

졸업논문

유출유 확산과 그 대책



1997년 11월

한국해양대학교 해사대학
해사수송과학부

지 동 진

1. 서론

1967년 3월 영국 남서해상에서 좌초된 TORREY CANY호에 대하여 발생한 대량의 기름 유출 사고는 해양 오염사고에 대한 국제적인 법제도상의 준비를 촉진시키는 계기가 되었다. 제 2차 세계대전 이후 석유의 해상 수송량이 급격히 증가함으로써, 이에 따라 탱커의 선복량이 증가하고, 또한 대형화의 경향이 점고됨에 따라 거대한 탱커의 기름 오염 사고가 우려되어 이에 대한 대책이 검사되기 시작하였을 때, 이와 같은 사고가 발생하였다. 위 사고는 막대한 환경 및 경제적으로 거쳐 다방면에서 손실을 입혔으며, 오염대책에 대하여 발전하게 되었다. 이렇듯 어떠한 사고에 의하여 해양 상에 기름 등의 오염물질이 유출시, 사전에 퍼짐 범위를 예상할 수 있다면, 오염물질 즉 해상유출유의 발생시 오염확대방지 대책을 수립하기가 용이해지고 막대한 손실을 예방할 수 있을 것이다. 어떠한 액체든지 그들이 가진 중력불안정에 의하여 경계면상에 놓여진다면 사방으로 퍼져나갈 것이다.

액체라는 것은 자신이 가진 중력의 포텐셜에너지가 감소하도록 운동하므로 이런 경우에는 중력이 지배적인 구동력이 된다. 액체가 퍼질 때, 그 층은 점점 얇아지면서 포텐셜 에너지가 감소하는 반면 액체 층은 운동에너지를 얻게된다. 시간이 경과하면 액체 층이 매우 얇아져, 운동에너지는 점성소산에너지와 비교하여 무시할 수 있을 만큼 작아진다. 또한 유출유의 퍼짐에 있어 표면장력은 물의 표면에너지가 기름의 표면에너지보다 크기 때문에 기름면적을 크게 함으로써 물이 기름에 그 에너지 차만큼 운동에너지 등에 의한 외부에너지가 유출유의 퍼짐에 중요한 역할을 하는 요소가 된다.

여기서는 어떤 경계면상에 기름덩어리가 유출되었을 시, 중력에 의한 퍼짐의 구동력과 경계 면에서의 점성항력에 의한 반력이 평형을 이루면서 퍼질 때, 유출유전단에서의 유출유의 퍼짐 현상을 예측할 수 있는 간단한 이론(2차원, 1차원)을 전개하고, 이 이론을 정립하였다.

< 기름이란 무엇인가? >

원유는 분자에 탄소원자 4에서 26이 들어있는 탄화수소의 복합체이다. 체인과 같이 계속 연결된 형태로 배열되어 있고 가지 연결 또는 원 연결로 방향체의 조합을 포함한다. (벤젠원을 포함) 어떤 PAH는 발암에 유력한 것으로 알려져 있다. 원유에서 SULPHAR와 vanadium은 기름에서 25%이상 무-탄화수소를 대표하고 있다. 원유의 정확한 성질은 원유마다 다양하다. 북해의 기름은 가벼운데 이를 저 sulphur와 낮은 함량의 타르와 납이 있고, Moray firth와 Shetland서쪽의 발틱 유전의 기름은 매우 많은 납 때문에 pipeline을 통해 퍼올리는 동안 가열이 필요하다. 원유의 성질은 단원유의 활동동안에도 다양하다.

원유는 사용하기전 정제가 필요하다 정제는 기본적으로 증류의 과정인데 다른 끓는 범위에서 자르거나 세분화된다. 그들의 다양한 목적에 의해 다른 재료에 추가되어 진다. 모든 원유의 성분은 박테리아에 의해 분해되고 비율은 변화시키고 발효에변화를 주며 균류는 원유탄화수소 또한 변화시킨다. 조그만 일자형과 가지형 연결은 빠르게 합성분해하고

원형합성은 느리다.

2. 2차원 퍼짐

원주형태의 퍼짐을 가정하고, 축대칭 모델을 고려시 그림1.처럼, 2차원 문제를 반경 $R(t)$ 에 관한 1차원문제를 볼 수 있게된다. 그림에서 Z 는 정수면을 원점으로 하고 위방향이 양(+인 유층의 두께로, $Z(t)$ 는 시각 t 에 있어서의 유층의 두께, r 은 유출유의 중심을 원점으로 하는 유출유의 반경방향으로의 좌표축, R_0 및 Z_0 는 각각 r 및 Z 방향으로의 유출유의 유속을 나타낸다.

유출유의 질량보존칙과 그 시간미분은 식(1) 및 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V = \pi R(t)Z(t) = \pi R_0 Z_0 \dots \dots (1)$$

$$\frac{dz}{dt} = -2 \frac{Z}{R} \frac{dR}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

식(1)의 V 는 유출유의 수면상체적이며, 유출유의 밀도를 ρ_o , 해수의 밀도를 ρ_w , 유출유량을 V_o 로 할 때, $V = V_o(\rho_w - \rho_o)/\rho_w$ 가 된다.

또 유층내부의 속도분포를 과거의 연구결과로서 가정시

$$V_r(r, t) = \alpha \frac{r}{t} \dots \dots \dots (3)$$

$$V_z(z, t) = -2\alpha \frac{z}{t} \dots \dots \dots (4)$$

α 는 임의의 상수이다.

