

경제성 평가를 이용한 프리쿨링시스템의 국내 적용성 연구

A Study on Application of the Free Cooling System with Dry Cooler Using Economic Evaluation

윤정인* · 손창효* · 김희민** · 김영민****

Jung-In Yoon*, Chang-Hyo Son*, Hee-Min Kim** and Young-Min Kim****

(Received 18 May 2015, Revision received 01 June 2015, Accepted 01 June 2015)

Abstract: Recently, because of the deterioration of the nuclear generating station and increase of the cooler and heater, energy problem is increasing. To save the energy, the free cooling system is developed. The free cooling system is that cool the water to use cooled air in winter and is used in industrial process or data center. Yoon check the energy of free cooling system with dry cooler in korea. In this study, the value of the free cooling system with dry cooler is confirmed through using the NPV that is economic evaluation. when temperature degree of the cooled water is 10, in Chuncheon and Seoul the value is the most high. When temperature degree of the cooled water is 20, in Ulsan the value is the most high. As the result, because the using the temperature degree of the cooled water is high in the industrial process, the free cooling system is advantageous in korea.

Key Words : Free Cooling System, Dry Cooler, Economic Evaluation, Net Present Value(NPV), HYSYS

1. 서 론

최근 냉난방을 위한 장치가동으로 인한 에너지 소비가 급증하고 있는 반면, 고리원전의 노후화 등 에너지수급면에서는 문제가 발생하고 있다. 에너지절감을 위한 연구는 많이 진행되고 있는 상황이며, 그중에서도 동계의 차가운 외기를 이용하는 프리쿨링시스템에 대한 진행이 이루어지고 있다. 프리쿨링시스템이란 동계의 차가운 외기를 이용하여 냉각하는 시스템으로 항상 냉각을 필요로 하는 산업공정이나 데이터센터에서 주로 사용된

다. 김영일 외 4명의 ‘외기냉수냉방의 운전사례 및 에너지 절감량 분석’의 논문을 통하여 프리쿨링시스템의 국내적용사례와 에너지 절감효과를 확인할 수 있다. 대부분의 프리쿨링시스템의 경우에는 냉각탑을 이용하여 냉수를 냉각하고 있다. 하지만 동계운전 시 동파우려와 냉수의 분사로 인한 기기의 부식문제가 발생하며, 이를 해결하기 위한 방법으로 윤정인 외 4명은 드라이쿨러를 적용한 프리쿨링 시스템을 제안하였다. 드라이쿨러란 외기의 건구온도를 이용하여 냉각하는 장치로 냉각수를 이용하지 않기 때문에 별도의 펌프와

**** 김영민 : (주)정인하이테크

E-mail : ggaedory@empass.com, Tel : 052-260-5688

* 윤정인, 손창효 : 부경대학교 냉동공조공학과

** 김희민 : 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

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

E-mail : ggaedory@empass.com, Tel : 052-260-5688

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

** Hee-Min Kim : Graduate School of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong University.

배관을 필요로 하지 않으며, 동파와 부식의 문제도 일부 해결가능하다. 윤정인 외 4명은 프로토타입으로 8RT급 드라이쿨러를 적용한 프리쿨링 시스템에 대해 연구·제작하였으며, 에너지절감효과를 확인하였다.¹⁻³⁾

본 연구에서는 드라이쿨러의 능력을 향상시켜 30RT급 프리쿨링 시스템에 대해 연구하였으며 춘천, 울산, 서울 지역을 대상으로 에너지 절감효과를 확인하였다. 하지만 에너지절감효과 외에 경제성평가를 통한 국내의 적용가능성을 확인할 필요성이 있으며, 경제성평가방법 중 NPV법을 이용하여 경제성 평가를 하고자한다.

2. 연구 방법

2.1 시스템 구성

Fig. 1은 본 연구에서 제시한 프리쿨링시스템을 묘사한 그림이며, 시스템은 크게 프리쿨링시스템과 냉각시스템으로 나뉜다. 프리쿨링시스템은 드라이쿨러, 냉수펌프, 3방밸브 등으로 구성되어있으며, 냉각시스템은 압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브 등으로 구성된다. 부하에 사용된 냉수는 냉수배관에 따라 이동하게 되며, 외기온도가 낮을 경우 3방밸브에서 드라이쿨러로 이동하여 냉각되지만, 외기온도가 높을 경우 바로 증발기로 이동하여 냉각기를 통해 냉각된다. 사용되는 냉수의 온도는 분야에 따른 다양성을 고려하여 10, 20℃로 설정하였으며, 그에 따른 드라이쿨러의 작동범위도 다르다.

