

## 조선소 배출수 및 주변 하천수의 생물독성

서진영<sup>1</sup> · 김기범<sup>2,†</sup> · 안준건<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구원 남해연구소, <sup>2</sup>경상대학교 해양환경공학과 해양산업연구소

# Biological Effect of Effluents from Shipyard and the Adjacent Stream Water on Four Cultured Organisms

Jin-Young Seo<sup>1</sup>, Gi Beum Kim<sup>2,†</sup> and Joon-Geon An<sup>2</sup>

<sup>1</sup>South Sea Institute, KORDI, Geoje 656-830, Korea

<sup>2</sup>Department of Marine Environmental Engineering, Marine Industry Institute, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

### 요 약

조선소에서 배출되는 처리수, 혼합방류수 및 주변 하천수가 양식 생물에 미치는 생물 독성영향을 알아보기 위해 48 시간 급성독성과 DNA 손상을 조사하였다. 조사대상 생물종으로는 조선소 주변에서 양식되고 있는 넙치, 조피볼락, 피조개, 멧게가 사용되었으며, 48 시간 노출 후 치사율을 파악하였고, DNA 손상 정도는 Comet assay를 이용하여 측정되었다. 급성독성 실험 결과, 넙치는 장평천에서 치사가 나타났고(26%), 조피볼락은 혼합방류수 1에서 치사가 나타났다(13%). 멧게는 고현천에서 10%의 치사율을 보였고, 피조개는 어느 시료에서도 치사가 나타나지 않았다. 본 연구에 사용되었던 어떠한 시료에서도 실험생물을 50%까지 치사시키는 독성이 나타나지 않아 LC<sub>50</sub>은 계산될 수 없었다. 넙치는 장평천과 혼합방류수에서 대조구보다 유의하게 높은 DNA 손상을 보여주었고, 조피볼락은 장평천에서 유의하게 높은 DNA 손상이 나타났다(p<0.05). 멧게는 세탁폐수에서 유의한 DNA 손상이 나타났지만, 피조개에서는 모든 처리구에서 DNA 손상을 보이지 않았다. 치사율과 DNA 손상을 고려하였을 때 조선소의 처리수와 혼합방류수보다는 장평천에서 높은 생물독성을 보여주는 것으로 나타났다.

**Abstract** – In order to know the biological effect of effluent from shipyard and the adjacent stream water on four organisms (flatfish, rockfish, sea squirt and arkshell) cultured around the shipyard, lethal rate and DNA damage were measured after 48 hr exposure and carried out by a single cell gel electrophoresis, namely comet assay. LC<sub>50</sub> (48 hr) could not be calculated in any organism 48 hours after exposure to effluent from shipyard and stream water, because all organism showed a lethal rate lower than 20 %. Regardless of no acute toxicity, DNA damage of flatfish and rockfish was detected higher in Jang-Pyoung stream than in control, whereas sea squirt revealed higher DNA damage in laundry waste water. From these results, Jang-Pyoung stream seemed to have a relatively higher genotoxicity rather than effluent from shipyard.

**Keywords:** Lethal rate (치사율), Comet assay, DNA damage (DNA 손상), Shipyard effluent (조선소 배출수), Acute toxicity test (급성독성실험)

### 1. 서 론

삼성중공업 앞 고현만에는 조선소로부터의 배출수 외에도 많은 생활폐수가 주변하천을 통해 유입되고 있다. 일반인들의 인식과는 다르게 공장 배출수는 처리를 거쳐 배출되기 때문에 비교적 낮은 급성독성을 일으키는 것으로 알려져 있다(Dizer *et al.*[2002]). 그

럼에도 불구하고 더 많은 연구에서 이러한 배출수들은 여전히 위험한 물질을 가지고 있으며, 오랜 기간 동안 생물체내에 축적되어 유전독성과 호르몬의 변화 등을 일으키는 것으로 알려져 있다 (Pessala *et al.*[2004]).

일반적으로 조선소로부터의 배출수 중 가장 문제가 되는 성분 중의 하나가 방오도료이다(Walker *et al.*[2005]). 방오도료의 주 독성성분으로 사용되었던 유기주석화합물(tributyltin, TBT)은 비표적생물에도 강한 독성을 보여 많은 해양생물의 성장, 발생 그리고

