

3. 기술동향

(2) 기술동향

TBT 함유 방오페인트의 국제규제에 관한 국내현황 및 대책

A Domestic situation and Response on the Global Prohibition of TBT Compounds on the Ship's Anti-fouling Systems



김지연
J-Y Kim

- 한국해양대학교 해양과학기술연구소
- 1968년 1월생
- 1990년 한국해양대학교 공과대학 해양공학과 졸업
- 1992년 동대학원 항만공학 전공 졸업 (석사)
- 1992년~1994년 현대중공업 해양사업본부
- 1995년~2001년 동대학원 졸업(박사)
- 2001년~현재 한국해양대학교 해양과학기술연구소 전임연구원



김인수
I-S Kim

- 한국해양대학교 토목환경시스템공학부
- 1954년 6월생
- 1978 한국해양대학교 기관학과 졸업
- 1989 동아대학교 대학원 환경공학과 (석·박사)
- 1987~현재 한국해양대학교 공과대학 토목환경시스템공학부 환경생명시스템공학전공 교수

1. 서론

국제 해사기구의 환경 보호 위원회 (IMO-MEPC)는 지난 수년간 선박용 방오도료의 유해 여부에 대하여 토론해 왔으며 98년 11월에 개최된 MEPC 42차 총회에서는 2003. 1. 1.자로 TBT(Tributyltin) 방오도료의 도장을 금지하고(많은 국가에서 사용금지를 법제화) 2008. 1. 1.까지 선박 외판에 적용된 TBT 방오도료의 금지에 대한 초안을 승인하였다. 해양환경에 유해한 선박용 TBT 방오도료의 사용 금지를 위한 IMO-MEPC의 국제협약 채택이 추진되고 급년 10월에 규제안이 결정될 예정이다. 전세계적으로 자국에 유리한 형태의 국제규제가 이루어지도록 각국의 로비가 치열하며 국가별 규제안 마련과 관련하여서도 많은 혼선이 예상된다.

지금 해양산업은 Tin계 방오제의 사용중지라는 절박한 상황에 직면해 있으며 전세계 조선 시장의 수주능력 40% 이상, TBT 사용량 세계 1위인 우리

나라는 선사, 조선소, 양식업, 도료생산업 등 관련 산업의 어려움이 예상되며 현 방오페인트의 가격 경쟁력 및 기술수준으로는 국내생산 및 수출시장에 영향을 줄뿐만아니라 해운업, 수산업, 조선업, 양식업 등에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다.

국내적으로 2003년 1월부터는 TBT 규제가 내항 여객선·화물선까지 확대될 예정이며 내항여객선은 고시후 6개월 이후부터, 내항 화물선은 2002년 7월부터 TBT 함유 도료 사용금지, 위반시에는 3년 이하의 징역 또는 1000만원 이하의 벌금형으로 규제가 발효되었으나 실제로 기술적, 법률적 규제방법이 마련되지 않아 규제 자체도 모호한 실정이다.

1990년대 후반부터 TBT의 연안오염에 대한 실태연구 등이 있어왔으나 TBT의 국제적 규제가 국내산업에 미칠 영향에 대한 연구 및 효과적인 국내 규제안의 전략적 제안 등은 연구가 미진하였다.

따라서 TBT 규제에 따른 국내의 여건 및 세계적

동향에 따라서 관련산업의 현황을 파악하여 단기적으로는 자국산업의 보호, 장기적으로는 해양수질환경의 보호라는 두 가지의 문제를 상호병행하는 입장에서 업종별로 국내산업에 유리하도록 규제안의 효율적인 국내 적용방안에 대해 연구하였다. 또한 세계의 TBT 대체재의 개발에 대한 추이를 연구하여 차후 국내의 Tin-Free 방오제 개발전략에 도움을 주고자 하였다.

