

AC8A 알루미늄 합금 주조재의 열처리에 의한 특성 평가(II) Evaluation of the Characteristics of the Aluminum Alloy(AC8A) Casting Material by Heat Treatment(II)

문경만* · 정재현**† · 이명훈*** · 백태실****

Kyung-Man Moon*, Jae-Hyun Jeong**†, Myeong-Hoon Lee***
and Tae-Sil Baik****

(Received 15 June 2016, Revision received 04 October 2016, Accepted 04 October 2016)

Abstract: Aluminum alloys have been widely used in engine materials, cold & hot-water storage vessels and piping etc., Furthermore, the aluminum alloy of AC8A have been widely used in mold casting material of engine piston for various vehicles because of its properties of temperature, wear and corrosion resistance. Therefore, it is considered that evaluation of corrosion resistance as well as wear resistance of AC8A material is also important to improve its property and to prolong its lifetime. In previous paper, the effect of solution(510°C:4hrs) and tempering(190°C: 16, 24, and 36 hrs)heat treatments to corrosion resistance and hardness were investigated using electrochemical method. In this study, in order to examine completely the effect of the tempering hours to hardness variation and corrosion resistance, the results of solution(510°C:4hrs) and tempering(190°C: 2, 4, 8 and 12hrs)heat treatments to hardness and corrosion resistance were investigated using electrochemical method. The hardness decreased with solution heat treatment compared to mold casting condition, but its value increased with tempering heat treatment. Furthermore, the corrosion resistance increased with decreasing of the hardness, and decreased with increasing of the hardness reversely. And the tempering heat treatment temperature at 190°C for 8 hrs exhibited the highest value of the hardness and also indicated the highest corrosion current density. However, the values of hardness and corrosion current density was again increasingly decreased with increasing of tempering hours than 8 hrs, Consequently, it is suggested that decision of the optimum tempering hours is very important to improve the corrosion or wear resistance.

Key Words : Aluminum Alloy, Mold Casting, Corrosion Resistance, Solution Heat Treatment, Tempering Heat Treatment

**† 정재현(교신저자) : 한국해양대학교 공대 기계에너지 시스템공학부

E-mail : jhjeong@kmou.ac.kr, Tel : 051-410-4292

* 문경만: 한국해양대학교 공대 조선기자재공학부

*** 이명훈 : 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부

**** 백태실: 포항대학교 제철산업과

**† Jae-Hyun Jeong(corresponding author) : Dept. of Mechanical & Energy System Engineering, Korea Maritime and Ocean University.

E-mail : jhjeong@kmou.ac.kr, Tel : 051-410-4292

*kyung-Man Moon : Dept of Marine Equipment Engineering, Korea Maritime and Ocean University.

***Myeong-Hoon Lee : Dept. of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean University.

****Tae-Sil Baik : Dept. of Steel Industry, Pohang College.

1. 서 론

Al은 지구상에서 Si 다음으로 많이 존재하며 Cu와 더불어 산업용재료의 활용도 측면에서 비철 금속재료의 으뜸을 이루고 있다.¹⁾ 그리고 Al은 비중이 2.7 정도의 경금속이며 Mg 다음으로 가벼운 금속으로, 주조가 용이하고 다른 금속과의 합금이 잘 된다. 뿐만 아니라 상온 및 고온에서 가공이 용이하고 중성 및 산성 용액에서 산화 피막의 형성에 의해서 내식성이 비교적 좋으며 열 및 전기의 전도도가 우수한 편이다.

그러나 Al은 결정구조가 면심입방격자이기 때문에 고순도의 Al은 기계적 성질의 저하로 인해 실용적인 측면에서 문제점이 많다.²⁾ 따라서 기계적 성질의 개선 즉 경도와 강도 및 내식성을 향상시키기 위하여 소량의 Mn, Mg, Si, Cr, 등을 첨가하여 합금으로 만들기도 하며 적절한 열처리를 하기도 한다. 더욱이 상기한 Al 합금은 다양한 산업현장에서 폭 넓게 이용되고 있으며, 또한 가혹한 부식 환경 하에서 때로는 응력부식, 갈바니부식, 공식, 입계부식 등³⁾을 유발시키기도 하며 이를 억제하기 위해 첨가성분의 종류와 첨가량의 조절 및 다양한 열처리 등의 방법을 이용하기도 한다.⁴⁻¹²⁾

