곡물 저장건조시스템의 특징

전남대학교 농공학과에 설치한 사일로에서의 곡물 건조 및 저장의 자동화를 위해서 개발된 곡물 사일로 저장건조시스템의 특징은 다음과 같다

### 1) 시스템의 하드웨어의 구성

곡물사일로 시스템에 사용한 센서 및 계측장치는 다음과 같았다.

표 4-2 저장건조시스템에 사용된 센서 및 계측장치

설치 하드웨어	수량	용도	출력값 /비고
PT100Ω 온도센서	3	사일로내 중심부, 외벽쪽, 중심부와 외벽사이에 온도를 감지하는 센서.	PT100Ω 변환값
온.습도 센서	3	곡물의 온도, 습도와 공기실내의 온도, 습도와 외기의 온,습도를 감지하는 센서.	4-20mA
RTD 콘버터	3	PT100Ω 의 값을 4 ~ 20mA로 변환하여 주는 장비.	4-20mA
전압 증폭기	2	곡물 함수율 측정기에서 레코더로 출력되어 지는 신호를 증폭하여 주는 장비.	0-5V
PCL-812PG	1	센서에서 출력되어 지는 값(ANALOG)을 DIGITAL로 바꾸어 주어 주는 INTERFACE 장비.	12 bit형 A/D컨버터
PCLD-780	1	PCL-812PG와 현장에서 오는 센서출력선을 중계 하여주는 장비.	
PCLD-742	1	현장에 설치되어지는 팬, 히터, 교반기 등의 장비상태를 받아들이기 위한 장비	
PLC- M200	1	PLC Master K200: PC로부터 출력신호를 받아 사일로 부속장치를 구동함	

2) PC 저장건조시스템의 플로우 차트

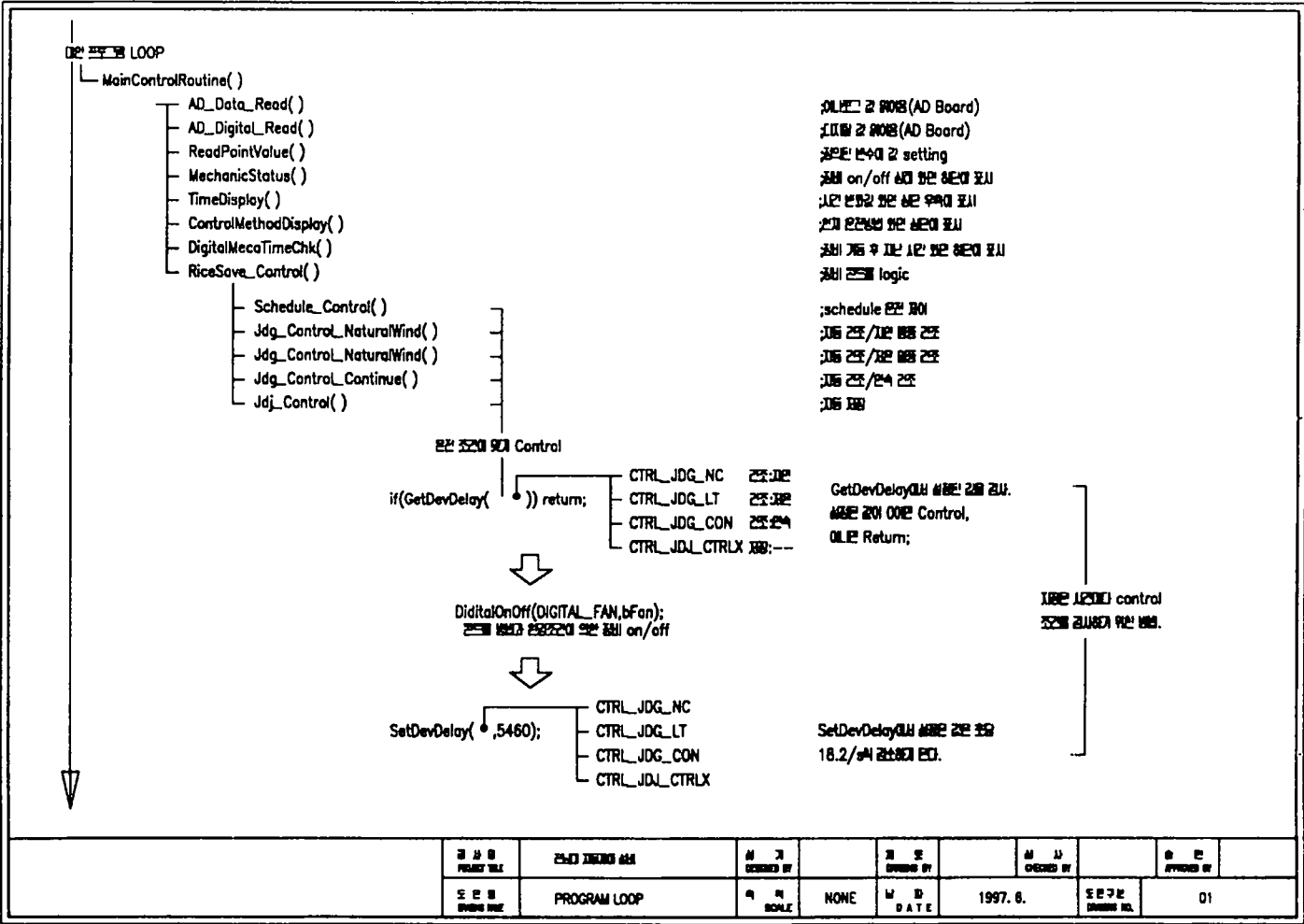
곡물 사일로 시스템의 프로그램의 구체적 플로우차트는 다음 도면과 같다.

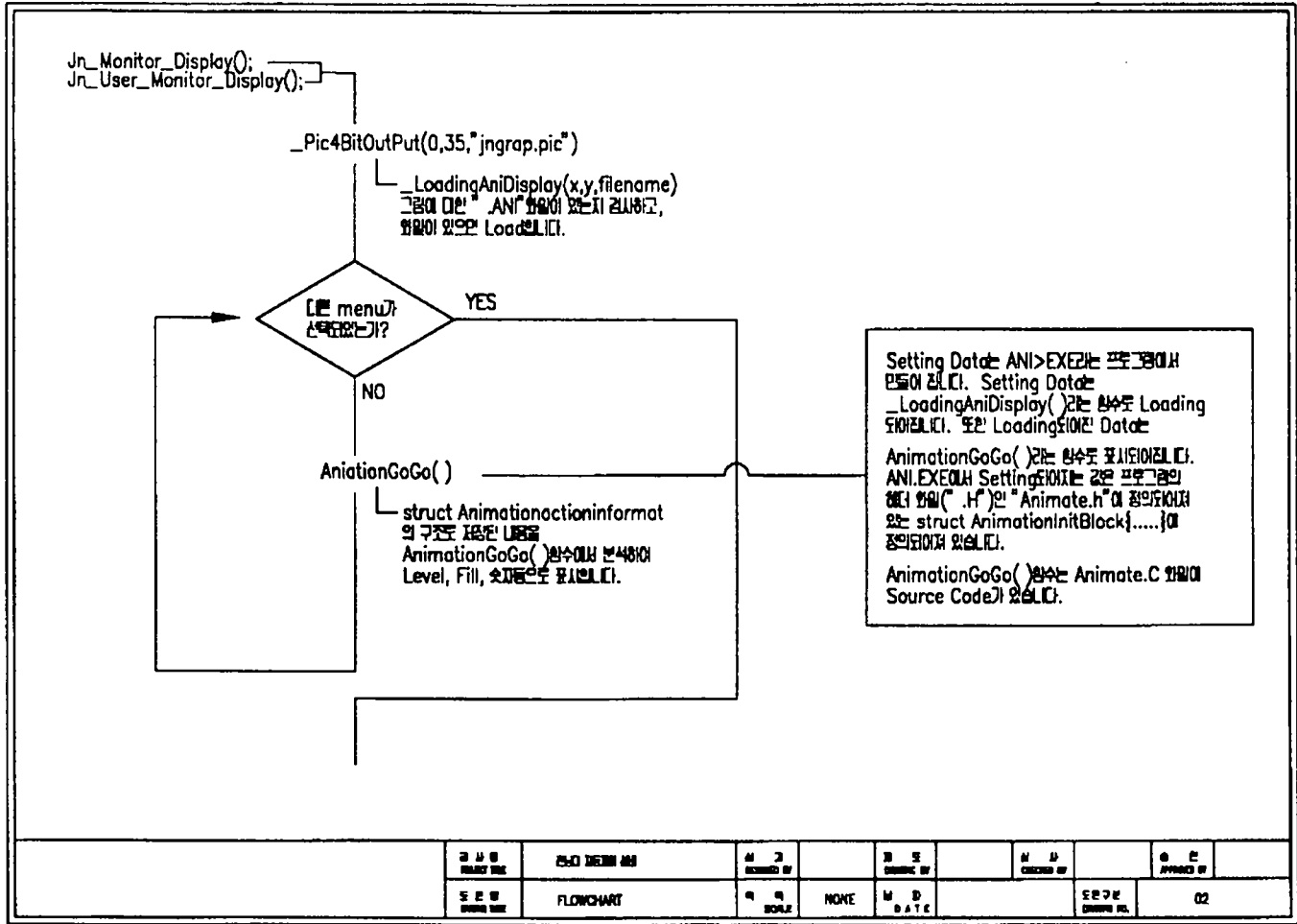
표 4-3 사일로 PC 저장건조시스템의 플로우차트 도면 내역

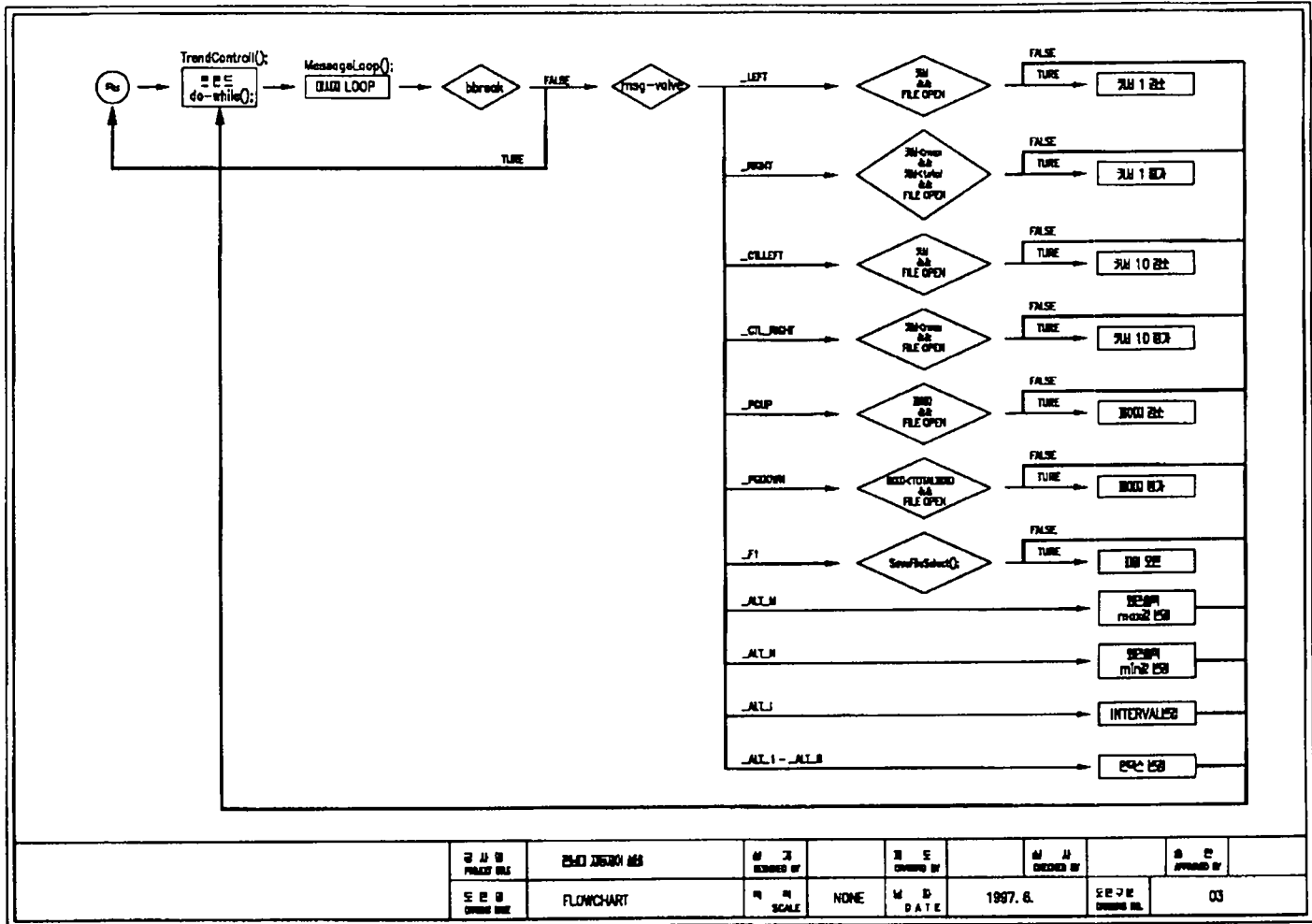
도면번호	내용
도면구분 01	메인 콘트롤 LOP
도면구분 02	모니터링 (GRAPHIC DISPLAY)
도면구분 03	메인 메뉴 선택
도면구분 04	트랜트
도면구분 05	레포트
도면구분 06	저장포인트 설정
도면구분 07	스케줄 셋팅
도면구분 08	자동 건조 셋팅
도면구분 09	자동 저장 셋팅

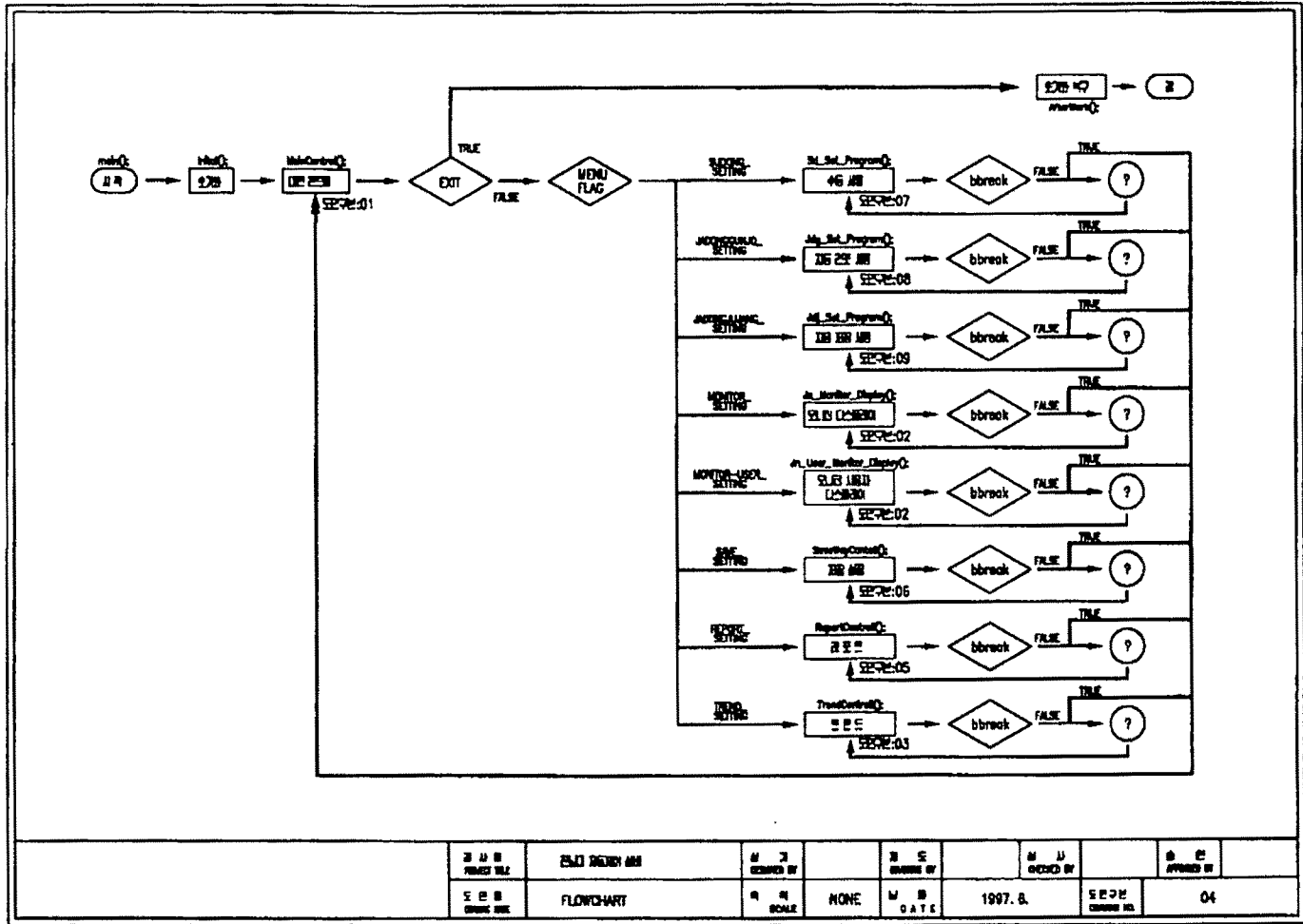
참고 : PC저장·건조 시스템의 FLOWCHART 도면 1-9



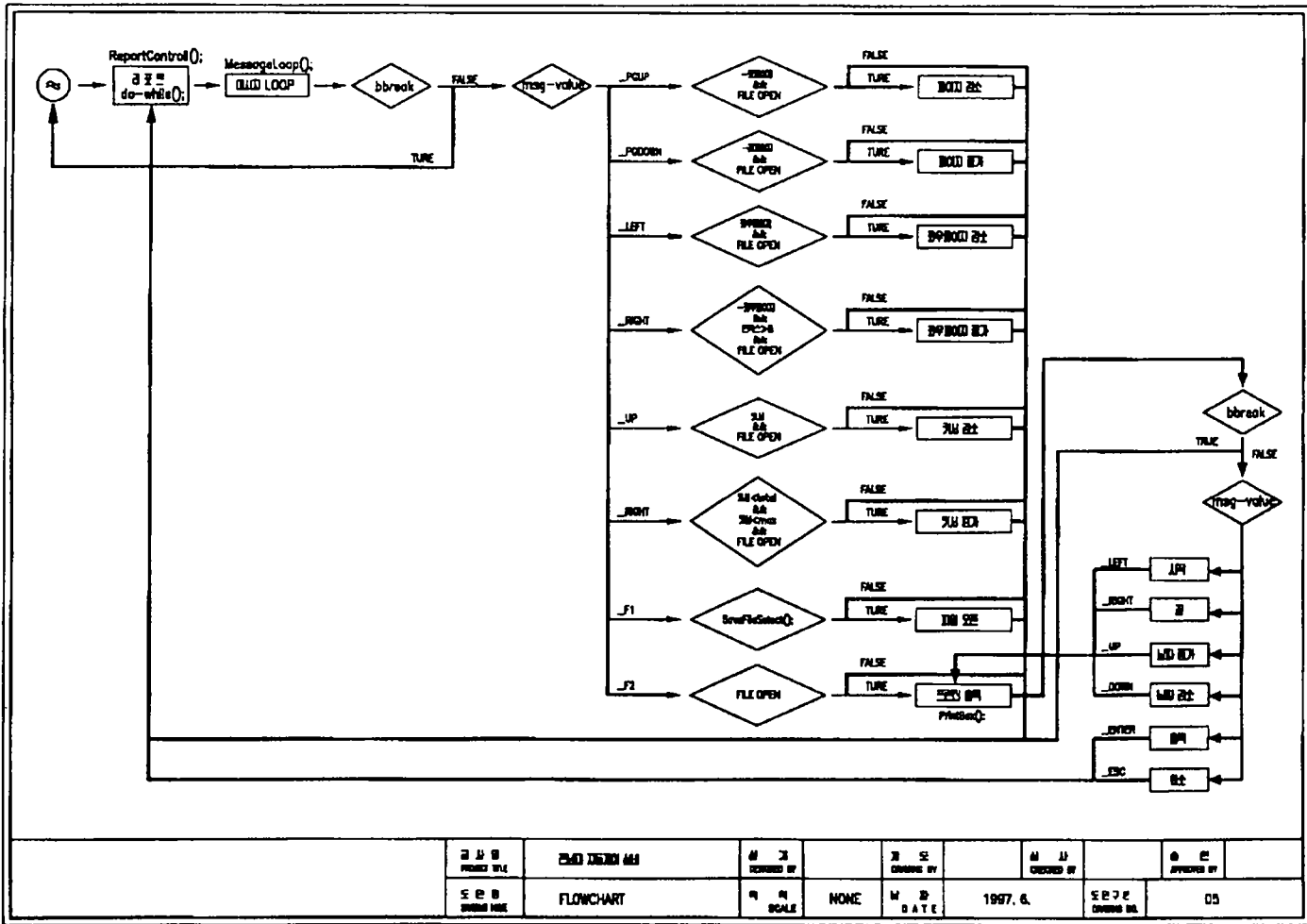




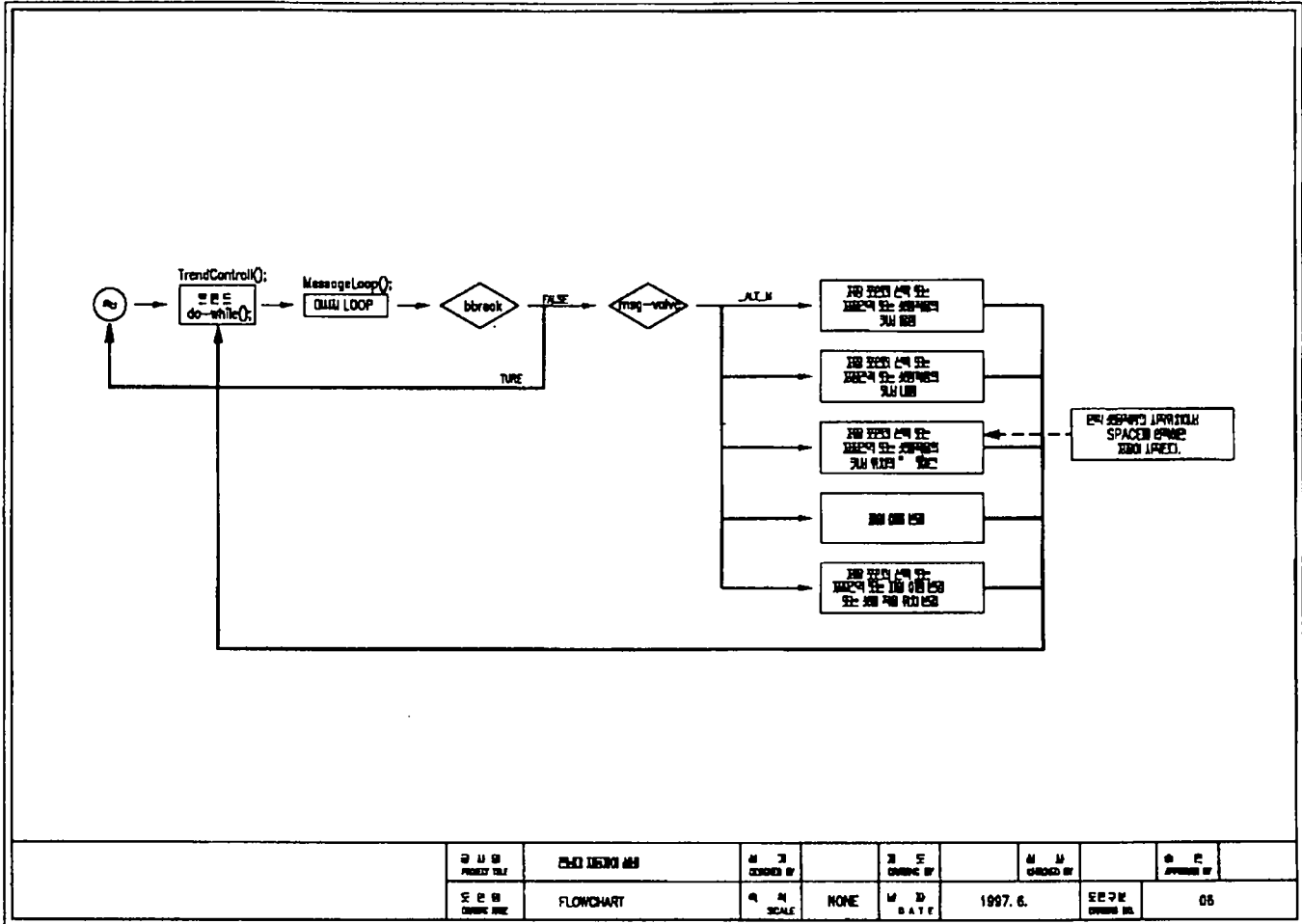


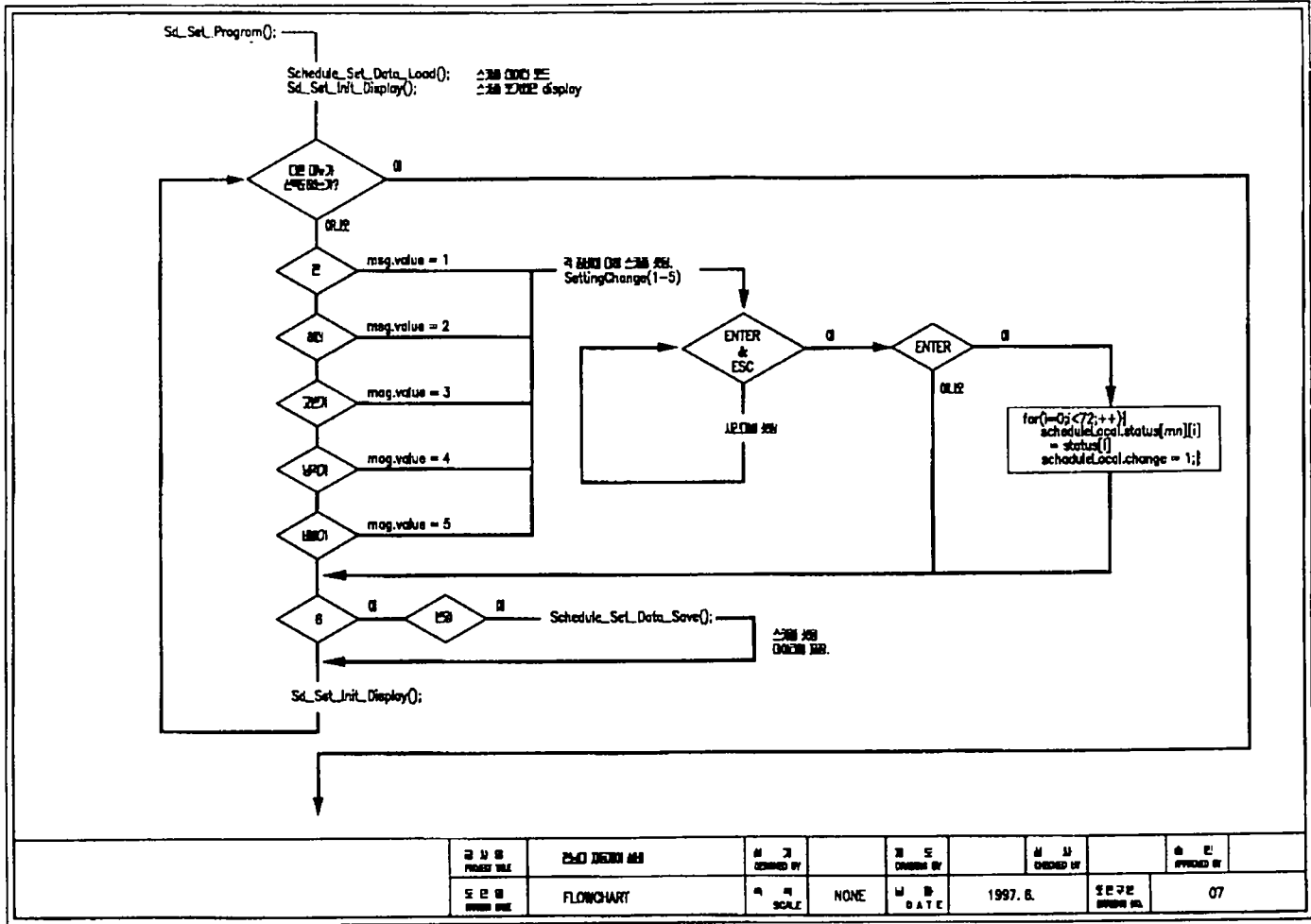


제 작 인 PREPARE FILE	제 작 인 ELSO INCHON AM	수 정 REVISION BY	수 정 REVISION OF	수 정 REVISION BY	수 정 REVISION OF	수 정 REVISION BY	수 정 REVISION OF
도 문 인 DRAWING NO.	도 문 인 FLOWCHART	수 정 SCALE	수 정 DATE	1997. 8.	수 정 CHANGE NO.	04	

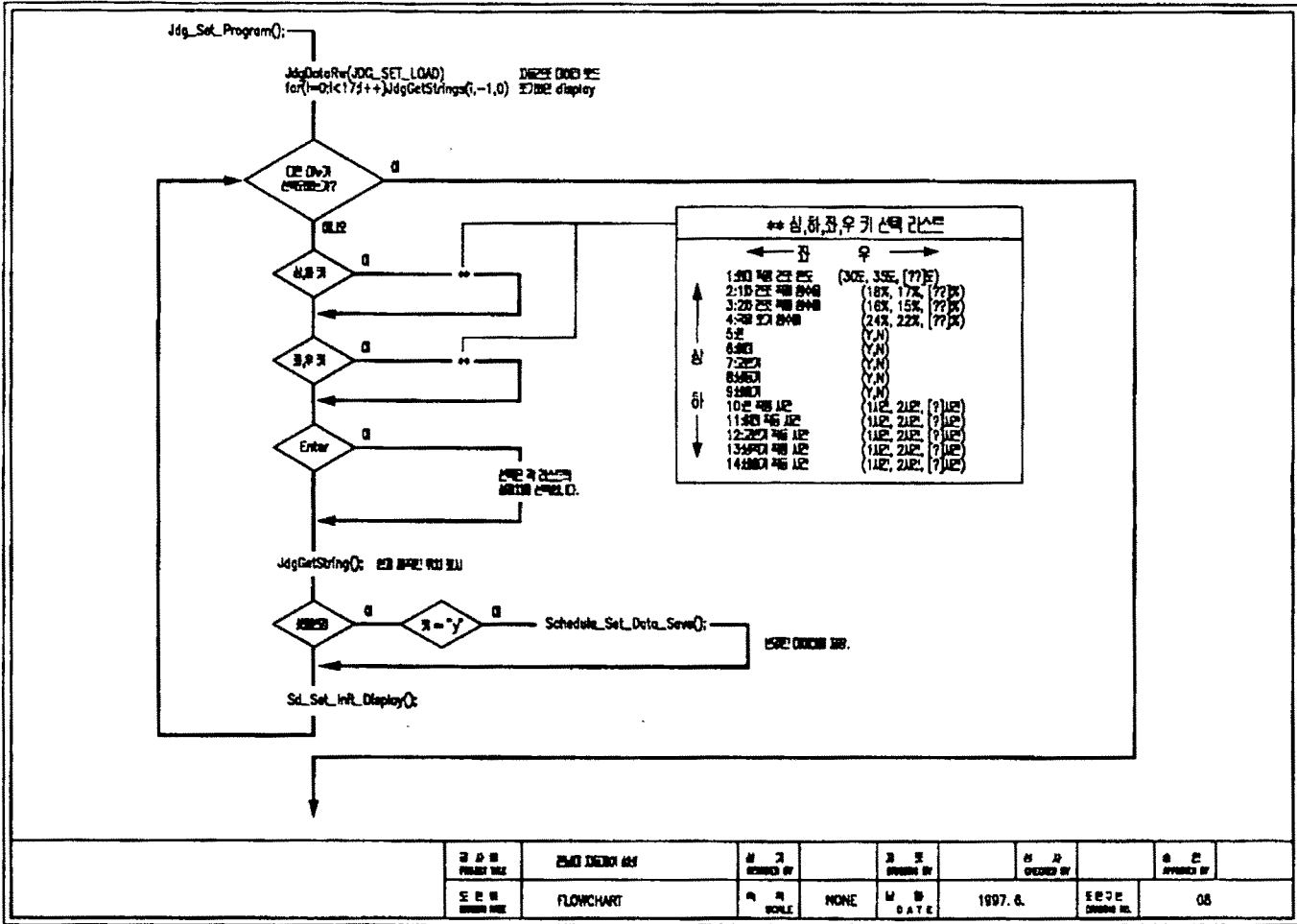


DESIGNED BY	CHEN JINXIN	DESIGNED BY		CHECKED BY		CHECKED BY		DATE	1997. 6.	SCALE	1:1
DATE	FLOWCHART	SCALE	NONE	DATE	1997. 6.	DATE	1997. 6.	DATE	1997. 6.	DATE	1997. 6.

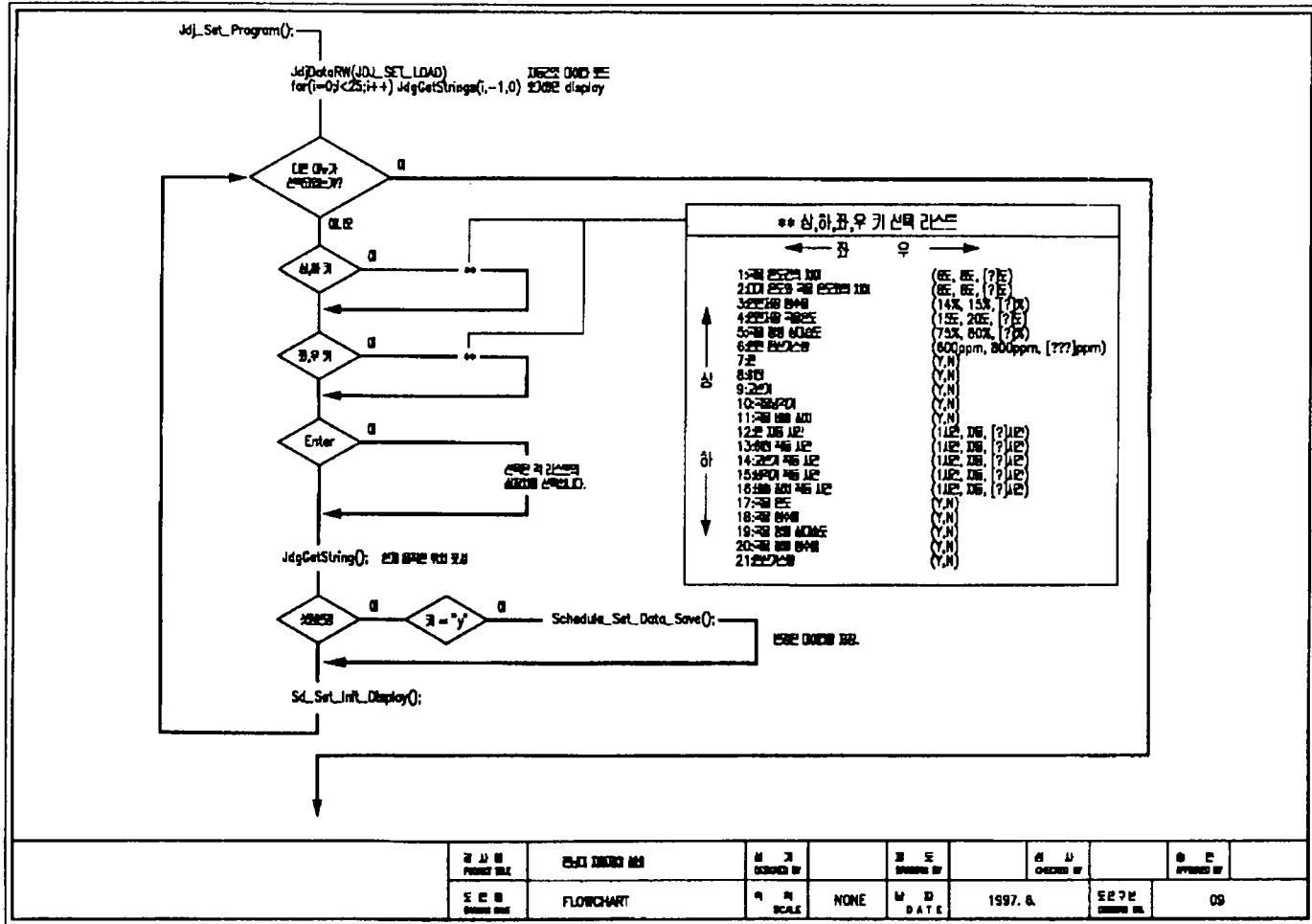




PROJECT NAME	PROJECT NAME	DESIGNED BY	DESIGNED BY	CHECKED BY	CHECKED BY	APPROVED BY	APPROVED BY
DATE	FLOWCHART	SCALE	NONE	DATE	1997. 8.	REVISE	07







작성 POWER BY	작성 DRAWN BY	검 CHECKED BY	검 CHECKED BY	검 CHECKED BY	검 CHECKED BY	검 CHECKED BY	검 CHECKED BY
도 SCALE	도 SCALE	도 SCALE	도 SCALE	도 SCALE	도 SCALE	도 SCALE	도 SCALE
	FLOWCHART	NONE	NONE	1997. 6.	1997. 6.	1997. 6.	1997. 6.

### 3) 저장건조시스템의 PC 프로그램

개발된 시스템의 PC용 프로그램의 특징은 다음과 같다.

- (ㄱ) 프로그램은 BORLAND C 3.1로 컴파일 되어 있다.
- (ㄴ) 프로그램은 640 \* 480의 화면에서 16색상의 색을 사용하였다.
- (ㄷ) 프로그램은 다음의 3 화일로 구성되어 있다.

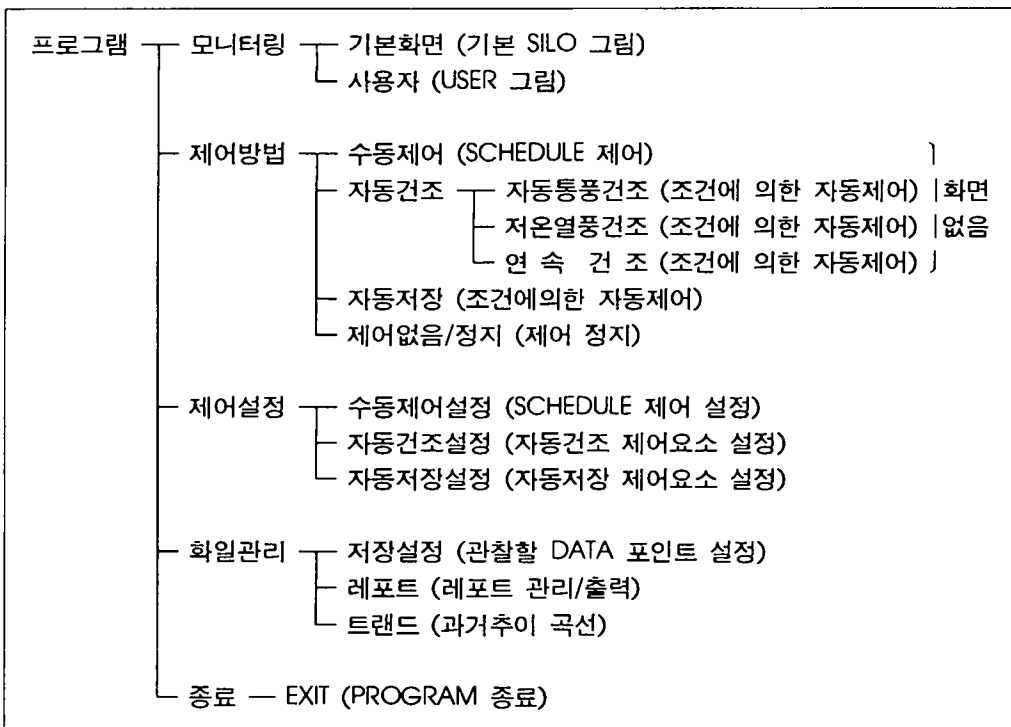
- JN.EXE           - 메인 프로그램 실행 화일
- ANI.EXE         - 그림을 셋팅하기 위한 실행 화일
- PROGCFG.EXE   - 아나로그 측정값을 조정하기위한 프로그램

#### (1) 프로그램의 주메뉴



그림 4-2. TOP MENU

그림 4-2는 TOP 메뉴로서 메뉴선택 화면 및 CONTROL 방법에 대한 그림이다. 메뉴의 구성은 아래와 같다



< 메뉴 구성 표 >

그림 4-2의 좌측에는 현재의 제어방법에 대한 정보가 나타난다. 그림 4-2에서처럼 "ACL-812PG Error"나 "PLC-812 PG Error"가 표시되면 A/D CONVERTER CARD에 이상이 발생되었다는 것입니다. 그림 4-2의 우측에는 현재 컴퓨터에서 진행되는 시간값이 나타난다.

