

## PB5) $TiO_2$ 광분해법에 의한 비스페놀 A 분해과정이 zebrafish의 발생과 성숙기의 산화적 스트레스에 미치는 영향

여민경, 이주영\*

경희대학교 환경응용화학대학 환경학 및 환경공학 전공

### 1. 서 론

최근 들어  $TiO_2$ 광분해법이 화합물의 분해와 항균작용에 효과가 있음이 알려지면서 다수의 연구에서 주목받고 있다(Watanabe,1996, Hashimoto and Fujishima, 1996). 이러한  $TiO_2$  광분해법의 특성을 활용하면 음용수의 효과적인 처리법으로 활용될 수 있는 가능성이 있다.

또한 bisphenol A(BPA)와 같은 내분비장애물질의 우수한 제거효과와 무해성으로  $TiO_2$  광분해법은 새로운 음용수 처리법으로 연구되고 있다( Fujishima et al., 1999, 2000).

그러나  $TiO_2$ 의 살균효과( Saito et al., 1992, Maness et al., 1999, Zheng et al., 2000)는 세포막의 산화적인 손상에 의한 과산화지질의 생성(Blake et al., 1999) 에 의한 것으로 사람을 비롯한 고등한 생물에 대한 생물독성 연구는 그 분해효과에 비해 거의 연구되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 음용수 처리공법으로 BPA를 분해하는  $TiO_2$ 광분해과정의 생물학적 안정성을 알아보았다. 생물독성 연구의 시험동물은 척추동물로 발생주기가 빠른 zebrafish (*Danio Rerio*, wild type)를 이용하였다.

### 2. 재료 및 실험 방법

공동주택의 음용수 저장고의 내부 코팅소재로 쓰이는 에폭시수지(epoxy resin)에서 음용수로 용출되는 미량의 BPA를 확인하고, 이를  $TiO_2$ 광분해처리(여와 조, 2004)를 통해 분해시켰다.

생물독성의 영향은 형태적 이상과 함께  $TiO_2$ 의 광분해작용으로 형성된 과산화지질에 의한 살균효과가 사람을 비롯한 고등생물의 자체 방어계인 항산화효소의 활성화에 영향을 미치는지를 알아보았다.

이를 위해  $TiO_2$ 광분해처리동안 시험동물인 zebrafish의 embryo를 노출시킨 상태에서 부화시킨 자어의 형태적 이상 여부를 관찰하고, 이 시기의 자어의 항산화효소인 catalase(EC 1.11.1.6)의 활성도를 조사하였다. 또한 이 시기를 보낸 자어의 성장기(1,5주)와 성체기(28주)도 조사를 계속하였으며, 성체기에는 각 장기별 조사도 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

성체에 폭로하였을 때 알의 무게는 BPA 폭로군이 가장 증가하였으며,  $TiO_2$  광분해처리

군과 대조군의 순이었다. 정소의 무게는 대조군이 가장 컸으며 BPA군의 경우 편차가 커서 상대적으로  $TiO_2$ 광분해군보다 작은 정소무게를 보였다. 장의 경우도 대조군이 가장 크고, 간의 경우는 BPA폭로된 암컷(BPA-F)이 다른 군에 비해 간의 무게가 유의성 있게 증가한 것으로 조사되었다.

전체적인 체중증가는 BPA폭로군이 가장 컸으며, 수컷보다는 암컷이 무게가 많은 것으로 조사되었다. 그 다음으로는 대조군 암컷이,  $TiO_2$ 광분해처리군(암컷, 수컷)과 대조군 수컷군에 비해 무게가 많이 나가는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 낮은 양의 BPA가 여성호르몬작용으로 알 생산과 체중증가에 영향이 있는 것으로 보인다.

$TiO_2$ 처리군의 경우 BPA군보다는 그 영향이 적었지만 대조군과는 다른 양상을 보이고 상대적으로 낮은 BPA의 효과와 같은 경향을 보여  $TiO_2$ 처리가 생물에 낮은 독성이 나타나는 것으로 조사되었다.

