

상용빌딩 빙축열 시스템의 경제성 검토

A study on the economic analysis of ice thermal storage system in commercial building

조 성 철

S. C. Cho

롯데쇼핑(주) 건설사업본부



- 1952년생
- 호텔, 백화점, 테마파크 등 초대형 복합건물의 건축기계설비의 계획, 설계, 시공에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

국가 경제의 발전과 국민 생활수준의 향상으로 인한 에너지 소비량의 급격한 증가는 부존자원이 빈약하여 에너지의 대부분을 해외에 의존하는 우리 나라로서는 에너지의 효율적인 이용 방법에 대하여 각별히 관심을 가질 필요가 있다. 특히 최근의 관광 유통 등 3차 산업이 발전하게 됨에 따라 빌딩의 규모가 대형화되어 빌딩 냉방에 필요한 전력수요의 증가는 산업용 전력 공급을 저해할 정도로 심각해지고 있다. 다만 이러한 현상은 IMF 관리 체제의 영향으로 작년에는 일어나지 않았으나 이는 한시적인 현상일 것이고 우리 경제가 IMF 관리체제에서 벗어나 다시 제자리를 찾을 경우에는 다시 발생될 것이다.

우리 나라의 여름철 냉방부하는 작년을 제외하고는 매년 10%이상 증가되고 있는 실정이다. 이는 첨두부하의 증가를 초래하여 매년 350만kW 이상의 신규 발전설비의 증설이 필요하게 되므로 많은 건설비가 소요될 것이다. 또한 이러한 여름철 주간 냉방용 전력 수요는 연중 최고 첨두부하의 20.2%(1997년 기준)를 차지하게 되어 주야간 전력 부하 차이가 700만kW 이상으로 벌어지게 되므로 비효율적인 발전설비운전의 원인이 된다. 따라서 이러한 비효율성을 개선하기 위하여 전력회

사에서는 주간의 냉방용 첨두부하를 부하가 낮은 심야시간대로 이동(peak shift)시키는 수요관리(demand side management) 기법을 적용하여 심야시간대와 주간 첨두부하 시간대의 요금의 격차를 두어 첨두부하를 감소시키려는 노력을 하고 있다. 또한, 이에 필요한 시설비의 일부를 전력회사에서 무상으로 지원하고 세금의 일부를 감면해주는 제도도 법제화되어 있다.

현재 신축되는 대형 상용빌딩의 하절기 냉방시스템은 전기식 냉동기를 전량 설치하는 것은 법으로 허용하지 않고 있으므로 일정량 이상의 냉동기는 가스를 이용하는 흡수식 냉동기 종류가 주류를 이루었으나 빙축열 냉방시스템을 채택했을 때, 국가적인 측면에서는 하절기 전력의 주간 첨두부하를 감소시키며 사업주 측면에서는 에너지 비용 절감이 가능할 뿐만 아니라 최근 지구온난화 등의 문제도 해결하는 환경 친화적인 시스템이 될 수 있으므로 그 경제성 확보가 가능하다면 적극 검토할 만한 가치가 있을 것이다.

2. 상용빌딩 빙축열 시스템의 필요성

2.1 국가적 측면

표 1에서 보는 바와 같이 부존자원이 거의 없어 에너지의 96.8%(1995년 기준)를 외국으로부터 수

입에 의존하는 우리 나라로서는 표 2에서 보듯 1990년 이후 매년 10%정도의 에너지 소비증가를 나타내고 있어 선진국의 에너지 소비 증가율 1.7~2.5%에 비해 현저하게 높은 실정이다. 따라서 정부는 강도 높은 에너지 절약 시책의 추진과 에너지 이용효율 향상방안을 강구하여 나아갈 것으로 기대된다.

표 1 에너지 해외 의존도 (1995년도 기준)

	한국	미국	일본	프랑스
해외의존도(%)	96.8	26.5	85.6	58.6

표 2 주요국 에너지 소비증가율 (단위 : %)

구 분	1990년	1992년	1994년	1995년
한 국	14.1	12.0	8.2	9.6
일 본	4.9	1.7	4.9	2.5
미 국	0.2	1.6	2.1	1.7
프 랑 스	2.7	0.5	-2.4	2.6

전력의 수요는 계절별, 요일별, 시간별로 크기가 매우 다양하게 변화하며 산업의 발전과 생활수준의 향상에 따라 시간별 계절별의 차이는 더욱 커진다. 따라서 생활수준의 향상은 냉방용 전력 수요증대를 불러오게 되어 표 3과 같이 1997년도 냉방용 전력수요는 723만kw로 전체 최대수요의 20.2%를 차지하고 있으며 2010년에는 냉방용 전력수요가 2,409만kw 정도로 예상되어 최대수요의 34% 정도까지 차지할 것으로 예상된다. 이러한 냉방용 전력수요는 신규 발전설비의 건설을 필요로 할뿐만 아니라 주야간 전력수요 차이로 인하여 발전설비의 비효율적인 운전을 초래하게 된다.

특히 전체 냉방용 전력수요중 상업용 65%, 가

정용 20%, 산업용 15% 정도이므로 상업용이 월등히 높은 비율을 차지하고 있다. 이는 호텔, 백화점, 병원에서 고객에 대한 서비스의 질을 향상하기 위해 냉방부하는 점점 증가되고 있고, 사무자동화나 인텔리гент 시스템 등으로 인하여 사무건물의 내부 발열량이 증대되고 있기 때문이다. 따라서 냉방용 전력수요 중에서 그 비율이 큰 상업용 빌딩에 빙축열 공조 시스템을 채택했을 경우 다음과 같은 거시적인 측면에서의 이점이 있을 것으로 예상된다.

- (1) 신규 발전소 건설 억제로 발전소 건설비 감소
- (2) 전력부하 평준화에 따른 고효율 운전으로 발전 원가 저감
- (3) 발전설비 부하율 향상에 따른 에너지 절약으로 에너지 수입 비용 저감
- (4) 에너지 절약으로 지구 온난화 협약에 의한 탄소세 등에 대응용이
- (5) 고효율 운전으로 환경보호
- (6) 냉동기의 용량이 소형화되므로 CFC의 사용량 감소

2.2 기업주 측면

전력회사의 장기전력 수급계획에 의하면 2010년에는 원자력과 석탄화력 등 기저설비용량이 전체 설비용량의 60.4%를 차지하게 되므로 기저부하조성 없이 기저설비의 안정운전이 곤란하므로 심야수요를 개발하기 위하여 전력회사 및 정부로부터 지속적인 지원으로 있을 것으로 예측된다.