<sup>†</sup>Corresponding author: kgb@gksnu.ac.kr

생식에서의 장애 및 DNA 손상을 유도하여 결국 생존에 영향을 일으킨다(Fernandez-Alba *et al.*[2002]; Hagger *et al.*[2002]). 이러한 DNA 손상이 심각한 경우 DNA 복제억제, 돌연변이 유발 및 DNA로부터 RNA로의 완전한 전사가 일어나지 않아 특정 효소의 발현이 저해되어 생물에 심각한 악영향을 일으키게 된다. 이는 결국 효소활동저해, 일반대사 기능저하, 세포내 기능손상, 성장저해, 조직 혹은 기관위축 및 기능저하, 성장둔화, 면역기능저하, 노화, 생식기능저하, 주위환경에 대한 적응력 저하 등을 야기시킬 수 있다. 이러한 DNA 손상은 생체 내 생리 이상으로 인해 결국 종의 소멸을 가져와 먹이 연쇄과정을 타고 생태계 전체에 심각한 문제를 일으키게 된다(Kurelec[1993]).

일반적으로 급성독성시험에 사용되어지는 생물로는 ASTM[2002]에서 지정한 파랑볼우럭(bluegill sunfish)과 무지개송어(rainbow trout) 등이 있다. 그러나 본 연구에서는 특정 화학물질을 제조하거나 이용하는 공장이 아니라, 조선소에서 나오는 배출수와 주변 하천수를 대상으로 하였으므로 그 주변에서 현재 양식되고 있는 네 가지 양식 생물종들(넙치, 조피볼락, 멍게, 피조개)을 이용하여 이들 생물에 미치는 생물독성 영향을 살펴보았다. 이러한 생물학적 영향을 알아보기 위하여 48 시간 급성독성시험과 comet assay를 이용하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시료 채취

거제에 위치한 조선소 내 처리수 3개 정점(처리시설을 거쳐 나오는 배출수; 산세척수(A), 세탁폐수(L), 오수(G))와 혼합방류수 3개 정점(처리시설을 거치지 않은 배출수와 공장을 통과하는 하천이 혼합되어진 배출수; M1, M2, M3), 그리고 조선소 주변 하천수 3개 정점(고현천, 장평천, 연초천)에서 시료를 채취하였다(Fig. 1). 각각의 시료는 40L씩 채취하여 각 실험생물종에 노출하였다. 넙치는 2004년 8월에, 조피볼락은 11월, 피조개와 멍게는 12월에 채취한 시료로 실험을 실시하였으며, 9개 정점에서 동일 시기에 시료를 채취하여 위 양식생물종에 대해 독성시험을 실시하였다. 시료는 충분한 양을 채취하여 즉시 사용하였고, 여분의 시료는 -20 °C 이하에서 냉동 보관하며 차후 노출실험에 재사용하였다.

### 2.2 실험생물

본 연구를 위해 4종의 양식생물종이 사용되었다. 넙치(*Paralichthys olivaceus*)는 길이 7~10 cm인 개체를 국립수산과학원 어류육종센터에서 제공받아 사용하였다. 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)은 길이 7~12 cm 범위로 경남 통영 양식장에서 구입하였다. 멍게(*Halocynthia roretzi*)는 5~8 cm 개체로 국립수산과학원 양식환경연구소에서 제공받았다. 피조개(*Scapharca broughtonii*)는 크기 7~10 cm의 개체를 통영인근의 양식업자에게서 제공받아 사용하였다.

