

### 3종 양식어류의 전기자어기에 미치는 원유 수용성 획분(WSF)의 영향

장영진 · 이갑현 · 강덕영\* · 진 평\*\*

부경대학교 양식학과  
\*국립수산진흥원 거제수산종묘시험장  
\*\*부경대학교 해양생물학과

### Effects of the Water Soluble Fraction from Kuwait Crude Oil on the Early Larval Stages of Three Cultured Fish Species

Young Jin Chang, Kap Hyun Lee, Dük-Young Kang\* and Pyung Chin\*\*

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea  
\*Keoje Marine Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Keoje 656-840, Korea  
\*\*Department of Marine Biology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Bioactivity, growth and survival rate of yolk sac larvae in cultured black seabream (*Acanthopagrus schlegelii*), red seabream (*Pagrus major*) and olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to 5 different concentrations (0, 25, 50, 75 and 100%) of water soluble fraction (WSF) of Kuwait crude oil were studied.

The 75% and 100% of WSF concentration influenced negatively on the length growth of larvae in each species, so the growth rates of total length in the concentration of WSF were significantly lower than those of control. The high concentrations (50%, 75% and 100%) of WSF influenced negatively not only on the swimming frequency and speed but also on the morphological abnormality of larvae. Red seabream larvae showed the highest rate of abnormality by WSF among the tested fishes. The fish larvae exposed during pre- and post-hatch (egg and larval stages) and during post-hatch (larval stage only) to the WSF were significantly influenced on their survival rate. The larvae of red seabream were more sensitive to WSF than those of black seabream and olive flounder. The survival rates of larvae exposed to higher concentrations (50%, 75% and 100%) of WSF were significantly lower than those of the control, but those of the 25% group were not.

Key words : Crude oil, Water soluble fraction (WSF), Cultured fish larva, Bioactivity, Survival rate

### 서론

세계적으로 해상 물동량의 증가와 더불어 빈번하게 발생하는 유조선 사고는 그 사고 자체로서 문제가 그치는 것이 아니라, 운송중에 있던 유류의 유출에 의해 주변해역의 생태계에 막대한 피해를 입히게 된다. 이렇게 유출된 유류 성분중 일부는 휘발되어 공기중으로 날아가지만, 일반적으로 탄소수가 적은 벤젠, 톨루엔, 크실렌 및 나프탈렌 같은 가벼운 성분은 해수에 용해되어 수계와 접촉하면서 독성을 지닌 무색의 수용성 방향족 탄화수소(water sol-

uble fraction, WSF)로 전환된다.

WSF는 어류 수정란의 발생과정(Paine et al., 1992) 및 배체내 안포분화(Anderson et al., 1974)에 영향을 미치며, 자어의 대사에 관여하여 난황이용 및 성장을 억제시킬 뿐 아니라, 생존율을 낮추는 것으로 보고되고 있다(Paine et al., 1992). WSF는 ppm 단위의 농도에서 성어에게 독성을 나타내지만(Rice, 1985), 자어는 더욱 민감하여(Malins and Hodgins, 1981) 성어 보다 더 높은 독성을 받는 것으로 알려져 있다(Linden, 1976; Carls, 1987; Overton et al., 1994). 이와 같이 WSF에 자어가 더욱 민감한 이유는 표면

적/부피의 비가 성어 보다 상대적으로 크기 때문에 오염원의 체내 침투가 빠른 데에 있다. 실제 capelin (Paine et al., 1992)과 turbot (Stephens et al., 1997)에서 원유의 WSF가 자어의 대사에 영향을 미쳐 성장률 및 생존율은 낮게, 기형률은 높게 하는 것으로 보고되고 있다. 한국에서도 Lee et al. (1975)과 Ahn and Chin (1986)에 의해 백합 (*Meretrix lusoria*)과 곤쟁이(*Neomysis awatschensis*)의 발생과 호흡에 미치는 원유성분의 독성이 연구되었다. 또한 최근에는 Lee et al. (1999)이 난발생중 WSF에 노출된 어류 전기자어의 생존활성을 보고한 바 있다. 이와 같이 유류오염 발생시 WSF는 해류나 조류에 의해 연안으로 확산되어 인근 해역의 수계생물과 양식장의 어류에게 악영향을 미치며, 특히 종묘생산 시기에 어류의 알과 자어에 영향을 미쳐 양식장의 생산력을 낮출 가능성이 있다.

그러므로, 본 연구에서는 주요 양식 대상종인 감성돔 (*Acanthopagrus schlegeli*), 참돔(*Pagrus major*) 및 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 전기자어를 대상으로 원유 중의 WSF가 이들의 어체활성 및 생존율에 미치는 영향을 조사하여, 원유유출에 따른 수산동물의 피해정도를 파악하는 데 기초자료를 제공하고자 하였다.

### 재료 및 방법

실험재료로는 Table 1과 같이 감성돔, 참돔 및 넙치의 수정란과 부화직후 자어를 이용하였다.

실험에 사용된 WSF는 Paine et al. (1992)의 방법에 따라 쿠웨이트산 원유로부터 추출하였다. 실험구로는 추출한 WSF 원액을 100%WSF로 하고, 이를 여과해수와 비례적으로 희석하여 대조구인 0%WSF, 25%WSF, 50%WSF 및 75%WSF의 5개구를 3반복으로 설정하였다(Lee et al., 1999).

실험용기로는 유리 비이커를 사용하여 WSF의 휘발이 최소화되도록 상부를 알루미늄 호일로 덮은 다음, 공기공

급을 위해 4개의 구멍을 뚫었다. 실험구별로 실험용액의 양은 2,000 ml로 하였으며, 수정란 및 자어의 발생속도가 수온변화에 의해 차이나지 않도록 18.0±0.5℃의 수온이 유지되는 항온수조에 실험용기를 담구어 주었다. 모든 실험에서 먹이공급이 결과에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 전기자어에게 먹이를 공급하지 않고 부화시의 난황으로만 영양이 유지되도록 하였다. 실험기간중 비중은 1.0246±0.0005, DO는 4.3±0.3 mg/ℓ, pH는 6.7±0.8이었다.

**부화전 ~ 부화후 노출 :** 수정후 15시간이 지난 수정란(상실기)을 200개/ℓ로 각 WSF 실험구에 수용하여, 부화후 자어단계까지 지속적으로 노출시키면서 어종별, 경과시간별 자어의 난황부피, 유영활성(속도, 빈도), 전장, 기형률 및 생존율을 측정하였다.