▶ 사용방법

- 메뉴 부름은 FUNCTION KEY "F10"
- 메뉴 이동은 방향 KEY (↑, ↓, →, ←)
- 메뉴 선택은 "ENTER" KEY

(2) 모니터 기본화면

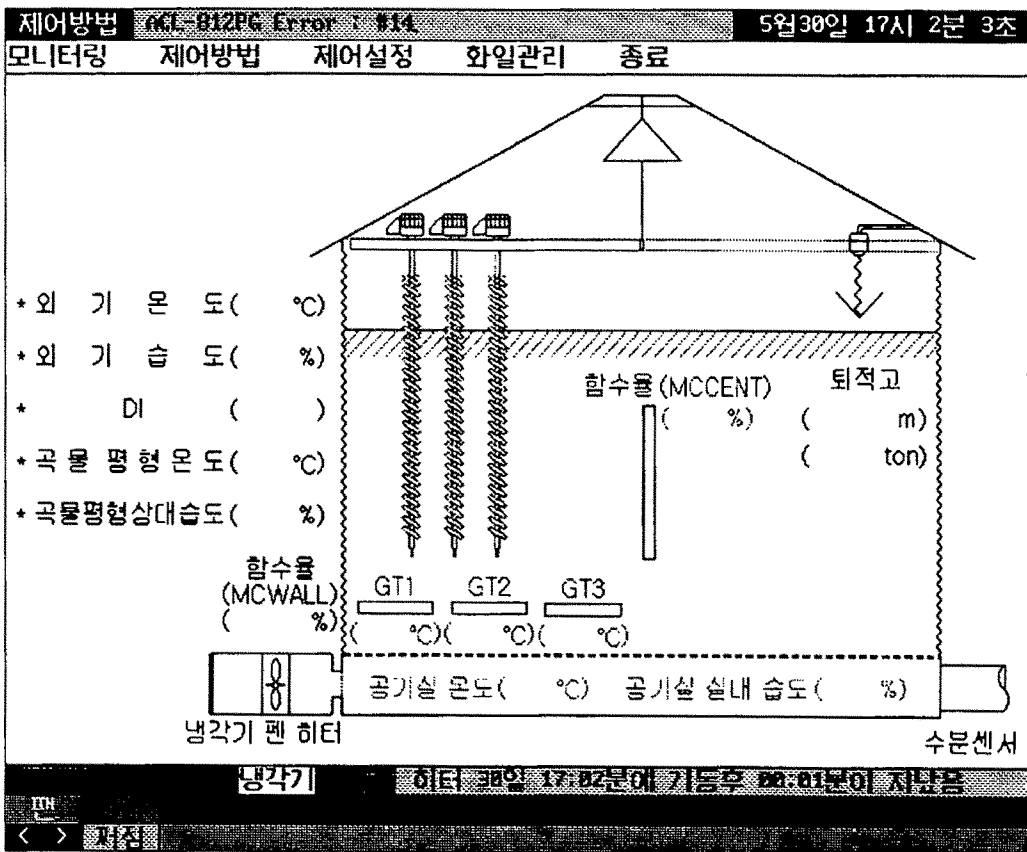


그림 4-3. 모니터링 / 기본화면

그림 4-3는 "모니터링/기본화면"으로, 설치되어져 있는 사일로의 모습을 화면에 나타내고 각 센서로 부터 받아들여지는 값을 화면에 TEXT문자나 BAR, 또는 FILL의 기능으로 알아보기 쉽게 표시하여 주는 기능을 가진다.

그림에 대해 DATA SETTING은 "ANI.EXE"라는 실행파일을 사용하여 설

정할 수 있다 (☞ "ANILEXE"는 참고 설명에 자세히 나와있음). 표시되어지는 방법은 TEXT, BAR, BOX FILL, FILL이다.

(3) 부속장치 작동상태 메뉴(Bottom Menu)



그림 4-4. BOTTOM MENU

그림 4-4의 화면은 프로그램 하단에 표시되어 진다. 여기에는 팬, 히터, 교반기, 냉각기, 배출기의 ON/OFF상태 및 ON/OFF 조건이 표시되어진다.

그림 4-4의 위쪽의 왼쪽에서부터 5개의 장비에 대한 상태는 흰색일 때 "OFF", 적색일때 "ON"이다. 또한 "<"과 ">"은 장비를 바꾸어 주는 KEY이며 "켜짐"과 "꺼짐"에는 장비가 각각 "ON"이 되었던 조건, "OFF"되었던 조건이 나타난다.

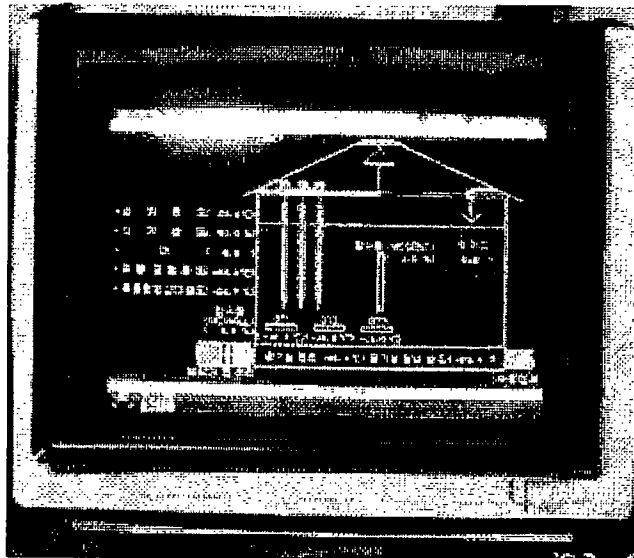


사진 4-2. 컴퓨터 모니터에 나타난 시스템의 기본화면

(4) 수동제어시 부속장치 작동시간 설정

그림 4-5는 수동제어의 스케줄(SCHEDULE) 설정 화면이다. 스케줄 설정(SCHEDULE SETTING)은 하루 24시간을 20분 간격으로 나누어 ON/OFF를 설정한 후 기동하게 하는 기능을 가진다. 스케줄 설정 장치(SCHEDULE SETTING POINT)는 팬, 히터, 교반기, 냉각기, 배출기이다. 화면의 중·하단에는 재설정(RESETTING)할 POINTER에 대한 번호가 있다. 1부터 5까지가 선택되어지며, 6은 1-5의 재설정이 되어지면 화면에 나타난다. 재설정의 화면은 다음에 나올 그림 4-6의 화면이다. 참고로 화면상의 "+"은 ON이 되어있는 것을 나타내며, 한개의 "+"은 20분을 의미한다. 하루는 0:00부터 23:59까지를 말한다.

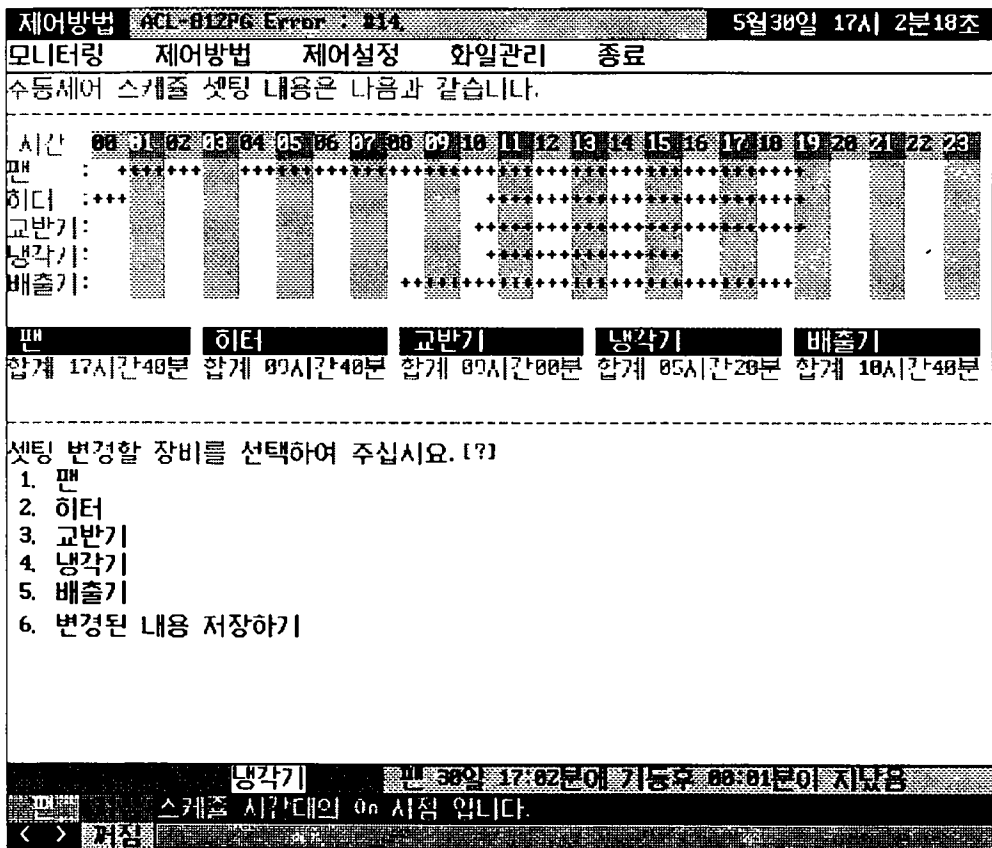


그림 4-5. 수동제어 SCHEDULE SETTING 화면

(5) 선택한 부속장치의 작동시간 설정

그림 4-6은 각 장비에 대해 재설정(RESETTING)하는 화면으로써, 팬에 대한 설정(SETTING)의 예제화면이다. 방법은 좌우방향 KEY를 이용하여 ON/OFF시킬 시점으로 “^”표시를 옮겨놓 다음, “SPACE BAR”로 ON/OFF시킨다.

설정(SETTING) 종료는 “ENTER”, 설정(SETTING) 취소는 “ESC” KEY로 한다.



그림 4-6. RESETTING 화면

(6) 자동건조 운전조건 설정

제어방법	제어설정	화일관리	종료
[자동건조] 건조인사의 안전기준 및 초기조건 설정			
최대 적정 건조온도	( 30 도, 35 도, [30] 도)		
1차건조 적정 함수율	( 18 %, 17 %, [17] % )		
2차건조 적정 함수율	( 16 %, 15 %, [15] % )		
곡물 소기 함수율	( 24 %, 22 %, [22] % )		
[자동건조] 제어장치 선택			
팬(FAN)	( V, N )		
히터(Heater)	( V, N )		
교반기(Stir)	( V, N )		
곡물 냉각기(Chill)	( V, N )		
곡물배출 장치(OUT)	( V, N )		
[자동건조] 제어장치 작동시간 설정			
팬 작동시간	( 1시간, 2시간, [3] 시간)		
히터 작동시간	( 1시간, 2시간, [2] 시간)		
교반기 작동시간	( 1시간, 2시간, [1] 시간)		
냉각기 작동시간	( 1시간, 2시간, [4] 시간)		
배출장치 작동시간	( 1시간, 2시간, [5] 시간)		
냉각기			
비습기 30일 17:02분에 기동후 00:00분이 지났음			
팬 스케줄 시간대의 On 시작입니다			
< > [ ]			

그림 4-7. 자동건조 운전조건 설정 화면

그림 4-7은 자동건조 운전조건을 설정하는 화면이다.

· ↑, ↓ KEY는 설정할 목록으로 움직일 때 사용하며, →, ← KEY는 목록에 대한 조건을 변경할 때 사용한다.

◆ 설정(SETTING) 방법

1. ↑, ↓ KEY로 설정할 목록을 선택한다.
2. →, ← KEY로 목록에 대한 조건을 선택한다.
3. ENTER KEY를 이용하여 목록에 대한 조건을 설정한다.  
(화면상의 "[ ]"표시는 사용자가 임의의 값을 설정할 수 있는 부분이다.)
4. 하나의 설정 조건이 설정되면 "변경된 설정 내용을 저장하시겠습니까? ['Y'(저장)]"이라는 문구가 나오는데 이때, 'Y'를 눌러주면 설정(SETTING) 내용이 저장된다.

(7) 자동저장 운전조건 설정

제어방법	제어방법	제어설정	화일관리	종료
제어방법 812PG Error : 014 5월30일 17시 2분38초				
[자동저장] 저장인자 안전 기준 설정				
곡물 온도간의 차이	( 6 도, 8 도, [ 0 ] 도 )			
대기온도와 곡물온도와의 차이	( 8 도, 6 도, [ 0 ] 도 )			
안전저장 함수율	( 14 %, 15 %, [ 0 ] % )			
안전저장 곡물온도	( 15 도, 20 도, [ 0 ] 도 )			
곡물 병행 상대습도	( 75 %, 80 %, [ 0 ] % )			
안전 탄산가스량	( 600ppm, 800ppm, [ 0 ] ppm )			
[자동저장] 제어장치 선택				
팬(FAN)	( V, N )			
히터(Heater)	( V, N )			
교반기(Stir)	( V, N )			
곡물 냉각기(Chill)	( V, N )			
곡물배출 장치(OUT)	( V, N )			
[자동저장] 제어장치 작동시간 설정				
팬 작동시간	( 1시간, 자동, [ 0 ] 시간 )			
히터 작동시간	( 1시간, 자동, [ 0 ] 시간 )			
교반기 작동시간	( 1시간, 자동, [ 0 ] 시간 )			
냉각기 작동시간	( 1시간, 자동, [ 0 ] 시간 )			
배출장치 작동시간	( 1시간, 자동, [ 0 ] 시간 )			
[자동저장] 제어인자 선택				
곡물온도(GT1, GT2, GT3)	( V, N )	곡물 평행함수율(EMC)	( V, N )	
곡물 함수율(MCCEN)	( V, N )	탄산 가스량(GAS)	( V, N )	
곡물 병행상대습도(RHSILO)	( V, N )			
냉각기 5월 30일 17:02분에 기준후 00:01분이 지났음				
팬 스케줄 시간대의 On 시점입니다.				

그림 4-8. 자동저장 운전조건 설정화면

그림 4-8은 자동저장 운전조건을 설정하는 화면이다.

· ↑, ↓ KEY는 설정(SETTING)할 목록으로 움직일 때 사용하며, →, ← KEY는 목록에 대한 조건을 변경할 때 사용한다.

◆ 설정(SETTING) 방법

1. ↑, ↓ KEY로 설정할 목록을 선택한다.
2. →, ← KEY로 목록에 대한 조건을 선택한다.
3. ENTER KEY를 이용하여 목록에 대한 조건을 설정한다.  
(화면상의 "[ ]"표시는 사용자가 임의의 값을 설정할 수 있는 부분이다.)
4. 하나의 설정 조건이 설정되면 "변경된 설정 내용을 저장하시겠습니까? [Y"(저장)]"이라는 문구가 나오는데 이때, 'Y'를 눌러주면 설정(SETTING) 내용이 저장된다.



(8) 자료저장 관리

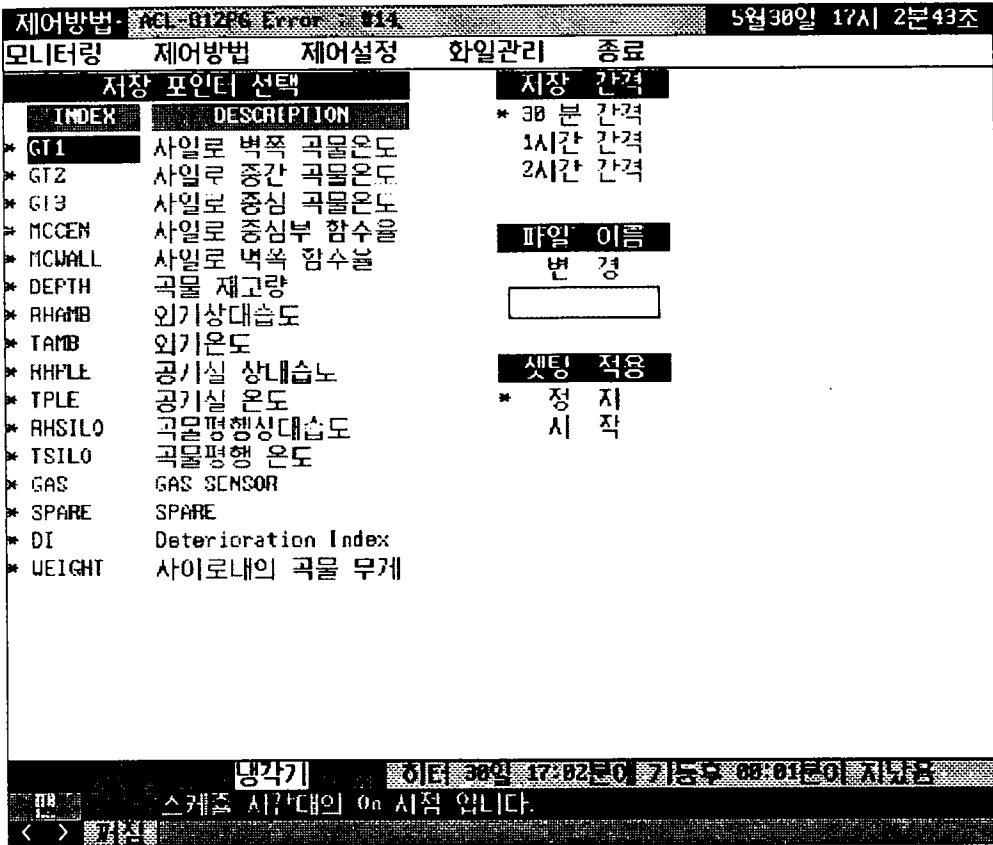


그림 4-9. 저장 설정

그림 4-9는 파일 관리중에서 저장설정에 해당하는 화면이다.

파일에 데이터를 저장하기 위해 각각을 설정해야하는데 이는 저장포인터 선택, 저장간격, 파일이름, SETTING 적용 4가지로 나뉘어있다. 각각은 "TAB" KEY로 이동한다.

- 저장 POINTER 선택 : "PAGE UP","PAGE DOWN" KEY로 이동하며 "SPACE" KEY로 선택 및 취소한다.
- 저장 간격 : "PAGE UP","PAGE DOWN" KEY로 이동하며 "SPACE" KEY로 선택 및 취소한다.
- 파일 이름 : 저장될 파일이름을 입력한다. 같은 이름의 파일이 존재하면 "덮어쓰겠습니까?"라는 메세지 상자가 나오는데 "예"를 선택하면 기존의 파일은 지워지며, "아니오"를 선택하면 이름을 변경할 수 있다.
- SETTING 적용 : "시작"을 선택하면 현재 시간을 포함하여 지정된 저장간격마다 저장하게 된다.

(9) 저장파일의 자료출력

그림 4-10은 파일관리 중 레포트 부분 화면이다.

· 파일 읽기 : "F1" KEY를 사용합니다. 그림 4-10과 같은 파일선택 상자가 나오면 "PAGE UP", "PAGE DOWN" KEY로 원하는 파일 이름에서 "ENTER"를 치면 파일의 데이터가 출력된다.

· 사용 KEY : 페이지 전환은 "PAGE UP", "PAGE DOWN" KEY를 사용하며 저장 POINTER가 8개를 초과했을 때는 "→,←" KEY로 옮겨가며 볼 수 있다.

또한, "PAGE UP", "PAGE DOWN" KEY를 사용할 때 나타나는 "D"자 커서로 선택되어진, 해당 POINTER의 날짜를 화면 우측 상단에 DISPLAY한다.

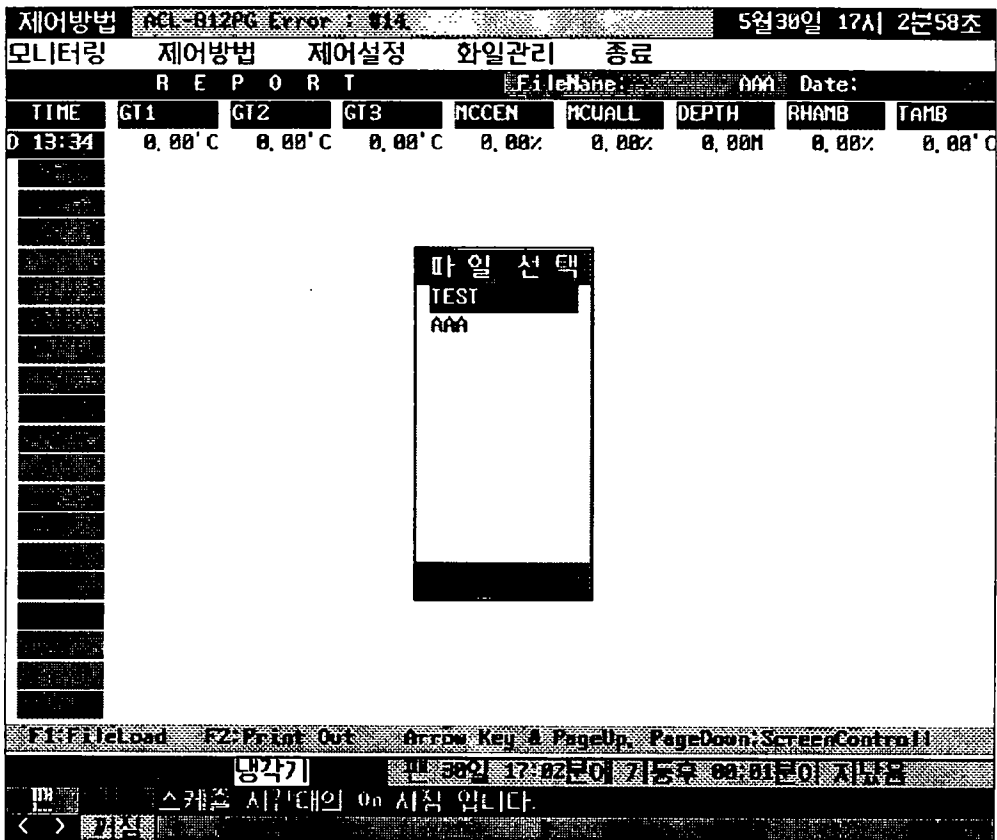


그림 4-10. 레포트

프린터 출력 : "F2"KEY를 입력하면 아래와 같은 그림이 나타난다.

<b>프린터 출력</b>	
시작	끝
1997 / 5 / 21	1997 / 5 / 30
OK (ENTER)	CANCEL (ESC)

"→,←" KEY로 시작 및 끝 날짜를 설정할 수 있다.

"PAGE UP"KEY로 날짜를 증가하고, "PAGE DOWN"KEY로 감소한다.

"ENTER"를 치면 프린트가 시작되며, "ESC"로 취소할 수 있다.

(10) 저장파일의 자료 그래프 출력

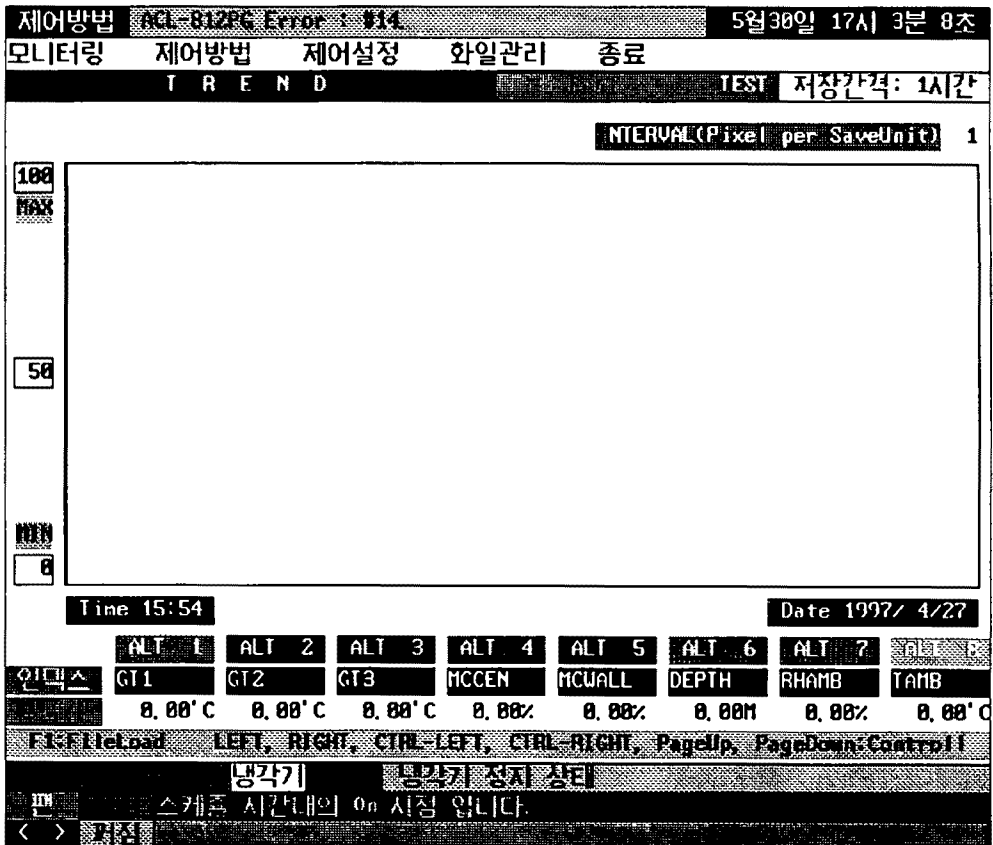


그림 4-11. 트 렌 드

그림 4-11은 파일 관리 중 트랜드 부분이다.

· 파일 읽기 : "F1" KEY를 사용합니다.

그림 4-11과 같은 파일선택 상자가 나오면 "PAGE UP", "PAGE DOWN" KEY로 원하는 파일 이름에서 "ENTER"를 치면 파일의 테이타가 출력된다.

· 사용 KEY : 페이지 전환은 "PAGE UP", "PAGE DOWN" KEY를 사용하며, "→, ←" KEY로 커서(위치 막대)를 1PIXEL씩 이동한다. 이 때, CTRL KEY를 함께 사용하면 (CTRL-→, CTRL-←) 10PIXEL씩 이동할 수 있다.

화면에 표시할 최대값은 "ALT-M"으로, 최소값은 "ALT-N"으로 변경시킬 수 있다. 예를 들어 "INTERVAL"을 2로 설정하면 실제 저장간격이 1시간이더라도 2시간 간격으로 출력된다.

· 출력 포인터 변경 : "ALT-1 ~ ALT-8"로 원하는 색깔에 원하는 POINTER를 설정할 수 있다.

## 라. 사일로시스템에서의 저장 및 건조실험

### 1) 저장실험 결과

곡물 사일로시스템의 자동화를 위해 하드웨어 및 소프트웨어를 개발한 후, 1997년 8월 21일 오후2시부터 곡물 저장실험을 실시하였다. 이때 벼시료는 1996년말에 수확된 동진벼가 사용되었으며 시료의 퇴적고는 약 50 cm이었다. 사일로내의 곡물의 상태를 연속적으로 모니터링하였고, 이에 관련 모든 자료들이 수집하였다.

그림 4-12는 제 1차 저장실험으로 8월21일부터 시작하여 사일로내에 저장된 곡물과 공기의 온도를 나타낸 것으로서, 사일로 바닥으로부터 15cm지점에서 GT1은 벽지점에 있는 곡물의 온도를 나타내고, GT2와 GT3는 센서에 곡물이 접촉하지 않게하여 주위의 공기온도를 측정하게 한 것이다. 벽지점의 곡물의 온도는 대기의 온도와 사일로내 주위의 온도 영향을 받아 변화하였으나 곡물온도는 공기온도보다는 그 변화가 적었다. 이에 대기의 영향을 막기 위해서는 적정 단열처리가 요구되었다.

그림 4-13은 사일로내 곡물평형상대습도와 공기평형온도를 나타낸 것으로서, 평형상대습도는 80%에서 85%사이 에 분포하였고 평형온도는 약 25도에서 약 33도 사이에 분포하였다. 즉 평형상대습도 및 평형온도로서 곡물의 평형함수율을 추정할 수 있는 바, 그 함수율의 변화도는 적음을 알 수 있었다. 여기에서는 평형함수율의 자료를 저장하지 못했으나 나중의 저장실험에서는 자동으로 평형함수율을 추정하여 자료를 저장할 수 있도록 하였다.

그림 4-14는 대기와 사일로공기실의 공기온도 변화를 나타내었으며, 대기의 온도와 상대습도 조건에 따라 통풍이 가능한 가를 알 수 있는 공기의 부패지수를 계산하여 나타내었다. 여기서 공기부패지수가 5이상이면 통풍하지

않는 것이 좋으므로 저장시간 약 21시에서 25시 사이에는 통풍하지 않도록 자동저장 모드에 설정되어 있다. 특히 공기부패지수가 5이상일때는 대기의 공기온도가 약 30도 이상으로 높았었다.

그림 4-15는 외기와 사일로공기실의 상대습도를 측정한 것인데 이때 외기의 상대습도가 사일로공기실의 상대습도보다도 훨씬 낮게 나타났다. 이는 공기실의 상대습도는 곡물과의 평형상대습도로서 외기의 상대습도보다 높게 나타난 것이다.

2차 저장실험을 97년 8월 23일 17시부터 시작하여 곡물 저장상태에 대한 자료를 수집하였다. 그림 4-16에서와 같이 여름철에 사일로내 곡물의 온도는 대기온의 영향을 심하게 받아 약 40도 까지 오르는 현상을 보였다. 특히, 벽지점의 곡물온도 GT1은 대기의 영향을 받아 심하게 변화하였다. 그리고 사일로내 곡물 상층부위의 공기온도 및 사일로벽은 최고 약 50도 까지 도달하기 때문에 곡물을 안전하게 저장하기 위해서는 단열처리가 절대적으로 요구됨을 알 수 있었다. 그림 4-17은 사일로내에 설치된 정전용량식 수분센서로 사일로내의 곡물 함수율을 측정한 것으로서 그 값들은 13.5%에서 14.5% 사이에 분포하였다. 이값들의 변화는 수분센서에 부착된 온도센서에 의해 센서출력이 변화하는 것으로 추정된 바 보다 정확하고 안정된 값을 얻기 위해서는 센서의 출력신호 증폭장치를 센서 가까이 설치하는 것이 필요하여 이를 개선하였다. 그림 4-18은 외기 및 공기실의 온도와 공기의 부패지수를 나타낸 것으로서, 외기온이 30도 이상일 때에는 공기부패지수가 5이상인 되어 이때에는 통풍을 하지 않도록 프로그램 되어 있다. 그림 4-19는 외기와 공기실의 상대습도를 나타낸 것으로서 대기의 상대습도가 공기실 상대습도에 비해 훨씬 변화가 심하였으나 그 변화 경향은 거의 비슷하였다. 그림 4-20은 곡물중에 온습도 센서를 삽입하여 곡물의 평형상대습도와 평형온도를 측정한 것으로서, 평형상대습도는 약 75%에서 약 84% 사이에 분포하였고 평형온도는 약 27도에서 약 35도 사이에 분포하였다. 이 평형상대습도를 볼 때 곡물 함수율은 약 14% 수준에 있음을 알 수 있었다.

