

기름 및 폐기물의 처리 지침

방제기술정보문서

9



서론

대부분의 방제작업, 특히 해안방제에서는 다량의 폐유와 유성폐기물이 발생한다. 폐기물의 저장과 처리는 방제 작업에서 중요하며, 긴급계획에는 폐기물 관리에 관한 충분한 대비가 강조되어야 한다. 사고 초기에 만들어진 준비사항(arrangements)들은 방제 노력 절충과 방제 작업이 종료된 후에도 지속되는 비용 문제에 대한 폐기물 문제를 예방하는데 중요한 역할을 한다.

본 문서에는 해양 환경에서 선박기인 유류유출의 결과로 발생된 폐기물 관리를 위한 다양한 방안들을 기술하고 있다.

폐기물 문제

경험에 따르면 보통 수거된 폐기물의 처리가 유류유출의 방제에서 가장 시간이 많이 걸리고 비용이 많이 드는 작업이다. 발생된 폐기물의 양은 유출유의 종류와 양, 유류 확산 및 해안에 영향을 미치는 정도, 수면과 해안에서 유출유와 기름오염 폐기물을 회수하는데 사용된 방법들과 같은 다양한 요인들에 의해 결정된다.

비교적 작은 규모의 유류유출에도 수거된 폐기물의 양은 기존의 처리 시설들의 용량을 초과할 수 있다. 이 문제를 쉽게 다루기 위해서는 기름오염 긴급계획에서 폐기물 처리방안들이 중요한 요소가 되어야 한다. 방제 기술의 결정은 가능하면 수거된 폐기물의 양을 최소화하는 기술들을 우선적으로 고려하여야 한다. 특히 해안 방제의 경우 확실한 인력 관리가 필수적이다. 적절하고 합리적인 방제 방법까지 사용하였음에도 불구하고 가끔 발생된 폐기물의 양이 기름 유출양보다 10배 더 많아질 수 있다.

일단 폐기물이 수거되면, 그것을 처리하는데 필요한 노력과 비용은 저장, 수송, 이용 가능한 처리 방안들과 지역 규칙에 따라 결정된다. 폐기물 처리에 관한 결정은 발생할 수 있는 폐기물의 종류와 양의 현실적인 평가치를 근거로 하여 사고 초기에 만들어져야 한다. 폐기물 취급 과정에 대한 효율적인 체계는 비용이 많이 드는 문제를 피하기 위해 중요하고 필수적이다. 전세계적으로 환경에 대한 관심이 증가하고, 폐기물 처리에 관한 규제사항들이 더 엄격해지면서, 폐기물의 사용, 재활용 또는 처리의 혁신적인 방법들이 필요 수 있다.

폐기물 관리 방안

‘폐기물 체계(Waste Hierarchy)’는 모든 종류의 폐기물에 이용 가능한 폐기물 관리 방안들을 분류하고 우선순위를 정하기 위해 만들어진 국제적인 체계이고, 유류유출에 대한 폐기물 관리 근거로서 사용 가능하다. 그 체계는 바람직한 순으로 다음과 같은 다섯 가지 단계로 구성된다.



▲ 그림 1: 현장에서 저압 세척으로 기름 묻은 모래를 세척. 흡착재 붉은 방출된 기름을 적절하게 수거하기 위해 사용.

1. **(감축)** 깨끗한 물질이나 물의 수거를 최소화하는 선별적인 해안 방제기술들을 사용하거나 기름 묻은 물질의 현장 처리를 통해 발생된 기름 오염 폐기물의 양을 감소시킨다 (그림 1). 소모품, 특히 흡착재 사용의 철저한 규제는 폐기물을 감소시키는데 도움이 된다. 유류의 해안 방제와 흡착재의 사용에 관한 각각의 ITOPF 기술서는 적절한 실행들에 관해 더 상세하게 다루고 있다.
2. **(재사용)** 가능하면 기름 묻은 장비와 보호복을 세척하고 재사용함으로써 방제 작업 시 사용된 자원들을 재사용한다 (그림 2).
3. **(재활용)** 기름과 기름 묻은 물질들을 정제나 안정화시키는 결합에 의한 액상 기름(liquid oil)을 간척이나 도로 건설용으로 재사용한다.
4. **(회수)** 발전(power generation)이나 열발생을 위한 연료로 폐기물의 발열량을 회수한다.
5. **(처리)** 이상의 방안들 중 하나로 처리될 수 없었던 폐기물은 소각, 매립 또는 퇴비화를 통해 처리한다.

실제로 폐기물 관리 방안은 사고가 발생한 지역의 폐기물 처리 규제사항들을 준수하면서 이용 가능한 방안들의 비용과 처리능력에 의해 결정된다. 기술적으로 다양한 방안들이 실행 가능한 경우(표 1), 비용 효율성이 처리 방안을 선택하는데



▲ 그림 2: 방제 시 폐기물의 최소화는 필수적인 고려사항이다. 방제복을 포함한 개인용 보호 장비(PPE)는 가능한 세척하여 재사용해야 한다.

중요한 요인이 된다. 그러나 유류유출은 본래 신속한 방제가 요구되는 비상 사태이며, 긴급계획 작성 시 폐기물 관리가 적절한 고려사항으로 다루어지지 않는다면, 실행 가능성과

비용 효율이 높은 처리 방안들이 지속 가능한 폐기물 관리 방안들보다 우선된다.

