

난발생중 원유의 수용성 성분에 노출된 해산 양식어류 수정란의 부화율 및 자어의 생존능력

이갑현 · 장영진 · 강덕영
부경대학교 수산과학대학 양식학과

Hatching Rate and Larval Viability of Cultured Marine Fish Exposed to Water-soluble Fraction of Kuwait Crude Oil during Egg Development

Kap Hyun Lee, Young Jin Chang and Dük-Young Kang
Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Exposure experiments during the egg development were conducted to assess the influences of 5 different concentrations (0, 25, 50, 75 and 100%) of water-soluble fraction (WSF) of Kuwait crude oil on the eggs and larvae of black seabream (*Acanthopagrus schlegelii*), red seabream (*Pagrus major*) and olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). All experiments were triplicated. Hatching time and hatching rate were examined on the eggs. The median lethal time (LT₅₀), morphological abnormality and swimming activity (swimming frequency and speed) of larvae were also investigated. The time and rate of egg hatching were not significantly influenced by WSF on the eggs of the fishes. The larvae exposed to WSF during the egg development were also not significantly influenced on the LT₅₀ and swimming activity. But the higher morphological abnormalities of notochord were observed from the larvae in 100%WSF exposure.

Key words : Crude oil, Water-soluble fraction, Fish, Egg, Larva, Hatching, LT₅₀, Abnormality

서 론

전 세계의 에너지 자원으로 이용되는 석유는 산업발달의 추세에 따라 그 수요량이 날로 증가하고 있다. 석유자원을 전혀 보유하고 있지 않은 우리나라에서는 전적으로 수입에 의존하고 있으며, 수요량의 대부분이 해상수송에 의해 반입되고 있다. 이러한 해상운송 물량의 증가에 따라 발생 빈도가 높아지고 있는 유류의 해상유출 사고는 유류 자체의 손실뿐만 아니라, 유출수역내 수산생물에게 막대한 피해를 줄 수 있다. 우리나라에서 발생하는 유류의 해상유출 사고는 매년

200건을 상회하며, 지난 15년간 해역별 발생빈도는 양식장이 밀집되어 있는 남해안에서 가장 높고, 다음으로 서해안, 동해안 순이었다(강, 1994).

유류는 해양에 유출되는 순간부터 대기 및 해수의 접촉을 통하여 확산(spreading), 증발(evaporation), 분산(dispersion), 유화(emulsification), 용해(dissolution), 산화(oxidation) 등 물리·화학적 변화 및 미생물에 의한 분해(biodegradation)와 같은 생물학적 변화를 겪는 과정에서(Stoker and Seager, 1976), 주변 수역내 양식장이나 종묘배양장에 영향을 미칠 수 있다. 원유중 중질유 성분은 해수에 거의 용해되지 않으나, 경질유 성분중

방향족 화합물의 일부는 빠른 속도로 증발하는 반면, 일부 수용성 성분(water-soluble fraction; WSF)은 해수에 용해되어 분해세균에 의해 서서히 감소된다. WSF는 단일고리형과 이중고리형 방향족 화합물의 구성비율이 높고(Smith and Cameron, 1979; Carls 1987; Moles et al., 1987; Woodward et al., 1987), 이들중 나프탈렌계(1-과 2-methylnaphthalene)는 해양생물에 치명적인 영향을 미치는 성분인 것으로 알려져 있다(Paine et al., 1992). Whipple et al. (1981)은 단일고리형 방향족 화합물과 다른 탄화수소가 일반적으로 해양생물에 스트레스 요인으로 작용하고, 특히 대사과정중 효소계에 영향을 줄 수 있다고 생각하여, 그 영향에 대한 연구를 실시한 결과, 마취 효과와 유사한 반응을 일으킨다는 것을 밝혔다. 한편 WSF는 어류 수정란의 발생과정(Paine et al., 1992) 및 발생중 배체내 안포분화(Anderson et al., 1977)에 영향을 미치며, 자어의 대사에 관여하여 난황이용 및 성장을 억제시킬 뿐아니라, 생존율을 낮추는 것으로 보고되고 있다(Paine et al. 1992). 우리나라에서는 李 等(1975)과 安·陳(1986)에 의해 패류인 백합(*Meretrix lusoria*)과 갑각류인 곤쟁이(*Neomysis awatschensis*)의 발생과 호흡에 미치는 원유성분의 독성이 연구된 바 있다.

