

토양 서식 미생물을 이용한 가축사체 매몰지 토양유래 용존 유기물 분해 Biodegradation of Dissolved Organic Matter Derived from Animal Carcass Disposal Soils Using Soil Inhabited Bacteria

박정안 · 강진규 · 김재현 · 김성배*[†]

Jeong-Ann Park · Jin-Kyu Kang · Jae-Hyun Kim · Song-Bae Kim*[†]

서울대학교 환경기능성물질 및 바이오콜로이드연구소

*서울대학교 지역시스템공학과

Environmental Functional Materials and Biocolloids Laboratory, Seoul National University

*Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

(2013년 10월 3일 접수, 2013년 11월 13일 채택)

Abstract : The aim of this study was to investigate the biodegradation of dissolved organic matter derived from animal carcass disposal soil using soil inhabited bacteria and to identify the bacteria involved in the biodegradation. The two soils were obtained from the animal carcass burial sites located in Anseong, Gyeonggi-do, Korea. The results indicated that during the biodegradation experiments (56 days), 48% of dissolved organic carbon (DOC) was mineralized within 13 days in soil-derived solution 1 (initial DOC = 19.88 mgC/L), and the DOC concentration at 56 days was 8.8 ± 0.4 mg C/L, indicating 56% mineralization of DOC. In soil-derived solution 2 (initial DOC = 19.80 mgC/L), DOC was mineralized drastically within 13 days, and the DOC concentration was decreased to 6.0 ± 0.4 mg C/L at 56 days (76% mineralization of DOC). Unlike DOC value, the specific UV absorbance (SUVA₂₅₄) value, an indicator of proportion of aromatic structures in total organic carbon, tended to increase until 21 days and then decreased thereafter. The SUVA₂₅₄ values in soil-derived solutions 1 and 2 were the highest at 21 days. The microbial analysis demonstrated that *Pseudomonas fluorescens*, *Achromobacter xylosoxidans*, *Nocardioides simplex*, *Pseudomonas mandelii*, *Bosea* sp. were detected at 14 days of incubation, whereas *Pseudomonas veronii* appeared as a dominant species at 56 days.

Key Words : Animal Carcass Burial Soils, Soil Inhabited Bacteria, Biodegradation, Dissolved Organic Carbon, SUVA₂₅₄, *Pseudomonas veronii*

요약 : 본 연구의 목적은 가축사체 매몰지 토양에서 추출된 미생물을 이용하여, 가축사체 매몰지 오염 토양 유래 유기탄소의 분해 효과를 분석하고, 분해에 관여하는 미생물의 종을 규명하는 것이다. 경기도 안성에 위치한 가축 매몰지 토양 유래 용존 유기탄소를 대상으로 토양 서식 미생물의 생분해율을 평가한 결과(56일 동안), 1번 용액(초기 용존 유기탄소 농도 = 19.88 mg C/L)에서는 13일 이내에 48%의 용존 유기탄소가 감소하였으며, 56일째 용존 유기탄소는 8.8 ± 0.4 mg C/L로 56% 분해되었다. 2번 용액(초기 용존 유기탄소 농도 = 19.80 mg C/L)에서도 초기 13일 이내에 용존 유기탄소 농도가 급격히 감소하였으며, 56일째 용존 유기탄소는 6.0 ± 1.6 mg C/L로 70%가 분해되었다. 생분해 실험과정에서, 전체 유기탄소 물질에서 방향족 탄소구조의 비율을 나타낸 지표인 SUVA₂₅₄값은 용존 유기탄소와는 다르게, 일정기간(21일) 동안 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈다. SUVA₂₅₄값은 1번 용액과 2번 용액 모두, 21일째 가장 높은 값을 나타내었다. 생분해 실험 14일째 미생물 분석 결과, 토양에서 쉽게 발견되는 *Pseudomonas fluorescens*, *Achromobacter xylosoxidans*, *Nocardioides simplex*, *Pseudomonas mandelii*, *Bosea* sp. 등 미생물이 검출되었다. 그리고, 56일째 미생물 분석 결과, *Pseudomonas veronii*가 우점종으로 나타났다.

주제어 : 가축 매몰지 토양, 토양 서식 미생물, 생분해, 용존 유기탄소, SUVA₂₅₄, *Pseudomonas veronii*

1. 서론

국내에서는 구제역 및 조류인플레인지 등 가축전염병으로 처분된 소, 돼지 등의 가축 사체를 대부분 매몰하여 관리하고 있으며, 토양에 묻힌 가축들은 분해되는 과정에서 다양한 오염물질들을 배출하게 된다. 가축들이 매몰된 경우, 분변이나 체성분(body composition)의 분해과정에서 다량의 무기성질소인 질산성질소(nitrate nitrogen; NO₃⁻-N), 암모니아성질소(ammonia nitrogen; NH₃⁺-N), 아질산성질소(nitrite nitrogen; NO₂⁻-N)와 유기탄소(total organic carbon; TOC), 병원성미생물 등이 배출된다. Williams 등¹⁾의 연구에서 소의 사체에