발생과 성장기, 성장 후까지의 catalase의 활성도 측정에서, 에폭시수지폭로 환경에서 부화된 군은 BPA용출의 영향으로 부화 후 5주 이상 성장하지 못했다. 특히  $TiO_2$  광분해 환경에서 발생초기를 보낸 경우 성장기 이후에 산화적 스트레스 제거능이 대조군보다 50% 이상 떨어지는 것으로 나타났다.

이러한 결과로  $TiO_2$ 광분해처리는 형태적 이상과 같은 환경독성의 영향은 적지만 장기적으로 폭로되었을 시 면역력을 떨어뜨릴 수 있는 것으로 생각된다.

발생과 성장의 전반기에는 catalase 활성도가 큰 차이가 나타나지 않아 무해한 듯 보였으나 성체기에 이르러 catalase 활성도가 대조군에 비해 크게 떨어지는 결과를 보여 면역력 약화, 노화속도의 증가 등이 나타날 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 요약

음용수 처리공법으로 BPA를 분해하는  $TiO_2$ 광분해과정의 생물학적 안정성을 zebrafish (*Danio Rerio*, wild type)의 발생과 성장기를 통해 알아보았다.  $TiO_2$  광분해는 BPA를 제거하는 효과가 있었으며,  $TiO_2$  광분해 환경에서 부화된 자어의 경우 배발생 초기와 성장기, 성체시기에 형태적인 이상을 보이지 않았다. 그러나 항산화효소인 catalase의 활성도는 발생초기와 부화 1, 5주에는 대조군에 비해 별다른 차이가 나타나지 않았으나 28주의 성체기에는 활성도가 절반 이하로 떨어지는 자체방어계의 이상을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- Blake, D.M., Maness, P.C., Huang, Z., Wolfrum, E. J. , Huang, J., and Jacoby, W. A., 1999, Application of the photocatalytic chemistry of titanium dioxide to disinfection and the killing of cancer cells, *Sep. Purif. Meth.* 28, pp. 1-50.
- Fujishima, A., Hashimoto, K., Watanabe, T., 1999, *TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications*, BKC, Tokyo.
- Fujishima, A., Rao, T.N., and Tryk, D.A., 2000, Titanium dioxide photocatalysis , *J. Photochem. Photobiol. C* 1 , p. 1-21.

- Hashimoto, K., and Fujishima, A., 1966, Semiconductor photo-electrode and photo-chemical reaction, *Ceramic*, 31, pp. 815-820.
- Maness, P. C., Smolinski, S., Blake, D. M., Huang, Z., Wolfrum, E. J., and Jacoby, W. A., 1999, Bactericidal Activity of Photocatalytic TiO<sub>2</sub> Reaction: toward an Understanding of Its Killing Mechanism, *Appl. Environ. Microbiol.* 65, pp. 4094-4098.
- Saito, T., Iwase, T., Horie, J., and Morioka, T., 1992, Mode of photocatalytic bactericidal action of powdered semiconductor TiO<sub>2</sub> on mutans streptococci, *J. Photochem. Photobiol. B* 14, pp. 369-379.
- Watanabe, T., 1966, Super hydrophilic photocatalyst and its application, *Ceramics*, 31, pp. 837-840.
- 여민경, 조은정, 2004, 수용액에 용출된 에폭시수지 화합물의 TiO<sub>2</sub> 광분해 효과와 생물독성에 미치는 영향, *J. Environ. Toxicol.* 19(3) pp. 271-278.
- Zheng, H., Maness, P. C., Blake, D. M., Wolfrum, E. J., Smolinski, S. L., and Jacoby, W. A., 2000, Bactericidal mode of titanium dioxide photocatalysis, *J. Photochem. Photobiol. A* 130, pp. 163-170.