최근 종묘생산 및 사육기술의 발달에 의해 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*), 참돔(*Pagrus major*) 및 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 등이 양식대상종으로 각광받고 있다. 그러나 이들의 종묘생산 시기에 일어날 수 있는 원유 유출사고는 유출된 원유가 해류나 조류에 의해 연안으로 밀려와 해수에 용해됨으로써 WSF를 생성하고, 이것이 배양장내로 유입될 경우, 양식어류의 난발생과 부화 자어의 대사에 영향을 미쳐 이들의 부화율과 생존율을 떨어뜨릴 가능성이 높다.

그러므로 본 연구에서는 원유의 WSF에 전술한 3어종의 수정란을 노출시켜 알의 부화와 부화직후 자어의 생존율, 기형률 및 어체활성을 조사하여, WSF가 양식어류의 초기발생에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료는 수정후 15시간이 지난 상실기(morula stage) 단계의 알로서, 국립수산진흥원의 수산종묘배양장에서 자연산란에 의해 얻어진 감성돔, 참돔 및 넙치의 수정란이었다(Table 1).

실험에 사용된 WSF는 Paine et al. (1992)의 방법에 따라 쿠웨이트산 원유를 여과해수와 혼합하여 만든 것으로, 그 비율을 1:24로 하고, 20분 동안 교반기로 혼합시킨 다음, 18시간 동안 분액(分液)깔대기에 두어 분리된 유막층 아래의 액층만을 추출하고 이를 100% WSF로 하였다.

실험조건은 Table 2와 같으며, 실험구로는 100% WSF를 여과해수로 희석하여 만든 0%WSF(대조구), 25%WSF, 50%WSF, 75%WSF 및 100%WSF구의 5개구(3반복)로 설정하였다(Paine et al., 1992). 실험용기로는 2ℓ 들이 비이커를 사용하였고, WSF 성분의 휘발을 막기 위하여 비이커 위를 알루미늄 호일로 덮은 다음, 공기공급을 위해 4개의 구멍을 뚫었다. 실험구별로 수온변화에 따른 수정란 및 자어의 발생속도가 차이하지 않도록 하기 위하여, 수온이 18.0±0.5℃로 유지되는 항온수조에 실험용기를 담구어 주었다. 각 실험구의 실험중 비중은 1.0246±0.0005, DO는 4.3±0.3 mg/ℓ, pH는 6.7±0.8이었다.

수정란의 부화시간 및 부화율에 미치는 WSF의 영향을 파악하기 위하여, 어종별로 수정란을 100개/ℓ로 각 실험구에 수용하고, 부화직전까지 WSF에 노출시키면서 부화시간 및 부화율을 파악하였다. 수정란의 부화시간과 부화율의 측정을 위해 부화직전부터 2시간 간격으로 부화상

Table 1. Size of fertilized eggs of *A. schlegeli*, *P. major* and *P. olivaceus* used in the experiments

Diameter (mm)	<i>A. schlegeli</i>	<i>P. major</i>	<i>P. olivaceus</i>
Egg	0.83±0.02	0.93±0.03	0.92±0.03
Oil globule	0.18±0.01	0.19±0.19	0.17±0.01

Table 2. Summary of experimental conditions

Condition	Egg	Larva
Number of fish species	3	3
Water temperature	18.0 ± 0.5°C	18.0 ± 0.5°C
Experimental duration	2 days	7~9 days
Age at WSF exposure	0 day	0 day
WSF concentration (%)	0, 25, 50, 75, 100	0, 25, 50, 75, 100
Number of replication	3	3
Renewal of test solution	Daily	Daily
Density (eggs./ ℓ)	100	200
Response variable	Hatching time (hour)	LT ₅₀
	Hatching rate (%)	Abnormality (%)
		Swimming activity

황을 관찰하여 모든 수정란중 부화개체수가 50%에 달했을 때를 부화시간으로 하였고, 이후 더 이상 부화된 개체가 나타나지 않을 때 부화된 개체수를 헤아려 부화율[(부화개체수/총 수정란수)×100]을 계산하였다.

