

## 지역별 프리쿨링 시스템의 에너지 절감 분석

### Analysis of Energy Reduction of Free Cooling System with Regions of South Korea

윤정인\* · 손창호\*† · 최광환\* · 백승문\* · 허정호\*\* · 김영민\*\*\*

Yoon Jung-In\*, Son Chang-Hyo\*†, Choi Kwang-Hwan\*, Baek Seung-Moon\*,  
Heo Jeong-Ho\*\* and Kim Young-Min\*\*\*

(Submit date : 2014. 4. 28., Judgment date : 2014. 4. 28., Publication decide date: 2014. 6. 23.)

**Abstract :** Using low outdoor temperature, free cooling system is used in a data center or industrial air-conditioning for energy saving. Because use of IT equipment has increased in some office building recently, there is a growing trend towards using free cooling system. Free cooling system performance is influenced by outdoor temperature. Therefore the performance is different with regions. In this study, performance characteristic of free cooling system is analysed and energy reduction is compared with some regions. Selected regions are 4 cities: including Ulsan analyzed in preceding research, Seoul, ChunCheon and Daejeon. The Aspentech software HYSYS 8.0v was used to conduct the analysis of free cooling system based on temperature per hour of 4 cities in 2013, respectively. The main result is following as. Free cooling system in this study has energy saving effect when outdoor temperature below 7°C. Because temperature of Chuncheon is relatively low, using free cooling system can conserve most air-conditioning energy. Energy reduction amount of Seoul is 11%, Chuncheon is 17.5%, Daejeon is 15%, Ulsan is 14%. In case of large scale of air-conditioning, it is reasonable to use free cooling system although the system is used in Seoul

**Key Words :** 프리쿨링 시스템(Free cooling system), 압축일량(Compressor work), 드라이쿨러(Dry cooler), 에너지 절감(Energy conservation), 성능 분석(Performance Analysis), HYSYS.

\*† 손창호(교신저자) : 부경대학교 냉동공조공학과  
E-mail : sonch@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6180  
\*윤정인, 최광환, 백승문 : 부경대학교 냉동공조공학과  
\*\*허정호 : 부경대학교 냉동공조공학과 대학원  
\*\*\*김영민 : (주) 정인 하이테크

\*† Son Chang-Hyo(corresponding author) : Department of Refrigeration and air-conditioning Engineering, Pukyong University.  
E-mail : sonch@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6180  
\*Yoon Jung-In, Choi Kwang-Hwan, Baek Seung-Moon : Department of Refrigeration and air-conditioning Engineering, Pukyong University.  
\*\*Heo Jeong-Ho : Graduated of Department of Refrigeration and air-conditioning Engineering, Pukyong University.  
\*\*\*Kim Young-Min : Jung-In Hitech LTD.,

## 1. 서 론

20세기 중반부터 시작된 산업화가 전 세계적으로 진행됨에 따라 에너지 수급문제와 환경과피문제가 화제가 되고 있으며 이러한 문제를 해결하기위해 신재생에너지 개발과 고효율 기기 및 에너지 절감 시스템의 연구가 진행되고 있다. 그러나 삶의 윤택함을 위해서 냉동·냉방 기술의 사용은 필수적이며, 21세기에 들어선 지금 첨단 기술의 발달과 IT장비의 사용증가로 인해 하계에만 주로 이뤄지던 냉방이 동계와 중간기에도 실행됨에 따라 냉방으로 인한 에너지 사용이 증가하는 추세이다. 이러한 냉방으로 인한 에너지 소모를 줄이고자 고안된 것 중 하나로 프리쿨링 시스템이 있다. 프리쿨링 시스템은 중간기나 동계의 낮은 외기의 온도를 이용하여 냉방을 하거나 냉수를 생산하는 시스템을 뜻한다. 프리쿨링 시스템은 2가지로 분류할 수 있으며, 외기냉방과 외기냉수냉방 시스템이다. 외기냉방 시스템은 건물공조에 사용되며 외기를 직접 도입하여 AHU(Air Handling Unit)를 통해 온·습도를 조절한 외기를 실내에 제공하는 시스템을 뜻한다. 외기냉방 시스템은 외기냉수냉방 시스템에 비하여 동일소모전력 대비 냉방능력이 높으나 AHU에 장착된 필터의 주기적인 교환과 점검이 필요하며 외기를 실내로 직접 도입하기 때문에 필터 등의 설치에도 불구하고 오염물질 유입의 가능성이 존재하므로 청정도에 민감한 장비를 냉각할 경우에 적당하지 않다. 반면, 외기냉수냉방 시스템은 동계와 중간기의 낮은 외기와 냉수(chilled water)의 열교환을 통해 냉수를 생산하며, 이 냉수는 일반 공조 또는 프로세스 공조에 사용되거나 저온수를 요구하는 공정에 적정온도의 물을 제공한다. 외기냉수냉방 시스템은 외기냉방 시스템

