

GOVP1200514743

최 종
연구보고서

축산악취 경감을 위한 친환경적 생물학적
시스템의 개발
Biofiltration System for Control of
Livestock Odor

연구기관
충남대학교 농업생명과학대학

농 립 부

2015/03/03 17:40-운영지원과/김빛나래

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “축산악취 경감을 위한 친환경적 생물학적 시스템의 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004 년 8 월 15 일

주관연구기관명 : 충남대학교

총괄연구책임자 : 최 우 영

세부연구책임자 : 이 수 기

세부연구책임자 : 장 동 일

연 구 원 : 권 순 경

연 구 원 : 윤 민 호

연 구 원 : 최 성 현

연구조원 : 이 태 은 · 유 정 현

진 수 현 · 이 근 혜 · 김 주 혜

홍 승 표 · 허 정 민 · 김 성 복

오 세 준 · 손 대 근 · 진 실

한 원 석 · 송 영 호 · 이 승 주

조 한 성 · 윤 재 필 · 김 기 진

요 약 문

I. 제 목

“축산악취 경감을 위한 친환경적 생물학적 시스템의 개발”

II. 연구개발의 목적 및 필요성

축산업은 폐수와 악취로 인하여 혐오산업으로 인식되고 있는 만큼, 국가적으로 축산분야의 위축을 막고 농촌 및 축산농가의 생활환경을 개선하기 위하여는 축산폐수의 처리뿐만 아니라 악취제거 기술의 개발에도 관심을 기울여야 하겠으며, 앞으로 대기환경보전법이 강화됨에 따라 축산업계에도 공기정화시설을 고려하지 않을 수 없는 상황이 예견된다. 축산시설에서 발생하는 악취가스는 황 화합물, 질소 화합물, 휘발성 저급지방산류가 알려져 있으며, ‘생물학적 처리기술’은 혼합 미생물군의 화학물질 분해능력을 이용하여 이러한 악취성분을 제거하는 기술로서,

▷ 미생물을 직접 사료에 첨가하는 생균첨가제

▷ 컬럼에 정착한 미생물에 의하여 악취성분을 분해시키는 생물막탈취장치에 관심이 집중되고 있다. 본 연구에서는 축산시설에서 발생하는 악취물질을 효율적으로 제거할 수 있는 친환경적 처리기술로써 생물막탈취장치 즉 바이오필터 시스템과 그 축사용용 기술의 개발을 목표로 하고 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 축산악취 물질중 표적 성분의 선정

가. 축산악취 유발성분 구명

나. 악취성분의 측정 및 분석기술 확립

다. 표적 악취성분의 선정

2. 악취저감 미생물의 개발

가. NH₃ 및 H₂S 산화균의 분리 및 동정

나. 바이오필터 접종용 우수균주의 선발

다. 선발균주의 생육특성 및 대량 배양방법 구명

라. 혼합계제를 위한 균주 상호간의 공존성 구명

마. 미생물의 바이오필터에서의 정착성 확인

바. 바이오필터에서의 악취제거 효율 구명

3. 바이오필터 충전재의 개발

가. 각종 바이오필터 충전재의 특성 분석 및 비교

나. 충전재의 선정

4. 바이오필터 시스템의 개발

가. 최적 설계 및 제어

나. 바이오필터 시스템의 시작기 제작 및 성능 구명

▷ Pilot-scale 바이오필터의 제작

▷ 바이오필터 시스템의 성능 시험

5. 바이오필터 시스템의 경제성 분석

가. 시작기의 시험성적 비교

나. 바이오필터 시스템의 고정비와 변동비 분석

다. 제작비용 및 유지관리 비용의 최소화 방안

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 표적 악취성분의 선정

소 (비육우·착유우·육성우), 닭 (산란계·육성계), 돼지 (성돈·육성돈)의 분뇨와 축사를 대상으로 ① 검지관, ② GC/MS, GC/FID, GC/FPD (SPME 및 SDA 추출성분) 및 ③ 전자코에 의한 분석자료를 비교분석하여 표적물질을 선정하였으며,

▷ 유황계 화합물: 황화수소 H_2S , 메틸메르캡탄 CH_3SH , 에틸메르캡탄 C_2H_5SH

▷ 질소화합물: 암모니아 NH_3 , 아민류 $(CH_3)_3N$

▷ 휘발성지방산: butyric, valeric acid (iso-포함)

등을 ‘일반적 표적성분 (general target compounds)’으로, 그 중에서도

▷ 황화수소 (threshold: 0.00047~4.6 ppm)

▷ 암모니아 (threshold: 1~46.8 ppm)

를 ‘1차 표적성분 (primary target compounds)’으로 선정하였다.

2. 악취저감 유용미생물 균주의 개발

가. 악취저감 미생물의 분리 및 우수균주의 선발

자연계로부터 1차 표적성분을 분해·제거할 수 있는 미생물을 분리하고 우수균주를 선발하였다. 즉 각종 분리원 (축분퇴비·폐수처리오니·퇴적토양)을 lab-scale 바이오필터의 컬럼충전재에 혼합하고 고농도의 H_2S 및 NH_3 가스를 공급함으로써 집식배양 조건을 부여한 다음에 각 컬럼으로부터 암모니아 및 황의 산화력이 높은 유용균주를 선발하였다.

▷ 암모니아 산화균

A1-1 (Unknown; no match)

A2-5.1 (*Hydrogenophaga pseudoflava*)

A3 (*Rhodococcus equi*)

A4-2 (Unknown; *Rhodococcus equi*와의 상동성 극히 낮음)

K4-3.2 (*Deinococcus erythromyxa*)

M7-1 (*Arthrobacter ramosus*)

▷ 황 산화균

M2-3 (Unknown; *Pseudomonas doudoroffii*와의 상동성 극히 낮음)

J2-6 (Unknown; no match)

S1-3 (*Nocardia otitidiscaviarum*)

S4-2.3 (*Ochrabactum anthropi*)

S5-5.2 (*Alcaligenes* sp.; 16S rDNA sequence)

이들 균주중에서 특히 암모니아 산화균 *Rhodococcus equi* A3와 황 산화균 *Alcaligenes* sp. S5-5.2의 2균주는 각각 기질 산화력이 우수하여 바이오필터 접종용 균주로 선정하였다.

나. 악취저감 미생물의 배양

악취저감 미생물을 대량배양하고 이를 바이오필터에 접종하여 실용화하기 위한 기술을 연구하였으며, 미생물의 균체생산을 위한 배지조성 및 배양방법, 그리고 컬럼충전재에 대한 혼합 및 정착, 관리에 관한 기술을 개발하였다.

1) 생균체 생산배지 및 배양방법

Rhodococcus equi A3는 NB에서, *Alcaligenes* sp. S5-5.2는 NB + Na₂S₂O₃배지에서 균체의 생육이 가장 좋았으며, 발효조 (fermentor)를 사용한 반연속식 배양법 (semicontinuous cultivation)이 가장 효율적이었다. 반연속식 배양에 의하여 A3 균주의 경우 매 12시간마다, S5-5.2의 경우 매 18시간마다 발효조 운용용량의 9/10량의 배양액을 회수 할 수 있었다.

2) 악취저감균의 상호 공존성

바이오필터 시스템에 혼합 미생물제제를 적용하기 위하여, 선발균주에 대하여 상호 공존성 특히 길항성 여부를 조사하고, 다양한 미생물이 존재하는 비특이적 활성오니 잔사의 영향을 검토하였다. 길항작용을 나타내는 균주의 조합은

K4-3.2↔A2-5.1

M2-3↔A2-5.2

M2-3↔J2-6

이었으며, 우수균주로 선정된 암모니아 산화균 *Rhodococcus equi* A3 및 황 산화균 *Alcaligenes* sp. S5-5.2의 경우 타균주와의 길항성이 없었으며, 활성오니 잔사의 영향을 받지 않았다.

3. 악취저감균의 정착성 및 악취제거 효율

가. 충전재에의 정착성

Rhodococcus equi A3 및 *Alcaligenes* sp. S5-5.2 배양액 1:1 혼합물을 각종 충전재 - 코코넛피트, 활성탄, 펄라이트, 왕겨, 소나무수피 - 에 접종하여 lab-scale 바이오필터<모델 A>의 각 컬럼에 충전하고 72시간 순치시킨 후 SEM으로 관찰한 결과, 각 충전재 표면에 미생물의 균체세포가 정착되어 있었으며, 이때 미생물의 총 생균수는 충전재 그램당 9.5×10^8 c.f.u. 수준이었다. 12주간의 실험기간 동안 $7.3 \times 10^8 \sim 1.2 \times 10^9$ 의 범위에서 변화하였으며, 한편 미생물을 접종하지 않은 대조구의 평균 생균수는 접종구보다 지수 1 이하 낮은 수준을 유지하였다. Pilot-scale<모델 B> 및 현장실험용<모델 C> 바이오필터 시스템에서도 미생물이 잘 정착하여 <모델 B>에서는 $9.5 \times 10^8 \sim 3.2 \times 10^9$, <모델 C>의 모형돈사 $9.4 \times 10^8 \sim 3 \times 10^9$, 실제돈사 $9.7 \times 10^8 \sim 3.4 \times 10^9$ c.f.u. g^{-1} 의 생균수를 각각 유지하였다.

나. 악취제거 효율

혼합충전재 (부숙소나무수피 70% : 펄라이트 30%, v/v)를 충전한 lab-scale 바

이오필터<모델 A>의 경우 NH₃의 평균제거율 97.8%, H₂S 93.1%이었고, pilot-scale 바이오필터<모델 B>에서는 NH₃ 96.1%, H₂S 91.1%이었으며, 현장실험용 바이오필터<모델 C>에서는 모형돈사의 경우 NH₃ 95.6%, H₂S 82.4%, 실제돈사의 경우 NH₃ 89.5%, H₂S 78.2%이었다. 또한 메르캅탄 및 휘발성지방산 등의 타 성분도 함께 제거됨으로서, 암모니아 및 황 산화균 이외에 추가적으로 다른 미생물 군주를 접종하지 않아도 악취저감 효과를 거둘 수 있었다.

4. 바이오필터 충전재의 개발

Lab-scale 바이오필터 시스템<모델 A>를 이용하여 압밀이 적고 다공성, 흡착성, 보습성, 미생물의 정착성 등이 우수하면서도 염가인 축산농가 보급형의 충전용 재료를 선별하였다.

가. Lab-scale 바이오필터 설계 및 제작

Lab-scale 바이오필터 시스템<모델 A>의 제원은 ▷ 컬럼 용량 : 18,000 cm³/크기 : Φ 120×450 mm; ▷ Plenum Chamber 크기 : 300×300×200 mm; ▷ 센서 : 6 채널 다점풍속계 (풍온·풍속 측정); ▷ 압력 측정장치 범위 : 0~2 kgf/cm²이었다.

나. 충전재의 선별

주재료로서 소나무수피, 팽윤왕겨, 코코넛피트 등과 보조재료로서 압밀방지 및 통기성 향상을 위한 펄라이트, 벃짚을 대상으로 하였으며, 흡착력 보완을 위한 제올라이트, 활성탄, 그리고 미생물의 영양공급을 위하여 유기질 비료도 고려하였다.

단일충전재의 악취 흡착성능 : 각 재료의 단위용적당 가스 흡착량은 NH₃의 경우 코코넛피트와 소나무수피가 0.158 및 0.112 l/cm³이었고, H₂S는 펄라이트와 왕겨에서 0.02 및 0.016 l/cm³로써 다른 재료에 비하여 우수하였다.

혼합충전재의 악취 흡착성능 : 혼합충전재의 NH₃에 대한 흡착량은 코코넛피트70% + 펄라이트30%의 조합에서 0.123 l/cm³, 소나무수피70% + 펄라이트30%

의 조합에서 0.111 l/cm^3 로서 다른 혼합재료에 비하여 우수하였고, H_2S 에 대하여는 $0.014\sim 0.020 \text{ l/cm}^3$ 의 범위에서 혼합재료의 조합간에 큰 차이를 보이지 않았다. 혼합충전재의 주재료로서 코코넛피트와 소나무수피가 성능은 비슷하지만 코코넛피트는 수입에 의존하고 있기 때문에 국내조달이 용이하며 비교적 염가인 소나무수피를 선정하였고, 보조재료로서는 펄라이트를 선정하였다.

재료의 입자크기와 부속수피의 적용 : 바이오필터의 작동에 미치는 소나무수피와 펄라이트의 입자크기의 영향을 비교한 결과 소나무수피 $9.5\sim 13.2 \text{ mm}$ (평균 10.3), 펄라이트 $2.4\sim 5.0 \text{ mm}$ 가 가장 적절한 것이었다. 일반소나무수피를 미생물이 풍부한 부속수피로 대체하여도 같은 결과를 얻었다.

악취제거 성능 : 혼합충전재 (부속소나무수피70% + 펄라이트30%)에 미생물생균체를 접종하여 실험하였을 때 경우 NH_3 의 평균제거율은 96.1%, H_2S 는 91.1%이었다.

5. 바이오필터 시스템의 개발

바이오필터 시스템을 개발하기 위하여 pilot-scale 시스템과 현장실험용 시스템을 설계·조립하여 운용파라미터를 구하였으며, 이에 근거하여 100평 규모의 모돈사에 적용할 수 있는 표준 바이오필터 시스템을 설계하였다. 또한 이를 기준으로 하여 경제성을 분석하였다.

가. Pilot-scale 바이오필터 시스템

Pilot-scale 바이오필터 시스템<모델 B>의 설계 : 시스템<모델 B>의 세부사양을 도출하고 이를 설계·조립하였다. 생물탈취탑 본체, 급수탱크, 배기통풍설비, 유인송풍기, 부대설비 및 소요동력 등의 항목에 관하여 용량·규격 및 형식·재질·부대장치 등 세부사양을 계산하였다. 생물탈취탑 본체 (충전컬럼)의 사양은 ▷ 용량: $6 \text{ m}^3/\text{min}$, 직렬식 2기; ▷ 규격: $850\Phi\times 2200\text{H}$; ▷ 재질: STS 304 또는 FRP (내부식성, 내산 재질); ▷ 충전재용량: 총 1 m^3 ; ▷ 압밀도: 144 kg/m^3 이었다.

악취제거 성능 : 혼합충전재 (부숙소나무수피70% + 펠라이트30%)에 미생물 생균체를 접종하여 실험하였을 때 경우 NH₃의 평균제거율은 96.1%, H₂S는 91.1% 이었다. 한편 무부하상태에서는 ID FAN에 공급되는 전원의 주파수가 약 40 Hz일 때 최적 풍속 0.09 m/s를 유지되었다.

