

## 허베이스피리트호 원유유출사고로 오염된 태안연안의 경시변화 -현장관측(육안 및 사진분석)을 중심으로-

정재성 · 정정조<sup>†</sup>  
순천대학교 토목환경공학부

# Time-elapses Change of Oil-polluted Taean Coastal Area by the Hebei Spirit Oil Spill Incident - Focusing on the Field Surveying(Vision and Photos) -

Jae-Sung Jung and Cheong-Jo Cheong<sup>†</sup>

*Division of Civil and Environmental Engineering, Suncheon National University*

### 요 약

허베이스피리트호의 원유유출로부터 오염된 해안이 어떻게 변화되어 가는지 조사하는 것을 목적으로 하여, 태안군 이원면 만대(가로림만)로부터 소원면 파도리 해변까지 11개 정점에서 현장조사를 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다. 1년이 경과한 시점에서 관측한 결과 관측지점 10개 정점 모두에서 잔존유는 발견되지 않았으나, 구름포 해변의 경우 아직도 토양중에 잔존유가 존재하고 있는 것으로 파악되었다. 오염된 태안 해안의 조속한 복원은 100만이 넘는 자원봉사자와 지역주민의 방제노력이 이루어낸 성과라고 판단되며, 또한 파도의 반복적인 작용에 의해서 조간대에 표착한 표착유가 제거되었으리라 판단된다. 조간대에 표착해 있던 원유의 일부는 물리화학적 그리고 생물학적 풍화작용으로 분해되었고, 나머지 기름은 모래입자나 미세토립자(minerals)와 부착되어 기름과 미세토립자의 합체물(OMA)의 형태로 조간대나 조하대에 분산되었으리라 판단된다.

**Abstract** – The purpose of this study is to investigate the time-elapse change of oil-polluted Taean coastal area with by Herbei Spirit oil spill incident. From Mandae of Iwonmeyon to Padori beach of Sowonmeyon, field monitoring was conducted at eleven surveying points surveying. The specific conclusions from this study are as follows. The residual oil was not founded at ten surveying points, but the crude oil remained under the ground at the Groompo beach one year passed since the oil spill. Because the efforts of volunteers over millionaires and inhabitants for cleaning and reciprocating actions of waves, the oil-polluted coastal area by Herbei Spirit oil spill incident. It is guessed that a part of stranded oil spilled from the incident was degraded by physical, chemical, and biological weathering and the residue was dispersed in tidal and subtidal zone with oil-minerals aggregates(OMA).

**Keywords:** Herbei Spirit Oil Spill Incident(허베이스피리트기름유출사고), Oil pollution(기름오염), 태안유류오염의 경시변화(Time-elapses change of oil-polluted Taean)

### 1. 서 론

2007년 12월 7일 오전 7시 15분 경 태안 만리포 북서방 10 km 해상에서 삼성중공업소속 크레인부선을 예인 중 기상악화로 예인

줄이 절단되어 표류하다 정박 중인 유조선 허베이 스피리트(Hebei Spirit)호와 충돌하여 적재중인 263,000 kL의 원유중 12,547 kL의 원유(Kuwait crude, Iranian heavy crude, Upper Zakum crude)가 해상으로 유출되는 사상 최악의 해양오염사고가 발생했다.

유출된 원유는 주변의 온도, 유출된 원유의 종류 및 조성, 파랑 등과 같은 영향인자들에 의해서 물리적·화학적 변성이 수반되며

<sup>†</sup>Corresponding author: ccj@sunchon.ac.kr

emulsion의 형태를 거쳐 tar형태로 변화되는 풍화과정(weathering processes)을 겪게 된다.

이번 Hebei Spirit호의 원유 유출사고로 인해 주변해역은 물론 70 km의 해안선과 충남, 전남·북 101개 도서지역이 유출된 원유에 의해서 오염되었으며 심지어는 제주특별자치도의 추자도까지 tar ball과 tar mat의 형태로 유출된 원유가 이동하였다. 이때 풍화과정 중에 있는 유출유는 바람과 조류에 의해서 이류(advection)하게 되고 이번 Hebei Spirit호의 원유유출 사고에서처럼 연안 공간대에 표착하게 된다.

사고들로부터 유출된 기름이 공간대에 표착하게 되면, 고등과 같은 복족류(腹足類)의 먹이 섭취에 장애 유발(Samiullah [1985]), 부착조류의 광합성저하(方 & 藤澤 [1991]), 포착유의 미생물 분해시 산소의 소모로 인한 토양의 혐기성화에 따른 피해(Jhonston [1970]), 유분이 가지고 있는 PAHs와 같은 발암성물질의 체내 농축(細川 & 桑江 [1997])등의 생태학적 피해가 유발된 다고 보고되고 있다. 또한 해수의 토양침투를 차단으로 인한 산소공급량의 감소로 인한 저서생물의 질식사 등이 피해가 유발 된다(정[2004]).

유출유가 공간대에 표착되었을 경우가 해상에 유막상태로 존재할 때 보다 생태계에 미치는 영향이 크고 방제비용이 많이 소요되며 방제 또한 까다롭기 때문에 유출유의 연안 표착을 차단하는 것이 최우선이고, 차단이 불가능하여 표착된 상황에서는 최대한 빠른 시일 내에 표착유를 제거하는 것이 생태계 피해를 최소화 할 수 있다.

지금까지 공간대에 표착된 원유의 침투거동 및 방제 등에 관한 연구로는 “해변에서 표착유의 토양침투에 미치는 인자의 파악”(정 [2003]), “공간대에서 분산유와 풍화유의 토양침투거동이 해수의 침투에 미치는 영향”(정[2004]), “연안공간대에서 표착된 기름이 입자상물질의 토양침투에 미치는 영향의 실험적 연구”(정[2005]), “표착유의 방제를 위한 유화분산제의 적용성 평가”(정[2008]), “유출된 기름의 해상 및 해안에서의 거동 및 방제기술”(정[2008]), “태안원유 유출의 생물정화를 위한 유용미생물 적용”(이 등[2008])이 보고되고 있다.