부화자어의 생존능력에 미치는 WSF의 영향을 알아보기 위하여, 어종별로 수정란을 200개/ℓ로 각 실험구에 넣어 부화직전까지 WSF에 노출시킨 다음, 깨끗한 여과해수로 옮겨 넣었다. 이후 수정란으로부터 부화된 자어의 반수치사시간(median lethal time; LT₅₀), 기형률, 유영활성(빈도, 속도)을 측정하였다. 부화자어에게는 먹이를 공급하지 않았으며, 자어의 생존율은 실험기간동안 매일 폐사개체를 계수하여 구하고, 이로부터 LT₅₀을 산정하였다. 그리고 실험구별로 부화 2일째 부화자어를 30마리씩 무작위 추출한 다음, 5% 중성 포르말린에 고정하여 만능투영기 관찰에 의해 기형어의 상태 및 출현빈도를 조사하였다(Synder et al., 1977). 자어의 유영활성을 파악하기 위하여는 부화후 2일 지난 자어를 1 mm 간격의 눈금이 표시되어 있는 유리관(내경 10 mm, 길이 50 cm)에 넣어 10분간 유영빈도(동작횟수; jerks/min)와 유영속도(이동거리; mm/min)를 구하였다(Tilseth et al., 1984).

각 실험결과에서 3반복 자료의 평균을 구하였으며, 이를 SPSS-PC 통계패키지에 의해 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 유의차 유무

(P=0.05)를 검정하였다.

결 과

1. 부화시간과 부화율

WSF에 노출된 어종별 수정란(상실기)의 부화시간은 Table 3에서 보는 바와 같이, 감성돔과 참돔의 경우 큰 차이를 나타내지 않은 반면, 참돔은 WSF 농도가 높아질수록 부화시간이 다소 길었으나 실험구간의 유의차는 나타나지 않았다. WSF 노출에 따른 수정란의 부화율은 넘치에서 97.1~97.9%의 범위로 25~100%WSF구와 대조구인 0%WSF구 사이에 유의차가 없었다. 감성돔과 참돔의 수정란은 WSF 농도가 높아질수록 부화율이 다소 낮아지는 경향을 보였지만, 역시 유의차는 인정되지 않았다(P>0.05).

2. 부화자어의 생존능력

LT₅₀ : 각 어종별 자어의 부화후 경과일수에 따른 생존율을 기반으로 실험구별 자어의 LT₅₀을 구한 결과, Table 4와 같이 100%WSF구에서 감성돔 69.5±3.2시간, 참돔 65.8±4.2시간 및 넘치 95.0±5.3시간으로 3어종 모두 100% WSF구에 비해 짧아지는 경향이었지만 유의차는 없었다(p>0.05).

기형률 : 기형인 부화자어는 외관적으로 꼬리 부위의 척색(notochord)이 휘어 지거나 난황낭

Table 3. Influence of WSF of Kuwait crude oil on the hatching time (HT, hour) and hatching rate (HR, %) of the eggs from *A. schlegeli*, *P. major* and *P. olivaceus*

WSF conc. (%)	<i>A. schlegeli</i>		<i>P. major</i>		<i>P. olivaceus</i>	
	HT	HR	HT	HR	HT	HR
0	38.0±0.4	98.9±0.2	37.8±0.2	95.6±0.5	39.8±0.5	97.9±0.5
25	38.1±0.5	97.6±0.5	38.4±0.3	95.1±0.1	40.0±0.4	97.1±0.2
50	38.2±0.5	97.8±0.7	37.9±0.3	94.3±0.5	39.9±0.7	97.4±0.8
75	38.3±0.6	96.9±1.3	38.5±0.4	93.8±0.2	40.1±0.4	97.3±0.3
100	38.7±0.2	96.6±0.7	39.8±1.0	93.8±0.3	40.2±0.5	97.2±0.4

Table 4. LT₅₀ (hour) of *A. schlegeli*, *P. major* and *P. olivaceus* larvae exposed to WSF of Kuwait crude oil during egg development

WSF conc. (%)	<i>A. schlegeli</i>	<i>P. major</i>	<i>P. olivaceus</i>
0	72.5±5.6	69.2±6.4	99.0±6.2
25	72.7±2.6	68.6±6.7	100.6±5.3
50	73.5±4.2	68.2±7.8	98.6±6.6
75	71.3±4.2	66.4±5.6	96.4±4.9
100	69.5±3.2	65.8±4.2	95.0±5.3

