

버블을 이용한 플레이트 열교환기의 파울링 저감특성 Characteristics of Decrease Effect in Fouling on Plate Heat Exchanger Using Air Bubble

백승문 · 최원재 · 윤정인 · 설원실

S. M. Baek, W. J. Choi, J. I. Yoon and W. S. Seol

(접수일 : 2009년 11월 2일, 수정일 : 2009년 12월 16일, 채택확정 : 2009년 12월 18일)

Key Words : Plate Heat Exchanger(플레이트 열교환기), Fouling(오염), Air Bubble(에어버블), Auto Cleaning(자동 세정), Dissolved Oxygen(용존산소량)

Abstract : Generally, it is a method to remove the fouling cleaning the plate heat exchanger with chemicals or polishing with a brush or cloth after stopping the equipment and disassembling heat exchanger. However, the equipment must be stopped and taken apart when using this method, which causes an unnecessary work to assemble again after cleaning it. In this study, it has developed and tested the equipment which can automatically clean the fouling on plate heat exchanger at regular intervals with air bubbles. It indicated that the overall heat transfer coefficient had decreased without significant differences similar to that calculated without air bubbles until after 72 hours when making air bubbles to remove fouling ingredient on the surface of heat transfer area every 10 minutes per 2 hours. However, it showed that there was a 10% higher of heat transfer effect compared to the case without air bubbles of after 192 hours.

1. 서 론

열교환기에 사용되는 냉각수를 수돗물이나 지하수를 이용하는 경우 물을 절약하기 위하여 냉각수를 버리지 않고 냉각탑으로 보내어 냉각한 후 재이용하는 방법을 많이 이용하고 있다. 냉각탑을 이용하는 경우 대부분 증발냉각 방법을 이용하여 냉각을 시키는 경우가 대부분이다. 이 과정에서 증발 또는 비산으로 인하여 냉각수의 일부가 없어지므로 부족 수량만큼 냉각수를 보충하여야 한다. 이러한 냉각수 보충과정이 지속적으로 진행되므로 냉각수의 농도는 점차 높아지게 된다. 이에 따라 물중에 용해되어 있는 칼슘이나 마그네슘과 같은 염류의 농도도 높아지게 된다.

열교환기를 장기간 사용할 경우에는 작동유체가 순환함에 따라 열전달표면에 열전달을 방해하는 침전물의 층이 형성되는데 이러한 물리화학적 현상을

오염 (fouling)이라고 한다. 파울링이 생성되는 경우 열저항이 증가하게 되어 열교환 성능이 현저하게 저하되고 열교환기 내의 유체의 흐름을 방해하여 압력 저하를 일으키게 되어 동일한 성능을 유지하도록 하기 위해서는 시스템에 걸리는 부하가 증가할 수밖에 없다. 이 오염을 제거하기 위해 지금까지는 장치의 운전을 정지하고, 열교환기를 분해하여 오염물질을 수작업에 의해 브러시 등으로 닦거나 화학약품에 침지하여 세정하였다^{1,2)}.

그러나 이와 같은 방법은 세정 시 장치운전을 정지해야하며, 열교환기를 분해하여 세정하고 다시 조립해야 한다는 불편한 점이 있으며, 특히 화학약품을 사용하는 경우에는 환경오염의 우려가 있다. 그러므로 수작업에 의한 불편이나, 환경오염에 대한 문제 해결 및 지속적으로 높은 열전달효율을 유지할 수 있는 방법을 구상하게 되었다. 그리고 현재 다관식 열교환기에 대해서는 스펀지 불을 튜브 내에 통과시켜 세정하는 방식의 자동오염제거장치³⁾가 개발되어 보급되고 있으며 그에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 그러나 플레이트 열교환기를 자동 세정할 수 있는 장치는 개발되어 있지 않고 있다.