그러나 이들 연구들은 실험실적 규모로 수행되어 실제 기름오염이 발생한 현장을 이해하기에는 한계성이 있기 때문 현장에서의 기름의 거동이나 경시변화에 관한 검토 자료는 공간대에 표착한 유

출유의 연구에 중요한 정보를 제공할 수 있으리라 판단된다.

따라서 본 연구에서는 Hebei Spirit호의 원유유출로 오염된 해안이 어떻게 복원되어 가는지를 조사하는 것을 목적으로 하여, 태안군 이원면 만대로부터 소원면 파도리 해변까지 11개 정점에서 사진촬영 및 현장관측을 통해 경시변화를 모니터링 하였다.

## 2. 조사 정점 및 방법

### 2.1 조사 시기 및 정점

Herbei Spirit호 사고로 유출된 원유가 해안에 표착되어 장기적으로 어떻게 변화되어 가는지를 파악하기 위해서 태안군 이원면 만대로부터 소원면 파도리까지 11개 정점에서 조사를 수행하였다 (Fig. 1). 1차 조사는 2007년 12월 8일(Hebei Spirit호 원유유출사고로부터 1일 경과), 2차는 2007년 12월 10일~12일(3일~5일 경과), 3차는 2008년 1월 5일~6일(29일~30일 경과), 4차는 2008년 12월 26일(384일 경과)후에 수행하였다.

조사정점은 북쪽으로부터 이원면 5개 정점(만대, 바다마을이야기, 웅천 부근, 가로림양식장부근, 꾸지나무골해수욕장, 이원방조제),

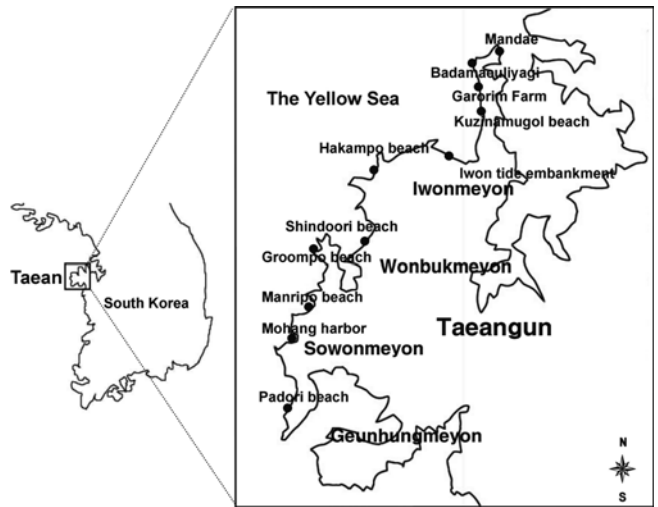


Fig. 1. Geographical location of fourteen surveying sites in the Taean Peninsula, Korea.

Table 1. Surveying sites for monitoring the oil-polluted Taean coastal area.

No.	Surveying sites	Latitude	Longitude	Geological features
1	Mandae	36°57'49.3"	126°18'26.9"	Mud
2	Badamauliyagi	36°58'04.0"	126°17'54.2"	Rock
3	Garorim farm	36°56'54.3"	126°17'34.1"	Rock
4	Kuzinamugol beach	36°55'52.1"	126°17'41.8"	Sand
5	Iwon tide embankment	36°53'40.9"	126°16'41.8"	Artificial structure
6	Hakampo beach	36°53'37.4"	126°12'17.3"	Sand
7	Shindoori beach	36°50'05.0"	126°11'11.6"	Sand
8	Guroompo beach	36°50'02.1"	126°09'17.7"	Gravel
9	Manripo beach	36°46'59.0"	126°08'40.9"	Sand
10	Mohang harbor	36°46'24.4"	126°07'56.4"	Artificial structure
11	Padori beach	36°44'08.6"	126°08'08.3"	Cobble

원북면의 2개 정점(학암포해수욕장, 신두리해수욕장, 소원면의 4개 정점(구름포해수욕장, 만리포해수욕장, 모항항, 만리포해수욕장)으로 총 11개소로 하였다. 조사정점의 위치 및 경위도 좌표 그리고 해당지점의 지형정보는 Table 1에 제시한 바와 같다.

### 2.2 조사 방법

Herbei Spirit호의 기름유출사고로 오염된 태안군 지역의 오염현황을 조사하기위하여 각 정점에서 현장촬영 및 육안 관측을 실시하였다. 그리고 해수욕장의 경우는 굴착을 통해 토양침투유의 잔존 여부를 파악하였다.

## 3. 조사 결과 및 고찰

### 3.1 유출된 원유의 해안 표착현황

이번 태안 해상에서 발생한 Herbei Spirit호의 원유유출 사고에서 처럼 해상에서 유출된 기름은 Fig. 2에 제시한 바와 같이 물리적, 화학적, 생물학적 변화를 거치면서 풍화되어 가는데(정[2008]), 유출된 원유는 확산(spreading)에 의해서 얇은 유막으로 변화되고 이 과정에서 저분자 성분들(원유: 약 30~40%, C중유: 5% 미만)은 증발(evaporation)에 의해서 대기중으로 휘발된다. 증발하고 남은 잔존 성분(non-volatile fraction)은 해수와 혼합되어 w/o emulsion(water in oil emulsion, 유중수 에멀전)을 형성하고 이 과정에서 미생물분해(biodegradation)가 동반되며,

시간경과와 더불어 tar ball(직경이 10 cm 이하의 잔존유로 형성된 유괴)이나 tar mat(직경이 10 cm~1 m까지의 잔존유로 형성된 유괴)가 형성되며 그 이후로는 아주 느린 속도로 분해되어 간다. 한편 유출 직후 파고가 높아 충분한 교반이 일어나면 유출된 원유가 작은 입자로 분산되어 해수와 혼합되는 o/w emulsion(oil in water emulsion, 수중유 에멀전)이 형성되는데, 이로 인해 수평 및 수직적 분산(dispersion), 용해(dissolution), 미생물분해, 그리고 기타 생물



Fig. 3. Image of oil spill of the Herbei Spirit and oil stranding on Manripo beach.

