

# 빙축열 시스템과 흡수식 냉온수기 공조 방식의 경제성 분석

임 현 우, 김 영 일<sup>\*†</sup>, 김 강 산<sup>\*\*</sup>, 강 용 태<sup>\*\*\*</sup>

서울산업대학교 주택대학원, \*서울산업대학교 건축학부, \*\*두산건설(주), \*\*\*경희대학교 기계공학부

## An Economic Analysis of Ice Thermal Storage and Absorption Chiller-Heater Systems

Hyun-Woo Lim, Youngil Kim<sup>\*†</sup>, Kang-San Kim<sup>\*\*</sup>, Yong-Tae kang<sup>\*\*\*</sup>

Graduate School of Housing, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

\*School of Architecture, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

\*\*Doosan Construction & Engineering, Seoul 135-714, Korea

\*\*\*Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Kyunggi 449-701, Korea

**ABSTRACT:** Cost related to building equipment accounts for about 85% of the life cycle cost of buildings. Therefore proper selection of air-conditioning system is important for reducing the overall cost of buildings. In this study, large capacity ice thermal storage and absorption chiller-heater for air-conditioning a building with a floor area of 9,900 m<sup>2</sup> are compared economically. For easy input and analysis, an Ms Excel VBA program has been developed. To consider all the factors of initial and operation costs effectively, an annual equal payment method is proposed. Under the assumptions made in this study, overall cost of an absorption chiller-heater is less than that of an ice thermal storage, but this is not absolute and different outcome may result if different assumptions are made. This study is useful for those who are interested in choosing an economical air-conditioning system for large-size buildings with simple calculations.

**Key words:** Air-conditioning(공조), Ice thermal storage system(빙축열 시스템), Absorption chiller-heater(흡수식 냉온수기), Economic comparison(경제성 비교), Annual equal payment(연간균등부담)

### 기 호 설 명

$M$  : 월 [month]  
 $n$  : 대출 기간 [year]  
 $P$  : 대출 금액 [₩]  
 $r$  : 연이율[-]  
 $₩$  : 한국의 화폐 단위 [₩]

$X_i$  :  $i$ 년째의 상환된 원금 [₩]  
 $Y_i$  :  $i$ 년째의 이자 부담금 [₩]  
 $Z$  : 매년 균등하게 납부하는 금액 [₩]

### 1. 서 론

건물의 생애비용 중 약 85%가 설비와 연관되므로 최적의 공조 방식을 선정하는 일은 건물의 초기 및 운전비용을 절약하기 위하여 매우 중요하다. 공조 방식을 결정하는 요인으로는 용량, 효

† Corresponding author  
 Tel.: +82-2-970-6557; fax: +82-2-974-1480  
 E-mail address: yikim@snut.ac.kr

을, 크기, 운전편리성, 수명, 유지관리성, 미관, 소음, 가격, 운전비 등 다양하여 일반화하기는 어렵다. 이 중 초기투자비와 운전비만을 고려하는 경제적인 요인만 고려한다고 해도 정량하기는 결코 쉽지 않은 일이다. 그러나 공조 방식은 한번 결정되면 변경하기 어려우므로 매우 신중해야 하는데 사용자가 쉬우면서도 의미 있는 경제성 분석 결과를 산출하는 방법이 마땅히 없는 것이 현실이다.

본 연구에서는 경제성분석 프로그램을 사용하여 사용자가 쉽게 경제성분석을 할 수 있다는 점에 초점을 두고 있다. 경제성분석 프로그램으로는 에너지 관리공단에서 개발한 프로그램을 이용하며, 공조 방식을 선정할 때 간단한 입력으로 경제성 분석을 할 수 있는 방법을 소개한다.

계산 사례로 용량 300 RT의 빙축열 시스템과 흡수식 냉온수기를 비교 분석한다.(본 연구에서 모든 값과 기준은 2009년 1월 기준이다.)

