

해상의 기름유출과 방제 대응

선박의 기름유출 사고 유형과 해상 유출유류의 변화과정, 방제 대응체계, 유출된 기름의 회수방법 및 초동 방제 대응 절차에 관한 개요를 소개 하고자 한다.

이 상 호

해양환경관리공단(shlee@koem.or.kr)

해상에서 발생하는 선박의 기름 유출사고 유형으로는 황천 항해 중 침몰에 의한 기름유출, 외판의 균열에 의한 기름유출, 정박 중 선저의 파공에 의한 기름유출, 선박의 좌초에 의한 기름유출, 선박의 충돌에 의한 기름유출, 선박의 전복에 의한 기름유출, 선박 급유 시 넘침에 의한 기름유출, 본선의 탱크로 이송 시 넘침에 의한 기름유출, 유조선의 원유 입출하 작업 중 외력의 영향으로 유조선의 송유라인 절손에 의한 기름유출, 유류 터미널의 유류 입하 또는 출하 시 발생하는 기름유출, 고의 또는 부주의 등에 의한 유출사고가 가끔 발생하고 있다. 선박에 의한 유출 사고는 시간과 장소에 관계없이 항상 사고 발생 위험성을 내포하고 있으며 대부분 기상악화에 의한 무리한 항해, 견시 태만 등 항해 부주의가 사고 발생의 주된 원인이라 할 수 있다.

유조선과 해상 유전의 사고로 인해 일반인들의 기름 유출사고에 대한 인식이 높아 졌으며 이러한 사고가 바다 오염의 주원인으로 알고 있으나 실질적으로 이 대규모적이고 두드러진 사고들은 해양 유류오염의 10%밖에 되지 않는다. 산업폐기물이나 자연삼출(滲出), 정기적인 해양운송 수단으로 인한 오염은 연간 3.5백만 m³(톤)에 달한다. 현재 석유의 수요가 30억m³(톤)인 것을 감안할 때 기름의 유출량은 비교적 적다라고 생각할 수 있다. 전 세계적으로 발생하는 유조선의 유출사고를 분석한 결과 유조선에 의한 사고 빈도가 적고 일반 선박이 기름을 수급하거나 이적 작업을 할 경우에 빈번히 유출사고가 발생한다.

다. 우리나라에서 수년간 발생한 기름 유출사고 발생건수와 유출량을 평균하여 보면 하루에 약 1건의 유출사고 발생에 유출량은 약 30드럼, 즉 6,000리터에 이르는 기름이 바다에 버려지고 있는 셈이며 유출사고 규모도 대형 추세로 이로 인한 해양의 환경오염은 더욱 악화되어 가고 있다.

해상에 기름이 유출되면 성어, 치어, 란 등 연안 어종의 죽음, 해초, 염전, 산호 등 연안 서식지의 손실, 번식력과 부화력의 감소, 기름이 섞인 먹이를 섭취하므로 인한 육식동물의 죽음, 철새, 바닷새의 죽음, 먹이사슬의 파괴 등으로 오염지역 부근의 생물들은 큰 피해를 입게 되며 표층에 서식하는 어종, 바닷새들이 1차적으로 피해를 입게 된다. 기름오염으로 인한 생물학적인 손실은 일반대중이나 언론, 방송매체들의 가장 큰 관심사이며 방제작업계획 수립 시 방제우선순위에 있게 된다. 기름으로 인한 오염지역의 경제적 피해의 손실은 지방자치단체에서는 가장 중요한 요소로 유류오염의 영향은 지역경제에 심각한 타격을 주며 여행객 감소에 따른 여행수입의 손실, 수산업의 몰락, 염전의 오염, 어류, 해조류 양식업의 피해, 화력발전소의 취수구에 기름이 유입되면 산업활동 중단으로 지역산업을 몰락하게 된다.

