

국내 하천 퇴적물 건강성평가를 위한 Microtox 독성시험 조건확립 연구

정홍배, 박정규^{1,*}, 문성환, 류태권, 김소정, 배철한, 황인영

인제대학교 자연과학대학 환경시스템학부, ¹한국환경정책·평가연구원

A Study for Testing Conditions of Microtox Toxicity Test to the Quality of Sediment in Domestic Rivers

Hong-Bae Jung, Jeong-Gue Park¹, Sung-Hwan Moon, Tae-Kwon Ryu,
So-Jung Kim, Chul-Han Bae and In-Young Hwang*

School of Environmental Science and Engineering, Inje University,
¹Korea Environment Institute, Seoul, Korea

ABSTRACT

Six rivers were selected as preliminary screening sites to determine the test conditions of Microtox in assessing the toxicity of the sediment. In addition, a pH range of 6.0~6.5 was established in testing pore water, aqueous extracts and organic extracts. Each extractable fraction of sediment showed different toxicities. Therefore, in order to properly examine the toxicity in the sediment, all extractable fractions of sediment samples needed to be tested with Microtox. Thus, sediment samples were additionally collected from at least 4 secondary sites within 50~100 m area of the primary sampling site to reduce any variation or deviation in toxicity assessment. From all sediment toxicity data that was collected from this study, it was concluded that the Keumho river was the most polluted with the highest sediment toxicity of all the rivers analyzed and needed further detailed research on its pollution problem.

Key words : Water Pollution, Sediment, Microtox, Test condition

서 론

대표적인 수서생태계인 하천에는 도시의 생활하수, 농경지에 사용된 농약, 산업폐수 등 다양한 오염물질이 유입된다. 하천으로 유입된 각종 오염물질은 그의 물리화학적 성상에 따라 하천퇴적물에 축적되는데, 특히 지용성 또는 흡착성이 큰 물질이

쉽게 축적되는 성향을 나타낸다. 그러므로 하천퇴적물은 오염물질유입에 의해 영향을 받게 되는 하천환경의 오염 수준과 생태학적 건강성을 판단하기 위한 주요 조사대상 매체가 된다 (Guzzella, 1998). 하천 퇴적물은 이동성이 적기 때문에 하천의 흐르는 물과는 달리 유해물질에 의한 오염 수준의 경시적 변화를 판단할 수 있다. 따라서 많은 연구자들이 하천 건강성 평가를 위하여 하천 퇴적물의 독성 수준 변화와 주요 오염물질의 종류 분석 과정에 큰 힘을 기울여 왔다 (Karupiah and

* To whom correspondence should be addressed.
Tel: 02-380-7655, E-mail: jgpark@kei.re.kr

Gupta, 1998).

하천의 환경독성 평가를 위한 생물학적 기법들은 물벼룩시험, 어류 독성시험 (Kaiser, 1993) 등을 들 수 있으나, 이 같은 생물학적 독성 평가 기법들은 운용 및 생물종 관리 등이 어렵다는 단점이 있다. 이에 비하여 *Microtox acute toxicity testing system* (*Microtox bioassay*)에 의한 오염판정 기법은 독성을 검색하는 간편한 방법으로 잘 알려져 있는데 (Schiewe, 1985; Giesy, 1990), 이 방법은 다른 방법에 비해 실험방법이 간편, 신속할 뿐만 아니라 독성물질의 종류에 따라서는 다른 어느 방법보다 예민하게 검색할 수 있다는 장점이 있다 (Kaiser, 1993; Ross, 1993). *Microtox bioassay*는 발광성 미생물 (*Photobacterium phosphoreum*)의 발광도가 유해화학물질의 존재 하에서 감소되는 원리를 이용하여 환경시료 내 유해화학물질 오염 수준을 평가하는 기법으로, 특히 퇴적물 내에 존재하는 PCBs, PAHs, metals, sulfur 등 각종 유해화학물질에 의해서 민감한 반응을 보인다고 알려져 있다 (황인영, 1997; Salizzato *et al.*, 1998; 배철한, 1999).

그러나 일부에서는 퇴적물과 같이 solid phase에 대한 독성시험으로 *Microtox* 기법이 적절하지 못하다는 의견도 제기되고 있다. 그 이유로는 발광성 미생물이 토양입자에 흡착되어서 액상부분의 미생물 총량이 감소되어 발광량이 격감될 수 있으며, 하천퇴적물에 자연적으로 존재하는 물질(예, 원소 황)이 제대로 제거되지 않아 독성을 증진시키기 때문이다 (Ringwood *et al.*, 1997). 따라서 퇴적물에 *Microtox* 시험을 실시할 때는 독성 수준 평가에 큰 영향을 미치는 각종 인자들의 영향을 배제하여 순수하게 유해화학물질에 의한 독성 수준을 평가할 수 있는 시험조건을 확립하는 것이 무엇보다도 중요하다.

