

Phenol 및 PAH로 오염된 토양의 처리를 위한 생물반응기 개발

우승한 · 박종문 · 장원용* · 이광표* · 송창수* · 윤건신*

포항공과대학교 화학공학과,
*삼성물산 건설기술연구소

1. 서론

우리나라는 고도 경제성장과정에서 경제규모가 급속히 확대됨에 따라 산업체의 오염 물질 배출량 급증, 화석연료 사용량의 증가 및 무리한 개발계획에 따른 자연파괴 등 환경오염이 급속히 증가하여 왔다. 이러한 환경오염은 다양한 경로를 통하여 인간에게 영향을 미치는데, 토양오염의 경우 수질오염이나 대기오염과 달리 노출속도가 느리고 전달경로가 복잡하여 오랫동안 관심대상에서 제외되어 왔었다. 그러나, 최근의 잇단 유류 선박사고는 그 피해의 규모나 정도에 있어서 토양오염의 심각성을 극명하게 보여주었고 이를 해결하기 위한 다방면의 노력이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이미 선진국에서는 이와 같은 대형 유류사고지역뿐만 아니라 페놀류 및 PAH(Polynuclear Aromatic Hydrocarbons)류를 포함한 유해성 유기물로 장기간 노출된 산업지역이나 폐기물 처리장의 복구를 위해 다양한 생물학적 기술들을 이용하고 있다. 현재까지는 주로 on site 또는 in situ 기술들을 적용하고 있으나 이들 방법의 낮은 효율로 인해서 복구기간이 장기화되는 단점을 안고 있다. 한편 처리효율을 극대화할 수 있는 기술로서 생물반응기의 응용이 다각적으로 시도되고 있으나, 기존의 slurry bioreactor의 경우 다량의 물이 사용되어 용량이 감소할 뿐만 아니라, 탈수비용이 추가로 드는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이를 극복하기 위해 drum 형태의 생물 반응기를 설계 제작하였으며 이를 이용하여 페놀 및 PAH로 오염시킨 실제 토양의 처리에 대한 효율을 조사하였다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 실험방법

본교 운동장에서 채취한 sandy soil을 자연 건조시킨 후 실험에 사용하였는데 soil size distribution은 sieve method에 의하여, soil texture는 hydrometer method를 사용하

여 특성을 조사하였다. 이 토양(<2mm) 5kg을 naphthalene과 phenanthrene 일정량을 함유한 methylene chloride 용매로 인위적으로 오염시킨 후 용매를 휘발시켜 사용하였다. 이때 사용된 미생물 균주는 토양으로부터 분리한 PAH 분해균주(PM)와 활성오니 공정으로부터 분리한 phenol 분해균주(PNM), 10:1 rhizosphere 토양추출물을 사용하였다. 영양소로는 Evans's salt medium에서 질소원을 potassium nitrate 31.7mM로 치환하여 첨가하였고 초기 water content는 21%로 유지하였다. 이와 같은 조건의 재료를 사용하여 drum bioreactor를 2회 운전하였으며 그 조건은 표 1과 같다. 토양내 phenol 및 PAH는 EPA의 sonication 방법에 따라 추출하였으며, HPLC를 이용하여 분석하였다. 미생물 활성은 CFU로 측정하고 Ion chromatography로 nitrate 이온을 분석하였다.

Table 1. Experimental conditions in the operations of drum bioreactor.

Content	Operation I	Operation II
Soil	5kg dry soil S (<2mm)	5kg dry soil S (<2mm)
Inoculum	PM 200mL, PNM 200mL, Soil R extract 200mL	PM 200mL, PNM 200mL, Soil R extract 200mL
Nutrients	2x SM 500mL	3x SM 400mL
Contaminants	Phe 30ppm, Phenol 500ppm	Phe 150ppm, Nap 100ppm, Phenol 1000ppm
Water content	21%	21%
Temperature	30°C	30°C
Revolution rate	3rpm	9rpm
Aeration	0.5L/min	0.5L/min
Surfactant	-	Triton X-100 0.3%

2.2 실험장치

본 실험에서 사용된 생물 반응기 시스템은 그림 1과 같이 수평회전 방식의 drum bioreactor인데, 본체는 H:D가 1:2, 전체 용량 12.6L규모로서 stainless steel로 제작되었다. 본 시스템은 온도제어 및 회전속도의 조절이 가능하도록 고안되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기초실험

토양에 흡착된 PAH를 sonication방법을 이용하여 추출효과를 조사한 결과 87-100%의 회수율을 확인하였으며 추출오차는 surrogate standard를 첨가하여 해결하였다. PM

혼합균주와 PNM 혼합균주의 maximum degradation rate를 액체배지를 이용한 진탕배양을 통해 확인하였는데, 각각 9.0mg phenanthrene/L/day, 454mg phenol/L/day였다.

