

631.36

L 293 2

v. 3

19916634

GA0062-0984

제 3 차년도
최종보고서

350

중저온 건조저장기법을 활용한 고품위 쌀 생산기술 개발

Development of high quality rice producing technology
by low-temperature drying and storage

연구기관

한국식품개발연구원

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “중저온 건조저장기법을 활용한 고품위 쌀 생산기술개발”과
제의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 12.

주관 연구 기관 : 한국식품개발연구원

총괄연구책임자 : 김 동 철(한식연 특수연구사업단장)

연 구 원 : 이 세 은(한식연 특수연구사업단)

김 의 응(한식연 특수연구사업단)

김 철 진(한식연 식품생물공학이화학연구본부장)

정 문 철(한식연 식품생물공학이화학연구본부)

남궁 배(한식연 식품생물공학이화학연구본부)

정 태 연(한식연 식품생물공학이화학연구본부)

금 동 혁(성균관대학교, 생명자원과학대학장)

한 중 규(한성공업(주) 기술연구소장)

강 성 열(한성공업(주) 기술연구소)

정 희 택(한성공업(주) 기술연구소)

요 약 문

I. 제 목

중저온 건조저장기법을 활용한 고품위 쌀 생산기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

원료벼의 수분 및 온도별 중저온 건조, 저장에 관련된 제반특성을 확립하고, 시뮬레이션 프로그램 및 시스템의 개발을 통하여 국내 기후 및 수확후 관리체계에 적합한 중저온건조저장 시스템을 산업화함으로써, 국제 경쟁력이 제고된 고품위 쌀을 공급할 수 있는 체계를 구축함에 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 국내의 중저온 건조저장기술조사 및 분석
2. 원료벼의 물성측정
3. 중저온 건조시스템 개발
4. 냉각장치에 대한 세부기술조사
5. 저장조건에 따른 쌀의 품질특성조사
6. 저장곡물의 곡온, 함수율 변화 특성조사
7. 건조저장시스템 설계를 위한 프로그램 개발
8. 시스템의 기본설계, 제작 및 성능평가
9. 운영실험을 통한 설계 및 장치보완
10. 중저온 건조저장시스템의 운영프로그램 개발

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 중저온 건조저장시스템 개발을 위한 기술조건 확립

가. 곡물의 중저온저장은 1961년부터 약 30년동안 세계적으로 50여개국에서 이용되고 있으며, 밀, 콩, 옥수수 등을 대상으로 냉각되는 곡물량도 1년에 2,500만톤에 정도에 달하고 있고, 곡물냉각기를 제작하는 업체만도 7개사 정도로 조사되었다. 곡물냉각기를 이용한 중저온 저장은 건조능력의 향상, 건조비용의 절감, 식미 및 도정수율의 향상, 저장중 호흡에 의한 중량손실의 최소화, 내부 결로방지, 저장기간의 연장, 미생물 및 해충발생 억제효과가 있는 것으로 조사되었다.

나. 우리나라 벼를 대상으로 열적 및 물리적 특성을 조사하였으며, 벼의 함수율(17.2, 21.5, 25.9, 31.6%,d.b.)과 저장온도(10, 20, 30, 40℃)가 호흡특성에 미치는 영향을 조사하였다. 벼의 온도증가에 따른 호흡속도는 지수 함수적으로 증가하였으며, 함수율의 증가에 대해서도 동일하게 지수 함수적으로 증가하였다. 벼의 온도와 호흡속도의 관계는 Arrhenius 및 Gore형의 식으로 잘 나타낼 수 있었다.

다. 벼의 온도와 함수율의 함수로 나타낸 2개의 호흡속도식을 제시하였다. 이 호흡식들의 결정계수는 모두 0.999로 나타났으며, t 검정결과 1%의 유의수준에서 실험치와 예측치간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 개발한 호흡속도식은 벼의 호흡속도를 매우 잘 나타내는 것으로 판단되었다. 벼의 호흡과정을 탄수화물이 분해되어 이산화탄소,

물 및 열이 발생하는 0차 효소반응으로 간주하고, 개발한 호흡속도식을 수정한 저장벼의 건물중량손실율의 예측방정식을 제시하였다.

2. 벼의 중저온 건조저장 특성 조사

가. 박층건조실험 결과, 건조과정에 품질에 영향을 미치지 않고 연속건조가 가능한 온도 및 상대습도 범위는 35℃, 65%로 나타났으며, 건조온도가 낮을수록 상대습도가 높을수록 동할미 및 써미 발생이 현저하게 감소하였다. 곡물냉각기에 의한 후층건조실험 결과 제습건조기보다 낮은 송풍량으로 인해 평균건감율은 0.019%/w.b.이하를 나타내어 상온통풍건조시와 유사하였으며, 건조능력을 40~50% 향상시키기 위해서는 곡물냉각기와 건조기의 복합사용이 경제적인 것으로 판단되었다.

나. 저장벼의 함수율 및 저장온도에 따른 벼의 품질특성 측정 결과, 저장온도 10℃에서 18%,w.b.인 벼는 200일 저장이 가능한 반면, 저장온도 30℃에서는 16%,w.b.의 벼의 저장기간이 60일정도에 불과하였다. 따라서 18%,w.b.이하의 함수율을 가진 벼의 경우 중저온저장이 가능하였으며, 중저온저장이 상온저장에 비해 품질 및 식미가 우수한 것으로 나타났다.

3. 곡물냉각기의 개발

가. 곡물층의 에너지평형 및 물질평형과, 곡물과 통과공기의 평형조건에 기초하여 벼 고정층에서 벼의 곡온변화를 예측할 수 있는 시뮬레이션

모델을 개발하고, 이를 실험을 통해 검증하였다. t 검증결과 5%의 유의수준에서 실험치와 예측치간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 개발한 냉각 시뮬레이션 모델은 곡물냉각시스템의 분석에 유용할 것으로 판단되었다.

나. 개발한 시뮬레이션 모델을 이용하여 송풍량, 냉각공기 온도 및 습도, 벼의 초기곡온 및 함수율, 퇴적높이 등 벼의 냉각속도 영향인자를 분석한 결과, 주어진 작동조건하에서 냉각속도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 송풍량으로 나타났다. 냉각공기 온도 및 상대습도, 벼의 초기곡온이 낮을수록, 퇴적높이가 증가할수록 냉각소요시간은 감소하였으나 송풍량에 비해 그 영향은 그다지 크지 않았다. 냉각소요시간 24 시간에 벼를 냉각시키기 위한 풍량비는 $0.35\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

다. 압축기 무부하전자변, 재열기 및 증발기에 고온고압가스를 공급하여 냉각부하의 변화에 따라 냉각능력을 0~100%까지 제어할 수 있으며, 국내의 기후 및 후확후 관리체계에 적합한 1일 최대 200톤을 냉각할 수 있는 곡물냉각기와, 냉각공기의 온도 및 상대습도의 제어를 위하여 원칩 마이크로프로세서에 의한 컨트롤러를 개발하였다.

라. 증발압력/응축압력이 $16.5/3.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ 일 때 개발된 곡물냉각기의 최대 냉각능력은 $35,284\text{kcal}/\text{hr}$ 였으며, 정압 279mmAq 에서 냉각공기의 송풍량은 $120\text{m}^3/\text{min}$ 였다. 곡물냉각기의 최대재열온도 및 상대습도의 저하는 각각 $7.6\sim 8.6^\circ\text{C}$, $34.5\sim 41.0\%$ 였다. 또한, 곡물냉각기의 소요동력은 22.8kW 였으나, 제어조건에 따라 전체소요동력의 $26.7\sim 33.3\%$ 정도가 절약되는 것으로 나타났다. 곡물냉각기의 냉동시스템의 성적계수

는 471를 나타내었으며, 전성적계수는 1.8을 나타내었다.

4. 중저온 저장시스템 운영기술의 산업화

가. 곡물냉각기를 이용한 2회의 현장적을 실험을 실시하였다. 1차 냉각실험은 200톤 사일로를 대상으로 1998년 여름철에 실시하였으며, 2차 냉각실험은 300톤 사일로를 대상으로 수확기에 실시하였다. 1차 냉각실험에서 초기곡은 23.6℃, 함수율 19.3%인 벼 180.3톤을 14℃까지 냉각시키는데 52.5시간이 소요되었으며, 냉각을 통해 함수율은 약 0.6%,w.b.가 감소하였다. 또한, 2차 냉각실험에서 초기곡은 16.1℃, 함수율 19.2%,w.b.인 벼 272.2톤을 5.5℃까지 냉각시키는데 78.0시간이 소요되었다.

나. 1, 2차 냉각실험에서 냉각공기온도를 각각 8.0, 5.5℃로 설정하였을 때, 곡물냉각기출구의 냉각공기온도는 각각 $8.0 \pm 0.48^\circ\text{C}$, $5.7 \pm 0.84^\circ\text{C}$ 를 나타내어 정밀하게 제어되고 있음을 알 수 있었으며, 2차 냉각실험에서의 온도편차가 1차 냉각실험보다 높게 나타난 것은 냉각부하가 적었고, 외기조건이 급격하기 변화하여 압축기 무부하전자변, 재열기 및 응축기 팬이 제어되었기 때문으로 판단되었다.

다. 냉각부하가 큰 하절기에 실시한 1차 냉각실험에서는 댐퍼만이 제어되었으며, 소요전력은 평균 22.1kW를 나타낸 반면, 냉각부하가 적은 수확기에 실시한 2차 냉각실험에서는 압축기 무부하전자변, 응축기 팬등이 제어되었으며, 소요전력은 평균 17.4kW로 나타나 하절기의 약 27% 정도의 에너지가 절감된 것으로 나타났다.

라. 미곡종합처리장에서 벼 1,500톤을 대상으로 비용분석을 실시하였다. 중저온저장에 의해 연간 추가부담 비용은 7,541,198원인데 비해 59,604,388원의 이윤이 추가로 발생하여 중저온저장시 연간 52,063,190원의 이윤이 발생할 것으로 예측되어 경제성이 높은 것으로 판단되었다.

SUMMARY

I. Title

Development of high quality rice producing technology by low-temperature drying and storage

II. Object and Importance

The objectives of this study were to investigate characteristics of low-temperature drying and storage, to develop a cooling simulation model and to industrialize a new commercial grain cooler suitable for domestic weather and postharvesting conditions for rough rice. This study will be contributed to strengthening the international competitiveness of domestic rice.

III. Contents and Scope

1. Survey of technology with low-temperature drying and storage
2. Physical and thermal properties of rough rice
3. Development of low-temperature drying system
4. Survey of commercial grain coolers
5. Quality characteristics of rough rice with different storage temperatures and moisture contents
6. Investigation of temperature and moisture content changes of rough rice during storage
7. Development of a cooling simulation model for a new commercial

grain cooler

8. Design and manufacture of a new prototype commercial grain cooler
9. Field test and complement of prototype grain cooler
10. Development of controller and control program for a new commercial grain cooler

IV. Results and Suggestion

1. **Establishment of technical conditions for development of low-temperature drying and storage system**
 - a. The low-temperature storage has been applied commercially in over 50 countries since 1961. It was estimated that annually over 25 million tonnes of grain such as wheat, maize and bean were cooled with commercial grain coolers. There are at least seven major commercial manufactures of grain coolers worldwide. The advantages of low-temperature storage were as follows ; increment of drying capacity, reduction of drying costs and dry matter loss, improvement of taste and milling quality, prevention of condensation in bin, extension of storage period, and control of insects and mites.
 - b. Thermal and physical properties for domestic rough rice were investigated. The effects of moisture contents(17.2, 21.5, 25.9, 31.6%,d.b.) and storage temperatures(10, 20, 30, 40°C) on respiration characteristics were as follows : The respiratory rates increased exponentially with temperature and moisture content of grain. The

relationship between respiratory rate and grain temperature fitted the Arrhenius' and Gore's equations very well.

- c. Two empirical respiratory rate equations were suggested as a function of grain temperature and moisture content. The value of determination coefficient for the developed respiratory rate equations was 0.999, and the result of t-test showed that there were no significant differences ($p=0.01$) between predicted and measured respiratory rates. Therefore, it appeared that respiratory rates predicted by the respiratory rate equations agreed well with measured values. An equation for predicting dry matter losses of rough rice during storage was developed by modifying the respiratory rate equations based on chemical reaction of decomposition of carbohydrate.

2. Investigation of low-temperature drying and storage characteristics of rough rice

- a. In thin layer drying for rough rice, the ratios of cracked and broken kernel were increased with temperature and decreased with relative humidity. The safe drying air temperature and relative humidity conditions for continuous aeration were less than 35°C and over than 65%. Drying rate with grain cooler in deep-bed drying was below 0.019%/w.b., which is similar to ambient air drying rate owing to less specific air flow rate than that of dehumidifier. The combination of dryer and grain cooler was practical and economical, to enhance the drying capacity by 40~50%.

- b. The effect of moisture contents and storage temperature on quality characteristics of rough rice showed that rough rice could be safely stored at 10°C with less than 18%,w.b. moisture content for over 200days, while that stored at 30°C with 16%,w.b. moisture contents for less than 60days. Therefore, low-temperature storage was suitable for the rough rice below 18%,w.b. moisture contents. The quality and taste of rough rice stored low-temperature was higher than that stored conventionally.

3. Development of a new commercial grain cooler

- a. A computer simulation model based on equilibrium conditions between grain and air was developed to predict temperature and moisture content changes during cooling of rough rice. The result of t-test showed no significant differences($p=0.05$) between predicted and measured temperature changes. Therefore, temperature changes predicted by the cooling simulation model agreed well with measured values.
- b. Above cooling simulation model was applied to analyze the effect of some factors, such as air flow rate, cooling air temperature and humidity, initial grain temperature and moisture content, and bed depth, on cooling rate of rough rice. The cooling rate was increased with air flow rate and bed depth, and decreased with cooling air temperature and humidity, initial temperature and moisture content. Among these factors, the air flow rate of air was the most influential

factor for cooling rate of rough rice. The Specific air flow rate of $0.35 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^3$ was required for cooling rough rice within 24 hours.

- c. A new commercial grain cooler capable of cooling rough rice of 200 tonnes within 24hrs suitable for domestic climate and postharvesting conditions of rough rice was developed. The grain cooler was designed to control the refrigeration capacity from 0 to 100% by controlling the capacity of compressor with unloading solenoid valve and by changing the flow rates of hot refrigerant gas flowing into evaporator and reheater from compressor. And controller with one chip microprocessor was developed to control temperature and relative humidity of cooling air.
- d. The maximum cooling capacity of the grain cooler was $35,284 \text{ kcal/hr}$ at condensing/evaporating pressure of $16.5/3.6 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$. Maximum flow rate of cooling air was $120 \text{ m}^3/\text{min}$ at static pressure of 279 mmAq . The range of maximum reheating temperature rise and that of the minimum relative humidity decrease of cooling air through reheater were $7.6\sim 8.6^\circ\text{C}$ and $34.5\sim 41.0\%$, respectively. The total maximum required power was 22.8 kW , and total required power could be saved from 26.7 to 33.3% of maximum power depending on operating conditions. The coefficient of performance for refrigeration devices and total coefficient of performance for the grain cooler were 4.71 and 1.8, respectively.

4. Industrialization of operating technology for low-temperature drying and storage system of rough rice

- a. Two trails of field test were conducted to evaluate the cooling characteristic of rough rice with a grain cooler(HSC-200M). The first trail was carried out during summer season 1998 in 200tonnes steel bin. And the second trail was carried out during harvesting season 1998 in 300tonnes steel bin. At first trail, initial temperature(23.6°C) of rough rice was dropped to 14°C, and initial moisture content(19.3%,w.b.) was dropped to 18.7%,w.b. after 52.5hr of cooling. At second trail, initial temperature(16.1°C) was dropped to 5.5°C after 98.0hr of cooling.
- b. During two trails, the mean temperatures of chilled air through the grain cooler were $8.0 \pm 0.48^\circ\text{C}$ and $5.7 \pm 0.84^\circ\text{C}$ when temperature were set at 8.0°C and 5.5°C, respectively. This result implied the precision of grain cooler in controlling temperature. The standard deviation of cooling air temperature at second was higher than that at first, because of controlling the capacity of compressor with unloading solenoid valve and changing the flow rates of hot refrigerant gas flowing into evaporator and reheater from compressor.
- c. The average total power consumption at first trail during summer was 22.1kW with control of fan damper. At second trail, it was 17.4kW due to controlling the capacity of compressor with unloading solenoid

valve and changing the flow rates of hot refrigerant gas flowing into evaporator and reheater from compressor, resulting in 27% reduction of energy consumption.

- d. Cost analysis was carried out to estimate economical profits of low-temperature drying and storage for 1,500tonnes of rough rice in rice processing complex. The estimated cost of investment and energy of a grain cooler was 7,541,198won/year, while the estimated saving cost was 52,063,190won/year. The resulting estimated benefit was 52,063,190won/year, therefore, the low temperature drying and storage was considered as profitable.

Contents

I. Introduction	23
1. Introduction	23
2. Object and scope	27
1.1 Object	27
1.2 Contents and scope	27
II. Establishment of technical conditions for development of low- temperature drying and storage system	31
1. Introduction	31
2. Survey of low-temperature drying and storage technology	33
2.1 Low-temperature storage with grain cooler.....	33
2.2 Cooling temperature and safe storage period of grain	41
2.3 Evaluation of low-temperature technology	50
3. Survey of physical and thermal properties of rough rice	53
3.1 Survey of physical and thermal properties of rough rice	53
3.2 Freezing point of rough rice	66
3.3 Respiration characteristics of rough rice	67
4. Conclusion	84
III. Investigation of low-temperature drying and storage characteristics of rough rice	89
1. Introduction	89
2. Development of low-temperature drying system	90
2.1. Material and methods	90
2.2 Results and suggestion	94

3. Investigation of quality with different storage conditions	105
3.1 Material and methods	105
3.2 Results and suggestion	106
4. Investigation of variation of temperature and moisture content for rough rice during storage	111
4.1 Material and methods	111
4.2 Results and suggestion	113
4.3 Development of a storage simulation model	125
5. Conclusion	134
IV. Development of a new commercial grain cooler	139
1. Introduction	139
2. Investigation of commercial grain cooler	142
2.1 Methods	142
2.2 Refrigeration system	142
2.3 Control of cooling capacity	146
2.4 Energy saving scheme	147
3. Development of a cooling simulation program	149
3.1 Simulation modelling	149
3.2 Verification of the model	153
3.3 Analysis of the effects of design factors on cooling rate	156
4. Development of a new commercial grain cooler	168
4.1 Basic design of a prototype grain cooler	168
4.2 Manufacture and complement of a prototype grain cooler	177
4.3 Development of controller with one chip microprocessor	184
4.4 Development of operating program	187

4.5 Verification of a prototype grain cooler	190
5. Conclusion	200
V. Industrialization of operating technology	205
1. Introduction	205
2. Field test of a prototype grain cooler	207
2.1 Material and methods	207
2.2 Results and suggestion	215
3. Operational scheme and cost analysis	228
3.1 Cost analysis	228
3.2 Operational scheme	234
3.3 Industrialization	234
4. Conclusion	235
References	237
Appendix	259

목 차

제 1 장 서 론	23
제 1 절 서 설	23
제 2 절 연구개발의 목표 및 내용	27
1. 연구개발의 목표	27
2. 연구개발내용	27
제 2 장 증저온 건조저장시스템 개발을 위한 기술조건 확립	31
제 1 절 서 설	31
제 2 절 증저온 건조저장기술의 조사, 분석	33
1. 곡물냉각기를 이용한 증저온저장	33
2. 곡물냉각온도 및 안전저장기간	41
3. 증저온기술의 평가 및 분석	50
제 3 절 원료벼의 물성조사	53
1. 벼의 열 및 물리적 특성조사	53
2. 벼의 동결점	66
3. 벼의 호흡특성	67
제 4 절 결론 및 요약	84
제 3 장 벼의 증저온 건조저장 특성	89
제 1 절 서 설	89
제 2 절 증저온 건조시스템 개발	90
1. 재료 및 방법	90
2. 결과 및 고찰	94
제 3 절 저장조건에 따른 쌀의 품질특성조사	105
1. 재료 및 방법	105

벼의 저장

2. 결과 및 고찰	106
제 4 절 저장곡물의 곡온, 함수율 변화특성 조사	111
1. 재료 및 방법	111
2. 결과 및 고찰	113
3. 곡온예측 시뮬레이션 모델 개발	125
제 5 절 결론 및 요약	134
제 4 장 곡물냉각기의 개발	139
제 1 절 서 설	139
제 2 절 냉각장치에 대한 세부기술 검토	142
1. 대상기기 및 방법	142
2. 기본냉각시스템	142
3. 냉각능력 제어	146
4. 에너지 절약방안	147
제 3 절 곡물냉각기 설계를 위한 시뮬레이션 프로그램 개발	149
1. 시뮬레이션 모델링	149
2. 모델의 검증	153
3. 냉각속도 관련인자의 영향	156
제 4 절 곡물냉각기의 개발	168
1. 곡물냉각기의 기본설계	168
2. 곡물냉각기의 제작 및 운영실험을 통한 설계 및 장치보완	177
3. 원칩 마이크로프로세서를 이용한 제어시스템 개발	184
4. 운영프로그램의 개발	187
5. 곡물냉각기의 성능평가	190
제 5 절 결과 및 요약	200
제 5 장 중저온 저장시스템 운영기술의 산업화	205

제 1 절 서 설	205
제 2 절 곡물냉각기의 현장 적용실험	207
1. 재료 및 방법	207
2. 결과 및 고찰	215
제 3 절 중저온 저장의 운영방안 및 시스템의 비용분석	228
1. 시스템의 비용분석	228
2. 중저온 저장의 운영방안	234
3. 산업화	234
제 4 절 결론 및 요약	235
참 고 문 헌	237
부 록	259

여 백

여 백

제 1 장 서 론

제 1 절 서 설

벼는 수확후에도 생명활동을 지속하기 때문에 호흡 및 대사작용에 의한 성분분해가 계속되어 결국에는 상품성과 식품적가치를 잃게 된다. 이러한 벼의 호흡작용에는 온도, 함수율, 가스환경, 빛, 바람, 미생물 등 여러 요인이 작용하지만 그 중에서 온도 및 함수율의 영향이 지배적이다. 호흡작용은 발열반응으로서 고함수율의 벼 품온을 제어하지 않는 상태로 저장할 경우 저장중에 호흡작용에 의하여 품온이 상승하게 되며 건물중량의 손실을 가져오게 되며, 상승된 품온은 호흡속도를 가속시켜 급격한 품질저하를 초래하게 된다.

한편, 쌀의 함수율은 쌀의 품질중 저장성 및 식미와 밀접한 관계가 있다. 함수율이 높으면 밥의 외관, 끈기, 향기 등이 높아 식미는 우수하나, 저장중 호흡작용이 왕성하여 전분 및 지방의 분해가 발생하고 해충 및 미생물의 번식이 용이하여 품질을 저하시킨다. 따라서 함수율과 곡온이 저장성에 미치는 영향을 고려할 때 사일로, 사각빈 및 평창고 등 저장빈에서 16%,w.b.이상의 함수율을 가진 벼를 상온하에서 산물상태로 장기 저장하기는 사실상 불가능하며, 이를 위해 5~12℃ 정도의 낮은 온도로 냉각저장(cold storage, conditioned air storage, low temperature storage, chilled storage)하는 방법이 사용되고 있다.

수확된 일반적인 청과물의 동결점은 -1~-5℃ 정도로서 동결점이상에서 저장하는 방법을 저온저장(低溫貯藏, low temperature storage)라고 하며, 최근의 청과물 저온저장 온도범위가 동결점에 근접하는 경향을 보이고 있다.

벼의 경우 함수율에 따라 차이는 있지만 동결점이 -20°C 이하로서 벼의 동결점보다 높은 $5\sim 12^{\circ}\text{C}$ 정도에서 저장하는 방법을 중저온저장(中低溫貯藏, low temperature storage)이라고 할 수 있다. 따라서, 벼의 중저온저장은 저장빈에 산물상태로 저장된 벼를 곡물냉각기(grain cooler)을 이용하여 $5\sim 12^{\circ}\text{C}$ 로 냉각하여 연간 16%,w.b.내외로 품질저하 없이 저장하는 방법을 말한다.

곡물냉각의 목적은 수분이동 및 미생물에 의한 부패방지이며, 냉동을 이용한 곡물냉각의 장점은 계절이나 외기에 무관하게 곡물의 냉각에 필요한 온도의 공기를 얻을 수 있다는 점과 공기의 상대습도를 조절할 수 있다는 점이다(Sauer, 1992). 인공적으로 곡물을 냉각시킨다는 아이디어는 1917년 독일의 기술자인 Dienst에 의해 처음 제안되었으나, 당시에는 곡물의 저장에 냉각을 적용시킨다는 것이 너무 고가이고 비현실적인 것으로 판단되었다. 그러나, 세계 2차대전이후 곡물건조에 열풍건조가 이용됨에 따라 전통적인 수확방법에서 콤바인을 사용하는 대규모 수확방법으로 바뀐 후, 건조기 용량의 한계로 병목현상이 발생하게 되어 대규모로 반입되는 고수분의 곡물 처리를 위한 효율적인 저장방법으로 곡물냉각이 주목받게 되었다. 1961년 최초의 상용적인 곡물냉각기가 판매된 이래 1961년부터 1989년까지 보급된 곡물냉각기는 총 3,500대 이상으로 세계적으로 약 50여개국에서 연간 2,500만톤 이상의 곡물이 냉각되고 있다.

우리 나라에서도 미곡종합처리장에서 산물벼 수매가 본격화됨에 따라 화력건조기의 용량은 매우 부족하게 되었으며, 짧은 반입기간동안 많은 물벼를 처리하기 위해 추가로 건조기를 도입하기 위해서는 막대한 비용이 소요된다. 그러나 건조기 사용기간은 물벼 반입기간으로 제한되어 대단히 짧아 투자효율이 낮을 뿐 아니라 이를 위해 투자능력도 부족한 실정이다. 또한,

라니노 등 수확기에 발생하는 이상 기후에 따라 상온통풍건조의 활용에 어려움이 발생하는 점을 감안할 때 기존에 설치되어 있는 건조시설의 처리용량을 확대할 수 있는 새로운 기술의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 물벼반입시기에 화력건조기의 처리용량을 최대 40~50%까지 향상시킬 수 있는 중저온 건조·저장기술의 개발의 필요성이 대단히 높다고 할 수 있다.

또한, 쌀은 16%,w.b.내외의 함수율에서 가장 우수한 식미(밥맛)을 갖는 것은 주지의 사실이나, 기존의 관행적인 저장방법으로는 벼를 년중 16%,w.b.내외로 저장하는 것은 사실상 불가능한 실정이다. 따라서, WTO체제하에서 경쟁력제고를 위해서는 식미가 우수한 고품질 쌀 공급체계를 구축해야 하며, 이를 위해서는 중저온저장기술의 도입 필요성은 더욱 높아지고 있다.

한편, 연간 균일한 식미를 가진 쌀을 생산하기 위하여 저온저장고를 이용하여 벼를 냉장저장하는 방법이 일부에서 이용되고 있다. 그러나 퇴적된 벼의 냉각은 열전달율이 대단히 낮은 전도에 의해 냉각되므로 벼의 초기품온이 높거나 비교적 함수율이 높은 경우, 퇴적된 곡물의 중간층에서는 발생하는 호흡열을 신속하게 제거되지 않아 냉각되지 않고 오히려 부패할 수 있다. 또한, 저온저장고의 초기투자비가 클 뿐 아니라 산물로 처리할 수 없어 지대미나 폴리콘 백으로 작업해야 하므로 인력소요가 크고 번거로운 단점이 있다. 따라서 함수율이 높은 산물벼의 냉각에는 높은 송풍정압을 갖는 냉각공기가 직접 벼층을 통과하여 대류에 의해 신속하게 냉각하는 곡물냉각기의 사용이 가장 효율적이라고 할 수 있다.

그러나 외국에서 상용적으로 제작, 판매되고 있는 기존의 곡물냉각기는 대단히 고가이며, 지금까지 주로 밀, 콩, 옥수수, 유체에 대한 운영방법 및 연구결과가 보고되고 있을 뿐이다. 따라서 우리나라 기후조건하에서 식미가 우수한 벼의 냉각 및 저장기법의 개발은 필수적인 사항이다. 따라서, 국내

의 기후조건과 비의 수확후 관리체계에 적합한 한국형 곡물냉각기의 개발과
중저온 건조·저장기술의 개발은 기술적인 측면에서는 물론 경제적, 사회적
인 측면에서 그 중요성이 대단히 높다고 할 수 있다.

제 2 절 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구개발의 목표

원료벼의 수분 및 온도별 중저온 건조, 저장에 관련된 제반특성을 확립하여 학술적인 기초자료 제공과 이를 활용한 시뮬레이션 프로그램 및 시스템의 개발을 통하여 중저온 건조저장시스템을 산업화함으로서, 국제 경쟁력이 제고된 고품위 쌀을 공급할 수 있는 체계를 구축함에 있다.

2. 연구개발내용

- 가. 국내외 중저온 건조저장기술조사 및 분석
- 나. 원료벼의 물성측정
- 다. 중저온 건조시스템 개발
- 라. 냉각장치에 대한 세부기술조사
- 마. 저장조건에 따른 쌀의 품질특성조사
- 바. 저장곡물의 곡온, 함수율 변화 특성조사
- 사. 건조저장시스템 설계를 위한 프로그램 개발
- 아. 시스템의 기본설계, 제작 및 성능평가
- 자. 중저온 건조저장시스템 운영실험
- 차. 운영실험을 통한 설계 및 장치보완
- 카. 중저온 건조저장시스템의 운영프로그램 개발

여 백

여 백

여 백

제 2 장 증저온 건조저장시스템 개발을 위한 기술조건 확립

제 1 절 서 설

곡물의 증저온저장은 곡물로 부터 수분이동 방지, 미생물 및 해충에 의한 부패방지가 목적인 비화학적 처리방법이다. 곡물냉각은 응애, 해충 및 곰팡이를 동시에 제어할 수 있는 다목적 처리방법으로서, 살충제에 대한 저항과 살충제의 잔류에 대한 우려가 높아지는 점을 고려할 때 저장 방법으로 곡물냉각기에 의한 증저온 저장체계가 확대될 것으로 판단된다. 이러한 곡물냉각이 최소냉각속도를 얻기 위해서는 일정량의 공기가 필요하며, 이를 위해서는 덕트가 필요하다는 점에서 상온통풍과 다를 바는 없으나, 곡물냉각기를 이용한 곡물냉각은 계절이나 외기에 무관하게 곡물의 냉각에 필요한 온도의 공기를 얻을 수 있다는 점과, 공기의 상대습도를 조절할 수 있다는 점에서 차이가 있다.

곡물냉각은 1961년 상용적인 곡물냉각기가 생산된 이후 독일, 미국, 프랑스, 영국, 이스라엘, 호주, 스웨덴, 이탈리아 등은 물론이며 동남아, 아프리카 등 세계 약 50여개국에서 30년동안 곡물의 저장에 사용되고 있으며, 밀, 콩, 옥수수, 유채씨앗 등 매년 냉각되는 곡물량만도 2,500만톤이상이 되고 있다. 또한, 세계적으로 곡물냉각기를 생산하는 업체만도 7개회사 정도가 조사되고 있으며, 곡물냉각에 관한 다수의 연구보고가 발표되고 있다. 그러나 이들 연구 결과들은 상호간에 대상 곡물이 다르며, 각국의 기후조건 및 수확후 관리체계 따라 연구한 결과로서 냉각시간 등 그 결과가 일정하지 않다. 벼에 대한 연구결과는 거의 찾아볼 수 없을 뿐 아니라, 외국의 기후조건 및

수확후 관리체계는 우리나라와 차이가 있으며, 특히, 식미를 중요시하는 우리나라의 경우에 그 결과를 바로 적용하기에는 많은 문제점이 있다.

본 연구의 목적은 우리나라의 기후 및 수확후 관리체계에 적합한 중저온 저장체계의 구축과 곡물냉각기의 개발에 적용할 수 있는 기술조건을 확립하는데 두었다. 이를 위하여 1차년도에 “국내외 중저온 건조저장시설의 조사 및 분석”을 통하여 곡물냉각과 관련된 수많은 연구결과를 조사 검토하여 시스템의 개발과 관련된 부분을 요약하여 정리하였으며, “원료 벼의 물성조사”를 통하여 벼의 열 및 물리적인 물성을 문헌을 통해 정리하였다. 또한, 국내 산 벼의 열 및 물리적인 특성중 그 결과를 찾아볼 수 없는 동결특성과 호흡 특성을 측정하였다.

제 2 절 증저온 건조저장기술의 조사, 분석

1. 곡물냉각기를 이용한 증저온 저장

인공적으로 곡물을 냉각시킨다는 아이디어는 1917년 독일의 기술자인 Dienst에 의해 처음 제안되었으나(Reimann, 1927), 당시에는 곡물의 저장에 적용시킨다는 것이 너무 고가이고 비현실적인 것으로 판단되었다. 1950년 프랑스의 Leroy는 함수율 18~20%,w.b.의 곡물을 저장하거나 18%,w.b.로 건조하는데 냉동시스템을 사용하였다고 보고하였으며(Burrell, 1974), 1958년 독일 Sulzer-Escher Wyss사에서 냉각에 의한 건조시스템을 독일에서 판매하였다(Sulzer-Escher Wyss, 1960). 이 시스템은 밀폐 사이클의 배치형으로 히트펌프로 구성되었으며, 퇴적된 곡물의 상부에서 배출되는 공기를 냉각하고, 제습한 후 건조한 찬 공기를 퇴적된 곡물의 하단부에서 강제로 통풍하는 방식이었다.

세계 2차대전 이후 곡물의 저장에 열풍건조가 이용됨에 따라 전통적인 수확방법에서 콤바인을 사용하는 대규모 수확방법으로 바뀌었다(Hall, 1980). 그러나 많은 열풍건조시설이 설치됨에도 불구하고 건조기 용량의 한계로 병목현상이 발생하게 되어(Saul and Lind, 1958), 대규모로 반입되는 고수분의 곡물을 처리하기 위한 효율적인 저장방법이 필요하게 되었다. 유럽에서는 저장방법의 대안으로 포화공기에 의한 냉각저장에 대한 연구를 수행하였다(Burrell, 1974). 상온통풍건조로는 비교적 외기온도가 높은 경우에 수확한 고수분의 곡물을 건조하기에는 불충분하므로(Bolling, 1964), 고수분의 곡물의 곡온을 수확후 24시간내에 10℃이하로 낮춰 옥수수 35%,w.b.까지 약

2~3주동안 안전하게 저장할 수 있었다고 보고하였다(Heidt, 1963).

1961년에 Sulzer-Escher Wyss사에서 송풍기, 압축기, 증발기, 응축기 등으로 구성된 1일 냉각능력 50톤규모의 상용적인 곡물냉각기를 생산하기 시작하였다(Heidt, 1963). 소위 곡물냉각이 곡물산업에 의해 받아들여진 것은 독일에서 150대, 그 외 5개국에서 곡물냉각기가 판매된 1963년으로서(Ihen, 1967), 1968년에 이르러서는 높이가 33m인 1,000톤 규모의 사일로에 적합한 곡물냉각기가 판매되었다(Boser, 1968).

Burrell(1965)는 덩트 근처의 곡물은 덩트로 인입되는 포화공기에 의해 함수율이 증가하게 되므로 증발기를 통과한 냉풍의 온도를 응축폐열을 이용하여 1.5~2.5℃정도 가열하여 상대습도를 낮추거나, 응축기 뒤에 냉각공기 팬을 설치하는 것이 적합하다고 보고하였다. Munday(1965)는 영국에서는 곡물냉각기가 농가용으로 제작되어 처음으로 판매되었다고 보고하였다. 이 곡물냉각기는 증발기를 통과한 냉풍의 온도를 1~1.5℃ 재가열하고, 외기온도의 변화에 따라 회전수를 가변할 수 있는 송풍기와, 자동조절되는 댐퍼로 송풍량을 조절하고, 외기온도가 설정온도 이하가 되면 압축기가 자동으로 운전/정지되도록 구성하였다. 자동 제상장치를 부착하였으며, 두 대의 압축기중 냉각부하가 적을 때는 한 대의 압축기를 자동으로 정지시키도록 구성되었다. 이 곡물냉각기의 냉각능력은 1일 25~100톤 정도였으며, 송풍량은 14~57m³/min정도였다. Munday(1965)는 1965년경 영국에는 곡물냉각기를 제조하는 회사가 2개사 정도였으며, 영국에 설치된 곡물냉각기는 약 30~40대 정도였다고 보고하였다.

Bauder(1967b)는 연속식 곡물냉각기의 가능성을 조사하였다. 효율은 약 30%정도로서 대단히 낮았고, 공기의 순환은 비경제적이었으나, 미래의 곡물냉각에 대한 응용을 고찰하면서 1960년대 말부터 건조능력이 대단히 증가하므로 곡물냉각기는 고수분의 곡물의 일시적 저장 및 건조된 곡물의 장기저

장에 사용되는 것이 타당할 것이라고 보고하였다.

이러한 곡물냉각에 대해 H. Ihne(1972)는 다음과 같은 장점이 있다고 보고하였다.

가. 수용능력을 향상시켜 반입되는 곡물의 수분함량에 관계없이 저장온도까지 적당한 시간내에 냉각할 수 있어 최대물량에 대처할 수 있다.

나. 일부 곡물은 건조기로 투입하고 나머지는 안전하게 냉각저장할 수가 있으므로 기존에 설치되어 있는 어떤 능력을 가진 건조기도 교체없이 처리능력을 향상시킬 수 있다. 또한, 건조기의 냉각부에서 충분히 곡물이 냉각되지 않는다면 냉기의 통풍에 의하여 열의 제거는 물론 더 좋은 건조효과를 기대할 수 있다.

다. 곡물은 열전도도가 대단히 낮아 한번 냉각된 곡물은 주위로부터의 열침입을 통해 품온이 상승하는데 장기간이 소요된다. 또한, 곡물은 냉각된 후 균일한 수분함량을 유지할 수 있고, 신선한 상태로 저장할 수 있을 뿐 아니라 호흡이 중지되거나 대단히 낮아져 호흡에 의한 건물중량손실을 줄일 수 있다.

라. 미생물 및 해충의 대부분은 냉각에 의하여 활동력이 저하하므로, 냉각저장으로 대부분의 해충의 번식을 막거나, 최소한 이들에 의한 부패를 감소시킬 수 있다.

마. 모든 저장빈이 냉각가능하도록 구성되어 있다면 혼합을 위한 별도의 빈을 둘 필요가 없어 모든 빈을 저장에 사용할 수 있다.

바. 맥아용 보리의 저장시 발아력이 감소하지 않기 때문에 냉각저장시 일정한 수준 이하로 수분함량을 낮출 필요가 없다.

1970년대에 Sulzer-Escher Wyss에서 냉각공기의 온도와 습도가 자동조절되는 시스템을 개발하였으며, 습도조절을 위하여 응축폐열을 사용한 재열기

를 부착하였다. 1988년에는 곡물냉각기를 제조하는 모든 제조회사에서 재열기를 부착하였다(Muhlbauer, 1988).

표 2-1은 1961년부터 1989년까지 독일 Sulzer-Escher Wyss사에서 보급한 곡물냉각기와, 연간 냉각저장된 곡물량을 나타낸 것으로서, 곡물냉각기는 55개국에 총 3,500대 이상이 보급되어 있으며, 연간 2500톤 이상의 곡물이 냉각저장되고 있음을 알 수 있다.

Table 2-1 Commercial growth of Grainifrigor grain coolers between 1961 and 1989 in terms of number of units in the field, total annual tonnes chilled and number of countries units operated(Ihne 1967, Bauder 1967b, Sulzer-Escher Wyss 1968, 1969b, 1970, 1972, 1973, Brunner 1989).

Year	Units	Tonnes chilled	Countries
1961	first units	-	1
1963	150	<100,000	5
1968	> 300	> 200,000	13
1969	> 300	1,500,000	> 13
1970	500	2,300,000	15
1972	700	> 2,300,000	21
1974	800	> 3,000,000	23
1989	> 800	> 25,000,000	55

Burrell(1982)는 곡물냉각기의 주요 설계인자로 운전시간, 송풍량 및 냉동

능력을 들고, 운전시간은 계절에 따라 700시간에서 수천시간까지 다양하며, 송풍량은 곡물 용적의 600~1,400배까지 필요하다고 보고하였다. 또한, 냉동 능력에 대해서는 낮과 밤의 냉각부하가 대단히 큰 차이가 있으므로, 저온의 공기를 얻기 위해서는 낮의 최대부하에 맞는 냉동기를 선정하거나 곡물냉각기를 통과하는 송풍량을 제어할 수 있어야 한다고 보고하였다. 현재 상용적으로 판매되고 있는 곡물냉각기는 저장빈에 일정한 온도의 공기의 유입을 위해 모터가 부착된 댐퍼를 사용하고 있다.

최근 미국에서 개발된 시스템은 증발기의 냉각부하를 줄이고 냉매사용을 최소화하기 위하여 증발기이후의 공기의 재열을 위하여 별도의 글리콜을 사용하였다(Maiser et al, 1993a). 또한, 대부분의 냉각기는 저장빈에 유입되는 냉각공기의 온도를 일정하게 조절하기 위하여 모터가 붙은 댐퍼를 사용하고

Table 2-2 Summary of the major commercial manufacturers of grain cooler.

Manufacturers		Model
Fritz Döring Co.	Prum, Germany	Goldsaat
PM-Luft Co.	Kvanum, Sweden	Grain Cooler
Sulzer-Escher Wyss Co.	Lindau, Germany	Grainfrigor
Uniblock Zanotti Co.	Suzzara, Italy	DUK
MacBea Co.	Parkdale, Australia	RM Grain Cooling Units
IKZ	Zwickau, Germany	LK Grain Coolers
AAG Manufacturing	Milwaukee, WI	Chill'd Aire

있으며, IKZ사(1993)는 송풍량을 조절하기 위하여 가변 주파수 팬을 도입하였다.

현재 조사된바에 의하면 세계적으로 곡물냉각기를 제조하고 있는 업체는 표 2-2와 같이 7개정도에 달하고 있다. 또한, 각 제조회사에서 제작되고 있는 시스템중 용량이 가장 큰 시스템의 기본사양은 표 2-3과 같았다. 시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 증발 및 응축온도는 일정하지 않았으나 온도압축기의 냉각능력은 107~130kW, 송풍량은 정압 2,000pa에서 약 16,500m³/hr 수준이었으며, 냉각능력은 1일 350톤 규모였다.

Table 2-3 Summary of the main design parameters for the largest commercial grain coolers of each manufacturers.

	Goldsaat GK 480 NDI	Granifrigor KK400	Grain Cooler 8000	DUK 100	Chill'd Aire GTC 3000
Cooling capacity(ton/d)	400	335	350	350	350
Airflow(m ³ /hr, CMM) at 2,000pa	16,750 (279)	16,300 (272)	16,250 (271)	17,000 (283)	16,900 (282)
Evaporator capacity(kW)	128	107	107	110	115
Connected load(kW)	N/A	54	55	55	55

또한, 이들 7개업체중 최초로 상용적인 곡물냉각기를 개발한 업체는 독일 Sulzer-Escher Wyss사로서, 1963년 기초연구작업을 착수하여 실제조건하에

서 실험을 통하여 기초적인 기술을 확보한 후, 1964년 독일의 “Dusseldorf대학”, “독일곡물연구소”, “농업기술연구소” 및 Sulzer-Escher Wyss사가 공동으로 최초의 ‘Granifrigor’을 제작하였으며, 1985년 일부가 수정된 이후 초기의 원리가 수정되지 않고 현재까지도 제작되고 있다.

표 2-4는 Sulzer-Escher Wyss사가 생산하고 있는 모델별 냉각용량 및 송풍량을 나타낸 것이다.

Table 2-4. Summary of the main design parameters for commercial grain coolers “Granifrigor”.

	KK-35	KK-70	KK-140	KK-220	KK-400
Cooling capacity (tonne/day)	30~35	55~65	95~110	180~200	330~340
Airflow(m ³ /hr, CMM) at 2,000pa	1,200	2,800	4,400	8,600	16,300
Evaporator capacity(kcal/hr)	8,135	13,480	28,200	56,400	92,000
Connected load(kW)	4.2	8.1	13.0	29.0	54.0

세계적인 7대 곡물냉각기 제조회사를 중심으로 KINITI의 주제조사, 특허청의 특허검색시스템을 활용하여 곡물냉각기와 관련된 특허를 조사한 결과 다음 표 2-5와 같았다. 그 결과를 면밀하게 검토하여 시스템의 개발에 활용하였다.

Table 2-5 Patents related with grain cooler in world-wide.

applicant	title
Sulzer-Escher Wyss Co.	Cooling or refrigerating appats. - has each coil connected to multiple distributors by separate pipes
Sulzer-Escher Wyss Co.	Grain dryer with heat pump - has heating, cooling and drying zones and heat pump has condenser and evaporator
Sulzer-Escher Wyss Co.	Agricultural crops silo cooling control -has servo valve and throttle unit responding to variations in ambient temperature
Sulzer-Escher Wyss Co.	Air cooler for grain crops - uses heat exchanger to provide after-warming of cold air leaving cooler with regulator to control flow of hot refrigerant supply
Sulzer-Escher Wyss Co.	Cooling air generator for grain silo - ensures pressure drop through grain by using induction and withdrawal blowers
Sulzer-Escher Wyss Co.	Air cooling plant mechanism to cool and dry crops - has second blower parallel to first supplying air by passing cooler
Sulzer-Escher Wyss Co.	Installation for cooling grain - by fan which draws air through cooler and then blows it over grain
Samar Aviat Inst	Grain drying and cooling equipment - has drier and silo with inlet-outlet pipes, fans, heat-pump and condenser, evaporator, recuperator, forming two air-circuits
UKR Fodder	Aspiration plant for granular materials cooler
Mabag Luft & Klimat	Air conditioning unit construction
PM-Luft Co.	Air cooling unit for grain-incorporates computer controlling temp. at unit outlet on basis of set and measured temp.
Goldssat F Döring	Continuous grain drier assembly - has admission regulated by filling level and smoothing device acting on grain surface
Goldssat F Döring	Continuous flow granular material drier
Goldssat F Döring	Control of cooling in stores of agricultural grain or fodder

2. 곡물냉각온도 및 안전저장기간

곡물을 일정한 수분함량 및 온도범위에서 저장할 때 저장성은 건물중량손실을 발생시키고 품질저하를 유발시키는 곰팡이, 응애 및 해충 등의 수에 달려 있다고 할 수 있다.

곡물을 중저온 저장할때 곰팡이는 장기간 생존하며, 안전저장조건의 지표가 된다. 곡물에서 발견된 곰팡이 종류는 대략 150종 이상이 된다고 한다. 곰팡이는 균사나 포자로 번식하기 때문에 저장시 곡물에 붙어 저장될 뿐 아니라, 곰팡이의 균사나 포자는 어디에나 있기 때문에 환경조건이 맞으면 언제든지 번식하여 곡물을 부패시킨다. 일반적으로 곰팡이는 포장곰팡이(field fungi)와 저장곰팡이(storage fungi)로 구분하나 그 기준은 주로 수분요구량에 의한다. 수확전 포장에서 곡물에 나타나는 곰팡이는 주로 *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium* 등이 대표적으로 함수율이 높아야 번식하기 때문에 상대습도가 70~75%에 상당하는 평형수분을 가진 곡물에서는 사멸한다.

저장곰팡이는 주로 *Penicillium*, *Aspergillus*속으로서 곡물이 고온, 고습일 경우 특히 빠르게 증식한다. 대부분의 곰팡이는 10℃에서는 번식이 적고, 25℃ 이상, 상대습도 80%이상에서는 번식이 빠르나 그 범위는 종류에 따라 다르다. 이러한 곰팡이들은 발열, 발아율의 손실을 초래하여 건물중량의 손실을 가져온다. 많은 종류의 곰팡이는 독소를 생성하며, 이들 곰팡이에 감염된 곡물은 취급중에 포자가 공기중에 혼합되어 농민의 폐와 같은 곳에서 알러지를 일으킨다(Christensen and Kaufmann, 1968).

응애는 대단히 작고 육안으로 관찰이 대단히 어려워 최근에 와서야 그 중요성이 인식되었다. 응애의 종류에 따라서는 배아를 뚫고, 곰팡이 감염을 퇴적층으로 확산시키며, 곡물을 감염시키고, 감염된 곡물을 취급하는 노동자에게 알러지를 일으키기도 한다(Hughes, 1976). 응애는 고수분의 곡물에서 생육이 빠르며, 저온에서도 생육하여 냉각, 또는 통풍되고 있는 곡물에서도 생

육하며(Burrell, 1969 ; Burrell and Havers, 1976), 그 수는 1,000/kg정도로서 많은 경우 100,000에서 백만까지인 경우도 있다. A.Silo와 같은 용에는 곤충보다도 빠르게 증식하며, 낮은 온도에서도 증식하기 때문에 냉각저장중인 고수분의 곡물에서 잠재적인 위협이 되고 있으며, 종류에 따라서는 증식을 막기 위해서는 곡물의 온도를 2~5℃ 정도로 냉각해야 한다. Burrell and Laundon(1967)은 냉각된 고수분의 곡물에서 용애가 빠르게 증가되었다고 보고하였다. 19~20%,w.b.의 함수율을 가진 보리를 11℃로 저장한 후 2개월 후에 용애의 수가 7,000/kg정도에 달하였다고 하였으며, 수분함량 17.4~18.7%,w.b.인 보리에서 표면 이하는 1,000/kg인데 비해 표면에서는 4,000/kg를 넘었다고 하였다. 그러나, Armitage(1980)은 곡물에서 냉각이 용애를 제한시킬 수 있다고 하였다. 상대습도 70%이하에서 *Glycyphagus*가 현저하며, 그 수는 냉각된 빈에서 5℃이하일 때 1/kg을 넘지 않았으나, 냉각되지 않은 빈에서는 700/kg를 넘었다고 하였다. 70%이상에서는 *A.carus*가 현저하며, 온도가 5℃를 넘었을 때 1,000/kg정도였으나 냉각되지 않은 빈에서는 35,000/kg를 넘었다고 보고하였다.

해충은 저장양곡 손실의 주요 원인으로서는 양곡의 손실뿐 아니라 사체로 인한 오염과 냄새 및 미생물의 번식등으로 인한 위생적인 문제와 질적 변질의 주요 원인이 된다. 저장에서 해충의 방제는 무엇보다 중요하며, 해충은 대부분 저장후에 발생하나 바구미나 보리나방 등은 수확하기 전에 이미 곡물에 전파되기도 한다. 동일 해충이라도 지역과 대상물에 따라 피해정도가 다르며, 주요 해충의 분류는 나라에 따라 달라진다. 벼의 해충으로는 쌀바구미, 그라나리아 바구미, 퉁가슴머리대장, 거릿쌀도둑, 화랑곡명나방, 지중해가루명나방 등을 들 수 있으며, 일반적으로 12~13℃이하에서는 짝짓기가 안되며, 16℃이하에서는 알을 낳지 못하며, 13~16℃에서는 알끼기와 애벌레 탈바꿈이 매우 느려, 일반적으로 해충은 15℃이상에서 활동을 시작한다고

해도 과언은 아니다(김행하, 1990). 따라서 곡물냉각기는 곤충이 완전한 life cycle를 갖기 전에 곡물을 냉각할 수 있는 용량을 가져야 한다. 그 다음이 곡물의 냉각온도이다. 감염된 빈에 간헐적으로 계속해서 냉각하는 것은 대단히 중요한데 이것은 생존한 해충이 자체의 활동을 통해 곡물의 품온을 상승시키거나 곡물자체의 온도가 자연적으로 상승할 때 활동을 시작하기 때문이다. Burrell(1967)은 kg당 125~450의 *O.surinamensis*로 오염된 곡물은 냉각이 중단되면 2주만에 15°C에서는 18°C, 3주만에 24°C에서 37°C로 품온이 상승하였다고 하였다. Armitage and Stables(1984)은 곡물 1kg당 675정도의 *S. granarius*에 감염된 부분에서는 1개월 채 못되어 11~13°C에서 18~21°C로 품온이 상승하였다고 하였다.

이상의 곰팡이, 응애 및 해충 이외에 저장성에 영향을 미치는 것은 건물증량손실율과 발아력을 들 수 있다. 물벼의 저장중 건물손실은 주로 호흡과 미생물의 활동에 의하며, 벼 자체의 대사에 의한 영향등이 있다. 지속적인 냉각이 이루어지지 않으면 곰팡이류의 대사에 의한 발열에 의해 열주머니(hot spots)가 생기는데 이는 수분함량, 온도 및 곰팡이균의 총 생균수에 따라 달라진다. 호흡에 의해 1일 0.01%의 건물손실이 발생할 경우 1톤당 1일 376kcal의 열이 발생하고, 열손실이 없다고 가정하면 1일 곡물의 품온이 0.8°C 상승한다. Hyde and Burrell(1973)은 냉각이 가능한 2개의 빈에 함수율 22~25%,w.b.의 보리를 퇴적한 후 냉각시켜 초기온도를 11°C 내외로 유지시킨 다음 냉각을 멈췄을 경우 1일에 0.6°C정도가 승온하였으며, 다시 4°C까지 냉각한 후 냉각을 중지시킨 결과 1일 0.23~0.35°C가 승온하였으며, 6개월 후에 건물손실량이 0.5%에 달하였다고 하였다.

곡물의 생명력의 상실은 주로 온도와 수분함량에 달려 있으며, 곡물의 대사활동은 건조할수록 낮아지므로 고수분 및 고온일수록 빨리 발아력을 상실한다. Shands et al(1967)은 곡물의 초기 포장의 조건과 수확전 기후가 발아

에 영향을 미친다고 하였으며, Arnold(1963)은 냉각에 의해 발아율은 저하할 수 있으며 특히 손상을 받은 곡물의 경우는 더욱 현저하다고 보고하였다. Blum and Gilbert(1957)은 고수분일 경우 곰팡이의 생육에 의해 발아가 저해된다고 하였다.

이상의 결과에서 저장곡물의 함수율이 낮을수록, 저장온도가 낮을수록 안전하게 저장할 수 있음을 알 수 있었다. 그림 2-1은 곡물의 함수율과 저장온도에 따른 안전저장조건을 나타낸 것이다.

Ihen(1971)은 독일에서 10년간 최초의 상용적인 곡물냉각기를 사용한 후 함수율에 따른 적절한 냉각온도를 다음 표 2-6과 같이 추천하였다.

Table 2-6 Recommended chilling treatments of grain according to Ihen(1971).

Moisture range(%)	Grain chilling treatment
12~15	no chilling necessary if grain temperatures are below 20°C
15~17	chill to 8~10°C once
17~19	chill to 8~10°C and re chill when grain temperature rises above 20°C
19~21	chill to 8~10°C and store up to 3~4 weeks
21~25	chill to 4~5°C and store up 1~3 weeks
25~30	first dry to desired level, then chill

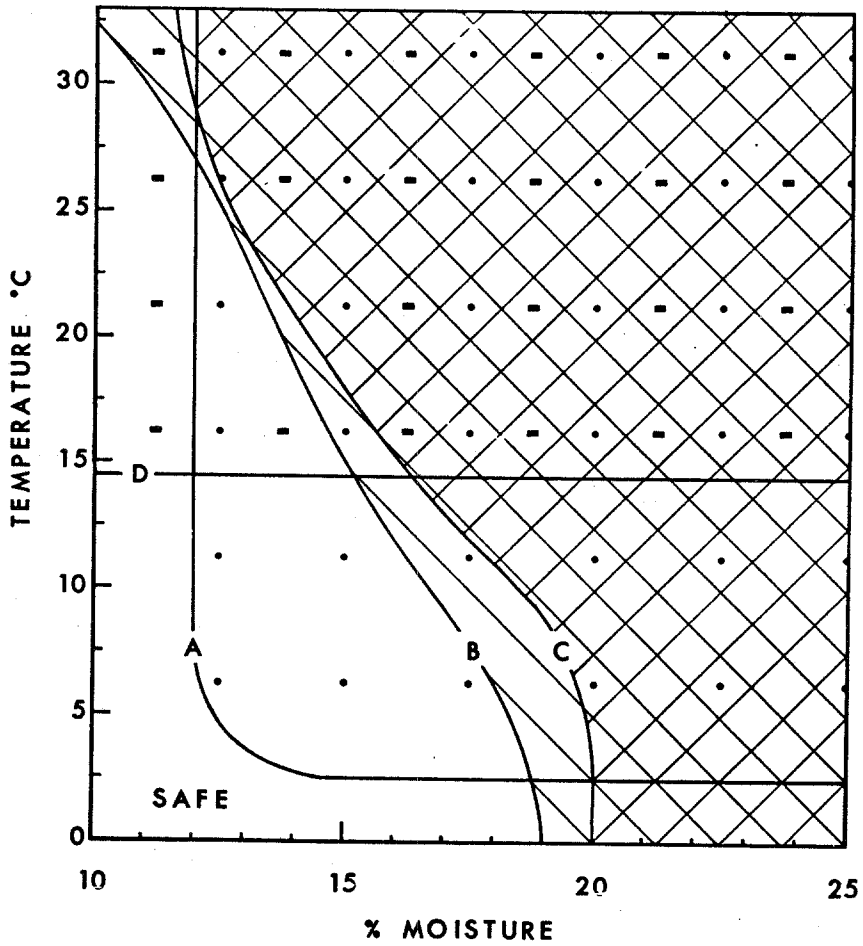


Fig. 2-1 Effect of environmental conditions on stored cereals(Burges and Burrell, 1964). ● : mites breeding, - : insects breeding, /// : fungal growth, \\\ : germination loss and spoiled baking quality)

이와는 반대로 Burrell(1964)는 영국기후하에서 함수율 22%이상의 곡물의 냉각은 짧은 기간동안 실시하고 건조해야 하며, 재냉각에 대해서는 20~22%,w.b.의 곡물은 주간단위로, 20%,w.b.에 가까운 곡물은 약 2주간격으로 재냉각하여야 한다고 하였다.

1970년대에 들어서 초기의 운영조건은 실제 경험치에 의해 많은 변화를 가져왔으며, 그 결과를 요약하면 다음 표 2-7과 같다.

Table 2-7 Moisture content range(MC), grain temperatures(T), and allowable storage time(AST) of grains with different end uses under chilled storage conditions(Sulzer-Escher Wyss, 1972, 1989)

MC (%,w.b.)	Seed grain & malting barely		Bread grains		Feed grain	
	T(°C)	AST	T(°C)	AST	T(°C)	AST
12~15	9~12	permanent	10~12	permanent	10~14	permanent
15~16.5	8~10	1~1.5y	9~10	permanent	10~12	permanent
16.5~18	5~7	4~6m	8~10	5~10m	8~10	6~13m
18~20	5	2~3m	8~10	2~7m	8~10	3~9m
20~22	5	3~4w	6~8	4~16w	8~10	10~25w
22~25	5	1~2w	5~7	3~8w	5~8	5~20w
15~30	4~5	2~3d	4~5	5~10d	4~5	14~30d
> 30	-	-	-	-	4~5	<5d

Note) y=years, m=months, w=weeks, d=days

외기온도가 높은 지역에서는 저장 빈의 벽체 및 천정을 통해 침입하는 열량이 $100\text{W}/\text{m}^2$ (Elder, 1984)정도에 달해 곡물의 냉각에 소요되는 열량보다도 크게 되므로, 저장빈에는 단열이 필요하며 가능하면 침입열량이 $10\text{W}/\text{m}^2$ 이하가 될 수 있도록 하는 것이 좋다.

곡물의 열전도도는 콘크리트에 비해 $1/6\sim 1/9$ 정도에 불과하지만 단열재보다는 $6\sim 8$ 배 정도 크다. Burrell and Laundon(1967)은 100톤의 밀을 10m 깊이로 퇴적한 다음 초기 5°C 로 냉각시킨 후 시간의 경과에 따른 곡물의 품온 상승을 측정된 결과 그림 2-2와 같았다고 보고하였다.

Sutherland 등(1970)은 호주의 Queensland에서 26m 높이의 콘크리트 빈에 1,000톤의 밀을 퇴적한 후 냉각실험을 실시하였다. 그 결과 2개월 후에 85%가 18°C 이하로 냉각되었으나, 빈의 벽 및 천정을 통한 침입열에 의해 냉각 개시후 6개월 정도까지 적절한 냉각이 되기 힘들었으며 품질상 허용할 수 없을 정도로 많은 해충이 발생하였다고 보고하였다. Hunter 등(1980)은 이러한 문제점을 극복하기 위하여 1,700톤 철제빈의 벽과 천정을 단열한 결과, 비록 재순환된 공기를 사용하고 연간 외기온도가 낮은 기간이었지만 7주만에 34°C 에서 10°C 로 냉각되었으며, 7개월 동안 그 온도를 유지할 수 있었다고 하였다.