이에 본 연구에서는 국내 주요하천의 퇴적물 독성시험의 기법으로 *Microtox*의 적용방법을 확립하기 위해 여러 시험조건에 대한 기초연구를 수행하였으며, 이 결과로부터 하천 퇴적물의 건강 상태를 파악하고자 하였다. 또한 우리나라에서 가장 환경오염이 의심되는 6개 하천을 선정하여, 확립된 시험조건을 적용하여 오염정도를 조사하여 향후 추가적인 연구가 요구되는 하천을 선정하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험대상 지역

오염원에 의한 하천 생태계 영향이 뚜렷이 나타날 수 있는 곳이며, 동시에 본 연구를 위한 각종 실험 환경이 양호한 곳(집중 연구대상 하천)을 선정하기 위하여 한강수계인 남한강 지천인 북한천과 양화천, 금강수계인 청주 미호천, 대전 갑천, 낙동강수계인 대구 금호강, 영산강수계인 황룡강, 익산 만경강을 현장 답사와 함께 간이 조사하였다 (Fig. 1).

한강수계는 크게 북한강, 남한강, 한강본류로 나눌 수 있고, 주요오염지천으로는 중량천, 탄천, 안양천이 있다. BOD로 수질평가하는 기존의 수질기준으로 수질오염도를 구분할 때, 북한강, 남한강 그리고 한강본류의 구의지점까지는 상수원수 급

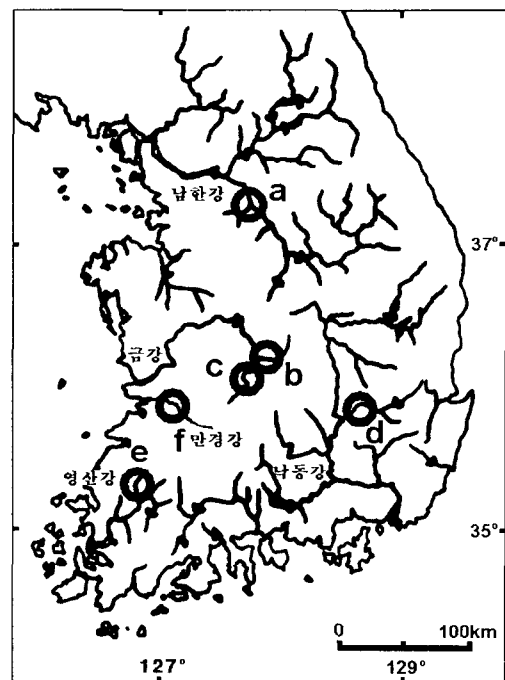


Fig. 1. Preliminary screening sites for general toxicity of sediment to select main study area.

* Bokhacheon and Yanghwacheon (a), Mihocheon (b), Gabcheon (c), Keumho river (d), Hwangyong river (e), Mankyung river (f).

수이내로 양호한 상태를 나타내고 있으나, 중랑천, 탄천, 양천 등 한강의 주요 오염지천이 유입되는 하류부근(노량진, 영등포)은 상수원수 급수제한 수질에 근접하고 있다.

낙동강수계는 상류를 봉화, 안동댐, 달성, 중류를 고령, 합천, 남지, 하류를 물금, 구포지역으로 각각 나눈다. 수계내 주요 오염지류로는 금호강이 있으며, 대구시의 생활하수 및 공단폐수가 유입되는 금호강 합류 이후 고령지점에서 가장 높은 오염도를 나타내고 있다.

금강수계는 상류를 옥천, 대청, 중류를 청원, 공주, 하류를 강경으로 나누고 주요오염지천으로는 갑천과 무심천이 있다. 금강수계의 중류인 청원 이후 하류까지는 대전광역시 지역의 팽창에 따른 생활하수와 산업폐수가 집중적으로 유입되는 갑천의 합류로 상수원수 II급수 수질에 못 미치고 있다.

영산강수계는 상류를 담양, 우치, 중류를 광주 1, 광주 2, 나주 함평, 하류를 무안으로 나누고 주요 오염지천으로 광주천이 있다. 영산강은 4대 하천 중 수질오염도가 가장 높은 하천이다. 그 이유는 하천 유로연장(136 km)이 4대강 중에서 가장 짧고, 유역면적(3,371 km²) 역시 가장 작아서 근본적으로 수량이 작으니까 농업용수 확보를 위해 나주호, 장성호, 광주호 등 인공호소를 축조하여 하천유지용수가 절대 부족하고, 광주시의 생활하수, 공단폐수가 유입되는 주요 오염지천인 광주천의 영향이 크기 때문이다.

