

냉동·공조기 배관내 스케일 자동제거장치의 효과

김종열[†]

동명대학교 냉동공조공학과

(2017년 11월 7일 접수: 2017년 11월 20일 수정: 2017년 12월 2일 채택)

Effect of Automatic Scale Removal System for Piping in Refrigeration & Air Conditioning System

Jong-Ryeol Kim[†]

Department of Refrigeration & Air Conditioning Engineering

(Received November 7, 2017; Revised November 20, 2017; Accepted December 2, 2017)

요약 : 본 연구는 냉동공조용 열교환기 내 스케일 형성으로 열전달 과정에서 열저항으로 작용하여 냉동공조시스템의 냉각능력이 떨어져 이를 해결하기 위해 전기분해 원리를 이용하여 배관 내 스케일을 자동 제거하는 시스템을 개발하여 그 성능을 실험을 통해 확인하고자 한다. 이전까지는 배관 내 스케일을 2~3 년에 한번씩 브러시나 분사 노즐에 의해 기계적으로 배관 내를 청소하거나 화학약품을 이용하여 세관하였다. 이러한 세관은 시간이 경과하면 또 관이 오염되어 전열능력이 떨어지고 냉각장치의 운전을 정지하여 반복해야 하는 여러 가지 문제점을 안고 있었다. 따라서 시스템의 정지없이 전기분해 원리를 이용하여 만들어진 처리수를 순환시킴으로서 스케일의 원인물질은 Ca, Mg, SiO₂를 고형물 형태로 석출시켜 배관계 외부로 배출시킴으로서 배관내 스케일 발생을 차단하고 기 형성된 스케일을 제거하여 배관의 전열 성능을 유지하고자 하는 것이다. 실험한 결과, 새 배관의 열전달율을 100으로 기준할 경우, 스케일이 형성된 배관의 열전달율은 86.66%이었으며, 스케일이 형성된 배관을 1개월 동안 처리수를 가동했을 경우 열전달율은 90.5%의 수준까지 회복되었으며, 2개월간 운전한 경우 97.86%의 수준까지, 3개월 운전했을 경우 98.72%까지 열전달율이 회복되었다. 비교적 짧은 실험기간이지만 배관내 형성된 스케일의 제거효과를 파악하였으며, 전열성능에도 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

주제어 : 스케일, 냉각수, 열교환기, 열전달, 전기분해

Abstract : In this study, we developed a system that automatically removes the scale in the piping by using electrolysis principle in order to solve the cooling performance of the refrigeration and air conditioning system by acting as heat resistance in the heat transfer process by forming the scale in the heat exchanger for refrigeration air conditioning. We want to check the performance through experiments. Therefore, by circulating the treated water using the principle of electrolysis without

[†]Corresponding author
(E-mail:kjy804@nate.com)

stopping the system, Ca, Mg and SiO₂ are precipitated in the form of solids and discharged to the outside of the pipe system, thereby preventing scale formation in the pipe and removing the scale. Thereby maintaining the heat transfer performance of the pipe. As a result of the experiment, the heat transfer rate of the scaled pipe was 86.66% when the heat transfer rate of the new pipe was 100, and the heat transfer rate was recovered to 90.5% when the scaled pipe was operated for 1 month. The heat transfer rate recovered to 97.86% when driving for two months and to 98.72% for three months.. It was confirmed that the scaling effect of the scale formed in the piping was understood in a relatively short experiment period, and the heat transfer performance was also influenced.

Keywords : scale, cooling water, heat exchanger, heat transfer, electrolysis

1. 서론

열교환기는 여러 가지 형태로 제작되어 화학공업, 산업플랜트 등의 중대형 산업분야에서부터 보일러, 냉동기, 공기조화기 등의 가정용 분야에 이르기까지 고온열원 및 저온열원의 열교환을 위해 사용되고 있다. 이와 같은 열원설비의 효율을 좌우하는 요소중에서 열교환기의 비중은 일정 부분 비율을 차지하고 있으며, 전열효율을 향상시키기 위한 다양한 형상 및 재질 등을 적용한 고효율의 열교환기를 개발하기 위해 활발한 연구를 진행하고 있다.

