

# 사계절 외기 전용 공조기에 대한 실험적 연구

박 승 태, 김 중 천, 홍 영 주<sup>†</sup>, 김 영 일\*

(주) 에이티이엔지 기술연구소, 서울산업대학교 건축학부

## An Experimental Study on Four-season Dedicated Outdoor Air Handling Unit

Seung-Tae Park, Jong-Cheon Kim, Young-Ju Hong, Youngil Kim

Air-Tech Engineering Co., Ltd, Seongnam 462-806, Korea

<sup>†</sup>School of Architecture, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

**ABSTRACT:** The present study has been conducted to study the performance of Dedicated outdoor air handling unit. Dedicated outdoor air handling unit consists of pre-cooler, dehumidification and after cooler. By combining dedicated outdoor air-conditioning and heat pump, a new four-season dedicated outdoor air handling unit has been developed. Amount of energy saved and condition when this new system is superior to conventional vapor-compression cooling system has been presented.

**Key words:** Heat pump(히트펌프), Four-season(4 계절용), DOA(dedicated outdoor air, 외기 전용), COP(Coefficient of performance, 성능계수), Ventilation(환기)

### 기 호 설 명

- AC : After-cooller
- AHU : Air handling unit, 공기조화기
- COP : Coefficient of performance, 성능계수
- EA : Exhaust air
- RH : 상대습도
- G : 질량유량 [kg/s]
- h : Enthalpy[kcal/.kg]
- HT : Heat pump
- IAQ : Indoor air quality
- OA : Out air
- PC : Pre-cooler
- Q : Flow rate, 풍량[cmh, m<sup>3</sup>/h]
- RA : Return air

- SA : Supply air
- T : Temperature[°C]
- $\omega$  : Absolute humidity, 절대습도[g/kg]

그리스 문자

- $\phi$  : Relative humidity, 상대습도[%]

### 1. 서 론

외기 전용 공조(DOA, dedicated outdoor air)시스템은 데시칸트 제습기, 기화식 가습기 및 히트펌프의 장점을 조합하여 쾌적한 환경을 만들어 주며, 냉동기나 냉수 등을 사용하는 기존 공조시스템과는 달리 흡착제를 사용하여 공기중의 수분을 제거하며, 기화식 가습기도 동시에 적절하게 이용하여 히트펌프와 접목해서 냉난방이 동시에 가능하다. 또한 에너지 손실을 최소화 시키면서 실외의 신선한 외기를 실내의 오염된 공기와 효율적으로 교환할 수 있으며 습도제어가 용이하여

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-31-777-9241; fax: +82-31-777-9240  
E-mail address: stpark1542@naver.com

실내공기의 질(IAQ)을 크게 향상시킬 수 있도록 개발되었다.

본 연구에서는 기존의 냉각·재열 시스템과 데시칸트 외조기의 동일한 용량(40HP)에 대한 에너지 소모량을 비교 분석하였다.

## 2. 외기 전용 공조기의 개발 동기

종래의 정풍량 방식으로는 변동하는 외기 및 실내 부하 조건에 따라 적절하게 실내의 온도 및 습도를 제어하기 어렵다. 이유는 현열과 잠열 부하의 상대적인 크기가 변하기 때문이다.

기존의 냉각·재열방식은 최대 부하시의 조건을 기준으로 설계하여 우기시나 중간기 즉, 외기 온도는 낮고 습도가 높을 때에는 실내습도를 맞추주기 위해 과냉각 및 재열이 필요해진다. 이에 따라 장비 가동율이 올라가 에너지 소모량이 커지게 된다.

이러한 단점을 보완해주기 위해 습도를 별도로 제어해 줄 수 있는 데시칸트 로터를 추가로 설치해 주며, 냉난방을 동시에 해결해 줄 수 있는 히트펌프의 필요성을 느끼게 되었다.

