

## 대학 건물에 설치된 가스엔진구동 히트펌프(GHP) 실외기의 조닝 계획에 따른 운전 특성과 경제적 효과

박 강 현, 김 수 민<sup>†</sup>  
숭실대학교 건축학부

### The Economic Effects and Operating Characteristics of the Outdoor Unit in Accordance with Zoning Plan of Gas Engine Driven Heat Pump Installed in the University Building

Kang-Hyun Park, Sumin Kim<sup>†</sup>

School of Architecture, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received September 6, 2011; revision received November 23, 2011)

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to analyze of the operating characteristics of the Gas engine driven Heat Pump(GHP) and to reduce maintenance costs through the most Economical plan. As the zoning modifications that have economic effects were confirmed. Applications should be made with a similar purpose of the space. The combination of a modified space has led to reduced operating hours of the outdoor unit. The reduction of the outdoor unit operating hours, reducing maintenance costs accordingly. When analyzed at six years have elapsed, the amount of savings through zoning modifications is more than an additional construction cost. During the design phase, cost-effective operation of the GHP is required for the proper zoning plan.

**Key words:** Gas engine driven heat pump(GHP), Maintenance costs(유지보수 비용), Building energy(건물 에너지), Economic analysis(경제성 분석), Zoning plan(조닝 계획)

#### 1. 서 론

경제 발전에 따른 소득의 증가로 생활환경이 개선되면서 냉난방 환경에 대한 요구도 함께 증가하고 있다. 쾌적한 실내 환경을 조성하기 위해 시행하는 냉난방 조닝은 에너지를 효율적으로 사용할 수 있도록 하여 경제적인 시스템을 구현할 수 있도록 해준다. 일반적으로 냉난방을 포함하는 공기조화 계획에서 적용되는 조닝의 종류에는 운전시차,

열부하, 온습도 조절, 환기방식 등에 의한 조닝이 있다.

건축물별 적용 가능한 냉난방 조닝과 공기조화의 계획 단계에서 적용되는 조닝에 대한 검토는 이루어지고 있으나<sup>(1)</sup> 실제 조닝을 통하여 얻을 수 있는 경제적인 효과와 적용된 조닝의 적합성을 확인하는 연구는 이루어지지 않고 있다. 또한 건축 설계의 의도에 따라 냉난방 조닝이 정해지거나 설계자의 경험에 의존하여 조닝 계획을 하는 불합리한 경우도 있다.<sup>(2)</sup> 이에 따라 대학 건물에 설치되어 운용 중에 있는 냉난방 시스템의 조닝을 검토하여 적용된 조닝의 적합성과 경제적 효과를 분석하고자 한다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-820-0665; fax: +82-2-816-3354

E-mail address: skim@ssu.ac.kr

## 2. 연구 대상 및 방법

### 2.1 연구 대상

본 연구는 서울특별시에 소재한 대학의 건물에 설치하여 운용 중에 있는 가스엔진구동 히트펌프(Gas engine driven Heat Pump, GHP)를 대상으로 하였다. 연구 대상 건물은 전산, 어학, 교양을 지도하고 연구하기 위한 곳으로 행정실, 교수연구실, 어학실습실, 강의실 등으로 구성되어 있다. Table 1은 연구 대상 건물의 개요를 나타낸 것이다. 기후적으로 습한 아열대 기후를 나타내고 있으며, 8월 평균 기온이 25.4℃, 1월 평균 기온이 -2.5℃에 이르고 있다.<sup>(3)</sup>

전산과의 기계실과 지하 박물관은 별도의 향온습기에 의해 온습도 관리를 하고 있으며, 나머지 실들은 GHP를 이용한 냉난방 시스템으로 계획되어져 있다. GHP 실외기는 2004년 9월에 제조된 것으로 2005년부터 운용되기 시작하였다. 각 실은 면적과 용도에 따라 1way, 2way, 4way 등 다양한 취출 방식의 실내기가 설치되어 있다. 행정실과 교수연구실은 각 실마다 유선리모컨이 설치되어 개별 제어와 중앙제어가 모두 가능하며, 강의실과 실습실은 중앙제어를 통해서만 관리되고 있다.

