

# 유치원 건물에서 다중 히트펌프 시스템의 적용에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Applicability of a Multiplex Heat Pump System in the Kindergarten

한설이(Seol-Yee Han)<sup>1</sup>, 김서훈(Seo-Hoon Kim)<sup>2</sup>, 장향인(Hyang-In Jang)<sup>1</sup>,  
이상혁(Sang-Hyeok Lee)<sup>3</sup>, 서승직(Seung-Jik Suh)<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 건축공학과, <sup>2</sup>한양대학교 건축공학과, <sup>3</sup>우송정보대학 철도차량운전과

<sup>1</sup>Department of Architectural Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Railway Vehicle System Engineering, Woosong College, Daejeon 300-718, Republic of Korea

(Received June 7, 2013; revision received August 5, 2013)

**Abstract** We experimented with the energy saving effect of applying a multiplex heat pump system and suggests a dissemination plan for new and existing educational facilities. The development and dissemination of a new system could reduce energy consumption by up to 57%, and help solve environmental issues. Experimental performance evaluated in the kindergarten to analyze the energy saving effect of the cooling and heating system. The average daily COP of the cooling and heating period in the field test was 3.79. Our results showed that the annual energy consumption was reduced, and proved that the multiplex heat pump system is effective in reducing energy consumption.

**Key words** Multiplex heat pump system(다중 히트펌프 시스템), Energy consumption(에너지 사용량), Applicability(적용성), Coefficient of performance(성능계수)

† Corresponding author, E-mail: [energeti@inha.ac.kr](mailto:energeti@inha.ac.kr)

### 기호설명

$C_a$	: 건조공기의 정압비열, 1005 [J/kg · K]
$C_p$	: 온수 평균 비열 [kJ/kg · °C]
$C_s$	: 습공기의 비열(= $c_a + c_{vx}$ )
$C_v$	: 수증기의 정압비열, 1846 [J/kg · K]
$h_i$	: 실내기 입구에서의 공기엔탈피 [kJ/kg]
$h_o$	: 실내기 출구에서의 공기엔탈피 [kJ/kg]
$\dot{m}_w$	: 온수 유량 [kg/s]
$Q_{id}$	: 시스템 냉난방 용량 [kW]
$Q_{od}$	: 실외 열교환기 열량 [kW]
$Q_{p,h}$	: 바닥난방 또는 급탕에 사용된 열량 [kW]
$r_o$	: 0°C의 물의 증발열, $2501 \times 10^3$ [J/kg]
$T_i$	: 온수 입구 온도 [°C]
$T_o$	: 온수 출구 온도 [°C]
$\dot{V}$	: 실내기 순환 공기 유량 [m³/s]
$W$	: 히트펌프 유닛 소비전력 [kW]
$\rho$	: 실내 순환공기의 평균 밀도 [kg/m³]

### 1. 서론

#### 1.1 연구 배경 및 목적

건축물은 시공단계에서부터 철거 단계에 이르기까지 전 생애주기에 걸쳐 이산화탄소를 발생시킨다. 그 중 건물 사용단계에서 발생하는 이산화탄소량은 전체의 절반 이상을 차지하고 있으며 이 단계에서의 이산화탄소 배출은 주로 설비 시스템의 사용에 기인한다. 한편, 2008년 IEA 자료에서도 온실가스 감축수단으로 에너지 효율분야가 36%<sup>(1)</sup>로 기여도가 가장 큰 것으로 분석되었으며, 이에 따라 건물 분야에서 이산화탄소 발생량을 감소시키기 위해서는 에너지 효율을 높일 수 있는 시스템의 개발 및 보급이 필요한 시점이라 할 수 있다.

최근 정부에서도 ‘에너지 절약형 저탄소 녹색 학교 건축’ 정책을 통해 에너지 절감형 학교와 같은 다양한

에너지 저감 방안<sup>(2)</sup>을 고심하고 있다. 이에 유치원 건물의 시스템 설치 현황을 조사한 결과, 대부분의 유치원에서 냉난방시스템으로는 EHP, 급탕시스템으로는 가스보일러를 사용하는 것으로 나타났으며 가스보일러를 사용하는 7곳의 평균 효율을 산출한 결과 약 83.4%로 조사되었다. 이는 산업자원부에서 조사한 가스보일러 평균 효율인 87%<sup>(3)</sup>에도 미치지 못하는 수치로 바닥복사난방과 급탕으로 인해 다량의 온수가 사용되는 유치원 건물에는 비효율적이다. 따라서 에너지 절약형 시스템의 한 유형으로 개발된 다중 히트펌프 시스템의 적용 가능성을 확인할 필요성이 있다.

