

드라이쿨러를 적용한 외기냉수냉방 시스템 설계에 관한 연구

윤정인¹ · 백승문² · 허정호³ · 김영민⁴ · 손창효[†]

(Received September 1, 2014 ; Revised September 16, 2014 ; Accepted October 14, 2014)

A study on design for free cooling system using dry cooler

Jung-In Yoon¹ · Seung-Moon Baek² · Jeong-Ho Heo³ · Young-Min Kim⁴ · Chang-Hyo Son[†]

요약: 외기냉수냉방 시스템은 공조나 산업공정에 사용되는 냉수를 저온의 외기를 이용하여 냉각하는 시스템으로 에너지를 절감하기 위해 사용되며, 냉각시스템과 외기와 냉수가 열교환을 하는 드라이쿨러로 구성되어 있다. 외기냉수냉방 시스템은 지속적인 냉방이 필요한 곳에 에너지절감효과가 뛰어나나 국내의 경우, 외기냉수냉방 시스템에 설계 기준과 자료가 미비하다. 따라서 본 연구에서는 상용프로그램 HYSYS를 이용하여, 드라이쿨러를 이용한 외기냉수냉방 시스템의 요소변화에 따른 성능을 비교 분석했으며 그 결과는 다음과 같다. 드라이쿨러의 냉각능력은 외기온도, 요구냉수온도, 열교환기의 LMTD (Logarithmic Mean Temperature Difference, 대수평균온도차)에 따라 변한다. 드라이쿨러는 외기온도가 낮을수록 그 냉각능력이 증가하며, LMTD가 낮은 드라이쿨러가 LMTD가 높은 것에 비하여 고온의 외기온도에서 사용이 가능하였다. 외기온도가 극히 낮은 지역에서는 글리콜이 함유된 부동액을 사용해야하며 국내의 외기온도를 고려하였을 때, 글리콜농도 34%의 부동액이 적절한 것으로 판단된다. 냉동기에 적용될 작동유체의 경우, R22, R134a, R407C의 압축일을 비교했으며, R134a가 환경관련 규제와 에너지 사용측면에서 우수한 냉매로 사료된다.

주제어: 외기냉수냉방 시스템, 드라이쿨러, 압축 일, 부동액, 냉동능력, HYSYS

Abstract: Free cooling system is used to reduce energy consumption of cooling system. Free cooling system is consisted of cooling group and dry-cooler in which heat exchange of chilled water and out air is conducted. Although this system has an excellent energy saving effect in place having cooling load regularly, data or material of design for free cooling system is lacked. In this study, characteristics analysis of free cooling system is conducted through software HYSYS with changing some facts. The main result is following as : Dry-cooler capacity is influenced by out air temperature, required chilled water temperature and LMTD(Logarithmic Mean Temperature Difference) of heat exchanger. As out air temperature is more low, dry-cooler capacity become increased. in addition, as required chilled water temperature is more high and LMTD is more low, the out air temperature range is widened for using dry-cooler. If out air temperature is below 0°C, antifreeze need to be used because freeze and burst can be occurred. In case of South Korea, antifreeze of 34% of ethylene glycol concentration is proper. When compressor load of R22, R134a and R407C is compared, considering environmental regulation and energy consumption, R134a is best working fluid.

Keywords: Free cooling system, Dry-cooler, Compressor load, Antifreeze, Refrigeration ability, HYSYS.

1. 서 론

냉방 기술은 산업화가 시작된 이후, 지속적으로 발전해 왔으며, 오늘날에는 삶의 질 향상을 위해 필수적으로 사용되고 있다. 그러나 최근에는 중국과 인도 등의 아시아 국가에서 산업화가 진행됨에 따라 에너지 고갈문제와 환경과

문제가 대두되고 있으며, 이러한 문제를 해결 하기위해, 냉동기술을 포함한 여러 기술 분야에서는 기기의 효율향상을 위한 연구와 대체 에너지 개발에 관한 연구가 강화되고 있다. 외기냉수냉방 시스템은 이러한 취지에 의해 고안된 냉각시스템 중 하나이며 냉수와 외기의 열교환을 통해 저온

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2143-0515>): Department of Refrigeration and air-conditioning Engineering, Pukyong University, yongdang-dong, Nam-gu, Busan, 608-739, Korea, E-mail: sonch@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6180

¹ Department of Refrigeration and air-conditioning Engineering, Pukyong University, E-mail: yoonji@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6180

² Department of Refrigeration and air-conditioning Engineering, Pukyong University, E-mail: hottock77@empal.com, Tel: 051-629-6180

³ Graduate School of Department of Refrigeration and air-conditioning Engineering, Pukyong University, E-mail: jeonghohesse@gmail.com, Tel: 051-629-6180

⁴ Jung-In Hitech LTD., E-mail: ggaedory@empas.com, Tel: 052-260-5688

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 논문은 2014 한국마린엔지니어링학회/한국향해항만학회 공동학술대회에서 “드라이쿨러를 적용한 외기냉수냉방 시스템 설계에 관한 연구”의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것입니다.