Table 2는 GHP 실외기 1대당 성능과 사양을 나타낸 것이다. 냉방과 난방 능력은 각각 56 kW, 67 kW이며, 가스는 냉방 시 3.92 Nm<sup>3</sup>, 난방 시 3.83 Nm<sup>3</sup>를 소비한다. GHP 실외기의 유지보수는 5년 또는 운전시간이 10,000시간이 될 때마다 시행한다. 배관의 길이는 120 m까지 가능하며, 실내기 간의 상하 높이 차는 15 m까지 가능하다. 총 실외기의 수는 38대이며, 배관 길이를 줄이기 위해 남측 건물과 북측 건물의 옥상에 각각 19대씩 설치하였다.

Table 1 A target building's overview

Item	Contents
Location	Dobong-Gu, Seoul
Floor	B1 F~4 F
Occupancy	Classroom, Professor's room Office, Lab, etc.
Gross Area	14,250 m <sup>2</sup>
Structure	RC Structure
Climate	Humid subtropical climate
The Average Temperature in August	25.4℃
The Average Temperature in January	-2.5℃

GHP 실외기의 유지보수 기간이 도래하면 엔진 오일, 오일 필터, 블로바이 필터, 점화플러그, 에어 엘리먼트, 압축기 벨트, 쿨러트 강화제 등을 교환하여야 하며, 냉각수, 압축기, 냉매 누출 및 운전 이상 음 발생 여부 등을 점검하여야 한다. 이에 따라 유지보수 기간이 도래한 GHP 실외기는 2011년 기준 1대당 1,346,400원의 비용이 발생하였다. Fig. 2은 GHP 실외기 1대당 연간 유지보수 비용이 매년 증가하고 있음을 보여주고 있다. 실외기의 유지보수는 5년 마다 시행하고, 5년이 되지 않은 경우에도 운

Table 2 The technical specifications of the GHP(per 1 unit)

		Contents
Capacity	Cooling(kW)	56
	Heating(kW)	67
Refrigerant		R-407C
Gas consumption	Cooling(Nm <sup>3</sup> )	3.92
	Heating(Nm <sup>3</sup> )	3.83
COP	Cooling	1.13
	Heating	1.10
Maintenance cycle		5years or 10,000hours
Pipe length(m)		120
Height difference between indoor units(m)		15
Outdoor units quantity(ea)		38

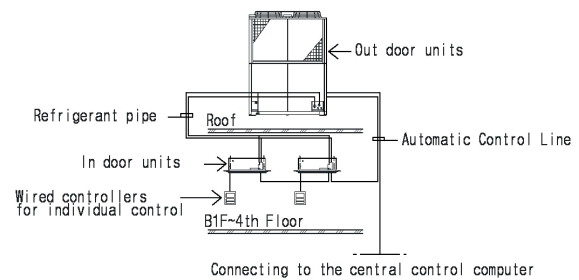


Fig. 1 A schematic diagram of GHP systems.

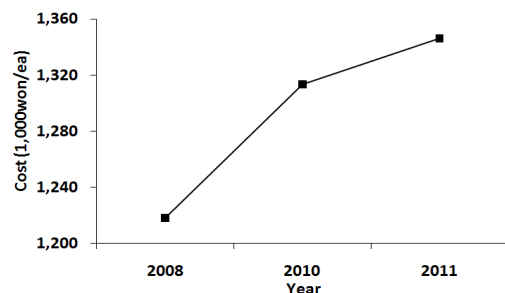


Fig. 2 Changes in maintenance costs.

전 시간이 10,000시간에 도달하게 되면 유지보수를 받아야 한다. 유지보수와 교체에 따른 비용 발생이 냉난방 시스템의 경제성에 큰 영향을 미치기도 한다<sup>(4)</sup>는 점에서 실외기의 운전 시간을 줄이기 위한 조닝이 경제적인 GHP 운용을 위해 필수적이다.

