


碩士學位論文

블라스팅 공법을 이용한 소형 스크류
부식제거장치의 개발에 관한 연구

 제주대학교 중앙도서관
濟州大學校 大學院 UNIVERSITY LIBRARY
機械工學科

韓 世 雄

2004年 12月

블라스팅 공법을 이용한 소형 스크류
부식제거장치의 개발에 관한 연구

指導教授 金 貴 植

韓 世 雄

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2004 年 12月

韓世雄의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2004 年 12月

A Study for the Development of Screw Propeller
Corrosion Removing Unit by Blasting Method

Se-Woong Han

(Supervised by professor Gui-Shik Kim)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE
DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING



Department of Mechanical Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2004. December

목 차

List of Tables	vi
List of Figures	vii
Summary	ix
I. 서론	1
II. 재료 및 실험 방법	3
2.1 시험편	3
2-1-1 시험편의 화학성분 및 기계적 성질	3
2-1-2 시험편 가공	7
2.2 표면거칠기 및 경도측정	8
2.3 분극실험	8
2.4 Cavitation 침식실험	11
III. 부식제거장치 개발	13
3.1 블라스팅	13
3.2 노즐	17
3.3 부식제거장치 설계 및 제작	19
IV. 결과 및 고찰	23
4.1 스크류 부식 제거 효과	23
4.2 표면거칠기 및 경도	27
4.3 부식전위	29
4-3-1 가공조건의 따른 부식전위	29



4-3-2 블라스팅 조건에 의한 부식전위	32
1) 금강사(Emery)를 이용한 블라스팅 가공	32
2) 알루미나(Al_2O_3)를 이용한 블라스팅 가공	35
3) 금강사(Emery)와 알루미나(Al_2O_3)를 이용한 블라스팅 가공과 그라인딩 가공 처리의 비교	38
4.4 캐비테이션 침식	39
V. 결론	43
VI. 참고문헌	44



List of Tables

Table 1 Chemical compositions	6
Table 2 Blasting conditions	7
Table 3 The purpose of blasting and the effectiveness	14
Table 4 The kinds of media	15
Table 5 Comparison of nozzle life	18
Table 6 Hardness [Hv]	27
Table 7 Weight loss [g]	27
Table 8 The E_{corr} according to surface polishing	29
Table 9 E_{corr} according to blasting times (Emery)	32
Table 10 The E_{corr} according to blasting time (Al_2O_3)	35



List of Figures

Fig. 1 Phase diagram of Cu-Zn	4
Fig. 2 The mechanical properties of Cu alloy	4
Fig. 3 Microstructure of test specimen	5
Fig. 4 Stress-strain diagram of test specimen	5
Fig. 5 The test specimen for blasting	7
Fig. 6 Schematic of polarization behavior	9
Fig. 7 Potentiostat and test cell	10
Fig. 8 The specimen for polarization	10
Fig. 9 Experimental apparatus for cavitation erosion test	12
Fig. 10 Schematic diagram of blasting	13
Fig. 11 Diagram of suction type blasting system	14
Fig. 12 Boron nozzle and blast gun	17
Fig. 13 Diagram of corrosion removing apparatus	20
Fig. 14 Diagram of corrosion removing unit	21
Fig. 15 Corrosion removing apparatus	22
Fig. 16 Corrosion removing test	23
Fig. 17 The polishing conditions of blasting time	25

Fig. 18 The result of corrosion removing test	26
Fig. 19 Roughness [$\times 100$]	28
Fig. 20 The anode polarization curves according to polishing condition	31
Fig. 21 The anode polarization curve to blasting time (Emery)	34
Fig. 22 The anode polarization curve to blasting time (Al_2O_3)	37
Fig. 23 The anode polarization curve to blasting and grinding	38
Fig. 24 The specimen for cavitation erosion test	40
Fig. 25 Weight loss after cavitation erosion test	42



SUMMARY

The materials of ship screw propeller are commonly used with the manganese bronze. The seawater corrosion and sea water 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 method. The grinding works produce the dust of the heavy metals from the manganese bronze. The dust bring about poor working environment harmful for the health of workers.

An automatic corrosion removing method using a blasting apparatus was developed for the improvement of screw polishing conditions and its working environment. The performances of this blasting apparatus under various blasting conditions were investigated by surface roughness, weight loss rate, hardness, electrochemical corrosion resistance and cavitation erosion after removing of corrosion rust. Two medias of alumina and emery were used in this experiment. The corrosion rust of a screw propeller was remarkably removed and the surface roughness and hardness of the screw were improved by this blasting method using our lab make apparatus.

The electrochemical corrosion potential (E_{corr}) and current density (I_{corr}) were measured by the dynamic polarization measurement using a potentiostat under the conditions of surface polishing like grinding, blasting, wire-brushing and fine sand papering.

The test results prove that the new blasting apparatus remarkably improve the surface performances of a screw propeller.

I. 서론

제주도내 어선은 3340척 (2001년 제주도청 해양수산물과 자료)으로 이들 선박용 스크류 프로펠라(이하:스크류)의 재질은 대부분 동합금계로 고강도 황동(망간청동)을 사용한다. 이들 어선들의 스크류는 항만내의 정박 중 오염해수 등에 의한 표면 부식과 운행 중 발생하는 공동현상으로 인한 침식에 의해 선박 추진능력이 저하하므로 스크류 제작사에서 연2회 스크류 표면의 가공을 행한다[1-3]. 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 부식부 만이 연삭되는 것이 아니라 기재 부까지 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, 이 또한 스크류의 수명을 단축시킬 수 있다. 어선 스크류 제작사들은 그 영세성으로 인하여 우리나라 전역에서 위와 같은 핸드 그라인더에 의한 부식 녹 제거작업을 하고 있으므로 친환경적이며 스크류의 부식 녹을 쉽게 제거할 수 있는 장치의 개발이 필요한 실정이다.

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 방법이며[4-6], 블라스팅 공법은 블라스팅 조각, 교목가공 등의 목공예와 모형제작, 마킹 등의 석재, 유리가공 분야 및 반도체 실리콘웨이퍼 가공, 컴퓨터, OA기기 등의 전자산업 분야에서도 광범위하게 사용되고 있으며 치

과기공 등의 의료산업 분야와 선박엔진 수리 등의 부품재생산업 분야 등의 널리 사용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 어선 스크류의 부식녹제거와 표면가공을 자동화로 행할 수 있고, 가공시 폐처리 물질의 수집과 처리가 용이하여 작업장의 환경을 개선할 수 있는 기계장치를 개발하였다. 또한, 개발된 장치에 의한 스크류의 표면가공 제품에 대해 경도, 표면거칠기, 가공에 따른 무게감량, 양극산화 거동 및 캐비테이션 침식 특성을 규명함으로써 부식제거장치에 의한 가공 제품의 내식성 향상을 검토하였다.



II. 재료 및 실험 방법

2.1 시험편

2-1-1 시험편의 화학성분 및 기계적 성질

황동은 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 Cu-Zn의 2성분 합금으로 공업적으로 사용되는 Zn 45%이하의 합금중 Zn 30% 또는 40%를 함유한 합금이 가장 많이 사용된다. 이는 Zn 30% 황동의 연신율이 가장 좋으며, Zn 40%에서 인장강도가 가장 크기 때문이다. Cu-Zn합금의 상(Phase)은 Zn의 조성에 따라 α , β , γ , δ , ϵ , η 의 6개의 상이 있는데, 공업적 사용한계인 Zn 45%이하에서는 α 와 β 상만이 고려된다. 저아연농도에서의 α 상, 고아연농도에서의 β 상과 그 중간영역에서는 $\alpha+\beta$ 상이 나타난다. α 상은 부식에 강하나 강도가 약하고, $\alpha+\beta$ 의 2상합금은 탈 아연 부식에 민감하나 강도가 양호하며, β 상은 더욱 부식에 민감하다. Zn 30%의 합금은 α 상의 조직이, Zn 40%의 합금은 $\alpha+\beta$ 상의 조직이 되는데 Fe, Mn, Ni, Al 등을 첨가하여 강도와 내식성을 향상시킨 것을 고강도 황동 혹은 망간청동이라고 한다.

Fig. 2에 나타낸 황동 성분에 따른 경도 변화에서 동성분이 70%가 될 때까지는 인장력이 강하고 경도가 증가하면서 연신율은 증가하는데, 동성분이 60%가 되면 인장력이 강하고 경도는 급격히 증가하고 연신율은 적어진다. 이 범위에서 전연성(展延性)이 좋기 때문에 쉽게 판, 관, 봉, 선으로 가공되어 여러 가지 용도로 이용된다. 그러나 동성분이 57%이하가 되면 딱딱해져 취성이 되므로 신동품(伸銅品)으로는 거의 사용되지 않는다. 실험을 위해 제작된 황동합금 시험편의 조직을 Fig. 3에 나타내고, 응력 변형을 선도는 Fig. 4에 나타내고 있다. 기지가 α 상을 나타내고 흰색으로 나타나는 것이 β 상이다. 인장강도는 487.1 N/mm^2 ,

항복강도는 265.5 N/mm², 연신율은 22.47%이다.