2. 시약 및 기구

Microtox toxicity screening test system (Microtox™, M500)과 시험에 필요한 재료들 (Microbics Reagent (Bacterial Reagent), Microtox Diluent, Microtox Osmotic Adjustment Solution (MOAS), cuvettes)은 Microbics사 (Calsbad, CA, USA)에서 직접 구매하였으며, 원심분리기 (Hanil Co., model: HA-50)와 플라스크 교반기 (Flask Shaker, Dongwon Biochem.)는 국내에서 제작된 것을 사용하였다. 시험에 사용된 화학물질류는 Sigma사 (Sigma Chem. Co., St. Louis, MO, USA)의 제품을 구입하여 사용하였으며, 기타 유기용매류는 국내에서 가장 순도가 높은 제품을 사용하였다. 공극수와 증류수 추출물은 Cryogenic Vial (Corning, Canada)을

사용하여 보관하였다.

3. 퇴적물 채취, 수송, 보관 및 전처리

청주 미호천 (MHL), 대전 갑천 (GCU), 대구 금호강 (KHL), 익산 만경강 (MKL, MKU) 등의 정점들과 금호강의 대구시 역내 주요 지천 교량 지역인 경대교 (KHkd)와 노곡교 (KHng) 부근에서 각각 하천 퇴적물을 Grab Sampler와 소형 Core Sampler를 이용하여 각 정점별 10여 곳을 선택하여 혼합한 퇴적물을 즉시 polyethylene zipper bag에 넣고 압축하여 공기를 제거한 후, 4°C 이하에서 수송 및 보관하였다. 실험실로 이동된 시료는 -24°C 냉동고에서 다음 실험을 수행할 때까지 보관하였다.

퇴적물 시료를 균일하게 혼합한 후, 각각 약 100 g 정도를 취하여 Centrifuge tube에 옮기고 2,500 rpm에서 20분간 원심분리하여 공극수를 채취하였다. 채취된 공극수는 Cryogenic Vial에 넣어 냉동 보관하였다. 공극수가 제거된 고형 퇴적물을 각각 삼각플라스크에 시료를 50 g과 3차 증류수 50 ml를 넣어 Flask Shaker에 200 rpm 4시간 교반시키고 30분간 정치시킨 후 상등액을 채취하여 Cryogenic Vial에 넣어 냉동 보관하였다.

공극수와 증류수 추출액을 제거한 시료는 특수 제작된 250 ml 삼각플라스크에 넣고 50 g의 sodium sulfate를 함께 섞었다. 잔존수분과 sodium sulfate의 반응에 의해 응결된 덩어리를 유리막대로 잘게 부순 후, 150 ml methylene chloride를 첨가하고 25 mg 금속구리를 가하였는데 이는 퇴적물속의 황 독성을 배제시키기 위함이다 (Pardos *et al.*, 1999). 그리고 마개로 밀봉해서 4시간 동안 격렬 진탕하였다. 진탕 후 분리된 추출용매를 후드 내에서 완전히 증발시키고, DMSO (Dimethyl sulfoxide) 1 ml로 재용출하고 유리용기에 넣고 밀봉하여 독성 시험시까지 냉동 보관하였다. Microtox 급성 독성 시험은 냉동된 시료를 상온에서 해동 후 다음과 같은 방법에 의해 수행하였다.

4. 하천 퇴적물에 대한 Microtox 급성독성 시험

1) 하천 퇴적물의 공극수와 증류수 추출물에 대한 상대독성 시험

공극수와 증류수 추출액은 원액을 사용하고, 퇴적물 내에 자연적으로 함유된 암모니아의 영향을

제거하기 위해 0.1 N HCl 용액을 이용하여 적정 pH인 6.0~6.5 사이로 조절하였다. 추출원액에 microtox osmotic adjusting solution (9:1 v/v)을 넣고 염도를 조절한 후, 시료의 농도구배 없이 미생물이 배양된 cuvettes에 0.5 ml씩 분주하고 일정시간 (5, 15 그리고 30분)이 경과된 때의 각 시료의 상대적 독성을 구하여 비교하였다.

2) 하천 퇴적물의 유기용매 추출물에 대한 급성독성 시험

유기용매로 추출한 용액은 증류수로 희석하여 DMSO의 최종농도가 0.2% 되도록 조절하고, 희석된 용액을 100%로 하여 각 시료의 Microtox 시험을 하였다. Microtox 시험은 약술하면 다음과 같다. 준비된 cuvettes에 0.5 ml microtox diluent를 넣고, 미리 잘 혼합하여 4°C에서 보관하고 있는 미생물 배양액을 0.01 ml 넣은 후, 15분만에 초기 발광량 (I_0)을 측정하였다. 그리고 앞서 희석된 DMSO 용액에 microtox osmotic adjusting solution (9:1 v/v)을 넣고 염도를 조절한 후, microtox

diluent solution으로 희석 (1:2 배율)하였다. 시험용액의 농도구배는 45, 22.5, 11.3, 5.63, 2.81% 되도록 준비하여 희석된 용액들을 미생물 배양액이 들어간 cuvettes에 0.5 ml씩 분주하고 일정시간 (5, 15, 그리고 30분)이 경과된 때의 저해된 발광량 (I_t)과 비교하여 발광도가 50% 저해되는 농도 (EC_{50})를 구하였다. EC_{50} 값이 작을수록 독성이 강하다는 것을 의미하며, EC_{50} 값은 희석된 용액의 %로 표현하였다. 한편, 시료간의 상대적 독성은 $1/EC_{50}$ 와 RTU (relative toxicity unit)를 각각 구하여 비교하였다.