본 연구에서는 건물에서의 에너지 사용량을 줄이기 위한 노력의 일환으로 개발된 다중 히트펌프 시스템의 에너지 절감효과를 분석하기 위해 소규모 교육시설(공립 유치원)을 대상으로 실증실험을 수행하였다. 유치원을 대상으로 한 실증실험을 통해 다중 히트펌프 시스템이 가지는 특성과 에너지 절감효과를 분석하고 시스템의 보급 방안을 제시하고자 한다.

### 1.2 연구 방법 및 범위

본 논문에서는 대류 냉난방과 함께 급탕 및 바닥 복사난방을 수행하는 다중 히트펌프 시스템의 에너지 절감효과를 분석하기 위해 유치원과 같은 소규모 교육시설을 선정하여 실증실험을 수행하였다.

본 연구의 방법 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 다중 히트펌프 시스템의 특성을 분석하여 실증대상건물을 선정한다.
- (2) 실증대상건물로 선정된 유치원 건물에서 일반적으로 적용되는 설비 시스템 현황을 조사하여 다중 히트펌프 시스템의 적용 필요성을 정립한다.
- (3) 유치원 건물의 실증실험을 통해 측정된 데이터를 분석하여 다중 히트펌프 시스템의 성능 및 에너지 절감효과를 분석한다.
- (4) 본 연구의 실증대상건물과 유사한 타 유치원의 자료를 수집하여 실제 에너지 사용량을 비교·분석한다.
- (5) 다중 히트펌프 시스템의 특성을 분석한 후 유치원과 부하특성이 유사한 타 용도로의 보급 방안을 제시한다.

실증실험을 수행하기 위한 첫 번째 단계인 시스템 설치 단계에서는 시스템 성능 측정을 위한 원격 모니터링 시스템뿐 아니라 온·습도계, 유량계 및 전력량계 등을 설치하여 수집된 데이터를 바탕으로 시스템 성능을 분석하였다.

본 연구의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

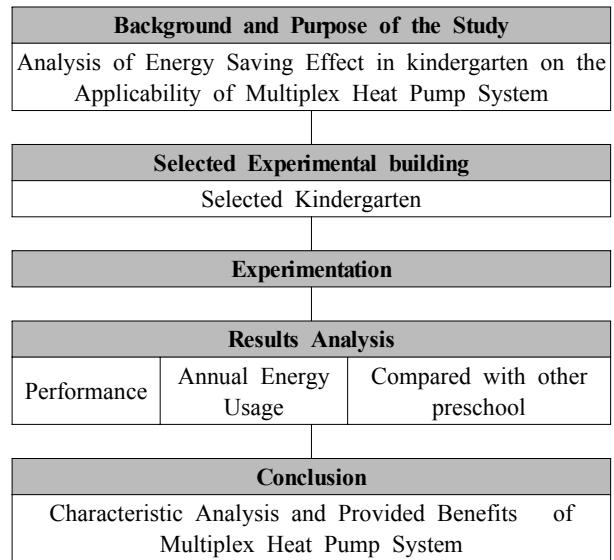


Fig. 1 Flow chart.

## 2. 다중 히트펌프 시스템 실증 실험

### 2.1 실증대상건물 개요

실증대상건물은 유치원의 공교육화 체제전환에 대비하여 1997년부터 교육과학기술부의 권장에 의해 설립된 공립유치원 중 5학급 이상이 단독으로 운영되고 있는 단설유치원이다.

Zero Energy, Green Energy 수준의 건물을 목표로 건물에너지 부하를 최소화 하기위하여 외피 열 성능 향상, 자연채광 및 자연환기와 같은 Passive Design 개념을 도입하였고 에너지 효율을 극대화하기 위하여 시스템 에어컨과 같은 고효율 설비기기를 도입하였다. 또한 최근의 흐름에 따라 태양광 발전, 지열이용 냉·난방시스템, 풍력발전 등의 신·재생에너지 시스템을 도입하였다. 실증대상건물의 전경은 Fig. 2, 개요는 Table 1과 같다.



Fig. 2 Substantiation building whole view.