윤정인(교신저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : yoonji@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6180
백승문, 최원재 : 부경대학교 대학원
설원실 : 주식회사 이엠이

Sung 등^{1,2)}은 냉각수로 하천수를 이용하는 열교환 시스템내 파울링 형성에 관한 연구 및 냉각수로 하천수를 이용하는 열교환 시스템내 파울링 형성에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 Bansal 등⁴⁾은 칼슘과 황산염 결정체와 파울링과의 상관관계에 관한 연구를 수행하였으며, Baek 등^{5,6)}은 냉각수 유속 변화 및 에어버블 투입에 의한 열교환기 열전달효과와의 상관관계에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구는 플레이트 열교환기의 운전효율을 향상시키기 위해 현재 수작업에 의한 불편을 해소할 수 있는 플레이트 열교환기의 자동 오염 제거 장치개발을 위한 기초 설계 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치의 세부 계통도를 Fig. 1에 나타내었다. 장치 주요 구성은 크게 피냉각 유체를 공급하는 온수 부와 냉각유체가 공급되는 냉수 부분으로 구성되어 있다.

온수 부분은 가스보일러와 연동시켜 세팅한 유속과 온도로 일정하게 공급되는 시스템으로 구성되어 있으며, 냉수 부분은 냉각탑과 연동시켜 실질적으로 파울링을 유발하는 성분들과 냉각수의 종류를 바꿔서 실험을 할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 실험 장치는 파울링이 생성되는 플레이트 열교환기, 온수와 냉수를 저장하는 온수조와 냉수조, 열교환후 온

도가 상승한 냉각수의 온도를 낮추기 위한 냉각탑, 냉각수 내에 에어버블을 투입시켜 열교환기 표면의 파울링 제거를 담당할 에어버블 발생장치, 냉각수내 에어버블을 제거하기 위한 에어버블 제거장치, 냉각수 안에 용존되어 있는 용존산소 제거를 위한 용존산소 제거장치, 순환펌프, 배관 내에 흐르는 유량을 측정하기 위한 유량계 및 기타 밸브 등으로 구성되어 있다.

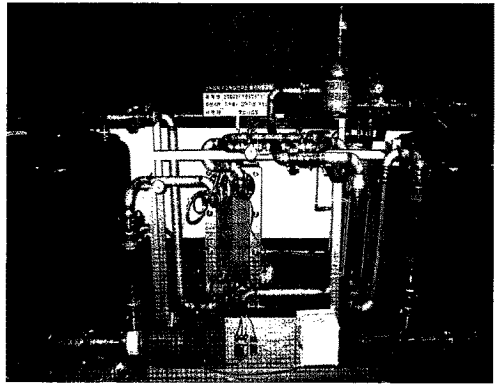


Fig. 2 Photograph of a experimental apparatus

Fig. 2는 실험장치의 사진을 나타낸 것이다. 플레이트 열교환기 파울링 생성과정을 관찰하기 위하여 전면에 아크릴로 관찰창을 설치하였다.

