

곡물냉각기의 개발

김동철 · 김의웅[†] · 금동혁¹ · 한종규²
한국식품개발연구원, 성균관대학교¹, 한성공업(주)²

Development of a New Commercial Grain Cooler

Dong-Chul Kim, Oui-Woung Kim[†], Dong-Hyuk Keum¹ and Jong-Kyu Han²

Korea Food Research Institute, Sungnam 463-420, Korea

¹Sungkyunkwan University, Sewon 440-740, Korea

²Hansung Ind. Co., Ltd., Oiksan 570-140, Korea

Abstract

The objectives of this study were to develop a new commercial grain cooler suited to domestic weather and post-harvesting conditions for paddy, and to evaluate the performance. A prototype grain cooler capable of cooling paddy of 200 tons within 24 hours 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 reheater and evaporator from compressor. And a controller with one chip microprocessor was developed to control temperature and relative humidity of cooling air. The maximum cooling capacity of the grain cooler was 35,284 kcal/hr at condensing/evaporating pressure of 16.5/3.6 kgf/cm². Maximum flow rate of cooling air was 120 m³/min at static pressure of 279 mmAq. The total maximum required power was 22.8 kW, and total required energy was saved from 26.7 to 33.3% of maximum power depending on operating conditions. The coefficient of performance of refrigeration devices and total coefficient of performance of the grain cooler were 4.71 and 1.8, respectively.

Key words : paddy, grain cooler, coefficient of performance, cooling capacity, heating capacity

서 론

우리나라 기상조건하에서 관행적인 상온저장방법으로는 벼의 안전저장을 위하여 함수율 15%미만(wet basis)이 권장되고 있다(1). 그러나, 15.5~16.5%의 비교적 높은 함수율에서 우수한 식미를 나타내며(2), 벼를 함수율이 높은 상태로 저장할수록 도정후 백미의 수율은 증가하나 높은 함수율의 벼를 안전하게 저장하기 위해서는 저장곡물의 곡온을 낮게 유지해야 한다. 또한, 우리나라 RPC(미곡종합처리장, Rice Processing Complex)는 약 25일 이내의 짧은 기간동안 산물(bulk)상태로 반입되는 다량의 물벼(24%수준) 건조를 위해 부족한 건조시설의 증설필요성이 대단히 크나, 막대한 투자비용이 소요되는 반면 년중 사용기간이 약 2개월 정도로 대단히 짧아 투자 효율성이 매우 낮다. 따라서 반입되는 물벼를 건조기로 약 18~20%까지 1차 건조하여 냉각하여 안전하게 일시 저장한 후 건조기에 여유가 있을 때 2차 건조하

는 방법으로 기 설치된 건조시설의 사용기간을 연장하여 건조능력을 극대화할 수 있는 새로운 기술의 도입이 필요한 실정이다.

따라서, 함수율 15.5~16.5%의 벼를 연중 안전하게 저장하면서, 건조능력을 향상시킬 수 있는 곡물냉각기(Grain cooler)의 도입필요성이 대단히 높다.

곡물냉각기는 온·습도가 변화하는 외기를 일정한 온도와 상대습도를 갖도록 냉각하여 벼를 냉각할 수 있는 시스템이다. 1961년 최초로 독일 Escher-Sulzer Wyss사에서 상용적인 곡물냉각기가 개발되었고(3), 1988년 냉각공기의 상대습도를 조절하기 위하여 응축폐열을 사용한 재열기가 부착되었다(4). 현재는 세계적으로 독일, 미국, 스웨덴 등의 5개국의 약 7개사에서 곡물냉각기를 생산하고 있으며, 연간 약 2,500만 톤 이상의 곡물이 냉각저장되고 있다(5). 이들 곡물냉각기를 이용하여 밀, 콩, 옥수수, 유채씨앗 등의 곡물에 대한 냉각 실험을 실시한 연구보고는 대단히 많으며(6), 스페인, 이탈리아 및 말레이시아 등에서 벼에 대한 실시한 냉각실험 결과도 보고되고 있다(7, 8, 9).

