

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 4, 2007

투자비회수기간법을 이용한 공공청사 적용 축열식 지열히트펌프 시스템의 경제성 평가

고명진*, 오중근**, 김용인***, 김용식****

*인천대학교대학원 건축공학과(whistlemj@nate.com), **연세대학교대학원 건축공학과(jkoh@konkuk.ac.kr),
나우설비기술(주)(nowmec@chol.com), *인천대학교 건축공학과(newkim@incheon.ac.kr)

Economic Estimation of Heat Storage Type Geothermal source Heat Pump System Adopted in Government office Building by a Payback Period Method

Ko, Myung-Jin*, Oh, Jung-Keun**, Kim, Yong-In***, Kim, Yong-Shik****

*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, University of Incheon(whistlemj@nate.com),
**Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Yonsei University(jkoh@konkuk.ac.kr),
***NOW Consulting Engineers co. LTD(nowmec@chol.com)
****Dept. of Architectural Eng., University of Incheony(newkim@incheon.ac.kr)

Abstract

Geothermal-energy has been getting popular as a natural energy source for green buildings these days. As a result Geothermal Source Heat Pump System (GSHPs) was being recognized effective alternative systems to conventional heating and cooling systems owing to their higher energy utilization efficiency. But GSHPs has not been popularized thereby the large amount of initial cost of the system and insufficiency of studies for economic estimation. Therefore GSHPs are being developed to make up for the weak points that are the large amount of initial cost of the system and much annual electricity consumption.

In this paper, economic estimation was conducted by payback period method and it shows that the pay back period of Heat Storage Type GSHPs was calculated 6.8 years compared with the absorption Chiller-Heater system and 8.2 years compared with the Ice storage-Boiler system. Heat Storage Type GSHPs also has the lower annual source energy consumption than the conventional heating and cooling systems because of using nighttime electricity.

Keywords : 공공청사 빌딩(Government office Building), 축열식 지열히트펌프 시스템(Heat Storage Type Geothermal Source Heat Pump Systems), 초기투자비 및 운전비(Initial & Running cost), 투자비 회수기간(Payback period), 경제성 평가(Economic Estimation)

접수일자 : 2007년 11월 6일, 심사완료일자:2007년 12월 4일

교신저자 : 김용식(newkim@incheon.ac.kr)

1. 서 론

대한민국 정부는 에너지 수급상황 개선과 지구 환경보호 등을 위하여 신·재생에너지의 개발 및 적용 활성화를 적극 추진하고 있다. 이를 위하여 11종의 신·재생에너지를 대상으로 기술개발 및 보급 활성화에 노력하고 있으며 연면적 3000m² 이상 공공건축물의 경우에는 총건축비의 5% 이상을 대체에너지시스템을 적용하는데 사용토록 의무화 하고 있다.

지열원은 열원의 연속성 및 안정성 면에서 그 우수성을 평가받아 선진국에서는 이전부터 건축물의 냉·난방용 에너지원으로 사용되어 왔다. Lund와 Freeston(2001)에 따르면 2000년도까지 세계적으로 약 51만대의 지열히트펌프 시스템이 설치된 것으로 추정되며, 지난 10년간 매년 10% 이상의 증가율을 보인 것으로 조사되었다. 반면, 국내의 경우에는 최근에 건축물의 에너지절약과 환경보호에 대한 중요성이 부각되고 정부의 활성화 제도를 바탕으로 지열히트펌프 시스템 관련기술 개발 및 시스템 적용 실적이 증가하고 있지만, 선진국에 비하면 크게 부족한 실정이다. 아울러 시스템의 적용실적도 아직까지는 공공건축물 및 소수의 민간건축물에 한정된 상황이며, 주요 원인으로 초기투자비의 증가 및 그에 따른 경제성 저하 등이 지적되고 있다. 최근에는 지열히트펌프 시스템도 초기투자비를 저감할 수 있는 시스템에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다.

