

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol.17. No.2, 1997

## HFC134a를 사용한 열펌프 건조기의 성능에 관한 실험적 연구

김영중\*, 임장순\*\*

\* 두원공업전문대학 열냉동과

\*\* 인하대학교 기계공학과

## An Experimental Study on the Performance of Heat Pump Assisted Batch Dryer Using HFC134a

Y. J. Kim\*, C. S. Yim\*\*

\* *Doowon Technical College, Dept. of Heat and Refrigeration Eng.*

\*\* *Inha Univ. Dept. of Mechanical Eng.*

### 요 약

열펌프건조기는 증발기에 의한 냉각 및 감습기능과 응축기에 의한 가열기능을 대류형건조기와 연계시킴으로써 필연적 손실로 분류되던 배기가 갖고 있는 현열과 잠열을 회수하여 재활용할 수 있는 이점이 있다. 본 연구에서는 HFC134a를 냉매로 사용한 배치형(batch type) 열펌프건조기를 설계제작하여 건조실의 유지온도, 공기의 바이패스비(bypass ratio), 냉매의 과열도를 일정하게 유지하고 정면풍속(face velocity)과 압축기속도를 변화시켜 건조기의 성능을 분석하였으며 정면풍속의 증가에 따라 열펌프의 성적계수는 증가하나 SMER(Specific Moisture Extraction Rate)은 감소하였다.

## Abstract

In conventional heat and vent dryer, both sensible and latent heat could not be recovered from the exhaust air, but this problem could be solved by introducing a heat pump to a conventional dryer, having a connection with cooling, dehumidifying and heating of heat pump.

In this work, HFC134a as a substitute refrigerant of CFC12 adopted in heat pump and a batch type is also introduced. The variables affected on the system performance are holding temperature of a drying chamber, bypass air ratio, degree of superheat and refrigerant flowrate, etc.

The moisture contents were decreased curvilinearly in the range of 86~75% on the wet basis. Under the constant drying temperature, the face velocity plays an important role to the drying performance. The COPs are increased in accordance with the air velocity, on the other hand the SMERs are gradually decreased.

## 1. 서론

건조는 대류 및 전도에 의한 열전달이 중요한 기구로써 건조물 표면에 있는 수분은 공기와 접촉하면서 열을 수수하여 증발이 이루어지며 물질이동에 따른 잠열량과 공기로부터 전달되는 현열량이 평형을 이룬다. 물질이동 속도는 건조물과 접촉하고 있는 경계면에서의 절대습도와 건조용 공기의 절대습도 차에 의하여 결정되므로 건조용 공기는 온도가 높고 절대습도는 낮을 것이 요구된다. 따라서 종래의 열풍건조에서는 배기중에 활용가능한 다량의 현열이 포함되어 있음에도 잠열로 인하여 손실되는 문제가 있었다. 이에 열펌프와 대류형 건조기를 연계시켜 배열을 재활용할 수 있게 되었다. 종래의 열풍건조방법으로는 SMER (Specific Moisture Extraction Rate)이 0.2~0.6kg/kWh인데 비해 열펌프 건조기에서는 1.0~4.0 kg/kWh로써 효율적인 건조방식임이

입증된 바 있다<sup>1)</sup>

그 동안 열펌프 건조기의 연구에 사용된 냉매로는 CFC계 냉매<sup>2)~7)</sup>로써 오존층파괴로 인하여 사용규제를 받고 있으며 대체냉매 개발을 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 대체냉매인 HFC134a를 냉매로 사용하는 배치형 건조기(batch dryer)를 대상으로 주위온도를 일정하게 유지하면서 건조온도, 공기의 바이패스비, 증발기 출구에서의 냉매의 과열도는 기 연구 결과를 활용하고, 공기량과 압축기의 회전속도를 변화시켰을 때 건조기의 성능에 관하여 고찰하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험장치

본 연구의 실험장치는 Fig.2.1과 같이 공기사이클과 열펌프 사이클 및 측정장치로 구성되어 있다.

