

Al합금 열교환기의 전지작용부식에 관한 연구

임우조[†] · 이은정^{*}

(부경대학교, 부경대학교 대학원)

The Study on the Galvanic Corrosion of Al-alloy for Heat Exchanger

U-Jo LIM[†] · Eun-Jeong LEE^{*}

Pukyong National University

(Received April 28, 2003 / Accepted May 19, 2003)

Abstract

Generally, material for radiator of automobile is composed of Al-alloy, but part of radiator material is still composed of Cu. Specially, Al-alloy replaces Cu and Cu-alloy as cooling and heating system material for light weight.

Therefore, galvanic electronic cell is formed between Al-alloy and Cu for automobile radiator material, and Al-alloy corrosion is accelerated.

So, in this study, galvanic corrosion test of Al-alloy coupling with Cu was carried out in distilled water, tap water, polluted environment and non-freezing solution. And thus corrosion potential and galvanic current density of Al-alloy coupling with Cu is investigated.

key words : Galvanic corrosion, Heat exchanger, Galvanic current density

I. 서론

자동차, 선박, 화학플랜트, 원자력발전소, 화력발전소 및 제철소의 폐열 이용장치 등 많은 곳에서 각종 열교환기인 냉각 및 난방용 방열기가 사용되고 있고, 그 사용 용도에 따라 다양한 환

[†] Corresponding author : 016-325-2980, lej@korea.com

경에 접하고 있다. 또한 전반적인 산업발전 및 소득증가에 따라 석탄, 석유 및 가스등의 화석에너지 소비량이 급격히 증가되고 있다. 이러한 화석에너지의 소비량이 증가됨에 따라 유황화합물인 SO₂, SO₃ 및 H₂S, 질소화합물인 NO와 NH₃, 산화물인 CO 그리고 염화물인 HCl과 Cl₂등의 대기오염물질 배출이 증대됨으로써 환경오염을 가속시키고 있다.(임우조,1994,2001)

이들 대기오염물질 중에서 SO₂, SO₃, CO 및 THC 등은 대기 중의 수분이나 물에 혼입되거나 산성비에 의해 하천수나 강물 등의 담수가 산성화되며, HCl 및 Cl₂ 등은 물에 혼입되면 일부는 가수분해에 의해 산성화된다.(Denny A. Jones, 1991) 그리고 HCl, Cl₂ 등은 담수의 비저항이 낮아지는 원인이 되기도 한다. 이와 같이 산성화되거나 비저항이 낮아진 담수를 사용함으로써 선박 및 자동차용 냉각 및 난방용 열교환기와 산업용 각종 열교환기는 부식손상이 가속화될 수 있다.

최근, 선박 및 자동차용 열교환기인 냉각기와 방열기의 재질로 알루미늄합금재(Al-alloy)의 사용이 증가되지만, 열교환기의 부재 중 일부는 동(Cu) 및 동합금 등이 사용되고 있다. 특히, 냉방 및 난방용 열교환기의 재질은 경제적 및 경량화를 목적으로 동 및 동합금재로부터 Al합금재로 점차 대체되고 있다.(Joseph R. Davis, 1999)

이러한 Al합금재로 제작되는 선박 및 자동차용 열교환기에 Al합금재보다 귀전위금속인 동, 황동 및 스테인레스강 등의 이종금속을 사용하는 경우도 있으며, 이들 이종금속에 의한 Al합금재의 갈바닉전지가 이루어지게 되어 Al합금의 전지작용부식이 촉진될 수 있다. (손운태,1981)

따라서 본 연구는 선박 및 자동차용 열교환기의 재료로 사용되는 Al합금재의 전지작용부식 특성을 연구하기 위하여, pH와 비저항, 부동액 혼입비에 따른 용액 중에서 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식실험을 실시하였다. 이들 실험결과를 토대로 환경조건에 따른 동과 조합된 Al합금재의 전지작용부식특성을 고찰함으로써 Al합금재를 사용하는 선박 및 자동차용 열교환기의 최적화 설계 및 보수 유지의 기초자료로 활용하는데 기여하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 시험재료

본 실험에 사용된 시험편의 재료는 열교환기 본체로 사용되고 있는 알루미늄합금재(A3003) 및 동재의 화학적 조성과 기계적 특성은 Table 1과 Table 2와 같다.