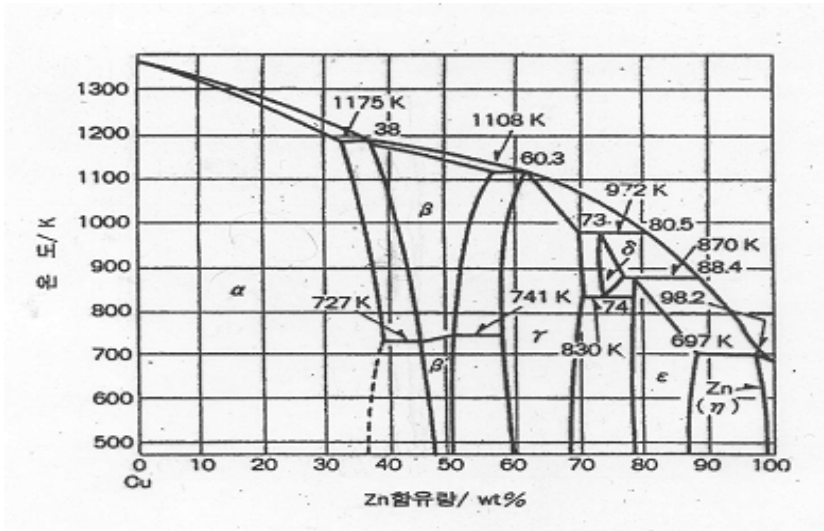


Fig. 1 Phase diagram of Cu-Zn

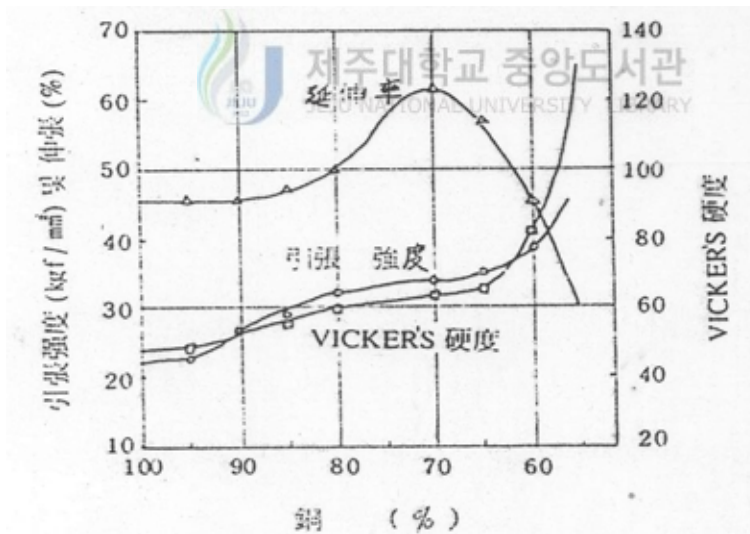


Fig. 2 The mechanical properties of Cu alloy

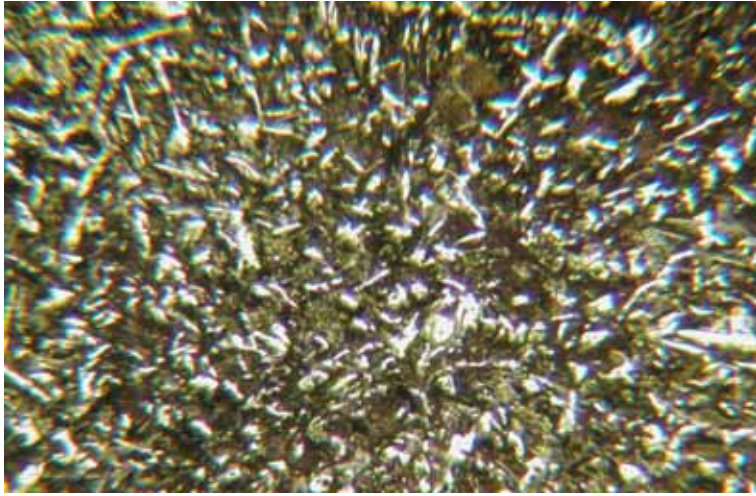


Fig. 3 Microstructure of test specimen

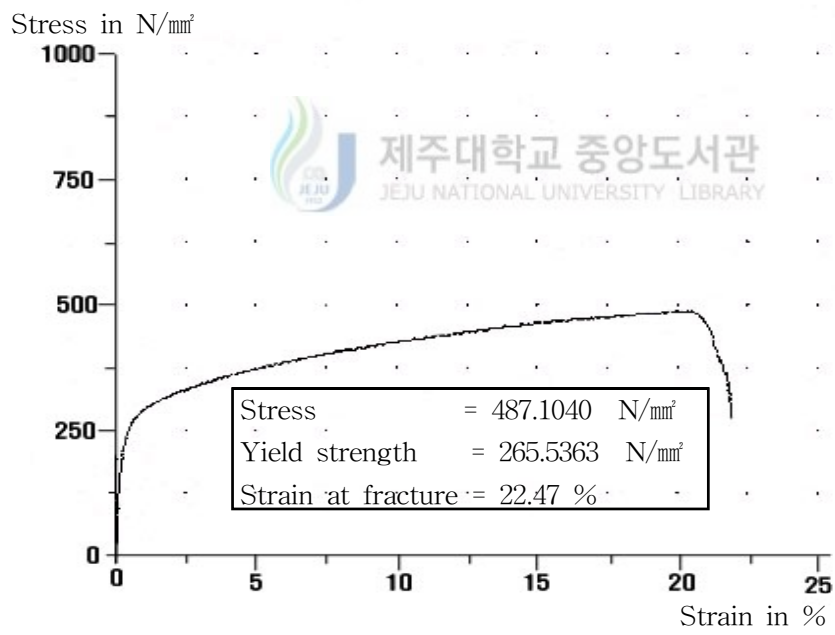


Fig. 4 Stress-strain diagram of test specimen

본 실험에 사용한 모재는 전기화학적인 침식성이 강하고 해수환경에서 주로 내침식 재료로 잘 알려진 황동합금으로 만들어진 소형선박의 스크류이다. Table 1에 나타난 황동합금의 화학적 조성은 동(Cu)과 아연의 성분이 97.6%, 그리고 나머지 Mn, Fe, Ni, Al 등은 무시할 정도로 함유되어 있다.

시험편은 실제 스크류를 가공하여 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 시험들로 구분하여 제작하였다.

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

2-2. 시험편 가공

표면가공 조건에 있어서는 그라인딩 가공, 와이어 브러쉬 가공, 블라스팅 가공, 정세연마(#1200 연마지) 가공 처리한 시험편들을 제작하였고, 투사재의 종류에 대하여는 알루미나(Al_2O_3)와 금강사(Emery)의 두 종류를 사용하여 블라스팅 처리 시간을 변화한 시험편들을 제작하였다. 블라스팅은 Fig. 5에서처럼 개발된 부식제거장치에 내부에 시험편을 단단히 고정한 후 Table 2의 조건으로 행하였다.

Table 2 Blasting conditions

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

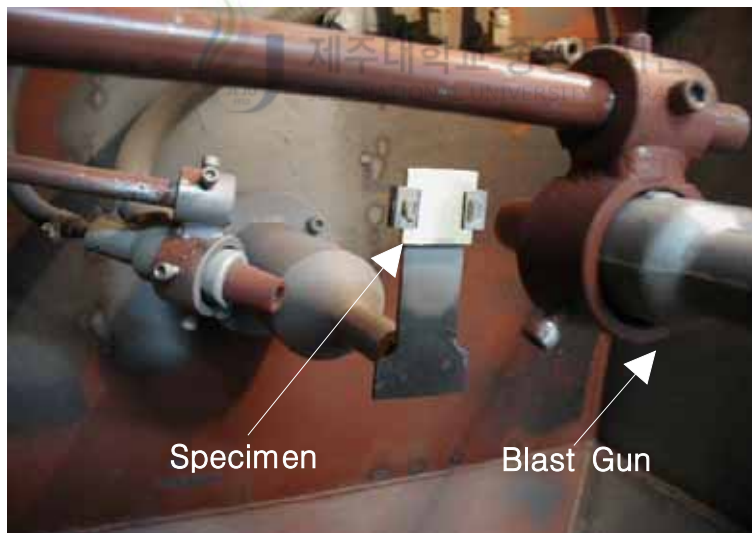


Fig. 5 The test specimen for blasting

2.2 표면거칠기 및 경도측정

블라스팅 전과 후의 표면거칠기는 금속현미경을 이용하여 조사하였다. 경도측정은 한국표준규격 KS B 0811-99 (비커스경도 측정)에 따라 경도시험기 하중 10kg을 사용하여 시험하였다.

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.

2.3 전기화학 실험

금속의 부식은 전기화학적인 면에서 보면 금속의 산화반응이며, 전기화학적인 부식 시험법에는 타펠연장시험법(Tafel extrapolation), 선형분극 시험법(Linear polarization), 동전위분극측정법(Potential-dynamic polarization), 국부적인 부식 시험법(Pitting corrosion), 전지부식(Galvanic corrosion), 입계부식시험법(Intergranular corrosion)등이 있다[7].

연구에서 사용한 동전위분극측정방법(Potential dynamic)은 시편의 전위-전류관계를 이용, 용액중에서의 부식특성을 평가하는 방법으로서 시편의 전위를 양극 혹은 음극쪽으로 서서히 증가시켜 전체적인 전위-전류곡선을 구하여 부동태화 경향, 부식방지제 혹은 산화제의 효과 및 특성분석에 활용된다. 실험은 부식전위 혹은 그 이하 20mV에서 대략 $\pm 1.6V$ 혹은 그 이상까지 주사(Scan)하며, 속도는 시간당 1mV정도 이다. Fig. 6에 전위-전류곡선을 나타내며, 여기서 활성태영역(Active)은 금속표면 또는 금속/용액의 계면에서 일어나며 전하의 교환

(Charge transfer) 에 의하여 지배적으로 일어날 때 나타나며 이러한 전극반응을 일반적으로 금속부식 과정에서 초기에 금속이 이온화하여 용해되거나, 혹은 수용액에서 음극반응을 일으키는 수소의 환원과정에서 수소기체의 생성과정을 예로서 들 수 있다. 부동태영역(Passive)은 전위가 증가하여도 전류밀도가 감소하여 일정 전류밀도에서 거의 안정된 값을 보여주며 금속의 표면에 용해되지 않는 얇은 피막이 형성되어 금속의 부식이 효과적으로 방지되는 현상을 말하며, 과부동태영역(Transpassive)은 전위를 증가시키에 따라 전류밀도가 다시 증가하는 영역으로 이미 형성된 부동태막의 파손에 의한 것으로 알려져 있다[8].

