

## 해수 내 다양한 알루미늄 선박용 재료의 캐비테이션 진폭에 따른 캐비테이션-침식 손상 연구

양 예 진<sup>1</sup> · 김 성 종<sup>2,†</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 에너지시스템학과 대학원, 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206

<sup>2</sup>목포해양대학교 기관시스템공학부, 전라남도 목포시 해양대학로 91

(2020년 9월 14일 접수, 2020년 10월 12일 수정, 2020년 10월 12일 채택)

## Investigation on Cavitation-Erosion Damage with the Cavitation Amplitude of Al Alloy Materials in Seawater

Ye-Jin Yang<sup>1</sup> and Seong-Jong Kim<sup>2,†</sup>

<sup>1</sup>Department of Energy Systems Research, Graduate School, Ajou University, 206 World Cup Road,  
Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Korea

<sup>2</sup>Division of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, 91, Haeyangdaehak-ro,  
Mokpo-si, Jeollanam-do, Korea

(Received September 14, 2020; Revised October 12, 2020; Accepted October 12, 2020)

Recently, 5000 series and 6000 series Al alloys have been used as hull materials for small and medium-sized ships because of their excellent weldability, corrosion resistance, and durability in marine environments. Al ships can navigate at high speed due to their light weight. However, cavitation-erosion problems cause reducing durability of Al ship at high speed. In this investigation, 5052-O, 5083-H321, and 6061-T6 Al alloy materials were used to evaluate the damage characteristics with amplitude (cavitation strength). As a result of the electrochemical experiments, the corrosion current density and corrosion potential of 6061-T6 in seawater were  $8.52 \times 10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup> and -0.771 V, respectively, presenting the best corrosion resistance. The cavitation-erosion experiment showed that 5052-O had the lowest hardness value and cavitation-erosion resistance. 5052-O also had a very short incubation period. As the experiment progressed for 5052-O, pitting formed and grew in a short time, and was observed as severe cavitation-erosion damage that surface detached. Among the three specimens, 5083-H321 presented the highest hardness value and the damage rate was the smallest after the initiation of pitting.

**Keywords:** Hull materials, Cavitation-erosion, Amplitude, Seawater, Aluminum alloy

### 1. 서론

최근 중소형 선박용 선체 재료로 증가 추세인 알루미늄 합금은 인체에 무해하고, 친환경적이고, 재활용이 가능하며, 내구성과 용접성이 우수하다 [1]. 알루미늄 합금 재료로 선박이 건조될 경우, 가혹한 해양 환경에서도 얇은 산화 피막을 형성하여 내식성, 내구성이 우수하다. 또한 무게 대비 강도가 높아 연료 소모가 적은 장점이 있으며, 엔진 기술의

발달로 고출력, 고속 운항이 가능하다 [2].

선박 건조 시 재료로 5000계열과 6000계열의 알루미늄 합금이 사용된다. 5000계열은 Al에 Mg를 주첨가 성분으로 비강도, 용접성 및 내식성이 우수하다. 이 중 5083은 약 4.5% Mg를 함유하고 있는 합금으로 내식성 및 성형성이 우수하며 내구성과 용접성 등 모든 특성에서 뛰어난 균형을 이루고 있어 선체 재료로서 주류를 이룬다. 그리고 6000계열은 Mg과 Si를 주첨가 성분으로 한 열처리 합금으로 용접성과 내식성이 양호하다 [3]. 그러나 선박의 고속 운항으로 인한 캐비테이션-침식 현상 발생으로 내구성이 저하되는 문제가 발생하고 있다. 캐비테이션-침식이란 고속 운항 시

<sup>†</sup>Corresponding author: ks@mmu.ac.kr

양예진: 박사과정, 김성종: 교수

액체 내에서 물체가 빠른 속도로 진동함에 따라 물체와 액체 경계면에 유체의 관성이 발생하고, 그로 인하여 간극이 생기고 정압 저하에 따른 국부적 비등으로 인해 발생하는 현상이다. 발생한 증기포는 저압부에서 고압부로 이동하여 금속 표면에 충돌하고, 생성과 소멸을 반복하여 침식 손상과 함께 피로에 의한 손상도 발생한다. 선체의 수명은 해양 환경 하에서 선속 증가에 기인한 캐비테이션-침식 현상과 함께 염소 이온에 의한 부식의 시너지효과로 예상보다 훨씬 빠르게 손상이 가속화된다. 더욱이 선체에 증기포의 집단 붕괴로 인해 대단히 큰 압력파를 생성하여 선체 표면을 탈리, 제거 시킬 수 있다. 또한 이러한 물리 작용이 선체의 탄성한계보다 높으면 소성변형을 일으킬 수 있다. 이와 같이 캐비테이션-침식 현상은 선체에 많은 손상을 발생시켜 경제적 손실을 초래한다 [4-7]. 5052-O 알루미늄 합금에 대하여 진폭변수에 따른 해수 내 캐비테이션 손상 특성을 연구한 바 있다 [8]. 그러나 선박의 고속화로 인한 빠른 유속에서 캐비테이션 진폭(캐비테이션 강도)에 따른 알루미늄 합금의 손상 특성에 관한 평가 연구는 미미하다.

