

분리막을 이용한 주거용 제습공조시스템의 LCC 분석

LCC Analysis of Residential Dehumidifying Air Conditioning System using Thin Separation Membrane

정용호(Yong-Ho Jung)^{1*}, 박성룡(Seong-Ryong Park)²

¹청운대학교 건축설비소방학과, ²한국에너지기술연구원 열에너지변환연구실

¹Department of Building Equipment and Fire Protection System, Chungwoon University, Incheon, 22100, Korea

²ThermalEnergy Conversion Laboratory, Korea Institute of Energy Research, Daejeon, 34129, Korea

(Received November 3, 2017; revision received November 8, 2017; Accepted: November 9, 2017)

Abstract The climate of summer in Korea is quite hot and humid. Many studies have been carried out to reduce the energy required for operating a dehumidifier. The dehumidifier is mainly connected to the cooling system since it operates in the summer. Conventional dehumidification methods often require additional cooling and energy for dehumidification. In this study, a system for increasing the efficiency by applying a membrane was analyzed. Its energy saving effect was analyzed when it was applied to residential buildings. Economic efficiency was also evaluated. As a result of this study, 9.0% energy savings were achieved for residential buildings. The investment recovery period was 28.9 years. Such long investment recovery period was because the initial investment cost was excessive and annual energy saving only appeared in the summer.

Key words Membrane(분리막), Dehumidifying Air-Conditioner(제습 공조), Energy saving(에너지 절감), Energy simulation(에너지 시뮬레이션), LCC(총생애비용)

† Corresponding author, E-mail: coil@chungwoon.ac.kr

1. 서 론

생활수준의 향상과 산업의 발달로 실내 환경의 요구수준은 점차적으로 증가하는 추세로서 기본적인 온습도의 조건을 만족하여야 하며 또한 건강한 주거공간에 대한 요구도 증가되고 있다. 주거공간의 환경 조성을 위하여 공동주택의 경우 강제적으로 환기설비를 하도록 법규가 마련되어 있다. 그러나 실내로 도입하는 외기량은 실내공간의 외기부하를 증가시키고 에너지 소비량의 증가를 초래하는 원인이 되고 있다. 특히 한국의 경우 하계의 기후는 상당히 다습한 특성을 지니고 있어 외기에 의한 영향을 감소시키기 위하여 다양한 제습장치가 개발 보급되고 있으며, 제습장치의 에너지를 개선하는 연구가 행해지고 있다.⁽¹⁾

제습시스템은 기본적인 형식별로 구분하면 습식제습시스템과 건식제습시스템으로 구분된다. 습식제습시스템은 일반적으로 냉각코일을 사용하여 도입된 공기를 냉각감습하여 포화상태 이하로 냉각된 만큼 제습하는 방식으로 냉각감습용 코일의 노점온도가 12~15℃ 정도이며 건구온도는 20℃ 이하의 경우 상대습도 60% 이상의 공기를 얻을 수 있다. 이러한 방식은 일반적으로 현재 건축물 내부공간의 냉각제습 방법으로서 가장 널리 이용되는 형식이다. 이에 비하여 건식제습시스템은 실리카겔이나 제올라이트(zeolite) 등과 같은 물리적 흡착제 또는 염화칼슘 및 염화리튬 등의 화학적인 흡착재료에 공기 중의 수분을 흡착시켜 제습하는 방식이다.⁽²⁾ 이 방식은 비교적 노점온도가 저온인 수준까지 낮출 수 있으며, 이러한 특성 때문에 저습도 영역이 필요한 산업 분야에 많이 적용되고 있다. 한편, 건식제습은 모든 온도조건에서 적용할 수 있지만, 흡착제에 수분이 흡착할 때 발생하는 흡착열에 의해 제습된 공기온도가 상승하게 되므로 간혹 냉각기나 다른 열량제거 시설 등을

