

# 곡물 건조 및 저장용 곡물냉각기의 개발

## Development of a Grain Chiller for Drying and Storage of Grain

정종훈\*

정회원

J.H.Chung

장건익\*\*

정회원

K.I.Jang

### 1. 서론

우리 나라의 주곡인 쌀에 대해서는 오랫동안 저장에 대한 관심이 지속되어 왔으며 최근에는 저장성능을 높이기 위해 여러 방법들을 검토하고 있다. 기존의 방법인 상온통풍과 냉각 공기를 이용하여 곡물을 저장하는 방법이 있는데, 상온통풍의 방법은 외기의 상태에 따라 크게 영향을 받음으로써 평균 상대습도가 80%이상이고 대기온도가 높은 여름철에는 쌀의 저장성이 떨어질 수밖에 없는 실정이다.

일반적으로 쌀은 온도가 10~15℃, 상대습도가 약 70%이하가 되었을 때 곤충이나 진드기, 곰팡이 등의 발생을 줄일 수 있다. 이러한 중저온 저장은 곡물호흡을 억제시켜 곡물이 지니고 있는 성분이 소모되지 않으면서 품질을 그대로 유지시킬 수 있고, 곡물 저장에 치명적인 해충을 발생하지 못하게 하는 방법 중의 하나로서 곡물 저장에 이용하고 있는 추세에 있다.

특히 국내에서는 최근에 고품질의 쌀을 생산하기 위해서 전국적으로 미곡종합처리시설을 건설하여 곡물 건조저장시설로서 곡물사일로를 설치하고 있는데, 이러한 사일로에 적절한 단열처리가 필수적인 사항이 되고 있으며 여름철 사일로 내의 공기온도가 40℃ 이상이 되고 곡물의 온도도 30℃ 이상까지 상승하므로 사일로에서의 중저온 저장시스템의 개발이 절대적으로 요구되고 있다. 이에 쌀을 고품질화하기 위한 방법의 일환으로 곡물 사일로에 냉각된 공기를 직접 공급하여 강제 통풍시키는 장치로서 곡물냉각기의 개발이 요구되었다.

따라서 본 연구에서는 50톤 용량의 곡물 사일로에서 곡물을 중저온으로 저장하기 위해 약 25kW 이상의 냉각능력을 갖는 소형 곡물냉각기를 설계하고 개발하여, 곡물 냉각실험을 함으로써 곡물냉각기의 성능을 평가하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 냉각기 제작

사일로에서 곡물을 약 15℃ 정도의 중저온으로 냉각 및 저장하기 위해 선정된 압축기와 응

\* 전남대학교 농과대학 농공학과 부교수

\*\* 전남대학교 농과대학 농공학과 대학원

축기, 증발기 등을 이용한 곡물냉각기를 설계 제작하였다. 곡물을 15℃ 이하의 증저온으로 냉각하기 위해서는 냉각능력이 25kW이상이고 외기의 최고온도가 35℃일 때 냉각공기온도 14℃, 상대습도는 50~95% 내외에서 작동될 수 있도록 제작하고자 하였다. 총 사용동력은 15kW정도이며 냉매는 냉매22(프레온)를 사용하였다. 냉각기의 주요부들을 이론적인 설계에서 얻어진 크기와 용량을 중심으로 다음과 같이 설치하였다.

#### 1) 압축기(Compressor)

압축기는 QR90KI-TFC(7.5R/T)이며 5.6kW인 Copelaweld사의 QR Low sound 압축기를 사용하였다. 응축기의 응축온도가 43℃이고 증발기의 증발온도가 4℃일 때 냉각능력이 약 28.8kW정도의 용량을 갖는 압축기를 사용하였다. 압축기의 한 회전 당 배출하는 용량이 177.44cm<sup>3</sup>이고 회전속도는 3,500rpm인 압축기이며, 네 개의 실린더와 알루미늄으로 만들어진 피스톤, 요크(yoke) 등으로 구성된 반밀폐의 왕복식 압축기이다.

