

## 기름 오염 무엇이 문제인가? (방향족탄화수소가 수산생물에 미치는 영향에 대해서)



이기석, 조교, 공학박사  
한국해양대학교 해양과학부  
Tel) 051-410-4750 Fax) 051-404-3988  
E-mail) ocean475@hanara.kmaritime.ac.kr

### 1. 머리말

우리의 주된 수산양식을 비롯한 어업 활동의 대상이 되고 있는 연안은, 유조선과 같은 대형 선박을 비롯하여 주로 연안에서 활동을 하는 소형 선박 등의 잦은 해난 사고로 인한 많은 양의 기름 유출로 인해 피해를 입고 있다. 90년대 중반 이후 발생한 씨프린스호(95년 7월), 여명호(95년 8월), 제1유일호(95년 9월), 호남사파이어호(95년 11월) 등과 같은 유조선을 포함한 크고 작은 선박 등의 해난 사고가 잇따라 발생하면서, 기름 유출에 대한 사람들의 관심이 증가해 왔다. 그러나 이러한 해난 사고 후, 기름 유출에 대한 관심은 외형적인 물리적 피해에만 국한되어져 왔다. 유조선과 같은 선박 사고 일어난 경우, 사람들의 관심은 메스컴을 통해 보여지는 선박에서 흘러나온 원유로 인한 시커멓게 뒤덮인 바닷가와 그로 인한 황폐화 되어진 어장만을 생각해 왔다. 하지만 이러한 기름 유출로 인한 사고인 경우, 그 문제가 단순하게 금전적인 수산양식의 피해와 환경적인 오염에 있는 것 뿐만 아니라, 우리의 눈으로는 보이지 않는 2차적인 문제를 야기한다는 데 접이 있어서 그 문제가 심각하다고 할 수 있다.

따라서 본 란을 통해 기름의 유출이 어떤 문제를 야기시킬 수 있으며, 방향족탄화수소 (aromatic hydrocarbons)와 기름 유출과의 관계를 포함하여 지금까지 우

리에게 생소한 단어로 여겨져 왔던 방향족탄화수소란 어떤 종류의 화학물질이며, 우리에게 어떠한 영향을 미치는지, 또한 왜 우리가 이러한 생소한 물질에 관심을 가져야 하는지, 아울러 그 이유와 함께 지금까지 우리나라 연안에서 연구 되어진 방향족탄화수소 성분의 오염 정도를 파악해 보고자 한다. 외국에서는 이미 1960년대 부터 해양 환경에 노출된 방향족탄화수소에 관한 연구가 진행되어져 왔으며 국내에서는 방향족탄화수소에 관한 연구는 1995년 이후에 그 연구가 진행되고 있다.

### 2. 기름의 오염과 방향족탄화수소의 관계

먼저 기름의 오염과 방향족탄화수소가 어떠한 관계가 있는지 먼저 살펴보고자 한다. 원유를 비롯한 선박 및 자동차에서 쓰이는 기름은 대부분이 탄소와 수소의 결합으로 이루어진 탄화수소(hydrocarbon) 성분으로 이루어져 있으며, 이러한 탄화수소는 벤젠 고리(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)를 갖고있는 방향족탄화수소와 벤젠 고리를 갖고 있지 않은 지방족탄화수소 성분으로 나누어진다. 메탄(CH<sub>4</sub>)은 가장 간단한 탄화수소 성분이며, 에탄, 프로판, 부탄 등 가정에서 연료로 사용되는 연료들도 모두 탄화수소로 이루어져 있다. 지방족탄화수소라는 명칭은 이러한 화합물들이 대부분 지방 성분과 같이 물에 뜨는 성질을 가지고 있기 때문에 지방족탄화수소

(aliphatic hydrocarbon)라는 명칭을 얻게 되었으며, 방향족이라는 명칭은 벤젠 등과 같이 독특한 향기를 지닌 방향성 성분을 포함하고 있기 때문에 방향족탄화수소(aromatic hydrocarbon)라는 명칭을 갖게 되었다.

