

# PFOS에 만성노출된 굴체다슬기, *Semisulcospira gottschei*의 생존, 운동성, 성장 및 기관계 구조

이재우\*, 박정준, 진영국, 정애진, 조현서<sup>1</sup>, 이정식

전남대학교 수산해양대학 수산생명의학과, <sup>1</sup>해양기술학부

## Effect of Chronic Exposure of PFOS (Perfluorooctane Sulfonate) on Survival, Activity, Growth, and Organ Structure of the Melania Snail, *Semisulcospira gottschei* (Gastropoda: Pleuroceridae)

Jae Woo Lee\*, Jung Jun Park, Young Guk Jin, Ae Jin Jung, Hyeon Seo Cho<sup>1</sup> and Jung Sick Lee

Department of Aqualife Medicine, College of Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

<sup>1</sup>Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

### ABSTRACT

The present study was conducted to find out effect of PFOS on survival, activity, growth and organ structure of the melania snail, *Semisulcospira gottschei*. Experimental groups were composed of one control condition and four PFOS exposure condition (0.1, 0.5, 1.0 and 5.0 mg/L). After 16 week exposure, survival rate and activity were not significantly influenced at the two lower exposure groups, 0.1 and 0.5 mg/L, but they were significantly reduced in 1.0 and 5.0 mg/L groups. Total weight and meat weight rate (MWR) were reduced in PFOS exposure group in comparison to control group. Also, histological degenerations such as acidification of mucous, necrosis and split of muscular fiber bundle, atrophy of anterior pedal gland were recognized in the foot. Hepatopancreas showed the atrophy and degeneration of the digestive cell, vacuolation of digestive gland and closure of lumen in digestive gland.

**Key words** : PFOS, *Semisulcospira gottschei*, chronic exposure, organ structure

### 서 론

유기불소화합물 (fluorinated organic compounds: FOCs)은 1960년대 까지만 해도 치약에 사용되는 불소의 성분으로 여겨졌으나 최근 생물체내에 농

축특성이 보고되고 있으며 (Kannan *et al.*, 2002), 새로운 환경오염원의 한 종류로 문제점이 제기되고 있다. 이 중 PFOS (perfluorooctane sulfonate)는 혈액 내의 단백질과 강하게 결합하여 생물체 내에 농축되는 특성이 있으며, 환경 중의 농도보다 생물체내에서 훨씬 높은 농도로 검출되는 것으로 알려져 있다 (Inoue *et al.*, 2004).

PFOS는 어류, 조류 및 포유류의 간, 신장 및 혈

\* To whom correspondence should be addressed.  
Tel: +82-61-659-3172, E-mail: paranjeu@nate.com

장에서 검출되며 (Hoff *et al.*, 2003; Bossi *et al.*, 2005), 실험동물에서는 세포와 세포간의 정보전달과 막 조직 이동 그리고 에너지 발생과정에 영향을 미친다 (Kannan *et al.*, 2002). 그리고 아만성노출 결과, 쥐에서 간의 비대, 저콜레스테롤혈증, 트리글리세리드의 감소, 지방의 공포화 및 폐조직의 액포화를 유발한다 (Grasty *et al.*, 2003). 또한 어류 중 잉어, *Carassius carpio*와 뱀장어, *Anguilla anguilla*의 간기능 저해 (Hoff *et al.*, 2005) 및 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss* 간에서 지방 산화효소의 증가를 일으킨다는 보고가 있다 (Oakes *et al.*, 2005). 국내에서는 PFOS의 환경노출이 우려되고 있는데 인간의 혈액에 존재하는 PFOS와 PFCs의 농도 (Yang *et al.*, 2004), 광양만 유역 및 낙동강 수계의 수질과 퇴적물에 분포하는 PFOS의 농도 (Kang, 2006) 등에 관한 보고들이 있다.

복족류의 생물지표를 이용한 오염원에 대한 연구로는 한강 수계에 서식하는 꽃체다슬기, *Semisulcospira gottschei*의 체내에 축적된 유기독성물질과 중금속 함량측정 (Kim, 1995), 온산만의 퇴적물과 총알고둥, *Littorina brevicula*내 중금속 분포 (Song *et al.*, 1997), 총알고둥의 유기주석 및 중금속에 대한 환경내성 (Chin *et al.*, 1999a, b) 그리고 총알고둥에서 카드뮴과 아연의 축적 및 제거 (Han *et al.*, 2001) 등에 관한 보고들이 있다.

본 연구에 사용된 꽃체다슬기는 계류, 용수로, 호수, 강의 저층에 서식하는 담수산 고동류로써 (Yoo, 1988) 주로 돌이나 모래에 붙어있는 미세조류를 잡아먹는 초식자이다. 또한 유기물질 등을 섭이하는 습성으로 인해 수중에 유입된 오염물질에 일차적인 노출 대상이 된다 (Kim, 1995).

따라서 본 연구의 목적은 꽃체다슬기를 대상으로 PFOS가 이들 복족류의 생존, 운동성, 성장 및 기관계 구조에 미치는 영향을 연구하여 추후, 유기불소화합물이 수서생물에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하는데 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재 료

본 연구에 사용된 꽃체다슬기, *Semisulcospira gottschei*는 2006년 1월에 경기도 가평읍

읍내리 가평천에서 채집한 평균 각고 26.70 mm, 평균 전중 1.96 g의 500개체였다.

### 2. 방 법

#### 1) 사육조건

실험기간은 2006년 2월 20일부터 2006년 6월 12일까지 16주였다. 본 실험에 사용한 수조는 25 L의 지수형 순환여과식 사각 polypropylene 수조로써, 수조내 사육 개체는 각각 50개체로 하였다. 실험기간 동안 광주기와 온도는 자연조건으로 설정하였다. 먹이는 수조내에서 자연적으로 발생하는 규조류에 의존하였으며, 실험수는 4일마다 1/2을 교환하였다.