따라서 본 연구에서는 5000계열과 6000계열 알루미늄 합금에 대하여 해수 내 진폭변수에 따른 캐비테이션-침식 손상 특성을 평가하였다. 본 연구 결과는 해양 환경에서 고속 운항을 목적으로 알루미늄 선박 건조 시, 선체 재료로 우수한 알루미늄 합금 선정에 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2. 시험편 및 실험방법

### 2.1 시험편

본 실험에 사용된 재료는 Al-Mg계열 합금인 5052-O와 5083-H321 그리고 Al-Mg-Si 계열 합금인 6061-T6이다. Al-Mg 계열 알루미늄 합금은 해양환경에서 내식성이 우수하고 Mg에 의해 고용 강화되어 우수한 강도를 지닌다. 그 중 Mg 함량이 2.5%(JIS 내식 알루미늄 합금 제 1종,

5052)와 4.5%(JIS 내식 알루미늄 합금 제 7종, 5083)인 알루미늄 합금이 가공성 및 용접성이 양호하여 해양환경에서 구조용 재료로 널리 이용된다. 5000계열 알루미늄 합금은 Al-Mg 합금으로 적당한 강도를 유지하며 내식성, 성형 가공성이 우수하며, 특히 5052-O 알루미늄 합금은 Mg 함량이 중간 정도로 적당한 강도를 요구하는 선박, 차량, 건축 등의 구조재로 사용된다. 5083-H321 알루미늄 합금은 Mg 함유량이 상대적으로 많으며, 비 열처리된 합금으로 5083 알루미늄 합금을 가공 경화한 것으로 우수한 강도를 유지하면서 용접성도 뛰어나 선박, 차량, 저온용 탱크 등에 사용되고 있다. 그리고 6061-T6은 6061을 용체화 열처리(담금질) 후 인공시효를 한 합금으로 기계적 강도와 가공성이 우수하여 전신재로 활용되는 재료이다. 본 연구에서는 5052-O, 5083-H321, 6061-T6 세 가지 재료를 선정하였으며 이들의 조성은 Table 1에 나타났다.

### 2.2 실험방법

전기화학적 실험은 GAMRY instrument사의 US/PCI4/750를 이용하여 분극실험 실시 후 타펠(Tafel) 분석을 실시하였다. 실험에 사용된 시험편은 열 변형이 발생하지 않도록 냉각수가 공급되는 절단기를 사용해 2 cm × 2 cm로 절단한 후 표면을 샌드페이퍼 #2000까지 단계적으로 연마하였다. 이때 가공과정에서 발생한 불순물과 유분은 1분간의 초음파 세척과 아세톤, 증류수로 세척 및 탈지하였다. 전기화학 실험 시 노출면적은 1 cm<sup>2</sup>이며, 백금전극을 대응전극으로, 은/염화은(Ag/AgCl) 전극을 기준전극으로, 상온의 천연해수에서 실시하였으며, 천연해수의 주요 성분 및 특성은 Table 2에 나타내었다. 분극실험은 실험 전 해수용액에 3,600초간 침지하여 안정화시킨 뒤 개로전위를 기준으로 ±0.25 V 범위에서 1 mV/s의 주사속도로 분극시켰으며 그 결과를 바탕으로 타펠 외삽법(Tafel extrapolation method)을 이용하여 부식전위와 부식전류밀도를 산출하

Table 1 Chemical compositions of Al alloys (wt%)

	Mg	Si	Fe	Mn	Cr	Cu	Al
5052-O	2.31	0.0005	0.284	0.197	0.177	0.0005	Balanced
5083-H321	4.48	0.0005	0.358	0.542	0.0652	0.0133	Balanced
6061-T6	0.8252	0.3104	0.441	0.0069	0.1809	0.2086	Balanced

Table 2 Chemical compositions and properties of seawater (wt%)

Main component (mg/L)						pH	Dissolved oxygen (mg/L)	Electric conductivity (mS/cm)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>			
2,605	17,388	10,414	361	1,215	402	7.9	10.2	49.7

였다.

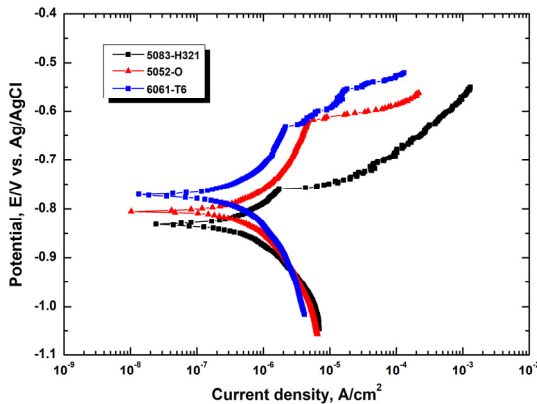
캐비테이션-침식 실험은 압전(Piezo electric) 효과를 이용한 진동발생 장치(Cavitation-erosion tester)를 이용하여 캐비테이션 환경을 구현하여 수행하였다. 본 연구에 사용된 캐비테이션-침식 장비는 60 Hz, 220 V 전원을 공급하여 압전소자에서 20 kHz의 축방향 정격진동을 유도시킨 뒤 혼에 전달하여 특정 진폭의 초음파를 발진시키는 장치이다. 진폭의 크기는 캐비테이션 혼의 기하학적 형상을 달리하여 각각 5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$  및 30  $\mu\text{m}$ 로 맞추었고 정진폭 자동 제어 방식으로 실험 중 일정하게 유지하였다. 시험편은 진동자에 연결된 혼(horn)에 대하여 1 mm 간격을 두고 거치대에 고정하였다. 시험용액은 25  $^{\circ}\text{C}$ 의 천연해수를 사용하였으며, 부식에 대한 영향을 최소화하기 위해 냉각기에 연결된 이중 비이커 내에 용액을 교반시켰다. 또한 정량적인 침식손상 분석을 위한 무게감소량 측정을 위해 시험편을 실험시작 전과 종료 후 증류수(DI water)로 세척하고 건조기로 1시간 동안 건조시킨 뒤 무게를 측정하였다. 실험 후 침식 손상 저항성을 평가하기 위해 무게 감소량 및 무게 감소율을 비교하였으며, 손상된 표면을 주사전자현미경 및 3D 현미경을 이용하여 관찰하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