## 2. 프로그램 개요

경제성분석 프로그램의 명칭은 'e-Coolanal'로서 각 공조 시스템의 경제성 분석을 손쉽게 빠르게 하기 위해 개발되었다. Microsoft에서 제공되는 Excel으로 구동이 가능하며 손쉽게 사용자가 계산 값을 얻을 수 있다.

개발 프로그램으로는 Microsoft Visual Basic 활용하였으며 사용자가 Visual Basic 언어를 이용하여 쉽게 프로그램을 제작 할 수 있으며, Excel sheet를 활용하여 프로그래밍을 할 수 있다는 장점이 있다. Fig. 1은 Microsoft Visual Basic 코드 화면을 보여 준다.

Fig. 2는 경제성분석 프로그램 메인화면이며 다음은 각 버튼에 대한 설명을 나타내었다.

- Manual 보기/닫기 : Excel로 작성된 매뉴얼 실행
- Output 저장 : 경제성 분석에 의해 작성된 파일을 다른 이름으로 저장
- File Save : 프로그램 파일 저장
- 에너지 단가/지원금 : 전력요금, 지원금, 공간 사용료, 가스요금 선택
- 경제성 분석 시작 : 건물개요, 초기투자비/운전비 등 경제성 비교 자료 입력

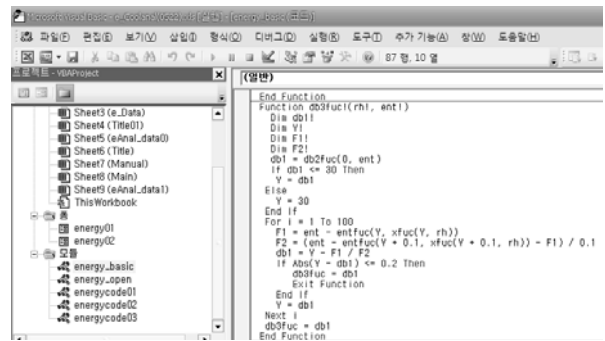


Fig. 1 Excel Visual Basic.

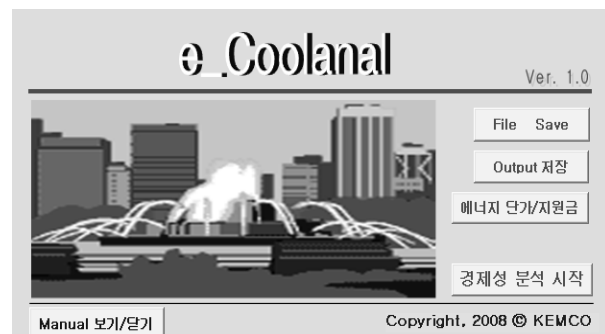


Fig. 2 e-Coolanal.

Table 1 Factors considered for economic comparison

Initial cost	Operation cost
• Equipment	• Basic electricity
• Construction	• Energy(electricity, gas)
• Installation	• Space charge
• Electrical facility	• Labor
• Financial subsidy	• Insurance
• Tax cut	• Repair

## 3. 경제성분석 프로그램 입력 기준

경제성 분석은 Table 1과 같이 초기투자비와 유지관리비의 2가지 항목으로 분류한다. 초기투자비에는 장비비, 건축공사비, 설치공사비, 수전(受電)설비, 지원금, 세제 혜택 등이 고려될 수 있다. 기기와 설비는 수명이 한정되어 있으므로 수명이 고려된다. 유지관리비에는 기본전력, 에너지 비용, 공간 사용료, 인건비, 보험금, 수선비 등이 고려될 수 있다.

초기투자비는 특성상 불확실성이 많이 내포된다. 예를 들어, 장비의 가격, 건축공사비, 설치공

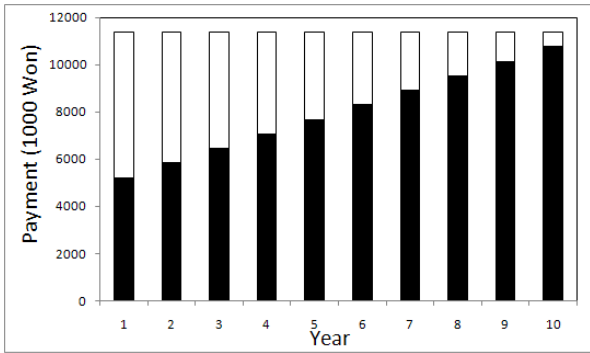


Fig. 3 Annual equal payment.