Table 3은 대상 건물의 용도에 따른 냉방 부하와 각 실의 사용시간을 나타낸 것이다. 각 실의 부하는 Loadsys Ver 2.01을 이용하여 산출하였으며, 부하 요소로 지붕, 벽, 창, 일사, 조명, 기기, 인체, 침입 외기 등을 적용하였다.

### 2.2 연구 방법

GHP 실외기별 운전시간과 GHP 유지보수 비용을 산출하였고, 실외기별 담당 조닝의 성격을 구분하였으며, 공간의 용도와 실외기의 운전시간 간의 연관성을 조사하였다. 또한 운전 시간을 줄이기에 부적합하게 조합된 조닝을 조사하였고, 적절한 조닝으로의 전환을 위해 추가해야 하는 공사비용을 산출하였다. 이를 바탕으로 추가 공사비용을 산정하고 적절한 조닝에 따른 경제적인 효과와 비교 분석하였다. Table 4는 기존 계획과 수정된 조닝 계획에 있어서의 고려사항을 나타낸 것이다. 수정된 조닝 계획에는 각 실별 사용 스케줄로 인한 운전 시간의 차이를 고려하였음을 보여주고 있다.

Table 3 Cooling load and operating time

	Cooling load (kcal/m <sup>2</sup> h)	Operating time
Administrative department and Faculty's research zone	105~115	9 : 00 to 23 : 00 (continuous operating)
Lab and Classroom	200~245	9 : 00 to 18 : 00 (intermittent operating)

Table 4 Comparing the original plan and the revised plan

	Original system plan	Modified system plan
Considerations	Heating and cooling load	Heating and cooling load
	Equipment capacities	Equipment capacities
	Space program	Space program
	Objectives of the space	Objectives of the space
	The initial cost reduction	The time differences the space used

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 실외기 운전시간

38대의 실외기의 운전 시간을 조사한 결과 실외

Table 5 The target building's space program

No.	Operating time(hour)	Space program
1	12,560	Classroom, Professor's room #1~#5
2	7,065	Office, Lab #3(small), Hall-2
3	2,972	Lab #1, #2
4	8,422	Classroom #1, #2, #3-corridor side
5	7,172	Classroom #3-window side, #4, #5
6	21,127	Professor's room #6~#10, Lab, Hall-2
7	9,806	Classroom #1, #6, Classroom #2-window side
8	7,367	Classroom #3, #4, Classroom #5-window side
9	7,107	Classroom #2-corridor side, Classroom #7, #8
10	7,630	Classroom #5-corridor side, Classroom #9, #10
11	9,973	Computer lab, PC warehouse, Hall-2
12	6,306	computer lab
13	6,131	Classroom(middle) #1, Classroom(small) #1-right
14	6,629	Classroom(middle) #2-corridor side, Classroom(middle) #4
15	15,596	3F Classroom(middle) #3, 4F Machine room, office-corridor side
16	11,639	Classroom(small) #1-left, Classroom(middle) #2-window side, Graduate school office #1, #2
17	15,425	Warehouse, Office, Classroom(small) #2 Meeting room, Lab-window side
18	13,617	Classroom, Professor's room #2, Hall-2
19	20,447	Office-window side, Office, Classroom, Lab-corridor side, Professor's room #1, #3~#5
20	15,293	B1 Office, Hall(2EA), 1F Professor's room, Meeting room, Office, Main hall-right 1EA
21	4,763	Main hall-left 2EA, Classroom #1
22	5,878	Classroom #2, Seminar room #1, #2
23	6,617	Classroom, Seminar room #3, #4
24	6,713	Classroom #5, #6
257	14,447	Lounge, Main hall(3EA), Office, Seminar room #7
26	7,645	classroom #11, #12
27	7,411	classroom #13, #14
28	7,297	classroom #15, #16
29	9,552	1F Office, 2F seminar room #8~#13
30	23,101	Lab, Professor's room #7~#9, Office A, B, Lab #1~#7
31	9,249	Computer lab, Network lab
32	20,600	Professor's room #1~#6, Lab, Main hall(3EA)
33	15,414	3F Lab, 4F Lab, Office, Lab #1, #2
34	6,156	Lab, Lab #1, #2, Main hall(3EA)
35	17,937	Lab, PC warehouse, Graduate school lab #3~#5, Professor's room #1, #2
36	8,002	Simulation lab, Data mining lab-window side, Professor's room #3
37	13,532	Data mining lab-corridor side, Lab, Professor's room #4, #5
38	7,988	Toilet

