

토질 특성에 따른 가축사체 매몰지의 악취 저감 연구

The Effect of Soil Characters on Removal of Odorous Gases during Carcasses Degradation with Efficient Microorganisms

김현숙 · 박수정* · 정원화* · Sathiyaraj Srinivasan** · 이상섭**,[†]

Hyun-Sook Kim · Sujung Park* · Weon hwa Jung*

Sathiyaraj Srinivasan** · Sang-Seob Lee**,[†]

경기대학교 생명공학과 · *국립환경과학원 · **경기대학교 생명공학과

Department of Bioengineering, Kyonggi University · *National Institute of Environmental Research

**Department of Life Science, Kyonggi University

(2013년 6월 25일 접수, 2014년 4월 9일 채택)

Abstract : The usage of efficient microorganism (EM) is increasing in concern for server purposes including odor removal during carcasses degradation. In this study, we have studied the type of soil and its effect on efficient microorganisms for the removal of odorous gases during buried carcasses degradation in lab-scale reactor. The carcasses are buried in the reactor with various soil types such as normal soil, 20% sandy and 20% clay soil with the efficient microorganism KEM. The efficient microorganisms KEM have the ability to stabilize the degradation of carcasses of the burial site. We have focused on the analysis of odorous gases such tri-methylamine (TMA), hydrogen sulfide (H₂S), methyl mercaptan (MM), dimethyl sulfide (DMS), dimethyl disulfide (DMDS), carbon dioxide (CO₂), and methane (CH₄) along with the changes of microbial community changed during complete degradation of buried carcasses for a year. The results suggested that the 20% sandy soil contain lesser level of H₂S and MM (0.09 and 0.35 mg) but 20% clay has higher nitrogen compound removing effect and leave only less amount of ammonia and TMA (0.31 and 2.06 mg). The 20% sandy soil also has the ability to breakdown the carcasses more quality compared with other types of soil. Based on the data obtained in this study suggesting that, the use of 20% sandy soil can effectively control sulfur compounds whereas 20% clay soil controls nitrogen compounds in the buried soil. Depending on the type of the soil, the dominant of microbial communities and the distribution was change.

Key Words : Foot and Mouth Disease (FMD), Sandy, Clay, KEM, Odor Removing Efficiency

요약 : 본 연구에서는 구제역으로 인해 발생된 가축사체 매몰지의 조기 안정화를 위하여 유용 미생물 KEM을 사용하였고, 토질에 따른 효과를 알아보기 위하여 매몰지 모형의 반응을 통해 연구하였다. 반응기는 랩 스케일로 제작하였고, 토질 특성에 다양성을 주기 위하여 일반 토양, 20%의 사토와 섞은 일반 토양, 20%의 점토와 섞은 일반 토양을 각각 준비하였다. 각각의 토양과 유용 미생물 KEM과 섞은 후 사체를 매몰하였다. 분석 대상 악취 성분은 총 8가지로 이산화탄소, 메탄, 암모니아, 트리메틸아민, 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸과 이황화메틸이었다. 악취 분석 결과 황화수소와 메틸메르캅탄은 사토를 적용한 반응기에서 저감 효과를 보였고(각각 배출 잔량 0.09, 0.35 mg), 암모니아와 트리메틸아민은 점토를 적용한 경우 저감 효과가 높았다(각각 배출잔량 0.31, 2.06 mg). 이에 근거하여 사토는 황 화합물 악취 저감에, 점토는 질소 화합물 악취 저감에 효과를 나타내는 것으로 보인다. 또한, 토질의 특성에 따라 우점화된 미생물의 군집과 분포도가 변화되는 것을 확인하였다.

주제어 : 구제역, 사토, 점토, KEM, 악취 저감 효과

1. 서론

구제역은 전파력이 강한 바이러스성 급성 전염병으로 발굽이 두 개로 갈라진 동물에게 걸리는 병이다. 국내에서는 2011년 4월 마지막 발생 이후, 최근 북한에서 구제역이 빠르게 확산하고 있으며, 부산에서도 구제역 예방이 시작되었다.¹⁾ 그러나 발생하는 시기가 뚜렷이 밝혀지지 않아 예방이 어려우며, 확산 속도가 빨라 피해규모가 더 크다. 구제역이 발생하였을 경우, 구제역에 걸린 가축은 가축 전염병 예방법에 따라 살처분 한 후, 소각을 하도록 되어 있다.²⁾ 그러나 여건상 소각이나 그 밖의 처리가 어려워 매몰 방법을 선택하고 있으며, 아직은 사후 관리가 제대로 이루어 지

지 않고 있어 악취 및 침출수에 의한 지하수 오염 등 2차 오염이 우려된다. 실로 소각을 통해 가축 사체를 처리하더라도 악취로 인한 2차 오염이 발생하게 된다.

매몰된 사체는 주변의 토양 미생물에 의해 분해가 일어나며, 그에 따라 악취가 발생하게 된다.³⁻⁸⁾ 확산 속도가 빠른 구제역의 특성에 의해 매몰된 사체의 수는 급증하게 되었으며, 이를 매몰 하였을 경우 시간이 지나 구제역이 사라졌더라도 매몰지 주변 지역에서는 악취가 지속적으로 나게 된다.

이에 본 연구에서는 매몰지의 조기 안정화를 위하여 유용 미생물을 사용하였고, 처음으로 매몰하는 토질의 특성에 따른 효과를 연구하였다. 매몰된 토양의 성질 및 깊이에 따라

[†] Corresponding author E-mail: sslee@kyonggi.ac.kr Tel: 031-249-9642 Fax: 031-245-8868

우점화된 토착 미생물이 다르게 되며, 사체 분해 속도에도 영향을 미치게 된다.^{7,9)} 따라서 일반 토양과 20%의 사토를 추가한 일반 토양, 20%의 점토를 추가한 일반 토양을 준비하여, 이에 따른 악취 저감 효과와 조기 안정화에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

2. 연구 방법

2.1. 미생물 선정 및 배양

매물지의 조기 안정화를 위하여 혼합 균주 KEM을 사용하였다. 혼합 균주 KEM은 (주)닉시안과 환경미생물은행에서 분양 받아 배양하였으며, 유기물 및 질소 저감능이 있는 광합성 혼합 균주와 황 화합물 악취 제거능을 가진 균주 등 총 5 가지의 혼합 균주로 구성되어 있다.