- (1) 값싼 심야 전력을 이용하므로 냉방설비 운전비 절감

하절기 최대부하시간대의 전기요금(일반용 고압 A-선택 1, 1999년 3월 1일 현재)이 150.11원/kWh으로 심야전기요금은 26.20원/kWh 이므로 무려

표 3 냉방용 전력 수요의 연도별 현황

(전력단위 : 만kw)

구 분	1990년	1991년	1992년	1993년	1994년	1995년	1996년
최 대 수 요	1,912	2,044	2,170	2,670	2,988	3,260	3,585
냉 방 수 요	329	324	228	519	579	694	723
냉방용 비율(%)	17.2	15.9	10.5	19.4	19.4	21.2	20.2

5.7배의 차이가 있다. 따라서 심야전력을 이용하여 빙축열 냉방 시스템을 가동시키면 최대 5.7배의 싸값으로 냉수를 제조하게 되어 냉방 운전비를 절감할 수 있다.

(2) 정격 연속운전에 의한 냉동기 효율증대로 운전비용 절감

대기온도가 낮은 심야시간대에 냉동기를 연속적으로 정격운전 하므로 효율이 향상되어 운전비용의 절감이 가능하다.

(3) 수전설비 축소 및 계약전력 감소에 따른 비용 절감

심야전력에 소요되는 전력은 일반전력과 별도로 구성되므로 용량초과로 특고압(154kV)이 인입되어야 하는 건물에 고압(22.9kV)을 인입할 수 있어 특고압 인입 비용 절감이 가능하며, 계약전력에서도 심야전력은 제외되므로 수전비용이 절감된다.

(4) 저온공조 시스템 채택시 배관 및 덕트설비비 감소

일반공조 시스템의 냉수 공급온도는 5~7℃ 정도 이어서 실내 급기 온도는 13~16℃이나 빙축열 시스템을 채택할 경우 냉수 공급온도가 일반공조 시스템의 냉수공급온도보다 낮은 온도로 공급이 가능하므로 일반공조시스템의 실내 급기 온도보다

훨씬 낮은 7~10℃가 가능하게 되어 배관의 구경 및 덕트의 크기가 작게되므로 설비비가 감소될 수 있다.

(5) 정격 연속운전으로 인한 시스템 안정

냉동기와 부속설비가 간헐 부하운전이 아닌 정격 연속운전으로 시스템이 안정되어 고장의 빈도가 적다.

(6) 냉방 신뢰성 향상

축열조가 구비 되어 냉수의 제조와 사용시간이 다르므로 냉동기 고장 시 수리할 시간적 여유가 있어 안정적으로 냉방공급이 가능하다.

(7) 부하증가에 대처가 용이

3. 빙축열 시스템의 개요

3.1 빙축열 시스템의 정의

빙축열 시스템은 야간에 얼음을 생성 저장하였다가 주간에 이를 녹여서 냉방에 이용하는 방식이다. 물이 얼음으로 변할 때나 녹을 때 발생하는 잠열을 이용하여 냉방시스템에 필요한 수열원을 만든다. 그림 1에서 보는 바와 같이 통상 물 1kg이 1℃변화할 때 1kcal의 열량이 축열된다. 일반적으로 수축열 냉방 시스템에서는 7~15℃의 온도차를

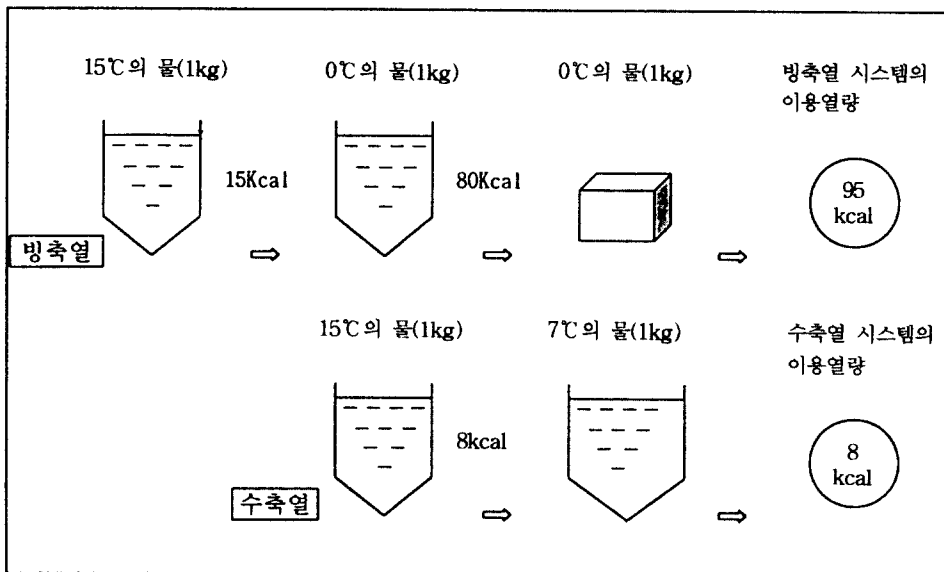


그림 1 빙축열과 수축열의 비교

이용하여 냉방하므로 축열조에서 8kcal의 열량이 축열된다. 그러나 빙축열 시스템의 경우에는 15℃의 물이 0℃까지 변하는데 15kcal가 축열 되고 0℃의 물이 얼음으로 변하는 축열 잠열이 80kcal를 합하면 95kcal의 열량이 축열된다. 따라서 수축열에 비해 약 12배의 축열 능력이 있다.

3.2 빙축열 시스템의 종류

빙축열시스템은 그 분류방식에 따라 여러 가지로 나누어 볼 수 있는데, 크게 나누면 빙축열시스템과, 잠열축열시스템으로 나눌 수 있다. 그러나 잠열축열시스템은 일종의 수축열 시스템이므로 본고에서는 언급을 생략하기로 한다. 또한 설비규모에 따라 분류하면 주간에 필요한 부하를 야간에 전량 축열시키는 전축열 방식과 일부분만 축열하는 부분축열 방식이 있다. 부분축열과 전축열중 어느 방식을 선정할 것인가는 건물의 열부하 특성에 따라 경제성을 검토한 후에 선정되어야 할 것이다. 그 다음으로 분류한다면 제빙과정상에서 분류되는 정적 제빙형(static type)과 동적 제빙형(dynamic type)로 크게 나눌 수 있다.

(1) 정적 제빙형(static type)

축열조내의 열교환기 표면 또는 용기(capsule) 속에 제빙된 얼음이 생성되어 움직이지 않는 상태에서 저장되는 방식을 말하며 관외착빙형과 용기형 등으로 분류될 수 있다.

