

냉방열원기기의 경제성 평가를 위한 간이계산법의 적용성 검토

김 영 섭[†], 김 강 수^{*}

고려대학교 대학원, *고려대학교 건축공학과

Validating the Applicability of a Simplified Correlation Method for Economic Evaluation of Cooling Plants

Young-Sub Kim[†], Kang-Soo Kim^{*}

Doctoral Student, Department of Architectural Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

^{*}Department of Architectural Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

(Received August 13, 2002; revision received September 5, 2002)

ABSTRACT: In the previous research, a simplified correlation method was developed as an easy prediction tool for comparing energy use of cooling plants. The purpose of this paper is to test the applicability of this method for economic evaluation with two zones of a 20-story commercial building in Seoul. The results of this method were compared with the DOE-2 simulation and actual measured data. Then, Comparisons of life cycle cost were carried out for three types of cooling plants. Testing of one zone showed good agreement of within 10% error in cooling energy use and within 2% error in LCC. But testing of the other zone indicated that the use of this method were invalid when input variables were used beyond its valid range.

Key words: Simplified correlation method(간이계산법), Economic evaluation(경제성 평가), Life cycle cost(생애비용)

기 호 설 명

C_{nom} : 냉동기의 정격장비용량 [W/m^2]	IS : 내부발열부하스케줄
e : 물가상승비율	OA : 외기도입량 ($m^3/h/m^2$)
EIR_{nom} : 정격 EIR(energy-input ratio)	P : 전체 냉방기간의 에너지소요량 [$W-hour/m^2$]
f_{cap} : 용량수정합수	$P(i)$: 시간별 에너지소요량 [$W-hour/m^2$]
f_{EIR} : 성능수정합수	$PL(i)$: i 시의 평균 부분부하 [W/m^2]
FWR : 벽체/바닥면적비(floor-to-wall ratio)	$PLR(i)$: i 시의 평균 부분부하율
H_{loss} : 빙축열조 열손실량 [W/m^2]	Q_c : 빙축열시스템에서의 냉동기용량 [W/m^2]
$hours$: 시간별 운전시간	Q_{ch} : 냉동기에서 빙축열조로의 축냉량 [W/m^2]
i : 이자율	Q_{dis} : 빙축열조로부터의 방냉량 [W/m^2]
ID : 내부발열부하밀도 [W/m^2]	SC : 창호의 차폐계수
	T : 실내설정온도 [$^{\circ}C$]
	t_{cold} : 냉수출구온도 [$^{\circ}C$]
	t_{cond} : 냉각수입구온도 [$^{\circ}C$]
	WWR : 창/벽체면적비(window-to-wall ratio)

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-3290-3744; fax: +82-2-921-7947

E-mail address: sakbi@korea.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구의 필요성

열원설비의 경제성 평가를 위한 방법으로서 초기투자비, 에너지비, 보전비 등을 설비기기의 총생애기간에 대해 산출하는 LCC(Life Cycle Cost) 기법이 최근에 널리 사용되고 있다. 열원설비는 초기투자비보다 에너지사용량에 따른 비용이 상대적으로 크기 때문에, 초기계획단계에서 선택가능한 여러 시스템 중에서 초기투자비를 포함하여 장비수명기간 동안 가장 적은 비용이 드는 대안을 선택할 수 있는 LCC분석이 반드시 필요하다. 저가의 냉열원설비를 선택하여 초기투자비가 적게 되더라도 연간 에너지비용이 많이 소요되면 반드시 경제적이라 할 수 없으며, 빙축열시스템과 같은 고가의 시스템이 연간 에너지비 이득으로 보상받을 수 있다면, 보다 경제적인 선택이 될 수 있기 때문이다.

열원설비의 경제성 분석을 위해서는 정확한 에너지사용량의 산출이 필수적이다. 건축설계가 상당히 진행된 후에 작업이 시작되는 설비설계의 시간적인 제약을 고려할 때, 많은 변수의 선택과 프로그램의 실행에 고도의 숙련이 필요한 DOE-2, BLAST 등의 해석 프로그램은 실제 업무에 적용하기 곤란하다. 또한 도일법, BIN법 등의 계산법은 장비의 효율특성을 적용하기 어렵기 때문에 적절한 방법이라 할 수 없다.