식 (3) 과 (4) 의 유속분포는 연속방정식 (식(5))를 만족시킨다.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(v_r)}{\partial r} + \frac{\partial(v_z)}{\partial z} = 0 \dots \dots \dots (5)$$

2.1. 포텐셜에너지와 그 연구

포텐셜에너지 U 는

$$U = \frac{1}{2} \rho_o g V Z \dots \dots \dots (6)$$

g : 중력가속도
 ρ : 유출유의 밀도

포텐셜에너지의 시간변화율은 식 (6)과 식(2)를 이용하여

$$\frac{dU}{dt} = -\rho g \frac{V^2}{\pi R^3} \frac{dR}{dt} \dots \dots \dots (7)$$

2.2. 저면마찰에 의한 소산일률

저면마찰에 의한 소산일률 W_B 는 난류상태를 가정할 때, 식 (3)을 이용하면

$$\begin{aligned} W_B &= - \int_0^R \tau_r v_r 2\pi r dr \\ &= - \int_0^R \rho f^2 v_r r s \pi r dr \dots \dots \dots (8) \\ &= -2\pi \frac{a^3}{5f^3} \rho f R^5 \end{aligned}$$

f : 마찰계수

식 (3)에서 유출유전단에서의 유속은 $V_r(R, t) = aR/t = dR/dt$ 이며, 이것을 이용하여 식(8)의 임의상수 a를 소거하고, 에너지 보존 방정식 (식(9))을 풀면, 유출유의 퍼짐거리 R(식(10))을 알 수 있다.

$$\frac{du}{dT} - W_B = 0 \dots \dots \dots (9)$$

$$R = \left(\frac{7}{2\pi} \sqrt{\frac{5g}{2f}} V_i + R_o^{\frac{7}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (10)$$

3. 3차원 퍼짐

오일펜스를 넘어가거나 파손된 오일펜스를 빠져나간 물질등의 퍼짐은 축대칭 문제로서 취급하기에는 문제가 있다.

구형상태의 퍼짐을 가정한다면,

x : 유출이 시작되는 원점으로부터 유출유의 퍼짐방향으로의 좌표축

z : 정수면을 원점으로 하고 위방향이 양(+)인 좌표축

X(t), Z(t) : 각각 시각 t에 있어서의 유출의 길이 및 두께

X_o, Z_o 는 각각 초기값인 X(0) 및 Z(0)

u(x,t) 및 u(z,t) 은 각각 x 및 z 방향으로의 유출유의 유속

유출유의 질량보존칙 및 그 시간 미분은 각각

$$\frac{dZ}{dt} = -\frac{Z}{X} \frac{dX}{dt} \quad \dots \dots \dots (11)$$

$$V = X(t)Z(t) = X_0 Z_0 \quad \dots \dots \dots (12)$$

식 (1) 과 마찬가지로 V는 유출유의 수면상체적이며, $V = V_0(\rho_u - \rho_o)/\rho_u$ 가 된다.

유층내부의 속도분포역시 (3) 과 비슷하게

$$u(x, t) = a \frac{x}{t} \quad \dots \dots \dots (13)$$

$$w(z, t) = -a \quad \dots \dots \dots (14)$$

앞에서와 마찬가지로 이 유속분포는 연속방정식을 만족시킨다.

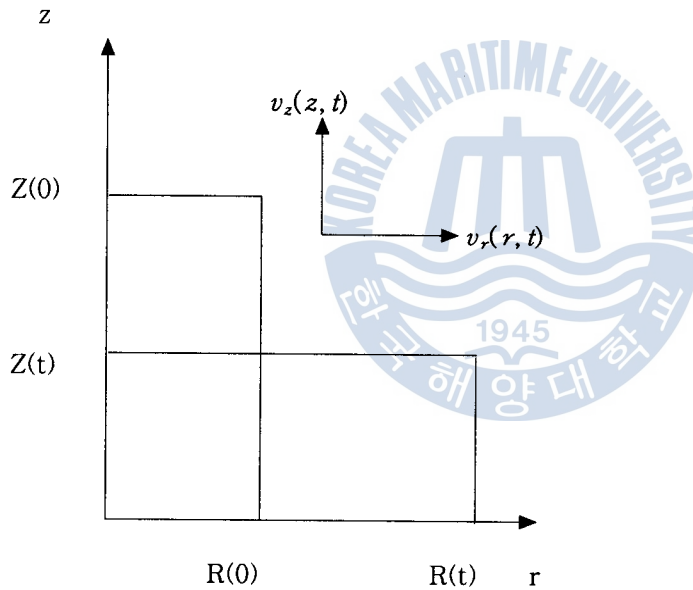


Fig. 1. Coordinate system for axisymmetric model

3.1. 포텐셜에너지와 그 변화율

$$\frac{dU}{dt} = -\frac{1}{2} \rho g \frac{V^2}{X^2} \frac{dX}{dt} \quad \dots \dots \dots (15)$$

3.2. 저면마찰에 의한 소산일률

식 (8) 과 마찬가지로 저면마찰에 의한 소산일률 W_B 는

$$\begin{aligned}
W_B &= - \int_0^x \tau_B u dx \\
&= - \int_0^x \rho_o f u^2 u du \cdots \cdots (16) \\
&= \frac{a^3}{4t^3} \rho_o t X^4
\end{aligned}$$

유출유전단에서의 유속을 이용하여 a 를 소거하고, 에너지 보존방정식 (식(9))을 풀면 유출유의 1차원 퍼짐거리 X 는 다음식과 같이,

$$X = \left(\frac{5}{2} \sqrt{\frac{2g}{f}} V_i + X_o^{\frac{5}{2}} \right)^{\frac{2}{5}} \cdots \cdots (7)$$

유층의 내부 속도를 유출유전단의 거리변화율과 관련시킨 결과와 일치한다.