의 냉수를 생산하고 이를 냉방에 사용하거나 냉수를 요구하는 프로세스에 공급하는 시스템을 말한다. 외기냉수냉방 시스템은 외기를 직접적으로 이용하지 않아 외부오염물질의 유입을 방지하고 냉수를 이용한 냉각시스템이므로 안정적인 온도제어가 가능하기 때문에 산업공정이나 데이터센터와 같이 지속적으로 냉방부하가 발생하며 청정도에 민감한 곳에 주로 도입한다. 최근에는 일반사무실의 전산장비 사용 증가로 외기온도가 높은 하계뿐만 아니라, 중간기나 동계에서도 냉방을 요구하여 외기냉수냉방 시스템을 도입되는 추세이며, 관련 시장 또한 점차 확대되고 있다[1].

일반적으로 외기냉수냉방 시스템은 냉각탑을 이용하여 냉수를 냉각하거나 작동유체의 응축열을 제거하는 경우가 대부분이다. 그러나 외기냉수냉방 시스템이 낮은 온도의 외기를 이용하여 냉수를 냉각하는 시스템이기 때문에 동계에 사용되는 경우가 많으며, 따라서 동파에 대한 대비가 필요하다. 더불어 냉각탑은 설치공간과 위치 등에서 제약이 따르며 유지보수 측면에서 지속적인 관리가 필요하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 고안된 것이 드라이쿨러이다. 드라이쿨러는 공랭식열교환기로 배관에는 냉수가 통과하고 팬(fan)을 이용한 강제대류를 통해 외기와 냉수가 열교환한다. 냉각탑에 비하여 저온의 외기가 요구되지만 시스템의 단일화가 가능하며, 별도의 관리를 필요로 하지 않는다. 이러한 드라이쿨러의 장점으로 인해 드라이쿨러를 적용한 외기냉수냉방에 대한 여러 연구가 진행되어왔다.

먼저, Acul [2]은 이스탄불의 옷걸이 제조공정에 적용된 외기냉수냉방 시스템을 기존의 일반 냉각 시스템과 비교하여 외기냉수냉방 시스템의 에너지 절감효과를 분석하였다. Acul이 제시한 예시의 옷걸이 제조공장은 외기냉수냉방 시스템을 이용하여 기존의 냉각시스템 대비하여 전력 소모로 인한 자금의 63%를 절감하였음을 주장했다.

국내에서는 Yoon [3]등이 국내의 냉동산업을 분석한 후, 드라이쿨러를 이용한 외기냉수냉방 시스템의 사업화 가능성이 충분한 산업으로 평가하였으며, Yoon [4]등은 외기냉수냉방 시스템에 대한 국내의 적용가능성을 분석하기 위하여 국내의 위도가 다른 4개의 도시를 선정하여 지역별 외기냉수냉방 시스템의 성능을 비교하였다. 해당연구에서 외기냉수냉방 시스템을 적용할 경우, 기존의 냉각 시스템 대비 최소 11%이상의 에너지 절감효과를 기대할 수 있으며, 국내에 외기냉수냉방 시스템의 적용목적에 부합함을 피력했다.

이처럼 외기냉수냉방 시스템에 대한 여러 연구가 진행되고 있으나 국내의 드라이쿨러를 적용한 외기냉수냉방 시스템의 설계에 대한 기준과 지표가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 드라이쿨러를 적용한 외기냉수냉방에 영향을 미칠 수 있는 요소에 대해 논하고 상용프로그램 HYSYS [5]를 이용하여, 요소의 변화에 따른 시스템의 성능을 비교 분석하였다.