본 연구의 선행 연구⁽¹⁾에서는 시간이 적게 소요되며 장비의 효율특성이 적용 가능한 형태로 회귀식을 이용한 간이계산법을 제시하였다. 간단한 시뮬레이션 모델에 대해서 간이계산법의 결과와 DOE-2 계산값을 비교한 평균 오차율은 원심식 냉동기에서 5.9%, 2중효용 흡수식 냉동기에서 7.3%로 나타났다.

본 연구에서는 선행연구의 결과인 간이계산법의 적용성을 검토하기 위하여 복잡한 입력조건을 갖는 실제건물을 대상으로 하여 에너지소비량 측정결과와 DOE-2, 간이계산법의 결과를 상호 비교하였으며 LCC분석을 수행하였다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 냉열원설비의 경제성 분석을 위한 에너지사용량 예측기법으로서 간이계산법의 적

용성을 검토하고자 한다. 20층 규모의 사무소건물을 대상으로 DOE-2와 간이계산법을 통한 LCC를 비교하였다. 대상건물은 사무실계통(이하 A zone으로 표기)과 오피스텔 계통(이하 B zone으로 표기)으로 구분되며, A zone은 입력변수의 값이 회귀식의 적용범위에 있으며, B zone은 일부 변수의 값이 적용범위를 벗어나 있다. 주요한 연구방법과 범위는 다음과 같다.

- 냉열원설비의 종류를 3가지로 구분하여 원심식 냉동기, 흡수식 냉동기, 빙축열시스템에 대한 간이계산법의 적용방법을 나타내었다.
- 동일한 계통에서 상이한 입력조건을 갖는 여러 개의 존(zone)이 있을 때, 회귀식의 입력변수를 하나의 값으로 처리하는 방법을 나타내었다.
- 대상건물의 실제 냉방 에너지사용량과 DOE-2 계산값과 간이계산법 결과를 비교하였다.
- 대상건물에 대해 원심식 냉동기, 2중효용 흡수식 냉동기, 빙축열시스템의 DOE-2 계산값과 간이계산법 결과를 비교하였다.
- 대상건물에 대해 DOE-2와 간이계산법을 통한 LCC를 비교하였다.

2. 냉열원 종류에 따른 계산방법

Table 1은 원심식 냉동기와 흡수식 냉동기의 간이계산법 적용방법을 나타낸 것이다. 원심식 냉동기와 달리, 흡수식 냉동기는 외부에서 공급되는 증기 또는 온수를 열원으로 사용한다. 열원으로서 여러 종류의 폐열과 태양열 등의 이용이 가능하지만, 난방용으로 설치된 보일러를 가동하여 증기나 온수를 흡수식 냉동기에 공급하는 방법이 일반적이다. 흡수식 냉동기의 열에너지 소요량($P(i)$) 산출은 원심식 냉동기에서와 동일하다. 그러나 보일러의 가동에 따른 열손실과 저부하효율을 고려한 추가의 계산과정이 필요하다. 흡수식 냉동기의 열에너지소요량($P(i)$)으로 보일러의 시평균 부분부하율($PLR(i)^*$)을 식(1)과 같이 계산하고, 보일러의 용량(C_{nom}^*), 정격 연료소모량(EIR_{nom}^*), 성능수정함수(f_{EIR}^*)을 적용하여 연료소모량($P(i)^*$)을 식(2)와 같이 산출한다.⁽²⁾

$$PLR(i)^* = \frac{P(i)}{C_{nom}^*} \quad (1)$$

Table 1 Simplified correlation method for centrifugal chiller and absorption chiller

Centrifugal chiller	Absorption chiller
i) Calculate $C_{nom}, PL(i)$ by using the regression equations.	i) Calculate $C_{nom}, PL(i)$ by using the regression equations. Determine boiler capacity (C_{nom}^*)
ii) $PLR(i) = \frac{PL(i)}{C_{nom}}$	ii) $PLR(i) = \frac{PL(i)}{C_{nom}}$
iii) $P(i) = C_{nom} \times f_{cap}(t_{cold}, t_{cond}(i)) \times EIR_{nom} \times f_{EIR}(t_{cold}, t_{cond}(i)) \times f_{EIR}(PLR(i)) \times hours$	iii) $P(i) = C_{nom} \times f_{cap}(t_{cold}, t_{cond}(i)) \times EIR_{nom} \times f_{EIR}(t_{cold}, t_{cond}(i)) \times f_{EIR}(PLR(i))$
iv) $P = \sum_{i=8}^{18} P(i)$	iv) $PLR(i)^* = \frac{P(i)}{C_{nom}^*}$ v) $P(i)^* = C_{nom}^* \times EIR_{nom}^* \times f_{EIR}^*(PLR(i)^*) \times hours$ vi) $P = \sum_{i=8}^{18} P(i)^*$

$$P(i)^* = C_{nom}^* \times EIR_{nom}^* \times f_{EIR}^*(PLR(i)^*) \times hours \quad (2)$$