Table 1 Substantiation building summary

Item	Content
Location	Osan-si, Gyeonggi-do
Use	Kindergarten
Scale	B1F~4F
Ground area	1,768.00 m <sup>2</sup>
Gross floor area	2,098.52 m <sup>2</sup>
Operating hour	9:00~18:00
Application system	Air-to-Water Heat Pump : 124 HP
	Ground Source Heat Pump : 20 HP
	Hot water system boiler (medium temperature) : 20 HP
	Under floor heating system boiler (medium temperature) : 30 HP
	Under floor heating system boiler (high temperature) : 16 HP



Fig. 3 Actual installation.



Fig. 4 Install measuring instruments.

### 2.2 다중 히트펌프 시스템 개요

다중 히트펌프 시스템은 공기열원 히트펌프, 지열원 히트펌프와 급탕 및 바닥 복사난방을 담당하는 시스템 보일러로 구성되어 있다. 이 시스템은 다양한 히트펌프 실외기와 연동하여 대류 냉난방과 바닥 복사난방, 급탕이 가능한 시스템으로 에너지 사용량과 이산화탄소 배출량을 감축시킬 수 있는 고효율 냉난방시스템이다. 특히, 여름철에는 실외로 버려지는 폐 응축열을 회수하여 난방 및 급탕에 재사용하기 때문에 에너지 사용량 저감에 효과적이다.

### 2.3 다중 히트펌프 시스템 개략도

건물의 옥상에 공기열원 히트펌프 실외기가 설치되어 있고 지하의 기계실에 지열원 히트펌프 실외기가 설치되어 있으며 각 실의 실내기와 연결되어 대류 냉난방을 담당한다. 또한 기계실에 설치된 시스템 보일러에

연결되어 열교환을 통해 급탕 및 바닥 복사난방이 가능하도록 설계되었다. 기계실의 시스템설치 사진 및 성능 분석을 위한 기기 설치 사진은 Fig. 3, Fig. 4와 같다.

대류 냉난방, 급탕 및 바닥 복사난방 부하를 산정하기 위해 각 실내기의 취출구와 흡입구에 온도 및 습도 센서를 설치하고 배관의 입, 출구에 온도계와 유량계를 설치하였다. 또한, COP 산출을 위해 필요한 소비전력을 측정하기 위해 각 실외기에 전력량계를 설치하였으며 급탕 및 바닥 복사난방용 시스템 보일러의 소비전력을 측정하여 COP 산출에 반영하였다.

실증대상건물에 설치된 시스템 계통 및 성능 측정을 위한 전력량계, 유량계, 온습도계의 설치 위치는 Fig. 5에 나타냈으며, 실외기에 연결된 실내기의 위치 및 시스템 보일러와의 연결 상태는 다음의 Table 2와 같다.

Table 2 Multiplex heat pump system arrangement

Outdoor unit	Number of indoor unit	Indoor unit	System Boiler	
			Hot water	Floor heating
No.1	5	1F Lobby(2ea), 1F Kitchen, 1F Rest room, 1F Restaurant	Hot water No.2	-
No.2	5	2F Classroom(4ea), 2F Health room	-	Floor heating No.2
No.3	4	2F Special classroom(2ea), 2F Teacher's room, 2F Playroom	-	Floor heating No.4
No.4	5	3F Classroom, 3F Library, 3F Studio, 3F Auditorium, 3F Anteroom	-	Floor heating No.1
No.5	1	3F Playroom	Hot water No.1	Floor heating No.3
No.6	3	3F Auditorium, 2, 3F Classroom	-	-
No.7	5	1F All day classroom(2ea), 1F Night watchman's room, 1F Administration office, 1F President room	-	Floor heating No.5

