



서론

ITOPF 통계에 따르면 선박에 기인한 기름유출 사고는 대부분 해안에서 가까운 곳에서 발생한다. 해상방제 활동은 보통 시간과 기상조건, 그 밖의 요소에 의해 제한적이기 때문에, 기름이 해안에 도달하는 것을 방지하는 것은 사실상 불가능하다. 기름이 해안에 부착되었을 경우 오염된 구역을 방제하기 위해 상당한 노력을 필요로 한다. 따라서 국가긴급계획 상에 해안방제를 위한 포괄적이고 잘 짜인 계획을 포함시키는 것이 필수적이다.

해안방제에 사용되는 기술은 대체적으로 간단하며 특별한 장비를 필요로 하지 않는다. 그러나 적절하지 못한 기술이나 불충분한 조직(단체)은 기름에 의한 피해를 증가시킬 수 있다.

본 문서는 일반적으로 이용되는 해안 방제기술과 다양한 해안 특성을 고려하여 단계별로 가장 적절한 방제방법을 제안한다.

총괄적 전략

최상의 방제방법 선정을 위해서는 오염의 정도, 범위(길이를 포함), 주변 환경과 오염된 해안의 접근성 등을 신속하게 평가하여야 한다. 방제 우선순위 결정은 여러 가지의 환경 조건들을 고려하여야 한다. 예컨대 기름의 제거를 위해 신속하고 효과적인 방법을 사용할 수 있지만 이러한 방법들은 덜 공격적이고 시간이 지연되는 방제 기술이 요구 될 수 있는 환경적 고려사항에는 부적합 할 수 있다. 이런 경우 전체적 혹은 현장별 대응에 있어서 잠정적으로 충돌하는 이해 관계사이에 타협점을 찾아야한다.

해안방제 작업은 보통 3단계로 구분한다.

- 1단계-응급 단계 : 해안 가까이 부유하는 기름, 웅덩이에 고인 기름, 해안가 벌크오일의 제거
- 2단계-계획 단계 : 잔류 기름과 오염된 쓰레기 제거
- 3단계-정리 단계 : 필요시 경미한 오염원과 기름얼룩 최종 제거

첫 번째 단계에서는 기름이 해안을 따라 이동하여 피해 발생 가능성을 최소화하기 위하여 거의 보고없이 가능한 신속히 방제자원을 동원하여야 한다. 두 번째 단계에서는 방제자원의 동원에 좀 더 신중을 기하고 세심하고 조심스럽게 방제를 하여야 한다. 해안방제에 있어서 가장 오랜 기간이 필요할 수 있는, 2단계는 기름오염으로 인한 긴급상황에 총괄적으로 대응하기 위한 구성요소 중 하나로서 보아야 하며, 장기간의 과업으로 인식되어서는 안된다.



▲ 그림 1: 벌크 상태의 기름의 수작업 제거. 인력을 이용하여 기름 회수 효율 향상으로 사용되는 방제자재의 양을 최소화

오염상황에 따라 방제작업에 이러한 단계가 필요하지 않을 수 있다. 몇몇 상황에서는 첫 번째 단계로서 상황이 종료될 수 있고, 1단계와 2단계를 통합하기도 한다. 많은 상황에서 2단계 방제작업이 완료된 후에는 남은 미량의 기름은 풍화작용 및 자연적 분해가 이루어지도록 놔두는 것이 적절할 수도 있다.

모든 상황에서 가장 최우선적으로 시행해야 하는 것은 해안에 기름이 부착되지 않도록 가능한 빨리 해상에 부유하는 기름을 회수하는 것과 오염되지 않은 깨끗한 곳으로 기름이 흘러들어가도록 방지하는 것이다. (그림 1). 두껍게 고인 기름은 조류의 영향으로 다른 곳을 오염시킬 수 있다. 이러한

경우 기름 회수작업이 진행되고 있는 동안에 기름이 해안에 오염되지 않도록 오일펜스를 이용하여 기름을 봉쇄하여야 한다. 그러나 이런 전략은 환경적으로 민감한 해안에서는 적당하지 않을 수 있으며 덜 민감한 지역이나 쉽게 접근할 수 있는 곳으로 기름을 이동시키는 것이 필요할 수 있다.

일단 유출된 기름이 회수되면 남은 부유 기름이 다시 해안에 도달하는 것을 기다리면서 같은 장소에 여러번 방제하는 것을 피하는 방안과 모래 해안과 같이 파도로 인해 기름이 침강되는 장소라도 즉시 2단계 작업을 시작하는 방안 사이에 타협점을 찾는 것이 필요하다. 종종 가장 빠르게 접근할 수 있는 지역의 가장 두터운 기름을 집중적으로 제거하는 것도 하나의 해결책이 될 수 있다.

많은 오염사고에서 보여주듯이 전체 기름 오염방제에 있어서 수거한 쓰레기의 수집과 처리는 가장 많은 비용과 시간이 드는 요소 중 하나이다. 따라서 다른 특별한 조건이 없는 한 폐기물 발생량을 최소화 할 수 있는 방제방법을 선정해야한다. 이 방법은 해안 피해 가능성을 최소화 할 뿐만 아니라 수송과 최종 처리/폐기를 위한 추가적인 폐기물 저장 공간을 최소화하는 이점이 있다.

모든 종류의 해안에서 기름의 흔적을 모두 제거하기는 어렵고 바람직하지 않다. 해안 또는 작업구역이 방제작업을 종료할 정도로 충분히 깨끗한 지에 대해 명확한 규정은 없다. 한 가지 중요한 요소는 환경적, 사회적, 경제적 요소의 상대적 중요성을 고려하는 것이다. 자연정화에 노출된 정도 뿐만 아니라 해당 지역의 중요성과 민감도의 계절적 변화는 비용에 대한 고려와 마찬가지로 매우 중요한 고려 사항이다. 해변에 남아있는 기름의 양의 감소에 따라 비용 문제가 중요해진다. 왜냐하면 제거된 기름의 양에 비례하여 추가적인 방제에 대한

노력과 비용이 필요하기 때문이다. 기름의 흔적과 기름얼룩을 제거하는 마지막 단계는 일반적으로 조파가 적어서 자연방제가 어려운 지역이나 관광지와 같이 방제 정도가 높은 지역에 우선적으로 적용된다.

방제종료 기준은 일반적으로 방제에 참여하는 다양한 조직의 대표로 구성된 팀에서 토론과 합의를 통해 결정된다. 합의를 도출하기 위해서는 적용할 수 있는 방제기술이 제한적임을 인식하고 방제작업의 목표가 명확하고 작업초기 또는 작업이 시작되기 전에 동의되어야 한다. 이상적으로는 조사팀 구성원이 사고전체에 참여함으로써 방제 작업이 초기 상황에 대한 적절한 조치가 될 수 있다.

방제 기술

오염된 해안의 방제 기술은 여러 가지가 있다. 기술은 한 단계 이상에 적용될 것이다. 특히 2단계의 몇몇 기술은 1단계와 3단계에 적용될 수 있다. 결과적으로 방제기술은 1단계와 2단계 또는 2단계와 3단계로 그룹화 된다.

벌크 기름의 제거와 기름으로 오염된 쓰레기 처리(1, 2단계)

펌프, 진공 트럭 및 유회수기

차량이 접근가능한 해안가에 상대적으로 고요한 수면위에 부유중인 기름은 펌프나 진공트럭으로 회수할 수 있으며 수심의 깊이가 충분하다면 유회수기 사용도 가능하다. 진공 트럭의 효율성은 유출된 기름의 성상과 양, 펌프와 탱크의 용량에 따라 다르지만 보통 하루에 20m³ 기름을 회수한다.



▲ 그림 2: 적절한 방제방법의 사용과 방제종료시점 결정을 위해 합동조사를 실시



▲ 그림 3: 목형 유회수기와 펌프를 이용하여 유동성 중질유 기름의 회수



▲ 그림 4: 농업용 진공 탱크를 이용하여 도랑으로 모아진 기름을 회수.



