

연안 조간대에 표착한 유출유의 OMA 형성 영향인자의 평가

정 정 조[†]
순천대학교 환경공학과

Evaluation of Affecting Factors on Formation of Oil-Mineral Aggregates for Stranded Oil on Intertidal Flat

Cheong-Jo Cheong[†]

Department of Environmental Engineering, Sunchon National University

요 약

OMA(Oil-Mineral Aggregates) 형성은 유출유의 분산이나 미생물 분해율을 증대시켜 유출유의 제거에 많은 기여를 할 수 있기 때문에 연안 조간대에 표착된 유출유와 자연친화적인 OMA의 영향인자를 평가하는 것을 목적으로 유출유의 농도(50, 100, 200, 300, 400, 500 mg/L), 미세토립자의 농도(100, 200, 500, 1,000, 2,000, 4,000 mg/L), 염분농도(10, 20, 30, 40 psu), 교반시간(1, 2, 4, 8, 12, 24 hr), 유화분산제의 주입량(0, 5, 10, 15, 20%)과 같은 물리화학적 인자의 변화를 통해 연구를 수행하여, 다음과 같은 결론을 얻었다. 점토광물인 Kaolinite가 비점토광물인 Quartz보다 유출유와의 합체물인 OMA의 형성에 약 3배 이상의 효율을 갖고 있는 것으로 파악되었다. OMA 형성인자들 중에서 기름의 유출량이 많을수록 OMA의 형성이 증대되는 것으로 검증되었으며, 해양의 염분농도 조건에서는 염분농도가 OMA의 형성에 영향을 미치지 않는 것으로 파악되었다. 그리고 교반시간이 증가하면 점토광물인 Kaolinite의 경우는 OMA의 형성에 긍정적인 역할을 하였으나, Quartz의 경우는 커다란 영향을 미치지 못하는 것으로 파악되었다. 살포된 유화분산제가 Kaolinite와의 OMA의 형성에는 약 13%정도 기여한 것으로 파악되었으며, Quartz와의 경우는 약 56%가 촉진 되는 것으로 파악되었다.

Abstract – The purpose of this study is to evaluate the affecting factors on Oil-Mineral Aggregates(OMA) for stranded oil on intertidal flat, because the OMA formation enhances the oil dispersion and biodegradation rates. We choose the affecting factors such as spilled oil concentrations(50, 100, 200, 300, 400, 500 mg/L), mineral concentration(100, 200, 500, 1,000, 2,000, 4,000 mg/L), salinity(10, 20, 30, 40 psu), shaking time(1, 2, 4, 8, 12, 24 hr) and applied dispersant volume(0, 5, 10, 15, 20%). Major conclusions derived from this study are as follows. It was observed that the kaolinite interacts three times strongly with crude oil than quartz. OMA formation was enhanced with increasing of spilled oil concentrations, whereas the increase of salinity rarely affected the OMA formation. The shaking time for OMA formation affected positively with kaolinite, but quartz was irrespective the shaking time. The applied dispersant enhanced the OMA formation by 13% in kaolinite and 56% in quartz experimental condition.

Keywords: Oil Spill(기름유출), Stranded Oil(표착유), Oil-Minerals Aggregates(기름과 미세토립자의 합체물), Affecting Factors(영향인자)

1. 서 론

Hebei Spirit호의 기름유출사고가 발생했던 2007년 한 해 동안 국내로 수입된 원유는 31개 국가로부터 873,481,000 bbl(138,796,131

kL)이었으며, 이는 Hebei Spirit호로부터 유출된 기름양(12,547 kL)의 약 1만배에 달하는 양이다(정 [2008]). 2007년 12월 발생한 크레인부선과 Hebei Spirit호의 충돌사고로 유출된 원유는 국내로 수입되는 원유량의 약 0.009%에 지나지 않은 양이었지만 서해안을 심각히 오염시킨 사상 최악의 해양오염사고로 기록되었다. 또한 정유시설이 위치해 있는 우리나라의 서남해안은 대형유조선의 왕래

[†]Corresponding author: ccj@sunchon.ac.kr

가 빈번한 해역으로 언제나 대형 해양오염사고의 위협성에 노출되어 있다.

이번 *Hebei Spirit*호의 기름유출사고와 같은 대형 유조선 사고는 다량의 기름이 일시에 해상으로 유출되기 때문에 해양환경을 황폐화시키게 된다. 따라서 생태계의 피해를 최소화 하기 위해서는 초동 조치나 조기방제가 필수적이라 할 수 있다.