그러나, 곡물냉각기 자체의 성능에 관해서는 각 업체에서

[†] Corresponding author. E-mail : kwoung@kfri.re.kr, Phone : 82-31-780-9044, Fax : 82-31-780-9059

공개를 꺼리고 있는 실정으로 보고된 예를 찾아볼 수 없었으며, 이들 시스템은 가격이 고가이면서도 국내의 기상조건과 벼의 수확후 관리체계에 적합하지 않는 부분이 많아 도입이 어려운 실정이다. 그리고, 우리나라는 수확기에 일교차가 대단히 커 외기온도가 5℃ 이하로 저하하는 경우가 많아 기존시스템에서 주로 적용되고 있는 압축기(compressor) 용량조절밸브에 의한 냉각능력의 제어방식으로는 냉각부하가 적어질 때 냉각공기의 일정한 온도유지가 어려워 압축기가 잦은 정지가 불가피하고, 낮은 외기로 인한 에너지 절약효과도 거의 없는 실정이다. 또한, 벼를 식미가 우수한 16% 내외의 함수율로 장기저장하기 위해서는 냉각중 벼의 함수율을 감소가 최소화되도록 냉각공기의 상대습도를 평형상대습도로 제어해야할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 벼를 대상으로 국내의 기상조건 및 수확후 처리여건에 적합한 상용적인 곡물냉각기를 개발하고, 이의 성능을 측정하여 설계조건에 적합한지를 분석하는데 있다.

재료 및 방법

주요 단위기기의 설계 및 제작

곡물냉각기의 용량은 수확기에 최대 벼 200톤(345 m³)을 24시간이내에 25℃에서 5℃까지 냉각할 수 있는 능력을 기준으로 하였으며, 곡물냉각기의 설계의 기준이 되는 압축기와 송풍기의 설계를 위하여 송풍기의 송풍량(air flow rate)과 소요 정압(static pressure)을 구하고, 이를 이용하여 압축기의 냉각능력을 결정하였다.

벼를 냉각하는데 필요한 최대 송풍량은 적정 풍량비 0.35 m³/min/ m³(10)와 벼의 체적 345 m³에 의해 120 m³/min로 결정하였다. 또한, 미곡종합처리장에 사용중인 벼 200톤을 저장하는 사일로의 규모가 6.2×11.3 m(Φ×H)을 감안하여 다음 식(1)을 이용하여 벼 퇴적층 송풍저항을 계산한 결과 234 mmAq이었다. 따라서, 곡물냉각기의 증발기 및 재열기 등에서의 송풍저항을 감안하여 송풍기의 소요정압은 250 mmAq를 기준으로 하였다.

$$\Delta P = 653.54 \times v^{1.2727} \times (H + 0.1) \dots\dots\dots(1)$$

여기서 ΔP : 송풍저항(mmAq)
 v : 벼층 통과공기의 걸보기풍속(m³/sec/m³)
 H : 벼 퇴적높이(m)

냉각부하의 계산을 위한 외기 온습도조건은 우리나라 13개 도시의 10월 평균기온 중 가장 높은 울산지역의 15.8℃, 68%(엔탈피 35.13 kJ/kg)를 기준(11)으로 하였고, 냉각공기는 5℃, 95%(엔탈피 17.94 kJ/kg)를 기준으로 하였다. 따라서 외

기 120 m³/min를 냉각하는데 소요되는 냉각부하는 35,681 kcal/hr이었다.

이상의 송풍량, 소요정압 및 냉각부하에 맞게 곡물냉각기를 제작하였다. Fig. 1은 곡물냉각기의 기본 흐름도, Fig. 2는 곡물냉각기 시작품을 각각 나타낸 것이다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 곡물냉각기는 크게 압축기, 증발기, 응축기, 팽창밸브 등 기본적인 냉동기기와, 외기공기를 도입하는 필터, 댐퍼 및 송풍기, 상대습도 조절을 위한 재열기, 이들을 연결하는 배관, 밸브류와 외기, 증발기출구 및 재열기출구 공기의 온도측정을 위한 온도센서 및 제어기로 구성되어 있다. 시작품의 크기는 4.045×1.530×1.675 m(L×W×H)이었으며, 총중량은 1,650 kg이었으며, 곡물냉각기에 사용된 주요기기의 사양은 Table 1과 같았다.

