

# 넙치 치어 *Paralichthys olivaceus*의 혈액학적 성상에 미치는 나프탈렌의 급성독성영향

이경선\*† · 류향미\*\*

\* 목포해양대학교 해양시스템공학부, \*\* 국립수산물과학원 서해수산연구소

## The Acute Toxicity of Naphthalene on Hematologic Properties in Juvenile Flounder *Paralichthys olivaceus*

Kyoung-Seon Lee\*† · Hyang-Mi Ryu\*\*

\* Faculty of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

\*\* West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon, 400-420, Korea

**요 약** : 넙치 치어에 대한 나프탈렌의 급성독성을 조사하기 위하여 대조구(0 µg/L), 1000, 1800, 3200, 5600, 10000 µg/L의 6개의 나프탈렌 농도구를 설정하여 24시간 동안 노출실험을 실시하고 혈액학적 성상을 분석하였다. 넙치 치어에 대한 나프탈렌의 24h-LC<sub>50</sub>은 3600 µg/L를 나타냈다. 넙치 치어의 혈액학적 반응에서 헤마토크리트값은 5600, 10000 µg/L의 농도구에서 대조구와 비교하여 유의하게 증가하였고, 글루코스는 10000 µg/L의 농도 구에서 유의하게 증가 하였다(P<0.05). 삼투질 농도는 3200, 5600, 10000 µg/L의 농도구에서 유의하게 증가하였다. 반면, 이온 분석 결과 [Na<sup>+</sup>], [K<sup>+</sup>]은 5600 및 10000 µg/L 나프탈렌 농도구에서 유의하게 증가하였으나 [Cl<sup>-</sup>]는 큰 차이를 보이지 않았다.

**핵심용어** : 유류오염, 다환방향족탄화수소, 나프탈렌, 급성독성, 넙치

**Abstract** : Naphthalene was composed of a substantial fraction of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in crude oil and causes acute toxicity. In this study, we examined the toxicity of different kinds concentrations 0, 1000, 1800, 3200, 5600, 10000 µg/L of naphthalene to juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* for 24h to determine 24h median lethal concentration(LC<sub>50</sub>) and acute effect on the hematological properties. 24h-LC<sub>50</sub> value of this species was 3600 µg/L. Hematocrit value significantly increased at 5600 and 10000 µg/L naphthalene exposed group by 24h compared to control fish. Plasma Glucose was significantly higher in the 10000 µg/L (P<0.05). Plasma osmolality was significantly higher in the 3200, 5600 and 10000 µg/L. Plasma [Na<sup>+</sup>] and [K<sup>+</sup>] significantly increased in the 5600 and 10000 µg/L, however [Cl<sup>-</sup>] was not affected by acute naphthalene exposure. The results of this study suggest the acute exposure to naphthalene affects both ionoregulation and osmoregulation in juvenile flounder.

**Key Words** : Oil pollution, Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs), Naphthalene, Acute toxicity, Flounder

### 1. 서론

2007년 12월 7일 태안 앞바다에서 일어난 허베이스피리트 호 원유 유출로 인하여 막대한 환경적·경제적 피해가 발생하면서 해양 유류오염에 대하여 국민의 관심이 집중되는 계기가 되었다. 전 세계적으로 선박사고에 의한 유류유출사고는 과거에 비하여 점차 감소추세에 있으나(김, 1999) 유조선 유류 유출사고가 발생하면 대량의 유류가 일시적으로 해양으로 유출되면서 해양생태계를 위협하게 되기 때문에 세계적으로 중요한 해양오염문제로 인식되고 있다.

해양으로 유출된 유류는 시간이 경과함에 따라 다양한 풍화과정을 거치면서 분해되어지고, 다환방향족 탄화수소류(PAHs)와 같은 물질들은 해양에 잔류하면서 지속적으로 해양 생물체에 영향을 끼치게 된다. PAHs는 원유성분중 약 1.5% 이상을 구성하고 있으며, PAHs의 65%는 나프탈렌 및 그 유도체로 구성되어 있다(Pollino et al., 2009).