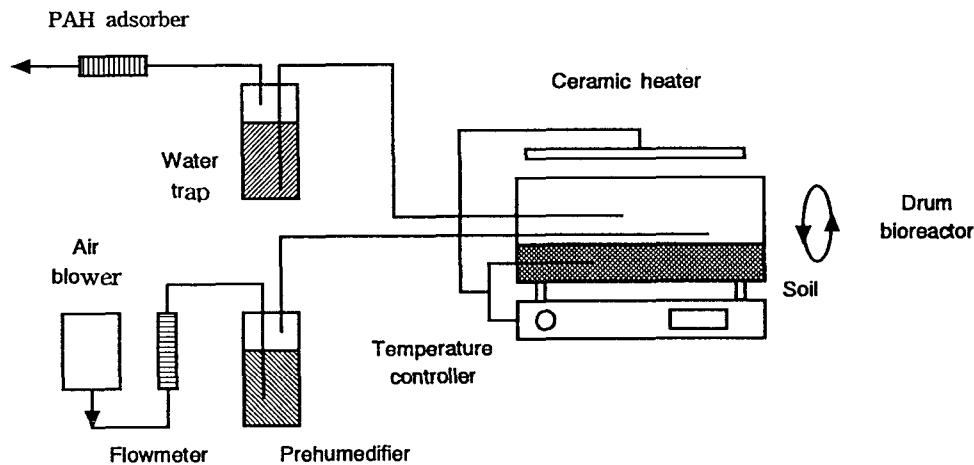


Fig. 1. Schematic diagram of drum bioreactor system.

3.2 Drum bioreactor의 운전

오염정도를 증대시키면서 2회의 drum bioreactor를 운전한 결과 surfactant의 첨가에 의해 phenanthrene의 분해속도가 증가하였다. 한편, on site composting을 모사한 (surface aeration, daily turning, 그림 2 (A)구간) 결과 오염물질의 분해가 거의 일어나지 않음을 알 수가 있었다.

3.3 미생물 활성

배양기에 접종한 미생물(10^6 - 10^7 CFU/g dry soil)의 수가 초기에 급격히 감소하는 현상을 관찰할 수 있는데 이는 낮은 산소 전달속도 또는 substrate 전달속도에 의해 미생물 성장 및 유지에 저해작용을 받은 것으로 추측된다. 배양중 나타나는 미생물은 크게 fast-growing bacteria와 slow-growing bacteria로 분류할 수 있었으며 phenanthrene이나 phenol을 분해할 수 없는 미생물도 존재하는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 중간 대사산물 또는 토양내의 organic matter를 분해하는 균주인 것으로 생각된다.