1) 관외 착빙형(ice on coil type)

해빙 방법에 따라 외용형과 내용형이 있다. 그림 2는 관외 착빙형 빙축열 시스템의 개념도이다. 축열조내에 강관, 동관 그리고 PE관 등의 재질로 된 코일을 설치하고 조내에 물을 채워 코일의 내부에는 브라인(brine) 또는 냉매를 순환시켜 코일

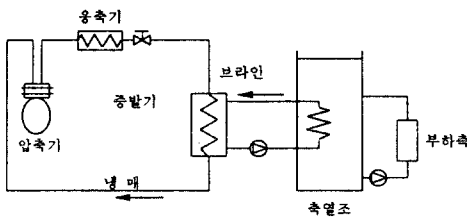


그림 2 관외착빙형 빙축열시스템

주위에 착빙시켜 축열후 해빙시 조내의 물을 순환시키거나 코일 내부의 브라인을 순환시켜 이용하는 공조방식이다. 축열조의 모양은 공급업체에 따라 모양과 용량이 다르며 대개 직육면체나 원통형의 형상을 하고 있으며 조의 수량은 수 개에서 수십 개를 조합하여 설치한다. 이 방식은 과냉각된 얼음이 만들어지지 않도록 얼음의 두께를 정하는 것이 중요한 기술이다.

2) 용기형(capsule type)

그림 3은 용기형 빙축열 시스템의 개념도이다. 이 방식은 원형 또는 판형의 형상을 가진, PE를 이용한 플라스틱 용기내에 물과 미량의 조해제를 넣고 밀폐한 후 축열조내에 다량 충전한 후 조내부에 냉각된 브라인을 순환시켜 용기내의 얼음을 얼린 후 해빙시에는 브라인을 순환시켜 용기내 얼음을 녹여 이용하는 방식이다. 0℃에서 얼기 시작하도록 과냉각을 방지하는 기술이 중요하며 용기는 얼음의 부피팽창을 수용하는 구조와 외부로 열전달을 촉진하는 형상을 가져야한다. 이 방식의 축열조 형상은 현장사정에 대응이 가능하고 냉방 부하 변동시 용기의 수량조정으로 간단하게 대응할 수 있는 장점을 가지고 있으나 용기가 파손되었을 경우 시스템에 심각한 타격을 줄 수 있으므로 용기가 파손되지 않는 구조로 하여야 하며 축냉시 용기가 부력에 의해 상승하는 것을 방지하는 것이 중요하다.

(2) 동적 제빙형(dynamic type)

연속적이고 간헐적으로 얼음을 생성하는 방식으로 빙편형과 슬러리방식이 있다.

1) 빙편형(harvest type)

이 방식은 미국의 Turbo사에서 처음 개발된 것으로 축열조 상부의 판형 증발기에 냉매가 분사되

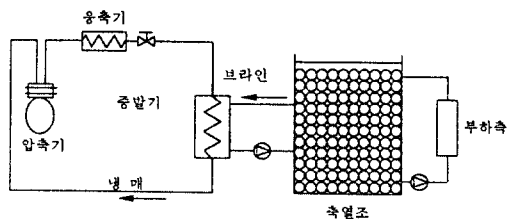


그림 3 용기형 빙축열 시스템

어 판외부의 물을 얼리고 다시 냉동 사이클을 역회전시켜 hot gas가 판형 증발기에 흐르게 되면 증발기 외부에 얇게 얼은 얼음을 녹여 증발판에서 떨어뜨려 축열조 내부로 모아 축열 시키는 방식이다. 얇은 얼음을 만드므로 제빙효율도 좋고 해빙효율도 좋으나 증발판에서 얼음을 분리시킬 때 hot gas를 이용하므로 냉동기의 COP가 낮아져 전력의 소모가 많을 수 있다. 그림 4는 빙편형 빙축열 시스템의 개념도이다.

2) 슬러리형(slurry type)

이 방식은 7%정도의 에탄올이나 프로필렌글리콜 등의 첨가제를 포함한 물이 순환하며 증발판에 얼음이 형성되면 연속적으로 회전하는 스크래퍼로 얼음을 긁어내려 슬러리를 만드는 증발판형과 -2℃정도의 과냉각수를 열교환기에서 제조한 후 빙축열조로 떨어지는 기계적 충동에 의해 미세한 얼음으로 변하는 과냉각수형, 그리고 물의 삼중점 이하로 챔버내를 감압시켜 챔버내부에 있는 물의 증발에 의해 얼음결정을 얻는 진공 챔버형으로 분류된다. 본고에서는 과냉각수형 및 진공형은 아직 국내에 도입되지 않았으므로 설명을 생략한다.

증발판형 slurry 제빙방식은 그림 5에서 보는 바와 같이 시스템이 냉동기, 제빙기, 축열조 그리고 순환펌프 등으로 구성되어 있으며 생성된 slurry

ice 내 얼음의 결정은 0.01~0.1mm로 미세하여 기존 배관관로 및 기기에 직접 송출할 수 있어 배관의 관경이 축소될 수 있다. 다만 축열조 용량이 크고 수입품으로 고가이며 직접냉각방식 채택 시 관내 얼음층 형성에 의한 관로폐쇄 현상이 우려되므로 이에 대한 대응이 필요하다.

3.3 빙축열 시스템의 설치 현황

1990년도부터 도입되기 시작한 빙축열 시스템은 1990년 논현성당을 시작으로 초년도에는 세 곳의 건물에서 도입되었다. 1991년에 들어서서 전력회사의 지방지점이 우선적으로 이 시스템을 도입하기 시작하여 점점 민간 상용빌딩 및 종교시설로 확산되었다. 그후 전력회사가 빙축열 시스템 설치비의 일부를 무상으로 보상하기 시작하자 1992년부터는 일반 및 종교시설 건물에 도입이 활발해지기 시작하였다. 특히 1993년에는 빙축열 시스템이 법적으로 가스냉방시스템과 함께 의무설치가 고시되고, 전력회사의 설치비 무상 보상금 상한액이 1억으로 상향 조정 및 건축기계설비설계자의 설계장려금 상향 지급으로 이 시스템을 도입하는 건물이 점점 많아지게 되었다. 최근 1998년 8월 1일부터 전력회사의 설치비 무상 보상금의 상한액을 철폐하고 설계장려금이 500만원으로 상향조정되는 등 경제성 확보에 유리한 조건이 형성되자 주간 냉방부하가 상대적으로 큰 백화점과 같은 대형 상용건물에서도 이 시스템의 도입을 적극적으로 검토하기 시작하였다. 또한 상용 건물중 병원이나 호텔과 같이 야간에도 냉방부하가 발생하는 건물에 빙축열 시스템을 설치할 경우 심야시간대의 냉동기 운전도 심야전력요금을 적용시킴으로서 상대적으로 경제성 확보에 불리했던 조건이 개선되자 도입이 활발해지기 시작했다. 표 4는 1994년과 1996년 사이에 설치된 건물 규모별 용도별 설치현황이다.