2. 시스템 구성 및 조건

2.1 시스템 구성

본 연구의 외기냉수냉방 시스템은 외기를 도입하여 냉수를 냉각하는 드라이쿨러와 냉동기부분으로 나눌 수 있다. Figure 1 [6]은 본 연구에서 채용한 외기냉수냉방 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

Figure 1에서 나타난 바와 같이 배관은 냉수배관과 작동유체 배관이 분리되어있으며 두 배관의 유체는 순환한다. 온도가 상승한 냉수는 외기온도에 따라, 드라이쿨러를 통과하거나 증발기를 통과하여 적정온도까지 냉각되어 룸(Room) 또는 산업공정에 공급되고 사용된 냉수는 다시 드라이쿨러와 냉동기를 통해 냉각된다.

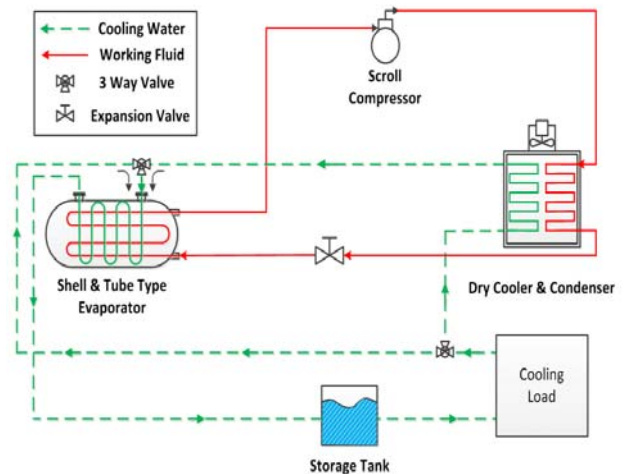


Figure 1: Schematic of free cooling system in this study

냉동기의 작동유체는 증발기에서 기화하여 냉수의 온도를 강하하고 압축기로 유입되어 응축압력까지 압축된다. 응축기에서 외기와 열교환을 통해 액화된 작동유체는 팽창밸브를 통과한 후, 증발기로 유입되는 과정을 반복하여 수행한다. 본 연구에서 채용한 외기냉수냉방 시스템의 구성요소는 드라이쿨러, 압축기, 증발기, 응축기, 팽창밸브, 순환수펌프, 3방밸브 등이 있으며, 증발기는 셸-튜브 타입의 열교환기를 적용하였고 응축기와 드라이쿨러는 공랭식 열교환기로 팬을 공유한다. 압축기는 스크롤 압축기이며 스크롤 압축기에 알맞은 작동유체인 R407C를 시스템에 적용하였다.

2.2 시스템 구동 조건

본 연구에서는 시스템의 요소변화를 통한 비교분석을 위해 Table 1과 같이 시스템의 구동조건을 설정하였다.

외기냉수냉방 시스템은 저온의 외기를 이용한 시스템이므로 영하 이하의 외기에 배관이 노출될 경우가 있어 부동액을 사용하지만, 본 연구의 시스템 구동조건에서는 순수 물을 적용하여 분석하였다.

Table 1: System condition of free cooling system

Reference	value
Cooling load [kW]	32.56
Inlet chilled water temperature of cooling load [°C]	10
Temperature difference between inlet water of cooling load and evaporation[°C]	3
Temperature difference between inlet water and outlet water of cooling load[°C]	5
Chilled water mass flow [kg/h]	5,429
Scroll compressor efficiency [%]	75
Chilled water pump efficiency [%]	75
LMTD of drycooler [°C]	5
Volume flow rate of out air [m ³ /h]	16,800

3. 비교 항목

3.1 요구냉수온도

요구냉수온도는 시스템의 대상에 따라 변한다. 냉수를 요구하는 방식은 2가지로, 냉수를 이용한 공조를 시행하거나, 산업공정 등에서 일정온도의 냉수를 요구하는 경우이다. 주로 요구되는 냉수온도는 5°C 또는 10°C이지만 대상의 종류와 온도에 따라 이 이상을 요구하는 경우도 있다. 본 연구에서 채용한 외기냉수냉방 시스템은 드라이쿨러를 이용하기 때문에 외기온도에 따라 드라이쿨러를 통한 냉각열량이 결정되며 요구냉수온도가 높을수록 드라이쿨러를 통한 냉각이 가능한 온도범위가 증가한다. **Figure 2**은 요구냉수온도에 따른 드라이쿨러의 냉각열량을 나타낸 것이다.

Figure 2에서 요구냉수온도가 5°C일 경우, 외기온도 0°C 이하에서는 시스템 전체 냉각부하 32.56kW를 드라이쿨러 단독운전으로 처리가 가능하지만, 그 이상의 온도에서는 점차 드라이쿨러의 냉동능력이 감소하며, 외기온도 5°C가 될 경우, 드라이쿨러를 통한 냉각은 불가능하게 된다.