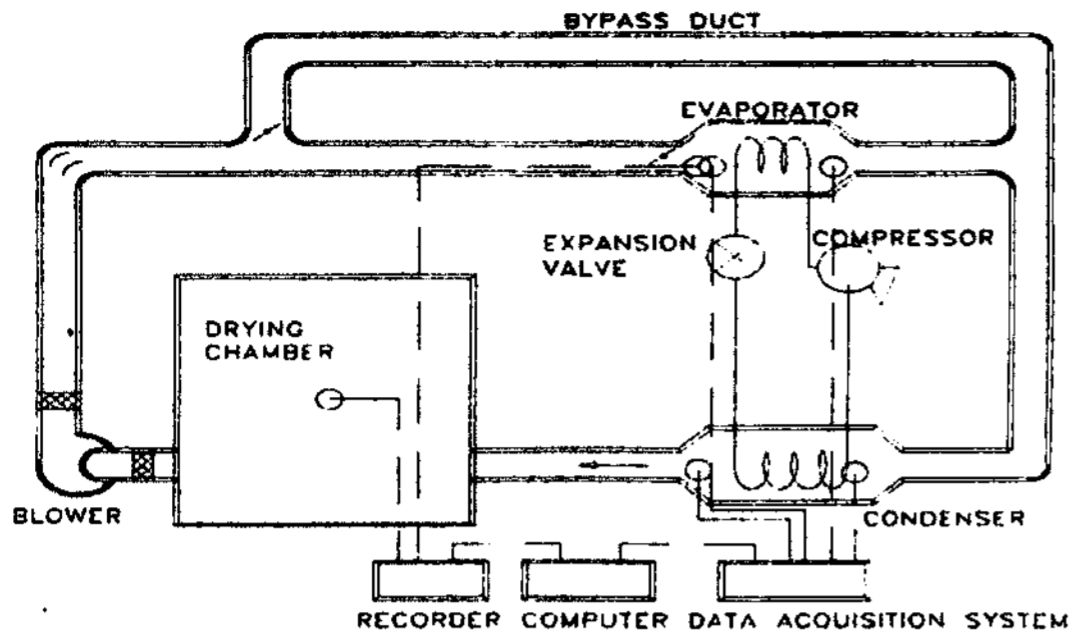


Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus

### 2.1.1. 공기 사이클

건조실(1,820 × 1,800 × 1,120mm)은 Isowall panel(두께50mm)을 사용하여 단열처리되어 있으며, 전면을 여닫이문으로 제작하여 tray의 착탈이 용이하도록 하였고 공기의 누설을 방지하기 위하여 테두리에 고무패킹을 부착하였다. 건조선반은 2열 10단(pitch 100mm)으로 인장로드셀(load cell)을 통하여 건조질량을 측정할 수 있도록 구성하였다. Fig. 2.2는 건조선반을 장착한 건조실의 내부를 나타낸 것이다. 건조선반과 tray의 바닥은 합성수지망(#25)을 대어 공기유동을 원활하게 하였다. 송풍기(60mmAq × 1.67m<sup>3</sup>/s × 2.2kW)는 원심식이고 주덕트(450×450mm)는 냉각코일(증발기)을 바이패스하는 덕트(350×350mm)와 직접 통과하는 덕트(270×270mm)로 분기된다. 증발기를

