

오일분산제 적용을 위한 융합연구의 필요성

오경석
인하공업전문대학 화공환경과

Importance of Convergency Researches for the Appropriate Application of Oil Dispersant

Kyeongseok Oh

Department of Chemical and Environmental Technology, Inha Technical College

요 약 오일분산제가 가장 많이 사용된 사고는, 2010년에 발생한 멕시코만의 기름유출 사건을 들 수 있다. 사용된 오일분산제로는 Corexit 9500이라는 제품이 사용되었으며, 아직도 이 오일분산제가 끼친 생태계의 부정적인 평가는 계속해서 보고되고 있다. 그러함에도 US EPA에서는 아직도 이 오일분산제를 향후에도 사용가능한 제품으로 인정하고 있다. 새로운 대체 오일분산제 개발을 위해서는 특히 미생물학, 생태학, 환경, 화학, 그리고 화학공학 연구자들의 융합기술을 필요로 하고 있다. 본 논문에서는 Corexit 9500의 주성분들을 찾아 화학구조와 물성을 나타내었다. 그리고, 분산된 오일의 생분해 과정과 바이오계면활성제에 대해서도 소개하였다.

주제어 : 기름 유출, 오일분산제, 생분해성, 바이오계면활성제, 융합연구

Abstract The historical consumption of oil dispersant was recorded during the protection plans after huge oil spill occurred in the Gulf of Mexico in 2010. As a well-known oil dispersant, Corexit 9500 was used and continuously blamed for the negative effects on environmental ecology. Nevertheless, US EPA still recognizes Corexit 9500 as a future oil dispersant that might be possibly sprayed again to oil slick. In order to develop alternative oil dispersants, it is important to impel the convergency works mainly from microbiologist, ecologist, environmentalist, chemist, and chemical engineer. In this paper, the major components of Corexit 9500 were introduced by chemical structures and physical properties. Presented were also the biodegradable process of dispersed oils and the possible candidates of biosurfactants.

Key Words : oil spill, dispersant, biodegradable, biosurfactant, convergency

1. 서론

해수면에 기름유출 사고가 발생하였을 경우, U. S. Environmental Protection Agency(US EPA)에 제시된 대처방안 자료에는 기계적, 물리·화학적, 생물학적 처리로 나누어 설명하고 있다[1]. 특히, 해수면에 대량의 원유가 유출되는 사고가 발생하였을 경우에는 처리방안 중 오일분산제(oil dispersant)가 사용될 수 있다. 최근 사례

로는 2010년 4월10일 멕시코만에서 발생한 Deepwater Horizon 유출사고이며, 당시 7백만 리터나 되는 대량의 오일분산제가 소모되었다[2-4]. 오일분산제의 또다른 명칭으로는 유처리제라고도 하는데[5], 본 논문에서는 오일분산제라는 명칭을 사용하였다. 오일분산제의 주성분은 몇 가지의 계면활성제와 용제로 구성되어 있다[3,4]. 오일분산제의 역할은 해수면에 대량으로 유출된 수면유(oil slick)를 지름이 30-70 μ m범위의 일종의 기름알갱이인 에

*Corresponding Author : Kyeongseok Oh (kyeongseok.oh@inhac.ac.kr)

Received October 10, 2018

Accepted December 20, 2018

Revised November 28, 2018

Published December 28, 2018

멸전(o/w)으로 만들어 수중에 분산시키며 결국 수면유가 해안가에 도달하는 것을 방지한다[3,4]. Deepwater Horizon 유출사고를 계기로 오일분산제에 대한 많은 연구결과들이 계속해서 발표되고 있다. 특히, Gulf of Mexico Research Institute (GoMRI: <http://www.gomri.org>)에서는 최신 연구결과들을 꾸준히 뉴스로 제공하고 있다. 많은 연구들은 주로 오일분산제에 의한 환경생태계 피해와 연관이 있다. 그런데, 향후 오일분산제 사용에 대한 찬성, 반대논쟁이 아직까지 계속되고 있다는 것은 연구 주체들의 입장차이가 존재함을 반증해준다고 할 수 있다. 다시 말해, 석유자원을 개발하려는 주요 석유회사와 연관기업들의 입장과 심해유전 개발은 환경생태계를 계속 파괴시키는 결과로 이어질 것이라는 환경론자간의 연구 결과들은 어느 한쪽이 쉽게 승리하는 결과로 이어지지 않는다는데 있다. 단적인 예로, Deepwater Horizon 사고 시 사용된 오일분산제인 Corexit 9500이 생태계에 부정적인 영향을 미친 연구결과 논문들이 다수 있었음에도 [6-9], US EPA에서는 현재도 여전히 Corexit 9500을 오일분산제의 대표주자로 인정하고 있다[10]. 오일분산제의 사용여부를 논한다는 것은 매우 복잡한 과정이며, 쉽게 결정할 수 있는 분야도 아닐 것이다. 그림1에서는 향후 잠재적인 Corexit 9500 사용을 둘러싼 다양한 입장을 단순화하여 나타내었다.