원유의 경우 종류에 따라서 50~90%가 탄화수소 성분으로 이루어져 있으며, 이들 성분 중 방향족탄화수소가 약 5% 정도를 차지하고 있고, 기타 황을 비롯한 미량의 중금속 성분으로 이루어져 있다. 따라서 기름은 탄화수소로 뭉쳐져 있는 탄화수소의 덩어리라는 표현이 적절한 표현이 될 것이며, 이러한 아주 적은 부분을 방향족탄화수소가 차지하고 있다.

### 3. 방향족탄화수소에 관심을 가져야 하는 이유

기름이 유출될 경우, 1차적인 피해는 기름에 포함된 고분자로 이루어진 불용해성 탄화수소(hydrocarbon)들에 의하며 이러한 탄화수소들에 의하여 수중의 어류, 조간대 지역에 서식하는 조개류, 따개비류, 굴 등이 질식하게 되며, 대부분의 해양 생태계 및 양식 수산물 및 어류가 폐사하게 되고, 바닷가와 뺨에 서식하는 각종 해양 생물들의 서식지가 황폐화 된다. 아마도 대부분의 사람들이 생각하는 기름의 유출에 따른 피해는 이 정도 범위일 것으로 판단된다. 하지만 시커멓게 해안가를 뒤덮고 있던 기름띠가 사라졌다고 해서 기름의 유출로 인한 피해가 사라진 것은 아니라는 것이다. 즉, 인간의 건강에 미치는 영향으로 따져 볼 때, 기름 유출에 의해 이루어지는 눈에 보이지 않는 2차적인 피해는 더욱 더 심각하다고 할 수 있다.

일단 기름 유출로 인해 연안 환경이 오염되게 되면 기름으로부터 방향족탄화수소 성분이 해양 환경으로 용출되게 되며, 먹이 섭취 과정과 여러가지 경로를 거쳐 오염된 지역에 서식하는 해양 동식물에게 흡수된 후 신진대사 작용을 방해하게 되고, 이러한 방향족탄화수소는 방향족탄화수소에 오염된 해양 동식물들을 섭취한 인간에게까지 영향을 궁극적으로 미치게 되는 것이다. 그동안 많은 선진국에서 방향족탄화수소 성분에 대해 많은 연구를 해온 이유는, 수백 가지의 방향

족탄화수소 성분 중 대부분이 발암성, 돌연변이 및 기형 유발성 물질로 밝혀졌기 때문이다.

그동안 환경과 관련하여 발암물질로 알려진 다이옥신(dioxin), 환경호르몬 물질로 알려진(polychlorinated biphenyls, PCB) 및 임포섹스(imposex)를 유발하는 유기주석(tributyltin, TBT) 등은 이미 많은 연구 결과와 메스컴의 보도 등을 통해 사람들에게 그 위험성이 널리 알려져 있는 편이지만 방향족탄화수소의 경우, 그 위험성에도 불구하고 사람들에게 잘 알려져 있지 않은 실정이다.

방향족탄화수소가 암을 유발하는 것으로 밝혀진 것은 1770년대 영국 외과의사에 의해 처음 밝혀졌으며, 당시 굴뚝 청소를 하는 굴뚝 청소부들에게서 음낭암의 발생율이 높은 것을 연구하던 중 음낭에 검댕이와 코올타르가 축적되어 암이 유발된다는 것이 밝혀졌다. 이러한 검댕이와 코올타르를 분석한 결과, 코올타르에서 발견된 많은 화합물들이 넷 또는 그 이상의 접합된 벤젠 고리로 구성되어 있다는 것이 규명되었다. 사실 기름 자체가 우리들의 자동차나 연료 및 기타 경제 활동과 아주 밀접하게 관련이 있다 보니, 이러한 방향족탄화수소를 우리 생활 주변 어느 곳에서나 쉽게 발견할 수 있게 되었으며, 방향족탄화수소에 둘러싸여 생활하고 있다는 표현이 옳을 것이다.