▲ 그림 5: 항내에서 건설장비를 회수작업에 동원, 이 경우 수온이 기름의 유동점 이하로 내려가고, 반고체상태로 있기 때문에 유회수기 사용이 곤란함



▲ 그림 6: 오염된 해안에서 중장비의 이용은 2차적 오염을 일으킬 수 있음. 본 그림에서는 트랙터가 오염된 지역으로 들어가 바퀴자국을 남김

해안 인근에 오일펜스를 이용하여 기름을 모으고 흡입호스가 장착된 위어식 유회수기를 사용하면 기름 회수시 물의 양을 줄일 수 있어 효율성을 향상시킬 수 있다.(그림 3)

해변의 모래와 작은 자갈에 대한 오염에 대해 해안 물이 닿는 부분에 평행하게 도랑을 파서 기름이 도랑으로 모이도록 한다(트렌칭, 골파기). 도랑에 모여진 기름은 펌프, 진공트럭 또는 탱크 트레일러를 이용하여 제거한다(그림 4). 도랑은 한번의 조석 주기 동안 남아 있을 수 있으며, 만약 완전히 기름이 제거되지 않는다면 남아있는 기름이 저질과 섞이게 될 것이다. 도랑의 위치는 썰물시 재사용 가능여부와 다음 단계에서 사용될 수 있는지 등을 확인하여야 한다.

만약 수면이 잔잔하다면 최고조 수위 바로 아래 도랑을 파서 기름을 모을 수 있다. 만조시나 바람에 의해 수위가 높아지는 경우에는 해수 끝에 모아져 있던 기름이 도랑으로 흘러들어가게 되고 수위가 낮아진 후에 도랑안에 모인 기름을 펌프를 이용하여 회수한다.

펌프와 유회수기로 회수된 기름은 드럼 또는 이동식 탱크와 같은 임시저장조로 이송을 하고 진공트럭 또는 로드 탱커로 다시 이송된다. 기름을 효율적으로 운반하고 법적 규정을 준수하기 위해 운반되기 전 기름에서 물을 제거하여야 한다.

기계적 회수

점도가 높은 기름, 끈적한 에멀전, 또는 반고체성 기름은 굴착기 등을 이용하여 바다로부터 직접적으로 제거한다(그림 5). 물 양을 최소화하기 위한 숙련된 작업이 필요하다. 만약 수중 기계작업을 할 경우 조석과 해저 지형도에 대한 사전 숙지가 필요하다. 습지 해안에서 중장비를 사용하는 것은 기름 덩어리를 제거하여 다른 지역으로 이동하는 것을 방지하는 것과 회복에 긴 시간이 소요될 수 있는 저질 손상과의 균형이 필요하다.

쉽게 접근가능하고 개방된 해안 특히 모래 해안의 경우 그레이더(선별기), 지게차, 굴착기와 같은 다양한 일반적인 건설장비를 이용하여 표착된 기름과 오염된 쓰레기를 모으고 제거할 수 있다. 예를 들면 단단한 모래해안의 경우 기름이 표면아래로 조금 침투한 경우 로드그레이더를 이용하여 회수할 수 있다. 그레이더의 날을 모래 표면 바로 아래로 조정하여 로더를 이용하여 기름을 제거하며 기름과 모래를 해안선과 평행하게 모은다. 로더 또는 불도저 또한 유사한 방법으로 해안 기름제거가 가능하지만, 불가피하게 깨끗한 모래도 같이 제거된다. 또한 이러한 중장비로 인해 깨끗한 저질과 기름이 섞일 수 있으므로 이에 대한 추가적인 조치가 필요하다(그림 6) 지침에 따르면 중장비는 하루에 400 ~ 800m³를 회수할 수 있다. 그러나 이중 기름과 오염된 물질은 25%이며 75%는



▲ 그림 7: 중장비를 이용한 직접적인 회수는 깨끗한 모래를 많이 수거하게 되고 폐기물 중의 기름의 농도가 매우 낮을 수 있음



▲ 그림 8: 수작업으로 기름과 오염된 해초를 제거하고 있다. 이 방법은 오염된 물질을 선택적으로 제거하여 쓰레기의 양을 최소화 한다.



▲ 그림 9: 삽과 폐기물 수거 봉투를 이용하여 표면의 기름을 수작업으로 제거하고 있다.



▲ 그림 10: 작은 폐기물 수거 봉투를 더 큰 톤백에 모아 폐기 수송을 쉽게 한다.

깨끗하고 오염되지 않은 물질이다. 깨끗한 모래와 오염된 물질이 섞이게 되면 폐기물의 부피가 커지게 된다(그림 7). 반면 수작업으로는 보통 하루 1~2㎡의 오염된 모래를 수거하는데 깨끗한 물질의 수거를 최소화 할 수 있다. 회수된 물질들 중 기름의 함유량은 매우 다양하지만 기계적으로 회수한 모래 중 기름의 함유량은 1~2%이며, 수작업으로 한 경우 기름의 함유량은 5~10% 정도이다.

보통 오염된 해변을 회복시키는 데 중장비와 수작업에 의한 방법을 병행하여 사용한다. 기름으로 오염된 모래, 해초류 또는 다른 쓰레기 들은 수작업으로 수거하여 일정 간격으로 놓여진 저장 백 또는 저장용기 등에 모은다. 로더는 해안 상부에 있는 임시저장소로 수거된 오염물질을 운반할 수 있다. 또한 로더의 버킷을 이용하여 직접 오염물질을 퍼 담을 수 있다(그림 8). 기름이 해변에 확산되는 것을 방지하기 위해서 청정지역과 오염지역을 나누어야 하며 중장비는 깨끗한 곳부터 작업해야 한다.

수작업 수거

인력을 이용한 기름회수는 오염이 심한 모든 종류의 해변에 적용가능하고 특히 민감 지역이나 차량이 접근불가능한 곳에서 유용하다. 인력에 의한 방제작업은 기계 단독으로 이용하는 것보다 효율적이며 오염되지 않은 물질 수거를 최소화 할 수 있다. 수작업이 노동집중적인 방법일 수도 있지만, 인력에 의한 방제작업에 의해

전반적으로 빠르게 회복되는 경향이 있으며, 결과적으로 해안의 저질에 물리적인 영향을 덜 주게 된다.

해변에 부유하고 있는 점성이 높은 기름이나 예멸전은 구멍이 뚫어져 있어 물만 빠져 나갈 수 있게 만들어진 갈퀴 또는 국자 등을 이용하여 저장용기에 모은다. 심하게 예멸전화 되어있거나 점도가 높거나 모래와 섞여있는 기름은 삽을 이용하여 비닐 봉투로 직접 옮겨 담는다(그림 9). 백의 무게가 10~15kg를 초과하지 않으면 다음의 작업이 간단해 진다. 이러한 무게를



▲ 그림 11: 고립된 해안에서 작은 폐기물 수거 봉투를 큰 백으로 모으고 선박으로 이송하고 있다.



▲ 그림 12: 단단한 모래해안의 원유는 도랑쪽으로 모으고 진공트럭을 이용하여 회수한다.



▲ 그림 13: 바위 해안에서 회수된 기름은 개방형 통에 일시적으로 보관을한다. 펌프를 이용하여 해안상부로 이송하고 탱크로 이송한다.

지탱하기 위해 최소 500μm정계(125μm이상)인 포장지 또는 비료포대가 이상적이다. 이중 백은 백이 찢겨져 유출될 수 있는 가능성을 감소시켜 준다. 얇은 두께의 백은 햇빛에 노출되면 쉽게 약화되어 내용물을 유출할 가능성이 있어 2차 오염을 초래할 수 있다. 설탕이나 쌀을 운반할 때 사용되는 촘촘하게 짜인 폴리프로필렌 백이 효과적이거나 햇빛 또는 고온에서는 기름이 스며 나올 수도 있다.