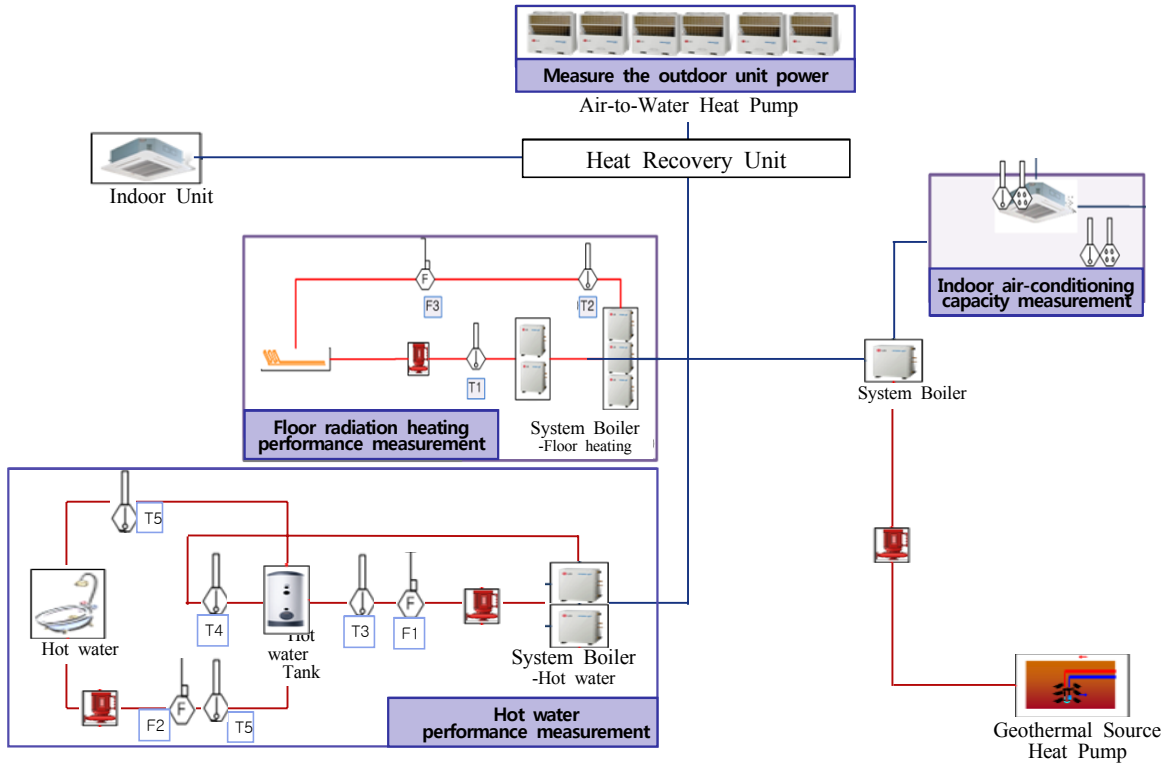


Fig. 5 Schematic diagram of multiplex heat pump system.

## 2.4 다중 히트펌프 시스템 성능 분석

### 2.4.1 냉·난방 성능

본 연구에서 다중 히트펌프 시스템의 냉·난방 용량은 식(1)과 같이 실내에서 2차측 공기의 열량을 구하여 냉·난방용량을 산출하였다.

$$Q_{id} = \rho \dot{V}(h_o - h_i) \quad (1)$$

습공기의 엔탈피,  $h$ 는 건공기와 수증기의 혼합물의 엔탈피로서 다음의 식(2)에 의해 산출하였다.

$$h = c_a t + (c_v t + r_o) x \quad (2)$$

여기서, 절대습도  $x$ 와 수증기분압의 관계는 다음의 식(3)에 의해 산출하였다.

$$x = \frac{0.62198 P_w}{P - P_w} \quad (3)$$

수증기분압  $P_w$ 과 포화수증기압  $P_{ws}$ 은 다음의 식(4)와 식(5)에 의해 산출하였으며 이상의 식을 통해 얻

어진 포화수증기압( $P_{ws}$ )과 수증기분압( $P_w$ )을 이용하여 식(6)의 상대습도( $\Phi$ )를 산출하였다.

$$P_{ws} = \exp(-5800.2206/T + 1.3914993 - 0.048640239T + 0.41764768 \times 10^{-4}T^2 - 0.14452093 \times 10^{-7}T^3 + 6.5459673 \ln T)/1000 \quad (4)$$

$$P_w = \frac{xP}{x + 0.62198} \quad (5)$$

$$\Phi = \frac{P_w}{P_{ws}} \times 100 \quad (6)$$

### 2.4.2 바닥 복사난방 성능

실증대상건물에서는 공기열원 히트펌프와 지열원 히트펌프를 병렬로 연결하고 시스템 보일러와의 열교환을 통하여 온수를 생산한다. 이 방식을 적용할 경우, 여름철에 외부로 버려지는 응축열을 재사용하기 때문에 효율 향상에 유리하다. 바닥 복사난방에 사용되는 온수 유량은 식(7)을 통해 산출하였고 시스템 보일러의 소비전력을 측정하여 COP 산출에 반영하였다. 체적유량계를 사용하는 경우의 온수 유량은 식(8)을 통해 산