4. 해상유출유 퍼짐에 관한 대책

위의 이론에서는 포텐셜에너지와 점성소산에너지가 평형을 이룰 때, 유출유 전단에서의 유출유 수평 퍼짐 현상을 예측할 수 있는 간단한 근사이론을 제안하였다. 실제의 해상에 서는 이론과는 차이가 있겠지만 이론을 적용함으로써 이때까지의 유출사고시 막대한 인 원 및 시간, 자금이 소모되었던 것을 보다 효율적이고 체계적으로 사고의 수습을 할 수 있을 것이라 예상한다. 즉, 위의 이론을 적용하여 아래에 서술한 여러 가지 유출시의 처 리 방법을 이용한다면 보다 효과적으로 유출된 기름을 제거하여 막대한 피해를 막을 수 있을 것이다.

해상으로 유입된 기름은 신속히 확산된다. 특히 해상은 어떠한 장벽으로 보호된 지역이 아니므로 바람, 조류, 파도 등으로 인하여 유출된 기름을 회수하는 데에는 많은 비용, 노 력, 위험이 수반되며 때로는 그 작업조차 거의 불가능한 경우도 있다. 기름의 회수율은 대단히 저조한 실정이며, 일단 유출된 기름이 해안지대로 유입하면 그 피해가 막대하게 되므로 여가한 수반을 강구하여서라도 일반 해상에서 기름을 회수하는 것이 최선의 길이라고 보여진다. 유출된 기름을 처리하는 방법들을 간단히 정리하였다.

4.1. 물리적 처리

유출된 기름의 확산을 방지하고 또는 특정 지역에 대한 기름 유입을 방지할 목적으로 현재까지 많은 종류의 오일 붐(OIL BOOM)이 개발되어 있다. 오일 붐은 외양에서 사용 할 목적으로 파고 3~5m의 파도에도 견디어 내는 대형으로부터 하천, 항만 등에 사용하 는 소형에 이르기까지 그 구조는 다양하다. 또한 유출된 기름의 회수를 용이하게 하는 포 원형, 특정 해역에의 기름 회수를 용이하게 하는 것 등 사용 용도에 따라 그 종류도 다양 하다.

OIL BOOM은 다음 4부분으로 구성되어 있다.

1. 부채: OIL BOOM에 부력을 제공한다.
2. 방지벽: 파고나 조류에 의하여 기름이 OIL BOOM을 타고 넘는 것을 방지한다.
3. SKILT: 기름이 OIL BOOM 하부로 빠져 나가는 것을 방지한다.
(하부에 침수를 위한 벨러스트가 부착된다.)
4. 강력제: 설치후 외부로부터의 힘에 견디도록 오일 붐을 응집시킨다.

오일붐의 역할이란 기름을 포획하여 확산질원을 축소시켜서 유층을 두껍게 유지하여 회수를 용이하게 하는 데 있다.

가. 오일붐 사용시 유의사항

① 기름의 흐름을 방지하기 위한 붐의 능력은 주로 수력적인 조건과 SKILT인 방벽의 물리적 효과에 의해 결정된다. 즉 물의 흐름이 너무 빠르면 붐의 SKILT부분이 치켜져 올라오면서 기름은 SKILT하부로 빠져 나갈 것이다. 이때 기름의 흐름 방향이 불과 직각이고 유속이 0.3m/sec 에 달하면 기름은 붐 SKILT하부로 빠져 나가기 시작한다. 이러한 현상은 붐 SKILT하부로부터 저면까지의 수심이 충분할 경우에 나타난다. 그러나 수심이 낮은 곳일 경우, 예를 들어 수심이 물에 잠겨진 붐 SKILT부분의 단지 2배일 경우에는 SKILT 하부로 통과하는 물의 속도는 2배로 증가하게 되어 유속이 0.15m/sec만 되어도 기름은 SKILT하부로 흘러나가게 된다. 따라서 수심이 얇은 곳에서는 소형오일 붐이 효과적일 것이며 붐을 효과적으로 사용하기 위해서는 붐 SKILT 하부로부터 저면까지의 깊이가 적어도 붐흘수 5배는 되어야 한다.

② 오일 붐을 효과적으로 사용하기 위하여서는 붐 흐름의 방향에 대해 일정한 각도를 유지시키면서 설치하여 기름이 해안 쪽이나 물이 천천히 흐르는 곳에 집결되도록 하는 것이 좋다. 실제 사용하는 붐의 총 길이는 여유가 있어야 하며 붐과 물의 흐름 방향과의 각도는 적어도 15 °가 되어야 한다.

③ 바다에서의 국부적으로 발생하는 파도는 간혹 붐을 과도하게 기울게 함으로 써 기름이 붐의 방유벽을 넘어서는 수가 있다. 붐을 실제로 전개하면 조류의 영향을 받아 붐 전방에 많은 양의 기름이 일단 축적된 수 붐 skilt하부를 통하여 빠져 나가므로 스키머에 의하여 기름을 회수하는 방안이 강구되어야 한다.