최근 들어 유가의 상승에 의한 저질유의 사용 증가에 따라 선박의 엔진은 가혹한 부식환경에 노출되어 부식과 마모에 의한 내구성이 급격히 저하되어 이를 보완하기 위하여 육상과 해상에서 보수용접을 하고 있으며 여기에 대한 연구결과도 있다¹³⁾. 그리고 자동차와 선박의 엔진은 엔진고유의 성능을 유지하면서 경량화는 물론 내식성, 내마모성 향상을 위한 재료의 연구개발에 주력하고 있다. 그 중에서 엔진의 피스톤을 경량화 하기 위해 알루미늄의 합금에 의한 금형주조를 많이 이용하고 있다. 최근 잘 알려진 AC8A 알루미늄 합금은 내열성, 내마모성 및 고온강도의 특성이 있으므로 피스톤금형 주조재료 널리 이용되고 있다. 특히 AC8A 합금은 열팽창계수의 감소와 경량화를 위해 다량의 규소를 함유하고 있으며, 고온강도를 유지하기 위해 구리, 니켈 및 망간 등을 함

유하고 있다. 그리고 인공시효에 의한 내마모성을 증가시키기 위해 마그네슘 및 구리 등을 첨가하기도 한다. 지난 연구¹⁴⁾에서는 AC8A 알루미늄합금의 경도특성과 내식특성에 미치는 열처리효과에 대하여 190℃에서 16, 24 및 36시간 유지한 후에 급냉에 의한 뜨임처리를 실시하고 이들 온도에 대한 열처리효과를 비교·고찰하였다. 본 연구에서는 190℃에서 16시간 이하의 시간으로 세분화해서 즉 2, 4, 8 및 12시간을 각각 유지한 후에 급냉에 의한 뜨임 열처리 효과를 비교 고찰하고자 한다. 따라서 본 연구는 지난 연구의 결과와 함께 뜨임열처리 유지시간과 경도와 내식특성의 상관관계에 대한 구체적인 실험결과를 제시하여 향후 AC8A 알루미늄합금의 성능개선을 위한 뜨임 열처리시간의 선택에 대한 유익한 참고자료가 되리라 기대된다.

2. 시험편제작 및 실험방법알루

실험에 사용한 시험편은 Table 1에서 보여주는 합금성분을 가진 금형 주조한 AC8A 알루미늄 합금을 사용하였다. 그리고 이 시험편을 510℃에서 4시간 유지한 후 급냉에 의한 용체화 처리를 실시한 후 다시 190℃에서 2, 4, 6, 8 및 12시간씩 각각 유지한 후에 수냉에 의한 뜨임열처리를 실시하였다.

그리고 시험편을 샌드페이퍼 100번에서 2000번까지 연마한 후 노출면적 1cm²만을 남기고 나머지는 실리콘 수지로 절연시켰으며, 가장자리에 구멍을 뚫고 동선을 연결하여 시험편을 제작하였다. 시험용액은 천연 해수용액을 사용하였으며, 3cm/s (PIV: Particle Image Velocimetry로 측정)의 속도로 용액을 유동시키면서 측정하였다. 측정 방법은 부

Table 1 Chemical composition of AC8A test specimen(wt%)

Element	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn
Wt(%)	1.2	12.3	1.0	0.15	0.8	0.15
Element	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	
Wt(%)	1.1	0.2	0.05	0.05	0.1	

