

원통다관형 열교환기의 침식-부식 특성에 관한 연구(I)

임 우 조 · 정 해 규*

부경대학교 · 현대중공업*

(1999년 5월 11일 접수)

Study on the Characteristics of Erosion-Corrosion for Heat Exchanger of Shell and Tube Type(I)

Uh-Joh Lim and Hae-Kyoo Jung*

Pukyong National University, Hundai Heavy Industry*

(Received May 11, 1999)

Abstract

In the case that erosion and corrosion occurs in machinery and structure at the same time, the synergy effect by erosion-corrosion affects fatal effect to durability of machinery and structure. Therefore, in machinery and structure which use corrosion liquid, the study of the synergy effect of erosion-corrosion which affects metal material is requested.

In this paper, the flow corrosion experiment about the effect of temperature change and liquid velocity change in sea water was carried out to study the characteristics of erosion-corrosion for tube material Cu heat exchanger.

The main results obtained are as follows.

(1) Damage appearance of tube outside by erosion-corrosion becomes dull because electrode potentials of Cu tube is higher than electrode potential of STPG38 shell.

(2) In the cooling system by sea water, the weight loss rate of Cu at tube outside liquid temperature of 70° C is higher than that of temperature of 20° C.

(3) In cooling system by sea water, the weight loss rate of Cu at liquid velocity of 5.1m/s is higher than that of velocity of 1.47m/s. But as the testing time passed, the weight loss rate of Cu at velocity of 5.1m/s is almost steady and becomes dull at velocity of 1.47m/s.

서 론

최근 공업의 급속한 발전과 더불어 각종 기계장치들은 고속화 및 고출력화 되고 있으며, 사용환경조건은 오염화 및 다양화되고 있다. 이와 같은 가혹한 조건에서 작동되는 기계장치와 설비들에 있어서 냉각장치(cooling system)는 필수 불가결

한 것이다.

선박 1척당 20여개의 열교환기가 필요로 되며, 자동차, 화학플랜트, 원자력발전소, 화력발전소, 제철소 폐열 이용장치 등 많은 곳에서 각종 열교환기가 사용되고 있고 사용 용도에 따라 다양한 환경에 접하고 있다.

일반적으로 원통다관형 열교환기의 재질은 원

통(shell)은 carbon steel plate, cover는 cast iron, 세관(tube)은 Cu 및 Cu합금 등이 사용되고 있으므로 여러 가지 금속의 접촉에 의한 전지작용부식(galvanic corrosion)이 발생할 수 있고, 또한 유체의 유속에 의한 기계적 침식(erosion)이 일어날 수 있다. 특히, 일정 이상의 유속을 가진 오염담수 및 비저항이 낮은 해수 등을 냉각 매체로 사용할 때 전기 화학적 부식반응과 기계적 침식반응에 의한 침식-부식(erosion-corrosion)손상¹⁻³⁾이 나타나는 것으로 보고되고 있다.

기계장치와 설비의 부재에 침식-부식이 증첩하여 발생하는 경우는 침식과 부식이 상호간에 가속하는 상승효과 때문에 기계장치와 설비의 수명에 치명적인 영향을 미친다. 그러므로 부식성 액체를 사용하는 기계장치와 설비에서는 금속재료에 미치는 침식-부식의 상승효과에 관한 연구가 요구되고 있다^{4,5)}.

실제 열교환기가 사용되는 환경은 다종의 열전달 매체(해수, 수도수, 윤활유, 연료유, 증기)와 이러한 열전달 매체의 온도 및 유속범위가 다양하기 때문에 사용용도에 맞는 재료의 선택 및 설계방안이 요구되고 있다.

이러한 요구에 따라 열교환기의 세관재질인 Cu합금의 응력부식(stress corrosion), 탈 아연 현상(dezincification) 등의 부식특성과 각 재질에 따른 내식성에 대한 연구는 지금까지 많이 이루어져 왔으나, 실제 사용 환경에서의 정량적인 침식-부식 특성에 대한 연구보고는 거의 찾아보기 힘들다⁶⁻¹⁰⁾.