한편, 지열히트펌프 시스템의 경제성에 관한 주요 연구로는 임효재¹⁾, 신현준²⁾, 최병윤^{3)~4)} 등의 보고가 있으나 대부분 일반적인 지열히트펌프 시스템을 대상으로 한 것이며 최근 관심이 높아지고 있는 축열식 지열히트펌프 시스템의 경제성 평가에 관한 연구는 부족한 실정이다. 이와 같은 배경에서 본 연구에서는 서울지역에 신축 중인 공공청사 건물을 대상으로 축열식 지열히트펌프 시스템을 포함한 4종류의 적용 가능 열원시스템을 대상

으로 그들의 경제성 분석 및 평가를 실시하는 것을 목적으로 하였다. 아울러 시스템의 경제성 분석 및 평가에 있어서는 각 시스템의 초기투자비와 연간운전비를 분석하고 그 결과를 바탕으로 투자비회수기간에 대해서 검토하였다.

2. 검토대상 건물 및 시스템

2.1 대상 건물

표 1은 검토 대상건물의 개요, 그림 1은 건물의 외관을 나타낸다. 대상 건물은 서울지역에 신축 중인 공공청사 건물로서 SRC와 철골조의 혼합구조를 갖는 연면적 39,075 m² 규모의 지하 2층 지상 12층 건물이며, 주요 시설로는 구청사, 구의회, 보건소, 구민회관 등으로 구성된다. 아울러 검토대상 건물의 최대 냉방부하와 난방부하는 각각 1,200 USRt와 3,629 Mcal/h이다.

표 1. Target Building

Items	Contents
Location	K-ward, Seoul
Floor	12 Floors and 2 basement floors
Occupancy	A ward office building, parliament, A public health center, An assembly hall
Plottage	17,200m ²
Gross Area	39,075m ²
Structure	SRC + Steel Structure
Cooling Load	1,200 USRt
Heating Load	3,629 Mcal/h

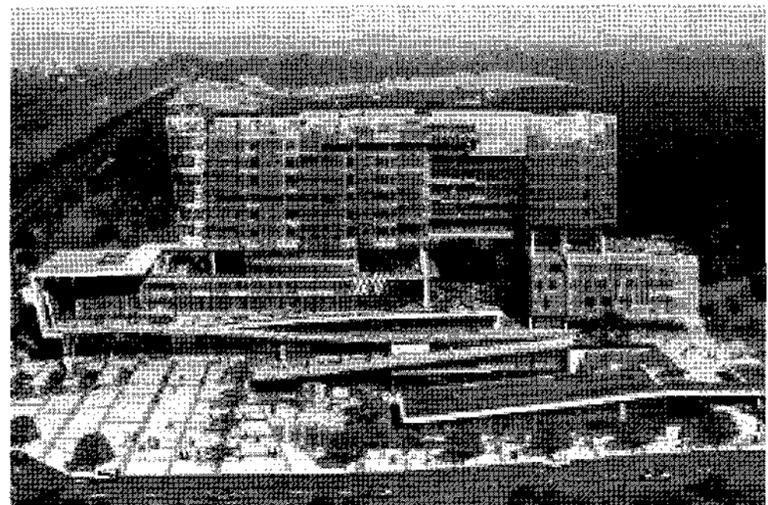
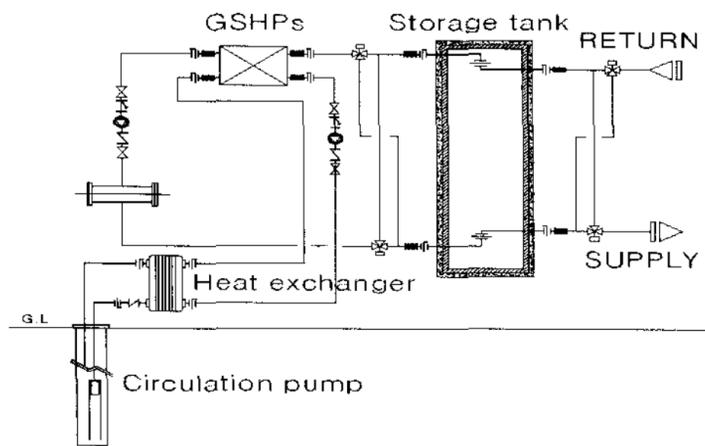


