

## 오일스네어에 대한 오일 흡착기준 정립 및 고시방향 연구

진영민\* · 유주영\* · 최상선\*\* · 주아람\*\*\* · 이준혁\*\*\*\* · 이순홍\*\*\*\*\*†

# A Study on the Evaluation of Oil-adsorption Characteristics and Policy Guideline of Oil Snare

Y. M. Jin\* · J. Y. You\* · S. S. Choi\*\* · A. R. Joo\*\*\* · J. H. Lee\*\*\*\* · S. H. Lee\*\*\*\*\*†

### †Corresponding Author

Soon-Hong Lee

Tel : +82-31-467-0965

E-mail : leesh@anyang.ac.kr

Received : July 8, 2019

Revised : August 28, 2019

Accepted : December 9, 2019

Copyright©2019 by The Korean Society of Safety All right reserved.

**Abstract** : In South Korea, the enact of Korean Coast Guard Act-1 manages physical and chemical oil-dispersants. Oil snare, which is made of polypropylene, is newly added to the aforementioned act, and it has advantage on the ease of recovery compare to other adsorbents. This study synthesized bunker B-oil with diesel-oil and bunker C-oil to perform an adsorption test based on three samples which were manufactured in South Korea. As a result, adsorption test revealed 5.2 g/g more adsorption than the previous results from the act. Additional toluene test revealed that all the samples satisfied 90.0%, however coloured samples could release its pigment on the marine environment. Thus, colorless samples are recommended on the risk management of marine accidents. The study on the basic direction of the calculation of the test items and the standard value for the quality control of the oil snare was also carried out.

**Key Words** : oil snare, oil adsorption, oil-spill, adsorption test, toluene test, tensile strength test

## 1. 서론

ITOPF(International Tanker Owners Pollution Federation)에 따르면 1980년대 이후 해양운송을 통한 원유의 거래는 증가하였으나, 해양사고로 인한 원유유출사고는 줄어들고 있는 추세이다<sup>1)</sup>. 그러나 해양사고 시 유출되는 원유로 인한 2차 오염 피해는 오히려 심각해지고 있는 실정이다. Table 1과 같이 국내에서 발생했던 주요 오일유출사고 중 가장 큰 피해액을 기록한 2007년 허베이스프리트호 사고의 경우, 약 12,547 KL의 원유가 해양으로 유출되었으며 이에 따른 방제비용은 약 1,167억원으로 추산되었다.

이러한 해양사고가 발생하였을 때, 초기 방제작업을 통해 원유의 확산피해를 감소시킬 수 있다. 일례로 2014년 우이산호의 유출량은 약 899 KL로 캡틴반젤리스엘호에 비해 대략 3.8배의 차이를 보인다. 우이산호

의 방제비용은 약 155억원으로 캡틴반젤리스엘호에 비해 약 2배정도의 금액이 발생되었다. 피해보상액의 경우 우이산호는 캡틴반젤리스엘호 대비 약 150배 이상의 큰 폭으로 비용이 가산되었는데, 이를 토대로 초기 방제작업이 피해보상액과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

현재 해상 방제자재로 사용하는 5가지 품목은 해양경찰청 고시 (2017-01호)에서 정의되고 있으며, 이 중 형식승인이 통과된 자재에 대해서만 방제작업이 가능하다<sup>6)</sup>. 방제자재인 5가지 품목은 유처리제, 유겔화제, 유흡착제, 오일펜스, 생물정화제제로 분류된다. 화학적 처리방제방법인 유처리제의 경우, 유출유에 대한 즉각적인 화학반응을 거쳐 오일분해에 빠른 처리속도를 보여준다<sup>7-9)</sup>. 그러나 분해된 오일을 섭취한 어패류의 폐사로 인한 생태계 교란이 단점으로 지적되고 있다. 일례로 1967년 Torrey Canyon 선박이 좌초되었을 때 유출된

\*안양대학교 환경공학과 연구원 (Department of Environmental Engineering, Anyang University)

\*\*안양대학교 환경공학과 연구교수 (Department of Environmental Engineering, Anyang University)

