

데이터 센터의 외기냉수냉방 시스템에 대한 에너지 절감효과 분석

Analysis on the Energy Saving Effect of Free Cooling System in Data Center

윤정인* · 손창효*† · 허정호** · 김영민***

Jung-In Yoon*, Chang-Hyo Son*†, Jeong-Ho Heo** and Young-Min Kim***

(접수일 : 2014년 03월 28일, 수정일 : 2014년 05월 07일, 채택확정 : 2014년 05월 07일)

Abstract: Recently, Free cooling system usage has increased at many buildings in intermediate and winter season. Free cooling system is used to reduce the energy consumption of refrigeration in that season. Free cooling system is refrigeration system using cooled water. In general, this system is applied with the building having refrigeration load at all time such as a data center. In this study, energy consumption of a data center taking free cooling system in Ulsan was evaluated by the software HYSYS. the main result is as in the following : free cooling system is effective from January to April and from November to December. In case of Ulsan in 2013, using free cooling system is able to spend refrigeration energy of about 15% less than existing system. According to this result, it is appropriated that free cooling system is used in building having refrigeration load at all time such as data center.

Key Words : Free Cooling System, Compressor Work, Data Center, Dry Cooler, Energy Consumption, HYSYS

— 기 호 설 명 —

최근 들어 IT장비의 사용증가와 미관적인 문제로 유리를 외벽으로 사용하는 건물이 늘어남에 따라 중간기나 동계에도 냉방을 요구하는 사례가 증가하고 있다. 따라서 중간기나 동계에 에너지를 절감하기 위한 목적으로, 외기냉방의 도입이 필요하다.

일반적으로 외기냉방은 낮은 온도의 외기를 이

용하여 건물 내를 냉방을 하는 것으로, 외기를 직접 대상건물의 실내로 도입하여 AHU(Air Handling Unit)을 통해 실내의 온습도를 조정한다. 반면에, 본 연구에서 분석하고자 하는 외기냉수냉방은 외기를 직접 도입하지 않고, 외기와 냉수가 열교환하기 때문에 외부의 오염물질이 유입할 위험성이 없고 안정적인 온도제어가 가능하다. 이러한 특징 때문에 외기냉수냉방은 청정도에 민감한 장비가 많은 데이터센터에 사용된다. 해외의 경

*† 손창효: 부경대학교 냉동공조공학과
E-mail : sonch@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6183

*윤정인 : 부경대학교 냉동공조공학과

**허정호 : 부경대학교 냉동공조공학과 대학원

***김영민 : (주) 정인하이테크

*† Chang-Hyo Son : Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong University.

E-mail : sonch@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6180

*Jung-In Yoon: Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong University.

**Jeong-Ho Heo : Graduate School of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong University.

***Young-Min Kim : JUNG IN HI-TECH CO.,LTD

우, 데이터 센터와 방송국뿐만 아니라 일반 사무실에 널리 이용되고 있다. 그러나 국내의 경우, 외기냉수냉방에 대한 인지도가 낮아서 적용사례도 매우 적은 실정이다.¹⁾

지금까지 발표된 외기냉수냉방에 대한 대표적인 종래의 연구를 살펴보면, 우선 Kim 등²⁾은 냉각탑을 이용한 여러 외기냉수냉방시스템을 이론적으로 고찰하고 국내의 사례를 조사하여 외기냉수냉방의 적용 가능성과 에너지 절감효과 분석을 실행하였다. Kim 등은 외기냉수냉방 시스템의 효과적인 사용을 위해서는 상시 내부 발열이 형성되는 존(zone)에 적용하는 것이 바람직하며 열교환기의 어프로치온도가 낮을수록 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절감효과가 향상됨을 언급했다. 이와 유사한 연구로, Kim 등³⁾은 방송국이나 기록보존소의 실질적인 열설계도를 근거로 하여 외기냉수냉방 시스템을 적용할 경우, 에너지 절감 정도와 그 비용을 산출하여 외기냉수냉방 시스템 적용의 타당성을 주장했다. 위의 두 연구 사례가 냉각탑을 이용한 외기냉수냉방에 관한 연구인 반면, Yoon 등⁴⁾은 드라이쿨러를 도입한 외기냉수냉방 시스템의 시장전망과 산업화 가능성에 대해서 논하였다. Yoon은 스크류 냉동기의 범용성이 높고 단일 유닛형태로 제품화가 가능하며 여러 용도에 사용가능한 외기냉수냉방 시스템을 제안하였다. 그러나 드라이쿨러를 도입한 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절감효과에 대한 분석지표가 미비하다. 따라서, 본 논문에서는 HYSYS⁵⁾ 프로그램을 이용하여 드라이쿨러를 도입한 외기냉수냉방 시스템과 일반 냉방 시스템을 데이터센터에 적용하여 연간 압축일량을 이론적으로 비교함으로써 외기냉수냉방시스템을 통한 에너지 절감효과를 분석하고자 한다.

