

# 深夜電力을 利用한 蓄熱式 中央冷房 시스템의 經濟性 研究

## Economic Analysis of Central Thermal Storage Cooling System Utilizing Midnight Power Service

李 義 駿\*  
E. J. Lee

### 1. 서 론

現在 冷溫房에 使用되는 에너지는 우리나라全體 消費에너지의 約 30%以上을 차지하고 있다. 韓電統計에 의하면 '82년부터는 여름철의 電力消費가 눈에 띄게 많아지고 있다. 國民所得이 올라가면서 기후 변화에 대해 더욱 편안히 대처하려는 欲求가 많아져 여름철에 冷房 및 냉장고의 需要가 급증, 電力消費의 일년중 피크타임이 겨울에서 이미 여름으로 옮겨갔다. 우리나라의 경우 여름철 피크 때와 그렇지 않을때의 電力消費의 차는 約 1百萬kWh로 이 程度의 發電所를 건설하려면 1兆5千億원 程度가 든다. 특히 여름철 전직적 需要量이 많은 낮에 대규모상용 건물 등에서의 冷房을 위한 冷凍機(chiller)의 運轉은 電氣需要와 供給에도 많은 影響을 미친다. 최근 美國과 日本에서는 이러한 冷凍機를 電力費가 싼 深夜에 運轉하여 냉각수를 저장한 후 피크 타임에 使用하는 “蓄熱式 冷房시스템”의 研究가 활발하다. 이러한 시스템은 電氣를 使用하는 側이나 供給하는 側 모두에서 혜택을 주므로, 天然資源이 부족한 國內에서도 이 蓄熱 冷房시스템에 대한 段階的 研究 및 實際應用이 바람직하다.

위의 蓄熱시스템의 이점으로, 使用者側에

서는 우선 冷凍機의 용량을 줄일 수 있고, 深夜電力을 利用함으로써 電力使用費를 줄일 수 있다. 供給하는 側에서도 낮의 使用電力을 밤으로 옮기므로 피크 需要를 줄이고, 보다 量質의 發展에 도움을 줄 수 있다. 그러나, 使用者들은 이러한 잇점을 成功的으로 얻기 위해 考慮해야 할 事項들로서 (1)時間別 電氣料金, (2)탱크용량 및 運轉方法, (3)冷房負荷(cooling load) 등의 시스템의 主要變數들이 있다. 그러나 이 밖에도 추가로 設置하여야 하는 저장탱크의 費用과 이에 關聯된 시스템의 設計 및 信賴性 問題를 해결해야 한다. 또한 air handling unit(AHU)에서 恒溫시스템이 되도록 冷却數量이 잘 調節되어야 하며, 탱크에서는 가능한 한 찬물과 따뜻한 물간의 混雜을 防止해야 된다. 이와 같이 冷房시스템과 蓄熱시스템의 個別的 設計, 해석후 최종적인 최적의 蓄熱冷房시스템이 設計 生産될 수 있다. 그러나, 이 蓄熱冷房시스템이 成功的으로 設置 運轉되기 위해서 1次的으로 檢討되어야 할 部分이 여러가지 狀況變數를 考慮한 經濟性 研究이다.

本 報告書는 이러한 變數들을 考慮하면서 주어진 狀況에서 최적의 蓄熱시스템을 選擇하기 위해 다음과 같은 內容을 包含하여 다루기로 한다. 蓄熱시스템을 採擇하기 전에 예

\* 한국 에너지 연구소 선임연구원

비적으로 考慮할 事項, 시스템 採擇後 運轉 方法設定 및 必要한 탱크용량 計算方法을 도식화하여 보고, 최종적으로 주어진 變數에 따라 payback을 구하여 최적설계를 選擇할 수 있도록 하였다. 結論적으로, 위의 解釋에 의하여, 이 蓄熱시스템이 가장 適合한 電氣料金の 構造와 冷房負荷의 形態를 예들들어 整理하여 보았다.

## 2. 예비평가

蓄熱시스템을 成功的으로 設置 運轉하려면, 選擇決定에 앞서 예비적으로 考慮해야 할 事項들이 있다. 우선, 施設의 設計者나 감리자의 肯定的인 이해가 先行되어야 한다. 이해의 基準으로는 크게 세가지로 (1)하루 24時間 동안의 冷房負荷 모양, (2)蓄熱시스템設計와 制御方式의 方向, (3)電氣料金構造로 深夜使用時의 많은 혜택 등을 考慮한 經濟性이 되고, 이들은 결국 最終變數인 payback으로 比較된다.