나. 현장실험용 바이오필터 시스템

현장실험용 바이오필터 시스템<모델 C>의 설계 : ▷ 충전컬럼 용량: 18,580 cm³/ 크기: Φ260×350 mm; ▷ 압력강하측정장치: 0~300 mmAq; ▷ 터보송풍기 최대 배기량: 1.5 CMM/ 최대토출압: 2,000 mmAq/ 정격토크: 1,500 mmAq; ▷ 제어프로그램: CVI 5.5; ▷ 무게측정장치: 0~90 kgf (1/9000 kgf); ▷ 센서 Ganomax Model 6112/ 0.1~100.0℃ (0.01~50.0 m/s)

모형돈사에서 악취제거 성능 : 모형돈사에서 NH₃의 입구농도는 160~200 ppm, H₂S는 20~60 ppm이었으며, 출구의 농도는 NH₃ 6~16 ppm, H₂S 4~8 ppm 이었다. 실험기간중 NH₃의 제거율은 92~97% (평균 95.6%), H₂S는 72~90% (평균 82.4%)이었다.

실제돈사에서 악취제거 성능 : 실제돈사에서 NH₃의 입구농도는 18~28 ppm, H₂S는 4~9 ppm이었으며, 출구의 농도는 NH₃ 1~4 ppm, H₂S 1~3 ppm이었다. 실험기간중 NH₃의 제거율은 85.3~94.7% (평균 89.5%), H₂S는 71.4~88.4% (평균 78.2%)이었다.

다. 무창모돈사용 바이오필터 시스템

건평 100평 규모의 무창모돈사를 기준으로 현장에 적용할 수 있는 바이오필터를 설계하였다. 모돈사의 경우 100평에 약 40개의 분만돈방 (또는 분만틀)을 넣을 수 있으므로 이를 하절기 기준으로 환기량을 계산하면 3.96 m³/s이 되며 충전 칼럼부의 크기는 가로2×세로18.3×높이1 m, 용적은 39.6 m³가 된다.

Table 1. Conditions for operation of the biofilter systems <Model A, B, and C> and their rates of malodor removal

Specification	Model<A>	Model	Model<C>						
			Minimized pigsty		Pigsty				
Packing materials*	C	3,560	350,000		13,000		13,000		
	P	1,530	150,000		5,580		5,580		
Packing volume (cm ³)		5,089	500,000		18,580		18,580		
Moisture contents during operation(%)		53.2~65.0	63.2~69.3		62.1~74.5		63.9~69.8		
Inoculates** (microorganisms)		<i>Rhodococcus equi</i> A3 and <i>Alcaligenes</i> sp. S5-5.2							
Air velocity at inlet area (m s ⁻¹)		0.02~0.04	0.08~0.11		0.03~0.05		0.03~0.05		
Odor components		H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃
	Average concn. of inlet gas (ppm)	20	200	6~16	160~200	20~60	160~210	4~9	18~28
Average concn. of outlet gas (ppm)	0.2~1.0	6~9	1~2	6~9	4~8	6~16	1~3	1~4	
Rate of removal (% , average)	93.1	97.8	91.1	96.1	82.4	95.6	78.2	89.5	

Packing materials* consisted of composted chaffs of pine<C> and perlites<P> (70% : 30%, v/v).

Inocula** were the mixture (1 : 1, v/v) of culture broths of *Rhodococcus equi* A3 and *Alcaligenes* sp. S5-5.2 with a viable titre of 10⁹ c.f.u. mL⁻¹.

6. 경제성 분석

앞에서 설계한 무창모돈사를 설치·운영하는데 소요되는 비용을 산출하였다.

충전재 구입비 : 부숙소나무수피 (27.72 m³) 1,108,800원 및 펠라이트 (11.88 m³) 1,425,600원으로 소계 2,534,400원이 소요된다.

바이오필터 구조물/ 외부, 내부(바닥시렁), 급수시설 : 철근콘크리트 구조물의 설치에 2,000,000원, 급수시설에 1,300,000원, 바닥재 및 노임에 4,000,000원 등으로 소요비용은 7,300,000원이 된다.

미생물 접종액 : 발효조에서의 배양비용은 배양액 3,520 ℓ에 대하여 2,400,000~3,600,000원으로 추산된다.

전기료 : 농사용(병)을 적용하여 매월 254,400원으로 계산된다.

관리비 : 축사관리를 위한 상용노임에 포함시킬 수 있으므로 별도의 추가비용을 계산하지 않았다.

Table 2. Monthly expenses for operation of a biofilter system for the sow house with area of 330 m²

Items	Expenses	Calculations	Remarks
Depreciation	₩ 60,800	(₩7,300,000 - ₩0)/ 10yr× 12mon	
Packing materials	₩211,200	₩2,534,400/ 12mon	
Electricity	₩254,400	1 kW/h×₩1,060/kW×8 h/day× 30day	For farm (grade C)
Microbial inocula	₩250,000	₩2,400,000~3,600,000÷ 12mon	
Maintenance	-	Included in the regular main- tenance costs for livestock house	
Total	₩776,400		

감가상각비 : 바이오필터의 수명을 약 10년으로 가정하여 감가상각비를 직선법으로 계산하면 730,000원이 된다.

충전재의 수명을 12개월로 추정하여 바이오필터 시스템의 월간 운용비용을 산정하면 776,400원으로 산출된다.

7. 활용에 대한 건의

현재로서는 축산폐수의 처리에 부담을 안고 있는 축산업계에서 악취문제를 고려할 만한 여유가 없으리라고 보지만, 장차 대기환경보전법이 강화됨에 따라 축산업계에서도 공기정화 시스템을 적극적으로 도입해야 할 것이다. 그렇게 함으로써 대기오염 방지, 국민보건 증진, 농촌 주거환경 및 작업환경 개선 등의 공익적 가치를 누릴 수 있기 때문이다.

축산업계 종사자들에게 악취문제에 대한 이해를 돕고 인식을 전환하는 일이 시급하므로 교육과 홍보의 기회를 확대하고, 시설의 보급을 위하여는 축산농가에 대하여 재정적 지원책을 마련해야 할 것이다.

SUMMARY

I. Title of the Project

Biofiltration System for Control of Livestock Odor

II. Objectives of the Research and Development

Increasingly stringent regulations for air emissions of malodor gases stimulated research to develop more efficient and cost-effective control technologies. Malodor substances from the livestock houses include nitrogen and sulfur compounds, volatile fatty acids, and etc. The strategies for biological treatment which based on the abilities of microorganisms to degrade these malodor substances, are developed for:

- ▷ Feed additives which prepared by mixing with the biomass,
- ▷ Biofiltration process which are operating with a fixed bed of immobilized biomass that is, utilizes a microbial film fixed on a support medium where the contaminants are absorbed from the malodor substances and biologically converted to benign end products.

This studies aim to develop a biofiltration system and to apply the system to livestock housing.

III. Contents and Scope of the Research and Development

1. Selection of the target compounds among malodor substances from livestock house

- A. Elucidation of malodorous compounds from livestock house
- B. Establishment of techniques for determining the malodorous compounds
- C. Selection of the target compounds

2. Strain developments of microorganism for malodor removal

- A. Isolation and identification of NH_3 - and H_2S -oxidizing bacteria
- B. Selection of the potent strains for inoculating to the biofilter column
- C. Cultural characteristics and method of cultivation for mass production of the selected strains
- D. Compatibility of the strains
- E. Attachment of the strains to the biofilter materials
- F. Efficiency of malodor removal

3. Development of the packing materials for biofilter

- A. Analysis of physicochemical properties of various packing materials
- B. Choice of an appropriate combination of the materials, with regard to their mixing ratio and particle sizes

4. Development of biofiltration system

- A. Design of a biofiltration system
- B. Assemblies and performance tests of the pilot-scale biofilter

- ▷ Assemblies of pilot-scale biofilter
- ▷ Performance of pilot-scale biofilter

5. Economic analysis for biofiltration system

- A. Comparison of performance of pilot-scale biofilters
- B. Analysis of fixed and fluctuating charges
- C. Minimization of the construction and maintenance expenses

IV. Results and Suggestions for Application of the Results

1. Selection of the target malodorous compounds

Malodorous compounds from the feces and livestock houses of cattle (fattening cattle · milking cow · heifer), poultry (layer · pullet), and pig (sow · piglet) were determined by: ① Gastec detection tubes, ② GC/MS, GC/FID, and GC/FPD analysis (after extraction of the samples by SPME or SDA) ③ Sensoring by electronic nose, and target compounds were selected among them.

▷ Sulfur compounds: hydrogen sulfide (H_2S), methylmercaptan (CH_3SH), ethylmercaptan (C_2H_5SH)

▷ Nitrogen compounds : ammonia (NH_3), amines ($(CH_3)_3N$)

▷ Volatile fatty acids : butyric, valeric acid, and their iso-forms were selected as the general target compounds, and

▷ Hydrogen sulfide (threshold: 0.00047~4.6 ppm)

▷ Ammonia (threshold: 1~46.8 ppm)

were selected as the primary target compounds.

2. Strain developments for malodor removal

A. Isolation and selection of microorganisms which degrade malodor compounds

Ammonia and hydrogen sulfide oxidizing bacteria were isolated by enrichment cultivation techniques, employing biofilters of which the columns were packed with soils, composts, activated sludges from the municipal waste treatment facility and supplied by high concentrations of NH₃ and H₂S gases.

▷ Ammonia oxidizing bacteria

A1-1 (Unknown; no match)

A2-5.1 (*Hydrogenophaga pseudoflava*)

A3* (*Rhodococcus equi*)

A4-2 (Unknown; low homology with *Rhodococcus equi*)

K4-3.2 (*Deinococcus erythromyxa*)

M7-1 (*Arthrobacter ramosus*)

▷ Hydrogen sulfide oxidizing bacteria

M2-3 (Unknown; low homology with *Pseudomonas doudehoffii*)

J2-6 (Unknown; no match)

S1-3 (*Nocardia otitidiscaviarum*)

S4-2.3 (*Ochrabactum anthropi*)

S5-5.2* (*Alcaligenes* sp.; 16S rDNA sequence)

The potent strains*, *Rhodococcus equi* A3 with NH₃-oxidizing activity, and *Alcaligenes* sp. S5-5.2 with H₂S-oxidizing activity, were selected among the isolates for further application.

B. Culture methods and compatibilities of the selected strains

Media compositions and culture methods to obtain the bacterial mass

which could be used for inocula to biofilter materials were investigated. Cell mass of the strains, *Rhodococcus equi* A3 and *Alcaligenes* sp. S5-5.2, were produced on NB and NB + Na₂S₂O₃, respectively by semicontinuous operation of a fermentor: culture broth amounted 90% of the working volume of the fermentor were harvested every 24 hours.

Compatibility of the strains were tested for preparation of mixed culture inocula: inhibitions for growth were observed between the strains, K4-3.2↔A2-5.2, M2-3↔A2-5.2, and M2-3↔J2-6. Growth of the strains, A3 and S5-5.2, were not affected by any antagonistic organisms or by sludge sediments from municipal waste treatment process.

3. Attachment of microorganisms to the biofilter materials and the efficiency of malodor removal

Mixtures (50% : 50%, v/v) of culture broth of the strains, A3 and S5-5.2, were inoculated to the packing materials such as coconut peat, composted chaffs of pine, perlites, and etc., and the viable titres counted after 72 hours of acclimation period to be of 9×10^8 c.f.u. g⁻¹. The cells attached on the surface of pores were observed by SEM. Levels of the titres were ranged between 7.3×10^8 and 1.2×10^9 during the period of operating the lab-scale biofiltration system <Model A-1>.

Efficiencies of malodor removal were tested by employing various bio-filtration systems which packed by chaffs of pine 70% and perlites 30%, and inoculated by mixtures of culture broth as above. Average rates of removal were: 97.8% for NH₃ gas and 93.1% for H₂S gas by the lab-scale system<Model A>; 96.1% for NH₃ and 91.1% for H₂S by the pilot-scale system<Model B>; 95.6% for NH₃ and 82.4% for H₂S by the pilot-scale system<Model C> for the minimized pigsty; 89.5% for NH₃ and 78.2% for H₂S by the system<Model C> for the pigsty. Additional inoculations were not necessary, because other mal-

odor compounds such as mercaptans and VFA's were eliminated simultaneously by the systems.

4. Development of the packing materials for biofilter

Packing materials which have the appropriate properties such as high specific surface area, minimal back pressure, suitable surface for the attachment of microorganisms and low prices were selected by employing a lab-scale biofiltration system.

A. Design and construction of a lab-scale biofiltration system

Specifications for the lab-scale biofiltration system<Model A> were: column, 18,000 cm³ and Φ 120×450 mm; plenum chamber, 300×300×200 mm; sensor, 6 channels multi-point air velocity meter; pressure gage, 0~2 kgf/cm².

B. Selection of the packing materials

It was considered that major materials were chaffs of pine, swollen rice hulls, coconut peats, and minor materials were perlites and rice straws to reduce the back pressure, zeolites and active carbons to increase the adsorption efficiency, and composts to supply nutrition for microorganisms.

Malodor adsorption efficiency of single material : Adsorption efficiencies of coconut peats and chaffs of pine against ammonia gas were superb: the adsorption amounts of NH₃ per unit volume were 0.158 and 0.112 ℓ /cm³ for coconut peats and chaffs of pine. While those of perlites and rice hulls against hydrogen sulfide gas were superb: 0.02 and 0.016 ℓ /cm³ for perlites and rice hulls.

Malodor adsorption efficiency of mixed material : The adsorption amounts of NH₃ per unit volume were: 0.123 ℓ / cm^3 for the mixture of coconut peats, 70% and perlites, 30%; and 0.111 ℓ / cm^3 for that of chaffs of pine, 70% and perlites, 30%. The adsorption amounts of H₂S per unit volume varied within a range of 0.014 to 0.020 ℓ / cm^3 . Chaffs of pine were chosen for major material, because those were available in domestic markets in low prices; perlites were chosen for minor one.

Particle sizes of materials and use of composted chaffs of pine : Effects of particle sizes of the mixed materials on performance of the biofiltration system <Model A> were investigated. Variations of air velocity and static pressure drop were minimal in the system when the sizes of materials were: 9.5~13.2 mm for chaffs of pine, and 2.4~5.0 mm for perlites. Performance and adsorption efficiency of the system were improved when the major material substituted by the composted chaffs of pine instead of ordinary ones.