2. 시뮬레이션 대상 및 조건

2.1 시뮬레이션 대상 및 온도조건

외기냉수냉방의 이용이 가장 적합한 건물로는 데이터 센터이다. 데이터센터의 특징은 24시간 상시 운전해야하고 계절에 관계없이 냉방부하가 일

정하기 때문에 상시 냉방이 요구된다. 따라서 본 연구에서 선택한 지역은 국내의 데이터센터 입지 조건으로 알맞은 곳 중 하나로 울산시를 택했으며 울산시의 2013년도 기온을 기준으로 분석하였다.

2.2 시스템 운전 조건

Fig. 1³⁾은 본 연구에서 채용한 외기냉수냉방 시스템으로, 증기 압축식 냉동시스템과 공랭식 열교환기인 드라이쿨러(Dry cooler) 시스템으로 구성된다. 우선, 증기압축식 냉동시스템은 압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브로 이루어져 있다. 그리고 드라이쿨러 시스템은 드라이쿨러, 저장탱크, 3방 밸브, 순환수 펌프 등으로 구성된다. 냉수는 드라이쿨러와 냉동시스템의 증발기를 거치며 목표온도에 도달한 상태로 실내의 열을 제거한다. 실내 공기와 열교환하여 온도가 상승한 냉수는 드라이쿨러와 증발기 각각 단일 운전하거나 혼용 운전하여 냉각된다.

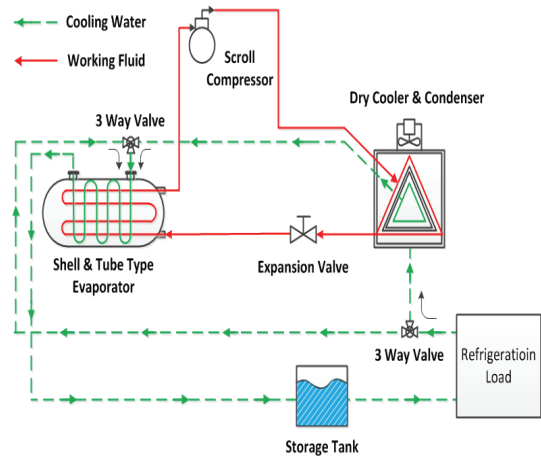


Fig. 1. Schematic of free cooling system in this study

Table 1은 본 시스템의 구성기기의 세부 사양을, Table 2는 외기냉수냉방 시스템의 구성기기에 대한 운전조건을 나타낸 것이다.

Table 2의 운전조건에 따라 냉수의 유량은 8017kg/h 이며 외기온도의 범위는 연간 최저 -15℃에서, 최고온도인 40℃로 설정하였다. 그리고 기

준온도는 2℃와 7℃로서, Table 2의 Dry cooler의 대수평균온도차(LMTD)와, Dry cooler와 응축기의 최대 외기도입량에 따라 결정된다.

Table 1. Specifications of main components for free cooling system proposed in this study.