마찬가지로 요구냉수온도 10°C, 15°C, 20°C에도 외기의 온도가 일정 이하에서는 드라이쿨러를 통한 전부하 처리가 가능하며, 일정이상의 온도에서 부분부하처리 또는 냉동기를 통한 냉각을 하는 경우가 발생한다. 그러나 요구냉수온도가 상승할수록, 드라이쿨러 운전범위가 증가하는 것을 볼 수 있다.

본 연구에서는 냉방부하를 32.56kW로 제한하였으나 실제 드라이쿨러의 냉동능력은 풍량과 열교환기의 성능이 동일하다면 외기온도가 낮을수록 그 능력이 상승한다.

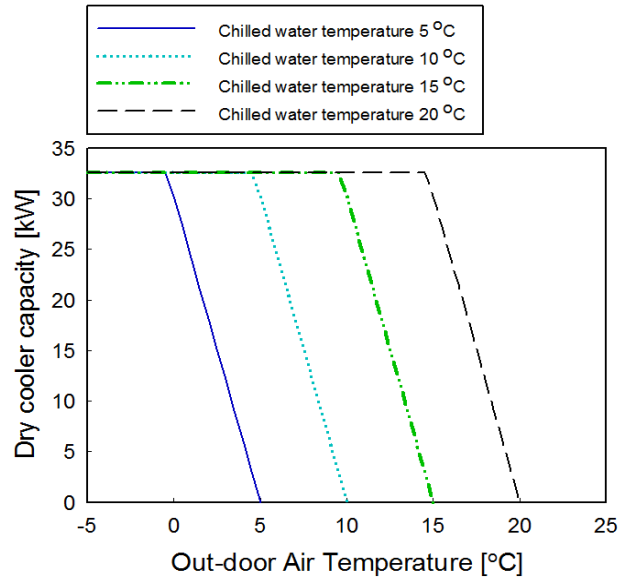


Figure 2: Comparison of dry-cooler capacity with chilled water temperature

3.2 드라이쿨러의 LMTD

LMTD(Logarithmic Mean Temperature Difference)는 열교환기를 통과하는 두 유체의 온도차를 대수로 표현한 것으로 열교환기의 성능을 나타낸다. **Figure 3**는 LMTD 5°C, 10°C, 15°C일 경우의 드라이쿨러 용량을 외기온도에 따라 나타낸 것이다.

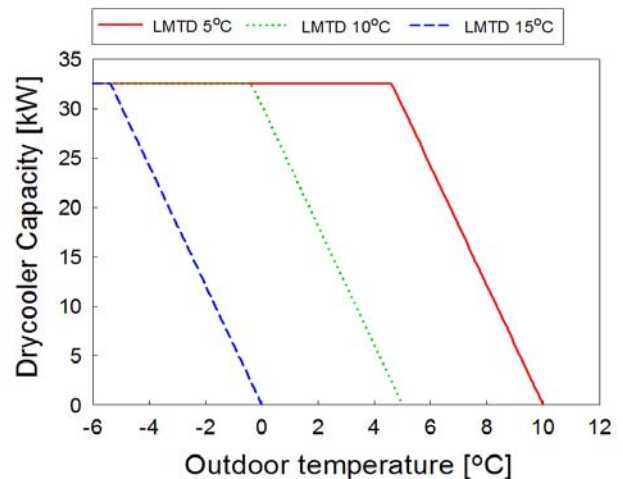


Figure 3: Comparison of dry-cooler capacity with LMTD

요구냉수온도 10°C에서 LMTD 5°C인 경우, 드라이쿨러는 외기온도 9°C이하부터 냉수를 냉각할 수 있으나 LMTD 10°C이상에서는 LMTD 5°C 경우에 비하여 저온의 외기온도에서 냉각능력이 발생하며 LMTD가 낮은 드라이쿨러를 적용한 외기냉수냉방시스템일수록 에너지 절감량이 증가함을 알 수 있다.

3.3 저온의 외기에 대한 주의

3.3.1 부동액 사용

외기냉수냉방 시스템은 외기온도가 낮은 지역에서 가지는 이점이 많으나, 수배관이 외부로 노출될 경우에 동결, 동파로 인한 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해 동결점이 높은 순수 물 대신 글리콜과 물을 혼합한 부동액을 적용할 필요성이 있다. Table 2[2]는 글리콜과 물의 비율에 따른 부동액의 동결점을 나타낸 것이다.