나프탈렌은 2개의 벤젠환으로 이루어져 있는 무색의 방향족 탄화수소류로 다른 탄화수소류와 비교하여 저분자량화합물(128 g/mol)에 속하며 Octanol/Water 분배계수(Octanol/Water partition coefficient; logKow)가 3.01~3.45인 비극성 화합물로 물에는 잘 녹지 않고 알코올, 벤젠, 에테르와 같은 유기용매에 잘 녹는 탄화수소류로 콜타르나 원유에 함유되어

\* 대표저자 : 종신회원, kslee@mmu.ac.kr, 061-240-7317

원유생산, 정유 혹은 화학약품 생산시 폐수로 유출되기도 하며, 자동차·선박 등으로부터 배출되어 토양이나 표층수, 저층수에서 일반적으로 발견되는 물질이기도 하다(Polino et al., 2009). 나프탈렌은 광에 의하여 쉽게 산화되고 휘발성이 강하여 잔류성이 낮으나 해양생물들에게 빠르게 흡수되고, 유류 수용성 성분중에서 독성이 아주 높은 물질로 알려져 있다(Darville and Wilhm, 1984; Vijayavel and Balasubramanian, 2006).

PAHs가 생물체에 미치는 영향은 PAHs의 종류에 따라 상이하고 대상 생물종에 따라서도 현저하게 상이하며 성장단계에 따라서도 독성에 차이를 보인다고 알려져 있다(Thomas and Budiantara, 1995). 성어인 경우 원유의 농도가 100~500 ppm이면 독성으로 작용하고 유어인 경우에는 1~50 ppm이면 독성이 나타나며, 나프탈렌을 포함한 PAHs는 원유보다 100배 이하의 농도에서도 치사하는 것으로 알려져 있다(Lee, 2000). 나프탈렌을 포함한 PAHs류에 대한 생물독성 실험은 주로 저서성 패류를 대상으로 하여 급성독성 및 만성독성에 대하여 이루어져 있으며 어류로는 송사리류(*Fundulus* spp.), 무지개송어(*Salmon gairdneri*)와 같은 일부 종에 한정되어 있으며 어류들의 용이한 이동성 때문에 피해가 적은 것으로 알려져 있어 유영성 어류에 대한 연구는 미비하다(Oh et al., 1999). 그러나 연안은 만성적으로 다량의 유류가 유입되는 지역으로 많은 종들이 연안에서 자치어기를 보내게 되면서 PAHs에 노출 위험성이 높으며 자치어의 경우에는 성어보다 독성물질에 더 민감하고, 주로 해수면에서 생활하기 때문에 높은 농도의 PAHs를 접할 기회가 많고 유류오염의 피해를 입기 쉽기 때문에 어류 성장단계에 따른 독성평가가 필요하다.

저서성 어류인 넙치는 우리나라 대표적인 양식어종이며, 주로 연안에 서식하면서 생활범위가 좁은 종으로 연안해역의 오염에 지속적으로 노출될 가능성이 높으며(Oh et al., 1999) 특히 연안에 양식장이 밀집되어 있어 연안 해역에서 발생하는 선박사고 및 유류 유출사고 등으로 인하여 PAHs 오염에 노출될 위험이 높다고 할 수 있다.

본 연구에서는 넙치 치어를 대상으로 하여 나프탈렌에 의한 생물검정을 실시하고 나프탈렌 노출 후의 혈액학적 반응에 대해서 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험어 및 실험조건

실험에 사용된 실험어는 무안군 소재 육상 수조식 종묘 배양장에서 분양받은 평균 체중  $7.0 \pm 1.5$  g, 체장  $76.8 \pm 6.0$  mm인 넙치(*Paralichthys olivaceus*)로, 차량을 이용하여 실험실로 운반 한 후 순환여과식 실험수조(100 L 용량)에 100 마리씩 수용하여 실험에 사용하기 전까지 매일 평균체중 5%에 해당되는 넙치치어용 사료를 급이하면서 사육하였다. 사육수의 적정 수질을 유지하기 위하여 2일에 한번씩 교환해 주었다. 넙치는

실험실조건에서 2~3주간 안정화 시킨 후 건강한 개체를 골라 실험에 사용하였으며 먹이에 의한 영향을 최소화하기 위하여 24시간 절식시킨 후 실험에 사용하였다. 사육 및 실험기간 중 해수 온도는  $20.1 \pm 0.1$  °C, 용존산소(DO)는  $6.54 \pm 0.21$  mg/L로 일정하게 유지되었다.

