

# 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과에 관한 연구

## A Study on the Energy Saving Effects of Free Cooling System

김 세 훈\*      원 종 연\*\*  
Kim, Se-Hun      Won, Jong-Yeon  
최 윤 경\*\*\*      이 언 구\*\*\*  
Chol, Youn-Kyong      Lee, Eon-Ku

### Abstract

Recently the cooling load in buildings is increasing even in winter. Free cooling can be a very energy efficient way for buildings that are high in cooling load all year round. In this research economical aspects of free cooling and problems of operation were studied through surveys of buildings that need all year round cooling load. Through TRNSYS simulation program, energy using patterns of free cooling system combined with other cooling systems are compared and energy saving effects of free cooling system are reviewed. Also energy conservation variables that effects the building energy cost were set and analyzed. The results are as follows, 1) Energy savings are high in December to March. 2) It is desirable to apply Free Cooling system to where the continuous inside heat gain is occurred. 3) Free Cooling system can be operated efficiently when web bulb temperature of outside air is below 8°C. If systems can be operated with automatic control system, Free cooling system can save more energy. 4) Using lower approach temperature in heat exchanger is suitable for saving energy.

키워드 : 외기냉수냉방, 냉각탑, 에너지 절약  
Keywords : Free Cooling, Cooling Tower, Energy Saving

### 1. 서      론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건물에서 소비되는 냉방에너지를 절약하기 위해 에너지 절약형 공조 시스템이 개발되고 있으며, 그중에 한 가지 방법으로 낮은 외기온도를 이용한 냉방시스템이 개발되어 여러 건물에 활용되고 있다. 낮은 외기온도를 이용한 냉방시스템은 공기를 이용한 외기냉방 시스템과 냉각탑을 활용한 외기냉수냉방 시스템이 있다. 두 시스템 모두 낮은 외기온도를 이용하는 특징이 있어 중간기 및 동절기에도 냉방에너지가 소비되는 건물에서 널리 이용될 수 있다.

외기냉방 시스템에 비해 외기냉수냉방 시스템은 실내의 상대습도 유지조건이 엄격한 곳, 공조실이 인테리어 zone에 위치하고 있어서 100% 외기도입이 어려운 곳, 대기오염이 심각하여 필터의 교환비용이 상승하는 곳 등에 매우 효과적이다. 또한 건물에 층별 공조기가 설치된 사무소 건물의 경우 100% 외기냉방을 위한 손실 임대면적이 발생하기 때문에 외기냉수냉방 시스템은 점유면적 측면에서 상대적으로 장점이 많은 시스템으로 알려지고 있다.

국외의 경우 외기냉수냉방 시스템은 교환 국사나 전산센터에 많이 적용되고 있으며, 일반 사무소 건물과 판매시설

등으로 적용대상이 확대되고 있는 실정이다. 캐나다의 교환국사 건물의 경우 연간 약 20%~60%의 에너지 절약효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나, 현재 우리나라에서 적용되고 있는 외기냉수냉방 시스템은 일부 건물에만 국한되어 사용되고 있으며, 시스템의 연구개발이 미비한 상태이다.

외기냉수냉방 시스템은 이론적으로는 비교적 단순하고 에너지 절약효과가 크지만, 이를 실제로 설계에 적용하고 효과적으로 운영하기 위해서는 매우 복잡한 기술이 뒷받침 되어야 한다. 즉, 일반적인 냉동사이클과의 부하분담을 위한 시스템구축과 적정 제어방식의 도입이 필수적이다. 이를 위해서는 기후조건과 건물의 부하패턴에 대한 정확한 분석을 통한 시스템의 적정 용량산정과 최적 설계지침이 요구되고 적절한 제어알고리즘의 개발을 통한 운영지침이 필요하다. 그러나 아직까지 이에 대한 연구개발이 미비하여 일부 국내에서 외기냉수냉방 시스템을 적용한 건물의 경우 실내 환경에 대한 제어가 제대로 이루어지지 못하며, 실질적인 냉방에너지의 절약효과를 얻지 못해 오히려 초기투자비의 증대만 가져오는 경우가 있는 것이 현실이다.

따라서, 본 연구에서는 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과에 영향을 미치는 변수를 설정하여 변수별 에너지 절약효과를 정량적으로 분석함으로써 항온항습이 요구되는 에너지 다소비형 건물에서 냉방에너지 절약을 적극적으로 유도하고자 하였다. 이러한 연구는 향후 외기냉수냉방 시스템의 설계지침 및 운영지침을 제시하는 관련연구 수행 시 기초 자료로 활용될 수 있다.

\* 정회원, 동원대학 소방안전관리과 조교수  
\*\* 정회원, 중앙대 대학원 건축학과 석사과정  
\*\*\* 정회원, 중앙대 건축학과 교수, 건축학박사

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 외기냉수냉방 시스템과 관련된 기초 이론에 대한 검토를 하고 아울러 시스템이 적용된 국내·외 사례를 통해 운영실태를 파악하였으며, 국내 적용된 건물을 대상으로 시뮬레이션을 실시하여 외기냉수냉방 시스템의 적용유무, 건물의 실내발열 비율, 외기냉수냉방 시스템의 설정온도, 열교환기의 어프로치 온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 정량적으로 제시하고자 한다.

2. 외기냉수냉방 시스템에 관한 이론적 고찰

2.1 외기냉수냉방 시스템의 개요 및 종류

2.1.1 개요

외기냉수냉방 시스템은 중간기나 동절기에 일정 온도 이하의 낮은 온도를 가지고 있는 외기온도를 쿨링타워에 활용하는 냉방 시스템이다.