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of Al-alloy(A3003)

Chemical composition(Wt%)						Mechanical properties	
Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	Hardness (HB)	T.S (kgf/mm)
0.6	0.7	0.12	1.2	0.1	bal	28	110.7

* T.S : Tensile Strength

Table 2. Chemical compositions of Cu

Chemical composition (wt %)	Cu		P
		99.97	
Mechanical properties	Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation (%)
	372	-	42

2. 부식 시험편

부식실험에 사용된 Al합금, 동의 전기화학적 분극 시험편은 Table 1, Table 2와 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 재료의 판재로부터 절취하여 가로 10 mm, 세로 10 mm의 크기로 제작함으로써 유효노출면적을 1.0 cm² 로 하였으며, 시험편에 전선을 연결시킨 후, 불포화 폴리에스테르 수지로 마운팅 (mounting)하였다. 이와 같이 제작한 전기화학적 분극시험을 위한 시험편의 형상과 크기는 Fig. 1과 같다. 또한 이 시험편의 표면은 #400~1200까지의 에머리 페이퍼를 이용하여 단계적으로 연마하여 시험편의 표면거칠기의 영향을 최소화 및 동일화하였다. 그리고 시험편 표면을 아세톤(acetone)으로 탈지하고, 증류수로 세척한 다음 열풍으로 건조시킨 후에 본 실험을 실시하였다.

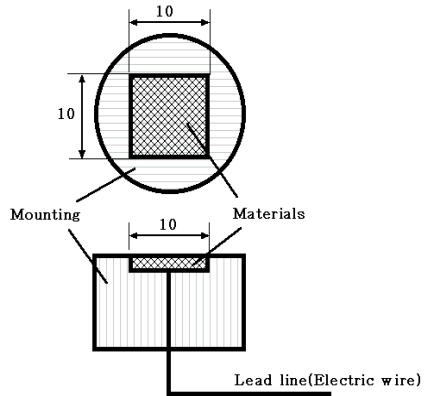


Fig. 1. Dimension of polarization test specimen(unit :mm).

3. 부식실험 장치

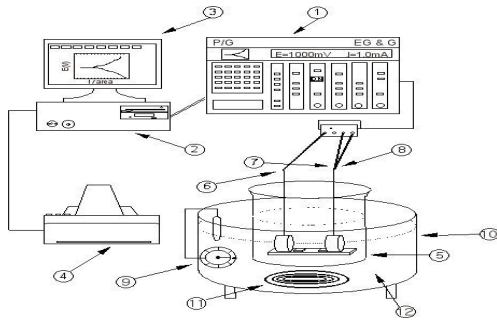
본 실험에 사용된 부식 특성시험에 이용될 실험장치는 다른 부식·방식의 평가법보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있기 때문에 부식 및 방식 평가법으로 많이 이용되고 있는 전기화학적 분극시험을 실시하였다.

Fig. 2는 전기화학적 전지작용부식실험을 위한 실험장치의 전체 계통도를 나타내고 있으며, Fig. 3은 본 실험장치의 외관이다.

이 실험장치는 EG & G사의 Model 273A Potentiostat/Galvanostat과 PC를 이용하였으며, M 352/252 Corrosion software를 사용하여 갈바닉 분극 특성시험을 실시하였다. 그리고 측정에 사용된 시험편은 Al합금을 사용하였고, 기준전극과 보조전극은 Al합금과 동을 사용하였다.

4. 부식 실험방법

본 연구의 부식실험은 Fig. 1의 형상의 알루미늄합금과 동을 사용하여 실시하였으며, 부식환경조 내의 전기화학적 부식반응을 EG & G사의 Model 273A Potentiostat/Galvanostat과 M



- ① Potentiostat/Galvanostat
- ⑨ Temperature controller
- ② Personal computer
- ⑩ Heater body
- ③ Monitor
- ⑪ Heating coil
- ④ Printer
- ⑫ Silicon oil
- ⑤ Corrosion cell
- ⑥ Working electrode
- ⑦ Counter electrode
- ⑧ Reference electrode

Fig. 2. Schematic diagram of polarization test equipment.

온도감지기를 장착하여 온도를 $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 범위로 일정하게 유지하도록 하였다.

그리고 Fig. 1과 같이 표면처리 된 부식시험편을 Fig. 2의 분극시험장치의 회로도와 같이 배선하였고, Al합금 시험편과 기준전극 및 보조전극간의 거리를 일정하게 유지하기 위하여 환경조 바닥부분에 아크릴 틀을 설치하여 15mm로 유지하였다. 그리고 시험편을 부식환경조에 침지한 후 자연전위에서 10분간 안정화시킨 후 분극시험을 실시하였다.

