

# 방오도료 용출수의 조피볼락과 알테미아에 대한 급성독성 평가

김필근\* · 박맹언\*\* · 이인원\*\*\* · 전호환\*\*\* · 박 현\*\*\*\*

\* 대우조선해양E&R 광물사업팀, \*\* 부경대학교 지구환경과학과, \*\*\* 부산대학교 첨단조선공학연구소

## Evaluation of Acute Toxicity about Leakage Waters of Antifouling Paints on *Sebastes shlegeli* and *Artemia*

Pil-Geun Kim\* · Maeng-Eon Park\*\* · In-won Lee\*\*\* · Ho-Hwan Chun\*\*\* · Hyun Park\*\*\*\*

\* Mining Business Team, DSME E&R, Seoul, 100-180 Korea

\*\* Department of Earth Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

\*\*\* Advanced Ship Engineering Research Center (ASERC), Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

**요 약 :** 해양구조물 수중부의 해양생물 부착을 방지하는 효과적인 방법으로 방오도료를 사용하고 있다. 트리부틸틴(Tributyltin, TBT) 화합물은 우수한 방오성능을 가져 지금까지 광범위하게 사용해 되어 왔으나, 유해물질 사용금지에 따라 새로운 기술을 적용한 방오도료 개발이 진행되고 있다. 신규 방오도료는 낮은 독성을 가지면서도 우수한 방오성능을 가져야 한다. 본 논문에서는 상용 TBT-free 방오도료 3종(아산화동 함유 자기마모형 도료(Cu SPC AF), 아산화동을 함유하지 않는 자기마모형 도료(Cu-Free SPC AF), Foul-release 실리콘 도료(Foul-release AF))의 용출수가 가지는 환경영향성을 조피볼락과 알테미아를 사용하여 평가하였다. 용출수에 대한 급성독성을 조사한 결과 방오도료 용출수의 농도와 생물종의 생존율은 반비례하는 경향을 나타내었으며, 자기마모형 도료가 Foul-release 실리콘 도료보다 상대적으로 높은 급성독성을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 :** 방오도료, 용출수, 급성독성, 조피볼락, 알테미아

**Abstract :** The use of antifouling (AF) paints is the effective method for the protection of underwater structures from the development of marine fouling organisms. The ban on harmful substances in antifouling paints requires the development of new antifouling strategies although Tributyltin (TBT) compound had been used extensively as an active ingredient. Alternatives should be as effective as conventional paints but have lower toxicity. In the present study, a TBT-free self-polishing (Cu SPC) AF paint containing Cu<sub>2</sub>O, a Cu-free SPC AF paint, and a Foul-release silicone AF paint, which were commercially available, were examined to investigate environmental effects of leakage waters employing *Sebastes shlegeli* and *Artemia*. Survival rates were inversely proportional to the concentration of leakage waters from AF paints and the acute toxicity of SPC AF paints was relatively higher than that of foul-release AF paints.

**Key Words :** Antifouling paints, Leakage water, Acute toxicity, *Sebastes shlegeli*, *Artemia*

### 1. 서 론

선박 및 해양구조물의 선저부에서 발생하는 해양생물의 부착 현상을 생물부착(Biofouling)이라고 하며 이들은 (1) 생화학적 조정(Biochemical conditioning), (2) 박테리아 군집(Bacterial colonization), (3) 단세포(Unicellular) (4) 다세포 진핵생물 부착(Multicellular eukaryotic settlement)의 4단계에 걸쳐 진행되는 것으로 알려져 있다(Waal, 1989). 그러나 다양한 해역에서 서로 다른 환경의 영향을 받으므로 각 단계가 반드시 순차적으로 일어나는 것은 아니다(Bentley and Clare, 2001). 선박 표면에서 일어나

는 해양 생물종의 부착은 선속 감소, 연료비 증가 및 유지관리 비용의 상승을 초래하게 된다. 더 나아가 생물부식(Biocorrosion)을 유발하여 구조물의 수명에까지 영향을 미치게 된다.