파도에 씻기거나 내용물의 유출을 방지하기 위해 해안선으로부터 해변의 상부 집결지 또는 임시 저장소로 백을 옮겨야 한다. 지게차 또는 로리, 4륜 바이크, 트레일러, 상륙함 등으로 이송할 수 있다. 기계 장비를 사용할 수 있는 장소에서는 소형 폐기물 백은 한 개의 큰 톤백으로 모을 수 있다(그림 10, 11). 톤 백은 유흡착 폐기물과 기름에 오염된 쓰레기를 직접적으로 저장할 수 있다. 짙은 톤백은 보관하는 기간 동안 누출이나 유출로 인한 2차오염의 최소화를 위해 플라스틱 시트(비닐장판) 위에 보관하여야 한다.

단단한 모래해안의 유동성 기름은 스크레퍼를 이용하여 도랑으로 밀어 넣을 수 있다.(사진 12). 다른 해안에서는 200 l 개방된 드럼통 또는 개방형 1m³ 저장용기에 삼, 양동이 또는 펌프를 이용하여 수거한다. 저장용기는 최고조위 보다 높은 지역에 설치한다. 한번 채워지게 되면 이러한 저장용기는 수작업으로 처리하기가 힘들기 때문에 기계 장비를 사용하거나 펌프를 이용하여 다른 저장 용기로 옮겨야 한다(그림 13). 대안으로, 인간사슬로 양동이를 이용하여 기름을 해안가로부터 임시저장 장소로 옮기는 방법이 있다(그림 14, 15).

안전하게 작업을 할 수 있는 곳에서는 드럼 또는 다른 저장용기는 회수된 기름을 모으기 위해 작은 보트를 이용하여 가까운 해안으로 옮기기도 한다. 개방형 저장용기에 기름이 가득 찬 경우 취급시 유의하여야 한다.

이례적인 상황에서는 유동성 기름은 흡착제 또는 다른 물질과 섞여 고체처럼 취급할 수 있다. 흡착제/기타자재/기름 혼합물은 갈퀴로 모을 수 있으며 펌핑은 할 수 없다. 이러한 방식은 폐기물 발생량을 현저히 증가시키게 되고 잠재적인 흡착제 또는 기타 자재의 구매비용을 증가시키게 될 것이다. 합성 흡착제는 비싸기 때문에 자연 자재인 지푸라기, 코코넛 또는 나무껍질과 자연 흡착제를 대신하여 사용할 수 있다. 폐기물의 증가를 피하기 위해서 골파기와 같은 대체 방법은 흡착제/기타자재/기름 등의 혼합이 일어나기 전에 실행하여야 한다.

플러싱(flushing)

플러싱은 압력이 낮은 다량의 물로 고인 기름이나 침하된 기름을 해안선으로부터 씻어내는 데 사용한다. 침전물에 갇혀

있는 기름의 제거와 민감 해안으로부터 기름을 제거하는데 이용할 수 있다. 이 방법의 2가지 적용 방법은 침전물 내의 기름 제거와 민감 해안에서의 기름 제거이다.

침전물 속에 있는 기름의 제거

기름은 자연 침강, 폭풍, 조석의 움직임 또는 방제작업 등으로 깨끗한 저질로 침투되어 저질(모래, 조약돌, 자갈 등)과 섞이게 된다. 대부분의 경우 플러싱은 해안의 오염물질을 제거하기 위해 실시하며 쓰레기 발생을 획기적으로 줄인다.

바닷물은 이동식 펌프(원심펌프 30-60m³/h)로 흡입구 필터 또는 스크린을 통해 들어가서 렌스(긴 막대형 배출구) 또는 노즐을 통해서 배출된다. 1미터 가량의 플라스틱 파이프가 플러싱용 노즐로 가장 많이 좋다. 침강된 기름을 부상시키기 위해 물을 침전물에 주입시켜 교반하면, 기름이 부상하게 된다. 조약돌이나 자갈 해안에서는 해변 상부로부터 해안가로 물의 흐름을 주기 위해 추가적으로 물을 사용한다(그림 16)

해안선(바닷물이 닿는 선) 상부에서의 플러싱을 통해 부상된 기름은 자연적 웅덩이, 둑, 인공으로 만든 도랑으로 모이게 되고 잔잔한 조건에서는 바다쪽으로도 플러싱이 가능하다. 이 경우 흡착분 또는 흡착재를 사용하여 기름을 회수하게 된다. 기름의 양과 접근성, 해안의 특성에 따라 유희수기, 펌프, 진공트럭으로 기름을 회수하기도 한다. 해안선 아래에서 플러싱 작업을 하게 되면 분리된 기름을 수면에서 직접적으로 회수할 수 있다.

민감하거나 접근 불가능한 지역의 기름제거

플러딩(Flooding)은 민감 해안(습지대나 맹그로브 서식지)에서 유동 기름과 기름 오염 쓰레기를 정화 하는데 사용된다. 저압 플러싱은 다른 공격적인 방제기술에 비해 해안의 물리적 피해나 동물군, 식물군에 대한 피해 가능성을 줄여준다. 보통 이러한 종류의 해안은 수면이 잔잔한 곳에 있기 때문에 기름은 해안과 가까운 수면에서 흡착분 또는 오일펜스, 유희수기를 이용하여 회수한다.

플러싱은 바위지역(그림 17), 테트라포트, 연안 암벽 등과 같은 접근 불가능한 곳의 기름제거에 적용될 수 있다. 플러싱 작업을 육상에서 수행할 수도 있고, 선박의 소방호수 또는 분무장치를 통해서 해상에서 수행할 수도 있다. 선박의 프로펠러는 구조물 아래로 물살을 만들어 기름을 밖으로 흘러나오게 해서 모으는데 사용할 수 있다.

파도 세척 (Surf washing)

파도세척은 자연 정화 과정이며 모래, 자갈, 조약돌 해안에 적용할 수 있다. 조건대의 파도 에너지는 해변 오염물질을



▲ 그림 14: 인간사수를 만들어 기름이 담긴 양동이와 폐기물을 빠르게 제거하고 있다.



▲ 그림 15: 인간사수를 이용하여 양동이에 모아진 기름과 오염물질을 임시 저장용기로 모으고 있다. 모래를 수작업으로 휘저어 기름과 모래의 분리를 촉진시킨다. 기름은 작업지역에 설치된 흡착재로 회수한다.



▲ 그림 16: 모래 해변에 침투한 기름은 파이프를 통해서 공급되는 저압플러싱으로 제거 될 수 있다. 저질에서는 모래와 기름이 분리되도록 수작업으로 교반한다. 그리고 이 기름은 작업구역내에서 흡착분으로 회수된다.



▲ 그림 17: 저압세척을 통해 바위 사이의 기름을 제거하고 해안선 아래로 흘러나온 기름은 흡착제를 이용하여 회수한다.



▲ 그림 18: 경미하게 오염된 모래를 파도지역으로 옮겨 조석의 차를 이용하는 세척한다.



▲ 그림 19: 쌓여있는 모래를 파도로 세척하여 갇혀 있는 기름을 부상시킨다.



▲ 그림 20: 기름으로 오염된 자갈을 파도세척을 위해 옮긴다.

제거하고 바다로 확산 시킨다. 파도세척은 플러싱의 원리와 비슷하지만 파도의 자연 에너지에 의해 다량의 물로 펌프를 이용하는 것 보다 더 큰 플러싱 효과를 얻을 수 있다. 침전입자간의 교반과 침식은 저질로부터 기름을 분리시키는 것을 돕고 모래와 진흙의 미세입자에 의해 안정화된 물방울로 분해되게 할 수 있는데 이러한 과정을 ‘점토-기름응집’ 또는 ‘기름-광물질 집합체’ 라고 한다. 이러한 응집 및 집합체는 일반적으로 부력이 있고 바다로 넓게 확산된다.

앞에서는 초기 해안에 덩어리 상태로 존재하는 기름을 제거하는 기술에 대해 설명하였다. 남아 있는 경이하게 오염된 물질은 수작업 또는 중장비를 이용하여 해변의 상부로부터 하부조건대로 이동시킨다.(그림 18). 밀물 시 해안을 따라 저질이 재배치되면서 기름이 제거된다(그림 19). 만약 초기의 방제가 원하는 단계까지 충분하지 않았다면 이러한 과정을 반복하여야 한다.