빙축열 시스템을 설치하여 세계감면, 무상 보상금 등 각종 혜택을 받으려면 전력회사에서 인정하는 시스템을 설치하여야 한다. 현재 국내에는 독자자적으로 개발하거나 또는 외국과 기술 협력하여 시스템을 전력회사로부터 인정받은 13개 회사가 시스템을 공급하고 있다.

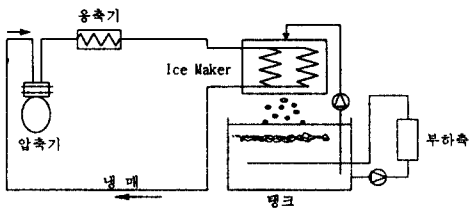


그림 4 빙편형 빙축열 시스템

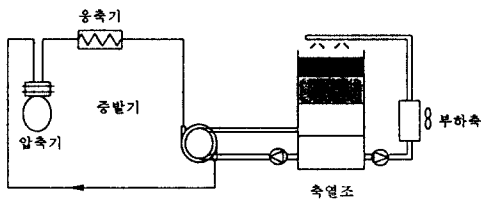


그림 5 증발판형 슬러리 빙축열 시스템(직접 냉각식)

표 4 건물용도별 규모별 설치 현황 (1994년부터 1996년사이)

(단위: 개소)

용도	1,000평미만	5,000평미만	10,000평미만	10,000평초과	계
업무용	27	26	9	20	82
백화점, 상가	3	11	8	21	43
호텔, 숙박시설, 목욕장, 스포츠	2	11	4	5	22
은행, 금융기관	-	10	1	8	19
관공서	2	9	4	6	21
병원, 학교	3	12	1	4	20
연구소, 연수원	1	9	-	2	12
종교시설	4	7	1	2	14
계	42	95	28	68	233

4. 경제성 분석(economic analysis)

상용빌딩 빙축열 시스템의 경제성 분석은 신축 건물의 경우와 기존건물보수의 경우가 다르게 된다. 즉 신축건물의 경우에는 건축법 시행령 제87조 및 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제23조에 의거 건물냉방에 필요한 냉열원설비의 60%이상은 가스냉방방식이거나 냉축열설비를 설치하여야 하는 법적 의무설치규정에 따라야 하므로 경제성 분석도 가스냉방 방식과 비교하여야 하며, 기존건물의 경우에는 철거되는 열원방식이 전기식일 경우에는 전기식 냉동기와 비교하여야 하고 기타 방식의 냉동기가 설치되었을 경우에는 기타 방식과 비교하여야 한다. 기존건물보수의 경우에는 전기식의 설치가 주종을 이루고 있으므로 경제성 확보에는 그다지 문제가 되지 않으므로 본고에서는 신축 건물의 경우를 기준하여 검토하기로 한다.

즉, 신축건물의 냉열원방식의 채택에 있어서 가스식 냉열원설비대신에 빙축열 시스템을 채택으로 인한 설비투자비 등의 증가를 가스료 및 전기료 등의 연간운전경비 이득으로 보상받을 수 있는가를 분석, 평가하는 것이다.

(1) 경제성분석 순서

일반적으로 경제성분석은 여러 가지의 선택중에서 어느 것이 가장 적절한가를 결정하기 위하여 수행한다. 사전에 조사하여야할 기본조건으로는 건축주(소유주)의 지침, 관련 계획의 종류, 현장여

건, 건축관련 법규, 조례, 검토대상의 자료수집, 및 공공요금 등이 있다.

경제성분석을 수행하기 위하여는 다음과 같은 과정을 거쳐야 할 것이다.

1) 초기항목의 평가

경제성분석을 할 필요가 있는 것인가를 초기에 평가하는 것으로서 설치공간의 유무, 연간 에너지 비용, 일일최대부하, 건물의 부하패턴 등에 따라서 평가된다.

2) 관련기본정보수집

초기항목평가에서 경제성분석을 할 가치가 있다고 판단되면 다음 단계로 전력요금체계조사, 가스등 연료비조사, 설치장소의 규제나 권장사항, 건물의 시간대별 냉열부하, 건축주의 의향 등을 수집하여야 한다.

3) 건물부하계산

월별, 시간대별 공조부하를 모델 건물을 선정하고 운전실적 등을 조사하여 검토하려는 건물의 특성을 고려하여 냉열원부하를 산정한다.

4) 빙축열 시스템 조사

전력회사로부터 인증받은 공급업체의 시스템별로 조사하여 장단점, 투자비, 하자발생상황 등을 조사하여 검토대상을 다수 선정한다.

5) 운전모드와 설비규모의 선정

설비용량을 건물부하에 의거 개략 선정하고 운전모드를 작성한다.

6) 에너지소비와 수요계산

냉열원설비로 인한 연간 에너지 소비량과 소요량을 건물부하추정에서 산출된 냉동기 운전시간에 의해 산출한다.

7) 투자비 산정

각 시스템별 투자비를 산정한다. 여기에서 주의할 사항은 초기투자비에서 전력회사의 무상지원금과 세제감면혜택으로 회수되는 비용은 감해야 한다.

8) 연간 운전경비산정

변동경비와 고정경비를 산정한다.

9) 부수적 이익의 가치를 결정

주목적 이외의 가치를 금액으로 환산하거나 또는 기타의 방법으로 검토한다.

10) 경제성 분석수행

(2) 경제성분석기법

경제성분석기법에는 여러 가지 기법이 있으나 자본회수기간법을 사용하기로 한다. 이 기법은 보통 이율이 0일 때 투자에 든 초기비용을 그 투자에서 나오는 순현금 흐름을 회수하는 데 필요한 기간을 의미한다. 투자안을 회수기간으로 비교할 때 대체로 회수기간이 짧은 안이 긴 안보다 더 바람직하다. 회수기간이 짧다는 것은 투자에 대한 수입을 충분히 빨리 얻기 시작함으로써 초기투자비를 되도록 빨리 회수할 수 있음을 의미하는 것이다. 따라서 짧은 회수기간을 갖는 투자안이 긴 회수기간을 갖는 투자안에 비해서 자금 회전율이 높은 것으로 간주된다. 이 방법의 장점으로는 자본회수기간을 쉽게 계산할 수 있고 이해도 쉬우며 투자자본의 회수자금을 현금유입에 계상하여 자금계획에 활용할 수도 있다. 다만, 자본회수기간이 경과된 후에도 현금유입이 이루어지고 잔존가치도 있을 수 있으므로 정확한 투자보수율을 산정하기 곤란하며 자금의 시간가치(이율)을 등한시 하여 현재 가치에 의한 자본의 투자보수율을 다시 환산하여야 하는 단점이 있다.