### 2.3 노출 조건

실험에 사용되어진 모든 생물은 해산종이므로 실험에 앞서 모

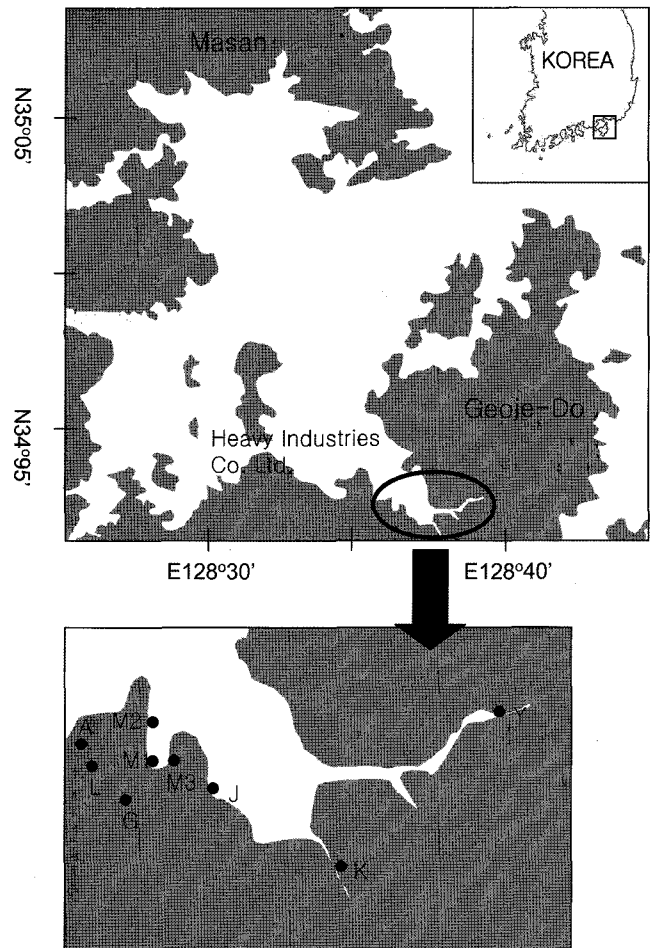


Fig. 1. Sampling station of study area (A: acid-rinsing water, G: sewage, L: laundry waste water, M1, M2, M3: mixture effluent water, J: Jang-Pyoung stream, K: Ko-Hyun stream, Y: Youn-Cho stream).

든 시료수는 수입산 해수염(Sera Premium, Sera Company, Germany)을 이용하여 염분(35 psu)을 맞추었으며, 묽은 염산을 이용하여 수 소이온농도(pH 8.0)를 조절하였다. 어류는 40L의 수조에 각 15개체를, 멍게와 피조개는 각 20개체를 넣어 48시간 이후 치사율을 측정하였다. 48시간 노출 동안에는 사료를 제공하지 않았으며, 광주기는 12L/12D로 설정하였다. 공기는 산소펌프로 주입하였으며, 각 생물종이 서식하기에 알맞은 수온을 유지하도록 하였다. 모든 노출실험에는 여과되어진 통영해수(S)와 염분이 조절되어진 수돗물(W.S)이 대조구로 포함되어 수행되었다.

### 2.4 실험방법

#### 2.4.1 치사율 평가

어류의 경우 수면위로 떠오르거나 바닥으로 가라앉은 개체를 치사한 것으로 판단하였으며, 멍게는 표피가 물렁해지거나 주름이 심하게 잡히고, 손으로 움켜잡았을 때 체액이 힘없이 빠져나온 것을 치사로 판단하였다. 피조개의 경우에는 자극을 주어 껍질이 닫히지 않거나, 전혀 반응이 없을 때 치사한 것으로 판단하였다.

2.4.2 DNA 손상 평가

2.4.2.1 세포추출

48시간 반치사 실험 후, 생존한 개체를 대상으로 수조 당 4마리씩 DNA 손상 실험을 실시하였다. 어류의 경우, 항문보다 약간 위쪽에 주사기(Sterile hypodermic syringe, 1 ml, 25 G)를 주입하여 배주동맥으로부터 혈액을 채취하였다. 혈액 10~100 µl를 뽑아 Hank's balanced salt solution(HBSS) 1 ml로 희석하여 원심분리 후 혈장을 제거하여 혈구 세포만을 실험에 이용하였다.

멍게는 표피하부에 주사기를 주입하여 체액을 채집하였다. 어류 혈액과 마찬가지로 체액 10~100 µl 정도를 뽑아 HBSS 1 ml로 희석하여 원심분리 후 사용하였다. 피조개는 아가미조직을 실험에 이용하였다. 아가미 조직을 약 2×2 mm의 크기로 떼어내어 HBSS 1 ml와 함께 조직분말기 (tissue grinder)에서 갈아 아가미 세포를 조직에서 분리한 후, 상등액을 원심분리관에 옮겨 담아 사용하였다.

