

유기주석화합물의 Fate Modelling 및 위해성평가

조현서

여수대학교

Risk Assessment of TBT

Hyeon Seo Cho

Yosu National University

1. 서론

본 연구의 목적은 船底塗料의 주요한 성분으로서 사용되고 있는 유기주석 化合物 (Tributyltin(TBT))의 생태계에 대한 위해도 평가를 통한 관리방안을 강구하는 것이다. 유기주석 化合物은 방오도료로써 그 유용성이 인정되어 널리 사용되어 왔으나 저농도에서 복족류에 Imposex (생식기구 이상)를 일으키는등 수중생물에 대한 독성이 아주 강한등 생태계에 대한 악 영향이 문제 시 되어 유럽, 미국, 일본등 외국에서 그 사용이 규제받고 있는 물질이다. 우리나라는 최근 산화트리부틸주석(TBTO)에 대해 냉각수, 살균제용으로 제조, 수입, 판매 및 사용금지 조치를 하고 있을 뿐 선박도료 및 어망사용에 대한 규제조치는 없다. 또한, 체계적인 조사도 이루어져 있지 않아 그 전모가 알려져 있지 않다. 국내 연구경향으로는 Cho(1997,1996), 강(1995), 심(1996), 홍(1996) 및 최(1993)등에 의해 진해만, 여수주변해역 등에서의 오염실태가 일부 보고되고 있으나, 해수중에서의 거동예측 및 위해도 평가등에 대한 연구는 거의 전무한 실정으로, 오염현황, 운명예측, 생태계에 대한 영향, 관리방안 등에 대한 연구가 요망되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 유기주석化合物의 오염이 진행되고 있는 마산만을 대상으로 동해역에서의 오염현황 파악 및 Fate Modelling, Risk Assessment수법을 통한 유기주석화합물질의 평가 및 관리대책등을 강구하는데 있다.

2. 본론

2.1 TBT의 환경운명 예측

유기주석 화합물의 총합적인 평가 및 관리를 위하여는 동 화합물의 환경운명 예측 및 Risk Assessment를 행할 필요가 있다. 본 연구에서는 환경운명예측 모델의 설정을 위하여 유기주석 화합물중 선박 도료의 주성분으로 가장 널리 이용되고 있는 TBT화합물을 대상물질로 선정하여 실시한다. TBT 화합물의 환경운명을 예측하는 모델로는, Walton등(Walton et al, 1986)이 제안한

Dynamic Pseudo Two-Dimensional Link-Node Model, 渡辺(渡辺, 1994)의 표준설정환경을 이용하여 환경중의 농도변화를 예측하는 환경동태모델, 趙(趙, 1993)가 지역특성을 고려하여 구축한 2층 비보존계의 Box Model(지역수계모델) 등이 있다.

본 연구에서는, 지역특성을 고려한 TBT 화합물의 평가 및 관리를 위한 모델로서 가장 적합한 조의 Box Model을 이용하여 대상해역인 마산만의 TBT 화합물의 환경운명예측을 위한 연구를 행한다.

2.1.1 TBT의 환경운명예측모델 설정

환경운명예측 모델의 설정: 본 연구에서 사용하는 모델은 TBT 화합물의 물질순환을 나타내는 비보존계 Box Model이다. 본 모델은 지역특성을 최대한 고려하여 이류, 확산, 침강, 축적 및 분해 등의 수질 지배인자를 도입하여 구축한다. Box의 구분은 대상해역의 수질의 유사도, 환경기준과 관련한 수질유형분류, 지형 및 연안조건, 1계산 스텝 사이의 해수의 교환량등을 고려하여 집괴분석등의 결과를 이용하여 설정한다. 각 Box는 대기상, 수상, 표면박층, 저질상으로 구성되며, 수상에는 SS상, 생물상이, 저질상에는 간극수상을 포함한다. 모델의 구조를 Fig. 1에 나타내고, 수질 시물레이션에 이용하는 방정식을 식 (1)에서 (4)에 나타낸다.

