

아이스슬러리형 축냉시스템을 이용한 쇼케이스 냉각장치의 열적성능에 관한 실험적 연구

이동원¹, 김정배[†]

¹한국에너지기술연구원, [†]충주대학교 에너지시스템공학과
(2011년 3월 2일 접수, 2011년 3월 16일 수정, 2011년 3월 22일 채택)

Thermal Performance of the Show-Case Cooler Using Ice Slurry Type Storage System

Dong Won Lee¹ and Jeongbae Kim[†]

¹Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

[†]Department of Energy System Engineering, ChungJu National University, ChungJu 380-702, Korea

(Received 2 March 2011, Revised 16 March 2011, Accepted 22 March 2011)

요 약

일반적인 냉각 과정에 적용되는 이차 냉매로서 아이스슬러리 적용 기술이 최근 개발되고 있다. 아이스슬러리는 액체와 거의 동일한 특성을 가지고 있고, 단위 체적당 아이스슬러리의 에너지용량이 얼음 입자의 잠열로 인해 냉각수나 브라인에 비해 상당히 높지만 파이프를 통해서 잘 유동시킬 수 있다. 아이스슬러리를 적용하는 냉각시스템의 설계를 위한 기초 결과를 제시하기 위하여, 쇼케이스의 냉각 코일에 아이스슬러리를 적용하는 실험을 수행하였다. 냉각 코일 입구에서의 아이스슬러리의 온도가 R22에 비하여 적어도 5°C 정도 높지만, R22를 적용하는 냉각시스템에 비하여 동등한 열적 성능을 가지고 있었다.

주요어 : 아이스슬러리, 직접수송, 쇼케이스, 열전달

Abstract— A promising alternative technology is the potential use of ice slurries as a secondary refrigerant in conventional cooling process. Ice slurries behave almost like a liquid and can be pumped through pipes although the energy capacity of ice slurries per unit volume is considerably higher than that for chilled water or brine due to the latent heat capacity of the ice particles. To give the basic data for the design of cooling systems using ice slurries, experimental study has been conducted to find out the performance of the cooling coil of show-case with ice slurries. Despite the fact that ice slurries entering the cooling coil had at least 5°C higher temperature than that of R22, it was still capable of providing a similar cooling performance than that obtained with R22.

Key words : Ice slurry, Direct transportation, Show-case, Heat transfer

1. 서 론

아이스슬러리는 물 또는 수용액 내에 작은 얼음입

자가 섞여 있는 고·액 2상유체로서, 열수송량이 많고 해빙특성이 뛰어나 각종 냉각 시스템의 2차 냉매로 활용이 가능한 것으로 알려져 있다 [1]. 특히 아이스슬러리는 얼음입자가 남아 있는 한에는 열교환 후에도 잠열의 영향으로 온도변화가 거의 없기 때문에

[†]To whom corresponding should be addressed.
ChungJu National University 50 Daehak-ro,
Chungju-si, Chungbuk 380-702, Korea
Tel : 043-841-5282; E-mail : jeongbae_kim@cjnu.ac.kr

열교환기 설계에 있어서 매우 유리한 특성도 함께 갖고 있다.

아이스슬러리를 대체냉매로 이용하는 열교환기는 기존 냉매직팽식 열교환기의 장점인 우수한 열교환 능력을 유지하면서도, 냉각용량의 제어가 용이하고 부하 변동에 대한 대응능력이 우수한 장점을 가지고 있다.

중앙집중식 냉각 시스템인 경우 냉매직팽식에서는 냉매의 분배가 어려운 문제인데, 아이스슬러리를 대체냉매로 이용하면 분배도 쉬우며 열교환기까지는 일반배관을 이용할 수 있으므로 유지관리도 용이하다는 추가적인 장점을 가지고 있다 [2].