식전위 변화와 양극 및 음극분극곡선의 측정과 부식전류밀도를 측정하였다. 그리고 임피던스와 사이클릭 선도변화를 측정하고 양극 및 음극분극곡선을 측정한 후의 부식된 표면을 영상현미경으로 관찰하였다. 실험에 사용된 측정장치는 Won. A. Tech사가 수입 판매하는 CMS-100 프로그램이며, 기준전극은 SCE전극, 대극은 백금을 사용하였고 주사속도는 1mV/s, 그리고 delay time은 1,800초로 하였다. 단 사이클릭 선도변화 측정은 +1.5V ~ -0.5V 영역에서 30mV/s의 주사속도로 하였으며, 부식된 표면사진은 멀티미디어 영상현미경(Sometech 사, Model: SV35)으로 150배 배율로 관찰하였다. 그리고 시험편의 표면을 사포 2000번까지 연마한 후 각각의 시험편을 에칭(etching)하여 조직을 관찰하고 시험편의 중심부에서 좌우로 1mm 간격으로 경도를 각각 3회 측정하여 평균값을 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 열처리 유무에 따른 경도 변화를 나타내고 있다. 주조한 그대로의 경도보다 용체화처리 후의 경도가 가장 낮은 값을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그리고 190°C에서 뜨임 열처리를 함에 따라 경도는 다시 상승하는 경향을 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 2시간의 경우, 약 142, 4시간에서 150 및 8시간 뜨임 처리했을 때 약 158의 가장 높은 경도 값을 나타내었으며, 12시간 뜨임 처리한 경우 약 110의 값으로 경도는 다시 감소하는 결과를 얻을 수 있었다. 그런데 지난 연구¹⁴⁾에서 16시간에서 104, 24시간에서 133 및 36시간에서 98의 경도값과 비교하면 뜨임시간 8시간을 정점으로 뜨임시간이 길 경우 경도는 감소하는 결과를 확실히 알 수 있었다.

Photo. 1은 열처리한 시험편의 조직변화를 500배율로 확대한 모습을 보여주고 있다. 열처리를 하지 않은 경우 수지상정의 텐드라이트 조직을 나타내고 있다. 그러나 용체화 처리에 의해서 수지상정은 사라지고 흰 바탕의 둥근 α고용체가 관찰되었다. 그리고 뜨임처리에 의해서 긴 타원모양의 α고용체가 많이 관찰 되고 있음을 알 수 있다.

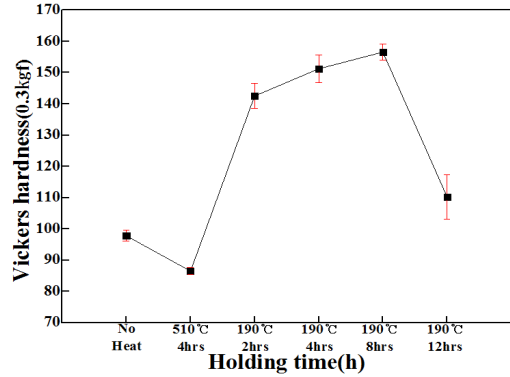


Fig. 1 Variation of vickers hardness with heat treatment condition

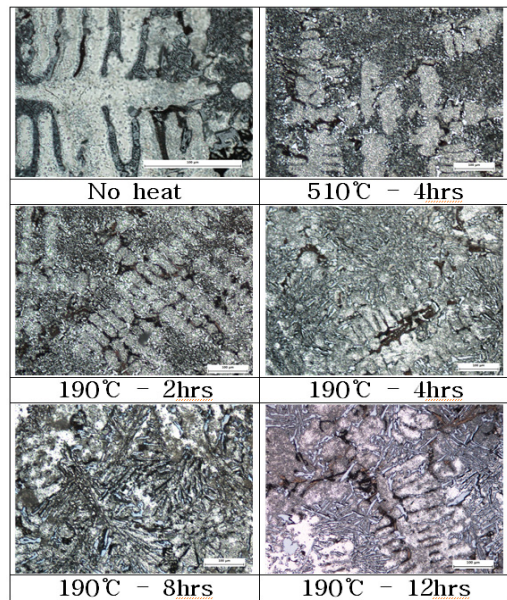


Photo. 1 Comparison of microstructures with heat treatment condition(x500)

그리고 4, 8 및 12시간 유지한 경우 미세하고 짧은 침상모양의 Si의 석출이 관찰되고 있음을 알 수 있다. 특히 8시간 뜨임 열처리한 경우 가장 미세하고 짧은 침상모양의 Si의 석출이 많이 관찰되고 있음을 알 수 있다. 그런데 지난 연구에서 뜨임시간이 긴 경우 예를 들면 16시간, 24시간 및 36시간의 경우 긴 타원모양의 큰 α고용체가 많이 관찰되었음을 생각할 때 뜨임시간이 길어짐에 따