방향족탄화수소는 기름에 의한 활동뿐만 아니라 산불 등을 통해서도 발생되며, 최근 몇 년 전에 발생한 인도네시아와 동남아시아의 산불을 통해서도 주변 지역으로 많은 양의 방향족탄화수소가 발생되었을 것으로 판단된다. 우리의 생활과 관련된 또 다른 예를 들자면, 우리가 거의 매일 직·간접적으로 접하고 있는 담배 연기에도 벤젠 고리 5개로 이루어진 벤조[a]피렌(benzo[a]pyrene)을 포함하는 강한 발암성 방향족탄화수소 성분이 담배 한 개당 0.1~0.25 $\mu$ g 정도 포함되어 있다(Hoffman and Hecht, 1996). 이러한 사실을 통해서 방향족탄화수소가 우리생활 깊숙하게 자리잡고 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

방향족탄화수소에 대한 이해를 돕기 위해서 EPA에서 주요 오염 물질로 분류되어 환경 분야에서 가장

많이 연구되고 있는 16개의 방향족탄화수소의 화학적 구조식을 그림 1에 나타내었으며, 그림 1에 나타난 방향족탄화수소 성분 중에서 우리가 가장 친숙하게 접할 수 있는 것은 벤젠 고리가 두개 결합되어 있는 나프탈렌(naphthalene)이다. 분자량이 182.2인 나프탈렌은 독성이 크지 않기 때문에, 나프탈렌의 독특한 방향을 이용해서 해충으로부터 우리의 옷 등을 보호하는 용도로 그 동안 많이 이용 되어온 화합물이다. 하지만 벤젠 고리의 개수가 5개 이상으로 이루어진 벤조[a]피렌(benzo[a]pyrene), 벤조[g,h,i]페릴린(benzo[g,h,i]perylene),

인덴노[1,2,3,c,d]피린(indeno[1,2,3,c,d]pyrene), 디벤조[a,h]안트라센(dibenzo[a,h]anthracene) 등은 포유동물에게 발암성 물질로 작용하는 것이 확인 되었으며, 어류의 간에서 간암을 유발하는데 관여하는 것으로 밝혀졌다 (Vethaak, 1987).

방향족탄화수소의 물리·화학적 성질을 살펴보면, 방향족탄화수소는 물과 반응하는 성질이 약한 소수성(hydrophobic)이며, 지방층과 쉽게 결합하는 지방 친화성(lipophilic) 물질이다. 따라서 방향족탄화수소가 흡수되었을 경우, 배설 과정을 통해 체외로 배출되지 않