#### 2) 시험용액 및 실험구

본 연구에 사용된 시험용액은  $CF_3(CF_2)_7SO_3K$  (Heptadecafluorooctanesulfonic acid potassium salt, Fluka)를 증류수에 1,000 mg/L의 표준용액을 만든 다음, 실험농도별로 희석하여 조제하였다. 실험구는 두 차례의 급성 독성실험을 통하여 1개의 대조구와 4개의 PFOS 노출구 (0.1, 0.5, 1.0, 5.0 mg/L)를 2회 반복으로 설정하고, 각 수조에 대한 평균을 결과로 나타내었다.

#### 3) 생존율

꽃체다슬기의 생존율은 실험기간 동안 각 농도구별로 매일 오전 10시와 오후 5시에 관찰하였다. 사망 여부의 판단은 발의 움직임이 없는 개체를 바늘로 자극했을 때 반응이 없는 개체들을 사망한 개체로 판단하였으며, 전체 실험 개체수에서 누적 사망 개체수를 뺀 값을 생존율로 환산하였다.

#### 4) 육중량비 (Meat weight rate: MWR)

전중량 (total weight: TW) 및 육중량 (meat weight: MW)은 전자저울을 이용하여 0.01 g까지 측정 한 후, MWR을 아래와 같은 방법으로 계산하였다.

$$MWR = \frac{\text{육중량 (g)}}{\text{전중량 (g)}} \times 100$$

#### 5) 운동성

운동성 확인은 Pyatt *et al.* (2002)의 방법을 이용하였다. 오염원 노출기간 동안 수조와 저질표면을 이동하는 개체를 숫자로 수조표면에 표시한 후, 20분 동안 이동거리를 관찰하여 6 cm 이상 이동한 개

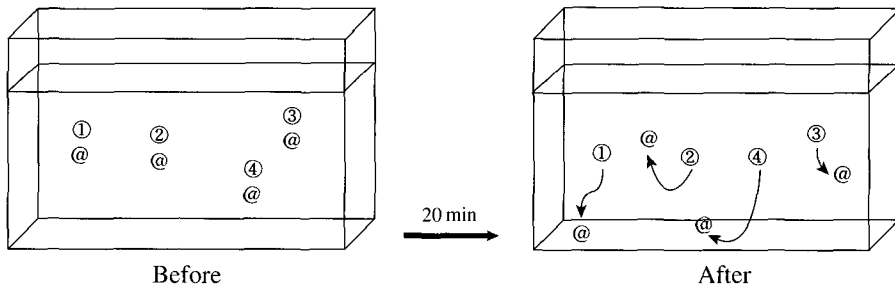


Fig. 1. Schematic diagram of activity measurement of the melania snail. @: melania snail, ↓: distance moved.

체를 운동성이 있는 개체로 판단하였다(Fig. 1). 각 농도구별로 매일 일몰시에 확인하였다.

6) 조직학적 방법

실험 개체의 발과 간체장을 적출하여 Bouin's solution에 일정시간 고정된 후, 파라핀 절편법으로 두께 4~6µm의 조직표본을 제작하였다. 제작된 조직표본은 H-E 비교염색, Masson 삼중염색, PAS 및 AB-PAS (pH 2.5) 반응을 실시하였다. 조직화학적 반응 후 점액세포의 염색친화도 판정은 Pantone® Formula Guide (Pantone Inc., U.S.A)를 기준으로 하였으며, ( )안에 고유기호를 표시하였다. 화상분석 장치 (IMT, Visus, USA)를 이용하여 상피층의 두께를 측정하였고, 점액세포의 분포 (점액세포/상피층 면적)를 백분율 (%)로 나타내었다. 기관계의 조직학적 이상에 관한 기제는 최소 5개체 이상을 조사하여 이 가운데 50% 이상의 병리조직학적 특성을 가진 개체들을 대상으로 하였다.

7) 유의성 검증

통계처리는 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 ANOVA t-test를 한 후 다중비교는 최소 유의차 검정 (Least-significant difference test)으로 유의성 (P<0.05)을 검정하였다.

결 과

1. 생존, 성장 및 운동성

실험종료 시점에 꽃게다슬기의 생존율은 대조구와 0.1과 0.5 mg/L PFOS 노출구에서 약 77%를 나타냈으며, 1.0과 5.0 mg/L 농도구에서는 각각 66%

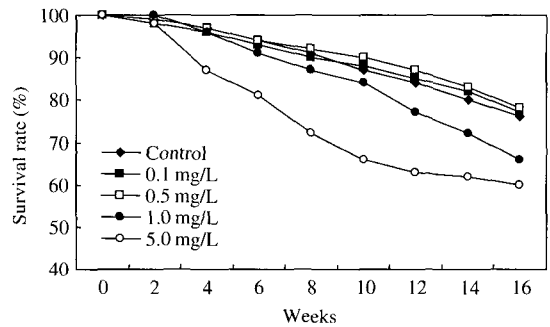


Fig. 2. Survival rate of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS.

와 60%로 나타났다(Fig. 2).

실험 개시 후 16주 경과된 대조구와 0.1, 0.5 mg/L 농도구에서는 약 24%의 운동성을 나타냈으며, 1.0 mg/L 농도구에서는 18.7% 그리고 5.0 mg/L 농도구에서는 5.5%로 운동성의 감소를 나타냈다(Fig. 3).

실험 개시기와 실험 종료시기인 16주의 전중량의 변화를 비교한 결과 실험 종료시기에 대조구와 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 mg/L PFOS 노출구에서 전중량은 다소 감소하였으나 유의차는 나타나지 않았다(Fig. 4).

실험 개시기에 육중량비는 31.7%였고, 실험 개시 후 16주 경과된 꽃게다슬기의 육중량비는 대조구와 0.5, 5.0 mg/L 농도구에서 21.9, 21.2, 23.6%로 유의차 없이 감소하였으나, 0.1, 1.0 mg/L 농도구에서는 23.6, 23.9%로 유의차를 나타내며 감소하였다(Fig. 5).

