

외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과에 관한 시뮬레이션 분석

박태신^{*}, 김세훈^{**}, 박진철^{***}, 이언구^{****}

*중앙대학교 대학원 건축학과(enne77@naver.com), **동원대학 소방안전관리과(sehkim@tongwon.ac.kr),

중앙대학교 건축학과(jincpark@cau.ac.kr), *중앙대학교 건축학과(ekrhee@cau.ac.kr)

A Simulation Analysis on Energy saving effects of Free Cooling System

Park,Tae-Shin^{*}, Kim,Se-Hun^{**}, Park,Jin-Chul^{***}, Rhee,Eon-Ku^{****}

*Dept. of Architecture, Graduate School, ChungAng University(enne77@naver.com),

**Dept. of firesafety, TongWon College(sehkim@tongwon.ac.kr),

***Dept. of Architecture, ChungAng University(jincpark@cau.ac.kr)

****Dept. of Architecture, ChungAng University(ekrhee@cau.ac.kr)

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) It is desirable to apply Free Cooling system to where the continuous inside heat gain is occurred. 2) Free Cooling system can be operated efficiently when web bulb temperature of outside air is below 8℃. If systems can be operated with automatic control system, Free cooling system can save more energy. 3) Using lower approach temperature in heat exchanger is suitable for saving energy.

Keywords : 외기냉수냉방(Free Cooling), 시뮬레이션(Simulation), 에너지 절약(Energy Saving)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 우리나라는, 에너지 수입 의존도가 97%이며, 에너지 소비량은 경제협력개발기구(OECD)국

가 중 10위에 해당될 정도로 많은 에너지를 소비하는 국가이다. 특히, 총 에너지 소비량 중에 건물부문에서 사용한 에너지의 비율이 약 25~30% 정도가 될 정도로 건물부문에서 차지하는 에너지의 소비량은 상당히 높다.

한편, 최근 건축물의 고단열 및 고기밀화로 건물

부문에서의 총에너지 소비량 중에서 냉방에너지의 소비가 차지하는 부분이 점점 늘어가고 있는 추세이다. 특히, 실내발열이 많이 발생하는 전산센터, 판매시설, 사무소 건물 등에서는 4계절 냉방부하의 발생이 점차 증가하여 하절기뿐만 아니라 중간기 및 동절기에도 많은 냉방 에너지가 소비되고 있는 실정이며, 앞으로 재실자의 보다 높은 쾌적한 환경에 대한 요구조건을 맞추기 위해서 이러한 현상은 지속될 것이다..

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 존에 위치하고 있어서 100% 외기 도입이 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 알려져 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.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 국내 적용된 건물을 대상으로 시뮬레이션을 실시하여 외기냉수냉방 시스템의 적용 유무, 건물의 실내발열 비율, 외기냉수냉방 시스템의 설정온도, 열교환기의 어프로치 온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 정량적으로 제시하고자 한다.

2. 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과 분석

2.1 시뮬레이션 개요

2.1.1 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 시

플레이션의 모델을 구성하였다. 대상건물의 층별 운영형태를 토대로 주차장 및 기계실의 용도로 활용되는 지하층은 환기만을 하기 때문에 시뮬레이션의 모델구성 시에는 제외시켰다.

구조체	두께 [m]	열전도저항 [m ² h/kal]	열관류율 [kal/m ² 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

표 1. 구조체별 경계조건

2.1.2 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.

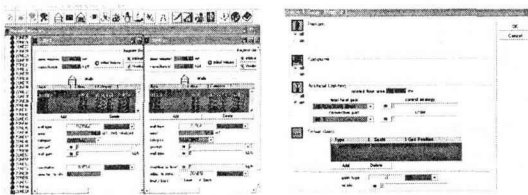


그림 1. PREBID 프로그램의 시뮬레이션 과정

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 나

타냈다.

