濟州大學校 尖端技術硏究所 論文集, 第14卷, 2號, pp.45-51, 2003. 12
Cheju Nat'l Univ. Res. Inst. Adv. Tech. Jour., Vol.14, No.2, pp.45-51, 2003. 12

Al과 Zn 용사코팅재의 캐비테이션 침식에 관한 연구

김 귀 식* · 현 창 해** · 진 희 석***

A Study on Cavitation Erosion of Al and Zn Coating by Thermal Spray Method

Gui-Shik Kim* · Chang-Hae Hyun** · Hee-Seok Jin***

ABSTRACT

The hydraulic machinery of screw propeller and pump impellers is damaged by cavitation erosion in sea water. The cavitation erosion is a phenomenon lead to a functional disorder of various fluid machinery and drop off in efficiency by cavity fluid fluctuation. In this study is investigated the cavitation erosion of Zn and Al coatings made by thermal spraying methods. These metals are coated on substrate of high strength brass. Test specimens are immersed in 3.5% NaCl solution along 500 and 1000 hours, respectively. After pre-corrosion, the cavitation erosion test conducted on the coating specimens in 3.5% NaCl solution along 210 minutes. The cavitation erosion rates of the coating specimens were increased with pre-corrosion times. The weight loss of Al coating was smaller than that of Zn. The weight loss rates of Zn and Al coating heavily increased at the initial stage of cavitation test, regardless of the test conditions.

Key Words : Corrosion, Cavitation erosion, Thermal spraying methods, High strength brass

Ⅰ. 서 론

최근 해양 산업 발전과 더불어 기계장치가 고속화, 고출력화 됨에 따라 해양환경은 가혹화 되는 경향을 나타내고 있다. 특히, 해양기계류 중 임펠라 및 프로펠라 등은 해수의 유속에 의한 압력의 변화로 인하여 해수 내에서 기포의 발생과 충격의 반복으로 인한 캐비테션 작용에 의한 침식 및 부식의 영향을 받고 있으며, 이러한 캐비테이션 침식과 부식의 중첩에 의한 피해가 약 12%이고[1-3], 그 중에서 펌프 임펠러의 침식손상이 약 9% 정도를 점유하고 있다.[4] 또한 대부분의 기계적인 캐비테이션 침식[5-6]은 전기화학적인 부식성 환경에서 일어나는 경향이 많은 데, 이와 같이 금속재료에 침식과 부식이 중첩하여 발생하는 경우에는 침식과 부식이 상호간에 가속하는 상승효과 때문에 기계수명에 치명적인 악영향을 미친다.[7]

이러한 각종 해양 부식을 방지하기 위해 페인트, 도료, 희생양극 등을 사용하는데 해양 방식에는 한계가

* 제주대학교 기계에너지생산공학부
Faculty of Mechnical, Energy & Production Eng., Cheju nat'l univ.
** 제주관광대학 메카트로닉스계열
Cheju Tourism Collag, Mechatronics Majors
*** 제주대학교 산업대학원
Graduate School of Industry, Cheju Nat'l Univ.

있다. 최근에는 소재가 가지고 있는 특성을 살리면서 기재의 표면에 내열성, 내부식성 및 내마모성 등이 탁월한 기능을 부여하는 용사코팅기술이 많이 활용되고 있다. 현재 방식용 코팅에 많이 사용되는 재료는 주로 알루미늄 및 아연이며, 분말 및 선재의 형태로 상용화되어 있다.

본 연구에서는 용사코팅에 의한 선박 스크류 프로펠라의 부식 및 캐비테이션 에로죤 +방지를 목적으로, 선박 스크류 소재인 고강도 황동합금의 표면에 희생양극으로 사용하고 있는 Zn과 Al 합금을 용사 코팅하여 3.5% NaCl 용액에서 500시간과 1000시간 동안 선재부식을 시킨 후, 초음파 캐비테이션 실험 장치를 이용하여 가속 캐비테이션 침식 실험을 행한 후 캐비테이션 침식에 의한 무게감소 및 표면 관찰을 통하여 내부식 및 내캐비테이션 특성을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 시험편