Efficiency of malodor removal : Average rates of removal were: 97.8% for NH₃ gas and 93.1% for H₂S gas by the lab-scale system <Model A>, when the system was packed by composted chaffs of pine, 70% and perlites, 30%, and inoculated by mixtures (50% : 50%, v/v) of culture broth of the strains, *Rhodococcus equi* A3 and *Alcaligenes* sp. S5-5.2.

5. Development of biofiltration system

A pilot-scale system and a spot-experimental systems were designed and assembled, and tested for their operation parameters. Then a standard bio-filtration system which can be applied to 330 m² scale of sow house.

A. Pilot-scale biofiltration system

Design of a pilot-scale biofiltration system<Model B> : According to the detailed specifications, the system<model B> was designed and assembled. The specifications of column, water supply device, manometer, ID FAN, sensor, and etc. were calculated for their volume, size, material, density, air velocity, and power requirements. General features of the column were: volume, 6 m³/min (tandem type 2 ea); size, $\Phi 850 \times 2200$ mm; material, STS 304 or FRP; volume of filling material, 1 m³; density, 144 kg/m³.

Efficiency of malodor removal : When the column was packed by chaffs of pine 70% and perlites 30% which inoculated by mixtures (50% : 50%, v/v) of culture broth of the strains, A3 and S5-5.2, average rates of removal were: 96.1% for NH₃ and 91.1% for H₂S. In no-pressure drop situation, the optimum air velocity, 0.09 m/s, was attained when the frequency of power for ID FAN was approximately 40 Hz.

B. Spot-experimental biofiltration system

Design of a spot-experimental system<Model C> : Features of the system were: column - volume 18,580 cm³, size $\Phi 260 \times 350$ mm; pressure drop gage, 0~300 mmAq; turbo blower - outlet volume 1.5 CMM, pressure 2,000 mmAq, torque 1,500 mmAq; control program. CVI 5.5; gravimetric system, 0~90 kgf (1/9000 kg f); sensor (Ganomax Model 6112), 0.1~100.0°C with 0.01~50.0 m/s.

Efficiency of malodor removal for the minimized pigsty : Average rates of removal were: 95.6% for NH₃ and 82.4% for H₂S by the pilot-scale system <Model C>, when the system operated for the minimized pigsty.

Efficiency of malodor removal for the pigsty : When the system operated for the pigsty, the inlet concentrations of gases were 18~28 ppm for NH₃ and 4~9 ppm for H₂S, and the outlet concentrations were 1~4 ppm for NH₃ and 1~3 ppm for H₂S. Therefore the average rates of removal were calculated as

89.5% for NH₃ and 78.2% for H₂S.

C. A standard biofiltration system for the windowless sow house

A practically applicable biofiltration system was designed for a windowless sow house with 330 m² scale. Because a sow house with 330 m² scale can accommodate approximately 40 parturition pen or cage, the capacity of ventilation was calculated as 3.96 m³/s for summer season. As bases on the capacity of ventilation, the dimension of packing column was determined as W2×D18.3×H1 m with volume of 39.6 m³.

6. Economic analysis

The costs for installation and management of the windowless sow house which designed at the previous chapter were estimated, and then monthly expenses for operation of the biofiltration system were calculated, taking account of depreciation of the facilities.

Packing materials : ₩2,534,400 which include ₩1,108,800 for 27.72 m³ of the composted chaffs of pine and ₩1,425,600 for 11.88 m³ of perlites.

Structures of the biofiltration system (external and internal structure) : sum of ₩7,300,000 which include ₩2,000,000 for construction of wired concrete structure, ₩1,300,000 for water supply system, and ₩4,000,000 for bottom mash and wages.

Microbial inoculant : ₩2,400,000~3,600,000 for 3,520 litres of culture broth which obtained by cultivation of the bacterial strains in a fermentor.

Electricity : ₩254,400 for a month (the 3rd grade for farm).

Maintenance : none, because it can be included to regular wage for animal care.

Depreciation : ₩730,000 for a year or ₩60,800 for a month, assuming that the biofilter structure is durable for 10 years.

Monthly expenses for operation of the biofiltration system : ₩776,400 for a month, assuming that the packing materials are durable for 12 months.

7. Suggestions for practical application of the biofiltration system

As far, the major concerns in the field of animal industry appear to be the problems related to waste treatments but not malodor removals. However, as the Air Pollution Control Act is gradually reinforced, there will be a growing need for the air-cleaning system in animal industries. So the public interests could be guaranteed such as reduced air pollution, improved public health, enhanced living conditions and working environments. It appears to be necessary to help people engaged in animal industry understand the reality of malodor problems and shift their thoughts. Accordingly, the opportunities for education and promotion should be increased, and financial aids should be made to the farmers for installation of such systems.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	33
Section 1. Necessities of the Research and Development	33
1. Scientific and Technological Aspects	33
2. Economic and Industrial Aspects	34
3. Social and Cultural Aspects	35
Section 2. Objectives and Scope of the Research and Development	35
1. Isolation of Microorganism for Malodor Removal	35
A. Selection of the Target Malodorous Compounds	35
B. Bacterial strains for Inoculant of Biofilter	36
C. Cultivation Methods for Cell Mass Production	36
D. Attachment of Bacteria on Biofilter Materials	36
2. Development of Biofilter System for Malodor Removal	37
A. Characterization of Biofilter Materials	37
B. Selection of Biofilter Materials	37
C. Design and Assembly of Biofiltration System	37
D. Performance Test of Pilot-scale Biofiltration System	38
E. Economic Analysis for Biofiltration System	38
Section 3. Periods of the Research and Development	39
Chapter 2. Current Status of the Research and Development	40
Section 1. Domestic Status	40
Section 2. Foreign Status	40
Chapter 3. Contents and Results of the Research and Development	43
Section 1. Contents and Methods	43
1. Microbiological Methods	43
A. Media	43
B. Isolation of Microorganisms for Malodor Removal by Enrichment Techniques	45
1) Samples for Isolation	45
2) Enrichment Cultivation	45
3) Isolation and Selection of Ammonia-oxidizing Bacteria	46

4) Isolation and Selection of Sulfur-oxidizing Bacteria	46
C. Identification and Classification of the Bacterial Strains	48
1) Analysis of Cellular Fatty Acid Profile	48
2) Phylogenetic Analysis according to 16S rDNA Sequence	50
D. Operation of Fermentor	52
E. Determination of Bacterial Growth	52
F. SEM	52
2. Experimental Animals and their Managements	52
A. Experimental Animals	53
1) Cattle	53
2) Pig	53
3) Poultry	53
B. Managements of the Experimental Animals	54
3. Physicochemical Methods	54
A. Chemical Analysis	54
1) General Composition	54
2) Nitrogen Compounds	54
3) Sulfate Ions	55
B. Analysis of Odorous Compounds	55
1) Pretreatment of Animal Feces	55
2) Extraction of Odorous Compounds	55
3) Analysis of Odorous Compounds	56
C. Enzymatic Methods	58
1) Hydrogen Sulfide Oxidase Assay	58
2) Purification of the Enzyme	59
4. Design, Assembly and Operation of Biofiltration Systems	59
A. Lab-scale Biofiltration System <Model A> and Packing Materials	59
1) Design and Construction of the Lab-scale Biofiltration System	59
2) Selection of Single Materials	62
3) Operation of the Lab-scale Biofiltration System	66
4) Selection of Mixed Materials	70
5) Particle Sizes of the Materials	71
6) Use of Composted Chaffs of Pine	76
B. Pilot-scale Biofiltration System <Model B>	77
1) Design and Assembly of the System <Model B>	77

2) Performance Tests of the System <Model B> in no-pressure drop situation	83
3) Test of Malodor Removal by the Mixed Materials utilizing the System <Model B>	84
C. Spot-experimental Biofiltration System <Model C>	84
1) Design and Assembly of the System <Model C>	84
2) Test of Malodor Removal by the Mixed Materials utilizing the System <Model C>	90
Section 2. Results and Discussions	92
1. Chemical Composition of Livestock Malodor	92
A. Malodor Compounds in Livestock Feces	92
B. Malodor Compounds in Livestock Houses	97
C. Comparison of Malodor Compounds in Various Livestock Feces	97
2. Selection of Target Malodor Compounds	99
3. Isolation and Selection of Microorganisms for Malodor Removal	101
A. Isolation of the Microorganisms	101
B. Ammonia-oxidizing Bacteria	101
C. Hydrogen Sulfide-oxidizing Bacteria	103
D. Identification of the Selected Strains	103
1) Ammonia-oxidizing Bacteria	103
2) Hydrogen Sulfide-oxidizing Bacteria	107
4. Cultural Properties and Cell Mass Production of the Selected Bacterial Strains	113
A. Ammonia-oxidizing Bacteria	113
B. Hydrogen Sulfide-oxidizing Bacteria	113
5. Attachment and Immobilization of the Bacterial Strains on Biofilter Materials	119
A. Compatibilities of the Bacterial Strains	119
B. Attachment and Immobilization on Biofilter Materials	120
1) Lab-scale Biofiltration System	120
2) Pilot-scale <Model B> and Spot-experimental Biofiltration System <Model C>	121
C. Efficiency of Malodor Removal	121
1) Lab-scale Biofiltration System	121

2) Pilot-scale <Model B> and Spot-experimental Biofiltration System <Model C>	122
6. Lab-scale Biofiltration System <Model A> and Packing Materials	125
A. Performance of the Lab-scale System	125
B. Malodor Adsorption Efficiencies of the Single Materials	125
C. Malodor Adsorption Efficiencies of the Mixed Materials	128
D. Attachment of the Bacterial Strains	130
E. Rates of Malodor Removals by the Mixed Materials which inoculated by of the Bacterial Strains	132
F. Particle Sizes of the Mixed Materials	132
G. Use of Composted Chaffs of Pine in Mixed Materials	134
7. Pilot-scale Biofiltration System <Model B>	139
A. Performance of the Pilot-scale Biofiltration System	139
B. Performance of the System in no-pressure drop situation	139
C. Efficiencies of Malodor Removals by the Mixed Materials	140
8. Spot-experimental Biofiltration System <Model C>	143
A. Performance of the Spot-experimental Biofiltration System	143
B. Efficiencies of Malodor Removals by the System <Model C> when tested for Minimized Pigsty	144
C. Efficiencies of Malodor Removals by the System <Model C> when tested for Pigsty	148
D. Economic Analysis	155
1) Background and Criteria for Estimation of Expenses	155
2) Monthly Expenses for Operation of a Biofiltration System for the Pigsty with Area of 330 m ²	157
 Chapter 4. Achievements and Contributions	160
Section 1. Achievements of the Objectives	160
1. Selection and Choice of the Target Compounds	160
2. Selection of the Bacterial Strains for Malodor Removal	160
3. Immobilization on the Materials and Malodor Removal Efficiencies of the Bacterial Strains	160
4. Selection of Biofilter Materials	161
5. Developments of Biofiltration System	161
6. Economic Analysis	161

Section 2. Contributions to the Related Field of Research and Development	163
1. Analytical Techniques for Malodor Compounds	163
2. Bacterial Strains for Malodor Removal	163
3. Biofilter Materials and Biofiltration System	163
Chapter 5. Application of the Results	164
1. Settlement of the Title to an Intellectual Property	164
2. Transfer of the Resulted Technologies to Related Industries	164
3. Education and Promotion for the Animal Industries	164
Chapter 6. Nobel Informations from Foreign Researches	165
1. Types of Biofiltration System	165
A. Down-flow System	165
B. Up-flow System	165
C. Biofilters for Solid Wastes	165
2. Bacterial Strains Patented Recently	166
3. Biofilters and Bioreactor for Waste Water	166
Chapter 7. References	168
Acknowledgements	174
Appendix	175

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	33
제 1 절 연구개발의 필요성	33
1. 기술적 측면	33
2. 경제·산업적 측면	34
3. 사회·문화적 측면	35
제 2 절 연구개발의 목표 및 범위	35
1. 탈취용 미생물균주의 개발	35
가. 축산악취 물질중 표적 성분의 선정 및 분석방법의 표준화	35
나. 바이오필터 집중용 악취저감 미생물의 개발	36
다. 선발균주의 대량 배양방법 구명	36
라. 미생물 균체의 바이오필터 충전재에서의 정착성 확인	36
2. 사양관리 및 바이오필터를 이용한 축산악취 제거 시스템의 개발	37
가. 바이오필터 충전재 특성 분석	37
나. 바이오필터 충전재의 선정	37
다. 바이오필터 시스템의 최적 설계 및 제어	37
라. 바이오필터 시스템의 시작기 제작 및 성능시험	38
마. 바이오필터 시스템의 경제성 분석	38
제 3 절 연구기간	39
제 2 장 국내외 기술개발 현황	40
제 1 절 국내 기술개발 현황	40
제 2 절 국외 기술개발 현황	40
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	43
제 1 절 연구수행 방법 및 내용	43
1. 미생물학적 방법	43
가. 사용배지	43
나. 집식배양에 의한 악취저감 미생물의 분리	45
1) 분리원	45
2) 집식배양	45
3) 암모니아 산화균의 분리	46
4) 황 산화균의 분리 및 선발	46

다. 세균의 분류동정	48
1) 지방산 조성의 분석	48
2) 16S rDNA에 의한 분리균주의 계통분석	50
라. 발효조의 운용	52
마. 생육속도의 측정	52
바. 전자현미경 검경	52
2. 실험가축 및 사양 방법	52
가. 실험가축	53
1) 소	53
2) 돼지	53
3) 닭	53
나. 가축의 사양관리	54
3. 이화학적 방법	54
가. 화학성분의 분석	54
1) 일반성분	54
2) 질소성분	54
3) 황산이온	55
나. 휘기성분의 분석	55
1) 축분시료의 처리	55
2) 분석시료의 전처리	55
3) 휘기성분의 분석	56
4) 전자코에 의한 축사악취의 식별	58
다. 효소학적 방법	58
1) 황화수소산화효소의 활성화도 측정	58
2) 효소의 정제	59
4. 바이오필터 시스템의 설계·제작 및 운용 방법	59
가. Lab-scale 바이오필터<모델 A> 및 충전재	59
1) Lab-scale 바이오필터 시스템 설계	59
2) 단일 충전재의 선발	62
3) Lab-scale 바이오필터 시스템의 구성 및 운용	66
4) 혼합재료의 악취제거특성 실험	70
5) 충전재의 입자크기	71
6) 부속수피를 이용한 혼합충전재	76
나. Pilot-scale 바이오필터<모델 B>	77
1) Pilot-scale 바이오필터 시스템	77

