

내구 연한을 연장하기 위한 위생 배관 및 열교환기 전열 튜브의 부식 특성에 관한 연구

An Experimental Study on the Corrosion Characteristics of Plumbing and Heat Exchanger Thermal Tube as a Way to Extend the Retirement Year

장철익*†
Chul-Ik Chang*†

(Received 29 November 2021, Revision received 27 December 2021, Accepted 27 December 2021)

Abstract : his paper seeks to determine corrosion characteristics between different materials used for pipes in building HVAC systems. Typically, the life span of a building correlates to the amount of damage to its components. Therefore, material selection is a very important issue when it comes to extending the life of the building or improving its function. This study focuses on the corrosion characteristics between different materials used for heat exchangers (in recapturing surplus heat) and pipes used in HVAC. A chamber is prepared with salt water spray nozzles, measuring the corrosiveness at assigned intervals between pipes of different materials: copper, steel, brass and titanium. In summary, the steel pipes exhibited the severest corrosion, followed by copper where corrosion was evident in the later stages of the experiment. Small amounts of corrosion was found in brass while titanium resulted in no corrosion at all.

Key Words : Corrosion, Piping, Copper tube, Steel pipe, Brass tube, Titan tube

1. 서 론

비산유국이면서 에너지원의 해외의존도가 높은 국내의 2000년 기준 산업 폐열 추정량 약 9,160천 TOE에서 폐가스 비율은 약 86%, 이 중에서 재활용되지 못하고 배출되는 약 3,694천 TOE의 약 70%를 회수한다면 에너지 절감은 2,957천 TOE로서 약 2,476천 CO₂를 절감할 수 있는 것으로 예측

되었다. 화석에너지 등의 연소과정에서 배출되는 배기가스 온도가 고온일 경우에는 폐열회수 열교환기로 열을 회수하여 재활용하고 있으나, 저온 폐열일 때 낮은 열 밀도, 배기가스에 함유된 산성 가스의 응축수에 의한 열교환기 전열 튜브 부식 등의 다양한 원인으로 인해 재활용되지 못하고 있다.

또한 플랜트 분야에서 SO_x, NO_x 등의 환경에

*† 장철익(ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1815-801X>) : 교수, 동명대학교 냉동공조공학과
E-mail : Changci@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1687

*† Chul-Ik Chang(ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1815-801X>) : Professor, Department of Refrigeration & Air-condition Engineering, Tongmyong University.
E-mail : Changci@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1687

서 사용되는 배관설비¹⁾나 건축물의 위생 설비²⁾의 이송 유체에 의한 배관 부식이 발생하면 막대한 유지보수 비용뿐만 아니라 설비 기능에도 큰 장애³⁾가 초래된다.

이처럼 배관 및 설비 재료 손상은 열교환기⁴⁾뿐만 아니라 각종 설비의 용도 변경 혹은 폐기와 직결될 수 있으며, 특히 기존 설비의 성능 개선이나 수명연장을 위한 리모델링 과정에서 설비 관련 재료 선택^{5,6,7)}은 중요한 사항이다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 사용범위에서의 배관이나 열교환기의 재료로 사용되는 동관의 부식 정도를 규명하였고, 또한 산성 유체가 흐르는 오배수 배관이나 산성 성질의 응축수와 접촉하는 폐열회수용 열교환기 전열 튜브 등과 같이 극한환경에 사용하고자 하는 강관, 황동관, 티타늄 관의 부식 정도를 비교하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

염수 분무 실험은 Fig. 1의 실험 장치에서 KS D 9502(염수분무시험방법⁸⁾)기준에 따라 실시하였다. 염수가 분무 되는 체임버 내 온도는 $35\pm 2^{\circ}\text{C}$, 분무되는 압축공기의 압력은 $0.1\pm 0.01\text{ MPa}$, 시험편 측정 단계마다 염수 농도가 $5\pm 0.5\%$ 인 것을 확

인하였다. 일정 압력의 압축공기가 공기노즐을 통해 분사되면서 퍼져 탱크와 연결된 염수노즐을 통해 염수를 빨아 당기면서 미세 액정 형태로 염수가 분무되며, 분무되는 염수가 시험편과 직접 접촉되지 않고 간접 접촉되도록 방이 구성되어 있다. 압수농도 측정은 분무된 염수가 최종적으로 모이는 분무액 채취 용기에서 채취하였고, 시험편 부식 정도 측정 때마다 측정하였다.