冷房負荷를 考慮할 때, 冷凍機選擇時 普通의 경우 여름의 며칠 동안의 피이크 冷房負荷가 冷凍機의 용량을 決定하게 된다. 그러므로, 1年中 6個月間을 冷房季節로 볼 때, 에너지 소모가 많은 冷凍機가 設計值 條件이 아닌 狀態에서 非能律的으로 部分運轉을 함으로 더욱 많은 불필요한 에너지를 消費하게 된다. 이러한 形態의 負荷의 경우, 蓄熱시스템의 選擇이 바람직하다. 실제 暖房度日이 2200C 以上일 경우 여름, 겨울동시에 冷溫房 겸용으로 蓄熱시스템을 使用하게 되므로 더욱 더 經濟性을 높일 수 있다. 우리나라의 경우 暖房度日이 2000C에서 3000C 이므로 蓄熱시스템이 좋은 選擇이 될 수 있는 기후라고 볼 수 있다. 冷房季節동안의 冷房負荷는 여러가지 內的 그리고 外的 取得熱變數에 따라 하루 24時間 變하면서, 이에 따라 冷凍機에서도 冷却數量 공급이 바뀌어 저야하나, 주로 일정 유량으로 設計된 冷凍機의 경우 部分運轉을 피할 수 없으며, 그 結果로 거의 같은 入力에너지에 대해 非設計值

경우 낮은 溫度差(low available output)를 생산할 수 밖에 없다. 이러한 이유와 함께 蓄熱시스템은 冷却水의 需要와 供給을 調節한다는 側面에서도 상당히 필요하다. 冷房負荷의 24時間 形態에 따른 시스템의 適切性을 考慮하면, 오후 1~2시경 피이크冷房이 필요하며 非피이크시의 冷房量에 비해 클수록 蓄熱시스템은 바람직하다고 볼 수 있다. 즉, 사무실과 교회는 아주 좋은 하나의 예가 된다. 그러나, 거의 24시간 3교대제로 운영되는 工場이나 病院은 좋은 예가 못된다. 1교대제로 운영되는 시설은 혜택을 받을 수 있는 것과 같이 冷房負荷의 24시간의 모양은 상당히 중요하며 꼭 미리 고려해야 할 사항이 된다.

일본의 경우 1982년도까지 약 1,000개의 蓄熱시스템이 설계, 제작되어 운전되고 있으며, 미국의 경우는 1984년 약 300개의 시스템이 확인되었고 1987년 현재 계속 증가 추세이다. 이들 경험을 토대로 볼 때 蓄熱시스템의 회로(circuit)는 그림 1.b와 같이 冷凍機와 탱크가 병렬로 연결하는 것이 바람직하다. 직렬 연결로는 변하는 負荷에 효과적인 운전이 곤란하므로 그림 1.a과 같은 실수는 범하지 않도록 하며, 그 변하는 負荷를 병렬의 冷凍機와 탱크로부터의 冷却수로 처리하도록 한다. 시스템배관 부우프를 살펴보면, 탱크를 포함한 공동 라인을 경계로 소비측 부우프인 사용자 부우프와 공급측 부우프인 冷凍機 부우프로 나누어진다. 사용측 부우프안의 펌프에 의해 air handling unit(AHU)혹은 코일로 간 냉각수의 負荷出口溫度는 배관에서 2-way equal-percent 형태의 제어 밸브에 의해 제어되도록 한다. 그리고, 중요한 변수인 供給水溫은 冷凍機의 壓縮機의 속도나 냉매의 유량을 조절하여 제어한다. 그리고 탱크의 출구 水의 최대허용온도를 설정하여 온-오오프 밸브로 탱크출구 水의 유량을 제어한다. 사용측 부우프펌프는 부우프 최고 hydraulic저항(헤드)과 설계유량에 따라 최고 효율을 갖도록 선택한다. 과다한 냉각수의 사용을 막기위해 그림 1에서 같이 일정배