데시칸트 로터를 이용하는 목적은 DP(노점온도) 15°C 이상에서는 냉각제습방식이 경제적이며, 15°C 이하에서는 데시칸트 제습방식이 경제적이기 때문이다(Fig. 1).

현재 시중에 알려진 트윈로터를 사용한 데시칸트 제습기는 에너지 절감 목적으로 제작되었지만, 이것은 재생열원으로 배열(폐열)을 이용할 때 그 효율이 올라가는 것인데, 실제로는 국내 여건상 배열 이용이 어렵기 때문에 전기 히터나 스팀을 사용한다. 따라서, 데시칸트 로터 흐름상 1(처리급기) : 0.9~1(재생배기)가 되어 재생배기량이 많아져 재생 가열열량이 급격히 증가한다.

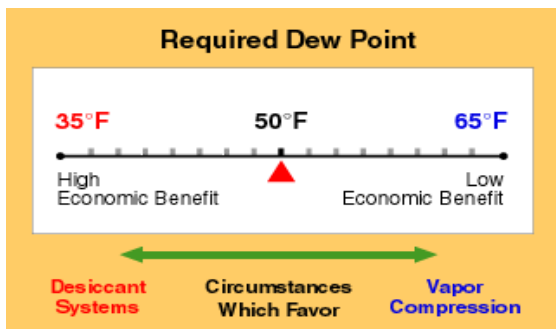


Fig. 1 Required Dew Point

따라서, 재생배기열량 감소를 위해 데시칸트 로터 흐름을 3(처리급기) : 1(퍼지공기) : 1(재생배기)로 하여 퍼지존을 이용한 예열, 예냉효과를 이용하여 재생배기 가열열량 감소 및 아프터쿨러의 냉각용량을 감소시킨다. 또한, 아프터쿨러의 효과를 낼 수 있도록 프리쿨러를 통과한 공기 중의 일부를 바이패스시켜 데시칸트 로터 후단에서 로터를 통과한 공기와 혼합시켜 아프터쿨러 없이 적절한 온습도 조건으로 실내 또는 공조기로 급기하게 된다.

동절기 운전시에는 히트펌프를 이용하여 가열운전을 한 후, 기화식 가습기를 이용해 실내 습도에 맞춰 가습을 한다. 또한, 살균효과를 위해 U.V LAMP(살균등)을 부착할 수도 있다.

외기 전용 공조기는 운전방식에 따라 2가지로 분류된다.

공조된 외기를 직접 실내로 급기하며 실내에는 FCU(fan coil unit) 또는 패키지 시스템에 의해 실내 부하를 처리한다. 이 방식에서는 공조된 외기와 실내에 설치된 공조기에서 제공되는 공기가 잘 혼합될 수 있게 급기 방식이 잘 설계되어야 한다. 두 번째는 공조된 외기를 공기조화기에 보내 공기를 원하는 조건으로 조화한 후 실내로 급기한다. 여름철인 경우 외기부하는 잠열부하가 많아 외기전용공조기로 처리하고, 실내부하는 현열 부하가 많아 별도의 공조기로 처리한다. 이때 실내부하를 처리하는 공조기는 응축수가 발생이 없는 건코일로 운전될 수 있어 박테리아 등의 발생에 의한 문제점으로부터 자유로울 수 있다.

## 3. 사계절 외기공조기의 시스템 구성

사계절용 외기 전용 공조기는 온도와 습도를 각각 제어하므로 재가열 과정을 거치지 않고, 실내로 직접 공급이 된다. 또한 사계절용 외기 전용 공조기는 일반 공조기와는 달리 사계절동안 이용할 수 있는 장점이 있다. 하절기와 동절기의 작동원리를 보면 하절기는 외기공기를 온·습도 센서를 감지하여 자동제어 컨트롤러에 의해 히트펌프 냉각 시스템이 동작하여 외기의 오염된 공기는 프리필터와 미립필터를 지나 청정공기로 만들어 냉각코일에서 1차냉각 및 제습이 되고, 일부공기는 퍼지시스템을 채용한 데시칸트 로터에 유입되거나 프로세스 존을 지나 건조공기가 되어 나오