2.4.2.2 Comet assay 실험법

Comet assay 실험은 Singh *et al.*[1988]의 실험법을 바탕으로 일부 수정하여 실시하였다. 채취된 세포는 마이크로 원심분리관에서 HBSS 1 ml로 희석하여 어류 및 이매패류는 5,000 rpm, 멍게는 10,000 rpm에서 5분간 원심분리를 하였다. 원심분리 후 상등액을 제거하고, 0.65% low melting agarose(LMA) 50 µl로 재부유시켜 1% normal melting agarose(NMA)로 코팅된 슬라이드에 25 µl를 취해 슬라이드 상단부분에 놓고 커버글라스를 덮었다. 나머지 25 µl에 다시 LMA 500 µl를 넣고 재부유시켜 25 µl를 취해 슬라이드의 하단부분에 놓고 커버글라스로 덮는다. 약 3분간 얼음 위에서 응고시킨 후, 0.65% LMA 25 µl로 재코팅시켜 얼음 위에서 다시 3분간 응고시켰다. 그 후 커버글라스를 제거하고 lysis buffer solution (2.5 M NaCl, 0.1 M EDTA, 0.01 M Tris-HCl, 10% dimethyl sulfoxide, 1% Triton X-100)이 담긴 coplin jar에 넣고 2시간 이상 4 °C에서 보관하였다. 4 °C 증류수에 슬라이드를 넣어 염을 제거하여 준 후 슬라이드를 unwinding buffer solution(0.2 N NaOH, 1 mM EDTA, pH>13, 4 °C)이 든 coplin jar로 옮겨 15분간 4 °C에서 보관한 후, 전기영동기에 슬라이드를 넣고 unwinding buffer solution으로 채워, 25 V, 300 mA에서 25분간 전기영동을 실시하였다. 이 때 손상된 DNA 단일가닥은 (+)극으로 이동하게 된다. 전기영동이 끝난 슬라이드는 중성화시키기 위해 0.4 M Tris-HCl solution(pH 7.5)에 2분 간격으로 3회 세척하여 주었다. 그리고 4 °C 에탄올에 5분간 담아둔 후 실온에서 건조시켰다. 건조된 슬라이드는 20 µl ethidium bromide 용액으로 염색하여 형광현미경(Nikon Eclipse E200)으로 200배 배율에서 관찰하였다.

각각의 슬라이드에서 50개의 핵을 분석하여 컴퓨터 이미지 프로그램(Komet version 5, Kinet Imagine Ltd.)을 이용하여 DNA tail moment(부서진 DNA 꼬리의 길이(µm) x 꼬리부분에 있는 DNA(%))를 계산하였다. 대조구와 처리구의 차이는 student t-test를 이용하여 구하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 조선소 배출수 및 주변 하천수에서 특정오염물질의 잔류 농도

동일 지점에서 4계절에 걸쳐 실시한 연구(한국해양연구원[2005])에 의하면 조선소에서 처리공정을 거쳐 배출되는 처리수(A, L, G)에서 유기주석화합물(TBT)과 다핵방향족탄화수소화합물(PAHs)의 평균농도는 각각 2 ng/L와 5 ng/L보다 낮게 나왔으며, 주변 하천수 중에서 장평천(J)(TBT; 2.5 ng/L, PAHs; 45 ng/L)을 제외한 다른 하천수들(K, Y)에서는 낮은 값(TBT<1 ng/L, PAHs<15 ng/L)을 보여주었다. 반면, 처리공정을 거치지 않고 배출수와 공장 안을 통과하는 하천수와 혼합되어 배출되는 혼합방류수(M1, M2, M3) 중 M1은 조사대상의 시료들 중에서 가장 높은 TBT (1510 ng/L)와 PAHs (90 ng/L) 농도를 보였으며, 나머지 M2와 M3은 TBT의 경우 각각 22, 25 ng/L의 값을 보여 하천수와 처리수에 비해 상당히 높은 값을 보였고, PAHs의 경우 11, 33 ng/L로 하천수와는 비슷하나 처리수보다는 높은 농도값을 보여주었다.

3.2 치사율

넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 경우 장평천 하수에 48시간 노출시켰을 때 26%의 치사율을 나타내었다(Table 1). 96시간까지 노출시간을 연장시켰을 때, 장평천에서만 80%까지 치사가 나타났으며, 다른 시료에서는 치사가 나타나지 않았다. 넙치는 상업적으로 가치가 높아 우리나라를 비롯한 중국과 일본 등에서 많이 양식되고 있는 종으로 (Cho *et al.*[2006]) 생태 연구가 많이 진행되었지만, 독성 실험에는 소수의 연구에만 이용되어(Jung *et al.*[2001]) 넙치에 있어서 특정 화학물질에 대한 민감성 차이를 알아내기 어려웠다. 넙치에게 가장 높은 치사율을 보인 장평천 (J)에서의 화학물질 농도(TBT 3.3 ng/L, PAHs 45 ng/L)는 높은 편이 아니었으나(한국해양연구원[2005]), 시료 채취 당시 다른 시료들에 비해 상당한 악취가 발생하였다.

조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 혼합방류수 1(M1)에서만 48시간 노출에서 13%의 치사율을 보였다(Table 1). 혼합방류수 1에서 검출된 TBT의 농도는 4계절에 걸쳐 1,106~2,392 ng/L이며, PAHs 또한 3.9~163 ng/L로 시료중에서 가장 높은 값을 보여주었다. 이는 혼합방류수 1의 방류구 후면에 위치한 선박페인트 도장 공장에서 흘러나오는 배출수에 의한 오염으로 사료되어진다(한국해양연구원[2005]). 이들 대표 오염물질들이 넙치와는 다르게 조피볼락에게만 특이하게 독성을 일으킨 것을 판단된다.