그림1에 표현된 대각선은 오일분산제로 사용되었던 Corexit 9500 제품을 바라보는 시각이 나뉘를 표현하였다. 먼저, 대각선 왼쪽에는 환경론자들이 제기하는 내용들을 나열하였다. 환경론자 입장에서는 기존 오일분산제가 생분해에 긍정적이지 않다는 것을 묻고 있으며, 자연에서 진행되는 분해반응 연구들을 토대로 오일분산제 사용의 부정적인 측면을 제기하고 있다. 이에 반하여, 오른쪽에는 오일분산제 사용이 최선은 아니지만 현재로서는 제기되는 환경 문제들을 해결할 수 있다는 입장을 가진 연구결과들을 나열하였다. 그 중에는 대표 오일분산제인 Corexit 9500의 성분들이 생태계에 너무 부정적이지는 않다는 연구결과들도 발표하고 있다[8]. 연구결과들 중에는 Corexit 9500을 구성하고 있는 성분 중 교체가 필요한 성분을 찾거나, 더 적극적인 방안으로 새로운 바이오계면활성제를 사용하는 방안들이 제시되고 있다. 이와 함께, 미생물에 의해 진행되는 오일성분의 생분해 반응을 촉진하기 위한 방안들이 꾸준히 연구결과로 발표되고 있다. 본 논문에서는 Corexit 9500의 주성분으로 포함된 계

면활성제들의 화학 구조와 물성을 소개하였다. 또한, 미생물에 의한 탄화수소의 생분해 과정에 대하여 문헌을 인용하여 정리하였다. 또한, 기름유출 처리시 사용가능성이 있는 바이오계면활성제에 대해서도 기술하였다.

After Deepwater Horizon Oil Spill

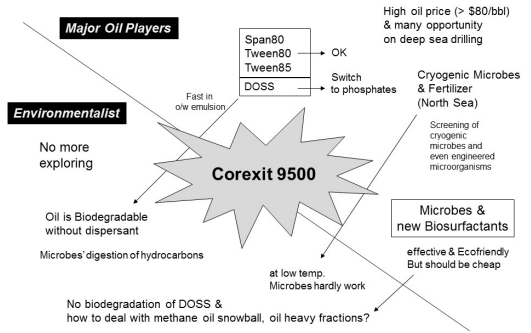


Fig. 1. Complicated and split views regarding oil spill treatment using dispersant option that were triggered right after catastrophic accident in Deepwater Horizon in 2010.

2. 본론

대량의 기름유출과 같은 사고는 국가적인 관점에서 접근해야 하는 커다란 사고이기에 이에 대해서는 일어난 사고 후의 모니터링과 함께 시나리오별 대처도 필요할 것이다[11-13]. US EPA에서 제안된 대량의 기름유출시 처리방법들을 경제적인 측면에서 비교한다면, 현장 연소 (in-situ burning) < 오일분산제 사용 < 기계적 오일 회수 (mechanical oil recovery) < 해안가에 오염된 기름 제거 (manual cleanup) 순으로 비용이 많이 소요된다[9]. 대량의 기름이 유출되는 해상 사고가 발생시, 수면유 (oil slick)의 해안접근을 급히 막기 위해서는 오일분산제가 사용될 수 있다. 오일분산제로 사용되는 계면활성제는 물과 오일사이의 계면장력을 낮추는 역할을 한다. 계면장력이 낮아지면 계면의 비표면적이 증가하는 결과로 이어지게 되고 결국 작은 입자의 에멀전 형태로 분산된다. 주위가 물이고 기름입자가 에멀전으로 분산되어 있을 때 o/w 에멀전이 되고, 주위가 기름이고 물입자가 에멀전으로 분산되었을 경우 w/o 에멀전이 된다. 에멀전이 30-70 μm 정도 크기가 될 경우 에멀전은 수면위로 다시 떠오르지 않고 수중에서 이동하며 결국에는 미생물에 의해 분해된다[3,4].