과 유구(油球)가 터져있는 형태적 변화를 보였다. 이를 기준으로 조사된 어종별 부화자어의 기형률은 Fig. 1과 같다. 감성돔은 100%WSF구가 6.6±0.6%로서 대조구인 0%WSF구의 1.2±0.5%와 유의한 차이를 나타냈지만(P<0.05), 다른 WSF구는 0%WSF구와 차이를 나타내지 않았다. 참돔의 부화자어도 100%WSF구에서 8.03±1.5%의 기형

률로서 0%WSF구 보다 매우 높게 나타났지만, 다른 나머지 WSF구에서는 WSF 노출의 영향이 나타나지 않았다. 그러나 넙치 부화자어의 기형률은 75% 및 100%WSF구에서 각각 2.2±0.4%, 5.3±0.5%로서 0%WSF구와 유의한 차이를 나타냈지만(P<0.05), 25% 및 50%WSF구에서는 0%WSF구와 차이를 보이지 않았다.

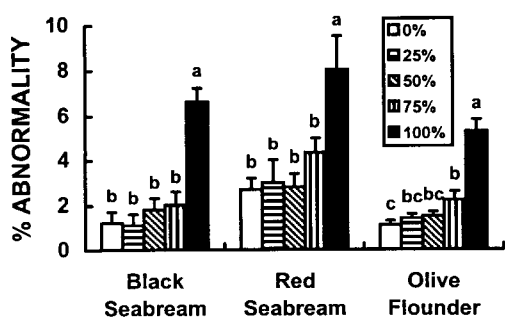


Fig. 1. Percent of morphological abnormality in *A. schlegeli*, *P. major* and *P. olivaceus* larvae (2-day old) exposed to WSF of Kuwait crude oil during egg development. Different alphabetic letters on the bars within a fish group are significantly different (P<0.05).

유영빈도 · 유영속도 : 부화후 2일째 어종별 자어의 유영빈도는 Table 5와 같이 100%WSF구에서 감성돔 12.0±0.1 jerks/min, 참돔 11.8±0.1 jerks/min 및 넙치 11.8±0.1 jerks/min으로 일정한 경향없이 대조구와 비슷한 결과를 보였다.

한편 어종별 자어의 유영속도는 100%WSF구에서 감성돔 6.2±0.1 mm/min, 참돔 5.2±0.0 mm/min 및 넙치 8.4±0.1 mm/min으로 대조구의 자어 보다 다소 느렸지만 유의차는 없었다 (Table 5).

고 찰

수계 환경에 대량으로 유출된 원유는 많은 양의 탄화수소를 방출함으로써, 어류 알과 자어의

Table 5. Swimming frequency (SF, jerks/min) and speed (SS, mm/min) of *A. schlegeli*, *P. major* and *P. olivaceus* larvae (2-day old) exposed to WSF of Kuwait crude oil during egg development

WSF conc. (%)	<i>A. schlegeli</i>		<i>P. major</i>		<i>P. olivaceus</i>	
	SF	SS	SF	SS	SF	SS
0	12.1±0.3	6.3±0.2	11.8±0.3	5.5±0.1	11.8±0.4	8.5±0.1
25	12.3±0.3	6.2±0.1	11.7±0.2	5.4±0.0	12.0±0.2	8.5±0.1
50	12.1±0.1	6.2±0.1	11.7±0.1	5.4±0.1	11.9±0.1	8.4±0.1
75	12.1±0.1	6.2±0.1	11.8±0.2	5.3±0.1	11.8±0.1	8.5±0.1
100	12.0±0.1	6.2±0.1	11.8±0.1	5.2±0.0	11.8±0.1	8.4±0.1

기형 및 폐사를 유발할 수 있다(Longwell, 1977). Grahl-Nielsen (1978)은 이란산 원유 2000톤이 유출된 1개월 뒤, 유출장소로부터 약 30 km 떨어진 해역에서 0.2~0.3 ppm의 탄화수소를 검출하였다. Calder and Boehm (1981)은 Amoco Cadiz호로부터 원유 유출후 Aber Wrac'h 강어귀로 유입된 물에서 1.0 ppm 이상의 탄화수소, 그리고 강어귀에서 평균 0.5 ppm의 탄화수소를 검출하였다. 이와 같은 해수중 탄화수소의 농도는 수정란과 자어의 생존, 활성 및 성장에 지장을 초래할 수 있는 농도에 해당한다(McAuliffe, 1987). 일반적으로 공해상에 원유가 유출되었을 때 수계내 WSF는 좀처럼 0.1 ppm을 상회하지 않지만(Grahl-Nielsen, 1978; Law, 1978), 천해에서는 0.3~0.4 ppm 범위 이상을 초과할 수 있고(Blackman and Law, 1981), 내만에 원유가 유출되었을 경우 심지어는 10 ppm 이상의 농도가 나타날 수도 있다(McAuliffe, 1987).