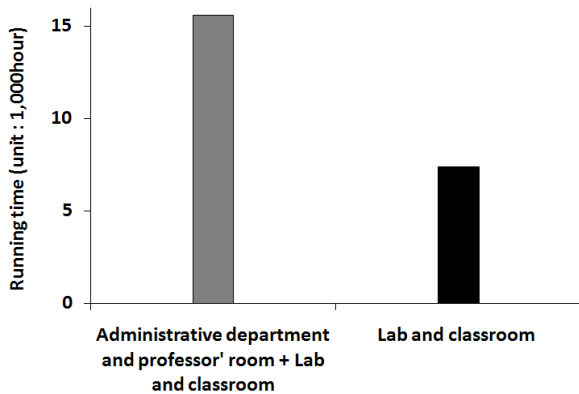


Fig. 6 Annual average operating time of heat pump according to the objective of the space.

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 실외기 운전시간

38대의 실외기의 운전 시간을 조사한 결과 실외기 간 운전 시간의 차이가 큰 것으로 나타났다. Table 5는 실외기가 담당하는 공간과 실외기별 운전시간 누계치를 나타내고 있다. 운전 시간이 2,972~23,101시간으로 차이가 크게 나타났다. 같은 사양의 실외기이지만 30번 실외기의 경우 10,000시간 도달에 따른 유지보수 점검을 2회 실시하였다.

Fig. 3는 운전 시간을 3단계로 나누어 실외기별 운전 시간의 편차를 보여주고 있다. 5,000시간에서 10,000시간 사이의 운전을 한 실외기는 22대였으며, 10,000시간을 초과하여 운전한 실외기는 14대였다. 실외기의 운전 시간의 누계치가 5,000시간에 미치지 못하는 실외기는 2대였다. 운전 시간의 편차가 큰 것으로 볼 때 실외기의 조닝이 적절하지 않은 것으로 판단된다.

#### 3.2 실외기별 공간 조합

실외기별로 냉난방을 담당하고 있는 공간의 성격과 용도를 조사하여 운전 시간을 줄이기 위한 조닝이 적절하게 되어 있는지 조사하였다. Fig. 4는 성격과 용도가 유사한 공간으로 조닝을 한 실외기와 성격과 용도가 다른 이질적인 공간이 함께 조합된 조닝을 한 실외기의 수를 표현한 것이다. 행정실과 교수연구실은 행정연구공간(Administrative department and Faculty's research zone, AF), 강의실과

실습실, 세미나실을 강의실습공간(Lab and Classroom, LC)으로 하여 유사한 용도의 공간으로 구분하였다. 성격과 용도가 유사한 공간으로 조닝을 한 실외기는 23대이며, 이질적인 공간이 함께 조합된 조닝을 한 실외기는 15대로 나타났다. 또한 Fig. 5와 같이 실외기의 조닝 중 동일한 강의실습공간에 2대의 실외기를 배치하여 운용 중인 경우도 있었다. 해당 강의실습공간에는 실내기가 2~4대가 설치되어 있었고 각각 1~2대의 실내기를 서로 다른 실외기가 담당하고 있는 것이다. Table 5에서 보는 바와 같이 4, 5, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 19, 36, 37번 실외기가 해당된다. 이에 따라 해당 실에 냉난방 제공을 위해서는 2대의 실외기가 운전되는 불합리한 양상을 보이고 있다. 유사한 용도의 공간일 경우에도 공간을 이분하여 실외기를 복수로 적용할 경우 운전 시간의 증가를 초래하여 비효율적인 냉난방 운용을 하게 된다.