일반대중의 인식은 유류오염이 지속되는 기간에 따라 크게 달라질 것이며 만약에 유류오염이 되었다는 인식이 심어 진다면 생선을 구입하러 오는 사람은 아무도 없을 것이고 기름 방제작업이 실시되는 기간 동안에는 오염지역 주변의 숙박업, 음식점, 수



피, 기타 상업가에서는 일시적인 경제적 피해를 입게 된다. 고고학 발굴을 하고 있는 장소, 문화적 중요 장소가 있는 장소, 천연기념물의 소실 등 특정한 사회적, 문화적 생물의 죽음, 특별한 사회적 가치가 있는 고래, 물개, 수달 등 보호동물군의 피해는 문화적, 사회적으로 민감한 사안들이다. 오염지역은 선거기간이 되면 정치적으로 민감하게 부각될 수 있고 기름방제작업, 세정작업으로 인한 침식과 공룡발자국의 오염 등 중요한 지질학적 위치가 오염되어 지질학적 피해를 입게 된다.

기름이 유출되면 위락시설, 산업, 어업, 어장, 해양 동식물과 서식지 등은 기름의 영향을 심하게 받으므로 현장지휘관은 상황별 대처방안과 지역의 특성에 따른 기름의 영향에 대해서도 잘 알고 있어야 기름의 유출로 인한 오염피해를 줄일 수 있다(그림 1).

해상에서 기름의 변화

해상에 기름이 유출되면 화학적, 물리적 성질로 변화하며 변화 요인은 기름의 비중, 점성, 휘발성 등의 물리적 성질, 기름의 구성성분과 화학적 성질, 고온에 의한 높은 증발을, 높은 광학적 산화작용과 해상 상태, 태양광선, 대기온도, 수온, 용존산소, 박테리아, 부유물 등의 해양 유기체에 의한 높은 신진대사 활동에 기인하며 풍화작용에 영향을 주는 주요 요인은 기름의 특성, 기온, 일조량, 기상상태, 풍속, 해상 상태 등에 큰 영향을 받는다(그림 2).

확산은 유출초기 단계로서 해상에 유출된 기름이

수면에서 사방으로 퍼지는 현상을 말하며 유출초기의 중력에너지는 운동에너지로 되어 기름은 급속히 해면상에서 확산하게 된다. 일정시간이 경과하면 운동에너지는 약하게 되고 기름에 접한 해수의 경계층이 넓어지고 기름의 위치에너지에 의해 수평으로 확산되는 힘은 점성저항을 받게 되어 위치에너지가 감소하고 시간이 경과하면 기름이 가지는 운동에너지와 해수의 표면장력이 평형이 되어 기름의 확산은 정지한다.

증발이란 탄화수소의 증발을 말하며 휘발성 기름일 경우 75%, 중유일 경우 10%의 휘발성 탄화수소 성분을 가지고 있고 증발의 속도는 유류 확산속도에 비례하고 기름에 포함된 탄화수소 함유량에 따라 다르나 비점이 낮으며 표면적이 크고 휘발성이 강할수록 급속도로 증발하며 거친 해면, 풍속이 강하고 기온이 높을수록 더욱 증발한다. 유류가 수면에서 퍼져 유막(Slick)이 생성되는 과정에서 일부는 증발하고 일부는 물에 용해된다.

기름의 유화는 해상의 유출유가 시간이 경과하여 휘발성분이 증발한 후 남은 점성이 커진 유출유가 해수와 작용하여 수분을 흡수해서 오염물질의 부피가 3 ~ 4배정도 증가하여 유화물(Emulsion)을 형성하게 되는 현상을 말한다. 저점도유 중에는 약 2 ~ 3시간 내에 60 ~ 80%의 수분을 흡수하고 반면에 점도가 높은 기름은 동일 조건 하에서 10% 수분흡수에 10시간이상 걸리기도 하고 수일 후에도 수분함량이 40%를 넘지 않기도 한다. 기름이 수분을 흡수하면 보통 색깔이 갈색, 오렌지색, 황색으로 변한다.