RTU값은 Microtox 미생물 대조구 (control)의 독성값을 0으로 하고, 시료 (sample)의 독성값들을 각각 비교한 값이다. RTU를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$RTU = 100 - \text{Sample } (I_t/I_0) / \text{Control } (I_t/I_0) \times 100$$

I_0 : *Photobacterium phosphoreum*의 초기 발광량
 I_t : *Photobacterium phosphoreum*의 시료 노출 후 저해된 발광량

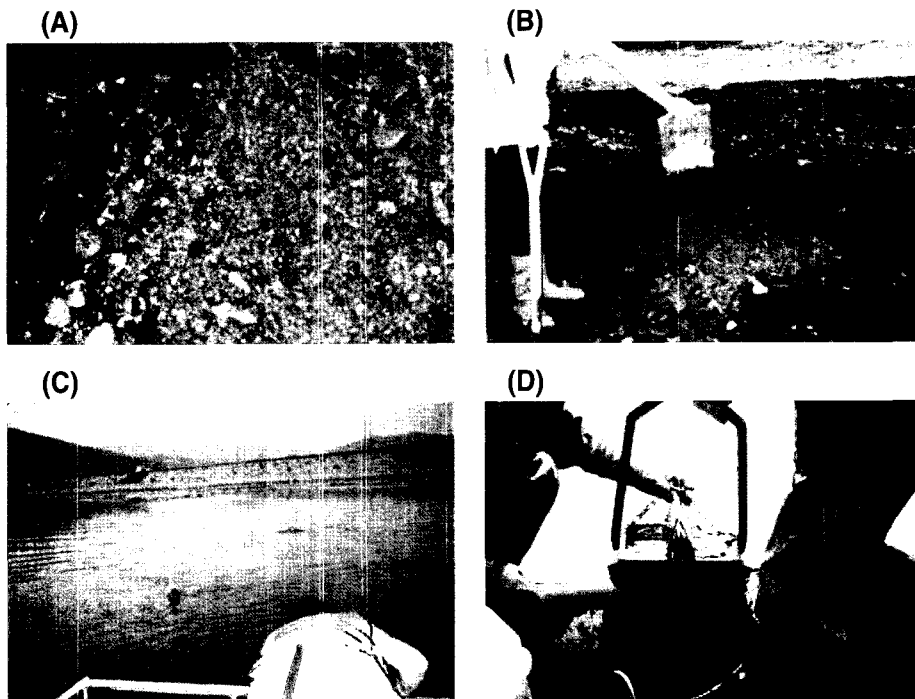


Fig. 2. Sampling sediment at up-stream and down-stream in Keumho river, KOREA. (A) sampling site of up stream and (B) sediment sample (C) sampling site of down stream and (D) sediment sample.

결과 및 고찰

1. Microtox 독성 시험을 위한 하천 퇴적물 준비

1) 하천 퇴적물 시료 채취 및 관리

하천 상류는 수심이 얇고 수량이 작기 때문에 걸어서 접근하여 모종삽이나 대삽을 이용하여 퇴적물을 채취하였고, 하류는 수량이 많고 수심이 깊어 보트를 띄운 뒤 grab sampler를 이용하였다 (Fig. 2). 퇴적물 채취기구에 직접 닿지 않는 부분 중 상부층에 해당하는 퇴적물만을 포집하였으며, 퇴적물 채취 시에 한 정점당 반경 100 m 이내의 10곳 이상의 퇴적물을 모아 혼합하였다. 채취된 하천 퇴적물은 유해화학물질에 오염된 해양 퇴적물의 보관용기로 문제가 없음이 확인된 polyethylene zipper bag에 넣었다 (배철한, 1999). Zipper bag을 압축하여 공기를 제거한 후, 4°C 이하에서 수송 및 보관하였다. 일반적으로 퇴적물을 보관할 경우, 1주 이내 단기간 보관시는 4°C에서, 그리고 1주일 이상 보관시는 냉동 보관을 권장하고 있다 (SETAC '98). 본 실험에 사용한 퇴적물은 실험실로 이동된 뒤 -24°C 냉동고에서 다음 실험을 수행할 때까지 보관하였다.