352/252 Corrosion software가 장착된 컴퓨터를 사용하여 측정하였고 모니터와 프린터로 출력 되도록 하였다.



Fig. 3. Appearance of polarization test equipment.

또한 부식용액은 수도수 및 증류수, 증류수에 H_2SO_4 를 미량 혼입하여 pH를 중성으로부터 산성으로 변화시키고, 증류수에 HCl을 미량혼입하여 여러 가지 비저항으로 변화시키고, 수도수 중에 부동액을 20%, 30%, 40%, 50% 혼입한 환경에서 분극실험을 각각 실시하였다. 부식용액의 온도는 oil bath에 부식환경조를 설치하고,

Table 3. Experimental conditions of the polarization test

Instrument	EG & G Model 273A	
Electrolyte	Distilled water, Tap water	
	pH	2, 3.5, 5, 6.5
	specific resistance($\Omega \cdot \text{m}$)	10, 30, 100, 900
	nonfreezing solution ratio	20%, 30%, 40%, 50%
Material	Al-alloy, Cu	
Surface area of specimen	1.0 cm^2	
Polarization test	Galvanic corrosion Test	
Temperature	$25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$	

이와 같은 전기화학적 분극실험조건은 Table 3과 같고, 각 환경에서 자연부식 전류밀도와 전지작용부식 전류밀도의 차이를 알아보기 위하여 Al합금과 동종의 Al합금 및 Al합금과 Cu의 갈바닉 부식실험을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. Cu와 조합된 Al합금재의 전지작용부식 경향

부식환경 중에서 이종금속의 조합시킬 때에 어느 금속이 양극으로 되어 전지작용부식이 일어날 것인가는 그 부식환경 중에서 그들 금속의 부식전위에 의해서 판단할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 증류수 및 수도수 중에서 동(Cu)과 Al합금재를 조합하여 사용할 경우에 Al합금재의 전지작용부식이 일어날 수 있는가를 고찰하기 위하여, Fig. 4 및 Fig. 5에 시간경과에 따른 부식전위를 나타내었다.

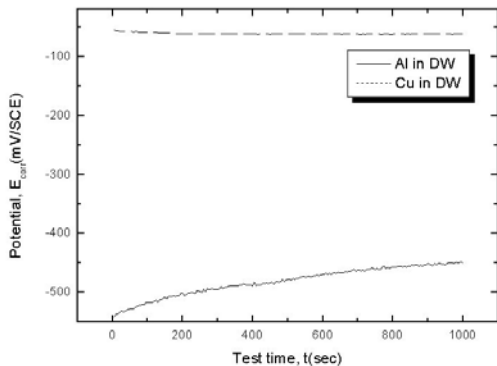


Fig. 4. Corrosion potential of Al alloy and Cu versus test time in distilled water(DW) at 25°C.

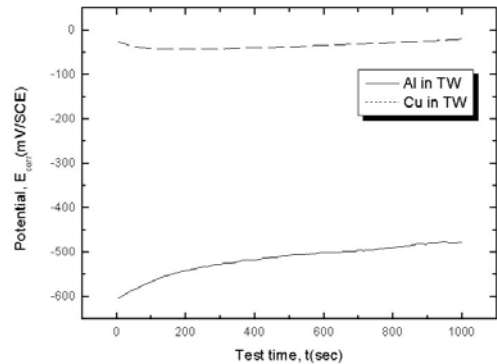


Fig. 5. Corrosion potential of Al alloy and Cu versus test time in tap water (TW) at 25°C.

증류수 중에서 Al합금재의 부식전위는 동의 부식전위보다 약 450 mV/sce 정도 더 비전위되는 경향을 나타내고 있고, 수도수 중에서도 Al합금재의 부식전위는 동의 부식전위보다 약 480 mV/sce 정도 더 비전위되는 경향을 나타내고 있다. 전지작용부식이 일어날 가능성은 이종금속의 부식전위차가 50mV 이상의 전위차에 의해 일어나고 있으므로 Al합금재의 부식전위가 동의 부식전위보다 450~480 mV/sce 정도 더 비전위화됨으로써 증류수 및 수도수 중에서 동과 조합되는 Al합금재는 전지작용부식이 일어날 것으로 판단된다.