(3) 투자비

빙축열 시스템을 채택함에 있어 소요되는 투자

비로, 비교상대가 되는 열원설비시스템에 소요되는 비용을 제외한 추가 투자비를 말한다. 즉 기계장치비, 전기공사비, 건축공사비 등을 말하며 전력회사 무상지원금 및 세제감면혜택으로 회수되는 비용은 제외하고 계산한다.

1) 기계장치비

기존방식 기계장치비와 빙축열 시스템방식 기계장치비의 차이를 초기투자비로 계산한다. 기존방식과 빙축열 시스템방식에 공통으로 투자되는 부분은 기계장치비에서 배제시키고 계산한다.

2) 수전설비비

각 방식별로 공통으로 필요한 설비비를 제외한 수전설비 투자비를 계상하며 비교방식과 빙축열 시스템방식의 차이에 의한 투자비를 초기투자비로 계산한다.

3) 건축비

빙축열 시스템 설치에 필요한 건축면적에 해당하는 건축비를 계상하며 공통으로 사용되는 건축면적은 계상할 필요가 없다.

4) 전력회사 무상 지원금

빙축열 시스템을 채택하여 주간 첨두부하가 감소되므로 발전기의 신규건설억제에 도움이 되므로 수용가가 빙축열 시스템을 설치하도록 장려하기 위해 빙축열 시스템의 경제성 확보 개선을 목적으로 전력회사가 무상으로 지원하는 금액이므로 실투자비를 계산할 경우는 총투자비에서 감액하여야 한다. 지원금액은 1998년 8월 1일 이후 신청할 경우 주간첨두부하의 감소전력에 따라 지원된다.

$$\text{감소전력(kw)} = 1.25 * \text{냉방에 이용 가능한 축열조 저장에너지 kW} / (\text{기타 시간중 축열조 방냉시간 h} * 3024\text{kcal/kwh})$$

다음 표 5는 전력회사의 감소전력에 따른 설비 무상 지원금 산정기준이다.

5) 세제감면혜택 등 정부 지원책

표 5 빙축열설비 무상지원금 산정기준

감 소 전 력	처음200kW까지	201~400kW	400kW 초과	비 고
무상 지원금	480천원	420천원	350천원	상한금액 없음

정부에서 지원하는 지원책으로 투자 당해연도의 소득세(법인세)를 가스냉방의 경우에는 소요되는 투자비(열원설비에 국한)의 5% 감면 받고 빙축열 시스템의 경우에는 소요되는 투자비(전용배관, 펌프, 열교환기, 냉동시스템 및 축열조)의 5%를 감면 받거나, 또는 투자액(법인세 감면시의 투자액 계산과 동일)의 15%에 상당하는 금액을 손금에 삽입할 수 있다

(4) 고정경비

열원설비가동시간 또는 냉수제조수량과 관계없이 매년 소요되는 비용으로서 감가상각비, 유지관리비가 있다.

1) 감가상각비

감가상각이란 가치의 감소로 정의되어진다. 경제성분석과 관련하여 정의하면 시장가치나 소유자에 대한 가치의 감소라고 정의할 수 있다. 감가상각의 계산에서 고려되어야 할 네 가지 요소가 있다. 즉 감가상각을 하여야 하는 자산의 초기가치, 내구년한, 내구년한 종료 후 자산의 잔존가치, 그리고 이율 등이 감가상각을 계산하는 데 필요한 요소이다. 감가상각의 방식에는 여러 가지 방법중에 본고에서는 정율법을 사용하기로 한다.

$$R = (P - S) \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

여기서,

R : 연간 감가상각액

P : 초기설비비

i : 이율(연 9%기준)

n : 내구년한(건축물 50년, 기계장비 15년, 전 기장비 30년)

S : 잔존가치(초기투자비의 10%)

2) 유지관리비

연간 유지관리에 필요한 보수비용으로서 통상 기계장비투자비의 1~3%를 계상한다.

3) 인건비

빙축열 시스템이나 가스냉방 시스템의 운전에 필요한 인건비는 빙축열 시스템이 비록 야간에 운전이 되지만 야간당직 근무자가 운전을 하는 조건으로 계상하지 않는다.

(5) 변동비용

열원설비가동에 필요한 소요 연간경비로서 연료비(가스료), 전력비, 용수비가 있다.

1) 연료비(가스료)

가스냉방 시스템에 필요한 도시가스 사용료로서 연간 냉방부하에 따라 냉방열원설비 가동시간에 의해 결정된다. 도시가스 공급자에 따라 사용료가 사용요금이 달라진다.

만약, 도시가스 공급지역이 아닌 경우에는 경유나 LPG 사용요금으로 산정하여야 한다.

2) 전력비

냉열원설비 가동에 필요한 전력사용량에 대한 경비이다 냉방부하에 따라 가스나 빙축열 시스템 우선 가동으로 산정하여 계상하여야 한다.

3) 용수료

냉동기를 가동하기 위하여 필요한 냉각수의 보충수에 소요되는 경비로 수도요금, 하수도요금 및 약품사용료가 포함된다.

5. 사례분석(백화점을 중심으로)

최근 국내 유통시장의 개방과 국민 생활의식의 변화로 유통산업은 발전을 거듭하여 쇼핑장소가 재래식 시장에서 대형 백화점으로 급속히 이동하고 있다. 따라서 초대형 백화점 건물이 서울의 각 지역 뿐만 아니라 지방도시에도 속속 들어서고 있다. 백화점은 그 특성상 밀폐된 공간 내에서 조명 등 내부 발열량이 많이 발생되어 일반 사무용 빌딩보다 3배 정도의 냉방부하가 크기 때문에 열원설비방식 선정에 따라 연간경비 지출의 대소가 좌우하게 된다. 따라서 사업주 측면에서 빙축열 시스템과 가스냉방 시스템의 경제성 분석을 신중히 검토하여 냉열원설비의 방식을 결정하여야 할 것이다.

(1) 검토 대상 개요

건물용도	: 백화점
연면적	: 25,000평
주차장면적	: 7,000평
설치장소	: 수도권
건물의 냉동기 용량	: 총 4,000USRT
검토대상 냉열원	:

- 1안 - 흡수식 냉동기 1,000USRT 4대 설치
- 2안 - 흡수식 냉동기 1,200USRT 2대 설치
터보 냉동기 800USRT 2대 설치
- 3안 - 빙축열 냉동기 620USRT 4대 설치
- 4안 - 빙축열 냉동기 505USRT 3대 설치
터보 냉동기 800USRT 2대 설치

(2) 건물부하산정 및 에너지사용비용 산정

1) 추정 전부하 운전시간

표 6은 검토대상건물의 냉방부하 패턴에 따른 예상 냉동기 운전시간을 나타낸 것으로서 서울지역의 한 백화점을 모델로 선정하여 추정하였다. 모델로 선정된 백화점의 공조방식은 전공기방식(all air system)과 FCU 방식을 채택하였으므로 중간기 엔탈피 콘트롤이 불가능한 부분이 있어 중간기의 냉동기 가동시간이 다소 길게 되어있다.

