한국습지학회지 제9권 제1호, 2007년 4월 (21 - 29)

물벼룩과 형광성 박테리아를 이용한 타르색소의 독성평가

추 연 종* / 김 건 흥** / 김 형 수***+

Toxicity Evaluation of Tar Colors by Water Fleas and Luminescent Bacteria

Yeon Jong Choo* / Gun Heung Kim** / Hung Soo Kim***+

요약 : 국내에서는 독성이 강한 화학물질 중 535종을 유독물로 지정하고 있다. 이들 유독물 중 약 10%만이 수질관련 기준으로 관리하고 있다. 타르색소도 화학물질이지만, 수계에 미치는 영향에 대한 자료가 미비한 상태이다. 본 연구에서는 형광 박테리아(Vibrio fischeri)와 큰물벼룩(Daphnia magna)을 이용하여 타르색소에 대한 생물검정을 수행하고자 한다. 국내에서 식용으로 허가되어 있는 7종 중 5종에 대한 타르색소의 독성을 평가하여 향후 연구의 기초자료를 제공하고자 한다. 물벼룩을 이용한 결과 독성순위는 적색 제2호, 황색 제5호, 적색 제3호, 황색 제4호, 청색 제1호순으로 그리고 형광성 박테리아를 이용한 Micorotox 독성시험은 15min-EC50을 기준으로 황색 제5호, 적색 제3호, 적색 제2호, 황색 제5호, 청색 제1호 순으로 나타났다. 타르색소들은 종류에 따라 수서생태계에 미치는 영향이 다르며, 수계에 타르색소들의 독성치 이상이 유출되었을 경우 먹이사슬에 의한 생물농축현상(bioconcentration)으로 수계와 인간에게 영향을 줄 것으로 생각된다.

핵심용어 : 물벼룩, 형광성 박테리아, 타르색소

Abstract : In Korea, we assign the chemical substances of 535 types as toxic substance. Only 10% of the 535 toxic substances are being managed by the Ministry of Environment related with water quality standard. Tar color is also one of chemical substances, but we have the lacks for the information of tar colors about the environmental effects of aquatic ecosystem. This study performed the test of bioassay using Water Fleas and Luminescent Bacteria. The tar has 7 types of colors allowed as the edible color and we evaluate the toxicities of 5 tar colors out of 7 colors and we would like to provide the informations for further study as we perform the toxicity test for the samples of 5 tar colors. We did the toxicity test of using Water Fleas From the results, we obtained the magnitudes of toxicity in order of Red No.2, Yellow No.5, Red No.3, Yellow No.4, Blue No.1. As the result based on Microtox Acute Toxicity Test using Luminescent Bacteria with the standard of 15min-EC50 , we obtained in order of Yellow No.5, Food Red No.3, Red No.2, Yellow No.4, Blue No.1. We could expect the tar colors may have different effects on the aquatic ecosystem, respectively and it may influence to the aquatic ecosystem and the human, because of bioconcentration by food chain when toxicity of the tar colors overflow in the aquatic ecosystem.

Keywords : Water Fleas, Luminescent Bacteria, Tar color

1. 서 론

현재 전 세계적으로 유통되고 있는 화학물질의 수는 10만종에 이르며 국내의 경우 3만 8천여 종의 화학물질이 사용되고 있다. 또한 매년 2천여 종의 화학물질이 개발되고 있으며 국내에서는 매년 300여종의 화학물질이 국내시장에 신규로 등록 및 유통되고 있다. 이러한 화학물질 중 국내

+ Corresponding author : sookim@inha.ac.kr
* 비회원·인하대학교 토목공학과 석사과정
** 비회원·인하대학교 토목공학과 교수
*** 정회원·인하대학교 토목공학과 교수

에서 독성이 강하여 유독물로 지정된 물질은 총 535종이지만, 수질관련 환경기준으로 관리하는 것은 약 10%수준이다.

이러한 물질들이 생물체에 노출될 경우, 대사작용이 감소하거나 유전자 변형을 일으키기도 하며 심한 경우 생물체가 죽음에 이르기도 한다. 이러한 이유로 화학물질이 생물에 미치는 독성효과에 대한 연구가 국내외에서 꾸준히 이루어져 왔다.

