

소형 스크류 프로펠라의 부식제거장치 개발

김귀식* · 한세웅** · 현창해***

*제주대학교 기계·에너지·생산공학부

**제주대학교 기계공학과 대학원

***제주관광대학 메카트로닉스 계열

Development of Corrosion Removing Unit for Small Screw Propeller

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

*Faculty of Mechanical, Energy & Production Eng, Cheju Nat'l Univ

**Department of Mechanical Eng, Graduate School, Cheju Nat'l Univ

***Cheju Tourism Collage. Mechatronics Majors

Key Words: Screw propeller, Blasting, Corrosion rust(부식 녹), Grinding(연마), Anode polarization curve(분극곡선), Cavitation(공동현상)

ABSTRACT: The materials of ship screw propeller are commonly the manganese bronze. The seawater corrosion and cavitation of the screw propeller reduce the propulsive performance of ship. In screw manufactory, the corrosion rust of the screw propeller is removed by a hand grinding. The grinding work makes the dust of the heavy metals from the manganese bronze. The dust makes indoor working environment poor. A friendly-environmental and automatic corrosion removing apparatus was developed for the improvement of screw processing and working environment. The corrosion rust of a screw propeller was remarkably removed by using apparatus. And the screw surface roughness was improved by a blasting effect of the apparatus performance test. Anode polarization curves on four processing conditions, that is to say, grinding, blasting, wire-brushing, fine sand papering, were confirmed by a potentiostat. Especially, two kinds of medias, alumina and emery, were used in the blasting processing. Then, investigated the cavitation erosion of specimen. This result proved that the blasting work has considerably improved the corrosion resistance of a screw propeller.

1. 서 론

선박용 스크류 프로펠라의 재질은 대부분 동합금계로 고강도 황동(망간청동)을 사용한다. 이들 어선들의 스크류는 어업 사용중 표면의 부식과 공동현상으로 인한 침식에 의해 선박 추진성능이 저하되어 스크류 제작사에서 연2회 스크류 표면의 가공을 행한다 (Fukuda et al, 1975; 松川 冕 등, 2001). 이 가공은 핸드 그라인더를 이용하여 수작업으로 표면 부식 녹을 제거하는 연삭작업이며, 이때 중금속인 황동 분말과 부식생성물이 분진이 되어 작업장의 공기 중에 유포되므로 열악한 작업환경이 된다.

핸드 그라인더에 의한 수작업은 스크류의 부식부만이 연삭되는 것이 아니라 기재부까지 연삭되므로 두께의 감소로 인한 스크류의 수명의 단축도 우려되며, 정밀 연삭을 한다 하더라도 표면 거칠기가 크게 됨을 피할 수 없다. 스크류의 거친 표면은 스크류의 부식과 공동현상의 가속에 직접적으로 연관되므로 스크류의 수명을 단축시킬 수 있다.

일반적으로 구조물의 페인트와 부식을 제거하는 가공방법으로 블라스팅법을 이용하고 있다. 블라스팅은 고경도의 투사재(Media)를 고압공기로 구조물 표면에 입체적으로 분사시켜 표면처리를 하며, 피닝효과로 경도와 강도 및 내부식성을 향상시키는 방법이다 (Batis and Kouloumbi, 1998; Andronikos et al 1998; Javaherdashti, 2000).

본 연구에서는 어선 스크류의 부식녹제거와 표면가공을 자동화로 행할 수 있고, 가공시 폐처리 물질의 수집과 처리가 용이하여 작업장의 환경을 개선할 수 있는 기계장치를 개발하고, 개발된 장치에 의한 스크류의 표면가공효과와 내식성 향상을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험편

선박용 스크류의 재료로 사용하는 동합금계의 고강도 황동(망간청동)에 대하여 화학성분을 Table 1에, 현미경 조직 및 응력-변형률 선도를 Fig. 1에 나타낸다. 기지가 α 상을 나타내고 흰색으로 나타나는 것이 β 상이다. 인장강도는 487.2N/mm^2 , 항복강도는 265.5N/mm^2 , 연신율은 22.47%이다.

