

주파수 변동에 따른 초음파방오장비의 파울링제거효과

배진우* · 박관식** · 류명록*** · 박권하****†

* 한국해양수산연수원, ** KSA SYSTEM Boat Super Shield, *** 한국해양대학교

Antifouling Effect of an Ultrasonic System Operating at Different Frequencies

Jin-Woo Bae* · Guan-Sik Park** · Myung-Lok Ru*** · Goun-Ha Park****†

* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 48562, Korea

** KSA system, Ulsan 44710, Korea

*** Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요약 : 선박에 파울링이 발생되면 운항 중 선박의 저항이 증가하게 되고 이로 인해 연료 소모량도 높아지게 된다. 또한 파울링의 제거에 많은 시간이 필요하게 되어 전체적으로 선박의 유지보수 비용이 증대되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하고 환경오염을 방지하기 위해 주석과 같은 독성 물질을 포함하지 않는 자기연마형 방오도료를 개발하고 있다. 이와 같은 종래기술은 해수와의 마찰이나 진동이 많이 발생하는 운항 중에는 연마기능이 촉진되어 방오성능이 증대되나, 정박 중과 같이 실제로 파울링이 심화되는 경우에는 해수의 흐름이 없어 연마기능이 저하되어 방오성능이 떨어지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 선체의 진동 및 해수의 흐름이 없어서 연마 기능이 저하되는 정박 중에도 진동을 부여하여 연마 기능의 저하를 방지하는 제품을 개발하였다. 개발된 초음파 방오장비의 성능의 신뢰성을 위해 파형발생기의 반복성을 확인하였고 장치의 파울링 제거효율의 정성적인 경향은 시편을 통해 파악하였다. 실험 결과 주파수와 진폭의 반복성의 변동계수 값은 평균 0.2%, 4.0%를 나타냈고 시편의 파울링 발생량은 No.5 시편에서 73.3g으로 가장 많았고 파울링 제거효율은 장치를 설치하지 않은 시편과 비교하여 평균 93.2% 값을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 파울링, 연료 소모량, 자기연마형 방오도료, 초음파 방오장비, 파울링 제거효율

Abstract : When the fouling of a vessel occurs, its resistance at sea increases and there is a corresponding increase in fuel consumption. The maintenance cost of the vessel also increases because it is time-consuming to remove the fouling. To solve this problem and minimize environmental contamination of sea-water, there have been recent developments in anti-fouling paints as self-polishing copolymers that not include toxic elements such as tin. When these conventional techniques are applied to vessels, polishing is promoted during the operation whereby friction or vibration with seawater occurs. This leads to enhanced anti-fouling performance. However, when fouling is intensified such as during an anchorage, there is no flow of seawater and polishing is suppressed. This leads to a deterioration of the performance of anti-fouling. To solve these problems, we developed a system that induces vibration in a vessel during anchorage. As such, the deterioration of polishing due to insufficient flow of seawater is inhibited. The reliability of the ultrasonic antifouling system was evaluated by calculating its repeatability. The removal efficiency of fouling of the proposed system was qualitatively evaluated using test specimens. The test revealed that the value of the coefficient of variation for the reproducibility of the frequency and amplitude was 0.2% and 4.0% on average. The degree of fouling of the specimens was the highest at 73.3 g in the No.5 specimen. Moreover, efficiency of fouling removal was 93.2% on average compared to the specimens without the proposed system.

Key Words : Fouling, Fuel consumption, Self polishing copolymer, Ultrasonic Antifouling System, Removal efficiency of fouling

* First Author : qowlsdn3@seaman.or.kr, 051-620-5430

† Corresponding Author : khpark@kmou.ac.kr, 051-410-4367

1. 서론

선박과 해양구조물은 많은 해양생명체에 노출되어 있다. 이러한 인공 구조물의 표면에 해양생물체가 부착하여 군체를 이루며 성장하는 현상을 파울링(Fouling)이라고 한다(Almedia et al., 2007). 파울링은 유기물과 미생물에 의해 생물막(Biofilm)을 형성하고 해조류와 같이 작은 크기의 생물들이 부착하는 소형 파울링(Microfouling)과 따개비 및 바다 잡초 등과 같이 큰 생물체들이 부착하는 대형 파울링(Macrofouling) 두 단계로 나눌 수 있다고 한다(Tipathi, 2016).