이러한 방식에는 쿨링타워의 냉각수를 직접 이용하는 방식과 열교환기를 이용한 간접방식이 있다. 이러한 시스템은 냉동기를 가동하지 않고 쿨링타워만으로 냉방을 하기 때문에 “Free Cooling”이라고 한다.

중간기나 동절기에도 건물의 고기밀화와 단열의 강화에 기인한 실내열손실의 감소 및 조명의 증가, 사무자동화에 따른 OA기기로부터의 발열 등에 의한 냉방부하가 커지는 건물이 증가하고 있다. 따라서 외기온도를 이용한 냉방 시스템이 많이 적용되고 있다.

외기의 온도를 이용한 냉방방식에는 외기냉방과 외기냉수냉방으로 크게 나눌 수 있다. 하지만 외기냉방과 비교해 봤을 때 실내의 상대습도 유지조건이 엄격한 곳이라든지 공조실이 인테리어 존에 위치하고 있어서 100% 외기도입이 힘든 곳에서는 외기냉방 시스템을 적용하기에 많은 어려움이 있다. 또한 대도시의 공기오염이 심각한 상황에서 공기측 외기냉방 채택에 따른 필터 사용 비용도 상당히 증가되고 있기 때문에 쿨링타워를 이용한 외기냉수냉방 시스템이 앞으로 많은 건축물에 적용될 것이다.

2.1.2 종류

외기냉수냉방 시스템은 일반적으로 냉각탑의 형태에 따라 개방형 및 밀폐형 냉각탑 방식과 드라이쿨러(Dry Cooler)를 이용한 방식으로 분류된다. 개방형 냉각탑 방식에는 여과장치를 이용한 직접 외기냉수냉방 시스템(Direct Free Cooling System)과 열교환기를 이용한 간접 외기냉수냉방 시스템(Indirect Free Cooling System)으로 구분되며, 밀폐형 냉각탑 방식에는 밀폐된 코일을 이용한 외기냉수냉방 시스템(Closed-Coil Free Cooling System)과 냉매이동식 외기냉수냉방 시스템(Refrigerant Migration Free Cooling System)으로 구분된다. 또한 드라이쿨러(Dry Cooler)를 이용한 방식에는 글리콜의 순환을 이용한 외기냉수냉방 시스템(Glycol Run-Around Free Cooling System)이 있다. 따라서, 외기냉수냉방 시스템은 5가지의 형태로 분류된다.

(1) 직접 외기냉수냉방 시스템

여름에는 일반적으로 냉방 시스템과 마찬가지로 냉동기의 응축수를 냉각시키는 냉각탑으로 운전되며, 외기 온도가 낮아지는 중간계절이나 동계에는 외기와 열교환으로 온도가 낮아진 냉각수를 직접 부하측의 냉수회로에 순환시킨다. 외기와 열교환으로 오염된 냉각수가 직접 냉수회로에 공급되므로 배관이나 냉수코일 등의 오염이나 부식방지를 위해 특별한 수처리가 요구된다. 따라서 Strainer cycle free cooling 으로 불려지기도 한다.

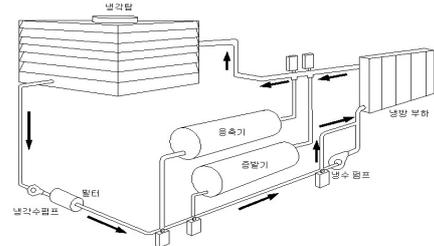


그림 1. Direct free-cooling system

(2) 간접외기냉수냉방 시스템

여름철에는 일반적인 냉방시스템의 냉각탑으로 운전되나, 외기 습구 온도가 낮아지게 되면 냉각수가 열 교환기로 공급되고, 냉수 또한 열교환기에 공급되어 냉각수와 냉수가 서로 열교환 하게 된다. 냉수회로와 냉각수 회로가 별개이므로 부하측 배관이나 냉수코일 등의 오염이 방지된다.

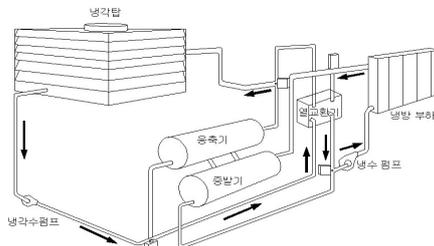


그림 2. Indirect free-cooling system

(3) 밀폐된 코일을 이용한 외기냉수냉방 시스템

냉각수를 부하측 냉수회로에 직접 공급한다는 점에서는 수처리 방식과 비슷하나 냉각탑이 밀폐형이라는 것이 기본적인 차이로 냉각수가 직접 외기에 노출되지 않는다. 수처리나 펌프같은 추가적인 시스템이 필요하지 않다. 냉각탑의 냉각수 토출온도가 개방형보다 높기 때문에 에너지 절약효과가 감소된다. 동계운전시 냉각탑 코일의 동파 우려가 있다.

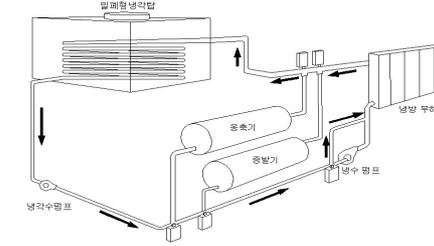


그림 3. Closed-Coil Free Cooling System

(4) 냉매이동식 외기냉수냉방 시스템

동절기에 압축기의 가동없이 자연 상변화에 따라 냉방효과를 얻는 방식이다. 이 시스템은 제한적인 능력을 갖는데, 오직 특별히 계획된 냉동기만이 이 시스템에 적용될 수 있다. 또한, 냉매 이동식 외기냉수냉방 시스템은 냉동기에 의한 냉동 용량의 약 25%정도를 제공하므로 건물의 큰 부하를 담당하기에는 더 큰 용량의 냉동기가 필요하다. 따라서, 외기냉수냉방 시스템의 경제적인 측면을 고려할 때, 큰 부하를 담당하는 건물에서는 추천되지 않는 시스템이다.