Fig. 7에 실험에서 사용한 전위차계(Wonatech Co. WPG100)를 나타내며 이를 이용하여 동전위분극측정방법(Potentio dynamic)으로 조사하였고, 그림에서 보듯이 기준전극은 포화칼로멜전극(Saturated calomel electrode; SCE)을, 대극은 흑연탄소봉을 사용하였다. 따라서 전위는 포화칼로멜전극에 대한 값이다. 분극전위의 구간은 $-0.8 \sim +0.8V$ 이며, 이때 Scan rate는 $0.2mV/s$ 주사하였으며, 실험용액은 유사해수인 3.5%NaCl 용액을 사용하였다. Fig. 8에 나타낸 분극실험용 시험편은 노출면적을 $1cm^2$ 으로 하였고, 그이외의 표면은 에폭시 수지로 피복하여 방식처리 하였다[9-10].

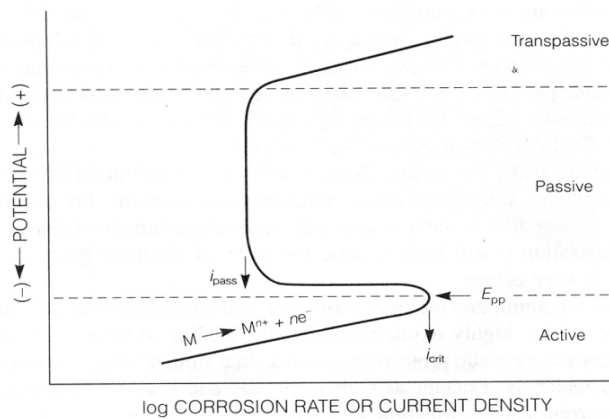


Fig. 6 Schematic of polarization behavior

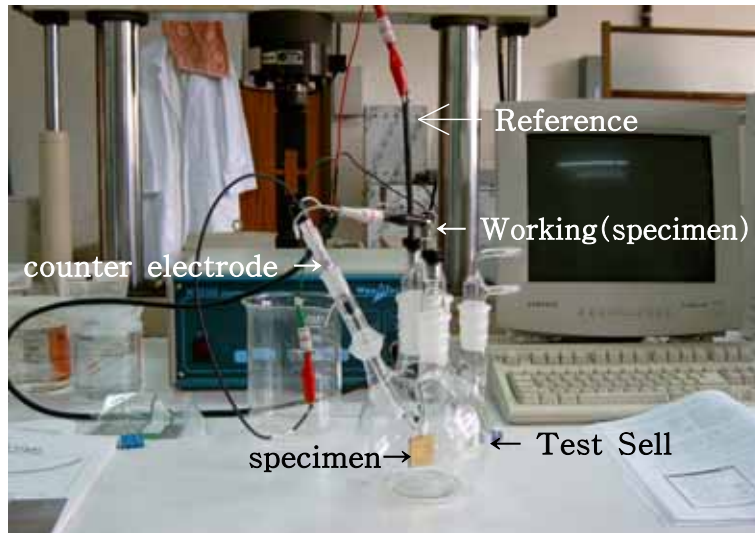


Fig. 7 Potentiostat and test cell

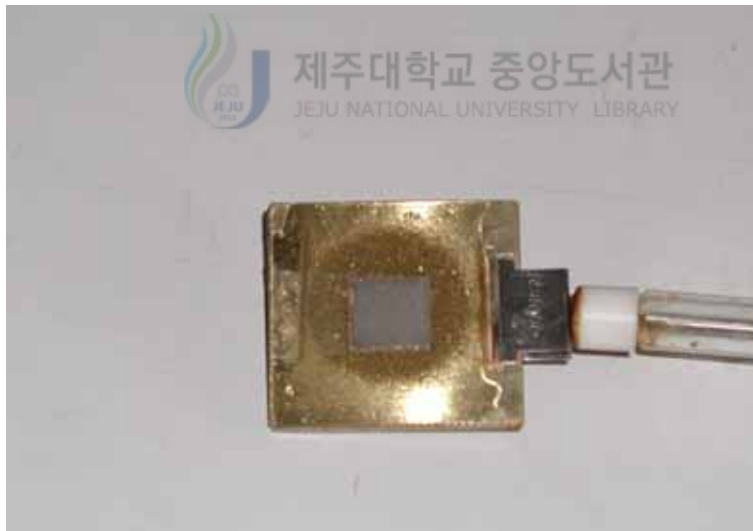


Fig. 8 The specimen for polarization test

2.4 Cavitation 침식실험

본 실험에 사용된 캐비테이션 발생장치는 압전효과(Piezoelectric effect)를 이용한 진동발생장치이다.

Fig. 9는 해수 중에서의 황동합금 및 시험편에 대한 캐비테이션 침식-부식실험의 장치를 나타낸다. 초음파 발전기는 60Hz, 220V의 전력을 전자회로를 거쳐 20kHz의 정격 출력을 발생시켜 진동자에 공급하는 역할을 하며, 진폭은 정진폭 자동제어방식으로 24 μ m로 일정하게 하였다. 압전소자에 의한 진동발생은 지수형 원추혼(Horn)에 전기적인 교류를 가함으로써 축 방향으로 진동을 일으키는 현상을 이용하였다. 압전소자에 의한 진동이 혼에 의해 증폭되고, 축 방향의 반복된 진동이 캐비테이션 침식을 일으키는 최적의 진동으로 하였다. 실험장치는 제어장치, 진동자, 증폭기 혼 및 자동정지 타이머 등으로 구성되며, 환경조는 전기화학적 부식의 영향이 없도록 아크릴 재료로 제작하였다.

그리고, 시험편은 진동자의 혼(Horn)과의 대향(對向)하도록 아크릴 판에 고정하고, 시험편과 혼(Horn)과의 간극(0.4mm)은 다이얼 게이지 및 간극 게이지로 실험종료시마다 측정하여 간극을 일정하게 유지하였다. 환경조에서 지지대에 있는 시험편이 인공해수에 잠기는 깊이는 3.5mm로 일정하게 유지시켰다.

또한 환경용액의 온도는 25 \pm 2 $^{\circ}$ C 되도록 하고, 펌프에 의해 순환하였으며, 침전물에 의한 전기화학적 변동을 제거하기 위해서 절연성(絶緣性)필터를 사용하였다.

실험시간은 180분 동안 실시하였는데 60분까지는 매 10분마다 질량을 측정하고, 60분부터 180분까지는 30분마다 질량 감소량을 측정하였다. 캐비테이션 부식실험을 한 뒤 시간별 질량감소량을 관찰하여 시간대별 무게 감소량과 총 누적 감소량을 측정하여 시험편들의 캐비테이션에 의한 침식특성을 조사하였다.

환경용액으로는 천연해수에 가까운 인공해수(3.5 wt.%의 NaCl용액)를 사용하였고, 그 환경용액의 수위를 조절할 수 있는 부착형 장치를 설치 하였으며, 각각의 시험편 실험 종료마다 인공환경용액을 교환하였고 필터청소는 주기적으로 하였다. 환경용액의 농도 및 전기전도도의 변화를 방지하기 위하여 플라스틱재인 순환수 펌프로 분당 2.8리터의 량으로 순환하였다.

그리고 자동정지 타이머에 의한 실험 시간을 조정하여 시험편을 지지대에서 분리시킨 후, 초음파 세정기(아세톤)로 먼저 정화 처리한 다음 건조한 후, 시험편의 무게 감소량을 1/1000mg 用인 디지털 저울을 사용하여 측정하였다.

특히, 양극인 각 시험편과 대극(對極)인 혼(Horn)과의 전기화학적인 부식영향은 캐비테이션 발생에 의한 침식-부식작용에 비하여 극소함으로서 무시하였다.

본 실험을 실시하기 전에 액체내의 가스량을 안정화시키기 위하여 dummy 시험편을 사용하여 약 15분간 예비 시험을 실시하였다[11-12].



Fig. 9 Experimental apparatus for cavitation erosion test

Ⅲ. 부식제거장치 개발

3.1 블라스팅

본 연구에서 개발하고자 하는 스크류 부식제거장치는 블라스팅 방법의 일종이다. Fig. 10에 도시한 바와 같이 블라스팅은 금강사 입자나 쇼트 등의 투사재를 공기압축기나 임펠라 등을 이용하여 적절한 속도로 피가공 물체에 투사하여 입자가 가지는 운동에너지로 제품 표면을 가공하는 방법이다.

블라스팅의 구체적인 용도와 효과 및 투사재의 종류는 Table 3과 Table 4에 나타낸다. 블라스팅의 기본원리는 Fig. 11에 나타내는 것처럼 투사재를 공기압에 의해 노즐로 이송하여 압축공기로 피가공체의 표면에 투사되어 표면을 가공한다.

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.

