

Copper Alloy Metal Fiber를 이용한 Heat pipe 표면의 스케일 제거에 관한 연구

이상호 · 김은희 · 김종화 · 송주영[†]

창원대학교 공과대학 화공시스템공학과
(2009년 10월 1일 접수 ; 2009년 12월 16일 채택)

A Study of Prevention of Heat Pipe Scale with Copper Alloy Metal

Sang-Ho Lee · Eun-Hee Kim · Jong-Hwa Kim · Ju-Yeong Song[†]

Department of Chemical Engineering, Changwon National University,
Changwon, Gyeongnam, 641-773, Korea
(Received October 1, 2009 ; Accepted December 16, 2009)

Abstract : This paper is a new method for prevent. The particulate scale. stereo-microscope were used for the scale removal experiment to improve mineralogical characteristics and the reduction of scales in heat pipe. Generally, the scale in the heat pipe consists of calcium carbonate minerals, such as calcite and aragonite which are precipitated by the reaction of Ca and CO₂ in the water. Copper alloy metal could eliminate the scale and prevent the production of scale in the heat pipe.

Keywords :copper alloy, heat pipe, scale, water treatment

1. 서론

경수(hard water)를 사용하는 열교환기에서 가장 많이 발생하는 파울링은 탄산칼슘(CaCO₃ 석회석)이다. 경수에는 과포화된 상태의 미네랄 이온들이 녹아 있기 때문에 불안정한 상태로 존재한다. 이러한 경수는 온도가 높아짐에 따라 이온들의 용해도는 낮아지며, 이온들이 결정화 되어 전기적인 결합력에 의해 석출되고 이러한 스케일이 관벽에 부착하고 결정으로 성장하여 스케일(scaling) 혹은 침전 파울링(precipitation

fouling)이 되며 이를 통상 파울링이라 한다.

열교환기 표면의 파울링층은 궁극적으로 총 합열전달계수를 작게 한다.

경수에서 발생하는 석회석의 경우 열전달계수는 약 0.8 W/mK인 반면, 카본스틸(carbon steel)은 약 90 W/mK이다.

일반적인 주거용 건물이나 소규모의 상업용 난방장치의 연료소비량 중 약 10%가 파울링으로 인해 손실되며, 열교환기용 관은 파울링으로 인한 열전달 성능의 감소로 3년 또는 5년 주기로 관의 교체가 필요하고 효율감소에 따른 열손실은 매년 15% 정도 증가하여 5년이 지나면 약 70%의 열손실이 파울링 때문에 발생한다. 따라서 파울링을 효과적으로 제거한다면 그 경

[†]주저자 (e-mail : jusong@changwon.ac.kr)

제적 이득이 매우 클 것이다.

본 연구의 목적은 구리합금섬유를 이용하여 구리합금섬유의 용액 내에서의 거동 등을 이용하여 구리합금 소재를 이용한 heat pipe 표면의 스케일 발생을 규명하고자 한다.

2. 실험

본 실험에 사용된 금속은 구리합금섬유로서 평균 직경이 50 μm 로 된 구리와 아연의 합금 섬유이다. 구리합금섬유 2 g을 Fig. 1의 125 cm^2 부피의 copper alloy metal reactor에 충전 후 순환펌프 이용하여 3.6 L/min의 유량으로 수돗물을 순환하며 heat pipe(Gum ung, Korea, 2 KW) 표면에서의 구리합금섬유에 의한 항온조의 액성 및 heat pipe 표면의 변화를 확인하였다.

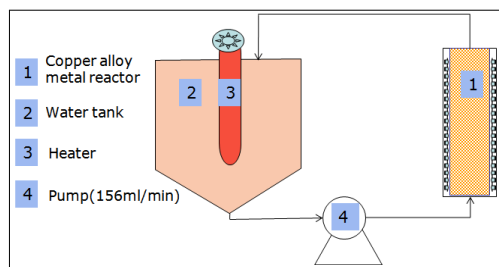


Fig. 1. Schematic diagram of apparatus for scale reduction and prevention.