Table 1. Specifications of the prototype grain cooler

compressor	type : semi-hermetic, reciprocating power : 11kW capacity : 42,914kcal/hr at condensing/evaporating temperature 35/0℃ air-cooled type
condenser	coil : 3/8" × 8R × 40S × 850EL transfer area : 121.1m ² fan : axail type, 2.2kW
evaporator	type : top feed coil : 5/8" × 12R × 16S × 720EL transfer area : 101.6m ²
fan	type : turbo power : 7.5kW capacity : 120m ³ /min at 250mmAq
refrigerant	R-22
connected load	21.2kW

Table 2. Required electric power of prototype grain cooler and compressor with different operating conditions

Operating conditions	Cooling air temperature (℃)	High pressure (kg/cm ²)	Low pressure (kg/cm ²)	Required power(kW)	
				total	compressor
Damper	5.0	16.0	3.9	22.8	14.1
Damper+unloading solenoid valve	5.0	13.0	4.1	15.2	7.8
Reheater	17.0	15.0	4.0	24.0	13.8
Unloading solenoid valve + reheater	17.0	14.9	5.0	17.4	8.6
Unloading solenoid valve +reheater +evaporator	17.0	16.2	6.2	17.6	9.0

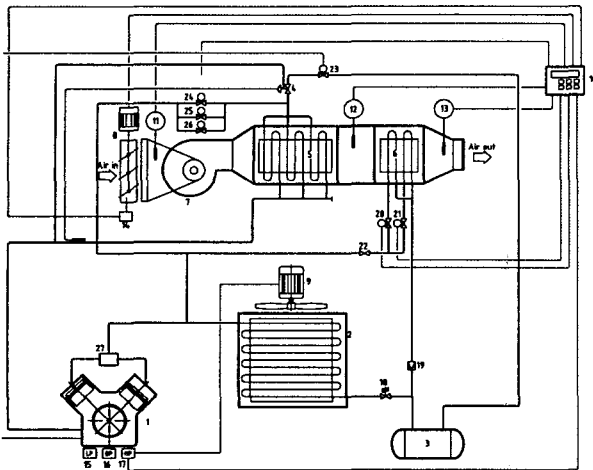


Fig. 1. Schematic diagram of prototype grain cooler.

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



Fig. 2. Photograph of the prototype grain cooler.

제어시스템 설계 및 제작

일정한 냉각능력을 가진 곡물냉각기가 일정한 온·습도를 가진 냉각공기를 발생시키기 위해서는 시간의 경과에 따라 변화하는 외기의 온·습도에 따라 냉각능력이 조절되어야 한다. 이를 위해 50~100%로 압축기 냉매토출량(冷媒吐出量)의 조절이 가능하면서 에너지 절약이 가능한 무부하전자변(unloading solenoid valve, Fig. 1의 27)과, 재열기와 증발기에 압축기에서 토출되는 고온고압의 냉매가스를 공급하는 전자변(Fig. 1의 20, 21, 24, 25, 26)을 이용하여 곡물냉각기의 냉각능력을 0~100%까지 제어할 수 있도록 하였다.

증발기에서 노점온도 이하로 냉각된 공기의 상대습도가 95%이므로 전자변(Fig. 1의 20, 21)을 이용하여 재열기에 고

온고압의 냉매가스를 공급하여 냉각공기를 가열하여 상대습도를 제어하였다. 또한, 증발기를 통과하는 냉각공기의 온도가 지나치게 낮아져 증발기 코일에 착상이 발생하여 냉각능력이 현저한 감소를 방지하기 위하여 온도센서(Fig. 1의 12)에서 감지된 공기온도가 1℃보다 낮아지면 증발기에 고온고압의 냉매가스를 공급하여 착상이 발생하지 않도록 제어하였다.

이상의 제어방법을 이용하여 저장목표보다 높은 함수율을 갖는 벼를 일부 건조시켜 증발잠열에 의해 빠르게 냉각할 수 있도록 냉각공기의 상대습도를 낮추어 주는 “냉각건조” 기능, 냉각과정중 가능한 방습 및 흡습이 발생되지 않도록 냉각공기의 상대습도를 평형상대습도에 가깝게 조절될 수 있는 “냉각저장”기능과, 외기만을 송풍하는 “통풍”기능 등 3가지 기능을 갖도록 설계, 제작하였다. 송풍기 댐퍼, 압축기 무부하전자변, 재열기 및 증발기의 고온고압 냉매가스 공급관에 부착된 전자변의 자동운전을 위하여 원칩 마이크로 프로세서(AT89C52, PIC16C74)를 이용하여 시스템을 제어하였다.