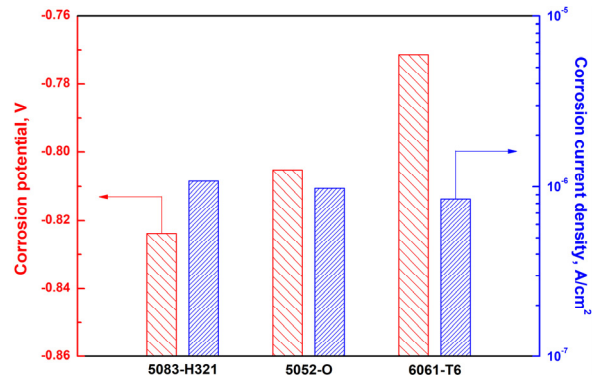
Fig. 1은 천연해수 내 알루미늄 합금 종류에 따라 분극 실험 후 타펠(Tafel)분석 결과를 나타낸 것이다. 먼저 Fig.

1a의 타펠분석을 위한 분극곡선을 살펴보면, 전체적으로 음극분극 곡선에서 용존산소 환원반응에 의한 농도분극 구간이 관찰되었다. 양극분극 초기에는 고유의 산화피막에 의한 부동태 구간이 관찰되었으나 인가전위 상승에 따라 공식이 발생하며 전류밀도가 급격히 상승하는 구간이 관찰되었다. 그리고 시험편 종류 별 부식전위 및 부식전류밀도 값을 Fig. 1b에 막대그래프로 나타내었고 산출된 값은 Table 3에 기재하였다. 부식전위는 6061-T6에서 가장 귀한 값을 나타냈고 5052-O, 5083-H321 순으로 비한 전위를 나타냈다. 부식전류밀도의 경우 6061-T6에서 가장 낮은 값을 나타냈으며 5052-O, 5083-H321 순으로 증가하는 경향을 나타냈다. 따라서 가장 귀한 전위와 낮은 부식전류밀도를 나타낸 6061-T6가 상대적으로 내식성이 우수한 재료로 판단된다. 그러나 캐비테이션-침식 환경 하에서의 손상 정도가 정적조건에서의 전기화학적 부식특성에 비해 현저히 큰 영향을 미친다.

Fig. 2는 세 가지 시험편에 대하여 마이크로 비커스 경도기로 측정된 표면경도를 비교한 그래프이다. 각 시험편 표면의 평균 경도 값은 5052-O, 6061-T6, 5083-H321 이 각각 40.22  $\text{H}_\text{V}$ , 60.34  $\text{H}_\text{V}$ , 68.32  $\text{H}_\text{V}$ 로 계측되었다. 본 시험편들의 경우 첨가원소의 차이와 각각 다른 열처리 조건들로 인하여 위와 같은 경도 값의 차이를 나타낸 것으로 여겨진다. 일반적으로 경도 값은 물리적 외력에 대한 저항성을 나타낸다. 따라서 큰 경도 값을 나타낼수록 캐비테이션-침식에 대한 저항성이 높을 것으로 기대되는 경우가



(a) Polarization curve for Tafel analysis



(b) Corrosion potential and corrosion current density

Fig. 1 Results of Tafel analysis of Al alloys in sea water.

Table 3 Results of Tafel analysis of Al alloys in sea water

	5083-H321	5052-O	6061-T6
$I_{\text{corr.}}(\text{A}/\text{cm}^2)$	$1.08 \times 10^{-6}$	$9.76 \times 10^{-7}$	$8.52 \times 10^{-7}$
$E_{\text{corr.}}(\text{V})$	-0.824	-0.805	-0.771

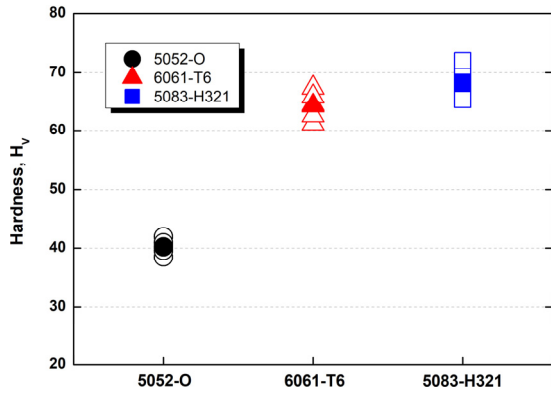


Fig. 2 Comparison of micro-Vickers hardness of Al alloys.