2.2 시스템 조건

Table 1은 본 연구에서 적용한 시스템조건이다. 냉매는 R407C를 사용하며, 부하에 사용되는 열량은 93kW로 설정하였다. 부하에 사용된 냉수의 입출구 온도차는 5℃이며, 열교환기의 LMTD는 7℃로 설정하였다. 팬을 통해서 들어오는 공기의 풍량은 43,200 m³/h이다. 본 연구는 상용프로그램 HYSYS를 사용하였으며, 2013년도 국내기온데이터를 이용하였다.

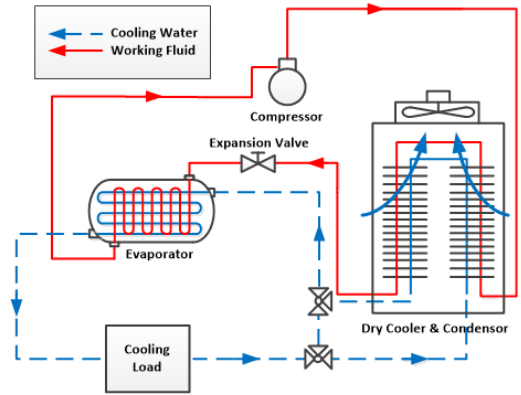


Fig. 1 Sketch of the free cooling system in this study

Table 1 Condition of the system in this study

Reference	Value
Refrigerant	R407C
Cooling load [kW]	93
Temperature defference between inlet and outlet water of cooling load [℃]	5
Compressor efficiency [%]	75
LMTD of the heat exchanger [℃]	7
Volume flow rate of the air [m ³ /h]	43,200

3. 프리쿨링 시스템의 에너지 성능

3.1 드라이쿨러의 작동범위

본 연구에서는 냉수이용의 다양성을 고려하여 온도를 10, 20℃로 설정하였으며, Fig. 2는 일정냉수온도에서 외기온도에 따른 드라이쿨러의 작동범위를 나타낸 그림이다.

요구냉수온도가 10℃일 경우에는 외기온도 2℃까지 드라이쿨러를 이용하여 요구냉수온도로 냉각이 가능한 것을 볼 수 있으며, 외기온도 3℃부터는 드라이쿨러가 모든 부하를 담당하지 못하기 때문에 냉각기와 혼용되며, 7℃ 이후에는 냉각기만 단독운전하게 된다. 요구냉수온도가 20℃일 경우, 외기온도 12℃까지 드라이쿨러가 모든 부하를 담당하며, 17℃까지 냉각기와 혼용되며 이후에는 냉각기만 단독운전을 한다. 요구냉수온도가 높게

설정되면, 드라이쿨러가 작동하는 구간이 늘어나 에너지 절감효과가 크다는 것을 의미한다.

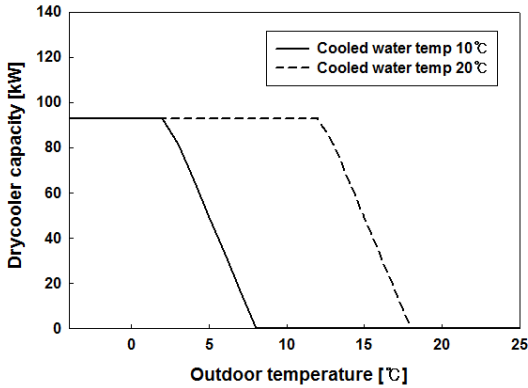


Fig. 2 Drycooler capacity with outdoor temperature

3.2 프리쿨링 시스템의 에너지절감효과

본 연구에서는 드라이쿨러의 용량을 기존 8RT에서 24RT급으로 향상시켜 진행하였다. 실험은 춘천, 서울, 울산지역을 대상으로 진행하였으며, 상용프로그램 HYSYS를 이용하여 산업공정용 냉각기와 에너지사용량을 비교분석하였다.

Fig. 4~8은 요구냉수온도 10, 20°C일 때 울산, 춘천, 서울의 에너지 사용량을 비교한 그림이다. 요구냉수온도에 상관없이 드라이쿨러를 적용한 프리쿨링 시스템이 외기온도가 낮은 동계나 중간기에 에너지사용량이 낮음을 확인할 수 있다. 요구냉수온도가 증가할수록 드라이쿨러가 작동하는 구간이 커지기 때문에 요구냉수온도가 20°C일 경우, 10°C보다 에너지절감효과를 보는 기간이 큰 것을 볼 수 있다.