유출된 기름은 이번 *Hebei Spirit*호의 기름유출사고에서와 같이 해류의 이동과 더불어 연안지역에 표착되는데, 해안에 표착된 기름의 방제 방법들 중에서 수작업에 의한 제거법은 가장 손쉽게 적용되는 방법으로 장비의 접근이 불가능한 지역에 적합하고, 폐기물의 발생이 적고 기름으로 오염된 지역에만 집중적으로 방제가 가능한 방법이다. 그러나 많은 인력이 동원되어야 하고 기름중의 인체유해성분에 쉽게 노출되며, 미끄러짐 등으로 인한 부상의 위험성이 있다.

또한 중장비를 이용하는 기계적방법은 중장비의 접근이 어려운 경우가 많고, 바위에 의해서 표착된 기름이 보다 깊이 침하하는 경우가 발생할 수 있고, 중장비 자체의 무게에 의해서 저서생물에게 악영향을 미칠 수 있고, 과도한 모래가 폐기물로 반출되어 2차적인 처리에 부담 가중시킬 수 있다.

화학적 방법은 토양중의 저서생물에게 악영향을 미칠 수 있으며, 생물학적정화법은 영양염의 살포로 적조 발생의 우려가 있고, 분해속도가 매우 느려 장시간이 소요되며, 영양염의 농도, DO, pH, 온도에 많은 영향을 받는다.

한편 국외에서는 유출된 기름과 미세토립자의 합체(Oil-Mineral Aggregates, Fig. 1)를 이용하는 자연정화법(Natural cleansing method)에 관해 연구자들이 많은 관심을 갖고 있다(Omotoso *et al.*[2002]; Payne *et al.*[2003]; Kepkay *et al.*[2002]; Guyomarch *et al.*[2002]; Muschenheim *et al.*[2002]; Khelifa *et al.*[2002]; Stoffyn-Egli *et al.*[2002]; Owens *et al.*[2003]; Khelifa *et al.*[2005]). 이 OMA는 연안지역에서 파도와 조석의 반복적인 교반작용을 받아 미세토립자(Fine minerals)와 유출된 기름이 합체되어 생성되는 것으로서, 매우 안정적 상태로 넓은 지역으로 분산됨으로 인해 표착유로 인한 생물피해가 최소화 되며 비표면적의 증가로 인해 미생물 분해도 용이하게 된다(Lee *et al.*[1996]). 이 OMA를 이용한 자연정화법은 연안에 표착된 기름의 자연감소를 촉진시킬 수 있는 매우 효율적이고, 생태계에 피해가 없는 매우 효과적인 표착유의 처리방법으로 인식되고 있다(Lee *et al.*[2002]).

지금까지의 OMA 관련 국내연구는 수행된바 없으며, 국외에서는 OMA형성에 미치는 염분 농도의 영향(Floch *et al.*[2002])에 관한 연구와 모래와 자갈로 이루어진 현장에서 OMA에 의한 자연정화와 파도에 의한 입자의 재분배(relocation)에 관해서 연구가 수행되었다(Lee *et al.*[2003]). 그리고 Lee *et al.*[2002]은 Rio Desaguadero에서 OSSA II 송유관이 파손되어 29,000bbl의 원유가 유출된 현장에서 OMA의 형성에 관해서 조사하였으며, Harris and Wells[1979]은 유화분산제의 투여로 인해서 분산된 기름 입자가 연안지역의 토양에 부착되는 것을 검토하였다.

그러나 이들 연구의 대부분은 OMA의 형성에 미치는 영향인자

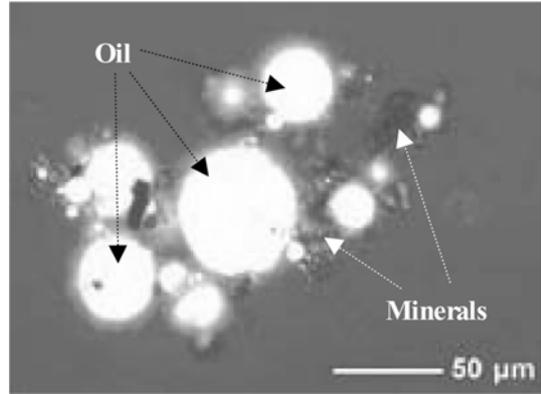


Fig. 1. Image of the OMA formation Owens *et al.*[2003].