#### 3.3 공간 용도에 따른 운전 시차

실외기별 담당 공간의 용도와 운전 시간과의 상관관계를 조사하였다. 행정연구공간은 평일 기준 오전 9시부터 오후 11시까지 운용되고 있다. 반면 강의실습공간은 연중 3개월은 방학으로 인하여 운용이 중단되고, 학기 중에도 오전 9시부터 오후 6시까지 수업 스케줄에 의해 중앙제어로 운용되고 있었다. 이에 따라 행정연구공간을 담당하는 실외기의 운전 시간이 강의실습공간을 담당하는 실외기의 운전 시간보다 길다고 볼 수 있다. 실외기별 담당 공간을 확인 결과 행정연구 공간만으로 조닝이 된 실외기는 없었다. 이에 따라 행정연구공간과 강의실습공간이 혼합되어 조닝을 한 실외기와 강의실습공간으로만 조닝을 한 실외기를 구분하여 운전 시간을 비교 하였다.

Fig. 6은 공간 용도에 따른 실외기의 누적 운전 시간을 나타낸 것이다. 행정연구공간과 강의실습공간이 혼합된 실외기 15대에 대한 운전 시간을 평균한 것으로 대당 15,611시간이며, 강의실습공간으로만 조닝을 한 실외기 22대의 운전 시간 평균값은 7,383시간이었다. 행정연구공간과 강의실습공간이 혼합된 실외기의 운전 시간이 강의실습공간으로만 조닝한 실외기의 운전 시간보다 긴 것은 행정연구공간의 연중 운전시간이 강의실습공간보다 길기 때문으로 판단된다.

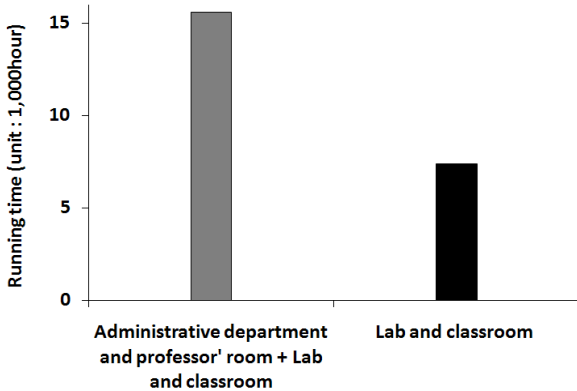


Fig. 6 Annual average operating time of heat pump according to the objective of the space.

의기는 없었다. 이에 따라 행정연구공간과 강의실습공간이 혼합되어 조닝을 한 실외기와 강의실습공간으로만 조닝을 한 실외기를 구분하여 운전 시간을 비교 하였다.

Fig. 6은 공간 용도에 따른 실외기의 누적 운전 시간을 나타낸 것이다. 행정연구공간과 강의실습공간이 혼합된 실외기 15대에 대한 운전 시간을 평균한 것으로 대당 15,611시간이며, 강의실습공간으로만 조닝을 한 실외기 22대의 운전 시간 평균값은 7,383시간이었다. 행정연구공간과 강의실습공간이 혼합된 실외기의 운전 시간이 강의실습공간으로만 조닝한 실외기의 운전 시간보다 긴 것은 행정연구공간의 연중 운전시간이 강의실습공간보다 길기 때문으로 판단된다.

### 3.4 유사한 용도의 공간으로 조합한 조닝

행정연구공간과 강의실습공간의 용도에 따라 운전 시간의 차이가 발생하고 있으나 38대의 실외기 중 15대는 행정연구공간과 강의실습공간이 혼합된 부적합한 조닝으로 구성되어 있다. 이에 따라 운전 시간대가 유사한 공간으로의 조닝을 구성할 필요가 있다.

