〈論 文〉

물벼룩과 형광성 박테리아를 이용한 합성세제의 急性毒性評價
Acute Toxicity on Daphnia magna and Photobacterium phosphoreum for Synthetic Detergents

金 泰 英*, 蔡 洙 權**, 金 健 興***
KIM, Tae Young, CHEA, Soo Kwen and KIM, Geon Heung

Abstract As the standard of living improves, the amount of synthetic detergent consumption greatly increases. Detergents which are not treated in the sewer treatment processes, flow into rivers or waterstreams and accelerate the pollution of the surface water resources. Detergents contain lots of toxicants. And it is difficult to evaluate gross toxicity of each toxicant in the receiving water. In this study, the acute toxicity of the synthetic detergents for home laundering and kitchen use were monitored with daphnia magna and photobacterium phosphoreum. Seven kinds of detergents were tested to evaluate the acute toxicity. The mean 24hr, 48hr-LC50 of the synthetic detergent for home laundering were 4.25%, 2.5% and these for kitchen use were 2.01%, 1.36% respectively. And the mean 5min, 15min EC50 of the synthetic detergent for home laundering were 1.83%, 1.02%.

요 지 : 생활수준이 향상됨에 따라 세제의 사용량이 큰 폭으로 증가하고 있으며, 하수처리공정에서 완전히 처리되지 못한 합성세제가 하천이나 강으로 흘러들어 지표수의 오염을 가중시키고 있다. 이와같은 세제는 수중생물에 해로운 여러 독성물질을 함유하고 있으며, 현재까지는 주로 화학적 분석에 의하여 그 독성을 측정하고 있다. 그러나 오염물질 상호간의 작용 등으로 화학분석만으로 적정기간동안에 독성을 평가하는 것은 상당히 어려운 실정인 바, 본 논문에서는 물벼룩인 Daphnia magna와 형광성 박테리아인 Photobacterium phosphoreum을 이용하여 생물학적으로 주방용 세제와 의류용 세제의 급성 독성을 평가하였다. 본 평가에 사용된 세제는 세탁용 세제와 주방용 세제로 구분하여 국내 사용량이 가장 많은 7 종류를 선택하였으며, 조사결과 세탁용 세제의 평균 24hr, 48hr LC50은 각각 4.25%, 2.50%이며, 주방용 세제의 평균 24hr, 48hr-LC50은 각각 2.01%, 1.36%이었다. 또한 세탁용 세제의 평균 5min, 15min-EC50은 각각 1.83%, 1.02%이며, 주방용 세제의 평균 5min, 15min-EC50은 각각 1.57%, 1.21% 이었다. 이를 통하여 국내에서 사용되는 합성세제중 주방용 세제가 세탁용 세제보다 지속적 독성이 큰 것을 알 수 있었으며 세제마다 독성의 정도가 차이가 있었다.

1. 서 론

공장폐수와 도시하수에 포함되어 있는 오염물질은 물속에 있는 생물에 직접적인 영향을 주거나, 우리 인체에 악영향을 끼치며, 이러한 오염을 통제, 감소 및 평가하기 위한 방법에 대한 연구나 기술들을 발전시키기 위한 많은 연구가 오랫동안 수행되어 왔으며 현재에도 여전히 여러 방면에서 수행되고 있다. 여러 가지 화학적 분석에 의해 각 오염물질의 농도로써 폐수의 독성을 평가하고 있으나, 이러한 화학적 분석만으로 수질의 독성을 평가하는 데는 한계가 있다. 폐수내에 잠재적으로 존재하는 독성물질이 다양하며, 많은 혼합물에 대한 독

* (주)도화기술개발공사 수도부
** 서울 보건전문대학 환경관리과 조교수
*** 인하대학교 토목공학과 교수

성학적 자료의 결핍 및 이들 혼합물의 감지와 분석의 어려움, 그들 상호 작용에 따른 영향 예측의 어려움 등이 있다. 이와는 달리 살아 움직이는 유기체를 이용하여 검정을 실시하는 생물검정은 짧은 시간에 생물에 영향을 주는 독성이 있는가를 평가하여 독성유무나 농도를 파악하는 것으로 화학적 분석의 결점을 보완하거나 대안으로 사용될 수 있다. 독성 항목을 생화학적 산소요구량(BOD)이나 총고형물(TSS)처럼 일반적인 오염측정의 범주에 넣어 오염물질에 대한 규제 방안으로 사용할 수도 있으나, 각각의 오염물질에 대한 세분화와 그에 대한 수질기준이 모호한 경우가 많이 있고 그들 혼합물의 독성이 상호 상승적(Synergistic), 길항적(Antagonistic), 또는 상가적(Additive)으로 작용하기 때문에 개개의 독성 항목을 규제하는 방식을 적극적인 규제 방식으로의 보완이 필요한 실정이다. 즉, 많은 오염물질에 대한 화학시험보다는 단순하며 단기간에 평가할 수 있는 생물검정 시험이 경제적이며 효과적일 수 있다.

