Journal of the KSTLE Vol. 20, No. 2, April 2004, pp. 97~101
The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers

연안해안에서 Al-Mg 합금재 프로펠러의 마멸-부식거동에 관한 연구

박희옥† · 임우조* · 박동기**

대구기능대학, *부경대학교 기계공학부, **부산기능대학

The Study on the Wear-Corrosion Behavior of Al-Mg Alloy in the Coast

Hee-Ok Park†, Uh-Joh Lim* and Dong-Gi Park**

*Daegu Polytechnic College, *School of Mechanical Engineering, Pukyong University, **Pusan Polytechnic College*

Abstract – This paper reports the studies on the wear-corrosion behavior of Al-Mg alloy in various pH environments. In various pH of sea water, corrosion and wear-corrosion loss of Al-Mg alloy were investigated. Also, the polarization test of Al-Mg alloy using potentiostat/galvanostat was carried out. And the rubbed surface of Al-Mg alloy using scanning electron micrographs after wear-corrosion test was examined in various pH values of sea water. The main results are as following : The polarization resistance of Al-Mg alloy in pH 4 solution is higer than that in pH 6.7 solution, and the corrosion current density in pH 4 is controlled than in pH 6.7 solution. The wear-corrosion loss of Al-Mg alloy with lowering pH becomes sensitive. As the oxide product of Al-Mg alloy appears granular structure and exholiation phenomenon, wear-corrosion loss of Al-Mg alloy increases.

Key words – Al-Mg alloy, wear-corrosion loss, rubbed surface, polarization resistance, corrosion current density.

1. 서 론

선박 엔진의 추진에 있어서 핵심 부품인 프로펠러(Propeller)는 경량화에 의한 고속화 및 에너지 절약을 위해 강도 및 내식성이 우수한 알루미늄합금재의 이용이 급격히 증가하고 있다[1]. 프로펠러의 재료로는 Al-Cu 합금, Al-Mg 합금 등이 사용되고 있으며, Al -Cu 합금은 기계적 강도와 내식성이 우수하여 중·대형 선박용이며, Al-Mg 합금은 유동성이 양호하고 가벼우며 가격이 저렴하여 중 · 소형 선박용으로 적합하다[2-4].

그러나 산업의 발전으로 화석에너지 소비량이 급격히 증가되고, 이로 인해 발생되는 이산화유황 또는 부식성 염으로 하천이나 강 그리고 연안 바다의 환경오염화가 가속되고 있다[5-6]. 이들 대기오염 물질 중에서 유황화합물인 SO_2, SO_3 및 질소화합물인 NO와 NH_3, 산화물인 CO 등의 대기오염물질 배출이 증대됨으로써 환경오염을 가속시키고 있다[7].

이들 대기오염물질 중에서 SO_2, SO_3, CO 및 THC 등은 결로 현상에 의해 산성화되고, 대기 중의 수분이나 물이 혼입되거나 산성비에 의해 하천수나 강물 등의 담수가 산성화되고 이들 담수는 연안해수에 유입된다[8-9].

그러므로 연안해수 중에서의 중 · 소형 선박에 적합한 Al-Mg 합금재 프로펠러의 부식 및 마멸-부식거동에 대한 연구가 필요하지만, 이에 관한 연구는 거의 찾아 볼 수 없다.

따라서 본 연구에서는 25 Ω · cm 수용액 중에서 pH 변화에 따른 Al-Mg 합금재의 부식과 마멸-부식특성을 연구를 하기 위하여, 오염해수의 pH 변화에 따른 연안 선박용 Al-Mg 합금재 프로펠러에 대한 부식시험과 마멸-부식시험을 실시하였다. 이들 실험결과를 토대로 하여, Al-Mg 합금재를 25 Ω · cm 수용액 중에서 pH 변

†주저자 · 책임저자 : parkhok@kopo.or.kr

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of Al-Mg alloy

Chemical composition (wt. %)	Al	Mg	Ni	Si	Fe	Mn
	95.665	2.928	0.036	0.10	0.315	0.728
Mechanical properties	Tensile strength σ_t (MPa)			Elongation ε (%)		
	145.1			6		

Table 2. Chemical compositions and mechanical properties of SHP 1

Chemical composition (wt. %)	C	Si	Mn	P	S	Mg
	0.046	0.004	0.215	0.011	0.008	0.009
Mechanical properties	Tensile strength σ_t (MPa)			Elongation ε (%)		
	421			32		

화에 따른 프로펠러용 Al-Mg 합금재의 부식거동과 마멸-부식거동을 규명함으로써 해양 및 강이나 호수 중에서 운항되는 중·소형 선박의 프로펠러에 대한 부식과 마멸-부식 방지의 기초설계 자료로 제공하고자 한다.