냉동기나 히트펌프의 구성원인 열교환기, 즉 응축기는 냉매를 응축하는 과정에서 응축열을 제거하기 위해 공기나 물을 사용한다. 공기는 열효율이 낮아 대형인 경우 대부분 냉각수를 사용하는데 이 냉각수는 시수나 지하수를 이용하는 경우가 일반적이다[1-3]. 이때 냉각수는 한번 사용하고 난 후 버리지 않고 응축기에서 빼앗아 온 열을 냉각탑에서 냉각시키므로 이 과정에서 증발 또는 비산으로 인하여 냉각수의 일부가 없어지므로 부족 수량만큼 보충하여야 한다. 보충과정은 지속적으로 진행되므로 냉각수의 농도는 점점 높아지게 되며, 물에 용해되어 있는 칼슘이나 마그네슘과 같은 염류의 농도도 높아지게 된다. 이때 높아진 농도의 냉각수는 열교환 과정에서 고온의 전열면을 통하여 가열됨으로써 온도는 상승하게 되고, 장시간 사용할 경우에는 열전달 표면에 열전달을 방해하는 침전물의 층인 파울링(스케일이라고도 함)을 생성한다. 파울링이 생성되면 열교환기의 열전달 성능이 크게 감소된다. 즉, 더운 유체로부터 차가운 유체로의 열전달 과정을 나타낸 것으로서 관의 내·외벽에서 생성된 파울링에

의한 저항과 온도강하가 표시되어 있다[4-8].

열교환기로 유입되는 유체는 온도가 변화되고, 온도변화에 따라 유체의 용해도는 변화한다. 이때 유체의 온도가 상승하면 포화용해도는 내려가게 되므로 과포화 상태만큼 석출하게 되어 전열면에 침전 파울링이 형성된다. 산업체의 열교환기에서 침전 파울링을 유발하는 유체 내의 성분은 탄산칼슘(CaCO₃), 황산바륨(BaSO₄), 황산칼슘(CaSO₄), 규산염(Silica), 철(Fe) 등이다. 이중 대표적인 것이 탄산칼슘이며, 우리나라의 하천수는 칼슘이온을 포함하고 있으므로 열교환기의 냉각수로 사용할 때 열전달 표면에 탄산칼슘 침전에 의한 파울링이 발생하게 된다[9-13]. 열교환기의 전열성능을 유지하기 위해서는 파울링의 발생을 방지하거나 저감시켜야 하나, 아직까지 이에 대한 완벽한 해결방법을 발견하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 배관내 스케일 자동제거장치에 의해 만들어진 처리수를 일정 시간동안 스케일이 형성된 배관에 순환시킨 후 스케일 제거율을 파악하기 위해 배관에 입열된 양과 배관 내 및 배관 표면에서 측정된 값을 열전달을 계산식으로 계산하여 성능을 파악하고자 한다.

2. 냉각수의 전열성능시험

2.1. 전열성능시험 장치

본 연구에서는 스케일 제거장치를 통해 만들어진 처리수에 의해 일정시간 순환되어 스케일이 제거된 배관의 전열성능시험을 통해 스케일 자동제거시스템의 성능을 파악하고자 한다. 먼저 제조회사에서 생산된 배관(Case 1)의 전열성능시험과 10년간 필드에 장착되어 운전된 스케일이 끼어

있는 배관(Case 2), Case 2의 배관을 현장에서 스케일 자동제거 장치에서 생산된 처리수를 1개월 순환시킨 배관(Case 3), 2개월 순환시킨 배관(Case 4), 3개월 순환시킨 배관(Case 5)으로 각각 배관의 열전달을 실험을 하여 스케일이 얼마나 제거되었는가를 확인하고자 한다.

Fig. 1의 실험장치는 실험용 파이프를 기준으로 일정한 온도의 물을 투입하기 위해 항온칠러(Water Chiller : 5,000 kcal/h)를 구성하며, 유량 조절을 위하여 실험용 배관 입구 측에 밸브를 설치한다. 배관 내의 물의 유량을 측정하기 위해 출구측은 유량계(50A, Magnet type)를 설치한다. 배관의 열전달을 측정하기 위해 실험용 파이프 외면에 히터(Heater : 3 kW)를 감싸고, 입열량 조절 및 측정에 필요한 Power meter, Power supply를 구성한다. 각 부의 온도와 유량에 대한 Data 취득을 위해 Data logger를 설치한다. 배관 내의 층류를 유지하기 위하여, 실험용 파이프의 입구(Lin)와 유량계 입구(Lp) 및 출구(Lout)의 수력학적 직선길이를 확보하여 배관을 설계하여 설

치한다.