들 중에서 단일 항목만을 검토한 결과가 대부분이며, 표착유의 방제를 위한 유화분산제의 적용 등에 관한 연구는 수행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 연안 조건대에 표착된 유출유의 자연친화적인 제거의 일환으로서 유출유의 유출농도, 토립자의 종류 및 농도, 염분농도, 교반작용 등과 같은 물리화학적 인자의 변화와 유화분산제의 적용이 OMA 형성에 미치는 영향을 평가하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

2.1.1 원유(Crude oil) 및 해수

본 연구에서는 2007년 수입량이 14,941,526 kL로 두 번째로 많고 태안지역에서 *Hebei Spirit*호의 사고 당시 유출된 Kuwait crude oil을 사용하였다. Kuwait crude oil은 GS Caltex사로부터 제공받았다.

유출된 기름은 유막(油膜)의 형태로 확산과 이류의 과정을 거치며 물리화학적 성상이 변화하여 풍화유(weathered oil)의 형태로 변화되거나 인위적인 분산제의 살포 또는 파도와 같은 물리적인 외력에 의해서 분산유(dispersed oil)의 형태로 변형되어 연안지역 조건대에 표착하게 된다. 따라서 본 연구에서는 현장조건을 재현하기 위해서 Kuwait crude oil을 1 L용의 비이커에 넣고 110 °C로 12시간 휘발시켜 풍화유를 만들어 실험에 사용하였다(Floch *et al.* [2002]). 12시간동안 휘발시킨 풍화유는 원유 자체의 중량과 비교해볼 때 약 23%의 저분자 성분이 휘발되었다.

해수는 증류수에 염(sea salt)을 첨가하여 염도를 조절하여 시험에 사용하였다.

2.1.2 미세토립자(Minerals) 및 유화분산제(Dispersant)

OMA 형성을 위해 사용한 미세토립자는 점토광물인 Kaolinite ($Al_2Si_2O_5(OH)$, Fluka)와 비점토광물인 Quartz(SiO_2 , Fluka)를 사용하였다.

유화분산제는 Hi-Clean(대일화학)의 제품을 해양환경관리공단으로부터 제공받아 사용하였다.

2.2 실험조건 및 방법

본 연구에서는 2.1에서 언급한 실험재료를 이용하여 OMA형성의 영향인자로 고려되는 풍화유의 주입량(50, 100, 200, 300, 400, 500 mg/L), 미세토립자의 주입량(100, 200, 500, 1,000, 2,000, 4,000 mg/L), 염도(10, 20, 30, 40 psu), 교반시간(1, 2, 4, 8, 12, 24 hr), 분산제투여량(0, 5, 10, 15, 20%)을 변화시켜 가면서 실험을 수행하였다.

OMA의 형성을 위한 실험방법은 500 mL의 비이커에 해수를 350 mL 채운 다음, 실험조건에 맞추어 실험재료를 투여하고 비닐로 밀봉하여 왕복교반기(Reciprocating shaker)에 setting 한후 160 cycle/min, 22 mm stroke length로 교반하였다.

교반이 끝난 비이커는 1시간동안 정치시킨 다음 폴리프로필렌 흡수패드를 이용하여 비커벽면에 묻어있는 기름과 물위에 떠있는 기름을 제거 하고, OMA의 형성에 참여한 유분의 농도를 알아보기 위해 다음의 분석방법을 이용하였다.

2.3 분석방법

OMA의 형성에 기여한 해수중의 유분 농도를 알아보기 위해서 해수를 유리섬유여과지(GF/A)로 여과하여 여과지를 Dry Oven을 이용하여 60°C에서 24시간동안 건조시킨 다음, 40 mL의 dichloromethane을 주입하여 15분간 Ultrasonic Bath(고도기업, KD-06AB-073-Z)로 추출하는 과정을 2회 반복한 후 dichloromethane을 추가하여 100mL로 하였다. 추출액은 3,000 rpm에서 15분 동안 원심분리한 후 UV 390 nm에서 흡광도를 측정하였다. 유분농도는 검량선을 이용하여 흡광도로부터 농도로 환산하였다(Floch *et al.*[2002]).