* 외해에서 기름을 회수할 때

붐 양단에서 예인선과 같은 선박을 이영하여 붐을 예인하면서 붐 가운데에는 틈을 주어 스키머를 설치하여 기름을 분란시킨 후 유조부선에서 기름을 회수한다. 외양에서의 이러한 작업은 각 선박마다 완벽한 통신 시설과 잘 훈련된 작업원이 없이는 그실시가 매우 어렵다고 본다.

4.2. 화학적 확산 방지법(Herding Agents)

4.2.1. 특징

유막 응축제(Herding Agents)는 순수한 액체로서 수면상에서는 기름보다도 더 빠른 속도로 신속히 확산되어 얇은 막을 형성한다. 따라서 이것을 유출된 기름의 외부에 살포하면 유막의 유면을 압축시키면서 면적을 대폭적으로 축소시키고, 또한 기름의 특성에 따라 다소 차이는 있지만 어떤 일정한 두께로 기름을 압축시킨다.

4.2.2. Herding Agents와 Dispersion Agents(분산제)의 구별

분산제도 유막 응축제와 같은 화학제로서 이들 모두 표면 활성제이거나 또는 표면 활성제를 함유하고 있다. 분산제 살포시 초기에는 응축제와 압축 효력이 흡사하나 실제적인 효력의 구분은 수용성에 그 기준을 두고 있다고 볼수 있다. 유막 응축제는 비교적 용해성이 작다는 것에 한계를 두고 있으며 다음과 같은 특성을 갖는다.

(1) 압축된 기름의 유막이 오랫동안 그대로 유지되기 때문에 그 압축효력이 오랫동안 지속될 수 있다.

(2) 어떠한 살포량에서도 살포된 수면하에 대한 해독의 영향이 적으며, 생물학적 산소 요구량(Biological Oxygen Demand)에 대해서도 그 영향력이 적다.

4.2.3. 유막응축제의 사용법

(1)항만내에서 규모가 작은 기름 유출일 경우에는 보트를 이용하여 유출된 기름 조원을 돌면서 수동 또는 원동기를 이용한 살포기로 살포하면 된다. 살포량은 그 당시의 기후 상태나 사용하는 살포기의 성능에 따라 다소 차이가 있겠으나 평온한 해면에서는 1kg 당 8리터 정도로써 충분하다고 한다.

(2) 효과적인 성능을 가진 응축제라면 약 1/4해리의 조류에 대하여 기름을 압축하여 집결시킬수 있으나, 강한 해조류에서는 응축제와 압축된 기름이 함께 조류에 따라 이동하게 된다. 실제적으로 가장 확실한 살포방법으로서는 헬리콥터에 살포제 용기를 적재하고 직경 약 3cm 정도의 튜브를 수면상 5~10m의 높이로 내려서 1km당 50리터 정도의 양을 살포하는 방법을 택하고 있다고 한다. 그런데 이와같이 헬리콥터를 이용하면 기름을 신속히 에워싸며 살포할 수 있고, 또한 넓은 시계로써 유막과 물의 경계를 쉽게 식별할 수 있는 이점이 있다.

(3) 유막 응축제는 탱커의 벽유작업시 유출된 기름의 확산 방지에 유효하다고 한다. 선박과 육상사이의 호스가 파손된 경우에 즉시 펌프작동을 중지한다 하더라도 10~15톤의

기름이 유출하게 된다. 이러한 경우 확산방지책으로서 붐을 전개하여 기름을 포획하려면 시간도 소요되고 유출된 기름도 확산되어 버리므로 이때는 준비된 응축제를 집중적으로 살포하여 기름을 체류시키는 것이 좋다.

(4) 유출된 기름이 해안의 모래 사장, 안벽 등에 접근하여 기름의 흡착을 방지하는 것도 한 방법으로 들 수 있다. 이러한 경우 해상에 살포할 때와 비교하면 다량의 응축제가 필요하게 되며 작통 100 m^2 의 면적에 대하여 6리터 정도를 살포하는 것이 좋다고 한다.

4.2.4. 사용상 유의할 사항

응축제를 사용할 때에는 현장의 풍향, 풍속, 해조류, 유막의 두께 및 오염된 해상 구역의 지리적 여건 등을 감안하여야 한다.

응축제를 사용함에 있어서는 제조자의 지시와 정부의 규정에 따라야 하며, 6시간 동안에 1km당 1리터의 양이 넘지 않도록 하고 24시간 내에는 3회 이하의 살포가 좋다.

응축제의 사용상 유의하여야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 1km당 8리터의 적은 사용량은 해양 환경에 위험을 초래하지는 않는다.

(2) 특별한 응축제의 경우 필요시에는 매 6시간마다의 재살포로써 지속성이 유지될 수 있다.

4.3. 흡착제에 의한 처리(Absorbents)

이것은 기름이 잘 스며드는 물질을 기름이 유출된 표면에 살포하여 여기에 기름을 흡착시킨 후, 인력 또는 기계적 방법으로 이를 수거하여 그 기름을 따내어 회수하거나 혹은 그대로 수거하는 방법이다.

