

선박용 냉각기의 국부부식에 관한 연구

임우조 · 김성진^{*} · 곽남인^{**} · 윤병두 · 심경태
 부경대학교 · *한국해양수산연구원 · **부산기능대학

서론

각종 기계장치들은 고속화 및 고출력화 되고 있으며, 사용환경조건은 오염화 및 다양화되고 있다. 이와 같은 가혹한 조건에서 작동되는 기계장치와 설비들에 있어서 냉각장치(cooling system)는 필수불가결한 것이다. 특히, 선박 1척 당 20여개의 열교환기가 필요로 되며, 자동차, 화학플랜트, 원자력발전소, 화력발전소, 제철소 폐열 이용장치 등 많은 곳에서 각종 열교환기가 사용되고 있고 사용 용도에 따라 다양한 환경에 접하고 있다.

그리고 석탄, 석유 및 가스 등의 화석에너지 소비량이 급격히 증가됨에 따라 유황화합물인 SO₂, SO₃ 및 H₂S, 질소화합물인 NO와 NH₃, 산화물인 CO 그리고 염화물인 HCl과 Cl₂ 등의 대기오염물질 배출이 증대됨으로써 환경오염을 가속시키고 있다. 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. 이와 같이 산성화된 담수가 바다에 유입함으로써 연안 해수는 오염화됨으로써 선박용 열교환기는 산성 해수에 의한 부식손상이 가속된다.

일반적으로 소형 선박용 열교환기의 재질은 원통은 Al합금재 및 주철, 세관(tube)은 동, Al황동, 네이발 황동 등이 사용되고 있으므로 여러 가지 금속의 접촉에 의한 전지작용부식(galvanic corrosion)이 발생할 수 있다. 또한 각종 열교환기에 사용되는 환경은 다종의 열전달 매체, 즉 해수, 청수, 윤활유(lubricating oil) 및 연료유(fuel oil, steam) 등이고, 이러한 열전달 매체의 온도 및 유속범위가 다양하기 때문에 사용용도에 적합한 내식성 재료의 선택 및 방식설계 방안이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 청수 환경 중에서 각 세관 및 원통 재질의 전기화학적 분극시험 및 캐비테이션 침식-부식시험을 실시하였다. 이들 실험결과를 토대로 하여, 청수 환경 중에서 세관과 원통의 공식 및 간극부식, 전지작용부식 및 캐비테이션 침식-부식특성을 고찰하였다.

시험재료, 실험장치 및 실험방법

1. 시험재료

시험편의 재료는 선박용 고속디젤기관의 청수냉각기의 원통으로 사용되고 있는 알루미늄 합금(Al-alloy, AC8A), 관판(end plate) 및 세관(tube)용으로 사용되고 있는 네이발 황동(naval brass, C4621P)과 동(Cu, C 1100-H)으로하였다.

Al합금, 네이발 황동 및 동(Cu)의 전기화학적 분극 시험편은 가로 10mm, 세로 10mm, 두께 5mm의 크기로 제작함으로써 유효노출면적을 1.0cm^2 로 하였다. 시험편의 제작에 있어서 가공경화 및 열응력을 배제하기 위해 시험재료를 다이아몬드 휠 커터로 저속 절단한 후 시험편에 전선을 연결시키고, 호마이커로 마운팅(mounting)하였다.

캐비테이션 침식-부식시험편은 직경 25mm, 두께 6mm의 원형 시험편으로 제작하였고, 시험편 표면은 #400으로부터 1500까지의 에머리 페이퍼를 이용하여 단계적으로 연마한 다음, 시험편 표면거칠기의 영향을 최소화 및 동일화하기 위하여 연마기에서 산화알루미늄(Al_2O_3)분말을 이용하여 시험편 표면을 연마하였다. 그리고 증류수 중에서 초음파세척기로 세척한 다음, 아세톤으로 탈지한 후 열풍으로 건조시켰다.

2. 부식실험방법

본 실험에서 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. 이 분극실험장치는 EG & G社의 Model 273A Potentiostat/Galvanostat와 PC를 이용하였으며, M 352/252 corrosion software를 사용하여 분극특성시험을 실시하였다. 여기서, 부식시험은 부식환경조 중에서 시험편을 알루미늄합금, 동 및 네이발 황동으로 하고, 기준전극은 포화카로멜 전극(Saturated calomel electrode), 보조전극(Counter electrode)은 고밀도 탄소봉으로 하였다. 또한 부식환경 조건은 비저항 $5000\Omega \cdot \text{cm}$ 인 청수로 하고, 부식용액의 온도는 가열코일이 부착된 oil bath에 온도감지기를 설치하여, 온도를 $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 범위 내에서 유지하도록 하였다.

본 연구에 사용한 진동 캐비테이션 발생 시험장치는 초음파를 응용한 진동가속 시험기로서 진동자(transducer)의 혼(horn, 직경 15mm)과 시험편을 대향하게 하고 아크릴 판 위에 시험편 고정물을 장치하여 시험편을 고정시킨 상태에서 캐비테이션을 발생시켰고, 혼은 시험편에 수직하게 상하로 진동하였다. 이때 진동자의 공진주파수는 ASTM 규정에 따라 20kHz로 하였고, 진폭은 $24 \mu\text{m}$ 로 일정하게 유지하였다. 여기서, 초음파진동기는 60Hz, 220V 전력을 입력으로 $20 \pm 0.2\text{kHz}$ 의 정격출력을 발생시켜 진동자로 공급하였다.