2) 퇴적물 내 암모니아 독성 배제

암모니아는 퇴적물의 공극수 독성에 높은 관련이 있다 (Carr *et al.*, 1996; Karuppiyah *et al.*, 1996). 암모니아를 가지고 있는 퇴적물에 대해 중성 pH (pH 7) 보다 알칼리 pH (pH 9) 상태에서 독성이 높아졌다 (Van Sprang *et al.*, 1996; Kay, 1999). 또한 Photo bacterium phosphoreum의 발광도는 암모니아 (NH₃) 존재 하에서 크게 저해된다. 따라서 Microtox 독성 측정용 시료용액의 pH를 조절하여 암모니아를 암모늄 이온 (NH₄⁺)으로 불활성화시켜 암모니아의 독성을 배제하고자 하였다.

퇴적물을 공극수 (porewater), 증류수 추출액 (aqueous extract), 그리고 유기용매 추출액 (organic extract) 별로 구분하고 pH를 조정한 후, microtox 독성 시험을 수행한 결과는 Fig. 3과 같았다. Fig. 3에 나타난 것과 같이 유기용매 추출액의 독성이 공극수나 증류수 추출액의 독성에 비해 월등히 높은 것으로 판측되었다 (Pastorok, 1990). 암모니아의 독성을 배제하기 위하여 액상 시료의 pH를 조절

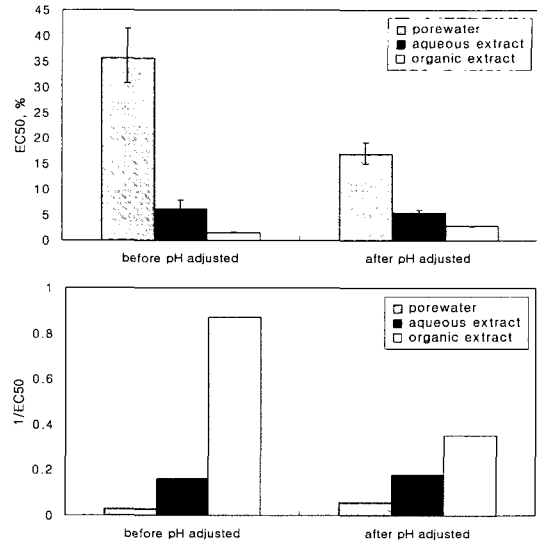


Fig. 3. Effect of pH adjustment on the Microtox toxicity of each extractable fraction of sediment collected at Kangchang gyo, Keumho river, 1999. 5.

*Aqueous and organic extract was prepared from porewater and aqueous extracted sediment, respectively.

하고 pH 조절 전후의 독성을 비교하였을 때, 증류수 추출액의 독성은 변함이 없었던 반면 유기용매 추출액의 독성이 각각 60% 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 퇴적물 내 암모니아가 존재하고 있으며, 유기용매 추출액으로 이행된다는 가능성을 의미하고 있다. 공극수의 경우 pH조절 후 독성이 오히려 50% 증가추세를 나타내었다. 이러한 현상은 암모니아가 아닌, pH변화에 의해 독성이 증가되거나 생물학적 활성도가 커지는 독성물질이 공극수에 잔존하고 있을 가능성을 시사한다.

이상과 같은 여러 가지 결과들에 의하여 내릴 수 있는 잠정적 결론은, 가장 독성 값이 높았던 유기용매 추출액 시료가 유해화학물질로 오염되어 있고 퇴적물의 독성 시험용으로 적합하다는 것이었다. 또한 퇴적물 내에 일반적으로 존재하고 있는 암모니아의 독성을 배제하고, 암모니아 외의 다른 물질들의 독성을 측정하기 위해서는 독성시험 전 용액 시료의 pH를 6.0~6.5 사이로 조절하여 Microtox 독성을 검색하는 것이 필요하다고 사료되었다.

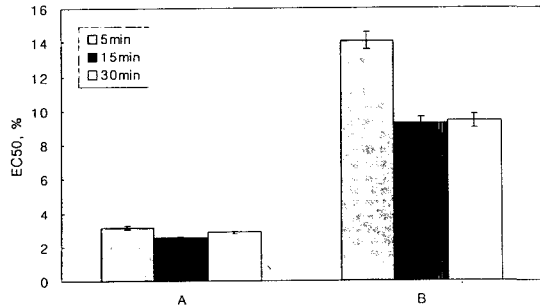


Fig. 4. Change of the Microtox toxicity of organic extract before and after aqueous extraction. Sediment was collected at Kangchanggyo, Keumho river, 1999. 5. *Organic extract was adjusted pH to between 6.0 ~6.5. A. Organic extract from porewater removed sediment. B. Organic extract from aqueous extracted sediment. BDL : below detection level.