2) 무부하 상태에서의 시스템<모델 B>의 성능실험	83
3) 시스템<모델 B>를 이용한 혼합충전재의 성능시험	84
다. 현장실험용 바이오필터<모델 C>	84
1) 현장실험용 바이오필터 시스템의 설계	84
2) 현장실험용 시스템<모델 C>을 이용한 혼합충전재의 성능시험	90
제 2 절 결과 및 고찰	92
1. 축산악취의 화학성분	92
가. 축분의 악취성분	92
나. 축사의 악취성분	97
다. 축종간 축분악취의 유사성	97
2. 표적 악취성분의 선정	99
3. 악취저감 미생물균주의 분리 및 우수균주의 선발	101
가. 악취저감 미생물균주의 분리	101
나. 암모니아 산화균	101
다. 황화수소 산화균	103
라. 분리균주의 동정	103
1) 암모니아 산화균	103
2) 황화수소 산화균	107
4. 악취저감균의 생육특성 및 대량배양	113
가. 암모니아 산화균	113
나. 황화수소 산화균	113
5. 악취저감균의 바이오필터 정착성	119
가. 악취저감균의 상호 공존성	119
나. 바이오필터에의 정착성	120
1) Lab-scale 바이오필터 시스템	120
2) Pilot-scale 및 현장실험용 바이오필터 시스템	121
다. 악취제거 효율	121
1) Lab-scale 바이오필터 시스템	121
2) Pilot-scale 및 현장실험용 바이오필터 시스템	122
6. Lab-scale 바이오필터<모델 A> 및 충전재 개발	125
가. Lab-scale 바이오필터 시스템의 작동특성	125
나. 단일충전재의 악취흡착 성능	125
다. 혼합충전재의 악취 흡착성능	128

라. 악취제거 미생물균주 정착특성	130
마. 미생물 균주를 접종한 혼합충진재의 악취제거특성	132
바. 혼합충진재의 입자크기	132
사. 부숙수피를 이용한 혼합충진재	134
7. Pilot-scale 바이오필터<모델 B>	139
가. Pilot-scale 바이오필터 시스템의 작동특성	139
나. 무부하상태에서 pilot-scale 바이오필터 시스템의 성능	139
다. 혼합충진재의 악취제거 성능	140
8. 현장실험용 바이오필터<모델 C>	143
가. 현장실험용 바이오필터 시스템의 성능	143
나. 모형돈사에서 현장실험용 바이오필터 시스템을 이용한 혼합충진재의 악취가스 제거성능	144
다. 실제돈사에서 현장실험용 바이오필터 시스템을 이용한 혼합충진재의 악취가스 제거성능	148
라. 경제성 분석	155
1) 배경 및 기준 설정	155
2) 월간 운용비용 산정	157
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	160
제 1 절 연구개발 목표의 달성도	160
1. 표적 악취성분의 선정	160
2. 악취저감 유용미생물 균주의 개발	160
3. 악취저감균의 정착성 및 악취제거 효율	160
4. 바이오필터 충진재의 개발	161
5. 바이오필터 시스템의 개발	161
6. 경제성 분석	161
제 2 절 관련분야에의 기여도	163
1. 악취성분의 분석기술	163
2. 악취저감 유용미생물	163
3. 바이오필터 충진재 및 바이오필터 시스템	163
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	164
1. 지적재산권의 확보	164
2. 신기술 이전으로 벤처기업을 지원함으로써 산업화 또는 기업화에 기여	164
3. 축산단지·조합 및 농가에 운전기술의 보급·교육 및 홍보	164

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학 기술정보	165
1. 바이오필터의 형식	165
가. 하향류 방식	165
나. 상향류 방식	165
다. 고품폐기물에서 발생하는 악취제거용 바이오필터	165
2. 새로운 바이오필터용 미생물 균주	166
3. 기타 폐수처리용 바이오필터	166
제 7 장 참고문헌	168
감사의 글	174
부록	175

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

축산시설에서 발생하는 악취가스중 혐오감을 주는 것은 황화수소 H₂S, 메틸 메르캅탄 CH₃SH, 이황화메틸 (CH₃)₂S₂ 등의 유황계 화합물과 암모니아 NH₃, 아민류 (CH₃)₃N 등의 암모니아계 그리고 acetic acid, propionic acid, valeric acid 등의 저급지방산이 주를 이루고 있다.

이러한 악취의 제거방법으로는 냉각응축, 고온산화 (열소각), 촉매산화, 흡착, 생물학적 처리법등이 시도되어 왔다. 냉각응축법은 고농도의 악취물질 제거에는 경제성면에서 시설비와 운영비가 많이 드는 단점이 있으며, 흡착법도 흡착제 (adsorbent)의 최종처리 및 교체로 인하여 비경제적인 단점이 있다. 촉매산화법은 경제성은 있으나 촉매산화시 납, 비소, 황 안티몬, 수은, 아연, 철산화물 또는 다른 촉매유도체를 포함하는 배출가스는 촉매의 활성을 급격히 저하시키므로 전처리 과정을 거쳐야 하는 등 문제점이 따른다.

생물학적 처리 기술은 혼합 미생물군의 화학물질 분해능력을 이용하여 악취 물질을 제거하는 기술로서, 악취분해 미생물을 직접 사료에 첨가하는 생균첨가제나 아니면 충전재의 입자표면에 정착한 미생물에 의하여 악취성분을 분해시키는 생물막 탈취장치에 관심이 집중되고 있다.

본 연구에서는 축산시설에서 발생하는 악취물질을 효율적이고, 경제적으로 제거할 수 있는 생물학적 처리기술로써 생물막 탈취장치 즉 바이오필터 시스템과 그 축사용용 기술의 개발을 목표로 하고 있다.

1. 기술적 측면

생물막 탈취법 (biofiltration)은 악취물질의 농도가 매우 낮은 경우에도 악취 물질을 제거할 수 있으며, 물리화학적 처리기술보다 경제적이고 대규모 처리용량

을 갖는 장점이 있다 (Don, 1983). 일반적인 유기성 충전재료는 흡착성과 보습력이 좋아서 효율적이지만 접종미생물에 의한 자체분해와 무기화로 인하여 압밀이 진행되고 유속이 저하되는 단점이 있다 (Tang 등, 1996; Sorial 등, 1997). 따라서 바이오필터의 제거효율을 높이기 위해서는 다음과 같은 요건을 충족시키도록 개선되어야 하겠다.

첫째, 바이오필터용 충전재의 성능을 개선해야 한다.

- ① 대상물질을 효과적으로 처리하기 위한 미생물의 서식환경을 유지해야 한다.
- ② 표면적이 넓고, 압력손실은 낮아야 한다.
- ③ 충전재의 교체를 최소화하고 유지를 용이하게 하기 위해서 쉽게 압밀되지 않아야 하며, 분해 및 농축에 의한 공극의 막힘 현상이 없어야 한다.

둘째, 축산시설에서 발생하는 악취물질을 효과적으로 제거하기 위한 미생물(유황물질 분해균, 암모니아 분해균 등) 및 그 정착기술의 개발이 필요하다.

셋째, 실용화를 위한 기초적인 운전인자(최적 pH, 수분함량, 압력손실, 체류시간, 영양물질 공급, 최대제거용량 등)의 파악과 현장 적용기술의 개발이 요구된다.

2. 경제·산업적 측면

가축 사육중의 악취는 민원의 대상으로서 축산업 발전을 저해하며 직간접적인 경제적 손실과 사회 환경에 피해가 크다. 석유화학공장, 퇴비공장, 식품공장, 폐수 및 분뇨처리장 등에서도 악취의 문제가 있으므로 본 과제에 의해서 악취 제어 기술이 개발/상용화 될 경우 이러한 타산업 분야로의 확대 적용도 가능하다.

이를 위하여 처리효율과 경제성 분석이 필요하며 (Deshusses, 1993), 다음과 같은 사항이 고려된다. 즉:

- ① 악취가스의 유량, 온도와 상대습도
- ② 악취성분의 조성과 농도, 먼지의 함량

- ③ 요구되는 제거효율
- ④ 악취성분과 유량에 따른 생분해성
- ⑤ 운전방식 (연속 또는 간헐)

3. 사회·문화적 측면

축산업은 폐수 및 악취유발로 인해서 혐오시설로 인식되고 있는 만큼, 국가적으로 축산분야의 위축을 막고 농촌 및 축산농가의 생활환경을 개선하기 위하여, 악취 제거기술의 개발은 매우 중요하고 시급한 과제이다.

제 2 절 연구개발의 목표 및 범위

1. 탈취용 미생물균주의 개발

축산악취 유발성분을 구명하고 측정 및 분석기술을 확립하며, 생물막여과장치 즉 바이오필터에 접종할 미생물을 분리·선발하여, 그 대량배양 및 충전재 정착기술을 확립한다.

가. 축산악취 물질중 표적 성분의 선정 및 분석방법의 표준화

- 1) GC/MS, 검지관 및 기타 분석방법을 이용한 악취물질 분석 및 방법의 표준화
 - ▶ GC/MS : Trimethylamine, butyric · valeric acid, VOCs 등
 - ▶ 검지관 : NH₃, H₂S, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂
 - ▶ 기타 : Olfactory analysis, Electronic nose

- 2) 취기강도 (Threshold odor value) 이상을 배출하는 악취물질중 표적 성분의 선정
- 3) 사료 성분에 따른 악취물질 생성량 분석
 - ▶ 배설물중의 악취물질 분석 및 표적 성분의 조성 변화를 비교 분석
 - ▶ 사료의 영양소 수준에 따른 표적 성분의 변화

나. 바이오필터 집중용 악취저감 미생물의 개발

- 1) H₂S 분해균의 분리 및 선발 : *Thiobacillus*, *Pseudomonas*속 균주 포함
 - ▶ H₂S + 유황세균 → H₂SO₄
 - ▶ H₂SO₄ + 2NaOH → Na₂SO₄
- 2) NH₃ 분해균의 분리 및 선발 : *Nitromonas*, *Nitrobacter*속 균주 포함
 - ▶ NH₃ + 질화균 → HNO₃
 - ▶ HNO₃ + NH₄OH → NH₄NO₃

다. 선발균주의 대량 배양방법 구명

- 1) 배양 방법
 - ▶ 배지 및 배양조건
 - ▶ 고체 및 액체 배양법(발효조 사용)의 적용
- 2) 혼합제제를 위한 균주 상호간의 공존성 구명:
 - ▶ 단일 및 복합균주
 - ▶ 혼합 비율
 - ▶ 단일 및 복합균주, 또는 비특이적 활성오니의 잔사의 상호 공존성

라. 미생물 균체의 바이오필터 충전제에서의 정착성 확인

- 1) 충전제 및 첨가제에 대한 정착성 비교
- 2) 충전제와의 혼합 집중방법 및 정착조건 (비율, pH, 온도 등)

2. 사양관리 및 바이오필터를 이용한 축산악취 제거 시스템의 개발

축산농가 보급형의 악취제거 시스템을 개발하고자, pilot-scale 바이오필터를 이용하여 충전재의 개발, 미생물의 정착 및 최적운전조건 등을 확립하며, 사양실험을 통하여 발생하는 악취가스의 입·출구 농도가 가축사양의 최적환경을 유지할 수 있도록 포집시설을 설계하고 그 경제성을 분석한다.

가. 바이오필터 충전재 특성 분석

각종 재료를 대상으로 밀도, 함수율, 공극률 등의 특성 분석 및 송풍시의 송풍량에 따른 정압 등을 계측한다.

- ▶ 주재료 : 목재수피, 왕겨, 코코넛피트 등
- ▶ 첨가제 : 펠라이트, 펠렛 활성탄, 벚짖, 유기질비료 등
- ▶ 조 건 : 악취제거율 90%<, 공극률 50%<, 악력손실 250kPa>, 충전밀도 500kg/m³>

나. 바이오필터 충전재의 선정

표적 성분에 대한 실험실 규모의 미생물 정착실험을 통해 최적 충전재를 선정한다.

- ▶ 충전재별 미생물의 생육상태 조사분석
- ▶ 생육기간에 따른 충전재별 공극률 분석
- ▶ 충전재의 공극률과 송풍 소요동력의 상관관계 분석
- ▶ 충전재의 수명분석 및 유지관리에 소요되는 비용분석

다. 바이오필터 시스템의 최적 설계 및 제어

축사내 가축의 생육과 위생에 해를 미치지 않는 악취가스량을 계산하여 inlet 와 outlet의 양이 최적사양을 위한 환경수준을 유지할 수 있도록 포집시설을 설계하였다.