결과 및 고찰

기본성능측정방법

곡물냉각기를 플렉시블 덕트로 플로노즐(flow nozzle)에 연결하고, 플로노즐에서 토출되는 냉각공기는 대기중에 방출되도록 설치한 다음, 곡물냉각기의 냉각능력, 재열능력, 가열능력, 소요전력 및 성능계수 등을 측정하였다.

냉각능력(cooling capacity)은 외기공기를 설정온도까지 냉각할 수 있는 능력으로, 송풍량, 외기 및 냉각공기의 온습도를 측정하여 엔탈피차로부터 실제 냉각능력을 구하여 이론적인 냉각능력과 비교하였다. 이론적인 냉각능력은 측정된 증발온도와 응축온도를 이용하여 압축기 제조회사의 상용적인 프로그램(VAP 6.1, BOCK Co., Germany)으로 구하였다.

재열능력(reheating capacity)은 증발기에서 냉각된 95%수준의 냉각공기 상대습도를 제어하기 위한 재열기의 능력으로, 송풍량과 재열기 전·후 공기의 온습도를 측정하여 엔탈피차로서 계산하였다. 또한, 재열온도를 3.5℃로 설정하고 재열기 전·후 공기온도차가 일정하게 유지되는지를 확인하였다.

가열능력(heating capacity)은 외기온도가 설정 냉각공기 온도보다 낮아질 때 증발기와 재열기에 고온고압가스를 공급하여 외기공기를 가열하여 곡물냉각기 출구온도를 설정 냉각공기온도로 유지할 수 있는 능력으로, 송풍량, 외기 및 곡물냉각기 출구공기의 온습도를 측정하여 엔탈피차로서 구하였다.

성능계수(C.O.P, coefficient of performance)는 곡물냉각기 각 지점에서 측정된 냉매온도를 이용하여 Mollier선도로 냉동효과와 압축기 소요일량을 구하여 성능계수를 계산하였

다. 소요전력은 곡물냉각기 전체의 소요전력과 압축기의 소요전력을 적산전력계를 이용하여 각각 측정하였다.

이를 위해 냉각공기의 온도, 상대습도, 냉각공기의 송풍량, 압축기와 곡물냉각기의 전체소요전력을 측정하고, 곡물냉각기 각 지점에서의 냉매온도를 측정하였다. 냉각공기의 온도 및 냉매의 온도는 곡물냉각기의 20개지점에 열전대(K-type)를 설치하여 측정하였으며, 상대습도는 8개의 상대습도 센서(HD8607)로, 송풍량은 Ø0.35m의 플로노즐을 사용하여 측정하였으며, 측정치는 자료수집장치(Datascan, 7327, U.K.)로 기록하였다. 송풍량 측정은 한국공업규격(KS A 0612)에 준하였다.

냉각능력

곡물냉각기에 사용한 송풍기의 성능곡선은 Fig. 3과 같았으며, 송풍량과 정압의 관계는 다음 식(2)와 같았다 ($r^2=0.993$). 송풍기 성능곡선에서 송풍량 120 m^3/min 일 때 정압은 279 mmAq로서 설계조건 250 mmAq를 만족하였다.

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

여기서, ΔP : 정압 (mmAq)

Q : 송풍량 (m^3/min)

Fig. 4는 냉각공기온도를 5 $^{\circ}C$ 로 설정하고 곡물냉각기를 가동하여 외기와 냉각공기의 온도를 나타낸 것으로서 냉각공기온도가 정상상태에 도달하는데 소요된 시간은 약 0.12시간(약 7분)이었다. 이 때 응축 및 증발압력은 각각 16.5, 3.6 kg/cm^2 이었으며, 외기의 평균 온·습도(20.0 $^{\circ}C$, 58.2%)와 냉각공기의 평균 온·습도(5.3 $^{\circ}C$, 94.8%)의 열물성치와 송풍량(88.0 m^3/min)의 관계로부터 냉각능력을 계산한 결과 35,284.2 kcal/hr로서 동일 응축 및 증발압력하에서 이론적인 냉각능력 34,271 kcal/hr의 약 100.3%로 나타났다.