이러한 해양생물이 선박에 부착되면 표면의 거칠기가 증가되어 선박의 마찰저항이 늘어나고 선속이 저하하게 된다. Camp(2000)는 해생물의 부착으로 인해 연료소모량이 40%까지 증가한다고 보고되었다. 그만큼 온실 가스 배출량의 증가로 경제적 손실도 발생된다고 한다(Townsin, 2003). 현재 전 세계적인 해상물동량의 증가, 화석연료비의 급등으로 인하여 고 효율화, 대형화 및 고속화로 대변되는 선박의 개발 방향은 점점 가속화 되고 있고 EEDI(Energy Efficiency Design Index)는 2025년 이후 현재 수준대비 CO₂ 배출량 30% 저감, 에너지 효율기준 42.9%의 향상을 요구하고 있다. 이를 반영하여 파울링을 방지하기 위해 방오성능을 함유한 도료가 개발되어 시장에 소개되고 있다. 방오도료의 역할은 극히 중요하다고 생각되어 오래전부터 여러종류의 방오도료가 개발되었으며(Sung, 1990; Jeon, 1979) 최근까지 방오도료의 연구 개발에 관심이 집중되고 있다고 한다(Yang et al., 2017; Park et al., 2017).

종래에는 파울링을 막아서 저항의 증가를 막는데 사용되었지만 최근 들어 다양한 방식의 기전에 의하여 깨끗한 표면상태에서도 기존 도료에 비하여 작은 마찰저항을 보이는 제품들이 개발되고 있다. 그러므로 선박의 선가를 낮추고, 선박의 운항능률을 올리며, 선체의 부식을 막고 선체표면의 오염물을 방지하는 등 다양한 역할을 하는 선박용 방오기술의 개발이 중요시 되고 있다.

방오도료는 크게 불용성도료(Insoluble matrix type), 가용성도료(Soluble matrix type), 자기연마형도료(Self-polishing copolymer)로 총 세가지로 분류된다. 이중 선박의 파울링 현상을 최소화하기 위해 사용되는 방오도료 중 가장 많이 사용되고있는 자기연마형 방오도료(SPC, Self polishing copolymer paint)는 불용성의 수지가 해수와 접촉시 가수화 반응을 통해 수용성 수지로 변화하여 부풀음 층을 형성하여 일정 선속에서 해수와 마찰로 도막이 마모되어 방오효과를 발휘하는 도료이다. 자기연마형 방오도료는 수지의 설계를 통해 원하는 마모율을 자유롭게 조절할 수 있으며 기존의 방오도료에 비해

우수한 방오성능이 60개월까지 장기간 유지되고, 표면이 매끄러워 표면이 거칠때보다 물의 저항을 덜 받게 되므로 선박의 연료소모량을 현저히 감소시킬 수 있다. 과거 주요물질로 유기주석화합물(TBT)이 많이 사용되었지만, 중금속 성분에 의한 환경문제로 인해 사용이 전면 금지되어 현재 주석을 사용하지 않는 자기연마형 방오도료는 아산화구리(Cu₂O)와 효능 촉진제를 함께 사용하고 있으며, 주로 Zn, Cu, Si기를 함유한 SPC 수지를 적용한 방오도료가 주종을 이루고 있다고 한다(Park et al., 2018).

종래 자기연마형 방오도료기술은 선박에 적용시 해수와 마찰이나 진동이 많이 발생하는 운항 중에는 연마기능이 촉진되어 방오성능이 증대되나, 정박 중과 같이 실제로 파울링이 심화되는 경우 해수의 흐름이 없어 연마기능이 저하되어 방오성능이 떨어지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 정박 중에도 진동을 부여하여 연마기능의 저하를 방지하는 초음파 방오장치를 개발하고 있다.

본 연구에서는 초음파 방오장치의 성능을 평가하기 위해서 파형발생기에서 발생하는 펄스신호의 주파수와 진폭의 반복성과 정확도를 측정하였다. 방오도료 시편을 해수에 노출시켜 장치를 설치한 시편과 설치하지 않은 시편에서 장치의 파울링제거 효율을 확인하기 위해 동일한 지점의 해수에 침지시켜 해조류를 제외한 부착물의 중량을 측정하여 비교 고찰하였다. 본 연구의 결과는 장치의 신뢰성을 확보하고 장치의 성능을 정성적으로 평가할 수 있는 중요한 참고자료가 될 것으로 기대된다.