Table 2는 빙축열시스템의 간이계산법 적용방법을 나타낸 것이다. 빙축열시스템의 계산방법은 비축열방식인 원심식 냉동기, 흡수식 냉동기의 계

산방법과 많은 부분에서 다르다. 야간의 축냉운전(charging storage)과 주간 냉동기운전 및 방냉운전(direct-to-load chilling & discharging storage)으로 구분하여야 하며, 주간 냉동기 담당부하($PL(i)^{**}$)도 축열조우선(storage priority) 방식과 냉동기우선(chiller priority) 방식에 따라 다르다.

Table 2 Simplified correlation method for thermal storage system

Direct-to-load chilling & Discharging storage	Charging storage
i) Calculate $C_{nom}, PL(i)$ by using the regression equations. Determine Q_c, Q_{dis}, Q_{ch}	
ii) Chiller priority $PL(i)^{**} = Q_c$, when $PL(i) \geq Q_c$ $PL(i)^{**} = PL(i)$, when $PL(i) < Q_c$ Storage priority $PL(i)^{**} = PL(i) - Q_{dis}$, when $PL(i) > Q_{dis}$ $PL(i)^{**} = 0$, when $PL(i) \leq Q_{dis}$	ii) $PL(i)^{**} = Q_{ch} + H_{loss}$
iii) $PLR(i) = \frac{PL(i)^{**}}{Q_c}$	iii) $PLR(i) = \frac{PL(i)^{**}}{Q_c}$
iv) $P(i) = C_{nom} \times f_{cap}(t_{cold}, t_{cond}(i)) \times EIR_{nom} \times f_{EIR}(t_{cold}, t_{cond}(i)) \times f_{EIR}(PLR(i)) \times hours$	iv) $P(i) = C_{nom} \times f_{cap}(t_{cold}, t_{cond}(i)) \times EIR_{nom} \times f_{EIR}(t_{cold}, t_{cond}(i)) \times f_{EIR}(PLR(i)) \times hours$
v) $P = \sum_{i=8}^{18} P(i)$	v) $P = \sum_{i=23}^7 P(i)$

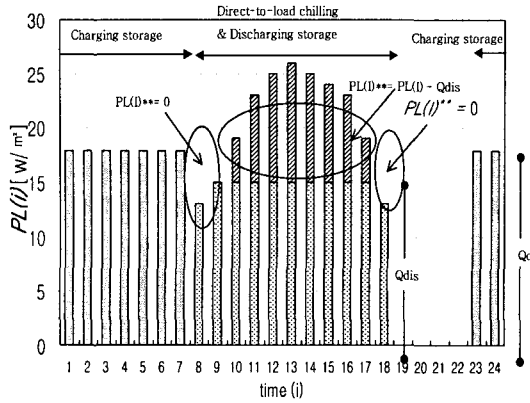


Fig. 1 Load profiles in storage priority of thermal storage system.

Fig. 1은 축열조우선 방식의 시간별 부하분포를 나타낸 것이다. 주간(8~18시)의 냉동기 담당 부하(PL(i)**)는 시간별 부하(PL(i))에서 축열조로부터의 방냉량(Q_{dis})을 제외한 부분으로 진하게 표시된 부분에 해당되며 식(3), (4)로 나타낼 수 있다.

$$PL(i)** = PL(i) - Q_{dis}, \text{ when } PL(i) > Q_{dis} \quad (3)$$

$$PL(i)** = 0, \text{ when } PL(i) \leq Q_{dis} \quad (4)$$

냉동기우선 방식에서는 먼저 냉동기가 부하를 담당하고, 나머지를 축열조가 담당하기 때문에 냉동기 담당부하는 식(5), (6)으로 나타낼 수 있다.

$$PL(i)** = Q_c, \text{ when } PL(i) \geq Q_c \quad (5)$$

$$PL(i)** = PL(i), \text{ when } PL(i) < Q_c \quad (6)$$

그러나 빙축열시스템의 간이계산법은 특정 시스템 배치나 제어방법에 대해서 적용하기에 부적합하다. 즉 냉동기 upstream과 downstream, 수요제한방식 등의 냉동기와 축열조 사이의 상호연관된 운전특성을 나타낼 수 없다.