김귀식: 제주 아라동1 제주대학교 기계·에너지·생산공학부
064-754-3622 kimgusi@cheju.ac.kr

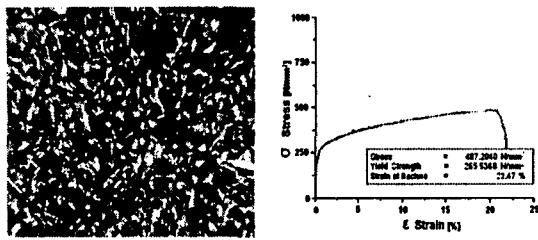


Fig. 1 Microstructure and stress-strain diagram

Table 1 Chemical compositions

Compositions	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

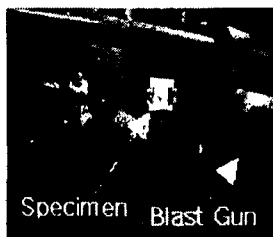


Fig. 2 The specimen for blasting

시험편은 두께 6mm의 고강도 황동 판재를 크기 35(L)mm × 35(W)mm로 하였다. 시험편은 개발된 장치에 의해 표면 거칠기와 경도 및 분극특성을 조사하기 위하여 표면가공 조건을 달리한 시험편과 투사재의 종류를 달리한 시험편들로 구분하여 제작하였다.

표면가공 조건에 있어서는 그라인딩 가공, 와이어 브러쉬 가공, 블라스팅 가공, 정세연마(#1200 연마지) 가공 처리한 시험편들을 제작하였고, 투사재의 종류에 대하여는 알루미늄(Al₂O₃)와 금강사의 두 종류를 사용하여 블라스팅 처리 시간을 변화한 시험편들을 제작하였다. 블라스팅은 Fig. 2에 나타난 바와같이 개발된 부식제거장치에 시험편을 장착한 후 Table 2의 조건으로 행하였다.

2.2 표면거칠기 및 경도측정

블라스팅 전과 후의 표면거칠기는 금속현미경을 이용하여 조사하였다. 경도측정에 사용된 시험기는 비커스 경도시험기(10kg)을 이용하였다. 스크류의 각 부분별로 7개의 시험편을 준비하고, 1개의 시험편에 대하여 10개소의 경도를 측정하여 평균치를 계산하였다. 한편, 블라스팅 전후의 무게감소량은 시험편을 초음파 세척기로 세척한 후 전자저울을 이용하여 중량을 측정하였다.



Fig. 3 Potentiostat and test cell

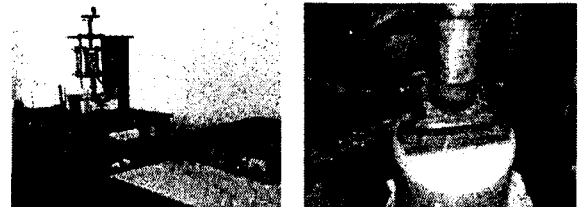


Fig. 4 Experimental apparatus of Cavitation erosion

2.3 분극실험

내식성을 조사하기 위한 분극실험은 Fig. 3에 나타난 전위차계(Wonatech Co. WPG100)를 이용하여 동전위 분극측정방법으로 조사하였다. 기준전극은 포화칼로멜전극(Saturated calomel electrode; SCE)을, 대극은 흑연탄소봉을 사용하였다. 분극전위의 구간은 -0.8~+0.8V이며, Scan rate는 0.2mV/s 였다. 실험 용액은 3.5%NaCl 용액을 사용하였다. 분극실험용 시험편은 노출면적을 1cm²으로 하였고, 그이외의 표면은 에폭시 수지로 피복하였다(김기주와 김용규, 1994).

2.4 Cavitation 침식실험

Fig. 4에 캐비테이션 침식 실험장치를 나타낸다. 시험편을 진동자의 혼(Horn)과의 대향(對向)하도록 고정하고, 시험편과 혼과의 간극(Distance)은 0.4mm로 일정하게 하고, 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(황재호 등, 1997).