한편, 압축기 무부하전자변이 가동된 상태에서는 응축 및 증발압력은 각각 13.0, 4.1 kg/cm^2 로 무부하전자변이 작동하지 않는 경우에 비해 응축압력은 다소 낮아졌으며 증발압력은 높아졌다. 이 때 외기의 온·습도(19.3 $^{\circ}C$, 53.2%)와 냉각공기의 온·습도(5.4 $^{\circ}C$, 94.8%) 및 송풍량(65.6 m^3/min)을 이용하여 냉각능력을 계산한 결과 21,948 kcal/hr로서 이론적인 냉각능력 42,527 kcal/hr의 약 51.6%를 나타냈다. 따라서, 압축기 냉매토출량이 50%로 조절되는 무부하전자변이 가동할 때 전체 냉각능력도 목표한 50%정도로 제어됨을 알 수 있었다.

재열능력

압축기 무부하전자변이 가동되지 않을 때 곡물냉각기 각 지점에서의 공기 상태변화는 Fig. 5와 같았다. 그림에서와

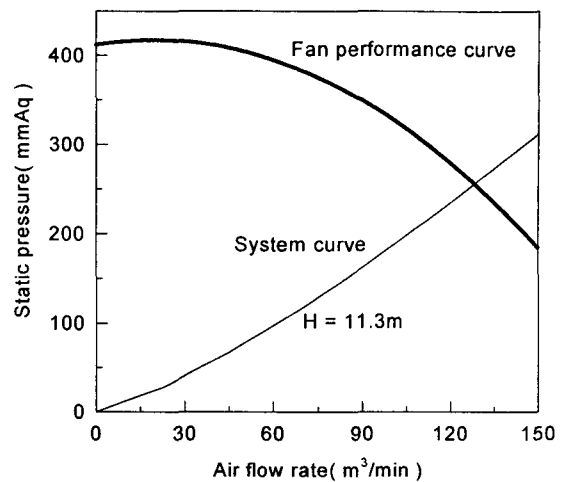


Fig. 3. Fan performance curve and system characteristic curve for paddy bed of 11.3m depth.

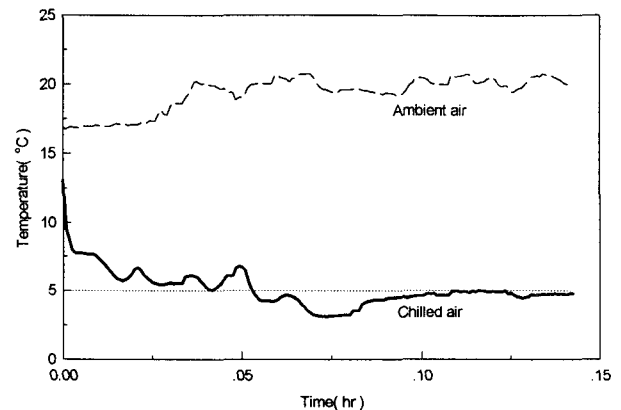


Fig. 4. Changes of temperature of ambient and chilled air during cool-down.

같이 외기의 평균 온습도(㉓)는 20.3 $^{\circ}C$, 53.6%이었으며, 증발기(㉔) 및 재열기를 통과한 냉각공기의 온도 및 상대습도(㉕)는 각각 5.8 $^{\circ}C$, 95% 및 14.4 $^{\circ}C$, 60.5%를 나타내어, 재열기를 통하여 냉각공기의 온도는 8.6 $^{\circ}C$ 상승하였고, 상대습도는 32.8%가 강하하였다. 이 때 송풍량은 118.9 m^3/min 로서 증발기에서 제거된 열량은 43,253.7 kcal/hr이었으며, 재열기에서 공급된 재열량은 23,154.9 kcal/hr로서 증발기에서 냉각된 열량의 약 53.5%를 차지하였다. 한편, 증발기를 통과한 냉각공기에 비해 재열기를 통과한 냉각공기의 절대습도가 다소 높게 나타난 것은 증발기에서 재흡수되어 생성된 물의 일부가 냉각공기에 재흡수되었기 때문으로 판단되었다.