\*\*\*중외케미타운 품질보증팀 연구원 (Quality Assurance Division, JW Chemi town)

\*\*\*\*한양대학교 화학공학과 연구원 (Department of Chemical Engineering, Hanyang University)

\*\*\*\*\*안양대학교 환경공학과 교수 (Department of Environmental Engineering, Anyang University)

Table 1. Major oil spill caused by ship collision<sup>2-5)</sup>

Year	Place of occurrence	Pollution source	Outflow (KL)	Cause	Prevention cost (Billion won)	Compensation for the loss (Billion won)
1997	Busan	Baron arc (4,392 ton)	203	Stranding	7	-
1998	Ulsan	NewBaron arc (4,400 ton)	301	Stranding	26	8
2007	Taeon	Hebei Spirit arc (146,848 ton)	12,547	Collision	1,167	4,323
2010	Geoje	Kunjangace arc (496 ton)	39	Collision	40	-
2014	Yeosu	Wuyishan arc (164,169 ton)	899	Collision	155	431
2014	Busan	Captain Vangelis arc (88,420 ton)	237	Collision	84	2.8
2014	Jindo	Sewol arc (6,875 ton)	139	Rollover	-	-

오일에 대량의 유처리제로 방제처리 후 어패류를 포함한 주위 생태계가 큰 피해를 입은 사건이 있었다<sup>10)</sup>.

따라서, 국내에서도 상기와 같은 생태계 교란을 일으키는 유처리제 및 생물정화제제의 사용보다는 2차오염이 적은 유흡착재, 오일붐, 오일펜스 등을 활용한 물리적인 방제 방법 사용이 권장되고 있다<sup>11)</sup>.

해양경찰청 고시(2017-01호)에 유흡착재인 일종인 오일스네어에 대한 항목이 추가되었으나 성능평가항목의 경우, 오일스네어의 주 메커니즘인 흡착특성에 초점을 맞추기 보다는 기존 유흡착재 시험방법인 흡유량이 그대로 적용되어 제품 특성에 대한 명확한 성능 시험법 개선이 요원한 실정이다. 따라서 본 연구는 국내에서 제조되는 오일스네어 3종에 대한 기존 흡유량과 새롭게 제시한 흡착량의 성능비교를 통해 국내 고시 기준 개정의 방향성을 제시하고자 하였다.

## 2. 오일스네어의 정의 및 국내 고시 기준

오일스네어는 ITOPF 방제기술정보집에서 폴리프로필렌(Polypropylene)섬유 유흡착재로 정의하고 있으며, 중질유를 부착하기 위해 여러 개의 폴리프로필렌 섬유

를 묶은 먼지떨이와 유사한 형태의 방제 자재를 의미한다. 상기 폴리프로필렌 섬유는 화학적 구조가 안정적이며, 표면의 낮은 자유에너지로 인해 친수성과 접촉능이 작아 오일스네어에 적합한 물성을 지닌다<sup>12)</sup>. 이에 반해 기존 매트 및 패드형과 같은 유흡착재의 경우, 방제작업을 마친 후 회수하는 작업 시 시간이 많이 소요되고 노동 집약적이며, 흡유가 포화상태에 이른 붐형 유흡착재는 무게가 상당하여 인양하는데 많은 에너지와 시간이 소비된다<sup>13)</sup>. 그에 비해 오일스네어의 경우 로프에 연결되어 작업을 진행하기 때문에 매트 및 패드형 유흡착재에 비해 회수작업이 수월한 편이다. 또한 실제 사용되는 고정도용 오일스네어는 수면 아래에 있거나 바닥으로 가라앉은 오일 탐지에도 효과적으로 사용할 수 있다.