에 비하여 동일소모전력 대비 냉방능력은 낮지만 외기를 직접도입하지 않기 때문에 데이터센터나 산업공정과 같은 민감도가 높은 사용처에서 이 시스템을 도입한다.<sup>1)</sup> 최근에는 IT장비 사용의 증가로 일반 사무실에서도 중간기 또는 동계에 냉방운전을 하는 사례가 증가함에 따라 냉수를 사용한 프리쿨링시스템의 도입 또한 증가하는 추세이다. 이러한 경향에 의해 냉수를 이용한 프리쿨링 시스템의 실효성과 개발에 대한 여러 연구가 진행되고 있다. 먼저 Kim등<sup>2)</sup>은 국내의 프리쿨링 시스템이 적용된 실증 사례를 조사하여 프리쿨링 시스템의 조건에 따른 소비동력의 정량적 변화를 분석하였다. Kim등의 연구에 따르면 습구온도와 열교환기의 최소온도차에 따라 절감 가능한 에너지가 결정되며 습구온도와 열교환기 최소온도차가 감소할수록 프리쿨링 시스템의 성능이 향상됨을 주장했다. 이와 유사한 연구로 Kim등<sup>3)</sup>은 방송국이나 기록보존소의 실질적인 열설계도를 근거로 하여 프리쿨링 시스템을 적용할 경우, 에너지 절감 정도와 그 비용을 산출하여 프리쿨링 시스템 적용의 타당성을 주장했다. 그러나 위의 두 논문의 프리쿨링 시스템은 그 사용을 데이터센터 또는 방송국과 같은 고부하 건물로 제한하여 일정이상 규모에서의 프리쿨링 시스템 사용에 대한 지표는 될 수 있으나 다양한 규모의 프리쿨링 시스템 적용에는 해당되지 않는다. 그리고 냉각탑을 적용함으로써 냉각탑이 가진 단점인 유지보수 관리측면에서의 불이익과 상황에 따라 설치가 부적합할 경우도 있으며 동과 가능성이 내제되어있다. 이러한 냉각탑을 적용한 프리쿨링 시스템의 단점을 보완하기 위해 Yoon<sup>4)</sup>등은 드라이쿨러를 적용한 프리쿨링 시스템을 제안하고 산업전망과 사업화 가능성을 평가하였으며, 본 연구의 선행연구로써 Yoon<sup>5)</sup>

등은 드라이쿨러를 도입한 프리쿨링 시스템의 성능특성과 에너지 절감효과를 분석하여 그 실효성을 나타냈다. 본 연구의 선행연구에서는 2013년 울산시의 외기온도를 기준으로하여 프리쿨링 시스템을 적용하였을 경우, 절감 가능한 에너지를 정량화하였으며 드라이쿨러를 적용한 프리쿨링 시스템을 사용하는 것에 대한 이점에 대해 논했다.

선행 연구에서 드라이쿨러를 적용한 프리쿨링 시스템의 단일지역의 절약효과를 분석하였으나 시스템 특성상 외기온도에 의해 그 성능이 좌우되므로 국내의 여러 지역에 따라 그 적용효과가 차이가 있으며 이에 대한 연구자료가 미비한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 드라이쿨러를 도입한 프리쿨링 시스템의 성능 분석과 국내의 기상조건이 다른 4개의 도시, 서울시, 강원도 춘천시, 대전시, 울산시를 적용지역으로 하여 지역별 에너지 절감효과를 비교, 분석 하였다.