Fig. 3~5를 비교해 볼 때, 동계운전시 외기가 낮은 춘천에서 에너지절감효과가 큰 것을 확인할 수 있으며, 이는 동계의 외기가 타 지역보다 낮은 강원도나 경기도 지역에서 효과가 더 큼을 확인할 수 있다. 하지만 Fig. 6~8을 비교해 볼 때, 중간기에 울산지역이 춘천지역보다 에너지절감효과가 큰 것을 볼 수 있다. 이는 중간기에 중부지방보다 낮은 외기를 가지는 남부지방의 특징으로 볼 수 있다.

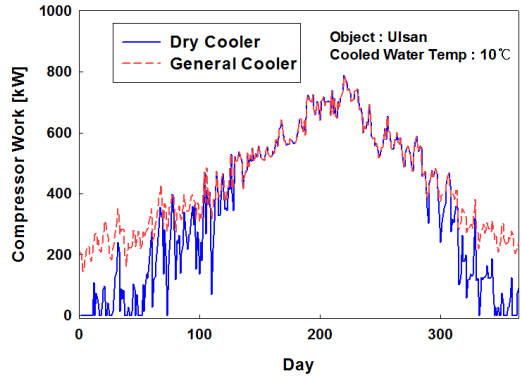


Fig. 3 Compressor Work of the cooler in Ulsan using cooled water temperature 10°C

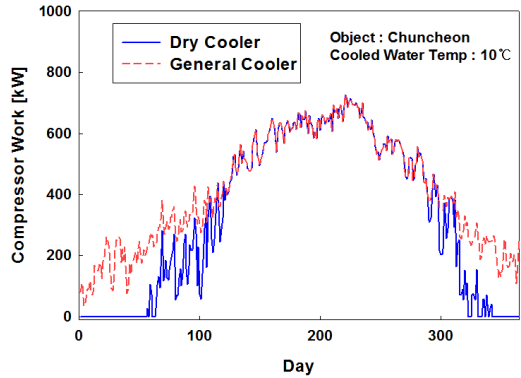


Fig. 4 Compressor Work of the cooler in C.huncheon using cooled water temperature 10°C

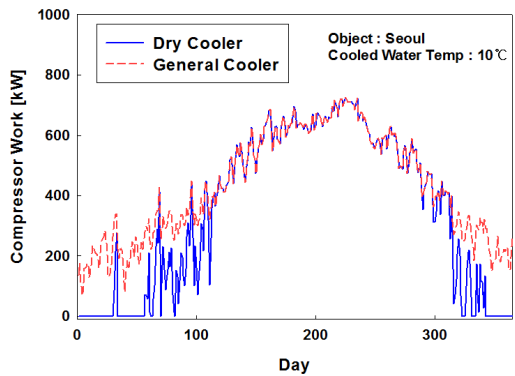


Fig. 5 Compressor Work of the cooler in Seoul using cooled water temperature 10°C

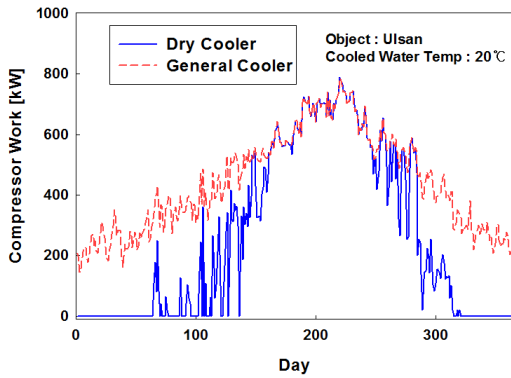


Fig. 6 Compressor Work of the cooler in Ulsan using cooled water temperature 20°C

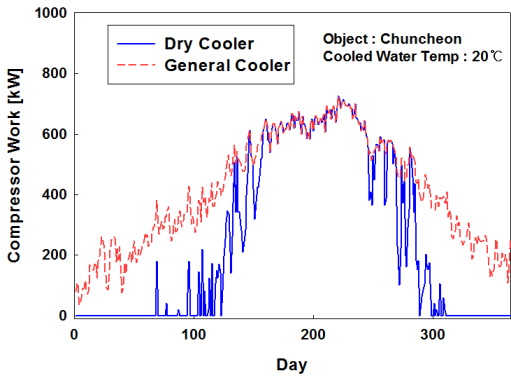


Fig. 7 Compressor Work of the cooler in Chuncheon using cooled water temperature 20°C