서 유래된 분변을 분석한 결과, 총질소(total nitrogen; T-N)는 20 g/Kg, 총탄소(total carbon; T-C) 438 g/Kg, 용존 유기탄소(dissolved organic carbon; DOC) 1,197 mg C/L, 탄소/질소(C/N) 비 22, *Escherichia coli* 7.3 log CFU/mL로 나타났으며, 강우 시 분변으로부터 병원성 미생물이 유출될 수 있음을 보여주었다. 현재, 가축매몰지 환경관리지침²⁾ 따르면, 지하수나 주변 환경에서 질산성 질소, 염소이온(chloride ion; Cl⁻), 암모니아성 질소 등 조사항목의 현장측정 수치가 급격하게 증가한 경우나 매몰지로부터 침출수가 주변 토양으로 유출되어 지하수오염 영향이 있을 것으로 판단되는 경우, 토양 육안검사 및 매몰지 주변 4방위에 대한 토양 내 유기물 함

[†] Corresponding author E-mail: songbkim@snu.ac.kr Tel: 02-880-4587 Fax: 02-873-2087

량(C/N 비 등) 분석을 통한 환경영향조사를 권고하고 있다.

특히, 용존 유기탄소의 경우 이동성이 매우 커서, 지하수나 강우를 통해 유출되어 색이나 맛, 냄새 등 심미적인 문제를 일으키고, 유·무기 오염물질들을 흡착하여 대상 오염물질의 이동성을 증진시키기도 하며, 미생물의 영양분으로 이용되어 병원성미생물이나 조류증식의 원인이 될 수도 있다.³⁾ 또한, 수 처리 과정에서 염소와 반응하여 발암성을 일으키는 소독 부산물(trihalomethanes; THMs 등)을 생성하기도 하여, 미국환경보호청, 유럽연합, 세계보건기구에서 가이드 라인을 만들어 규제하고 있다.³⁾ 일반 토양자체에도 유기탄소가 존재하기는 하나 매몰지 침출수가 유입될 경우 고농도의 유기탄소를 함유하게 되어 환경적인 문제가 커지게 된다. Pratt⁴⁾의 연구에 따르면, 매몰된 지 9-24개월간의 가축 별 침출수의 평균 침출수 농도 중 유기탄소는, 가금류의 경우 79,000 mg C/L, 돼지 65,000 mg C/L, 소 68,000 mg C/L로 매우 높은 것을 알 수 있다. 이처럼, 가축 매몰지 토양의 경우 다량으로 매몰된 가축 사체들로부터 고농도의 용존 유기탄소가 축적되어 침출수를 통해 유출될 수 있다. 이러한 용존 유기탄소는 수 환경을 통해 이동하면서 일부 토양에 흡착되거나 미생물에 의해 분해(microbial degradation)되기도 한다.⁵⁾ 특히, 호기성(aerobic) 미생물 분해는 유기물질을 유해하지 않은 산물인 이산화탄소(CO₂)와 물(H₂O)로 완전히 분해할 수 있어서 2차 환경오염을 야기하지 않기 때문에, 관련된 연구가 많이 진행되고 있다.⁶⁾

본 연구의 목적은 가축사체 매몰지 토양에서 추출된 미생물을 이용하여, 가축사체 매몰지 오염 토양 유래 유기탄소의 분해 효과를 검증하고, 분해에 관여하는 미생물의 종을 규명하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 가축 매몰지 토양 미생물 추출

본 연구에서는 2011년 1월에 경기도 안성에 조성된 가축 매몰지의 재이설 과정에서 매몰지 토양을 채취하여 사용하였다. 1번 토양의 경우, 소 58마리가 매몰된 곳이고, 2번 토양은 돼지가 3,708마리 매몰되어있던 지역이다. 토양 서식 미생물 접종액(inoculation)은 토양 3 g에 NaCl (0.85%) 30 mL을 넣고, 25°C에서 150 rpm으로 16시간 이상 교반한 후, 5 μm 필터로 분리하여 얻었다.⁷⁾ 분리된 토양 서식 미생물은 R2A 배지를 이용하여 30°C에서 24시간 동안 배양하여, 생성된 집락(colony)의 수를 세어 정량 분석하였다.