이와 같은 바람직하지 않은 해양 생물종의 부착을 방지하기 위해서 다양한 방법들이 적용되고 있으나 선박의 경우에는 방오도료(Antifouling paints, AF paints)를 사용하는 것이 일반적이다. 방오도료는 주로 구리(Copper), 이르가롤(Irgarol 1051) 등의 유기화합물, 트리부틸틴(Tributyltin, TBT) 등의 독성물질이 표면에 용출 혹은 노출되어 해양 생물종의 부착 및 성장을 방지하는 기작을 가지고 있다(Dahl and Blanck, 1996; Evans et al., 2000). 그 중 유기주석화합물인 Tributyltin(TBT)은 생물의 부착을 방지하는데 매우 뛰어난 효과를 가지고 있어 1970

\* 대표저자 : 정희원, pgkim1@dsme.co.kr, 02-3455-6043

† 교신저자 : 정희원, hyunpark@pusan.ac.kr, 051-510-2730

년부터 널리 사용되어 왔다. 그러나 TBT는 부착생물에 대한 성장 저해 뿐만 아니라 다른 해양생물종에 대한 생식독성을 가지고 있는 물질로 알려져 그 사용에 제한이 있었으며(Gibbs et al., 1987; Spooner et al., 1991), 해양환경에서의 확산에 의해 환경오염 뿐만 아니라 생태계에 심각한 피해를 초래할 수 있어 사회적인 문제로 다루어져 왔다(Alzieu, 1996; Ohji et al., 2002). 이에 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서는 2001년 10월 “유해 선박방오시스템 사용규제” 협약(IMO 문서 AFS/CONF/26)을 채택하였으며, 전 세계 상선 선박량의 25% 이상과 25개국 이상의 국가가 비준한 날부터 12개월이 경과한 후 발효토록 되어 있는 협약 발효 요건이 충족되어 2008년 9월부터 TBT 사용을 규제하고 있다. TBT가 함유된 방오도료의 사용을 금지할 뿐 아니라 선체에 잔존해 있는 TBT 함유 도료도 모두 벗겨내도록 하는 등 TBT계 방오도료 사용을 전면 금지시켰다(이 2008; Wezel and Vlaardingen, 2004). 우리나라는 현재 TBT 함유 방오도료는 “제조·수입 또는 사용을 금지하거나 제한하는 화학물질”의 환경부고시(제 2003-163호, '03.9.16)에 의해 사용을 금지하고 있다.

이에 따라 선진도료업체 및 연구기관에서는 해양 생태계를 파괴하지 않는 친환경 방오도료 개발에 주력하고 있으며, 특히 새로운 방오물질 개발을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Stupak et al., 2003). 그러나 개발된 신규 방오물질은 또 다른 해양환경에 대한 위해가능성이 있으므로 상용화를 위해서는 환경 위해성에 대한 명확한 사전 검증이 필요로 하며, 그 중 생물독성에 대한 연구가 우선적으로 실시되어야 한다.

방오물질에 대한 독성을 평가하기 위해 다양한 해양생물종을 적용하고 있으나 본 연구에서는 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)과 알테미아(*Artemia*)의 두 생물종을 적용하여 현재 사용되고 있는 IMO 규정을 만족하는 비TBT계 상용 방오도료에 대한 환경영향성을 비교분석하고자 하였다. 조피볼락은 우리나라 국민들이 가장 빈번하게 섭취하는 어종 중의 하나로서, 독성과 생체 잔류성을 가지고 있는 오염물질에 노출되었을 경우 독성 오염물질이 인간에게 유입되어 위해를 초래할 가능성이 매우 큰 어종이며(박 등, 2006), 알테미아는 양식에 있어 주요한 먹이 생물 중의 하나로서 오염에 노출될 경우 먹이사슬에 영향을 주게 되어 생태계에 직접적인 영향을 줄 수 있을 뿐 아니라 비교적 짧은 시간 내에 급성독성 결과를 도출할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Vanhaecke et al., 1981).

현재 선박건조에 적용되고 있는 상용 방오도료는 그 조성물의 특징에 따라 크게 아산화동 함유한 자기마모형 방오도료(Cu Self-polishing copolymer antifouling paint, Cu SPC AF), 아산화동을 함유하지 않은 자기마모형 방오도료(Cu-free SPC AF), 및 Foul-releases 실리콘 방오도료(Foul-release AF)의 3종류로 대별될 수 있다. 본 논문에서는 각 상용 방오도료 종류별로 대표적인 제품 1종씩을 선택하여 이들 도료의 용출수에 대한 급성독성을 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 치어와 알테미아(*Artemia*)를 이용하여 평가하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 평가시편 및 용출수

