

## Radiator용 Al합금의 부식거동에 관한 연구

임우조\*, 정기철\*\*, 윤대영\*\*\*

### The Study on the Corrosion Behavior of Al-alloy for Radiator

U. J. Lim, G. C. Jeong and D. Y. Yun

\* 부경대학교 기계공학부

\*\* 동명대학교 가스냉동과

\*\*\* 부경대학교 대학원 기계공학과

**Abstract** : Most of all the mechanical devices are becoming more high-speed and high-power as well as their used condition being more polluted. So, it is necessary for these devices to equip cooling system to overcome that kind of severe using condition.

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

**Key words** : Radiator(방열기), Al-alloy(알루미늄합금), Corrosion current density(부식전류밀도), Open circuit potential(개로전위), Repassivation potential(재부동태전위)

### 1. 서론

최근 공업의 급속한 발전과 더불어 각종 선박, 자동차 및 항공기 등의 수송기계들은 고속화 및 고출력화되고 있으며, 사용 환경조건은 오염화 및 다양화되고 있다. 이와 같은 가혹한 조건에서 작동되는 각종 수송기계들에 있어서 냉각장치(cooling system)는 필수불가결한 것이다. 즉, 선박, 자동차, 화학플랜트, 원자력발전소, 화력발전소 및 제철소 폐열 이용장치 등 많은 곳에서 각종 열교환기인 냉각 및 난방용 방열기가 사용되고 있고 사용 용도에 따라 다양한 환경조건에 접하고 있다. 특히, 냉각 및 난방용 방열기의 재질은 동 및 동합금재료부터 알루미늄합금재료 점차 대체되고 있다<sup>(1)</sup>.

그리고 전반적인 산업발전 및 소득증가에 따라 석탄, 석유 및 가스등의 화석에너지 소비량이 급격히 증가되고 있다. 이러한 화석에너지의 소비량이 증가됨에 따라 유황화합물인 SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> 및 H<sub>2</sub>S, 질소화합물인 NO와 NH<sub>3</sub>, 산화물인 CO 그리고 염화물인 HCl과 Cl<sub>2</sub> 등의 대기오염물질 배출이 증대됨으로써 환경오염을 가속시키고 있다<sup>(2,3)</sup>. 이들 대기오염물질 중에서

SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, CO 및 THC 등은 대기 중의 수분이나 물에 혼입되거나 산성비에 의해 하천수나 강물 등의 담수가 산성화되며, HCl 및 Cl<sub>2</sub> 등은 물에 혼입되면 일부는 가수분해에 의해 산성화된다<sup>(4,5)</sup>. 이와 같이 산성화된 담수를 사용함으로써 선박 및 자동차의 냉각 및 난방용 방열기는 부식손상이 가속된다.

따라서 본 연구에서는 방열기로 사용되는 알루미늄합금재의 부식거동에 관한 연구를 하기 위하여, 증류수 및 수도수의 개방계하에서 온도 상승에 따른 전기화학적 분극실험을 실시하였다. 이 분극실험결과를 토대로 하여, 증류수 및 수도수의 온도 변화, 탈기에 의한 부식전류밀도, 공식, 개로전위 및 재부동태전위 등에 미치는 영향을 고찰함으로써 Radiator의 부식·방식 설계 및 보수 유지의 기초자료로 활용하는데 기여하고자 한다.

### 2. 시험편 및 실험방법

#### 2.1 시험재료

본 실험에 사용된 시험편의 재료는 냉각 및 난방용 Radiator 재료로 사용되고 있는 알루미늄

늄합금으로서, 그 화학적 조성과 기계적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of specimen, Al-alloy

Chemical composition(Wt%)						Mechanical properties	
Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	Hardness (HB)	T.S (kgf/mm <sup>2</sup> )
0.6	0.7	0.12	1.2	0.1	bal	28	11.3

\* T.S : Tensile Strength

### 2.2 부식 시험편

부식실험에 사용된 알루미늄합금재의 전기화학적 분극 시험편은 Table 1과 같은 화학적 성분과 기계적 특성을 가진 재료의 판재로부터 절취하여 가로 10 mm, 세로 10 mm의 크기로 제작함으로써 유효노출면적을 1.0 cm<sup>2</sup> 로 하였으며, 시험편에 전선을 연결시킨 후, 불포화 폴리에스테르 수지로 마운팅(mounting)하였다.