압축기 무부하전자변이 가동된 상태에서 외기(19.5 $^{\circ}C$, 56.9%), 증발기 통과후 냉각공기(10.0 $^{\circ}C$, 94.8%) 및 재열기를 통과한 냉각공기(17.6 $^{\circ}C$, 64.0%)의 관계에서 재열기를 통해 냉각공기온도는 7.6 $^{\circ}C$ 상승하였고, 상대습도는 30.8%가 강하한 것으로 나타났다. 송풍량은 129.6 m^3/min , 증발기에서 제

거된 열량은 25,856.7 kcal/hr였으며, 재열기에서 재열된 열량은 22,248.5 kcal/hr로서 증발기에서 냉각된 열량의 86.0%를 차지하였다.

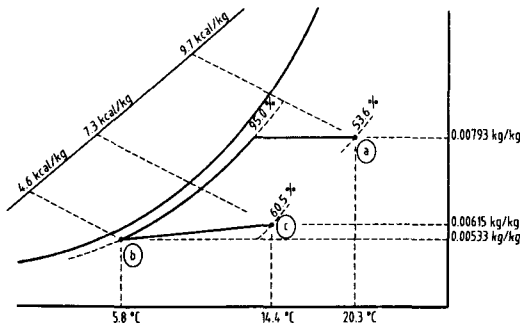


Fig. 5. Changes of air states through evaporator and reheater on psychrometric chart(Ⓐ : ambient air, Ⓑ : exit air from evaporator, Ⓒ : exit air from reheater).

이상의 결과로부터 압축기 무부하전자변의 작동여부에 따라 재열기를 통한 냉각공기의 최대 온도상승 범위는 7.6~8.6°C, 재열후 냉각공기의 최대 상대습도 강하 범위는 34.5~41.0%수준으로 나타났으며, 증발기를 통과한 냉각공기의 상대습도가 95%수준임을 감안할 때 재열기를 통과한 공기의 상대습도를 54.0~60.5%까지 낮게 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

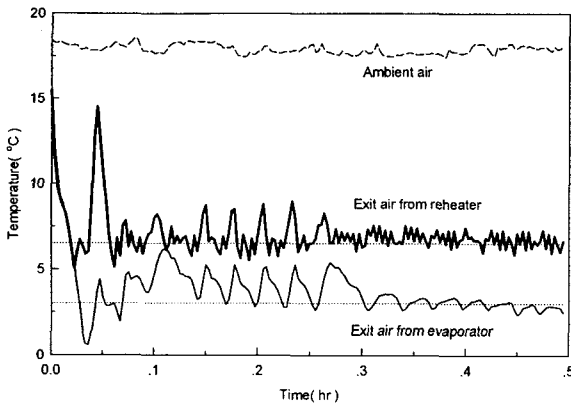


Fig. 6. Changes of temperatures of ambient and exit air from evaporator and reheater.

Fig. 6은 냉각공기온도를 6.5°C, 재열기를 통한 온도상승을 3.5°C로 설정하고 0.5시간동안 냉각공기온도변화를 측정된 결과를 나타낸 것으로서, 재열기 출구온도 즉, 곡물냉각기의 냉각공기온도는 약 0.25시간후에 설정온도와 동일한 6.5°C로 유지되었으며, 증발기 및 재열기출구의 냉각공기온도차는 재열온도 3.5°C 범위에서 안정적으로 제어되고 있음을 알 수 있었다.

가열능력

곡물냉각기는 설정 냉각공기온도보다 외기온도가 1°C정도 낮아질 때까지 외기를 가열하여 냉각공기온도를 설정된 온도로 유지하며, 외기온도가 더욱 낮아질 때는 압축기를 정지하고 “통풍”기능으로 전환되도록 설계되었다. 따라서 곡물냉각기 출구공기온도가 외기온도에 비해 상승할 수 있는 온도를 측정하였다.

압축기의 무부하전자변이 가동되고 재열기 및 증발기에 고온고압의 냉매가스가 공급될 때, 증발기 및 재열기 출구공기의 온습도는 각각 14.6°C, 71.3% 및 24.5°C, 46.8%이었다. 이 때 외기 온·습도는 각각 18.9°C, 61.2%이었으며, 송풍량은 131.0 m³/min로서 총 냉각열량은 15,227.3 kcal/hr, 가열능력은 32,276.7 kcal/hr로 나타났다. 또한, 재열기 및 증발기 출구 공기온도차는 9.9°C, 재열기출구 공기와 외기의 온도차는 5.6°C로서 외기를 최대 5.6°C까지 가열할 수 있는 것으로 나타났다. 응축 및 증발압력은 16.2 및 6.2 kg/cm²로서 이론적인 압축기 냉각능력은 28,208 kcal/hr인 반면 실제 냉각능력은 15,227.3 kcal/hr로서, 증발기에 냉매액과 고온고압의 냉매가스가 동시에 공급됨에 따라 냉각능력의 46.0% 정도가 제어되었음을 알 수 있었다.