밀폐형 단열이 곡물의 저장에는 적절하다고 할 수 있는데 이와 관련하여 Hunter 등(1980)은 Queensland에서 폴리우레탄폼을 저장빈 외부에는 50mm, 지붕에는 25mm를 스프레이 발포하여 사용하였다.

벼의 왕겨층은 양호한 단열재로서 장기간 보관이 가능하다. 냉각된 벼의 곡온상승으로 인한 재냉각기간은 외기의 온도조건, 단열여부 등에 따라 달라지지만 조건이 양호할 경우 통상적으로 다음 표 2-8과 같았다. 벼의 온도가 $3\sim 5^\circ\text{C}$ 이상 상승하면 재냉각을 실시해야 하며, 특히 18%,w.b.가 넘는 비교적 고수분의 벼는 품온이 3°C 이상만 상승되어도 즉시 재냉각을 실시해야

한다(Sulzer-Escher Wyss사).

Table 2-8 Predicted recooling periods of rough rice after previous cool-down.

moisture content(%w.b)	recooling periods	remark
12.0~15.5	8~12months	
15.5~17.5	6~10months	
17.5~18.5	4~6months	
18.5~20.0	1~4months	
20.0~23.0	2~8weeks	
23.5~25.5	1~4weeks	
< 30	continuous cooling	

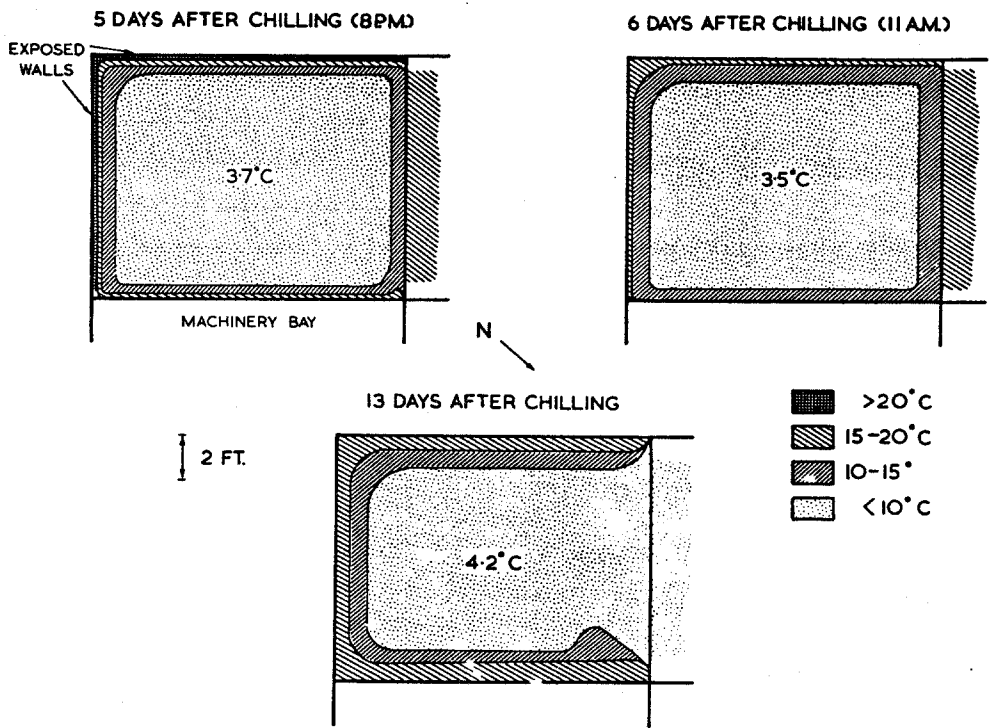


Fig. 2-2 Horizontal view of heat entry through metal walls into uninsulated, refrigerated bin of wheat in August (Burrell and Laundon, 1967).

3. 중저온기술의 평가 및 분석

곡물냉각기를 사용하여 곡물을 냉각저장하는 주요 목적은 품질유지이지만 부수적인 목적은 지역적으로 다소 차이가 있다. 유럽 및 미국에서는 건조능력의 향상, 건조비용의 절감과 호흡 및 해충의 발생을 억제하여 수출가능한 함수율로 안전하게 저장하기 위해서 사용되며, 동남아 및 아프리카에서는 곡온을 낮춰 호흡 및 해충발생을 억제하기 위해서 사용되고 있다. 한편, 일본에서는 자국내에서 생산되고 있는 쌀의 품질향상을 도모하는 것은 물론, 이를 통하여 수입되는 외국산 곡물에 대한 경쟁력을 높이기 위해 '90년대초부터 벼의 냉각실험을 시작하여, 일본 농무성에서 2개지역에 2개의 곡물냉각기로 벼에 대해 약 5년간의 현장적용 실험을 실시하고 있다 (Hellemar, 1993).

실제 곡물냉각기를 사용함에 따라 얻을 수 있는 장점을 정리하면 다음과 같다.

① 건조능력의 향상 : 미곡종합처리장에서 산물벼 수매가 본격화됨에 따라 건조시설의 처리용량은 매우 부족하게 되었으며, 짧은 반입기간동안 많은 물벼를 건조하기 위해 추가로 건조시설을 도입해야 하므로 막대한 비용이 소요된다. 그러나, 24%,w.b.정도의 물벼를 건조기로 18%,w.b.내외로 1차 건조한 후 5~7℃로 냉각하여 저장하고, 수확시기가 끝난 후 건조기로 16%,w.b.내외로 2차 마무리 건조한 후 냉각저장할 경우 건조기간을 실질적으로 연장하는 효과를 얻게 된다. 따라서 건조능력을 최대 40~50%까지 향상시킬 수 있다(Hellemar, 1993, Chek, 1989).

② 건조비용의 절감 : 벼의 곡온을 10℃ 냉각하면 0.5~0.8%,w.b.정도가 건

조되며, 함수율이 높으면 더욱 많이 건조된다. 화력건조기와 증저온저장을 병용하여 사용할 경우 화력건조기만 사용할 경우에 비해 기름 및 전력 소비를 각각 10%이상 절약할 수 있다(Chek, 1989).

③ 식미 및 도정수율의 향상 : 벼의 함수율 15.5~16.5%,w.b.에서 식미가 우수(川村周三, 1991)하다. 증저온저장은 벼를 외기온도에 상관없이 이와같은 함수율로 저장할 수 있으므로 식미가 우수한 쌀을 년중 공급가능하며, 15.5~16.5%,w.b.로 저장할 수 있어 기존의 15%,w.b.이하로 저장한 경우에 비해 수분조질이 필요없을 뿐 아니라 총 중량에서도 약 0.5~1.5%정도 향상시킬 수 있다. 또한, 적절한 함수율과 15℃이내의 곡온유지에 의한 가공적은 등으로 완전미수율은 약 3%정도 향상시킬 수 있다(Chek, 1989).

④ 저장중 호흡에 의한 중량손실의 최소화 : 벼의 호흡은 품온이 높을수록 함수율이 높을수록 활발히 이루어진다. 증저온 저장은 벼를 5~12℃의 낮은 온도로 저장하므로 호흡에 의한 중량손실을 상온저장에 비해 약 1/10정도로 감소시킬 수 있다(Sulzer-Escher Wyss, 1984).

⑤ 내부 결로로 인한 부패방지 : 결로는 온도차가 심할 때 따뜻한 쪽에서 발생하므로 벼를 상온으로 저장하면 사일로 내부의 온도가 외기온도보다 높은 겨울철에 사일로 내부에서 결로가 발생하여 벼의 변질에 원인을 제공할 수 있으나, 증저온저장을 할 경우 사일로 내부온도가 낮아 결로로 인한 부패가 적어진다. 따라서 단열된 사일로는 물론 단열되지 않은 사일로에도 적용이 가능하다(Sulzer-Escher Wyss, 1984).

⑥ 미생물 및 해충발생 억제효과 : 수확된 곡물은 이미 들판에서 많은 미생물과 해충에 오염되어 있으며 저장중 곡물에는 약 150종의 곰팡이류가 발견되고 있으며, 이 미생물은 저장중에 불쾌취 발생, 변색, 발열 및 독소 생성 등으로 품질을 손상시키는 원인을 제공하게 된다. 이러한 미생물의 번식을 억제하기 위해서는 함수율을 가능한 14%,w.b. 내외로 유지하여 저장할 것을 권유하고 있지만 식미가 우수한 함수율인 16%,w.b.에서는 곰팡이의 생육 및 번식에 최적조건이 형성된다. 따라서, 이러한 함수율로 저장하기 위해서는 저장온도를 반드시 15℃ 이하로 유지하여야 미생물의 생육이 정지된다. 또한, 곡물에 번식하는 해충은 곡물얼룩나방, 바구미 및 대나무좀 등이 있으며, 해충의 생육에 적합한 온도는 약 21℃ 이고, 번식이 정지되는 온도는 약 15℃이다. 해충은 생육 정지온도가 되면 동면상태로 들어가서 활동과 번식을 멈추지만 해충이 사멸되는 것은 아니므로 곡물을 냉각 저장하면 해충이 번식하지 않으므로 별도의 화학처리가 필요없이 저장비용을 절감할 수 있다(Ihne, 1972).

제 3 절 원료벼의 물성조사

1. 벼의 열 및 물리적 특성조사

가. 벼의 분류

벼의 품종은 현미의 크기와 모양에 따라서 단립종(短粒種), 중립종(中粒種) 및 장립종(長粒種)으로 분류되며 USDA(1973)의 분류기준은 표 2-9와 같다.

Table 2-9 The size and shape classification based on the brown rice kernels.

Grain type	Average length(mm)	Average length/width ratio
Short grain	5.50 or less	Up to 2.1
Medium grain	5.51 to 6.6	2.1 to 3.0
Long grain	6.61 to 7.5	Over 3.0

우리나라에서 재배되는 품종은 대부분이 단립종이며 통일계 품종이 중립종에 속한다. 주요 품종의 크기 및 모양은 표 2-10과 같다.

Table 2-10 Dimension of brown rice kernel of principal rice varieties in Korea(R.D.A., 1984).

Variety	Length (mm), A	Width (mm), B	Thickness (mm)	A/B	Entry No.
Seolagbyeo (설악벼)	5.20	2.93	2.05	1.77	2
Chiagbyea (치악벼)	4.92	2.94	2.11	1.67	3
Reimei (여명벼)	5.05	2.98	2.07	1.69	4
Sobaegbyeo (소백벼)	5.03	2.95	2.03	1.71	5
Odaebyeo (오대벼)	5.33	3.09	2.20	1.72	6
Daseongbyeo(대성벼)	4.95	2.93	2.19	1.69	7
Fukuhikari (복광벼)	5.27	2.90	2.04	1.82	9
Nongbaek (농 백)	5.09	2.98	2.14	1.71	10
Dobongbyeo (도봉벼)	5.07	2.86	2.16	1.77	20
Kwanakbyeo(관악벼)	4.82	2.92	2.16	1.65	21
Gihobyeo (기호벼)	5.12	2.94	2.08	1.74	31
Oosora (대청벼)	5.09	3.02	2.05	1.69	33
Jinheung (진 흥)	5.53	3.06	2.18	1.81	36
Paldal (팔 달)	5.00	3.10	2.11	1.61	37
Pungok (풍 옥)	5.16	2.91	2.06	1.77	38
Akibare (추 청)	4.95	2.91	2.02	1.70	41
Nakdongbyeo(낙동벼)	5.05	2.94	2.00	1.72	42
Dongjinbyeo (동진벼)	5.07	2.97	2.15	1.71	43
Seomjinbyeo(섬진벼)	5.28	2.96	2.01	1.78	44

나. 벼의 물리적 특성

(1) 크 기

벼 낱알의 크기는 길이, 폭 및 두께로 나타내고 표 2-11과 같이 함수율의 함수로 표시된다. 표 2-11에서 Morita등(1979)은 단립종 벼의 낱알의 길이와 폭을 현미경을 이용하여 측정하였으며, Wratten(1969)는 중립 및 장립종 벼의 낱알 10개를 가지런히 연결하고 마이크로미터를 이용하여 이의 전길이와 폭을 측정하여 낱알의 평균길이와 폭을 결정하였다.

Table 2-11 Dimensions of short, medium and long grain rough rice.

Grain type	Dimension (cm)	Regression equation	Range of dimension(cm)
Short grain*	Length	$0.7318 + 0.00122 M$	0.746~0.759
	Width	$0.3358 + 0.00089 M$	0.346~0.356
	Thickness	$0.2187 + 0.00089 M$	0.223~0.239
Medium grain**	Length	$0.7747 + 0.00127 M$	0.790~0.798
	Width	$0.302 + 0.00076 M$	0.312~0.318
	Thickness	$0.184 + 0.00089 M$	0.196~0.201
Long grain**	Length	$0.894 + 0.00584 M$	0.968~1.003
	Width	$0.239 + 0.00165 M$	0.259~0.269
	Thickness	$0.177 + 0.00114 M$	0.191~0.198

* Morita and Singh(1979)

** Wratten et al (1969)

M : Moisture content (% , wb)

벼의 두께는 모두 낱알의 두께를 마이크로미터로 측정하였다.

Steffe(1979)는 단립종벼를 구로 간주하고 함수율 11.2~22.9%,w.b. 범위의 벼의 평균체적을 구의 체적산출공식($\frac{4}{3} \pi R^2$)으로 부터 백미, 현미 및 벼에 대한 등가구반경을 구한바 있으며, 그 값은 다음과 같다.

$$\text{백미} : R_s = 1.58 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{현미} : R_b = 1.66 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{벼} : R_r = 1.77 \times 10^{-3} \text{ m}$$

위의 값은 쌀겨 및 왕겨층의 평균두께가 각각 0.08mm, 0.11mm를 나타낸다.

Bakker-Arkema등(1983)은 Steffe(1979)의 방법을 이용하여 중립종벼의 백미, 현미, 벼의 등가구반경을 다음과 같이 제시하였다.

$$\text{백미} : R_w = 1.42 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{현미} : R_b = 1.50 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{벼} : R_r = 1.61 \times 10^{-3} \text{ m}$$

(2) 체 적

곡물의 체적은 대부분 Air-comparison pycnometer를 이용하여 측정하며, Steffe(1979) 및 Wratten등(1969)는 각각 단립종과 중립종의 체적을, 김(1981)은 우리나라에서 재배되는 Japonica형인 Akibare와 Indica형인 밀량 23호의 체적을 표 2-12와 같이 함수율의 함수로 제안하였다.

Table 2-12 Volume of rough rice(mm³).

Grain type	Regression equation	r ²	Range of M	Range of Volume
Short grain*	19.29+0.1684Md	0.93	11.20~22.99	21.688~24.024
Medium grain**	9.734+0.508M	0.95	12.00~18.00	16.059~19.173
Long grain**	15.404+0.229M	0.95	12.00~18.00	18.353~19.604
Arkibare+	22.698+0.262M	0.95	7.35~26.92	24.615~29.751
Milyang 23+	22.591+0.320M	0.97	7.42~26.95	24.965~31.215

* Steffe(1979)

** Wratten et al.(1969)

+ Kim(1981)

Md : Moisture content(% ,db)

M : Moisture content(% ,wb)

(3) 산물밀도

산물밀도는 일반적으로 체적을 알고 있는 용기에 벼를 채우고 무게를 측정하여 산출한다. 표 2-13은 벼의 산물밀도를 나타낸 것이다. 표에서 Morita 등(1979)은 단립종벼를 용기에 채우고 20회 두드려서 최대로 다졌을 경우이며, Wratten 등(1969)은 중립종벼와 단립종벼를 느슨하게 채웠을 경우이며, 김(1981)은 우리나라에서 재배되는 Japonica형인 Akibare와 Indica형인 밀량 23호를 느슨하게 채웠을 경우의 산물밀도를 각각 측정된 값이다.

Table 2-13 Bulk density of rough rice(kg/m³).

Grain type	Regression equation	r ²	Range of M	Range of bulk density
Short grain*	583.6+4.27 M	0.95	11.24~22.95	632.0~664.0
Medium grain**	499.7+8.33 M	0.99	12.00~18.00	598.4~648.7
Long grain**	519.4+5.28 M	0.94	12.00~18.00	585.8~615.2
Arkibare+	537.59+1.222M	0.98	7.35~26.92	546.6~570.5
Milyang 23+	529.19-1.104M+ 0.010M ²	0.99	7.42~26.95	526.5~571.7

* Morita and Singh(1979), dense fill

** Wratten et al.(1969), loose fill

+ Kim(1981), loose fill

M : Moisture content(% ,wb)

(4) 비중

벼의 비중은 표 2-14와 같으며, 이 표에서 Morita등(1979)은 단립종 벼를 Toluen용액을 이용하여 Pycnometer로 측정하였으며, Wratten등(1969)는 중립종과 단립종 벼에 대하여 Air-comparison pycnometer로 측정하였다.

Table 2-14 Specific gravity of rough rice.

Grain type	Regression equation	r ²	Range of M	Range of specific gravity
Short grain*	1.421-0.00564M	0.94	10.83~21.50	1.359~1.299
Medium grain**	1.465-0.0076 M	0.94	12.00~18.00	1.374~1.325
Long grain**	1.436-0.0042 M	0.95	12.00~18.00	1.384~1.358
Arkibare+	-	-	14.00~22.00	1.307~1.021
Milyang 23+	-	-	14.00~22.00	1.032~1.024

* Morita and Singh(1979)

** Wratten et al.(1969)

+ Kim(1981)

M : Moisture content(%wb)

(5) 표면적과 비표면적

벼의 표면적 측정에는 다음의 4가지 방법이 이용되고 있다.

- ① 방법 1 : Wratten등(1969)이 사용한 방법으로 낱알을 왁스에 묻혀 놓고 이를 microtome을 사용하여 15편의 얇은 단면으로 절단한다. 절단한 단면을 타원으로 간주하고 타원의 장축과 단축의 길이를 현미경으로 측정하여 타원의 둘레를 산정한다. 산출한 타원의 둘레와 얇은 절편의 두께를 곱하여 개개의 절편의 표면적을 계산한다. 벼 낱알의 끝 부분은 원추로 간주하여 표면적을 계산한다. 벼 낱알의 전 표면적은 벼 몸체부분의 개개의 단표면적과 끝 부분의 표면적을 합하여 구한다.
- ② 방법 2 : Hosokawa와 Motohashi(1975)가 사용한 방법으로 벼의 왕겨

를 벗겨 이를 평평하게 한 후 이를 확대한 그림을 Planimeter로 측정한다.

- ③ 방법 3 : Morita와 Singh(1979)이 사용한 방법으로 비의 표면에 있는 돌기의 치수, 밀도 및 모양을 전자현미경을 이용하여 측정하고 돌기의 형상을 표시하는 수식을 구하여 한개 돌기의 표면적을 산출한다. 또한 돌기 한개가 차지하는 왕겨의 기본면적 및 단위 기본면적당 돌기수를 구하여 비의 표면적을 결정한다.
- ④ 방법 4 : Bakshi와 Singh(1979)이 사용한 방법으로 일정수의 비와 표면적을 알고 있는 유리구의 표면에 니스를 바르고 니켈 분말을 묻혀서 부착한 분말의 무게를 비교하여 비의 표면적을 산출한다.

방법 1과 방법 2로 산출한 표면적은 표면의 돌기가 고려되지 않으므로 비 날알의 투영면적과 관련되며, 방법 4로 산출한 값은 불규칙한 왕겨 표면을 고려하지 않으므로 오차가 포함될 것으로 보고되고 있다(Steffe et al, 1980). 따라서 방법 3이 비의 표면적을 가장 잘 산출할 수 있는 방법으로 생각된다. Wratten등(1969)은 1의 방법을 이용하여 함수율 12%,w.b. 및 18%,w.b.의 중립종 비의 표면적을 측정하여 각각 0.4019cm², 0.4245cm²로 보고하였다. 한편, Morita등(1979)은 3의 방법을 사용하여 함수율 18%,w.b.인 단립종 비의 표면적을 측정하여 0.8723cm²으로 보고하였다. 이 값은 방법 1 및 방법 2를 사용한 값보다 80~100% 정도 큰 값이다.

비의 비표면적은 단위산물체적당 표면적으로 중립종 비의 경우 1,038.5m²/m³(Wang, 1978), 장립종비의 경우 1,060.0m²/m³(Zahed, 1979)으로 보고된 바 있다. 곡립을 구로 간주할 때 비표면적은 다음 식 (2-1)로 계산할 수 있다.

$$A_s = \frac{6(1-\epsilon)}{d} \dots\dots\dots (2-1)$$

여기서 A_s : 비표면적(m^2/m^3)

ϵ : 공극율

d : 등가구직경(m)

단립중벼의 등가구반경을 $1.77 \times 10^{-3}m$, 공극율을 0.45로 간주하여 윗식으로 비표면적을 계산하면 $932m^2/m^3$ 가 된다.

(6) 공극율

공극율은 다음 식 (2-2)로 계산된다.

$$\text{공극율} = \left(1 - \frac{\text{산물밀도}}{\text{진밀도}}\right) \times 100 \dots\dots\dots (2-2)$$

Wratten등(1969) 및 김(1981)은 벼의 공극율을 표 2-15와 같이 보고하였다.

Table 2-15 Porosity of rough rice(%).

Grain type	Regression equation	r^2	Range of M	Range of porosity
Medium grain*	$69.05 - 0.885M$	0.99	12.00~18.00	58.5~53.1
Long grain*	$65.55 - 0.475M$	0.95	12.00~18.00	59.6~56.9
Arkibare+	$49.67 - 0.227M$	0.99	7.35~26.92	45.0~43.6
Milyang 23+	$49.38 + 0.0646M - 0.0099M^2$	0.96	7.42~26.95	49.3~43.9

* Wratten et al.(1969)

+ Kim(1981)

다. 벼의 열특성

(1) 비열

Morita와 Singh(1979), Wratten등(1969)은 열량계를 이용하여 물과 시료 혼합물의 온도변화를 측정하여 벼의 비열을 계산하는 혼합법을 사용하였으며, Kim(1981)은 두께가 일정한 평판을 온도를 일정하게 유지시킨 냉각수조 내에 설치하고 평판 중앙부의 곡물냉각온도를 측정하여 벼의 비열을 계산한 결과는 표 2-16과 같다.

Table 2-16 Specific heat of rough rice(kJ/kg K).

Grain type	Regression equation	r ²	Range of M	Range of specific heat
Short grain*	1.2692+0.0349M	0.93	11.23~23.68	1.666~2.026
Medium grain**	0.9213+0.0545M	0.81	12.00~18.00	1.599~1.993
Japonica+	-	-	7.35~28.09	1.517~2.378
Indica+	-	-	6.39~27.88	1.526~2.398

* Morita and Singh(1979)

** Wratten et al.(1969)

+ Kim(1981)

M : Moisture content(%wb)

한편, ASAE표준규격에서는 백미, 현미 및 벼의 비열을 각각 다음과 같이 제시하였다.

$$C_s = 1.1805 + 0.0377 M$$

$$C_b = 1.2014 + 0.0381 M$$

$$C_r = 1.1093 + 0.0448 M$$

(2) 산물열전도율

벼의 산물열전도도는 line source방법이 일반적으로 사용되는데, 이 방법은 알루미늄으로 된 원통의 중심축과 일치하도록 열선을 설치하고 시료를 원통에 넣은 후 일정량의 전류를 열선에 흐르게 하여 그 열이 원통의 반경 방향으로 전도될 때 열선온도의 변화를 측정하여 시료의 열전도율을 계산하는 방법이다.

벼의 산물열전도율은 표 2-17과 같다.

Table 2-17 Bulk thermal conductivity of rough rice(W/m K).

Grain type	Regression equation	r ²	Range of M	Range of conductivity
Short grain*	0.09999+0.01107M	0.66	11.23~23.68	0.113~0.127
Medium grain*	0.08657+0.00133M	0.87	12.00~18.00	0.102~0.113
Akibare ⁺	0.5662+0.0013T -0.0004M-0.0107P	0.76	11.52~28.75	0.0912~0.1864
Milyang 23 ⁺	0.3527+0.0019T+ 0.003M-0.0058P	0.84	10.77~32.20	0.0861~0.1774

* Morita and Singh(13)

** Wratten et al.(26)

+ Kim(11)

P : porosity(%)

(3) 산물열확산계수

산물열확산계수는 다음 식(2-3)으로 표시된다.

$$a = \frac{k}{\rho_r C_r} \dots\dots\dots (2-3)$$

벼의 산물열확산계수는 표 2-18과 같다.

Table 2-18 Bulk thermal diffusivity of rough rice(m²/hr).

Grain type	Regression equation	r ²	Range of M	Range of Porosity
Short grain*	4.51 × 10 ⁻⁴ - 5.85 × 10 ⁻⁶ M	0.99	10.00 ~ 22.00	3.95 × 10 ⁻⁴ ~ 3.24 × 10 ⁻⁴
Medium grain**	4.86 × 10 ⁻⁴ - 8.96 × 10 ⁻⁶ M	0.99	12.00 ~ 20.00	3.79 × 10 ⁻⁴ ~ 3.08 × 10 ⁻⁴
Japonica ⁺	-	-	7.21 ~ 31.80	2.54 × 10 ⁻⁴ ~ 4.66 × 10 ⁻⁴
Indica ⁺	-	-	5.64 ~ 32.20	2.61 × 10 ⁻⁴ ~ 4.41 × 10 ⁻⁴

* Morita and Singh(13)

** Wratten et al.(26)

+ Kim(11)

(4) 대류열전달계수

Wang 등(1979)은 직경 15cm, 깊이 30cm의 원통에 증립중 벼를 25cm 깊이까지 넣은 후 열풍을 송풍하였을 때 배출되는 공기의 온도를 측정하여 이론적으로 해석한 결과와 비교함으로써 대류열전달계수를 계산하였으며, 다음 식(2-4)을 제시하였다.

$$h_c = 0.00718 G_a^{1.3} \dots\dots\dots (2-4)$$

Walker(1978)는 장립종 벼에 대하여 다음 식을 제시하였다.

$$h_c = 0.672 G_a^{0.4899} \dots\dots\dots (2-5)$$

(5) 벼의 수분증발잠열

Zahed(1979)는 Zuritz(1979, 1980)가 제시한 4항의 증립종 벼에 대한 평형함수열방정식에 근거하여 Othmer(1940)의 방법을 사용하여 증립종 벼에 대한 수분증발잠열을 다음과 같은 식으로 제시하였다.

$T_c < 43^\circ\text{C}$:

$$h_{fg} = (1626.25 - 1.546 T_c) M_d^{-0.3162} \dots\dots\dots (2-6)$$

$T_c \geq 43^\circ\text{C}$:

$$h_{fg} = (1862.45 - 1.757 T_c) M_d^{-0.213} \dots\dots\dots (2-7)$$

윗식에서 함수열 15~20%,w.b., 온도 10~60°C 범위의 벼의 수분증발잠열은 순수물의 증발잠열의 1.049~1.186배로 2473~2939kJ/kgH₂O가 된다.

Brook와 Foster(1979)는 Chung-Pfost의 평형함수열방정식을 사용하여 다음 식을 제시하였다.

$$h_{fg} = (2495.76 - 2.38 T_c)[1 + 2.4962 \exp(-21.73M_d)] \dots\dots (2-8)$$

2. 벼의 동결점

벼의 열물성치중 아직까지 벼의 동결점에 대한 문헌은 찾아볼 수 없었다. 따라서 증만생종인 울산 동진벼를 대상으로 중저온저장중 동결에 의한 품질 저하를 방지하기 위해 함수율별로 벼의 동결점을 DSC(Differential scanning calorimeter, Perkin-Elmer, USA)로 측정하였다. 함수율은 10g-135℃-24시간법으로 측정하였다.

벼의 동결점은 표 2-19와 같이 함수율 14~22%,w.b.범위에서 -20.6~-23.4℃로서 함수율이 낮을수록 저하하였지만 -20℃이하로서 중저온저장에 의한 동결우려는 없는 것으로 나타났다.

Table 2-19 Freezing point of rough rice.

Moisture content(% w.b.)	Freezing point(℃)			Latent heat (J/g)	Specific heat(J/g℃)
	Initial	medium	Final		
14%	-23.4	-26.0	-28.9	-0.0673	0.00260
16%	-23.7	-26.6	-30.8	-0.1285	0.00480
18%	-21.9	-25.2	-27.7	-0.0353	0.00140
20%	-20.6	-24.6	-28.3	-0.0630	0.00260
22%	-20.6	-23.7	-27.9	-0.1385	0.00580

3. 벼의 호흡특성

수확후 곡물의 손실량은 어떤 나라에서는 총생산량의 50%를 넘고 있는 것으로 보고되고 있으며, 손실의 대부분은 곤충, 미생물, 설치류 및 조류에 의한 것과 호흡에 의한 손실 등을 들 수 있다(Sauer, 1992). 지금까지 곡물의 저장시 품질유지를 위한 여러 가지 방법이 검토되어 왔으며, 최근, 식량사정 및 가치관의 변화에 따라 쌀의 고품질화가 요망되고 있다. 저장시의 곡물의 품질열화를 방지하기 위해서는 생물체로서의 호흡작용에 의한 자기소화를 억제하고 생체로서의 활성을 유지할 필요가 있다. 따라서 곡물의 호흡특성은 최적저장조건을 결정하기 위한 중요한 인자가 된다(後藤 등, 1993). 또한 건조시의 최적 온도를 산출하는 기준으로서 호흡특성이 주목받고 있다(疋田 등, 1996).

호흡량의 측정방법은 크게 1) 배출되는 이산화탄소의 농도를 직접 측정하는 방법, 2) 소비되는 산소농도를 직접 측정하는 방법, 3) 호흡에 의해 감소된 곡물의 중량을 측정하는 방법 등 3가지 방법이 있다. 또한, 측정형태에 따라 동적 및 정적인 방법으로 구분할 수 있다. 곡온을 일정하게 유지시킨 후 일정한 양의 공기를 공급하는 동적인 방법은 순간적인 값을 얻을 수 있어 함수율의 변화에 의한 오차가 없는 장점은 있지만 가스의 농도를 연속적으로 측정할 수 있는 장치가 필요한 단점이 있다. 한편, 곡물을 밀폐된 용기에 담아 일정기간 후에 생성되는 이산화탄소 농도를 측정하는 정적인 방법은 곡물사이에 이산화탄소가 축적되어 일부 호흡이 저해되는 단점에도 불구하고 간편성 때문에 많이 이용되고 있다(村田 등, 1991).

지금까지 벼와 관련하여 호흡열량을 측정할 예는 그다지 많지 않다. 村田 등(1975)은 공기를 수산화칼륨 용액을 통과시켜 이산화탄소를 제거한 공기를 일정한 곡온의 벼층을 통과시켜 호흡에 의해 발생된 이산화탄소 농도를 측정하여 건물 단위중량당 호흡열량을 온도와 함수율에 대해 2차항의 Gore

형의 식으로 나타내었다. 이 때 벼의 온도는 10~40℃, 함수율은 13.9~34.9%,w.b.범위였다.

Seib 등(1980)은 저장온도 18~35℃, 함수율 15~23%,w.b., 저장기간 41~85일 범위에서 중립종 벼와 장립종 벼를 저장하는 동안에 발생하는 이산화탄소량을 측정하여 건물중량손실율을 함수율, 저장온도 및 저장시간의 함수로 제시하였다.

村田 등(1991)은 벼 및 소맥 등의 호흡특성을 동적인 방법으로 측정하여 함수율에 대해 2차항, 온도에 대해 1차항의 Gore형의 식으로 나타내었다. 이 때 공기는 순도 99.9%의 산소만을 사용하였으며, 이산화탄소 농도가 안정되게 나타나는데 약 15분 정도가 소요되었다. 이 결과는 1976년의 결과와 다소 차이를 나타내었는데, 이는 품종의 차이와 고순도의 산소만을 공급한데 따른 산소장해에 기인한 것으로 보고하였다. 이를 보완하기 위하여 村田 등(1993)은 대기중에서 이산화탄소만을 제거하고, 소맥과 대맥에 대해 호흡특성을 조사하였다.

後藤 등(1993)은 정적인 방법을 이용하여 소맥, 대맥 및 벼의 호흡속도를 측정하였다. 곡립의 수분함량은 12~27%,w.b.범위였으며, 곡온은 5, 15, 25, 35℃의 4수준이었다. 곡립의 호흡속도는 소비된 산소량을 측정하여 함수율과 온도의 관계식으로 나타내었다.

疋田 등(1996)은 일본산 벼 3개 품종에 대하여 정적인 방법을 이용하여 경시적인 가스농도를 가스크레마토그래피로 측정하였다. 온도조건 10~35℃에서 함수율을 일정하게 유지한 다음 함수율의 변화에 따라 호흡특성을 측정하였고, 온도조건을 25℃로 고정한 다음 15~40%,d.b.의 함수율 벼에 대한 호흡율을 측정하여 Arrhenius 및 Gore식으로 표현하였다. 그러나 온도 10~35℃, 함수율 15~40%,d.b.의 전 범위에 대한 실험을 실시하지는 않았다.

河野 등(1996)은 함수율 19~35%,d.b.의 벼와 보리에 대해 온도 0~40℃의

범위에서 적외선 가스분석계로 호흡속도를 측정하여 함수율에 따른 호흡속도를 Arrhenius식으로 나타내었다. 이 때 계수의 값을 함수율의 2차다항식으로 나타내고 상수 값을 제시하였다.

한편, 정 등(1991)은 장립종 벼(Tebonnet variety)의 호흡특성을 정적인 방법으로 측정하였으며, 가스농도 측정에는 Aspirating pump(Model 400A, Kitagawa Inc.)을 이용하였으며, 수분함량 12.5~27.0%,w.b., 공기온도 20, 27, 34°C에서 저장기간에 따른 호흡속도를 제시하였다.

현재 조사된 바로는 국내산 벼를 대상으로 호흡특성을 측정한 연구는 찾아 볼 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 국내산 벼를 대상으로 정적인 방법을 이용하여 온도 및 함수율별 호흡특성을 구명하고, 곡물의 온도 및 함수율의 함수로 표시되는 호흡속도식을 개발하는데 있다.

가. 재료 및 방법

(1) 재 료

본 실험에 사용한 벼는 함수율 32.5%,d.b.의 중만생종인 동진벼로서 전남 장성군 진원면 진원 미곡종합처리장에서 '96년 10월 23일 구입하여 한국식품개발연구원에서 정선한 다음, 음건하면서 함수율을 조정하여 공시하였다. 음건중 시간당 평균 건감율은 0.43%,d.b.이었다.

(2) 실험방법

저장조건은 온도를 10, 20, 30, 40°C의 4수준, 함수율은 17.2, 21.5, 25.9, 31.6%,d.b.의 4수준으로 하였다. 수분이 조절된 500g의 시료를 용량 1800ml의 내열 유리로 제작한 용기에 넣고, 용기의 상부를 직경 1cm의 실리콘 마

개가 부착된 두께 1cm의 아크릴 관으로 완전 밀봉하였다. 시료를 담은 호흡을 측정 용기는 일정온도가 유지되는 저온저장고에 저장하면서 일정 시간간격으로 가스농도를 측정하였다.

가스 농도는 저장온도 1~5시간 간격으로 가스크로마토그래피(Shimadzu GC-14 APT, Shimadzu Co., Japan)를 사용하여 측정하였다. 가스크로마토그래피의 운전조건은 표 2-20과 같았으며, 가스 주입량은 2ml였다. 한편, 함유율은 10g입자-135℃-24시간의 상압정온측정법으로 측정하였다.

Table 2-20 Operating conditions of GC for analysis of gas produced from rough rice.

Column	CTR-1(Alltech)
Operation	30℃
Carrier gas	He
Detector	TCD
Injector temperature	60℃
Detector temperature	60℃

(가) RQ(呼吸商, Respiratory quotient)

호흡기질을 알 수 있는 RQ 즉, 호흡을 통해 생성되는 이산화탄소량과 소비되는 산소량의 몰비는 다음 식 (2-9)로 구하였다.

$$RQ = \frac{\text{mole of } CO_2}{\text{mole of } O_2} = \frac{\text{ml of } CO_2}{\text{ml of } O_2} \dots\dots\dots (2-9)$$

여기서 이산화탄소 생성량과 산소 소비량은 다음 식 (2-10)으로 계산하였으며, 호흡을 측정용기에서 공간체적은 벼(Akibare)의 진밀도식(김, 1981)으로 부터 구하였다.

$$D_g = \frac{C \times V}{100 \times W} \dots\dots\dots (2-10)$$

여기서 D_g : CO₂의 생성량 및 O₂ 소모량(ml/kg dry matter)

C : 가스크로마토그래피에서 측정된 O₂, CO₂ 농도(%)

V : 호흡측정용기 공간체적 (ml)

W : 시료의 건물중량 (kg)

(나) 호흡량

호흡량은 식 (2-10)과 이산화탄소의 밀도로부터 건물의 단위 중량당 이산화탄소의 발생량을 구한 다음, 측정 시간과의 관계로부터 호흡량을 구하였다.

$$D = D_g \times \rho_c \dots\dots\dots (2-11)$$

여기서 D : 단위 중량당 CO₂ 발생량(CO₂ mg/kg dry matter)

ρ_c : CO₂ 밀도(mg/ml)

식 (2-11)에서 이산화탄소의 밀도는 10, 20, 30, 40℃에서 각각 1.906, 1.841, 1.780, 1.724 mg/ml(Kader, 1992)를 사용하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) 저장시간에 따른 호흡상(RQ)의 변화

호흡기질이 탄수화물인 경우 ATP의 생성을 위해 소모되는 산소량과 이때 발생하는 이산화탄소량은 동등한 몰비인 반면, 지질이나 유기산 등과 같은 기질일 경우 이 비율은 달라진다. 호흡을 통해 생성되는 이산화탄소량과 소비되는 산소량의 비를 나타내는 RQ의 값은 호기성호흡일 경우 0.7~1.3범

위이며, 1.3이상일 때는 혐기성호흡을 나타낸다. 기질의 측면에서 살펴보면 RQ가 1일 경우 기질은 탄수화물로서 일반적으로 glucose나 fructose가 주로 사용되며, 때로는 hemicellulose 및 유기산 등이 기질이 되기도 한다(이 등, 1996)

표 2-21은 함수율 31.6%,d.b.의 벼를 30℃에서 저장하면서 RQ값을 측정한 결과로서 이산화탄소 농도 17.7%까지는 RQ값이 1.3미만으로 호기성호흡을 나타내었다. 그러나 이산화탄소 농도 18.7%부터는 RQ값이 1.3이상을 나타내어 혐기성호흡을 하고 있음을 알 수 있었으며, 이는 함수율 17.2~31.6%,d.b.인 벼를 10~40℃로 저장한 다른 실험구에서도 유사한 결과를 나타내었다.

한편, 혐기성 호흡이 시작된 후에도 시간의 경과와 함께 이산화탄소 농도는 50%정도까지 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 50% 근처에서는 거의 변화가 없었다. 이 때 산소 농도는 0.9%정도로 거의 변화가 없었다.

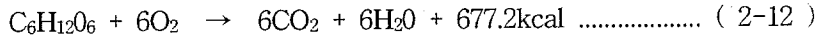
Table 2-21 Respiratory quotients of rough rice with 31.6%,d.b. moisture content at storage temperature 30°C.

Time(hr)	Concentration(%)		RQ value
	CO ₂	O ₂	
0.00	0.0937	20.4720	-
1.00	0.6108	20.0289	1.1670
2.00	1.1918	19.4079	0.9356
4.00	2.4616	17.9884	0.8945
5.00	3.1520	17.2207	0.8993
6.00	3.7393	16.5922	0.9344
7.00	4.3597	15.8624	0.8501
8.00	5.0121	15.1256	0.8855
9.00	5.5719	14.5293	0.9388
12.00	7.1957	12.7836	0.9302
15.00	9.0898	10.7296	0.9222
18.00	10.3510	9.3743	0.9306
23.00	12.4946	6.9450	0.8824
25.27	13.4331	6.0011	0.9943
27.37	14.1457	5.4063	1.1980
30.32	15.1644	4.1524	0.8124
33.20	15.8698	3.5640	1.1988
35.83	16.5194	2.9624	1.0798
38.55	16.9565	2.6081	1.2337
41.82	17.6968	1.9795	1.1777
45.62	18.6843	1.4048	1.7183*
51.60	19.3156	1.2428	2.4185*
54.33	19.6282	1.2031	7.8741*

* RQ > 1.3

(2) 호흡의 함수율 및 온도 의존성

벼의 호흡과정은 일련의 효소반응이지만 RQ값이 거의 1의 값을 나타내므로 다음 (2-12)식으로 나타낼 수 있다.



식 (2-12)는 glucose와 산소를 기질로 하는 2차 효소반응으로 반응속도 즉, 호흡속도는 glucose와 산소농도의 곱에 비례하지만, 벼의 경우 반응속도에 비해 glucose의 함량은 충분하다고 가정할 수 있으므로 반응속도는 산소농도만에 의존하는 1차반응이 된다. 본 연구에서 사용한 밀폐된 용기 내에서 호흡속도는 용기내의 산소농도에 의존하나 반응 초기단계에서 용기내 산소농도는 충분하므로 산소농도가 일정한 반응으로 볼 수 있다. 따라서 반응속도는 산소농도에는 관계 없으므로 반응속도는 식 (2-13) 및 (2-14)과 같은 Arrhenius식 및 Gore식으로 나타낼 수 있다.

$$R = R_a \exp(- a/T) \dots\dots\dots (2-13)$$

여기서 R : 호흡속도(CO₂ mg/hr kg dry matter)

R_a : 벼 고유의 호흡계수(CO₂ mg/hr kg dry matter)

a : 벼 고유의 온도계수(K)

T : 벼의 온도(K)

$$R = R_o \exp(\beta t) \dots\dots\dots (2-14)$$

여기서 R_o : 0℃의 호흡속도(CO₂ mg/hr kg dry matter)

β : 벼 고유의 온도계수(℃⁻¹)

t : 벼의 온도(℃)

그림 2-3과 2-4는 벼의 호흡속도를 Arrhenius 및 Gore식에 적합시킨 결과로서, 함수율 17.2~31.6%,d.b.와 저장온도 10~40℃의 범위에서 두 식으로

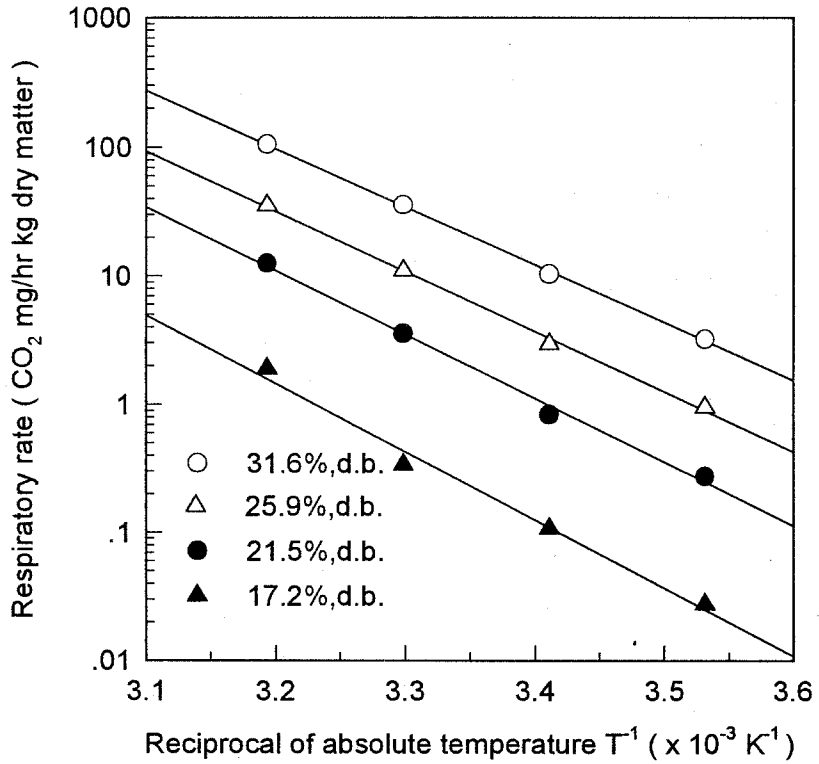


Fig. 2-3 Fitness of the relationship between temperature and respiratory rate of rough rice for the Arrhenius' equation.

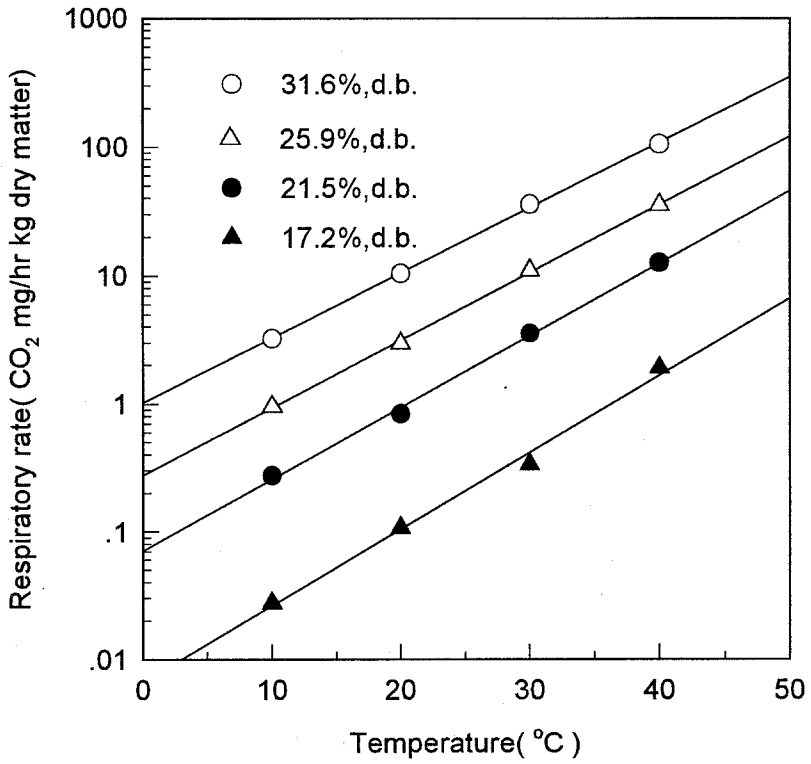


Fig. 2-4 Fitness of the relationship between temperature and respiration rate of rough rice for Gore's equation.

잘 나타낼 수 있었다. 최소자승법으로 결정한 Arrhenius 및 Gore식의 계수 값은 표 2-22와 같았다.

표 2-22의 R_a 및 R_o 값은 함수율에 따라 차이가 있음을 알 수 있었으며, 특히 Gore식의 계수중 0°C 에서의 호흡속도를 나타내는 R_o 값은 함수율이 낮을수록 대단히 작아져 함수율 17.2%,d.b.에서는 거의 0에 가까운 값을 나타내었다.

Table 2-22 Coefficients of the Arrhenius' and Gore's equation for rough rice.

Moisture content (% ,d.b.)		17.2	21.5	25.9	31.6
	R_a	1.5770×10^{14}	8.8754×10^{10}	3.0905×10^{10}	2.5756×10^{10}
Arrhenius	α	12255.9	11445.9	10783.3	10376.1
	r	0.989	0.995	0.998	0.999
	R_o	0.00655	0.07058	0.27482	1.01072
Gore	β	0.13856	0.12928	0.12172	0.11704
	r	0.999	0.999	0.998	0.993

河野 등(1996)의 보고에 의하면 함수율 25.4%,d.b.인 '94년산 히노히카리의 R_a 및 α 의 값은 각각 2.2864×10^{13} , 8421.5로서, 본 연구에서 이와 유사한 함수율 25.9%,d.b.의 결과인 3.0905×10^{10} , 10783.3에 비해 대단히 낮은 값을 나타내었다. 이 차이를 구체적으로 살펴보기 위하여 河野 등(1996)이 보고한 '94년산 히노히카리 20.8, 25.4%,d.b.의 실험데이터와, 疋田 등(1996)이 보고한 '91년산 나쓰히카리 22.2, 24.7%,d.b.의 실험데이터를 본 연구의 실험치와

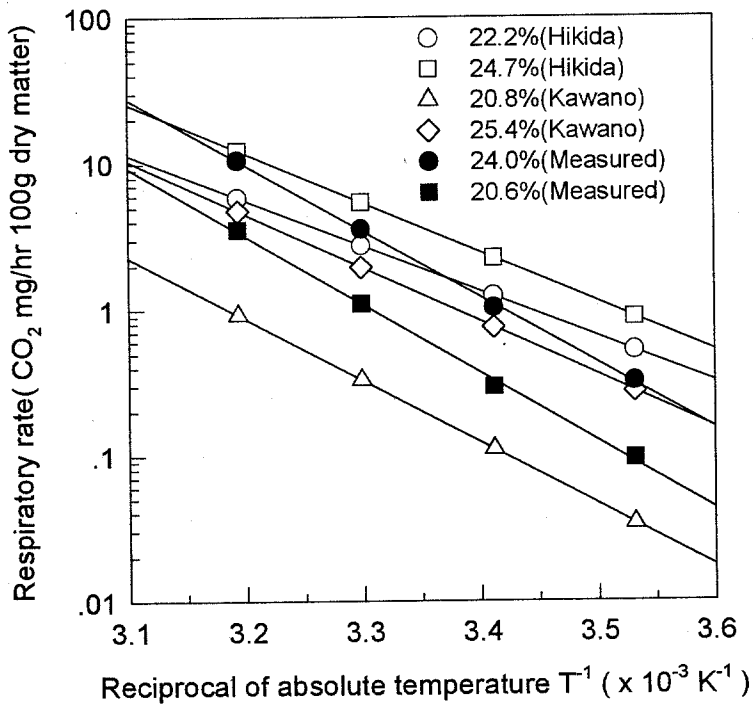


Fig. 2-5 Comparison of measured and referenced respiratory rates of rough rice.

비교한 결과, 그림 2-5와 같았다. 그림에서 알 수 있듯이 비슷한 함수율에서도 호흡속도는 저장온도에 따라 다소 차이는 있지만 본 연구결과에 비해 河野 등(1996)의 결과는 낮은 값을 나타내었고, 疋田 등(1996)의 결과는 다소 높은 값을 나타내었다. 이와 같은 차이는 품종의 차이, 생산지역 및 기후 등의 차이에서 기인한 것으로 판단되었다.

벼와 같은 종자의 호흡속도는 함수율에 크게 의존하는데, 세포조직과의 결합에 의해 구속되지 않는 자유수가 출현하기 시작하는 함수율은 23~25%,d.b.이며, 그 이상의 함수율 영역에서는 자유수의 증가에 따라 호흡속도는 급격하게 증가하게 된다(疋田 등, 1996). 그림 2-6은 곡물의 온도 10, 20, 30, 40℃에서 함수율에 따른 호흡속도를 나타낸 것으로 疋田 등(1996)의 결과와 동일하게 함수율 25.9%,d.b.이상에서 급격하고 증가하고 있음을 알 수 있었다.

표 2-22 및 그림 2-3에서와 같이 Arrhenius식의 R_0 와 a 의 값을 함수율의 함수임을 알 수 있다. 따라서 R_0 와 a 의 값을 함수율의 2차함수로 가정하고, 다음 식 (2-15)와 같이 벼의 호흡속도를 함수율과 온도의 함수로 나타내고, 실험치와 적합시켜 계수의 값을 결정하였다.

$$R = (a + bM + cM^2) \exp\left(-\frac{d + eM + fM^2}{T}\right) \dots\dots\dots (2-15)$$

여기서 M : 함수율(%,d.b.)

T : 벼의 온도(K)

a, b, c, d, e, f : 계수

또한, 동일하게 Gore식에서의 R_0 와 β 의 값을 각각 함수율의 2차함수로 가정하고, 다음 식 (2-16)과 같이 벼의 호흡속도를 함수율과 온도의 함수로 나타내고, 실험치와 적합시켜 계수의 값을 결정하였다.

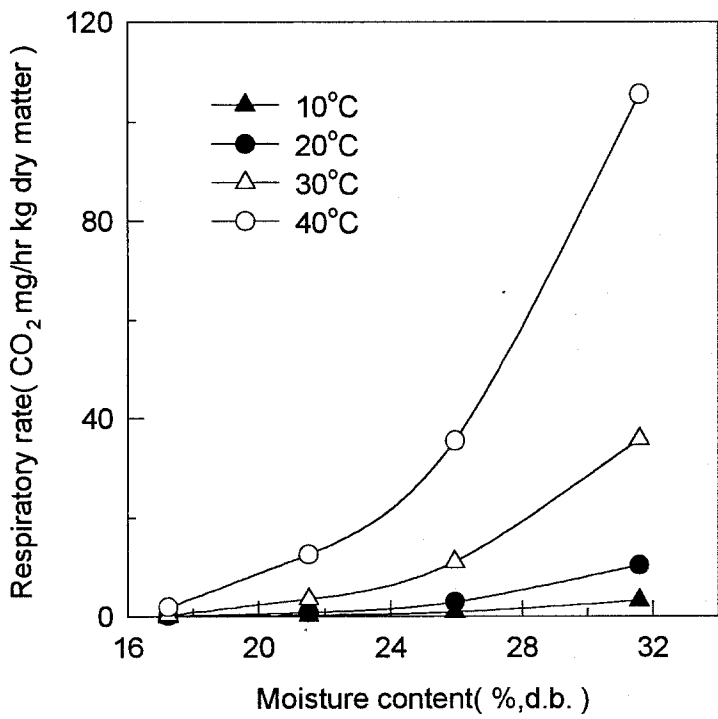


Fig. 2-6 Relationship between moisture contents and respiratory rates of rough rice.

$$R = (g + hM + iM^2) \exp(jt + kMt + lM^2t) \dots\dots\dots (2-16)$$

t : 벼의 온도(°C)

g, h, I, j, k, l : 계수

최소자승법으로 식 (2-15) 및 식 (2-16)의 계수를 결정한 결과는 표 2-23과 같았다. 이 때 결정계수는 각각 0.999, 0.999이었으며, t검정 결과 실측치와 예측치간에는 1%의 유의수준에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

함수율 17.2~31.6%,d.b.와 저장온도 10~40°C의 범위에서 식 (2-15)에 의해 예측한 결과와 실측치를 비교한 결과는 그림 2-7과 같았다. 그림 2-7에서 볼 수 있듯이 예측치와 실측치는 대단히 잘 일치하여 식 (2-15)은 함수율 17.2~31.6%,d.b., 저장온도 10~40°C범위에서 벼의 호흡속도를 잘 나타

Table 2-23 Constants in equation (2-15) and (2-16).

a	9.9617421×10^{14}
b	-6.451326×10^{16}
c	1.1005771×10^{15}
d	18183.170515
e	-457.9114417
f	6.6894676201
g	2.560669912
h	-0.276310788
I	7.415241×10^{-3}
j	0.577460313
k	$-3.2345437 \times 10^{-2}$
l	5.5687×10^{-4}

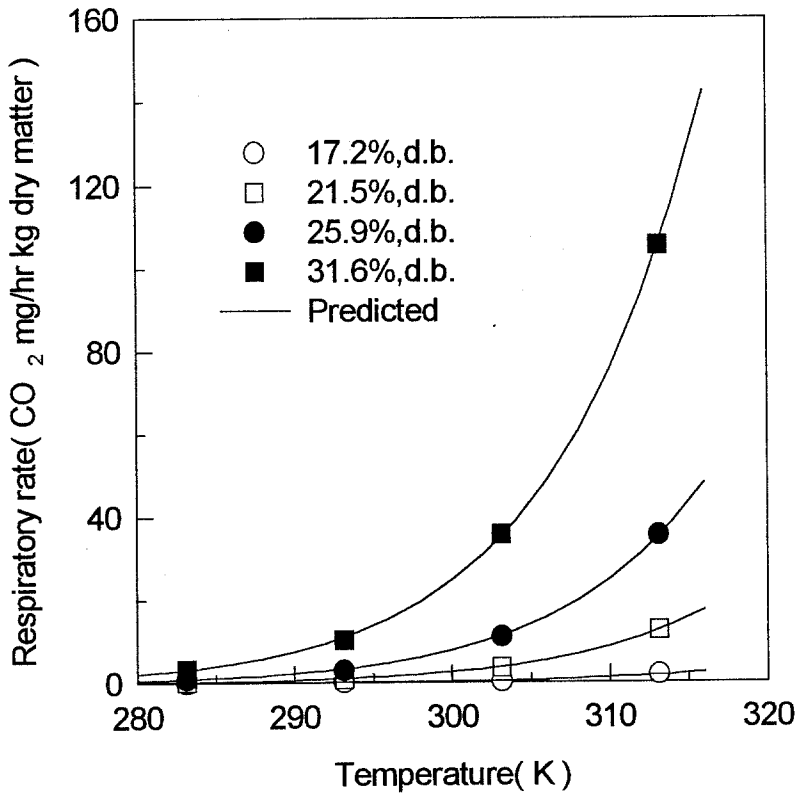


Fig. 2-7 Comparison of measured and predicted respiratory rates of rough rice.

내는 것으로 판단되었다. 또한, 동일 온도 및 함수율 범위에서 식 (2-15)과 식 (2-16)에 의한 예측치는 거의 일치하였다.

다. 건물중량손실율

벼가 호흡할 때 건물인 탄수화물 1g이 분해하면 1.47g의 이산화탄소와 3.76kcal의 열이 발생되므로 벼의 저장중에 발생하는 이산화탄소량이나 열량을 측정하여 건물중량손실율을 계산할 수 있다. 건물 1kg당 1kcal의 열이 발생할 때 1kg의 건물중에서 0.26596g 즉, 0.026598%의 탄수화물이 분해되는 것을 의미하고, 이산화탄소 1g이 생성될 때 1kg의 건물중에서 0.68182g 즉, 0.068182%의 탄수화물이 분해되는 것을 의미한다. 따라서 건물중량손실율은 다음 (2-17)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$DML = \frac{0.068182 \times R}{1000} \dots\dots\dots (2-17)$$

여기서 DML : 시간당 건물중량손실율(%)

제 4 절 결론 및 요약

우리나라의 기후 및 수확후 관리체계에 적합한 중저온 저장체계의 구축과 곡물냉각기의 개발에 필요한 기술조건을 확립하기 위하여 중저온 건조저장 기술의 조사 및 분석을 실시하였다. 또한, 벼의 동결특성과 벼의 함수율 및 온도별 호흡특성을 구명하고, 호흡속도식을 개발하였다. 벼의 함수율은 17.2~31.6%,d.b. 범위에서 4수준, 온도는 10~40℃ 범위에서 4수준으로 하였다. 일정한 온도를 유지하는 밀폐된 용기내에 시료를 넣고 용기내의 이산화탄소 및 산소농도의 경시적 변화를 가스크로마토그래피를 이용하여 측정하였다. 호흡속도 즉, 이산화탄소 발생율의 온도 및 함수율 의존성을 분석하고, 호흡속도와 온도 및 함수율의 관계식을 개발하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

가. 곡물의 중저온저장은 1961년부터 약 30년동안 세계적으로 50여개국에서 이용되고 있으며, 밀, 콩, 옥수수 등을 대상으로 냉각되는 곡물량도 1년에 2,500만톤에 정도에 달하고 있고, 곡물냉각기를 제작하는 업체만도 7개사 정도로 조사되었다.

나. 곡물냉각기를 이용한 중저온 저장은 건조능력의 향상, 건조비용의 절감, 식미 및 도정수율의 향상, 저장중 호흡에 의한 중량손실의 최소화, 내부 결로로 인한 부패방지, 미생물 및 해충발생 억제효과가 있는 것으로 조사되었다.

다. 우리나라 벼를 대상으로 열적 및 물리적 특성을 문헌을 통하여 조사하였으며, DSC로 벼의 함수율별 동결점을 측정한 결과 -20℃보다 낮

은 값을 나타내었다.

라. 벼는 이산화탄소의 농도가 17.7%이하에서는 호기적호흡 특성을 나타내었으며, 18.7% 이상에서는 혐기적호흡 특성을 나타내었다. 또한, 벼의 온도증가에 따른 호흡속도는 지수 함수적으로 증가하였으며, 함수율의 증가에 대해서도 동일하게 지수 함수적으로 증가하였다.

마. 벼의 온도와 호흡속도의 관계는 Arrhenius 및 Gore형의 식으로 잘 나타낼 수 있었으며, 4수준의 함수율에 대한 호흡계수와 온도계수를 결정하였다. 곡물의 온도와 함수율의 함수로 나타낸 2개의 호흡속도식을 제시하였다. 이 호흡식들의 결정계수는 모두 0.999로 나타났으며, t 검정결과 1%의 유의수준에서 실험치와 예측치간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 개발한 호흡속도식은 벼의 호흡속도를 매우 잘 나타내는 것으로 판단되었다.