흡착제를 사용하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있는데, 수면에 부상하는 성질을 가진 분말상태의 성질을 기름으로 오염된 지역에 살포함으로써 기름을 흡수시켜 그 이상의 기름 확산을 방지하고 죽이거나 수프와 같은 형태로 만들어 회수하거나 또는 소형의 각목 형태나 수cm정도의 입방체를 만들어 흡착제의 면지도 줄이고 수거를 용이하게 할 수 있다. 또한 각변 50cm, 두께 5cm의 방석 형태로 만들어 취급을 용이하게 할 수도 있고 필요한 경우에는 이들을 로우프에 연결하여 2쌍의 선박으로 예인할 수도 있다.

그러나 이들 물질을 사용함에 있어서는 몇가지 유의하여야 할 점이 있다. 일례로 농경지 부근의 지역에서는 볏짚이나 사탕수수의 줄기가 손쉽게 이용될 수 있으나 중요한 점은 살포하였던 흡수 물질을 반드시 수거하여야 하며 그렇지 않을 경우에는 이것이 또다른 지역을 오염시키는 오염원이 된다는 점을 알아야겠다.

4.3.1. 흡착제의 구비요건

흡착제에는 볏짚, 건초 등의 천연 물질과 석유 화학계 고분자체 및 합성 물질이 있는데 우수한 흡착제이기 위해서는 다음의 요건들을 갖추어야 한다.

(1) 기름 흡착 후에도 물에 침하하지 않을 것.

예를 들면 톱밥이나 면 등은 기름의 흡착성이 좋은 반면 기름이 흡수된 후에는 침강하므로 회수가 곤란하다.

(2) 저밀도일 것.

기름의 흡착 효과는 일반적으로 흡착재의 밀도에 반비례한다고 한다.

(3) 취급이 용이할 것.

유출된 기름 표면에 살포하는 작업과 흡착후의 회수 작업 등 모두가 용이함이 바람직하다. 예를 들어 조그만 조각 또는 분말 형태는 그 회수가 불가능하다.

(4) 독성이 없을 것.

인체나 어패류에 위험을 주어서는 안된다.

(5) 신속히 기름을 흡착할 것.

단시간내에 기름이 접촉됨과 동시에 기름을 흡착할 수 있어야 하며 이들 물질이 다른 곳으로 이탈되지 않도록 하는 것이 바람직하다.

(6) Hydrophobic일 것.

기름만 흡착하는 것이 바람직하다. 실제로는 인공적으로 친유성 물질이 되도록 표면 처리를 하여 사용하고 있다.

4.3.2. 흡착제의 종류

(1) 식물성 흡착제

(가) 벧집, 가마니, 건초, 부대 등

이들 물질은 비교적 널리 분포되어 있어 염가로 구할 수 있으며 흡착 효율도 높은 것으로 알려져 있다. 이들은 주로 표면의 친유성 흡착력으로 인하여 기름을 흡착하며 모선 관 현상에 의한 흡수는 별로 없다. 이들 물질중에서 널리 사용되고 가장 성공적인 효과를 얻는 것은 벧짚으로 보고되어 있으며 그 회수에는 그물망이나 쇠스랑 등이 이용되었다. 그러나 이들은 시간이 경과하면 서서히 물을 흡수하여 침강하므로 신속히 수거하여야 한다.

(나) 대패밥, 톱밥 등

이들 물질 역시 전국 어디에서나 구할 수 있지만 방수처리를 하지 않는 한 물을 흡수하여 침강하므로 양호한 흡착제라 할 수 없으며, 방수 가공도 고가의 비용이 들뿐만 아니라 표면처리를 위해서는 사전에 충분히 건조시켜야 하는 단점이 있다.

(다) 나무 껍질

산림 지역 인근에서는 나무 껍질을 흡착제로 사용할 수가 있다. 그러나 효과적인 사용을 위해서는 사전에 건조시키거나 방수 처리를 해두어야 하고 그물에 넣어 사용하는 것이 효과적이다.

(2) 천연 광산품 및 무기 물질

흡착제로서 유리섬, 표면 처리된 운모, 경석 등이 사용되기도 하는데, 이들은 회수에 많은 어려움이 있어서 우수한 흡착제라고는 할수 없다. 실제로 1969년 1월 미국 캘리포니아주 서해안의 Santa Barbbara만에서 발생한 흡출유 사고에 따른 기름 유출 처리에 사용된 예가 있었는데, 이들을 살포하고 회수하는데 있어서 많은 문제점이 있음이 보고되었다.

(3) 석유 화학계 고분자체 합성 물질

석유 화학계 고분자체에는 기름을 흡수하는 성분이 있으며 Polyurethane, Polyether, Ureaformaldehyde등과 같은 것은 좋은 흡착제로 사용되고 있다.

일반적으로 고분자계 발포형은 흡착성이 좋아서 기름의 점성에 별로 영향을 받지 않으나 쉽게 물을 흡수하는 결점이 있다. 그러나 인공 섬유, 특히 Polypropylene Fibres와 같이 고점도의 기름 흡착성이 있는 반면 물은 쉽게 흡수하지 않고 자중의 15~20배의 기름을 흡착하는 우수한 흡착제도 있다.

4.4. 응고화 처리(Gelling)

흡착 물질을 사용하는 이유중의 하나는 기름을 흡수하여 더 이상의 확산을 방지하고자 하는 것이다. 그런데 만일 기름을 응고 또는 Gel형태로 변화만 시킬 수 있다면 오염 절원의 확산을 방지하고 축소시킬 수도 있을 것이다. 이러한 응고 방법의 예로는 페인트를 이용할 때 페인트가 줄줄 흐르지 않도록 하거나 도는 국방목적으로 사용하는 연료를 연체로 만들어 편리하게 사용할 수 있도록 Gel화 하는 것 등이 있다.