설치할 필요가 있다.⁽³⁾ 전술한 바와 같이 기존 제습 방식의 경우 순수 제습을 위한 에너지 이외에 추가적인 냉각설비가 필요한 단점을 가지고 있다.⁽⁴⁾

이에 대한 대안으로서 본 연구에서는 분리막을 적용하여 습공기선도 상의 감습방향을 수직 하향으로 이동 가능하게 함으로써 냉각효율을 증대시키는 시스템에 대하여 주거용 건축물에 적용하는 경우 에너지 절감 효과를 분석하고 이에 따른 경제성을 평가하여 적용타당성이 검토되었다.

2. 멤브레인 설치 및 제습량 측정

Fig. 1은 멤브레인 제습공조시스템의 기본 개념도를 나타낸다. Table 1은 멤브레인(중공사막)이 설치된 제습 시스템 사양을 나타낸다. 멤브레인의 양측단은 헤더부분을 설치하여 멤브레인 내부의 진공상태를 유지할 수 있도록 하였다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 멤브레인에서 수분을 채취하기 위해 멤브레인의 헤더 부분과 연결된 진공펌프를 사용하며, 압력차는 0.3 bar(abs)의 차압이 작용하는 것으로 설정하였다. 구성된 시스템에서 1,000 CMH(0.333 kg/s)의 풍량으로 급기를 공급하였고 멤브레인을 이용한 제습량은 공급공기 1,000 CMH당 제습량을 측정하였다. 측정된 수분량은 절대습도의 감소량을 판단하기 위하여 시간당 제습량인 kg/h 단위를 기준으로 하였다. 1,000 CMH의 통과공기량을 대상으로 시간당 제습량을 측정한 결과 입구공기에 비하여 출구공기의 절대습도는 0.0023 kg/kg의 감소가 가능한 것으로 나타났다.

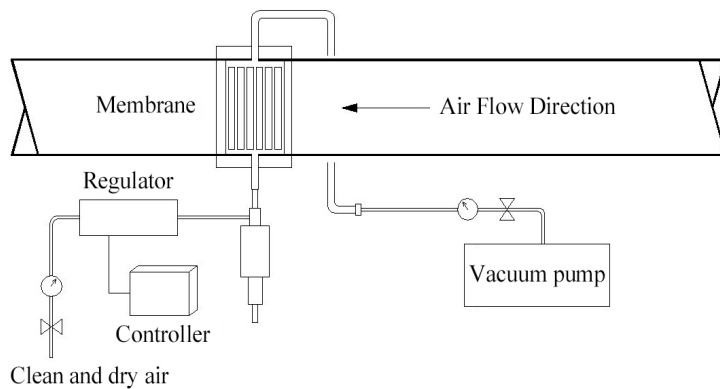


Fig. 1 System concept diagram.

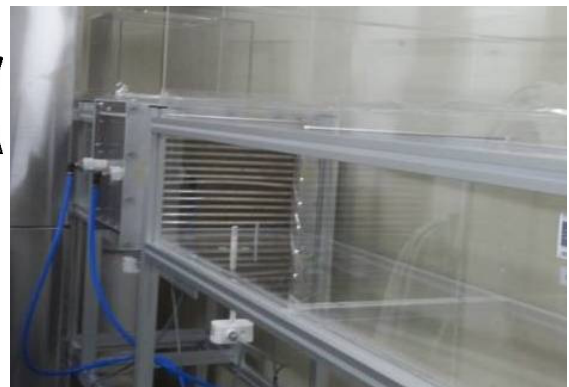


Fig. 2 Experimental apparatus for membrane.