식에서 $C_w, C_{sed}, C_{sl}, C_a, C_{ss}, C_{sw}$ 와 C_b 는 각 상의 농도(t/m^3), V_w, V_{sed}, V_{sl} 과 V_a 는 각 상의 체적(m^3), Q 는 이류량(m^3/hr), D 는 인접 박스간의 경계면의 단면적(m^2), A 는 각 박스의 단면적(m^2), L 은 박스간의 중심간 거리(m), S_t 는 침강속도(m/hr), H 는 수심(m), W 는 TBT화합물의 진입량(t/hr)이다. 첨자 i 는 각 층에 있어서의 박스를, a, b, f 는 각각 Algae, 저생생물, Fish를 나타내고, 첨자 (i, j) 는 각각 박스 i 로부터 j 로의 이동을 나타내고 있다.

대상해역의 특성: 본 연구의 대상해역은 유기오염이 심화되고 있는 진해만의 북쪽에 위치하고 있는 마산만과 행암만을 포함한 부도남단까지의 해역으로 창원군, 마산시, 창원시, 진해시, 의창군 등으로 둘러싸여 있다. 또한, 동해역은 인근 창원공단등의 공업단지를 끼고 있으며 주위에 조선소, 양식장등이 혼재하고 있는 해역으로 유기주석화합물의 오염이 보고되어 있는 해역이다(강, 1995; 심, 1996; Cho, 1997). 대상해역은 넓이 약 $78.69km^2$, 평균수면하 해수용적 약 $0.8614km^3$, 평균수심 약 $11.1m$ 의 수심이 얕고 폭이 좁으며 지형의 굴곡이 심하고 해수의 교환이 적은 폐쇄성 해역이다.

2.1.2 해수유동 시물레이션

연안역에서의 화학물질의 분포는 조석류등에 의한 해수의 유동에 의한 이류의 영향을 크게 받는다. 따라서, 대상해역의 유동특성을 재현하여 이류에 의한 화학물질의 이동을 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 김(1994)이 마산만을 대상으로 행한 해수유동 시물레이션 결과를 이용하여 본 모델의 특성에 맞게 가공하여 사용하였다.

해수유동 시물레이션: 대상해역을 동서방향으로 53, 남북방향으로 69개의 grid로 분할하고, 수심별로는 3개의 층으로 구분하여 해수유동 시물레이션을 행하였다. 대상해역의 격자망은 Fig. 2와 같으며, 해수유동모델에서의 조위는 M_2 분조를 취하여 유동장을 재현하였고, 조석류와 항류성분을 계산하였다. 모델의 계산결과와 기 관측된 조류타워도를 비교하여 모델의 유용성을 검토하였다.

해수유동 시물레이션 결과: 해수유동 시물레이션에 이용한 파라미터를 Table 1에 나타내었다. 해수유동모델에서의 조위는 M_2 분조를 취하여 유동장을 재현하였고, 조석류와 항류성분을 계산하였다. 총 계산시간은 20조석주기였고 항류는 맨마지막조석의 평균을 취하였다. 각 층의 창조류시 계

산결과는 Fig. 3, 낙조류시 계산결과는 Fig. 4에 나타내었다. 만내의 유속은 0.3m/sec이하였고 창조시 개경계의 동편에서 유입하여 개경계의 서편으로 빠져나가고, 부도 북측으로는 유속의 흐름이 거의 없었다. 모델의 계산결과와 기 관측된 조류타원도(김등, 1986)를 비교하여 모델의 적용성을 Fig. 5에 나타내었다.

2.1.3 TBT 의 환경운명예측

마산만에서의 TBT의 환경운명예측은 Fig. 6에 나타낸 것과 같이 수평방향으로 A, B, C 3개의 Box로 분할하고 각 box내 여러 격자점에서 계산된 해수유동모델의 결과로 부터 단위시간당 각 Box간 이류량을 계산하여 환경운명예측 모델의 유동자료로 이용하였다. TBT의 환경운명예측모델의 계산에 이용하는 파라미터(Table 2)는 가능한한 관측치를 이용하지만, 감도해석의 결과를 고려하여 결정하였다.