라 긴 타원모양의 비교적 큰 α고용체가 많이 관찰되면서 경도가 낮아지고 뜨임시간이 짧아 긴 침상모양의 미세한 α고용체 관찰되면서 경도가 높아지는 경향을 알 수 있었다. 또한 Fig. 1의 경도변화와 비교할 때 결정입자가 미세하고 짧은 침상모양의 Si의 석출이 많을수록 경도는 증가하는 실험결과를 얻을 수 있었다. Fig. 2는 열처리 유무에 따른 시험편의 부식전위변화를 나타내고 있다. 510°C에서 4시간 용체화 처리를 한 경우 부식전위는 가장 높은 값을 보여주고 있으며, 190°C에서 8, 12시간 뜨임처리를 한 경우 오히려 열처리를 하지 않은 경우보다 상대적으로 낮은 부식전위의 변화를 나타내는 경향을 알 수 있다. 일반적으로 갈바니계열에서 부식전위가 높은 값을 나

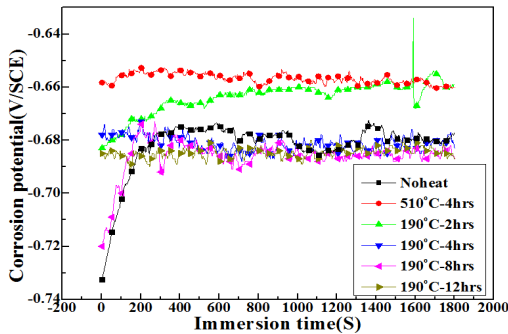


Fig. 2 Time dependence of corrosion potentials with heat treatment condition in seawater solution

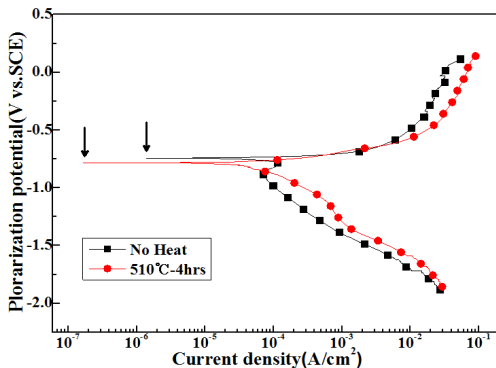


Fig. 3 Variation of cathodic and anodic polarization curves with solution heat treatment(510°C, 4hrs) and without heat treatment

타낼수록 내식성은 상대적으로 좋은 경향을 나타내는 것으로 알려져 있다. 따라서 용체화처리한 경우가 내식성이 좋으며, 190°C에서 8시간 이상 유지한 경우가 내식성이 좋지 않음을 정성적으로 알 수 있다. 그러나 부식전위의 근소한 높고 낮은 차이로 금속의 내식성을 확일적으로 비교·평가하는 것은 다소의 문제가 있다고 생각된다. 따라서 다른 방법의 전기화학적 평가를 실시하여 종합적으로 분석 평가하는 것이 바람직하다고 생각된다.

Fig. 3은 주조상태 및 510°C에서 4시간 용체화 처리를 한 경우의 분극곡선변화를 나타내고 있다. 양극 및 음극분극곡선의 형태는 유사한 경향을 보여주고 있으나, 그림의 화살표가 표시하는 양극과 음극곡선의 변곡점에 대응하는 전류밀도는 용체화 처리한 경우가 훨씬 적은 값을 보여 주고 있다. 일반적으로 부식전류밀도는 양극과 음극분극곡선을 이용하여 단순히 타펠외삽법을 이용하거나 혹은 다음의 (1)식과 같이 Stern-Geary 식¹⁵⁾을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션에 의해서 부식전류 밀도를 구하는 경우가 많다.

$$i_{cor} = \frac{i}{2.3|\eta|} \left(\frac{\beta_c \cdot \beta_a}{\beta_c + \beta_a} \right) \quad (1)$$

여기서, i_{cor} 은 부식전류밀도, i 는 공급전류밀도, η 는 과전압, β_a , β_c 는 각각 양극 및 음극 타펠의 기울기이다.