## 2. 시스템 환경 및 시뮬레이션 환경

### 2.1 시스템 조건

그림 1<sup>5)</sup>은 본 연구에서 채용한 프리쿨링 시스템의 개략도로 시스템은 드라이쿨러와 냉동기로 구성되어있다. 프리쿨링 시스템은 냉수를 이용한 냉방 시스템으로 룸(Room)을 통과한 냉수는 외기온도에 따라 드라이쿨러를 통하여 냉각된다. 외기온도가 높아 드라이쿨러를 통해 냉수를 충분히 냉각시키지 못할 경우 증발기에서 냉수의 온도를 강하하는 방식으로 냉방한다.

본 연구의 프리쿨링 시스템 구성기기는 스크롤 압축기와 셸 튜브 타입의 증발기, 공랭식 열교환기의 응축기와 드라이쿨러로 응축기와 드라이쿨러는 외기도입을 위한 송풍기를 공유

하고 있는 구조이다. 표 1은 시스템 구성기기의 운전조건이다. 냉방을 위해 룸으로 유입되는 냉수의 온도는 7℃, 토출온도는 12℃로 일반 공조에 사용되는 냉수온도이며 냉방부하와 룸으로 유·출입하는 냉수온도에 따라 냉수 순환량이 결정되었다.

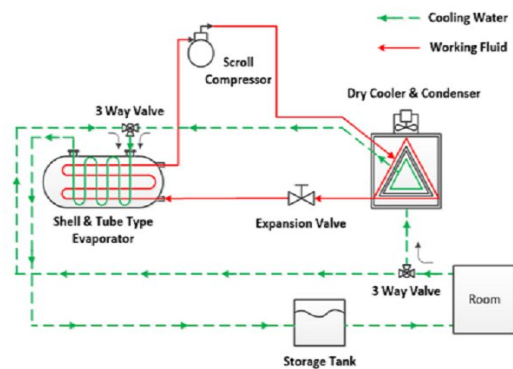


Fig 1. Schematic of free cooling system in this study

Table. 1 System condition of free cooling system

Working fluid	R407C
Scroll compressor efficiency [%]	75
Chilled water pump efficiency [%]	75
Dry cooler & condenser LMTD [℃]	5
Room's cooling load [kcal/h]	28,000 [32.56kW]
Dry cooler & condenser air volume flow [cmm]	280
Inlet chilled water temperature of room [℃]	7
Outlet chilled water temperature of room [℃]	12
Chilled water mass flow [kg/h]	7,424

### 2.2 시뮬레이션 조건

본 연구에서는 프리쿨링 시스템의 효율성을 고려하여 시스템 적용 대상을 상시 냉방부하

가 존재하는 산업용 공조라 가정하였다. 선행 연구에서 2013년 울산시의 외기온도를 적용한 프리쿨링 시스템의 에너지 절감효과를 분석한 것을 기반으로 하여 지역별 프리쿨링 시스템의 에너지 절감효과를 비교, 분석함으로써 프리쿨링 시스템의 지역별 절감효과를 비교하고자 했다. 선행된 지역으로는 선행연구에서 적용한 울산시와 서울시, 춘천시, 대전시로 4개 도시의 2013년 매시간 온도데이터를 본 연구의 프리쿨링 시스템에 적용하였으며 분석을 위해 상용프로그램 HYSYS 8.0v를 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시스템 성능 특성

본 연구의 프리쿨링 시스템은 외기온도에 따라 그 운전방식이 변하며 운전방식은 드라이쿨러 단독운전, 냉동기 단독운전, 드라이쿨러와 냉동기 혼용운전으로 나눌 수 있다. 표 2는 프리쿨링 시스템의 운전방식으로 외기온도에 따라 냉수회로가 변경되어 드라이쿨러의 통과유무가 결정됨을 보여준다.

