

기름오염방제시 오일펜스 사용지침

방제기술정보문서

3



서론

오일펜스는 일반적으로 해상에 유출된 기름을 포위 및 포집하고 민감 자원으로부터 분리시키거나 회수 지점으로 유도하기 위해 사용한다. 오일펜스의 사용 효과는 부유 기름의 신속한 확산, 조류, 조수, 바람, 파도 등의 영향에 의해 제한된다. 이러한 문제는 효과적인 오일펜스 사용과 적절한 방제 계획 및 작업 조율을 통해 경감시킬 수 있으나, 오일펜스의 사용이 부적절한 경우도 있다.

본 문서에서는 오일펜스의 설계 원칙과 두 가지 사용 방식, 구체적으로 해상에서의 선박을 이용한 예인 방식과 천해 또는 연안에서의 고정 방식에 대해 설명한다.

설계(제작) 원칙

오일펜스는 다음과 같은 기능을 수행하기 위해 설계된 부유 장벽을 말한다.

- 기름의 포집 : 부유 기름을 포위함으로써 확산을 방지하고 회수를 용이하게 하기 위해 두껍게 만든다.
- 유도전장: 해안가에 위치한 적절한 회수 지점으로 기름을 유도함으로써, 이후 진공 트럭, 펌프, 기타 회수 방식을 통해 제거할 수 있게 한다.
- 보호: 항만 입구, 발전소 취수구, 양식 시설, 자연보호 구역 등 경제적으로 중요하거나 생물학적으로 민감한 장소에서 기름이 분리되도록 유도한다.

오일펜스는 상황별, 환경별 요구에 부합할 수 있도록 다양한 크기와 소재와 설계로 제작된다. 항만에서는 수작업으로 설치할 수 있고 가격이 저렴한 경량의 소형 제품(그림 1)부터, 외해에서 작업하기 위해 릴, 크레인, 대형 선박 등이 필요할 수 있는 고가의 튼튼한 제품에 이르기까지 종류가 다양하다. 오일펜스는 전체 길이를 원하는 만큼 연장할 수 있는 접속부가 있는데, 이러한 접속부는 예인 및 앵커 설치도 가능하도록 설계되어 있다. 보조 장비로는 릴 외에도 예인로프, 공기주입기, 앵커 등 다양한 종류가 있다.

오일펜스의 가장 중요한 특성은 기름의 포집 및 유도 능력으로서, 이는 오일펜스 자체의 성능과 해수의 작용과의 관계에 의해 결정된다. 일반적으로 모든 오일펜스는 성능 향상을 위해 다음과 같은 특징이 있다.

- 기름의 넘침을 방지하거나 감소시키기 위한 건현(freeboard)
 - 기름이 오일펜스 밑으로 빠져나가는 것을 방지하거나 감소시키기 위해 수면 하에 위치하는 스커트
 - 공기, 발포성 고체 또는 그 밖의 부력 물질로 채워진 부력체
 - 바람, 파도, 조류 등에 견딜 수 있도록 세로 방향으로 되어 있는 보강재인 장력체(체인 또는 와이어)
 - 오일펜스를 수직으로 유지시켜 주는 발라스트
- 대부분의 오일펜스는 다음과 같은 두 범주로 나뉜다.

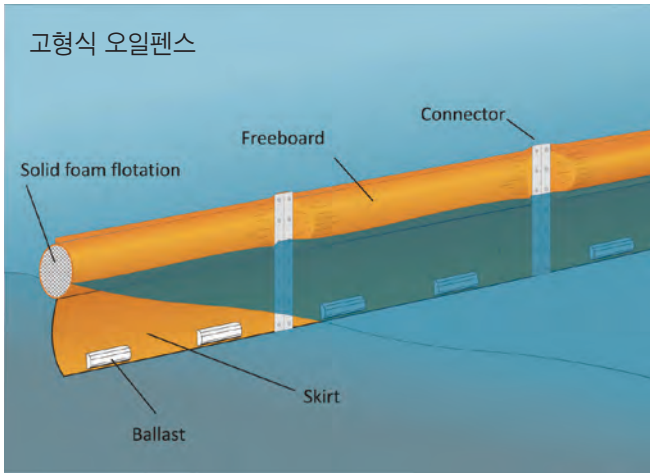


▲ 그림 1: 계류 선박들로부터 이격되도록 기름을 유도하는 펜스형 오일펜스

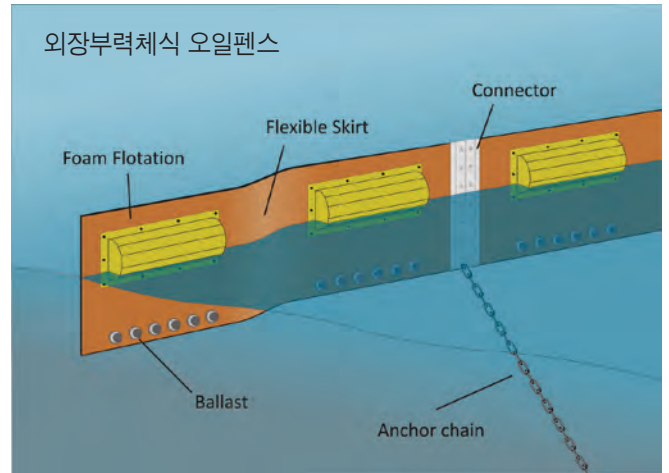
커튼형 오일펜스: 연속적인 수면 하 스커트 또는 유연한 스크린을 갖추고 있으며, 일반적으로 단면이 원형인 격실에 공기 또는 고형물이 채워져 있는 형식이다(그림 2a 및 그림 2c).

펜스형 오일펜스: 일반적으로 단면이 납작한 형태이고, 일체형 또는 외장형 부력체, 발라스트, 버팀기둥 등으로 이루어져 있다(그림 2b).

