

열펌프, 데시칸트 및 증발식 냉각기를 조합한 하이브리드 냉방 시스템의 동특성 해석 연구

서정남, 김영일*[†], 정광섭*

서울과학기술대학교 산업대학원, *서울과학기술대학교 건축학부

Dynamic Simulation of a Hybrid Cooling System utilizing Heat Pump, Desiccant and Evaporative Cooler

Jungnam Seo, Young Il Kim*[†], Kwangseop Chung*

Graduate School of Industry, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 139-743, Korea

*School of Architecture, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 139-743, Korea

Abstract

Hybrid desiccant cooling system(HDCS) consists of desiccant rotor, regenerative evaporative cooler, heat pump and district heating hot water coil. In this study, TRNSYS and EES, dynamic and steady simulation programs were used for studying hybrid desiccant cooling system which is applied to an apartment house from June to August. The results show that power consumption of the hybrid desiccant cooling system is 70 kWh in June, 199 kWh in July and 241 kWh in August. Sensible and latent heats removed by the hybrid desiccant cooling system are 300 kWh, 301 kWh in June, 610 kWh, 858 kWh in July and 719 kWh, 1010 kWh in August. COP of the hybrid desiccant cooling system is 8.6 in June, 7.4 in July and 7.2 in August. COP of the hybrid desiccant cooling system decreases when latent heat load increases. Operation time of the system is 70 hours in June, 190 hours in July and 229 hours in August. Since the cooling load is largest in August, the operation time of August is longest for maintaining the indoor temperature at 26°C. Due to the characteristics of hybrid desiccant cooling system for efficiently handling both sensible and latent loads, this system can handle sensible and latent heat loads efficiently in summer.

Key words : HDCS(하이브리드 제습냉방 시스템), SDP(초흡수성 데시칸트 폴리머), Regenerative Evaporative Cooler(재생증발식 냉각기), Heat pump(열펌프)

기 호 설 명

h : 엔탈피, [kJ/kg]

m : 질량유량, [kg/h]

P : 압력, [mmAq]

Q : 열전달량, [kW]

RH : 상대습도, [%]

T : 건구온도, [°C]

w : 절대습도, [g/kg]

W : 동력, [kW]

WB : 습구온도, [°C]

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6557, Fax: +82-2-974-1480

E-mail: yikim@seoultech.ac.kr

접수일 : 2011년 5월 6일

심사일 : 2011년 5월 12일

채택일 : 2011년 5월 25일

그리스 문자

- ϵ : 유용도, [-]
- η : 효율, [-]
- ρ : 밀도, [kg/m³]

하 첨 자

- air : 공기
- i : 입구
- in : 실내
- o : 출구
- primary : 1차측
- R : 정격
- secondary: 2차측
- set : 설정

1. 서 론

1.1 연구의 필요성

현재 열병합발전의 높은 효율로 인하여 지역난방의 열병합발전의 비중이 점차 증가하고 있다. 하지만 동절기에 비해 하절기 열수요가 매우 적어 설비이용률이 매우 낮다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 낮은 열수요를 높일 수 있는 지역난방 공급기술 개발이 매우 필요하다. 그중 하나가 하이브리드 제습냉방 기술이다. 제습냉방 기술이란 제습기를 이용하여 공기 중의 습기를 제거하여 잠열부하를 처리하고, 건조한 공기속에서 물증발이 활발히 일어나는 원리를 이용한 기술로서 제습기에 흡착/흡수된 수분을 날려 보내야 다시 원활한 제습성능을 확보할 수 있게 되는데 제습기의 수분을 날려 보내는 과정은 열을 필요로 한다. 그러므로 지역난방열을 제습냉방 시스템의 재생열로 사용하여 세대별 지역난방에 이용한다면 하절기 열수요를 증대시킬수 있고 에너지 활용 측면에서 매우 효율적일 것이다. 또한, 외기도입량이 큰 경우에도 충분한 성능을 발휘할 수 있으며 실내 공기질을 향상시킬 수 있어 장차 예상되는 실내 환경기준의 강화에도 충분히 대처할 수 있다.