Table 1 Membrane cartridge system description

Parameter	Value
Size	536 W×320 D×396 H
Number of modules	13 EA
Number of membranes per module	1,300 EA
Inner diameter of membrane	450 μm
Outer diameter of membrane	685 μm
Porosity of membrane	60%

Table 2 System alternatives

ALT-1	ALT-2
Package air conditioner	Package air conditioner+Dehumidification system

3. 분리막 제습시스템의 에너지 절감효과

측정된 결과를 기준으로 분리막을 이용한 제습공조시스템을 실질적으로 기존의 공동주택 주거용 건축물에 적용하는 경우에 대하여 에너지 시뮬레이션을 실시하였다. 에너지 시뮬레이션은 상용화 프로그램인 TRNSYS를 이용하였다. 시뮬레이션 대상 건물은 Fig. 7에 나타난 바와 같이 국내에서 일반적으로 적용되고 있는 평면의 전용면적 85 m²의 공동주택으로서 기준층 중간세대로 설정되었으며, 구조체의 물성치는 대상건물의 열부하 계산 자료인 장비용량 계산서의 수치를 바탕으로 입력하였다. 냉방방식은 최근 공동주택의 각 개별세대에서 적용하는 냉매방식이며 실내 설정값에 대하여 제어가 가능한 방식이 채택되었다. 열부하의 제어방법은 온도 설정값에 의하여 시스템의 가동여부를 결정하는 on-off 제어방식을 선택하였다. 실내 설정온습도의 경우는 26℃, 60%를 Table 2는 본 연구에서 검토하고자 하는 시스템을 나타낸 것이다. ALT-1은 기존의 공동주택에서 주로 적용되는 패키지 에어컨으로 실내 냉방과 제습을 겸용으로 실시하는 방안이며, ALT-2는 기존 시스템에서 분리막을 이용한 제습공조시스템을 추가적으로 설치한 경우를 나타낸다. Table 3은 냉방부하 부하 계산에서 적용되는 주요 인자를 나타낸 것이다. 계산기간은 현재 적용되는 시스템이 여름철 냉방 시 적용되는 제습공조시스템 이므로 6월 1일부터 9월 30일의 여름철을 계산 대상 기간으로 설정하였다. 또한 일반 주거시설을 가정하였 으므로 주중 및 주말 모두 냉방가동시간대 사용 스케줄은 오전 8시부터 18시까지를 계산 대상으로 설정하였다. Table 4는 분리막 제습프로세스 상에서 기준값을 나타낸 것이다. 기존 냉방시스템에서는 실내 수증기가 그대로 도입하는 반면 분리막을 이용하는 제습공조시스템에서는 멤브레인 설치 및 제습량 측정에서의 결과 중 1,000 m³/h(1,200 kg/h)로 측정된 제습량을 적용하여 절대습도가 0.0023 kg/kg'으로 감소된 공기가 패키지 에어컨의 리턴공기상태로 변화되는 것으로 가정하였다. 따라서 리턴공기의 절대습도의 감소로 인하여 엔탈피가 감소되는 것으로 TRNSYS에서 계산모듈이 작성되고 시뮬레이션이 실시되었다.

Table 5, Table 6은 각각 시스템 시뮬레이션에 적용된 냉방기의 기본사양, 냉각코일의 기본 사양을 나타낸

Table 3 The parameter of cooling load

The parameter of Cooling load		value
Person	4	4×schedule
Equipment	15 W/m ² = 54 kJ/m ²	Radiation-13.5 Convection -40.5×schedule
Lighting	20 W/m ² = 72 kJ/m ²	Radiation-36 Convection -36×schedule
Control condition	DB 26℃, RH 60%	Power-unlimited
Schedule	June 1~September 30	8:00~18:00 Monday~Sunday

Table 4 The parameter of dehumidifying process

The parameter of dehumidifying		value
flow rate		47 kg/h
ALT-1 absolute humidity reduction		exist condition
ALT-2 absolute humidity reduction		0.0023 kg/kg'
Vacuum pump		250 W

Table 5 The cooler description

Quantity			IEA
Capacity(USRT)			2.5
Evaporator	Flow rate(LPM)	32	
	Temperature difference(℃)	5	
Condenser	Flow rate(LPM)	40	
	Temperature difference(℃)	5	
Power(kW)			3