분리된 기름은 상부조건대까지 이동하게 되고 여기서 수작업으로 제거할 수 있다. 재 이동된 기름은 건설현장에서

비산먼지를 방지하는 것과 같이 흡착제, 특히 스테어, 미세한 그물을 이용하여 제거할 수도 있다. 그물의 한쪽 끝은 해안에 고정하고 다른 한쪽 끝은 바다쪽에서 자유롭게 움직일 수 있도록 하면 매우 효과적이다.

파도세척은 대규모의 폐기물 처리에 대한 문제를 발생시키지 않고 침강된 기름을 제거하는 데 있어서 특히 유용하다. 하지만 해변 뒤로 큰 돌을 밀어 올리기 위해 활발한 파도가 필요하기 때문에 해안의 형태를 복원하는데 몇 번의 조석주기가 필요하다(그림 20). 따라서 오염된 저질을 파도지역으로 이동시키기 전에 장기간의 풍화작용의 위험성을 고려하여야 한다.

해안방제의 후기 단계에 사용되는 기술 (2, 3단계)

벌크 기름과 심하게 오염된 해안쓰레기를 제거하고 나면 아래의 한가지 또는 여러 기술을 병행하여 남아있는 오염된 지역을 정화하게 된다.

고압세척

고압세척은 일반적으로 단단한 저질표면에 이용되지만 자연적 정화가 충분하지 않거나 다시 안정되기 까지 너무 시간이 오래 걸리는 경우 또는 시각적으로 쾌적한 환경으로 보여질 것이 요구되는 경우 이용한다(그림 21). 이 기술은 상업적으로 이용되는 지역의 부두 안벽의 기름을 제거하기 위한 방법으로 사용된다. 장비의 이용 가능성, 기름의 점성에 따라 고온 또는 저온의 물을 이용할 수 있으며, 고온은 점성이 높은 기름을 제거하는데 사용한다.

저온고압 세척은 고온고압 세척보다 피해를 덜 주지만 이런 공격적인 방법은 어패류, 이끼종류와 같이 단단한 표면에 생존하고 있는 생물들에게 큰 피해를 주게 된다. 때때로 오래된 콘크리트, 경도가 낮은 바위 같은 곳에서 고압을 사용할 경우에도 표면에 피해를 입힐 수 있다.

고온고압 세척은 70~90℃ 온도가 적절하다. 증기는 세척작업에 효과적이지 않기 때문에 높은 온도는 권하지 않는다. 추천 압력은 50~150bar이고 유량은 10~20 l/m이다. 기름의 종류, 풍화정도와 두께에 따라 다르지만 보통 한명의 작업자가 평균 1~3m/h의 속도로 콘크리트 벽과 같은 부드럽고 평평한 표면을 세척할 수 있다. 접근하기 힘든 거친 표면 지역 같은 경우에는 세척시간이 현저히 증가하게 된다.

바닷물을 사용하는 것이 청수를 사용하는 것보다 더 쉽다. 하지만 바닷물은 내부셀과 피스톤을 부식시키므로 기계장치를 더 자주 보수해야 한다. 바닷물을 이용한 작업은 여유 부품의 공급과 보수를 위한 수리공이 없는 경우에는 고려하지 않아야 한다. 추가로 험잡물 제거용 필터 또는 스크린이 장착된 잠수 펌프로 물을 공급한다. 가능하다면 펌프와 고압세척기 사이에 임시 저장탱크를 설치하는 것이 좋다(그림 22). 청수 공급이 가능한 곳에서는 세척작업에 따른 고장이 훨씬 적을 것이다.

고압세척으로 분리된 기름은 수면에서 흡착재로 회수 될 수 있고 인접한 청정지역으로 기름이 이동하는 것을 최소화 할 수 있다. 어떤 경우에는 분리된 기름이 수면 끝단으로 이동하여 모일 수 있고 이는 흡착봄으로 회수 될 수 있다. 플러싱으로 기름을 오염지역으로 이송하게 할 수 있다.

고압세척 후 표면에 남은 기름얼룩은 시간과 풍화작용으로 없어진다. 그러나 관광시즌에는 많은 지역에서 추가적인 방제작업이 필요로 하게 된다. 이러한 경우 추가적인 고압세척 또는 특수 화학물질을 이용한다(사진23). 열대지역과 아열대 지역에서의 고온세척은 바위 위에서 태양에 노출된 기름이 말라붙기 때문에 온대지역의 보다 덜 효과적이다.



▲ 그림 21: 관광 위락시설 해안의 절벽을 압력세척하고 있다. 기름은 폭풍에 의해 해안 절벽의 높은 곳을 오염 시킬 수 있고 방제작업을 수행하지 않으면 오랫동안 지속 될 수 있다.



▲ 그림 22: 원거리 바위해안의 고압 세척. 바닷물을 펌프를 이용하여 임시저장탱크로 이송하고 고압세척기에 사용된다.



▲ 그림 23: 고압세척 후 해안 세척제를 사용하여 기름 얼룩을 제거한다.

화학물질 사용을 병행한 고압세척

몇몇 사례에서 보듯이 적절한 화학물질을 기름얼룩에 사전 처리함으로써 고압세척의 효과는 높아진다. 해안세척제 (Shoreline Cleaning Agent)는 유출된 기름을 수거할 수 있도록 분산 없이 비침투성 표면으로부터 기름을 제거하도록 특수하게 만들어 졌다. 제조사에서 권고하는 사용 비율을 준수하여야 하며 적정압력에서 저온으로 혼합물을 세척할 수 있다. 국가 승인 제품만을 사용하여야 한다.

적정압력에서 저온으로 얇은 유막에 유처리제를 사용하여 강하게 브리쉬질을 하는 것은 세정된 혼합물을 만들어 낼 수 있다. 적당한 사용비율은 기름의 두께 측정과 농축형 유처리제와 기름의 비율을 1:20으로 계산할 수 있다. 예를 들어, 유막 두께가 1mm의 경우 1m² 당 1리터의 유처리제로 계산되며, 이 경우 오염면적 20m² 당 유처리제 1리터가 사용된다.

대다수의 기름에서는 기름-유처리제 혼합물이 수중으로 분산되어 회수가 불가능하게 된다. 분산된 기름은 일반적으로 유흡착재로 회수가 잘 되지 않는다. 그러나 종종 매우 점성이 높은 기름에 대해서는 유처리제가 기름을 표면에서 떨어지게 할뿐 분산을 시키지는 못한다. 따라서 떨어져 나온 기름은 재오염을 방지하기 위해 회수되어야 한다.

조간대와 해안인근의 생물중은 분산된 기름에 민감하다. 따라서 해안에서의 유처리제 사용은 분산된 기름이 충분히 빠르게 희석되는 지역에서만 제한적으로 사용할 수 있다. 해안에서 유처리제 사용은 금지되어 있지만 허용된 지역에서는 승인된 제품만 사용가능하다.

예외적으로 기름 흔적 제거가 필요한 경우 샌드블라스팅을 한다. 표면의 손상을 줄이기 위해 모래의 분사 수단으로 공기 대신 물을 사용하기도 한다. 그럼에도 불구하고 샌드블라스팅은 표면에 많은 손상을 준다.

자갈/조약돌 세척

콘크리트 믹서 트럭 또는 자갈세척기로 자갈 및 조약돌을 세척할 수 있다. 7.5~10m³ 용량의 믹서 트럭은 시간당 5~6톤을 일괄적으로 세척 가능하다. 기름 묻은 자갈을 무향유, 세척제 등 용제와 함께 혼합기에 넣고 혼합한 뒤 물을 추가한다. 솔벤트와 기름 묻은 자갈의 비율은 1:50을 기준으로 하며 기름 오염 정도에 따라 달라진다. 약 5분간의 빠른 혼합 후 믹서를 천천히 돌리면서 물을 가득 채운다. 이후 믹서를 천천히 회전하면서 물을 추가하고 분리된 기름이 믹서로부터 연속으로 설치된 임시저장 탱크로 흘러 들어가게 되며, 여기서 기름과 물을 분리·회수된다(그림



▲ 그림 24: 조약돌을 세척한 후 콘크리트 혼합 차량으로부터 폐수가 흘러나오고 있다.