2. 자기연마형 방오도료 촉진장치

2.1 방오도료 촉진장치의 구성

초음파 방오장치는 선저 외면에 도포되어 마찰이나 진동에 의해 분해되어 해양생물의 부착을 억제하는 자기연마형 방오도료층(1)이 형성되는 종래의 선박의 방오 장치의 구성에 전원을 공급하는 전원공급수단(2)이 더 부가되어 구성된다. Fig. 1에서 진동을 발생시키는 진동자(3), 진동자에 펄스신호를 인가하는 파형 발생기(4) 및 상기 파형 발생기를 제어하는 제어기(5)로 이루어진다.

진동자는 선저 내면에 결합되어 선저에 진동을 가하는 장치로서, 선저 내면에 골고루 여러 곳에 설치되며, 높은 진동효과가 필요한 곳에는 간격을 좁게 하여 다수 개가 설치된다. 초음파 진동자는 BLT(Bolt clamped langevin type transducer) 진동자가 사용된다. 파형 발생기는 펄스신호를 발생시켜 진동자에 인가하는 장치로서, 다양하게 주파수와 진폭의 조정이 가능한 파형 발생기가 선택될 수 있으며, 펄스 폭 변조방

주파수 변동에 따른 초음파방오장비의 파울링제거효과

식(PWM type, Pulse Width Modulation type) 파형 발생기 사용되며, 진동자의 수에 따라 다수 개로 구비된다. 제어기는 상기 파형 발생기에 제어신호를 공급하는 장치로써, 파형 발생기에서 발생하는 펄스신호는 주파수와 진폭이 연속적으로 제어하도록 구성된다.

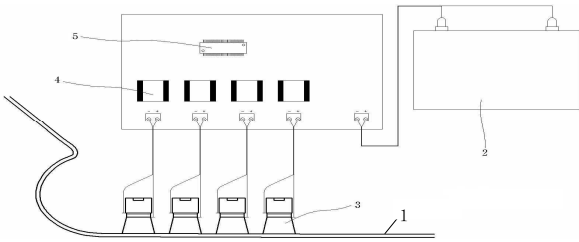


Fig. 1. The configuration of the self-polishing antifouling paints promoting device.

Fig. 2는 파형 발생기에서 발생하는 펄스신호이며 주파수가 변화하는 형태를 보여준다. 이와 같은 주파수 변형 형태는 일정한 주파수를 가진 진동에 비해 방오도료의 연마효과를 더욱 높일 수 있는 이점이 있다.

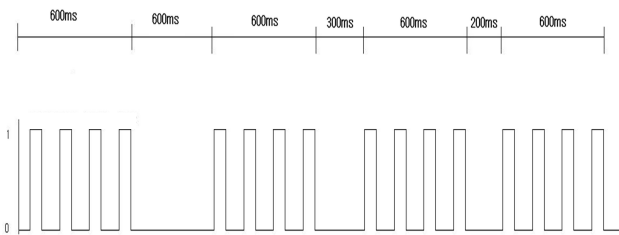


Fig. 2. Pulse signal generated by the waveform generator.

2.2 초음파방오장치의 기능

진동자를 이용하여 자기 연마 도료의 연마작용을 능동적으로 제어할 수 있으며 다음의 기능이 있다.

첫째 선박 상황 검출수단 및 이를 이용하여 제어할 수 있다. 선박의 운항 중인지 또는 정박 중인지를 검출하는 선박 상황 검출 수단이 더 구비되며, 상기 선박 상황 검출 수단은 선박 주기관의 작동 여부 등을 검출하는 센서 장치나 운항자의 조작에 의해 작동되는 스위치 등이 될 수 있으며, 제어기는 선박 상황 검출 수단에서 검출되는 신호에 따라 선박의 운항 중 또는 정박 중인지를 판단하되, 선박 운항 시에는 상기 파형 발생기의 동작을 정지시켜 해수 마찰, 선체 진동 등에 의해 방오도료의 연마효과가 발생되도록 하고, 방오도료의 연마효과가 상대적으로 저하되는 선박 정박 시에는 파형 발생기를 작동시켜 연마효과를 촉진시키도록 제어할 수

있다. 또한, 제어기는 선박 상황 검출 수단에서 검출되는 신호에 따라 선박의 운항 중 또는 정박 중인지를 판단하되 선박 운항 시보다 선박 정박 시에 상기 파형 발생기에서 발생하는 펄스신호의 주파수와 진폭의 변화가 더 크도록 제어하여 운항 시보다 연마도료의 연마효과가 저하되는 정박시에 연마효과를 촉진시키도록 한다.