WSF 농도별 노출시 전기자어의 난황 흡수속도를 비교하기 위하여 실험구별로 전기자어를 매일 20마리씩 무작위 추출한 다음, 난황의 장경(L, mm)과 단경(H, mm)을 측정하여 난황부피(V, mm<sup>3</sup>)를 식  $V = \pi LH^2/6$  (Blaxter and Hempel, 1963)에 의하여 계산하였다. 자어의 유영활성을 파악하기 위하여 부화후 2일째의 자어를 1 mm 간격으로 눈금이 표시되어 있는 유리관(내경 10 mm, 길이 50 cm)에 넣어 10분간 유영빈도(동작횟수; jerks/min)와 유영속도(이동거리; mm/min)를 측정하였다(Tilseth et al., 1984). 전기자어의 경과일수별 성장은 만능투영기상에서 전장 측정에 의해 파악하였다. 그리고 실험구별로 전기자어를 매일 20마리씩 무작위 추출한 다음, 5% 중성 포르말린에 고정하여 만능투영기 및 입체 해부현미경에서 기형어의 출현 빈도를 파악하였다. 기형자어는 입체현미경 관찰과 조직학적 관찰을 통하여 안구의 색소침착, 미병부의 만곡, 난황낭과 지느러미막의 파열 등으로 판단하였다. 모든 실험에 있어서 실험기간 동안 매일 폐사개체를 계수하여 폐사율을 구하고, 이로 부터 생존율을 역산정하였다.

Table 1. Size (mm) of eggs and newly hatched larvae from 3 fish species used in this experiment

		<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	<i>Pagrus major</i>	<i>Paralichthys olivaceus</i>
Egg	Diameter	0.83±0.02	0.93±0.03	0.92±0.03
	Oil globule diameter	0.18±0.01	0.19±0.19	0.17±0.01
Larva	Total length	1.96±0.09	1.54±0.11	2.23±0.08
	Standard length	1.84±0.11	1.46±0.11	2.16±0.09

The values are mean±SD.

**부화후 노출** : 깨끗한 여과해수에서 갓 부화한 자어를 200마리/ℓ의 밀도로 각 WSF 실험구에 수용하여, 전술한 방법에 따라 어종별, 경과시간별 자어의 유영활성(빈도, 속도), 기형을 및 생존율을 측정하였다.

각 실험의 데이터는 SPSS 통계패키지에 의해 분산분석과 Duncan의 다중검정을 실시하여 유의차 유무를 판정하였다.

## 결 과

### 1. 부화전~부화후 노출

**난황 흡수속도** : 자어의 난황부피 변화를 기초로 한 난황 흡수속도는 Fig. 1과 같이 3어종 자어 모두 고농도의 WSF에서 0%WSF의 자어 보다 느린 것으로 나타났다. 감성돔 자어는 0%WSF에서 부화후 4일째 난황을 완전 흡수하지만, 부화후 1일과 2일째를 기준으로 보면, 75% 이상의 WSF에서 0%WSF 보다 난황의 부피가 커서 흡수속도가 느렸다. 이것은 참돔 역시 부화후 1일째 0%WSF는  $0.0323 \pm 0.0024 \text{ mm}^3$ , 25%WSF  $0.0352 \pm 0.0028 \text{ mm}^3$ 으로 유의한 차가 없었지만, 75%WSF 이상에서는 0%WSF 보다 현저하게 느린 난황흡수 속도를 나타냈다. 넙치 자어는 부화직후에 모든 실험구의 난황부피가  $0.1261 \pm 0.0451 \text{ mm}^3$ 였던 것이, 부화 1일째 0%WSF  $0.0635 \pm 0.0027 \text{ mm}^3$ 와 25%WSF  $0.0661 \pm 0.0041 \text{ mm}^3$ 로 두 농도구 사이에는 큰 차이 없었지만, 50%WSF ( $0.0768 \pm 0.0037 \text{ mm}^3$ ) 이상의 농도에서는 0%WSF 보다 느린 난황 흡수속도를 나타냈다.

**유영빈도 · 유영속도** : WSF 농도별 자어의 유영빈도와 유영속도는 Table 2와 같다. 감성돔의 유영빈도는 대조구(0%)에서  $12.11 \pm 0.29 \text{ jerks/min}$ 이었고, 50%WSF ( $9.63 \pm 0.65 \text{ jerks/min}$ ) 이상의 농도에서 낮은 빈도를 보이기 시작하여 100% WSF ( $7.03 \pm 0.21 \text{ jerks/min}$ )에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 참돔 자어는 50%WSF ( $9.06 \pm 0.30 \text{ jerks/min}$ )부터 대조구( $11.76 \pm 0.25 \text{ jerks/min}$ ) 보다 적어지기 시작하여, 농도가 높아지면서 유영빈도가 낮아졌다. 넙치에서도 WSF 농도가 높아질수록 낮아지는 경향을 보였다 ( $P < 0.05$ ). 유영속도에 있어서 감성돔 자어는 대조구에서  $6.28 \pm 0.18 \text{ mm/min}$ 이었던 것이 25%WSF ( $5.88 \pm 0.10 \text{ mm/min}$ )에서부터 느려지기 시작해, 100%WSF에서  $3.20 \pm 0.30 \text{ mm/min}$ 으로 농도가 높아질수록 느려지는 경향이