Anderson et al. (1974)은 원유의 독성실험시 노출용액의 농도를 총탄화수소 농도로 나타낼 필요가 있다고 하였으며, 안·陳(1986)의 실험에서도 쿠웨이트산 원유의 총탄화수소 농도를 측정할 바 있다. 본 연구에서는 쿠웨이트산 원유의 탄화수소 농도를 측정하지 못하였지만, WSF의 추출은 Anderson et al. (1974)과 안·陳(1986)의 방법과는 달리, Paine et al. (1992)의 방법에 따랐기 때문에 안·陳(1986)이 측정한 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 보인다.

원유중 일부성분은 유출 이후 곧 소멸되지만, 벤젠, 톨루엔, 크실렌 같은 성분들은 해수에 쉽게 용해되며, 원유내 WSF의 60%를 차지한다(Anderson et al., 1974; Linden, 1975; Struhsaker et al., 1974). 이들 성분은 원유성분중 가장 독성이 강한 것들에 속하며(Beuville and Korn, 1977; Morrow et al., 1975), 어류의 수정란과 자어를 이용한 여러 실험에서 부화시간의 지연, 기형발생, 생존기간 단축 및 성장지연을 유발하는 것으로 나타났다(Eldridge et al., 1977; Leung and Bulkey, 1979; Linden et al., 1980).

본 연구에서 감성돔, 참돔 및 넙치 수정란은 부화시간과 부화율에서 WSF의 영향을 크게 받지 않는 것으로 보인다. 부화시간은 WSF의 농도가 증가할수록 다소 길어지는 경향이였지만, 부화시간이 지연된다는 증거는 얻을 수 없었다. 그러나 몇몇 연구자의 연구결과에서는 WSF가 수정란의 부화촉진 또는 지연에 관여하는 것으로 나타나고 있다(Hannah et al., 1982; Leung and Bulkley, 1979; Smith and Cameron, 1979). Whipple et al. (1981)은 고농도의 WSF가 수정란의 대사작용을 저하시키는 반면, 저농도에서는 대사작용을 가속화시킬 수 있다는 것을 밝혔으며, Kuhnhold (1972)와 Struhsaker et al. (1974)은 어류의 수정란에서 부화시간은 고농도의 WSF에 의해 지연된다고 하였다. 또한 본 연구에서 어종별 부화율은 WSF의 농도가 증가할수록 다소 감소하는 경향을 보였으나, WSF에 노출된 모든 알