TBT의 마산만으로의 유입량 추정: TBT의 유입원의 산정은 이 화합물의 환경운명예측을 행하는데 있어 중요하다. TBT의 유입원으로는 도료생산, 어망제조, 선박제조 및 수리, 선박의 운항 및 정박, 양식용 어망사용등을 들 수 있다. 그렇지만, 이들 유입원중 어느 유입원에 대해서나 명확한 자료는 없는 실정이며 지역의 특성을 고려하여 주요 유입원의 추정 및 산정을 할 필요가 있다. 해역에서의 TBT 화합물의 유입은 그 용도의 특성상 주로 선박의 방오페인트로 부터의 용출을 생각할 수 있으며 조선소등의 선박 제조 및 수리공정, 선박의 항행 및 정박과정을 들 수 있다. 마산만의 경우 동부 경남의 중심 항구로 창원공단, 마산, 진해등의 산업과 관련한 선박 운항 및 정박이 비교적 활발한 항만이며 외항선이 연간 전체 입항톤수인 18,443,344톤의 약 77%를 차지하고 있는 산업항이라고 볼 수 있다. 또한, 대부분의 산업항의 경우 선박정박 및 항행으로 부터의 유입이 유입원의 대부분을 차지한다(조, 1993). 따라서, 본 대상해역에서는 출입항 선박으로 부터의 용출로 인한 유입원만을 고려하여 유입부하를 추정한다.

선박의 정박 및 운항과정으로 부터의 유입은 선박바닥의 침수면적, 선박표면으로 부터의 용출속도, 선박의 정박일수 및 대상해역에서의 운항특성에 지배된다. 유입부하의 대부분을 차지하는 정박중의 선박으로 부터의 유입량의 추정과정은 다음과 같다. 유입량을 $Ws(t/d)$ 로 하고, 용출속도를 β ($\mu g/cm^2/d$), 선체의 침수면적을 $As(m^2)$, 정박기간을 $Ts(d)$ 라 하면 유입량은, $Ws(t/d) = (10^{-6}) \times \beta (\mu g/cm^2/d) \times As(m^2) \times Ts(d)$ 로 나타낼수 있다. 용출속도 및 침수면적의 계산에 대하여는 조(1993)의 방식에 따랐으며, 정박기간의 추정에 대하여는 선박의 접안으로 부터 하역에 걸리는 시간 1.5일(Henderson, 1986)과 화물을 싣고 떠나는 시간을 고려하여 약 3일로 하였다. 운항선박으로 부터의 유입량은 선박의 운항속도와 각 Box의 거리를 고려하여 운항시간을 추정하여 계산하였다.

이렇게 하여 추정한 각 Box별 유입량은 Box A가 $1.46 \times 10^3(t/d)$, Box B가 $1.46 \times 10^7(t/d)$, Box C가 $1.65 \times 10^4(t/d)$ 으로 나타났다.

농도예측의 시나리오 및 모델 시뮬레이션 결과의 고찰: 시뮬레이션은 하계의 파라미터에 대하여, 평형상태의 수속판정조건으로 상대허용오차를 0.001%로 주어 평형상태에 도달할 때까지 행하였다. 이 값을 실측치와 비교하여 재현성을 검토하고, 초기조건으로 설정하여 파라미터의 변화나 유입량의 증감등의 시나리오에 따른 농도변화를 검토하였다. 농도예측결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이들 값은 Table 3에 나타낸 마산만의 실측치(심, 1996; 조, 1997)와 비교하여 보면 수층의 계산농도는 7.9~37.8(ng/ℓ)로 마산만의 실측치인 9~32(ng/ℓ)와 거의 같은 오더에서 잘 일치하고 있다. 저질층의 농도는 계산치가 9.9~44.5(ng/g)로 실측치의 <50~<300(ng/g)보다 다소 낮은 값을 보여주고

있으나 이는 실측치가 만 안쪽에서 높은 값을 보여주고 있으나 만 중앙역에서는 50(ng/g)전후의 값을 보여주고 있어 계산치가 실측치를 거의 동일한 오더에서 재현하고 있다고 볼 수 있다. 생물 중의 농도는 예측치가 굴에서 157.1~756.8(ng/g), 벤토스에서 49.7~222.3(ng/g), 어류에서 15.7~75.7(ng/g)의 범위로 Table 4-3의 실측치의 굴에 대한 값인 147~645(ng/g)와 대수리 및 진주담치의 값인 59~142(ng/g)의 결과와도 비슷한 오더의 범위에서 잘 재현하고 있다고 볼 수 있다. 전반적으로 예측치는 실측치와 잘 일치하고 있어 모델의 농도재현 능력은 충분한 것으로 검증되었다.

