

알루미늄 합금(5083F)의 응력부식균열과 수소취화에 관한 기계적, 전기화학적 특성 평가

김성종⁺, 장석기⁺⁺, 한민수⁺⁺⁺

Characteristics of mechanical and electrochemical on stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement of Al alloy(5083F)

Seong-Jong Kim⁺, Seok-Ki Jang⁺⁺, Min-Su Han⁺⁺⁺

1. 서론

최근 환경부하 경감을 위한 재료로서 알루미늄 합금이 여러 분야에서 재인식되고 있다. 그 이유는 경량화, 리사이클 성, 기기의 소형화, 내환경성 등의 잇점을 갖고 있기 때문이다. 따라서 기존에 소형어선 등에 사용되어 왔던 FRP선의 경우 친환경적이지 못하며, 재활용이 불가능하고, 특히 폐선 시 처리할 수 있는 방법이 없다. 따라서 알루미늄 합금 선박으로 대처할 경우 내구성이 좋고, 선체가 경량화되기 때문에 선속 증가, 적재량의 증가, 생력화와 관련지을 수 있지만 무엇보다 중요한 것은 리사이클성이 가능하다는 점이다. 유럽, 호주, 일본 등의 선진국은 이미 수십 년 전부터 자원의 재활용을 통한 환경문제에 적극적으로 대처하고자 관공선을 비롯한 어선에 이르기까지 소형선박을 알루미늄제로 건조할 것을 적극 권장하고 있으며, 일본의 경우 알루미늄의 선형, 건조공법, 용접시공법 개발 등의 관련 연구가 활발하게 진행 중에 있으며, 1977년도부터 알루미늄 선박을 건조한 이후 2001년 말 1670여척에 달하며, 또한 점차 증가 추세에 있다. 그러나 국내에서는 일부 조선소에서 경비정을 수 척 건조한 후 단절되었으며, 용접 기술자가 20여명에 불과하므로 체계적인 용접조건 등의 연구가 절실하다.

따라서 본 연구에서는 해양 분위기하에서 알루미늄 합금(Al-Mg 합금, 5083F)에 대한 전기화학적 실험을 실시하여 최적의 방식전위를 결정하고, 여러 인가 전위에서 정전위 저변형을 인장실험을 실시하여 기계적 특성과 전기화학적 특성을 고찰하여 응력부식균열과 수소취화를 고려한 최적의 방식전위를 결정하고자 한다.

2. 시험편 및 실험 방법

전기화학적 실험용 시험편은 에머리 페이퍼 600번까지 연마한 후 아세톤과 증류수로 세척하여 드라이로 건조한 시험편을 사용하였다. 자연전위 측정 실험과 분극실험은 1 cm²만 노출시킨 시험편을 사용하였으며, 기준전극으로 은/염화은 전극(SSCE)을, 대극은 백금전극을 사용하여 2 mV/s의 주사속도로 상온의 천연해수 용액조건에서 실시하였다. 양분극 실험 시에는 개로전위에서 -0.5 V에서 3.0 V까지 실시하였으며, 음분극 실험은 개로전위에서 -2.0 V까지 실시하였다. 또한 정전위 실험은 해수용액에서 양분극과 음분극 시킨 후 일정 전위에서 1200초 동안의 전류밀도 변화와 1200초 후의 전류밀도를 각 조건별로 비교하여 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 5083F 알루미늄 합금 시험편을 천연해수 용액에서의 자연전위 측정 결과를 보여 주고 있다. 침지 초기에는 합금 표면에 피막 형성으로 인하여 안정된 전위를 나타낸 후 40,000초 전후에서 형성된 피막 파괴가 진행되어 전위가 서서히 비방향으로 이행하고 있음을 알 수 있다. 이후 다시 형성된 피막에 의해 다소 안정된 전위를 유지하다 105,000초에 다시 피막 파괴로 인하여 전위가 비방향으로 이행하고 있음을 알 수 있다. 이윽고 115,000초에는 안정된 피막의 재형성으로 인하여 안정된 전위값을 나타내고 있다. 이때 형성된 안정된 전위는 930,000초 정도에는 보다 콤팩트한 피막 형성으로 인하여 안정된 전위가 1,600,000초까지 지속되었고, 그 이후에는 전위의 헛헛현상이 관찰되었으며, 2,130,000초에는 -0.756 V를 나타냈다. 일반적으로 중성용액 내의 알루미늄은 Al₂O₃나 Al₂O₃·3H₂O피막이 형성되어 전위는 귀방향으로 이행하며, 분극경향은 전류밀도가 감소되어 부식이 되지 않으나, 해수환경 하에서는 해수 속에 포함되어 있는 염소이온의 영향으로 형성된 피막이 파괴되어 전위가 비방향으로 이행한다. 그러나 자기수복(Self-healing) 기능으로 재생성된 피막에 의해 전위의 상승과 저하가 반복적으로 일어나고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 2는 5083F 알루미늄 합금에 대하여 천연해수 용액에서의 양분극 경향을 나타내고 있다. 개로 전위보다 비한 전위에서는 용존산소 환원반응에 의한 농도분극의 경향이 관찰되었으며, 양분극 곡선에서는 개로전위이후 전위상승에 따라 전류밀도의 급격한 상승이 관찰되었다.