- ▶ 바이오필터 시스템의 설계인자 규명
- ▶ 미생물의 최적 생존조건 자동 제어 시스템 설계
- ▶ 유속유지를 위한 플라스틱 구조물 설치검토
- ▶ 자동 제어 시스템 : feedback control system 알고리즘 적용
- ▶ 최적 설계 조건 : 고정비와 변동비의 최소화
- ▶ 동절기 운용을 위한 보온장치 및 설비

라. 바이오필터 시스템의 시작기 제작 및 성능시험

1) Pilot-scale 바이오필터의 제작

- ▶ 실험축사 규모의 시작기 설계
- ▶ 시작기에서의 접종미생물의 유지상태 조사분석
- ▶ 바이오필터의 제작 및 설치 (충전재별 최소 3종/ 충남대학교 동물사육장 돈사)
- ▶ 입기 악취 수준과 배기 악취 수준을 계측

2) 바이오필터 시스템의 성능 시험

- ▶ 바이오필터에서의 접종미생물의 생존율 분석
- ▶ 최적 조건하에서 비육돈 40두 규모의 돈사에 적합한 시작기 설계
- ▶ 계절별 입기 공기와 배기 공기의 악취 수준 계측
- ▶ 시작기의 문제점 분석 및 미비점 보완

마. 바이오필터 시스템의 경제성 분석

- ▶ 시작기의 시험성적 분석
- ▶ 바이오필터 시스템의 고정비와 변동비 분석
- ▶ 제작비용 및 유지관리 비용의 최소화 방안 구명

제 3 절 연구기간

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2001.8. ~ 2002.8.)	○축산시설 악취유발 물질중 표적성분 선정	▶GC/MS, 검지관 및 기타 분석방법을 이용한 악취물질 분석 및 결과해석 ▶사료 성분에 따른 악취물질 생성량 분석
	○악취저감 미생물 균주 개발	▶H ₂ S, NH ₃ 분해균의 분리 ▶활성오니 <기반연구 및 모델 정립> ▶배양방법 및 생존율 증가를 위한 담체 개발
	○Biofilter 충전재 개발 ○Biofilter 설계인자구명	▶충전재의 선택 및 혼용비율 검토 <모델정립> - 악취제거율 90%</- 공극률 50%< - 압력손실 250kPa>/- 충전밀도 500kg/m ³ > ▶미생물균체의 충전재 정착성 및 접종조건
2차년도 (2002.8. ~ 2003.8.)	○미생물균주의 대량 배양방법 구명	▶배양 방법 - 배지 및 배양조건 - 고체 및 액체 배양법(발효조 사용)의 적용 ▶혼합제제를 위한 균주 상호간의 공존성 구명 - 단일 및 복합균주/ 혼합 비율 - 단일 및 복합균주, 또는 비특이적 활성오니 잔사의 상호 공존성
	○Biofiltration System 운전 및 설계인자 선정 ○Pilot plant 제작	▶설계 parameter - 적정 압력손실/- 최적 pH 및 수분함량 - 최대 제거부하량 - 최적 풍량(Space velocity)/ 보온설비 ▶그림 2 참조 <시작품 제작>
3차년도 (2003.8. ~ 2004.8.)	○미생물 균체의 Biofilter 충전재에서의 정착 및 유효기간 구명	▶충전재 및 첨가제에 대한 정착성 비교 ▶충전제와의 혼합 접종방법 및 정착조건 - 혼합비율/- 습도(수분활성도)/- pH, 온도
	○악취물질 포집시설 설계 및 문제점 보완 실험	▶돈사 및 계사 악취물질 포집시설 설계 - 적정 압력손실, 최대 제거부하량 - 최적 pH 및 수분함량 control - 최적 풍량(Space velocity) <시작품 제작 및 현장 적용>
	○Biofiltration system의 경제성 분석	▶고정비, 변동비 분석 및 유지관리 비용의 최소화

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

국내의 바이오필터 연구를 살펴보면 주로 VOC's의 제거를 목표로 진행되어 왔으며, 황화수소의 제거를 위한 부속낙엽 충전재에 대한 시험 [Park 등, 1999], 산업폐수의 악취제거를 위하여 미생물을 다공성 세라믹스에 고정하는 시험 [Chung 등, 1991; 최, 1995], 유황계 악취제거 [Weon 등, 1995], 활성토탄을 이용한 암모니아의 제거 [Chung 등, 1994]에 관한 연구가 있다. 이 외에도 폐수처리 기술로서 미생물과 담체를 이용하는 기술 [Cha 등, 1993; 코오롱 엔지니어링(주), 1997]가 있다. 그러나 축산악취를 대상으로 한 연구는 매우 희소한 실정으로 악취의 성분 및 발생량을 정량적으로 분석할수 있는 방법의 표준화가 이루어져 있지 않을 뿐 아니라, 그 제거 및 경감을 위하여 사료첨가제가 개발되어 있으나 만족할 만한 효과를 얻지 못하고 있다. 바이오필터에 관하여는 축산악취의 성분조성에 따른 미생물 접종제를 조절하는데 필요한 단일 또는 혼합균주의 비율 및 조건, 충전재 등에 관하여 연구되어 있지 않으므로, 국내 현장에 적합한 기술의 개발과 적용이 요구된다.

제 2 절 국외 기술개발 현황

미국의 경우 최근 Iowa 주립대 (축산환경조절실/ Xin), Purdue대 (농업대기연구실 PAAQL/ Herber), North Carolina주립대 (A&T Cooperative Extension) 등을 중심으로 축산악취에 관한 연구가 활발하다. 특히 PAAQL에서는 olfactometer에 의한 농업악취의 정량 및 평가방법의 확립([1995], 돈사의 실내 대기오염 발생 [1998] 및 조절 등에 관한 다수의 논문을 발표하고 있다. 유럽과 미국에서는 VOCs

처리에 바이오필터를 활용하고 이에 대한 설계 및 운전기술을 확보한 상태이며, 일본도 분뇨 및 하수처리장에 바이오필터 시스템의 적용을 서두르고 있다.

1996년 캐나다의 Clean Technology Advancement Division에서는 대기오염방지기술 (Air Pollution Control) 분야의 가장 사업적으로 전망있는 다음의 기술분야를 선정한바 있다. 캐나다가 네덜란드의 용역전문회사 Mcllvaine에 의뢰한 바이오필터의 시장규모는 1994년에 6~9백만 US dollar, 1996년에 7~10백만 US dollar, 1997년에 12백만 US dollar로 계산하였으며 추후 기술개발이 진행됨에 따라 증가폭은 훨씬 더 클것으로 예측하고 있다 (Kosteltz and Finkelstein, 1996).

- Expert control systems - for pollution prevention
- Regenerative scrubbers for SO₂, NO_x, and VOCs control
- Biomedical waste incineration/ alternative technologies
- Cold selective catalytic reduction (catalysts)
- Ceramic applications in combustion
- Advanced fine particle removal
- Carbon dioxide recovery

Table 2.2.1. Current status of the domestic and foreign R&D on odor control

국 내	국 외
<ul style="list-style-type: none"> ● 하수처리장 악취의 경제적인 제거방안 연구 [건기원, '89] ● 분변토를 이용한 유해/악취 가스제거 [배우근, 송준상 등, '95/ 토양생물을 이용한 유기성슬러지 처리기술 개발에 관한 연구 (G-7, 국립환경연구원, '92-'95)] ● 혐기조 및 토양탈취상을 이용한 하수처리장 악취제거 [건기원, '93] ● 분변토 Biofilter를 이용한 Trimethylamine 의 제거 [이성택, '96] ● 악취공해저감을 위한 생물학적 유황계 혼합취기 물질 제거 연구 [박상진, 조경숙, 동양물산, G-7, '97] ● 유황계와 질소계 혼합악취의 제거 기술에 관한 연구 [박상진, 조경숙, 과학재단, '97] ● 생물탈취상 충전재료에 따른 매립가스 처리효율 비교 [남궁완, '97] ● 돈사에서 발생하는 악취 및 유해가스 제거 system 개발 [최형송, '99] 	<ul style="list-style-type: none"> ● Soil bioreactor내에서 토양 휘발성 지방족 탄화수소의 분해 (first-order kinetics) [Kampbel & Wilson, '87] ● 돈사에서 발생하는 휘발성 지방산의 생분해에 관한 연구 (Zero-order kinetic) [Caunt & Hester, '89] ● Peat biofilter에 분뇨슬러지 접촉에 의한 DMDS 분해효율증가, pH 저하에 의한 제거효율감소 [Cho, Shoda 등, '91] ● GAC를 이용한 VOC 제거: first-order kinetics, 제거율은 오염물질 부하량에 지배 [Hodge 등, '92] ● Biofilter를 이용한 Ketone류의 생물학적 분해 [Deshusses, '93] ● Compost biofilter를 이용한 혼합 VOC 제거연구 [Ergas등, '95] ● Compost biofilter에서 Hexane제거에 미치는 영양분의 제한인자에 관한 연구 [Morgenroth, '96] ● Biolayer에서 diffusion limitation을 고려한 model 연구 [Ottengraf & Van Den Over'83] ● TEA 제거에 media, operation condition의 영향연구 [Tang 등, '96] ● Two-phase(solid/water)을 고려한 model [Hodge, Devinnny '91, '92, '95]

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구수행 방법 및 내용

축산 악취성분중 목표 화합물을 선정하고 그 분석방법의 표준화하고자 돈사, 계사, 우사 등의 각종 축사와 돈분, 계분, 우분 등의 각종 축분 - 생축분 및 부숙 축분 - 의 휘기성분을 분석 평가하였다.

이러한 목표 화합물을 분해할수 있는 미생물 즉 악취저감 균주를 자연계로부터 분리·선발하고 상호 길항성 및 바이오필터 충전재에서의 정착성을 검토하여 바이오필터 시스템에 적용할 수 있도록 배양방법을 연구하였다.

축사에 적용할 수 있는 바이오필터 시스템을 개발하고자, 모두 3가지의 모델을 설계·제작·운용하였다. 시스템<모델 A>는 Lab-scale 바이오필터 시스템으로서 코코넛, 소나무수피(일반수피), 펄라이트 등으로 단일충전재 및 혼합충전재의 성능시험과, 일반수피를 포함하는 혼합재료의 입자크기 별 비교시험, 그리고 부숙수피를 포함하는 혼합충전재의 성능실험을 수행하였다. <모델 B>는 Pilot-scale 바이오필터 시스템으로서 비교적 대용량에서 혼합충전재의 악취제거 성능시험을, <모델 C>는 현장실험용 바이오필터 시스템으로서 모형돈사와 실제돈사에서 성능실험을 각각 수행하였다. <표 3.1.1.>에 각 바이오필터 시스템의 설계·제작 기간, 성능시험기간 및 성능시험 내용을 정리하여 나타내었다.

1. 미생물학적 방법

가. 사용배지

<NB/NA> Nutrient broth/ agar : Beef extract 10g, Bacto peptone 10g, agar 16g/L, pH 7.0

Table 3.1.1. Schedules for operation of the biofilter systems <Model A, B, and C>

Model	Period of design and manufacture	Period of test	Remarks
<A>	2001. 12. ~ 2002. 4.	2002. 6. ~ 2003. 5.	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 바이오필터 시스템<A>의 특성시험 ▷ 단일충전재의 성능비교 ▷ 혼합충전재의 성능비교 <ul style="list-style-type: none"> - 혼합비율(수피 : 펄라이트) - 입자크기 - 부속수피의 적용
	2003. 3. ~ 2003. 7.	2003. 8. ~ 2003. 10.	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 바이오필터 시스템의 특성시험 ▷ 혼합충전재의 성능시험
<C>	2003. 11. ~ 2004. 4.	2004. 4. ~ 2004. 7.	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 바이오필터 시스템<C>의 특성시험 ▷ 모형돈사에서 성능시험 ▷ 실제돈사에서 성능시험

<TSA> Tryptic soy broth/ agar : Tryptone 17g, soytone 3g, dextrose 2.5g, NaCl 5g, K₂HPO₄ 2.5g, agar 1.6g/L, pH 7.3

<G> Glucose-cholesterol : NaNO₃ 2.0g, K₂HPO₄ 1.0g, KCl 0.5g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5g, glucose 5.0g, cholesterol 30g/L, pH 7.3

<C> Casein-cholesterol : (NH₄)₂SO₄ 2g, K₂HPO₄ 2g, MgSO₄ · 7H₂O 0.2g, CaCl₂ · 2H₂O 0.1g, FeSO₄ · 7H₂O 0.01g, cholesterol 0.5g/L, pH 7.0

<S> Nitrosomonas : (NH₄)₂SO₄ 1.32g, MgSO₄ · 7H₂O 380.0mg, MnC₂ · 4H₂O 200.0mcg, Na₂MoO₄ · 2H₂O 100.0mcg, CoCl₂ · 6H₂O 2.0mcg, ZnSO₄ · 7H₂O 100.0mcg, K₂HPO₄ 87.0mcg, Phenol red 0.25ml, Chelated iron (Geigy Chem. 13% iron) 1.0mg/L, pH 7.5

<T> *Thiobacillus* : Yeast extract 1g, Na₂S₂O₃ · 5H₂O 5g, KH₂PO₄ 1.5g, Na₂HPO₄ 4.5g, , MgSO₄ · 7H₂O 0.1g, NH₄Cl 0.3g, sodium aspartate 1g/L, pH 6.0

<A1> NH₃산화세균 배지<1> : (NH₄)₂SO₄ 0.5g, Na₂HPO₄ 13.5g, KH₂PO₄ 0.7g, MgSO₄ · 7H₂O 0.1g, CaCl₂ · 2H₂O 0.18g, NaHCO₃ 0.5g, FeCl₃ · 6H₂O 0.014g/L

<A2> NH₃산화세균 배지<2> : (NH₄)₂SO₄ 2.5 or 2.0g, K₂HPO₄ 0.5g, MgSO₄ · 7H₂O 0.05g, CaCl₂ · 2H₂O 4mg, Fe-EDTA 0.1mg/L, pH 8.0

<N1> NO₂산화세균 배지<1> : NaNO₂ 0.5g, Na₂HPO₄ 13.5g, KH₂PO₄ 0.7g, MgSO₄ · 7H₂O 0.1g, CaCl₂ · 2H₂O 0.18g, NaHCO₃ 0.5g, FeCl₃ · 6H₂O 0.014g/L

<N2> NO₂산화세균 배지<2> : NaNO₂ 2g, K₂HPO₄ 0.5g, MgSO₄ · 7H₂O 0.05g, CaCl₂ · 2H₂O 4mg, Fe-EDTA 0.1mg/L, pH 8.0

<N3> NO₂산화세균 계수배지<3> : NaNO₂ 0.05g, K₂HPO₄ 1g, MgSO₄ · 7H₂O 0.1g, NaCl 0.3g, FeSO₄ · 7H₂O 0.03g, CaCO₃ 1g/L

나. 집식배양에 의한 악취저감 미생물의 분리

1) 분리원

- 가) 유기질 비료 : 돈분 및 계분퇴비, 수피 및 피트퇴비
- 나) 폐수처리오니 : 활성오니, 소화농축조 폐수, 탈수슬러지
- 다) 퇴적토양 : 하수 및 소화천

2) 집식배양

고농도의 악취성분을 공급하면서 집식배양 과정을 통하여 악취저감 미생물을 분리할 수 있도록 lab-scale 바이오필터<모델 A-1>을 내경 60 × 길이 800 mm 크기로 아크릴을 사용하여 제작하였다 <그림 3.1.1.>. 충전용 담체는 부숙소나무수피(chaff of pine), 펄라이트(perlite), 퇴비(compost-I 및 II)의 15:1:2:1 혼합물로서, compost-I 은 (주)바이오콤의 유기질 비료(분상제품)로 유기물 함량이

25% 이하, 염분 함량이 1%이상의 것이었고, compost-II는 (주)부경산업 제의 유기질 비료 (입상제품)로 아미노산발효부산물 54.8%, 제오라이트 45.2%이고, T-N 함량이 4% 이하, 칼륨 함량이 1% 이하, 염분 함량이 10% 이상의 것이었다. 컬럼에 분리원을 담체와 함께 혼합하여 1600~1650 cm³로 충전하고, 25±5°C에서 120 ppm의 암모니아 및 60 ppm의 황화수소 가스를 8주일간 통과시키면서, 이러한 조건에서 충전재에 정착하여 증식한 세균을 각각 분리하였다.