### 2.2 나프탈렌 독성실험

나프탈렌 농도구는 Standard methods for whole effluent toxicity testing(Holl and Golding, 1998)에 준하여 대조구(0  $\mu\text{g/L}$ ), 1000, 1800, 3200, 5600 및 10000  $\mu\text{g/L}$ 로 설정하고, 나프탈렌을 메탄올에 녹인 후 수조에 투여하여 실험종료까지 재보충 하지 않고 24시간 동안 노출 실험을 실시하였다. 실험은  $29 \times 19 \times 22$  mm 크기의 유리수조에 해수 10 L를 채우고 넙치 치어 10마리씩 투입하여 실시하였다. 3회 반복실험을 실시하여 폐사율을 구하고 24시간 반수치사농도(24h-LC<sub>50</sub>)를 분석하였다.

### 2.3 혈액채취 및 분석

대조구, 1000, 1800 및 3200  $\mu\text{g/L}$ 농도구에서는 24시간 경과 후 혈액을 채취하였으며, 5600과 10000  $\mu\text{g/L}$ 농도구에서는 개체의 입과 아가미의 운동이 거의 나타나지 않고 개체가 뒤집어진 상태를 폐사한 것으로 판단한 후 개체로부터 혈액을 채취하였다. 혈액은 이온분석을 위하여 미부동액으로부터 헤파린 나트륨용액을 처리하지 않은 주사기를 이용하여 채취하였다. 채취한 혈액에 대한 분석법은 다음과 같다.

### 2.4 글루코스(Glucose)정량

글루코스는 혈청 글루코스 성분 정량 검사용 키트(아산제약)를 사용하여 측정하였다. 즉, 채취한 혈액을 11,000 rpm으로 5분간 원심 분리 후 혈장 20  $\mu\text{l}$ 을 채취하여 효소시약으로 발색시킨 후 500 nm 파장에서 흡광도(DR/4000U, HACH)를 측정하고, 글루코스량으로 환산하였다.

### 2.5 헤마토크리트 값(Hematocrit value)

채취한 혈액은 헤파린으로 포말된 모세관(I.D. 1.1~1.2 mm, length 75 mm)에 넣어 haematokrit 210를 이용하여 11,000 rpm으로 5분간 원심 분리한 후 Hematocrit reader를 이용하여 측정하였다.

### 2.6 삼투질 농도(Osmolality)

혈액을 11000 rpm 으로 5분간 원심 분리하여 얻은 혈장을 분석 전 -70 °C에서 동결보관 한 후, 삼투압측정기(VAPRO Pressure Osmometer Wescor 5520, USA)를 사용하여 혈장 삼투질 농도를 분석 하였다.

### 2.7 이온 분석(Ion analysis)

[Na<sup>+</sup>], [K<sup>+</sup>] 및 [Cl<sup>-</sup>] 분석은 자동화학분석기(Toshiba-200FR, JAPAN)를 사용하여 분석하였다.

### 2.8 통계처리

나프탈렌 노출실험 후 넙치의 생존, 사망개체수를 분석하여 24시간 반수치사농도(24h-LC<sub>50</sub>)를 계산하였다. 반수치사농도는 SPSS의 통계 패키지를 사용하여 Probit 방법으로 분석하였다. 또한 각 실험결과로부터 얻어진 자료 값 사이의 유의차 유무는 SigmaStat Version 3.0 프로그램(SYSTAT, USA)을 사용하여 ANOVA 및 Tukey 방법으로 검정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

나프탈렌에 24시간 동안 노출된 넙치 치어는 대조구 및 1000 µg/L 및 1800 µg/L 농도구에서는 폐사하지 않았으나 3200 µg/L 농도구에서는 25%, 5600 및 10000 µg/L 농도구에서는 100% 폐사하였다. 또한, 24 시간동안 나프탈렌에 노출된 넙치 치어의 반수치사농도(24h-LC<sub>50</sub>)는 3600 µg/L으로 나타났다. 나프탈렌의 LC<sub>50</sub> 값을 비교해 보면 어류로서 *Takifugu obscurus*의 96h-LC<sub>50</sub>은 8690 µg/L를 보이며(Lee et al., 2004), 식용 게류인 *Scylla serraata*는 18 mg/L의 24h-LC<sub>50</sub>을 나타내고 있다(Vijayavel and Balasubramanian, 2006). Saiz et al.(2009)은 해양성 요각류인 *Oithona daviiae*에 대해 나프탈렌 급성 독성을 실시한 결과 노플리우스 단계의 24h-LC<sub>50</sub>은 4422 µg/L를 나타내었으나 성체에서는 유의한 폐사율을 나타내지 않았다고 보고하였다.

