

청수 중에서 자동차용 Al합금 방열기의 부식거동에 관한 연구

임우조 · 이상열* · 윤대영**

부경대학교, *포항 1대학, **부경대학교 대학원
(2002년 9월 30일 접수)

The Study on the Corrosion Behavior of Al-alloy Radiator for Automobile in Fresh Water

Uh-Joh Lim, Sang-Yoel Lee* and Dae-Young Yun**

Pukyong National University, *Pohang College and
**Graduate School Pukyong National University
(Received September 30, 2002)

Abstract

Most of all the mechanical devices are becoming more high-speed and high-power as well as their used condition being more pollution with rapid development in industrial part. So, it is necessary for these devices to equip cooling system to overcome that kind of severe using condition. Industrial development and income increase causes rapid increase in using fossil energy and it results in accelerating environmental pollution owing to the increasement in emission of air pollution substance. Specially, fresh water like stream and river water is acidified. Therefore, corrosion damage is accelerated in radiator for automobile that is using acidified water.

So, in this study, corrosion test was carried out in distilled and tap water for the investigation on the corrosion behavior of Al-alloy that is using as material for radiator of automobile.

The main results obtained are as follows ; According to increase of temperature, open circuit potential is decreased in fresh water. And open circuit potential after deaeration is lower than that before deaeration. Corrosion current density in distilled water is less drained than that of tap water. And Corrosion current density after deaeration is less drained than that before deaeration.

Key words : Radiator, Open circuit potential, Corrosion current density, Al-alloy, deaeration

서 론

최근 공업의 급속한 발전과 더불어 자동차 및 선박과 같은 각종 기계들은 고속화 및 고출력화 되고 있으며, 그 사용환경조건은 오염화 및 다양

화되고 있다. 이와 같은 가혹한 조건에서 작동되는 기계장치와 설비들에 있어서 냉각장치(cooling system)는 필수불가결한 것이다. 즉, 자동차, 선박, 화학플랜트, 원자력발전소, 화력발전소 및 제철소의 폐열 이용장치 등 많은 곳에서 각종 열교

환기인 냉각 및 난방용 방열기가 사용되고 있고, 그 사용 용도에 따라 다양한 환경에 접하고 있다.

일반적으로 자동차 및 선박용 열교환기인 냉각 및 난방용 방열기(radiator)의 재질은 주로 동(Cu)과 알루미늄합금재(Al-alloy)가 사용되고 있다. 그러나 최근, 방열기의 재질은 동 및 동합금재료부터 알루미늄합금재료로 점차 대체되고 있다.

그리고 전반적인 산업발전 및 소득증가에 따라 석탄, 석유 및 가스 등의 화석에너지 소비량이 급격히 증가되고 있다. 이러한 화석에너지의 소비량이 증가됨에 따라 유황화합물인 SO₂, SO₃ 및 H₂S, 질소화합물인 NO와 NH₃, 산화물인 CO 그리고 염화물인 HCl과 Cl₂ 등의 대기오염물질 배출이 증대됨으로써 환경오염을 가속시키고 있다. 이들 대기오염물질에 의해서 하천수나 강물 등의 담수가 산성화된다. 이와 같이 산성화된 담수를 사용함으로써 자동차와 선박용 냉각 및 난방용 방열기와 산업용 각종 열교환기는 부식손상이 가속될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 청수 중에서 자동차용 방열기로 사용되는 알루미늄합금재의 부식특성에 관한 연구를 하기 위하여, 증류수 및 수도수의 개방계하에서 온도변화에 따른 분극실험을 실시하였다. 이들 실험결과를 토대로 하여 청수 중에서 Al합금재를 사용하는 자동차용 방열기의 최적화 설계 및 보수 유지의 기초자료로 활용하는데 기여하고자 한다.

실험방법

1. 시험편

본 실험에 사용된 시험편의 재료는 자동차 및 선박용 방열기의 본체로 사용되고 있는 알루미늄합금재(A3003)로서, 그 화학적 조성과 기계적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of specimen, 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	11.3

* T.S : Tensile Strength

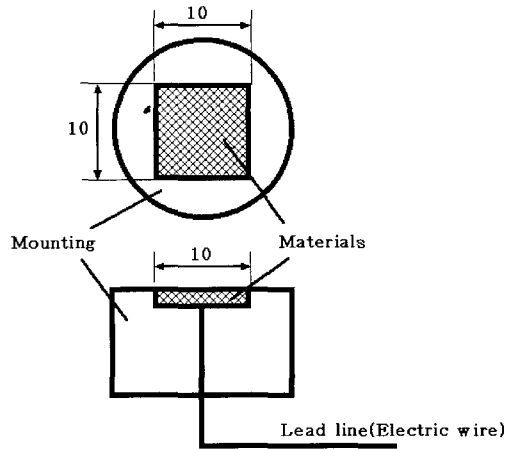


Fig. 1. Dimension of polarization test specimen (unit : mm).