고, 일부 프로세스 공기가 재생용으로 고온의 퍼지존의 공기온도가 60~80℃로 열교환되어나와 재생히터에서 충분한 고온으로 되어 재생존의 습기가 많은 로터를 건조하며 또한 재생온도에 의해 공기 중에 포함되어 있는 세균이 살균되어 자외선램프를 지나 급기송풍기에 공기가 혼합되어 메인 공조기나 실내로 공기를 공급한다. 회로도는 Fig. 2에 나타내었다.

동절기에는 외기공기를 온·습도센서를 감지하여 자동제어 컨트롤러에 의해 히트펌프 히팅 시스템이 동작하며 외기공기는 프리필터와 미립필터를 지나 히팅코일에서 가열되고 데시칸트 제습기 측은 자동제어 컨트롤러 히트펌프 냉각 시스템 동작 댐퍼가 자동으로 차단하여 공기의 유입이 없도록 하며 바이패스 특히 기화식 가습기를 지나 공기 중에 포함할 수 있는 세균이 살균되어 자외선 램프를 지나 급기송풍기에 공기가 혼합되어 메인 공조기나 실내로 공기를 공급하며, 회로도는 Fig. 3에 나타내었다.

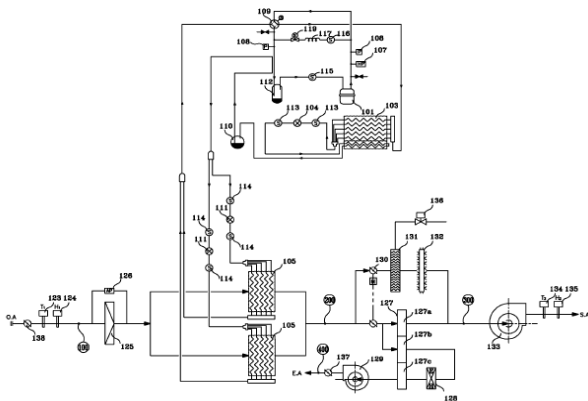


Fig. 2 Flow Diagram of Four-season dedicated outdoor air handling unit (Summer).

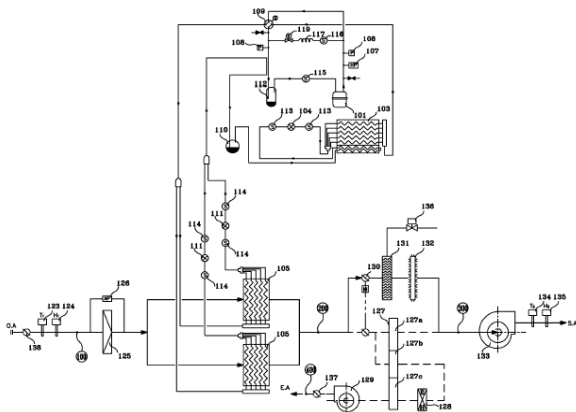


Fig. 3 Flow Diagram of Four-season dedicated outdoor air handling unit (Winter).

#### 4. 사계절 외기 전용 공조기(40HP)

사계절용 외기 전용 공조기(40HP)에 대한 외형 사진, 도면 및 사양에 대해 Fig. 4, Fig 5, Table 1에 나타내었다.



Fig. 4 Figure Picture of Four-season dedicated outdoor air handling unit (40HP).