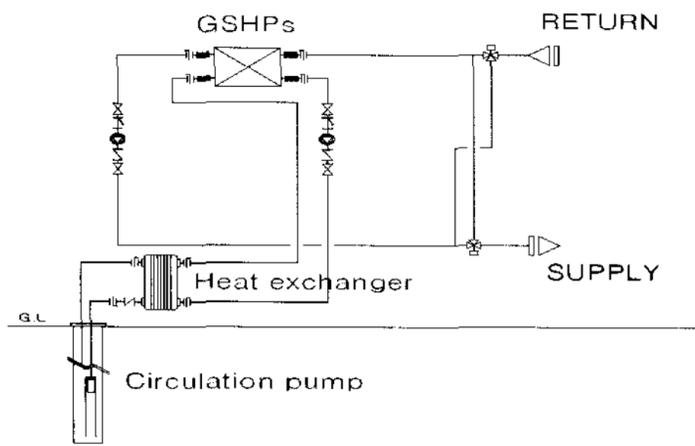
그림 1. Target Building

2.2 대상 시스템

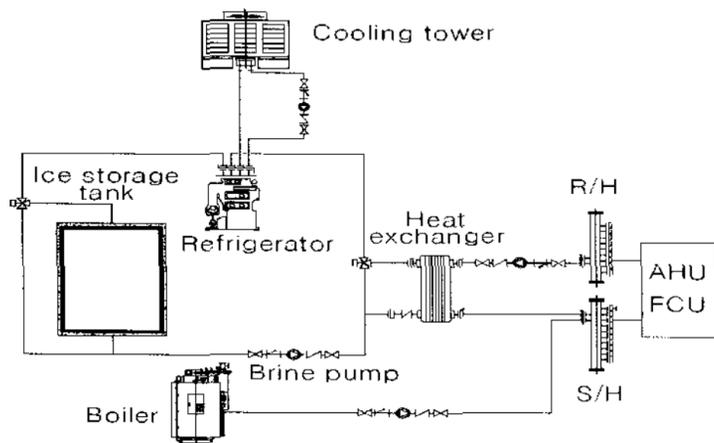
검토대상 건물은 공공건축물로 대체에너지개발 및 보급이용촉진법에 따라 총공사비의 5% 이상을 대체에너지 설비시스템 적용에 투자하여야 하는 상황이다. 본 연구에서는 적용 대상 대체에너지로 지열을 상정하고 검토대상 시스템으로는 축열식 지열히트펌프 시스템과 일반적인 지열히트펌프 시스템을 선정하였다. 아울러 이들 지열히트펌프 시스템의 경제성 평가를 위한 비교대상 시스템으로