본 연구에 사용한 기재는 해수환경에서 주로 내침식이 강하여 소형어선에서 추진기의 재료로 사용하는 재료로 잘 알려진 황동 합금이다. 시험편의 크기는 길이 35mm, 폭 35mm, 두께 6mm로 제작하였다. 황동 합금의 화학성분은 Table 1에 나타낸 바와 같이 주성분이 Cu와 Zn이며 Mn, Fe, Ni, Al 등이 미량 함유되어 있다. 한편, 시험편의 제작에 있어서, 코팅시의 접착강도를 향상시키기 위해 기재의 표면을 Table 2의 조건으로 블라스팅 처리를 실시하였다. 코팅재료는 해수환경에서 희생양극재로 많이 사용하는 양성금속인 아연과 알루미늄을 선정하였다. 시험편은 부식시간에 따라 구분하여 제작하였으며, Table 3에 나타냈다. 코팅시의 용사조건을 Table 4에 나타냈으며, 용사 코팅층의 두께는 약 200㎛로 하였다. 용사 후 시험편 표면은 저속밀링 및 미세 사포(Emery cloth)로 정밀 연마한 후 아세톤으로 탈지(脫脂)하였으며, 캐비테이션 시험의 유효노출 표면을 제외한 그 이외의 부분은 에폭시 수지로 도장하여 부식환경을 차단하였다.

캐비테이션 실험은 기재와 Zn 코팅재, Al 코팅재의 3종류의 시험편을 준비하여 무부식 상태와 3.5% NaCl의 용액에서 500시간과 1000시간 동안 침지하여 선재부식시킨 후 캐비테이션 실험을 행하였다.

Table 1. Chemical compositions of high strength brass.

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	Surface roughness
Direct pressure	6.8~7.0 kg/cm²	-14~30 (# 24)	Boron 7Φ	Ra 7.82~7.99

Table 3. Test specimens

Specimens names	Coating materials	Corrosion time in 3.5% NaCl (hours)
Al	Al	0
Al 500		500
Al 1000		1000
Zn	Zn	0
Zn 500		500
Zn 1000		1000

Table 4. Spraying conditions

(a) Al

Coating method	Coating system	Wire size	Lighting pressure (psi)			Flowmeter reading(psi)			Spray dist m/m	Out put (Lbs/Hr)
			Oxy	Acety	Air	Oxy	Acety	Air		
Flame Spray System	METCO 14E SYSTEM	3.2Φ	30	15	70	45	42	53	300	45

(b) Zn

Coating method	Coating system	Wire size	Set amp	Volts	Spray dist m/m	Out put (Lbs/Hr)
Arc Spray System	PRAXAIR BP 400	1.6Φ	240	22-26	250	50

2.2. 실험장치

본 실험에 사용된 캐비테이션 발생장치는 압전효과를 이용한 진동발생장치이다. 초음파 발진기는 60Hz, 220V의 전력을 전자회로를 거쳐 20㎑의 정격 출력을 발생시켜 진동자에 공급하는 역할을 하며, 진폭은 정진폭 자동제어방식으로 24㎛로 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 전기화학적인 부식의 영향이 없도록 아크릴 재료로 제작하였다. 그리고, 시험편은 진동자의 혼(Horn)과의 대향(對向)하도록 아크릴 판에 고정하고, 시험편과 혼과의 간극(Distance)은 0.4mm로 일정하게 하였다.

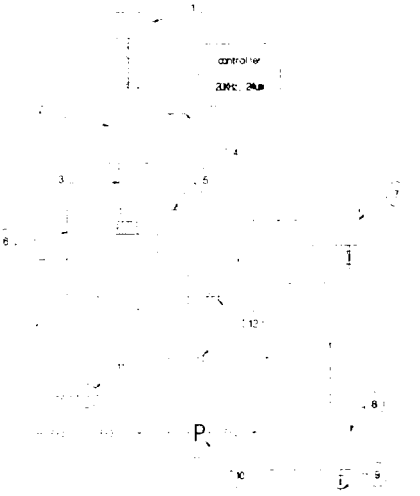
환경용액의 온도는 25±2℃ 되도록 하고, 펌프에 의해 순환하였으며, 침전물에 의한 전기화학적 변동을 제거하기 위해서 절연성(絶緣性)필터를 사용하였다. 캐비테이션 침식 실험장치는 Fig. 1에, 20KHz의 공진 주파수와 24㎛의 진폭을 가진 진동자(Transducer)에 의해 캐비티를 발생시키는 가속진동시험기의 계통도는 Fig. 2에 나타내었다.

