

건물의 에너지 절약을 위한 외기냉수냉방 시스템에 관한 연구

A Study on the Free Cooling System for the Energy Savings in Buildings

○ 김 세 훈* 원 증 연** 이 언 구***
Kim, Se-Hun Won, Jong-Yeon Rhee, Eon-Ku

Abstract

Using energy economically and environment - friendly is important. 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 aspect of free cooling and problems of operation were studied through surveys of buildings that need all year round cooling load. On the basic theory and then designs guide lines of using free cooling and upgraded operation method are suggested.

Through developments of design guide lines and control algorithm free cooling system is expected to be adopted in new buildings as well as building renovation.

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

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

에너지와 환경은 오늘날 인류의 삶에 직접적으로 영향을 미치는 것으로서, 이들의 합리적인 계획과 이용은 매우 중요한 것으로 우리생활에 인식되고 있다. 최근 환경 친화적인 건물 설계와 효율적인 에너지 이용은 지구환경의 부담을 줄이는 것으로 범세계적인 관심을 불러일으키고 있는 실정이다.

우리나라의 경우, 에너지 부족자원의 부족함으로 인하여, 대체에너지의 개발 및 미 활용 에너지의 이용기술에 대한 개발 그리고 에너지 절감 대책 등은 환경보호 차원뿐만 아니라 경제적인 관점에서 매우 중요한 문제라고 생각된다.

일반적으로 우리나라 국가에너지소비에서 건물이 차지하는 비중이 약 25%정도이며 이중 냉방에너지가 차지하는 비중이 약 10%로 예상된다. 최근 생활수준의 향상과 쾌적한 생활/작업환경에 대한 요구가 증대 되면서 건물의 냉방부하가 급격하게 증대되고 있다. 이 같은 냉방에너지의 급격한 수요증가는 대부분을 수입에 의존하고 있는 국가 에너지 수급에 커다란 영향을 미치면서 국가경제 발전에도 악영향을 미치고 있다. 따라서 냉방에너지 수요의 절감을 위한 기술의 연구개발 및 보급은 에너지 절약을 위한 범국가적 정책의 성공적인 수행을 위해서도 반드시 필요하다.

근래에 공조 분야의 에너지절약 기법의 하나로 중간기에 낮은 외기온도를 이용하여 실내 냉방부하의 전체 또는 일

부를 제거하는 외기냉수냉방 시스템이 채택되고 있다. 최근 건축물의 고단열/ 고기밀화와 조명 및 사무자동화 기기에 의한 실내발열의 증가 등으로 인해 일반사무실 등에서도 4계절 냉방부하의 발생이 점차 증가하는 추세이므로 일정규모 이상의 건물에서는 부분적 활용이 가능한 시스템이다. 또한 특정용도(통신기기, 컴퓨터, 항온항습실등)의 건물유형에서는 상당부분의 에너지 절약이 예상된다고 본다.

본 연구는 현대 건축물의 냉방부하에 효과적으로 대처할 수 있다고 사료되는 외기냉수냉방 시스템의 적용기술에 대한 연구로 실제 관련시설의 운영방법에 대한 조사와 에너지 사용량을 분석하여 시스템 설계 및 운영에 있어 기초 자료를 제시하고 경제성을 검토하며, 시스템 사용상의 문제점 및 적용 접근방향을 제시하고자 한다.

1. 2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서 제안하는 외기냉수냉방 시스템은 중간기 및 동절기에도 내부발열에 의한 냉방부하가 발생하는 건물에 적용이 가능하다. 이에 따라 냉각탑을 활용한 외기 냉수 냉방과 관련된 기초 이론에 대한 검토를 하고 아울러 실제 4계절 냉방부하가 발생하는 연구대상건축물에 대해서 냉열 원기기별 적용 가능한 Case에 대해서 시뮬레이션을 실행했으며, 연구대상 건축물의 현장 및 운영실태를 조사하여 외기냉수냉방의 에너지절약효과와 운영상 문제점등을 검토하고, 효율적 활용을 위한 설계 및 운영상의 접근방향을 제시하고자 한다.