나프탈렌 노출 후 넙치 치어의 혈액학적 반응을 검토하기 위하여 혈장 글루코스, 헤마토크리트 값, [Na<sup>+</sup>], [K<sup>+</sup>], [Cl<sup>-</sup>] 및 삼투질 농도를 측정하였다. 글루코스는 1000 및 1800 µg/L 농도구에서는 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았지만 3200, 5600, 10000 µg/L의 농도구에서는 유의한 차이를 보였으며 농도증가에 따라 증가하는 경향이 있었다(P<0.05)(Fig. 1). 헤마토크리트값은 3200 µg/L 농도까지는 농도증가에 대한 변화는 나타나지 않았지만 5600, 10000 µg/L 농도구에서 대조구와 비교하여 유의한 차이를 보이며 증가하였다(Fig. 2). 나프탈렌에 노출된 넙치 치어의 [Na<sup>+</sup>], [K<sup>+</sup>], [Cl<sup>-</sup>] 및 삼투질 농도 변화는 Table 1과 같다. 대조구에서의 [Na<sup>+</sup>]은 171±3 mEq/L, [K<sup>+</sup>]은 6.5±1.0 mEq/L 및 [Cl<sup>-</sup>]은 156±36 mEq/L으로 나타났다. [Na<sup>+</sup>]과 [K<sup>+</sup>]의 경우에는 나프탈렌 5600 및 10000 µg/L 농도구에서 대조구와 비교하여 유의한 차이를 나타내었으나, [Cl<sup>-</sup>]의 경우에는 유의한 변화는 보이지 않았다(P>0.05). 삼투질 농도는 대조구에서 407±7 mOsm/kg로 나타났고, 1000, 1800 µg/L의 농도구에서는 대조구와 유의한 변화를 보이지 않았다(P>0.05). 3200, 5600, 10000 µg/L의 농도구에서는 대조구와 유의한 차이를 보였다(P<0.05).

어류는 외부환경변화, 독성물질 노출 등과 같은 스트레스를 받게 되어 항상성을 유지하지 못하게 되면 폐사에 이르게 된다. 일반적으로 스트레스 지표로 혈장 콜티졸 및 글루코스농도가 인정되고 있으며, 혈액의 젖산, 지질, 단백질, 전해질, 헤마토크리트 값, 헤모글로빈 및 간 글리코겐의 양적 변화도 스

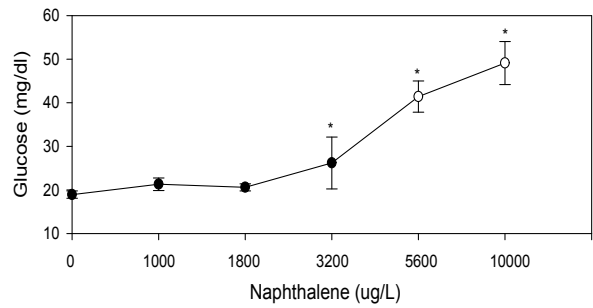


Fig. 1. Plasma glucose in *paralichthys olivaceus* exposed to naphthalene. Open symbols indicate that N was decreased due to fish death. Vertical bar represents mean±SD(\*P<0.05).

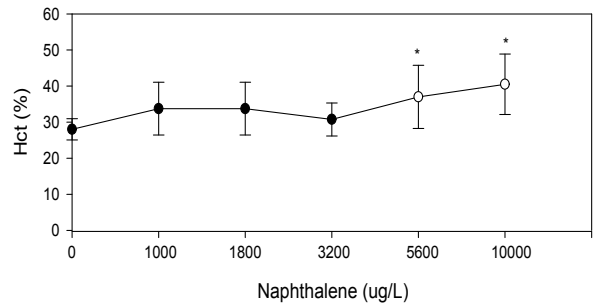


Fig. 2. Hematocrit value in *paralichthys olivaceus* exposed to naphthalene. Symbols are the same as in Fig. 1.

트레스와 어체의 생리활성 평가의 지표로 이용된다(Wedemeyer and McLeay, 1981). 또한 어류는 스트레스에 의해 삼투질 농도가 변하고 스트레스를 경감시키기 위한 에너지 소모가 증가하기도 한다(Barton and Iwama, 1991). 본 연구에서는 원유 유출 시 초기 독성이 강하게 나타나는 나프탈렌이 어류치어에 미치는 급성독성영향을 알아보기 위해 스트레스 지표로서 글루코스농도, 헤마토크리트 값 및 이온농도, 삼투질 농도에 대해서 검토하였다.