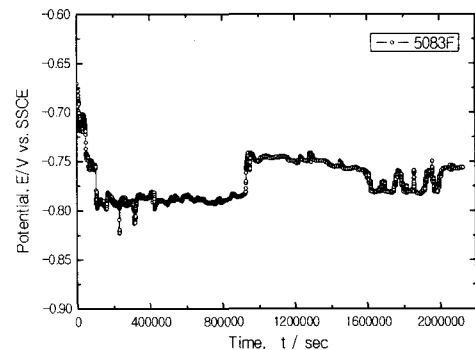


Fig. 1 Variation of potential for 5083F specimen in natural sea water solution.

⁺김성종(목포해양대학교 기관시스템공학부 교수), E-mail:ksj@mmu.ac.kr, Tel: 061)240-7309

⁺⁺장석기(목포해양대학교 기관시스템공학부 교수)

⁺⁺⁺한민수(목포해양대학교 대학원 응용역학 재료공학전공)

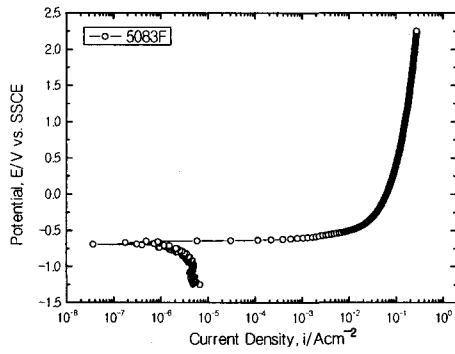


Fig. 2 Anodic polarization curves in natural sea water solution.

Fig. 3은 5083 F 알루미늄 합금에 대한 해수용액에서의 음분극곡선을 나타내고 있다.

그래프에서 보는 바와 같이 모든 시험편에 대한 전체적인 경향은 개로전위에서부터 용존산소환원반응 ($O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$)에 의한 농도분극과 $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ 의 수소발생에 의한 활성화분극의 경향을 나타냈다. 양분극과 음분극 곡선을 상호 비교해 보면 음분극 곡선의 경우가 훨씬 높은 전류밀도를 나타냈으며, 방식전위 영역도 넓기 때문에 방식 적용시 양극 방식에 비해 음극방식의 경우가 효과적일 것으로 판단된다. 알루미늄의 음분극곡선에서 용존산소환원반응에 의한 농도분극과 수소가스 발생에 의한 활성화 분극의 변곡점은 대략 -1.64 V로 나타났다.

