

캐비테이션 발생에 따른 해군 수상함정 방청도료(EH 2350) 적합성 검증에 관한 연구

최상민*, 이지혁, 백용관, 정현섭
국방기술품질원 함정센터 2팀

A Study on the Anti-Corrosion Paint(EH 2350) Compatibility Verification for Naval Surface Vessels's Cavitation

Sang-Min Choi*, Ji-Hyeog Lee, Yong-Kawn Beak, Seob-Hyeon Jeong
Defence Agency for Technology and Quality 2nd Naval Sea Systems Team

요 약 군의 수상함정은 다수 해역에서 작전 업무 수행을 실시하며, 부식이 되기 쉬운 가혹한 환경에 노출되어 있다. 해군 운용 함정들은 부식을 방지하기 위하여 여러 가지 방법의 방식 기술을 적용하고 있으나, 캐비테이션에 의한 선저 구조물에 부식 및 손상이 지속적으로 발생한다. 선체의 부식은 함 작전운용성능 저하 및 함 수명에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 요소로서 함정 선체의 방식은 반드시 필요하다. 본 연구에서는 해군에서 운용중인 함형별로 사용하는 방청도료 자료를 수집 및 분석하여, 그 중 주 방청도료로 사용하고 있는 EH 2350과 미 해군에서 선저 구조물 보호를 위하여 사용하고 있는 특수도료인 금속보수제 DuraTough DL과 특성 비교 및 내마모성 시험을 통해 적합성 검증을 실시하였다. 객관적인 검증을 위하여 함이 해수 환경에 노출된 것으로 고려하여 마모 cycle과 마모 하중 조건을 다수 설정하여 검증을 실시하였다. 본 연구를 통하여 해군 수상함정에 일반적으로 적용되는 방청도료(EH 2350)의 적합성에 대한 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

Abstract The naval surface vessels, which were often exposed to harsh marine environment, tended to be corrosive due to military operations on various sea-areas and courses. Although R.O.K Navy applied various methods to protect further corrosion, the hull corrosion occurred due to cavitation were found on the naval surface vessels at regular and occasional docking. Hull corrosion was a critical factor directly to affect the lifetime of ships and their operational capabilities adversely. In this paper, EH 2350, which was the main anticorrosion paint used by R.O.K. Navy, was compared with DuraTough DL by used by the U.S Navy to collect materials related to anti-corrosion paint. In addition, the paint compatibility verification was conducted through wear abrasion test. Assuming that it was exposed to sea-environment various both abrasion cycle and weight for objective verification. by varying both the abrasion cycles and weights. In this study, the reliability of the EH 2350 conformity, which was used in Naval surface vessels, was secured.

Keywords : Abrasion, Anti Corrosion Paint, Cavitation, DuraTough DL, EH 2350, Surface Vessels

1. 서론

대한민국 해군 함정은 함의 운용 상태를 기준으로 수

상함과 수중함으로 구분하며, 수상함의 작전 운용성에 따라 구축함, 호위함, 상륙함, 지원함 등으로 나뉜다. 각 함정들은 다양한 해역과 항로, 운항 조건에서 작전을 수행

본 논문은 국방기술품질원 연구 과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sang-Min Choi(DTaQ)