2.3. 실험방법

캐비테이션 실험은 3.5% NaCl 용액에서 210분 동안 실시하였는데 60분까지는 매 10분마다 무게를 측정하고, 60분부터 210분까지는 30분마다 무게 감소량을 측정하였다. 실험 후의 캐비테이션 침식량은 캐비테이션 실험 시간별 무게 감소량과 총 누적 감소량을 측정하여 시험편들의 캐비테이션에 의한 침식특성을 조사하였다.

환경용액의 수위를 조절할 수 있는 부착형 장치를 설치하여, 혼이 NaCl용액에 잠기는 깊이는 3.5㎜로 일정하게 유지시켰다. 각각의 시험편 실험 종료마다 환경용액을 교환하였고 필터청소는 주기적으로 하였다. 환경용액의 농도 및 전기전도도의 변화를 방지하기 위하여 플라스틱재인 순환수 펌프로 분당 2.8리터의 량으로 순환하였다.

Fig. 1. Experimantal apparatus of cavitation erosion.



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

Fig. 2. Schematic diagram of cavitation erosion test.

시험편과 혼(Horn)과의 간극(0.4mm)은 다이얼 게이지 및 간극 게이지로 실험 종료시마다 측정하여 간극을 일정하게 유지하였다. 그리고, 자동정지 타이머에 의한 실험 시간을 조정하여 시험편을 지지대에서 분리시킨 후, 초음파 세정기로 정화 처리한 다음 건조한

후, 시험편의 무게 감소량을 1/1000mg 用인디지털 저울을 사용하여 측정하였다.

특히, 양극인 각 시험편과 대극(對極)인 혼(Horn)과의 전기 화학적인 부식영향은 캐비테이션 발생에 의한 침식 - 부식작용에 비하여 극소함으로서 무시하였다. 본 실험을 실시하기 전에 액체내의 가스량을 안정화시키기 위하여 예비 시편을 사용하여 약 15분간 예비 시험을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 부식에 의한 캐비테이션 침식특성

3.1.1. 무부식상태에서 캐비테이션 침식

Fig. 3. 4는 무부식 시험편들의 캐비테이션 침식실험을 한 결과를 구간별 무게 감소량, 구간별 누적 무게 감소량을 나타낸 그래프이다.

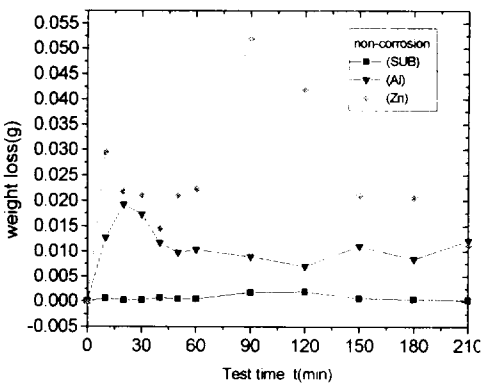


Fig. 3. Interval weight loss under non-corrosion

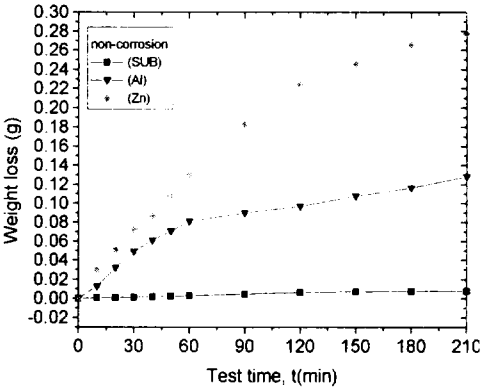


Fig. 4. Cumulative weight loss under non-corrosion.

무부식상태에서 각 시험편의 구간별 캐비테이션침식의 특징을 살펴보면 대체적으로 Zn 시험편이 Al 시험편보다 무게 감소량이 크게 나타나고, Al 시험편의 경우 초기 30분 정도에서 무게감소가 크게 나타났으며, 30분 이후는 일정한 감소량을 보였다. Zn 시험편은 90분 정도에서 가장 큰 무게감소가 나타나는데, 이는 10분까지는 재질의 표준상태에서 무게감소가 생기다가 캐비테이션의 압력으로 인한 경화현상으로 인하여 표면경화현상이 발생하여 캐비테이션 침식현상이 줄어들다가 다시 이 표면이 침식되면서 많은 무게감소가 일어나고 있는 것으로 판단되며 이러한 현상이 반복된다고 판단된다.