2.1 Corexit 9500 성분과 물성

Deepwater Horizon 기름 유출 사고는 규모면에서 가장 최고의 유출 사고로 기록되고 있다. 해수면으로부터 1600m 아래에서 발생한 원유 유출은 7억 8천만 리터로 보고되었다[4]. 이에 대한 대응책으로 해수면에서는 4.1백만 리터, 해저 유정(oil well)에는 2.9백만 리터의 오일 분산제 가 사용되었다[14]. 여러 분산제 중 재고분량이 충분했던 Corexit 9500이 대량으로 사용되었다. 그림2에 Corexit 9500의 4가지 주성분으로 사용된 계면활성제의 화학 구조를 나타내었다. 4가지의 계면활성제는 Span80, Tween80, Tween85, 그리고 DOSS (dioctyl sodium sulfosuccinate, 음이온 계면활성제)이며, Corexit 9500에서 차지하는 양은 각각 4.4, 18, 4.6, 그리고 18 % w/w로 알려져 있다[4]. 그리고 프로필렌글리콜(propylene glycol)과 디스틸레이트(distillates)가 용제로 사용되었다. Span80, Tween80, 그리고 Tween85은 화장품, 섬유, 페인트, 의약품 제조공정 등에도 사용되는 널리 알려진 계면활성제이다[3,4]. 계면활성제에는 친수성과 친유성의 화학 기능기가 함께 포함되어 있다. 그림1에서는 각각의 계면활성제가 포함하고 있는 친유성 부분을 타원으로 나타내었다.

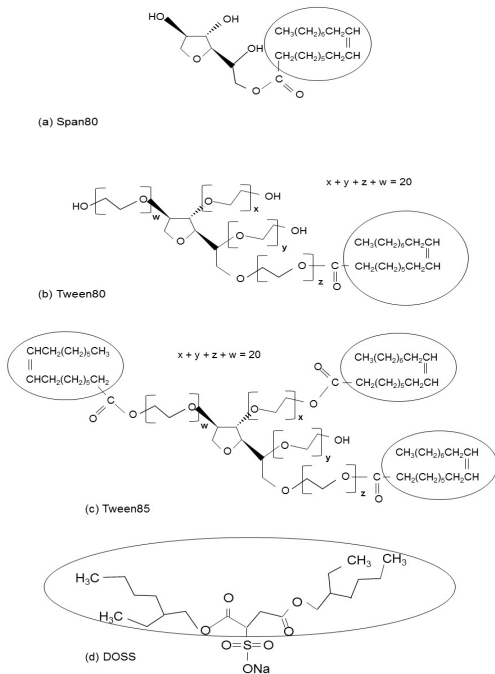


Fig. 2. Chemical structures of (a) Span 80, (b) Tween 80, (c) Tween 85, and (d) DOSS. Hydrophobic groups of four surfactants are marked by round symbols.

또한, 주성분의 간단한 물성을 표1에 제시하였다. 계면활성제는 물과 기름과 각각 친한 정도를 HLB(hydrophilic hydrophobic balance)값으로 나타내기도 한다. HLB값이 10이상이면 친수성, 그리고 10이하인 경우에는 친유성이 더 강하게 나타난다. 따라서, HLB값이 10이상일 경우에는 w/o 에멀전, 10이하일 경우에는 o/w 에멀전 형성에 유리하다. 오일분산제는 해수면이 아닌 수면유 위에 뿌려줘야 효과가 있다고 알려져 있다. 만약, Corexit 9500도 해수면 위로 뿌려질 경우, 목적으로 한 o/w 에멀전 형성에 도움이 되지 않는다. 효과적인 o/w 에멀전이 잘 형성되기 위해서는 Corexit 9500가 수면유와 먼저 혼합이 잘되어야 한다. 이후, 조류, 파도, 바람, 기계적인 혼합 등 외부 영향으로 o/w 에멀전이 만들어진다. DOSS가 오일분산제의 성분으로 포함되어 있을 경우, 에멀전 상태가 w/o와 o/w사이의 역전이 용이하다고 알려져 있다[4].