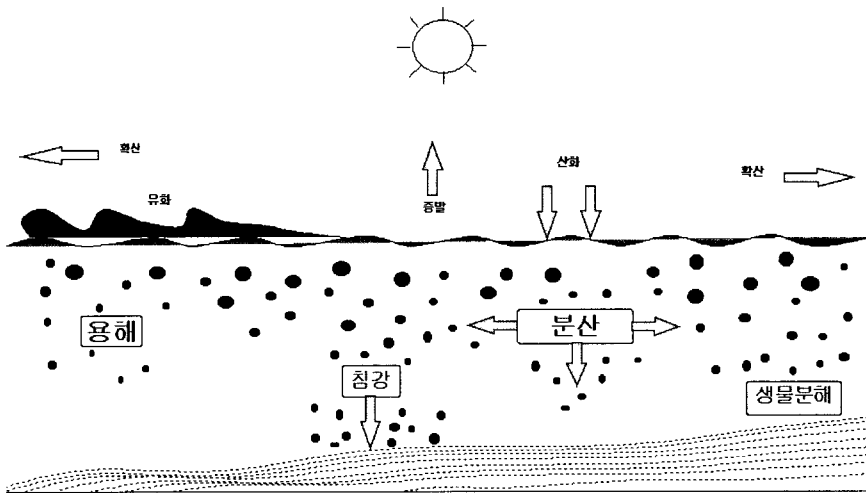


[그림 1] 어류의 양식시설과 바닷새의 오염피해

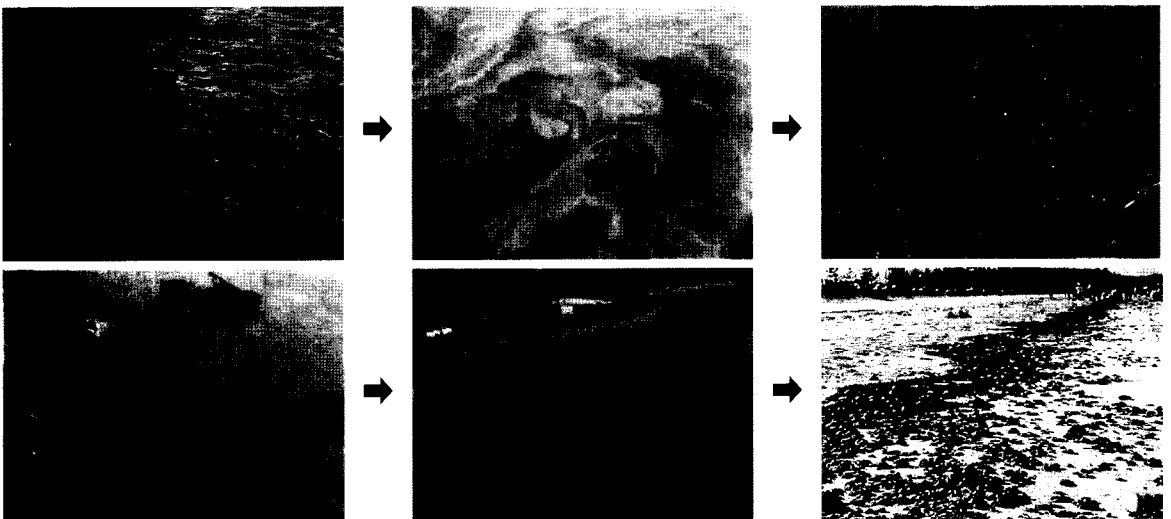
용해는 유출유가 해면에서 분산되고 해수 중에 용해되어 자연적으로 상당량이 손실되며 유출유의 해수 중에서의 용해율과 용해정도는 유류의 조성, 확산상태, 수온, 해상교란 및 분산 상태에 따라 다르다. 원유 중 중질유 성분은 거의 해수에 용해되지 않으며 경질유 성분, 특히 벤젠, 톨루엔 등 방향족 탄화수소류는 일부 해수에 용해된다. 해수 중에 용해

되는 유분은 1 ppm 미만으로 방향족 탄화수소류들이 해양생물에 유해한 영향을 준다.