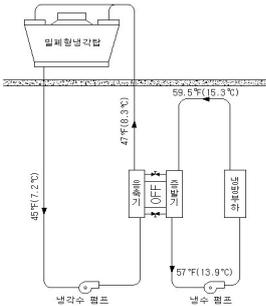


그림 4. Refrigerant Migration Free Cooling System

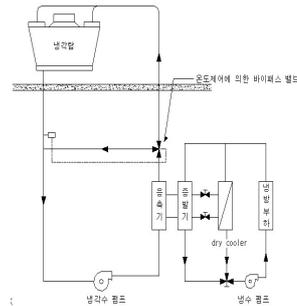


그림 5. Glycol Run-Around Free Cooling System

(5) 글리콜의 순환을 이용한 외기냉수냉방 시스템

글리콜 순환 배관은 부동액과 물의 혼합액으로 채워진 밀폐된 배관을 사용하고, 개방형 냉각탑 대신 유체쿨러(Fluid Cooler) 또는 드라이 쿨러(Dry Cooler)를 사용한다. 이러한 방식은 동절기의 건조상태에서 운영을 하기 때문에 결빙 문제를 방지할 수 있다. 그러나 Dry Cooler를 이용한 외기냉수냉방 시스템의 경우에는 외기온도가 빙점이하로 떨어질 때 이용할 수 있는 시스템이다. 다른 시스템에 비해서 에너지 절약효과가 낮으며, 초기투자비도 상당히 많이 든다. 따라서, 일반적으로 건물에 적용하기에는 많은 제한이 따른다.

2.2 외기냉수냉방 시스템의 제어알고리즘에 관한 고찰

2.2.1 일반 냉방 시스템과 병행운전 시 외기냉수냉방 시스템의 제어알고리즘

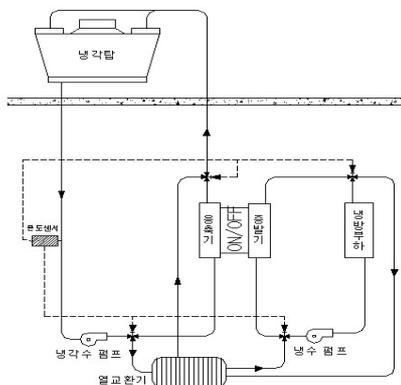


그림 6. 일반 냉방 시스템과 병행운전 시 외기냉수냉방 시스템의 제어알고리즘

일반 냉방 시스템과 병행운전 시 외기냉수냉방 시스템은 냉각탑으로부터 나온 냉각수의 온도를 제어함으로써 냉동기와 열교환기 사이의 3방 밸브를 제어하게 된다. 이러한 온도 제어를 통해서 중간기의 외기냉수냉방 시스템의 적용을 확대할 수 있다.

2.2.2 일반 냉방 시스템과 조합운전 시 외기냉수냉방 시스템의 제어알고리즘

냉동기의 부하를 줄이기 위한 외기냉수냉방 시스템의 조합운전은 위에 나타난 제어알고리즘의 계통도에 의해서 이루어지며 각각의 온도센서에 의해서 밸브가 작동하여 연속적인 시스템이 운영된다.

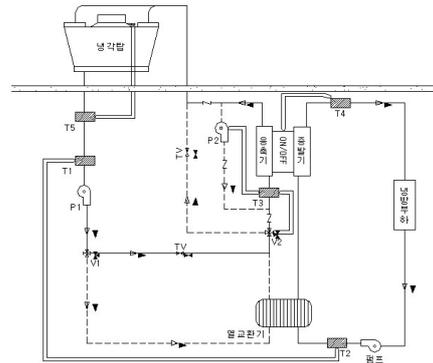


그림 7. 일반 냉방 시스템과 조합운전 시 외기냉수냉방 시스템의 제어알고리즘

3. 외기냉수냉방 시스템의 국외 사례 및 국내 현장조사

3.1 외기냉수냉방 시스템의 국외 사례조사

3.1.1 전산센터에 적용된 사례

Bell Canada<sup>2)</sup> 교환국사는 연면적 약 6,500m<sup>2</sup>의 건물로, 전화교환시설과 관리직원들의 사무실등으로 구성되어 있다. 전화장비는 24시간동안 가동되며 상당한 양의 열을 발산한다. 장비는 특정레벨의 온도와 습도의 조절이 요구된다. 통신장비의 온도와 습도에 관한 엄밀한 관리가 계속적으로 이루어지며 동시에 빌딩 거주자의 쾌적한 환경을 보장하고자 1995년부터 리모델링을 시작하여 1999년에 완전한 외기냉수냉방 시스템을 구축하였다.

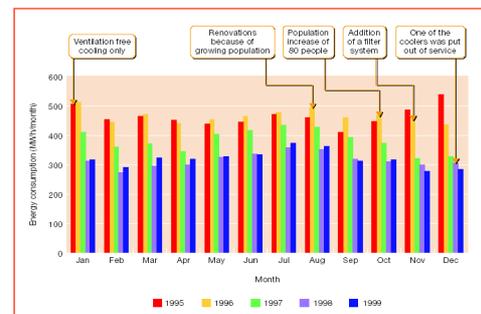


그림 8. 사례건물의 에너지 소비량 조사

2) CADDET, Free Cooling of a Commercial Building, March, 2002

Bell Canada 교환국사의 외기냉수냉방 시스템의 적용으로 많은 에너지 절감효과를 그림 8에서 확인할 수 있다. 시스템의 리모텔링 전 에너지 소비는 1995년에 2,986 MWh/year이었지만, 1999년 새로운 시스템의 도입으로 빌딩의 에너지 소비는 1,240 MWh/year로, 1,746 MWh/year(58%)를 절약하였다. 1995년부터 1999년까지의 절약된 총 에너지의 양은 약 6,200 MWh이다.