3) 암모니아 산화균의 분리

암모니아 산화균의 분리 및 정제 : NH₃산화세균 배지<A2> 25 ml와 건열멸균한 CaCO₃ 0.2 g을 500-ml 플라스크에 넣고, 여기에 바이오필터<모델 A-1>로부터 채취한 집식배양물 0.1 g을 접종하여 28°C에서 3주간 정치배양하였다. 배양물 0.5 ml를 취하여 새로운 <A2>배지 5 ml를 넣은 시험관에 접종한 후, 그 0.5 ml를 취하여 <A2>배지 5 ml를 담은 별개의 시험관에 접종을 반복해서 10⁻¹⁰까지 희석시킨 다음 시험관 모두를 28°C에서 4주간 정치배양하였다.

각 시험관의 배양액을 0.2~1 ml 취하여 여기에 Griess-Ilosvary시약 2방울 첨가하고 색깔의 변화를 관찰하였다 : 복숭아색~적자색으로 발색하면 그 시험관의 배양액에 아질산 (NO₂/ NH₃의 산화물)이 생성되었다는 것을 의미하므로 암모니아 산화세균이 존재하는 것이고, 이때 NA에 평판배양하여 유기영양세균 여부를 판단한 다음, 배양액의 10⁻⁶~10⁻⁸ 희석액 0.2 ml를 <A2>의 gelrite 평판에 도말하여 28°C에서 1~2주간 배양한 후 형성된 콜로니를 같은 배지에서 여러번 계대배양하였다.

암모니아 산화균의 선발 : 분리균주를 NH₃산화세균 배지<A2> 120 ml (in 500-ml shake flask/ supplemented with 0.1% mannitol)에 접종하여 28°C에서 72 시간 배양하면서 일정한 시간 간격으로 배양액 중의 암모니아태질소를 정량하여 그 감소율을 비교함으로써 <암모니아 산화능의 비교> 우수균주를 선정하였다.

4) 황 산화균의 분리 및 선발

황 산화균의 분리 및 정제 : 집식배양된 바이오필터<모델 A-1>의 각 컬럼으로부터 채취한 충전재시료 1 g (습중량)을 99 mL의 0.85% 생리식염수에 넣고 120 rpm에서 30분간 진탕시킨 후, 이를 식염수로 희석하여 NA plate에 도말한 후

Table 3.1.2. Mixing ratio of the packing materials and operation of the lab-scale biofilter <Model A-1>

Specification	Column I	Column V
Packing materials	▷ Wood bark (15 liters) ▷ Perlite (1 liter) ▷ Compost 1 (2 liters) ▷ Compost 2 (1 liter)	
Packing volume (cm ⁻³)	1,600~1,650	
Moisture contents during operation (%)	49.2~61.1	
Microorganism	Natural MX-1*	
Odor component	H ₂ S	NH ₃
Average concentration of influent gas (ppm _v)	58.4	120.7
Flow rate (mL min ⁻¹)	2,000	4,000
Concentration of effluent gas (ppm _v) after initial 7-days operation	22.5	3.5

Natural MX-1* was a mixture of activated sluges from the municipal waste treatment facility.

30°C의 항온기에서 배양하면서 생육하는 콜로니를 형태적 특성에 따라 분리하고 계대를 반복하여 정제하였다.

황 산화균의 배양 : 30 mL의 NB + Na₂S₂O₃배지에 균체 1백금이를 접종하여 30°C에서 24시간동안 진탕배양 (JeioTech SK-760A rotary shaker, 150 rpm)한 다음, 이를 60 mL의 동일배지에 전량 접종하고 24시간 진탕배양한 후, 다시 110 mL의 같은 배지에 접종하여 24시간 배양함으로써 3일간 순차적으로 새로운 배지에서 증식되도록 하였다.

황 산화균의 선발 : 15-mL 플라스틱시험관에 활성탄 분말을 3 mL 수준까지 채우고 여기에 각 균주의 배양액 10 mL를 넣어 혼합한 다음 15분간 원심분리

(Bench-top centrifuge, 3,000 rpm)하였다 <배양액의 탈색>. 그 상정액을 membrane filter (CA 0.45 μ m, Advantec MFS-25)로 여과한 다음 이온크로마토그래피로 sulfate (SO_4^{2-})를 측정함으로써, 배양중 thiosulfate 기질의 sulfate로의 전환율을 비교하여 <황 산화능의 비교> 활성을 나타내는 균주를 1차적으로 선발하였다 [빈 등, 2001; 이 등, 2001]. 선발균주에 대하여는 2차적으로 황화수소산화효소의 활성도 (hydrogen sulfide oxidase activity)를 비교하여 우수균주를 선정하였다.

다. 세균의 분류동정

MIDI system (Microbial ID, Inc., Newark, Delaware)으로 세포지방산의 조성 과 분포를 비교하여 동정하거나, 16S rDNA의 염기서열을 분석하여 계통분석법으로 분류하였다.

1) 지방산 조성의 분석

분리균을 신속하게 분류동정하기 위하여 Microbial Identification System (MIDI; Microbial ID, Inc., Newark, Delaware)의 방법에 따라 세포지방산의 종류 및 분포를 분석하였다. NA plate에서 30 $^{\circ}$ C, 72시간 배양한 세포를 백금이로 100 mg정도 떼서, teflon-lined screw cap tube (13 \times 100 mm, Pyrex)의 밑바닥에 옮긴 후, Reagent #1을 1 mL 넣어 현탁시키고, 100 $^{\circ}$ C에서 5분간 가열하였다. 이를 vortex mixer로 혼합시키고 다시 100 $^{\circ}$ C에서 25분간 가열한 다음 물에 담구어 냉각시켰다. 여기에 Reagent #2를 2 mL 첨가하여 혼합하고 80 $^{\circ}$ C에서 10분간 가열한 후 물로 냉각시켰으며, Reagent #3을 1.25 mL 첨가하여 10분간 잘 혼합시켰다. 실온에 정치한 후 반응액이 2개의 층으로 분리되면 하층은 버리고, Reagent #4를 3 mL 첨가하여 5분간 회전시켜 부드럽게 섞이도록 하였다. 포화식염수를 몇 방울 넣고 가볍게 혼합시킨후 층이 완전히 분리될 때까지 방치한 다음, 상층액만을 Pasteur pipet을 사용하여 septum-capped sample vial (12 \times 32 mm, Alltech Associates, Inc., IL)로 옮겨 마개를 잠그고 시료로 사용하였다. 시료 중 지방산의 함량은 기체크로마토그래프 (Hewlett Packard, GC5890A)로 분석하고 여기서 얻은 결

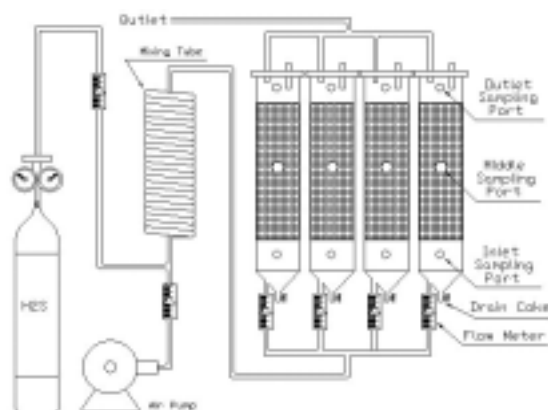


Fig. 3.1.1. Lab-scale biofilter<Model A-1> sets for enrichment of the ammonia and hydrogen sulfide oxidizing microorganisms. Packing materials were: wood bark (composted chaff of pine) 15, perlite 1, compost-I 2, compost-II 1 L; moisture contents during operation 49.2~61.1%. Average concentration of influent NH₃ gas 102.7 ppm_v; flow rate 4,000 mL min⁻¹, and that of influent H₂S gas 58.4 ppm_v; flow rate 2,000 mL min⁻¹.

과를 Chromatopac C-R 4A data analyzer를 이용하여 지방산의 분포양상을 분석하였다. Reagent #1, 2, 3, 4의 조성은 다음과 같다.

Reagent #1은 saponification reagent (NaOH in aqueous methanol)로 sodium hydroxide 45 g, methanol (reagent grade) 150 mL 와 dH₂O 150 mL로 구성된다. Reagent #2는 methylation reagent (hydrochloric acid in aqueous methanol)로 6 N HCl 325 mL에 methanol 275 mL를 첨가하였다. Reagent #3는 extraction solvent (hexane/MTBE)로 hexane 200 mL에 MTBE (methyl-tert butyl ether) 200 mL를 첨가하였다. Reagent #4는 base wash (dilute NaOH)로써 sodium hydroxide 10.8 g을 900 mL의 dH₂O에 용해시켜 조제하였다.

2) 16S rDNA에 의한 분리균주의 계통분석

DNA의 추출 및 정제 염색체 DNA의 분리는 benzyl chloride 방법 [Zhu 등, 1993]에 의하여 수행하였다. 균주를 앞에서 기술한 방법 <1.2. 배지 및 배양방법>에 따라 배양하고 원심분리하여 균체를 침전시켰다. 침전된 균체에 extraction buffer로써 500 µL의 TE buffer (100 mM Tris-HCl, 40 mM EDTA, pH 8.0)를 첨가하여 잘 현탁시킨 후 100 µL의 10% SDS (sodium dodecyl sulfate)를 첨가하여 손으로 가볍게 흔들어 주었다. 300 µL의 benzyl chloride (Katayama Chemicals Co.)를 첨가하여 가볍게 섞어준 다음 vortexing하고 50°C에서 30분간 반응시키면서 매 5분마다 vortexing하였다. 배양 균체에 60 µL의 3 M sodium acetate (pH 5.2)를 첨가한 후 손으로 가볍게 혼합한 다음 15분간 얼음 위에서 정치하였다. 그 후 4°C에서 15분간 원심분리 (15,000 rpm, Hanil HMR-150IV)한 다음 상정액을 새로운 시험관으로 옮기고, 여기에 동량의 phenol-chloroform-isoamylalcohol (25 : 24 : 1) 혼합액을 첨가하여 10분동안 2회 반복하여 원심분리하였으며, 상정액을 새로운 시험관으로 옮기고 위와 같은 방법으로 chloroform-isoamylalcohol (24 : 1) 혼합액으로 2회 처리하였다. 최종적으로 얻은 상정액에 동량의 2-propanol을 첨가하여 가볍게 혼합하고, 30~60분간 실온에서 정치하여 DNA를 침전시켰다. 침전된 DNA는 4°C에서 15,000 rpm으로 15분간 원심분리하여 용매 (propanol, TE buffer, SDS, 3 M NaOAC)를 제거하고, 70% cold ethanol과 cold absolute ethanol로 각각 2번씩 세척한 다음 ethanol을 건조시켰다. 최종적으로 멸균 증류수 50 µL를 첨가하여 DNA를 용해하였다. DNA는 0.7% agarose gel,

0.5 × TAE buffer (20 mM Tris-acetate, 1 mM EDTA)에서 100 V, 25 mA로 30분 간 전기영동한 후 ethidium bromide에 15분간 염색하여 UV로 확인하였다.

16S rDNA의 PCR 증폭을 위하여 *E. coli*의 16S rDNA 부분의 conserved sequence를 기초로한 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCA-3') primer를 이용하였다 [Johnson, 1994]. 추출한 DNA 1 µL (50~100 ng)에 27F primer 1 µL, Taq polymerase (Takara Co.) 0.25 µL, dNTP mixture 4 µL, 10 × EX Taq buffer 5 µL와 멸균된 3차 증류수 37.75 µL를 PCR 반응용 시험관에 넣고 잘 혼합한 후, 다음 조건에 따라 PCR 반응 (Thermal cycler; Gene AMPR PCR System 9700, Biosystems Co.)을 실시하였다. 94°C에서 5분간 반응시킨 다음, 94°C denaturation 1분, 55°C annealing 1분, 72°C extension 1분을 30회 반복하고, 72°C에서 10분간 최종 extension을 실시하였다. 16S rDNA의 PCR 증폭산물을 전기영동을 통하여 확인하였고, 또한 PCR Purification Kit (Qiagen Inc.)를 이용하여 정제한 후 band의 순도를 최종 확인하였다.

16S rDNA의 염기서열 분석 정제한 16S rDNA를 주형으로 ABI PRISM BigDye Terminator Cycle Sequencing Ready Reaction Kit (Applied Biosystems)를 사용하여 염기서열을 분석하였다. Cycle sequencing PCR은 BigDye 8 µL, 3.2 uM 27F primer 1 µL, 16S rDNA sample 1 µL (90 ng)에 H₂O 10 µL를 0.2 mL PCR 반응용 시험관에 넣고 잘 혼합한 후 96°C 10초, 50°C 5초, 60°C 4분으로 25회 반복하였다. PCR 산물에 cold absolute ethanol 50 µL와 3 M sodium acetate (pH 5.2) 2 µL를 첨가한 후 12,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 DNA를 침전시켰다. 70% ethanol로 세척하여 건조시킨 후 formamide : EDTA (5 : 1, v/v) 혼합액 4 µL를 첨가하여 90°C에서 2분동안 변성시킨 다음 sequencing gel (urea 25 g, gel solution 6.75 mL, dH₂O 20 mL)을 ABI PRISM 373 Genetic Analyser (Applied Biosystems)를 이용하여 16시간 동안 전기영동하였다.

16S rDNA 염기서열의 해석 및 계통수 작성 앞에서 분석한 16S rDNA의 부분서열의 상동성은 EMBL/GenBank database의 Blast program을 이용하여 분석하였다. 각 염기서열의 alignment는 Clustal X (version 1.8) program package를 이

용하여 정렬하였고 [Thompson 등, 1994], 근린결합법에 의거 [Saitou 등, 1987] 계통수를 작성하였다.

라. 발효조의 운용

한국발효기(주)의 KF-2.5 및 KF-5 fermentor를 사용하여 회분식 배양 (batch cultivation) 및 반연속식 배양 (semicontinuous cultivation)의 방법으로 약취저감 균주의 대량생산을 위한 parameter를 구하였다.

마. 생육속도의 측정

미생물 균주의 생육은 A_{610} 에서의 흡광도를 측정하여 배양액의 탁도로써 나타내거나, 또는 희석평판의 방법으로 생균수 (viable titre)를 c.f.u. g^{-1} 또는 ml^{-1} 로써 나타내었다.