1.2 연구의 방법 및 목적

본 연구는 건물에너지 동특성 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS(Transient Systems Simulation)와 건축 환경 및 설비 분야의 다양한 공학적 문제를 해석할 수 있는 EES(Engineering Equation Solver) 프로그램을 사용하여 하이브리드 제습냉방 시스템의 동적특성을 파악하고자 한다.

2. 시뮬레이션 개요 및 조건

2.1 대상 건물

대상 건물은 공동주택의 2층으로 바닥면적 100 m² 층고 2.5 m로 가정하였다. 건물의 내부부하는 Table 1과 같이 틈새바람, 전등, 인체부하만 있다고 가정하고, 실내 재실 인원은 3명이 항시 상주하는 것으로 가정하여 한다.

Table 1, Internal load conditions

Item	Value		
Infiltration	0.4 ACH		
Ventilation	0.7 ACH		
Lighting	19 W/m ²	Convective 30%	
People	3 persons	Sensible 75W/P	Latent 75W/P

Table 2, Building specifications

Wall type	Area	Boundary
Roof	100	Internal
Floor	100	Internal
Side wall	25	External
Southern window	8	External
Western window	2	External

Table 3. Thermal properties of wall materials

Material	Conductivity (kJ/h·m·K)	Capacity (kJ/kg·K)	Density (kg/m ³)
Brick	2.6	0.8	1800
Concrete	5.5	0.9	2300
Gypsum	0.6	1	800
Insulation	0.12	1.47	40

Table 4. Wall layer conditions

Wall type	Layer (mm)	Wall Thickness (mm)	U-value (W/m ² ·K)
Window	Single	4	5.8
Side wall	Stone 100 Brick 100 Insulation 50 Gypsum 50	300	0.468
Floor	Concrete 150 Insulation 25 Concrete 50	225	0.952
Roof	Concrete 150 Insulation 25 Concrete 50	225	0.952

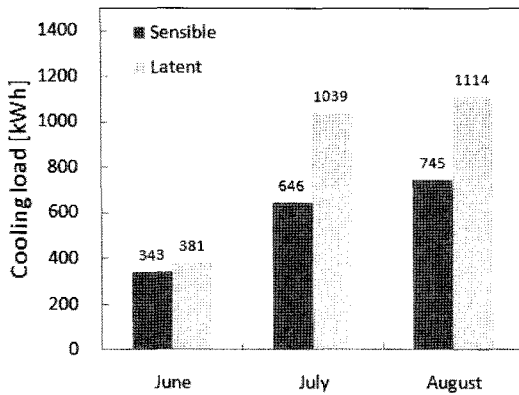


Fig. 1 Cooling load of building ($T_{set}=26^{\circ}\text{C}$, $RH_{set}=50\%$).

벽체 및 창 의 구성 조건은 Table 2~4에 제시한 바와 같이 입력하고, 외기 조건은 TRNSYS 16에서 제공하는 서울 기상데이터인 KR-Seoul-47108 0.tn2를 사용하였다. 우선 건물의 냉방부하 특성을 알아보기 위해 실내온도 26°C , 실내 상대습도 50%로 설정하여 6월, 7월, 8월간의 냉방부하를 TRNSYS로 시뮬레이션 하여 Fig. 1에 나타내었다. 6월은 현열 343 kWh, 잠열 381 kWh, 7월은 646 kWh, 잠열 1039 kWh, 8월은 현열 745 kWh, 잠열 1114 kWh로 나타났다.