이 대조구와 큰 차이없이 부화하여 WSF가 부화율에도 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 이것은 Korn and Rice (1981), Solbakken et al. (1984) 및 Paine et al. (1992)의 언급과 부합된다. 즉 어류의 수정란이 수계에서 지질 친화성인 WSF에 노출되면, WSF는 수정란의 난황 또는 유구에 축적된다. 그러나 대체로 축적된 WSF는 난황이 배체발달과 자어 발달에 의해서 이용되기까지 큰 영향을 나타내지 않는다. 또한 경골어류의 난황내 지질이나 유구는 부화자어에 의해 최종적으로 이용되는 영양원이기 때문에 수정란에서는 WSF가 크게 작용하지 않는 것으로 생각된다(Paine et al., 1992). 그러나 Smith and Cameron (1979)은 발생중인 태평양 청어, *Clupea harengus pallasi* 알을 이용해 Prudhoe Bay산 원유에서 추출한 WSF의 영향을 노출기간별로 조사한 결과, 6일간 노출은 수정란의 100% 폐사를 초래하였고, 노출기간이 길어질수록 부화율이 감소하는 경향을 나타냈다고 하였다. 또한 Blaxter (1968)와 Struhsaker et al. (1974)은 WSF의 노출에 의해 부화율이 감소된다는 것을 보고하였다. 그러므로 앞으로 경골어류 수정란의 부화 및 생존에 미치는 원유중 WSF의 영향에 대한 어종별 특성파악에 깊이있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서 난발생중 WSF에 노출된 수정란으로부터 부화한 자어의 LT₅₀, 유영빈도 및 유영속도는 3어종간 차이는 다소 있었지만, WSF 농도에 따른 영향은 유의한 차이를 볼 수 없었다. 그러나 기형률의 경우, 100%WSF구에서 대조구(0%WSF) 보다 높은 비율을 보이고, 넙치 자어가 75%WSF구에서 대조구와 차이를 보인 것을 제외하고는 0~75%WSF구와 대조구 사이에 기형률의 차이를 인정할 수 없었다. 따라서 난발생과정에서만 WSF에 노출되었다가 부화된 자어는 생존과 유영활성에 큰 지장을 받지 않은 반면, 자어의 기형률 상승에 어느 정도 영향을 받는 것으로 판단된다. 이와 같이, 본 연구에서 감성돔, 참돔 및 넙치의 난발생중 WSF 노출은 알의 부화와 부화자어에 큰 영향을 미치지 못한 것은, 체

표면적 및 아가미를 통한 산소소비량이 상대적으로 많은 부화자어를 노출시켰을 때 WSF에 의한 영향이 크다는 점(이 등, 1999)과 비교하면, 수정란은 발생과정중 산소소비량이 상대적으로 적고, 두꺼운 난막으로 외부환경과 어느 정도 차단되어 있는 데에 기인하는 것으로 추측된다.

요 약

해산어류인 감성돔 *A. schlegeli*, 참돔 *P. major* 및 넙치 *P. olivaceus*의 난발생중 원유의 수용성 성분(WSF)에 노출된 알의 부화 및 부화후 자어에 미치는 영향을 파악하기 위하여, WSF를 5가지 농도(0, 25, 50, 75 및 100%)로 설정하여 노출 실험을 실시하였다. 실험은 3반복으로 하여 알의 부화시간과 부화율을 관찰하였고, 부화자어의 LT₅₀, 기형률 및 활력을 조사하였다.

난발생 단계에서만 WSF에 노출된 3어종 알의 부화시간과 부화율 및 부화자어의 LT₅₀과 유영활성은 20~100%WSF와 0%WSF 사이에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 100%WSF에서 3어종 자어의 기형률은 0%WSF 보다 유의하게 높았다.

참 고 문 헌

- Anderson, J. W., D. B. Dixit, G. S. Ward and R. S. Foster, 1977. Effects of petroleum hydrocarbons on the rate of heart beat and hatching success of estuarine fish embryos. In *Physiological Responses of Marine Biota to Pollutants* (Ed. by F.J. Vernberg, A. Calabrese, F. P. Thurberg and W. B. Vernberg), Academic Press, New York, pp. 241-258.
- 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* (Ed. by F.J. Vernberg and W. Vernberg), Academic Press, New York, pp. 285-310.