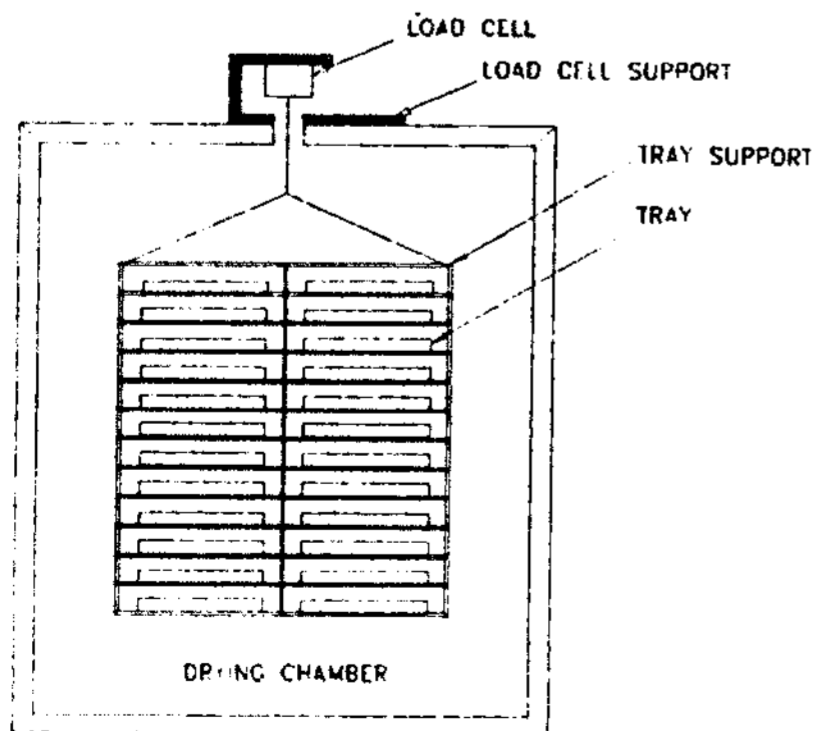


Fig. 2.2 Inside view of drying chamber

통과하면서 냉각감습된 공기와 바이패스한 공기가 다시 합류되고 응축기를 지나면서 가열되어 건조실로 공급되는 순환회로를 구성한다. 바이패스덕트를 흐르는 풍량비는 풍량조절댐퍼에 의하여 조절할 수 있도록 되어있다.

### 2.1.2 열펌프 사이클

압축기(HGB 1000, Tecumseh products company)는 3상 유도전동기에 의하여 구동되는 개방식 벨트구동형이고 응축기는 2대를 병렬로 연결하여 온도조절기의 설정온도에 의하여 사이클이 형성되도록 하므로써 건조실을 일정한 온도로 유지하고 있다. 가열코일용 응축기(807.5×800×250mm)는 16pass-7tube 형식으로 총 전열면적이 35.48m<sup>2</sup>이고 옥외용 응축기(JAC-C030, Joongwon)는 응축능력 9,960 kcal/h이다. 증발기(620×560×250mm)는 24pass-4tube 형식으로 총 전열면적이 22.6m<sup>2</sup>이고 드레인팬(drain pan)을 설치하여 응축수를 모을 수 있도록 하였으며, 전자식 팽창밸브(TQ 5-2, Danfoss Ltd., U.K.)에 의하여 증발기로 들어가는 냉매유량을 조절할 수 있도록 하였다.

### 2.2 실험 및 계속

건조온도는 35°C를 유지하였으며<sup>8)</sup> 냉매의 과열도는 1.5°C<sup>5)</sup>, 바이패스공기비는 61%로 하였다<sup>5),3),9),10)</sup>. 증발기 입구에서의 정면풍속을 기준하여 1.96m/s, 2.32m/s, 2.53m/s, 2.78m/s 및 3.07m/s로 변화시켰으며, 압축기의 회전속도도 1,360rpm, 1,550rpm 및 1,780rpm으로 변화시켰다. 시료는 합성고무제품인 스폰지(38×38×36mm, ρ = 23.725 kg/m<sup>3</sup>)를 사용하였으며, 건조량은 Fig. 2.2와 같이 인장로드셀을 이용하여 측정하였다. 건조물의 표면에서 수분이

증발하면 내부와 농도차가 발생하고 확산 또는 조직내 미세한 공극을 통한 모세관현상에 의하여 표면으로 수분이 이동하는 것으로 알려져 있으므로<sup>11)</sup> 시료를 수조에 넣어 완전하게 흡습시킨 상태에서 탈수조작을 통하여 초기 흡수율이 86%<sup>12)</sup>에 이르도록 조절하는 가습방법을 사용하였으며 75%에 이를 때까지 장치를 운전하였다.