오일스네어에 대한 고시기준은 2017년 7월 26일에 해양경찰청이 발효하였으며, 고시된 내용은 Table 2와 같이 유류 방제자재에 대한 성능시험 기준 및 검정기준이 있다. 발효 고시는 흡유량을 기반으로 성능시험이 서술되어 있지만, 오일스네어의 제품 특성상 흡착량에 중점을 둔 평가방법으로 보완이 필요하다고 판단되어 본 연구에서는 ASTM(American Society for Testing and

Table 2. Test standard of heavy oil adhesion material notified by Korea coast guard

Test	Standard	
Temperature test	There should be no change in properties such as softening and hardening	
Oil absorption test	Over than 5.0 g per 2 g of sorbent material	
Water absorption test	Less than 1.0 g per 1 g of sorbent material	
Vibration test	Breakage test	There is no defect such as large amount of material remaining when the specimen is taken out
	Sedimentation test	Part of the specimen should float above the surface of the water
Oil-proof test	No significant deformation such as shrinkage, swelling, and dissolution of the circle	
Tensile test	No fracture	
Incineration test	The burned and quantified hydrogen cyanide should be less than 0.8 ml per 1 g	

Materials)에 등재된 흡착 시험방법을 인용하여 오일스네어에 대한 평가 및 수정안을 제안하는 데에 목적이 있다.

### 3. 시험 및 분석방법

#### 3.1 표준오일제조

해양경찰청 고시에 따르면 시험 표준오일을 병커 B유로 지정하고 있다. 하지만 현재 병커 B유의 경우 전 세계적으로 사용량이 점차 감소하고 있기 때문에, 병커 C유에 경유를 혼합하여 표준오일(병커 B유)을 제조하였다. 표준오일의 제조는 상온에서 병커 C유와 경유를 3:2 비율로 섞은 후 약 30°C에서 30분 동안 정치하여 제조하였다. 제조된 표준오일의 물리적 성상은 JIS K 2205에서 규정하고 있는 병커 B유에 대한 기준으로 하였고, 본 연구의 시험 표준오일로 사용하였다<sup>14)</sup>. Table 3에 JIS K 2205의

규정을 나타내었다. 각각의 성상시험은 최댓값·최솟값을 제외한 평균값으로 진행하였다.

#### 3.2 오일스네어 샘플제조

국내 오일스네어 제조업체인 A사, B사, C사의 폴리프로필렌 섬유를 샘플로 선정하였다. 고시기준에 따르면 표준시편의 무게와 길이는 10 g, 15 cm이지만 시험의 정확성을 위해 표준시편을 포함한 추가 샘플을 제조하였다. 샘플에 각각의 길이는 10 cm와 15 cm로 기준하였고, 이때 샘플의 무게를 5 g, 10 g, 15 g으로 분류하였다. 오일스네어의 표준시편에 대한 묶음처리는 완제품과 동일하게 케이블 타이를 이용하여 마감하였다. 오일스네어의 샘플의 물리적 성상은 Table 4에 정리하였다.

#### 3.3 흡유량 및 흡착량 시험

오일스네어의 적합한 시험방법을 제시하고자 해양

Table 3. Bunker B oil standard regulation based on JIS K 2205

Test	Unit	Standard	Test Method
Flash point	℃	≥ 60.00	ASTM D 93
Pour point	℃	≤ -10.00	ASTM D 97
Kinematic viscosity	mm <sup>2</sup> /s	≤ 50.00	ISO 3448
Residual carbon	%	≤ 4.00	ISO 6615
Moisture	%	≤ 0.40	ASTM D 4337
Ash content	%	≤ 0.05	ISO 3451
Sulfur content	%	≤ 3.00	ASTM D 4294

Table 4. Physical properties of oil snare samples

Sample No.	Length(cm)	Weight(g)	Width(cm)	Number of fiber(EA)
A-1	10	5	0.3	131
A-2		10		263
A-3		15		394
A-4	15	5		98
A-5		10		186
A-6		15		294
B-1	10	5	0.8	45
B-2		10		90
B-3		15		136
B-4	15	5		41
B-5		10		75
B-6		15		123
C-1	10	5	0.4	96
C-2		10		192
C-3		15		288
C-4	15	5		71
C-5		10		125
C-6		15		214

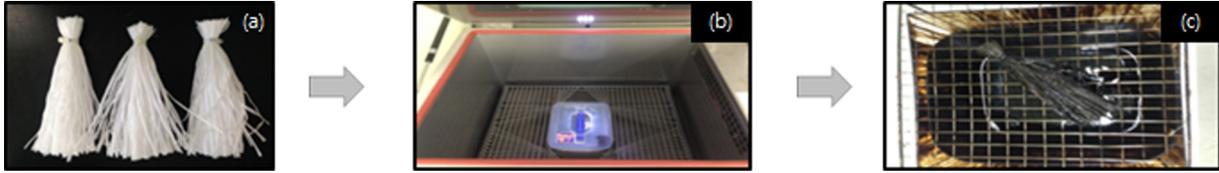


Fig. 1. Experiment method (a) each samples (b) water Shaking incubator (c) adsorption oil snare.

