한국해양환경공학회지
Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol. 9, No. 1. pp. 45-54, February 2006

오일펜스 전개장치 개발에 관한 실험적 연구

장덕종[1,†] · 나선철[2]
[1]여수대학교 해양경찰학과
[2]한국해양오염방제조합 여수지부

An Experimental Study on Development of the Opening Apparatus for Oil Boom

Duck-Jong Jang[1,†] and Sun-Chol Na[2]

[1]Department of Maritime Police Science, Yosu National University, San 96-1 Dundeok-dong, Yeosu, Jeonnam 550-749, Korea
[2]Branches of Yeosu, Korea Marine Pollution Response Corporation, 1052 Gongwha-dong, Yeosu, Jeonnam 550-020, Korea

요 약

오일펜스에 전개 장치를 부착하여 1척의 선박이 오일펜스를 예인전장할 수 있는 방안을 실험을 통해 검토한 것으로, 실험에 사용된 전개장치의 형태와 규모는 오일펜스에 미치는 예인 저항을 측정한 결과와 선박에 설치된 오일펜스 윈치 드럼의 크기를 고려하여 설계하였다. 전개장치의 성능 조사를 위한 현장 실험은 B형과 C형 오일펜스를 대상으로 계산 값의 약 91%와 75% 수준인 3.0 m^2와 6.0 m^2 규모의 전개 장치를 제작하여 수행하였다. 그 결과, 2척의 선박을 예인하였을 때, 예인 속도(v) 변화에 따른 B형 오일펜스의 장력 값, T(kg)는 양 선박간의 거리가 100 m와 50 m일 경우 $T=920\,v^{1.1}$, $T=500v^{0.9}$ 로 나타났으며, 이를 근거로 계산된 B형 및 C형 오일펜스용 전개 장치 하나의 규모는 3.3 m^2와 8.0 m^2였다. B형 및 C형 오일펜스 양끝에 전개 장치와 예인줄 200 m를 부착하여 예인전장하였을 때 오일펜스 개구부의 최고 폭은 예인 속도 1.5 kt에서 평균 약 114 m와 95 m(개구부 폭/오일펜스 전체 길이: 33%와 57%)를 나타내 전개장치가 유출유를 충분히 포집할 수 있는 전개 성능을 보인 것으로 평가되었다. 그러나 예인줄 길이 변화에 따른 오일펜스 개구부 폭의 증가율은 예인줄 길이가 50 m에서 100 m로 늘어났을 때 약 31%와 40%정도로 크게 높아지지만, 예인줄이 100 m에서 150 m, 200 m로 길어질수록 증가율이 크게 둔화되어 100 m내외로 예인줄을 유지하는 것이 합리적이라고 판단된다. 또한 예인 속도가 1.5 kt 이상일 경우 모든 오일펜스에서 전개 성능이 저하되어 개구부 폭이 감소하였고, 오일펜스 일부분이 침강하거나 월파, 스커트 날림 현상 등 오일펜스의 전장 형상이 불안정해져 전개 장치 운용에 합리적인 예인 속도는 1.5 kt 이내로 볼 수 있다.

Abstract – The study was to review methods by which a ship can unfold and tow an oil boom by attaching the opening apparatus to an oil boom through experiments. The shape and dimension of the opening apparatus were designed with the measurement value of the towing tension load of the oil boom and the dimension of winch drum of the oil boom installed in the ship considered. For the field experiment to identify the performance of the opening apparatus, opening apparatuses were prepared to have the dimension of 3.0 m^2 and 6.0 m^2 which is 91% and 75% of the calculation value for type B and C respectively. As a result, T(kg), the value of tension in type B oil boom according to the towing speed (v) change when two ships are towed together were proved to be $T=920v^{1.1}$ and $T=500v^{0.9}$ in case the distance is 100 m and 50 m. Based on the result, the dimension of the opening apparatus for type B and C oil boom was calculated as 3.3 m^2 and 8.0 m^2 respectively. When unfolding and towing by attaching the opening apparatus and 200 m of towing line at both ends of type B and type C oil boom, the maximum width of the opening apparatus was shown as 114 m and 95 m in average(width of opening/total length of oil boom: 33% and 57%) in the towing speed of 1.5 kt. It was evaluated that the opening apparatus could concentrate the spilled oil in a good performance. However as far as the increase rate of oil boom opening width according to the length of the towing line is debatable, the increase

†Corresponding author: jdj@yosu.ac.kr

rate is remarkably reduced when it is lengthened from 100 m to 150 m and to 200 m although it showed extreme increase of 31% and 40% when the length of the towing line was changed from 50 m to 100 m. Therefore, it is inferred that the towing line should be maintained more or less 100 m to get good spread efficiency of the opening apparatus. Additionally, if the towing speed is faster than 1.5 kt, the opening width was narrowed because of the reduced spread efficiency and the shape of the oil boom can be unstable because of the partial sinking of the oil boom, run over waves, or flap of skirt. Thus the reasonable towing speed can be within 1.5 kt for the operation of the opening apparatus.

Keywords: Oil boom(오일펜스), Opening Apparatus(전개장치), Unfold and Tow(예인전장), Run over Waves (월파), Spilled oil(유출유)

1. 서 론

해상에서 기름 유출에 의한 오염 사고 발생시 오일펜스를 설치하는 가장 일반적인 방법은 2척의 선박이 서로 공조하여 오일펜스를 전장하고 운용하는 것이다. 즉, 오일펜스를 적재하고 있는 선박과 다른 1척의 선박이 협조하여 유출유를 오일펜스로 둘러친 후 유출유가 확산되는 반대 방향으로 양 선박을 미속으로 조종하여 오일펜스가 최종적으로 U자형이 되도록 함으로써 유출유의 확산을 차단포집하게 된다. 이때, 기름을 포집하는 오일펜스의 용적은 선박간의 거리에 따라 결정되기 때문에 유출된 기름을 충분히 차단할 수 있도록 양 선박의 거리를 조종하는 것이 중요하다(ITOPF [1981; [1983]; KME [1987]; Clark [2001]). 또한, 조류나 바람의 영향으로 오일펜스나 선박이 떠밀리는 것을 방지하기 위해 양 선박은 미속으로 전진하여야 하는데, 과도한 속도로 오일펜스를 예인할 경우 포집된 기름이 오일펜스 상하부를 타고 넘어가는 경우가 발생하기 때문에 예인 속도를 적절히 조절하여야 한다(Yu *et al.* [1999]; KMPRC [2000]). 그러나, 다양한 변수가 존재하는 해상에서 2척의 선박을 조종하여 제기능을 발휘하도록 오일펜스를 제어하기란, 조종 성능이나 기관 마력, 선체 크기 등 주요 제원이 동일한 선박이 아니고서는 쉽지 않는 일이다. 더욱이 오일펜스를 전장하는 2척의 선박 외에도 포집된 유출유를 회수하는 유회수기 운용 선박 및 유출유 저장 선박 등 다수의 선박이 함께 공조하여 방제작업이 이루어지기 때문에(KMPA [1999]; CONCAWE [1981]; [1983]) 선박간의 충돌 사고의 위험성이 상존하고 동원되는 다수의 선박운용에 따른 방제 작업 경비가 증대되는 문제점이 있다. 지금까지 오일펜스에 관한 연구는 형태나 본체의 구성 재질에 대한 성능 평가([Yu *et al*, 1999; 2000])와 조류나 파랑에 대한 오일펜스의 포집 성능 변화(Lee and Kang [1998]) 등 주로 오일펜스 성능에 관한 연구가 주로 수행되어 왔으며, 1척의 선박으로 오일펜스를 효과적으로 운용하기 위한 조사나 연구는 이루어지지 않은 실정이다.

