

## 해양환경-5 한국 연안 유기주석 화합물 오염과 국제 동향

조현서\*, 설순우, 김용욱  
여수대학교 해양시스템학부

### 1. 서론

근년 우리나라를 비롯한 세계 각국에서 내분비계 장애물질이 광범위하게 검출되고 있다. 이들 물질의 환경중 배출량은 미량이지만 지용성 물질로서 환경중에서 매우 안정하며 환경 매체간 이동 및 먹이사슬을 통한 생체 농축 현상으로 큰 문제가 되고 있다.

유기주석 化合物은 방오도료로써 그 유용성이 인정되어 널리 사용되어 왔으나 저농도에서 복족류에 Imposex(생식기구 이상)를 일으키는 등 수중생물에 대한 독성이 아주 강한 등 생태계에 대한 악 영향이 문제시 되고 있는 물질이다. 해양에서의 유기주석 화합물의 오염원은 국내의 오염현황의 결과에서 그 유입원의 대부분이 항만, 조선, 요트, 어망 등 해상에서의 선박활동 및 수산활동에 의해 이루어진다. 또한, 이러한 유기주석 오염으로 인하여 유용수생생물에 대한 영향이 우려되고 있다. 유기주석 화합물이 함유된 어망을 이용하여 양식한 어류에서 기형어류가 발생하며, 수랑과 전복에서도 생식기 이상현상이 알려지고 있다. 일본의 자료에 의하면 일본 연안의 수랑 어획량은 격감하고 있으며 전복 어획량은 인공 방류에 의존하고 있는 실정이다(Horiguchi and Cho, 2000).

유기주석의 오염에 대하여는, 프랑스, 영국, 미국 등을 중심으로 그 오염에 관한 다수의 연구결과가 보고되어, 용출속도 규제, 소형선박에의 사용금지등의 다양한 규제가 시행되어 오고 있다. 일본에서도, 화학물질심사규제법과 행정지도에 의해 규제되고 있으며, 그 결과 경년변동은 해수중의 농도는 감소경향, 생물중의 농도는 감소 또는 그대로 유지, 저질중의 농도는 그대로 유지등의 경향이 보고되어 있다. 우리나라는 최근 냉각수 살균제용(산화트리부틸주석(TBTO) 및 이를 2% 이상 함유한 혼합물질), 어선법에 의한 어선으로서 연근해를 항해하는 선박, 개항질서법에 의한 잡종선, 해양오염방지법에 의한 해양시설과 항만법에 의한 항만시설 중 일부 또는 전부가 해수와 접촉하거나 접촉할 수 있는 구조물 또는 시설물, 어망, 어구의 방오도료용 및 산림법에 의한 목재 방부처리용으로는 제조, 수입 또는 사용을 금지하고 있다. 또한, 향후 국제해사기구(IMO) 등의 보다 강력한 규제 조치에 맞추어 규제를 강화하는 방안을 검토하고 있으며 이에 따른 홍보를 하고 있다.

또한, 국민생활의 질이 향상됨과 동시에 수산물의 섭취량이 70년대를 기점으로 급격히 증가하고 있으며, 특히 해산패류의 경우에, 유기주석 화합물의 농도가 다른 환경매체보다 훨씬 높은 농도를 기록하고 있어 국민보건에 영향을 끼칠것으로 사료된다.

따라서, 본 연구의 목적은 유기주석 化合物의 오염이 보고되고 있는(심, 2000, 홍, 1996, 한국해양연구소, 1997, 설, 1999, 최, 2000) 우리나라 연안(동해, 서해, 남해안)에서 서식하고 있는 복족류인 대수리의 Imposex 현상 및 패류의 유기주석 화합물의 체내 함

량을 파악하고, 패류를 통한 인체의 섭취량을 평가하여, 유기주석 화합물의 오염으로 인한 해산 패류 경유 인체 위해성을 검토하는데 있다. 또한 최근 국제적인 동향을 조사하여 국내외 오염현황 및 관리방안을 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

여수 연안해역을 중심으로한 한국 연안역에 있어서 유기주석 오염의 현황 및 그 오염이 수생생물에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 1995년 10월부터 1997년 8월에 걸쳐 수산자원이 풍부하고 다양하며 또한 임해공업단지의 영향으로 복잡한 오염이 우려되고 있는, 남해를 중심으로 서해안의 군산항, 동해안의 포항까지 폭넓은 범위에서 31개의 지점에서 해수(17 지점) 및 조간대에 서식하는 고동류(대수리)와 이매패(진주담치 및 참굴)를 채수 및 채집하였다.