따라서 유출된 기름을 Gel화하는 방법이 개발된다면 첫째로 해면에 표류하고 있는 기름을 Gel화 함으로써 확산을 방지할 수 있고, 두 번째로 탱커의 화물 탱크가 파손되어 기름 유출이 발생하였을 때 신속하게 탱크 속의 기름을 Gel화 함으로써 유출을 방지할 수 있을 것이다.

일반적으로 Gel형태로 만들자면 적당한 양의 화공품을 첨가하고 충분한 에너지를 가하여 잘 섞어 줄 경우에만 소기의 성과를 얻을 수 있는데, 이러한 까닭으로 유출된 기름의 Gel화 방법이 성공적으로 개발되지 못하고 있는 것이다.

이와 같이 Gel화의 문제는 화공품과 기름을 잘 섞어 줄 수 있는 에너지의 공급 문제 등 많은 어려움이 있어서 지금에 이르러서도 효과적인 방법이 되지 못하고 있다.

4.5. 기계적인 장치로 기름을 회수하는 방법

해상으로 유출된 기름을 처리하는데에는 기계적인 방법에 의한 회수 및 연소, 침강, 분산, 처리 등 다양한 방법이 있는데 각기 그 나름대로의 장단점이 있다.

4.5.1. SKIMMER

수면에서 부유하고 있는 기름을 물리적인 방법으로 건져내는 것을 Skimming이라고 한다. 이 경우 유층이 얇아지면 기름의 회수 능률이 저하되며 파도가 있는 해면에서는 물의 흡입률이 높아지므로 회수효율이 자연히 저하된다는 문제점이 있다.

해상에서 스킨머를 사용할 때 그 효력에 영향을 미치는 요소는 파도의 높이이다. 한편 외양에서는 스웰도 또한 중요한 요소가 된다. 즉 폭이 넓고 긴 스웰에서는 단지 경사 만으로 해면을 유지할 수 있는 소형 스킨머가 영향을 작게 받을 것이며 스웰의 길이보다 대형인 스킨머의 경우 스웰이 있는 곳에서는 적절한 해면을 유지시킬 수 없는 것이다. 따라서 이들 스킨머가 해상에서 효과적인 성능을 발탁하기 위해서는 파도와 스웰에 포함되는 찌수와 관성 모멘트를 갖추어야 한다.

4.5.2 스킨머의 종류

현재까지 소개되어 온 스킨머의 장치로는 수십종에 이르고 있으나 막상 실제 사용 단계에 있는 것은 불과 10여종 뿐이다. 이러한 기구들은 기름과 물의 비중, 고체로서의 부착력, 다공 물질을 통한 흡수력등을 이용하여 고안된 것들이 있다.

(1) 흡착방법

이 그룹의 것은 고체면에 기름이 흡착되도록 만들어진 용기로서 드럼통과 같은 원통형태에 비침수성의 금속이나 합성 플라스틱 물체로 된 Scrapper판을 장치한 후 이를 수면에 회전시키면서 기름을 회수하는 장치이다. 이 흡착방식의 회수율은 해면의 유층막이 얇을 경우 저하된다.

그런데 본기구의 기름 회수율을 높이기 위해서는 금속제의 다층 회전판에 기름이 흡착되는 것을 이용한 것이므로 기름 회수와 더불어 상당한 양의 물이 회수되고 있으며 일반적으로 통이 빨리 회전하면 할수록 회수되는 물의 양도 증가하게 된다. 따라서 실제로 기름의 회수율을 높이기 위해서는 스킨머내부로 지속적인 기름의 공급이 이루어져야 하기 때문에 오일붐과 주용 되어야 할 것이다.

한편 일반적으로 기름의 점도가 높으면 기구에 기름이 엉겨 붙는 경향이 있으며 또 너무 묽으면 기구가 회전할 때 기름이 접착판으로 유입되는 것보다 밖으로 튀어나가는 경우가 많게 된다. 따라서 점도가 높으면 흡착면으로부터 기름이 이탈되지 않아 기름의 회수율이 좋아지는 반면 기구 내부로 유입되는 기름의 공급률이 좋아지는 반면 기구 내부로 유입되는 기름의 공급률은 저하된다. 점도가 높은 기름은 접착면으로부터 쉽게 떨어지지 않기 때문에 묽은 기름과 같이 유동성이 큰 기름보다 회수율이 높다. 그러나 해면에서는 점도가 높을수록 상대적으로 기름을 회수하는 속도는 낮아진다. 또한 일반적인 상태에서 이들 스킨머는 물과 기름이 부화된 상태의 기름까지 회수할 수 있도록 하고 있으며 현재 생산되고 있는 스킨머는 80%의 물이 완전히 내포된 Chocolat Mousse상태로 부화된 기름까지 회수할 수 있는 성능을 가지고 있다. 그런데 이들 부화된 기름은

Non-Newton유동 액체로서 원유와 같이 쉽게 스키머 쪽으로 이동되지 않으며 또한 쉽게 pumping되지도 않는다.

(2) 연결 벨트 형

연결 벨트형은 해면과 기름 수거 장소간에 운반기 역할을 하는 연속된 벨트를 설치하여 이 벨트로 하여금 기름을 이동시켜 수거하고 물을 배출하도록 되어있는 장치이다.