2.1 구리합금 섬유에 의한 탄산칼슘 결정의 입자 변화 및 스케일 발생 변화

결정 핵생성에 필요한 Gibbs 에너지는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\Delta G(\text{nucleation}) = \Delta G(\text{bulk}) + \Delta G(\text{surface})$$

$$\text{여기서 } \Delta G(\text{bulk}) = -JKT \frac{a}{a_0} \quad (1)$$

$$= -\frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \Delta G_v$$

$$\Delta G(\text{surface}) = 4\pi r^2 \cdot r \quad (2)$$

식(1)의 (-)부호는 결정화 되는 동안 에너지 소비를 의미하고 식 (2)의 (+)부호는 핵표면을 만드는데 사용되는 에너지를 말한다. 핵생성 초기 핵반경(r)이 매우 작기 때문에 $\Delta G(\text{surface})$ 가

$\Delta G(\text{bulk})$ 보다 매우 커서 $\Delta G(\text{nucleation})$ 가 양수가 되어서 핵이 자연적으로 생성되지 않고 외부에서 에너지가 공급되어야 하지만 핵반경이 성장할수록 $\Delta G(\text{bulk})$ 가 지배적이 되어서 ΔG 가 음수가 되어 핵이 자연적으로 생성됨을 의미한다. 따라서 초기의 핵생성에 필요한 에너지를 주면 즉, 임계 핵반경 성장에 필요한 에너지를 주면 그 이후로 자연적으로 핵생성을 하게 된다.

Na_2CO_3 와 CaCl_2 를 이용하여 1000 ppm의 CaCO_3 과포화용액을 제조하고, 제조된 1000 ppm의 CaCO_3 용액 500 mL를 준비하여 구리합금섬유 2g을 용액에 첨가하여 첨가한 용액과 첨가하지 않은 용액에서의 CaCO_3 결정입자 크기 변화 및 용액의 액성을 분석하였다.

2.2 구리합금 섬유 필터에 의한 스케일 방지 및 용액의 변화 시험

구리합금섬유를 이용하여 100 cm^3 부피의 필터를 제작하고 Fig. 1의 실험 개념을 모델로 하여 장치를 구성한 것으로 heat pipe를 이용하여 항온조의 온도를 60 $^\circ\text{C}$ 를 유지하고 순환펌프를 이용하여 3.6 L/min의 유량으로 Fig. 1의 개념도와 같이 순환하여 시험하였다. 10 l의 항온조에 5 l의 수돗물을 넣고 수돗물을 보충하여 5 l를 유지하며 heat pipe의 구리합금섬유 필터를 설치하여 순환한 항온조와 구리합금섬유 필터를 설치하지 않고 순환한 항온조의 스케일 발생과 항온조 내의 물의 물성 변화를 시험하였다.

2.3 분석방법

구리합금섬유에 의한 스케일 제거 실험에서 구리와 아연의 항온조 내 용출을 확인하기 위해 수질오염공정시험법의 원자흡광 광도법을 이용하여 원자흡광 광도계(AAS 6701F, Shimadzu Co., Japan)로 분석하였으며, 항온조의 pH측정은 pH 측정기(713 pH Meter, Metrohm)을 이용하여 측정하였으며 TDS (TDS1, Hanna instruments, USA)를 측정하고, 스케일의 발생정도는 쌍안실체현미경(SMZ-2T, Nikon Co., Japan)과 입도분석기(Mastersizer, Malvern Co. UK)을 이용하여 heat pipe 표면의 결정 형성 및 용액의 결정 입도를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시간에 따른 탄산칼슘 결정의 입자 크기 및 스케일 형성

실험 2-1의 방법으로 1000 ppm의 CaCO_3 용액을 제조하여 결정입자의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 6 hr 경과 동안 용액 내의 CaCO_3 결정은 10 μm 로 일정함을 나타내었다. 위와 같은 결과로 결정 성장에 영향을 주는 어떠한 요인의 변화가 없을 때는 CaCO_3 결정입자의 크기가 시간 경과에 따라 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있다.

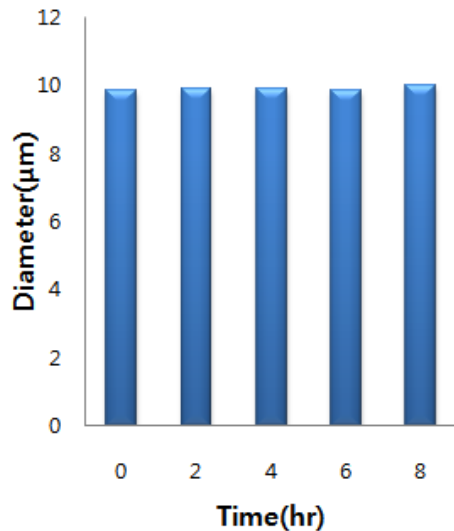


Fig. 2. Change of particle diameter in calcium carbonate solution.

3.2 구리합금 섬유 필터에 의한 탄산칼슘 결정의 입자 변화 및 스케일 발생 변화

구리합금섬유 스케일 제거 및 발생 방지를 위해 2.2의 실험을 실시하였다.