본 연구는 2척의 선박을 이용하여 오일펜스를 운용하는 종래 방식에서 나타나는 문제점들, 즉 선박간 공조체계상에서 오는 각종 제어오류 및 선박간의 충돌위험 등의 문제점들을 개선하고 방제비용을 절감하고자 유체의 흐름에 따른 압력을 이용한 전개 장치를 적용하여 1척의 선박만으로도 오일펜스를 전장운용할 수 있는 방안을 검토한 것으로, 현행 오일펜스에 미치는 예인 저항을 측정한 후 그에 적합한 전개 장치의 형태 및 규모를 설계제작하여 해상에서 그 가능성을 검증하였다.

2. 재료 및 방법

오일펜스를 이용하여 유출유를 차단포집하기 위해서는 오일펜스 입구인 개구부 폭을 얼마나 적절히 유지하느냐가 중요한 요소인데, 보통 2척의 선박을 이용할 경우 오일펜스 개구부 폭은 양 선박의 거리에 따라 결정되는 반면, 단순히 한 척의 선박으로 오일펜스를 예인할 경우 오일펜스 개구부 폭은 선폭을 벗어나기 어렵다. 그러므로 1척의 선박으로 오일펜스를 운용하기 위해서는 오일펜스 입구의 폭이 일정한 규모로 유지되게 하는 전개 장치가 필히 수반되어야 하며, 이러한 장치는 오일펜스의 수중 장력을 충분히 극복하면서 유출유의 차단포집이 가능할 정도로 개구부 거리를 유지할 수 있는 전개력을 발휘하여야 한다.

이와 같은 전개 장치의 전개력은 오일펜스 전체의 수중 장력을 파악함으로써 구할 수 있는데, 본 연구에서는 현재 일반적으로 운용되고 있는 2척식 U형 예인전장방식을 통해 오일펜스의 장력을

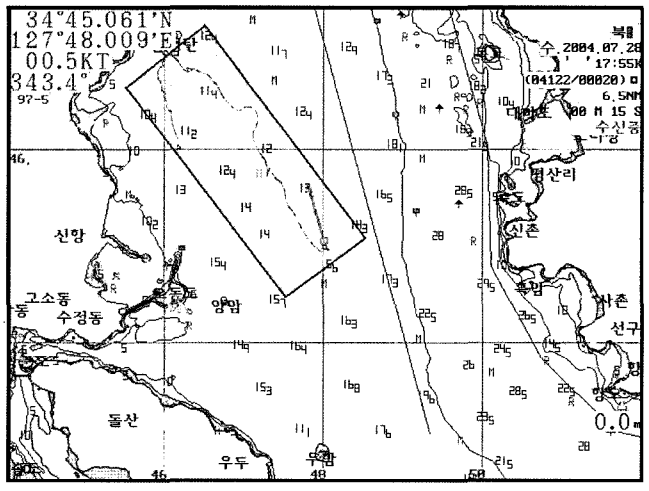


Fig. 1. The place of experiment at sea(■).

Table 1. *Dimensions of experimental ships*

Name of ship	Jeonnam 939	Hwankyung 2	Bangje 5	Chungjung 6
G/T	149	22	10	4.37
Length(m)	29.86	20.69	12.29	11.76
Breadth(m)	10.6	4.0	4.42	2.4
Draft(m)	3.4	1.9	1.17	1.15
Stern width(m)	10.0	4.0	4.40	2.4
HP	1440×2	315	350	300
Material	Steel	Steel	Aluminium	FRP

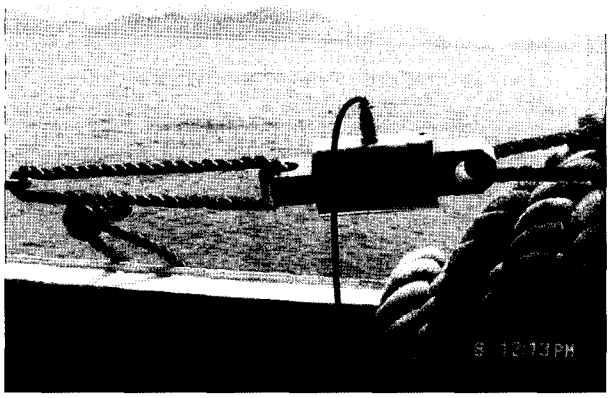


Fig. 2. Load cell for measured towing tension load of oil boom.

측정함으로써 전개 장치의 필요 전개력을 구하였다. 오일펜스의 장력 측정은 Table 1의 환경 2호와 방제 5호 등 2척의 선박을 이용하였으며, Fig. 2와 같이 자기 기록식(JHLT-3T)를 선미 비트에 고정하고 여기에 50 m 길이의 오일펜스 예인줄(ϕ22, PP rope)을 부착하여 예인전장시 예인줄에 발생하는 장력을 30초 간격으로 기록되도록 하였다.

또한, 실험에 사용한 오일펜스는 중간 규모로 분류되고 있는 Table 2의 B형 오일펜스를 이용하였으며, 오일펜스 개구부 폭이 50 m와 100 m가 되도록 양 선박간의 예인 거리를 조정한 후 예인 속도 변화에 따른 장력 값의 변동을 측정함으로써 전개 장치의 필요 전개력을 구하였다. 이후 도출된 전개 장치의 전개력을 바탕으로 전개 장치의 규모를 계산하고, 현장에서 이용하는데 편이성을 함께 고려하여 전개 장치를 설계제작하였으며, 규모가 큰 오일펜스에 적용 가능성을 조사하고자 외해용으로 분류되고 있는 C형 오일펜스용 전개 장치를 함께 제작하여 Table 1의 전남 939호 선박에 장착된 C형 오일펜스와 환경 2호에 장착된 B형 오일펜스를 이용하여 해상에서 그 성능을 파악하였다.

전개 장치의 해상 성능 실험은 오일펜스 양 끝단에 연결줄(ϕ9, wire rope, 10 m)을 부착한 후 전개 장치를 연결하여 선박과 전개 장치간의 예인줄(ϕ22, PP rope) 길이를 50 m, 100 m, 150 m, 200 m로 부여하고, 예인 속도를 0.5 kt, 1.0 kt, 1.5 kt, 2.0 kt, 2.5 kt까지 증대시키면서 오일펜스 개구부 거리를 측정하여 파악하였다. 이때 예인 속력과 예인줄 길이 변화에 따른 오일펜스 개구부 폭의 변동은 볼 마우스 자동인식 거리 측정 기능을 보유한 Table 1의 환경 5호의 레이다를 이용하여 측정하였고, 선박의 예인 속도 및 예인 거리는 영상 및 데이터의 자동 저장이 가능한 DGPS enc plotter(DSF-3000LA, samyoung, 오차±3 m)와 Table 1의 전남 939호 DGPS(Hae yang ele. aqua series) 자료를 보정하여 파악하였다. 이때, 실험 해역의 유속은 Table 1의 청정 2호를 조사 해역에 묘박고정한 후 수심 3 m 수층의 유속을 측정하였으며(ACM 100D, Alec Elec. Co.), 모든 측정값은 유속 0.2 kt(10.3 cm/sec)이하에서 측정된 자료만을 비교하였다. 2척식 U형 오일펜스 예인 전장에 따른 오일펜스 장력측정과 본 연구에서 고안한 단선용 오일펜스 전개 장치의 전개 성능 실험은 2004년 5월부터 2004년 7월 사이에 Fig. 1의 전남 여수시 여수항 항계외 A, B 묘지에서 실시하였으며,