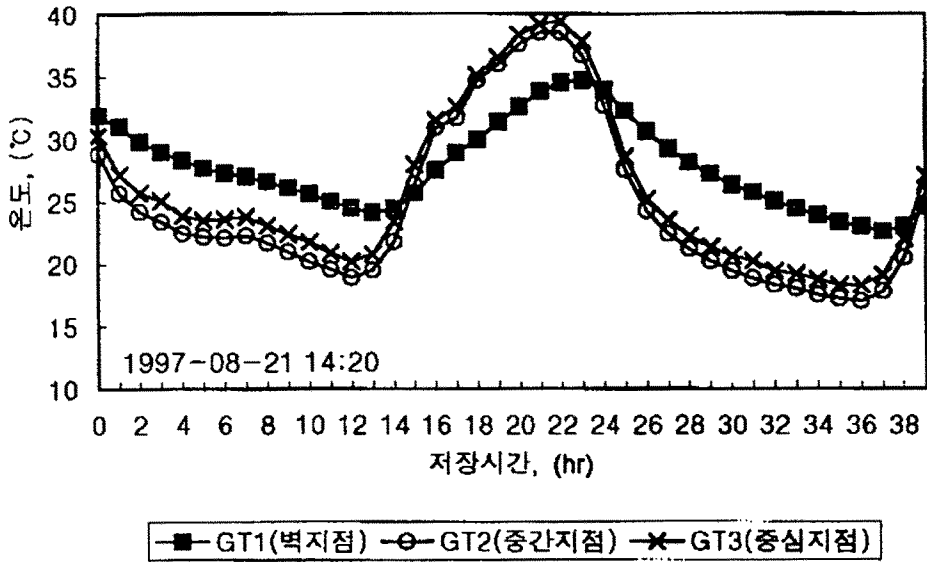


그림 4-12. 사일로내 각지점에서의 온도변화

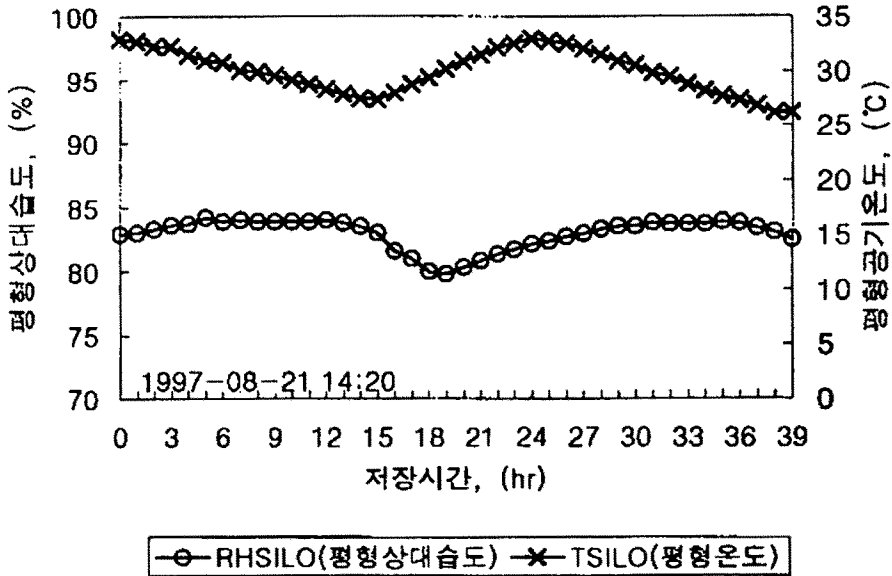


그림 4-13. 곡물평형 상대습도와 온도변화

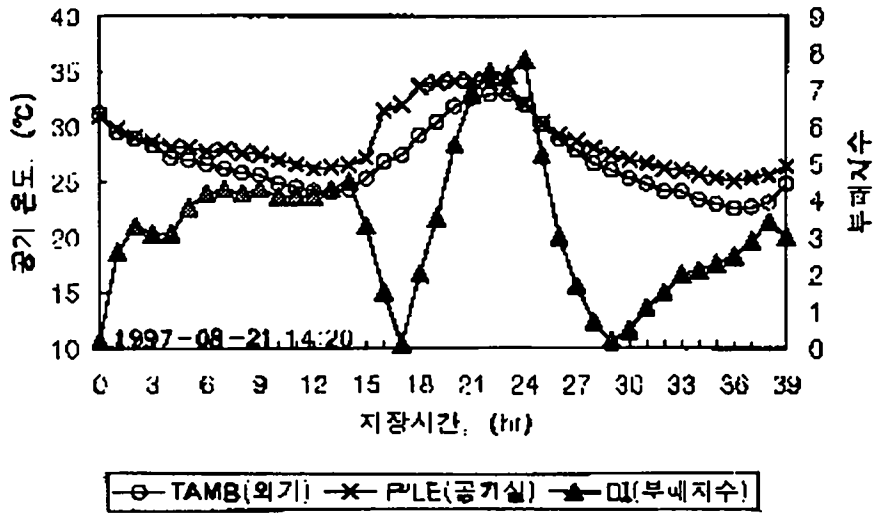


그림 4-14. 외기와 공기실의 공기온도 및 부패지수 변화

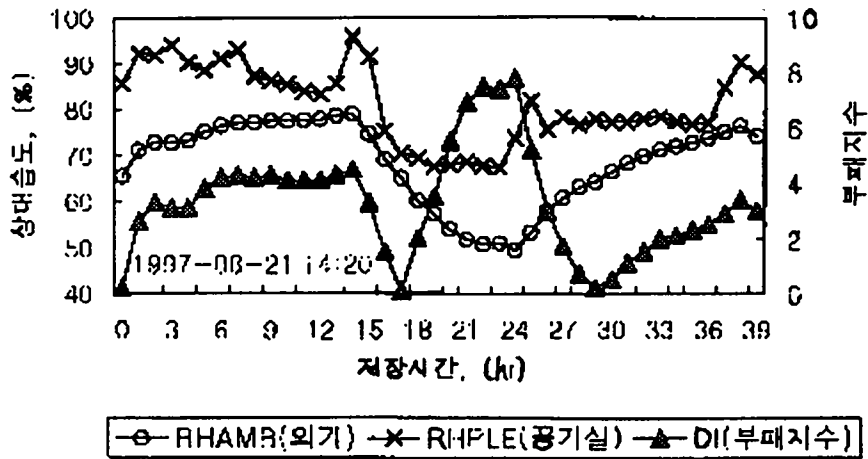


그림 4-15. 외기와 공기실의 상대습도 및 부패지수 변화



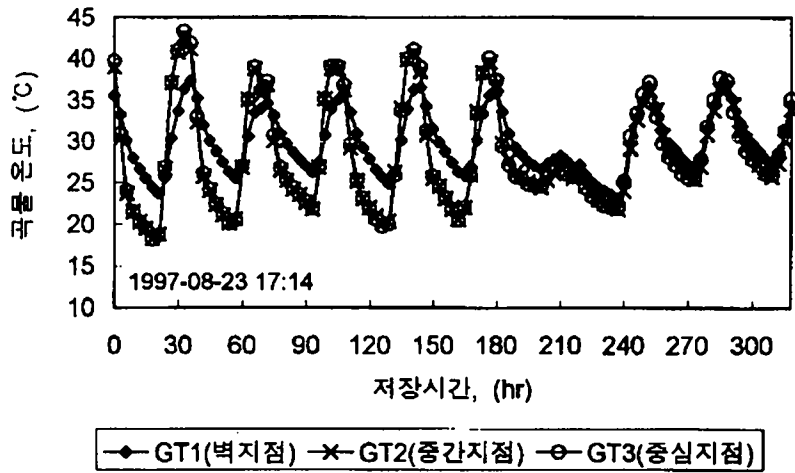


그림 4-16. 사일로내 각지점에서의 온도변화

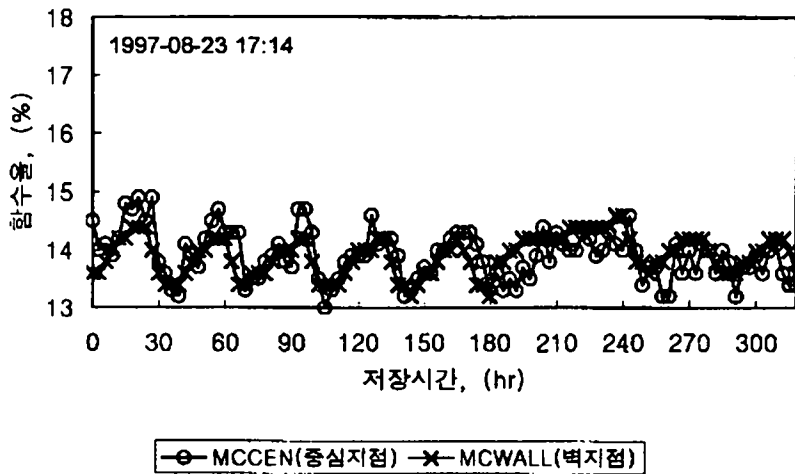


그림 4-17. 사일로내의 함수율 변화

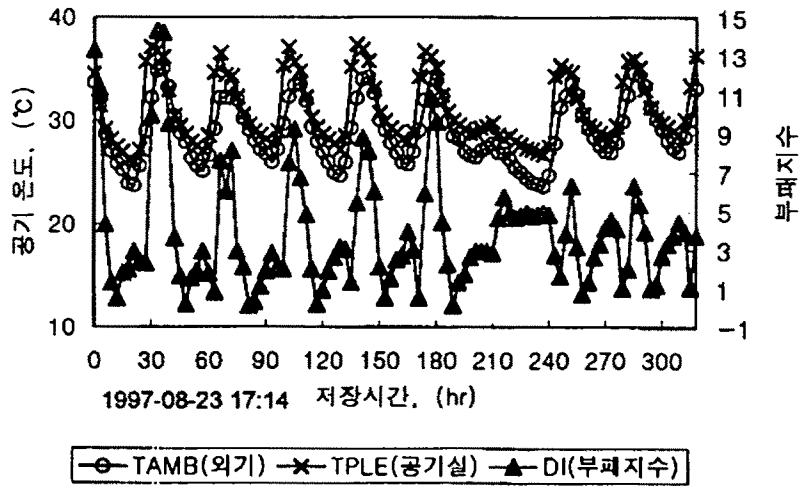


그림 4-18. 외기 온도와 공기실 온도 및 부패지수 변화

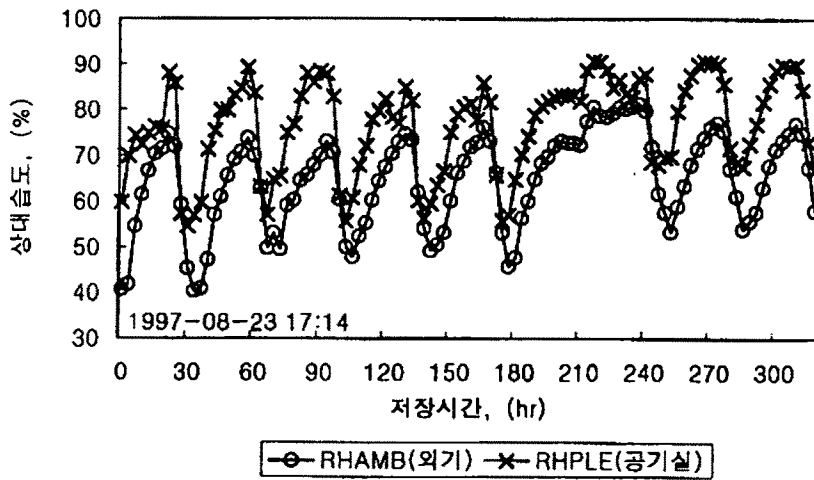


그림 4-19. 외기와 공기실의 상대습도 변화

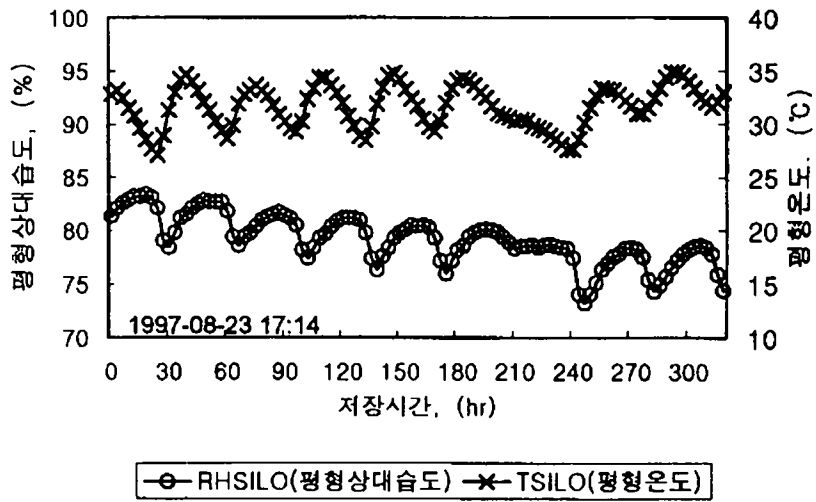


그림 4-20. 곡물평균상대습도와 평균온도변화

제 3차 저장실험에서는 97년 9월 13일부터 자동저장 모드에서 자료를 수집 및 저장하며, 함수율이 15.5% 이고 평형상대습도가 80% 이상이면 자동으로 통풍하도록 설정하였다. 그림 4-21은 사일로내의 곡물 온도를 나타낸 것으로 외기의 영향을 많이 받고 있음을 나타내고 있다. 그림 4-22는 정전용량식 수분센서로 함수율을 측정된 것으로 벽지점과 중심지점에서의 함수율은 약 14%를 나타내었으나 완만한 변화를 보였다. 그러나 벽지점에 설치된 센서가 중심지점에 설치된 센서보다 더욱 더 정확한 값을 나타내었다. 이는 중심부에 설치된 수분센서와 증폭장치 사이의 거리가 멀어서 그 정확도면에서 떨어지는 것 같았다. 그림 4-23은 외기와 사일로 공기실의 공기온도 그리고 공기부패지수를 나타내고 있는데, 공기의 온도가 약 30도 이상일 때 공기부패지수는 5이상으로 나타났다. 그림 4-24는 대기와 공기실의 상대습도를 나타낸 것으로서 거의 같은 변화와 경향을 보였다. 공기실의 상대습도가 약 45%에서 약 75% 사이에 분포한 것으로 보아 곡물의 평형함수율은 약 15% 이하인 것으로 추정되었다. 그림 4-25는 곡물속에 삽입한 온습도 센서로부터 곡물의 평형상대습도와 평형온도를 측정하였으며 이들 수치를 사용해 곡물의 평형함수율을 추정하였다. 곡물의 평형온도는 약 25도에서 약 33도 사이에 분포하였고 평형상대습도는 약 82%에서 약 87% 사이에 분포하였다. 이값들을 사용하여 평형함수율을 추정하면 함수율은 약 14%로 거의 일정하게 나타났다. 이로써 저장시 곡물함수율은 곡물의 평형상대습도와 평형온도를 측정함으로써 정전용량식 수분센서보다 더욱 더 정확하게 함수율을 추정할 수 있음을 알 수 있었다.

제 4차 저장실험은 3차와 같은 조건의 자동저장 모드에서 9월 20일 오후 2시부터 실시하였다. 그림 4-26은 곡물온도와 곡물 주변공기의 온도를 나타낸 것이다. GT1은 벽지점의 곡물온도를, GT2와 GT3는 사일로내의 공기온도를 나타낸 것으로 곡물의 온도는 주변공기의 온도의 영향을 받음을 알 수 있었다. 그러나 GT2와 GT3가 사일로 중간지점과 중심지점의 곡물의 온도이었다면 벼자체가 단열재이기 때문에 벽지점의 곡물온도처럼 대기의 영향을 많이 받지 않았을 것으로 사료되었다. 이것은 곡물 건조시 사일로내에 곡물을 충분

히 넣고서 사일로 중심지점의 곡물온도를 측정한 결과 이같은 사실이 입증되었다. 그림 4-27은 사일로내 벽지점과 중심지점에서 정전용량식 수분센서를 사용하여 연속적으로 함수율을 측정한 결과로서 평균 약 14%의 완만한 변화와 약 0.5%의 편차를 보였다. 그림 4-28은 외기와 공기실의 온도 그리고 외기의 온습도에 따라 통풍여건을 판단할 수 공기부패지수를 나타내고 있는데 외기와 공기실의 온도 그리고 공기부패지수가 같은 경향을 보였다. 특히 외기온이 30도 이상으로 높을 때에 공기의 부패지수는 5 이상으로 나타나 이때에는 통풍하지 않는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 그림 4-29는 외기와 사일로공기실의 상대습도를 나타낸 것인데 거의 비슷한 경향을 보였으나 공기실의 상대습도 변화가 상대적으로 적게 나타났다. 그림 4-30은 저장 곡물의 평형온도와 평형상대습도를 벽지점부분에서 연속적으로 모니터링한 값들을 나타낸 것으로서, 평형온도는 약 23도에서 약 27도 사이에 분포하였고 평형상대습도는 약 65%에서 약 70%사이에 분포하였다. 이 평형온도와 평형상대습도들의 변화는 적었고 특히 평형상대습도가 낮음으로써 곡물 평형함수율이 약 13%에서 약 14% 사이에 있음을 알 수 있었다. 이때 평형함수율을 추정할 때는 Hederson의 평형함수율 공식을 사용하였다.

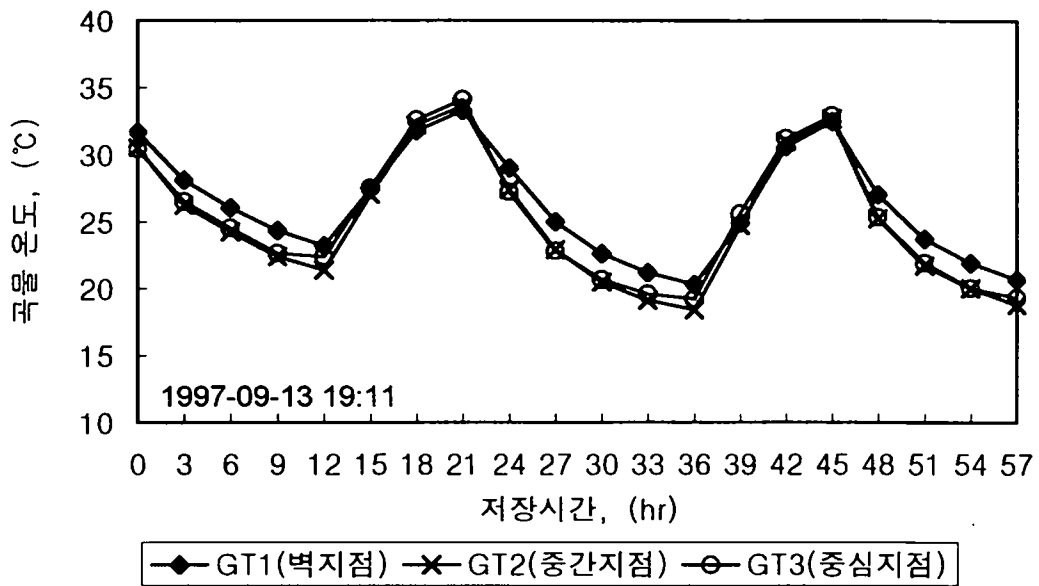


그림 4-21. 사일로내 각지점에서의 온도변화

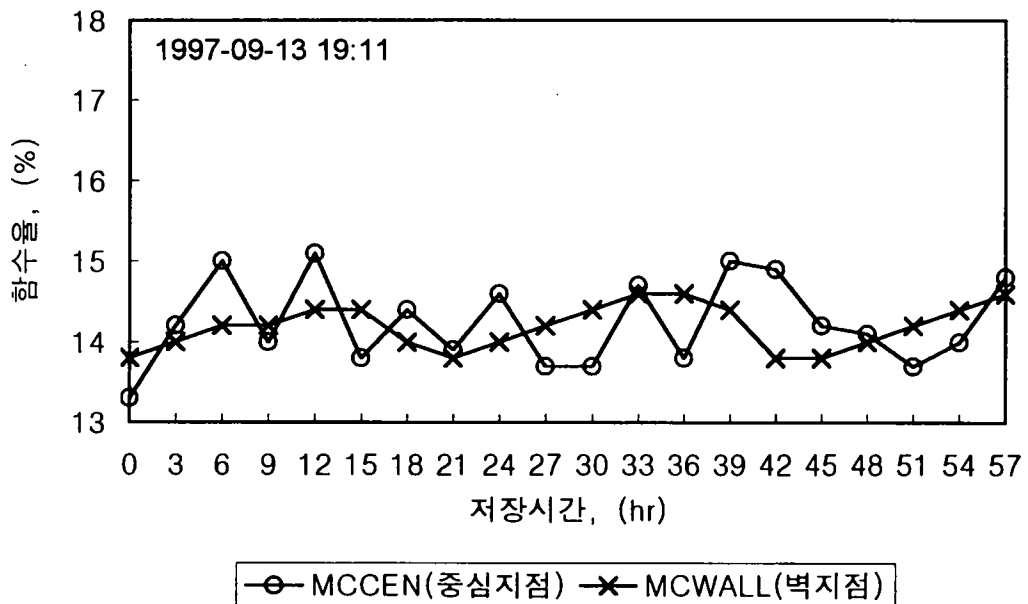


그림 4-22. 사일로내의 함수율 변화

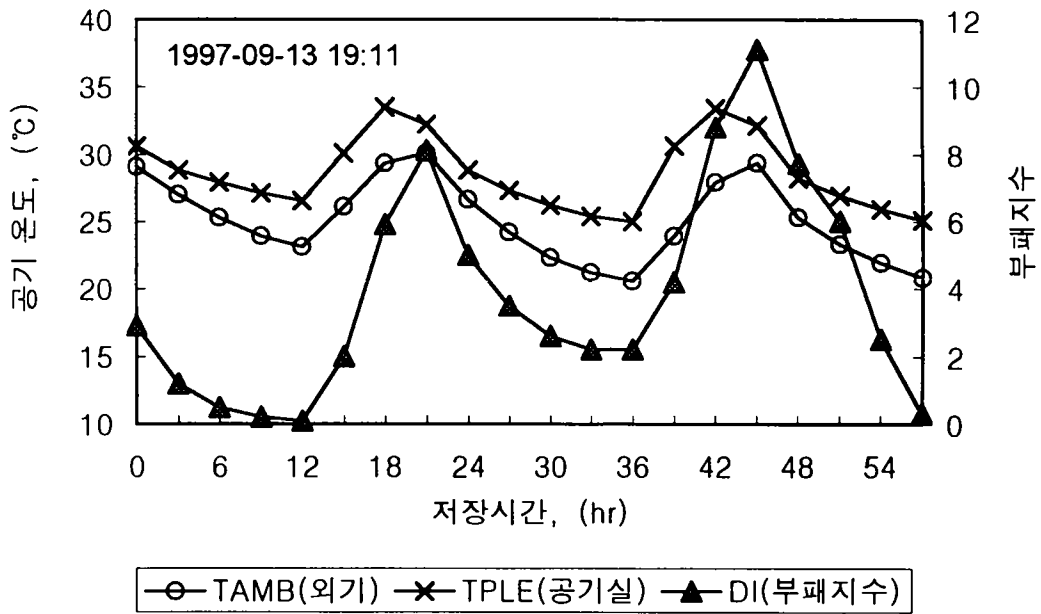


그림 4-23. 외기와 공기실의 온도 및 부패지수 변화

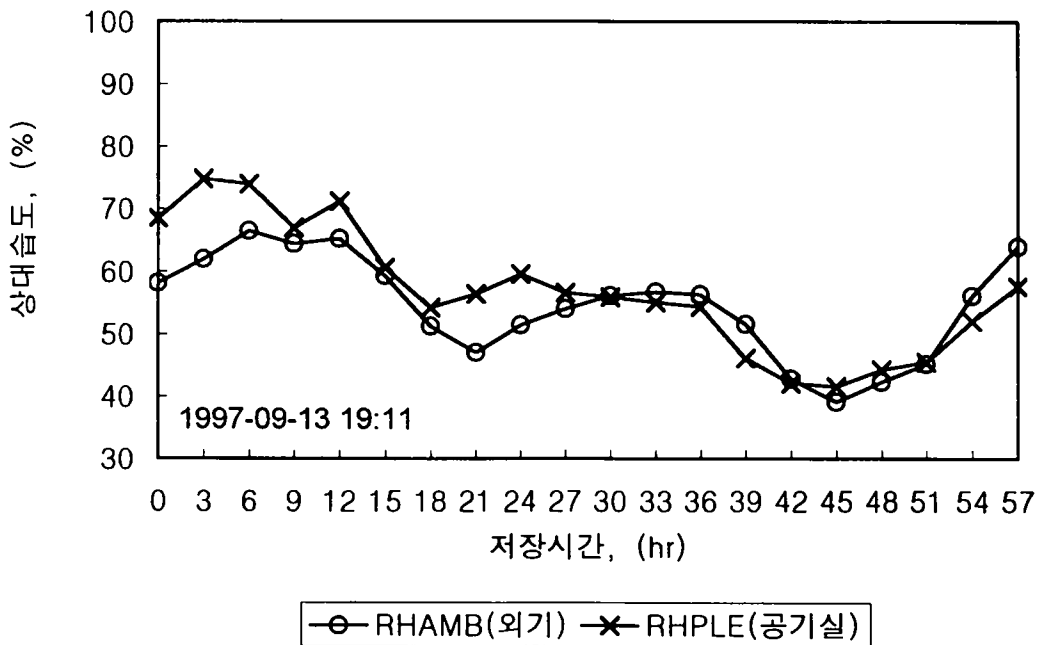


그림 4-24. 외기와 공기실의 상대습도 변화

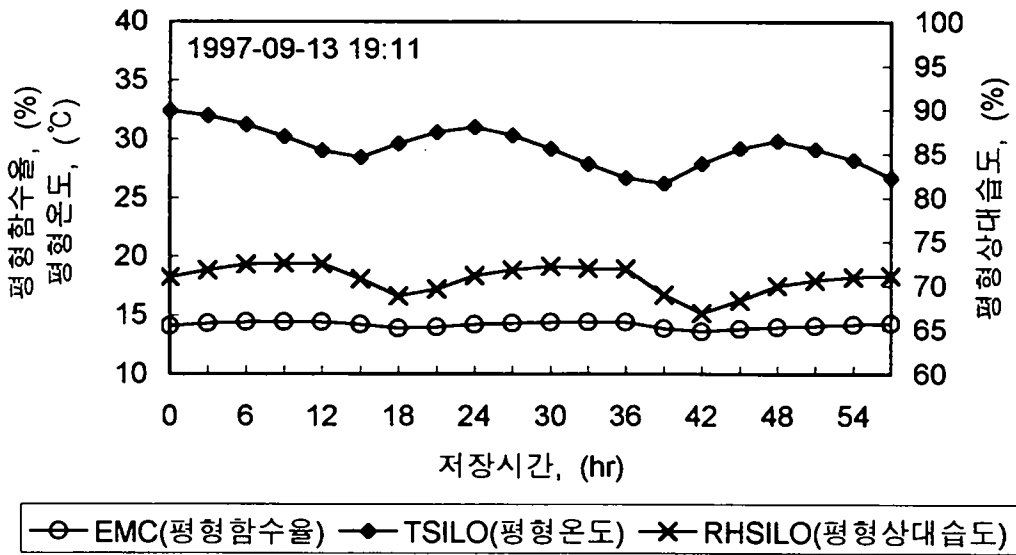


그림 4-25. 곡물의 평형상대습도와 온도에 따른 곡물 평형 함수율의 변화



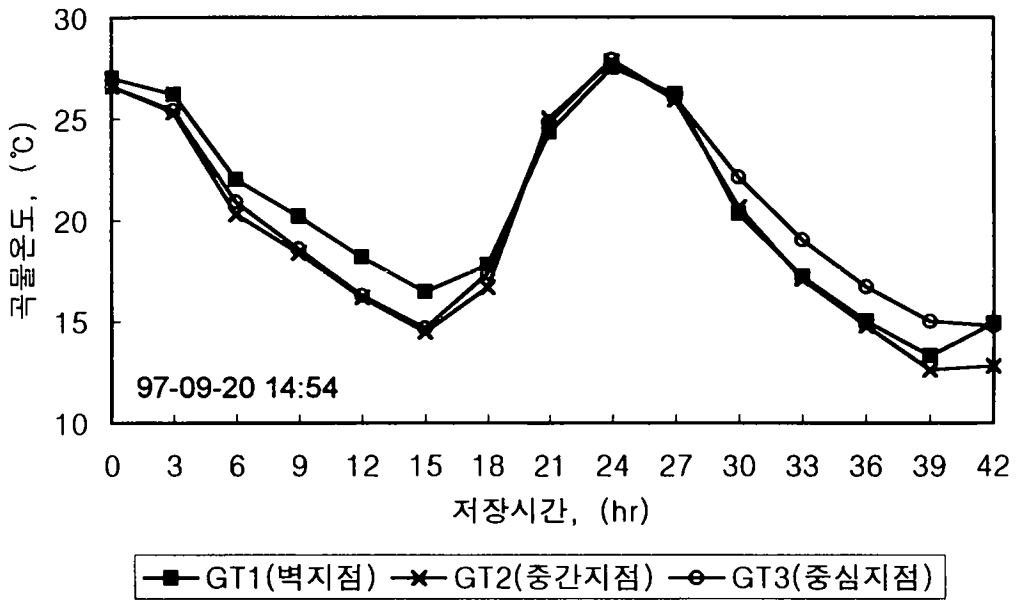


그림 4-26. 사일로내의 각지점에서의 온도변화

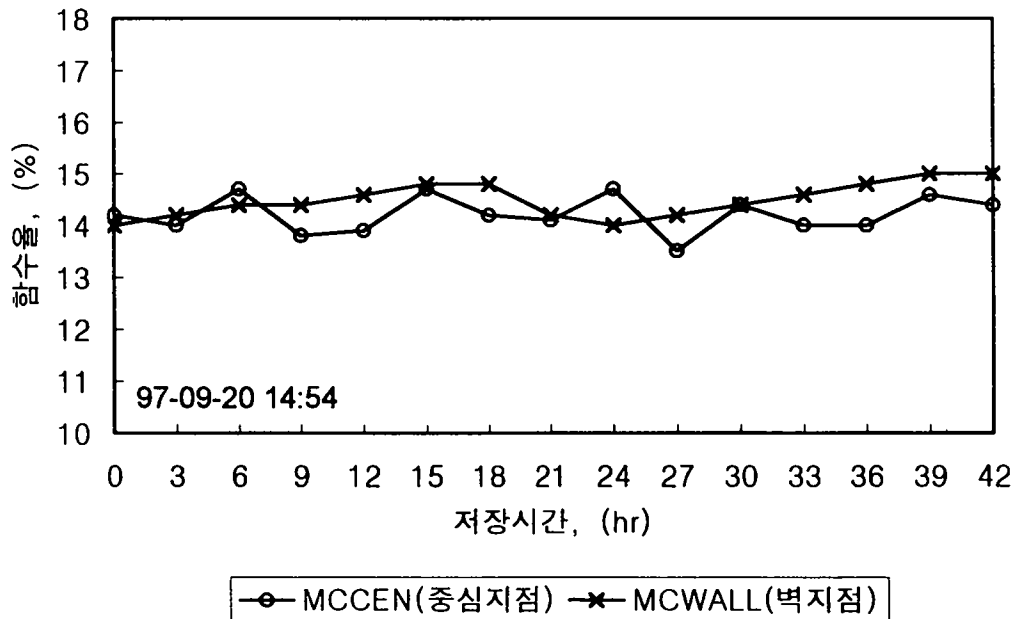


그림 4-27. 사일로내의 함수율변화

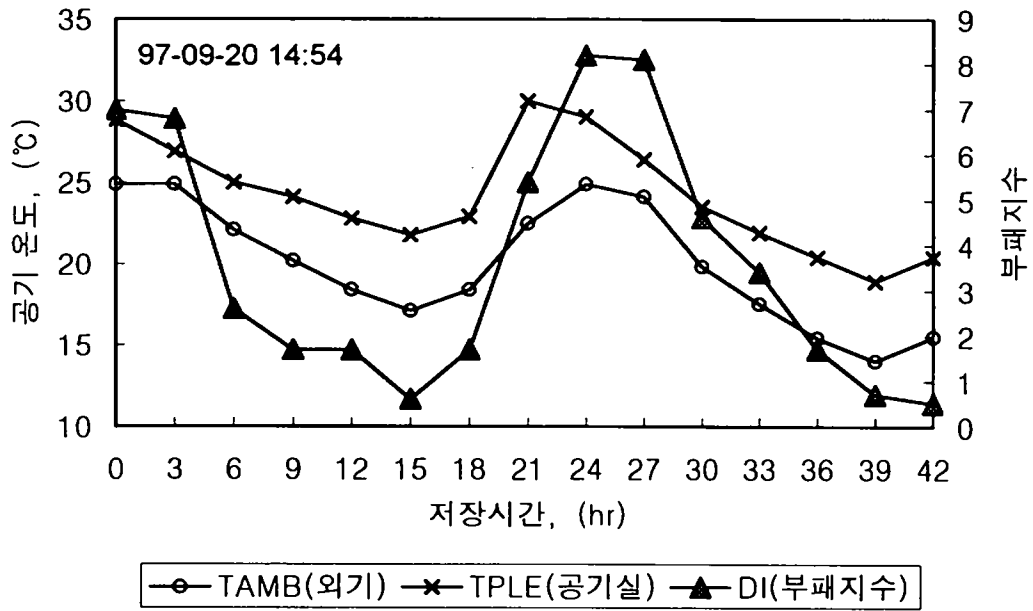


그림 4-28. 외기와 공기실의 온도 및 부패지수 변화

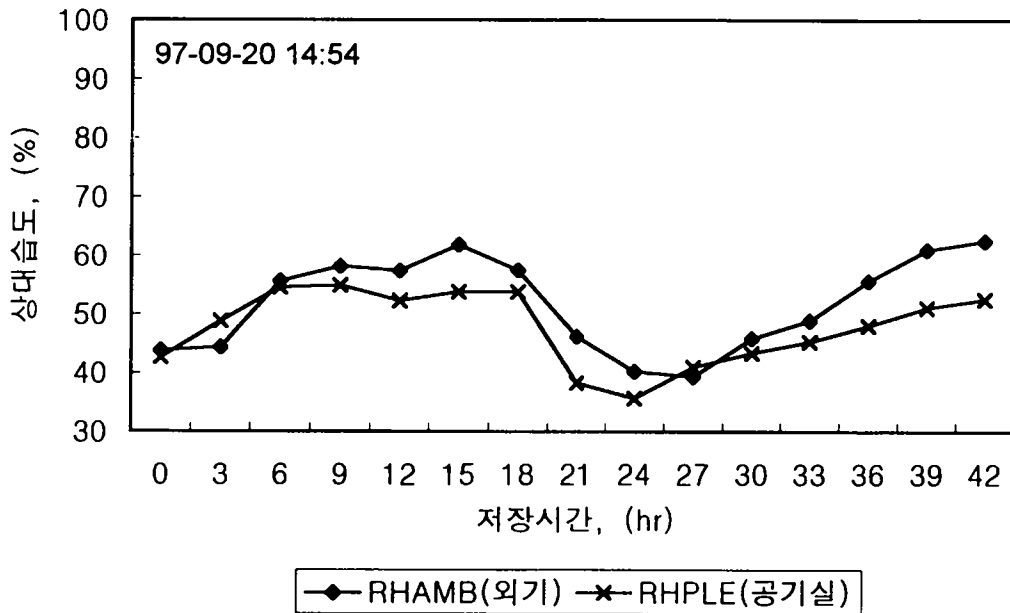


그림 4-29. 외기와 공기실의 상대습도변화

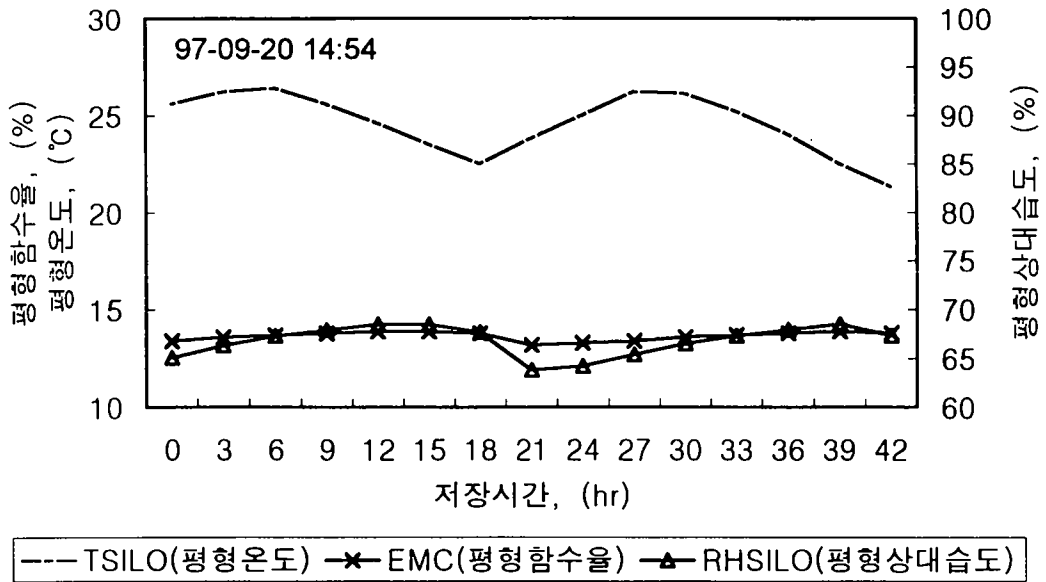


그림 4-30. 곡물의 평형상대습도와 온도에 따른 곡물평형함수율의 변화

## 2) 건조실험 결과

자동화된 사일로시스템의 성능검증을 위해, 1997년 9월29일에 수확된 약 4톤의 동진벼를 사일로에 반입하였고, 그다음날인 9월30일, 10월1일, 10월 2일에 추가로 각각 2톤, 1톤, 1톤씩의 벼를 사일로내에 반입한 후 9월 30일 오후 6시부터 연속적으로 자연통풍시켜 상층부가 15%에 도달하도록 하였다. 이때 상하층의 균일한 건조를 위해 교반기를 오전 12시부터 오후6시까지 약 6시간 동안, 밤에는 약 1시간반 동안 자동 작동하도록 하였다. 그리고 97년 9월30일 오후 7시경부터 건조중 곡물의 함수율, 온도 등의 상태와 대기조건 등을 연속적으로 모니터링하고 그 자료들을 자동으로 저장하도록 하였다. 또한 사일로내의 반경방향의 수평지점과 퇴적고 높이에 따른 수직지점에서의 벼의 수분변화를 조사하기 위해서 낮에는 약 6 시간, 밤에는 약 12시간 간격으로 각 지점에서 시료추출기를 사용하여 함수율을 전기저항식 함수율측정기를 사용해 측정하였다.

그림 4-31은 건조중 사일로 바닥으로부터 약 15 cm위치에서, 수평방향으로 벽지점, 벽과 중심의 중간지점 그리고 중심지점에서 곡물의 온도를 나타낸 것이다. 건조중 송풍기 작동기간인 약 65시간 동안은 곡물의 온도가 송풍 때문에 대기온도와 같이 변화하였으나, 건조가 끝나 송풍이 없는 상태에서 곡물의 온도는 일정하게 서서히 떨어지고 있는 것을 나타내고 있다.

그림 4-32는 정전용량식 수분센서를 사용하여 건조중 중심지점과 벽지점의 곡물의 함수율 변화를 나타낸 것이다. 여기서 곡물 추가반입에 따른 균일 건조를 위해 저장후 24시간이 지나서부터 송풍기를 가동하여 건조하기 시작하였으며 송풍기 가동후 약 46시간 경과후에 함수율이 약 15%에 도달하여 자동으로 건조작업을 종료하였다. 그림에서와 같이 벽지점에서 함수율이 사일로 중심지점에서보다 건조가 잘 되고 있는데 이는 사일로 중앙부에 있는 스위프오거 기어박스때문으로 사료되었다.

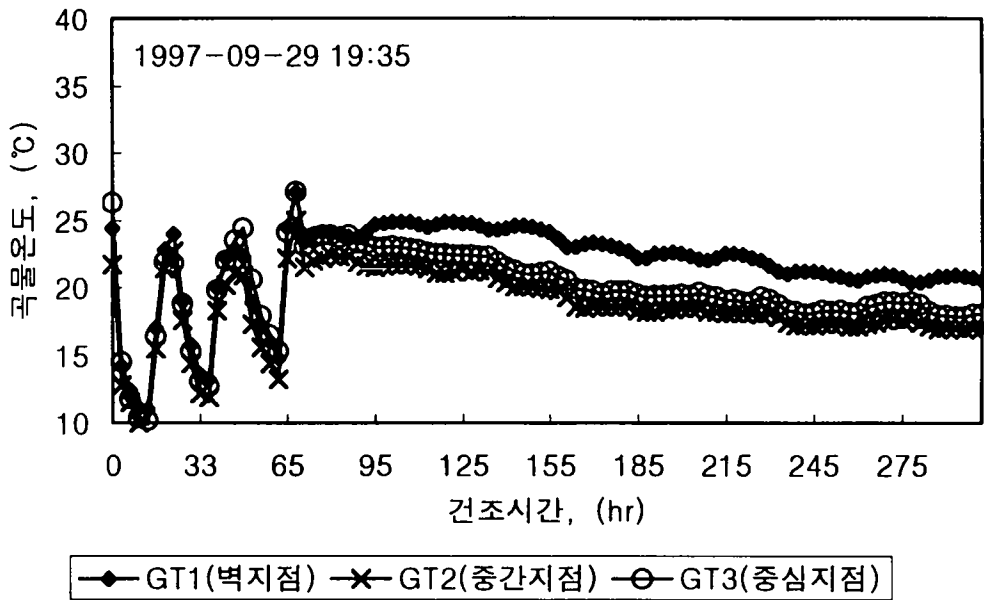


그림 4-31. 건조중 사일로내의 곡물온도변화

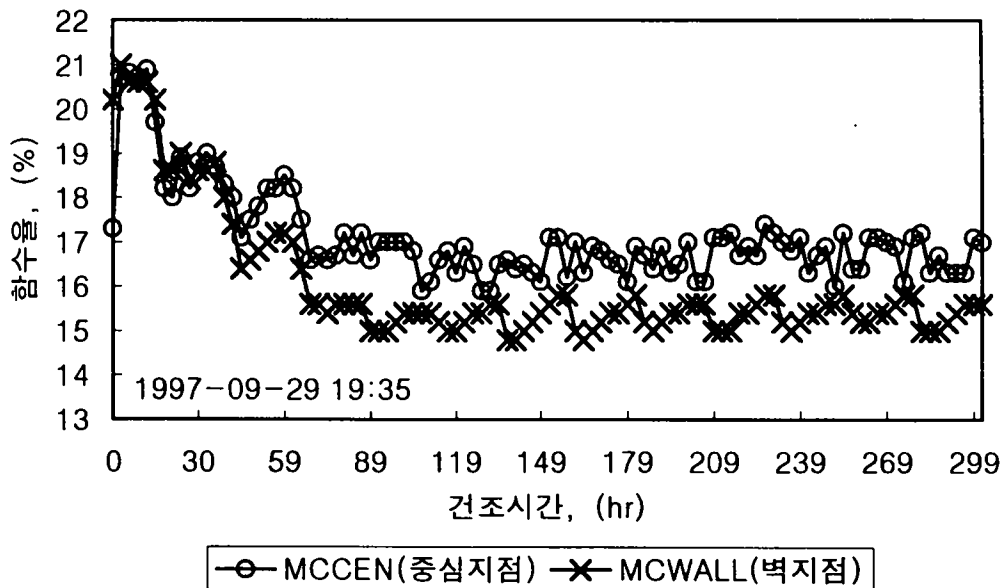


그림 4-32. 건조중 사일로내의 함수율 변화

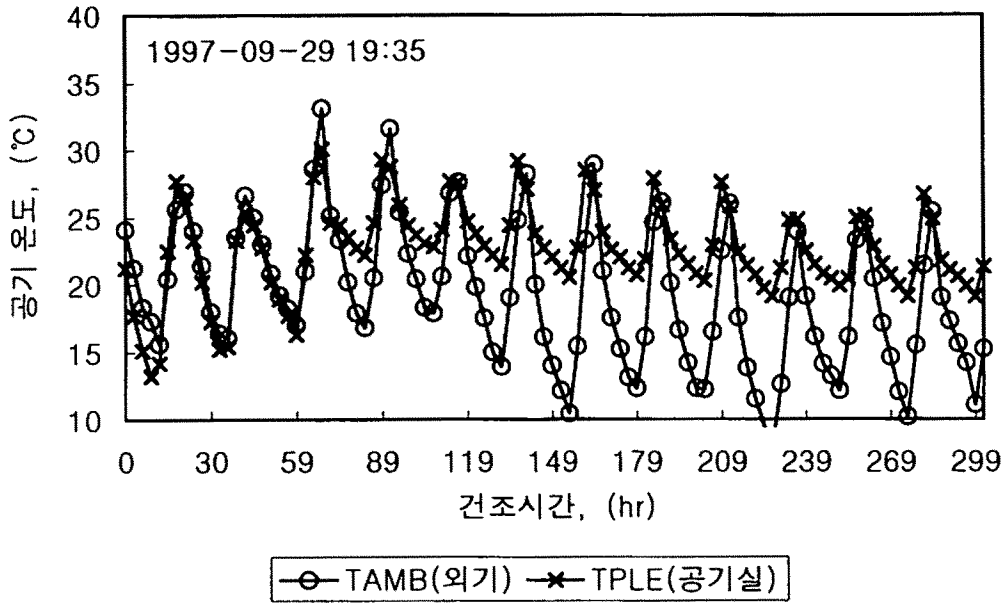


그림 4-33. 건조중 외기와 공기실의 온도변화

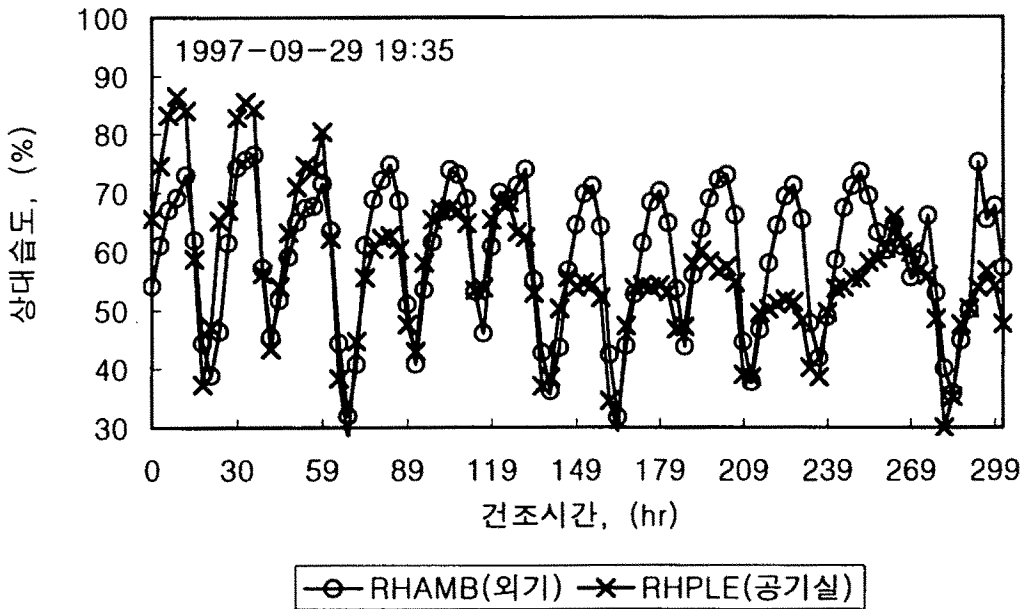


그림 4-34. 건조중 외기와 공기실의 상대습도 변화

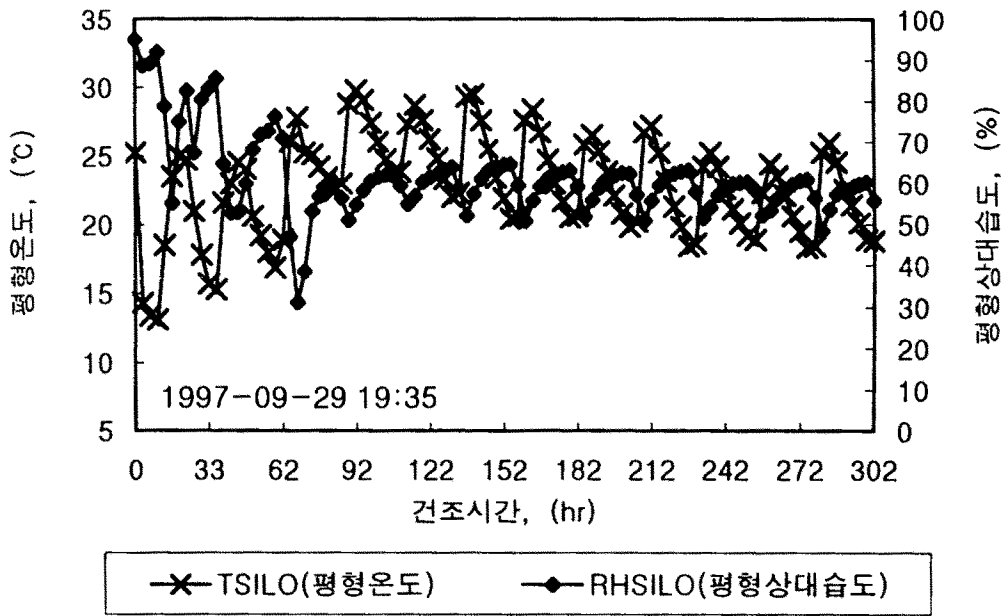


그림 4-35. 건조중 곡물의 평균온도와 상대습도의 변화

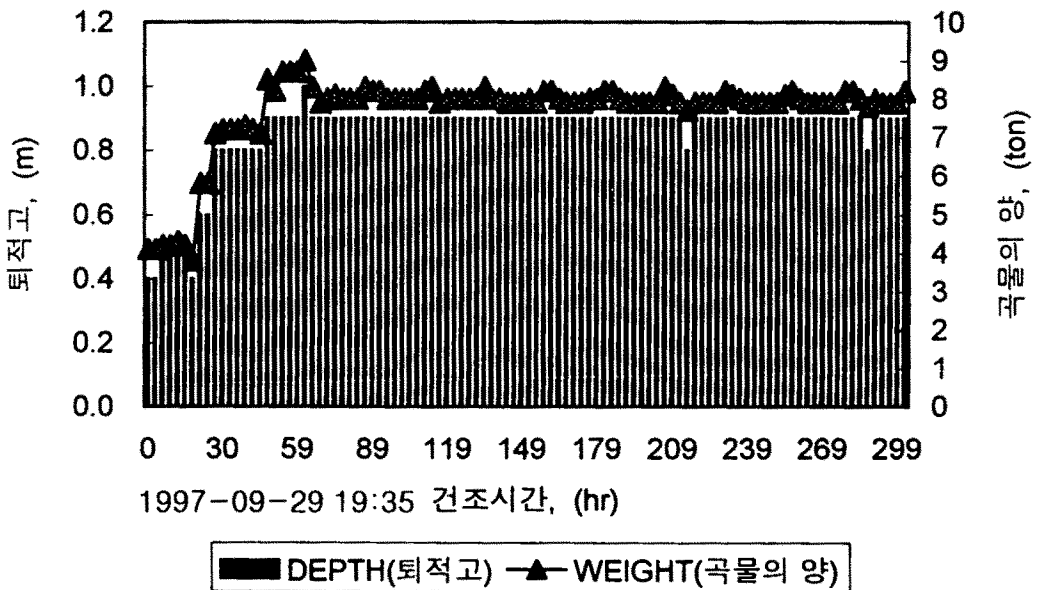


그림 4-36. 초음파센서로 측정 한 곡물 퇴적고와 곡물의 양

그림 4-33는 건조중 외기와 공기실의 공기온도 변화를, 그림 2-34에서는 외기와 공기실의 상대습도 변화를 나타낸 것이다. 공통적으로 사일로공기실의 온습도 변화는 대기의 온습도 변화 경향과 일치하였으나 그 변화도는 대기에 비해 적게 나타났다.