2.2. 가축 매몰지 유래 용존 유기물

가축 매몰지 토양에서 유기물질을 추출하기 위해 막자사발을 이용하여 토양을 곱게 갈아준 뒤 초순수와 1:10의 질량비로 섞어주었고, 5°C에서 24시간 동안 정지한 후, 1 μm 필터로 흡과 용액을 분리하였다. 또한, 분리된 용액 내 다른

미생물의 활동을 방지하기 위해 0.2 μm 필터(cellulose acetate, advantec)로 다시 필터링하였다.⁷⁾ 얻어진 용존 유기물 용액은 토양 미생물 주입시 과도한 성장을 방지하기 위해 20 mg C/L (DOC기준) 이하로 희석하여 사용하였다.⁸⁾

2.3. 글루코오스 생분해 실험

미생물의 활성도를 평가하기 위해 글루코오스(glucose)용액을 대조군으로 설계하였으며, 글루코오스의 초기농도는 20 mg C/L로 유지시켰으며, KS I ISO 7827공정시험법에 따라 NH₄Cl, KH₂PO₄, K₂HPO₄, Na₂HPO₄ · 2H₂O를 추가 혼합하여 성장에 필요한 N, P, K를 공급해 주었다. 토양미생물의 농도는 희석하여 총 용액에서 1.15 × 10⁵ CFU/mL가 되도록 조정된 다음, 암실에서 25°C에서 70일간 배양하였으며, 2반복으로 실험을 수행되었다.

2.4. 용존 유기물 생분해 실험

용존 유기물 용액에는 다른 영양물질을 섞지 않고 500 mL 씩 배양플라스크에 담았다. 토양 서식 미생물의 농도는 글루코오스 용액과 동일하게 1.15 × 10⁵ CFU/mL가 되도록 조정된 다음, 암실에서 25°C로 70일간 배양하였다. 생분해를 평가하기 위하여, 시간 별로 용액을 채취하여 총탄소와 무기탄소(inorganic carbon; IC)를 유기탄소 분석기(total organic carbon analyzer, Sievers 5310 C, GE, USA)로 측정하고 용존 유기탄소(총탄소-무기탄소)를 계산하였다. 전처리 과정으로, 샘플을 pH 2 이하로 산성화시킨 후 산소를 4분간 주입하여 CO₂를 제거하였다.⁵⁾ 용존 유기탄소의 생분해율(biodegradation rate)은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{생분해율(\%)} = \frac{C_i - C_t}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

여기서, C_i는 초기 DOC 농도, C_t는 t시간 후 DOC농도를 의미한다. 전체 용존 유기탄소 중 방향족(aromatic) 구조의 비율을 나타내는 SUVA 값(specific UV absorbance)은 석영셀을 이용하여 254 nm에서 흡광도를 측정(UV-Visible Spectrophotometer, Helios, Thermo, USA)한 후, 다음 식을 이용하여 계산하였다.⁹⁾

$$\text{SUVA value} = \frac{\text{UV}_{254}}{\text{DOC}_i} \times 100 \quad (2)$$

Table 1. Chemical properties of carcass disposal soils

Carcass disposal soils	Total organic carbon (g C/kg)	Total nitrogen (T-N) (%)	Ammonia nitrogen (NH ₄ ⁺ -N) (mg/kg)	Nitrate nitrogen (NO ₃ ⁻ -N) (mg/kg)	Chloride ion (Cl ⁻) (mg/kg)
1	110	18	ND	17.16	3.69
2	250	69	ND	37.75	4.32

ND: not detected

Table 2. Properties of carcass disposal soil-derived solution and glucose

Content	Glucose solution	Soil-derived solution 1	Soil-derived solution 2
pH	6.95	7.21	7.11
Total carbon (mg C/L)	22.35	41.11	23.57
Inorganic carbon (mg C/L)	0.8468	21.23	3.76
Dissolved organic carbon (mg C/L)	21.54	19.88	19.80
UV absorbance at 254 nm (UV ₂₅₄ ; 1/cm)	0.023	0.064	0.008
Specific UV absorbance (SUVA; L/mg·cm)	0.00107	0.00332	0.000408

2.5. 유기물질 분해 토양 서식 미생물 분리 및 염기서열 분석

유기물 분해 토양 미생물을 분리하고 규명하기 위하여, 생분해 실험과정 중 14일과 56일에 샘플을 채취하여 R2A배지에 도말하고 28°C에서 48시간 동안 배양하였다. 배양 후 형성된 콜로니(colony)를 무작위로 추출하여, 10 µL 증류수에 넣어 풀어준 후 genomic DNA로 사용하였다. 16 S rDNA를 증폭시키기 위해 27 f (5'-AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG-3')와 1,492 r (5'-TAC GGY TAC CTT GTT ACG ACT T-3') 프라이머(primer)를 이용하였다.¹⁰⁾ 각 프라이머 10 pmol과 Taq polymerase enzyme(Promega, Madison, WI, USA) 0.2 µL, 10 X PCR buffer 5 µL, 10 mM dNTP (deoxynucleotide triphosphate) 1 µL, 토양미생물 DNA를 섞어 PCR-premix를 제조하여 중합효소 연쇄반응(polymerase chain reaction, PCR)을 수행하였다.