2.2 TBT 의 위해성 평가

2.2.1 수생생물에 대한 위해성 평가

해양생물에 대한 유기주석 화합물의 독성은 1~2(ng/ℓ)정도의 아주 저농도에서 대수리등의 권패류에 임포섹스로 불리는 생식기 이상현상을 유발하는등 환경호르몬 물질로 알려져 있다(Gibbs & Bryan, 1996; Horiguchi, 1995, 1997). 따라서, LC₅₀등의 치사와 관련한 항목을 이용하여 평가하는 물질들과는 다른 차원에서 평가할 필요가 있으나 이는 전면 생산 및 사용금지등의 아주 엄격한 규제를 필요로 한다. 그렇지만, 본 연구에서는 현실적으로 국내의 유기주석 오염에 대한 오염실태 조사, 오염경향 조사등의 충분한 연구가 이루어져 있지 않는점 및 다른 어패류에의 위해성 평가등을 고려하여 종래의 치사와 관련한 독성자료를 이용하여 평가하는데 주안점을 둔다.

TBT 화합물의 수중생물에 대한 영향평가의 기준으로서는 LC₅₀ 으로 부터 MATC(Maximum Allowable Toxicant Concentration, 최대허용농도)를 구하여 예측한 수중의 농도를 MATC와 비교하여 위해성을 평가한다. MATC는 어류는 0.25ppb, 저서생물은 0.01ppb, 해조류는 0.77ppb, 플랑크톤은 0.15ppb를 적용한다(조,1993). 이들 값을 마산만의 예측치와 비교하여 보면 어류와 해조류에 대해서는 전 Box에서 기준치 이하의 결과를 보여주었으나 저서생물에 대해서는 안쪽 Box에서 간극수 중의 농도가 22.2(ng/ℓ)로 기준치보다 보다 높게 나타났다. 또, 표면박층에서의 예측 농도는 257~1230(ng/ℓ)로 높게 나타나 플랑크톤의 기준치를 크게 상회하였다. 이들 결과로 부터 생물의 초기 성장 단계에서 표면박층의 고농도에 영향을 받을 가능성이 큰 것으로 밝혀졌다. 또한, 권패류에 대한 영향은 아주 저농도에서 일어나기 때문에 예측결과 및 실측결과는 수십배의 고농도로 존재하고 있음을 알 수 있다.

2.2.2 인체에 대한 위해성 평가

TBT 화합물의 인체에 대한 발암성에 대한 연구는 많지 않지만 현재까지 인체에 대한 발암성은 알려져 있지 않다. 동물실험의 결과로 부터 피부장해, 호흡장해, 눈 염증, 백혈구수 증가등의 각종 장해가 보고되어 있다. 일본 후생성에서는 식품중의 TBTO의 잠정적인 ADI(Allowable Daily Intake, 1일 허용섭취량)를 1.6(μg/kg/d)로 설정하고 있다(里見至弘, 清水誠, 1992). Schweinfurth와 Gunzel(1987)은 Rat에 대한 실험결과로 부터 3.2(μg/kg/d)의 잠정기준을 제안하고 있다. 본 연구에서는 1.6(μg/kg/d)을 기준으로 이용한다.