실험결과 요약

1. 공식 및 간극부식 거동

선박용 고속디젤기관의 냉각용 청수냉각기에 대한 공식 및 간극부식 거동을 고찰하고자, 청수 중에서 알루미늄합금, 동 및 네이발 황동에 대한 Cyclic 분극곡선을 Fig. 1에 나타내었다.

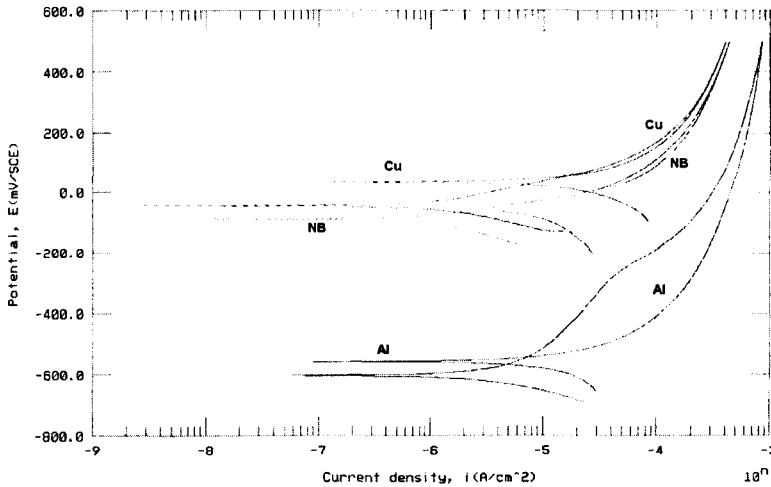


Fig. 1. Cyclic polarization curves of Al-alloy, Cu and naval brass in fresh water at 25°C.

알루미늄합금의 재부동태 전위(repassivation potential)는 개로전위보다 더 높게 나타지만 역방향 양극분극곡선은 positive hysteresis loop를 나타내고, pitting loop로부터 알루미늄합금의 부식전류밀도는 동 및 네이발 황동의 부식전류밀도보다 더 많이 배류되고 있으므로 알루미늄합금이 동이나 네이발 황동보다 공식이나 간극부식에 더 민감할 것으로 판단된다.

2. 캐비테이션 침식-부식 거동

청수냉각기에 사용되는 원통용 알루미늄합금, 관판 및 세관용 네이발 황동 및 동에 대하여 청수환경에서 시간경과에 따른 캐비테이션 침식-부식 손상에 의한 무게감소량 변화를 Fig. 2에 나타내었다.

실험 시간경과에 따른 캐비테이션 침식-부식 손상에 의한 무게 감소량 변화는 각 재료에 따라 각기 다른 양상을 보이고 있으나, 시간이 경과할 수록 무게 감소량은 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 캐비테이션 침식-부식손상에 의한 무게감소량은 알루미늄합금 > 동 > 네이발 황동의 순으로 높게 나타나고 있다.

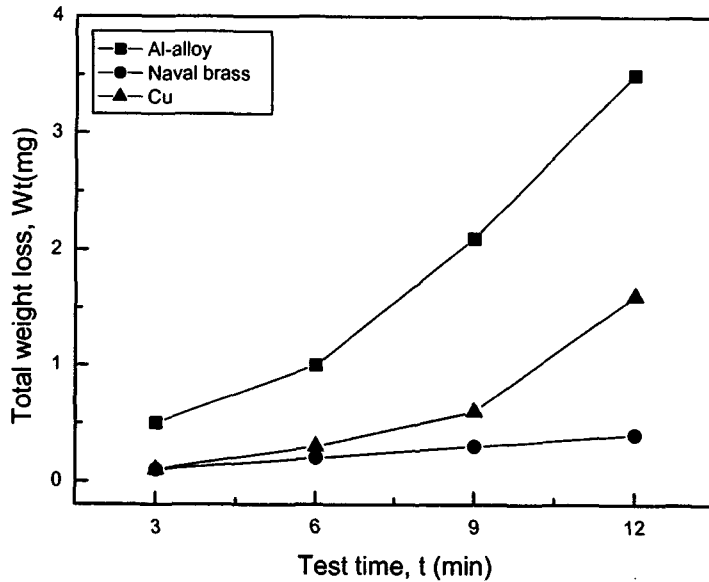


Fig. 2. Total weight loss vs testing time in fresh water for Al-alloy, Cu and naval brass.

결론

- 1) 공식 및 간극부식의 국부부식 억제효과는 네이발 황동이 동이나 알루미늄합금 재보다 더 우수하다.
- 2) 네이발 황동은 캐비테이션 침식-부식 손상에 안정되고, Al합금은 동보다 캐비테이션 손상에 더 민감하다.

참고문헌

- 1) 임우조 · 양학회 · 인현만 · 이진열. 1994. 부식과 방식, 원창출판사, pp302~305.
- 2) Davis, Joseph R. 1999. Corrosion of Aluminum and Aluminum alloy, ASM International, pp19~21.
- 3) 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, pp619~629.
- 4) W. H. Ailor. 1988. Engine Coolants Testing, State of the Art, ASTM, STP 705, pp81~101.