따라서 본 연구에서는 원통다관형 열교환기의 침식-부식특성에 대한 연구를 하기 위하여, 해수 중에서 세관재질(Cu : C1220T-1/2H)의 침식-부식실험을 실시하였다.

이들 실험결과를 토대로 하여, 세관과 원통의 전기화학적 부식특성을 고찰하고, 유체의 온도 및 유속 변화에 따른 침식-부식 손상거동을 규명함으로써 원통다관형 열교환기 세관(Cu)의 적절한 교체시기 설정 및 방지대책을 통하여 열교환기의 최적화설계의 기초자료로 활용하는데 기여하고자 한다.

시험편 및 실험방법

1. 시험재료 및 시험편

본 실험에 사용된 시험편의 재료는 원통다관형 열교환기에 사용되고 있는 세관재질인 동 세관(Cu tube, C1220T-1/2H)으로 그 화학적 조성과 기계적 특성은 Table 1과 같다. Table 1과 같은 화학적 성분 및 기계적 특성을 가진 열교환기의 세관(tube)으로 부터 절취하여 시험편으로 사용하였다.

이러한 동 세관 시험편의 형상 및 크기는 Fig.1과 같이 유효노출면적이 76.8 cm^2 로 동일하게 설계 제작하였다.

그리고 원통다관식 열교환기의 원통(shell)재질은 압력배관용 탄소강관(STPG 38)이며, 그 화학적 성분 및 기계적 특성은 Table 2와 같다. Table 2와

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of Cu(C1220T-1/2H)

Chemical composition (Wt %)	Cu	Pb	Fe	Al	P
	99.9	-	-	-	0.015~0.040
Mechanical properties	Tensile Strength (N/mm ²)		Hardness (Hr30T)		Elongation(%)
	245~325		30~60		-

Table 2. Chemical compositions and mechanical properties of STPG 38

Chemical composition (Wt %)	Cu	Si	Mn	P	S
	0.25	0.35	0.3~0.90	0.040	0.040
Mechanical properties	Tensile Strength (N/mm ²)		Hardness (Hr30T)		Elongation(%)
	370		-		-

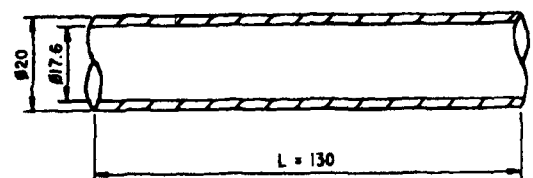


Fig. 1. Dimension of tube test specimen (unit : mm).

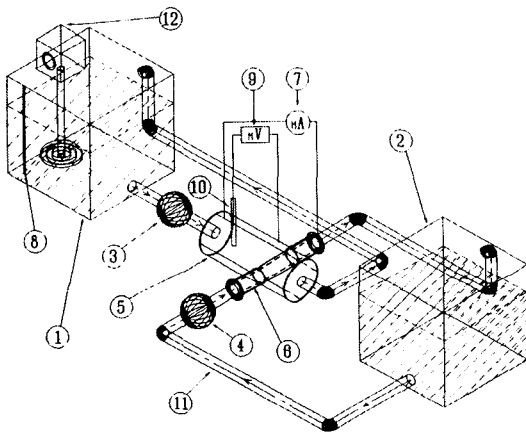
같은 화학적 성분 및 기계적 특성을 가진 열교환기의 원통(shell)으로 부터 절취하여, 제작하였다.

2. 실험장치

본 실험에 사용한 원통다관형 열교환기의 침식-부식 실험장치의 전체 계통도는 Fig. 2와 같다.

이와 같은 실험장치의 세관 내부로 해수를 매분 20리터, 1.47 m/s와 5.10m/s로 흐르게 하였으며, 세관 외부로는 20°C 및 70°C의 수도수를 매분 15리터, 0.10 m/s로 흐르게 하여 실제 열교환기와 거의 유사하게 설정하였다.

그리고 원통(shell)과 세관(tube)의 전기화학적 전극전위를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 전위차계와 포화카르멜전극을 설치하였다. 여기서, 시험편(tube)과 원통(shell)사이 에 이중금속접촉에 의한 전지작용부식(galvanic corrosion)을 방지하기 위하여 테프론 등으로 절연하였고, 세관 내·외부 용액의 누설을 방지하기 위하여 고무 O-ring으로 기밀을 유지하였으며, 시험편에서 부식된 부식생성물에 의한 전기화학적인 영향을 제거하기 위하여 순환회로 배관에 절연성 필터를 설치하였다.



- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. Tube outside liquid tank | 7. Ampere meter |
| 2. Tube inside liquid tank | 8. Thermometer |
| 3. Tube outside liquid pump | 9. Potentiometer |
| 4. Tube inside liquid pump | 10. Counter electrode |
| 5. Shell (STPG 38) | 11. Flexible hose |
| 6. Tube (Cu) | 12. Heater(3kw, 220V) |

Fig. 2. Schematic diagram of erosion-corrosion test apparatus.

3. 실험방법

본 실험에 사용한 세관재료는 동 세관 그리고 원통 재료는 압력배관용 탄소강관을 도장하지 않고 실험하였다.

또한 침식-부식시험의 부식용액은 농도변화 및 부식생성물이 세관의 부식에 미치는 영향을 방지하기 위하여, 부식용액은 168시간(1주일)마다 교환하였다.

세관의 침식-부식에 의한 무게감소량의 측정은 시험전에 시험편의 중량을 측정하고, 168시간 동안 실험상태를 유지한 다음 시험편을 실험장치에서 해체하여 물로 세척한 후 5% H₂SO₄+유기인히비터(2cc/l)속에서 74°C로 3분간 음극(20A/dm²)으로 전해하여 시험편 표면의 부식생성물을 제거시킨 다음 아세톤으로 세척한 후 건조시켜서 무게감량을 측정하였다.

그리고 본 실험에서 침식-부식 실험의 구체적인 조건은 다음과 같다.

- 1) 세관(Cu)과 원통(STPG38)의 전기화학적 부식특성을 파악하기 위하여 20°C수도수 중에서의 세관과 원통의 전극전위 및 전류밀도를 조사하였다.
- 2) 부식용액의 온도변화에 따른 세관(Cu)의 침식-부식 거동을 파악하기 위하여 세관 내부 용액(해수)은 30°C로 일정하게 유지하고 세관 외부용액(수도수)의 온도를 heater(3kW, 220V)를 사용하여 20°C와 70°C 상태로 하여 침식-부식 거동을 비교·조사하였다.
- 3) 침식-부식 특성에 미치는 유속의 영향
세관(Cu)의 침식-부식특성에 미치는 용액의 유속의 영향을 파악하기 위하여 세관 외부로 70°C 수온의 수도수를 0.10 m/s로 흐르게 하고 세관 내부로 30°C 수온의 해수를 1.47 m/s로 흐르게 하였을 때와 세관 내부용액(해수) 유입구쪽에 노즐을 사용하여 유속을 1.47m/s에서 5.10 m/s로 증가시켰을 때 유속의 증가에 따른 세관(Cu)의 침식-부식 특성을 비교하였다.

실험결과 및 고찰

1. 세관과 원통의 전기화학적 부식특성

Fig. 3은 수온이 20°C인 수도수 중에서 열교환기의 동 세관재와 원통재료인 압력배관용탄소강관의 전극전위를 시간경과에 대하여 나타낸 것이다. 여기서, 세관 내부의 유속은 1.47 m/s, 온도는 30°C이고, 세관 외부의 유속은 0.10 m/s, 온도는 20°C로 하였다.

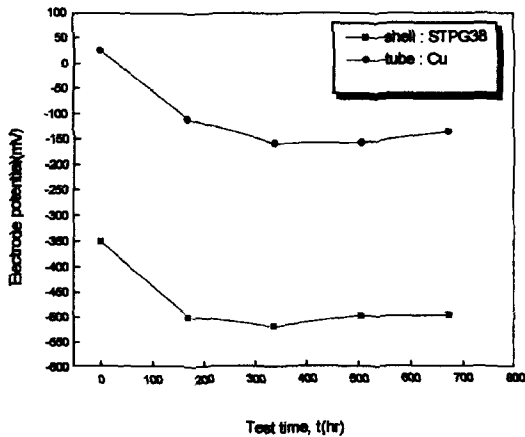


Fig. 3. Electrode potential of Cu tube and STPG38 Shell in tap water vs testing time (inside: $V_{in}=1.47m/s$, $T_{in}=30^{\circ}C$, outside: $V_{out}=0.10m/s$, $T_{out}=20^{\circ}C$).