색소는 합성색소와 천연색소로 분류되며 천연색소는 식물성색소로서 chlorophyll, carotenoid, antoxanthin, anthocyanin, flavonoid 등과 동물성 색소 hemoglobin, myoglobin 등이 있다. 과거에는 자연계에 있는 식물에서 추출한 색소를 식품착색에 이용하였으나 천연색소는 추출하기가 힘들고 색의 종류가 다양하지 못할 뿐만 아니라 가격이 비싸고 공급도 불충분하며, 가공이나 유통과정 중 색의 변색, 탈색을 일으키는 단점들이 있다. 따라서 최근에는 사용에 제한성이 많은 천연 색소보다는 화학적 안정성이 우수하고 저렴한 가격으로 충분한 공급이 가능한 합성색소가 널리 사용되고 있다.

합성색소도 생물체에 악영향을 줄 수 있는 화학물질 중에 하나이며, 이로 인해 염색폐수의 경우 물벼룩 등을 이용하여 수질 배출 기준에 대한 평가 연구(김영희, 2004) 등이 이루어지고 있다.

현재 인체에 유해한 타르색소가 수계에 유입될 경우 수계에 미치는 독성의 영향에 대한 자료가 미비한 상태이며 수계에 영향검증이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 생물검정을 이용하여 수계에 미치는 영향을 판단하고자 하였다. 생물검정(Bioassay)은 여러 시험 종에 대한 독성물질의 유해성의 특성과 독성영향 등에 관한 물질의 관련 정보를 얻기 위하여 개발되었다. 생물검정은 어떠한 시험유기체에 대한 결과를 기준 유기체에 대한 결과와 비교함으로 대상물질의 상대적인 독성정도를 결정하는 방법이며, 이를 이용한 독성 실험의 연구 동향을 살펴보면 다음과 같다.

물벼룩을 이용하여 독성실험을 한 것은 1929년 Buikema 등(1976)에 의해 시작되었다. Naumann(1933)는 물벼룩을 이용한 산업폐수의 독성측정법을 개발 하였고, Anderson(1944)과 Holm-Jensem(1948)은 산업 폐기물과 중금속을 시료로 사용하여 물벼룩종인 *Daphnia magna*(*D. magna*)에 대한 급성 및 만성 독성을 평가하였다. Biesinger 등(1972)은 금속들이 *D. magna*의 생존, 성장, 번식과 신진대사에 미치는 영향을 연구하였으며, 이들 금속이 *D. magna*에 대한 급성 독성과 만성 독성에 깊은 관계를 가지고 있음을 밝혔다.

국내의 연구동향을 살펴보면, 하헌중(1995)은 물벼룩류인 *D. magna*, *M. macrosopa*, 및 *Simocephalus Vetulus*와 형광성 박테리아에 대한 중금속의 독성효과를 측정하여 상호 민감성을 비교하였다. 신기식(2004)은 11개 산업폐수 배출시설의 수질분석과 함께 *D. magna*와 *V. fischeri*를 이용하여 독성평가와 비교를 하는 연구를 하였다.

형광박테리아를 이용한 독성 실험은 1965년에 처음 행하여졌다(Serat 등.,1965). 당시에는 대기오염물질에 대한 독성을 실험하였으며 이러한 형광성의 변화는 빠르고 민감한 측정법으로 개발에 이용되었다(Ribo 등.,1987).

박테리아를 이용한 실험은 공간요구가 적으며, 시험생물의 확보가 용이하고, 연중을 통하여 시험이 가능하며 시험이 비교적 단순하다는 장점을 갖고 있다. 또한 모든 유해물질에 대체로 민감하게 반응하며 시험비용이 상대적으로 적게 요구된다. 특히 이런 미생물을 이용한 생물검정은 비교적 시험법이 단순하고, 짧은 시간 내에 결과를 얻을 수 있으며 재현성이 양호하고 소량의 시료만으로도 평가가 가능하며 다른 시험생물에 비해 많은 수의 시험생물을 사용함으로써 통계학적인 장점도 갖고 있다(Roop 등., 1985, 임연택, 1990).

이러한 특성으로 말미암아 단일 화학물질에 대한 형광 박테리아 실험은 수없이 많이 행하여 졌으며, 하수처리장의 정상가동여부 평가와 폐수의

평가에도 사용되었다(Qureshi 등., 1982). 그리고 국내에서도 다른 생물검정법에 비하여 상대적으로 많은 결과가 도출되었다. 임연택(1990)은 *Photobaterium phosphoreum*을 이용하여 9종의 단일화학물질과 섬유공업 및 피혁공업 시설 등 6개 산업시설의 원폐수와 방류수의 독성을 평가하였다.