체에 의해서 섭취되기도 한다.

Herbei Spirit호의 원유 유출사고에서 처럼 유출된 기름은 시간의 경과와 더불어 풍화되는데, 이 풍화 과정에서 조류나 바람의 영향으로 해안으로 이동하여 해안 공간대에 표착하게 된다.

Fig. 3은 사고선박 Herbei Spirit호의 기름유출 장면(해양경찰청 자료)과 유조선과 유출유가 만리포해변에 표착하고 있는 장면(2007년 12월 8일)을 제시한 자료이다. 이번 Herbei Spirit호 사고당시 유출된 원유는 표착당시 해수를 50%이상 내포하여 점도가 매우 높아진 유-중-수 에멀전(water in oil emulsion, w/o emulsion) 상태였으며, 원유중에 포함된 저분자 성분들의 증발로 인해 심각한 악취가 발생되고 있는 상태였다.

### 3.2 태안 해안에서 적용된 표착된 기름의 방제 및 처리법

이번 Herbei Spirit호의 원유 유출사고로부터 오염된 해안의 방제를 위해 적용되었던 방제법은 수작업에 의한 제거법(Manual recovery), 진공흡입법(Vacuum), 기계적 제거법(Mechanical removal), 갈아엎기(Tilling and aeration), 파도에 의한 세척법(Sediment reworking or Surf washing), 저온고온 고압세척법(High-pressure cold or hot water washing), 미생물정화법(Bioremediation) 등이 있었다. 각 방제법에 대하여 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

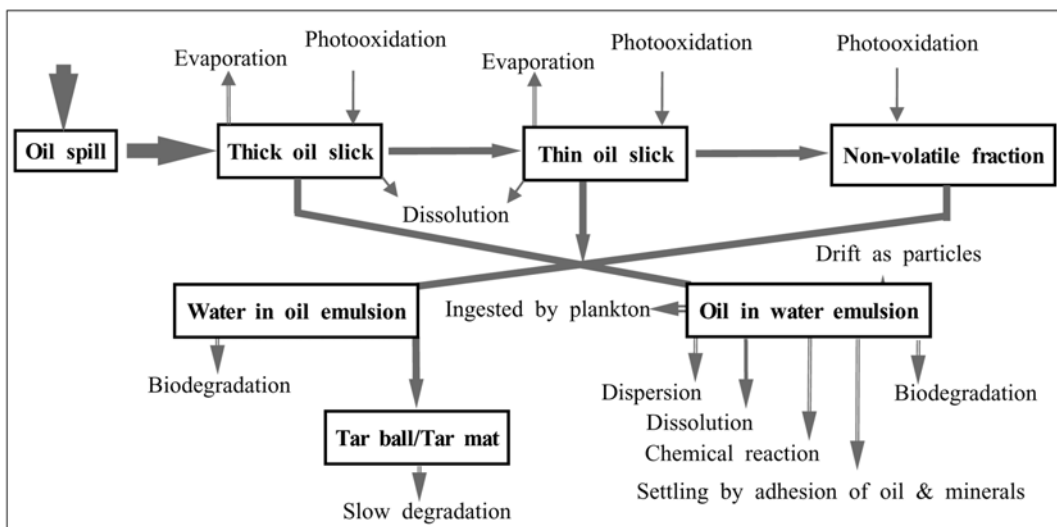


Fig. 2. Weathering processes of spilled crude oil.



Fig. 4. Images of manual recovery at the oil-polluted Taean coastal area.

3.2.1 수작업에 의한 제거법(Manual recovery)

이번 Herbei Spirit호의 원유유출사고 당시에도 100만이 넘는 자원봉사자나 지역주민들이 Fig. 4에 제시한 바와 같이 수작업으로 표착된 기름을 제거 하였다.

해안에서 수작업으로 기름을 제거하는 것은 생물피해가 적고, 사람이 직접 기름으로 오염된 암벽이나 오염된 모래지역 등을 구분해서 기름을 제거할 수 있고 장비의 투입이 곤란한 고립된 암석지반에도 효과적이기는 하나, 수천가지이상의 다양한 유기 및 무기화합물로 구성된 유출유 중에는 인간의 보건학적 측면에서 매우 유해한 성분들이 내포되어 있기 때문에 각별한 주의가 필요하다.

국제암연구소(The International Agency for Research on Cancer)의 발표(Rodriguez Trigo [2007])에 따르면, 원유속에 포함되어있는 방향족 탄화수소인 Benzene과 Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Styrene은 발암이 입증된 물질과 발암가능성이 있는 물질, Benz(a)-anthracene, Benz(a)-pyrene, Naphthalene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(j)fluoranthene을 발암 가능성이 있는 물질로 분류하고 있다. 또한 발암성을 갖고 있고 내분비계에 영향을 미치는 물질로 분류하고 있는 Cd, Pb, Ni과 같은 중금속이 원유에 포함되어있다고 보고하고 있다.

따라서 방제에 참여하는 자원봉사자나 지역주민들의 건강을 위해서 방제시에는 방제복이나 방독마스크 등을 필수적으로 착용해야 한다.

3.2.2 진공흡입법(Vacuum)

Fig. 5는 Herbei Spirit호 사고당시 만리포해수욕장에서 적용되었

던 진공흡입기로 다량의 유출유가 해안으로 유입된 경우에 최측의 소형 흡입기가 사용되었으며, 우측의 흡입기는 수작업에 의해서 회수된 기름을 임시 저장하는 저유통에서 흡인하여 재이용 시설로 운반 하기위해서 사용되었다.

해변이나 해안에 모아진 기름을 진공흡입방법을 이용하여 제거하는 방법으로, 작은 진공흡입장치는 해안가의 기름제거에 적합하며, 가정폐기물(분뇨 등)제거용 진공흡입트럭은 모아진 기름이나 회수된 기름의 제거에 적합하다. 그러나 안전을 위해서는 휘발성이 강한 기름의 경우에는 부적합한 방법이다.