둘째 선체의 위치에 따른 방오도료의 연마효과의 차이를 고려하여 주파수를 제어할 수 있다. 예를 들어, 선미 스크루부위, 버티컬(Vertical) 부위 등은 상대적으로 해수와의 마찰이 심하여 방오도료의 연마효과가 높은 반면에, 플랫 바텀(Flat bottom) 등의 다른 부위는 해수와의 마찰이 적어 연마효과가 낮은 점을 고려하여, 제어기는 해수와 마찰로 인해 자기연마형 방오도료의 마모가 심한 부위에 설치되는 진동자의 파형 발생기보다 마모가 적은 부위에 설치되는 진동자의 파형 발생기에서 발생하는 펄스신호의 주파수와 진폭의 변화가 더욱 크도록 제어하도록 구성됨으로써, 초음파 방오장치는 선체 전체에 걸쳐 고른 방오효과를 볼 수 있다.

셋째 구동전원은 직류(DC)를 사용할 수 있다. 그러므로 선박에 설치되어 있는 배터리를 사용하여 장치를 더욱더 간편하게 사용할 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 주파수 및 진폭의 반복성

반복성 이라 함은 동일한 조건하에서 동일한 시편을 하나의 측정기기로 여러 번 측정하였을 때 얻어지는 측정값의 변이를 의미한다. 이것은 자체의 변동을 의미하며 측정기기의 적절성을 평가하는데 사용된다. 즉, 반복성이 낮을수록 측정기기의 신뢰성이 더 높아진다. 정밀도를 가리키는 변동계수(coefficient of variation, CV)를 측정기기의 오차의 지표로 사용하였다. 주파수와 진폭의 반복성을 평가하기 위해 3회씩 9개 측정된 데이터 각각의 변동계수를 구하였다. 이때 개별 측정값들의 변동계수를 내고, 개별 변동계수로부터 평균 변동계수를 계산하였다. 추가적으로 주파수 및 진폭의 평균과 오차도 구하여 정밀도를 평가하였다.

Fig. 3은 실험 장치의 개략도이고 Table 1과 Table 2는 본 실험에 사용되는 초음파 방오장치와 측정장비인 Picoscope의 사양을 나타낸 것이다. 초음파방오장치의 진동자에서 발생하는 주파수와 진폭값의 데이터를 측정하고 컴퓨터를 통해서 수집된다. FFT세팅에서 해석하고자 하는 최대 주파수가 248.8 kHz 이하의 값이므로 샘플 주파수를 497.6 kHz로 설정하였다. 울타리오차와 누설 오차를 줄이기 위해 윈도를 사용하여 세팅을 사각형으로 하였다.

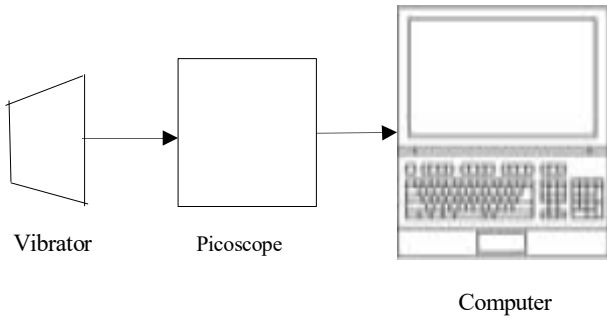


Fig. 3. Experimental setup.

Table 1. Specifications of self-polishing anti-fouling promotion equipment

No.	Contents		Details
1	Manufacture		KSA SYSTEM Boat Super Shield
2	Product Name		Boat Super Shield - Ultrasonic
3	Electric Source		DC 12V
4	Power		14 Watt
5	Ultrasonic generator		1 piece
6	Transducer		2 piece
7	Transducer Cable		Each 5m in length
8	Dimension	Ultrasonic generator	157.5 × 62.2 × 198.9 (W × H × D), mm
		Transducer	90mm × 70∅

Table 2. Specifications of Picoscope

No.	Contents	Details
1	Type	PicoScope 204A (PC Oscilloscope)
2	Resolution	8 bit at 100 MS/s
3	Tuned probe	MI007
4	Memory	8kS

3.2 파울링 효율

방오도료의 성능을 평가하는 방법으로 해상 침지시험이 실시되었다. 침적 시험은 울산항에서 정적시험으로 수행되었다. Fig. 4는 시험장의 모습이고 Fig. 5는 시험 장치의 개략도이다. 전원공급장치(1)에서 전원을 공급하여 파형발생기(2)에서 진동자(3)에 펄스신호를 인가하여 진동을 발생시켜

자기연마형 방오도료를 분해시키는 시편(4)과 초음파장비를 설치하지 않은 시편(5)을 설치하였다.