Table 2. Dimensions of experimental oil booms

Type of oil boom	B Type (Air inflatable type)	C Type (self expanded spring ype)	Others
Total length(m)	200	300	
Height(m)	1.00	1.50	
Freeboard(m)	0.4	0.6	
Draft(m)	0.6	0.9	
Buoyancy(kg/m)	133	180	※ Skirt×Total length B Type: 120 m^2 C Type: 270 m^2
Weight(kg/m)	7.0	12.7	
Material	Thermo polyester urethane	Poly-urethane	
Ballast	Galvanized chain	Galvanized chain	
Model	TIGER 1500	HI SEAS 600	
Manufacture co.	TIGER Co.	KEPNER(USA)	

해상 실험에 사용한 선박과 오일펜스는 해양오염방제조합 여수지부에서 보유중인 것으로 주요 제원은 Table 1 및 Table 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 오일펜스의 예인 장력

Fig. 3은 2척의 선박이 100 m와 50 m로 거리를 두고 Table 2의 B형 오일펜스를 U형으로 예인전장하였을 때 예인 속도 변화에 따른 오일펜스의 장력 변화를 측정한 결과이다. 이것에서 보면, 장력 측정을 위한 예인 속도는 선박의 간격에 따라 차이를 보이는데, 예인 속도 0.5 kt를 초기 장력의 기준 속도로 하고 이후 장력의 증가로 오일펜스 스커트부가 날려 장력이 감소하기 시작하는 속도까지를 측정한 것으로 선박의 간격이 100 m인 경우는 예인 속도 0.5 kt에서부터 2.0 kt까지를, 50 m인 경우는 예인 속도 0.5 kt~2.7 kt 범위에서 오일펜스 예인줄에 발생한 장력을 측정한 것이다.

그 결과, 예인 속도를 v(m/sec)라 할 때 오일펜스 예인줄에서 장력 T(kg$f$)은 양 선박간의 거리에 관계없이 예인 속도가 증가함에 따라 직선적으로 증가하는 양상을 보이는데, 양 선박간의 거리가 100 m일 경우,

$$T = 920v^{1.1}$$

로 주어져 오일펜스 예인줄에서의 장력은 예인 속도가 1 kts(=0.5 m/sec)일 때 약 500 kg$f$ 정도가 되고, 예인 속도가 2 kts(=1 m/sec)일 때 약 1,000 kg$f$ 정도가 된다. 또한, 양 선박간의 거리가 50 m일 경우,

$$T = 500v^{0.9}$$

로 주어져 예인줄에서의 장력은 예인 속도가 1 kts(=0.5 m/sec)일 때 약 225 kg$f$ 정도가 되고, 예인 속도가 2 kts(=1 m/sec)일 때 약 450 kg$f$ 정도가 되어 선박 간격이 100 m일 때의 약 45% 정도임을 알 수 있다.

한편, 오일펜스를 예인전장하여 유출유를 포집하기 위해서는 유출유가 오일펜스 내에서 빠져나가지 않도록 오일펜스의 포집 형상을 U형으로 유지하면서 예인속도를 적절히 조종하는 것이 중요하다고 알려져 있다(KMPA, 1999; KMPRC, 2000). 본 연구에서도 예인 속도 변화에 따라 오일펜스의 형상이 변하는 것을 파악할 수 있었는데, 양 선박의 예인 간격에 관계없이 일정한 속도에 도달하면 오일펜스 중앙의 만곡부 수층이 산란하면서 오일펜스 상

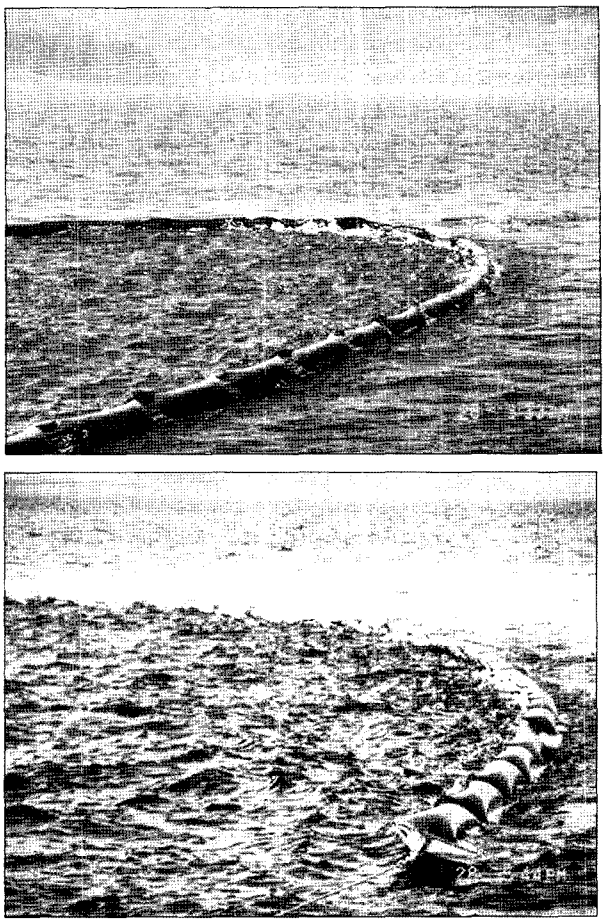


Fig. 4. Appearance of oil boom, run-over waves and flap of skirt.

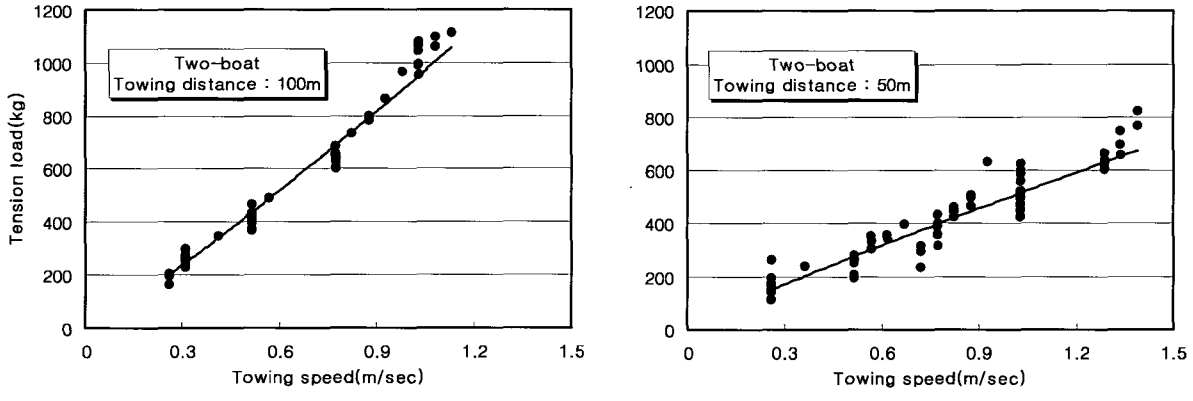


Fig. 3. Tension load, as the towing to B type oil boom by two ship.