유류와 유성폐기물의 특성

일반적으로 원유, 중질성 연료유, 일부 윤활유와 같은 지속성 유류의 유출은 많은 양의 폐기물을 발생시킨다. 일단 기름이 유출되면, 물 함량과 점도의 증가로 풍화가 시작된다. 가능하면 신속히 수거된 기름은 유동성을 가지고 있고 상대적으로 오염이 없을 것이다. 시간이 흐르면서 기름은 손상된 선박 및 유실된 화물(그림 3) 또는 연안에서 비롯된 잔해(debris)들과 혼합될 것이다(그림 4).

기름 유출로 고체 폐기물이 발생하지 않을지라도, 해상에서의 회수는 사용된 회수 방법들이나 유중수형 에멀전의 형성 때문에 상당한 양의 물이 포함된다(그림 5). 해수 온도 이상에서 유동점을 갖는 유류들은 빠르게 반고체 상태로 될 것이고(그림 6), 이런 유류들은 상당한 양의 물을 회수하는 삽이나 그라브에 의한 회수가 필요하다. 지속성이 없는

	폐기물 유형	분리 방법	처리 방안	
액체류	에멀전화 되지 않은 기름 및 폐수	<ul style="list-style-type: none"> 침전/비중 분리 회수된 물은 추가 처리/여과가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 회수된 기름의 연료유 또는 정제 공급 원료로서 재사용 처리된 물은 방류 	
	에멀전화 된 기름	<ul style="list-style-type: none"> 에멀전 파괴로 수분 배출 열 처리 에멀전을 파괴하는 화학물질 	<ul style="list-style-type: none"> 회수된 기름의 연료유 또는 정제 공급 원료로서 재사용 안정화 및 재사용 소각 	
고체류	모래와 혼합된 기름	<ul style="list-style-type: none"> 임시 저장기간 동안 모래에서 침출된 액체 상태의 기름 수거 물 세척 또는 흡착재로 모래에서 기름 추출 걸러서 고체 상태의 기름 또는 타르볼 제거 	<ul style="list-style-type: none"> 회수된 액체 상태의 기름의 연료유 또는 정제 공급 원료로서 재사용 처리된 물은 방류 안정화 및 재사용 토지 경작법 또는 퇴비화 처리를 통한 분해 매립 소각 	
	조약돌 또는 자갈과 혼합된 기름	<ul style="list-style-type: none"> 임시 저장기간 동안 해변 물질에서 침출된 액체 상태의 기름 수거 물 세척 또는 흡착제로 해변 물질에서 기름 추출 	<ul style="list-style-type: none"> 세척된 돌은 원위치 안정화 및 재사용 매립 	
	나무, 플라스틱, 해초, 패류, 흡착제와 혼합된 기름	<ul style="list-style-type: none"> 임시 저장기간 동안 침출된 기름 수거 물로 폐기물의 기름 세척 탈 수 압 축 	<ul style="list-style-type: none"> 안정화 및 플라스틱과 대형 폐기물을 제거한 후 재사용 토지 경작법 또는 퇴비화 처리를 통해 해초, 패류, 또는 자연 흡착제와 혼합된 기름 분해 매립 소각 	
	기름 묻은 어구 및 자원 · 그물, 부유물, 선반			<ul style="list-style-type: none"> 매립 소각
	타르볼	<ul style="list-style-type: none"> 걸러서 모래로부터 분리 	<ul style="list-style-type: none"> 안정화 및 재사용 매립 소각 	

▲ 표 1: 유류와 폐기물의 분리 및 처리를 위해 일반적으로 이용가능한 주요 방안들

유류의 유출은 단기간에 자연적으로 증발되고 분산되는 경향이 있어 폐기물 발생 문제와 관련이 적다.

해안선에서 회수된 기름은 모래, 자갈, 나무, 플라스틱, 해초와 같은 상당한 양의 다른 물질들과 혼합된다; 각각의 물질은 다른 방법의 처리가 요구되며, 그 구분이 어려울 수 있다. 예를 들어, 기름 묻은 나무는 가능하면 현장에서 통제된 상황에서 소각될 수 있지만, 반면에 기름 묻은 해초를 태우는 것은 비현실적이다. 특히, 많은 수의 경험이 없는 작업자나 자원봉사자들이 참여한다면, 흡착재(adsorbent materials) (그림 7), 보호복(PPE), 오염된 오일펜스, 저장용 비닐 봉지들(그림 8), 다양한 종류의 폐기물 용기들과 같은 방제 작업으로 인해 오염된 물질들이 발생되는 폐기물 양을 증가시킬 것이다. 만약 어구나 양식 시설물이 오염되어 충분히 정화될 수 없거나 자원이 폐사한다면, 상당한 양의 폐기물이 발생할 수 있다. 이러한 문제들은 ITOPE 방제기술정보집 어업과 양식업에 대한 기름유출의 영향에서 상세히 다루고 있다.

처리를 위한 수송, 저장, 준비

처리가 요구되는 많은 양의 폐기물은 흔히 취급과 수송 시 중요한 문제들이 야기할 수 있다. 지속적으로 방제 작업을 계속하기 위해서는 일반적으로 유류의 수거와 최종 처리 간의 완충 역할을 위해 임시로 저장할 필요가 있다. 이것은 당국이 폐기물을 처리하는데 적합한 방법을 선택할 여유를 갖게 한다. 해안 방제로 발생한 폐기물의 경우, 고조선 이상의 해변에 저장하는 것이 2가지 단계로 이동할 수 있게 한다(그림 8): 해변에서의 1차 저장부터 중간 저장과 최종적인 처리. 이러한 저장은 해변으로부터 1단계 수송과 관련된 차량의 수를 제한함으로써 도로 오염의 위험을 감소시킨다.