또한, 서해, 남해 및 동해에서 각각 3개 지역 및 제주도 1개 지역에서 패류 및 저질 시료를 채취하였다(Fig. 1). 조사지역은 각 연안에서 선박의 출입이 빈번하여 유기주석 화합물의 오염이 우려되는 항구 인근 해역을 중심으로 지역을 선정하였으며, 각 지역에서는 서식 장소에 따른 변동을 파악하기 위하여 지역마다 약 3개 지점에서 대표적인 시료를 채취하였다. 채취시기는 주로 6월에서 9월에 걸쳐 현장조사를 수행하였으며 11월에 일부 지역의 현장조사를 보완하였다. 채취방법은 지역의 현장특성을 고려하여 직접 채취, 잠수부에 의한 채취, 어선을 이용한 채취, 채취 어민으로부터 구입, 지역 판매상인으로부터 구입하는 등 다양하게 채취하여 시료를 지점별 종별로 분류하였다.

채취한 시료는 고밀도 폴리에틸렌 비닐팩에 담아 얼음으로 채운 아이스박스에 넣어 밀봉한 후 신속히 실험실로 운반하여  $-20^{\circ}\text{C}$  이하의 시료 보관고에 실험전까지 냉동 보관하였다. 본 연구에 사용된 패류는 23종으로 각종의 명칭은 주로 국립수산진흥원(1999)과 유(1988)의 기준에 따랐다. 또한 패류 채취지점 주변 해수 및 퇴적물도 같이 채취하여 조사하였다.

생물에의 영향조사는 유기주석 물질이 복족류에 대한 생식장해를 일으키는 현상(Imposex등)이 알려져 있어, 각 지역에 있어서의 대수리에 대한 생식장해의 출현율을 조사하고, 또 생물체중의 농도를 분석하여 그 영향을 검토하였다.

분석은 Tripentyltin 및 Tetrapentyltin을 각각 제 1 및 제 2 내부 표준물질로 이용하여, HBr용액으로 산성화한 후 토로포론 함유 벤젠으로 용매추출하고, 프로필시약으로 안정유도체를 만들어 정제한 후 GC-MSD 또는 GC-FPD로 정성 및 정량하였다.

생물에의 영향조사는 유기주석 물질이 복족류에 대한 생식장해를 일으키는 현상(Imposex등)이 알려져 있어, 각지역에 있어서의 대수리에 대한 생식장해의 출현율을 조사하고, 또 생물체 중의 농도를 분석하여 그 영향을 검토하였다.

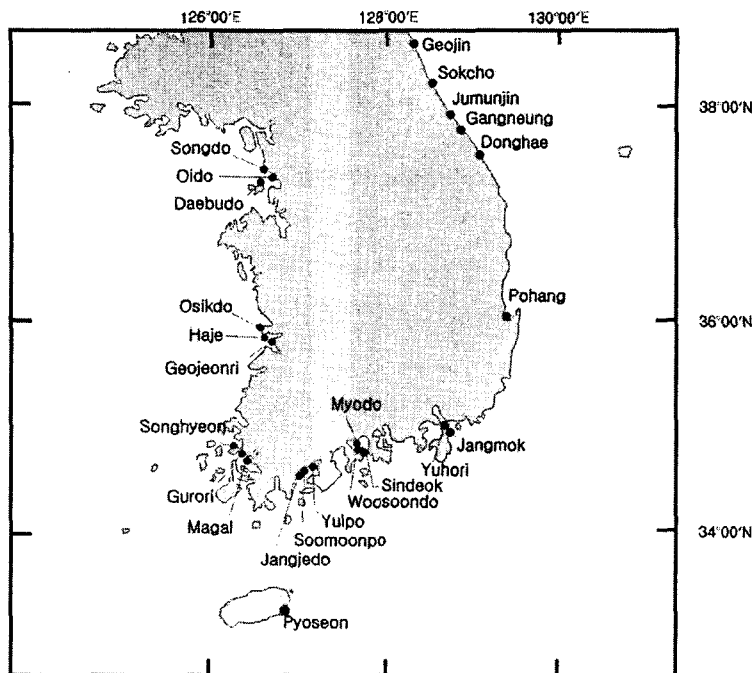


Fig. 1 Sampling stations.