2. 관련산업별 현황

1) 해운업

도료 및 도장 비용과 연료비의 절감 등 경제적 이익 때문에 유조선, 화물선 등의 대형선박들은 기존에 TBT 함유 방오페인트를 선호하여왔으며 현재 국내해운선사의 보유선박의 80% 이상이 TBT 방오도료가 도장되어있으므로 Tin-Free로 대체될 경우 기존 TBT 도료보다 약 3배 이상의 방오비 증가분을 감당해야 한다. 일반적으로 신조선 건조후 방오보장기간(5년)이 지난 이후부터는 방오작업을 평균 2.5년마다 재도장 해야하므로 지속적으로 방오비용의 부담이 커지게 된다. 특히 선령이 높을수록 방오비의 부담이 크게 증가할 것으로 예상된다. 국내선사, 해운회사의 경우에 현재 보유선박 대부분이(약 80%) TBT 방오도장이 되어있으며 규제안이 발효될 경우 Paint Maker에 연간 물량을 직거래 방식으로 일괄적, 구매하여 단가를 낮추거나 Special D/C를 제공받는 방법, 도장작업 중 감독을 강화하여 도료손실을 줄이는 방법, 전처리 비용 및 도장비용이 저렴한 조선소를 선정하는 방법, Tin-Free 도료의 1차 적용 이후 입거장비 가격, 선종, 선령별 도장상태를 감안한 도장부위 및 도장두께 등을 조절하여 비용의 손실을 최소화하는 방법 등 Tin-Free 사용에 따른 방오도장비의 증가에 소극적 방법으로 대처할 수밖에 없는 상황이다. 만약 지속적으로 선사의 방오비 부담이 증가할 경우에는 에너지이용합리화기금 등의 자금지원 활용방안 등을 통해 당분간 지속될 TBT 규제에 따른 국내 해운업의 피해를 줄일 필요가 있다.

특히 국제항행 선박(외항선, 원양어선 등)에 상당한 타격이 예상되며 선체 적용방안 및 검사방법

등에 대한 대비가 요구된다. 국제항행에 종사하는 선박(내국적 외항선, 외국적 외항선)은 금년 4월의 IMO/MEPC에서 결정된대로 2003년 이후 세계적 규제가 발효될 경우 의무적으로 TBT 구도막 위에 Sealer Coat를 도장하는 안을 수용해야한다. 그러나 국내선은 경제적인 대체도료의 개발시기, 국제적인 규제동향에 맞추어 연도별로 단계적으로 사용규제하는 안을 선호하고 있다.

2) 조선업

국내 선박용 도료 시장규모는 2700~2800억으로 이중 방오도료 시장규모는 전체 선박용도료 시장 대비 18.5%로 518억 정도이다. 전체 신조선박건조비 중 도장 비용은 도료단가가 1~2% 정도이며 인건비를 포함하는 경우 6~7%이며, 이중 방오도료비는 약 30%, 즉 총 신조선박건조비의 약 2%를 차지한다. 국내 조선소는 이전에는 Tin base가 주로 사용되었으나 대부분 2000년 10월 이후부터 Tin-Free 수주가 활발하며 Tin-Free의 사용시 TBT/Tin-Free의 국제가격이 TBT는 리터당 5\$, Tin-Free는 선속/용도/수명에 따라 다르나 약 10~15\$이 되므로 가격인상에 따른 비용 인상분을 감수해야한다.

신조선 건조시에는 선주측에서 방오도료를 선정하여 공급하고 도장작업만 해당 조선소에서 수행하므로 신조선산업에는 TBT 규제가 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다. 한편 국내 수리조선소의 경우에는 대형 수리조선업 수주의 대부분이 중국, 베트남 등 동남아로 이양되고 등 대형수리조선소가 거의 2002년 신조선으로 사업전환중이므로 중소형 조선소에서 중소형 선박의 수리조선업이 이 당분간 지속되는 상황이다. 선박의 건조 및 수리 직후(일반적으로 1회 도장당 약 153~154회 분사) sail-out시 약 15일 간에 대량 용출($50\sim 10\mu\text{g}/\text{day}/\text{cm}^2$)되며 이후 $4\sim 6\mu\text{g}/\text{day}/\text{cm}^2$ 이 되므로 인해 울산, 거제도 등 조선소 혹은 수리조선소 주변해역의 TBT 오염이 더욱 극심하였으며^{5),6)} 차후 TBT 방오도료가 사용금지될 경우 이러한 수역의 TBT 오염 피해가 줄어들 것으로 예상된다.

3) 양식업 및 양식어구제작업체

어구제작업체의 경우에는 관련업체의 영세성으

로 인해 시장규모가 제대로 추산되지 않으나 약 100억 미만으로 조선업의 방오도료 시장에 비해 시장규모는 적으나 국내 수산업, 양식업 등에 미치는 영향은 클 것으로 예상된다. 가두리 양식장의 경우에는 양식어류에 미치는 영향이 크므로 규제하고 패류서식지, 항구, 조선소 등 중점관리해역을 구분하여 규제하는 안이 제안된다.