System component	Type
Working fluid	R407C
Evaporator	Shell & Tube Heat exchanger
Dry cooler & Condenser	Air cooling exchanger
Compressor	Scroll Compressor
Cooling water	Water/Ethylene glycol[70:30]

Table 2. Operation conditions of free cooling system

Reference	Value
Compressor efficiency [%]	60
Water pump efficiency [%]	75
Dry cooler & Condenser LMTD [℃]	5
Inlet out air volume flow of dry cooler [m ³ /h]	33778.8
Refrigeration load [kcal/h]	30240
Required cooling water temperature [℃]	7
Outlet cooling water temperature [℃]	12

일반적인 외기냉수냉방 시스템은 드라이쿨러를 사용하지 않고 냉각탑을 사용하는 경우도 많다. 그러나 본 연구에서는 설치와 유지보수 측면에서 유리한 드라이쿨러를 적용하여 단일 유닛화에 초점을 두고 설계하였다. 그럼으로, 본 연구의 외기냉수냉방 시스템은 외기의 온도에 따라 다음과 같은 3가지 방식으로 운전된다.

(1) 외기의 온도가 7℃보다 높은 경우, 드라이쿨러를 이용하여 냉방할 수 없기 때문에, 냉동기만을 통해 냉수를 냉각하는 방식

(2) 외기 온도가 2℃보다 낮을 경우, 냉동기를 전혀 운전하지 않고, 드라이쿨러만으로 냉수를 냉각하는 방식

(3) 외기 온도가 2℃ 이상 7℃이하일 경우 드라이쿨러와 냉동기를 동시에 사용하여 냉수를 냉각하는 방식

3. 결 과

3.1 외기온도에 따른 압축일 비교

Fig. 2는 Table 2의 운전조건에서 외기온도에 따른 기존 냉방 시스템과 외기냉수냉방 시스템의 압축일량을 서로 비교한 것이다.

Fig. 2로부터, 외기냉수냉방 시스템의 경우, 최대 송풍량을 기준으로 외기온도가 2℃이하일 때, 냉동기를 운전하지 않아도 전체 냉방부하를 처리할 수 있기 때문에, 외기냉수냉방 시스템의 압축일은 0 kW로 된다. 그러나, 외기온도가 3~6℃인 경우에는 일부 냉방부하는 Dry cooler가, 그 외는 냉동기가 담당하기 때문에, Dry cooler가 담당할 수 있는 부분만큼 냉동기의 소비동력이 감소한다. 그리고 외기온도 7℃이상인 경우에는 기존 시스템과 외기냉수냉방 시스템 모두 냉동기를 통해 냉방이 이뤄지기 때문에 동일한 결과를 나타낸다.

Fig. 2로부터, 외기온도 3~6℃사이에서 외기의 온도가 상승할수록 외기냉수냉방의 압축일이 급격히 상승한다. 이는 Dry cooler의 LMTD가 5℃이므로 3℃에서 외기만으로 냉각이 가능한 최저 냉수온도는 7℃(요구온도)에 가까운 것에 비하여 6℃에서는 냉각의 기능이 현저히 낮아져 냉동장치의 증발기로 유입되는 냉수의 온도가 외기온도 3℃에 비하여 높기 때문이다. 따라서 외기온도 3℃에서는 냉동장치가 담당해야할 부하가 적은 반면 6℃에서는 대부분의 냉방부하를 냉동장치가 담당해야하기 때문에 Fig. 2와 같은 결과를 나타낸다.