Fig. 2는 실험용 파이프의 단면에 대한 것이다. 실험용 파이프의 외측에는 일정한 입열량을 투입하기 위해 Heater를 설치하고 단열재로 감싼다. 수온을 측정하기 위하여 입, 출구에 열전대를 설치하고, 배관 외측면과 Heater 사이에 일정 간격으로 열전대를 부착한다.

2.2. 실험방법

스케일이 전혀 발생하지 않은 배관과 일정시간 사용하여 스케일이 발생한 배관의 열전달을 비교 실험을 위하여 배관의 입출구 온도와 유량을 측정하고, 배관에 투입되는 열량을 파악하기 위해 열전대를 4개 지점에 설치, 온도를 측정한다. 일정한 유량과 수온을 유지하여 배관의 입구에 투입하고, 히터를 이용하여 실험용 파이프에 입열한다. 각 부의 온도가 일정하게 되는 정상상태가 될 때까지 배관 내에 물을 순환시킨다.

열전달을 측정을 위해 배관 입, 출구의 온도를 열전대를 이용하여 측정한다. 배관의 길이 방향으

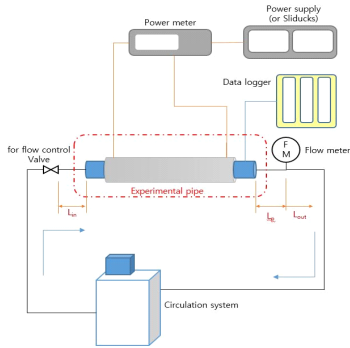


Fig. 1. Schematic diagram of test schematics and devices

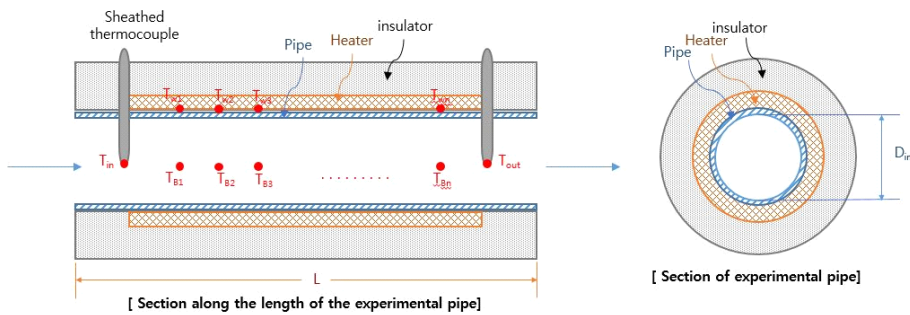


Fig. 2. Section of experimental pipe

Table 1. Experimental conditions

Subject	Conditions	
	water flow	Input heat rate
New pipe	430 kg/h	1.0 kW, 1.5 kW, 2.0 kW
Pipe with a circulation of 1 month	860 kg/h	1.0 kW, 1.5 kW, 2.0 kW
Pipe with a circulation of 2 month		
Pipe with a circulation of 3 month	1290 kg/h	1.0 kW, 1.5 kW, 2.0 kW

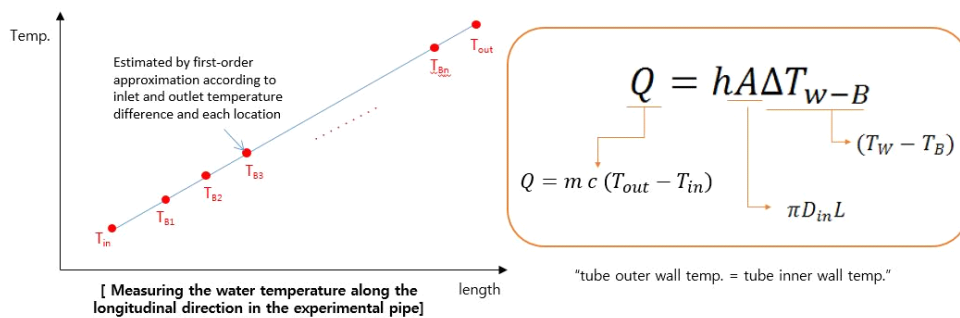


Fig. 3. Water temperature prediction and heat transfer formula using the length in the experimental pipe