3.2.3 기계적 제거법(Mechanical removal)

Fig. 6은 Herbei Spirit호 사고로 해안에 표착된 기름의 방제에 사용된 중장비들의 모습을 보여주는 사진이다. 왼쪽 자료는 기름에 오염된 모래를 담은 포대를 불도저를 이용해서 한곳으로 이동시키는 장면이고, 오른쪽 자료는 파도에 의해서 기름에 오염된 자갈들을 세척시키기 위해서 포크레인을 이용해서 쇠파대로 자갈을 이동시키는 장면이다.

Scraper, grader, bulldozer, tractor 등의 중장비를 이용하여 해안의 기름이나 기름에 오염된 모래 등을 제거하는 기계적 방제법은 인력에 의한 방법보다 일시에 많은 지역의 기름에 오염된 토양을 제거할 수 있고 지반이 모래나 작은 자갈의 경우 효과적이다. 그러나 중장비의 접근이 어려운 경우가 많고, 바퀴에 의해서 표착된 기름이 보다 깊이 침하하는 경우가 발생하고 자중에 의해서 저서생물에게 악 영향을 미칠 수 있으며, 과도한 모래가 폐기물로 반출되



Fig. 5. Images of vacuum equipments for oil recovery used at the Maripo beach in December 11, 2007.



Hakampo beach (December 12, 2007)

Ehyang beach (January 6, 2008)

Fig. 6. Images of heavy equipments for oil recovery used at the oil-polluted Taean coastal zone.

어 2차적인 처리에 부담 가중된다는 단점이 있다.

그리고 중장비를 이용하는 기계적 제거법은 많은 양의 기름을 빨리 제거할 수 있지만 비용이 많이 든다. 1978년 Amoco Cadiz호의 기름유출사고에서 염습지에 중장비를 투입해서 표층 50 cm를 걷어냈으나 12년이 경과한 후에도 기름이 잔존한 반면, 중장비를 투입하지 않은 지역에서는 깨끗하게 회복이 되었다고 보고하고 있다(Whitfield [2003]).

### 3.2.4 갈아엎기(Tilling and aeration)

Fig. 7은 학암포해변에서 쟁기형태의 장비를 이용해서 오염된 토양을 갈아엎어 토양중에 잔존하는 기름의 풍화 및 분해를 촉진시



Fig. 7. Image of tilling at Hakampo beach in January 6, 2008.

키기 위해 적용된 방제방법이다. 이 방법은 토양중의 기름을 노출시켜 자연적인 풍화를 촉진시키고, 토양중에 잔존유로 형성된 “asphalt pavement”를 부수는 역할을 하며, 해수욕장과 같은 모래지반에서는 토양중에 잔존하는 기름냄새의 증발을 촉진시키기도 한다. 그리고 이 갈아엎기법은 모래나 자갈지반에 적합하나, 저서생물에게 악영향을 미칠 수 있으므로, 신중한 고려 후에 적용하여야 한다.

### 3.2.5 파도에 의한 세척법(Sediment reworking or Surf washing)

Fig. 8의 구름포(좌측과 중간)와 파도리(우측)에서 2008년 1월 6일에 촬영한 사진으로 구름포에서는 기름에 오염된 상조위대의 자갈을 쇠파대로 이동시켜 놓은 상태로 사진에서 보이는 바와 같이 자갈에 부착되어있던 유출유가 파도에 의해서 작은 입자들로 탈리 되어있다.

한편 작은 자갈로 이루어진 파도리 해변에서도 쇠파대(swash zone)에서 형성된 wave breaking에 의해서 표착된 유출유가 제거되는 마찰이 발생하고 있었다.

Owen[1978]은 조간대에 표착된 표착유의 자연적 풍화와 분산은 표착유의 종류, 표착량 그리고 파도와 같은 물리적 에너지에 의해서 결정 된다고 보고하고 있다. 모래나 작은 자갈 지반에서는 파도의 반복적인 작용에 의해서 마찰(abrasion)과 침식(erosion)이 발생되는데, 이때 표착된 표착유도 모래입자와 부착된 상태로 작은 입자로 분리 되어 파도의 반복적인 작용에 의해서 분산되어 파도가



Guroompo beach

Padori beach

Fig. 8. Images of sediment reworking or surf washing for oil recovery used at the oil-polluted Taean coastal zone in January 6, 2008.

육상쪽으로 이동하게 된다.

저자의 선행연구(정[2003]; 정[2004]; 정과 이[2005])에서도 모의 조건대를 이용하여 표착유의 거동을 관찰한 결과 모래입자와 부착된 표착유가 낙조(falling tide)시에 조하대로 이동하는 현상이 관측되었다.

또한 모래나 토립자와 부착된 표착유는 기름과 미세토립자의 합체물(OMA, Oil-Mineral Aggregates)을 형성하게 되는데, 이 OMA는 매우 안정적인 상태로 유출유를 넓은 지역으로 분산시킴으로 인해 표착유로 인한 생물피해가 최소화되며 비표면적의 증가로 인해 미생물 분해도 용이하게 된다는 관점에서 자연정화법(natural cleansing method)의 일환으로 연구자들로부터 많은 관심을 받고 있다(Lee *et al.* [2002]; Omotoso *et al.* [2002]; Payne *et al.* [2003]; Floch *et al.* [2002]; Kepkay *et al.* [2002]; Guyomarch *et al.* [2002]; Khelifa *et al.* [2002]; Stoffyn-Egli *et al.* [2002]; Owens *et al.* [2003]; Khelifa *et al.* [2005]; Harris *et al.* [1979]).

### 3.2.6 저온고온 고압세척법(High-pressure cold or hot water washing)

Fig. 9의 자료는 이원방조제에서 저온고압세척법이 적용되고 있는 장면으로 굳어버린 부착유의 점도를 낮추어 수작업에 의한 제거를 용이하게 위해서 적용되었던 방제법이다.

고압으로 저온 또는 고온의 물을 오염지역에 살포하는 방법으로 함께 존재하는 식물이나 동물 및 유처리 미생물까지 씻어 내버리는 결과를 초래하게 된다. 고온의 물을 분사하기 때문에 효율적이며 자갈이나 암석지반에 적합한 방제방법이다. 이 방법은 자연방치를 하는 방법보다 정화능력이 떨어지는 것으로 보고되고 있다.