출하였으며 밀도는 온도에 따라 보정된 값을 사용하였다.

$$Q_{p,h(\text{or } \text{급탕})} = \dot{m}_w C_p (T_o - T_i) \quad (7)$$

$$\dot{m}_w = \rho \dot{V}_w \quad (8)$$

### 2.4.3 급탕 성능

실증대상건물에서의 급탕 시스템은 기존 유치원건물에서 일반적으로 사용되는 보일러를 대신하여 다중 히트펌프 시스템을 적용하였으며 바닥 복사난방과 마찬가지로 여름철에 응축열을 재사용하여 온수를 생산하게 되므로 COP 향상에 유리하다. 급탕용량은 바닥 복사난방용량 산정과 동일하게 식(7)을 통해 산출하였다.

### 2.4.4 소비전력 측정

압축기의 소비전력만을 고려하는 기존의 히트펌프 시스템과는 달리, 다중 히트펌프 시스템에서는 압축기와 실내·외기 팬의 소비전력 및 급탕 및 바닥 복사난방용 시스템 보일러의 소비전력 등 시스템 구동을 위해 소비되는 전력을 모두 산출하였다. 소비전력과 시스템의 성능계수와의 관계는 다음의 식(9)와 같다.

$$W = Q_{id} / COP_{HP} \quad (9)$$

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 COP 특성과 에너지 절감효과 분석

다중 히트펌프 시스템에서는 히트펌프 실의기가 실내기, 시스템 보일러와 연결되어 대류 냉난방과 급탕, 바닥 복사난방을 모두 담당하기 때문에 각 용도별 COP를 산출하는데 어려움이 따른다.

따라서 본 연구에서는 대류 냉난방 용량과 바닥 복사난방 용량, 급탕 용량을 모두 산출하여 합산한 후, 그 합계를 히트펌프 시스템에 사용되는 전체 소비전력의 합으로 나누어 전체 시스템 COP를 계산하였다. 냉방기간과 난방기간의 일평균 시스템 COP는 각각 Fig. 6과 Fig. 7과 같다.

2012년 5월부터 8월까지 측정된 냉방기간의 일평균 COP는 최소 3.50에서 최고 5.18까지 비교적 고른 분포를 보였으며 평균 COP는 3.93으로 나타났다. 반면, 2012년 11월부터 2013년 2월까지 측정된 난방기간의 일평균 COP는 최소 1.32에서 최고 5.76으로 편차가 크게 나타났다. 난방기간의 평균 COP는 3.40으로 냉방기간에 비해 다소 낮게 측정되었는데 이는 냉방기간에는 외부로 버려지는 응축열을 재사용하여 효율을 향상시킬 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 난방기간 중 11월 23일부터 11월 27일까지의 데이터는 기계의 오작동으로 인해 아래와 같은 결과를 나타냈으며 분석에서는 제외하였다.

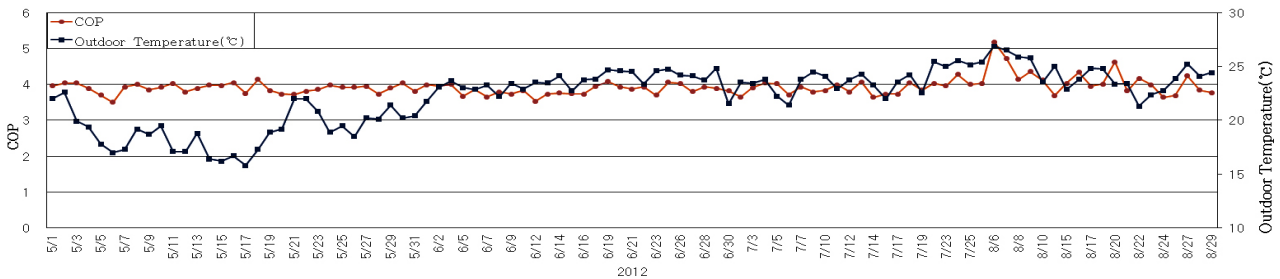


Fig. 6 Average system COP of daily during the cooling period.