경찰청에 고시된 흡유량 시험방법과 새롭게 제시한 흡착량의 성능을 비교하였다. 흡유량 시험은 20°C에서 병커 B유의 유면에 오일스네어를 5분간 정치한 후, 이를 직경 1 mm의 철망 위에 5분간 방치하였다. 이후 오일스네어의 중량을 측정 한 뒤, 시험편의 무게 1 g 당 흡유량을 산출하였다. 흡착량 시험은 ASTM F 716 및 F 726-12 method를 인용하여 진행하였다. 흡착시험은 표준오일 2 L를 담고 있는 플라스틱 용기를 사용하였다. 오일스네어를 용기에 넣은 후 진탕기를 사용하여 20°C, 교반속도 150 rpm으로 5분간 정치 후 철망에 30 초간 방치 후 무게를 재어 수행하였다. 각 시험은 3회 실시 후의 평균값을 적용하여 계산하였으며 Fig. 1과 같이 나타내었다.

### 3.4 극성용매의 저항성 시험

오일스네어의 극성용매 저항능력을 확인하고 기준치를 선정하고자, 국민안전처 고시(30호)의 동정시험 방법을 인용하여 톨루엔 추출잔량 시험을 진행하였다<sup>15)</sup>. 현재 국민안전처 고시에서는 90.0% 이상의 추출잔량을 합격수치로 판단하고 있다. 오일스네어 임의의 부분에서 시험편을 3개 채취하여 각 중량을 저울로 측정하고 톨루엔(순도 99.5%) 100 mL를 넣은 비커 3개에 시험편을 각각 1개씩 톨루엔에 충분히 적셔지도록 넣고 마개를 덮은 뒤, 60분마다 흔들면서 3시간 방치하였다. 그 후 시험편의 한쪽 끝을 핀셋으로 집어내어 1분간 방치 후, 철망 위에 얹어 70°C ± 20°C로 조정된 통풍순환식 건조기에 철망과 함께 넣어 45분간 놓아두고 톨루엔을 증발시켰다. 이 시험편을 건조기에서 꺼내 5분간 방치한 후, 개별중량을 저울로 0.001 g까지 측정

한 후 식(1)에 따라 계산하였다.

$$\text{추출잔량}(\%) = \left( \frac{b_1}{a_1} + \frac{b_2}{a_2} + \frac{b_3}{a_3} \right) \times 100 \div 3 \quad (1)$$

a1, a2, a3 : 각 시험편을 톨루엔에 담그기 전 측정 한 중량

b1, b2, b3 : 각 시험편을 톨루엔에 담근 후 톨루엔을 증발시켜 측정 한 중량

### 3.5 연결로프의 인장강도 측정

해양작업 시 파력 및 선박의 끄는 힘에 의해 해양오염 방제물이 파손되는 경우가 종종 발생한다<sup>16)</sup>. 오일스네어가 고정되는 로프에 대해서도 인장강도 시험을 100 ton 만능재료시험기 (Ultimate Tensile Strength Machine, U.T.M)장비로 측정하였다. 이때, 인장강도 시험 조건은 인접거리 300 mm, 시험속도 50 mm<sup>2</sup>/s이며, 결과 값은 파단점을 기준으로 측정하였다. 추가적으로 해양경찰청 자체규격을 참고하여 연결로프 10 m, 오일스네어 60 묶음을 기준으로 흡유량 및 흡착량에 따른 예상로프하중을 산출하였다. 이때 산출에 필요한 흡착량의 경우, 병커 B유의 시험결과를 토대로 산정하였다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 표준오일 물성분석