고온고압세척(High-pressure hot water)의 경우는 1989년 Exxon Valdez호의 기름유출사고시에 적용하였으나 고온고압세척을 하지 않은 지역보다 기름의 제거속도가 느렸고, 3년후에는 두지역 모두 거의 동등했다고 보고되었다(Whitfield [2003]). 따라서 현재는 거의 사용하지 않는 방법이고, 스페인에서는 방파제나 항구의 벽과 같은 인공구조물의 기름제거에만 적용하였다.

### 3.2.7 미생물정화법(Bioremediation)

태안 기름유출사고 당시 해안방제를 위해서 유효미생물(EM,

Effective Microorganism)과 같은 다양한 미생물제제가 적용되었다.

미생물정화법(Bioremediation)은 크게 미생물의 활성을 촉진시키기 위해서 영양분을 공급해주는 biostimulation 방법과 유처리 미생물을 배양하여 오염지역에 살포하는 bioaugmentation 방법이 있는데 일반적으로 biostimulation이 보다 효율적인 것으로 알려져 있다. 펄, 모래, 자갈, 암석지반에 적용될 수 있으며, 포화분을 상대적으로 많이 포함하고 있는 기름의 방제에 적합하다.

그러나 영양염의 살포로 적조 발생의 우려가 있고, 분해속도가 매우 느려 장시간이 소요되며 영양염의 농도, DO, pH, 온도, 토양 중의 수분에 많은 영향을 받는다. 또한 기름분해 미생물이 분해가 어려운 고분자 성분을 많이 포함하고 있는 heavy oil의 경우에는 분해가 매우 어렵다.

### 3.3 연안 표착유의 경시변화

Herbei Spirit호 기름유출사고로 유출되어 해안에 표착된 원유가 전술한 방제 및 처리공법들에 의해서 제거되어 해안이 어떻게 변화되어 가는지를 파악하기 위해서, 태안군 이원면 만대(가로림만)로부터 소원면 파도리 해변까지 11개 정점에서 조사한 결과, 원유 유출로부터 4월경과(2007년 12월 11일) 후에 만대(Mandae) 해안의 경우는 Fig. 10에 제시된 바와 같이 유출된 원유가 다소 유입되어 지역주민들이 흡착포를 투여해놓은 상태였다. 그리고 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 기름의 육안 관측이 불가능하였으며, 384일 경과(2008년 12월 26일)후에도 기름이 관측되지 않았다.

Fig. 11은 바다마을이야기 펜션(Badamaeliyagi pension)주변의 기름에 의해서 오염된 해안의 경시변화를 제시한 사진이다. 사진에서와 같이 조사지역은 암벽으로 형성되어 있었고, 4월경과(2007년 12월 11일) 후 암반 및 암반사이의 흠에 다량의 기름이 표착되어 있었으며, 지역주민들이 흡착포를 이용해서 표착된 기름을 제거하고 있었다. 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 대부분의 기름이 제거된 상태였으나, 아직도 잔존유와 암반에 스며든 기름의 흔적이 뚜렷이 확인되었다. 그러나 384일 경과(2008년 12월 26일) 후에는 기름이 전혀 관측되지 않았으며 기름오염의 흔적을 찾아 볼 수 없었다. 이는 잔존유와 암반에 스며든 기름이 파도의 반복적인 작용에 의해서 제거되었기 때문으로 판단된다.



Fig. 9. Images of application of high-pressure warm water at Iwon tide embankment for oil recovery used at the oil-polluted Taean coastal area in January 6, 2008.



Fig. 10. Change of oil-polluted coastal area around Madae by the Hebei Spirit oil spill incident.



Fig. 11. Change of oil-polluted coastal area around Badamaeuliyagi pension by the Hebei Spirit oil spill incident.



Fig. 12. Change of oil-polluted coastal area around Garorim farm by the Hebei Spirit oil spill incident.



Fig. 13. Change of oil-polluted coastal area Kuzinamugol beach by the Hebei Spirit oil spill incident.

Fig. 12는 가로림양식장(Garorim farm) 주변 해안의 기름오염의 경시변화를 제시한 사진이다. 4일경과(2007년 12월 11일) 암반에 검은색의 유출된 원유가 표착되어 흘러내리고 있는 상황이었으며, 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 자원봉사자나 지역주민에 의해서 대부분의 기름이 제거된 상태였으나, 아직도 잔존유와 암반에 스며든 기름의 흔적이 뚜렷이 확인되었다. 그러나 384일 경

과(2008년 12월 26일)후에는 사진에 제시된 바와 같이 기름의 흔적이 관측되지 않았다.

Fig. 13는 이원면에 위치한 꾸지나무골해수욕장 우측의 암벽을 촬영한 자료로써, 원유유출사고로부터 4일경과(2007년 12월 11일) 후 유출된 기름은 암반 및 암반사이의 흠에 침투되어있는 상태였으며 장병들이 방제작업을 하고 있었다. 30일이 경과(2008년 1월



Fig. 14. Change of oil-polluted Iwon tide embankment by the Hebei Spirit oil spill incident.

6일)한 시점에서는 대부분의 기름이 제거된 상태였으며 바위에 침투한 기름의 흔적이 남아 있는 상태였다. 그러나 384일 경과(2008년 12월 26일)후에는 기름이 전혀 관측되지 않았으며 해수욕장을 굴착해 보아도 기름의 흔적을 발견되지 않았다.

Fig. 14는 이원방조제(Iwon tide embankment)에서 유출된 기름에 의해서 오염된 방조제의 경시변화를 제시한 사진이다. 4일경과(2007년 12월 11일) 후 유출된 기름은 암반 및 암반사이의 흠에 침투되어있는 상태였으며 지역주민들이 흡착포 등을 이용하여 방제작업을 하고 있었다. 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 대부분의 기름이 제거된 상태였으나, 아직 제거되지 않은 잔존유를 저온·고압세척법으로 점도를 낮춘 후 흡착포를 이용해서 제거하는 모습도 관측되었다. 그리고 기름유출로부터 4일 경과한 시점에서는 총알고둥이 거의 발견되지 않았으나 30일 경과 후에는 다소의 총알고둥이 발견되었으며, 기름이 전혀 관측되지 않은 384일 경과

(2008년 12월 26일)후에 암반에서는 수 많은 개체수의 총알고둥이 관측되었다. 따라서 시간의 경과와 더불어 표착된 기름이 제거됨에 따라 암반에 부착해서 생존하는 총알고둥의 개체수가 점차적으로 회복되는 경향을 보였다.