합성세제에 의한 수질오염 문제는 어제 오늘의 어느 특정한 지역의 오염이라기보다는 전국적인 규모의 오염으로 확산되고 있으며, 현재 세제에 의해 전국의 하천이 상당히 오염되어 있는 실정이다. 특히 인산염에 의한 부영양화 등은 수자원의 가치를 저하시킬 뿐만 아니라, 생물에 대한 악영향으로 생태계 파괴의 주 원인으로 손꼽히고 있다. 또한 생활 수준이 향상됨에 따라 국내 합성세제의 수요는 상당히 증가하여 1990년말 현재 287,084톤(오 현제 등, 1991)으로 전체 세제 사용량의 65.5%를 차지하고 있으며, 이에 의한 수질 오염은 상당히 큰 환경상의 문제를 야기시키고 있다.

이러한 문제 해결방안의 일환으로 생분해가 어려운 경성세제(ABS)보다는 세정력 및 생분해도가 좋은 연성세제(LAS)로 대체하여 생산 사용되고 있는 실정이다. 그러나, 연성세제도 1주일 이상이 지나야만 분해가 가능하고, 일부 첨가물 등은 잘 분해되지 않아 오랜 시간 동안 잔류하고 있다. 또한 우리 나라 하천의 유로는 상당히 짧은 편이어서 유로를 흐르는 중에 자연적 분해에 의한 감소는 기대하기 힘들다. 지금까지 국내의 합성세제에 관한 연구는 홍 등, 이 등, 홍 등에 의해 수행되었는데, 이들은 대부분이 합성세제의 구성성분인 계면 활성제와 보조제를 중심으로 생분해도, 부양화 등과 하천의 오염실태에 관한 조사연구가 진행되었을 뿐이다.(오현제 등, 1991; 홍사욱 등, 1989a; 홍사욱 등, 1989b)

본 연구는 이러한 합성세제가 생태계에 미치는 영향을 고려하기 위하여 Standard Methods (1989)의 수중생물 독성시험방법(part 8000)과 Microtox(Model 500 Analyzer)에 의한 방법을 통해 독성을 조사하였다.

2. 생물검정의 이론적 배경

생물검정은 어떤 물질이 시험 유기체의 신진대사, 번식의 감소, 생체기능의 상실이나 치사 등에 미치는 영향을 조사 분석함으로써 오염물질의 유해성을 결정하는 검정 방법이다. 독성물질의 영향에 관한 연구나 조사에 물고기나 무척추동물을 이용한 생물검정이 적용되며, 이러한 생물종은 환경변수들이 적절하게 제어되면 정확하고 간단한 시험절차에 따라 사용될 수 있다. 미국 환경처(EPA)에서는 척추생물로 Fathead minnow, Pimephales promealas, 무척추생물로 Daphnia magna, Ceriodaphnia dubia, 조류로 Selenastrum Carpricornutum 등을 이용하여 복합폐수의 독성에 대한 생물검정을 실시하고 있다.(APHA, AWWA, WPCF ; 1989) 이와 같은 생물검정은 화학적 분석이 제대로 이루어지지 않는 독성물질을 찾는데 유용하게 이용되며, 혼합된 오염물질로 인한 복잡한 화학반응에서 화학물질 상호간의 독성영향을 조사하고 자연생태계중의 일부에 존재하는 오염물질과 환경변화의 영향을 종합적으로 평가할 수도 있다.

2.1 물벼룩(Daphnia magna)을 이용한 생물검정

ASTM(American Society for Testing and Materials)과 EPA에서는 수중 먹이사슬에서의 중요한 역할, 온도에 대한 예민성, 넓은 pH범위에서의 저항성, 손쉬운 배양 방법, 시험생물로서의 편리성 등의 이유로 독성평가를 위한 검정용 생물체로 물

벼룩을 추천하였다.