측정점의 위치는 Fig. 2.3에 나타낸 바와 같

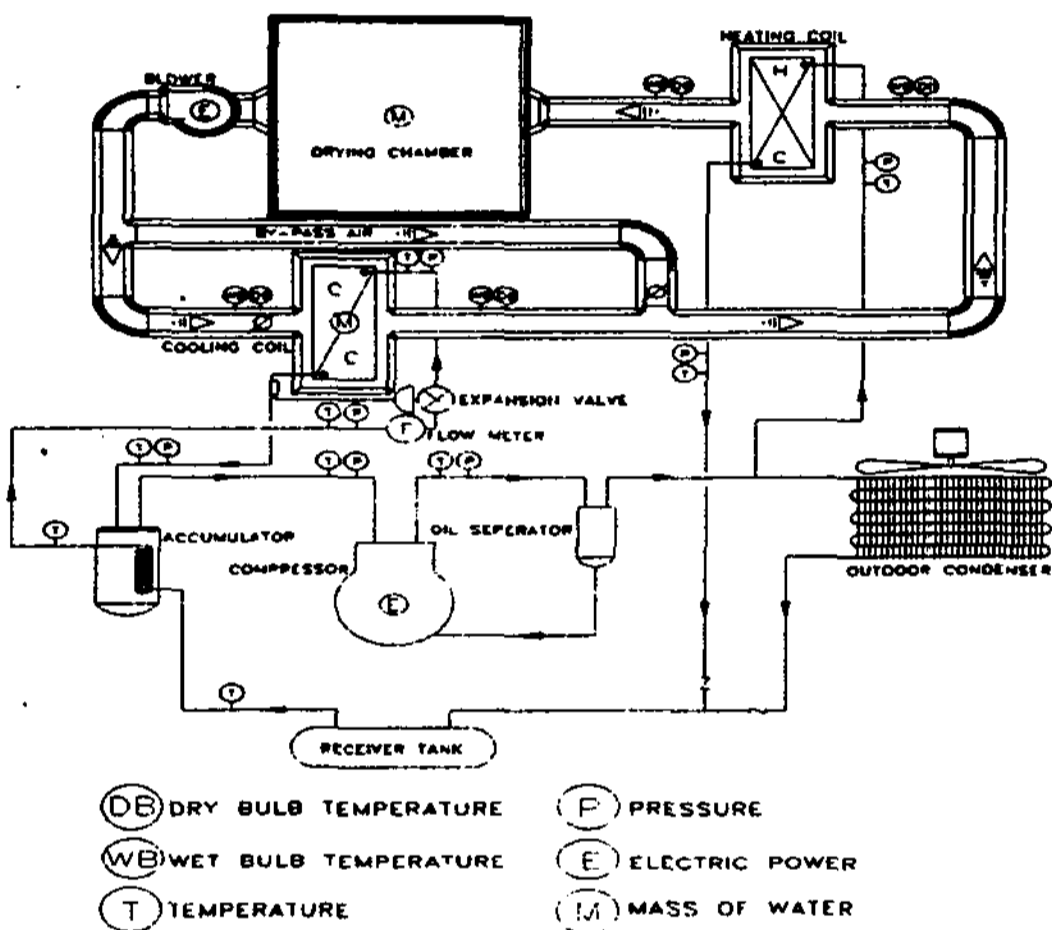
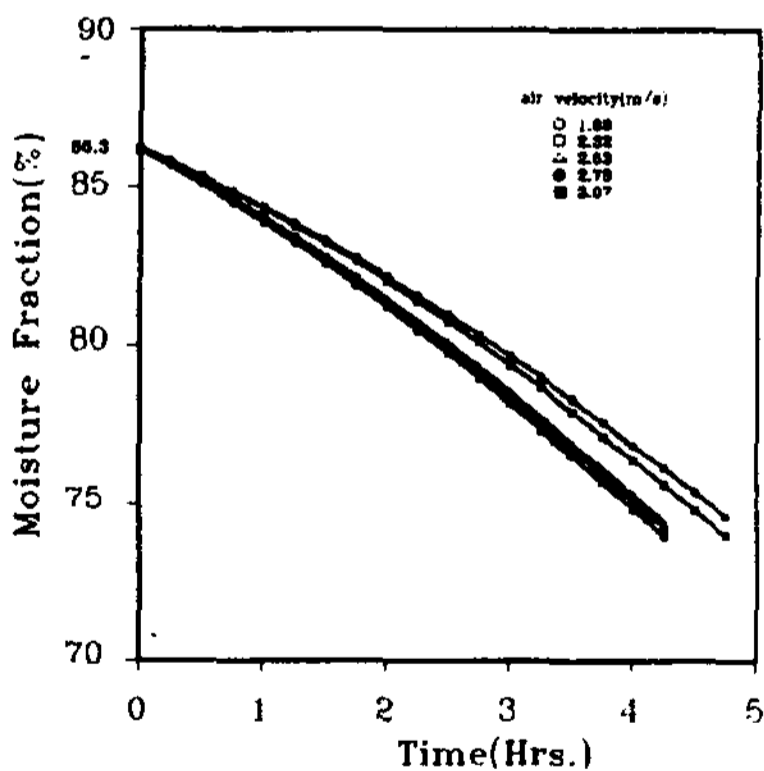