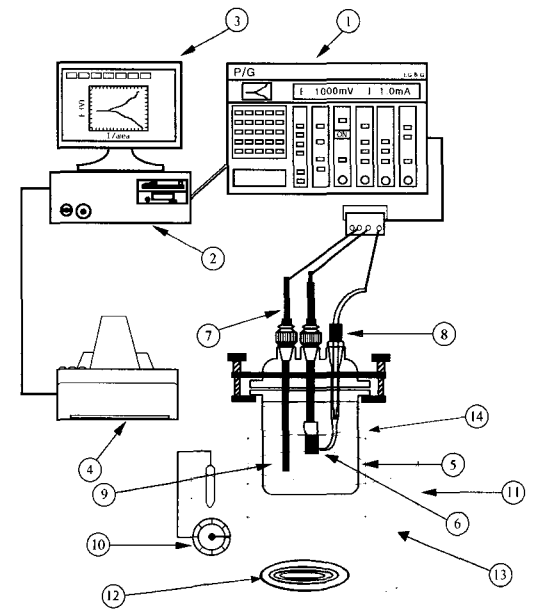
부식실험에 사용된 알루미늄합금의 전기화학적 분극시험편은 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 재료의 판재로부터 절취하여 가로 10 mm, 세로 10 mm의 크기로 제작함으로써 유효노출면적을 1.0 cm²로 하였으며, 시험편에 전선을 연결시킨 후, 불포화 폴리에스테르 수지로 마운팅(mounting)하였다. 이와 같이 제작한 전기화학적 분극시험을 위한 시험편의 형상과 크기는 Fig. 1과 같다.

2. 부식실험 방법

본 연구의 부식특성실험은 다른 부식 평가방법보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있기 때문에 부식 평가방법으로 널리 이용되고 있는 전기화학적 분극실험을 실시하였다.

그리고 분극실험장치는 EG&G社의 Model 273A Potentiostat/Galvanostat와 PC(personal computer)를 이용하였으며, M352/252 Corrosion software를 사용하여 각종 분극 특성시험을 실시하였다. 또한 측정에 사용된 기준전극(reference electrode)은 포화카로멜전극(SCE), 보조전극(counter electrode)은 고밀도 탄소봉으로 하였다. Fig. 2는 전기화학적 분극실험장치의 전체 계통도를 나타내고 있다.

분극실험은 Fig. 1의 알루미늄합금 시험편을 사용하여 부식환경조 내의 전기화학적 부식반응을 EG&G社의 Model 273A Potentiostat/Galvanostat와 M352/252 Corrosion software가 장착된 컴퓨터



- ① Potentiostat/Galvanostat
- ② Personal computer
- ③ Monitor
- ④ Printer
- ⑤ Corrosion cell
- ⑥ Specimen
- ⑦ Counter electrode
- ⑧ Reference electrode
- ⑨ Electrolyte
- ⑩ Temperature controller
- ⑪ Heater body
- ⑫ Heating coil
- ⑬ Silicon oil
- ⑭ Beaker

Fig. 2. Schematic diagram of polarization test equipment.

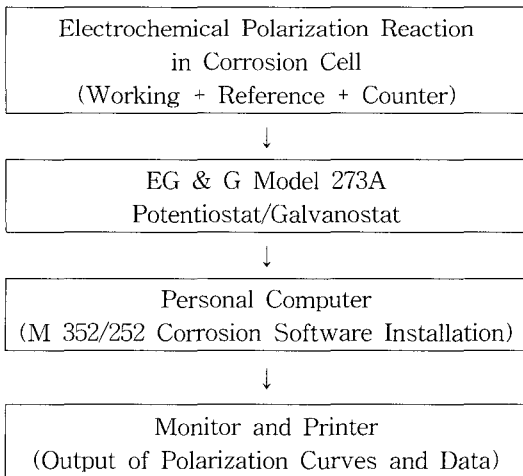


Fig. 3. Flow chart of polarization test.