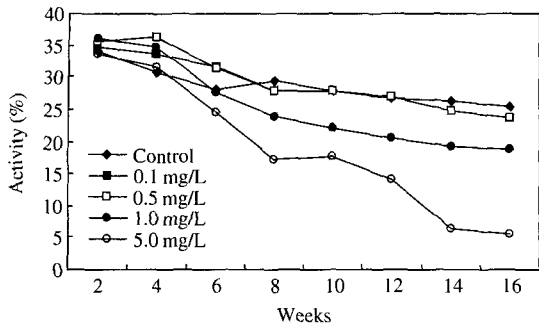


Fig. 3. Activity of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS.

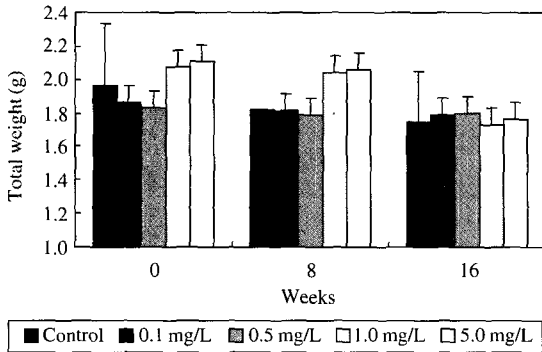


Fig. 4. Growth of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS. Vertical bar: SD.

2. 기관계 구조

1) 발

곳체다슬기 발의 조직학적 구조는 바깥쪽으로부터 상피층, 결합조직층 그리고 근육층으로 구성되어 있었다. 상피층은 단층으로 주로 원주형 상피세포들로 이루어져 있으며, 자유면에는 선조연이 잘 발달되어 있었다 (Fig. 6, D). 상피층에서 점액세포들은 원주형 상피세포들 사이에서 관찰되었으며, AB-PAS (pH 2.5) 반응에서는 적자색 (241 C)으로 반응하였다 (Fig. 6, E). 결합조직층은 상피층과 근육층 사이에 존재하였으며, 발의 앞부분에는 다세포선의 형태로 존재하는 족선 (anterior pedal gland)이 관찰되었고 (Fig. 6, B and C), AB-PAS (pH 2.5) 반응 결과 족선은 alcian blue에 푸른색 (286 C)으로 반응하였다 (Figs. 6, C). 근육층에서는 혈림프동과 다수

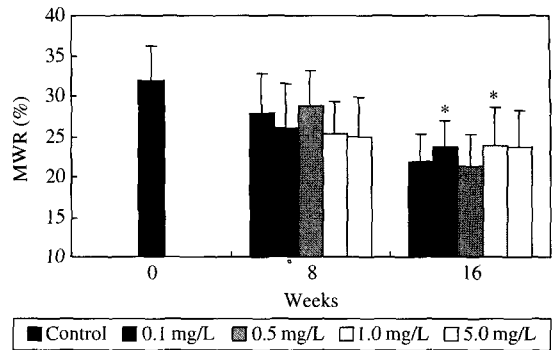


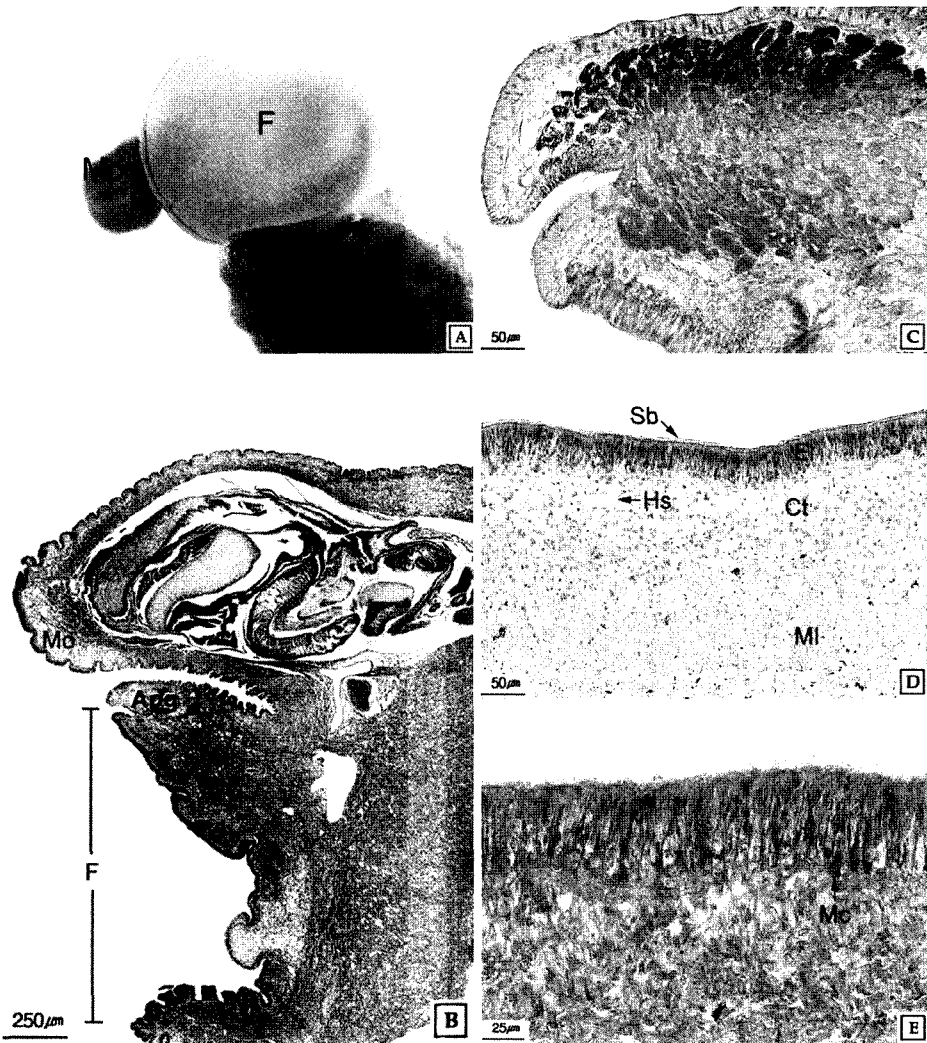
Fig. 5. Meat weight rate (MWR) of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS. Vertical bar: SD. \*: significantly different from control (P < 0.05).