Fig. 2.3 Air and Refrigerant Flow Diagram

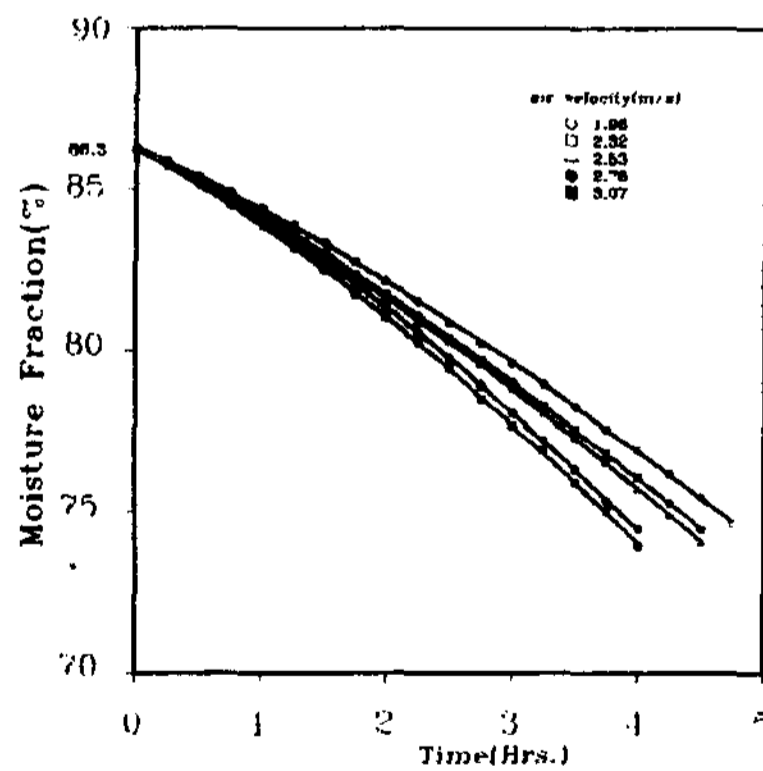
다. 온도는 열전대(T형,  $\phi 0.1\text{mm}$ )를 사용하여 측정하였으며, 압력은 부르동관 압력계를 사용하였다. 공기의 속도는 Micromanometer (FCO-12, Furness Controls Limited, England)를 사용하여 측정하였고 냉매량은 팽창밸브 입구측 고압배관에 냉매유량계(IT300N, Sponsler Co. Inc., USA)를 설치하여 측정하였으며 송풍기와 압축기에서의 소비동력은 3-Phase Energy Meter(VIP D3-OF, Elcontrols, Italy)를 사용하여 측정하였다. 모우터의 회전수 제어에 사용한 주파수 변환기는 3상3선식 인버터(SV022GS-4, LG Eletronics Co, Korea)이고 옥외용 응축기에서 실제 사용되는 전력량은 매우 미소하므로 측정대상에서 제외하였다. 이와같이 측정된 값은 data acquisition system(Helios I, Fluke)을 거쳐 일정한 시간 간격으로 컴퓨터에 저장하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