사비, 수전설비 등은 정해진 금액이 있는 것이 아니고 상황에 따라 큰 폭으로 변동할 수 있는 값이다. 지원금과 세제 혜택 제도도 계속 변한다. 운전비 역시 주관적인 요소가 많이 내포되어 있다. 본 연구에서는 최대한 객관성 및 공정성에 근거한 경제성 비교를 하고 있으나 이러한 한계가 있다는 점을 밝혀둔다. 여기서 제시된 가정과 다르게 제안하여 계산하면 전혀 다른 결과가 도출될 수도 있다. 주어진 초기투자비와 유지관리비에 대한 경제성 분석으로는 여러 방법이 사용되고 있다. 회수기간법(Pay-back period)은 투자로부터 얻은 수익을 투자액을 회수하는데 소요되는 기간을 비교하는 방법으로 사용이 간편한 반면 수명을 고려하지 않는 등 정확성은 다소 낮다.<sup>(1)</sup> 보다 정확한 방법으로 LCC에 의한 경제성 분석이 제안되고 있으나 방법이 복잡하여 적용이 용이하지 않은 어려운 점이 있다.<sup>(2,3)</sup>

본 연구에서는 경제성 분석 방법으로 연간균등부담법(Annual Equal Payment)을 사용한다. 이 방법에서는 초기투자비에 대해서는 전체를 대출 받은 후 매년 같은 금액을 기기의 수명이 종료될 때까지 상환한다고 가정한다. 매년 부담하는 금액은 원금 상환과 이자의 합이 된다. 초기에는 이자 부담이 많지만 점차로 감소되어 말기에는 원금 상환금이 많아지게 된다. 기기, 설비 또는 건축물의 수명은 동일할 필요가 없다. 각 대상별로 수명 기간까지만 원금 및 해당 이자를 상환하고 수명이 종료되면 새로 기기를 구입, 설치 또는 공사를 한다고 가정한다. 이 방법은 적용이 용이하면서도 다양한 조건을 수용할 수 있는 분석 방법이다.

연간균등부담으로 P금액을 n년 동안 이자율 r로 빌렸을 때, 매년 균등하게 부담해야 할 금액

Z는 다음은 식(1)~(3)과 같다.

$$X_i = (1+r)^{i-1}Z - r(1+r)^{i-1}P \quad (1)$$

$$Y_i = Z - X_i \quad (2)$$

$$Z = \frac{r(1+r)^n P}{(1+r)^n - 1} \quad (3)$$

예를 들어 수명이 10년인 기기의 초기투자비 80,000천원에 대하여 7% 이자라고 가정하여 연간 균등부담법으로 계산하면, 10년 동안 매년 11,390,200원씩 부담하게 된다. 10년 동안 부담한 금액은 총 113,902,002원이다. 이 중 80,000,000원은 원금 상환금이고 나머지 33,902,002원은 이자이다. Fig. 3은 대출금 80,000천원에 대한 이자부담(상부 연한 부분)과 원금상환금(하부 진한 부분)을 보여준다.

### 3.1 장비비

장비비는 초기에 투자해야 하는 비용을 말하며 여기에는 각종 기기의 구입비용이 포함된다. 기기의 가격은 절대적인 가격이 있는 것이 아니고 판매자와 구매자의 협의에 의하여 정해지는 것으로 매우 유동적이다. 따라서 공정하게 가격을 정하기 위하여 객관적인 방법이 필요한데 여기서는 가격을 조사하기 위하여 널리 사용되는 되는 자료인 한국물가정보를 이용한다.<sup>(4)</sup>

### 3.2 건축공사비

열원 설비와 기타 기기를 설치하기 위해서는 바닥과 주변에 대한 공사가 필요하다. 필요 면적은 실제 기기 면적의 2배라고 가정하였다. 건축공사비는 100천원/㎡라고 가정한다.

