

# Silicone oil에 기초한 microemulsion을 이용한 DNAPL의 제거

권태순, 백기태, 이재영, 양중석, 양지원

한국과학기술원 생명화학공학과 환경복원공학연구소,  
e-mail : klez@kaist.ac.kr

## <요 약 문>

In this study, the solubilization of dense nonaqueous phase liquid (DNAPL) using oil-based emulsion was investigated for aquifer remediation. The micro-sized oil emulsion has large surface areas and buoyancy force, therefore it can be effective in treating DNAPL pool of the aquifer without downward migration of DNAPLs. The emulsion was prepared using silicone oil and mechanical homogenization. And the prepared emulsion had micro-sized similar distribution: 99 % in number and 80 % in volume were less than 10  $\mu\text{m}$ . As target pollutants, trichloroethylene and 1,2 dichlorobenzene were selected. All of used DNAPLs were solubilized successfully in oil-based emulsion. Even at low oil percentage, emulsion showed good solubility against pollutants. Therefore, the remediation using oil-based emulsion was considered as an effective alternative in dealing with DNAPLs of the aquifer.

**Key word** : microemulsion, DNAPL, TCE, 1,2 dichlorobenzene

## 1. 서 론

산업 및 유류 운반 시설로부터 유출된 dense nonaqueous phase liquid (DNAPL)는 지하로 스며들어 물보다 무거운 비중으로 인해 대수층의 바닥에 웅덩이 형태로 모여 존재하게 되며, 낮은 물에의 DNAPL의 용해도는 지속적으로 대량의 지하수를 오염시키는 결과를 낳게된다 [1]. 현대 사회에서 지하수의 음용수로의 중요성과 DNAPL의 위해성을 고려해 볼 때, 이 문제의 해결은 시급한 과제로 여겨지고 있다. 이에 계면활성제를 이용한 surfactant-enhanced aquifer remediation (SEAR)이 가장 효과적인 대수층의 DNAPL 제거방법으로 주목을 받아 많은 연구가 이루어지고 있다 [1]. 그러나 물보다 무거운 DNAPL의 비중으로 인해 오염물을 포함한 미셀이 대수층의 하부로 이동하는 부작용이 나타나 이로 인한 오염물의 확산이 SEAR의 한계점으로 부각되고 있다 [1]. 이에 본 연구에서는 다른 한 대안으로서 생적합한 비수용성 용매로 마이크로 크기의 에멀전을 형성하여 그 특성과 DNAPL의 제거 가능성을 살펴보고 있다. 에멀전을 구성하고 있는 용매의 소수성과 부력을 통해 오염물의 확산을 막음과 동시에 넓은 에멀전의 표면적을 이용하여 효과적으로 오염물을 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험 방법

본 연구에서 5cS silicone oil (Sigma, USA)과 homogenizer를 이용하여 0.5, 1, 2 부피 %의 oil 수용액으로 5000 rpm에서 2, 5, 10분, 8000 rpm에서 5, 10, 15분의 시간으로 에멀전을 만들었다. Particle size analyzer(Beckman coulter LS 230)를 이용하여 에멀전의 입자 분포를 분석하였으며, 에멀전의 안정성을 조사하기 위해 매일 20ml의 샘플을 채취하여 105℃ 오븐에서 2일 동안의 처리로 물을 제거한 후 3ml의 n-hexane (Merck)으로 추출하여 HPLC (Waters)로 oil의 양을 분석하였다. DNAPL로는 TCE (Sigma, USA)와 1,2 dichlorobenzene (Sigma, USA)을 택하였고, 에멀전의 용해능을 측정하기 위해 20 ml vial 조건에서 회분식 실험을 수행하였다. 25℃의 용해도를 기준으로 각각 용해도의 1/2, 1, 5, 10, 20 (TCE) 및 1/2, 1, 10, 50 (1,2 dichlorobenzene) 배의 오염물을 주입하여 6-7 시간의 shaking을 통해 평형에 도달한 후 GC (Hp6890, USA)의 head space 분석으로 잔류 오염물의 양을 측정하였다.