병커 C유와 경유를 혼합하여 만든 병커 B유에 대해 인화점부터 황 함유량까지의 7가지 물성분석을 Table 5와 같이 진행하였다. 표준오일은 JIS K 2205에서 규정하고 있는 기준을 모두 충족시켰으며, 이를 사용하

Table 5. Standard oil physical property test results

Test	Unit	Analysis Result	JIS K 2205 Standard
Flash point	°C	66.00	≥ 60.00
Pour point	°C	-10.00	≤ -10.00
Kinematic viscosity	mm <sup>2</sup> /s	26.95	≤ 50.00
Residual carbon	%	1.62	≤ 4.00
Moisture	%	0.20	≤ 0.40
Ash content	%	0.01	≤ 0.05
Sulfur content	%	0.26	≤ 3.00

Table 6. Properties according to viscosity

Test	Unit	Diesel	Bunker B oil	Bunker C oil
Flash point	°C	57.00	66.00	258.00
Pour point	°C	-23.00	-10.00	-8.00
Kinematic viscosity	mm <sup>2</sup> /s	2.43	26.95	295.90
Residual carbon	%	0.00	1.62	0.03
Moisture	%	0.26	0.20	0.15
Ash content	%	0.00	0.01	0.01
Sulfur content	%	0.03	0.26	2.20

여 오일스네어의 흡유·흡착 성능평가를 수행하였다. 실제 유류사고 시 적용 가능성을 확인하기 위해 점성에 따라 저점도, 중점도 및 고점도로 유종의 종류를 나누어 오일스네어의 성능을 평가하였다. 유종에 따른 물성은 Table 6와 같다.

#### 4.2 오일스네어의 흡유량 및 흡착량 시험결과

현 고시는 벙커 B유에 의한 중질유 흡유량을 2 g/g으로 기준되어 있으나, 오일스네어의 주 메커니즘은 흡착에 두고 있기 때문에 시험방법 또한 흡착시험에 맞게 수정하여 진행하였다. 시험샘플은 국내 제조사 임의의 3종에 대하여 A사, B사 그리고 C사로 선정하였으며, 시험은 경유, 벙커 B유 그리고 벙커 C유에 대한 흡유량 및 흡착량 시험을 진행하였다. 흡유량과 흡착량에 대한 결과 값은 Fig. 2와 같으며, 대부분의 값은 A, B, C사 모두 5번 샘플인 10 g, 15 cm일 경우에 타 샘플대비 높은 수치를 나타냈다. 흡유량과 흡착량에 대한 비교 결과, 흡착량에서 0.5 g/g 정도 더 많은 양을 흡착한 것으로 나타난다. 이는 흡유에 비해 흡착시험에서는 150 rpm 정도에 회전을 주기 때문에, 오일스네어가 흡유시험 대비 오일스네어 안쪽으로 일정 양의 오일을 더 흡수하여 생기는 필연적 차이로 보인다. 일반적으로 오일스네어의 사용은 해상에서 이루어지므로, 흡착시험에서 적용한 150 rpm은 실 해상조건과 비슷한 환경을 조성한다<sup>17)</sup>. 따라서 오일스네어에 대한 시험방법으로는 현 고시에서 사용되는 흡유시험이 아닌 본 연구의 흡착시험이 더 적합하다고 볼 수 있다. 이를 인지하였을 때, 현 고시기준의 시험방법 및 성능기준의 보완이 요구된다.

#### 4.3 극성용매 저항성 시험

현 방제자재 고시기준에서 제시하는 내유시험의 경우 오일스네어의 표면변형이 없을 정도로 기준되어 있지만, 유류사고 시 유출되는 물질에는 오일뿐만 아닌 극성용매도 포함되어 있기 때문에 이에 대한 저항성