### 2.3 부식실험 장치

본 연구에서 사용된 분극실험장치는 EG&G Model 273A Potentiostat/Galvanostat, M 352/252 Corrosion software가 장착된 컴퓨터, 모니터 및 프린터를 이용하였다. 부식환경조는 개방계로하여 기준전극(reference electrode)은 포화 카로멜전극, 보조전극(counter electrode)은 고밀도 탄소봉으로 하였다.

### 2.4 부식 실험방법

분극실험은 Table 1의 알루미늄합금 시험편을 사용하여 부식환경조 내의 전기 화학적 부식반응을 EG&G Model 273A Potentiostat/Galvanostat와 M352/252 Corrosion software가 장착된 컴퓨터를 사용하여 측정하였고 모니터와 프린터로 출력되도록 하였다.

또한 부식용액은 증류수 및 수도수를 사용하였으며, 부식환경조는 개방계로 가열코일이 부착된 oil bath에 실리콘 오일을 주입한 후 설치하였다. 그리고 부식용액의 온도는 온도감지기를 설치하여, 각각의 온도에서 일정하게 유지하도록 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 Tafel 분극 거동

Fig. 1은 탈기전과 100°C의 비등하에서 10분 정도 탈기시킨 후, 60°C의 증류수 중에서 알루미늄합금재의 Tafel 분극곡선을 나타낸 것이다.

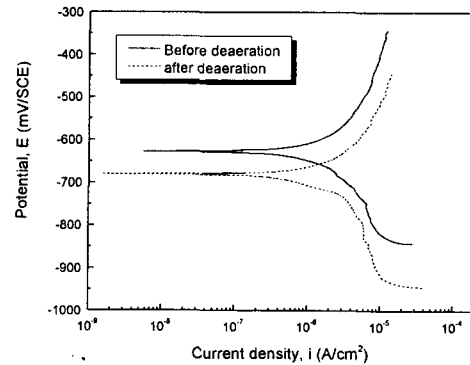


Fig. 1 Tafel polarization curves of Al-alloy in distilled water at 60°C under condition of deaeration

증류수 중에서 탈기후의 개로전위는 탈기전의 개로전위보다 비전위화 되고 있다. 그리고 개로전위하에서의 부식전류밀도는 탈기전보다 탈기시킨 후에 더 억제되고 있다.

Fig. 2는 탈기전과 100°C의 비등하에서 10분 정도 탈기시킨 후, 60°C의 수도수 중에서 알루미늄합금재의 Tafel 분극곡선을 나타낸 것이다.

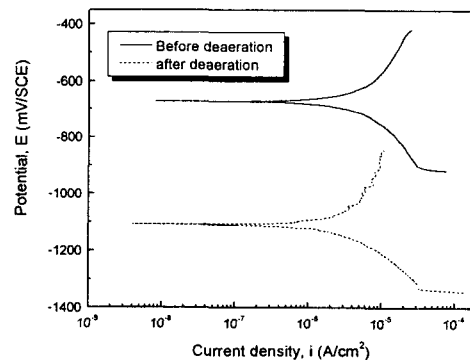


Fig. 2 Tafel polarization curves of Al-alloy in tap water at 60°C under condition of deaeration

증류수 중에서의 양상과 마찬가지로, 수도수 중에서 탈기후의 개로전위는 탈기전의 개로전위보다 비전위화 되고 있다. 그리고 개로전위하에서의 부식전류밀도는 탈기전보다 탈기시킨 후에 더 억제되고 있다.