우리나라의 수도물이나 하천수는 경도가 낮으므로 원수를 직접 이용하여 파울링 생성실험을 하기

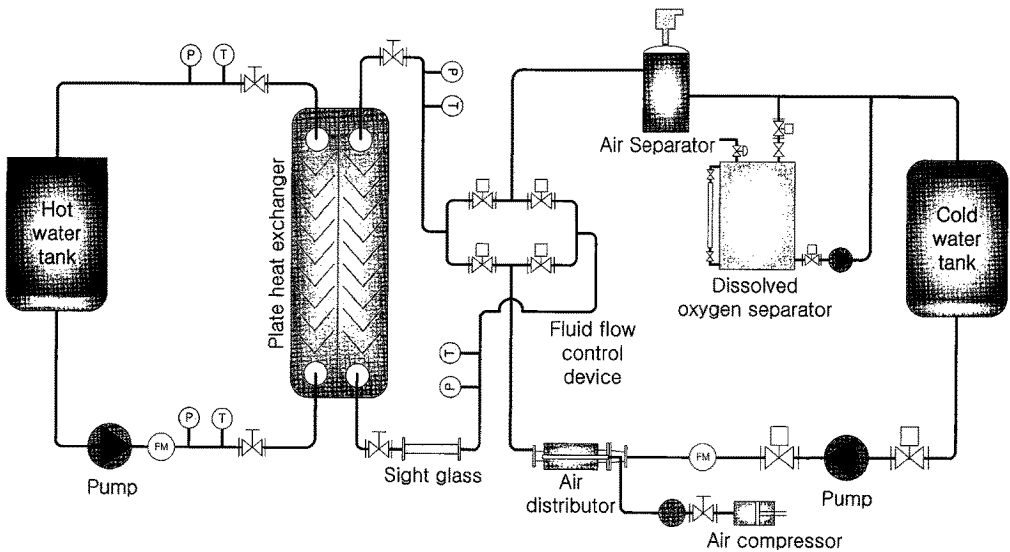


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

위하여 매우 긴 시간을 필요로 한다. 파울링 생성 실험의 시간을 단축하고 실제 사례와 비슷한 조건을 만들기 위하여 인공적으로 냉각수의 농도를 상승시켜 본 실험에 사용하였다^{1,2)}. 그리고 냉수와 온수의 유로 입구와 출구에는 온도를 측정하기 위하여 배관계통에는 K-type 열전대를 설치하였으며, 냉수조와 온수조 내부에는 T-type 열전대를 설치하여 데이터 획득 장치 MX-100과 연동시켜 PC에서 2분단위로 실시간 자료를 처리하도록 하였다. 우선 기본적인 플레이트 열교환기의 열전달 실험을 실시하였으며 그 다음 플레이트 열교환기의 열전달 표면의 파울링 제거를 위해 설치된 에어버블 발생장치를 통하여 에어압축기에서 압축된 에어버블을 에어배관을 통하여 에어버블 발생장치로 유입시켜 냉각수 내에 에어버블을 2시간간격으로 10분씩 에어버블을 주입하였다. 그리고 앞에 실험한 방법과 동일하게 측정된 데이터를 같은 방법으로 수집하여 비교 분석하였다. Table 1은 본 연구에서 수행한 실험범위를 나타낸 것이다.

Table 1 Test range of experiment

Parameter	Value
Starting temperature [°C]	Cold side: 25 Hot side: 65
Velocity [m/s]	1.25
Air distributor nozzle size [mm]	1.0
Air bubble period	Every 10 minutes per 2 hours

3. 결과 및 고찰

3.1 열전달 특성

플레이트 열교환기의 열전달 특성을 알아내기 위해 플레이트 열교환기 입구 및 출구의 온도를 측정 한 후 대수평균온도차, ΔT_{LMTD} 를 사용하였다.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_H - T_C)_{out} - (T_H - T_C)_{in}}{\ln \left[\frac{(T_H - T_C)_{out}}{(T_H - T_C)_{in}} \right]} \quad (1)$$

플레이트 열교환기에서 냉수와 온수 사이에 열교환되는 열량 Q와 총괄열전달계수는 다음과 같은 상관관계가 있다.

$$U = \frac{Q}{A \Delta T_{LMTD}} \quad (2)$$

3.2 냉각수 분석 및 pH변화

본 실험에서는 파울링 생성실험의 시간을 단축하기 위하여 인공적으로 냉각수의 성분농도를 상승시켜 사용하였다.

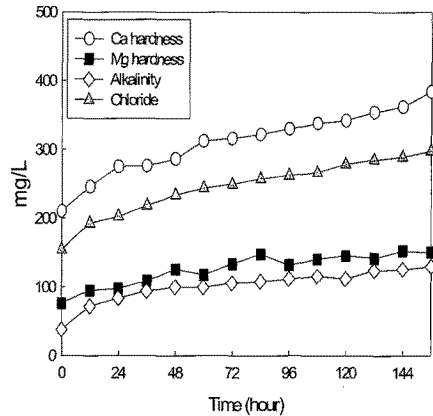


Fig. 3 Change of measurement ingredient value of cooling water by change of time

Fig. 3은 시간이 경과함에 따라 냉각수내에 측정 성분들의 변화를 나타낸 그래프이다. 시간이 경과함에 따라 측정 성분 값은 지속적으로 상승함을 알 수 있었다. 칼슘과 마그네슘의 경도 값을 합한 총경도 값은 약 6일 경과 후에는 장치를 가동하기 전 값에 비해 약 2배 정도 상승함을 알 수 있었다.