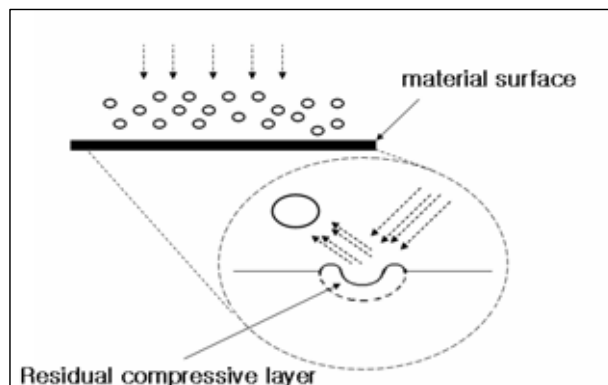


Fig. 10 Schematic diagram of blasting

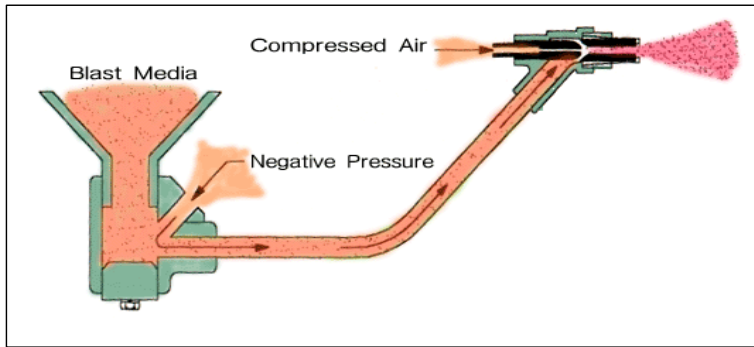


Fig. 11 Diagram of suction type blasting system

Table 3 The purpose of blasting and the effectiveness

Clean	Small fragments, Impurities, The surface processing to a scale clearance for a second work. (Iron frame, Iron plate, Pipe, Welding region, Casting, The heat treatment good)
Debarring	A projecting a disuse part clearance
Peening	Fatigue increase, Corrosion protect, Surface hardness increase
Finishing	Prominence and depression region surface processing, Finishing, Reclaiming processing
Etching	Glass, Stone, Carpenter performance

Table 4 The kinds of media

Media	Feature		The use
	Grinding power	Crushing power	
Al ₂ O ₃	High	High	Steel, Nonferrous metal, Stone, Glass, Carpenter performance
Glass beads	Low	High	Nonferrous metal, Nonmetal, Mold
Ceramic beads	Low	Low	Plastic, Forming good
STS ball, Shot ball	Low	None	Die casting, Linear product, Casting product
Wire shot	High	Low	Iron plate
Plastic blast media	None	None	Paint removal, Nonmetal mold, Plastic

실험에 사용된 알루미나(Al₂O₃)의 특징은 Steel 분말에 비해 수명이 짧지만 가공제품의 기재 손실을 줄이면서 표면을 좀더 매끄럽게 처리할 수 있어 다용도로 사용 가능하다. 금강사(Emery)는 가격이 저렴해서 쉽게 구해서 사용하기 때문에 일반적인 투사재로 쓰이고 있으며 환경오염에 원인이 되지 않는 조건에서 재처리를 통해 다시 사용할 수도 있다.

강의 표면에 1개의 투사재가 전달하려고 하는 에너지는 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{1}{2}MV^2 \cdot \sin\theta \quad (1)$$

M : 투사재 1개의 질량

V : 투사재의 속도

θ : 입사각

반면에 복수의 투사재가 T 시간동안 단위면적에 전달하려고 하는 에너지는 식(2)에 나타낸다.

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

N : 단위시간, 단위면적에 충돌하는 투사재의 개수

그렇지만 실제로 제품에 전달되는 에너지는 더 복잡하여 투사재 서로의 간섭 (제품표면에서의 입사 투사재와 반사 투사재) 및 제품이 투사재와 충돌시 발생하는 변형에 대한 에너지 손실도 고려하지 않으면 안 된다.

그것들을 고려한 전달효율을 K 라고 놓으면 단위면적에 시간 T 동안 전달되는 에너지 E_T 는 식(3)에 나타내었다.

$$E_T = \left(\frac{1}{2}MV^2 \cdot \sin\theta\right) \cdot N \cdot T \cdot K \quad (3)$$

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[13].

3.2 노즐

먼저 노즐의 종류부터 살펴보면 국내에서는 주로 강철노즐 혹은 열처리된 강철노즐을 사용하고 있으며 일본산 혹은 국산 세라믹노즐을 사용하고 있으나 미국, 일본, 독일 등 선진국에서는 세라믹 노즐을 샌딩용으로 사용하는 경우는 찾아 볼 수 없으며, 강철노즐을 사용하고 있는 경우는 더욱 찾아보기 힘듭니다. 현재 선진국에서는 100%가 보론노즐, 그리고 일부 특수한 경우에 한하여 텅스텐카바이드 노즐을 사용하고 있다.

보론 재질의 특성은 강한 반면 충격에 깨지기 쉬운(취약성이 약함) 단점이 있어 대개 폴리우레탄이나 알루미늄 등 케이스로 보호 되어 사용되고 있으며, 보론은 비중이 2.5 kg/cm^3 로 강철의 1/6 무게이며 유리의 비중 2.3 kg/cm^3 과 비슷하며 상당히 가벼운 것이 장점이다. 또한, 마찰계수(저항)가 대단히 작아 거의 물과 같은 정도의 윤활성을 갖고 있으며 충격을 흡수하는 완충작용도 갖고있어 내마모성을 더욱 높여준다. Table 5에 보론노즐과 여러 노즐과의 수명을 비교하였으며 여기서 보론카바이드 즉, 보론노즐이 텅스텐 카바이드에 비하여 약 4배 정도 수명이 길고, 세라믹노즐에 비하여 약 900배 정도 긴 수명을 갖는다. 이러한 이유로 보론노즐을 부식제거 장치에 장착하였다. Fig. 12에 보론노즐과 블라스트 건을 나타낸다[14].

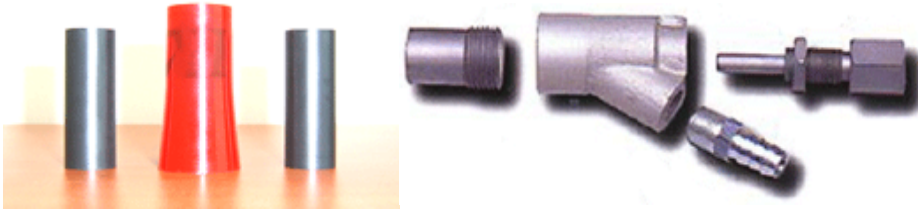


Fig. 12 Boron nozzle and blast gun

Table 5 Comparison of nozzle life

Material	Nozzle Life
Steel nozzle	40 min
Ceramic nozzle	4 h
Tungsten carbide nozzle	1,000 h
Boron carbide nozzle	3,500 h

3.3 부식제거장치 설계 및 제작

개발 장치의 기본 설계도는 Fig. 13에 나타낸다. 여기에서 스크류의 부식 녹 제거작업을 밀폐용기 안에서 할 수 있도록 하고, 스크류는 수직방향으로 지지하거나, 수평방향으로 지지하도록 구상하였으나 수평방향의 지지는 장치가 폭 방향으로 커지고, 스크류 뒷면의 부식 녹 제거가 곤란하므로, 앞뒷면을 동시에 제거할 수 있는 수직방향의 지지형태를 채택하였다. Fig. 14에 보는 바와 공압실린더 측의 근접센서를 통해 분사위치에 따른 스크류 회전속도를 제어 할 수 있도록 하여 스크류의 앞면과 뒷면에 각각 별도로 설치된 노즐들은 공압 실린더 (Air cylinder)에 의해 상하로 자동 이송되면서 투사재를 투사함으로써 부식 녹을 좀더 정밀하게 제거 할 수 있도록 구상하였다.

Fig. 15는 설계를 바탕으로 제작된 스크류 부식제거장치를 나타낸다. 장치 크기는 폭이 1440mm, 길이가 990mm, 높이가 2360mm이며 이동성을 고려하여 하부에 바퀴(캐스터)를 설치하였다.

이장치는 창을 통하여 내부 작업상황을 확인할 수 있게 하였고, 밑의 폐처리물질 수거받이를 설치하여 작업 후 폐물질 수거를 용이하게 하였다.

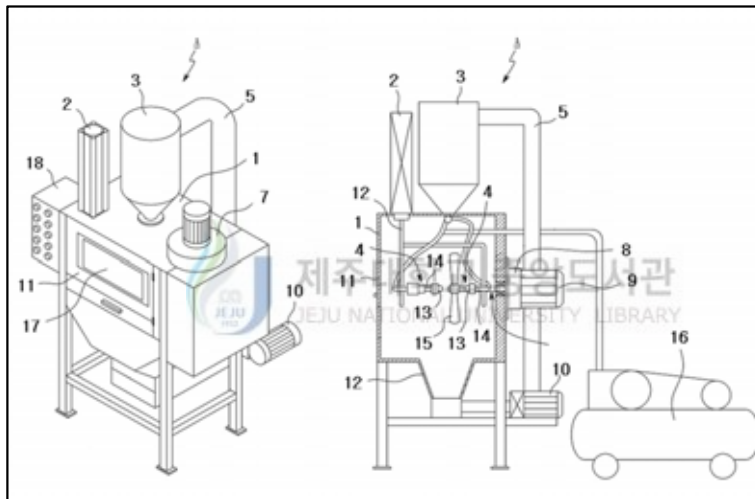
Blast gun(노즐)은 흡입식 공기블라스트 시스템으로 고압의 압축공기가 블라스트 노즐을 통과하여 분출될 때 블라스트 건 내부에 발생하는 공기압에 의해 호퍼로부터 투사재를 흡입하여 압축공기와 함께 분사시키는 시스템이다.

스크류는 장치 내부 중앙의 모터 회전축의 장착하여 나사로 단단히 고정하게 되고, 후면의 설치된 모터(회전수 : 1750rpm)는 감속기(감속비 50:1)를 달아 장착된 스크류를 일정한 저속(회전수 : 35rpm)이하로 회전하게 한다.

공기압을 에너지로 하여 작동하는 Air cylinder의 의해 Blast gun이 상·하로 움직이게 되는데 평균 왕복시간은 15 Sec이다. 투사재 분사거리는 최대 20~

40cm 정도이며, 투사재의 리사이클링으로 연속작업이 가능하다. 두개의 Blast gun은 스크류 앞·뒤로 설치하여 바스켓은 회전하고 Blast gun은 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 호퍼(Hopper)로 충전 시켜준다. 이때 외부로 배기되는 공기는 측면의 필터망을 거쳐 중금속인 황동 분말과 부식생성물 등의 분진을 집진 시킨 후 보내지게 된다.