이와 같이 아이스슬러리를 대체냉매로 활용하는 냉각 시스템은 일본과 유럽 등에서 널리 연구되고 실용화되고 있는데 [3], 아직은 냉각성능이 명확히 규명되지 않아 냉각 시스템의 보급 확산에 걸림돌이 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 아이스슬러리의 열전달 성능을 실험적으로 살펴본 이전의 연구결과 [4]를 바탕으로, 실제 아이스슬러리를 이용한 열교환기의 냉각성능을 냉각시스템에 적용하여 간접적으로 확인하고자 하였다. 아이스슬러리가 직접 수송되는 열교환기가 설치된 Show-case를 대상으로 냉각성능 실험을 수행하였으며, 이 결과를 기존 시스템과 비교하여 제시하였다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 실험장치

일반적으로 이용되고 있는 Show-case의 냉매직팽식 열교환기 입구를 Fig. 1과 같이 개조하여 아이스슬러리가 유동 가능하도록 한 후, 이를 Show-case 하부에 설치하였다. 이전 연구 [4]에서 사용한 아이스슬러리 제빙장치 및 축열조를 이용하여 아이스슬러리를 제빙하고 저장하였다가 Show-case내 열교환기로 유입시킬 수 있도록 하였다.

열교환기로 유입·유출되는 아이스슬러리의 유량과 밀도를 측정하기 위하여 오차범위가 $\pm 0.2\%$ 인 질량유량계를 설치하였으며, 측정된 밀도를 이용하여 아이스슬러리 내 얼음의 질량비율인 IPF를 산정하였다. 아이스슬러리의 온도는 교정된 RTD를 이용하여 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 의 정확도를 갖도록 하여 측정하였다. Show-case 내부 온도는 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 이내의 오차를 갖도록 교정된 열전대를 이용하여 상·중·하와 각 영역의 좌·중·우 위치에 9개의 열전대를 이용하여 측정하였다. 내부 상

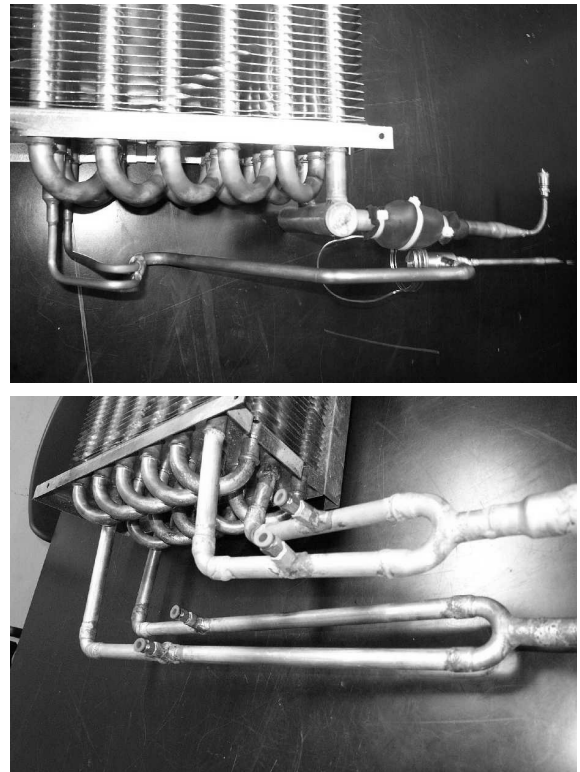


Fig. 1. Modified inlet of heat exchanger.

품온도도 같은 정도로 교정된 열전대를 이용하여 상·중·하 3곳에서 측정하였고, 냉각펌프의 제어를 위해 교정된 RTD를 이용하였다.

2-2. 실험 방법

Show-case 냉각실험은 크게 두 가지 방법으로 수행하였다. 즉, 저부하 상태에서 Show-case 내부 온도 유지 성능실험과 고부하 상태에서 초기 25°C 였던 상품온도를 4°C 까지 냉각시키는데 걸리는 시간을 측정하는 냉각실험을 수행하였다.

온도유지 성능실험에서는 먼저 Show-case 내부온도를 설정(7°C)하고, 내부온도가 설정된 온도보다 2°C 상승하면 아이스슬러리 펌프가 작동하도록 하였다. 아이스슬러리의 순환으로 Show-case 내부가 냉각되어 설정온도보다 2°C 이하로 낮아지면 펌프를 정지함으로써, Show-case 내부 온도가 설정온도 $\pm 2^\circ\text{C}$ 범위 내에서 유지되도록 하였다. 냉각실험에서는 Fig. 2에서와 같이 총 485 kg의 가상부하를 show-case 내부에 충분히 채우고 냉각실험을 수행하였다.

가상부하로는 작은 용기에 들어 있는 수도수를 이용하였다.



Fig. 2. Show-case for experiments.