본 연구에서는 시험공간, 시험생물의 확보, 시험의 용이성 및 유해물질에 대한 민감성, 시험비용 등에서 상대적으로 장점을 가지고 있는 물벼룩(*Daphna magna*)과 형광성 박테리아(*Vibrio fischeri*)를 이용하여 타르색소 중 식용으로 허용된 식용색소 적색 제2호, 식용색소 적색 제3호, 식용색소 황색 제4호, 식용색소 황색 제5호, 식용색소 청색 제1호를 시험하여 타르색소의 독성과 수계에 미치는 영향을 판단하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상시료

식용색소적색 제2호(Food Red No.2), 식용색소적색 제3호(Food Red No.3), 식용색소청색 제1호(Food Blue No.1), 식용색소황색 제4호(Food Yellow No.4), 식용색소황색 제5호(Food Yellow No.4)는 모두 타르계 색소로 작물의 염색뿐만 아니라 식품 가공에도 많이 사용되는 합성 색소이며 색소를 이용한 산업의 폐수 발생량은 다른 산업보다 높은 편이다. 그러므로 위의 색소들을 생물 검정의 시료로 선택을 하였다.

2.2 실험재료

2.2.1 물벼룩

물벼룩류(*Daphina magna* 또는 *D. magna*)는 전 세계적으로 11과 52속 450여종이 기록되어 있으며 그 중 우리나라에서 발견되는 종은 총 53종이다. 이 *D. magna*는 절족동물문 갑각강에 속하며, 수계에서는 식물 프랑크톤이나 세균류를 직접 섭식하는 미세초식자로 생태계의 중요한 역할을 한다. 최대크기는 5~6㎜정도로 국내에서 흔히 발견되는 물벼룩보다 크기가 크고 담홍색을 띤 난형(卵形)의 생물이다.

D. magna는 담수에 서식하고 서식 온도 범위는 5~35℃까지로 비교적 넓으며 생식과 성장에 있어서 무성생식(asexual production)과 유성생식(sexual production)을 되풀이하는 세대교번(alternation of generation)을 한다. 세대기간(lifetime)은 온도가 감소함에 따라 길어지며 25도에서는 약 40일, 20℃에서는 약 56일 정도이다. 환경조건이 양호할 경우 2~3일에 간격으로 탈피와 포란을 반복하면서 개체를 증식한다. 생육온도 23℃ 경우 부화된 후 8~10일경에 첫 새끼를 낳기 시작 하는데 1회째에서 통상 6~15마리의 개체를 생산하며, 다음부터는 그 수가 증가하여 20~60 개체까지 생산한다. 서식온도는 5~35℃이나 20℃ ±2 정도가 가장 적합하며 pH는 6.0~10.0정도에서 큰 영향을 받지 않는다.

생식은 주로 무성생식을 하면서 암컷만 생산하는데 먹이부족, 과밀생육 등 환경조건이 나빠지면 숫컷과 암컷 두 종류가 태어나 유성생식을 통해 내구성이 강한 검은 색의 수정란을 2개 정도 만든다.

2.2.2 형광성 박테리아

박테리아는 수중 생태계에서 가장 상위에 있는 분해자로서 작용한다. 수중 생태계의 안전성을 바탕으로 물의 안전성을 확인하기 위해서는 평가하고자 하는 시료의 분해자에 대한 영향도 살펴보아야 한다. 여러 종류의 박테리아가 시험에 사용될 수 있으나 살아 있는 동안 형광을 발하는 형광 박테리아가 다른 박테리아에 비하여 널리 사용되고 있다.

형광성 박테리아는 성장이 빠르고 수생환경에 넓게 분포하며, 표준적 방법으로 그들을 유지 및 성장시키는 비용이 저렴하기 때문에 독성시험에 사용하기가 적합하다. 또한 비교적 단순하고 신속하며, 재현성이 양호하여 소량의 시료만으로도 검

정이 가능하다.

형광성 박테리아(Luminescent Bacteria)의 일종인 *Vibrio fischeri*의 발광도는 420㎚~630㎚이며, 가시광선영역인 490㎚에서 최대치를 나타낸다. 빛의 출력광도는 온도, pH, 염분, 독성물질의 특성과 농도 등 외부여건에 좌우되므로 측정치간의 차이를 최소화하고 측정된 독성물질의 농도차를 줄이기 위해서는 이러한 외부 인자를 엄격하게 조절해야 한다. 일반적으로 사용되는 온도는 15℃이다. 또한 생리적 최적조건에 적합한 pH 범위는 5~9이며 염분농도는 약 20g/ℓ로 염화나트륨을 첨가하여 조절하나 50g/ℓ를 초과해서는 안된다.