KEM의 증식 배양을 위해 광합성 박테리아는 27 M 배지 (yeast extract 1.0 g, ethanol 0.5 mL, di-sodium succinate 1.0 g, 0.5% ferric citrate solution 1 mL, KH_2PO_4 0.5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.4 g, NaCl 0.4 g, NH_4Cl 0.4 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.05 g, 1 X Trace element solution SL-6 1 mL), 질소 화합물 악취 제거 균주는 ATCC 412 배지(NH_4Cl 5.0 g, KH_2PO_4 2.0 g, NaCl 0.5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, FeSO_4 0.002 g, MnCl_2 0.002 g, yeast extract 0.2 g), 황 화합물 악취 제거 균주는 *Thiobacillus* 선택배지(yeast extract 2.0 g, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 5.0 g, KH_2PO_4 1.5 g, Na_2HPO_4 4.5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.1 g, NH_4Cl 0.3 g), 발효균주는 nutrient broth (Difco)를 멸균하여 사용하였다. 각 미생물은 1% (w/v)로 계대배양한다. 광합성 박테리아와 발효균주는 통상 혐기조건으로 2일 동안 배양하였고, 질소 및 황 화합물 악취 제거 균주는 호기조건으로 2일 동안 배양하였다. 혼합 균주 KEM은 반응기에 초기 주입 후, 200일이 경과한 뒤로는 한 달에 한번씩 KEM 1 g/L (w/v)과 수분 500 mL을 추가 주입하였다.

2.2. 토양 준비

매물시 사용되는 토양으로는 일반 토양, 사토 20%를 혼합한 일반 토양과 점토 20%를 혼합한 일반 토양을 사용하였다. 실험에 사용된 일반 토양은 주변에서 흔히 볼 수 있는 토양으로 경기도 수원에서 채취하였고, 사토 및 점토는 구입하여 사용하였다. 일반 토양은 농업기술원에 의뢰하여 일반 성분 및 중금속과 물리성을 분석하였다. 사토와 점토는 토양 입자 크기가 $2 \mu\text{m}$ 이하로, 사토는 응집력과 점성이 적어 투수성이 좋은 반면 양분이 적고, 점토는 수분 및 양분을 많이 포함하고 있다.

2.3. 반응기 제작

반응기는 실제 매물지의 크기를 1/35비율로 축소하여 제작하였다. 실제 가축사체 매물 현장의 조건과 유사하게 하기 위하여 토양 10 kg을 반응기에 넣고, 가축 사체를 매물 후

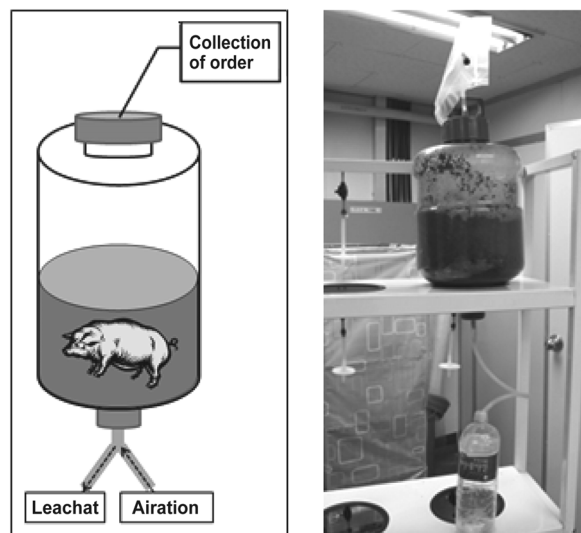


Fig. 1. The schematic diagram and the actual reactor.

그 위를 다시 15 kg의 토양으로 덮어주었다. 가축 사체는 돼지의 부분사체를 사용하였다. 반응기의 상층부에는 발생하는 악취를 포집할 수 있도록 테들러백(tedlar bag)을 연결하였으며, 하층부에는 발생하는 침출수를 채취하기 위하여 관을 연결하였다(Fig. 1). 대조군은 미생물을 적용하지 않은 반응기로 일반 토양에 사체를 매물 하여 실제 매물지와 비슷한 조건을 만들어 주었다.

2.4. 가스 성분 분석

악취 성분은 탄화수소계인 이산화탄소와 메탄, 질소 화합물인 암모니아와 트리메틸아민, 황 화합물인 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸과 이황화메틸 총 8가지의 성분을 분석하였다.

가스 성분을 포집하기 위하여 기체 포집 장치를 사용하였으며, 황 화합물 가스 성분과 탄화수소계 성분은 GC/MS (Agilent 5973)으로 분석하였다. 황 화합물을 분석하기 위하여 컬럼은 DB-dioxin을 사용하였고, 오븐은 200°C , 주입구는 280°C , 검출기는 300°C 로 설정하였고, 탄화수소계 성분은 HP-plot Q컬럼을 사용하였고, 오븐 온도는 230°C , 주입구는 280°C , 검출기 온도는 300°C 로 사용하였다.

암모니아는 IC (Ion Chromatography)로 분석하였고, 컬럼은 Waters IC-Pack Cation M/D를 사용하였으며, 0.1 mM EDTA/3.0 mM Nitric Acid를 1 mL/min의 속도로 흘러 보내 용출한다. 트리메틸아민은 GC-FID (Agilent 7860, Gas Chromatography-Flame Ionization Detector)로 분석하였으며, HP-5 컬럼을 사용하였다. 오븐 온도는 220°C , 주입구는 280°C , 검출기 온도는 270°C 로 각각 설정하였다.

2.5. 미생물의 균집 분포도 변화 분석

본 연구에서는 반응기 내의 미생물 균집 분포도의 변화를 분석하기 위하여 DGGE (Denaturing gradient gel electrophoresis)와 파이로시퀀싱을 수행하였다.