바. 벼의 호흡과정을 탄수화물이 분해되어 이산화탄소, 물 및 열이 발생하는 0차 효소반응으로 간주하고, 개발한 호흡속도식을 수정한 저장벼의 건물중량손실율의 예측방정식을 제시하였다.

여 백

여 백

여 백

제 3 장 벼의 증저온 건조저장 특성

제 1 절 서 설

곡물냉각기를 이용한 벼의 증저온저장의 장점은 건조능력의 향상, 건조비용의 절감, 식미 및 도정수율의 향상, 저장중 호흡에 의한 중량손실의 최소화, 내부결로로 인한 부패방지, 해충발생 억제효과 등을 들 수 있다.

곡물은 10℃ 냉각될 때 약 0.5~0.8%,w.b.정도의 함수율이 낮아지며, 함수율이 높을수록 더 많이 건조된다. 곡물냉각기는 재열기가 부착되어 있어 증발기에서 냉각된 공기를 응축폐열로 가열하여 상대습도를 낮출 수 있다. 이와같은 낮은 상대습도로 인한 건조능력의 향상은 특히, 외기조건이 양호하여 곡물냉각기의 냉각부하가 현저하게 저하할 때 에너지 절약방법의 하나로 충분하게 이용이 가능하다. 한편, 곡물은 저장벼의 함수율에 따라 적정 냉각온도와 안전저장기간이 달라지게 된다. 국내의 미곡종합처리장에서는 물벼반입시기에 벼의 함수율을 18%,w.b.정도로 건조한 후 폴리콘 백 형태로 노지나 상온창고에 저장하는 경우가 많다. 수확기에서 차기년도 봄철까지 국내의 기상여건이 대단히 양호하기 때문이다. 그러나 18%,w.b.수준의 곡물은 5~7℃에서 저장하여도 안전저장기간은 약 3~4개월정도에 불과하여 장기저장시 저장과정중 품질저하를 피할 수 없다. 이러한 문제는 고품질의 쌀생산을 위해 반드시 구명되어야 할 과제이다.

본 연구에서는 벼의 증저온 건조저장체계의 확립을 위하여 건조저장특성을 구명하였다. 이를 위해 1차년도에는 “증저온건조시스템 개발”, 2차년도에는 “저장조건에 따른 벼의 품질특성조사”, “저장곡물의 곡온, 함수율 특성조사”의 소과제를 수행하였다.

제 2 절 중저온 건조시스템 개발

1. 재료 및 방법

건조공기 온도 및 상대습도조건에 따른 벼의 건조특성 및 건조후 품질을 측정하기 위하여 박층건조를 수행하였으며, 곡물냉각기를 이용하여 건조를 실시할 때 건조 특성을 구명하기 위하여 후층냉각건조실험을 수행하였다.

가. 박층건조

(1) 실험장치

박층건조실험을 위하여 정온정습공기 발생장치를 제작하였다. 정온정습공기발생장치는 온습도가 10~80℃, 30~95%,RH 범위에서 조절될 수 있도록 2대의 압축기와 전기히터, 초음파가습기를 부착한 향온향습기(한국종합기기제작소)를 사용하였다. 건조챔버는 0.6×0.6×0.8m(L×W×H)로서 건조트레이는 직경 0.32m을 사용하였으며, 2중관으로 제작하여 정온정습공기 누설을 최소화하였다. 한편, 향온향습기에서 건조챔버로 정온정습공기를 송풍하기 위하여 사이클로펜 1kW를 사용하였으며, 인버터를 이용하여 송풍량을 조절하였다.

건조중 시료의 무게계량은 로드셀(1kg용)을 사용하였으며, 무게는 송풍기의 정지중에 계량하기 위하여 송풍기의 가동/정지를 제어하였으며, 시스템의 제어와 무게계량 및 함수율환산을 위하여 clip 및 DB로 프로그램을 작성하여 사용하였다.

(2) 재료 및 방법

본 실험에 사용한 벼는 함수율 24.5%,w.b.의 중만생종인 동진벼로서 전

남 장성군 진원면 진원 미곡종합처리장에서 '96년 10월 23일 구입하여 정선한 다음, 1kg씩 0.5mm의 LDPE로 밀봉 포장하여 0℃저온저장고에 보관하면서 실험 1일전에 꺼내 방냉하여 실온으로 유지시킨 후 공시하였다.

건조온도조건은 15, 30, 45, 60℃의 4수준, 상대습도는 35, 50, 65%의 3수준으로 온도 및 상대습도조절이 가능한 11개 실험구에 대하여 3회 반복실험하여 평균치를 사용하였다. 이 때 송풍량은 Huizhen 등(1984)의 결과와 동일하게 0.5m³/sec/m²을 사용하였으며, 시료량은 320g으로 하였다.

동할율은 西山喜雄(1989)의 방법에 준하여 건조된 벼를 흡착제가 들어있지 않는 데시케이터에 2일정도 방치한 다음, 실험용 임펠러타입 제현기(FC4S, Sadake, Japan)로 제현하여 250립에 대하여 50립씩 동할율측정기(DC-50, Shizuoka Seiki, Japan)로 측정하였다.

함수율은 10g입자-135℃-24시간의 상압정온측정법으로 측정하였으며, 발아율은 현미 정립 100립을 물로 충분히 세척한 다음 직경 150mm의 페트리디쉬에 여과지를 깔고 벼를 올려 놓은 다음, 여과지가 젖을 정도로 물을 가한 후 20℃ 항온기에서 7일 이내에 발아한 정립수를 발아율로 하였으며, 3회 평균치를 사용하였다.

정백수율(Milling yield)은 도정전의 현미증량에 대한 도정후 정백미의 증량비로 식 (3-1)로 구하였다.

$$\text{정백수율(\%)} = \frac{\text{정백미 증량}}{\text{현미 증량}} \times 100 \dots\dots\dots (3-1)$$

완전미수율(Whole kernel yield, Head rice yield)은 현미증량에 대한 쌀래기를 제거한 완전 백미증량의 비율로서 다음 식 (3-2)로 구하였다.

$$\text{완전미수율} = \frac{(\text{정백미증량} - \text{쌀래미증량})}{\text{현미증량}} \times 100(\%) \dots (3-2)$$

이물 및 쌀래기량(Broken kernel)은 예비실험을 통해 실험방법을 정립하여 사용하였다. 농산물 규격집에는 『정백미의 이물은 크기가 완전립의 ¼미만

의 정미립과, 곡립을 제외한 다른 것을 말한다. 쉼은 그 크기가 완전립의 $\frac{3}{8} \sim \frac{1}{4}$ 의 립을 말한다』로 규정되어 있다. 川村周三(1991)은 이물(a)는 진탕기를 이용하여 1.7mm줄체로 1차 선별한 중량으로 하고, 싸래기(b)는 grader로서 각도 30°, 선별시간 1분으로 2차 선별하여 이물 및 싸래기량은 a + b의 무게로 하였으나, 예비실험 결과 광학적품질판정기(RS-2000, Shizuoka Seiki, Japan)로 선별한 이물 및 싸래기량은 육안검사 결과의 52.4%에 불과하였다. 반면, 1.7mm줄체 및 grader에 의해 선별한 방법은 시료량, 선별시간, grader의 각도 등에 따라 육안선별결과와 46.3~97.6%에 달하였다. 縦目段節機(大屋丹藏製作所)를 이용하여 1.7mm줄체로 20초간 1차 선별하여 이물을 제거한 다음 Test rice grader(Satake, TRG, Japan)로 각도 45°, 시료량 50g씩 선별시간 3분간 2회로 총 6분간 2차 선별하여 싸래기를 선별하는 방법이 육안검사결과와 97.6%에 달하였으며, 재현성이 확인되어 본 연구에서 이 방법을 사용하였다.

지방산가는 A.A.C.C.방법에 준하여 실시하였으며, 현미를 30mesh 정도로 분쇄한 후, 시료 10g를 정량하여 석유에텔로 16시간 동안 Soxhlet 추출기로 조지방을 추출한 다음 50ml의 BAP으로 용해시킨 후 0.0178N KOH로 적정하여 다음 식 (3-3)에 의해 지방산도를 계산하였다.

$$Fatty\ acidity = \frac{(T - B) \times 10}{(100 - W)} \times 100 \dots\dots\dots (3-3)$$

여기서 T : 적정에 필요한 0.0178N KOH용액의 소요량 (ml)

B : Blank의 적정에 필요한 0.0178N KOH용액의 소요량 (ml)

W : 시료 100g중의 수분량 (g)

나. 후층냉각건조

(1) 실험장치

3개의 원형 철판, 곡물냉각기, 냉각공기의 분배장치 및 데이터 수집장치로 후층냉각실험장치를 구성하였다.

냉각공기는 곡물냉각기(Granifrigor, KK-140, Sulzer사, 독일)를 사용하였으며, 송풍량조절은 1차로 메인댐퍼를 통해 3개의 분배관으로 나누고 각 분배관에 $\phi 48.5$, 60mm의 플로노즐을 부착하여 분기댐퍼로 송풍량을 조절하면서 3개의 사일로로 소요송풍량을 공급할수 있도록 제작하였다.

사용된 빈은 직경 1.1m, 높이 2.3m의 원통형으로 철판으로 제작하였으며, 단열은 실시하지 않았다. 원통형 빈의 바닥에서 0.3m높이에 다공의 통기마루를 설치하였으며, 통기마루로부터 각각 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8m의 높이에 $\phi 0.017$ m의 시료채취구를 설치하였으며, 빈내에 시료 채취구와 동일 높이에 1개씩 총 6개의 열전대(K-type)를 설치하여 곡온을 측정하였다. 측정치는 자료수집장치(Datascan, 7327, U.K.)로 기록하였다. 송풍량은 플로노즐을 사용하여 측정하였으며, 송풍량 측정덕트는 한국공업규격(KS A 0612)에 준하여 설치하였다.

(2) 재료 및 방법

시료는 강원도 철원산 오대벼로서 초기함수율은 22.0%,w.b.을 사용하였다. 각 저장빈에 1.4137m³(0.8톤)의 시료를 투입한 후 곡물냉각기를 가동하여 경과시간에 따른 곡물온도와 함수율을 측정하였다. 이 때 곡물냉각기의 냉각공기의 온도를 5.0℃로 설정한 후 각 저장빈에 유입되는 냉각공기의 풍량비가 0.5, 1.0, 1.5m³/min/tonne가 유지되도록 댐퍼를 이용하여 조절하였다. 실험기간은 '96. 10. 4일 부터 '96. 10. 14일까지 11일간이었다.

2. 결과 및 고찰

가. 박층냉각건조

건조조건에 따른 건조특성은 표 3-1과 같았다. 중저온 범위에 가까운 15℃의 온도대에서 시간당 건감율은 0.1~0.2%,w.b./hr정도로 나타났다. 반대로 온도가 높을수록 상대습도가 높을수록 시간당 건감율은 높게 나타났으며, 60℃, 35%,RH의 경우 시간당 건감율이 5.3%,w.b.에 달하였다. 건감율이 높을 경우 벼의 동할발생이 현저하므로 일반적으로 시간당 건감율을 상온통풍건조에서는 0.01~0.08%, 순환식건조기는 0.7~0.9%,w.b., 연속식건조기에는 1.5~2.2%,w.b.정도를 권장하고 있다. 한편, 건조공기의 온도도 순환식건조기에서는 53℃, 연속식건조기에서는 45℃이하를 권장하고 있다. 본 연구에서 실시한 박층냉각건조실험은 텀퍼링이 없는 연속건조로서 상온통풍건조와 유사하다.

표 3-2는 건조공기조건에 따른 벼의 품질특성을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 건조조건에 따라 정백수율에는 큰 차이가 없었으나, 동할율과 쉐미율은 큰 차이를 나타내었다. 건조과정에서 동할미 증가율을 5%까지 허용할 때 연속건조가 가능한 건조공기의 온도 및 상대습도는 35℃, 65%정도로 판단되었다.

건조과정에서 초기함수율이 높을수록 높은 발아율을 유지하기 위하여 낮은 온도에서 건조하도록 권유하고 있다. 발아율은 씨앗으로서의 활용에는 물론 식미와 대단히 큰 관계가 있기 때문이다. 발아율 95%를 유지하기 위한 건조온도는 함수율 25.0%,w.b.의 벼는 40℃, 20.0%,w.b.인 벼는 50℃정도를

Table 3-1 Drying characteristics of rough rice with different drying air conditions in thin layer drying.

drying air conditions		initial moisture content (%,w.b.)	moisture content after drying (%,w.b.)			drying rate (%,w.b./hr)
temperature (°C)	relative humidity(%)		rough rice	brown rice	rice	
15	50	24.3	13.2	13.8	12.8	0.2
15	65	23.4	14.5	14.8	13.6	0.1
30	35	24.8	14.3	14.5	13.5	1.0
30	50	24.6	15.1	15.5	14.3	0.8
30	65	24.8	14.7	14.9	13.8	0.2
45	35	24.4	15.1	15.6	14.8	2.2
45	50	24.2	14.6	15.6	13.8	1.7
45	65	24.2	14.7	14.4	13.3	1.3
60	35	24.3	14.7	14.9	13.4	5.3
60	50	24.6	15.1	15.9	14.1	3.7
60	65	24.3	15.2	15.3	13.7	2.7

나타낸다(Yamashita, 1993). 본 연구에 사용한 벼의 초기함수율이 24.2~24.8%,w.b.정도로서 건조후 발아율이 95%수준이상을 유지하는 건조공기온도는 45°C정도를 나타내어 Yamashita(1993)와 유사한 결과를 나타내었다. 건조공기조건에 따라 지방산가는 13.31~19.08정도를 나타내었으나 건조공기조건에 따라 일정한 값을 나타내지 않았다. 이 결과는 본 실험이 약 3개월 정도로 비교적 장기간에 걸쳐 이루어짐에 따라 고수분 벼의 저장기간이 길어진다 원인이 있는 것으로 판단되었다.

Table 3-2 Quality characteristics of rough rice for a different drying air conditions in thin layer drying.

drying air conditions		milling yield(%)	broken ratio (%)	cracked ratio (%)	germinati on rate (%)	fatty acidity
temperature (°C)	relative humidity (%)					
15	50	82.7	5.7	2.0	96.7	13.31
15	65	82.5	5.2	1.8	97.3	15.38
30	35	82.4	8.3	7.8	95.0	17.16
30	50	82.8	8.0	2.8	94.7	15.98
30	65	82.4	6.1	2.6	95.3	19.08
45	35	82.7	26.3	29.0	95.7	18.32
45	50	83.3	10.1	12.6	94.7	16.51
45	65	82.4	9.3	6.4	94.3	16.39
60	35	83.0	47.8	61.2	93.5	16.22
60	50	82.9	21.9	37.4	93.3	18.42
60	65	82.8	14.5	23.0	92.7	15.92

나. 후층냉각건조

낮은 온도로 건조하는 상온통풍건조는 미질면에서는 우수하나 건조속도가 느린 단점이 있다. 냉각제습방법은 상온통풍건조방법을 개선한 것으로 공기 중의 수분을 인위적으로 제거한 일정 습도로 건조한 공기를 송풍하여 곡물의 품질을 유지하면서 적절한 건조속도를 얻기 위하여 착안된 방법이다. 제습건조기에서 송풍공기의 습도는 과건방지 및 건조지연을 고려할 때 곡물의 평형상대습도보다 낮게 설정하는 것이 좋으며, 벼는 온도 15℃, 상대습도 65%가 적당하다. 건조속도는 송풍 온습도, 송풍량 및 초기함수율에 따라 차이가 있으나 0.19%/hr 정도로 보고되고 있다. 또한, 제습건조기에 의한 건조 벼의 품질을 보면 발아율은 양호한 결과를 얻었으며, 특히, 약 1년간 저장후의 식미는 순환식건조기에 의한 열풍건조에 비하여 우수한 것으로 보고되고 있다. 제습건조에 소요되는 에너지는 순환식건조기의 28%정도에 불과하나 투자비가 고가이다(미곡종합처리시설, 1995).

곡물냉각기는 제습건조기와 동일한 원리를 갖고 있다. 증발기에서 냉각된 냉각공기의 상대습도는 95%수준으로 재열기를 통과하면서 상대습도를 제어할 수 있다. 본 연구에서는 상용적인 곡물냉각기의 온도제어능력 등 기본적인 성능을 파악하고, 곡물냉각기를 연속 가동하였을 때의 건조가능성을 검토하였다.

그림 3-1, 3-2는 외기 및 곡물냉각기에서 냉각된 공기의 온도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 냉각공기온도를 5.0℃로 설정하였을 때 증발기출구 냉각공기온도는 5.9 ± 1.5 ℃, 재열기출구 냉각공기온도는 7.5 ± 1.7 ℃로 나타나 온도편차가 ± 1.5 ℃로서 비교적 높게 나타났으며, 설정온도의 값은 증발기출구 공기온도로서 재열시 실제 곡물냉각기의 냉각공기온도는 곡물냉각기 출구온도를 나타내지 않았다.

풍량비에 따른 실험기간중 공기압력실에서의 평균 냉각공기의 온도 및 상

대습도는 다음 표 3-3과 같았다. 풍량비가 0.5, 1.0, 1.5m³/min/tonne로 감소함에 따라 풍량조절용 댐퍼에서의 마찰열로 인해 공기압력실의 온도는 최대 14.7℃까지 상승하였으며, 상대습도는 48.7%까지 감소하였다. 한편, 동 실험 기간중 빈이 설치된 공간의 온도 및 상대습도는 19.9℃, 79.4%를 나타내었다.

Table 3-3 Temperature and relative humidity of chilled air in plenum.

specific airflow rate(m ³ /min/tonne)	0.5	1.0	1.5
temperature(℃)	14.7	12.5	11.2
relative humidity(%)	48.7	60.7	62.0
static pressure (mmAq)	2	4	7

그림 3-3은 풍량비 1.0m³/min/tonne일 때 곡온변화를 나타낸 것이다. 버퇴적층의 곡온이 공기압력실의 냉각공기 온도까지 냉각되는데 소요된 시간은 하부에서부터 0.3, 0.9, 1.5m지점에서 각각 3.0, 8.0, 16.0시간이 소요되었다. 한편, 풍량비 1.0m³/min/tonne일 때는 각각 7.5, 17.5, 22.0시간이 소요되었으며, 풍량비 1.5m³/min/tonne일 때는 각각 2.5, 5.0, 8.0시간이 소요되어 풍량비 증가에 따라 냉각소요시간은 현저하게 단축되었다.

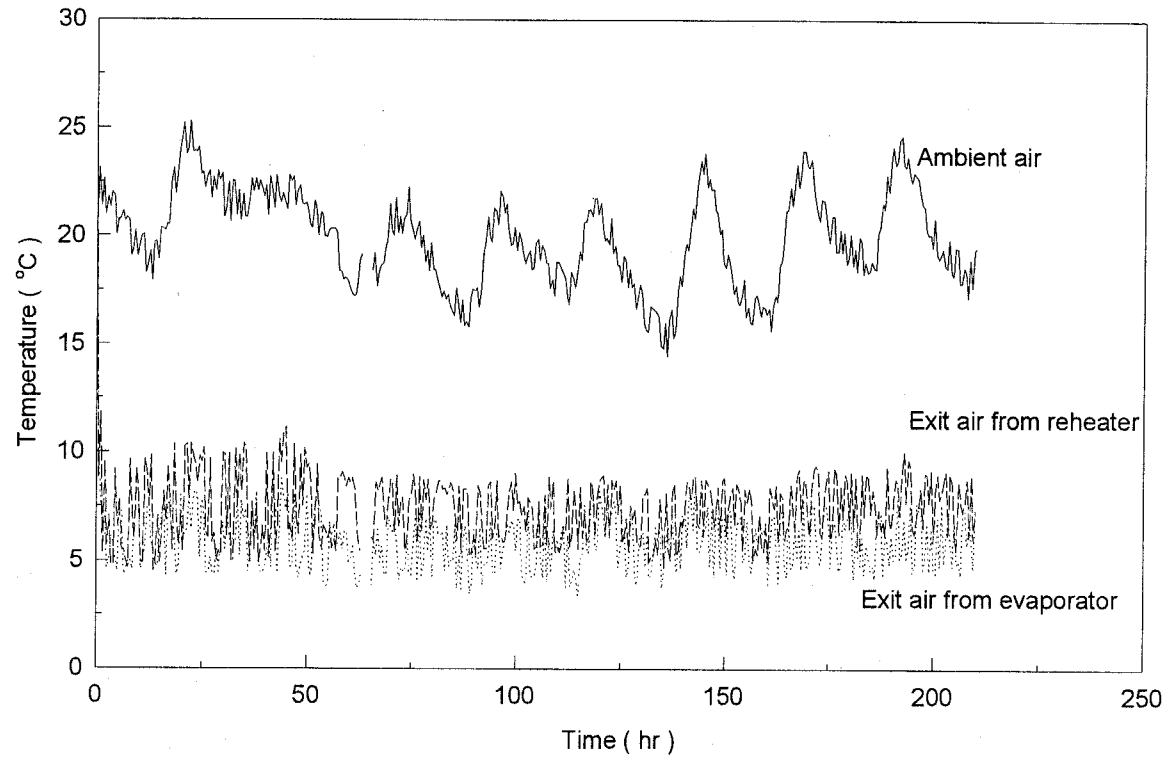


Fig. 3-1 Temperatures of ambient air, exit air from evaporator and reheater at setting point of 5°C.

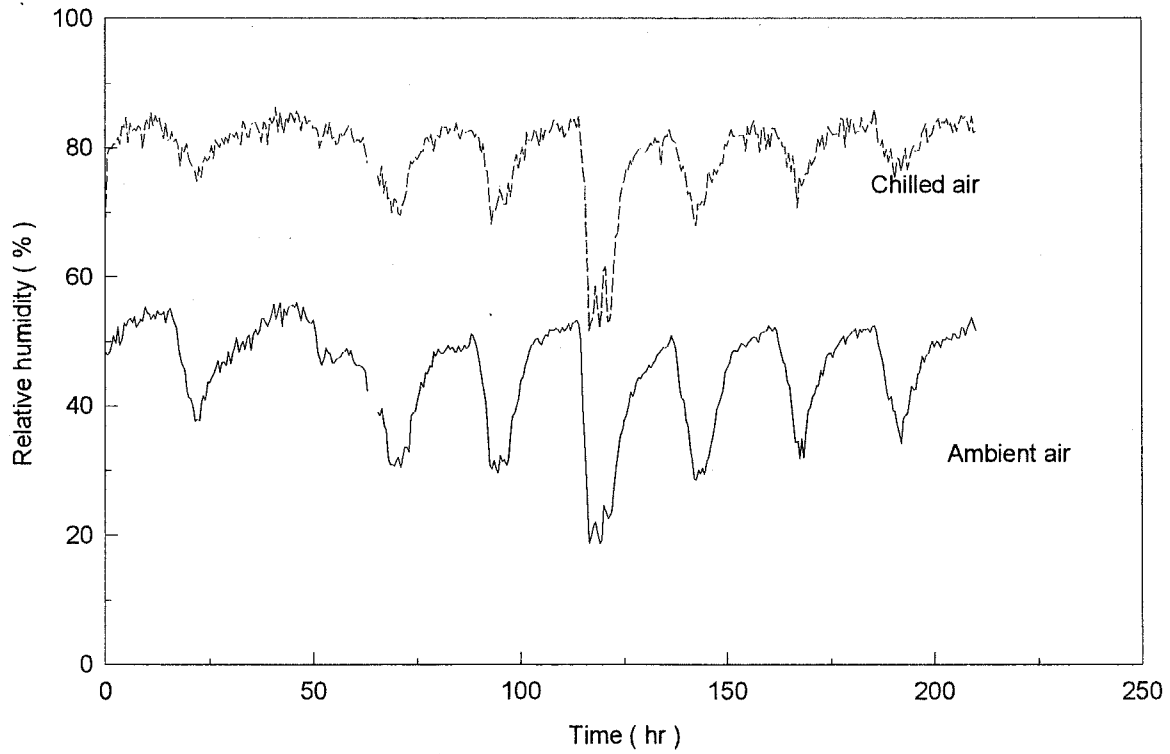


Fig. 3-2 Relative humidity of ambient and chilled air at setting point of 5°C.

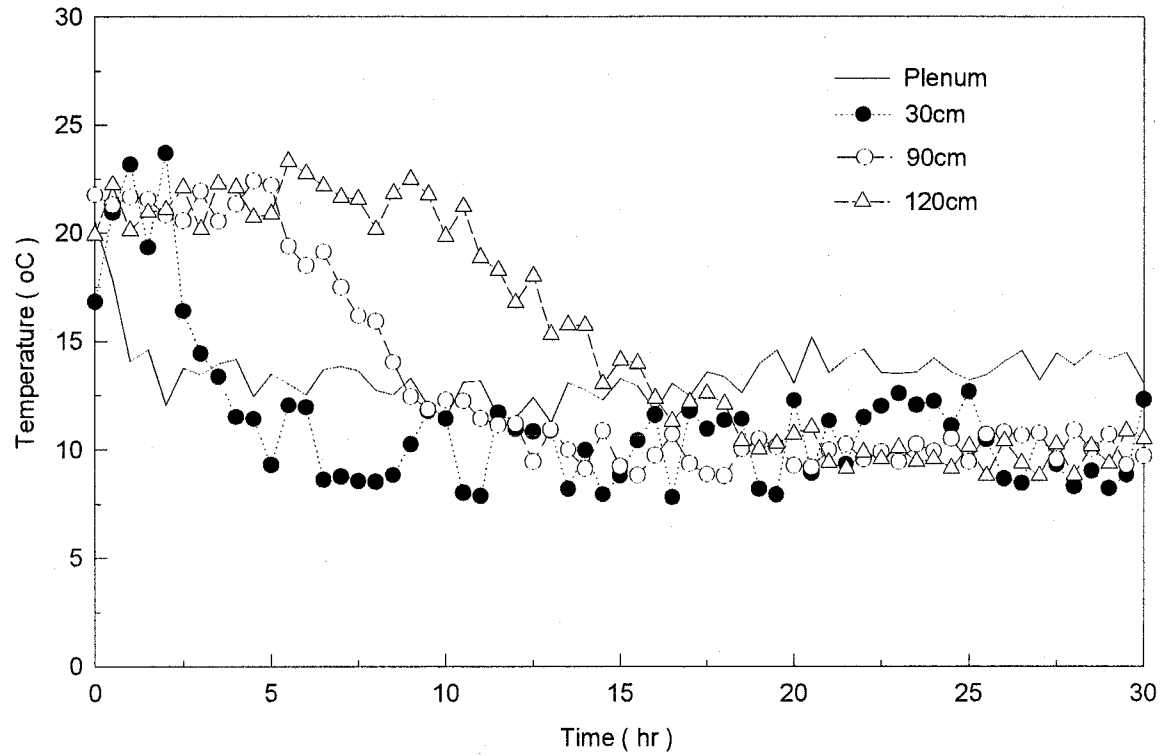


Fig. 3-3 Temperature of rough rice during cool-down at specific air flow rate of 1.0m³/min/tonne.

표 3-4는 약 10일간의 냉각건조를 실시한 결과를 나타낸 것이다. 표에서 측정위치는 저장빈의 중심방향으로 0.15m, 0.45m지점(반경 : 0.5m)이며, 하부에서부터 0.3, 0.9, 1.5m지점의 함수율변화를 나타낸 것이다.

표에서도 알 수 있듯이 풍량비 0.5, 1.0, 1.5m³/min/tonne에서 풍량비가 증가할수록 평균건감율도 0.010, 0.012, 0.019%/w.b.로 증가하는 경향을 나타내었다. 이 결과는 상온통풍건조와는 유사한 건감율을 나타낸 반면 제습건조의 0.19%,w.b./hr보다는 대단히 낮은 값을 나타내었다. 이와 같이 제습건조의 건감율과 큰 차이를 나타내는 것은 풍량비 차이로서 제습건조에서는 풍량비가 0.04m³/sec/100kg 즉, 24m³/min/tonne로 대단히 높기 때문으로 판단되었다. 한편, 곡물은 10℃를 냉각하면 0.5~0.8%,w.b.정도가 건조되는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서 벼의 곡온이 공기압력실온도보다 낮게 냉각된 1일후 함수율은 풍량비 0.5, 1.0, 1.5m³/min/tonne에서 각각 1.1, 1.5, 1.6%,w.b.를 나타내었다. 초기곡온이 20℃내외이며, 공기압력실의 냉각공기온도가 11.2~14.7℃로서 온도차가 10℃이하임을 감안할 때 많은 건조가 발생한 것은 48.7~62.0%정도로 낮은 상대습도의 영향으로 판단되었다. 또한, 10일간의 건조로 풍량비 1.5m³/min/tonne에서 하층부(0.3m)의 벼 함수율이 13.9~16.1%,w.b.를 나타낸 반면, 상층부(1.5m)의 함수율은 17.7~20.7%,w.b.로 나타내어 상,하층부 수분편차가 3.8~4.6%,w.b.로 대단히 큰 차이를 나타내었다. 한편, 중심방향으로 0.15m 지점의 벼가 0.45m지점의 벼보다 건감율이 높은 것은 시료채취로 인한 다짐계수의 차이가 발생하였고, 송풍량이 적을수록 냉각공기가 사일로 벽면을 타고 통과되었기 때문으로 판단되었다.

이상의 결과를 감안할 때, 곡물냉각기에 의한 냉각을 통한 건조는 냉각과정중에 발생하는 건조효과를 제외하면 그다지 크지 않았으며, 상온통풍건조 수준이상의 건감율을 기대하기는 어려웠다. 또한, 고품질의 쌀을 생산하기 위해서는 건조뿐만 아니라 저장방법이 결정적으로 영향을 미치게 되나 건조

Table 3-4 Changes of moisture content(%w.b.) of rough rice during low temperature drying with different specific air flow rates.

drying period (day)	point(cm)	0.5m ³ /min/tonne		1.0m ³ /min/tonne		1.5m ³ /min/tonne	
		0.15m	0.45m	0.15m	0.45m	0.15m	0.45m
initial	30	24.4	21.4	21.3	21.9	21.5	23.2
	90	22.7	21.6	21.8	23.3	21.7	22.1
	150	22.3	22.5	20.8	22.2	22.1	22.1
1	30	21.4	21.2	20.2	20.5	20.4	20.5
	90	21.0	20.5	20.6	20.3	20.2	20.8
	150	22.0	21.9	20.1	20.8	20.1	20.7
2	30	21.2	21.6	19.5	21.3	19.2	21.5
	90	21.3	20.9	21.1	22.1	19.5	21.1
	150	22.1	21.9	19.9	21.1	20.8	21.6
3	30	19.9	21.0	18.0	20.7	18.1	21.3
	90	20.6	20.6	19.7	21.2	18.9	21.2
	150	21.6	21.8	19.1	20.4	19.8	20.4
4	30	19.1	20.9	17.3	20.6	16.9	20.2
	90	20.0	20.8	19.1	20.5	18.8	20.7
	150	21.2	21.4	19.5	20.1	19.1	20.8
5	30	18.3	20.5	16.0	21.0	15.4	19.7
	90	19.9	21.4	18.7	20.2	17.8	20.9
	150	21.4	21.3	19.4	20.3	18.9	20.7
6	30	18.4	21.1	15.5	21.4	14.7	18.6
	90	19.7	20.8	18.8	21.2	17.1	21.5
	150	20.8	21.4	18.8	20.9	18.3	21.1

(continued)

drying period (day)	point(cm)	0.5m ³ /min/tonne		1.0m ³ /min/tonne		1.5m ³ /min/tonne	
		0.15m	0.45m	0.15m	0.45m	0.15m	0.45m
7	30	16.3	21.1	15.4	21.7	14.1	17.4
	90	19.9	20.9	17.8	20.8	15.6	20.8
	150	20.3	21.9	18.6	20.5	18.5	20.9
8	30	16.8	21.0	14.7	20.9	13.7	17.6
	90	19.9	20.4	17.8	21.0	16.1	20.4
	150	19.7	21.4	18.2	20.3	17.6	20.9
9	30	15.3	20.8	14.0	21.2	13.9	16.4
	90	19.3	20.9	21.3	17.5	15.9	20.8
	150	20.7	21.0	18.4	20.4	17.7	21.2
10	30	17.0	21.6	14.0	21.1	13.9	16.1
	90	19.0	21.0	18.1	21.6	15.9	20.9
	150	19.8	21.9	18.4	20.6	17.7	20.7

및 저장방법의 선택은 경제적 측면도 고려가 되어야 하므로, 미곡종합처리
장에서는 기존에 설치되어 있는 화력건조기와 함께 곡물냉각기를 적절하게
운영하여 쌀의 고품질화를 도모함은 물론 경제성을 높이는 것이 중요할 것
으로 판단되었다.

제 3 절 저장조건에 따른 쌀의 품질특성 조사

1. 재료 및 방법

가. 재료

본 실험에 사용한 벼는 함수율 24.5%,w.b.의 중만생종인 동진벼로서 전남 장성군 진원면 진원 미곡종합처리장에서 '96년 10월 23일 구입하여 정선한 다음, 음건하면서 함수율을 조정하여 공시하였다. 음건중 시간당 평균 건감율은 0.43%,d.b.이었다.

나. 실험방법

함수율이 조정된 시료를 직경 50mm, 높이 110mm의 유리병 900개에 70g씩 투입하고, 호흡에 의한 CO₂ 축적으로 인한 혐기적 환경에서의 미생물의 비정상적인 생육을 막기위해 0.02mm LDPE로 유리병의 입구를 씌었다. 시료병을 온도조절이 가능한 저온저장고에 보관하면서 경과시간에 따라 지방산가, 미생물, 발아율, 함수율, 중량변화를 측정하였다.

LDPE두께는 Burrell 등(1980)의 방법과 동일하게 결정하였으며, 이 때 호흡에 의한 CO₂ 발생량은 Murata 등(1976)의 결과를 사용하였고, CO₂발생량이 가장 많은 30℃, 22%,w.b.를 기준으로 하였다. 그 결과 병입구면적을 통한 0.02m LDPE film의 CO₂ 투과량은 49.087ml/24hr이었으며, 30℃ 22%,w.b.의 벼 70g의 24시간동안 CO₂생성량은 49.19ml/24hr로서 조건을 만족하였다.

실험구는 저장온도에 따라 10, 20, 30℃로 3개구, 함수율에 따라 24, 22, 20, 18, 16%,w.b.로 4개구로 총 12개구로 하였으며, 시료 채취간격은 저장온도 및 함수율에 따라 1일에서 30일 범위로 하였다.

2. 결과 및 고찰

벼의 저장기간에 따른 함수율의 변화는 특히, 저장온도가 높은 실험구에서 심하여 30℃ 저장의 경우 80일 후의 함수율은 초기함수율 22, 20, 18, 16%,w.b.는 각각 18.7, 14.8, 12.8, 12.2%,w.b.로 낮아졌다. 이와같이 저장중 함수율감소가 심한 것은 시료병내의 벼의 수분증산이 주원인으로, LDPE를 통해 저장고로 방출되었기 때문으로 판단되었다.

또한, 벼의 저장기간에 따른 중량감소는 표 3-5와 같이 저장온도가 높을수록, 함수율이 높을수록 큰 경향을 나타내었다. 30℃ 저장구의 경우 80일 후 중량은 초기치에 비해 함수율 22, 20, 18, 16%,w.b.는 각각 92.0, 90.0, 92.9, 93.8%를 나타낸 반면, 10℃저장시에는 99%이상을 나타내었다. 반면, 10℃ 저장구의 경우 초기함수율 22, 20, 18, 16%,w.b.는 저장기간 200일이 경과한 후에도 98.9, 99.1, 99.2, 99.2%를 나타내어 큰 변화를 나타내지 않았다. 이와같은 결과는 고온에서 저장할수록 호흡에 의한 건물중량손실이 증가하였고, 수분증산에 의한 함수율 감소에 의해 발생된 것으로 판단되었다.

벼의 초기 지방산가는 6.9였으며, 함수율이 높을수록 저장기간이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으나, 저장온도가 높아도 중량감소로 인한 함수율이 저하하여 그 경향이 일정하지는 않았다.

또한, 미생물의 초기치는 일반세균은 2.4×10^6 , 곰팡이는 2.5×10^6 cfu/g 정도를 나타내었으나, 저장기간 80일 후 30℃, 22%,w.b.의 경우 일반세균은 4.1×10^7 로 증가한 반면, 곰팡이는 4.9×10^6 cfu/g으로 큰 증가는 없었다.

표 3-6은 초기함수율과 저장온도에 따른 외관의 변화를 나타낸 것이다. 표에서 알수 있듯이 저장온도 30℃에서는 함수율 20%,w.b.이상의 벼는 20일 저장시 외관이 변화하였으며, 함수율 16%,w.b.인 벼도 외관상 60일 이상 저 20일정도 까지는 외관상 변화가 없었으며, 함수율 20%,w.b.인 벼는 140일,

Table 3-5 Changes of weight retention ratio(%) of rough rice with different moisture contents and storage temperatures.

storage period(day)	30℃				20℃				10℃			
	22%	20%	18%	16%	22%	20%	18%	16%	22%	20%	18%	16%
20	97.4	97.5	99.1	97.2	99.7	98.6	99.5	99.1	99.8	99.8	99.8	
40	95.9	96.0	95.6	95.8	98.6	98.5	98.5	98.7	99.7	99.5		99.6
60	92.9	91.9	94.1	94.7	98.2	97.6	98.2	98.4	99.4	99.2	99.5	
80	92.0	90.9	92.9	93.8	97.7	97.3	97.9	97.9	99.0	99.1		99.4
100	87.9	90.2	93.1	93.0	97.1	97.2	97.3	96.8	98.9	99.1	99.4	
120	86.6	89.2	90.1	92.8	95.9	96.6	97.3	96.5	98.9	99.1		99.2
140		87.8	90.1	92.3	95.9	96.5	96.7	96.2	98.9	99.1	99.2	
160		87.7	90.0	90.4	94.1	95.7	96.6	95.8	98.9	99.1		99.2
180			89.3	90.1		95.7	96.2	95.7	98.9	99.1	99.2	
200			89.1	90.0		95.4	96.1	95.3	98.9	99.1		99.2

Table 3-6 Changes of the rotten ratio of rough rice with different moisture contents and storage temperatures.

storage period(day)	30℃				20℃				10℃			
	22%	20%	18%	16%	22%	20%	18%	16%	22%	20%	18%	16%
20	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
60	++	++	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
80	+++	++	+	+	++	+	+	-	+	-	-	-
100	+++ +	++	++	+	++	++	+	-	+	-	-	-
120		+++	++	+	+++	++	+	-	+	-	-	-
140		+++	++	+	+++ +	++	+	-	+	-	-	-
160		+++ +	++	+		++	+	-	+	+	-	-
180			++	+		++	+	-	+	+	-	-
200			++	+		++	+	-	+	+	-	-

- : no change

+ : trace

++ : a couple of spots

+++ : a several sports

++++ : rotten

장이 불가능하였다. 반면, 10℃의 경우 함수율 22%,w.b.인 벼는 저장기간 18%,w.b.이하인 벼는 200일이 경과하여도 외관상 품질저하는 없었다.

그림 3-4는 저장기간에 따른 발아율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 식미에 직접 영향을 미치는 발아율은 저장온도가 높을수록, 함수율이 높을수록 저장기간에 따라 현저하게 감소하였다. 함수율 18%,w.b.의 경우 30℃ 저장구에서는 약 60일 경과후에 발아율이 50%정도로 낮아졌 으며, 20℃ 및 10℃저장구에서는 200일이 경과하여도 90%이상을 유지하였 다. 그러나 20℃, 18%,w.b.의 경우 80일이 경과한 후에 외관상 변질의 징후 가 나타났다. 10℃, 22%,w.b.의 저장구의 경우 발아율은 저장 후 180일후에 도 80%정도를 유지하였다.

이상의 결과를 고려할 때, 저장온도 10℃에서 안전저장기간이 함수율 22%,w.b.는 20일, 20%,w.b.는 140일, 18%,w.b.이하의 함수율일 경우 200일 이상으로 나타났다. 따라서 저장기간을 고려한다면 18~20%,w.b.범위에서 중저온 저장이 가능하였다.

저장온도 30℃에서는 호흡에 의한 중량감소율이 대단히 높게 나타났고, 특히 시료병의 주입구에 가까운 표면의 경우 건조가 현저하게 증가한 반면, 내부에서는 부패가 현저하게 나타났다. 또한, 함수율이 16%,w.b.수준이어도 저장온도가 30℃일 경우 안전저장기간은 60일 내외에 불과하였으며, 함수율 이 18%,w.b.수준 이상일 경우 상온저장은 대단히 어려우며, 고품위의 쌀을 생산하기 위해서는 중저온 저장기법의 도입이 필수적인 것으로 나타났다.

그러나 이 결과는 약 70g정도의 저장실험 결과로서 저장중 시료병의 주입 구를 통해 수분증산이 발생하여 함수율 및 중량변화가 발생한 점을 고려할 때 실제 산물저장시의 안전저장기간은 훨씬 짧아질 것으로 판단되었다.

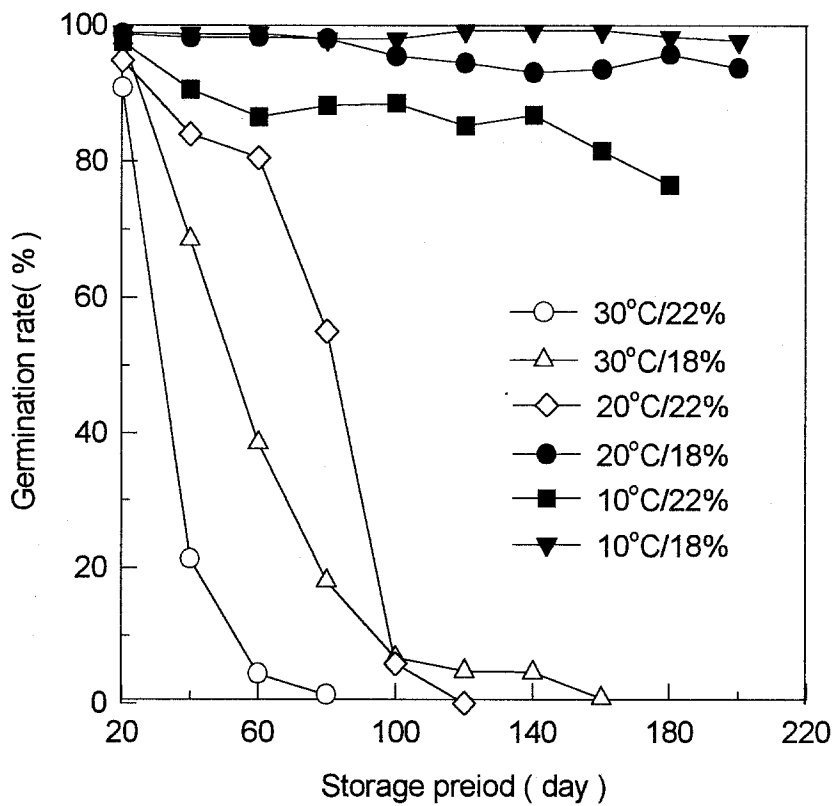


Fig. 3-4 Changes of germination rates of rough rice with different moisture contents and storage temperatures.

제 4 절 저장곡물의 곡온, 함수율 변화 특성조사

1. 재료 및 방법

가. 파일롯트 규모의 저장실험

중저온저장 및 상온저장중 벼의 함수율 변화 및 품질변화를 측정하기 위하여 3.2톤규모의 2개 사일로를 제작하여 저장실험을 실시하였다. 1차 실험은 하절기 실험으로 '97년 7월 23일부터 10월 7일까지 76일간 실시하였으며, 2차실험은 '97년 10월 21일부터 '98년 6월 1일까지 22일간 실시하였다. 실험에 사용된 저장빈은 직경 1.7m, 높이 2.7m의 원통형으로 철판으로 제작하였으며, 단열은 실시하지 않았다. 빈의 바닥에서 0.3m높이에 다공의 통기마루를 설치하였으며, 통기마루로부터 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5m의 높이에 \emptyset 0.017m의 시료채취구를 설치하였다. 또한, 시료 채취구와 동일 높이에 각각 4개씩 총 20개의 열전대(K-type)를 설치하여 곡온을 측정하였으며, 측정치는 자료수집장치(Datascan, 7327, U.K.)로 기록하였다.

중저온저장용 저장빈의 곡물냉각은 상용곡물냉각기인 Granifrigor KK-140 (Sulzer-Esher Wyss, Germany)사용하였으며, 댐퍼로 송풍량을 조절하였다. 상온저장용 저장빈은 통풍을 위하여 1/4Hp의 송풍기를 부착하여 송풍기의 흡입측 댐퍼로서 송풍량을 조절하였다. 이 때 송풍량은 플로노즐을 사용하여 측정하였으며, 송풍량 측정덕트는 한국공업규격(KS A 0612)에 준하여 설치하였다.

벼는 빈바닥에서 2.5m 높이로 퇴적하였으며, 이 때 시료량은 3.2톤이었다. 시료는 전남 익산시 백제농협에서 동진벼를 구입하여 공시하였으며, 1차 실험에서 초기함수율은 중저온 및 상온저장 공히 15.9%,w.b.였으며, 2차 실험에서는 초기함수율은 중저온저장용은 20.5%,w.b., 상온저장용은 17.3%,

w.b.였다.

중저온저장의 온도는 곡물냉각기의 냉각공기온도를 10℃로 설정하여 사용하였으며, 저장빈의 중간지점의 곡온이 15~18℃일 경우 재냉각을 실시하였고, 12~13℃가 되면 정지하였다.

냉각공기의 송풍량은 0.25m³/min/tonne이 되도록 댐퍼를 조절하였으며, 상온저장 저장빈의 통풍은 송풍량 0.08m³/min/m²로 실시하였다. 통풍은 저장 곡물중에 열주머니가 발생할 때만 가동하고, 열주머니가 없으면 정지하도록 하였다.

나. 사각빈에서의 저장실험

울산 농소농협 미곡종합처리장에 설치되어 있는 100톤 규모의 사각빈(D-5번, 4.0×4.0×11.5m, L×W×H)에서 곡물냉각기의 1차 시작품을 이용하여 냉각하여 저장실험을 실시하였다.

공시한 재료는 동진 50%, 화영 15%, 영남 15%, 기타 20%가 혼합된 벼로서 초기 함수율은 평균 21.0%,w.b.이었다.

곡물냉각기 시작품은 '97. 10. 7~10. 10까지 약 4일에 걸쳐 사각빈의 송풍실에 설치하였으며, 사각빈 외부의 0.3m두께의 콘크리트벽을 타공한 후 다공판하부에 Ø0.3m의 flow nozzle의 유도관을 직접 연결하였다.

저장빈내의 곡온 측정에는 열전대(t-type)를 사용하였다. 열전대는 사각빈 하부로부터 1m간격으로 2열로 총 22개를 설치하였다. 외기 및 사각빈공기의 상대습도 측정에는 상대습도 전송기(HX10, USA), 송풍량 측정에는 정압 전송기(C264, Setra, USA)를 사용하였으며, 측정치는 48채널의 자료수집기(Data Scan, 7327, U.K)로, 소요전력은 적산전력계로 수집하였다.

곡물냉각기의 1차시작품의 냉각공기 설정온도는 7℃, “냉각건조”기능으로 냉각을 실시하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 파일롯트 규모의 저장실험

표 3-7은 1차 저장실험에서 경과시간에 따른 함수율 변화를 나타낸 것이며, 그림 3-5는 2차실험에서 함수율변화를 나타낸 것이다. 표 3-6에서 알 수 있듯이 함수율의 변화는 중저온저장에서 다소 감소하는 경향을 보였는데 이는 저장기간중 중저온저장은 2회에 걸쳐 재냉각을 실시하였으나, 상온저장은 송풍을 실시하지 않은데 원인이 있었다. 그림 3-5에서 저장초기 곡물냉각기와 통풍용 송풍기의 가동에 중저온저장된 벼의 함수율은 19.0%,w.b., 상온저장된 벼는 14.3%,w.b.까지 저하하였다. 또한, 저장기간중 중저온저장은 3회에 걸쳐 재냉각을 실시하였으며, 200일 저장후의 함수율은 중저온저장은 18.5%,w.b., 상온저장은 14.1%,w.b.를 나타내었다.

Table 3-7 Changes of moisture content for rough rice during the first storage trail.

storage period(day)	low temperature	conventional
initial	15.9	15.9
16	14.2	16.6
31	14.2	16.5
47	14.0	16.0
61	14.7	16.1

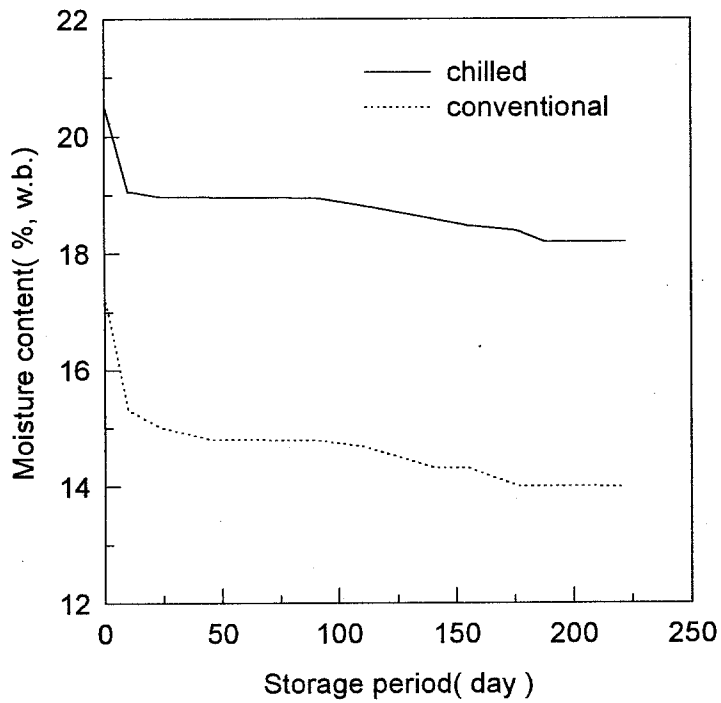


Fig. 3-5 Changes of moisture content for rough rice during the second storage trail.

2차 저장실험에서 외기에 따른 중저온 저장빈에서의 곡온변화는 그림 3-6과 같았다. 본 연구에 사용한 저장빈의 직경이 1.7m, 높이가 2.7m로서 소규모이며, 단열되지 않았고, 저장된 벼의 함수율이 높아 외기가 증가함에 따라 곡온의 증가가 현저하게 나타났다. 그림에서 알 수 있듯이 저장도중 약 3회의 냉각이 실시되었다.

표 3-8 및 표 3-9는 1, 2차 저장기간중 지방산가의 변화를 나타낸 것이다. 1차 저장실험에서 초기 지방산가의 값은 19.34였으나, 중저온저장구에서는 냉각에 의해 지방산가가 다소 저하하는 경향을 나타내었다. 반면, 상온저장의 경우에는 경과시간에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 한편, 2차 저장실험에서 저장초기 지방산가의 값은 중저온 저장시료는 14.94, 상온저장 시료는 13.65였다. 저장 188일 후 지방산가는 중저온저장이 26.40, 상온저장이 23.06으로 저장기간에 따라 중저온저장구가 상온저장구보다 지방산가가 다소 높게 나타났다. 이와같이 1차 저장실험에서는 중저온저장구가 상온저장구보다 낮은 값을 나타낸 반면 2차 저장실험에서는 다소 높은 지방산가를 나타낸 것은 함수율에 의한 영향으로 판단되었다. 즉, 1차 저장실험에 사용한 시료는 중저온 및 상온저장구 모두가 15.9%,w.b.로 낮았으나, 2차 저장실험에서 중저온저장구에 사용한 시료는 18%,w.b.이상의 고함수율이었다.

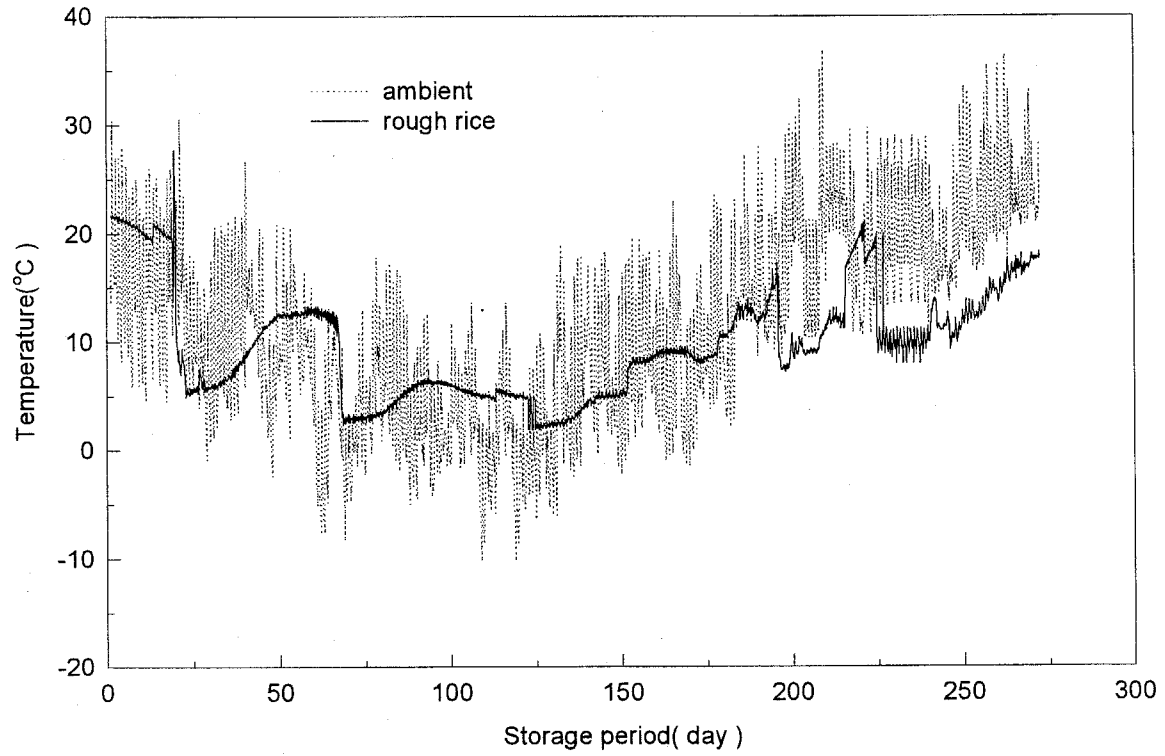


Fig. 3-6 Changes of temperature of rough rice during low temperature storage.

Table 3-8 Changes of fatty acidity for rough rice during the first storage trial.

storage period(day)	low temperature	conventional
initial	19.34	19.34
16	17.33	20.54
31	17.09	18.62
47	16.70	20.59
61	18.68	23.43

Table 3-9 Changes of fatty acidity for rough rice during the second storage trial.

storage period(day)	low temperature	conventional
initial	14.94	13.65
10	17.16	15.00
24	20.59	15.59
45	21.03	17.58
91	21.57	17.74
111	22.05	20.86
141	23.91	21.16
155	24.10	21.63
176	25.94	22.89
188	26.40	23.06

그림 3-7은 1차 저장실험에서 저장기간에 따른 발아율 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 저장기간에 따라 발아율은 중저온저장에 비하여 상온저장구에서 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다. 저장초기 발아율이 91%인 중저온저장구에서 저장후 60일이 경과할 때 발아율은 70%수준을 유지하였으나, 상온저장구는 0%에 근접하였다.

한편, 총균수 및 곰팡이의 경우 두 실험구에서 큰 변화를 나타내지 않았으나 중저온저장의 경우 상온저장에 비해 이취의 발생이 현저하게 적었으며, 표면의 광택이 유지되었다.

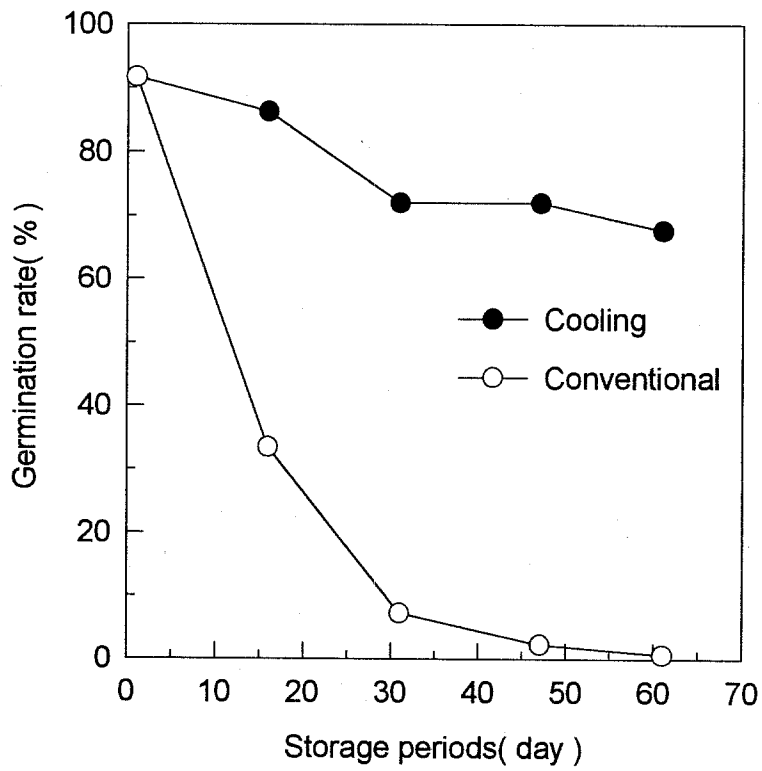


Fig. 3-7 Changes of germination rate for rough rice during the first storage trail.

나. 사각빈에서의 저장실험

그림 3-8은 냉각시 외기온도와 냉각기 출구 냉각공기온도 및 사각빈 중층(5m지점)의 곡온을 각각 나타낸 것으로, 초기곡온 20.2℃의 벼의 곡온은 약 18시간후에 8℃정도로 냉각됨을 알 수 있었다. 여기서 곡온이 냉각기 출구의 냉각공기온도보다 높은 것은 냉각공기가 조임비 0.5인 플로노즐을 통과하는 도중 축소, 확대를 거치면서 송풍정압의 감소와 함께 온도가 상승한 데 원인이 있는 것으로 판단되었다. 한편, 설정온도 7.0℃일 때 냉각기 출구 온도는 외기온도의 변화에 따라 평균 6.7℃를 나타내었으며, 온도편차는 ± 1.4 ℃로 비교적 높게 나타났다. PLC에 의해 제어한 1차 시작품에서의 온도 편차 ± 1.4 ℃는 2절의 상용 곡물냉각기에서 나타난 ± 1.5 ℃보다는 낮았다. 하지만 우수한 성능의 곡물냉각기를 개발하기 위해서는 운영프로그램 및 시스템의 보완을 통해 개선해야할 부분으로 판단되었다. 약 300시간동안 가동한 곡물냉각기의 시간당 평균 소비전력은 16.3kW정도였다.

표 3-10은 중저온저장과 상온저장시의 함수율, 지방산가, 발아율, 미생물 등 품질을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 중저온저장의 초기 함수율이 21.0%,w.b.정도였으며, 냉각이 완료된 '97년 11월 10일경의 함수율은 19.1%,w.b.정도로서 약 1.9%,w.b.정도가 냉각에 의해 건조되었으며, 2회의 냉각과정을 거치면서 저장기간 189일 후에 18.1%,w.b.를 유지하였다. 한편, 냉각되지 않는 사각빈에 저장된 벼의 함수율은 16.4%,w.b.를 유지하였다.