로 수온을 측정해야 하지만, 관내에 열전대를 설치할 경우 스케일이 떨어 질 수 있어 비교 시험이 불가하다. 따라서 배관의 입·출구 수온의 차에 따른 1차원적 추정치로 한다. 관외벽에 부착된 열전대에서 측정되는 온도값과 입·출구 수온의 측정치를 이용하고, 측정된 유량값을 이용하여, 열전달율을 구한다(Fig. 3 참조). Fig. 3의 오른쪽식의 좌변항은 물의 유량과 입구 및 출구의 측정된 물의 온도를 이용하여 q 값으로 하고, 우변항은 관의 면적과 관내 온도와 관외벽 온도와와의 차이를 통해 h 값을 계산한다. 투입된 열량을 q 값으로 할 경우 가열량이 배관 내로 모두 입력된다고 가정할 수 없기 때문에 물의 유량, 물의 비열, 물의 입출구 온도차를 계산하여 q 값으로 계산하는 것이다.

실험을 통해 새 배관의 열전달율을 100%로 기준하고, 스케일이 발생한 배관(Case 2)의 열전달율과 처리수가 순환된 배관(Case 3~5)의 열전달율을 비교하여 스케일의 제거율을 추정하고자 한다.

유량에 따른 투입열량을 변화시킬 경우 입출구 수온의 차이를 측정하고 배관내의 온도와 배관표

면의 온도를 측정하여 관의 열전달율을 계산함으로써 처리수에 의해 배관내 스케일의 제거율을 확인하고자 하는 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험데이터의 적정 가능성 여부

먼저 실험의 데이터 분석을 위해 관 외면에서 관내의 물로 가하는 열량 1.0 kW, 1.5 kW, 2.0 kW와 물의 온도변화에 사용된 열량을 비교 분석하여 관 외표면에 가한 열량보다 물의 온도변화에 사용된 열량이 높은 것이 있는지를 파악한다. 물의 온도 변화에 가한 열량이 높은 것은 데이터로서 효용이 없어 사용할 수 없다. Fig. 4는 새 배관의 표면에 가한 열량보다 물의 온도변화에 사용된 열량이 큰 경우는 나타나지 않았다. 즉 상기 데이터는 모두 적절한 실험 결과치로 이용될 수 있다.

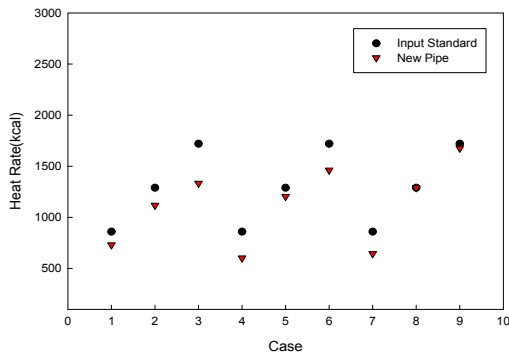


Fig. 4. Comparison of the amount of heat applied to the piping and to the water.

3.2. 물의 유량 변화에 따른 입출구 온도차

Fig. 5은 새 배관에서의 유량에 따른 물의 입출구 온도차를 나타낸 것이다.

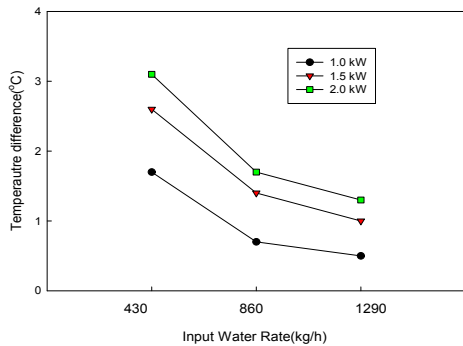


Fig. 5. Temperature Difference of Inlet/outlet according to water flow rate change.