유성폐기물은 지역 규칙들에 따라 수송, 저장, 처리되어야 한다. 일부 국가에서는 임시 처리 장소와 다양한 처리 업무들을 위해 고용된 도급업자들에 대한 면허가 필요하다. 사고 초기부터 법률 및 면허 담당기관과 협의하는 것은 처리 과정의 중요한 합리적인 요소에 있어 도움이 된다.



▲ 그림 3: 수중에 유실되어 기름과 혼합되고 맹그로브에 표착된 플라스틱 폐기물.



▲ 그림 4: 기름은 버려진 플라스틱, 생활 폐기물, 목재, 초목, 기타 폐기물과 혼합된다.



▲ 그림 5: 모래 위에 부착된 에멀전화 된 기름. 선택적 수작업 회수는 기름이 제거된 깨끗한 저질의 양을 최소화시킨다.



▲ 그림 6: 반고체 상태의 기름은 오일 불로 수거된다. 기름을 뽑아 올리는 어려움 때문에 이용 가능한 처리방식에 제한을 받는다.

한가지 이상의 처리 방안이 이용 가능하면, 서로 다른 폐기물들은 수거 할때부터 분리되어, 별도로 저장되어야 한다. 처리 과정의 어떤 단계에서도 통제 및 규율이 되지 않으면 복잡한 문제와 불필요한 추가 비용을 발생할 수 있다(그림 9). 예를 들어, 대량의 기름, 유성폐기물, 기름이 묻지 않은 물질들은 각 범주에 따라 다른 처리 방법이 수행될 수 있도록 분리된 공간에 저장되어야 한다. 만약 대량의 기름이 주위 온도에서 이송 된다면, 밀폐형 탱크에 저장될 수 있다. 그러나 더 점성이 있는 물질들을 대량 저장하는 동안, 탱크에 가열 코일이 없다면, 빈 탱크들은 발열 없이는 저장되기 어렵기 때문에 주의해야 한다. 만약 가능하다면, 수거된 대량의 기름은 유조선에 저장될 수 있지만, 이는 비용이 많이 드는 방법이다.

점성이 높은 기름들은 처리와 이송을 용이하게 하기 위해 바지선, 폐기물 수거통 또는 드럼통과 같이 뚜껑이 없는 용기들에 저장되어야 한다. 만약 폐유가 상당히 오랫동안 저장된다면, 빗물의 유입으로 기름이 넘칠 수 있기 때문에 뚜껑이 있는 용기가 꼭 필요하다(그림 10). 만약 특별히 제작된 용기들을 이용할 수 없다면, 해안의 대량의 기름은

탄탄한 흙막이벽이나 두꺼운 폴리에틸렌 (또는 다른 적합한 내유성 물질)으로 안을 댄 저장 구덩이에 담을 수 있다. 약 2m 너비, 1.5m 깊이의 길고 좁은 저장 구덩이들은 구덩이의 모든 부분에 쉽게 접근 할 수 있기 때문에 선호한다.(그림 11). 그러나 구덩이의 규모와 수는 예상되는 폐기물 양을 고려하여 결정되어야 한다. 만약 폭우가 내릴 가능성이 있다면, 구덩이가 가득 찰 때를 기준으로 허용량으로 만들어져야 한다. 사구(sand dune)와 같은 민감지역에서 대량의 기름을 임시 저장해야 하는 경우, 초목을 훼손하는 것은 침식을 초래할 수 있기 때문에 피하는 것이 중요하다. 땅을 파낸 모든 구덩이들은 기름을 완전히 제거한 후에 메워져야 하고, 그 지역은 원래의 상태로 복구된다.

비닐 봉지들은 햇빛에 품질이 떨어지고 분해되어 내용물을 유출하는 경향이 있기 때문에 저장용보다는 유성폐기물의 이동 수단으로 간주되어야 한다(그림 12). 내용물들이 최종처리전에 어떤 처리과정을 거친다면 빈봉투와 내용물을 분리하여 처리해야 한다. 저장 용기나 어떤방법으로 폐기물을 쌓아 두는 것과는 관계없이, 주변 지역과 지하수의 2차 오염을 막기 위해 침출수를 받아서 처리하도록 준비해야



▲ 그림 7: 부분적으로 기름이 묻은 흡착재 붓. 폐기물 발생을 최소화하기 위해서 흡착재의 대량 사용을 막아야 한다.



▲ 그림 8: 기름 묻은 해변 물질이 들어 있는 비닐 봉지들은 침출수의 처리를 위해 고조선 이상에서 플라스틱 시트 위에 임시 저장된다.



▲ 그림 9: 잘 분류되지 않은 폐기물이 들어 있어 분리 및 처리를 위해 추가적으로 상당한 노력이 필요한 구덩이.



▲ 그림 10: 회수된 기름은 바지선에 저장한다. 빗물 유입을 막기 위해 뚜껑이 필요하다.

한다(그림 13). 만약 임시 저장소들이 거주 지역 가까이에 위치하면 기름 묻은 초목, 날벌레, 해충의 부패로 초래되는 악취가 문제 될 수 있다.

임시 폐기물 저장 지역의 경비는 무단접근과 관련된 위험들에 대응해야 하고, 경비의 범위는 신호 체계와 저지선을 치고 사람들의 출입을 통제하는 것에서 더 들어갈 수 없는 울타리를 치고 24시간 감시하는 것까지 포함한다. 도심지와 가까운 곳에 충분한 경비가 없으면, 임시 저장소에 생활 폐기물이 버려지는 추가 위험이 있다. 버려진 폐기물과 2차 오염으로 야기되는 문제들을 피하기 위해서는 폐기물을 지정된 최종 처리 장소로 수송하는데 걸리는 시간을 최소화하여야 한다.