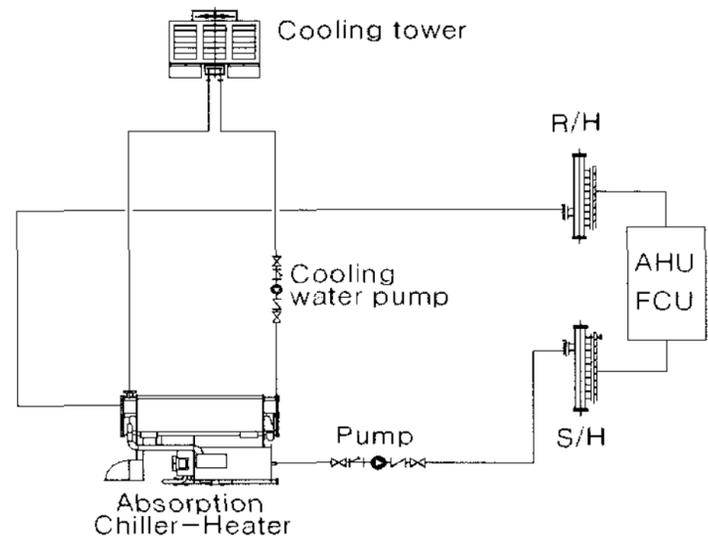
(a) Heat Storage Type GSHPs: SYSTEM-A



(b) GSHPs: SYSTEM-B



(c) Ice Storage-Boiler system: SYSTEM-C



(d) : Absorption Chiller-Heater system: SYSTEM-D

그림 2. Selected Systems

는 종래에 에너지절약 시스템으로 많이 적용되어 온 심야전력 이용 빙축열-보일러 시스템과 일반적 열원시스템으로 많이 적용되는 도시가스를 사용하는 흡수식냉온수기 시스템을 선정하였다. 그림 2는 검토대상으로 선정된 각 열원시스템의 일반적 구성을 나타낸 것이다.

3. 초기투자비 산정

3.1 초기투자비 산정 방법

표 2는 초기투자비 산정방법 개요를 나타낸다. 초기투자비의 구성항목은 장비비, 공사비, 지원금으로 설정하였다. 장비비는 시스템 구성기기의 제품가격으로 열원시스템 구성기기로 한정하였다. 공사비는 배관공사비, 자동제어공사비, 수전설비 공사비 등이며 지열히트펌프의 경우에는 천공공사비, 가스사용 시스템은 가스공사비 및 연도공사비 항목을 추가하였다. 장비비와 공사비 데이터는 한국물가정보자료 및 현장 견적자료를 기준으로 하였다. 아울러 공공기관의 각종 지원금도 고려하였다.

표 2. Analysis method of Initial cost

Categories	Contents		Data
Equipment cost	Heat source equipment		Korea Price Information Corp.
Construction cost	Piping, Automatic control, SCW, Electrical equipment, Gas/Gas-duct,		
Support cost	Government	A tax favor, Financial support	Field Estimation Data
	Korea Electric Power Corp.	Installation support, A design bounty	
	Korea Gas Corp.	Installation support, A design bounty	

3.2 초기투자비 산정 결과

표 3 ~ 표 6은 검토대상 각 시스템에 대한 초기 투자비 산정 결과를 나타낸 것이다. 일반 열원시스템으로 많이 적용되는 도시가스 이용 흡수식 냉온수기 시스템과 비교하면, 지열히트펌프시스템은

표 3. Initial cost of SYSTEM-A

	Categories	Quantity	Price (1000 won)	
Equip. cost "A"	Heat pump	2	218,000	
	Storage tank(USRt · h)	1	135,000	
	Pump (Hp)	accumulation of cold	3	4,000
		heat release	3	5,000
		heat exchanger	3	4,000
		deep well	8	22,000
	Automatic valve (A)	4	22,300	
	Chilled and hot water heat exchanger(kcal/h)	2	23,500	
	Geothermal source heat exchanger(kcal/h)	2	9,000	
	minor total		442,800	
Const. cost "B"	Heat storage/ Geothermal source pipe		140,000	
	Automatic control		57,000	
	SCW		490,000	
	Electric power Equip.		30,000	
	minor total		717,000	
Support "C"	Installation support		86,400	
	minor total		86,400	
Initial cost		A+B-C	1,073,400	

표 4. Initial cost of SYSTEM-B

	Categories	Quantity	Price (1000won)	
Equip. cost "A"	Heat pump	4	436,000	
	Pump (Hp)	heat exchanger	5	7,000
		deep well	16	44,000
	Heat exchanger	4	18,000	
minor total			505,000	
Const. cost "B"	Geothermal source pipe		140,000	
	Automatic control		57,000	
	SCW		980,000	
	Electric power Equip.		55,000	
minor total			1,232,000	
Support "C"	Installation support		-	
	minor total		-	
Initial cost		A+B-C	1,737,000	