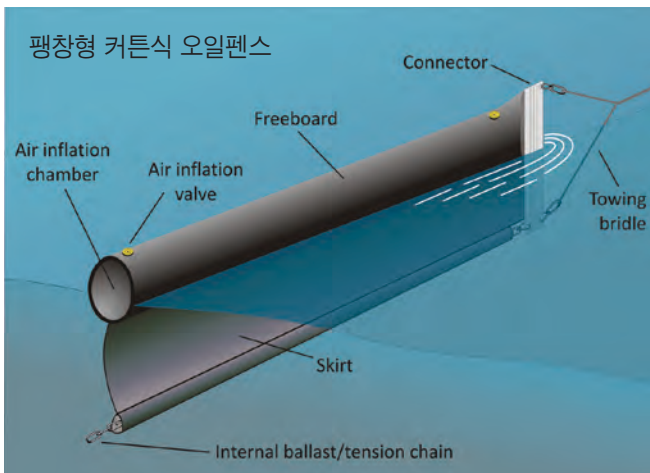
그 밖에 해안용 오일펜스는 물을 채운 격실이 스커트 부분을 대신함으로써 간조 때 해안가에도 고정설치될 수 있는 종류이다(그림 2d). 한편 내화용 오일펜스는 연소 중인 기름에서 생성되는 고온을 견딜 수 있도록 특별히 설계된 것으로서, 기름 포집 능력



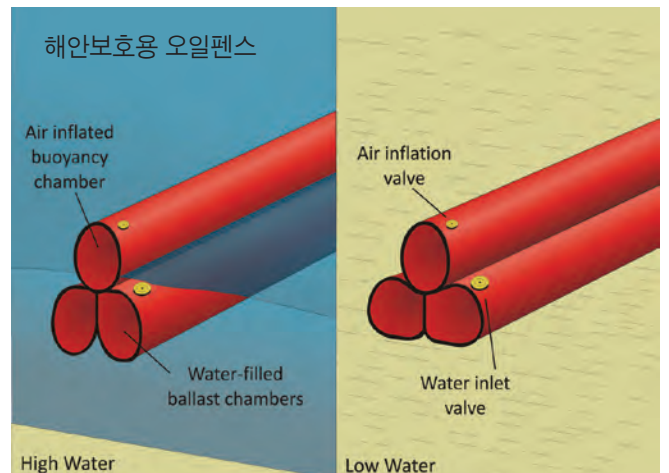
▲ 그림 2a: 외장형 발라스트와 고체 부유 물질을 갖춘 커튼형 오일펜스



▲ 그림 2b: 외장형 부유 물질과 발라스트를 갖춘 펜스형 오일펜스. 계류 지점은 아래쪽 길이를 따라 간격을 두고 설정한다.



▲ 그림 2c: 팽창식 커튼형 오일펜스. 스킵트 밑 부분에 있는 포켓에 발라스트와 장력 체인이 통합되어 있다.



▲ 그림 2d: 해안용 오일펜스. 상단은 공기가 주입되어 물에 뜨고 하단은 물이 채워져 있어 발라스트 역할을 함으로써 간조 때 효과적인 기름 차단 효과를 보인다.

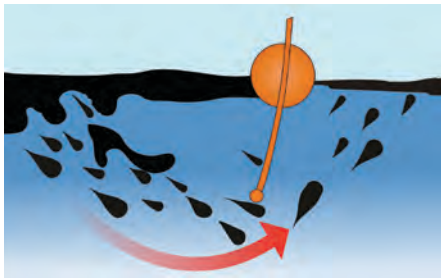
및 한계를 감안하여 펜스형 또는 커튼형을 적용할 수 있다. 오일펜스는 파도의 작용에 적용할 수 있을 정도로 유연하면서도 최대한 많은 기름을 포집할 수 있을 만큼 견고해야 한다. 펜스형 오일펜스와 고형식 커튼형 오일펜스 중 일부 종류는 파도의 작용에 잘 적응하지 못하기 때문에 파도가 지나갈 때 전현이 수면 아래로 가라앉거나 스킵트가 수면위로 올라오면서 기름이 빠져나가게 된다. 따라서 이들 유형은 잔잔한 해역에서 사용하도록 제한되어야 한다.

오일펜스 시스템은 유속이 빠른 곳에서 사용하거나 고속으로 예인할 수 있도록 개발되었지만, 대부분의 오일펜스는 직각 방향의 유속이 0.5 m/s(1노트)를 초과하는 경우에 기름을 포집할 수 없다. 실제로 이들 오일펜스에 적용할 수 있는 유실속도는 스킵트의 깊이와 무관하게 0.35 m/s(0.7노트) 정도이다. 오일펜스의 종류와 더불어 기름의 유형은 기름의 유실 방식 및 유속과의 관계에 영향을 미친다. 저점도 기름은 고점도 기름과 달리 느린 속도에서도 유실된다. 저점도 기름의 경우, 빠른 조류로 인해 선두파(headwave)에서 난류가 발생하여 유막의 아래쪽에서 작은 기름방울들이 떨어져 나와 오일펜스

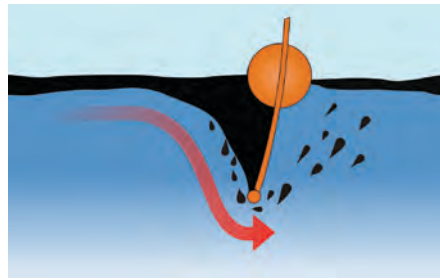
밑으로 유실되는데, 이러한 과정을 '흐름상실' 이라고 한다(그림 3a). 또한 저점도 기름은 '깊이상실' (그림 3b)에도 취약한데, 이것은 오일펜스의 안쪽에 축적된 기름이 빠른 조류로 인해 잘게 떨어져 나와 수직 하강하여 스킵트 아래로 유실되는 현상을 말한다. 점성이 비교적 높은 기름은 깊이상실이 발생할 가능성이 적고, 오일펜스 안쪽에서 더 두꺼운 유막을 형성할 수 있다. 그러나 기름의 두께축적이 과다해지면 기름이 오일펜스 아래로 유실된다(그림 3c).