중저온저장에서 저장초기 94%였던 발아율은 저장기간중 거의 변화가 없었으며, 저장 189일후에도 93%정도를 유지하였다. 그러나 지방산가는 저장초기 11.96에서 저장기간 125일후에는 20.19를 나타내었으며, 저장기간 189일후에는 23.13를 나타내었다. 이것은 파일롯트 규모의 실험결과와 유사한 것으로서 저장온도가 낮아도 함수율이 높을 경우 저장기간에 따라 지방산가가 높아지는 것을 알 수 있었다. 총균수와 곰팡이는 저장기간에 따라 큰 차

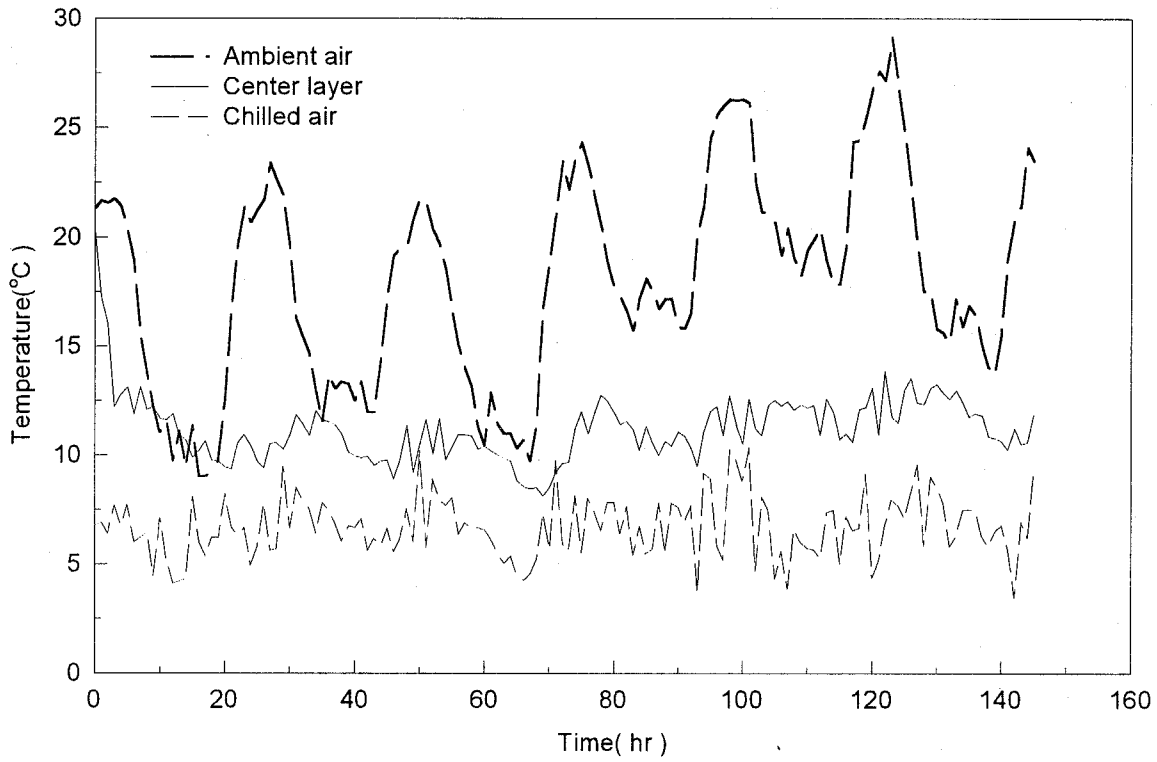


Fig. 3-8 Temperature of ambient air and chilled air.

Table 3-10 Changes of quality for rough rice during storage.

a. low temperature

storage period (day)	water content (%w.b.)	germination rate (%)	fatty acidity	total count (cfu/g)	mold (cfu/g)	color		
						L	a	b
initial	21.0	95	11.96	7.8×10^9	4.1×10^4			
8	19.1	92	18.63	2.0×10^7	1.2×10^5	57.49	5.06	26.27
20	18.9	94	18.62	1.4×10^7	4.8×10^4	58.44	4.69	23.58
125	18.5	93	20.19	7.6×10^9	4.7×10^4	57.98	4.74	25.34
142	18.2	93	20.47	8.1×10^9	7.0×10^4	57.80	5.10	27.32
189	18.1	93	23.13	3.1×10^9	1.7×10^5	57.68	4.92	24.93

b. conventional

storage period (day)	water content (%w.b.)	germination rate (%)	fatty acidity	total count (cfu/g)	mold (cfu/g)	color		
						L	a	b
125	16.8	95	21.36	1.4×10^7	1.1×10^5	58.94	4.64	25.87
142	16.2	94	26.50	3.5×10^7	8.4×10^4	57.60	4.99	27.88
189	16.4	94	27.75	2.1×10^7	5.0×10^5	60.46	4.94	25.71

이가 없었다.

표 3-11은 189일동안 중저온저장과 상온저장한 벼를 동일조건하에서 가공하여 식미검사를 실시한 결과를 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 사각빈내에서 중저온으로 저장한 시료가 상온으로 저장한 시료에 비해 윤기의 정도(높을수록 우수), 색의 강도(낮을수록 우수), 외관의 품질 및 맛의 품질(높을수록 우수)에서 우수한 것으로 나타났다.

Table 3-11 Sensory quality of cooked rice for a different storage conditions.

		low temperature	conventional
appearance	glossiness*	6.32 ^a	5.48 ^b
	color intensity*	3.75 ^a	4.29 ^b
odor	off-odor	3.12 ^a	2.93 ^a
flavor	characteristic cooked rice flavor	5.92 ^a	5.92 ^a
texture	hardness	5.24 ^a	5.32 ^a
	springiness	5.12 ^a	4.88 ^a
	cohesiveness	5.68 ^a	5.12 ^a
	adhesiveness	4.60 ^a	4.76 ^a
quality	appearance	6.16 ^a	5.72 ^b
	odor	6.20 ^a	6.44 ^a
	flavor	6.12 ^a	5.88 ^b
	texture	5.48 ^a	5.12 ^a
overall desirability		5.44 ^a	5.28 ^a

* p = 0.05 수준에서 시료간 유의적인 차이가 있음

^{ab} 각 row내의 같은 alphabet은 같은 수준임

3. 곡온예측 시뮬레이션 모델개발

가. 수학 모델

(1) 저장빈내의 열전달

산물상태의 곡물의 열전달은 곡물내부의 수분 증발(evaporation)과 응축(condensation) 때문에 공기와 입자사이에 대류뿐만 아니라 곡물입자 사이의 전도에 의해 발생한다. 전도에 의한 열전달은 다음의 식 (3-1)과 같은 Fourier 법칙으로 나타난다.

$$q = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots (3-1)$$

여기서,

q : rate of heat flow(W)

k : thermal conductivity(W/m K)

A : cross-sectional area perpendicular to direction of heat flow(m^2)

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$: temperature gradient in the direction of heat flow(K/m)

미소 용량의 곡물의 에너지 변화율은 다음 식(3-2)와 같다.

$$q = \rho c V \frac{\Delta T}{\Delta t} \dots\dots\dots (3-2)$$

여기서,

ρ : density of grain(kg/m^3)

c : specific heat of grain(J/kg K)

V : volume of grain(m^3)

$\frac{\Delta T}{\Delta t}$: change in temperature of a given volume of grain

during time interval(Δt , K/s)

저장곡물의 곡온은 대기온도의 변화에 영향을 받게 된다. 따라서, 저장빈 내에서의 전도는 비정상상태의 전도로 고려하여야 한다. 저장빈을 원통형으로 가정하고 곡물의 비열, 밀도, 열전도율을 고려하여 다음의 식 (3-3)과 같은 비정상전도방정식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\phi T}{\phi t} = \frac{k}{\rho c} \left[\frac{\phi^2 T}{\phi r^2} + \frac{1}{r} \frac{\phi T}{\phi r} + \frac{\phi^2 T}{\phi z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\phi^2 T}{\phi \theta^2} + \frac{q'''}{k} \right] \dots\dots\dots (3-3)$$

여기서,

T : grain temperature(K)

t : time(s)

k : thermal conductivity of the grain(W/m K)

r : radial distance(m)

z : axial distance(m)

θ : angle of bin sector(rad)

q''' : heat per unit volume generated by a heat source
(W/m³)

Luikov(1966)는 대기공간의 대류열전달 모델을 해석하기 위해서 열전도계수(thermal conductivity coefficient ; k_e)의 모델을 제시하였다. 그러나, 이 모델은 곡물표면의 온도와 곡물내부에서의 공기온도를 동일하게 고려하였다. Abbouda(1984)는 Luikov's 방정식의 k_e 를 이용하여 산물상태의 곡물을 저장할 때 낱알사이의 공기의 대류열전달식을 제시하였다. 이 방정식의 열전도계수는 다음의 식 (3-4)와 같다.

$$k_e = k + h_c L \dots\dots\dots (3-4)$$

여기서,

k : thermal conductivity of the grain(W/m K)

h_c : convective heat transfer coefficient in the intergranular air space(W/m² K)

L : characteristic dimension(m)

Henderson and Perry(1976)는 h_c 를 다음의 식 (3-5)와 같이 표현하였다.

$$h_c = 0.7923(\Delta T)^{0.25} \dots\dots\dots (3-5)$$

여기서,

ΔT : temperature gradient between any two interior spatial elements(°C)

산물상태의 곡물의 전도와 대류열전달을 열전도율 k 를 대류열전달계수 k_e 로 식 (3-3)을 변환하여 이용하였다. 변환식은 다음의 식 (3-6)과 같다.

$$\frac{\varphi T}{\varphi t} = \frac{k + h_c L}{\rho c} \left[\frac{\varphi^2 T}{\varphi r^2} + \frac{1}{r} \frac{\varphi T}{\varphi r} + \frac{\varphi^2 T}{\varphi z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\varphi^2 T}{\varphi \theta^2} + \frac{q'''}{k + h_c L} \right] \dots\dots\dots (3-6)$$

빈내에서의 열흐름은 빈의 반경과 축을 서로 대칭으로 가정하면 식 (3-6)은 다음의 식 (3-7)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\varphi T}{\varphi t} = \frac{k + h_c L}{\rho c} \left[\frac{\varphi^2 T}{\varphi r^2} + \frac{1}{r} \frac{\varphi T}{\varphi r} + \frac{\varphi^2 T}{\varphi z^2} + \frac{q'''}{k + h_c L} \right] \dots\dots\dots (3-7)$$

(2) 저장빈 벽에서의 열전달

저장빈 벽은 태양과 빈내의 온도의 차이로 인한 복사열전달, 빈벽의 온도와 주위공기와의 차이로 인한 대류열전달이 발생하게 된다.

Newton의 냉각법칙에서 공기의 온도를 T_a , 빈 벽의 표면온도를 T_w , 단위시간당 열전달을 q_c 라 하면 다음의 식 (3-8)로 표현된다.

$$q_c = h_w A_w (T_w - T_a) \dots\dots\dots (3-8)$$

여기서,

h_w : convective heat transfer coefficient

A_w : unit area

($T_w - T_a$) : overall temperature difference

빈벽과 곡물층 사이의 전도에 의한 열전달과 대류열전달이 동일하다고 가정하면 다음의 식 (3-9)로 표현된다.

$$h_w A_w (T_w - T_w) = -k_f A_w \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (3-9)$$

여기서,

k_f : the thermal conductivity of the fluid

$\frac{\partial T}{\partial x}$: the derivative of fluid temperature normal to the wall surface evaluated in the fluid at the surface

대류열전달율은 공기의 속도가 적고 유체의 물리적 특성이 일정하다고 한다면 Prandtl수, Reynolds수 및 Nusselt수의 함수로 표현할 수 있다(Kay, 1963). Kreith(1969)는 원통형에서 Reynolds수(40,000 < Re < 400,000)로 대류열전달계수를 표현하였고, Yaciuk(1973)는 다음의 식 (3-10)으로 표현하였다.

$$h_w = \frac{k_f \cdot 0.0239 (Re)^{0.805}}{d} \dots\dots\dots (3-10)$$

여기서,

k_f : thermal conductivity of the air(W/m K)

Re : Reynolds number

d : diameter of bin(m)

Longstaff and Finnigan(1983)은 풍속을 Reynolds수로, 열전달을 Nusselt 수로 표현하여 다음의 식 (3-11)을 개발하였다.

$$Nu = 0.227 (Re)^{0.633} \dots\dots\dots (3-11)$$

여기서,

$$Nu = \frac{h_w d}{k_f}, \quad Re = \frac{v d}{\nu}$$

v : reference wind speed(m/s)

ν : kinematic viscosity of the air(m²/s)

나. 시뮬레이션 모델

저장비의 곡은 예측 시뮬레이션 모델은 그림 3-9와 같이 저장빈의 수직방향과 수평방향으로 일정한 간격으로 나누고 각도를 $\Delta\theta$, 수평방향의 증가를 Δr , 수직방향의 증가를 Δz , 수평방향의 폭을 $\frac{\Delta r}{2}$ 로 그리고 수직방향의 폭을 $\frac{\Delta z}{2}$ 로 두었다.

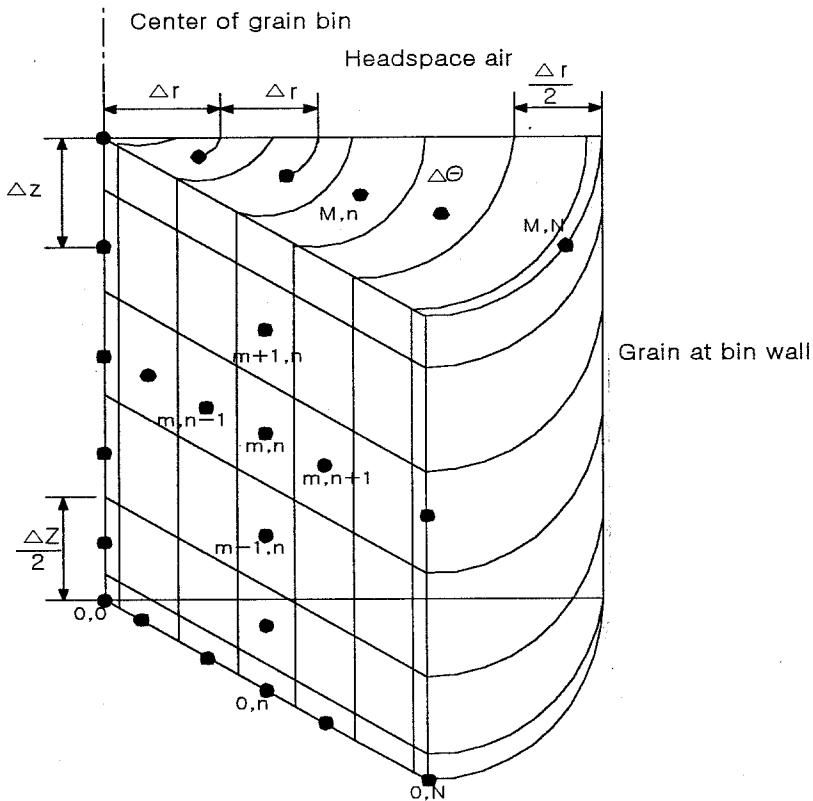


Fig. 3-9 Cylindrical grain bin consisting of $M+1$ axial and $N+1$ radial elements for derivation of finite difference equation.

각각의 간격의 온도를 예측하기 위한 유한차분방정식(Finite difference equation)은 Croft and Lilly(1977)가 제안한 heat balance방법과 FEM(Fully Explicit Method)을 이용하였다. 열평형 방정식은 내부의 노드 i와 인접한 노드 j를 다음 식 (3-12)로 나타낼 수 있다.

$$\sum_j K_{ij} [T_j - T_i] = \rho c V_i \left[\frac{T_i' - T_i}{\Delta t} \right] \dots\dots\dots (3-12)$$

내부 노드 j는 다음의 식 (3-13)과 같다.

$$K_{ij} = \frac{k_e A_{ij}}{L_{ij}} \dots\dots\dots (3-13)$$

외기 노드 j는 다음의 식 (3-14)와 같다.

$$K_{ij} = h_e A_{ij} \dots\dots\dots (3-14)$$

저장빈의 외부와 공기 층만실내의 외기 노드 j와 상응하는 온도 T_j 는 실험에 의해 결정하였다. 유한차분방정식은 식 (3-12)와 식 (3-4), 식 (3-5) 및 식 (3-14)을 적용하여 내부 간격 m,n을 대입하여 다음의 식 (3-15)로 나타내었다.

$$\begin{aligned} & [k + h_c \Delta z] [n (\Delta r)^2 \Delta \theta] \left[\frac{T_{m+1,n} - T_{m,n}}{\Delta z} \right] \\ & + [k + h_c \Delta z] [n (\Delta r)^2 \Delta \theta] \left[\frac{T_{m-1,n} - T_{m,n}}{\Delta z} \right] \\ & + [k + h_c \Delta r] \left[\left(n \Delta r + \frac{\Delta \theta}{2} \right) \Delta \theta \Delta z \right] \left[\frac{T_{m,n+1} - T_{m,n}}{\Delta r} \right] \\ & + [k + h_c \Delta r] \left[\left(n \Delta r - \frac{\Delta \theta}{2} \right) \Delta \theta \Delta z \right] \left[\frac{T_{m,n-1} - T_{m,n}}{\Delta r} \right] \\ & = c \rho n (\Delta r)^2 \Delta \theta \Delta z \left[\frac{T_{m,n}' - T_{m,n}}{\Delta t} \right] \dots\dots\dots (3-15) \end{aligned}$$

수평 방향 r 과 수직 방향 z 을 무차원 형태로 표현하면 다음의 식 (3-16)과 식 (3-17)로 나타낼 수 있다.

$$F_o = \frac{(k + h_c \Delta r) \Delta t}{c\rho(\Delta r)^2} \dots\dots\dots (3-16)$$

$$E = \frac{(\Delta r)^2}{(\Delta z)^2} \dots\dots\dots (3-17)$$

따라서, 식 (3-15)를 다음의 식 (3-18)과 같이 표현할 수 있다. 식 (3-18)은 시간이 $t + \Delta t$ 만큼 증가할 때 내부 간격 m, n 의 온도의 예측식이다.

$$T^{m,n} = F_o E [T_{m+1,n} + T_{m-1,n}] + \left[F_o \frac{2n+1}{2n} \right] T_{m,n+1} \\ + \left[F_o \frac{2n-1}{2n} \right] T_{m,n-1} + [1 - 2F_o(E+1)] \dots\dots\dots (3-18)$$

컴퓨터 시뮬레이션 프로그램은 FORTRAN 77을 이용하였으며, 입력데이터는 표 3-12, 3-13과 같이 벼 및 공기의 물성치와 저장빈의 크기이며, 출력데이터는 경과시간에 따른 위치별 곡온변화이다.

Table 3-12 Thermal and physical properties of rough rice.

Bulk density of dry grain (kg/m ³)	550
Void fraction (decimal)	0.45
Thermal conductivity (W/m K)	0.117
Specific heat (kJ/kg K)	1.336
Heat of vaporization (kJ/kg K)	2500.0

Table 3-13 Thermal and physical properties of air.

Density (kg/m ³)	1.164
Thermal conductivity (W/m K)	0.0251
Specific heat of dry air (kJ/kg K)	1.006
Specific heat of water vapor (kJ/kg K)	1.876
Coefficient of thermal expansion (1/k)	3.41×10^{-3}
Dynamic viscosity (N.s/m ²)	18.24×10^{-6}

제 5 절 결론 및 요약

본 연구는 벼의 증저온 건조저장체계의 확립을 위하여 건조저장특성을 구명하였다. 이를 위해 박층건조 및 후층냉각건조를 실시하여 건조특성을 구명하였고, 벼의 저장함수율 및 온도가 품질에 미치는 영향을 측정하였으며, 파일롯트 규모 및 사각빈에서 곡물냉각기를 이용하여 냉각저장하여 벼의 품질특성을 측정하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 박층건조실험 결과, 건조과정에 품질에 영향을 미치지 않고 연속건조가 가능한 온도 및 상대습도 범위는 35℃, 65%로 나타났으며, 건조온도가 낮을수록 상대습도가 높을수록 동할미 및 쉼미 발생이 현저하게 감소하였다.

나. 후층건조에 사용된 외국에서 상용으로 판매되고 있는 곡물냉각기는 온도편차가 가동조건에 따라 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 로서 비교적 높게 나타났으며, 냉각공기온도는 재열기 출구온도로서 정확한 냉각공기온도 제어가 어려웠다.

다. 곡물냉각기에 의한 후층건조실험 결과 제습건조기보다 낮은 송풍량으로 인해 평균건감율은 0.019%/w.b.이하를 나타내어 상온통풍건조시와 유사하였으며, 곡물냉각기와 건조기의 복합사용이 경제적인 것으로 판단되었다.

라. 저장벼의 함수율 및 저장온도에 따른 벼의 품질특성 측정 결과, 함수율 20%,w.b.이하인 벼에 대한 증저온저장이 가능하였으며, 저장온도

10℃에서 16%,w.b.인 벼는 장기저장이 가능하였다.

마. 파이롯트 규모 및 사각빈 저장결과 증저온범위에서 18%,w.b.이상의 함수율에서는 장기저장시 품질저하가 발생하였으나, 증저온저장이 상온저장에 비해 품질 및 식미가 우수한 것으로 나타났다.

여 백

여 백

여 백

제 4 장 곡물냉각기의 개발

제 1 절 서 설

외기를 냉각하여 냉각된 공기로 곡물을 냉각하는 곡물냉각기는 압축기, 증발기, 응축기, 재열기 및 송풍팬 등으로 구성되어 있는데(Sulzer-Escher Wyss, 1984), 이러한 곡물냉각기를 이용하여 곡물을 냉각할 때 냉각소요시간에 영향을 미치는 인자로는 송풍량, 냉각공기 온도 및 상대습도, 곡물의 초기곡온 및 함수율, 퇴적높이 등을 들 수 있다.

송풍량은 냉각소요시간을 결정하는 주요한 인자(ASHRAE, 1991)로서 송풍량이 증가할수록 냉각소요시간이 단축되며, 송풍량은 외기의 온도 및 상대습도와 냉각공기의 온도 및 상대습도의 영향을 받게 된다. Sauer(1992)는 송풍량에 따라 냉각소요시간이 달라지는데, 곡물의 온도를 송풍공기의 온도까지 냉각시키는데 필요한 송풍량은 공기의 분포가 균일한 경우는 곡물 체적의 600배~750배정도이나, 공기의 분포가 균일하지 않을 경우에는 곡물 체적의 약 1,000배정도의 냉각공기가 필요하다고 보고하였다. 또한, 냉각에 필요한 운전시간은 계절에 따라 수천 시간까지 다양하며, 낮과 밤의 냉각부하가 대단히 큰 차이가 있으므로 저온의 공기를 얻기 위해서는 낮의 최대부하에 맞는 냉동기를 선정하거나 곡물냉각시스템을 통과하는 송풍량을 제어할 수 있어야 한다고 보고하였다. 곡물을 1일에 냉각할 수 있는 풍량비에 대해서는 Shove(1966) 등은 $0.50 \sim 1.1 \text{ m}^3/\text{min}/\text{tonne}$ 정도가 필요하다고 보고하였으며, ASHRAE(1991)은 $0.4 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^3$ 정도가 적합하다고 보고하였다.

냉각공기의 온도 및 상대습도는 곡물의 함수율에 따라 달라지게 되는데

Ihen(1971)은 독일에서 10년간 최초의 상용적인 곡물냉각시스템을 사용한 경험을 바탕으로 함수율 15%,w.b.미만의 곡물은 곡물의 온도가 20℃미만일 때는 냉각할 필요가 없었으며, 21%,w.b.미만은 8~10℃, 25%,w.b.미만은 4~5℃로 냉각하여 저장하여야 한다고 보고하였다. 한편, Sulzer-Escher Wyss 사(1989)에서는 함수율과 냉각저장온도 및 안전저장기간에 대하여 함수율 15%,w.b.이하의 곡물은 9~12℃로 저장할 경우 영구히 저장할 수 있으며, 15~16.5%,w.b.의 곡물은 8~10℃로 저장할 경우 안전저장기간은 1~1.5년정도이며, 함수율 16.5~18%,w.b.인 곡물은 5~7℃로 저장할 경우 안전저장기간은 4~6개월 정도이며, 그 이상의 함수율을 가진 곡물은 5℃에서 저장할 경우 함수율에 따라 1주에서 3개월동안 안전하게 저장할 수 있다고 보고하였다.

곡물의 초기온도 및 함수율은 곡물의 냉각저장이 일시저장인지 또는 장기저장인지에 따라 달라지게 되며, 퇴적높이는 원형철제빈, 사각빈, 콘크리트빈 등에 따라 달라진다.

이러한 인자들은 냉각속도뿐만 아니라 냉각에 소요되는 비용 및 벼의 품질에도 영향을 미치게 된다. 따라서 곡물냉각기의 효율적인 설계와 운영을 위해서는 냉각속도를 예측하고, 이와 관련된 인자들의 영향을 파악하는 것은 대단히 중요하다.

상용적인 곡물냉각기가 1961년에 개발된 이후 세계적으로 곡물냉각기를 제조하고 있는 주요업체만도 독일, 미국, 스웨덴 등의 나라에 약 7개사 정도이며, 1961년부터 1989년까지 보급된 곡물냉각기는 3,500대 이상으로 약 2,500만톤 이상의 곡물이 냉각 저장되고 있으나(Maier, 1992), 이들 시스템은 대단히 고가이면서도, 지금까지 대상 곡물이 밀, 콩, 옥수수, 유채씨앗 등이 대부분으로 벼에 대한 연구보고가 적다. 또한, 우리나라 기후조건하에서 처

리능력 및 성능에 대한 측정결과도 없는 상태이다.

본 연구의 목적은 벼를 대상으로 국내의 기후조건 및 수확후 처리여건에 적합한 상용적인 곡물냉각기를 개발하는데 두었다. 이를 위해 1차년도에는 외국의 상용적인 곡물냉각기에 대한 세부적인 기술검토를 실시하였다. 2차년도에는 곡물냉각기 설계를 위해 벼 고정퇴적층의 곡온변화를 예측할 수 있는 냉각 시뮬레이션 모델을 개발하여, 이를 실험을 통하여 검증하였고, 시뮬레이션 방법을 이용하여 냉각속도와 관련된 영향인자를 구명하였다. 또한, 이들 결과를 활용하여 새로운 곡물냉각기를 개발하였고 이의 성능을 측정하였다. 3차년도에는 운영실험을 통하여 설계 및 장치보완을 실시하였으며, 국내의 기후조건 및 수확후 관리체계에 적합한 한국형 곡물냉각기의 운영프로그램을 개발하였다.

제 2 절 냉각장치에 대한 세부기술 검토

1. 대상기기 및 방법

세계적으로 곡물냉각기를 생산하는 7대 주요 제조회사의 제품중 현재 국내에 수입되어 있는 곡물냉각기는 Escher-Sulzer Wyss사의 “Granifrigor” KK-140(2대)가 유일한 것으로 조사되었으며, 한국식품개발연구원에서 1대, 강원도에 소재한 농협 미곡종합처리장에서 1대를 보유하고 있다.

따라서 본 연구에서는 곡물냉각기중 최초로 개발되었고, 세계적으로 가장 넓게 보급되어 있을 뿐 아니라 한국식품개발연구원에서 보유하고 있어 시스템의 기술검토가 용이한 KK-140를 주대상으로 하였으며, 각 제조회사의 특허자료와 제품소개서 및 운영 메뉴얼을 참조로 곡물냉각기를 검토하였다.

2. 기본냉각시스템

가. 곡물냉각기의 기본구조

곡물냉각기는 압축기, 증발기, 재열기, 응축기, 팽창밸브, 수액기 등과 이들을 연결하는 배관, 밸브 및 제어시스템 등의 기본적인 냉동시스템과 필터, 모터, 송풍기 및 덤퍼로 구성되어 있다.

나. 냉각능력기준

설계기준상 최대냉각능력은 외기조건이 17℃, 70%,RH이고, 곡물의 함수율이 18%,w.b.이상이며, 저장빈의 송풍저항이 70mmAq이하일 때 1일 냉각

할 수 있는 곡물을 양을 나타내고 있다. 하절기의 냉각능력은 외기조건이 22℃, 50%,RH이며, 곡물의 함수율이 16%,w.b.일 때이며, 가을철의 냉각능력은 외기조건이 18℃, 54%,RH이며, 곡물의 함수율이 16%,w.b.일 때이며, 평균 냉각능력은 여름철과 가을철의 산술적인 냉각능력의 평균치로 나타내고 있다. 이와같은 설계기준하에서 1일에 냉각가능한 곡물의 양(tonne)/압축기의 냉각능력(kW)은 최대냉각능력일 때 5.660tonne/kW/day, 하절기에 2.266 tonne/kW/day, 가을철에 4.312tonne/kW/day며 평균냉각능력은 3.286tonne/kW/day정도였다. 송풍기 능력은 송풍저항 200mmAq일 때 풍량비는 최대 냉각능력일 때 0.308m³/min/m³, 하절기에 1.834m³/min/m³, 수확기에 0.963m³/min/m³이며, 평균 1.265m³/min/m³로 나타났다.

에너지는 최대냉각능력일 때 1.68~2.36kWh/tonne, 하절기는 4.03~5.51 kWh/tonne, 가을철에는 2.24~2.98kWh/tonne, 평균 3.10~3.87kWh/ tonne정도였다.

한편, 국내의 외기조건은 하절기인 경우 냉동창고업법상 33℃, 75%,RH이며, 가을철 평균외기조건은 15.8℃, 68%,RH(울산지역)이다.

다. 냉동시스템

(1) 압축기

개방형압축기는 축과 외부에 설치된 모터의 연결부위가 외부로 노출되어 있어 보수는 대단히 용이하나 밀봉장치에 대한 주유, 냉매의 누설 등의 우려가 있다. 따라서, 일반적으로 곡물냉각기에는 반밀폐형(semi-hermetic type)이나 밀폐형(hermetic type)의 압축기가 사용되고 있다. Granifrigor에 채용된 압축기는 미국 Copeland사의 왕복동식 밀폐형 (DBRG2-0900-TFC-521)로서 공칭능력은 9HP, 소요전력은 220V 3상이었다. 압축기 하단부에 크랭크케이스 히터를 사용하였다. 이 히터는 냉동기유를 가열하여, 냉

동기유에 의한 냉매의 흡수를 최소한으로 억제하기 위한 것으로서 매뉴얼에 의하면 가동하기 24시간전에 곡물냉각기에 주전원을 넣어 히터를 가동하도록 하고 있다. 실제 주전원을 넣은 후 곧바로 가동시 유압의 급격한 저하로 곡물냉각기가 가동되지 않았다.

사용중인 냉매는 R-22로서 이 압축기의 냉각능력은 증발/응축온도가 7.2/52.5℃일 때 27,700kcal/h로서 약 32.2kW정도였다.

(2) 증발기

증발기의 파이프피치는 대단히 가깝고, 핀피치는 3mm정도이며, 병류식을 채택하고 있었다. 통상의 냉동시스템에서 적용하는 방식인 공기의 유동방향과 냉매의 흐름방향이 반대인 대향류형에서 제습은 주로 증발코일 후단부에서 발생하여 미세한 수적(水滴)이 토출공기에 혼입될 우려가 있다. 한편, 증발기 코일의 케이스는 증발기를 통과하는 고압의 공기가 누설되지 않는 구조로 제작되었다.

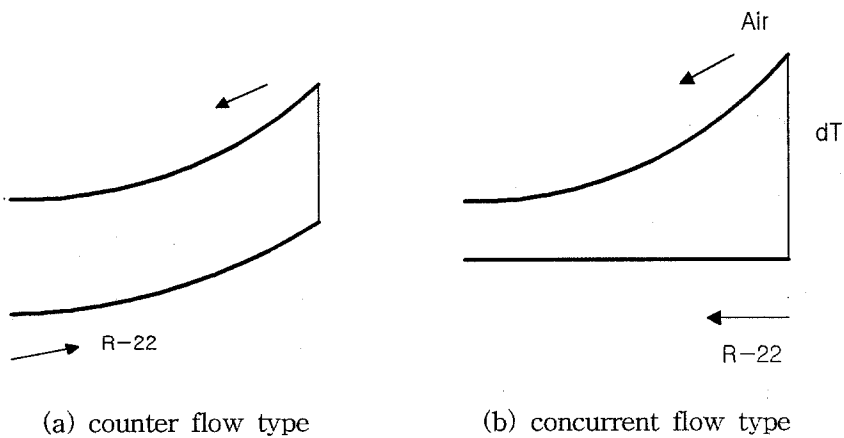


Fig. 4-1 Counter and concurrent flow type evaporators.

(3) 재열기, 응축기

재열기 및 응축기 등의 열교환기는 통상의 냉동시스템에서 적용되는 방식으로 상이한 점은 없었다. 재열기에는 재열온도의 유지를 위해 압축기에서 토출되는 고온고압가스관이 연결되어 있는데, 재열기에 공급되는 고온고압가스량의 조절을 위해 2개의 수동밸브가 부착되어 있어 재열의 필요시 수동 조작하도록 되어 있었다. 그러나 재열기에 부착된 수동밸브에 의해 재열기에 공급된 고온고압가스량을 조절하므로 상대습도의 정밀한 제어는 어려운 것으로 판단되었다.

(4) 배관

배관은 일반적인 냉동시스템에서 적용되고 있는 방식으로 큰 특징은 없었다. 압축기 흡입가스의 온도는 저온부하상태에서는 18.3℃, 고온부하상태에서는 32.2℃를 넘지 않는 것이 좋으며, 항상 37.8℃이상을 넘어서는 안되나 압축기 흡입관은 비교적 길게 배관되어 과열도를 높이고 있다. 이는 별도로 압축기전에 액분리기를 설치하지 않기 위한 것으로 판단되었다.

라. 송풍부

송풍기는 터보팬으로서 임펠러의 폭이 좁은 고압 송풍기 형태를 유지하고 있었으며 소음이 적었다. 또한, 뎀퍼는 OVC(outlet volume control)방식을 채용하고 있었다.

3. 냉각능력 제어

곡물냉각기는 외기를 도입하여 냉각, 가열하여 온도 및 상대습도가 일정한 냉각공기를 발생하는 시스템이다. 외기조건의 변화에 따라 냉각부하의 변화가 심하므로 냉각공기의 온도를 일정하게 유지하기 위해서는 냉각능력의 제어가 필요하다. 냉각능력 제어에는 송풍기 댐퍼의 개도율을 조정하여 송풍량을 변환시키는 방법과 냉매용량제어밸브에 의한 냉매량을 제어하는 2가지 방법이 병용되고 있다.

곡물냉각기에서 냉각된 공기온도는 통상 재열기 출구의 온도가 아닌 증발기와 재열기사이의 3개의 열전대가 감지하고 있으며, 희망온도는 아날로그 온도 컨트롤러로 설정하고 있다. 냉각공기의 온도조절은 송풍기의 댐퍼, 압축기의 용량조절밸브, 팽창밸브와 균분기 사이에 위치한 고온고압냉매가스관의 전자밸브 및 응축기 팬의 제어로 이루어지고 있었다. 제어 신호는 듀얼(dual)형태의 저압스위치와 열전대가 연결된 아날로그 컨트롤러에 의해 발생되었으며, PLC방식을 채용하고 있었다.

댐퍼 개폐의 이상이나 외기온도가 설정온도에 가깝게 저하할 경우 저압의 강하로 인해 증발기에 착상(着霜)되는 것을 방지하게 위하여 저압스위치에서 감지된 저압이 약 2kgf/cm^2 (-25°C , 게이저압)정도에서 고온고압냉매가스관의 전자변이 추가로 열리며, 납봉을 실시하여 비숙련자에 의한 저압 등 압력스위치의 설정치 변환을 방지하고 있었다.

설정온도와 곡물냉각기출구 냉각공기온도와는 다소 차이가 있는데, 이는 댐퍼의 작동과 압축기 용량조절의 기준이 되는 온도센서가 증발기 출구에 있는 열전대에 의존하므로 재열기에서 재열된 온도는 정확한 조절이 어려운 것으로 판단되었다.

또한, 시스템의 가동시 “수동”기능에서 송풍기 댐퍼를 고정시키고, 댐퍼

의 개도율을 수동으로 조정하여 게이지상에 나타난 냉각공기온도와 설정온도차가 3℃이하가 될 때 “자동운전”기능으로 전환시키도록 제어시스템이 구성되어 있었다. 이는 냉각공기온도가 설정온도에 빠르게 접근시키는 것과, 자동으로 운전시 설정온도로 유지하기 위한 목적으로 판단되나 조작성이 불편한 단점이 있었다.

한편, 송풍기 댐퍼와 용량조절밸브에 의한 제어방법으로는 곡물냉각기의 냉각능력을 0~100%까지 조절하기 어렵다. 이로 인해 외기온도가 설정온도에 근접하여 냉각부하가 대단히 적어질 때 압축기에 잦은 작동/정지가 발생하였고, 온도편차가 심하게 나타났다. 곡물냉각기는 기계적인 냉각방식으로 온도차(냉각공기온도-증발온도)가 발생하므로, 증발기에서 착상이 발생하지 않는 조건에서 운전할 때 최저 공기냉각온도는 4℃정도에 불과하다. 한편, 우리나라에서 수확기의 일교차가 대단히 커 외기온도가 4℃이하로 낮아지는 경우가 많은 점을 감안할 때 기존방식으로는 냉각공기 온도제어에 문제가 발생할 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 에너지 절약방안

동일한 능력을 가진 냉각시스템은 성적계수가 큰 차이는 없으나, 곡물냉각기와 같이 외기를 도입하는 시스템에서는 경과시간에 따라 냉각부하가 달라지므로 시스템의 제어 방식에 따라 차이가 발생할 수 있다.

기존의 상용적인 곡물냉각기에 사용되고 있는 용량조절밸브에 의한 압축기 흡입가스량의 제어방식은 압축기의 소요동력에 거의 영향을 미치지 않는다. 따라서 냉각부하가 낮아져 곡물냉각기의 최대냉각능력 범위에내어질 때 잔여 냉각능력의 활용이 에너지 절약측면에서 고려해야할 주요한 부분으로 판단되었다.

지금까지 약 30HP미만의 소형 압축기의 경우 무부하전자변(unloading

solenoid valve)이 부착된 압축기가 판매되고 있는 예는 거의 찾아볼 수 없었다. 용량이 50%, 100%의 2가지로 조절되는 무부하압축기를 사용하여 냉각부하가 최대냉각능력의 1/2정도가 되면 에너지가 약 50%정도로 절감되는 무부하전자변을 이용할 경우 에너지 절약에 크게 기여할 것으로 판단되었다.

또한, 최대냉각능력과 1/2정도의 냉각부하에서 용량조절은 압축기에서 토출되는 고온고압가스를 재열기 및 증발기에 사용할 경우 무부하전자변은 1/2보다 높은 용량에서 작동이 가능할 것으로 판단되었다. 부족할 수 있는 고온고압가스량을 충분하게 확보하기 위해서는 응축기 팬의 조절이 필요할 것으로 판단되었으며, 이를 통해 더욱 많은 에너지절약효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되었다.

제 3 절 곡물냉각기 설계를 위한 시뮬레이션

프로그램개발

1. 시뮬레이션 모델링

가. 수학모델

곡물의 후층을 많은 박층으로 나누고 각각의 박층에서 일어나는 곡물의 온도와 함수율, 곡물층 통과공기의 온도와 절대습도의 변화를 연속적으로 계산하여 조합하는 방법을 벼의 퇴적층 냉각모델의 기본 개념으로 하였다. 벼의 냉각에 사용되는 풍량비가 보통 $0.5\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 이하로 낮은 수준이고, 냉각공기의 조건이 급격하게 변화하지 않고 거의 일정하게 유지된다. 따라서, 곡물의 박층에서 곡물과 통과공기간에 평형이 이루어지는 것으로 가정할 수 있다.

곡물층에서 곡물과 통과공기가 평형을 이룬다는 것은 냉각후 곡온과 배출공기의 온도가 같게 되며, 곡물의 평형상대습도와 배출공기의 상대습도가 같아지는 것을 의미한다. 따라서, 곡물 박층의 냉각과정에서 미지항은 배출공기의 건구온도(T_f)와 배출공기의 절대습도(H_f) 및 냉각후의 함수율(M_f) 이 되므로 기본적으로 3개의 방정식이 필요하게 된다.

Δt 시간 동안 Δx 두께의 곡물층에 대한 에너지평형 및 물질평형과, 곡물과 통과공기의 평형조건을 고려하면 다음의 3개 방정식이 유도된다(금 등, 1996)

$$T_f = \frac{(c_a + c_v H_o)T_o + R(1 + M_o)c_{po} \theta_o - (H_f - H_o)h_{fg}}{c_a + c_v H_f + R(1 + M_f)c_{pf}} \quad \dots\dots (4-1)$$

$$M_f = M_o - \frac{H_f - H_o}{R} \dots\dots\dots (4-2)$$

$$ERH = RH_j \dots\dots\dots (4-3)$$

여기서 c_a : 건공기의 비열(1.007 kJ/kg · K)

c_v : 수증기의 비열(1.876 kJ/kg · K)

c_{p0} : 냉각전 곡물의 비열(kJ/kg · K)

c_{pf} : 냉각후 곡물의 비열(kJ/kg · K)

ERH : 곡물의 평형상대습도(dec.)

G_a : 건공기 유동율(kg/hr · m²)

h_{fg} : 곡물 수분의 증발잠열(kJ/kg)

H_o, H_j : 유입 및 배출공기의 절대습도(kg/kg)

M_o, M_j : 냉각 전후의 곡물함수율(dec., d.b.)

R : 곡물건물 대 건공기비 ($\frac{\rho_p \Delta x}{G_a \Delta t}$)

RH_j : 배출공기의 상대습도(dec.)

T_o, T_j : 유입 및 배출공기의 온도(℃)

Δt : 시간증분(hr)

Δx : 곡물의 박층두께(m)

θ_o : 곡물의 초기곡온(℃)

ρ_p : 곡물의 건물산물밀도(kg/m³)

식 (4-1) 및 (4-2)는 각각 에너지 및 수분평형 방정식이며, 식 (4-3)은 곡물과 배출공기의 평형조건으로, 이들 3개의 방정식을 이용하여 곡물의 냉각 과정에서 곡물의 함수율, 곡온 및 공기상태 변화를 예측하였다. 미지항인 평형상대습도, 공기 및 곡물의 성질은 다음과 같이 계산하였다.

평형상대습도는 방습과 흡습이 일어날 경우를 동시에 고려하였으며, 벼의 방습 및 흡습 평형상대습도는 다음 식 (4-4)를 이용하였다(금 등, 1997).

$$ERH = \exp\left[\frac{-A}{1.987(T_f + C)} \exp(-BM_f)\right] \dots\dots\dots (4-4)$$

여기서, 실험상수 A, B 및 C의 값은 다음과 같다.

A : 940.84(방습), 1741.87(흡습)

B : 16.724(방습), 18.796(흡습)

C : 56.190(방습), 123.297(흡습)

배출공기 상대습도는 식 (4-5)로 나타낼 수 있다(ASAE Standard, 1997).

$$RH_f = \frac{P_{atm}H_f}{(0.6219 + H_f)P_s} \dots\dots\dots (4-5)$$

여기서, P_{atm} : 대기압(kPa)

P_s : 온도 T_f 에서의 포화수증기압(kPa)

포화수증기압의 계산은 다음 식 (4-6)을 사용하였다(ASAE Standard, 1997).

$$\ln\left(\frac{P_s}{R}\right) = \frac{A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4}{FT - GT^2} \dots\dots\dots (4-6)$$

여기서, R = 22,105,694.25, A = -27,405.526,

B = 97.5413, C = -0.146244,

$$D = 0.12558 \times 10^{-3}, \quad E = -0.48502 \times 10^{-7},$$

$$F = 4.34903, \quad G = 0.39381 \times 10^{-2}$$

벼 수분증발잠열 h_{fg} 의 계산은 다음 식 (4-7)을 이용하였다(금 등, 1998).

$$h_{fg} = (2502.5 - 2.386 T)(1. + 1.2356 \exp(-16.7255 M)) \dots\dots\dots (4-7)$$

여기서 h_{fg} : 벼의 수분증발잠열(kJ/kg)

T : 벼의 곡온(°C)

M : 함수율(dec., db)

벼의 비열은 다음 식(4-8)을 이용하였다(Morita and Singh, 1979).

$$c_p = 1.2692 + 3.49M \dots\dots\dots (4-8)$$

여기서, c_p : 단립종 벼의 비열(kJ/kg · K)

M : 벼의 함수율(dec., w.b.)

나. 수학모델의 해석과 프로그래밍

식(4-1), 식(4-2) 및 식(4-3)으로 구성된 수학모델은 비선형방정식으로 할선법(secant method)을 이용하여 해를 구하였다. 먼저 H_f 의 초기치를 가정하고, 이를 식 (4-2)과 식(4-1)에 대입하여 각각 M_f 와 T_f 를 구하였다. M_f 와 T_f 를 각각 식 (4-4)와 식 (4-5)에 대입하여 ERH 와 RH_f 를 구하여 $ERH-RH_f$ 의 값이 0에 가까운 허용치 이하가 되도록 할선법을 이용하여 반복 계산하였다.

시뮬레이션 프로그램은 FORTRAN 77으로 작성하였으며, 주프로그램과 평형상대습도 및 습공기의 성질을 계산하기 위한 부프로그램, 할선법의 부

프로그램으로 구성하였다. 입력자료는 냉각공기의 건구온도 및 상대습도, 곡물의 초기함수율 및 곡온, 곡물층의 퇴적고 및 송풍량이었으며, 출력자료는 퇴적깊이별 곡온 및 함수율로 구성하였다. 곡물층의 미소두께는 0.1m, 시간의 증분은 0.1hr로 하였다.

2. 모델의 검증

가. 검증실험

(1) 공시재료

검정실험용으로 사용한 벼는 함수율 23.2%,w.b.의 중만생종인 동진벼로서, 울산시 농소미곡종합처리장에서 '97년 10월 21일 구입하여 공시하였다.

(2) 실험장치 및 방법

사용된 빈은 직경 1.1m, 높이 2.3m의 원통형으로 철판으로 제작하였으며, 단열은 실시하지 않았다. 원통형 빈의 바닥에서 0.3m높이에 다공의 통기마루를 설치하였으며, 통기마루로부터 각각 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8m의 높이에 $\phi 0.017\text{m}$ 의 시료채취구를 설치하였다. 또한, 빈내에 시료 채취구와 동일 높이에 각각 3개씩 총 18개의 열전대(K-type)를 설치하여 곡온을 측정하였으며, 측정치는 자료수집장치(Datascan, 7327, U.K.)로 기록하였다.

냉각공기는 온도조절이 가능한 저온저장고의 냉기를 사용하였다. 빈을 저온저장고 외부에 설치하고, 저온저장고의 벽체를 타공한 다음 $\phi 0.06\text{m}$ 의 플로노즐로 빈의 공기압력실과 저온저장고를 연결하였다. 저온저장고내에는 플로노즐에 연결하여 송풍기(0.2kW, 3.5m³/min)을 설치하고, 송풍량 제어를

위하여 변속모터를 부착하였다. 송풍량은 플로노즐을 사용하여 측정하였으며, 송풍량 측정덕트는 한국공업규격(KS A 0612)에 준하여 설치하였다.

벼는 빈바닥에서 1.9m 높이로 퇴적하였으며, 이 때 시료량은 1.8m³이었다. 실험에 사용한 냉각공기의 평균 온도 및 상대습도는 8.5(±1.5)℃, 87.7(±5)%였으며, 풍량비는 0.58m³/min/m², 원통형 빈에 투입된 벼의 초기곡온은 평균 26.3℃이었다. 또한, 실험기간중 빈이 위치한 저온저장고 외부의 평균 온도 및 상대습도는 17.0℃, 60.8%였다.

나. 모델의 검정

벼 곡온의 실측치와 냉각 시뮬레이션 모델에 의한 예측치를 비교한 결과는 그림 4-2와 같았다. 그림은 퇴적층에서 약 0.3m(하층), 0.9m(중간층), 1.5m(상층)지점의 벼 곡온의 예측치와 실측치를 비교한 것이다. t-test결과 곡온의 실측치와 예측치간에 p=0.05 수준에서 유의적인 차이가 없었으며, RMSE는 0.75℃였다. 또한, 냉각을 시작하여 24시간후의 평균 함수율은 22.3%,w.b.로서 예측치 22.34%,w.b.와 잘 일치하였다. 따라서 이러한 예측정도는 곡물냉각시스템의 분석에 유용할 것으로 판단되었다.

한편, Maier등(1990)은 옥수수 냉각과정중 옥수수의 곡온이 냉각공기온도 이하로 강하하였으며, 이는 냉각과정중 옥수수로부터의 수분증발에 따른 증발잠열의 영향이라고 보고하였다. 본 연구에서도 동일하게 냉각과정중 벼의 곡온이 냉각공기온도 이하로 강하하였는데 이는 냉각과정중 벼로부터의 수분 증발에 의한 영향으로 판단되었다.

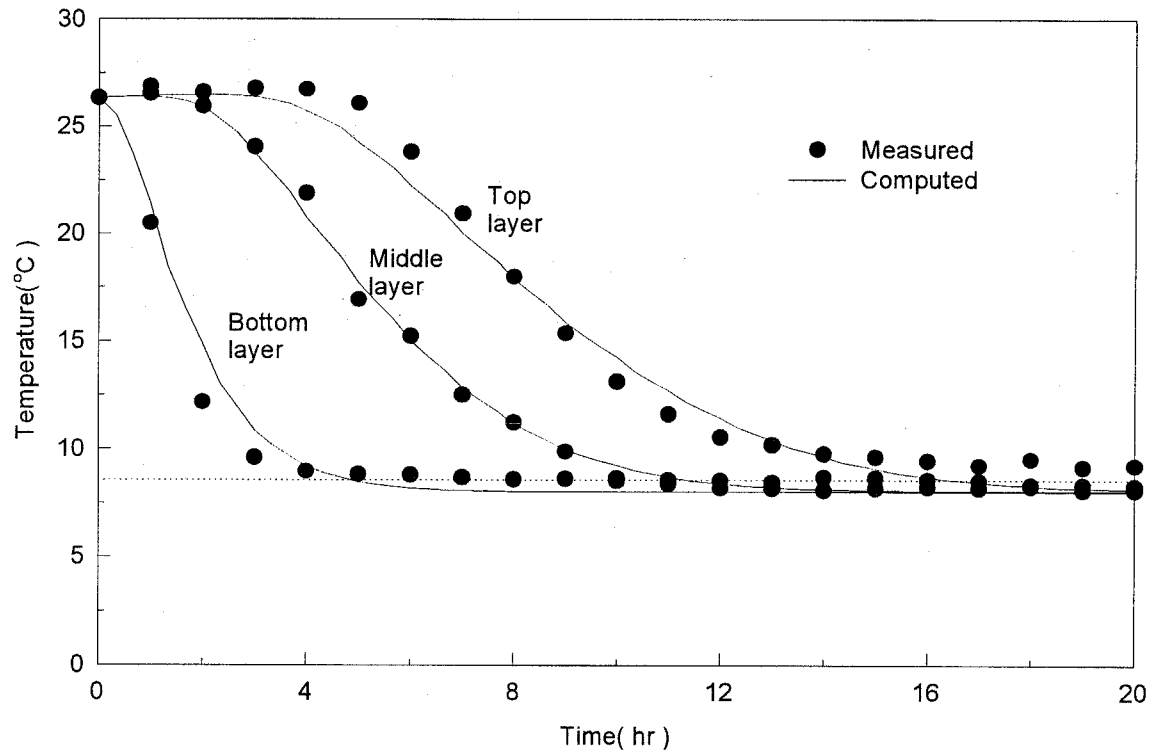


Fig. 4-2 Comparison of measured and computed temperature changes for fixed bed of rough rice.

3. 냉각속도 관련 인자의 영향

송풍량, 냉각공기 온도 및 상대습도, 초기 벼의 곡온 및 함수율, 퇴적높이가 벼의 냉각속도에 미치는 영향을 개발한 시뮬레이션 모델을 사용하여 분석하였다. 빈은 원통형으로 직경 6.2m, 높이 12.6m이며, 퇴적가능한 용량이 약 380m³인 200톤 규모의 빈을 대상으로 하였으며, 작동조건을 표 4-1과 같이 설정하였다.

Sulzer-Escher Wyss사(1984)는 냉각종료시간을 곡물상층표면에서 약 30~50cm깊이의 곡물의 온도가 냉각공기온도보다 약 2~3℃ 높게 측정되면 냉각을 종료하는 것이 바람직하다고 하였다. 그러나 퇴적높이가 낮을 경우 냉각이 불충분할 수 있으므로 본 연구에서는 Sauer(1992)의 결과와 동일하게 냉각종료시간을 곡물 상부표면에서 30cm깊이의 곡물온도가 유입되는 냉각공기 온도와 동일하게 측정되는 시간으로 하였다.

Table 4-1 Hypothetical operating conditions for cooling simulation.

Bed depth(m)	12.6
Initial temperature of rough rice(℃)	25.0
Initial moisture content of rough rice(%w.b.)	18.0
Cooling air temperature(℃)	7.0
Cooling air humidity(% RH)	75.0
Air flow rate(m ³ /min/m ³)	0.35

가. 송풍량

송풍량은 벽의 냉각속도에 영향을 주는 가장 주요한 설계인자로서 송풍량이 클수록 높은 열전달이 이루어져 빠른 냉각속도를 얻을 수 있으나, 외기를 냉각하는 곡물냉각시스템에서 송풍량은 냉동능력과 외기온도 및 습도 조건, 냉각공기의 온도 및 습도 조건에 영향을 받게 된다. 동일 냉동능력하에서 송풍량은 외기온도 및 상대습도가 높을수록, 냉각공기온도 및 상대습도가 낮을수록 적어지게 된다.

그림 4-3은 풍량비 $0.1 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 범위에서 풍량비가 냉각소요시간에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 약 $0.4 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 정도까지는 풍량비가 증가함에 따라 냉각소요시간은 현저하게 단축되었으나, 약 $0.4 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 이상에서는 풍량비의 영향이 현저하게 감소하였다. 풍량비 $0.1 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 범위에서 초기함수율 18%, w.b.인 벽의 냉각후 함수율은 17.3%, w.b.로 냉각에 의해 함수율은 약 0.7%, w.b. 정도가 낮아졌으나 송풍량의 변화에 따라서는 큰 변화는 없었다. 한편, 주어진 풍량비 범위에서 최대 냉각소요시간은 80.5시간이었으며, 냉각소요시간 24시간에 냉각공기온도까지 냉각시키기 위한 풍량비는 $0.35 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 로서 ASHRAE(1991)의 $0.4 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 와 유사한 결과를 나타내었다.

나. 냉각공기온도

그림 4-4는 냉각공기온도 $4.0 \sim 7.4^\circ\text{C}$ 범위에서 곡물 상부표면에서 30cm깊이의 곡물온도가 7°C 로 냉각되는데 소요되는 시간을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 냉각공기온도를 낮게 하여도 냉각소요시간은 비례하여 빨라지지 않았다. 또한, 냉각후 벽의 함수율은 냉각공기온도 $4.0 \sim 7.4^\circ\text{C}$ 범위에서 17.2~17.3%, w.b.를 나타내어 벽의 초기곡온과 냉각공기온도의 차가 클수록 함

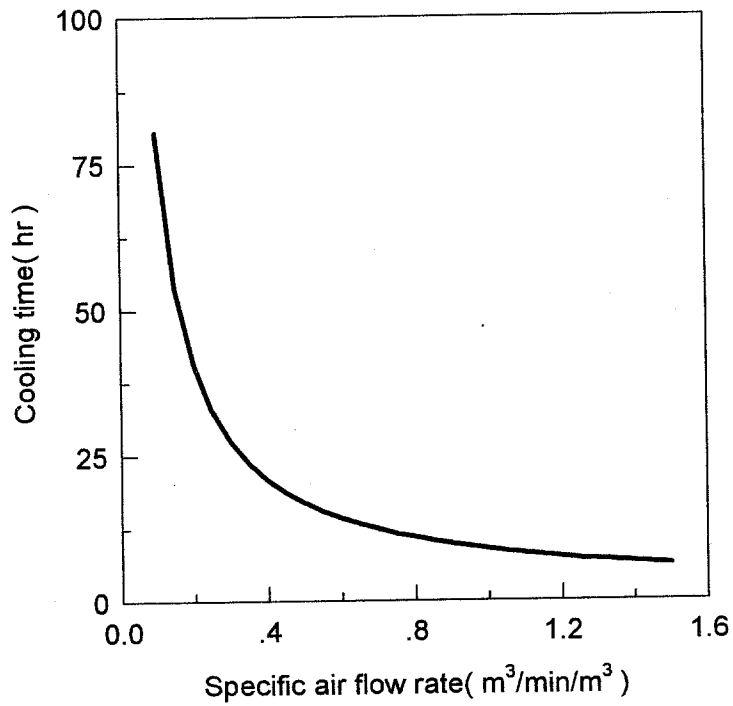


Fig. 4-3 Effect of specific air flow rate on required cooling time.

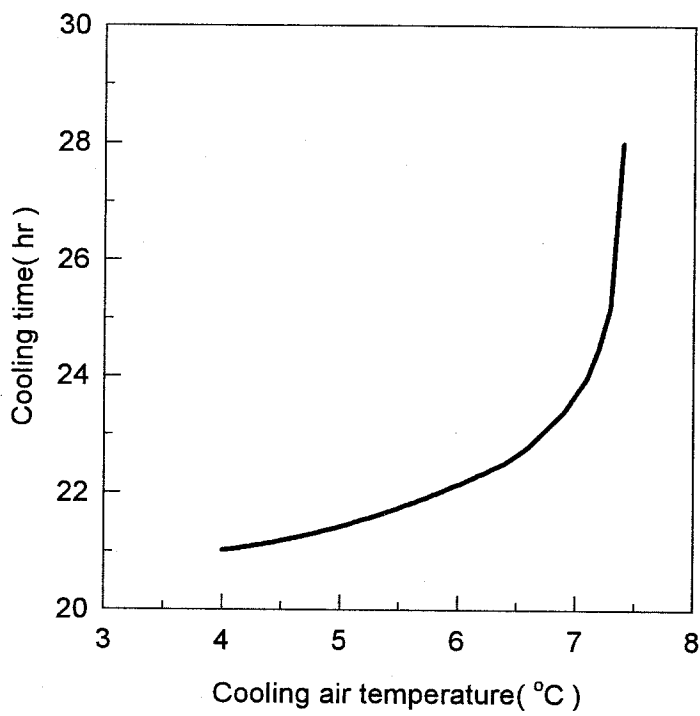


Fig. 4-4 Effect of cooling air temperature on required cooling time.

수율 저하가 다소 커지는 것을 알 수 있었다.

한편, 냉각공기온도가 7.4℃일 때 벼의 곡온이 7℃까지 냉각되었는데 이는 수분증발에 따른 냉각의 영향으로 판단되었으며, 냉각공기온도가 7.5℃에서는 100시간 냉각으로도 7℃이하로는 냉각되지 않았으며, 100시간 냉각후 곡온은 7.09℃를 나타내었다.

다. 냉각공기 습도

벼는 냉각과정중 냉각공기의 상대습도에 따라 건조 또는 흡습하게 된다. 냉각과정중 건조가 발생하면 수분증발잠열이 필요하게 되며 이로 인해 벼의 품온은 냉각공기온도보다 다소 낮은 온도로 냉각되고(Maier 등, 1990), 반대로 흡습시에는 다소 높은 온도로 냉각되며 냉각속도도 늦어진다(Sulzer-Escher Wyss, 1984).

함수율 18%,w.b.인 벼의 경우 곡온 7℃에서 평형상대습도는 80.6%정도이다. 외기의 노점온도가 냉각공기의 노점온도보다 높을 경우, 냉각코일을 통과한 냉각공기의 상대습도는 95%내외(김효경, 1988)가 되어 냉각공기를 재열하지 않을 경우 냉각과정중 퇴적된 벼의 하층부는 흡습하게 된다.

그림 4-5는 냉각공기의 상대습도가 냉각소요시간에 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 상대습도가 낮을수록 냉각소요시간은 감소하였으며, 초기함수율 18%,w.b.인 벼의 냉각후 함수율은 17.0~17.3%,w.b.를 나타내어 약 0.7~1.0%,w.b.정도가 낮아졌다. 그러나, 냉각공기의 상대습도가 80%이상일 때, 초기함수율 18.0%,w.b.인 벼는 100시간이내에 냉각공기와 동일한 온도까지 냉각되지 않았으며, 온도 7℃, 상대습도 80%, 85%, 90%, 95%의 냉각공기로 100시간 냉각후 벼의 곡온은 각각 7.03℃, 7.44℃, 7.84℃, 8.23℃를 나타내었다. 한편 함수율 16.5%,w.b.인 벼의 경우는 상대습도 70%인 냉각공기

로는 동일한 온도로 냉각이 어려웠으며, 냉각공기의 상대습도가 95%일 때 비는 8.85℃까지 냉각되어 18%,w.b.보다 높은 곡온을 유지하였다.

따라서, 벼의 냉각시 목표온도까지 빠른 속도로 냉각하기 위해서는 가능한 상대습도를 낮추어야함을 알 수 있다. 그러나 상대습도를 낮추기 위해서는 증발기에서 목표온도보다 낮은 온도로 냉각하여 재열한 후 재열기에서 가열해야 하므로 동일 냉동능력을 갖는 곡물냉각시스템에서는 송풍량이 저하하게 되어 소요냉각시간은 오히려 증가하게 된다. 이러한 상대습도와 송풍량의 영향을 분석하기 위하여 응축온도 40℃, 증발온도 0℃에서 냉각능력 40,764kcal/hr, 동력 15HP의 압축기(모델명 : HG 4/555-4S, BOCK, 1988)를 갖는 곡물냉각시스템에서 온도 33℃, 상대습도 75%의 외기를 냉각하여 7℃, 95%로 냉각한 냉각공기와, 3.5℃, 95%로 냉각한 다음 7℃, 75%의 상대습도로 재열한 냉각공기로 함수율 18%,w.b.인 벼를 냉각하는 경우의 냉각소요시간을 비교하였다. 곡물 상층부 30cm지점의 곡온이 10℃까지 냉각되는데 소요되는 시간은 재열하지 않는 경우와 재열한 경우가 각각 70.2시간 및 74.2시간으로 나타나 재열에 의해 냉각공기의 상대습도를 낮춘 경우에 비해 재열하지 않은 경우가 빠른 냉각속도를 나타내었다. 이 때 송풍량은 각각 0.09759, 0.08938m³/min/m³였으며 냉각후 함수율은 각각 17.4, 17.3%,w.b.로 나타났다.