대부분의 어구 제작업체에서 수요자가 특별히 주문하는 경우 이외에는 방오도장을 하지않고 어망을 판매하며 대부분 양식업자가 봄, 가을 연 2회 직접 도장하며 영세 양식업자는 가격면에서 우세한 비메이커 방오도료를 선호하므로 비메이커 방오도료의 TBT 사용의 여부가 중점 관리되상이 된다. 방오비는 그물코, 크기 등에 따라 천차만별이며 일본어망의 경우에는 어망의 원사 자체의 꼬임방식이 한국과는 다른 Fiber LLDP로서 어망의 단면적 자체가 적어 방오비가 적게 드나 국내 어망원사의 경우에는 원사 꼬임단면이 커서 방오비가 많이 든다. 따라서 해역이나 어종에 따른 어망원사의 개발과 어망용 방오도료의 개발이 병행되어야 한다.

가두리 등에 미칠 수 있는 수질오염의 피해를 알리고 장기적으로 Tin-Free 방오도료를 사용하는 것이 양식업자에게 유리함을 홍보하는 것이 필요하다. 또한 국내 양식업, 수산업 등의 발전을 위해 환경기금 등을 조성하여 방오비의 증가분을 정부에서 일부 부담하는 것이 바람직하다.

4) 도료생산업체

도료생산업체의 경우 미국, 유럽국가, 일본 등 100년 이상의 방오도료 역사를 가진 메이저급 회사들간에 기술합작 등으로 세계적 네트워크를 구축하고 있으며 현 기술수준으로는 국내 도료생산 및 수출시장에 영향을 줄 것으로 예상된다.

국내생산되는 대체도료의 성능시험 결과를 MEPC에 제출, 세계적으로 홍보하여 차후 Tin-Free 세계시장에서 경쟁력을 갖도록 해야한다. 차후 다른 환경폐해 성분의 등장에 대비하여 환경친화적인 살생제(Biocide)의 개발에도 노력을 기울여 한다³⁾.

3. 세계의 TBT 규제안

금년 10월의 TBT 규제안 통과와 관련하여 세계적으로 자국에 합리적으로 법제화 될 수 있도록 로비가 진행되고 있으며, 현재 시행중인 국가별 방오도료 법제화 현황은 아래 Table 1과 같다⁴⁾. 선박의 크기 25m를 기준으로 대소형으로 구분하여 등록 의무화, 전면사용금지의 방법으로 제한하며 세부적으로 TBT 방오도료 도장업체의 제한, 지역별 TBT 사용 제한, 도장 Yard의 등록, 선종별 해역별 용출률 제한 등이 있다.

Table 1. 세계의 방오도료 규제현황

국명	시행년도	규제현황
프랑스	1982	선체길이 25m 이하의 선박에 사용금지. 0.4% 이상의 TBT가 함유된 페인트 사용금지. 단, 알루미늄 선체의 선박은 제외.
영국	1986 1987	총주석의 농도가 7.5%이상인 공중합체 페인트와 2.5% 이상인 기존 페인트의 도매 및 공급금지. 총주석의 농도를 7.5%에서 5.5%로 낮춤
캐나다	1987	선체길이 25m 이하의 선박에 TBT 사용금지 선체길이 25m 이상의 선박에 주석용출량 1일 4 μ g/cm ² 이하
아일랜드	1987	선박과 수중구조물에 TBT 사용금지
미국	1988	선체길이 25m 이하의 선박에 TBT 사용금지 선체길이 25m 이상의 선박에 주석용출량 1일 4 μ g/cm ² 이하
노르웨이	1989	선체길이 25m 이하의 선박과 그물에 TBT 사용금지.
일본	1990	선체길이 25m 이하의 선박에 TBTO[bis(tributyltin)oxide]사용 및 생산, 수입금지. 기타 TPT(triphenyltin, 7개 물질)의 사용, 생산, 수입시 정부에 보고
덴마크	1991	선체길이 25m 이하의 선박에 TBT 사용금지
호주	1991	일부 주에서 선체길이 25m 이하의 선박에 TBT 사용금지
스위스	1991	담수에서 TBT 사용 전면금지
독일	1991	담수에서 TBT 사용 전면금지

4. TBT 모니터링(monitring)

TBT는 선박용 방오도로 뿐아니라 PVC 안정제, 각종 플라스틱 첨가제, 산업용 촉매, 살충제, 살균제, 목재 보존제 등으로 널리 사용되므로 해양으로의 유입량을 추정하기 위해서는 국내 각 분야에서 사용되는 TBT의 양과 종류를 정확히 파악하여야 한다. 특히 선진국에서 80년대부터 사용이 규제되기 시작한 TBT 뿐만 아니라, triphenyltin과 tricyclohexyltin과 같은 독성이 강한 유기주석화합물에 대해서도 사용 분야와 사용량을 구체적으로 파악할 필요가 있다. 즉 TBT오염의 장기적인 모니터링에 대해서도 학계의 학문적 관심과 당국의 정책적 지원이 필요하다고 하겠다.