하천류와 조류 외에도 바람과 파도로 인해 유속이 탈출속도를 초과하여 포집 기름의 '넘침상실' 이 발생할 수 있다(그림 3d). 또한 매우 빠른 조류로 인해, 특히 부유체가 불충분하게 설치되어 있는 경우에 오일펜스가 잠기거나(그림 3e) 기울어짐으로써(그림 3f 및 그림 4) 기름이 유실될 수 있다. 또한 기름 유실은 오일펜스 주위의 난류로 인해 발생할 수 있으므로 오일펜스의 외형은 돌출부가 없이 고른 형태를 사용하는 것이 바람직하다.

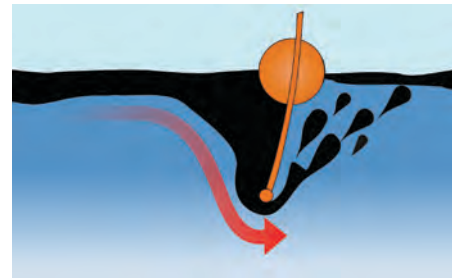
오일펜스의 크기와 길이는 중요한 고려 사항이다. 최적의 크기는 설치될 바다의 상태와 주로 관련이 있다. 일반적으로 넘침상실을



▲ 그림 3a: 흐름상실



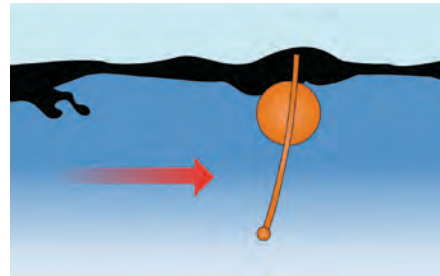
▲ 그림 3b: 깊이상실



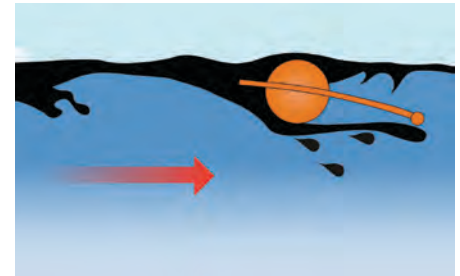
▲ 그림 3c: 축적상실



▲ 그림 3d: 넘침상실



▲ 그림 3e: 잠김상실



▲ 그림 3f: 기울림상실

▲ 그림 3: 오일펜스의 기능상실. 화살표는 조류의 방향(출처: Oil Spill Science and Technology, Merv Fingas)

방지할 수 있는 최소 높이의 견현을 선택해야 한다. 스커트의 깊이도 비슷한 정도여야 한다. 견현이 너무 높으면 돛처럼 작용하여 풍압 문제가 발생한다. 한편 스커트의 깊이가 증가하면 오일펜스 아래를 지나가는 물의 속도가 증가함으로써 깊이상실이 발생하기 쉽다. 작은 섹션들로 이루어진 오일펜스는 취급하기가 비교적 용이하고 하나의 섹션에 문제가 생기더라도 오일펜스 전체의 무결성을 보호할 수 있지만, 각 섹션을 효과적으로 연결하기가 불편하다는 점도 함께 고려해야 한다. 접속부 연결은 오일펜스의 외형 유지를 방해하므로 가능한 경우 기름이 가장 많이 모여 있는 부분을 피해야 한다. 접속부는 오일펜스를 해상에 설치하여 사용할 때 탈부착이 용이한 방식이어야 한다.

제조업체들은 다양한 유형의 오일펜스 접속부를 제작해 왔다. Unicon 또는 미국재료시험학회(ASTM) 규격의 표준형 제품들이 생산되면서 그러한 다양성이 줄어들었지만, 각기 다른 공급업체로부터 주문한 오일펜스들을 연결할 때 설계상 차이로 인해 어려움이 발생할 수 있으므로 주의가 필요하다.

그 밖의 주요 특성으로는 인장강도, 설치의 용이성과 속도, 신뢰성, 중량, 비용 등이다(표 1). 오일펜스는 용도에 따라 충분히 튼튼해야 하고 내구성이 있어야 한다. 취급 부주의, 비틀림, 대형 부유 쓰레기, 바위나 안벽 또는 산호에 의한 손상 등을 견딜 수 있어야 하기 때문이다(그림 5). 또한 예인 또는 고정 시 해수와 바람의 힘을 견딜 수 있을 정도의 구조적 강도가 요구된다. 신뢰성과 아울러 설치의 용이성과 속도는 급속히 변화하는 상황에서 대단히 중요한 요소이며, 선택한 작업 방식에 영향을 미칠 수 있다.

일부 저렴한 오일펜스는 일회용으로 설계되어 있다. 사용 후에는 소각하거나 재활용을 위해 제조업체로 반납한다. 가격이 더 비싼 제품은 적절히 설치 및 유지 관리하면 수차례 재사용이 가능하다. 일반적으로 오일펜스 사용 후 세척이 필요한데, 일부 제품의 경우 세척 작업이 어려울 수 있다(그림 6). 스팀이나 솔벤트를 이용한 세척법이 일반적으로 사용되나, 솔벤트의 경우에는 오일펜스 원단에 쓸 수 있는 화학약품인지 확인해야 한다. 오일펜스의 수명을 늘리고 신속히 사용할 준비를 갖추고 싶으려면 적절한 회수, 유지 관리 및 보관이 필수적이다. 일부 오일펜스 제품, 특히 자체 팽창식인 경우에는 신중하게 회수하지



▲ 그림 4: 강한 조류로 인해 오일펜스가 기울어지면서 기름이 스커트 아래로 유실된다.