인체가 TBT 화합물로 부터 폭로되는 경로는 주로 동 화합물에 오염된 식품의 섭취, 동 화합물과 관련한 작업환경중의 폭로과정으로 부터 폭로된다. 본 연구에서는 주요오염경로를 오염된 식품으로부터의 폭로만을 대상으로 한다. 오염장소는 마산만으로 한정하고 마산만 주변의 인구가 마산만에서 채취되는 해산물을 섭취한다고 가정한다. ADI에 상당하는 해산물중의 농도(CbADI)는 한국인의

성인 평균체중을 50kg으로 하고, 성인 1인 1일의 해산물의 섭취량을 약 100g(일본인의 경우 약 96g(조, 1993))으로 하면, $CbADI = ADI \times 50 / 100$, 약 0.8 ppm이 된다. 이 값을 해산물중의 농도 Cb(ppm)와 비교하여 잠정 위해도로 정의 하였다.

해산물중의 TBT 농도는 해산물의 종류에 따라 다양하며, 또 섭취량은 섭취하는 해산물의 구성비, 식생활 습관등에 따라서도 다르다. 본 연구에서는 조(1993)의 시나리오에 준하여 어류, 패류 및 해조류를 중심으로 Table 4에서 처럼 5종류의 시나리오를 구성하여 각 시나리오별로 위해성을 검토하였다. 어느 시나리오에 있어서도 인체에 대한 위해성은 최고 위해도 0.32로 높지 않음을 알 수 있다.

2.3 대안 평가에 의한 TBT 화합물의 평가

2.3.1 대안 평가 시나리오

TBT 화합물 이외의 대안으로서는, 생물, 생태학적 방법과 표면물리학적 방법을 이용하는 무독계 방오페인트의 연구와 전기분해법, 초음파법, 자외선 조사법등을 이용하는 페인트 이외의 방법과 유기주석 이외의 성분을 이용하는 페인트등 연구가 행하여져 오고 있지만 어느 방법도 TBT 방오제에 비하여 내구년수, 경제성, 작업성, 유지비등의 측면에서 뒤떨어진다. 본 절에서는 TBT 화합물의 전면사용금지 이외의 이용측면에서 기술적 대안으로서 용출속도규제를, 행정적 대안으로서 연안선과 외항선을 구분하여 규제하는 방안, 양자를 통합하는 방안으로 구분하여 검토를 행하였다. Table 5에 이들 대안을 정리하였다.

대안 I은 용출속도를 현재의 규제치의 $4.0(\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{d})$ 으로 부터 $1.5(\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{d})$ 로 낮추어 유입부하를 감소시키는 것으로 용출속도가 $1\sim 2(\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{d})$ 의 범위에서 방오성이 충분히 발휘된다(高橋一暢, 大八木義彦, 1987)고 하는 보고에 기초하고 있다. 대안 II는 현재의 용출속도는 유지하되 선박의 항행구역으로 부터 외해를 주로 항해하는 외항선과 연안을 주로 이동하는 연안선으로 구분하여 경제적인 측면에서 외항선에만 사용을 허가하는 안이며, 대안 III은 상기 양안을 병용하는 대안이다.

2.3.2 대안에 의한 TBT 화합물의 위해도 평가

대안별 TBT의 농도예측: 앞절에서의 유입부하량 추정식을 이용하여 각 Box별 대안별의 유입부하를 추정하여 Table 6에 나타낸다. 이 값을 운명예측모델의 박스별 유입부하량으로 입력하여 대안별 박스별 농도변화를 예측하였다. Table 7에 각 Box별 대안별 농도예측결과를 나타낸다. 대안별 각 박스별 예측농도 변화를 보면 대안 I은 현재의 농도에 비하여 1/2로 줄었으며 대안 II는 23% 정도 대안 III은 약 60% 정도 감소하였음을 알 수 있다.