부로 수류가 넘치는 월파 현상이 나타나고, 이 후 예인 속도가 더욱 증가하면 오일펜스 만곡부가 침강하거나 스커트부가 날리는 현상이 발생하였다(Fig. 4). 특히, 스커트가 날리는 현상은 오일펜스 양쪽 날개부에서 두드러짐을 볼 수 있었으며, 선박간의 예인거리가 100 m일 경우, 오일펜스 중앙 만곡부의 면적 규모가 크기 때문에 이러한 현상이 더욱 확실히 나타남을 확인 할 수 있었다. 이러한 현상이 발생될 경우, 포집된 유출유가 오일펜스 외부로 쉽게 새어나갈 수 있기 때문에 본래의 목적을 달성하기는 곤란하다고 할 수 있는데(Fingas *et al.* [1979]; Yu *et al.* [1999]) 선박간의 예인 간격이 100 m인 경우는 2.0 kt이상에서, 50 m인 경우는 2.7 kt 이상의 예인 속도에서 오일펜스의 형상이 불안정하게 나타나 그 이상의 예인 속도는 무의미하다는 것을 실험을 통해 알 수 있었다.

3.2 전개 장치 필요 전개력 및 규모

수중에서 물체가 운동할 경우, 물체에는 유체의 관성력에 의한 압력과 유체의 점성에 의한 점성력이 작용하게 되므로 두 힘의 합성에 의한 전유체력이 얻어진다. 이 경우 전유체력은 물체의 진행 방향과 반대로 작용하는 저항(항력), F_D와 그것에 수직 방향으로 작용하는 전개력(양력), F_L로 구분되고, 수중에서 특정 물체를 전개하는 전개판 이론을 논할 때는 저항이 작을수록, 전개력은 높을수록 전개 성능이 좋다고 할 수 있으므로 저항 계수보다 크면 클수록 전개성능이 우수하다(FAO [1974]). 즉, 전개 장치의 저항, F_D와 전개력 F_L는 전개 장치의 면적을 S, 유속을 라 할 때,

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho S v^2 \tag{1}$$

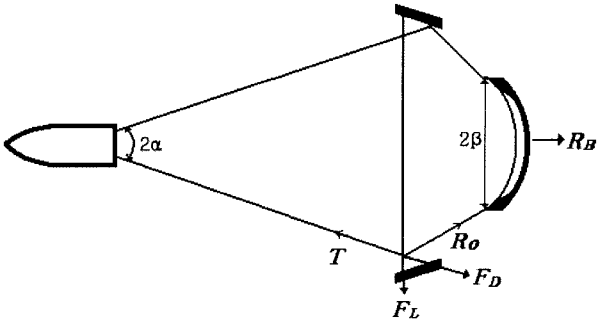
$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2 \tag{2}$$

로 주어지며, 여기서, C_L은 보통 양력 계수(lift coefficient), C_D는 항력 계수(drag coefficient)라고 하는데, 본 연구에서는 오일펜스의 양 끝단을 좌우로 전개시키는 전개 장치의 유체력를 계산하고자 C_L을 전개력 계수(shearing coefficient), C_D는 저항 계수(resistance coefficient)로 구분하였으며, 전개 장치는 C_L/C_D값이 클수록 성능이 우수하고 할 수 있다(Kim [1999]).

한편, 전개 장치의 전개력에 영향을 미치는 요소는 전개 장치의 면적과 유속뿐만 아니라 전개 장치의 형상, 진행 각도인 예행점 등이 있는데, Koyama *et al.* [1981]는 실험을 통해 평판형 전개판의 최대 전개력 유효 영각은 θ=35°이고 이때의 전개력 계수 값 C_L=0.9, 저항 계수 값 C_D=0.7를 실험적으로 확인하였다. 이를 이용하여 Fig. 5와 같이 전개 장치 주위의 힘의 균형을 고려하여 오일펜스용 전개 장치의 필요 전개력 및 규모를 구해보면,

$$F_L = T\sin\alpha + R_o\sin\beta = T\sin\alpha + \frac{R_B}{2}\tan\beta \tag{3}$$

$$F_D = T\cos\alpha - \frac{R_B}{2} \tag{4}$$



T: 예인줄의 장력, R_O : 오일펜스 연결줄 장력, R_B : 오일펜스의 전 저항, F_L: 전개 장치의 전개력, F_D : 전개 장치의 항력, 2*a* : 예인줄의 전개각, 2β: 오일펜스 연결줄의 전개각

Fig. 5. Distribution of force as the towing of oil boom.

이므로,

$$\frac{F_L}{F_D} = \frac{T\sin\alpha + \frac{R_B}{2}\tan\beta}{T\cos\alpha - \frac{R_B}{2}} \tag{5}$$

$$T = \frac{\frac{R_B}{2}\left(\tan\beta + \frac{F_L}{F_D}\right)}{\frac{F_L}{F_D}\cos\alpha - \sin\alpha} \tag{6}$$

이다. 이것을 식 (1)에 대입하면

$$F_L = \frac{R_B}{2}\frac{\left(\frac{F_L}{F_D} + \tan\beta\right)\sin\alpha}{\frac{F_L}{F_D}\cos\alpha - \sin\alpha} + \tan\beta \tag{7}$$

가 된다. 이 중 α, β 값은 선박 예인줄이나 오일펜스 연결줄 길이에 따라 약간의 차이는 있지만 대략 $\alpha \fallingdotseq 5°$, $\beta \fallingdotseq 15°$ 볼 수 있음으로 $\sin a = 0.1$, $\cos a = 1$, $\tan\beta = 0.27$이 되고, Koyama *et al.*(1981)는 평판형 전개판에서

$\frac{C_L}{C_D} = \frac{0.9}{0.7} = 1.3$ 이라고 하였기에 이를 식 (5)에 대입하면,

$F_L = 0.2\ R_B$

가 된다. 즉, 전개 장치의 전개력 F_L은 예인줄에 걸리는 전체 장력의 20% 정도면 충분하다고 볼 수 있다. 따라서, 전개력 F_L을 얻는데 필요한 전개 장치의 규모, 즉 면적은 식 (1)에서

$$S = \frac{2F_L}{C_L \rho v^2} = \frac{2 \times 0.2 \times R_B}{0.9 \times 105 \times v^2}$$

로 주어진다.

그러므로, 본 연구에서 B형 오일펜스를 기준으로, 예인줄 길이 100 m로 예인하였을 때 측정된 오일펜스 장력은 예인 속력이 낮

은 0.5 kt에서 약 250 kg이 측정되었기에, 실 해역에서 조류를 0.2 kt를 고려하여 평균 예인 대수 속력 0.7 kt(약 0.4 m/sec)를 기준으로 했을 때 전개 장치의 면적은 약 6.6 m^2 임을 알 수 있다.

3.3 오일펜스 전개 장치 설계

오일펜스용 전개 장치는 해상과 선박에서 운용된다는 점을 감안하여 다음과 같이 몇 가지 조건을 고려하여 설계하였는데, 첫째, 전개 장치의 넓이는 오일펜스의 폭과 큰 차이가 없어 평소 오일펜스를 보관하는 권양기에 충분히 감아질 수 있어야 할 것. 둘째, 해상에서 오일펜스를 전장하거나 완료시 권양기에 오일펜스와 함께 권양될 수 있는 유연한 재질과 형태로 구성될 것. 셋째, 복잡하지 않은 단순한 평면 구조로, 제작 및 취급이 수월할 것 등으로 설계시 이를 충족시킬 수 있도록 하였다.