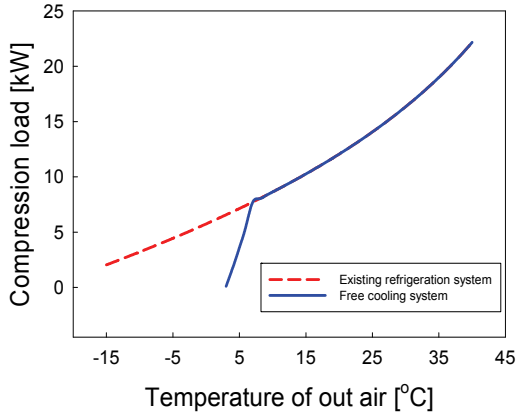


Fig. 2. Comparison of compressor work of existing system and free cooling system

Fig. 2로부터, 외기 온도와 압축일이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 외기온도가 상승할수록 응축압력이 상승하기 때문이다. 즉, 압축기는 응축압력까지 작동유체에 압력을 가해야하고 이는 외기온도가 상승할수록 압축기 소모동력이 증가함을 의미한다. 그리고 외기온도 상승으로 인해 압축일이 증가하는 이유는 응축압력이 상승뿐만 아니라, 시스템의 작동유체 유량이 증가기 때문이다. 작동유체가 응축과정에서 그 온도와 압력이 상승하고 증발온도는 이전과 동일한 경우, 작동유체가 팽창밸브를 통해 증발압력으로 감소할 때 작동유체의 건도는 응축압력이 상승할수록 증가한다. 그리고 건도가 높을수록 증발할 수 있는 작동유체의 유량이 감소하기 때문에, 냉방부하를 감당하기 위해서는 시스템을 순환하는 작동유체의 유량이 증가하고, 따라서 압축일이 증가한다.

Fig. 3은 Table 2의 운전조건에서 외기온도 변화에 따른 증발기 입구 작동유체의 유량과 건도의 관계를 나타낸 것이다.

Fig. 3으로부터, 외기온도의 상승은 외기냉수냉방 시스템뿐만 아니라, 기존 시스템의 압축일량에도 동일한 영향을 미친다. 따라서 기존 냉방시스템을 채용하는 경우에도 기온이 높은 하계에 비하여 동계가 에너지 소모율이 낮아짐을 추측할 수 있다.

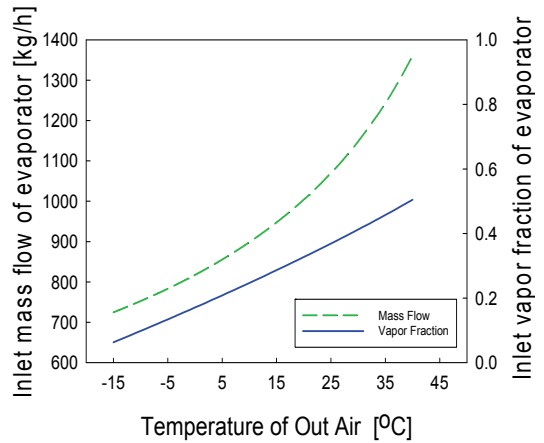


Fig. 3. Inlet mass flow and vapor quality of evaporator for free cooling system

3.2 연간 압축일

본 연구에서는 2013년 울산시의 매 시간 외기 온도를 기준으로, 외기냉수냉방과 기존 냉방 시스템의 연간 압축일량을 서로 비교하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같다.

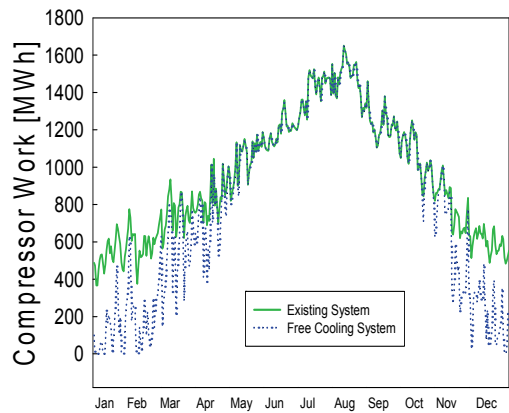


Fig. 4. Comparison of compressor work per day of existing system and free cooling system in 2013, Ulsan city.

Fig. 5는 월별 외기냉수냉방과 기존 냉방시스템의 압축일량을 서로 비교한 것이다.