Table 6 The cooling coil description

Quantity			IEA
Chilled air	Flow rate(kg/h)		47
	Inlet air temperature(℃)		26
	Outlet air temperature(℃)		13

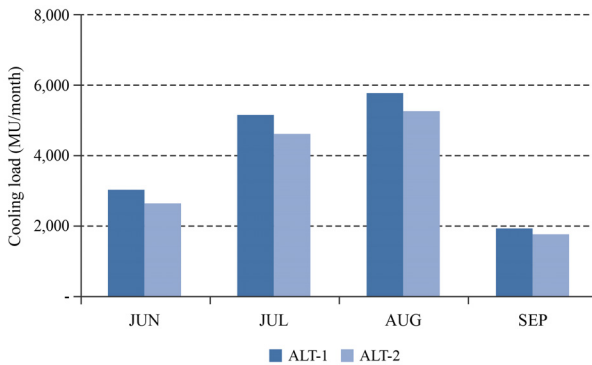


Fig. 3 Monthly cooling load calculation result.

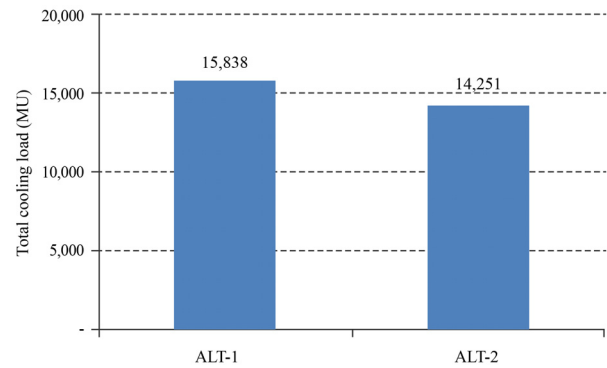


Fig. 4 Total cooling load result.

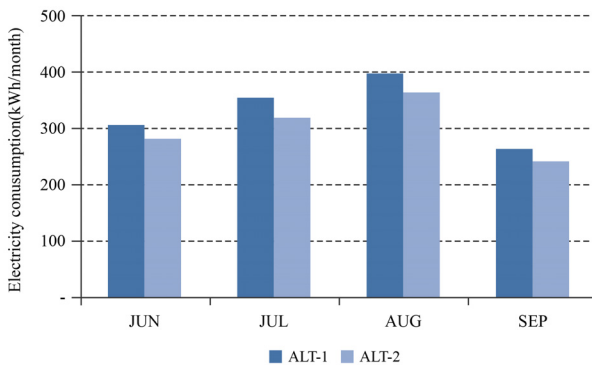


Fig. 5 Monthly electricity consumption.

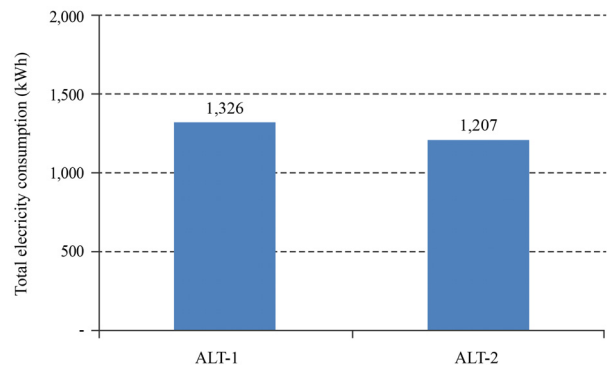


Fig. 6 Total electricity consumption.