Table 1. Surfactants included in Corexit 9500

Components	Span80	Tween80	Tween85	DOSS
wt.% in Corexit 9500	4.4	18	4.6	18
Solubility in water	partly soluble	soluble	soluble	slightly soluble
solubility in mineral oil	soluble	insoluble	insoluble	soluble
HLB	4.3	15.0	11.0	10.7
Application	skincare, air freshener	babybath, mouth wash, face lotion	insect spray, food additive	cosmetics, gelatin, chocolate, beverages, laxatives

2.2 Corexit 9500과 생분해성(Biodegradation)

평상시 보이지 않던 미생물들이 기름 유출 사고 이후 급격하게 증가한 모습이 보고되었다[2]. 자연 발생적이라고 할 수 있는데, 다르게 표현하면, 굳이 미생물을 생분해 반응을 촉진시키기 위해 수중에 넣어줄 필요가 있는가의 의구심이 생길 수 있다. 기름 유출 지역에서 용존산소량의 급격한 하락은 미생물이 증가한 간접적인 증거로 보고하고 있다. 인간의 관점에서는 느리게 생분해 반응이 진행된다고 할 수 있음에도, 생태계적 관점에서는 급격한 변화로 볼 수 있다. 환경보호 입장에서는 오일분산제를 사용하지 않더라도 해양생태학적으로 오일성분을 소비하는 미생물이 존재하기에 자연적으로 유출된 수면유가 결국에는 분해되리라 기대하고 있다. 에멀전(o/w)상

의 오일성분이 미생물 내부로 확산을 통해 이동하고, 미생물 내부에서 분해과정을 거쳐 에너지로 전환되는 과정에 대해서는 알려져 있다[6]. 보다 자세한 생분해 메커니즘에 대해서도 hexadecane과 naphthalene을 대표 화학물질로 사용하여 보고하였다[15]. 이 메커니즘을 통해서 주장이 가능한 것은 추가적인 신규 오일분산제의 사용이 생분해 과정에 크게 영향을 주지 않는다는 것일 수 있다. 그러나 분해속도 관점에서는 오일분산제의 역할이 필요할 수 있다. 즉, 해수면에 떠 있는 수면유(oil slick) 형태보다는 에멀전(o/w) 형태가 생분해 반응에 기여하는 미생물과의 접촉에 더 유리하고 생분해 속도를 빠르게 할 것이다. 한편, Corexit 9500의 주요 성분 중 분해되는 관점에서는 Span과 Tween계열의 계면활성제에 비해, DOSS에 더 주의를 가지고 있다. 환경보존 입장에서는 DOSS가 분산제에 포함되어 사용된 이후 어떻게 분해과정을 거치는가에 더 초점을 맞추고 있다. Span과 Tween계열보다는 DOSS는 상대적으로 오랜 기간 분해되지 않는다고 알려져 있다[15,16]. DOSS의 부정적인 역할에 대해서도 입장이 나누어진다. DOSS의 대체물질이 사용되어야 하는 입장과 함께 DOSS가 분해되는 조건에 대해서 연구를 더 해야 한다는 입장도 있다. DOSS가 분해되지 않는 원인으로는 심해 저온 환경이 영향을 준다고 알려져 있다[16]. 이에 대해서는 저온에서 활동 가능한 미생물의 선별(screen)과 확보 그리고 유전공학을 활용하여 저온에서 활동 가능한 미생물을 생산하자는 연구도 함께 진행되고 있다[16]. 이에 반하여 미생물의 활성을 높이기 위해서 사용되는 영양분(fertilizer) 공급도 제안되고 있다. 영양분 사용은 시간이 걸리기는 하지만 미생물의 증식에 도움을 주어 생분해 반응에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 질소공급원과 인공급원이 주요한 영양소로 보고되었다[16].