멍게(*Halocynthia roretzi*)는 고현천에서만 48시간 노출에서 10%의 치사율을 보였다(Table 1). 하지만, 고현천 시료에서 측정되어진 오염물질의 농도는 처리수와 비슷한 수준으로 모두 매우 낮았다.

피조개(*Scapharca broughtonii*)는 모든 시료에서 치사가 나타나지 않았다(Table 1). 어류에 비해 이매패류에서 낮은 치사를 보인 것은 이매패류의 경우 여과섭식을 통해 선택적 먹이 흡수가 가능하고(Savina and Pouvreau[2004]), 서식환경이 좋지 않을 경우 패

**Table 1.** Result of acute toxicity test (lethal rate) and genotoxicity test (DNA damage)

Species	<i>P. olivaceus</i>		<i>S. schlegli</i>		<i>H. roretzi</i>		<i>S. broughtorii</i>	
	Lethal rate (%)	DNA damage	Lethal rate (%)	DNA damage	Lethal rate (%)	DNA damage	Lethal rate (%)	DNA damage
S	0	0.99±0.15 (4)	0	7.98±2.60 (4)	0	1.06±0.10 (3)	0	13.47±2.34 (4)
W.S	0	1.45±0.59 (8)	0	9.25±2.44 (4)	0	0.92±0.35 (4)	0	13.45±4.16 (3)
A	0	2.35±1.33 (4)	0	5.09±1.88 (4)	0	0.94±0.26 (4)	0	12.63±3.93 (3)
L	0	2.09±0.80 (4)	0	4.38±2.97 (4)	0	2.17±0.97* (4)	0	14.16±9.91 (4)
G	0	1.17±0.44 (4)	0	7.23±2.00 (3)	0	1.22±0.25 (4)	0	16.53±3.11 (3)
M1	0	2.79±1.14* (4)	13	8.70±3.91 (4)	0	1.00±0.73 (3)	0	14.99±6.10 (4)
M2	0	3.13±0.42* (4)	0	8.24±3.83 (4)	0	1.41±0.41 (4)	0	16.59±3.47 (4)
M3	0	1.84±1.56 (4)	0	9.31±4.03 (4)	0	2.16±1.35 (3)	0	15.22±2.11 (4)
J	26	2.73±0.88* (3)	0	17.4±3.29* (3)	0	1.34±1.38 (4)	0	15.89 (1)
Y	0	2.35±1.33 (4)	0	11.51±4.66 (4)	0	1.23±0.83 (3)	0	13.89±4.81 (2)
K	0	1.73±0.76 (4)	0	9.05±6.05 (4)	10	1.40±0.72 (4)	0	10.06±4.95 (3)

S: Tongyoung seawater, W.S: tap water + salt, A: acid-rinsing water, L: laundry waste water, G: sewage, M: mixture effluent water, K: Ko-Hyun stream, J: Jang-Pyoung stream, Y: Youn-Cho stream

DNA damage is shown as mean ± S.D, \*means higher DNA damage compared with W.S. Number in parenthesis is the number of organism analyzed for comet assay. Number lower than four means that some gel during comet assay was lost and could not be used for DNA damage under microscope.

각을 담아 섭식자체를 중단하기 때문으로 판단된다. 본 연구는 48 시간이라는 단시간에 시행이 되었고, 피조개가 노출기간동안 폐각을 닫고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서, 피조개의 여과활동이 저해되어 치사독성이 나타나지 않았을 가능성도 배제할 수 없을 것이다.

지금까지 배출수의 급성독성평가는 주로 폐수처리장의 처리수를 대상으로 많이 진행이 되었다. Kosmala *et al.*[1999]는 폐수처리장의 배출수와 주변 하천수를 대상으로 독성실험을 실시하여 통계적으로 유의한 수준의 급성독성이 나타나지 않았음을 보고한 바 있다. Sotero-Santos *et al.*[2005]의 연구에서도 FeCl<sub>3</sub> sludge에 대한 실험에서 대조구와 통계적으로 차이를 보이는 급성독성은 나타나지 않았다. 위와 같이 폐수처리장과 산업체의 배출수는 상당한 처리를 거쳐 방류되므로 일부 하천을 제외한 대부분의 방류수에서 치사에 이를 정도의 심각한 급성독성을 나타내지는 않았으며, 본 연구에서도 처리장을 거친 처리수(A, L, G)의 경우 어느 실험생물에서도 치사를 일으키지 않았다. 반면 악취를 풍기는 장평천(J)에서 넘치가, 높은 TBT 및 PAHs 농도를 보인 혼합방류수 1(M1)에서 조피볼락이, 그리고 어떠한 특징도 관찰되지 않은 고현천(K)에서 멧게가 약간의 치사를 보여주었다. 어떠한 시료도 모든 생물에 치사를 일으키지 않았으며, 특히 매우 높은 오염물질 농도를 보인 혼합방류수 1에서조차 48시간 노출에서 조피볼락에서만 13%의 치사율을 보였다. 이러한 사실로부터 본 연구에서 조사되어진 조선소 내 처리수를 포함한 모든 시료들은 48시간 반치사농도를 계산할 수 없을 만큼 높은 급성독성을 가지고 있는 것으로 판단되었다.