3. 부식제거장치 개발

3.1 블라스팅

본 연구에서 개발하고자 하는 스크류 부식제거장치는 블라스팅 방법의 일종이다. 블라스팅은 금강사 입자나 쇼트 등의 투사재를 공기압축기나 임펠라 등을 이용하여 적절한 속도로 피가공 물체에 투사하여 입자가 가지는 운동에너지로 제품 표면을 가공하는 방법이다. 투사재의 크기는 0.3mm~1.0mm정도로 이를 압축공기에 의해 고속으로 투사하여 가공체 표면 및 표면하 수백 μm 부분의 조직, 경도 및 잔류응력을 변화시킴으로서 표면근처의 성질을 개선시키는 Peening 효과이다.

식(1)에서 M 은 투사재 1개의 질량이며, V 는 투사재의 속

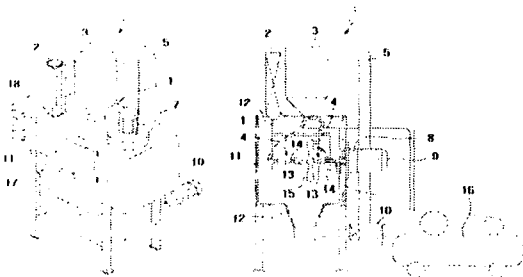
도, θ 는 투사재가 재료의 표면에 충돌하는 입사각이다. N 은 단위시간당 단위면적에 충돌하는 투사재의 개수이다. 그렇지만 실제로 제품에 전달되는 에너지는 더 복잡하여 투사재 서로의 간섭(재료표면에서의 입사 투사재와 반사 투사재) 및 재료와 투사재가 충돌 시 발생하는 변형에 대한 에너지 손실도 고려하지 않으면 안 된다. 그것들을 고려한 전달효율을 K 라고 놓으면 단위면적에 시간 T 동안 전달되는 에너지는 E_T 가 된다.

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

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).

3.2 부식제거장치 설계 및 제작

개발 장치의 설계도를 Fig. 5에 나타낸다. 이장치는 스크류의 부식 녹 제거작업을 밀폐용기 안에서 할 수 있도록 하고, 스크류는 수직방향으로 지지하여 앞뒷면을 동시에 부식을 제거할 수 있게 하였다. 지지된 스크류는 저속으로 회전하고 스크류의 앞면과 뒷면에 각각 별도의 노즐을 설치하여 투사재를 투사함으로써 부식 녹을 제거할 수 있도록 하였다. 이 노즐들은 공압 액츄에이터(Air Cylinder)에 의해 상하로 자동 이동할 수 있도록 구상하였다.



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.Nozzel 14.Injection pipe 15.Screw propeller 16.Air comp. 17.Window 18.Controller

Fig. 5 Design diagram of corrosion removing apparatus

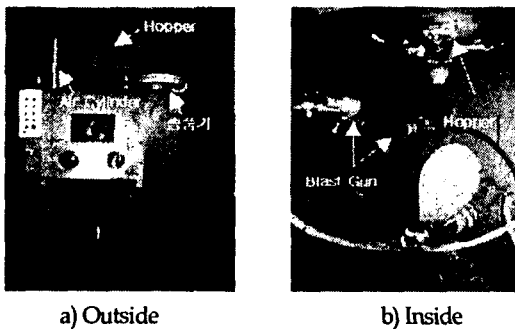


Fig. 6 Corrosion removing apparatus

Fig. 6은 설계를 바탕으로 제작된 스크류 부식 제거장치를 나타낸다. 장치크기는 폭이 1440mm, 길이가 990mm, 높이가 2360mm이며 이동성을 고려하여 하부에 바퀴(Caster)를 설치하였다. 이장치는 창을 통하여 내부 작업상황을 확인할 수 있게 하였고, 밀의 폐처리 물질 수거 반이를 설치하여 작업 후 폐물질 수거를 용이하게 하였다.

스크류는 장치 내부 중앙의 모터 회전축에 고정되고, 후면의 설치된 모터(1750rpm)는 감속기(감속비 50:1)를 달아 바스켓(스크류)을 일정한 저속(35rpm)으로 회전하게 하였다.