PCR은 96°C 45초(denaturing), 53°C 45초(annealing), 72°C 90초(extension)과정을 35 cycles수행하였으며, PCR 최종 산물은 Wizard DNA purification kit (Promega, Madison, WI, USA)로 정제한 후 시퀀싱(sequencing)을 진행하였다. 샘플당 primer 519 r, 1,100 r, 1,492 r로 assemble하여 정렬된 염기서열은 Nucleotide BLAST (basic local alignment search tool) 프로그램(<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov>)을 통해 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 가축 매몰지 토양 특성

채취된 가축 매몰지 토양 1, 2번의 경우 각각 총유기탄소 농도는 110 g C/kg, 250 g C/kg로 측정되었으며 암모니아성 질소는 두 개의 토양 모두에서 검출되지 않았다. 총질소는 18 mg/g, 69 mg/g였으며, 이중 질산성 질소는 17.16, 37.75 mg/kg로 나타났다. 염소이온의 경우 3.69, 4.32 mg/kg로 조사되었다. 가축 매몰지 토양 서식 미생물의 속(genus)별 군집분석 결과 *Pseudomonas*속이 41.85%로 우점하고 있으며, *Ralstonia* (10.26%), *Stenotrophomonas* (1.2%), *Enterobacter* (1.03%)순으로 나타났다.¹¹⁾

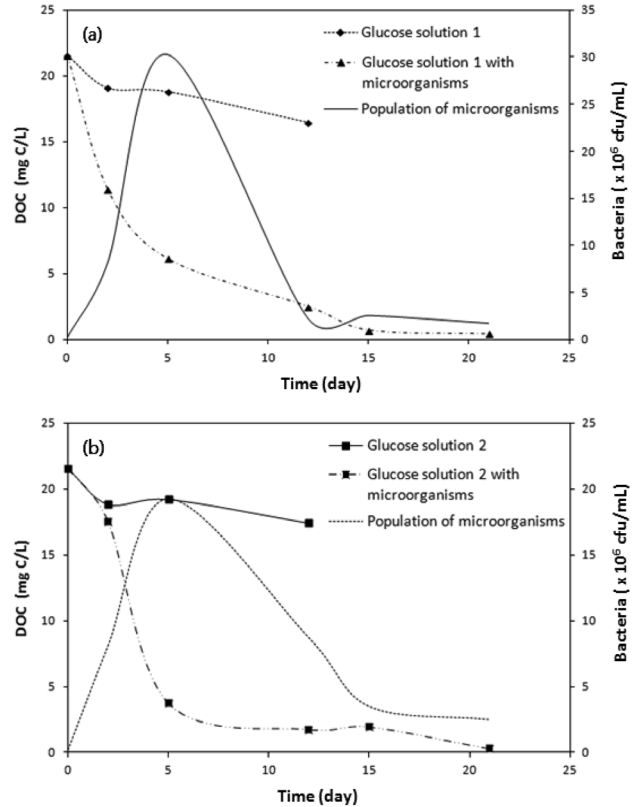


Fig. 1. Mineralization of glucose with soil inhabited microorganisms: (a) glucose solution 1; (b) glucose solution 2.

3.2. 글루코오스 용액 생분해

25°C에서 21일간 글루코오스 용액 실험결과에서 토양 서식 미생물에 의한 용존 유기탄소의 무기화(mineralization)가 매우 빠르게 진행되는 것으로 확인되었으며, 5일 내에 72-83%가 무기화 되는 등 초기 무기화율(mineralization rate)이 크게 나타났다. 토양 서식 미생물의 수도 5일째에서 3.03 × 10⁷ CFU/mL, 1.92 × 10⁷ CFU/mL로 최대가 되었으며, 미생물의 성장도 일시적인 유도기(lag phase)가 없이 효과적으로 성장하여 적절한 접종으로 실험이 진행되었음을 확인할 수 있었다. 초기 글루코오스 용액 21.54 mg C/L 은 3주 이내에 0.5 mg C/L이하까지 완전히 무기화되었다(Fig. 1). 대조군(토양미생물 미주입)의 경우, 13일 이후 대기에 존재하던 미생물로 인한 오염 때문에 샘플링을 중지하였다.

3.3. 가축 매몰지 토양 유래 용존 유기물 용액 생분해

가축 매몰지 토양 유래 용액에서 용존 유기탄소농도는 생분해가 진행됨에 따라 빠르게 감소하였다(Fig. 2). 토양미생물 주입시, 1번 토양 유래 용액(초기 DOC 농도 = 19.88 mg C/L)에서는 13일 이내에 평균적으로 48%의 용존 유기탄소가 감소하였으며, 28일 이내에 반응이 완료된 것으로 보이고, 최종 용존 유기탄소는 56일째 8.8 ± 0.4 mg C/L로 평균 56% 분해되었다. 대조군(토양미생물 미주입)에서는 13일째 35%의 유기탄소가 감소되는 것으로 나타났으며, 최종 용존 유기탄소는 56일째 15.1 mg C/L으로 24% 저감되었다. 2번