Fig. 15는 유출유로 인해 오염된 학암포 해수욕장의 경시 변화를 제시한 자료이다. 원유의 유출로부터 4일 경과(2007년 12월 11일) 후 유출된 기름은 해변의 모래 속으로 침투되어 있었으며 많은 자원봉사자들은 기름에 오염된 표층의 모래를 마대에 담아 중장비를 이용해서 한곳으로 이동시키고 있었다. 그리고 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 기름의 존재여부를 육안으로 하는 것이 어려울 정도로 표착유가 제거가 된 상태였으나 아직도 모래에는 기름의 휘발성분에 의한 취기(臭氣)가 잔존하고 있었다. 현장에서는 방제를 위해 중장비를 이용해서 토양을 갈아엎어 토양중에 잔존하는 취기를 제거함과 동시에 파도에 의한 세척을 도모하는 방법을



Fig. 15. Change of oil-polluted Hakampo beach by the Hebei Spirit oil spill incident.



Fig. 16. Change of oil-polluted artificial revetment around Shindoori beach by the Hebei Spirit oil spill incident.



적용하고 있었다. 그리고 384일 경과(2008년 12월 26일)후에는 Fig. 15의 오른쪽 사진에서와 같이 기름오염의 흔적이 관측되지 않았으며 토양을 100 cm까지 굴착해 보았으나 기름은 존재하지 않았다.

Fig. 16는 신두리해수욕장 주변의 호안구조물에 부착된 기름의 경시변화를 제시한 사진이다. 4일 경과(2007년 12월 11일) 후 유출된 기름은 검은 색으로 구조물을 오염시켰으며, 저면의 암반과 암반사이에는 많은 양의 유출유가 고여 있는 상태였다. 그리고 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 방제작업을 실시한 결과로 대부분의 기름이 제거된 상태였으나, 아직 제거되지 않은 잔존유나 인공구조물에 흡수된 기름의 흔적이 남아있는 상태였다. 또한 384일 경과(2008년 12월 26일)후에는 기름오염의 흔적이 관측되지 않았다.

Fig. 17는 신두리해수욕장(Shindoori beach)에서 2007년 12월 11일, 2008년 1월 6일, 2008년 12월 26일에 3차례 촬영된 사진으로, 4일경과(2007년 12월 11일) 후에는 모래에 유출된 기름이 침투되어 진한 갈색으로 모래가 변해있는 상태였으며, 해안구조물인 옹벽의 바위사이에는 많은 양의 기름이 고여 있는 상태였다. 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 파도에 의한 세척을 도모하기위해서 옹벽 바닥의 바위들을 쇄파대로 이동시키고 잔존유를 제거하는 작업을 하고 있었다. 그리고 384일 경과(2008년 12월 26일)후에는 육안관측을 통해 파악한 결과 Fig. 15의 오른쪽 사진에서와 같이 기름오염의 흔적이 관측되지 않았다.

Fig. 18은 구름포해수욕장 부근의 유출된 기름에 의해서 오염된 해변을 2007년 12월 11일, 2008년 1월 6일, 2008년 12월 26일에 3차례 촬영한 사진을 제시한 결과이다. 4일경과(2007년 12월 11일) 후

의 모습은 결과에서 보듯이 다량의 기름이 자갈로 형성된 해안가에 표착되어 있는 상태였으며, 유출된 기름의 회수를 위해서 투입된 다량의 흡착포가 파도에 의해서 포류하고 있었다. 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 많은 양의 기름은 제거된 상태였으며, 잔존유의 제거를 위해서 중장비를 이용해서 오염된 자갈을 쇄파대로 이동시켜 파도에 의한 세척을 도모하기위한 작업을 수행하는 중이었다. 그리고 384일 경과(2008년 12월 26일)후에 다시 찾은 동일지점에서는 기름의 흔적이 관측되지 않았다.

Fig. 19은 유출된 기름에 의해서 오염된 구름포해수욕장을 2007년 12월 11일, 2008년 1월 6일, 2008년 12월 26일에 3차례 촬영한 사진을 제시한 결과이다. 위의 3개 사진은 해수욕장 전체적인 사진이고, 아래의 사진은 기름에 오염된 자갈의 모습을 근접 촬영한 결과이다.

4일경과(2007년 12월 11일) 후의 경우 다량의 기름이 자갈로 형성된 해안가에 표착되어 있는 상태였으며, 유출된 기름의 회수를 위해서 다량의 흡착포를 자갈위에 투입해 놓은 상태였다. 그리고 아래의 근접 촬영한 사진에서 보듯이 검은색 유출유가 자갈 전체를 오염시켜 놓은 상태였다.

30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 많은 양의 기름이 제거되었으나, 아직도 많은 양의 기름이 자갈 사이에 남아 있었다. 그리고 아래의 근접촬영 결과에서처럼 검은색의 작은 기름입자가 자갈에서 탈리되어 자갈주변에 퇴적되어 있는 모습이 관측되었다.

그리고 384일 경과(2008년 12월 26일)후에 다시 찾은 동일지점에서 토양표면에서는 기름의 흔적을 찾을 수 없었다. 그러나 언론보도(MBC뉴스, 2008년 12월 04일 22시 42분)에서 구름포해수



Fig. 17. Change of oil-polluted Shindoori beach by the Hebei Spirit oil spill incident.



Fig. 18. Change of oil-polluted coastal area around Guroompo beach by the Hebei Spirit oil spill incident.



Fig. 19. Change of oil-polluted Guroompo beach by the Hebei Spirit oil spill incident.