블라스트 노즐은 흡입식 공기블라스트로 고압의 압축공기가 블라스트 노즐을 통과하여 분출될 때 공기압에 의해 호퍼로부터 투사재를 흡입하여 압축공기와 함께 분사시킨다. 블라스트 노즐은 Air Cylinder의 의해 상·하로 이동되며 평균 왕복시간은 15sec이다. 투사재의 분사거리는 20~40cm 이며, 투사재의 리사이클링으로 연속작업이 가능하다. 두개의 블라스트 노즐은 스크류 앞·뒤로 설치하여 장착된 스크류가 회전할 때 상·하로 이동하면서 스크류의 부식을 균일하게 제거 하게 된다.

상부에 달린 송풍기는 부식제거장치 내부와 외부와의 압력차를 발생시켜 블라스팅 후 장치 하부로 떨어지는 투사재를 이송관을 통해 다시 상부의 호퍼로 충전시킨다. 이때 외부로 배출되는 공기는 측면의 필터 망을 거쳐 중금속인 황동 분말과 부식생성물 등의 분진을 집진 시킨 후 보내지게 된다.

한편, 이장치의 작동은 Control Box의 자동 혹은 수동 모드와 타이머에 의해 원하는 작업을 상황에 따라 운전할 수 있으며, 장치 상부에 작업 상태 램프를 통해 현재의 장치 동작 상태를 쉽게 파악할 수 있게 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 스크류 부식 제거 효과

Fig. 7과 같이 표면이 부식된 스크류를 부식제거장치에 장착한 후 자동운전으로 20분간 스크류 부식제거시험을 실시했다. 이때 투사재는 금강사로 입도크기는 #80이다. Fig. 8를 보면 스크류 표면의 부식이 블라스팅 전과 후가 확연히 차이가 나며, 부식이 완전히 제거된 것을 알 수 있다

4.2 표면 거칠기 및 경도

블라스팅에 의한 표면 거칠기는 Fig. 9에서 보이는 바와 같이 금속 현미경($\times 100$)으로 확인한 결과 블라스팅을 실시하기 전에 비하여 표면거칠기가 현저하게 개선되었다. 또, 비커스경도계(10kg)을 이용하여 6개의 시험편의 블라스팅 전과 후의 경도와 표면을 그라인딩 처리한 시험편의 경도를 비교하면 Table 3에 나타난 것처럼 블라스팅처리한 시험편이 그라인딩보다 높게 나타났다. 블라스팅 전후의 무게 감소량은 Table 4에 나타내며 감소량이 적은 것으로 보아 기재의 손실은 많지 않음을 알 수 있다.

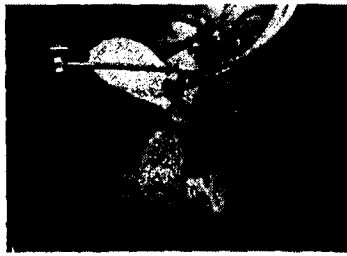
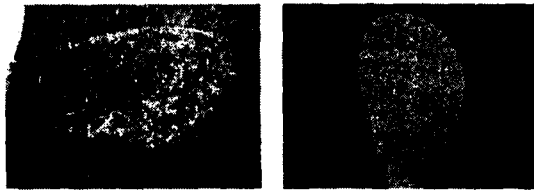
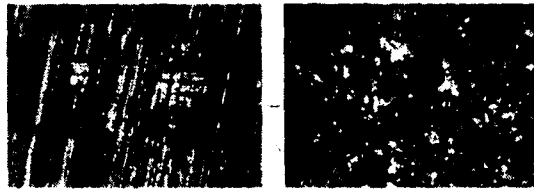


Fig. 7 Corrosion removing test



(a) Before (b) After
Fig. 8 The result of corrosion removing test



(a) Before (b) After

Fig. 9 Roughness

Table 3 Hardness [Hv]

Media	Emery			Allumina(Al_2O_3)			Grinding
Specimen	1	2	3	4	5	6	7
Hardness	325	277	314	414	380	295	223

Table 4 Weight loss [g]

specimen	1	2	3	4	5	6
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 5 The E_{corr} according to surface processing.

surface Processing	Wire brushing	Grinding	Fine sandpapering	Blasting
$E_{corr}(mV)$	-251	-248	-430	-347

Table 6 The E_{corr} according to blasting time.