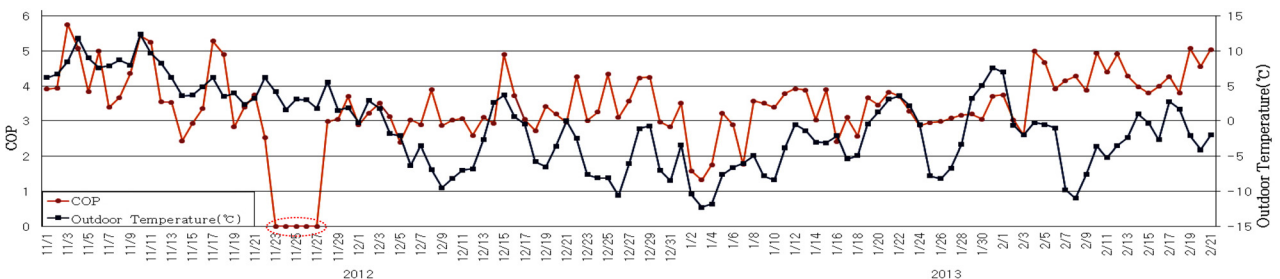


Fig. 7 Average system COP of daily during the heating period.

실증 실험 결과, 바닥 복사난방을 주로 사용하는 유치원의 특성상 시스템 전체 가동률이 낮게 나타났음에도 불구하고 시스템의 평균 COP는 약 3.79로 산출되었다. 시스템 효율은 위의 식(9)를 통해 산출하며 산출식을 살펴보면  $Q_{td}$ 가 일정하다고 가정했을 때 COP가 높아지면 W가 감소하게 되는데 이 때 W는 투입된 에너지로, COP가 높아지면 에너지 사용량이 감소한다고 할 수 있다. 결국, 효율이 높아지면 투입된 에너지 대비 얻어지는 효과가 크기 때문에 적은 에너지로도 많은 열량을 낼 수 있는 것이다.

따라서 다중 히트펌프 시스템은 일평균 시스템 COP가 평균 3.79로 높게 나타나 에너지 사용량을 현저하게 줄일 수 있으며 에너지 저감에도 효과적이라 할 수 있다.

### 3.2 에너지 사용량 비교

본 연구에서는 기존 유치원 건물의 에너지 사용 실태 및 설비 시스템 사용 현황을 분석하기 위해 시·도 교육청의 도움을 받아 기존 유치원 건물의 자료를 수집하였다. 조사된 유치원 중에서 급탕 시스템으로 가스보일러를 사용하며, 운영 스케줄이나 에너지 소비 패턴이 실증대상건물과 가장 유사한 2곳의 유치원을 선정하였다.

따라서 실증대상건물과 에너지 사용량을 비교함으로써 다중 히트펌프 시스템의 에너지 절감효과를 분석하였다. 선정된 기존 유치원은 각각 경기도 성남과 전남 목포에 위치한 유치원으로, 실증대상건물과 기상 조건에서 다소 차이가 발생한다. 그러나 남부지역의 기후 특성상 중부지역에 비해 에너지 요구량 및 소요량이 더 낮게 산정<sup>(4, 5)</sup>되기 때문에, 오히려 다중 히트펌프 시스템의 에너지 절감효과를 확인할 수 있었다. 비교 대상으로 선정된 기존 유치원 건물의 개요는 Table 3과 같다.

Table 4는 실증대상건물과 기존 유치원의 에너지 사용량을 나타낸 것으로 2011년 3월부터 2012년 3월까

Table 3 Existing kindergarten summary

Item		A	B
Location		Seongnam	Mokpo
Scale		3F	2F
Ground area(m <sup>2</sup> )		1,296.00	1,220.87
Total number of student		134	108
Operating hour		9:00~19:30	9:00~19:00
Energy source		LNG, Electricity	LNG, Electricity
Cooling and heating	System	EHP	Cooler
	Capacity (kW)	204.8	(Sum)125.2
	Efficiency (aver., %)	2.54	(Aver.)3.20
Hot water	System	Gas boiler	Gas boiler
	Capacity (kcal/h)	275,000	16,000(2ea)
	Efficiency (%)	0.83	0.82

지 동일기간을 적용하였다. 실증대상건물에만 적용된 엘리베이터 전력을 고려하기 위해 에너지 사용량에서 기타용 전력을 제외한 후 비교를 수행하였으며, 기타용 전력은 한국설비기술협회의 건축설비 에너지 절약 핸드북을 참조하여 총 사용전력의 9%로 산정하였다.