산화는 탄화수소 분자가 산소와 반응하여 가용성 생성물로 분해되거나 산소와 결합해 지속성의 타르가 되기도 하며 산화반응의 대부분은 햇빛에 의해 촉진되며 유막이 존재하는 한 계속 일어난다. 강한 햇빛 아래에서 기름박막은 하루에 0.1% 정도의 속도



[그림 2] 기름의 풍화과정



[그림 3] 시간경과에 따른 유출의 변화과정



로 산화, 분해가 일어난다.

분산은 유출유의 성상과 해상상태에 따라 크게 좌우되며 유출된 기름이 바다의 상태가 거칠어 파도나 해면교란 등 확산에 의해 형성된 유막 중 일부를 분산시켜 해중에 크고 작은 유적을 만든다. 해중에 부유하는 작은 입자의 유적은 해수와 혼합되면서 표면적이 커져 생물학적 분해 및 침전 등의 과정을 촉진시키게 된다.

침강은 중질 잔사유 중 퇴적물 입자나 유기물이 부착되어 비중이 증가하여 가라앉게 된다. 수심이 낮은 수역에는 부유물질이 많아 기름이 침강하기에 적당한 조건이 되나 대양에서는 동물 플랑크톤이 먹이로서 기름입자를 섭취한 후 이것이 배설물에 섞여 바다 밑에 가라앉기도 하고 모래해안에 표착된 기름이 퇴적물과 섞인 후 바다로 씻겨 들어가게 되면 바닥에 가라앉게 된다.

생물분해는 최소한 90종 이상의 해양 미생물이 신진대사에 필요한 탄소와 에너지원으로 기름을 이용함으로써 기름을 분해 할 수 있다고 알려져 있고 박테리아나 균류(菌類: Fungi), 조류(藻類: Algae)도 포함된다. 이 작용은 탄화수소를 식용으로 사용하는 박테리아나 효소에 의하여 탄화수소가 분해되는 것을 말하며 미생물 증식에 필요한 영양염류는 질소(N), 인(P)이며 외해보다 내륙에서 분해율이 현저히 높다. 기질속에 침투된 기름이나 연안수역의 해변 모래나 진흙에 기름이 섞여 있는 상태에서 만약에 산소가 공급되고 영양성분과 다른 필요조건이 갖추어 진다면 미생물이 생식하여 미생물에 의한기름의 분해 작용이 일어날 수 있다.

유류오염 대응체계

유류오염에 의한 국가의 대응체계, 국가적 유류유출 대비와 대응체계간의 관계를 잘 이해할 필요가 있으며 계획수립을 위한 국제적 접근방법에는 국제산업계의 단계별 대응과 정부차원의 지방, 국가, 지역계획으로 대별되며 기름유출 대응시 전형적인 방제대응 체계는 표 1과 같다.

단계별 대응은 대응수준을 편리하게 구분하고 계획수립에 필요한 실질적 기초를 제공하는 개념으로 받아들여지고 있으며 1단계는 개별시설·항만당국

의 능력으로 처리할 수 있는 소규모 유출에 대한 대비·대응을 하는 것이다. 보통 700 kl 미만의 유출사고가 1단계에 해당되지만 유출상황 및 주변 환경을 고려하여 실질적인 대응수준을 결정한다.

2단계는 유출사고에 대비·대응을 하기 위해 여러 지방의 장비 및 인원을 동원할 필요가 있는 경우에 해당된다. 2단계에서는 항만 내의 여러 기관 또는 지리적으로 인접한 지역으로부터 지원이 가능하고 유출규모의 범위 및 방제시나리오를 준비한다. 3단계는 이용 가능한 모든 국가자원을 동원해야 하는 유출사고의 경우이며 상황에 따라서는 지역적, 국제적 시스템까지 동원할 수 있는 초대형 사고에 해당된다.