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 기름의 주입량의 변화에 따른 OMA의 형성에 기여한 유분의 농도를 나타낸 결과이다. 결과로부터 기름의 농도를 50 mg/L로 하였을 경우 점토광물인 Kaolinite와 형성된 OMA의 유분 농도는

43.3 mg/L이었고, 비점토광물인 Quartz와 형성된 OMA의 유분농도는 32.37 mg/L이었다. 기름 주입량의 증가에 따라서 Kaolinite와 형성된 OMA의 유분 농도는 점차적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 기름주입량이 500 mg/L의 경우에 있어서의 OMA형성 유분농도는 157.4 mg/L이었다. 한편 기름 주입량의 증가에 따라서 Quartz와 형성된 OMA의 유분 농도는 기름 주입량의 증가와 더불어 미소한 증가 경향을 나타내었으며, 기름주입량이 500 mg/L의 경우에 있어서의 OMA형성 유분농도는 47.4 mg/L이었다.

이는 기름의 주입량이 증가함에 따라서 미세토립자와 접촉하여 형성된 OMA가 증가할 수 있었기 때문에 판단되며, 비점토광물인 Quartz에 비해서 점토광물인 Kaolinite와의 OMA의 형성이 용이한 것으로 판단된다. 이는 대표적인 점토광물인 Kaolinite는 비점토광물인 Quartz와 입경을 같다고 할지라도 비표면적이 약 15 m²/g으로 Quartz의 비표면적 1.5 m²/g보다 10배 정도 크기 때문에 기름 입자와 합체가 용이하기 때문이다(Omotoso *et al.*[2002]). 그리고 기름의 주입량과 OMA 형성과의 상관성을 나타내는 결정계수 값(R²)은 Kaolinite와 Quartz가 각각 0.93과 0.86으로 강한 양의 상관관계가 있는 것으로 파악되었다.

Fig. 3은 기름의 주입농도를 300 mg/L로 하고 미세토립자(Kaolinite, Quartz)의 주입량을 100, 200, 500, 1,000, 2,000, 4,000 mg/L로 변화시켰을 경우 OMA의 형성에 기여한 유분의 농도를 나타낸 결과이다. 미세토립자의 농도가 100 mg/L인 경우에 Kaolinite와 형성된 OMA의 유분 농도는 113.6 mg/L이었고, Quartz와 형성된 OMA의 유분농도는 24.3 mg/L이었다. Kaolinite와 형성된 OMA의 유분 농도는 미세토립자의 주입량이 증가함에 따라 점차적으로 감소하는 경향을 나타내어 토립자의 주입량이 4,000 mg/L의 경우에 있어서의 OMA형성 유분농도는 77.4 mg/L이었다. 한편 토립자 주입량의 증가에 따라서 Quartz와 형성된 OMA의 유분 농도는 토립자 주입량의 증가와 무관하게 거의 변화가 없었으며, 토립자의 주입량이 4,000 mg/L의 경우에 있어서의 OMA형성 유분농도는 25.3 mg/L이었다.

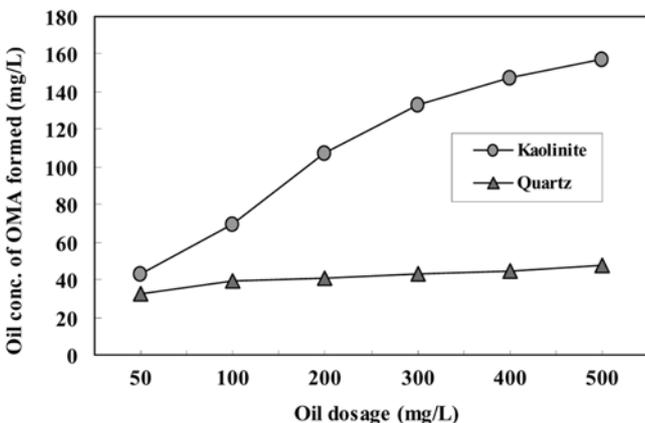


Fig. 2. Variation of oil concentration of OMA formed according to the oil dosage (Salinity: 33±1 psu, Mineral dosage: 200 mg/L, Shaking time: 24 hr, Temp.: 22±1 °C).