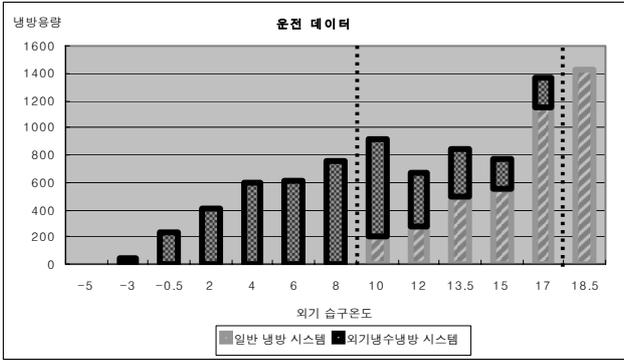


그림 9. 사례건물의 외기냉수냉방 시스템의 운전 데이터

### 3.1.2 사무소 건물에 적용된 사례

3) 중국 상하이에 있는 연면적 70,000㎡, 32층 규모의 사무소 건물에 판형 열 교환기를 설치한 외기냉수냉방 시스템을 적용한 건물의 사례이다. 사례 건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템은 기후패턴에 의해서 자동으로 작동되며, 냉방방식을 병행 운영하고 있다.

그림 9에서 알 수 있듯이 습구온도 8℃이하에서는 외기냉수냉방 시스템을 완전히 가동했으며, 습구온도 8~18.5℃에서는 일반적인 냉동 시스템과 병행운전을 실시했다. 이러한 결과로 건물의 연간 에너지 절약은 2,279×106 KJ이며, 연간 90,000 RMB(한화 1200만원)가 절약된다. 판형 열 교환기에 의해서 추가된 비용 310,000 RMB(한화 4000만원)은 3.4년이면 상환되는 것으로 나타났다.

## 3.2 외기냉수냉방 시스템의 국내 현장조사

### 3.2.1 건물의 개요

서울 소재 지하2층, 지상 8층의 연면적 22,122㎡ 인 교환국사로 2002년 12월에 준공되어 통신장비의 내부발열에 의해 냉방부하의 일부 또는 전체를 제거하기 위해 연중 냉방에너지를 소비하는 건물이다. 사례 건물에는 열 교환기를 설치한 외기냉수냉방 시스템이 적용되고 있다.

### 3.2.2 건물의 에너지 소비형태

대상건물의 통신동력, 냉방동력, 조명 및 기타동력에 대해서 2003년9월부터 2004년8월까지 전력소비량을 근거로 금액을 산출한 그래프를 그림 10에 나타내었다.

통신장비로 인한 통신동력은 연간 전력소비량의 60%를 차지하고 있으며, 내부의 발열에 의한 냉방동력은 33%를 차지하고 있다. 한편 조명 및 기타 동력은 일정한 양상을 보이고 있다. 11월부터는 외기냉수냉방 시스템이 본격적으로 건물에 적용되어 냉방동력이 감소하는 추세를 보이고 있다. 통신동력이 증가하면서 내부발열에 의한 냉방부하가 증가하는 반면에 냉방동력이 감소하기 때문에 에너지가 상당히 절약됨을 알 수 있다.

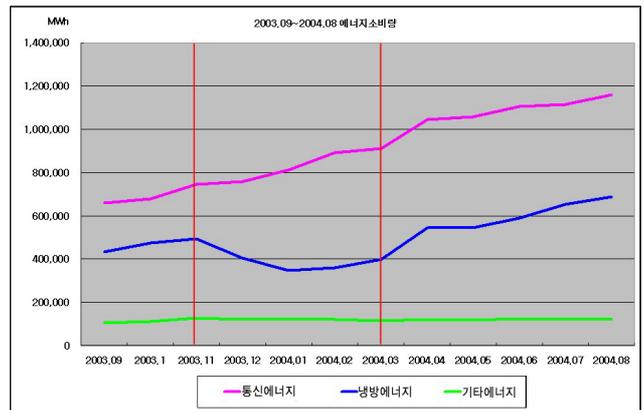


그림 10. 사례건물의 전력소비량 조사

### 3.2.3 외기냉수냉방시스템으로 인한 에너지절감효과

중간기 및 동절기에 실제 외기냉수냉방 시스템을 적용했을 경우에 11월부터 3월간 사용된 냉방부하를 산출하여 터보 냉동기방식과 외기냉수냉방 방식으로 나누어 에너지 절감효과를 비교분석하였다. 실제로 외기냉수냉방 시스템을 중간기 및 동절기에 사용했을 경우와 냉동기를 가동했을 경우를 비교했을 때 그 기간동안에서만 65~70%정도의 높은 에너지 절약효과를 나타내었다.

따라서 중간기나 동절기에도 내부의 발열로 인해서 높은 냉방부하가 나타나는 건물에 대해서는 높은 에너지 절약효과를 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

### 3.2.4 건물의 운영실태

외기냉수냉방 시스템은 중간기 및 동절기에 사용되는 시스템으로 동절기 외기온도가 빙점이하로 지속되는 경우 냉각탑의 흡입구 측의 층진물과 그릴부분에 냉각수가 착빙될 수 있다. 이로 인해 공기의 유입을 가로막아 통풍력이 감소되어 냉각효율이 저하된다. 따라서 냉각탑 흡입 측의 그릴부분의 착빙과 파손을 방지하기 위해 관리자에 의한 운영상 유지관리가 필요하다.