### 3.3 설치공사비

설치공사비에는 설치에 필요한 모든 공사비를 말하는데 객관적인 기준이 있는 것도 아니고, 건물마다 조건이 상이하기 때문에 표준 공사비를 산정하기가 매우 어렵다. 여기서는 여러 설계, 제작업체 그리고 사무실도시가스공급사에 실제 비용을 문의하여 정하였다.

### 3.4 수전설비(水電設備)

전기를 사용하기 위해서는 변압기 등의 수전 설비가 필요하다. 본 연구에서는 수전설비 비용을 kW당 120천원이라고 가정한다.

### 3.5 지원금

가스냉방을 하는 경우 한국가스공사에서, 빙축열 시스템을 사용하는 경우 한국전력공사에서 재정적인 지원을 한다.

한국가스공사에서는 가스냉방을 사용하는 경우 지원금 혜택이 있다. 소형 용량에 대하여 지원금 혜택이 많은데 그 이유는 소용량의 가스 냉방 방식을 널리 보급하고자 함이다.

한국전력공사에서는 빙축열 시스템을 사용하는 경우 지원금 혜택이 있다.

#### (1) 가스냉방 설치 지원금

- 지원 내용
  - 5 RT 이하 : 실외기 1대 당 1,500천원
  - 5~30 RT : 실외기 1대 당 500천원
  - 30 RT 초과 : RT당 10천원(한도 없음)

#### (2) 빙축열 시스템 한국전력공사 지원금

- 지원 내용
  - 0~200 kW : 480천원/kW
  - 200~400 kW : 420천원/kW
  - 400 kW 초과 : 350천원/kW

### 3.6 전력요금

전력요금은 한국전력 사이버지점 자료를 참조한다.<sup>(5)</sup> 전력요금은 기본요금과 사용요금의 합으로 계산된다. 기본요금은 최대 사용 전력을 예상

Table 2 Electricity cost

Basic rate(Won/kW)		6,510
Consumption rate (Won/kWh)	Summer (Month 7, 8)	86.10
	Spring Autumn (Month 3~6, 9~10)	63.10
	Winter (Month 11~2)	79.00

Table 3 Period for electricity cost

	Summer (Month 8, 9) Spring (Month 3~6) Autumn (Month 9~10)	Winter (Month 11~2)
Light load	23:00~09:00	23:00~09:00
Medium load	09:00~11:00	09:00~18:00
	12:00~13:00 17:00~23:00	
Maximum load	11:00~12:00	18:00~23:00
	13:00~17:00	

Table 4 Midnight electricity cost

Basic rate(Won/kW)	Consumption rate(Won/kW)	
5,710 × $\frac{\text{기타시간 사용전력량}}{\text{월간 총사용전력량}}$	Midnight hour (23:00~09:00)	Winter : 52.10 (Month 11~2) 기타계절:37.90 (Month 3~10)
	기타시간 (09:00~23:00)	70.60
Month lowest rate : 570(Won/kW)		

Table 5 Gas cost (Seoul, business rate)

	Gas cost (Won/Nm <sup>3</sup> )
Cooling	400.19
Heating	710.69

하여 한국전력과 계약을 하는데 사용유무에 관계 없이 매달 납부한다. 본 연구에서는 일반용 전력(을), 고압 A 선택Ⅱ(3,300~66,000V)를 사용하며 2008년 11월 13일부터 적용되는 요금은 Table 2와 같으며, 일반용전력(을) 시간대별 구분은 Table 3과 같다.

심야전력요금은 주간에 냉동기 운전 여부에 따라 달라지며 주간에도 냉동기를 운전하는 경우 심야전력(을)을 택한다. 일반적으로 빙축열 시스템은 심야 축냉량과 주간 운전량을 50대 50을 하는 것이 가장 경제적이라고 알려져 있다. 여기서도 이 비율을 택한다. 2008년 11월 13일부터 적용되는 요금은 표 Table 4와 같다.