Table 2. Experimental conditions of the polarization test

Instrument	EG & G Model 273A
Electrolyte	Fresh water (Distilled and Tap water)
Material	Al-alloy
Surface area	1.0 cm ²
Temperature	20 ℃, 40 ℃, 60 ℃, 80 ℃, 95 ℃
Polarization test	Tafel Polarization Test

를 사용하여 측정하였고 모니터와 프린터로 출력 되도록 하였다. 이러한 분극실험에 대한 흐름도 (flow chart)를 Fig. 3에 나타내었다.

또한 부식용액은 청수인 증류수 및 수도수를 사용하였으며, 부식환경조는 가열코일이 부착된 oil bath에 실리콘 오일을 주입한 후 설치하였다. 한편, 분극실험은 실험실온도(20 ℃)로부터 온도를 높이면서 각각의 온도인 20 ℃, 40 ℃, 60 ℃, 80 ℃ 및 95 ℃에서 실시하였으며, 각 용액의 용존산소를 100 ℃의 비등하에서 10분 정도 충분히 탈기시킨 후, 각각의 온도에서 온도가 낮아짐에 따른 분극 실험을 실시하였다. 그리고 부식용액의 온도는 온도감지기를 설치하여, 각각의 온도에서 일정하게 유지하도록 한 후에 각 조건에 따른 분극실험을 실시하였다. 이 분극실험조건을 Table 2에 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 개로전위에 미치는 온도의 영향

Fig. 4는 증류수 및 수도수 중에서 온도가 높아짐에 따른 알루미늄합금제의 개로전위를 나타낸 것이다.

증류수 및 수도수 중에서의 개로전위는 온도가 높아질수록 비전위화되는 경향을 나타내고 있다. 그러나 40 ℃의 증류수 및 수도수 중에서 개로전위가 약간 상승하는 이유는 각 용액의 대류나 산소의 확산이 20 ℃에서보다 40 ℃에서 촉진되었기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 40 ℃ 이후부터는 각 용액의 대류나 산소의 확산은 더 촉진되지만, 온도가 높아짐에 따라 각 용액 중의 산소가 탈기됨으로써 산소의 용해도가 감소되어 비전위화 되는 것으로 생각된다.

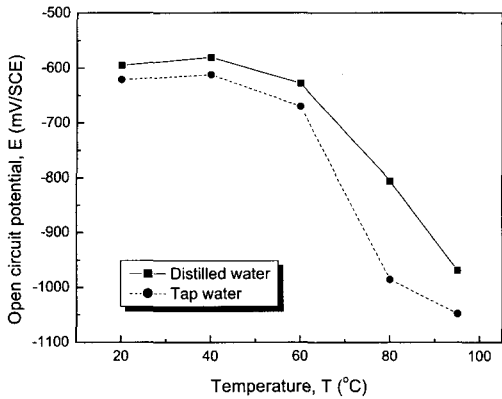


Fig. 4. Open circuit potential of Al-alloy in distilled and tap water according to increase of temperature.

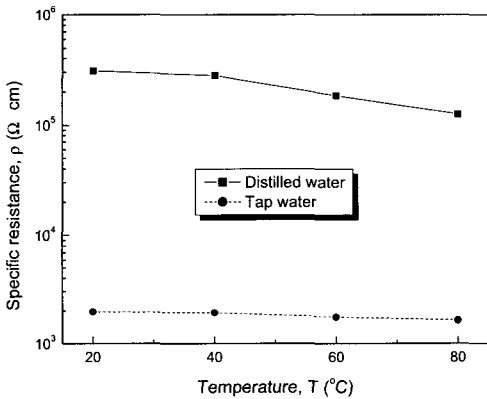


Fig. 5. Specific resistance in distilled and tap water according to increase of temperature.

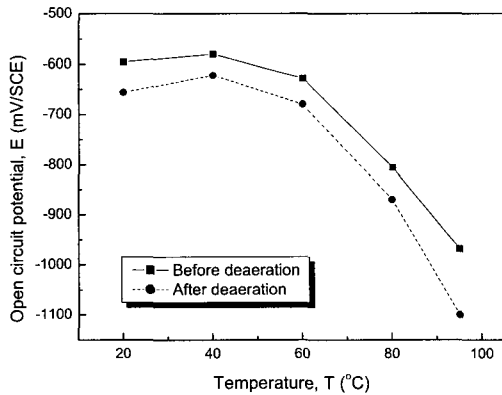


Fig. 6. Open circuit potential of Al-alloy in distilled water under condition of deaeration.