그림 11. 냉각탑의 착빙현상

3) Dave Goswami, C.N. Revelioty, Free Cooling by Cooling Tower Water, ASHRAE Journal, Jan, 1987

4. 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과 분석

4.1 시뮬레이션 개요

4.1.1 시뮬레이션 모델 및 조건구성

대상건물의 시뮬레이션 모델은 지하층을 제외한 지상 1층~8층으로 구성하였고, 대상건물을 시뮬레이션의 조건에 맞추기 위해서 지상 1층~8층은 같은 크기의 모델로 구성하였으며, 이에 따른 대상건물과의 차이점을 최소화하기 위해서 가상의 존을 구성하여 대상건물의 조건과 동일한 시뮬레이션의 모델을 구성하였다. 대상건물의 층별 운영형태를 토대로 주차장 및 기계실의 용도로 활용되는 지하층은 환기만을 하기 때문에 시뮬레이션의 모델구성 시에는 제외시켰다.

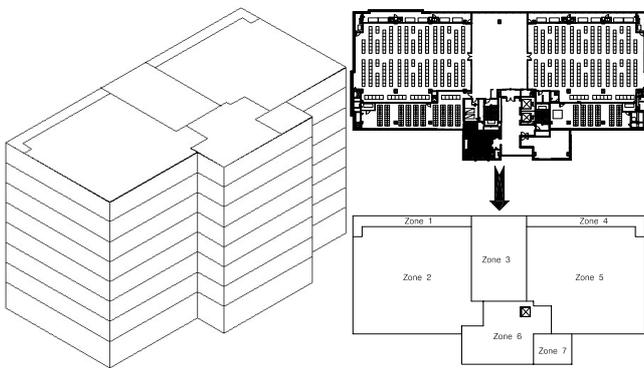


그림 12. 시뮬레이션의 모델구성

표 1. 구조체별 경계조건

구조체	두께 [m]	열전도저항 [m <sup>2</sup> h/kcal]	열관류율 [kcal/m <sup>2</sup> h]
외벽	0.1625	3.300	0.303
내벽	0.07	1.637	0.611
층간벽	0.14	0.889	1.124
바닥	0.5136	2.88	0.348
지붕	0.4136	4.6	0.237
창문	0.024	-	2.3

4.2.1 시뮬레이션 프로그램 구성

대상건물의 에너지 성능분석을 위한 컴퓨터 프로그램인 TRNSYS에는 PREBID와 IISIBAT이 구성되어 있으며, 지금까지 대상건물에 대한 입력조건을 활용하여 PREBID 프로그램을 구성하였다. 또한, 대상건물에 외기냉수냉방 시스템의 제어알고리즘을 활용하여 IISIBAT 프로그램을 구성하였다. 그림 13에 PREBID 프로그램의 시뮬레이션 과정을 나타냈다.

대상건물의 구성된 존에 벽면의 면적과 창 면적, 방위 및 구조체의 특성을 입력하여 총 59개의 존을 구성한 후 각 존별 내부발열 조건에 맞춰 인체발열, 기기발열, 스케줄을 입력하였다. 이러한 PREBID 프로그램을 이용하여 대상건물의 부하계산을 한 후 IISIBAT 프로그램의 TYPE 56에 적용하기 위하여 조건에 필요한 값을 출력하였다.

PREBID 프로그램에 의해서 출력된 TYPE 56을 이용하여 기상데이터 및 대상건물의 시스템을 구성하여 IISIBAT 프로그램을 구성하였다. 그림 14에 IISIBAT 프로그램의 시뮬레이션 과정을 나타냈다.

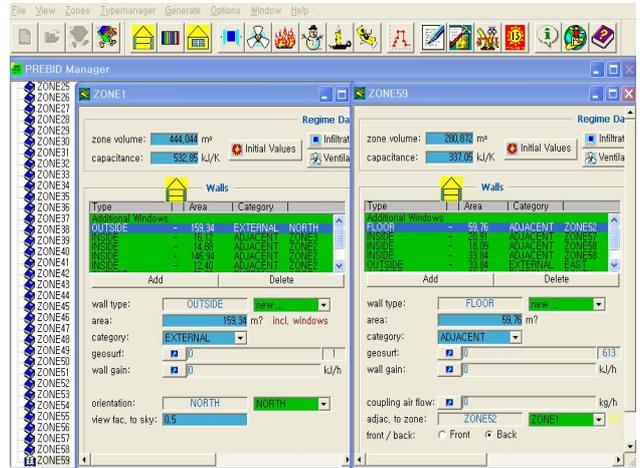


그림 13. PREBID 프로그램의 시뮬레이션 과정

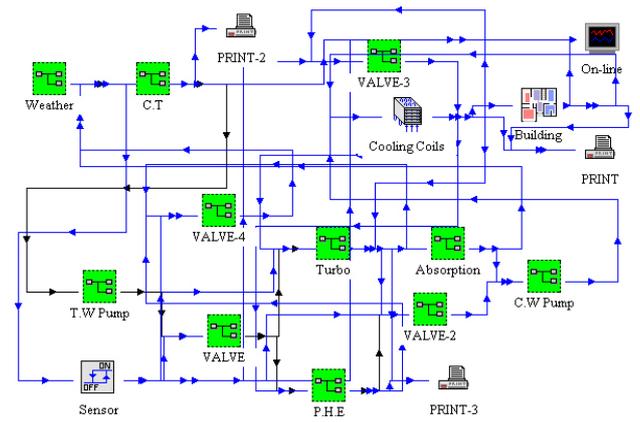


그림 14. IISIBAT 프로그램의 시뮬레이션 과정

4.2 외기냉수냉방 시스템의 변수별 에너지 절약효과 대상건물과 동일한 조건으로 시뮬레이션을 구성하였으며, 외기냉수냉방 시스템의 적용에 따른 에너지 절약효과와 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과에 영향을 미치는 변수인 실내발열, 외기냉수냉방 시스템의 설정온도, 열교환기의 어프로치온도에 따른 에너지 절약효과를 정량적으로 분석하였다.