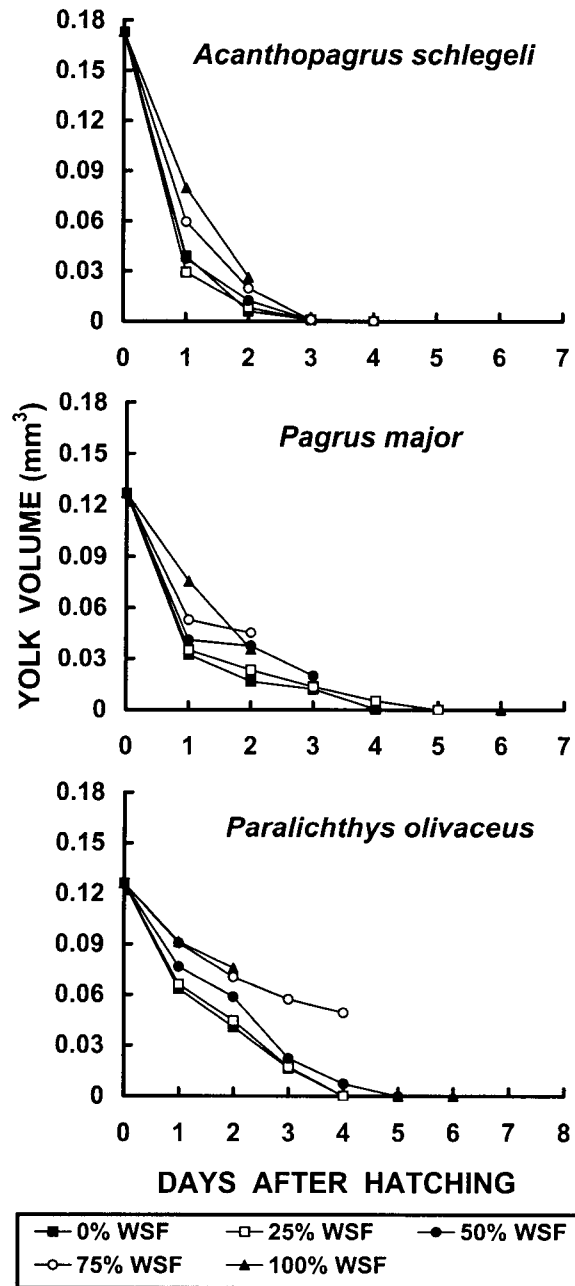


Fig. 1. Yolk volume ( $\text{mm}^3$ ) of larvae following pre- and post-hatch exposure in five different concentrations of WSF of Kuwait crude oil.

있었다. 참돔 자어 역시 감성돔 자어와 다소 차이는 있었지만, 50%WSF ( $4.46 \pm 0.16 \text{ mm/min}$ ) 이상의 농도부터 대조구( $5.52 \pm 0.10 \text{ mm/min}$ )의 자어 보다 느려지기 시작했다. 또한 넙치에 있어서는 50% WSF ( $7.26 \pm 0.12 \text{ mm/min}$ ) 이상의 농도부터 대조구( $8.46 \pm 0.16 \text{ mm/min}$ ) 보다 느려지기 시작해, WSF 농도가 높아질수록 유영활성이 낮아지

**Table 2. Swimming frequency (jerks/min) and speed (mm/min) of larvae from 3 fish species following pre- and post-hatch exposure in five different concentrations of WSF of Kuwait crude oil<sup>1</sup>**

WSF conc. (%)	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>		<i>Pagrus major</i>		<i>Paralichthys olivaceus</i>	
	SF <sup>2</sup>	SS <sup>3</sup>	SF	SS	SF	SS
0	12.11 ± 0.29 <sup>a</sup>	6.28 ± 0.18 <sup>a</sup>	11.76 ± 0.25 <sup>a</sup>	5.52 ± 0.10 <sup>a</sup>	11.82 ± 0.35 <sup>a</sup>	8.46 ± 0.16 <sup>a</sup>
25	11.42 ± 0.58 <sup>ab</sup>	5.88 ± 0.10 <sup>b</sup>	10.74 ± 0.44 <sup>a</sup>	5.08 ± 0.14 <sup>a</sup>	10.78 ± 0.69 <sup>ab</sup>	8.30 ± 0.16 <sup>a</sup>
50	9.63 ± 0.65 <sup>b</sup>	5.20 ± 0.10 <sup>b</sup>	9.06 ± 0.30 <sup>b</sup>	4.46 ± 0.16 <sup>b</sup>	9.65 ± 0.46 <sup>b</sup>	7.26 ± 0.12 <sup>b</sup>
75	8.55 ± 0.27 <sup>c</sup>	3.74 ± 0.20 <sup>c</sup>	7.04 ± 0.22 <sup>c</sup>	3.20 ± 0.72 <sup>c</sup>	7.53 ± 0.31 <sup>c</sup>	4.40 ± 0.66 <sup>c</sup>
100	7.03 ± 0.21 <sup>c</sup>	3.20 ± 0.30 <sup>c</sup>	5.78 ± 0.53 <sup>c</sup>	2.56 ± 0.32 <sup>c</sup>	6.64 ± 0.46 <sup>c</sup>	3.26 ± 0.16 <sup>c</sup>

<sup>1</sup>The values are mean ± SD. Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). <sup>2</sup>Swimming frequency. <sup>3</sup>Swimming speed.

는 경향이였다(P<0.05).

**성장 :** 자어의 전장 성장은 Fig. 2와 같이 3어종 모두 고농도의 WSF에서 대조구에 비해 느린 것으로 나타났다. 감성돔에 있어서는 대조구인 0% WSF에서의 성장은 부화 후 3일째까지 모든 WSF구 보다 빨랐다. 참돔 자어 역시 부화직후 전장 1.54 ± 0.11 mm에서 부화후 1일째 0% WSF 1.99 ± 0.05 mm, 25% WSF 1.98 ± 0.04 mm로 유의한 차가 없었지만, 50% WSF 1.87 ± 0.02 mm, 75% WSF 1.76 ± 0.04 mm 및 100% WSF 1.70 ± 0.08 mm의 순으로 대조구 보다 느린 성장을 나타냈다. 부화후 3일째부터의 전장성장은 25% 이상 WSF에서 대조구 보다 느린 것으로 나타났다. 넙치 자어는 부화직후 모든 실험구에서 전장 2.23 ± 0.08 mm였던 것이 부화후 1일째에는 대조구와 모든 WSF구 사이에서 성장차이를 보이지 않았다. 부화후 2일째에도 0% WSF 3.06 ± 0.02 mm, 25% WSF 3.05 ± 0.01 mm, 50% WSF 3.02 ± 0.02 mm로 3개의 실험구 사이에는 성장 차이가 없었다. 그러나 75% WSF (2.96 ± 0.02 mm) 및 100% WSF (2.93 ± 0.03 mm)에서는 0% WSF 보다 느린 성장을 나타냈다(P<0.05). 부화후 3일째부터의 전장성장은 WSF 처리구가 대조구 보다 느렸다.

**기형률 :** WSF의 농도별 노출에 따른 부화 2일째 자어의 기형률은 Fig. 3과 같다. 감성돔에서는 25% WSF (8.1 ± 0.5%) 이상부터 대조구(1.2 ± 0.5%) 보다 높은 기형률을 나타냈으며, 100% WSF에서 43.0 ± 1.6%로서 가장 높았다(P<0.05). 참돔 자어 역시 25% 이상의 농도에서 대조구에 비해 높은 기형률을 나타냈다. 그러나 넙치 자어는 대조구(1.1 ± 0.1%)와 25% WSF (1.8 ± 0.6%)에서 차이가 없었지만, 50% WSF 이상에서 대조구 보다 높은 기형률을 보였다(P<0.05). 또한 100% WSF를 기준으로 하여 어종별로 비교

하면, 참돔 자어가 가장 높은 기형률을 나타냈다. 이상의 결과에서 고농도의 WSF 노출은 대조구에 비해 높은 기형률을 보였으며, 3어종중 참돔 자어가 가장 민감하게 반응을 알 수 있었다.