24). 연속적으로 세척작업을 하기 위해서 가능한 한 많은 물을 재사용하여야 한다.

1회당 30~60분의 작업으로 대부분의 기름을 충분히 분리할 수 있다. 기름 오염이 경미하더라도 배출되는 자갈은 경미하게 기름기가 남아있을 수 있고 이는 파도세척에 의해 자연정화가 될 수 있다. 만약 믹싱트럭이 충분하다면 “세척장”을 설치하고, 로더, 펌프, 탱크와 같은 필요 장비들을 한 장소에 모은다. 이러한 세척프로세스는 첫 번째 믹서에 자갈이 들어가고 두 번째 믹서는 세척과 플러싱이 이루어지고 세 번째 믹서에서는 세척된 자갈을 빼내는 과정으로 이루어진다.

자갈과 조약돌에 붙어 있는 미세 모래와 점토는 몇 번의 세척을 거치면서 믹싱드럼에 쌓이게 되는 것을 경험하게 된다. 이러한 미세 물질들은 다시 해안으로 돌아가기에는 충분히 깨끗하지 않기 때문에 이러한 물질을 처리할 수 있는 방법을 강구하여야 한다. 또한 세척작업으로 오염된 물을 폐기하는 것 또한 고려하여야 한다. 자갈 세척 계획시에는 이러한 작업이 필요성을 확보하기 위해서 비용 효과 및 이동방안에 대하여 충분한 정보가 필요하다.

개방형 탱크 또는 고온수 욕조로 오염된 자갈 및 조약돌을

세척하는 방법도 있다. 작업과정은 유사하나 믹싱을 위해 굴삭기를 사용하게 된다. 자갈의 작은 오염부위, 특히 접근이 어려운 지역의 오염된 자갈은 개방형 드럼과 같은 적절한 용기를 이용하여 수작업으로 세척한다.

갈기 / 써레질(Ploughing/Harrowing)

모래 또는 조약돌 해변에서 벌크 상태의 기름과 두꺼운 유층을 제거하고 나면 해변에 차량이 지나간 자리의 저질에 기름이 혼입된 지역과 같이 일부 경미한 오염이 남아 있는 곳이 있다. 이 단계에서는 농기계를 이용하여 갈기 또는 써레질을 반복적으로 시행함으로써 경미하게 오염된 침전물로부터 기름을 제거할 수 있다(그림 25). 오염된 저질을 뒤집음으로서 기름을 표면으로 노출시켜 풍화작용을 촉진시키고 점토-기름 응집체 또는 기름-광물질 집합체 만들어서 침전물을 공기에 접촉시킨다. 이러한 작업 과정으로 박테리아와 다른 미생물이 기름을 좀 더 빨리 분해시키게 된다. 소량의 기름은 때때로 만조시에 분리되어 나오게 되며 이를 흡착재를 이용하여 회수할 수 있다. 이러한 작업은 하부 생물종에 영향을 줄 수 있지만 이러한 기술은 파도세척이 불가능한 지역에 특히 유용하다.



▲ 그림 25: 오염된 해변의 저질을 표면으로 노출되도록 한다. 기름은 조류에 의해 해안가로 모이게 된다.

모래 거르기 / 비치 클리너

해안 방제이후에도 직경이 50mm 또는 이보다 작은 타르볼 또는 오염된 기름덩어리가 여전히 남아 있다. 이 장비는 해변 오염물질, 기름으로 오염된 부유물, 모래 또는 타르볼을 수거할 수 있도록 고안되었다. 일반적으로 이 장비는 해변을 따라 이동하면서 미리 정해진 깊이로 표면 오염물질을 제거하며 스크린을 진동하거나 회전하면서 오염물질들을 수거한다(그림 26). 체의 크기에 따라 회수된 오염 물질은 비치클리너의 저장용기로 들어가고 깨끗한 모래는 해변으로 되돌려 진다. 비치클리너는 덩어리진 기름과 모래가 스크린의 진동에 의해서 분리되는 원리를 사용하기 때문에 작은 타르볼 또는 점성이 낮은 기름을 회수하는 데는 효과적이지 않다.

자동 또는 수동으로 작동되는 작은 규모의 체 거름장비는 수작업으로 수거한 경미하게 오염된 모래에서 기름오염 모래 잔재물 및 타르볼을 제거하는데 사용될 수 있다.(그림 27). 이러한 방법은 노동집약적으로 노동력이 풍부하고 수거된 폐기물의 양의 최소화가 필요한 관광·위락시설이 있는 지역에 적용할 수 있다. 각 각의 타르볼과 오염된 작은 모래 잔유물은 때때로 소형 정원용 체를 이용하여 수거하기도 하지만 아주 깨끗함을 필요로 하는 관광·위락시설에서 이러한 방법의 사용은 비용 대비 효과가 낮다.



▲ 그림 26: 트랙터로 끄는 비치클리너를 이용하여 타르볼 수거

갯닦기

바위나 자갈로 이루어진 해안으로 접근이 어려워 고압세척



▲ 그림 27: 체질을 통해서 타르볼을 제거



▲ 그림 28: 자원봉사자들을 이용한 갯닦기

또는 다른 장비를 사용할 수 없는 경우 손으로 기름을 제거하는 것이 유일한 방법이다. 경미한 오염에서 중간정도로 오염된 기름에 대해 갯닦기로 제거할 수 있다(그림 28). 걸레는 합성 흡착재보다 비용적으로 저렴하다. 사용된 걸레는 폐기를 위한 백에 보관한다. 허용된 지역에서는 화학세척제를 사용할 수 있지만 이는 흡착재의 효과를 낮출 수 있다. 노동력이 풍부한 나라에서는 갯닦기를 선호하기도 하지만 갯닦기는 2차 오염을 최소화하기 위해 엄격한 감독이 필요하다.

생물정화제

생물정화제는 이산화탄소, 물 및 바이오매스와 같이 기름에 포함된 단순한 화합물질의 생물분해를 촉진시키는 과정으로 정의할 수 있다. 좀더 자세히 설명하자면, 생체조직 활성화(biostimulation)는 영양제 및 미생물처리이고 씨앗뿌리기(seeding)는 기름을 분리하기 위해 특별히 선택된 미생물을 추가하는 것이다.

자연적 생물분해, 생물자극을 토양경작법과 같이 토양에 이용할 때 가장 효과를 볼 수 있다. 생물 정화에 영향을 주는 물리적, 화학적 생물학적 요소는 생물분해에 대한 최적의 조건을 제공하기 위해 조절되어야 한다. 해양환경에서 같은 수준으로 이러한 요소를 통제 하는 것은 어렵기 때문에 이러한 과정은 잘 사용되지 않는다.

자연 방제

시간이 지남에 따라, 대부분의 해변은 기름의 풍화와 분해로 자연적으로 정화 된다. 자연적 제거 과정의 핵심은 침식, 침전, 응집, 광산화 및 생물분해이다. 에너지가 높고 노출된 해변은 대부분의 기름이 3개월 이내에 제거된다. 만조선 위에 위치한 기름얼룩을 제외한 대부분의 기름 흔적은 2~3년내에 없어진다. 그러나 침전되어 있거나 미세한 혐기성 머드와 섞여 있는 경우 “아스팔트 포장도로”와 같은 경우처럼 분해속도는

매우 느리게 되고 오랜 기간 지속 된다.

많은 기름오염사고 있어서 1단계와 2단계의 방제작업 종료 후 최종 정화단계에는 가장 효율적이고 비용효과적인 방법인 자연정화에 맡기게 된다. 특히 폭풍이 접근하는 시즌에서는 더욱 효과적이다(그림 29). 환경이 허락되는 지역에서는 자연정화가 맹그로브, 염습지 등 민감한 해안의 방제활동에 따른 피해를 최소화하기 위한 가장 효과적인 방법이다. 겨울 또는 폭풍이 지나간 후 자연정화가 잘 이루어 졌는지 또는 추가적인 방제가 필요한지를 결정하기 위해 해안조사가 필요하다.

