

도서관의 공간사용 특성에 따른 냉난방설비 리모델링의 경제성 평가

박 강 현, 차 정 훈, 김 수 민[†], 박 경 원^{*}

숭실대학교 건축학부, ^{*}숭실대학교 화학공학과

Energy Efficiency Evaluation of Heating and Cooling Systems as Space Program in Renovated Library

Kang-Hyun Park, Junghoon Cha, Sumin Kim[†], Kyung-Won Park^{*}

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

^{*}Department of Chemical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received August 30, 2011; revision received October 12, 2011)

ABSTRACT: Unlike the previous approaches, we analyzed for economic efficiency of renewed heating and cooling systems as the characteristics of space. The purpose of this study is to analysis the energy consumption and economical efficiency of absorption chillers and EHP systems in renovated library. It is important that equipment selection should be considering energy cost as well as space program. In recently, many EHP systems were installed in the building for reducing the energy cost and for seeking the convenience of individual control. In contrast, though absorption chillers have the disadvantage of a central control, absorption chillers are appropriate for the conditions of the library that needs simultaneous operation. The results by payback period method, show that selection of heating and cooling systems should be consider for space program and the characteristics of space.

Key words: Building energy(건물 에너지), Library remodeling(도서관 리모델링), Electric heat pump (EHP), Absorption chiller(흡수식 냉온수기), Payback period(투자비 회수 기간)

1. 서 론

전 세계적으로 온실가스를 줄이고자 하는 움직임이 계속되고 있으며, 온실가스 배출의 일정 부분을 차지하고 있는 건축물의 생애기간동안의 환경 부하 평가에 대한 연구^(1, 2)가 지속적으로 이루어지고 있다. 초기투자비용을 조사하고 에너지원의 사용량을 추적하면 설비운용에 따른 환경 부하와 함께 경제성에 대한 결과도 함께 확인할 수 있다. 환경부하가 적

은 지열원을 활용한 설비에 대한 분석에서도 초기 투자비를 회수할 수 있는 정도의 경제성을 지니고 있는 것으로 보고된 바 있다.⁽³⁾ 건축물은 계획에서부터 설계, 시공, 유지관리, 그리고 마지막 단계인 이노베이션 또는 철거 과정까지의 경제적인 측면에서의 평가를 통하여 보수보강 또는 신축 등의 행위 결정을 하고 있다. 이때 가장 먼저 분석해야 할 항목이 기존 시설물의 활용을 위한 내구연한 조사와 경제성 확인이라고 볼 수 있다. 냉동기나 보일러와 같은 건축기계설비는 유지관리 수준에 따라 10년 이상 내구연한이 증가하기도 한다.⁽⁴⁾ 냉난방 설비의 경우 사용에 있어 건축 공간의 용도와 사용자의 요구에

[†] Corresponding author

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

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

적합하게 서비스할 수 있는 설비 사양인지 여부에 대한 판단이 필요하다. 기존의 설비 시스템의 지속적인 유지관리가 이루어져 왔다면 철거 및 재설치에 따라 투입되는 자원 소모를 방지하여 온실가스 발생량을 줄일 수 있다는 점에서 기존 설비를 활용한 재정비도 적극 고려해 볼 필요가 있다. 철거에 따른 폐기물 양산과 처리를 위해서는 자원의 투입이 발생하게 되고 온실가스의 추가적인 발생을 초래한다.⁽⁵⁾

이에 본 연구는 새롭게 리모델링한 서울시 소재 대학교(이하 A 대학교) 도서관을 연구 대상으로 선정하여 냉난방 시설현황을 조사하였다. 적용 가능한 냉난방설비 간의 경제성 비교 분석을 통하여 최적의 냉난방 시스템 방안을 제시하였다. 건축물의 리모델링을 고려함에 있어 공간 활용 특성에 따라 냉난방 시스템을 선택함으로써 초기 투자비를 줄이고 냉난방으로 소모되는 건물에너지를 절감할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 연구 대상 및 방법

2.1 연구 대상

대상 건물은 서울시에 위치한 A 대학교의 도서관 건물로서 주요 구조부는 RC조이며 외부마감은 적벽돌로 축조된 연면적 14,340 m² 규모의 지상 4층 건물이며, 검토 대상 건축물의 최대 냉방부하와 난방부하는 각각 2,177,280 kcal/h와 1,800,000 kcal/h이다.