2.2 제어

냉방 시스템 제어는 TRNSYS 내의 Type 2제어를 사용하여 실내온도(T_{in})가 설정 값(T_{set})+편차보다 높을때 운전을 시작하여 설정 값(T_{set})-

편차보다 낮을때는 중지하는 제어논리를 적용하였다. 실내온도 설정 값(T_{set})은 26°C , 편차는 1°C 로 하였다. 운전중일때는 모든 구성기기가 운전되고, 비 운전중일때는 모든 구성기기가 정지된다고 가정한다. 시뮬레이션은 6월, 7월, 8월을 각각 1분 간격으로 수행한다.

2.3 하이브리드 제습냉방 시스템

하이브리드 제습냉방 시스템은 데시칸트 로터, 재생증발식 냉각기, 히트펌프, 지역난방 온수코일 등의 주요 구성기기로 조합되어있다. 시스템의 프로세스는 Fig. 2에 나타내었다. 실내공기(①)와 외기(⑦)를 흡입하여 혼합된 공기(②)가 제습로터를 통과하여 제습이 된다. 제습과정에서는 응축열과 흡착열에 의해 고온 저습한 공기(③)가 되어 재생증발식 냉각기를 통과하면서 2차 냉각되어 저온 저습한 공기(⑤)가 된다. 저온 저습한 공기(⑤)는 실내로 공급되어 실내를 제습냉방하게 된다. 제습로터의 재생은 외기(⑦)를 흡입한 공기(⑧)를 히트펌프의 응축기에 통과시켜 예열한 후, 예열된 공기(⑨)를 다시 지역난방수와 열교환하여 65°C 의 공기(⑩)를 만든다. 65°C 의 공기(⑩)를 제습로터의 재생부를 통과시켜 제습로터를 재생시킨 후 외부로 배출되는 원리이다.

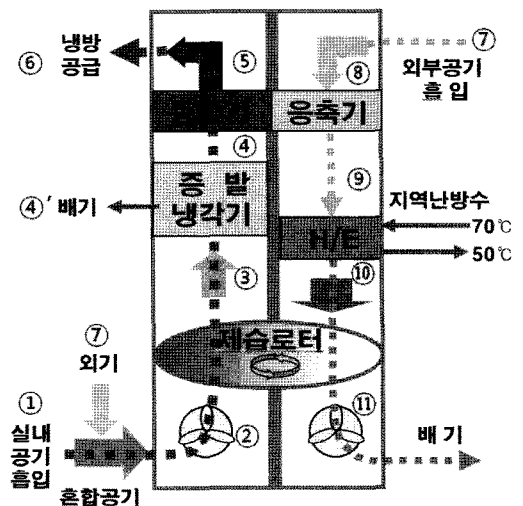


Fig. 2 Hybrid Desiccant Cooling System.

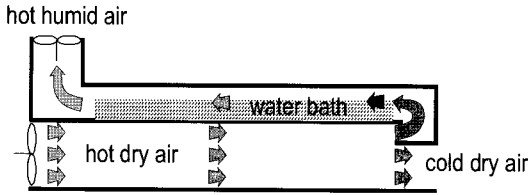


Fig. 3 Schematic diagram of the Regenerative Evaporative Cooler.

하이브리드 제습냉방 시스템의 핵심 부품인 재생증발식 냉각기의 개요를 Fig. 3에 나타내었다. 재생증발식 냉각기 기술은 공기에 물을 분사하여 물증발에 따른 증발잠열 흡수로 공기의 온도를 낮춰 냉각하는 기술이다.

재생증발식 냉각기는 송풍기를 제외 하면, 전혀 에너지 투입 없이 저온의 공기를 얻을 수 있는 큰 장점이 있다. 하지만 주로 건조한 지역에만 적용되고 있으며, 우리나라와 같이 고온다습한 특성을 가진 지역에서는 이 방식으로 충분한 저온을 얻을 수 없다. 이러한 단점을 보완 하기위해 하이브리드 제습냉방 시스템은 데시칸트 로터에서 고온 건조한 공기를 만들어 재생증발식 냉각기의 냉각능력을 극대화 시켰다. 또한, 하이브리드 제습냉방 시스템은 열병합발전의 배열과 히트 펌프에서 버려지는 응축기의 폐열을 데시칸트 로터의 재생열로 사용하는 에너지 효율적인 시스템이다.