2.3 실험방법

2.3.1 물벼룩을 이용한 생물검정방법

본 연구에 사용된 *D. magna*는 한강물환경연구소로부터 분양 받았다. Biesinger 등(1987)은 물벼룩을 배양액으로 자연수를 추천하였으며, 본 실험은 배양액으로는 먹는 생수(크리스탈)를 사용하였다. 배양액을 주기적으로 교환하지 않으면 배설물이나 탈피한 표피가 축적되어 물벼룩에 악영향을 주거나 수컷, 또는 교배란이 발생되므로 24시간 주기로 배양액을 교체하였다. 물벼룩을 새로운 배양액으로 옮기기 위해서는 끝부분이 잘 손질되어 교체시 물벼룩에 손상을 주지 않는 pipette을 사용하였으며 옮길 때에는 물벼룩이 공기에 접촉이 않되도록 하였다.

물벼룩을 사육시 Standard Methods에 의해 조도 500~1000lux, 온도는 20±2℃를 유지하고 시험전후의 pH는 7.0-7.5, 조명시간은 16hr/day인 조건으로 항온조에서 배양하였다. 사육용기는 전부 화학물질에 전혀 노출된 적이 없는 유리제품으로 사용하였다. 공급된 먹이는 상업용 클로렐라를 하루에 한번 일정량을 사용하였다.

물벼룩의 배양은 각 날짜별로 분류된 배양기에 대략 30~50마리씩 넣고, 매일 물을 갈아 주고, 배양기당 2.5~3.0ml의 먹이를 공급하였다. 시험종에 사용되는 물벼룩은 3~4주된 어미가 낳은 6~24시간 된 유생으로, 매일 배양기에서 어미와 유생을 분리하여 준비하였다.

시험은 24시간과 48시간 LC50(Lethal concentration 50%)의 급성독성 시험으로 Standard Method에 의해 범위조사시험(Range assay)을 한 후, 확정시험(Definitive assay)을 하였다. 125ml의 비이커에 100ml의 시험용액을 넣은 후, 10마리의 물벼룩 유생을 넣어 각 농도별로 3개씩 준비하였다. 또한 시험기간 중 증발을 억제하기 위하여 각 비이커를 파라필름으로 덮었으며, 정적시험으로 시험시간 중 먹이 공급을 중단 하였다(APHA, 등, 1995).

물벼룩 독성시험에서 LC50은 한 무리의 실험동물의 50%를 죽이게 하는 독성물질의 농도를 의미한다.

2.3.2 형광성 박테리아를 이용한 생물검정방법

대상 시료들의 각각의 독성정도를 알아보기 위하여 Microtox 급성독성시험(Acute Toxicity Test)을 수행한다. 형광성 박테리아에 의한 독성시험은 Microtox Model 500 Analyzer (Strategic Diagnostics Inc., Newark, New Jersey, USA)를 사용하여 측정하였다. Microtox Model 500 측정기의 구성은 빛 발산량을 측정할 수 있는 측정구(Read Well)와 동결 건조된 형광성 박테리아를 활성시키는 Reagent Well 그리고 15℃로 유지되는 항온구(Well)로 구성되며, 항온구에는 3㎖ 시험관이 30개가 들어갈 수 있게 배열되어 있다. Microtox를 이용한 독성시험 방법 중 Narrow(1:1.5) Serial Dilution 방법은 1:2 serial 희석으로 실험시 매우 가파른 양반응 곡선을 나타내는 샘플에 대하여 적용하는 희석방법으로, Microtox Omin 소프트웨어를 사용시 Reagent의 초기 빛발산량(I_0), 시간경과 후에 감소된 빛발산량(I_t) 측정값이 Database에 저장 되며, 측정값으로 실시간으로 EC50(Effective Concentration 50%)을 계산한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생물검정의 결과 및 분석

3.1.1 물벼룩에 의한 생물검정

물벼룩을 이용한 각각 색소들의 독성시험은 24시간, 48시간 동안 색소에 노출 후 급성 독성값을 구하였으며 각각의 결과를 Table 1과 같이 나타내었다.

물벼룩(*D. magna*)을 이용한 급성독성 실험결과 대상 시료인 적색 2호, 적색 3호, 황색 4호, 황색 5호, 청색 1호의 24hr-LC_{50}은 각각 14006.59ppm, 379.24ppm, 4095.334ppm, 16168.38ppm, 23716.43ppm과 같고 48hr-LC_{50}은 각각 12927.76ppm, 210.5685ppm, 3939.321ppm, 14151.5ppm, 22257.4ppm이었으며, 이상의 결과를 종합하면 아래의 Fig. 1과 같다.