그런데 본 실험의 결과, 전술한 변곡점에 대응하는 전류밀도 값의 측정으로 내식성의 상대적 비교평가는 가능하다고 생각된다. 왜냐하면 변곡점에 대응하는 전류밀도는 분극곡선 측정시에 음극분극에서 양극분극으로 전환하는 즉 부식전위에 대응하는 전류밀도이므로 부식전류밀도의 근사값으로 간주할 수 있다고 생각된다. 따라서 용체화 처리한 경우가 주조상태보다 내식성이 좋은 것으로 판단된다.

Fig. 4는 용체화 처리한 경우와 190°C에서 8시간 뜨임처리를 한 경우의 분극곡선변화를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 190°C에서 8시간 뜨임처리를 한 경우 화살표가 나타내는 전류밀도

가 용체화 처리를 한 경우보다 높은 전류밀도를 보여주고 있다. 따라서 뜨임열처리를 함에 따라 내식성이 떨어지는 경향을 알 수 있다.

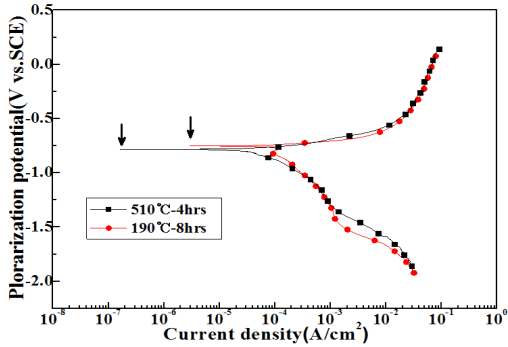


Fig. 4 Comparison of cathodic and anodic polarization curves with solution heat treatment(510oC,4hrs) and tempering heat treatment(190oC,8hrs)

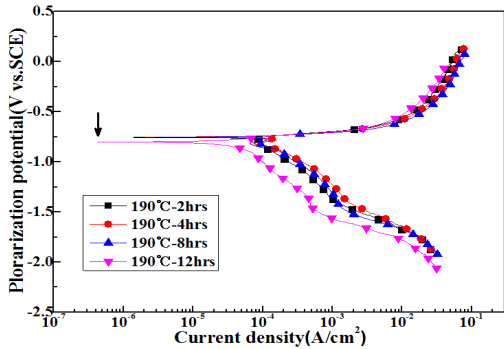


Fig. 5 Variation of cathodic and anodic polarization curves as a function of tempering time(hrs)

Fig. 5는 190°C에서 뜨임 열처리 시간을 달리한 경우의 분극곡선변화를 나타내고 있다. 190°C에서 12시간 유지한 뜨임처리가 정성적으로 가장 내식성이 좋은 것으로 생각된다. 그런데 Fig. 1의 경도 변화에서 알 수 있듯이 뜨임 열처리한 시간 중에서 12시간 뜨임 열처리한 경우가 경도가 가장 낮은 결과와 비교할 때 뜨임 열처리에 의해서 경도가 낮아지면 내식성은 상대적으로 좋아지는 경향을 알 수 있다.

Table 2 The relationship between corrosion current density and Vickers hardness

H.T. condition	icor(A/cm ²)	Hv
No Heat	2.1 X 10 ⁻⁵	98
510 °C - 4hrs	1.6 X 10 ⁻⁵	87
190 °C - 2hrs	2.7 X 10 ⁻⁵	142
190 °C - 4hrs	4.1 X 10 ⁻⁵	151
190 °C - 8hrs	4.8 X 10 ⁻⁵	157
190 °C - 12hrs	2.6 X 10 ⁻⁵	111

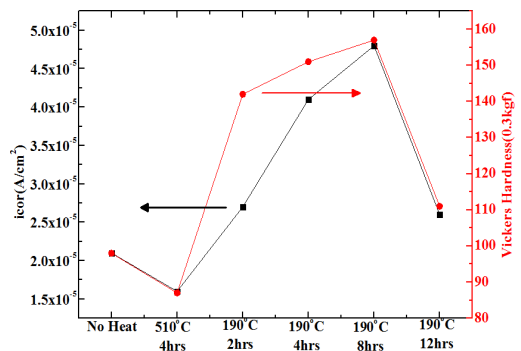


Fig. 6 Relationship between corrosion current density and Vickers hardness with heat treatment condition