### 2.2 실험 결과

#### 에멀전 형성에서 주요 인자들의 영향

에멀전의 형성에 영향을 끼치는 인자는 rpm, 시간, oil의 함량 세 가지로 볼 수가 있다. 먼저 평균입자크기를 보게되면 (fig. 1, 2), 시간 및 oil의 함량에 관계없이 비슷한 크기를 유지하고 있음을 알 수가 있다. 또한 rpm의 영향도 미비한 것으로 나타나있다. 에멀전의 입자크기 분포에서도 평균입자크기에서와 같이 형성 조건에 관계없이 99% 이상이 10  $\mu\text{m}$  이하의 크기를 가짐이 확인되었다 (fig. 3, 4). 그러나 부피분포에서는 fig. 5처럼 전혀 다른 경향을 보였다. 오일 함량 및 시간의 변화에 따른 영향은 미비하나 높은 rpm에서는 더 많은 부피의 입자가 10  $\mu\text{m}$ 이하에 존재함을 확인할 수가 있었다. 이는 많은 에멀전이 보다 안정된 상태로 존재하는 것을 의미하므로 8000 rpm의 조건이 에멀전의 형성에 보다 적합한 것으로 판단된다.

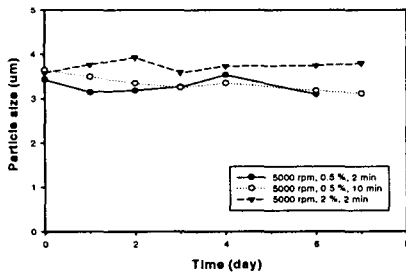


Fig. 1. 5000 rpm에서의 평균입자크기

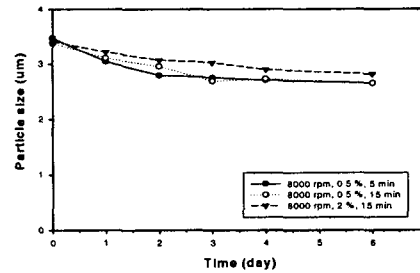


Fig. 2. 8000 rpm에서의 평균입자 크기

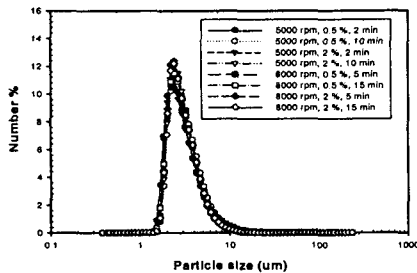


Fig. 3. 초기 입자 크기 분포

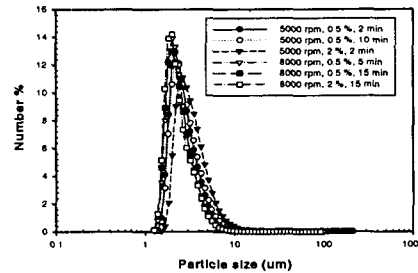


Fig. 4. 6일 후의 입자 크기 분포

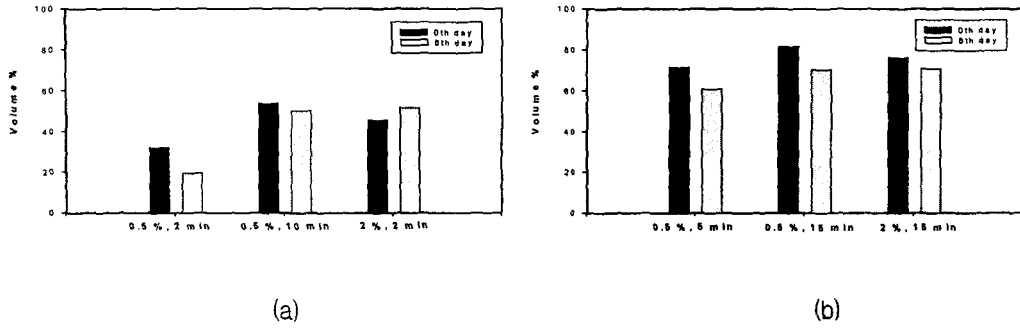


Fig. 5. 10.78 μm 이하의 입자 부피 % (a) 5000 rpm, (b) 8000 rpm

### 에멀전의 안정성

에멀전 상태로 존재하는 절대량과 시간에 따른 안정성을 파악하기 위하여 HPLC/RI를 이용하여 4일 동안 에멀전의 변화를 관찰하였다. 그 결과, 초기 투입량의 약 10-20% 정도가 에멀전 상태로 존재함을 확인할 수 있었다 (fig. 6).