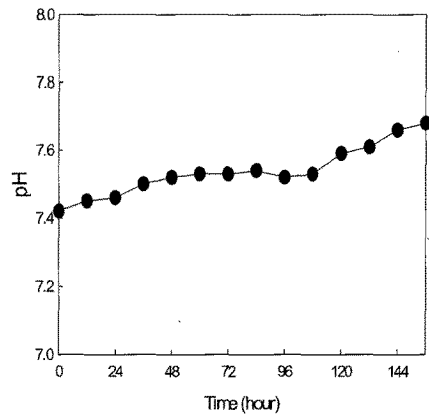


Fig. 4 Variation of cooling water pH on time

Fig. 4는 냉각수내의 pH값 변화를 나타낸 그래프이다. pH값은 초기 7.4부터 시작하여 7.6까지 시간의 변화에 따라 미약하나마 증가하는 경향을 보였다.

일반적으로 pH값과 경도성 성분 값이 커질수록

파울링 생성이 활발하게 일어나는 것으로 알려져 있다^{3,4)}. 본 실험의 Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5의 에어버블을 투입하지 않은 경우 비교 시 유사한 경향을 보였다. 이 결과 경도성 성분과 pH값의 증가는 파울링 생성과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

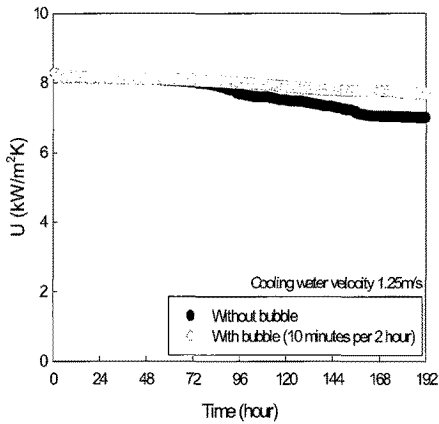


Fig. 5 Overall heat transfer coefficient for different with bubble and without bubble

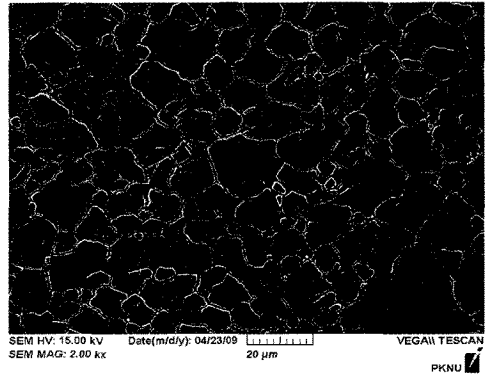
3.3. 열전달특성 및 파울링 제거 특성

Fig. 5는 냉각수내에 에어버블을 주입시켜 세정을 시켰을 경우와 주입시키지 않은 경우에 대한 시간 경과에 따른 총괄열전달 계수의 변화상을 나타낸 그래프이다. 열전달표면 파울링 성분 제거를 위해 에어버블을 2시간 당 10분씩 투입시켜 세정하였을 경우 72시간 경과까지는 총괄열전달계수의 값의 차이는 미미하였으나 96시간 경과 시 2%, 144시간 경과 시에는 5% 정도 뛰어남을 보였으며, 192시간 경과 후는 투입하지 않은 경우에 비해 10%정도 열전달효과가 뛰어남을 알 수 있었다.

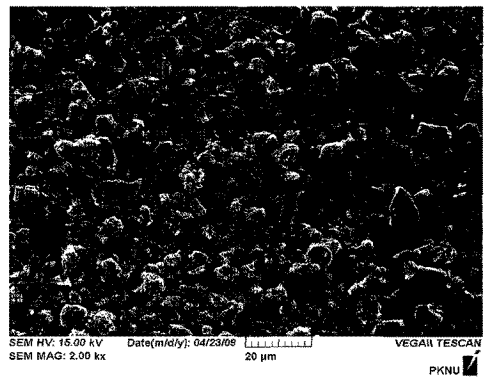
3.4. 표면 SEM 분석

실제 에어버블이 플레이트 열교환기의 표면을 얼마만큼 세정을 했는지 여부는 육안으로도 구분 가능하지만 열전달표면을 관찰하여 실질적으로 표면상태가 어떠한지 판가를 하는 것도 중요한 요소 중의 하나이다.