것이다. 기본적인 냉방시스템은 전기를 이용한 스크롤 타입의 압축식 냉방기를 기준으로 설정하였고 COP는 3.5를 적용하였다. 실질적으로 주거용 건축물에 분리막을 이용한 제습공조시스템을 적용하는 경우의 에너지 시뮬레이션을 실시한 결과 현열 부하량은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 리턴공기의 잠열부하 부분에 한정하여 시스템 설치 모듈을 작성하였으므로 나타난 결과이다. Fig. 3과 Fig. 4는 계산 대상 기간 전체에서의 월별 냉방부하 변화추이와 냉방기간 전체의 냉방부하량 예측치를 나타낸 것이다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 분리막을 이용한 제습공조시스템을 적용하는 ALT-2의 경우가 여름철 실내 제습기능을 담당하면서 전반적인 냉방부하량의 감소를 나타냈다. 월별 냉방부하 절감율은 각각 12.3%, 10.3%, 9.0%, 8.8%의 결과로 나타났다. 냉방기간 전체를 기준으로 한 총냉방부하는 ALT-1의 경우에는 15,838 MJ, ALT-2의 경우에는 14,251 MJ로 나타났다. Fig. 5와 Fig. 6은 각각 분석 대상 기간의 월별 전기에너지 사용량과 냉방기간 전체를 기준으로 한 총 전기 에너지 사용량을 나타낸 것이다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 냉방기간 전체를 기준으로 한 총 전력사용량은 일반적인 주거용 패키지에어컨을 설치한 ALT-1의 경우에는 1,326 kWh, 패키지에어컨 냉방시스템에 추가적으로 분리막을 이용한 제습시스템을 적용한 ALT-2의 경우에는 1,207 kWh의 결과를 나타냈다. 냉방기간 전체 전력에너지 사용량에 대한 에너지 절감비율은 17.6%의 수준으로 나타났다.

4. 주거용 분리막 제습시스템의 LCC 분석

주거용 건축물을 대상으로 하는 에너지 시뮬레이션 결과를 기준으로 분리막을 이용한 제습공조시스템을 실질적으로 적용하는 경우 경제성 평가를 위하여 LCC 분석을 실시하였다. 시스템의 경제성분석 범위는 건축적인 요소를 제외한 설비시스템에 대하여 경제성분석을 실시하는 것으로 하였다. 각 LCC 분석방법 중 본 분석에서는 현금가법을 이용하여 시설물의 미래 비용을 현재의 비용으로 환산하고 최종적으로 투자회수기간을 산정하도록 하였다. 할인율과 물가상승률의 경우 화폐는 시간이 흐름에 따라 가치가 달라지므로 분석과정에서 물가상승률을

Table 7 LCC analysis condition

Items	Applied value	Remarks
Inflation Rate	4.10%	Average over the past 10 years
discount rate	3.88%	Average over the past 10 years
Period	50 years	Durability

Table 8 Cost estimation criteria

Items	Application	Remarks
Initial cost	Only mechanical system	Except architectural parts
Energy	Result of energy simulation	TRNSYS simulation
Disposal treatment	N/A	Too small to be considered

Table 9 Initial cost criteria(thousand won)

Alternative	Applied value	
ALT-1	Residential air conditioner	2,462
ALT-2	Residential air conditioner	2,462
	Dehumidifying system (include membrane, vacuum pump)	800
		3,262

Note : Average cost in Koren price information 2017.