3.1.2. 500시간 부식에서 캐비테이션 침식

Fig. 5, 6은 500시간동안 침식시킨 후 캐비테이션 침식 실험한 결과를 구간별 무게 감소량 및 구간별 누적 무게 감소량을 210분 동안 나타낸 그래프이다.

500시간동안 침식시킨 상태에서 각 시험편의 구간별 캐비테이션 부식의 특징을 살펴보면 무부식 상태와 마찬가지로 Zn 시험편, Al 시험편들은 무게 감소량이 실험 초기에 크게 나타나고, Zn 시험편은 실험 종료까지 계속적인 무게 감소가 관찰이 되었지만 Al 시험편은 150분대에서 실험 종료까지 무게감소폭이 다소 떨어진 상태에서 유지되었다.

각 구간별 누적된 무게 감소량을 비교해 보면 무부식상태보다 무게 감소량이 어느 정도 증가함을 관찰이 되었다. Zn 시험편(0.3032g), Al 시험편(0.1509g) 순으로 무게 감소량이 크게 나타났다.

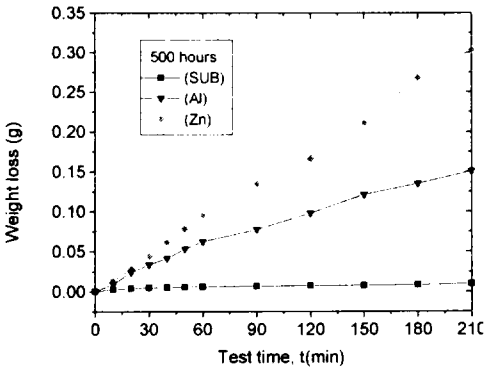


Fig. 5. Interval weight loss corrosion for 500 hours.

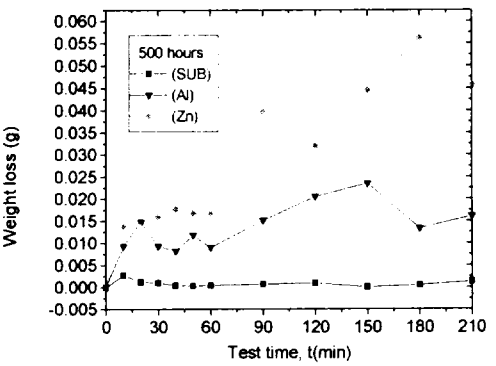


Fig. 6. Cumulative weight loss under corrosion times of 500 hours.

3.1.3. 1000시간 부식시 캐비테이션 침식

Fig. 7, 8은 1000시간동안 캐비테이션 실험한 결과를 구간별 무게감소량, 구간별 누적 무게 감소량을 210분 동안 나타낸 그래프이다. 무부식 상태, 500시간 부식시킨 실험과 마찬가지로 Zn 시험편, Al 시험편들은 무게 감소량이 실험초기에 크게 나타남을 알 수 있었다, Zn 시험편은 실험 종료까지 계속적인 무게 감소가 관찰이 되었지만, 처음 10분대에서 나타난 무게 감소량보다 20분에서 60분까지는 오히려 무게 감소량이 떨어졌다. 그 후 실험종료까지는 계속적인 캐비테이션 실험에 의한 무게 감소가 큰 폭으로 증가함을 관찰할 수가 있었다. Al 시험편은 실험 종료까지 무게 감소폭이 다소 떨어진 상태에서 유지되었다.

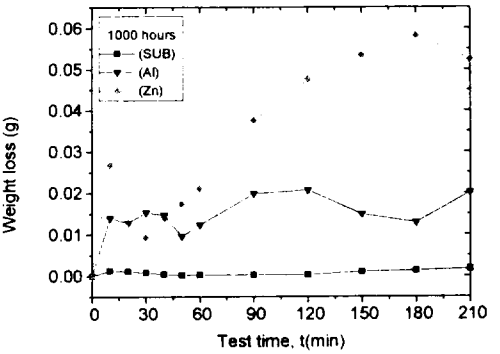


Fig. 7. Interval weight loss corrosion for 1000 hours.

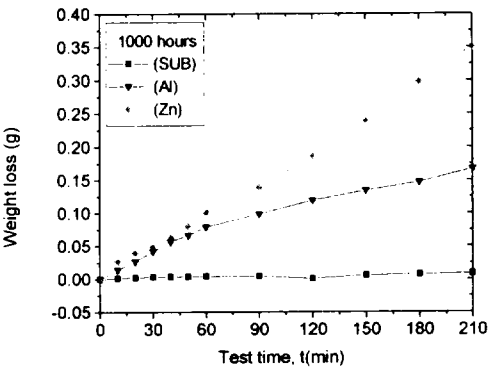


Fig. 8. Cumulative weight loss under corrosion times of 1000 hours.