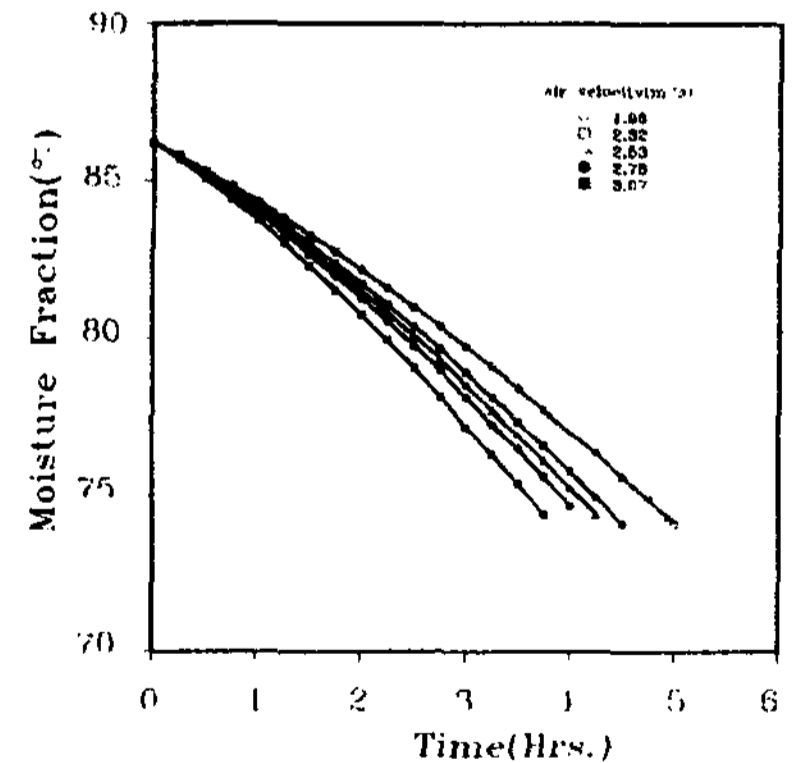
Fig. 3.1(a),(b),(c)는 압축기의 회전 속도가



a) compressor speed 1,360rpm



(b) compressor speed 1,550rpm



(c) compressor speed 1,780rpm

Fig. 3.1 Variation of Moisture Fraction with Time





때 ( $T_{co} - T_{Ev}$ )는 25% 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 온도구동력 ( $T_{co} - T_{Ev}$ )를 25~28% 감소시키면 성적계수는 16~22% 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 3.7은 압축기의 회전속도가 1,360rpm이고 정면풍속이 2.32m/s일 때 순환공기의 상태 변화를 1시간 간격으로 t-x(건구온도-절대습도)선도에 나타낸 것이다. 시간이 경과됨에 따라 전반적으로 절대습도가 낮아지는 경향을 보이고 있으며 실험시작 후 1시간과 1시간 경과 2시간 사이에서는 건조물의 예열단계로써 정상적인 건조속도에 도달할 때 까지 건조량이 증가하기 때문에 다른 경향을 보이고 있다. 건구온도 30°C를 기준할 때 예열구간 이후 부터 1시간 간격으로 절대습도의 변화를 살펴보면 0.01317kgv/kga로부터 각각 0.01183kgv/kga, 0.01116kgv/kga 및 0.0108kgv/kga로 변화하여 그 변화량은 각각 0.00134kgv/kga, 0.00067kgv/kga 및 0.00036kgv/kga로 이전 변화량의 50% 정도씩 감소하고 있음을 알