Table. 2 Operation type of free cooling system with out-door temperature

Out-door temperature	Operation type
Below 2℃	Dry cooler isolated operation
From 2℃ to 7℃	Dry cooler & refrigerator parallel operation
Above 7℃	Refrigerator isolated operation

표 2의 운전방식의 기준이 되는 외기온도 2℃와 7℃는 시스템 설정조건 중 드라이쿨러의 성능에 의해 결정된다.

그림 2는 외기온도에 따른 드라이쿨러의 용

량을 나타낸 것으로 본 연구의 프리쿨링 시스템 운전방식의 기준이 되는 지표이다.

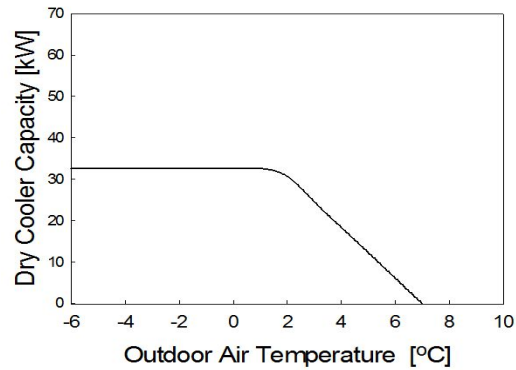


Fig 2. Dry cooler capacity with outdoor temperature

드라이쿨러의 용량은 열교환기의 LMTD와 외기도입량에 의해 결정되었으며 그림 2에 나타난 것과 같이, 외기온도 2℃미만에서 드라이쿨러를 통한 전부하처리가 가능하다. 그러나 그 이상의 외기온도에서는 온도가 상승할수록 드라이쿨러의 용량이 감소하며 7℃이상이 되면 드라이쿨러를 통한 냉방은 불가능하다. 그림 3은 외기온도에 따른 기존 시스템과 프리쿨링 시스템의 압축일량을 비교하여 나타낸 것이다.

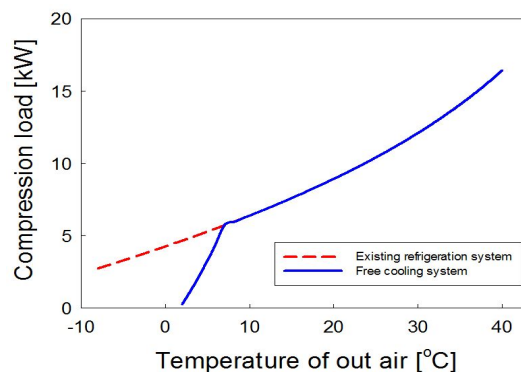


Fig 3. Comparison of compressor work of existing system and free cooling system

프리쿨링 시스템은 외기온도 2°C미만의 환경에서 드라이쿨러 단독운전을 통한 냉방이 가능하기 때문에 압축기 소모동력이 없으며, 외기온도 2°C~7°C의 경우, 기존의 시스템보다 압축일이 낮으나 외기온도 7°C이상에서는 드라이쿨러를 통한 냉방을 할 수 없으므로 두 시스템의 압축일량은 동일하다. 즉, 프리쿨링 시스템 적용을 통한 이점을 얻기 위해선 외기온도 7°C이하의 환경에서 냉방부하가 존재하는 경우이어야 함을 그림 3을 통하여 알 수 있다.

### 3.2 지역에 따른 에너지 소모 비교

외기온도에 의해 프리쿨링 시스템 운전에 요구되는 동력이 변하므로 시스템 적용지역에 따

른 소모동력에 대한 분석이 필요하다. 그림 4는 서울, 춘천, 대전, 울산의 기존 시스템과 프리쿨링 시스템의 연중 압축 일을 비교한 것이다.