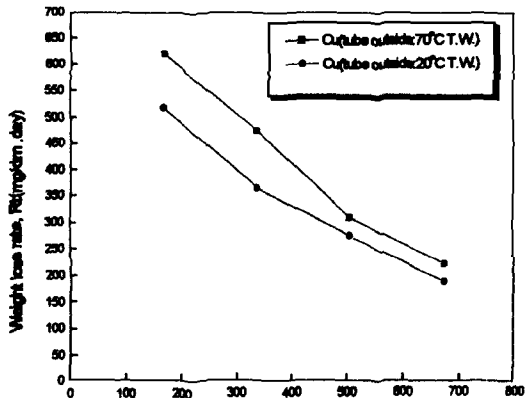


Fig. 4. Weight loss rate of Cu tube vs testing time under tap water at temp. = 20 and 70°C of tube outside (inside: 30°C sea water $V_{in}=1.47m/s$, outside: tap water, $V_{out}=0.10m/s$).

이 결과에 의하면 동 세관재와 원통재료인 압력배관용 탄소강관의 전극전위는 시간이 경과하면서 낮아지(卑電位化)다가 안정되는 경향을 나타내고 있다. 또한 동 세관재의 전극전위는 원통재료인 압력배관용 탄소강관의 전극전위보다 더 높게(貴電位化) 나타나고 있다. 이와 같이 동 세관재의 전극전위가 원통재료인 압력배관용 탄소강관의 전극전위보다 더 높게 나타나는 이유는 부식전위열 (galvanic-series)에서 원통재료인 탄소강관은 동 세관재보다 더 저전위 금속이기 때문인 것으로 생각된다. 그러므로 원통다관형 열교환기의 세관재료보다는 원통부위가 더 부식에 민감하여 세관의 외부는 침식-부식이 둔화될 것으로 판단된다.

2. 냉각수가 해수인 세관의 외부 수도수 온도 변화에 따른 부식거동

Fig. 4는 열교환기의 세관 외부 용액의 온도변화에 따른 Cu재료의 무게감소율을 시간경과에 대하여 나타낸 것이다. 여기서, 세관 내부의 유체는 해수로 하고 유속은 1.47 m/s, 온도는 30°C이다. 그리고 세관 외부의 유체는 수도수이고 유속은 0.10 m/s, 온도는 20°C 및 70°C로 변화하였다.

세관 외부온도가 20°C에서의 무게감소율보다 세관 외부 온도가 70°C에서의 무게감소율은 더 증가하고 있다. 이러한 양상은 세관재의 부식반응이 온도가 증가함에 따라 더욱 활성화됨을 알 수 있으며, Cu재료의 무게감소율이 시간경과에 따라 점차 감소하는 이유는 Cu재료가 초기에는 부식에 민감하지만 시간이 경과하면서 부동태 피막이 형성됨으로써 부식이 억제되기 때문인 것으로 사료된다.

3. 냉각수의 유속에 따른 세관재료의 부식특성

Fig. 5는 세관 외부에 70°C인 수도수를 냉각하기 위한 냉각 해수의 유속을 1.47 및 5.10 m/s로 변화함에 따른 세관재료인 Cu재료의 무게감소율을 시간경과에 대하여 나타낸 것이다. 여기서, 세관 내부의 유체는 30°C의 해수이고 세관 외부의 유체는 수도수로서 유속은 0.10 m/s이다.