본 연구에서는 조선소에서 사용되고 있는 방오도료 중에서 방오성능이 우수하면서 방오기작이 상이한 3종류를 도료를 선정하였다. 앞서 기술한 바와 같이 방오도료는 조성물 및 방오기작에 따라 3종류로 구별할 수 있으며 각 종류별로 사용빈도가 높은 제품 1종을 선택하여 시험에 이용하였다. 각 도료별 주요 성분은 도료제조업체에서 제공하는 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheet, MSDS)에 의하면 Table 1과 같다. 본 연구 결과가 상업적으로 이용되거나 혹은 분쟁에 사용되지 않도록 하기 위하여, 구체적인 도료제조 업체명을 본 논문에서는 기재하지 않았으나 주요 구성성분(수지, 안료, 용제, 방오물질 등) 및 함량을 Table 1에 기재하여 도료별 용출수와 각 생물종의 급성독성 상관관계 분석에 활용하고자 하였다. 평가시편은 각 업체에서 제공하는 제품정보에 따라 각각 스프레이 방법으로 제작하였으며, Cu SPC AF와 Cu Free SPC AF는 일액형이었으며, Foul release AF는 Part A, Part B, Part C를 각각 15 : 4 : 1(부피비)로 혼합한 후 도장작업을 수행하였다.

급성독성 평가를 위한 도료별 용출수를 추출하기 위하여는 ASTM D 6442에 준하는 방법을 적용하였다. 용출수는 각 도료의 도막이 도장된 폴리카보네이트(Polycarbonate) 재질의 Rotor (직경 6.4 cm, 도장 높이 10.0 cm)를 1,500 mL의 인공해수(Sera sea salt, 독일)에서 침지시켜 60 rpm으로 28일간 회전시켜 추출하였다.

Table 1. Compositions of the antifouling paints.

Item	Chemical Name	Wt %	
Cu SPC AF	Resin	Unknown	
	Cuprous Oxide	35~45	
	Zinc Oxide	1~5	
	Xylene	15~20	
	Propylene Glycol Methyl Ether	1~5	
	Titanium Oxide	1~5	
	Iron Oxide	1~5	
	Additive	1~5	
	Etc	1~3	
	Cu-Free SPC AF	Modified Acrylic Resin	35~45
Zinc Oxide		10~20	
Talc		10~20	
n-Butanol		1~5	
Zinc Pyrithione		1~5	
Pyridine Triphenylborane		5~10	
Solvesso 150		5~10	
Etc		1~5	
Foul-release AF	Part A	Ethyl Benzene	1~10
		Xylene	1~10
		Titanium Oxide	1~10
	Part B	Ethyl Silicate	1~10
		Ethyl Benzene	10~25
		Xylene	25~50
	Part C	Silicic Acid, Ethyl Ether	10~25
		Dibutyltin Dilaurate	10~25
			2,4-Pentanedione

## 2.2 해수

경상남도 고성군 부경대학교 수산과학기술센터 근해의 해수를 Glass Fiber/Carbon 필터지를 이용하여 입자상 물질을 제거한 후 조피볼락 치어와 알테미어를 이용한 독성시험에 이용하였다.

## 2.3 실험동물

실험에 이용된 조피볼락은 인공 부화한 전장 3cm 크기의 개체를 이용하였다. 치사율 실험은 운송에 따른 실험오차를 줄이기 위하여 부경대학교 수산과학기술센터에서 3일 동안 안정시킨 후 실시하였으며, 또한 성장에 따른 치사율의 오차를 줄이기 위하여 실험기간동안 먹이양을 조절함으로써 각 실험 어종이 일정한 중량을 유지하도록 조정하였다.

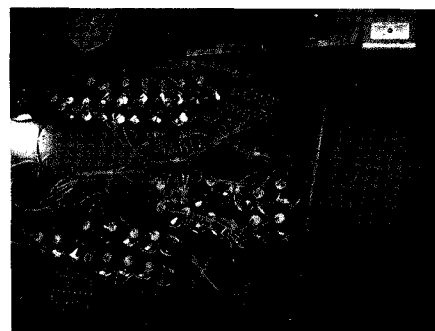
알테미아는 진공 포장된 상품을 구입하여 1차 여과시킨 해수에 24시간 동안 부화시켜 실험에 이용하였다. 알테미아의 부화는 29℃로 조절된 항온진탕기에서 실시하였으며, 조도 3,000 lux 이상, 염농도 35 ± 1‰을 유지하였다.

## 2.4 독성시험

조피볼락 치어와 알테미아에 대한 방오도로 용출수의 급성독성 실험을 수행하였다(Fig. 1). 조피볼락의 급성독성 실험에 이용한 방오도로 용출수의 농도는 0, 1, 2, 4, 8, 20, 40, 80, 100%의 9개의 시험구로 주입하였다. 주입방법은 초기 용출수 농도를 100%로 하여 1L 유리 비이커에 각 농도로 희석하였다.