그러나, 방오도료에 의한 TBT와 수처리에 사용되는 잔류염소 그리고 선박에서 흘러나온 유류(PAHs)에 의한 오염으로부터의 생물영향까지 배제할 수는 없다. 이러한 물질들은 모두 DNA 손상

을 유발하는 유전독성물질(Monarca *et al.*[2000]; Hagger *et al.*[2002]; Laffon *et al.*[2006])로 알려져 있으므로, 배출수와 주변 하천수에서의 유전독성발현 여부를 조사하기 위하여 comet assay를 수행하였다.

### 3.3 DNA 손상정도(Comet assay)

넙치는 통영해수(S)에서 가장 낮은 DNA 손상(DNA tail moment = 평균 1.0)을 보였고, 수돗물에 염을 녹여 염분을 맞춘 대조구(W.S.)에서는 약간 높은 DNA 손상(평균 1.45)을 보였다. 수돗물(+소금)보다 통계적( $p < 0.05$ )으로 높은 DNA 손상을 보인 시료는 장평천(J)과 2개의 혼합방류수(M1, M2)였다(Fig. 2).

조피볼락은 넙치에 비해 수돗물에서도 높은 DNA 손상(평균 9.3)을 보였다(Fig. 2). 넙치와 조피볼락 대조구에서 DNA 손상값의 차이는 생물종 특이성에 따른 것으로 판단되었다(김 등[2003]). 대조구 중에서는 다른 생물종들보다 피조개(평균 13.5)가 가장 높은 DNA 손상값을 보여주었다. 조피볼락의 DNA 손상을 조사한 결과, 대조구보다 통계적으로 유의하게 높은 정점은 장평천으로 나타났으며, 멧게는 세탁폐수에서 나타났( $p < 0.05$ ). 피조개는 수돗물 대조구와 비교하여 통계적으로 차이를 보이는 시료는 없었다.

4가지 실험생물에서 가장 많은 시료에서 DNA 손상을 유의하게 일으킨 종은 넙치였다(Fig. 2). 시료들 중에서 장평천이 두 종류 실험생물에 유의한 DNA 손상을 일으켰다. 이 하천은 삼성중공업과 대규모 주거단지와 인접하고 있어 삼성중공업에서 배출되는 폐출수와 생활하수의 영향을 많이 받는 곳이다. 넙치의 경우 장평천에서 치사율 26%로 가장 높게 나타났고 DNA 손상에서도 대조구와 통계적으로 차이( $p < 0.05$ )를 보여 장평천은 급성독성과 유전독성 모두가 관찰되었다. 조피볼락은 혼합방류수 1에서 치사가 나타났으나, DNA 손상은 장평천에 노출되었을 때에만 관찰되

