

어업 및 양식업에 대한 기름유출의 영향

방제기술정보문서

11



서론

유류유출은 물리적 오염과 자원에 대한 독성영향 그리고 경제활동이 중단되므로 어업 및 양식업 자원에 심각한 손상을 입힐 수 있다. 수산물제품에 미치는 영향의 특성과 범위는 유출유의 특성, 사고 상황, 영향을 받은 어업활동이나 사업의 종류에 따라 다르다. 경우에 따라, 효과적인 보호 조치와 정화작업이 손상을 방지하거나 최소화 할 수 있다.

이 문서는 선박기인 유류오염이 어업과 양식업에 미치는 영향에 대해 설명하고, 유류유출의 심각한 피해를 감소시키는데 도움이 될만한 대응 조치와 관리 전략에 관한 지침을 제공한다. 기타 경제적 자원에 대한 피해는 별도의 기술서에서 다루고 있다.

피해와 손실의 메커니즘

어업(자연산종 어획) 및 양식업(종을 바다에서 인공적으로 길러서 번식하게 함)은 중요한 산업이고 유류유출 발생시 여러가지 측면에서 심각한 영향을 받을 수 있다(그림 1과2). 상업적으로 소비되는 동식물들은 유류독성과 질식으로 폐사할 수 있다. 수산물은 물리적으로 오염되거나 유취오염으로 인해 불쾌한 기름 향이 날 수도 있다. 어구와 양식장비에 기름이 묻으면 어획물이나 자원이 오염되거나, 장비가 정화 또는 교체될 때까지 활동이 중단되는 위험을 초래할 수 있다. 개별사업자의 손실 외에도 생계의 어려움(그림3), 여가활동과 상업적 어업활동의 중단, 수산물양식 주기의 혼란 등도 중요한 경제적 피해이다. 소비자들은 피해지역 수산물의 구입을 꺼릴 것이고, 상품이 실제로 오염되지 않았더라도 시장의 신뢰가 상실됨으로서 경제적 손실을 유발할 수 있다.

유출유의 영향은 유류의 물리적, 화학적 특성, 특히 밀도, 점도, 화학적 구성성분 그리고 시간이나 ‘날씨’에 따른 이러한 특성들의 변화에 의해 결정된다. 풍화에 의한 변화는 그 자체가 일반적인 기후와 해상의 기상상태에 따라 크게 좌우된다.

자유 유포하는 성어와 외해에서 상업적으로 중요한 해양 동물 자원은 유류유출로부터 장기적인 손상을 거의 입지 않는다. 그 이유는 수중의 기름 농도가 폐사나 심각한 손상을 유발할만한 수준에 도달 하지 않고 유출 이후 빠르게 감소하며, 대개 유출이 시작된 지점 근처에 머물러 있기 때문이다. 반면에, 정해진 해역에서 양식되는 갯벌은 동물과 수산물 제품은 주변 해수의 유류 오염물질에 노출되는 것을 피할 수 없기 때문에 잠재적으로 더 큰 위험에 처해있다.

가장 큰 피해는 연안에서 발견될 가능성이 크다. 동식물들은 연안에서 기름에 파묻혀 질식사하거나 오랜 시간 동안 독성



▲ 그림 1: 유출유의 영향으로 어선과 장비가 오염되거나 어업금지가 실시되어 어선단은 항구에 머무를 수밖에 없는 경우도 있다.

물질에 직접 노출될 수 있다. 이러한 이유로 식용 해조류와 패류 같은 정착종은 유류 독성과 질식에 특히 취약하다. 폐사 외에도 유류는 거동, 섭취, 성장 또는 생식 기능에 더 민감한 피해를 초래할 수 있다. 그러나 많은 해양 종들의 개체군은 일반적으로 상당한 자연적 불안정을 보여주기 때문에 유류유출 사고로 인한 아치사(Sub-lethal) 효과와 구분하기 어려울 수 있다.

수산물 피해는 유류유출에 방제조치 결과로 발생하기도 한다. 예를 들면, 방제조치가 취해지지 않았다면 부유 기름의 영향을 받지 않았을 동식물들이 근처 해역에서 유처리제가 사용된 경우 물 속에 정지해 있는 기름방울에 노출되어 오염될 수 있다. 무분별한 고압 또는 고온 세척과 같이 부적절하거나 지나친 정화기술은 상업적으로 소비되는 종들에 부정적인 영향을 주고 자연적 회복을 지연시킬 수 있다.



▲ 그림 2: 해조류 양식장 - 어업 및 양식업은 종종 유류유출에 민감하다.



▲ 그림 3: 작은 해안가 마을은 보통 소득과 최저 생활을 위해 어업에 의존하고 있어 유류유출에 의해 심각한 피해를 입을 수 있다.

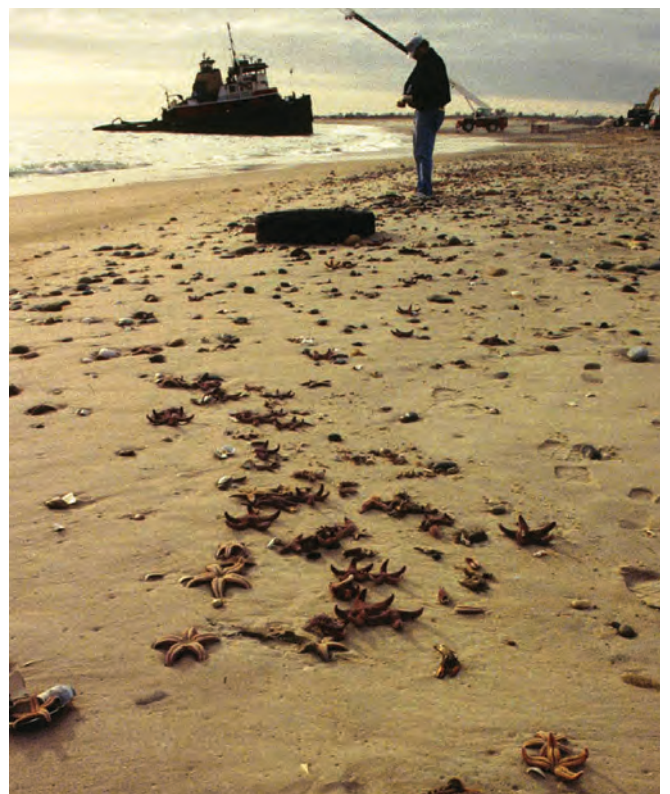
어업 및 양식업의 계절적 순환은 어획되거나 양식된 종의 종류에 따라 일년 내내 다양하다. 따라서, 유출유에 대한 종의 민감도나 활동도 계절에 따라 다르다. 예를 들면, 아시아에서 자란 대형 해조의 일부는 봄이나 초여름에 수확되고, 다음 해에 수확할 해조 씨앗은 초가을이 되어서야 심는다. 빨리 성장하는 다른 종들은 일년 내내 여러 번 심고 수확할 수 있다. 바다에서 파이프로 끌어온 해수를 공급받는 연안 수조에서 치어를 양식하는 것도 마찬가지로 계절의 영향을 받으며, 그 기간은 일반적으로 일년에 몇 개월 이상 지속되지는 않는다.