Fig. 1의 증류수 및 Fig. 2의 수도수 중에서 탈기후의 개로전위는 탈기전보다 비전위화 되면서 부식전류밀도가 더 억제되는 이유는 비등하여 탈기함으로써 수중의 용존산소가 감소되기 때문인 것으로 사료된다<sup>[6]</sup>.

### 3.2 부식전류거동

Fig. 3은 증류수 및 수도수 중에서 온도가 높아짐에 따른 알루미늄합금재의 부식전류밀도를 나타낸 것이다.

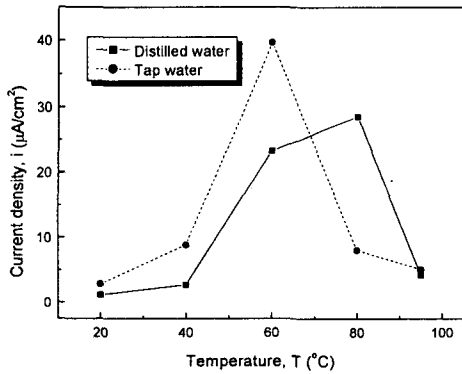


Fig. 3 Corrosion current density of Al-alloy in distilled and tap water according to increase of temperature

증류수 및 수도수 중에서 실험실온도(20°C)로부터 온도가 높아짐에 따라 부식전류밀도는 높게 배류되는 경향이지만, 증류수 중에서의 부식전류밀도는 80°C 이후부터 감소하고, 수도수 중에서의 부식전류밀도는 60°C 이후부터 감소하는 경향을 나타내고 있다. 각 수용액 중에서 실험실온도(20°C)로부터 온도가 높아짐에 따라 부식전류밀도가 높게 배류되는 경향을 나타내는 이유는 대류나 용존산소의 확산이 촉진되어 알루미늄합금재의 부식이 촉진되기 때문인 것으로 사료된다. 또 수도수 중의 60°C 그리고 증류수 중의 80°C에서 부식전류밀도가 다시 감소하는 경향을 나타내 이유는 온도가 높아짐에 따른 용존산소가 탈기되어 알루미늄합금재의 부

식성이 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 중에서보다 수도수 중에서 대류나 용존산소의 확산이 더 빨리 일어남으로써 알루미늄합금재의 부식활성화가 일어나기 때문인 것으로 생각된다.

그리고 20°C에서부터 60°C까지는 증류수 중에서의 부식전류밀도는 수도수 중에서의 부식전류밀도보다 더 억제되고 있음을 알 수 있다. 그러나 80°C 증류수 중에서의 부식전류밀도는 80°C 수도수 중에서의 부식전류밀도보다 더 많이 배류되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 나타나는 이유는 증류수보다 비등점이 낮아진 수도수에서 산소의 탈기가 증류수에서 보다 더 낮은 온도에서 일어나기 때문인 것으로 생각된다<sup>[7]</sup>.

Fig. 4는 증류수 및 수도수를 100°C의 비등하에서 10분정도 탈기시킨 후, 온도가 낮아짐에 따른 방열기용 알루미늄합금재의 부식전류밀도를 나타낸 것이다.

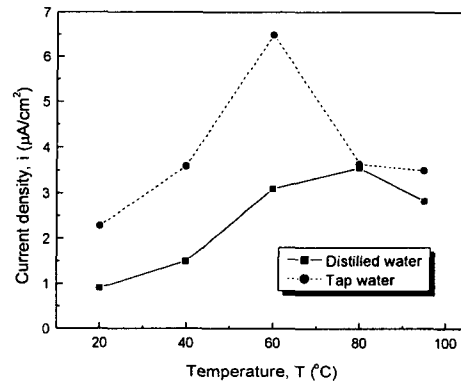


Fig. 4 Corrosion current density of Al-alloy in distilled and tap water according to decrease of temperature after deaeration

용존산소의 탈기후, 100°C로부터 온도가 낮아지면서 부식전류밀도의 배류 양상은 용존산소의 탈기전의 증류수 및 수도수 중에서 온도를 높이면서 실험을 했을 경우와 유사한 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 100°C의 비등점

으로부터 온도가 낮아지면서 본 연구의 부식환경조가 개방계이기 때문에 대기중의 산소가 수중에 일부 포화되면서 탈기전과 유사한 경향이 나타나는 것으로 사료된다.