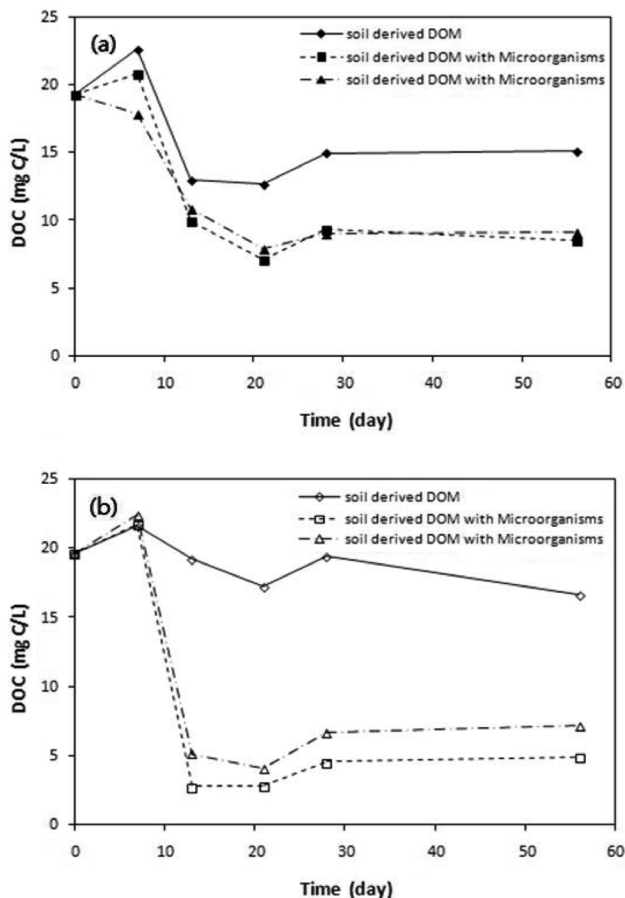


Fig. 2. Mineralization of soil-derived dissolved organic matter from carcass burial soil using the soil inhabited microorganisms: (a) soil 1; (b) soil 2.

토양 유래용액(초기 DOC 농도 = 19.80 mg C/L)에서도 유사한 결과를 보였는데, 토양미생물 주입 시 초기 13일 이내에 용존 유기탄소 농도가 급격히 감소(4.0 ± 1.6 mg C/L)하였으며, 1번 토양 유래 용액보다 더 빠르게 낮은 농도까지 분해되었다. 2번 토양 유래 용액에서는 56일째 6.0 ± 1.6 mg C/L로 70%의 용존 유기탄소가 분해되었다. 대조군에서는, 토양 서식 미생물 미주입 용액에서는 13일째 19.2 mg C/L로 거의 분해되지 않았으며, 56일째는 16.6 mg C/L으로 16% 저감된 것으로 분석되었다. 이러한 경향은 다른 연구들에서도 유사하게 나타났다. Park과 Hur¹²⁾의 연구에서도 토양시료에서 추출한 유기물 시료의 용존 유기탄소가 초기 29.1 mg C/L에서 3주 내에 51%가 감소되어 14.3 mg C/L으로 되었으며, 14일 사이에서 가장 큰 감소율을 나타냈다. Kalbitz 등⁷⁾은 다양한 토양(산림토양, 택지, 경작지)에서 추출된 용존 유기물질의 생분해 과정을 살펴본 결과 부식화가 덜된 산림 토양의 경우 가장 높은 무기화 비율(61-93%)을 나타내었으며, 경작지에서 추출된 용존 유기탄소의 경우 17-32%가 분해되었다.

용존 유기물 용액 생분해 실험과정에서, 전체 유기탄소 물질에서 방향족 탄소구조의 비율을 나타낸 지표인 SUVA₂₅₄ 값은 용존 유기탄소와는 다르게, 일정기간 동안 증가하다가