Media	Emery			Allumina(Al_2O_3)		
Blasting time(Sec)	10	20	30	10	20	30
$E_{corr}(mV)$	-327	-430	-362	-389	-410	-389

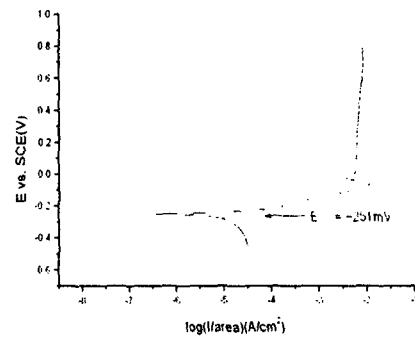
4.3 부식전위

4.3.1 가공조건에 따른 부식전위

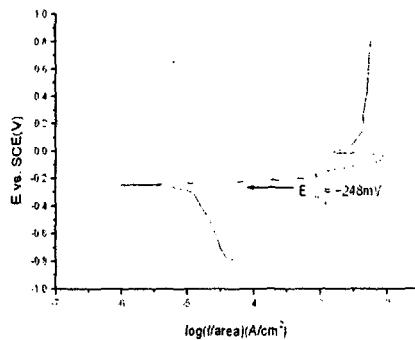
가공조건에 따른 부식전위 측정 결과를 Table 5와 Fig. 10(a~d)에 각 시험편들의 분극특성을 나타낸다. 와이어브러쉬 처리한 황동의 부식전위는 -251mV, 연삭처리한 황동은 -248mV, 블라스팅 처리한 황동은 -347mV, 정세 연마한 황동은 -430mV이었다. 따라서 와이어브러쉬나 연삭 처리에 의한 황동이 가장 부식이 크며, 블라스팅 처리한 황동, 정세 연마한 황동 순으로 부식전위가 저하한다. 그러므로 블라스팅 처리를 행한 소재는 와이어브러쉬 처리 혹은 연삭한 소재보다 내식성이 크게 향상됨을 알 수 있다. 이는 가공 후의 재료표면이 거칠수록 내식성이 저하되는 것으로 판단된다.

4.3.2 블라스팅 조건에 의한 부식전위

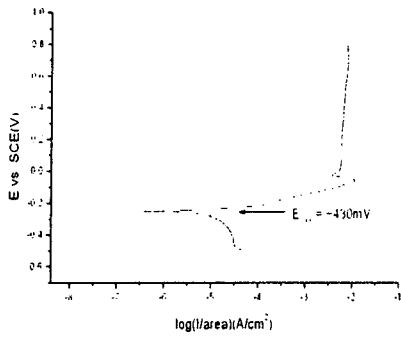
블라스팅 조건에 따라 분극곡선을 조사한 결과를 Table 6과 Fig. 11(a)~(c), Fig. 12(a)~(c)에 나타낸다. 투사재를 금강사를 사용하여 10초간 가공한 시험편의 부식전위는 -327mV, 20초일 때 -430mV, 30초일 때 -362mV로 각각 나타났다. 한편, 투사재를 알루미늄으로 사용했을 때 10초간 가공한 시험편은 -389mV, 20초일 때 -410mV, 30초일 때 -389mV로 나타났다. 따라서 투사재가 금강사와 알루미늄 모두 20초간 블라스팅 가공이 내식성이 가장 양호하였다. 이는 표면거칠기의 대소에 따른 결과로 간주된다.