결과적으로, 어업이나 양식업에 입힌 피해의 정확한 범위와 특징은 특정 유류유출 동안 발생할 수 있는 여러 가지 복합적인 요인에 따라 다르다. 유출량 또는 어떤 다른 하나의 요소만으로는 피해 가능성에 대해 신뢰할만한 지표를 얻을 수 없다. 대신, 일년 중 유출 시점, 유류의 종류, 그리고 얼마나 많은 유류가 민감자원에 도달했는지를 모두 고려하여야 한다. 가장 어려운 일 중 하나는 남획과 엘니뇨 현상 같은 기후적 영향, 또는 산업과 도시 폐기물로 인한 오염 등을 포함하여 특히 중 수준의 자연적 변동과 어획 노력의 다양성과 같은 다른 이유로 발생한 변화와 유류유출의 영향을 구분해내는 것이다. 많은 경우에 유출 이전에 존재했던 양상이나 과거 생산성 수준을 설명해 줄 신뢰할만한 데이터가 없어서 더욱 어려움을 겪는다.

독성

유류의 독성효과는 유류 내에서 가벼운 방향족 성분의 농도와 이 성분 분해에 노출되는 기간에 따라 결정된다. 독성 효과의 범위는 아치사(Sub-lethal) 행동 효과에서 해양생물의 국지적인 대량 폐사에까지 이른다.

일반적으로, 경질 원유와 휘발유나 등유와 같은 경질성



▲ 그림 4: 유출된 기름이 폭풍으로 인해 자연적으로 얕은 바다로 분산되어 바닷가재, 불가사리 및 패류에 영향을 주었다.

석유제품은 급성 독성 효과를 일으킬 수 있는 저분자 방향족 화합물을 비교적 많이 포함하고 있다. 자연산 수산자원은 때때로 해안과 가까운 곳에서, 특히 폭풍이나 심한 파도가 있을 때 경질유의 대형 유출 이후 독성 효과의 영향이 크다(그림 4). 이러한 상황에서, 비교적 많은 양의 가벼운 독성 성분은 해수면에서 빠르게 증발하기 보다는 수중으로 흩어져 얕은 바다에 갇히게 되고, 결과적으로 해양생물을 중독시키거나 죽게 할 정도로 농도가 높아지게 된다. 쌍각연체동물과 갑각류 등과 같은 조간대 및 얕은 조하대 저서 동물상이 특히 취약하지만, 매우 드물게 자유 유영어도



▲ 그림 5: 기름 묻은 어망과 어항은 너무 심하게 오염되지 않았다면 세척하여 재사용 할 수 있지만, 어떤 경우에는 교체하는 것이 더 경제적인 수 있다.



▲ 그림 6: 통발은 부유 유류에 의해 오염되기 쉽다.



▲ 그림 7: 육상 양어장은 대량의 깨끗한 해수를 필요로 한다. 취수설비는 대개 해수면 아래에 위치하므로 분산유의 영향을 받을 수 있다.

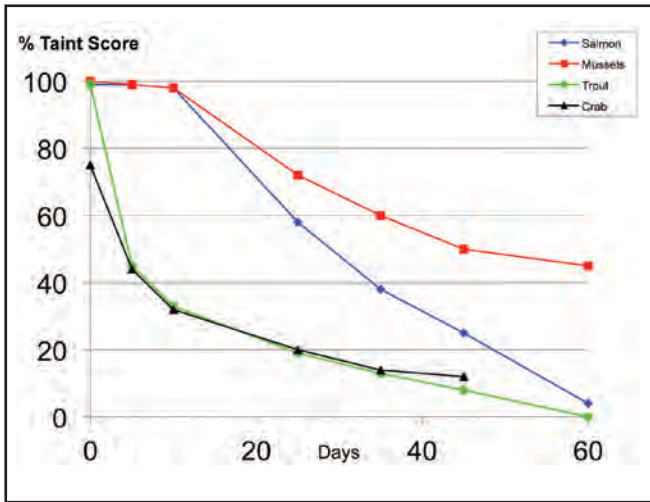
이러한 조건에서 큰 영향을 받은 것으로 관찰되었다.

더 낮은 농도에서는 시험종이 유류의 더 강한 독성 성분에 노출되면 호흡, 움직임, 생식기능과 같은 생리작용에 손상을 입을 수 있고, 알과 유생의 유전자 변이가 일어날 가능성이 증가할 수 있다는 것이 실험 연구를 통해 입증되었다. 그러나 현장에서 그러한 아치사(Sub-lethal) 효과를 알아내는 것이 어려울 뿐만 아니라, 현장에 대한 실험결과를 기반으로한 추정에 의해 예측할 수 있는 자원에 미치는 광범위한 영향도 발견되지 않았다. 마찬가지로, 유류유출 후에 알과 유생의 폐사가 발생할 수 있음에도 불구하고, 자연산 성체 자원의 고갈은 거의 보고된바 없다. 부분적으로, 이는 다양한 급성 영향에 대한 해양생태계의 상당한 자연 회복력으로 설명될 수 있다. 해양생물은 그 중에서도 특히 알과 유생의 방대한 과잉 생산과 영향을 받은 지역 이외의 자원 저장고로부터 보충을 통해 자연적으로 높은 사망률에 잘 적응한다.