2.5.1. DGGE

DGGE를 수행하기 위하여 FastDNA spin kit for soil of fecal (MP Biomedicals, USA)를 이용하여 토양에서 미생물 DNA를 추출하였다. 추출한 DNA를 증폭시키기 위하여 1차 primer는 341F (5'-CCTACGGGAGGCAGCAG-3')와 907R (5'-CCGTCAATTCTTTGAGTTT-3'), 2차 primer는 GC-341F (5'-CGCCCGGGGCGCGCCCGGGGCGGGCCCTACGGGAGGCAGCA-3')를 사용하였다.¹⁰⁾ 중합 효소 연쇄 반응 (PCR, Polymerase Chain Reaction) mixture는 각 primer 10 pmol 2 µL, Taq polymerase (Takara) 0.2 µL, 10 X PCR buffer 5 µL, 2.5 mM dNTP 3 µL, DNA 5 µL를 섞어 준비하였다. PCR은 pre-denaturing (95°C, 5분)한 후, denaturation (95°C, 30초), annealing (58.5°C, 30초), extension (72°C, 30초)에서 28 cycle 반복 수행하였다. DGGE 변성제 농도는 30%와 60%를 사용하였으며, 50 v에서 16시간 동안 전개하였다.

2.5.2. 파이로시퀀싱

토양에서 추출한 미생물 DNA를 천랩 연구소에 파이로시퀀싱 분석을 의뢰하였다. 천랩에서는 primer V1-9F (5'-XACGAGTTTCTCMTGGTCAG-3')V3-541R (5'-XACWTTACCGCGGTGCTGG-3')을 사용하여 미생물의 16s rRNA V1~3 부

분을 분석에 사용하였다.¹¹⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 토질 성분 분석

일반 토양은 경기도 농업기술원에 성분 분석을 의뢰하였으며, 그 결과 모래(71.5%)와 미사(19.5%) 성분이 많이 포함되어 있는 약 알칼리성(pH 8.17) 토양으로 확인되었다(Table 1). 일반 토양의 성분 중 총인 농도는 733 mg/kg, 중금속 중 철 성분이 38,772 mg/kg을 포함하고 있어 높은 편이었으나, 그에 비해 암모니아와 질산은 1.4, 1.6 mg/kg으로 낮은 함량을 보였다.

3.2. 모형 매몰지의 가축 분해속도 조사

반응기 내의 사체 분해속도는 주기적으로 수분을 공급해 준 이후부터 급격하게 증가하였다. 사체 분해속도는 대조군 (미생물 미적용 반응기)에서 5.72 g/day, 일반 토양을 적용한 반응기에서 6.20 g/day, 사토를 적용한 반응기에서는 6.70 g/day, 점토를 적용한 반응기에서는 6.48 g/day로 사토를 적용한 반응기에서 사체 분해속도가 가장 빨랐다(Fig. 2).

Table 1. The analysis result of soil

(a) General composition

pH (1:5)	OM (g/kg)	EC (ds/m)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	T-P (mg/kg)	Ex-Cations (cmol/kg)				NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	TN (%)	TC (%)	Cl (mg/kg)	SO ₄ (mg/kg)	B (mg/kg)
					K	Ca	Mg	Na							
8,2	16	0,5	18	733	0,2	7,1	1,2	0,1	1,4	1,6	0,003	0,11	28,9	90,2	0,02

(b) Heavy metal

Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Cr ⁺⁶ (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Hg (mg/kg)
38,727,25	76,32	374,15	47,62	25,27	0,11	3,01	2,15	36,64	0,005

(c) Physical property

Clay (%)	Sand (%)	Sandy loam (%)
9,0	71,5	19,5

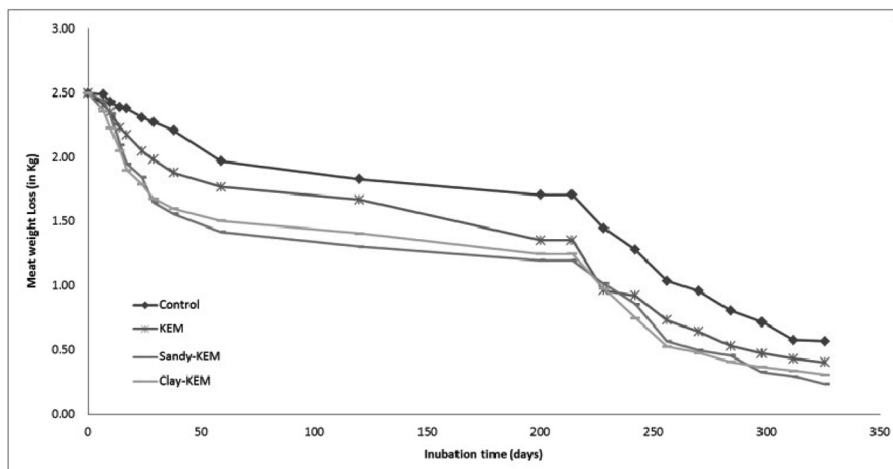


Fig. 2. The dicompostion rate of carcasses.

3.3. 탄화수소계 성분 분석

3.3.1. 이산화탄소

이산화탄소는 사체 부패의 최종 산물로, 연구기간 동안 사체가 분해됨에 따라 이산화탄소가 지속적으로 측정되었다(Fig. 3(a)). 사체 분해 1 g 당 배출된 이산화탄소의 양을 계산하였을 때, 모든 반응기에서 비슷한 값을 나타냈으나 사토를 적용한 반응기에서 4,894 mg을 배출함으로써 가장 적은 양의 이산화탄소를 배출하였다(Fig. 4(a)).

3.3.2. 메탄

메탄의 경우, 초기에 발생되지 않았으나, 200일 이후로 반응

기 내 조건이 통성 혐기로 바뀌면서 그에 따른 메탄의 발생량은 점차 증가 후 다시 감소되는 것을 확인하였다(Fig. 3(b)). 특히 사토를 적용한 경우 메탄의 발생량이 현저하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 사토를 적용한 반응기에서 배출 잔량은 28.92 mg으로 다른 토양을 적용한 경우보다 4-8배 낮은 값을 나타냈다(Fig. 4(b)). 그러나 대조군의 배출 잔량이 10.10 mg으로 미생물의 추가 주입 및 토질의 특성 변화에 의해 오히려 악취 저감 효과가 저하되는 것을 확인하였다.