시험 일시는 6월부터 11월까지 6개월 동안 침지 시험을 실시하였다. 침적시험을 위한 시편은 가로 1m, 세로 1m의 폴리염화비닐(PVC, Poly vinyl chloride) 평판에 자기연마형 방오도료를 도포해 상온에서 완전 건조시켰다. 이 시편을 침지시험장에서 수면으로부터 약 1m 정도의 깊이에 침적하여 주기적으로 사진 촬영을 통하여 파울링발생 여부를 확인하였다. 시험편을 같은 장소 같은 시간에 침지하였고 방오도료만 칠한 시편과 초음파 방오장비를 장착한 시편을 비교 고찰하여 방오장치의 성능을 평가하였다.



Fig. 4. Photograph of marine immersion test.

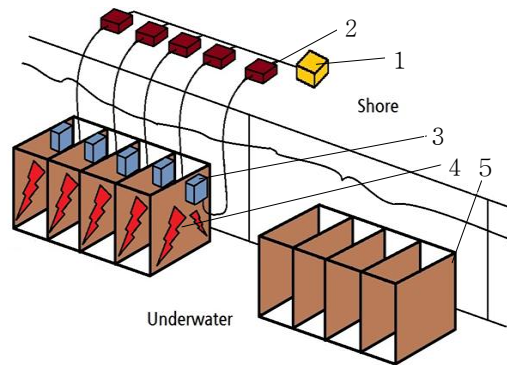


Fig. 5. Situation map of test.

시험 전 시편의 중량 및 방오도료의 두께를 측정하고 6개월 동안 시편을 해수에 노출시킨 후 시편의 중량 및 방오도료의 두께를 측정하여 방오도료의 마모율을 측정하였다. 파울링제거효율은 각각의 시편 해조류를 제외한 부착물의 중량을 비교 측정하였고 분해능이 0.1g인 저울을 사용하여 종이컵에 담아 종이컵의 무게를 제외한 파울링의 중량을 측정하였다. 각 시편의 파울링 제거효율은 아래의 식을 이용하여 구하였다. 식(1)에서 $R_{efficiency}$ 는 파울링 제거효율, $W_{without}$

주파수 변동에 따른 초음파방오장비의 파울링제거효과

equipment 는 장치를 설치하지 않은 시편의 파울링의중량, W_{with} equipment 는 장치를 설치한 시편의 파울링 중량이다.

$$R_{efficiency} = \frac{W_{without\ equipment} - W_{with\ equipment}}{W_{without\ equipment}} \times 100 \quad (1)$$

3.3 방오도료 마모율

방오도료 두께 측정 방법은 파괴식 도막 두께 방법으로 ISO 2908에 따라 모든 소재 표면에 처리된 코팅의 두께를 측정 시 사용할 수 있는 TQC사의 모델을 사용하였다. Table 3 은 본 실험에 사용되는 자기연마형 방오도료 두께 측정장비인 Superpig sp1000의 사양을 나타낸다. 칼날(Cutter)은 칼날의 날카로운 끝의 각도(Cutter angle)가 14이고 D Factor는 5 microns이고 범위는 5-600 microns인 No.3 blade를 사용하였다. 커터의 각도가 커터 종류별로 다르며 수평위치에 위에서 본 눈금 값에 두께를 구하기 위해 팩터값을 곱해줬다. 건조 도장 두께(D.F.T, Dry Film Thickness)를 측정 할 수 있는 파괴식 방법을 사용한 이유는 방오도료 코팅아래에 섬유 강화 플라스틱(FRP, Fiber Reinforce Plastic)이 사용되었기 때문이다. Fig. 6은 칼로 자른 단면을 Superpig의 현미경을 통해 관찰된 모습의 예이다. 1은 코팅이고 2는 칼날의 커트 앵글로 자른 코팅의 단면이고 3은 표면이고 4는 칼날의 90도사이드로 자른 코팅의 단면이다. 코팅두께는 2의 표면 위의 눈금의 수를 세어서 D팩터 수치를 곱하여 얻었다.

