

소형선박용 프로펠러의 부식 녹 제거장치 개발

김귀식* · 한세웅** · 현창해***
*제주대학교 *기계에너지시스템공학부
**제주대학교 대학원 기계공학과
***제주관광대학 메카트로닉스 계열

Development of Corrosion Rust Removing Unit for Small Ship Propeller

GUI-SHIK KIM*, SE-WOONG HAN** AND CHANG-HAE HYUN***

*Faculty of Mechanical and Energy System Eng., Cheju National University, Jeju, Korea
**Department of Mechanical Eng., Graduate School, Cheju National University, Jeju, Korea
***Mechatronics Majors, Cheju Tourism Collage, Jeju, Korea

Key Words: Propeller 프로펠러, Blasting 블라스팅, Corrosion Rust 부식 녹, Grinding 연마, Polarization Curve 분극곡선, Cavitation 공동현상

ABSTRACT: The materials used in a ship screw propeller are commonly made with brass. The seawater corrosion and seawater cavitation of the screw propeller reduces the propulsive performance of the ship. In screw manufacturing, the corrosion rust of the screw propeller is removed through a hand grinding method. The grinding process produces dust of the heavy metals from the brass. The dust creates a poor working environment that is harmful to the health of the workers. An automatic corrosionrust removing apparatus, using a blasting method, was developed for the improvement of screw polishing conditions and its working environment. The performance of this apparatus was investigated by surface roughness, weight loss rate, hardness, electrochemical corrosion resistance, and cavitation erosion, after removing of the corrosion rust under various blasting conditions. Two medias of alumina and emery were used in this experiment. The surface roughness and hardness of the screw were improved by this apparatus. The electrochemical corrosion potential (E_{corr}) and current density (I_{corr}) were measured by the dynamic polarization method, using a potentiostat, under the conditions of surface polishing with grinding, blasting, wire brushing, and fine sand papering. The test results prove that the new corrosion rust-removing apparatus improves the surface performance of a screw propeller.

1. 서 론

소형 선박용 스크류 프로펠러(이하 프로펠러)의 재질은 대부분 동합금계로 고강도 황동(Cu:60%, Zn:40%)을 사용한다. 이들 선박들의 프로펠러는 운항 중 해수로 인한 부식과 침식이 발생되어 선박 추진성능이 저하된다(Fukuda et al., 1975; Matsuyama et al., 2001).

프로펠러 표면에 생성된 부식 녹은 일반적으로 프로펠러 제작사에서 연 2회 제거 작업을 행한다. 이 작업은 핸드 그라인더를 이용한 연삭작업으로 부식 녹뿐만 아니라 모재까지 연삭되어 프로펠러의 두께가 감소하게 되며, 중금속인 황동 분말과 부식 녹의 분진이 발생되어 열악한 작업환경을 야기 시킨다.

일반적으로 구조물표면의 부식 등의 오염물의 제거하는 작업은 샌드블라스팅에 의해 행하여지고 있다. 이러한 블라스팅은 오염물의 제거뿐만 아니라 피닝효과에 의한 압축잔류응력의 형성으로 경도가 향상되고 내식성이 증가된다고 보고 되고 있다(김철 등, 2003; Batis et al., 1998; Androni kos et al., 1998; Javaherdashti, 2000).

본 연구에서는 소형선박용 프로펠러의 표면가공에 블라스팅 효과를 이용하여 장치를 개발하고 그 성능을 조사하였다. 부식 녹 제거의 성능을 파악하기 위하여 실제 부식된 프로펠러의 표면가공을 개발된 장치에 의해 실시한 후 경도변화 및 전기 화학적 분극실험 그리고 캐비테이션 침식 실험을 실시하여 핸드 그라인더에 의한 연삭작업과 비교 하였다. 개발된 장치는 청정한 작업환경을 유지하고 프로펠러 가공자동화에 활용될 것이다.

2. 부식 녹 제거장치 개발

2.1 블라스팅

블라스팅은 금강사 입자나 쇼트 등의 투사재를 공기압축기나 임펠라 등을 이용하여 적절한 속도로 피가공 물체에 투사하여 입자가 가지는 운동에너지로 제품 표면을 가공하는 방법이며, 전달되는 운동에너지는 식(1)과 같다.