D. magna의 성충은 최대 5㎜까지 성장하며, 6시간-24시간 이내의 어린 물벼룩(유생)은 0.8-1.0㎜ 정도이므로 돋보기등의 도움없이 육안으로 확인이 가능하며, 이 단계의 어린 물벼룩이 독성 연구에 가장 많이 사용된다. 물벼룩의 암컷은 20℃에서 4개월 정도 생존하며 적합한 환경 조건이 유지되면 배수 무성생식으로 유생을 출산하므로 부모의 이형성에 대한 유전적 다양성이 제한되어 동질의 유생을 기대할 수 있다. 어린 물벼룩 암컷은 20℃의 수온에서 10일정도 성장한 후 3-4일마다 유생을 낳으며, 만일 수온이 25℃라면 7일정도 성장한 후 2-3일 마다 유생을 낳는데, 한번에 20마리 이상을 낳으며 한마리의 암컷은 일생동안 400마리 정도의 유생을 낳는다. 물벼룩 배양시 임계 용존산소는 20℃ 포화농도의 15%(1.4㎎/l)이므로 대부분의 상황에서 포기(Aeration)는 필요치 않다.

물벼룩을 이용한 독성평가에 관한 연구들은 주로 선진국에서 수행되고 있다. Anderson과 Jensen은 산업폐기물과 중금속을 시료로 사용하여 물벼룩에 대한 급성과 만성 독성을 평가하였으며(1944), Biesinger등은 물벼룩에 대한 생존, 성장, 번식과 신진대사에 금속이 미치는 영향을 조사하여 금속에 대한 독성을 조사하였으며(1987), NTA (Nitrilotriacetate)의 만성독성이 경도가 증가함에 따라 착화합물(Complex Compound)을 형성하여 독성이 감소함을 발견하였다.(Beckman, 1992)

또한 Andrew등은 물벼룩에 대한 구리(Cu)의 독성에서 Cu의 이온활성도에 의해 독성이 변함을 연구하였다(1977). 또한 Anderson은 알카리도, 경도, DO, pH, 온도의 변화에 따른 독성값들의 상관관계를 보여 주었으며, 동일종과 동일연령에서의 물벼룩에 의한 독성값의 변화를 연구하였다.(1944)

물벼룩에 대한 오염물질의 급성독성은 보통 24시간, 48시간, 96시간등의 치사농도 (LC; Lethal Concentration)로 표현된다. LC50값은 일정조건에서 선정된 시간동안 오염물질에 노출된 물벼룩의 50%가 사망할 수 있는 오염물질의 농도이다. 이 농도는 단일 오염물질인 경우 mg/l로, 복합 오염물질인 경우 희석 백분율(%) 등으로 표시된다.

LC50값은 Probit, Logit, Moving average, Litchfield-Wilcoxon 등의 방법에 의해 계산되며 (US EPA, 1988), 일반적으로 Probit 방법을 많이 사용하고 있다. LC50값에 대한 신뢰한계는 시험에서의 LC50값의 다양한 범위를 나타내는 것이 아니고, 동일시간과 동일한 모든 조건에서 생물검정을 반복할 때에 기대되는 측정치의 정확도를 의미한다. 어떤 생물종에 대한 생물검정의 결과는 크기나 연령 및 생리학적 조건이 비슷한 개체에 대한 독성영향을 추정할 뿐이며, 다른 개체에 대한 독성의 영향을 나타내는 것은 아니다.

LC50값은 재현성이 높은 독성평가 수단이지만, 독성 물질 처리를 규제하는 직접적인 안전농도라고 할 수 없으며, 단지 독성물질의 안전처리에 대한 적용인자로 사용될 수 있다. 96시간의 급성독성시험에서 전혀 독성을 나타내지 않는 농도가 방류하천 등에서 연속적인 장기간의 노출에 의하여 심각한 독성을 나타내기도 한다. 장기간의 노출에 의하여 독성영향을 미치는 만성독성은 치사를 발생시키거나, 치사의 수준은 아닐지라도 수서생물의 생체기능을 불구로 만들거나, 기능상의 장애 등의 악영향을 미친다.(Frank and Jerome, 1980; Holm, 1948) 따라서 96시간-LC50은 96시간동안에 미치는 독성의 일부 영향만을 나타내므로, 급성독성평가를 근거로 한 유출수나 다른 오염원에 관한 안전한 방류량(Discharge Rate)이나 희석비(Dilution Ratio)는 만성독성 시험으로 결정된 적용인자(AF; Application Factor)를 사용한다. AF는 MATC를 96시간-LC50값으로 나누어 구한다. MATC는 시험종의 번식, 생체기능 및 성장 등에 영향을 미치지 않는 최대의 허용농도이며, 장기간의 만성독성 시험으로부터 구할 수 있다. 그러나 충분한 안전율을 적용한다 하여도, 급성독성 시험으로부터 예견할 수 없는 축적된 독성이 있을 때에는 이러한 목적을 달성하기 어렵다.(US EPA, 1989; Weber, 1989) 이는 오염물질에 급성독성을 일으키는 성분이 오염물질들의 혼합이나 희석으로 인하여 급성독성을 일으키지는 않지만, 만성독성이나 축적된 독성을 일으키는 성분이 될 수 있기 때문이다.(김건홍 등, 1992;김건홍 등, 1991)

그러므로 급성독성을 파악하는 것은, 방류하천에

서의 수중생물에 대한 급격한 피해 등을 예견하고 방지하는 것은 물론 독성폐수의 방류를 규제하는 데 큰 도움을 줄 수 있다.