2) 월간 냉방 사용량 및 냉방 운전시간 산출

가스사용량과 전력사용량을 산출하기 위하여 표 6에 따른 각 비교대상의 냉동기 가동모드를 표 7, 표 8, 표 9 및 표 10에 표시하였다.

3) 연간 냉방 운전비

각 시스템별 냉방사용량 및 월간운전시간에 의해 각 시스템별 연간 가스사용비용 및 전기사용비용을 표 11에서 산정하였다.

(3) 초기투자비

경제성 분석 대상인 4가지의 투자비를 산정함에 있어서 4방식에 공히 필요한 투자비는 제외한 순투자비를 산출한다.

1) 기계장치비

다음 표 12는 각방식별 투자비를 나타낸다.

2) 수전설비비

각 방식별 수전설비비 소요용량 및 공동을 제외한 소요금액을 표 13에 나타내었다.

3) 건축공사비

빙축열 시스템을 선정하였을 경우는 가스냉방 시스템에 비하여 축열조 설치 공간이 필요하므로 추가로 필요한 면적에 대한 건축공사비만 산출한다.

㉠ (3안) 빙축열 100%선정시

120평 추가소요 --- 120,000천원

표 6 검토건물의 추정 전부하 운전시간

월	운전시간(hrs)			냉방부하량 (RT-hr)
	중부하	최대부하	계	
4	7	20	27	108,000
5	32	93	125	500,000
6	88	127	215	860,000
7	93	135	228	912,000
8	109	156	265	1,060,000
9	58	85	143	572,000
10	25	74	99	396,000
11	3	11	14	56,000
계	415	701	1,116	4,464,000

주: L 백화점 C 점의 운전실적

표 7 (1안) 흡수식 냉동기 100% 경우 냉동기 운전 시간

월 별	운전시간		냉방부하 (RT-h)	흡수식냉동기 (단위: hr)		
	중부하	최대부하			중간	최대
4	7	20	108,000	27	중간 7 최대 20	
5	32	93	500,000	125	중간 32 최대 93	
6	88	127	860,000	215	중간 88 최대 127	
7	93	135	912,000	228	중간 93 최대 135	
8	109	156	1,060,000	265	중간 109 최대 156	
9	58	85	572,000	143	중간 58 최대 85	
10	25	74	396,000	99	중간 25 최대 74	
11	3	11	56,000	14	중간 3 최대 11	
계	415	701	4,464,000	1,116	중간 415 최대 701	

㉡ (4안) 빙축열 60%선정시

70평 추가소요 --- 70,000천원

4) 전력회사 무상 지원금

표 8 (2안) 흡수식 냉동기60% + 터보 냉동기 40%의 경우 냉동기 운전시간

월 별	운전시간		냉방부하 (RT-H)	흡수식냉동기 (단위: hr)		터보냉동기 (단위: hr)	
	중부하	최대부하		중간	최대	중간	최대
4	14	20	108,000	34	14	20	중간 최대 20
5	64	93	500,000	157	64	93	중간
				최대 93	최대 93		
6	176	127	860,000	303	176	127	중간
				최대 127	최대 127		
7	186	135	912,000	321	186	135	중간
				최대 135	최대 135		
8	218	156	1,060,000	374	218	156	중간
				최대 156	최대 156		
9	116	85	572,000	201	116	85	중간
				최대 85	최대 85		
10	50	74	396,000	124	50	74	중간
				최대 74	최대 74		
11	6	11	56,000	17	6	11	중간
				최대 11	최대 11		
계	830	701	4,464,000	1,531	830	701	중간 최대 701

다음 표 14는 전력회사가 1998년 8월 1일부터 시행하고 있는 무상지원금 내용이다.

5) 세제감면혜택

조세감면규제법에 의거 소득세(법인세)공제 또는 손금산입 중 법인세감면 선택할 경우 다음 표 15와 같이 투자 당해년도의 법인세에서 공제 받을 수 있다.

(4) 고정경비

1) 감가상각비(자본비)

각 비교대상 시스템에 대한 감가상각비를 각각의 내용년수에 따라 계상한다.(표 16참조) 단 기준이자율은 9%로 한다.

2) 유지비

시스템을 운전하기 위하여 필요한 연간 보수비용으로 초기투자비의 1%를 계상한다. 다음 표 17은 각 시스템별 유지관리비 현황이다.

(5) 변동경비

표 9 (3안) 빙축열 시스템 100%의 경우 냉동기 운전시간

월 별	운전시간		냉방부하 (RT-H)	빙축열(단위: hr)		터보냉동기 (단위: hr)	
	중부하	최대		축열조1600	냉동기2400		
4	7	20	108,000	67	*27	중간 최대	
5	32	93	500,000	310	*125 2	93	중간
					63		최대
6	88	127	860,000	300	*215 158	127	중간
					187		최대
7	93	135	912,000	310	*228 173	135	중간
					201		최대
8	109	156	1,060,000	310	*265 235	156	중간
					250		최대
9	58	85	572,000	300	*143 38	85	중간
					91		최대
10	25	74	396,000	247	*99	74	중간
							최대
11	3	11	56,000	35	*14	11	중간
							최대
계	415	701	4,464,000	1,880	1,116 607		중간 최대 861

주: * 표시는 브라인 펌프만 운전하는 시간

표 10 (4안) 빙축열 시스템 60% + 터보냉동기 40%의 경우 냉동기 운전시간

월 별	운전시간		냉방부하 (RT-H)	빙축열(단위: hr)		터보냉동기 (단위: hr)	
	중부하	최대		축열조960	냉동기1440		
4	7	20	108,000	112.5	*27	중간 최대	
5	32	93	500,000	310	*125 37	93	중간
					81		최대 93
6	88	127	860,000	300	*215 256	127	중간
					236		최대 127
7	93	135	912,000	310	*228 277	135	중간
					252		최대 135
8	109	156	1,060,000	310	*265 356	156	중간
					311		최대 156
9	58	85	572,000	300	*143 103	85	중간
					123		최대 85
10	25	74	396,000	310	*99 85	74	중간
					92		최대
11	3	11	56,000	58.3	*14	11	중간
							최대
계	415	701	4,464,000	1,880	*1,116 1,097		중간 최대 596