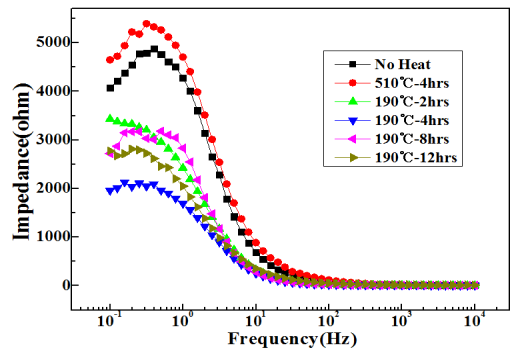


Fig. 7 Comparison of AC impedance with and without heat treatment

Table 2는 양극 및 음극분극곡선을 이용하여 전술한 컴퓨터 시뮬레이션에 의해서 구한 부식전류 밀도와 뜨임 열처리에 의한 경도 값의 변화를 나

타내고 있으며, Fig. 6은 이들 값의 관계를 알기 쉽게 비교하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 용체화 처리한 경우 부식전류밀도 값이 가장 낮았으며, 경도 값 역시 가장 낮은 값을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그리고 뜨임 열처리한 경우 즉 열처리 시간이 길어짐에 따라 경도는 점점 상승하고 부식전류밀도는 증가하였으며, 8시간 뜨임 열처리한 경우 부식전류밀도가 가장 크고 경도 값은 158로 가장 높았으나 12시간 뜨임 열처리한 경우에는 경도 값은 111로 다시 낮아지고 부식전류밀도 역시 다시 적어지는 경향을 알 수 있었다. 그런데 지난 연구¹⁴⁾에서도 뜨임 열처리 시간이 16시간에서 경도 값은 104, 24시간에서 133 및 36시간에서 98의 경도 값으로 즉 열처리 시간이 점점 길어짐에 따라 경도는 낮아지고 부식전류밀도 역시 적어지는 즉 내식성이 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 경도가 높으면 내식성은 떨어지며 결과적으로 8시간의 뜨임 열처리가 경도와 부식전류밀도가 가장 높은 정점을 나타내고 8시간보다 뜨임 열처리시간이 길어짐에 따라 경도는 다시 낮아지고 부식전류밀도는 다시 감소하는 즉 내식성은 좋아지는 결론을 얻을 수 있었다.

Fig. 7은 뜨임 열처리 유무에 따른 시험편의 AC 임피던스 값의 변화를 나타내고 있다. 용체화 처리한 경우 0.1 Hz에서 가장 높은 임피던스 값을 그리고 열처리하지 않은 주조상태가 다음으로 높은 값을 보여주고 있다. 그리고 뜨임 열처리한 시간과 임피던스 값의 상관관계가 확실적으로 일치하지는 않으나 뜨임 열처리한 경우가 전체적으로 용체화 처리에 비해서 비교적 낮은 임피던스 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 열처리에 의한 각 시험편의 사이클릭 볼타모그램 선도 변화를 보여주고 있다. 주조상태, 용체화 처리 및 2시간 뜨임처리한 경우 곡선의 위치가 상대적으로 왼쪽에 있으며 8시간 뜨임 처리한 경우 가장 오른쪽에 위치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 주조상태 및 용체화 처리의 경우 분극저항이 큰 값을 가지므로 볼타모그램의 선도가 왼쪽에 위치하면서 내식성이 좋은 경향을, 그리고 8시간 뜨임 처리한 경우는 선도 상의 분극

저항이 가장 적으므로 즉 내식성이 가장 좋지 않으므로 볼타모그램의 선도가 가장 오른쪽에 위치하는 것을 알 수 있다. 지금까지의 실험결과에서 경도의 변화, 부식전위, 분극곡선, 임피던스 및 사이클릭변화의 상관관계는 거의 일치하는 경향을 나타내었다. 예를 들면 경도 값이 낮고 부식전위와 임피던스 값이 높을수록 그리고 사이클릭선도 상의 분극저항이 클수록 내식성이 좋은 경향을 나타 내었음을 알 수 있었다.