3) 증류수 추출물과 유기용매 추출물의 독성 발현 특성

증류수 추출이 퇴적물 독성 수준 변화에 미치는 영향을 조사하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이, 퇴적물을 증류수로 씻어낸 (rinse) 후에 유기용매 (CH₂Cl₂)로 추출한 추출물 시료 (Fig. 4B, organic extract from aqueous extracted sediment)의 상대적 독성이 공극수만 제거된 퇴적물의 유기용매 추출물 시료 (Fig. 4A, organic extract from porewater removed sediment)의 독성에 비해 1/3로 감소되었다. 이러한 결과는 다음과 같은 원인에 의해서 발생하는 것으로 추정된다. 첫째, 공극수에는 녹아있지 않으나, 퇴적물 고형물질에 약하게 흡착되어 있는 독성물질이 존재할 가능성이 있다. 둘째, 공극수에 포화되어 고액상 평형을 유지하고 있었던 수용성 물질이 증류수에 용출되었을 가능성이 있다. 한편 증류수 추출 후의 퇴적물에 대한 유기용매 추출물의 독성은 입자에 흡착되어 있는 흡착성 또는 지용성 물질의 독성 수준을 표현하고 있다고 판단된다. 또한 증류수 추출 전후의 상대적 독성 차이는 증류수 추출물이 유발하는 독성의 수준이 상대적으로 중요하다는 것을 의미하고 있다.

4) 조사정점내 시료 채취 지점간 상대적 독성의 편차

조사정점별 퇴적물 채취 지점 수의 규모는 정점별 대표값의 신뢰성 제고와 실험 수행량을 고

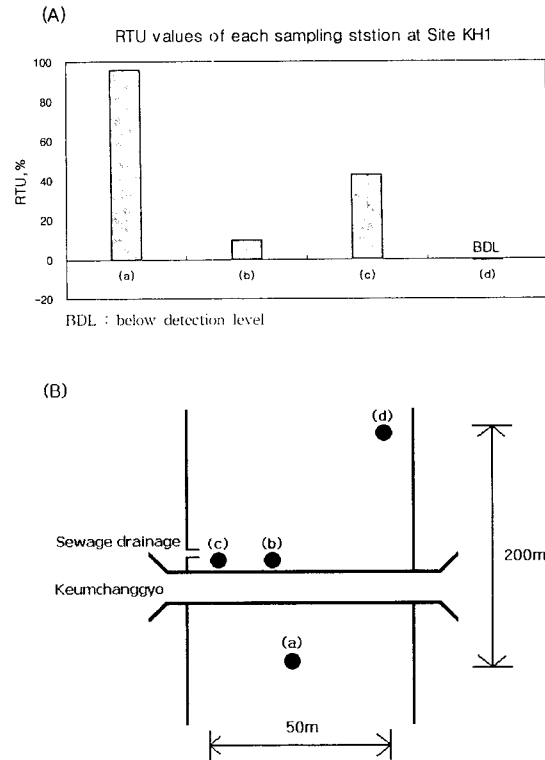


Fig. 5. Comparison of (A) relative toxicity unit (RTU) of (B) each sampling points at Site KH1 in Keumho river.

려하여 가장 합리적으로 결정할 필요가 있다. Fig. 5B의 개념도와 같이 특정 조사 정점내 퇴적물 시료의 채취 지점에 따라 상대적 독성을 각각 측정 한 결과, 각 지점 시료의 상대적 독성 편차가 크게 발생하는 것을 확인하였다 (Fig. 5A). 퇴적물 시료의 채취 지점간 상대적 독성 편차의 발생 요인으로는 첫째, 하천 내 퇴적물이 퇴적되고 있는 위치에 따라 유속과 유량의 영향을 다르게 받기 때문이며, 둘째, 채취 지점 인근 특정 오염원이 존재하는 여부에 따라 영향 정도가 직·간접적으로 다를 수 있으며, 셋째, 오염물질 유입 후 본류수와 의 혼합 정도에 따라 퇴적물 내 독성물질 오염 수준이 달라지게 되는 것으로 추정할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 조사대상으로 선정된 정점이 주변 환경을 대표할 수 있도록 반경 50~100 m 이내의 최소 4군데 이상의 지점에서 퇴적도를 채 취하여 혼합한 후, 독성 평가하는 것이 필요한 것

으로 판단되었다(Fig. 5).

2. 집중 조사대상 하천 및 조사 정점 선정을 위한 예비조사

집중 조사대상 지역을 선정하기 위한 예비조사로 한강수계인 남한강 지천인 북하천과 양화천, 금강수계인 청주 미호천, 대전 갑천, 낙동강수계인 대구 금호강, 영산강수계인 황룡강 그리고 익산 만경강을 조사하였다. 북하천과 양화천의 경우 가뭄으로 인해 많은 부분 하천바닥이 드러나 있어 채수 및 퇴적물 채취가 불가능했고, 황룡강의 경우 상·하류 모두 오염되어 있는 곳으로 판단되어 연구조사 정점을 잡기가 어려웠다. 청주 미호천(MHL), 대전 갑천(GCU), 대구 금호강(KHL), 익산 만경강(MKL, MKU) 등의 정점들과 금호강의 대구시 역내 주요 지천 교량 지역인 경대교(KHkd)와 노곡교(KHng) 부근에서 각각 하천 퇴적물을 채취하였고, 이 퇴적물을 대상으로 Microtox 독성 평가를 수행하였다(Figs. 6, 7). 가장 독성이 강하면서 상류와 하류의 독성 차이가 크게 나타난 곳은 금호강(KHL)이었으므로, 대구지역 내

의 금호강을 집중 조사 대상 지역으로 결정하였다.