#### 2) 응축기(Condenser)

고온·고압의 냉매를 응축기 팬에 의해 액화시켜 저온으로 만들어 주는 응축기에 사용된 핀의 효율( $\eta$ )은 이론적으로 계산된 냉매와 공기의 각각 입출구 온도와 NTU( $\frac{UA}{C_{min}}$ , 전달 단위의 수)의 값에 의해 산출할 수 있는데, 이 효율을 이용하여 실제로 코일과 핀의 총면적을 다음과 같이 계산하였다. (J. P. HOLMAN, 1992)

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{\dot{m}_r \times C_r}{\dot{m}_a \times C_a}, \quad N = NTU = \frac{UA}{C_{min}}, \quad \eta = 1 - \exp\left[-\frac{\exp(-NCn) - 1}{Cn}\right]$$

$$\text{총표면적} : A_{real} = 2\eta N_f HL + \pi dRS(W - tN_f) \approx 92 \text{ m}^2 \quad (\eta = 0.88)$$

여기서, C: 용량비, N: 전달단위의 수,  $\eta$ : 핀효율,  $n = N^{-0.22}$ ,  $N_f$ : 핀의 개수, H: 핀의 높이[m], L: 핀의 폭[m], d: 코일의 직경[m], R: 코일의 횡배열수, S: 종배열의 코일 수, W: 응축기 폭[m], t: 핀의 두께[m]

실제로 응축기 코일의 크기는 5/8"  $\Phi$  × 5R × 26S × 800L로서 코일의 직경이 5/8인치이고, 코일에는 직교류형의 판 핀들이 부착되어 있다.

#### 3) 증발기(Evaporator)

실제로 흡입된 공기를 냉각시켜주는 증발기의 코일은 총괄열전달계수(U)가 28kcal/m<sup>2</sup>h℃인 직교류형 판 핀들이 부착되어 있다. 응축기와 마찬가지로 핀의 효율( $\eta$ )은 이론적으로 계산된 냉매와 공기의 각 입출구온도 그리고 NTU(전달단위의 수)의 값을 이용하여 응축기에서 사용한 식으로 계산하였다. 따라서 코일과 핀의 총표면적은 다음과 같았다.

$$\text{코일과 핀의 총표면적} : A_{real} = 2\eta N_f HL + \pi dRS(W - tN_f) \approx 68 \text{ m}^2 \quad (\eta = 0.83)$$

증발기 코일에 사용된 핀은 효율을 고려하여 이론적으로 필요한 핀보다 약간 더 크게 하여 실 총표면적이 68m<sup>2</sup>정도가 되게 하였다. 코일의 크기는 5/8"  $\Phi$  × 6R × 16S × 800L이었다.

#### 4) 팽창밸브(Expansion valve)

팽창밸브는 온도조절형 팽창밸브를 선택하였는데, 이는 증발기에서 증발속도에 비례하여 액체 냉매의 유량을 조절한다. 작동원리는 센서부분이 증발기 출구에 장착되어 있어서 증발기의 온도를 감지하여 증발기로 들어가는 냉매유량을 조절한다. 팽창밸브로 ALCO사의 TCLE 7-1/2 HW 100 64 type을 설치하였다.