Fig. 4는 양분극과 음분극 시킨 전위에서 정전위 실험을 1200초 동안 실시하여 1200 초 후의 전류밀도를 상호 비교한 그래프이다. 실험을 여러차례 실시하였으며 검은 원은 각 조건에서의 평균을 나타내고 있다. -1.4 V ~ -0.7 V 사이의 전위 영역에서는 낮은 전류밀도를 나타냈기 때문에 방식전위 영역으로 사료되며, 이보다 양분극을 더 시킨 전위에서 정전위 실험을 실시하였을 경우는 전위 상승에 따라 급격히 전류밀도가 상승하는 경향을 관찰할 수 있었으며, 비방향으로 조금 더 음분극을 시킨 전위에서는 원자성 수소의 영향으로 전류밀도가 조금 상승하였으며, 이보다 더 비방향으로 이행하여 실시하였을 경우에는 분자성 수소의 영향으로 전류밀도가 크게 상승하였음을 알 수 있었다.

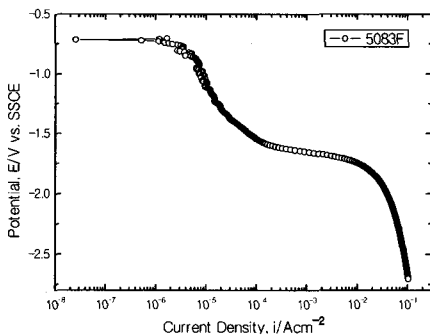


Fig. 3 Cathodic polarization curves in natural sea water solution.

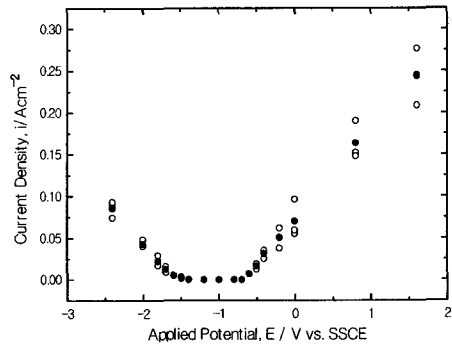


Fig. 4 Comparison of current density after potentiostatic experiment for 1200 s at various polarization potential in natural sea water solution.

4. 결론

일반적으로 중성용액 내의 알루미늄은 Al_2O_3 나 $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ 와 같은 피막이 형성되어 전위는 귀방향으로 이행하며, 분극경향은 전류밀도가 감소되어 부식이 되지 않으나, 해수환경 하에서는 해수 속에 포함되어 있는 염소이온의 영향으로 형성된 피막이 파괴되어 전위가 비방향으로 이행하나, 자기수복(Self-healing) 기능에 의해 재생된 피막에 의해 전위의 상승과 저하가 반복적으로 일어나고 있음을 알 수 있었다. 양분극과 음분극 곡선을 상호 비교해 보면 음분극 곡선의 경우가 낮은 전류밀도를 나타냈으며, 방식전위 영역도 넓기 때문에 방식 적용시 양극 방식에 비해 음극방식의 경우가 효과적일 것으로 판단된다. -1.5 V ~ -1.7 V 사이의 전위에서는 방식영역과 활성화반응의 변곡점에 해당되며, 원자성 수소와 분자성 수소가 복합적으로 영향을 미쳤으나 원자성 수소의 영향이 지배적이므로 전류밀도는 다소 낮게 나타난 것으로 판단된다. 이에 반해 -1.8 V ~ -2.4 V 사이의 전위에서는 전위가 비방향으로 이행할수록 급격히 전류밀도가 증가하였는데 이는 분자성 수소의 영향이 지배적이며, 음분극곡선을 통해서도 그 경향을 파악할 수 있었다.

감사의 글 ; 본 연구는 전남 테크노 파크의 기술고도화 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Kim, S. J. et al, "Hydrogen embrittlement properties of heat affected zone of high strength steel in shielded metal arc welding", *Metals and materials international*, 8(4), 395(2002).
- [2] Kim, S. J. et al, "An electrochemical study of cathodic protection of steel used for marine structures", *Korean J. Chem. Eng.*, 20(3), 560(2003).
- [3] Kim, S. J. et al, "The electrochemical study on mechanical and hydrogen embrittlement properties of HAZ part as a function of post-weld heat treatment in SMAW", *Surface and coatings Technology*, 169-170, 163(2003).