생분해에 참여하는 미생물에는 박테리아(bacteria), 효모(yeast), 그리고 곰팡이(fungi)가 있다. 미생물이 탄화수소를 분해하는 과정에는 미생물의 종류는 다르더라도 미생물의 목속에 포함된 같은 기능의 효소가 참여하게 된다. 이 경우, 유산소 조건과 무산소 조건에 의해서 다른 경로를 거치는 것으로 알려져 있다[6]. 유산소 조건에서는 산소가 탄화수소의 분해과정에서 생기는 전자들의 최종수용체로 사용된다. 이것은 생물의 호흡과정과 유사한 경로를 가진다. 생물체의 호흡과정에서는 탄화수소는 분해되어 탄소가 2개인 아세틸-CoA를 거치게 되며, 아

세틸-CoA는 TCA회로를 통해 에너지를 얻는 과정을 거친다. 탄소는 TCA회로를 거쳐 CO₂로 분해된다[6]. 따라서, 유산소 조건에서는 생물체의 호흡과정과 유사한 과정을 거쳐서 탄화수소를 생분해한다. 무산소 조건에서는 산소대신 다른 전자수용체를 이용하여 탄화수소를 분해하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 모든 생분해과정이 단순하게 진행되는 것은 아니다. 왜냐하면, 원유성분은 매우 다양한 화학물질의 혼합물이다. 복잡한 혼합물들의 분해과정도 다르게 진행된다고 할 수 있다. 또한 원유에는 물에 녹는 수용성 물질이 있으며, 이는 미생물과의 접촉에 유리하기에 먼저 생분해된다. 알려진 바에 의하면, 분자크기가 작은 화학물질의 분해속도가 분자크기가 큰 화학물질에 비하여 빠른 것으로 알려져 있다. 그리고, 탄화수소의 종류에 따른 특정 미생물 작용이 다른 것으로 보고되었다[6]. 즉 어떤 화학물질의 분해에 보다 특화된 미생물들이 따로 존재한다는 것이다[16]. 이는 미생물을 사용한 빠른 생분해 효과를 얻기 위해서는 여러 종류의 미생물을 혼합하여 사용해야 한다는 것을 나타내주고 있다. 오일분산제의 부작용으로는, 분자량이 매우 큰 물질과 엉김(floc)을 형성하기도 한다. 이 엉김(floc)은 해수면 아래로 침전되는 경우가 많다. 또한 미생물의 활성과 관련하여 주위 온도도 중요한 역할을 하는데, 미국 멕시코만의 해수깊이는 1600m 정도이며 이 깊이에서의 온도는 약 5°C근방이기에 미생물의 활성도도 많이 약화된다. 이는 결국 오염물질이 미생물에 의한 생분해가 매우 더디게 진행된다는 것을 알 수 있다. 저온에서 미생물의 활성 연구는 북해 원유개발을 담당해온 노르웨이 연구가들에서도 보고되어 있다[8,10]. 하지만, 미국의 경우에는 해양 생태계가 다르기에 북해활동 미생물이 활성성을 그대로 나타낼 수 있을지는 더 연구가 필요할 것이다. 한편, 적극적으로 오일분산제를 바꾸자는 입장인 경우는, 바이오계면활성제(biosurfactant)를 시험하고 있다. 다양한 종류의 후보들이 실험 중에 있다[17,18]. 단점으로는 실험실 조건에서 우수한 결과가 나오더라도 실제 적용과는 다른 결과가 나올 수 있다는 점과 함께 바이오계면활성제의 가격조건을 들고 있다[8,17]. 그렇지만, 에멀전이 해저에 침전되어 생분해활동이 둔화된 경우일 때, 바이오계면활성제의 사용을 통한 효과를 기대하고 있다. 바이오계면활성제는 대규모로 사용되는 계면활성제 즉 화학 계면활성제에 비해서 제조과정에서 비용이 크다. 비용을 줄이기 위해서는 원료가격을 줄이는 방안이 연구되고 있지만

[9], 현재로서는 비용면에서 화학 계면활성제와의 경쟁은 당장은 어려운 것으로 알려져 있다.

2.3 바이오계면활성제(Biosurfactant)

바이오계면활성제의 경우는 기름유출에서만 사용할 수 있는 것이 아닌, 좀 더 넓은 용도에 이용할 수 있다. 이미 해안가에 오염된 곳의 사후처리(remediation)용도와 화학설비의 기름때를 없애는 용도로도 사용될 수 있다. 특수한 용도와 사용하는 것과 비상시에 대규모로 사용되는 오일분산제로의 사용에는 아직 진행 중임을 알 수 있다. 그림3에서는 바이오계면활성제 중에서 대표적인 rhamnolipid와 sophorolipid의 구조식을 나타내었다.