물리적 오염

유류에 오염된 어선, 어구 및 양식업 시설은 어획물이나 생산물로 그 오염이 전이될 수 있다(그림 5). 많은 수산물 제품을 대량으로 양식하고 취급한다는 것은 기름에 오염된 표본들만 찾아내서 격리 및 제거하는 것이 거의 무의미하다는 것을 의미한다. 부표, 부망, 투망, 고정된 어망(그림 6) 등 해수면 위에 넓게 퍼져있는 장비는 특히 부유 유류에 의해 오염될 위험이 있다. 낚시줄, 준설선, 저인망, 그리고 양식시설의 침수된 부분은 오염된 해수면을 가르며 부상하거나 침강유나 분산유의 영향을 받지 않는다면 일반적으로 보호된다. 조간대 굴 양식대(그림 16과 19)와 같은 연안 양식시설은 특히 취약하다. 이들은 주로 중간이나 낮은 해안에 위치해있는데, 자연적인 밀물과 썰물의 작용으로 해안선이 유류오염에 노출된다. 양어장이 부유 유류에 의해 물리적인 영향을 받았을 때, 오염된 시설물 자체가 정화되기 전까지 2차 오염원이 될 수 있다.

갑각류, 연체동물, 극피동물과 같은 많은 해양 동물과 해조류 및 물고기를 양식할 때, 새끼를 상품성 있는 크기 또는 바다로 내보내기에 적합한 나이와 크기로 기르기 위해 주로 해안 수조를 이용한다(그림 7). 이러한 시설들은 일반적으로 간조선 아래에 위치한 취수설비를 통해 깨끗한 해수를 공급받는다. 취수설비는 때때로 침강유나 분산된 기름방울의 위협을 받기도 하는데, 이러한 기름은 배관과 수조를 오염시키고 양식 자원의 손실을 가져올 수 있다. 기름의 존재는 이미 인위적인 양식장 환경에서 많은 스트레스를 받은 자원에게 추가적인 스트레스를 줄 수 있다. 예를 들어, 기름오염과 관계없이 발생할 수도 있지만, 양어장의 수온이나 자원 밀도가 비정상적으로 높다면,



▲ 그림 8: Forties 원유에 실험적으로 노출 후 어류 및 패류의 정화 속도(유취감소)(출처: Davis, H.K., Moffat, C.F. & Shepherd, N.J. (2002). 화학적으로 분산된 세가지 석유제품에 의한 해양 어류의 실험적 유취오염과 Braer 유류유출과 비교. Spill Science & Technology Bulletin, vol7, Nos.5-6, pp.257-278.)

성장지체나 질병, 폐사의 위험이 더 높아 지는 것이다.

유취오염(tainting)

유취오염은 보통 음식 제품에서 나는 이상한 냄새 또는 맛으로 정의된다. 수산물의 유류 오염은 대개 석유 맛이나 냄새로 미리 감지될 수 있다. 쌍각연체동물과 기타 여과 섭식하는 정착성 동물은 상당한 양의 물을 여과하므로 수중에 분산된 기름방울과 기름 묻은 입자들을 섭취할 위험이 있기 때문에 유취오염에 특히 취약하다. 양식산 어류 중에서도 특히 연어와 같이 지방 함량이 높은 어류는 그들의 조직에 석유 탄화수소를 축적하고 보유하는 경향이 크다.

유취오염의 존재와 지속성에 영향을 주는 다른 요소들에는 유류의 종류, 피해 중, 노출 정도와 기간, 해황, 수온 등이 있다. 살아있는 조직의 유취오염은 회복이 가능하지만, 유류 유취오염의 흡수는 주로 빠르게(몇 분 또는 몇 시간) 진행되는 반면에, 생물의 대사작용을 통해 오염물질을 제거하는 정화작용은 더디게(몇 주) 진행된다(그림 8). 낮은 주변온도에서는 대사작용이 매우 느리게 진행될 것이므로 정화 작용도 그러할 것이다.

유취오염을 일으킬 가능성이 있는 원유 및 석유 제품의 화학적 구성물질 일부는 확인되었지만, 많은 물질이 알려지지 않은 상태이다. 게다가, 신뢰할만한 임계 농도가 설정되지 않았음에도 불구하고, 유취오염이 발생할 수 있는 탄화수소 농도가 매우 낮다는 것은 알려져 있다. 결과적으로, 화학적 분석만으로 어떤 제품이 유취오염되었는지 아닌지 결정하는 것은 불가능하다. 그러나 유취 오염의 유무는 관능검사를 통해, 특히 숙련된 검사원과 확립된 검사 절차를 적용하여 빠르고 정확하게 알 수 있다. 불쾌한 유취오염을 초래하는



▲ 그림 9: 수산물은 많은 집단에 중요한 단백질 공급원이다

오염의 수준은 매우 낮기 때문에, 유류 오염물질에 관한 한, 수산물이 유취오염에서 벗어났다고 판단되면 먹어도 안전하다고 간주된다.

공중보건 문제

대형 유출에 따른 수산물이나 제품에서 오염이 발생하면 공중보건 문제가 발생하여 어업 제한이 시행될 수 있다. 이러한 문제는 주로 유류 내 다환식 방향족탄화수소(PAHs)에 기인한다. 그들의 신진대사에 영향을 미치는 분자구조의 차이 때문에 모든 PAHs가 동일한 효능을 가진 것은 아니다. 원유유출은 주로 저분자량 PAHs에 의한 오염을 발생시키는데, 이들은 거의 또는 전혀 발암 가능성이 없지만, 급성 독성이나 유취오염이 우려된다. 반면에, 중질유는 일반적으로 활발한 발암물질을 포함한 고분자량 PAHs를 더 많이 포함하고 있다. 잠재 PAH 들연변이화의 주요 요인은 DNA에 붙어서 3번과 7번 벤젠고리 사이의 PAHs에 특정한 문제, 즉, 유전자 변이를 초래할 수 있는 반응성 대사물질의 형성 때문이다. 중요한 것은 연료유 및 이와 관련된 에멀전은 높은 점도와 낮은 분산성을 포함한 물리적 특성 때문에 살아있는 조직에 쉽게 흡수되지 않지만, 생물학적 분해 가능성도 낮다.