부식량 측정을 위한 실험에 사용된 배관 사양은 Table 1과 같고, 사진 1과 같이 각 시험편 양단면에 테이프 실링(sealing) 처리를 하여 시험편 내부로 염수가 유입되지 않도록 하여 측정오차를 최소화하고자 하였다. 또한 염수 분무 노즐로부터 시험편의 위치 오차를 고려하여 Fig. 2와 같이 시험편을 배치한 후 각 시험편의 부식량 평균값을 측정하였다.

Table 1 Comparison of Piping Materials in This Study

Piping	OD(mm)	Amount
C1220 T (Cu)	22.22	2ea
A179 (Carbon-Steel)	25.40	2ea
C6870 (Al-Brass)	22.22	2ea
Titan	17.9	2ea

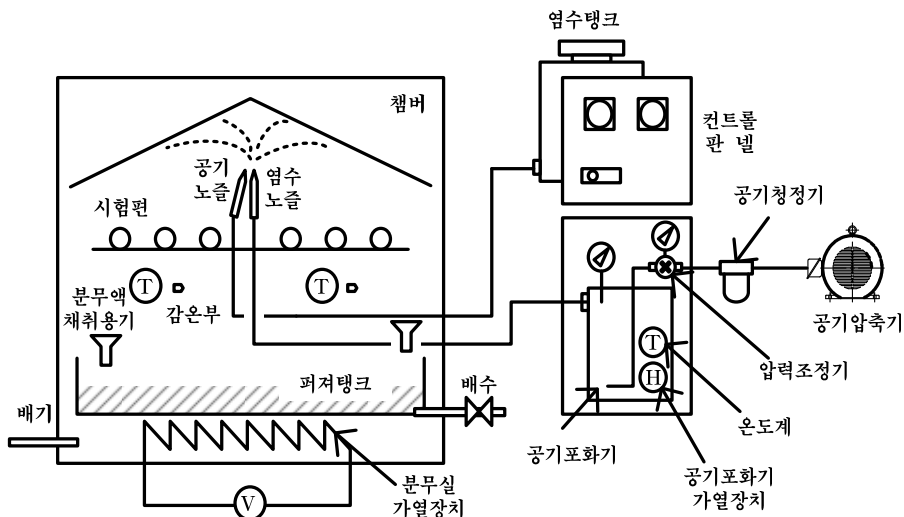


Fig. 1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

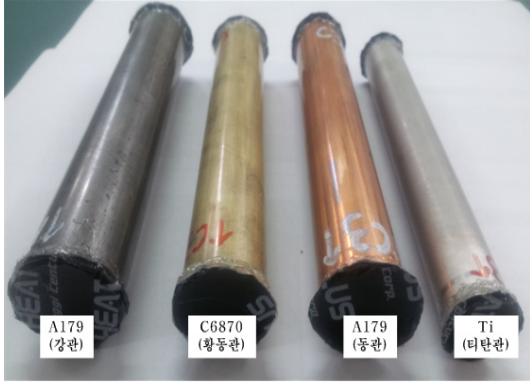


Photo. 1 Comparison of Piping Materials in Experiments

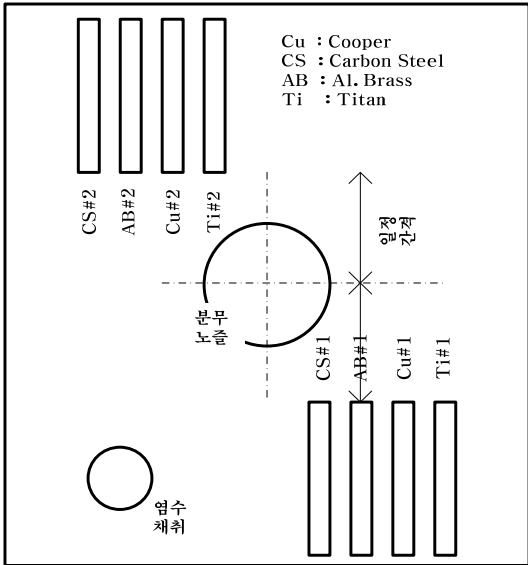


Fig. 2 Placement of Pipe Specimens

부식량 측정은 염수 분무 장치의 운전이 안정화된 것으로 고려한 운전 시작 24시간 이후부터 24시간 간격으로 504시간 동안 측정하였으며, 배관재료의 부식 정도 측정은 KS D 9502의 무게 법을 이용하였다. 부식량 측정은 염수 분무 장치의 운전이 안정화된 것으로 고려한 운전 시작 24시간 이후부터 24시간 간격으로 504시간 동안 측정하였으며, 배관재료의 부식 정도 측정은 KS D 9502의 무게 법을 이용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 동관 부식