표 5. Initial cost of SYSTEM-C

	Categories	Quantity	Price (1000 won)	
Equip. cost "A"	Refrigerator (USRt)	2	96,000	
	Cooling tower (RT)	2	24,000	
	Storage tank(USRt · h)	1	144,000	
	Circulation pump(Hp)	Cooling water	3	7,500
		Brine	3	7,500
	3-way valve	Near by Storage tank	1	6,800
		Near by Heat exchanger	2	9,600
	Boiler (ton/h)	2	82,800	
	Brine (ton)	1	25,200	
	Heat exchanger(kcal/h)	2	23,500	
minor total			426,900	
Const. cost "B"	Cooling water/Brine pipe		85,000	
	Automatic control		45,000	
	Electric power Equip.		35,000	
	Gas Piping/Gas duct		60,000	
	minor total		225,000	
Support "C"	Installation support		86,400	
	minor total		86,400	
Initial cost		A+B-C	565,500	

표 6. Initial cost of SYSTEM-D

	Categories	Quantity	Price (1000 won)
Equip. cost "A"	Absorption Chiller-Heater	2	234,400
	Cooling tower (RT)	2	36,000
	Circulation pump (Hp)	3	12,000
	minor total		282,400
Const. cost "B"	Cooling water pipe		65,000
	Automatic control		40,000
	Electric power Equip.		10,000
	Gas Piping/Gas duct		60,000
	minor total		175,000
Support "C"	Installation support		4,000
	minor total		4,000
Initial cost		A+B-C	453,400

천공공사 등에 따른 604%의 공사비 증가 및 79%의 장비비 증가로 283%의 초기투자비 증가를 나타낸다. 축열식 지열히트펌프 시스템은 310%의 공사비 증가 및 57%의 장비비 증가, 한국전력공사 지원금 등으로 137%의 초기투자비 증가를 나타낸다. 빙축열-보일러 시스템은 29%의 공사비 증가 및 51%의 장비비 증가, 한국가스공사 지원금 등으로 25%의 초기투자비 증가를 나타낸다.

4. 운전비 산정

4.1 운전비 산정 방법

표 7은 운전비 산정 방법을 나타낸 것이다. 열원

시스템의 운전비 산정을 위해서 시스템의 에너지소비량 산정이 필요하며, 에너지소비량 산정을 위해서는 대상건물의 냉·난방 부하와 사용 형태 등에 대한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 검토대상 건물의 냉방부하 및 난방부하에 대하여 한국전력공사의 표준냉난방부하지수를 이용하여 대상건물의 냉난방부하량을 산정하였으며, 피크 냉난방부하량을 냉방부하 1,200USRt, 난방부하 3,629Mcal/h로 설정하였다. 건물 냉난방부하량에 대한 검토대상 시스템의 분담량은 냉방 400USRt, 난방 1,210Mcal/h의 기저부하를 담당하는 것으로 설정하였다. 열원시스템의 일일 운전시간은 08:00 ~ 18:00, 월 가동 일수는 25일로 설정하였다. 그림 3은 검토대상 건물의 월별 부하량과 검토대상 열원시스템 담당 부하량을 나타낸 것이다. 운전비는 각 시스템의 에너지소비량과 사용된 에너지의 가격을 반영하여 산정하였다.

표 7. Analysis method of Running cost

Categories	Contents
Load factor	Standard Cooling-Heating Load Index of Korea Electric Power Corp.
Operating hours	08:00~18:00, 10 hours
Running days	25 days