그림 4-35는 건조 및 저장중 곡물의 평형온도와 평형상대습도 변화를 나타낸 것인데 건조중에는 송풍되는 공기의 온습도에 절대적인 영향을 받아 변화하는데, 건조가 완료된 후에는 평형온도와 평형상대습도의 변화는 줄어들었다. 특히 건조후 평형상대습도가 약 65% 이하로서 평형함수율이 약 14% 이하인 것으로 추정되었다.

그림 4-36은 초음파센서로 측정한 곡물 퇴적고와 그 곡물의 양을 나타낸 것으로 시간에 따라 곡물 반입량과 현재의 곡물 퇴적고 및 재고를 정확하게 알 수 있었다. 그림에서 현 곡물의 퇴적고는 약 0.95m 그리고 곡물의 양은 약 8톤을 나타내고 있다.

그림 4-37은 건조를 시작한지 약 30시간후에 사일로내의 수평(바닥으로부터 약 30 cm 거리에서) 및 수직 위치에 따라 베타 함수율을 3반복하여 측정한 결과를 나타낸 것이다. 사일로벽으로부터 수평거리에 따라 함수율은 별 차이가 없었으나 중심부에서의 함수율이 벽지점보다 약 1%정도 높게 나타났다. 이는 사일로벽부분에 설치된 airway로부터 통풍이 잘되기 때문이라 생각된다. 또한 사일로 바닥으로부터 수직거리에 따라 함수율의 차이는 거의 없었다. 그림 4-38은 건조 시간이 35시간 경과한 후에 사일로내 수평 및 수직 위치에 따라 함수율을 측정한 것으로서, 수평 위치에 따른 함수율 차이는 전과 거의 비슷한 경향을 보였으나 수직 위치에 따른 함수율 차이는 바닥층이 상층에 비해 약 2-3% 더 낮게 나타났다. 이것은 이때에 곡물이 사일로에 추가로 반입되어 상하층과의 함수율 차이를 나타내고 있다. 이는 건조시간이 51시간 경과한 후에 함수율 차이를 분석한 결과인 그림 4-39에서도 같은 경향을 보였다.



그러나 이로부터 12시간이 경과한 건조시간 63시간째에는 그림 4-40과 같이 수직위치에 따른 함수율 차이는 약 1-1.5% 정도로 줄어들었으므로 교반장치의 교반효과가 나타나 상하층간의 함수율 차이가 점차로 줄어들음을 알 수 있었다.

그림 4-41은 시간에 따른 수평위치(바닥으로부터 30 cm 거리)에서의 함수율 변화를 나타낸 것으로서 수평위치에 따른 함수율 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

그림 4-42는 시간에 따른 수직위치 즉 바닥으로부터 높이에 따라 함수율을 측정된 결과 건조 초기에는 별차이가 없었으나 건조시간 34시간경에는 곡물이 추가로 반입되어 교반기에 의해 아직 충분히 섞이지 않았았기 때문에 상하층간에 함수율 차이가 많았으나 건조시간이 46시간 경과했을 때에는 상하층간의 함수율 차이가 약 1.5%로 줄어들었다. 이같은 사실로 볼 때 건조기간중에 교반기를 계속해서 가동하며 건조하면 상하층간의 함수율도 줄일 수 있고 곡물저항을 약 30% 정도 줄일 수 있기 때문에 건조시간도 단축시킬 수 있다.

그림 4-43은 시간에 따라 벽면지점에서의 함수율 변화를 수분센서를 이용한 간접측정방법과 시료채취기를 사용하여 시료를 전기저항식 수분측정기로 측정된 방법의 두 방법으로 측정된 것을 나타내고 있다. 두 경우의 함수율 값은 거의 비슷하게 나타났으나 함수율이 높은 경우에는 실제 측정치가 센서측정치보다 약간 높게 나타났으나 함수율이 낮은 경우에는 이 반대 현상이 나타났다. 이같은 현상은 그림 4-44와 같이 사일로 중심부에서도 거의 같은 현상이 일어났다. 그러나 센서측정치와 실제측정치간에 약 0.5%-1%이하의 편차를 보이면서 비교적 거의 비슷한 값을 나타냈다. 따라서 정전용량식 수분센서를 사용하여 곡물 건조 및 저장시에 함수율을 연속적으로 측정할 수 있음을 알 수 있었다.

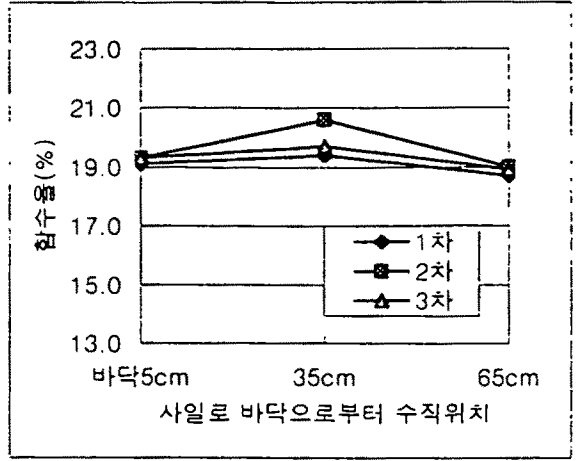
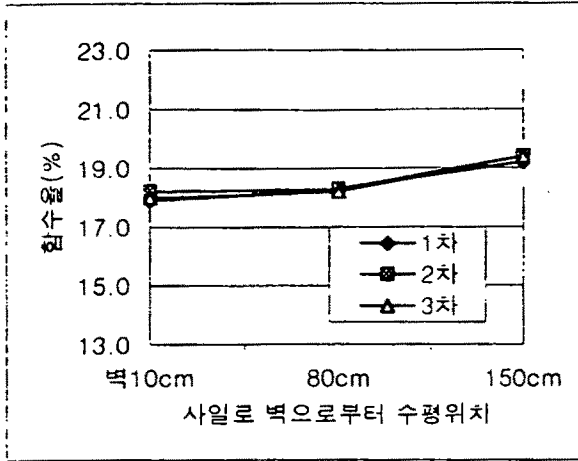


그림 4-37. 건조중 사일로내의 수평 및 수직위치에 따른 벼 함수율 차이 (건조시작후 30시간 경과후 10월 1일 오전 12시 측정함)

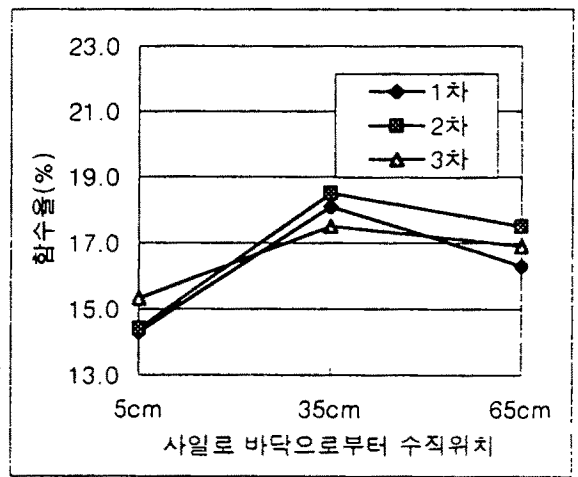
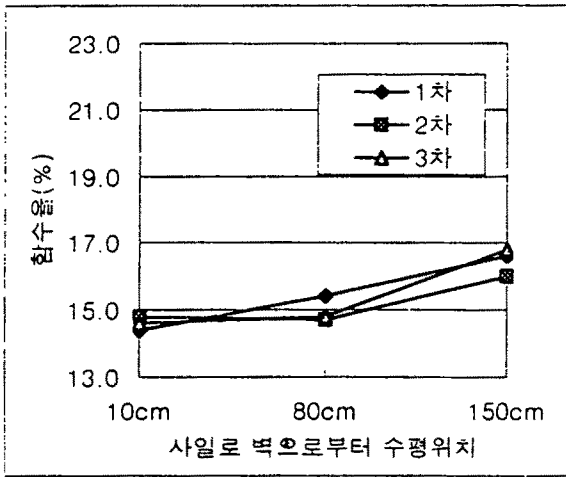


그림 4-38. 건조중 사일로내의 수평 및 수직위치에 따른 벼 함수율 차이 (건조시작후 35시간 경과후 10월 1일 오후 5시 측정함)

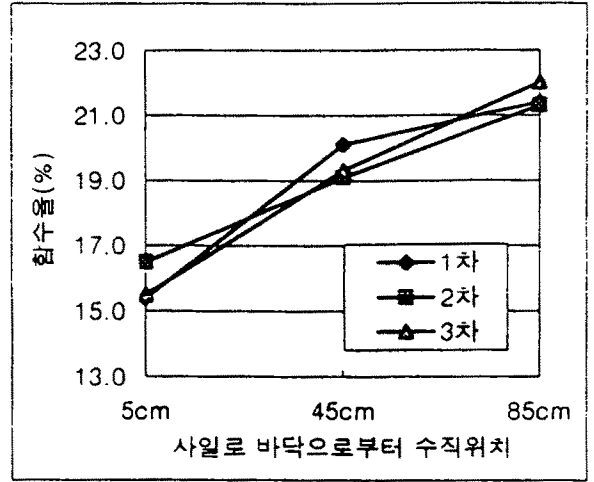
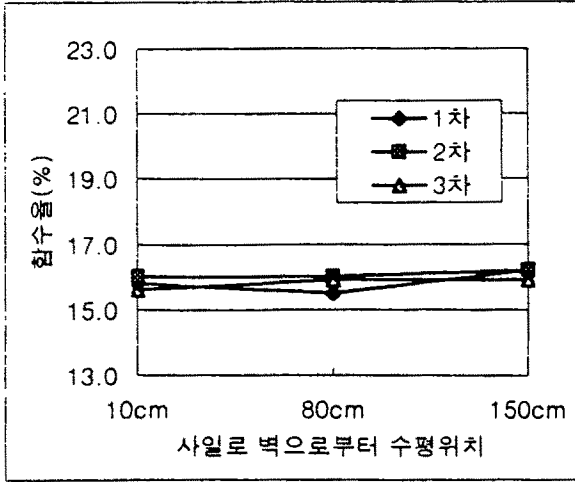


그림 4-39. 건조중 사일로내의 수평 및 수직위치에 따른 벼 함수율 차이  
(건조시작후 51시간 경과후 10월 2일 오전 9시 측정함)

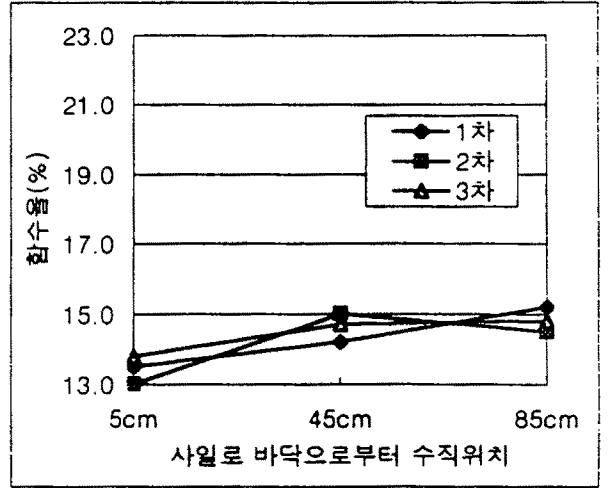
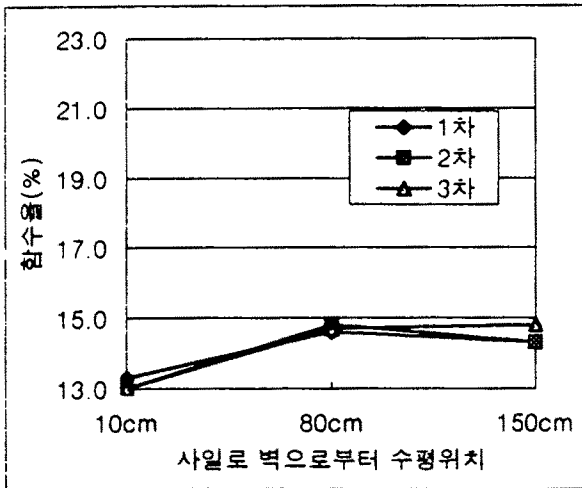


그림 4-40. 건조중 사일로내의 수평 및 수직위치에 따른 벼 함수율 차이  
(건조시작후 63시간 경과후 10월 2일 오후 9시 측정함)

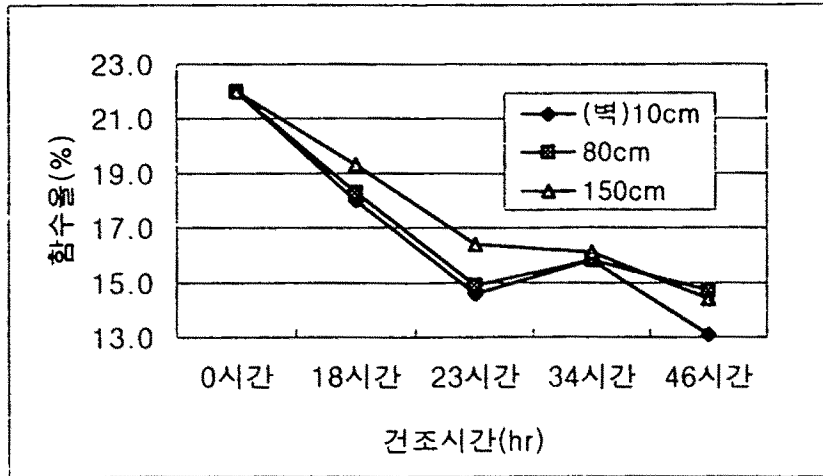


그림 4-41. 시간에 따른 수평위치에서의 함수율 변화

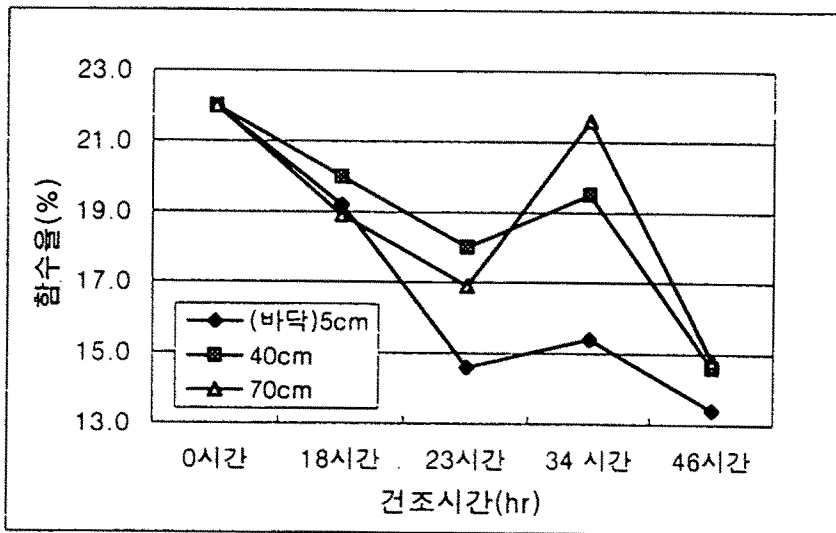


그림 4-42. 시간에 따른 수직위치에서의 함수율 변화

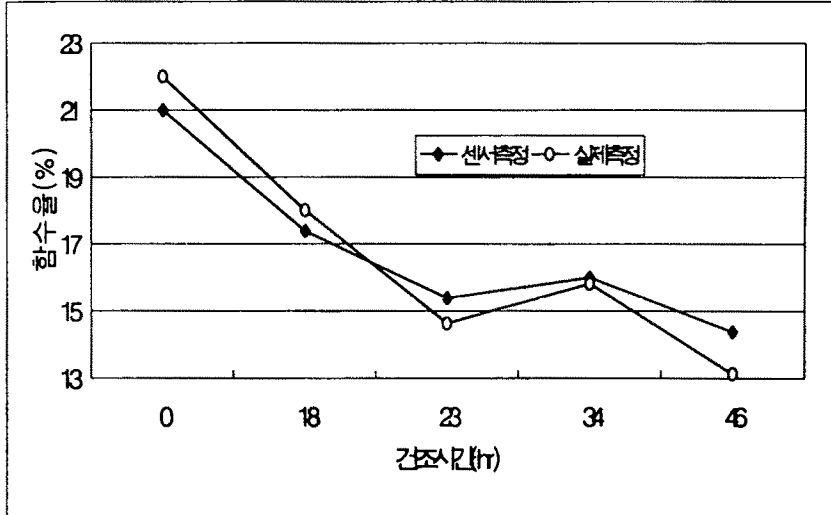


그림4-43. 건조중 정전용량식 수분센서와 실측치에 의한 벽면에서의 함수율 변화 비교

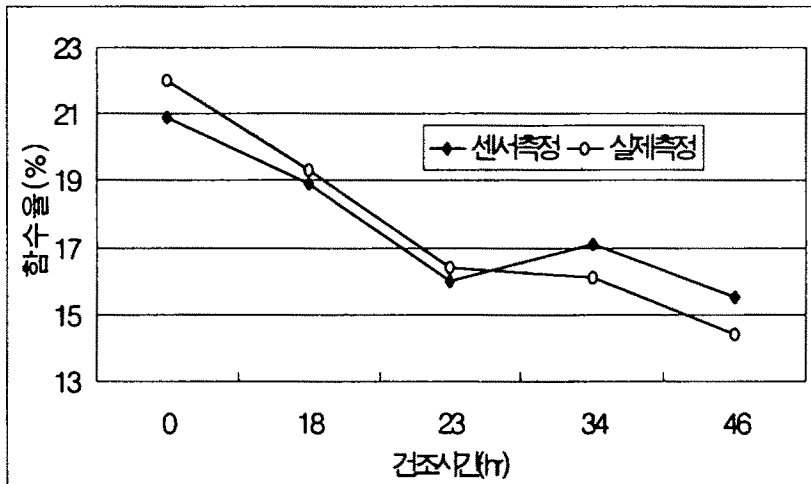


그림4-44. 건조중 정전용량식 수분센서와 실측치에 의한 중심부의 함수율 변화 비교

그림 4-45는 건조한 곡물을 약 3일간 통풍시킨 후 사일로내의 곡물의 온도 변화를 나타낸 것으로서, 통풍시에는 통풍 공기온도에 따라 곡온의 변화가 있었으나 통풍후 저장시에는 곡온이 대기온의 강하에 따라 점차 떨어지는 경향을 보였다. 그림 4-46는 같은 기간동안에 곡물의 평형상대습도, 평형온도 그리고 계산된 평형함수율을 나타낸 것인데, 곡물의 평형온도는 약 10도, 평형상대습도는 약 60-70% 그리고 평형함수율은 평형상대습도의 변화에 따라 약 13%에서 14% 범위에 분포하였다. 그림 4-47은 동일 저장기간 동안의 대기공기의 부패지수와 초음파센서로 측정된 사일로내의 곡물의 무게를 나타내고 있다. 공기부패지수는 고습도의 야간 시간과 비 올 경우에 약 10 이상의 높은 값을 나타내어 이 같은 조건에서는 통풍이 이루어지지 않도록 자동저장 모드에서 설정되어 있다.

### 3) 종합적 평가

사일로 건조저장시스템을 개발하고 자동화하여 곡물 건조 및 저장 실험을 한 결과, 개발된 시스템들이 효율적으로 잘 작동됨을 알 수 있었다. 그리고 추후 본 연구에서 개발한 곡물 냉각기를 사일로에 설치함으로써 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 개선시켜 곡물의 양적 및 질적 손실을 최소화하고 고품질의 쌀을 생산하고자 하였다.

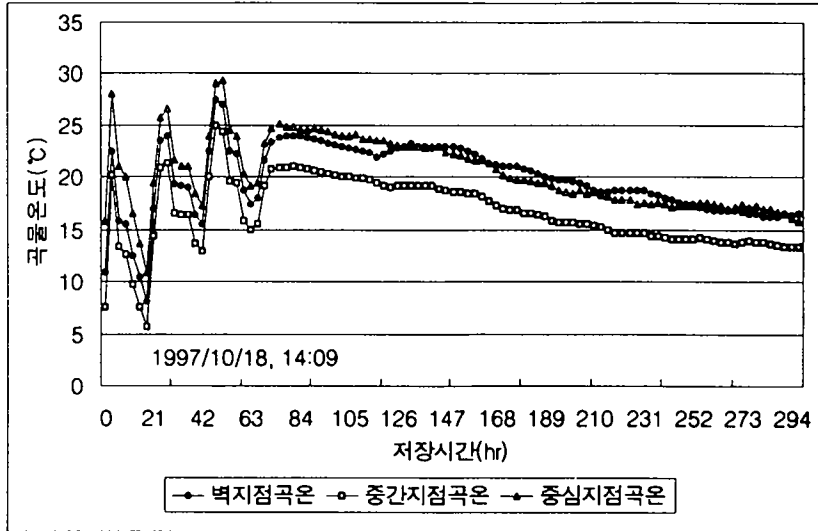


그림4-45. 저장중 사일로내의 곡물 온도 변화

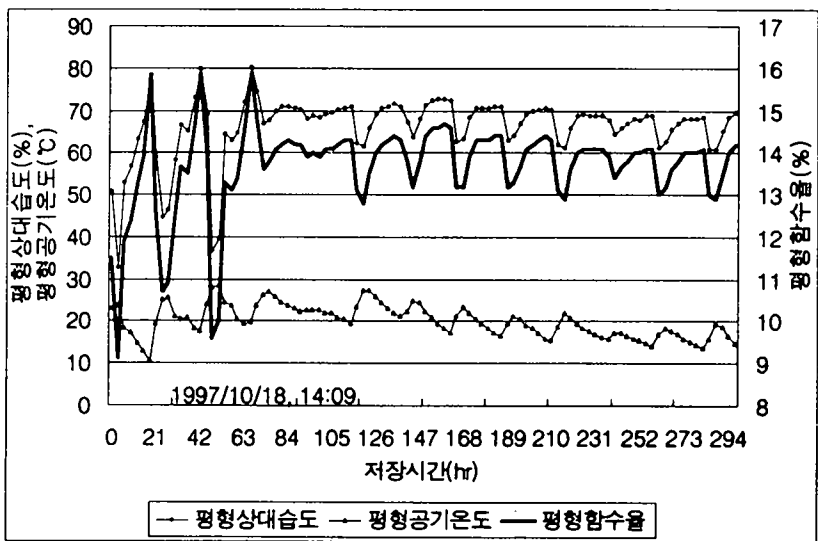


그림4-46. 곡물의 평균상대습도, 평균온도 및 평균습수율

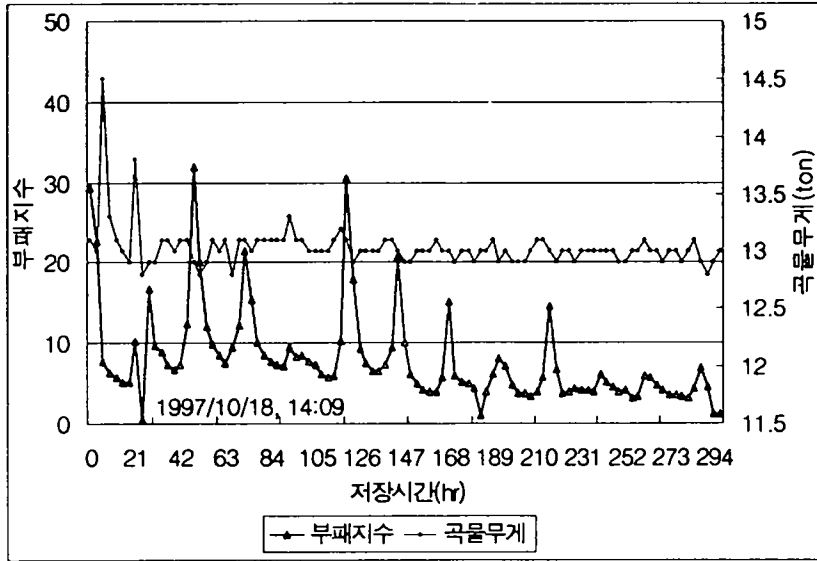


그림4-47. 공기부패지수 변화와 사일로내 곡물 무게



## 제 4 절 결론

곡물 사일로에서의 곡물을 안전하게 저장하고 자동으로 곡물을 관리하기 위해서 PC를 이용한 저장건조시스템을 다음과 같이 개발하였다.

1. 사일로내의 곡물 퇴적고를 측정하여 곡물량을 알기 위해서 초음파센서를 이용한 곡물 퇴적고 자동측정장치를 개발하였다. 실제로 측정한 곡물 퇴적고와 초음파 센서를 사용해 측정한 곡물 퇴적고간의 상관관계는 0.9999 이상으로 매우 높아서 곡물 퇴적고를 자동으로 정확하게 측정할 수 있었다.

2. 사일로내에서 곡물을 적정 조건에서 저장하고 건조하기 위해서 곡물의 상태를 연속적으로 모니터링하고, 자동으로 부속장치들을 제어할 수 있는 저장시스템의 소프트웨어 및 하드웨어를 개발하였다. 이에 곡물의 온도, 함수율, 평형상대습도, 공기실의 온도 및 상대습도, 외기의 온도 및 상대습도들을 연속적으로 계측하였고, 외기의 부패(통풍)지수 및 평형함수율 등을 추정할 수 있었으며, 사일로 부속장치들을 개발된 저장 및 건조 기준의 프로그램에 의거 자동 작동되도록 하였다.

3. 개발된 시스템의 프로그램은 자동계측, 수동제어, 자동건조, 자동저장, 자료출력 등의 5개의 주메뉴로 구성하여 개발하였다.

4. 사일로 중심부 및 내벽에서 정전용량식 수분센서를 이용하여 함수율 약 0.5%의 오차범위에서 저장중 곡물의 함수율을 연속적으로 측정할 수 있었으며, 건조중에는 함수율 약 0.5%-1%의 오차범위에서 함수율을 측정할 수 있었다.

5. 곡물 저장시 곡물의 평형상대습도와 평형온도를 측정하여 Henderson의 평형함수율식을 이용해 곡물 함수율을 추정한 결과는 정전용량식 수분센서에 의해 측정한 함수율 보다 더욱 더 정확함을 알 수 있었다.

6. 개발된 시스템에서 곡물을 건조한 결과, 교반의 효과가 뚜렷하여 상하층간의 함수율 차이가 약 1% 내외로 적게 나타났다.

7. 사일로 저장건조시스템을 개발하고 자동화하여 곡물 건조 및 저장 실험을 한 결과, 개발된 시스템들이 효율적으로 잘 작동함을 알 수 있었다.

# 제 5 장 곡물 공기이송시스템의 개발

## 제 1 절 서론

현재 전국적으로 건설하고 있는 미곡종합처리장에 곡물 이송장치로서 버킷엘리베이터, 체인컨베이어 등이 주로 사용되고 있다. 이들은 시설비용이 높고 많은 노동력을 요하며 시설기간도 길다. 이러한 이유들이 미곡종합처리장, 농가 및 마을 단위의 위성건조저장시설들을 설치하는데 큰 제약 요인이 되고 있다. 그리고 이들은 이송장치로서 유동성이 없으며 외부에 설치되기 때문에 내구성 역시 짧은 것이 단점이다. 특히 체인 컨베이어와 같은 경우 곡립들이 체인에 끼여 깨짐으로써 곡립의 질적 및 양적 손상이 많고, 버킷엘리베이터에서도 양적 손실이 많다. 또한 곡물 사일로안에 있는 곡물을 배출시 완전하게 배출하지 못하기 때문에 공기로 흡인하여 완전 배출하는 공기이송장치가 절실히 요구되고 있다. 현재 미국이나 캐나다 등지에서는 곡물을 사일로에 반입 및 반출하거나 이송시키는데 공기이송시스템을 많이 사용하고 있다. 우리나라에서도 최근에 미국의 DMC사의 공기이송장치를 수입해 미곡종합처리장에 설치하여 사용하고 있으나 이들 시설이 옥수수 이송용이고 고가이어서 우리 실정에 알맞는 다목적 공기이송계량시스템을 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 사일로내의 잔곡을 처리하고, 곡물을 공기로 원하는 장소로 자유로이 이송시키며 동시에 계량할 수 있는 다목적 곡물 공기이송시스템을 개발하고자 하였다.

## 제 2 절 연구사

공기식 이동장치의 장점은 1) 상대적으로 설치비용이 적게 든다. 2) 기계적으로 간단하다. 3) 수송통로는 일정치 않아도 되며 분기할 수 있다. 4) 수송통로를 쉽게 바꿀 수 있다. 5) 여러가지 물질을 운반할 수 있다. 6) 별도로 세척할 필요가 없다. 단점은 높은 동력이 요구되고, 운반되는 물질에 손상을 줄 수 있다. 공기 이송방법에는 흡인식, 압송식, 흡인 겸 압송식의 3가지 방법이 있다.

Alden(1959)이 추천한 공기속도는 보리가 1,500-2,000 m/min, 옥수수 및 밀이 1,500-2100, 소금 1,700-2,300, 모래 1,800-2,700, 톱밥이 1,200-1800 이다. 일반적으로 곡립은 20-25 m/min의 공기속도가 품질에 손상을 주지 않는 적정 범위라고 알려지고 있다(농산가공기계학,1990). 소요공기의 유량  $Q_a$  (m/min)는 소요운반량  $Q$ (ton/h), 공기의 비중  $r$  (약 1.2 kg/m) 및 반송량과 공기유량과의 혼합비  $R$ 에 따라 달라진다.

$$Q_a = 1000 * Q / (60 * r * R) = 13.9 * Q / R$$

반송관 내에서는 여러가지 요인에 의하여 기류의 압력강하가 일어난다. 즉, 공기의 관벽마찰에 의한 에너지 손실, 관내에 있어서의 반송재료 중량에 기인하는 압력, 관과 재료의 마찰에 의한 에너지 손실, 입자 상호간의 마찰에 의한 에너지 손실, 재료의 가속에 요하는 에너지, 수송관의 입구, 출구, 및 벤트에서의 공기와 재료의 에너지 손실 등의 요인을 들 수 있다.

운반되는 물질은 독립된 입자 하나 하나 씩으로 또는 집단상태로 관의 바닥을 따라서 미끄러지거나, 구르거나, 벽의 바닥에 튀거나 하여 공기중에 완전히 부유된 채 이동된다. 수평운반시에는 자유비행중의 한 입자는 가속을 받고 있고 중력에 의해 수직력을 받고 있다면 움직이는 공기에 의해 수평힘을 받게 된다. 만일 입자가 미끄러진다면 자체의 중량, 마찰계수, 입장에 가해지는 이동 공기에 의한 힘에 의해서 입자에 대한 가속방정식을 유도할 수 있다. 동시에 입자 표면의 공기의 흐름은 양력을 생기게 해서 입자중량의 영향을

감소시킨다. 입자가 관 바닥에 충돌할 때에는 구르거나, 튀거나 혹은 구름과 미끄러짐의 복합작용이 일어날 것이다. 입자가 튀어 오를 때 입자에 하방향으로 힘을 주는 경향을 가진 마그너스(Magnus) 효과 때문에 입자는 큰 회전력(Seglar에 의해 2,000 rpm으로 관측)을 받아 가속도 또는 감속도의 상태에 있게 된다.

수평운동에 대해서 완전하게 만족시킬 수 있는 소요동력 계산법은 규명되지 않고 있으나, 소립의 곡률 운반에 관한 다음의 방법들이 보고된 바 있다. Gasterstadt는 수평 및 수직운동에 있어서 다음과 같은 압력강하식을 제안하였다.

$$\text{수평운동: } M = P * ( R / K + 1 ), \quad \text{수직운동: } M = P * ( 1 + 0.32R )$$

여기서, M: 공기와 물질의 혼합체에 의한 압력강하, mmAq

P: 공기에 의한 압력강하, mmAq

R: 혼합비, 무차원,

K: 공기속도에 의해서 결정되는 실험상수

Seglar는 공기가 비압축성이라고 가정하고 수평관에 있어서 다음과 같은 공기 압력강하식을 제안하였다.

$$P = f * ( L/D ) * ( V^2/2g ) * ( r/5.2 )$$

여기서, P: 공기압력강하, mmAq,      L: 관의 길이, m

D: 관의 직경, m      V: 공기속도, m/sec

r: 표준공기의 비중량, kg/m<sup>3</sup>      f: 항력계수, 약 0.02-0.03

### 제 3 절 재 료 및 방 법

곡물을 공기로 흡인하여 동시에 계량하고 계량된 곡물을 원하는 장소로 이송시킬 수 있는 장치를 설계하고 제작하였다. 또한, 이 시스템으로 사일로 내의 잔곡들을 흡인하여 완전 배출시킬 수 있도록 다목적의 이동형 공기이송 계량장치를 개발하고자 하였다. 본 시스템은 이송능력 최대 15톤/시간, 계량 능력은 20톤/시간으로 제작하였다. 본 시스템은 대형 블로어, 로터리 밸브, 호퍼스케일, 소음기, 공기실린더, 공기필터, 사이클론, 압력게이지, 공기컴프레서, 제어판넬 등으로 구성하였다. 블로어의 풍량은 25 cmm, 정압은 4000 mmAq, 동력은 45 kW, 회전속도는 1470 rpm, 모델은 SP150이었다. 로터리밸브는 직경 300 mm, 길이 370 mm로 제작하였으며, 구동동력은 3마력으로 하였다. 사이클론은 직경을 720 mm로 하였으며, 소음기는 직경 320 mm, 길이 1600 mm로 2조를 제작하였다. 호퍼스케일의 계량기에 사용된 로드셀의 용량은 1.5 - 150 kgf 이었으며, 자동개폐를 위해 1마력의 공기컴프레서가 사용되었다. 또한 공기 압력게이지의 용량은 0.5 - 76 kg/cm<sup>2</sup>이었다.

공기이송장치에 부착된 호퍼스케일로 곡물의 계량은 1회 20 kg로 설정하여 이송장치의 로터리밸브에 일시에 걸리는 부하를 줄이고 가능한 연속적으로 곡물을 이송시킬 수 있도록 하였다.

공기이송장치의 성능을 평가하기 위해서 이송장치의 투입구와 배출구에서 Kanomax사의 열선풍속계를 사용하여 각각 압력과 공기속도(풍량)를 측정하였다. 그리고 곡물 이송실험을 위해서 공기이송장치의 투입구에 직경이 12.7 mm인 고압호스 15 m를 연결하였고, 출구부에는 길이 30m 의 동일 고압호스를 연결하였다.

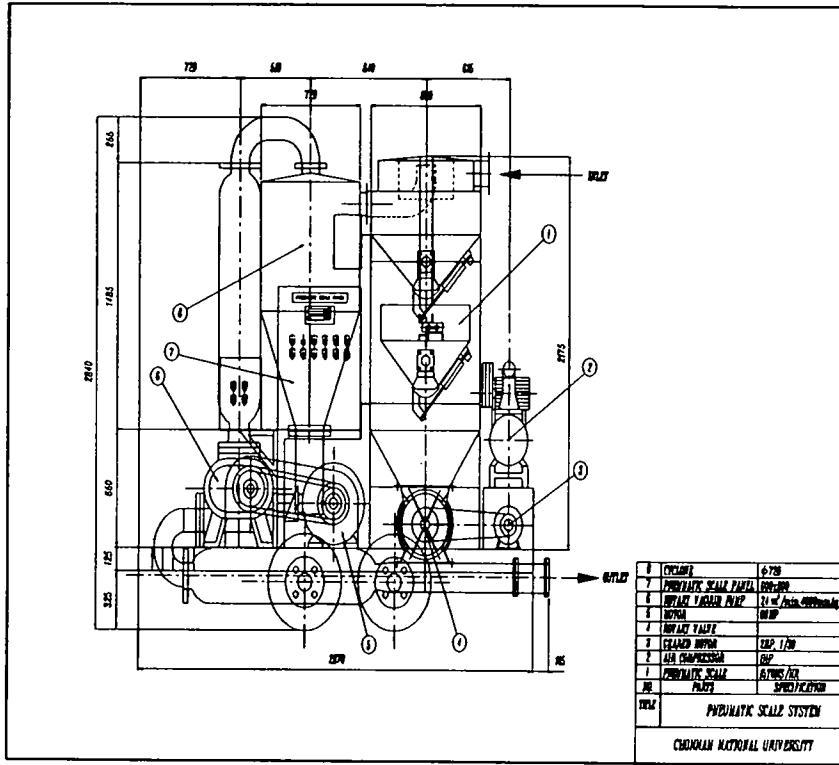


그림 5-1 곡물 공기이송시스템의 구조도

## 제 4 절 결과 및 고찰

### 1. 곡물 공기이송시스템의 특징

곡물을 흡인 및 압송하여 이송시키며 동시에 계량할 수 있는 다목적 공기이송계량시스템을 다음의 그림 5-1과 같이 개발하였으며, 본 장치의 주요부 특징 및 성능은 다음 표 5-1과 같다. 기초 성능시험을 한 결과, 원래 목표하던 바 약 10-15 ton/h의 이송능력을 갖었으며, 계량능력도 최대 20 ton/h으로 나타나 이송하면서 계량하는데 별 문제가 없었다. 또한 이송장치에 집진용 사이클론이 설치되어 있어 먼지 등의 집진을 별도로 할 수 있어서 공기이송장치의 최대 단점인 집진 문제를 해결할 수 있었다. 개발된 공기이송계량시스템의 외형사진은 다음과 같다.