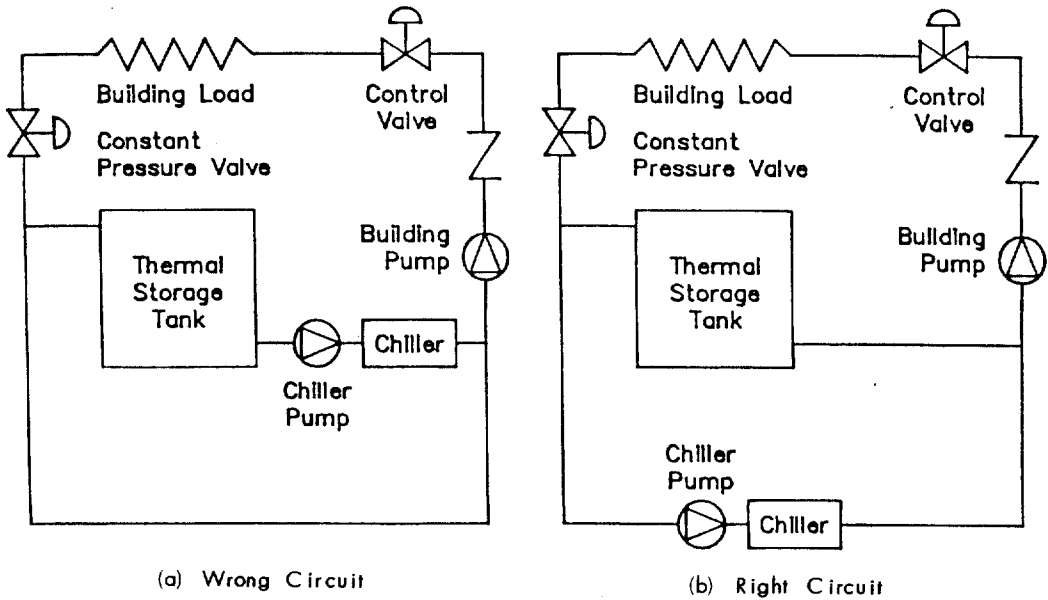
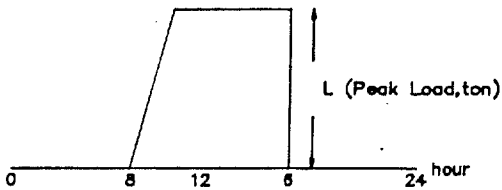


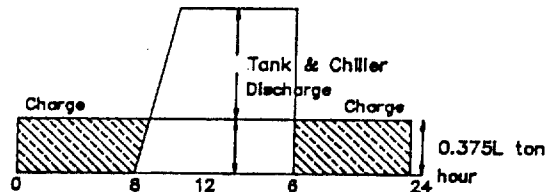
그림 1. 축열 (Thermal Storage) 시스템 회로

압 밸브를 설치한다. 특히 시스템 제어는 re-lay-based 제어보다는 시스템의 주어진 상황에 따라 유연히 대처할 수 있는 micro-based 제어가 되도록 한다. 탱크 자체의 상세 설계나 공간제 한에 따른 ice-storage 등의 내용은 본 보고서의 범위를 넘으므로 생략하고 參考文獻欄에 關聯資料를 열거토록 한다.

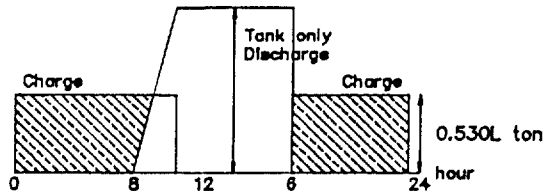
그림 2에서는 하루 24시간 사용측 冷房負荷모양과 설계 방향에 따른 冷凍機와 蓄熱 저장조 용량을 산출하는 방법이 제시되었다. 재래식 설계 (Option 1)의 경우 冷房피크 負荷가 L (ton)으로 가정하면, 저장조가 없으므로 冷凍機의 용량은 L (ton)이 된다. 만약, 冷房負荷모양이 그림 2에 주어진 것과 같이



(a) 재래식 시스템 (L ton Chiller & W/O Storage Tank), (Conventional System: Option 1).



(b) 연속 Chiller 운전 (0.375 L ton Chiller & 5.25 L ton-hr Storage Tank) (Continuous Chiller Operation Mode: Option 2).



(c) 불연속 Chiller 운전 (0.530 L ton Chiller & 8.20 L ton-hr Storage Tank) (Discrete Chiller Operation Mode: Option 2).

그림 2. 냉방 부하 형태에 따른 축열 시스템 설계 방향과 용량 설정 (One Day Cooling Energy: 9 L ton-hr).

가정된다면, 하루동안에 供給되어야 할 冷房에너지 (ton-hr)는 9L ton-hr 가 되며, 이때 상수 9는 冷房負荷모양의 함수이다. 蓄熱시스템을 갖고 운전할 수 있는 운전방식에는 冷凍機의 운전상태에 따라 하루 24시간 冷凍機를 가동하는 연속운전방식 (Option 2)과 낮의 피크 타임대를 제외하고 深夜등 필요시만 운전하는 불연속 운전방식 (Option 3)를 들 수 있다. 蓄熱시스템에서 24시간 연속 冷凍機 운전설계 (Option 2) 방향을 생각하면, 이때 필요한 만큼 줄어든 冷凍機 용량(CC)은,

$$CC = CE/24 = (9L) \text{ ton-hr} / (24)\text{hr} = 0.375 \text{ L (ton)}$$

여기서,

CE : 필요한 피크 冷房에너지 양 (ton-hr)

CC : 줄어든 冷凍機 용량 (ton)