정부차원의 계획은 그룹 I 에서는 전체적인 국가대응 체제에 중점을 두고 있다. 국가긴급계획(NCP)이라고 불리는 국가 유류오염 비상계획은 국가대응정책을 구체화시키고 유류유출 대응조직을 구축하는 문서이다. 각국의 필요 및 상황에 따라 계획상의 대응체계는 지역적으로 세분된 일련의 지방계획들로 구성될 수도 있다. 추가적으로 국가긴급계획은 선박계획, 해양시설물계획, 항만계획, 유류 취급시설계획과 국가대응 체계간의 연계성을 확보해야한다. 일반적으로 이러한 계획들의 개발자는 국가 대응체계, 관계기관 및 보고 절차와의 일관성을 유지하기 위한 조직적 구조에 관한 지침을 필요로 한다.

그룹 II 에서는 지역적 대응체제로서 다른 국가들과의 쌍방 또는 다국 간 대응계획 또는 협정으로 구축된다. 각국 정부들에 의한 지중해, 발틱해, 북해와 유엔환경계획(UNEP) 지역해 프로그램에 의한 세계의 8개 지역에 대한 다국 간 계획이 개발되었다. 효과적인 다국 간 및 지역적 체계는 발생빈도가 낮은 대규모 유출사고에 대해 자원의 공동지원 및 효과적인 대응을 가능하게 한다. 한편 통관문제는 국경을

<표 1> 세계의 유류오염 대응체계

단계별 대응	방제 능력	정부차원의 계획
1 단계	지방능력	그룹 I
2 단계	구역능력	
		국가능력
3 단계	다국가 또는 지역능력	그룹 II
	국제적 능력	그룹 III

초월한 유류유출 대응장비 및 요원의 이동으로 지원 체제의 필수적인 요인이다. 어떠한 국가도 최악의 유출사고에 필요한 수준의 장비와 요원을 유지할 수는 없으므로 이러한 유출사고시 방제장비의 신속한 긴급이동 및 간소한 통관절차가 요구된다. 국가긴급 계획에는 기본적인 대응자원의 입국을 촉진시키는 체계를 유지하는데 필요한 법적장치에 관한 지침이 포함 되어야한다. 그룹Ⅲ에서는 지역간 계획·협정 들의 네트워크로서 국제해사기구(IMO) 유류오염 조정센터의 운영 및 다양한 지역협정들의 사무국간 공식, 비공식 관계를 포함한다.

기름의 방제대응 방법

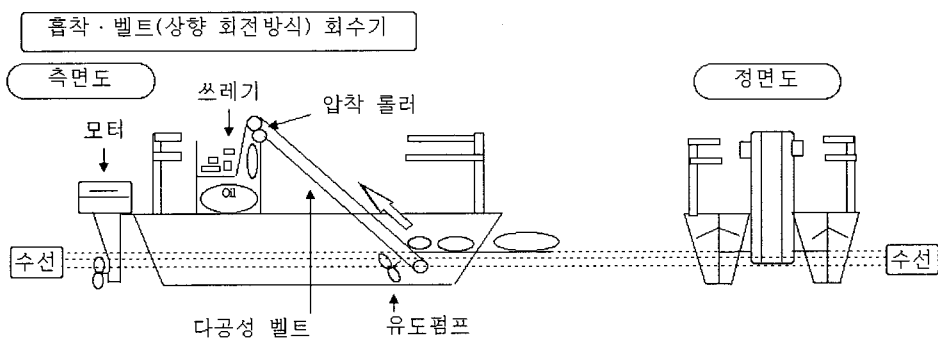
해상 유출유는 시간이 경과함에 따라 풍화과정을 거쳐 기름이 물을 80%까지 흡수하여 부피가 증가하고 유화물 상태로 되어 많은 양의 오염물질을 발생 시킨다. 표류하는 기름은 대략적으로 풍속의 3%, 조류의 100% 영향을 받으므로 이들 합성벡터 방향으로 이동을 하게 되며 해상에 유출된 기름이 확산되어 시간이 경과하게 되면 점도가 높아져 해상에서 기름을 회수 할 수 있는 가능성은 점점 줄어들게 된다. 환경민감지역과 민감한 연안자원을 보호하기 위해서는 사전에 비상계획을 수립하여 우선적으로 보호해야 할 방제우선 순위를 정하여야 한다. 유출사고 해역의 특성, 날씨와 해상조건, 유출량, 기름의 종류, 유막의 두께, 기름의 점도, 운영자의 기술, 회수 기름의 저장능력 등을 고려하여 적합한 장비와