주: * 표시는 브라인 펌프만 운전하는 시간

표 11 각방식별 연간 운전비(가스료 및 전력요금)

구 분		가스식		빙축열식	
		(1안)흡수식 냉동기(100%)		(3안) 빙축열시스템(100%)	
전기요금종류		일반용 고압 A		일반용 고압 A + 심야전력(을)	
계약용량		흡수식	899.2kW	빙축열	2,546kW
전기요금	기본요금	흡수식	58,268,160원/년	빙축열	39,827,587원/년
	사용요금	흡수식	101,242,996원/년	빙축열	279,051,283원/년
	계		159,511,156원/년		318,878,870원/년
가스요금			393,612,296원/년		
합 계			553,123,452원/년		318,878,870원/년
구 분		가스식		빙축열식	
		(2안)흡수식냉동기(60%)+터보(40%)		(4안) 빙축열시스템(60%)+터보(40%)	
전기요금종류		일반용 고압 A		일반용 고압 A + 심야전력(을)	
계약용량		흡수식	525.2kW	빙축열	1,593kW
		터 보	1,376.0kW	터 보	1,376kW
전기요금	기본요금	흡수식	34,032,960원/년	빙축열	27,293,825원/년
		터 보	89,164,800원/년	터 보	89,164,800원/년
	사용요금	흡수식	75,823,649원/년	빙축열	212,290,882원/년
		터 보	111,199,514원/년	터 보	96,782,474원/년
계		310,220,923원/년		425,531,981원/년	
가스요금			321,124,067원/년		
합 계			631,344,990원/년		425,531,981원/년

주: 연간 운전비는 냉방설비중 냉열원 기기분 운전비만 비교

1) 전기료 및 가스료
1999년 3월 현재 전기요금 및 가스요금은 다음과 같다.

- ㉠ 전기요금
(일반용 고압 A의 선택 1)
기본요금 - 5,400원/kW
사용요금 -
봄, 가을 (경부하 : 41.80원, 중간부하 : 65.10원, 최대부하 : 87.40원)
여름 (경부하 : 41.80원, 중간부하 : 87.40원, 최대부하 : 150.10원)
겨울 (경부하 : 41.80원, 중간부하 : 74.30원, 최대부하 : 102.70원)

- (심야전력을)
기본요금 - 6,210원 * 기타시간 사용비율 * 사용량
사용요금 - 심야 : 26.20원/kWh
기타 : 76.80원/kWh

- ㉡ 가스요금
냉방용(하절기, 5~9월) : 208.76원/Nm³,
기타월 : 392.26원/Nm³
다음 표 18은 전기료와 가스료의 현황을 나타내었다.

2) 용수료
흡수식 냉동기와 전기식 냉동기의 냉각탑에 소요되는 보충수량의 비용으로 본고에서는 고려치

표 12 검토대상별 추정 기계장치비금액

(단위: 천원)

품 명	(1안) 가스식 (흡수식 냉동기)			(3안) 빙 축 열 시 스템		
	규 격	수량	금 액	규 격	수량	금 액
냉 동 기	흡수식 1,000 RT	4	1,138,132	저온터보식620 RT	4	700,000
냉 각 탭	UNIT형 1,500 RT	4	269,800	UNIT형 675 RT	4	112,640
냉 각 수 펌 프	17,333lpm, 130kW	5	63,312	76,000lpm, 75kW	5	31,080
보 일 러	5 T/H	4	235,200			
배 관 공 사		식	200,000		식	397,088
자 동 제 어		식	24,000		식	40,000
열 교 환 기				1,000 RT	4	105,600
축 열 조					식	1,140,000
브 라인 펌 프				5,996lpm, 75kW	5	31,080
브 라인 용 액				에틸렌그리콜(톤)	28	42,400
시설분담금						
계			1,856,894	계		2,599,888
	(2안) 흡수식 + 터보			(4안) 빙축열 + 터보		
냉 동 기	흡수식 1,200 RT	2	631,072	저온터보식 505RT	3	450,000
	터보식 800 RT	2	336,000	터보식 800 RT	2	336,000
냉 각 탭	UNIT형1,500 RT	2	134,400	UNIT형 550 RT	3	68,400
	1,000 RT	2	88,000	1,000 RT	2	88,000
냉 각 수 펌 프	21,667lpm, 150kW	3	40,056	6,500lpm, 75kW	4	24,864
	10,083lpm, 75kW	3	30,271	10,083lpm, 75kW	3	30,272
보 일 러	6 T/H	2	128,960			
배 관 공 사		식	189,960		식	343,104
자 동 제 어		식	24,000		식	48,000
열 교 환 기				800 RT	3	72,000
축 열 조					식	684,000
브 라인 펌 프				4,797lpm, 55 kw	4	18,400
브 라인 용 액				에틸렌 글리콜	식	29,520
시설분담금		식	16,653			
계			1,619,012	계		2,192,560

않는다.

(6) 경제성분석결과

다음 표 19는 각 검토대상 시스템에 대한 경제성 분석의 결과이다.

표에 나타난 바와 같이 냉열원 시스템에 대하여 상용(백화점)건물에 일부 또는 전부를 빙축열 시스템으로 채택하였을 경우 각각 295,344천 원과 485,437천 원의 초기 순투자비가 증가되었으나,

연간경비가 123,431천 원과 175,445천 원이 절약 되어 2.4년과 2.8년이면 초기 순투자비를 회수할 수 있으므로 경제성 확보에는 이상이 없는 것으로 평가되었다. 연간경비의 95%이상이 자본비(감가상각비)와 전기료로 구성되므로 초기투자시 빙축열 시스템의 선정에 심사숙고하여야 할 것이며 운전시에도 경제적 최적 운전모드로 운전될 수 있도록 노력하여야 할 것이다. 또한 백화점은 고급 서

표 13 방식별 수전설비비

(단위 : 천원)