2. 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 거동

이종금속의 부식전위차가 크게 되어질수록 전지작용부식이 일어날 가능성은 크게 되지만,

실체에 일어나는 전지작용부식속도는 그 때에 생기는 부식전류밀도의 크기에 따라 결정되는 것으로 보고되고 있다. 그러므로 증류수 및 수도수 중에서 Al합금재와 동종금속조합인 Al합금재의 자연부식속도 그리고 동(Cu)과 Al합금재를 이종금속조합하여 사용할 경우에 Al합금재의 전지작용부식속도에 대해 고찰하기 위하여, Fig. 6 및 Fig. 7에 시간경과에 따른 부식전류밀도를 나타내었다.

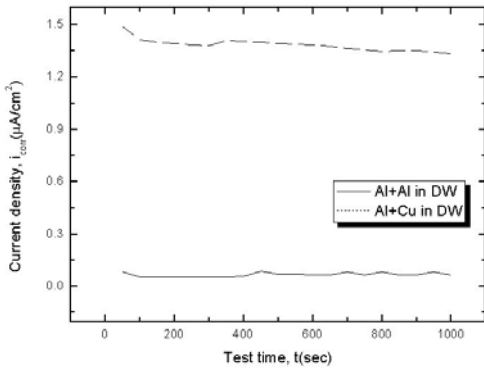


Fig. 6. Galvanic current density of Al alloy coupling with Al alloy and Cu versus test time in distilled water(DW) at 25°C.

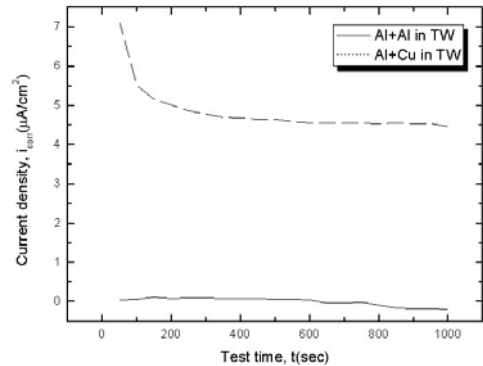


Fig. 7. Galvanic current density of Al alloy coupling with Al alloy and Cu versus test time in tap water(TW) at 25°C.

Fig. 6와 Fig. 7에 의하면 동종금속의 조합인 Al합금재의 자연부식보다 이종금속조합인 동과 조합된 Al합금재의 전지작용부식이 더 민감하고, 수도수 중에서 동과 조합된 Al합금재의 전지작용부식은 증류수 중에서보다 더 민감함을 알 수 있다.

3. 오염수 중에서 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 거동

동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식에 미치는 담수의 산성화된 오염수가 미치는 영향을 고찰하기 위하여, Fig. 8에 중성 및 산성환경(pH 값 변화)중에서 시간경과에 따른 부식전류밀도 거동을 나타내었다.

동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 전류밀도는 pH 6.5로부터 pH 5로 낮아지는 중성 수용액 중에서는 별로 증가하지 않는다. 그러나 pH 3.5로부터 pH 2로 낮아지는 산성 수용액 중에서 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 전류밀도는 크게 증가함을 알 수 있다.

4. 비저항에 따른 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 거동

동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식에 미치는 담수의 비저항(specific resistance,

$\Omega \cdot m$)이 미치는 영향을 고찰하기 위하여, Fig. 9에 비저항 변화에 따른 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 전류밀도 거동을 나타내었다.

동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 전류밀도는 환경의 비저항이 감소함에 따라 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 비저항이 감소함에 따라 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 전류밀도가 급격히 증가하는 이유는 수도수 중에 미량 혼입된 Cl이온이 음극인 동의 부동태를 파괴시키므로써 음극이 활성화되어 양극인 Al합금재로부터 전류밀도가 많이 배류되기 때문인 것으로 사료된다.

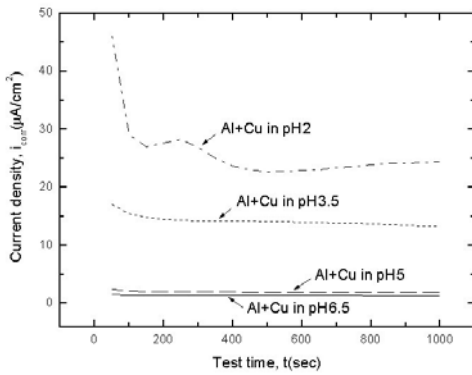


Fig. 8. Galvanic current density of Al alloy coupling with Cu versus test time in solution of various pH at 25°C.