Fig. 6은 본 연구에서 고안된 단선식 오일펜스용 전개 장치의 구성과 유체의 흐름에 의해 전개 장치가 전개되는 원리를 보여 준다. 오일펜스용 전개 장치가 유체의 흐름에 의해 전개되는 원리는 선박이 진행하는 반대 방향으로 수류가 진행하면서 전개 장치의 범포에 압력을 가하고, 범포는 목줄의 길이에 의해 정해진 각도, θ 만큼의 압력을 받아 예행점으로 작용하여 오일펜스를 전개시켜 주게 된다. 전개 장치의 구성을 보면, 소정의 폭과 높이 및 두께를 가지는 직사각형의 형태로 이루어진 범포와 범포에 수직으로 부착되어 범포에 작용하는 장력을 지지하기 위한 다수의 지지바, 범포의 상부에 일체형으로 결합되어 범포를 수면에 부양시키기 위한 부력체, 지지바 하단에 일체형으로 연결되어 전개 장치를 침강시켜 수중에 직립시키기 위한 침강체, 지지바와 오일펜스를 연결하는 오일펜스 연결부, 선박의 예인줄이 연결되는 예인줄 연결고리 및 예인줄 연결고리로부터 지지바에 연결되는 다수의 목줄을 포함하는 것을 특징으로 한다. 이 중, 지지바는 전개 장치에 작용하는 수류의 저항을 견딜 수 있는 강관으로 구성되고, 상하 끝단부에 볼트 등의 체결수단을 구비하여 범포와 일체형을 이루게 되며, 범포에 부착되는 간격에 따라 수량이 달라지는데, 간격이 넓을 경우, 선박 예인시 범포에 작용하는 수류의 압력이 높아져 범포의 만곡율이 증대됨으로 저항만 증가하고 오히려 전개력은 떨어지는 문제점이 있기 때문에 부착 간격이 가능한 좁을수록 유리하다. 또한, 지지바의 규모는 권양기에 오일펜스와 같이 감겨서 전장 및 회수되어야 하기 때문에 권양기 드럼 폭보다 짧거나 오일펜스의 수직 깊이 정도의 길이만큼으로 한다. 또한, 부력체는 스티로폼이나 유사 화학섬유 및 중공형 뜸 등을 이용한 고형식과 스프링을 이용한 자동 팽창식 및 공기 팽창식 등이 가능하고, 침강체는 중량체 철봉으로 형성된다. 목줄은 지지바의 상부와 하부에 각각 길이가 다르게 연속적으로 연결되어 선박 예인에 따른 장력 발생시 전개 장치를 편심되게 하는데, 오일펜스가 연결되는 지지바에 부착하는 목줄과 선박의 예인줄 쪽의 지지바에 부착하는 목줄길이가 전개 장치의 진행 각도를 결정하는 가장 중요한 역할을 하고, 나머지 목줄은 전개 장치의 범포를 지지하여 상기 전개 장치를 안정성 있게 유지하는 보조용이다. 전개 장치가 이상적으로 전개될 수 있는 목줄의 길이는 본 전개 장치를 평판형으로 간주했을 때 최대 전개력 유효 영각 θ=35°이므로, 미리 정해진 범포의 길이(L)에 0.66을 나누어 구한 값을 오일펜스가 연결되는 지지바에 부착되는 목줄 길이, ①로 정하고, 선박 예인줄 쪽 지지바에 부착하는 목줄 길이 ②는 ①의 약 66% 수준이 되도록 하며, 나머지 목줄은 이들 정해진 두 개의 목줄에 비례 대비하여 부착한다. 또한, 상위 목줄을 하위 목줄의 약 95%수준으로 짧게 하는 것이 전개 장치의 안정성을 위해 바람직하다.

Fig. 7은 해상에서 전개 성능을 파악하고자 B형과 C형 오일펜스의 단선 예인 · 전장용으로 제작된 실물 전개 장치로 오일펜스 권양기 릴에 감겨 있는 상태를 보여주고 있다. 이중 B형 오일펜스용 전개 장치의 크기는 Fig. 3의 오일펜스 장력 값을 통해 파악한 필요 전개력과 식 (1)에서 구한 전개 장치 규모를 기준으로 하였으며, 장력 값을 측정하지 못한 C형 오일펜스용 전개 장치는 B형 오일펜스 장력 값을 유추하여 필요 전개력과 규모를 도출하였다. 그러나 오일펜스용 전개 장치는 전개력도 중요하지만 그 규모가 현장에서 운용하는데 부적합하다면 사용하기 곤란하기 때문에 오일펜스의 폭과 권양기 릴의 폭을 고려하여 B형과 C형 오일펜스용 전개 장치의 실제 규모는 Table 3과 같이 계산 값의 약 91%와 75%수준으로 제작하였다.

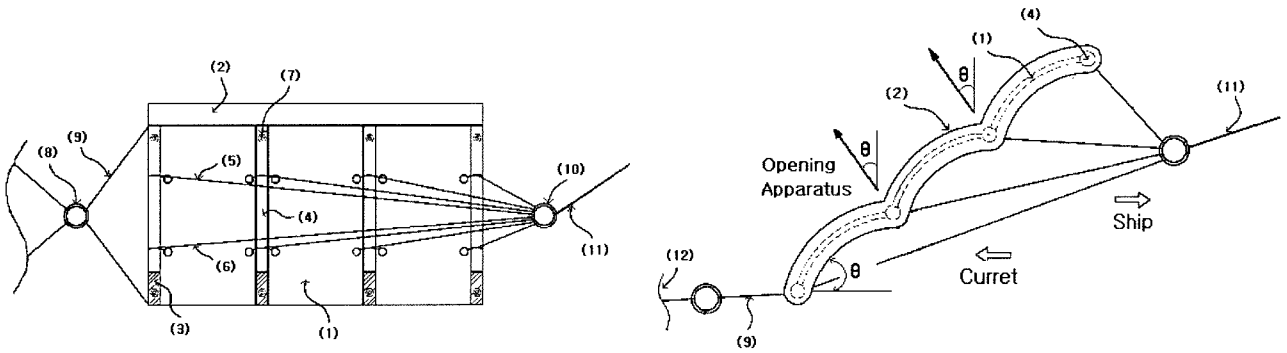
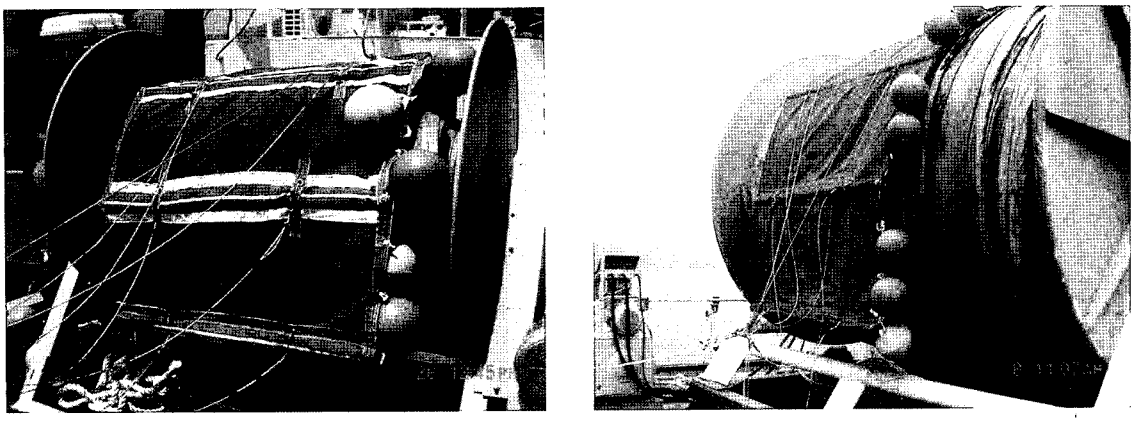


Fig. 6. The schematic of the opening apparatus for unfolding and towing of oil boom. (1) canvas, (2) freeboard, (3) sinker, (4) iron bar, (5)(6) opening apparatus pendant, (7) bolt-nut, (8)(10) iron ring (9) oil boom pendant (11) tow line (12) oil boom



(A) (B)

Fig. 7. The opening apparatus coiled on the winch reel for oil boom. (A): For B type oil boom, (B): For C type oil boom.