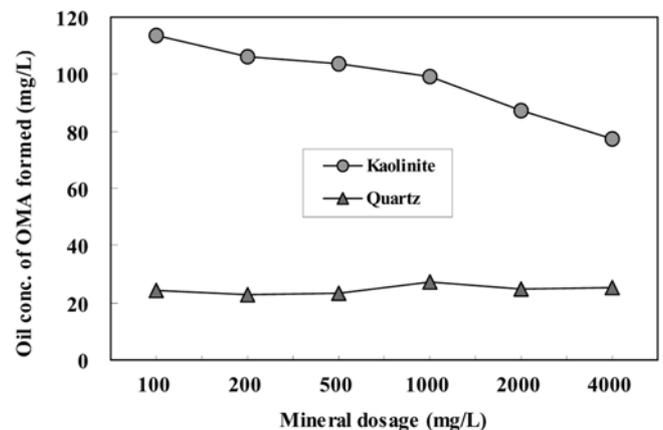


Fig. 3. Variation of oil concentration of OMA formed according to the mineral dosage (Salinity: 33±1 psu, Oil dosage: 300 mg/L, Shaking time: 24 hr, Temp.: 22±1 °C).

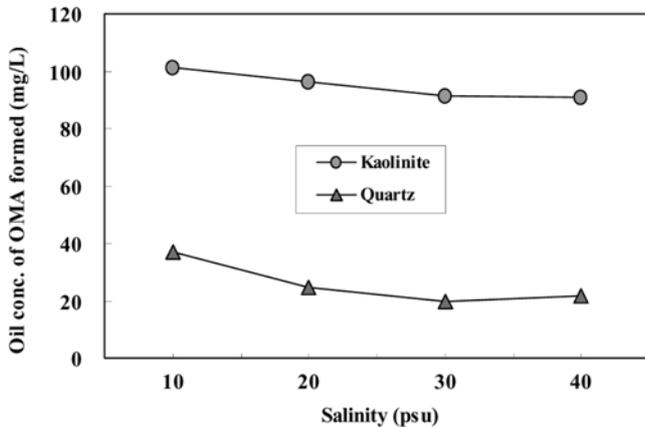


Fig. 4. Variation of oil concentration of OMA formed according to the salinity (Oil dosage: 300 mg/L, Mineral dosage: 200 mg/L, Shaking time: 24 hr, Temp.: 22±1 °C).

이상에서 기름의 주입농도가 일정한 경우에 있어서 미세토립자의 주입량의 증가한다할지라도 OMA의 형성에는 커다란 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 그리고 미세토립자와 OMA 사이의 R²은 Kaolinite가 0.93으로 강한 음의 상관관계 갖고 있었으나, Quartz는 0.16으로 거의 상관관계가 없는 것으로 파악되었다.

Fig. 4는 기름의 주입농도를 300 mg/L, 미세토립자의 주입량을 200 mg/L로 하여 염분농도를 10, 20, 30, 40 psu로 변화시켜 염분농도가 OMA의 형성에 미치는 영향을 검토한 결과이다. Kaolinite의 경우는 염분농도가 10 psu일때 OMA의 형성에 기여한 유분의 농도는 101.4 mg/L이었으며, 동일 조건에서 Quartz와 형성된 OMA의 유분농도는 37.1 mg/L이었다. 그리고 염분농도가 증가함에도 불구하고 두 미세토립자와 형성된 OMA의 유분농도는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.

선행연구(Floch et al.[2002])에서는 염분농도가 약 0~1 psu까지의 범위에서는 염분의 증가와 더불어 OMA의 형성이 증가되었으나 그 이상의 염분농도에서는 OMA의 형성과는 무관하다는 결과를 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 기수역과 해수의 염분 농도를 고려하여 염분농도를 결정하였으나, 이 해당 농도에서는 선행연구와 유사하게 OMA의 형성과는 무관한 것으로 나타났다.

수중에서 대부분의 미세토립자는 음전하를 띄며, 기름입자 또한 음의 전하를 띤다(Friberg [1976]). 따라서 이들 사이에서는 반발력(Zeta potential force)이 작용하여 상호간의 부착에 방해를 받게 된다. 그러나 염분의 농도가 증가 하게 되면 토립자 표면에 형성된 전기2중층이 축소되어 토립자의 표면에 형성된 반발력이 감소하게 되어 상호간의 부착이 용이하게 된다. 하지만 이 현상은 선행연구에서처럼 염분농도가 아주 낮은 약 0~1 psu의 범위에서 형성되나 본 연구에서처럼 그 이상의 염분농도가 높은 범위에서는 더 이상의 전기2중층의 축소와 같은 현상은 일어나지 않기 때문에 OMA의 형성에 미치는 염분농도의 영향은 거의 미미한 것으로 판단된다.