시험초기에는 냉각 해수의 유속이 빠른 5.10

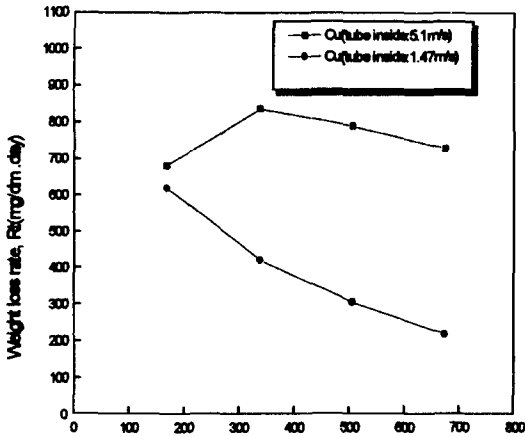


Fig. 5. Weight loss rate of Cu tube by flow velocity in sea water vs testing time (inside : 30°C sea water, $V_{in}=1.47$ and 5.10m/s , outside : 70°C tap water, $V_{out}=0.10\text{m/s}$).

m/s에서의 무게감소율이 1.47m/s에서보다 약간 높게 나타난다. 그러나 시간이 경과하면서 유속이 빠른 5.10 m/s에서의 무게감소율은 거의 일정하게 나타나지만, 유속이 느린 1.47 m/s에서의 무게감소율은 시간이 경과하면서 점차 둔화되는 양상을 나타내고 있다. 이와 같이 시간이 경과하면서 유속이 느린 1.47 m/s에서의 무게감소율은 시간이 경과하면서 점차 둔화되는 이유는 시간이 경과하면서 Cu재료에 부동태 피막이 형성됨으로써 부식활성화가 억제되기 때문인 것으로 생각된다. 하지만 유속이 빠른 5.10 m/s에서는 Cu재료의 부동태 피막이 고유속에 의해 파괴되기 때문에 무게감소율이 일정하게 나타나는 것으로 생각된다.

결 론

本 研究에서는 열교환기의 세관재료인 Cu재료에 대한 부식특성을 연구하기 위해, 해수 중에서 세관재료의 유동 부식시험을 실시하여, 부식환경 용액의 온도변화 및 유속변화에 따른 세관(Cu)재료의 침식-부식 특성에 관한 연구를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 세관재료인 동의 전극전위는 원통재료인 압력배관용 탄소강관의 전극전위보다 더 높게 나타나므로 세관의 외부는 침식-부식 손상이 억제

된다.

2) 세관 외부 유체의 온도가 20°C에서의 무게감소율보다 세관의 온도가 70°C에서의 무게감소율이 더 높게 나타나며 시간의 경과에 따라 무게감소율은 점차 안정화된다.

3) 냉각해수의 유속 5.10 m/s에서 Cu재료의 무게감소율이 유속 1.47 m/s에서보다 높게 나타난다. 그러나 시간이 경과하면서 유속 5.10 m/s에서의 무게감소율은 거의 일정하게 나타나지만 유속 1.47 m/s에서의 무게감소율은 점차 둔화된다.

參考文獻

- 1) Ailor W. H. (1980) : Engine Coolants Testing, State of the Art, ASTM, STP 705, 81~101.
- 2) 日本材料學會(1988) : 材料強度學, 進行印刷出版, 173~175.
- 3) 伊藤伍郎(1982) : 日本機械工學全集 6, 78~79.
- 4) Tretheway K. R. and Charmber-lan J.(1988) : Corrosion (for students of science and engineering), Longman Scientific & Technical, 153~156.
- 5) Talks M.G. and Moreton G.(1981~6) : Proc. ASME Symp. Cavitation erosion Fluid System, 139.
- 6) Sekine I. and Tanaki T.(1991), Erosion-corrosion Behavior of Copper Alloy under Flowing Water Condition, Zairyo to Kankyo, Vol. 40, No. 8, p 527~523.
- 7) Zahavi J. and Wagner H.J,(1980), Characterization of erosion-corrosion process, The Metallurgical Society of ASME, 226~239.
- 8) Thiruvengadam A.(1982) : Erosion, Wear, and Interfaces with Corrosion, ASTM, FTP 567, 219~238.
- 9) Matsumura M. and Yoshiniri Oka(1982) : Influence of Erosion on Corrosion, Boshoku Gijutsu, Vol 31, No.2, 67~69.
- 10) 林祐助, 李鎮烈(1991) : 캐비테이션에 의한 배어링材의 腐食·浸蝕舉動에 관한 研究(1), 韓國腐蝕學會誌, 20(4), 285~289.