해수, 퇴적물, 생물 조직 내 배경 PAH 농도는 발열성 자원(연소 관련), 만성적인 인공 자원(인간 활동에 의한), 천연자원을 포함한 다양한 투입에 따라 매우 다양하다. 수산물 식사를 통한 일반적인 PAH 섭취량은 일반적인 한끼 식사량, 식사 빈도와 개인 몸무게에 따라 개인과 집단 간에 상당한 차이가 있다. 따라서 개인 또는 집단이 유류유출에서 파생된 발암물질의 영향을 받을 위험은 특정 지역의 수산물 소비 패턴에 따라 다르다(그림 9). 인간에게 위험 부담이 없는 섭취량을 정의할 수는 없지만, 일반적인 소비 수준과 패턴에 따라 특정 지역에 대한 '허용 가능한' 수산물의 PAH 수준을 개발할 수 있다. 결과적으로, 많은 관계 당국은



▲ 그림 10: 판매중인 생선 - 상업적 어업활동의 중단은 하역장에서 시장 가판대와 같은 소매업에 이르는 판매망 전체에 중요한 경제적 영향을 끼칠 수 있다.

현재 해양 생산물의 PAH에 대한 최대 허용 수준(MPL)을 채택하였다. 예를 들면, 유럽연합(EU)에서는 어류의 PAH 벤조피렌(BaP)에 대한 최대 허용 수준이 $2 \mu\text{g}/\text{kg}$ 미만, 쌍각연체동물은 $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ 미만이다(표 1).

미국 환경청(US EPA)은 16종 PAH 화합물을 주로 환경 샘플에서 측정을 위해 표적으로 삼는 ‘우선순위’ 오염물질로 정의하였다. 유출 후 이러한 16개 우선순위 PAHs 모두를 근거로 기준값이 설정되었다. 그러나 PAHs

는 수천 가지 화합물의 복잡한 혼합물을 형성하기 때문에, 주로 ‘전체 PAH’가 오염의 척도로 사용된다. 하지만 전체 PAH는 국제적인 수치를 얻기 위해 추가된 특정 구성성분의 특성에 따라 달라지기 때문에 일반적으로 전체 PAH를 해석하기는 어렵다. 이러한 이유로, 분석된 실제 PAH는 비슷한 것끼리 비교하여 오염 수준을 평가하도록 규정되어야 한다.

여러 가지 PAHs는 매우 폭넓은 상대적인 영향력을 가진다. 이러한 측면에서, 벤조피렌은 주요 화합물로 간주되며, 담배 연기에도 포함되어 있기 때문에 PAH중에서 가장 많이 연구된다. 결과적으로, 지침의 범위는 벤조피렌을 지표로 사용하여 개발되어왔다. 더 나아가, 서로 다른 출처에서 얻은 샘플을 비교하고 지침을 적용하기 위해, 그들의 상대적인 발암 가능성을 기반으로 개별 PAHs의 농도가 벤조피렌의 등가물로 표현되는 독성등가지수(TEF)가 개발되었다. 이러한 값들은 벤조피렌 등가지수(BaPE)를 얻기 위해 합산된다.

일반적으로 인간이 모든 잠재 요인으로부터 PAHs에 노출되는 것은 많은 변수에 따라 달라질 수 있다. 예를 들면, 매우 다양한 훈제나 바비큐 음식 또한 유출유에서 파생되는 PAH 화합물과 유사하거나 동일한 물질을 함유하고 있다. 도심지 주변에서 자란 업체는 대기중의 PAHs가 잎에 축적되면서 오염될 수 있다. 식품 품질

	지표	기준 ¹	대상
프랑스 - AFSSA ² (ERIKA 1999)	국가관찰센터에서 16개 PAH를 분석	$\Sigma < 500 \mu\text{g}/\text{kg DW}$ 판매 금지 $> 1,000 \mu\text{g}/\text{kg DW}$	패류
영국 FSA ³ (2002)	Benzo[a]anthracene 벤조피렌 Dibenz[a,h]anthracene	$\Sigma < 15 \mu\text{g}/\text{kg WW}$	모든 수산물
유럽연합(EU) (2005)	벤조피렌 (BaP)	$< 2 \mu\text{g}/\text{kg WW}$ $< 5 \mu\text{g}/\text{kg WW}$ $< 10 \mu\text{g}/\text{kg WW}$	어류 갑각류 및 두족류 패류
한국 (MIFAFF) ⁴ (HEBEI SPIRIT 2007)	벤조피렌 등가지수 (BaPE)	$< 3.35 \mu\text{g}/\text{kg WW}$	모든 수산물
미국 EPA ⁵ (NEW CARISSA 1999)	BaPE	‘안전’ $< 10 \mu\text{g}/\text{kg WW}$ ‘위험’ $> 45 \mu\text{g}/\text{kg WW}$	패류 패류
미국 EPA ⁵ (KURE 1997)	BaPE	‘안전’ $< 5 \mu\text{g}/\text{kg WW}$ ‘위험’ $> 34 \mu\text{g}/\text{kg WW}$	패류 패류
미국 EPA ⁵ (JULIE N 1996)	BaPE	‘안전’ $< 16 \mu\text{g}/\text{kg WW}$ ‘위험’ $> 50 \mu\text{g}/\text{kg WW}$	바닷가재 바닷가재

¹ DW - 건조 중량; WW - 습윤 중량. 일반적으로 $DW = ca. 15\% \times WW$; $\mu\text{g}/\text{kg} = \text{ppb}$.

² AFSSA: 프랑스 식품위생안전청.

³ FSA: 영국 식품기준청. 이 지침은 현재 유럽연합(EU) 기준에 의해 대체되었다.

⁴ MIFAFF: 한국 농림수산식품부

⁵ EPA: 미국 환경보호청. 지침 기준이 다양한 이유는 주로 지역별로 식단이 다르기 때문이다.

▲ 표 1: 유류유출 이후 수산물 관리를 위해 여러 기관에서 사용한 PAH 수준 지침 예시

관리자를 더 복잡하게 만드는 것은 수산물의 품질도 중금속, 조류 독소, 병원성 박테리아, 바이러스와 같은 다른 형태의 오염에 의해 영향을 받는다는 사실이다. 그러므로 적절한 규제책을 마련하고 실행하기 위해서는 유류유출이 공중보건에 미치는 잠재적인 영향을 전체적인 맥락에서 검토하여야 한다. 유류유출 후 PAH에 노출된 기간, 빈도와 양을 고려하여, 대부분의 위험 평가 연구는 유류유출 후 수산물의 PAHs 수준과 공중보건 심지어 자급자족자에 상당한 위험을 가져다 줄 PAHs 수준 사이에, 일반적으로 충분한 안전 마진이 있다는 결론에 도달했다.