Fig. 5는 기름의 주입농도를 300 mg/L, 미세토립자의 주입량을 200 mg/L, 염분농도를 33±1 psu로 하여 교반시간을 1, 2, 4, 8, 12,

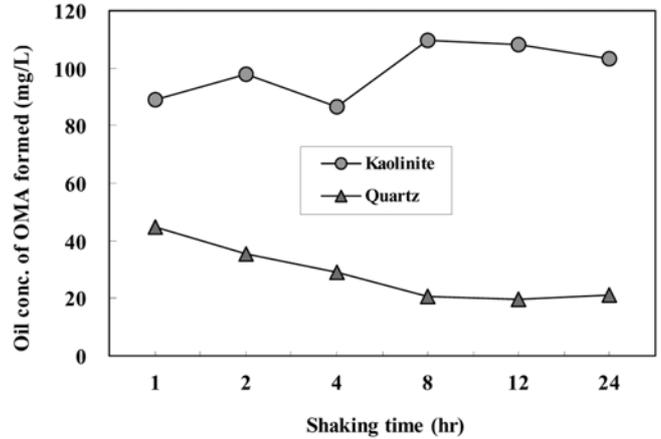


Fig. 5. Variation of oil concentration of OMA formed according to the shaking time (Oil dosage: 300 mg/L, Mineral dosage: 200 mg/L, Salinity: 33±1 psu, Temp.: 22±1 °C).

24시간으로 변화시켜 교반시간이 OMA의 형성에 미치는 영향을 검토한 결과이다. Kuwait crude oil의 저분자 성분이 제거된 풍화유와 미세토립자를 주입하여 교반횟수 160 cycle/min, 교반폭 22 mm stroke로 왕복교반기로 1시간 교반을 시킨 결과 Kaolinite와 형성된 OMA의 유분 농도는 89.1 mg/L이었고, Quartz와 형성된 OMA의 유분농도는 45.0 mg/L이었다. Kaolinite와 형성된 OMA의 유분농도는 교반시간 4시간일 경우에는 약간 감소하는 경향을 보였으나 8시간 후에는 다시 증가하여 교반시간이 24시간일 경우에는 103.93 mg/L로 다시 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 한편 Quartz와 형성된 OMA의 유분 농도는 교반시간의 증가에 따라 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

교반시간(1 hr~24 hr)이 OMA 형성과의 상관성을 나타내는 결정계수 값(R²)은 Kaolinite의 경우 0.31로서 약간의 상관관계가 있었으며, Quartz의 경우는 0.51로서 상당한 음의 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났다.

여기에서 교반시간이 증가하게 되면 반응조 내의 Kaolinite가 주입된 풍화유와의 접촉기회가 증가되어 OMA의 형성이 촉진되었다고 판단되나, Quartz의 경우는 반응시간이 증가하여도 대부분이 침전되어 OMA의 형성에는 긍정적으로 기여하지 못했던 것으로 판단된다.

Fig. 6은 기름의 주입농도(300 mg/L), 미세토립자의 주입량(200 mg/L), 염분농도(33±1 psu), 교반시간(24hr)을 고정시켜 놓고, 분산제의 주입량을 0, 5, 10, 15, 20%로 증가시켜 OMA의 형성에 관해 실험을 수행한 결과이다. Kaolinite의 경우 분산제의 주입량이 10%까지는 OMA의 형성이 증가하였으나 그 이후에는 다소 감소하여 안정적인 경향을 나타내었다. 한편 Quartz의 경우는 분산제의 주입량이 5%까지는 급격히 증가하다가 그 이후에는 다소 감소하여 커다란 변화를 나타내지 않았다.