4.2.1 외기냉수냉방 시스템의 적용에 따른 에너지 절약효과 대상건물의 경우에는 일반적으로 흡수식 냉동기를 가동하여 냉방을 실시하기 때문에 흡수식 냉동기와 터보냉동기의 조합과 흡수식 냉동기와 외기냉수냉방 시스템의 조합으로 비교하였다. 한편, 대상건물의 경우에는 터보냉동기와 외기냉수냉방 시스템용 열교환기가 별도의 배관으로 구성되어 있지 않기 때문에 터보냉동기와 외기냉수냉방 시스템의 조합운전은 시뮬레이션의 과정에서 제외를 시켰다.

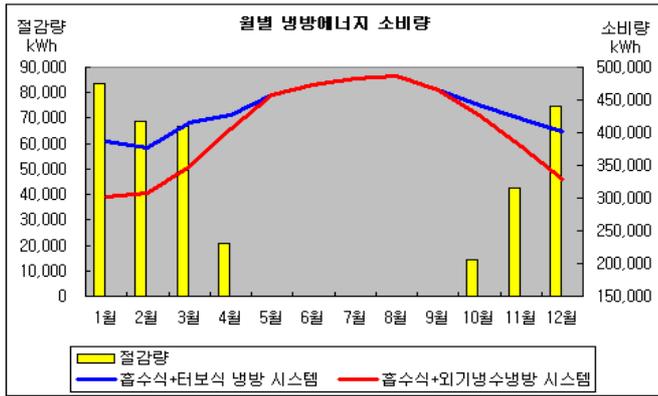


그림 15. 외기냉수냉방 시스템의 적용에 따른 에너지절약효과

대상건물의 냉방 시스템에 따른 월별 냉방에너지 소비량을 산출한 결과, 흡수식+터보식 냉방 시스템의 경우에는 연간 5,237,722kWh의 냉방에너지가 소비되었으며, 흡수식+외기냉수냉방 시스템의 경우에는 연간 4,866,022kWh의 냉방에너지가 소비되었다.

대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템으로 인해 연간 371,700kWh(7.10%)의 냉방에너지가 절약되는 것으로 나타났으며, 외기냉수냉방 시스템의 사용기간에는 최대 21.62%까지 냉방에너지가 절약되는 것으로 나타났다. 대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템은 10월부터 4월까지 가동되는 것으로 나타났으며, 외기냉수냉방 시스템의 적용에 따른 월별 에너지 절약효과는 12월부터 3월까지가 높은 것으로 조사되었으며, 월평균 외기의 습구온도가 가장 낮은 1월에 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

4.2.2 실내발열에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과  
대상건물의 통신장비에 의한 실내발열 비율에 따른 흡수식+터보식 냉방시스템과 흡수식+외기냉수냉방 시스템의 월별 냉방에너지 소비량을 산출한 결과를 이용하여 대상건물의 실내발열 100%를 기준으로 실내발열에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석하였다.

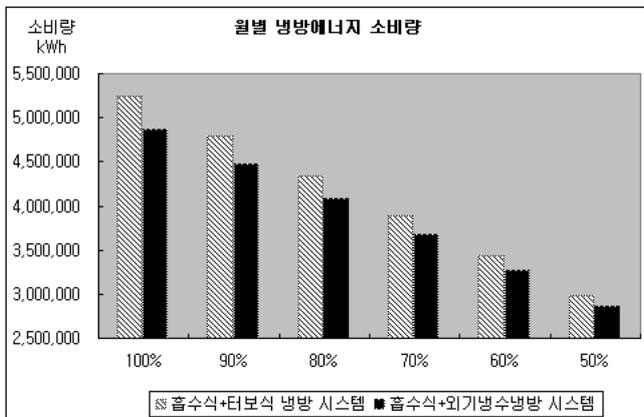


그림 16. 실내발열에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지절약효과

실내발열에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석한 결과, 실내발열 비율이 90%일 때는 16.48%의 절약효과가 감소되어 실내발열 비율이 50%일 때는 67.57%까지 절약효과가 감소되는 것으로 나타났다. 따라서, 외기냉수냉방 시스템의 설계 시 건물의 적절한 부하계산으로 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과가 최대가 될 수 있도록 설계되어야 한다.

4.2.3 외기냉수냉방 시스템의 설정온도에 따른 에너지 절약효과  
대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템의 설정온도에 따른 흡수식+터보식 냉방시스템과 흡수식+외기냉수냉방 시스템의 월별 냉방에너지 소비량을 산출한 결과를 이용하여 대상건물의 설정온도 5℃를 기준으로 설정온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석하였다.

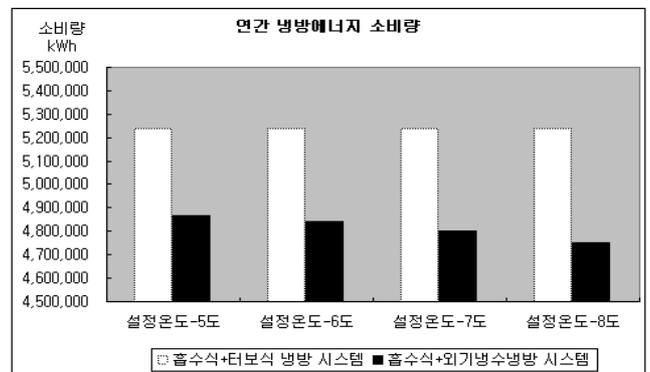


그림 17. 외기냉수냉방 시스템의 설정온도에 따른 에너지절약효과

외기냉수냉방 시스템의 설정온도에 따른 에너지 절약효과를 분석한 결과, 설정온도가 6℃일 때는 6.82%, 7℃일 때는 16.81%, 8℃일 때는 30.34%의 에너지 절약효과가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 대상건물은 통신장비의 기기발열에 의해서 현열비가 높기 때문에 외기의 습구온도 8℃에서도 외기냉수냉방 시스템을 가동할 수 있는 것으로 판단되며, 외기냉수냉방 시스템의 제어알고리즘에 의해서 외기의 습구온도가 8℃일 때 외기냉수냉방 시스템이 운영된다면 에너지 절약효과는 더 많을 것으로 판단된다.