그러나 TBT의 국내 생산량, 소비량 또는 외국으로부터의 수입량 등은 각 회사들이 자료를 잘 노출시키지 않아 정확한 통계를 파악하기가 쉽지 않다. 따라서 정부 당국에서 강력하게 자료요청 등을 통해 정확한 통계자료를 구축하는 것이 우선되어야 한다.

우선 전국의 주요 오염원 및 어패류 양식 해역의 해수, 퇴적물, 생물에 대한 광범위한 조사를 통해 연안의 TBT 농도와 오염 실태를 파악해야 한다. 아울러 한반도 주변에 서식하는 연안 생물에 대한 TBT의 위해성을 평가하여^{7),8)} 적절한 오염기준을 마련하여야 하며, 규제효과의 평가와 불법적인 사용의 감시를 위해서는 사용규제 이후 10년 이상의 장기적인 모니터링이 필요하다. TBT는 낮은 농도(0.05ppm)에서도 생물의 성장저해 및 치사를 일으킬 수 있는 독성이 매우 강한 물질이다. 그러나 TBT의 독성은 생물 종, 노출 농도 및 시간에 따라 그 차이가 크게 나타나므로 주요 오염지표 생물과 수산생물에 대한 이 화합물의 위해성을 평가하여 적절한 오염기준을 설정하여야 한다⁹⁾. TBT의 반감기는 해수 중에서 수 일에서 수 주일에 이르나, 퇴적물 내에서는 수개월에서 수년에 이르는 것으로 보고된 바 있다. 그러므로 사용이 규제된 이후에 TBT의 오염도를 지속적으로 모니터링함으로써 퇴적물로부터 용출되는 양 뿐만 아니라, 불법적인 사용여부를 감시할 수 있으며, 사용 규제에 따른 효과를 평가할 수 있다.

부착생물은 선체의 표면에 부착하여 선박항해시 저항을 증가시키는데, 선체 표면의 평균 거칠기(average roughness)가 10 μ m만 증가해도 0.3~1.0% 만큼 연료 소비가 증가한다. 큰 선박의 경우는 유지비의 약 50% 가량이 연료비로 지출된다. 선박표면에 해양생물이 부착되지 않도록 하기 위해 칠하는 방오도로는 두 가지 작용을 한다. 첫째는 선박운항시 화학반응을 일으키면서 아주 미세한 양이 균등하게 깎여 나감으로써 해양생물 부착을 방해한다. 둘째는 도료성분에 함유된 방오기능(주석 성분의 독성)을 이용하여 해양생물이 선체에 부착하는 것을 막는다. 보통 TBT 방오도로는 평균수명이 5년인데 비해 산화제1구리(아산화동)는 3년(실제로는 1.5~2년) 정도만 지나면 재도장작업을 해야 한다. 이에 따라 선박의 유지보수비(도장비)가 두배로 들어가게 되어 선주들은 TBT 방오도로 도장을 선호할 수밖에 없다. 따라서 전면적으로 TBT 사용을 규제할 경우 선박 운용에 경제적인 피해가 발생하게 된다. 따라서 주로 연안 어장을 항해하는 소형선박으로부터 시작하는 것이 합리적이지만 이 경우 대부분 어선이 해당되기 때문에 어민들의 반발이 있을 수 있다. 선박 운용비 중 상대적으로 연료비의 비중이 큰 대형 선박과 구리를 첨가한 방오도로를 사용할 수 없는 알루미늄 선체의 선박에 대해서는 외국의 예와 같이 부분적으로 허용하고, 소형선박 및 기타 어망과 수중구조물에 사용되는 TBT 방오도로는 사용을 전면 규제하거나, TBT 방오도로 중에서 농도와 용출률이 낮은 방오도로를 사용하도록 해야 한다. TBT 사용규제를 소형선박으로부터 시작하려면 어민들의 반발이 예상되거나 궁극적인 목적이 어장 및 양식장의 환경보전을 위한 것이므로 어민들의 이해를 촉구할 필요가 있다.