Table 10 Energy cost criteria

Items	Applied value	Remarks
Electricity	210 won/kWh	Residential building

고려하는 것이 필수적이므로 본 분석에서는 물가상승률을 고려한 실제할인율을 사용하여 비용을 계산하였다. 본 분석에서 실제할인율은 3.88%를 사용하였으며, 물가상승률은 최근 소비자물가 상승률의 평균값인 4.10%를 적용하였다. 분석기간은 대상 건물의 수명주기(Life Cycle)를 얼마동안으로 산정할 것인가에 대한 가정이다. 분석에서는 대상건물의 분석기간 기준을 RC 구조 건축물의 내구연한 기준인 50년으로 가정하였다. 초기투자비는 LCC 분석의 적용범위에 따라 전체를 검토하는 경우와 부분을 검토하는 경우의 두 가지 형태의 비용항목으로 분류할 수 있다. 분석에서는 부분을 구성하는 각 대안에 대하여 LCC를 검토하므로 설계비, 간접비, 공과금 및 노무비, 경비 등을 제외하고 제습시스템과 냉방시스템의 초기투자비에 대하여 분석하였다. 총 생애주기 동안 사용되는 에너지 비용을 산출하기 위해서는 해당 건물에서 1년간 사용되는 연간 에너지소비량을 산출하는 것이 필요하다. 현재 건축물에서의 에너지 소비는 냉방에너지가 가장 큰 부분을 차지하고 있으므로, 연간 에너지 소비량의 산정은 에너지 시뮬레이션 프로그램인 TRNSYS 프로그램의 냉방기 에너지소비량의 예측 결과를 사용하였다. 폐기물 처리 비용의 경우 본 분석에서 제외하였다.

Table 9는 제습시스템의 초기투자비용을 나타낸 것이다. 2017년 물가정보 기준 85 m² 공동주택의 주거용 냉방기의 평균 구매 비용은 2,462,000으로 조사되었으며, 여기에 제습시스템을 추가적으로 설치하기 위하여 소요되는 비용은 공급업체의 기준 약 800,000원으로 산정되었다. 기존의 공동주택 또는 신축되는 85 m²인 주거용 건축물에 본 분리막이용 제습시스템을 설치하는 경우에 대하여 LCC 기법을 이용한 경제성 분석을 실시한 결과는 Fig. 8에 나타낸 바와 같다. 총생애주기 50년을 기준으로 경과연도에 따른 LCC 분석결과 Fig. 8에 나타난 바와 같이 시스템의 적용에 따른 연간 에너지 소비량 절감비율은 17.6%로서 세대 당 시스템의 초기투자비 증가분 800,000원/세대에 대한 투자회수기간은 13.7년으로 추정되었다. 투자회수기간이 길게 나타난 원인으로서는 제습 시스템을 가동하는 가동시간이 6~9월에 제한적으로 가동되어 여름철 다습한 기간에 대한 에너지 절감효과는 17.6% 수준임에도 불구하고 연간을 기준으로 하는 에너지 절감효과가 상쇄되는 것으로 나타났다. 또한 현재 기술수준으로는 시스템의 생산단가가 기존의 상용화된 제습시스템에 비하여 상당히 높은 수준으로서 경쟁력 확보를 위하여 추후 생산단가의 저감을 위해 노력하여야 할 것이다.

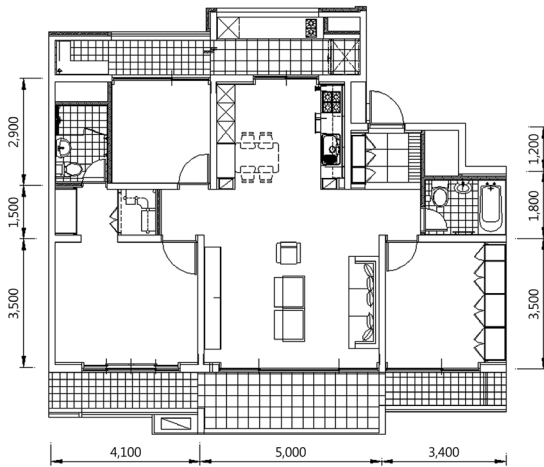


Fig. 7 Residential building plan.