### 3. 결과 및 고찰

해수중의 유기주석 화합물의 농도: 해수중의 유기주석의 농도는 TBT가 ND~35.15 ng Sn/l, TPT가 ND~7.82 ng Sn/l의 범위로 폭넓게 검출되었다. 부틸주석은 거의 전 조사해역에서 검출되고, 특히 조선소가 있는 국동항에서 평균 14 ng Sn/l를 초과하고 있으며, 오동도와 목포-2 등의 항역에서 5 ng Sn/l 이상의 농도를 보였다. 또, 페닐주석도 부틸주석과 비교하여 농도는 낮지만 부틸주석의 농도가 높은 해역에서 검출되고 있다. 이들 결과는 선박의 출입이 많은 해역이나 조선소 부근의 해역에서 비교적 높은 농도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

생물체내 유기주석 화합물 농도: 대수리 체내의 농도는 진해만의 행암과 진동, 여수의 국동항에서 높게 검출되었다. 또, 진주담치나 참굴중의 농도는 진해만, 광양만등에서 높게 검출되어 해수와 대수리의 결과와 유사한 경향을 보였다. 그리고, TPT의 농도도 참굴에서 1000 (ng Sn/g-dry wt.) 정도까지 농축되는등 이들 유기주석이 생물의 체내에 고농도로 축적되어 있는 것을 알 수 있었다.

대수리의 Imposex현상: 대수리의 Imposex의 출현율은 남해의 보성만, 강진만 및 완도대교 지점을 제외한 전 지점에서 100 % 였다. 보성만은 만입구 해역과 안쪽 지점에서 모두 0%의 출현율을 보여 유기주석 오염과 관련하여 가장 깨끗한 해역으로 나타났다. 보성만의 서쪽 인근에 위치하는 강진만에서는 66.7%, 완도대교 지점에서는 87.5%의 출현율을 보여 보성만을 중심으로 동부 해역에서 서부 해역보다 유기주석 오염의 영향을 크게

받고 있는 것으로 나타났다.

유기주석 화합물의 오염의 영향으로 나타나는 임포섹스 개체의 페니스의 평균길이를 정상 숫컷 개체의 페니스의 평균 길이와 비교하여 나타내는 RPL(Relative Penis Length) Index는, 진해만 및 광양만의 조사지점의 대부분의 지점과 가막만의 국동 지점에서 80% 이상의 높은 값을 보여주고 있다. 여수를 중심으로 임해공업단지가 비교적 발달되어 있는 부산항, 진해만 및 국동항 등에서 전반적으로 높은 경향을 보였다. 특히, 진해만의 행암과 광양항의 묘도항에서는 암 대수리에 생긴 페니스의 길이가 숫 대수리의 그것보다 길었다.

또, Imposex의 정도가 심하여지면 산란관의 출구가 막혀 산란을 할 수 없게 되어 이들 개체의 출현율이 높은 해역에서는 개체군의 감소등의 영향이 우려된다. 이들 개체의 출현율은 해수 및 생물체내중의 농도가 높은 해역 및 RPL값이 높은 지점에서 산란불능 개체의 출현율이 높게 나타나고 있다. 여수 가막만을 중심으로 동두해역에서 특히 높은 값을 보여주고 있으며 포항과 완도대교 지점에서 60% 이상의 비교적 높은 값을 보여주고 있다. 가막만의 바깥해역으로 부터 강진만에 걸친 해역과 목포주변 채취지점에서는 0%의 값을 보여 주었다.