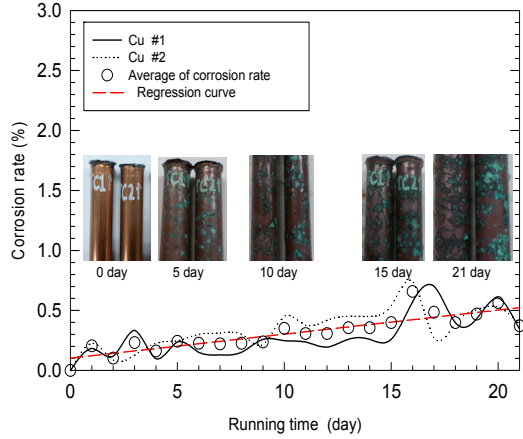


Fig. 3 Corrosion Properties of Copper Pipe

Fig. 3은 동관 부식 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 염수 분무가 시작된 이후, 시간 경과와 함께 지속해서 부식이 진행되고 있음을 알 수 있다. 동관 부식의 정도는 강관 부식 정도에 비해 약 50% 이내에서 부식이 진행되고 있으나, 황동관의 경우에 비해서는 약 400% 정도 부식이 촉진되고 있음을 알 수 있다.

본 실험에서 부식 정도를 계측하는 과정이 모두 같았기 때문에 계측 오차는 적을 것으로 고려되나, 동관 부식의 경우에는 다른 재질의 배관재료에 비해 시간 경과에 따른 부식 정도가 비례적이지 않다는 점이 특성을 나타내고 있다. 본 실험에서의 부식량 계측 간격이 24시간인 점을 고려할 때, 향후 보다 짧은 계측 기간에서의 동관 부식 특성에 관한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

3.2 강관 부식

Fig. 4는 강관 부식 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 염수 분무 장치를 운전하기 시작한 후, 시간 경과와 함께 부식이 진행되고 있음을 알 수 있다. 염수 분무 노출과의 거리에 따라 부식량의 차이가 있으나, 평균적으로는 시간이 지날수록 부식량이 꾸준히 증가하고 있음을 알 수 있다.

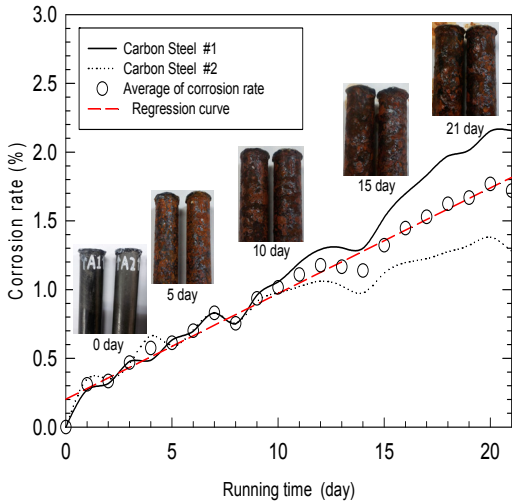


Fig. 4 Corrosion Properties of Carbon Steel Pipe

3.3 황동관 부식

Fig. 5는 황동관 부식 경향을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 황동관의 경우, 운전 시작 24시간 이내에 초반 부식이 진행된 이후, 일정 수준을 유지하는 특성을 나타내고 있다. 이는 황동관 표면에서 수분이 증발한 뒤의 염기 무게로 판단되었으며, 이후 황동관 및 티타늄 관에 대해서는 최대한 염수를 제거한 후 무게를 측정하였다.

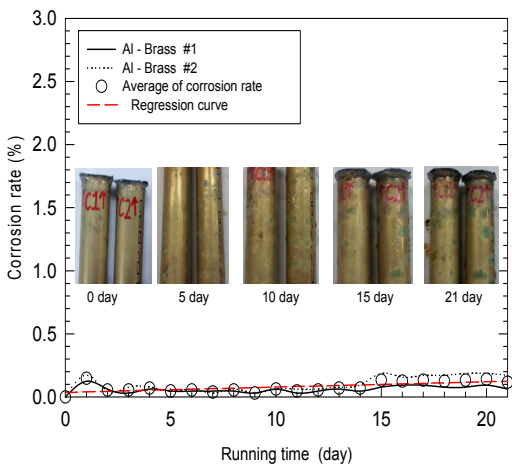


Fig. 5 Corrosion Properties of Brass Pipe

황동관의 재질 특성상 일정 시간이 지나면서 부식이 조금씩 진행되고 있음을 시각적으로 확인할 수 있으나, 무게 증가율은 의미 있는 값을 나타내고 있지 않음을 알 수 있다.