또, Control box의 자동 혹은 수동 모드와 타이머에 의해 원하는 작업을 작업 상황에 따라 기계를 알맞게 운전 할 수 있게 하였고, 장치 상부에 작업 상태 램프를 통해 현재의 장치 동작 상태를 쉽게 파악할 수 있게 하였다.



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. 13 Diagram of corrosion removing apparatus

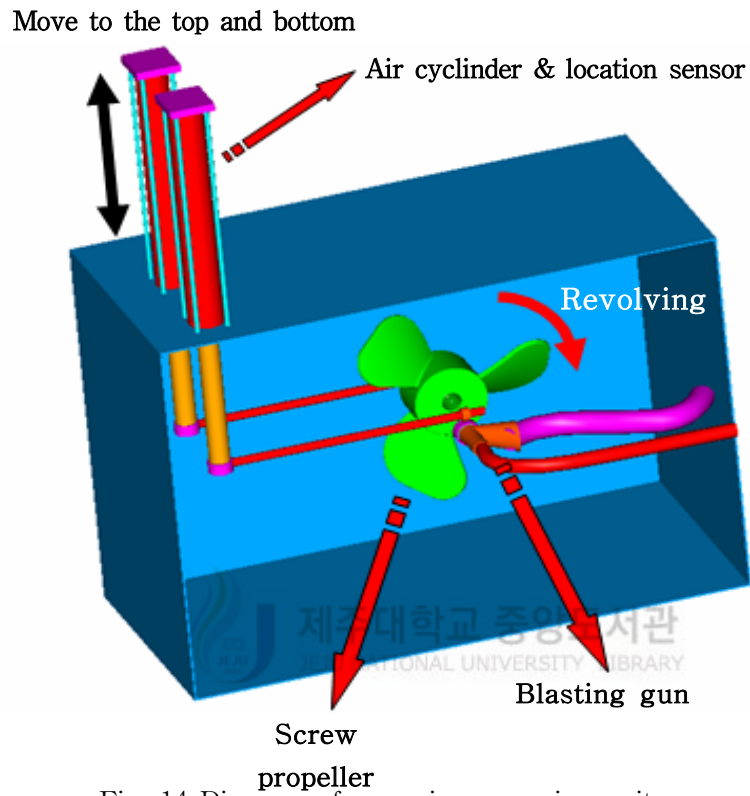
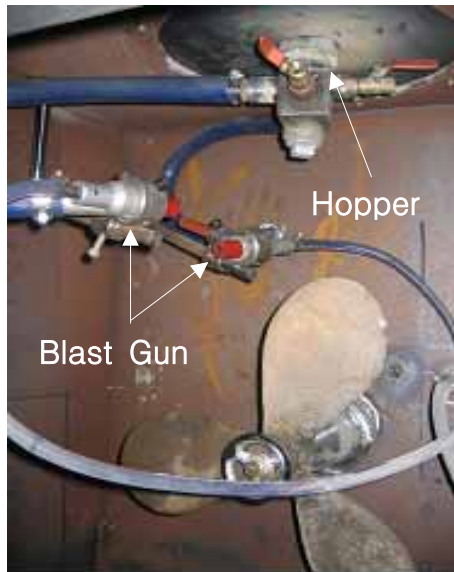


Fig. 14 Diagram of corrosion removing unit



(a) Front side



(b) Inside



(c) Reverse side



(d) Filter

Fig. 15 Corrosion removing apparatus

IV. 결과 및 고찰

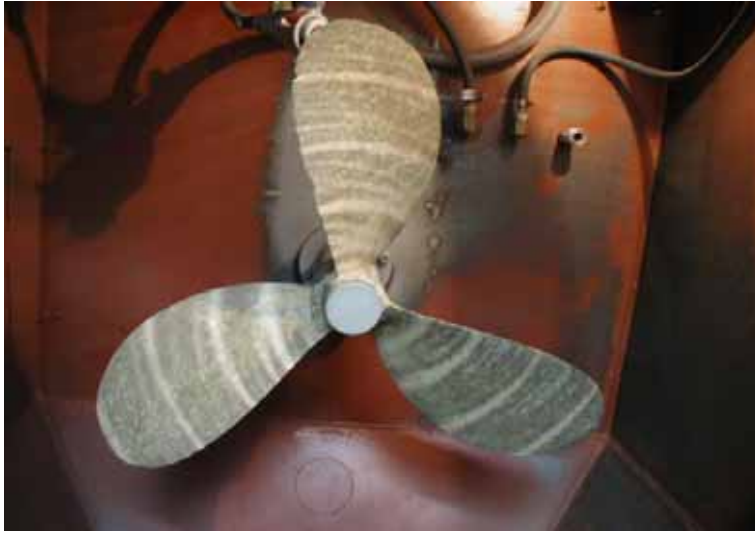
4.1 스크류 부식 제거 효과

Fig. 18에서와 같이 표면이 부식된 스크류를 부식제거장치에 장착한 후 자동 운전으로 20분간 스크류 부식제거시험을 실시했다. 이때 투사재는 금강사로 입도크기는 #80이다.

Fig. 19(a)~(d)에 블라스팅 시간에 따른 스크류 표면의 부식이 제거되는 과정을 시간에 따라 나열한 것이다. 그 결과로 Fig. 20을 보면 스크류 표면의 부식이 블라스팅 전과 후가 확연히 차이가 나며, 부식이 완전히 제거된 것을 알 수 있다



Fig. 16 Corrosion removing test



(a) After 2 min



(b) After 8 min



(c) After 14 min



(d) After 20 min

Fig. 17 The polishing conditions of blasting time



(a) Before



(b) After

Fig. 18 The result of corrosion removing test

4.2 표면거칠기 및 경도

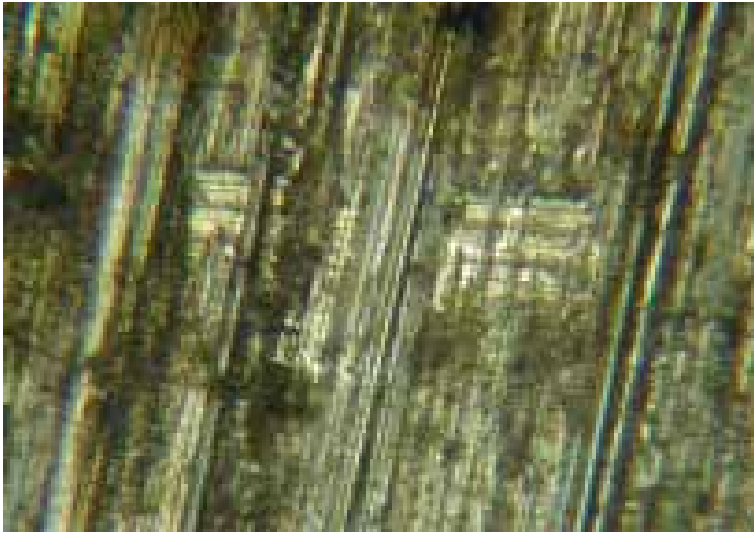
블라스팅에 의한 표면 거칠기는 Fig. 21에서 보이는 바와 같이 금속 현미경 ($\times 100$)으로 확인한 결과 블라스팅을 실시하기 전에 비하여 표면거칠기가 현저하게 개선되었다. 또, 비커스경도계(10kg)을 이용하여 6개의 시험편의 블라스팅 전과 후의 경도와 표면을 그라인딩 처리한 시험편의 경도를 비교하면 Table 6에 나타난 것처럼 블라스팅 처리한 시험편이 그라인딩보다 높게 나타났다. 블라스팅 전후의 무게 감소량은 Table 7에 나타내며 감소량이 적은 것으로 보아 기재의 손실은 많지 않음을 알 수 있다.

Table 6 Hardness [Hv]

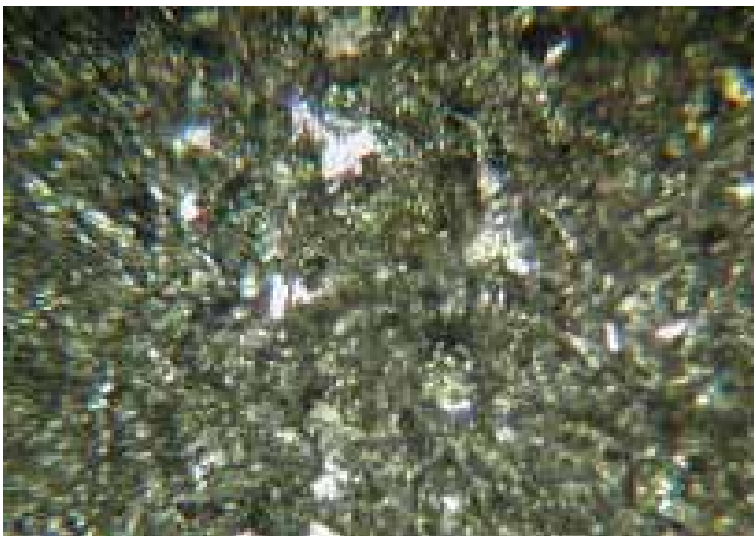
Media	Emery			Alumina(Al_2O_3)			Grinding
Specimen	1	2	3	4	5	6	7
Hardness	325	277	314	414	380	295	223

Table 7 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



(a) Before



(b) After

Fig. 19 Roughness [$\times 100$]