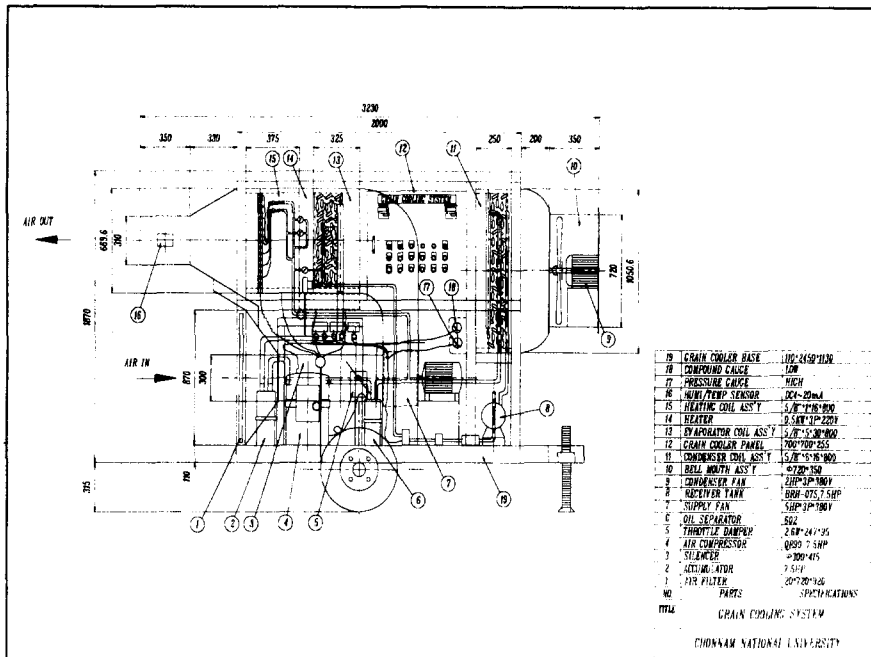


Fig.1 Structure of a grain chiller

#### 5) 재가열기와 히터

재가열기는 증발기 바로 다음에 설치하여 냉각공기의 낮은 온도와 높은 상대습도를 조절한다. 재가열기 코일에는 응축기 입구의 고온의 냉매가 통하게 되는데, 두개의 자동 솔레노이드 밸브는 출구의 습도를 측정하는 자동제어기에서 보내는 신호에 의해 개폐를 반복함으로써 습도를 조절한다. 재가열기 코일은 증발기 코일과 같은 형태로 직교류형 판 핀들이 부착되어 있다. 재가열기 코일의 총표면적은 약  $11\text{m}^2$ 이며 그 크기는  $5/8" \phi \times 1R \times 16S \times 800L$ 이다. 히터는 증발기를 거친 냉각공기의 상대습도를 압축기의 일부 냉매열을 이용하여 조절할 때, 그 가열량이 부족할 경우 냉각공기를 직접 가열하도록 하는 전열기로서, 3kW의 전기히터를 보조가열기로 설치하였다.

#### 6) 냉각공기 온도의 자동제어

DC모터로 구동되는 공기 댐퍼장치와 온도제어기를 사용하여 공기량을 자동으로 조절하도록 하였다. 이는 최종 냉각공기의 온도에 따라 제어기에 의해 외부공기 흡입량을 댐퍼로 조절하여 냉각공기의 온도를 조절하는 방식이다. 최소량의 냉각공기량을 유지하기 위해 댐퍼에 약 1.5%정도의 구멍을 내어 풍량이 최소한  $11\text{cm}^3/\text{min}$ 정도가 되도록 하였다. 냉각공기의 온도에 따라 댐퍼를 조절하기 위해서 사용된 온도조절기는 KONICS KC-33(KM97008-2000)으로서 고성능 A/D converter와 micro process로 구성되어 있으며, 여러가지의 특수기능 및 자기진단 기능 등을 가지고 있다.

제어원리는 그림 2에서처럼 환경조건의 큰 변화 즉 온도가 크게 바뀐 상태일 때마다 Auto-Tuning(A/T)에 의해 댐퍼의 열림정도에 따른 냉각공기의 온도변화 관계를 처음에 분석한다. 그런 후에 측정치(온도)와 설정치(온도)의 차이를 A/T에 의한 관계에 기초하여 자동연산치(PID)를 산출하여 댐퍼를 조절하도록 프로그램화되어 있어서 온도의 측정치와 설정