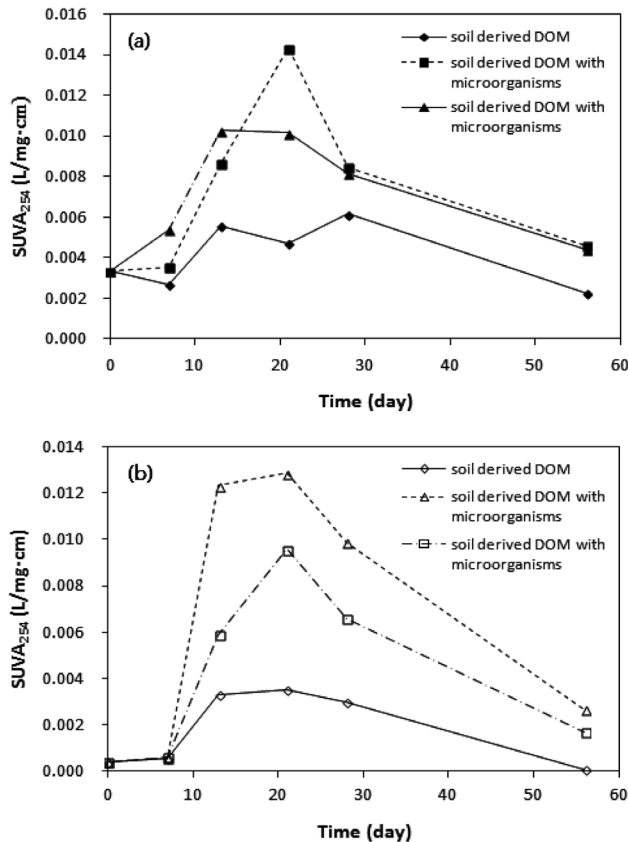


Fig. 3. The specific UV absorbance (SUVA) profiles during 56 days incubation: (a) soil 1; (b) soil 2.

감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 3). SUVA₂₅₄값의 증가는 전체 용존 유기물질 중에서 휴믹 물질의 비율이 높아지고, 소수성을 띄는 고분자 방향족(aromatic) 구조 물질이 많아짐을 의미한다.¹³⁾ 1번 토양 추출 용액과 2번 토양 추출 용액 모두, 21일째 가장 높은 SUVA₂₅₄값을 나타내었다가, 이후에 감소하였다. 1번 토양 유래 용액의 경우, 21일을 기준으로 토양미생물 미주입시 초기 SUVA₂₅₄값의 약 1.5배 증가되었으며, 토양 서식 미생물 주입 시 각각 4.8배, 3.1배 증가하였다. 2번 토양 유래 용액의 경우, 21일을 기준으로 토양 서식 미생물 주입 시 각각 30.2배, 14.4배로 크게 증가되었다. 이러한 경향은 용존 유기물질의 선택적인 분해와 미생물 분해에 의한 휴믹화 때문이며 다른 연구자들의 연구결과에서도 유사한 결과를 보인다.^{7,12,14)} SUVA₂₅₄값의 증가 원인은, 미생물이 분해되기 쉬운 포도당과 같은 저분자, 비방향족 탄소 구조를 우선적으로 섭취하는 경향이 있고, 미생물로부터 수용성 고분자 부산물(water soluble microbial by-product; SMPs)이 배출되어 유기물질의 구조 중 방향족 고분자 물질의 비율이 높아지기 때문이다.^{15,16)} 28-56일째 그래프를 살펴보면 SUVA₂₅₄값이 감소하는 경향이 있는데, 이는 시간이 지남에 따라 접종된 혼합 토양 서식 미생물 중 일부 저분자 탄소만을 생분해하여 생존하던 균들이 대부분 사멸하고, 방향족 탄소를 분해할 수 있는 특정 미생물이 우점하게 되어 방향족 유기화합물을 분해하기 때문인 것으로 보인다.

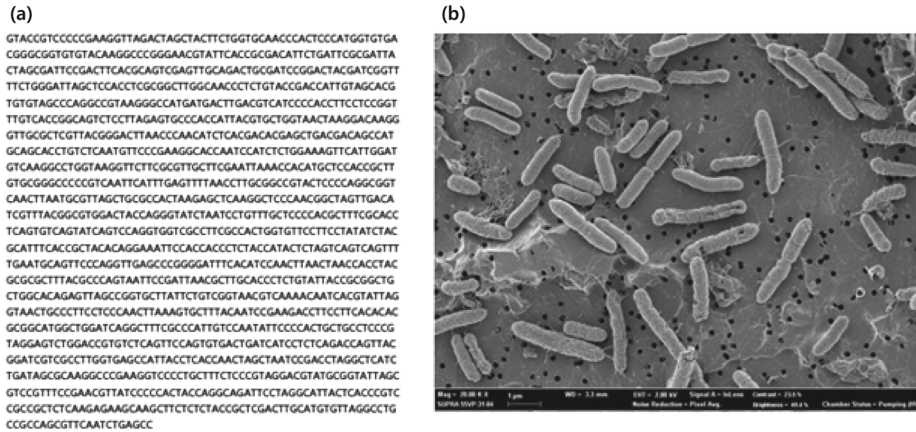


Fig. 4. *Pseudomonas veronii* strain CIP 104664: (a) 16 S rRNA gene sequence; (b) FESEM image.