(A)



(B)

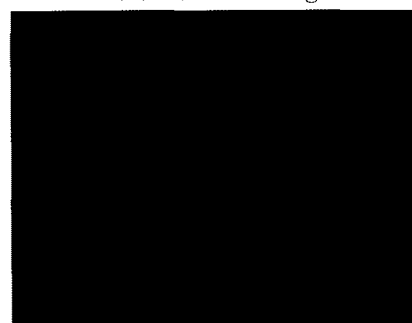
Fig. 1. Acute toxicity test to (A) *Sebastes shlegeli* and (B) *Artemia*.

각 시험구에 조피볼락의 개체 수는 10마리씩으로 일치시켰으며, 실험 반복수는 2회였다. 시험환경은 온도 20℃, 광 조건은 L/D(Light/Dark) 10:14로 유지하였으며, 실험에 이용된 해수의 염 농도는 35 ± 1‰의 기준을 유지하였다. 해수의 순환은 차단하고 폭기는 유지하였으며, 먹이투여는 수질오염을 고려하여 실험시간동안 정지하였다. 조피볼락의 관찰은 사망 개체여부를 중심으로 48시간 동안 3시간 간격으로 수행하였다.

알테미아에 대한 급성독성실험은 초기용출수 농도를 100%로 하여 조피볼락 시험구와 동일한 9개의 농도로 100 mL 삼각플라스크에 희석하였다. 각 시험구에 알테미아를 20개체씩으로 일치시켰으며, 실험 반복수는 2회였다. 온도는 25℃를 유지하였으며, 광조건과 해수의 염농도는 조피볼락의 독성실험 조건과 동일하게 수행되었다. 실험시간은 24시간으로 하여 최종 생존 개체수와 사망 개체 수를 생체염색법(Vital Staining method)으로 염색하여 개수하였다(Fig. 2). 이 염색 단계 중 Neutral red 만을 이용하여 염색한 후 직접 개수하였으며, 필요시 Alkaline 2% formalin을 더하여 실제현미경으로 관찰하였다.



(A) Before staining



(B) After staining

Fig. 2. The microphotographs of *Artemia*(5×10 times).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 급성독성시험

Cu SPC AF 용출수에 대한 48시간 동안의 조피볼락 급성 노출실험 결과는 Fig. 3과 같다. Cu SPC AF 용출수에 대한 노출 결과, 20% 농도 이하로 노출될 때 실험 종료 시까지 80% 이상의 생존율을 보인다. 그러나 40% 이상의 농도에서는 6시간 이후 최초 사망 개체수가 발생하였으며, 48시간 경과 후 40%

와 80%의 실험구에서 각각 30%와 10%의 생존율을 나타내었다. 특히 100%의 실험구에서는 생존율이 시간이 경과함에 따라 감소하여, 24시간 경과 후에는 5%의 생존율을 보였으며, 45시간 경과 시 모든 개체가 사망하였다.

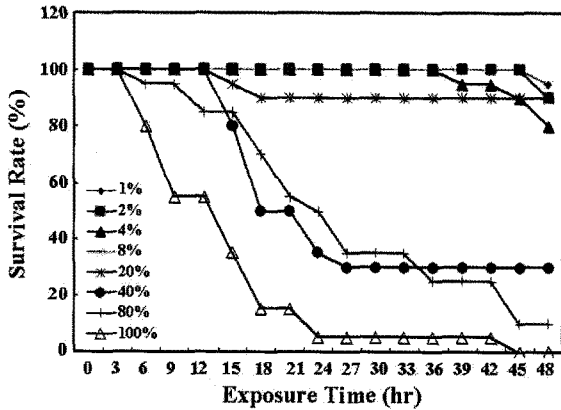


Fig. 3. Survival rate(%) of *Sebastes schlegeli* exposed to water released from Cu SPC AF.

Fig. 4에 보이는 바와 같이 Cu-Free SPC AF 용출수의 급성 노출 실험에서 4%의 농도 이하에서는 100% 생존하였으나, 8% 이상의 농도에서는 사망개체수가 발생하였다. 8%와 2% 농도의 경우, 18시간 경과 후 30%만이 생존하였으며, 40% 이상의 농도에서는 6시간 경과 후 모든 개체가 사망하였다.