### 3.7 가스요금

가스요금은 한국가스공사<sup>(6)</sup> 또는 한국도시가스협회<sup>(7)</sup> 자료를 참조한다. 2009년 3월 1일 기준이며 지역마다 차등 적용된다. Table 5는 업무용 서울지역 냉방 및 난방의 가스요금을 나타낸다.

가스의 발열량은 10,500kcal/m<sup>3</sup>라고 가정한다.

### 3.8 공간 사용료

설비를 설치하기 위하여 건물의 일부 공간을 사용하게 된다. 이와 관련된 비용을 무시할 수도 있으나 모든 요인을 공정하게 고려하기 위하여 경제성 비교에서 공간 사용료를 포함시킨다. 공간을 임대한다는 개념으로 생각하였고 그 단가는 공정하게 하기 위하여 ‘인터넷부동산 114’를 참조하였다.<sup>(8)</sup> 위치는 서울 강남구 사무용 건물을 기준으로 하였다. 인터넷 자료에 의하면 보증금은 700천원/평, 월 임대료는 60천원/평이다. 보증금을 연 7% 이자로 환산한 후 월임대료와 합치면 공간 사용료는 250천원/(m<sup>2</sup>·년)이 된다. 이는 사무실 공간에 해당하는 임대료이며 옥상인 경우 사무실 비용의 5%, 지하 기계실인 경우 15%라고 가정한다. 설비가 차지하는 면적은 실제 기기의 면적의 2배라고 가정한다.

### 3.9 인건비

인건비는 25,000천원/년이라고 가정한다.

### 3.10 보험료

보험료는 지원금을 제외한 초기투자비의 0.17%/년이라고 가정한다.

### 3.11 수선비

수선비는 일반적으로 기기 가격의 0.5~3.0%/년 인데 아직 각 방식에 대한 객관화된 데이터는 없는 실정이다. 수선비는 제조업체와 설계사무실의 의견을 종합하여 3%라고 가정한다.

### 3.12 장비내구연도(년)

장비내구연도(년)는 빙축열시스템의 수명이 15년, 흡수식냉온수기의 수명이 10년으로 가정한다.

### 3.13 월별 운전부하조건

월별운전부하조건으로는 프로그램 상에 입력된

Table 6 월별 운전 부하 조건

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

지역별 부하 값으로 데이터 기준으로 정하였다 Table 6은 서울의 부하조건을 나타낸다.

### 3.14 빙축열시스템 기기 목록 및 가격

Table 7은 경제성 분석 프로그램 빙축열 시스템의 초기투자비/운전비 입력 사항이다. 빙축열 시스템에서 냉방시 터보냉동기의 COP(상온용)는 4.0, 빙축냉시 COP(저온용)는 3.5로 가정한다. 저온용으로 운전시 얼음 생성을 위하여 증발기의 압력을 낮추어야 하므로 COP는 상온 대비 12.5%가 낮은 3.5로 가정한다.

Table 7 Cost of Ice Thermal Storage System

Equipment	Number	Capacity	Elec. (kW)	Cost (1000 Won)
Screw Chiller	2	71 RT 101 RT	91.2	69,120
Boiler	1	1.5 T/h	3.7	27,968
Ice Storage	2	880 RTh		70,000
Cooling Tower	2	468 Mcal/h	3.7	8,208
Cool. pump	2	1,560 lpm	10.0	3,000
Brine pump	2	1,200 lpm	11.0	3,000
Plate Heat Exchanger	2	150 RT		10,000
Exp. tank	1	400 liter		1,500
Flow Fan	1		3.7	800
M. valve	2			4,000
Supply pump	1	400 liter	0.25	800
Brine	14	200 liter		5,600
Total				203,996

Table 8 Cost of Ice Absorption Chiller-Heater System

Equipment	대수	capacity	Elec. (kW)	Cost (1000 Won)
Absorption chiller	1	300 RT	14.2	114,720
Cooling Tower	2	1,170 Mcal/h	7.5	18,080
Chilled w. pump	2	3,900 lpm	20.0	5,000
Total				137,800

### 3.15 흡수식 냉온수기 기기 목록 및 가격

Table 8은 경제성 분석 프로그램 흡수식 냉온수기의 초기투자비/운전비 입력 사항이다. 흡수식 냉온수기 COP는 1.0 으로 가정한다.