글루코스는 스트레스 반응에 의해 생성된 코티졸이 에너지 대사에 작용하여 단백질의 파괴로부터 방출된 아미노산으로부터 포도당 신생합성(Gluconeogenesis)이 촉진되어 그 농도가 증가하는 것으로 알려져 스트레스와 대사의 지표로 사용되고 있다(Vijayan and Moon, 1994, Wedemeyer and Yasutake, 1997). 따라서 글루코스는 스트레스에 의해 증가되며, 코티졸 농도가 높아짐에 따라 글루코스 농도가 높아지기 때문에 스트레스에 의한 호르몬 반응에 뒤따른 2차반응의 결과라 할 수 있다(Barton and Iwama, 1991; Sovio and Nikinmaa, 1981).

또한, 스트레스에 노출된 어류는 체내의 산소공급이 원활히 이루어지지 않으면서 호기성대사에 필요한 에너지를 확보하지

Table 1. Plasma ion concentrations of *Paralichthys olivaceus* exposed to naphthalene

Concentration ( $\mu\text{g/L}$ )	$\text{Na}^+$ (mEq/L)	$\text{K}^+$ (mEq/L)	$\text{Cl}^-$ (mEq/L)	Osmolality (mOsm/kg)
0	171 $\pm$ 3	6.5 $\pm$ 1.0	156 $\pm$ 3	407 $\pm$ 7
1000	175 $\pm$ 5	7.2 $\pm$ 1.9	159 $\pm$ 6	432 $\pm$ 31
1800	170 $\pm$ 18	7.4 $\pm$ 1.2	156 $\pm$ 17	430 $\pm$ 32
3200	173 $\pm$ 15	11.7 $\pm$ 8.8	158 $\pm$ 14	484 $\pm$ 55*
5600	186 $\pm$ 5*	8.8 $\pm$ 1.3*	159 $\pm$ 2	480 $\pm$ 11*
10000	189 $\pm$ 6*	11.2 $\pm$ 2.2*	158 $\pm$ 2	536 $\pm$ 62*

1. The data are given as mean $\pm$ SD by 3 determinations (n=20).
2. The asterisk indicates a significant difference compared to control values (P<0.05).

못하게 되면 코티졸이 글루코스 신생합성 과정을 활성화시켜 다량의 글루코스가 생성하게 되고 헤마토크리트값이 증가하게 된다(Barton and Iwama, 1991). Kennedy and Farrel(2005)은 유류 수용성 분획물질에 노출된 청어 치어 *Clupea pallasii*의 경우 코티졸 농도 증가에 의하여 혈장 글루코스 농도가 증가하였다고 보고하였다. Thomas et al.(1980)에 의하면 원유의 수용성분획물질에 의해 나타나는 독성은 나프탈렌이나 벤젠, 톨루엔과 같은 휘발성 PAHs에 의해 나타나며 특히 나프탈렌은 송어 *Mugil cephalus*의 혈장 코티졸을 증가시켰다. 본 연구에서 3200, 5600, 10000  $\mu\text{g/L}$ 의 농도구에서 글루코스 농도가 증가하고 헤마토크리트값이 증가한 것은 나프탈렌 의한 스트레스 반응의 결과로 보인다.

해수에 적응된 무지개송어는 나프탈렌에 노출된 후 아가미 조직이 상당히 손상되고  $[\text{Na}^+]$ ,  $[\text{K}^+]$  및  $[\text{Cl}^-]$ 와 같은 1가이온들이 증가하는 것으로 관찰되었다(Englehardt et al., 1981). Gardner(1975)에 의하면 나프탈렌은 킬리피쉬 *Fundulus heteroclitus*의 아가미 팽창을 일으켰다. 또한, 나프탈렌에 의하여 *Fundulus heteroclitus*의 이온농도가 증가하였으며, 삼투질 농도의 일시적 증가를 보였다(Dimichele and Taylor, 1978). 이러한 결과들은 나프탈렌과 같은 PAHs에 노출된 어류의 아가미 조직이 상해를 입게 되면서 이온교환에도 영향을 미치게 되며 그 결과 혈장 이온 불균등이 발생하고 삼투질 농도가 변하게 되는 것으로 사료된다.