배관에 1.0 kW의 열량을 가했을 때, 유량이 많을수록 온도차는 낮아진다. 열량을 많이 가할수록 온도차는 크게 되며, 온도차는 유량에 반비례 한다는 것을 알 수 있다.

3.3. 투입열량에 따른 입출구 온도차

Fig. 6은 새 배관에서의 가열량 변화에 따른 물의 입·출구 온도차를 나타낸 것이다. 유량이 작을수록 온도차는 크며, 가열량이 클수록 온도차는 커지는 것을 알 수 있다.

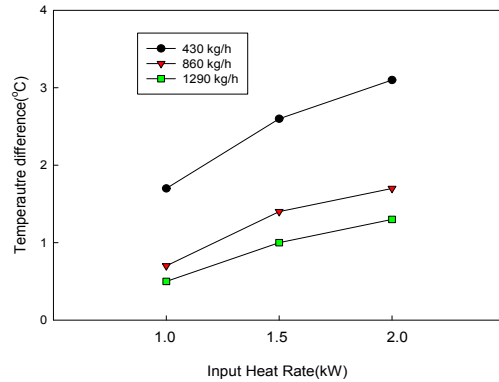


Fig. 6. Temperature difference of inlet/outlet according to input calorie.

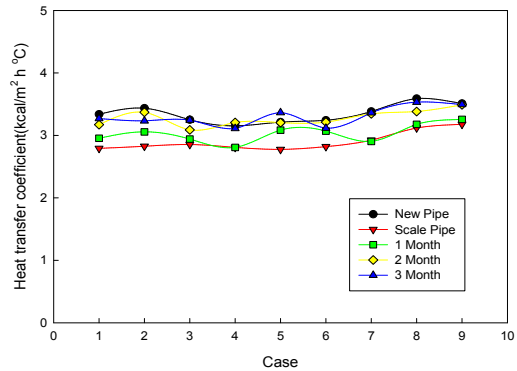


Fig. 7. Heat transfer coefficient of each pipe according to flow rate and heat transfer.

3.4. 각 케이스에 따른 열전달율

Fig. 7은 실험조건인 Case 1에서 Case 9까지 배관의 상태에 따른 열전달율을 계산하여 그래프로 나타낸 것이다. 즉 $Q = hA\Delta T_{W-B}$ 의 식에서 좌변 Q는 배관내의 유량과 물의 비열, 배관의 입구물온도와 출구물온도를 곱한 값이며, 실험에서 사용한 관의 면적 0.245m² 과 관내 물의 온도와 관의 표면온도를 대수평균온도로 구하여 계산한 값이 위 열전달율 값이다.

실험결과 새 배관의 열전달율은 평균 3.3461이었으며, 스케일이 형성된 배관은 2.8999이었다. 스케일이 형성된 배관을 기준으로 처리수를 1개월 운전하였을 경우, 3.0282, 2개월 처리수를 운전했을 경우 3.2744이었으며, 3개월 처리수를 가동했을 경우 3.3033의 열전달율 순이었다. 다만 열전달율을 기준으로 각 조건의 실험결과를 살펴

보면, 처리수를 운전했을 경우와 스케일이 형성된 배관의 열전달율의 차이는 그다지 크지 않았으며, 이러한 이유는 실험에 사용한 배관의 열전달율과의 상관성은 많아 보이지는 않는다.

4. 결론

배관내 스케일 자동제거장치의 제거 효과를 파악하기 위해 전열시험을 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

새 배관의 열전달율을 100으로 기준할 경우, 스케일이 형성된 배관의 열전달율은 86.66%이였으며, 스케일이 형성된 배관을 1개월 동안 처리수를 가동했을 경우 열전달율은 90.5%의 수준까지 회복되었으며, 2개월간 운전한 경우 97.86%의 수준까지, 3개월 운전했을 경우 98.72%까지 열전달율이 회복되었다.