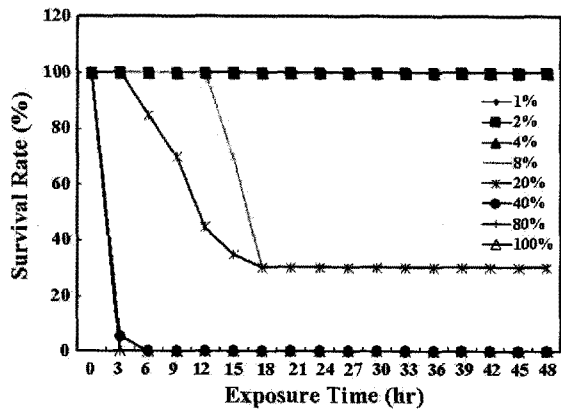


Fig. 4. Survival rate(%) of *Sebastes schlegeli* exposed to water released from Cu-Free SPC AF.

Foul-release AF 용출수(Fig. 5)는 40% 이하의 농도에서 36시간 경과 시까지 95% 이상이 생존하였으며, 실험종료 시에는 60% 이상이 생존하였다. 80%의 농도에서는 21시간 경과 시까지 90% 이상의 생존율을 보였으며, 실험 종료 시에는 40%가 생존하였다. 100%의 농도에서는 9시간 경과 시에 최초 사망개체가 발생하였으며, 실험종료 시 까지 40%를 유지하였다(Fig. 5). 다만 20%의 농도에서는 실험종료 시까지 모든 개체가 생존한 반면 1%에서는 약 77%의 생존율을 보여 용출수 농도와 생

존율 간 상관성은 다소 떨어지는 경향을 보였다. 이는 독성시험에 사용한 조피블락의 활력 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

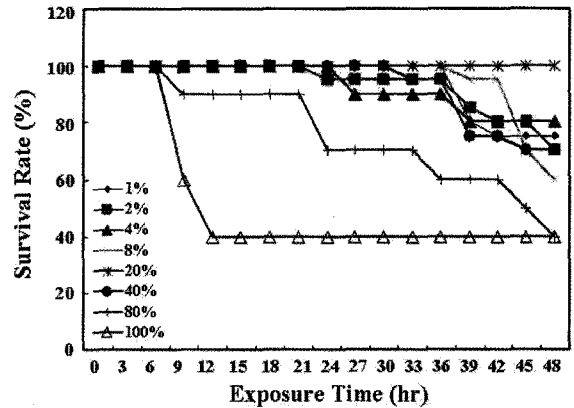


Fig. 5. Survival rate(%) of *Sebastes schlegeli* exposed to water released from Foul-release AF.

알테미아 급성독성 실험결과는 모든 용출수들은 농도가 증가함에 따라 생존율이 감소하는 경향을 보였다. Cu SPC AF 용출수(Fig. 6 a)는 농도가 증가함에도 불구하고 생존율에는 큰 변화가 없었으며, 100% 농도에서도 약 95%의 높은 생존율을 보였다. Cu Free SPC AF 용출수(Fig. 6 b)는 4% 이하의 농도에서는 100%의 생존율을 보이나, 8% 이상에서는 농도가 증가함에 따라 생존율이 점차 감소하여 100% 농도에서 약 18%만이 생존하였다. Foul release AF 용출수(Fig. 6 c)의 경우, 전 구간에서 93%이상의 높은 생존율을 보였다. 이들 결과로부터 Cu SPC AF 및 Foul release AF 용출수는 알테미아의 생존율에는 큰 영향을 미치지 않는 반면 Cu Free SPC AF 용출수 농도는 생존율과 상관성을 가지는 것을 확인하였다.

두 생물종에 대한 급성 독성시험 결과를 살펴보면 Cu Free SPC AF 용출수의 독성이 Cu SPC AF 및 Foul release AF 용출수와 비교하여 그 독성이 높은 것으로 나타났다. 본 연구에 사용한 방오도료의 주요 성분(Table 1)을 보면, Cu Free SPC AF 도료에는 ZnO 사용량이 1~5%에서 10~20%로 증가하였으며 동시에 유기 방오물질(Zinc Pyrithione, Pyridine Triphenylborane 등)의 사용량이 6~15%로 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이들 화합물은 Cu SPC AF에서 동물성 해양생물종의 부착을 방지하기 위하여 35~45%까지 투입하였던 아산화동(Cu<sub>2</sub>O)를 대체하기 위하여 그 사용량을 늘리거나 신규로 투입된 것으로 판단된다. Cu<sub>2</sub>O의 급성경구독성(Acute oral toxicity) LD<sub>50</sub>(Omae, 2003)은 470 mg/kg인 반면 Cu Free SPC AF 도료에서 투입량이 증가되었던 ZnO, Zinc Pyrithione 및 Pyridine Triphenylborane에 대한 LD<sub>50</sub>은 각각 은 7,950 mg/kg(mouse, ScienceLab 물질안전보건자료), 330 mg/kg(49% 수용액, mouse, ScienceLab 물질안전보건자료), 450 mg/kg(rat, 추고쿠삼화페인트 물질안전보건자료)과 같다. 비록 시험생물종이 상이하기는 하나 이들 LD<sub>50</sub>로부터 Cu Free SPC AF의 급성독성이 다른 방오도료보다 높게 관찰된