3.4 티타늄관 부식

Fig. 6은 티타늄관의 부식 경향을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 티타늄관의 경우에는 다른 재료의 경우와 달리 염수에 의한 부식이 전혀 일어나고 있지 않은 것을 알 수 있다. 즉, 티타늄관에서의 무게 증가율은 0.1% 이내로, 이는 전열 튜브의 양쪽 끝 면에 전열 튜브 내부로 염수 침입 방지를 위한 실링 처리된 부분에서의 염수가 완전히 제거되지 못함과 더불어 자연 건조된 염기에 의한 무게 증가로 판단되었다.

Fig. 7은 본 실험에서 사용된 동관, 강관, 황동관, 티타늄관의 부식 특성을 비교한 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 건축 기계설비 및 열교환기의 재료로 많이 사용되고 있는 동관의 경우, 시간 변화에 따라 부식이 진행되고 있음을 알 수 있다. 그러나 본 실험에서는 동관 외부가 분무되는 염수와 직접 접촉되는 환경인 점을 고려하면, 실제 배관에서는 보온 및 부식 방지를 위한 피복 처리를 하고 있어서 본 실험 결과와 같은 급격한 부식은 진행되지 않을 것으로 판단된다.

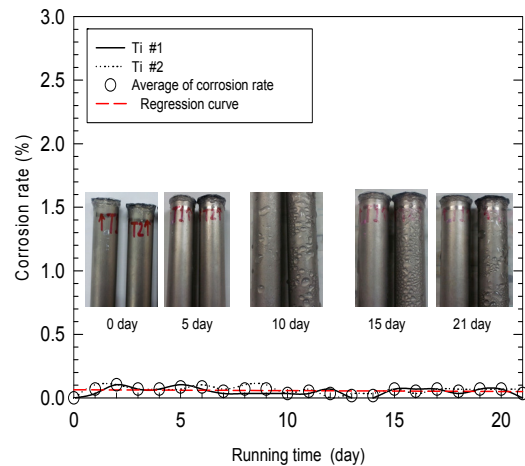


Fig. 6 Corrosion Properties of Titan Pipe

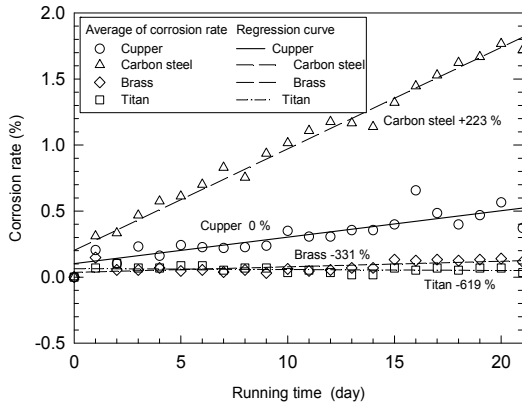


Fig. 7 Corrosion Properties of Test Substances

그러나 최근 에너지 유효 이용을 위해 폐열회수용 열교환기의 전열 튜브로 동관을 사용할 때는 부식 특성을 고려해야 할 것으로 판단된다.

또한 동관을 기준으로 강관의 부식은 평균 200% 이상의 부식이 진행되고 있으나, 시간 변화에 따라 부식이 더욱 심해지고 있음을 알 수 있다. 이에 비해 황동관이나 티타늄 관의 경우에는 시간 변화에 상관없이 부식이 거의 진행되고 있지 않은 것으로 판단되었다. 이와 같은 점을 고려할 때, 건축 배관에서는 피복 처리를 한 동관을 사용하여도 큰 문제점이 발생하지 않을 것으로 판단되나, 폐열회수용 열교환기의 전열 튜브로 동관을 사용하는 것은 바람직하지 않을 것으로 판단되었다. Sox, Nox 등의 환경에서 사용되는 열교환기의 전열 튜브를 선택하는 기준으로 부식성만을 고려한다면 황동관이나 티타늄 관을 사용하는 것이 합리적인 것으로 판단되었다.

4. 결 론

동관은 열교환기용 전열 튜브뿐만 아니라 건축물의 설비 배관 등에 광범위하게 사용되고 있는 재료이다.