2. 외기냉수냉방 시스템에 관한 이론적 고찰

* 정회원, 동원대학 빌딩설비디자인과 조교수
** 정회원, 중앙대 대학원 건축학과 석사과정
*** 정회원, 중앙대 건축학과 교수, 건축학박사

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 이것을 "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 것으로 보인다.

2.1.2 종류

외기냉수냉방 시스템은 냉각탑에 의해서 개방형과 밀폐형으로 나눌 수 있으며, 개방형은 수처리 장치인 필터를 이용한 방식과 열교환기를 이용한 방식으로 나누어 진다. 따라서 외기냉수냉방 시스템은 3가지의 냉각탑을 이용한 방식으로 구분할 수 있다.

(1) 수처리 장치를 설치한 개방형 냉각탑 방식(Direct free-cooling system)

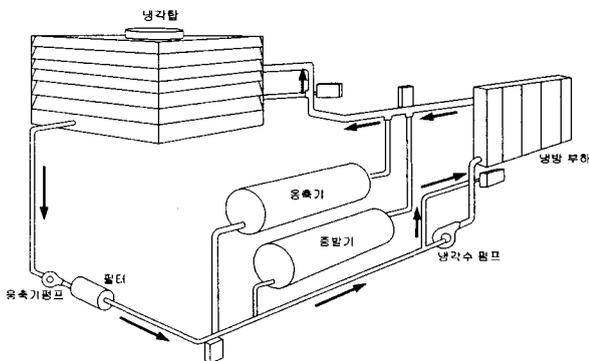


그림 1. Direct free-cooling system

여름에는 일반적으로 냉방 시스템과 마찬가지로 냉동기의 응축수를 냉각시키는 냉각탑으로 운전되며, 외기 온도가 낮아지는 중간계절이나 동계에는 외기와 열교환으로 온

도가 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.

(2) 열교환기를 설치한 개방형 냉각탑 방식(Indirect free-cooling system)

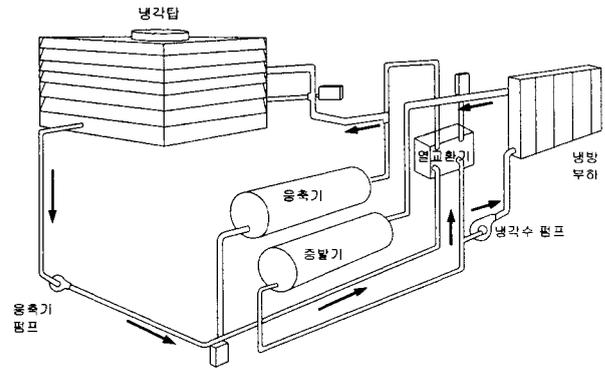


그림 2. Indirect free-cooling system

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 냉수코일등의 오염이 방지된다.

(3) 밀폐형 냉각탑 방식(Refrigerant migration free-cooling)

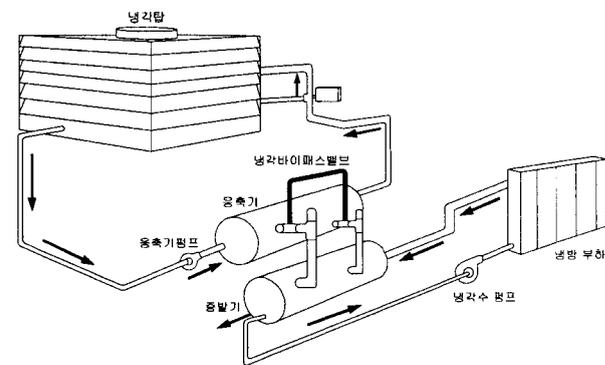


그림 3. Refrigerant migration free-cooling

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.

2.2 냉각탑의 냉각수 온도제어에 대한 고찰

2.2.1 냉각수 온도제어의 목적

동절기에 외기온도가 -5°C 이하로 낮아지면 공기 입구측

충진물에 결빙이 발생하여 공기의 통풍을 저하시키기 때문에 냉각수 온도가 상승하게 된다. 따라서 쿨링타워의 효율이 떨어지고 외기냉수냉방 시스템에 의한 냉방효과도 적어지게 된다. 또한 이러한 결빙을 제거하기 위한 운용비가 추가되기 때문에 냉각수의 온도제어가 필요하다.