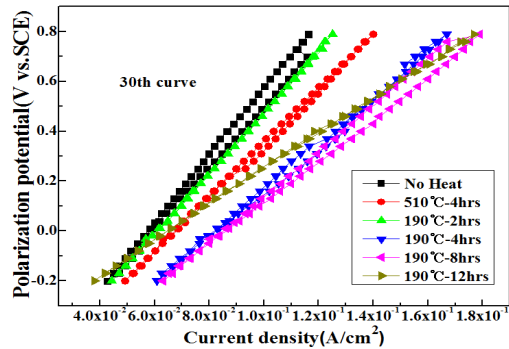


Fig. 8 Variation cyclic voltammogram with and without heat treatment

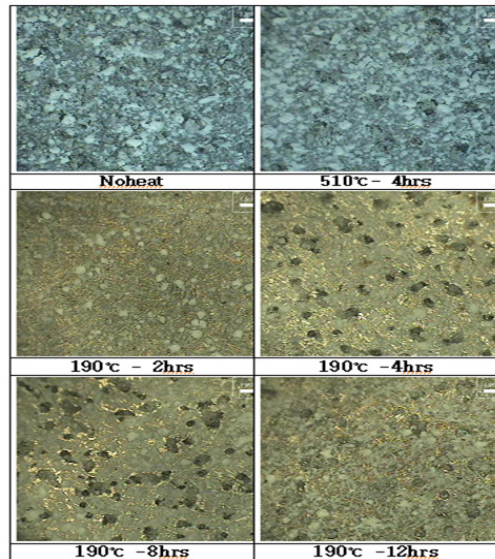


Photo. 2 Morphologies of corroded surfaces after drawing of polarization curves with and without heat treatment(x150)

Photo. 2는 각각의 시험편에 대해서 양극 및 음극 분극곡선을 측정된 후에 부식된 표면을 영상현미경으로 150배율로 관찰한 결과를 보여주고 있다. 열처리를 하지 않은 경우와 용체화 처리 및 2시간 뜨임처리한 경우 뚜렷한 국부부식의 흔적은 발견되지 않았으나 4시간 및 8시간 및 12시간 뜨임 열처리한 경우 국부부식의 흔적 즉 공식이 발견되었으며 특히 4시간과 8시간 뜨임처리한 경우 많은 양의 공식이 발견되고 있음을 알 수 있다. Fig. 6에서 4시간 및 8시간 뜨임 열처리한 경우 경도와 부식전류밀도가 가파르게 상승하였으며 이들 값의 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 즉 경도가 상승하고 내식성이 감소할수록 공식이 많이 발생하는 실험 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 12시간 뜨임 열처리한 경우 공식의 흔적이 다소 사라졌음을 알 수 있는데, 이것은 Fig. 6에서 부식전류밀도와 경도가 8시간 뜨임 열처리 시간을 정점으로 다시 감소한 결과와 관련이 있는 것으로 생각된다. 그리고 지난 연구의 16, 24 및 36시간의 뜨임 열처리시간에서도 뚜렷한 공식의 흔적은 발견되지 않았다. 따라서 AC8A 알루미늄 합금에 대한 본 실험의 결과 구조상태에서 용체화처리에 의해서 긴 타원 모양의 큰 α 고용체가 발견되면서 경도는 감소하고 내식성이 증가되었으나 뜨임 열처리에 의해서 미세하고 짧은 침상 모양의 Si의 석출이 관찰되면서 경도는 다시 상승하고 내식성은 감소되었으며, 8시간의 뜨임시간에서 정점을 나타내고 즉 경도와 부식전류밀도가 가장 큰 값을 나타내었으며, 전술한 시간보다 긴 뜨임시간에서는 다시 긴 타원 모양의 큰 α 고용체가 발견되면서 경도는 감소하고 내식성은 좋아지는 경향을 나타내었다. 결국 뜨임시간이 너무 길면 용체화처리와 유사한 열처리 결과를 나타내어 경도는 다시 감소하고 내식성은 증가되는 것으로 생각된다. 그리고 경도가 상승하면 표면에너지의 증가에 의해 표면의 원자결함이 증가되고 이들의 결함이 부식을 촉진하는 원인이 되는 것으로 생각된다.¹⁶⁾ 또한 짧은 침상모양의 Si의 석출은 국부적으로 양극으로 작용하여 부식전류밀도가 증가하고 내식성이 감소하는 것으로 생각된다.