의 교원섬유와 근섬유들이 관찰되었다 (Fig. 6, D).

PFOS 노출구 가운데 가장 낮은 농도구인 0.1 mg/L에서는 상피층의 점액세포가 적자색 (240 C)으로 반응하였으며, 대조구에 비해 점액세포의 반응정도가 증가하였다 (Fig. 7, A). 0.5 mg/L 농도구의 경우, 결합조직층에 존재하는 혈림프동의 확장이 관찰되었으며, 상피층에 존재하는 일부 점액세포들은 alcian blue에 푸른색 (299 C)으로 반응하였다 (Fig. 7, B). 1.0 mg/L 농도구의 경우, 근섬유의 핵을 축과 0.5 mg/L 농도구와 같이 산성점액세포가 관찰되었다 (Figs. 7, C and D). PFOS 노출 농도가 높아질수록 발의 앞부분에 존재하는 족선의 분포면적은 감소하였다 (Fig. 7, E). 5.0 mg/L 농도구의 경우, 점액세포 위축과 일부 개체에서 상피층의 선조연이 탈락하였으며, 0.5와 1.0 mg/L 농도구와 같이 근육층에 존재하는 근섬유 다발의 분절화가 나타났다 (Fig. 7, F).

PFOS에 16주 동안 노출된 곳체다슬기 발의 상피층 두께는 Fig. 8과 같다. 대조구의 상피층 두께는 평균 49.76 μm였다. 0.1과 0.5 mg/L PFOS 노출구에서는 각각 평균 49.36, 49.70 μm로 나타났으며, 1.0 mg/L 농도구에서는 평균 53.59 μm로 가장 높게 나타났고, 5.0 mg/L 농도구에서는 평균 48.45 μm로 나타났다.

PFOS에 16주 동안 노출된 곳체다슬기 발의 점액세포 분포비율은 Fig. 9와 같다. 대조구의 점액세포 분포비율은 평균 11.7%였다. PFOS 노출구인 0.1 mg/L 농도구에서는 평균 11.2%로 나타났으며,



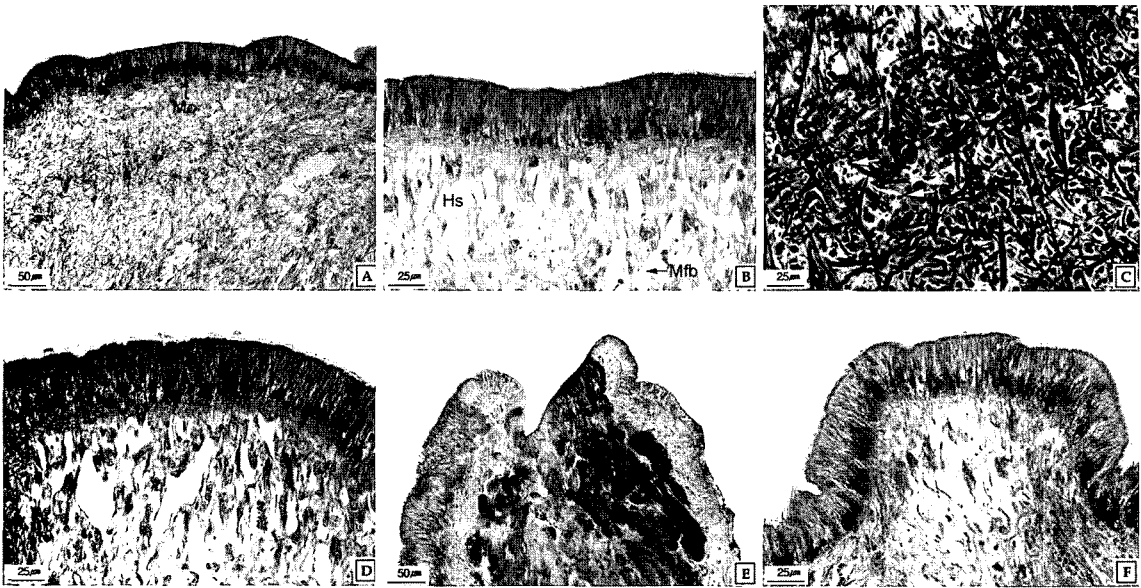
**Fig. 6.** Histology of foot of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* in the control group. A: External morphology of the mouth (Mo) and foot (F). B: Longitudinal section showing the mouth and foot. Masson's trichrome stain. C: Section showing the anterior pedal gland (Apg) of alcian blue positive. AB-PAS (pH 2.5) reaction. D: Section showing the striated border (Sb) and hemolymph sinus (Hs). H-E stain. E: Section showing the mucous cell (Mc) of Schiff's solution positive. AB-PAS (pH 2.5) reaction. El: epidermal layer, Ct: connective tissue, MI: muscular layer.

0.5 mg/L 농도구에서는 평균 8.6%였고, 1.0과 5.0 mg/L 농도구에서는 평균 7.7%로 감소하는 경향을 나타냈다.