또한 증류수 중에서의 부식전류밀도는 수도수 중에서의 부식전류밀도보다 더 억제되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 증류수 중에서의 부식전류밀도가 수도수 중에서도 더 억제되는 원인은 Fig. 5의 비저항에 보인 바와 같이 증류수의 비저항이 수도수의 비저항보다 더 높기 때문인 것으로 생각된다. 여기서, Fig. 5는 온도변화에 따른 증류수 및 수도수의 비저항을 정리하여 나타낸 것이다.

따라서 수도수 중에서의 부식전류밀도가 증류수 중에서도 더 높게 나타남으로써 냉각수를 수도수로 사용하는 경우에 방열기용 알루미늄합금재의 부식은 더 민감할 것으로 판단된다.

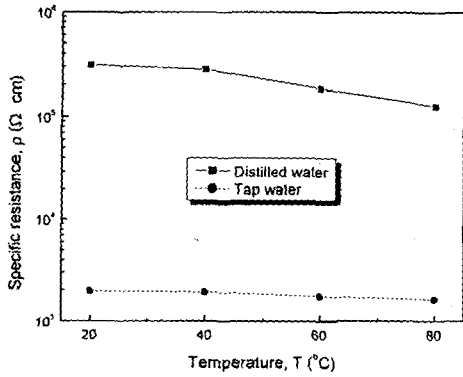


Fig. 5 Specific resistance of Al-alloy in distilled and tap water according to increase of temperature

Fig. 6은 증류수 및 수도수 중에서, 탈기 전 온도를 높이면서 실험한 경우와 탈기시킨 후 온도를 내리면서 실험한 경우의 알루미늄합금재에 대한 부식전류밀도 변화영역을 나타낸 것이다.

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 알

루미늄합금재 부식성은 탈기전의 알루미늄합금재 부식성보다 크게 억제될 것으로 판단된다.

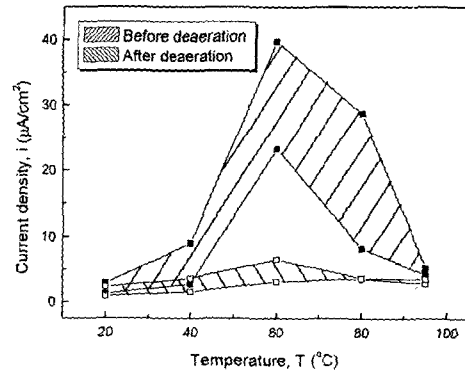


Fig. 6 Corrosion current density zone of Al-alloy in distilled and tap water under condition of deaeration

### 3.3 공식거동

일반적으로 순환분극곡선(Cyclic polarization curve)에서 개로전위가 재부동태전위보다 높게 되면 공식(pit)은 성장되고 개로전위가 재부동태전위보다 낮게 되면 공식(pit)은 성장되지 않는 것으로 보고되고 있다<sup>[8, 9]</sup>.

그러므로 본 연구에서는 증류수 및 수도수 중에서 방열기용 Al합금의 순환분극실험을 실시하여 개로전위와 재부동태전위를 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었다.

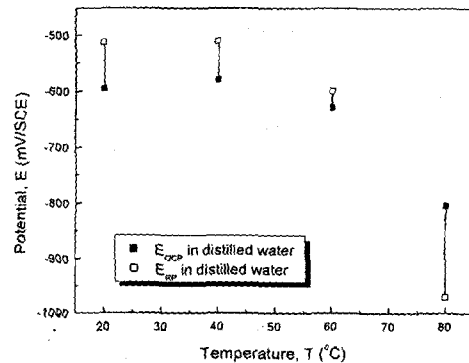


Fig. 7 Open circuit and repassivation potential of Al-alloy in distilled water according to increase of temperature

Fig. 7은 증류수 중에서 온도가 높아짐에 따른 순환분극곡선으로부터 구한 알루미늄합금재의 개로전위와 재부동태전위를 정리하여 나타낸 것이다.