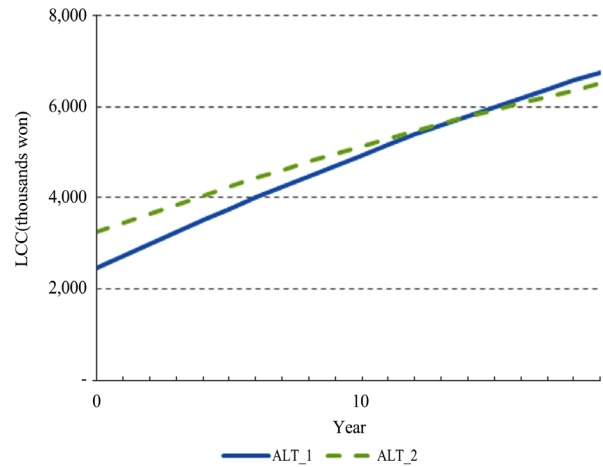


Fig. 8 LCC(Life Cycle Cost) analysis result.

주거용 건축물에서는 경제성을 기준으로 한 분석에서 적용타당성이 낮은 시스템으로 판단되었으나 전외기 공조시스템과 같은 대규모 외기도입시스템에 적용되는 경우 에너지 절감효과 및 경제성의 확보가 가능할 것으로 판단된다. 특히 분리막을 이용하는 제습시스템은 기존의 상용화된 제습시스템에 비하여 실내 건구온도의 상승을 방지하고 기존의 압축냉각을 이용하는 제습방식에 비하여 친환경적, 저에너지 방식으로 지속적인 개발이 필요한 시스템으로 판단된다.

5. 결 론

분리막 제습공조시스템을 주거용 건물에서 적용하는 경우에 대하여 기존 실험결과를 기초로 하여 에너지 시뮬레이션을 수행하였고 경제성 분석을 실시하여 다음과 같은 결론이 토출되었다.

- (1) 1,000 CMH의 통과공기량을 대상으로 시간당 제습량을 측정된 결과 입구공기에 비하여 출구공기의 절대 습도는 0.0023 kg/kg의 감소가 가능한 것으로 나타났다.
- (2) 냉방기간 전체를 기준으로 한 총전력사용량은 일반적인 에어컨을 설치한 경우에는 1,326 kWh, 분리막을 이용한 제습시스템을 적용한 경우에는 1,207 kWh의 결과를 나타나 에너지 절감비율은 17.6%로 나타났다.
- (3) 총생애주기 50년을 기준으로 LCC 분석결과 시스템의 적용에 따른 연간 에너지 소비량 절감비율은 17.6%로서 세대당 시스템의 초기투자비 증가분 800,000원/세대에 대한 투자회수기간은 13.7년으로 추정되었다.
- (4) 투자회수기간이 길게 나타난 원인으로는 가동시간이 여름철에 제한적으로 가동되어 에너지 절감효과는 17.6% 수준임에도 불구하고 연간을 기준으로 하는 에너지 절감효과가 상쇄되는 것으로 나타나 추후 시스템의 적용 가능한 방안에 대하여 분석 및 검토가 수행될 예정이다.

후 기

본 연구는 2017년도 한국에너지기술연구원 주요사업의 지원(과제번호 B7-2411-02)으로 수행한 연구 결과입니다.

References

1. Jung, Y. H. and Park, S. R., 2015, A Study on the Air Flow Analysis for the Internal Space of the Dehumidifying Air-conditioning System with Membrane, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, pp. 620-625.
2. Jang, J. C., Park, S. R., Kang, E. C., and Jung, S. Y., 2015, A Validity Study on the Dehumidification and Air

Conditioning System using Membrane, Proceeding of The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp. 964-965.

3. Rhim, J. W., Hwang, H. Y., Ha, S. Y., and Nam, S. Y., 2004, Application and Development of Dehumidication Systems-Focusing on Membrane Dryer, Membrane Journal, Vol. 14, No. 1, pp. 1-17.
4. Kim, M. H., Jin J. T., Han, S. K., Park, J. Y., and Jung, J. W., 2012, Development of liquid desiccant and evaporative cooling based 100% outdoor air system, Proceeding of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, pp. 85-88.