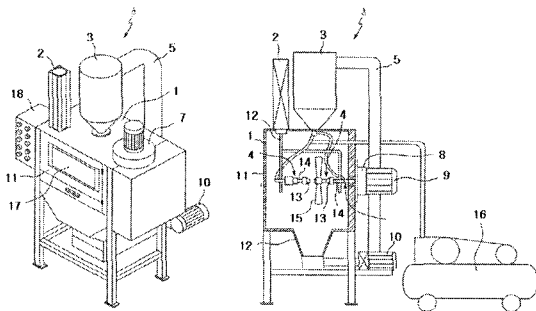
M 은 투사재 1개의 질량이며, V 는 투사재의 속도, θ 는 투사재가 재료의 표면에 충돌하는 입사각이다. N 은 단위시간당 단위면적에 충돌하는 투사재의 개수이다. 그렇지만 실제로 제품에 전달되는 에너지는 더 복잡하여 투사재 서로의 간섭(재료 표면에서의 입사 투사재와 반사 투사재) 및 재료와 투사재가

제1저자 김귀식 연락처: 제주도 제주시 아라동1
064-754-3622 kimgusi@cheju.ac.kr

충돌 시 발생하는 변형에 대한 에너지 손실도 고려하지 않으면 안 된다. 그것들을 고려한 전달효율을 K 라고 놓으면 단위 면적에 시간 T 동안 전달되는 에너지는 E_T 가 된다.

$$E_T = \left(\frac{1}{2}MV^2 \cdot \sin \theta\right) \cdot N \cdot T \cdot K \quad (1)$$

이 에너지는 제품 표면에 전달되어 일부는 내부마찰에 의한 열로 변환되고 나머지는 변형 에너지로서 압축잔류응력을 발생시킨다. 그러므로 블라스팅 가공 시에는 제품 표면에 주어지는 물리적 변화 중 압축잔류응력이 가장 중요한 요소로 작용한다 (정성균과 김태형, 2003).



1.Body 2.Air cylinder 3.Hopper 4.Blast nozzle 5.Air line 6.Screw propeller fixed 7.Air blower 8.Speed reduction device 9.Execution motor 10.Filter 11.Door 12.Wastes outlet 13.Nozzle 14.Injection pipe 15.Screw propeller 16.Air comp. 17.Window 18.Controller

Fig. 1 Design diagram of corrosion removing apparatus

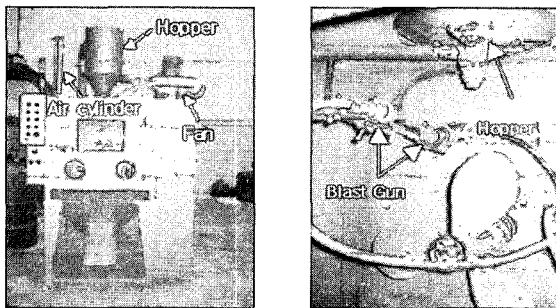


Fig. 2 Development of corrosion rust removing apparatus

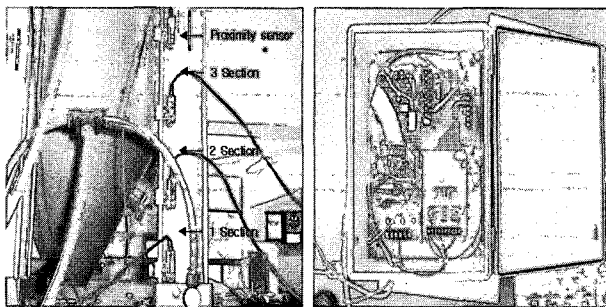


Fig. 3 Air cylinder attached proximity sensor and controller

3.2 부식 녹 제거장치 설계 및 제작

개발 장치의 설계도를 Fig. 1에 나타낸다. 이 장치는 프로펠러의 부식 녹 제거작업을 밀폐용기 안에서 할 수 있도록 하고, 프로펠러는 수직방향으로 지지하였다. 지지된 프로펠러는 저속으로 회전하고 프로펠러의 앞면과 뒷면에 각각 별도의 노즐을 설치하여 투사재를 투사함으로써 앞뒷면을 동시에 부식 녹을 제거할 수 있도록 하였다.