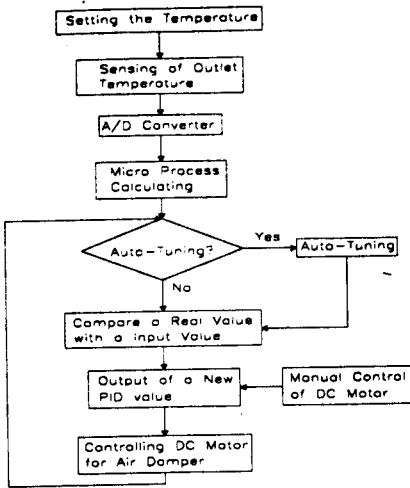


Fig. 2 Flow Chart on Controlling Temperature in a Grain Chiller

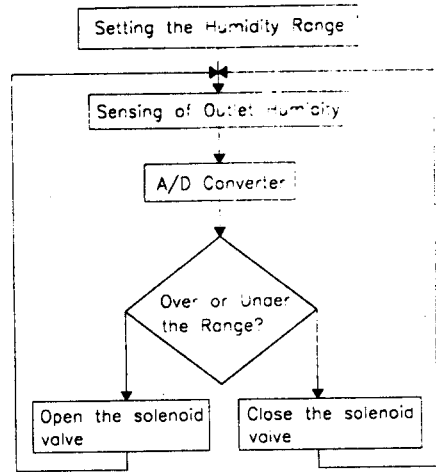


Fig. 3 Flow Chart on Controlling Humidity in a Grain Chiller

치의 차이를 점차로 좁혀가도록 한 것이다. 여기서 PID의 값과 사이클 시간은 A/T을 실행시킬 때마다 자동으로 결정되며 수동으로도 입력이 가능하게 하였다. 댐퍼가 자동위치에 있을 때 냉각기 출구의 온·습도 센서에 의해 측정된 값이 입력되어 자동연산치(PID)에서 다시 계산되어진 값에 의해 자동으로 댐퍼를 조절하는데, 댐퍼가 완전히 닫혀서 공기가 들어오지 않는 것을 방지하기 위해서 댐퍼에 구멍을 내어 풍량이 기본적으로 11cm 정도는 나오도록 하였고, 완전히 100% 열릴 때는 상온통풍 건조를 위해 120cm의 풍량이 나오게 하였다. 댐퍼의 개폐정도는 자동상태일 때는 온도에 따라 제어장치에 의해 변화되지만, 수동상태일 때는 개폐정도를 결정할 수 있어서 공기량을 임의로 조절할 수가 있었다.

### 7) 냉각공기 상대습도의 제어

습도를 제어할 수 있도록 설계된 DX7 디지털 제어기를 본 냉각기에서는 냉각공기의 상대습도를 제어하도록 장치하였다. 제어원리는 그림 3에서처럼, 솔레노이드 밸브를 ON/OFF 하여 습도를 제어하도록 DX7 제어기의 설정치에 상한계와 하한계의 Dead Band를 주고, 상대습도의 범위를 설정하도록 되어있다. 고온의 압축된 일부 냉매를 통과시켜 재가열 코일을 가열시킴으로써 상대습도를 감소하게 하고, 설정값(습도) 범위 이하로 떨어지면 솔레노이드 밸브를 닫히도록 하여 상대습도의 상승을 발생시켜 설정범위 내를 유지하도록 솔레노이드 밸브의 개폐를 자동으로 제어하였다.

### 8) 제어 판넬(panel)

냉각기의 정면에 설치한 제어 판넬은 냉각기를 자동과 수동으로 조절하도록 제작하였다. 각 제어계는 온도와 습도의 변화 및 설정치를 표시해 주거나 설정치를 입력할 수 있도록 하였다. 판넬 중앙에는 냉각기의 자동과 수동 선택 스위치, 가열기 스위치, 전원 스위치 그리고 수동상태일 때 ON/OFF 시킬 수 있는 버튼 등으로 구성하였다. 또한 증발기에서의 자동제빙을 위해 타이머를 부착하여 자동으로 압축기를 일정시간 동안 중단할 수 있게 하였다.

## 나. 곡물냉각기의 성능실험

### 1) 냉각기의 성능실험방법

냉각기 주요부의 온도 및 냉각공기의 온습도를 측정해 냉각기의 냉각능력 및 냉각공기 온습도의 제어성능을 평가하고자 하였다.

### 2) 성능분석을 위한 시뮬레이션

EES(Engineering Equation Solver)프로그램을 이용하여 냉각기의 이상적인 사이클을 기초로 비가역성에 의한 효율을 고려하고, 각 지점의 냉매온도와 공기의 상태를 실제로 측정하여 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 이는 각 주요장치의 냉매상태를 분석하여 냉각기의 냉각능력과 성적계수, 압축기에서의 일, 응축기에서의 발열량 등을 구하도록 하였다.

## 다. 곡물의 냉각실험

개발된 냉각기를 약 5.6톤의 곡물이 저장된 사일로에 설치하여 곡물 냉각실험을 수행하였다. 이때 대기의 최대온도는 30℃이었고, 냉각기의 온도는 13℃, 상대습도는 65%~75%의 범위로 설정하였다. 곡온측정을 위해 온습도센서를 곡물하부에서 약 30cm정도의 깊이에 설치하여 측정하였다. 이 냉각실험에서는 냉각공기의 풍량비가 최소 약 0.2cmm/m<sup>3</sup> 이었다.