3. 냉방에너지 소요량 비교

대상건물은 서울시 강남구에 소재한 지하 7층 지상 20층 규모의 사무소 건물로서, 선행 연구⁽³⁾를 통해 실제 에너지소비량 측정값과 DOE-2 계산값의 비교가 수행된 바 있다. Fig. 2는 대상건물의 형태로서 DOE-2 시뮬레이션 모델의 입력내용을 프로그램 내의 Drawbdl.exe로서 나타낸 것이다. 4방향의 벽체면적과 창면적이 동일한 비율로 구성되어 있다.

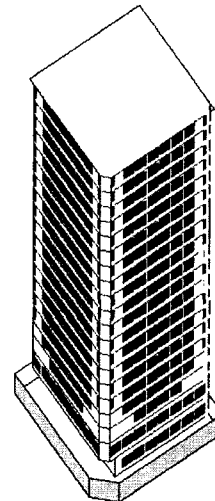


Fig. 2 Shape of DOE-2 simulation model.

Table 3 Summary of simulation building

	Floor area (m ²)	Cooling plant	Cooling system
B2~7 Parking	13,200	-	-
B1 Shop	2,190	Reciprocating chiller 0.282 Mwatt (80 USRT)	Interior zone : constant air volume
1~2F Bank	2,160	Reciprocating chiller 0.422 Mwatt (120 USRT)	Perimeter zone : fan coil unit Interior zone : constant air volume
3~10F Office (A zone)	8,960	Centrifugal chiller 0.969 Mwatt (276 USRT)	Perimeter zone : fan coil unit Interior zone : constant air volume
11~20F Office (B zone)	11,200	Centrifugal chiller 1.321 Mwatt (376 USRT)	Perimeter zone : fan coil unit Interior zone : constant air volume (only for provision with outside air)

Table 4 Input values of regression equations

		A zone	B zone	Valid range of equations
Area	Effective floor area	7,218 (m ²)	9,695 (m ²)	-
	Wall & roof area	4,046 (m ²)	6,041 (m ²)	-
	Window area	1,394 (m ²)	1,830 (m ²)	-
Input values	Floor-to-wall ratio (FWR)	0.56	0.62	-
	Window-to-wall ratio (WWR)	0.34	0.30	-
	Shading coefficient of fenestration (SC)	0.54	0.54	-
	SC × WWR × FWR	0.104	0.102	0.025~0.225
	Space air temperature (T)	25 (°C)	26 (°C)	24~26 (°C)
	Internal load density (ID)	41.69 (watt/m ²)	0 (watt/m ²)	25~112.5 (watt/m ²)
		IS(8)~IS(12) : 0.81	IS(8)~IS(17) : 0	0.2~1.0
		IS(13) : 0.49		
		IS(14)~IS(16) : 0.71		
	IS(17) : 0.68			
Outdoor air flow (OA)	2.88 (m ³ /h/m ²)	1.75 (m ³ /h/m ²)	1.22~10.98 (m ³ /h/m ²)	

공조계통은 4개로 구분되며, 각 계통의 냉열원 설비와 공조설비의 구체적인 사양은 Table 3과 같다. 본 연구는 A zone(3~10F)과 B zone(11~20F)에 대해서만 수행하였다. A zone은 외주부의 일사부하, 벽체·유리를 통한 전도부하를 쉘코일 유니트로 처리하고, 내주부의 인체·조명·기기 발열부하, 외기공급을 정풍량 단일덕트로서 처리하도록 되어 있다. B zone은 외주부부하에 대해서 쉘코일유니트로 처리하는 점에서 동일하나, 내주부에 대해서는 정풍량 단일덕트가 외기공급용으로만 설정되어 있다.