한편 Boese et al.(1982)에 의하면 정유공장 폐수를 사용하여 실험한 결과 아가미의 ATPase가 불활성화 되었지만 혈장 삼투질 농도는 변화가 없었다. Kennedy and Farrel(2005)에 의하면 *Clupea pallasii*가 원유의 수용성분획 100  $\mu\text{g/L}$ 에 노출되어 혈장  $[\text{Na}^+]$ ,  $[\text{K}^+]$  및  $[\text{Cl}^-]$ 가 100  $\mu\text{g/L}$ 에서 96시간 노출 후 유의적으로 증가하였다고 보고하였다. 이러한 결과는 탄화수소류들의 낮은 농도에서는 삼투질 농도의 변화가 일정하지 않지만 원유 유출시 높은 농도에 노출되면 삼투압 조절기능이 파괴될 수 있다는 것을 시사하고 있다. 본 연구에서 넙치 치

어의 혈장  $[\text{Na}^+]$ ,  $[\text{K}^+]$  및  $[\text{Cl}^-]$ 농도는 대조구와 비교하여 유의한 변화는 보이지 않았지만 3200, 5600, 10000  $\mu\text{g/L}$ 의 농도구에서 증가하였다. 비록 본 연구에서는 아가미 조직관찰은 이루어지지 않았으나 나프탈렌 노출에 의하여 넙치 치어의 아가미조직 상해가 발생하여 산소섭취가 어렵게 되고 혈중 1가이온과 삼투질 농도의 증가는 아가미 손상에 의한 것이라고 사료된다.

본 연구에서는 급성독성을 나타낼 수 있는 나프탈렌 농도에서 넙치 치어 혈장 이온 및 삼투질 농도 등에 영향이 나타났다. 이러한 영향은 나프탈렌에 장기간 노출되어질 경우 더욱 분명하게 영향이 나타날 것으로 보인다. 나프탈렌을 포함한 PAHs류는 저농도로 장시간 수중에 잔류하면서 생물들에게 영향을 끼치게 되므로 나프탈렌에 의한 생리학적 장애, 생화학적 이상 등에 대한 검토가 향후 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