**생존율 :** 상실기의 수정란에서부터 부화후까지 지속적으로 WSF에 노출시킨 전기자어의 생존율을 보면, Fig. 4와 같이 감성돔은 부화후 3일째에 0~50% WSF에서 49.78~53.57%로 실험구별 차이가 없는 반면, 75% WSF에서는 16.04%로 급격히 낮아졌으며, 100% WSF에서는 0%였다. 자어의 존율이 0%를 나타낸 기아시 생존일수는 100% SF에서는 화후 3일로 가장 짧았으며, 75% WSF 4일, 50% SF 5일, 0~25% WSF에서는 6일로 가장 길었다. 참돔에 있어서는 부화후 3일째에 0~25% WSF에서 47.91~54.89%의 생존율을 보여 서로 비슷한 반면, 50% WSF에서는 12.07%로 급격히 낮아졌으며, 75% 및 100% WSF에서는 0%였다. 자어의 존율이 0%인 기아시 생존일수는 75% 및 100% SF에서 3일, 50% WSF에서 4일, 0% 및 25% WSF에서는 6일로 가장 길어, WSF 농도가 높아질수록 짧은 경향을 나타냈다. 넙치 자어의 부화후 3일째 및 6일째 생존율은 0% WSF에서 각각 78.97%, 17.56%, 25% WSF에서 66.39%, 21.62%, 50% WSF에서 부화후 6일째 0%에 이르렀다. 또한 100% WSF에서는 생존율이 3일째 0%였다. 자어의 생존율이 0%를 타낸 기아시 생존일수는 100% WSF 3일, 75% SF 5일, 50% WSF 6일 및 0~25% WSF 8일로 감성돔과 참돔에 비하여 WSF 농도별 생존기간이 길었다.

## 2. 부화후 노출

**유영빈도 · 유영속도 :** WSF 농도별 자어의 유영빈도와 유영속도는 Table 3과 같다. 감성돔 자어의 유영빈도는 0% WSF에서 12.12 ± 0.48 jerks/min이었고, 50% WSF

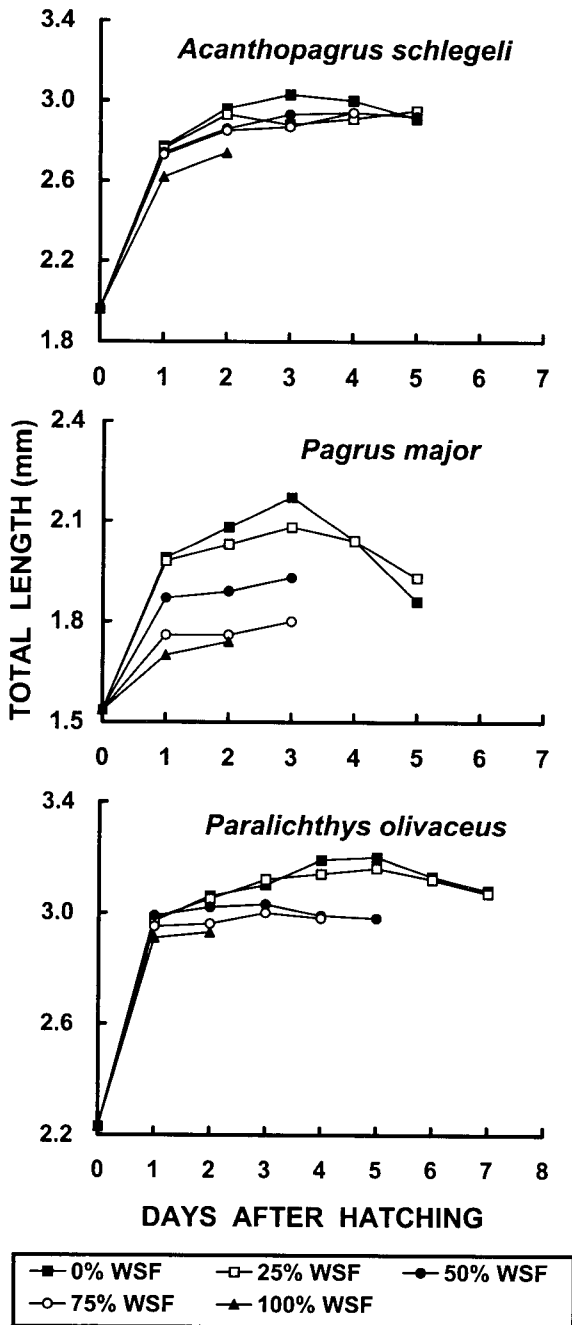


Fig. 2. Total length (mm) of larvae following pre- and post-hatch exposure in five different concentrations of WSF of Kuwait crude oil.

( $9.83 \pm 0.42$  erks/min) 이상부터 낮아지기 시작하여, 100% SF ( $6.94 \pm 0.61$  jerks/min)에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 참돔에서는 50%WSF ( $10.39 \pm 0.32$  jerks/min) 이상부터 대조구( $11.53 \pm 0.22$  jerks/min) 보다 유영빈도가 낮아짐을 알 수 있었고, 넙치 자어에서도 앞의 두 종과 유사하게 WSF

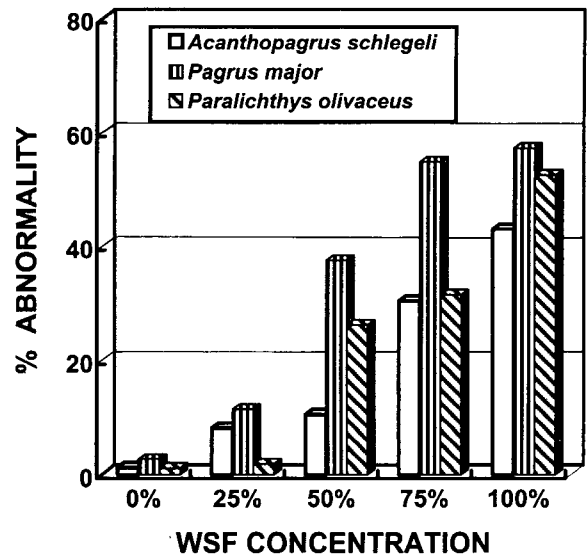


Fig. 3. Abnormalities (%) of 2-day old larvae following pre- and post-hatch exposure in five different concentrations of WSF of Kuwait crude oil.