TBT의 사용규제 방안은 크게 전면적인 사용규제와 선택적인 규제가 있으나, 이미 앞에서 언급한 바와 같이 전면적인 사용규제시 문제점이 발생할 수 있으므로 선택적인 규제 방안을 다음과 같이 할 수 있다.

1) 물질에 의한 규제

방오도로 및 농약으로 사용되는 유기주석화합

물은 결합물질에 따라 매우 다양한 형태를 띠고 있고, 그 독성도 다양하다. 그러므로 각 물질별 독성 및 기타 잔류성 등에 따라 사용을 규제하는 방안이다.

2) 선박의 구조와 형태에 따른 규제

전면적인 사용규제에 따른 선박 운용비 증가의 경제적 피해를 줄이기 위해 상대적으로 연료비 지출이 큰 대형선박(상선, 군함 등) 및 대체 방오도료 가 없는 알루미늄 선체의 선박에 대해서는 허용하고 기타 선박 및 수중구조물에 대해서만 전면적으로 규제하는 방안이다. 연안 양식장의 수질환경을 보전하기 위해서는 우선적으로 외국과 같이 25m 이하의 소형선박에 대하여 TBT 방오도료 사용을 규제하는 방안이 가장 효과가 클 것으로 판단된다.

3) TBT의 농도 및 형태에 따른 규제

TBT는 방오도료에서 각각 다른 방식으로 쓰이는데, 크게 자유결합 페인트, 분리형 페인트, 공중합체 페인트로 나눌 수 있다. 자유결합 페인트는 해수가 페인트 층으로 침투하여 TBT가 용해되어 나가는 것으로 초기의 용출량이 매우 큰, 반면 70년대에 개발된 공중합체 페인트는 화학반응에 의해 TBT가 용출되는 것으로, 초기 용출량은 자유결합 페인트에 비해 낮고 일정 시기가 지나면 용출량이 지속적으로 일정하게 유지되며 수명도 길다. 분리형 페인트는 자유결합 페인트와 화학적인 작용 원리가 비슷하지만 일정 시기가 지나면 수명이 다한 방오페인트는 얇은 껍질이 되어 벗겨지고 안쪽의 새로운 도막이 방오제로서 작용하는 원리만이 다른 점이다. 이 규제방법은 여러 형태의 페인트에 첨가되는 TBT의 농도를 변화시킬 수 있으므로, 방오도료에 사용되는 유기주석화합물의 형태와 농도 및 용출률의 수준에 의해 규제하는 방안이다. 선박의 주석용출량 제한은 1일 4ppm 이하가 일반적이며 이는 각 해역의 환경이나 계절별로 다르게 적용되어야 한다. 노후선박 혹은 기존 TBT 사용선박은 TBT 용출량으로 제한하는 안이 요구되는데 계절별, 해역별(북해나 적조부근해의 수온차), 선속별, 선박규모별, 선박종류별(Feeder, Full Con., Bulk 등)로 용출률이 다르게 적용되어야 보다 현실적이라고 할 수 있다. 운항중 도료는 선속이 빠

르고 활동이 강한 배에 비해서 대형 상선이나 소형선 등 선속이 느린 경우에는 용출률이 보다 높게 제한되어야 한다. 특히 우리나라와 같이 사계가 분명한 경우 특히 여름의 해수온도가 겨울에 비해 약 15℃ 이상 차이가 나므로 계절별로 용출률 규제의 구분이 반드시 필요하다. 관련 연구에 의하면 온산만에서 채취한 홍합의 체내 TBT 농도는 1.01~1.59ppm, 옥포만 홍합은 0.29~0.56ppm 등으로 일본 동경만의 0.04~0.44ppm에 비해 훨씬 고농도였으며 특히 울산만의 바다 퇴적물 중 TBT 농도는 무려 0.026~13.3ppm에 달하는 것으로 나타났다^{4),5),6)}. 수산업이 잡는 어업에서 기르는 어업으로 어업선진화를 추진하고 있는 우리나라는 연안의 오염이 수산업의 발전을 막는 중요한 요인이 될 수 있으며 조선소 주변해역, 양식장 주변해역 등도 특별히 관리되어야 한다.

4) 지역에 따른 규제 방안

해양으로 배출하는 TBT 오염원은 한정되어 있으며, 해수 중에 유입된 물질도 입자에 흡착하여 가라앉거나 수주일 안에 분해되므로, 전 오염원으로부터 짧은 거리 내에서 희석될 수 있다. 따라서 TBT 오염원이 존재하는 해역 또는 TBT 오염에 민감한 어.패류 양식 해역에 대해 선택적으로 규제하는 방안이다.