여기에서 분산제를 주입하게 되면 투여된 풍화유가 작은 입자로 분산되어 미세토립자와 합체가 이루어지지 않더라도 OMA가 형성

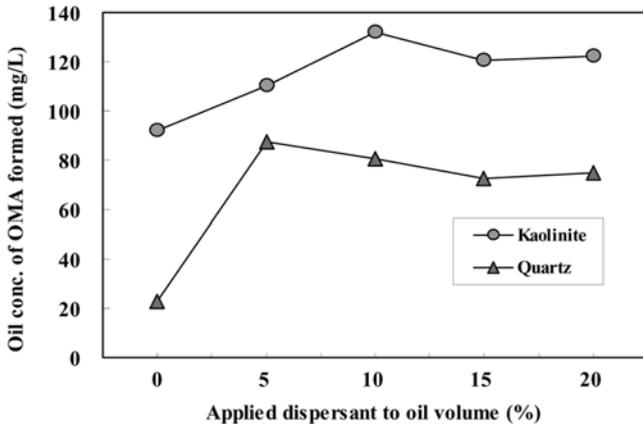


Fig. 6. Variation of oil concentration of OMA formed according to the dispersant dosage (Oil dosage: 300 mg/L, Mineral dosage: 200 mg/L, Shaking time: 24 hr, Salinity: 33±1 psu, Temp.: 22±1 °C).

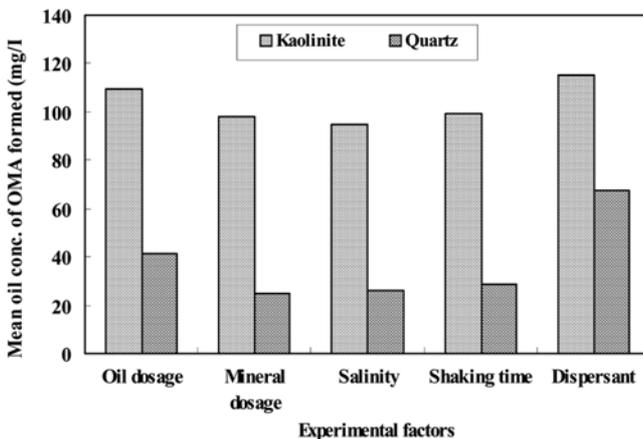


Fig. 7. Mean value of oil concentration of OMA formed with experimental factors.

된 것으로 평가 될 수 있기 때문에, 분산제주입에 의한 분산효과인지 아니면 OMA에 직접 관여한 것인지를 파악하기 위해서 각각의 평균값을 이용하여 비교한 결과를 Fig. 7에 제시하였다.

Fig. 7은 OMA의 형성인자들과 미세토립자와의 OMA의 형성 비율을 계산하여 비교한 결과와 유화분산제가 OMA의 형성에 어느 정도 기여하였는지를 파악하기 위한 계산 결과이다.

결과에서 제시한 바와 같이 OMA의 형성인자로 고려한 기름 및 미세토립자의 주입량, 염분농도, 교반시간의 변화에 따른 점토광물인 Kaolinite와 형성된 OMA는 평균 100.4 mg/L이었으며, 비점토광물인 Quartz의 경우는 평균 30.0 mg/L이었다. 이처럼 Kaolinite에 의해서 형성된 OMA가 Quartz에 의해서 형성된 OMA보다 약 3배 이상의 많은 것을 알았다. 이는 Quartz의 경우는 Kaolinite에 비해서 비중이 무겁기 때문에 부유(suspension)되지 못하고 반응조 (beaker)의 바닥에 침강되어 OMA의 형성에 기여할 수 있는 기회가 적었기 때문으로 판단된다.

한편 분산제의 주입에 의한 Kaolinite와의 OMA형성은 115.5 mg/L로 분산제를 주입하지 않았을 경우의 OMA형성 농도 100.4 mg/L

보다 약 13%정도 증가한 것으로 파악되었으며, Quartz의 경우 분산제의 주입에 의해서 67.7 mg/L로 분산제를 주입하지 않은 경우에 비해서 약 56%의 증가효과가 있는 것으로 파악되었다.

분산제를 살포해서 기름이 수중으로 분산되었다하더라도 분산된 기름은 해수의 비중(1.025)보다 가볍기 때문에 실험방법에서도 언급했듯이 미세토립자가 없는 경우에 일정시간동안 반응을 시킨 후 1시간동안 정치를 시키게 되면 거의 모든 분산된 기름이 수면위로 부상하게 된다. 그러나 분산제를 주입해서 분산된 기름이 토립자와 만나게 되면 OMA가 형성되어 1시간을 정치 시키어도 수면으로 부상하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 1시간을 정치시켰기 때문에 분산제 주입에 의한 분산효과가 아니라 분산된 기름입자가 OMA에 직접 관여 했다고 판단된다.