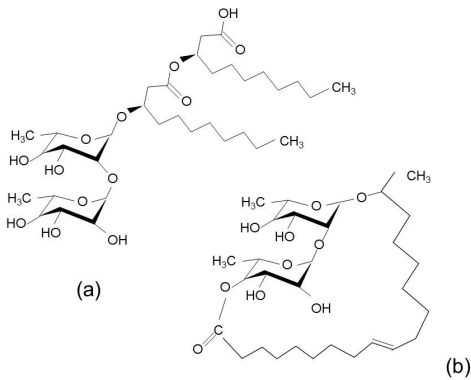


Fig. 3. Chemical structures of representative rhamnolipid (a) and sophorolipid (b).

미생물은 세포내막 혹은 세포외벽에서 바이오계면활성제를 만든다. 미생물이 바이오계면활성제를 품고 수중에서 이동할 때에는 에멸전의 오일표면으로 접근하는 것이 유리하다, 그리고 미생물 표면에 생성된 계면활성제로 인하여 오일 성분의 미생물 내부로 이동하는 확산도 가능해진다. 그렇지만 바이오계면활성제 성분이 포함된 새로운 분산제의 현장 적용을 위해서는 승인을 필요로 하기에, 허가까지는 오랜 시간이 필요할 것으로 예상된다[18].

3. 고찰

오일분산제 사용에 대해서 부정적인 입장 중에는 오일분산제가 원유성분의 입자화를 가속시키는 것을 보고하고 있다. 심해유전의 원유성분 중에는 분자량이 작은

메테인부터 분자량이 큰 왁스, 아스팔텐 같은 물질이 함께 쏟아져 나온다. 심해유전의 해저 유정에서 발생하는 기름유출에 오일분산제의 사용은 오히려 단단한 입자화를 가속하게 되어 바이오필름 형성을 억제하여 미생물 활동을 방해하는 것이 아닌지에 대해서도 연구 중에 있다. 또한, 오일도 물성이 변할 경우 Corexit 9500이 역할을 제대로 못하는 것으로도 보고되었다. 오일의 물성이 변하게 되는 요인으로는 산화작용 그리고 자외선에 의한 오일 분해를 들 수 있으며, 오일의 물성이 변할 경우에는 분산제 효과가 낮아진다고 알려져 있다[4]. 최근에는 해양 원유개발이 많이 이루어지는 브라질에서, 기름 유출시에 오일 분산제를 사용하려는 계획으로 인하여, 환경단체와 논쟁이 되고 있다는 기사도 보도되었다[19]. 정리한다면, 환경론자 입장에서는 오일분산제 성분이 해양 생태계에 년도별로 시간이 흘렀음에도 어떤 부정적인 영향을 주고 있는지에 대한 연구와 사후처리(remediation)에 더 관심을 갖고 있다. 반면, 석유회사와 같은 심해 석유개발을 목적으로 하는 연구에서는 오일분산제의 부정적인 영향보다는 필요시에는 오일분산제를 사용할 수 있음을 제시하고 있다, 문제가 되는 저온 환경에서도 활성을 유지하는 미생물 개발, 더 나아가서는 오일분산제의 성분을 바꾸거나 친환경 바이오계면활성제를 사용하는 오일분산제를 대안 방안으로 제시하고 있다. 이것은 원유개발과 같은 사업은 많은 이권과 향후 경제적인 요인으로 오일분산제가 ‘필요하다, 필요하지 않다’에 대한 의견은 상충되고 있다고 할 수 있다. 그림4에서는 DOSS를 대체하여 검토되는 물질로 lecithin의 화학 구조를 나타내었다[20]. 황이 사용된 DOSS와 비교하여, 인(P)이 사용된 계면활성제이다. 이는 분해시 미생물 증식에 필요한 영양분 역할까지 고려한 물질이라 할 수 있다.

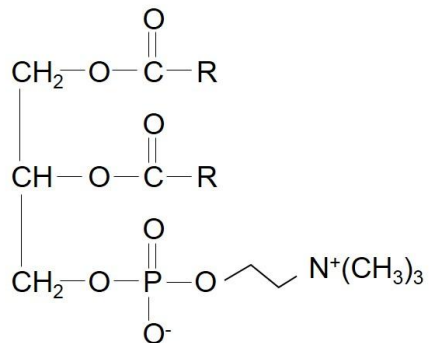


Fig. 4. Chemical structure of lecithin.