고부하 열성능 실험에서는 Show-case 내부온도와 상품온도를 25°C 이상으로 장시간 유지시킨 후, 아이스슬러리를 열교환기로 순환시키면서 상품온도가 4°C로 될 때까지 냉각시키는 방법으로 수행하였다. 실험 과정에서 외기온도는 25°C 정도로 유지시켰으며, 이러한 냉각실험은 Show-case 제조업체에서 실시하는 냉각실험과 동일한 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 Show-case 내부에 약간의 가상부하만을 배치한 저부하 상태에서, Show-case 내부 온도유지 성능실험을 통하여 아이스슬러리의 냉각효과를 살펴본 실험결과이다. 굵은 실선은 내부 평균온도의 변화이며, 막대그래프는 아이스슬러리 순환펌프가 동작한 시간을 나타내고 있다.

아이스슬러리 내 얼음입자가 존재하는 경우(a)와 얼음입자가 거의 없어 열교환기 출구에서의 IPF가 0인 경우(b), 즉 일반적인 간접냉각방식과 동일한 경우에 대한 실험결과를 비교하였다. 그림의 비교를 통해 아이스슬러리를 대체냉매로 이용하는 열교환기는, 일반 간접냉각방식(IPF=0) 열교환기에 비해 냉각효과가 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

동일한 유량과 외기온도 등 같은 조건으로 냉각시키는데도 불구하고 Show-case 내부온도를 낮추는데 걸리는 시간이 짧을 뿐만 아니라, 펌프가 동작하지 않는 시간은 일반적인 간접냉각방식의 경우 보다 더욱 길다는 것을 알 수 있었다. 이것은 아이스슬러리를 순환시키는 경우 펌프가 멈추더라도 열교환기 내부에 잠열을 갖고 있는 얼음입자가 존재하므로, 냉각효과가 오랫동안 유지되기 때문이다.

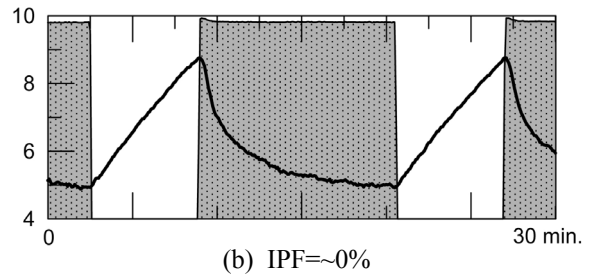
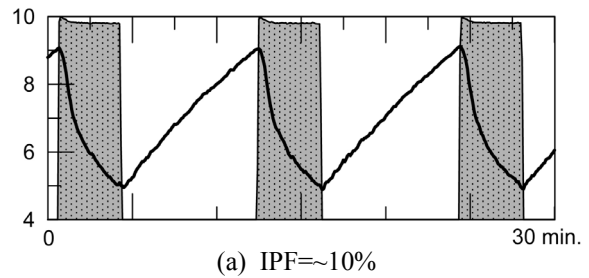


Fig. 3. Comparison of cooling effect.

고부하 상태에서의 냉각실험은 아이스슬러리의 유량과 IPF를 변화시키면서 수행하였다. 유량 15 kg/min인 조건 하에서 IPF를 변화시키면서, 또한 IPF가 10~15%인 조건 하에서 유량을 변화시키면서 Show-case 내부 가상부하(상품)의 냉각에 걸리는 시간을 비교하여 Table. 1에 나타내었다.

실험과정에서 Show-case의 주변온도는 온도조절기와 연결된 히터를 이용하여 25°C 정도를 유지시킬 수 있었으나, 습도는 조절할 수 없었기 때문에 냉각실험 후반기에 발생하는 열교환기 표면의 착상을 막을 수 없었다. 착상은 주변 공기의 습도와 밀접한 관련이 있기 때문에, 실험 당시의 외기 조건에 따라 발생하였다. 따라서 표에는 착상이 발생하지 않았다고 판단되는 10°C까지 냉각되는데 걸리는 시간과, 최종 목표 온도인 4°C까지 냉각시키는데 걸리는 시간을 함께 나타내었다.

Show-case 내 상품온도를 10°C까지 냉각시키는데 걸리는 시간을 살펴보면, 아이스슬러리의 유량과 IPF를 아래 조건과 같이 하는 경우, 냉각시간에 큰 차이가 없는 것으로 판단할 수 있다. 다만 Show-case 내부 상품온도가 그 위치마다 다소 달랐기 때문에, 평균온도를 기준으로 한 경과시간이 다소 다르게 나타난 것으로 짐작되었다.