Table 1 A target building's overview

Item	Contents
Location	Dobong-Gu, Seoul
Floor	4 Floors
Occupancy	Library Study Room Graduate school
Gross Area	14,340 m ² 1F 4,614 m ² 2F 2,982 m ² 3F 3,372 m ² 4F 3,372 m ²
Structure	RC Structure
Cooling Load	2,177,280 kcal/h
Heating Load	1,800,000 kcal/h

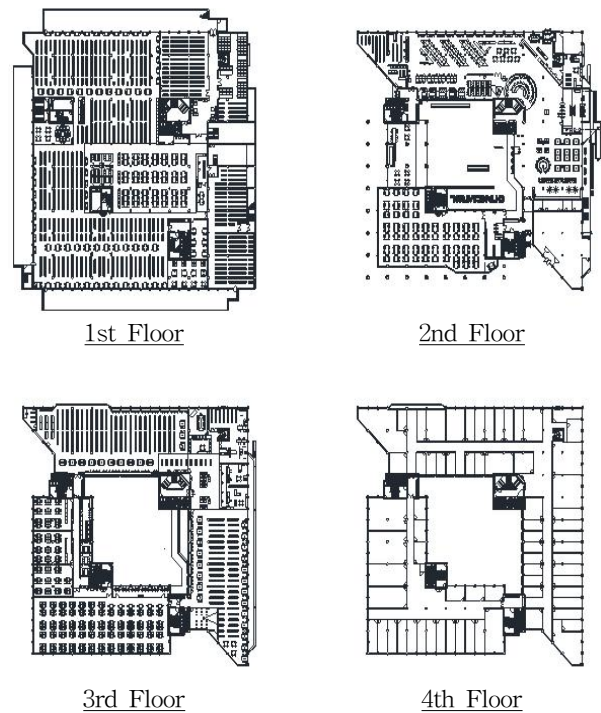


Fig. 1 A library plans.

도서관 1층은 일반도서실, 세미나실, 보존서고, 기계실, 전기실로 구성되어 있고, 2층은 자유열람실, 멀티미디어실, 세미나실, 카페, 홀로 구성되어 있다. 3층은 정기간행물실, 참고도서실, 자유열람실, 24시간 열람실과 고실준비실로 구성되어 있다. 4층은 교수연구실과 대학원으로 구성되어 있다.

Fig. 1은 도서관의 평면도를 나타낸 것으로 1층의 경우 일반도서실은 부분적으로 구획된 세미나실과 보존서고를 제외하고 전체 공간이 하나로 구성되어 있기 때문에 냉난방 운전할 경우에도 일반도서실은 동시 제어 대상이 될 수 있다. 외부 창호측 하부에 설치된 바닥 상치형 팬코일 유닛의 토출구는 도서관 평면의 중앙부를 향하고 있고 평면 중앙 각 코어에는 배기용 덕트가 설치되어 있다.

Fig. 2에서 나타낸 것과 같이 바닥상치형 팬코일 유닛은 창가의 냉기(Cold draft)를 차단하는 효과가 있고, 중앙부 배기용 덕트는 중앙부를 음압으로 유지하여 냉난방 효과가 깊은 공간까지 도달하게 하여 실내 기온이 고른 분포를 보이고 있다. 바닥 상치형 팬코일 유닛은 흡수식 냉온수기를 설치한 1998년부터 사용하여 오던 것을 유지 보수하여 활용하고 있다.

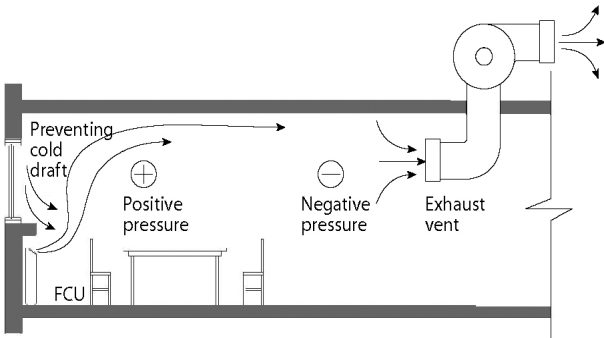


Fig. 2 A schematic diagram of absorption chiller's fan coil unit system and exhaust air in library's 1st floor. Positive pressure and negative pressure by the FCU and exhaust vents can provide available heating and cooling to the deep space of the library.