그림5에서는 오일분산제 사용에 대한 논문들을 토대로 정리한 내용을 간단한 흐름도로 제시해 보았다. 모든 오일분산제가 평가를 통해서 에멀전 형성이 안되거나 친환경적이지 아닐 경우에는 더 이상 사용이 불가할 것이다. 그러나, 사용예정인 오일분산제가 에멀전을 형성하는데 효과적으로 반응하고 친환경적일 경우에는 현장 사용이 가능할 것이다. 경우에 따라서는 생분해 과정의 효용성을 높이기 위해서는 알려진 미생물을 추가적으로 도입할 수 있으며, 미생물이 증식하는데 필요한 영양분도 함께 투입이 가능할 것이다. 현장에서 성능이 입증될 경우에는 최종적으로 사용이 가능한 인벤토리대상이 될 것이다. 그런데, 오일분산제가 효과적으로 작용하지 않을 경우에는 대안책으로 대체제를 만드는 것을 고려할 수 있다. 대체될 오일분산제는 현재 사용되는 대체제에서 특정성분을 교체하는 소극적인 방법에서 새로운 바이오계면활성제로 대체하는 보다 적극적인 방법을 고려할 수 있다. 이 두 경우 모두 현장에서 적용이 가능하고 경제적으로 제조가 가능할 경우에는 현장에 성공적인 적용 여부를 통해 인벤토리로 등록이 가능할 것을 나타내었다.

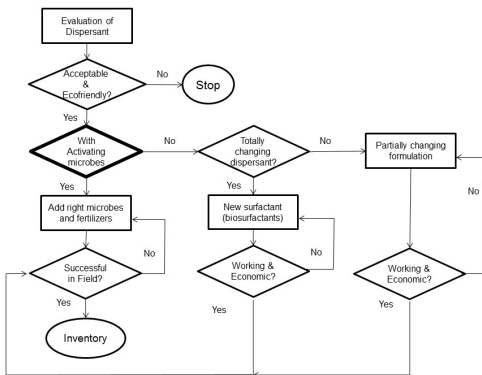


Fig. 5. Conceptual flow diagram for the development of oil dispersant.

4. 결론

심각한 기름유출이 발생할 경우, 어떻게 대처해야 하는가는 대처 매뉴얼 등이 도움이 될 것이다. 오일분산제를 사용하는 결정을 내리더라도 원유 혹은 유제품에 분산제가 잘 작동할 수 있는가에 대한 확인이 필요할 수 있다. 이를 위해서는 어떤 현상들이 일어날 수 있는가에 대

한 시나리오 별로 실험을 진행하는 것이 필요할 것이다. 그러기 위해서는 해외사례와 적용 등에 대한 자료를 데이터베이스화하는 작업도 필요할 것이다. 또한, 이런 업무는 특정분야의 전공자가 하기는 어려우며, 오일의 물성을 이해하는 인력, 화학물질을 분석하는 인력, 계면활성제 시험을 할 수 있는 인력 등 여러 기술이 융합된 인력풀이 필요할 것이다. 현재 유가가 서서히 오르고 있다. 서서히 오르는 것과 맞물려 해양에서 원유개발은 탄력을 받을 것으로 예상된다. 이 경우 어디든 기름이 유출될 수 있는 확률은 올라갈 것이다. 따라서 국가별로 앞으로 유출되는 사고가 날 경우에 어떤 시나리오를 예상하고, 처리해 나가야 하는 준비도 필요할 것으로 여겨진다. 국내도 대처방안을 만들기 위해서는 지속적인 융합연구의 필요성을 가지게 한다. 현재 기름유출 관련으로는 해양안전, 해양환경 분야에서 주로 다루고 있다. 그러나, 깊게 들어갈 경우에는 원료자체의 특수성으로 인하여 화학, 바이오분야와의 연계성이 당연히 요구될 것이라 예상된다.