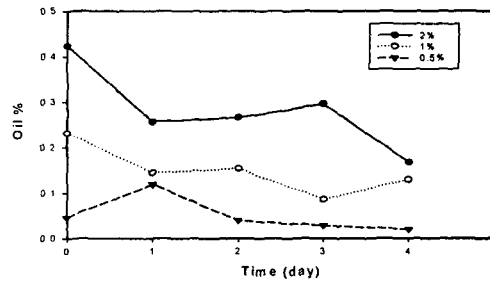


Fig. 6. 8000 rpm 조건에서의 에멀전 상태의 oil % 비교

### DNAPL의 제거

Fig. 7은 에멀전을 이용한 DNAPL의 제거 결과를 보여주고 있다. 결과에서 알수 있듯이 1,2 dichlorobenzene은 용해도의 50배의 농도까지 90% 이상이 제거되는 결과를 보여주고 있다. 이에 반해 TCE는 1,2 dichlorobenzene에 비해 전반적으로 낮은 제거율을 보이고 있으며 이는 1,2 dichlorobenzene에 비하여 10배 정도 높은 TCE의 용해도로 인해 예상이 되었다. 그러나 저농도에서의 제거율의 감소가 관찰되었으며, 실제 복원에서는 이에 대한 고려가 필요하다.

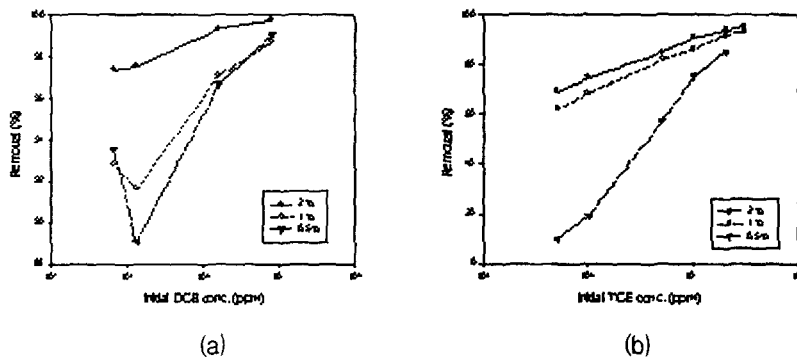


Fig. 7. DNAPL의 제거율 (a) 1,2 dichlorobenzene(DCB) (b) TCE

### 3. 결론

본 연구에서는 silicone oil 및 homogenizer를 이용하여 에멀전을 형성하여 형성 조건에 따른 에멀전의 입자 특성을 살펴보았으며 이를 이용하여 DNAPL의 제거를 시도하였다. 실험에서 사용한 조건 상에서는 입자 특성이 크게 영향을 받지 않았으나, 부피 비율의 측면에서 높은 rpm이 더 유리한 것으로 나타났다. 에멀전을 이용한 DNAPL의 제거에서는 1,2 dichlorobenzene이 더욱 효과적이었으며, 용해도의 50배의 농도에서도 90% 이상이 제거되었다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 국가지정 연구실 사업의 일환으로 수행되었음에 이에 감사드립니다. (M1-0203-00-0001)

### 5. 참고문헌

- 1) Jeffrey H.Harwell · David A.Sabatini · R.C.Knox, Surfactants for ground water remediation, Colloids and Surfaces A, 151, pp 255-268, 1999