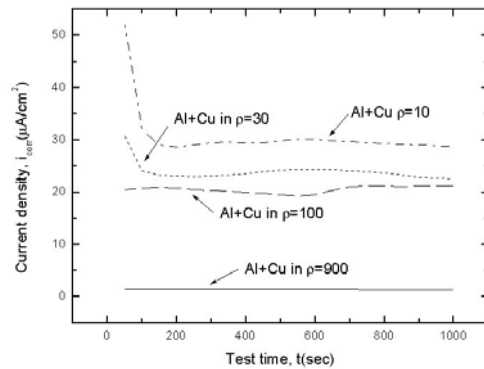


Fig. 9. Galvanic current density of Al alloy coupling with Cu versus test time in various specific resistance ($\Omega \cdot m$) solution at 25°C.

5. 부동액 혼입에 의한 동과 조합된 Al합금재의 전지작용부식 억제 거동

Fig. 10은 부동액을 20, 30, 40 및 50% 혼입한 수도수 중에서 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 억제 거동을 시간경과에 따라 정리하여 나타낸 것이다. 여기서, 본 연구에서 사용된 부동액은 사양서에 물과 부피비로 빙점에 따라 30%~55%까지 혼입하도록 되어 있다.

수도수 중에 부동액을 20%로부터 50%로까지 혼입함으로써 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식 평균전류밀도는 수도수 중에서보다 크게 억제되는 경향을 나타내고, 수도수 중에 부동액 30%를 혼입하는 것이 최적이라 판단된다. 이와 같이 수도수 중에 부동액 30%를 혼입함으로써 동과 이종금속조합된 Al합금재의 전지작용부식을

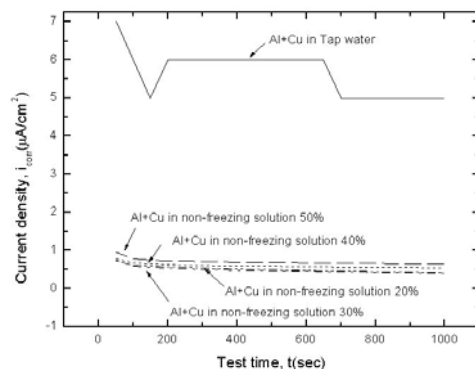


Fig. 10. Galvanic current density of Al alloy coupling with Cu versus test time in tap water added 20, 30, 40 and 50% non-freezing solution (25°C).

억제하는데 최적으로 나타나는 이유는 수도수 중에 혼입된 부동액이 30 % 이상 증가함으로써 부동액 중의 동결을 방지하는 에틸렌글리콜 등이 증가함으로써 부식억제제에 의한 부식방지효과를 저하시키기 때문인 것으로 사료된다. 또한 부동액 30% 혼입한 수도수 중에서 동과 이종금속조합된 AI합금재의 전지작용부식 평균부식전류밀도는 수도수 중에서도 약 1/14 정도로 전지작용부식을 크게 억제하고 있다.

IV. 결 론

본 연구는 최근에 선박 및 자동차용 열교환기의 재료로 사용이 확대되고 있는 AI합금재와 동과 이종금속조합에 따른 전지작용부식 특성에 대한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 담수 중에서 AI합금재의 부식전위는 동과 이종금속조합된 AI합금재의 전지작용부식이 일어날 것으로 판단된다.
- 2) 담수의 pH 및 비저항이 감소함에 따라 동과 이종금속조합된 AI합금재의 전지작용부식은 더욱 민감하다.
- 3) 동과 이종금속조합된 AI합금재의 전지작용부식 억제효과는 30% 부동액 혼입시 가장 우수하다.

참고 문헌

- 임우조, 양학희, 인현만, 이진열, 부식과 방지, 원창출판사, pp. 302~305, 1994.
- 임우조, 김성진, 황재호, 윤대영, AI합금 원통 냉각기의 부식 거동에 관한 연구, 한국동력기계공학회 추계학술대회 논문집, pp. 209~210, 2001.
- Denny A. Jones, Principles and prevention of corrosion, Macmillan publishing company, pp. 398~401, 1991.
- Joseph R. Davis, Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, pp. 19~21, 1999.
- 손운태, 금속부식학, pp. 100~106, 1981.