물벼룩의 경우 적색 3호가 가장 큰 독성을 가지고 있는 것으로 판단되며, 청색 1호가 가장 낮은 독성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

Table 1. LC_{50}(ppm) Value of *D. magna*

	24hr-LC_{50}	95% confidence limit	48hr-LC_{50}	95% confidence limit
R2(적색2호)	14006.5900	13548.1800 ~ 14666.1800	12927.7600	12535.6400 ~ 13322.4000
R3(적색3호)	379.2420	303.3386 ~ 539..2812	210.5685	168.4251 ~ 250.6144
Y4(황색4호)	16168.3800	15577.3900 ~ 17190.1500	14151.5000	13478.7400 ~ 14649.2400
Y5(황색5호)	4095.3340	4037.0360 ~ 4197.0140	3939.3210	3879.5380 ~ 3987.0900
B1(청색1호)	23716.4300	23165.1600 ~ 24509.6700	22257.4000	21719.3500 ~ 22684.2200

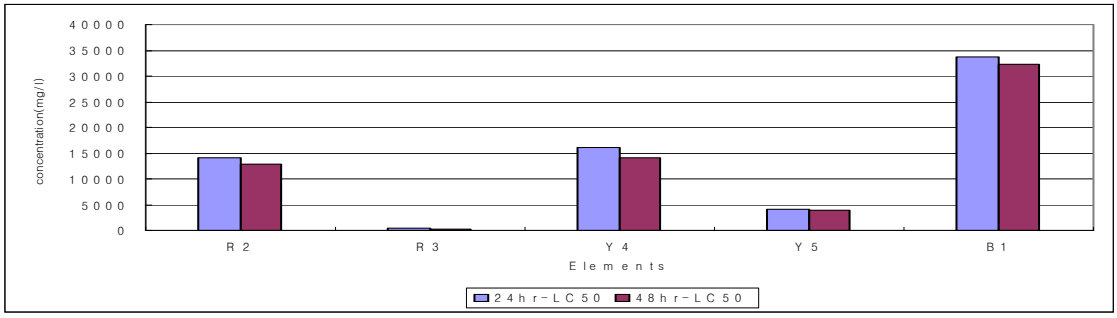

Fig. 1 Fatal Concentration of *D. magna*

Table 2. Toxicity Order of *D. magna*

	독성 순위
24hr-LC_{50}	적색 3호 > 황색 5호 > 적색 2호 > 황색 4호 > 청색 1호
48hr-LC_{50}	적색 3호 > 황색 5호 > 적색 2호 > 황색 4호 > 청색 1호

3.1.2 형광성 박테리아에 의한 생물검정

각각의 색소들에 따라 영향을 받는 형광성 박테리아의 효과농도는 5min-EC_{50}, 15min-EC_{50}, 30min-EC_{50}은 Table 3과 같이 나왔다.

Microtox를 이용한 급성독성 실험결과 대상 시료인 적색 2호, 적색 3호, 황색 4호, 황색 5호, 청색 1호의 5min-EC_{50}은 각각 3910ppm, 1786ppm, 14140ppm, 1984ppm, 36120ppm과 같고 15min-EC_{50}은 각각 4533ppm, 3079ppm, 15860ppm, 1975ppm, 35040ppm과 같고 30min-EC_{50}은 각각 4509ppm, 2318ppm, 15360ppm, 1571ppm, 29230ppm과 같다. 이상의 결과를 정리하면 아래의 Fig. 2와 같이 나왔다.

형광성 박테리아의 5min-EC_{50}의 독성 순위는 Table 4와 같이 나왔다.

3.2 형광성 박테리아와 물벼룩의 시료별 비교

Fig. 3~Fig. 7을 비교하여 보면 각각의 시료들이 형광성 박테리아와 큰물벼룩의 민감성에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 따라서 적색 3호와 청색 1호만이 물벼룩이 더 민감한 것으로 판단되며, 일반적으로 물벼룩 LC_{50}이 형광성 박테리아 EC_{50}