Tel: +82-10-2708-0806 email: cscsm90@dtatq.re.kr

Received January 28, 2019

Revised April 3, 2019

Accepted May 3, 2019

Published May 31, 2019

하며 항시 선체 내·외부에 해수에 의해 부식이 되기 쉬운 가혹한 환경에 노출되어 있다. 함정의 부식에는 다양한 원인이 있지만, 주요 부식 원인은 염분이 포함된 대기 부식과 해수에 의한 부식, 프로펠러나 펌프 임펠러의 회전에 기인한 캐비테이션 등이 있다[1]. 이 중 해수에 의한 부식은 담수에 비해 부식성이 심하게 나타나며, 이는 해수에 포함된 NaCl의 함량에 의해 주로 결정된다[2]. 캐비테이션이란, 선박의 속도가 증가함에 따라 프로펠러의 표면에서 회전 속도의 차이에 의한 압력차로 인해 기포가 발생하는 현상을 뜻하며, 주로 고속 항해 시 발생하게 된다[3]. 이러한 부식을 방지하기 위하여 함정에서는 다양한 방법의 방식 기술을 적용하고 있다. 대표적으로는 선체 내·외부 및 구조물 전면에 걸쳐 방청·방오도료를 도포하여 부식을 실시하고 있다. 하지만 다수의 수상함정들이 항해 후 상가 시 프로펠러 후측면에 위치한 선저 구조물이 캐비테이션 발생에 의한 손상 및 부식 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 선체 부식은 함 작전 운용 능력을 저하시킬 뿐만 아니라 선체 균열, 파공 현상 등을 발생시킬 수 있는 치명적인 결함이며 심각하게는 함의 침몰에 영향을 미칠 수 있는 요소이다[2]. 함의 운용 특성상 캐비테이션의 발생을 저감할 순 있지만, 일소할 수 없으므로 선체에 도포되는 방청도료의 적합성에 대한 연구가 필요하다고 판단되었다[3]. 본 연구에서는 대한민국 해군 수상함정들을 대상으로 현재 운용되고 있는 방청·방오도료들의 자료 바탕으로, 수상함정 선저 구조물 방식을 위하여 동일하게 적용되는 방청도료의 안전성 및 적합성 검증에 관한 연구를 수행하였다. 객관적 검증을 위하여 미해군에서 캐비테이션 방지 및 선저 구조물 보호 목적으로 사용 중인 금속보수제와 내마모성 시험을 공인기관을 통하여 실시하였다. 시험 결과를 바탕으로 기존 도료의 적합성을 검증하였다. 본 연구를 통하여 소요 군에서 우려하고 있는 도료의 적합성 및 선저 구조물 안전성에 대한 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

2. 본론

2.1 도료의 정의와 분류

일반적으로 도장시스템은 하도/중도/상도로 구분되어 부위별로 특성에 맞게 시공되고 있다. 함 외판 부위 다음에 시공되는 하도는 방청도료를, 상도는 내후성 도료나 방오도료와 같은 기능성 도료를 적용하며, 중도는 하도와

상도간의 부착성을 높이고자 할 때 적용된다[4].

2.1.1 방청도료(Anti-Corrosion Paint)

각종 금속, 특히 철이 녹스는 것을 방지하기 위한 목적으로 사용되는 도료이다. 주 역할로는 공기·물·이산화탄소 등이 금속면과 접촉하는 것을 방지하고 또 화학적으로 녹의 발생을 막는 작용을 한다. 대한민국 해군에서는 KCC 사의 코레폭스-EH 2350을 공통적으로 사용하고 있다.

2.1.2 방오도료(Anti-Fouling Paint)

수면 아래의 함정 표면에 도장하여 선체 표면에 수중 동식물들이 부착하는 것을 방지하는 목적으로 사용되는 도료이다. 주 역할로는 수중생물들에게 독성을 나타내는 유기 주석 화합물, 수은·구리화합물 등이 도료에 함유해 선체 표면으로부터 서서히 수중으로 방출됨으로써 수중생물이 부착되지 않는 작용을 한다. 대한민국 해군에서는 KCC 사의 씨케어-A/F795를 공통적으로 사용하고 있다.

2.2 수상함정 방청·방오도료 특성

대한민국 해군의 수상함정 선저 도장에 동일하게 사용되는 방청·방오도료의 데이터 시트는 Table 1과 같다[6].

Table 1. Data Sheet of Paint

Contents	Anti-corrosion paint (EH 2350)	Anti-fouling paint (A/F 795)
Finish and color	Falt. Grey(1128), Mid Buff(3362)	Falt. Red Brown, Dark Brown, etc.
Specific gravity	Approx. 1.50	Approx. 1.70
Solids by volume	Approx. 80%	Approx. 50%
Theoretical Spreading rate	6.40m ² /L in 125 μ m dry film thickness on a smooth surface	4.0m ² /L in 125 μ m dry film thickness on a smooth surface
Film thickness	125 μ m dry	100~150 μ m dry
Recoating Interval	Min : 3h, Max : Free (At 20℃)	Min : 6h, Max : Free (At 20℃)
Shelf Life	12 months	12 months

해군 함정에서 사용하고 있는 방청·방오도료 종류는 동일하나, 함정의 특성에 따라 건조도막두께는 약간 상이한 것을 확인하였다. 해군에서 운용중인 함형별 건조도막두께는 Table 2와 같으며, 함 사양에 따라 부식 방지를 위하여 선저 도장을 수행하고 있다.