라. 벼의 초기곡온

그림 4-6은 벼의 초기곡온(8~32℃범위)이 냉각소요시간에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 초기곡온 15~32℃ 범위에서 초기곡온이 높아져도 냉각소요시간은 크게 증가하지 않았다. 약 12℃이하에서는 초기곡온이 낮을수록 냉각소요시간이 비교적 현저하게 감소하였다. 냉각후 벼의 함수율은 초기곡온이 32℃일 때 17.0%,w.b., 8℃일 때 17.9%,w.b.로서 벼의 초기곡온이 높을수

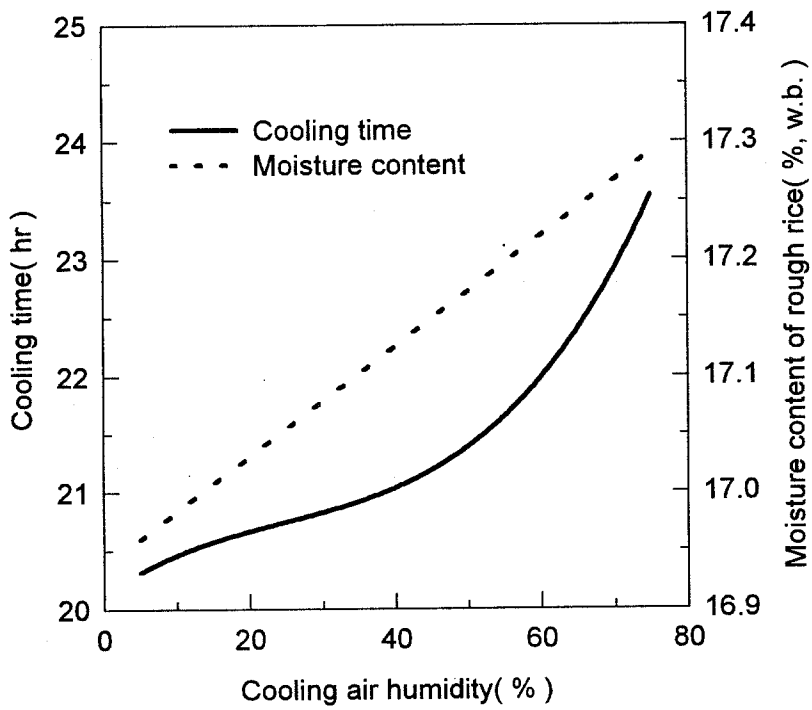


Fig. 4-5 Effect of cooling air humidity on required cooling time and moisture content changes of rough rice.

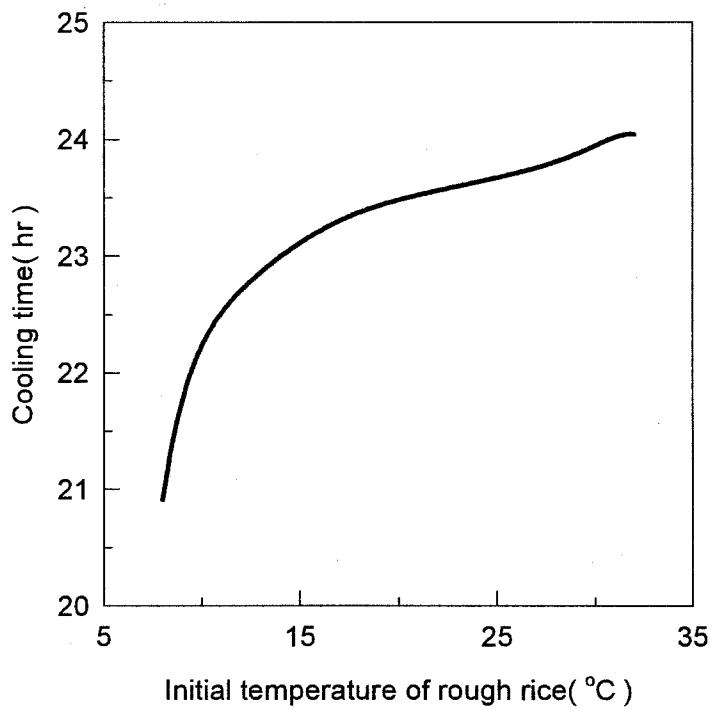


Fig. 4-6 Effect of initial temperature of rough rice on required cooling time.

록 냉각후 함수율이 낮아지는 것으로 나타났다. 냉각에 의한 건조정도는 냉각공기의 상대습도에 따라 다르지만 온도 7℃, 상대습도 75%의 냉각공기로 초기곡은 17℃의 비를 7℃까지 냉각시킬 경우 함수율은 0.4%,w.b.정도 낮아지는 것으로 나타났다.

마. 비의 초기 함수율

그림 4-7은 비의 초기함수율(17~27%,w.b.범위)이 냉각소요시간에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 초기함수율 17~20%,w.b.범위에서는 함수율이 증가함에 따라 냉각소요시간은 28.0시간에서 23.4시간으로 감소하였으나, 함수율 20%,w.b.이상에서는 함수율의 증가에 따라 냉각소요시간이 오히려 증가하였다. 냉각후 함수율은 초기함수율에 비해 0.7~1.0%,w.b.정도가 낮아졌으며, 초기함수율이 높을수록 냉각후 함수율이 더 많이 감소하였다. 초기함수율이 증가함에 따라 소요냉각시간이 감소하였다 증가하는 것은 호흡에 의한 발열량과 건조로 인한 증발잠열의 영향으로서, 함수율 20%,w.b.이상에서는 상층부의 곡온이 호흡에 의해 상승하였기 때문으로 판단되었다.

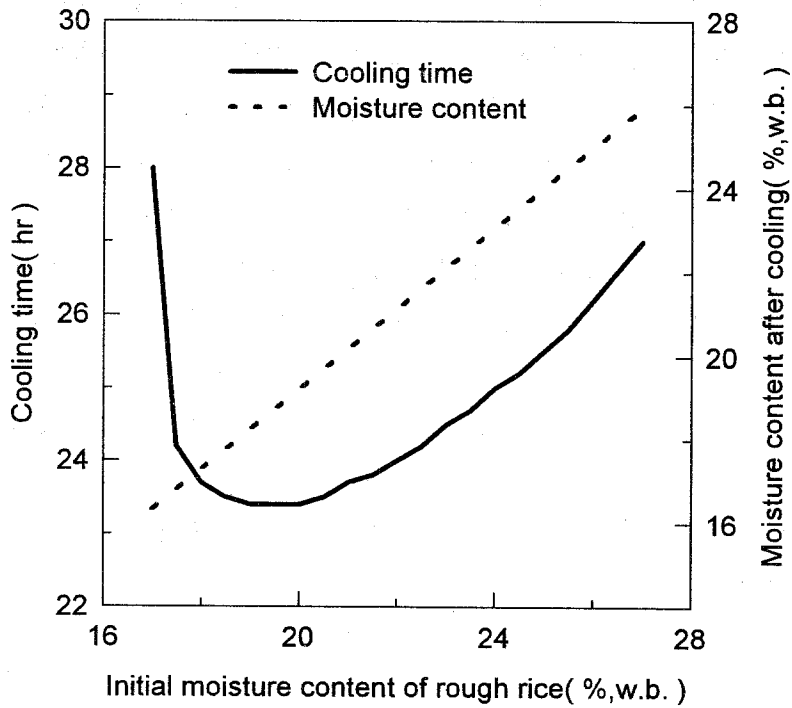


Fig. 4-7 Effect of initial moisture content of rough rice on required cooling time and moisture content changes of rough rice.

바. 퇴적높이

그림 4-8은 벼의 퇴적높이(5~14m 범위)가 냉각소요시간에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 퇴적높이가 5~14m로 증가함에 따라 냉각소요시간은 24.6시간에서 20.5시간으로 감소하였다. 그러나 퇴적높이 5m와 14m에서의 냉각소요시간 차이는 0.9시간에 불과하여 퇴적높이에 따라 냉각소요시간의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 이때 풍량비는 $0.35\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 로 같지만, 퇴적높이 5~14m범위에서 겉보기풍속은 $1.8\sim 4.4\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 를 나타내어 퇴적높이가 높을수록 겉보기 풍속이 증가하는데 원인이 있는 것으로 판단되었다. 또한, 퇴적높이 5~14m범위에서 냉각후 벼의 함수율은 17.3%,w.b.정도로써 거의 일정하여 퇴적높이에 따른 변화는 없었다.

한편, 겉보기 풍속을 $3.0\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 로 일정하게 유지하면서 퇴적높이에 따른 소요냉각시간의 변화를 살펴본 결과, 퇴적높이 5~14m에서 냉각소요시간은 14.7~36.5시간으로 퇴적높이가 증가할수록 냉각소요시간은 급격하게 증가하였다.

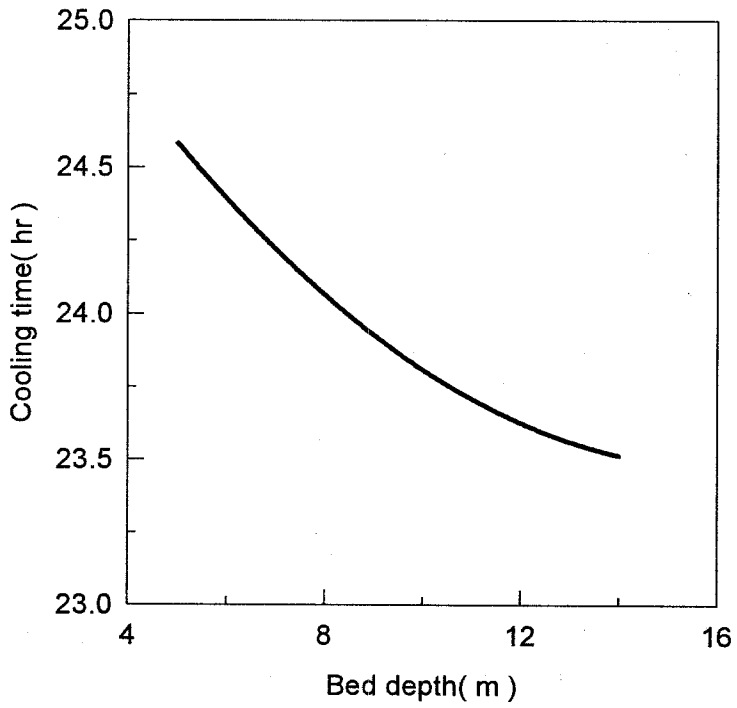


Fig. 4-8 Effect of bed depth of rough rice on required cooling time.

제 4 절 곡물냉각기의 개발

1. 곡물냉각기의 기본설계

가. 곡물냉각기 개발 목표

(1) 곡물냉각시스템의 용도

가을철에 반입되는 물벼는 건조기에서 18%,w.b.내외로 1차 건조하거나 20%,w.b. 정도의 벼를 건조없이 저장빈에서 5℃로 냉각저장한다. 수확기가 끝나 건조기 사용이 가능할 때 16%,w.b.내외로 마무리 건조한 다음, 저장빈에서 10℃로 냉각하여 장기저장한다. 이 때 벼의 냉각에 곡물냉각기를 사용하는 것으로 계획하였다.

(2) 개발 목표

제 2 절의 냉각장치에 대한 기술검토 결과, 기존에 상용적으로 판매되고 있는 외국의 곡물냉각기는 국내의 기후여건 및 벼의 수확후 관리체계에 적합하지 않는 부분이 있었다. 또한, 조작이 복잡하며, 에너지를 절약할 수 있는 여지가 많았다. 본 연구에서는 이상의 문제점을 해결하기 위하여 제 3절에서 실시한 시뮬레이션 결과를 활용하여 다음과 같은 목표를 갖고 한국형 곡물냉각기를 개발하고자 하였다.

(가) 우리나라 벼의 수확후 관리체계에 적합한 기능 구축

우리나라 벼의 수확후 관리체계에 적합하면서, 년중 식미가 우수한 16%,w.b.의 벼를 공급할 수 있도록 냉각공기의 온도와 상대습도를 고려한 “냉각건조”, “냉각저장” 및 “통풍”의 기능을 갖도록 구축한다.

수확기에는 외기조건이 양호하여 냉각부하가 적으므로, 18~20%,w.b.의

함수율을 가진 벼를 냉각할 때는 빠른 냉각속도를 얻기 위하여 “냉각건조” 기능을 구축하여 최대의 송풍량을 확보하고 나머지 냉각능력은 상대습도를 낮추는데 사용하며, 이로 인해 건조능력이 향상되면서 건조시 수분의 증발 잠열로 인해 냉각속도가 더욱 빨라지도록 설계한다.

또한, 16%,w.b.내외의 장기저장용 벼를 위해 “냉각저장”기능을 구축하여, 냉각공기의 상대습도가 벼의 평형상대습도에 가깝게 조정되어, 냉각과정중 벼에서 건조나 흡습이 최소화되면서 저장될 수 있도록 설계한다.

외기의 상태가 양호한 경우 냉각없이 외기를 도입할 수 있도록 “통풍”기능을 구축한다.

(나) 국내의 기상여건에 적합하며 냉각공기 온도편차의 최소화

수확기에 외기온도가 대단히 낮아지는 경우가 있다. 외기온도가 설정된 냉각공기온도에 근접할 때 곡물냉각기에서 냉각된 공기의 온도가 안정적으로 유지되도록 압축기에서 토출된 고온고압가스의 응축폐열을 이용하여 제어하도록 설계한다. 재열기와 증발기에 고온고압가스를 공급하여 외기온도가 설정온도보다 1℃정도가 낮아질 때까지 냉동기가 가동하도록 재열능력과 가열능력을 갖춘다. 또한, 송풍기에 부착된 흡입공기 유량조정용 댐퍼와 압축기에서 나온 고온고압가스를 이용하여 고기능의 컨트롤러에 의해 곡물냉각기 출구의 냉각공기온도를 정밀하게 조정하여 온도편차가 목표온도와 최대 $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 이하가 되도록 정밀하게 제어한다.

(3) 상대습도 제어

증발기에서 냉각된 공기의 상대습도를 재열기에서 상대습도에 맞도록 재열하여 저장함수율인 16%,w.b.내외에 적합하도록 상대습도를 자동으로 제어토록 구성한다.

(4) 에너지의 획기적인 절약

소형 압축기에서 최근까지 개발되지 않았던 무부하전자변(unloading solenoid valve)를 사용한다. 외기온도가 낮아져 냉각부하가 냉각능력에 비해 적어지면 압축기 용량을 조절함으로써 기존의 냉매량을 조절하던 방식에 비해 소비전력을 절약하도록 구성한다.

(5) 착상방지 기능

외기온도가 낮아지거나 온도를 낮게 설정하면 증발기에 서리가 맺히고 얼음으로 변해 냉각능력을 현저하게 저하된다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 증발기에 고온고압가스를 주입하여 착상(着霜)이 생기지 않도록 구성한다.

(6) 전자동화로 조작의 편리성 도모

곡물냉각기의 사용자는 주로 농민 또는 단체이며, 미곡종합처리장 등 여러 가지 시스템이 조합된 곳에서 사용하므로 조작의 편리성이 대단히 중요하다. 따라서 곡물냉각기 가동시 벼의 함수율에 따라 “냉각건조”, “냉각저장”과 희망온도만 설정해 주면 자동으로 운전되게 하여 조작을 단순화한다. 또한, “냉각건조”, “냉각저장”기능 공히 외기온도가 설정온도보다 1℃이상 낮아지면 “통풍”모드로 전환되며, 2℃이하로 낮아지면 시스템을 일단 정지하였다가 외기가 상승하면 자동으로 재가동토록 구성한다.

나. 곡물냉각기의 기본설계

곡물냉각기는 크게 압축기, 증발기, 응축기, 팽창밸브 등 기본적인 냉동기기와 외기공기를 도입하는 필터, 댐퍼 및 송풍기, 상대습도 조절을 위한 재열기와 이들을 연결하는 배관, 밸브류 및 제어판넬로 구성하였다. 곡물냉각기의 기본 흐름도는 그림 4-9와 같았다.

곡물냉각기는 외기를 냉각하여 일정한 온도로 냉각하고, 재열을 통해 일정한 상대습도를 유지하는데 사용되는 냉각시스템이다. 그러나, 외기온도 및 상대습도는 시간의 경과에 따라 일정하지 않으므로, 일정한 냉각능력을 가진 곡물냉각기에서 외기조건에 따라 냉각능력이 조절되어야 한다. 이를 위하여 기존의 곡물냉각기는 2대의 압축기를 사용하거나, 용량조절밸브를 사용하고 있으나 가격이 상승하거나 냉각부하의 감소에 따라 에너지절약효과가 미미한 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 50, 100%의 2단계로 용량이 조절되는 무부하 전자변(unloading solenoid valve)(그림 4-9의 27)을 갖는 압축기를 사용하여 냉각능력의 제어와 함께 에너지 절약을 도모하였다. 또한, 재열기에 공급되는 고온고압가스량을 용이하게 제어하기 위하여 2개의 전자변(그림 4-9의 20, 21)을 사용하였으며, 팽창밸브 출구와 증발기의 분배기(distributor)전에 3개의 전자변(그림 4-9의 24, 25, 26)을 이용하여 증발기에 공급되는 고온고압가스량을 조절하도록 하였으며, 이들 6개의 전자변을 사용하여 곡물냉각기의 냉각능력을 0~100%까지 제어할 수 있도록 설계하였다.

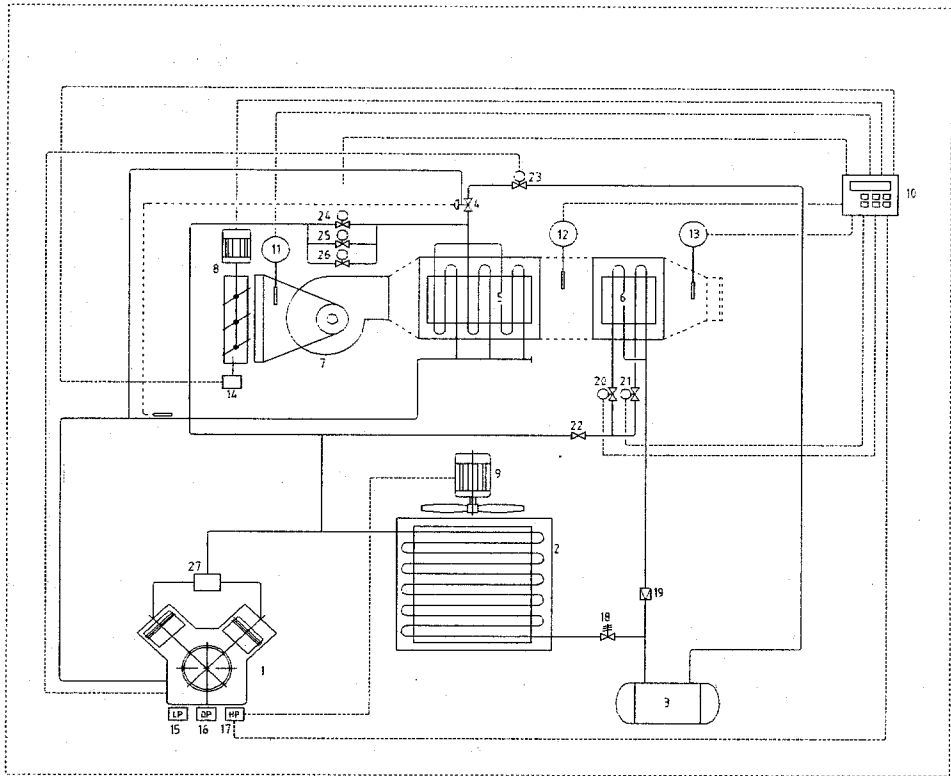


Fig. 4-9 Schematic diagram of prototype grain cooler.

1. compressor, 2. condenser, 3. receiver, 4. expansion valve, 5. evaporator, 6. reheater, 7. fan, 8. damper, 9. condenser fan, 10. controller, 11. 12. 13. thermocouple, 14. limit switch, 15. low pressure switch, 16. oil pressure switch, 17. high pressure switch, 18. condensing pressure regulator, 19. check valve, 20. 21. 23. 24. 25. 26. solenoid valve, 22. stop valve, 27. unloading solenoid valve

다. 최대송풍량 및 냉각능력설계

(1) 최대송풍량

냉각시물레이션의 결과에서 알 수 있듯이 벽의 냉각속도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 송풍량이었으며, 냉각시물레이션 결과 1일만에 냉각시키는데 필요한 풍량비는 $0.35\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 이었다. 따라서 본 연구에서는 곡물냉각기의 1일 최대냉각능력을 수확기를 기준으로 200톤, 풍량비를 $0.35\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 로 하여 최대송풍량을 $120\text{m}^3/\text{min}$ 으로 설계하였다. 또한, 이 때의 소요정압은 제 2 장의 사일로 기준에 의해 다음 식 (4-9)에 의해 구한 결과를 바탕으로 250mmAq 을 기준으로 하였다.

$$\Delta P = 653.54 \times v^{1.2727} \times (H + 0.1) \dots\dots\dots (4-9)$$

여기서 ΔP : 송풍저항(mmAq)

v : 벽층 통과공기의 겉보기풍속($\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}^2$)

H : 벽 퇴적고(m)

(나) 최대냉각능력

수확기의 외기온습도조건은 13개 도시의 10월 평균기온 중 외기온도가 가장 높은 울산지역을 기준으로 15.8°C , 68%(성균관대, 1998)를 기준으로 하였으며, 냉각공기는 수확기에는 함수율 18%,w.b.를 기준으로 5°C , 95%로 하였다. 따라서, 15.8°C , 68%의 외기($x_1=0.00758\text{kg}/\text{kg}$, $v_1=0.82845\text{m}^3/\text{kg}$, $h_1=35.13\text{kJ}/\text{kg}$)를 5°C , 95%($x_2=0.00513\text{kg}/\text{kg}$, $v_2=0.79438\text{m}^3/\text{kg}$, $h_2=17.94\text{kJ}/\text{kg}$)까지 냉각하는데 소요되는 냉각부하는 $35,681\text{kcal}/\text{hr}$ 였다. 따라서 곡물냉각기의 최대냉각능력은 $35,681\text{kcal}/\text{hr}$ 로 설계하였다.

한편, 하절기의 경우 외기온습도조건은 냉동창고업법상의 33°C , 75%, 벽의 함수율이 16%,w.b.일 때 8°C , 95%로 냉각하는데 소요되는 냉각부하는 $135,263\text{kcal}/\text{hr}$ 로서 최대냉각능력의 약 3.8배가 된다. 이 때 상대습도조절을

위해 약 2℃를 가열하면 냉각공기의 온도는 10℃가 된다.

라. 주요기기의 설계

(1) 압축기

압축기는 사용냉매로 R-22, 반딧패형 왕복동식이며 무부하 전자변이 부착된 기종을 기준으로 하였다. 응축/증발온도 50/0℃에서 최대냉각능력 35,681kcal/hr에 적합한 기종을 선정한 결과, 냉각능력 35,948kcal/hr (41.8kW)인 15HP(독일 BOCK, 모델 HG 4/555-4s)으로 결정하였다.

(2) 송풍기 및 댐퍼

송풍기는 최대송풍량 120m³/min, 정압 250mmAq를 갖는 터보팬을 기준으로 하였으며, 팬의 효율 65%에서 10HP(7.5kW)으로 설계하였다. 또한, 댐퍼는 IVC(inlet volume control)방식으로 설계하였다.

(3) 증발기, 응축기

응축/증발온도가 50/0℃에서 냉각능력 35,948kcal/hr인 압축기에 적합한 증발기, 응축기 및 재열기는 다음과 같이 설계하였다. 증발기는 대향류형으로 계획하였으며, 재열기의 용량은 응축열량의 1/2를 고려하였다. 기타 사항은 ASHRAE(1990, 1991, 1992) 및 일본냉동공학회의 설계기준에 따라 설계하였다.

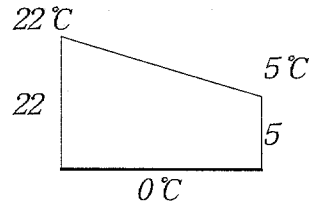
(가) 증발기

$$Q = 41.65 \text{ kw} \times 860 \times 1.1 = 39400 \text{ kcal/h}$$

$$K = 34 \text{ kcal/m}^3 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

$$A = \frac{39400 \text{ kcal/h}}{34 \times 11.47} = 101.03$$

$$\Delta tm = \frac{22 - 5}{\ln \frac{22}{5}} = 11.47$$



전열면적 : 101.5m², COIL : 5/8" × 14R × 16S × 720EL

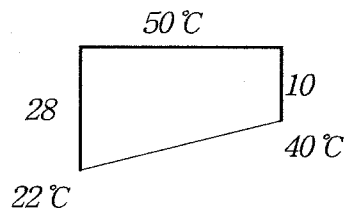
(나) 응축기

$$Q = (41.65 \text{ kw} + 13.75 \text{ kW}) \times 860 \times 1.1 = 52408.4 \text{ kcal/h}$$

$$K = 20 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

$$A = \frac{52408.4 \text{ kcal/h}}{20 \times 14.35} = 149.9 \text{ m}^2$$

$$\Delta tm = \frac{28 - 10}{\ln \frac{28}{10}} = 17.48$$



전열면적 : 153.88m²

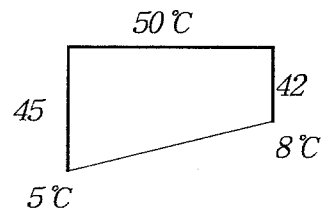
COIL : 3/8" × 10R × 40S × 850EL

(다) 재열기

$$Q = 52408.4 \times 0.2 = 10481.7 \text{ kcal/h}$$

$$K = 15 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

$$A = \frac{10481.7 \text{ kcal/h}}{15 \times 43.48} = 16.07 \text{ m}^2$$



$$\Delta tm = \frac{45 - 42}{\ln \frac{45}{42}} = 43.48$$

전열면적 : 16.93m²

COIL : 5/8" × 2R × 16S × 720EL

(4) 냉매배관

응축/증발온도 50/0℃에서 냉각능력 35,948kcal/hr에 필요한 냉매순환량은 1058.5kg/hr였다. 압축기 흡입 및 토출측 냉매가스의 유속을 각각 15, 10m/sec, 액관에서의 냉매 유속을 0.75m/sec(일본냉동공조편람, 1981)로 설계한 결과 냉매배관의 관경은 압축기 흡입 및 토출관, 액관의 관경이 각각 34.92, 28.58, 22.22mm였다.

(5) 소요전력

곡물냉각기에서 동력이 소요되는 부분은 압축기, 송풍기, 응축기 팬, 댐퍼 및 전자변 등이 있다. 여기서 압축기는 11.0kW로 약 51.9%, 송풍기는 7.5kW로 35.4%, 응축기 팬이 2.2kW로 10.4%, 이 외에 6개의 전자변, 송풍기 댐퍼, 각종 동작지시램프 등에서 0.5kW정도로서 설계소요전력은 21.2kW였다.

2. 곡물냉각기의 제작 및 운영실험을 통한 설계 및 장치보완

가. 곡물냉각기의 개발

그림 4-10은 곡물냉각기 시작품(모델명 : HSC-200M)을 나타내었으며, 그림 4-11은 제어판넬을 나타낸 것이다. 시작품의 크기는 $4.045 \times 1.530 \times 1.675\text{m}$ (L×W×H)이었으며, 총중량은 1,650kg이었다. 운전시 입력치는 “냉각 건조”, “냉각저장”, “통풍” 등 기능의 선택과, 설정 온도, 재열온도로 단순화하였다. 재열온도는 “냉각저장”기능에서 증발기 및 재열기출구의 냉각공기온도차로서 곡물냉각기를 설치하는 장소의 덕트 길이, 형상 등에 따라 냉각공기가 저장빈에 유입될 때까지의 온도상승에 대응하기 위하여 현장에서 입력하도록 하였다.

곡물냉각기에 사용한 송풍기의 성능곡선은 그림 4-12와 같았다. 그림에서와 같이 송풍기의 최대정압은 415mmAq, 송풍량 150m³/min에서는 184mmAq를 나타내었으며, 송풍량과 정압과의 관계는 다음 식(4-10)와 같았다($r^2 = 0.993$).

$$\Delta P = 412.1138 + 0.5348Q - 0.0137Q^2 \dots\dots\dots (4-10)$$

여기서 ΔP : 정압(mmAq)

Q : 송풍량(m³/min)

벼의 저장빈이 원통형으로 직경 6.2m일 때 200톤 벼의 퇴적높이는 11.3m 정도가 되며, 송풍량 120m³/min에서 벼의 퇴적층에서의 정압은 식(4-9)에서 234mmAq가 된다. 동일 송풍량일 때 송풍기의 성능은 그림에서와 같이 279mmAq로서 필터에서의 흡입저항, 증발기 및 재열기를 통과할 때 송풍저



Fig. 4-10 Photograph of the prototype grain cooler(HSC-200M).

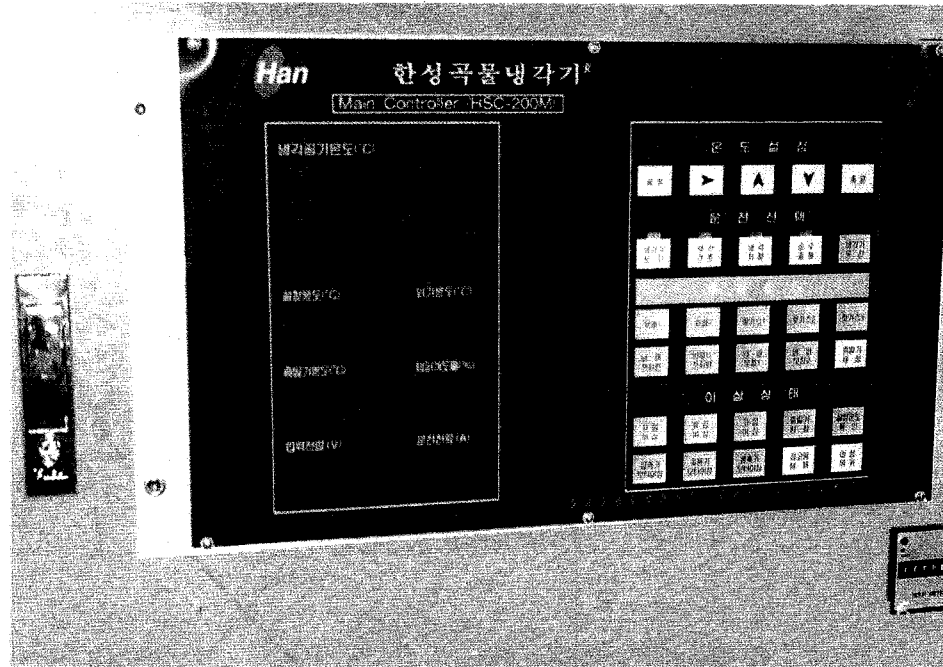


Fig. 4-11 Photograph of the control panel.

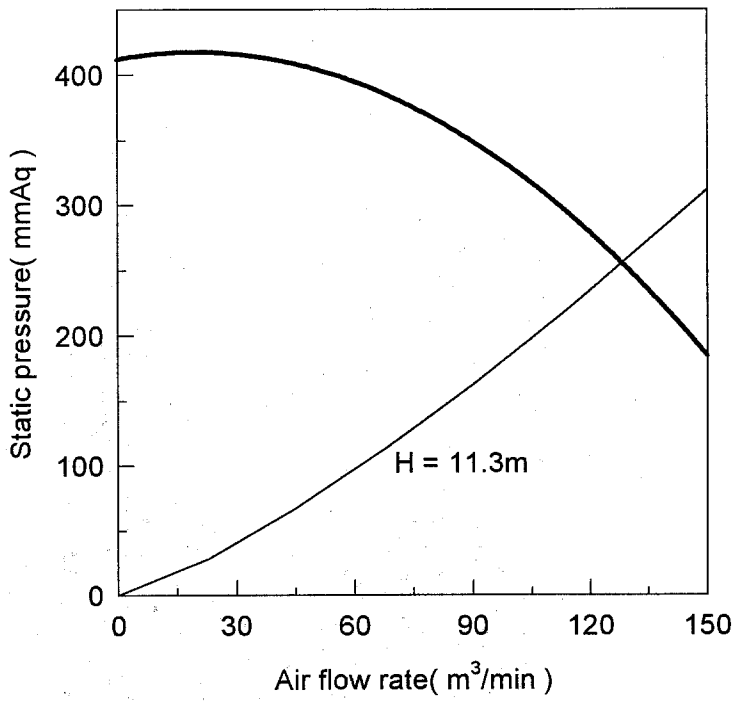


Fig. 4-12 Fan performance curve of the prototype grain cooler.

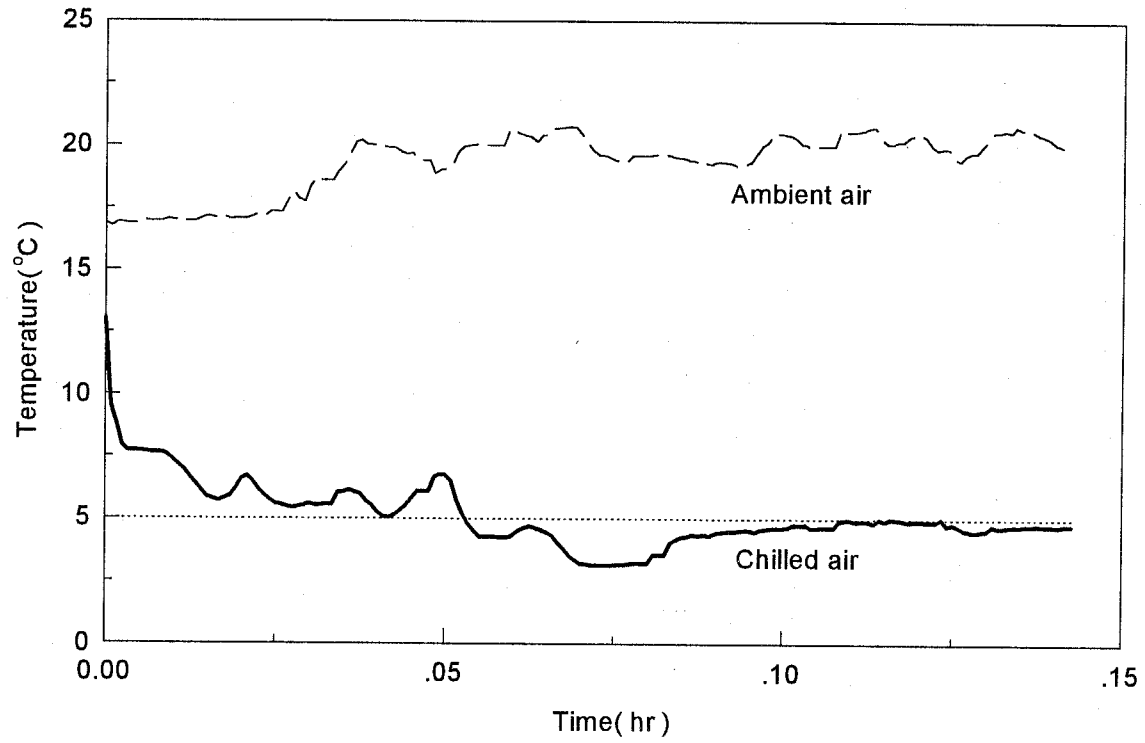


Fig. 4-13 Changes of temperature of ambient and chilled air during cool-down.

항을 고려해도 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

한편, 곡물냉각기의 냉각공기온도를 5℃로 설정한 다음 냉각공기온도가 정상적으로 유지되는데까지 소요된 시간은 그림 4-13과 같이 약 0.12시간정도였다.

나. 운영실험방법 및 기간

개발된 곡물냉각기의 시작품(HSC-200M)의 기본성능, 냉매 흐름의 적절성, 송풍기 댐퍼의 개도, 과열도의 측정 등의 항목에 대하여 운영실험 결과를 기초로 하여 기존제품(Granifrigor KK-140, Sulzer-Esher Wyss, Germany)과 비교실험을 실시하여 설계 및 장치를 보완하였다.

운영실험은 본과제의 참여기업인 한성공업(주)에서 '98년 5월 10일부터 '98년 8월 10일까지 약 3개월동안 실시하였다.

다. 운영실험을 통한 시작품의 설계 및 장치보완

운영실험을 통해 냉각능력을 향상시켰으며, 냉매액관에 설치된 투시창(sight glass)에서 프레쉬 가스(flash gas)의 발생을 제어하였다. 또한, 증발기 냉각코일에서 과열에 의한 결로발생 편차를 제어하였으며, 송풍기 댐퍼의 용량조절방식을 개선하여 댐퍼의 개도가 적을 때 토출압력의 저하가 현저한 OVC(outlet volume control) 방식에서 IVC(inlet volume control)방식으로 개선하여 개도를 40~100%에서 토출압의 향상 및 팬 효율의 개선 효과를 얻었다.

또한, 냉각코일과 공기유동방향에서 미세한 수적(水滴)이 토출공기에 혼입을 최소한으로 감소시키기 위하여 병류형으로 개선하였으며, 증발기 코일에서 냉각공기 누출을 방지하였다.

이 외에도 곡물냉각기의 양산체계 구축을 위하여 조립식 구조로 설계를 변경하였으며, 독특한 외형과 형태를 갖추기 위한 디자인을 실시하였고, 생산가격의 절감을 위한 방안을 강구하였다.

3. 원칩 마이크로프로세서를 이용한 제어시스템 개발

가. 시스템의 기본제어

(1) 냉각능력

외기의 온도 및 상대습도의 변화에 따라 곡물냉각기의 냉각능력은 송풍기의 댐퍼, 압축기의 무부하전자변, 재열기 및 증발기에 공급되는 고온고압가스량을 이용하여 조절될 수 있도록 설계하였다. 먼저, 외기의 온도 및 상대습도가 높아 냉각부하가 곡물냉각기의 최대냉각능력보다 클 때 송풍량을 조절하여 목표온도까지 냉각할 수 있도록 송풍기 댐퍼의 개도를 제어하였다. 외기의 온도 및 상대습도가 낮아져 냉각부하가 최대냉각능력보다 적어지면 송풍기 댐퍼의 개도는 100%로 유지한 상태에서 압축기의 무부하전자변, 재열기에 공급되는 고온고압가스량을 이용하여 냉각부하에 맞도록 냉각능력을 제어하였다. 냉각부하가 더욱 적어져 외기온도가 냉각공기온도에 근접할 경우 송풍기 댐퍼의 개도는 100%로 유지한 상태에서 압축기 무부하전자변, 재열기 및 증발기에 공급되는 고온고압가스량을 이용하여 냉각부하에 맞도록 제어하였다. 또한, 외기온도가 냉각공기온도보다 낮아져 가열이 필요할 경우에는 동일하게 압축기 무부하전자변과 재열기와 증발기에 공급되는 고온고압가스를 이용하여 외기온도가 설정온도보다 1℃낮을 때까지 가열하여 제어할 수 있도록 설계하였다.

(2) 상대습도

증발기에서 냉각된 공기의 상대습도는 대부분 95%로서, 재열기에서 가열하여 상대습도를 조절하였다. 이를 위해 재열기출구 공기온도를 곡물냉각기

의 최종적인 냉각공기온도로 하였으며, 설정된 상대습도를 유지하기 위해 증발기 및 재열기 출구공기의 온도차를 제어하였다. 공기온도차는 재열기에 고온고압가스를 공급하는 가스배관에 설치된 2개의 전자변을 이용하여 가수량으로 제어하였다.

(3) 응축압력

응축압력은 외기의 온도조건에 영향을 받으며, 응축압력이 지나치게 높으면 시스템의 성능이 현저하게 저하하고, 냉동유의 탄화, 압축기 실린더 링의 손상을 초래하게 된다. 반대로 응축압력이 지나치게 낮아지면 증발압력의 저하로 증발기에 착상이 용이해 진다. 또한, 압축기에서 토출된 고온고압가스가 재열기 및 증발기에 사용되므로 지나친 응축압력의 저하는 충분한 고온고압가스 공급에 차질을 줄 수 있다.

따라서 응축압력이 일정 범위를 유지할 수 있도록 제어하였다. 응축압력의 하한은 응축압력조정변으로 제어하여 외기가 낮아질 때에도 13kgf/cm^2 (게이지압)을 유지할 수 있도록 하였으며, 상한은 압축기에 부착된 듀얼타입의 고압스위치로 24kgf/cm^2 을 넘지 않도록 제어하였다. 한편, 재열 및 증발기 코일에 충분한 고온고압가스를 공급하기 위하여 고압스위치를 이용하여 응축기 팬을 18kgf/cm^2 에서 작동을 중지하고 21kgf/cm^2 에서 작동하도록 하였다.

(4) 증발기 착상(着霜)의 제어

냉각목표온도의 설정치가 지나치게 낮거나, 증발기를 통과하는 공기의 온도가 지나치게 낮아질 경우 증발기 코일에 착상이 발생하여 냉각능력이 현저하게 감소한다. 따라서 증발코일을 통과하는 공기온도가 1°C 보다 낮아지면 증발기에 고온고압가스를 공급하여 착상이 발생하지 않도록 제어하였다.

나. 제어시스템 개발

곡물냉각기는 “냉각건조”, “냉각저장” 및 “통풍”의 기능을 갖고 있다. 각 기능에서 외기조건의 변화에 따라 냉각공기의 온도 및 상대습도를 설정치로 유지하기 위해서는 송풍기 댐퍼, 압축기 무부하전자변, 재열기 및 증발기의 고온고압가스 공급관에 부착된 5개의 전자변의 자동운전이 필요하다. 이를 위해 원칩 마이크로 프로세서인 AT89C52과 PIC16C74를 이용하여 시스템을 제어하였다. 그 구성도는 그림 4-14에 나타내었다.

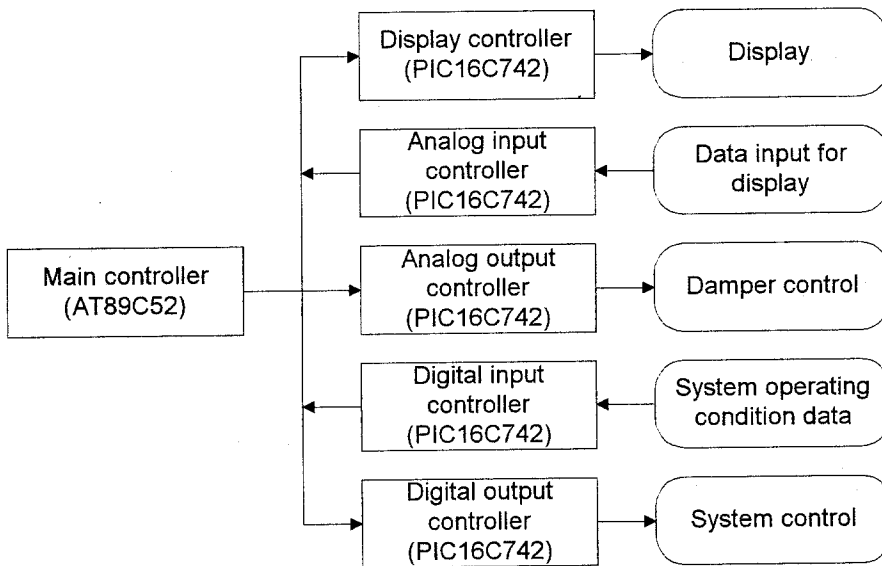


Fig. 4-14 Organization of the system controller.

4. 운영프로그램의 개발

가. 운영프로그램의 기본방향

운영프로그램은 “냉각건조”, “냉각저장”, “통풍”의 3개 기능으로 구성하였다. 각 기능에서 송풍기 댐퍼, 6개의 전자변 및 증발압력과 응축압력을 제어하였고, 충분한 고온고압가스를 확보하기 위하여 응축기 팬을 제어하여 어떠한 외기조건하에서도 최상의 조건으로 작동하도록 하였다.

“냉각건조”기능에서는 송풍기 댐퍼와 압축기의 무부하전자변, 재열기에 고온고압가스를 공급하는 2개의 전자변과 증발기에 고온고압가스를 공급하는 3개의 전자변을 제어하였다. 설정된 냉각공기의 온도조건을 만족하면서 증발기에 착상이 발생하지 않도록 제어하였으며, 소요에너지를 최소화하면서 냉각공기의 상대습도를 최소한으로 낮춰 건조능력을 향상하도록 제어하였다. “냉각저장”기능에서는 어떠한 외기조건하에도 냉각공기의 상대습도가 냉각되는 곡물의 함수율에 적합한 평형상대습도로 유지되도록 송풍기 댐퍼와 압축기의 무부하전자변, 재열기에 고온고압가스를 공급하는 2개의 전자변과 증발기에 고온고압가스를 공급하는 3개의 전자변을 제어하였다. 설정된 냉각공기의 온도 및 상대습도조건을 만족하면서 증발기에 착상이 발생하지 않도록 제어하였다. “통풍”기능에서는 외기온도조건이 양호할 경우 사용할 수 있도록 송풍기만 가동되도록 하였다.

나. 운영프로그램의 개발

운영프로그램은 C 언어로 작성하였으며, 원칩 마이크로프로세서에 입력하여 사용하였다. “냉각건조”, “냉각저장”기능에서 흐름도는 그림 4-15, 4-16과 같다.

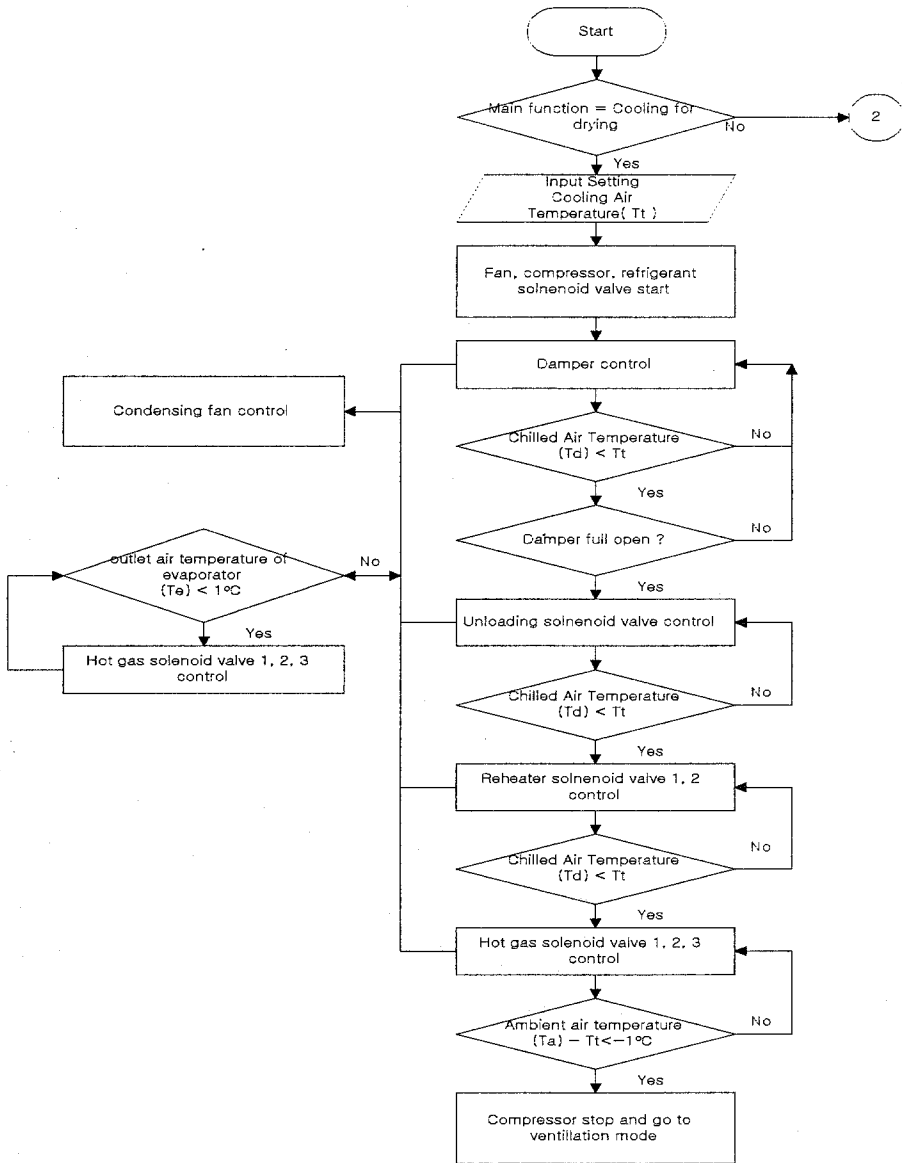


Fig. 4-15 Schematic control flowchart of the "cooling for drying" mode.

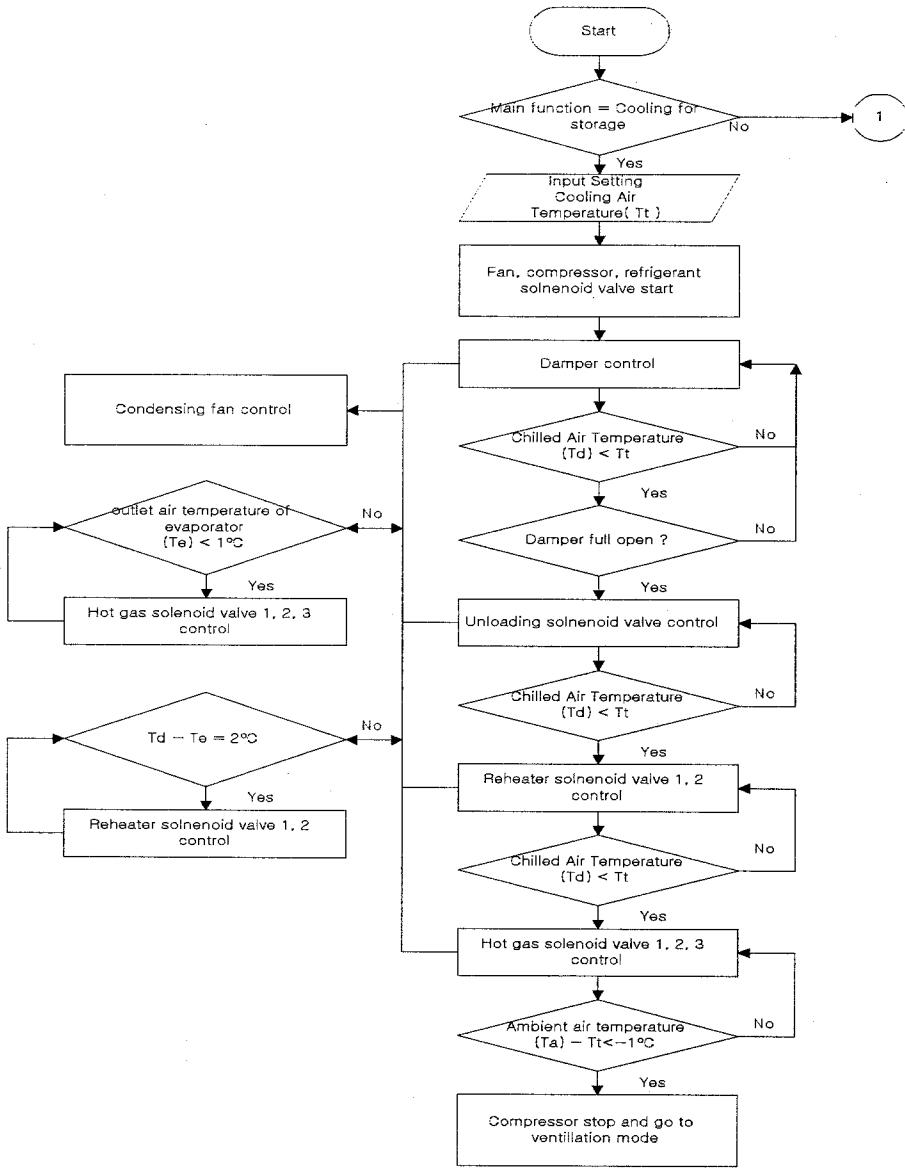


Fig. 4-16 Schematic control flowchart of the "cooling for storage" mode.

5. 곡물냉각기의 성능평가

가. 실험방법

개발된 곡물냉각기 시작품의 성능은 냉각능력, 재열능력, 가열능력, 소요 전력 및 성적계수 등을 측정하고 설계조건에 적합한지를 분석하였다.

냉각능력은 압축기의 무부하전자변이 작동할 때와 작동하지 않을 때에 대해 측정하였다. 송풍기 댐퍼만이 제어될 때의 송풍량을 측정하고, 외기 및 냉각공기의 열물성치로부터 냉각능력을 계산하여 압축기 성능프로그램(BOCK, VAP 6.1)으로 구한 이론적인 냉각능력과 비교하였다.

재열능력은 송풍기 댐퍼의 개도율이 100%로 유지된 상태에서 압축기 무부하전자변이 작동할 때와 작동하지 않을 때의 송풍량과 증발기 및 재열기 출구의 공기열물성치로부터 구하였으며, 재열온도를 3.5℃로 설정하고 증발기 및 재열기출구 공기온도차가 유지되는지를 확인하였다.

또한, 최대가열능력은 송풍기 댐퍼의 개도율이 100%일 때, 압축기의 무부하전자변이 작동하고, 재열기 및 증발기에 고온고압가스가 공급될 때 송풍기 및 공기열물치로부터 구하였다. 또한, 이들 결과가 각 기능에서 설계조건에 적합한지를 분석하였다.

이를 위해 냉각공기 온도 및 상대습도, 송풍량, 소요전력 및 곡물냉각기 각 지점에서의 냉매의 온도를 측정하였다. 냉각공기의 온도 및 냉매의 온도는 곡물냉각기의 20개지점에 열전대(K-type)을 설치하여 측정하였으며, 상대습도는 8개의 상대습도 전송기(HD8607)로, 송풍량은 $\varnothing 0.35\text{m}$ 의 플로노즐을 사용하여 측정하였다. 송풍량 측정덕트는 한국공업규격(KS A 0612)에 준하여 설치하였으며, 측정치는 자료수집장치(Datascan, 7327, U.K.)로 기록하였다. 소요전력은 적산전력계를 이용하여 곡물냉각기 전체의 소요전력과

압축기의 소요전력에 대해 각각 측정하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) 냉각능력

(가) 최대냉각능력

냉각공기온도를 5℃로 설정한 다음 0.5시간동안 곡물냉각기를 가동하여 최대냉각능력을 측정하였다. 실험기간중 외기의 평균온도 및 상대습도는 20.0℃, 58.2%이었다. 응축/증발압력은 16.5/3.6kgf/cm²(게이지압)이었으며, 냉각공기의 평균온도 및 상대습도는 5.3℃, 94.8%, 송풍량은 88.0m³/min로 나타났다. 외기공기와 냉각공기의 열물성치로부터 냉각능력을 구한 결과 35,284.2kcal/hr로서 동일 응축/증발압력하에서 이론적인 냉각능력 34,271kcal/hr의 약 100.3%로 나타났다. 이론적인 냉각능력은 과냉각이 0℃인 경우인 반면 곡물냉각기에서는 과냉각이 약 12.4℃정도가 발생하였는데도 유사한 냉각능력을 나타낸 것은 증발기 코일 등을 통해 외기와의 열교환이 발생하였기 때문으로 판단되었다.

(나) 압축기 무부하전자변의 작동시 냉각능력

냉각공기의 온도를 5℃로 설정한 다음 강제적으로 무부하전자변을 가동시켜 0.5시간동안 곡물냉각기를 가동하여 냉각능력을 측정하였다. 이 때 외기 평균온도 및 상대습도가 19.3℃, 53.2%였다. 응축/증발압력은 13.0/4.1kgf/cm²로 무부하전자변이 작동하기전에 비해 응축압력은 다소 낮아졌으며, 증발압력은 높아졌다. 또한, 냉각공기의 평균 온도 및 상대습도는 5.4℃, 94.8%, 송풍량은 65.6m³/min이었다. 외기와 냉각공기의 열물성치로부터 냉각능력을 구한 결과 21,948kcal/hr로서 이론적인 냉각능력 42,527kcal/hr의 약 51.6%를 나타내었다. 이 결과로부터 4기통을 가진 압축기에서 2기통만으로 제어할

수 있는 압축기의 무부하전자변이 가동할 때 전체 냉각능력의 50%정도가 제어됨을 알 수 있었다.

다. 재열능력

압축기의 무부하전자변이 가동하지 않는 상태와 무부하전자변이 가동된 상태에서 강제적으로 재열을 실시할 때의 재열능력을 측정하였다. 먼저 압축기의 무부하전자변이 가동되지 않는 상태에서는 그림 4-17과 같이 외기 평균온도 및 상대습도(㉔지점)는 20.3℃, 53.6%였으며, 증발기(㉕지점) 및 재열기를 통과한 냉각공기의 온도 및 상대습도(㉖지점)는 각각 5.8℃, 93.3% 및 14.4℃, 60.5%를 나타내었다. 이 때 송풍량은 118.9m³/min로서 증발기에서 냉각된 열량은 43,253.7kcal/hr였으며, 재열기에서 재열된 열량은 23,154.9kcal/hr로서 증발기에서 냉각된 열량의 약 53.5%를 차지하였다. 또한, 재열기에서 최대 재열온도는 8.6℃를 나타내었다.

그림에서도 알 수 있듯이 증발기를 통과한 냉각공기에 비해 재열기를 통과한 냉각공기의 절대습도가 다소 높게 나타난 것은 증발기와 재열기가 약 0.3m간격으로 설치되어 있어 증발기에서 제습된 수분의 일부가 냉각공기에 재흡수되었기 때문으로 판단되었다.

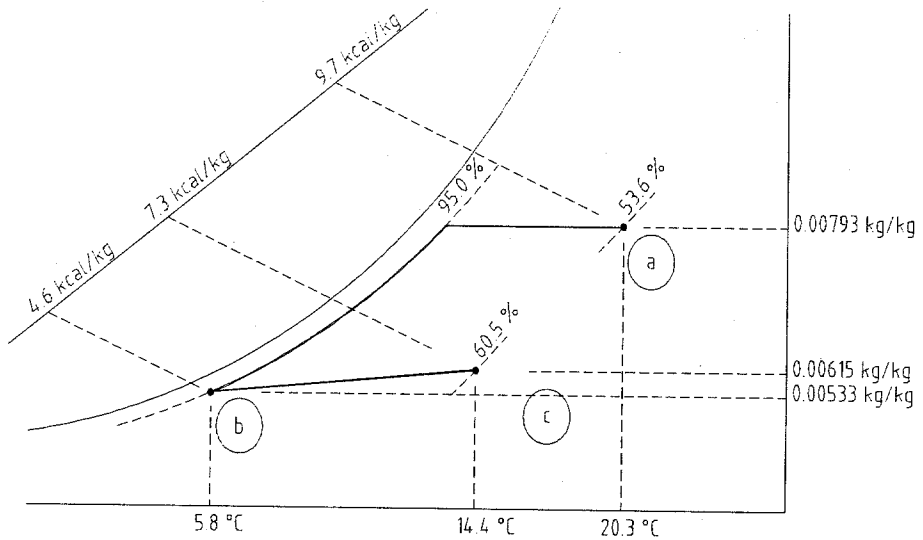


Fig. 4-17 Psychrometric chart showing cooling and reheat of air.

한편, 압축기 무부하전자변이 가동된 상태에서 동일하게 재열능력을 측정
한 결과, 외기의 온도 및 상대습도가 19.5°C, 56.9%, 증발기 및 재열기를 통
과한 냉각공기의 온도 및 상대습도가 각각 10.0°C, 94.8% 및 17.6°C, 64.0%
였으며 송풍량은 129.6m³/min였다. 증발기에서 냉각된 열량은 25,856.7kcal
/hr였으며, 재열기에서 가열된 열량은 22,248.5kcal/hr로서 증발기에서 냉각
된 열량의 86.0%를 차지하였으며, 최대재열온도는 7.6°C였다.

이상의 결과로부터 곡물냉각기의 최대재열온도는 7.6~8.6°C, 재열후 상대
습도의 저하는 34.5~41.0%수준으로 나타났다. 곡온 7°C, 함수율 16%,w.b.인
벼의 평형상대습도가 약 70.9%정도이므로 “냉각건조”기능의 재열조건에 적
합한 것으로 판단되었다.