대상건물은 동일한 계통에서 상이한 입력조건을 갖는 여러 개의 존이 있기 때문에, 회귀식의 입력 변수를 하나의 값으로 처리하도록 하는 계산과정이 필요하다. 하나의 존으로 되어 있을 때, 내부발열부하밀도는 기기부하(EL), 인체부하(OL), 조명부하(LL)의 합의 형태로 나타낸다.

$$ID = EL + OL + LL \quad (7)$$

조건이 상이한 m 개의 존으로 되어 있을 때에는 전체 면적에 대한 각 존의 면적비(A_m)를 계산하고, 이를 가중 평균하여 내부발열부하밀도를 산출한다.

$$A_1 + A_2 + \dots + A_m = 1.0 \quad (8)$$

$$ID = \sum_{n=1}^m [(EL_n + OL_n + LL_n) \times A_n] \quad (9)$$

내부발열부하스케줄은 단일 존일 때, 기기발열스케줄(ES), 인체발열스케줄(OS), 조명발열스케줄(LS)을 가중 평균하여 산출한다.

$$IS = \frac{EL \cdot ES + OL \cdot OS + LL \cdot LS}{EL + OL + LL} \quad (10)$$

m 개의 존일 때는 각 존의 면적비를 가중 평균하여 내부발열부하스케줄을 산출한다.

$$IS = \sum_{n=1}^m \left[\frac{EL_n \cdot ES_n + OL_n \cdot OS_n + LL_n \cdot LS_n}{EL_n + OL_n + LL_n} \times A_n \right] \quad (11)$$

Table 4는 간이계산법의 회귀식 입력값을 정리한 것이다. 회귀식은 통계처리를 위한 기본데이터 내에서 입력변수의 최소값과 최대값 사이의 상관관계를 통해 수식의 형태로 도출된 것이다. 따라서 변수의 입력값이 해당 범위를 벗어나게 되면 정확한 예측값을 기대할 수 없다.⁽²⁾ A zone의 입력값은 각 변수의 적용범위에 해당되는 것

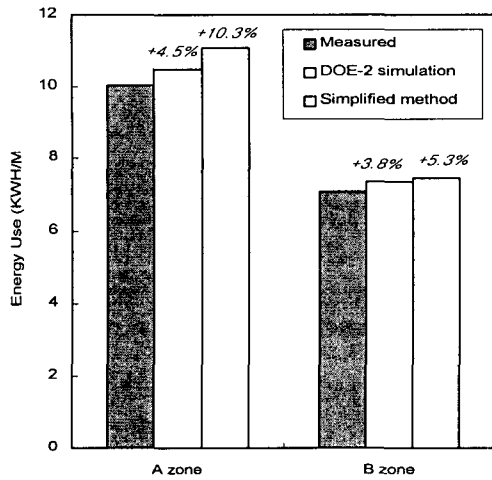


Fig. 3 Cooling energy use and error ratio of simulation building.
 (C_{nom} : A 134.25 W/m², B 136.25 W/m²)

으로 나타났다. B zone은 내주부의 부하를 담당하는 정풍량단일덕트가 외기공급용으로만 설정되어 있으므로 내부발열부하밀도와 내부발열부하스케줄이 0으로 설정되었다. Table 4에 나타난 바와 같이 회귀식에서 내부발열부하밀도의 적용범위인 25~112.5 watt/m²와 내부발열부하스케줄의 입력범위인 0.2~1.0을 벗어나게 된다.

Fig. 3은 대상건물에 대해 1998년 냉방기간 동안의 냉동기 에너지사용량을 측정된 값과 DOE-2, 간이계산법의 계산값을 비교한 것이다. 실제 측정값과 비교하여 DOE-2 계산값은 4.5, 3.8% 높게 산출되었고, 간이계산법은 10.3, 5.3% 높게 산출되었다. 이때 DOE-2, 간이계산법의 냉동기 용량(C_{nom})은 실제 설치된 용량과 동일하도록 A zone은 134.25 W/m², B zone은 136.25 W/m²로서 설정하였다.