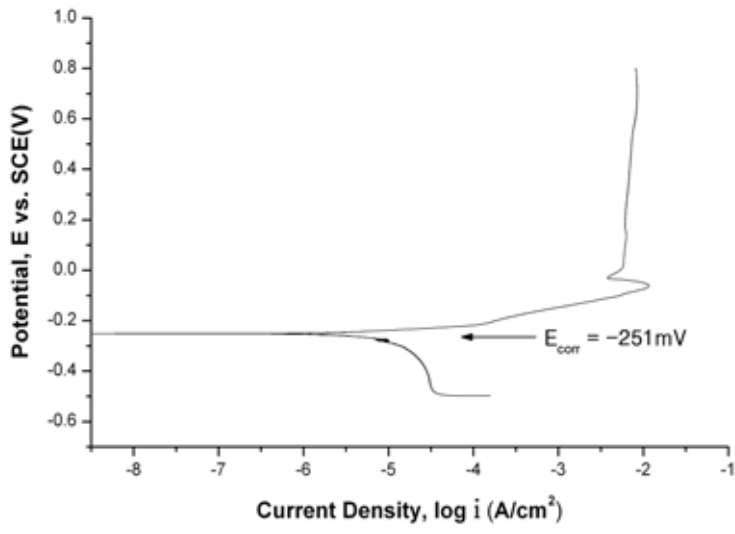
4.3 분극특성

4-3-1 가공조건의 따른 분극특성

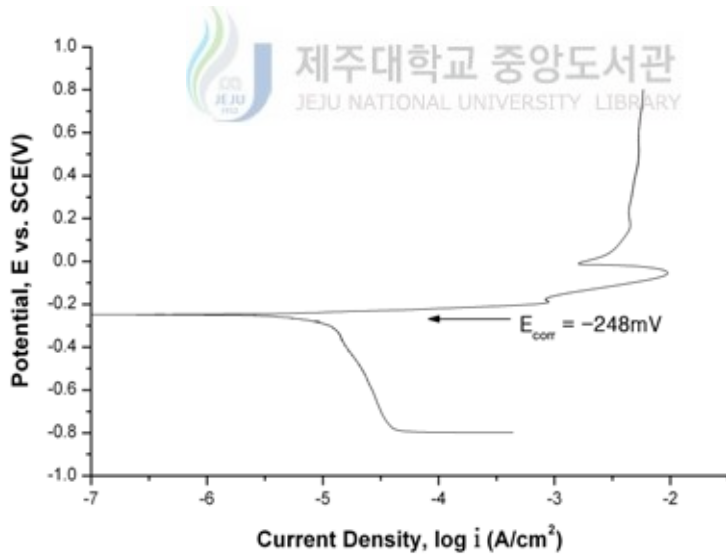
가공조건에 따른 부식전위 측정 결과를 Table 8과 Fig. 22(a~d)에 각 시험편들의 분극특성을 나타낸다. Fig. 22(a)의 와이어브러쉬 처리한 황동의 경우에는 부식전위는 $-251\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 이며 부동태 구간은 나타나지 않았다. 이는 표면이 매우 거칠어서 산화피막 형성이 잘 이루어지지 않아 나타난 것으로 생각된다. Fig. 22(b)의 연삭처리한 황동의 부식전위는 $-248\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 으로 나타났으며 $-189\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 지점에서 부동태화 되는 양상을 살짝 보여 주고 있다. Fig. 22(c)의 정세 연마한 황동의 부식전위는 $-430\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 으로 매우 낮게 나타남을 볼 수 있는데 이는 표면이 아주 매끄럽게 가공되어 노출 표면적이 적어서 나타나는 것으로 사료되며, 부동태 구간은 보이지 않았다. Fig. 22(d)의 블라스팅 처리한 황동의 부식전위는 $-347\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 이며, $-290\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 에서 부동태화 양상을 살짝 보임을 알 수 있다. 또 4개의 시험편 모두가 전류밀도 $13.8\text{mA}/\text{cm}^2 \sim 4.47\text{mA}/\text{cm}^2$ 구간에서 일정함을 볼 수 있는데 이는 이 구간에서 산화피막 형성이 완전히 이루어진 것으로 판단된다. 따라서 와이어브러쉬나 연삭 처리에 의한 황동 시험편, 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.

Table 8 The E_{corr} according to surface polishing

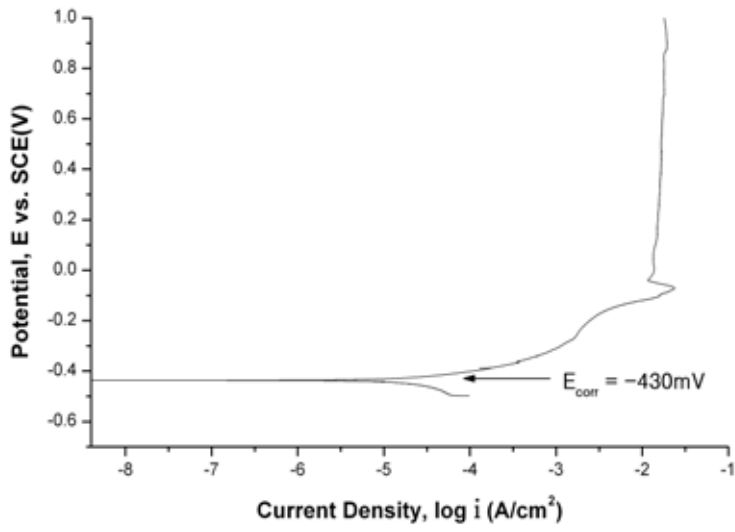
surface Processing	Wire brushing	Grinding	Fine sandpapering	Blasting
$E_{\text{corr}}(\text{mV})$	-251	-248	-430	-347



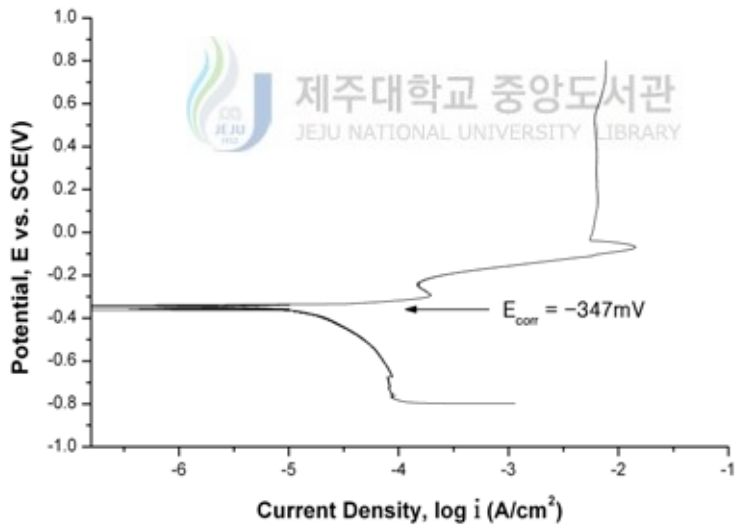
(a) Wire-brushing



(b) Grinding



(c) Fine sandpapering



(d) Blasting

Fig. 20 The anode polarization curves according to polishing condition

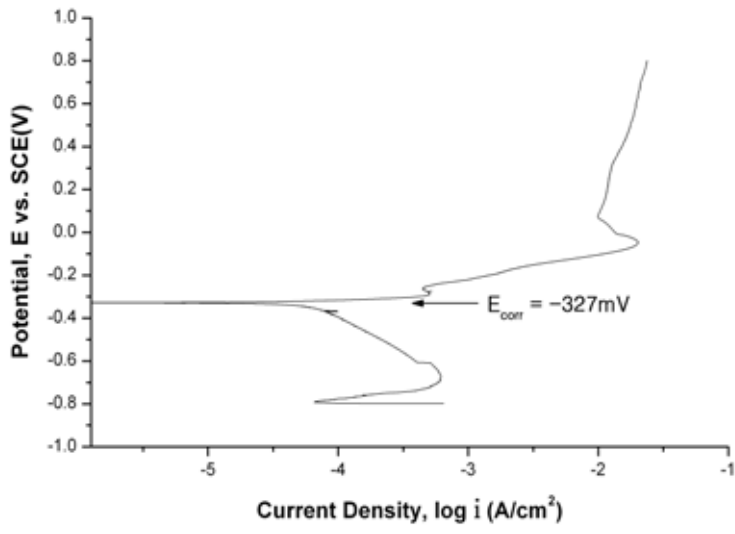
4-3-2 블라스팅 조건에 의한 분극특성

1) 금강사(Emery)를 이용한 블라스팅 가공

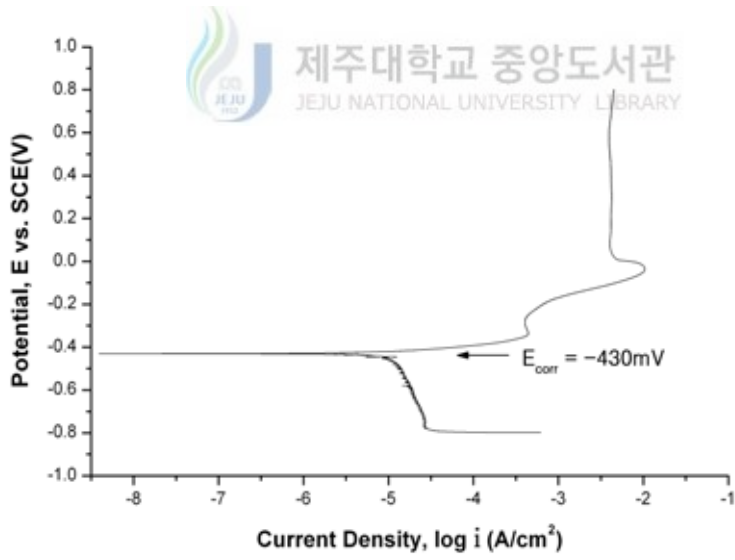
금강사를 이용하여 블라스팅 가공 시간에 따른 분극곡선을 조사한 결과는 Table 9와 Fig. 23(a)~(c)에 나타낸다. Fig. 23(a)에 나타낸 투사재를 금강사를 사용하여 10초간 가공한 시험편의 부식전위는 $-327\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 로 나타났다. 또 $-297\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 에서 부동태 양상을 살짝 띠고 있으며, 전류밀도가 $10\text{mA}/\text{cm}^2$ 이후로도 천천히 증가하는 것으로 보아 피막형성이 계속 이루어지는 것으로 생각된다. Fig. 23(b)의 20초간 가공한 시험편의 부식전위는 $-430\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 으로 나타났으며, $-333\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 에서 부동태 양상을 보이는 듯 하였으나 범위가 크지 않았다. Fig. 23(c)의 30초간 블라스팅 가공한 시험편에서 부식전위는 $-362\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 로 나타났으며, 다른 시험편과 달리 $-294 \sim -217\text{mV}(\text{vs. SCE})$ 구간에서 부동태 양상 폭이 크게 나타났다. 또 20초와 30초 블라스팅 가공시험편에서는 전류 밀도가 $5.0\text{mA}/\text{cm}^2$ 에서 일정한 같은 양상을 보였다. 결과로 20초간 블라스팅 가공한 시험편이 내식성이 가장 양호하게 나타났으며, 이는 20초간 블라스팅 가공한 시험편이 표면거칠기와 피닝효과 그리고, 표면 강도가 가장 최적으로 가공된 것으로 판단 할 수 있다.