2.3 형광성 박테리아를 이용한 생물검정

형광성 박테리아는 Rovert Boyle(1672)이 발견하여 "Shining flesh"라고 명명되었으나, Hasting과 Nealson(1977)은 해양성 형광박테리아를 Photobacterium fischeri, Photobacterium phosphoreum, Photobacterium harveyi로 구분하였다.

형광성 박테리아가 빛을 발산하는 원리는 식(2.1)에 의해 설명된다.

$$FMNH_2 + O_2 + RCHO \longrightarrow FMN + H_2O + RCOOH + h_2 \quad (2.1)$$

즉, Flavin mononucleotide($C_{17}H_{21}N_4O_9P$-FMN)와 Aldehyde가 발광효소 및 촉매 등에 의해 산화되면서 에너지를 방출하게 되는 것이다. 생화학적으로 이 반응은 전기전송체계와 관련이 있고 세포의 신진대사 단계를 나타낸다. 독성에 의해 형광성 박테리아의 신진대사가 감소되고, 그 결과 빛 발산이 감소되므로 박테리아의 빛 발산량을 측정하여 독성시험에 이용할 수 있다. 이러한 원리를 이용한 Microtox독성측정기기는 1979년 Bulich에 의해 제안되었다.

앞 절에서 언급한 물벼룩에 의한 치사시험은 주로 48, 96시간으로 하지만, Microtox에 의한 시험은 5-15분 동안에 측정되며, 결과는 EC50으로 나타내는 데, 이는 빛발산량이 50% 감소했을 때의 효과농도(EC; Effective Concentration) 값이다. 형광성 박테리아가 시간의 흐름에 따라 자연적으로 빛발산 양이 감소하기 때문에 보정계수를 구하며, 보정계수(Rt)는 식 (2.2)와 같이 계산된다.

$$Rt = \frac{I_t}{I_0} \quad (2.2)$$

여기서, I_0 : Blank의 초기 빛 발산량

It : 해당 시간 경과 후 Blank의 빛 발산량

이다. 또한 빛의 손실 비율(γ)은 식 (2.3)과 같다.

$$\gamma = \frac{R_t \times I_0}{It} - 1 \quad (2.3)$$

식 (2.3)에서 구한 각 농도에 대한 γ를, 대수방안지의 X축을 농도로, Y축을 γ로 하여 그릴 때 γ =1에 대응하는 농도로 EC50이 구해진다. (Beckman, 1992)

Sellers와 Ram(1985)은 형광성 박테리아를 이용하여 Cd-Zn, Cd-Ni, As-Pb의 두 금속 혼합물의 독성을 조사하여, 두 금속이 서로 상승적(Synergistic), 길항적(Antagonistic), 상가적(Additive)으로 작용하여 독성을 일으킴을 발견했다. Qureshi등(1982)도 Microtox를 이용하여 Cr^{+3}-Se^{+4}, Cr^{+3}-Cr^{+6}, Se^{+4}-Pb^{+2}간의 상호작용을 연구하여 같은 결과를 얻었다.

Dezwart등(1983)은 Microtox를 이용하여 15가지 화학물의 독성을 결정하였다. Calleja등(1986)은 Microtox와 물벼룩을 이용한 시험으로 살충제 제조공장 폐기물의 용출수와 전기도금공장 폐기물의 용출수에 대해 독성을 평가하였고, 이들 용출수에 대한 독성시험에서 물벼룩과 형광성 박테리아에 의한 생물검정의 예민도를 비교하였다.

물벼룩에 의한 생물검정과 비교할 때, 형광성 박테리아에 의한 생물검정의 장점은 시험절차가 간편하고, 시험시간이 빠르며, 또한 시료량이 상당히 적게 소요되며, 시험 수행에 특별한 기술이 필요치 않고, 수백만 마리의 박테리아 반응을 측정하므로 좀 더 정확한 값을 추정할 수 있다.