(3) 원심 분산장치

이 방법은 우유로부터 크림을 분리하는 원리에서 발전한 것이다. 즉 수면에 과류가 발생하면 과류의 중심 수위가 낮아지는 현상을 이용하여 기름이 더있는 수면에 과류를 발생케 하여 그 중심으로 기름을 인도하고 그곳 유층이 충분한 두께가 되었을 때 그 기름을 펌프로 빨아 올리는 방식이다.

(4) 유수 흡입방식

이는 수면에 부유하고 있는 기름과 물 사이에 특별한 방식의 분리 벽을 장치하여 이 분리 벽을 넘어 흘러 들어오는 기름만을 펌프로 퍼내는 방식을 발한다.

(5) 유수 분류 방식

이것은 고정 경사판 또는 경사 회전 벨트 등으로 해면의 기름을 부근의 물과 함께 회수선 하부의 개원된 장소로 인도하여 기름과 물의 비중 성을 이용하여 분리 하는 방식이다.

4.6. 유출된 기름의 침강처리(OIL SINKING)

이는 수면으로부터 기름을 제거하기 위해 개발된 방법의 하나로서 유출된 기름을 해저로 침강시키는 방법을 말한다.

여기에 사용되는 침강제는 분말 상태의 특별한 건조점토나 표면처리된 모래, 기타 광물 입자로 구성되어 있는데 침강제에 기름이 체류하는 비율은 입자의 표면적에 거의 비례하여 증대하기 때문에 다공성의 성질이 많이 개발되고 있다. 그리고 침강제의 처리 비율은 그 재료에 따라 다르게 나타나는 바 각기 종류에 따라 자기 중량의 0.4배에서 1.5배까지의 기름을 흡착하여 침강시킬 수 있다고 한다. 그런데 이 처리 효율을 좌우하는 것은 침강제의 물 흡수율이다. 예컨대 모래를 표면 처리하여 기름의 흡착력을 높이면 아울러 물도 잘 흡착하게 되는데 여기에다 기름만 흡착되도록 하면 효과적인 침강제가 된다.

침강제를 사용할 때에는 다음의 문제점을 고찰해야 할 것이다.

- 1) 해저 식물과 동물에 미치는 기름의 영향
- 2) 박테리아에 의한 기름의 변질로부터 발생하는 장기적인 영향
- 3) 해저에 침강된 기름의 이동이 해중 생물에 미치는 영향

또한 강한 조류가 있는 수역에서 침강제를 사용하여 기름을 침강시키고 나면 그기름은

해저에서 이동한다고 한다. 따라서 해상에 떠있는 기름을 제거하기 위해 해저로 침강시킨 것이 수주후에 조류작용에 의하여 해안으로 이동하여 온다면 이때까지의 기름 처리 작업은 그 효과가 전혀 없는 것이라 하겠다. 실험에 따르면 해저로부터 1m지점에서 측정된 유속이 매초 약 0.17m를 넘을 경우 기름은 조류 속도의 1/3정도 속도로 이동한다고 한다.

그러므로 결국 침강제를 사용할 후 있는 곳이라 어장이나 어류, 패류의 생식장소 혹은 양식장으로부터 멀리 떨어진 외양으로서 수심도 상당히 깊고, 침강된 기름이 해저 조류에 의하여 생물학상 중요한 수역으로 이동될 수 없는 곳이어야만 한다.

4.7 유출된 기름의 분사처리(OIL SLICKS DISPERSION)

기름의 분사처리라 함은 표면 활성제를 사용하여 유출된 기름을 미세한 방울로 분해함으로써 기름을 넓은 범위로 분사시킨 후 해중에 있는 박테리아가 이를 분해해 주기를 기다리는 방법이다. 그러므로 처리 작업을 한 직후에는 기름이 넓어지는 것처럼 보이나 실제로는 기름이 넓어진 상태로 상당기간 남아있게 되므로 분사된 기름과 분사제는 완전히 분해되어 없어질 때까지 상당기간동안 해중 생물에 유해한 영향을 주게 된다.

한편 분사처리에는 두가지 작업이 필요하다. 곧 분사제를 표류하고 있는 기름에 균일하게 살포하는 작업과 기름이 미립화되도록 분산제가 묻은 기름과 해수의 표층부위를 혼합하는 작업이다. 혼합작업을 하면 대량의 해수에 미립자가 분사되는데 이들은 재결합되지도 않을 뿐 아니라 이들 미립자가 해면으로 상승하기까지는 상당한 시간이 걸리는 까닭에 응집되어 다시 유막을 형성한다는 것은 극히 드문일이다.

4.7.1 분산 처리의 효과

해상에 기름이 유출된 경우 이것을 처리하는 가장 바람직한 방법을 오일 붐으로 기름을 포위한 뒤 스키머나 흡착제를 사용하여 해면으로부터 물리적으로 기름을 회수하는 것이라 하겠다. 그러나 현재까지 개발되어 있는 처리 기술로는 외양과 같이 강한 조류가 있고 풍파가 심한 곳에서는 소기의 효과를 거둘 수 없으므로 다른 처리 방법을 모색하지 않을 수 없다. 따라서 분산처리 방법은 작업이 간단하고 신속할 뿐만 아니라 파도가 있는 곳에서도 지장이 없으며 분산제 처리에도 복잡한 기기가 필요하지 않은 까닭에 많은 문제점이 있음에도 불구하고 미국을 제외한 여러지역에서 많이 채택되고 있다.