표 5-1 개발된 곡물 공기이송계량시스템의 특징 및 성능

구 분	사 양	비 고
이송 물질	물벼, 진벼, 보리, 밀, 등의 곡물	흡인, 압송, 계량, 및 집진 가능
이송 능력	10-15 ton/h	압송식 경우: 20ton/h이상
이송 방법	흡인 겸 압송식	
계량 능력	20 ton/h	10-100 kg/batch
구동 동력	50 kW	진공펌프 용량: 25cmm, 4000mmAq
전 원	220/380x3Px60Hz	
외형 치수	2870x800x2840	
흡입 능력	10t/h	
압송 능력	20t/h 이상	최대 34m/s, 25 cmm

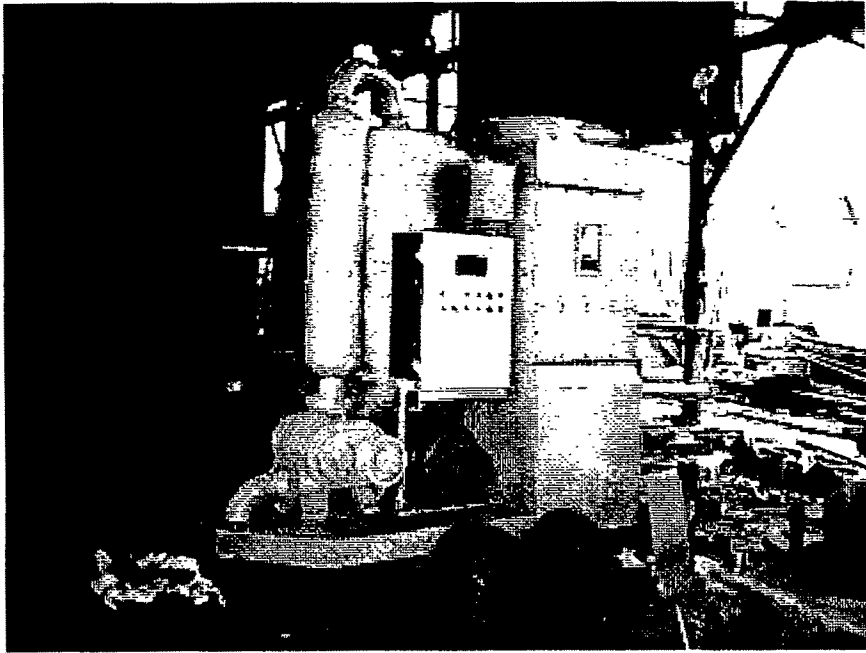


사진 5-1 개발된 공기이송계량시스템

## 2. 곡물 공기이송시스템의 성능평가

개발한 곡물 공기이송시스템을 이용하여 곡물을 계량하면서 곡물을 흡입한 후 수평방향으로 30 m의 장소까지 압송하는 실험을 실시하였다. 약 15%의 곡물을 흡입하여 압송하는 경우에는 흡입능력이 압송만의 경우에 비해 약 절반까지 이송능력이 떨어져 최대 흡입능력은 약 10t/h 이하로 나타났다. 그러나 흡입하지 않고 직접 압송하는 경우에는 이송능력이 최대 계량능력인 약 20t/h 이상에 달하였다. 그러나 고압호스관에서 풍속을 약 34 m/s로 하는 경우에는 약 3%의 곡립이 탈부되는 현상이 발생되었다. 이에 진공펌프의 회전속도를 줄여 이송관내의 공기속도를 약 25 m/s로 할 경우에는 곡물의 탈부현상을 막을 수 있었다. 곡물 이송거리 및 함수율에 따라 압력손실이 변하므로 공기속도 및 풍압을 적절히 조절할 수 있는 풍량조절 밸브가 필요하였다.

따라서 본 연구에서 개발한 곡물 공기이송시스템으로 사일로내의 잔곡을 손쉽게 처리하고, 흡입된 곡물을 원하는 장소에 보낼 수 있었다. 특히 본 장



치에는 계량기가 설치되어 있고 이송용이어서 곡물을 계량하면서 손쉽게 이송시킬 수 있었다. 곡물의 종류, 곡물 이송거리, 수직 또는 수평 이송, 및 함수율에 따른 적정 공기속도, 품질 및 소요동력에 대한 연구를 계속 수행할 예정이다.

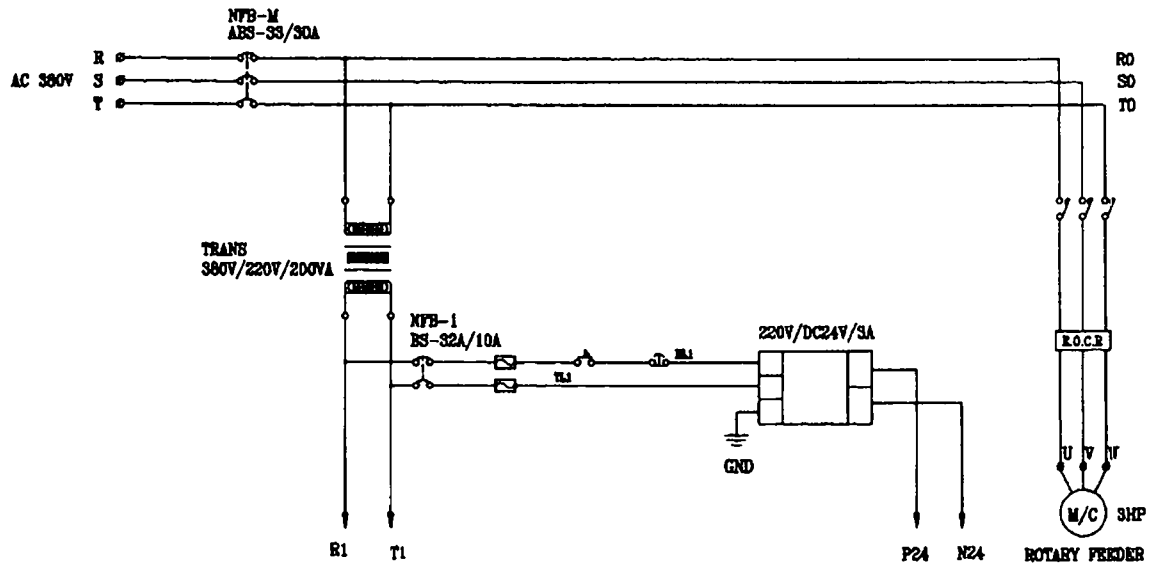
## 제 5 절 결론

사일로내의 곡물을 배출시 사일로에 남는 잔곡 문제를 해결하고, 곡물을 원하는 장소로 손쉽게 이송시키기 위해서 곡물 공기이송시스템을 개발하였다. 구체적 연구 결과는 다음과 같았다.

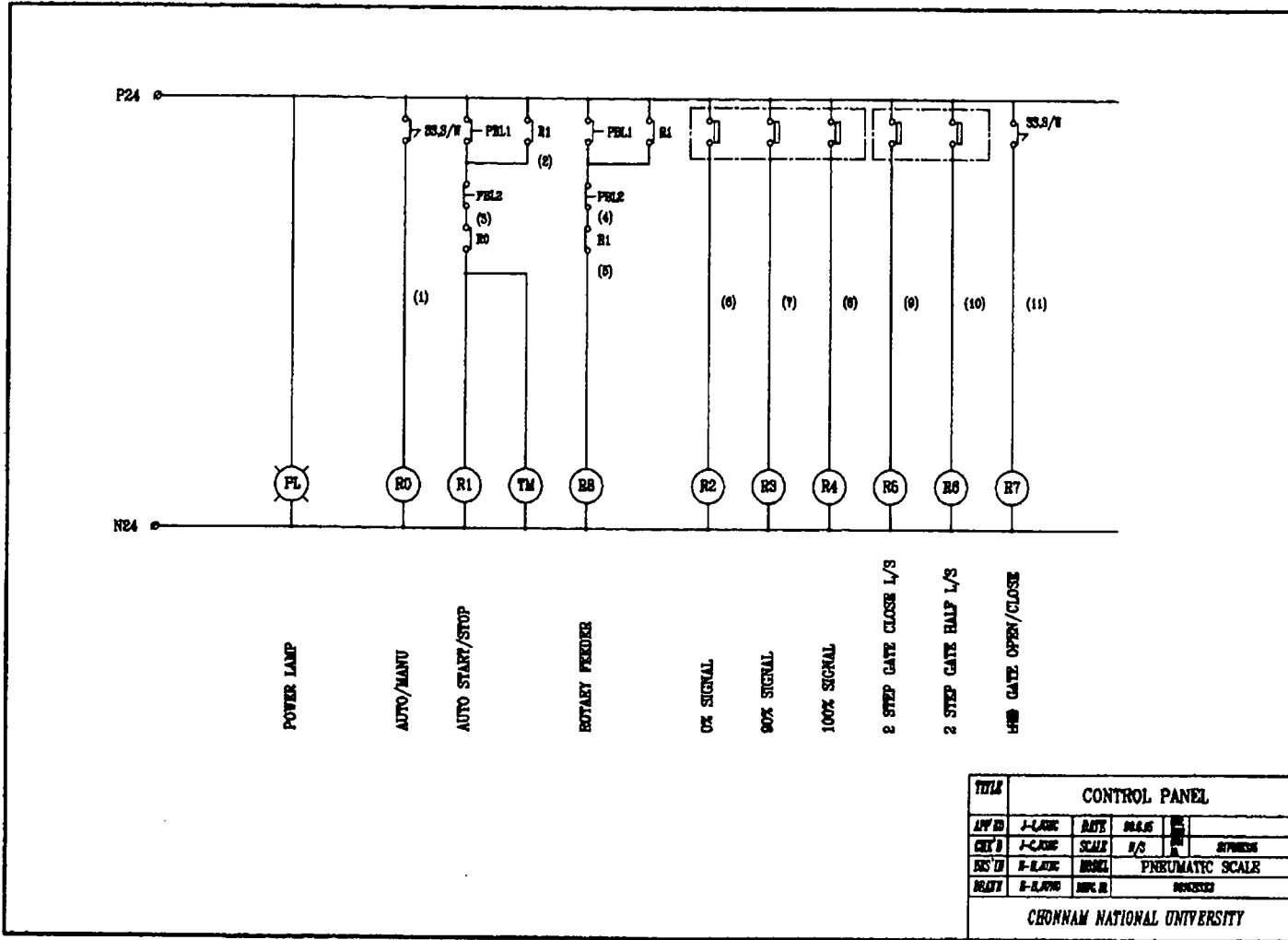
1. 곡물을 흡인하여 계량한 후 곡물을 원하는 장소로 이송시킬 수 있는 흡인 겸 압송식의 다목적 곡물 공기이송계량시스템을 개발하였다. 본 장치는 진공펌프, 구동모터, 로터리밸브, 호퍼식 자동계량기, 집진용 사이클론, 소음기, 공기컴프레서 등으로 구성하였다. 본 장치의 흡인 능력은 약 10 t/h, 압송능력은 20 t/h 이상 그리고 계량능력은 최대 20 t/h 이었다.

2. 함수율이 14.5%인 곡물을 수평방향으로 약 30 m 이송시 고압호스관내의 공기속도가 약 34 m/s 일 때에는 곡립들이 약 3% 이상 탈부되는 손상이 있었으나, 공기속도를 약 25 m/s 이하로 하여 곡물을 이송할 경우에는 곡물의 손상이 없었다. 이에 곡물 이송거리, 곡물의 함수율, 수평 또는 수직 및 굴곡 정도 등에 따른 압력손실 및 품질손상을 고려하여 곡물 이송에 적합한 공기의 적정속도를 구명하는 연구가 지속적으로 요구되었다.

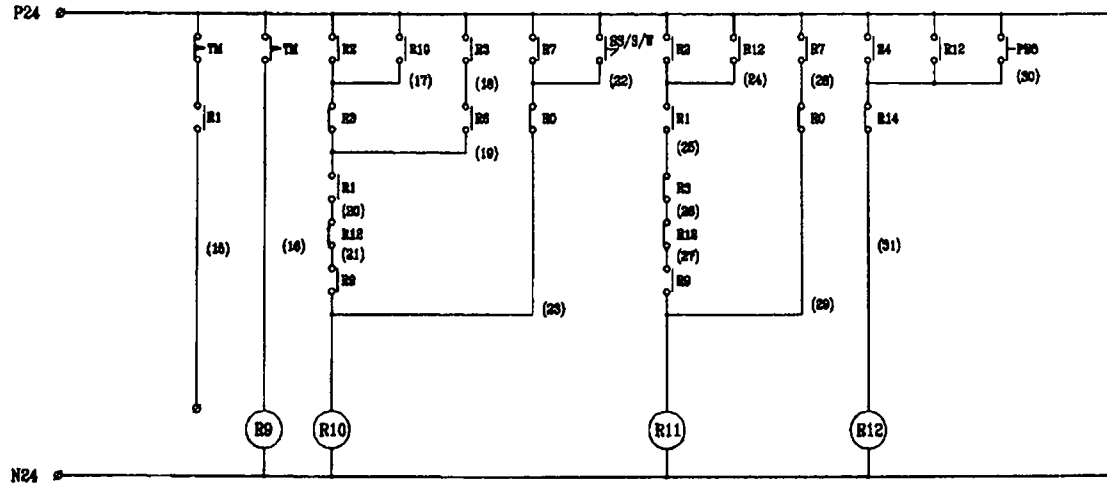
그림 5-2 곡물 공기이송장치의 전기회로도



TITLE					
CONTROL PANEL FLOW					
APP'D	D-CLASS	DATE	SCALE	REV	
CHK'D	D-CLASS	SCALE	R/S		REVISED
DES'N	D-CLASS	NOVEL	PNEUMATIC SCALE		
DATE	D-CLASS	NOV. 11	REVISED		
CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY					



TITLE					
CONTROL PANEL					
APP'D	J-LAKE	DATE	04.15		
CHK'D	J-LAKE	SCALE	0/S		07/08/2008
DES'D	J-LAKE	MODEL	PNEUMATIC SCALE		
BLT'D	J-LAKE	REV. NO.	0000000		
CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY					



AUTO ZERO

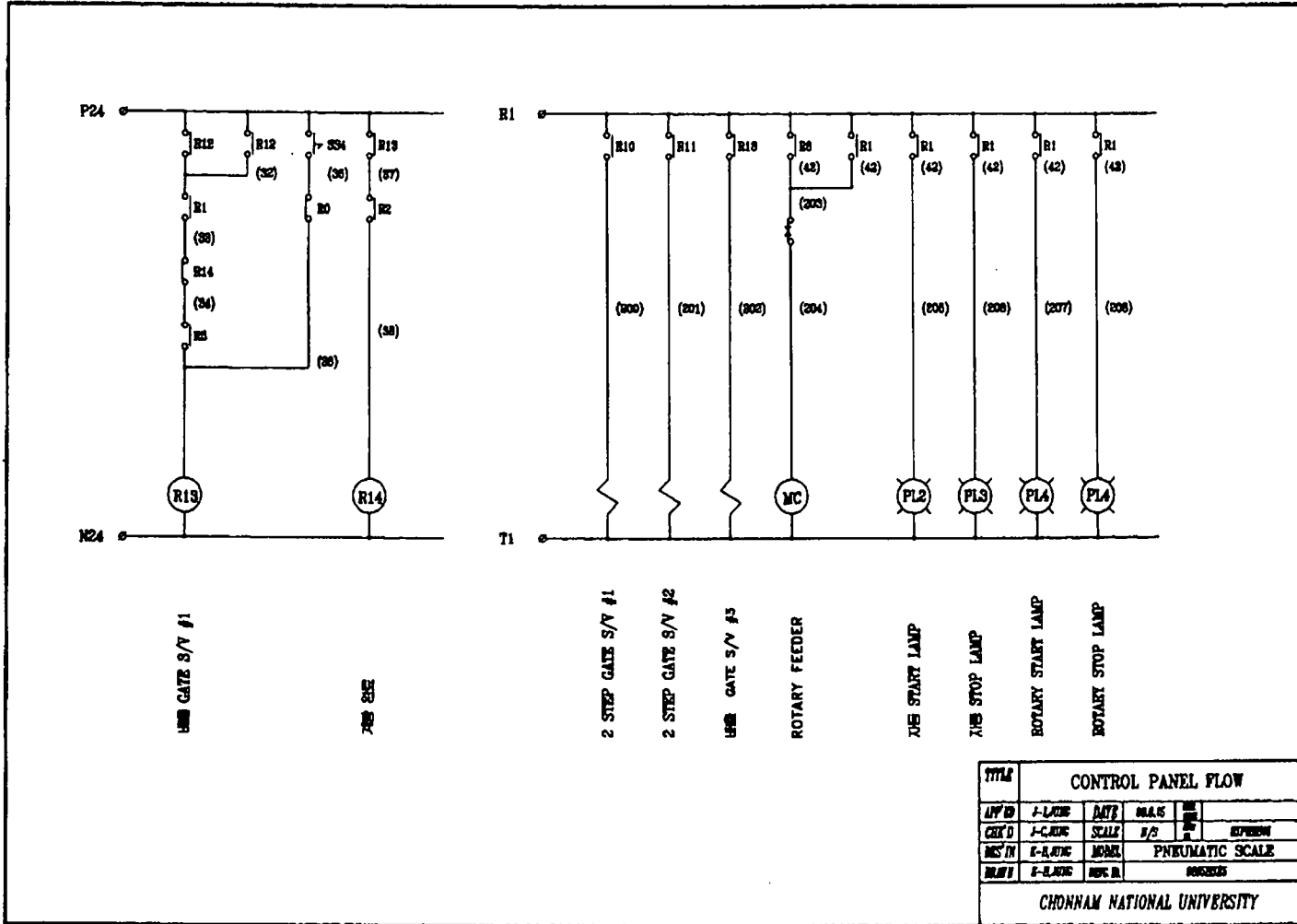
2ND START

2 STEP GATE S/V #1

2 STEP GATE S/V #2

2ND END

TITLE					
AP'D	J-LINE	DATE	SCALE	REV	
CHK'D	J-LINE	SCALE	S/S	REV	2/PAGES
DES'N	F-LINE	NOVEL	PNEUMATIC SCALE		
DRAWN	F-LINE	NOV. 62	NOVEMBER		
CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY					



TITLE					
APP'D	F-L-CHK	DATE	SCALE	REV	
CHK'D	F-C-CHK	SCALE	S/S		REVISION
DES'N	F-A-CHK	MODEL	PNEUMATIC SCALE		
REV'N	F-S-CHK	REV. N.	000000		
CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY					

# 제 6 장 곡물 냉각시스템의 개발

## 제 1 절 서언

최근에 고품질의 쌀을 생산하기 위해서 전국적으로 미곡종합처리장을 건설하고 있는데, 곡물 건조저장시설로서 곡물 사일로를 설치하고 있다. 사일로는 시설비용이 적고 관리하기에는 편리하나 대기의 영향을 많이 받아 사일로 내의 곡물 온도가 상승하고 일교차가 심할 때에는 결로현상이 생길 수 있다. 이에 사일로에 우레탄과 철판으로 단열처리하고 있으나 시설비용이 많이 들고 많은 노동력을 요하고 있다. 또한 일부에서는 사일로 용접에 의한 부주의로 우레탄에 불이 붙어 사일로내의 곡물이 타버린 경우도 있다. 특히 사일로를 단열하지 않을 경우에는 여름철에는 사일로내의 공기온도가 50도 이상이 되고 곡물의 온도도 25-30도 이상까지 상승하므로 사일로에 적절한 단열처리와 중저온 저장시스템의 개발이 절대적으로 요구되고 있다.

곡물을 안전하게 저장하고 품질을 최상으로 유지하기 위해서는 곡물의 중저온 저장이 필수적으로 필요하다. 특히 최근에 곡물 저장시설로서 곡물 철판 사일로를 많이 설치하고 있어서 곡물의 관리가 매우 중요하다. 왜냐하면 여름철에는 우리나라 평균 상대습도가 80%이상이고 곡물의 온도가 고온으로 상승하여 곡물이 부패하기 쉽기 때문이다. 이에 본 기관에 설치된 50톤 용량의 곡물 사일로용 중저온 저장시스템을 개발하기 위해서 약 20,000 kcal/h 이상의 냉각능력을 갖는 곡물 냉각기를 개발하고자 하였고 적정 단열처리방법을 개발하고자 하였다.

## 제 2 절 연구사

### 1. 사일로 단열처리

여러가지 자료를 조사한 결과, 미 NASA 등에서 액체산소 배관의 단열에 사용되고 있는 단열 코팅제(Temp coat, SW-270)가 내화성 및 내마모성이고 경량이며 저렴한 액상형 단열재로서 곡물 사일로 단열에 사용 가능하리라 생각되었다. 또한, 이 액상형 단열재는 성능시험 결과 물리적으로 표면접착력이 높고 단열효과가 좋으며, 부식방지 및 결로방지 그리고 무독성의 우수한 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 특히 0.8 mm두께의 이 단열재로 코팅한 결과 50 mm 두께의 스티로폴(USA R-20(R-5/in) Styrofoam)보다 단열효과가 있다고 보고된 바 있다.(Applied Technical Services, INC. Certified Test Report, Jan 21, 1993). 다음 표 6-1 단열코팅제의 물리화학적 특성을 나타낸 것이다.



표 6-1 단열 코팅제(Temp-coat)의 특성

시험 항목		단 위	결 과 치	시 험 방 법		
화합물 (성분)	$Al_2O_3$	%	8.24	I.C.P 분석법		
	$CaO$	%	8.60			
	$Fe_2O_3$	%	0.43			
	$K_2O$	%	3.40			
	$MgO$	%	0.18			
	$MnO$	%	0.09			
	$Na_2O$	%	3.10			
	$TiO_2$	%	5.71			
	$ZnO$	%	4.94			
		$SiO_2$	%	50.5	XRD	
열전도율		$W/m \cdot K$	0.062	국립건설시험소		
		$W/m \cdot K$	0.090	Calcoat Analytical ITC,1992		
		$W/m^2 \cdot K$	3.6659	Calcoat Analytical ITC,1992		
일률성	인장강도	$kg_f/cm^2$	6.3	KS F3211-90 (속도 : 200mm/min)		
	신장율	%	17			
	인열강도	$kg_f/cm^2$	2.8			
	불휘발분	%	55	KS M 5000-90		
	비중	-	0.72			
	저온	지속	분	45	KS F 4715-92	
		고착	HR	1		
경화		HR	1 1/2			
물리성	저온안전성		-	이상없음		
	초기건조에 따른 잔잔림		-	이상없음		
	표면	철판	표준양생	$kg_f/cm^2$	2.5	KS F 4715-92
			저온양생	$kg_f/cm^2$	1.9	
		물탈	표준양생	$kg_f/cm^2$	2.9	
			저온양생	$kg_f/cm^2$	2.0	
	내잔갈림성		-	이상없음		
	내충격성		-	이상없음		
	온냉반복에 대한 저항성		-	이상없음		
	흡수성		cm	0.2		
	흡수량		g	0.7		
	내마모성		mg	76.5	ASTM D 4060 (Wheels : CS-10 250g×500회)	
	내알칼리성		-	이상없음		
	내후성 (Sunshine Carbon × 150hrs)		-	이상없음	KS F 4715-92	
내습성(50±2℃×9 5%)×360시간		5±	-	이상없음	의뢰자제공	
저출	탁도		도	0.5	KS D 8052-91 (용출조건 : 200×70×2cm) ×100ml×20±1℃×24시간)	
	색도		도	1.0		
	과망간산칼륨소량		mg/l	0.5		
	잔류염소의 감량		mg/l	0.7		
	냄새		-	이상없음		
	맛		-	이상없음		
	시안		mg/l	검출안됨		
	페놀류		mg/l	검출안됨		
아민류		mg/l	검출안됨			

(자료: 한국화학시험연구원 시험성적서 1995, 국립건설시험소, Calcoat Analytical ITC,1992)

## 2. 곡물 냉각기

최근 들어서 농업기술의 발달과 첨단 장비들이 대거 등장함으로써 농업의 생산성이 높아지고, 그 생산량도 많아짐에 따라서 곡물 등의 농산물을 오랫동안 품질의 저하 없이 보관할 수 있는 방법이 계속 연구되어 오고 있다.

곡물을 고온이 아닌 저온으로 냉각하는 것은 1927년 독일에서 Reimann에 의해 처음으로 제기되었다. 그 후 1950년에 프랑스의 Leory에 의해 곡물 함유율을 20%에서 16%로 건조하기 위한 냉각시스템이 제안되었다.

1958년 초에 냉각공기 건조시스템이 독일에서 판매되었고, 1961년 독일의 Escher-Wyss사에서는 냉각공기 공급팬과 증발기코일, 압축기, 응축기, 냉각팬으로 구성된 매일 50톤 정도의 냉각용량을 가진 냉각기를 제조하여 상업화하였다.

Burrell과 Laudon(1967)은 곡물냉각에 대한 연구를 발표하였는데, 곡물에 진드기나 곰팡이의 침입을 막기 위해서는 냉각기의 증발기코일을 지난 공기의 상대습도를 조절을 위해서 재가열이 필요하였는데, 약 2~4℃ 정도의 온도를 상승시키기 위해서 압축된 냉매의 일부를 사용하여 재가열하였다. 냉매의 열 뿐만 아니라 응축기 팬과 모터에 의해서 발생하는 열도 재가열하는데 이용되기도 하였다. 곡물냉각은 수확한 곡물을 건조할 때까지 저장을 하는데에서 발생할 수 있는 손실을 줄일 수 있었고, 냉각시 필요한 냉각공기의 양은 곡물체적의 750~1,120배라고 보고하였다.

미국의 Purdue 대학에서는 1970년에 상업용 냉각기를 제작하였다. 이 냉각기는 냉각공기의 온도 및 상대습도가 자동으로 조절되도록 하였으며, 이를 위해 증발기 다음에 재가열기를 설치하였다. Purdue-AAG 냉각기는 증발기 후에 독립적인 글리콜 순환에 의해 냉각공기에 열을 가한다. 이것은 복잡한 냉매의 흐름제어와 바이패스 기구를 없앴으로써 냉각기를 단순화하였다. 또한 증발기를 통하는 공기량을 조절하기 위해서 모터를 단 댐퍼를 사용하여 공기량과 냉각공기 온도를 최적화하였다.

Sutherland 등(1970)은 호주에서 밀을 냉각하기 위해 냉각공기를 사용하였다. 호주에서의 공기온도는 대기를 통풍시켜서 해충을 없애기에는 너무 높기 때문에, 그들은 1,000톤의 용량과 직경 6.5m, 높이 26m로 된 콘크리트 저장고에서 곡물 상층부에 설치된 센서로 곡물의 온도가 18℃이상으로 올라가면 냉각기의 압축기가 작동되도록 하였다. 곡물의 85%가 두 달 안에 18℃이하의 온도로 감소하였지만, 저장고 꼭대기의 콘크리트 벽을 통한 열전도 때문에 6개월 동안 냉각하는 데에 지장이 되었다. 이러한 현상은 해충의 수가 증가하는 결과를 낳았기 때문에 전력비용을 줄이기 위해서는 저장고를 단열하는 것이 더욱 효과적이라고 보고하였다. Sutherland(1986)는 아주 더운 지역에서 냉각공기의 사용을 10년 동안 연구하였는데, 공기를 냉각하여 통풍시키는 것은 대기 온도가 상당히 높을 때 필요하다고 보고하였다.

Hunter와 Taylor(1980)는 Sutherland의 실험에 이어, 호주의 기후조건에서 5cm 단열된 벽과 폴리우레탄을 뿌린 2.5cm 지붕이 있는 철제 저장고에서 냉각공기의 재순환으로 아주 천천히 온도를 감소시키면서 원하는 온도 수준으로 화학약품을 사용하지 않고 저장시킬 수 있었다고 하였다.

Maier 등(1988)은 태국에서 상온통풍을 이용하여 저장할 경우 곡물의 온도를 25℃ 이하로 낮춰 저장하기가 어렵다는 것을 알 수 있었다. 그러나 다단계 방법을 이용한 곡물 냉각기를 사용하여 증발기의 공기온도를 처음엔 12.5℃까지 낮춘 다음 곡물의 상대습도를 조절하기 위해 재가열기를 사용하여 17.5℃까지 증가시킨 후, 다시 냉각된 공기온도를 증발기에서 8.5℃로 낮춰 재가열 코일로 최종 14℃의 냉각된 공기온도를 만들었다. 이러한 냉각공기로 1,000톤의 저장고에서 곡물을 완전히 냉각시킬 수 있었고, 상층부와 하층부의 온도차이는 냉각공기에 의해서 최소화할 수 있었다.

Maier 등(1989)은 상업용 냉각기를 이용하여 미국 서부지역에서 4~6℃의 온도 조건으로 18%의 함수율인 옥수수 7개월 동안 저장 실험하였고, 1992년에는 통풍과 저장시스템을 개발하였다. 이 시스템으로 곡물의 상태와 곡물 냉각기의 작동을 연속적으로 모니터링할 수 있었다.

Maier 등(1992)은 Purdue Agronomy Research Center에서 여름에 표준형 곡물 냉각기를 실험하였는데, 178톤 짜리 저장고에서 곡물깊이가 2.1 m이고 저장온도가 18℃에 15%의 함수율에서 옥수수를 냉각저장할 수가 있었다. 또한 독일의 Escher-Wiss사가 제작한 KK140의 온도와 상대습도의 변화를 실험한 결과, 두 가지 모두 설정한 범위에서 출구공기온도는 표준편차가 ±1.8℃였고, 출구공기상대습도는 표준편차가 ±3%로서 작동이 잘 되었다고 하였다.

Palo Alto(1992)는 캘리포니아에서 냉각공기의 이용을 활성화하기 위해 현장실험을 하였다. 냉각기는 압축기, 응축기, 증발기, 재가열코일로 구성하였으며, 냉각기의 냉각용량은 댐퍼를 움직여 증발기코일을 지나는 공기량을 조절하였다. 곡물의 해충관리방법으로서 훈증소독법, 연속적인 공기조화, 진공처리, 간헐적인 냉각처리를 사용하였는데, 이중에서도 냉각통풍방법이 유용하였고, 가을과 여름에 남부 캐롤라이나(Carolina)에서 99%, 텍사스에서 98%의 비율로 곤충의 수를 줄였다고 하였다.

Palo Alto(1995)는 여름에 1,000톤의 용량인 두 개의 철제 저장고에서 냉각 실험을 하였다. 외기 통풍에 비해서 냉각을 통한 감량손실에 따른 절약정도는 전기적 비용을 포함하여도 10 kg당 1.3센트로 나타났고 1,000톤의 곡물을 냉각할 때에는 총 1,215달러가 절약되었다.

수많은 냉각기 제조자들이 신중히 고려하고 있는 것은 에너지가 부족한 요즘 시대에 맞도록 저비용, 고효율의 냉각기를 제작하는 것에 있는데, 전기보다는 1차 연료에 의해서 운전되는 시스템이다. 한가지 가능한 개발은 낮은 열원에 의해 작동되는 잇점을 갖는 흡수냉각시스템<sup>1)</sup>을 사용하는 것이고, 어디서나 이용가능하고 수명을 예상할 수 있는 태양에너지를 이용하는 것인데, 이러한 것은 에너지가 부족한 시대에 시스템을 경제적으로 만들 수 있을 것이다 (Lazzarin, 1981).

곡물을 냉각시키기 위한 냉각공기의 송풍량은 최소한 곡물 1 m<sup>3</sup> 당 0.08 cmm(m<sup>3</sup>/min)에서 최고 0.8 cmm 이하가 권장되고 있다.("미국종합처리시설",

고학균 외) 그리고 냉각시간은 냉각 중에 곡물의 평형함수율을 기준으로 냉각공기를 공급하기 때문에 다음과 같은 식을 사용하여 구할 수 있었다. 여기서 곡물의 비열( $C$ )은 함수율이 23%일 때  $1.67 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ 이었다.

$$t = \frac{W_g C_g (\theta_{initial} - \theta_{final})}{G_a \rho_a C_a (\theta_{initial} - T_{inlet})}$$

여기서,  $t$  : 냉각시간(hr),  $W_g$  : 곡물의 질량(kg),  $C_g$  : 곡물의 비열( $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ ),  
 $G_a$  : 풍량( $\text{m}^3/\text{minm}^3$ ),  $\rho_a$  : 공기의 밀도( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $C_a$  : 공기의 비열( $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ ),  
 $\theta_{initial}, \theta_{final}$  : 곡물의 초기 및 최종온도,  $T_{inlet}$  : 냉각공기 온도

다음 표는 한 회사의 곡물 냉각기의 사양과 특징을 나타낸 것이다.

표 6-2 곡물 냉각기의 사양

<b>MODEL</b>	<b>CS-15HA</b>
<b>AVERAGE COOLING CAPACITY</b>	80 ton/day
<b>FLOW VOLUME OF THE COLD AIR</b> at a static pressure of:	
100 mmAQ	80 CMM
73 mmAQ	73 CMM
58 mmAQ	58 CMM
<b>COMPRESSOR COOLING CAPACITY</b> at $+30^\circ\text{C}$ condensing temp. and $0^\circ\text{C}$ evaporating temp.	47900 Watt 41300 Kcal/H
<b>CONNECTED LOAD</b> compressor cold air fan condenser fan electromagnetic heater power supply	15 HP 7 1/2 HP 2×2 HP 5 KW 220V×150A×3P
<b>CHILLED AIR OUTLET <math>\emptyset</math></b>	300/400 mm
<b>DIMENSIONS</b>	
L	260 cm
W	150 cm
H	180 cm
<b>WEIGHT</b>	1700 kg

1) 냉매증기를 흡수제라는 액체에 흡수시켜 그 액체를 고압으로 압축하는 시스템

## 제 3 절 재료 및 방법

### 1. 사일로 단열처리

본 연구에서 단열코팅제로 사용된 Temp-Coat의 물리적 및 열적 특성은 표 6-2와 같다. 이 단열코팅제의 열전도율은 국립건설시험소에서 분석결과(1995) 0.06  $W/m \cdot K$  이었고, Calcoat Analytical ITC(1992)에서 분석한 결과 0.09  $W/m \cdot K$  로 나타났다. 백색의 단열코팅제를 동력식 스프레이어를 사용하여 사일로 내벽에 약 0.8 mm로 도포하였고, 사일로 밑부분인 공기실은 사일로 외벽에 단열코팅제를 도포하였다. 그리고 사일로 외부에는 우레탄으로 단열하였다. 따라서 본 연구에서는 이를 곡물 사일로에 처리하여 그 단열효과를 구명함으로써 이용 가능성을 판단하고자 하였다.

### 2. 곡물 냉각기의 개발

#### 가. 곡물냉각에 대한 이론적 분석

단열코팅제로 단열된 50톤 용량의 사일로에서 30℃의 곡물 40톤을 15℃이하로 곡물을 냉각시킬 때 냉각부하, 압력손실, 냉각시간에 대하여 분석하였다.

#### 1) 냉각부하 산출

가) 사일로벽으로 들어오는 열( $Q_1$ ) :

사일로 외벽에 우레탄으로 단열한 바, 이는 열전도계수( $k$ )가 약 0.06  $W/m \cdot ^\circ C$ 인 스티로폴 3cm의 단열효과를 가진다고 보고되고 있다. 이같은 조건에서 외부 공기의 온도를 35  $^\circ C$ 이라 할 때 사일로 외부로부터 전도되는 열량은 다음과 같다.

$$Q_1 = \frac{kA\Delta T}{1,000 \times d} = \frac{0.06 \times (\pi \times 4.5 \times 5 + \pi \times 2.25^2) \times (35 - 15)}{1,000 \times 0.03} = 3.5 \text{ kW}$$

$k$  : 우레탄의 열전도계수(W/m℃),  $A$  : 저장고의 표면적( $m^2$ ),  
 $\Delta T$  : 외기와 곡물의 온도차이(℃),  $d$  : 저장고 벽의 두께(m)

나) 냉각열량( $Q_2$ ) :

곡물 40톤을 15℃로 냉각한다고 하면 곡물자체가 가지고 있는 열을 제거해야 한다. 여기서 곡물의 비열(C)을 함수율이 23%일 때 2.1 kJ/kg℃이라하고, 곡물의 최고온도를 35℃로 가정할 때 하루에 곡물을 냉각시키는데 필요한 냉각열량은 다음과 같다.

$$Q_2 = \frac{M \times C \times \Delta T}{3,600 \times 24} = \frac{40 \times 10^3 \times 2.1 \times (35 - 15)}{3,600 \times 24} = 15.5 \text{ kW}$$

$M$  : 곡물 전체 무게(kg),  $C$  : 곡물의 비열(kJ/kg℃),  
 $\Delta T$  : 외기와 곡물의 온도차이(℃)

다) 호흡열( $Q_3$ ) :

벼는 자체적으로 호흡열을 연속적으로 발산하는데 이 호흡열은 초기 냉각할 때와 저장하는 동안에 계속적으로 냉각시켜야 할 요소이다. 호흡열은 보통 다음과 같은 식으로부터 알 수 있다.



실험에 의하면 벼의 호흡량은 매일 곡물 1톤당 376 kcal의 호흡열은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



벼의 호흡량은 하루에 0.01%의 건물손실이 발생할 경우 매일 곡물 1톤당 약 376 kcal이므로, 호흡열은 다음과 같이 나타낼 수 있다.(N.J.BURRELL 1982)

$$q = \frac{q_g \times 4.2}{24 \times 1,000} = 0.066 \text{ kJ/kg.h} \quad q_g : \text{곡물 1톤당 호흡열(kcal)}$$

$$Q_3 = \frac{M \times q}{3,600} = 0.733 \text{ kW}$$

$M$  : 곡물의 질량(kg),  $q$  : 곡물의 호흡열량(kJ/kg.h)

총냉각부하( $Q$ ) :  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 19.8 \text{ kW}$

이에 안전계수 등을 고려하여 여유있게 하면 최소한 냉각기의 냉각능력이 25 kW정도가 되도록 결정하였다.

## 2) 압력손실 산출

곡물 전체 체적은 곡물이 잘 다져져 있다면 다음과 같은 식으로부터 알 수 있다.

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{40 \times 10^3}{600} = 66.7 \text{ m}^3$$

여기서, M : 곡물 전체무게(kg),  $\rho$  : 곡물의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

냉각공기를 곡물 1 m<sup>3</sup>당 약 0.1 cmm의 송풍비로 곡물 40톤에 공급할 경우 최저송풍량은 다음과 같이 요구되었다.

$$Q = 0.1(\text{cmm}/\text{m}^3) \times 66.7(\text{m}^3) \approx 6.67 \text{ cmm}$$

사일로 직경이 4.5 m이고 곡물이 40톤일 때 사일로 내의 곡물사이로 통과하는 냉각공기의 겉보기 속도는 다음과 같았다.

$$\text{곡물을 통과하는 공기의 속도} : \nu = \frac{Q}{A \times 60} = 0.007 \text{ m/s}$$

여기서, Q : 곡물을 통과하는 냉각공기량(m<sup>3</sup>)

A : 사일로 바닥의 면적(m<sup>2</sup>)

이같은 속도에서 잘 다져진 곡물의 경우 압력손실이 곡물 높이 1 m당 2 mmAq이었다. ( "농산가공기계학", 고학균 외, p256 ) 따라서 본 사일로에서 곡물 40톤의 퇴적고는 총 4 m이므로 전체의 압력손실은 8 mmAq(80 pa)일 것으로 예상된다.

이 외에 곡물의 공극률과 바닥의 천공비율에 따른 압력손실은 무시할 만 하였다. 따라서 곡물 냉각기의 냉각공기가 갖는 압력은 약 8 mmAq이상은 되어야 할 것으로 판단되었다.

곡물의 총 압력손실  $\Delta P_{st} \approx 8 \text{ mmAq}$



## 나. 냉각기의 이론적 설계

냉각기는 그림 6-1과 같이 기본적으로 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기 등으로 구성된다. 본 냉각기는 25 kW이상의 냉각능력을 갖는 압축기를 기준으로 압축기의 자체성능평가서에 의해 냉매22(프레온)로서 응축기(Condenser)의 응축온도가 43℃이고 증발기(Evaporator)의 증발온도가 4℃인 표준증기압축사이클로 작동할 때 25 kW이상의 냉각능력을 갖게 된다. 따라서 응축온도와 증발온도를 결정하여 다음과 같은 냉각기를 설계하고자 하였다.