3. 실험 및 방법

3.1 합성세제의 선정

가정에서 사용되고 있는 합성세제는 의류용, 주방용 및 모발용 등이 있다. 본 연구에서는 시중에서 유통되고 있는 합성세제중 시장점유율이 큰 의류용 세제 3가지와 주방용 세제 4가지를 선택하여

표 1. 의류용 합성세제의 구성

종 류 / 항 목	약 알 카 리 성		중 성
	제1종	제2종	
수분(가열감량법)	16%이하	16%이하	16%이하
pH(25℃)	9.0-10.6	6.0-8.0	6.0-8.0
계면 활성제 상당	15-30%	7-14%	15-30%
규산염(SiO_2로서)	2%이상	2%이상	-
생분해도	90%이상	90%이상	90%이상
전인산염	1%이하	1%이하	1%이하
세척력	표준세제와 동등 이상	표준세제와 동등 이상	-

표 2. 주방용 합성세제의 구성

항 목	품 질
수분(가열감량법)	15%이상
pH(25℃)	6.0-8.0
형광증백제	검출되어서는 안된다.
메틸알콜(㎎/g)	1이하
비소(As로서)(ppm)	0.05이하
중금속(Pb로서)(ppm)	1.0이하
생분해도(%)	90이상
세척력	표준세제와 동등이상

실험을 실시하였다.

의류용 합성세제와 주방용 합성세제의 일반적인 구성은 표 1, 표 2 와 같다.

선택한 의류용 합성세제는 모두 약알카리성 제1종으로 표 1의 구성을 만족시키고 있는 제품들이며, 계면활성제의 종류는 같지만 구성비 등의 차이로 표준사용량 즉, 농축정도에 차이가 있었다. 주방용 합성세제의 경우도 마찬가지였다.

3.2 물벼룩을 이용한 실험

Standard Methods(1989)의 수중생물에 대한 독성실험방법에 의해 실험하였다. Biesinger등(1972)은 물벼룩의 배양액으로 자연수의 사용을 추천하였으며, 본 실험에 사용된 자연수는 인천시 문학산의 지하수를 No. 1 Whatman 여과지로 여과한 후 배양액 및 희석수로 사용하였다. 여과수에 대한 수질분석은 표 3과 같다.

표 3. 여과수의 수질

경도 (㎎/l as $CaCO_3$)	알카리도 (㎎/l as $CaCO_3$)	pH	DO (㎎/l이하)
67-76	70-83	6.4-7.8	2.8

호소수질연구소에서 분양받은 물벼룩을 온도 22±1℃, 조도 50-100ft/c, 조명시간 16시간인 조건으로 항온조에서 배양하였다. 공급된 먹이는 표 4와 같이 배합하여 증류수 1liter에 넣어 5분 동안 급속 교반시킨 후, 1시간 동안 침전시킨 상징액(Supernatant)을 사용하였다. 물벼룩의 배양은, 각 날짜 별로 분류된 배양기에 대략 30-50마리씩 넣고, 매일 물을 갈아주고, 배양기당 2.5-3.0 ml의 먹이를 공급하였다. 시험종에 사용되는 물벼룩은 3-4주된 어미가 낳은 6-24시간 된 유생으로, 매일 배양기에서 어미와 유생을 분리하여 준비하였다. (Bulich, 1989)

표 4. Daphnia magna의 먹이 배합

단위 : grams

Tetramin "L"	Tetramin "E"	Baker's yeast	Powder of dried spinach
3.0	3.0	4.6	1.0

시험은 24, 48시간의 LC50의 급성독성 시험으로 Standard Methods에 의해 범위조사시험(Range Assay)을 한 후, 확정시험(Definitive Assay)을 하였다. 125ml의 비이커에 100ml의 시험용액을 넣은 후, 6마리의 물벼룩 유생을 넣어 각 농도별로 3개씩 준비하였다. 또한 시험기간중 증발을 최소로 억제하기 위하여 각 비이커를 비닐랩으로 덮었으며, 정적시험으로 시험기간 중 먹이공급을 중단하였다. 각 24, 48시간이 지난 후, 죽은 물벼룩 수를 확인하고, 각각의 독성 시험시료에 대한 치사율과 희석 비율에 의하여 LC50을 구하였다.