Fig. 2는 설계를 바탕으로 제작된 프로펠러 부식 녹 제거장치를 나타낸다. 장치크기는 폭이 1440mm, 길이가 990mm, 높이가 2,360mm이며 이동성을 고려하여 하부에 바퀴(Caster)를 설치하였다. 이장치는 창을 통하여 내부 작업 상황을 확인할 수 있게 하였고, 밀의 폐처리 물질 수거 받이를 설치하여 작업 후 폐물질 수거를 용이하게 하였다.

상부에 달린 송풍기는 부식 녹 제거장치의 내부와 외부와의 압력차를 발생시켜 블라스팅 후 장치 하부로 떨어지는 투사재를 이송관을 통해 다시 상부의 호퍼로 충전된다. 이때 외부로 배출되는 공기는 측면의 필터 망을 거쳐 중급속인 황동 분말과 부식생성물 등의 분진을 집진시킨 후 배출되어 진다.

실제 프로펠러를 가공함에 있어 표면적이 좁은 보스 부근은 부식 녹을 제거하는 블라스팅 투사 시간을 짧게 하고, 표면적이 넓은 날개 끝단 부분에서는 블라스팅 투사 시간을 길게 할 필요가 있으므로 프로펠러의 회전속도를 노즐의 블라스팅 위치에 따라 변화도록 하여 부식 녹을 좀더 정밀하게 제거할 수 있게 설계하였다. 프로펠러 구동모터는 기본 회전수(1,750rpm)에서 감속기(50:1, 35rpm)를 달아 장착된 프로펠러를 공압실린더 위치에 따라 속도를 달리하게 되는데, Fig. 3과 같이 공압실린더 이송 구간을 센서에 의해 3단계로 나누어 주파수 제어를 통해 프로펠러 구동모터 회전수를 제어하게 된다. 1구간은 60Hz(35rpm), 2구간은 40Hz(23.3rpm), 3구간은 20Hz(11.7rpm)의 속도로 제어된다.

3. 실험 방법

3.1 개발장치 부식 녹 제거

시험편은 실제 표면이 부식된 프로펠러를 부식 녹 제거장치에 장착한 후 자동으로 20분간 운전 하여 그 결과를 관찰 하였다. 이때 사용한 압축공기 압력은 6.0kg/cm^2 이며 투사재는 금강사(emery) 로 입도크기는 #80이다.

3.2 시험편

시험편은 실제 선박에서 사용되는 프로펠러를 실험 용도에 맞게 $35(L)\text{mm} \times 35(W)\text{mm} \times 6\text{mm}(T)$ 의 크기로 제작하였으며, 시험편의 성분은 Table 1에 나타낸다. 각 시험편은 Table 2의 조건으로 개발된 장치를 이용하여 시간과 투사재의 종류를 달리 하여 가공하였으며, 또 다른 시험편은 일반적으로 사용되는 핸드그라인더를 이용하여 표면 연삭하였다. 제작된 시험편은 초음파 세척하고 건조하여 표면 거칠기와 경도 및 동전위 분극

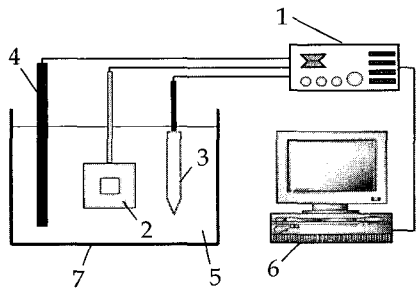
특성 그리고 캐비테이션 침식 실험에 이용하였다. 특히 분극측정용 시험편은 노출 면적을 1cm²하였으며, 그 외 부분은 예폭시 수지를 이용하여 피복 절연 하였다. 여기서 표면처리방법에 따라 요철로 인해 노출 면적이 조금씩 다르지만 정확한 측정방법이 곤란하여 무시하기로 하였다.