1st floor : fan coil units installed on window-side

2nd floor : Furniture placement by using a window-side space

Fig. 3 Installation of air-conditioner according to characteristic of space.

2.2 연구 방법

2.2.1 기존 설비 사용 가능 여부 판단

본 연구는 A 대학교 도서관의 시설현황과 기존의 냉난방시스템에 대한 조사를 통하여 사용 가능 여부를 판단하였다. 기존의 냉난방 방식은 흡수식 냉온수기를 이용한 것으로 실내에는 바닥 상치형 팬코일 유닛과 스탠드형 팬코일 유닛을 운용하고 있다. 흡수식 냉온수기는 설치 시부터 지금까지 매년 세관 작업 및 분해 정비 작업 등 유지보수 작업을 시행하여 왔으며, 실내의 팬코일 유닛도 필터 관리 및 모터 교체 등을 통하여 양호한 상태를 유지하고 있다. 또한 유지관리 담당자와의 인터뷰 결과 이상 징후와 고장은 없는 것으로 파악되었고, 지속적인 유지관리로 인하여 지속적인 사용이 가능한 것으로 판단하였다.

2.2.2 운용 시간에 따른 공간 구분

리모델링 전 흡수식 냉온수기가 담당하는 냉방 부하는 2,177,280 kcal/h(1,088,640 kcal/h×2대)이며, 냉난방 제어를 위한 공간 구분은 1개 층을 1개 구획으로 하여 4개 층에 대하여 4개의 공간 구분으로만 구성되어 있다. 1개 층의 부분적인 공간의 냉난방을 위해서 대형 흡수식 냉온수기를 가동해야 한다. 하지만 도서관은 일반 건물과 달리 구역별로 운영 시간이 구분되어 있다. 실내 용도에 따라 운영 시간이 다르기 때문에 냉난방설비의 운전 시간에도 영향을 미치게 된다. 비교 대상인 EHP의 경우 독립적인 공간의 부분적인 부하에도 효율적으로 대응할 수 있기 때문에 운용 시간에 따른 공간 구분을 하였다. Table 2는 실내 용도에 따른 운영시간으로 나타난 것이고, Fig. 4은 운용 시간에 따라 구분한 공간을 나타낸 것이다.

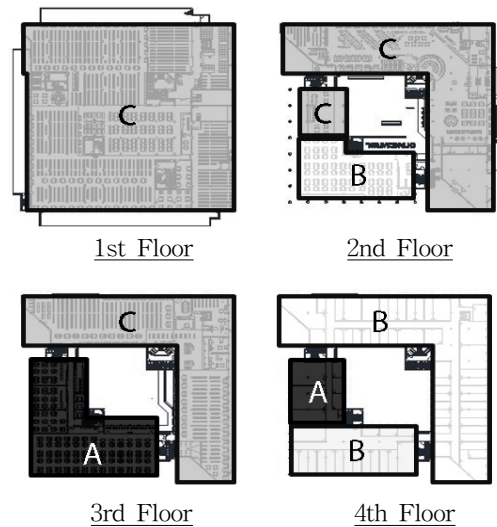


Fig. 4 Zoning based on operating hours.

Table 2 Operating hours

	Zone	Contents	Area
Load factor		Cooling load : 151.833 kcal/m ² h	
		Heating load : 125.523 kcal/m ² h	
Operating hours	A	00 : 00 ~ 24 : 00 24 hours	1,601 m ²
	B	06 : 00 ~ 23 : 00 17 hours	3,975 m ²
	C	09 : 00 ~ 21 : 00 12 hours	8,764 m ²
Running days	A, B	30 days/month	
	C	22 days/month	