최적의 방제기술을 사용하여야 회수효율을 증가시킬 수 있다.

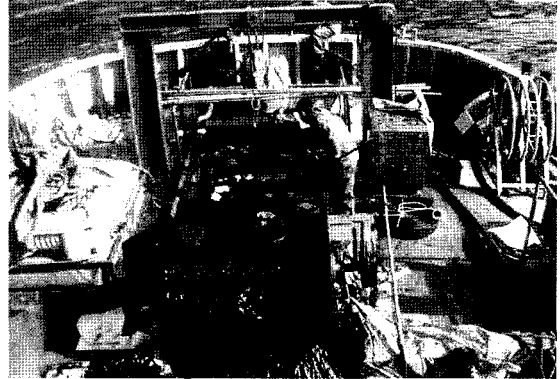
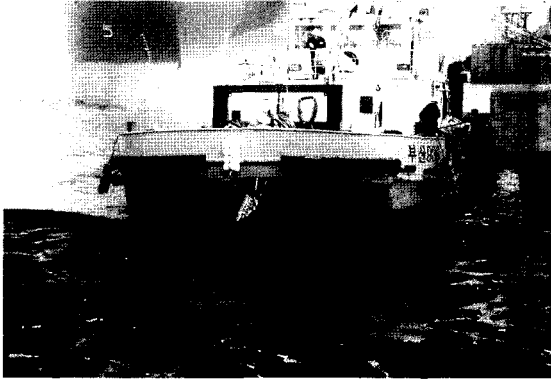
해상에서 발생하는 선박의 기름유출사고에 대응하는 방법을 크게 대별하면 첫째로 물리적인 방법으로 오일붐을 유출상황에 적합한 방법으로 전장하여 유출유를 포집한 후 유회수기를 이용하여 포집된 기름을 회수하고 유층이 얇은 잔유 기름은 유흡착재를 사용하여 흡착회수를 하는 방법이다. 둘째로 화학적인 방법으로 유처리제를 살포하여 유류 입자를 미립자로 분해시켜 해수와 섞이기 쉬운 상태로 되어 자정작용을 촉진시키는 방법과 유막위에 유겔화제를 살포하여 기름을 응고시켜 겔화된 기름을 그물포집형 붐 또는 쌍동선의 흡착식 벨트로 기름을 회수하는 방법이다. 셋째로 생물학적인 방법으로 박테리아(조류, 균류)에 의한 미생물 분해 작용으로 기름을 소멸시키는 방법이다. 넷째로 자연정화 방법으로 유출환경에 따라 파고에너지를 이용하든지 또는 그대로 내버려두는 방법이다. 대부분의 경우에 여러 가지 방제방법을 동시에 사용하고 있는 실정이다.

대표적인 방제선박으로는 방제전용선, 유류저장용 방제부선, 예인·방제겸용선, 청항·방제겸용선, 방제작업·순찰겸용선, 진공식 유회수선, 유류저장바지 및 구난을 할 수 있는 구난선박 등이 있다.