Table 3. The size of the opening apparatus for experiment at sea

Oil boom	Calculation value(A)	Manufacture value(B)	B/A(ratio of reduced)
B type	3.3 m^2	3m^2(H1.5×L2.0 m)	91%
C type	8.0 m^2	6.0m^2(H2.0×L3.0 m)	75%

3.4 전개 장치의 전개 성능

Fig. 8은 C형 오일펜스 양 끝단에 Table 3의 C형 전개 장치를 연결하여 예인줄 길이를 50 m에서 200 m까지 50 m 간격으로 부여하고, 예인 속도를 0.5 kt에서 2.5 kt까지 0.5 kt씩 증대시키면서 오일펜스 개구부 폭의 거리를 측정한 결과이다. 단, 예인줄 길이가 100 m 이상일 경우 2.0 kt 이상의 예인 속도에서는 침강이나 월파 현상 및 스커트 날림이 발생하여 오일펜스의 형상이 유출유를 포집하기에 곤란한 상태를 보였기 때문에 예인 속도를 0.5 kt에서 1.5 kt까지만 변화시켜 오일펜스 개구부 폭을 측정하였다.

이것에서 보면, 예인줄 길이가 가장 짧은 50 m에서 개구부 거

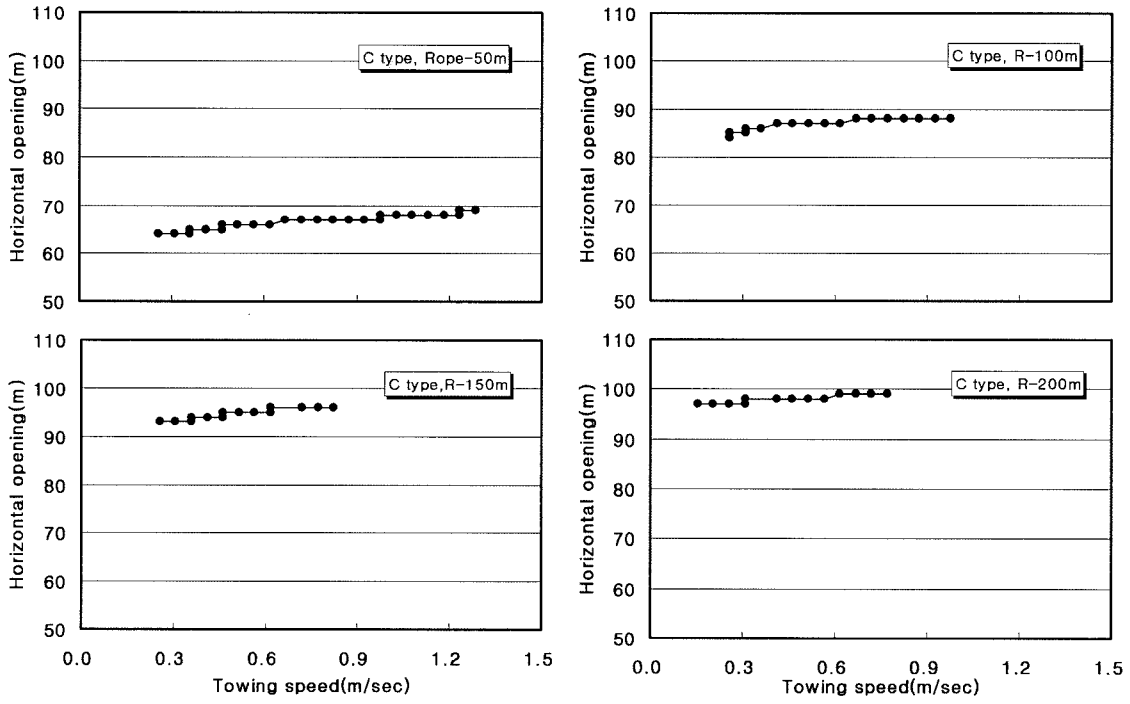


Fig. 8. The variation of horizontal opening when the towing to C type oil boom by one ship.

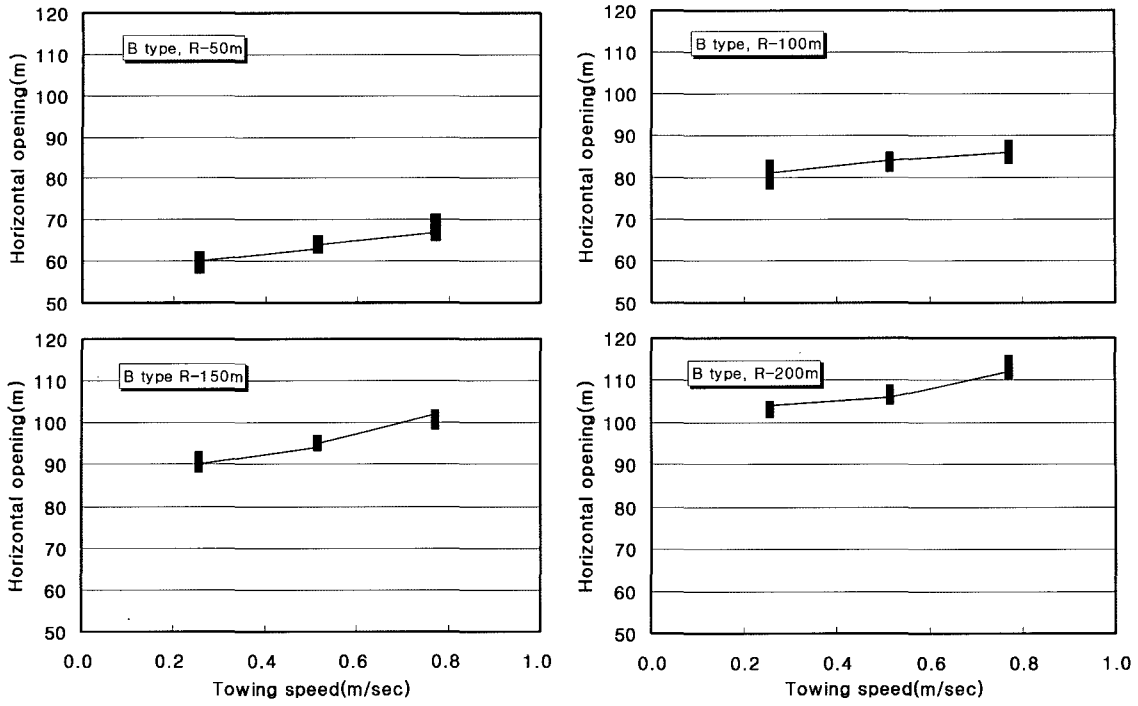


Fig. 9. The variation of horizontal opening when the towing to B type oil boom by one ship.