이때 축열 저장조 용량(SC)는,

$$SC = CC (\text{ton}) \times (\text{sum of SP})\text{hr} = (0.375 \text{ L}) \times (8 + 6) \text{ hr} = 5.25 (\text{ton-hr})$$

여기서,

SP : 저장시 冷凍機 운전시간 (hr)

SC : 蓄熱저장조 용량 (ton-hr)

위의 Option 2는 연속운전을 하므로 冷凍機와 저장의 용량을 모두 줄일 수 있다. 그러나, 낮의 피크 시간에도 冷凍機를 가동하므로 전기 供給者側에서 보면 전기 사용수요가 많이 줄어들지 않는 단점이 있다. 이러한 피크 수요를 줄이면서 가능한 한 그 수요를 일정하게 하는 면에서는 Option 3이 바람직하다. 불연속 운전방식인 Option 3은 冷凍機를 낮의 피크 수요 타임에는 운전을 하지않고 深夜에만 가동하므로 수요를 줄일 수 있으나, 冷凍機와 저장의 용량이 다소 커야하는 단점이 있다. 위의 가정된 冷房負荷에 대해선 Option 3의 冷凍機의 용량은 0.530L ton 그리고 저장의 용량은 8.20 L ton-hr 가 되어 Option 2의 冷凍機 용량 0.375 L ton과 저장 용량 5.25L ton-hr에 비해 커짐을 알 수 있다. 그러므로, Option 3은 시간에 따라 요금이 많이 틀러지는 경우 바람직하다. 표 1에는 위의 설계 방향들에 대한 冷凍機와 저장 용량과 감소량이 정리되어 있다. Option 2에

표 1. 설계 방향에 따른 저장조 용량 및 전기 Peak Demand(kW)감소량

설계방향		냉동기 용량 (ton)	축열 저장조 용량 (ton-hour)	냉동기 용량 감소량 (%)	Peak Demand 감소량 (%)
1	재 래 식	PL	0	0	0
2	축 열 식 (연 속 운 전)	0.375 × PL	5.25 × PL	62.5	62.5
3	축 열 식 (불 연 속 운 전)	0.530 × PL	8.20 × PL	47.0	100.0

PL : Peak Cooling Load (ton)

서는 冷凍機와 저장 용량이 모두 Option 3보다 줄어드나 Option 3에서와 같이 피크 수요가 한낮 피크 타임대에서 100% 줄어들지 않는 단점이 있다.

위와 같이 蓄熱시스템의 성공여부는 전기요금의 구조에 매우 민감하다. 보통 전기요금은

두 가지 기준으로 산출하게 되는데, 하나는얼마나 많은 전기에너지를 사용했느냐에 따라 energy charge (\$/kWh), 그리고 다른 하나는 어느 시점에 얼마나 많은 전기를 요구 (demand)했느냐에 따라 demand charge (\$/kW)가 있다. 그리고 하루중 사용 시간대

에 따라 요금을 달리하는 것으로 Time-of-Use (TOU) 형태의 구조가 있다. 표 2에는 미국의 세 곳 LADWP, PG&E, SDG&E, 그리고 한국 KEPCO(한전) 등 네 곳의 전기

표 2. 전형적인 전기 요금 구조

I. Low Demand and High Energy Charge 형태			
예) LADWP			
Demand	\$ 0.30 / kW		
Energy	\$ 0.048 / kWh		
II. High Demand and High Energy Charge 형태			
예) JCP & L			
Demand	\$ 7.88/kW		
Energy	\$ 0.042/kWh		
III. Time-of-Use Charge 형태			
	On-Peak	Mid-Peak	Off-Peak
예) SCE			
Demand	\$ 5.05/kW	\$ 0.651/kW	\$ 0.00/kW
Energy	\$ 0.053/kWh	\$ 0.038/kWh	\$ 0.023/kWh
예) KEPCO			
Demand	\$ 5.05/kW	\$ 5.05/kW	\$ 5.05/kW
Energy	\$ 0.112/kWh	\$ 0.112/kWh	\$ 0.035/kWh

\* KEPCO (한전) utility 에 대한 Annual Saving 계산법 :  
 P (peak demand charge) = \$ 5.05/kW  
 E (differential energy charge) = \$ 7.70/kWh  
 AS = 6 \* (P + 1.3 \* E); \$/year