시장에 대한 신뢰 저하와 상업 중단

어업 및 양식업 활동의 중단과 상당한 경제적 손실 가능성은 유류유출의 가장 심각한 영향에 포함된다(그림 10). 공중보건 문제와 오염물질 검출은 시장에서 수산물 판매 금지로 이어지기 쉽다. 또한 시장에 대한 신뢰 상실은 수산물 제품의 가격 하락 또는 중간상인과 소비자의 단호한 거절로 이어질 수 있다. 유류오염에 관한 언론보도나 소문은 수산물의 시장성에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 시장에 대한 신뢰 상실로 인한 경제적 손실을 양적으로 계산하는 것은 어려울 수 있다. 유출의 직접적인 결과로 수산물 가격이 떨어지고 판매가 안 되는 현상을 모두 설명할 수 있는 신뢰할만한 데이터에 없기 때문이다.

유류로부터 어구와 양식시설을 보호할 수 없다는 것이 확실해지면, 일반적으로 시설이 세척되어 다시 작동될 때까지 경제적 손실을 겪게 된다. 양식 생물의 폐사로 인한 경제적 손실을 양적으로 계산하는 것은 종종 피해 생물의 수를 세고 무게를 재는 비교적 간단한 과정이다. 상실이익은 인건비, 먹이, 연료 등 모든 절약된 생산 비용을 제외한 예상 수확 중량과 판매 최초 예상 판매가를 가지고 계산된다. 또한 양식하는 동안 일반적으로 발생하는 자연 사망률도 고려하여야 한다.

대응 방안과 오염 피해 완화

양식업 시설, 구조물 또는 그물이 오염되었을 때, 고압세척 장비 등을 이용하여 현장에서 세척할 수 있다(그림 11). 오염이 더 심각한 경우에는 세척을 위해 시설을 분해해야 한다. 세척이 불가능하거나, 세척 비용이 새 장비를 구입하는 비용보다 비쌀 경우 교체하는 것이 더 좋은 방법일 수 있다(그림 12).

오일펜스와 기타 방벽은 때때로 고정된 어구와 양식업 시설을 보호하기 위해 사용될 수 있다. 하지만 어업 및 양식업 장비는 주로 회유 경로나 해수 교환이 용이한 곳에 설치되고, 이러한 지역은 대개 물의 흐름이 빠르기 때문에



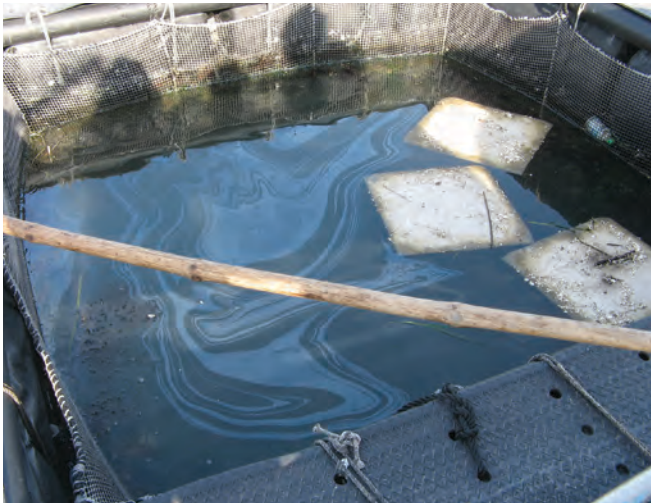
▲ 그림 11: 양식시설은 압력세척을 이용하여 현장에서 세척될 수 있다.



▲ 그림 12: 유류로 심하게 오염된 해조류 양식대는 적정기준만큼 정확될 수 없어서 폐기되었고, 새로운 것으로 교체되었다.



▲ 그림 13: 충분한 통보 후에, 부유에 의한 오염을 방지하기 위해 양어장 주변에 비닐 시트를 설치할 수 있다.



▲ 그림 14: 기름에 오염된 전복 양식장. 시트형 흡착재는 대량의 기름을 제거하는데 부적합하지만 종종 양어장 내 얇은 유막을 제거하는데 유용하다.

오일펜스가 기능을 하지 못한다. 잔잔한 해역에 위치한 양어장은 때때로 양어장 외곽 주변을 둘러싼 대형 플라스틱 시트로 보호받을 수 있고, 이를 통해 떠다니는 기름이 그물로 들어가거나 부유 시설을 오염시키는 것을 방지할 수 있다(그림 13). 시트는 수면 아래로 너무 깊게 설치되면 안되고, 조류나 파도 작용에 의해 위로 올라가는 것을 방지하기 위해 하단 가장자리에 무게를 주어야 한다. 어떤 경우에는 불형흡착재도 양어장 주변에 설치할 수 있다.

흡착재는 대량의 기름을 제거하는데 부적합하지만 종종 수조와 양식장 내 수면의 얇은 유막을 제거하는데 유용하다(그림 14). 또한 흡착재는 연안 시설을 위해 해수를 거르는데 성공적으로 사용되어 왔다. 항상 포화된 흡착재가 2차 오염원이 되지 않도록 교체해주는 것이 중요하다. 작은 입자로 분해 되는 흡착재(loose particulate sorbent)는 먹이로 오인될 수 있기 때문에 사용되면 안 된다.

연안 어장과 시설에서 충분히 떨어진 곳에서 유막을 유처리제를 사용함으로써 때때로 부유 유류에 의한 장비의 오염을 줄이거나 방지할 수 있다. 분산유에 의한 자원의 오염을 피하기 위해 필요한 거리는 주 해류의 방향과 강도, 분산유가 물 속에서 충분히 희석될 만큼의 시간에 따라 다르다. 결과적으로, 산란지, 생육지, 취수 해역 또는 양식장의 용승류나 인근에서는 잠재적인 영향을 반드시 고려한 후에 유처리제를 사용하여야 한다.