바. 전자현미경 검경

시료를 glutaraldehyde 용액으로 전고정하고 인산완충액 (pH 7.4)으로 세척한 다음, 50, 70, 80, 90, 95, 및 100% absolute ethanol에 순차적으로 담가 탈수하였다. 이를 50% isoamylacetate 용액 (in ethanol)에 10분간, 이어서 100% isoamylacetate 용액에 5분간 침지한 후 임계점 건조기 (CPD 030)를 이용하여 건조한 다음, 금 코팅하고 (Sputter coater, SCD-005) 주사형전자현미경 (XL30 ESEM TMP PW6635)으로 가속전압 15 kV, spot size 4.0의 조건에서 관찰하였다.

2. 실험가측 및 사양 방법

가. 실험가축

1) 소

- ▷ 착유우 (Holstein, 3~4세, 20두)
- ▷ 비육우 (한우, 20~24개월 비육후기, 20두)
- ▷ 육성우 (중송아지/ Holstein, 5~6개월령, 10두)

2) 돼지

- ▷ 성돈 (Large Yorkshire, 2년생 ♂, 20두)
- ▷ 육성돈 (Large Yorkshire×Landrace, 4개월령, 20두)

3) 닭

- ▷ 산란계 (Isabrown, 300수)
- ▷ 육성계 (중추/ Isabrown, 3개월령, 300수)

Table 3.1.3. Chemical compositions of the feeds used in the experiment

Experimental diet	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Crude ash	Ca	P
----- %(DM) -----						
Concentrate						
Fattening cattle	13.5	2.4	13.0	8.0	0.67	0.44
Milking cow	18.0	2.5	12.9	8.8	0.65	0.51
Heifer	16.1	2.6	9.0	9.5	0.55	0.45
Layer	15.0	2.8	7.5	7.9	3.67	0.41
Pullet	14.6	2.4	8.1	7.9	0.64	0.42
Sow	14.4	3.6	7.1	8.9	6.51	5.03
Piglet	17.7	3.9	5.8	7.8	0.82	0.64
Roughage						
Corn silage	8.8	2.2	32.0	6.4	0.20	1.80
Rice straw	5.4	1.7	34.2	5.8	0.37	0.13

나. 가축의 사양관리

공시사료에 있어 농후사료는 시판사료를 사용하였고 축우용 조사료는 옥수수 사일리지와 볏짚을 급여하였는 바 그 화학적 조성은 <표 3.1.3.>과 같다. 가축의 관리는 충남대학교 농업생명과학대학 동물사육장 관행법에 따랐다.

3. 이화학적 방법

가. 화학성분의 분석

1) 일반성분

사료의 조성분 등 일반성분의 분석은 AOAC법에 의하였다. 축분의 pH는 시료 10 g (건물기준)을 증류수 90 ml에 잘 현탁시켜서 pH meter (Corning Model 440)로 측정하였다 [Ota 등, 1988].

2) 질소성분

암모니아와 질산염의 정성분석은 Nessler's, Trommsdorf's, diphenylamine 시험법에 의하였다. 암모니아태 질소 ($\text{NH}_3\text{-N}$)는 Indophenol-Blue 법에 의하여 정량하였으며 즉, phenol과 sodium hypochlorite의 존재하에서 sodium nitroprusside를 촉매로 indophenol (청색)을 생성시키고 그 흡광도 (A_{665})를 측정하여, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 으로 구한 표준검량곡선에 따라 농도를 계산하였다. 아질산태 질소 ($\text{NO}_2\text{-N}$)는 디아조화법 즉, sulfanilamide 시약을 가하여 diazonium 염을 만들고 이를 다시 coupling시약 (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine HCl)과 반응시켜 생성되는 적자색의 azo 화합물의 흡광도 (A_{520}) 측정하였으며, 표준곡선 (NaNO_2)에 대입하여 정량하였다. 질산태 질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$)는 부루신 법 즉, brucine과 H_2SO_4 의 존재하에서 황색 물질을 생성하고 이를 비색 정량 (A_{410})하였으며 표준곡선은 KNO_3 로 작성하였다. 단백질은 Lowry 방법으로 정량하였다.

3) 황산이온

이온크로마토그래피 (Dionex IC/ED40 system)로 황산이온 (SO_4^{2-}) 농도를 측정하였으며, Dionex IC에는 컬럼 AS4A-SC, 펌프 GP40 gradient pump, 검출기 ED40 electrochemical detector, suppressed conductivity ASRS-Ultra를 장착하여 사용하였다. 이동상으로서 1.8 mM sodium carbonate와 1.7 mM sodium bicarbonate를, 유속은 2.0 mL min^{-1} 으로 하였다.

나. 휘기성분의 분석

1) 축분시료의 처리

축분 시료 실험동물로부터 배설 3시간 이내의 분을 채취하여 즉시 -20°C 의 냉동고에 보관하면서 신선분 시료로 사용하였다. 축분의 일부는 플라스틱용기 (가로 $50\times$ 세로 $40\times$ 높이 40 cm)에 8부 정도 넣어 실내 (실온 $23\sim 26^\circ\text{C}$, 상대습도 $70\sim 80\%$)에서 매일 1회 교반·보관하여 부패분 시료로 공시하였다. 본 실험에서의 부패시료는 1개월 숙성된 축분을 사용하였다.

우사·돈사 및 계사내에서는 축사 중앙 1 m 높이의 공기를 1-L gas bag에 수집하여 가스검지관 및 GC로 측정하였다.

2) 분석시료의 전처리

GC 분석용 시료의 조제에는 용매추출법과 SPME (solid phase microextraction) 법 [Rizzuti, 1999] 등을 적용하였다.

SDA (simultaneous steam distillation-extraction) 장치에 의한 용매추출법을 적용하였으며, 먼저 축분시료를 30 g (생중량) 정도 round flask에 취하고 증류수로 희석한 다음, receiving flask에 ethyl ether를 넣고 4시간 동안 추출하였다. 그리고 추출용액을 농축시키기 위하여 30°C 의 항온수조에서 질소 가스로 추출액이 0.2 ml가 될 때까지 ether를 휘발시켰다. 이 액을 GC에 $1 \mu\text{l}$ 주입하였다.

SPME (solid phase microextraction)법은 시료 1 g을 25 ml screw cap vial에 넣은 후 septum과 cap으로 밀폐시키고, cap에는 지름 0.2 mm 정도의 구멍을 뚫어 SPME syringe가 들어가도록 하였다. 50/30 μm divinylbenzene/carboxen이 poly-

dimethyl-siloxane에 코팅되어 있는 fiber를 사용하여, 시료를 50℃에서 30분간 가열한 후 악취성분을 흡착시켰다 [Rizzuti, 1999; Abalos 등, 2,000].

3) 취기성분의 분석

GC/MS (Varian STAR 3400 CX)의 GC inlet은 270℃이고, 35℃에서 4분간 경과 후에 4℃/min로 220℃까지 올린 후 다시 260℃까지 분당 15℃로 상승시키고 5분간 유지토록 하였다. Split mode는 25 : 1로 하였으며 SPME syringe는 GC inlet에 10분간 방치 후에 분리하였다. HP 5 컬럼 (0.25 μm×30 m×0.32 mmID)을 장착하였으며, 분리 성분은 Varian Saturn Mass Spectrometry 2000으로 분석하였다. 이때 trap과 manifold의 온도는 각각 200 및 50℃였다. Scan은 40~650 n/z로 조정하였으며, axial modulation voltage는 4V였다. 얻어진 spectrum은 NIST library (NIST Standard Reference Database, version 4.5)로 해석하였다.

GC/FPD (Shimadzu GC-14B)에 의한 합황가스의 분석

▷ H₂S와 CH₃SH의 분석은 축분 (10 g 건물)을 2 L 용량의 삼각 플라스크에 넣고 30℃에서 60분간 가온하여 가스를 발생시킨 후 gas tight 주입기로 시료를 채취하여 GC에 주입하였다. FPD (Flame photometric detector)를 장착하였으며, ODPN (β·β'-Oxydipropionitrile 25%, Chromosorb W, 60-80, AW-DMCS-ST)을 충전한 유리컬럼 (3.1 m×3.2 mmID)을 사용하였다. GC조건은 column 70℃, injector 150℃, detector 150℃로 하였으며, 운반가스는 He으로 유속은 50 ml min⁻¹으로 조정하였다. 한국표준과학연구원의 99.6 μmol/mole H₂S와 88.1 μmol/ mole CH₃SH를 표준가스로 사용하였다.

▷ C₂H₅SH의 분석을 위하여는 축분을 용매추출하여 GC분석하였으며, 즉 축분 10 g을 10 ml의 ether에 현탁시키고 0.5 M sodium methoxide 0.4 ml를 가하여 12시간 이상 정치시킨 다음, 여기에 acetic acid 20 μl와 이어서 CaCl₂ 4 g을 넣고 실온에 두어 추출하였다. 2시간 후 원심분리하여 GC용 시료로 사용하였다 [Cristie, 2000].

GC/FID (Shimadzu GC-17A)에 의한 휘발성지방산 및 Indole 등의 분석

▷ Indole 및 Trimethylindole의 분석을 위하여 시료를 3 g (건물)을 15 ml의 ethyl ether로 추출하여 제습하고 microfilter로 여과하여 GC에 주입하였다. 컬럼은

5% Thermon-3000 (Chromosorb W, 80~100 mesh, 3 m×3 mmID); injection port 온도 250℃, column은 50℃에서 2분, 분당 4℃씩 210℃까지 상승시켰다. 운반가스는 질소로서 유속은 50 ml min⁻¹으로 조정하였다.

▷ 휘발성지방산의 분석은 SPME법으로 추출하여, GC로 즉 Alltech EC-1000 (30 m×0.25 mmID) 컬럼을 장착하여 injector 250℃, oven 150℃, detector 275℃, Split Mode 93 : 1의 조건에서 분석하였으며, 운반가스로서는 질소를 사용하였고 유속은 64 ml min⁻¹으로 하였다.

Gas detector tube (Gastec)이 의한 암모니아·아민류·황화수소의 분석

악취가스의 분석을 위하여 휴대용 장비로서 Gastec pump와 가스 검지관을 사용하였으며, 보통의 경우 100 ml 1회 흡인하여 표시하는 방법을 적용하였고 고농도에서는 50 ml 1회 흡인 후 2.6배하여 검출값을 표시하였다.

▷ 축분 시료를 20 g (dry basis) 씩 1-L의 플라스크에 넣고 40℃에서 60분간 가온한 다음 검지관으로 100 mL 씩 흡인하여 측정하였다.

▷ 축사내 공기는 중앙 1 m 높이에서 1-L gas bag에 수집하여 측정하였다.

Table 3.1.4. Specifications of the pump set and detection tubes from Gastec Co., Ltd.

Substance	Tube No.	Detecting range	Detecting limit	Discoloration
		----- ppm -----		
H ₂ S	4LL	0.25~120	0.1(n=10)	White → Red
	4L	1~120	0.2(n=10)	White → Red
CH ₃ SH	71	0.25~140	0.1(n=10)	White → Yellow
C ₂ H ₅ SH	72L	0.2~75	0.15(n=2)	Yellow → Red
NH ₃	3La	2.5~200	0.5(n=2)	Pink → Yellow
	3L	0.5~78	0.2(n=2)	Pink → Yellow
R-NH ₂	180	5~100	0.5(n=1)	Light pink→Yellow→Red

4) 전자코에 의한 축사악취의 식별

Fox 3000 Electronic Nose (Alpha M.O.S., France)를 이용하였다. 축분 시료 0.2 g을 채취하여 분석용 vial에 넣고 septum과 cap으로 밀폐시킨 후 500 rpm으로 50°C에서 900초 동안 보온한 다음, 그 Head space로부터 2,500 μ l를 취하여 분석하였다. 분석은 6반복으로 실시하였으며, 얻은 결과는 (Principle Component Analysis (PCA)로 통계분석을 하였고 (이때 주성분 1의 값은 94.57%), 각 센서의 값들은 Statistical Analysis System을 이용하여 다변량분석 (Student-Newman-Keuls Test for SYLG)으로 처리하였다 (significance level은 5%).

다. 효소학적 방법

1) 황화수소산화효소의 활성도 측정

Hydrogen sulfide oxidase의 활성도는 Ohtai 등 [1997; 1999]이 사용한 방법으로 측정하였다. 배양액을 3,000 rpm에서 20분동안 원심분리 한 후 같은 조건으로 균체를 50 mM phosphate buffer (pH 7.0)로 2번 세척하여 균체를 회수하고, 10 mg dry wt. cell/10 mL buffer의 비율로 50 mM phosphate buffer (pH 7.0)에 현탁시켰다. 이 현탁액 10 mL를 30-mL Erlenmyer flask에 넣고 butyl rubber stopper를 통하여 gas tight syringe로 황화수소 가스를 주입하여 초기농도를 1,000 ppm으로 조정하였다. 30°C, 125 rpm에서 2시간동안 진탕반응시키면서 head-space의 가스를 30분 간격으로 gas tight syringe로 포집하여 GC (Shimadzu, GC-14B)로 분석하였다.

컬럼은 μ , μ ' oxidropionitriebo 60~80 mesh chromosorb W가 충전된 내경 3 mm \times 길이 3 m의 유리컬럼을 사용하였고, flame photometric detector를 사용하였다. 분석조건은 inject port 150°C, detector 150°C, oven 70°C, flow rate 50 mL min^{-1} 이고, carrier gas는 헬륨을 사용하였다.

효소의 활성도 단위는 30°C에서 시간당 황화수소 1 μ mol의 산화를 위해 요구되는 효소의 양으로 정의하였다.

2) 효소의 정제

균주를 앞에서 기술한 방법 <1.2. 배지 및 배양방법>에 따라 배양하여 얻은 총 16 L의 배양액을 2,900×g (4,000 rpm; Hanil Supra 22K)에서 40분동안 원심분리하여 약 31 g (wet wt.)의 균체를 회수하였고, 50 mM phosphate buffer (pH 7.0)로 2번 세척하여 2,900×g에서 10분간 원심분리한 다음 균체를 50 mM phosphate buffer (pH 7.0) 120 mL에 현탁하였다. 이 현탁액을 sonicator (Rapid type 4504, Ultrasonics Ltd)를 이용하여 80 μ A에서 40분간 초음파 처리한 다음 34,000×g에서 40분간 원심분리하여 얻은 상정액에 핵산 제거를 위해 2% protamine sulfate (0.2 mL/1 mL 세포파쇄액)를 첨가하여 30분동안 실온에 둔 다음, 17,000×g로 30분간 원심분리하여 침전물을 제거하고 남은 상정액을 crude extract로 사용하였다.