2.2.2 냉각수 온도제어 방법

냉각수 온도 제어방법에는 냉각탑 팬의 ON-OFF제어, 냉각수의 바이패스 제어, 냉각탑의 대수제어, 인버터에 의한 냉각탑 팬의 회전수 제어가 있다. 일반 공조의 경우에는 바이패스 제어와 대수제어를 병용하며, 냉각탑의 운전시간이 긴 공장공조 등의 경우는 에너지 절약 차원에서 인버터에 의한 회전수 제어를 하는 경우가 많다.

3. 대상 건물의 시뮬레이션

3.1 연구대상건물의 개요

본 논문에서 다루고자 하는 연구 대상 건물은 서울 소재 지하2층, 지상 8층의 연면적이 22,122㎡ 규모인 교환국사용도로 건물 내부에 통신장비로 인한 연간 냉방부하가 발생하는 건물이다. 2002년 12월에 준공되어 운영되고 있다. 지하 1층과 2층에는 주차장과 기계 및 전기실이 있으며, 지상 1층과 2층에는 교환국사의 업무를 담당하며 지상 3층부터 8층까지 통신장비가 갖춰진 통신시설로 되어있다. 이 건물은 교환국사의 용도로 이용되기 때문에 24시간 연중무휴 내부의 발열에 의한 냉방부하가 있는 곳이다. 따라서 중간기나 동절기에는 낮은 외기온도를 이용하여 냉방을 하고 있으며, 열교환기를 설치한 개방형 냉각탑 방식의 외기냉수냉방 시스템이 이용되고 있다.

3.2 대상 건물의 시뮬레이션 분석 및 결과

본 연구는 Visual DOE 3.0 프로그램을 사용하여 외기냉수냉방 시스템의 에너지 분석을 했다. 본 시뮬레이션은 4가지의 대안을 적용하였으며, 1 Case는 터보냉동기, 2 Case는 흡수식 냉동기, 3 Case는 터보냉동기+흡수식냉동기, 4 Case는 실제로 대상건물에 적용되고 있는 외기냉수냉방 시스템을 적용했다.

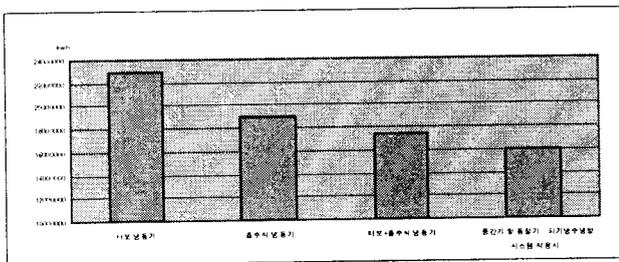


그림 4. Case별 전력량 비교

4가지 Case에 대해서 다음과 같은 분석결과를 도출할 수 있다. 중간기나 동절기에 외기냉수냉방 시스템을 적용시킨 경우에 터보냉동기와 비교했을 때 30%, 흡수식냉동기와 비

교했을 때 16%, 터보식과 흡수식을 혼합한 방식과 비교했을 때 8%의 비용절감을 나타내고 있었다.

또한 Case별 시뮬레이션의 결과에서 터보냉동기와 흡수식 냉동기를 조합 설치되어 있는 경우가 보다 에너지 절약효과가 있다는 것을 알 수 있었다.

따라서 중간기 및 동절기에 냉동기를 사용하여 냉방을 하는 경우보다 외기냉수냉방 시스템의 도입하여 냉방하는 경우에는 많은 에너지 절약효과를 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 외기냉수냉방 시스템에 관한 실태조사

외기냉수냉방 시스템의 에너지 절약실태를 위해 이 장에서는 대상건물의 월별 전력소비량과 냉방부하를 조사하여 나타냈으며 실제 운영되고 있는 11월부터 2월까지 외기냉수냉방 시스템이 적용되는 기간에서의 터보냉동기를 가동했을때와 비교하여 절감비용에 대해서 산출하였다.

4.1 대상건물의 연간 전력소비량 조사

대상건물의 통신동력, 냉방동력, 전등 및 기타동력에 대해서 월별 전력소비량을 근거로 연간 전력 소비량을 산출하였다.