Table 1 Chemical composition of specimen

Composition	Cu	Zn	Sn	Ni	Fe	Mn	Al
wt.(%)	55.3	42.3	0.4	0.1	0.7	0.5	0.5

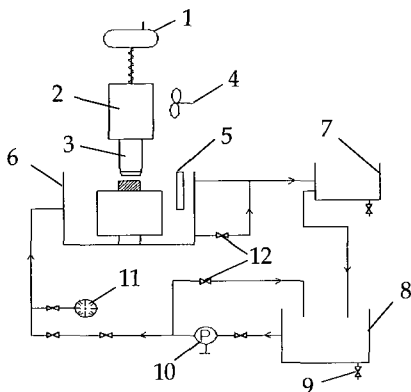
Table 2 Blasting conditions

Blasting type	Air pressure	Grit mesh	Nozzle type	Distance
Direct pressure	6.0kg/cm ²	Alumina : #48 Emery : #80	Boron 6 φ	5cm



1.Pontentiostat 2.Specimen 3.Reference electrode 4.Counter electrode 5.Synthetic seawater 6.Personal computer 7.Corrosion cell

Fig. 4 Schematic diagram of polarization test



1.Handling 2.Transducer 3. Horn skirt 4. Cooling fan 5.Temp.gauge 6.Water tank 7,8. Drain tank 9.Drain line 10. Recycle pump 11.Pressure gauge 12. Valve

Fig. 5 Schematic diagram of cavitation erosion apparatus

3.3 표면 거칠기 및 경도측정

블라스팅과 그라인딩 가공 표면은 금속현미경(x200)을 이용하여 단면을 관찰 하였으며, 표면 거칠기(Roughness)는 한국표준규격(KS B 0161-99)의 의해 아날로그형 고역필터 장비(Ra75)를 사용하여 측정하였다.

경도측정은 비커스 경도시험기(10kg)을 이용하여 1개의 시험편에 대하여 10개소의 경도를 측정한 후 평균값을 계산하였다. 한편, 블라스팅 전후의 무게감소량을 통하여 투사재에 따른 연삭력 비교를 위해 전자저울을 통해 확인하였다.

3.4 분극실험

본 실험은 정전위계(Wonatech WPG100)를 이용하였으며 분극실험장치의 전체계통도는 Fig. 4와 같다. 기준전극은 포화칼로멜전극(Saturated calomel electrode; SCE)을, 대극은 고밀도 흑연탄소봉을 사용하여 동전위 분극 측정방법(potential dynamic)으로 조사하였다. 실험용액은 유사해수로서 3.5%NaCl 용액을 사용하였으며, 전위주사속도(Scan rate)를 0.2mV/s로 낮게 일정히 주사하였다. 동전위 분극곡선 중 음극 분극곡선을 이용하여 타펠외삽법(Tafel extrapolation)에 의해 자연부식전위에서의 부식전류밀도를 구하였다(전대회 등, 1992; 박경동과 류형주, 2005; 김기주와 김용규, 1994).

3.5 Cavitation 침식실험

Fig. 5에 캐비테이션 침식 실험장치의 전체 계통도를 나타낸다. 시험편을 진동자의 혼(Horn)과의 대향(對向)하도록 고정하고, 시험편과 혼과의 간극(Distance)은 0.4mm로 일정하게 하여 혼이 NaCl용액에 잠기는 깊이는 3.5mm로 일정하게 유지시켰다.

실험용액의 온도는 25±2℃에서 180분 동안 실시하였는데 60분까지는 매 10분마다 무게를 측정하고, 60분부터 180분까지는 30분마다 무게 감소량을 측정하였다. 실험 후의 캐비테이션 침식량은 캐비테이션 실험 시간별 무게 감소량과 총 누적 감소량을 측정하여 시험편들의 캐비테이션에 의한 침식특성을 조사하였다. 캐비테이션 실험장치를 이용한 연구는 황재호 등(1997)이 실시한 바 있다.