Table 2: Freezing points of antifreeze

Ratio of mixture by volume	Freezing Temperature
100% Water	0°C
10 % Glycol Mixture	-3°C
20 % Glycol Mixture	-8°C
30 % Glycol Mixture	-16°C
34 % Glycol Mixture	-20°C
40 % Glycol Mixture	-25°C
50 % Glycol Mixture	-37°C
60 % Glycol Mixture	-50°C

Table 2에서 글리콜의 함유량이 높아질수록 대체적으로 동결점이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 부동액을 사용할 경우, 점도에 대한 영향으로 인해 열교환기 사용에 적합하지 않을 경우가 발생한다. Figure 4는 글리콜 함유량에 따른 냉수의 점도를 나타낸 것이다.

Figure 4에서 나타난바와 같이 글리콜의 함유량이 증가할수록 냉수의 점도가 커지는 것을 볼 수 있으며 이는 과도한 압력강하를 유발할 수 있는 요인임을 예상할 수 있다.

국내의 경우, 연 최저온도가 영하 20°C이하인 지역이 존재하지만 외기냉수냉방 시스템의 사용이 공업단지 또는 데이터센터에 한정된다는 것을 감안 할 경우, 글리콜 34% 혼합비율의 부동액으로도 동결, 동파에 대한 대비가 될 것으로 판단한다.

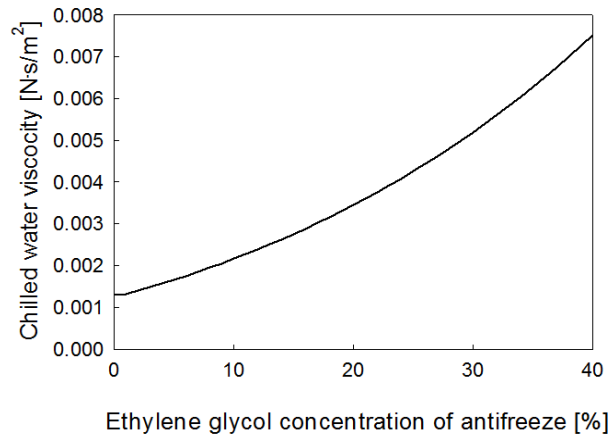


Figure 4: Chilled water viscosity with ethylene glycol concentration of antifreeze

3.3.2 필요이상의 저온의 냉수 생산

외기온도가 극히 낮은 지역에서선 요구하는 냉수의 온도보다 더 낮은 온도의 냉수가 생산될 가능성이 있다. 외기냉수냉방 시스템을 적용하는 용도에 따라 차이가 있지만 대부분의 산업공정에 사용되는 냉수의 경우, 온도에 민감하므로 일정한 온도의 냉수를 생산할 필요가 있다. 따라서 드라이쿨러를 통과한 냉수의 온도가 요구냉수온도 보다 낮을 경우 드라이쿨러를 통과하지 않은 냉수와 혼합함으로써 온도를 제어한다.

3.4 냉매에 따른 압축 일 비교

본 연구에서 사용하는 스크롤 압축기에 적합한 작동유체는 R407C, R22, R134a로 R22와 R134a는 순수 냉매인 반면, R407C는 혼합 냉매이다. 본 연구에서는 R407C를 적용하여 시뮬레이션을 구동하였으나 냉매별로 압축 일을 비교할 필요가 있다.

냉각부하, 증발온도, 응축온도가 동일하나 냉매마다 증발온도에 따른 압력과 응축온도에 따른 압력, 필요냉매 순환량이 다르므로 압축일 또한 냉매마다 다르다. Figure 5는 외기온도에 따른 압축 일을 냉매별로 비교한 것이다.

요구냉수온도 10°C를 기준으로 하였기 때문에 드라이쿨러에 의해서 외기온도 5°C 미만에서는 드라이쿨러 단독운전을 통한 냉각이 가능하며 10°C이하에서는 드라이쿨러와 냉동기가 부분적으로 부하를 분담하여 처리한다. 세 냉매 모두 외기온도가 상승할수록, 압축일이 증가하며 R22와 R134a는 외기온도의 변화에 따른 압축 일이 거의 동일함을 볼 수 있다. 드라이쿨러와 냉동기가 혼용 운전하는 외기온도 5°C~10°C에서는 압축일이 이 이상의 외기온도에서보다 상대적으로 작기 때문에 세 냉매의 적용에 따른 압축 일 차이가 미미하다. 그러나 외기온도가 상승할수록 R407C는 R22와 R134a 보다 압축일이 20% 더 높은 것을 볼 수 있다. 따라서 R407C보다 R22 또는 R134a를 냉매로 선정하는 것이 경제적이다.