해안의 종류

7가지 해안 종류에 대해 방제방법을 제시한다.



▲ 그림 29: 많은 경우 해안방제의 최종단계는 자연정화에 맡긴다.



▲ 그림 30: 작은 뗏목을 이용하여 오염된 방파제를 압력 세척한다. 떨어져 나온 기름은 흡착분을 이용하여 회수한다.



▲ 그림 31: 부두 아래로의 접근은 어렵고 상부 공간이 좁고 환기가 부족함에 따라 방제작업자들이 위험할 수도 있다.



▲ 그림 32: 석축을 고압세척기로 세척



▲ 그림 33: 테트라포드 방제는 어렵고, 기름이 있는 테트라포드까지 접근하기가 어렵다.

항, 부두 또는 기타 시설

벽, 다른 수직 구조물은 조수간만의 차에 따라 기름띠가 생성되고 기름은 보트 또는 뗏목을 이용한 고압세척으로 제거된다(그림 30). 상부 작업공간이 제약되는 파일이나 컬럼 형태로 된 구조물 또는 방파제, 석축 아래로 기름이 이동한 경우 제거하기가 어렵다(그림 31). 선박 프로펠러를 이용한 세척은 벌크상태의 기름이 제거에 도움 줄 수도 있지만 정밀 방제는 불가능하며 기름을 자연으로 분해하는 것을 촉진할 수 있다. 나무로 된 구조물은 방제에 의해 피해를 더 입을 수도 할 수 있다. 상업적으로 이용되는 해안에 대한 방제는 “사회·경제적 활동에 대한 기름 유출의 영향(The Effect of Oil on Social and Economic Activities)” 에서 자세히 다루고 있다.

방파제

다양한 형태로 설계된 방파제는 방제작업에 큰 어려움을 줄 수 있다. 기름은 파도로부터 보호되어 풍화작용을 느리게 할 수 있는 석축 또는 테트라포드 사이로 깊이 침투하는 경향이

있다. 개방된 석축(그림 32)과 테트라포드(그림 33)에는 상당한 양의 해양 쓰레기를 품고 있는데 이 쓰레기가 흡착재와 같은

방파제 해안		
	접근가능	접근불가능
1단계	유회수기/이송펌프 진공차량 플러싱	수작업 수작업/흡착재
2단계	고압세척 수동적 방제 해체 (아주 드물게) 자연방제	자연방제 갯닦기
3단계	갯닦기 자연방제	자연방제

▲ 표 1: 다양한 형태의 방파제에 적용 가능한 방제기술

역할을 하는 바람에 기름 제거를 더욱 어렵게 만든다. 만약 겨울철에 기름오염사고가 났다면, 기름은 여름까지 구조물에 갇혀 있다가 서서히 유출된다. 그리고 방파제는 개방된 바다로 노출되어 있어 작업에 위험이 따를 수 있다.

기상상태가 양호한 경우 부유하는 기름은 방파제 아래쪽에서 선박으로 제거하여야 한다. 구조물에서 작업자는 안정성이 확보되어 있는 상태에서 기름의 잔재물 제거, 바위 및 테트라포드 고압세척 또는 갯닦기 작업을 한다. 방파제를 따라 흡착재를 사용한 곳에는 인위적인 방제를 최소화 하여도 파도·조파 및 조석 작용으로 기름이 제거 될 수 있다. 구조물에서 펌프를 이용하여 기름을 씻어내 자연정화를 촉진시키기도 한다.

아주 드물게 오염된 쓰레기를 제거하고 각각의 석출과 테트라포드를 고압 세척하기 위해 방파제를 해체 할 수 있다. 이러한 작업은 기름이 관광지 또는 양식장의 오염을 줄 가능성이 있는 경우 적용가능 하지만 오염 위험성과 방파제의 해체 후 재조립 비용을 비교하여 검토를 하여야 한다. 필요한 장비와 인프라가 갖추어진 방파제를 유지보수를 하는 경우와 같이 해체작업을 주기적으로 수행되는 경우에는 방파제 해체를 하는 것이 더 낫다.

바위 그리고 호박들

조석 범위내의 바위나 호박들과 같이 단단한 표면에는 기름이 쌓여 있고, 기름과 기름으로 오염된 쓰레기는 바위 웅덩이나 갈라진 틈에 고여 있다(그림 34). 노출된 장소에서는 기름이 보통 한곳에 머물러 있지 못하고 해안을 따라 이동하다가 결국 한자리로 모이게 된다. 바위 해안은 표면이 미끄럽고 파도와 조석에 따른 위험으로 작업자들이 안전하게 접근하기 위해 특별한 주의가 필요하다. 접근이 불가능한 곳은 임시작업 도로를 만들어 작업의 조건을 향상시키기도 한다(그림 35).

상당한 양의 기름이 고여 있는 야생동물 밀집 지역에서는 흡착재를 오염된 바위에 펼쳐두고 기름을 솔로 털어 내어서 털 또는 깃털의 오염을 줄어든게 한다. 몇몇 나라는 톱밥을 선호하기도 하고 과립상의 광물성 흡착재를 이용하기도 한다. 이러한 방법은 물개와 펭귄을 보호하기 위해 사용되기도 한다. 흡착재와 기름의 혼합물은 일반적으로 회수가 잘 되지 않고 광범위하게 확산되고 바다에 의해 분해가 이루어진다. 따라서 이 기술은 흡착재/기름 혼합물의 표류에 따른 2차 오염이 발생할 수 있어 사용에 주의를 하여야 한다.

자갈, 조약돌 해안

	접근가능	접근불가능
1단계	유회수기 / 이송펌프 진공트럭 저압세척	수작업 수작업 & 흡착재
2단계	저압세척 파도/자갈 세척 기계적, 자연적 방제	자연방제 갯닦기
3단계	자연방제 파도/자갈 세척 모래세척(가끔)	자연방제

▲ 표 3: 중간저질의 해안에 적용가능한 방제기술

바위, 호박들 해안		
	적용가능	적용불가
1단계	유회수기/이송펌프 진공차량 플러싱	수작업 수작업/흡착재
2단계	고압세척 흡착재 자연방제	자연방제 갯닦기
3단계	자연방제 고압세척 모래세척(가끔)	자연방제

▲ 표 2: 바위, 호박들 해안에 적용 가능한 방제기술



▲ 그림 34: 바위해안의 웅덩이나 틈에 기름과 기름으로 오염된 쓰레기가 모이게 되고 수작업에 의한 방제가 필요하다.



▲ 그림 35: 바위해안에서 작업자들의 위험을 최소화하기 위해 임시 작업도로를 건설한다.



▲ 그림 36: 오염된 자갈을 폐기물 수거봉투로 수거

자갈, 조약돌

이런 종류의 해안은 돌 사이로 기름이 깊이 침투하기 때문에 방제하기가 어렵다. 하중을 견디지 못하는 특성상 차량 또는 사람의 접근을 어렵게 하고 오염된 자갈은 방제하기가 어렵게 된다. 또한 심하게 오염된 자갈의 폐기는 오염된 모래를 폐기하는 것보다 더 제약조건이 있다. 폐쇄된 해안의 심하게 오염된 모래는 영구 아스팔트화로 되는 것을 방지하기 위해 방제작업을 수행하여야 한다.(그림 36). 가능한 장소에서는 세척된 자갈은 이송되는 폐기물의 양을 최소화하기 위해 제자리로 돌려놓아야 한다. 플러싱과 파도세척은 이러한 작업환경에서 유용하게 사용된다.

모래 해변

모래 해변은 활용빈도가 높아 우선적으로 방제를 하여야 한다(그림 37). 해수욕장은 보통 접근성이 좋고 기름 침투가 제한적이어서 가장 방제작업이 용이한 해안으로 인식된다. 그러나 기름은 연속된 조석에 의해 모래 아래로 묻힐 수 있고 점성이 낮은 기름은 조립질 모래로 침투한다. 플러싱, 파도세척, 골파기 등은 침투한 기름을 제거하는데 적합한 방법이다.