서울, 춘천, 대전, 울산 4개 도시 모두 1월에서 3월, 11월에서 12월에 프리쿨링 시스템을 통한 에너지 절감이 가능하며 그 외의 기간에는 외기온도의 상승으로 기존 시스템과 동일한 압축일량을 나타냈다. 4개 도시 모두 외기온도가 높은 하계에 동력소모가 크며 기존 시스템의 에너지 소모 또한 동계가 하계에 비하여 낮다. 4개 도시 중 춘천은 동계에 타 도시에 비하여 외기온도가 낮은 일수가 많기 때문에 압축기 운전하지 않는 일수가 상대적으로 많다. 그 외의 도시인 서울, 대전, 울산은 12월

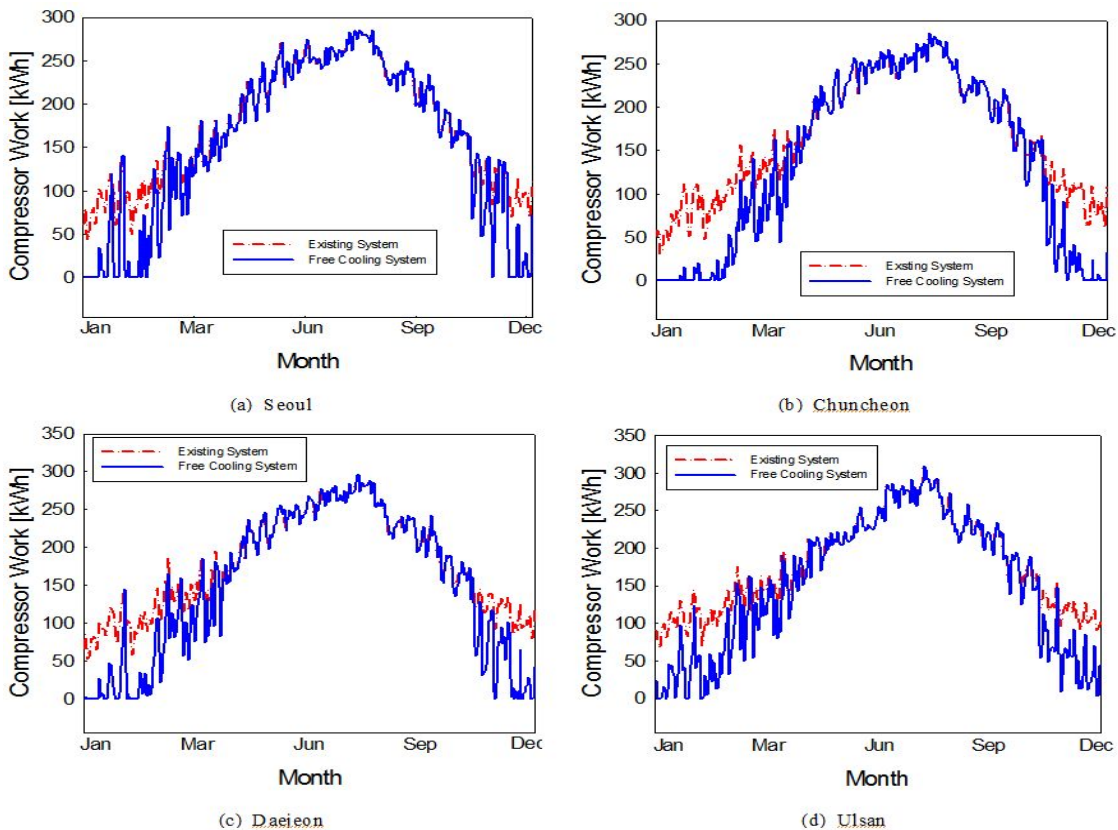


Fig.4 Comparison fo compressor work of regions of south Korea

과 1월, 2월에 압축일량이 '0'이 되는 지점이 간헐적으로 발생한다.

실제 에너지 절감 정도를 분석하기 위해선 연간 에너지 사용을 비교했다. 그림 5은 서울, 춘천, 대전, 울산 4개 도시의 기존 시스템과 프리쿨링 시스템의 연 압축일량을 나타낸 것이다.