그리고 증류수 중에서의 개로전위는 수도수 중에서의 개로전위보다 더 귀전위화되고 있다. 이와 같이 개로전위가 수도수 중에서보다 증류수 중에서 더 귀전위화 되는 이유는 Fig. 5에 보인 바와 같이 증류수 중에서의 비저항이 수도수 중에서의 비저항보다 더 높기 때문인 것으로 사료된다. 여기서 Fig. 5는 온도변화에 따른 증류수 및 수도수의 비저항을 나타낸 것이다.

Fig. 6은 증류수 중에서 탈기 전 온도를 높이면 실험한 경우와 탈기시킨 후 온도를 내리면서 실험한 경우의 알루미늄합금재의 개로전위를 나타낸 것이다.

탈기 후의 개로전위보다 탈기 전의 개로전위가 더 높게 나타나고 있다. 즉, 용존산소가 탈기되면 개로전위는 비전위화 된다. 이와 같이 나타나는 이유는 탈기 후 용존산소의 감소 때문에 탈기 후의 개로전위가 더 낮아진 것으로 생각된다.

2. 부식전류 거동

Fig. 7은 증류수 및 수도수 중에서 온도가 높아짐에 따른 알루미늄합금재에 대한 개로전위의 부식전류밀도를 나타낸 것이다.

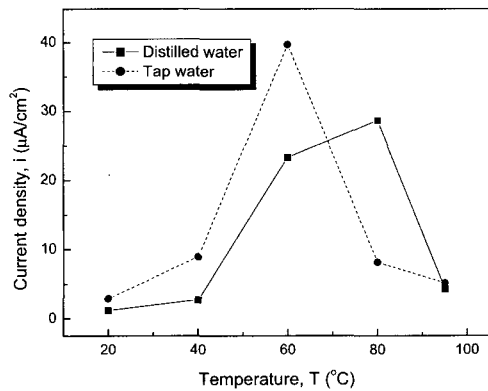


Fig. 7. Corrosion current density of Al-alloy in distilled and tap water according to increase of temperature.

증류수 및 수도수 중에서 실험실온도(20℃)로부터 온도가 높아짐에 따라 부식전류밀도는 점차 높게 배류되는 경향이지만, 증류수 중에서의 부식전류밀도는 80℃ 까지 높아지고, 수도수 중에서의 부식전류밀도는 60℃ 까지 높아지는 경향을 나타내고 있다. 각 수용액 중에서 실험실온도(20℃)로

부터 온도가 높아짐에 따라 부식전류밀도가 높게 배류되는 경향을 나타내는 이유는 대류나 용존산소의 확산이 촉진되어 알루미늄합금재의 부식이 촉진되기 때문인 것으로 사료된다. 또 수도수 60℃ 그리고 증류수 80℃에서 부식전류밀도가 다시 감소하는 경향을 나타내는 이유는 온도가 높아짐에 따른 용존산소가 탈기되어 알루미늄합금재의 부식성이 둔감해지기 때문인 것으로 생각된다. 또한 수도수 중에서의 부식전류밀도가 증류수 중에서의 부식전류밀도보다 더 낮은 온도에서 최고점에 도달하는 이유는 증류수보다 더 많은 불순물이 용해되어있는 수도수의 비등점이 낮아서 증류수 중에서도보다 수도수 중에서 대류나 용존산소의 확산이 더 빨리 일어남으로써 알루미늄합금재의 부식활성화가 일어나기 때문인 것으로 생각된다.

그리고 20℃에서부터 60℃까지는 증류수 중에서의 부식전류밀도는 수도수 중에서의 부식전류밀도보다 더 억제되고 있음을 알 수 있다. 그러나 80℃에서 증류수 중에서의 부식전류밀도는 수도수 중에서의 부식전류밀도보다 더 많이 배류되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 나타나는 이유는 증류수보다 비등점이 낮아진 수도수에서 산소의 탈기가 증류수에서보다 더 낮은 온도에서 일어나기 때문인 것으로 생각된다.

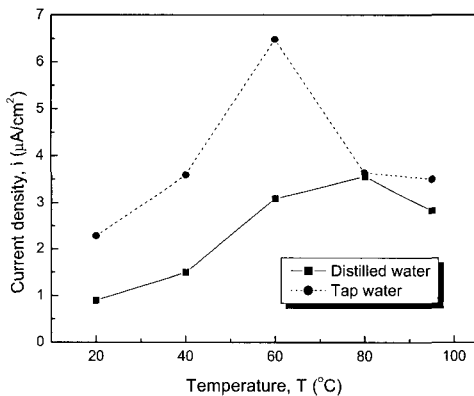


Fig. 8. Corrosion current density of Al-alloy in distilled and tap water according to decrease of temperature after deaeration.