본 조사 대상 하천으로 선정된 금호강은 대구시 검단동을 북으로 감아서 시가지 북부를 관류한 뒤 서대구를 거쳐 낙동강 본류로 흘러들어 간다. 금호강의 지천인 신천(新川)은 북으로 흘러 동구와 남구의 경계를 이루고, 수성교에서 다시 동구와 중구의 경계를 따라 흘러 북구의 중심부를 관류하면서 금호강과 합류한다. 중구의 배수구실을 하는 달서천(達西川)은 서쪽으로 흘러 금호강에 합류한다. 대구지역을 관통하는 금호강은 주위로 성서공단, 달성공단, 서대구공단, 대구 제3공단, 비산염색공단, 검단공단, 현풍공단 등 많은 공단이 위치하고 있다. 또한 인근에 섬유, 기계, 금속, 화학업체들이 자리 잡고 있으므로 금호강으로 흘러드는 유해화학물질이 많을 것이라고 사료되

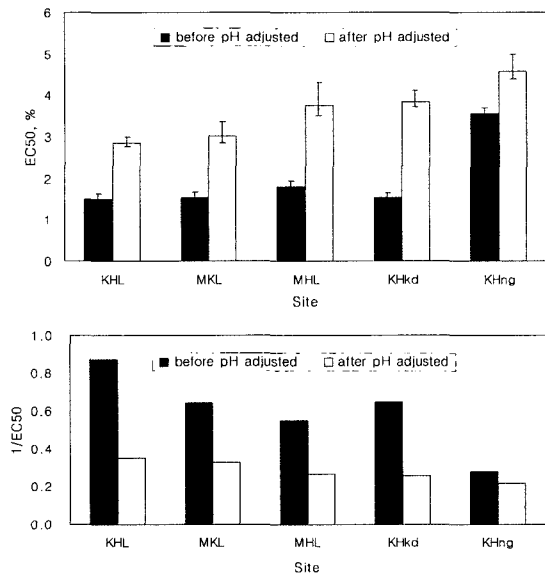


Fig. 6. Effect of pH adjustment on the Microtox toxicity of organic extracts of sediment collected at KHL, MKL, MHL KHkd, and KHng (downstream of Keumho, Mankyung, Miho, Kyungdae-gyo, and Nogok-gyo, respectively).

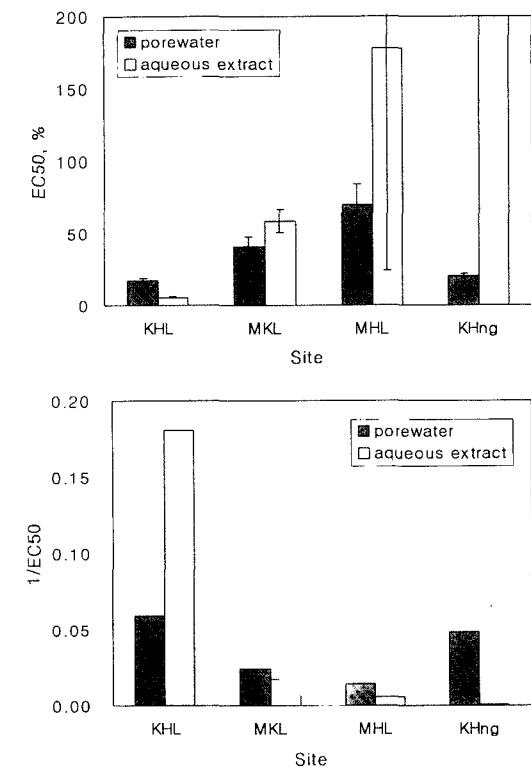


Fig. 7. EC₅₀ and Relative toxicity of pH adjusted both porewater and aqueous extracts of sediment collected at KHL, MKL, and MHL (downstream of Keumho river, Mankyung river, and Mihocheon, respectively), as well as KHng (Nogok-gyo of Keumho river).

어 수질오염의 연구조사 하천으로 가장 적절할 것으로 예상된다.

요 약

1. 하천 퇴적물의 공극수, 증류수 추출용액 및 유기용매 추출액을 pH 6.0~6.5 범위로 조절한 후 Microtox 독성을 측정하는 것이 퇴적물내의 암모니아 독성이 배제된, 유해화학물질 오염에 의한 퇴적물 독성을 평가하는 방안임을 확인하였다.