대안별 위해성 평가: 앞절의 위해성 평가방법을 이용하여 대안별로 위해도를 평가하여 Table 4-8에 나타내었다. 위해도가 비교적 높게 나타나는 동물플랑크톤과 저서생물에 대한 결과를 보면 동물플랑크톤에 대한 위해도는 어느 대안에 대해서도 비교적 높게 나타나고 있으며 저서생물에 대한 위해도는 대안 I과 III에서 1 전후의 값으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이들 결과는 어느 대안에 있어서도 해양생물에 대한 위해도를 줄일 수는 있어나 생물의 초기 생활사에 영향을 받을 가능성이 큰 것을 알 수 있다. 대안에 따라서는 대상해역의 외해역으로 갈수록 위해도가 감소하므로 해역을 활용목적별로 구분하여 규제를 강화하는등의 조치도 가능하다고 생각된다. 그렇지만, TBT는

아주 저농도에서도 권패류에 임포섹스등의 생식기 이상현상을 유발하여 불임에 이르게 하는등 해양생물에 대한 영향이 특히 큰 물질이므로 최선의 대안은 이들 화합물을 주성분으로 하는 페인트의 전면 금지를 단행하는 방법밖에 없다고 볼 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 유기주석 화합물의 평가 및 관리를 위한 TBT의 환경운명 예측 및 유해성 평가를 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 지역수계의 특성을 고려한 TBT의 환경운명예측 모델을 설정하여 마산만에 적용하여 그 유용성을 검증하였다. 우선 마산만에서의 TBT의 각 Box별 추정 유입부하량은 Box A가 1.46×10^3 (t/d), Box B가 1.46×10^7 (t/d), Box C가 1.65×10^4 (t/d)으로 나타났다. 모델 시뮬레이션 결과 예측치는 전반적으로 거의 동일한 오더에서 실측치와 잘 일치하고 있어 모델의 농도재현 능력은 충분한 것으로 검증되었다.

둘째, TBT의 오염이 해양생물 및 인체에 미치는 유해성 평가를 실시하였다. 해양생물에 대한 위해성 평가의 결과 생물의 초기성장 단계에서 표면박층의 고농도에 영향을 받을 가능성이 큰 것으로 밝혀졌다. 또한, 권패류에 대한 영향은 아주 저농도에서 일어나고, 예측결과 및 실측결과는 영향 농도의 수십배의 고농도로 존재하고 있음을 알 수 있었다. 인체에 미치는 영향은 5종류의 시나리오를 구성하여 각 시나리오별로 위해성을 검토하였으나 어느 시나리오에 있어서도 인체에 대한 위해성은 최고 위해도 0.32로 높지 않음을 알 수 있었다.

셋째, TBT의 관리를 위한 대안평가를 실시하였다. 기술적인 측면과 행정적인 측면을 고려하여 대안을 설정하여 그 유용성을 평가하였다. 그 결과 마산만에서의 환경중의 TBT 농도는 약 23%~60% 정도 감소하였다.

넷째, 대안에 따른 해양생물과 인체에 대한 유해성 평가를 실시하여 어느 대안에 있어서도 해양생물에 대한 위해도를 줄일 수는 있어도 생물의 초기 생활사에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이상의 결과로 부터, 유기주석 화합물의 관리방안으로는 연안선에 대한 사용규제, 용출속도 규제등의 대안에 따라서는 대상해역의 외해역으로 갈수록 위해도가 감소하므로 해역을 활용목적별로 구분하여 규제를 강화 또는 구분하는등의 조치도 가능하다고 볼 수 있다. 그렇지만, TBT는 아주 저농도에서도 권패류에 임포섹스등의 생식기 이상현상을 유발하여 불임에 이르게 하는등 해양생물에 대한 영향이 특히 큰 물질이므로 최선의 대안은 이들 화합물을 주성분으로 하는 페인트의 전면 금지를 단행하는 방법밖에 없다고 볼 수 있다.

추후의 과제로는 유기주석 화합물의 생산, 수입, 유통 및 사용량등에 대한 정보파악과 각 공정에서의 환경에의 유입과정 및 량등의 파악이 시급히 이루어 져야 하며, 또한, 전국규모의 지역적 경시적인 장기적인 조사와 해양 생물의 개체군에 대한 영향을 정량적으로 파악하기 위한 상세한 조사가 강구될 필요가 있다고 사료된다.