4.2 운전비 산정 결과

표 8은 검토대상 열원시스템의 에너지소비량 산

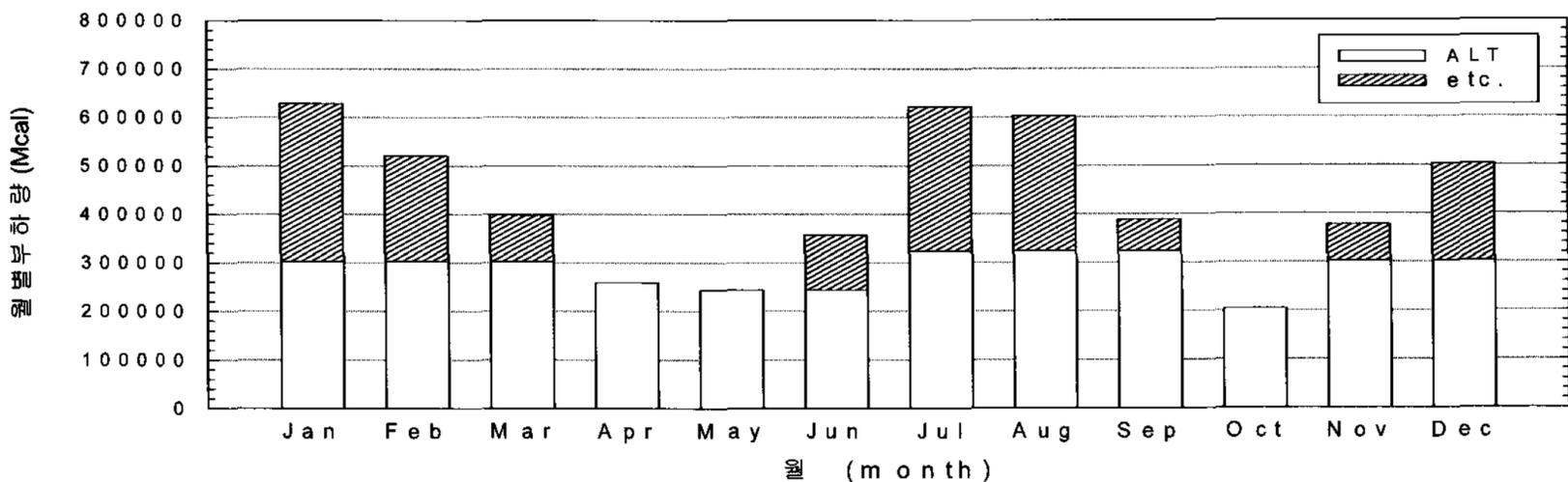


그림 3. Cooling and Heating Load for month

정 결과를 나타낸다. 축열식 지열히트펌프 시스템과 지열히트펌프 시스템은 시스템 가동 시 전기에너지만을 사용하며, 빙축열-보일러 시스템과 흡수식 냉온수기시스템은 가스에너지와 전기에너지를 함께 사용한다. 빙축열-보일러 시스템의 경우 냉방운전 기간에는 전기에너지만을 사용하여 시스템을 운전하는 것을 알 수 있다. 표 9는 운전비 산정에 사용된 에너지가격으로 한국전력공사의 전기요

금과 한국가스공사의 가스요금을 나타낸 것이다. 그림 4 ~ 그림 5, 표 10은 전술한 각 시스템의 에너지소비량과 에너지원별 가격을 반영하여 각 시스템의 냉방 및 난방 운전비, 연간운전비를 산정한 결과를 나타낸다. 검토대상 각 열원시스템의 운전비는 각각의 운전비에 있어 차이가 있음을 알 수 있다. 흡수식냉온수기 시스템과 비교해 보면, 냉방운전비는 축열식 지열히트펌프시스템 47%

표 8. Annual energy consumption of each system

Categories	Heat Storage Type GSHPs			Geothermal Source Heat Pump System		Ice Storage-Boiler System			Absorption Chiller-Heater Systems	
	Elec. (kwh)		LNG (Nm ³)	Elec. (kwh)	LNG (Nm ³)	Elec. (kwh)		LNG (Nm ³)	Elec. (kwh)	LNG (Nm ³)
	Night-time	Other-time				Night-time	Other-time			
Jan.	71,525	58,710	0	122,304	0	0	2,470	32,011	3,626	33,587
Feb.	71,525	58,710	0	122,304	0	0	2,470	32,011	3,626	33,587
Mar.	71,525	58,710	0	122,304	0	0	2,470	32,011	3,626	33,587
Apr.	71,525	39,592	0	104,853	0	0	2,118	27,443	3,109	28,495
May.	46,000	32,890	0	72,499	0	63,429	33,600	0	16,744	21,371
Jun.	46,000	60,299	0	96,665	0	63,429	66,600	0	22,325	28,495
Jul.	46,000	60,299	0	96,665	0	63,429	66,600	0	22,325	28,495
Aug.	46,000	60,299	0	96,665	0	63,429	66,600	0	22,325	28,495
Sep.	46,000	60,299	0	96,665	0	63,429	66,600	0	22,325	28,495
Oct.	46,000	19,734	0	60,899	0	63,429	20,160	0	14,065	17,952
Nov.	71,525	58,710	0	122,304	0	0	2,470	32,011	3,626	33,587
Dec.	71,525	58,710	0	122,304	0	0	2,470	32,011	3,626	33,587
total	705,150	626,962	0	1,236,431	0	380,574	334,628	187,498	141,348	349,733