오일펜스 유형	부유 방식	보관	파도 적응성	계류/예인?	세척 용이성	상대적 비용	용도
커튼형	팽창식	공기가 빠지면 작아짐	양호	계류/예인	단순	고비용	연안/외해
	고형부력체	부피 큼	큰무리 없음	계류	용이/단순	중간-저비용	차폐된 연안 (예: 항만)
펜스형	외부 발포성 부력체	부피 큼	열악	계류	어려움/중간, 외부 부력체의 뒷면이나 격실 연결부에 기름이 걸릴 수 있음	저비용	차폐된 지역 (예: 항구, 정박지)
해안용	팽창식 (상단 격실) 물 주입 (하단 격실)	공기가 빠지면 작아짐	양호	계류	중간, 격실 연결부에 기름이 걸릴 수 있음	고비용	차폐된 조간대 해안(쇄파 없음)

▲ 표 1: 일반적인 오일펜스 유형의 특징

않으면 손상을 입을 수 있다. 경미한 손상에 대비하여 긴급 보수 도구를 가까운 곳에 보관해야 한다. 그렇지 않으면 일부 섹션 또는 오일펜스 전체가 사용 불가능해질 수 있다. 오일펜스 원단에 중대한 손상이 발생하면 보수가 어렵고 전체 섹션을 교체해야 하는 경우도 있다. 오일펜스의 올바른 보관은 고온, 자외선, 곰팡이 등에 의한 장기적 품질 저하를 최소화하기 위해 중요하다. 그러나 폴리에틸렌이나 네오펜과 같이 더욱 발전된 소재로 제작되면서 이러한 품질 저하는 비교적 덜 심각한 문제가 되었다. 공기 주입식 오일펜스는 공기를 빼면 소규모의 보관 시설로도 충분하지만, 고형 부력체를 사용하는 오일펜스는 부피가

크다. 이는 오일펜스를 현장으로 운송할 때, 그리고 선박과 같이 보관 장소가 협소한 경우에 고려해야 할 사항이다.

오일펜스에 미치는 힘

면적이 $A(m^2)$ 인 수면 하에서 유속이 $V(m/s)$ 인 조류에 의해 오일펜스에 가해지는 힘 $F(kg)$ 을 대략적으로 계산하려면 다음과 같은 공식을 사용한다.



▲ 그림 5: 오일펜스는 설치 후 쉽게 손상될 수 있다. 조석 주기 전체에 걸쳐 효과를 제대로 발휘할 수 있도록 정기적인 점검이 필요하다.



▲ 그림 6: 펜스형 오일펜스의 외장형 부유체 뒤편에 걸린 기름은 특히 세척하기가 어렵다.

$$F = 100 \times A \times V^2$$

따라서 유속이 0.25 m/s(0.5노트)인 상태에서 스커트의 깊이가 0.6 m이고 길이가 100 m인 오일펜스가 받는 힘의 근삿값은 다음과 같다.

$$F = 100 \times (0.6 \times 100) \times (0.25)^2 \approx 375 \text{ kg}$$

그림 7에 제시된 그래프는 유속이 2배 증가하면 부하가 4배 증가함을 보여준다. 오일펜스의 견현에 직접적으로 가해지는 풍압도 상당한 정도이다. 이러한 풍압의 근삿값을 계산하려면, 유속과 같은 정도의 힘을 내기 위해 40배의 풍속이 필요하다는 사실을 바탕으로 위의 공식을 활용하면 된다. 예컨대 풍속이 7.5 m/s(15노트)인 상태에서 견현의 높이가 0.5 m이고 길이가 100 m인 오일펜스가 받는 힘의 근삿값은 다음과 같다.

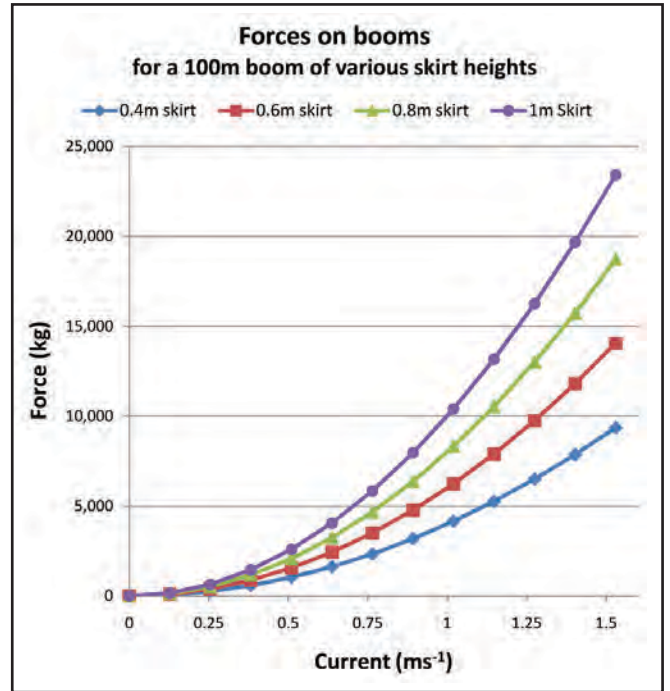
$$F = 100 \times (0.5 \times 100) \times (7.5 / 40)^2 \approx 175 \text{ kg}$$

위의 예에서, 바람과 조류가 경질 장벽을 향해 모두 같은 방향으로 작용한다면 이러한 합성력의 근삿값은 550 kg이 된다. 실제로 오일장벽은 흐름의 방향에 대해 곡선을 그리는 각도로 설치될 것이므로 힘의 크기와 방향이 수정된다(표 2). 그러나 이러한 계산 공식은 바람과 조류의 힘에 대한 참고 정보를 제공할 수 있고, 계류 시설 및 예인선을 선택할 때 도움이 된다. 오일펜스를 예인할 때 수중에서의 속도는 위의 공식에서 V를 사용한다.

너울성 파도가 오일펜스에 미치는 힘은 일반적으로 미약하다. 오일펜스의 유연성이 충분하다면 별다른 문제 없이 해수면의 작용에 적응할 수 있다. 그러나 파도가 오일펜스에 부딪히는 경우, 인장강도와 소재의 강도가 불충분하다면 순간적인 부하로 인해 오일펜스가 찢어질 수 있다.