5) 혼합 규제 방안

6) 기타로서 조선소의 dry-dock에서 수명이 다한 방오도료를 긁어낼 때 TBT가 다량 배출될 수 있으므로 긁어낸 방오도료의 찌꺼기를 정화 또는 폐기 처리할 수 있는 법적 규제가 필요하다.

우리나라의 여건에 맞는 규제안 및 수행방법 등이 마련되어야 하며 특히 근본적으로 해양수산부, 환경부 등 관련 국가부서 중에서 규제처가 통일되어야 하며 폐기물관련법 등 관련법안과의 충돌도 정비되어야 한다. 특히 법률안 마련과 관련하여 제도적으로 뿐만아니라 해역선정 및 용출률에 대한 관련연구도 선행되어야 한다.

영세 양식업자들의 TBT 사용규제에 관하여는 TBT 사용도료의 판매방식의 변환(소매의 금지)

등이 제안되며 특히 정부에 의해 1년단위로 표본 검사(sampling)를 실시하여 Tin-Free 필증을 발급하고 감시법, 방오도료의 등록법(유럽에서 수용) 등의 형태로 규제하여야 한다. 이를 위해서는 규제처의 단일화가 선행되어야 하며 관리인력도 마련되어야 한다. 또한 TBT 생산업체의 판매망을 관리하여 TBT 구매업체를 역추적하는 방안도 제안된다. 대부분의 경우 선사 측에서는 선박의 톤수 별 규제에 대해서는 총톤수 500톤 이상, 500톤 미만, 선체길이 25m 내외로 분리하는 적용기준을 선호하는 것으로 나타났으며 이는 세계적 기준과 부합된다

5. 대체도료의 개발현황

유기주석 화합물(TBT)을 사용한 방오도료의 2003년 이후 선박에 사용 또는 재사용을 금지하고 2008년 이후 선체 잔존을 금지하는 IMO-MEPC의 국제협약 채택이 추진됨에 따라 선체 Hull 부분 및 어구 등에 적용할 수 있는 경제적, 효과적 대체 방오도료 대한 개발이 시급하다. 현재 대부분의 선조선 수주에 적용되고 있는 Tin-Free 방오도료는 국제가격이 선속/용도/수명에 따라 다르나 리터당 약 10~15\$로 기존 방오비에 비해 2~3배 이상 증가하는 것이 되며 이 Tin-Free 또한 주로 SPC/CDP 형으로 아산화동 등의 독성물질에 수지를 결합한 형태이므로 차후 다른 환경폐해 성분의 등장에 대비하여 환경친화적인 차세대 대체도료가 요구된다.

국내조선업 및 어구제작업의 방오도료 시장 규모가 현재 600억 이상이며 Tin-Free로 전환되는 2003년 이후에는 약 1200억대 이상의 시장규모를 형성하고 대체도료 개발시 방오도료의 국산화로 화학원료 메이커 및 연관 업종의 활발한 성장이 예상되며 해운업의 국제경쟁력 확보, 수산업, 양식업 등에 직간접적으로 미치는 경제적 효과는 상당하다. 사회적으로는 조선강국의 기술우위를 입증하고 연근해 어업, 양식업의 방오제 사용에 기인한 환경오염의 피해 경감으로 해양수질 및 자원의 보호하며 해양오염 원인자로서 선박업 및 어업의 이미지를 해소하는데 기여할 수 있다.

현재 Tin-Free 방오도료는 SPC(self polishing compound)와 CDP(controlled depletion polymer)으로 양분되며 선박용으로는 주로 SPC, 어구, 어망 등 선속이 없는 경우에는 CDP가 사용되고 있다. CDP는 방오수명이 3년 정도로 실제 방오수명에 대한 신뢰도가 낮으며 실리콘 타입의 Tin-Free는 리터당 100\$ 정도로 고가이나(기존 Tin-Free의 약 10배) 수명이 반영구적이므로 요트 등 고가선박에 적용되고 있다.

가격이나 효과면에서 우수한 친환경적인 대체도료의 개발은 전세계 조선 시장의 수주능력 40% 이상을 차지하는 조선대국으로서의 기술우위를 입증하고, 잡는 어업에서 양식어업으로 어업선진화를 추진하고 있는 국내 수산업의 발전과 국내해운업의 세계경쟁력 확보에 크게 기여하리라 예상된다.