한편으로 에너지 유효 이용의 측면에서 미활용되는 극한환경에서의 저온 폐열회수용 열교환기 개발이나 건축물의 수명연장 및 친환경 기능 부여를 위한 리모델링 과정에서 빗물 재활용 등의

중수 배관, 하수 배관 등 설비 배관의 내구 연한 연장을 위한 대체 배관 재질에 대한 검토가 필요한 시점이다.

따라서 본 연구에서는 동관, 강관 및 극한환경용 전열 튜브나 설비배관재료로 적용될 수 있는 황동관, 티타늄 관에 대한 정량적인 부식 특성을 규명하고자 하였으며, 이의 실험 결과는 다음과 같다.

1) 분무되는 염수와 직접 접촉되는 개방된 환경에서의 동관 부식은 시간 변화에 따라 부식이 진행되고 있음을 확인하였다. 따라서 산성 유체가 있는 환경에서 사용하고자 할 때는 피복 처리 등의 조치가 필요할 것으로 판단하였다.

2) 강관의 부식 특성은 염수 분무 실험이 시작됨과 동시에 급격한 부식 발생을 확인할 수 있었다. 따라서, 산성 유체가 있는 환경에서의 사용은 적합하지 않은 것으로 확인하였다.

3) 황동관의 경우, 일정 시간이 지나면서 부식이 발생하고 있으나, 그 영향은 무시할 수 있을 것으로 판단되었으나, 강한 산성 유체가 있는 경우에는 유지보수 측면에 대해 지속적인 유의가 필요할 것으로 판단되었다. 또한 다양한 염수 농도에서의 부식 특성에 대한 실험이 필요할 것으로 판단되었다.

4) 티타늄 관에서는 부식이 전혀 발생하지 않았다. 따라서 산성 유체와 접촉되는 환경에는 적용할 수 있으나, 폐열회수용 열교환기의 전열 튜브로 사용하고자 할 때는 전열 특성 및 경제성 등을 종합적으로 고려하여 적용해야 할 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 열교환기용 전열 튜브 및 건축기계설비의 배관재료로 많이 사용되는 동관, 강관, 황동관 및 티타늄 관의 부식 특성만을 규명하였으나, 향후 극한환경에서의 사용을 위해서는 내부식성 특성뿐만 아니라, 사용 목적을 고려한 전열 특성, 내구성, 기능성 및 유지보수 특성 등의 다양한 조건을 고려한 적용 특성 규명이 필요할 것으로 판단되었다.

후 기

이 논문은 2021학년도 동명대학교 교내 학술연구비 과제(과제번호 2021A005)에 의하여 연구되었음.

References

1. S. H. Kim, J. W. Lee and T. W. Kim, 2013, "Experimental Study on the Properties of Plant War Plant by High-Temperature Capacity", Korean Society of Mechanical Engineers Academy(A), Vol. 37, No. 6, pp. 739-745.
2. M. J. Kim, 1995, "Anti-corrosion and Refrigeration Technology", The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea (SAREK) Vol. 12, No. 5, pp. 87-97.
3. Y. P. Kim, J. H. Baek, W. S. Kim and Y. T. Ko, 2018, "Assessment of Parameter Pressure Pressure of the Absorbing Barrier through the Thermal Test", Korean Society of Mechanical Engineers Academy(A), Vol. 26, No. 196, pp. 203-210.
4. S. G. Park, J. S. Mok, J. M. Jung, J. H. Oh and S. C. Choi, 2018, "High-Temperature Corrosion Characterization for Super-Heater Tube under Coal and Biomass Co-firing Conditions", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 78-86. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2018.22.1.079>)
5. S. J. Song, Y. G. Jo and D. E. Kim, 2018, "Study on the Effect of Azyeon-Hwang Dong-gwan in the Effect of Barriers", Urban science, Vol. 7, No. 1, pp. 23-27.
6. C. W. Kim and C. B. Park, 2009, "Case Study on the Prevention of Absorption and Technical Case Studies in Businesses", International Journal of Fluid Machinery and Systems Vol. 12, No. 6, pp. 59-64.
7. K. D. Park, J. Y. Lee and W. T. Ki, 2007, "A Study on the Prediction of Corrosion Life of Water Pipes in Soil Environment", Journal of the 2007 KSPSE Autumn Conference, pp. 347-352.
8. KS D 9502, Method of Minutes, Accetsan and Cass Bunmu Test.