Table 9 E_{corr} according to blasting times (Emery)

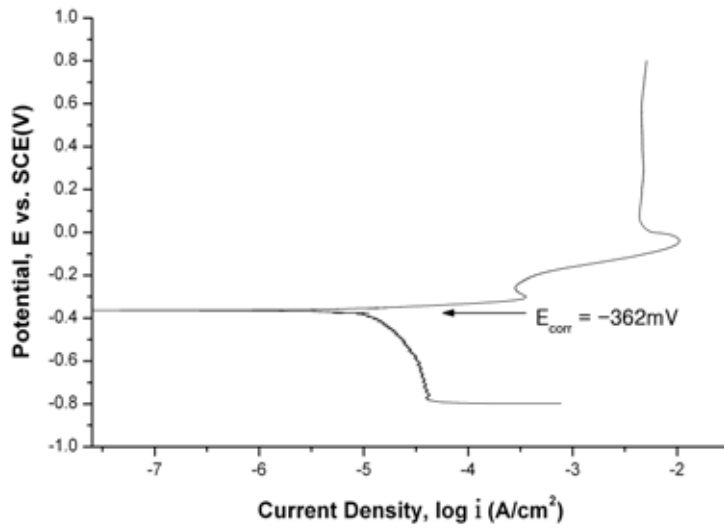
Media	Emery		
Blasting time(Sec)	10	20	30
$E_{\text{corr}}(\text{mV})$	-327	-430	-362



(a) 10 second



(b) 20 second



(c) 30 second

Fig. 21 The anode polarization curve to blasting time (Emery)

2) 알루미나(Al_2O_3)를 이용한 블라스팅 가공

투사재를 알루미나를 이용한 블라스팅 가공 시간에 따른 분극곡선을 조사한 결과는 Table 10과 Fig. 24(a)~(c)에 나타낸다.

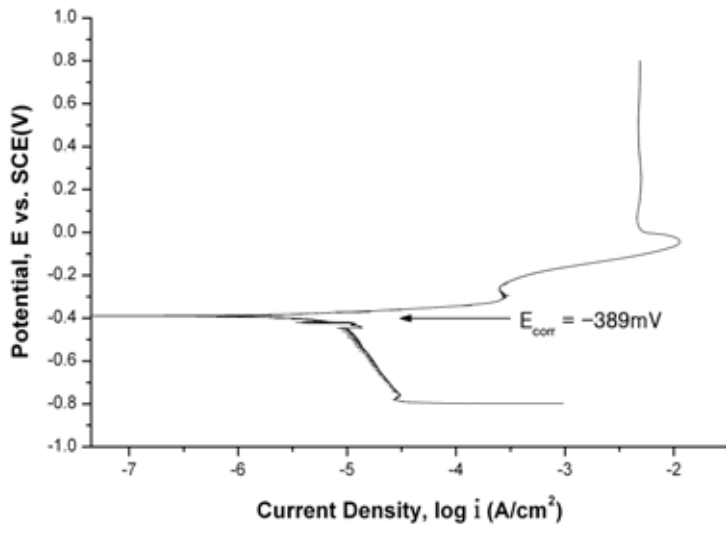
Fig. 24(a)의 10초간 블라스팅 가공한 시험편 부식전위는 -389mV (vs. SCE)이며, -279mV (vs. SCE)에서 부동태 양상을 살짝 띠고 있다. Fig. 24(b)의 20초간 블라스팅 가공한 시험편에서의 부식전위는 -410mV (vs. SCE)으로 나타났으며, 부동태 양상은 거의 띠지 않았다. Fig. 24(c)의 30초간 가공한 시험편에서는 부식전위가 -389mV (vs. SCE)로 나타났으며, $-318\sim-233\text{mV}$ (vs. SCE) 구간에서 부동태 양상을 볼 수 있었다.

금강사를 이용한 블라스팅 가공한 시험편의 결과와 마찬가지로 알루미나 투사재 역시 3개 시험편 모두 전류밀도가 $5\text{mV}/\text{cm}^2$ 부근에서 일정함을 보이며, 20초간 블라스팅 가공한 시험편이 내식성이 가장 양호하게 나타났으며, 이는 20초간 블라스팅 가공한 시험편이 표면거칠기와 피닝 효과 그리고, 표면 강도가 가장 최적으로 가공된 것으로 판단 할 수 있다.

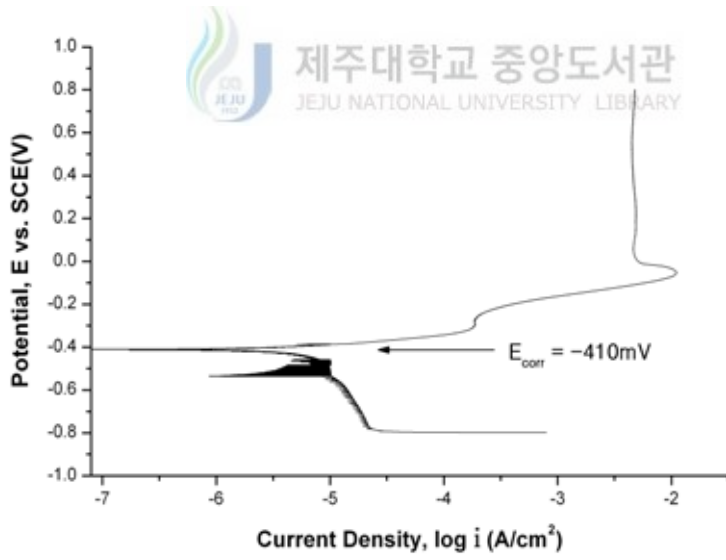


Table 10 The E_{corr} according to blasting time (Al_2O_3)

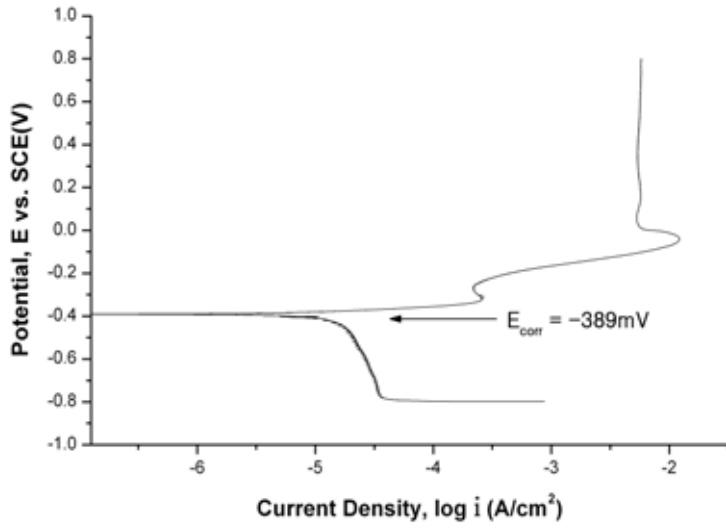
Media	Alumina(Al_2O_3)		
Blasting time(Sec)	10	20	30
E_{corr} (mV)	-389	-410	-389



(a) 10 second



(b) 20 second



(c) 30 second
 제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 22 The anode polarization curve to blasting time (Al_2O_3)

3) 금강사(Emery)와 알루미나(Al_2O_3)를 이용한 블라스팅 가공과 그라인딩 가공 처리의 비교

위에서의 결과들 중에서 현장에서 주로 사용하는 그라인딩처리 가공과 부식 제거장치를 통해 가공(투사재: 금강사, 알루미나)한 시험편의 부식전위 비교를 Fig. 25에 나타내었다. 결과로 그라인딩 처리한 시험편이 부식전위(-248mV(vs. SCE))가 가장 높게 나타났으며 다음으로 알루미나 투사재(20초간 가공)의 부식 전위(-410mV(vs. SCE))와 금강사 투사재(20초간 가공)의 부식전위(-430mV(vs. SCE))가 비슷하게 나타난 것을 알 수 있다. 이 결과로 보아 부식제거장치를 이용하여 가공한 제품이 그라인딩 처리 한 제품보다 내식성이 강함을 알 수 있다.