## 4. 경제성 비교 결과

대용량 300 RT에 대한 경제성 비교를 Table 9에 요약한다. 연간 부담액은 빙축열 시스템이 112,093,926원, 흡수식 냉온수기가 102,698,764원으로 흡수식 냉온수기가 연간 9,395,162원 유리하다. 흡수식 냉온수기는 기기의 구성이 간단하여 초기투자비가 낮다. 운전비도 흡수식 냉온수기가 유리하다.

Table 9 Economic comparison of Ice Thermal Storage and Absorption Chiller-Heater Systems

	Item	Ice Thermal Storage	Absorption Chiller-Heater
Initial cost (₩)	Equipment	297,643,000	181,274,000
	Financial subsidy	-67,200,000	-3,000,000
	Sum	230,443,000	178,274,000
Operation cost (₩)	Energy(electricity)	-	30,398,230
	Energy(gas)	38,236,093	7,486,065
	Space charge	12,500,000	7,500,000
	Repair	8,929,290	5,438,220
	Insurance	505,993	308,166
	Labor	25,000,000	25,000,000
	Sum	85,171,376	76,130,681
Total annual payment		112,093,926	102,698,763
Annual difference		-	-9,395,162

## 5. 결론

본 연구에서는 대용량(300 RT)의 (1) 빙축열 시스템과 (2) 흡수식 냉온수기에 대한 경제성 비교를 수행하였다.

경제성 비교에는 초기투자비와 운전비로 분류하였으며 각각에 모든 항목들이 포함될 수 있도록 하였다. 초기투자비에는 장비비, 설치 공사비, 건축비, 수전설비, 지원금, 세제 지원이 포함된다.

운전비에는 기본전력요금, 에너지(전력, 가스) 사용료, 공간 사용료, 인건비, 보험료, 수선비가

포함된다.

초기투자비를 연간균등부담법에 의해 매년 같은 금액을 상환한다고 가정하였다. 본 방법에서는 초기투자비 전체를 대출 받은 후 매년 같은 금액을 기기의 수명이 종료될 때까지 상환한다고 가정한다. 매년 부담하는 금액은 원금 상환과 이자의 합이 된다.

초기투자비와 유지관리비 모두 흡수식 냉온수기가 유리하며 종합적으로는 흡수식 냉온수기의 연간 부담액이 9,395,162원 낮다. 이 차는 8.4%에 해당한다.

위 결과는 본 연구의 가정에 의한 결과이고 만약 다른 가정을 제안하여 계산하면 전혀 다른 결과가 도출될 수도 있다. 본 연구에서는 두 방식의 절대적인 경제성 우열보다는 'e-Coolanal' 프로그램을 사용한 경제성 분석 방법에 초점을 맞추었으며, 공조 방식의 경제성 분석을 간단하게 수행할 수 있는 방법을 제시하는데 의의가 있다.

## 참고 문헌

1. Yoo, I. G., 2006, Engineering Economy, Hyungseulsa.
2. Choe, S. H., Cha, B.J., Kim, S.M and Leigh, S. B., 2002, A Study on optimized design decision of building service systems based on a life-cycle cost analysis, Journal of SAREK, Vol. 14, NO. 2, pp. 134-139.
3. 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 WAM, pp.316-321.
4. Korea Price Information Corp. www.kpi.or.kr.
5. Korea Electric Power Corporation, Cyber Division, cyber.kepco.co.kr.
6. Korea Gas Company, www.kogas.or.kr, Customer Center, Natural gas cost information, Regional cost information.
7. Korea City Gas Association, www.citygas.or.kr, City gas introduction, Cost table.
8. Internet Realty 114, www.r114.co.kr.