Table 3. Specifications of Thickness meter

No.	Contents	Details
1	Range	2 to 2000
2	Microscope	Magnification 50X (with graduation-scale)
3	Scale range	0-2.5 mm (rectilinear measured)
4	Cutter Number	3
5	Cutter Angle	14
6	D Factor (microns)	5
7	Range (microns)	5-600

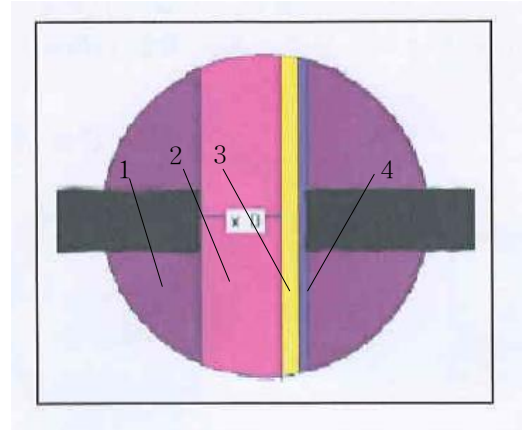


Fig. 6. Cross section for coating direction.

방오도료 마모율은 식(2)에 따라 계산하였다. 식에서 R_{wear} 은 방오도료의 마모율, T_{before} 는 시험 전 방오도료의 두께, T_{after} 는 시험 후 방오도료 두께이다.

$$R_{wear} = \frac{T_{before} - T_{after}}{T_{before}} \times 100 \quad (2)$$

자기연마형 방오도료의 경우 도막의 마모에 따라 수명이 결정되어 지고 유지보수 시간 및 비용투자와 직접적으로 연계되기 때문에 방오도료의 마모율은 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 또한 정박 시 선박의 부위별 마모율에 따라 초음파 방오장치의 진폭의 크기 등을 조정하는데 매우 중요한 영향을 미친다.

4. 결과 및 고찰

4.1 주파수와 진폭의 반복성

초음파 방오장치의 최대 주파수 및 진폭의 반복성 및 정밀도를 3회 반복하여 측정을 진행하였으며 Table 4, Fig. 7, 8 은 주파수와 진폭의 반복성 평가의 결과 값을 나타낸다. 일반적으로 변동계수(Coefficient of Variation, CV)가 $\pm 5\%$ 미만인 것을 바람직한 것으로 판단하므로 장치의 주파수의 변동계수값이 0.2%, 진폭의 변동계수값은 4.0%로 정밀도가 양호하게 나타났다. 일부는 실험시의 오차 또는 전기적 신호에서의 잡음(Noise)이 발생하였으나 전반적으로 측정값은 유사함을 보였다.

Table 4. Coefficient of Variation of Frequency & Amplitude for the self-polishing antifouling paints promoting device

Test condition	Average of Frequency (kHz)	CV (%)	Average of Amplitude (V)	CV (%)
1	99.7	0.3	1.16	2.1
2	100.58	0	1.47	5.4
3	102.4	0.3	1.27	4.3
4	105.6	0.3	0.43	8.1
5	107.0	0.3	1.75	0.3
6	108.1	0.3	1.39	3.6
7	109.5	0	0.24	7.2
8	109.5	0	0.90	1.9
9	114.9	0.3	0.81	3.7
	Average	0.2	Average	4.0

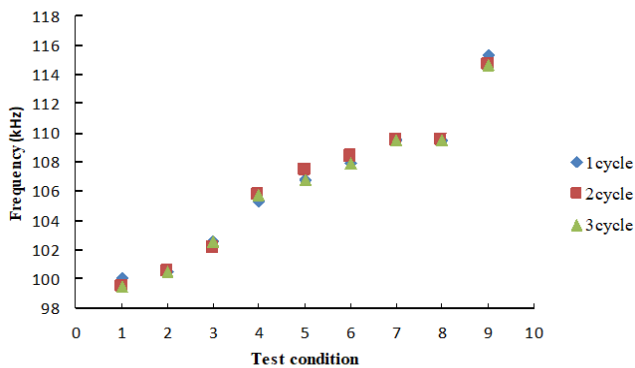


Fig. 7. Frequency of equipment.