4. 결과 및 고찰

4.1 개발장치 부식 녹 제거 성능

Fig. 6에서 나타나듯이 프로펠러 표면의 부식이 블라스팅 전과 후가 확연히 차이가 나며, 양호한 부식 녹 제거 성능을 확인할 수 있다.

4.2 표면 거칠기 및 경도

Fig. 7에 블라스팅과 그라인딩 가공 표면을 금속현미경을 이용하여 관찰한 단면을 나타내며 그라인딩 가공한 시험편에서 더욱 거친 표면을 보여주고 있다. 이 결과는 Table 3에서 거칠기(Roughness) 측정값에서도 입증되고 있다. 또한 블라스팅 가공에서 투사재의 입도 크기에 따라 금강사(#80)가 알루미나(#48)보다 낮은 결과로 나타나고 있는데 이것은 투사재 크기에

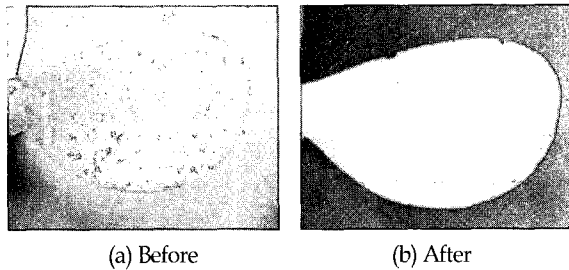


Fig. 6 Corrosion rust removing test

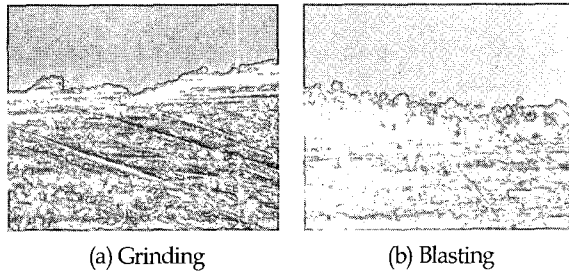


Fig. 7 Microstructure of specimen by polishing method

Table 3 Roughness of specimen by various surface polishing

Media	Emery			Alumina(Al ₂ O ₃)			Grinding
	Blasting time(Sec)	10	20	30	10	20	
Rmax[μ m]	35.0	38.5	35.5	44.2	45.7	46	48.3
Rz[μ m]	29.5	27.7	28	38	34.5	37.5	39.5

Table 4 Hardness of specimen by various surface polishing

Media	Emery			Alumina(Al ₂ O ₃)			Grinding
	Blasting time(Sec)	10	20	30	10	20	
Hardness(Hv)	325	277	314	414	380	295	223

Table 5 Weight loss of according to blasting time [g]

Media	Emery			Alumina(Al ₂ O ₃)		
	Blasting time(Sec)	10	20	30	10	20
Before blasting	29.9159	29.5901	29.6992	29.9077	29.9475	29.7059
After blasting	29.7749	29.3757	29.3622	29.8499	29.8013	29.4711
Weight loss	-0.1410	-0.2144	-0.3370	-0.0578	-0.1462	-0.2348

Table 6 The data of corrosion potentials, corrosion current density obtained by various surface polishing

Media	Emery			Alumina(Al ₂ O ₃)			Grinding
	Blasting time(Sec)	10	20	30	10	20	
E _{corr} (mV/SCE)	-327	-430	-362	-389	-410	-389	-282
I _{corr} × 10 ⁻⁵ (A/cm ²)	4.58	1.14	1.10	0.76	0.71	1.64	3.02

따라 표면 거칠기가 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

Table 4에 각 시험편의 경도를 나타내었으며, 블라스팅 가공한 시험편에서 경도가 높게 나타났다. 이 결과는 블라스팅 가공으로 생성되는 압축잔류응력에 의해 경도가 향상되어 나타난 결과로 사료된다.