REFERENCES

- [1] <https://www.epa.gov/emergency-response/epas-response-techniques>
- [2] Editorial, (2010). Oil Spills: microorganisms to the rescue?, *Nature*, (8), 462.
- [3] L. Graham, C. Hale, E. Maung-Douglass, S. Sempier, L. Swann, M. Wilson, (2016). Oil Spill Science: Chemical Dispersants and Their Role in Oil Spill Response, MSAGP-15-015.
- [4] V. John, C. Arnosti, J. Field, E. Kujawinski, A. McCormick, (2016). The Role of Dispersants in Oil Spill Remediation: Fundamental Concepts, Rationale for Use, Fate, and Transport Issues. *Oceanography*, 29(3), 108-117.
- [5] Y. Jin, J. Lee, Y. Jo, S. Lee, (2015). A Study on the Effectiveness and Safety Comparison of Dispersants, *Journal of the Korean Society of Safety*, 30(6), 148-155.
- [6] N. Das & P. Chandran, (2011). Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants: An Overview, *Biotechnology Research International*, Article 941810.
- [7] L. J. Hamdan & P. A. Fulmer, (2011). Effects of Corexit® EC9500A on Bacteria from A Beach Oiled by the Deepwater Horizon Spill, *Aquatic Microbial Ecology*, 63, 101-109.
- [8] O. G. Brakstad, D. Ribicic, A. Winkler, R. Netzer, (2018).

- Biodegradation of Dispersed Oil in Seawater is not Inhibited by A Commercial Oil Spill Dispersant, *Marine Pollution Bulletin*, 129(2), 555-561.
- [9] B. Doshi, M. Silanpää, S. Kalliola. (2018). A Review of Bio-Based Materials for Oil Spill Treatment. *Water Research*, 135, 262-277.
- [10] O. G. Brakstad, S. Lofthus, D. Ribicic, (2017). Biodegradation of Petroleum Oil in Cold Marine Environments, In: R. Margesin (Ed.), *Psychrophiles: From Biodispersity to Biotechnology*, Ch. 27, pp613-644. Springer International Publishing.
- [11] J. Kim & Y. Ko, (2017). Future Strategy if Korean Petrochemical Industry by Analysing Integrated Emerging Issues, *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(12), 307-315.
- [12] G. Kim & Y. Kim, (2017), A Survey on Oil Spill and Weather Forecast Using Machine Learning Based on Neutral Networks and Statistical Methods, *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(10), 1-8.
- [13] J. Chun, B. Kang, C. Kim, (2018). Comparison of Korea and World Marine Oil Spill Studies: Long-term Trend Analysis Through in-depth Literature Review. *Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy*, 21(1), 30-39.
- [14] T. Gutierrez, (2017). Biodispersants: Do They Have a Future to Combat Marine Oil Spills?, *Journal of Marine Microbiology*. 1(1), 9-10.
- [15] N. Dombrowski, J. A. Donaho, T. Gutierrez, K. W. Seitz, A. Teske, B. Baker, (2016). Reconstructing Metabolic Pathways of Hydrocarbon-Degrading Bacteria from the Deepwater Horizon Oil Spill, *Nature Microbiology*, Article 16057.
- [16] S. Shekhar, A. Sundaramanikam, T. Balasubramanian, (2015). Biosurfactant Producing Microbes and Their Potential Applications: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45, 1522-1554.
- [17] R. F. S. Silva, D. G. Almeida, R. D. Rufino, J. M. Luna, V. A. Santos, L. A. Sarubbo, (2014). Application of Biosurfactants in the Petroleum Industry and the Remediation of Oil Spills, *International Journal of Molecular Science*, 15, 12523-12542.
- [18] B. G. Freitas, J. G. M. Brito, P.P.F. Brasileiro, R. D. Rufino, J. M. Luna, V. A. Santos, L. A. Sarubbo, (2016). Formulation of a Commercial Biosurfactant for Application as a Dispersant of Petroleum and By-Products Spilled in Oceans, *Frontiers in Microbiology*, 7, Article 1646.
- [19] J. S. Clarke, (2017). BP Plans to Use Coral Harming Chemical in Event of Oil Spill near Amazon Reef, *Enearth News*, August 14.
<https://uneartthed.greenpeace.org/2017/08/15/bp-brazil-amazon-reef-corexit-oil-spill/>
- [20] D. A. Riehm & A. V. McCormick, (2014). The Role of Dispersants' Dynamic Interfacial Tension in Effective Crude Oil Spill Dispersion, *Marine Pollution Bulletin*, 84, 155-163.

오 경 석(Oh, Kyeongseok)

[정회원]



- 1993년 2월 : 연세대학교 화학공학과(공학사)

- 2004년 8월 : 유타대학교 화학공학과(공학박사)

- 2012년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 화공환경과 교수

- 관심분야 : 소재, 분석

- E-Mail : kyeongseok.oh@inhac.ac.kr