Fig. 8은 증류수 및 수도수를 100℃의 비등하에서 10분 정도 탈기시킨 후, 온도가 높아짐에 따른 알루미늄합금재의 부식전류밀도를 나타낸 것이다.

용존산소의 탈기 후, 100℃로부터 온도가 낮아지면서 부식전류밀도의 배류양상은 용존산소의 탈기 전의 증류수 및 수도수 중에서 온도를 높이면 실험한 경우와 유사한 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 100℃의 비등점으로부터 온도가 낮아지면서 본 연구의 부식환경조건이 개방계이기 때문에 수중에 산소가 약간이나마 포화되면서 탈기 전과 유사하게 나타나는 것으로 사료된다. 또한 증류수 중에서의 부식전류밀도는 수도수 중에서의 부식전류밀도보다 더 억제되고 있음을 알 수 있다. 그러므로 수도수 중에서도보다 부식전류밀도가 더 낮게 배류되는 증류수 중에서 알루미늄합금재의 내식성은 더 우수할 것으로 추정된다.

Fig. 9는 증류수 및 수도수 중에서, 탈기 전 온도를 높이면 실험한 경우와 탈기시킨 후 온도를 내리면서 실험한 경우의 알루미늄합금재의 부식전류밀도 변화영역을 나타낸 것이다.

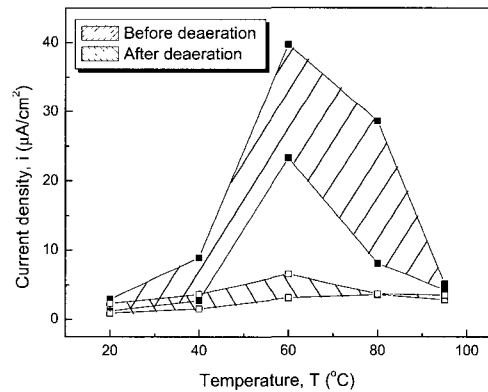


Fig. 9. Corrosion current density zone of Al-alloy in distilled and tap water under condition of deaeration.

용존산소를 탈기한 후의 증류수 및 수도수 중에서 부식전류밀도는 용존산소를 탈기하지 않은 증류수 및 수도수 중에서의 부식전류밀도보다 크게 억제되고 있다. 또한 증류수 및 수도수 중에서 탈기 전 부식전류밀도의 변화영역은 탈기 후 부식전류밀도의 변화영역보다 더 넓게 나타난다. 그러므로 용존산소를 탈기한 후의 알루미늄합금재의 내식성은 탈기 전의 알루미늄합금재의 내식성보다 크게 향상되는 것으로 판단된다.

결 론

중류수 및 수도수 중에서 방열기로 사용되는 알루미늄합금재의 온도 변화, 탈기에 의한 개로전위, 부식전류밀도에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 청수 중에서 개로전위는 온도가 높아짐에 따라 비전위화 되고, 또한 탈기 후의 개로전위는 탈기 전의 개로전위보다 비전위화 된다.
2. 중류수 중에서의 부식전류밀도는 수도수 중에서의 부식전류밀도보다 더 억제된다.
3. 탈기 후의 부식전류밀도는 탈기 전의 부식전류밀도보다 크게 억제된다.

참고문헌

- 1) Davis, Joseph R.(1999) : Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, 19~21.
- 2) 임우조 · 양학회 · 인현만 · 이진열(1994) : 부식과 방식, 원창출판사, 302~305.
- 3) 임우조 · 김성진 · 황재호 · 윤대영(2001) : Al합금 원통 냉각기의 부식 거동에 관한 연구, 한국동력기계공학회 추계학술대회 논문집, 209~210.
- 4) 前田泰昭, 竹中規訓(1995) : 地球規模での酸性雨現狀と材料劣化, 日本材料と環境, Vol 40, No. 9, 619~629.
- 5) Denny A. Jones(1991) : Principles and prevention of corrosion, Macmillan publishing company, 398~401.
- 6) 임우조 · 정기철(2002) : 공조설비의 부식과 방식, 태훈출판사, 9~14.
- 7) Trethewey, K. R. and Chamberlain, J. (1995) : Corrosion for science and engineering, Second edition, Longman, 169~172.
- 8) Mattsson, Einar (1989) : Basic corrosion technology for scientists and engineers, Ellis Horwood, 63~71.