Fig. 3은 구리합금섬유의 증류수에서의 구리 이온과 아연이온의 용출을 나타낸 것이다. 구리합금섬유의 양이 증가할수록 구리와 아연의 용출이 증가됨을 확인할 수 있다.

Fig. 4는 구리합금섬유로 처리하지 않은 용액과 처리한 용액에서의 CaCO_3 의 결정의 크기를 분석한 것으로 처리하지 않은 CaCO_3 용액의 결정형은 시간 경과에 따라 큰 변화가 없지만 구리합금섬유로 처리한 CaCO_3 용액의 결정은 성장하는 것을 확인할 수 있다. 구리합금섬유

로부터 용출된 구리 아연이온이 결정형성의 결정핵으로 작용하여 결정형성 에너지를 공급함으로써 용액내의 결정형성 및 결정의 성장이 용이하게 되어 용액 내의 결정이 커지는 것으로 생각된다. 이러한 용액 내 CaCO_3 결정이 커지므로 용액 내의 CaCO_3 결정의 성장이 가속되어 heat pipe등에서의 결정 형성 및 성장을 방해하는 것으로 생각된다.

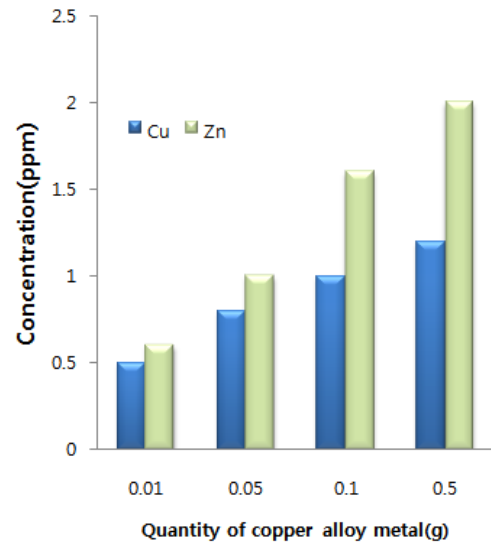


Fig. 3. Elution of copper alloy metal in distilled water

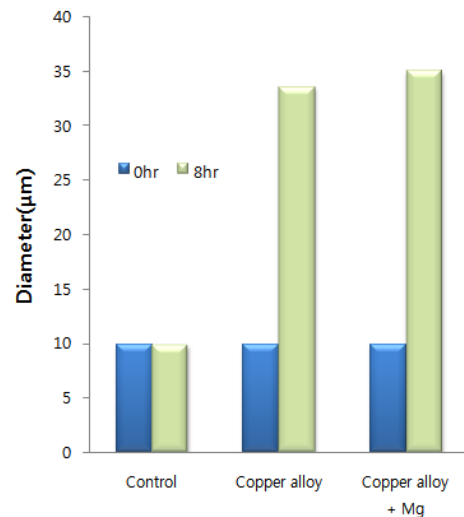


Fig. 4. Change of particle diameter in calcium carbonate solution.

3.3 구리합금섬유 필터에 의한 스케일 방지 및 용액의 변화 시험

구리합금섬유의 스케일 방지 실험을 2.3의 방법으로 실시하였다. Fig. 5는 실험용액 내에서의 TDS(Total Dissolved Solids)의 변화를 나타낸 것으로 처리한 용액 내에서 TDS의 양이 실험 기간 동안 더 큰 것을 확인 할 수 있었다. 처리 용액에서 구리합금섬유에서의 이온의 용출에 의해 용액 상에서 칼슘이온 등의 스케일 형성 원인 이온들이 이온의 형태 보다는 결정을 형성하여 존재하므로 용액의 TDS가 증가하는 것으로 생각된다.

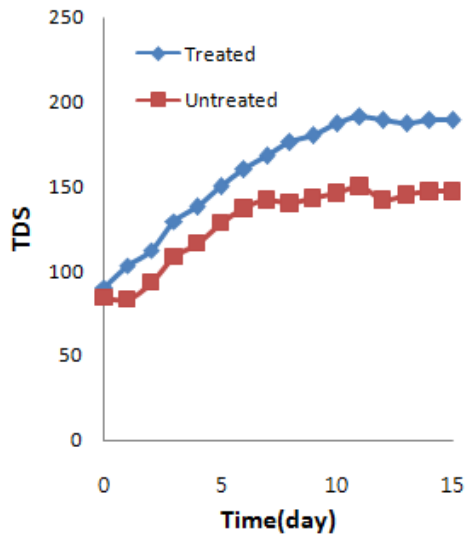


Fig. 5. Change of solution property in the presence of copper alloy metal fiber.