- Beuvile, Jr., P.E. and S. Korn, 1977. The acute toxicity of six monocyclic aromatic crude oil components to striped bass (*Marone saxatilis*) and bay shrimp (*Crago franciscorum*). Calif. Fish Game, 63 : 204-209.
- Blackman, R. A. A. and R. V. Law, 1981. The Eleni V oil spill: Return to normal conditions. Mar. Poll. Bull., 12 : 126-130.
- Blaxter, J. H. S., 1968. Rearing herring larvae to metamorphosis and beyond. J. Mar. Biol. Asso. U.K., 49 : 17-28.
- Calder, J. A. and P. D. Boehm, 1981. The chemistry of *Amoco Cadiz* in the Aber Wrac'h. In *Amoco Cadiz, consequences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures (Amoco cadiz, fates and effects of the oil spill)*, Cent. Natl. Exploit. Oceans, Paris, pp. 149-158.
- Carls, M. G., 1987. Effects of dietary and waterborne oil exposure in larval Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*), Mar. Environ. Res., 22 : 253-270.
- Eldridge, M. B., T. Echeverria, and J. A. Whipple, 1977. Energetics of Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*) embryos and larvae exposed to low concentrations of benzene, a monoaromatic component of crude oil. Trans. Ame. Fish. Soc., 106 : 452-461.
- Grahl-Nielsen, O., 1978. The Ekofisk Bravo blow-out. Petroleum hydrocarbons in the sea. In *Proceedings of the Conference on Assessment of Ecological Impacts of Oil Spills*, Am. Inst. Biol. Sci., Keystone Co., pp. 476-487.
- Hannah, J. B., J. E. Hose, M. L. Landolt, B. S. Miller, S. P. Felton and W. T. Iwaoka, 1982. Benzo(a)pyrene-induced morphologic and development abnormalities in rainbow trout. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 11 : 727-734.
- Korn, S. and S. Rice, 1981. Sensitivity to and accumulation and depuration of aromatic petroleum components by early life stages of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Rapp. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer., 178 : 87-92.
- 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.
- Law, R. J., 1978. Determination of petroleum hydrocarbons in water, fish and sediment following the Ekofisk blow-out. Mar. Pollut. Bull., 9 : 321-323.
- Leung, T. S. and R. V. Bulkley, 1979. Effects of petroleum hydrocarbons on length of incubation and hatching success in the Japanese medaka. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 23 : 236-243.
- Linden, O., 1975. Acute effects of oil and dispersant mixtures on larvae of Baltic herring. Ambio., 4 : 130-133.
- 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. Env. Res., 3 : 129-144.
- Longwell, A. C., 1977. A genetic look at fish eggs and oil. Oceanus, 20 : 46-58.
- McAuliffe, C.D., 1987. Organism exposure to volatile/soluble hydrocarbons from crude oil spills—a field and laboratory comparison. In *Proc. 1987 Oil Spill Conf.*, American Petroleum Institute, Washington, D.C., pp. 275-288.
- Moles, A., M. M. Babcock and S. D. Rice, 1987. Effects of oil exposure on pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha*, alevins in a simulated intertidal environment. Mar. Environ. Res., 21 : 49-58.
- Morrow, J. E., R. L. Gritz and M. P. Kirton, 1975. Effects of some components of crude oil on young coho salmon. Copeia, 2 : 326-331.
- 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.
- 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.
- Solbakken, J. E., S. Tilseth and K. H. Palmork, 1984. Uptake and elimination of aromatic hydrocarbons and a chlorinated biphenyl in egg and larvae of cod, *Gadus morhua*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 16 : 297-301.
- Stoker, H. S. and S. L. Seager, 1976. Environmental chemistry air and water pollution. Scott, Foresman and Co., USA. pp. 180s.
- 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* (Ed. by F.J. Vernberg and W. Vernberg), Academic Press, New York, pp. 253-284.
- Synder, D. E., M. B. M. Synder and S. C. Douglas, 1977. Identification of golden shiner, *Notemigonus crysoleucas*, spotfin shiner, *Notropis spilopterus*, and fathead minnow, *Pimephales promelas*, larvae. J. Fish. Res. Bd. Can., 34 : 1397-1409.
- Tilseth, S., T. S. Solberg and K. Westrheim, 1984. Sublethal effects of the water-soluble fraction of Ekofisk crude oil on the early larval stages of cod (*Gadus morhua* L.). Mar. Environ. Res., 11 : 1-16.
- 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* (Ed. by J. Vernberg, A. Calabrese, F. P. Thurberg and W. B. Vernberg), Academic Press, New York, pp. 483-551.
- Woodward, D. F., E. E. Little and L. M. Smith, 1987. Toxicity of five shale oils to fish and aquatic invertebrates. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 16 : 239-246.
- 강성현, 1994. 바다환경의 현실과 대책. 수산계, 1994년 10/11호, pp. 34-39.
- 安昶郁 · 陳平, 1986. *Neomysis awatschensis*에 미치는 原油의 急性毒性. 韓國水産學會誌, 19 : 599-607.
- 이갑현 · 장영진 · 강덕영, 1999. 어류 자어의 생리 활성 및 생존율에 미치는 원유중 수용성 성분 (WSF)의 영향. 한국양식학회지(투고중).
- 李秉喙 · 李澤烈 · 陳平, 1975. 百蛤의 發生 및 呼吸에 미치는 原油成分의 影響. 釜山水大 海洋科學研究所 研究報告, 8 : 1-38.