농도가 높아질수록 낮아지는 경향을 나타냈다( $P < 0.05$ ). 유영속도는 감성돔 자어에서 대조구의  $6.14 \pm 0.08$  mm/min에서 100% WSF의  $3.32 \pm 0.16$  mm/min로 나타나 WSF 농도가 높아질수록 유의하게 느려짐을 알 수 있었다. 참돔 자어 역시 50% ( $4.74 \pm 0.10$  mm/min) 이상의 WSF 농도구부터 대조구( $5.52 \pm 0.34$  mm/min) 보다 느려지기 시작했다. 또한 넙치에서는 50% ( $7.50 \pm 0.42$  mm/min) 이상의 WSF 농도부터 대조구( $8.44 \pm 0.14$  mm/min) 보다 느려졌다( $P < 0.05$ ).

**기형률** : WSF의 농도별 노출에 따른 부화 2일째 자어의 기형률은 Fig. 5에서 보는 바와 같이, 감성돔에서 대조구인 0%WSF가  $1.2 \pm 0.5\%$ 로서 25%WSF와 50%WSF에서와 유의차없었지만, 75% WSF  $21.8 \pm 3.6\%$  및 100%WSF의  $30.4 \pm 2.8\%$ 와는 크게 차이를 나타내어, WSF의 농도가 높을수록 기형률이 높아짐을 알 수 있었다. 참돔 자어는 대조구에서  $2.7 \pm 0.5\%$ 로서 25%WSF와 차이가 없었지만, 50% 이상의 WSF에서는 대조구 보다 유의하게 높은 기형률을 나타냈다( $P < 0.05$ ). 넙치 자어는 대조구와 25% 및 50% WSF에서 차이를 나타내지 않은 반면, 75% 및 100%WSF에서 높은 기형률을 보였다. 100%WSF를 기준으로 어종별로 비교한 결과, 참돔 자어가 감성돔 및 넙치에 비해 높은 기형률을 나타냈다( $P < 0.05$ ).

**생존율** : 수정란을 깨끗한 여과해수로 부화시킨 다음

Table 3. Swimming frequency (jerks/min) and speed (mm/min) of larvae from 3 fish species following post-hatch exposure in five different concentrations of WSF of Kuwait crude oil<sup>1</sup>

WSF conc. (%)	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>		<i>Pagrus major</i>		<i>Paralichthys olivaceus</i>	
	SF <sup>2</sup>	SS <sup>3</sup>	SF	SS	SF	SS
0	12.12±0.48 <sup>a</sup>	6.14±0.08 <sup>a</sup>	11.53±0.22 <sup>a</sup>	5.52±0.34 <sup>a</sup>	11.98±0.25 <sup>a</sup>	8.44±0.14 <sup>a</sup>
25	11.90±0.39 <sup>ab</sup>	6.06±0.10 <sup>a</sup>	11.35±0.29 <sup>a</sup>	5.30±0.14 <sup>a</sup>	11.15±0.33 <sup>a</sup>	8.24±0.08 <sup>a</sup>
50	9.83±0.42 <sup>b</sup>	5.28±0.10 <sup>b</sup>	10.39±0.32 <sup>b</sup>	4.74±0.10 <sup>b</sup>	10.06±0.30 <sup>b</sup>	7.50±0.42 <sup>b</sup>
75	9.17±0.45 <sup>b</sup>	3.86±0.32 <sup>c</sup>	7.64±0.51 <sup>c</sup>	3.46±0.36 <sup>c</sup>	8.08±0.32 <sup>c</sup>	5.26±0.28 <sup>c</sup>
100	6.94±0.61 <sup>c</sup>	3.32±0.16 <sup>c</sup>	7.06±0.43 <sup>c</sup>	2.88±0.16 <sup>d</sup>	7.68±0.21 <sup>c</sup>	3.88±0.10 <sup>d</sup>

<sup>1</sup>The values are mean±SD. Means within each column followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05). <sup>2</sup>Swimming frequency. <sup>3</sup>Swimming speed.

전기자어를 각 농도의 WSF에 노출시켰을 때, 부화후 3일째인 감성돔 자어의 생존율은 0%, 25% 및 50%WSF에서 43.18~49.78%로 서로 비슷한 반면, 75%WSF에서는 27.45%로 낮아졌으며, 100%WSF에서는 7.45%로 가장 낮았다. 이후 이러한 경향은 지속되었으며, 자어의 생존율 0%를 나타낸 기아시 생존일수는 100%WSF에서 부화후 4일로 가장 짧았으며, 75%WSF 5일, 0~50% WSF구에서는 6일로 가장 길었다. 참돔 자어는 부화후 3일째에 0%~75% WSF에서 37.14~47.91%의 생존율을 보여 서로 비슷한 반면, 100%WSF에서는 16.43%로 낮았다. 자어의 생존율이 0%를 보인 기아시 생존일수도 100%WSF 4일, 50%와 75% WSF 5일, 0%와 25%WSF 6일로 WSF의 농도가 높아질수록 짧아지는 경향을 나타냈다. 넙치의 자어에서 부화후 3일째 및 6일째의 생존율은 0% WSF에서 각각 78.97%, 17.56%, 25%WSF에서 70.67%, 15.24%, 50%WSF에서 63.48%, 0%, 75%WSF에서 57.11%, 0%로 WSF 농도가 높아질수록 생존율이 낮아지는 경향을 보였으며, 100%WSF에서는 3일째 21.37%로 급격히 낮아져, 부화 4일째 0%에 달하였다. 자어의 생존율이 0%를 나타낸 기아시 생존일수는 100% WSF 4일, 50~75%WSF 6일, 0~25%WSF 8일로 WSF의 농도가 높아질수록 짧았으며, 감성돔과 참돔의 자어에 비하여 WSF 농도별 생존기간이 길었다(Fig. 6).

## 고 찰

원유중 WSF는 어류자어의 유영활성 감소, 기형률 증가 및 생존율 저하를 유발하는 것으로 보고되고 있다(Carls, 1987; Stephens et al., 1997; Tilseth et al., 1984). 어류의 발생단계별 WSF 노출에 대한 부화후 자어의 생존활성은 서로 차이를 나타내는데, 난발생시에만 WSF에 노출되었던

자어는 비교적 높은 생존활성(Lee et al., 1999)을 나타내는 반면, 자어기부터의 WSF 노출은 난황 흡수전까지 가장 민감하게 반응하다가 이후부터 치어기까지는 점차로 낮은 민감도를 보이는 것으로 알려져 있다. 이것은 전기자어가 어체크기에 비해 높은 표면적 비를 나타내며, 난황내 지질함량이 많아 상대적으로 많은 양의 탄화수소를 흡수함으로써 나타나는 현상인 것으로 추정되고 있다(Stephens et al., 1997).