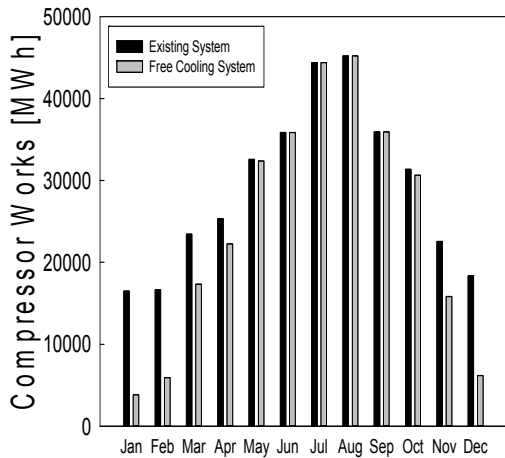


Fig. 5. Comparison of compressor work per month of existing system and free cooling system in 2013, Ulsan city

Fig. 5로부터, 두 시스템의 월별 비율은 1월에는 외기냉수냉방시스템이 기존 시스템의 23.3% 정도 압축일을 소모하였으며, 2월에는 35.6%, 3월에는 73.9%, 4월에는 87.9%로 점점 상승한다. 5월부터 10월까지 두 시스템의 에너지 소모량은 동일하다. 그리고 다시 11월부터 외기온도가 낮아지면서 외기냉수냉방의 에너지 사용량 비율이 기존 냉방시스템에 비하여 70.2%, 12월에는 33.7%로 외기온도가 낮은 날이 많은 기간일수록 그 에너지 소모량도 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 이상의 비교 결과로부터, 연간 에너지 사용량 측면에서는 기존 시스템이 348.15GWh, 외기냉수냉방 시스템이 295.79GWh로 외기냉수냉방을 통해 약 15%의 에너지 절감이 가능한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 울산시의 데이터센터를 대상으로 기존 냉방시스템과 외기냉수냉방 시스템의 연간 압축일량을 서로 비교하였으며, 이에 대한 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 논문에서 채용한 Dry cooler의 경우 냉각탑처럼 설치위치나 조건에 비교적 구애받지 않고

단일 유닛형태로 시스템구조가 단순하여 설치가 용이한 이점이 있다.

2. 외기온도가 낮은 동계 즉, 11월에서 3월에 외기냉수냉방을 통한 에너지 절감효과를 볼 수 있으며 일반 공조에서 요구하는 냉수온도가 7℃ 이므로 외기온도가 최소 6℃이하일 경우 외기냉수냉방을 적용할 수 있다.

3. Dry cooler를 적용한 외기냉수냉방 시스템으로 울산시의 전산센터의 경우 기존의 냉방시스템에 비하여 약 15%의 에너지 절감이 가능한 것으로 예상된다.

이상의 결과로부터, 울산지역에서의 부하가 상시 존재하는 건물에는 외기냉수냉방 시스템의 적용성이 크다고 볼 수 있다. 그러나 사용용도에 따라 부하가 특정시간에만 존재하는 경우가 발생할 수 있으며, 지역의 환경에 따라 외기냉수냉방 시스템의 효과가 달라진다. 따라서 국내 외기냉수냉방 시스템의 적용 가능성을 분석하기 위해서는 다양한 온도범위의 냉수를 적용하고 서울, 순천, 광주 등 울산시외 여러 지역의 온도의 데이터 적용을 통한 분석이 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부가 지원하는 ‘지역특화산업육성사업 기술개발’결과임을 밝히며 연구비 지원에 감사드립니다.(과제번호:R0002687)

References

1. S. H. Kim, J. Y. Yeon, Y. K. Choi and E. K. Lee, 2011, "A Study on Free Coolig System for the Energy Saving in the Data Center", Summer Annual Conference of Society of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea, pp. 810-814.
2. S. H. Kim, J. Y. Yeon, Y. K. Choi and E. K. Lee, 2006, "A Study on the Energy Saving Effects of Free Coolig System", Journal of Archetural Institute of Korea, Vol. 22, No. 2, pp.

228-234.

3. B. S. Kim, Y. G. Kim, Y. G. Kwon, J. E. Choi and M. K. Song, 2010, "Saving of Free Cooling System", Summer Annual Conference of Society of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea, pp. 394-397.
4. J. I. Yoon, C. H. Son, Y. M. Kim, 2013, "Power Reduction Cooling System Using Outdoor Air", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 12-16
5. Aspentech Software HYSYS. 8.0v