최종 처리 방법들이 결정되고 처리능력이 충분한 경우, 폐기물을 임시 저장 없이 해안에서부터 최종 처리 장소까지 수송할 수 있다. 이는 이중 취급을 피하고 폐기물 형성을 최소화하여, 전체적인 방제 종료시점을 단축시켜서 비용 대비 효율을 증가시킬 수 있다.

대책본부 내에서 진행상황이 모니터링 되어 수거되는

유성폐기물의 양과 종류를 기록하는 것은 좋은 예시의 하나이다. 이러한 기록들은 차후 보상 청구를 위해 유용하게 사용될 수 있다.

폐기물의 최소화

방제작업 기간 동안 발생하는 폐기물의 양을 최소화하는 것을 우선으로 한다면 폐기물 처리와 관련된 문제들이 감소할 것이다. 이것은 방제 기술들을 고려할 때 중요한 요인이 된다.

폐기물 처리는 흔히 기름과 함께 회수된 잔해들 때문에 어렵다. 잔해가 수거되는 곳을 확인하는 연안 조사는 기름이 해안으로 올 것 같은 곳을 표시한다. 유성폐기물의 처리 비용과 비교하여 잔해들은 가끔 기름이 해안선에 도달하기 전에 아주 적은 비용으로 제거될 수 있다(그림 14). 그렇지 않으면 잔해 수집 지역은 깨끗한 잔해들이 기름에 오염되는 위험을 감소시키기 위해 오일펜스를 이용하여 보호할 수 있다.



▲ 그림 11: 안감을 댄 임시 저장 구덩이에 저장되는 에멀전화 된 연료유.



▲ 그림 12: 햇빛에 장기간 노출되어 비닐 봉지가 분해되면 재오염이 발생할 수 있다.



▲ 그림 13: 임시 저장소에 쌓인 기름 묻은 모래의 침출수의 저장 및 처리는 주변 지역과 지하수의 2차 오염을 막는다.



▲ 그림 14: 기름이 부착되기 전에 해안으로부터 폐기물을 제거하는 것은 처리가 필요한 기름 묻은 물질들의 양을 감소시킨다.



▲ 그림 15: 회수된 기름 묻은 물을 안정화 및 분리시킨 후, 진공 트럭에서 옮겨 붓기.



▲ 그림 16: 폐기물을 거르기 위해 회수된 기름이 깔때기를 통과하는 폐기물 여과 시스템.

최종 처리를 위한 폐수의 양을 최소화하기 위해 해상이나 연안에서 회수된 기름과 물의 혼합물로부터 물만 분리할 수 있다. 유류가 유회수선 선상의 탱크, 진공 트럭(그림 15), 또는 다른 장치들에서 안정화되고 분리된 이후에, 물은 바닥 밸브에서 오일펜스로 보호된 지역으로 배출된다. 이런 방법으로 기름을 모으는 것은 임시 저장 용량을 최대화시켜, 추가 저장 용량을 준비하는 동안 회수 작업이 지연되는 것을 방지한다. 그러나 일부 국가에서는 지역 법률이 관계 당국으로부터 특별 허가 없이 해상에 어떠한 액체도 배출하는 것을 금지할 수 있다.

현장에서 오염된 해변 물질로부터 기름을 회수하는 것이 가능할 수 있다. 예를 들어, 수거된 해변 물질과 잔해로부터 스며나온 기름은 저장 지역 주위의 배수로(ditch)나 제방(bund)에 고여 있을 것이다. 기름 오염 해변 물질은 그리고 나면 물로 씻을 수 있고 가끔 기름 제거를 위해 적절한 용제를 혼합하여 사용할 수도 있다. 세척은 임시 저장 구덩이에 들어 있는 잔해로부터 기름을 분리하게 하기 위해 저압 호스를 사용하여 수행될 수 있다. 그러면 기름/물 혼합물은 비중분리(gravity separation)로 펴낼 수 있다. 또 다른 방법은 아래에 위치한 수거통(skip)이나 탱크에서 기름을 빼내면서 오염된 물질을 석쇠나 철망 위에 두는 것이다(그림 16). 이 과정은 비록 상당한 양의 기름기가 함유된 물이 발생될 수 있긴 하지만, 물로 폐기물을 세척하는데 도움이 된다. 또한 물이나 용해제를 사용하는 밀폐 시스템으로 분리할 수 있다. 소규모의 일회분 작업을 위한 일반적인 콘크리트 혼합기(cement mixer)부터 대규모의 지속적인 처리를 위한 선광 장비(mineral processing equipment)까지 다양한 장비들이

개발되었다. 이런 대규모 시스템은 특정 상황에서는 성공적인 것으로 판명될 수 있지만, 만족스러운 수준으로 정화되기에는 속도가 느리고, 폐수 내의 높은 수준의 입자(fines)나 환원물(tailings)은 분리되기 어렵다. 따라서, 유류유출 사고 시 광범위하게 적용할 수 있는 기술은 아직 발견되지 않았다.

관광지 해변과 같이 높은 기준의 방제가 요구되는 곳에서는 선별적인 수작업 채집으로 타르볼 형태의 기름을 깨끗한 모래로부터 분리함으로써 폐기물의 양을 감소시킬 수 있다. 또한 오염된 모래로부터 기름 묻은 모래 잔류물과 타르볼을 제거하는 데는 때때로 고정식, 기계식 여과 장치(sieving device)가 사용된다(그림 17). 노동력이 많이 투입되기는 하지만 현장에서 기름으로 오염된 해변지물에 대한 광범위한 세척비용은 발생한 폐기물을 일정거리로 처리하는 방법에 비해 유리할 수 있다.