투사재에 따른 연삭력과 모재의 손실을 확인하기 위해 블라스팅 가공 전후 및 가공시간에 따른 시험편의 무게 감량을 Table 5에 나타내었다. 투사재의 입도크기가 큰 알루미나(Al₂O₃)가 연삭력이 클 것으로 생각했으나 금강사(emery)가 큰 결과를 얻은 것으로 보아 입도크기에 따른 분사량과 투사재의 경도에 따른 차이로 사료되며 투사재에 따른 정도 값을 조사하여 규명하여야 할 것으로 사료된다.

4.3 분극특성

투사재의 종류와 블라스팅 시간을 달리한 시험편의 분극곡선을 Fig. 8과 Fig. 9에, 블라스팅과 그라인딩 가공에 따른 분극특성 비교는 Fig. 10에 나타낸다. 또한 각 시험편의 부식전위(E_{corr}) 및 부식전류밀도(I_{corr})는 타펠외삽법(Tafel extrapolation)을 이용하여 구한 값들을 Table 6에 나타내었다.

투사재에 상관없이 20초간 블라스팅 가공한 각 시험편의 부식전위와 부식전류밀도가 상대적으로 10초나 30초 가공한 시험편에 비해 낮게 나타났다. 이것은 블라스팅 가공 효과인 압축잔류 응력에 의한 정도 향상과 표면 거칠기와 밀접한 관계로 나타나는 것으로 생각되며 블라스팅 가공시 일정시간 이상의 가공은 그만큼 가공효과가 반감 될 수 있다는 걸 알 수 있다. 블라스팅과 그라인딩 표면가공에 따른 분극특성을 살펴보면 그라인딩에 의한 표면 연삭 가공법이 블라스팅에 비해 부식전위와 부식전류밀도가 확연히 높게 나타났다. 이 결과로 보아 개발된 부식 녹 제거 장치를 이용한 프로펠러 가공이 일반적으로 사용되는 그라인딩 가공법에 비해 양호한 내식성 효과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

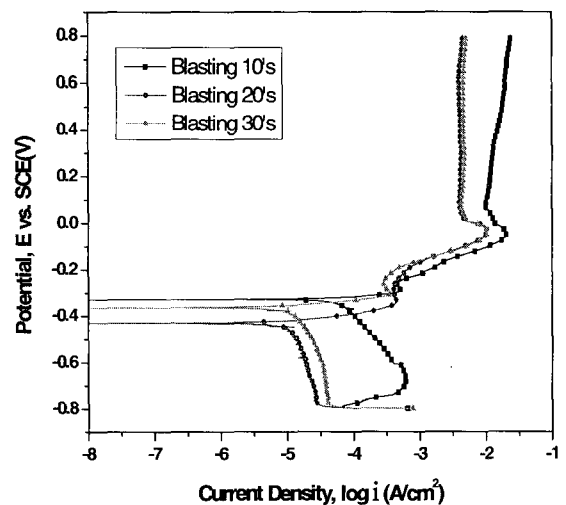
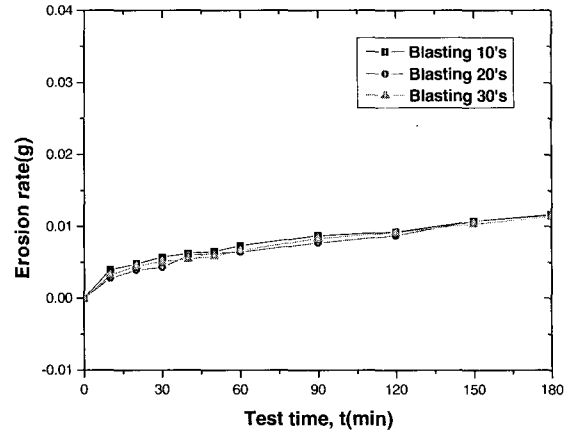
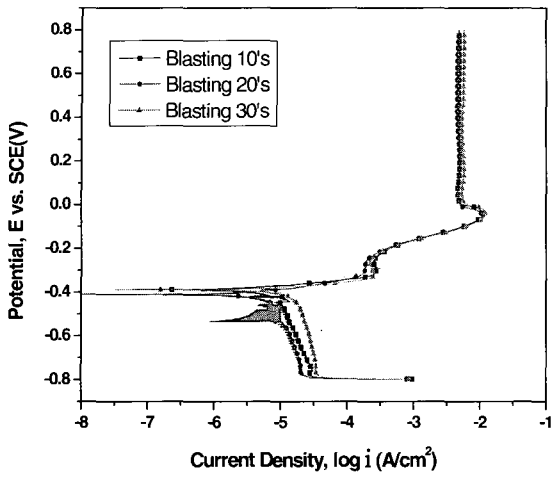
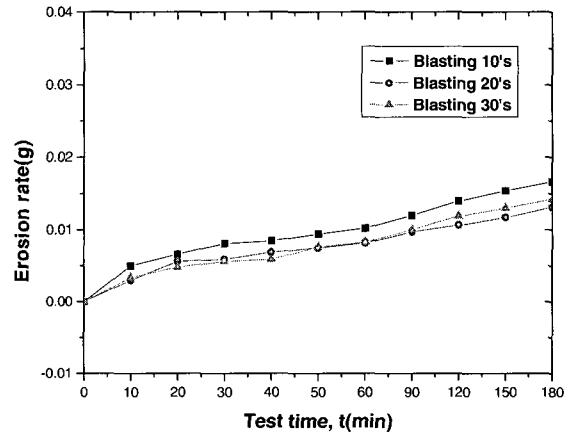
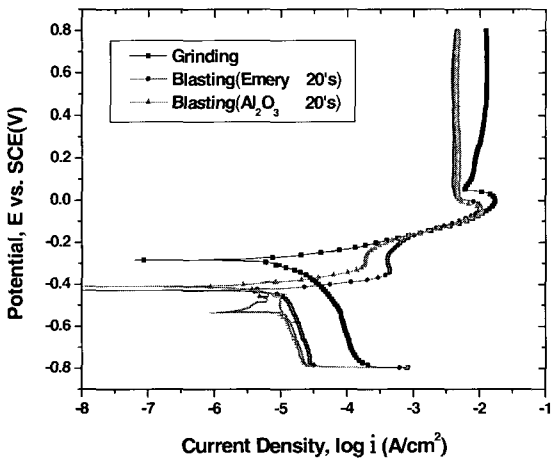