리는 각각의 예인 속도에서 평균 64~69 m를 보이고, 예인줄 길이 100 m에서는 85~88 m, 예인줄 길이 150 m에서는 93~96 m, 예인줄 길이를 가장 길게 부여한 200 m에서는 97~99 m까지 오일펜스 개구부가 전개되는 것을 보여 준다. 이와 같이 예인줄의 길이에 따라 오일펜스의 전개 거리가 차이를 보이는데, 오일펜스 전체 길이(300 m)에 대한 개구부의 비율(opening length/total length)을 보면, 예인줄 길이 50 m에서 0.17~0.23, 예인줄 길이 100 m에서 0.28~0.29, 예인줄 길이 150 m에서 0.31~0.32, 예인줄 길이 200 m에서 0.32~0.33의 범위로 개구부 비율이 17~33%까지 전개되고, 실험에 사용한 Table 1의 전남 939호 선미 폭(10.0 m)에 대해서는 예인줄의 길이에 따라 약 5~10배까지 전개되는 것을 알 수 있다. 특히, 예인줄 길이가 50 m에서 100 m로 늘어났을 때 개구부 폭의 증가율이 약 40% 정도로 두드러진 반면, 예인줄이 100 m에서 150 m, 200 m로 증가했을 때는 약 11%와 0.3% 정도로 증가율이 크게 둔화되는 경향을 보여 예인줄 길이에 비례하여 전개 장치의 전개력이 증대되는 것은 한계가 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 B형 오일펜스에 Table 3의 B형 전개 장치를 부착하여 Fig. 8의 C형 오일펜스를 이용한 실험과 동일한 방법으로 오일펜스 개구부 폭을 측정한 결과이다. 이것에서 보면, 예인줄 길이가 가장 짧은 50 m에서 개구부 거리는 각각의 예인 속도에서 평균 60~68 m를 보이고, 예인줄 길이가 100 m에서는 81~87 m, 예인줄 길이가 150 m에서는 91~101 m, 예인줄 길이를 가장 길게 부여한 200 m에서는 103~114 m까지 오일펜스 개구부가 전개되는 것을 보여 준다. 오일펜스 전체 길이(200 m)에 대한 개구부의 비율을 보면, 예인줄 길이 50 m에서 0.3~0.34, 예인줄 길이 100 m에서 0.4~0.44, 예인줄 길이 150 m에서 0.45~0.50, 예인줄 길이 200 m에서 0.52~0.57의 범위로 오일 펜스 전체 길이에 대한 개구부 전개 비율이 30~57%까지 이르고, 실험에 사용한 Table 1의 환경 2호 선미 폭(4.0 m)에 대해서는 예인줄의 길이에 따라 약 15~28.5배까지 전개되는 것을 알 수 있다. 특히, 예인줄 길이가 50 m에서 100 m로 늘어났을 때 개구부 폭의 증가율이 약 31%정도로 두드러진 반면, 예인줄이 100 m에서 150 m, 200 m로 증가했을 때는 약 13%와 14% 정도로 크게 둔화되는 경향을 보여 C형 오일펜스와 비슷한 양상을 나타냈다.

이와 같은 결과를 통해 B형과 C형 오일펜스에 이용한 전개 장치의 전개력은, 오일펜스 전체 길이에 대한 개구부 최고 전개 비율이 33%에 머무르는 C형에 비해 B형 오일펜스는 최고 57%까지 전개되어 B형 오일펜스의 전개 장치가 훨씬 우수한 것을 알 수 있다. 이러한 원인은 Table 2에서 볼 수 있듯이 B형 오일펜스 전체 규모가 C형의 약 44% 수준으로 작을 뿐만 아니라 실험에 사용한 전개 장치도 Table 3에서 보듯이 전개 장치 하나의 크기가 전개력 계산 값 3.3 m^2의 약 91% 규모인 3.0 m^2로 제작한 반면, C형 오일펜스의 전체 규모는 B형의 2배가 넘고, 전개 장치의 크기도 전개력 계산 값 8.0 m^2의 약 75% 수준인 6.0 m^2으로 축소하여 제작하였기 때문으로 볼 수 있다. 즉, 현장 운용의 편이성을 고려하여 B형 오일펜스 전개 장치에 비해 C형 오일펜스 전개 장치를 과도하게 축소한데서 그 원인을 들 수 있다. 그러나, 오일펜스 개구부 폭이 지나치게 확대될 경우, 예인 속도에 대한 오일펜스의 장력이 크게 증가함에 따라 Fig. 4와 같이 오일펜스의 일부분이 침강상승을 반복하여 월파 및 날림 현상이 발생되는 등 오

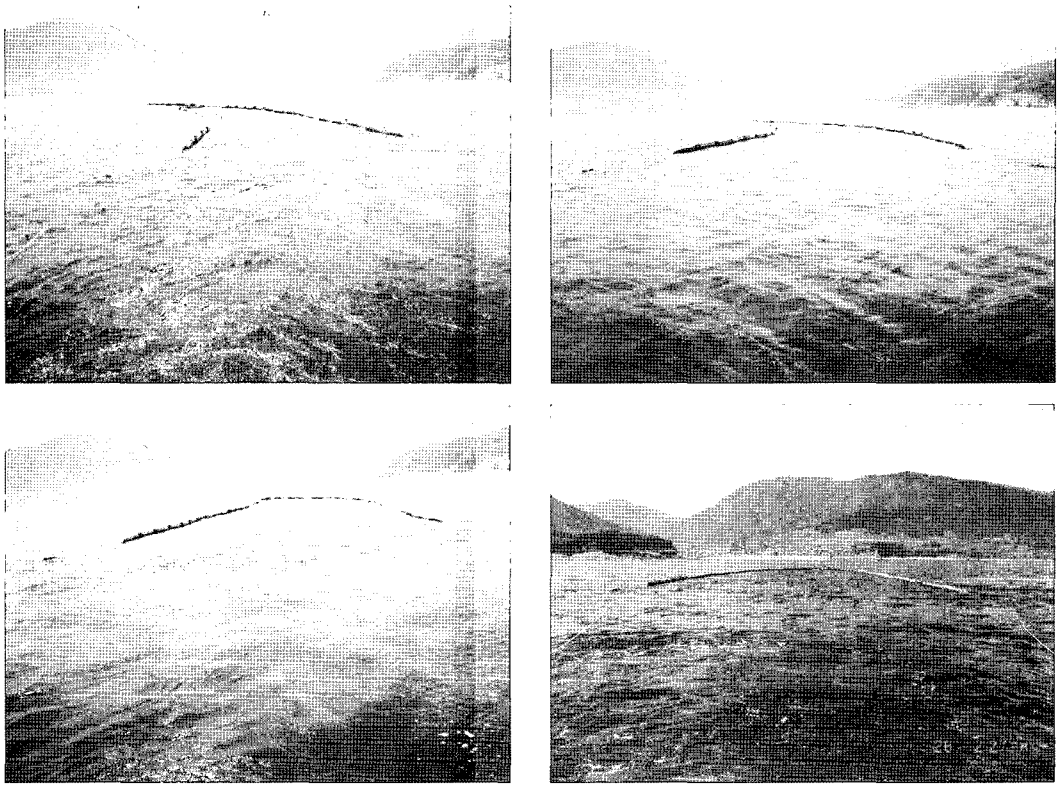


Fig. 10. The examples used to opening apparatus by one ship.