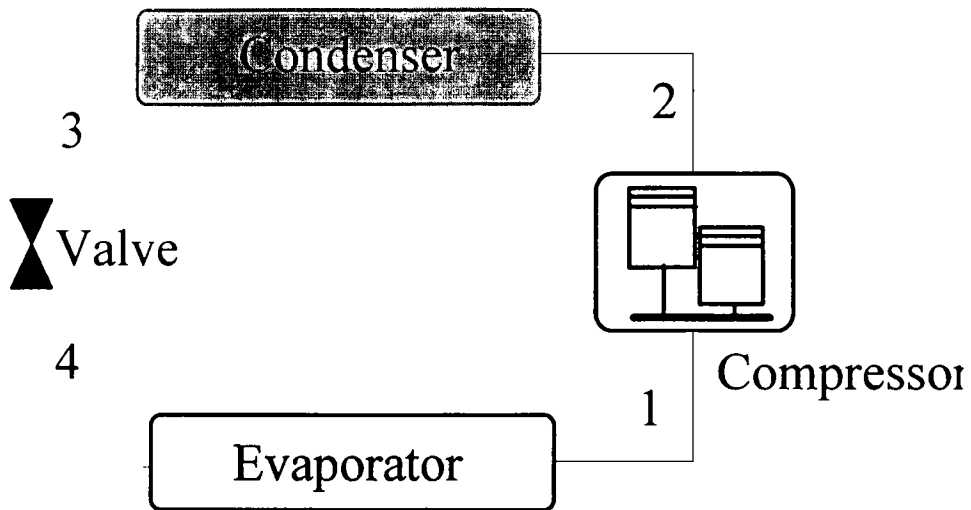


그림 6-1 곡물 냉각기의 주요부 구성

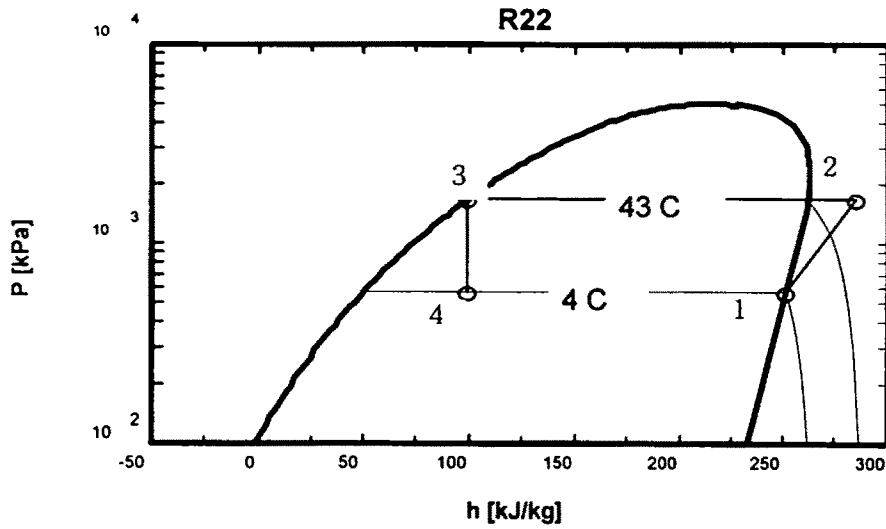


그림 6-2 곡물 냉각기의 P-h 선도

본 설계에서 설정한 응축온도와 증발온도를 기준으로 EES(Engineering Equation Solver)라는 프로그램을 이용하여 설계값들을 구한 결과, 냉각기 각 지점에서의 냉매 성질, 특히 압축기 입출구 및 응축기의 출구에서의 냉매 엔탈피 값들은 다음 표와 같았다.

표 6-3 시뮬레이션으로 분석한 냉각기 각 지점의 특성치

Chiller Position	Enthalpy H[i][kJ/kg]	Pressure P[i][kPa]	Entropy S[i][kJ/Kkg]	Temperature T[i][°C]	Quality x[i]
[1]	251.5	565.5	0.921	4	1.000
[2]	284.6	1648.2	0.941	68	
[3]	98.3	1648.2	0.354	43	
[4]	98.3	565.5	0.369	4	0.242

이상의 값들을 이용하여 증발기의 냉각능력을 나타내주는 냉각효과

를 엔탈피의 차이로서 나타낼 수 있었다.

$$\text{냉각능력} : h_1 - h_4 = 153.1 \text{ kJ/kg}$$

냉각능력을 25 kW로 설계할 경우 최소냉매유량은 다음과 같이 요구되었다.

$$\text{냉매유량} = \frac{\text{냉각부하}}{\text{냉각능력}} = \frac{25}{153.1} = 0.163 \text{ kg/s}$$

그리고 표 6-3에서처럼 냉각기 각 주요부에서의 냉매 특성치를 기초로 주요부를 다음과 같이 분석하여 용량, 크기, 동력 및 모델 등을 선정하였다.

### 1) 압축기(Compressor)의 선정

압축기의 동력은 이론적으로 냉매의 엔탈피와 예상되는 냉매의 유량을 이용하여 산출할 수 있는데 본 냉각기에 필요한 동력은 다음과 같았다.

$$\text{동력}(P) = m \times (h_2 - h_1) = 5.43 \text{ kW}$$

이에 실제로 사용되는 압축기의 동력은 효율을 고려하여 5.6 kW의 모델 GR90KI-TFC 왕복식(반밀폐식)을 선정하였다. 선정된 압축기의 성능에 따른 실제 냉매의 최대 유동량(G)은 다음과 같았다.

$$G = \eta_v \frac{V_{dis}}{v_1} \frac{RPM}{60} : \text{질량 유량 [kg/s]}$$

$$\eta_v = 1 - 0.045 \left( \frac{v_1}{v_2} - 1 \right) : \text{체적효율}$$

$$V_{dis} = \text{배제체적 [m}^3/\text{rev]}, \text{ 압축기의 공극비}(\lambda) = 0.045$$

$$v_1, v_2 = \text{압축기 입출구 비체적 [m}^3/\text{kg]}$$

$$\text{따라서, } G = 0.924 \times \frac{177.44 \times 10^{-6}}{0.04403} \times \frac{3,500}{60} = 0.217 \text{ [kg/s]}$$

이것은 25 kW의 냉각능력에 필요한 냉매의 유량보다 크므로 압축기 냉각능력은 충분하리라 사료되었다. 압축기에 의해 발생하는 열량은 5 kW이고, 압축기의 냉각용량은 압축기 제작회사의 자체성능평가서에 따라 28 kW라는 것을 알 수 있었다.

성능계수(COP)는 유용한 냉각능력을 순수한 일로 나눈 것으로서 본 냉각기

의 성능계수는 다음과 같았다.

$$\text{성능계수(COP)} : \text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = 4.61$$

냉각기에 사용될 공급팬은 실외공기를 냉각기로 흡수하여 이를 다시 증발기로 불어 넣어주는 역할을 하는 장치로서 적절한 풍량과 풍압이 요구되었다. 그리고 건조시에는 상온통풍의 송풍비로 약 2 cmm/m<sup>3</sup>이 사용되므로 곡물 40톤(66 m<sup>3</sup>) 건조시 필요한 송풍량을 공급해 줄 수 있는 흡입팬이 요구되었다. 이에 흡입팬은 최대송풍량이 120 cmm으로서 최대풍압이 100 mmAq인 3.7 kW의 동력을 갖는 원심팬을 선정하였다. 냉각기 출구의 냉각공기 온도에 따라 온도조절기에 의해 공기조절댐퍼를 자동으로 움직임으로써 흡입되는 공기의 양을 조절하도록 하였다.

## 2) 응축기(Condenser) 선정

응축기(condenser)는 압축기의 고온·고압의 포화증기를 응축기팬에 의해 식혀줌으로써 포화액체로 변환시키는 곳으로, 핀의 총괄열전달계수(U)값이 28 kcal/m<sup>2</sup>h°C인 corrugated plate 핀이 부착된 코일을 선정하였다.

응축기코일에 의해 배출될 열량은 응축기 이전의 압축기에 의한 마찰열과 자체용량에서 발생되는 열량으로서 총열량은 33 kW이고, 응축기의 냉매와 응축기를 통과하는 공기사이의 평균온도차이(LMTD)를 실험자료에 의해 약 14°C로 가정하였다. 직교류 열교환기에 대한 수정계수(F)에 의해 필요한 응축기의 표면적(A)을 다음과 같이 산출하였다.

$$q = 33 \text{ kW}, \quad \Delta T = 14^\circ\text{C}$$

$$\text{수정계수} : F = 0.85 \text{ ( J. P. HOLMAN, 1992, "HEAT TRANSFER", P540 )}$$

$$\text{핀의 면적} : A = \frac{Q}{UF\Delta T} \approx 90 \text{ m}^2$$

따라서 최소한 90 m<sup>2</sup>이상의 면적을 갖는 corrugated plate 핀이 부착된 코일이 요구되었다. 여기서 수정계수(F)란 핀에서 일어나는 대류

등의 현상을 고려한 계수이다.

### 3) 증발기(Evaporator) 선정

증발기는 직접 냉각될 공기와 접촉하는 장치로서 냉각능력이 결정될 수 있는 곳으로서 면적과 크기의 결정이 무엇보다 중요하였다. 선정된 형식은 공냉식 직접팽창증발기로서 증발온도는 약 4℃가 되게 하며, 핀의 총열전달계수(U)값이 28 kcal/m<sup>2</sup>h℃인 corrugated plate 핀이 부착된 코일을 선정하였다. 곡물 냉각기의 증발기 냉각능력이 25 kW정도 인 냉각기를 만들기 위해 증발기 표면적을 다음과 같이 산출하였다.

냉각능력 25 kW의 부하를 갖는 냉각기의 냉각부하량(q)은 22,429 kcal/h이고, 증발기의 온도변화를 실험자료에 의해 약 14℃로 가정할 때, 직교류 열교환기이고 두 유체가 혼합되지 않는 경우에 대한 수정 계수(F)를 고려하여 공기가 증발기에서 잃는 열량(q)으로 증발기의 표면적(A)은 다음과 같이 구할 수 있었다.

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}, \quad R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad : t \text{ (공기)}, T \text{ (냉매)}$$

P : 대수온도차, R : 공기온도차에 대한 냉매온도차

F = 0.83 (수정계수, J. P. HOLMAN, 1992)

ΔT = 14℃

$$q = UFA\Delta T = 28(\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}) \times 0.83 \times A(\text{m}^2) \times 14(^\circ\text{C})$$

$$\text{핀의 면적} : A = \frac{q}{UF\Delta T} \cong 69 \text{ m}^2$$

따라서 충분한 냉매가 흐를 경우 핀의 면적이 최소한 69 m<sup>2</sup>정도의 plate 핀이 부착된 코일을 선정하면 25 kW의 냉각능력은 충분히 발생할 것으로 사료되었다.

### 4) 팽창밸브(Expansion valve) 선정

팽창밸브는 온도조절 팽창밸브를 선택하였다. 팽창밸브는 증발기에서 응축기의 고압포화 액체냉매를 증발기로 들어가기 전에 저압으로

증발시키기 시작하는 곳으로 증발속도에 비례하여 액체 냉매의 유량을 조절한다. 온도조절 팽창밸브는 센서부분이 증발기 입구에 붙어 있어서 증발기의 온도를 감지하여 냉매유량을 조절한다. 선택한 팽창밸브의 모델은 ALCO사의 TCLE 7-1/2 HW 100 64형이었다.

## 다. 냉각기의 시뮬레이션

### 1) EES를 이용한 시뮬레이션

냉각능력이 28 kW에 해당되는 응축온도 43℃, 증발온도 4℃인 것을 기준으로 하여 여름철 가장 더울 때의 온도인 최고 35℃와 평균상대습도 80%의 조건에서 곡물 냉각기에 필요한 냉매의 유량, 총 냉각능력, 성능계수, 압축기의 일, 응축기에서의 발열량 등을 예측하며, 응축온도와 증발온도, 압축기 비가역성(효율)을 변화시키면 냉각능력과 압축기의 일 등의 시스템 성능의 변수를 예측할 수 있는 시뮬레이션을 EES(Engineering Equation Solver)를 이용하여 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램에서는 압축기 입구를 1, 응축기 입구는 2, 응축기 출구를 3, 증발기 입구를 4로 각각 지정하여 T\_s선도와 P\_h선도를 나타내었으며, 각 지점의 냉매의 온도와 압력, 엔탈피, 엔트로피, 공기의 밀도, 내부압력, 성적계수, 냉각능력, 응축수의 비율 등의 상태를 추정하도록 하였고 응축기와 증발기에서 냉매의 압력강하는 무시하였다.

### 2) 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 실행한 결과 냉각기의 냉각능력과 응축기의 발열량, 성적계수 및 주요부의 냉매 엔탈피 및 온도, 냉각공기의 상대습도를 아래 결과와 같이 얻을 수 있었다. 냉각된 공기의 온도는 송풍량이 약 8 cmm 일 때 4.1℃로 예상할 수 있었다. 그러나 이것은 최소한의 송풍량일 경우이고 재가열을 하지 않은 상태이므로 실제로는 약간의 온도상승을 예상할 수 있었다. 이 자료를 기초로 냉각기 주요장치의 용량 및 크기, 모델 등을 결정하고 선정하였다.

<EES를 이용한 냉각기 분석용 Program list>

```

"Compressor"
x[1]=1 "assume inlet to be saturated vapor"
T[1]=4.4 "known temperature of evaporator outlet"
P[1]=pressure(R22,T=T[1],x=x[1]) "properties for state 1"
H[1]=enthalpy(R22,T=T[1],x=x[1])
S[1]=entropy(R22,T=T[1],x=x[1])
P[2]=pressure(R22,T=T[3],x=0) "this is the pressure in the condenser"
H2ID=ENTHALPY(R22,P=P[2],S=S[1]) "ID identifies state as isentropic"
WcID=(H2ID-H[1]) "energy balance on isentropic compressor"
Eff=0.8 "Isentropic efficiency"
Wc=WcID/Eff "definition of compressor isentropic efficiency"
H[2]=H[1]+Wc "energy balance on real compressor-assumed adiabatic"
S[2]=entropy(R22,H=H[2],P=P[2]) "properties for state 2"
T[2]=temperature(R22,H=H[2],P=P[2])
"Condenser"
T[3]=43.3 "known temperature of sat'd liquid at condenser outlet"
P[3]=P[2] "neglect pressure drops across condenser"
H[3]=enthalpy(R22,T=T[3],x=0) "properties for state 3"
S[3]=entropy(R22,T=T[3],x=0)
Qcon=H[2]-H[3] "energy balance on condenser"
"Valve"
H[4]=H[3] "energy balance on throttle"
x[4]=quality(R22,H=H[4],P=P[4]) "properties for state 4"
S[4]=entropy(R22,H=H[4],P=P[4])
T[4]=temperature(R22,H=H[4],P=P[4])
"Evaporator"
P[4]=P[1] "neglect pressure drop across evaporator"
Q_Evap=h[1]-h[4] "energy balance on evaporator"
COP=abs(Q_Evap/Wc) "definition of COP"
"Humidity estimation(AIR)"
T_AMB=35
P_A=(150/10332+1)*101.325
RH_IN=0.8

R_air=HUMRAT(AirH2O,T=T_AMB,P=P_A,R=RH_IN)
RH_OUT=RELHUM(AirH2O,T=11,P=P_A,w=0.00766)
"Moisture removal(AIR)"
w1=HUMRAT(AirH2O,T=T_AMB,P=P_A,R=RH_IN)
w2=HUMRAT(AirH2O,T=11,P=P_A,R=RH_OUT)
DEN=DENSITY(AirH2O,T=T_AMB,P=P_A,w=w1)
Ga=(11/60)*DEN
REMOVAL=Ga*(w1-w2)

```



### 3) 시뮬레이션 분석 결과

시뮬레이션을 실행한 결과 냉각기 내의 공기와 각 지점에서의 냉매특성 및 성능에 대한 자료는 다음과 같았다.

- 성적계수 COP=4.6 : 냉각기 효율.
- 공기밀도 DEN=1.095 [kg/m<sup>3</sup>] : 냉각기 출구공기의 밀도.
- 효율 Eff=0.8 : 압축기에서의 비가역성을 고려한 것.
- 공기유량 Ga=0.1461 [kg/s] : 냉각기 출구의 공기량.
- 엔탈피 H2ID=278.0 [kJ/kg] : 등엔트로피에서 압축후 냉매의 엔탈피.
- 내부압력 P\_A=101.4 [kpa] : 공급팬에 의해 흡입된 공기의 압력.
- 응축기용량 QCon=186.4 [kJ/kg] : 응축기의 발열용량.
- 냉각능력 Q\_Evap=153.1 [kJ/kg] : 증발기에서 냉매 냉각능력.
- 제거되는 물 REMOVAL=0.0035 [kg/kg] : 냉각시 응축수 량.
- 입구상대습도 RH\_IN=0.8(80%) : 여름평균 대기의 상대습도.
- 출구상대습도 RH\_OUT=1.0(95%) : 냉각기 출구공기의 상대습도.
- 대기온도 T\_AMB=35 [°C] : 여름철 대기의 가장 높은 온도.
- 입구절대습도 w1=0.02157 : 냉각기 입구공기의 절대습도.
- 출구절대습도 w2=0.01047 : 냉각기 출구공기의 절대습도.
- 실 압축일 Wc=33.3 [kJ/kg] : 비가역성을 고려한 냉매 엔탈피.
- 이론 압축일 WcID=26.6 [kJ/kg] : 가역성을 고려한 냉매 엔탈피.

#### 라. 냉각기 제작

사일로에서 곡물을 약 15°C 정도의 중저온으로 냉각 및 저장하기 위해 앞에서 선정된 압축기와 응축기, 증발기 등을 이론적인 설계에 따라 다음과 같이 곡물 냉각기를 제작하였다. 그러나 15°C 이하의 중저온으로 냉각하기 위해서는 시뮬레이션으로 분석한 결과처럼 출구의 냉각된 공기의 온도가 15°C 이하

를 유지하면서 송풍량은 8 cmm이상으로 냉각해야할 것으로 분석되었다. 냉각능력이 25 kW이상이고 외기의 최고온도인 35℃일 때 냉각공기온도 14℃, 상대습도는 50~95% 내외에서 작동될 수 있도록 제작하였다. 총 사용동력은 15 kW정도이며 냉매는 냉매22(프레온)를 사용하였다. 냉각기의 주요부들을 이론적인 설계에서 얻어진 크기와 용량을 중심으로 다음과 같이 설치하였다.

#### 1) 압축기(Compressor)

압축기는 QR90KI-TFC(7.5R/T)이며 7.5마력인 Copelaweld사의 QR Low sound 압축기를 사용하였다. 응축기의 응축온도가 43℃이고 증발기의 증발온도가 4℃일 때 냉각능력이 약 28.8 kW정도의 용량을 갖는 압축기를 사용하였다. 압축기의 최고압력은 15 kg/cm<sup>2</sup>이며 냉매의 온도가 설정한 온도보다 더욱 낮게 되면 압축기의 작동을 멈추게 하여 압축기의 파손을 막을 수 있게 하였다. 압축기의 한 회전 당 배출하는 용량이 177.44 cm<sup>3</sup>이고 회전속도는 3,500 rpm인 압축기이며, 네 개의 실린더와 알루미늄으로 만들어진 피스톤, 요크(yoke) 등으로 구성된 반밀폐의 왕복식 압축기이다. 또한 압축기의 최고압력과 최저압력을 각각 표시하도록 압력계이지를 별도로 설치하였다. 또한 온도가 급격히 떨어져서 발생할 수 있는 증발기의 성에로 인하여 증발기의 효율이 떨어지는 것을 막기 위해 타이머를 부착하여 압축기를 일정시간 간격으로 작동을 ON/OFF 시킬 수 있도록 하였다.

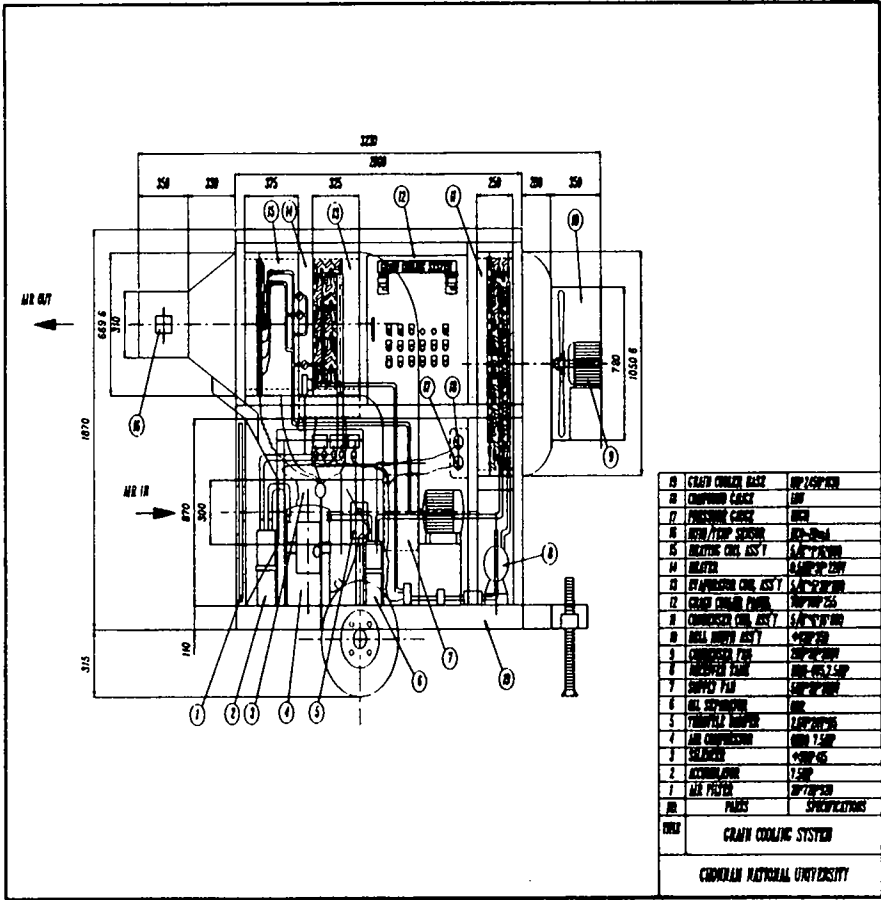


그림 6-3 곡물 냉각기의 구조도

## 2) 응축기(Condenser)

고온 고압의 냉매를 액화시켜 저온으로 만들어 주는 응축기로 총열전달계수(U)가 28 kcal/m<sup>2</sup>h°C이고 직교류형의 corrugated plate 핀이 부착된 코일을 선정하였다(그림 6-4). 코일의 크기는 5/8"φ×5R×26S×800L로서 코일의 직경이 5/8인치, 횡방향으로 5줄, 1줄 당 핀을 통과하는 코일의 개수가 26개인 것을 선택하였다. 코일의 총표면적은 92 m<sup>2</sup>, plate 핀의 피치는 2.2 mm, 핀의 두께는 약 0.5 mm 이었고, 코일에는 plate 핀이 총 296개 부착되었다. 코일의 표면적은 핀 효율을 고려하여 다음과 같이 산출되었다.

직교류형의 핀 효율(η)은 이론적으로 계산된 냉매와 공기의 각각의 입출구 온도와 NTU( $\frac{UA}{C_{min}}$ , 전달단위의 수)의 값에 기초하여 구하였다.( J. P. HOLMAN, 1992, "HEAT TRANSFER", P550)

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{\dot{m}_r \times C_r}{\dot{m}_a \times C_a}$$

$$N = NTU = \frac{UA}{C_{min}}$$

$$\eta = 1 - \exp\left[\frac{\exp(-NC\eta) - 1}{C\eta}\right]$$

총표면적 :  $A_{real} = 2\eta NHL + \pi d n s (W - tN) \approx 92 \text{ m}^2$  (  $\eta = 0.88$  )

여기서, C: 용량비, N: 전달단위의 수, η: 핀효율,  $n = N^{0.22}$ , N<sub>f</sub>: 핀의 개수, H: 핀의 높이[m], L: 핀의 폭[m], d: 코일의 직경[m], n: 코일의 배열 수, s: 한 배열의 코일 수, W: 응축기 폭[m], t: 핀의 두께[m]

실제로 응축기 코일에 사용된 핀은 피치가 2.2 mm, 핀의 두께가 약 0.5 mm이며 총 296개 설치하여 공기와 접촉하는 면적이 92 m<sup>2</sup>정도가 되게 하였고, 코일의 크기는 5/8"φ×5R×26S×800L로서 코일의 직경이 5/8인치, 횡방향으로 5줄, 1줄 당 핀을 통과하는 코일의 개수가 26개인 것을 설치하였다. 코일은 그림 6-4와 같이 8등분이 되어 각각은 냉매의 입구와 출구를 가지고 있다. 냉매의 입구는 공기와 처음으로 접촉하는 쪽으로 하였고 냉매의

출구는 공기가 배출되는 쪽으로 설치하였는데, 이는 냉매 입구의 고온의 열이 공기와 처음으로 접촉하는 쪽으로 하여 편을 거치면서 식혀지는 효과를 높이기 위한 것이다. 또한 응축기 내부의 압력을 측정하기 위해서 압력계이지를 설치하였다.

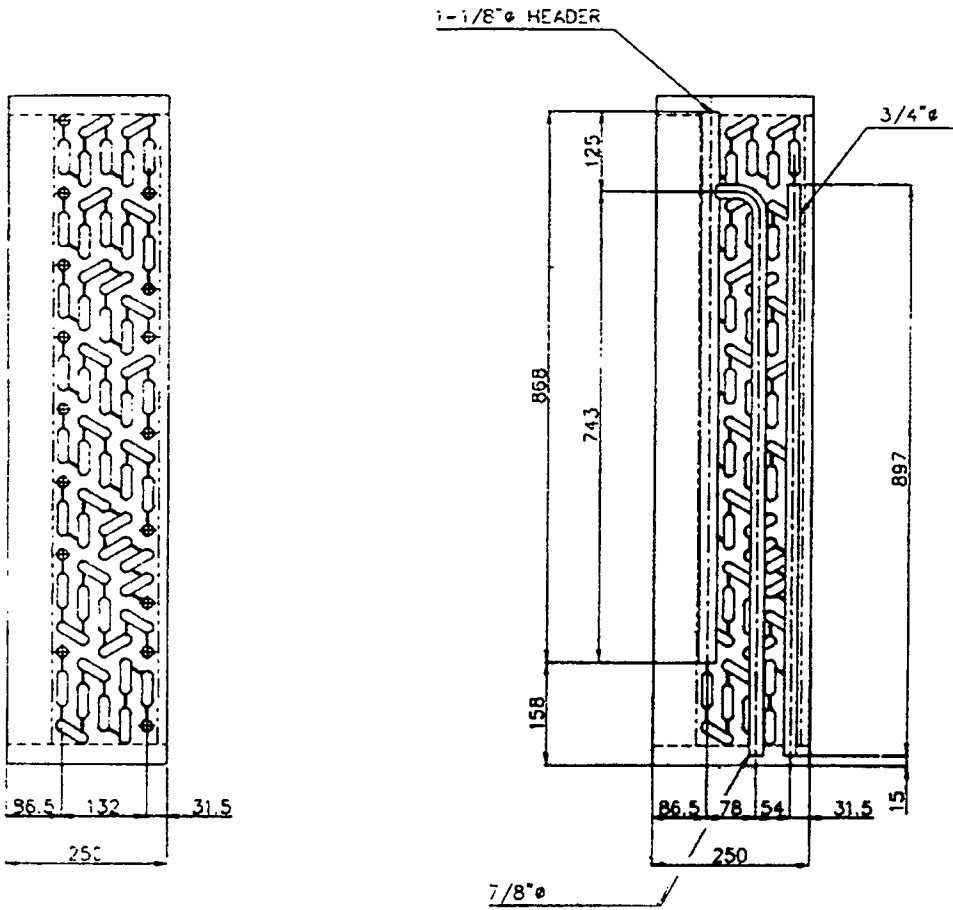


그림 6-4 용축기 코일

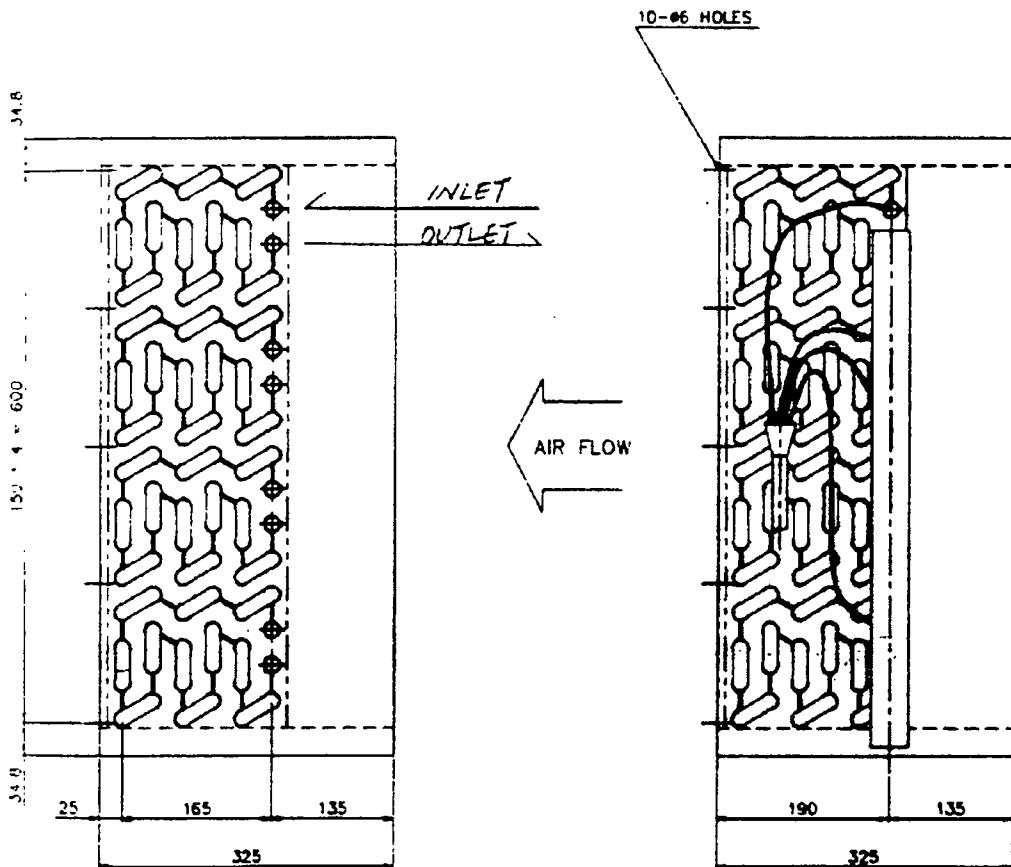


그림 6-5 중발기 코일

### 3) 증발기(Evaporator)

실제로 흡입된 공기를 냉각시켜주는 증발기로 총열전달계수(U)가 28 kcal/m<sup>2</sup>h℃이고 corrugated plate 핀이 부착된 코일을 선정하였다. 코일에는 핀의 피치가 2.2 mm, 두께가 0.5 mm인 핀이 총 296개가 부착되었다. 코일의 크기는 5/8"φ×6R×16S×800L로서 코일의 직경이 5/8인치, 횡방향으로 6줄, 1 줄 당 핀을 통과하는 코일의 갯수는 16개이었다. 코일의 총 표면적은 68 m<sup>2</sup>로서, 다음과 같이 산출되었다. 여기서 핀의 효율(η)은 이론적으로 계산된 냉매와 공기의 각각 입출구 온도와 NTU의 값을 이용해 결정하였다..

$$\text{핀의 총표면적: } A_{\text{real}} = 2\eta NHL + \pi d n s (W - tN) = 68 \text{ m}^2 \quad (\eta = 0.82)$$

코일은 그림 6-5와 같이 4등분이 되어 각각은 냉매의 입구와 출구를 가지고 있다. 공기가 처음으로 접촉하는 부분을 냉매의 출구쪽으로 하고 공기가 마지막으로 접촉하는 부분을 냉매의 입구쪽으로 설치하여 공기가 배출될 때 냉각효과를 극대화하도록 하였다.

### 4) 팽창밸브(Expansion valve)

팽창밸브는 온도조절형 팽창밸브를 선택하였는데 이는 증발기에서 증발속도에 비례하여 액체 냉매의 유량을 조절하는 것으로서, 작동원리는 센서부분이 증발기 출구에 장착되어 있어서 증발기의 온도를 감지하여 증발기로 들어가는 냉매유량을 조절하는 것이다. 또한 팽창밸브는 응축기의 고압포화액체냉매를 증발기로 들어가기 전에 저압으로 증발시키는 곳으로서, ALCO사의 TCLE 7-1/2 HW 100 64 type을 설치하였다.

### 5) 재가열기(Reheating Coil)와 히터(Heater)

재가열기는 냉각기 내에서 증발기 바로 다음에 설치하여 냉각공기의 낮은 온도와 높은 상대습도를 조절한다. 재가열기 코일에는 응축기 입구의 고온의 냉매가 통하게 되는데, 두개의 자동 솔레노이드 밸브는 출구의 습도를 측정하는 중앙의 자동제어기에서 보내는 신호에 의해 개폐를 반복함으로써 습도를 조절한다. 이때 냉각공기의 온도를 약



2~5℃정도 상승시키면서 냉각공기의 상대습도가 설정치에 도달할 때까지 조절하도록 한 것이다. 또한 재가열기는 corrugated plate 편이 부착된 코일을 선택하였으며, 그 크기는 5/8"Ø×1R×16S×800L로서 코일의 직경이 5/8인치(15.8 mm), 횡방향으로 1줄이고 1줄 당 통과한 코일의 개수는 16개인 것을 설치하였다.

히터는 증발기를 거친 냉각공기의 상대습도를 압축기의 일부 냉매열을 이용하여 조절할 때 그 가열량이 부족할 경우 냉각공기를 직접 가열하도록 하는 전기장치로서 3 kW의 전기히터를 보조가열기로 설치하였다.

#### 6) 댐퍼(Damper)에 의한 온도조절

사용 전력이 2.6 W인 DC모터를 사용하여 온도제어기에 의한 댐퍼를 이용하여 공기량을 자동으로 조절하도록 하였다. 이는 최종 냉각공기의 온도를 측정한 결과에 따라 제어기에 의해 외부 공기 흡입량을 댐퍼로 조절하여 냉각공기의 온도를 조절하는 방식이다. 최소량의 냉각공기량을 제한하기 위해 댐퍼 면적의 약 1.5%정도의 구멍을 내어 풍량이 최소 11 cmm(m<sup>3</sup>/min)정도가 되도록 하였다. 냉각공기의 온도에 따라 댐퍼를 조절하기 위해서 사용된 온도조절기의 특징은 다음과 같았다.

사용된 온도조절기는 KONICS KC-33(KM97008-2000)으로서 고성능 A/D converter와 micro process를 사용하여 여러 종류의 입력과 여러 가지의 특수기능 및 자기진단 기능 등 많은 기능을 가지고 있다.

제어원리는 그림 6-6a에서처럼 환경조건의 큰 변화 즉 온도가 크게 바뀐 상태일 때마다 Auto-Tuning(A/T)에 의해 댐퍼의 열림정도에 따른 냉각공기의 온도변화관계를 처음에 분석한다. 그런 후에 측정치(온도)와 설정치(온도)의 차이를 A/T(Auto-Tuning)에 의한 관계에 기초하여 자동연산치(PID)를 산출하여 댐퍼를 조절하도록 프로그램화되어 있어서 온도의 측정치와 설정치의 차이를 점차로 좁혀가도록 한 것이다. 여기서 P.I.D.값과 사이클 시간은 A/T을 실행시킬 때마다 자동으로 결정된다. 댐퍼가 자동위치에 있을 때 냉각기 출구의 온·습도 센서에 의해 측정된 값이 입력되어 자동연산치(PID)에서 다시 계산되어진 값에 의해 자동으로 댐퍼를 조절하는데, 0~100%범위의 입력이 들어가게 되면 이에 대응하여 입력전류가 4~20 mA를 발생하고 이는

출력전압 0~10V로 바뀌어 댐퍼를 0~100%로 구분하여 DC모터에 의해 개폐가 이루어지도록 한다.(그림 6-6a) 또한 수동상태일 때는 0~100%범위의 입력력을 직접 설정하여 댐퍼의 개폐정도를 조절할 수 있도록 하였다. 댐퍼가 완전히 닫혀서 공기가 들어오지 않는 것을 방지하기 위해서 댐퍼에 구멍을 내어 풍량이 기본적으로 11 cmm(2.5 m/s)정도는 통하도록 한 것이고, 완전히 100% 열릴 때는 상온통풍 건조를 위해 120 cmm(27 m/s)의 풍량이 통하게 하였다. 댐퍼의 개폐정도는 자동상태일 때는 온도에 따라 제어장치에 의해 변화되지만, 수동상태일 때는 개폐정도를 결정할 수 있어서 공기량을 임의로 조절할 수가 있었다.

자동 온도조절기인 KONICS KC-33의 주요기능은 다음과 같다.

- (1) 센서의 측정치에 대하여 보정치를 가감할 수 있는 기능이 있다.
- (2) 입력이 mV, V, mA의 경우 -1,999 ~ 9,999범위 내에서 scaling이 가능하다.
- (3) Alarm dead\_Band 설정기능은 Alarm 설정치 부근에 설정치가 있을 때 계속해서 ON/OFF되는 현상을 제거하기 위해서 dead\_band를 설정해주는 기능이다.
- (4) 조작방법은 자동상태와 수동상태를 구분하여 제어할 수 있다.
- (5) 자체 진단기능을 내장하고 있어 보수 및 점검이 용이하다.

#### 7) 재가열 코일에 의한 상대습도 조절

재가열기 코일은 총열전달계수(U)가 28 kcal/m<sup>2</sup>h℃인 corrugated plate 편형식을 사용하였다. 코일의 입구와 출구는 두 쌍의 관으로 구성되었으며 재가열기 코일의 표면적은 약 11 m<sup>2</sup>이었다. 이는 제어기에 의해 솔레노이드 밸브의 개폐를 반복함으로써 압축된 일부 냉매를 재가열기에 보냄으로써 증발기를 바로 거친 냉각공기의 온도와 상대습도를 설정범위에 도달하도록 조절한다. 또한 이 재가열기를 사용할 필요가 없을 때는 냉매의 흐름을 잠그는 장치를 별도로 설치하였다. 재가열 코일을 거친 냉매는 다시 응축기로 돌아가 순환하게 하였다. 여기에 사용된 조절기는 다음과 같았다.

온도와 습도를 제어할 수 있도록 설계된 DX7 디지털 제어기를 본 냉각기에서는 냉각공기의 상대습도를 제어하도록 장치하였다. 소비전력은 15 VA 이

하이코 열전대는 K, R, J들을 사용할 수 있는 장치이다.

제어원리는 그림 6-6b에서처럼 ON/OFF 제어장치로서 설정값(습도)범위 이상에 도달하면 솔레노이드 밸브를 열게 한다. 고온의 압축된 일부 냉매를 통과시켜 재가열 코일을 가열시킴으로써 상대습도를 감소하게 하고, 설정값(습도) 범위 이하로 떨어지면 솔레노이드 밸브를 닫히도록 하여 상대습도를 상승시켜 설정범위 내를 유지하도록 솔레노이드 밸브의 개폐를 자동으로 제어하였다.