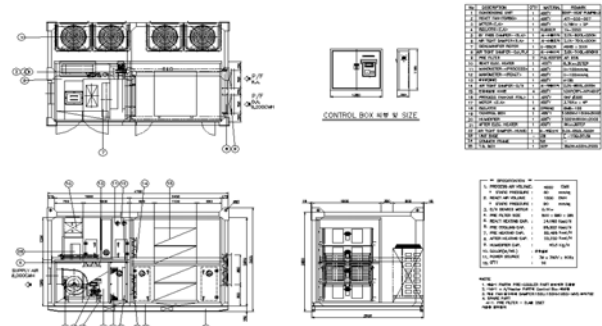


Fig. 5 Figure Drawing of Four-season dedicated outdoor air handling unit (40HP).

Table. 1 Specification of Four-season dedicated outdoor air handling unit (40HP)

Item	Unit	DOA (40HP)
Air Volume	m <sup>3</sup> /hr	8,000
Heat Pump	Cooling Cap.	kcal/hr 96,320
	Heating Cap.	kcal/hr 80,496
	Comp.	kW 17.6×2
Process Fan/Motor	kW	3.7
React Fan/Motor	kW	0.75
Desiccant Rotor	-	Φ965×200t
React Heater	kW	28
Water Removal	kg/hr	114.7
RM Water Removal	kg/hr	12.8
Humidification Cap.	kg/hr	40.5
Total Input	kW	68.9

상기 표는 실내온도 DB 26℃, RH 40%일 경우

#### 4. 냉각·재열 시스템과 외기 전용 공조기의 에너지 사용량 비교

종래의 냉각·재열 시스템과 제습로터를 이용한 외기전용 공조기의 에너지 사용량을 비교하고자 한다. 두방식의 운전비를 비교하기 위하여 외기조건은 2008년 5월 3일 측정자료인 DB 28.2℃, RH 55.6%, 공조기로 공급하는 급기량은 8,000m<sup>3</sup>/hr, 공조기로 공급하는 급기의 조건은 전외기 타입으로 하여 DB 22℃, RH 45%로 하였다. 풍량을 측정하기 위하여 사각덕트를 15등분하여 각 지점의 풍속을 측정한 후 면적으로 적분하였다. 사용한 풍속계측기는 풍속범위 01~50 m/s에서 오차는 ±3%이다. 온도와 상대습도의 오차범위는 각각 ±0.3℃, 3%이다. 전력계를 이용하여 전압, 전류, 전력을 측정하였다. Table 3에는 전력측정값을 나타내었다.

##### 4.1 냉각·재열 시스템

습공기를 그 노점온도 이하의 물체에 접촉시켜 제습을 하는 것으로 노점법이라고도 한다. 제습과 동시에 냉각이 이루어진다. 감습시의 공기는 상대습도 95%의 상대습도선을 따라 움직인다. 제습만 할 경우는 재열이 필요하지만, 사람을 대상으로 한 냉방 용도에서는 일반적으로 제습과 냉각이 동시에 요구되어지기 때문에 재열이 필요없는 경우도 있다. 일반적으로 출구공기의 노점온도가 0℃이하 가 아닌 경우에 사용된다. 0℃이하가 되는 경우에는 제상 장치가 필요하게 된다. 외기 온습도가 높을수록 효율이 좋다. 이것은 온도가 낮게 되면 포화선의 경사가 완만하게 되기 때문이다.