3.4. 질소 화합물 악취 성분 분석

3.4.1. 암모니아

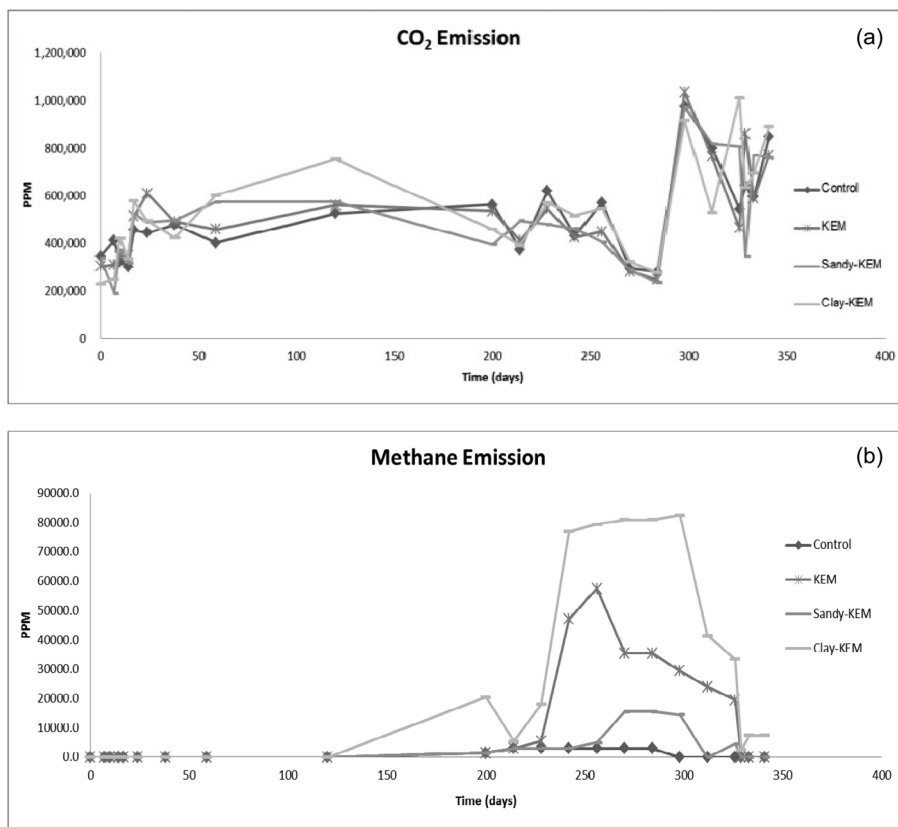


Fig. 3. Tendency of CO₂ emission (a) and CH₄ emission (b).

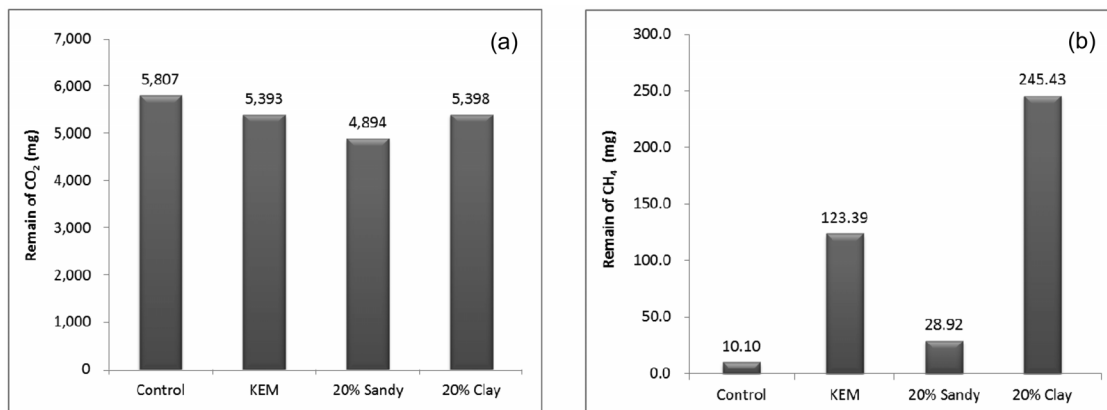


Fig. 4. According to decomposed rate of carcass, remained the CO₂ level (a) and CH₄ level (b).

사체가 부패될 때 생성되는 악취는 암모니아가 주원인으로써,^{6,12,13} 암모니아의 발생량은 시간이 경과될수록 전체적으로 크게 증가하였으며 초기에 모든 반응기에서 암모니아의 발생 농도는 매우 낮았다. 그러나 200일이 지난 후의 발생량은 사토를 적용한 반응기에서 점토를 적용한 경우보다 2배 이상 차이를 보였다(Fig. 5(a)). 배출 잔량의 경우 유용미생물을 적용한 모든 토질에서 악취 저감 효과가 나타났으며 특히 점토를 적용한 반응기에서 0.31 mg으로 효과가 있음을 확인하였다(Fig. 6(a)).

3.4.2. 트리메틸아민

초기 한달 동안 트리메틸아민의 발생은 모든 반응기에서

검출되었으며 시간이 경과될수록 발생량은 감소하였다(Fig. 5(b)). 트리메틸아민 역시 유용미생물을 적용한 모든 토질에서 효과가 나타났으며 점토를 적용하였을 경우, 배출 잔량이 2.06 mg으로 저감 효과가 있음을 확인하였다(Fig. 6(b)).