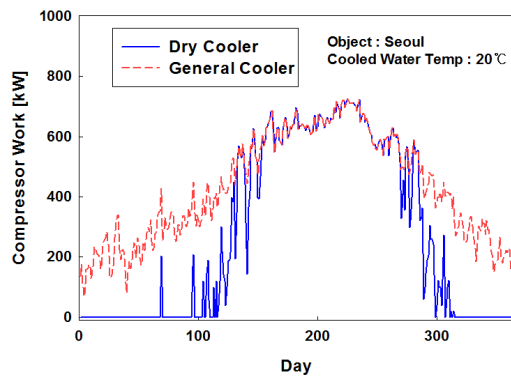


Fig. 8 Compressor Work of the cooler in Seoul using cooled water temperature 20°C

4. 프리쿨링 시스템의 경제성평가

4.1 경제성 평가 방법

본 연구에서는 경제성평가의 방법으로 현재가치법을 이용하였다. 현재가치법 (NPV)이란 제품의 미래가치를 현재가치로 변환하여 비교하는 경제성평가방법으로 투자나 제품의 미래가치를 평가하고자 할 때 사용된다. 초기투자비용과 편익의 가치를 더함으로써 미래시점에서의 가치를 확인할 수 있으며, NPV>0일 때 가치가 있다고 판단된다. NPV를 구하는 식은 아래와 같다.

$$NPV = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+p)^t} \quad (1)$$

(C_0 : 초기비용, n : 회수기간, p : 할인율)

C_0 는 초기투자비용을 뜻하며, F_t 는 그 시점에서의 편익을 나타낸다. 본 논문에서는 시뮬레이션 단계이기 때문에 F_t 를 에너지 절감비용만 대입하였다. 할인율은 국내의 최근 10년간 평균값으로 적용하였으며, 제품의 생애주기는 15년으로 설정하였다.^{4,5)}

Table 2 Real rate of interest in Korea

Year	Deposit rate	Electricity charge	
		Price index volatility	Real rate of interest
2005	3.8	-0.8	4.6
2006	4.5	1.5	3.0
2007	5.2	0.4	4.8
2008	5.9	0	5.9
2009	3.8	0	3.8
2010	3.5	0.8	2.7
2011	3.9	2	1.9
2012	3.4	2.1	1.3
2013	2.8	3.8	-0.9
2014	2.4	2.2	0.2
Ave	3.9	1.1	2.8

4.2 경제성평가 및 민감도 분석

경제성평가를 위해 화폐의 시간변화에 따른 가치를 고려해야 한다. 본 연구에서 사용한 비용인 전기료의 물가상승률을 이용하여 실질할인율을 산출하였으며, Table 2는 최근 10년간 실질할인율을 산출한 표이다. 실질할인율이 경제성평가에서 중요한 요소로 작용하기에 0.8%에서 2%의 간격으로 변화시켜 데이터를 산출하였으며, Fig. 9~11은 서울, 춘천, 울산 지역의 내구냉수온도에 따른 NPV를 나타낸 그래프이다.

요구냉수온도가 10℃일 때, 드라이쿨러의 작동 범위가 좁기 때문에 세 지역에서 6~7년 이후에 가치가 있다고 판단되며, 그중 외기가 낮은 춘천 지역에서 가치가 있다고 판단된다. 요구냉수온도가 20℃일 때, 드라이쿨러의 작동범위가 넓어 세 지역에서 1~2년 사이에 가치가 있다고 판단된다.

요구냉수온도가 10℃일 때, 평균치인 2.8%를 기준으로 ±2% 구간에서 약 0.5년의 기간차이가 났으며 최대 6.8%일 때, 약 1년의 기간차이가 났다. 요구냉수온도가 20℃일 경우 2.8%를 기준으로 ±2%구간에서 약 0.2년의 기간차이가 났으며, 최대 6.8%일 때, 약 0.3년의 기간차이가 남을 확인하였다.

분석 결과, 요구냉수온도가 높을 경우에는 할인율상승에 따른 생애기간오차가 ±0.3%로 크게 없음을 확인할 수 있으며, 요구냉수온도가 낮을 경우에는 할인율상승에 따른 생애기간오차가 ±1%로 나타남을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 상용프로그램 HYSYS을 통하여 울산, 서울, 춘천지역의 에너지사용량을 비교분석하였으며 NPV법을 이용하여 드라이쿨러를 적용한 프리쿨링시스템의 경제성평가를 진행하였다. 비교대상은 산업공정용 쿨러와 드라이쿨러를 적용한 프리쿨링 시스템이며, 요구냉수온도 조건은 10℃, 20℃로 설정하였다. 경제성평가의 오차율을 확인하기 위해 실질할인율을 0.8에서 6.8%까지 2%씩 상승시켜 NPV를 계산하였다. 연구를 통한 결과는 다음과 같다.