Anderson et al. (1974)은 원유의 독성실험시 노출용액의 농도를 총탄화수소 농도로 나타낼 필요가 있다고 하였으며, Ahn and Chin (1986)의 실험에서도 쿠웨이트산 원유의 총탄화수소 농도를 측정할 바 있다. 본 연구에서는 쿠웨이트산 원유의 탄화수소 농도를 측정하지 못하였지만, WSF의 추출은 Ahn and Chin (1986)이 인용한 Anderson et al. (1974)의 방법과는 달리, Paine et al. (1992)의 방법에 따랐기 때문에 Ahn and Chin (1986)이 측정된 총탄화수소 농도를 인용하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서 사용된 100%WSF의 탄화수소 농도는 원유의 산지는 다르지만, Paine et al. (1992)의 연구결과에 따라 대략 3.90~6.53 ppm (평균 5.43±0.67 ppm) 범위에 속하는 것으로 추측된다.

대부분 어류의 자어는 부레내에 공기를 채워넣기 위하여 수계내 상층부에서 부유하면서 부유성 먹이생물을 포식하기 때문에, 효과적인 먹이섭식을 위해서 강한 유영활성이 요구된다. 그러나 WSF에 의해 발생된 기형자어는 유영활성의 감소로 먹이 포획능력이 약화된다. 본 연구에서 3종 어류 자어의 운동성은 50%, 특히 100%WSF에서 매우 낮았고, 기형자어는 전혀 움직이지 못하였다. 그러므로 WSF에 의한 어체 만곡과 같은 형태이상은 자어의 유영능력을 감소시키고 먹이 포획능력에도 영향을 미칠 수 있다

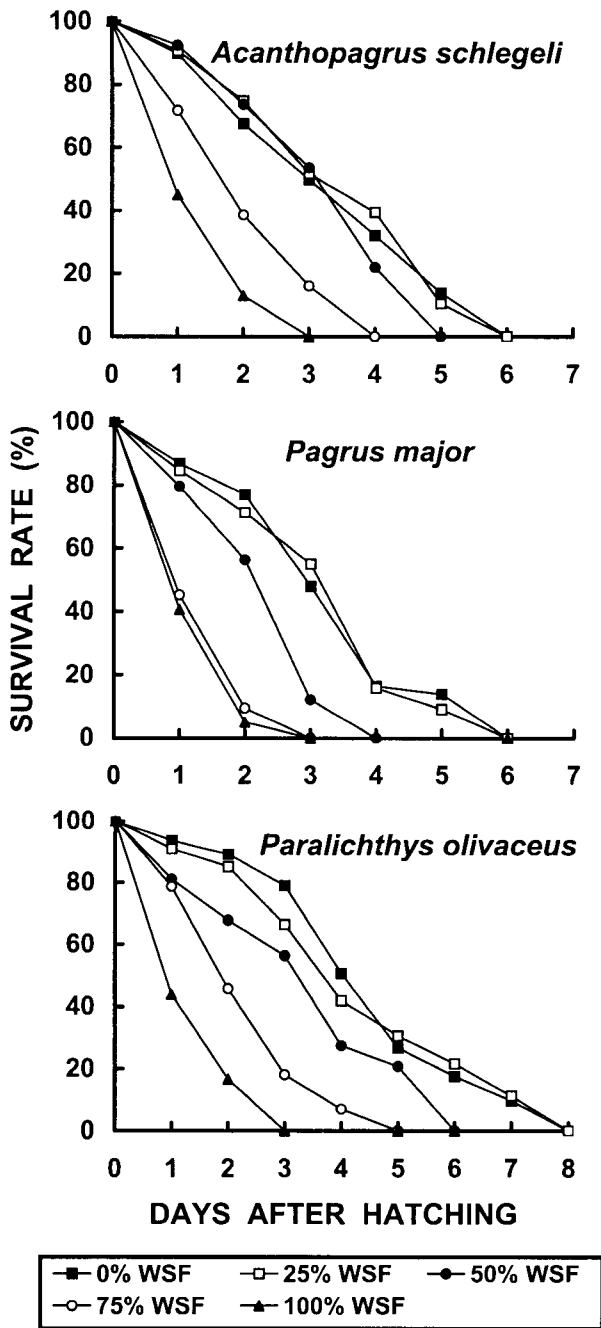


Fig. 4. Survival rate of larvae following the pre- and post-hatch exposure in five different concentrations of WSF of Kuwait crude oil.

(Tilseth et al., 1984). Tilseth et al. (1984)은 대구(*Gadus morhua*)의 자어가 0.25 ppm WSF에서 어체의 기형때문에 섭식개시 초기에 먹이생물의 포획능력이 감소한다고 하여 이를 뒷받침해 주고 있다. 그리고 WSF의 독성에 따른 자어의 유영력 감소도 배제할 수 없다.

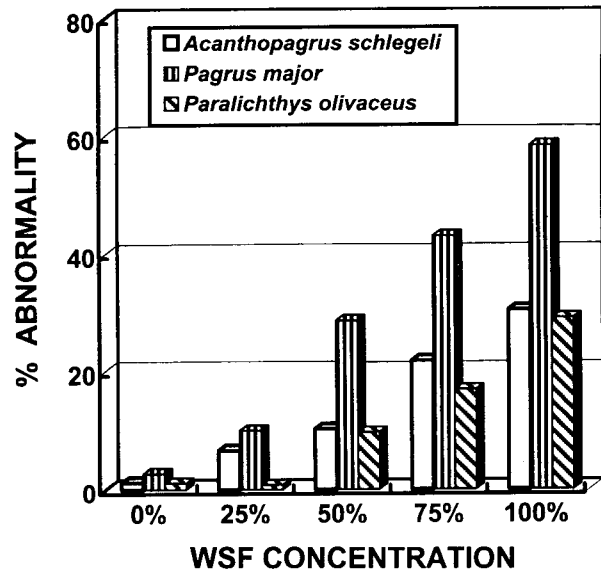


Fig. 5. Abnormalities (%) of 2-day old larvae following post-hatch exposure in five different concentrations of WSF of Kuwait crude oil.

WSF중 탄화수소는 어체대사와 난황이용을 억제하기 때문에 자어는 성장이 느려진다(Anderson, 1977; Capuzzo et al., 1984). 본 연구에서도 모든 어종의 자어는 WSF에 의해 성장이 느려졌다. 이것은 WSF가 자어의 난황이용의 억제와 이미 전이된 에너지원이 체내로 침투한 탄화수소 대사에 동원되어 성장저해를 야기시킨 것으로 보인다.