Table 2. Dry coat thickness of Naval Surface Vessels

Type of Vessel	Type of Paint	Dry coat thickness(㎛)
A	Anti-corrosion	275
	Anti-fouling	300
B	Anti-corrosion	275
	Anti-fouling	300
C	Anti-corrosion	275
	Anti-fouling	300
D	Anti-corrosion	325
	Anti-fouling	250
E	Anti-corrosion	250
	Anti-fouling	250
F	Anti-corrosion	275
	Anti-fouling	300
G	Anti-corrosion	275
	Anti-fouling	300
H	Anti-corrosion	275
	Anti-fouling	300
I	Anti-corrosion	250
	Anti-fouling	300
J	Anti-corrosion	275
	Anti-fouling	300
K	Anti-corrosion	275
	Anti-fouling	200

2.3 현실태

소요군에서는 해군 정비 규정에 따라 함의 수면하 선체 및 구조물 정비를 위하여 상가 정비를 수행하는데[5], 그 과정에서 Fig. 1과 같이 선체 구조물(Rudder)에 부식이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 대표적으로 OO함을 예로 들었지만, 대부분의 수상함정들 상가 시 부식이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 1. The case of corrosion rudder of OO ship

이러한 선저 구조물들의 부식 및 손상이 캐비테이션 외에도 다양한 해상 상태 환경이나 기타 구조물에 의한 영향을 미칠 수 있다고 판단되나, 함정 건조 및 보수과정에서 선저 구조물의 손상을 방지할 수 있는 방안은 방청·방오도료를 시공하여 구조물을 보호하는 것이 가장 현실적으로 우수한 방안이라고 판단되었다. 실제로 미 해군에서는 기존 방오도료 보다 캐비테이션에 의한 손상이 적

은 특수도료인 금속보수제를 시공하고 있음을 확인할 수 있었다.

2.4 금속보수제

미 해군에서 사용 중인 특수도료인 금속보수제 중 가장 대표적인 것은 듀라토프 디엘(DuraTough DL)이며, 강도, 내구력, 접착력이 우수하고 유연성, 내마멸성과 탄력성이 뛰어난 것이 특징이며, 고강도와 매끈한 표면특성을 이용하여 방오 도료 대체제 및 우수한 열 차단 효과로서 차단 코팅제로서 사용되고 있다[7].



Fig. 2. Paint case of DuraTough DL in U.S Navy ship

Table 3. Data Sheet of DuraTough DL

Contents		DuraTough DL	
Volume capacity per 0.5kg		27 in³ / 442 cc	
Mixed density		0.041 lbs per in³ / 1.13 gm per cc	
Volume solids		100 %	
Coverage rate per 0.5kg (At. 30~35 mills)		5 - 6 ft² / 0.5 m²	
Mixing ratio	By Volume	Base	5.7
		Activator	1
	By weight	Base	6.5
		Activator	1
Shelf Life		24 months	

2.5 도료 적합성 검증

현재 해군 수상함정에 적용중인 방청도료의 적합성 검증을 위하여 주 방청도료로 사용하고 있는 EH 2350와 캐비테이션에 의한 손상 방지를 위해 시공하는 대표적인 금속보수제 DuraTough DL 도료의 특성을 비교/분석하였다. 캐비테이션에 의한 두 도료의 영향성 검증을 위해 동일한 함정 및 해상 상태에서 실선 검증을 수행하는 것이 가장 좋지만, 현실적으로 어려운 부분을 고려하여 동일한 시편에 두 도료의 내마모성 시험을 통하여 캐비테이션에 의한 영향성 검증을 수행하였다. 내마모성 시험은 ASTM D 4060-07에 따라 실시하였다.

2.5.1 시편 제작

각 도료를 대상으로 5개씩 총 10개의 시편(10X10, 4.5t)을 제작하여 공인기관(한국화학융합시험연구원)에 내마모성 시험을 의뢰하였다. 시편의 도막두께는 약간의 차이는 발생하였으나 400~500 μm 의 두께로 도장을 실시하였다. 각 시편의 이름은 편의상 A~E로 선정하였다.



Fig. 3. Result on film thickness
(a) EH 2350, (b) DuraTough DL

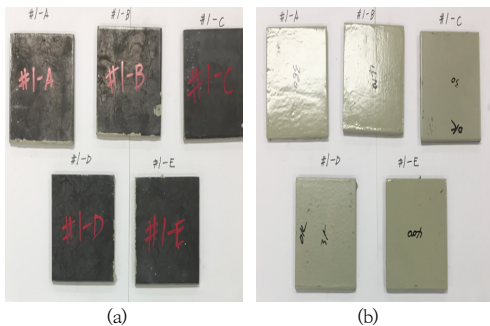


Fig. 4. Test specimen of EH 2350(1-A~1-E)
(a)back (b)front

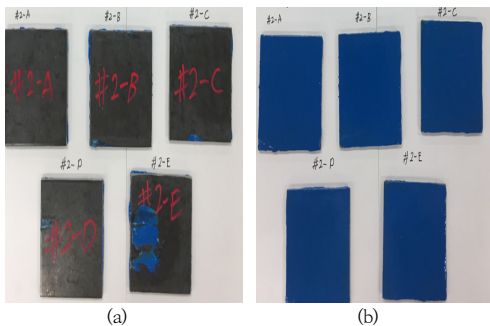


Fig. 5. Test specimen of DuraTough DL(2-A~2-E)
(a)back (b)front

2.5.2 내마모성 시험 과정

기존 도료와 금속보수제 각 시편에 대한 도막두께는 Table 4와 같으며, 캐비테이션 발생에 대한 여러 가지 변수를 가정하기 위하여 시편별 마모 Cycle 및 하중을 다르게 적용하여 내마모성 시험을 실시하였다.