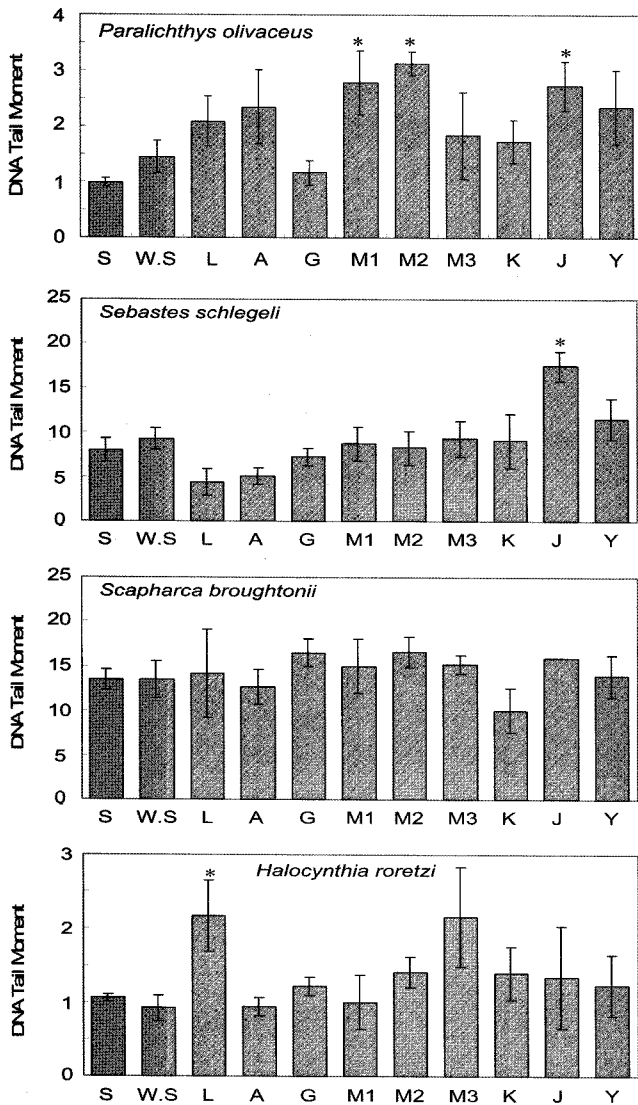


Fig. 2. Comparison of DNA damage in four test animals between different effluent water (S: seawater, W.S: tap water + salt, A: acid-rinsing water, L: laundry rinsing water, G: sewage, M: mixture effluent water, K: Ko-Hyun stream, J: Jang-pyoung stream, Y: Youn-Cho stream).

었다. 멩계의 경우에도 48시간 치사는 고현천에서 관찰되었으나, DNA 손상은 세탁폐수에서 관찰되었다. 피조개는 48시간 치사나 DNA 손상이 어느 시료에서도 나타나지 않은 것으로부터 단기간 노출에 있어서는 다른 생물들에 비해 상당한 저항성을 가지고 있음을 보여주었다.

삼성중공업 주변에서 DNA 손상을 유발하는 원인이 되는 물질 중 하나는 서론에서 언급한 방오도료에 의한 TBT이다. 2002년 남해안 주변 해역의 TBT 농도를 조사한 연구 결과를 살펴보면, 거제도 옥포(1,100~1,200 ng/g)와 고현만(100~680 ng/g)에서 채취한 담치의 체내 TBT 농도가 남해안의 다른 해역에 비해 높게 나타났다. 이는 조사정점에 인접한 조선소의 영향이라고 보고하였다 (Hong *et al.*[2002]). 그러나 본 연구에서는 배출수의 영향평가를 할 때 필요한 화학분석(Bervoets *et al.*[1993])을 직접 실시하지 않

았고, 배출수는 일반적으로 계절에 따른 성분변화가 심하여(Kosmala *et al.*[1999]) 월별 조사가 필요함에도 반복실험을 실시하지 않아서 정확한 독성 요인을 파악하기는 어려웠다. 또한, 해양연구원 [2005]에서 동일지점에서 4계절에 걸쳐 조사되어진 화학분석자료들은 노출실험에서 양식생물에서의 치사율과 DNA 손상과는 뚜렷한 상관성은 보여주지 않았다.

그럼에도 불구하고, 높은 오염물질 농도를 보이는 혼합방류수 1(M1)의 노출에도 생물에 따라 현저히 다른 치사율을 보이는 점과 장평천의 시료처럼 화학분석에서는 특정 오염물질이 높게 검출되지 않았음에도 넙치에서의 높은 치사율(26%)과 넙치와 조피볼락에서 유의한 유전독성을 일으킨 점 등에 대해서는 앞으로 보다 면밀한 연구가 필요하리라 생각된다.

## 5. 결 론

삼성조선소의 3개 처리수, 3개 혼합방류수 및 주변 3개 하천수를 4종의 실험생물에 48시간 노출시켰을 때 모든 종에서 50%까지 치사시키는 급성독성을 보여주지는 않았다. 또한 comet assay를 통한 DNA 손상 측정에서도 모든 종들에 대해 동일한 유전독성을 보인 시료는 없었다. 대조구에 비해 유의하게 높은 DNA 손상이 유도된 발현빈도로 볼 때 장평천이 가장 유전독성이 높은 것을 확인할 수 있었다. 세탁폐수와 혼합방류수 1과 2(M1, M2)는 각각 한 생물종에 대해서만 유의하게 높은 DNA 손상을 유도하였다. 본 연구결과 모든 생물종에 대해 일정한 DNA 손상을 유발하는 시료는 없었지만, 혼합방류수 1(M1)과 장평천에 대해서는 앞으로 보다 자세한 화학분석과 생물독성 실험이 필요하리라 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업 “오징어를 이용한 한국 외해 모니터링” 과제의 지원에 의한 것입니다.