냉열원설비의 종류를 원심식 냉동기, 2중효용

Table 5 Summary of plant parameters

Type	Plant parameters
Centrifugal chiller	chilled water temperature (t_{cold}) : 7°C energy input ratio to chiller nominal capacity (EIR_{nom}) : 0.22
Two-stage absorption chiller	chilled water temperature (t_{cold}) : 7°C energy input ratio to chiller nominal capacity (EIR_{nom}) : 1.0 boiler nominal capacity (C_{nom}^*) = C_{nom} energy input ratio to boiler nominal capacity (EIR_{nom}^*) : 1.15
Thermal storage system (storage priority)	chilled water temperature (t_{cold}) : 1°C energy input ratio to chiller nominal capacity (EIR_{nom}) : 0.22 chiller capacity (Q_c) : $C_{nom} \times 0.6$ charging storage rate (Q_{ch}) : $C_{nom} \times 0.6$ discharging storage rate (Q_{dis}) : $C_{nom} \times 0.42$ heat loss of storage tank (H_{loss}) : 0 (Watt/m ²)

Table 6 Comparisons of energy use on three types of cooling plants

		DOE-2 simulation	Simplified method	Error ratio (%)
A zone	Maximum system load (C_{nom})	92.96 (W/m ²)	97.81 (W/m ²)	+5.2
	Cooling Energy use			
	Centrifugal chiller	10.09 (Kwh/m ²)	10.34 (Kwh/m ²)	+2.5
	Two-stage absorption chiller	63.08 (Kwh/m ²)	62.11 (Kwh/m ²)	-1.5
	Thermal storage system	10.37 (Kwh/m ²)	11.34 (Kwh/m ²)	+9.3
B zone	Maximum system load (C_{nom})	55.59 (W/m ²)	45.38 (W/m ²)	-18.4
	Cooling Energy use			
	Centrifugal chiller	5.31 (Kwh/m ²)	4.40 (Kwh/m ²)	-17.2
	Two-stage absorption chiller	33.88 (Kwh/m ²)	26.73 (Kwh/m ²)	-21.1
	Thermal storage system	5.88 (Kwh/m ²)	4.78 (Kwh/m ²)	-18.8

흡수식 냉동기, 빙축열시스템의 3가지로 구분하였을 때 계산조건은 Table 5와 같다. 냉동기 종류에 따른 각각의 성능함수는 DOE-2 프로그램에서 제시하는 default값^(4,5)을 사용하였다. DOE-2와 간이계산법에 의해 계산된 냉동기 용량은 대상건물의 실제 용량과 크게 다르게 나타났다. 특히 B zone의 경우 실제 용량의 30~40%에 그치고 있는데, 이는 내부발열부하를 고려하지 않았기 때문이다.

Table 6은 냉동기 종류에 따라서 DOE-2와 간이계산법의 계산값을 비교한 것이다. A zone의 경우, 냉동기 용량에서 5.2%의 오차를 나타내며, 에너지사용량은 빙축열시스템에서 9.3%으로 오차가 가장 크다. B zone의 경우, 냉동기 용량과 3가지 냉열원설비의 에너지사용량 모두에서 큰 오차를 나타내었다. 이는 간이계산법의 ID, IS 변수의 입력값이 회귀식의 적용범위를 벗어났기 때문인 것으로 판단된다.

4. Life Cycle Cost 비교

LCC 계산을 위한 전제조건과 구성요소는 Table 7과 같다. 이자율(i)과 물가상승비율(e)은 통계청에서 발표한 1991~2000년의 10년간 평균값을 사용하였다. 이때 이자율은 건설업 차입금 평균 이자율을 나타내며, 물가상승비율은 소비자 물가지수를 기준으로 한 것이다. 물가상승을 고려한

실제 이자율(i^*)은 다음과 같이 계산된다.⁽⁶⁾

$$i^* = \frac{1+i}{1+e} - 1 \quad (12)$$

계산방법은 현재의 가치를 기준으로 가격을 환산하는 현가법(present value method)을 채택하였다. 초기투자비(IC)는 현재의 형태이므로 가치환산이 필요 없으나, 매년 지불되는 형태의 에너지비(EC)와 보전비(MC)는 다음과 같이 계산되어야 한다.

$$LCC_{20} = IC + \sum_{t=1}^{20} EC_t(1+i^*)^{-t} + \sum_{t=1}^{20} MC_t(1+i^*)^{-t} \quad (13)$$

초기투자비는 빙축열시스템의 가격이 가장 높으며, 타방식에 비해 약 30~35% 이상 추가비용이 필요한 것으로 나타났다. 2중효용 흡수식 냉동기는 원심식 냉동기에 비해 약 10% 정도 장비가격이 높지만, 천연가스를 연료로 사용함에 따른 설치지원금과 세제감면혜택으로 상쇄되므로 동일한 수준으로 나타났다.