Table 4. Film thickness and test criteria of test specimen

Test specimen	Film thickness(μm)	Abrasion weight (g)	Abrasion cycle
1-A	380	250	1000
1-B	410	500	1000
1-C	300	500	1500
1-D	350	1000	1000
1-E	400	1000	1500
2-A	430	250	1000
2-B	510	500	1000
2-C	520	500	1500
2-D	540	1000	1000
2-E	490	1000	1500

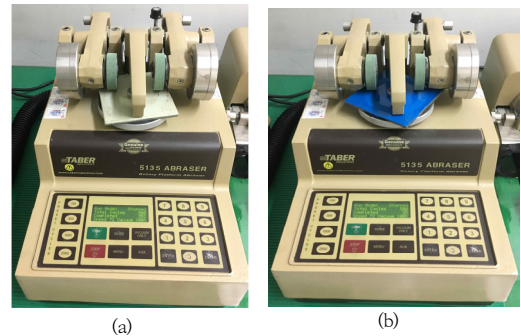


Fig. 6. Picture of wear abrasion test
(a)EH 2350(#1-E) (b)DuraTough DL(#2-D)

2.5.2 도료 적합성 검증 결과

내마모성 시험분석 결과에 대하여 마모된 도막두께 값만 산출할 수 있어서, 정확한 마모된 부피와 두께, 마모 비율을 계산하기 위해 단위 환산 및 계산 과정이 필요하였다. 계산과정은 아래와 같다.

- 1) 각 도료의 Data Sheet상 무게 당 도포 가능한 도막두께와 부피를 계산
- 2) 내마모성 시험 시 실제 마모된 넓이 계산
- 3) 마모 부피 계산 : Spec/내마모성 시험 대비
- 4) 마모 부피, 넓이를 이용하여 마모 두께 계산
- 5) 마모 비율 계산 : 마모 두께/도막 두께

위 계산 과정을 통해 산출된 기존 도료와 금속보수제 간 내마모성 시험 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Result on abrasion test

Test specimen	Film thickness (μm)	Abrasion loss (mg)	Abrasion volume (cm ³)	Abrasion thickness (μm)	Abrasion ratio (%)
1-A	380	28	0.015	0.608	0.160
1-B	410	48	0.026	1.042	0.254
1-C	300	66	0.035	1.433	0.478
1-D	350	76	0.040	1.650	0.471
1-E	400	130	0.069	2.822	0.706
2-A	430	27	0.022	0.909	0.211
2-B	510	63	0.052	2.120	0.416
2-C	520	81	0.067	2.726	0.524
2-D	540	100	0.083	3.365	0.623
2-E	490	142	0.117	4.779	0.975

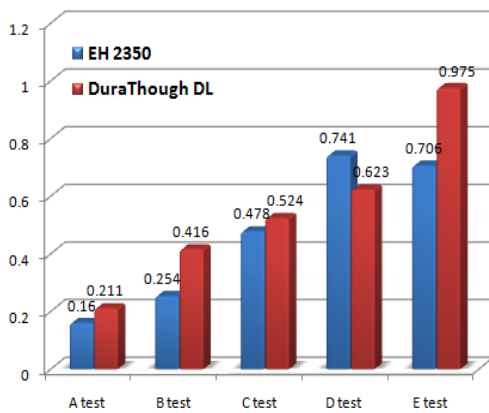


Fig. 7. Result on abrasion test

내마모성 시험결과 두 도료 모두 마모 Cycle 차이에 대한 영향은 적었으며, 마모 하중에 의한 영향이 큰 것으로 판단되었다. 또한, 두 도료의 내마모성 비교 결과 현재 해군에서 사용하고 있는 EH 2350이 금속보수제 보다 약 1.1~1.63배 정도 내마모성이 우수한 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 캐비테이션 발생에 따른 해군 수상함정에서 사용 중인 도료의 적합성 검증에 관한 연구를 수행하였다. 다수의 수상함정들에서 항해 후 정비를 위한 상가 시, 프로펠러 후측면에 위치한 선저 구조물(Rudder)에 손상 및 부식이 발생하는 경우를 쉽게 식별할 수 있었다. 캐비테이션은 함정 운행 중 압력차로 인해 발생하는 요소로서, 발생을 저감할 순 있지만, 일소할 수 없는 요소로서 도장을 통한 선저 구조물 보호가 중요하다고 판단되었다. 따라서 소요군에서 사용 중인 기존 방청·방오도