Fig. 8 Polarization curve to blasting time (emery)



(a) Emery

Fig. 9 Polarization curve to blasting time (Al_2O_3)



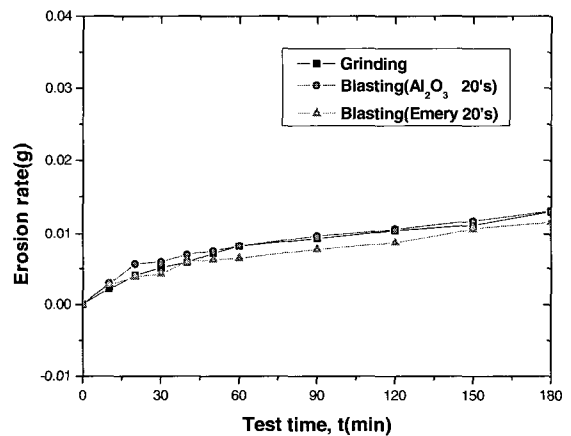
(b) Al_2O_3

Fig. 10 Polarization curves according to polishing condition

4.4 캐비테이션 침식

Fig. 11은 캐비테이션 침식실험 후 그 결과를 구간별 누적 무게 감소량을 나타낸 그래프이다. 각 시험편의 구간별 캐비테이션 침식의 특징을 살펴보면 대체적으로 초기 30분 정도에서 무게감소가 크게 나타나고 있으며, 30분 이후는 일정한 감소량을 보이고 있다. 이 결과로 보아 실험 시작 후 30분까지의 무게 감량이 최종결과 값에 크게 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또, 블라스팅과 그라인딩 가공한 시험편에서 감소량은 금강사 0.0115g으로 가장 작게 나타났으며, 다음으로 그라인딩처리 시험편이 0.0130g, 알루미나 0.0131g의 순으로 나타났다.