3.5. 황 화합물 악취 성분 분석

3.5.1. 황화수소

황화수소 역시 트리메틸아민과 같이 초기 한달 동안 많은 양이 발생하였고, 그 이후 발생량이 급격히 감소하여 40일 이후부터 발생하지 않았다(Fig. 7(a)). 사토를 적용한 반응기에서의 황화수소 배출 잔량은 0.09 mg으로 현저히 낮은 값을 확인할 수 있었고 이는 다른 토양을 적용하였을 경우

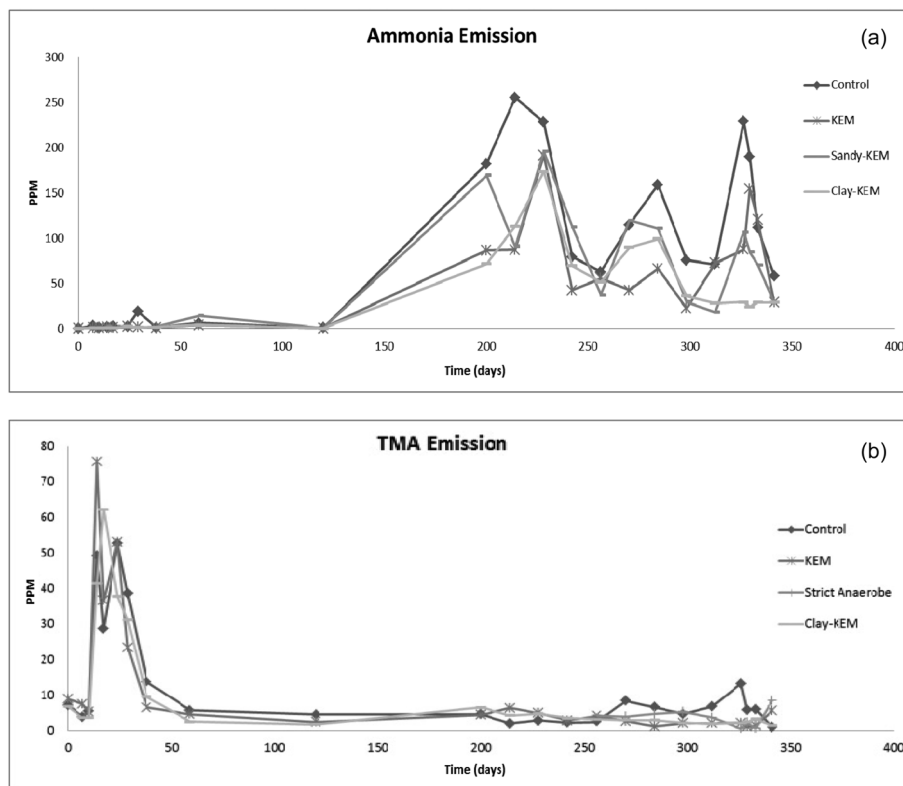


Fig. 5. Tendency of ammonia emission (a) and trimethylamine emission (b).

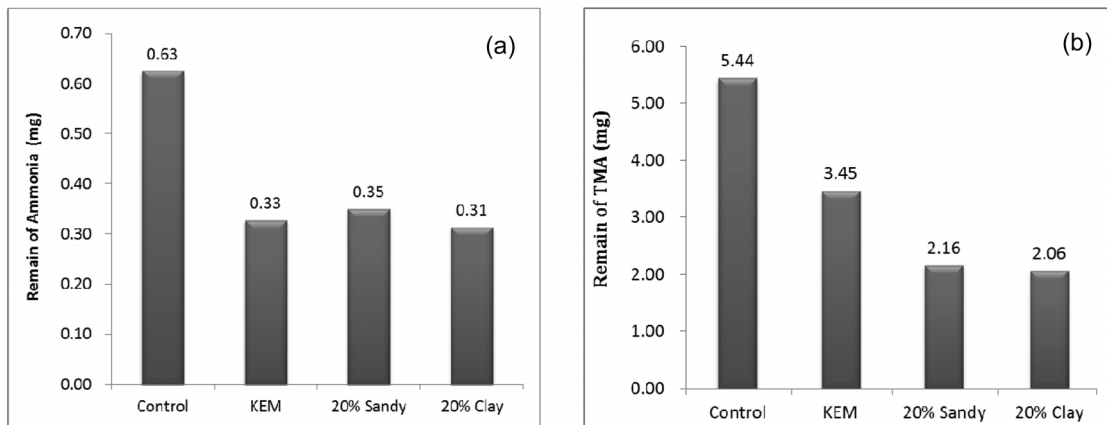


Fig. 6. According to decomposed rate of carcass, remained the ammonia level (a) and trimethylamine level (b).