각 구간별 누적된 무게 감소량을 비교해 보면 무부식 상태가 500시간 부식시킨 상태에서 보다 누적 무게 감소량이 증가함을 알 수 있었다. Zn 시험편(0.3505g), Al 시험편(0.1671g) 순으로 무게 감소량이 크다.

3.2. 각 용사코팅 재료별 캐비테이션 침식특성

3.2.1 Al 시험편의 캐비테이션 침식

Fig. 9는 Al 시험편들의 구간, 누적별 무게 감소량과 선재부식 시간대별 특성을 나타내는 그래프이다.

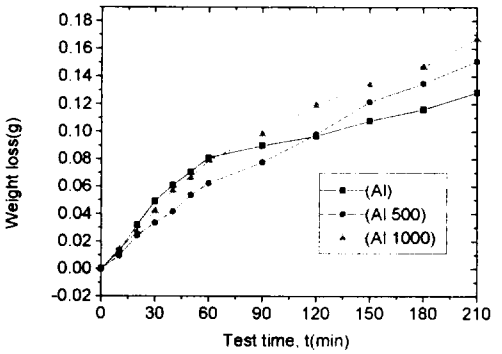


Fig. 9. Weight loss of Al

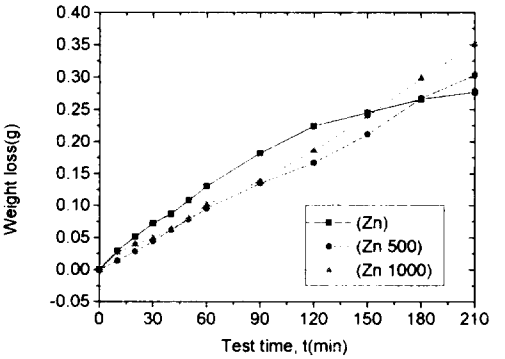


Fig. 10. Weight loss of Zn

무부식 시험편에서는 실험초기인 10분 경과 후, 흔윤곽으로 캐비테이션 부식현상이 관찰이 되었고, 120분대에서 ½정도의 기재가 보이기 시작하여 실험 종료 후에는 일부분만 남기고 기재를 볼 수 있었다. 무부식 시험편과 조금 늦은 시기지만 500h 시험편, 1000h 시험편 모두가 시간상으로 거의 비슷한 시기에 대체적으로 거의 비슷한 캐비테이션 실험과정을 관찰할 수 있었다.

Al 시험편에서도 실험 종료 후 중심부분에서 모재의 흔적이 관찰이 되어, Zn 시험편에서 처럼 흔의 중심에서 가장자리로 수류가 확산 이동하는 현상을 뚜렷하게 관찰이 가능하였다.

실험 초기인 10분에서 30분 사이에 무게 감소량이 크게 증가하였고, 150분부터는 코팅된 Al과 기재의 무게 감소가 동시에 일어나 실험 초기보다 무게감소량이 크게 감소하였다.

500h, 1000h 시험편에서도 실험 초기인 10분에서 30분 사이, 90분에서 120분 사이에 무게 감소량이 크게 증가하였고, 150분부터는 코팅된 Al과 기재의 무게 감소가 동시에 일어나 실험 초기보다 무게감소량이 크게 감소하였다.

3.2.2 Zn 시험편의 캐비테이션 침식

Fig. 10은 Zn 시험편들의 구간, 누적별 무게 감소량과 선재부식 시간대별 특성을 나타내는 그래프이다.

실험 초기인 10분에서 30분 사이, 90분에서 120분 사이에 무게 감소량이 크게 증가하였고, 120분부터는 코팅된 아연과 기재의 무게 감소가 동시에 일어나 실험 초기보다 무게 감소량이 크게 감소하였다. 실험 초기에는 감소량이 그다지 크지 않으나 90분대, 180분대에서 크게 무게 감소가 크게 증가하였다.

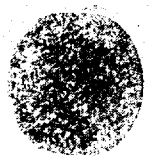
1000시간 부식시킨 시험편에서는 초기에 조금 무게 감소가 있었으나, 90분 이후의 무게 감소량에는 미치지 못하고 있고, 이 시험편 역시 90분대 이후에 많은 무게 감소가 일어나고 있음이 관찰되었다.