이 결과는 모든 시험편의 캐비테이션 침식 후 무게감량 결과는 거의 차이가 없는 것으로 나타났지만, 프로펠러가 사용 중 발생할 수 있는 좀더 많은 환경인자를 고려한 실험을 통해 결과 값을 좀더 명확히 도출하여야 할 것으로 판단된다.



(c) Grinding and blasting

Fig. 11 Weight loss after cavitation erosion test

5. 결 론

본 연구에서 블라스팅 방법을 적용하여 소형선박용 프로펠러 부식 녹 제거장치를 제작하여 성능을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 실제 부식된 프로펠러를 개발된 부식 녹 제거장치 이용하여 성능시험을 행한 결과 양호한 부식 녹 제거 효과를 얻었다.
2. 개발장치에 의해 블라스팅 가공 방법이 그라인딩 가공 방법보다 양호한 정도 향상 효과를 얻었다. 또한, 표면 거칠기에서는 블라스팅 가공 방법이 그라인딩 표면가공 방법보다 향상된 표면가공 효과를 나타냈다.
3. 전기화학 분극 실험에서는 부식전위(E_{cor}) 및 부식전류밀도(I_{cor})는 투사재에 상관없이 20초간 블라스팅 가공한 시험편에서 낮게 나타났다. 또한 표면가공 방법에 따른 부식전위 및 부식전류밀도는 개발된 장치의 블라스팅 방법이 그라인딩 방법보다 저하하였다. 따라서 개발장치를 이용한 표면가공방법이 내식성 효과가 있다.
4. 표면가공에 따른 캐비테이션침식 무게감량과의 관계는 블라스팅과 그라인딩 가공법과의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이에 대해 추후에 환경적요인 등을 고려하여 좀더 명확한 데이터 도출이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 김기주, 김용규(1994). "유사해수에서 동합금강의 부식특성에 관한 연구", 한국부식학회지, 제23권, 제3호, pp 194-202.
- 김철, 양원호, 성기득, 고명훈(2003). "쇼트피닝 잔류응력 예측을 위한 유한 요소해석", 제9권, 제1호, pp 198-204.
- 박경동, 류형주(2005). "표면가공법에 따른 현가장치재의 부식

- 특성에 관한 연구", 한국자동차공학회, 제13권, 제3호, pp 17-23.
- 전대회, 문경만, 백태실, 강종호(1992). "해수중에 침지된 콘크리트의 철근의 분극특성", 한국부식학회지, 제21권, 제1호, pp 3-11.
- 정성균, 김태형(2003). "Al7075-T6의 최적 쇼트피닝 조건에 관한 연구", 한국항공우주학회지, 제31권, 제7호, pp 63-68.
- 황재호, 임우조, 정기철(1997). "연강의 캐비테이션 침식-부식 특성에 관한 연구(3)", 한국어업기술학회지, 제33권, 제3호, pp 202-208.
- Andronikos, G. Valiadis, P. and Vassiliou, P. (1998). "The Effect of Blasting Materials on the Corrosion of Protected Steel in Sea Water", *Anti-corrosion Methods and Materials*, Vol 45, No 3, pp 153-156.
- Batis, G. Kouloumbi, N. and Soulis, E. (1998). "Sandblasting: The Only Way to Eliminate Rust?", *Anti-corrosion Methods and Materials*, Vol 45, No 4, pp 222-226.
- Fukuda, K. Ishizawa, M. Kimura, A. Umino, T. Nakano, I. and Kurose, Y. (1975). "Protection Method for Corrosion on Manganese Bronze Propellers", *The Journal of M.E.S.J.*, Vol 10, No 10, pp 836-843.
- Javaherdashti, R. (2000). "How Corrosion Affect Industry and Life", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, Vol 47, No 1, pp 30-33.
- Matsuyama, A. Nishiya, T. Araki, T. and Imada, T. (2001). "Studies on Propulsive Performance by Marine Fouling of Ship-hull and Propeller", *Journal of Faculty of Fisheries, Nagasaki University*, No 82, pp 111-118.

2005년 4월 1일 원고 접수

2005년 10월 17일 최종 수정본 채택