그리고 위에서 기술한 바와 같이 분산제를 주입하지 않은 조건에서는 Quartz가 Kaolinite에 비해 비중이 크기 때문에 Kaolinite과 같이 부유하지 못해 OMA의 형성에 기여할 수 있는 기회가 적었으나, 분산제가 주입되면 교반과정에서 분산제에 의해서 분산된 작은 기름입자가 Quartz입자와 접촉할 수 있는 기회가 많이 제공되었기 때문에 분산제를 주입하였을 때 Kaolinite보다 Quartz에 대한 OMA의 형성 증가효과가 더 크게 나타난 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 연안 조간대에 표착된 유출유의 자연친화적인 제거의 일환으로서 유출유의 유출농도, 토립자의 종류 및 농도, 염분농도, 교반작용 등과 같은 물리화학적 인자의 변화와 유화분산제의 적용이 OMA 형성에 미치는 영향을 평가하는 것을 목적으로 하여 연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 점토광물인 Kaolinite가 비점토광물인 Quartz보다 유출유와의 합체물인 Oil-Mineral Aggregates (OMA)의 형성에 약 3배 이상의 효율을 갖고 있는 것으로 파악되었다. 따라서 점토광물인 펄지형에서의 OMA 형성으로 생물피해가 최소화 되며 비표면적의 증가로 인해 미생물 분해도 용이할 것으로 예상된다.

(2) OMA 형성인자들 중에서 기름의 유출량이 많을 수록 OMA의 형성이 증대되는 것으로 검증되었으며, 해양의 염분농도 조건에서는 염분농도가 OMA의 형성에 영향을 미치지 않는 것으로 파악되었다. 그리고 교반시간이 증가하면 점토광물인 Kaolinite의 경우는 OMA의 형성에 긍정적인 역할을 하였으나, Quartz의 경우는 커다란 영향을 미치지 못하는 것으로 파악되었다.

(3) 살포된 유화분산제가 Kaolinite와의 OMA의 형성에는 약 13% 정도 기여한 것으로 파악되었으며, Quartz와의 경우는 약 56%가 촉진 되는 것으로 파악되었다.

사 사

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

참고문헌

- [1] 정정조, 2008, “유출된 기름의 해상 및 해안에서의 거동 및 방제기술”, 대한환경공학회지, 30권, 2호, 136-145.
- [2] 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*, Vol. 8, 65-71.
- [3] Friberg, S., 1976, “Emulsion stability”, In: Friberg, S. (Ed.), *Food Emulsions*. Marcel Dekker Inc., UK, 1-37.
- [4] 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, 95-100.
- [5] 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.
- [6] 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*, Vol. 8, 101-108.
- [7] 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*, Vol. 8, 19-30.
- [8] Khelifa, A., Stoffyn-Egli, P., Hill, P. S. and Lee, K., 2005, “Effects of salinity and clay on oil-mineral aggregation”, *Marine Environmental Research* Vol. 59, 235-254.
- [9] Lee, K., Weise, A. M. and St-Pierre, S., 1996, “Enhanced oil biodegradation with mineral fine interaction”, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 3, 263-267.
- [10] 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*, Vol. 7, 149-154.
- [11] Lee, K., Stoffyn-Egli, P., Tremblay, G. H., Owens, E. H., Sergy, G. A., Guenette, C. C. and Prince, R. C., 2003, “Oil-Mineral aggregate formation on oiled beaches: Natural attenuation and sediment relocation”, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 8, 285-296.
- [12] Muschenheim, D. K. and Lee, K., 2002, “Removal of oil from the sea surface through particulate interactions: review and prospectus”, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 8, 9-18.
- [13] Omotoso, O. E., Munoz, V. A. and Mikula, R. J., 2002, “Mechanisms of crude oil-mineral interactions”, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 8, 45-54.
- [14] Owens, E. H. and Lee, K., 2003, “Interaction of oil and mineral fines on shorelines: review and assessment”, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 47, 397-405.
- [15] Payne, J. R., Clayton Jr, J. R. and Kirstein, B. E., 2003, “Oil/Suspended particulate material interactions and sedimentation”, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 8, 201-221.
- [16] Stoffyn-Egli, P. and Lee, K., 2002, “Formation and characterization of oil-mineral aggregates”, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 8, 31-44.

2009년 4월 20일 원고접수

2009년 8월 12일 심사완료

2009년 8월 17일 수정본 채택