Fig. 7은 열부하 계산에 필요한 조건을 나타낸 것이다. 행정연구공간과 유사한 오피스(Office)의 경우 강의실습공간(Classroom)과 비교하여 취입외기량과 단위 면적당 인원수가 적다. 또한 로비와 같은 공간에 비교하여 조명과 창면적률에 의한 부하가 상대적으로 작다.<sup>(5)</sup> 행정연구공간은 단위면적당 열부하가 강의실습공간이나 로비와 같은 공간보다 작

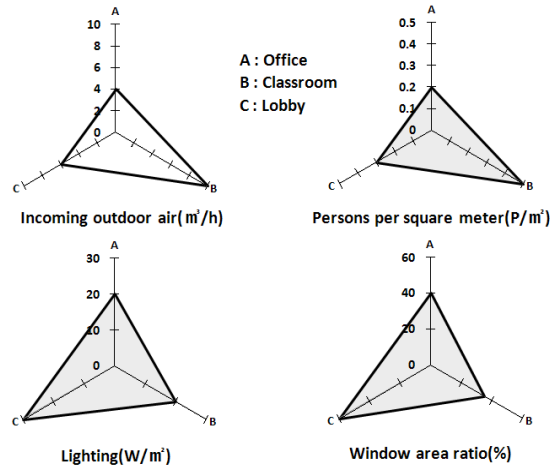


Fig. 7 Heat load calculation conditions according to objectives of the space.

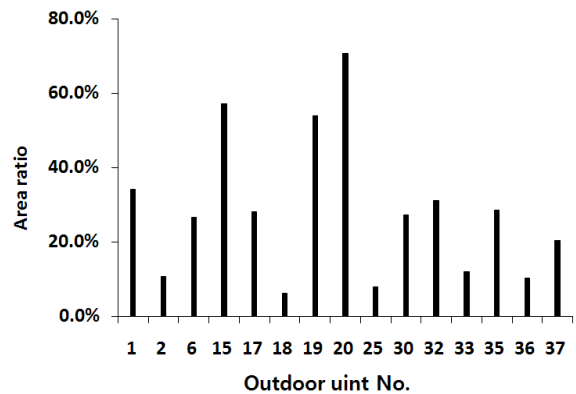


Fig. 8 Air-conditioning area ratio for AF.

기 때문에 실외기 1대가 담당할 수 있는 행정연구공간의 면적은 강의실습공간보다 넓다. Fig. 8은 현재 설치 운용 중에 있는 실외기 중 행정연구공간과 강의실습공간을 혼합하여 담당하고 있는 실외기의 냉난방 담당 면적 중 행정연구공간에 해당하는 면적의 비율을 나타낸 것이다. 행정연구공간에 해당하는 면적 비율이 작은 것은 6.1% 정도이며, 총 15대의 실외기 중 10대가 행정연구공간의 면적 비율이 30% 이하로 나타났다.

### 3.5 경제적 효과

행정연구공간은 강의실습공간과 비교하여 단위면적당 부하가 적으나 운전 시간이 상대적으로 길다. 이에 따라 행정연구공간을 전용으로 하여 담당하는 실외기를 구성한다면 GHP 실외기의 유지보수 기준이 되는 10,000시간에 도달하는 실외기의 수를 줄

다. 행정연구공간의 사용시간대가 유사하여 운전 시차가 거의 발생하지 않는다고 가정할 경우 4대의 실외기가 20,000시간, 1대의 실외기가 10,000시간을 초과하여 모두 9회의 유지보수 비용이 지출된다. Table 7은 기존의 조닝 상태에서의 실외기 유지보수 비용과 행정연구공간만을 담당하는 실외기로 조닝을 수정하였을 때의 비용을 나타낸 것이다. 기존의 조닝(A)과 수정된 조닝(B)에 의한 운전 시간에 따른 유지보수 비용은 각각 24,235,200원과 13,464,000원이었다. 유지보수 비용에 있어 기존의 조닝과 수정된 조닝은 10,771,200원의 차이를 보여 44.4%의 유지보수 비용 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 수정된 조닝을 통해 실외기의 운전 시간이 줄어드는 효과가 있어 실외기의 수명도 상대적으로 증가할 것으로 판단된다.