Table 3 Absorption chiller and EHP system

Categories	Absorption chiller	EHP system
Control methods	Central control	Individual control Central control
The main energy sources	Gas(LNG)	Electricity
Maintenance costs	Periodically expenditure	-
Repair	Partially on-campus repair	Repair by the manufacturer
Indoor unit installation location	Floor	Ceilings
Machinery room	Required	Not required
Load responsiveness	Full load	Part-load

2.2.3 리모델링 대안 설정

리모델링 대안의 설정을 위해 냉난방 운용 방식을 3가지로 구분하였다. 리모델링 전 흡수식 냉온수기를 활용하여 기존의 시스템을 그대로 운용하는 방식을 Case A로 하였다. 부분적인 공간의 냉난방 수요에 대응하기 위해 EHP를 설치하고, 공간이 깊고 중앙제어가 필요한 1층 일반도서관 전체에 대하여 기존 흡수식냉온수기를 활용하도록 하여 리모델링에 적용한 방식을 Case B로 하였다. 마지막으로 도서관의 전면적에 대하여 EHP로 교체하여 운용하는 방식을 Case C로 구분하였다. 각 방식에 대하여 설치 시의 초기 투자비용과 냉난방 시 투입되는 에너지비용과 유지관리비용을 비교 분석하였다.

2.2.4 경제성 평가 방법

초기투자비의 항목은 냉난방설비의 장비비, 공사비, 전력시설물 공사비로 구성하였다. 초기투자비에

Table 4 Price of energy source

	Gas(LNG)	Electricity
January ~ April	859 won/Nm ³	
May	621 won/Nm ³	
June ~ September	483 won/Nm ³	89.99 won/kWh
October	914 won/Nm ³	
November ~ December	859 won/Nm ³	

대한 데이터는 리모델링 당시의 현장 견적자료를 기준으로 하였다. 초기 투자비는 EHP와 관련된 것에 대하여 적용하였으며, 기존 흡수식 냉온수기를 사용하는 부분에 대해서는 지속적인 유지 관리를 통하여 운전 상태가 양호하여 사용가능한 것으로 가정하였다.

흡수식 냉온수기를 활용하는 Case A와 B의 가스 단가는 A 대학교에서 조사된 기간별 단가를 적용하였으며, 가스 단가는 Table 4와 같다.

흡수식 냉온수기는 중앙제어에 의해 2시간 작동 후 2시간 정지의 4시간 단위로 운영하고 있었다. 따라서 EHP의 경우에도 도서관 운영시간의 50.0%에 해당하는 시간동안 운전하는 것으로 하여 전기 사용량을 산출하였고, Table 5와 같이 서울의 월별 운전 부하 조건(6)을 적용하여 EHP 실외기를 통해 소비되는 전력량을 산정하였다.

흡수식 냉온수기는 세관 및 분해 정비 등 유지보수 비용으로 1대당 연간 5백만 원이 발생하고 있는 것으로 조사되었다. 주기적인 정비를 통해 흡수식 냉온수기의 상태는 매우 양호한 상태를 보이고 있다. 흡수식 냉온수기 운전 시 중앙제어 관리와 장비 유지 및 안전, 동파방지를 위해 동절기에는 항상 야간에도 근무자가 투입되고 있지만 도서관뿐만 아니라 다른 건물의 중앙제어식 난방 장비를 관리하기 위한 근무도 함께 수행하기 때문에 관리자 인건비는 유지관리비용에서 제외하였다.

Table 5 Monthly operating load conditions in Seoul

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cooling load(%)	-	-	-	8.7	35.5	55.3	70.3	74.0	51.0	20.6		
Heating load(%)	76.9	66.4	48.6	22.3	-	-	-	-	-	13.4	41.0	66.2

Table 6 Initial cost of case B

	Categories	Quantity	Cost (1,000won)
Equip. cost	EHP out door unit	21	191,590
	EHP in door unit	214	79,764
	Pipe materials and accessories		142,261
	minor total		413,616
Const. cost	Machine workers	177	15,314
	Pipe workers	169	15,206
	Insulation workers	179	15,525
	Welding workers	63	6,833
	Electrical workers	100	10,874
	Other workers	250	17,241
	Lifting devices charges and other costs		5,392
	Removal costs of the existing facilities		15,000
	minor total		101,384
Electrical facilities cost	Mold TR		39,400
	Cable and accessories		64,603
	Electrical workers	9	1,298
	Other workers	2	138
	minor total		105,439
Initial cost			620,439