것은 Cu<sub>2</sub>O 대비 높은 독성을 보이는 Zinc Pyrithione 및 Pyridine Triphenylborane의 함량 증가된 것에서 기인된 것이라 판단할 수 있으며, 이 결과는 Karlsson and Eklund(2004)이 보고한 조류(Algae)에 대해 보여주었던 Zinc Pyrithione의 매우 높은 독성 결과와 일치하는 경향을 보인다.

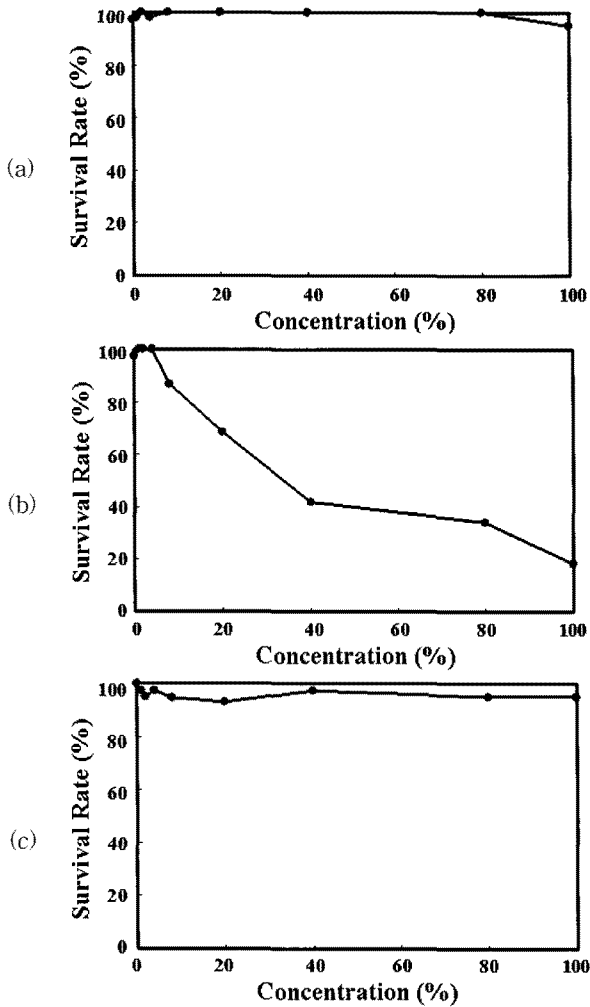


Fig. 6. Survival rate(%) of *Artemia* exposed to water released from (a) Cu SPC AF, (b) Cu-Free SPC AF and (c) Foul-release AF.

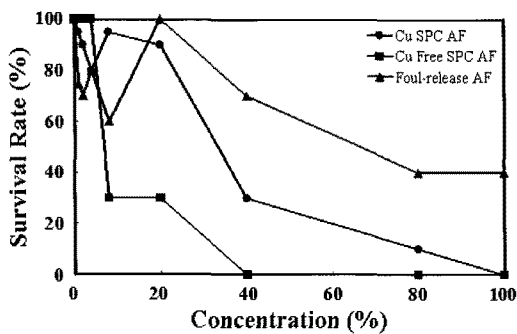


Fig. 7. Survival rate(%) of *Sebastes schlegelii* exposed to water released from AF paints.

### 3.2 치사농도 (LCx)

48시간 동안의 급성독성실험을 결과를 이용하여 농도와 치사율 간 상관관계식을 분석하여 조피볼락에 대한 48시간 반수 치사농도(48h-LC50)를 계산하였다(Fig. 7). 그 결과, Cu SPC AF 용출수의 반수 치사농도(48h-LC50)가 약 31%로 비교적 높게 나타났으며, Cu Free SPC AF 용출수의 반수 치사농도(48h-LC50)는 약 7.0%로 나타났다. 반면 Foul release AF 용출수의 반수 치사농도(48h-LC50)가 약 76%로 가장 높게 나타났다. 알테미아의 경우(Fig. 6), Cu Free SPC AF의 24h-LC50는 약 31%로 용출수 중 가장 낮은 값을 보였으며, Cu SPC AF 용출수 100%의 농도에서도 약 95%의 생존율을 보였으며, Foul release AF 용출수도 모든 구간에서 약 93% 이상의 높은 생존율을 보여 이들 용출수가 알테미아에 미치는 영향은 Cu Free SPC AF에 비해 상대적으로 적은 것으로 나타났다.