3.4. 가축 매몰지 토양 유래 유기물질 분해 토양 미생물 분리

토양미생물을 접종한 샘플 중 용존 유기물질 분해가 활발했던 14일째 미생물 분석 결과, 토양에서 쉽게 발견되는 *Pseudomonas fluorescens*, *Achromobacter xylosoxidans*, *Nocardioides simplex*, *Pseudomonas mandelii*, *Bosea* sp. 등 다양한 미생물이 검출되었다. *P. fluorescens*의 몇몇 strain은 식물의 다양한 균질 병해(soil-born fungal disease)를 억제하는 역할을 하기도 하며, 철이나 알루미늄 같은 금속이온을 흡착하기도 한다.¹⁷⁾ *A. xylosoxidans*의 경우 *p*-nitrophenol, PCBs 등을 분해할 수 있는 미생물로 알려져 있다. *N. simplex*는 histamine dehydrogenase의 주 추출원으로 탈수소 반응을 수행하는 미생물이고,^{18,19)} *P. mandelii*는 전형적인 탈질 미생물로 알려져 있다.²⁰⁾ *Bosea* sp.는 다양한 식물의 근권(rhizosphere)에서 분리되는 미생물로 α -methylserine aldolase를 생성하며 티오황산염을 산화하거나 N-acyl homoserine lactones (N-AHLs)을 분해하는 등 특이한 물질대사 특성을 지니고 있다.²¹⁾

56일째 샘플들의 미생물 분석 결과, *Pseudomonas veronii* (Fig. 4)가 우점종으로 나타났다. *Pseudomonads*는 그람 음성균(gram negative)이며 운동성이 있는 박테리아로 이화작용(catabolism)이 가능한 미생물이 많으며, 처리하기 어려운 생체이물(xenobiotics)을 분해하여 정화할 수 있어서, 관련한 다양한 연구들이 진행되고 있다.²²⁾ 특히, 최근에 *P. veronii*가 방향족 유기화합물을 분해할 수 있는 것으로 보고되고 있다. Nam 등²³⁾은 토양에서 추출된 *P. veronii*가 방충제로서 지하수와 토양오염을 일으키는 난분해성 유기화합물인 pentachlorophenol (PCP)을 효과적으로 분해하는 것을 관찰하였으며, Hong 등²⁴⁾과 Field와 Sierra-Alvarez²⁵⁾도 오염토양에서 분리된 *P. veronii*가 dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs)와 dibenzofurans (PCDFs) 등 염화다이옥신류를 분해하는 것을 발견하였다. α -pinene의 경우 pH 6.82, 26.3°C, 호기조건에서 45시간 내에 *P. veronii*에 의해 100% 분해되었으며, 최종적으로 CO₂, H₂O까지 분해되는 것으로 나타났다.⁶⁾ 또한 Park 등²⁶⁾은 하폐수 슬러지, 음식물쓰레기, 축산분뇨 등의 유기성 폐기물을

호기성으로 퇴비화하는 공정에서, *P. veronii*와 *Bacillus termocloacae*가 우점종으로 퇴비화에 관여하는 것을 밝혀내었다.

4. 결론

본 연구에서는 토양 서식 미생물을 이용하여 가축매몰지 토양 유래 용존 유기물을 분해하는 연구를 수행하였다. 분석결과, 1번 용액에서는 13일 이내에 48%의 용존 유기탄소가 감소하였으며, 56일째 용존 유기탄소는 평균 56% 분해되었다. 2번 용액에서도 초기 13일 이내에 용존 유기탄소 농도가 급격히 감소하였으며, 56일째 용존 유기탄소는 평균 70%가 분해되었다. 생분해 실험과정에서, SUVA₂₅₄값은 용존 유기탄소와는 다르게, 일정기간 동안 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈다. SUVA₂₅₄값은 1번 용액과 2번 용액 모두, 21일째 가장 높은 값을 나타내었다. 생분해 실험 14일째 미생물 분석 결과, 토양에서 쉽게 발견되는 다양한 미생물이 검출되었으며, 56일째 미생물 분석 결과 *P. veronii*가 우점종으로 분석되었다. 본 연구결과에 의하면, 접종한 토양 미생물 혼합액은 가축매몰지 유래 용존 유기물을 분해할 수 있는 것으로 나타났다. 특히, 분리된 *P. veronii*의 경우 가축매몰지 유래 유기물질 중 난분해성인 방향족 유기물질의 분해에 효과가 있을 것으로 판단되며, 이와 관련된 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

사사

이 논문은 환경부의 재원으로 환경기술진흥원의 지원(GAIA project)을 받아 수행된 연구입니다.