요금구조를 나열하고 비교하였다. 대체로 demand charge 가 높고 낮은 경우 그리고 TOU 구조등으로 나눌 수 있는데 한전 深夜 電力 사용시 혜택을 일종의 TOU 구조로 볼 수 있고, 蓄熱시스템의 경제성이 좋으려면 높은 demand charge와 深夜電力에 많은 혜택을주는 요금 구조라야 한다. 현재 KEPCO의 경우 심야 전력 서비스라 하여 深夜(11:00 오후~7:00 오전)에 사용하는 電力의 energy charge는 야간 사용시 \$ 0.035/kWh 그리고 주간 사용시 \$ 0.112/kWh로 부과하고 있으며 demand charge도 \$ 5.05/kW로 높은 측에 속함을 알 수 있다. 그리고 이 蓄熱冷房시스템을 더욱 확고히 성공 시키려면 韓電 側에서 이미 실시하고 있는 “深夜電力 사용 蓄熱式 溫水보일러” 시스템설치시 부여하는 혜택 등이 절실히 요청된다. 즉, 전기설치공사를 저가로 하거나, 정부 시책으로 더욱 저렴한 요금혜택을 보장하며 시스템 신뢰성 문

제를 극복하기 위한 설치 후 몇년간의 책임 보험 등을 제시하면 더욱 큰 관심과 함께 이 蓄熱式 시스템으로 인한 공동혜택을 전기 供給者와 需要者 양측이 누릴 수 있게 된다. 다음은 이러한 경제적 혜택을 주어진 상황에서 얻을 수 있는지 經濟性 研究를 통해 간단히 해석하기로 한다.

### 3. 經濟性 分析

本 報告書는 經濟性 分析을 위하여 세 가지의 設計 方向과 세 가지의 經濟的 變數를 考慮하여 比較하였다. 앞에서 언급한 바와같이 設計 方向으로는 (1)蓄熱 方式이 없는 재래식 設計 (Option 1), (2)24時間 冷凍機 연속 運轉蓄熱 方式 (Option 2), 그리고 (3)주 피이크 時間을 제외한 冷凍機 不連續運轉蓄熱 方式 (Option 3)등이며, 經濟的 變數로는 (1)冷凍機 備用 (\$/ton), (2)저장 施設備用 (\$ / ton - hr), (3)전기요금 구조 (demand charge (\$/kW), energy charge (\$/kWh)) 등이다.

그림 2에서와 같이 가정된 冷房負荷 모양에 의하면 設計 Option 1의 경우 冷凍機의 용량은 피이크 負荷인 Lton이 되어야 하나, Option 2의 경우 冷凍機의 용량은 0.375L ton으로, 그러나 Option 3의 경우 不連續 運轉이므로, 冷凍機의 용량은 0.530L ton으로 다소 커야 했다. 물론, 蓄熱 저장조의 용량도 Option 2는 5.25 ton-hr 그리고 Option 3는 8.20 ton-hr로 連續 冷凍機 運轉 人 Option 2가 冷凍機나 저장조의 용량을 더 많이 줄일수 있으므로 보통의 電機 요금 구조라면 Option 2가 더 낫은 設計 方向임을 예상 할 수 있다. 經濟的 分析을 위하여 주요 부품들의 設置 備用을 예상하여 보면, 전형적인 冷凍機의 경우, 그림 3에서 같이 가격

$$CC = K \times T + A$$

여기서 CC : 冷凍機 備用 (\$/ton)  
 K : 平均價格 상수 (\$/ton)  
 [약 300 - 400 \$/ton]

T: 冷凍機 capacity (ton)  
A: 設置 상수

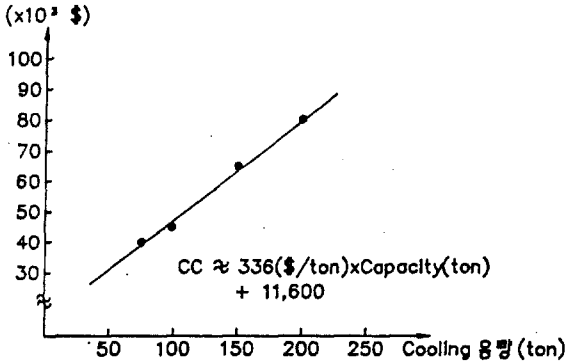


그림 3. 평균 chiller 설치가격 (\$/ton)'85

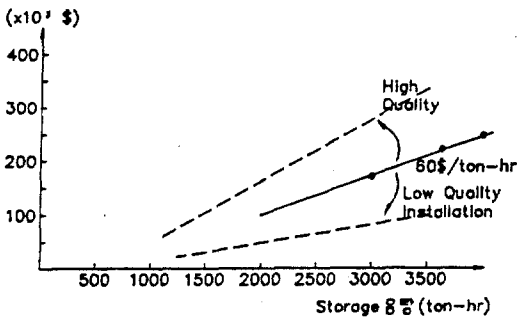


그림 4. 평균 Storage Tank 설치가격 (\$/ton-hr)'85

또한, 전형적인 저장조의 경우, 그림 4에  
에서와 같이, 價格은

$$SC = J \times TH + B$$

여기서 SC: 저장 비용 (\$/ton-hr)  
J: 平均價格 상수 (\$/ton-hr)  
[약 60 - 100 \$/ton-hr]  
TH: 저장 capacity (ton-hr)  
B: 設置 상수