세 종류의 방오도로 용출수에 대한 조피볼락의 48시간 반수 치사농도의 결과에 따르면 Cu Free SPC AF 용출수가 가장 독성영향이 크며, Foul release AF 용출수의 독성영향이 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한 알테미아에 대한 독성영향 역시 조피볼락의 결과와 동일하게 나타났다. 이들 결과는 방오도로에 포함되어 있는 유기방오물질(Zinc Pyrithione, Pyridine Triphenylborane 등)의 농도와 관련된 것으로 판단되며, 단순히 중금속인 아산화동을 도료에서 제거하는 것만으로는 신규 개발도료의 환경친화성을 판단할 수 없음을 보여준다.

방오도로 용출수에 대한 48시간의 노출 실험결과, 조피볼락의 치사율은 노출시간과 용출수 농도와 비례하였다. 특히 Foul release AF 용출수에 비해 Cu SPC AF 용출수와 Cu Free SPC AF는 각각 20%와 4%에서부터 높은 치사율을 보인다. 특히 대조군에 비해 용출수가 투입된 구간에서는 조피볼락의 호흡이 빨라지며, 수면위로 상승하는 현상을 보였다(Fig. 8). 박 등(2006)에 의해 조피볼락이 TBT 또는 오염물질에 노출되었을 때 독성오염물질의 침투를 방어할 수 있는 한계농도(Threshold)를 초과한

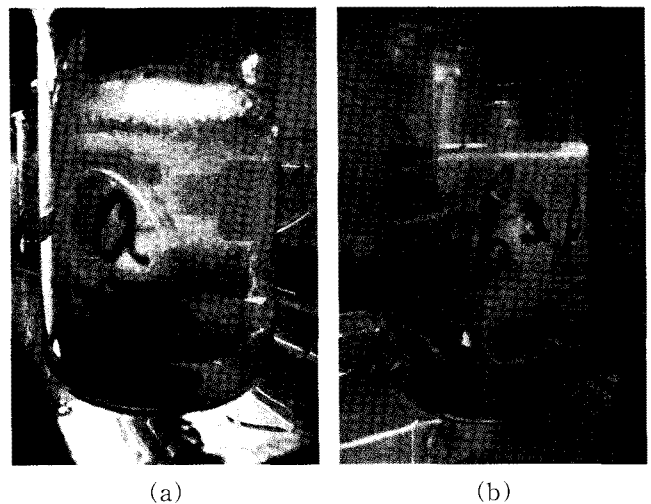


Fig. 8. Activities of *Sebastes schlegelii* exposed to (a) pure sea water and (b) water released from Cu-Free SPC AF.

시점에서 급격한 호흡계의 손상이 유발되는 것으로 보고된 바 있다. 또한 이러한 호흡계의 손상은 독성물질의 노출이 점액 세포의 손실과 아가미 손상을 유발시켜 질식 또는 삼투안정성 및 이온적인 안정성을 깨트린 것으로 평가되었다(Abel and Skidmore, 1974; Lewis, 1991). 본 연구결과로부터 조피볼락이 Cu SPC AF 용출수와 Cu Free SPC AF 용출수에 노출되었을 때 오염물질의 침투를 방어할 수 있는 한계농도(Threshold)가 각각 20%와 4% 이하이며, 그 이상의 농도에서는 호흡계의 손상이 유발되어 치사하는 것으로 추정된다. 그러나 TBT나 다른 대체물질들의 한계농도는 대부분 수 ppm 또는 수십 ppm이지만, Cu SPC AF 용출수와 Cu Free SPC AF 용출수의 한계농도는 수 % 이상이라는 점에서 상당히 고무적이다. 그러나 본 연구에서 수행된 방오도료 용출수에 대한 급성독성실험 결과로 오랜 기간 해양에 노출될 경우 해양생태계에 미칠 영향을 판단하기는 힘들다. 따라서 이들 용출수들의 만성독성에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