unit : 1000 won

표 9. Price of energy source

Classification	Demand charge (won per kw)	Power Demand charge (won per kwh)			
		Peak period Hours	July, August	October~ March	The others
Service-B High Voltage Power A Choice (II) Charge	6,130	Heavy-peak period hours	82.1	69.1	60.1
		Maximum-peak period hours	144.1	97.3	82.1
		Application charge	113.1	83.2	71.1
		Night-time	Winter (Oct~Mar)	32.60	
Night thermal-storage power service(B)	(5,730won/kw) × (consumption between 8am and 10pm) ÷ (monthly total consumption)	other season	28.40		
		Other-time	70.80		
Minimum charge of Night thermal-storage power service(B) : 570 won per kw					
LNG (Seoul)	Consumption charge for cooling : 274.26 won/Nm ³ Consumption charge for heating : 505.74 won/Nm ³				

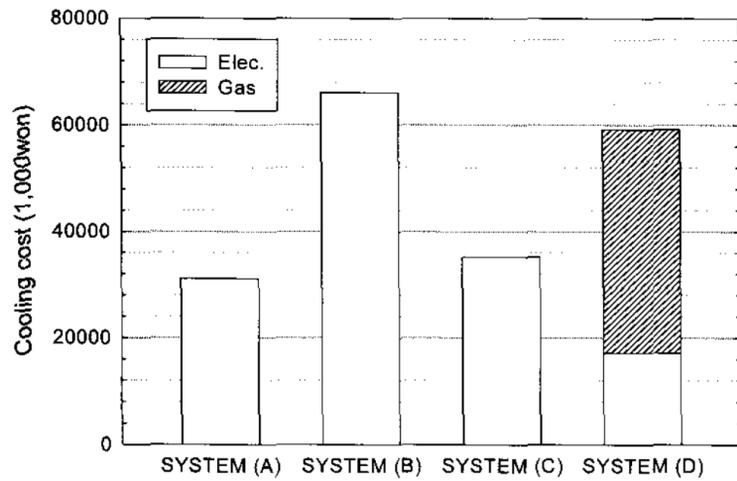


그림 4. Cooling cost of each systems

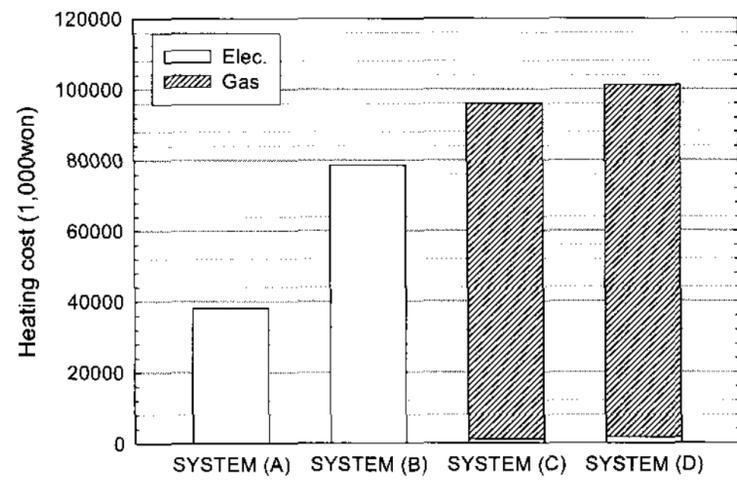


그림 5. Heating cost of each systems

표 10. Running cost of each systems

Categories	Total Construction cost	Support cost	Initial cost	Running cost	Payback Period (year)
SYSTEM (D)	457,400	4,000	453,400	160,424	basis
SYSTEM (C)	651,900	86,400	565,500	131,170	3.8
SYSTEM (A)	1,159,800	86,400	1,073,400	69,155	6.8
SYSTEM (B)	1,737,000	0	1,737,000	144,602	81.1

unit : 1000 won

저감, 지열히트펌프 시스템 12% 증가, 빙축열-보일러 시스템 41% 감소를 나타낸다. 난방운전비는 축열식 지열히트펌프시스템 62% 저감, 지열히트펌프 시스템 22% 감소, 빙축열-보일러 시스템 5% 감소를 나타낸다. 연간운전비에 대해 비교하여 보면, 축열식 지열히트펌프시스템 57% 감소, 지열 히트펌프시스템 10% 감소, 빙축열-보일러 시스템 18.5% 감소를 나타낸다.