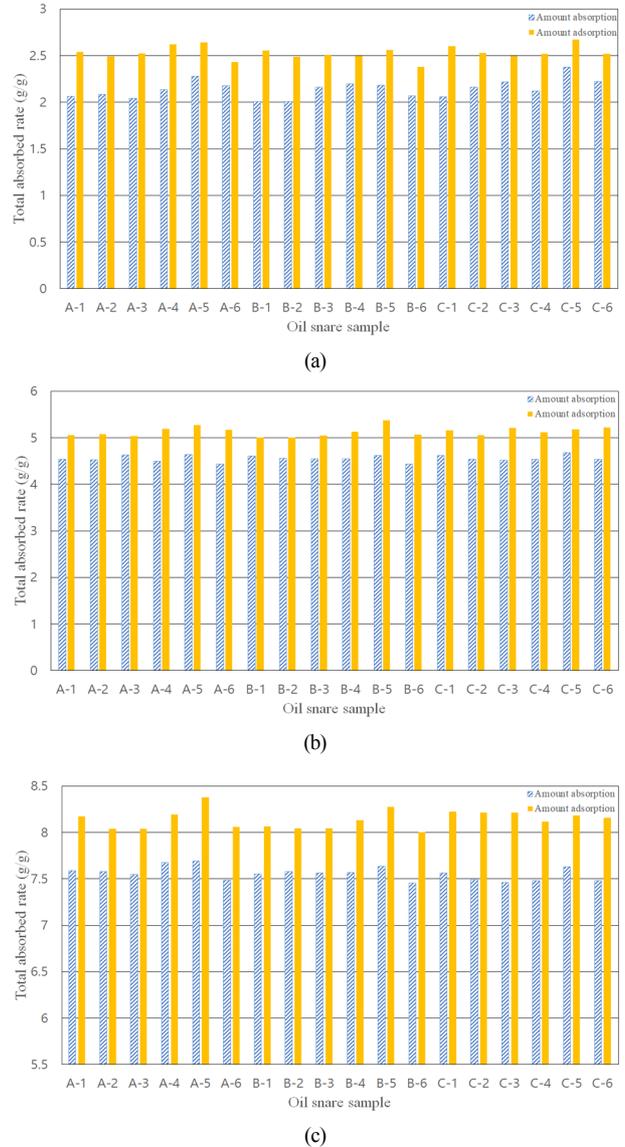


Fig. 2. Change in oil absorption and adsorption amount by weight and length ; (a) Diesel absorbed rate (b) Bunker B absorbed rate (c) Bunker C absorbed rate.

평가 또한 병행되어야 한다. 국내 3사의 제품을 대상으로 대표적인 극성용매인 톨루엔에 대한 추출잔량 시험

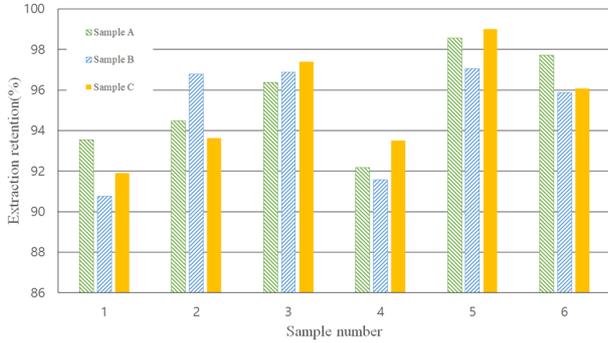


Fig. 3. Toluene Extraction Residue of each company samples.

을 진행하였으며, 그 평가결과를 Fig. 3에 나타내었다. 시험결과 A, B, C사에 1번 샘플은 95% 이하의 저항성을 보여주며, 고시기준에 지정된 표준시편인 10 g, 15 cm의 경우 3사 제품 모두 95% 이상의 저항성을 보이는 것으로 확인되었다. 따라서 극성용매에 의한 저항성을 시험 결과값에 따라 95%에 기준한다면, 새로운 고시기준에 보다 적합한 기준치가 될 것으로 판단된다. 하지만 C사의 경우 톨루엔에 의해 색소가 추출되었다. 이로 인해 2차 오염이 발생할 수 있으므로, 해상에서는 가급적이면 색상이 없는 오일스네어 사용을 권장한다.

4.4 연결로프의 인장강도 및 예상 하중 산출결과

각 업체 별로 제공되는 연결로프의 인장강도 데이터는 A사 8,860 N, B사 6,520 N, C사 7,240 N으로 로프의 예산하중에 기준한 가이드라인이 제시되어 있다.