## 3. 결과 및 고찰

곡물 사일로에서 곡물을 약 15℃의 중저온으로 저장하기 위해 곡물 냉각기를 그림 1의 구조도와 같이 제작하여 개발하였다. 개발된 곡물 냉각기의 주요 특징 및 성능은 다음 표 1과 같이 최대 28,000kcal/h의 냉각능력을 갖으며 냉각공기의 온도는 대기의 상태에 따라 약 8~13℃, 상대습도 50~95% 내외에서 작동되도록 개발하였다.

### 가. 성능 평가

#### 1) 냉각능력 및 냉각시간

곡물냉각기의 냉각능력을 결정짓는 요소 가운데 중요한 압축기의 유량은 본 냉각기에서는 최고 0.2017kg/s정도로 나타났으며, 이를 시뮬레이션으로 분석한 결과 냉각기의 최대냉각능력은 약 33kW이었다. 그리고 본 냉각기를 사용하여 곡물을 냉각할 경우 냉각시간은 다음식으로부터 계산하였다. 곡물냉각시간(t)은 13℃의 냉각공기 11cmm의 공기량으로 초기온도 25℃의 곡물 40톤을 15℃이하로 냉각하기 위해서는 약 67시간이 소요될 것으로 추정되었다.

$$\text{냉각시간: } t = \frac{W_g C_g (\theta_{initial} - \theta_{final})}{G_a \rho_a C_a (\theta_{initial} - T_{inlet})} = 67 \text{ hr}$$

본 냉각기의 냉각능력은 목표로 한 냉각부하 25kW를 초과하였지만, 냉각공기량의 곡물량에 대한 풍량비가 약 0.2cmm/m<sup>3</sup>으로 작아서 실제 냉각시간은 다소 증가한 것으로 측정되었다. 실험 결과 본 곡물냉각기는 25℃의 곡물을 하루에 15℃이하로 냉각시킬 수 있는 곡물량은 약 15톤 정도임을 알 수 있었다.

Table 1 Specification and Performance of the Grain Chiller

Item	Specification/Performance	Remarks
Chilling power	Maximum 28,000kcal/h (33 kW)	
Temp. and RH of chilled air	Temperature : 8~13℃ Relative Humidity : 50~95%	
Total Power	15kW	
Refrigerant	R-22	
Compressor	Semi-seal type, 5.6kW Model : QR90	
Condenser	Coil 5/8"×5×16×800, area 93m <sup>3</sup> Fan: 2HP, 140cmm	With Pressure gauge
Evaporator	Coil 5/8"×5×16×800	With Pressure gauge
Air Filter	20×720×920, EK-165	
Heater	0.5kW×6, 220V	Control by Solenoid
Air Damper	2.6W×24V×95	For Supply Fan
Control Panel	Auto/Manual, Button type 700×700×255	
Electricity, Size	220/380×3p, 3,230×1,130×1,870	

2) 냉각공기의 제어

냉각공기의 온도와 상대습도는 각각 KONICS KC-33과 DX7 디지털제어기에 의해 자동 조절되었다. 냉각기의 온도를 13℃에 설정하였고 상대습도를 65~75%범위로 설정하였을 때, 냉각공기는 그림 4에서 볼 수 있는 것처럼 점차로 온도와 상대습도가 설정값에 도달하고 있음을 알 수 있다. 설정값에 도달했을 때 냉각기 출구에서의 풍량은 11 cmm(m<sup>3</sup>/min)정도로서 더 이상 증가하지 않았다. 그리고 공기가 공급팬을 지나면서 갑자기 확대되는 덕트를 통하는 동안에 압력손실이 발생하였고, 증발기 핀을 통과할 때 핀과 코일에 의한 압력손실이 많이 발생한 것으로 나타났다. 그러나 곡물을 냉각할 때에는 작은 풍량이 사용되기 때문에

압력감소도 매우 작아 냉각기의 정압은 별 문제가 되지는 않았다. 그림 4에서와 같이 냉각기 내에서 증발기를 통과한 냉각공기 온도 및 상대습도는 외기온도가 약 32℃인 여름철에 자동설정시 시동 후 약 7분만에 설정온도 13℃와 상대습도 65~75%의 범위에 도달한 후 ±1℃의 온도오차와 설정된 상대습도 범위에서 지속적으로 정확하게 조절됨을 알 수 있었다. 특히 냉각공기의 상대습도는 재가열기의 고온의 냉매로 자동으로 조절하였는데, 증발기를 바로 통과한 냉각공기의 온도는 약간 상승하고 상대습도는 설정치에 도달하는 것을 알 수 있었다. 본 냉각기에서 최종 냉각공기의 최저온도는 외기 조건과 풍량 그리고 상대습도에 따라 약 8~13℃까지 가능하였고, 상대습도는 50~95%범위에서 설정이 가능하게 되었다. 따라서 실험결과 본 냉각기는 냉매와 그 증발기 핀의 면적과 응축기 핀의 면적이 충분