4.3 투자비 회수기간

흡수식냉온수기 시스템을 기준으로 각 시스템의 투자비회수기간을 비교해 보면, 빙축열-보일러 시스템이 3.8년으로 가장 경제성이 있음을 알 수 있다. 축열식 지열히트펌프시스템의 투자비 회수기간은 6.8년으로 경제성이 있는 것으로 나타난다. 지열히트펌프 시스템의 투자비 회수기간은 81.1년으로 경제성이 거의 없는 것으로 나타난다.

5. 결 론

본 연구에서는 서울시 공공청사 건물을 대상으로 축열식지열히트펌프 시스템을 포함한 4종류의 적용 가능 열원시스템을 대상으로, 각 시스템의 초기투자비와 연간운전비 등을 산정하고, 투자비회수기간에 대한 검토를 바탕으로 각 시스템의 경제성에 대하여 분석하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 초기투자비 : 흡수식냉온수기 시스템과 비교하여, 빙축열-보일러 시스템은 25% 증가, 축열식 지열히트펌프 시스템은 137% 증가, 지열히트펌프시스템은 283% 증가를 나타냈다.
- 2) 연간운전비 : 흡수식냉온수기 시스템과 비교하여, 빙축열-보일러시스템은 18.5% 감소, 축열식 지열히트펌프시스템은 57% 감소, 지열 히트펌프시스템은 10% 감소를 나타냈다.

3) 투자비 회수기간 : 흡수식냉온수기 시스템을 기준으로, 빙축열-보일러 시스템이 3.8년으로 가장 경제성이 높고, 축열식 지열히트펌프시스템은 6.8년으로 경제성이 있으며, 지열히트펌프 시스템은 81.1년으로 경제성이 거의 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 임효재, 송윤석, 공형진, 박성구 (2004) 지열 냉난방 시스템의 성능 및 경제성 평가, 한국에너지공학회, 제13권 제4호, pp296~300
2. 신현준, 조정식, 황인주, 김정엽, 이성원, 손병후, 임효재, 박성구, 송윤석, 공형진, 지열이용 열펌프 시스템의 성능평가 기법 및 기술기준 (안) 구축, 2005.9.30
3. 최병윤, 이상훈, 정영호, 채경희 (2003) 지열 원 축열식 히트펌프시스템에 관한 실증연구, 대한설비공학회 2003동계학술발표대회 논문집, pp188~195
4. 최병윤, 이상훈, 김준호, 이동원 (2004) 지열 원을 이용한 수축열식 히트펌프 냉난방시스템의 실증연구, 대한설비공학회 2004하계학술발표대회 논문집 pp.442~448
5. Lund, J. W., Freeston, D. H. (2001), World-wide direct use of geothermal energy 2000, Geothermics, Vol. 30, pp.29-68