Table 8은 건물 신축 계획 단계에서 조닝을 수정하여 시공을 할 경우 발생하는 추가비용을 나타낸 것이다. 추가비용에는 냉매배관, 보온재, 제어선로, 제어선로 보호관 등의 자재비와 배관공, 보온공, 케이블공, 용접공 등의 노무비, 안전관리비, 각종 보험료 등의 간접비용 등이 있다. 냉매배관은 간선부분이 아닌 지선부분의 물량이 증가하는 것으로 동관과 발포보온재를 실외기당 40 m, 통신선과 전선관을 실외기당 200 m 추가하는 것으로 가정하였다. 기타 자재로 고무본드와 보강테이프 등을 산입하였다. 노무비에 있어 배관공과 보온공을 각각 10인, 용접공을 5인, 케이블공을 4인, 보통인부를 15인 추가 투입하는 것으로 가정하였다. 자재비와 노무비의 10%를 기타 비용으로 하여 산출한 추가공사 비용은 6,497,232원이었다.

2005년부터 2011년까지 6년 동안 운전 시간이 10,000시간을 초과하여 지출한 유지보수 비용이 24,235,200원이며, 조닝을 수정할 경우 13,464,000원의 유지보수 비용이 들어 10,771,200원의 유지보수 비용을 절감할 수 있다. 이에 비해 수정된 조닝으로 시공할 경우 추가공사 비용은 6,497,232원으로 조닝을 수정할 경우의 유지보수 비용 절감액보다 4,273,968원이 적은 금액이다. 이에 따라 연구 대상 건물에 운전 시간대가 유사한 공간으로 조합하여 실외기 조닝을 계획하는 것이 유지보수 비용의 절감 측면에서 경제적인 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

GHP의 실외기는 10,000시간의 운전 시간 또는 5년이라는 유지보수 기간이 정해져 있다. 유지보수에 소요되는 비용은 지속적으로 상승하고 있어 실외기의 운전 시간 단축을 통해 유지보수 비용을 줄일 필요가 있다.

실외기가 담당하는 공간의 용도와 성격이 유사하도록 조닝을 한 경우 운전 시간이 과다하게 발생하는 실외기의 수를 줄일 수 있으며, 이에 따라 유지보수 비용의 지출을 줄일 수 있다. GHP 시스템의 실외기 운전 시간 단축은 전기 히트펌프(Electric Heat Pump, EHP)와 지열 히트펌프(Ground Source Heat Pump, GSHP) 등을 이용한 여타의 시스템과 비교하여 경제성을 확보하기 위해 필요한 요소이다.

향후 GHP를 운용함에 따라 발생하는 에너지 비용과 유지보수를 위해 지출하는 비용에 대한 추가적인 조사와 분석이 필요하며, 설비 운용에 따른 환경 영향에 대한 연구와 검토가 필요하다.

#### 후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0004181).

#### 참고문헌

1. Yu, J. Y., Cho, D. W., and Yu, K. h., 2005, The study on optimization of HVAC systems design in tall buildings, Journal of the Korean Institute of Ecological Architecture and Environment(KIEAE), Vol. 5, No. 1, pp. 11-18.
2. Woo, S. J., 2004, A study of the decision process of air-conditioning zone for air-conditioning room by fuzzy system, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 20 No. 10, pp. 327-336.
3. National Institute of Meteorological Research, Understanding climate change part 3-seoul's climate change, 2009.
4. Baek, S. H., Jeong, C. H., Lee, J. Y., Cho, D. W., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2010, An economic assessment of cooling systems in occupied zone when district cooling system is introduced in residential buildings, Korean Insti-

tute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Spring Annual Conference, pp. 132-137.

5. Korea Heat Energy Engineers Association, Thermal management handbook, 2005.