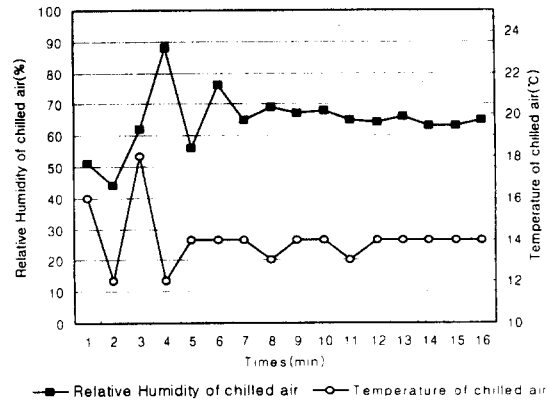


Fig. 4 Change of chilled air according to time at 31℃ temperature and 82% relative humidity of ambient air

하였고, 냉매에 의해서 계산된 냉각능력은 곡물 40톤을 냉각시키는데 충분한 것으로 판단되었다. 그리고 공기가 증방기코일을 균일하게 통과하도록 설계가 보다 더 개선되어야 할 것으로 판단되었다.

### 3) 냉각기 성능분석

냉각기 주요부의 온도를 측정해 실제의 자료를 입력하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 냉각기의 성적계수, 최대 냉매유량, 시스템 내에서의 공기압력, 냉각능력, 응축기의 발열량, 압축기의 일, 냉각공기의 특성, 각 지점에서 냉매의 특성치 등을 분석할 수가 있었다. 분석된 냉각기의 최대냉각능력은 약 33kW이었으며 성능계수는 약 3.77로 나타났다. 그리고 재가열기 이전의 냉각공기의 상대습도는 거의 100%로 나타났고, 공기에서 제거되는 수분량은 공기 1kg 당 약 0.002kg이었다. 비가역성이 고려된 압축후의 엔탈피가 294.3kJ/kg로 나타나 냉매의 온도가 73℃까지 상승하였다. 냉매의 유량이 0.2017kg/s로서 예상보다 충분하여 냉각기의 최대냉각능력이 33kW까지 발생하는 것으로 분석되었다.

### 나. 곡물의 냉각실험 결과

개발한 곡물냉각기를 단열처리된 사일로에 설치하고 약 5.6톤의 곡물을 냉각실험 한 결과 그림 5와 6과 같은 결과를 얻었다. 냉각기의 설정온도를 13℃로 하고 상대습도를 65%~

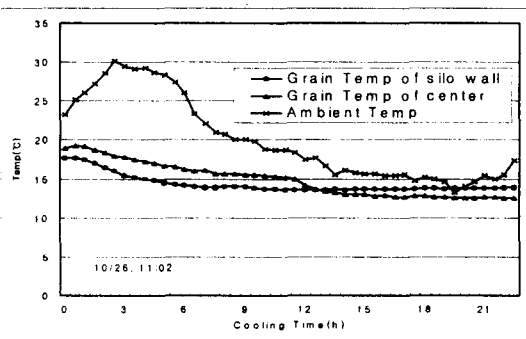


Fig. 5 Change of ambient temperature and grain temperature in silo according to cooling time

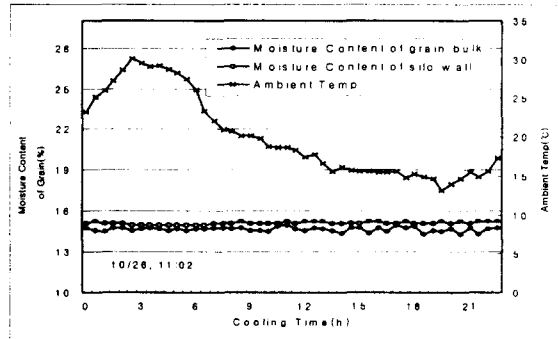


Fig. 6 Change of ambient temperature and moisture content of grain in silo according to cooling time