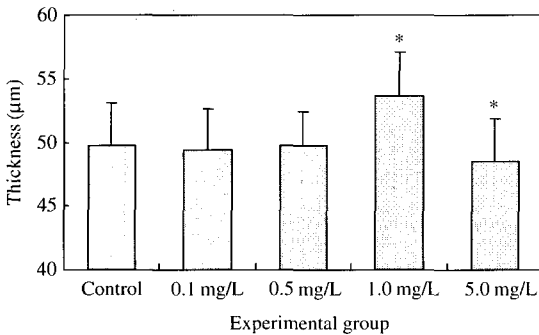
#### 4) 간체장

간체장의 조직학적 구조는 외막과 소화선 부위로 이루어져 있었다. 외막은 상피층과 결합조직층으로 구성되어 있으며, 상피층은 단층으로 입방형

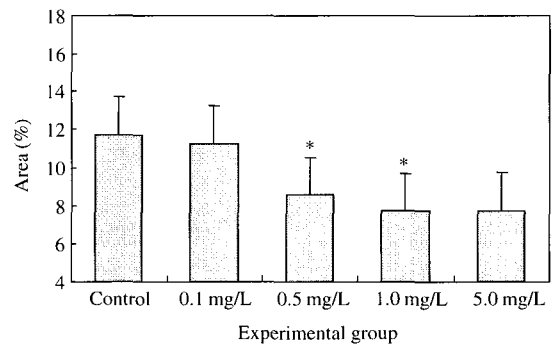
상피세포와 점액세포가 관찰되었다(Fig. 10, A). 점액세포는 H-E 염색에서는 공포상으로 나타났으며, AB-PAS (pH 2.5) 반응에서는 alcian blue에 양성으로 반응하여 푸른색(298 C)로 나타났다. 소화선은 다수의 선세포들로 구성된 다세포선으로 판포상선 형태이며, 소화세포와 과립이 관찰되었다. 소화세포들은 H-E 염색에서는 공포상으로 나타났으며, 소화선에 존재하는 과립은 H-E 염색에서는 흑녹색



**Fig. 7.** Histological changes of foot of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS for 16 weeks. A: 0.1 mg/L. Note the increased mucous cell (Mc) of Schiff's solution positive in epidermal layer (EI). AB-PAS (pH 2.5) reaction. B: 0.5 mg/L. Note the dilated hemolymph sinus (Hs) in connective tissue. AB-PAS (pH 2.5) reaction. C and D: 1.0 mg/L. Note the pynosis (arrow) of the muscle fiber and increased mucous cell of the alcian blue positive in epidermal layer. Masson's trichrome stain and AB-PAS (pH 2.5) reaction. E and F: 5.0 mg/L. Note the reduction of anterior pedal gland (Apg), desertion of striated border, atrophy of mucous cell and split of muscle fibers. AB-PAS (pH 2.5) reaction.



**Fig. 8.** Epidermal layer thickness of the foot of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS for 16 weeks. Vertical bar: SD. \*: significantly different from control ( $P < 0.05$ ).

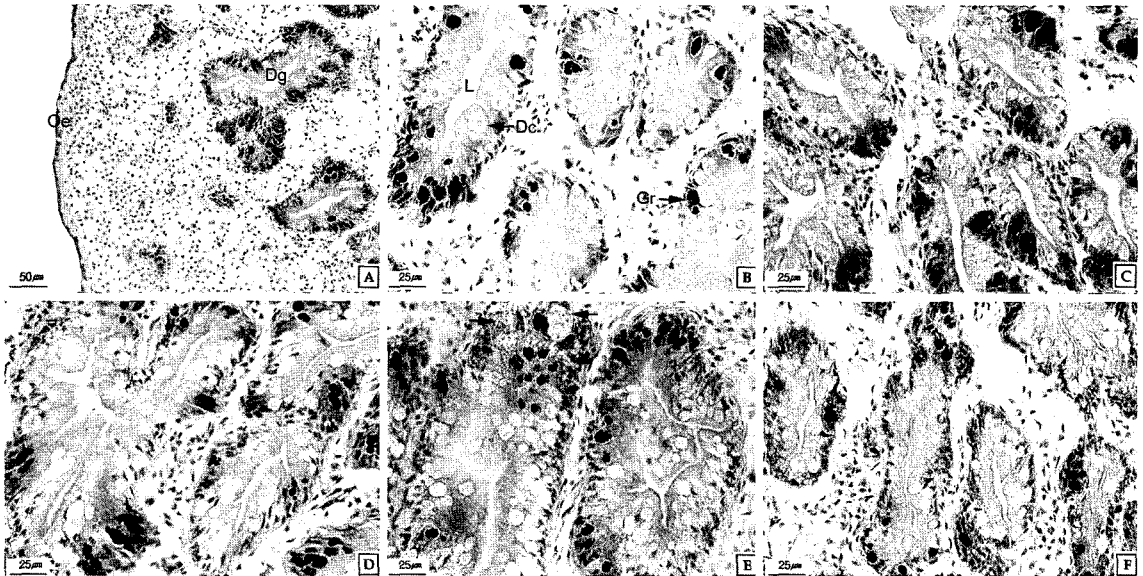


**Fig. 9.** Mucous cell area in the foot of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS for 16 weeks. Vertical bar: SD. \*: significantly different from control ( $P < 0.05$ ).

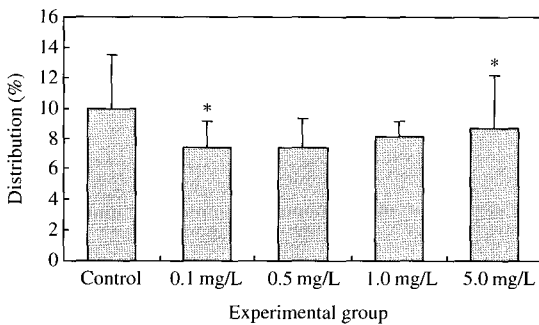
(Black 2 C), Long Ziehl-Neelsen 염색에서는 검은색 (Black C)으로 나타났다 (Fig. 10, B).