Fig. 4는 각 구성기기를 간의 입력 및 출력을 TRNSYS Simulation Studio에서 연결한 것을 나타내었다.

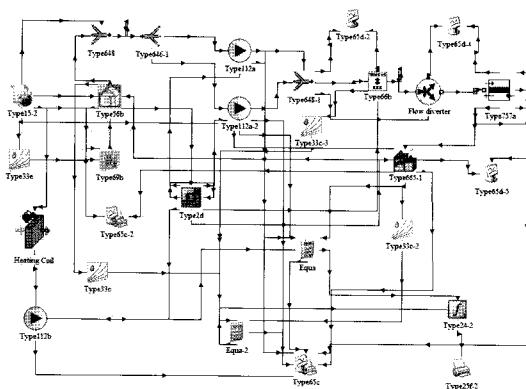


Fig. 4 TRNSYS Simulation Studio.

Table 5, Component condition and specifications

Component	Condition and Specifications
HDCS	Rated power 1 kW
SDP Rotor	Rotor Thickness 200 mm Optimum Rotor Speed 20 rph
Compressor	Rated power 463 W
Dehumidification fan	2 pieces m_{air} 1014 kg/h ΔP 40 mmAq η_{fan} 0.5 Rated power 184 W
Regeneration fan	m_{air} 1419.6 kg/h ΔP 25 mmAq η_{fan} 0.5 Rated power 161 W

Table 6. Steady state simulation of HDCS

	No.1	No.7	No.2	No.3	No.4	No.5
T [°C]	26	29	26.9	45.81	18.42	15.14
w [g/kg]	8	12	9.2	3.99	3.99	3.66
m_{air} [kg/h]	1419.6	608.4	2028	2028	1419.6	1419.6

하이브리드 제습냉방 시스템의 동특성 시뮬레이션을 하기 전에 선행 작업으로 Steady 시뮬레이션을 하여 Table 6에 나타내었다. 하이브리드 제습냉방 시스템을 시뮬레이션하기 위한 각 구성기기의 성능데이터는 지식경제 기술혁신사업인 “열병합발전 배열을 이용한 다실 제어 하이브리드 제습냉방 시스템 개발“ 을 수행하는 H사, K사에서 개발 중인 재생증발식 냉각기와 SDP로터의 성능데이터를 사용하였다. 재생증발식 냉각기는 흡입공기의 30%에 물을 분무하여 증발시키고, 이 증발잠열을 이용하여 나머지 70%의 흡입공기를 간접 냉각시키는 원리이다. TRNSYS 16의 type757a 간접 증발식 냉각기를 이용하여 재생증발식 냉각기를 모사하였으며, 성능은 유용도 식 (1)과 같이 계산하여 type757a에 입력하였다.

$$\epsilon = \frac{T_{primary,i} - T_{primary,o}}{T_{primary,i} - WB_{secondary,i}} \quad (1)$$

SDP로터는 두께 200 mm, 통과 풍속 2 m/s, 재생온도 65°C, 재생측 절대습도는 처리측 절대습

도와 같다고 가정하였다. SDP로터의 성능 데이터를 EES프로그램에서 보간법을 이용하여 계산하고 TRNSYS 16에서 불러들인다. 히트펌프 성능 데이터는 TRNSYS 16에서 제공하는 Samp_c.dat를 사용하였다. 각 구성기기의 사양은 Table 5에 나타냈고, 팬 소비동력은 식(2)와 같이 계산한다. 그리고 하이브리드 제습냉방 시스템의 냉방능력은 식(3)과 같이 계산한다.

$$W_{fan} = \frac{m_{air} \Delta P_{air}}{\rho_{air} \eta_{fan}} \quad (2)$$

$$Q_R = m_{air} \Delta h \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

시뮬레이션 조건은 Table 1~5와 같이 입력하고, 6~8월간 외기 조건에 따른 하이브리드 제습냉방 시스템을 시뮬레이션하여 결과를 나타내었다.