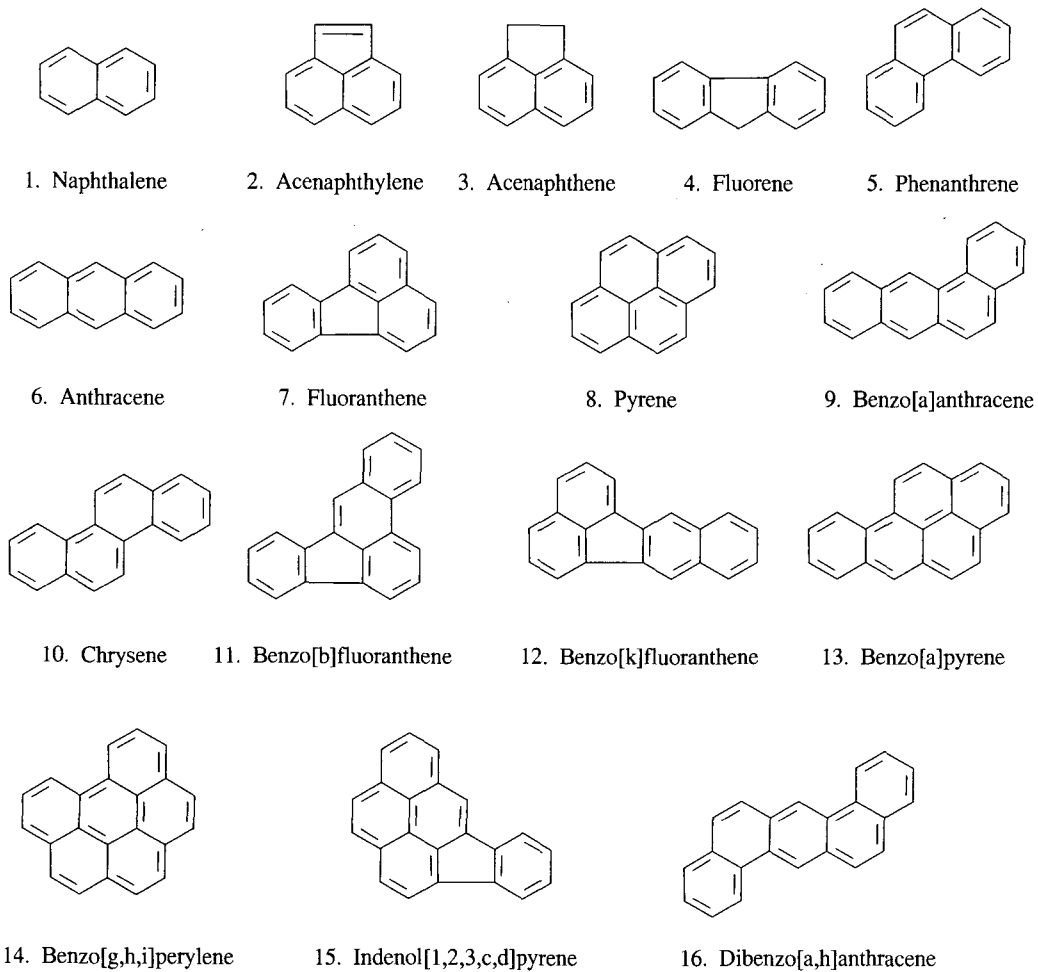


그림 1. 16종 PAH의 분자 구조.

음으로 인해, 어류, 갑각류 및 이매패류와 같은 생물 체내에 생물 축적(bioaccumulate)되는 경향을 가지고 있다. 이러한 과정은 저질과 수층에 존재하는 PAHs 성분을 여과 섭식 하거나 아가미를 통해 섭취하는 과정을 통해 이루어 진다(Evans, 1988). 방향족탄화수소는 지방족탄화수소보다도 분해되는 속도가 느리며, 조직에 더 오래 잔류되고, 독성이 더 강한 것으로 알려져 있다. 또한 방향족탄화수소는 신진대사 과정을 방해하는 것으로도 알려져 있다(Neff, 1985).

해양 환경으로 유입되는 방향족 탄화수소의 경로는 기름의 유출이 직접적인 원인이 될 수도 있지만 그 밖에도 가정 하수 및 산업 폐수에 포함되어 있는 기름 성분에 의해서, 또는 교통 수단의 배기 가스 및 난방 기구 등과 같은 기름을 연소하는 시설에 의해 방출되는 연소 가스 등이 도로나 대기 중에 존재하다가 우천시 빗물이 해양으로 흘러드는 과정을 통해 간접적으로도 유입된다. 해양에 유입된 대부분의 PAHs 성분들은 해수내에 떠있거나, 해양 생물체에 흡수 또는 해양 저질에 축적되어, 해양 환경내에 오랜 시간동안 잔류하게 된다(Giger and Blumer, 1974).