1) 유기주석계의 방오제로 특히 현재까지 사용되는 것은 TBTO(tri butyl tin oxide)이며 액상의 독성이 강한 물질로 도료에 사용시 탁월한 방오력을 내므로 아산화동과 함께 방오제로 사용되고 있다(Fig. 1).

방오도료에는 이러한 TBTO를 소량 5% 이내 직접 혼합하여 사용한 것을 Free associated TBT Antifouling이라 하며, 이러한 도료는 유럽, 미주, 일본 호주 등의 국가에서는 1987년 부터 사용 금지가 이루어지고 있으며 이는 정박이 잦고 선박의 활동도가 적은 선박은 방오제의 용출량이 상대적으로 높아야 하고, fouling도 정지 상태에서 발생이 쉽기 때문이다. 특히 소형의 연안 선박, 요트가 이러한 도료를 사용하며 선체 길이가 25m 이하인 선박이 이에 해당한다. 규제가 국내에도 이미 시행됨에 따라 지금은 국내에서도 거의 사용치 않고 있다.

Type of A/F	1980's	1990's	2000's
Conventional	→		
Tin Bass SPC	→		
Tin Free CDP	→		
Tin Free SPC	→		

Fig. 1 History of Anti-fouling Paints

2) TBT-Self polishing copolymer type의 도료 ; TBTO를 acrylic 수지와 공 중합 반응을 시켜서 TBT가 해수 중에서 해수와 반응하면서 소량씩 용해되어 나오도록 제조된 수지로써 이를 도료에 적용한 방오 도료이며 단순 칩가 방식에 비하여 TBT가 소량씩 적절하게 나오도록 함으로써, 방오력을 도막 두께에 따라 연장 할 수 있는 장점이 있다. Fig. 2는 선박에 적용된 SPC 방오도료의 도막이 시간이 지남에 따라 절삭되어 거의 균질화되어가는 과정을 보여준다. 방오수명 및 방오성과 연결되기 때문에 도막과 해수와의 용해시간 등이 기술 개발 대상이 된다. 이러한 타입이 가장 널리 사용되고 있으며, 전세계 신조선 시장의 대다수를 점유하는 한국이 TBT-SPC 도료 사용량, 즉 TBT-SPC 수지, 아산화동을 세계적으로 가장 많이 사용하고 있다. 이 도료는 2003년 1월 이후 금지가 거의 확실하며, 한국 조선소 주변의 환경 오염 방지에도 도움이 될 것이다. 다만 도료의 가격이 상대적으로 높아서 선주, 조선소의 원가 부담이 증가 할수 있으나, 이제 거의 모든 선박도료 업체가 자체 개발, 기술 제휴 합작 등의 방법으로 국내 공급이 가능하다. 국내 조선소는 이미 거의 2003년후 건조되는 신조선의 도장 사양이 Tin-Free 도료로 규정화(specification) 되고 있으며, 점차 가격이 물량 증가와 함께 내려가리라 예측된다.

3) CDP Type Tin-Free 도료 ; 종전에 사용되어 온 불용성의 수지와 송진(Rosin)을 혼합 사용하고 방오제로는 아산화동(일부 국가는 규제를 하고자 함)과 EPA의 시험을 거친 안전성이 입증된 보조 방오제(ZPT)를 혼합, 물속에서 송진이 해수에 녹으면서 방오제가 용출되는 형태의 방오 도료로써

방오 성능이 도막 두께에 비례하지 않으므로 3년 정도의 수명을 가지며, 가격도 2)와 유사하다. 어망, 해양구조물 등 선속이 확보되지 않는 경우에 사용되며 방오수명에 대해서는 아직 신뢰도가 확보되지 않고 있다.

4) Tin-Free SPC 방오 도료 ; Tin 대신 구리, 아연, Si 금속을 아크릴 수지와 공중합 시켜 해수에 용출되도록 만든 수지로써 방오제는 환경 친화형 방오제와 아산화동을 사용한 것으로 일찍 규제를 실시한 일본 조선의 경우 많은 실적이 있어 대부분의 기술에서 우위에 있다. 국내에 소개되는 기술은 거의 일본이 특허를 갖는 수지기술에 근거한 방오도료이다. 3년, 5년 방오수명이 가능하나, 종전의 Tin-SPC 보다는 작업성 등이 점차 개선되어야 할 점이 있으며, 현재 국내의 전 신조선이 이를 채택하고 있다.