Fig. 5은 하이브리드 제습냉방 시스템의 소비전력을 나타낸 것이다. 6월은 70 kWh, 7월은 199 kWh, 8월은 241 kWh로 8월이 가장 높게 나타났다. Fig. 6는 하이브리드 제습냉방 시스템의 기기가 처리한 부하를 현열과 잠열로 구분하여 나타내었다. 하이브리드 제습냉방 시스템에 의해 제거된 열량이 6월에는 현열이 300 kWh, 잠열이 301 kWh, 7월에는 현열 610 kWh, 잠열 858 kWh, 8월에는 현열 719 kWh, 잠열 1010 kWh로 나타났다. 실내온도는 26℃로 제어하였기 때문에 현열 제거량은 현열부하량 비슷하게 나타났고, 잠열 제거량은 잠열부하가 증가함에 따라 같이 증가하였다. Fig. 7은 하이브리드 제습냉방 시스템의 월별 COP를 나타낸 것이다. 6월의 COP는 8.6, 7월은 7.4, 8월은 7.2로 잠열부하가 많을수록 COP는 떨어지는 것을 볼 수 있다. 하이브리드 제습냉방 시스템 가동 시간은 Fig. 8와 같이 6월은 70시간, 7월은 190시간, 8월은 229시간으로 8월 달이 가장 많이 가동되었다. 그 이유는 하이브리드 제습냉방 시스템은 실내온도 26℃를 유지하기 위해 Fig. 1에서와 같이 8월의 가장 많은 현열부하를 처리하여야하기 때문이다.

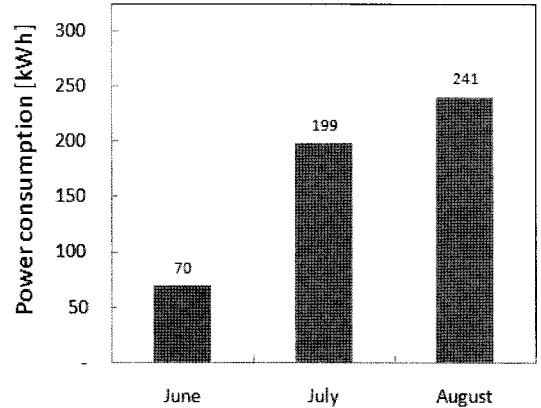


Fig. 5 Power consumption of HDCS ($T_{in} > T_{set}$).

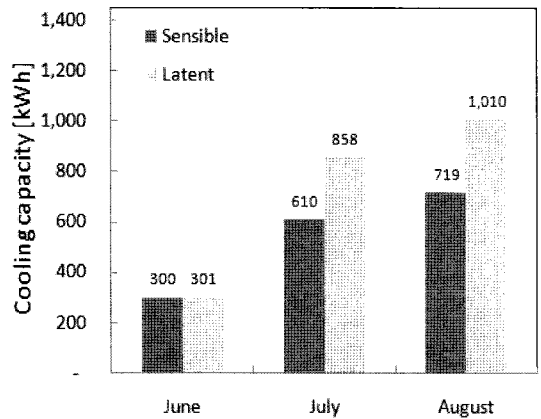


Fig. 6 Cooling capacity of HDCS ($T_{in} > T_{set}$).