## 참고문헌

- [1] 김기범, Lee R.F., Maruya K.A., 2003, 어류혈구세포에 있어서 Single Cell Gel Electrophoresis를 응용한 DNA Single Strand Break의 측정. 한국수산학회지, 36, 346-351.
- [2] 한국해양연구원, 2005, 삼성중공업 거제조선소에 의한 어업피해 감정서, BSPG 38000-1753-3, pp 1730.
- [3] ASTM, E729-96, 2002, Standard guide for conducting acute toxicity tests on test materials with fishes, macro invertebrates, and amphibians.
- [4] Bervoets, L., Baillieux, M., Blust, R., De Boeck, G and Verheyen, R., 1993, Impact assessment of industrial effluents on freshwater ecosystems. Sci. Total Environ., Suppl. 1123-1128.
- [5] Cho, S.H., Lee, S.M., Park, B.H. and Lee, S.M., 2006, Effect of feeding ratio on growth and body composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed extruded pellets during the

- summer season. *Aquacul.* 251, 78-84.
- [6] Dizer, H., Wittekindt, E., Fischer, B. and Hansen, P.-D., 2002. The cytotoxic and genotoxic potential of surface water and wastewater effluents as determined by bioluminescence, *umu*-assays and selected biomarkers. *Chemosphere*, 46, 225-233.
- [7] Fernandez-Alba, A.R., Hernando, M.D., Piedra, L. and Chisti, Y., 2002. Toxicity evaluation of single and mixed antifouling biocides measured with acute toxicity bioassays. *Analytica Chimica Acta*, 456, 303-312.
- [8] Hagger, J.A., Fisher, A.S., Hill, S.J., Depledge, M.H. and Jha, A.N., 2002. Genotoxic, cytotoxic and ontogenetic effects of tri-n-butyltin on the marine worm, *Platynereis dumerilii* (Polychaeta: Nereidea). *Aqu. Toxicol.* 57, 243-255.
- [9] Hong, H.K., Takahashi, S., Min, B.Y. and Tanabe, S., 2002. Butyltin residues in blue mussels (*Mytilus edulis*) and arkshells (*Scapharca broughtonii*) collected from Korean coastal waters. *Environ. Pollu.* 117, 475-486.
- [10] Jung, S.H., Kim, J.W., Jeon, I.G. and Lee, Y.H., 2001. Formaldehyde residues in formalin-treated olive flounder (*Paralichthys olivaceus*), black rockfish (*Sebastes schlegeli*), and seawater. *Aquacul.* 194, 253-262.
- [11] Kosmala, A., Charvet, S., Roger, M.-C. and Faessel, B., 1999. Impact assessment of a wastewater treatment plant effluent using instream invertebrates and the *Ceriodaphnia dubia* chronic toxicity test. *Wat. Res.* 33, 266-278.
- [12] Kurelec, B., 1993. The genotoxic disease syndrome. *Mar. Environ. Res.*, 35, 341-348.
- [13] Laffon, B., Rbade, T., Psaro, E. and Mndez, J., 2006. Monitoring of the impact of *Prestige* oil spill on *Mytilus galloprovincialis* from Galician coast. *Environ. International.* 32, 342-348.
- [14] Monarca, S., Feretti, D., Collivignarelli, C., Guzzella, L., Zerbini, I., Bertanza G. and Pedrazzani, R., 2000. The influence of different disinfectants on mutagenicity and toxicity of urban wastewater. *Wat. Res.* 34, 4261-4269.
- [15] Pessala, P., Schultz, E., Nariari, T., Joutti, A. and Herve, S., 2004. Evaluation of wastewater effluents by small-scale biotests and a fractionation procedure, *Ecotoxi. Environ. Safety.* 59, 263-272.
- [16] Savina, M. and Pouvreau, S., 2004. A comparative ecophysiological study of two infaunal filter-feeding bivalves: *Paphia rhombodes* and *Glycymeris glycymeris*. *Aquacul.* 239, 289-306.
- [17] Singh, N.P., McCoy, M.T., Tice, R.R. and Schneider, E.L., 1988. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp. Cell Res.*, 175, 184-191.
- [18] Sotero-Santos, R.B., Rocha, O. and Povinelli, J., 2005. Evaluation of water treatment sludges toxicity using the *Daphnia* bioassay. *Wat. Res.* 39, 3909-3917.
- [19] Walker, G.M., Hanna, J.-A. and Allen, S.J., 2005. Treatment of hazardous shipyard wastewater using dolomitic sorbents. *Wat. Res.* 39, 2422-2428.

---

2006년 7월 4일 원고접수

2006년 9월 21일 수정본 채택