선박에 있어 방오도료는 선저부의 해양생물 부착을 방지함으로써 표면에서 발생하는 마찰저항을 저감시켜 연료효율을 높일 수 있으므로 필수적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 상용 방오도료의 환경 영향을 조피볼락과 알테미아를 이용하여 평가하였다. 생물종에 따라 영향을 용출수의 독성에는 차이가 발견되었으나 일반적으로 자기마모형 도료가 Foul-release 도료 보다 독성이 높은 것으로 나타났다. 그러나 TBT나 다른 대체물질들의 한계농도는 대부분 수 ppm 또는 수십 ppm이지만, Cu SPC AF 용출수와 Cu Free SPC AF 용출수의 한계농도는 수 % 이상이라는 점에서 상당히 고무적인 것으로 판단된다. 본 연구에서는 수행한 두 생물종에 대한 급성독성실험만으로는 선저부에 도장된 방오도료가 오랜 기간 해양에 노출될 경우 해양생태계에 미칠 영향을 판단하기 어려우므로 다양한 생물종에 대한 만성독성에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 후 기

본 논문은 부산대학교 자유 과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박건호, 이규태, 이정석, 환경남(2006), 방오도료(TBT, Sea-nine, Cu-pyrithione and Zn-pyrithione)의 조피볼락 *Sebastes schlegelii*과 단각류 *Monocorophium acherusicum*에 대한 급성독성 비교. 한국해양환경공학회지, 제9권, 제1호. pp. 21-28.
- [2] 이혁인(2008), 국제해사기구(IMO) 제57차 해양환경보호위원회(MEPC) 회의결과, 대한조선학회지, 제45권, 제2호, pp. 3-9.
- [3] Abel, P. D. and J. F. Skidmore(1974), Toxic effects of an anionic detergent on the gills of rainbow trout, Water Research, Vol. 9, pp. 759-765.
- [4] Alzieu, C.(1996), Biological effects of tributyltin on marine organism. In : de Mara, SJ.(Ed.), Tributyltin : Case Study of an Environmental Contaminant, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 167-211.
- [5] Bently, M. G. and A. S. Clare(2001), Marine invertebrate chemical signals, Biological Sciences Reviews, Vol. 13, pp. 7-9.
- [6] Dahl, B. and H. Blanck(1996), Toxic effects of the anti-fouling agent irgarol 1051 on periphyton communities in coastal water microcosms, Marine Pollution Bulletin, Vol. 32, pp. 342-350.
- [7] Evans, S. M., A. C. Birchenough and M. S. Branco (2000), The TBT ban: out of the flying pan into the fire?, Marine Pollution Bulletin, Vol. 3, pp. 204-211.
- [8] Gibbs, P. E., G. W. Bryan, P. L. Pascoe and G. R. Burt(1987), The use of the dog-whelk, *Nucella lapillus*, as an indicator of tributyltin (TBT) contamination. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, Vol. 67, pp. 507 - 523.
- [9] Karlsson, J. and B. Eklund(2004), New biocide-free anti-fouling paints are toxic, Marine Pollution Bulletin, Vol. 49, pp. 456-464.
- [10] Lewis, M. A.(1991), Chronic and sublethal toxicities of surfactants to aquatic animals: A review and risk assessment, Water Research, Vol. 25, pp. 101-113.
- [11] Ohji, M., I. Takeuchi, S. Takahashi, S. Tanave and N. Miyazaki(2002), Differences in the acute toxicities of tributyltin between the Caprellidea and the Gammaridea (Crustacea: Amphipoda), Marine Pollution Bulletin Vol. 44, pp. 16-24.
- [12] Omae, I.(2003), Organotin antifouling paints and their alternatives, Applied Organometallic Chemistry, Vol. 17, No. 2, pp. 81 - 105.
- [13] Spooner, N., P. E. Gibbs, G. W. Bryan and L. J. Goad(1991), The effect of tributyltin upon steroid titres in the female dogwhelk, *Nucella lapillus*, and the development of imposex. Marine Environmental Research, Vol. 32, pp. 37 - 49.
- [14] Stupak, M. E., M. T. García and M. C. Pérez(2003), Non-toxic alternative compounds for marine antifouling paints. International Biodeterioration & Biodegradation, Vol. 52, pp. 49-52.

- [15] Vanhaecke, P., G. Persoone, C. Claus and P. Sorgeloos (1981), Proposal for a short-term toxicity test with *Artemia* nauplii, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 5, No. 3, pp. 382-387.
- [16] Waal, M.(1989), Marine epibiosis I, Fouling and antifouling: some basis aspects, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 58, pp. 175-189.
- [17] Wezel, A. P. and P. Vlaardingen(2004), Environmental risk limits for antifouling substances, *Aquatic Toxicology*, Vol. 66, pp. 427-444.

---

원고접수일 : 2010년 10월 13일

원고수정일 : 2010년 11월 17일 (1차)

: 2010년 12월 08일 (2차)

게재확정일 : 2010년 12월 23일