그러나, 상품온도를 4°C까지 낮추는 경우에는, 경과시간에 다소 큰 차이가 나타났다. 이것은 전술한 바와 같이 외기 습도조건에 따라 열교환기에 착상이

Table 1. Comparison of elapse time.

유량[kg/min]	IPF[%]	25℃→10℃	25℃→4℃
15.0	5 ~ 10	8시간 22분	16시간 50분
15.1	10 ~ 15	8시간 21분	16시간 41분
15.3	15 ~ 20	8시간 8분	16시간 9분
10.0	10 ~ 15	8시간 40분	18시간 49분
20.0	10 ~ 15	8시간 39분	19시간 40분
25.0	10 ~ 15	8시간 20분	18시간 49분

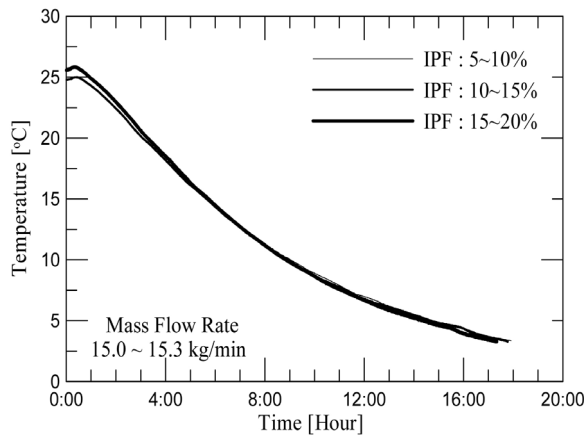


Fig. 4. Comparison of cooling process.

일어나거나 또는 그렇지 않았기 때문으로 판단되었다. 모든 경우에 상품온도를 4℃까지 냉각시키는데 16~20시간 정도가 걸렸으며, 이는 기존 냉매직랭식 열교환기를 사용할 때 18~20시간이 걸리는 것과 비교할 수 있다. 즉, 아이스슬러리를 이용한 냉각 시스템은 냉매직랭식 냉각 시스템과 동일한 또는 그 이상의 냉각성능을 발휘한다고 할 수 있다.

Fig. 4는 아이스슬러리의 유량이 15 kg/min 정도인 조건 하에서 IPF가 다른 경우의 냉각실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다. Table 1에서는 이 경우 최종 목표온도 4℃까지 냉각시키는데 약 40분 정도의 차이를 보이고 있으나, 그래프 상에 나타난 냉각과정에서는 이러한 차이를 거의 확인 할 수 없음을 볼 수 있다. 따라서 냉각실험 결과 경과시간의 차이는 대부분 냉각 후반기에 나타나는 열교환기내 착상에 좌우된다고 판단할 수 있다.

4. 결 론

아이스슬러리를 대체냉매로 이용하는 Show-case 냉각 시스템에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 아이스슬러리를 이용하는 열교환기는 간접냉각 방식의 경우보다 냉각속도가 빠르고, 잔여 냉열량이 존재하여 펌프의 가동시간을 크게 줄일 수 있다.
- (2) 아이스슬러리를 대체냉매로 이용하는 Show-case의 냉각 시스템은, 냉매직랭식과 동등 이상의 냉각성능을 나타내었다.

이러한 결론과 함께 냉각 시스템에 대한 열성능 실험에서는 주위 습도유지가 매우 중요한 실험에 영향을 주는 변수임을 확인할 수 있었다.

기호설명

IPF : 얼음의 체적 분율 [%]

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 산업기반기술개발사업(참여기업 : 캐리어LG, 디와이(주))의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Park, S. S., 2002, The examples of usage of cold energy storage for industrial & commercial processes, 2002 Seminar of Cold Energy Storage Technology, Vol. 2.
2. Lee, D. W., 2002, The application technology of ice slurry, 2002 Seminar of Cold Energy Storage Technology, Vol. 2.
3. Tassou, S. A., Chaer, I. and Bellas, J., 2001, Comparison of the performance of ice slurry and traditional primary and secondary refrigerants in refrigerated food display cabinet cooling coils, 2001, Proceedings of 4th Workshop on Ice Slurries, pp. 87-96.
4. Lee, D. W., Jang, H. W., Im, H. M. and Yun, D. W., 2002, Proceedings of the SAREK, pp. 359-363.