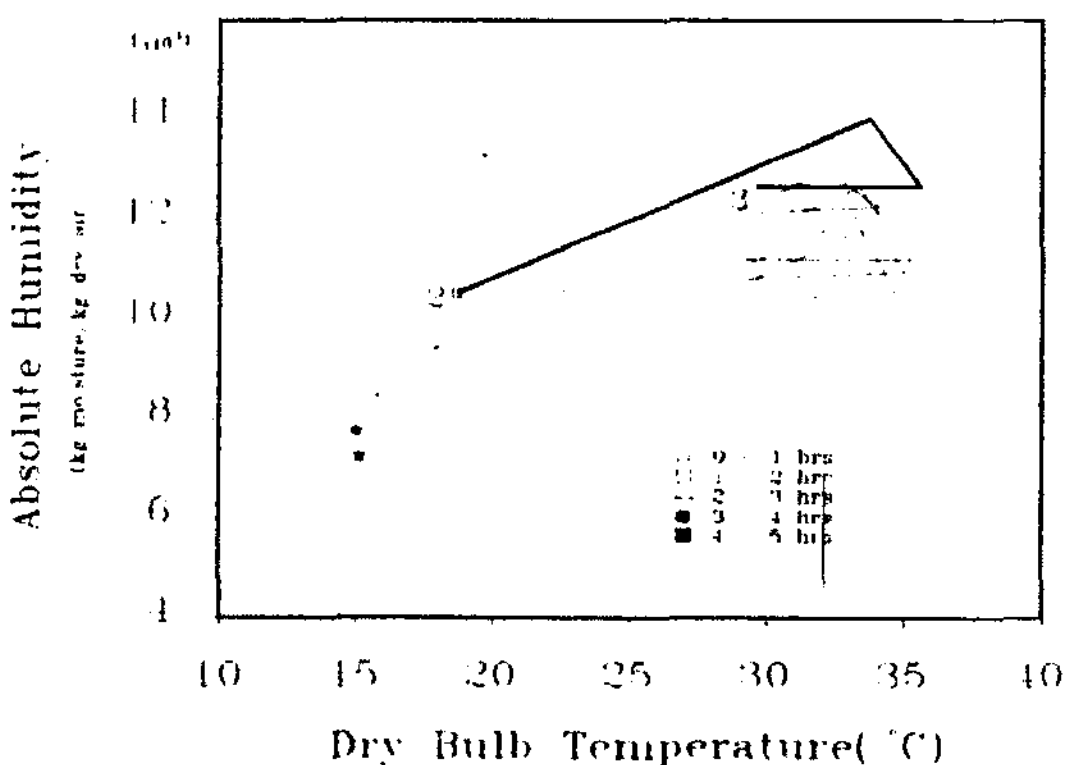


Fig. 3.7 Drying Processes on the Psychrometric Chart

수 있었다. 바이패스한 공기와 증발기를 통과한 공기의 혼합점(상태점 3)이 상태점 1과 2를 잇는 선상에서 1~2°C정도 높은 이유는 장치의 설치여건에 따라 증발기 통과 후 바로 180° 방향 전환하여 응축기를 지나므로 벤드부에 안내날개를 설치하였더라도 충분히 안정된 기류상태를 유지할 수 없었기 때문으로 사료된다. 상태점 3을 수평이동하여 선분1-2와의 교점을 M이라고 할때 2-M과 1-M의 길이비로 부터 바이패스 비가 62% 정도로서 본 실험에서 채택한 공기의 바이패스비 61%와 거의 일치하고 있음을 보여주고 있다<sup>18)</sup>.

#### 4. 결론

HFC134a를 냉매로 사용하는 배치형 열펌프 건조기를 설계 제작하여 실험적 방법으로 장치의 성능에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 건조시간의 경과에 따라 함수량은 2차함수 곡선을 그리며 감소하였고 정면풍속은 건조속도에 직접적으로 영향을 미친다.
2. 최대 SMER은 정면풍속을 1.96m/s에서 3.07m/s로 증가시킴에 따라 26~31% 정도 감소하였다.
3. 열펌프의 성적계수는 정면풍속을 1.96m/s에서 3.07m/s로 증가시킴에 따라 16~22% 증가하였으며, 온도구동력 ( $T_{co} - T_{Ev}$ )를 25~28% 감소시키면 성적계수는 16~22% 향상되었다.