#### 4. 국내 연안 환경의 방향족탄화수소 현황

그동안의 연구 결과를 바탕으로 하여 지금까지 국내의 연안 환경에서 검출된 총 탄화수소의 농도(total aromatic hydrocarbon ; 개개 탄화수소의 농도를 합쳐놓은 것)는 마산만의 경우 참굴(*Crassostrea gigas*)에서 0.1~830 $\mu$ g/kg, 진주조개(*Mytilus edulis*)에서 0.1~1600 ng/g 농도로 검출되었으며(Lee, 1997), 부산항에 서식하는 저서성 어류들의 근육 조직에서 81.8~2,506 ng/g (Seol, 1997), 광양만의 저질에서 1,430~3,601 ng/g, 진주담치에서 901~1,956  $\mu$ g/kg, 참굴에서 681~2,269 ng/g 범위의 방향족탄화수소 농도가 각각 검출되었다(Kim, 1998). 그동안 남해안에서 보고된 검출 농도를 기준으로 볼 때, 부산항과 광양만에 서식하는 생물들의 조직에 대체적으로 높은 농도의 방향족탄화수소가 검출됨을 알 수 있으며, 이러한 사실은 주변 지역의 산업화,

도시의 발달, 교통 수단의 증가 요인 등과 크게 무관하지 않다는 것을 보여주고 있다.

또한 동해안 지역에서 이루어진 연구 결과를 보면, 영덕 지역의 저질, 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 진주담치 등을 대상으로 방향족탄화수소를 검출한 결과 모두 0.1 ng/g 이하의 농도가 검출되었고(이와 노, 1998), 울진 지역에서도 해조류, 해수, 진주담치에서 모두 0.1 ng/g 이하의 농도가 검출 되었다(이와 노, 1998). 그러나 고리 지역의 경우, 저질에서 1~420 ng/g, 진주담치에서 0.5~212 ng/g 범위의 방향족탄화수소 농도가 검출되어 다른 동해안 지역의 농도보다 높게 검출되었다(Lee and Noh, 1997). 또한 Yim (1998)의 자료에 따르면 마산만내 표층 저질 및 해수층에서 분석된 총 방향족탄화수소의 농도가 각각 207~2,679 ng/g와 827~1,390 ng/g의 수치로 검출되었다.

물론 이러한 방향족탄화수소의 농도가 발암성을 유발하는 탄화수소의 농도만을 계산한것이 아니라 단순히 검출된 총 방향족탄화수소의 농도이지만, 총 방향족탄화수소의 농도가 높다는 것은 그만큼 암, 돌연변이를 비롯하여 기형을 유발시키는 방향족탄화수소의 농도 역시 높을 수 있다는 사실을 인식해야 한다. 또한, 우리가 식생활에서 섭취하는 수산물은 방향족탄화수소의 위험과는 거리가 멀다고 생각할지 모르나, 분석이 이루어진 지역이 대부분 공업 단지와 인접한 지역이기 때문에 이러한 영향은 우리가 섭취하는 수산물에도 충분히 존재할 수 있으며, 더 이상 우리의 식탁이 방향족탄화수소에 오염된 수산물로부터 안전할 수 없는 것으로 판단된다. 이러한 판단은 미국 성인을 기준으로 식 습관이나 음식물의 종류를 감안한 1일 섭취 가능한 방향족탄화수소의 양이 0.5~4.80.1 $\mu$ g 이라는 통계 수치(Charles et al., 1992)를 참고로 한다면, 타당성이 높다고 할 수 있다.

#### 5. 맺음말

위에서도 언급한 바와같이 그동안 크고 작은 선박의 사고로 인하여 많은 양의 기름이 국내 연안으로

흘러들어 연안 환경을 오염시켰다. 이에 따르는 거의 모든 사고후의 조치는, 많은 양의 유화제(surfactant)를 기름 층 위에 살포하여 기름 층을 분산시켜 바다 밑으로 가라 앉히거나, 연안에 형성되어 있는 기름띠를 흡착포 등을 이용하여 제거하는 물리적인 처방 정도에서 마무리 되었다.