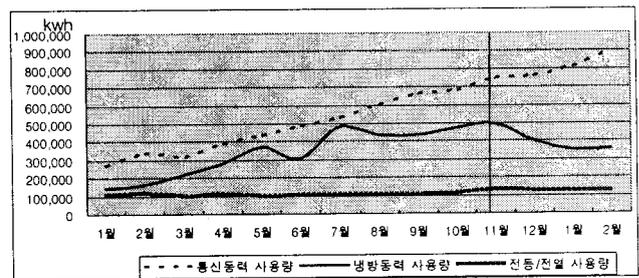


그림 5. 연간 전력사용량

대상건물은 2002년 12월에 준공되어 최근 통신장비를 모두 갖추고 교환국사로서의 역할을 담당하고 있다. 통신장비로 인한 통신동력은 연간 전력소비량의 54% 이상을 차지하고 있으며, 내부의 발열에 의한 냉방동력도 34% 이상을 차지하고 있다. 또한 11월부터는 통신동력이 증가하는 반면에 냉방동력이 감소하는 추세를 나타내고 있다. 이는 대상 건물에 11월부터 외기냉수냉방 시스템이 도입되어 전력량이 상당히 절약되고 있음을 알 수 있다.

4.2 대상 건물의 연간 냉방부하 조사

대상 건물에서 냉방부하에 미치는 조건들을 정리해서 월별 냉방부하를 산출하였다.

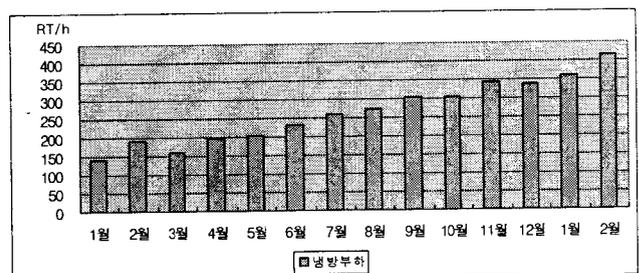


그림 6. 연간 냉방부하

대상건물의 냉방부하가 점점 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 11월 이후 중간기 및 동절기에도 냉방부하가 증가하는 것은 내부발열이 많이 발생한다는 것을 알 수 있으며, 이 같은 현상을 해결해 주기 위한 방안으로 현재 대상 건물에는 외기냉수냉방이 사용되고 있는 것으로 사료된다.

4.3 외기냉수냉방 시스템 적용 시 에너지 절감효과

중간기 및 동절기에 실제 외기냉수냉방 시스템을 적용했을 경우에 다른 시스템과의 에너지 절감효과를 비교했다. 11월부터 2월간 사용된 냉방부하를 냉동기방식과 외기냉수냉방 방식으로 나누어 에너지 절감효과를 그래프로 나타내었다.

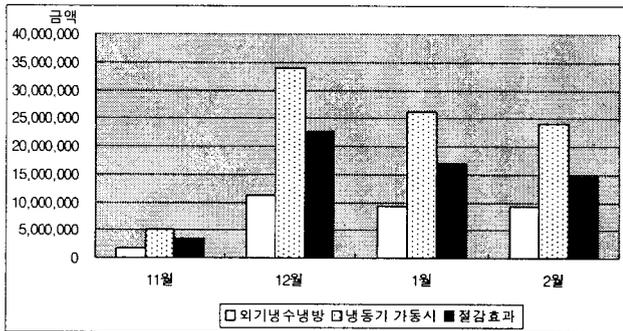


그림 7. 외기냉수냉방 적용시 에너지 절감효과

실제로 외기냉수냉방 시스템을 중간기 및 동절기에 사용했을 경우와 냉동기를 가동했을 경우를 비교했을 때 그 기간동안에서만 60%이상의 높은 에너지 절약효과를 나타내었다. 4월초까지 외기냉수냉방 시스템이 가동될 것으로 예상됨으로 에너지 절약효과는 더 클 것으로 기대된다. 따라서 중간기나 동절기에도 내부의 발열로 인해서 높은 냉방부하가 나타나는 건물에 대해서는 높은 에너지 절약효과를 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

4.4 외기냉수냉방 시스템의 운영상의 문제점

외기냉수냉방 시스템은 중간기 및 동절기에 사용되는 시스템이다. 따라서 동절기의 운영상의 문제점이 발생하고 있다. 동계 외기온도가 빙점이하로 지속되는 경우 쿨링타워의 공기 흡입구측 충전물과 그릴부분에 냉각수가 착빙되어 공기의 유입을 가로막아 통풍력이 감소되어 냉각효율이 저하되고 방치하여 계속 운전되는 경우에는 얼음이 성장하여 결국 통풍 흡입구를 막게 되어 냉각수 온도가 상승하게 된다. 따라서 관리자에 의해서 이러한 착빙현상을 제거하기 위해 운영상의 많은 문제점이 뒤따르고 있다.