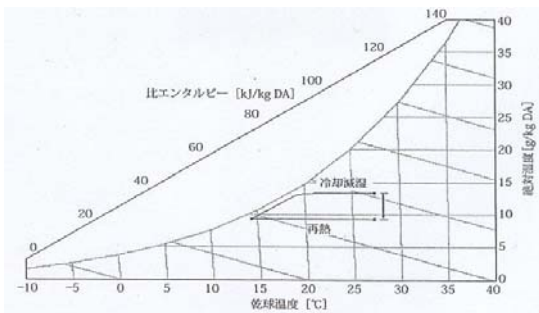


Fig 6. Psychrometric Chart of Cooling·Reheating System

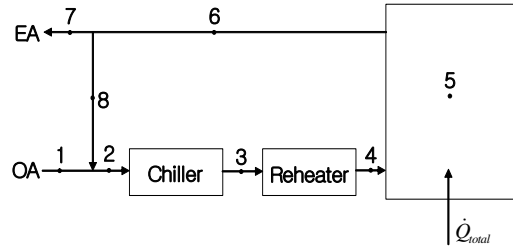


Fig. 7. Flow Diagram of Cooling·Reheating System

현재 냉방시 가장 많이 사용되는 공조시스템은 Fig. 7과 같다. 재순환하는 실내공기(상태 8)와 신선한 외기공기(상태 1)가 혼합되어 상태 2가 된다. 이 공기는 저온의 열교환기와 열교환을 하면서 냉각 및 제습이 된다(상태 3). 일반적으로 습도 조건을 맞추기 위하여 공기는 과냉되므로 재열에 의한 공기는 원하는 온도(상태 4)까지 가열되어 실내로 급기된다.

앞에서 주어진 조건에 맞춰 원하는 급기 온·습도를 맞추주기 위한 조건으로 설계를 하여 소요되는 전력사용량을 산출한다.

Table. 2 Process of Cooling·Reheating System.

변수	T	φ	h	ω	G	Q
단위	℃	%	kcal/kg	g/kg	kg/s	cmh
1	28.2	55.6	14.9	13.34	2.554	8,000
2	28.2	55.6	14.9	13.34	2.554	8,000
3	8.5	95.0	5.97	6.54	2.743	8,000
4	22.0	39.9	9.25	6.54	2.645	8,000

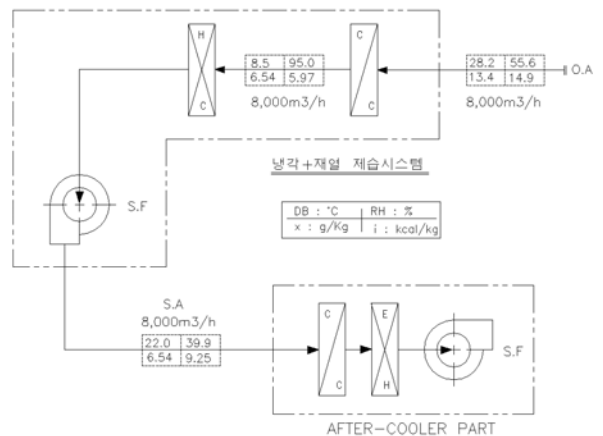


Fig. 8. Flow Diagram of Cooling·Reheating System

## 4.2 히트펌프 + 데시칸트 제습

습공기를 실리카겔, 활성 알루미늄, 제올라이트, 활성탄 등의 고체흡착재에 접촉시킴으로써 제습이 이루어진다. 이 상태변화를 Fig. 9에 보여준다. 제습과 동시에 흡착열이 공기에 전달됨으로써 가열이 이루어진다. 따라서, 제습만 할 경우에는 냉각이 필요하며, 냉각용 열원으로는 통상 주변공기를 이용할 수 있다. 감습시의 공기는 거의 등 습구온도선을 따라가지만, 그보다 완만하게 변화한다. 이 방식에서는 출구공기의 상대습도를 낮게 또, 일정하게 할 수 있다. 출구공기의 노점온도를 0℃이하로 낮추는데 용이하며, 건조 용도로 이용되는 경우는 냉각식에 비해 에너지 절약성은 저하한다. 외기가 고온다습한 환경에서는 냉방에 필요한 충분한 저온의 공기를 얻는 것이 어렵기 때문에, 냉각코일을 추가하는 경우도 있다. 흡착재는 수분을 흡수하면 능력이 저하하기 때문에 적절한 재생에 의해 수분을 분리 시킬 필요가 있다. 재생방법으로는 주로 가열 감압, 퍼지가스, 치환 탈착이 있다.