Fig. 6은 시간 경과에 따른 용액 내 pH 변화를 나타내었다. 구리합금섬유로 처리한 용액이나 처리하지 않은 용액의 pH가 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 구리합금섬유로 처리한 용액과 처리 하지 않은 용액에서의 구리와 아연 이온의 변화를 나타내었다. 구리합금섬유로 처리한 용액이나 처리하지 않은 용액이나 용액 내에서의 구리는 거의 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 아연이온은 비슷한 수준으로 나타났다.

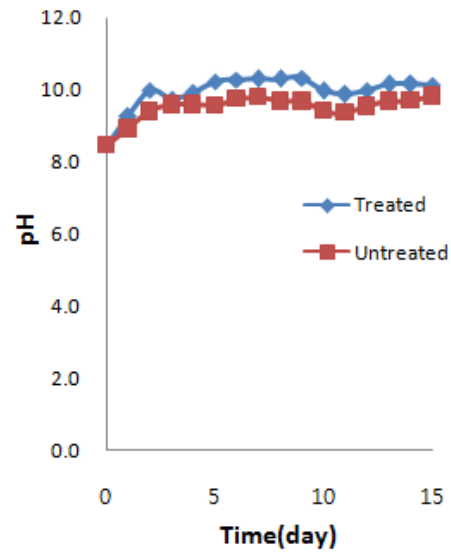


Fig. 6. Change of pH in the presence of copper alloy metal fiber.

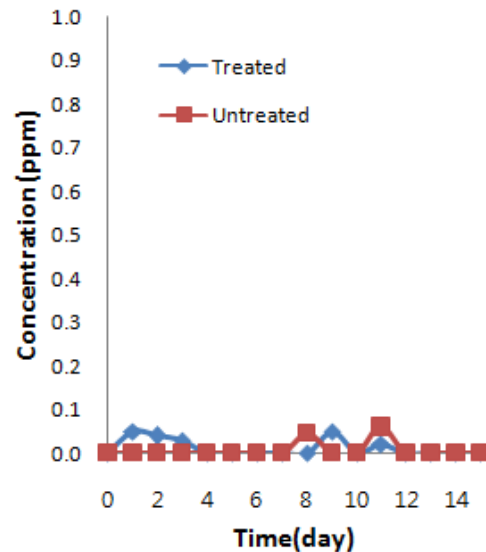


Fig. 7. Change of Cu²⁺ in the presence of copper alloy metal fiber.

Fig. 9는 구리합금섬유로 처리한 용액과 처리하지 않은 용액에서의 Ca²⁺의 농도를 나타내었다. 처리하지 않은 용액에서는 시간 경과에 따

라 Ca^{2+} 의 농도가 일정농도 이상 유지하고 처리한 용액에서는 용액내의 Ca^{2+} 의 농도가 감소한 상태에서 유지되는 것을 확인할 수 있다.

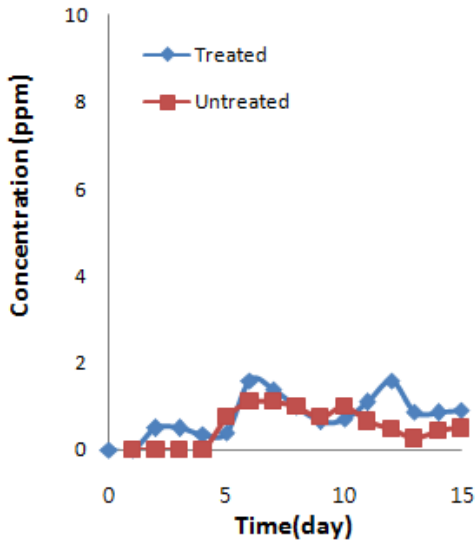


Fig. 8. Change of Zn^{2+} in the presence of copper alloy metal fiber.

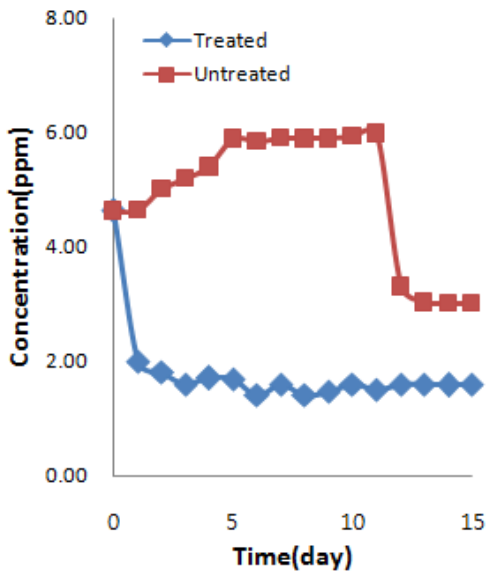


Fig. 9. Change of Ca^{2+} in the presence of copper alloy metal fiber.