증류수 중에서는 20℃, 40℃ 및 60℃에서 재부동태전위가 개로전위보다 높게 나타나지만, 80℃에서는 재부동태전위가 개로전위보다 낮게 나타나고 있다. 그리고 증류수 중에서 온도가 높아짐에 따라 재부동태전위와 개로전위의 차이는 20℃에서부터 80℃까지 감소하는 양상을 나타내고 있으며, 80℃에서 그 차이가 가장 크게 나타났다.

Fig. 8은 수도수 중에서 온도가 높아짐에 따른 순환분극곡선으로부터 구한 알루미늄합금재의 개로전위와 재부동태전위를 정리하여 나타낸 것이다.

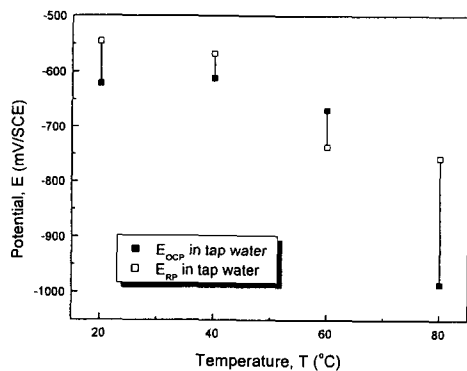


Fig. 8 Open circuit and re-passivation potential of Al-alloy in tap water according to increase of temperature

수도수 중에서는 20℃, 40℃ 및 80℃에서 재부동태전위가 개로전위보다 높게 나타났지만, 60℃에서는 재부동태전위가 개로전위보다 낮게 나타났다. 그리고 수도수 중에서의 온도가 높아짐에 따라 재부동태전위와 개로전위의 차이는 20℃에서부터 60℃까지는 감소하다가 80℃에서 다시 증가하는 양상을 나타내었으며, 60℃에서 그 차이가 가장 크게 나타났다.

그러므로 증류수의 80℃ 및 수도수의 60℃에서 공식 및 틈부식 등의 국부부식이 성장될 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

Radiator용 Al합금재에 대한 부식전류밀도, 개로전위, 재부동태전위 및 공식 특성에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 증류수 및 수도수 중에서 탈기 후의 부식전류밀도는 탈기 전의 부식전류밀도보다 크게 억제된다.
- 2) 탈기후, 증류수 중에서의 부식전류밀도는 수도수 중에서의 부식전류밀도보다 더 억제된다.
- 3) 탈기 전 온도 상승에 따른 재부동태전위는 증류수 중에서 80℃, 수도수 중에서 60℃에서 개로전위보다 더 낮아진다.

#### 참고문헌

- [1] Joseph R. Davis(1999) : Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, pp. 19~21
- [2] 임우조, 양학회, 인현만, 이진열(1994) : 부식과 방식, 원창출판사, pp. 302~305
- [3] 임우조, 김성진, 황재호, 윤대영(2001) : Al 합금 원통 냉각기의 부식 거동에 관한 연구, 한국동력기계공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 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, pp. 619~629
- [5] Denny A. Jones(1991) : Principles and prevention of corrosion, Macmillan publishing company, pp. 398~401
- [6] 伊藤伍郎, "機械工學全書 6 - 腐蝕と防蝕", コロナ社, pp. 96~100, 1982
- [7] K R Trethewey and J Chamberlain (1995) : Corrosion for science and engineering, Second edition, Longman, pp. 169~172
- [8] 前掲書(7), pp. 174~177, 1995
- [9] W. Stephen Tait(1994) : Electrochemical Corrosion testing for practicing engineers and scientists, pp. 65~67