본 연구에서 3종 어류의 전기자어는 고농도의 WSF에 노출시 대조구에 비해 높은 기형률을 나타냈고, 중간 비교에서 참돔이 가장 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 이와 같은 WSF 노출에 따른 자어의 기형발생은 여러 연구자들에 의해 보고된 바 있다(Ernst et al., 1977; Mazmanidi and Bazhashvili, 1975; Smith and Cameron, 1979; Tilseth et al., 1984). 0.1 ppm 이하의 탄화수소 농도에서 노출된 자어의 기형이 black sea flounder (Mazmanidi and Bazhashvili, 1975), spotted seatrout (Johnson et al., 1979) 및 *Fundulus heteroclitus* (Linden et al., 1980) 등에서 나타났다. Kühnold (1972)는 원유의 WSF에 노출된 청어의 알에서 부화한 자어가 비정상적인 어체 만곡현상을 나타낸다고 하였다. 또한 Struhsaker et al. (1974)과 Smith and Cameron (1979)은 벤젠과 원유의 일반성분에 노출된 태평양청어(*Clupea harengus pallasii*)의 자어에서 어체의 만곡과 아래턱의 기형발달을 관찰하였다. 그러나 이들의 연구는 노출농도에 의한 실험이 아니라 일정한 농도 (1  $\mu\text{g/g}$  H<sub>2</sub>O)에서 노출시간을 달리한 실험결과이기 때문에 본 연

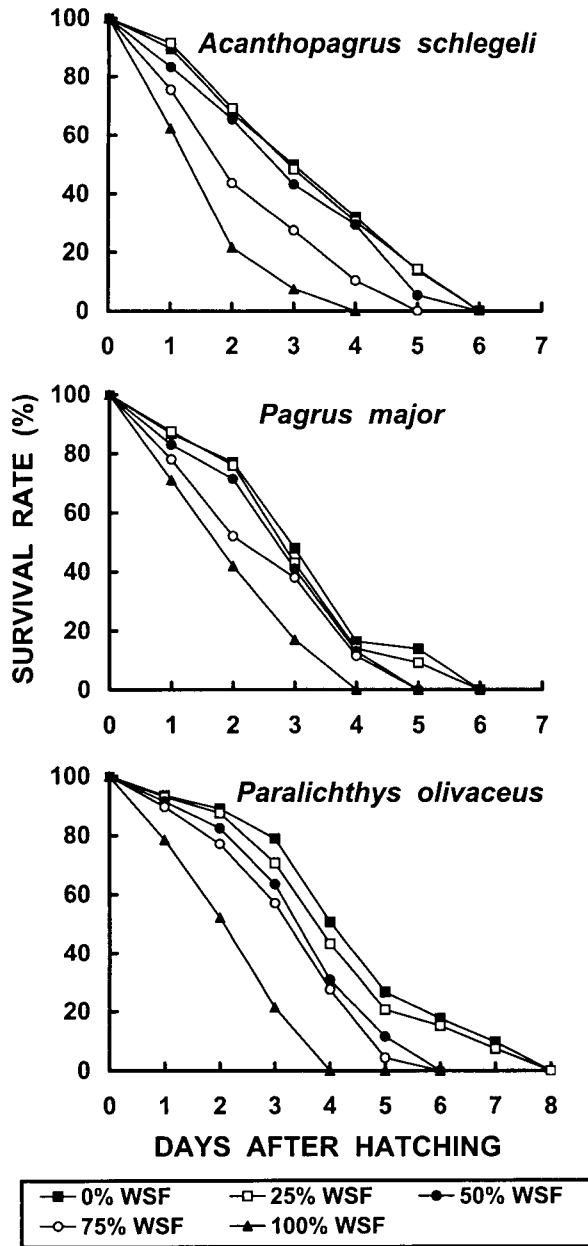


Fig. 6. Survival rate of larvae following post-hatch exposure in five different concentrations of WSF of Kuwait crude oil.

구의 결과와 비교·검토하기는 적절하지 않지만, WSF 노출이 지속됨에 따라 자어의 기형률이 증가된다는 것을 알 수 있다. 이러한 WSF 노출에 따른 자어의 기형률 증가는 멸치류 *Engraulis mordax* (Struhsaker et al., 1974)와 가자미류 *Rhombus maeoticus* (Mironov, 1968)에서도 이미 입증되었고, Baltic herring 자어의 가슴지느러미 괴사도 보고된 바 있다(Linden, 1975).

본 연구에서 수정란부터 전기자어 단계까지 지속적으로 WSF에 노출시키거나 전기자어를 WSF에 노출시켰을 경우, 두 조건 사이에는 큰 차이 없이 비슷한 경향을 나타냈다. 3종 전기자어의 생존율은 다른 연구자들(Kühnhold et al., 1979; Rice, 1985)과 마찬가지로 부화전 WSF 노출보다 부화후 노출에서 더욱 민감하게 반응하였다. 자어는 초기 총탄화수소량인 1.4 ppm 이상의 농도에 노출되었을 때 폐사할 수 있다. 그러나 내만이 아닌 해수 유입이 지속적으로 일어나는 외해에서는 그 농도가 일반적으로 0.1 ppm 미만이기 때문에 독성은 나타나지 않는 반면, 내만에서 유류유출이 일어났을 경우에는 심지어는 10 ppm 이상의 농도까지 상승할 수 있다고 하므로(McAuliffe, 1987), 내만의 종묘배양장에서 어류의 자치어 사육시에는 이에 대하여 깊은 주의를 기울려야 할 것이다.

## 요 약

원유중 수용성 획분(WSF)이 양식 대상종인 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*), 참돔(*Pagrus major*) 및 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 전기자어에 미치는 영향을 파악하였다. 실험구는 0%(대조구), 25%, 50%, 75% 및 100% WSF로 하였고, 이에 따른 자어의 난황 흡수속도, 유영활성, 성장도, 기형률 및 생존율을 조사하였다.

수정란으로부터 부화후 자어까지 지속적으로 WSF에 노출시켰을 때, 전기자어의 난황흡수 속도는 3어종 모두 대조구에 비해 고농도의 WSF에서 느렸다. 유영빈도와 유영속도는 WSF 농도가 높아질수록 낮아지는 경향이었고, 성장은 대조구에 비해 고농도의 WSF에서 느린 것으로 나타났다. 고농도의 WSF (50%, 75% 및 100%) 노출은 대조구에 비해 높은 기형률을 나타냈고, 3어종중 참돔의 자어에서 가장 높았다. 전기자어의 생존율은 3어종 모두에서 WSF 농도가 높을수록 낮았다.