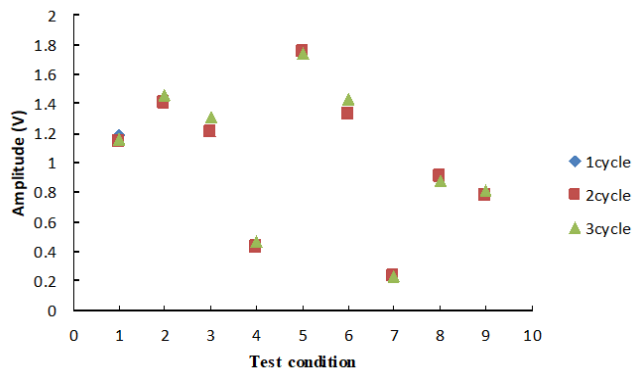


Fig. 8. Amplitude of equipment.

4.2 방오도료 연마율

시험 전 후 시편의 시료 도료의 두께를 계측하기 위해서 6월과 11월에 시험을 시행하였다. 계측결과 계측부위의 D.F.T값은 25 μm에서 30 μm 사이로 나타나고 1번과 5번 시험편에서 방오도료의 마모율이 가장 큰 경향을 관찰되었다. Table 5에서 No. of test sheet는 수면위로부터 수면 아래까지 시편의 번호를 나타내고 D.F.T는 수평위치에서 위에서 본 눈금 값인 Scale readings값에서 팩터값인 D. Factor를 곱한 두께값이다.

Table 5. Results of Thickness for Antifouling marine coating

	No. of test sheet	Scales readings	D Factor (microns)	D.F.T measured (microns)
Soon before immersion	1	6	× 5	30
	2	5		25
	3	6		30
	4	6		30
	5	6		30
6 months after immersion	1	5	× 5	25
	2	5		25
	3	6		30
	4	6		30
	5	6		25

4.3 파울링 제거효율

Fig. 9와 Fig. 10은 해양생물 부착 정도를 확인하기 위해 Table 6의 5번 시편 표면을 수중 촬영하여 관찰한 것이다. Fig. 9는 초음파 장비를 설치하지 않은 시편이고 Fig. 10은 장비를 설치한 시편의 표면이다. Fig. 10에서 공기방울이 발생되는 것을 알 수 있는데 이것은 장치의 초음파에 발생된 진동에 의한 것으로 판단된다. 시험결과 방식도료만 적용한 시편은 수온이 가장 높은 7월부터 해양생물의 증식을 확인하였다. 6개월 후 초음파방오장치를 설치한 시편과 설치하지 않은 시편을 관찰해본 결과 장치를 설치한 시편은 침적 실험 기간 약 6개월 동안 해양생물의 성장이 전혀 관찰되지 않았고 건전한 표면상태를 유지하고 흔히 물때라 일컬어지는 Slime에 멈춰있는 반면, 장치를 설치하지 않은 시편의 경우 그보다 파울링이 많이 진행되어 굴과 같은 석회질 동물성 Fouler가 발견되었다. 2개월부터 파울링이 발생되었고 침적시간 경과에 따라 그 양이 증가하는 경향을 보였다.

주파수 변동에 따른 초음파방오장치의 파울링제거효과

Table 6은 시편별, 수심 및 측정된 도막의 마모율과 파울링 제거효율과의 상호관계를 정리하여 나타낸 것이다. 수심에 따른 초음파방오장치의 파울링 발생량과 제거효율을 비교 평가한 결과 가장 아래에 설치된 5번이 73.3 g으로 가장 많이 발생되고 장치를 설치하지 않은 시편에 비해 97.4% 파울링 제거효율을 얻었다. 전체적으로 가장 아래에 있는 시편과 가장 위쪽에 설치된 시편에 파울링이 많이 발생되고 파울링 효과도 높고 평균 93.2%의 효율을 얻는 것을 알 수 있다. 1번 5번 시편에서 파울링 제거효율이 높은 이유는 방오도료의 마모율이 높아 파울링의 생성을 억제했음을 알 수 있다. 결과적으로 파울링 제거 효율은 장치에 의해 발생된 도막의 마모율과도 서로 상관관계가 있음을 알 수 있다.

즉 제어기는 해수와 마찰로 인해 자기연마형 방오도료의 마모가 심한 부위에 설치되는 진동자의 파형 발생기보다 마모가 적은 부위에 설치되는 진동자의 파형 발생기에서 발생되는 펄스신호의 주파수와 진폭의 변화가 더욱 크도록 제어함으로써 초음파방오장치는 선체 전체에 걸쳐 고른 방오효과를 고려해야 한다.



Fig. 9. Surfaces of No.5 test sheet without equipment.



Fig. 10. Surface of No.5 test sheet with equipment.