기본적인 유출 대응 조치에 더하여, 다른 완화 전략에는 기름띠의 이동 경로에 있는 부유 시설물 이동, 유류가 통과할 수 있도록 특수제작 양식 틀 침강, 피해가 적을 것으로 예상되는 지역으로 자원 이동 등이 포함된다. 기술, 수송, 비용의 측면에서 이러한 접근방식들을 이용할 기회가 적지만, 적절한 상황과 충분한 계획에 따라 오염과 재정적 손실을 피할 수 있는 기회를 간파해서는 안 된다.



▲ 그림 15: 공중의 건강을 보호하고, 유류유출 후에 오염된 제품이 시장에 유통되는 것을 방지하기 위해 어업 제한이 실시될 수 있다.

해안 수조, 연못 또는 부화장에서 취수설비를 이용한 물 공급을 일시적으로 중단하고 이미 시스템 내에 있는 물을 재순환시키는 것은 유류 오염의 위협으로부터 자원을 격리시키는 효과적인 방법이 될 수 있다. 예를 들면, 새우를 양식하는 연못으로 흐르는 수문을 폐쇄하여 단기적으로 보호할 수 있다. 먹이 공급을 중단하면 양식산 어류와 기타 자원이 오염된 먹이와 접촉하게 되는 것을 방지할 수 있지만, 그렇지 않으면 먹이는 유막을 가르며 분산될 것이다. 먹이 공급을 줄이거나 중단하면 재순환되는 물 속에 폐기물 함량이 감소하는 추가적인 이점이 있지만, 고여있거나 재순환하는 물 속에 유해 폐기물이 증가한다고 해서 자원의 과도한 사망을 초래하지 않는다는 것에 주의하여야 한다. 이러한 완화조치로 인한 자원에 대한 잠재적인 손상과 유류로 인한 손상 사이에 균형이 필요하다.

이러한 완화 전략들이 효과를 보기 위해서는, 민감한 어업 및 양식 시설에 대한 내용이 긴급계획에 포함되는 것이 중요하다. 작업자들은 그들의 대응 태세를 점검하기 위해 훈련에 참여하여야 하고, 그들의 시설에 위협이 되는 유출 발생 시 전략을 실시할 충분한 시간을 확보하기 위해 즉시 통보 받아야 한다.

경우에 따라 양식업자들은 유류유출의 피해로 결국 모든 자원을 잃게 되는 위험에 직면할 수 있다. 충분히 정보를 제공함으로써, 양식업자들은 유류에 오염되기 전에 자원을 조기 수확할 수 있다. 수산자원이 완전히 시장성 있는 크기로 자라지 못한다 하더라도 일부 가치를 인정 받을 수 있다. 반대로, 오염된 자원이 자연적인 대사 과정을 통해 깨끗해질 수 있도록 정상적인 수확이 지연될 수 있다. 하지만 정화 속도는 관련 종과 지역적 조건에 따라 다르기 때문에, 이 과정이 만족스럽게 완료되기까지의 정확한 일정을 예측하는 것은 어려울 수 있다. 게다가, 정화가 느린 속도로 진행된다면 자원은 시장에 최적화된 크기보다 더

크게 성장할 것이고, 그러면 아마도 수익성이 덜한 다른 시장을 찾아야 할 수도 있다.

관리 전략

유류 오염의 영향을 예방하거나 최소화할 수 있는 관리 전략은 다양하다. 가장 간단한 방법은 유류유출과 수산물 안전에 가해질 수 있는 위협을 모니터링하는 것 외에는 관여하지 않는 것이다. 제한적인 개입에는 수산물 산업에 손실 완화를 위해 조치 하는 등의 지침을 제시하는 형태가 있다. 낚시꾼들이 여가활동으로 물고기를 잡는 곳에서는 어획물 소비 금지와 ‘포획 후 방류 정책’의 일시적 도입을 권고함으로써 자원을 충분히 보호할 수 있다. 더 엄격한 조치로서는 소매 유통 제한, 어획물 및 수산식품 압수, 조업 금지 및 어장 폐쇄 등이 있다(그림 15). 각각의 조치는 잠재적인 단점을 가지고 있으므로 조치가 취해지기 전에 적용 가능한 전략안을 면밀히 검토하는 것이 바람직하다. 다음 네 가지 전략은 당국이 상황을 관리하고, 자신 있게 통제와 제한을 철회하도록 허용해줄 것이다.

샘플링, 모니터링 및 분석

모니터링 프로그램의 목적은 유류 오염의 정도, 기간, 그리고 공간적 범위를 결정하는 것이다(그림 16). 원론적으로, 어업이나 제품 판매를 제한하기 위해, 비교적 적은 수의 샘플을 채집하고 분석하여도 종종 오염의 최초 발현을 확인하고 피해 지역을 정하기에 충분하다. 신뢰할만한 결과를 얻는데 필요한 최소한의 샘플수는 사례별로 결정된다. 적절한 간격으로 샘플링하여 오염의 점진적 손실을 모니터링 하는 것은 이후 배경수준으로 회복되는 지점을 확실하게 확인할 수 있게 해준다.

샘플링과 테스트의 빈도와 지리적 범위는 오염의 심각성과 정화작용의 발생이 관찰되는 비율에 따라 결정되어야 한다. 한 가지 실질적인 접근 방법은 샘플은 오염되지 않아야 하고, PAH의 수준은 피해 구역 바로 밖에서 수집된 대조 샘플이나 다른 나라에서 자유롭게 판매되는 수산물에서 발견된 것보다 높아서는 안 된다는 것이다. 짧은 기간 동안 채집된 두 개의 연속적인 샘플 세트가 허용할만한 수준의 결과가 산출될 때, 특정 지역 또는 종 내 오염이 상당히 감소한 것을 볼 수 있기 때문에 제한이 제거되거나 금지 범위가 조정될 수 있다.

최초 결과가 확실하지 않거나 신뢰할만하지 못한 것으로 판명되었다면, 채집된 모든 샘플을 분석할 필요는 없으며, 일부는 다음 분석을 위해 남겨두어야 할 수도 있다. 목표 어종은 상업적, 오락적, 생계유지의 가치가 있고 실제로 소비되는 것들이 될 것이다. 유류 오염의 영향을 받지 않은



▲ 그림 16: 분석을 위한 굴 샘플 채집 - 신뢰할만한 결과를 얻는데 필요한 최소한의 샘플 수는 사례별로 결정된다.