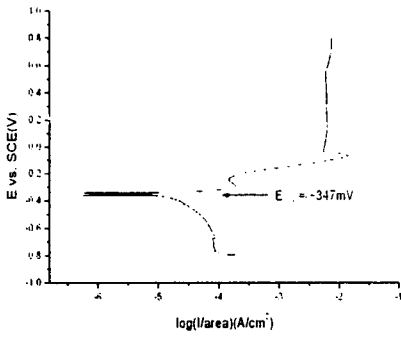
(a) Wire-brushing



(b) Grinding

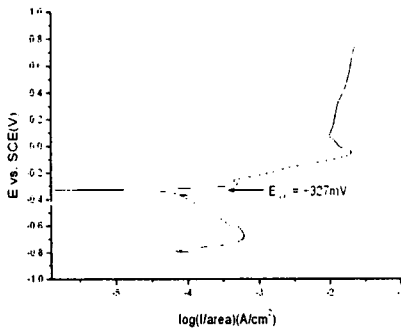


(c) Fine sandpapering

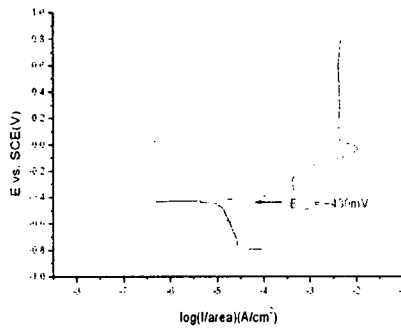


(d) Blasting

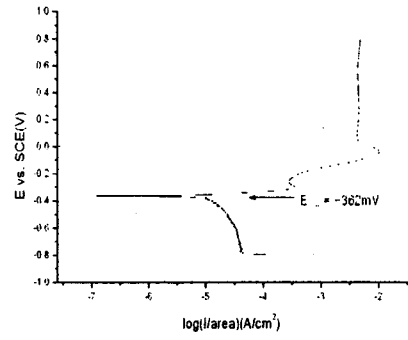
Fig. 10 The anode polarization curve according to processing condition of specimen surface.



(a) 10 second

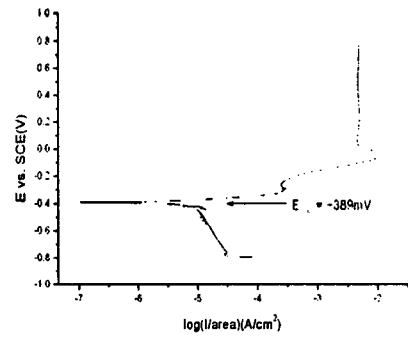


(b) 20 second

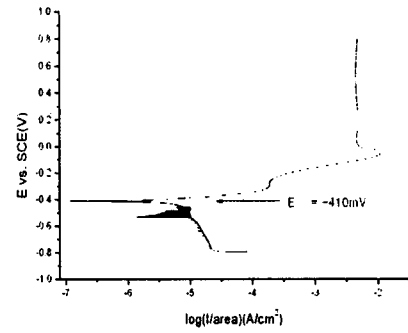


(c) 30 second

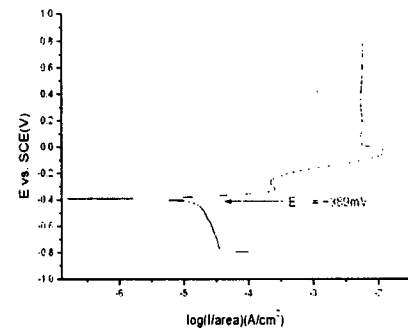
Fig. 11 The anode polarization curve to blasting time (emery)



(a) 10 second



(b) 20 second



(c) 30 second

Fig. 12 The anode polarization curve to blasting time (Al₂O₃)

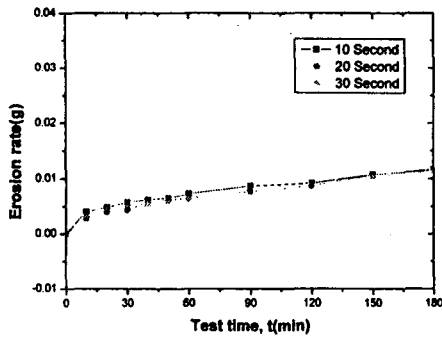
이 결과로 보아 표면가공에 따른 캐비테이션침식 무게감량과의 관계는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