구 분		(1안) 흡수식 (100%)				(3안) 빙축열 (100%)				
상시전력	계약전력	8,350 kVA				11,350 kVA				
	냉방동력	1,000 kVA				1,750 kVA				
	기타동력	7,350 kVA				9,600 kVA				
	중설가능	1,600 kVA				1,400 kVA				
심야전력	빙축열동력	-				4,000 kVA				
		사 양	용 량	수 량	금 액	사 양	용 량	수 량	금 액	
변 전 설 기 기 중 감	상시전력	TR	1,000kVA	1	15,647					
	심야전력 (을)	LBS					LBS	25.8 kV	1	6,608
		MOF					MOF	304 W	1	4,592
		PT&PF PANE					PT&PF PANE	22.9 kV	1	4,032
		VCB					VCB	24 kV 3.6 kV	1 1	9,296 6,384
		MOLD TR					MOLD TR	4,000kVA 1,000kVA	1 1	85,546 20,647
	합계				15,647				137,105	
구 분		(2안) 흡수식60% + 터보40%				(4안) 빙축열60% + 터보40%				
상시전력	계약전력	9,850 kVA				9,100 kVA				
	냉방동력	2,500 kVA				1,750 kVA				
	기타동력	7,350 kVA				7,350 kVA				
	신설가능	100 kVA				850 kVA				
심야전력(을)	빙축열동력	-				2,000 kVA				
		사 양	용 량	수 량	금 액	사 양	용 량	수 량	금 액	
변전설 기 기 중 감	상시전력	MOLD	2,500kVA	1	44,407	MOLD	1,750kVA	1	39,031	
		TR	1,000kVA	1	15,647	TR	300kVA	1	11,894	
	심야전력 (을)	LBS					LBS	25.8kV	1	6,608
		MOF					MOF	304W	1	4,592
		PT&PF 판넬					PT&PF 판넬	22.9KV	1	4,032
		VCB					VCB	24kV 3.6kV	1 1	9,296 6,384
		MOLD TR					MOLD TR	2,000kVA 600kVA	1 1	42,773 15,300
	합 계				60,054				139,910	

표 14 무상지원금 현황 (단위: 천원)

	제1안	제2안	제3안	제4안	비고
무상지원금	-	-	601,050	376,700	

표 15 각 시스템별 법인세감면 현황 (단위: 천원)

	제1안	제2안	제3안	제4안	비고
법인세감면액	56,907	31,554	122,994	82,914	

표 16 각 시스템별 감가상각비 현황 (단위: 천원)

	제1안	제2안	제3안	제4안	비고
기계장치	207,326	180,766	290,283	244,894	
수전설비	1,371	5,261	12,010	11,487	
건축비	-	-	10,947	6,386	
계	200,697	186,027	313,240	262,767	

표 17 각 시스템별 유지비 현황 (단위: 천원)

	제1안	제2안	제3안	제4안	비고
유지 관리비	18,569	16,190	25,999	21,926	

표 18 전기료 및 가스료 현황 (단위: 천원)

	제1안	제2안	제3안	제4안	비고
전기료	159,511	310,221	318,879	425,532	
가스료	393,612	321,124	-	-	

비스를 필요로 하므로 시스템 선정시 안정성과 신뢰성이 우수한 시스템을 선정하여야 할 것이다.

6. 맺음말

최근 우리나라의 백화점 건물은 고층화 대형화 되어 보통 매장면적이 10,000여평 정도의 연면적

표 19 경제성분석 결과 (금액: 천원)

		제(1안) 흡수식냉동기	제(2안) 흡수식냉동기(60%)+ 터보냉동기(40%)	제(3안) 빙축열 (100%)	제(3안) 빙축열(60%)+ 터보냉동기 (40%)	비고	
투자비	기계장비비	1,856,894	1,619,012	2,599,888	2,192,560		
	수변전설비	15,647	60,054	137,105	139,910		
	건축비	-	-	120,000	70,000		
	무상지원금	-	-	-601,050	-376,700		
	세액 공제	-56,907	-31,554	-122,994	-82,914		
	계	1,815,634	1,647,512	2,132,949	1,942,856		
연간 경비	고정비	자본비	208,697	186,027	313,240	262,673	
		유지비	18,569	16,190	25,999	21,926	
		소계	227,266	202,217	339,239	284,599	
	변동비	용수비	-	-	-	-	
		전기료	159,511	310,221	318,878	425,532	
		가스료	393,612	321,124	-	-	
		소계	553,123	631,345	318,878	425,532	
	계	780,389	833,562	658,117	710,131		
	연간 절감액		53,173	기준	175,445	123,431	
	투자비 회수기간		3.1년	기준	2.8년	2.4년	

25,000여평 정도 건물이 대부분이다. 이러한 건물의 냉열원설비는 건축설비설치에 관한 기준에 의해 장치용량의 60%이상은 가스 또는 빙축열식으로 설치하도록 규정되어 있으므로 최근까지 전기식 터보냉동기 40%에 가스식 냉동기인 흡수식 냉동기 60%를 설치하는 경우가 대부분이었다. 그러나 빙축열 시스템을 일부 또는 전부 채택하였을 경우에도 단기간 내에 투자비의 회수가 가능하고 현금이 유입되므로 경제성 확보가 가능하다. 또한 값싼 심야전력을 이용하므로 냉방 운전비 절감과 축열조 설치로 인하여 건물냉방의 신뢰성 향상에 도움이 되는 등 많은 이점이 있다. 다만 시스템의 선정 시에는 건물의 설치조건과 운전특성, 건물의 용도 등 제반 여건에 적합한 시스템을 선정하여야 하며, 운전경비의 절약 즉 전기나 가스료의 절약이 투자회수기간 단축의 중요 인자이므로 가장 경제적인 운전 모드가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 임동현, 1998, "전력수요관리와 축냉시스템," 한국냉동공조기술협회지, Vol. 15. No. 4, pp. 34~41.
2. 강기호, 1998, "저온공조시스템 설계," 공조냉동공조기술협회지, Vol. 15, No. 4, pp. 60~62.
3. 석우길, 1997, "수요관리현황 및 AMR추진 계획," 한국전력공사 수요관리 활성화를 위한 work-shop, pp. 15~17.
4. 윤재호, 1997, "축냉식 냉방시스템의 기술개발동향 및 전망," 한국전력공사 수요관리 활성화를 위한 work-shop, pp. 169~170.
5. 유제인, 1997, "빙축열 냉방시스템의 현황과 전망," 한국전력공사전력수요개발 기술세미나, pp. 47~52.
6. 성시현 외, 1997, "97에너지절약 종합대책," 한국전력공사수요개발 기술세미나, pp. 5~14.
7. 김영휘 외, 1993, 경제성공학, 청문각, pp. 171.
8. 김기영, 1994, 생산관리, 법문사, pp. 316.
9. 삼정기계기술부, 1990, 축냉설계지침서, pp. 29~56.
10. 한국전력공사 영업처, 1990, 빙축열 시스템, 한국전력공사, pp. 17~25.
11. 박기원, 1998, "빙축열시스템의 기술개발전망", 한국냉동공조협회 빙축열시스템 강연회지, pp. 39~54.
12. 롯데월드, 1998년, 1996~1997년 냉동기 운전실적, 롯데월드 시설부.
13. 森 敏, 昭和 60年, 蓄熱式空調システム, 日本空氣調和.衛生.工學會, pp. 1~4.