Table 7 Initial cost of case C

	Categories	Quantity	Cost (1,000won)
Equip. cost	EHP out door unit	31	282,480
	EHP in door unit	316	117,605
	Pipe materials and accessories		209,749
	minor total		609,834
Const. cost	Machine workers	261	22,579
	Pipe workers	249	22,419
	Insulation workers	264	22,890
	Welding workers	93	10,075
	Electrical workers	114	16,032
	Other workers	369	25,420
	Lifting devices charges and other costs		7,949
	Removal costs of the existing facilities		22,116
	minor total		149,481
Electrical facilities cost	Mold TR		58,091
	Cable and accessories		95,251
	Electrical workers	13	1,914
	Other workers	3	203
	minor total		155,459
Initial cost			914,774

3. 연구결과 및 고찰

3.1 초기 투자비

흡수식 냉온수기를 주기적인 유지관리를 통해 계속 활용하는 Case A의 경우를 제외한 Case B와 Case C의 초기 투자비는 Table 6과 Table 7과 같다. 초기 투자비의 총합계는 Case B가 620백만 원, Case C는 915백만 원으로 산출되었으며, 3개 층을 EHP로 설치하는 비용과 4개 층 전체를 EHP로 설치하는 비용의 차이는 294백만 원이었다. EHP 시스템을 운용하기 위한 전력 증설에 투입되는 비용은 전체공사비의 17% 정도로 나타났다.

3.2 냉난방 방식별 운전비

Table 9는 냉난방 방식별 운전에 투입되는 에너지 비용과 유지관리비용을 나타낸 것이다. 흡수식냉온수의 주요 에너지원인 가스와 EHP의 주요 에너지원

Table 8 Annual energy consumption of each system(1,000 won)

Month	Case A	Case B		Case C
	Gas (N/m ³)	Gas (N/m ³)	Electricity (kWh)	Electricity (kWh)
1	28,194	6,251	80,849	103,883
2	24,344	5,398	69,810	89,698
3	17,818	3,951	51,096	65,653
4	11,335	2,513	33,052	42,469
5	12,893	2,859	39,202	50,370
6	20,084	4,453	61,067	78,464
7	25,532	5,661	77,631	99,748
8	26,875	5,959	81,717	104,998
9	18,522	4,107	56,318	72,363
10	12,394	2,748	36,836	47,331
11	15,032	3,333	43,105	55,386
12	24,271	5,381	69,600	89,428
Total	237,294	52,615	700,283	899,791

Table 9 Annual running cost of each system (1,000 won)

	Case A	Case B	Case C
Energy cost(a)	189,640	105,067	80,972
Maintenance cost(b)	10,000	5,000	-
Running cost(a+b)	199,640	110,067	80,972
The difference in running cost	-	89,573	118,668

인 전기 사용에 따른 비용을 산출하였다. 연간 에너지비용과 유지관리비용은 Case A, B, C 각각 199,640천원, 110,067천원, 80,972천원으로 나타났다. Case A와 비교하여 Case B는 연간 89,573천원을 Case C는 연간 118,668천원의 에너지비용이 적게 소비되는 것으로 나타났다. Case B, C의 초기투자비를 각각 연간 에너지비용의 차액으로 나눈 결과 Case B는 6.9년, Case C는 7.7년의 투자비회수기간이 나타났다.

Fig. 5는 Case A, B, C 각각의 총비용에 대한 연간 누계액을 나타낸 것이다. 흡수식 냉온수기의 성능저하를 매년 3%로 가정하였을 경우 Case A'와 B'와 같이 나타났으며, 연간 누계액의 증가로 인하여 Case B와 C의 투자비회수기간도 단축되는 경향을 보이고 있다. Case B의 투자비회수기간이 6.9년으로 Case C의 투자비회수기간인 7.7년보다 짧게 나타났으나 10년을 전후하여 Case C의 누계비용이 Case B의 누계비용보다 적게 되는 것으로 나타났다. 이에 따라 설비운용 기간을 10년 이상으로 가정할 경우 Case C가 Case B보다 경제성이 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