오일펜스의 설치

오일펜스의 설치의 어렵고 위험한 작업이 될 수 있다. 악천후와 거친 바다는 작업에 제약을 가하며, 물과 기름에 젖은 장비가 선박에서 내던져지고 굴러다니는 경우에 해당 장비를 취급하는 일은 부담이 많이 가며 작업자를 위험에 빠뜨릴 수 있다. 이상적이고 잔잔한 상태에서도 이러한 위험과 오일펜스 손상을 최소화하기 위해 작업을 세심하게 계획하고 통제해야 한다. 방제 계획 프로세스의 일환으로 적절한 전략을 수립해야 한다. 현지의 상태, 설치 장소, 오일펜스의 유형과 길이, 적절한 오일펜스 배치 형태, 작업용 소형 선박 및 기타 자원의 가용성 등을 완벽하게 고려하여 사고를 미연에 방지해야 한다. 또한 적절한 경우, 오일펜스의 계류점을 고려하고 해당 위치를 방제 계획서에 기재해 두어야 한다. 이러한 계획은 기름 유출 사고의 발생원과 규모를 예상할 수 있는 오일 터미널 및 유사 시설의 경우에 더욱 적절하다. 또한 방제 인력이 작업 절차를 충분히 숙지할



▲ 그림 7: 길이가 100 m인 오일펜스에 미치는 힘(스커트 깊이별). 조류 속도가 증가하면서 기하급수적으로 상승한다.

수 있도록 정기적인 오일펜스 설치 훈련이 실시되어야 한다.

오일펜스의 예인

광범위한 지역에서 기름이 빠르게 확산되면 해상 포집 및 회수 작업의 성공에 적신호가 켜진다. 유회수기의 조우율(encounter rate) 극대화를 위해 기름의 확산을 방지하고 포집하려는 노력의 일환으로 선박 두 척을 사용하여 U자형, V자형 또는 J자형으로 오일펜스를 예인할 수 있다(그림 8). 예컨대 길이가 300 m인 오일펜스를 예인하면 폭 100 m까지의 범위로 포집할 수 있다. 작업의 전반적인 성공을 위해서는 적절한 회수 장치와 충분한 선상 보관 공간이 필수적이다. 유회수기는 두 예인선 중 하나에 설치하거나 오일펜스의 뒤쪽에 위치한 제3의 선박에 설치할 수 있다(그림 9). 유회수기가 오일펜스의 앞쪽에 설치된 복합형 포집 및 회수 시스템은 그 복잡성으로 인해 한정된 범위의 기름만을 회수할 수 있으므로 최근에는 거의 사용되지 않는다. 유회수기의 사용에 대해서는 별도의 문서에서 상세히 다룬다.

기름은 오일펜스 섹션 사이의 견고한 접속부 아래로 쉽게 빠져나갈 수 있다. 따라서 기름 유출을 최소화하려면 U자형, V자형 또는 J자형 예인 시 오일펜스의 상단에 연결부가 없어야 한다. U자형 예인의 경우, 홀수 개의 오일펜스 섹션을 사용하면 문제를 경감시킬 수 있다. 심하게 잡아당겨지는 것을 방지하려면 오일펜스를 예인선에 직접 연결하지 않고 오일펜스의 끝 부분과 예인선을 예인로프로 연결해야 한다. 길이가 300m인 오일펜스를 예인하는 경우, 일반적으로 50 m 이상의 로프가 적절하다.

오일펜스의 성능은 관찰을 통해 효과적으로 판단할 수 있다. 오일펜스 밑에서 유실된 기름은 작은 기름방울로 떠오른다. 오일펜스의 성능이 양호하더라도 얇은 유막(sheen)이 존재할



▲ 그림 8: 중질 원유의 포집을 위해 선박 두 척이 U자형으로 예인하고 있는 팽창식 오일펜스. 기름을 회수하면 작업이 성공적으로 완료된다.

수 있다. 한편 오일펜스 뒤편에서 와류가 형성되는 것은 예인 속도가 지나치게 빠르다는 의미이다.

성능의 극대화를 위해 예인선들은 오일펜스의 구성 형태를 올바르게 유지하고 탈출속도 미만의 저속으로 이동해야 한다. 이는 기름 포집량에 따른 최대 속도로 오일펜스를 예인하는 데 필요한 총 동력의 최소한 절반을 각각의 예인선이 보유하면서 충분한 저속으로 기동해야 한다는 의미이다. 참고로 각각의 선체 엔진은 20 kg의 견인력에 해당하는 마력을 보유해야 한다. 이중추진기관, 선수 및 선미 추진기, 가변 피치 프로펠러 등은 유용한 장치이다. 또한 부피가 크고 무거운 오일펜스를 취급할 때에는 후갑판의 낮고 개방된 작업 구역에 윈치, 리프팅 기어, 오일펜스 릴 등이 마련되어 있어야 한다. 그러나 경험에 따르면 갑판이 노출되어 있음으로 인해 열악한 해상 상태에서는 선원들이 위협해질 가능성이 있다.



▲ 그림 10: 단일 선박에 의한 기름 회수 시스템. 예멸전화가 심한 원유를 회수하기 위해 길이가 짧은 커튼형 오일펜스가 쌍동선에 의해 설치되어 있다.



▲ 그림 9: 선박 두 척이 V자형으로 예인하고 있는 커튼형 오일펜스. 정점 부분에 별도의 회수선이 작업하고 있다.

이상적인 예인 지점은 실험을 통해 확인하고 경로와 풍향에 따라 수정할 필요가 있다. 예컨대 단일 스크류로 설계된 선박이 선미로 예인하는 경우에는 기동에 오일펜스가 생기므로 선박의 앞부분으로 예인하는 방식이 바람직하다. 두 척의 예인 선박은 통제와 조율하에 이동하면서 동일한 속도를 유지할 수 있도록 효과적인 커뮤니케이션이 이루어져야 한다. 공중과 해상간 (air-to-sea)의 커뮤니케이션 시스템을 통해 선박의 이동과 작업을 조율하고 가장 두꺼운 유막으로 인도할 수 있는 항공기도 활용할 수 있다.

선박 한 척만으로도 포집, 회수, 분리, 저장 등 다수의 역할을 수행할 수 있다. 기름의 포집 및 회수를 위해 선체 바깥에 매달린 아웃리거(outrigger)에 유연한 오일펜스가 부착하거나(그림 10) 단단한 스위핑 암을 사용할 수 있다. 선박을 통한 기름 포집 및



▲ 그림 11: 파도의 작용에 적응할 수 있을 만큼 유연한 오일펜스이지만 선체와 연결된 부위가 수면 위로 올라와 있어서 상단정점 부분으로 기름이 유실될 가능성이 있다.