일반적이나 절대적으로 그런 경향을 나타내지는 않는다. 따라서, 가장 높은 값을 나타낸 5083-H321이 캐비테이션-침식 실험에 의한 손상이 가장 적을 것으로 예상되며, 6061-T6, 5052-O 순서로 경도 값이 감소하고 손상이 크게 나타날 것으로 예측된다.

Fig. 3은 천연해수 용액에서 다양한 진폭의 캐비테이션-침식 실험시간에 따른 시험편들의 표면 형상을 나타낸 것이다. 전반적으로 실험시간 경과와 캐비테이션 진폭 크기에 비례하여 손상량이 증가하였으며, 이에 따라 손상부의 면적이 확대되었고 표면 거칠기가 증가하는 경향이 관찰되었다 [8]. 실험시간 5분 경과시점에서 진폭 증가에 따라 손상이 중앙부와 가장자리부분에 집중되는 경향이 크게 나타났으

		5 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	30 $\mu\text{m}$
5 min	5052-O [8]			
	6061-T6			
	5083-H321			
30 min	5052-O [8]			
	6061-T6			
	5083-H321			

Fig. 3 Appearance after cavitation-erosion experiment at amplitude of 5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$  for Al alloys in sea water.

며 침식피트가 보다 더 선명하게 나타났다. 그리고 실험시간 30분에서는 모든 진폭에서 5052-O의 손상이 가장 크게 나타났으며 손상부 면적도 가장 넓게 관찰되었다. 이는 Fig. 2의 경도 측정 값에서 유추한 바와 같은 결과를 나타냈다. 결과적으로 실험 진폭별, 시간별 손상량은 5052-O, 6061-T6, 5083-H321로 나타났으며, 전반적으로 10  $\mu\text{m}$  진폭의 실험에서 시험편별 손상정도가 가장 확연히 구분되

었다.

Fig. 4는 천연해수 용액에서 다양한 진폭에서 캐비테이션-침식 실험시간에 따라 손상된 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진이다. 전반적으로 실험시간 경과와 진폭 크기 증가에 따라 큰 표면손상이 관찰되었다. 실험시간 5분 경과시점의 표면관찰 결과, 5  $\mu\text{m}$ 의 경우 표면손상이 관찰되지 않았고 10  $\mu\text{m}$ 의 경우에는 모든 시험편에서 소성변형에