연간 에너지비용은 빙축열시스템이 가장 낮으며, 2중효용 흡수식 냉동기, 원심식 냉동기 순으로 나타났다. 에너지사용량에 따른 요금(consumption charge)은 원심식 냉동기가 흡수식 냉동기보

Table 7 Factors used in life cycle cost analysis

Life cycle cost factors	
Study period	20 years
Interest rate (i)	11.7%
Price escalation rate (e)	5.1%
Actual Interest rate (i^*)	6.3%
Life cycle cost components	
Initial installation cost (IC)	Centrifugal chiller : chiller, cooling tower, control, electric transformer
	Two-stage absorption chiller : chiller, cooling tower, control, electric transformer, subsidy(-), tax discount(-)
	Thermal storage system : chiller, cooling tower, heat exchanger, control, ice-storage tank, brine pump, brine, electric transformer, subsidy(-), tax discount(-)
Energy cost (EC)	Centrifugal chiller : electricity
	Two-stage absorption chiller : electricity, natural gas
	Thermal storage system : electricity *electricity - demand charge, consumption charge *natural gas - consumption charge
Maintenance cost (MC)	Annual 2.0% of equipment cost ⁽⁷⁾

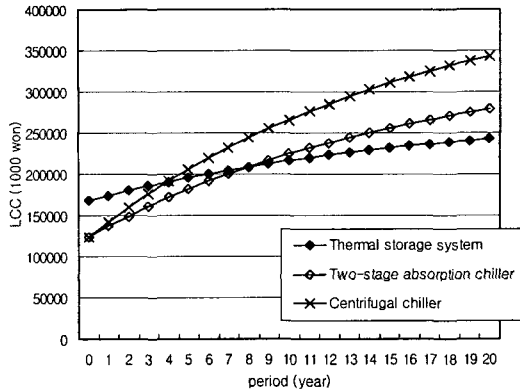


Fig. 4 Comparisons of Life cycle cost from DOE-2 simulation results (A zone).

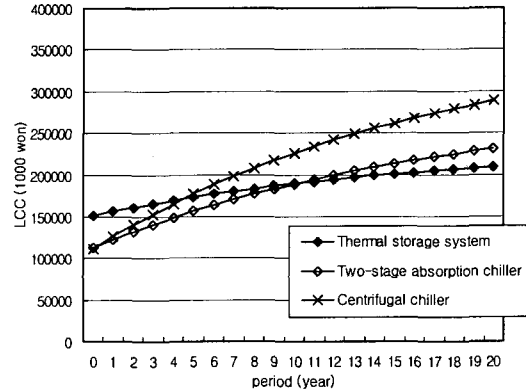


Fig. 5 Comparisons of Life cycle cost from DOE-2 simulation results (B zone).

다 낮지만, 계약전력 증가에 따라 기본요금(demand charge)이 높게 나타나기 때문이다.

Fig. 4와 Fig. 5는 DOE-2 계산값을 기준으로 냉열원설비에 따른 LCC를 산출한 것이다. 설치시점에서는 빙축열시스템이 가장 비용이 높지만, A zone에서는 8년 이후, B zone에서는 10년 이후부터 가장 경제적인 방식이 된다. 빙축열시스템을 기준으로 하여 총비용(LCC₂₀)을 비교하면, A zone에서 2중효용 흡수식 냉동기는 +14.9%, 원심식 냉동기는 +41.4% 비용이 증가하며, B zone에서 2중효용 흡수식 냉동기는 +10.2%, 원심식 냉동기는 +37.7% 증가한다.

Table 8은 DOE-2와 간이계산법을 기준으로 한 LCC를 비교한 것이다. A zone의 경우, 3가지 냉열원설비 모두에서 DOE-2와 간이계산법에 의한 차이가 거의 나타나지 않았다. 특히 빙축열시스템은 에너지사용량에서 9.3%의 오차가 나타났지만 LCC₂₀에서는 1.3%의 오차에 불과하다. B zone의 경우는 전체적으로 약 12% 정도의 오차가 나타났다.