참고문헌

- 강성현. 1995. “진해만에 서식하는 해산 이매패류와 복족류의 독성유기오염물질 생물농축과 오염 스트레스의 영향”, 서울대학교 이학박사 학위논문. 96-121.
- 高橋一暢,大八木義彦, 1987. 色材, 60(7), 375-380.
- 김동명. 1994. “마산만의 영양염 물질수지에 관한 연구”, 부산수산대학교 대학원 공학석사 학위논문. 23-42.
- 김종화.1993. “폐쇄성 내만에 있어서 물질분산에 미치는 지배적 요인”. 부산대학교 대학원 석사학위 논문.
- 김종화.장선덕,김해룡. “마산만의 해수 교환률”.어기지, 22(3), 237-243.
- 渡邊信久. 1994. “有機スズ化合物の環境動態に関する研究 -船底塗料, 防汚剤に使用されるトリブチルスズを中心として-.” 京都大學 工学博士 學位論文, 134-162.
- 里見至弘, 清水誠, 1992. “有機スズ汚染と水生生物影響”.恒星社厚生閣. 9-19.
- 심원준. 1996. “진해만내 트리부틸주석과 트리페닐주석의 오염 및 생물농축”, 서울대학교 대학원 이학석사 학위논문. 1-89.
- 趙顯晝. 1993. “リスク分析に基づいた有害化學物質の環境曝露の評價に関する研究.” 大阪大學 工学博士 學位論文. 121-155.
- 최화선 (1993). “기체 크로마토그래피법에 의한 해수중 부틸화주석 화학종의 정량”, 한양대학교 이학석사 학위논문, 1-42.
- 홍상희. “옥포만내 유기주석화합물의 분포와 해양 무척추동물 중의 생물농축”, 이화여자대학교 대학원 이학석사 학위논문. 1-68.
- Cho, H. S., Seol, S. W., Horiguchi, T., Lee, S. H., “Organotin Contaminations and imposex in *Thais clavigera* on the coastal area of Korea” ., Society of Environmental Toxicology and Chemistry(SETAC) 18th Annual Meeting, San Francisco, 1997
- Cho, H. S., Horiguchi, T., Shiraishi, H., Shibata, Y. and Morita, M., “Organotin Contaminations around Yosu Peninsula, Southern Coastal Area of Korea.” , Society of Environmental Toxicology and Chemistry(SETAC) 17th Annual Meeting, Washington D.C., 1996
- Gibbs, P. E. and Bryan, G. W. 1996, “TBT-induced imposex in neogastropod snails: masculinization to mass extinction” , in Tributyltin: case study of an environmental contaminant edited by Stephen J de Mora. Cambridge. 212-236.
- Gucinski, H. 1986. “ The effect of sea surface microlayer enrichment on TBT transport.” Organotin Symposium, Oceans ' 86, 1266-1274.
- Henderson, R. S. 1986. “Effects of organotin antifouling paint leachates on pearl harbour organisms: A site specific flowthrough bioassay. Organotin symposium, Oceans '86, 4. 1226-1233.
- Horiguchi, T., Shiraishi, H., Shimizu, M., and Morita, M. 1997, “ Imposex in Sea Snails, Caused by Organotin(Tributyltin and Triphenyltin)Pollution in Japan: a Survey” , Applied

Organometallic Chemistry, 11, 451-455.

Liss, P.S. and Slater, P.G. 1974. *Nature*, 247, 181-184.

Maguire, R.J. and Tkacz, R.J. 1985. "Degradation of Tri-n-butyltin species in water and sediment from Tront harbor." *J. Agric. Food Chem.*, 33, 947-953.

Mackay, D. and Leinonen, P.J. 1975. *Environ. Sci. Technol.*, 9(13), 1178-1180.

Schweinfurth, H. A. and Gunzel, P. 1987. "Organotin Symposium. Oceans '87, 4, 1421-1431.

Stang, P.M. and Seligman, P.F. 1986. "Distribution and fate of butyltin compounds in the sediment of San Diego bay." *Organotin Symposium, Oceans ' 86*, 1256-1261.

Walton, R., Adema, C.M. and Seligman, P.F. 1986. "Mathematical Modelling of the Transport and Fate of Organotin in Harbors." *Organotin Symposium, Oceans ' 86*, 4, 1297-1301