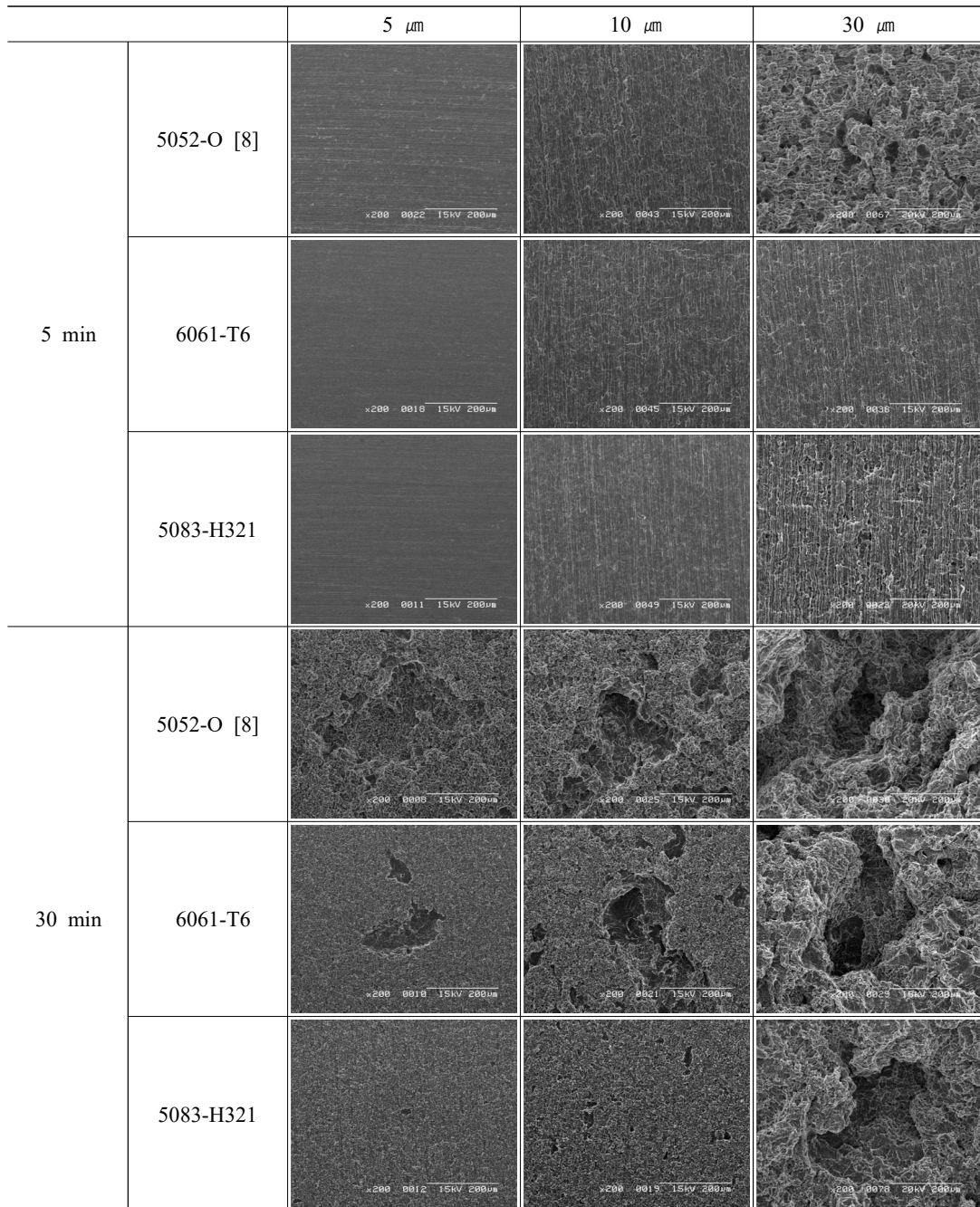
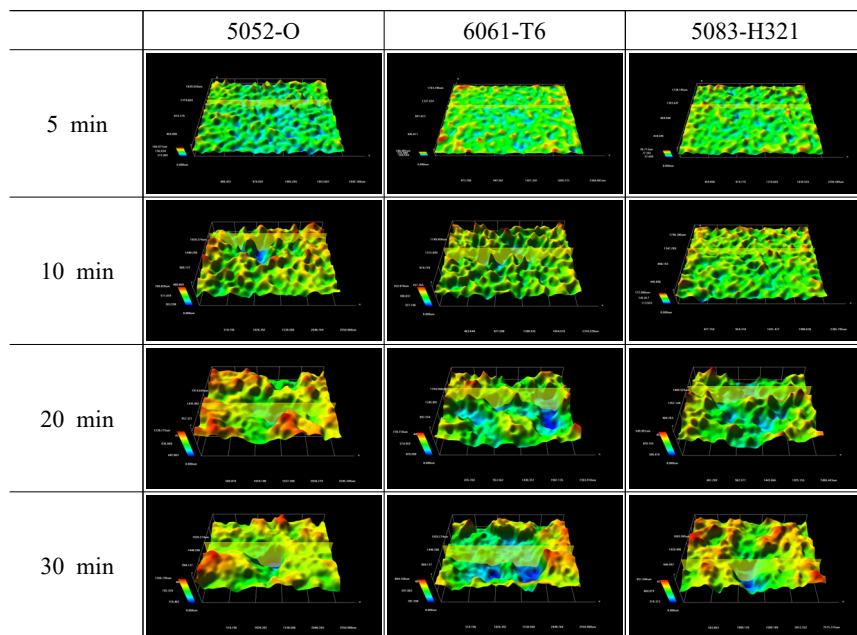


Fig. 4 Surface morphologies after cavitation-erosion experiment at amplitude of 5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$  for Al alloys in sea water.

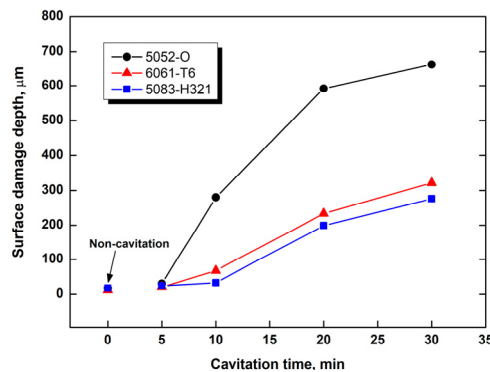
의한 파면무늬가 관찰되었으며 5052-O에서 가장 선명하게 나타났으며, 6061-T6, 5083-H321 순서로 희미하게 관찰되었다. 30  $\mu\text{m}$ 의 경우에는 5052-O에서는 다수의 피트 손상이 관찰되었으나 6061-T6와 5083-H321의 경우에는 소성변형 무늬와 극히 작은 크기의 공식이 관찰되었다. 한편 30분 경과 후 표면손상을 비교해 보면, 전반적으로 5052-O의 손상이 가장 크게 나타났다. 5  $\mu\text{m}$  실험결과, 5052-O와 6061-T6에서 피트와 피트의 합체현상이 관찰되었고 5052-O에서 더 큰 규모의 피트가 나타났다. 10  $\mu\text{m}$  실험결과에서는 피트가 합체되거나 성장하여 깊고 넓은 형태의 손상이 5052-O와 6061-T6에서 관찰되었다. 그러나 주변부의 조직을 보면 5052-O의 경우 표면 전반적으로 손상이었으나 6061-T6의 경우 부분적으로 손상되지

않은 표면이 관찰되었다. 한편 5083-H321의 경우에는 작은 크기의 피트손상만 관찰되었다. 30  $\mu\text{m}$  진폭에서는 전반적으로 큰 캐비테이션 충격에 의하여 매우 큰 손상이 관찰되었다. 5052-O에서는 매우 깊고 넓은 형태의 손상이, 6061-T6에서는 깊고 좁은 손상이, 5083-H321의 경우 얇고 넓은 형태의 손상이 관찰되었다. 결과적으로 모든 진폭에서 5052-O의 손상이 가장 크게 나타났고 6061-T6, 5083-H321 순서로 손상이 감소하였다.