3.2 형광성 박테리아를 이용한 실험

형광성 박테리아에 의한 독성시험은 Microtox (Microbics社 Model 500)를 사용하여 측정하였다. 측정기기는 빛 발산량을 측정할 수 있는 측정실과, 15℃로 유지되는 항온실로 구성되며, 항온실에는 2.5㎖ 시험관이 30개가 들어갈 수 있게 되어 있다. 먼저 15℃로 유지되는 시험기기에 30개의 시험관을 준비하고, 30개중 15개에 500㎕씩 표준 희석액을 시험관(B그룹)에 넣었다. 다음 2500㎕의 시료에 박테리아의 삼투압을 방지하기 위하여 250㎕의 2% NaCl을 넣어 91% 시료를 만든 후, 표준 희석수를 이용하여 45.0%, 22.5%, 12.25% 같이 2배수로 희석하여 나머지 15개의 시험관(A그룹)에 준비하였다. -20℃에서 냉동 건조된 박테리아시약을 독성물질이 없는 증류수인 4℃의 재조성액 1000㎕를 넣어 수화시킨 후, 조성된 박테리아시약 10㎕씩을 희석수가 담긴 시험관(B그룹)에 넣고, 15분 동안 안정시킨 후에 초기 빛발산량 I_0를 측정하였다. A그룹의 준비된 각 농도의 시료 500㎕를 B그룹의 박테리아가 들어있는 시험관에 넣고 15분 경과 후 다시 빛 발산량 It를 측정하였다. 희석기준(Blank)은 박테리아가 시간이 흐름에 따라 자연적으로 빛의 밝기가 감소하는 것을 보정하기 위해 사용되었다. EC50의 계산은 식 (2.2)와 (2.3)에 의해 계산하였다.(Beckman, 1992)

4. 결과 및 고찰

물벼룩인 Daphnia magna 및 형광성 박테리아인 Photobacterium phosphoreum에 의한 독성 평가를 위한 LC50과 EC50은 표 5와 같다. 합성세제는 주성분인 계면활성제가 15-30%이고, 세제의 보완적 작용을 하는 향료등 Builder가 70-80%로 구성된다. 계면활성제의 주된 성상인 침투(습윤), 분산, 유화 가용화, 재부착방지, 기포등의 작용이 세정 작용뿐 아니라, 복합적으로 생물에 독성을 나타낼 수 있다. 그림 1의 세탁용 합성세제에서 24hr-LC50값을 보면, C세제가 4.5%로 독성이 제일 약하고 A세제가 4.03%로 독성이 제일 강한 것으로 나타났으며, 48hr-LC50값에 대해서는 A세제가 2.91%로 독성이 제일 약하고 B세제가 1.86%로 독성이 제일 강한 것으로 나타났다. Daphnia magna가 독성물질에 노출되는 시간이 길면 낮은 농도에서도 죽을 수 있으므로 48hr-LC50 값은 24hr-LC50보다 적은 농도로 나타난다.

표 5. 합성세제의 LC50 및 EC50

종류 \ 독성농도(%)		LC50		EC50	
		24hr	48hr	5min	15min
세탁용 합성세제	A	4.03	2.91	1.46	0.75
	B	4.21	1.86	1.30	0.16
	C	4.50	2.75	2.72	2.14
주방용 합성세제	A	2.46	1.86	1.56	1.02
	B	1.17	1.14	1.51	1.29
	C	2.35	1.19	1.42	1.36
	D	2.05	1.24	1.77	1.16

24hr-LC50과 48hr-LC50 각각의 농도의 差는 1.12%, 2.35%, 1.75%로서 B세제의 농도 차이가 제일 크게 나타났다. 24hr-LC50에서는 A세제가 독성이 제일 강했으나, 48hr-LC50에서는 B세제가 독성이 강하게 나타난 것은, 시간이 경과함에 따라 A세제에서는 H_2O_2나 향료등이 분해 방출되었으나 B세제에서는 분해 방출이 늦거나 지속적인