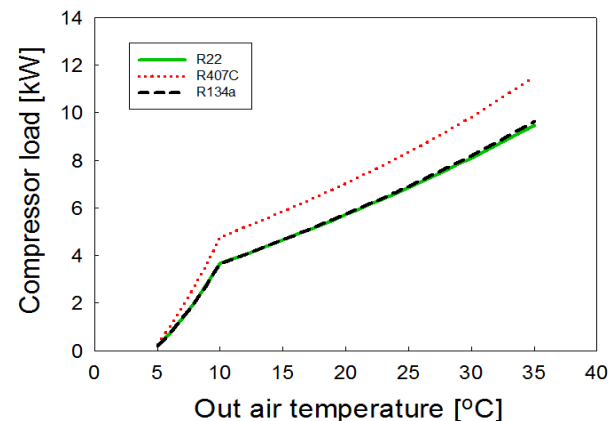


Figure 5: Comparison of compressor load of R22, R407C and R134a with out air temperature

4. 결 론

본 연구는 드라이쿨러를 이용한 외기냉수냉방 시스템의 설계에 있어서 필요한 몇 가지의 항목에 대해 제시하고 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 드라이쿨러의 능력은 외기온도, 요구냉수온도, 드라이쿨러의 LMTD에 따라 변한다. 요구냉수온도와 드라이쿨러의 LMTD의 변화는 드라이쿨러의 능력이 발생하는 외기온도의 범위를 변화시키는 요인이 되며, 요구냉수온도가 높을수록, LMTD가 낮을수록 드라이쿨러가 구동하는 외기온도 범위가 증가하지만 그 반대의 경우, 저온의 외기를 요구한다.

2) 외기온도가 영하 이하로 낮아지는 경우, 외기냉수냉방 시스템의 배관에 동결, 동파의 우려가 있으므로 부동액을 사용해야한다. 국내의 외기조건에서는 글리콜 농도 34%의 부동액이 적절한 것으로 사료된다.

3) 외기냉수냉방 시스템은 냉동기와 드라이쿨러로 구성 되어있으며 냉동기에 적용될 작동유체의 종류에 따라 에너지 소모가 다르다. 본 연구에서는 R22, R134a, R407C를 적용할 경우, 소모되는 압축 일을 비교하였으며 R407C의 압축 일이 R22, R134a에 비하여 20%정도 소모가 더 많기 때문에 경제적인 불리점이 있다. 환경규제를 감안한다면 R134a가 선별한 작동유체 중 가장 적합한 것으로 판단한다.

지금까지의 연구결과로, 외기냉수냉방 시스템의 성능에 영향을 주는 요소는 드라이쿨러의 성능이다. 드라이쿨러의 성능에 따라 에너지 절감량이 결정되므로 드라이쿨러의 형상과 작동방식에 따른 그 성능 변화에 대한 연구가 필요하다. 더불어 외기냉수냉방 시스템의 냉동기에서 냉수냉방 시스템의 에너지 절감효과를 상승시킬 수 있는 냉동사이클의 개발과 그에 대한 최적화가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

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

References

- [1] T. S. Park, S. H. Kim, J. C. Park, and E. K. Rhee, "A simulation analysis on energy saving effects of free cooling system," Proceedings of the Korean Solar Energy Society, pp. 68-73, 2005 (in Korean).
- [2] H. Acul, Friterm, <http://www.friterm.com/getattachment/3979c693-b149-47e5-ae09-709d62a2c5b6/521.aspx>, Accessed December 20, 2013.
- [3] J. I. Yoon, C. H. Son, and Y. M. Kim, "Reduction cooling system using outdoor air," Journal of the Korean Society for Power System Engineering, vol.

17, no. 4, pp. 12-16, 2013 (in Korean).

- [4] J. I. Yoon, C. H. Son, K. H. Choi, S. M. Baek, J. H. Heo, and Y. M. Kim, "Analysis of energy reduction of free cooling system with regions of south Korea," Journal of the Korean Solar Energy Society, vol. 34, no. 3, pp. 82-88, 2014 (in Korean).
- [5] AspenTech Software HYSYS v8.4.
- [6] J. I. Yoon, C. H. Son, J. H. Heo, and Y. M. Kim, "Analysis of energy reduction of free cooling system using dry cooler with regions," Proceedings of the 38th KOSME Spring Conference, pp. 173-174, 2014 (in Korean).