Table 3. EC_{50} value of *v. fischeri*

	5min-EC_{50}	95% confidence range	15min-EC_{50}	95% confidence range	30min-EC_{50}	95% confidence range
R2	3910	3692 ~ 4141	4533	1980 ~ 10380	4509	1237 ~ 16430
R3	1786	1399 ~ 2284	3079	1227 ~ 7725	2318	94.80 ~ 56630
Y4	14140	13650 ~ 14640	15860	15860 ~ 16700	15360	14660 ~ 16080
Y5	1984	1784 ~ 2206	1975	1416 ~ 2757	1571	1233 ~ 2002
B1	36120	3028 ~ 43090	35040	29310 ~ 41900	29230	27220 ~ 31390

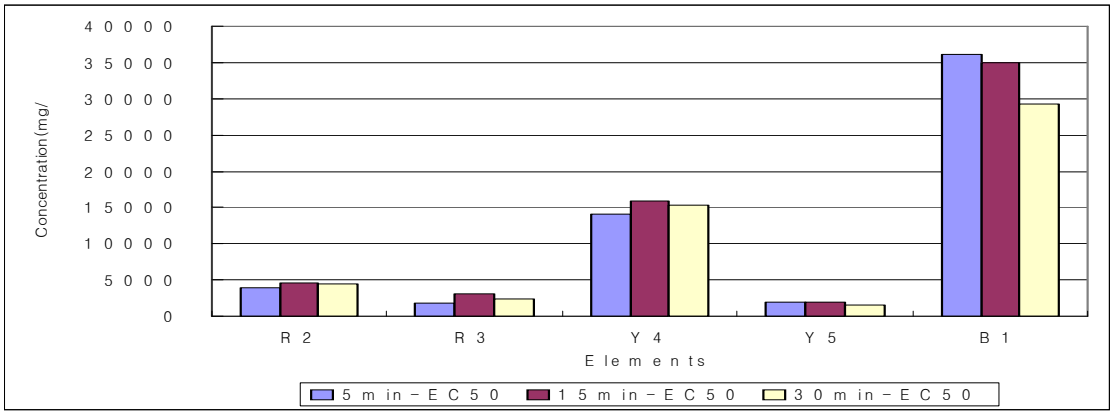

Fig. 2 Effective Concentration of *v. fischeri*

Table 4. Toxicity Order of *v. fischeri*

	독성 순위
5min-EC_{50}	적색 3호 > 황색 5호 > 적색 2호 > 황색 4호 > 청색 1호
15min-EC_{50}	황색 5호 > 적색 3호 > 적색 2호 > 황색 4호 > 청색 1호
30min-EC_{50}	황색 5호 > 적색 3호 > 적색 2호 > 황색 4호 > 청색 1호