많은 사고들에서 발생된 폐기물의 대부분은 합성 흡착 물질이고 이 물질의 대부분은 기름오염의 정도가 매우 낮다(그림 7). 흡착제는 다른 기술들이 적합하지 않을 때만 사용되고, 반드시 흡착재에 기름이 충분히 흡착될 때 까지 사용한다는 주의를 기울인다면 폐기물 문제들은 줄어들 것이다.

기름으로 오염된 폐기물 자국내에서 발생한 다른 폐기물과 함께 소각하는 곳에서는 폐기물의 발열량에 따른 차등제에 관한 규정은 기름이 묻지 않은 폐기물의 수거량을 최소화하는 장려책이 된다. 유류함량이 많을수록 발열량은 더 높아져, 처리비용은 감소한다.



▲ 그림 17: 산출되는 폐기물의 양을 줄이기 위해 기계로 모래에서 타르볼을 거르는 작업.



▲ 그림 18: 생석회를 사용한 기름 묻은 폐기물의 안정화

처리 방안

아래 (표2)에 요약되어 있는 바와 같이 기름 및 유성폐기물의 최종적인 처리를 위해 많은 방법을 이용할 수 있다. 사고에서 가장 적합한 처리 방법은 법률 규제, 폐기물의 특성, 농도, 적합한 장소와 시설의 이용 가능성, 관련 비용을 포함한 여러 가지 요인에 따라 결정된다.

유류의 재처리

유성폐기물은 최종적인 처리나 재사용을 하기 위해 연료유와의 혼합과정을 거쳐서 충분한 양의 기름을 회수하기 위해 처리된다. 이 과정은 기름의 발열 특성을 이용하여, 처리 비용들을 상쇄하기 위해 기름을 판매하여 수익을 얻을 수 있다. 이것은 일반적으로 회수된 유류를 가장 효과적으로 활용하는 것이며, 다양한 방안 중에 첫 번째로 고려되어야 한다. 이를 처리할 수 있는 업체들은 정유 공장, 폐유 재활용을 전문으로 하는 재활용업체, 발전소, 시멘트 공장이다. 하지만 이러한 시설들은 엄격한 기준에 적합한 원료만 수용가능 하므로 회수된 기름도 이 기준에 만족하여야 한다. 예를 들어 기름은 펌프로 퍼낼 수 있을 정도로 고형화되지 않아야 하며, 염분은 정제 공장을 통한 처리를 위해서는 0.1% 미만이어야 하고, 연료유와의 혼합을 위해서는 0.5% 미만 이어야 한다. 기름이 재활용을 위해 적합하다면, 정유업체나 다른 사용자들이 저장공간이나 처리용량을 보유하여야 하고 이러한 시설이 없다면 중간저장시설이 필요하다. 이와 관련하여 선박 폐유 수용시설과 대형 선박 디젤러스팅 시설들이 적절하지만, 이것들의 용량은 제한된다.

해상에서 수거된 유류는 일반적으로 물만 분리 하면 되기 때문에 처리과정을 준비하는데 용이하다. 에멀전으로부터 물의 추출은 더 어렵다. 불안정형 에멀전들은 80° C 까지의 온도에서 열처리에 의해 파괴되고, 중력에 의해 기름과 물이 분리가 되도록 한다. 더 안정한 에멀전들은 「에멀전 브레이커(emulsion breakers)」 또는 「항유화제/ (demulsifiers)」로 알려진 화학물질의 사용이 필요하다. 열처리와 항유화제 둘 다 대부분 유류의 점도를 감소시킬

수 있으므로 펌프로 더 많은 양을 퍼낼 수 있다.

단일 화학물질은 모든 유형의 에멀전을 파괴하는데 적합하지는 않다. 가장 효과적인 처리제와 최적의 투입 비율을 결정하기 위해 현장에서의 시험들이 중요하다. 일반적인 투입비율은 처리하려고 하는 기름 양의 0.1~0.5% 범위 내이다. 처리는 혼합율을 높이고 처리제의 사용을 최소화 하기위해서 에멀전이 수집장치에서 탱크로 이동하는 과정이나 탱크간에 이동하는 중에 처리하여야 한다. 에멀전 브레이커는 펌프의 유입구 측 또는 진공흡입이 되는 직렬 고정식 혼합기에 주입될 수 있다. 분리 후에 수면에서는 에멀전 브레이커의 대부분과 유류의 0.1%까지 있으며, 이 혼합물을 처리할 때 주의해야 한다.

안정화

많은 양의 부유물질을 포함하지 않는 유성 모래와 다른 잔해들은 기름이 침출되는 것을 막고, 처리되지 않은 기름오염 모래보다 완화된 조건에서 처리될 수 있는 불활성 물질을 형성하기 위해서 생석회(산화칼슘)와 같은 무기질이 묻어 있을 수 있다(그림 18). 그렇지 않으면 이러한 측면 도로나 길가 경사면과 같이 높은 하중이 요구되지 않는 경우에 혼합물들은 간척이나 도로 건설용으로 사용될 수 있다. 기술의 적합성은 안정화 물질의 충분한 공급에 따라 결정된다. 생석회는 대개 시멘트 공사로부터 얻어질 수 있고, 폐기물에서 물과의 반응으로 발생된 열이 유류의 점도를 감소시키는 이점이 있다. 명백히 기술의 적합성은 안정화시키는 충분한 재료에 따라 결정된다. 생석회는 시멘트 작업에서 주로 얻어지며, 폐기물내 물과의 반응으로 발생하는 열을 통해서 결합성을 높이면서 기름의 점도를 감소시키는 이점이 있다. 시멘트, 비석, 분쇄된 연소재 폐기물과 일부 상업적으로 이용 가능한 제품도 적용 가능하다.