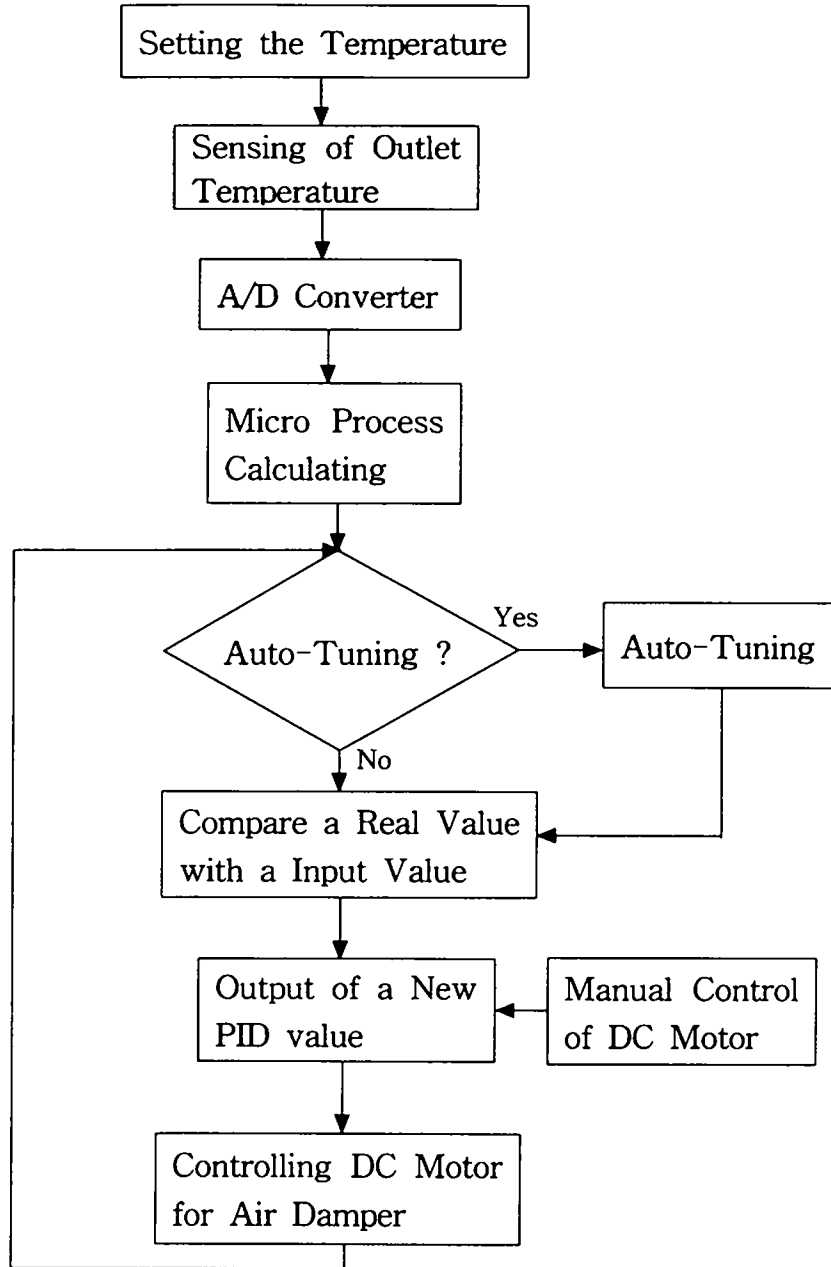


그림 6-6a 곡물 냉각기의 댐퍼에 의한 온도

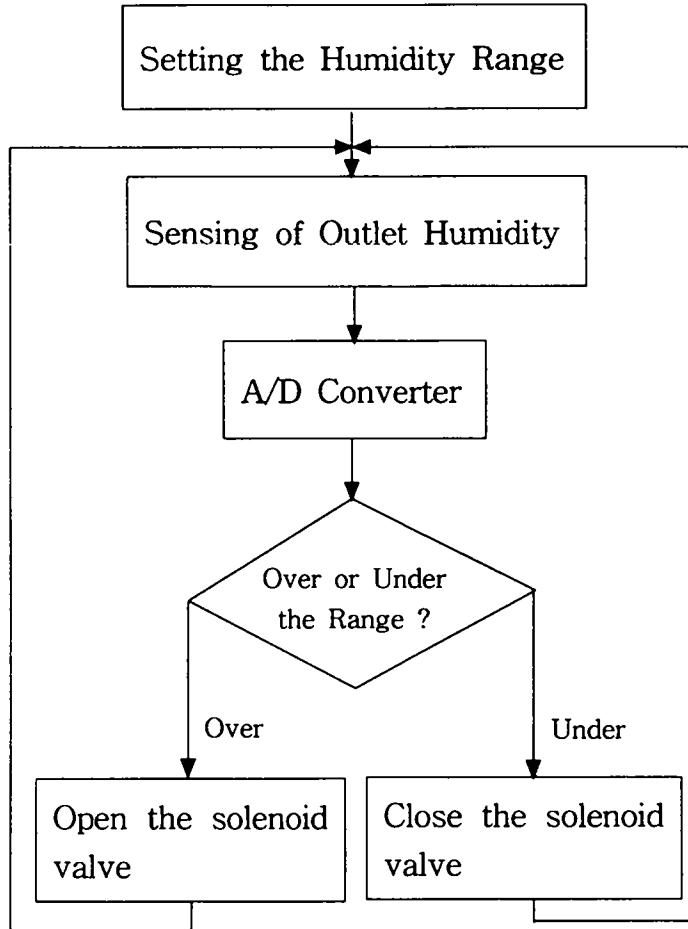


그림 6-6b 곡물 냉각기의 상대습도의 자동제어

#### 8) 제어 판넬(panel)

냉각기의 정면에 설치한 제어 판넬(panel)은 냉각기를 자동과 수동으로 조절하도록 제작하였는데, 온도제어계는 KONICS KC-33(KM97008-2000)이고 상대습도제어계는 DX7 디지털 제어를 장치하였다. 각 제어계는 온도와 습도의 변화 및 설정치를 표시해 주거나 설정치를 입력할 수 있도록 하였다. 패널 중앙에는 냉각기의 자동과 수동 선택 단추, 가열기 사용 단추, 전원 스위치 그리고 수동상태일 때 ON/OFF 시킬 수 있는 푸싱(pushing)단추 등으로 구성하였다. 여기에는 냉매의 최저온도를 설정할 수 있게 하여 압축기의 파손을 막을 수 있도록 타이머를 부착하여 자동으로 압축기를 중단할 수 있게 하였다. 한편 그림 6-7(1)에서 볼 수 있는 것처럼 각 장치들의 작동상황을 점등 표시하도록 하였다.

#### 9) 냉각기 장치의 보호

냉각기 작동 중 밤에 공기 온도가 매우 낮을 경우나 증발기의 성에를 가끔 제거해야 할 경우를 위해서 타이머로 냉각기의 작동을 자동으로 일정시간 정지 후 재가동 할 수 있도록 냉각기에 Time scheduling 기능을 갖도록 하였다. 그러나 가동 중에도 냉각공기가 설정온도 범위 이하로 내려가면 자동으로 압축기가 멈추게 하였으며, 한계를 벗어날 경우 벨(Bell)을 울리게 하여 냉각기의 장치들을 보호하도록 하였다.

#### 10) 기타

본 냉각기는 이동이 편리하도록 하기 위해서 고무타이어로 된 바퀴를 장착하였고, 냉각기의 형태는 외기 공기가 들어가는 덕트의 방향과 응축기 출구 쪽의 따뜻한 공기가 배출되는 방향을 서로 반대로 하여 영향을 받지 않도록 하였으며, 밑면에는 응축되는 응축수를 모을 수 있는 유도관을 설치하였다. 또한 어느 위치에서나 고정할 수 있도록 높이조절용의 나사형 지지대를 설치하여 이동시켜서 사용하기에 편리하도록 하였다.

## 마. 곡물 냉각기의 성능평가

개발된 곡물 냉각기의 자체성능을 평가하기 위해서 냉각기 주요부의 각 지점에서 냉매의 온도를 열전대를 사용하여 측정하였다. 냉각공기의 출구부에 설치된 온도 및 상대습도 센서로부터 냉각공기의 온,습도 변화를 조사하였으며, 열선 풍속계(hot wire anemometer)로 냉각공기의 풍속과 풍압도 측정하였다. 냉각기에 설정한 냉각공기 온도에 따라 압축기 입구 및 출구 냉매온도, 응축기 입구, 중간지점, 및 출구부의 온도, 증발기 입구 및 출구 냉매온도 등을 측정하여, 이자료를 기초로 냉각기의 냉각능력, 성능계수, 냉각공기의 상대습도, 제거되는 수분량 등을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 또한 냉각기에 설정한 냉각공기의 온도 및 상대습도에 도달하는 정도를 분석하였으며, 제어 가능한 냉각공기의 온도, 상대습도 및 송풍량의 범위를 조사하였다. 냉각기의 자체 성능을 완전히 분석후 냉각기를 사일로에 설치하였다. 사일로에서의 냉각기 성능 구명에 관한 연구는 현재 진행중이며, 일부 실험결과를 분석하였다.

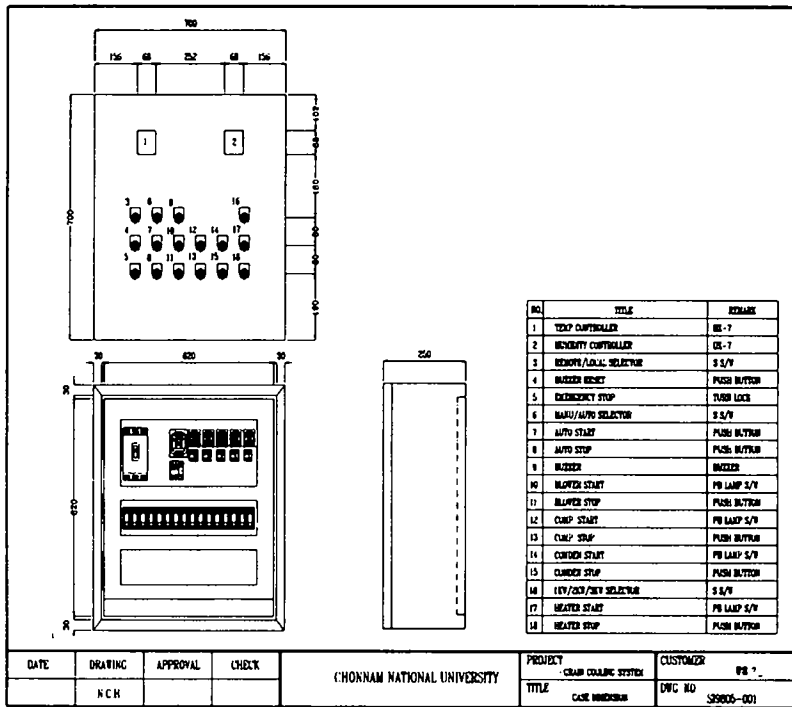
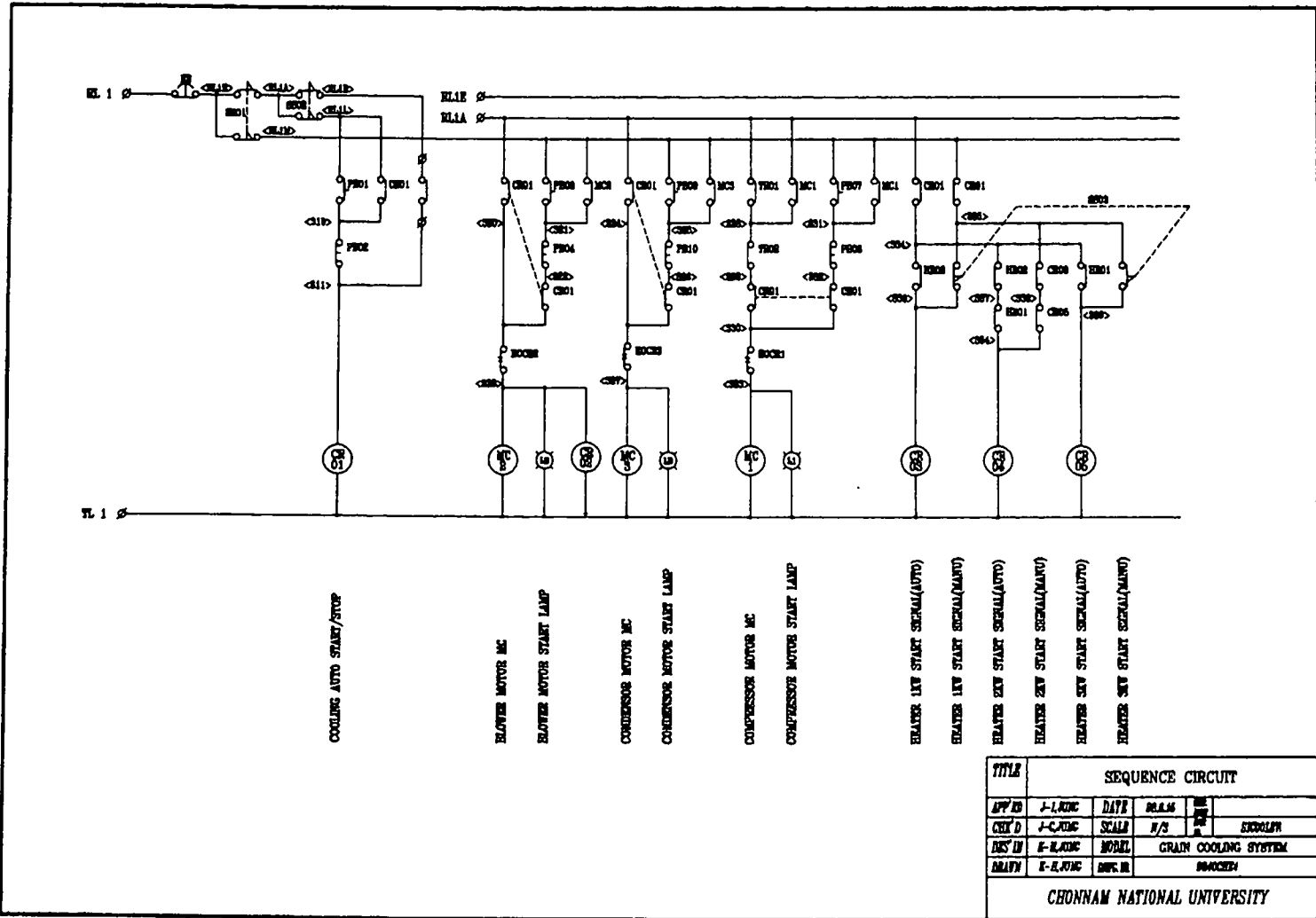


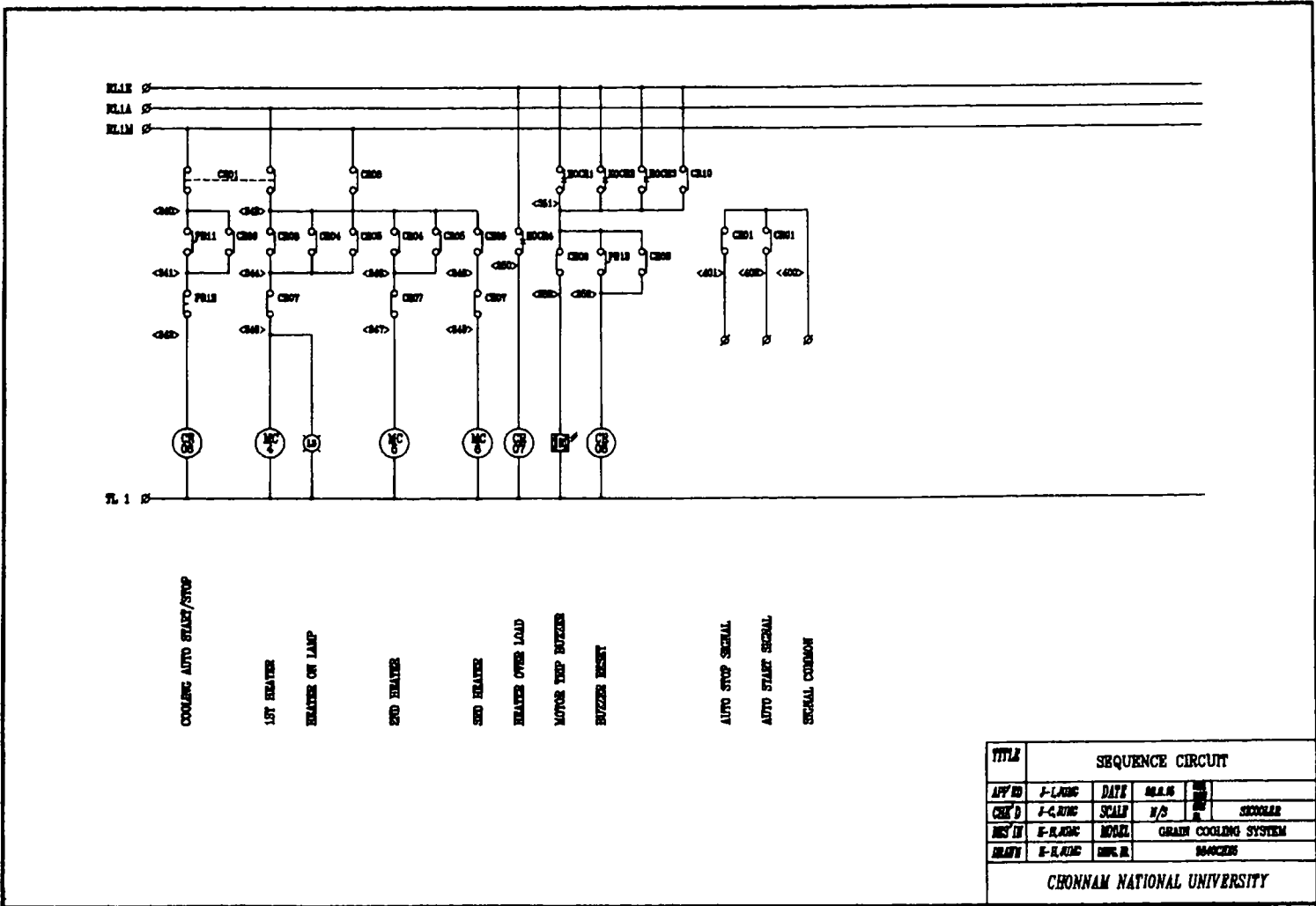
그림 6-7(1) 곡물 냉각기의 제어판넬

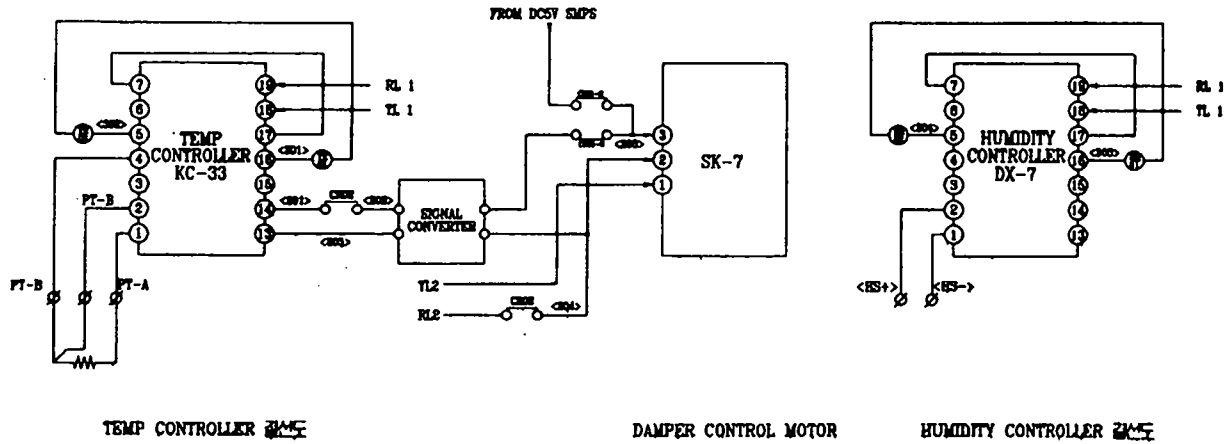


## 그림 6-7<sup>(2-4)</sup> 곡물 냉각기의 전기회로도



TITLE		SEQUENCE CIRCUIT			
APP'D	J-L,KMC	DATE	REL. 16	REV.	
CHK'D	J-C,KMC	SCALE	N/S		EXCERPT
DES'N	E-L,KMC	MODEL	GRAIN COOLING SYSTEM		
DRAWN	E-E,KMC	DWG. NO.	09AC024		
CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY					





DATE	DRAWING	APPROVAL	CHECK	PROJECT GRAIN COOLING SYSTEM	CUSTOMER
	N.C.H				

## 제 4 절 결과 및 고찰

### 1. 대체 단열처리방법 개발

단열코팅재를 분무하여 사일로를 단열처리한 결과는 표 6-4와 같다.

외부공기가 약 31℃일때 단열처리 되지 않은 사일로 외벽의 온도는 약 46℃이었고, 사일로 내부 벽온도는 약 49℃ 로서 내부공기가 환기되지 않아 더 높게 나타났다. 그러나 사일로 내벽에만 단열재를 코팅한 결과 외벽의 온도가 46℃ 일 때 내벽의 온도는 39℃ 로 약 7℃ 감소하였다. 그리고 외벽에만 단열재를 코팅한 공기실의 경우 양지에 있는 외벽의 온도는 39℃ , 그늘에 있는 외벽의 온도는 32℃ 를 나타내었고 공기실 안쪽의 공기온도는 25℃ 를 나타내었다. 이처럼 사일로 내벽에 단열재를 코팅한 결과 약 7℃ 의 온도를 줄일 수 있었으나 사일로 외벽에 코팅을 하지 않아 단열효과가 떨어졌다. 사일로 외벽에만 칠한 공기실의 경우에는 흰색 코팅으로 반사되어 양지 외부벽의 온도가 39℃로 코팅하지 않은 경우에 비해 약 7℃가 감소하였고 공기실내의 온도도 25℃ 를 유지하고 있어서 더 높은 단열효과를 얻을 수 있었다. 이에 사일로 내벽보다는 외벽을 코팅하는 것이 약 14℃ 이상의 온도를 감소 시키는 단열효과를 얻을 수 있으리라 사료되었다.

표 6-4 단열재를 사일로에 코팅한 결과

(외기온도: 30℃)

구분	사일로 외벽온도	사일로 내벽온도/ 공기온도	단열 효과	비 고
무처리	46 ℃	내부공기온도 49 ℃		
내부만 코팅처리	46 ℃	내벽온도 39 ℃	7 ℃	0.8 mm 코팅
외부만 코팅처리	39 ℃		외 벽 온 도 7 ℃ 감소	양지쪽 외벽
외부만 코팅처리	32 ℃	내부공기온도 25 ℃	7 ℃	음지쪽 외벽

## 2. 곡물 냉각기의 개발

곡물 사일로에서 곡물을 약 15도의 중저온으로 저장하기 위해서 곡물 냉각기를 다음 구조도와 같이 제작하여 개발하였다. 개발된 곡물 냉각기의 주요 특징 및 성능은 다음 표 6-5과 같이 약 최대 28,000 kcal/h의 냉각능력을 갖으며 냉각공기의 온도는 약 8-13도, 상대습도 50-95% 내외에서 작동되도록 개발하였다

표 6-5 곡물 냉각기의 사양 및 성능

구분	특징 또는 성능	비고
냉각능력	최대 28,000 kcal/h, 약 33kW	
냉각공기 온습도	온도: 10-13도, 습도: 50 - 95%	
총 동력	15 kW	
냉 매	R-22	
압축기	반밀폐형, 5.6kW, 모델 QR90	
응축기	Coil 5/8"x5x16x800, area 93 m <sup>2</sup> Fan: 2 HP, 140cmm	압력게이지 설치
증발기	Coil 5/8"x5x16x800	압력게이지 설치
공기 여과기	20x720x920, EK-165	
가열기	0.5kWx6, 220V	솔레노이드 제어
공기 덤퍼	2.6Wx24Vx95	흡입용, 냉각공기 재순환용
제어 패널	자동/수동, 버튼 방식, 700x700x255	
전원 및 규격	220/380x3p, 3230x1130x1870	

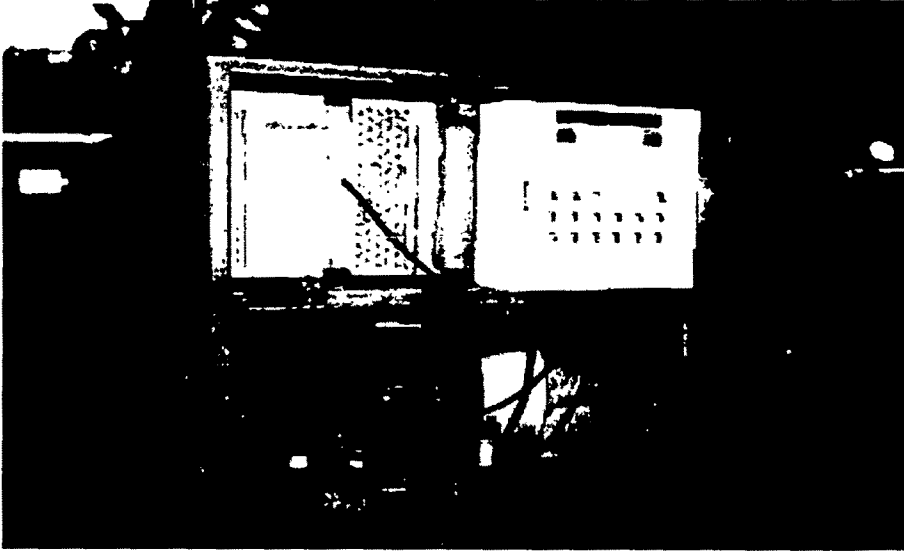


사진 6-1 개발된 곡물 냉각기



사진 6-2 개발된 곡물 냉각기를 사일로에 설치함.

## 가. 곡물 냉각기 성능 평가

### 1) 냉각능력 및 냉각시간

냉각기의 냉각능력을 결정짓는 요소 가운데 중요한 압축기의 유량은 본 냉각기에서는 최고 0.2017 kg/s 정도로 나타났으며, 이를 이용하여 시뮬레이션으로 분석한 결과 냉각기의 최대냉각능력은 다음과 같이 약 33 kW이었다. 최대 냉각능력은 압축기의 최대 냉매유량일 때의 경우이므로 실제로 핀의 효율을 감안하면 냉각능력은 이에 미치지 못할 것으로 판단되었다.

$$\text{냉각능력} : (h_1 - h_4) \times \text{냉매유량} \approx 33 \text{ kW}$$

여기서,  $h_1$  : 증발기 출구의 엔탈피(kJ/kg)

$h_4$  : 증발기 입구의 엔탈피(kJ/kg)

그리고 본 냉각기를 사용하여 곡물을 냉각할 경우 냉각시간은 다음과 같이 계산하였다. 40톤/배치의 곡물 냉각시간(t)은 13℃의 냉각공기, 11 cmm의 공기량으로 초기온도 25 ℃의 곡물 40톤을 15℃로 냉각하기 위해서는 약 67 시간이 소요될 것으로 추정되었다.

$$\begin{aligned} \text{냉각시간} : t &= \frac{W_g C_g (\theta_{initial} - \theta_{final})}{G_a \rho_a C_a (\theta_{initial} - T_{inlet})} = \frac{40 \times 10^3 \times 1.67 \times (25 - 15)}{11 \times 1.247 \times 1 \times (25 - 14)} \\ &= 67 \text{ hr} \end{aligned}$$

본 냉각기의 냉각능력은 목표로 한 냉각부하 25 kW를 초과하였지만, 냉각공기량의 조절이 잘 이루어지지 않아서 실제 냉각시간은 다소 증가한 것으로 측정되었다. 실험 결과 본 곡물 냉각기는 하루에 15℃이하로 냉각시킬 수 있는 곡물량은 약 15톤 정도임을 알 수 있었다. 그러나 저장고의 단열이 잘되었다고 한다면 더욱더 냉각부하를 줄일 수 있었고 냉각시간이 단축될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

### 2) 응축기(Condenser) 성능

응축기 입구의 냉매온도는 보통 85~90℃ 전후였으나 출구에서의 냉매온도는 약 31℃로서 응축기 냉매가 원하는 수준으로 냉각되었다. 응축기 입구의



냉매온도 즉 압축기 출구부에서의 냉매온도가 예상치보다 훨씬 높은 이유는 압축기에서 냉매가 압축되어 가열될 때 마찰 등의 비가역성 때문인 것으로 사료되었다. 응축기 출구부에서 냉매온도가 충분히 냉각된 것은 응축기 핀의 방열면적과 응축기 팬이 제대로 선정되었기 때문인 것으로 사료되었다. 응축기에서 냉매 온도가 90℃에서 31℃까지 떨어지고, 외부공기가 현재 31℃이며 출구 공기온도가 37℃일 때 응축기에서의 냉매와 응축기 핀을 통과하는 공기의 온도와의 평균온도차이(LMTD)는 다음과 같았다.

$$LMTD = \frac{(T_1 - T_2) - (t_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}\right)} \approx 22^\circ\text{C}$$

여기서,  $T_{1,2}$  : 응축기 입구와 출구의 냉매온도(℃)

$t_{1,2}$  : 응축기 통과전후 공기의 온도(℃)

### 3) 증발기(Evaporator)에서의 냉각

공기의 접촉시간을 최대로 하며 냉각효과를 극대화시키기 위하여 증발기의 코일을 지그재그형으로 배치하였는데, 이 때문에 공기의 온도를 약 10℃이하로 감소시킬 수 있었고, 반대로 상대습도는 약 100%까지 도달하는 상태가 되었다. 증발기의 증발온도는 약 0℃정도를 유지하였고 증발기 출구의 냉매온도는 11~16℃정도의 범위를 유지하는 것으로 측정되었으며, 증발기에 사용된 핀의 면적은 충분한 것으로 분석되었다. 그러나 냉각기 코일에서 성애가 발생하지 않게 함으로써 냉각공기량을 증가시키기 위해서는 증발기에 유입되는 공기가 균일하게 증발기 핀을 통과하도록 증발기 전에 설치된 공기를 분산시키는 균분기의 적정 조정이 필요하였다.

### 4) 냉각공기의 온·습도 제어

냉각공기의 온도와 상대습도는 각각 KONICS KC-33과 DX7 디지털제어기에 의해 자동 조절되었다. 냉각기의 온도를 13℃에 설정하였고 상대습도를 65~75%범위로 설정하였을 때, 냉각공기는 그림 6-8에서 볼 수 있는 것처럼 점차로 온도와 상대습도가 설정값에 도달하고 있음을 알 수 있었다. 설정값에

도달할 때 냉각기 출구의 풍속은 약 2.5 m/s로서 풍량은 11 cmm정도였는데 이 설정값에서 송풍량은 더 이상 증가하지 않았다. 그러나 공기가 공급팬을 지나면서 갑자기 확대되는 덕트를 통하는 동안에 압력손실이 발생하였고, 증발기 핀을 통과할 때 핀과 코일에 의한 압력손실이 발생한 것으로 나타났다. 또한 공급팬을 입구쪽의 풍량 조절댐퍼 바로 다음에 설치함으로써 냉각되기 전에 온도에 따라 조절되는 댐퍼에 의해 공급팬으로 들어가는 공기량이 제한되어 공기 압력이 감소되는 것으로 분석되었다. 그러나 곡물을 냉각시에는 적은 풍량이 사용되기 때문에 압력감소도 매우 작아 냉각기의 정압은 별 문제가 되지는 않았다. 실제로 측정된 압력은 필요로하는 압력보다 큰 약 10 mm AQ로서 냉각하는데 충분하리라고 판단되었다.

냉각기의 증발기를 통과한 냉각공기 온도 및 상대습도는 그림 6-8에서와 같이 약 7분만에 설정온도 13℃와 상대습도 65~75%의 범위에 도달한 후  $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 온도오차와 설정된 상대습도 범위에서 지속적으로 정확하게 조절됨을 알 수 있었다. 특히 냉각공기 상대습도는 재가열기의 냉매로 자동조절되는데, 증발기를 바로 통과한 냉각공기는 상대습도가 거의 90%가 넘기 때문에 이에 열을 가함으로써 냉각공기 온도는 약간 상승하고, 상대습도는 설정치에 도달 되도록 하였다. 본 냉각기에서 최종 냉각공기의 최저온도는 외기조건과 풍량 그리고 상대습도에 따라 약 8~13℃까지 가능하였고, 상대습도는 50~95%범위에서 설정이 가능하게 되었다.

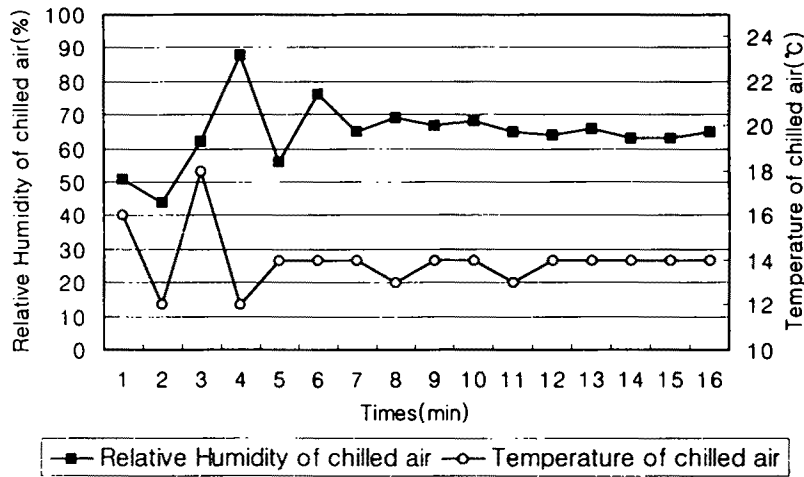


그림 6-8 외부공기 온도 31℃, 82%의 상대습도 조건에서 냉각기 온도를 14℃, 상대습도를 65-75%로 설정했을 때, 시간에 따른 냉각공기의 온도 및 상대습도 변화

## 5) 냉각기 성능분석을 위한 시뮬레이션

### 가) 성능분석을 위한 시뮬레이션

EES(Engineering Equation Solver)를 이용하여 냉각시스템의 이상적인 사이클을 바탕으로 비가역성에 관한 효율을 추가하여 다음과 같이 각 지점의 냉매와 공기의 상태를 실제로 측정하여 시뮬레이션 프로그램(그림6-9)을 작성하였다. 이는 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기 등의 각 입구와 출구에서의 냉매성질 등을 규명하였고, 각 지점에서 냉매의 온도와 압력 그리고 공기의 온도, 냉매유량 등을 산출한 다음 냉각능력과 성적계수 등을 구하도록 하였다.

```

"Compressor"
x[1]=1
T[1]=0
P[1]=pressure(R22,T=T[1],x=x[1])
h[1]=enthalpy(R22,T=T[1],x=x[1])
s[1]=entropy(R22,T=T[1],x=x[1])
P[2]=pressure(R22,T=T[3],x=0)
h2ID=ENTHALPY(R22,P=P[2],s=s[1])
WcID=(h2ID-h[1])
Eff=0.5
Wc=WcID/Eff
h[2]=h[1]+Wc
s[2]=entropy(R22,h=h[2],P=P[2])
T[2]=temperature(R22,h=h[2],P=P[2])
"Condenser"
T[3]=31
P[3]=P[2]
h[3]=enthalpy(R22,T=T[3],x=0)
s[3]=entropy(R22,T=T[3],x=0)
QCon=h[2]-h[3]
"Valve"
h[4]=h[3]
x[4]=quality(R22,h=h[4],P=P[4])
s[4]=entropy(R22,h=h[4],P=P[4])
T[4]=temperature(R22,h=h[4],P=P[4])
"Evaporator"
P[4]=P[1]
Q_evap=h[1]-h[4]
COP=abs(Q_Evap/Wc)
"Humidity estimation(AIR)"
T_AMB=25
P_A=(10/10332+1)×101.325
RH_IN=0.7
w1=HUMRAT(AirH2O,T=T_AMB,P=101.325,R=RH_IN)
w2=HUMRAT(AirH2O,T=T_air,P=P_air,R=1)
T_air=T_AMB-(7.5*632.3/(11*60*1.2*0.24))*0.83
"Moisture removal(AIR)"
DEN=DENSITY(AirH2O,T=T_AMB,P=P_air,w=w1)
G_air=(11/60)*DEN
REMOVAL=G_air*(w1-w2)
"Capacity of Cooling"
SV_r=VOLUME(R22,T=17,P=p[1])
Q_r=177.44×3500×0.000001/60
G_r=Q_r/SV_r
Q_cool=Q_Evap×G_r

```

"assume inlet to be saturated vapor"  
 "known temperature of evaporator outlet"  
 "properties for state 1"

"this is the pressure in the condenser"  
 "ID identifies state as isentropic"  
 "energy balance on isentropic compressor"

"Isentropic efficiency"  
 "definition of compressor isentropic efficiency"  
 "energy balance on real compressor-assumed adiabatic"  
 "properties for state 2"

"known temperature of sat'd liquid at condenser outlet"  
 "neglect pressure drops across condenser"  
 "properties for state 3"

"energy balance on condenser"

"energy balance on throttle"  
 "properties for state 4"

"neglect pressure drop across evaporator"  
 "energy balance on evaporator"  
 "definition of COP"

"Pw=7.5, ρ=1.2, Cp=0.24, η=0.83"

"specific volume of refrigerant"  
 "flow rate of refrigerant"  
 "mass of refrigerant"  
 "capacity of cooling"

그림 6-9 곡물 냉각기 성능 분석을 위한 시뮬레이션 프로그램

나) 시뮬레이션 분석결과

냉각기 주요부의 온도를 측정해 실제의 자료를 입력하여 시뮬레이션을 실행한 결과 다음과 같이 냉각기의 성적계수, 냉각능력, 냉각공기의 특성, 냉매의 각 지점에서의 특성치 등을 얻을 수 있었다.

표 6-6 시뮬레이션에 의한 냉각기 성능분석 결과

Variables	Values	Remarks
Qcool	33.77[kW]	Maximum cooling power of chiller
Q_evap	167.4[kJ/kg]	Cooling capacity per unit refrigerant at evaporator
COP	3.77	Coefficient of performance
T_air	2.6[°C]	Temperature of outlet air at evaporator
Gr	0.2017[kg/s]	Mass flow rate of refrigerant
Removal	0.002[kg/kg]	Condensed water per unit air
Qcon	211.8[kJ/kg]	Emitted heat per unit refrigerant at condenser
DEN	1.159[kg/m <sup>3</sup> ]	Air density
P_A	101.4[kpa]	Air pressure sucked by supply fan in chiller
Ga	0.213[kg/s]	Mass flow rate of air in chiller
h2ID	272.1[kJ/kg]	Enthalpy of refrigerant isentropic
RH_IN RH_OUT	0.8(80%) 1.0(100%)	Relative humidity of inlet ambient air in summer Relative humidity of outlet air
w1 w2	0.01392 0.00513	Absolute humidity of inlet air Absolute humidity of outlet air
SVr	0.05131[m <sup>3</sup> /kg]	Specific volume of refrigerant at inlet
Wc WcID	44.4[kJ/kg] 22.2[kJ/kg]	Real enthalpy of refrigerant after compression Ideal enthalpy of refrigerant after compression

다음 표에서 보는 바와 같이 냉각기의 최대냉각능력은 약 33 kW이었고, 냉각기의 냉각효율을 나타내는 성능계수는 약 3.77로 나타났다. 그리고 재가열 전의 냉각공기의 상대습도는 100%로 나타났고, 공기에서 제거되는 수분량은 공기 1 kg 당 약 0.002 kg이었으며 비가역성이 고려된 압축후의 엔탈피가 294.3 kJ/kg로 나타났다. 냉매의 유량이 0.2017 kg/s로써 예상보다 충분하여 냉각기의 냉각능력이 최대 34 kW까지 발생하는 것으로 분석되었다.

표 6-7 시뮬레이션으로 분석한 곡물 냉각기 각지점에서의 냉매 특성

	h[i] [kJ/kg]	P[i] [kPa]	s[i] [kJ/Kkg]	T[i] [°C]	x[i]
[1]	250.0	497.4	0.927	0	1.000
[2]	294.3	1222.8	0.994	73	
[3]	82.5	1222.8	0.305	31	
[4]	82.5	497.4	0.314	0	0.185

위 표는 냉각기의 냉매에 관한 성질을 나타내는 것으로서 h[i]값은 각 지점에서의 엔탈피를 나타내며 P[i]는 각 지점의 압력이고, s[i]는 각 지점의 엔트로피이며 T[i]는 각 지점의 온도, x[i]는 압축기 입구와 증발기 입구의 증기비율을 나타낸다.

그림 6-10 및 6-11은 개발된 냉각기 주요부의 온도를 기초로한 시뮬레이션의 결과로서, 냉각기의 이론적 P-h 및 T-s 선도를 나타낸 것이다.