2. 시험재료 및 실험방법

2-1. 시험재료 및 시험편

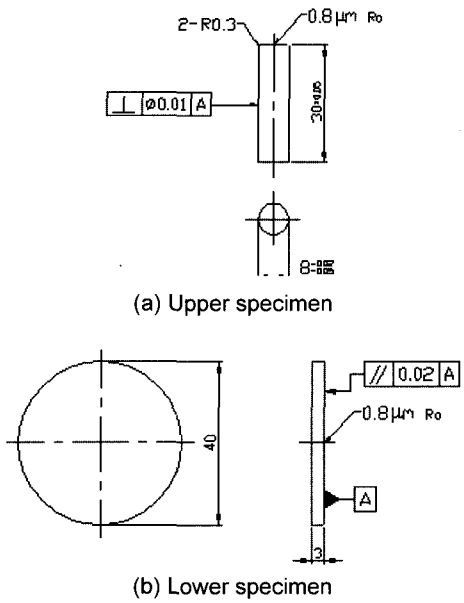
부식실험과 pin on disk type의 주 시험편인 핀 재료는 프로펠러제작에 이용되고 있는 Al-Mg 합금재료로 그 화학성분과 기계적 특성은 Table 1과 같다. 상대 시험편인 디스크는 Table 2와 같은 열간 압연강판(SHP 1)이다.

부식실험에 사용된 Al-Mg 합금재의 전기 화학적 분극 시험편은 Table 1과 같은 화학성분과 기계적 특성을 지닌 재료로부터 절취하여 두께 5 mm, 가로 10 mm, 세로 10 mm 크기로 시험편을 제작함으로써 유효노출면적을 1.0 cm^2로 한 다음 시험편에 전선을 연결시킨 후에 호마이카로 마운팅(mounting)하였다.

마멸-부식 시험편은 Table 1과 같은 화학 성분과 기계적 특성을 가진 재료로부터 절취하여 Fig. 1의 (a)와 같이 제작하였으며, 상대시험편인 디스크는 Table 2와 같은 열간 압연강판으로부터 절취하여 Fig. 1의 (b)와 같이 제작하였다.

2-2. 시험장치 및 실험방법

본 실험에 사용된 전기화학적 분극실험장치로는 EG&G 273A의 potentiostat/galvanostat와 PC를 연결하여, M352 corrosion softwre 를 이용하여 분극특성실험을 실시하였다. 기준전극은 포화카로멜전극(saturated calomel electrode, SCE), 보조전극은 고밀도 탄소봉을 사용하였고, 부식용액의 온도는 가열코일에 부착된 oil



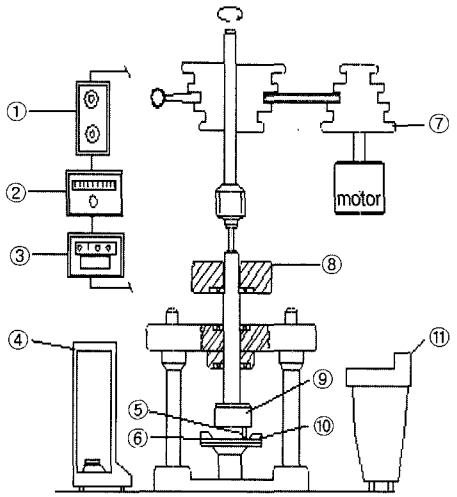
(a) Upper specimen

(b) Lower specimen

Fig. 1. Shape and dimension of upper and lower specimen for wear-corrosion test.

bath에 온도감지기를 설치하여, 온도를 25±1°C 범위내에서 유지하도록 하였다. 또한 마멸-부식 실험장치는 면압이 크고, 고속에 적합한 pin on disk type 마멸-부식시험기를 사용하였으며, Fig. 2는 마멸-부식시험기의 개략도를 나타낸 것이다.