4.2.4 열교환기의 어프로치 온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과

(1) 냉수측 출구온도 9℃일때 에너지 절약효과

열교환기의 냉수측 출구온도 9℃를 기준으로 대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템의 열교환기의 냉수측 출구온도와 열교환기의 어프로치온도에 따른 대상건물의 월별 냉방에너지 소비량을 산출하여 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석하였다.

대상건물에 적용된 열교환기의 냉수측 출구온도가 9℃일 때, 열교환기의 어프로치 온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절감량을 산출한 결과, 어프로치온도가 4℃인 기

본안과 비교했을 때 3℃는 연간 25,365kWh, 2℃는 연간 62,465kWh, 1℃는 연간 112,767kWh의 에너지가 절감되어 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다.

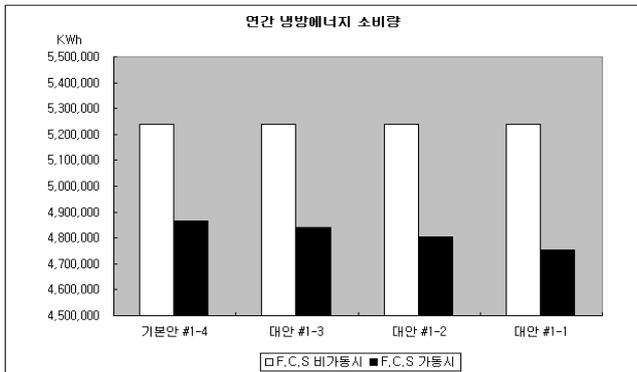


그림 18. 냉수측 출구온도 9°C일 때 에너지 절약효과

(2) 냉수측 출구온도 10°C일때 에너지 절약효과

열교환기의 냉수측 출구온도 10°C를 기준으로 대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템의 열교환기의 냉수측 출구온도와 열교환기의 어프로치온도에 따른 대상건물의 월별 냉방에너지 소비량을 산출하여 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석하였다.

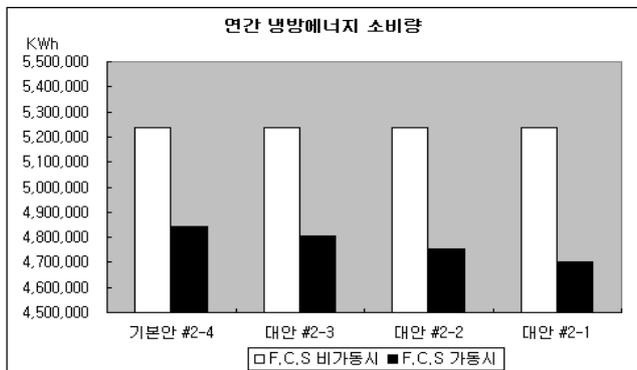


그림 19. 냉수측 출구온도 10°C일 때 에너지 절약효과

대상건물에 적용된 열교환기의 냉수측 출구온도가 10°C일 때, 열교환기의 어프로치온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절감량을 산출한 결과, 어프로치온도가 4°C인 기본안과 비교했을 때 3℃는 연간 37,100kWh, 2℃는 연간 87,402kWh, 1℃는 연간 138,102kWh의 에너지가 절감되어 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다.

(3) 냉수측 출구온도 11°C일때 에너지 절약효과

열교환기의 냉수측 출구온도 11°C를 기준으로 대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템의 열교환기의 냉수측 출구온도와 열교환기의 어프로치온도에 따른 대상건물의 월별 냉방에너지 소비량을 산출하여 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석하였다.

대상건물에 적용된 열교환기의 냉수측 출구온도가 11°C일 때, 열교환기의 어프로치온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절감량을 산출한 결과, 어프로치온도가 4°C인 기본안과 비교했을 때 3℃는 연간 50,302kWh, 2℃는 연간 101,002kWh, 1℃는 연간 163,901kWh의 에너지가 절감되어 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다.

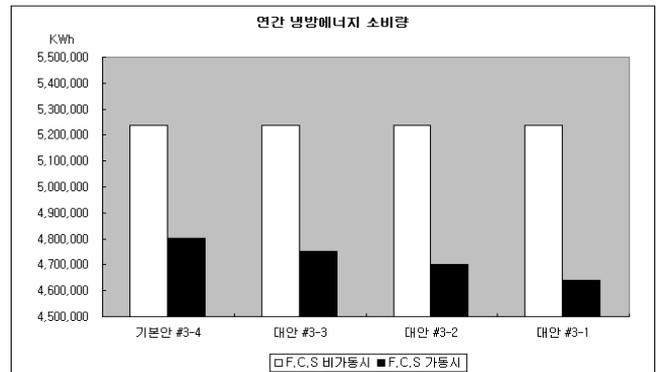


그림 20. 냉수측 출구온도 11°C일 때 에너지 절약효과

(4) 냉수측 출구온도 12°C일때 에너지 절약효과

열교환기의 냉수측 출구온도 12°C를 기준으로 대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템의 열교환기의 냉수측 출구온도와 열교환기의 어프로치온도에 따른 대상건물의 월별 냉방에너지 소비량을 산출하여 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석하였다.