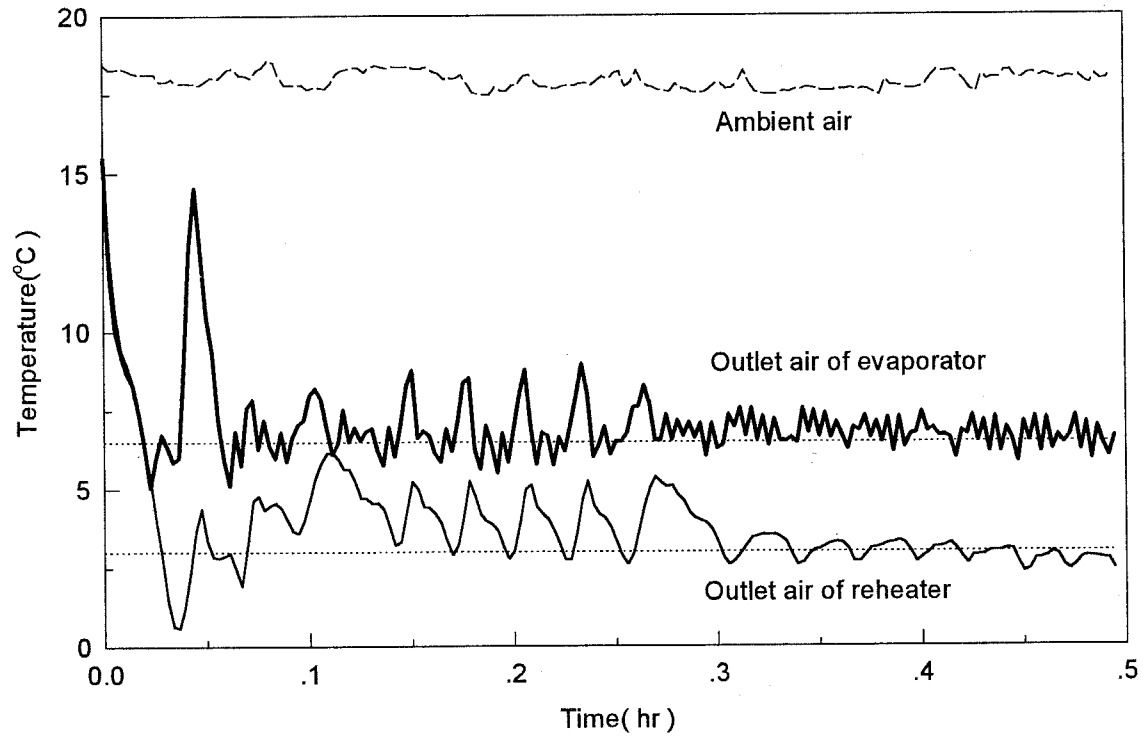


Fig. 4-18 Changes of temperature of ambient and chilled air in outlet of evaporator and reheater.

그림 4-18은 냉각공기온도를 6.5℃, 재열온도를 3.5℃로 설정하고 0.5시간 동안 냉각공기온도변화를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 재열기 출구온도 즉, 곡물냉각기의 냉각공기온도는 약 0.25시간후에 설정온도와 동일한 6.5℃로 유지되었으며, 증발기 및 재열기출구의 냉각공기온도차는 재열온도 3.5℃ 범위에서 제어되고 있음을 알 수 있었다.

라. 가열능력

표준냉동사이클의 조건하에서 R-22를 냉매로 사용하는 압축기의 성적계수는 4.0정도이다. 따라서 표준냉동사이클하에서 압축기에서 토출된 고온고압가스로 공기를 가열할 때 이론적인 최대가열능력은 냉각능력의 약 1.2배정도가 된다. 본 연구에서는 곡물냉각기의 설정온도보다 외기온도가 1℃정도 낮아질 때 압축기를 정지하고 “통풍”기능으로 전환되도록 설계하였다. 이 때 곡물냉각기 출구공기온도가 외기온도에 비해 얼마 정도 상승될 수 있는지를 측정하였다.

외기의 온도 및 상대습도가 18.9℃, 61.2%일 때 압축기의 무부하전자변이 가동되고 재열기 및 증발기에 고온고압가스가 공급될 때 증발기 및 재열기 출구공기의 온도 및 상대습도는 각각 14.6℃, 71.3% 및 24.5℃, 46.8%였다. 이 때 송풍량은 131.0m³/min로서 총 냉각열량은 15,227.3kcal/hr, 가열능력은 32,276.7kcal/hr로 나타났다. 또한, 재열기 및 증발기출구 공기온도차는 9.9℃, 재열기출구 공기온도와 외기온도 차는 5.6℃로 나타났다. 이 때 응축/증발압력이 16.2/6.2kgf/cm²로서 이론적인 압축기 냉각능력은 28,208kcal/hr인 반면 실제 냉각능력은 15,227.3kcal/hr로서 이론적인 냉각능력의 54.0%에 불과하였다. 이는 증발기에 냉매액과 동시에 고온고압가스가 공급되기 때문으로 판단되었다.

한편, 압축기에서 토출되는 냉매가스의 온도는 74.6℃로서 비슷한 조건에

서 뎀퍼만을 제어할 때의 온도인 63.0℃에 비해 약 14.6℃가 높았으며, 압축기의 전류도 16.8~17.9A로 심한 변화를 나타낸 것은 재열기 및 증발기에 공급되는 고온고압가스량을 충분하게 확보하기 위해 응축기 팬이 제어되기 때문으로 판단되었다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이 곡물냉각기의 외기의 최대가열능력은 5.6℃로 나타났으나, 재열기 및 증발기출구 공기온도차가 9.9℃로 대단히 높게 나타나 실제 곡물냉각기의 가동시에 가열온도에 제한이 필요하였다. 증발기출구 공기온도가 1℃이하가 되면 증발기 코일에 착상이 발생하게 되므로 증발기출구 공기의 온도편차를 고려할 때 곡물냉각기의 냉각공기의 설정온도가 5℃일 경우 외기온도보다 1℃ 낮은 온도까지 제어하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

마. 소요전력

곡물냉각기 설계 소요동력은 21.2kW였으나, 실제 소요동력은 가동조건에 따라 달라지게 된다.

본 연구에서는 곡물냉각기의 소요동력을 측정하기 위하여 압축기의 무부하전자변이 작동하는 경우와 작동하지 않는 경우, 재열 및 증발기에 고온고압가스가 공급되는 경우의 소요동력을 각각 측정하였다. 먼저, 냉각공기온도를 5℃로 설정하고 압축기의 무부하전자변의 작동여부에 따른 소요전력을 측정한 결과 무부하전자변이 작동하지 않고 송풍기의 뎀퍼만이 제어될 때 총소요전력과 압축기의 소요축동력은 각각 22.8, 14.1kWh를 나타내 설계소요전력보다 다소 높게 나타났다. 그러나 무부하전자변이 작동할 때 소요전력은 각각 15.2, 7.8kWh를 나타내어 압축기 무부하전자변이 작동하지 않는 경우에 비해 총소요동력의 33.3%, 압축기 소요축동력의 44.7%가 절감되는

것으로 나타났다.

재열기만 가동하는 경우와, 재열기와 함께 압축기 무부하전자변이 작동할 때, 재열기 및 증발기에 고온고압가스가 공급되면서 압축기의 무부하전자변이 작동할 때의 소요전력을 비교한 결과, 압축기의 무부하전자변이 작동할 때가 작동하지 않을 때에 비해 총소요전력은 26.7~27.5%, 압축기 소요축동력은 34.8~37.7%정도가 절감되는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 압축기 무부하전자변이 가동할 경우 전체 소요전력이 26.7~33.3%정도가 절감될 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 4-2 Required energy of prototype grain cooler and compressor with different control conditions.

Control conditions	Chilled air setting point(°C)	High pressure (kgf/cm ²)	Low pressure (kgf/cm ²)	Required energy (kWh)	
				total	compressor
Damper	5.0	16.0	3.9	22.8	14.1
Unload+Damper	5.0	13.0	4.1	15.2	7.8
Reheater	17.0	15.0	4.0	24.0	13.8
Unload+Reheater	17.0	14.9	5.0	17.4	8.6
Unload+Reheater +Hot gas	17.0	16.2	6.2	17.6	9.0

마. 성적계수

그림 4-19는 곡물냉각기의 건압축(乾壓縮) 냉동사이클을 나타낸 것이다. 성적계수(C.O.P, coefficient of performance)는 4.71로서 표준냉동사이클에서 냉매 R-22의 성적계수 4.0에 비해 높은 값을 나타내었다. 이것은 외기온도

가 20.0℃로 비교적 낮아 응축기에서 약 10.6℃ 정도의 과냉각(subcooling)이 발생(③지점)하였으며, 수액기에서 응축기로 흡입되는 외기에 의하여 1.8℃ 정도의 과냉각이 추가로 발생(④지점)하여 전체적으로 12.4℃의 과냉각이 발생하는데 원인이 있는 것으로 판단되었다. 또한, 팽창밸브에서 팽창한 냉매(⑤지점)가 증발기 입구의 분배기(distributor)에서 모세관에 의해 2차 팽창(⑥지점)하여 증발압력이 낮아지고 있음을 알 수 있었다.

그러나 이 값은 압축기만의 성적계수이며, 곡물냉각기에서 압축기 축동력이외에 송풍기, 응축기 팬, 덤퍼 및 전자변 등에서 에너지가 소비되므로 전체동력에 대한 전성적계수(total coefficient of performance)로 나타낼 수 있다. 냉동효과가 39.6kcal/kg이며, 전체 냉각능력은 35,284.2kcal/hr이므로 냉매순환량은 891kg/hr이며, 시간당 소요동력은 22.8kWh로서 전성적계수는 1.8로 나타났다.

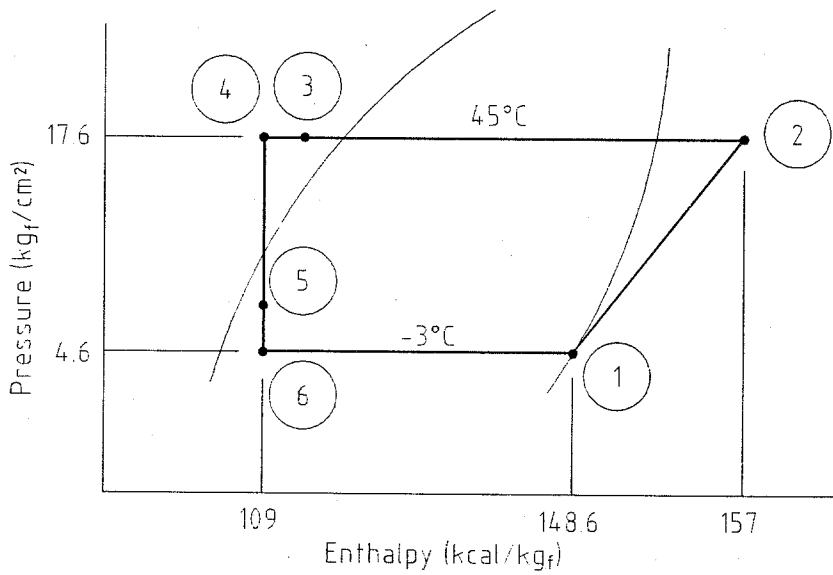
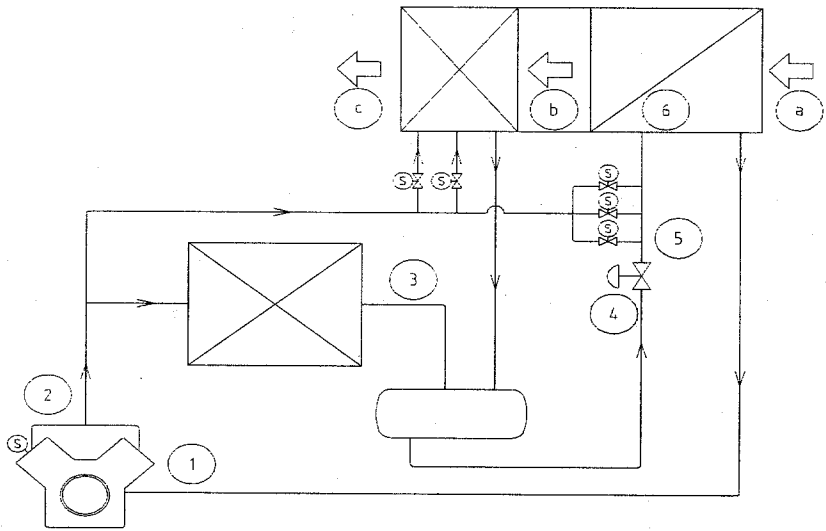


Fig. 4-19 Dry compression refrigeration cycle of prototype grain cooler.

제 5 절 결과 및 요약

본 연구의 목적은 우리나라의 기후조건 및 수확후 처리여건에 적합한 상용적인 곡물냉각기를 개발하는데 두었다. 이를 위해 외국의 상용적인 곡물냉각기에 대한 세부적인 기술검토를 실시하였으며, 곡물냉각기 설계를 위해 벼 고정퇴적층의 곡온변화를 예측할 수 있는 냉각 시뮬레이션 모델을 개발하여, 이를 실험을 통하여 검증하였고, 시뮬레이션 방법을 이용하여 냉각속도와 관련된 영향인자를 구명하였다. 또한, 이들 결과를 활용하여 새로운 곡물냉각기를 개발하고 이의 성능을 측정하였으며, 운영실험을 통하여 설계 및 장치보완을 실시하였으며, 국내의 기후조건 및 수확후 관리체계에 적합한 한국형 곡물냉각기의 운영프로그램을 개발하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 외국의 상용적인 곡물냉각기의 냉각능력의 제어는 송풍기와 용량조절벨트로 이루어짐에 따라 에너지절약효과가 적을 뿐 아니라, 작동이 불편하며, 수확기 외기온도가 낮은 국내 기후조건하에서는 효과적인 제어가 어려울 것으로 판단되었다. 또한, 상대습도의 수동제어로 함수율에 따른 평형상대습도의 유지가 어려워 국내의 수확후 관리체계에 적용상 문제점이 발생할 수 있을 것으로 판단되었다.

나. 곡물층의 에너지평형 및 물질평형과, 곡물과 통과공기의 평형조건에 기초하여 벼 고정층에서 벼의 곡온변화를 예측할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하고, 이를 실험을 통해 검증하였다. t 검증결과 5%의 유의수준에서 실험치와 예측치간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타

났다. 따라서 개발한 냉각 시뮬레이션 모델은 곡물냉각시스템의 분석에 유용할 것으로 판단되었다.

다. 개발한 시뮬레이션 모델을 이용하여 송풍량, 냉각공기 온도 및 습도, 벼의 초기곡온 및 함수율, 퇴적높이 등 벼의 냉각속도 영향인자를 분석한 결과, 주어진 작동조건하에서 냉각속도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 송풍량으로 나타났다. 풍량비가 $0.4\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^3$ 이하에서는 송풍량이 증가할수록 냉각소요시간은 현저하게 단축되었으나, 그 이상의 송풍량에서는 송풍량의 영향이 현저하게 감소하였다. 냉각소요시간 24시간에 초기곡온 25°C 인 벼를 냉각공기온도인 7°C 까지 냉각시키기 위한 풍량비는 $0.35\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

라. 냉각공기 온도 및 상대습도, 벼의 초기곡온이 낮을수록, 퇴적높이가 증가할수록 냉각소요시간은 감소하였으나 송풍량에 비해 그 영향은 그다지 크지 않았다. 벼의 초기함수율은 20%,w.b.미만에서는 함수율의 증가에 따라 냉각소요시간은 감소하였지만 그 이상의 함수율에서는 함수율의 증가에 따라 냉각소요시간이 증가하였다.

마. 압축기 무부하전자변, 재열기 및 증발기에 고온고압가스를 공급하여 냉각부하의 변화에 따라 냉각능력을 0~100%까지 제어할 수 있으며, 냉각건조, 냉각저장 및 통풍의 기능을 갖는 1일 최대 200톤을 냉각할 수 있는 곡물냉각기와, 냉각공기의 온도 및 상대습도의 제어를 위하여 원칩 마이크로프로세서에 의한 콘트롤러를 개발하였다.

바. 개발된 곡물냉각기의 최대냉각능력은 $35,284\text{kcal/hr}$, 압축기 무부하전

자변이 작동할 때는 21,948kcal/hr였으며, 송풍량 및 정압은 각각 120 m³/min, 279mmAq였다. 냉각공기온도가 설정온도로 안정적으로 유지 되는데 약 0.12시간이 소요되었다.

사. 곡물냉각기의 최대재열온도 및 상대습도의 저하는 각각 7.6~8.6℃, 34.5~41.0%로서 냉각건조기능의 재열조건에 적합하였고, 재열온도범 위에서 안정적으로 제어되었다. 또한, 최대가열능력은 5.6℃로 나타나 재열기 및 증발기에 공급되는 고온고압가스량은 시스템의 제어에 충 분한 것으로 나타났다.

아. 곡물냉각기의 소요동력은 22.8kWh였으나, 압축기의 무부하전자변이 작동될 때의 소요동력은 총소요동력의 33.3%, 압축기 소요축동력의 44.7%가 절약되는 것으로 나타났으며, 제어조건에 따라 전체소요동력 의 26.7~33.3%정도가 절약되는 것으로 나타났다. 곡물냉각기의 냉동 시스템의 성적계수는 과냉각으로 인해 표준냉동사이클하에서의 4.0보 다 높은 4.71를 나타내었으며, 전성적계수는 1.8을 나타내었다.

여 백

여 백

제 5 장 중저온 저장시스템 운영기술의 산업화

제 1 절 서 설

곡물냉각기를 사용하여 곡물을 냉각저장하는 목적은 유럽 및 미국에서는 건조시설의 건조능력을 향상시키고, 건조비용을 감소시키며, 수출가능한 함수율로 안전하게 저장하기 위해서이며, 동남아 및 아프리카에서는 곡은을 낮추기 위해서이다. 또한, 일본에서는 자국내에서 생산되고 있는 쌀의 품질 향상을 도모하는 것은 물론, 이를 통하여 수입되는 외국산 곡물에 대한 경쟁력을 높이기 위해서이다(Hellemar, 1993).

곡물냉각기를 사용한 중저온저장과 관행적인 건조, 저장방법의 경제성에 대해서 Sulzer-Escher Wyss사는 곡물냉각기를 이용한 중저온 저장하는 방법이 건조기를 사용하여 건조한 후 저장하는 관행적인 방법에 비해 53.15~79.87%의 비용이 절감된다고 보고하고 있다.

한편, 우리나라에서 곡물냉각기를 이용한 벼의 중저온저장의 가장 큰 목적은 연간 식미가 우수한 16%,w.b.의 쌀을 공급할 수 있는 체계의 정립이며, 부수적으로 건조기의 능력향상, 건조에너지의 절약 등을 들 수 있다. 또한, 우리나라에 설치되어 있는 대부분의 사일로는 200~300톤 규모이며, 미곡종합처리장에 1일간에 반입되는 물량이 최대 200톤 정도임을 감안할 때 본 연구에서 개발한 1일 최대 200톤을 냉각할 수 있는 곡물냉각기(HSC-200M)는 국내의 미곡종합처리장에 적정할 것으로 예상된다. 그러나 실제 저장빈의 형태, 구조 및 설치방법 등은 물론이며, 외기조건에 따라 냉각능력에 차이가 발생할 수 있으며, 경제성에도 영향을 미칠 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 개발한 곡물냉각기를 이용하여 미곡종합처리장

의 저장빈에서 실제 벼를 대상으로 냉각실험을 실시하여 냉각특성을 구명하고, 곡물냉각기의 효과적인 활용방안을 정립하며, 비용분석을 통해 곡물냉각기를 이용한 증저온저장방법의 경제성을 예측하였다.

제 2 절 곡물냉각기의 현장 적응실험

1. 재료 및 방법

벼의 냉각실험은 200톤 및 300톤 사일로에 대해 2회를 실시하였다. 1차 냉각실험은 하절기인 '98년 8월 28일부터 '98년 8월 30일까지 3일동안 전남 순천시 해룡농협 미곡종합처리장에서 200톤 사일로를 대상으로 실시하였다. 2차 냉각실험은 수확기인 '98년 10월 30일부터 '98년 11월 3일까지 5일동안 울산시 농소농협 미곡종합처리장에서 300톤 사일로를 대상으로 실시하였다.

가. 재 료

(1) 1차 냉각실험

'98년도에 생산된 조생종으로서 전남 순천시 해룡농협 미곡종합처리장에 8월 10일부터 8월 25일까지 반입된 오대, 복강, 운봉, 신운봉 등의 혼합벼를 냉각실험에 사용하였다. 이 벼는 연속식건조기에서 1차 건조된 후 템퍼링빈에서의 템퍼링과정을 거쳐 철제 사각빈에서 저장중이었던 벼와, 템퍼링빈에 있는 벼로서 8월 26일부터 8월 27일까지 200톤 규모의 철제 사일로로 이송하여 공시하였다. 이송시 측정된 벼의 초기 함수율은 평균 19.9%,w.b.였다.

(2) 2차 냉각실험

'98년도에 생산된 중만생종으로서 울산시 농소농협 미곡종합처리장에 10월 12일부터 10월 20일까지 반입된 동진, 화영, 영남 등의 혼합벼를 냉각실험에 사용하였다. 이 벼는 콘크리트 사각빈에서 상온통풍건조중인 벼로서

10월 28일부터 10월 30일까지 300톤 규모의 철제 사일로에 이송하여 공시하였다. 이송시 측정된 벼의 초기함수율은 평균 19.2%,w.b.였다.

나. 실험장치 및 방법

(1) 실험장치

(가) 사일로 및 시료량

1차 냉각실험에 사용한 사일로는 그림 5-1(a)와 같이 직경 6.23m, 최대퇴적고는 12.65m, 호퍼각이 20° 인 200톤 규모의 호퍼형 원통철제빈으로서, 0.05m 두께의 우레탄 폼으로 단열처리되어 있었다. 3개의 사일로내의 건조 및 배출을 위하여 50HP의 송풍기가 덕트로 연결되어 있으며, 공기압력실에서 다공판을 통하여 송풍되는 구조로서 각 사일로의 공기압력실과는 댐퍼로 연결되어 있었다. 벼의 퇴적높이는 사일로 하부 배출구로부터 평균 10m로서, 퇴적된 벼의 305.0m^3 였으며, 호퍼스케일로 측정된 시료량은 180.3톤이었다.

2차 냉각실험에 사용한 사일로는 그림 5-11(b)와 같이 직경 6.23m, 최대퇴적고는 18.38m, 호퍼각이 30° 인 300톤 규모의 호퍼형 원통철제빈으로서 단열되어 있지 않았다. 덕트 및 다공판은 1차 냉각실험에 사용한 사일도와 동일하였다. 벼의 퇴적높이는 평균 18.0m로서 퇴적된 벼의 체적은 486.1m^3 였으며, 호퍼스케일로 측정된 시료량은 272.2톤이었다.

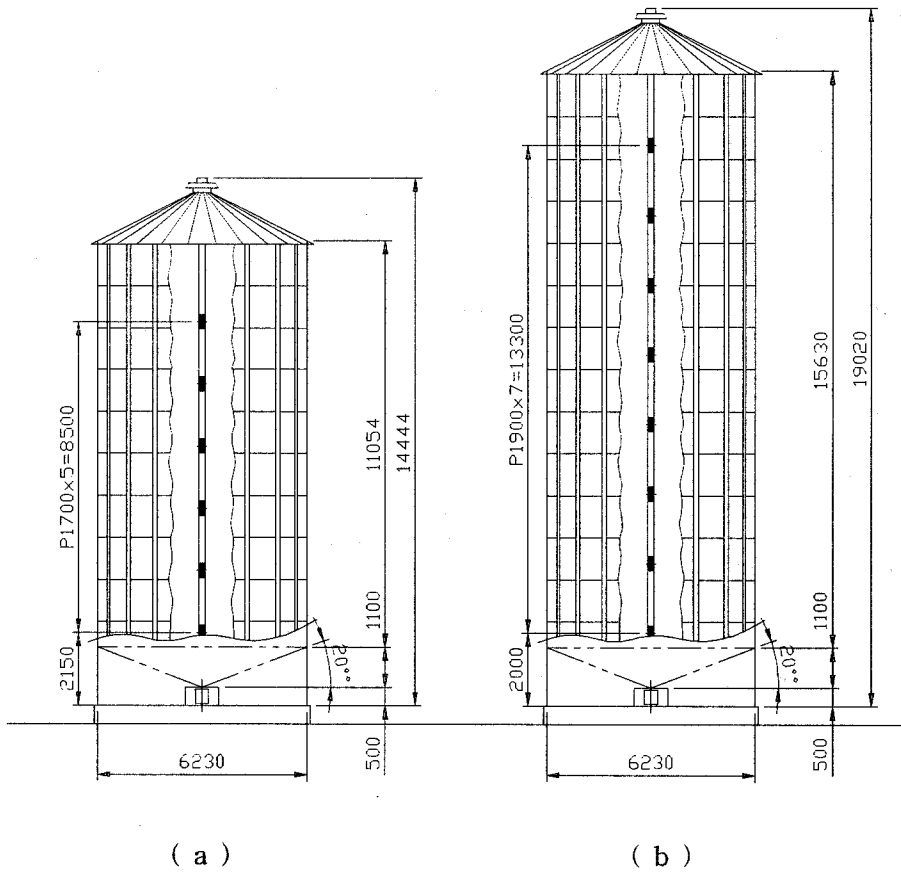


Fig. 5-1 Schematic diagram of silo with 200 tonne(a) and 300 tonne(b) and temperature measurement points.

(나) 곡물냉각기의 설치

냉각실험에는 본 연구에서 개발한 곡물냉각기(모델명 HSC-200M)을 사용하였다. 이 시스템은 크게 압축기, 응축기, 증발기, 재열기, 팽창밸브, 송풍기 및 덤퍼, 제어판넬로 구성되어 있으며, 설계상 냉각능력은 응축/증발온도 50/0℃에서 35,948kcal/hr, 송풍량은 120m³/min, 250mmAq이었다.

1차 냉각실험에서는 사일로 공기압력실의 2중 점검창의 외창을 제거한 다음 내창을 타공하여 직경 0.35m의 덕트를 플렌지형으로 연결하였으며, 곡물냉각기와 사일로의 공기압력실은 플렉시블 덕트, 플로노즐, 스파이럴 덕트 및 플렉시블 덕트로 연결하였다. 덕트길이는 2개의 플렉시블 덕트가 6.2m, 플로노즐이 5.5m, 스파이럴덕트가 6.0m로서 총 길이는 17.7m였으며, 덕트에는 별도의 단열을 실시하지 않았다.

2차 냉각실험에는 그림 5-3과 같이 사일로 공기압력실의 점검창을 타공하여 직경 0.35m의 덕트를 플렌지형으로 연결하였으며, 곡물냉각기 설치여건이 양호하여 길이 5m의 플렉시블 덕트만으로 연결하였으며, 1차 냉각실험과 동일하게 단열을 실시하지 않았다.

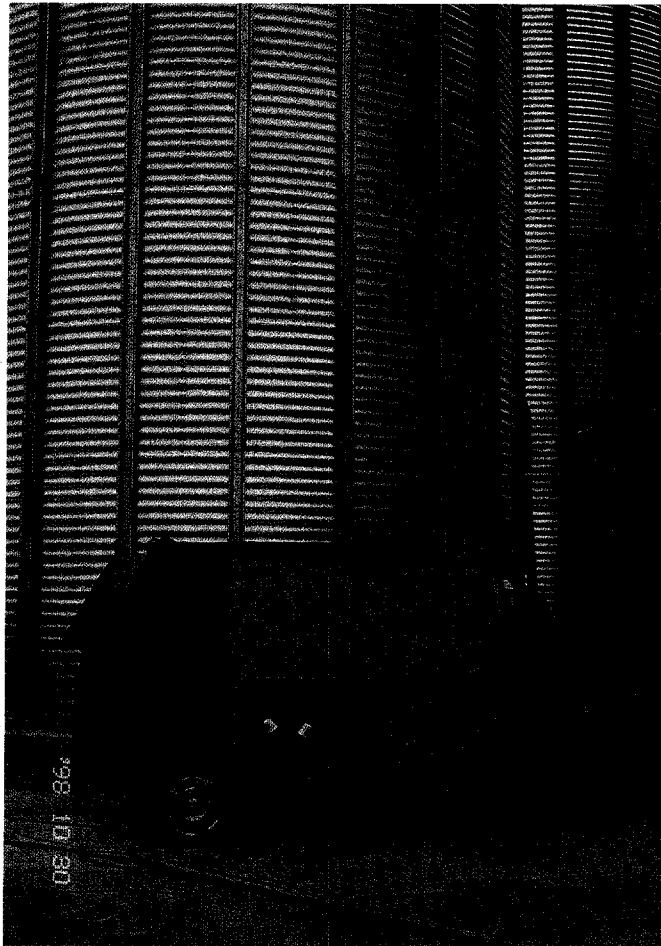


Fig. 5-2 View of cooling field test of rough rice in silo with a grain cooler.

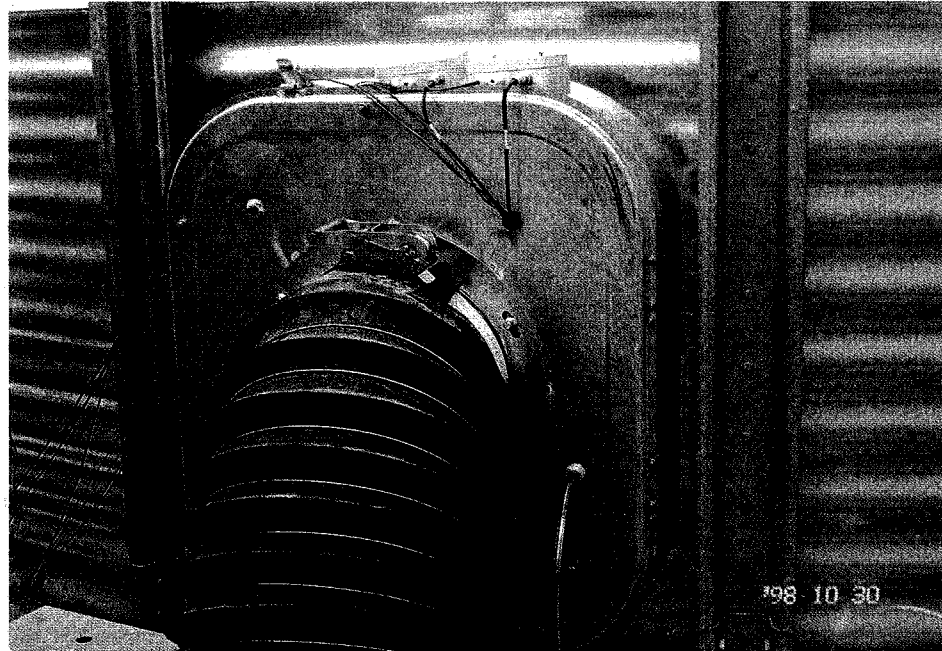


Fig. 5-3 View of flexible duct connected with plenum chamber of silo.

(다) 곡온, 온도, 상대습도, 전력량 및 송풍량 측정

곡온은 1, 2차 냉각실험 공히 사일로 중앙부위에 설치되어 있는 IC센서(Integrated circuit sensor, Dallas, USA)를 이용하여 측정하였으며, 측정치는 한성공업(주)의 곡온관리시스템을 이용하여 수집하였다. 1차 냉각실험에 사용한 사일로에는 하부로부터 2.15m지점부터 1.7m간격으로 6지점, 2차 냉각실험에 사용한 사일로에는 하부로부터 2.0m지점부터 1.9m간격으로 8지점에 센서가 설치되어 있었다.

1차 냉각실험에서는 곡물냉각기에서 냉각된 냉각공기의 송풍량은 덕트에 설치한 직경 0.35m의 플로노즐을 사용하여 측정하였으며, 플로노즐은 한국공업규격(KS A 0612)에 준하여 설치하였다. 플로노즐 전후의 정압은 차압전송기(C264, Setra, USA)로 측정하였다. 또한, 공기압력실에서 건조 및 배출을 위해 설치된 댐퍼와 점검창 등에서 냉각공기 누설을 감안하여 실제 곡물층을 통과하는 송풍량을 예측하기 위하여 공기압력실 벽면에 직경 0.009m의 측정공을 타공하여 공기압력실의 정압을 측정하였다. 정압은 차압전송기(C264, Setra, USA)로 측정하였다.

2차실험에서는 1차 냉각실험 결과를 토대로 플로노즐을 설치하지 않았으며, 곡물층을 통과한 송풍량을 예측하기 위하여 1차 냉각실험과 동일하게 공기압력실의 정압을 측정하였다.

외기온도, 곡물냉각기의 출구공기온도, 응축 및 증발온도, 사일로 공기압력실의 냉각공기온도는 열전대(K-type)을 사용하여 측정하였다. 이 때 곡물냉각기의 응축 및 증발온도는 배관의 저압 및 고압부에 열전대를 부착한 다음 단열재로 밀봉하여 외기의 영향을 배제하였다.

외기, 곡물냉각기 출구 및 공기압력실의 상대습도는 상대습도 전송기(HD8607, USA)로 측정하였으며, 측정치는 자료수집장치(Datascan, 7327, U.K.)로 기록하였다.

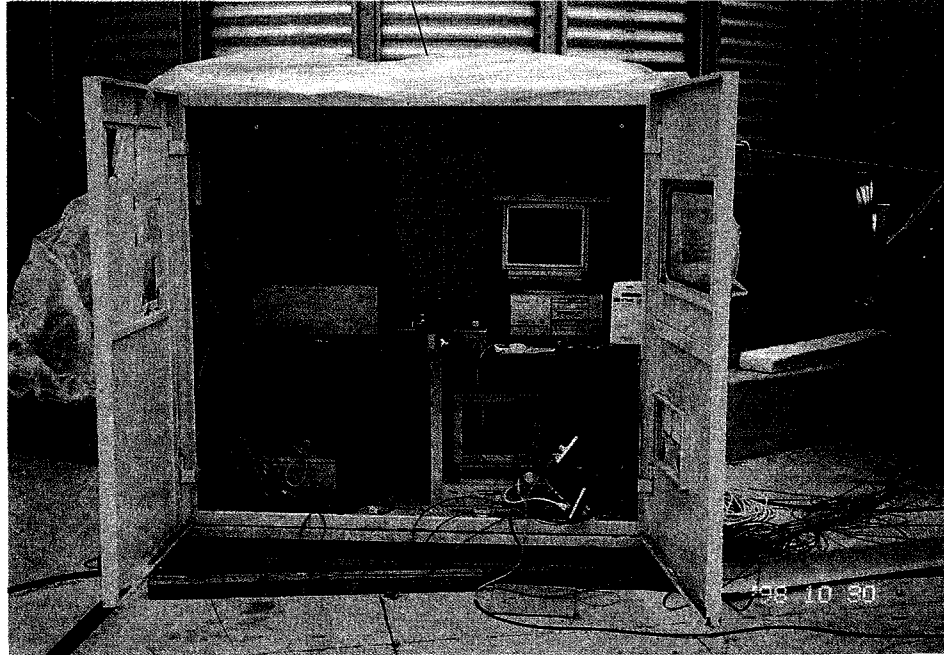


Fig. 5-4 View of data logging system for cooling field test of rough rice.

또한, 곡물냉각기 소요동력은 적산전력계를 이용하여 측정하였다.

(2) 실험방법

사일로의 상부 리미트 스위치가 작동할 때까지 시료를 퇴적한 다음 곡물 냉각기를 가동하여 냉각실험을 실시하였다.

1차 냉각실험은 '98년 8월 28일 오전 3시에 시작하였으며, 냉각공기온도는 8℃로 설정하고, “냉각건조”기능을 사용하였다. 냉각실험의 종료는 Sulzer-Escher Wyss (1984)사의 추천대로 최상층의 곡온이 공기압력실의 냉각공기온도보다 약 2℃가 높은 온도일 때로 하였다.

2차 냉각실험은 '98년 10월 30일 10시에 시작하였으며, 냉각공기온도는 5.5℃, “냉각건조”기능을 사용하였다. 냉각실험은 최상층의 곡온이 공기압력실의 냉각공기온도보다 낮아질 때까지 실시하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 곡온 및 함수율 변화

그림 5-5, 5-6은 1, 2차 냉각실험에서 벼의 곡온 변화를 나타낸 것이다.

1차 냉각실험에서 초기곡온은 최대 27.2℃, 최저 21.8℃로 사일로 상부의 곡온이 하부의 곡온보다 높았으며, 평균곡온은 23.6℃였다. 이와같이 곡온의 차이가 발생한 것은 사일로 하부에 투입한 벼는 연속식건조기에서 1차 건조 및 템퍼링 과정을 거친 후 사각빈에서 상온통풍되었던 반면, 사일로 상부에 투입된 벼는 템퍼링빈에서 바로 사일로로 이송되었기 때문이었다. 초기 평균곡온 23.6℃인 벼는 8월 28일 3시 10분부터 냉각되기 시작하여 냉각시작 후 50시간이 경과한 후 상층부의 곡온이 공기압력실의 냉각공기온도 12.9℃

보다 약 2℃정도 높은 14.8℃를 나타내었으며, 상층부 곡온이 14℃까지 냉각된 것은 8월 30일 오전 7시 40분경으로 총 52.5시간이 소요되었다. 냉각된 벼의 품온은 최저 11℃정도로서 냉각공기온도 12.9℃에 비해 약 1.9℃가 낮게 냉각되었다. 이는 김동철 등(1988)과 동일한 결과로서 냉각과정중 벼로부터의 수분의 증발에 의한 영향으로 판단되었다. 한편, 냉각된 벼는 사각빈으로 이송하였으며, 호퍼스케일을 통해 측정된 함수율은 평균 19.3%,w.b.로서 냉각을 통해 약 0.6 %,w.b.정도의 함수율이 저하하였다.

2차 냉각실험에서 초기곡온은 최대 18.8℃, 최저 14.7℃로서 사일로 중간부위의 벼가 비교적 높은 곡온을 나타내었으며, 평균곡온은 16.1℃였다. 벼는 10월 30일 10시 30분부터 냉각되기 시작하여 상층부의 곡온이 공기압력실의 냉각공기온도 7.6℃보다 약 2℃정도 높게 나타나는 것은 냉각시작 후 59시간이 경과한 이후부터였으며, 상층부 곡온이 7.6℃까지 냉각되는데는 62시간, 설정온도 5.5℃까지 냉각되는데는 78시간이 소요되었다. 냉각된 벼의 품온은 최저 3.0℃정도로서 냉각공기온도 7.6℃에 비해 약 4.6℃가 낮게 냉각되었다. 이는 건조에 의한 증발잠열의 영향으로 판단되었으며, 냉각된 벼는 임시저장을 위해 사일로에 보관중으로 냉각후 벼의 함수율은 측정할 수 없었다.

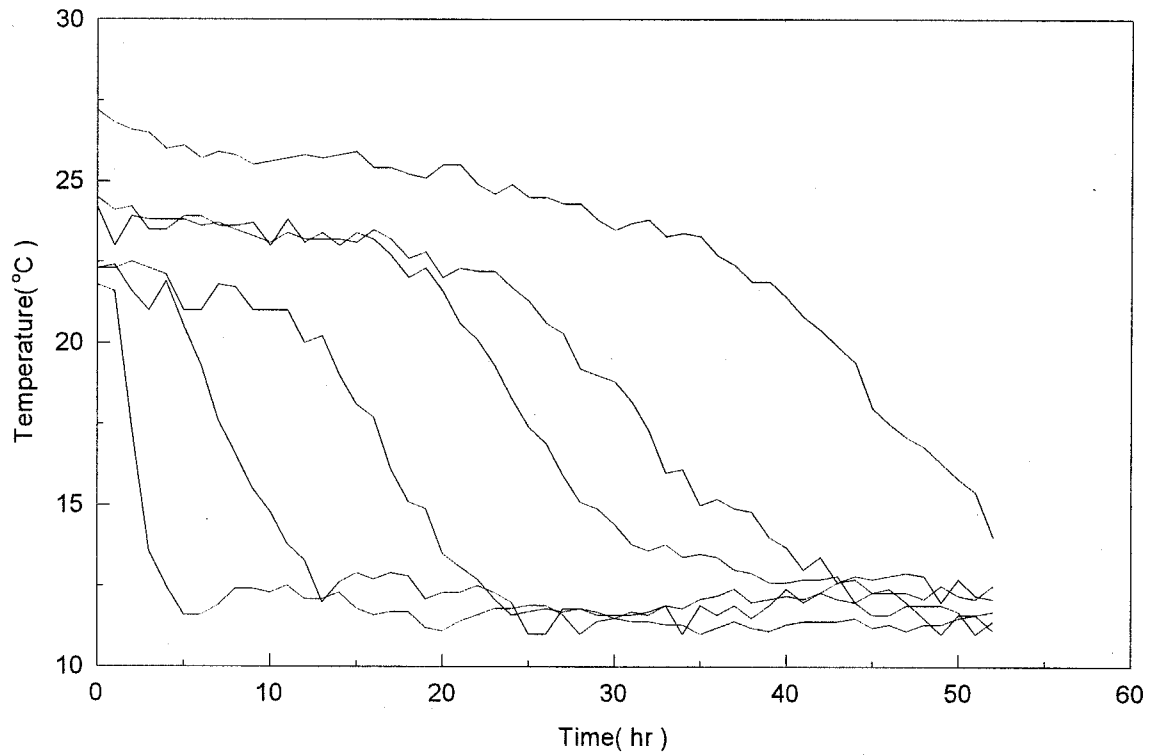


Fig. 5-5 Temperature profiles of rough rice at six depths in the silo during the first cool-down test between August 28 and 30, 1998.

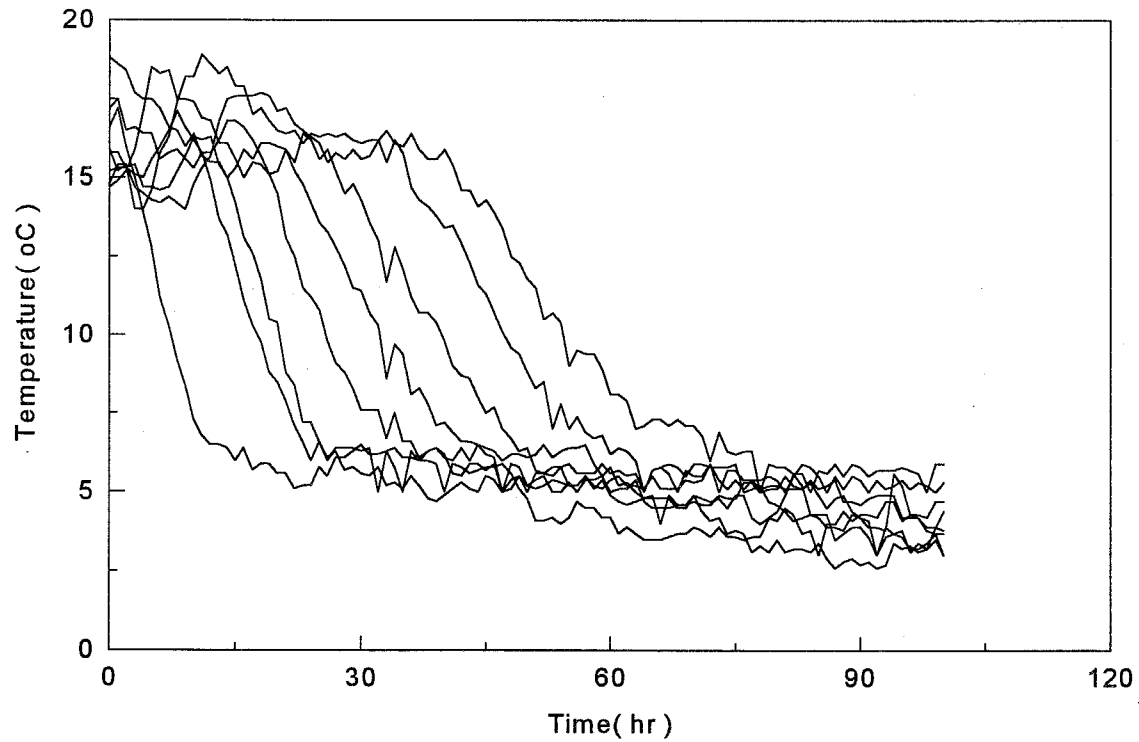


Fig. 5-6 Temperature profiles of rough rice at eight depths in the silo during the second cool-down test between October 30 and November 3, 1998.

나. 외기조건에 따른 냉각공기 온도 및 상대습도 변화

그림 5-7, 5-8은 1차 냉각실험에서 외기, 곡물냉각기출구 냉각공기 및 사일로 공기압력실의 냉각공기의 온도 및 상대습도를 나타낸 것이다. 실험기간중 외기온도는 최고 33.5℃, 최저 18.1℃로 최대온도차는 15.4℃였으며, 평균온도는 24.9℃를 나타내었다. 한편, 외기의 상대습도는 최고 95%, 최저 30%로 최대 상대습도차는 65%였으며, 평균 상대습도는 약 77%였다. 야간의 상대습도는 90~95%수준을 나타내었으며, 실험기간중 8월 29일 20시경부터 약 5시간정도 강우가 있었으나, 상대습도는 비가오지 않는 날의 야간 상대습도와 거의 비슷한 96%수준을 나타내었다.

곡물냉각기를 통과한 냉각공기의 평균온도는 8.0℃로 설정온도인 8.0℃와 동일하였으며, 이 때 표준편차는 0.48를 나타내었다. 또한, 냉각공기의 상대습도는 94%로 일정하게 나타났으며, 이는 냉각코일에서의 상대습도가 약 95%를 나타낸다는 김 등(1988)의 보고와 거의 일치하였다. 또한, 사일로의 공기압력실에서 측정된 냉각공기의 평균온도 및 습도는 12.9℃, 73%정도를 나타내었다. 곡물냉각기에서 토출되는 냉각공기온도 8.0℃에 비해 공기압력실에서의 냉각공기온도는 약 4.9℃가 높게 나타났다. 이것은 17.7m의 단열되지 않은 덕트를 통과하면서 외기와의 열교환의 발생, 플로노즐에서의 축소 및 확대, 플렉시블 고무관의 벤드, 요철부분에서의 발생하는 마찰열에 원인이 있는 것으로 판단되었다. 따라서, 덕트는 가능한 짧고, 송풍저항이 최소가 되도록 설치한다면 냉각소요시간은 현저하게 단축될 것으로 판단되었다.

한편, 공기압력실에서 냉각공기의 평균상대습도는 73%정도로서 곡물냉각기출구 냉각공기의 절대습도와 동일한 상대습도 68%보다 약 5%정도 높게 나타났다. 이것은 곡물냉각기 출구 및 공기압력실에 부착된 상대습도 전송기의 오차로 판단되었다.

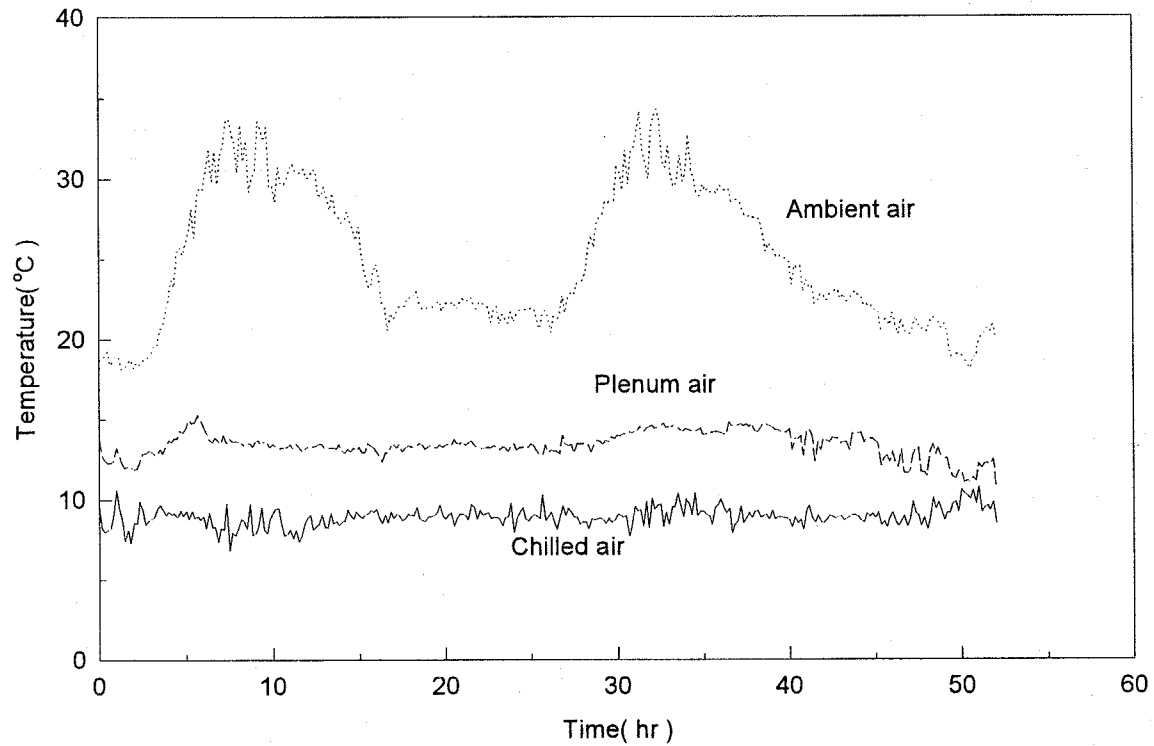


Fig. 5-7 Temperature of the ambient, chilled and plenum air during the first cool-down test between August 28 and 30, 1998.

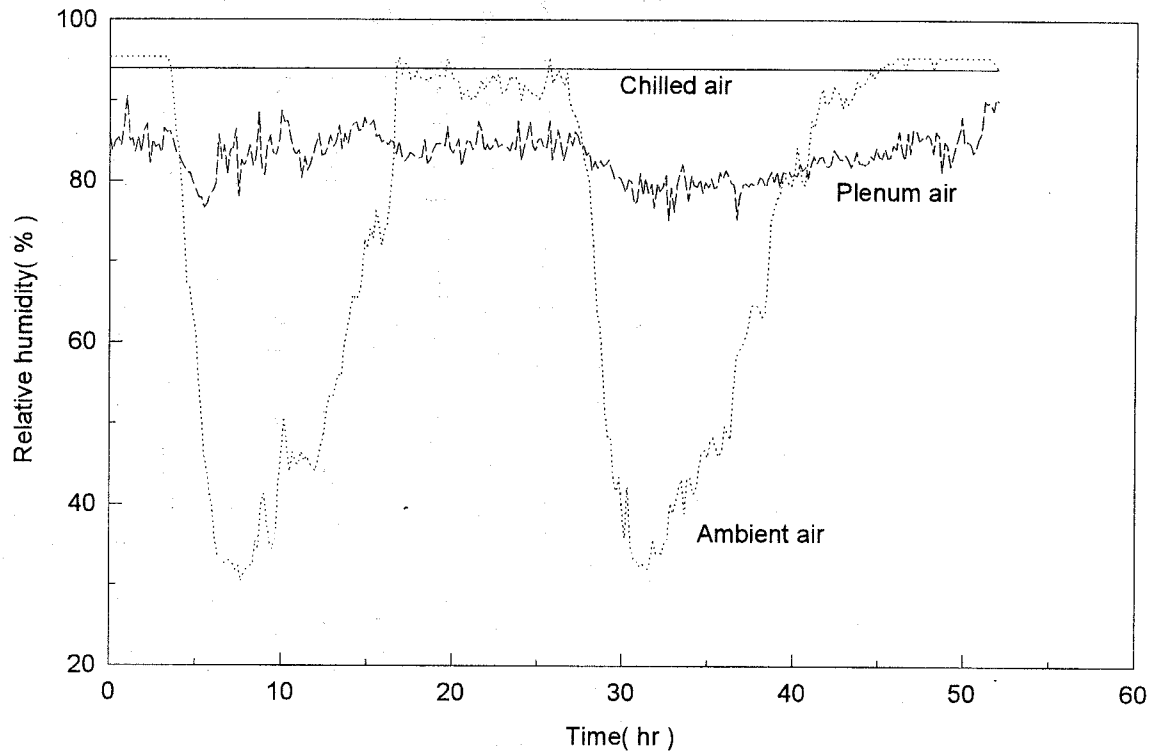


Fig. 5-8 Relative humidity of ambient, chilled and plenum air during the first cool-down test between August 28 and 30, 1998.

그림 5-9, 5-10은 2차 냉각실험에서 외기, 곡물냉각기출구 및 사일로 공기 압력실 냉각공기의 온도 및 상대습도를 나타낸 것이다. 실험기간중 외기온도는 최고 23.7℃, 최저 1.6℃로 최대온도차는 22.1℃였으며, 평균온도는 13.2℃를 나타내었다. 한편, 외기의 상대습도는 최고 96%, 최저 32%로 평균상대습도는 70%였으며, 곡물냉각기 출구공기의 상대습도는 최고 94%, 최저 42%, 평균 82%를 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 외기조건은 라니뇨의 영향으로 변화가 대단히 심하였으며, 실험시작 60시간경에는 강우와 함께 외기온도가 최저 1.6℃까지 저하하였다. 외기온도가 설정온도 5.5℃보다 2℃이상 낮은 64.2~68.7시간경에는 곡물냉각기가 정지하였으며, 외기가 3.5℃이상인 68.7시간부터는 다시 가동되었다. 한편, 곡물냉각기출구 냉각공기의 평균온도는 5.7℃, 표준편차 0.84으로 1차 냉각실험의 온도편차 $\pm 0.48^{\circ}\text{C}$ 보다 크게 나타났다. 이것은 실험기간중 외기조건의 변화가 심하였으며, 평균적으로 낮은 냉각부하로 인해 압축기의 무부하전자변, 재열기 및 증발기로의 고온고압가스 공급 및 응축기 팬의 제어가 이루어진 원인이 있는 것으로 판단되었다.

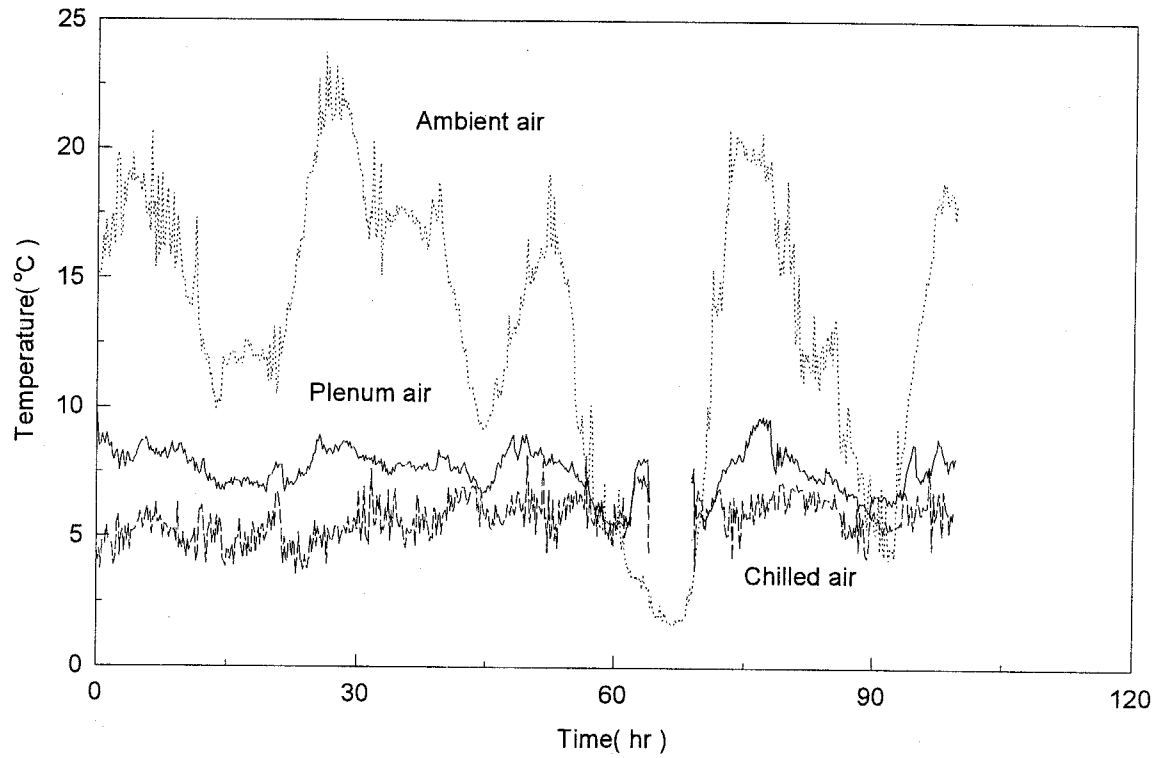


Fig. 5-9 Temperature of the ambient, chilled and plenum air during the second cool-down test between October 30 and November 3, 1998.

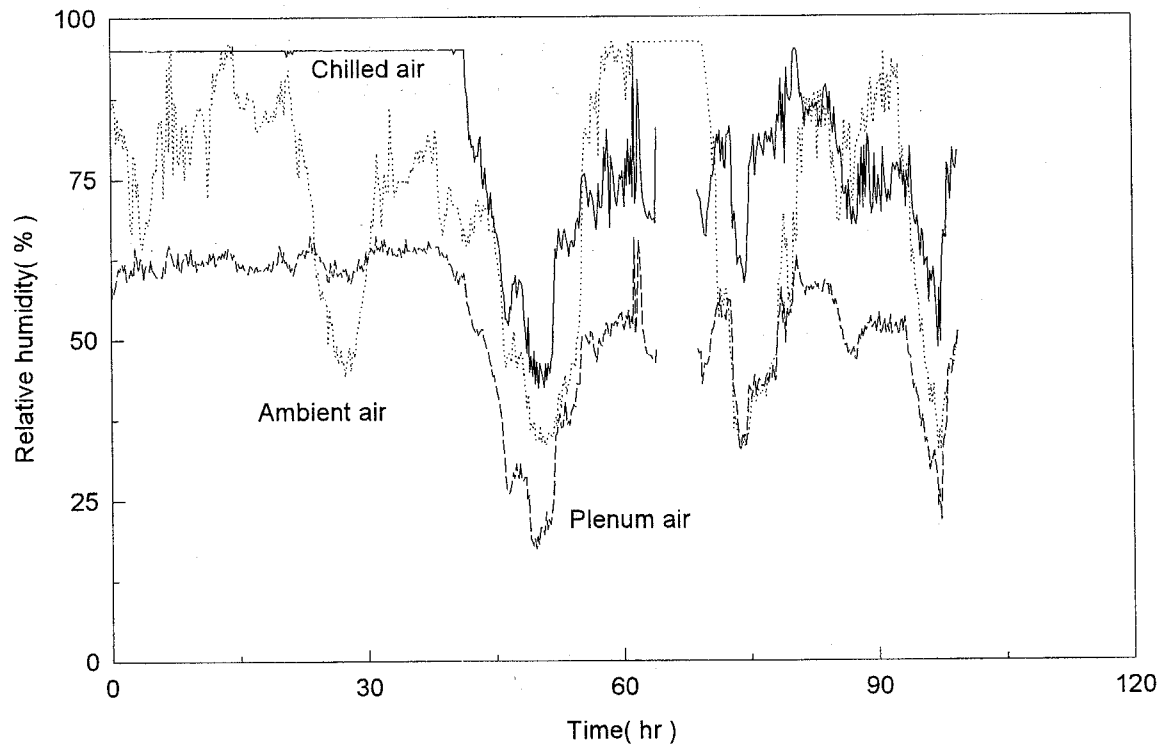


Fig. 5-10 Relative humidity of the ambient, chilled and plenum air during the second cool-down test between October 30 and November 3, 1998.