부식실험과 마멸-부식실험의 부식 환경은 비저항 25 Ω · cm의 해수중에 황산(H_2SO_4)을 소량 첨가하여 pH를 약산성에서 강산성으로 변화시켰다. 주 시험편과 상대 시험편의 마찰면 가공은 성형연삭기로 연마 후 에머리 페이퍼 #1200으로 0.8 μm Ra(중심선 평균거칠기)로 연마 후 탈자하였다. 마멸-부식실험은 미끄럼속도와 미끄럼거리 및 부식 환경을 변수로 하고, 부식면의 불순물 제거는 초음파 세정기로 3분간 초음파 세정 후



① RPM meter
② Timer
③ Thermometer
④ Electronic balance
⑤ Upper specimen
⑥ Lower specimen
⑦ Motor
⑧ Dead weight
⑨ Upper holder
⑩ Lower holder
⑪ Ultrasonic cleaner

Fig. 2. Schematic diagram of wear-corrosion experimental apparatus.

열풍 건조하였다. 그리고 마멸-부식감량은 감도 0.1 mg 디지털 저울을 사용하였고, 마멸면은 SEM으로 관찰하였다.

미끄럼거리에 따른 마멸-부식 실험조건은 미끄럼속도가 0.3 m/s, 접촉압력이 10 kg_f/cm^2 그리고 미끄럼거리를 25 m에서 150 m로 변화하였고, 부식 용액의 온도는 실험실 온도로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 분극저항 및 부식전류밀도 거동

Fig. 3은 오염화된 비저항 25 Ω · cm인 해수의 중성으로부터 산성으로 변화(해수의 pH 변화)함에 따른 프로펠러용 Al-Mg합금의 분극저항 거동을 정리하여 나타낸 것이다.

중성인 pH 6.7의 해수로부터 약산성인 pH 4.0의 해수로 변화되면서 분극저항은 증가하는 경향을 나타내고, 약산성인 pH 4.0의 해수로부터 강산성인 pH 2 및 pH 1의 해수로 pH가 낮아지면서 분극저항은 급격히 감소되는 경향을 나타내고 있다. 특히, 약산성인 pH 4.0의 해수 중에서 분극저항이 가장 높게 나타남으

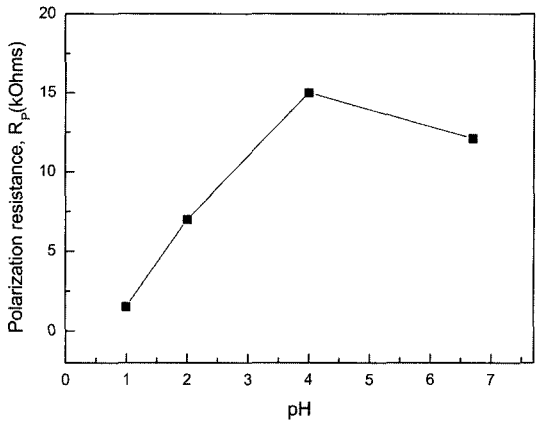


Fig. 3. Polarization resistance of Al-Mg alloy vs. various pH of 25 Ω · cm solution at 25°C.

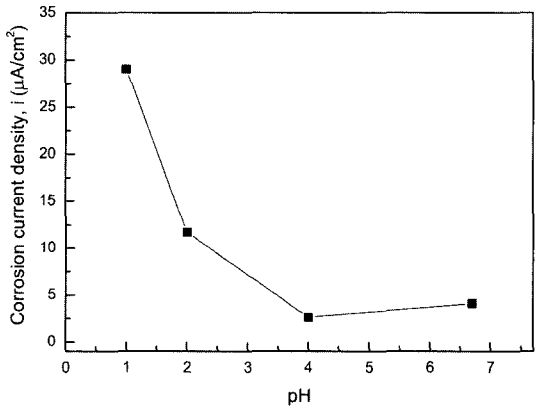


Fig. 4. Corrosion current density of Al-Mg alloy vs. various pH of 25 Ω · cm solution at 25°C.

로써 Al-Mg합금의 부식전류밀도는 억제될 것으로 추정된다.

Fig. 4는 오염화된 비저항 25 Ω · cm인 해수의 중성으로부터 산성으로 변화(해수의 pH 변화)함에 따른 프로펠러용 Al-Mg합금의 부식전류밀도 거동을 정리하여 나타낸 것이다.

이미 Fig. 3에서 추정한 바와 같이 약산성인 pH 4.0의 해수 중에서 분극저항이 가장 높게 나타남으로써 Al-Mg합금의 부식전류밀도가 실제로 가장 억제되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 약산성인 pH 4.0의 해수 중에서 Al-Mg합금의 분극저항이 높게 나타나면서 부식전류밀도가 가장 억제되는 이유는 약산성인 pH 4.0의 해수 중에서 부동태 산화피막(passive oxide film)이 형성되기 때문인 것으로 사료된다[10].