로프의 예산하중 산출 시 해양경찰청 고시에서는 중질유에 기준하고 있기 때문에, 벙커 B유에서의 흡착량을 계산하였으며, 오일스네어 표준시편 당 50 g의 하중으로 시험하였다. 또한 해양경찰청 자체규격에 따라 오일스네어 표준시편 60 묶음을 한 세트의 하중을 산출하였다. 현 고시기준에서는 흡유량의 2.5배의 하중을 견디도록 되어 있으나, 오일스네어의 경우 흡유량이 아닌 흡착량 시험을 진행하였기에 흡착하중에 따른 인장강도 하중 기준치를 재설정할 필요성이 있다. 이에 현 고시기준인 2.5배를 기준으로 하여 산출배수를 증가시켜가며 연결로프의 하중을 Table 7과 같이 계산하였다.

연결로프의 인장강도는 3사 제품 모두 6,000 N 이상

을 견딜 수 있게 제조되었다. 그러나 흡착량 하중 계산 시 고시기준인 2.5배로 할 경우, 흡착하중은 780 N으로 이는 기준이 다소 낮게 설정된 것으로 보인다. 산출배수를 증가시켜 계산하였을 시 20배일 때 6,240 N으로 연결로프가 견딜 수 있는 최대치로 산출되며, 이에 근거하였을 때 국내업체에서 생산되는 오일스네어 연결로프의 인장강도 기준은 최소 20배 이상의 하중에는 견딜 수 있게 재산정되어야 한다고 판단된다.

5. 결론

해양경찰청 고시에서 사용되는 오일스네어 평가시험법에 대한 개선방안을 연구하고자 흡착시험, 톨루엔 추출잔량시험 및 인장강도시험을 수행하였고 그에 대한 제시결과는 다음과 같다.

1) 해양경찰청 고시에 사용되는 유종인 벙커 B유에 기준하여 본 연구에서 선정한 3사 오일스네어를 평가한 결과, 3사에서 제공된 오일스네어 흡유량은 샘플 무게의 20~60배로 나타났다. 하지만, ASTM 시험법에 근거하여 시험한 결과는 모든 샘플에서 약 5배의 성능으로 평가되었다. 이는 국내 고시에서 제시된 시험법과 상이한 방법으로 진행되었기에 다른 결과값이 도출된 것으로 사료된다. 또한 국내 고시에서는 흡유량을 평가하는 반면, ASTM에서는 흡착량을 평가하기 때문에 결과값이 다소 상이한 것으로 판단된다.

2) 점성에 따른 흡착시험은 점도가 높을수록 오일에 대한 흡착력은 비례증가하는 것으로 평가되었으며, 이는 기존 유흡착재가 가지는 성능과 유사한 것으로 나타났다. 오일스네어 내 섬유 사이 공극을 활용한 흡착능은 흡유를 목적으로 하는 유흡착재에서 나타나는 단점인 고점성의 유종에 취약한 부분을 보완할 수 있을 것으로 보인다. 하지만 오일스네어의 경우, 저점성의 연료유에서는 큰 흡착효과를 기대할 수 없었기 때문에 사용범위를 벙커유와 동일한 중질유 내지는 그 이상의 점도를 대상으로 하는 유류로 기준하는 것이 적합하다.

3) 추출잔량 시험결과와 비교하여 샘플 모두 90.0% 기준치에 모두 만족하였지만, C사의 경우처럼 색을 띄는 경우 톨루엔에 의하여 색소가 추출되었다. 이는 색소에 의한 2차 오염이 발생할 수 있음을 시사하며, 실 해

Table 7. Estimated load calculation results of oil snare connecting ropes in bunker B oil

Oil snare single adsorption load	Oil snare 60 bundles based on 10 m rope	Notification standard calculation								
		× 2.5	× 5	× 10	× 20	× 50	× 100	× 150	× 200	
kg	N	Adsorption load (N)								
0.53	5.2	312	780	1,560	3,120	6,240	15,600	31,200	46,800	62,400

상에서의 오염방제 시에는 가급적 색상이 없는 흰색 계통의 오일스네어의 사용이 권장된다.