결국 190℃에서 뜨임 열처리는 유지시간의 변수에 의해 경도를 상승 및 감소시키는 효과가 있으며 동시에 내식성을 증가 및 감소시키는 실험결과를 얻을 수 있었다

4. 결 론

AC8A 알루미늄 합금의 경도 및 내식특성에 미치는 용체화 처리 및 뜨임 등의 열처리효과에 대해서 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 구조상태보다 용체화 처리에 의해서 경도는 낮아지는 경향을 알 수 있었으며, 190℃에서 뜨임 처리를 함에 따라 경도는 다시 상승하였고 8시간 뜨임처리에서 최고의 경도값을 나타내었으나, 12시간 이후의 뜨임처리에서 다시 경도가 감소하는 경향을 알 수 있었다.

2. 경도가 낮을수록 내식성이 좋아지며 경도가 높을수록 내식성이 감소하고 공식이 발생하는 상관관계를 알 수 있었다. 그리고 8시간 뜨임처리에서 가장 높은 경도 값과 부식전류밀도 역시 가장 큰 값의 정점을 나타내었으며, 8시간보다 긴 열처리 시간에서는 경도 값은 다시 감소하고 부식전류밀도 역시 감소하는, 즉 내식성은 좋아지는 경향을 알 수 있었다.

3. 열처리를 하지 않은 경우 수지상정의 덴드라이트 조직을 나타내었으나, 용체화 처리에 의해서 수지상정은 사라지고 흰 바탕의 길고 둥근 α 고용체의 결정입자가 나타났으며, 뜨임처리에 의해서 미세하고 짧은 침상모양의 Si의 석출 결정입자가 관찰되었다.

References

1. H. Y. Lee, 1991, "Metal Corrosion Engineering", Yeon Kyung Culture Publishing Co., p. 262.
2. M. Y. Doshi, 1975 "Nonferrous Metal Material Engineering", Ko Ro Na Publishing Co., p. 144.
3. D. H. Yun, M. H. Lee, K. J. Kim and K. M

- Moon, 2005, "Electrochemical Evaluation on the Corrosion Resistance of Al Alloy", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 29, No. 5, p. 495.
4. Mars. G. Fontana, 1986, "Corrosion Engineering", Mc Graw Hill Book company, p. 236.
 5. Deny A. Jones, 1996, "Principles and Prevention of Corrosion", Prentice Hall International Publishing Co., p. 262, p. 307, p. 522.
 6. J. W. Martin, 1968, "Precipitation Hardening", Oxford Pergamon Publishing Co., pp. 267.
 7. Y. Murakami, 1985, "Fundamentals and Industrial Technologies of Aluminum Materials", Japan Light Metals Association, pp. 523.
 8. Y. Murakami, 1991, "Advanced Materials and Technology", Proceeding 2nd International Conference Kobe, Japan, pp. 113-122.
 9. A., Hellowell, 1990, "Supplementary Volume 2 of the Encyclopedia of Materials Science and Engineering", Oxford Pergamon Publishing Co., p. 78.
 10. H. W. Phillips, 1959, "Annotated Equilibrium Diagrams of Some Aluminum Alloys Systems, Monograph", London International Metals, No. 25, p. 57.
 11. A. Sakamoto, 1991, "Advanced Materials and Technology, and New Composites", Proceeding 2nd International Conference Hyogo, Japan, pp. 165-172.
 12. E. A. Starke, 1979, "Materials Science and Seminar", Proceeding ASM, p. 208.
 13. J. H Shin and K. M. Moon, 2010, "An electrochemical Evaluation on the Corrosion Resistance of Welding Zone due to kinds of Filler Metal and Post Weld Heat Treatment", Corrosion Science and Technology, Vol. 9, No. 6, p. 310.
 14. S, Y. Lee, M. H Lee, Y. H Kim, K. M. Moon and J. H Jeong, 2012, "Evaluation of the Characteristics of the Al Alloy Casting Material by Heat Treatment", Corrosion Science and Technology, Vol.11, No. 6, p. 280.
 15. K. M. Moon, 1999, "Practical Electrochemistry", Hyo Sung Publishing Co., p. 177.
 16. D. H. Jeon, 1979, "Maintenance of Corrosion and Corrosion Control", Il Jung Sa Publishing Co., pp. 551-554.