

## 토양 중 디젤 성분의 생분해에 있어서 mass-transfer 영향

조한나, 염익태\*, 박주양

한양대학교 토목공학과

\*성균관대학교 토목환경공학과

e-mail : chohanna@kist.re.kr

### 요 약 문

토양 오염의 주된 원인인 디젤은 휘발성과 용해도가 낮아 생물학적 처리법이 많이 이용된다. 생물학적 처리에서 Bioavailability는 생분해의 속도에 영향을 미치며 유효성평가에 있어 중요하다. 디젤로 오염된 토양의 생분해 특성 및 Bioavailability를 평가하기 위하여 생분해 실험과 mass transfer 실험을 수행하였다. 생분해 속도와 mass transfer 속도의 비교를 통해 생분해 초기에는 mass transfer에 의해 그 속도가 부분적으로 제한을 받으나, 일정시간 후에는 mass transfer 속도에 의해 생분해 속도가 결정되어짐을 알 수 있었다. Multi-component인 디젤 성분에서의 mass transfer의 영향을 알기 위해 각 성분별에 따라 조사한 결과, linear H.C 성분과 고 휘발성 성분은 생분해 속도가 초기에는 mass transfer에 의해 부분적으로 제한되고 후에 mass transfer에 의해 결정되어 지나, brached H.C 성분과 저휘발성 성분은 전체적으로 mass transfer에 의해 생분해 속도가 제한되고 있음을 알 수 있었다.

**Key Words** : Diesel-contaminated soil, Biodegradation, Mass transfer, Bioavailability

### 1.서론

주유소나 지하 유류 저장소 및 군부대로부터 유출되는 각종 유류는 토양에 흡착되거나 비수용성(NAPL) 액체 상태로 남아 장기적인 토양과 지하수 오염의 주된 원인이 되고 있다. 그 중 대표적인 오염물질인 디젤은 상대적으로 휘발성과 용해도가 낮아 생물학적 처리법이 많이 이용되고 있다. 생물학적 처리방법에 있어 Bioavailability는 생분해의 속도와 잔존농도를 결정한다. 따라서 오염된 토양의 복원기간을 정하고, 생분해의 적절한 기준을 설정하기 때문에 그 유효성에서 중요하다. 토양 오염물질의 Bioavailability는 오염물질이 고정상인 토양으로부터 물과 같은 유동상으로의 분리를 전제로 하기 때문에 토양과 물 사이의 오염물질들의 mass transfer의 특성은 생분해에 큰 영향을 미친다. 또한 디젤이 단일물질이 아닌 Multi-component로 구성되어 있어 그 분해에 있어 여러 가지 양상이 나타날 것이며 mass transfer의 영향도 다르게 나타날 것이다. 따라서 생분해에 있어 mass transfer의 영향을 평가하기 위해 생분해 실험과 mass transfer 실험을 수행하고 디젤의 각 성분을 몇 개의 특성에 따라 그룹으로 나누어 생분해의 양상과 mass transfer의 영향을 알아보았다.