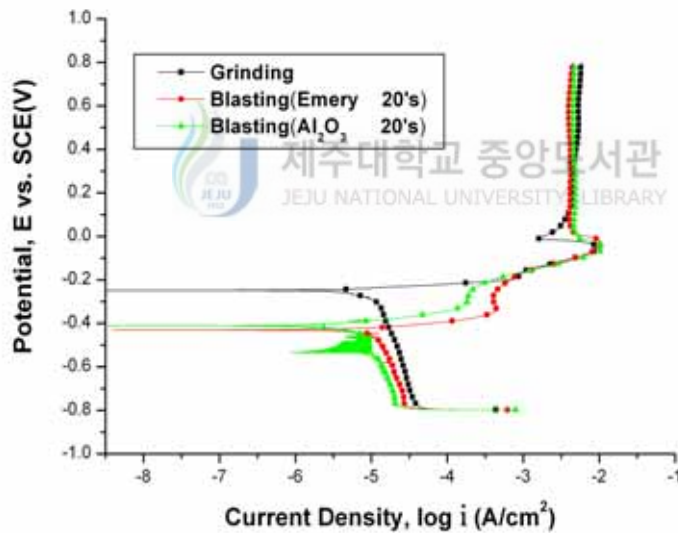


Fig. 23 The anode polarization curve to blasting and grinding

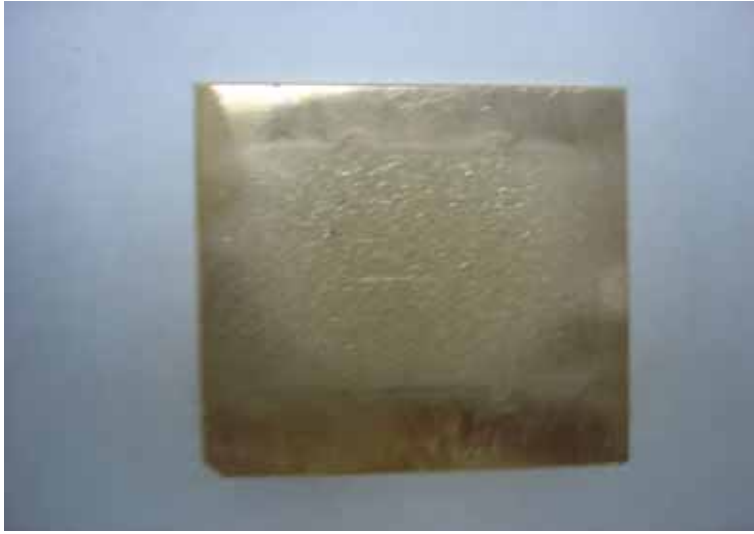
4.4 캐비테이션 침식

Fig. 26(a)는 캐비테이션 침식 실험전의 블라스팅 처리된 시험편이며 Fig. 26(b)는 캐비테이션 침식 실험후의 시험편을 나타낸다. 여기서 중앙에 둥글게 패인 부분이 침식으로 인한 기재 손실을 볼 수 있다.

Fig. 27은 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 알루미늄, 금강사 투사재를 이용한 블라스팅 처리한 시험편을 캐비테이션 침식 실험 후 비교해본 결과 모두 비슷한 캐비테이션침식 특성을 보이며, 실험 후 최종 무게감소량은 그라인딩처리 시험편이 0.0130g, 블라스팅 투사재 중 알루미늄이 0.0131g, 금강사 0.0115g로 비슷한 무게감량을 나타내고 있다.

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



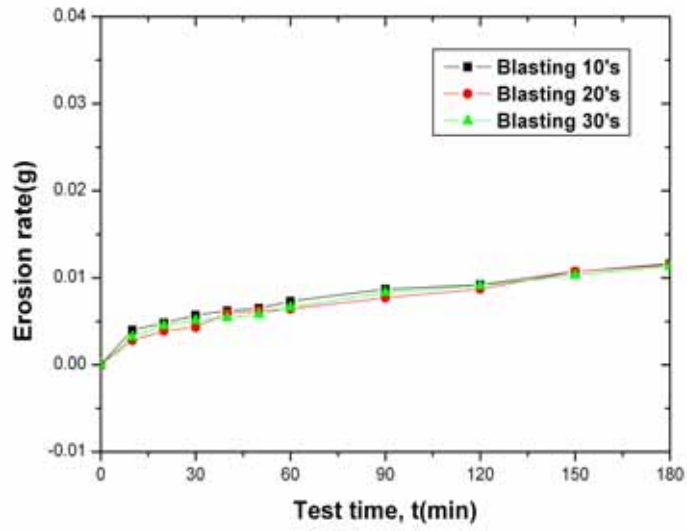


(a) Before

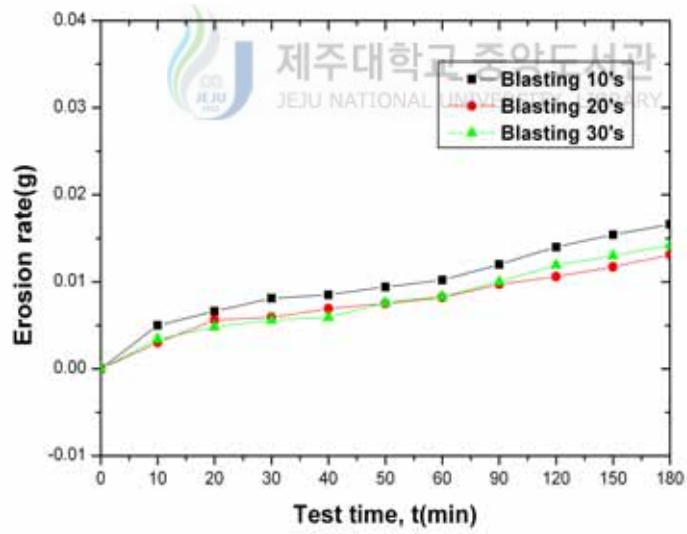


(b) After

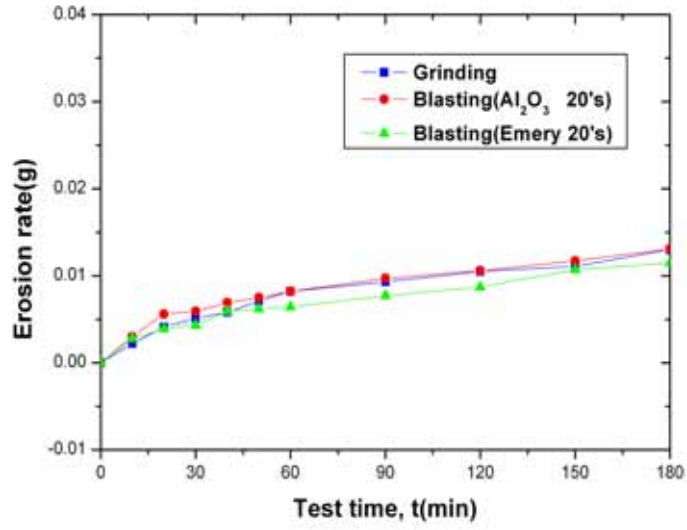
Fig. 24 The specimen for cavitation erosion test



(a) Emery



(b) Al₂O₃



(c) Grinding and blasting

Fig. 25 Weight loss after cavitation erosion test

V. 결 론

본 연구에서 블라스팅의 원리를 적용하여 스크류 부식제거장치를 설계 및 제작하여 스크류 부식제거 성능을 검토하였다. 기초 자료의 수집을 위하여 스크류 소재인 고강도황동합금의 화학성분과 기계적 성질 및 해수오염에 의한 부식도를 조사하였다. 그리고 실제 부식된 스크류를 부식제거장치에 장착하여 성능시험을 실시하고, 그에 따른 스크류의 경도변화, 무게감소량, 표면 거칠기, 부식전위, 캐비테이션침식 특성 등을 측정하여 본 개발 장치에 의한 부식제거의 성과와 내식성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 개발된 부식제거장치에 의해 부식된 스크류를 성능시험을 행한 결과 노즐이송장치의 자동화에 의해 스크류표면의 부식이 완전히 제거되어 양호한 부식제거 효과를 얻었다.
2. 개발 장치에 의한 스크류의 표면가공은 전기화학실험 등의 결과에 의해서 와이어 브러쉬에 의한 수작업으로 가공한 경우보다 표면 거칠기가 개선되며, 이에 따라 내부식성이 크게 향상됨을 알 수 있었다.
3. 전기화학실험에서 각 가공조건에 따른 내식성은 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.
4. 블라스팅 가공 조건에 따른 부식특성은 투사재의 종류와 관계없이 스크류 표면을 20초간 노출 가공한 상태가 내식성이 가장 양호하였다.
5. 표면가공에 따른 캐비테이션침식 무게감량과의 관계는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

VI. 참고 문헌

- [1] 松山 晃, 西矢 豊就, 慌木 猛, 今田 忠志, 2001, "船体および推進器の汚損が推進性能にえる影響", 長崎大學水産學部研究報告, 82, pp. 111-118.
- [2] 松山 晃, 西矢 豊就, 慌木 猛, 今田 忠志, 2002, "船体および推進器の汚損が推進性能にえる影響-II", 長崎大學水産學部研究報告, 83, pp. 19-24.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Andronikos, G. Valiadis, and P. 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.
- [6] Javaherdashti, R. 2000, How corrosion affect industry and life, Anti-Corrosion Methods and Materials, Vol. 47, No. 1, pp. 30-33.
- [7] "부식(腐蝕) 시험법", 한국표준과학연구원 내구성 연구그룹
- [8] Al-Kharafi, F. M, Ateya. B. G and Abd-Allah, R. M. 2004, "Selective Dissolution of Brass in Salt Water", Journal of Applied Electrochemistry, Vol. 34, pp. 47-53.
- [9] 김기주, 김용규(1994). "유사해수에서 동합금강의 부식특성에 관한 연구", 한국부식학회지, 제23권, 제3호, pp. 194-202.

- [10] 성진경, 이상하(1996). “방식용 열용사코팅의 해수 부식 특성 평가”, RIST 연구논문, 제10권, 제4호, pp. 447-462.
- [11] 황재호, 임우조, 정기철(1997). “연강의 캐비테이션 침식-부식 특성에 관한 연구(3)”, 한국어업기술학회지, 제33권, 제3호, pp. 202-208.
- [12] 진희석, “각종 내식성 용사 코팅재의 캐비테이션 침식 거동에 관한 연구”, 제주대학교 석사학위 논문, 2003.
- [13] 정성균, 김태형(2003). “Al7075-T6의 최적 쇼트피닝 조건에 관한 연구”, 한국항공우주학회지, 제31권, 제7호, pp. 63-68.
- [14] Roy, N. and Jeff, S. 1997, "Abrasive Blasting", U.S.Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Emission Factor and Inventory Group