가열 재생의 경우 산업용에서는 100℃이상의 고온의 열원이 사용되지만, 공조용에서는 보다 저온의 열원을 사용할 수 있다. 흡착재는 흡착탑에 충전하거나 허니컴 로터를 이용한다.

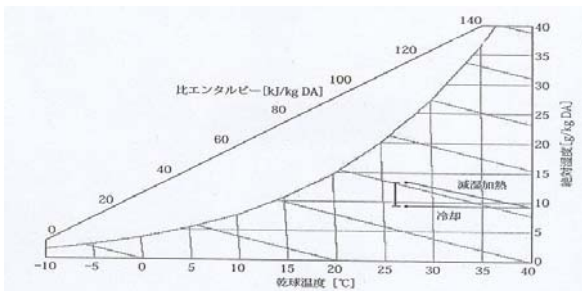


Fig 9. Psychrometric Chart of Absorption dehumidification

제습로터를 이용한 외기 전용 공조기에서는 Fig. 10에서 보여주는 바와 같이 외기를 예냉기 (Pre-Cooler)에 의해 냉각을 우선 수행 한다. 출구공기 중 일부는 재생공기로 사용하고, 나머지는 제습기를 통과하여 제습이 되면서 온도가 상승한다. 이 공기는 실내에서 재순환된 공기와 혼합되어 상태 13가 되고 이 공기는 급기 Fan을 통과하여 상태 14으로 실내에 급기된다.

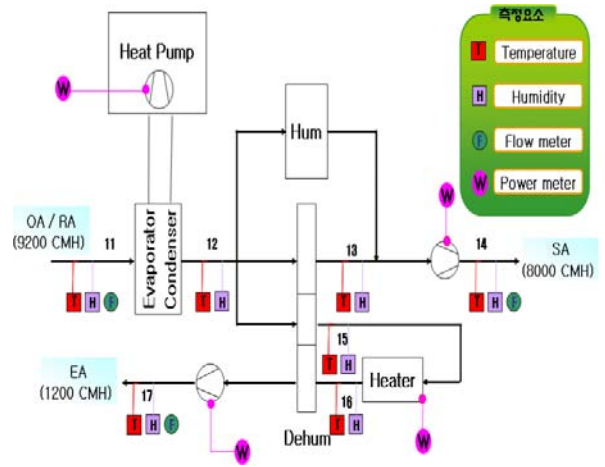


Fig. 10. Flow Diagram of Dedicated outdoor air system.

앞에서 주어진 조건에 맞춰 원하는 급기 온·습도를 맞춰 장비를 운전하여 측정한 값을 기준으로 하여 각 포인트별 온습도 조건 및 전력사용량을 산출하였다.

Table. 3. Process of DOA system.

변수	T	$\phi$	h	$\omega$	G	Q
단위	℃	%	kcal/kg	g/kg	kg/s	cmh
11	28.2	55.6	14.9	13.34	2937	9,200
12	14.5	95.0	9.39	9.78	3,079	9,200
13	29.8	12.7	9.17	3.30	1,292	4,000
14	22.2	39.4	9.30	6.54	2,645	8,000
15	74					1,200
16	129					1,200

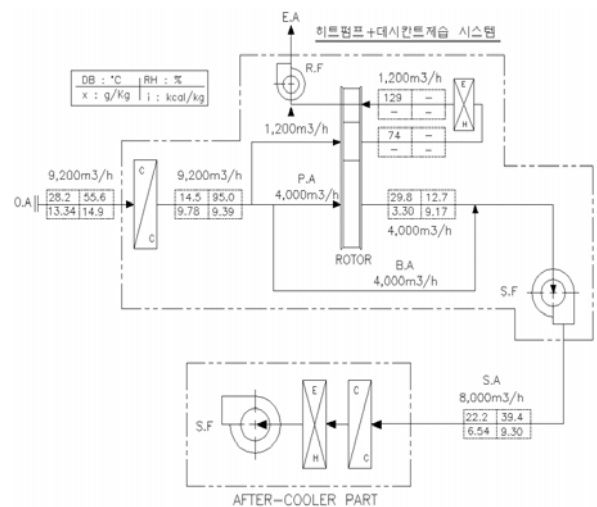


Fig. 11. Flow Diagram of Dedicated outdoor air system.