蓄熱시스템으로 예상되는 운전 비용상의 년  
간 절약을 산출하는 方法은 다음과 같다. 보  
다 정확한 方法은 冷房 계절 동안의 平均기  
후 資料를 갖고 주어진 시설의 冷房負荷를 계  
산 한후 冷凍機등 冷凍 기기들의 computer  
모델을 통하여 산출된 에너지 소모량을 가지

고 전기요금 구조를 이용한 산술법이다. 이  
러한 方法으로 미 연방 政府에서 개발한 DOE -  
2 그리고 TRNSYS, LOADZ 등이 있다.  
그러나, 본 보고서에서는 요금의 형태가 주  
어지고 전형적인 負荷 形態가 가정된 상태에  
서 연간 절약 (annual saving)을 보다 간단  
히 開念의으로 구하는 方法을 제시하고자 한  
다.

전기 요금의 형태는 연간 절약에 크게 두  
가지로 영향을 주는데, 하나는 demand ch-  
arge, P (\$/kW) 이고 다른 하나는 深夜電力 사  
용에 대한 혜택이 있을 경우, 그로 인한 낮  
(on-peak) 사용 電力이 밤 (off-peak) 사용  
시 생기는 절약, E (cent / kWh)이다. 만약,  
냉방계절 6개월간, 한달에 20일간, 하루에  
6.5시간동안 1kW의 전기 소모를 한 낮에서  
한 밤으로 사용되었다면, 이러한 경우의 연간  
절약 (AS) 은

1. 연간 demand charge saving (\$) :  
 $6 \text{ months} \times P = 6P$
2. 연간 energy charge saving (\$) :  
 $6 \text{ months} \times 20 \text{ days} \times 6.5 \text{ hr} \times E / 100$   
 $= 6 \times 1.3 \times E$
3. annual saving (AS) :  
 $6P + (6 \times 1.3 \times E) = 6(P + 1.3 \times E)$

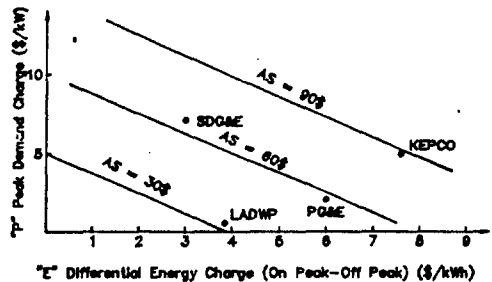


그림 5. 식야 전력으로 1kW Shifting 으로  
인한 Annual Saving (AS)  
 $AS = 6(P + 1.3 \times E)$

이 새로운 변수 "AS"는 "어느 전기 요  
금 구조에 의해 蓄熱시스템으로 1kW의 冷  
房을 on-peak 에서 off-peak 사용에 따른  
연간 절약 비용"으로 蓄熱시스템의 가능성 판  
단에 결정적인 변수이다. 그림 5에는 여러 전

기 회사에 대하여, demand charge P와 변수 E에 따른 연간 절약 AS를 나타내고 있다. 예를 들어, LADWP의 경우 AS가 약 \$32, PG & E는 약 \$57, SDG & E는 약 \$67, 그리고 한국전력공사(KEPCO)의 경우는 표 2에서의 값과 같이 P는 \$5.05/kW 그리고 E는 7.70 cent /kWh 이므로 약 \$90으로 산출된다.

蓄熱시스템의 경제성 평가 기준으로서 payback은蓄熱저장조와 줄어든 冷凍機의 용량으로 필요한 초기 비용과 운전 비용 절약에서 오는 AS로부터 구할 수 있다. 이를 위한 산출과정이 표 3에 정리되어 있다. 冷凍機 비용과 저항 비용에 의한 실질적인 초기 비용이 row 6에, 그리고 이로 인한 연간

표 3. 축열시스템 payback (년) 산출표

	units	Option 1 재래식	Option 2 축열식 (연속운전)	Option 3 축열식 (불연속운전)
1 Chiller size	ton	1	0.375	0.530
2 Chiller cost (CC) (1)×336	\$	336	126	178
3 Storage size	ton-hr	0	5.25	8.20
4 Storage cost(SC)	\$	0	5.25×SC	8.20×SC
5 Total First Cost (2)+(4)	\$	336	126+5.25×SC	178+8.20×SC
6 Actual First Cost (5)-336	\$	0	5.25×SC-210	8.20×SC-158
7 Peak tons saved	ton	0	0.625	1
8 Peak KWe saved (COP: 3.33) (7)×1.055	KWe	0	0.659	1.055
9 Annual saving (8)×AS	\$	0	0.659×AS	1.055×AS
10 Payback(년) (6)/(9)	yrs	-	$\frac{(5.25 \times SC - 210)}{0.659 \times AS}$	$\frac{(8.20 \times SC - 158)}{1.055 \times AS}$