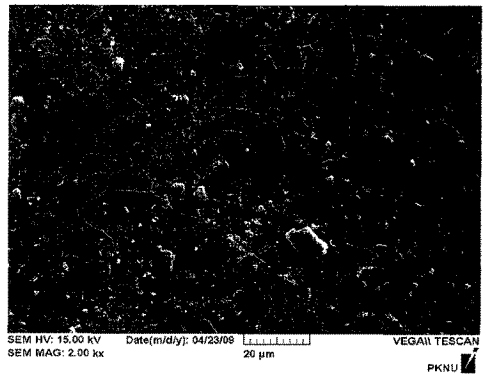
Fig. 6의 (a)는 사용하지 않은 플레이트 열교환기의 표면을 촬영한 그림이며, (b)는 에어버블을 이용하여 세정을 하지 않은 플레이트 열교환기의 표면이고, (c)는 에어버블을 통과시켜 플레이트 열교환기를 주기적으로 세정시키고 난 후의 플레이트 열교환기의 표면을 나타낸 사진이다.



(a) Initial



(b) Without bubble cleaning



(c) With bubble cleaning

Fig. 6 SEM images for fouling structure

SEM (Scanning Electron Microscope) 구조분석을 통한 그림의 결과를 살펴보면 에어버블 이용하여 세정작용을 실시한 플레이트 열교환기의 표면은 미사용 제품에 비해서는 표면의 파울링 성분 플레이트 열교환기 표면에 누적된 것이 관찰이 되었으나 세정을 하지 않고 에어버블을 이용한 플레이트

열교환기에 비해서 시각적으로 확연한 차이가 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 플레이트 열교환기의 자동오염제거 장치를 개발하기 위한 기초실험으로 에어버블을 이용하여 열교환기 내에 오염이 발생되지 않도록 일정 주기로 에어버블을 발생시켜 그 효과를 관찰한 것으로 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 냉각수내의 칼슘과 마그네슘의 경도 값을 합한 총경도 값은 실험경과 6일 후에는 초기 값 대비 2배 정도 상승함을 알 수 있었으며, 경도성 성분과 pH 값의 증가는 파울생성과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

2) 열전달표면의 파울링 성분을 제거를 위해 에어버블을 2시간 당 10분씩 투입시켜 세정하였을 경우 192시간 경과 후 투입하지 않은 경우에 비해 10%정도 열전달효과가 뛰어난을 알 수 있었다.

3) SEM 구조 분석을 통해 에어버블을 사용하여 세정을 거친 플레이트 열교환기의 표면과 세정을 하지 않은 플레이트 열교환기의 표면이 확연한 차이가 나타남을 알 수 있었으며 에어버블을 이용한 세정 효과가 있음을 판단 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 중소기업청 기업부설연구소 지원사업의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. S. K. Sung et al., 2003, "A Study on the Formation of Fouling in a Heat Exchanging System for HAN-River Water as Cooling Water", Trans. of the KSME (B), pp. 1473~1478.
2. S. K. Sung, S. H. Suh and H. W. Roh, 2003, "A Comparative Study on the Fouling Characteristics of River and Tap Water in a Heat Exchanging Model", Trans. of the KSME (B), pp. 49~54.
3. S. H. Suh, S. K. Sung, 2007, "Effect of Fouling Mitigation for Ceramic Ball in Cooling Water

System of Heat Exchanger", Trans. of the KSME (B), Vol. 31, No. 4, pp. 330~334.

4. Bipan Bansal, Xiao Dong Chena, Hans M'uller-Steinhagen, 2008, "Analysis of 'classical' deposition rate law for crystallization fouling", Chemical Engineering and Processing 47, pp. 1201~1210.
5. S. M. Baek et al., 2009, "Characteristics of auto fouling cleaning system in plate heat exchanger", The Korean Society for Power System Engineering, KSPSE, pp. 275~280.
6. S. M. Baek et al., 2009, "Decrease Effect in Fouling on Plate Heat Exchanger using Air Bubble", DSL2009 Rome-Italy, pp. 41.