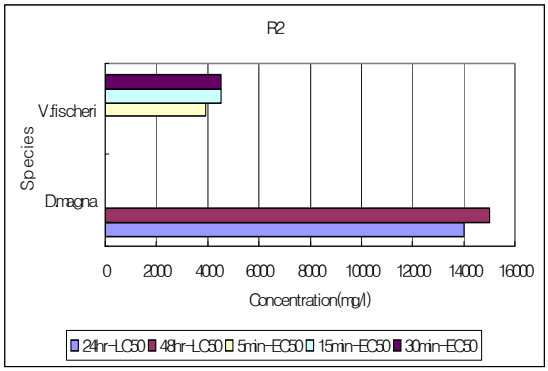

Fig. 3 Fatal and Effective Concentrations of Red No.2

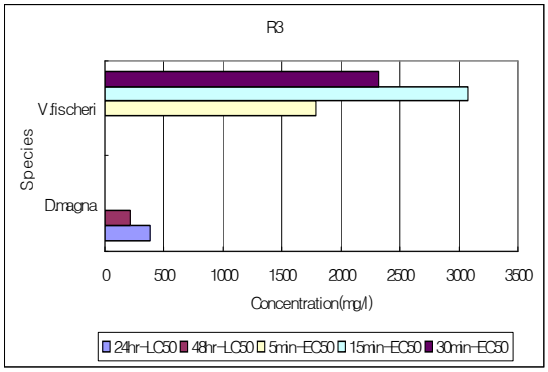

Fig. 4 Fatal and Effective Concentrations Red of No.3

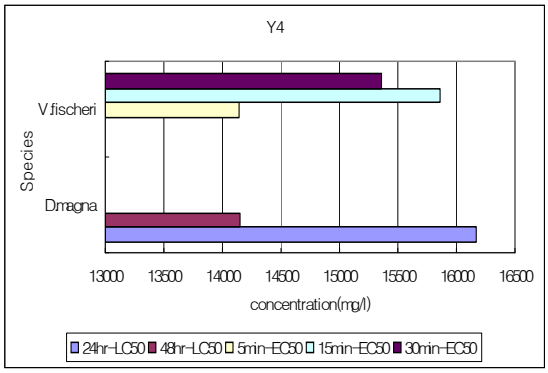

Fig. 5 Fatal and Effective Concentrations Yellow of No.4

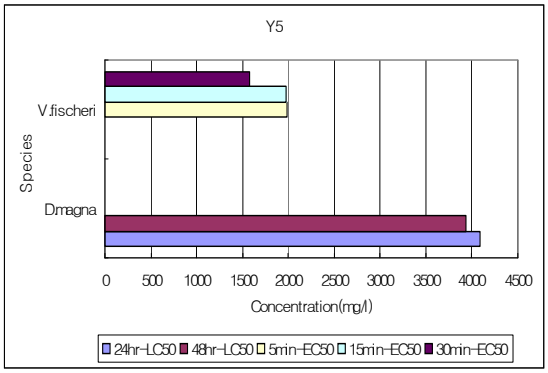

Fig. 6 Fatal and Effective Concentrations Yellow of No.5

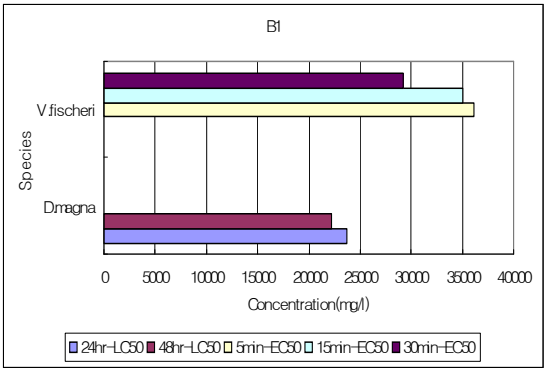

Fig. 7 Fatal and Effective Concentrations Blue of No.1

보다 상대적으로 민감한 반응을 보이나, 본 실험에서는 적색 3호와 청색 1호를 제외하고는 하고는 모두 형광성 박테리아가 민감한 반응을 보였다. 이는 물벼룩과 형광성 박테리아의 서로 다른 생리구조 때문으로 사료된다.

물벼룩을 이용한 24hr-LC_{50}와 24hr-LC_{50} 그

리고 형광성 박테리아를 이용한 5min-EC_{50}의 독성순위는 적색 3호, 황색 5호, 적색 2호, 황색 4호, 청색 1호 순으로 나왔으나, Microtox 급성독성시험의 15min-EC_{50}와 30min-EC_{50}의 경우 적색 3호와 황색 5호의 순위가 바뀌었고, 다른 시료들의 독성순위는 바뀌지 않은 황색 5호, 적색 3호, 적색 2호, 황색 4호, 청색 1호 순으로 나왔다. 물벼룩과 형광성 박테리아 모두 청색 1호의 경우 가장 독성이 작은 것으로 나왔다.

실험에 사용한 색소들은 식용으로 사용되는 색소들이다. 이 색소들은 우리가 먹는 음식물 중에서도 흔히 접하는 빙과류, 빵, 음료수 등에 많이 쓰이며, 단독으로도 사용빈도가 높지만 혼용해서 사용 하는 경우도 많이 있다. 많이 사용되는 만큼 많은 양이 폐수로 버려진다. 이런 색소들이 수계에 노출될 경우, 어패류나 농작물에 흡수되고, 그 오염된 동식물을 인간이 섭취해서 간접적으로 영향을 줄 수도 있다.

4. 결 론

본 연구는 타르색소 중 국내에서 식용으로 사용되는 적색 2호, 적색 3호, 황색 4호, 황색 5호, 청색 1호에 대하여 독성평가 실험을 수행하였다. 시험공간, 시험생물의 확보, 시험의 용이성 및 유해물질에 대한 민감성, 시험비용 등에서 상대적으로 장점을 가지고 있는 형광 박테리아와 물벼룩을 이용하여 독성을 평가의 실험 결과와 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 형광성 박테리아를 이용한 적색 2호, 적색 3호, 황색 4호, 황색 5호, 청색 1호의 5min-EC_{50}은 각각 3910ppm, 1786ppm, 14140ppm, 1984ppm, 36120ppm이었으며, 15min-EC_{50}은 각각 4533ppm, 3079ppm, 15860ppm, 1975ppm, 35040ppm나왔다. 그리고 30min-EC_{50}은 각각 4509ppm, 2318ppm, 15360ppm, 15360ppm, 1571ppm, 29230ppm이었다. 형광성 박테리아의 독성순위는 5min-EC_{50}일 때 적색 3호, 황색 5호, 적색 2호, 황색 5호, 청색 1호순이며, 15min-EC_{50}일 때와 30min-EC_{50}일 때는 황색 5호, 적색 3호, 적색 2호, 황색 5호, 청색 1호 순으로 나타났다.