즉 기름이 우리들의 시각에서 사라지면, 더 이상 기름 오염에 대한 문제를 제기 하지 않았다. 그러나 대부분의 선진국에서는 해양에서 사고로 인한 기름이 유출된 경우, 시각적으로 보이는 기름 오염이 제거되었다 하더라도, 기름 오염으로 인한 해양 생태계 내에 존재하는 방향족탄화수소의 농도를 계속적으로 측정함으로써, 사고 후에도 잔류하는 탄화수소 농도를 주기적으로 관찰해오고 있다. 이러한 조치는 사고 지역에서 생산되는 수산물 들을 섭취함으로써 우리의 건강이 탄화수소 성분에 의해 위협 받을 수 있다는 관점에서 볼 때, 매우 타당하다고 볼 수 있으며, 차후 발생하는 기름유출사고에 대해 이와같은 조치는 반드시 취해져야 할 것이라고 판단된다.

현재 방향족탄화수소에 관한 연구는 한국해양연구원을 비롯하여 몇몇 대학연구소를 중심으로 국내 연안 환경을 대상으로 하여 활발하게 연구가 진행에 되고 있으며, 앞으로 지속적인 연구와 발전이 있기를 기대해 본다.

### 참 고 문 헌

1. Kim, Y. H., 1998. The high performance liquid chromatography (HPLC) analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment, mussels, and oysters from the coastal zone of Kwangyang Bay, Korea. Master Thesis, Korea Maritime University.
2. Lee, K. S., 1997. The high performance liquid chromatography (HPLC) analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mussel and oysters from the intertidal and subtidal zones of Chinhae Bay, Korea. Master Thesis, Korea Maritime University.
3. 이기석·노 일, 1998. 영덕 일대의 해양 환경에 농축된 다환방향족탄화수소(PAHs)에 관한 연구. 한국해양환경공학회. 11월 발표 자료.
4. 이기석·노 일, 1998. 울진 연안의 해양 환경에 농축된 다환방향족탄화수소 (PAHs)에 관한 연구. 한국해양환경공학회. 5월 발표 자료.
5. Seol, Y. B., 1997. The polychelic aromatic hydrocarbons in benthos (including demersal fish) and sediments from Pusan costal water and Nakdong River Estuary, Korea. Master Thesis, Korea Maritime University.
6. Charles, A. M., B. P. Bonnie and S. Joseph, 1992. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment. Environ. Sci. Technol., vol. 26, No. 7.
7. Evans, H. E., 1988. The binding of three PCB congeners to dissolved organic carbon in freshwaters. Chemosphere, 17: 2325-2338.
8. Giger, W. and M. Blumer., 1974. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment: isolation and characterization by chromatography, visible, ultraviolet, and mass spectrometry. Anal. Chem. 46: 1663-1671.
9. Hoffman, D. and Hecht, S. S., 1996. In Chemical Carcinogenesis and Mutagenesis I; Cooper, C. S.; Grover, P. L., Eds.; Springer Verlag, New York, pp. 63~102.
10. Lee K. S and Il Noh, 1997. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment and mussels (*Mytilus edulis*) from the intertidal zone of Kori nuclear power plant, Korea. East Sea Oceanography Conference, October, 1997.
11. Neff, J. M., 1985. Polycyclic aromatic hydrocarbons: In Fundamentals of Aquatic Toxicology, Rand, G. M. and Petrocilli, S. R., Eds., Hemisphere, Chap. 14.
12. Vethaak, A. D., 1987. Fish diseases, signals for a diseased environment? Reasons for Concern (Proc. 2<sup>nd</sup> North Sea Seminar '86), G. Peet, ed., Vol. 2, Amsterdam, Werkgroep Noordzee, pp. 41-61.
13. Yim U. -H. 1998. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Masan Bay, Korea. Master Thesis, Seoul National University. ㉠