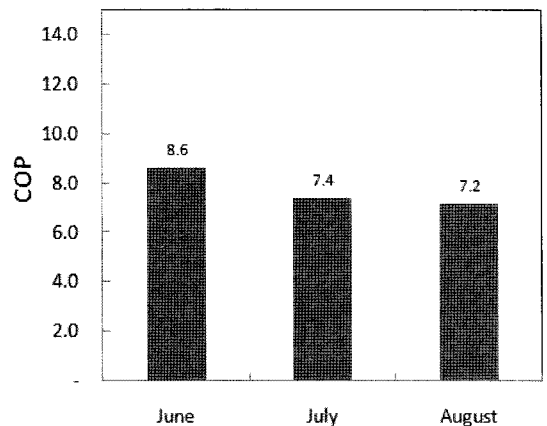


Fig. 7 Coefficient of performance.

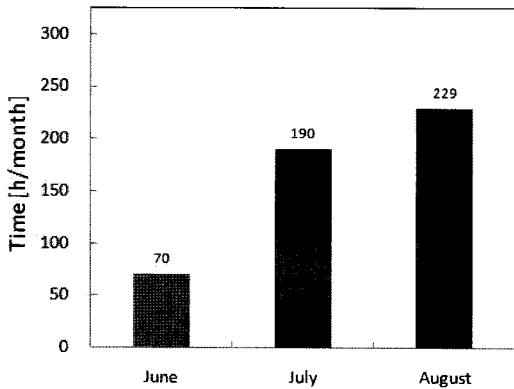


Fig. 8 Power-on time of HDCS ($T_{in} > T_{set}$).

4. 결론

H사, K사 등에서 개발 중인 재생증발식 냉각기와 SDP로터의 성능데이터를 사용하여, 공동주택에서의 6-8월간 하이브리드 제습냉방 시스템을 시뮬레이션하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 하이브리드 제습냉방 시스템의 소비전력은 6월은 70 kWh, 7월은 199 kWh, 8월은 241 kWh로 8월이 가장 높게 나타났다.
- (2) 하이브리드 제습냉방 시스템에 의해 제거된 열량은 6월에는 현열이 300 kWh, 잠열이 301 kWh, 7월에는 현열 610 kWh, 잠열 858 kWh, 8월에는 현열 719 kWh, 잠열 1010 kWh로 나타났다. 실내온도는 26°C로 제어하였기 때문에 현열 제거량은 현열부하량 비슷하게 나타났고, 잠열 제거량은 잠열부하가 증가함에 따라 같이 증가한다.
- (3) 하이브리드 제습냉방 시스템의 COP는 6월에 8.6, 7월은 7.4, 8월은 7.2로 잠열부하가 많을수록 COP는 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

- (4) 하이브리드 제습냉방 가동시간은 6월 70시간, 7월 190시간, 8월 229시간으로 8월 달이 가장 많이 가동되었다. 그 이유는 6-7월에 비해 8월의 현열부하가 많아 실내온도 26°C를 유지하기 위해서는 처리해야할 현열부하가 많기 때문이다. 이러한 결과로 보아 하이브리드 제습냉방 시스템은 여름철 현열과 잠열부하의 발생 비율에 맞게 효율적으로 부하를 처리할 수 있고 외기도입량이 큰 경우에도 충분한 성능을 발휘할 수 있으며, 실내공기질을 향상시킬 수 있어 장차 예상되는 실내환경기준의 강화에도 충분히 대처할 수 있다.

또한, 하절기 열병합발전의 낮은 열수요를 증대시킬 수 있어 에너지 활용 측면에서 매우 효율적일 것이다.

참고문헌

1. Kim, Y. I., 2010, Performance of a Water-cooled Chiller by Controlling Chilled Water Exit Temperature, Proceedings of the SAREK, Summer Annual Conference, pp.1136-1141.
2. Choi, B. S., et al., 2005, Comparison of Optimum Design due to the Structure of the Regenerative Evaporative Cooler, Proceedings of the SAREK, Winter Annual Conference, pp.359-364.
3. Kim, Y. I., 2010, TRNSYS Training Notes, SOLUGEN CO., LTD.
4. TRNSYS 16, 2007, Transient System Simulation Program, Solar Energy Lab., University of Wisconsin-Madison.