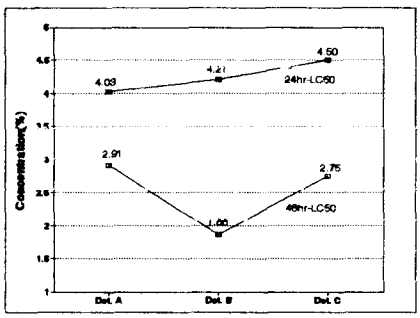

그림 1. 세탁용 합성세제의 LC50

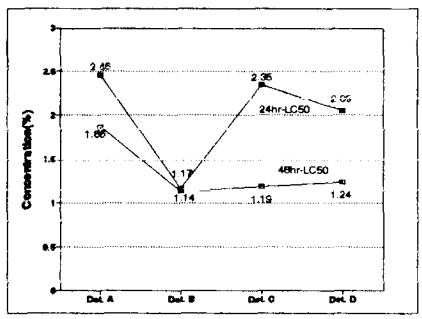

그림 2. 주방용 합성세제의 LC50

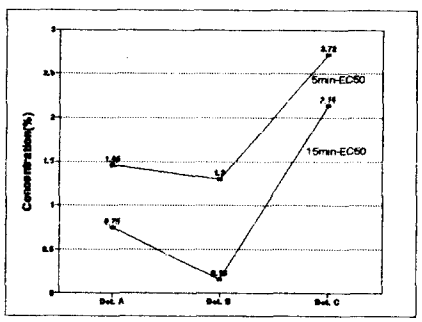

그림 3. 세탁용 합성세제의 EC50

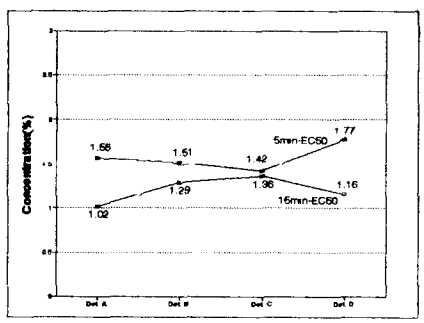

그림 4. 주방용 합성세제의 EC50

성분이 함유되었기 때문인 것으로 사료된다. 시간 경과에 따른 농도 변화폭만을 볼 때, 독성 농도 차이가 적은 A세제가 B, C세제 보다 분해 또는 향료 냄새의 방출이 잘되어 환경 영향 면에서 바람직한 세제임을 알 수 있었다.

주방용 세제의 EC50은 그림 4와 같으며, 5min-EC50값은 C세제가 1.42%로 제일 독성이 강하고 15min-EC50값은 A세제가 1.02%로 독성이 제일 강한 것으로 나타났다. 세탁용과 주방용의 5min-EC50값은 세탁용 세제 C를 제외하고 서로 비슷한 값을 보여주고 있으며 15min-EC50에서 세탁용 세제 A, B가 주방용 세제보다 독성이 강한 것으로 나타났다. 세탁용 세제의 LC50과 EC50을 비교해 볼 때, 형광성 박테리아가 Daphnia magna보다 예민하게 작용하는 것을 알 수 있다. Daphnia magna에 의한 LC50의 농도가 형광성 박테리아의 EC50과 비슷한 경향을 나타내었다. 주방용 세제의 LC50과 EC50에서는 세탁용과 같은 경향은 보이지 않았다.

5. 結 論

현재 지표수내 오염평가는 주로 화학적 분석에 의하고 있으나, 오염물질의 종류의 다양화와 독성물질의 극미량 분석등에 어려움을 안고 있으므로, 개개의 오염물질이 수중생물에 종합적으로 어떠한 영향을 미치는지에 대한 평가가 필요하다. 본 논문에서는 물벼룩인 Daphnia magna와 형광성 박테리아인 Photobacterium phosphoreum을 이용하여 주방용 세제와 의류용 세제의 급성독성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

세탁용 세제의 평균 24hr, 48hr-LC50은 각각 4.25%, 2.50%이며, 주방용 세제의 평균 24hr, 48hr-C50은 각각 2.01%, 1.36%으로 독성을 나타내었다. 세탁용 세제의 평균 5min, 15min-EC50은 각각 1.83%, 1.02%이며, 주방용 세제의 평균 5min, 15min-EC50은 각각 1.57%, 1.21%으로 독성을 나타내었다. 주방용 세제가 세탁용 세