필요한 결합제의 최적량은 주로 기름의 양보다는 폐기물 내의 물 함량에 따라 결정되며, 실험에 의해 결정될 수 있다. 생석회의 경우, 일반적으로 요구되는 양은 처리되는 폐기물 무게의 5~30% 사이이다. 처리는 중앙 시설이나 유출 현장에서 수행될 수 있다. 처리 센터에서 처리 과정에서 처리제와

폐기물이 혼합될 것이다. 이 방법은 연속 드럼 혼합기와 같은 고가 장비의 사용이 요구된다. 처리 과정에서 발생된 열과 반응의 부식 특성이 콘크리트 혼합기의 사용을 어렵게 하기는 하지만, 적은 양은 콘크리트 혼합기를 사용하여 한번에 처리될 수 있다.

대신에, 폐기물은 30cm 두께의 최종 처리 장소에서 바닥에 확산되고, 석회를 결합시키는 분쇄 혼합기를 사용하여 혼합될 수 있다. 만약 충분한 장소가 있다면, 이러한 방법은 비용측면에서 더 효과적인 방법이 될 수 있다.

가끔 혼합물은 탱크 트럭 보다는 뚜껑이 열린 트럭이나 수거통으로 더 쉽게 수송될 수 있기 때문에 유출 현장의 구덩이에서 혼합하는 것이 좋다. 그러면 특수장비를 이용하여 수용시설에서 최종적으로 처리될 수 있다.

이 기술은 많은 부식성 먼지를 발생시킬 수 있어, 처리 장소는 주변지역으로 확산을 최소화하도록 선택되어야 한다. 또한 작업자들은 피부, 폐, 눈을 보호하기 위해 보호복과 안면보호 마스크를 착용하는 것이 중요하다. 만약 혼합 후에, 그 물질이 도로 공사에 사용된다면, 도로 건설 장비를 이용하여 다지는 작업을 하는 것이 필수적이다.

소각

어떤 상황에서는 유출된 부유 기름의 현장 소각이 많은 양의 기름을 신속히 제거하는 성공적인 방법이 될 수 있다.

그러나 유출유는 해상에서 단시간에 휘발 성분을 잃는 경향이 있고, 보통 많은 비율의 물을 흡수한다. 따라서 해안에 도달한, 특히 해상에서 오랫동안 존재했던 유류를 소각시키기 위해서 먼저 물 함량을 감소시키지 않고서는 소각이 어려울 것이다. 소각으로 생기는 불꽃과 짙은 연기가 제어하기 힘들 수 있기 때문에 매우 멀리 떨어진 지역을 제외하고는 기름이나 유성폐기물을 해안에서 직접 소각하는 것을 권고하지 않는다. 또한 기름이 개방된 육지에서 소각될 때, 확산되고 토양에 흡수되는 경향이 있다. 더욱이 타르 잔류물은 완전 연소되는 것이 드물기 때문에 소각 후에도 남을 것이다.

이러한 문제들은 고온 소각에 의해 폐기물을 처분하는 소각로를 이용하여 해결할 수 있다. 이동이 쉬운 휴대용 소각로는 주로 의료 폐기물을 태우기 위해 원거리 지역에서 사용하기 위해 개발되었다. 그러나 지역의 법률과 환경적 측면에서 해안선에서 유성폐기물을 태우는 장치들의 사용을 금지하며, 작은 규모의 폐기물만 수용한다. 대규모의 시멘트 공장과 산업용 노(爐)는 대형 고형물의 제거, 중금속, 염소, 황 등과 같은 기술적 제약이 있는 유성폐기물을 소각하는데 효과적인 방법이다.

또한 시멘트 공장에서 공동 소각은 충분한 발열량을 가진 유성폐기물이 필요한 연료의 대체물로 사용될 수 있기 때문에 비용 대비 효과적인 처리방법이다. 게다가 폐기물 소각으로 발생하는 재는 보통 시멘트 제조를 위한 원료에 필요한

	장점	단점
재생	<ul style="list-style-type: none"> 유류의 발열량 특성을 이용한 재활용 영구 저장 필요 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 기름 묻은 폐기물은 처리가 필요함 시설 및 처리 용량이 제한적 처리과정을 기다리는 동안 폐기물의 장기적인 저장이 필요함
안정화	<ul style="list-style-type: none"> 국내법이 안정화된 기름 묻은 물질의 용이한 처리를 허용함 안정화된 기름 묻은 물질을 이용한 재활용 	<ul style="list-style-type: none"> 기름 묻은 모래, 조약돌, 자갈 등 제한된 크기의 폐기물에만 적합함 -기름 묻은 물질의 처리는 숙련된 작업자와 적합한 시설 및 장비가 필요함
소각	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 유형의 기름 묻은 물질들을 처리 영구 저장 필요 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 비교적 고가의 처리 과정 적절한 시설 및 처리 용량이 제한적 폐기물의 장기적인 저장이 필요함
토지 경작법 또는 퇴비화 처리	<ul style="list-style-type: none"> 생물분해의 자연적 과정을 향상시킴 	<ul style="list-style-type: none"> 적합한 장소를 찾기 어려움 넓은 면적의 토지가 필요하기 때문에 비교적 작은 규모의 유출시에만 적용됨 모든 유류 성분이 분해되지는 않음 주기적인 경작 및 모니터링이 필요하며 처리과정이 느림
매립	<ul style="list-style-type: none"> 유기폐기물은 매립지에서 자연적으로 생물분해됨 다량의 폐기물을 신속하게 처리 	<ul style="list-style-type: none"> 지역 법률에 따른 제한적 이용 유해 폐기물을 위해 지정된 장소의 부족 및 고가의 처리 비용 다양한 유형의 폐기물이 장기간 지속됨

▲ 표 2: 유류와 폐기물의 처리를 위해 일반적으로 이용가능한 방안들의 장단점



▲ 그림 19: 기름 묻은 폐기물 자루를 생활 폐기물과 공동 처리를 위해 대형 산업용 소각로의 이동 장치(loading chute)에 넣는다.