▲ 그림 12: 일부가 가라앉은 선박 주위에 계류되어 있는 팽창식 오일펜스. 새어 나올 수 있는 뱅커유의 포집을 위한 것이다.



▲ 그림 13: 발전소 취수구 앞에 설치된 커튼형 오일펜스

회수 시스템의 사용에도 불구하고 누출성 파도가 발생하는 경우, 선박에 견고하게 부착되어 있는 오일펜스에서 기름이 유실될 수 있다(그림 11). 단일 선박 시스템은 복수의 선박을 사용하는 방식보다 덜 복잡하고 융통성이 크지만, 기름과 조우할 수 있는 폭이 선체의 폭 정도라는 한계가 있다. 폭이 너무 크면 설치가 어려워지고 악천후에 손상이 발생할 가능성이 있다. 이러한 한계는 폭이 협소한 지역으로 부유 기름을 유도하는 경우에서 어느 정도 극복될 수 있다.

오일펜스의 성능에 한계가 있고 유희수기의 사용에도 제약이 따른다는 사실은 해상에서의 기름 포집 및 회수 작업이 대부분 부분적으로 성공 가능하다는 점을 의미한다.

오일펜스의 고정(계류)

드문 경우에는 유출 선박과 같은 오염 발생원 근처에서 유출유를 포집하기 위해 오일펜스를 앵커로 고정하는 방식이 적절할 수 있다(그림 12). 그러나 바다가 지나치게 노출되어 있고 조류가 너무 강한 경우에는 오일펜스가 효과를 발휘하지 못할 수 있으며, 수심이 깊은 지역에서는 오일펜스가 앵커로 고정하기가 어려울 수 있다. 아울러 오염 발생원 근처에 오일펜스를 설치하면 화재의 위험이 있고 기름 흐름의 저지 및 선박 구조 작업을 방해할 수 있다. 물결이 잔잔한 상태에서도 순식간에 대량의 기름이 유출되면 오일펜스가 가라앉으면서 효과를 발휘하지 못할 수 있다. 이는 특히 경질유에 적용할 수 있다. 일반적으로 경질유는 오일펜스를 사용하지 않고도 자연적으로 분해된다.

오일펜스는 하구, 습지, 맹그로브 숲, 위락지, 취수구 등 민감 지역을 보호하기 위해 해안 등의 근처에 고정시키는 경우가 많다(그림 13). 실제로 해당 지역 모두를 보호할 수는 없을 것이다. 따라서 효과를 거둘 수 있는 지역들을 식별한 뒤 우선순위를 정할 수 있도록 신중히 생각해야 한다.

접근 지점을 포함하여 오일펜스 사용에 적합한 지역을 식별하려는 과정에서 항공 측량은 유용하게 활용될 수 있다. 설치 위치와 방법을 선택하기 위해서는 여러 상충하는 요구사항들을 조정해야 하는 경우도 있다. 예컨대 강 전체를 보호하려는 데 하구가 너무

넓거나 물살이 지나치게 강한 경우, 특히 조수의 영향이 상당한 경우 등을 들 수 있다. 강이나 하구로부터 흘러나오는 물살이 강하다면 바다로부터 접근하는 기름을 막기 위해 오일펜스를 설치할 필요가 없다.

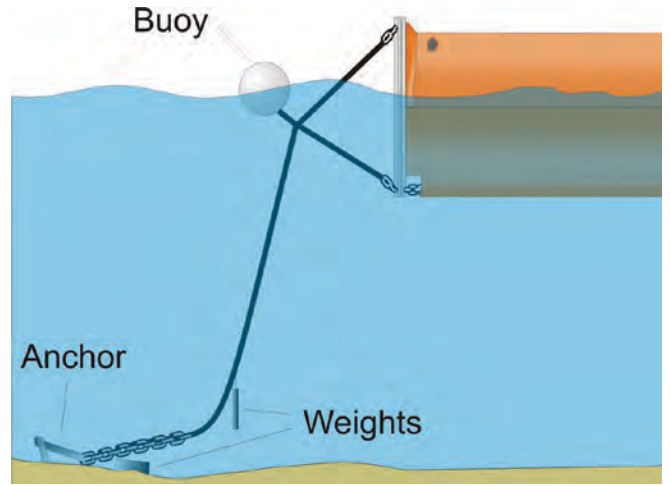
필요한 경우, 오일펜스의 설치 및 회수유의 제거를 위한 접근성을 염두에 둔 채 상류로 더 거슬러 올라간 지역에서 적정 위치를 모색해야 한다. 아울러 기름이 강안에 도착하는 속도 이상으로 제거되지 않는다면 기름이 축적되면서 강의 중심부로 흘러가게 되며, 중심부는 물살이 더 강하기 때문에 오일펜스 아래로 기름이 유실될 수 있다.

물결이 비교적 잔잔한 경우에는 기름의 포집보다는 회수를 위한 유도의 목적으로 오일펜스를 사용하는 편이 효과적인 경우가 많다(그림 14). (표 2)에서 제시하는 바와 같이 유속이 1.5 m/s(3노트)인 지점에서도 부유 기름을 유도할 수 있는 반면, 조류와 직각인 방향으로 설치되어 있는 오일펜스는 기름을 포집하지 못할 것이다. 이러한 원칙에 따라 강물의 흐름과 경사진 방향으로 오일펜스를 설치하면 강을 보호할 수 있다. 선박이 운항할 수 있는 경로를 유지하기 위해, 또는 맞은편 강안으로 기름을 유도하여 회수를 용이하게 하기 위해, 조류의 역흐름을 고려하여 강의 양안으로부터 두 개의 오일펜스를 좌우 갈지자형으로 설치할 수 있다.