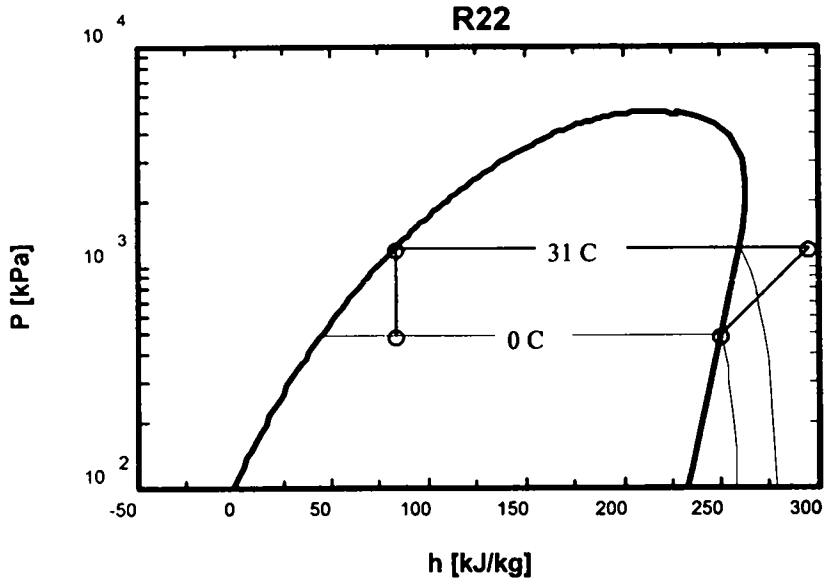


그림 6-10 냉각기 냉매 22의 P-h 선도

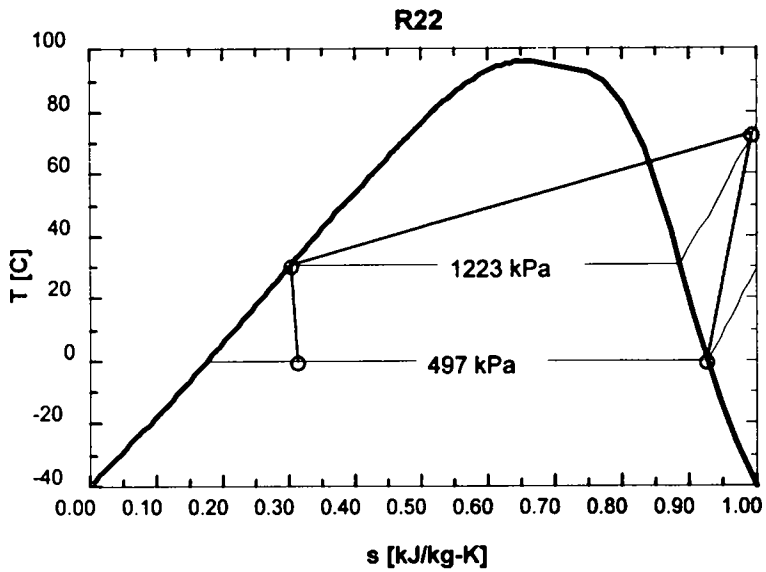


그림 6-11 냉각기 냉매 22의 T-s 선도

## 나. 사일로에서의 곡물 냉각실험 결과

개발한 곡물 냉각기를 단열처리된 사일로에 설치하고 곡물 약 5.6톤을 냉각실험 한 결과 그림 6-12에서 그림 6-16과 같은 결과를 얻었다. 이때 냉각기 출구와 사일로 연결부에 댐퍼를 설치하여 냉각공기량을 조절하도록 하였다.

냉각기의 설정 온도를 13도로 하고 상대습도는 약 70-80%로 설정한 후 냉각기를 가동한 결과, 사일로내 곡물의 온도는 19도에서 점차 떨어져 약 9시간 후에 13~14도에서 유지하였다. 이때 곡물 온도가 15이하로 떨어지고 밤에는 공기 온도가 매우 낮기 때문에 타이머로 작동 12시간 후에 냉각기 작동을 멈추도록 하였다. 그러나 가동중에도 냉각공기가 설정온도 범위 이하로 내려가면 자동으로 압축기가 멈추며 설정온도가 넘어서면 재가동하면서, 냉각기의 평균 소비동력은 시간당 약 9 kWh이었다. 그림 6-13은 냉각시간에 따른 대기온도와 사일로내 곡물의 함수율 변화를 나타낸 것으로서, 정전용량식 수분 센서로부터 측정되는 곡물 함수율은 15%이하를 유지하였다. 그림 6-14는 사일로 공기실의 온도와 사일로내 곡물 평형온도 변화를 나타낸 것인데, 곡물 평형온도는 냉각시 점차 떨어지는 경향을 보이며 15도 이하를 유지하였다. 그러나 공기실의 온도는 곡물 평형온도처럼 떨어지다가 냉각기 작동 중단후부터는 점차 오르는 경향을 보였다. 그림 6-15는 사일로내의 곡물 평형상대습도 변화를 나타낸 것인데 냉각기간 동안에는 70-75%에서, 냉각 중단 후에는 약 75-77%에서 평형상대습도를 유지하였다. 그림 6-16에서는 사일로내 곡물의 평형온도와 평형상대습도의 값들을 이용해 곡물 평형함수율을 예측한 것을 나타낸 것으로서, 그림 6-13과 같이 수분센서에 의해 측정된 것과 같이 평균적으로 15%이하의 함수율을 나타내 보였다.

이같은 냉각기 적용의 일부 실험결과 자료로 볼때, 개발된 냉각기로 충분한 송풍량( $1.3 \text{ cmm/m}^3$ )상태로 곡물의 함수율을 약 15%로 유지하면서 곡은 15도 이하로 중저온으로 저장할 수 있었다. 앞으로 계속해서 본 냉각기를 사용해 그 성능을 향상시키고 중저온으로 곡물을 건조시키는 연구를 수행하고자 한다.



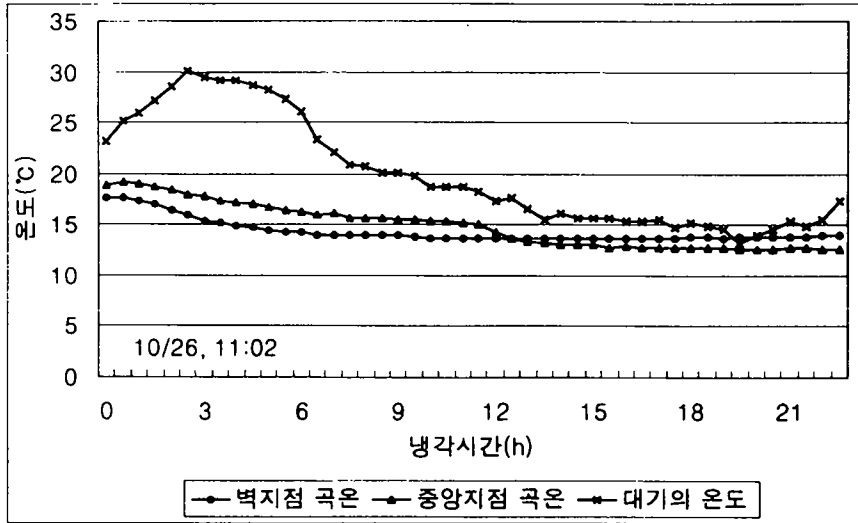


그림 6-12 냉각시간에 따른 대기온도와 사일로내 곡물온도 변화

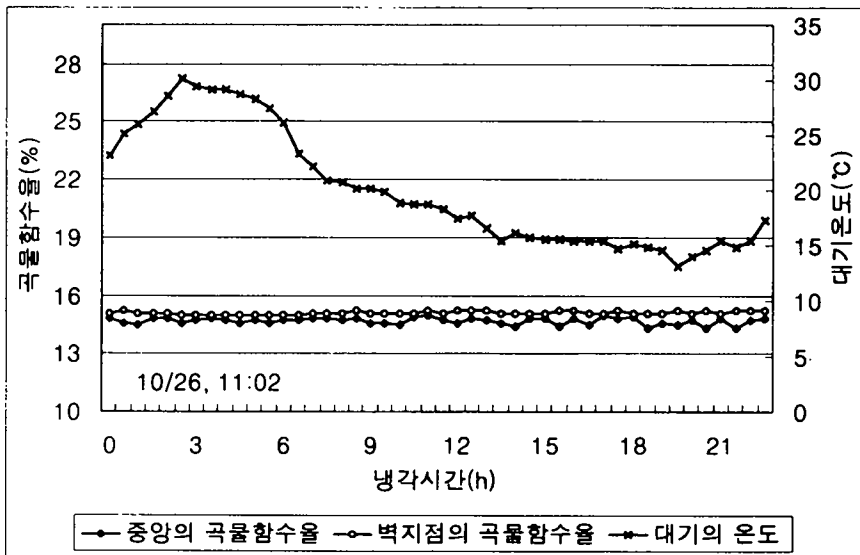


그림 6-13 냉각시간에 따른 대기온도와 사일로내 곡물 함수율 변화

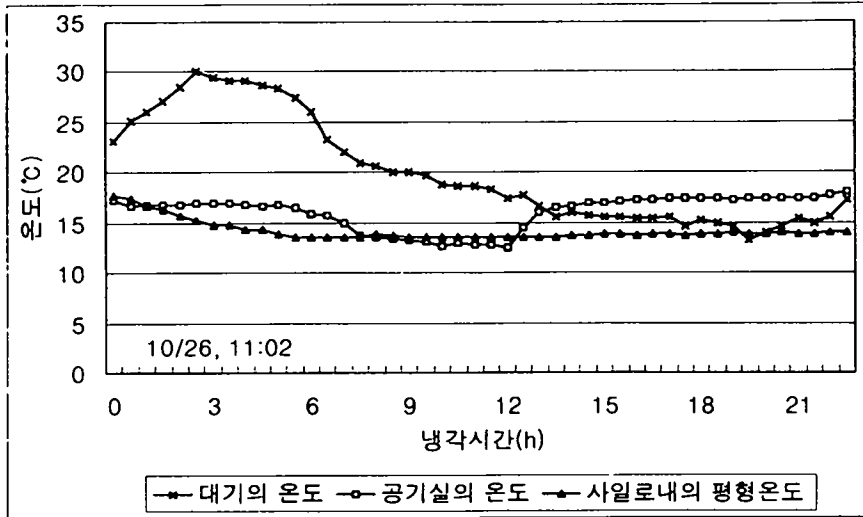


그림 6-14 냉각시간에 따른 공기실의 온도변화와 사일로내 곡물 평형온도의 변화

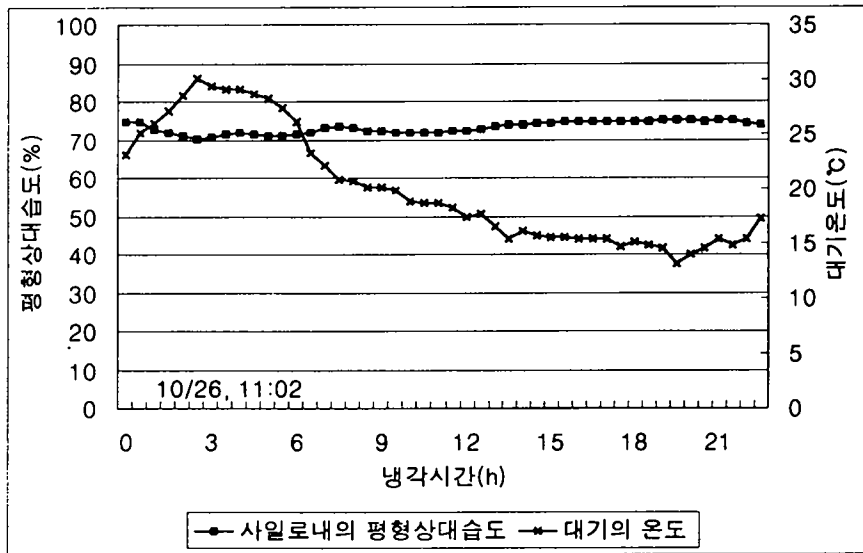


그림 6-15 냉각시간에 따른 대기온도와 사일로내 곡물 평형상대습도의 변화

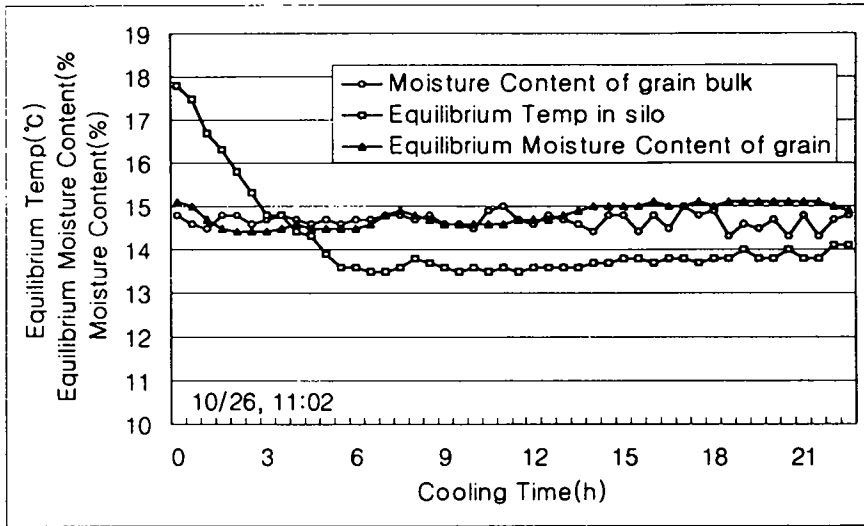


그림 6-16 냉각시간에 따른 실측된 함수율에 대한 예상되는 사일로내의 곡물평형온도와 곡물 평형함수율의 변화

## 제 5 절 결 론

본 연구에서는 EES프로그램을 이용한 시뮬레이션으로 곡물 냉각기를 이론적으로 분석한 후, 약 40톤의 곡물을 15℃ 이하로 냉각시킬 수 있는 곡물 냉각기를 설계하여 제작한 후 그 성능을 평가하였다.

1. 사일로에서 곡물을 중저온으로 냉각하기 위해서 필요한 냉각부하, 열전달량, 호흡열 등을 고려해 최소 25 kW의 냉각능력을 가진 곡물 냉각기를 시뮬레이션을 통해 설계 제작하였다. 곡물 냉각기는 7.5 마력의 압축기, 표면적 92 m<sup>2</sup>의 직교류형의 plate 핀이 부착된 응축기코일, 표면적 68 m<sup>2</sup>의 직교류형의 plate 핀이 부착된 증발기 코일, 온도조절형 팽창밸브, 상대습도 조절용 재가열기 등으로 구성하여 개발하였다.

2. 개발된 곡물 냉각기의 최대 냉각능력은 약 33 kW, 성능계수는 약 3.7로 나타났으며, 약 30℃의 40톤 곡물을 15℃ 이하로 냉각하기에는 충분한 것으로 나타났다.

3. 곡물 냉각기의 냉각공기 유량은 댐퍼에 의해 자동 또는 수동으로 조절되도록 개발되었으며, 공기유량을 수동으로 제어할 때는 임의로 설정할 수 있도록 하였고, 자동조절시에는 냉각공기의 온도와 상대습도를 입력하여 댐퍼와 솔레노이드 밸브를 자동제어함으로써 중저온과 낮은 상대습도의 냉각공기를 얻을 수 있도록 개발하였다.

4. 공기가 들어오는 입구댐퍼에 기본적으로 약 1.5%정도의 구멍을 뚫어 냉각공기 유량이 최소한 11 cmm(m<sup>3</sup>/min)정도 되게 하였으며, 이때 냉각공기 온도는 외기에 따라 8~13℃정도를 나타내었고 상대습도는 50~95%정도의 넓은 범위에서 자동조절이 가능하였다.

5. 본 냉각기는 외기온도가 약 32℃인 여름철에 자동설정시 시동후 약 7분 만에 설정온도 13℃와 상대습도 65~75%의 설정범위에 도달한 후 ±1℃온도 오차와 설정된 상대습도 범위에서 지속하였다. 냉각공기량 0.2 cmm/m<sup>3</sup>으로 곡물 함수율을 15%이하로 유지하면서 5톤의 곡물을 15℃이하의 곡물온도로 냉각시킬 수 있었다.

# 제 7 장 기대효과 및 활용방안

## 제 1 절 기대효과

### 1. 기술적 측면

가. 곡물 속에 포함된 이물질을 선별하여 제거하는 고성능의 대형 곡물조 선기를 개발함으로써 미곡종합처리장의 가장 큰 문제점의 하나인 원료곡 정선 문제를 해결함으로써 공장의 효율을 극대화할 수 있다.

나. 곡물 사일로 시스템을 자동화하고, 자동 건조시스템을 개발함으로써 시스템을 성력화하고, 곡물을 원하는 수준까지 안전하게 상온통풍으로 건조시킬 수 있으며 곡물의 건조비용을 상당히 절감시킬 수 있다.

다. PC 및 PLC를 이용한 곡물 사일로 저장건조 관리시스템을 개발함으로써 곡물 상태를 연속적으로 모니터링하고 관련 부속장치들을 자동으로 제어함으로써 곡물을 효율적으로 건조 및 저장시킬 수 있다.

라. 곡물 사일로의 적정 단열처리방법을 개발하고 그 처리효과를 분석함으로써 결로 및 외기의 영향을 받는 사일로의 단점을 해결할 수 있다.

마. 곡물을 중저온으로 저장하고 건조시킬 수 있는 곡물 냉각기를 개발함으로써 곡물을 함수율 약 16%에서 안전하게 저장하고 미질을 고품질화 할 수 있다.

바. 승강기나 체인컨베이어의 이송장치 대신에 공기 이송시스템을 개발함으로써 시설 설치를 용이하게 하고 체인 컨베이어에 의한 곡물 손실을 줄일 수 있을 뿐 아니라 이송시설 비용을 상당히 줄일 수 있다.

## 2. 경제, 산업적 측면

가. 고성능의 곡물 조선키가 개발됨으로써 미곡종합처리장의 경우 조선키의 정체현상을 막고 시스템의 중단을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 미곡종합처리장 전체의 작업효율을 높일 수 있다. 현재 조선키의 성능이 좋지 않고 처리능력의 한계로 말미암아 후속공정들의 기계들에 무리한 부하를 주거나 손상을 주어 기계들의 수명을 단축시키고 미곡의 품질을 떨어뜨리고 있으나 고성능 대형 곡물조선키의 개발로 이같은 문제점을 해소시킴으로써 고품질의 쌀을 생산할 수 있어 우리 쌀의 국제경쟁력을 높일 수 있다. 또한 일제 수입 조선키를 대체할 수 있어서 외화의 낭비를 줄일 수 있으며 동남아에 조선키를 수출할 수도 있다.

나. 사일로의 건조시스템을 개발하고 자동화시킴으로써 사일로에서 상온통풍으로 대량의 곡물을 연속적으로 건조할 수 있어서 건조비용을 절감하고 미질의 향상을 꾀할 수 있을 뿐 아니라, 건조기간 이후에는 건조용 사일로를 저장용 사일로로 사용할 수 있어서 시설비용의 절감효과를 올릴 수 있다. 현재 미국의 경우에는 벼 총생산량의 1/3 이상을 곡물 사일로에서 상온통풍으로 건조시킨 후 저장함으로써 건조비용과 시설비용의 투자를 줄이고 있는 바 우리 나라에서도 곡물 건조저장시설에 투자하는 비용을 최소화함으로써 미곡종합처리장의 적자운영을 막도록 해야 할 것이다. 이에 가능한 대형 연속식 화력건조기의 도입을 줄이고 건조잠재력이 높은 우리 나라에서는 상온통풍으로 사일로에서 곡물을 건조시킴으로써 건조 및 저장시설의 비용을 절감해야 할 것이다.

다. 사일로에서 곡물을 안전하게 저장하기 위해서 단열처리를 하려고 하나 이에 대한 기술개발이 제대로 되지 않아서 시행착오를 겪고 있다. 이에 적정 단열처리 방법을 개발함으로써 단열처리 비용을 최소화하고 단열처리를 용이하게 할 수 있다. 현재 단열처리에 사일로 1기당 약 1,200만원 이상의 비용이 소요되고 있어서 적정 단열처리 방법이 개발되면 절반 수준으로 단열처리를 할 수 있으리라 사료된다. 또한 개발된 곡물 냉각시스템과 컴퓨터를

이용한 사일로 저장건조관리시스템으로 곡물을 저장관리 한다면 곡물 저장량의 약2% 이상 수준에서 곡물의 양적 손실을 줄일 수 있을 뿐아니라 곡물의 질적 손실도 막을 수 있다.

라. 곡물 반입 및 반출시설로 설치되고 있는 승강기와 체인컨베이어는 시설비용이 매우 높고 체인컨베이어에서는 곡물에 손상을 많이 주고 있다. 이에 곡물의 공기 이송시스템이 개발되면 곡물 반송시설에 소요되는 비용을 약 30%이상 절감시킬 수 있다. 이같은 곡물의 공기이송시스템에 대해 국내에서는 아직 충분히 연구 개발되지 않아서 미곡종합처리장과 같은 곡물 처리시설이나 도정공장 등에서도 사용되지 않고 있으나, 본 연구에서 개발한 공기이송시스템을 사용하면 그 경제적 및 산업적 효과는 매우 클 것으로 예상된다. 특히 모든 미곡종합처리장의 곡물 반입시설이나 도정공장 또는 곡물 터미널 기계화 영농단, 마을단위의 위성 건조저장시설에 설치함으로써 곡물을 저렴하게 효율적으로 이송시킬 수 있으리라 사료된다.

## 제 2 절 활용방안

1. 개발된 곡물 조선기를 전국의 미곡종합처리장 및 정부미 도정공장 그리고 기계화 영농단 등에 설치하여 콤바인에 의해 수확된 물벼의 이물질을 제거하는데 사용한다. 현재 조선기는 미곡종합처리시설에 있어서 가장 큰 문제점을 갖고 있는 시설로서 성능 높은 조선기의 개발로 미곡종합처리시설의 전체적인 작업효율을 매우 높일 수 있다.

따라서 개발된 좌우요동식의 대형 곡물 조선기를 이미 산업화하여 일부 미곡종합처리장에 설치함으로써 고품질의 쌀을 생산하고 있다. 또한 본 대학의 미곡종합처리장에 개발된 곡물 조선기를 설치 사용함으로써 전남대학교 농장에서 생산되는 벼 전부를 정선하고 있다.

2. 현재 미곡종합처리장에 건조시설로서 다양한 건조기들을 설치하는 바 각 미곡종합처리장마다 그 시설비용이 매우 다르고 건조 방법도 달라서 건조 비용 및 곡물의 품질 역시 매우 다르다. 따라서 국내의 기후조건 및 제반여



건에 적합한 건조시설을 미곡종합처리장이나 기계화 영농단 그리고 농가에 설치함으로써 시설비용 및 건조비용을 상당히 줄일 수 있고 미질의 향상을 가져올 수 있다. 또한 현재 곡물의 저장시설로 널리 보급되고 있는 곡물 사일로의 계측 및 건조시스템을 개발하고 자동화함으로써 곡물 사일로를 곡물의 건조시설로서 널리 사용할 수 있다. 따라서 곡물 사일로는 자동화된 건조 및 저장시설로서 미곡종합처리장, 위탁 영농회사, 기계화 영농단 그리고 농가 등에 저렴하게 널리 보급하여 사용할 수 있다.

3. 개발된 곡물 사일로의 적정 단열처리방법 및 곡물 냉각기를 미곡종합처리장 등의 곡물 사일로에 이용할 수 있어 단열처리 비용을 줄이고 곡물을 중저온으로 안전하게 저장할 수 있다. 또한 사일로의 자동화된 저장건조관리 시스템을 개발함으로써 곡물 저장관리에 있어서 성력화를 가져오고 저장의 관리비용을 줄이며 상당량의 곡물의 양적 및 질적 손실을 줄일 수 있어서 전국에 있는 모든 곡물 저장건조시설에 응용할 수 있다.

4. 곡물의 이송장치인 공기이송시스템은 미곡종합처리장과 같은 곡물처리 시설에 널리 활용될 수 있으리라 사료된다. 따라서 이 시스템이 기업에 의해 산업화되면 수입할 필요도 없이 곡물 처리 현장에 널리 보급하여 사용할 수 있다. 추후에는 공기이송시스템을 곡물이 아닌 곡물의 부산물인 왕겨나 미강의 이송장치로서 이용에 관한 연구를 진행할 예정이다,

## 제 8 장 종합 결론

본 연구에서는 고품질의 쌀을 생산하기 위해서 대형 곡물 조선키, 곡물 사일로 자동건조시스템, 자동 저장관리시스템, 곡물 냉각기, 사일로 단열방법, 곡물 공기이송시스템 등을 개발하였다. 이에 대한 연구 결과를 종합하면 다음과 같다.

### 1. 곡물 조선키의 개발과 성능평가

곡물 조선키를 이론적으로 분석하여 좌우요동형 곡물 조선키를 개발한 후 성능을 평가하고 성능을 개선시켰다.

1) 개발된 좌우요동형 곡물 조선키의 처리능력은 물벼 기준으로 시간당 약 20톤이상으로 나타났다.

2) 조선키의 선별판 경사도가 15° 일 때가 12.5° 일 때에 비해 처리능력이 약간 높게 나타났으나, 두 경우 모두 선별판 상반부에서 모든 곡물을 효율적으로 처리함에 따라 물벼의 경우에도 시간당 20톤 이상의 곡물을 충분히 처리할 수 있었다.

3) 풍량과 선별판 경사에 관계없이 함수율이 14.6%인 경우, 조선키의 평균 정곡 회수율은 99.7 %로 매우 높게 나타났으며, 정선키 곡립에 포함된 이물질량은 0.00001 %이하로 정선키율은 평균 99.7 %이상으로 나타났다. 이때 조선키에서 제거된 이물질량 비율은 총 투입량의 약 0.3 %이상이었고, 조선키에서의 손실된 곡립량은 적정 조건에서 약 0.001 %로 매우 낮게 나타났다.

4) 벼 함수율이 19%이고 선별판 경사각 15도에서 실험한 결과, 정선키 곡립이 회수된 비율은 99.54%로 나타났고, 곡립 손실량은 약 0.006%, 정선키 곡립속의 이물질 비율은 약 0.0007%로 나타났다. 건벼의 경우보다 성능이 무시할 정도로 약간 떨어지지만 건벼의 경우와 같이 성능 및 처리능력이 매우 우수하게 나타났다.

## 2. 곡물 사일로 및 건조 시스템 개발과 자동화

곡물의 상태를 연속적으로 모니터링하고 부속장치를 자동제어할 수 있는 사일로 시스템을 개발하였고, 곡물을 자동으로 원하는 함수율까지 건조시킬 수 있는 PLC 자동건조시스템을 개발하였다.

1) 곡물 반입부에 호퍼스케일을 설치하고 여기에 120도 각도로 정전용량식 수분센서 3개를 설치하여 연속적으로 사일로로 반입되는 벼의 수분을 측정하며 계량할 수 있는 시스템을 개발하였다.

2) 사일로 외부에서 구동되는 양날개식의 고성능 동력스위프오거를 사일로내에 고정 설치해 곡물이 1m정도 사일로내에 퇴적되어 있더라도 연속적으로 곡물을 균일하게 배출시키고, 최종 곡물 반출시 잔곡을 최소화하도록 하였다.

3) 정전용량식 수분센서를 사일로 중앙과 내벽 그리고 배출오거에 설치하여 벼 함수율과 곡온을 연속적으로 모니터링하고, 이들 값들을 설정한 함수율 값과 비교하여 사일로에 설치된 팬, 가열장치, 교반장치 등의 부속장치들이 자동으로 작동하도록 PLC를 이용한 자동건조시스템을 개발하였다. 즉 교반장치가 설치된 사일로내에서 곡물의 온도와 함수율을 자동으로 계측해서 사일로의 부속장치들을 자동으로 제어하도록 하였다.

4) 개발된 사일로 건조시스템을 이용해 곡물을 건조한 결과, 원하는 수준까지 곡물을 자동으로 안전하게 건조시킬 수 있었다. 건조초기에는 각 지점에서 상하층간에 약 1-2% 이상의 함수율 차이가 있었으나 교반기를 작동하면 서부터 상하층간의 함수율 차이가 0.5% 정도로 거의 균일한 함수율 분포를 나타내었다. 또한 사일로에서 상온통풍으로 건조한 벼의 동할립율을 검사한 결과 약 2% 이내로 나타났다. 이 결과는 순환식 건조기에서 건조된 벼의 동할립율 3%(40도에서 열풍건조), 5%(45도에서 열풍건조)와 8%(55도에서 열풍건조), 그리고 천일건조시 벧짚위 망사에서의 동할립율 약 10%와 콘크리트 위에서의 동할립율 약 16%에 비해 현저히 낮게 나타났다.

### 3. 곡물 사일로 저장건조시스템의 개발 및 자동화

곡물 사일로에서의 곡물을 안전하게 저장하고 자동으로 곡물을 관리하기 위해서 PC를 이용한 저장건조시스템을 개발하였다.

1) 사일로내의 곡물 퇴적고를 측정하여 곡물량을 알기 위해서 초음파센서를 이용한 곡물 퇴적고 자동측정장치를 개발하였다. 실제로 측정한 곡물 퇴적고와 초음파 센서를 사용해 측정한 곡물 퇴적고간의 상관관계는 0.9999 이상으로 매우 높아서 곡물 퇴적고를 자동으로 정확하게 측정할 수 있었다.

2) 사일로내에서 곡물을 적정 조건에서 저장하고 건조하기 위해서 곡물의 상태를 연속적으로 모니터링하고, 자동으로 부속장치들을 제어할 수 있는 저장시스템의 소프트웨어 및 하드웨어를 개발하였다. 이에 곡물의 온도, 함수율, 평형상대습도, 공기실의 온도 및 상대습도, 외기의 온도 및 상대습도들을 연속적으로 계측하였고, 외기의 부패(통풍)지수 및 평형함수율 등을 추정할 수 있었으며, 사일로 부속장치들을 개발된 저장 및 건조 기준의 프로그램에 의거 자동 작동되도록 하였다.

3) 개발된 시스템의 프로그램은 자동계측, 수동제어, 자동건조, 자동저장, 자료출력 등의 5개의 주메뉴로 구성하여 개발하였다.

4) 사일로 중심부 및 내벽에서 정전용량식 수분센서를 이용하여 함수율 약 0.5%의 오차범위에서 저장중 곡물의 함수율을 연속적으로 측정할 수 있었으며, 건조중에는 함수율 약 0.5%-1%의 오차범위에서 함수율을 측정할 수 있었다.

5) 곡물 저장시 곡물의 평형상대습도와 평형온도를 측정하여 Henderson의 평형함수율식을 이용해 곡물 함수율을 추정한 결과는 정전용량식 수분센서에 의해 측정된 함수율 보다 더욱 더 정확함을 알 수 있었다.

6) 개발된 시스템에서 곡물을 건조한 결과, 교반의 효과가 뚜렷하여 상하

층간의 함수율 차이가 약 1% 내외로 적게 나타났다.

7) 사일로 저장건조시스템을 개발하고 자동화하여 곡물 건조 및 저장 실험을 한 결과, 개발된 시스템들이 효율적으로 잘 작동함을 알 수 있었다.

#### 4. 곡물 공기이송시스템의 개발

사일로내의 곡물을 배출시 사일로에 남는 잔곡 문제를 해결하고, 곡물을 원하는 장소로 손쉽게 이송시키기 위해서 곡물 공기이송시스템을 개발하였다.

1) 곡물을 흡인하여 계량한 후 곡물을 원하는 장소로 이송시킬 수 있는 흡인 겸 압송식의 다목적 곡물 공기이송계량시스템을 개발하였다. 본 장치는 진공펌프, 구동모터, 로터리밸브, 호퍼식 자동계량기, 집진용 사이클론, 소음기, 공기컴프레서 등으로 구성하였다. 본 장치의 흡인 능력은 약 10 t/h, 압송 능력은 20 t/h 이상 그리고 계량능력은 최대 20 t/h 이었다.

2) 함수율이 14.5%인 곡물을 수평방향으로 약 30 m 이송시 고압호스관내의 공기속도가 약 34 m/s 일 때에는 곡립들이 약 3% 이상 탈부되는 손상이 있었으나, 공기속도를 약 25 m/s 이하로 하여 곡물을 이송할 경우에는 곡물의 손상이 없었다. 이에 곡물 이송거리, 곡물의 함수율, 수평 또는 수직 및 굴곡 정도 등에 따른 압력손실 및 품질손상을 고려하여 곡물 이송에 적합한 공기의 적정속도를 구명하는 연구가 지속적으로 요구되었다.

#### 5. 곡물 냉각시스템의 개발

본 연구에서는 EES프로그램을 이용한 시뮬레이션으로 곡물 냉각기를 이론적으로 분석한 후, 약 40톤의 곡물을 15℃ 이하로 냉각시킬 수 있는 곡물 냉

각기를 설계하여 제작한 후 그 성능을 평가하였다.

1) 사일로에서 곡물을 증저온으로 냉각하기 위해서 필요한 냉각부하, 열전달량, 호흡열 등을 고려해 최소 25 kW의 냉각능력을 가진 곡물 냉각기를 시뮬레이션을 통해 설계 제작하였다. 곡물 냉각기는 7.5 마력의 압축기, 표면적 92 m<sup>2</sup>의 직교류형의 plate 핀이 부착된 응축기코일, 표면적 68 m<sup>2</sup>의 직교류형의 plate 핀이 부착된 증발기 코일, 온도조절형 팽창밸브, 상대습도 조절용 재가열기 등으로 구성하여 개발하였다.

2) 개발된 곡물 냉각기의 최대 냉각능력은 약 33 kW, 성능계수는 약 3.7로 나타났으며, 약 30℃의 40톤 곡물을 15℃ 이하로 냉각하기에는 충분한 것으로 나타났다.

3) 곡물 냉각기의 냉각공기 유량은 댐퍼에 의해 자동 또는 수동으로 조절되도록 개발되었으며, 공기유량을 수동으로 제어할 때는 임의로 설정할 수 있도록 하였고, 자동조절시에는 냉각공기의 온도와 상대습도를 입력하여 댐퍼와 솔레노이드 밸브를 자동제어함으로써 증저온과 낮은 상대습도의 냉각공기를 얻을 수 있도록 개발하였다.

4) 공기가 들어오는 입구댐퍼에 기본적으로 약 1.5%정도의 구멍을 뚫어 냉각공기 유량이 최소한 11 cmm(m<sup>3</sup>/min)정도 되게 하였으며, 이때 냉각공기 온도는 외기에 따라 8~13℃정도를 나타내었고 상대습도는 50~95%정도의 넓은 범위에서 자동조절이 가능하였다.

5) 본 냉각기는 외기온도가 약 32℃인 여름철에 자동설정시 시동후 약 7분만에 설정온도 13℃와 상대습도 65~75%의 설정범위에 도달한 후 ±1℃온도 오차와 설정된 상대습도 범위에서 지속하였다. 냉각공기량 0.2 cmm/m<sup>3</sup>으로 곡물 함수율을 15%이하로 유지하면서 5톤의 곡물을 15℃이하의 곡물온도로 냉각시킬 수 있었다.

## 참고 문헌

- 1) 고태균 외 12인, 1995. 미곡종합처리시설 -이론과 실제-, 문운당
- 2) 고태균 외 6인, 1990. 농산가공기계학, 향문사
- 3) 박경규, 1988. 한국에 있어서 곡물의 건조·저장 및 도정을 위한 종합적인 시스템의 모델개발 및 적정규모 선정에 관한 연구, 한국농업기계학회지. 제 29편
- 4) 고태균, 금동혁 외 1994. 미곡종합처리장. 한국농기계학회
- 5) 금동혁, 박호석 외 1994. 미곡종합처리장. 농협전문대학
- 6) 금동혁. 1979. 곡물의 상온통풍건조 시뮬레이션.  
한국농업기계학회지 4 (2)
- 7) 全農 施設資材部. 1987. 共乾施設 のてびき (I)(II)(III)
- 8) 全農 施設資材部. 1991. 共乾施設 ユスト저감 てびき.
- 9) 山下律地. 1985. 穀物乾燥施設 の 診断. 日本農業機械學會.
- 10) 金相憲 外. 1981. 脫穀性能 向上을 爲한 搖動체 選別方法 開發에 關한 研究. 한국농업기계학회지;6(2), pp.33~47.
- 11) 金相憲. 1982. 搖動체의 벼 生脫穀物 選別性能에 關한 研究. 한국농업기계학회지;7(1), pp.33~41.
- 12) 李昇揆. 1974. 탈곡기의 선별성능 측정방법의 개발에 관한 연구. 서울대학교 농과대학 석사학위 논문
- 13) 李昇揆 外. 1986. 軸流 콤바인의 開發에 關한 基礎 研究(I). 한국농업기계학회지;11(2), pp.31~40.
- 14) 李鐘瑚 外. 1989. 穀物の 空氣選別에 關한 空氣動力學的 研究(I). 한국농업기계학회지;14(4), pp.272~281.
- 15) 鄭昌柱 外. 1988. 콤바인 選別室의 氣流選別에 關한 研究. 한국농업기계학회지;13(3), pp.32~43.
- 16) 江崎春雄 外. 1972. 自脫 コンバインの 高性能化に 關する 研究,農業機械化研究所研究報告;제9호

- 17) 竹内龍三 外. 1973. 送風選別風爐の 形状に 關する 研究. JSAM,35(3), pp.288~292.
- 18) 岩尾俊男 外. 1971. 振動ふるい上の粒子の運動(第2報)-だ圓運動の場合-. JSAM:33(2), pp.163~172.
- 19) 岩尾俊男, 田邊一. 1972. 振動ふるいにおける流動層粒子の 移動速度ともみと玄米の分離特性について,島根大學農學部研究報告; 第6號 分冊.
- 20) 川村 登 外. 1968. 自脫型 コンバインの 機能に 關する 研.
- 21) Hall, C.W. 1980. Drying and storage of agricultural crops, AVI Publishing Co. Inc
- 22) Chung, J.H. 1989 Modeling, simulation, and automatic control for optimum drying and storage of rough rice in a bin system. Ph.D. dissertation. LSU.
- 23) M.G. Roth. 1973. Energy conservation in grain dryers: performance evaluation. ASAE Paper No.73-324, ASAE, St. Joseph, MI 49085
- 24) Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema, and C.W. Hall. 1982. Drying Cereal Grains, The AVI publishing company, Inc. Westport, Connecticut
- 25) Henderson, S.M. and R.L. Perry. 1976. Agricultural Process Engineering. AVI publishing Co., Westport, Conn. p. 284-322
- 26) Houston, D.F. 1972. Rice Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc, St. Paul. Minnesota, p. 140-187
- 27) Kunze, O.R. and D.L. Calderwood. 1979. System for drying of rice. Drying and storage of Agricultural Crops, C.W. Hall. AVI publishing Co., Conn. p. 230
- 28) Verma, L.R. and A. Noomhorm. 1986. Rice drying simulation. Drying '86 Volume, p. 461-469



- 29) Verma, L.R. and L.A. Jacobsen. 1987. On-farm rice drying energy use APPLIED ENGR. IN AGRICULTURE 3(1):79-86
- 30) Schertz, C.E. and T.E. Hazen. 1963. Predicting motion of granular material on an Oscillating conveyer. Trans. of the ASAE; pp.6~10.
- 31) Burrough, D.E. 1954. Power requirements of combine drives. Agr. Eng.;35(1), pp.15~18.
- 32) German, R.E. and J.H.A. Lee. 1969. Grain separation on an oscillating sieve as air volume and frequency. Trans. of the ASAE; pp.883~885.
- 33) Hamdy, M.R., R.E. Stewart and W.H. Johnson. 1967. Theoretical analysis of centrifugal threshing and separation. Trans. of the ASAE;pp.87~90.
- 34) Labor, W.F. and W.F. Buchele. 1953. Designing and testing of a threshing cone. Trans. of the ASAE; pp.73~75.
- 35) Lee,J.H.A. and R.G. Winfield. 1969. Influence of oscillating frequency on separation of wheat on a sieve in an air stream. Trans. of the ASAE; pp.886~888.

## 참고사항

다음과 같은 프로그램 내용은 저자에게 문의 바랍니다

1. 사일로 저장건조시스템의 PLC 프로그램
2. 사일로 저장건조시스템의 PC 프로그램

연락처: Tel. 062-530-2156