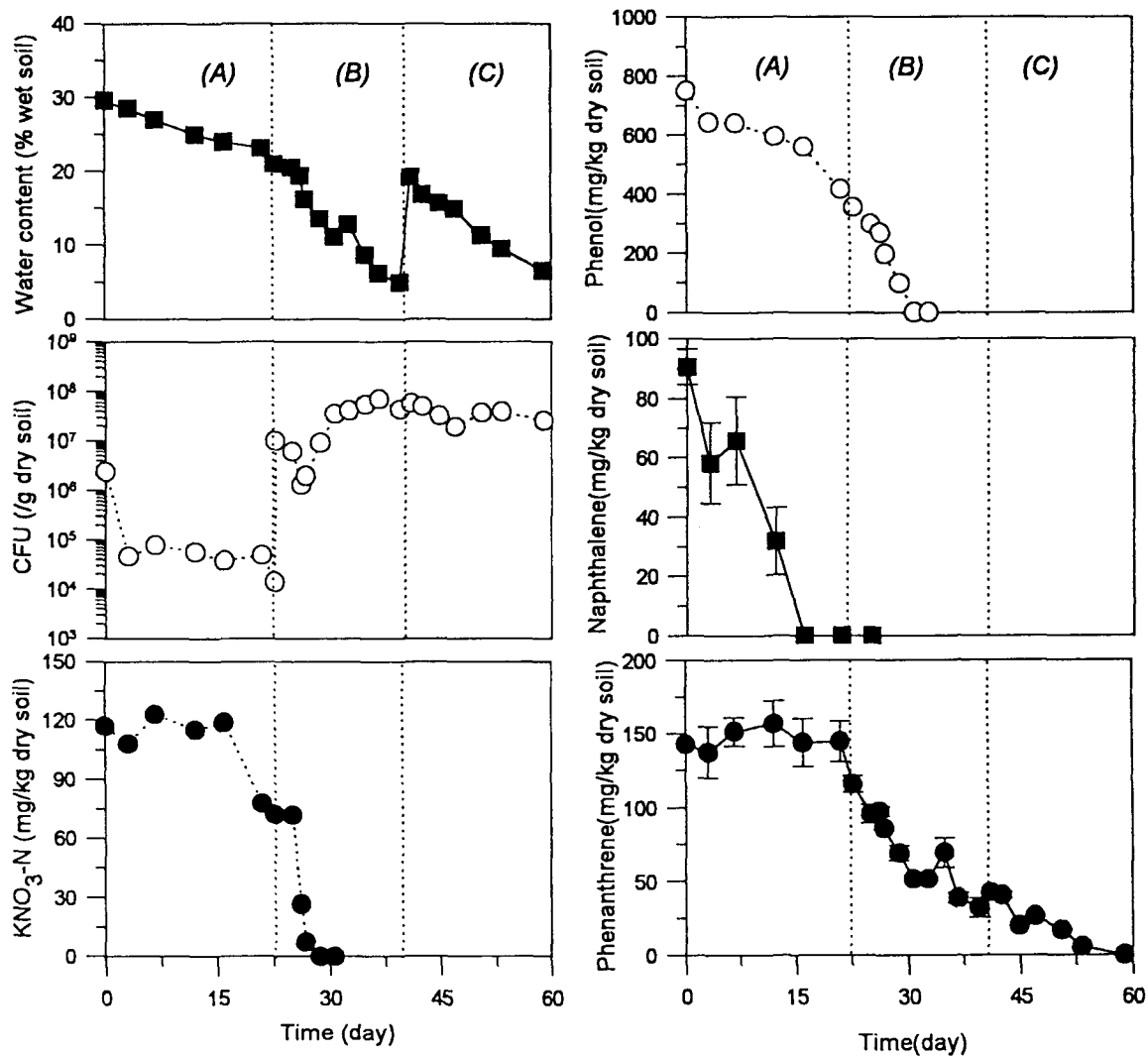


Fig. 2. Phenol and PAH degradation in a drum bioreactor (II).

(A) Surface aeration, daily turning

(B) Reinoculation, continuous turning (9rpm)

(C) Water supplement

3.4 오염물질 분해

Drum bioreactor에서의 phenol분해는 (A)구간 말기에서부터 시작하여 43.2mg/kg dry soil/day 의 속도로 분해되었다. Naphthalene의 경우 (A)구간에서 모두 감소하였는데 이는 휘발에 의한 것인데 이것은 미생물 활성이나 nitrate의 농도경향에서도 알 수 있다. Phenanthrene의 경우 (B)구간에서 분해가 시작되었고 그 속도는 7.85mg/kg dry soil/day였으며, 이때 C/N비는 3.81이었다.

참고문헌

1. "Superfund innovative technology evaluation program: technology profiles seventh edition", EPA/540/R-94/526, 1994
2. SC Wilson and KC Jones, "Biodegradation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs)", *Environmental Pollution*, 81, 229-249, 1993
3. "Pilot-scale demonstration of a slurry-phase biological reactor for creosote-contaminated soil", EPA/540/A5-91/009, 1993
4. MR Smith, "The biodegradation of aromatic hydrocarbons by bacteria", *Biodegradation*, 1, 191-206, 1990
5. CGT Evans, D Herbert, DW Tempest, "The continuous cultivation of microorganisms. 2. Construction of a chemostat.", *Methods Microbiol.* 2, 277-327, 1970