제보다 독성이 크게 나타나는 것은 주방용 세제에 더욱 많이 포함되어 있는 계면활성제의 특성에 기인한 것으로 판단되었다. 1987년 국민 1인당 평균 합성세제계 사용량은 4.25kg/년으로 점차 증가하고 있으며, 이로 인한 지표수오염도 심화되고 있는 실정이다. 이와 같은 연구 결과를 종합해 보면, 세탁용과 주방용 각 세제간 독성의 차이는 크게 나타나지 않았지만 LC50이나 EC50값이 모두 고농도인 5% 이하로 큰 독성을 나타내었다. 우리나라에서는 1984년 음용수 수질 기준에 0.5 mg/l을 기준으로 하고 있지만, 하 폐수의 방류수에 대한 규제기준은 설정되어 있지 않은 실정으로서 이에 대한 규제기준 마련과 독성을 고려한 수질 규제를 보완할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 인하대학교 1992년도 산업과학기술연구소의 지원으로 이루어졌으며 지원에 깊이 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Anderson, B.G., "The Toxicity Thresholds of Various Substances Found in Industrial Wastes as Determined by the Use of D. magna", Sewage Works Jour., 16 (6), pp1156-1165, 1944.
2. Andrew, R.W., Biesinger, K.E., and Glass, G.E., "Effects of Inorganic Complexing on the Toxicity of Copper to Daphnia magna", J. Water Research, Vol. 11, pp 309-315, 1977.
3. APHA., AWWA., WPCF., Standard Methods, 17th ed., 1989.
4. Beckman Inc., Microtox System Operating Manual, Calsbad, CA, 1992.
5. Biesinger, K.E., Williams, L.R., Schalie, W.H., "Procedures for conducting Daphnia magna toxicity bioassays", USEPA Rept. No. EPA/600/8-87/011, Emsl Las Vegas, NV. 1987.
6. Biesinger, K.E., Andrew, R.A., and Arthur, J. W., "Chronic toxicity of NTA(nitrilotriacetate and metal-NTA complexes to Daphnia magna", J. Fish Res. Bd. Can. 31, pp 486-490, 1973.
7. Biesinger, K.E., and Christensen, G.M., "Effect of various metal on Survial, Growth, Reproduction and Metabolism of Daphnia magna", J. Fish Res. Bd. Can, 29, pp1691-1700, 1972.
8. Bulich, A.A., Tung, K.K., and Scheibner, G., "The Luminescent Bacteria Toxicity Test : Its Potential as an In-Vitro Alternative", Microbics Reference #211, Lux. Genes Symp. Cambridge Univ., 1989.
9. Bulich, A.A., and Isenberg, D.L., "Use of the Luminescent Bacterial System for the Rapid Assessment of Aquatic Toxicity", Instrum. Soc. Am. Trans 20 : 29-33, 1981.
10. Calleja, A., Baldasano, J.M., and Mulet, A., "Toxicity Analysis of Leachates from Hazardous Wastes via Microtox and D. magna", Toxicity Assessment : an International Quarterly, Vol 1, No 1, pp. 73-83, 1986.
11. Dezwart, D., and Slooff, W., "The Microtox as an Alternative Assay in the Acute Toxicity Assessment of Water Pollutants", Aquatic Toxicology, Elsevier Science publ. 4, pp. 129-138, 1983.
12. Frank, E. Guthrie, and Jerome, J. Perry, Introduction to Environmental Toxicology, Elsevier N.Y., pp. 390-403, 1980.
13. Hinwood, A.L., McCormick, M.J., and McCormick, R.J., "Evaluation of the Microtox Technique for Assessment of Toxicity in Waters and Wastewater", Microbics Reference #169, 1990.
14. Holm, J.I., "Osmotic Regulation in D. magna under Physiological Conditions and in the Presence of Heavy Metals", Det kgl Danske vindenskabernes Selskab, Biologiske Meddelelser 20(11), pp. 64, 1948.
15. Qureshi, A.D., Flood, K.W., Thompson, S.R., Junhurst, S.M., Immiss, C.S., and Rokosh D.A., "Comparison of a Luminiscent Bacterial Test with other Bioassays for Determining Toxicity of Pure Compounds and Complex Effluents, "Proc. of the fifth annual symp. on aquatic Toxicology, ASTM publ. No. 766, pp. 179-195, 1982.
16. Sellers, K.E. and Ram, N.M., "Toxicity Assess-

ment of Binary Metal Mixtures Using Bioluminous Bacteria", Microbics Refence #55, 1985.

17. U.S. Environmental Protection Agency, User Guider for A Computer Program for Probit's Analysis of Data from Acute and Short-Term Chronic Toxicity Tests with Aquatic Organisms, EPA, Cincinnati, Ohio 45268, 1988.
18. U.S. Environmental Protection Agency, Generalized Methodology for Conducting Industrial Toxicity Reduction Evaluation (TREs), EPA/600/2-88/070, EPA, Risk Reduction Eng. Lab, Cincinnati, Ohio, 1989.
19. Weber. C.I., et al, "Short-term Method for estimating the chronic toxicity of effluent and receiving water to freshwater organism", U.S. EPA/600/4-89/001, 1989.
21. 김건홍, 김남천, 채수권, "물벼룩에 의한 공장폐수의 毒性豫測", 韓國水文學會, 25(2), pp 61-66, 1992.
22. 김건홍, 안상진, 안복균, S. R. Qasim, "Prediction of Daphnia magna LC50 on Heavy Metal containing Samples", Korea J. of Hydrosciences, vol 2, pp 61-68, 1991.
23. 오 현제 외 4명, 합성세제가 상수처리 공정에 미치는 영향에 관한 연구, 한국건설기술 연구원, pp 1-2, 1991. 12
24. 홍 사욱 외 6명, 합성세제에 의한 수질오염과 안정성에 관한 연구, 성균관대학교 약학대학 부설 약학연구소, 1989.
25. 홍 사욱 외 3명, 합성세제중의 인성분이 수질오염에 미치는 영향, 수질 보전, 제5권, 제2호, pp 47-55, 1989