Fig. 9의 결과로부터 용액 내에서 Ca^{2+} 의 농

도가 일정 이하로 유지됨으로써 heat pipe의 표면에서 스케일의 형성이 어려워짐을 알 수 있으며 실제 heat pipe에서 스케일의 형성은 처리하지 않은 용액에 비해 구리합금섬유로 처리한 용액에서 스케일의 형성이 적게 일어남을 확인할 수 있었다.

4. 결론

구리아연합금섬유를 이용한 스케일 제거 실험에서 구리합금섬유에 의한 스케일 생성억제 효과를 확인할 수 있었으며 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 구리합금섬유 처리를 하지 않은 용액에서는 $CaCO_3$ 의 결정이 10 μm 로 변화가 없이 일정하였으나 구리합금섬유로 처리된 용액에서 $CaCO_3$ 의 결정 크기가 35 μm 로 더 크게 성장하였다.
2. 구리합금섬유를 이용한 스케일 방지 실험에서 pH 및 TDS는 처리가 된 용액에서 높게 나타났다.
3. 구리합금섬유로 처리한 용액에서 구리 및 아연의 농도가 처리되지 않은 용액과 차이가 없었다.
4. 스케일의 발생은 구리합금처리 된 항온조의 Heat pipe의 스케일 발생이 적은 것을 확인할 수 있었다.

위와 같은 결과로 구리합금섬유 처리를 통한 스케일 발생 억제의 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 창원대학교 연구교수 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. S. J. Song, D. H. Lee, H. D. Lee and C. H. Bae, A Study of the Guided Wave Propagation in the Water Supplying Pipes with Scale, *J. Kor. Soc. Test.*, **23(1)**, 1 (2003).

2. J. J. Kim, Y. Y. Kim, H. S. Kim and Y. D. Jang, Removal and Restraint Effects by Mg Metal on Scale in Water Pipe, *J. Min. Soc. of Korea*, **19(2)**, 111 (2006).
3. S. H. Lee, K. H. Park, J. Y. Song, A study on the Antimicrobial Activity of Copper alloy metal fiber on water Soluble Metal Working Fluids, *J. of Korean Oil Chemists' Soc.*, **24(3)**, 233 (2007).
4. J. J. Kim and Y. Y. Kim, Mineralogical Characteristics and Zinc Effects on Scale in the Water pipe, *J. Kor. Soc. Wat. and Wast.*, **16(3)**, 284 (2002).
5. U. J. Yang, "Water Chemistry", Korea, Donghwa technology publishing company, 200 (2004).
6. H. S. Kim, S. H. Lee, J. H. Kim, K. H. Park, J. Y. Song, A Study on the Antimicrobial Activity of *Microcystis aeruginosa* by Redox Reaction of Cu-Zn Alloy Metal Fiber, *J. of Korean Oil Chemists' Soc.*, **25(2)**, 168 (2008).
7. S. H. Lee, J. H. Kim, J. Y. Song, A study on the Antimicrobial Activity of Copper alloy metal fiber on water Soluble Metal Working Fluids, *J. of Korean Oil Chemists' Soc.*, **26(1)**, 233 (2009).
8. L. Vernon and D. Jenkins, Water Chemistry, Donghwa technology publishing company, 254 (1980).
9. T. Tan, Y. Chen and H. Chen, A diffusion controlling duplex-layer oxidation model with scale removal in oxygen containing liquid metal flow, *Comput. Mat. Sci.*, **44(2)**, 750 (2008).
10. P. Sarin, V. L. Snoeyink, J. Bebee, W. M. Kriven, Physico-chemical characteristics of corrosion scales in old iron pipes, *Wat. Res.*, **35(12)**, 2961 (2001).
11. C. Gabrielli, Jaouhari, R., Maurin, G., Magnetic water treatment for scale prevention, *Wat. Res.*, **35(13)**, 3249 (2001).
12. J. J. Kim, Y. Y. Kim and S. J. Jang, Environmental Mineralogy on the Mg effects of Chiller precipitates, *J. Miner. Soc. Korea*, **18(2)** (2002).