대체적으로 세 종류의 시험편이 실험 시간이 증가함과 동시에 무게 감소량이 증가하고 있고, 1000시간 부식시킨 시험편, 500시간 부식시킨 시험편, 무부식 시험편 순으로 무게 감소량이 크다는 결과를 얻을 수 있었고, 무게 감소량은 염수 부식보다는 캐비테이션 부식에 의한 무게 감소가 크게 좌우한다.

3.3. 표면관찰

3.5% NaCl 용액에서 캐비테이션 침식실험 후의 표면 손상을 Fig. 11과 12에 나타내었다.

Zn 무부식 시험편에서는 캐비테이션 실험한지 10분 경과 후 hone모양의 캐비테이션 흔적이 요철 현상으로 뚜렷하게 관찰되었으며, 90분후 ½가량의 모재가 보이기 시작하여 150분에 거의 모재가 나타나는 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 현상은 500h, 1000h 시편 모두 비슷한 양상을 보였다.



(a)non (b) 500 hour (c)1000 hour

Fig. 11. Damaged surface of Al

(a)non (b)500 hour (c)1000 hour

Fig. 12. Damaged surface of Zn

Zn 500시간 부식시킨 시험편에서는 1000시간 부식시킨 시험편과 함께 실험하기 전에 표면을 관찰한 결과, 거의 100%정도가 백청이 표면을 덮고 있었다. 캐비테이션 침식에 의하여 침식부의 가장자리 부터 모재의 고유의 색상이 보이기 시작하여 점차 중심부로 이동하는 현상은 혼의 중심에서 가장자리로 수류가 확산 이동하는 현상이라고 여겨진다. 따라서, 혼의 가장자리가 가장 캐비테이션 방식 기능이 떨어진다고 볼 수 있다.

IV. 결 론

용사코팅에 의한 선박 스크류 프로펠라의 부식 및 캐비테이션 에로죤 방지를 목적으로, 선박 스크류 소재인 고강도 황동합금의 표면에 희생양극으로 사용하고 있는 Zn과 Al 합금을 용사 코팅하여 3.5% NaCl 용액에서 장시간 선재 부식을 시킨 후, 가속 캐비테이션 침식 실험에 내부식 및 내캐비테이션 특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. Al과 Zn 용사 코팅재의 선재 부식에 의한 캐비테이션 침식율은 선재부식시간이 증가하면 무게감소량이 크다.
2. Al과 Zn 용사 코팅재의 캐비테이션 침식량은 시험초기에 크며 그후는 둔화된다. 이는 선재 부식의 영향에 의해 용사층이 시험초기에 캐비테이션 침식에 의해 탈락되기 때문이다.
3. 210분간의 캐비테이션 침식시험 후, Al 코팅재의 캐비테이션 침식량은 0.12-0.17g으로 Zn 코팅재의 0.27-0.35g보다 침식량이 적다.
4. 캐비테이션 침식에 의하여 Al과 Zn 용사코팅재 모두 캐비테이션 침식에 의한 표면 요철현상이 뚜렷하게 관찰되며, 침식은 수류의 확산이동 현상에 의해 기포 발생되는 부분보다 기포가 터지는 쪽 부분이 크다.

참고문헌

[1] 황재호, 임우조, 정기철(1997). 연강의 캐비테이션 침식-부식 특성에 관한 연구(3), 한국어업기술학회지, 33(3).

[2] 이진열, 임우조, 오인호(1994). 해상용 원심펌프 임펠러의 침식억제법으로 음극방식 및 재료 개발에 관한 기초연구(2), 한국학술진흥재단공모과제.

[3] 김기주, 김용규(1994). 유사해수에서 동합금강의 부식특성에 관한 연구, 한국부식학회지, 23(3).

[4] 小岩正論(1983). "金屬の 耐食損傷と 防食技術", 新日本印刷, pp. 10-11.

[5] 김용철, 고영태(2001). Al-2%Zn 용사코팅층의 박리에 따른 모재의 방식성능 평가, 한국부식학회지, 30(6).

[6] 성진경, 이상하(1996). 방식용 열용사코팅의 해수부식 특성 평가, 해양공간이용 대형 복합 플랜트 개발과제 연구논문.

[7] M.G Talk and G.Moreton(1981). Proc. ASME Symp. Cavitation Erosion Fluid system, pp. 139.