KSEE

참고문헌

1. Williams, A. P., Gordon, H., Jones, D. L., Strachan, N. J. C.,

- Avery, L. M. and Killham, K., "Leaching of bioluminescent *Escherichia coli* O157:H7 from sheep and cattle faeces during simulated rainstorm events," *J. Appl. Microbiol.*, **105**(5), 1452~1460(2008).
2. Ministry of Environment, Korea, "Environmental guidelines for animal carcass disposal sites," (2010).
 3. Leenheer, J. A. and Croue, J. P., "Characterizing Aquatic dissolved organic matter," *Environ. Sci. Technol.*, **37**(1), 18A~26A(2003).
 4. Pratt, D. L., "Environmental impact of livestock mortalities burial," M. S. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada(2009).
 5. Saadi, I., Borisover, M., Armon, R. and Laor, Y., "Monitoring of effluent DOM biodegradation using fluorescence, UV and DOC measurements," *Chemosphere*, **63**, 530~539 (2006).
 6. Cheng, Z., Sun, P., Jiang, Y., Zhang, L. and Chen, J., "Kinetic analysis and bacterium metabolism of α -pinene by a novel identified *Pseudomonas* sp. strain," *J. Environ. Sci.*, **24**(10), 1806~1815(2012).
 7. Kalbitz, K., Schmerwits, J., Schwesig, D. and Matzner, E., "Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties," *Geoderma*, **113**, 273~291(2003).
 8. Hongve, D., Van Hees, P. A. W. and Lundstorm, U. S., "Dissolved components in precipitation water percolated through forest litter," *Eur. J. Soil Sci.*, **51**(4), 667-677(2000).
 9. Weishaar, J. L., Aiken, G. R., Bergamaschi, B. A., Fram, M. S., Fujii, R. and Mopper, K., "Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon," *Environ. Sci. Technol.*, **37**(20), 4702~4708(2003).
 10. Lane, D. J., "16S/23S rRNA sequencing. In: stackebrandt E. Goodfellow M (eds) *Nucleic acid techniques in bacterial systematic*," Wiley, Chichester, pp. 115~175(1991).
 11. Park, J. A., Choi, N. C. and Kim, S. B., "Analysis of microbial communities in animal carcass disposal soils," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **35**(7), 503~508(2013).
 12. Park, M. H., Hur, J., "Changes in spectroscopic characteristics and pyrene binding reactivities of dissolved organic matters by biodegradation," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **30**(9), 893~899(2008).
 13. Edzwald, J. K. and Van Benschoten, J. E., "Aluminum coagulation of natural organic matter," *Chemical water and wastewater treatment*, Hahn, H. H. and Klute, R. (Eds.), Springer Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 341~359(1990).
 14. Edzwald, J. K., "Coagulation in drinking water treatment: particles, organics and coagulants," *Water Sci. Technol.*, **27** (11), 21~35(1993).
 15. Westerhoff, P. and Pinney, M., "Dissolved organic carbon transformations during laboratory-scale groundwater recharge using lagoon-treated wastewater," *Waste Manag.*, **20**(1), 75~83(2000).
 16. Jung, K. Y. and Hur, J., "Changes in the characteristics of dissolved organic matter by microbial transformation and the subsequent effects on copper binding," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **34**(1), 49~54(2012).
 17. Langenbach, T., Maciel, S. J., Neves, B. C., Hagler, A. N., Mano, D. M. and Vugman, N. V., "*Pseudomonas fluorescens* dynamics in the soil surface to subsurface transect," *J. Environ. Sci. Health B.*, **41**(4), 415~425(2006).
 18. Limburg, J., Mure, M. and Klinman, J. P., "Cloning and characterization of histamine dehydrogenase from *Nocardioideis simplex*," *Arch. Biochem. Biophys.*, **436**(1), 8~22(2005).
 19. Tsutsumi, M., Tsujimura, S., Shirai, O. and Kano, K., "Direct electrochemistry of histamine dehydrogenase from *Nocardioideis simplex*," *J. Electroanal. Chem.*, **625**(2), 144~148 (2009).
 20. Shannon, K. E., Saleh-Lakha, S., Burton, D. L., Zebarth, B. J., Goyer, C. and Trevors, J. T., "Effect of nitrate and glucose addition on denitrification and nitric oxide reductase (*cnorB*) gene abundance and mRNA levels in *Pseudomonas mandelii* inoculated into anoxic soil," *Antonie Van Leeuwenhoek*, **100**(2), 183~195(2011).
 21. Thomas, V., Casson, N. and Greub, G., "New *Afipia* and *Bosea* strains isolated from various water sources by amoebal co-culture," *Syst. Appl. Microbiol.*, **30**(7), 572~579(2007).
 22. Gibson, D. T. and Subramanian, V., "Microbial degradation of organic compounds," Dekker, New York, pp. 181~252 (1984).
 23. Nam, I. H., Chang, Y. S., Hong, H. B. and Lee, Y. E., "A novel catabolic activity of *Pseudomonas veronii* in biotransformation of pentachlorophenol," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **62**, 284~290(2003).
 24. Hong, H. B., Nam, I. H., Murugesan, K., Kim, Y. M. and Chang, Y. S., "Biodegradation of dibenzo-*p*-dioxin, dibenzofuran, and chlorodibenzo-*p*-dioxins by *Pseudomonas veronii* PH-03," *Biodegradation*, **15**(5), 303~313(2004).
 25. Field, J. A. and Sierra-Alvarez, R., "Microbial degradation of chlorinated dioxins," *Chemosphere*, **71**(6), 1005~1018(2008).
 26. Park, S. Y., Shin, J. H., Kim, M. H. and Kim, M., "Microorganism's characteristics in an ultra thermophilic aerobic composting process," in Proceedings of the 2008 Korean Geo-Environmental Conference, Korean Geo-Environmental Society, Seoul, pp. 93~96(2008).