한편, 압축기에서 토출되는 냉매가스의 온도는 74.6°C로서 비슷한 조건에서 덤퍼만을 제어할 때의 냉매가스온도 63.0°C에 비해 약 14.6°C가 높았으며, 압축기의 전류도 16.8~17.9A로 심한 변화를 나타냈다. 이는 재열기 및 증발기에 공급되는 고온고압가스량을 충분히 확보하기 위해 응축기의 송풍기가 제어되었기 때문으로 판단되었다.

소요전력

곡물냉각기 설계 소요동력은 21.2kW이나, 실제 소요동력은 가동조건에 따라 달라지게 된다. Table 2는 압축기의 무부하전자변이 작동하는 경우와 작동하지 않는 경우, 재열 및 증발기에 고온고압 냉매가스가 공급되는 경우의 소요동력을 나타낸 것으로서, 무부하전자변이 작동하지 않고 송풍기의 덤퍼만이 제어될 때 총소요전력과 압축기 소요동력은 각각 22.8 kW, 14.1 kW로서 설계소요전력보다 다소 높게 나타났다. 그러나 무부하전자변이 작동할 때는 소요전력은 각각 15.2 kW, 7.8 kW로서 압축기 무부하전자변이 작동하지 않는 경우에 비해 총소요동력의 33.3%, 압축기 소요동력의 44.7%가 절감되는 것으로 나타났다.

재열기만 가동하는 경우, 그리고 재열기와 압축기 무부하전자변이 함께 작동될 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 소요동력은 34.8~37.7%정도가 절감되는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 압축기 무부하전자변이 가동될 경우 전체 소요전력의 26.7~33.3%정도가 절감되는 것으로 나타났다.

성능계수

Fig. 7은 곡물냉각기의 구조(A)와 건압축(乾壓縮) 냉동사이클(B)을 나타낸 것으로서 냉동효과는 39.6 kcal/kg이고, 전체 냉각능력은 35,284.2 kcal/hr이므로 냉매순환량은 891 kg/hr가 되며, 성능계수는 4.71로서 표준냉동사이클에서 냉매 R-22의 성능계수 4.0에 비해 높은 값을 나타냈다. 이것은 외기온도가 20.0℃로 비교적 낮아 응축기에서 약 10.6℃정도의 과냉각(subcooling)이 발생(㉑)하였으며, 수액기에서 응축기로 흡입되는 외기에 의하여 1.8℃정도의 과냉각이 추가로 발생(㉒)하여 전체적으로 12.4℃의 과냉각이 발생하는데 원인이 있는 것으로 판단되었다. 또한, 팽창밸브에서 팽창한 냉매(㉓)가 증발기 입구의 분배기(distributor)에서 모세관에 의해 2차 팽창(㉔)하여 증발압력이 낮아지고 있음을 알 수 있었다.

그러나, 이 값은 압축기만의 성능계수이며, 곡물냉각기에서 압축기 축동력이외에 송풍기, 응축기의 송풍기, 댐퍼 및 전자변 등에서 에너지가 소비되므로 전체동력에 대한 전성능계수(total coefficient of performance)로 나타낼 수 있다. 곡물냉각기의 시간당 소요동력은 22.8 kWh로서 전성능계수는 1.8이었다.

물냉각기를 개발하고, 냉각능력, 재열능력, 가열능력, 소요전력 및 성능계수 등의 성능을 측정하여 설계조건에 적합한지를 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

압축기 무부하전자변과, 재열기 및 증발기에 고온고압의 냉매가스를 공급하여 냉각능력을 0~100%까지 제어할 수 있고, 온도 5℃이상, 상대습도 54~95%의 정온정습 공기를 발생할 수 있는 1일 최대 벼 200톤을 냉각할 수 있는 곡물냉각기를 개발하였다. 이 곡물냉각기의 최대냉각능력은 35,284 kcal/hr, 송풍량 및 정압은 각각 120 m³/min, 279 mmAq이었으며, 재열기를 통한 냉각공기의 최대 온도상승 및 상대습도의 저하범위는 각각 7.6~8.6℃, 34.5~41.0%이었으며, 최대가열능력은 5.6℃이었다.