유속에 맞는 적정 유도 각도를 유지하는 것이 중요하기 때문에 오일펜스의 계류는 정확하게 이루어져야 한다. 이러한 각도를 유지하고 오일펜스에서 기름이 갇히는 고립 공간을 방지하려면 간격이 짧은 앵커링 지점들이 필요할 수 있다. 그러나 긴급한 상황에서는 복수의 계류 시스템이 비실용적일 것이다. 오일펜스에 미치는 힘을 계산하기 위해 본 문서의 앞부분에서 언급한 공식과 (표 2) 및 (표 3)은, 알려져 있는 유속과 바람이 최대한 미칠 수 있는 영향을 고려하여 오일펜스의 지탱에 필요한 계류 시스템의 최소 규모와 수를 파악하는 데 도움이 될 수 있다. 모래 및 진흙에서는 단포스(Danforth)형 또는 Fluked Anchor(단포스형과 흡사)가 효과적인 반면(그림 15), 바닥에 바위가 많은 곳에서는 어업용앵커(Fisherman)형이나 갈고리형(Hook



▲ 그림 14: 회수를 위해 기름을 해안 쪽으로 유도하는 역할을 담당하는 오일펜스



▲ 그림 15: 전형적인 오일펜스 계류 구조. 오일펜스를 따라 일정 간격을 두고 동일한 시스템을 구성할 수 있다.

Anchor)이 효과적이다. 시간 여유가 있는 경우에는 콘크리트 블록을 투하하여 계류점의 편의성과 신뢰성을 향상시킬 수 있지만, 수중에서의 부력을 감안하여 목표 중량보다 3배 무거운 블록을 준비해야 한다. 무거운 계류 시스템을 다루기 위해서는 크레인이 설치된 작업용 소형 선박이 요구된다.

사용하는 계류 시스템의 유형을 막론하고 중요한 사실은 예상 수심, 너울성 파도, 조수 간만의 차 등에 적합한 길이의 계류로프를 선택해야 한다는 점이다(그림 16). 로프가 너무 짧으면 오일펜스가 파도의 작용에 적응하지 못하고 파도에 잡아채지면서 계류 시스템이 이탈하거나 오일펜스가 손상될 수 있다. 반대로 로프가 너무 길면 오일펜스의 구성 형태를 제어하기가 어려워진다. 앵커와 로프 사이에 무거운 체인을 달면 앵커의 유지력이 대폭 향상되며, 오일펜스와 앵커 사이에 부이를 설치하면 오일펜스의 한쪽 끝이 가라앉는 것을 방지할 수 있다. 마찬가지로 계류로프에 추를 달면 느슨해진 로프가 수면으로 떠오르는 것을 예방할 수 있다.

자석식 계류점을 이용하면 오일펜스를 선박의 측면으로 직접 부착할 수 있다. 슬라이드형 계류 시스템은 항만 입구와 같이 사전에 결정된 지점에 오일펜스를 부착하는 경우, 조석 주기

전체에 걸쳐 오일펜스의 수직 운동을 가능케 한다.

해안가로부터 오일펜스를 설치할 때에는 나무 또는 바위와 같은 고정 물체의 활용이 가능한 경우가 많다. 그러한 자연물이 없는 해안가인 경우, 여러 개의 말뚝(그림 17) 또는 통나무 등을 박으면 훌륭한 계류점으로 활용할 수 있다. 발라스트에 물이 채워져 있는 해안용 오일펜스는 조석 주기에 기름 포집이 가능한 설계이기 때문에 이러한 환경에서 설치하기에 매우 적합하다. 그러나 이러한 유형의 오일펜스는 발라스트에 물을 채우기 전에 위치를 신중하게 고려해야 한다. 일단 물이 채워지면 옮기기 어려워지기 때문이다(그림 18). 이들 오일펜스는 커튼형 오일펜스와 함께 사용되는 경우가 많다.

위에서 언급한 고려 사항들은 특정 현장에 필요한 오일펜스의 설치 계획 시 계류점, 기름 회수 지점, 접근 경로, 특정 위치에 적합한 오일펜스의 길이와 유형 등을 식별할 때 복합적으로 활용할 수 있다. 그러한 계획이 현지 방제 계획에 포함되기 전에 다양한 조류 상황에서 실질적인 검증 시험을 실시해 봄으로써, 준비된 사항이 기대치에 맞게 실행될 것이라는 확신을 얻을 수 있다.

바람과 조류 등이 변하면 오일펜스의 구성 형태도 변하게 된다. 계류 시스템을 자주 점검 및 재조정하고, 포집된 기름과 쓰레기는 신속히 제거해야 한다. 그렇지 않으면 오일펜스의 성능이 심각하게 약화된다. 주간에는 고온, 야간에는 저온인 상태에서는 팽창식 오일펜스에 주입되어 있는 공기의 양을 조절해야 한다.

(노트)	유속		최대 각도 (도)
	(노트)	(m/s)	
0.7	0.35		90
1.0	0.5		45
1.5	0.75		28
2.0	1.0		20
2.5	1.25		16
3.0	1.5		13

▲ 표 2: Bottom Tension 오일펜스의 기름 유실 방지를 위해, 다양한 유속에서의 흐름 방향에 적용 가능한 최대 설치 각도. 계산 기준: 90도에서 탈출속도 0.7노트(0.35 m/s)

앵커 중량 (kg)	유지력(kg force)		
	진흙	모래	찰흙
15	200	250	300
25	350	400	500
35	600	700	700

▲ 표 3: Danforth형 앵커의 유지력(무른 진흙, 모래 또는 자갈, 찰흙의 경우)



▲ 그림 16: 길이가 불충분한 계류로프를 사용하여 간조 때 오일펜스가 로프에 매달림으로써 기름이 유실되고 있다. 조수 주기 전체에 걸쳐 오일펜스의 설치 위치를 효과적으로 유지하려면 로프를 정기적으로 조정해야 한다. 이때 슬라이드형 계류 시스템이 더 적절할 수 있다.



▲ 그림 17: 앵커 역할을 할 수 있는 나무나 기타 자연물이 없는 물가에서는 계류용 말뚝을 박아 오일펜스를 고정시킬 수 있다.