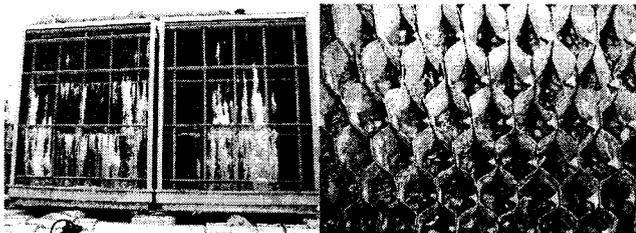


그림 8. 냉각탑의 흡입측 착빙현상

5. 결론 및 추후연구계획

5.1 결론

(1) 4계절 냉방부하가 요구되는 교환국사 등의 건축물은 연간을 거쳐 그 부하패턴이 일정하며, 내부발열이 상당히 높은 특징을 알 수 있다.

(2) 터보 및 흡수식 냉동기를 적용했을 때 보다 터보+흡수식 냉동기를 조합 운영했을 때 더 많은 에너지 절약효과가 나타났으며, 조합한 시스템에서 중간기나 동절기에 외기냉수냉방 시스템을 적용했을 때가 훨씬 더 많은 에너지 절약효과가 나타났다.

(3) 대상건물의 중간기와 동절기에 외기냉수냉방 시스템의 사용으로 에너지 절감효과가 60%이상 나타났다.

(4) 현장실태 조사 결과 외기냉수냉방 시스템이 적용되는 기간은 11월부터 4월까지임을 알 수 있으며, 운영자의 적극적인 가동 의지에 따라 외기냉수냉방 시스템으로 인한 더 많은 에너지 절약효과가 있었으며, 운영자의 수동 운영을 자동제어를 통한 제어 알고리즘을 개발하는 것이 시급한 과제를 알 수 있었다.

(5) 동절기에는 냉각탑의 냉각수의 결빙으로 인해서 냉각탑의 효율이 저하되어 냉각수의 온도가 상승되는 문제점들이 발생하였으며, 냉각수의 온도제어 방식에 의한 결빙현상을 막아주는 방법이 필요하다.

5.2 추후연구계획

건물의 에너지 절약을 위한 외기냉수냉방 시스템의 제어 알고리즘을 도출하고 냉각탑의 냉각수 온도제어를 통한 운영상의 문제점을 보완해야 될 것이며, 외기냉수냉방 시스템이 적용될 수 있도록 최적설계방안을 도출하여 중간기 및 동절기에 많은 에너지를 외기냉수냉방 시스템으로 절약하는 방법을 연구하고자 한다.

참고문헌

김훈채, 쿨링타워를 활용한 외기냉수냉방 시스템에 관한 연구. 중앙대학교 건설대학원, 2003
 이수연, 냉각탑을 이용한 외기냉방, 냉동공조기술(한국냉동공조기술협회지), v.10, n.6(1993-06)
 Beyene, Ph.D., and Lowrey Asfaw, Ph.D. "A Preliminary Assessment of Strategies to Raise the Off-Design Energy Efficiency of Chiller Machines." San Diego State University Mechanical Engineering Department, San Diego, CA, 1994.
 Hensley, J.C., The Application of Cooling Towers for Free Cooling, ASHRAE transactions, 1994
 Neuman, V.A., P.E and H.M. Guven, Ph.D. "Laboratory Building HVAC Systems." ASHRAE Transactions, V. 94, Part 2, Laboratory HVAC, 1994
 White, T.L., P.E. "A Winter Cooling Tower Operation for a Central Chilled-Water System." ASHRAE Transactions: Symposia, 1994.