Table 6. Comparison of Weight of marine organism, Reduction rate of marine organism, and wear ratios for the test sheets

No. of Test sheet	Weight of marine organism (g)		Reduction rate of marine organism (%)	wear ratios for the test sheets (%)
	W _{with equipment}	W _{without equipment}		
1	1.4	32.9	95.7	16.7
2	2.3	16.1	85.7	-
3	2.3	11.2	79.5	-
4	2.0	12	83.3	-
5	1.9	73.3	97.4	16.7
Average	2.0	29.1	93.2	6.7

5. 결 론

지금까지 초음파방오장치의 성능평가에 대해 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 개발된 선박용 초음파방오장치의 주파수와 진폭의 반복 측정으로 장치의 정밀도 및 유효성을 확인할 수 있었다.
- (2) 만 6개월간 장치의 방오성능을 확인하기 위해 장치를 설치한 시편과 장치를 설치하지 않은 시편에 대하여 정적인 침적 실험을 통해 장치의 방오도료 마모율 및 파울링 제거 효율을 확인하였다. 장치를 설치한 시편이 장치를 설치하지 않은 시편에 비해 파울링 제거효율이 정성적으로 높아지는 경향을 알 수 있었고 방오도료 마모율이 증가할수록 파울링 제거효율도 증가하는 경향을 알 수 있었다.
- (3) 초음파방오장치의 주파수와 진폭의 변동계수값이 평균 0.2%, 4.0%로 반복 정밀도가 양호하게 나타났으며 방오도료의 마모율 측정결과 측정부위의 건조 도장 두께 값은 25 μm 에서 30 μm 사이로 나타났고 1번과 5번 시험편에서 방오도료의 마모율이 가장 큰 경향이 관찰되었다. 수심에 따른 초음파방오장치의 파울링 발생량과 제거효율을 비교 평가한 결과 가장 아래에 설치된 시편 5번에서 73.3 g으로 파울링이 가장 많이 발생되고 장치를 설치하지 않은 시편에 비해 97.4% 파울링 제거효율이 가장 높았다. 파울링 제거효율은 평균 93.2% 값을 얻는 것을 알 수 있었다.
- (4) 본 연구를 통해 개발된 초음파 방오장치의 신뢰성 검증의 기초자료로서 활용되어질 수 있고 해당 분야의 시장 진출 및 기술 자립화에 기여할 것으로 기대하고 있으나 향후 지속적인 신뢰성 데이터 수집 및 보안을 통하여 온도, PH, 염분, 물의 속도 등의 환경 요소를 고려한 장치의 정량적인 성능 평가 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- [1] Almeida, E., T. C. Diamantino and O. de Sousa(2007), Marine Paints: The Particular Case of Antifouling Paints, *Progress in Organic Coating*, 59, pp. 2-20.
- [2] Camp, M. A.(2000), A review of organotin regulatory strategies, pending actions, related costs and benefits, *Science of the Total Environment*, Vol. 258, No. 1-2, pp. 21-71.
- [3] Jeon, D. H.(1979), *The Control of Corrosion and Corrosion Prevention*, Hyosung Pun. Ltd., p. 388.
- [4] Park, I. C., K. H. Jung, M. S. Han and S. J. Kim(2017), Effect of flow rate on the removal of marine organisms attached to a ship's hull made of aluminum alloy, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 42, No. 9, pp. 726-734.
- [5] Park, R. H.(2018), Development and Evaluation of Silyl based Self-Polishing Copolymer (SPC) resins, Thesis for the Degree of Master, The Graduate School of the Pusan National University.
- [6] Sung, H. J.(1990), *The outline of Vessel paint*, Dong Ju Comp. Ltd.
- [7] Townsin, R. L.(2003), *The Ship Hull Fouling Penalty, Biofouling*, Vol. 19, pp. 9-15.
- [8] Tripathi, R.(2016), *Advances in antifouling coatings technology, Coatings world, Feature*, pp. 62-64.
- [9] Yang, J. W., H. Park and I. W. Lee(2017), Full Scale Frictional Resistance Reduction Effect of a Low Frictional Marine Anti-fouling Paint based on a Similarity Scaling Method, *Journal of The Society of Naval Architects of Korea* Vol. 54, No. 1, pp. 77-81.

Received : 2019. 07. 03.

Revised : 2019. 08. 14. (1st)

: 2019. 08. 22. (2nd)

Accepted : 2019. 08. 28.