4.7.2 분산제 (OIL DISPERSION AGENTS)

기름 유출사고가 발생될 경우 가장 많이 이용되는 것이 분산제로서 이는 대부분 염화수소용제로 되어 있다. 그런데 이러한 분산제는 독성이 강하고 인화점이 낮으므로 취급상 주의할 요한다. 따라서 이와 같은 독성문제 때문에 처리효율은 떨어지지 않고 단지 저독성인 분산제를 개발하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.

그러나 분산 효과와 독성은 일반적으로 비례하고 있기 때문에 아직까지는 독성을 완전히 제거한 분산제가 개발되지 않고 있다. 그리고 염화수소계 용제속에 포함된 방향족 성질이 많으면 해양 생태계에 미치는 독성이 크기 때문에 최근에는 방향적 염화수소를 3% 이하로 억제하지 않으면 시판할 수 없도록 하는 경우도 있다.

4.7.3 분산제의 사용 방법

분산제는 보통 강한 침투력이 없기 때문에 단지 살포하는 것만으로는 분산제가 유층내에 침투하기가 어렵다. 따라서 분산 효과를 올리기 위해서는 살포후 유층을 흔들어 얹어 분산제와 기름이 잘 혼합할 수 있도록 해야 한다.

기름은 그 종류에 따라 각각 상이한 특성을 갖고 있다. 즉 중유는 점도가 높아 해상에서 용어리를 형성하는 경우가 있으며 경유는 운반성이 강하고 확산 속도도 빨라 오염 문제보다도 화재 위험이 문제시될 수 있다.

일반적으로 분산제는 화재의 위험 때문에 경질유에는 적당하지 않으나 다만 지역 상황에 따라서는 사용될 수도 있다. 그리고 왁스 성분을 갖고 있는 기름을 처리할 때에는 물리적인 방법으로 기름을 소거한 후에 분산제를 사용하는 것이 효과적이다.

4.8 기름의 소각 처리

이것은 해상에 유출된 기름을 회수하지 않고 그대로 소각 함으로써 처리하는 방법이다. 이 경우 완전히 소각시킬 수만 있다면 시간이나 노력의 낭비없이 대량의 기름을 단시간 내에 처리할 수 있으며 해양 생태계에 전혀 영향을 미치지 않기 때문에 아주 효과적이라 하겠다.

그러나 실제 소각작업을 하는데 있어서는 그 장소가 문제가 된다. 즉 육지 가까운 곳이나 선박 교통이 빈번한 곳 또는 어로가 성행하는 곳에는 이 작업을 할 수 없기 때문에 실제로 소각방법에 의해 기름을 처리할 수 있는 곳이란 극히 제한되어 있다.

또한 비록 기름이 가연성 액체이기는 하지만 해면을 표류하는 기름에 착화시킨다는 것은 말할 나위없이 어려운 일이며 더구나 이를 지속적으로 연소시킨다는 것은 더더욱 어려운 일이라 하겠다.

특히 원유처럼 점성이 낮은 기름은 급속히 확산하기 때문에 연소시키고자 하는 유층의 두께가 매우 얇아지게 되며 기름 하부의 물은 냉각 작용을 함으로써 연소를 방해하게 된다. 그런데 유층이 점점 얇아지면 이에 따라 기름의 표면적도 자연히 넓어지면서 휘발성분은 급속히 증발해 버린다. 따라서 유조선으로부터 기름이 유출될 당시 유층이 두껍고 휘발성이 남아 있을 때에 점화하지 않으면 기름을 소각한다는 것은 불가능하다고 본다. 이러한 까닭으로 유출된 기름의 소각 처리에는 예외 없이 어떤 형태든 연소 촉진제를 사용하고 있으며 착화시에는 수소계 또는 발화제,조연제를 사용한다.

5. 결론

앞에서 서술한 바와같이 기름이 유출되었을 때의 유출유의 수평퍼짐 현상을 간단히 예측하였다. 그러나 조류의 영향등 외력이 실제로는 많이 존재하므로 위에서 정립한 이론과는 어느정도의 차이가 있다고 볼 수 있겠다. 그리고 실제의 장에서는 유출량이 실험의 경우보다 상당히 커지므로 중력과 부력의 영향력도 상당히 차이가 있을 것이다. 유출사고가 있을시 이 모든요소들에 대하여 상관관계를 가지고 고찰하여야 한다. 그리고 시간과 장소에 알맞은 유출처리방법을 도입함으로써 효율적인 처리를 행함과 동시에 광범위한 사고를 막는 것이 무엇보다도 중요하다고 하겠다. 그러나 무엇보다도 유출유가 발생하지 않도록

각별히 신경을 기울여야 하는 것이 중요하다.

끝으로 이 논문을 지도해주신 김창제 교수님에게 감사드립니다.

◎ 참고 문헌 ◎

1. 김석기 편저, 한국해운항만정보센터, 기름 유출에 의한 해양오염의 대책과 처리, 1982
2. 일본조선연구협회, 해상에 있어서의 시뮬레이션 방법의 확립에 관한 연구(확산시험), 제 10기준연 구부회조사연구보고서, 1979
3. Buckmaster J. , Viscous-gravity spreading of an oil slick, J. of Fluid Mech., Vol. 59, 1973. PP481-491
4. 도정유, 해면상에 있어서의 유출유확산과정의 해석, 일본조선학회논문집, 제 147호, 1980, pp128-135