5) 차세대 방오 도료는 환경 친화형 방오제, 아산화동도 사용하지 않은 무독성도료로써 실리콘 러버(silicone rubber)의 매끄러운 면을 이용한 비접착성 코팅 방오제가 그 한 가지로 가격이 상당히 높아 대형 상선에 적용이 되려면 시간이 걸리며, 코팅의 손상시 복구가 어려운 결점이 있다. 일부 선사들은 수리선에서 이의 사용을 시도하고 있다. 그 외에도 선체와 해수 사이의 전하차를 이용한 시스템도 있으며 에너지 소비가 크고 선체부식의 위험이 있고 시스템의 손상이 쉬운 결점이 있다. 코팅 자체를 바늘형태로 하여 어 방오에 적용하는 방법도 있으나 현실적인 면에서 천연살생제를 이용한 방오제의 개발이 가장 현실적이다.

6. 결 론

2003년 이후 TBT 방오도료 사용규제안이 발효 될 경우 국내 관련산업에 미칠 영향은 아래와 같이 예측되며 그 대처방안을 강구하여야 할 것이다. 세계의 규제기준에 맞추어 국내의 산업적, 경제적, 기술적, 해양환경적 현실에 맞는 적절한 규제안이 필요하다.

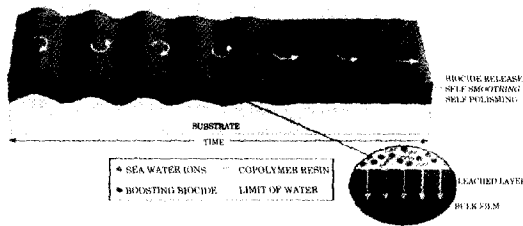


Fig. 2 View of SPC coating

- 1) 해운회사는 기존 TBT 적용 선박은 Sealer Coat 적용 및 차후 Tin-Free 적용에 따라 방오도료비가 3배 이상 인상하므로 운임요율 등의 상승에 영향을 미쳐 해운업의 국제 경쟁력에 영향을 준다. 2003년 전후로 입거할 선박에 대한 대대적인 관리가 필요하다. 특히 외국 입출항 선박의 경우에는 항행지역의 TBT 규제를 미리 파악할 필요가 있다.
- 2) 현재의 기술로는 대체 방오제를 거의 수입에 의존하고 있으며 조선업의 지속적인 발전을 위해 방오제 및 방오기술에 대한 연구가 선행되어야 한다.
- 3) TBT 관리를 위해 영세 양식업자 및 수산업자를 대상으로 TBT의 환경폐해 및 TBT 금지의 장기적 이익에 대한 적극적인 홍보가 필요하다.
- 4) TBT 모니터링을 위해 계절별, 해역별(북해나 적조부근해의 수온차), 선속별, 선박규모별, 선박종류별(Feeder, Full Con., Bulk 등)로 구분하여 국내 여건에 맞는 용출률에 대한 실험 및 연구가 필요하다.
- 5) TBT 사용도료의 판매루트에 대한 추적 및 판매방식의 관리, 표본 검사, Tin-Free 필증 발급 등에 의해 선박크기별 감시법, 등록법 등을 마련해야 한다.

1999. *Applied Organometallic Chemistry*, Vol. 13, 697~703.
- 7) 한국해양연구소. "유류 및 유독물질 오염이 수산자원에 미치는 영향에 관한 연구(I·II)", 한국해양연구소보고서 BSPN 00324-983-4. 1996. pp316.
- 8) 한국해양연구소. "유류 및 유독물질 오염이 수산자원에 미치는 영향에 관한 연구(III)", 한국해양연구소보고서 BSPE 97609-00-1077-4. 1997. pp411.

참고문헌

- 1) 이수형, 국내의 TBT 오염현황과 대책, 한국해양연구소 해양화학연구부 화학환경연구실, 1998
- 2) 서울대학교. "TBT 오염실태 조사 및 대책수립 연구". 농림수산부보고서, 1996. pp.121.
- 3) *Paint & Coatings Industry* 2001. 6
- 4) 해양수산부 (1998) TBT 오염실태 조사 및 대책수립 연구. pp.211.
- 5) R. St-Louis, E. Pelletier, P. Marsot. "A Mechanistic Approach to Tribytyl tin(TBT) Sorption by Marine Microflagellated Alga *Pavlova Iutheri*". 1997. *Applied Organometallic Chemistry*, Vol. 11, 543-50.
- 6) Fancesca Cima and Loriano Ballarin, "TBT-induced Apoptosis in Tunicate Haemocytes".