#### 참 고 문 헌

1. D.L. Hodgett, "Efficient drying using heat pumps", The Chemical Engineer, July/

- August, pp. 510-512, 1976.
2. V.R. Pendyala, S. Devotta, and V.S. Patwardhan, "Heat-pump- assisted dryer Part 2:Experimental study", International Journal of Energy Research, Vol. 14, pp. 493~507, 1990.
  3. C.G. Carrington and P.G. Baines, "Second law limits in convective heat pump driers", International Journal of Energy Research, Vol. 12, pp. 481~494, 1988.
  4. B.R. Toal, R. Morgan and J.T. McMullan, "Experimental studies of low-temperature drying by dehumidification. Part 2- Experimental", International Journal of Energy Research, Vol. 12, pp. 315~344, 1988.
  5. S. Clements, X. Jia, and P. Jolly, "Experimental verification of a heat pump assisted continuous dryer simulation model", International Journal of Energy Research, Vol. 17, pp. 19~28, 1993.
  6. K.W. Tai, R. Zylla, S. Devotta, P.J. Diggory, F.A. Watson and F.A. Holland, "The potential for heat pumps in drying and dehumidification systems II:An ex- perimental assessment of the heat pump characteristics of a heat pump de- humidification system using R114", International Journal of Energy Research, Vol. 6, pp. 323~331, 1982.
  7. A.M.K. Poduval and S. S. Murthy, "Performance of a dehumidifying compression heat pump with auxiliary heat input", Heat Recovery Systems & CHP Vol. 12, No. 3, pp. 211~223, 1992.
  8. 가등광량, 산하올야, "건조기における배기 에너지의재이용(제3보)", 일본농업기계학회지 제43 권 제4호, pp. 589~597, 1982.
  9. B. Geeraert, "Air drying by heat pumps with special reference to timber drying. Heat pumps and their contribution to energy conservation", in Camatini, E. and Kester, T.(eds), NATO Advanced Study Institute Series, Series E, Applied Sciences, No.15, Noordhoff, Leydon, Holland, 1976.
  10. R. Zylla, S.P. Abbas, K.W. Tai, S. Devotta, F.A. Watson and F.A. Holland, "The potential for heat pumps in drying and dehumidification systems I : Theoretical considerations", International Journal of Energy Research, Vol. 6, pp. 305~322, 1982.
  11. 전재근, "식품공학", 개문사, p. 129, 1986.
  12. 농촌진흥청 농촌영양개선연수원, "식품성분표", pp.54~166, 1991.
  13. L.G. Eklund, "An open heat pump process for moist gases", International Journal of Energy Research, Vol. 13, pp. 373~377, 1989.
  14. M.R. Hogan, D.L. Ayers, R.E. Muller, Jr., G.H. Foster, E.C. Rall, and O.C. Doering, "Heat pump for low-temperature grain drying", Transactions of the ASAE, Vol. 26, No.4, pp. 1234~1238, 1983.
  15. V.R. Pendyala, S. Devotta, and V.S. Patwardhan, "Heat-pump-assisted dryer Part 1: Mathematical model",



- International Journal of Energy Research, Vol. 14, pp. 479~492, 1990.
16. R.W. Hyland and A. Wexler, "Formulations for the thermodynamic properties of the saturated phases of H<sub>2</sub>O from 173.15K to 473.15K", ASHRAE Transactions Vol. 89(2A), pp. 500~519, 1983a.
17. R.W. Hyland and A. Wexler, "Formulations for the thermodynamic properties of dry air from 173.15K to 473.15K and of saturated moist air from 173.15K to 372.15K at pressure to 5MPa", ASHRAE Transactions Vol. 89(2A), pp. 520~535, 1983b.
18. ASHRAE, "ASHRAE Fundamentals Handbook", 1989.

# An Experimental Study on the Performance of Heat Pump Assisted Batch Dryer Using HFC134a

Y. J. Kim\*, C. S. Yim\*\*

\* *Doowon Technical College, Dept. of Heat and Refrigeration Eng.*

\*\* *Inha Univ. Dept. of Mechanical Eng.*

## Abstract

In conventional heat and vent dryer, both sensible and latent heat could not be recovered from the exhaust air, but this problem could be solved by introducing a heat pump to a conventional dryer, having a connection with cooling, dehumidifying and heating of heat pump.

In this work, HFC134a as a substitute refrigerant of CFC12 adopted in heat pump and a batch type is also introduced. The variables affected on the system performance are holding temperature of a drying chamber, bypass air ratio, degree of superheat and refrigerant flowrate, etc.

The moisture contents were decreased curvilinearly in the range of 86~75% on the wet basis. Under the constant drying temperature, the face velocity plays an important role to the drying performance. The COPs are increased in accordance with the air velocity, on the other hand the SMERs are gradually decreased.