도서관의 냉난방설비 리모델링에 대한 분석 결과 실내 공간의 사용 특성에 따라 설치하도록 한 기존 냉난방 설비와 EHP 시스템을 함께 활용하는 시

스템인 Case B의 투자비회수기간이 6.9년으로 가장 짧게 나타났다. 이는 초기 투자비가 상대적으로 적게 투입되고 대공간에 대한 냉난방 공급에 유리한 흡수식 냉온수기를 이용하기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 10년을 전후하여 전면적을 EHP로 설치하여 운용하는 시스템인 Case C의 운전비용 누계치가 흡수식 냉온수기와 EHP 시스템을 함께 활용하는 시스템인 Case B의 운전비용 누계치보다 적게 투입되게 결과가 나타났다. 이는 EHP 시스템이 부분적인 부하에 대한 대응이 가능하고, 장비자체의 COP 차이와 정기적으로 투입되는 점검비용 및 유지관리비용이 적게 들기 때문인 것으로 보여진다.

본 연구는 투자비회수기간에 따른 경제성 분석을 하였지만 투입비용의 시간에 따른 가치 변화와 외기 조건에 따라 성능에 영향을 받는 EHP 실외기의 운전 특성이 반영되지 못한 부분이 있다. 이에 따라 최소의 비용으로 최적화된 설비를 구축하여 건물에너지 효율성을 높이고 건물 성능을 향상할 수 있도록 EHP 시스템의 외부 환경 조건에 따른 운전 특성과 현가법, 내부수익률법 등을 적용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

후 기

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지 자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

1. Roh, S. J. and Tae, S. H., 2010, A study on the development of the building life cycle CO₂(LCCO₂) assessment program, The 6th Collections of Excellent Graduation These, AIK, pp. 101-104.
2. Baek, C. H., Tae, S. H., Roh, S. J., Lee, J. H., and Shin, S. W., 2011, A study on the requisite elements of LCCO₂ evaluation system at planning stage of building, Korea Journal of Construction Engineering and Management, Vol.12, No.3, pp. 31-41.
3. Ko, M. J., Oh, J. K., Kim, Y. I., and Kim, Y. S., 2007, Economic estimation of heat storage type geothermal source heat pump system adopted in government office building by a payback period method, Journal of the Korean Solar Energy So-

Table 10 Payback period(1,000 won)

	Case B	Case C
Initial cost	620,439	914,774
The difference in running cost	89,573	118,668
Payback period(year)	6.9	7.7

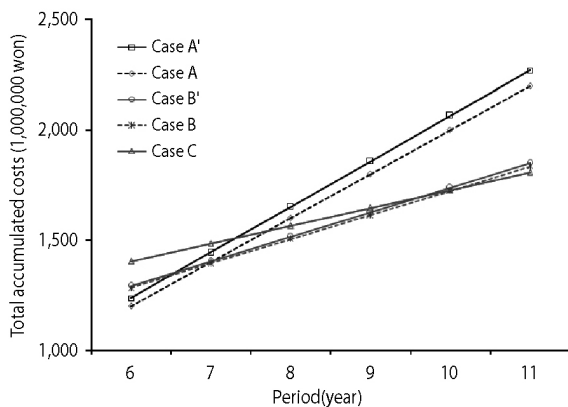


Fig. 5 The cumulative amount of the initial investment costs and operating costs.

- ciety, Vol. 27, No. 4, pp. 175-182.
4. Kang, S. J., Kim, Y. K., and Lee, T. W., 2007, An estimation of the economic life expectancy of the building service equipment with LCC analysis, Proceedings of the SAREK 2007 Winter Annual Conference, pp. 316-321.
 5. Cha, G. W., Son, B. H., and Hong, W. H., 2010, A study on CO₂ emissions of construction wastes by types from demolition phase of buildings to final disposal phase of construction wastes generated from urban renaissance project area, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, Vol. 26, No. 7, pp. 311-320.
 6. Lim, H. W., Kim, Y., Kim, K. S., and Kang, Y. T., 2009, An economic analysis of ice thermal storage and absorption chiller-heater systems, Proceedings of the SAREK 2007 Summer Annual Conference, pp. 218-223.