PFOS 노출구 가운데 가장 낮은 농도구인 0.1 mg/L에서는 소화세포의 위축이 관찰되었으며 (Fig.

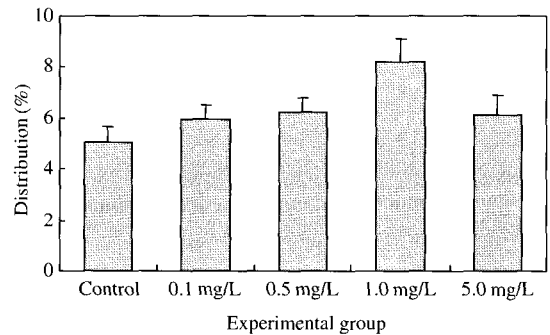
10, C), 0.5 mg/L 농도구의 경우 소화선 내에 공포화가 관찰되었다 (Fig. 10, D). 1.0 mg/L 농도구의 경우 0.5 mg/L 농도구와 같이 소화선의 공포화가 관찰되었으며, 일부 개체에서 소화세포의 괴사와 세



**Fig. 10.** Histological changes of digestive gland of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS for 16 weeks. A and B: Control group. Cross section showing the digestive cell (Dc), digestive gland (Dg) and granules (Gr). H-E stain. C: 0.1 mg/L. Note the atrophy of the digestive cell. H-E stain. D: 0.5 mg/L. Note the appearance of vacuole. H-E stain. E: 1.0 mg/L. Note the necrosis and the degeneration (arrow) of digestive cell. H-E stain. F: 5.0 mg/L. Note the closure of lumen and necrosis of digestive cell. H-E stain. L: lumen, Oe: outer envelope.



**Fig. 11.** Digestive cell distribution on digestive gland of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS for 16 weeks. Vertical bar: SD. \*: significantly different from control ( $P < 0.05$ ).



**Fig. 12.** Granule distribution of digestive gland of the melania snail, *Semisulcospira gottschei* exposed to PFOS for 16 weeks. Vertical bar: SD.

포의 크기가 커지는 세포변성이 관찰되었다(Fig. 10, E). 5.0 mg/L 농도구의 경우, 1.0 mg/L 농도구와 같이 소화선의 내강이 좁아지고 소화세포의 괴사도 관찰되었다(Fig. 10, F).

PFOS에 16주 동안 노출된 콧체다슬기 간체장의 소화세포의 분포비율은 Fig. 11과 같다. 대조구의

소화세포 분포비율은 평균 10%였다. PFOS 노출구인 0.1과 0.5 mg/L 농도구에서는 평균 7.4%로 가장 낮았으며, 1.0 mg/L 농도구는 평균 8.1%였고, 5.0 mg/L 농도구에서는 평균 8.7%였다.

콧체다슬기의 간체장에서 관찰된 과립의 분포 정도는 대조구와 각각의 PFOS 농도구에 따라 다르게 나타났다. 실험 개시 후 16주 경과된 대조구에서

과립의 분포비율은 5.1%였다. PFOS 노출구 가운데 0.1 mg/L 농도구에서 분포비율은 6.0%였으며, 0.5 mg/L 농도구에서는 6.2%로 다소 증가하였고, 1.0 mg/L 농도구에서는 8.2%로 높은 증가를 나타내다가 5.0 mg/L 농도구에서는 6.1%로 감소하였다(Fig. 12).

## 고 찰

연체동물 가운데 이매패류와 복족류는 정착성으로 세계적으로 널리 분포하며, 시료채취가 용이하고 오염물질이 체내에 잘 축적되므로 분석이 용이하다. 그리고 국지성 생물로서 특정해역의 오염상태에 대한 정보제공으로 오염물질의 지역간, 국가간 오염도 비교가 가능하기 때문에 오염지표종으로서 장점이 있다(Goldberg, 1986).

PFOS를 인위 투여한 Sprague-Dawley rat를 관찰한 결과, 임신한 개체의 생존율은 높은 오염 농도일수록 감소하였고, PFOS에 노출된 모체로부터 태어난 개체들의 생존율은 모든 그룹에서 감소하였으며, 체중과 간의 무게도 감소하였다(Grasty, 2003). 경골어류인 *Pimephales promelas*를 2주 동안 PFOS에 노출시킨 결과, 유영력과 섭이능력이 감소하였으며, 생존율의 감소가 나타났다(Ankley et al., 2005). 좁쌀무늬고둥과의 *Nassarius festivus*에 Cu, Cr, Zn 그리고 Cd와 같은 중금속과 사과우렁이과에 속하는 *Marisa cornuarietis*를 bisphenol A에 노출시켰을 경우, 노출 농도가 증가할수록 생존율의 감소와 섭이능력의 감소가 나타났다(Oehlmann, 2000; Tanhan et al., 2005). 그리고 Pb에 노출된 밤달팽이과의 *Helix engaddensis*와 물달팽이과 *Lymnaea stagnalis*의 경우, 노출 농도가 증가할수록 생존율과 운동성이 감소하였다(Pyatt et al., 2002; Snyman et al., 2005). 총알고둥, *Littorina brevicula*의 경우 TBTCI, Hg 및 Cd의 각 실험농도별 성장률, 생존율은 고농도일수록 시간의 경과에 따라 감소하였으며, TBTCI의 경우 뚜껑을 닫고 개체 입구 주변에 점액을 분비하여 막을 형성하였다(Chin et al., 1999a).