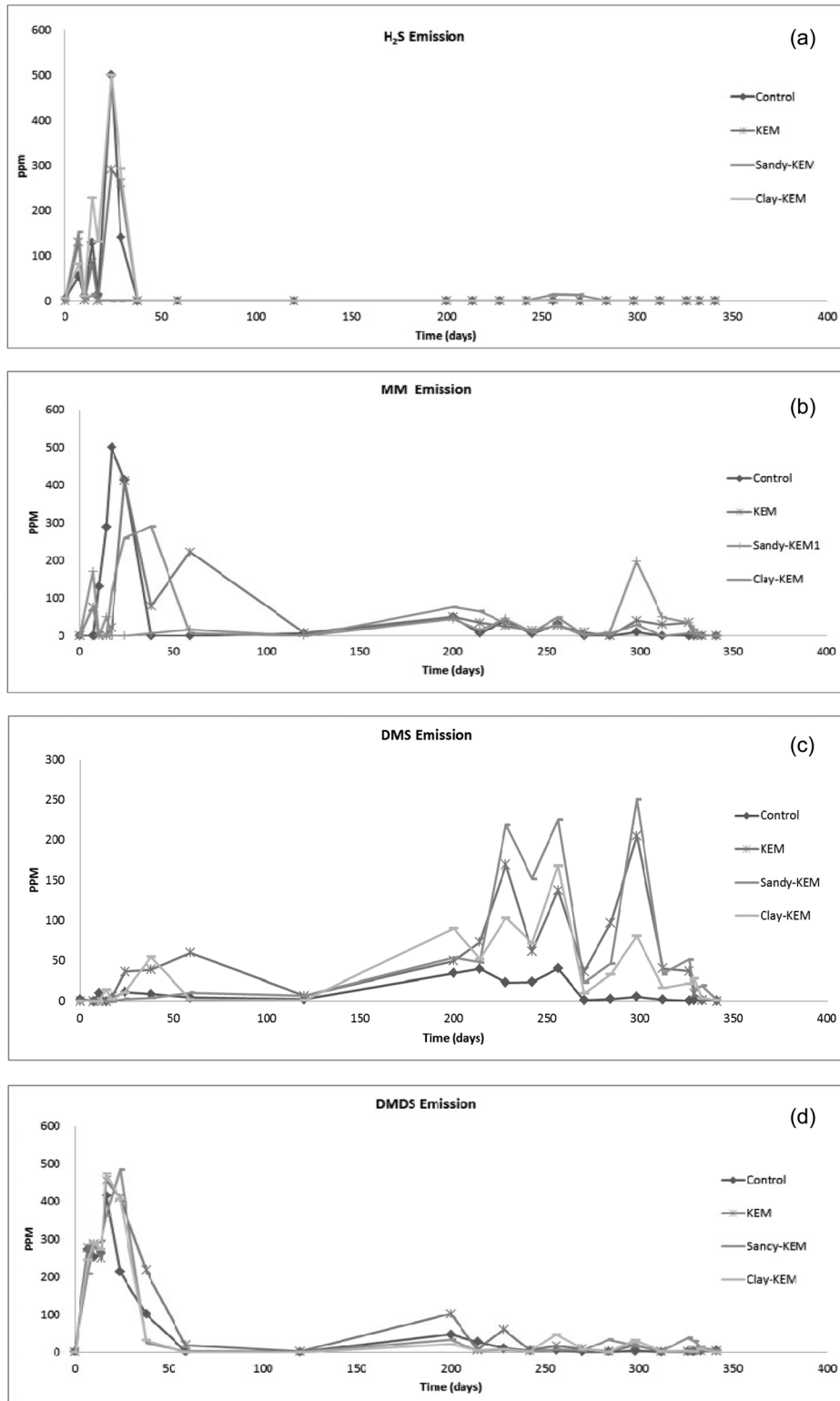


Fig. 7. Tendency of H₂S emission (a), methyl mercaptane emission (b), dimethyl sulfide emission(c) and dimethyl disulfide emission (d).

보다 4배 이상 낮은 값으로 나타났다(Fig. 8(a)). 반면 점토를 적용했을 때, 대조군보다 높은 배출 잔량을 나타내어 저감 효과가 없는 것으로 확인되었다.

3.5.2. 메틸메르캡탄

메틸메르캡탄은 연구기간 동안 지속적으로 발생하였으며, 균주의 추가 주입을 하였을 때 발생량이 증가 후 감소하는 경향을 보였다(Fig. 7(b)). 대조군에 비해 모든 토질에서 악취 저감 효과를 보였으며 특히 사토를 적용한 경우 효과가 있었다(Fig. 8(b)).

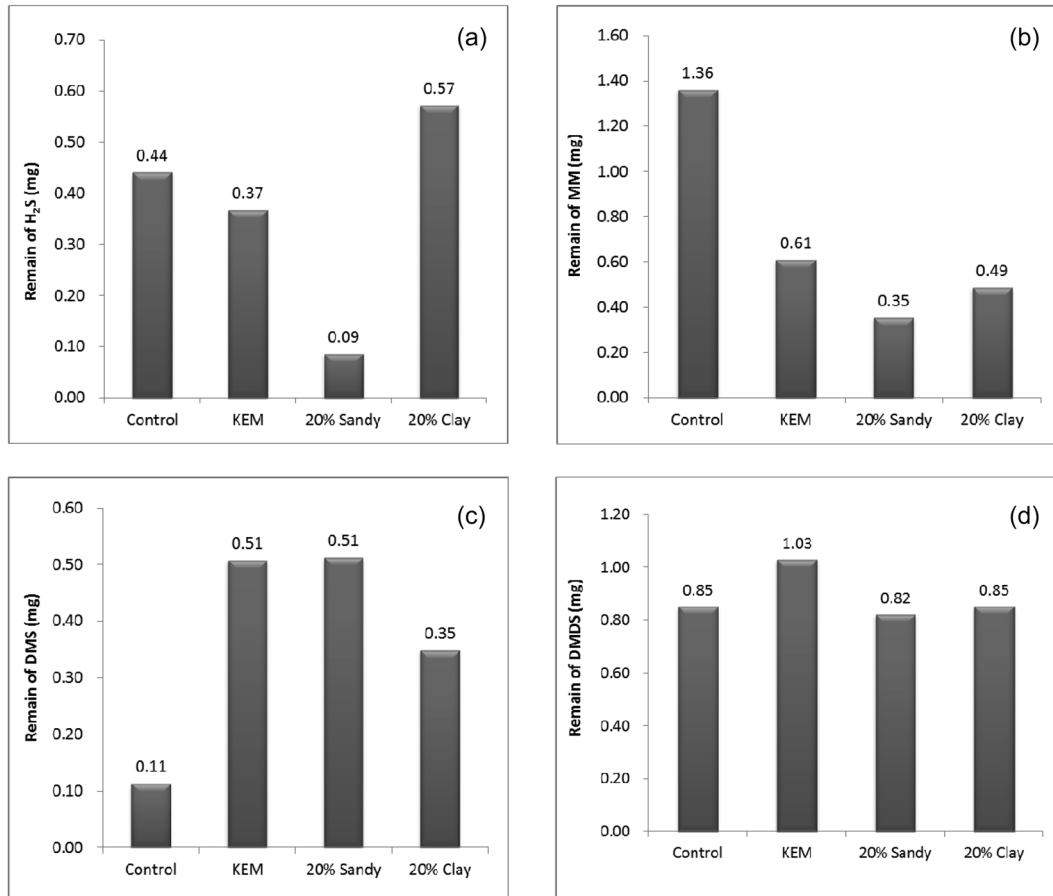


Fig. 8. According to decomposed rate of carcass, remained the H₂S emission (a), methyl mercaptane emission (b), dimethyl sulfide emission (c) and dimethyl disulfide emission (d).