Fig. 20. Change of oil-polluted Manripo beach by the Hebei Spirit oil spill incident.

육장에서 굴삭기를 이용하여 굴착한 결과 다량의 기름이 잔존하는 것이 관측되었다고 보도하고 있다.

Fig. 20은 허베이스피리트 원유유출사고로 오염된 만리포해수욕장의 경시변화를 알아 보기위해 2007년 12월 8일, 2007년 12월 12일, 2008년 1월 6일, 2008년 12월 26일에 4차례 촬영한 사진을 제시한 결과이다. 위의 3개 사진은 해수욕장 전체적인 사진이고, 아래의 사진은 기름에 오염된 해수욕장의 내부를 촬영한 사진이다.

유출사고 1일 경과(2007년 12월 8일)후의 경우는 사진에 제시한 바와 같이 다량의 기름이 만리포해수욕장에 표착되었다.

5일경과(2007년 12월 12일) 후의 경우 자원봉사자나 지역주민들에 의해서 많은 양의 기름은 제거되었으나 사진에서 보듯이 아직도 창조시에 유분이 해수와 동반되어 유입되고 있었다. 그리고 파도에너지에 의해서 모래입자가 부상하여 재분배되면서 비중이 가벼운 모래공극사이에 침투해 있던 기름이 부상해 있는 상태였다.

그리고 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 많은 양의 기름이 제거되었으나, 아직도 모래사변에는 작은 기름덩어리들이 발견되고 있었다. 그러나 384일 경과(2008년 12월 26일)후에 다시 찾은 동일지점에서는 전혀 기름의 흔적을 찾아 볼 수 없었다.

한편 사진의 아랫부분의 결과에서 보듯이 원유유출 사고로부터 5일경과(2007년 12월 12일) 후의 사진을 보면 모래속으로 침투한 기름의 모습이 샌드위치 형태(sandwich phenomenon)를 띄우고 있는데 이는 파도와 토양입자의 반복적인 재분배에 의해서 형성된 현상이다. 그리고 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서도 모래속에는 불규칙한 형태의 기름이 침투해 있었으나, 384일 경과(2008년 12월 26일)후에는 약 100 cm까지 모래를 굴착했지만 기름의 흔적을 발견할 수 없었다.

Fig. 21은 허베이스피리트호의 원유유출사고로 오염된 모항항의 경시변화를 2007년 12월 11일, 2008년 1월 6일, 2008년 12월 26



Fig. 21. Change of oil-polluted Mohang harbor by the Hebei Spirit oil spill incident.



Fig. 22. Change of oil-polluted Padori beach by the Hebei Spirit oil spill incident.

일에 촬영한 사진이다. 사진 상에서는 정확한 구분이 어려운 점도 있지만 현장관측을 통해 관찰한 결과, 기름유출 4일경과(2007년 12월 11일) 후에는 옹벽에 검은 색의 원유가 부착되어 있는 모습이 관측되었으나, 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 많은 양의 기름은 제거되어 기름이 표착한 흔적만 관측이 되었다. 그리고 384일 경과(2008년 12월 26일)후에 다시 찾은 동일지점에서는 기름의 흔적이 관측되지 않았다.

Fig. 22는 원유유출사고로 오염된 파도리 수육장의 변화현황을 2007년 12월 12일, 2008년 1월 6일, 2008년 12월 26일 3차례 촬영하여 경시변화를 파악한 사진이다.

허베이스피리트 원유유출사고로 오염된 파도리 해수욕장에서는 4일경과(2007년 12월 11일) 후의 경우 지역주민들이 자갈 속으로 침투된 기름을 흡착포나 걸레 등을 이용하여 닦아 내고 있었으며, 30일이 경과(2008년 1월 6일)한 시점에서는 많은 양의 기름이 제거되었으나, 아직도 많은 양의 기름이 자갈 사이에 남아 있어 방제 작업은 지속적으로 진행되고 있었다. 그러나 384일 경과(2008년 12

월 26일)후에 다시 찾은 동일지점에서는 전혀 기름의 흔적을 찾아 볼 수 없었다.

저자의 선행연구에서 조건대 모형(simulator)을 이용하여 조건대에 표착한 기름의 토양침투 거동(정[2003]; 정[2004]; 정과 이[2005])과 및 조건대에서 표착유의 OMA 형성에 관한 연구(정[2009])를 통해 추측해 볼 때, 파도리 해변이나 만리포 해변 등지에서 잔존유의 제거는 파도의 반복적인 작용에 의해서 만들어진 마찰작용으로 부착된 기름이 탈리되어 조건대에 분산되었거나 조하대로 이동했기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

Herbei Spirit호의 원유유출로부터 오염된 해안이 어떻게 변화되어 가는지를 조사하는 것을 목적으로 하여, 태안군 이원면 만대로부터 소원면 파도리까지 11개 정점에서 현장조사를 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 1년이 경과한 시점에서 관측한 결과 관측지점 10개 정점 모두에서 잔존유는 발견되지 않았으나, 구름포해변의 경우 아직도 토양중에 잔존유가 존재하고 있는 것으로 파악되었다. 오염된 태안 해안의 조속한 복원은 100만이 넘는 자원봉사자와 지역주민의 방제노력으로 이루어낸 성과라고 판단되며, 또한 파도의 반복적인 작용에 의해서 조간대에 표착한 잔존유가 제거되었으리라 판단된다.

2) 선행연구 결과를 바탕으로 조간대에 표착해 있던 원유의 일부는 물리화학적 그리고 생물학적 풍화작용으로 분해되었고, 나머지 기름은 모래입자나 미세토립자(minerals)와 부착되어 기름과 미세토립자의 합체물(OMA)의 형태로 조간대에 분산되었거나 조하대로 이동하였으리라 판단된다.