임시 작업도로는 무너지기 쉬운 모래언덕을 보호하고 해수욕장으로 중장비가 들어가기 위해 건설된다. 조립질 모래 해수욕장에서 바퀴 또는 궤도차량을 이용한 작업은 바퀴가 모래로 빠질 위험이 있다(그림 39). 이 경우 해수욕장 저질을 오염시키게 되어 추가적인 작업이 필요하게 된다. 액체 화물운반차 또는 다른 자동차가 해수욕장으로 들어가 짐을 싣게 되면 움직이지 못할 수도 있다.

과도한 모래의 제거는 해수욕장 침식을 일으킬 수 있다. 그러나 노출이 심한 해수욕장은 계절 주기에 따라 모래의 침식 및 축적량의 정도가 매우 커서 방제작업에 따른 모래



▲ 그림 37: 관광시즌에는 모래 해수욕장의 방제를 우선으로 해야 한다.



▲ 그림 38: 조립질 해안에서 에멀전화된 기름을 수작업으로 모으고 있다.

모래 해수욕장		
	접근가능	접근불가능
1단계	유회수기/이송펌프 진공차량 수작업/기계작업 골파기 플러싱	수작업 수작업 & 흡착제
2단계	플러싱 파도세척 수작업/기계작업	자연방제 수작업
3단계	자연방제 파도세척 발갈기 / 써레질 비치클리너 모래 체로 거르기	자연방제

▲ 표 4: 모래해안에 적용 가능한 방제기술

제거량은 비교적 크지 않고 자연적으로 복원된다. 그럼에도 불구하고, 해변이 처음과 같이 가능한 빨리 돌아오게 하려면 깨끗한 모래를 다른 곳에서 가져와야 한다. 만약 이러한 방법이 가능하다면 모래의 밀도와 입자 크기가 원래 모래와 비슷해야 한다. 대체되는 모래의 입자가 작다면 씻겨 없어질 위험이 있을 것이다.

해변에 기름이 부착되기 전에 충분한 시간이 있다면 모래를 고조보다 높은 곳으로 옮기는 것도 한 방법이다. 해변이 정화된 뒤에 다시 원래의 위치로 복귀하면 된다. 표류쓰레기나 부유쓰레기를 기름이 해안에 도착하기 전에 제거하게 되면 기름으로 오염되는 쓰레기의 양을 현저히 줄일 수 있게 된다.

진흙, 갯벌 해안가

가능하다면 이런 종류의 해안, 특히 초목지역에 표착된 기름은 자연적으로 풍화 되도록 두는 것이 더 좋다. 대부분의 경우 기름 그 자체의 피해보다 방제활동으로 인한 생태교란 및 저질 침식으로 인해 더 많은 피해가 발생하는 것을 발견할 수 있기 때문이다.(그림 40, 41).

온대 기후, 염습지 식물은 기름이 덮여 있어도 생존하기도 하며 새로운 식물이 자라기도 한다. 열대지역의 맹그로브에 대한 피해는 예측이 힘들고 식물종, 천연기름(경질유가 중질유보다 독성이 강함) 및 저질의 공급물에 따라 예측하기 힘들다. 조립질 저질의 맹그로브는 미세한 머드지역 맹그로브보다 덜 영향을 받는다.



▲ 그림 39: 짐을 실은 차량이 모래해수욕장에 빠질 수 있다. 이는 추가적인 피해를 발생시키고 기름이 다른 깨끗한 저질들과 섞일 수 있다.

Muddy shores

	접근가능	접근불가능
1단계	유회수기/이송펌프 진공차량 플러싱	수작업 수작업 & 흡착제
2단계	플러싱 수작업	자연방제 수작업
3단계	자연방제	자연방제

▲ 표 5: 갯벌해안에 적용 가능한 방제기술

해안을 따라 재 이동 및 확산을 방지하기 위해 기름을 제거하여야 하며, 다량의 물에 의해 씻겨온 기름은 추가적인 포집작업을 통해 모은다. 선박 또는 임시 작업로를 통해 육상으로 접근하여 작업을 수행한다. 만약 수작업을 이용한다면, 식물뿌리 등에 추가적인 피해를 최소화하기 위해 철저한 감독을 실시하여야 한다(그림 42).

만약 새나 다른 동물군에 영향이 있다면 기름으로 오염된 염생생물의 제거하는 것을 고려할수 있다. 하지만 이러한 경우에도 동물군의 장기간의 피해에 대한 위험과의 균형을 고려하여야 한다. 맹그로브 지역은 회복에 오랜 시간이 필요하므로 맹그로브 지역의 식물을 제거하는 것은 피해야 한다.

산 호

살아있는 산호는 바다표면에 드물게 노출되어 있기 때문에 기름에 오염될가능성은 낮다. 그러나 산호가 기름에 오염된다면 인위적인 방제보다는 그냥 두는 것이 가장 좋고 그러면 자연적으로 회복될 것이다. 산호 군락지의 저조시 드러나는 부분에 대해 해수를 이용하여 저압 플러싱으로 자연정화를

뚝고 기름 누출을 최소화 하여야 한다.

기름의 재 이동을 방지하기 위해 회수가 필요하다면, 이러한 작업은 연약한 구조에 대한 피해를 최소화하기 위해 시행된다. 연약한 생체에 미치는 피해를 최소화 할 수 있도록 주의 기울여 시행 해야 한다.

관리 및 조직

해안방제 자원의 효율적인 관리는 성공적인 방제를 위해 필수적이다. 사고 대응관리에 관한 책임은 다양한 다른 조직 또는 기관에서 차출된 팀 또는 정부 기관에 있다. 각각의 경우에 이러한 조직은 해안 작업지역에 대한 지원과 일일작업 시 특이사항, 자원공급, 향후계획, 언론 관계, 재정문제 등을 처리하는 임무를 수행한다.

어떠한 방제방법을 사용할 것인지를 결정하기 위해서는 관리팀은 다양한 해양환경의 지역적 유용성 등과 같은 모든 상황들을 고려하여야 한다. 일반적으로 이러한 것들에는 휴양, 관광, 어업, 산업 및 환경적인 고려요소와 같은 이해관계가 포함된다. 이러한 이슈에 대응하는 방법은 나라별로 국가긴급계획에 따라 다양하다. 종종 이러한 지역을 대표하는 전문가들이 관리팀에 포함된다. 특히 환경 전문가는 일반적으로 관리팀의 공통적으로 소속되며 따라서, 방제작업이 적절한 환경 민감도에 대한 이해의 부족 때문에 환경적으로 더 큰 피해는 발생시키는 것을 예방하는데 활용된다.

해안 방제인력을 적절히 배치하는 것이 매우 중요하다(그림 43). 이러한 방제인력은 해안선의 형태에 따라 오염된 해안을 작은 구역으로 나누어 배치한다. 감독관은 이러한 지역의 방제 인력에 대해 책임을 질 수 있도록 지정된다. 만약 수작업을 이용한다면 방제인력은 팀으로 더 나누게 되고 각각의 감독관은 각 해안방제 지역에 재배치된다. 임무는 1/2일 정도와 같이 현실적으로 수행 가능하여야 한다. 임무 완수와 수행 과정에서 오는 만족감은 작업자들의 동기 유발에 도움을 준다. 이와 동시에 해안은 구역과 구역으로 순차적으로 방제한다. 일반적으로 각 팀은 5~10명의 작업자로 구성된다(그림 44). 각 감독관은 10개팀, 100명을 넘지 않는 사람을 감독한다. 방제작업의 효율성을 높이고 건강과 안전에 대한 경각심을 높이기 위해 작업자들은 기본적인 교육을 받아야 한다. 또한 작업팀의 식사와 위생을 위한 시설이 작업장 인근에 설치되어야 한다(그림 45). 작업이 시작되고 진행되기 전에는 방제인력의 잠재적 역량을 판단하기 어렵고 이를 위해 일정시간이 걸리기도 한다. 이런 이유에서 해안에 필요한



▲ 그림 40: 오염된 습지의 잘못된 방제방법은 그 자체적 피해와 추가적 피해를 발생시킨다.