그리고 중성인 pH 6.7인 해수 중에서보다 약산성인

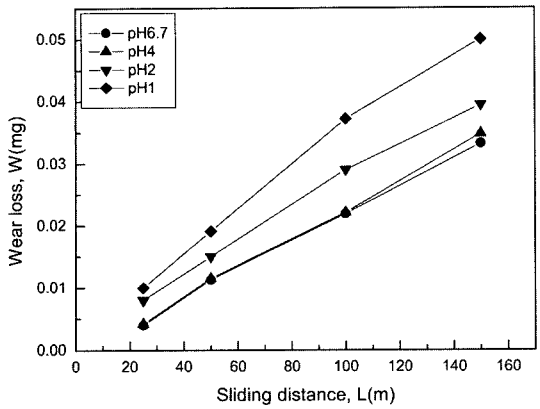


Fig. 5. Wear-corrosion loss vs. sliding distance in various pH solution.

pH 4.0의 해수 중에서 Al-Mg합금의 내식성이 더 우수하게 나타나지만, 강산성인 pH 1 및 pH 2의 해수 중에서는 분극저항은 낮게 나타나면서 부식전류밀도는 높게 배류됨으로써 Al-Mg합금의 부식성은 민감하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

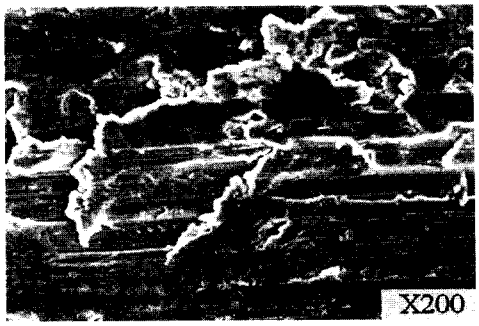
3-2. 미끄럼 거리에 따른 마멸-부식거동

Fig. 5는 미끄럼 속도가 0.3 m/s이고, 접촉압력이 10 kg_f/cm^2이며, 미끄럼 거리를 25 m, 50 m, 100 m, 150 m이다. 그리고 마멸-부식실험의 부식환경은 pH 6.7, pH 4, pH 2, pH 1이다. 마멸-부식량은 부식환경에 의해 pH 6.7 < pH 4 < pH 2 < pH 1 순으로 높게 나타나고 있다. 중성환경인 pH 6.7과 pH 4에서 미끄럼 거리의 증가에 따른 마멸-부식량의 증가는 둔화하지만, 산성환경인 pH 2와 pH 1에서 미끄럼 거리의 증가에 따른 마멸-부식량은 급격한 증가를 보이고 있다. 이와 같이 강산성화 될 수록 마멸-부식량이 증가하는 이유는 접촉부식에 약한 알루미늄이 pH의 상승에 의해 전면부식이 활성화되고, 여기에 기계적인 마찰의 상승작용 때문인 것으로 추정된다[11].

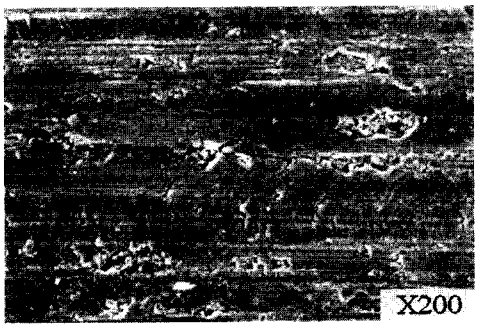
3-3. 마멸-부식후 표면 양상

Fig. 6은 접촉압력 10 kg_f/cm^2, 미끄럼 속도 0.3 m/s, 미끄럼 거리 150 m에서 여러 가지 pH 환경 중에서 마멸-부식실험한 표면이다. 여기서, Fig. 6의 (a)는 pH 6.7에서, Fig. 6의 (b)는 pH 4에서, Fig. 6의 (c)는 pH 2에서 그리고 Fig. 6의 (d)는 pH 1에서 마멸 -부식실험한 표면을 나타낸 것이다.