Fig. 5는 천연해수 용액에서 30  $\mu\text{m}$  진폭으로 캐비테이션-침식 실험시간에 따른 시험편의 손상된 표면을 3D 현미경으로 분석한 것이다. Fig. 5a의 3D 분석 결과, 실험시간 경과에 따라 초반에 표면 요철이 증가하다가 지속되는 충격에 의해 표면 상부조직이 탈리되며 손상깊이가 증가하는 경향



(a) 3D analysis



(b) Surface analysis

Fig. 5 3D Surface damage depth after cavitation-erosion experiment at amplitude of 30  $\mu\text{m}$  for Al alloys in sea water.

이 나타났다. Fig. 5b의 손상깊이 관찰 결과 실험시간 경과에 따라 증가하였다. 6061-T6과 5083-H321의 경우 10분 이후 크게 증가한 후 20분 이후 다소 증가폭이 감소하였다. 그리고 5052-O의 경우 5분 이후 급격히 증가한 후 20분 이후 완만하게 증가하는 유사한 경향이 나타났으나 손상깊이는 다른 두 시험편의 경우보다 약 두 배 이상 크게 나타났다.

Fig. 6은 천연해수 용액에서 다양한 진폭에서 캐비테이션-침식 실험시간에 따른 시험편들의 표면손상깊이를 비교한 결과이다. 5  $\mu\text{m}$ 와 10  $\mu\text{m}$ 의 경우는 큰 손상깊이의 차이를 나타내지 않은 반면, 30  $\mu\text{m}$ 에서는 현저히 큰 손상깊이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 5  $\mu\text{m}$ 와 10  $\mu\text{m}$ 에서 5분 동안 실험한 경우, 실험 전에 비해 거칠기가 적게 나타났는데 그 이유는 실험 전 돌출된 표면은 캐비테이션-침식 실험에 의한 충격압에 의해 작아진 것으로 여겨진다. 그러나 30  $\mu\text{m}$ 에서는 큰 충격압이 발생하므로 이로 인하여 손상이 크게 나타났으며, 30분 실험 결과 모든 시험편에서 현저히 큰 값이 관찰되었다. 전반적으로 진폭과 실험시간이 증가할수록 표면손상깊이가 크게 나타났다. 시험편별로 비교하면 모든 진폭에서 표면 손상깊이는 5052-O에서 가장 크게 나타났고 6061-T6, 5083-H321 순서로 나타났다.

Fig. 7은 천연해수 용액에서 다양한 진폭의 캐비테이션-침식 실험시간에 따른 시험편의 무게 감소량을 시험편 종류별로 비교한 결과이다. 전반적으로 실험시간 증가에 따라 손상이 증가하는 경향이 나타났다. 또한 앞선 5  $\mu\text{m}$ 와 10  $\mu\text{m}$  실험 결과에서 무게 감소율이 상승하는 구간임에도 불구하고 잠복기로 판단될 수 있으나 이는 무게 감소량이 매우 작은 값으로 나타났기 때문이다. 재료별로 비교해보면 캐비테이션-침식

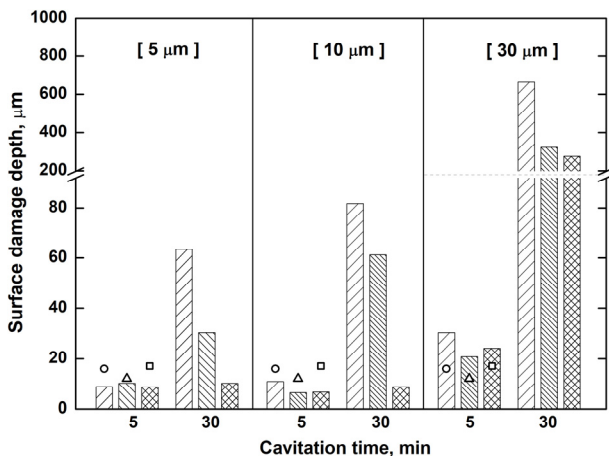
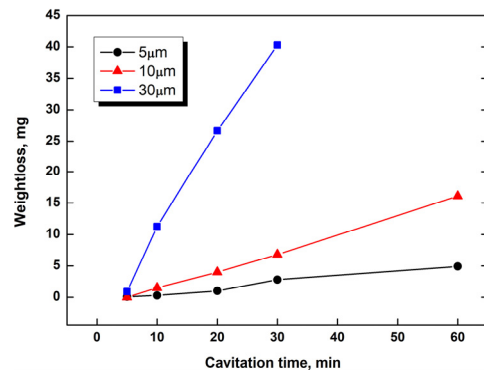
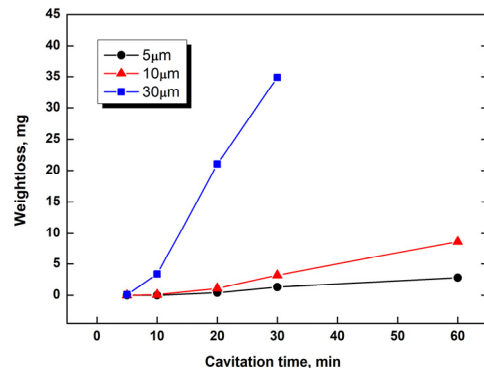


Fig. 6 Weight loss and surface damage depth after cavitation-erosion experiment at amplitude of 5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$  for Al alloys (▨: 5052-O, ▩: 6061-T6, ▤: 5083-H321) in sea water (○, Δ, □: initial surface damage depth).