일펜스의 유출유 포집 형상이 불안정해져 오일펜스 내부에 유출유를 안정적으로 유지하기가 곤란한 상태가 발생될 수 있다. 또한, 실제 현장에서도 2척의 선박을 이용한 U형 예인전장시 선박간의 거리는 대부분 100 m 이내로 운용하고 있기 때문에 본 연구에서 실험한 C형 오일펜스 전개 장치도 그 규모만 어느 정도 증대시킨다면 B형 오일펜스 전개 장치처럼 유출유 포집에 충분한 전개 거리를 유지 할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 오일펜스 전개 장치를 이끄는 예인줄의 길이는 B형 및 C형 오일펜스 모두, 50 m에서 100 m로 증대하였을 때 오일펜스 개구부 폭이 두드러지게 증가한 반면, 예인줄을 100 m이상 증대하였을 때 오일펜스 개구부 폭의 증가율은 미비하여 전개 장치의 전개 성능이 크게 향상되지 않는다는 점에서 오일펜스 예인줄의 길이는 100 m 내외로 유지하는 것이 합리적이라고 판단된다.

또한, B형 및 C형 모두 오일펜스 전개 장치는 예인줄 길이에 관계없이 대부분 1.5 kt보다 빠른 예인 속도에서는 전개 장치의 전개 성능이 저하되어 오일펜스 개구부 거리가 감소하고 오일펜스의 전장 형상이 불안정해지기 때문에 포집된 유출유가 오일펜스 외부로 빠져나갈 수 있는 문제점이 있는 반면, 예인 속도 1.5 kt에서는 개구부 전개 거리가 최대가 되는 전개 성능을 발휘하기 때문에 유출유 포집에 합리적인 전개 장치 예인 속도는 1.5 kt이내로 볼 수 있다.

한편, Fig. 10은 B형 오일펜스에 전개 장치를 부착하여 1척의 선박으로 오일펜스를 예인전장하는 과정을 실례로 보여주는데, 오일펜스 양측 입구에 부착된 전개 장치에 의해 오일펜스의 개구부가 점차적으로 전개되어 최종적으로 오일펜스가 U자형태의 만곡부를 이루게 됨으로서 유출유를 차단하거나 포집할 수 있음을 추측할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 유체의 흐름에 따른 압력을 이용한 전개 장치를 적용하여 1척의 선박만으로 오일 펜스를 전장운용할 수 있는 방안을 검토한 것으로, 현행 오일 펜스에 미치는 예인 저항을 측정한 후 그에 적합한 전개 장치의 형태 및 규모를 설계하고, 오일 펜스의 폭과 오일 펜스 권양기 릴의 폭을 고려하여 B형 및 C형 오일펜스용 전개 장치의 규모를 계산 값의 약 91%와 75% 규모인 3.0 m^2와 6.0 m^2로 제작하여 해상에서 그 성능을 조사한 것이다. 주요 결과를 정리하면 다음과 같다

(1) 2척의 선박을 예인하였을 때, 예인 속도(v) 변화에 따른 B형 오일펜스의 장력 값, T(kg)는 양 선박간의 거리가 100 m와 50 m일 경우 $T = 920v^{1.1}$, $T = 500v^{0.9}$ 로 나타났으며, 이를 근거로 B형 및 C형 오일펜스를 전개시킬 수 있는 전개 장치 하나의 규모는 3.3 m^2와 8.0 m^2임을 알 수 있었다.

(2) B형 및 C형 오일펜스 양끝에 전개 장치를 부착하고 예인줄 200 m를 부여하여 예인전장하였을 때 오일펜스 개구부의 최고 폭은 예인 속도(v) 1.5 kt에서 평균 약 114 m와 95 m(개구부 폭/오

일펜스 전체 길이: 33% and 57%)를 나타내 전개 장치가 유출유를 충분히 포집할 수 있는 전개 성능을 보인 것으로 평가된다.

(3) 예인줄 길이 변화에 따른 오일펜스 개구부 폭의 증가율은 예인줄 길이가 50 m에서 100 m로 늘어났을 때 약 31%와 40%정도로 크게 높아지지만, 예인줄이 100 m에서 150 m, 200 m로 길어질수록 증가율이 크게 둔화되어 100 m내외로 예인줄을 유지하는 것이 합리적이라고 판단된다.

(4) 예인 속도가 1.5 kt이상일 경우 B형 및 C형 오일펜스 모두 전개 성능이 저하되어 개구부 폭이 감소하였고, 오일펜스 일부분이 침강하거나 월파, 스커트 날림 현상 등 오일펜스의 전장 형상이 불안정해져 전개 장치 운용에 합리적인 예인 속도는 1.5 kt 이내로 볼 수 있다.

참고문헌

[1] Clark, R.B., 2001, Marine pollution, Fifth edition, Oxford University Press, 78-81.

[2] CONCAWE (Conservation of Clean Air and Water in Europe), 1981, A field guide to coastal oil spill control and clean-up techniques. CONCAWE, The Hague, Netherlands, Report No. 9(81), 110-112.

[3] CONCAWE (Conservation of Clean Air and Water in Europe), 1983, A field guide to inland oil spill clean-up techniques. CONCAWE, The Hague, Netherlands, Report No. 10(83), 104-105.

[4] FAO, 1974, Otter board design and performance FAO fishing manuals, FAO, ROME, 14-33.

[5] Fingas, M.F., W.S. Duval and G.B. Stevenson, 1979, The basics of oil spill clean-up, Environmental Protection Service, Environment Canada, 155pp.

[6] ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation limited), 1983, Use of skimmers in combating oil pollution, Technical Information Paper No. 5, ITOPF, London, 8-10.

[7] ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation limited), 1981, Use of boom in combating oil pollution, Technical Information Paper No. 2, ITOPF, London, 8-9.

[8] Kim, D.A., 1999, Design of fishing gear, Pyounghwa Press, Sunchon, 64-69. (in Korean)

[9] KMPA (Korea Maritime Police Agency), 1999, The guide book to clean up techniques of marine pollution, Kor. Mar. Pol. Age., 28-32. (in Korean)

[10] KMPRC (Korea Marine Pollution Response Corporation), 2000, Technical manual for protection and clean up of marine pollution, Kor. Mar. Poll. Rep. Corp., 49-55.(in Korean)

[11] KME (Korea Ministry of Environment), 1987, Manual of practice for protection and clean-up of oil spill at sea and on-shore, Kor. Min. Env., 37-40. (in Korean)

[12] Koyama, T, T. Kundo and O. Oba, 1981, Drag and sheer of süberkrüb type trawl boards, Bull. Nat. Res. Fish. Eng., No. 2, 95-103. (in Japanese)

[13] Lee, C.M. K.H. Kang, 1998, Analysis of containment capability of oil fence in currents and waves, Jour. Kor. Soc. Mar. Env. Eng., Vol. 1, No. 1, 29-38. (in Korean)

[14] Yu, J.S., H.G. Sung and J.H. Oh, 2000, An experiment study on fire-resistant boom, Jour. Kor. Soc. Mar. Env. Eng., Vol. 3, No. 2, 25-131. (in Korean)

[15] Yu, J.S., M.G. Lee and J.H. Kim, 1999, Performance tests of oil boom at open sea, Jour. Kor. Soc. Mar. Env. Eng., Vol. 2, No. 1, 49-62. (in Korean)

2005년 10월 28일 원고접수
2006년 2월 10일 수정본 채택