▲ 그림 17: 어류와 갑각류는 일반적으로 관능검사에 앞서 찢 후 하얀 속살의 냄새와 맛을 검사하여 오염 여부를 판단한다.

지역 인근에서 엄선된 샘플은 대조 목적으로 중요하고, 배경 오염의 간섭을 제거하는데 도움을 준다. 경우에 따라, 지역 수산물 시장에서 얻은 샘플은 유류에 오염된 지역에서 얻은 샘플과 비교하기 위한 기준을 제공할 수 있다.

동물과 식물의 조직 샘플은 부패하기 쉬워서 온전한 보존을 위해 적절하게 채집되고 저장되어야 한다. 샘플의 부패와 교차 오염을 예방하기 위해 깨끗한 저장 용기(가급적이면 유리)를 사용하여야 한다. 냉장이나 냉동은



▲ 그림 18: 폐쇄된 육상 양어장의 물 샘플 채취. 분석을 통해 자원의 오염 가능성을 알 수 있을 것이다.



▲ 그림 19: 굴의 경우와 마찬가지로, 오염 수준 모니터링 절차는 불필요한 어업 폐쇄를 하지 않도록 긴급계획에 포함되어야 한다.

단기적으로 샘플의 미생물 분해에 대응하는 가장 편리한 보존 방법이다. 채집된 샘플을 봉인하고 라벨을 붙인 후 분석실이나 장기간 보관을 위한 냉동 시설로 이송하기 위해 적절한 냉각 팩이 있는 절연 용기에 빠르게 담아야 한다. 일부 분석 절차에서는 냉동된 샘플이더라도 보관 기간이 너무 길면 사용할 수 없다.

관능검사

관능검사는 유취오염의 존재 여부를 확인하고, 수산물의 식용 가능성을 알아내는데 일반적으로 가장 적합한 방법이다 (그림 17). 훈련된 관능평가원과 유효한 샘플은 관능검사 절차에서 필수요소이다. 신빙성 있는 결과를 얻고 편견을 최소화하기 위해, 검사는 블라인드 테스트로 실시된다. 즉, 관능평가원은 샘플이나 잠재적으로 오염된 샘플의 정체를 알지 못해야 한다.

유취오염 한계치는 오염 지역에서 얻은 몇 개의 대표 샘플이 인근의 비교 지역이나 유출 지역 외곽의 상업적 배출구에서 얻은 동일한 수의 샘플보다 더 유취오염되지 않았다는 것이 발견되는 지점이라고 정의될 수 있다. 이러한 접근방법은 개별 평가원과 소비자 사이에 변수가 있을 수 있다는 사실과 어떤 군집이든 오염된 샘플은 유류유출 외의 다른 이유로 발생할 수 있다는 사실을 고려한다. 어류나 갑각류가 깨끗하고 안전하다는 것에 대한 믿음은 유출 이후 유취오염의 점진적 감소를 보여주는 적절한 시계열 모니터링 데이터에서 비롯된다(그림 8).

화학적 분석

관능검사는 유용한 선별 도구가 될 수 있다. 하지만 훈련된 관능평가원의 부족, 분석 기술의 접근성 향상과 비용 감소,

그리고 많은 기관들의 화학적 수산물 안전 기준 채택으로 보아 유류유출 이후 어업 및 양식업을 관리하는데 화학적 분석이 더 자주 사용되는 것을 알 수 있다. 가장 일반적으로, 가스크로마토그래피-질량분석법(GC/MS)을 사용한 PAHs의 화학적 분석이 실시된다. 그리고 나서 PAH 농도는 국가적으로나 국제적으로 인정된 기준 또는 비교 지역에서 얻은 대조 샘플에서 발견된 수준과 비교된다.

분석을 위한 수산 생물의 샘플을 선택할 때, 생물은오염물질의 축적과 정화 과정을 통해 주변 해수 또는 퇴적물의 상태를 효과적으로 ‘모니터링’ 하기 때문에 보통해수와 퇴적물의 샘플을 선택하는 것이 바람직하다. 해수 또는 퇴적물은 오염물질이 생물에 도달할 수 있는 통로 역할을 한다. 결과적으로, (예를 들어 육안 관측에 의해) 해수가 영향을 받은 것으로 알려진 곳의 경우, 오염이 생물로 전이되었는지 아닌지를 판별하기 위해서는 일반적으로 수산물을 분석하는 것이 바람직하다. 주로, 당국과 소비자가 관심을 갖고 중요하게 생각하는 것은 해수나 퇴적물보다는 수산물의 상태이다. 명확한 방법으로 오염물질의 존재 여부를 확인할 수 없는 곳에서는 자원의 오염에 대한 우려를 완화하기 위해 특히 폐쇄된 육상 시설(그림 18)에서 얻은 해수 샘플이나 개별 지표종(예. 홍합)을 테스트하는 것이 필요할 것이다.

조업금지 관리

유류유출 후에 어구의 오염을 방지하거나 최소화하고, 수산물 소비자들을 보호하거나 국민들을 안심시키기 위해 어획 규제가 시행될 수 있다. 어민들은 그들의 통상적인 어업 지역에 유류가 떠다니는 기간 동안 예방 조치로서 자발적으로 조업을 중단하여 반복적인 어구 오염을 피하는데 동참할 수 있다. 자발적 중단이 부적합한 곳에서는 공식적인 어업금지나 유통 제한이 적용될 수 있으나, 제한 조치가 취해질 때에는

이들의 해제 및 재개 기준 또한 반드시 고려되어야 한다.

장비와 자원 보호를 위해 시행된 어업금지에는 일반적으로 해수면에서 유막이 보이지 않고, 침강유의 흔적이 없으면 해제될 수 있다. 확인된 오염이나 유취오염을 근거로 취해진 제한들은 더 연장되거나 세심한 모니터링을 요구할 수 있다. 대부분의 유류유출 시나리오에서 어업 및 양식업 관리 절차는 부유 중인 유막이나 침강유의 존재 여부를 확인을 위한 조사, 유취오염 여부를 확인하기 위한 관능검사, 그리고 오염 수준이 배경수준으로 되돌아왔는지 또는 최대허용수준(MPL) 이하가 되었는지를 보여주는 화학적 분석과 같은 조치들로 구성될 것이다. 이러한 전략들은 개별적으로 또는 다른 요인들과 결합되어 과학적 신뢰를 주고, 소비자에게 도달하는 맛이 이상하고 안전하지 않은 수산물에 대한 적절한 보호 제공 요구를 충족시킨다.