예컨대 주간에는 공기를 배출시켰다가 야간에는 다시 주입하는 방식을 채택할 수 있다. 오일펜스는 특히 야간에 통행하는 선박에 의한 손상에 취약하기 때문에, 해당 선박의 담당자에게 통보하고 오일펜스에 경고등을 설치하는 등의 예방 조치를 취하면 그러한 손상을 방지하는 데 도움이 된다. 밝게 채색한 오일펜스는 주간에 가시성이 더 좋으며, 야간에는 조명을 통해 더 나은 효과를 거둘 수 있다.

오일펜스는 기름의 포집 및 유도뿐만 아니라 기름이 자연적으로 모인 폐쇄형 지역에서 상태 변화 시 기름이 이동하는 것을 방지하기 위해서도 사용할 수 있다(그림 19). 이를 통해 오염 정도를 최소화할 뿐만 아니라 효과적인 통제하에 기름을 제거할 수 있다. 또한 일반 물 세척 또는 고압 세척 등을 통해 해변과 바위에서 씻겨 내려간 기름을 포집함으로써 해안가 정화 작업을 지원할 수 있다. 아울러 오일펜스는 기름을 한곳에 모아 회수

장치로 보낼 때 사용하기도 한다. 어떤 상황에서는 얇은 유막을 회수하기 위해 단순한 형태의 일회용 흡착 오일펜스를 사용할 수도 있는데, 이때 상당한 통제가 이루어져야 한다. 유흡착재의 사용에 대해서는 별도의 문서에서 다룬다.

그 밖의 시스템

발포 장벽(bubble barrier)은 유속이 비교적 느리고 부유형 오일펜스가 선박의 움직임을 방해할 수 있는 항만을 보호하기 위해 영구적으로 설치하는 경우가 있다. 해저에 설치된다공관을 통해 공기가 주입되면 공기 커튼이 떠오르게 된다. 공기 버블은 수면에서 반류(counter current)를 생성하는데, 최대 0.35 m/s(0.7노트)의 유속까지 기름을 포집할 수 있다. 그러나 버블 장벽의 효과는 유막이 얇거나 바다의 상태가 잔잔한 경우로



▲ 그림 18: 하구에 설치되어 있는 해안용 오일펜스. 아래쪽 격실에 물이 채워져 있는 발라스트는 간조 때 오일펜스가 바닥에 안착되도록 한다. 이 경우 해안용 오일펜스의 섹션은 팽창식 커튼형 오일펜스의 섹션과 연결된다.



▲ 그림 19: 회수 축진을 위한 팽창식 오일펜스에 의해 해안가에서 포집된 반고체형 기름.



▲ 그림 20: 그물과 짚을 재료로 즉석에서 제작된 오일펜스. 1회 이상의 조수 주기를 견디지는 못하지만 유입되는 부유 기름으로 인한 해안가 오염을 줄일 수 있다.



▲ 그림 21: 말뚝과 그물로 지탱되는 굴껍질 장벽

제한된다. 약간의 바람만 불어도 기름이 유실된다. 또한 아무리 단순한 시스템이라도 공기를 충분히 주입하기 위해 상당 규모의 공기압축기가 요구된다. 다공관의 공기구멍이 토사나 해양 생물로 인해 막히지 않도록 정기적인 시스템 점검이 필수적이다.

특정 목적을 위해 제작된 장비를 사용할 수 없는 경우, 현지에서 입수 가능한 자재를 통해 즉석에서 시스템을 구축하여 기름을 포집 또는 회수할 수 있다. 목재, 기름통, 소방 호스, 고무 타이어, 짚으로 채운 낚시용 그물 등을 통해 계류형 오일펜스의 대체 시스템을 구축할 수 있다(그림 20). 수심이 얇은 곳에서는 삼베, 갈대, 대나무, 기타 자재 등으로 만든 스크린이나 매트를

지탱하기 위해 바닥에 말뚝을 박아 사용하기도 한다(그림 21). 이 경우 오일펜스 또는 장벽은 기름 회수를 보조하는 유희착재 역할도 수행한다.

길게 늘어져 있는 모래 해변에서는 수심이 낮은 곳에서 불도저를 이용하여 사주(sand bar)를 구축함으로써 기름이 해안가를 따라 이동하는 것을 막거나 협소한 하구 또는 석호로 진입하는 것을 방지할 수 있다. 그러나 이러한 조치는 상당한 노력이 필요하고 조류 또는 조수에 의해 급속히 씻겨 내려가며 해변의 구조나 생태계를 손상시킬 수 있으므로 신중하게 사용되어야 한다.

Key Point

- 오일펜스 사용 효과의 극대화를 위해 보호 대상의 우선순위를 결정한다.
- 선택된 지역이 오일펜스의 예인 또는 계류를 통해 보호 가능한지 판단한다.
- 조류, 조수, 바람 등에 대한 정보를 최대한 많이 확보한다.
- 오일펜스에 미칠 수 있는 힘을 계산한다.
- 사용 가능한 오일펜스 종류를 검토하고 최고의 효과를 발휘할 수 있는 종류를 선택한다.
- 신뢰성, 사용 용이성, 설치 속도, 그리고 적절한 보관, 유지 관리 및 보수 준비 사항을 고려한다.
- 적절한 예인선을 선택하고, 해상 작업의 지원에 필요한 물자 운용 시스템을 검토한다.
- 오일펜스의 성공적인 설치를 위한 장소를 식별하고, 오일펜스 사용 계획을 개발 및 검증하여 국가 및 현지 방제 계획에 포함시킨다.
- 담당 인력을 대상으로 철저한 훈련을 실시하고 실질적인 연습을 통해 기술을 유지한다.
- 오일펜스의 기름 포집 능력 한계를 파악하고, 필요 시 즉석에서 시스템을 구축해야 할 필요성을 인식한다.

ITOPF 방제기술정보집 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



해양환경관리공단

서울특별시 강남구 삼성로610 (삼성동 71번지 해공빌딩)
 Tel: 02-3498-8500 Fax: 02-3462-7707
 Web: www.koem.or.kr

※ 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.