Table. 4. Electricity Measurement of DOA System

Item	Voltage	Current	Power
Unit	V	A	kW
Heat Pump	392	45.5	24.7
Supply fan	394	8.7	3.7
React fan	392.5	2.4	0.75
Elec. Heater1	392	13.7	9.3
Elec. Heater2	394	13.6	9.3
Elec. Heater3	394	5.6	3.8
Geared motor	-	-	0.1
Total	393	89.5	51.65

#### 4.5 냉각·재열 시스템과 외기 전용 공조방식의 에너지 사용량 비교

에너지관리공단 지침에 의해 다음과 같이 에너지 지원별로 등가에너지를 계산한다.

전력 1 kWh = 열 2500 kcal

열 1 kWh = 열 860 kcal

냉동기 성능계수(COP)를 2.5라고 가정한다.

Table. 5 Energy Consumption of Cooling·Reating System

Item	Power (kW)	Equivalent energy
Cooler	전력 34.3kW	85,750kcal/h
Reheater	열 36.5kW	31,390kcal/h
Total		117,140kcal/h

Table. 6 Energy Consumption of DOA System

Item	Power (kW)	Equivalent energy
Cooler	전력 24.7kW	61,750kcal/h
Reheater	열 22.4kW	19,264kcal/h
Total		81,014kcal/h

두 방식에 대하여 등가 에너지 사용량을 비교하면,

$$\frac{E_{eq,외기공조} - E_{eq,냉각재열}}{E_{eq,냉각재열}} \times 100$$

$$= \frac{81,014 - 117,140}{117,140} \times 100 = -30.8\%$$

외기 전용공조를 사용한 시스템이 냉각재열 시스템을 사용한 것 보다 30.8% 적게 사용하므로 유리하다.

## 5. 결론

외기 전용 공조(DOA, dedicated outdoor air)시스템은 냉각 및 재열을 하는 기존 외기 공조기 방식에 비하여 효율과 쾌적성 측면에서 유리하다. 외기 전용 공조기에 대하여 사이클 해석과 현장 성능시험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 종래방식과 같이 과냉각에 의한 재가열의 필요성이 없다. 과냉각에 의해 제거되는 수분부하는 데시칸트 제습 로터를 이용하기 때문에, 제습 배열에 의한 냉각부하와 외기에 대한 냉각부하만 처리하면 되므로, 냉각에 필요한 에너지가 줄어든다.

(2) 종래의 냉각·재열 방식과 외기전용 공조의 등가 에너지 사용량 비교결과 외기전용 공조시스템이 종래 방식에 비하여 30.8% 적게 에너지를 사용한다.

(3) 외기 전용 공조기는 습도와 온도를 독립적으로 제어하는 것이 가능하다.

(4) 열에 의해 제습 사이클이 구동하기 때문에, 종래 사용되는 공조방식 보다도 소비전력이 절감된다.

## 참고문헌

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2004, HVAC Journal, 2007, January, pp. 34-49.
2. Krakow, K. I., Lin, S., Zeng, Z.-S., 1995, Temperature and Humidity Control during Coling and Dehumidifying by Compressor and Evaporator Fan Speed Variation, ASHRAE Trans. Part 1, pp. 292-304
3. Morris, W., 2003, The ABCs of Dedicated Outdoor Air Systems, ASHRAE Journal, May, pp. 24-29
4. Mumma, S, A., 2001, Designing Dedicated Outdoor air Systems, ASHRAE Joucal, May, 28-31.
5. Murphy, J., 2006, Smart Dedicated Outdoor Air Systems, ASHRAE Journal, July, pp. 30-37.