다중 히트펌프 시스템을 적용한 실증대상건물에서는 대류 냉난방, 바닥 복사난방 및 급탕을 수행하기 위해 에너지원으로 전기만을 사용하지만 기존 유치원의 경우 급탕 시스템으로 가스보일러를 사용하기 때문에 에너지원으로 도시가스과 전기를 사용하게 된다. 에너지원별 총발열량이 다르기 때문에 석유환산계수를 이용하여 석유환산톤(TOE)으로 환산한 후, 단위면적당 에너지 사용량을 비교하였다. 이 때, 에너지 열량 환산기준은 에너지 기본법 시행규칙 제5조에 의한 총발열량 기준\*을 사용하였다. 분석된 결과는 Table 5와 Fig. 8과 같다.

Table 4 Energy consumption comparison

		2011										2012		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
field test	Electricity (kWh)	24,967	11,589	9,534	8,300	8,022	8,643	7,565	13,184	16,767	28,600	27,340	19,403	16,956
	LNG(m <sup>3</sup> )	2,657	1,951	1,405	778	472	498	159	413	818	1,269	2,863	2,683	2,967
A	Electricity (kWh)	8,480	0	0	5,960	6,920	8,600	6,920	4,800	4,960	6,840	9,280	9,560	9,280
	LNG(m <sup>3</sup> )	1,779	1,042	388	451	802	579	537	397	946	1,314	1,498	1,191	1,512
B	Electricity (kWh)	4,326	5,493	3,995	2,710	2,695	3,143	2,584	2,605	2,950	3,921	4,760	4,303	4,507

Table 5 Energy consumption comparison(per square meter)

(Unit : kgoe/m<sup>2</sup>)

	2011										2012			Total
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
field test	2.56	1.19	0.98	0.85	0.82	0.88	0.77	1.35	1.72	2.93	2.80	1.98	1.73	20.56
A	3.57	1.59	1.14	1.62	1.53	1.83	1.28	1.13	1.49	2.17	3.87	3.77	3.95	28.94
B	2.30	1.87	1.04	0.87	1.17	1.05	0.92	0.80	1.34	1.83	2.13	1.79	2.10	19.21

\* town gas higher heating values : 10,550 [kcal/Nm<sup>3</sup>], electricity higher heating values : 2,150 [kcal/kWh]  
 (The energy fundamental law enforced regulation star 1, 2006. 9. 4 enactment and revision).

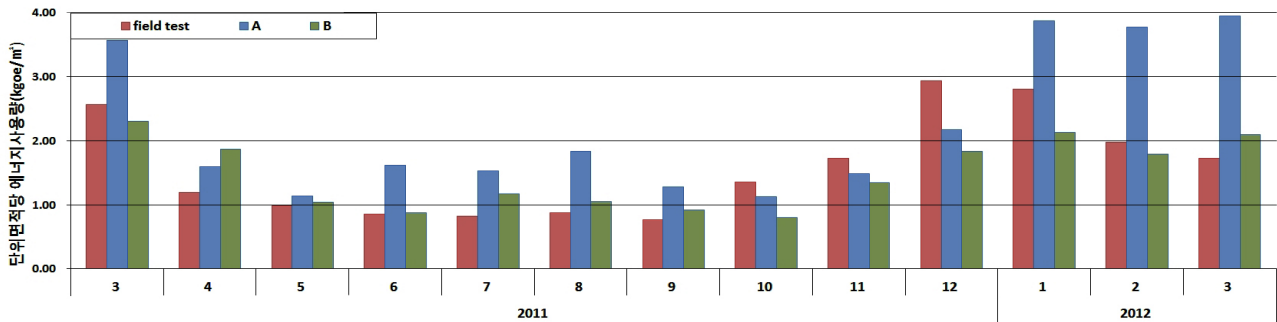


Fig. 8 Energy consumption comparison(per square meter).