또한, 최대 소요동력은 22.8 kW이었으나, 압축기의 무부하전자변이 작동될 때는 총소요동력의 33.3%, 압축기 소요축동력의 44.7%가 절약되는 것으로 나타났으며, 제어조건에 따라 전체소요동력의 26.7~33.3%정도가 절약되는 것으로 나타났으며, 냉동시스템의 성능계수는 과냉각으로 인해 표준냉동사이클하에서의 4.0보다 높은 4.71이었으며, 전성능계수는 1.8로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농림기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 고훈균, 금동혁, 김동철, 김만수, 김명환, 김용현, 박경규, 박호석, 이종호, 장동일, 정종훈, 조영길, 한충수 (1995) 미곡종합처리시설 -이론과 실제-. 문운당. p.381-382
2. Kawamura S., (1991) Rice milling and the quality and taste of milled rice (Part 3) Quality and taste of milled rice. Memories of the Faculty of Agriculture Hokkaido University, 17, 228-261
3. Heidt, H. (1963) Grain chilling, a valuable aid in combine harvesting. Die Mühle und Mischfuttertechnik, 100, 417-418
4. Mühlbauer, W. (1988) Developing trends in drying, chilling and storage of grain and maize. Die Mühle und Mischfuttertechnik, 125, 54-58
5. Maier, D.E. (1992) The chilled aeration and storage of cereal grains. Ph.D thesis, Michigan State University
6. Sauer, D.B. (1992) Storage of Cereal Grains and Their Products. American Association of cereal chemists, Inc., St. Paul, MN. p.46-48

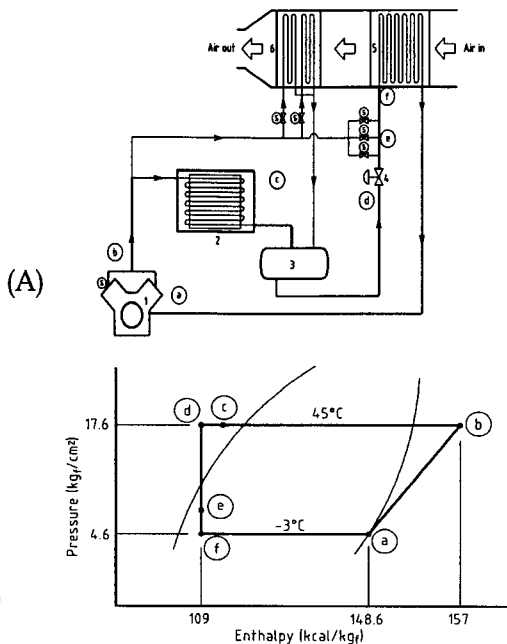


Fig. 7. Dry compression refrigeration cycle of prototype grain cooler(1.compressor, 2.condenser, 3.receiver, 4. expansion valve, 5. evaporator, 6. reheater).

요 약

국내의 기상조건 및 벼의 수확후 처리여건에 적합한 곡

7. Clapers, R. (1970) Rice cooling. Internal Report. Sulzer-Escher Wyss, Lindau, Germany, p.1-14
 8. Finassi, A. (1987) Recent progress in rice cultivation in Italy. FAO International Commission Report, 36, 5-7
 9. Chek, T.I. (1989) Application of paddy cooling technique in Malaysia rice industry. Workshop on grain drying and bulk handling and storage systems in ASEAN, Pitsanuloke, Thailand, 17-29 October
 10. Kim, D.C., Kim, O.W. and Keum, D.H. (1999) Cooling simulation for fixed-bed of rough rice. J. of Korean Society for Agricultural Machinery, 24, 31-40
 11. 성균관대 (1998) 원형철제빈을 이용한 벼의 건조 및 저장핸드북. 경기지역 컨소시엄 총서 2, p.1-84
-

(접수 2004년 4월 6일, 채택 2004년 5월 27일)