다. 송풍량

1차 냉각실험에서 냉각기간중 곡물냉각기 출구에 설치한 플로노즐에서 측정된 최대송풍량은 $92.0\text{m}^3/\text{min}$, 최소송풍량은 $55.4\text{m}^3/\text{min}$ 이었고, 평균송풍량은 $77.5\text{m}^3/\text{min}$ 로서 설계송풍량 $120\text{m}^3/\text{min}$ 보다 낮게 나타났다. 이것은 외기온도가 높아 냉각부하가 증가하여 송풍기의 댐퍼로 송풍량을 조절하였기 때문이었다. 한편, 냉각소요시간중 사일로 공기압력실의 최대정압은 86mmAq , 최소정압은 31mmAq 로서 식(4-9)에 의하여 구한 송풍량은 최대 $60.4\text{m}^3/\text{min}$, 최소 $27.1\text{m}^3/\text{min}$ 이었으며, 평균정압은 55mmAq 로서 벼의 냉각에 사용된 송풍량은 약 $42.5\text{m}^3/\text{min}$ 으로서 곡물냉각기 출구에서 측정된 냉각공기의 송풍량 $77.5\text{m}^3/\text{min}$ 과는 큰 차이를 나타내었다. 이와 같이 곡물냉각기 출구에 측정된 냉각공기의 송풍량과, 사일로 공기압력실의 정압을 이용하여 식(4-9)로 구한 송풍량과 차이가 발생한 것은 사일로의 통풍 및 배출을 위해 기존에 설치되어 있던 댐퍼와 점검창을 통한 냉각공기의 누설에 기인한 것으로 판단되었다. 따라서, 냉각공기의 누설이 약 45%정도에 달하는 것을 감안할 때 공기압력실 및 덕트에서의 냉각공기량의 손실을 막는다면 냉각소요시간은 현저하게 단축될 것으로 판단되었으며, 곡물냉각기의 보급시 냉각공기의 손실을 막을 수 있는 방안이 필요할 것으로 판단되었다. 한편, 곡물냉각기에서 냉각된 공기량은 냉각소요기간중 $244,755\text{m}^3$ 이었으며, 곡물층을 통과한 송풍량은 $133,875\text{m}^3$ 으로서 곡물량 305m^3 의 각각 80배 및 439배 정도에 달하였다.

2차 냉각실험에서는 플로노즐을 설치하지 않았으며, 공기압력실에서의 정압을 측정하여 식(4-9)로 곡물층을 통과한 냉각공기량을 예측하였다. 그 결과, 공기압력실의 평균정압은 149mmAq 였으며, 송풍량은 $58.8\text{m}^3/\text{min}$ 로 나타났다. 이 결과는 1차 냉각실험에서 곡물층을 통과한 송풍량 $42.5\text{m}^3/\text{min}$ 보다는 약 38%증가하였으나 설계송풍량보다는 적은 송풍량을 나타내었다. 이

는 냉각공기의 누설과, 곡물의 퇴적높이의 증가에 원인이 있는 것으로 판단되었다. 한편, 벼의 곡온이 설정온도인 5.5℃까지 냉각되는데 78시간이 소요되었으며, 이 시간중 4.5시간동안 곡물냉각기가 가동되지 않았으므로 73.5시간동안의 냉각공기량은 259,308m³이었다. 이 송풍량은 곡물량 486.1m³의 약 533배정도로서 공기의 분포가 균일할 때 곡물의 온도를 곡물층을 통과하는 공기온도까지 냉각시키는데 필요한 공기의 양은 곡물 체적의 600~750배정도가 소요된다는 Sauer(1992)의 결과와 유사하게 나타났다.

라. 소요전력량 및 냉각능력

곡물냉각기의 설계소요전력은 압축기 11.0kW, 송풍기 7.5kW, 응축기팬 2.2kW, 전자변 및 송풍기 댐퍼, 각종 동작지시램프 등이 0.5kW로서 총 21.2kW였다.

1차 냉각실험에서 냉각에 소요된 52.5시간동안 전력량은 1,160.5kWh로서 단위시간당 22.1kW가 소비된 것으로 나타났다. 이 결과는 4장에서 송풍기 댐퍼만이 제어될 때의 소비전력 22.8kWh와 유사하였다. 곡물 1톤당 소요전력량은 6.4kWh/tonne으로서 곡물냉각에 소요되는 전력량이 약 6kWh정도로라고 보고한 Maier(1992)와 유사한 값을 나타내었다.

2차 냉각실험에서는 곡물냉각기가 정지한 4.5시간을 제외한 95.5시간동안 소비전력은 1663.5kWh로서 단위시간당 17.4kW가 소비되어 4장에서 압축기의 무부하전자변이 작동하고, 재열기가 제어될 때의 소비전력 17.4kWh와 동일한 결과를 나타내었다. 따라서 댐퍼만이 제어될 때 소비전력 22.1kWh에 비해 약 27%정도의 에너지가 절감된 것으로 나타났다.

한편, 1차 냉각실험에서 외기조건과 냉각공기의 열물성치로부터 단위시간당 냉각능력을 구한 결과 51,497kcal/hr로 나타났다. 이 때 응축/증발온도는 43/7℃로서, 동일조건에 구한 이론적인 냉각능력 50,439kcal/hr에 비해 4장의

결과와 동일하게 약 3%정도 높은 값을 나타내었다. 또한, 냉각과정중 외기 공기로부터의 제습량은 시간당 44.6kg이었으며, 총 냉각시간중의 제습량은 약 2341kg에 달하였다.

제 3 절 증저온저장의 운영방안 및 시스템의 비용분석

1. 시스템의 비용분석

가. 전제조건

(1) 대상시설 및 규모

시스템의 비용분석은 300톤 규모의 사일로 5기를 갖는 미곡종합처리장에서 사일로 5기만의 물량 1,500톤을 대상으로 하였다. 수확초기에 가공하여 판매하기 위해 사각빈 등에서 상온저장하는 물량은 고려하지 않았다.

(2) 물벼반입기간 및 저장기간

반입되는 물벼의 함수율은 24%,w.b., 반입기간은 25일로 하였다. 또한, 저장기간은 평균기간으로 고려하여 6개월로 하였다.

(3) 저장방법

증저온 저장은 24%,w.b.의 물벼를 건조기로 19%,w.b.까지 건조한 후 5℃로 냉각하며, 냉각중 0.8%,w.b.정도가 건조되어 함수율 18.2%,w.b.의 벼를 2~3개월 저장하며, 18.2%,w.b.의 벼를 16.5%,w.b.까지 마무리 건조하여 10℃로 냉각저장하여 최종적으로 16%,w.b.가 되는 것으로 가정하였다. 곡물 냉각기는 본 연구에서 개발한 HSC-200M 1대에 의하며, 저장은 300톤 규모의 사일로에 저장하는 것으로 하였다.

한편, 증저온 저장에 따른 부가발생효과를 감안하기 위하여 관행방법과 비교하였으며, 관행방법은 반입기간중 물벼 24%,w.b.를 15.5%,w.b.까지 건조

하여 저장하며 저장중 환기를 통해 최종적으로 14.5%,w.b.까지 건조되는 것으로 가정하였다. 건조는 20톤 규모의 순환식건조기로 고려하였다.

(4) 비용기준

곡물냉각기 1대의 구입가격은 60,000,000원, 내용년수는 10년(법인세법 시행규칙 별표 2), 10년후 잔존가액은 구입가격의 10%(법인세법 시행규칙 별표 6)로 하였으며, 금융비용은 년리 5%(정부 지원)를 기준으로 하였다. 벼의 가격은 정부공매가인 145,580원/80kg, 등유가격은 438원/ℓ(물가자료), 전력비는 농가용(병)을 적용하여 36.7원/kW, 계약전력비는 1,070원(한국전력)으로 하였다. 한편, 비교를 위한 순환식건조기 1대의 구입가격은 33,600,000원(업체견적)으로 하였으며, 감가상각년도 및 잔존가액은 곡물냉각기와 동일하게 하였다.

나. 비용분석

(1) 시설의 설치비용

곡물냉각기 1대의 구입가격은 60,000,000원이며, 감가상각년도는 10년, 잔존가액은 10%이므로 연간 감가상각비는 다음과 같다.

$$60,000,000\text{원} \times 90\% / 10\text{년} = 5,400,000\text{원}$$

년리 5%이므로 연간 부담해야할 금융비용은 다음과 같다.

$$60,000,000\text{원} \times 5.0\% = 3,000,000\text{원}$$

따라서 곡물냉각기의 시설비는 8,400,000원이 된다.

한편, 통풍을 위한 송풍기(3.7kW×5대)의 구입가격은 10,800,000원(2,160,000원×5대)로서 감가상각비 및 금융비용을 합한 시설비는 1,512,000원이 된다.

따라서, 증저온저장시 추가로 부담해야할 설치비용은 6,888,000원이 된다.

(2) 건조기 능력향상에 따른 비용절감액

건조기의 1일 작업시간은 20시간, 용적율은 0.8, 벼 투입 및 배출에 소요되는 시간은 1.5시간, 시간당 평균건조속도는 0.8%,w.b.(농협미곡종합처리장 설계기준, 1997)로 하였으며, 24%,w.b.에서 19%,w.b.까지는 평균 0.9%,w.b., 19%,w.b.에서 16.5%,w.b.까지는 0.7%,w.b.로 할 때 순환식 건조기의 소요대수는 다음 식(5-1)으로 결정할 수 있다.

$$Q_d = \frac{V N T n}{t + \frac{M_1 - M_2}{a_1}} \dots\dots\dots (5-1)$$

- 여기서 Q_d : 1일 건조능력(t/day)
- V : 건조기 1대의 용량(t)
- N : 건조기 대수(대)
- T : 1일 건조작업시간(hr)
- n : 용적율(decimal)
- t : 벼 투입 및 배출 소요시간(hr)
- M₁ : 건조전 함수율(%,w.b.)
- M₂ : 건조후 함수율(%,w.b.)
- a₁ : 평균건조속도(%,w.b./hr)

24%,w.b.의 물벼 1,500톤을 25일의 반입기간중에 15.5%,w.b.까지 건조할 때 순환식건조기 소요대수는 2.3대인 반면, 24%,w.b.의 물벼를 19%,w.b.까지 건조하기 위해서는 1.3대가 필요하여 약 43%정도의 능력향상 효과가 있는 것으로 나타났다.

따라서 관행적인 방법과 증저온 저장방법에 필요한 건조기 댓수는 각각 2대 및 1대로 할 때 건조기 1대의 구입가격은 33,600,000원이므로 건조기의 설치비의 연간 절감액은 4,7040,000원이 된다.

(3) 저장시 전력비용

곡물냉각기의 시간당 소비전력은 수확기에 17.4kW, 하절기에 22.1kW로서 평균 19.8kW이며, 벼 300톤의 냉각에 소요되는 시간은 수확기 2일, 하절기 4일로서 평균 3일정도이다. 19%,w.b.내외의 벼의 냉각에 1회, 16.5%,w.b.의 벼 냉각에 1회, 재냉에 1회로 총 3회를 냉각하는 것으로 할 때, 사일로 1기 당 냉각시간은 216시간, 사일로 5기의 냉각에 소요되는 시간은 1,080시간이며, 21,384kWh의 전력이 소요된다.

따라서, 연간 전력비용은 다음과 같다.

$$21,384\text{kWh} \times 36.7\text{원} + 22.1\text{kW} \times 1,070\text{원} \times 12\text{월} = 1,068,557\text{원}$$

한편, 상온저장시 통풍비는 $11.798\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^3$ 정도이며, 약 3회정도가 필요하다. $70\text{m}^3/\text{min}$, 190mmAq 의 능력을 가진 3.7kW 송풍기로 통풍할 때 통풍비는 $0.128\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^3$ 이 되어 300톤 1개 사일로의 1회 통풍에 소요되는 시간은 87.3시간이 되며, 3회 통풍에 소요되는 시간은 261.9시간이 된다. 따라서 5개 사일로에 대해 3번 통풍을 실시할 때 총 소요전력은 4,845.2kWh가 되어 연간 전력비용은 다음과 같았다.

$$4,845.2\text{kWh} \times 36.7\text{원} + 3.7\text{kW} \times 5\text{대} \times 1,070\text{원} \times 12\text{월} = 415,359\text{원}$$

이상의 결과에서 증저온저장시 추가로 부담해야 할 전력비는 연간 653,198원이 된다.

(4) 건조능력 향상에 따라 에너지 절감액

상온저장 방법에서 총 건조시간은 1134.4시간으로 나타났으며, 증저온 저장에서는 1033.9시간으로 나타났다.

순환식건조기의 연료소모량은 15 l/hr 이므로 관행적인 방법에서 총 연료

소모량은 17,016 ℓ 인 반면 중저온저장의 경우 총 연료소모량은 15,502.5 ℓ 로서 약 8.9%정도의 연료절약효과가 있는 것으로 나타났다. 연료소모량에 의한 비용절감액은 다음과 같다.

$$(17,016 - 15,502.5) \ell \times 438 \text{원} / \ell = 662,913 \text{원}$$

또한, 건조기의 시간당 소비전력은 11.55kW(이송스크류 : 0.75kW, 상부스크류 : 0.75kW, 버킷엘리베이터 : 1.5kW, 배풍송풍기 : 7.5kW(3.7kW×2set), 정선 송풍기 : 0.75kW, 휘더 : 0.4kW)이므로 건조에 필요한 소비전력은 상온저장이 13,102.2kWh가 중저온저장이 11,941.5kWh로서 8.9%정도의 절약효과가 있는 것으로 나타났다. 전력소비량에 따른 비용절감액은 다음과 같다.

$$(13,102.2 - 11,941.5) \text{kWh} \times 36.7 \text{원} + 11.55 \text{kW} \times 1,070 \text{원} \times 12 \text{월} = 190,900 \text{원}$$

(5) 중량증가에 따른 이윤

중저온저장시 최종함수율을 16.0%,w.b., 상온저장시 최종함수율을 14.5%,w.b.라 할 때 정미의 수량은 약 1.5%정도 많아진다. 따라서 중량증가에 따른 이윤은 다음과 같다.

$$1,500 \text{톤} \times 1,000 \text{kg} / \text{톤} \times 1.5\% \times 145,580 \text{원} / 80 \text{kg} = 40,944,375 \text{원}$$

(6) 건물중량손실율의 저하에 따른 이윤

중저온저장시 1,500톤을 10℃에서 6개월저장시 중량건물손실에 따른 자연감모량은 5.4톤인데 비해 상온저장시 자연감모량은 12.6톤에 달한다. 자연감모량 차이에 의한 이윤은 다음과 같다.

$$(12.6 - 5.4) \text{톤} \times 1,000 \text{kg} \times 145,580 \text{원} / 80 \text{kg} = 13,102,200 \text{원}$$

(7) 비용비교

이상의 (1)~(6)항에서의 결과를 정리하면 다음과 같다.

먼저 곡물냉각기를 사용한 증저온 저장시 추가로 연간 부담할 금액은 시설의 설치비용 6,888,000원과 전력비 653,198원으로 7,541,198원이 된다.

반면, 증저온 저장시 이윤은 건조기 능력향상에 따른 비용절감액 4,704,000원, 건조능력 향상에 따른 에너지 절감액 853,813원, 수량증가에 따른 이윤 40,944,375원, 건물중량손실을 저하에 따른 이윤 13,102,200원으로 총 59,604,388원에 달한다.

비용분석 결과, 증저온 저장시 이윤에서 추가로 부담해야할 비용을 제하면 연간 52,063,190원의 이윤이 발생하여 경제성이 높다고 할 수 있다. 이와 같은 결과는 정확한 품온 및 함수율관리가 선행되어야 한다.

이외에도 결로의 최소화에 따른 부패방지, 미생물 및 해충에 의한 부패방지 및 16%,w.b.의 쌀이 갖는 식미에 의한 효과가 있을 수 있다.

이 결과는 단순한 비용분석결과로서, 비용과 품질 등을 고려한 세부적인 경제성검토가 필요할 것으로 판단되었다.

2. 증저온 저장의 운영방안

증저온 저장의 기본방향, 곡물냉각기의 활용방법, 벼의 냉각시 유의사항, 벼 냉각 종료 및 재냉각방법 등에 대해서는 “한성곡물냉각기” 운영메뉴얼로 별도로 유인되어 있으며, 본 보고서에 첨부하였다.

3. 산업화

개발된 곡물냉각기는 '98 SIEMSTA에 출품하였으며, 농축수산신문, 농민신문 등 전문지를 통해 기사화되고 있다.

또한, 동기술에 대해서는 이미 특허를 출원하였으며, 현재 농협 및 민간미곡종합처리장 등 2개소에 판매하여 '98년 수확기부터 현장에서 직접 사용되고 있다.

본 연구에서 개발된 증저온저장 체계와 곡물냉각기는 본 연구과제의 참여기업인 한성공업(주)로 기술이전하였으며, 한성공업(주)(☎0653-830-8235)에서는 양산체계를 구축하고 현재 시판중에 있다. 또한, 향후 정책사업으로 보급확대 방안을 강구할 것이며, 이에 따른 홍보계획도 수립하고 있다.

제 4 절 결론 및 요약

곡물냉각기(HSC-200M)을 이용하여 벼의 냉각특성을 구명하기 위하여 락곡종합처리장 저장빈에서 2회의 냉각실험을 실시하였다. 1차 냉각실험은 하절기인 '98년 8월 28일부터 3일동안 200톤 규모의 사일로에 대하여 실시하였으며, 2차 냉각실험은 수확기인 '98년 10월 30일부터 5일동안 300톤 규모의 사일로에서 벼를 대상으로 실시하였다. 또한, 1,500톤의 저장능력에 대하여 곡물냉각기를 이용한 중저온저장에 따른 비용분석을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 1차 냉각실험에서 초기곡온 23.6℃, 함수율 19.3%인 벼 180.3톤을 14℃까지 냉각시키는데 52.5시간이 소요되었으며, 냉각을 통해 함수율은 약 0.6%,w.b.가 감소하였다. 또한, 2차 냉각실험에서 초기곡온 16.1℃, 함수율 19.2%,w.b.인 벼 272.2톤을 5.5℃까지 냉각시키는데 78.0시간이 소요되었다.

나. 1, 2차 냉각실험에서 냉각공기온도를 각각 8.0, 5.5℃로 설정하였을 때, 곡물냉각기출구의 냉각공기온도는 각각 $8.0 \pm 0.48^\circ\text{C}$, $5.7 \pm 0.84^\circ\text{C}$ 를 나타내어 정밀하게 제어되고 있음을 알 수 있었으며, 2차 냉각실험에서의 온도편차가 1차 냉각실험보다 높게 나타난 것은 냉각부하가 적었고, 외기조건이 급격하기 변화하여 압축기 무부하전자변, 재열기 및 응축기 팬이 제어되었기 때문으로 판단되었다.

다. 1차 냉각실험에서 곡물냉각기에서 냉각된 공기량은 평균 $77.5\text{m}^3/\text{min}$ 인데 비해 곡물층을 통과한 냉각공기량은 $42.5\text{m}^3/\text{min}$ 로서 약 45%의 냉

각공기가 누설되어 이에 대한 방지책이 필요함을 알 수 있었다.

라. 냉각부하가 큰 하절기에 실시한 1차 냉각실험에서는 댐퍼만이 제어되었으며, 소요전력은 평균 22.1kWh를 나타낸 반면, 냉각부하가 적은 수확기에 실시한 2차 냉각실험에서는 압축기 무부하전자변, 응축기 팬등이 제어되었으며, 소요전력은 평균 17.4kWh로 나타나 하절기의 약 27%정도의 에너지가 절감된 것으로 나타났다.

마. 비용분석 결과, 증저온저장에 의해 연간 추가부담 비용은 7,541,198원 인데 비해 59,604,388원의 이윤이 추가로 발생하여 증저온저장시 연간 52,063,190원의 이윤이 발생할 것으로 예측되어 경제성이 높은 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 김동철, 김의웅, 금동혁. 1998. 벼의 호흡특성. 한국농업기계학회지, 23(45) : 335-342.
2. 김동철, 김의웅, 금동혁. 1998. 벼 퇴적층 냉각 시뮬레이션. 한국농업기계학회지. 심사중
3. 김동철, 김의웅, 금동혁, 한종규. 1998. 곡물냉각기의 개발. 한국농업기계학회지. 심사중
4. 금동혁. 1986. 벼 건조과정 분석에 필요한 자료 및 관련식. 한국농업기계학회지, 11(2) : 92-102.
5. 금동혁, 박선태. 1996. 벼 상온통풍건조의 최소송풍량비에 관한 연구. 한국농업기계학회지, 21(1) : 60-71.
6. 금동혁, 박춘우. 1997. 곡류 및 벼싹류의 평형함수율 및 박층건조방정식에 관한 연구. 한국농업기계학회지, 22(1) : 11-20.
7. 금동혁, 한충수, 박춘우. 1998. 시뮬레이션에 의한 누적혼합 상온통풍건조의 송풍기 및 가열기의 운영방법에 관한 연구. 한국농업기계학회지 23(3) : 229-244.
8. 김만수. 1981. 곡물의 물리적 특성 및 열특성에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
9. 김효경. 1988. 공기조화. P34, 동명사. 서울.
10. 성균관대. 1998. 원형철제빈을 이용한 벼의 건조 및 저장핸드북. 경기도

역 컨소시엄 총서 2. P 13.

11. 이승구. 1996. 원예작물의 수확후 생리, P157, 성균사.
12. 정종훈, 라리 알 버어마. 1991. 벼의 압력손실 및 호흡모델과 자동통풍에 관한 연구. 한국농업기계학회지 16(3) : 298-311.
13. 한국공업표준협회. 1992. 조임기구에 의한 유량측정방법(한국공업규격 KS A 0612). P1, 서울.
14. 日本冷凍協會. 1981. 冷凍空調便覽. 廣濟堂, 東京. P 555.
15. 後藤清和, 三輪精博, 山田勝義. 1993. 穀粒の呼吸特性に関する研究, 日本農業機械學會誌 55(3) : 51-57.
16. 疋田慶夫, 韓 東海, 安部武美. 1996. 粃の呼吸速度に関する研究, 日本農業機械學會誌 58(2) : 25-30.
17. 村田 敏, 中馬 豊, 大塚寛治. 1976. 農産物貯藏庫の通氣と換氣に関する式, 日本農業機械學會誌 38(2) : 233-238.
18. 村田 敏, 河野俊夫, 伊賀上隆, 小出章二, 田中史彦. 1991. 禾穀類穀物の呼吸特性, 日本農業機械學會九州支部誌 40 : 61-65.
19. 村田 敏, 河野俊夫, 中野浩平, 喜田環樹, 田中史彦, 關 童司, 小出章二. 1993. 穀物の呼吸特性(第2報), 日本農業機械學會九州支部誌 42 : 61-67.
20. 河野俊夫, 中野浩平, 喜田環樹, 村田 敏, 内野敏剛, 井上眞一. 1996. 赤外線ガス分析計による粃・小麥の呼吸特性の測定, 日本農業機械學會誌 58(6) : 21-29.
21. Adel A. Kader. 1992. Postharvest technology of horticultural crops,

P93, Univ. of California, USA.

22. Agena, M. U. 1961. Untersuchungen über Kalteeinwirkungen auf lagerende Getreidefruchte mit verschiedenen Wassergehalte. Dissertatio for D. Agric., Bonn University. 112pp.
23. Anon. 1969. The merits of drying or cool storage for grain. ; Getreidetrocknung oder Kuehlkonservierung? Tageszeitung fuer Brauerei, 66(5) : 14.
24. Anon. 1972. Influence of moisture and temperature on keeping quality of cereals. *Tecnica Molitoria*. 23(18) : 615-619, 622-624.
25. Anon. 1976. Protecting stored grain; heat, cold, or suffocation. *Rural Research*; No. 91, 18-20.
26. Anon. 1979. Cereal pest control with a cooling system. *Tecnica Molitoria*. 30(9) : 664-666.
27. Anon. 1980. Cold storage of grain.; Kuehikonservierung von Getreide. *Deutsche, Muller Zeitung*. 78(6) : 86-87.
28. Armitage, D.M., Burrell, N.J. 1978. *Journal of Stored Products Research*. 14(4) : 223-226.
29. Armitage, D. M. 1980. The effect of aeration on the development of mite populations in rapeseed. *J. Stored Prod. Res.* 16 : 93-102.
30. Armitage, D. M. 1986. Pest control by cooling and ambient air drying. *Int. Biodeterioration*. (Suppl.) 22 : 13-20.
31. Armitage, D. M., and George, C. L. 1986. The effect of three species

- of mites upon fungal growth on wheat. *Appl. Acarol.* 2 : 111-125.
32. Armitage, D. M., and Liewellin, B.E. 1987. The survival of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) and *Sitophilus granarius*(L.) (Coieoptera: Curculionidae) in aerated bins of wheat during British winters. *Bull. Entomol. Res.* 77 : 457-466.
 33. Armitage, D. M., and Stables, L. M. 1984. Effect of aeration on established insect infestation in bins of wheat. *Prot. Ecol.* 6 : 63-73.
 34. Armitage, D. M. Day, P. G., and Lewis, G. J. 1983. The effect of aeration on the vertical distribution of grain beetles (Coleoptera) in wheat. *Bull. Entomol. Res.* 73 : 233-237.
 35. Armitage,D.M., Binns,T.J., Fleming,D.A., Collins,D.A. and Cook,D. 1993. Recent advances toward the development of an integrated grain storage strategy. *Aspects of Applied Biology.* 26 : 407-416.
 36. Armitage,D.M., Cogan,P.M. and Wilkin,D.R. 1994. Intergrated pest management in stored grain : combining surface insecticide treatments with areation. *J. of Stored Products Research.* 30(4) : 303-319.
 37. Arnold, R. E. 1963. Effects of harvest damage on the rate of fall in viability of wheat stored at a range of moisture levels. *J. Agric. Eng. Res.* 8 : 7-16.
 38. ASAE. 1977. *Agricultural Engineers Yearbook.* ASAE S352. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI.
 39. ASHRAE Handbook. 1991. P22.9.

40. Bakker Arkema, F.W., Rosenau, J.R. and Clifford, W.H. 1971. The effect of grain surface area on the heat and mass transfer rates in fixed and moving beds of biological products. Transactions of the ASAE. 14(5) : 864-867.
41. Blum, P. H., and Gilbert, S. G. 1957. Mechanism of water sensitivity. Proc. Am. Soc. Brew. Chem. 57 : 22.
42. BOCK. 1998. Sale brochure semi-hermetic compressors. Germany.
43. Boser, F. 1968. Grain cooling and its application. Special report. Sulzer-Escher Wyss, Lindau, Germany.
44. Braude, R., Low, A. G., Mitchell, K. G., Pittman, R. J., and Wilkin, D. R. 1980. Effect of flour mite infestation *Acarus siro* L. on the nutritive value of pig diets. Vet. Rec. 106 : 35-36
45. Burges, H. D., and Burrell, N. J. 1964. Cooling bulk grain in the British climate to control storage insects and to improve keeping quality. J. Sci. Food Agric. 15 : 32-50.
46. Brunner, H. 1980. Grain cooling in steel silos.; Getreidekuehlung in Stahlsilos. Muehle Mischfuttertechnik. 117(32) : 423-424.
47. Brunner, H. 1986. Cold preservation of grain. Pages 219-229 in: Proc. Int. Work. Conf. Stored Prod. Prot., 4th. E. Donahaye and S. Navarro, eds. Maor-Wallach Press, Jerusalem.
48. Brunner, N. J. 1982. Refrigeration. Pages 407-441 in: Storage of Cereal Grains and Their Products. 3rd ed. C. M. Christensen, ed.

American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

49. Brunner, H. 1987. Technical profile : cold storage of grain. *World Grain*. 5(9) : 31-34.
50. Burrell, N.J. 1965. Refrigeration of damp grain. *Farm and country*. February 1965.
51. Burrell, N. J. 1966. Refrigerated damp grain storage. *Pest. Infest. Res.* 17-19.
52. Burrell, N. J. 1967. Grain cooling studies II. Effect of aeration on infested grain bulks. *J. Stored Prod. Res.* 3 : 145-154.
53. Burrell, N. J. 1969. The chilled storage of grains. *Ceres* 5 : 15-20.
54. Burrell, N. J., and Havers, S. J. 1970. Survey of some farm stores of ventilated grain. *J. Sci. Food Agric.* 21 : 458-464.
55. Burrell, N. J., and Havers, S. J. 1976. The effects of cooling on mite infestations in bulk grain. *Ann. Appl. Biol.* 82 : 192-197.
56. Burrell, N. J., and Laundon, H. J. 1967. Grain cooling studies. I. Observations during large scale refrigeration test on damp grain. *J. Stored Prod. Res.* 3 : 125-144.
57. Burrell, N. J. 1974. Chilling. In : Christensen, C. M. (ed.) *Storage of cereal grain and their products*. A.A.C.C, St. Paul, Minnesota.
58. Burrell, N. J., Armitage, D. M., and Hill, S. T. 1978. The effect of cooling damp barley before airtight storage. *J. Stored Prod. Res.* 14 : 53-59.

59. Burrell, N. J., Knight, G. P., Armitage, D. M., and Hill, S.T. 1980. Determination of the time available for drying rapeseed before the appearance of surface molds. *J. Stored Prod. Res.* 16 : 115-118.
60. Burrell, N.J. 1982. Refrigeration. In : Christensen, C. M. (ed.) *Storage of cereal grain and their products.* A.A.C.C, St. Paul, Minnesota.
61. Christensen, C. M., and Kaufmann, H.H. 1969. *Grain Storage: The Role of Fungi in Quality Loss.* University of Minnesota Press, Minneapolis.
62. Chuma, Y., Uchida, S. and Shemsanga, K.H.H. 1983. Air flow resistance through a packed bed of selected grains. *J. of the Faculty of Agriculture (Kyushu University, Japan).* 27 (3/4) : 115-125.
63. Connell, P. J., and Johnston, J. H. 1981. Costs of alternative methods of grain insect control. *Bur. Agric. Econ. Aust. Occ. Pap.* 61.
64. Cunney, M. B., Williams, P. A., and Morley, S. J. 1986. Application of engine driven heat pumps to grain drying with refrigerated storage. *Comm. Eur. Comm. Rep. EUR 10303.* 137pp.
65. David, M. H., Mills, R. B., and White, G. D. 1977. Effects of low temperature acclimation on developmental stages of stored product insects. *Environ. Entomol.* 6 : 181-184.
66. Da-Wen-Sun, Woods, J.L. 1994. Low temperature transfer characteristics of wheat in thin layers. *Transactions of ASAE.* 37(6) : 1919-1926.

67. Desmarchelier, J. M. 1988. The relationship between wet-bulb temperatures and the intrinsic rate of increase of eight species of stored product coleoptera. *J. Stored Prod. Res.* 24 : 107-113.
68. Disney, R. W. 1954. The specific heat of some cereal grains. *Cereal Chem.* 31 : 229-239.
69. Donahaye, E., Navarro, S. and Calderon, M. 1974. Studies on aeration with refrigerated air. III. Chilling of wheat with a modified chilling unit. *Journal of Stored Products Research.* 10(1) : 1-8.
70. Elder, W.B. 1980. Grain refrigeration systems incorporating modular cooling units. *Australian Refrigeration, Air Conditioning and Heating.* 34(7) : 8-13.
71. Elder, W. B. 1984. Aeration with refrigerated air. Pages 405-458 in: *Proc. Aust. Dev. Asst. Course on Preservation of Stored Cereals(1981).* CSIRO, Canberra.
72. Elder, W. B., Ghaly, T. F., and Thorpe, G. R. 1984. Grain refrigeration trials in Australia. Pages 623-643 in: *Developments in Agricultural Engineering 5. Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storage.* B. E. Ripp et al, eds. Elsevier, Amsterdam.
73. Engerth, H., Berg, F. and Plietsch, A. 1970. Comparison of different methods of cooling germination grain. ; *Gegenueberstellung verschiedener Moeglichkeiten der Keimgutkuehlung.* *Brauwissenschaft.* 23(6) : 209-17.
74. Evans, D. E. 1983. The influence of relative humidity and thermal

- acclimation on the survival of adult grain beetles in cooled grain. *J. Stored Prod. Res.* 19 : 173-180.
75. Evans, D. E. 1987a. Some biological and physical constraints to the use of heat and cold for disinfecting and preserving stored products. Pages 149-164 in: *Proc. Int. Work. Conf. Stored Product Protection*, 4th. E. Donahaye and S. Navarro, eds. Maor-Wallach Press, Jersalem.
76. Gorbunov,A.V., Zdorov,A.B. and Novoselov,S.V. 1987. Prospects for utilization of cold storage for grain. *Kholodil' naya-Tekhnika.* 1 : 30-35.
77. Gough,M.C. 1985. Physical changes in large-scale hermetic grain storage. *J. of Agricultural Engineering Research.* 31(1) : 55-65.
78. Gough,M.C., McFarlane,J.A. 1984. Aeration of stored grains : some psychrometric considerations. *Tropical Stored Products Information (UK).* 50 : 32-35.
79. Griffiths, D. A., Hodson, A. C., and Christensen, C. M. 1959. Grain storage fungi associated with mites. *J. Econ. Entomol.* 52 : 514-518.
80. Gustafson, R.J., Morey, R.V. 1979. Study of factors affecting quality changes during high temperature drying. *Transactions of the ASAE.* 22(4) : 926-932.
81. Hellemar, Jan. 1993. The big chill : a grain handling alternative. *Proceed. Geaps Exchange '93.* Geaps, Minneapolis : 63-74.
82. Heidt, H. 1963. Grain chilling, a valuable aid in combine harvesting.

- Die Mühle und Mischfuttertechnik. 100(39) : 417-418.
83. Hodges, T.O., Converse, H.H. and Sauer, D.B. 1971. Some effects of cooling rates on quality of high moisture corn. Transactions of the ASAE. 14(4) : 649-655.
84. Hughes, A. M. 1976. The Mites of Stored Food and Houses. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London.
85. Hunter. 1975. Refrigeration of bulk wheat in a thermally insulated silo for control of insect infestation. Australian Refrigeration, Air Conditioning and Heating. 29(12) : 38-44.
86. Hunter, A. J., and Taylor, P. A. 1980. Refrigerated aeration for the preservation of bulk grain. J. Stored Prod. Res. 16 : 123-131.
87. Hyde. M. B. 1965. Principles of wet grain storage. J. Proc. Inst. Agric. Eng. 21 : 75-82.
88. Hyde, M. B. 1968. Successful storage of high moisture grain. Research is overcoming the problems and complications involved. Esso Farmer 20(3) : 11-14.
89. Huzayyin, A.S. 1973. Unsteady state cooling of high moisture corn in deep beds. Dissertation Abstracts International, B; 33980 3614; Order no. 73-4331.
90. Huzayyin, A.S., Hodges, T.O. and Miller, P.L. 1973. Unsteady state cooling high moisture corn. Transactions of the ASAE. 16(4) : 717-723.

91. Hyde, M. B., and Burrell, N. J. 1969. Control of infestation in stored grain by airtight storage or by cooling. Pages 412-419 in: Proc. Br. Insectic. Fungic. Conf., 5th.
92. Hyde, M. B., and Berrel, N. J. 1973. Some recent aspects of grain storage technology. Pages 313-341 in: Grain Storage: Part of a system. R. N. Sinha and W. E. Muir, eds. AVI Publishing, Westport, CT.
93. Ihen, H. 1967. Advantages and disadvantages of chilled grain preservation. Die Mühle und Mischfuttertechnik. 104(42) : 542-544.
94. Ihne, H. 1969. Cold storage of grain. ; Kuehlkonservierung von Getreide. Muehle. 106(13) : 201-02.
95. Ihne, H. 1969. Cold storage of grain. Kuehlkonservierung von Getreide. Deutsche Mueller Zeitung. 67(10) : 236-238.
96. Ihne, H. 1971. New knowledge on grain cooling. ; Neue Erkenntnisse der Getreidekuehlung. Muehle. 108(46) : 679-681.
97. Ihne, H. 1971. Barley cooling and preservation. ; Gerstenkuehlung und Konservierung. Brauereitechniker. 23(2) : 10-13.
98. Isaacs, G. W. 1959. Airtight storage: Another way to handle high moisture grain. World Farm. 1(5) : 18-20,36.
99. Jacobi, H. 1983. Ensurance of high quality of grain by carefully directed treatment of cereals with atmoshperic and technically cooled air. Developments in Food Science; 5A, 341-345.

100. Jakubowska, J. 1973. Low temperature for controlling grain and flour pests. II. Maintaining low grain temperature in the warehouse. *Przegląd Zbozowo Młynarski*. 17(9) : 12-13.
101. Jones, J.C., Wootton, M. and Green, S. 1992. Measured thermal diffusivities of cereal products. *Food Australia*. 44(11) : 501-502, 504.
102. Kanujosa, B.W.T. 1987. Analysis of rough rice aeration under tropical conditions. *Dissertation Abstracts International*. 48(4) : 933.
103. Kondratyuk, G.G. 1980. Cooling of the walls of a container filled with grain. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Pishchevaya Tekhnologiya*. No. 4 : 102-104.
104. Kuz'mina, O.V. 1984. Effect of hydrothermal treatment on changes in the nutritive and consumer properties of rice. *Izvestiy Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Pishchevaya Tekhnologiya*. No. 6 : 36-38.
105. Kreyger, J. 1967. Drogenstoffeverliezen en verandering van de gebruikswaarde van tarwe bij geventileerde bewaring. Pages 33-34 in: *Jaarb. Inst. Bewar. Verwek Landb. Prod. IBVL*. Wageningen, Holland.
106. Kreyger REYGER, J. 1972. Drying and storing grains, seeds and pulses in temperate climates. Publikatie 205. *Inst. Bewar. Verwek Landb. Prod. IBVL*. 333pp.
107. Laederach, C.F. 1978. Grain storage in silos ; Getreidelagerung in Siloanlagen. *Muehle I Mischfuttertechnik*. 115(6) : 74-76.

108. Lai, F.S. 1980. Three dimensional flow of air through non uniform grain beds. Transactions of the ASAE. 23(3) : 729-734.
109. Linko, P. 1960. Current research on the biochemistry of grain storage. Cereal Sci. Today 5 : 302-306.
110. Longstaff, B. C. 1987. Environmental manipulation as a physiological control measure. Pages 47-62 in: Proc. Work. Conf. Stored Prod. Prot. 4th. E. Donahaye and S. Navarro, eds. Maro-Wallach Press, Jerusalem.
111. Lyubarskii, L., Skorovarov, M. and Malin, N. 1974. Improving the operational efficiency of coolers in grain driers. Mukomol'no elevatornaya u Kombikormovaya Promyshlennost. No. 5 : 14-15.
112. Maier, D.E., S.G. Ilangantileke and H. Brunner. 1990. Grain cooling in southeast Asia - a comparison of conventional and chilled aeration. Int. Agr. Eng. Conference, Bangkok, Thailand : 1-30.
113. Maier, D.E. 1992. The chilled aeration and storage of cereal grains. Ph.D thesis, Michigan State University.
114. Maier, D.E. 1994. Chilled aeration and storage of U.S. crop-a review. Proceedings of the 16th Int. Working Conference on Stored-product Protection-Vol 1, Canberra, Australia : 300-311.
115. Mathlein, R. 1961. Experiments with fresh air treatment for the control of grain storage pests. Statens Vaextskyddsanst Medd. 12 : 87, 99-125.

116. Mattei, J. N. 1968. Measures de l'intensite du degagement de gaz carbonique de divers graines et grains. Ind. Aliment. Agric. 1968 : 789-794.
117. Mccune, W. E., Person, N. K., and Sorenson, J. W. 1963. Conditioned air storage of grain. Trans. ASAE. 6 : 186-189.
118. Morris, W. H. M., and Isaacs, G. W. 1965. Preservation of high moisture grain in oxygen free storages. Paper to C. I. G. R. Seminar, Cambridge.
119. Morey, R.V., Gustafson, R.J., Cloud, H.A. and Walter, K.L. 1978. Energy requirements for high low temperature drying. Transactions of the ASAE. 21(3) : 562-567.
120. Muehlbauer, w. 1982. Recent trends in drying, refrigerated storage and storage of cereals and maize.;Entwicklungstendenzen bei der Trocknung, Kuehlkonservierung und Lagerung von Getreide und Mais. Muehle Mischfuttertechnik. 119(29) : 397-399.
121. Munday, G. D. 1965. Refrigerated grain storage. J. and proceedings of the Ins. of Agri. Eng., 21(2) : 65-74.
122. Munday, G. D. 1968. Refrigerated grain storage. J. Proc. Inst. Agric. Eng. 21 : 65-74.
123. Mühlbauer. W. 1988. Developing trends in drying, chilling and storage of grain and maize. Die Mühle und Mischfuttertechnik. 125(5) : 54-58.

124. Navarro, S., Donahaye, E. and Calderon, M. 1973. Studies on aeration with refrigerated air. II. Chilling of soybeans undergoing spontaneous heating. *Journal of Stored Products Research*. 9(4) : 261-268.
125. Navarro, S., Donahaye, E. and Calderon, M. 1973. Studies on aeration with refrigerated air. I. Chilling of wheat in a concrete elevator. *Journal of Stored Products Research*. 9(4) : 253-259.
126. Novoselov, S., Sorochinskii, V., Kirzhner, A. and Kukovskaya, A. 1976. Aeration of rice stored silos. *Mukomol'no elevatornaya u Kombikormovaya Promyshlennost'*. No. 9 : 30-31.
127. Novoselov, S., Verbitskii, V., Ryazantseva, M., Maratov, B. and Migerov, G. 1983. Continuous cooling of rice. *Mukomol'no elevatornaya i Kombikormovaya Promyshlennost'*. No. 9 : 22-23.
128. Noyes, R.T., Lynch, G.A. and Williams, E.E. 1981. Optimum low profile continuous crossflow grain drying and conditioning method and apparatus. United States Patent.
129. Noyes, R.T., Williams, E.E. 1982. Advanced optimum continuous crossflow grain drying and conditioning method.
130. Odenthal, A. 1986. Physical relationships between cereal grain cooling, drying and energy requirements : *Physikalische Zusammenhaenge zwischen Getreidekuehlung, getreidetrocknung und energiebedarf*. *Muehle Mischfuttertechnik*. 123(33) : 445-447.
131. Oxley, T. A. 1948. Study of the water content of single kernels of

- wheat. *Cereal Chem.* 25 : 111-127.
132. Pichai, S., Hunt, D.R. 1982. Combine engine waste heat for grain conditioning. *Transactions of the ASAE.* 25(1) : 58-61.
133. Reed, C. 1987. The precision and accuracy of the standard volume weight method of estimating dry weight losses in wheat, grain sorghum and maize and a comparison with the thousand grain mass method in wheat containing fine material. *J. Stored Prod. Res.* 23 : 223-231.
134. Reimann, E. 1927. The influence of temperature on grain storage. *Die Mühle.* (12) : 367-368.
135. Roberts, E. H. 1972 Storage environment and control of viability. Pages 14-58 in: *Viability of Seeds.* E. H. Roberts, ed. Chapman and Hall, London.
136. Ryazantseva, M., Nagornaya, L. and Khlebyankin, A. 1977. Economic efficiency of cooling rice during storage. *Mukomol'no elevatornaya u Kombikomnaya Promyshlennost'.* No. 2 : 13-14.
137. Ryniecki, A., Jayas, D.L. and Muir, W.E. 1993. A generalized control-strategy for near-ambient drying of wheat under Canadian-prairie climate. *Transactions of ASAE.* 36(4) : 1175-1183.
138. Sanderson, D.B., Muir, W.E., Sinha, R.N., Tuma, D. and Kitson, C.I. 1989. Evaluation of a model of drying and deterioration of stored wheat at near-ambient conditions. *J. of Agricultural Engineering Research.* 42(3) : 219-233.

139. Scholtz, B. 1962 Atmungsverluste bei Weizen in Abhängigkeit von Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt. Landtech. Forschung 212 : 48-52.
140. Sebestyen, E.J. 1972. Developments in cold storage of cereals. Milling. 154(1) : 22-24.
141. Sebestyen, E.J. 1973. New grain drying methods? ; Neue Wege der Getreidetrocknung? Muehle 1 Mischfuttertechnik. 110(7) : 89-90.
142. Shands, H. L., Janisch, D. C., and Dickson, A. D. 1967. Germination response of barley following different harvesting conditions and storage treatments. Crop Sci. 7 : 444-446.
143. Shove, G.C. 1966. Application of dehydrofrigidation to celled corn conditioning. ASAE paper No. 70-302.
144. Shove, G. C. 1968. Application of dehydrofrigidation to shelled corn conditioning. Trans. ASAE. 13 : 58-60.
145. Shove, G. C. 1970. Potential energy in use in low temperature grain conditioning. Trans. ASAE. 13 : 58-60.
146. Solomon, M. E., Hill, S. T., Cunnington, A. M., and Ayerst, G., 1964. Storage fungi antagonistic to the flour mite (*Acarus siro* L.) J. Appl. Ecol. 1 : 119-125.
147. Steele, J. L., and Saul, R. A. 1962. Laboratory measurements of the rate of deterioration of grain during drying. Paper Ann. Meet. Mid-Cent. Sect. Am. Soc. Agric. Eng.

148. Steele, J. L., Saul, R. A., and Hukill, W. V. 1969. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. *Trans. ASAE*. 12 : 685-689.
149. Steffe, J.F., Singh, R.P. and Bakshi, A.S. 1979. Influence of tempering time and cooling on rice milling yields and moisture removal. *Transactions of the ASAE*; 22(5) 1214-1218, 1224, 9 ref.39.
- Sutherland, J.W., Pescod, D. and Griffiths, H.J. 1970. Refrigeration of bulk stored wheat. *Australian Refrigeration Air Conditioning and Heating*. 24(8) : 30-34, 43-45.
150. Sulzer-Escher Wyss. 1968. References list Grainfrigor. Sulzer-Escher Wyss, Lindau, Germany.
151. Sulzer-Escher Wyss. 1984. Granifrigor grain cooling system information concerning the cooling of granular products. Lindau, Germany.
152. Sulzer-Escher Wyss. 1989. Sale brochure Granifrigor grain cooling systems. Lindau, Germany.
153. Sutherland, J. W., Pescod, D., and Griffiths, H. J. 1970. Refrigeration of bulk stored wheat. *Aust. Refrig. Air Cond. Heat*. 24 : 30-34, 43-45.
154. Sutherland, J.W., Banks, P.J. and Griffiths, H.J. 1971. Equilibrium heat and moisture transfer in air flow through grain. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 16(4) : 368-386.
155. Thorpe, G.R. 1980. The aeration of wheat in the climate of North India. *Bulletin of Grain Technology*. 18(1) : 3-9.

156. Thorpe, G.R., Elder, W.B. 1980. The use of mechanical refrigeration to improve the storage of pesticide treated grain. *International Journal of Refrigeration*. 3(2) : 99-106.
157. Thorpe,G.R., Stokes,A.N. and Wilson,S.G. 1990. The integral heat of wetting of food grain. *J. of Agricultural Engineering Research*. 46(1) : 71-76.
158. Verbitskii, V., Maratov, B., Ryazantseva, M., Novoselov, S. and Popovich, I. 1980. Use of artificially cooled air during the rice drying process. *Mukomol'no elevatornaya i Kombikormovaya Promyshlennost'*. No. 1 : 29-30.
159. Walker, R. 1969. Cooling stored grain by aeration. *Journal of Agriculture (Victoria)*. 67(12) : 396-398.
160. Wilkin, D. R., Armitage, D. M., Cogan, P. M., and Thomas, K. P. 1990. Intergrated pest control strategy for stored grain. Report No. 24. Home Grown Cereals Authority, London. 87pp. 58. Zarnitskii, G. E., Korataev, I. G. 1969. Using chilling equipment for grain drying. *Kholodil'naya Tekhnika*. 46(4) : 30-34.

여 백

여 백

여 백

부 록

벼의 증저온 저장을 위한

“한성곡물냉각기 운영매뉴얼”

여 백

1. “한성곡물냉각기”를 이용한 중저온저장기술

□ 중저온저장기술

저온저장은 농산물의 동결온도에 가까운 온도로 저장하는 방법을 말합니다. 그러나 벼의 동결온도는 -20°C 이하로서, 15.5%이상의 함수율로 산물상태로 저장된 벼를 동결온도보다 높은 $5\sim 12^{\circ}\text{C}$ 정도의 중저온 범위에서 고품질로 저장하는 기술을 말합니다.

□ 중저온저장의 장점

1) 건조능력의 향상 및 건조비용의 절감

미곡종합처리장 또는 건조저장시설에서 물벼 산물 수매가 본격화되고 짧은 수확기로 인해서 상대적으로 건조시설의 처리능력이 부족한 실정입니다. 짧은 수확기간동안 많은 물벼를 건조하기 위해 추가로 화력건조기를 도입할 경우 많은 투자비가 소요됩니다. 반면, 한성곡물냉각기로 약 24%의 물벼를 화력건조기로 18%정도로 1차 건조한 후 $5\sim 7^{\circ}\text{C}$ 로 냉각하여 임시저장하였다가 수확기가 지나서 화력건조기로 마무리 건조한다음 다시 냉각저장함으로써 기존 시설의 처리능력을 40~50%까지 향상시킬 수 있습니다.

또한, 벼의 품온을 10°C 냉각하면 냉각과정에서 약 0.5~0.8% 정도가 건조되는 효과가 있으며, 함수율이 높으면 더욱 많이 건조됩니다. 그리고 화력건조기와 곡물냉각기를 병용하여 사용할 경우 화력건조기만 사용할 경우에 비해 약 10% 이상의 에너지(기름, 전력)절감 효과가 있습니다.

2) 식미 및 수율의 향상

벼의 함수율 16%정도에서 식미가 우수하다는 사실은 이미 널리 알려진 사실입니다. 그러나 이와같은 함수율로는 장기저장이 불가능하고 높은 호흡을 때문에 많은 문제점이 발생될 수 있습니다. 하지만 중저온저장기술은 외기온도에 상관없이 식미가 우수한 함수율에서도 호흡을 최소화할 수 있어 식미가 우수한 쌀을 연중 공급할 수 있습니다. 한편, 기존의 약 15% 이하로 저장한 경우에 비해 가공시 별도로 수분조질이 필요 없을 뿐아니라 단순히 중량측면에서 약 1~2% 향상시킬 수 있고, 적절한 함수율과 가공 곡온이 유지되면 완전미수율을 약 3%이상 향상시키는 효과가 있습니다.

3) 저장중 호흡에 의한 중량손실의 최소화

벼는 살아있는 생명체로서 저장중에도 계속호흡을 합니다. 호흡은 곡온과 함수율이 높을수록 활발히 이루어지며, 호흡량은 곧 자체 영양분손실과 직결되어 흔히 저장중 자연감모량으로 나타납니다. 따라서, 벼를 중저온저장(5~12℃)할 경우 상온저장(25℃)에 비해 호흡에 의한 중량감소를 약 1/10 이하로 줄일 수 있는 효과가 있습니다.

4) 저장시설의 내부 결로발생 최소화

곡물저장에서 큰 문제점으로 대두되는 것이 결로 발생입니다. 결로는 저장곡물의 온도와 외부 온도의 차이에서 생기며 따뜻한 쪽에서 발생합니다. 상온에서 저장하면 사일로내부의 곡온은 호흡 등으로 외기온도보다 높게 됩니다. 특히 겨울이나 야간에 곡물온도와 외기온도는 큰차이를 나타내게 됩니다. 이때 사일로 내부에서 결로가 발생하여 부패원인을 제

공합니다. 그러나 중저온저장을 할 경우 사일로 내부온도를 낮게 유지하므로 방지효과가 있습니다. 또한, 10℃로 저장할 경우 내부공기의 절대습도가 낮아져 공기 1m³ 당 함유된 물의 양이 1/5 이하로 줄어들어 결로현상이 최소화할 수 있습니다.

5) 미생물 및 해충발생 억제효과

수확된 곡물은 이미 들판에서 많은 미생물과 해충에 오염되어 있으며 저장중 곡물에는 약 150종의 곰팡이류가 발견되고 있습니다. 이 미생물은 저장중에 불쾌취 발생, 변색, 발열 및 독소 생성 등으로 품질을 손상시키는 원인을 제공합니다. 이러한 미생물의 번식을 억제하기 위해서는 함수율을 가능한 14% 내외로 유지하여 저장할 것을 권유하고 있습니다. 하지만 식미가 우수한 함수율인 16%에서는 곰팡이(*A.candidus*)의 생육 및 번식에 최적조건이 형성됩니다. 따라서, 이러한 함수율로 저장하기 위해서는 장온도를 반드시 15℃ 이하로 유지하여야 미생물의 생육이 정지됩니다.

곡물에 번식하는 해충은 곡물얼룩나방, 바구미 및 대나무좀 등이 있습니다. 해충의 생육에 적합한 온도는 약 21℃이고, 번식이 정지되는 온도는 약 15℃입니다. 해충은 생육 정지온도가 되면 동면상태로 들어가서 활동과 번식을 멈추지만 해충이 사멸되는 것은 아닙니다. 따라서, 곡물을 냉장 저장하면 해충이 번식하지 않으므로 별도의 화학처리가 필요 없으므로 저장비용을 절감할 수 있습니다.

□ 중저온저장에 필요한 시스템

벼를 중저온저장하기 위해서는 “한성곡물냉각기”가 필수적입니다. 일부에서는 함수율이 높은 벼를 포대에 넣어 일반 저온저장고에 누적쌓기로 저장하는 경우도 있는데 이러한 저장방법은 매우 위험합니다. 저온저장고의 냉각공기 속도(m/sec)는 포대에 가까운 쪽에서는 거의 0에 가깝습니다. 따라서 전도에 의해 벼가 냉각되므로 누적해서 쌓은 벼의 함수율이 높거나 초기온도가 높으면 곡물의 호흡열로 인해 냉각속도보다 부패가 빨리 일어나므로 저온창고에서 변질되는 경우가 발생합니다.

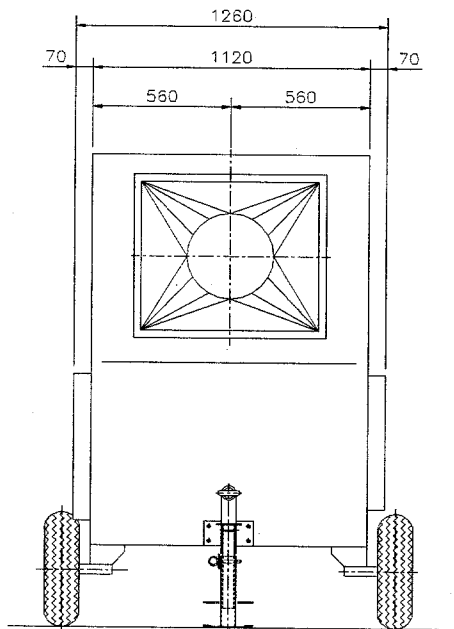
“한성곡물냉각기”는 외기를 도입하여 목표온도로 냉각시킨 다음, 냉각공기를 높은 정압으로 저장빈에 산물상태로 저장된 벼층을 통과시켜 전도에 비해 대단히 열전달율이 높은 대류에 의해 냉각하므로 이와 같은 위험이 없습니다. 따라서 기존의 사일로나 사각빈에 “한성곡물냉각기”를 부착하여 용이하게 사용할 수 있습니다.

2. “한성곡물냉각기”의 원리 및 구조

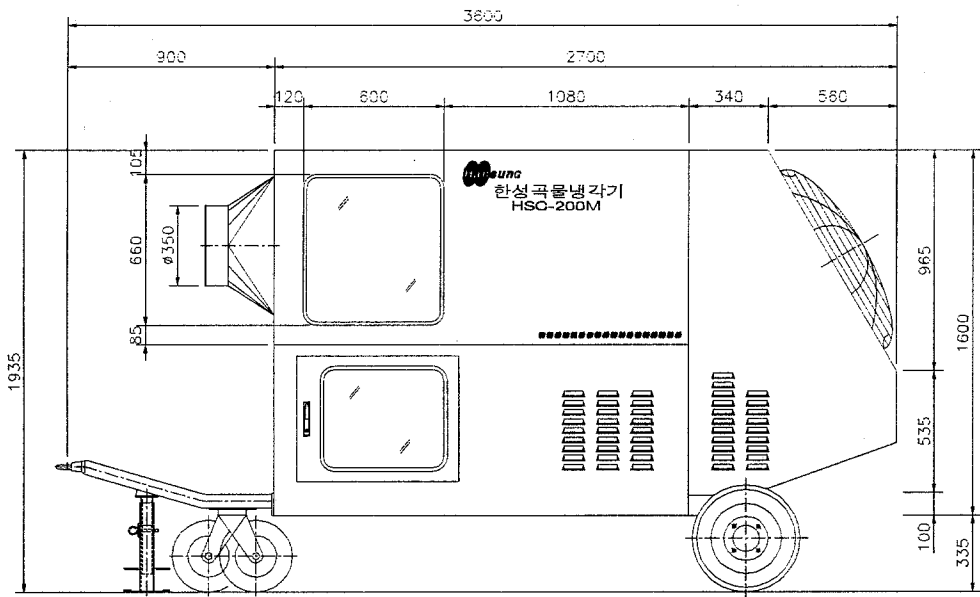
□ “한성곡물냉각기”의 구조

“한성곡물냉각기”는 기본적으로 압축기, 증발기, 응축기, 팽창밸브, 재열기, 송풍팬, 콘트롤박스, 배관 및 각종 밸브류로 구성되어 있습니다.

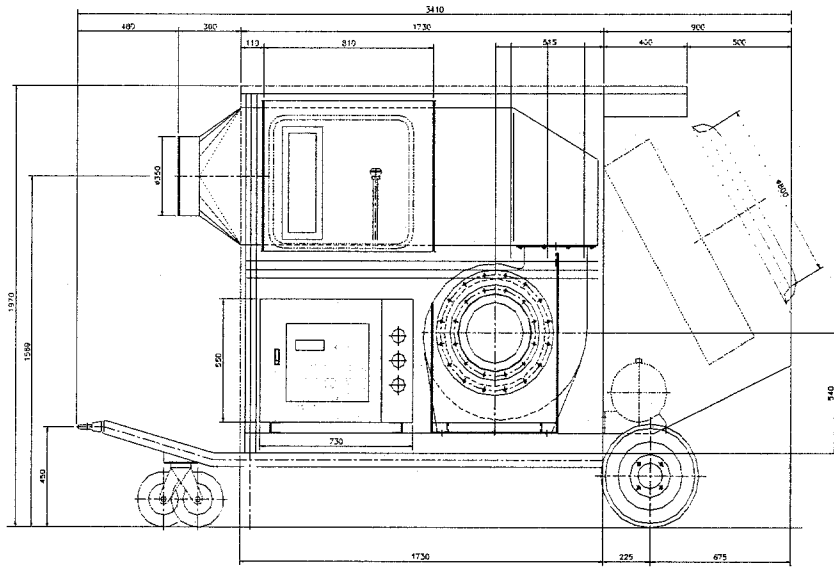
1) 정면도



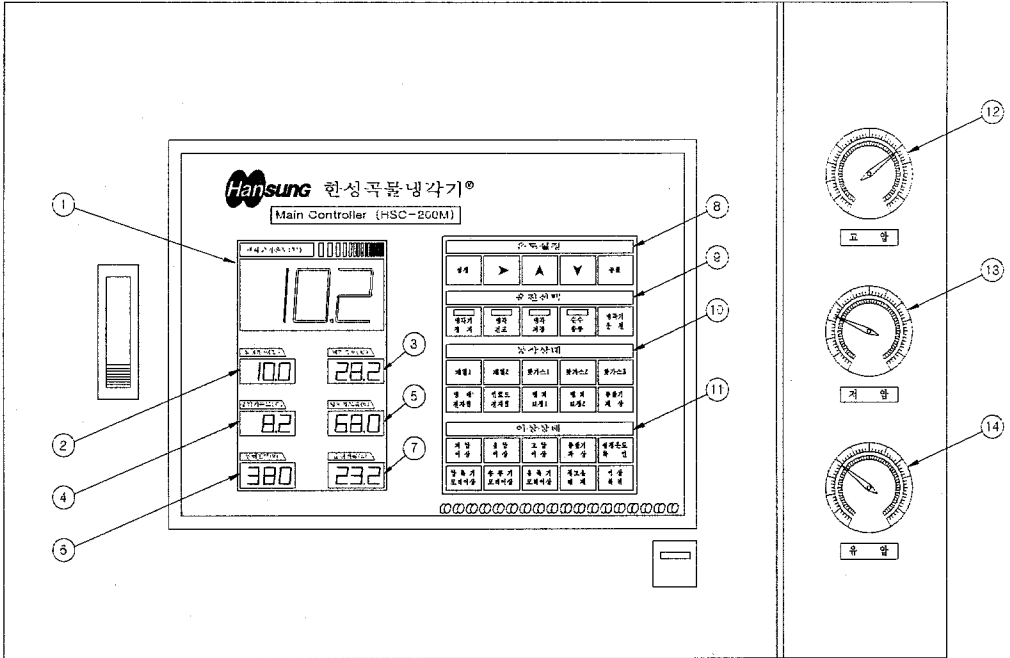
2) 측면도



3) 내부구조도



4) 콘트롤박스

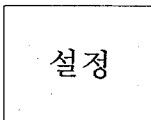


- ① 냉각기 출구 온도 : “한성곡물냉각기” 출구 냉각공기온도를 표시합니다.
- ② 설정 온도 : “한성곡물냉각기”의 출구 희망냉각공기온도를 표시합니다.
- ③ 외기 온도 : “한성곡물냉각기”의 송풍기 흡입공기 온도를 표시합니다.
- ④ 증발기 온도 : “한성곡물냉각기”의 증발기 출구온도를 표시합니다.