에너지사용량에 비해 LCC₂₀에서 오차가 적게 나타나는 이유는 첫째로 에너지비가 현가로 환산되는 과정에서 감소하기 때문이다. 본 연구의 계산조건에서는 환산과정에서 56%의 수준으로 감소하므로 오차가 절반가량으로 줄어들게 된다. 두번째로는 냉동기 용량이 LCC 산출에 미치는 영향에 기인한다. 즉 냉동기 용량을 기준으로 초기투자비와 보전비가 산출되며, 에너지비 중에서도 전력기본요금은 장비용량에 따라 결정되는 계약전력으로 산출되기 때문이다. B zone의 경우 DOE-2와 간이계산법의 냉동기 용량에서 18.4%의 오차가 있기 때문에, 초기투자비, 보전비, 전력기본요금에서 차이가 발생하게 된다. A zone의 경우 냉동기 용량에서의 오차가 5.2%에 불과하기 때문에 LCC₂₀의 오차가 크게 감소하게 된다.

5. 결 론

냉열원설비의 경제성분석을 위한 에너지사용량 예측기법으로서 간이계산법의 적용성을 검토하였

Table 8 Comparisons of Life Cycle Cost on three types of cooling plants (1,000 won)

Type	DOE-2 simulation		Simplified method		Error ratio (%)	
	EC ₂₀	LCC ₂₀	EC ₂₀	LCC ₂₀	EC ₂₀	LCC ₂₀
A zone Centrifugal chiller	198,537	343,300	198,414	343,178	-0.06	-0.04
Two-stage absorption chiller	129,306	278,898	126,751	276,343	-2.0	-0.9
Thermal storage system	57,828	242,821	61,091	246,084	+5.6	+1.3
B zone Centrifugal chiller	158,621	288,274	128,251	251,281	-19.1	-12.8
Two-stage absorption chiller	95,662	230,629	75,264	202,096	-21.3	-12.4
Thermal storage system	42,906	209,333	34,006	184,960	-20.7	-11.6

다. 실제건물을 대상으로 DOE-2와 간이계산법을 통한 LCC를 비교한 결과, 변수의 입력값이 회귀식의 적용범위를 벗어나지 않는다면 간이계산법의 사용이 적합한 것으로 나타났다. 주요한 연구 내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 동일한 계통에서 상이한 입력조건을 갖는 여러 개의 존이 있을 때, 각 존의 면적비를 가중 평균하여 회귀식의 입력변수를 하나의 값으로 처리하여야 한다.

(2) 대상건물의 A, B zone에 대해서 실제 에너지사용량과 비교하였을 때 간이계산법은 10.3, 5.3%의 오차를 나타내었다.

(3) 냉동기 종류에 따라 DOE-2와 간이계산법의 에너지사용량을 비교하였을 때, A zone은 10% 이내의 오차를 나타내었으며, 변수의 입력값이 회귀식의 적용범위를 벗어난 B zone에서는 상대적으로 큰 오차가 발생하였다.

(4) 냉동기 종류에 따라 DOE-2와 간이계산법에 의한 LCC₂₀를 비교하였을 때, A zone에서는 거의 오차가 발생하지 않았으며, B zone에서는 12% 정도의 오차가 발생하였다.

참고문헌

1. Kim, Y. S. and Kim, K. S., 2002, Energy regression analysis for economic evaluation of cooling plants, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 5, pp. 377-384.
2. ASHRAE, 1993, ASHRAE Handbook of Fundamentals: chapter 28, energy estimating methods.
3. Kim, Y. S., Kim, K. S. and Bang, K. Y., 2000, Comparison between measured and predicted performances of an office building, Journal of the Architectural Institute of Korea, Planning & Design, Vol. 16, No. 4, pp. 77-84.
4. Lawrence Berkeley Laboratory, 1982, DOE-2 reference manual, LBL-8706.
5. Lawrence Berkeley Laboratory, 1982, DOE-2 engineers manual, LBL-11353.
6. ASHRAE, 1991, ASHRAE Handbook of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications: chapter 33, owning and operating costs.
7. Jung, S. S. and Yee, J. J., 2000, A study on the development of software for life cycle cost evaluation of HVAC system, Journal of the Architectural Institute of Korea, Planning & Design, Vol. 16, No. 7, pp. 101-108.

1. Kim, Y. S. and Kim, K. S., 2002, Energy re-