부화후의 자어를 WSF에 노출시켰을 때, 유영활성은 3어종 모두에서 WSF 농도가 높아질수록 낮아지는 경향이 있었다. 기형률은 고농도의 WSF (50%, 75% 및 100%)에서 높았으며, 3종중 참돔에서 가장 높았다. WSF 농도가 높아짐에 따라 생존율도 유의하게 낮아졌다.

## 참 고 문 헌

Ahn, K. W. and P. Chin, 1986. Acute toxicity of Kuwait



- crude oil (WSF) to mysid, *Neomysis awatschensis*. Bull. Korean Fish. Soc., 19 : 599-607.
- Anderson, J. W., 1977. Effects of petroleum hydrocarbons on the marine organisms. Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer., 171 : 157-165.
- Anderson, J. W., J. M. Neff, B. A. Cox, H. E. Tatum and G. M. Hightower, 1974. The effects of oil on estuarine animals: toxicity, uptake and depuration, respiration. In *Pollution and Physiology of Marine Organisms* (Eds. by Vernberg, F.J. and Vernberg, W.), Academic Press, New York, pp.285-310.
- Blaxter, J. H. S and G. Hempel, 1963. The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer., 28 : 211-240.
- Capuzzo, J. M., B. A. Lancaster and G. C. Sasaki, 1984. The effects of petroleum hydrocarbons on lipid metabolism and energetics of larval development and metamorphosis in the American lobster (*Homarus americanus* Milne Edwards), Mar. Environ. Res., 14 : 201-228.
- Carls, M. G., 1987. Effects of dietary and water-borne oil exposure in larval Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*), Mar. Environ. Res., 22 : 253-270.
- Ernst, V. and J. M. Neff, 1977. The effects of the water-soluble fractions of No. 2 fuel oil on the early development of the estuarine fish, *Fundulus grandis* Baird and Girard. Environ. Pollut., 14 : 25-35.
- Johnson, A. G., T. D. Williams, J. F. III Messinger and C. R. Arnold, 1979. Larval spotted sea trout (*Cynoscion nebulosus*) : A bioassay subject for marine subtropics. Contrib. Mar. Sci., Univ. Texas, 22 : 57-62.
- Kühnold, W. W., 1972. The influence of crude oils on fish fry. In *Marine Pollution and Sea Life*, FAO Fishing News Ltd., London, pp.315-318.
- Kühnold, W. W., D. Everich, J. J. Stegeman, J. Lake and R.E. Wolke, 1979. Effects of low levels of hydrocarbons on embryonic, larval and adult winter flounder. In *Proc. Conf. on Assessment of Ecological Impacts of Oil Spills* (Ed. by Bates, C.D.), Amer. Inst. Biol. Sci., Arlington, pp.677-711.
- Lee, K. H., Y. J. Chang and D. Y. Kang, 1999. Hatching rate and larval viability of cultured marine fish exposed to water-soluble fraction of Kuwait crude oil during egg development. J. Aquaculture, 12 : 115-122.
- Lee, B. D., T. Y. Lee and P. Chin, 1975. Effects of crude oil ingredients on the development and oxygen uptake of hard clam *Meretrix lusoria* (Roding). Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan, 8 : 31-38.
- Linden, O., 1975. Acute effects of oil and dispersant mixtures on larvae of Baltic herring. Ambio., 4 : 130-133.
- Linden, O., 1976. The influence of crude oil and mixtures of oil/dispersants on the ontogenetic development of the Baltic herring. Ambio., 5 : 136-140.
- Linden, O., R. Laughlin, J. R. Sharp and J. M. Neff, 1980. The combined effects of salinity, temperature and oil on the growth pattern of embryos of the killifish *Fundulus heteroclitus* Walbaum. Mar. Environ. Res., 3 : 129-144.
- Malins, D. C. and H. O. Hodgins, 1981. Petroleum and marine fishes: a review of uptake, disposition and effects, Environ. Sci. Tech., 15 : 1272-1278.
- Mazmanidi, N. D. and T. R. Bazhashvili, 1975. Effects of dissolved petroleum products on the embryonic development of the black sea flounder. Hidrobiol. J. (Engl. Transl.), 11 : 39-43.
- McAuliffe, C. D., 1987. Organism exposure to volatile/soluble hydrocarbons from crude oil spills: A field and laboratory comparison. Proc. 1987 Oil Spill Conf., American Petroleum Institute, Washington, D.C., pp.275-288.
- Mironov, O. G., 1968. Hydrocarbon pollution of the sea and its influence on marine organism. Helgolaender Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen, 17 : 335-339.
- Overton, E. B., W. D. Sharp and P. Roberts, 1994. Toxicology of Petroleum. In *Basic Environmental Toxicology* (Eds. Cockerham, L.G. and Shane, B.), pp.133-156. Boca Raton: CRC Press.
- Paine, M. D., W. C. Leggett, J. K. McRuer and K. T. Frank, 1992. Effects of Hibernia crude oil on capelin (*Mallotus villosus*) embryos and larvae. Mar. Environ. Res., 33 : 159-187.
- Rice, S. D., 1985. Effects of oil on fish. In *Petroleum Effects in the Arctic Environment* (Ed. by Engelhardt, F.R.), Elsevier Appl. Sci. Publ., New York, pp.157-182.
- Smith, R. L. and J. A. Cameron, 1979. Effects of water soluble fraction of Prudhoe Bay crude oil on embryonic development of Pacific herring. Trans. Amer. Fish. Soc., 108 : 70-75.
- Stephens, S. M., A. Y. A. Alkindi, C. P. Waring and J. A. Brown, 1997. Corticosteroid and thyroid responses of larval and juvenile turbot exposed to the water-soluble fraction of crude oil. J. Fish Biol., 50 : 953-964.
- Struhsaker, J. W., M. B. Eldridge and T. Echeverria, 1974. Effects of benzen (a water soluble component of crude oil) on eggs and larvae of Pacific herring and northern anchovy. In *Pollution and Physiology of*

*Marine Organisms* (Eds. by Vernberg, F. J. and Vernberg, W.), Academic Press, New York, pp.253-284.

Whipple, J. A., M. B. Eldridge and P. Jr. Benville, 1981.  
An ecological perspective of the effects of monocyclic

aromatic hydrocarbons on fishes. In *Biological Monitoring of Marine Pollutants* (Eds. by Vernberg, J., Calabrese, A., Thurberg, F. P. and Vernberg, W. B.), Academic Press, New York, pp.483-551.