75%로 설정한 후 냉각기를 가동한 결과, 사일로내 곡물의 온도는 20℃에서 점차 떨어져 약 9시간 후에 13~14℃에서 유지하였다. 이때 냉각기의 평균 소비동력은 시간당 약 9kWh이었다. 그림 6은 냉각시간에 따른 대기온도와 사일로내 곡물의 함수율 변화를 나타낸 것으로서, 정전용량식 수분센서로부터 측정된 곡물함수율은 약 15%정도를 유지하였다.

## 4. 요약 및 결론

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

성능을 평가하였다.

1. 사일로에서 곡물을 중저온으로 냉각하기 위해 필요한 냉각부하, 열전달량, 호흡열 등을 고려하여 최소 25kW의 냉각능력을 가진 곡물냉각기를 시뮬레이션을 통해 설계 제작하였다. 곡물냉각기는 5.6kW의 압축기, 표면적 92m<sup>2</sup>의 직교류형의 plate 핀이 부착된 응축기코일, 표면적 68m<sup>2</sup>의 직교류형의 판 핀들이 부착된 증발기 코일, 온도조절형 팽창밸브, 상대습도 조절용 재가열기 등으로 구성하여 개발하였다.

2. 냉각기의 냉각공기량은 댐퍼에 의해 자동 또는 수동으로 조절되도록 개발하였다. 공기 유량을 수동으로 제어할 때는 임의로 설정할 수 있도록 하였고, 자동조절시에는 필요한 온도와 상대습도를 설정하여 중저온과 낮은 상대습도의 냉각공기를 얻을 수 있도록 하였다.

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

4. 본 냉각기는 외기온도가 약 32℃인 여름철에 자동설정시 시동후 약 7분만에 설정온도 13℃와 상대습도 65~75%의 설정범위에 도달한 후 ±1℃ 온도오차와 설정된 상대습도 범위에서 지속하였다. 냉각공기량 0.2cmm/m<sup>3</sup>으로 곡물 함수율을 15%이하로 유지하여 약 5톤의 곡물을 약 9시간 후에 15℃이하의 온도로 냉각시킬 수 있었다.

5. 개발된 곡물 냉각기의 최대 냉각능력은 약 33kW, 성능계수는 약 3.7로 나타났으며, 25kW의 냉각부하를 갖는 약 30℃의 40톤 곡물을 15℃이하로 냉각하기에는 충분한 것으로 사료되었다.

## 5. 참고문헌

1. 민만기, 이세균, 이재효, 전창수, 김용찬 편역. 1997. 공기조화 및 냉동. 희중당.
2. 서명교 편역. 1994. 냉동 및 공기조화. 에드텍.
3. 이정오, 박희용. 1992. 열전달, 개정 7판. 범한서적주식회사.
4. 하재현, 손병진. 1996. 유체기계. 보문당.
5. Brooker, Donald B., Fred W. Bakker-Arkema and Carl W. Hall. 1992. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. An avi Book Pub. by Van N. Reinhold New York.
6. Foster, G.H. and J.Tuite. 1982. Aeration and stored grain management. In Storage of Cereal Grains and Their Products C.M.Christensen, ed. A.A.C. Chemists, St. Paul, MN.
7. F.W.Bakker-Arkema. 1990. Grain Operations. Pub. by GRAIN Journal Mag. 3(1).
8. Idem, S. A. 1990. Heat Transfer Characterization of a Finned-Tube Heat Exchanger. Transactions of ASME. vol. 112.
9. Maier, D.E., F.W.Bakker-Arkema and S.G.Ilangantileke. 1993. Ambient and Chilled Paddy Aeration under THAI Conditions. Agri. Engineering Journal. 2(1&2):15-33.
10. Maier, D.E., R.G. Moreira and F.W.Bakker-Arkema. 1992. Comparison of Conventional and Chilled Aeration of Grains Under Texas Conditions. A.S.A. Engineers 8(5) : 661-667.
11. Maier, D.E. and R.A.Rulon. 1996. Evaluation and Optimization of a New Commercial Grain Chiller. A.S. of Agricultural Engineers 0883-8542 12(6) : 725-730