3.5.3. 황화메틸

황화메틸은 미생물에 의해 사체 분해가 일어나, 발생된 황화수소의 메틸화를 통해 발생하게 되며,^{5,14)} 약 한달 후부터 모든 반응기에서 황화메틸의 발생이 관찰되었다(Fig. 7(c)). 황화메틸의 경우 배출 잔량이 대조군에서 0.11 mg으로 측정되었으나, 유용 미생물을 적용한 다른 반응기에서는 배출 잔량이 더 높았다(Fig. 8(c)). 이는 적용한 KEM 미생물에 의해 사체 분해가 지속적으로 일어나, 황화메틸이 발생되어 배출 잔량이 더 높게 측정된 것으로 추정된다.

3.5.4. 이황화메틸

이황화메틸의 경우 사체 분해 초기 단계에 많은 양이 측정되었으며, 시간이 경과할수록 발생량은 점차 감소하였다(Fig. 7(d)). 이황화메틸의 배출 잔량은 다른 악취 성분에 비해 높게 나타났으며 사토를 적용하였을 경우 0.82 mg이 측정되어 미비한 효과를 확인하였다(Fig. 8(d)).

3.6. 미생물의 군집 분포도 변화 분석

3.6.1. DGGE

사체 부패가 진행되기 전, 초기 모든 반응기 내 토양 샘플에서 미생물의 DNA 위치가 유사하였으며(Fig. 9(a)), 이는

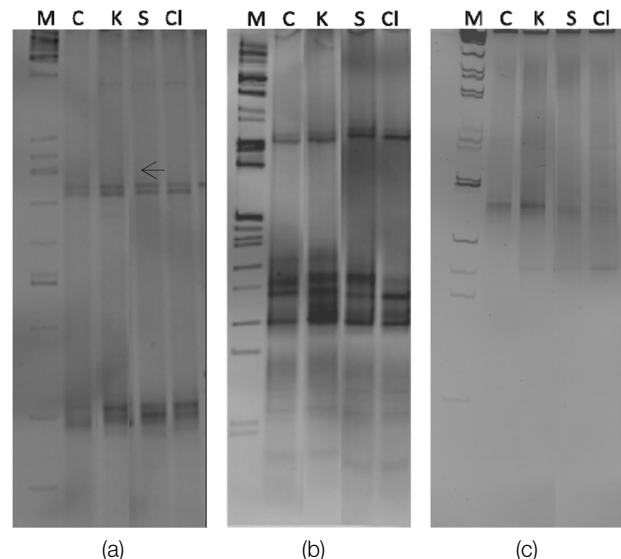


Fig. 9. The DGGE results from reactor at initial (a), middle (b) and final (c), (M; 1 kb marker, C; Control, K; KEM, S; Sandy and Cl; Clay).

일반 토양에 존재하던 토양 미생물에 의해 나타난 결과로 생각된다. 사체 부패가 진행된 이후에는 반응기 내 종의 다양성이 증가하였으며, 토질에 따라 DNA의 위치가 다른 것

을 확인하였다(Fig. 9(b)). 대조군과 일반 토양을 적용한 반응기에서 DNA 위치는 유사하였으나, 밴드의 굵기의 차이로 보아 종의 개체 수에 차이가 보였다. 또한, 사토와 점토를 적용한 반응기에서는 일반 토양을 적용한 반응기에서 보이는 밴드(화살표)가 보이지 않는 것으로 보아 토질의 특성에 우점종이 변화된 것으로 보인다. 사체 부패가 완료된 시점에서는 다시 종 다양성이 감소되는 것으로 나타났다(Fig. 9(c)).

3.6.2. 파이로시퀀싱

파이로시퀀싱을 과(Family) 분류로 분석한 결과, 사체의 부패 진행 정도에 따라 우점화를 이루는 균주의 종류 및 분포도가 크게 변화되는 것을 확인하였다(Fig. 10). 사체 부패가 진행되기 전에는 대조군에서 총 3,724개의 균이 발견되었으며, 이 중 미동정 균은 82개이었다. 일반 토양에서는 총 3,935개, 사토에서는 총 2,495개, 점토에서는 총 4,725개를 확인하였으며, 사체의 부패가 완료된 시점에서는 대조군은 총 11,081개, 일반 토양에서는 11,284개, 사토에서는 총 8,333개, 점토에서는 총 9,604개로 종의 개체수가 증가되는 것을 확인하였다.

초기 토양 샘플에서 우점화를 이루고 있던 미생물 군집은

Rhodobacteraceae (15.9%), *Moraxellaceae* (14.3%), *Enterobacteriaceae* (13.1%), *Comamonadaceae* (10.8%), *Bradyrhizobiaceae* (9.2%) 등으로 동정되었으며, 그 이후에는 *Pseudomonadaceae* (16.8%)와 *Planococcaceae* (46.2%)의 분포도가 크게 증가하면서 우점화를 이루었다. 반면, *Rhodobacteraceae*는 분포도가 감소 점점 감소되는 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구에서는 토질별 악취 저감 효율을 비교 평가하고자 하였으며, 매물지 모형 반응기를 제작하여 랩 스케일에서 실험을 진행하였다. 일반 토양과 일반 토양에 사토와 점토를 일정 비율을 각각 섞어 실험한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 사토에 사체를 매물하였을 경우, 6.70 g/day의 속도로 가장 빠르게 분해되는 것을 확인하였으며, 반응기 내의 부분 사체도 분해가 일어나 형태가 거의 남아 있지 않음을 확인하였다.
- 2) 사토를 적용한 반응기에서는 메탄, 황화수소와 메틸메르캅탄에 대하여 악취 저감 효율을 확인하였다.