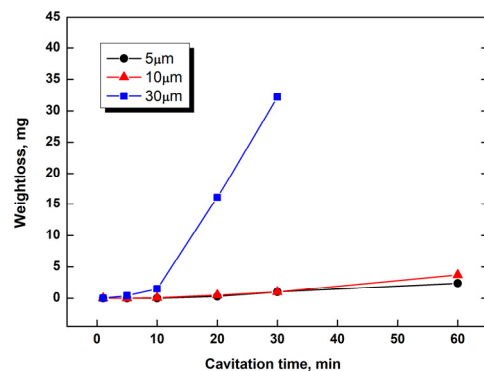
저항성이 우수한 재료일수록 진폭별 무게 감소량 편차가 적게 나타났으며, 전반적인 무게 감소량은 5052-O에서 가장 크게 나타났고 6061-T6, 5083-H321 순서로 감소하였다. 일반적으로 캐비테이션에 의한 손상은 빠른 유속에 의해 정압이 저하되며 생성된 기포가 붕괴과정에서 발생한다. 기포 붕괴 시 고속의 마이크로 제트(micro-jet)와 수 GPa에 달하는 충격파(shock wave)가 발생하며 재료 표면에 지속적으로 충격을 가하게 된다 [9-10]. 이에 따라 재료 표면에 응력이 누적되며 누적된 응력이 한계치에 도달하면 표면



(a) 5052-O



(b) 6061-T6



(c) 5083-H321

Fig. 7 Weight loss after cavitation-erosion experiment at amplitude of 5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$  for Al alloys in sea water.

조직의 일부가 파괴되는 침식 손상이 발생한다 [11-13].

Fig. 8은 천연해수 용액에서 다양한 진폭에서의 캐비테이션-침식 실험시간에 따른 시험편의 무게 감소율을 시험편 종류별로 비교한 결과이다. 5 μm와 10 μm의 경우 실험시간 경과에 따라 소폭 상승한 후 거의 일정하게 유지되며 잠복기에서 급격한 상승구간 없이 일정하게 유지되는 감소기로 이어졌다. 이는 Thiruvengadam의 캐비테이션 손상에 의한 무게 감소율이 잠복기 → 증가기 (최대치) → 감소기를 따라 증가하다가 감소한 후 유지된다는 연구결과와도 부합

한다 [14]. 이는 피트와 크레이터 손상부에 기포가 흡착되어 이후 발생한 기포의 붕괴로 인한 충격을 완화시키는 완충 효과가 발생했기 때문이다. 또한, 지속적인 표면조직 탈리로 인해 혼 팁과 표면 사이의 거리가 멀어져 표면에 도달하는 캐비테이션 기포의 충격에너지가 감소된 결과로 여겨진다 [15]. 반면, 30 μm 실험결과에서는 전반적으로 실험 초반에 급격히 증가하다가 상승폭이 감소하는 경향을 나타냈다. 따라서 잠복기가 거의 관찰되지 않았다. 전반적으로 진폭의 크기 증가에 따라 실험 초기 무게 감소율이 급격하게 증가하였다. 시험편 별로 비교하면 전반적으로 5052-O에서 가장 크게 나타났고 6061-T6, 5083-H321 순서로 감소하였다.

#### 4. 결론

해양환경 하에서 사용되는 알루미늄 합금의 내구성을 비교하여 선체재료로 적합한 알루미늄 합금 선정의 일환으로 전기화학적 실험에 의한 타펠분석과 다양한 진폭 조건으로 캐비테이션-침식 실험을 수행하였다.

전기화학적 실험 후 타펠분석 결과, 6061-T6의 해수에서의 부식전류밀도와 부식전위가 각각  $8.52 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 과  $-0.771 \text{ V}$ 를 나타내어 가장 우수한 내식성을 나타냈다.