기존의 시스템 적용으로 인한 에너지 소모량은 울산이 65.25MWh로 가장 높으나 프리쿨링 시스템을 적용할 경우 에너지소모량이 가장 높은 지역을 서울이다. 서울은 기존의 시스템 63.92MWh, 프리쿨링 시스템 적용시 57.29MWh의 연간 압축일량을 보였으며 기존 시스템 대비 프리쿨링 시스템의 압축일량이 89.6%로 타 지역에 비하여 프리쿨링 시스템 적용을 통한 소비 에너지 감소가 적은 것으로 나타났다.

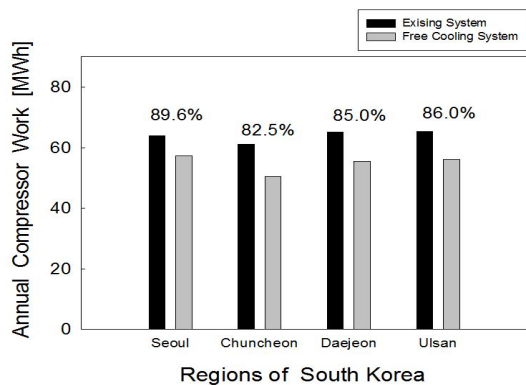


Fig.5 Comparison of annual compressor work of regions of south Korea

프리쿨링 시스템 적용으로 에너지 절감효과가 가장 높게 나타난 지역은 춘천이다. 춘천은 기존 시스템 61.81MWh, 프리쿨링 시스템 50.47MWh로 기존 시스템 대비 프리쿨링 시스템의 압축일량이 82.5%이며 기존시스템과

프리쿨링 시스템 압축일 모두 타 지역에 비하여 낮은 것으로 나타났다. 대전은 기존 시스템 65.14MWh, 프리쿨링 시스템 55.38MWh이며 울산은 기존 65.25MWh, 프리쿨링 시스템 56.12MWh이며 기존 시스템 대비 프리쿨링 시스템의 압축일량이 각각 85%와 86%로 기존시스템은 서울보다 높은 소모동력을 요구했으나 프리쿨링 시스템 적용으로 인한 절감 가능한 에너지는 더 높은 결과를 보였다.

#### 4. 결 론

본 연구는 외기온도의 지역차를 고려하여 2013년도 서울, 춘천, 대전, 울산 4개 도시의 외기온도와 프리쿨링 시스템의 특성을 통해 지역별 에너지 절감효과의 차이를 분석하였다. 프리쿨링 시스템 적용으로 에너지 절감효과가 가장 큰 지역은 춘천으로 기존 시스템에 비하여 약 17.5% 절감이 가능하다. 서울은 울산과 대전보다 상대적으로 위도가 높음에도 불구하고 울산과 대전에 절감 가능한 에너지 비율인 15%보다 다소 낮은 11%를 나타냈다. 그러나 전체 에너지 사용량의 11% 또는 그 이상의 절감은 지속적인 냉방 또는 저온의 냉수를 요구하는 대상에서 프리쿨링 시스템의 실효성이 있음을 의미한다. 따라서 국내의 외기온도 조건을 고려했을 때, 프리쿨링 시스템의 적용은 그 적용 목적에 부합할 수 있는 시스템이라 사료된다.

#### 후 기

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

## Reference

1. Cho. J. K, Jeong. C. S, Kim. B. S, Viability of HVAC System for Energy Conservation in High Density Internal-load Dominated Buildings, Journal of Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineering of Korea, pp. 530-537, 2010.
2. Kim. S. H, A Study on the Analysis of Energy Performance and Economic Feasibility of Free Cooling System, collection of dissertations of Graduate of Chungang University, 2005.
3. Kim. B. S, Kim. Y. G, Kwon. Y. G, Choi. J. E and Song. M. K, Saving of Free Cooling System, Summer Annual Conference of Society of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea, pp. 394-397. 2010.
4. Yoon. J. I, Son. C. H, Kim, Y. M, Power Reduction Cooling System Using Outdoor Air, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 12-16. 2013.
5. Yoon. J. I, Son. C. H, Heo. J. H and Kim, Y. M, Power Reduction Cooling System Using Outdoor Air, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 3, 2014.