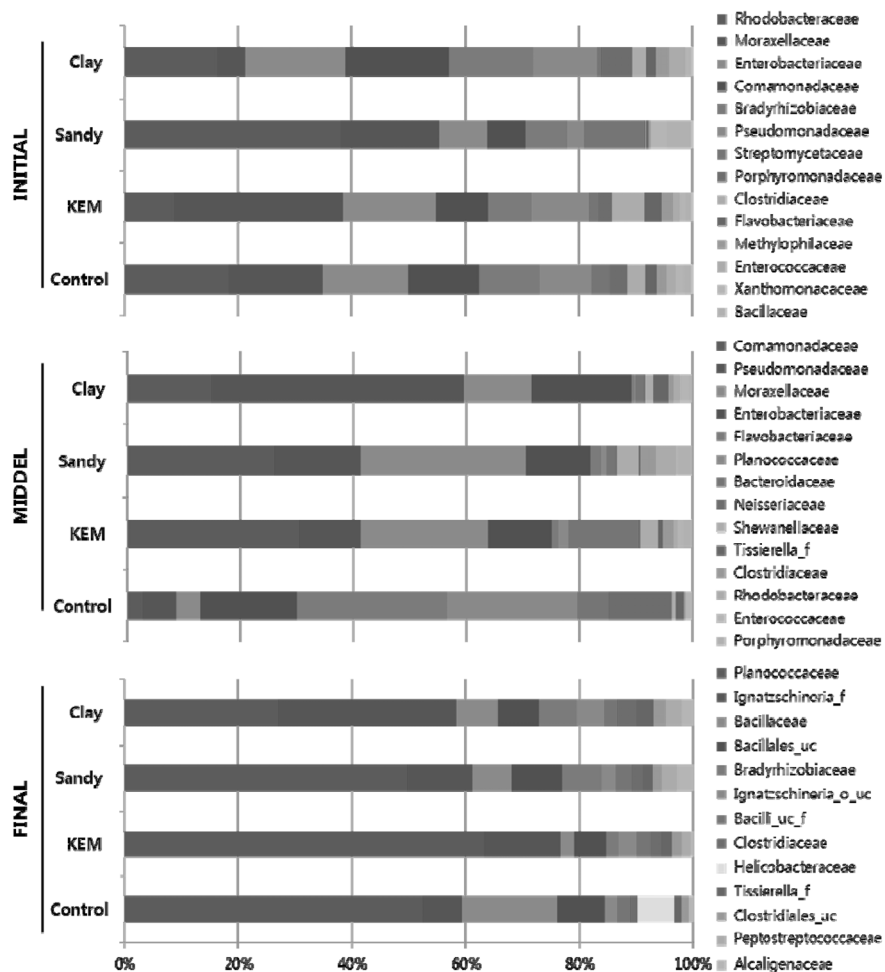


Fig. 10. The pyrosequencing results from control (a), KEM (b), sandy (c) and clay (d) by according time.

3) 점토를 적용한 경우에는 암모니아와 트리메틸아민에 대하여 미비한 악취 저감 효과를 확인하였다.

4) 토질의 특성과 사체 부패 진행 정도에 따라 미생물의 군집과 분포도가 변화되는 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 20% 사토를 적용하였을 경우 보다 빠른 사체 분해율을 보이며 조기 안정화가 이루어진 것으로 보이나, 악취 생성 및 제어 면에서는 토질에 따른 큰 차이를 확인하지 못 하였다. 이는 우리나라 대부분의 토양에 70% 이상의 사토 성분이 포함되어 있어 나타난 결과로 생각되며 극단적인 점토 토양의 경우를 제외하고 사토나 점토를 추가하여 매몰할 경우 큰 차이가 없을 것으로 생각된다.

사사

이 논문은 국립환경과학원(20120527134)과 미래창조과학부 연구재단(2010-0007473)의 연구비로 수행되었습니다.

KSEE

Reference

1. Ministry of Agriculture, Press release, North Korea, the occurrence of foot-and-mouth disease quarantine, quarantine measures further strengthen, Food and Rural Affairs(2013).
2. Ministry of Agriculture, Domestic Animal Infectious Disease Control Law, Food and Rural Affairs(2013).
3. Korda, A., Santas, P., Tenente, A. and Santas, R. "Petroleum hydrocarbon bioremediation: sampling and analytical techniques, in situ treatments and commercial microorganisms currently used," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **48**, 677~686(1997).
4. Angelidaki, I. and Ahring, B. K. "Effects of free long-chain fatty acids on thermophilic anaerobic digestion," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **37**(6), 808~812(1992).
5. Banks, C. J. and Wang, Z. "Development of a two phase anaerobic digester for the treatment of mixed abattoir wastes," *Water Sci. Technol.*, **40**(1), 67~76(1999).
6. Salminen, E. and Rintala, J. "Anaerobic digestion of organics solid poultry slaughterhouse waste - a review," *Bioresour. Technol.*, **83**, 13~26(2001).
7. Cho, Y. G., Rhee, S. K. and Lee, S. T. "Effect of soil moisture on bioremediation of chlorophenol contaminated soil," *Biotechnol. Lett.*, **22**(11), 915~919(2000).
8. Zeev, R. and Aharon, A. "Anaerobic-Aerobic Process for Microbial Degradation of Tetrabromobisphenol," *Appl. Environ. Microbiol.*, **66**(6), 2372~2377(2000).
9. Fuller, M. E. and Manning, J. F. "Microbiological changes during bioremediation of explosives-contaminated soils in laboratory and pilot-scale bioslurry reactors," *Bioresour. Technol.*, **91**(2), 123~133(2004).
10. Amann, R. I., Ludwig, W. and Schleifer, K. H., "Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation," *Microbiol. Rev.*, **59**(1), 143~169(1999).
11. Chun, J., Kim, K. Y., Lee, J.-H. and Choi, Y. "The analysis of oral microbial communities of wild-type and toll-like receptor 2-deficient mice using a 454 GS FLX Titanium pyrosequencer," *BMC Microbiol.*, **10**(6), 101(2010).
12. Fava, F., Berselli, S., Conte, P., Piccolo, A. and Marchetti, L. "Effects of humic substances and soya lecithin on the aerobic bioremediation of a soil historically contaminated by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)," *Biotechnol. Bioeng.*, **88**(2), 214~223(2004).
13. Zhang, C., Hughes, J. B., Nishino, S. F. and Spain, J. C., "Slurry-phase biological treatment of 2,4-dinitrotoluene and 2,6-dinitrotoluene: role of bioaugmentation and effects of high dinitrotoluene concentrations," *Environ. Sci. Technol.*, **34**(13), 2810~2816(2000).
14. Castaldi, F. J. and Ford, D. L. "Slurry bioremediation of petrochemical waste sludges," *Water Sci. Technol.*, **25**(3), 207~212(1992).