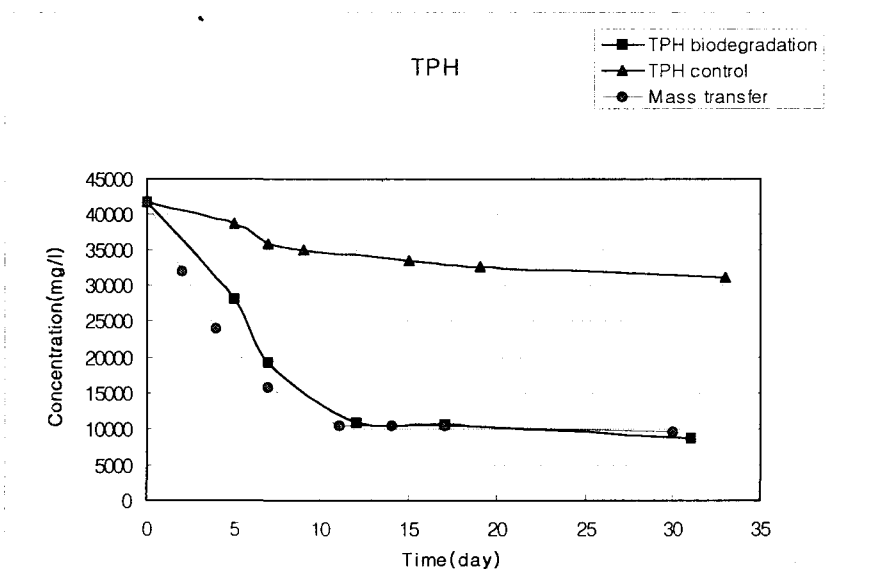
## 2. 실험재료 및 방법

생분해 실험은 batch 실험으로 40ml vial 에 디젤오염토양 1g을 넣고 minimal salt media (MSM : 4.0 g/L NaNO<sub>3</sub>, 1.5g/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.5g/L Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.2g/L MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 0.01 g/L CaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 0.005g/L FeCL<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, pH=7) 과 seeding 용액을 더한 ( MSN 200ml + seeding 1ml ) 용액을 10ml 넣고 25°C 진탕배양기에서 배양하였다. 시간에 따라 각 vial에 5ml 메틸렌 크로라이드로 24시간 추출하여 0.2 $\mu$ m 테플론 필터로 여과한 후 분석하였다. 내부표준물질로는 hexacosane (C<sub>26</sub>H<sub>54</sub>)을 이용하였다. 디젤의 분석은 shimadzu G - 17A 로 하였으며 컬럼은 Supelco Fused silica Capillary Column 이다. 디젤의 총량은 TPH법으로 측정하여 정량하였다. 생분해의 control 은 0.05% Hgcl<sub>2</sub>를 함유한 MSN을 이용하였다.

Mass transfer 실험은 20ml vial 에 디젤오염토양 1g을 넣고 0.2g Tenax-TA (20/35mesh, Altech Co.) 흡착제를 넣었다. 적당한 시간간격에 따라 Tenax bed를 건져내고 새로운 Tenax를 넣어 주어 최대 디젤 농도 구배를 만들어 주었다. 건져진 Tenax 는 5ml 아세톤으로 24 시간 추출하여 0.2 $\mu$ m 테플론 필터로 여과한후 GC로 분석 TPH를 측정하였다. 모든 실험은 duplicate 로 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

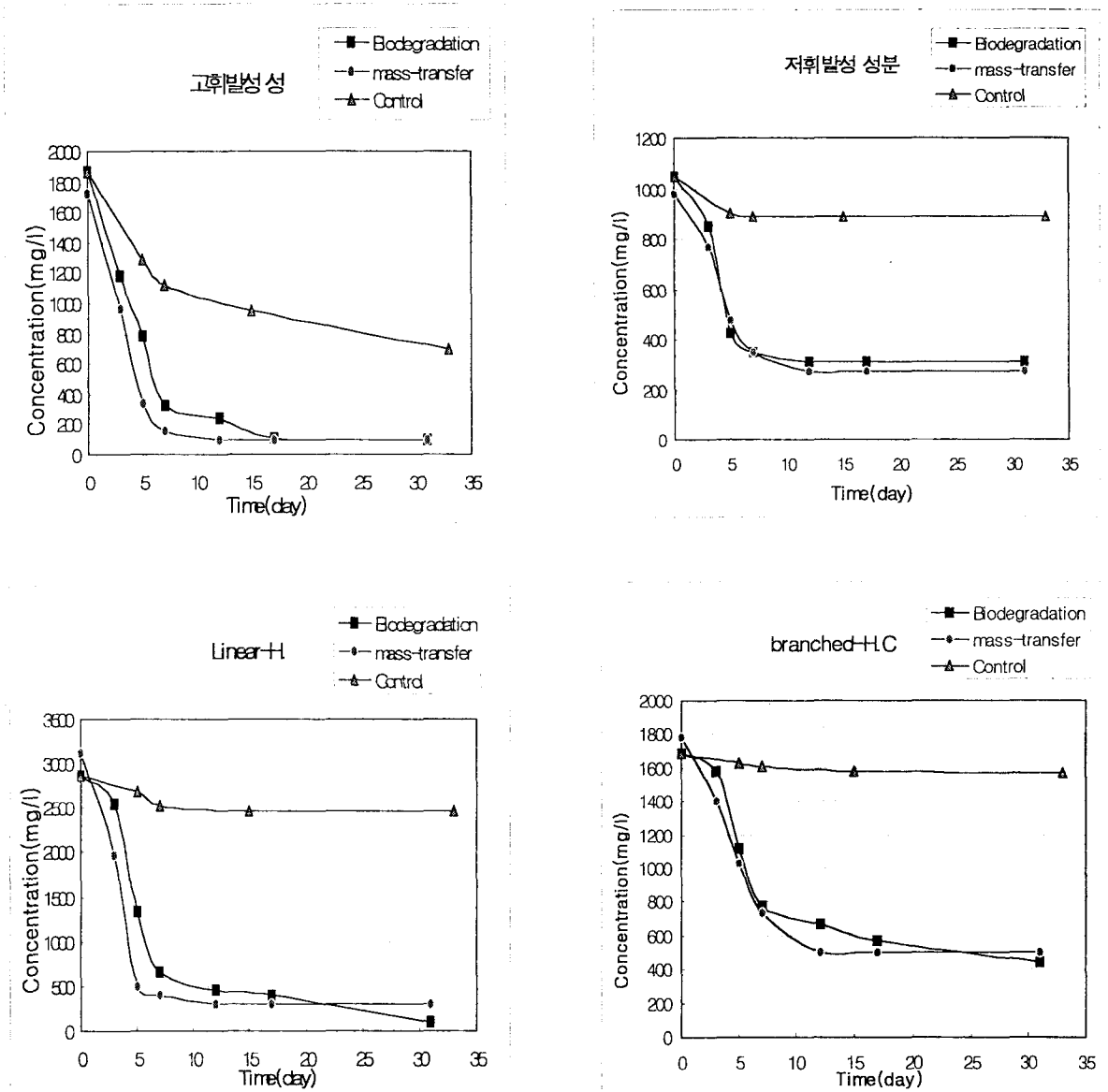
디젤 TPH의 생분해와 mass transfer 속도 알아보기 위하여 [그림1] 에 나타내었다. TPH 의 생분해는 초기 활발히 진행되다 5일이 경과되면서 둔화되고 10일 이후에는 79.4% 정도 분해되고 일정량 잔존하고 있다. 토양으로부터 TPH 의 Mass transfer 는 10일까지 점차적으로 증가하여 75.5% 정도 mass transfer 되나 10일 이후에는 더 이상 증가하지 않고 나머지는 토양 속에 흡착하여 잔류하고 있다. 이와 같이 토양 중 디젤의 생분해 속도와 mass transfer 속도를 비교해 본 결과 디젤에 의해 오염된 토양의 생분해에 있어 초기에는 mass transfer의 속도가 빠르지만 10일