▲ 그림 20: 폐기물 매립 시설. 유류 농도가 적은 폐기물은 제한된 조건 하에서 생활 폐기물과 함께 둔다.

알루미늄, 이산화규소, 점토 및 다른 무기질을 제공한다. 그러나 허용되는 유성 폐기물의 종류는 제한적이고 시멘트 공장들은 보통 해안선으로부터 멀리 떨어져 있어 수송 비용과 물류 방안이 반드시 고려되어야 한다.

일반적으로 생활 폐기물을 위한 소각로들은 해수의 염화물이 소각로 기반 시설을 부식시키기 때문에 많은 양의 기름을 처리하는 데는 적합하지 않다. 적은 양의 유성폐기물을 다른 폐기물과 함께 공동 처리하는 것은 일부 시설에서는 허용될 수 있지만, 기름으로 오염된 것과 그렇지 않은 폐기물은 소각 온도를 제어할 때 신중히 고려되어야 한다 (그림 19). 기름으로 오염된 보호복, 흡착재, 그물 또는 유류 함량이 적은 다른 물질들은 흔히 이러한 방법으로 처리된다. 고온의 산업 폐기물 소각로들은 수가 제한적이고, 멀리 떨어진 곳에 위치한다. 또한, 이들은 발생하는 많은 양의 유성폐기물을 신속하게 처리할 충분한 용량을 갖고 있지 않는다. 하지만 지속적으로 처리 중인 폐기물 속으로 유성폐기물이 투입될 수 있는 장기 저장공간이 있다면 이는 효과적인 방법이 될 수 있다.

열분해는 전문적이고 설비가 제한적이어서 비용이 많이 들긴 하지만, 대규모 사고 시 사용될 수 있는 방법이다.

토지 경작법과 퇴비화 처리

충분한 시간이 주어지면, 기름과 유성폐기물들은 일반적으로 생물학적 과정들을 통해 분해된다(생물분해). 그러나 방제작업은 단기간에 실행하여야 하므로 생물분해가 발생하는 속도가 매우 느리다. 미생물에 의한 유류의 생물분해는 육지에서 기름이 습한 저질과 혼합되어야 하기 때문에 기름과 물의 접합면에서만 발생할 수 있다. 분해율은 온도와 산소, 질소, 인의 이용 가능성에 따라 결정된다. 레진, 아스팔텐과 같은 일부 기름 성분들은 분해에 잘 견디고, 장기간 지속될 것이다.

생물복원은 유류의 미생물 분해를 가속화하는 방법에 사용된 용어이다. 이는 유류와 폐기물이 육지의 지정된 지역으로 확산되는 토지 경작법과 같은 방식이다. 다년간

정유 공장들은 유성폐기물을 처리하기 위해 토지 경작법을 시행하였지만, 법률이 그 사용을 제한하고 있어 토지 경작법이 적합한 곳을 찾는 것이 점점 더 힘들어진다. 토지 경작법은 넓은 지역의 토지가 필요하고 분해율이 느리기 때문에 비교적 작은 규모의 유출에만 적용이 가능하다. 오염된 물질은 비교적 유류 함량이 적어야 하고, 이론적으로 선택된 토지는 가치가 낮아야 하고, 식수 공급원으로부터 멀리 떨어져 위치해야 하며, 투과성이 없어야 한다. 토양의 표층은 우선 썩레(harrow)에 의해 다듬어 져야 한다. 그러면 유성폐기물은 20cm를 넘지 않는 깊이에 표층으로 확산되어서, 최대 적용율로 산정하면 토지 1 헥타르당 약 400톤의 유류가 분해된다. 기름은 쟁기나 로터베이터(rotovator)를 사용하여 토양과 완전히 혼합되기 전에 더 이상 끈적거리지 않을 때까지 풍화되어야 한다. 혼합은 공기를 통하게 하고 생물분해 비율을 높이기 위해 간격을 두고 반복되어야 한다. 또한 생물분해 비율을 높이기 위해 비료가 추가된다. 만약 토지 경작법이 사용된다면, 방제 작업 시 합성 물질보다 분해가 더 빠른 썩, 토탄 또는 나무껍질과 같은 천연 흡착재를 사용하는 것이 좋다. 목재, 바위와 같이 규모가 큰 잔해는 제거되어야 한다. 일단 대부분의 유류가 분해되면, 토양은 나무와 풀을 포함한 다양한 식물들이 자라게 할 수 있다. 만약 농작물들이 성장한다면, 중금속 함량을 주의하여 모니터링 해야 한다.

분해를 높이는 또 다른 효과적인 방법은 오염된 해초와 천연 흡착재를 위한 퇴비화 처리 기술을 이용하는 것이다. 만약 혼합물들이 비교적 낮은 수준의 유류를 함유하고 있다면, 퇴비화 처리를 용이하게 하기 위해 층층이 쌓여질 수 있고, 분해를 가속화하기 위해 공기를 폐기물 층으로 유입시킬 수도 있다. 폐기물 층들은 퇴비화 처리 동안 발생한 열을 유지하기 때문에 그 기술이 특히 토지 경작법을 통한 분해가 느린 냉대 기후에 적합하다.