Note: SC=Tank Cost of 1 ton-hour storage

AS=Annual saving (\$) by shifting 1 KW from on-peak to off-peak

절약비 (AS)가 row 9에 있다. 그러므로,蓄熱 시스템으로 인한 payback은 row 6 나누기 row 9가 됨을 알 수 있다. 대체로, 이 값들은 근사치로 저장조 가격에 상관없이 약 \$170/AS으로 산출할 수 있으며, 이를 이용하면 KEPCO의 요금구조의 경우 약 2년이 됨을 알 수 있다.

#### 4. 결론

最適蓄熱冷房 시스템을 선택하기 위한 경제

성 연구에서 주요 변수들로서 (1)冷房負荷 24시간 모양, (2) 설계 방향과 운전 방법, 그리고 (3) 전기요금 구조를 고려하였다. 그리고 우리나라 KEPCO의 전기요금 구조를 가지고 위의 변수들에 대해 최적 시스템의 경제성을 타진하여 보았다. 만약 전기 온수 보일러 설치시 한전에서 주는 深夜電力 혜택과 책임보상 및 보험 등의 혜택이 있을 경우 신뢰성 있는蓄熱冷房 시스템의 payback은 2년 미만으로 산출되었으며, 冷溫房 겸용 시스템으로 사용

할 경우 더 빠른 payback 을 얻을 수 있음이 추론되었다.

冷房負荷 모양의 관점에서는 하루 중 최대 부하와 최소 부하의 비가 많이 차이 나는 형태의 빌딩 등에 蓄熱시스템이 더욱 바람직하다. 그러한 빌딩들의 예는 교회, 극장, 식당, 그리고 1 교대제로 운영되는 사무실 건물 등을 들 수 있고, 바람직하지 못한 경우는 최대 부하

와 최소 부하의 비가 그다지 크지 않은 병원과 3 교대제의 공장이나 건물 등으로 볼 수 있다. 이러한 冷房負荷는 빌딩들의 열적 특성과 시간 lag 개념을 사용하여 transfer function method 를 이용한 computer software "LOADZ"와 같은 프로그램을 사용하여, 설계시의 모양상수(본 보고서의 경우 9)를 구할 수 있다.

표 4. 최적축열시스템 선택 (payback (년) 기준)

전기공급회사 (Annual Saving)	설계 방향 Option	Storage cost (\$/ton-hr)		
		40	60	80
LADWP (AS=\$35)	1	—	—	—
	2	0	4.55(년)	9.10
	3	4.60	9.05	13.49
PG & E (AS=\$60)	1	—	—	—
	2	0	2.66	5.31
	3	2.69	5.28	7.87
SDG & E (AS=\$70)	1	—	—	—
	2	0	2.28	4.55
	3	2.30	4.52	6.74
KEPCO (AS=\$90)	1	—	—	—
	2	0	1.77*	3.54
	3	1.79	3.52	5.24

Note : AS—Annual Saving by Shifting 1KW from On-Peak to Off-Peak

\* —최적 설계

蓄熱시스템으로 운전할 수 있는 방법으로는 크게 두 가지로서 그 하나는 연속 冷凍機 운전 방식(Option 2)이고 다른 하나는 불연속 冷凍機 운전방식(Option 3)으로 나누었다. 최적 蓄熱시스템 선택을 위한 표 4에서와 같이 주어진 저장 설비에 대해 연속 운전방식(Option 2)이 더 낫은 설계방식임을 알 수 있는데, 이는 冷凍機를 계속 운전하므로써 冷凍機와 저장탱크의 용량을 동시에 줄일 수 있기 때문이다. 역시 payback을 위한 그림 6에서도 연속 운전방식(continuous operation mode)이 불연속 운전방식(discrete operation mode)에 비해 주어진 저장 방식(\$60/ton-hr)과 변수 AS에 대해 약 2

년씩 더 빠른 경제적 혜택이 있음을 알 수 있다. 이와 같이 저장시설비용과 그리고 변수 AS에 영향을 주는 전기요금의 구조는 성공적인 蓄熱시스템 선택에 매우 중요하다.