어업 재개 기준은 그 지역의 정상적인 수산물의 질적 측면에서 현실적이고 실현 가능해야 한다. 신뢰할 수 있는 의사결정을 하기 위해서는 지역적, 국가적으로 수산자원 관리에 관한 지식과 오염의 배경 수준에 대한 신뢰할만한 데이터가 필요하다. 유류 오염의 물리적, 화학적 특성과

이들이 어떻게 해양 동식물에 영향을 미치는지에 대해 잘 이해하는데 도움이 된다. 수산물 소비 패턴과 가용성의 계절적 변화는 공중보건에 대한 위협을 정의하는데 더 도움을 주고, 규제 당국이 위협관리에 대한 의견을 형성하도록 해줄 것이다.

수산물 품질을 규제하는 당국은 대중들에게 불필요한 두려움을 유발시키는 위협을 알림과 동시에 대중들을 안심시키고 보호하려는 것과의 균형을 유지할 필요가 있다. 채택된 전략들은 피해 국가의 문화적, 행정적 관습을 반영하게 되므로 전세계적으로 다양할 것이다. 매체는 적절하게 실시된 샘플링과 테스트 체제의 결과를 전달함으로써 일시적 제한에 이성적인 반응을 증진하는데 중요한 역할을 할 수 있다.

금지 및 재개 기준 모두 긴급계획의 중요한 부분으로 제시되어야 한다(그림 19). 궁극적으로 금지로 얻는 이득은 정상적인 어업 및 양식업 활동의 장기간 중단으로 인한 경제적 손실과 비교해볼 필요가 있다. 역설적으로, 유류유출로 인해 어장을 폐쇄하면 자원이 이동하지 않고 유류의 영향이 최소화되기 때문에 결과적으로 자원이보호된다.

Key points

- 유류오염이 어업 및 양식업에 미치는 영향은 대부분 장비의 물리적 오염과 유취오염에 따른 수산물 오염이다.
- 유류유출이 천연 수산 자원과 어류 군집에 미치는 영향은 자원의 자연적 변동, 기후의 영향, 산업이나 도시에 의한 오염, 남획과 같은 다른 요인으로 인한 영향과 구분하는 것이 매우 어렵다.
- 상업적 어업과 생존 어업에 미치는 영향은 상당한 손실로 이어질 수 있다.
- 시장신뢰와 공중보건 문제가 잘 관리되지 않으면 오염된 수산물이 대중인식에 미치는 영향은 심각할 수 있다.
- 작업자에게 본인의 시설에 대한 유류유출의 위협을 가능한 빨리 알림으로서 시설관리자들이 최선의 대응조치를 취할 수 있는 기회를 줄 수 있다.
- 수산업 분야에 대한 신뢰를 유지하기 위해, 유류유출 후에 채택된 관리 전략들은 수산물의 안전과 품질을 보장하기 위해 과학적 방법과 데이터를 기반으로 하여야 한다.
- 유류오염의 맥락에서, 인간이 유류오염을 감지하는 오염물질의 수준이 매우 낮기 때문에 수산물이 오염되지 않았다면 먹어도 안전한 것으로 널리 간주된다.
- 유류유출 대응 조치뿐만 아니라 어업 폐쇄와 재개를 다루는 효과적인 긴급계획은 유류유출에 따른 어업 및 양식업에 미치는 영향을 방지하거나 축소시킬 수 있다.

ITOPF 기술정보지침서 목록

- 1 기름오염 항공탐색 지침
- 2 해상 유출기름의 특성변화
- 3 기름오염방제시 오일펜스 사용지침
- 4 기름오염방제시 유처리제 사용지침
- 5 기름오염방제시 유회수기 사용지침
- 6 해안오염 식별지침
- 7 해안방제 지침
- 8 기름오염방제시 유흡착재 사용지침
- 9 기름 및 폐기물의 처리 지침
- 10 기름유출 대응의 리더쉽, 지휘 및 관리
- 11 어업 및 양식업에 대한 기름유출의 영향
- 12 사회·경제적 활동에 대한 기름유출의 영향
- 13 환경에 대한 기름유출의 영향
- 14 해상유출기름의 시료채취 및 모니터링 지침
- 15 기름오염에 대한 보상청구 지침
- 16 기름오염에 대한 긴급방제계획 수립지침
- 17 해상에서의 화학오염사고 대응 지침

국제유조선선주오염연맹(ITOPF)은 유류, 화학물질 및 기타 유해물질의 해양 유출에 효과적으로 대응하기 위해 전 세계 선주들과 그들의 보험사를 대표하여 설립된 비영리 조직입니다. 긴급 사고대응, 방제기술에 대한 권고, 피해 평가, 방제계획 수립 지원 및 교육훈련 제공 등의 기술적 서비스를 제공합니다.

본 방제기술정보집은 국제유조선선주오염연맹(ITOPF)의 기술진들의 경험을 바탕으로 개발되었고, 국제유조선선주오염연맹(ITOPF)의 승인 하에 해양경찰청에서 국문으로 번역하였습니다.



ITOPF Ltd

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

Tel: +44 (0)20 7566 6999
 Fax: +44 (0)20 7566 6950
 24hr: +44 (0)20 7566 6998

E-mail: central@itopf.org
 Web: www.itopf.org

번역기관



해양경찰청

인천광역시 연수구 해돋이로 130
 Tel: 032-835-2293 Fax: 032-835-2991
 Web: www.kcg.go.kr



한국해양과학기술원

대전시 유성구 유성대로 1312길 32
 Tel: 042-866-3114 Fax: 042-866-3106
 Web: moeri.kioست.ac

※ 본 정보집에 수록된 해양오염 방제기술은 다양한 오염사고 특성 및 환경에 따라 다르게 적용될 수 있으며, 내용중 일부는 생략 또는 의역되어 있을 수 있으므로 해당부분은 원문을 참고 하시길 바랍니다.