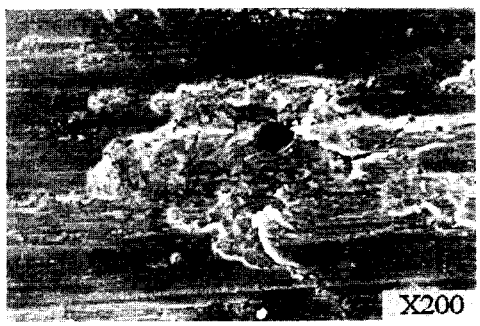
Fig. 6의 (a)는 표면요철로 인한 마멸-부식면이 응착



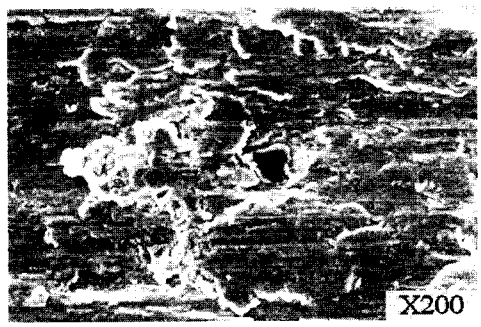
(a) pH 6.7



(b) pH 4



(c) pH 2



(d) pH 1

Fig. 6. SEM of wear-corrosion surface of Al-Mg alloy in various pH solution.

하며 전단되는 양상이 나타나고 있다. Fig. 6의 (b)는 매끄러운 경면이고 산화된 이물질을 경계로 표면균열이 발생되고 있다. Fig. 3 및 Fig. 4에서 pH 4의 분극저항은 pH 6.7의 분극저항보다 더 높게 나타나면서 부식전류밀도는 더 억제되고 있으나,

Fig. 5의 마멸-부식량은 pH 4 및 pH 6.7에서 유사하게 나타나다가 시간이 경과하면서 pH 4의 마멸-부식량이 pH 6.7에서보다 약간 증가하는 경향이다. 이와 같은 이유는 Fig. 6의 (b)에서 보인 바와 같이 미끄럼거리가 증가하면서 약산성인 pH 4의 환경 중에서 마멸-부식면의 미세균열이 성장되면서 마멸-부식량이 증가하는 것으로 판단된다.

Fig. 6의 (c) 및 (d)는 경면과 박리된 표면이 동시에 부분적으로 나타나며, 산화물이 미세한 입상으로 존재하고 있다. 또한 수소발생형 부식의 활성화로 표면은 매우 거칠고, 응착과 전단 그리고 박리현상이 심하게 일어나고 있다[12].

4. 결 론

본 연구는 연안 해수의 오염화에 따른 Al-Mg 합금재의 부식과 마멸-부식특성에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) pH 4의 분극저항은 pH 6.7의 분극저 항보다 더 높게 나타나면서 부식전류밀 도는 더 억제된다.

(2) pH 환경 중에서 마멸-부식량은 pH가 낮을 수록 민감하다.

(3) Al-Mg 합금의 산화물은 미세한 입상 및 박리현상이 일어나고, 이는 마멸-부식량을 촉진시킨다.

참고 문헌

1. 山田盛雄, "アルミニム技術便覽," 日本輕合金出判株式會社, pp. 1675-1701, 1995.
2. 박희옥, 임우조, 윤병도, "알루미늄합금 프로펠러의 전지작용부식 특성에 관한 연구," 산업기술교육훈련학회, Vol. 8, No. 2, p. 29, 2003.
3. 限元 士, '船用プロペラと軸系," 日本成山堂書店, pp. 36-38, 1991.
4. 전대희, "실용방식공학," 태화출판사, pp. 150-154, 1989.
5. 伊藤伍郎, "日本機械工學全書 6-腐蝕と防蝕," 日本コロナ社, pp. 299-304, 1982.
6. 前田泰昭, 竹中規訓, "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, 1995.
7. 임우조, 양학희, 인현만, 이진열, "부식과방식," 원창출판사, pp. 302-305, 1994.
8. 前揭書(6), pp. 619-629.
9. Denny A. Jones, "Principles and prevention of corrosion," *Macmillan publishing company*, pp. 398-401.
10. 이학열, "금속부식공학," 연경문화사, pp. 263-264, 1990.
11. 임우조, 박동기, 산성환경 중에서 구상흑연 주철재의 마멸-부식거동에 관한 연구, 윤활학회지, Vol. 18, No. 4, pp. 302-303, 2002.
12. 임우조, 박동기, "구상흑연 주철재의 마멸-부식특성에 미치는 pH의 연향," 윤활학회지, Vol. 19, No. 1, pp. 33-34, 2003.