결론적으로 그림 5와 같이 여러 전기 회사의 energy charge와 demand charge로 산출되는 연간 절약(AS)을 볼 때 demand charge가 크고 深夜電力의 혜택이 많은 요금구조가 바람직하며, 그림 6에서와 같이 연속 운전방식이 불연속 운전방식보다 더 바람직한 운전방식이 된다. 제어시 microcomputer based programmable controller(PC)를 이용하여 계절과 빌딩 負荷에 따라 원하는 시간과 수온에 따라 시스템을 운전할 수 있도록



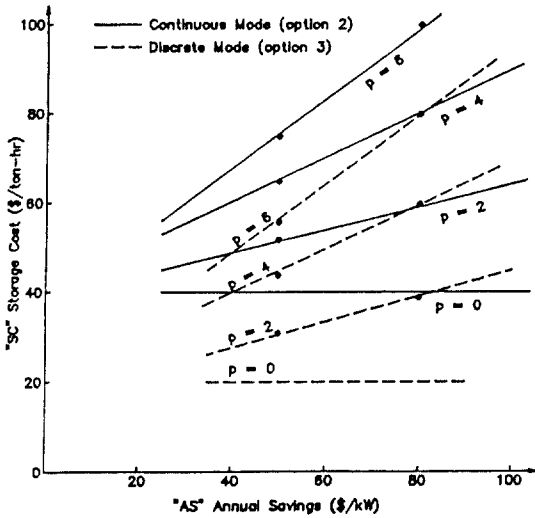


그림 6. payback ( year ), "p"

한다. 시스템 회로와 제어는 가능한한 그림 1. b 에서와 같이 간단하게 되도록 한다. 한국 전력공사 ( KEPCO ) 의 요금 구조를 볼 때 \$ 60 / ton-hr 저장탱크 설치에 대해 표 4 와 같이 연속 운전방식을 택할 경우 1.77 년의 payback 을 얻을 수 있고 냉온방 저장으로 저장시스템을 사용할 시는 물론 더 낮은 혜택을 얻을 수 있다. 그러므로 전기供給者의 입장에서 발전 용량 증가비 (약 \$ 1500 / kW ) 를 고려할 경우 위에서 열거한 여러 혜택을 제시하고, 사용자측에서는 위의 혜택을 이용하여 최적의 냉온방 蓄熱시스템을 선택할 때는 양측이 모두 경제적인 잇점을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

Thermal Energy Storage: Cooling Commercial Buildings Using Off-Peak Energy, Electric Power Research Institute, palo Alto, California, EPRI EM-22440, Proceedings, February 1982.

Survey of Thermal Energy Storage Installations in the United States and Canada, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1984.

Tamblyn, R.R., "Thermal Storage-It Saves and Saves and Saves," ASME Publication, Paper 76-WA/HT-37, August 1976.

Tamblyn, R.R., "Thermal Storage: Resistance Temperature Blending," ASHRAE Journal, pp.65-70, 1980.

Cooling Commercial Buildings with Off-peak Power, EPRI Journal, pp.6-13 October 1983.

D.P. Gatley, "Successful Thermal Storage," ASHRAE Transaction V.91, p6.1, CH-85-18 No.1, 1985.

A. Rosenfeld "The Cost-Effectiveness of Cool Storage in New Commercial Buildings," ASHRAE Transaction, V.91, pt.2, HI-85-15 No.4, 1985.

T.A. Gilbertson and R.S. Jandu "24-Story Office Tower Air-Conditioning System Employing Ice Storage-A Case History," ASHRAE Transaction, V.90, pt.1, AT-84-07 No.4 1984.

J.L. Denkmann, "Performance Analysis of a Brine-Based Ice Storage System,.. ASHRAE Transaction, V.91, pt.1, Ch-85-18 No.4, 1985.

M. Mccann, "ASHRAE Forum Prefers Ice over Water as Thermal Storage Medium," Air Conditioning, Heating Refrigeration News, p.23, September 5, 1985.

J.G. Asbury, "Cooling with Off-Peak Energy: Design Implications of Different Rate Schedules," ASHRAE Transaction, V.90, pt.1 AT-84-07 No.2, 1984.

E.I. Mackie, "Thermal Storage in Robinson Square, Vancouver, British Columbia," ASHRAE Transaction, DV-80-8 No.1, 1980.

R.T. Tamblyn, "College Park Thermal Storage Experience" ASHRAE Transaction, CH-85-20 No.1, 1985.

E.J. Lee, "Optimization of Chilled Water

Storage," South-West Conference on Thermal Science at University of Oklahoma, 1985.

R.T. Tamblyn, "Control Concepts for Thermal Storage," ASHRAE Transaction, V.91, pt.1, CH-85-01 No.1, 1985.

한국전력공사, "축열식 온수 보일러", 매일경제신문, 1988년 3월 4일, p. 11.

Korea Electric Power corporation, "On Revising Electricity Rates," The Korea Herald, 17 November 1987.