넙치 치어를 이용하여 나프탈렌에 대한 급성 독성을 평가한 결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- 1) 넙치에 대한 나프탈렌의 24h-LC<sub>50</sub>은 3600  $\mu\text{g/L}$  로 나타났다.
- 2) 혈액학적 성상 분석 결과 헤마토크리트치는 5600, 10000  $\mu\text{g/L}$  농도구에서 유의적으로 증가하였다.
- 3) 글루코스 농도는 3200, 5600, 10000  $\mu\text{g/L}$ 의 농도구에서 약간 증가하는 경향이었으며, 10000  $\mu\text{g/L}$ 의 농도구에서 유의한 차이를 보였다.
- 4)  $[\text{Na}^+]$  및  $[\text{K}^+]$ 은 5600 및 10000  $\mu\text{g/L}$  나프탈렌 농도구에서 유의하게 증가하였으나  $[\text{Cl}^-]$ 는 큰 차이를 보이지 않았다.
- 5) 삼투질 농도는 1000, 1800  $\mu\text{g/L}$ 의 농도구에서 유의한 변화를 보이지 않았고, 3200, 5600, 10000  $\mu\text{g/L}$ 의 농도구에서 유의하게 증가하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김상진(1999), 해양유류오염의 생물정화기술은 어떻게 적용하는가?: 기술적 원리와 국내적용을 위한 제안, 한국해양환경공학회, 1999년도 춘계학술대회 논문집, pp. 7-16.
- [2] 이종화(2000), 유류오염, In: 해양오염, 신광문화사, p. 56.
- [3] Barton, B. A. and G. K. Iwama(1991), Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids, Annual Review of Fish Diseases, Vol. 1, pp. 3-26.
- [4] Boese, B. L., V. G. Johnson, D. E. Chapman, J. W. Ridlington and R. Randal(1982), Effects of petroleum refinery wastewater exposure on gill ATPase and selected blood parameters in the Pacific staghorn sculpin(*Leptocottus armatus*), Comparative Biochemistry and Physiology, Vol. 71C, pp. 63-67.
- [5] Darville, R. G. and J. L. Wilhm(1984), The effect of naphthalene on oxygen consumption and hemoglobin concentration in *Chironomus attenuatus* and on oxygen consumption and life cycle of *Tanytarsus dissimilis*, Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 3, pp. 135-141.
- [6] DiMichele, L. and M. H. Taylor(1978), Histopathological and physiological responses of *Fundulus heteroclitus* to Naphthalene exposure, Journal of Fisheries Research Board Canada, Vol. 35, pp. 1060-1066.
- [7] Englehardt, F. R., M. P. Wong and M. E. Duey(1981), Hydromineral balance and gill morphology in rainbow trout *Salmo gairdneri*, acclimated to fresh and seawater, as affected by petroleum exposure, Aquatic Toxicology, Vol. 1, pp. 175-186.
- [8] Gardner, G. R.(1975), Chemically induced lesions in estuarine or marine teleosts. In: The pathology of fishes. Ribelin W. and Migaki G. eds. University of Wisconsin Press, Madison, U.S.A., pp. 657-693.
- [9] Hall, J. A. and L. Golding(1998), Marine Fish, Acute toxicity test protocol. In : Standard Methods for whole Effluent Toxicity Testing: Development and Application. NIWA, MFE 80205, Hamilton. pp. 1-29.
- [10] Kennedy, C. J and A. P. Farrel(2005), Ion homeostasis and interrenal stress responses in juvenile *Pacific herring*, *Clupea pallasii*, exposed to the water-soluble fraction of crude oil. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 323, pp. 43-56.
- [11] Lee, J. S., K. Y. Lee, D. H. Kim, J. H. Kim and K. N. Han(2004), Acute toxicity of dissolved inorganic metals, organotins and polycyclic aromatic hydrocarbons to puffer fish, *Takitigu obscurus*, Journal of Environmental Toxicology, Vol. 19, pp. 141-151.
- [12] Oh, M. J., S. J. Jung and H. Y. Kim(1999), Acute Toxicity of Ozone on Survival and Physiological Conditions of Olive Flounder, *Paralichthys Olivaceus*, Journal of Fish Pathology, Vol. 12, pp. 32-41.
- [13] Polino, C. A., E. Georgiades and D. A. Holdway(2009), Physiological changes in reproductively active rainbow fish (*Melanotaenia fluviatilis*) following exposure to naphthalene, Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 72, pp. 1265-1270.
- [14] Saiz, E., J. Movilla, L. Yebra, C. Barata and A. Calbet (2009), Lethal and sublethal effects of naphthalene and 1,2-dimethylnaphthalene on naupliar and adult stages of the marine cyclopoid copepod *Oithona davisae*, Environmental Pollution, Vol. 157, pp. 1219-1226.
- [15] Sovio, A. and M. Nikinmaa(1981), The swelling of erythrocytes in relation to the oxygen affinity of the blood of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) Richardson, In: Fish and Stress, Pickering A. D., ed., Academic Press, New York, U.S.A., pp. 103-119.
- [16] Thomas, P. and L. Budiantara(1995), Reproductive Life History Stages Sensitive to Oil and Naphthalene in Atlantic Croaker, Marine Environmental Research, Vol. 39, pp. 147-150.
- [17] Thomas, P., B. R. Woodin and J. M. Neff(1980), Biochemical responses of the striped mullet *Mugil cephalus* to oil exposure: 1. Acute responses-interrenal activations and secondary stress responses, Marine Biology, Vol. 59, pp. 114-141.
- [18] Vijayan, M. M. and T. W. Moon(1994), The stress response and the plasma disappearance of corticostreiod and glucose in a marine teleost the sea raven, Canadian Journal of Zoology, Vol. 72, pp. 379-386.
- [19] Vijayavel, K. and M. P. Balasubramanian(2006), Changes in oxygen consumption and respiratory enzymes as stress indicators in an estuarine edible crab *Scylla serrata* exposed to Naphthalene, Chemosphere, Vol. 63, pp. 1523-1531.
- [20] Wedemeyer, G. A. and D. J. McLeay(1981), Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. In Stress and Fish(Ed. by A.D. Pickering), Academic Press, London, pp. 247-275.
- [21] Wedemeyer, G. A. and W. T. Yasutake(1997), Clinical methods for the assessment for the effects of environmental stress on fish health. U.S. Fish and

Wildlife Service Technical Paper, Washington D.C.,  
USA, Vol. 89, p. 18.

---

원고접수일 : 2011년 06월 28일

원고수정일 : 2011년 09월 05일

게재확정일 : 2011년 09월 22일