(2) 큰물벼룩을 이용한 적색 2호, 적색 3호, 황색 4호, 황색 5호, 청색 1호의 24hr-LC_{50}은 각각 14006.59ppm, 379.24ppm, 16168.38ppm, 4095.33ppm, 23716.43ppm으로 나왔으며, 48hr-LC_{50}은 각각 12927.76ppm, 210.57ppm, 14151.50ppm, 3939.32ppm으로 나왔다. 물벼룩의 독성순위는 24hr-LC_{50}일 때와 48hr-LC_{50}일 때는 적색 3호, 황색 5호, 적색 3호, 황색 4호, 청색 1호순으로 나왔다.

(3) 5종의 타르색소의 급성독성시험결과 물벼룩시험에서 가장 큰 독성을 나타낸 적색 3호는 24hr-LC_{50}을 기준으로 약 60배 정도이며, 형광성 박테리아는 15min-EC_{50}을 기준으로 황색 5호가 청색 1호보다 19배 정도로 크게 나왔다.

이상 결과를 통해 색소마다 독성이 상이한 것을 알 수 있으며, 수계에 미치는 영향도 다름을 알 수 있다. 그러나 색소는 혼용으로도 많이 사용되므로 혼용과 만성에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 결과로 얻어진 독성치보다 높은 농도가 유출되었을 경우 먹이사슬에 의한 생물농축현상(bioconcentration)으로 인해 수계와 인간에게까지 영향을 줄 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

김영희(2004), "염색폐수의 급·만성 수질독성시험을 이용한 한국의 수질배출허용기준 평가 연구", 서울대학교 보건대학원, 석사학위 논문

신기식(2004), "생물검정을 통한 산업폐수 수질평가", 한양대학교 대학원, 석사학위 논문.

임연택(1990), "Photobacterium phosphoreum을 이용한 폐수의 생물학적 처리성 평가", 동국대학교 대학원, 박사학위 논문.

하헌중(1995), "물벼룩과 형광성 박테리아를 이용한 금속의 독성평가", 인하대학교 대학원, 석사학위 논문.

Anderson B. G.(1944), "The Toxicity Thresholds of Various Substances Found in Industrial Wastes as Determined by Use of D.magna" Sewage Works Journal, Vol.16 NO.6 pp.1156~1165

APHA, AWWA., and WPCF.(1995), Standard Method, 19th ed, pp. 8-4~8-6, pp. 8-57~8-84

Biesinger, K. E., and Christensen, G. M.(1972), "Effects of Various Metals on Survival, Growth, Reproduction and Metabolism of D.magna", Vol.29 No.12, pp. 1691~1700

Biesinger, K. E., et al(1987). "Procedure for Conducting D.magna Toxicity Bioassays" US EPA Rept, No EPA/600/8-87/011 EMSL Las Vegas, NV

Buikema A. L. Jr., Lee, D. R., Cairns, John, Jr.(1976), "A Screening Bioassay Using Daphnia pulex for Refinery Wastes Discharged into Freshwater", Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, Vol.4 No.2 pp. 119~125

Holm-Jenden I.(1948), "Osmotic Regulation in D.magna under Physiological conditions and in the Presence Heavy Metals" Det kg1 Danskevindenskabernes Selskab, Biologiske Meddelelser, Vol.20 No.11, p64

Naumann, E.(1933), Die Anwendung der D.magna - Probe fuer Luftanalysen, K. Fysiografiska Saellskapet I. Lund, Foerhandlingar, 3, pp. 54~60

Qureshi, A. A., *et al*.(1982), 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 pub1. No.766, pp. 176~195

Ribo, J. M., Kaiser, K. L. E.(1987), Photobacterium phosphoreum Toxicity bioassay. 1. Test procedures and applications, an international quarterly Vol.1, pp. 305~323

Roop, R. D. and Hunsker C.T.(1985), "Biornonitoring for Toxic Control in NPDES Perrnitting" J, of Water pollution control Federation, Vol.57 NO.4 pp.271~277

Serat, W. F. E. Budinger, and P. K. Mueller(1965), "Evaluation of biological effects of air pollutants by the use of luminescent bacteria." j. Bact. 90, pp. 832~833