[그림1] 디젤 TPH의 생분해와 Mass transfer 비교

이후에는 생분해 속도와 거의 수렴됨을 볼 수 있다. 이는 초기에는 mass transfer 에 의해 부분적으로 제한을 받으나 일정시간이 지나면 mass transfer 가 생분해의 속도를 결정함을 알 수 있다.

Multi-component 인 디젤성분들의 mass transfer의 영향을 알아보고자 각 성분에 따라 그룹으로 나누어 알아보았다. 그룹은 분자구조에 따른 linear H.C성분, branched H.C성분과 휘발성에 따른 고휘발성, 저휘발성 성분으로 총 4그룹으로 나누었다. 대표적인 몇몇의 peak을 선별하여 그 합으로 [그림2]에 개별성분들의 생분해와 Mass transfer를 나타내었다.



[그림2] 개별성분에 따른 생분해와 mass transfer 의 비교

고휘발성 성분과 linear-H.C 성분은 생분해 초기에는 mass transfer 의 속도가 빨라 생분해에 있어 그 속도를 부분적으로 제한하나 15일 후에는 mass transfer 에 의해 제한되어짐을 볼 수 있다. 저 휘발성 성분과 branched H.C 성분은 전체적으로 생분해 초기부터 mass transfer 에 의해 그 속도가 결정되어 짐을 볼 수 있다. 성분에 따른 mass transfer차이는 용해도의 차이로 판단되어 지는데, 탄소의 수가 많고 그 구조가 복잡한 branched H.C 과 저 휘발성 성분들은 약 70% 정도

용해되고 속도가 느린 반면, 탄소의 수가 작고 그 구조가 간단한 linear H.C 성분이나 고 휘발성 성분들은 95% 정도 비교적 빠른 속도로 용해되어짐을 볼 수 있다.

#### 4. 참고문헌

- 1) Yeom, Icktae. Surfactant-Enhanced Dissolution and Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Coal Tar contaminated soil. Ph. D. dissertation, The University of Tennessee, Knoxville , 1995
- 2) Facundo J. Marquez-Rocha. 1999. Diesel removal from a contaminated soil by natural hydrocarbon-degrading microorganisms. In situ bioremediation of petroleum Hydrocarbon and other organic compounds 5(3), p409-414
- 3) M. Nocentini , D. Pinelli , F. Fava. Bioremediation of a soil contaminated by hydrocarbon mixtures : the residual concentration problem , chemosphere, 41, 1115-1123, 2000
- 4) Venosa, Alber D. and John R. Hainse. 1997. Rates of hydrocarbon biodegradation in the field compared laboratory. In situ and On situ bioremediation. 4(4), p359-364.
- 5) 염익태, 이상현, 안규홍, 오염토양 중 디젤성분의 생분해 처리성 평가, 대한환경공학회지, v21,n0.8 1519-1527, 1999