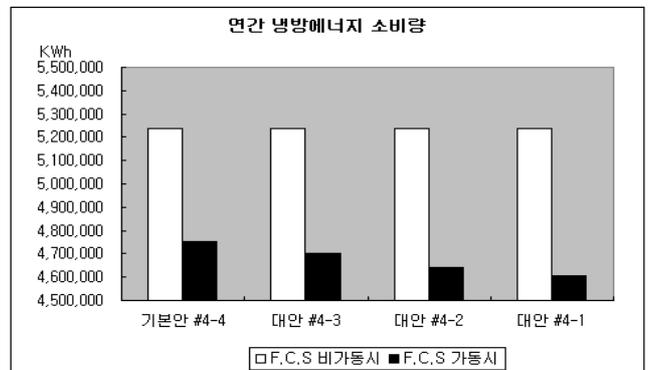


그림 21. 냉수측 출구온도 12°C일 때 에너지 절약효과

대상건물에 적용된 열교환기의 냉수측 출구온도가 12°C일 때, 열교환기의 어프로치온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절감량을 산출한 결과, 어프로치온도가 4°C인 기본안과 비교했을 때 3℃는 연간 50,700kWh, 2℃는 연간 113,599kWh, 1℃는 연간 148,051kWh의 에너지가 절감되어 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 어프로치온도가 감소할수록 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과가 증가하는 것으로 나타났다으며, 열교환기의 어프로치온도에 따른 경제성 평가를 통해 최적의 온도를 선정하고자 한다.

### 5. 결 론

본 연구의 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과에 영향을 미치는 변수에 대한 시뮬레이션 결과를 요약하면 다음과 같다.

#### (1) 외기냉수냉방 시스템의 적용에 따른 에너지 절약효과

외기냉수냉방 시스템의 적용여부에 따른 에너지절약효과를 분석한 결과, 흡수식+터보식 냉방시스템에 비해 흡수식+외기냉수냉방 시스템이 연간 약 7.1%정도의 냉방에너지 절약효과가 나타났다. 대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템은 10월부터 4월까지 가동되어 냉방 에너지가 절약되고 있었으며, 12월부터 3월까지 높은 에너지 절약효과를 보이는 것으로 나타났다.

#### (2) 실내발열에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과

대상건물의 실내발열 100%를 기준으로 실내발열 조건을 10%씩 50%까지 점차 감소시켜가며 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과 및 경제성 평가를 실시한 결과, 실내발열 비율이 감소함에 따라 에너지 절약효과가 감소하였다. 본 시스템은 건물의 내부발열량이 높은 경우에서 에너지 절약효과가 크게 나타남에 따라 지속적인 내부발열이 형성되는 존에 적용하는 것이 바람직하다.

#### (3) 외기냉수냉방 시스템의 설정온도에 따른 에너지 절약효과

외기냉수냉방 시스템의 적용에 따른 설정온도는 외기의 습구온도 5℃이하일 때 가동되는 것으로 시스템이 설계되어 있다. 한편, 외기냉수냉방 시스템의 이론적 고찰 및 국외 적용된 사례를 통해 외기의 습구온도가 8℃미만까지도 외기냉수냉방 시스템을 가동할 수 있는 것으로 조사되었으며, 대상건물의 현장조사를 통해 실제적으로 외기의 습구온도 8℃미만에서 가동되는 것을 확인하였다. 따라서, 외기냉수냉방 시스템의 설정온도를 1℃씩 8℃까지 증가시켜 시뮬레이션을 실시한 결과, 5월과 9월에도 일부 외기냉수냉방 시스템의 사용이 가능함으로 에너지 절약효과를 최대화하기 위해 외기냉수냉방 시스템의 제어알고리즘에 의한 자동제어를 통해 외기의 습구온도 8℃일 때 외기냉수냉방 시스템이 운영된다면 에너지 절약효과는 높다.

#### (4) 열교환기의 어프로치온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과

외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과에 영향을 미치는 열교환기의 어프로치온도를 설계된 4℃를 1℃까지 낮춰 시뮬레이션을 실시하여 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석한 결과, 열교환기의 어프로치온도가 낮을수록 외기냉수냉방 시스템으로 인한 에너지 절약효과가 증대되어 열교환기의 어프로치온도가 낮은 것을 활용하는 것이 외기냉수냉방 시스템으로 인한 에너지 절약효과가 높을 것으로 판단된다.

따라서, 외기냉수냉방 시스템의 변수별 에너지 절약효과

에 대해서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 에너지 절약정도에 대한 정량적인 분석을 하였으며, 추후에 실제 현장에 적용되어진 외기냉수냉방 시스템의 비교분석하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Marley Cooling Tower Co, The Application of Cooling Towers for Free Cooling, Technical Report., 1982
2. ASHRAE Journal, Free Cooling by Cooling Tower Water, v.29 no.1, pp.32-37, 1987
3. Dave Goswami, C.N. Reveliotty, Free Cooling by Cooling Tower Water, ASHRAE Journal, Jan, 1987
4. S.A. Mumma, C. Cheng, A Design Procedure to Optimize the Selection of the Water-side Free Cooling Components, ASHRAE Journal, April, 1990
5. J.C Hensley, The Application of Cooling Towers for Free Cooling, ASHRAE Transactions, Jan, 1994
6. CADDET, Free Cooling of a Commercial Building, March, 2002
7. BSRIA, Direct Water-Side Free Cooling System, September, 2003
8. BSRIA, Indirect Water-Side Free Cooling System, December, 2003

(接受: 2005. 10. 29)