료 시공 자료를 바탕으로 방청도료 EH 2350과 미 해군에서 캐비테이션에 의한 선저 구조물 손상 방지를 위하여 사용하고 있는 특수도료인 금속보수제 DuraTough DL을 선정하여 두 도료간의 특성을 비교하였다.

객관적인 검증을 위하여 두 도료간의 내마모성 시험을 실시 및 비교하였다. 다양한 환경에서 캐비테이션에 의한 도료의 영향성 및 적합성을 검증하기 위하여, 총 10개의 시편으로 상이한 마모 cycle, 하중을 적용하여 시험을 실시하였다. 시험 결과, 현재 기존 도료인 EH 2350의 내마모성이 금속보수제인 DuraTough DL 보다 평균 1.3배 정도 우수한 것으로 판단되었다. 또한, 도료에 대해 마모 cycle에 의한 영향성 보다는 마모 하중에 의한 내마모성 영향성이 큰 것을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 현재 해군에서 사용 중인 방청도료인 EH 2350이 캐비테이션 발생에 의한 선저 구조물 방지를 위한 적합한 도료라고 판단되었으며, 소요군에서 우려하고 있는 도료의 적합성 및 선저 구조물 안전성에 대한 신뢰성을 확보할 수 있었다. 하지만, 본 연구에서 DuraTough DL의 방청, 방오 성능에 대한 특성 자료와 연구에 대한 내용이 없어 EH 2350과의 방청 능력 비교 분석이 제한적이었다. 또한, 내마모성 시험과 캐비테이션에 의한 손상 방지에 대한 정확한 연관성에 대한 연구도 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 추후에는 두 도료의 밀착성 시험, 충격시험과 같은 추가적인 시험 분석이 동반되어 진행되어야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] S. J. Kim, "Apparatus on corrosion protection and marine corrosion of ship", *Journal of the Korean Institute of Surface Engineering*, vol. 44, no. 3, pp. 105-116, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2011.44.3.105>
- [2] W. D. Kim, T. W. Kang, D. H. Lee, and W.J. Chang, "Structural safety assessment considering the hull corrosion and damage of sunken ships", *The Korean Society for Marine Environment & Energy*, pp. 44-49, 2016, <http://dx.doi.org/10.7846/JKOSMEE.2016.19.4.332>.
- [3] P. H. Lee, B. K. Ahn, C. S. Lee, and J.H. Lee, "An experimental study on noise characteristics of propeller cavitation inception", *The Society of Naval Architects of Korea*, vol. 48, no.1, pp.1-7, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3744/SSNAK.2011.48.1.1>
- [4] J. Y. Lee, "The history and flow of Ship painting," *The Society of Naval Architects of Korea*, vol. 47, no. 2, pp.59-67, 2010.

- [5] R.O.K. Navy, The manual of navy ship maintenance regulations, Korea, R.O.K. Navy, 2015.
- [6] EH 2350-A/F795 Data-sheet, Anti-Corrosion paint(EH 2350)-Anti-Fouling paint(A/F795), KCC, 2015, <https://www.kccworld.co.kr>, 2015.
- [7] DuraTough DL Data-sheet, FLEXICIDLAD DuraTough DL, Enecon corporation, 2014, https://enecon.com/pdfs/FLEXICIDLAD_DuraToughDL, 2014.

최 상 민(Sang-Min Choi)

[정회원]



- 2015년 8월 : 경북대학교 금속신소재공학과 (공학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

〈관심분야〉

캐비테이션, 내마모성, 소음·진동

이 지 혁(Ji Hyeog Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 연세대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 2006년 6월 : USC(University of Southern California) M. S. in Electrical Engineering.(공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임 연구원

〈관심분야〉

EMI/EMC, 정보처리

백 용 관(Yong Kawn Beak)

[정회원]



- 2008년 3월 : 오사카대학 시스템과학과 (공학사)
- 2010년 3월 : 오사카대학 선박해양공학과 (공학석사)
- 2012년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임 연구원

〈관심분야〉

선체구조, 위험식별, 표준화

정 현 섭(Hyeon Seob Jeong)

[정회원]



- 2017년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

〈관심분야〉

수중음향, 도료