5. 결 론

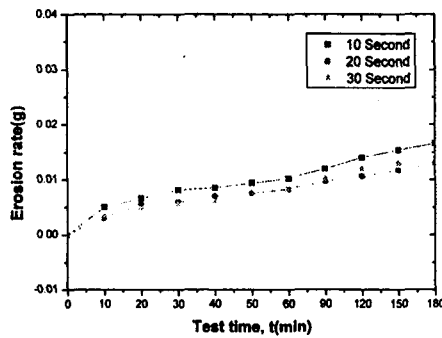
본 연구에서 블라스팅의 원리를 적용하여 스크류 부식제거 장치를 설계 및 제작하여 스크류 부식제거 성능을 검토한 결과, 노즐 이송장치의 자동화에 의해 스크류 표면의 부식이 완전히 제거되어 양호한 부식제거 효과를 얻을 수 있었으며, 개발 장치에 의한 스크류의 표면가공은 와이어 브러쉬나 그라인더에 의한 수작업으로 가공한 경우보다 표면 거칠기와 경도가 개선되어 내부식성이 크게 개선되었다. 또, 블라스팅 가공 중 투사재의 종류에 관계없이 스크류 표면을 20초 가공한 상태가 내식성이 가장 양호하였으며, 표면가공에 따른 캐비테이션침식 무게감량과의 관계는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

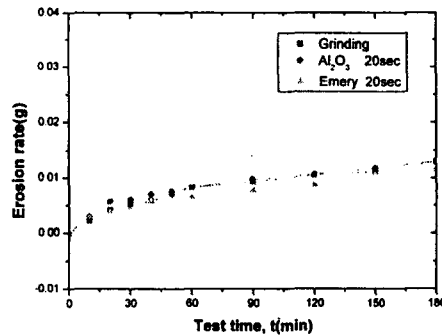
- 김기주, 김용규(1994). "유사해수에서 동합금강의 부식특성에 관한 연구", 한국부식학회지, 제23권, 제3호, pp 194-202.
- 정성균, 김태형(2003). "Al7075-T6의 최적 쇼트피닝 조건에 관한 연구", 한국항공우주학회지, 제31권, 제7호, pp 63-68.
- 황재호, 임우조, 정기철(1997). "연강의 캐비테이션 침식-부식 특성에 관한 연구(3)", 한국어업기술학회지, 제33권, 제3호, pp 202-208.
- K, Fukuda. M, Ishizawa. A, Kimura. T, Umino. I, Nakano. Y, Kurose. (1975). "Protection Method for Corrosion on Manganese Bronze Propellers", The Journal of M.E.S.J, Vol 10, No 10, pp 836-843.
- 松山 晃, 西矢 豊就, 榎木 猛, 今田 忠志, (2001). "船体および推進器の汚損が推進性能に与える影響", 長崎大學水産學部研究報告, 82, pp 111-118.
- G, Batis. N, Kouloumbi. E, Soulis. (1998). "Sandblasting: the only way to eliminate rust?", Anti-corrosion Methods and Materials, Vol 45, No 4, pp 222-226.
- G, Andronikos. P, Valiadis. P, Vassiliou. (1998). "The effect of blasing materials on the corrosion of protected steel in sea water", Anti-corrosion Methods and Materials, Vol 45, No 3, pp 153-156.
- R, Javaherdashti. (2000). "How corrosion affect industry and life", Anti-Corrosion Methods and Materials, Vol 47, No 1, pp 30-33.



(a) Emery



(b) Al₂O₃



(c) Compared Grinding with Al₂O₃ with Emery

Fig. 13 Erosion loss of cavitation

4.4 캐비테이션 침식

Fig. 13는 시험편들의 캐비테이션 침식실험 후 그 결과를 구간별 누적 무게 감소량을 나타낸 그래프이다. 각 시험편의 구간별 캐비테이션침식의 특징을 살펴보면 대체적으로 초기 30분 정도에서 무게감소가 크게 나타나고 있으며, 30분 이후는 일정한 감소량을 보이고 있다. 또, 표면을 그라인딩처리와 알루미나, 금강사 투사재를 이용한 블라스팅처리한 시험편을 캐비테이션 침식 실험 후 비교해본 결과 모두 비슷한 캐비테이션침식 특성을 보이며, 실험 후 최종 무게감소량은 그라인딩처리 시험편이 0.0130g, 블라스팅 투사재 중 알루미나가 0.0131g, 금강사 0.0115g으로 비슷한 무게감량을 나타내고 있다.