즉 스케일 제거장치에 의해 생성된 처리수를 순환할 경우 배관내에 기 형성된 스케일의 제거 효과가 있다는 것을 알 수 있었다. 다만, 본 실험에 사용한 배관은 SS400(Sche 10)으로, 주로 구조용 강재로 고강도를 얻으면서 인성의 감소를 억제시키는 특징이 있는 배관이다.

앞으로 열전달을 목적으로 하는 동관과 같은 종류의 배관을 대상으로 스케일의 제거 효과를 검증할 필요가 있다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 중기청 구매조건부 신제품개발사업의 위탁 연구비로 진행되었습니다.

References

1. M.J. Jang, I.W. Sung, "The Effects of Scale Growth Inhibition on Water Pipe using Frequency Driver", *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **Vol.33, No.4** pp.258-266, (2011).
2. K.H. Kim, "Principle and application of electron field treatment technology for prevent corrosion and scale in pipes", *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, pp.991-996, (2009).
3. C.S.Cho, H. J. Shin, J.Y. Kim, "Application of the High Pressure Piping Flushing System", *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea.*, pp.784-788, (2000).
4. S.Y. Lee, H.J. Choi, E.S. Jang, Y.B. Lee, K.C. Choi, J.C. Lee, "Development of Hybrid Water Activator Water Treatment Device for scaling". *The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*. pp.13-13 (2015).
5. J.H. Lee, J.Y. Jung, Y.B. Park, J.H. Bae, "Development of Chemical Cleaning Agents for Cleaning Indoor Water Supply Pipes". *The Korean Society Of Clean Technology*. **Vol.16, No.4**, pp.162-171 (2010).
6. S.K. Sung, S.H. Suh, "Effect of Fouling Mitigation for Ceramic Ball in Cooling Water System of Heat Exchanger", *KSM&E B*, **Vol.31, No.4**, pp.330-334, (2007).
7. K. M. Hwang , E. J. Tae, "A Study on the Development of Fouling Analysis Technique for Shell-and-Tube Heat Exchangers", *KSM&E B*, **Vol.28, No.2**, pp.167-173, (2004).
8. S. M., Beak, W. J. Choi, J. I. Yoon, W. S. Seol, 2010, "Characteristics of Decrease Effect in Fouling on Plate Heat Exchanger Using Air Bubble", *KSPSE*, **Vol.14, No.1**, pp.22-26, (2010).
9. Genic, S. B., Jacimovic, B. M., Mandic, D., and Petrovic, D., "Experimental determination of fouling factor on plate heat exchangers in district heating system", *Energy and Buildings*, **50**, pp.204-211, (2012).
10. Thonon, B., Grandgeorge, S. and Jallut, C., "Effect of geometry and flow conditions on particulate fouling in plate heat exchangers", *Heat Transfer Engineering*, **Vol.20, No.3**, pp.12-24, (1999).
11. Q. Yang, J. Ding, and Z. Shen,

- “Investigation on fouling behaviors of low-energy surface and fouling fractal characteristics”, *Chemical Engineering Science*, **Vol.55, No.4**, pp.797–805, (2000).
12. W. T. Kim, Y. I. Cho, “Experimental study of the crystal growth behavior of CaCO_3 fouling using a microscope”, *Experimental Heat Transfer*, **Vol.13, No.2**, pp.153–161, (2000).
 13. N. Andritsos, A. J. Karabelas, “Calcium carbonate scaling in a plate heat exchanger in the presence of particles”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **Vol.46, No.24**, pp.4613–4627, (2003).
 14. J. M. Jeon, E. C. Lee, H. Kang, Y. C. Kim, “The Fouling Characteristics of Plate Heat Exchangers with Geometric and Operating Parameters”, *Korean Journal of Air conditioning and Refrigeration Engineering*, **Vol.26, No.4**, pp.163–168, (2014).
 15. W. T. Kim, J. H. Jeong, “Study on Fouling Phenomena and Reduction Methods for Heat Exchangers in Nuclear Power Plants”, *The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp.94–100, (2010).
 16. W. J. Kim, N. N. Kim, “Study on Heat Transfer and Fouling of Flow Boiling Systems using Oxidized Graphene Nanofluid”, *The Korean Solar Energy Society*, **Vo.36, No.3**, pp.63–74, (2016).