4) 본 연구를 통해 오일스네어의 경우 흡유 매커니즘이 아닌 흡착 매커니즘을 보이기 때문에, 국내 흡유 시험법보다는 ASTM에서 제시하는 흡착시험이 보다 적합한 것으로 사료되며, 국내 실 해양환경에 기준한 추가시험이 필요한 것으로 보인다.

## References

- 1) Korea Coast Guard, "ITOPF, Country & Territory Profiles", pp. 1-12, 2017.
- 2) B. G. Lee, "Hebei Spirit Disease Pollution Accident Control and Decade", DongHwaTechnology, pp. 48-60, 2017.
- 3) J. Chun, B. Kang and C. K. Kim, "Comparison of Korea and World Marine Oil Spill Studies: Long-term Trend Analysis Through in-depth Literature Review", J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, Vol. 21, No. 1, pp. 30-39, 2018.
- 4) Y. M. Jin, J. H. Lee, Y. H. Jo and S. H. Lee, "A Study on the Effectiveness and Safety Comparison of Dispersants", J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 6, pp. 148-155, 2015.
- 5) B. Yoo, K. Oh and J. B. Baek, "A Study on Improved Emergency Management System-Focused on Response to Diffusion of Oil Spilled in Marine", J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 2, pp. 83-89, 2015.
- 5) Korea Coast Guard, "Performance Test Standards and Certification Standards for Marine Pollution Control Materials and Medicines", Vol. 1, 2017.
- 6) Z. Cai, W. Liu, J. Fu, S. E. O'Reilly and D. Zhao, "Effects of Oil Dispersants on Photodegradation of Parent and Alkylated Anthracene in Seawater", Environmental Pollution, Vol. 229, pp. 272-280, 2017.
- 7) D. G. Hatzignatiou, N. H. Giske and A. Stavland, "Polymers and Polymer-based Gelants for Improved Oil Recovery and Water Control in Naturally Fractured Chalk Formations", Chemical Engineering Science, Vol. 187, pp. 302-317, 2018.
- 8) P. J. Brandvik and P. S. Daling, "Optimisation of Oil Spill Dispersant Composition by Mixture Design and Response Surface Methods", Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 42, No. 1-2, pp. 63-72, 1998.
- 9) F. P. Carvalho, "Mining Industry and Sustainable Development: Time for Change" Food and Energy Security, Vol. 6, No. 2, pp. 61-77, 2017.
- 10) H. J. Cho and C. W. Ha, "The Effectiveness of the Dispersant Use during the "Deepwater Horizon" Incident -REVIEW of the Proceedings from 2011 International Oil Spill Conference-", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 18, No. 1, pp. 61-65, 2012.
- 11) O. P. Park, J. H. Kim, H. S. Choi, H. S. Ji and X. Y. Liu, "Articles : Emulsion Grafting of Glycidyl Methacrylate onto Plasma-treated Polypropylene Surface" POLYMER (KOREA), Vol. 36, No. 1, pp. 65-70, 2012.
- 12) J. W. Lee, "Marine Pollution", DongHwaTechnology, pp. 12- 33, 1998.
- 13) M. Ikegami, G. Xu, K. Ikeda, S. Honma, H. Nagaishi, D. L. Dietrich and Y. Takeshita, "Distinctive Combustion Stages of Single Heavy Oil Droplet under Microgravity", Fuel, Vol. 82, No. 3, pp. 293-304, 2003.
- 14) Ministry of Public Safety and Security, "Technical Standard for Type Approval of Air Respirator and Product Inspection", Vol. 30, 2015.
- 15) J. S. Yoo, "Multi-layered Sorbent Material using Hydrophobic Film", Korean Intellectual Property Office, 2011.
- 16) E. Kim, L. Manuel, M. Curcic, S. S. Chen, C. Phillips and P. Veers, "On the Use of Coupled Wind, Wave, and Current Fields in the Simulation of Loads on Bottom-Supported Offshore Wind Turbines during Hurricanes: March 2012-September 2015 (No. NREL/TP-5000-65283)", National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2016.