Herbei Spirit호의 사고로부터 유출된 기름의 1만배 이상의 원유(138,796,131 kL, 2007년)가 국내의 해안을 통해 수송되고 있어 기름유출 사고위험에 언제나 노출되어 있다. 이번 사고로 오염된 무인도나 방제의 손길이 닿지 않은 지역과 조하대에는 아직도 유출유가 잔존하여 생태계피해가 지속되고 있으리라 판단되며 이로 인해 지역사회의 경제적인 측면에도 커다란 손실을 유발시키고 있다. 따라서 기름오염으로 인한 생태계 피해를 최소화 할 수 있는 과학적인 방제방법의 개발이나 생태계 회복을 촉진시킬 수 있는 연구가 지속되어야 할 것이다.

## 사 사

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-313-D00540).

## 참고문헌

- [1] 김기현, 이기환, 안지원, 박신영, 임운혁, 2008, “2007년 태안 원유유출사고 주변지역의 지정악취성분들에 대한 예비조사”, 한국환경분석학회지, 11권, 1호, 39-45.
- [2] 김혜영, 정태운, 박용덕, 2008, “충남 태안 지역 청소년의 만성병 관련 건강행위와 구강건강행위의 연관성에 관한 조사연구”, 대한구강보건학회지, 32권, 2호, 182-193.
- [3] 이은주, 이상모, 이군택, 김인성, 김용학, 2008, “태안 유출원유의 생물정화를 위한 유용미생물의 적용”, 한국환경과학회지, 17권, 7호, 795-799.
- [4] iſiſi', 2003, “Laboratory study for the identification of parameters affecting the penetration behavior of spilled crude oil in a coastal sandy beach”, 한국지하수토양환경공학회지, 8권, 1호, 81-86.
- [5] 정정조, 2004, “조간대에서 분산유와 풍화유의 토양침투거동과 해수의 침투에 미치는 영향”, 한국폐기물학회지, 21권, 3호, 206-213.
- [6] 정정조, 이영식 2005, “연안조간대에 표착된 기름이 입자상물질의 토양침투에 미치는 영향의 실험적 연구”, 대한환경공학회지, 27권, 10호, 1030-1034.
- [7] 정정조, 2008, “유출된 기름의 해상 및 해안에서의 거동 및 방제기술”, 대한환경공학회지, 30권, 2호, 136-145.
- [8] 정정조, 2008, “사질조간대 표착유의 방제를 위한 유화분산제의 평가”, 대한환경공학회지, 11권, 4호, 227-231.
- [9] 정정조, 2009, “연안 조간대에 표착한 유출유의 OMA 형성 영향인자의 평가”, 한국해양환경공학회지, 12권, 3호, 발행예정.
- [10] 緒方正名, 藤澤邦康, 1991, “石油による海洋汚染と環境及び生物モニタリング, 日本水産資源保護協會, 東京, 15-42.
- [11] 細川恭史, 桑江朝比呂, 1997, “干潟実験場によるメソコスム実験”, 土木學會論文集, Vol. 82, 12-14.
- [12] Floch, S. L., Guyomarch, J., Merlin, F.-X., Stoffyn-Egli, P., Dixon, J. and Lee, K., 2002, The influence of salinity on oil-mineral aggregate formation. Spill Science & Technology Bulletin, 8(1), 65-71.
- [13] Gema Rodriguez Trigo, Jan Paul Zock, Isabel Isidor Montes, 2007, “Health Effects of Exposure to Oil Spills”, Vol. 43, 628-635.
- [14] Guyomarch, J., Floch, S. L., and Merlin, F.-X., 2002, Effect of suspended mineral load, water salinity and oil type on the size of oil-mineral aggregates in the presence of chemical dispersant. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 8, No. 1, pp. 95-100.
- [15] Harris, G. W. and Wells, P. G., 1979, A laboratory study on the adhesion of crude oil to beach sand on the presence of a dispersant. Spill Technol. Newsletter. 4, 293-298.
- [16] Jhonston, R., 1970, “The decomposition of crude oil residence in sand columns”, J. Mar. Biol. Ass. U. K., Vol. 50, 925-937.
- [17] Kepkay, P. E., Bugden, J. B. C., Lee, K. and Stoffyn-Egli, P., 2002, Application of ultraviolet fluorescence spectroscopy to monitor oil-mineral aggregate formation. Spill Science & Technology Bulletin, 8(1), 101-108.
- [18] Khelifa, A., Stoffyn-Egli, P., Hill, P. S. and Lee, K., 2002, Characteristics of oil droplets stabilized by mineral particles : effects of oil type and temperature. Spill Science & Technology Bulletin, 8(1), 19-30.
- [19] Khelifa, A., Stoffyn-Egli, P., Hill, P. S. and Lee, K., 2005, Effects of salinity and clay on oil-mineral aggregation. Marine Environmental Research 59, 235-254.
- [20] Lee, K., Weise, A. M. and St-Pierre, S., 1996, Enhanced oil biodegradation with mineral fine interaction. Spill Science & Technology Bulletin, 3(4), 263-267.
- [21] Lee, K., Stoffyn-Egli, P. and Owens, E. H., 2002, The OSSA II pipeline oil spill: Natural mitigation of a riverine oil spill by oil-mineral aggregate formation. Spill Science & Technology Bulletin, 7(3-4), 149-154.
- [22] Omotoso, O. E., Munoz, V. A. and Mikula, R. J. (2002), Mechanisms of crude oil-mineral interactions. Spill Science & Technology Bulletin, 8(1), 45-54.
- [23] Owens, E. H., 1978, Mechanical dispersal of oil stranded in the littoral zone. J. Fish. Res. Board Can., 35, 563-572.
- [24] Owens, E. H. and Lee, K., 2003, Interaction of oil and mineral fines on shorelines: review and assessment. Marine Pollution

Bulletin 47, 397-405.

- [25] Samiullah, Y., 1985, "Biological Effects of Marine Oil Pollution", Oil & Petrochemical Pollution, Vol. 2, 235-264.
- [26] Stoffyn-Egli, P. and Lee, K., 2002, Formation and characterization of oil-mineral aggregates. Spill Science & Technology Bulletin, 8(1), 31-44.

- [27] Whitfield, J., 2003, "How to clean a beach", Nature, Vol. 422, 628-635.

---

2009년 3월 10일 원고접수

2009년 8월 11일 심사완료

2009년 8월 17일 수정본 채택