대수리 체내의 TBT농도와 RPL값의 상관특성은 중상관 계수가 약 0.57이상으로 나타나 체내 농축초기에 영향을 크게 받는 것으로 사료된다. 대수리에 나타나는 RPL 값과 산란불능개체의 출현율의 상관관계는 중상관계수가 0.58이상으로 비교적 높은 상관을 보여주고 있다. RPL값이 50% 전후에서 산란불능 개체의 출현율이 증가하기 시작하여 RPL 값이 약 80% 전후에서 대수리 암컷개체의 약 50%가 산란불능 상태로 됨을 추론할 수 있다.

연안의 패류 체내 유기주석 화합물의 함량을 조사한 결과, 조사 대상 지점 대부분에서 부틸계 화합물(TBT와 DBT 화합물)을 중심으로 폭 넓게 검출되어 전국 연안이 광범위하게 오염되어 있음을 알 수 있었다. 패류 종별 유기주석 화합물 농축 정도는 진주담치와 참굴에서 TBT 화합물이 평균 50(ng/g-wet wt.) 전후로 가장 높게 농축되어 있음을 알 수 있었으며, 바지락, 동죽, 백합, 떡조개 등에서는 비교적 낮은 농축 특성을 나타내었다. 지역적으로는 진해만 피조개와 키조개, 포항 북방대합, 인천 송도 맛조개, 무안 피뿔고동 등에서 비교적 높은 함량을 보였다.

해역별로는 남해안(광양만과 진해만)과 동해안(속초와 포항)에서 TBT 화합물이 평균 23.89(ng/g-wet wt.)와 32.01(ng/g-wet wt.)로 비교적 높게 검출되었으며, 서해안에서 평균 10.33(ng/g-wet wt.)로 가장 낮게 검출되었다. 해수와 퇴적물 중의 함량도 패류와 유사한 경향을 보였으며, TBT 화합물이 각각 평균 8.14(ng/l)와 10.57(ng/g-wet wt.)로 검출되었다.

인체에 대한 유기주석 화합물의 독성을 고려한 위해성은 최악의 시나리오(가장 오염이 심한 패류만 선택적으로 섭취하는 경우)를 배제하면 국내 연안 패류의 섭취를 통한 유기주석 화합물의 위해도는 패류를 즐겨 섭취하는 경우에도 평균 0.2 전후의 위해도를 나타내고 있어 위해성은 높지 않은 것으로 판단되었다.

최근 주요 패류의 전체적인 국내생산량의 변화는 1994년부터 1999년까지 점차 감소

하는 추세로 1994년을 기준으로 했을 때 1999년에는 약 25% 이상 감소한 것으로 나타났다(해양수산부, 2000).

이상의 결과를 종합하면 한국 연안역은 유기주석 화합물로 폭 넓게 오염되어 있으며 선박 입출입 및 조선업 등이 활발한 해역에서 높은 농도분포를 보였으며 생물에 대한 영향도 큰 것으로 밝혀졌다. 그리고 국내연안에서 생산되는 패류 체내의 유기주석 화합물 함량은 광범위하게 또 패류종과 일부지역에 따라 고농도로 농축되어 있음을 알 수 있다. 또한 패류소비로 인한 인체에 미치는 유기주석화합물의 위해성을 평가해 본 결과 위해성은 높지 않은 것으로 판단되었다.

그러나, 이 결과는 한정된 자료를 이용하여 추정한 결과이며, 여기에는 불확실한 인자가 많이 포함되어 있다. 따라서, 연안에서 생산되는 어패류 및 해조류를 망라한 보다 세밀하고 장기적인 조사가 요망되며, 불확실한 유통과정, 수입수산물에 의한 영향조사, 표준식단조사를 통한 실제 섭취량 평가, 지역표본 조사에 의한 지역적 섭취특성 평가 등 장기적이고 종합적인 조사를 통한 평가 및 관리가 절실하다고 볼 수 있다.

#### 참 고 문 헌

環境廳水質保全局水質管理課, 1998, 外因性內分泌攪亂化學物質調査暫定 マニュアル(水質, 底質, 水生生物).

EPA, 1992, Proceedings of EPA'S contaminated sediment management strategy forum. Environmental Protection Agency, Washington D.C.