단위면적당 에너지 사용량을 비교한 결과, 실증대상 건물에 비하여 A유치원은 약 29% 가량 에너지를 더 사용하였고, B유치원은 약 7%가량 에너지를 적게 사용하는 것으로 분석되었다. 실증대상건물과 동일한 중부지역에 위치한 A유치원의 에너지 사용량이 8.38 kgoe/m<sup>2</sup> 더 크게 분석된 반면, B유치원은 약 1.35 kgoe/m<sup>2</sup> 적게 산출되었다. 이는 중부지역의 에너지 사용량이 남부지역에 비해 약 18%가량 더 큰 것을 고려하면, 남부지역에 위치한 B유치원에 비해 실제적인 에너지 사용량은 실증대상건물이 더 적은 것으로 판단할 수 있다. 또한, B유치원과 월별 데이터 비교에서 폐열을 활용하여 급탕을 수행하는 여름철에는 최대 52%의 에너지 절감효과가 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구는 다중 히트펌프 시스템의 대류 냉난방, 바닥 복사난방, 급탕 성능 및 실내 온열환경을 측정하여 시스템 COP 및 에너지 절감효과를 분석하였으며, 이를 통해 에너지 절약형 시스템으로서 다중 히트펌프 시스템의 적용 가능성을 확인하고, 보급 방안을 제안하기 위해 수행하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 다중 히트펌프 시스템은 여름철에 외부로 버려

- 지는 응축열을 재사용하기 때문에 COP 향상에 유리할 뿐 아니라 보일러에 비해 에너지 사용량과 이산화탄소 배출량을 현저하게 감소시킬 수 있는 고효율 히팅 시스템으로 확인되었다.
- (2) 냉방기간의 일평균 COP는 최소 3.50, 최고 5.18로 평균 3.93의 비교적 고른 분포를 보인 반면, 난방기간의 일평균 COP는 최소 1.32에서 최고 5.76으로 편차가 크게 나타났으며 평균은 3.40으로 냉방기간에 비해 다소 낮게 나타났다.
- (3) 실증실험 결과, 일평균 급탕 부하는 냉방기간과 난방기간 모두 약 21 kW의 유사한 특성을 보였으며, 바닥 복사난방 부하는 대부분 오전에 최대 값이 나타난 후 오후로 갈수록 줄어드는 경향을 보였다.
- (4) 단위면적당 에너지 사용량을 비교한 결과, 실증대상건물은 A유치원에 비하여 약 29%의 에너지 절감효과를 보였으며, 남부지역의 기후 특성상 중부지역에 비해 에너지 요구량 및 소요량이 더 낮게 산정됨에도 불구하고 B유치원과 비교에서 약 7%의 작은 차이가 나타났다.
- (5) 전체 시스템의 가동율이 저조하기 때문에 일평균 시스템 COP가 3.79로 다소 낮게 나타났음에도 불구하고, 에너지 사용량은 20.56 kgoe/m<sup>2</sup>로 같은 지역에 위치한 타 유치원에 비해 현저하게 나타났다.

- (6) 유치원의 부하 특성상 겨울철에는 대류 냉난방 뿐 아니라 바닥 복사난방까지 수행하기 때문에 여름철에 비해 에너지 사용량이 증가하게 된다. 에너지 사용량이 급증하는 겨울철에도 일평균 시스템 COP는 3.40으로 나타나 다중 히트펌프 시스템의 에너지 절감효과를 확인할 수 있었다. 따라서 실증대상건물과 부하 특성이 유사한 타 용도에도 다중 히트펌프 시스템의 보급을 고려해 볼 수 있다.

최근에는 병설유치원이 단설유치원으로 변환되는 추세이므로 리모델링을 필요로 하는 건물이 증가하고 있으며 이에 따라 노후화된 설비시스템 또한 교체할 가능성이 높다. 또한 각 교육청에서는 신규 유치원 건립계획을 추진 중에 있으므로 시스템에 대한 충분한 홍보가 필요할 것으로 사료된다.

다중 히트펌프 시스템의 보급을 위해서는 시스템의 효율 및 투자회수기간을 표기하여, 효율과 함께 경제적 우수성을 부각시켜야 하며 실증대상건물인 유치원 뿐 아니라 다른 용도로의 보급을 위한 적용 가능성 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. OECD/IEA, 2008, ETP(Energy Technology Perspective), Report of International Energy Agency, pp. 99-106.
2. MOTIE, 2006, The Study of Policy for Regulation of Boiler Minimum Efficiency, Report of KID[2004-EN-C04-P-04-0-000], pp. 8-9.
3. Kim, H. K., An, K. H., and Choi, Y. S., 2011, LCC analysis for optimized application of renewable energy of eco-friendly school, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 27, No. 11, pp. 83-90.
4. Korea Energy Management Corporation, 2002, Energy intensity per[www.kemco.or.kr/building/buil\_db/index-3\_5.html].
5. Kim, S. A., 2012, Evaluation of building energy performance in small office building according to properties of windows and thermal performance of envelope, School of Architecture and Civil Engineering Graduate School, Kyungpook National University, p. 34.