▲ 그림 41: 민감해안에 대한 중장비의 사용은 상당한 추가 피해를 발생시킬 수 있다. 이 경우 부상하는 기름을 빠르게 회수하여야 한다.



▲ 그림 42: 추가적인 피해를 최소화하기 위해 맹그로브 지역과 같은 매우 민감한 해안에서는 신중한 방제작업을 실시하여야 한다.



▲ 그림 43: 작업자들에게 방제의 목적과 방제방법들에 대해 명확하게 이해할 수 있도록 설명하여야 한다.



▲ 그림 44: 효율적인 작업 감독과 임무수행을 위해 최적의 해안방제작업팀은 10명으로 구성된다.



▲ 그림 45: 작업지역 인근에 작업자들의 식사공급과 위생시설을 위한 임시건물을 설치한다.

작업인력을 결정하는 가장 좋은 방법은 해안의 대표구역에 작은 규모로 방제 작업을 실시하여 필요한 방제인력 규모를 최적화 하고 난 후에 다른 지역의 적절한 인력 수준을 이와 같은 접근방법으로 반복하는 것이다. 필요한 인력은 적용된 해안방제 방법에 따른 소요량과 하루에 적절히 취급할 수 있는 자재의 양에 의해 결정된다. 그러나 방제의 실행능력은 해안의 형태, 접근성, 날씨와 오염정도뿐만 아니라 그들의 숙련정도, 동기부여, 감시·감독에 따라 달라진다. 이상적으로, 방제인력은 기존에 존재하는 지역조직으로 구성한다. 군 지휘체계는 이러한 기준을 만족하며 방제작업에 적합하지만 너무 조직이 커서 때때로 조직구조의 변경이 필요하기도 한다. 추가적인 정보는 다른지침서 “기름 유출의 리더쉽, 지휘 및 관리” 를 참조할 수 있다.

해안방제 작업에 있어서 장비와 차량은 더 없이 중요하다. 깨끗한 지역과 오염된 지역으로 작업 구역의 구분, 오염된 지역에서 사용되는 차량의 수를 제한하고 이러한 차량은 오염된 지역에만 다니도록 제한하여 2차 오염을 최소화 하여야 한다. 수집된 폐기물 운반에 사용되는 대형 트럭은 해변과 떨어진 곳에 위치하여 오염된 지역과 정화된 지역은 분리되도록 하여야 한다. 이를 통해서 기름이 도로 표면으로 오염되는 것도 감소시킬 수 있다. 차량의 선택은 수송되는 폐기물에 따라 달라지며 폐기물 적재시 안정성과 기름의 누출을 방지할 수 있어야 한다.

작업 지역에 근접하는 도로는 통제하여 차량이 작업장으로 떠날 때 방해받지 않도록 하여야 한다. 특히 대형차량이 움직이는 해변 지역은 안전을 고려하여 폐쇄되어야 한다. 조석이 있는 해안에서는 만조시 휴식과 식사를 할 수 있도록 작업 시간을 조정하여야 한다. 가로등이 있는 부두에서는 야간작업을 하는 것이 적절할 수 있지만 개방 해안과 같은 다른 해안에서는 조명이 있더라도 충분하지 않을 것이며, 안전하지 못하다.

기름과 기름으로 오염된 폐기물 수거량에 대한 기록은 각 작업지역별로 대책본부에서 작업 진척 사항을 쉽게 모니터링 할 수 있게 해준다. 서면 보고서 이외에도 각 지역의 작업 정도와 인력 및 장비의 위치는 지도에 주기적으로 기록되고 모니터링 할 수 있어야 한다.

인력, 장비 및 자재 사용량을 기록한 일일보고서는 보상 청구를 위해 필수적이다. 추가적인 정보는 “기름 오염에 대한 보상 청구 지침” 에서 자세히 설명하였다.

긴급계획

해안방제를 위한 긴급계획은 높은 수준의 지식을 가지고 있어야 하므로 지리적 범위는 그 해안을 관할 구역으로 하는 단일 지방자치단체의 범위 내로 한정된다. 긴급계획은 당해 구역에 대한 해안방제에 책임이 있는 주정부 및 조직에 의해 마련되는 것이 중요하다. 이러한 조직의 인원은 지방 조직과 비슷할 뿐만 아니라 긴급계획을 현실적으로 실행가능하게 하도록 해준다. 해안 전문가는 그 지방의 사람이며 그 해안에 대해 익숙한 사람이다. 그렇지만 그런 사람에게도 해안방제 기술, 작업장 관리 및 안전에 대한 교육이 필요하다. 경찰 또는 다른 공공기관에서는 오염된 지역에 대한 접근을 통제하여 작업이 원활히 되도록 지원해야 한다.

방제 작업을 관리할 지휘소를 지정하여야 한다. 이러한 지역은 관리팀의 숙식과 통신시설을 설치하기에 적합하여야 한다. 관리팀과 각 해안의 감독관 간의 적절한 통신이 필요하다. 필요하다면, 예상되는 시나리오에 대한 적절한 통신시스템이 구축하여야 한다.

기름으로 오염된 폐기물의 임시저장, 운송 및 최종처리는

방제효율성에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 비상계획 수립시 고려되어야 하고, 인력, 장비, 자재에 대한 동원방법과 세부 계약 조건 등이 비상 계획에 포함 되어야 한다. 긴급계획상에는 진공트럭, 로우더, 쓰레기수거통, 임시저장용기, 고온 세척 시스템, 다른 장비를 제공 할 수 있는 계약자를 확인하고, 가능하다면, 계약조건을 사전에 합의해 두는 것이 좋다.

해안민감지도는 유출사고 초기 특히 유용하므로 지리정보 시스템(GIS)에 긴급계획의 한부분으로 준비해 두는것이 필요하다. 이러한 지도에는 환경적으로 민감한 자원에 대한 위치, 방제우선지역 등을 표시하여야 한다. 해안선 형태, 차량 접근지점, 중장비를 이용할 수 있는 해수욕장, 유택리제를 사용할 수 있는 해안도 표시하여야 한다.

긴급계획에 대해 주기적인 훈련을 실시하여야 하며, 조직적인 측면뿐만 아니라 긴급계획상의 장비가 실제 동원가능한지에 대해서도 점검하여야 한다. 긴급계획에 대한 추가적인 정보는 “기름 오염에 대한 긴급 방제계획 수립 지침” 에서 자세히 설명하였다.

Key points

- 성공적 해안 방제는 인력, 장비, 자재의 적절한 동원과 방제조치를 수행하고 관리하는 조직의 능력에 달려있다.
- 해안 방제의 목적과 종료 시점에 대해 방제작업을 시작하기 전에 정의하고 합의하는 것이 가장 좋다.
- 폐기물 저장, 이송, 최종처분 등 방제조치에 큰 영향을 주는 요소는 사전에 고려되어야 한다.
- 해안선의 형태에 따라 가장 적절한 방제방법을 결정한다.
- 기름은 다른 곳으로 이동하기 전에 가능한 빨리 회수되어야 한다.
- 중장비는 해안을 신속하게 방제할 수는 있지만 깨끗한 저질을 제거하여, 이송·처분 및 잠재적인 침식 문제를 야기 할 수 있다. 방제 속도가 느린 작업이 나올 경우도 있다.
- 습지, 갯벌, 맹그로브나 산호 같은 민감 지역은 자연적 정화과정이 일어나도록 방치하는 것이 최상일 경우가 있다.
- 경제적으로 이용이 없는 지역은 1단계, 2단계의 방제작업 종료 후 남아있는 기름은 자연적인 풍화나 분해가 일어나도록 방치한다.
- 지역긴급계획에는 방제인력과 장비에 동원에 관한 내용을 포함하고 있어야 하며 긴급계획의 효율성 검증을 위해 주기적인 훈련이 필요하다.

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.



번역기관



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

해양경찰청

인천광역시 연수구 해돋이로 130

Tel: 032-835-2293 Fax: 032-835-2991 Web: www.kcg.go.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.