- ⑤ 뱀피개도율 : “한성곡물냉각기”의 송풍기 흡입공기 입구에 부착된 자동 뱀피의 현재 개도율을 100등분하여 표시합니다.
- ⑥ 전 압 : “한성곡물냉각기”에 입력되는 현재의 전압을 표시합니다.
- ⑦ 전 류 : “한성곡물냉각기”의 운전중 전류를 표시합니다.
- ⑧ 온도설정 : “한성곡물냉각기”의 효율적인 운전을 위한 온도를 설정하는 그룹입니다.

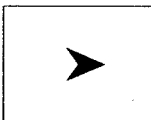


④ 설정 버튼



설정내용을 변경하거나 설정내용 확인시 사용합니다.
(설정온도 변경시는 사용 하지 마십시오.)

⑤ 자릿수 이동 버튼



스위치를 누르면 오른쪽으로 한자리씩 자릿수가 옮겨집니다.

⑥ 숫자 증가 버튼



버튼을 누르면 0.5℃씩 설정온도가 증가합니다.

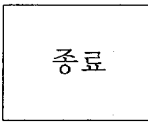
㉔ 숫자 감소 버튼

버튼을 누르면 0.5℃씩 설정온도가 감소합니다.

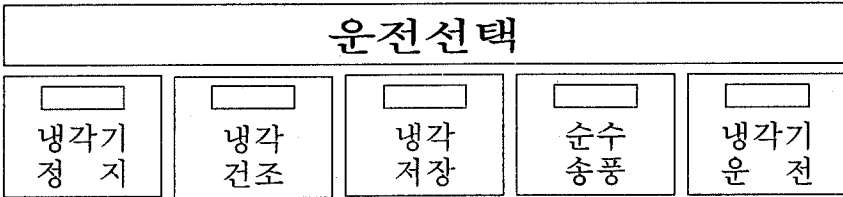


㉕ 설정 종료 버튼

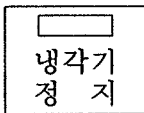
변경된 설정내용을 인식시키기 위하여 사용합니다.



- ㉖ 운전선택 : “한성곡물냉각기”의 운전방법을 선택하며, 정상적으로 운전 중일때 램프가 점등 및 점멸합니다.

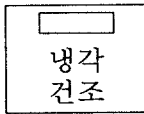


㉗ 정지 버튼 램프



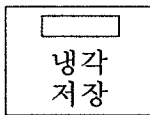
“한성곡물냉각기”가 정지시 항상 그린램프가 동작합니다.

㉞ 냉각 건조 선택 버튼 램프



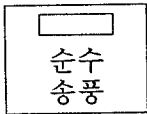
“한성곡물냉각기”를 냉각건조로 선택 운전시 버튼을 누르면 냉각기는 냉각건조로 운전이 되며 그린램프가 점등합니다.

㉟ 냉각 저장 선택 버튼 램프



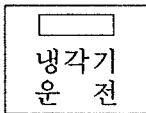
“한성곡물냉각기”를 냉각저장으로 선택 운전시 버튼을 누르면 냉각시스템은 냉각저장으로 운전이 되며 그린램프가 점등합니다.

㊱ 순수 송풍 선택 버튼 램프



“한성곡물냉각기”를 송풍으로 선택 운전시 버튼을 누르면 냉각기는 송풍으로 운전이 되며 램프가 점등합니다.
이때 압축기, 응축기팬 및 부속장비는 운전되지 않으며 단지 송풍기팬만 동작합니다.

㊲ 운전램프



“한성곡물냉각기”의 각 모드로 선택되어 정상적으로 운전시 램프가 점등합니다.

㊳ 동작상태 : “한성곡물냉각기”의 현재운전상태를 알 수 있는 모니터링 상황판입니다.

동작상태				
재열1	재열2	핫가스1	핫가스2	핫가스3
냉 매 전자변	언로드 전자변	댐 퍼 보정1	댐 퍼 보정2	증발기 제 상

㉠ 재열전자변-1 동작램프

재열1

“한성곡물냉각기” 운전중 재열전자변-1이 동작중일 때 황색 램프가 점등합니다.

㉡ 재열전자변-2 동작램프

재열2

“한성곡물냉각기” 운전중 재열전자변-2가 동작중일 때 황색 램프가 점등합니다.

㉢ 핫가스 전자변-1 동작램프

핫가스1

“한성곡물냉각기” 운전중 핫가스 전자변-1이 동작중일 때 황색 램프가 점등합니다.

㉣ 핫가스 전자변-2 동작램프

핫가스2

“한성곡물냉각기” 운전중 핫가스 전자변-2가 동작중일 때 황색 램프가 점등합니다.

㉤ 핫가스 전자변-3 동작램프

핫가스3

“한성곡물냉각기” 운전중 핫 가스 전자변-3이 동작 중일 때 황색 램프가 점등합니다.

㉥ 냉매 전자변 동작 램프

냉매
전자변

“한성곡물냉각기” 운전중 냉매전자변이 동작 중일때 황색 램프가 점등합니다. 냉각건조 및 냉각저장 운전중일 때는 항상 동작 중에 있습니다.

㉔ 언로드 전자변 동작 램프

언로드
전자변

“한성곡물냉각기” 운전중 언로드 전자변이 동작중일 때 황색 램프가 점등합니다.

㉕ 댐퍼보정 램프 1

댐퍼
보정1

풍량을 스스로 조절하며, 댐퍼 동작시 작동합니다.

① 댐퍼보정 램프 2

댐퍼
보정2

풍량을 스스로 조절하며, 댐퍼 동작시 작동합니다

㉖ 제상 보턴 램프 스위치

증발기
제상

증발기에 착상되어 있는 서리를 제거할때 사용하며 버튼을누르고 있는 동안만 동작합니다 (수동모드).

- ⑪ 이상 상태 감시 : “한성곡물냉각기”의 이상 발생시 아래의 해당 램프가 점등하며 냉각기 상부에 부착되어진 경광등이 동작합니다

이상상태				
저압 이상	유압 이상	고압 이상	증발기 착상	설정온도 확인
압축기 모터이상	송풍기 모터이상	응축기 모터이상	경고음 해제	이상 복귀

㉠ 저압 이상 램프

저 압
이 상

압축기의 흡입압력이 설정치보다 낮아지면 “한성곡물냉각기”는 자동으로 정지하며 적색 램프가 점등합니다.
(설정압력 1.0 kg/cm²)

㉡ 유압 이상 램프

유 압
이 상

압축기의 오일압력이 설정치보다 낮아지면 “한성곡물냉각기”는 자동으로 정지하며 적색 램프가 점등합니다.
(설정압력 0.5kg/cm²)

㉢ 고압 이상 램프

고 압
이 상

응축기 응축압력이 설정치보다 높아지면 “한성곡물냉각기”는 자동으로 정지하며 적색램프가 점등합니다. (설정압력 25kg/cm²)

㉣ 증발기 착상 램프

증발기
착 상

냉각기에 얼음이나 서리가 맺히면 점등합니다.

㉤ 설정온도 확인 램프

설정온도
확 인

외기보다 설정하신 온도가 낮으면 점등 합니다.

㉥ 압축기 모터 OCR 램프

압 축 기
모터이상

“한성곡물냉각기”의 압축기 모터 과부하 방지용으로서 정격전류 이상이 흐르면 압축기는 정지하며 적색 램프가 점등합니다.

(설정치 전류 45A, 시간 : 3초)

㉔ 송풍기 모터 OCR 램프

송
풍
기
모
터
이
상

“한성곡물냉각기”의 송풍기용 모터 과부하 방지용으로
서 정격전류 이상이 흐르면 압축기가 정지하며 적색 램
프가 점등합니다. (설정치 전류 17A, 시간 : 3초)

㉕ 응축기 모터 OCR 램프

응
축
기
모
터
이
상

“한성곡물냉각기”의 응축기용 모터 과부하 방지용으로
서 정격전류 이상이 흐르면 압축기는 정지하며 적색 램
프를 점등합니다. (설정치 전류 3.5A, 시간 : 3초)

㉖ 경고음 해제 램프

경
고
음
해
제

이상 작동으로 인한 경고음을 해제 시켜줍니다.

㉗ 이상 복구 램프

이
상
복
구

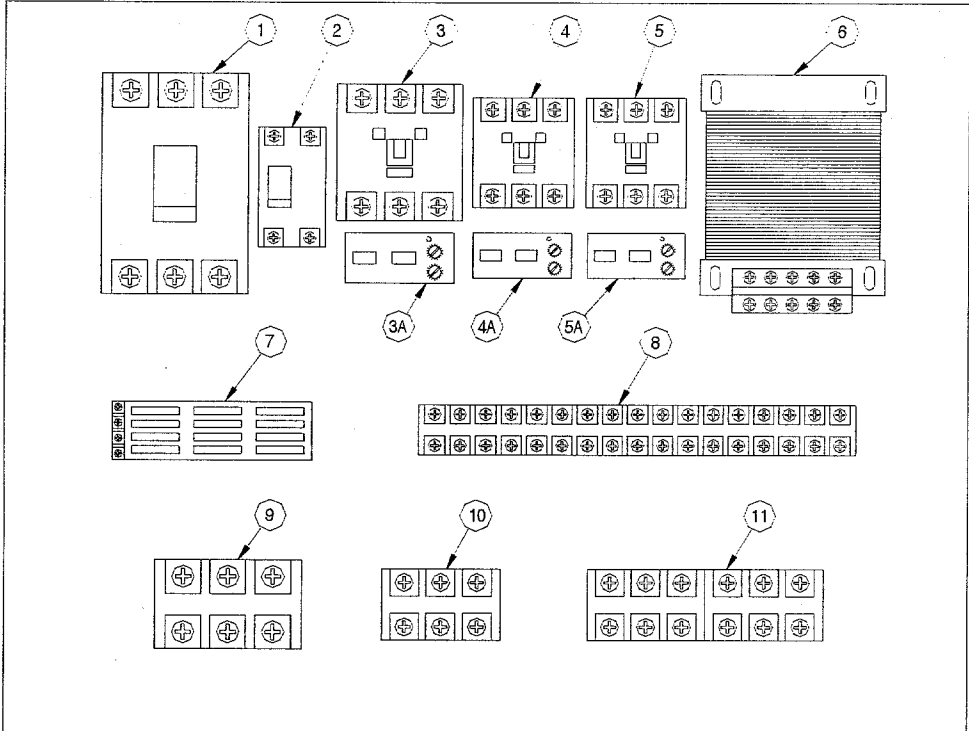
이상 작동으로 켜진 경고등을 해제하고, 정상운전할수
있도록 합니다.

㉘ 고압용 압력 게이지 : 응축기의 압력 및 온도를 나타냅니다.

㉙ 저압용 압력 게이지 : 압축기의 흡입 압력 및 온도를 나타냅니다.

㉚ 오일 압력 게이지 : 압축기의 오일 압력 및 온도를 나타냅니다.

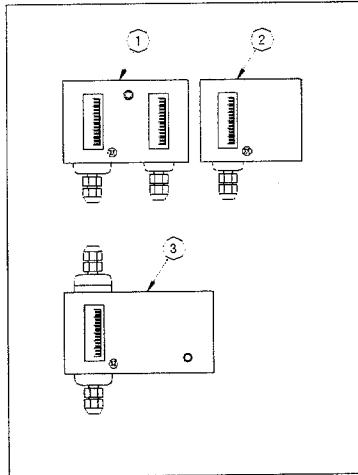
□ 콘트롤 박스 내부



- ① 메인 스위치 : “한성곡물냉각기” 전체전원의 공급 및 차단용입니다.
- ② 조작 스위치 : “한성곡물냉각기” 조작전원의 공급 및 차단용입니다.
- ③ 압축기모터용 접촉기 : 압축기 모터용 자동 개폐기입니다.
- ⊙ 압축기 모터용 EOCR : 압축기 모터 과부하 방지용입니다.
- ④ 송풍기 모터용 접촉기 : 송풍기 모터용 자동 개폐기입니다.
- ⊙ 송풍기 모터용 EOCR : 송풍기 모터 과부하 방지용입니다.

- ⑤ 응축기 팬 모터용 접촉기 : 응축기 모터용 자동 개폐기 입니다.
- ⑥ 응축기 팬 모터용 EOCR : 응축기 모터 과부하 방지용 입니다.
- ⑥ 변성기 (380V/220V) : 조작 전원용 트랜스입니다.
- ⑦ DC 전압 발생기 : 자동 댐퍼 전원 공급용입니다.
- ⑧ 조작용 단자대 : “한성곡물냉각기”의 유니트에 부착된 전장품 외부연결용 단자대입니다.
- ⑨ 메인 인입선용 단자대 : “한성곡물냉각기”의 전체 전원을 공급하는 외부 연결용 단자대입니다.
- ⑩ 압축기 모터용 단자대 : 압축기 모터용 외부 연결 단자대 입니다.
- ⑪ 송풍기 및 응축기 팬 모터용 단자대 : 송풍기 및 응축기 팬 모터용외부 연결 단자대입니다.

□ 제어반 내부 우측면



- ① 저압스위치 : 압축기 저압의 이상 저하 보호용 스위치입니다.
(설정 압력 1.0kg/cm²)
 - 고압 스위치-1 : 압축기 고압의 이상 상승 보호용 스위치입니다.
(설정 압력 24kg/cm²)
- ② 고압스위치-2 : 응축기 팬 콘트롤용 스위치입니다.
(설정 압력 20kg/cm²)
- ③ 유압스위치 : 압축기의 오일압력 저하보호용 스위치입니다.
(설정 압력 0.5kg/cm²)

□ “한성곡물냉각기”의 원리

○ 냉매의 순환

“한성곡물냉각기”에 사용되는 냉매는 프레온가스(R-22)로서 냄새가 없고, 인화성 및 폭발성이 없으며, 인체에 아무런 해를 주지 않습니다.

저온저압(低溫低壓)의 냉매가스는 압축기에서 고온고압(高溫高壓)으로 압축된 후 응축기에서 공기에 의해 냉각되어 고온고압(高溫高壓)의 냉매액(冷媒液)이 됩니다. 냉매액은 수액기에 보관되었다 팽창밸브를 거치면서 저온저압의 냉매액과 가스가 혼합된 상태로 바뀌고, 증발기에서 냉매액이 냉매가스로 증발하면서 공기를 냉각하게 됩니다. 이 냉매가스는 저온저압 상태로 압축기로 들어가게 됩니다.

한편, 압축기에서 나온 고온고압가스는 여러 가지 용도로 사용됩니다. 재열기로 보내 증발기에서 나온 공기를 가열하여 상대습도를 낮춰 주는데 사용되고, 팽창밸브 후단에 보내져 증발기에 서리가 맺히지 않도록 하는데도 사용됩니다.

○ 공기의 순환

외기는 필터, 댐퍼를 거쳐 송풍팬으로 흡입하여 증발기에서 냉각되면서 제습(除濕)되게 됩니다. 제습이 되어도 냉각된 공기의 상대습도는 약 95%정도로써 대단히 높게 됩니다. 비의 함수율이 18%정도이면 평형상대습도가 약 80%정도이며, 함수율이 16.5%정도이면 약 75%에 가깝게 됩니다.

냉각중의 흡습을 방지하기 위해서는 평형상대습도에 가까운 상대습도를 가진 냉각공기로 냉각해야 합니다. 공기온도를 1℃ 상승시키면 상대습도는 5%정도 감소하게 됩니다. 이를 위해 재열기가 사용됩니다.

함수율 18~19%이상의 벼를 냉각할 경우에는 재열(再熱)할 필요가 없습니다. 그러나 함수율 16%정도의 벼는 냉각중에 흡습을 막기 위해서는 냉각공기를 약 3~4℃정도 높혀 주어야 합니다. “한성곡물냉각기”에서 토출된 냉각공기는 호스를 지나는 동안 외기와 열교환으로 약 1℃정도 온도가 상승되므로 증발기에서 냉각된 공기를 재열기에서 2~3℃상승시킨 후 고무호스를 통해 사일로 등으로 보내지게 됩니다.

그러나 고무호스 이외에 덕트를 설치할 경우 덕트가 대단히 길어지거나 덕트에 꺾이는 부분이 많고, 덕트의 환경이 일정하지 않을 경우 냉각공기가 덕트를 통과할 때 최고 5℃정도까지 온도가 상승하는 경우가 있습니다. 이 때는 별도의 재열이 필요없으므로 재열기로 들어가는 가스관에 부착된 수동 밸브를 잠그면 재열기에서 재열을 피할 수 있습니다.

증발기에서 제습된 물은 물받이를 통해 비닐호스로 빠지게 됩니다.

□ “한성곡물냉각기”의 특징

“한성곡물냉각기”는 우리나라의 기후조건과 벼의 수확후 관리체계에 맞도록 한국식품개발연구원과 다년간의 연구로 개발된 한국형 곡물냉각기로 이미 발명특허(제 1998-33175)를 출원하였습니다.

가. 선택 모드(냉각건조·냉각저장·순수통풍)가 다목적으로 구축된우리나라 실정에 적합한 운영시스템입니다.

18~19%의 함수율을 가진 벼를 냉각할 때는 빠른 시간내에 냉각이 되도록 “냉각건조”모드를 갖추었습니다. 수확기에는 외기온도가 낮으므로 최대의 송풍량을 확보하고 나머지 냉각능력은 상대습도를 낮추는데 사용하였습니다. 이로 인해 건조능력이 향상될 뿐 아니라, 건조시 수분의 증발잠열로 인해 냉각속도가 빨라집니다.

16%내외의 장기저장용 벼를 위해 “냉각저장”모드를 갖추었으며, 이 때는 상대습도가 평형상대습도에 가깝게 조정되어 건조나 흡습을 최소화하면서 냉각할 수 있습니다. 또한, 외기상태가 양호한 경우 냉각없이 외기를 도입할 수 있도록 “송풍”모드를 갖추었습니다.

나. 온도편차를 최소화할 수 있는 시스템을 구축하였습니다.

송풍팬에 부착된 흡입공기량 조정용 댐퍼와 압축기에서 나온 고온고압가스를 사용하여 원칩 마이크로 프로세서를 이용한 고기능의 콘트롤러에 의해 “한성곡물냉각기” 출구의 공기온도를 정밀하게 조정하여 온도편차가 희망도와 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 내외를 유지하도록 하였습니다.

다. 상대습도를 자동제어할 수 있습니다.

증발기에서 냉각된 공기의 상대습도를 재열기에서 상대습도에 맞도록 재열하여 저장함수율인 16%내외에 적합하도록 상대습도를 자동으로 제어해 줍니다(“냉각저장”모드).

라. 에너지를 획기적으로 절약하였습니다.

소형 압축기에서 최근까지 개발되지 않았던 무부하전자변(Unloading solenoid valve)을 사용하여 외기온도가 낮아져 냉각부하가 냉각능력에 비해 적어지면 압축기 용량을 조절함으로써 기존의 냉매량을 조절하던 방식에 비해 소비전력을 절약하였습니다. - 압축기 전력소모량의 약 45% 절감-

마. 착상방지 기능을 갖추었습니다.

외기온도가 낮아지거나 온도를 낮게 설정하면 증발기에 서리가 맺히고 얼음으로 변해 냉각능력을 현저하게 저하시키는 문제점이 있습니다. “한성곡물냉각기”는 이 같은 단점을 해소하기 위하여 증발기에 고온고압가스를 주입하여 착상(着霜)이 생기지 않도록 하였습니다.

바. 조작의 편리성을 도모하였습니다.

“한성곡물냉각기”의 가동시 벼의 함수율에 따라 “냉각건조”, “냉각저장”과 희망온도만 설정해 주면 자동운전되게 하여 조작을 단순화하였습니다. 또한, “냉각건조”, “냉각저장”모드 공히 외기온도가 설정온도보다 낮아지면 “통풍”모드로 전환되며, 외기온도가 설정온도보다 3℃이하로 낮아지면 시스템을 일단 정지하였다가 외기가 상승하면 자동으로 재가동토록 하였습니다.

3. “한성곡물냉각기”의 사양

□ “한성곡물냉각기”의 사양

구 분	HSC-100M	HSC-200M	HSC-300M	비고
○ 1일냉각능력(톤/일) · 하절기 · 수확기	50~60톤 80~100톤	110~120톤 180~200톤	170~180톤 280~300톤	
○ 송풍기 · 형식 · 동력(V/Hp) · 구경 · 회전수(RPM) · 송풍량 100mmAq 200mmAq 300mmAq	터보 380 / 7.5 Ø250 3550 3,750m ³ /hr 3,310m ³ /hr 2,750m ³ /hr	터보 380 / 10 Ø350 3550 7350m ³ /hr 6500m ³ /hr 5400m ³ /hr	터보 380 / 20 Ø450 3550 12,150m ³ /hr 10,740m ³ /hr 8,920m ³ /hr	
○ 압축기 · 형식 · 동력(V/Hp) · 냉동능력(Kw)	반밀폐형 380 / 10 36.1	반밀폐형 380 / 15 52.3	반밀폐형 380 / 30 91.3	응축/증발온도 = 30/0℃
○ 응축기 · 형식 · 팬/동력 · 냉각코일	공냉식 Ø650/1.5Kw 8R/30S/750L	공냉식 Ø750/2.2Kw 10R/40S/850L	공냉식 Ø850/3.7Kw 12R/60S/980L	
○ 증발기 및 재열기 · 증발코일 · 재열코일	10R/14S/610L 2R/14S/610L	12R/16S/720L 2R/16S/720L	16R/20S/880L 2R/20S/880L	· Aluminum Alloy case
○ 냉각기 외형 · 폭(mm) · 길이(mm) · 높이(mm) · 중량(Kg)	1,420 3,700 1,510 1,360	1,530 4,045 1,675 1,650	1,820 5,400 1,980 2,130	

□ 냉각능력

벼의 냉각시간에 영향을 미치는 인자는 송풍량, 벼의 초기온도 및 함수율, 퇴적높이, 냉각공기의 온도 및 상대습도 등이 있습니다. 이중에서도 가장 큰 영향을 미치는 것은 냉각공기의 송풍량입니다. 송풍량이 커지면 벼는 빨리 냉각되고, 반대로 송풍량이 적어지면 냉각에 많은 시간이 소요됩니다. “한성곡물냉각기”의 송풍량은 외기온도 및 습도조건, 냉각공기 온도, 재열정도에 따라 달라집니다.

다음과 같은 경우 “한성곡물냉각기”의 냉각능력이 감소할 수 있습니다. 또한 반대일 경우 냉각능력이 증가합니다.

- 대기온도 및 상대습도가 매우 높을 때
- 냉각공기 온도를 너무 낮게 설정했을 때
- 냉각공기의 재열온도를 너무 높게 설정했을 때
- 냉각공기의 저항이 클 때
- 수분함량 14%이하의 매우 건조한 곡물을 냉각할 때
- 냉각공기가 누설되었을 때

“한성곡물냉각기”의 냉각능력의 기준은 다음과 같습니다.

○ 하절기

외기 온도 및 상대습도 : 33℃, 75%(냉동창고업법상 기준)

냉각공기온도 및 상대습도 : 8℃, 95%로 냉각후 2℃재열

○ 수확기

외기 온도 및 상대습도 : 15.8℃, 68%(10월 평균)

냉각공기온도 및 상대습도 : 5℃, 95%

□ 우리나라 사일로에 적합한 모델

우리나라에 설치되어 있는 대부분의 사일로는 200~300톤 규모이며, 미곡종합처리장에 1일간에 반입되는 물량이 최대 200톤 정도임을 감안할 때 미곡종합처리장에 적절한 모델은 HSC-200M입니다. 그리고 200톤 및 300톤 용량규모 사일로 곡물의 냉각소요시간 예측은 다음과 같습니다.

(HSC-200M 기준)

사일로	크 기	하질기 ¹⁾	수확기 ²⁾
200톤	6.23×12m(∅×H)	약 60시간	약 25시간
300톤	6.23×17m(∅×H)	약 90시간	약 40시간

단, 1) 초기곡온 25℃, 함수율 16%, 냉각목표온도 10℃,
응축/증발 : 50/6℃

2) 초기곡온 25℃, 함수율 18%, 냉각목표온도 5℃,
응축/증발 : 40/3℃

□ 적정 냉각시간의 산정

적절한 냉각시간은 벼의 함수율에 따라 항상 다소 여유 있게 고려하여 전체 냉각공정에 차질이 없도록 산출하는 것이 좋습니다. 특히, 외기온도가 높거나 고수분의 벼는 냉각시간을 여유 있게 고려하여 충분한 시간을 가지고 냉각시켜야만 곡물을 원하는 온도까지 한번에 냉각시킬 수 있습니다.

4. “한성곡물냉각기”의 활용

- “한성곡물냉각기”는 물벼의 임시저장 및 식미가 우수한 함수율로 장기저장할 수 있으며 저장기간은 함수율에 따라 차이가 있습니다.
- 미곡종합처리장에 반입되는 24%내외의 물벼를 임시저장할 경우에는 곡온 관리를 철저히하고 가능한 수일안에 건조를 실시해야 됩니다.
- 효율적인 활용방법은 반입된 물벼를 화력건조기 등을 이용하여 18~19% 정도로 1차 건조한 후 “한성곡물냉각기”로 5℃정도로 냉각저장하였다가 수확기가 끝나면 5℃로 저장된 곡물을 화력건조기 등으로 다시 16%내외로 마무리 건조한 후 “한성곡물냉각기”로 다시 약 8~10℃정도로 냉각하여 장기저장하는 방법입니다.

5. “한성곡물냉각기” 가동시 필수준수사항

- 냉각공기 온도를 4℃ 이하로 설정하지 마십시오.
- “한성곡물냉각기”를 가동시에는 냉각공기가 사일로 상부로 배출되도록 사일로의 에어벤트에서 통풍이 원활한지 확인하십시오.
- 냉각되었거나 냉각중인 벼에 벼의 곡온보다 높은 온도의 공기가 절대 유입되지 않도록 주의하십시오.
- 벼의 냉각이 완료될 때까지 냉각공기의 온도가 상승되지 않도록 항상 유의하여 주십시오. 초기 온도보다 낮아지는 것은 무방합니다.
- 냉각을 여러 단계로 나누어 시행하지 마십시오. 1차로 10℃까지 빨리 냉각하고, 10℃로 냉각되면 계속해서 2차로 5℃로 냉각하는 등 여러 단계로 나누어서 냉각하면 소요전력이 엄청나게 많이 소요됩니다.
- 냉각된 벼는 반드시 매일매일 곡온을 점검하고 매일매일의 곡온을 함수율과 함께 기록하여 두십시오.
- 저장중인 벼의 함수율이 높을 때는 더 자주 벼의 곡온을 점검하여야 하며, 벼의 온도가 상승하였을 때 즉시 재냉각하여 주십시오.
- 저장 벼의 온도상승으로 인한 재냉각은 판단 즉시 시행하십시오.

6. 운전전 준비 및 확인

□ “한성곡물냉각기”의 설치

- “한성곡물냉각기”는 지면이 평편하며 사일로와 가까운 위치에 설치하고, “한성곡물냉각기”가 수평이 유지되도록 높이 조절장치를 이용하여 조정하여 주십시오.
- 되도록 그늘지고 통풍이 잘되며 먼지가 적은 곳에 설치하여 주십시오. 특히, 외기가 도입되는 필터쪽과, 뜨거운 바람이 나가는 응축기 팬쪽은 막힌 곳이 없이 통풍이 잘되어야 합니다. 또한, 응축기 팬이 맞바람을 받지 않도록 설치해 주십시오. 냉각기 작동이 정지된 상태에서 응축기 팬이 바람에 의해 돌아가면 시동시 과부하가 걸리게 됩니다.
- “한성곡물냉각기”는 되도록 냉각할 저장빈에 가깝게 설치하여 당사에서 공급한 고무호스만으로 사일로에 연결할 수 있도록 하십시오.
- 실내나 송풍실 등 옥내에 설치할 경우에는 통풍이 잘 되도록 문이나 창문을 열어 주십시오.
- 전원은 380V, 3상으로 팬의 회전방향이 맞도록 결선하고, 압축기 오일이 가열되어 충분한 유압을 갖도록 정상 가동 1일전에 메인스위치만 넣어 주십시오.
- 드레인 베널호스가 오물 등으로 막힘이 없는지 확인하여 주십시오.

□ 덕트설치

- “한성곡물냉각기”와 사일로를 연결하는 고무호스는 꼬이지 않도록 하고, 냉각된 공기가 누설되지 않도록 단단히 체결하십시오.
- 설치여건이 좋지않아 고무호스만으로 연결이 불가능할 경우 덕트를 추가로 설치하되 송풍저항이 최소가 될 수 있는 덕트를 사용하여 주십시오.
- 추가로 설치되는 덕트는 되도록 꺾이는 부분이 없도록 주의하십시오. 냉각공기의 흐름 저항이 너무 크면 냉각능력이 떨어질 수 있으므로, 냉각 공기 덕트의 모양, 길이, 크기 등을 잘 선택하여야 합니다. 특히, 덕트의 설치간격, 모양, 크기 등은 향후 저장시설의 확장 등을 고려하여 결정하시는 것이 좋습니다.
- 고무호스나 덕트는 단열재로 단열하지 마십시오. 냉각공기가 덕트를 통과하면서 약 1℃내외로 온도가 상승하여 상대습도를 낮추어 주므로 덕트 외부에 결로가 발생하여도 단열할 필요가 전혀 없습니다.

□ 기밀유지

- 저장설비 전반에 걸쳐서 냉각공기가 누설되는 곳이 없는지 반드시 점검하십시오. 특히, 덕트 및 공기충만실에서 냉각공기가 누설되지 않도록 유의하십시오.

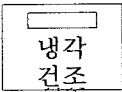
- “한성곡물냉각기”를 가동시 사일로 및 사각빈 등의 하부의 공기충만실에는 약 50~200mmAq정도의 비교적 고압이 걸립니다. 적은 구멍으로도 많은 냉각공기가 외부로 누설되어 냉각에 더 많은 시간이 소요되며 그만큼 소모전력도 많아집니다.
- 특히, 기존에 설치되어 있는 저장빈중 배출 및 통풍용 팬이 연결되어 있는 경우에는 댐퍼가 부착되어 있으나 댐퍼 틈으로 다량의 냉각공기가 누설되므로 조치하여 주십시오. 또한, 다공 덕트식 사일로의 경우 벼의 배출구로 냉각공기가 누설되지 않도록 조치해야 합니다.

□ 곡물냉각기 점검

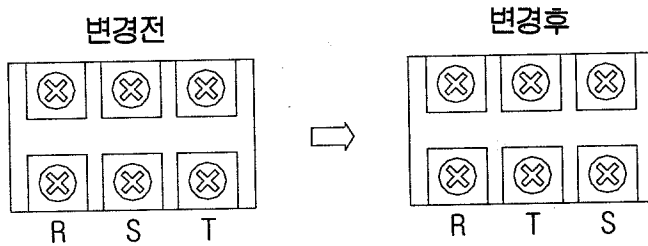
- “한성곡물냉각기” 외부에 손상된 부분이 없는지 먼저 확인하고, 모든 팬은 수동으로 돌렸을 때 자유롭게 돌아가는지 확인하십시오.
- 공급 전원이 380V, 3상인지 다시 확인하여 주십시오.
- 수액기의 냉매 액면을 확인하여 주십시오. 냉매액면이 가동전에 수액기에 절반이하가 되었을 경우에는 보충이 필요합니다.
- 정지시 압축기 하부의 점검창에 검은색 오일이 가득 차야하며, 가동시에는 절반정도가 차 있는 것이 정상입니다. 부족시 보충이 필요합니다.

□ 시운전 순서

가. 전원을 연결하고 메인 브레커를 넣습니다.

나.  버튼을 누릅니다.

이때, 송풍기 및 응축기 팬 방향이 화살표 방향으로 움직이면 회전은 정상이지만 회전 방향이 화살표 방향과 반대인 경우 판넬 내부 메인



인입선용 단자대 결선을 다음과 수정해 주십시오.

다. 정지 버튼을 누르고 “한성곡물냉각기”가 정지되는지 확인합니다.

마. “냉각저장” 및 “송풍” 선택운전에서도 동일하게 확인합니다.

※ “한성곡물냉각기”의 메인 인입선 단자대에 연결되는 외부 인입선은 반드시 CVV22 mm² 이상의 전선을 사용해야 합니다.

□ 곡온관리시스템 및 사일로 에어벤트 점검



- 냉각공기가 벼층을 통과하면서 벼를 냉각하고 고온 다습한 공기가 되어 벼 상층으로 배출됩니다. 이 때 사일로 상부로 배출되지 않으면 사일로 내부에 압력이 걸려 큰 문제가 될 수 있으니 사일로의 에어벤트에서 통풍이 원활한지 확인하십시오.
- 사일로나 사각빈에 설치되어 있는 센서가 정상으로 작동하고 있는지와 곡온관리시스템에서 정상적으로 기록되는지를 확인하여 주십시오. 벼의 온도를 점검하여 일정 부위에서 온도가 상승되었을 때 즉시 재냉각하여야 하는데, 재냉각하지 못하여 발생할 수 있는 큰 피해를 사전에 방지하기 위해서입니다.

7. “한성곡물냉각기”의 운전

□ 가 동

- 가동은 메인스위치가 놓여져 있는 상태에서 냉각공기온도를 설정한 후 운전선택버튼만 누르면 바로 운전됩니다.

- 콘트롤 패널의 설정모드에서 냉각공기온도를 설정하여 주십시오. 이 때 설정온도는 벼의 함수율에 따라 달라지므로 다음의 표를 참고하고, 최저 4℃이하로는 설정하지 마십시오.

-   버튼을 이용하여 원하는 온도로 설정하고 확인 버튼을 누르면 희망 설정 온도는 0.5℃ 씩 가감되며 냉각기 출구 희망온도 표시창에는 출구 온도가 설정온도 표시창에는 변경된 설정온도가 표시됩니다.

○ 벼의 저장온도 및 안전저장기간

수분함량(%)	저장온도	저장기간
12~15	9~12℃	무기한저장
15~16.5	8~10℃	1~1.5년
16.5~18	5~7℃	4~6개월
18~20	5℃	2~3개월
20~22	5℃	3~4주

- 표에 있는 결과는 세계적으로 통용되고 있는 결과입니다만 이 안전저장기간은 여러 가지 요인에 의해 달라질 수 있습니다. 벼를 이 기간을 넘어서까지 안전하게 저장한 경험이 있다 하더라도 저장기간을 초과하여 저장하는 것은 대단히 위험하므로 바람직하지 못합니다.

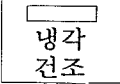
- 예를들면 18%이상으로 7℃에서 약 8개월도 저장이 가능할 수 있지만 지방산가가 증가하거나 발아율이 저하하여 식미에 나쁜 영향을 줄 수 있습니다.

○ 운전선택에서 “냉각건조”, “냉각저장”, “송풍”중 용도에 맞도록 설정하여 주십시오.

- “냉각건조”모드는 벼의 함수율이 높아 건조가 발생하여도 문제가 없는 경우에 사용하며, 특히, 수확기에 1차건조된 18~19%의 함수율을 가진 벼의 냉각에 적합합니다.

- “냉각저장”모드는 벼의 함수율이 16.5~15.5%에서 함수율을 유지하면서 냉각이 가능한 모드로서 마무리 건조된 벼의 냉각에 적합합니다. 또한, 비오는 날에 함수율에 상관없이 사용하며, 외기온도가 낮은 날 함수율이 높을 때에 사용하여도 좋습니다.
- “송풍”모드는 냉각공기온도에 관계없이 송풍이 필요할 경우나 외기온도가 설정온도보다 낮아질 때 사용할 수 있습니다.

④ 냉각 건조 선택운전

①  버튼을 누른다

② 이때부터 “한성곡물냉각기”는 냉각건조 선택운전으로서 냉각기출구온도는 희망한 설정온도로 최적의 자동운전이 이루어집니다.

- “한성곡물냉각기”가 정상적으로 동작중일때 외기온도의 변화로 송풍기 입구에 부착된 자동 댐퍼 개도율이 95%이상인 상태에서 출구온도가 설정온도보다 낮아지면 재열전자변-1, 재열전자변-2, 핫가스 전자변-1, 핫가스 전자변-2, 핫가스 전자변-3, 언로드 전자변 순으로 동작하여 냉각기의 출구온도를 설정온도에 근접하도록 최적의 컨트롤이 이루어집니다.


⑤ 냉각 저장 선택 운전

④의 냉각건조 선택운전과 동일합니다.

- “한성곡물냉각기”가 정상적으로 동작 중일때는 냉각기 출구온도가 증발기 출구온도보다 2~3℃ 높게 운전되어야 하므로

재열전자변-1, 재열전자변-2를 순차적으로 동작되어 냉각기 출구온도-증발기 출구온도 = 2~3℃ 편차를 유지하도록 최적의 콘트롤 방식으로 운전됩니다. 외기온도의 변화로 송풍기 입구에 부착된 자동 뱀피 개도율이 95%이상인 상태에서 출구온도가 설정온도보다 낮아지면 핫가스 전자변-1, 핫가스 전자변-2, 핫가스 전자변-3, 언로드전자변 순으로 동작하여 냉각기 출구온도를 설정온도에 근접하도록 최적의 콘트롤이 이루어집니다.

◎ 송풍 선택운전

①  버튼을 누릅니다.

② 압축기 및 응축기 팬은 정지되며 송풍기용 팬만 동작하며, 냉각시스템의 설정 온도와는 무관하게 운전됩니다.

□ 비의 냉각시 주의사항

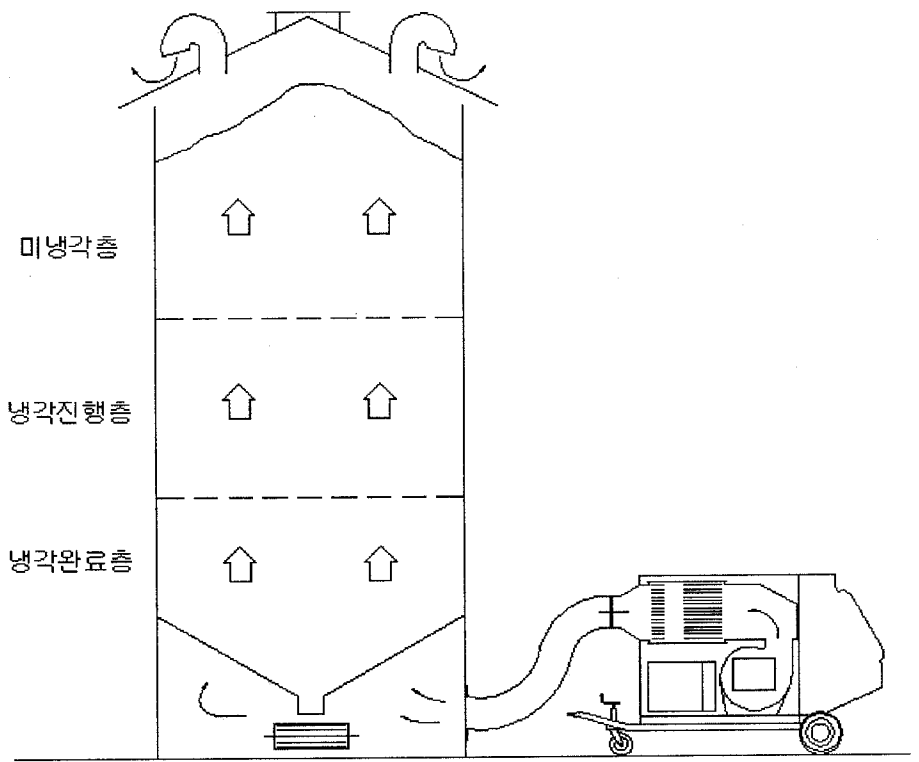
- 냉각된 비에 그보다 높은 공기는 절대로 통풍하지 마십시오. 하층부 비의 온도상승으로 흡습이 일어나고, 장기간 저장시 하층부분의 비가 부패되어 배출이 대단히 어렵게 됩니다.
- 외기온도가 설정온도보다 낮아지면 “통풍”모드로 전환되며, 3℃이하로 낮아지면 시스템을 일단 정지하였다가 외기가 상승하면 자동으로 재가동됩니다. 함수율이 대단히 높은 비를 냉각할 때 외기온도가 3℃이하로 낮아지면 특히 야간에는 “한성곡물냉각기”가 정지할 우려가 있습니다. 이 때는 “통풍”모드로 운전하여 주시고, 온도에 특히 주의해 주십시오.
- 비가 심하게 오는 경우에는 비가 필터로 바로 유입되지 않도록 조치하고 “냉각저장”모드로 운전하여 주십시오.
- 먼지가 발생하여도 괜찮은 경우에는 사일로에 비를 투입하면서 바로 “한성곡물냉각기”를 가동하면 효과적입니다. 바닥의 다공판에 비가 다 깔리면 즉시 냉각기를 가동시키는 것이 좋습니다. 단, 비의 투입중에 발생하는 먼지가 배출공기와 함께 배출되므로 먼지가 많아 문제가 될 수 있는 경우에는 적용이 곤란합니다.
- 비는 사일로에 투입 즉시 냉각시켜 주어야 합니다. 특히 고수분의 비는 호흡이 왕성하므로 비의 함수율이 높을수록 더 빨리 냉각시켜 주어야 합니다. 건조된 비일지라도 저장 즉시 냉각시켜 주면 해충의 번식을 막

을 수 있으며, 곡물 호흡으로 인한 중량손실과 온도상승을 방지할 수 있고, 고품질 상태로 장기저장이 가능합니다.

- 사일로 및 사각빈과 같이 저장시설의 구조가 다르더라도 기본적인 냉각 공정은 같습니다. 냉각공기는 벼층의 하부에서 곡물을 통과하여 상부로 진행됨에 따라 곡물 전체에 골고루 분산됩니다. 그러므로 벼의 하부가 먼저 냉각되고 냉각은 점차적으로 상부로 진행되는데, 상부로 빠져 나오는 따뜻한 배출공기가 차지면 벼가 전체적으로 골고루 냉각이 된 것으로 판단할 수 있습니다.
- 사일로의 경우 벼가 충분히 냉각된 상태에서도 상부 벼의 온도는 하부의 온도보다 약 1.0~1.5℃정도 높게 나타나는데, 벼의 상·하부 온도가 반드시 동일해야 할 필요는 없으므로 이러한 온도차 때문에 냉각을 계속할 필요는 없습니다.
- 냉각된 벼의 품온은 함수율이 높으면 냉각공기온도보다 낮은 온도로 냉각되지만, 함수율이 낮은 경우에는 냉각공기온도보다 높은 온도로 냉각됩니다. 이것은 냉각공기의 상대습도와 벼의 온도와 함수율에 따른 평형상대습도의 관계로부터 잘 알 수 있습니다. 함수율이 높으면 약간의 건조가 발생하고 건조에 필요한 수분증발잠열로 인해 냉각공기온도보다 낮은 온도로 냉각되고, 반대로 함수율이 낮으면 벼가 약간 흡습하면서 냉각공기온도보다 높은 온도로 냉각됩니다.
- 냉각 덕트를 몇개의 저장빈으로 연결하여 사용할 수 있습니다. 벼의 저

장량이 다른 여러 저장빈을 동시에 냉각하면 비의 저장량이 적은 저장빈이 당연히 먼저 냉각 됩니다. 이 때에는 냉각이 먼저 완료된 저장빈의 덕트를 차단 시켜주면서 계속 냉각하면 됩니다.

- 냉각공기를 비층으로 통과시키는데는 송풍저항을 극복할 수 있는 상당한 정압이 필요합니다. 이 정압은 송풍량이 클수록, 비의 퇴적높이가 높을수록 커집니다. 냉각중 전체 정압은 “한성곡물냉각기”에 부착된 마노미터로 측정할 수 있는데, “한성곡물냉각기”의 최대 정압은 320mmAq 정도입니다.



□ 냉각의 종료

- 벼 상부 표면에서 약 30~50cm 깊이의 곡온이 유입되는 냉각공기 온도보다 약 2~3℃ 높게 측정되면 냉각을 종료하여도 됩니다. 그러나 “한성곡물냉각기”의 운용시간에 여유가 있다면 냉각공기온도와 동일한 온도까지 냉각하는 것이 좋습니다.
- “한성곡물냉각기”를 효율적으로 사용하기 위하여 벼의 냉각에 필요한 소요시간을 예측하는 것이 필요합니다. 그러나 실제 냉각에 소요되는 시간은 외기조건, 벼의 함수율 등 여러 가지 요인에 의해 달라질 수 있으므로 예측시간에 준해 냉각을 중지하는 것은 위험합니다. 반드시 곡온을 확인하고 정지해 주십시오.
- 냉각이 완료된 후 벼 표면에 먼지가 쌓이게 되면 이 부분에 수분이 응축되어 벼가 손상을 받을 우려가 있으므로, 냉각이 완료된 며칠후 벼상부 표면의 먼지를 긁어 제거해 주는 것이 좋습니다.
- 냉각이 종료되면 냉각공기 유입구는 반드시 막아 주십시오. 이 부분을 통하여 더운 공기가 벼로 유입되면 벼에 수분이 응축될 수 있습니다.
- 벼의 냉각도중 긴급히 다른 벼를 냉각시켜야 할 경우 벼의 냉각이 완료되기 전에 냉각기 가동을 중단하였다가 냉각기를 재가동시킬 때에는 벼로 유입되는 냉각공기 온도가 냉각기 가동 중단시의 벼 온도보다 높지 않도록 해주십시오.

□ 벼의 온도관리 및 재냉각

- 중저온저장에서 가장 중요한 것은 일반저장과 마찬가지로 곡온관리입니다. 재냉각기간만을 생각하고 곡온관리를 소홀히 할 경우 저장에 실패할 수 있습니다. **반드시 매일매일 곡온을 점검하여 주십시오.** 그리고 매일매일의 곡온을 함수율과 함께 기록하여 두시면 지속적인 운영에 대단히 유용한 자료로 활용할 수 있습니다. 또한, 곡온관리와 함께 벼의 시료를 채취, 검사하여 벼의 저장기간의 연장여부를 결정해야 합니다.
- 재냉각은 벼의 온도가 3~5℃이상 상승하면 즉시 실시하여 주십시오. 특히 18%가 넘는 비교적 고수분의 벼는 품온이 3℃이상만 상승되어도 즉시 재냉각을 실시해야 합니다. 함수율이 16%내외의 곡물은 5℃정도 상승하면 바로 재냉각해 주십시오.
- 재냉각은 다소 시간이 소요되더라도 벼의 전체온도가 균일하고 충분히 냉각될 때까지 실시해 주십시오.
- 재냉각까지 저장할 수 있는 기간은 외기의 온도조건, 단열여부 등에 따라 달라지지만 조건이 아주 양호할 경우 통상적으로 함수율에 따라 다음표와 같습니다.

○ 벼의 함수율에 따른 예상 재냉각기간

수분함량	재냉각기간	비 고
12.0~15.5	약 8~12개월	
15.5~17.5	6~10개월	
17.5~18.5	4~6개월	
18.5~20.0	1~4개월	
20.0~23.0	2~8주	
23.5~25.5	1~4주	
30% 이상	계속냉각필요	

□ 벼의 배출 및 이동

- 배출의 필요성이 있을 때는 항상 벼가 충분히 냉각된 후 배출시키도록 하십시오. 벼의 함수율이 높더라도 냉각된 벼는 건조된 곡물과 같이 용이하게 배출됩니다.
- 중저온저장의 여러 장점 중의 하나는 벼를 저장빈간에 이동을 시켜줄 필요가 없다는 것입니다. 냉각된 벼를 최상의 상태로 저장하려면 이동을 시키지 않는 것이 가장 바람직합니다. 냉각된 벼를 승강기를 이용하여 다른 저장빈으로 이송시키면 벼의 온도가 0.5~1℃정도 상승됩니다.

8. 이상상태표시 및 대응

□ 이상상태 표시

- “한성곡물냉각기”는 이상이 발생하면 자체적으로 문제부위를 점등하여 나타내 줍니다. 따라서 운전중에 이상이 발생했을 때에는 먼저 콘트롤 패널의 지시등을 확인하십시오.
- 이상 램프가 점등되어 “한성곡물냉각기”가 정지되면 확실한 원인 규명을 하여야 하며, 무리하게 운전을 시도하면 시스템의 수명이 단축될 수 있습니다.
- 이상발생 원인에 대한 조치를 한 후, ‘복귀’ 버튼을 눌러주고 재 가동시키십시오.
- “한성곡물냉각기”의 수리는 반드시 전문가가 실시해야 하므로 운전자가 조치할 수 없는 이상이 발생했을 때에는 즉시 당사로 연락하여 주시기 바랍니다.
- “한성곡물냉각기”의 냉매는 R-22로써 인체에 해가 없고 폭발성은 없으나, 담배연기 등과 혼합되면 유독성분이 생성될 수도 있으므로, 누출이 되었을 때에는 즉시 환기를 시켜 주십시오.

□ 고압이상

- 고압이상 램프가 점등되고 “한성곡물냉각기”가 정지되면 이상발생 원인을 제거한 후 콘트롤 판넬 내부 우측면에 부착된 고압스위치에 부착된 빨간 버튼을 누른 다음, 콘트롤 판넬 외부에 부착된 “복구” 버튼을 누른 후 재 운전을 시도하십시오.
- 계속해서 고압이상 현상이 발생되면 ‘고압스위치’의 조절압력을 점검해야 하므로 즉시 당사로 연락하여 주십시오.
- 고압이상 발생원인과 대책

발 생 원 인	대 책
응축기 오염	청소후 재가동
실내가동시 환기가 잘 안되었을 때	환기장치를 점검하고 환기가 잘 되도록 조치한 후 재 가동
냉매배관중 불응축가스가 혼입시	냉각기기 전문가의 점검 및 조치가 필요하므로 전문가에게 의뢰하거나 당사로 연락하여 주십시오
응축기 팬이 돌지 않을 때	

□ 저압이상

- 고압이상 램프가 점등되고 “한성곡물냉각기”가 정지되면 이상발생 원인을 제거한 후 콘트롤 판넬 내부 우측면에 부착된 고압스위치에 부착된 빨간 버튼을 누른 다음, 콘트롤 판넬 외부에 부착된 “복구” 버튼을 누른 후 재 운전을 시도하십시오.

- 저압이상 발생원인과 조치

발생 원인	대 처
증발기 또는 필터 오염	청소후 재가동
냉매가 부족할 때 (사이트글라스로 점검시 냉매가 흐를 때 거품이 계속 발생한다.)	냉매를 보충시켜야 할 경우에는 냉매가 새는 곳이 있는지 반드시 전문가의 사전점검을 받은 후 보충해야 합니다.
증발기에 착상은 닥트가 막혔거나 냉각공기가 적절히 분배되지 못하는 경우나, 냉각공기 온도가 너무 낮을 때 발생	U자형의 압력계의 압력이 아주 높게 나타나며, 냉각공기 온도 및 닥트를 점검, 조치하고 냉각기에 생긴 서리를 제거한 후 재가동 합니다.
센서라인 이상으로 팽창밸브가 정상적으로 작동되지 않을 때	전문가의 점검 및 조치를 받아야 합니다.

□ 모터이상

- 압축기, 송풍기, 응축기 팬 모터 이상 램프가 점등되면 전기 케이블, 휴즈, 차단기 등을 먼저 점검하십시오. “한성곡물냉각기”의 시동시 송풍기가 매우 큰 토크로 회전하기 때문에 냉각기 시동을 수회 반복하게 되면 특별한 이상이 없어도 차단기가 떨어지는 경우가 있습니다.
- 이러한 경우에는 몇 분간 기다린 후 차단기를 올려 주고 판넬 내부에 설치된 개폐기 하부에 부착된 EOCR에 리세트(RESET) 버튼을 누른후 판넬 외부의 부착된 버튼을 누른후 재운전을 시도하십시오.

□ 유압이상

- 유압이 저압보다 0.5kgf/cm^2 이하가 되면 유압이상 램프가 점등되며 “한성곡물냉각기”는 정지하게 됩니다. 주요 원인은 가동 24시간전에 메인 스위치를 넣지 않았기 때문입니다.
- 자동복귀이므로 정상적으로 가동될 때까지 기다리십시오.

9. “한성곡물냉각기”의 점검

□ 일반사항

- “한성곡물냉각기”의 밀폐된 부분은 별도의 정비 점검을 할 필요가 없으며, 먼지등 불순물에 의해 이상이 발생할 수 있는 부분에 대해서 항상 정비 점검을 하여 주십시오.

- 아래의 정비점검의 시기는 일반적인 경우이므로 “한성곡물냉각기”의 실제 가동 상황에 따라 사용자가 적절히 판단하여 시행하시는 것이 바람직합니다.

- “한성곡물냉각기”를 장기간 보관할 경우에는 시스템 전체를 청소한 후 방수포를 씌워서 보관하여 주시기 바랍니다. 또한 시스템을 화학비료 근처에 설치하거나 보관하게 되면 유해 가스에 의해 기계가 부식될 우려가 있으므로 주의하여 주십시오.

- “한성곡물냉각기” 전체를 물이나 증기로 세척할 때에는 반드시 전원을 차단하고 모터, 콘트롤 박스 및 모든 전원 연결부를 반드시 방수포로 덮은 상태로 세척하십시오.

□ 일일 점검

○ 공기 필터 점검 및 청소

필터에 불순물이 많이 끼어 있으면 “한성곡물냉각기”를 정지시키고 후면의 망을 떼어낸 후, 필터를 꺼내서 청소를 해야합니다. 필터를 청소할 때는 압축공기로 불어주거나 세정제를 사용하여 물세척을 하여도 무방하지만 필터를 절대 비틀어 짜지 마십시오. 필터를 젖은 상태로 다시 조립하여도 무방합니다.

필터를 부착하지 않았거나 필터가 찢어진 상태로는 절대 냉각기를 가동하지 마시고 항상 여분의 필터를 비치해 놓으십시오.

○ 기타 일일 점검 사항

- 각종 표시등, 공기 덤퍼의 작동상태
- 냉각공기의 온도 및 송풍정압
- 연결관, 호스 및 닥트 연결부위
- 오일 누유 및 잡음 발생여부

□ 주간 점검

○ 응축기

응축기가 불순물로 오염되었을 때는 솔질을 하거나 공기를 불어 제거하여 주십시오. 솔질을 할 때에는 반드시 냉각기를 끈 상태에서 시행해야 하지만, 응축기 팬에 압축공기를 불어 청소를 할 때에는 팬이 회전되는 상태에서 시행하십시오. 오염정도가 심하여 물이나 증기로써 세척을 해야할 경우, 물이나 증기의 분사압력이 너무 높지 않은 상태로 비스듬히 분사하여 응축기 팬이 휘어지지 않도록 주의하십시오.

○ 응축수 배출

응축수가 자연적으로 배출되는지 점검하십시오.

□ 수시 점검

○ 년 1~2회, 또는 가동상태에 따라 수시로 다음 사항을 점검해 주십시오.

○ 증발기 코일

점검창을 통하여 오염여부를 확인할 수 있습니다. 심하게 오염되어 있으면 점검창과 덮개를 분리한 상태로 청소를 할 수 있으며, 물이나 증기로 세척을 해야할 경우에는 응축기 세척기와 동일한 요령으로 시행하십시오.

○ 송풍기 모터

3~5년간 주유할 필요가 없으나 베어링에서 잡음이 발생하면 즉시 교환하여 주십시오.

○ 기 타

- 필요시 “한성곡물냉각기”를 전반적으로 청소하시고 녹슨 부분은 반드시 녹을 제거한 후 페인트칠을 하십시오.
- 냉매순환라인을 점검할 때에는 부주의로 인하여 냉매 전체가 누출되는 경우가 있으므로 각별히 주의하여 주십시오.

- 냉각기를 수개월 이상 가동하지 않았다가 재 가동을 할 경우에는 가동 예정시기 약 1~2개월 전에 시운전을 시행하여 냉각기 이상 발생시, 수리나 정비를 할 수 있는 충분한 시간을 가질 수 있도록 하십시오. 이런 경우에 “한성곡물냉각기”를 가동할 때에는 반드시 ‘메인 스위치’를 켜준 상태로 24시간 이상 경과한 후 시동을 걸도록 하십시오.
- 응축수 배출관이 막혔을 때에는 응축수 배출라인 전체를 세척하여 주십시오.

작동시 주의사항(요약)

“한성곡물냉각기”(HSC-200M)

□ 설치 및 작동전 준비사항

- “한성곡물냉각기”는 지면이 평편하며 사일로와 가까운 위치에 설치하고, 가능한 그늘지고 통풍이 잘되며 먼지가 적은 곳에 설치하여 주십시오.
- 전원은 380V, 3상으로 팬의 회전반향이 맞도록 결선하여 주십시오.
- “한성곡물냉각기”와 사이로를 연결하는 고무호스는 꼬이지 않도록 하고, 냉각된 공기가 누설되지 않도록 단단히 체결하십시오.
- 압축기 오일이 가열되어 충분한 유압을 갖도록 가동 1일전에 메인스위치만 넣어 주십시오.
- 냉각공기가 사일로 상부로 배출되도록 사이로의 에어벤트에서 통풍이 원활한지 확인하십시오.

□ 작 동

- 콘트롤 판넬의 냉각공기온도를 설정하여 주십시오. 이 때 설정온도는 비의 함수율에 따라 달라지므로 사용 설명서를 참고하시고, 최저 4℃이하로는 설정하지 마십시오.
- 운전모드에서 “냉각건조”, “냉각저장”, “통풍”중 용도에 맞는 모드를 설정해 주십시오.
- 냉각기가 정지하면서 경광등이 작동되면 “복귀”버튼을 누른 후 다시 가동하여 주시고, 이러한 현상이 지속적으로 나타나면 본사로 연락

하여 주십시오.

□ 벼의 온도관리

- 사일로에 벼를 투입하면서 바로 “한성곡물냉각기”를 가동하면 효과적입니다.
- 벼의 온도는 기존에 설치되어 있는 곡온관리시스템을 통하여 1일 1회 이상 자주 확인하여 주십시오
- 냉각된 벼에 그보다 높은 공기는 절대로 통풍하지 마십시오.
- 냉각공기가 벼 퇴적층 상단으로 배출되고, 벼 퇴적층 상부에서 약 30cm지점의 곡물온도가 냉각공기온도보다 약 2~3℃정도 높게 나타날 때 냉각을 종료할 수 있습니다. 또한, 곡물상층부 온도가 하층부 온도보다 약 1~2℃정도 높게 나타나는데 이 차이를 없애기 위하여 계속 가동할 필요는 없습니다.
- 재냉각은 곡물온도가 3~5℃이상 상승하면 즉시 실시하여 주십시오.

□ 기 타

- 고압측의 온도가 대단히 높으므로 배관을 만질 때 화상을 입을 우려가 있으므로 주의하십시오.
- 응축기 팬 보호망에 손을 넣지 마십시오. 안전사고에 유의해 주십시오.
- 필터의 청소 및 교체는 “한성곡물냉각기”를 반드시 정지시킨 후 실시하십시오.
- “한성곡물냉각기”의 내부압력이 20kgf/cm²정도로써 운반 및 취급중 배관 등에 손상이 가지 않도록 특히 주의하십시오.

작동전 주요 점검사항(요약)

- 저장빈 내부로 벼가 투입되는지 또는 투입이 완료되었는지 확인해 주십시오.
- 사일로 송풍댐퍼가 닫혔는지 확인해 주십시오.
- 곡온관리시스템이 정상적으로 작동하고 있는지와 현재 곡온을 확인해 주십시오.
- 저장빈으로 현재 투입하고 있거나 투입이 완료된 벼의 함수율을 확인하여 주십시오.
- 저장빈의 집진팬이 정상적으로 가동되고 있는지 확인하여 주십시오.
- 응축기 팬과 바람의 방향이 맞바람 상태인지 확인해 주십시오.
- “한성곡물냉각기”와 저장빈 입구의 고무호스가 단단하게 체결되어 있는지 확인해 주십시오.
- 380V, 3상의 전원이 정상적으로 연결되었는지와 팬의 회전방향으로 정확하게 결선되었는지 확인하여 주십시오.
- 수액기에 액면으로 냉매의 양이 충분한지 확인하여 주십시오.

작동중 주요 점검사항(요약)

- 증발기 출구온도와 회탕온도가 정확하게 제어되는지 확인하여 주십시오.
- “한성폭물냉각기”의 입구 및 출구의 정압이 적절한지 확인하여 주십시오.
- 송풍기 댐퍼가 정상적으로 작동하고 있는지 확인하여 주십시오.
- 압축기가 정상적으로 운전되고 있는지 확인하여 주십시오.
- 고압, 저압, 유압계의 압력이 정상상태인지를 확인하여 주십시오.
- 냉매가 누설되는지 여부를 확인하여 주십시오.
- 냉매배관중의 사이트글라스에 기포가 지속적으로 발생하는지를 확인하여 주십시오.
- 송풍기 및 응축기 팬이 정상적으로 작동되고 있는지 확인하여 주십시오.
- 응축수가 물받이 및 비닐호스로 정상적으로 배출되는지 확인하여 주십시오.