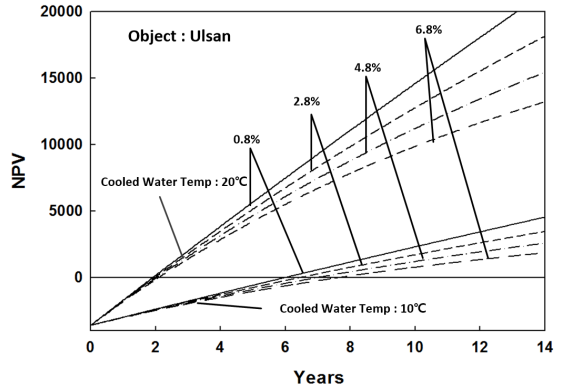


Fig. 9 NPV of the free cooling system with dry cooler in Ulsan

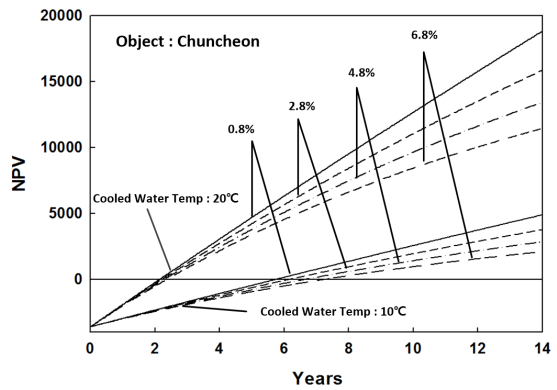


Fig. 10 NPV of the free cooling system with dry cooler in Chuncheon

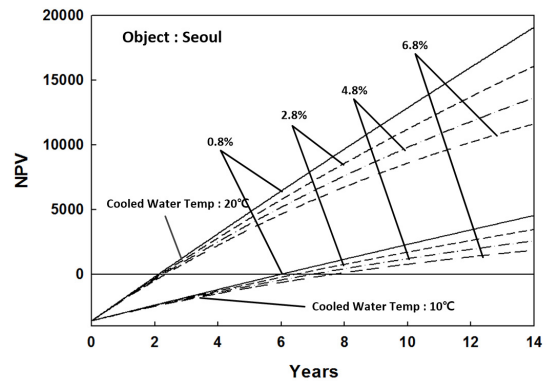


Fig. 11 NPV of the free cooling system with dry cooler in Seoul

1) 요구냉수온도가 10℃일 경우, 동계의 외기 온도가 낮은 중부지방에서 에너지 절감효과가 큰 것을 나타냈으나 요구냉수온도가 20℃일 경우, 중간기의 외기온도가 다소 낮은 남부지방에서 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

2) 요구냉수온도가 10℃일 경우, 춘천과 서울에서는 약 5.5~6.5년, 울산은 약 6.6~7.5년 이후에 가치가 있다고 판단된다. 요구냉수온도가 20℃일 경우, 중간기의 낮은 외기온도로 인해 울산에서 약 1.8~2.1년, 서울과 춘천에서 약 2~2.3년 이후에서 가치가 있다고 판단된다.

3) 요구냉수온도가 10℃일 경우, 할인율에 따라 ±1년의 오차율을 나타냈으며 요구냉수온도가 20℃일 경우, ±0.3년의 오차율을 나타냈다.

따라서 일반적인 산업공정용 냉수온도인 20℃ 안팎에서 사용할 경우, 에너지절감효과는 물론 장비의 회수년도도 이를 것으로 판단된다.

후 기

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

References

1. S. H. Park and J. H. Seo, 2014, “Economic Evaluation of Air-side Economizer System for Data Center”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26, No. 4, pp. 145-150.
2. J. I. Yoon, C. H. Son, J. H. Heo and Y. M . Kim, 2014, “Analysis on the Energy Saving Effect of Free Cooling System in Data Center”, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 3, pp. 73-78.
3. J. I. Yoon, S. M. Baek, J. H. Heo, Y. M . Kim and C. H. Son 2014, “A study on design for free cooling system using dry cooler”, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 38, No. 9, pp. 1027-1031.
4. Y. Nikolaidis and P. A. Pilavachi, 2009, “Economic evaluation of energy saving measures in a common type of Greek building”, Applied Energy, Vol. 86, No. 12, pp. 2550-2559.
5. G. N. Donald, G. E. Ted and P. L. Jerome, 2004, “Study Guide for Engineering Economic Analysis”, Oxford University Press, pp. 71-95.