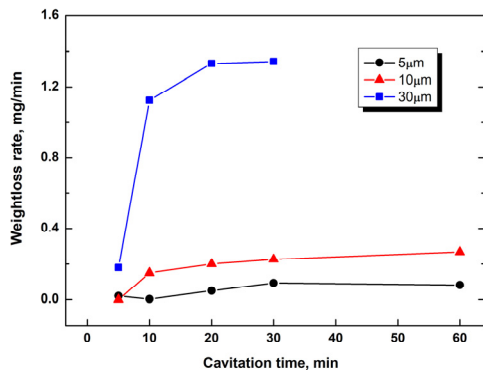
캐비테이션-침식 실험 결과, 5052-O는 가장 작은 정도 값을 나타내며 진폭에 따라 매우 짧은 잠복기가 나타났으며, 실험 경과에 따라 피트가 생성되고 단시간 내에 성장, 발달하여 결국 표면에서 다량 탈리되는 심각한 침식손상이 관찰되었다. 6061-T6 시험편의 무게 감소량은 5083-H321과 유사하게 나타났으나 현미경 관찰 시 국부적으로 깊고 넓은 형태의 큰 손상이 나타나는 경향이 관찰되었다. 그리고 5083-H321 시험편은 상대적으로 가장 큰 정도 값을 나타냈고, 피트 개시 이후 손상의 진전속도는 가장 느렸으며 가장 작은 손상이 관찰되었다. 모든 진폭에서 손상량이 5052-O > 6061-T6 > 5083-H321 순서로 나타나 5083-H321이 캐비테이션 침식에 대한 저항성이 가장 우수한 재료로 평가되었다.

#### 감사의 글

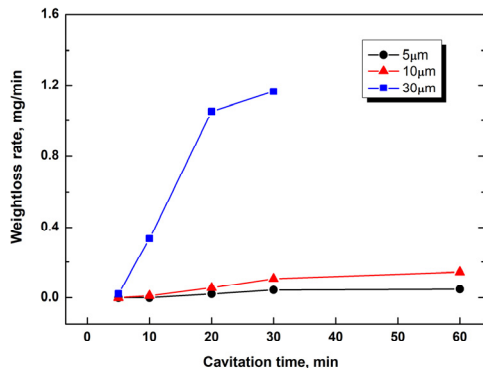
본 논문은 2018년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(100 ft급 대형요트 설계·건조 기술개발 및 시제선 건조).

#### References

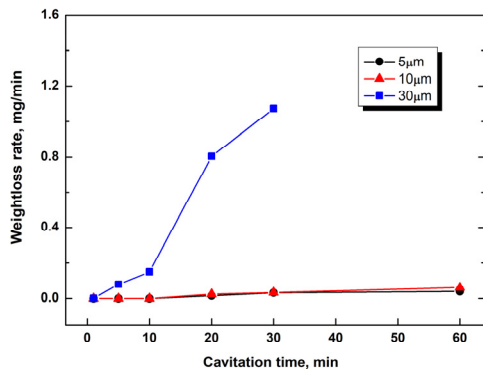
1. J. S Kim, A thesis for a doctorate, pp. 1 - 2, Mokpo National Maritime University (2010).



(a) 5052-O



(b) 6061-T6



(c) 5083-H321

Fig. 8 Weight loss rate after 5 μm, 10 μm, 30 μm cavitation experiment of aluminum alloys in sea water.



2. S. J. Kim, S. J. Lee, and K. H. Kim, *Proc. KOSME Fall Conf.*, pp. 509 - 510, *The Korean Society of Marine Engineering* (2010).  
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01565380>
3. J. H. Cho, M. H. Kim and J. W. Choi, *J. Welding and Joining Society*, **30**, 31 (2012).  
<http://e-jwj.org/upload/PDF/1/84/00/1840011.pdf>
4. S. O Chong and S. J Kim, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, **49**, 26 (2016).  
<https://doi.org/10.5695/JKISE.2016.49.1.26>
5. H. S Sim and J. O Jun, *J. Korean Society Manuf. Process. Eng.*, **15**, 58 (2016).  
<https://doi.org/10.14775/ksmpe.2016.15.6.058>
6. I. H. Park, A thesis for a doctorate, pp. 1 - 2, Mokpo National Maritime University (2018).
7. D. A. Jones, *Principles and Prevention of CORROSION*, 2nd ed., pp. 40 - 43, 432 - 434, Prentice Hall, Inc (1995).
8. Y. J. Yang and S. J. Kim, *Corros. Sci. Tech.*, **19**, 239 (2020).  
<https://doi.org/10.14773/cst.2020.19.5.239>
9. J. F. Santa, J. C. Baena, and A. Toro, *Wear*, **263**, 258 (2007).  
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.061>
10. C. E. Correea, G. L. Garcia, A. N. Garcia, W. Bejarano, A. A. Guzman, and A. Toro, *Wear*, **271**, 2274 (2011).  
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.01.088>
11. K. J. Kim and D. S. Kim, *Korean J. Chem. Eng.*, **32**, 72 (1994).
12. L. A. Espitia and A. Toro, *J. Tribol. Int.*, **43**, 2037 (2010).  
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2010.05.009>
13. P. Veerabhadra Rao, *Wear*, **122**, 77 (1988).  
[https://doi.org/10.1016/0043-1648\(88\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0043-1648(88)90008-7)
14. A. Thiruvengadam and H. S. Preiser, *J. Ship. Res.*, **8**, 39 (1964).
15. D.-S. Won, G.-S. Jeon, Y.-T. Go, and J.-H. Lee, *J. Corros. Sci. Soc. of Kor.*, **23**, 215 (1994).  
[http://www.j-cst.org/opensource/pdfjs/web/pdf\\_viewer.htm?code=J00230400215](http://www.j-cst.org/opensource/pdfjs/web/pdf_viewer.htm?code=J00230400215)