소형 기름 유출사고에는 오일붐을 전장하여 기름의 확산을 방지하고 기름을 포집한 후 유회수기를 투하하여 흡착회수를 하고 있으나 대량의 기름이 유출되었을 경우에는 쌍동선의 흡착벨트 시스템을 이용하여 선박이 전진하면서 흡착회수를 하게 되면 외



[그림 4] 흡착·벨트식 기름회수 선박의 모형도



[그림 5] 사고 현장의 유출유 회수작업 광경

력의 영향과 기름의 점도에 큰 영향을 받지 않고 회수작업을 할 수 있으므로 작업의 효율성과 회수효율을 높일 수 있다. 그림 4는 대형 유출사고 발생시 대량의 유출유를 회수할 수 있는 쌍동선의 기름회수 모형도이고 그림 5는 유출사고 현장에서 쌍동선에 의한 기름의 회수작업 실제 광경이다.

초동방제 작업절차

방제선 및 인력동원 : 기름유출사고 상황 접수 후 선내 방송을 통하여 먼저 본선 직원에게 알리고 전 직원을 비상소집 한다. 지휘자는 유출상황, 해상상태, 방제방법, 방제우선순위 등을 파악하여 방제선을 출동시킨다. 보고체계에 의한 보고 및 필요시 방제선, 인력, 방제기자재, 차량 등을 지원 요청한다.

오일붐 전장 : 현장지휘자는 풍향, 풍속, 파고, 조류의 방향, 유속, 기상상황, 사고규모 등을 고려하여 포위전장(또는 U자형 전장)을 하여 최대한 확산을 방지한다. 오일붐 전장시 주의 할 사항은 조류의 방향을 향하여 유출원과 유출유를 포위할 수 있도록 전장을 하여야 한다. 유출사고 규모, 조석 영향, 유속, 해상상태, 방제작업 소요시간 등을 고려하여 방유벽 보강을 위한 다중전장이 필요하면 2차 전장을 실시한다.

유출유 회수작업 : 유종, 유출량, 점도, 유층 두께, 저장능력, 해상상태 등을 고려하여 현장에 적합한 유회수기를 투하하고 회수작업을 실시한다. 환경민감지역 보호, 양식장과 어장의 피해, 유출유의 침강

등을 고려하여 유처리제의 사용을 지양하고 스크루, 소방포에 의한 분산처리를 실시한다.

잔존유의 처리 : 오일붐에 포집된 유출유의 일정량이 회수되고 유층이 얇아 유회수기에 의한 회수가 어려우면 유흡착재에 의한 흡착회수를 실시하고 무지개색의 잔존유는 소방포에 의한 방산 작업을 실시하여 분산처리 한다.

회수유 및 폐기물 처리 : 유회수탱크에 회수된 회수유는 해양환경사업소의 탱크로리를 이용하여 이송처리하고 회수된 유흡착재는 플라스틱 회수통에 담아 이동시 2차오염이 발생하지 않도록 한다. 모든 기름 묻은 폐기물은 최종처리업자에게 인도하여야 한다.

동원장비의 정리정돈 : 현장 방제작업에 사용된 모든 장비는 유처리제 또는 스팀 세척을 하여 깨끗하게 보관하고 항시 주기적인 점검과 주유 손질을 철저히 하여 재사용이 가능하도록 유지관리를 철저히 하여야 한다.

마무리 : 기름 유출사고에 대한 대응원리는 전 세계적으로 비슷하기 때문에 성공적인 방제를 실현하기 위해서는 첫째로 지속적인 교육과 훈련으로 사고 유형별 방제기법과 방제장비의 운용기술을 습득한다. 둘째로 방제장비의 주기적인 점검으로 항시 사용가능 상태를 유지한다. 셋째로 모의 연습체제에 의한 도상 훈련과 실제훈련을 반복 실시한다. 넷째로 24시간 비상연락 체계를 유지하여 긴급회수팀에 의한 초동대응을 철저히 하게 되면 기름유출사고로 인한 해양환경의 오염피해를 최소화 할 수 있을 것이다. (※)