본 연구에서는 곳체다슬기, *Semisulcospira gottschei*를 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 mg/L 농도에 16주 동안 노출 후 생존율과 운동성을 관찰한 결과 대조구와 비교시 0.1과 0.5 mg/L 농도구에서는 유의한 차이

가 없었으나 1.0과 5.0 mg/L 농도구에서는 시간이 경과함에 따라 생존율과 운동성의 감소가 나타났다. 또한 가장 높은 노출구인 5.0 mg/L의 경우 노출 초기에는 뚜껑을 닫고 개체 입구 주변에서 점액을 분비하여 형성된 막을 관찰하였는데, 이러한 현상은 PFOS에 의한 특이적인 현상이라기보다 고농도의 오염원에 의한 복족류의 일반적인 반응기작으로 생각되어진다.

PFOS 노출에 의한 복족류의 기관계 구조변화에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 하지만 내분비계 장애물질에 속하는 endosulfan에 노출된 또아리물달팽이과의 *Planorbarius corneus*와 물달팽이과에 속하는 *Galba truncatula*의 발에서는 상피세포의 박리, 지방공포의 증가, 근섬유의 감소가 나타났으며, 점액세포의 크기와 수가 노출 초기에는 증가하였으나 노출 시간이 경과되면서 감소하였다(Otludil et al., 2004; Cengiz et al., 2005). 중금속에 노출된 총알고둥의 발 근육층에서는 근섬유의 핵응축, 근섬유 다발의 분절과 공포화가 나타났다(Chin et al., 1999b).

본 연구에서 PFOS에 16주 동안 노출된 곳체다슬기의 발에서는 근섬유 다발의 분절과 괴사가 나타났으며, 상피세포의 괴사와 탈락이 관찰되었고, 노출 농도가 높아질수록 선조연의 탈락과 혈림프동의 확장이 증가하였으며, 축선의 분포면적이 감소하였다. 발의 상피층 두께는 1.0 mg/L 농도구에서 유의적으로 증가하였으나, 5.0 mg/L 농도구에서는 대조구보다 감소하였다. 발의 점액세포 분포비율은 고농도일수록 시간이 경과됨에 따라 감소하였다. PFOS 노출에 의한 발의 이러한 구조적인 변화는 곳체다슬기의 이동에 일차적인 영향을 미치지만 운동성의 감소는 발의 구조적인 변화 뿐만 아니라 생리적 기능의 변화가 함께 수반되어 나타나는 결과로 판단된다.

소화선은 세포의 형태와 염색성에 따라 호염기성세포와 소화세포로 구성되는데 소화세포는 기저핵과 미세과립세포질로 이루어져 있다. Endosulfan에 노출된 또아리물달팽이과의 *P. corneus*와 물달팽이과의 *G. truncatula*의 소화선에서는 세포의 괴사와 변성, 핵의 농축, 공포의 증가와 소화선 내강의 축소 등이 나타났다(Otludil et al., 2004; Cengiz et al., 2005). Cd에 노출된 남극삿갓조개, *Nacella concinna*의 경우 고농도에서 소화세포 내의 미세



공포의 증가와 소화선의 모든 세포에서 심한 자가 분해 및 호염기성세포의 감소가 나타났다(Najle, 2000). Cu에 노출된 밤달팽이과의 *Helix aspersa* 소화선 상피층의 두께와 소화세포의 면적은 농도가 높아질수록 감소하였다(Snyman *et al.*, 2005). 또한 Cd와 Pb가 검출된 지역에서 채집된 갈고둥과에 속하는 *Nerita saxtilis*의 소화선을 관찰한 결과, 소화선내에서 공포와 다양한 크기의 구형 과립의 증가를 관찰하였다(Abd Allah *et al.*, 2002).

본 연구에서 꾀체다슬기의 소화선에서는 소화세포의 위축이 0.1 mg/L 농도구에서 관찰되었으며, 0.5 mg/L 농도구부터는 소화선의 공포화와 일부 소화세포의 괴사와 변성이 관찰되었다. 또한 노출 농도가 높을수록 소화선 내강의 축소와 혈구 수의 감소가 나타났다. 소화선 내에 존재하는 소화세포의 분포비율은 대조구와 비교했을 때 모두 낮게 나타났으며 소화선에서 과립의 증가가 나타났다. 이상의 결과는 오염물질에 의한 원활한 먹이섭이 능력 저하로 체중의 감소가 나타나며, 소화선에 존재하는 소화세포 역시 먹이의 소화 및 흡수에 장애로 나타나 소화세포가 감소된 것으로 보여진다. 소화선 내강의 축소는 먹이에 흡착된 독성물질이 내강을 통해 체내로 흡수되는 것을 방지하기 위해 나타난 반응으로 생각된다. 복족류의 간체장에서 과립의 증가는 스스로를 보호하기 위한 반응으로서 과립 내에 함유된 라이소좀 성분이 Cd, Cu, Hg 등의 중금속과 같은 독성물질을 분해하기 위해서 나타난 반응으로 보고되었다(Najle *et al.*, 2000; Taieb, 2001).

본 연구결과 PFOS는 꾀체다슬기의 생존과 발 및 간체장의 기관계 구조에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한 기관계의 구조적 이상은 이들 개체의 기능장애로 이어질 것으로 판단되며 이러한 기능변화에 미치는 영향에 관해서는 추후 생리·생화학적 분석 및 체내축적에 따른 반응성 평가 등이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 생각된다.