2. 퇴적물에 대해 공극수, 증류수 추출물, 유기용매 추출물 구분하여 Microtox 독성을 구하는 것이 퇴적물 내 유해화학물질의 독성발현 특성을 예측할 수 있는 기법이라고 사료된다.

3. 조사정점 내 시료 채취 지점간 독성에 편차로 인하여, 동일 정점의 반경 50~100 m 내에서 최소 4지점 이상의 퇴적물을 확보하는 것이 해당 정점의 독성 대표값을 산출할 수 있는 방안이 된다고 판단된다.

4. 한강수계인 남한강 지천인 복하천과 양화천, 금강수계인 청주 미호천, 대전 갑천, 낙동강수계인 대구 금호강, 영산강수계인 황룡강 그리고 익산 만경강을 대상으로 한 예비 조사한 결과, 집중연구대상 하천으로의 조건은 금호강이 가장 우수하였다.

5. 하천 퇴적물의 증류수 추출액과 유기용매 추출액의 Microtox 독성값 간의 상호 상관성이 높았다. 그러나, 농축 과정이 용이하므로 정점간 비교를 위한 독성 측정시 유기용매 추출액을 사용하는 것이 바람직하다고 사료되었다.

감사의 글

본 연구는 환경공학기술개발연구사업(과제명: 생태위해성 예보체계의 개발)의 일환으로 환경부로부터 지원받아 연구를 수행하였습니다. 본 연구수행시 많은 도움을 주신 한국화학연구원 환경독성팀에게 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

배철한. 연근해 해양 퇴적물의 건강성 평가 : Microtox 시

험 기법의 확립과 적용 1999.

이성규, 심점순, 김용화, 노정구. 어류, Daphnia 및 조류와 Ames' Test를 이용한 산업폐수의 환경독성 및 유전독성 평가, Korean Society on Water Quality 1991; Vol. 7, No. 2, 100-109.

황인영. 여수 여천 유류오염 사고지역의 환경 현황조사 최종보고서, 제 4 편 환경독성 조사 1997; 한국해양연구소.

환경부. 수질오염도 자료, 1999.

Carr RS, Long ER, Windom HL, Chapman DC, Thursby, G, Sloane GM and Wolfe DA. Sediment quality assessment studies of tampa bay, Florida; National Biological Service, Texas Gulf Coast Field Station, Texas A/M University-Corpus Christi, 6300 Ocean Drive, Corpus Christi, TX 78412, USA. Environmental Toxicology and Chemistry 1996; Vol. 15, issue 7 p1218-1231.

Giesy JP and Hoke RA. Freshwater sediment quality criteria : Toxicity bioassessment sediment, Chem & Toxicity of in-place pollutants workshop Proc. 1990; Novara, Italy, pp. 265-348.

Kaiser KLE. Qualitative and quantitative relationships of Microtox data with toxicity data for other aquatic species, In "Ecological Monitoring" ed. by Mervin Richardson, 1993, 197-212, VCH Publishers, New York, NY, USA.

Kay TH, Kuhn A, Pelletier MC, Burgess RM and Helmstetter A. Use of Ulva Lactuca to distinguish pH-dependent toxicants in marine waters and sediments; U.S. Environmental protection agency, National health and ecological effects research laboratory. Environmental toxicology and chemistry 1999; Vol. 18, No. 2, pp. 207-212.

Karuppiyah M and Gupta G. Impact of point and nonpoint source pollution on pore waters of two chesapeake bay tributaries; Department of natural sciences, University of Maryland eastern shore, princess anne, MD 21853, USA. Ecotoxicology and Environmental Safety 1996; Vol. 35, issue 1 p81-85.

Pardos M, Benninghoff C, Thomas RL and Khim-Heang S. Confirmation of elemental sulfur toxicity in the Microtox^(TM) assay during organic extracts assessment of freshwater sediments. Chemistry 1999; Vol. 18, Issue 2, pp. 188-193.

Pastorok R and Becker DS. Comparative sensitivity of sediment toxicity at three superfund sites in Puget Sound. In : Landis G.W., van der Schalie W.H. (eds). Aquatic toxicology and risk assessment : Vol. 13, ASTM ATP 1096. American Society for Testing and Materials 1990; Philadelphia, 123-139.

Salizzato M, Pavoni B, Ghirardini AV and Ghetti PF. Sediment Toxicity Measured Using *Vibrio fischeri* as Related to the Concentrations of Organic (PCBs, PAHs) and Inorganic (Metals, Sulphur) Pollutants. *Chemosphere* 1998; Vol. 36, No. 14, p. 2949 (20).

SETAC98 : *Handout material for short course on confound-*

ing factors related to marine sediment toxicological testing, SETAC 1998.

Sprang PA, Van Janssen CR, Sabayasachi M, Benijts F and Persoone G. Assessment of ammonia toxicity in contaminated sediments of the upper scheldt (Belgium). *Chemosphere* 1996; Vol. 33, No. 10, pp. 1967-1974.