상업적으로 이용 가능한 생물학적 복원제와 비료의 사용은 자연적으로 유류 분해를 가속화하는데 적합하다. 그러나 반드시 이들 사용에 따른 이득이 비용 대비 효과적이라도록 신중하게 이용해야 한다.

매립

현재 많은 국가에서 매립을 법으로 엄격하게 제한하고 있지만, 특별히 지정된 매립지에 유성폐기물을 처리하는 것은 가장 일반적으로 사용되는 방법이고, 유출 시 발생한 다량의 폐기물의 처리하는 유일한 현실적인 방안이다. 매립지는 보통 특정 조건하에 허가되고, 폐기물의 허용은 폐기물의 종류나 양, 또는 오염 농도가 어느 정도 기준 이하인 폐기물인지에 따라 제한될 것이다. 일부 국가에서는 기름에 오염된 폐기물은 특정 폐기물 지정 장소에서 처리되어야 한다. 이런 곳은 일반적으로 그 장소가 적고, 오염해안으로부터 상당히 멀리 떨어져 있다.

직접매립이 허용되는 경우, 매립을 목적으로 한 물질은 침출수에 의한 2차 오염을 막기 위해 유류 함량이 적어야 한다. 정확한 함량은 매립장에 따라 달라진다. 유성폐기물의 처리를 위한 곳은 특히 생활용이나 산업용으로 추출되는 지하수의 2차 오염 위험을 막기 위해 균열이나 다공성 지층으로부터 떨어져서 위치해야 한다. 기름과 생활 폐기물의 공동 매립은 유류가 생활폐기물에 흡착되어 투과 될 여지가 거의 없기 때문에 일부 국가에서 허용된다(그림 20). 유성폐기물은 적어도 0.1m 두께의 표면 스트립이나 0.5m 길이의 배수로와 함께 최소 4m 이상의 생활 폐기물층 위에 매립 되어야 하고, 현장 차량들로부터 압축될 때는 표층에 기름 발생을 막기 위해 최소한 2m의 생활 폐기물층으로 유성폐기물을 덮어야 한다.

긴급 계획

긴급 계획은 기름 묻은 물질의 다양한 양과 종류를 다루기 위해 이용 가능한 처리 방안들을 검토하여야 한다. 적용된 방제 및 처리 방법들이 크게 원료, 장비, 유출지역 인근의 적합한 처리 장소의 이용 가능성 뿐만 아니라 국가와 지역의 폐기물 법률에 따라 결정되므로 긴급 계획의 범위는 지역적이어야 한다. 긴급 계획은 일부 처리 방안의 이용 가능성에 영향을 미칠 수 있는 법률의 변경사항을 포함시키기 위해 정기적으로 갱신되어야 한다. 유류 회수와 처리에 전문화된 계약업자들의 상세 연락처, 정유 공장들의 위치와 수용능력, 소각로, 폐기물을 허용할 수 있는 다른 시설들은 긴급 계획의 정보목록에 포함되어야 한다.

긴급 계획 과정의 일부로 계획된 위험도 평가는 유류 유출이 더 발생할 것 같은 지역과 유류가 해안으로 올 것 같은 지역을 나타낸다. 위험도가 높은 지역 가까운 곳에 있는 폐기물 임시 저장소는 초기 단계에 발견되어야 한다. 그런 다음 최종적인 처리 문제는 각각의 처리 방안의 수용능력을 초과하는 것을 피하기 위해 단계별로 접근할 수 있다. 토지 소유자들과 관계 당국간의 사전 협의는 유류 유출 시 저장소 건설을 간소화 할 것이다. 추가 정보는 긴급 계획에 관한 별도의 ITOPF 방제기술정보집에서 다루고 있다.

Key points

- 유류와 유성폐기물의 처리는 대량의 폐기물들이 있을 때 해안 방제 시 중요한 문제이다. 따라서 긴급계획 작성 시, 폐기물 처리를 고려하는 것이 필수적이다.
- 기름과 유성폐기물들을 처리하기 위한 다양한 방제 기술들이 개발되긴 했지만, 많은 기술들이 사용과 용량에 있어 제한적이다. 주요 유출이 발생할 경우에는 모든 방안들이 고려될 필요가 있다.
- 폐기물 처리에 관한 결정은 사고 초기에 만들어지는 것이 가장 좋고, 발생할 수 있는 폐기물의 종류와 양의 현실적인 기대치를 근거로 하여야 한다.
- 잠재적인 폐기물 회수나 처리 방법을 결정할 때, 지역 폐기물 법률을 지키고 관계 당국과 협의되어야 한다.
- 유출 위험이 높은 지역에서는 해상이나 해안에서 유류의 수거와 최종적인 처리 간의 완충 역할을 위해 임시 저장할 수 있는 곳이 미리 확인되어야 한다.
- 각각 다른 폐기물들을 위한 처리 방법이 필요한 경우, 폐기물이 수거 지점으로부터 구분되어야 한다.
- 폐유의 재활용 가능성은 처리 전에 검토되어야 하고, 폐기물의 발열량이 발생할 것이라는 것을 고려해야 한다.
- 유류를 소멸시키는 기술들은 더 많은 비용이 들긴 하지만 매립보다 더 좋다.
- 취급, 수송을 포함한 처리 비용은 전체 유출 방제 비용에서 상당히 중요한 요소가 될 것이다.

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



한국해양과학기술원

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