## 참고 문헌

- Abd Allah AT and Moustafa MA. Accumulation of lead and cadmium in the marine prosobranch *Nerita saxtilis*, chemical analysis, light and electron microscopy, Environ Pollut 2002; 116: 185-191.
- Ankley GT, Kuehl DW, Kahl MD, Jensen KM, Linnam A, Leino RL and Villeneuve DA. Reproductive and developmental toxicity and bioconcentration of perfluorooctane sulfonate in a partial lifecycle test with the fathead minnow, *Pimephales promelas*, Environ Toxicol Chem 2005; 24(9): 2316-2324.
- Bossi R, Riget FF, Dietz R, Sonne C, Fauser P, Dam M and Vorkamp K. Preliminary screening of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and other fluorochemicals in fish, birds and marine mammals from Greenland and the Faroe Islands, Environ Pollut 2005; 136: 323-329.
- Cengiz EI, Yildirim MZ, Otludil B and Ünlü E. Histopathological effects of Thiodan® on the freshwater snail, *Galba truncatula* (Gastropoda, Pulmonata), J Appl Toxicol 2005; 25: 464-469.
- Chin P, Lee JA, Shin YK and Lee JS. Environmental tolerance for pollutants in *Littorina brevicula* (P.). 1. The acute toxicity of TBTCI and heavy metals on *Littorina brevicula*, J Kor Fish Soc 1999a; 32(5): 587-592.
- Chin P, Lee JA, Shin YK and Lee JS. Environmental tolerance for pollutants in *Littorina brevicula* (P.). 2. The growth, metabolism and histological changes exposed to TBTCI and heavy metal in *Littorina brevicula*, J Kor Fish Soc 1999b; 32(5): 593-600.
- Goldberg ED. The mussel watch concept, Environ Monit Asses 1986; 7: 91-103.
- Grasty RC, Grey BE, Lau CS and Rogers JM. Prenatal window of susceptibility to perfluorooctane sulfonate-induced neonatal mortality in the Sprague-Dawley rat, Birth Defects Res (Part B) 2003; 68: 465-471.
- Han SJ and Lee IS. Accumulation and elimination of cadmium and zinc in *Littorina brevicula*, Korean J Ecol 2001; 24(1): 35-43.
- Hoff PT, Van Campenhout K, Van de Vijver K, Covaci A, Bervoets L, Moens L, Huyskens G, Goemans G, Belpaire C, Blust R and De Coen W. Perfluorooctane sulfonic acid and organohalogen pollutants in liver of three freshwater fish species in Flanders (Belgium): Relationships with biochemical and organismal effects, Environ Pollut 2005; 137: 324-333.
- Hoff PT, Van Dongen W, Esmans EL, Blust R and De Coen WM. Evaluation of the toxicological effects of perfluorooctane sulfonic acid in the common carp, *Cyprinus carpio*, Aquat Toxicol 2003; 62: 349-359.
- Inoue K, Okada F, Ito R, Kato S, Sasaki S, Nakajima S, Uno A, Saijo Y, Sata F, Yoshimura Y, Kishi R and Nakazawa H. Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and related perfluorinated compounds in human maternal and cord blood

- samples: Assessment of PFOS exposure in a susceptible population during pregnancy, *Environ Health Perspect* 2004; 112: 1204-1207.
- Kang JH. A study on the distribution of perfluorooctane sulfonate and perfluorinated chemicals in Gwangyang bay and Nakdong river, Master Thesis Yosu Nat'l Univ Yeosu Korea 2006; pp. 77.
- Kannan K, Hansen KJ, Wade TL and Giesy JP. Perfluorooctane sulfonate in oysters, *Crassostrea virginica* from the gulf of Mexico and the Chesapeake bay, USA, *Arch Environ Contam Toxicol* 2002; 42: 313-318.
- Kim DI. A study on the bioaccumulation of organic pollutants of heavy metal in *Semisulcospira gottschei*, Master Thesis Kyonggi Univ Seoul Korea 1995; pp. 73.
- Najle R, Elissondao M, Gentile S, Gentile M, Vacarezza G and Solana H. Histopathology of the digestive gland of an Antarctic limpet exposed to cadmium, *Sci Total Environ* 2000; 247: 263-268.
- Oakes KD, Sibley PK, Martin JW, MacLean DD, Solomon KR, Mabury SA and Van Der Kraak GJ. Short-term exposures of fish to perfluorooctane sulfonate: acute effects on fatty acyl-coa oxidase activity, oxidative stress and circulation sex steroids, *Environ Toxicol Chem* 2005; 24(5): 1172-1181.
- Oehlmann J, Schulte-Oehlmann U, Tillmann M and Markert B. Effects of endocrine disruptors on prosobranch snails (Mollusca: Gastropoda) in the laboratory. Part I: Bisphenol A and octylphenol as xeno-estrogens, *Ecotoxicology* 2000; 9: 383-397.
- Otludil B, Cengiz EI, Yildirim MZ, Unver O and Ünlü E. The effects of endosulfan on the great ramshorn snail, *Planorbarius corneus* (Gastropoda, Pulmonata): A histopathological study, *Chemosphere* 2004; 56: 707-716.
- Pyatt AJ, Pyatt FB and Pentreath VW. Lead toxicity, locomotion and feeding in the freshwater snail, *Lymnaea stagnalis* (L.), *Invert Neurosci* 2002; 4: 135-140.
- Snyman RG, Reinecke AJ and Reinecke SA. Quantitative change in the digestive gland cells of the snail, *Helix aspersa* after exposure to the fungicide copper oxychloride, *Ecotoxicol Environ Saf* 2005; 60: 47-52.
- Song MY, Choe BL, Park KS and Lee IS. Distribution of heavy metals in the sediments and periwinkles *Littorina brevicula* of Onsan bay, Korea, *Korean J Ecol* 1997; 20(1): 51-59.
- Taïeb N. Distribution of digestive tubules and fine structure of digestive cells of *Aplysia punctata* (Cuvier, 1803), *J Moll Stud* 2001; 67: 169-182.
- Tanhan P, Sretarugsa P, Pokethitiyook P, Kruatrachue M and Upatham ES. Histopathological alterations in the edible snail, *Babylonia areolata* (spotted babylon), in acute and subchronic cadmium poisoning, *Environ Toxicol* 2005; 20(2): 142-149.
- Yang JH, Kannan K, Kim SY and Shin IH. Levels of perfluoro-octane sulfonate and related fluorochemicals in human blood from the general population of Korea, *Organohalogen Compounds* 2004; 66: 4041-4045.
- Yoo JS. Korean shells in color, Iljisa Publishing Co Seoul 1988; 192.