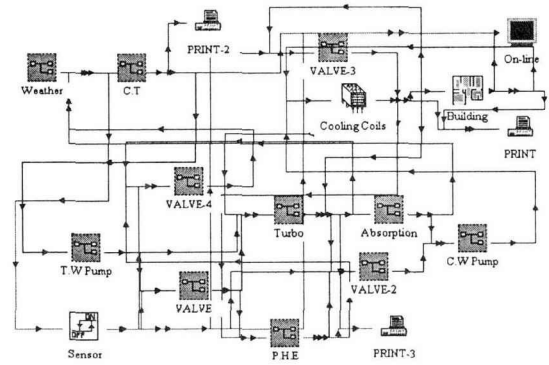


그림 2. IISIBAT 프로그램의 시뮬레이션 과정

2.2 외기냉수냉방 시스템의 변수별 에너지 절약 효과

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.

2.2.1 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.

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.

2.2.2 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.

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.

2.2.3 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.

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.

3. 열교환기의 어프로치 온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과

3.1 냉수측 출구온도 9℃일때 에너지 절약효과

열교환기의 냉수측 출구온도 9℃를 기준으로 대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템의 열교환기의 냉수측 출구온도와 열교환기의 어프로치 온도에 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 기본안과 비교했을 때 3℃는 연간 25,365kWh, 2℃는 연간 62,465kWh, 1℃는 연간 112,767kWh의 에너지가 절감되어 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다.

3.2 냉수측 출구온도 10℃일때 에너지 절약효과

열교환기의 냉수측 출구온도 10℃를 기준으로 대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템의 열교환기의 냉수측 출구온도와 열교환기의 어프로치 온도에 따른 대상건물의 월별 냉방에너지 소비량을 산출하여 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석하였다.

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

3.3 냉수측 출구온도 11℃일때 에너지 절약효과
열교환기의 냉수측 출구온도 11℃를 기준으로 대상건물에 적용된 외기냉수냉방 시스템의 열교환기의 냉수측 출구온도와 열교환기의 어프로치온도에 따른 대상건물의 월별냉방에너지 소비량을 산출하여 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과를 분석하였다.

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

3.4 냉수측 출구온도 12℃일때 에너지 절약효과
열교환기의 냉수측 출구온도 12℃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 12℃일 때, 열교환기의 어프로치온도에 따른 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절감량을 산출한 결과, 어프로치온도가 4℃인 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 나타났으며, 열교환기의 어프로치온도에 따른 경제성 평가를 통해 최적의 온도를 선정하고자 한다.

4. 결 론

4계절 냉방부하가 발생하는 건물에 중간기 및 동절기에 냉방에너지를 절약하기 위한 공조시스템이 개발되고 있으며, 그 중에 낮은 외기온도를 이용한 냉방 시스템이 개발되어 건물에 도입되고 있다. 낮은 외기온도를 이용하는 냉방 시스템 중에 실내의 항온항습이 요구되는 건물의 경우에는

외기냉수냉방 시스템이 적용되고 있다. 하지만, 아직까지 외기냉수냉방 시스템에 대한 연구개발이 미비한 상태에서 일부 건물에 적용되고 있어 실내환경 조건에 대한 제어가 제대로 이루어지지 못하고 실질적인 냉방에너지의 절약효과를 얻지 못해 오히려 초기투자비의 증대만 가져오는 경우가 발생되고 있다.

이와 같은 문제에 따라 본 연구에서는 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과에 영향을 미치는 변수를 설정하여 변수별 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과 분석함으로써 항온항습이 요구되는 에너지 다소비형 건물에서 냉방에너지 절약을 적극적으로 유도하고자 한다.

(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, 실내발열비율이 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 설계되어있다. 한편, 외기냉수냉방 시스템의 이론적 고찰 및 국외 적용된 사례를 통

해 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 높다. 따라서, 어프로치온도가 감소할수록 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약효과가 증가하는 것으로 나타났으며, 열교환기의 어프로치온도에 따른 경제성 평가를 통해 최적의 온도를 선정하여야 한다.

후 기

이 논문은 2005년도 산업자원부에서 시행한 에너지·자원기술 개발사업의 지원에 의한 것임

참고문헌

Stein, Reynolds, McGuinness, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, Seventh Edition, John Wiley and Sons, 1990
 Marley Cooling Tower Co, The Application of

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