Crude extract를 ammonium sulfate (0~35%, 35~70%, 70~100%)로 분별 침전시키고, 12,000×g로 30분동안 원심분리하여 침전물을 회수하였다. 각각의 분별 침전물을 50 mM phosphate buffer (pH 7.0) 최소량에 용해시키고, 투석하여 탈염한 후 12,000×g에서 30분간 원심분리하여 상정액과, 각 분획별로 침전물을 50~100 mM의 phosphate buffer (pH 7.0)에 용해한 다음 활성도를 측정하였으며, 활성이 높은 분획을 선발하여 단백질정제용 크로마토그래프 (GradiFrac, Pharmacia Ltd. Co.)를 이용하여 Sephadex G-75 컬럼과 이온교환수지 컬럼을 차례로 통과시켜 hydrogen sulfide oxidase를 정제하였다.

4. 바이오필터 시스템의 설계·제작 및 운용 방법

가. Lab-scale 바이오필터<모델 A> 및 충전재

1) Lab-scale 바이오필터 시스템 설계

Lab-scale 바이오필터 시스템<모델 A>을 제작하여 각종 충전재의 악취흡착 특성을 비교하고 그 작동성능을 분석하였다. 경제적이면서 성능이 우수한 충전재를 선발하기 위하여, 먼저 단일충전재의 악취흡착력을 시험하였으며, 선발된 단일충전재를 혼합하여 충전하고 그 성능을 비교하였다. 또한 혼합충전재에 전향< >에서 선발한 악취저감 미생물 균주를 접종하여 그 효과를 실험하였다.

<모델 A>는 충전컬럼부와 plenum chamber부로 구분하여 설계하였으며, 그 구조는 <그림 3.1.2>과 같다. 내부 관찰이 용이하도록 투명 아크릴을 사용하였고, 충전컬럼의 전체적인 크기는 내경 120 mm이며 상·중·하부의 길이는 각각 300, 450, 300 mm이었다. 충전컬럼의 1회 충전량은 겉보기 부피로 5,089 cm³이었으며, plenum chamber는 가로300×세로300×높이200 mm로서 내부용적은 18,000 cm³로 계산된다. 운전 시 내압에 대한 안전율을 고려하여 4 kgf/cm²에서 견딜 수 있도록 두께 8 mm의 것을 사용하였고, 접합부는 고온용해용접에 의하였다. 기밀실험은 컬럼과 plenum chamber에 물을 담고 48시간동안 누수여부로 판단하였으며, 압력은 공기압축기 (air compressor)로부터 유입되는 공기압력을 2 kgf/cm²로 고정하고 충전컬럼 상부와 하부에 설치된 니뽀형 압력계이기로 측정하였다.

충전컬럼부 : 컬럼과 센서계측부로 구분되며, 담체의 충전 및 교체작업의 편리성과 계측지점의 일치를 위하여 <그림 3.1.3>와 같이 3단분리 구조를 채택하였다. 충전컬럼의 상·하부는 O-ring type 고무 가스켓을 삽입하여 8개의 볼트로 플랜지 결합하고, 각각 압력계이지 (pressure gage), 다점풍속계 (multi-point air velocity meter), 상대습도 계측장치를 설치하였으며, 시료의 포집을 위하여 sampling port를 설치하여 악취성분의 유입 및 배출농도를 측정할 수 있도록 하였다.

Plenum chamber 시스템 : 충전컬럼으로 공급되는 악취가스의 일정한 유속과 와류방지를 위하여 <그림 3.1.4>의 좌측에서 보는 바와 같이 컬럼 하부에 플랜지 결합으로 plenum chamber 시스템을 부착하였고, 그 사이에 직경 6 mm, 길이 250 mm인 다공관을 설치하였다.

가스공급장치 : 암모니아가스와 황화수소가스는 가스조절기를 거쳐 일정한 압력으로 스텐관을 통하여 공급되도록 설계하였다 <그림 3.1.4 참조>. 공기압축기로부터 유입되는 공기와 혼합시켜 악취가스를 소요 농도로 희석되도록 하였다. 이물질 제거를 위하여 공급관 중간부에 유수분리기 (oil-water separator)를 설치하였으며, 혼합튜브 (mixing tube)를 통하여 악취가스와 희석공기의 혼합이 잘 되도록 하였다.

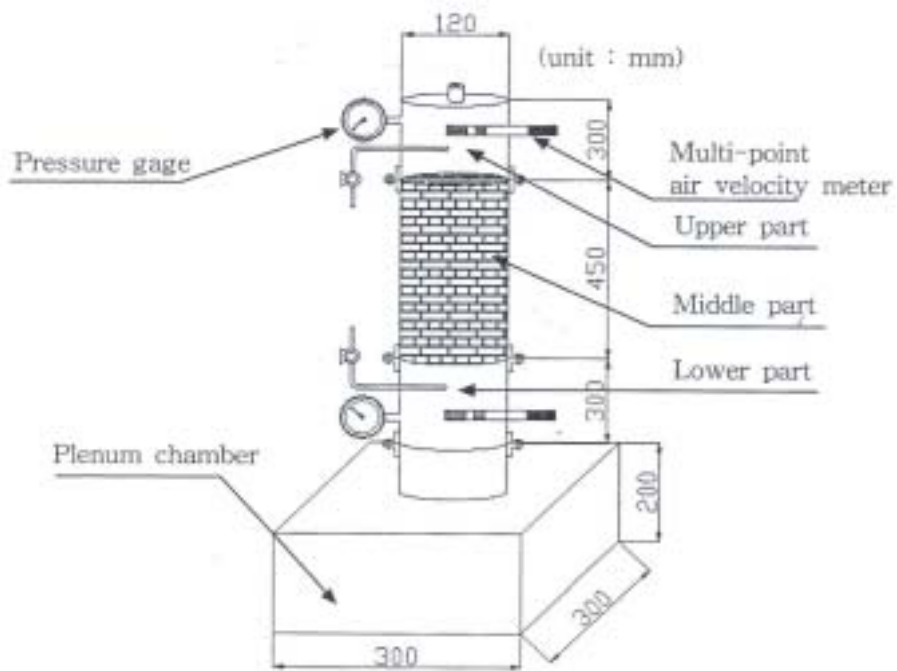


Fig. 3.1.2. Column units of the lab-scale biofilter system <Model A>.



Upper part



Middle part



Lower part

Fig. 3.1.3. Pictures of the columns for the lab-scale biofilter system<Model A>.

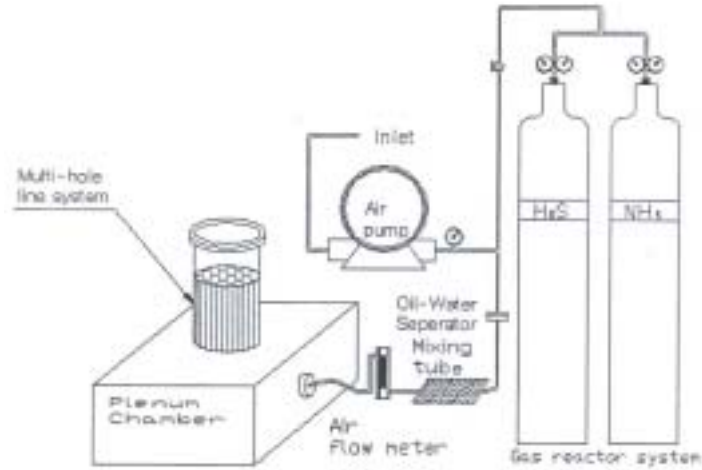


Fig. 3.1.4. Plenum chamber and gas reactor system.

2) 단일 충전재의 선발

Lab-scale 바이오필터 시스템<모델 A>를 이용한 단일 충전재의 선발시험은 충남대학교 농기제어계측실험실에서 수행하였다. 예비시험을 거쳐 1차 성능시험은 2002년 6월 3일부터 6월 7일까지 1주 동안 충전재를 넣지 않은 무부하 상태로 운전시험과 안정성검사를 하였고, 2차 충전재 흡착시험은 2002년 7월 8일부터 7월 27일까지 3주 동안 실시하였다.

공시재료 : 바이오필터의 충전재가 구비하여야 할 조건은 흡착능력이 우수하고, 다공성과 보수력을 가지며, 차후 산업화를 위하여 구입이 용이하고, 가격이 저렴하여야 한다. 이에 본 연구에서는 충전재 선발실험 재료로 <그림 3.1.5>에서 보는 바와 같이 국내에서 구입이 용이하고 현재까지 개발되어 사용되는 충전재에 비하여 경제성이 유리한 왕겨 (rice hull), 볏짚 (rice straw), 펄라이트 (perlite), 소나무수피 (chaff of pine), 코코넛피트 (coconut peat), 하이로드볼 (Highroad ball) 등을 비교하였다. 초기 흡수율 (% as dry basis)은 왕겨 1.28, 볏짚 2.26, 소나무수피 22.3, 펄라이트 0.23, 코코넛피트 4.97, 하이로드볼 0.86이었다. 이들 충전

Table 3.1.5. Characteristics of the packing materials for biofilter

Characteristics	Rice-hull	Straw	Perlite	Chaff of pine	Coconut peat	Highroad ball
Bulk density(g/cm ³)	0.124	0.052	0.252	0.233	0.155	1.041
Moisture content (%d.b.)	1.28	2.26	0.23	22.30	4.97	0.86
Porosity (%)	79.8	84.0	66.5	62.0	67.5	62.0
Compressive strength (kg/cm ²)	8.57	17.32	32.10	31.25	15.90	34.24
Average pore size (mm)	long:5.50 short:2.10	long:25.00 short:2.50	2.20	3.80	0.04	7.40
Water absorption (vol%)	17.57	15.83	11.20	10.72	93.86	19.47

- 1) Rice hull : 팽윤왕겨 (170°C 가열분출, 공주원에 협동조합)
- 2) Rice straw : 볏짚 (20~150 mm의 것)
- 3) Chaff of pine : 부숙소나무수피 (건식박피후 수분 60%, C/N비율 40:1, pH 6.6 으로 조정하여 12주간 부숙시킨 것으로 성분 분석치는 수분 47.5%, pH 5.85, T-N 1.78%, T-C 47.3%, P 472 ppm, K 1,724 ppm, CEC 54.5 cmolc kg⁻¹.)
- 4) Coconut peat : 스리랑카산 (Coir fibre pith, C/N비율 80:1)

재의 물성을 <표 3.1.5>에 나타내었다.

물성 측정방법 : 산물밀도는 비이커와 전자저울 (digital scale)을 이용하여 측정하였으며, 흡수율은 무작위로 채취한 3개의 시료를 건조오븐 (dry oven)을 이용하여 건량기준 (dry base)로 나타내었다. 공극률은 매스실린더 (measuring cylinder)를 이용하여 측정하였다. 입자의 크기는 표본시료 100개씩 3회 무작위로 채취하여 전체입자의 평균값으로 표시하였다. 흡수율은 수분의 최대 흡수 시 수분의 중량과 시료의 건조중량의 무게비에 담체의 겉보기 밀도를 곱하여 부피비 흡수율로 표시하였다. 세라믹담체에 대하여는 흡수율, 비표면적, 기공특성 등의 물성을 시험하였

으며, 특히 흡수율은 담체의 기공에 완전히 물이 흡수되었을 때 시료의 무게에 대한 흡수량의 비율로서 미생물의 생육환경의 중요한 인자가 된다. 식 3.1.1로부터 무게비 흡수율을 구하였다.

$$\text{Water absorption(A)} = \frac{(W_{wet}) - (W_{dry})}{W_{wet}} \times 100 \text{ (wt\%)} \quad (3.1.1)$$

여기서,

W_{wet} = 과포화 시료를 물에서 꺼낸 표면의 과잉수분을 젖은 형겅으로 제거한 후 측정된 무게, g.

W_{dry} = 덩어리 상태의 시료를 건조 측정된 무게, g.

식 3.1.1에서 얻어진 무게비 흡수율을 식 3.1.2에 대입하여 시료의 부피비 흡수율을 구할 수 있다. 즉

$$\text{Water absorption(A)} = \left[\frac{(W_{wet}) - (W_{dry})}{W_{wet}} \times 100 \right] \times D_a \text{ (vol\%)} \quad (3.1.2)$$

여기서,

D_a = 담체의 겉보기 밀도 (폐공기를 포함한 담체의 밀도), g/cm³

흡수율의 표시방법에 있어서는 담체에 대하여 동량의 물이 흡수되었을 경우 부피비 흡수율은 같지만, 담체의 밀도에 따라서 무거운 담체는 낮은 무게비 흡수율을 나타내게 되며 상대적으로 가벼운 것은 무게비 흡수율이 높아지는 오류가 있을 수 있으므로, 담체가 함유하는 물의 무게보다는 부피비를 적용하는 것이 더 타당하다.

재료의 밀도는 담체의 치밀도로서 기공이 전혀 없는 상태의 진밀도, 기공을 포함한 기하학적인 부피를 질량으로 나눈 산물밀도, 폐공기만을 포함한 겉보기 밀도로 분류된다. [신창섭, 1999, 박상진, 1994]

공극률의 경우 충전재의 흡수율에 영향을 주는 물성으로서 일반적으로 다공성 재료는 약 40~80%의 기공을 포함하고 있으며 기공의 크기는 담체의 물성, 비표면적, 기공률, 흡수율 및 기계적 강도를 좌우하는 중요한 변수이다. 일반적으로 충전층 내의 압력손실을 줄이기 위해서는 기공의 크기가 큰 것이 유리한 반면 가스 접촉면적은 줄어들기 때문에 탈취성능이 저하된다. 따라서 압력손실과 표면적의 상관관계를 고려한 적절한 기공의 크기가 요구된다.



Rice hull



Rice straw



Perlite



Chaffs of pine



Coconut peat



Highroad ball

Fig. 3.1.5. Pictures of the packing materials for biofilter.

바이오필터 충전재의 경우 충전방법에 따라 형상과 압밀정도가 달라지게 되며, 충전재의 공극률과 흡수율에 영향을 미치게 되므로, 본 연구에서는 충전재의 압밀과 형상변화를 최소화하기 위하여 무진동 충전법을 적용하였다.

3) Lab-scale 바이오필터 시스템의 구성 및 운용

단일충전재의 악취흡착성능실험을 위한 lab-scale 바이오필터 시스템의 구성도는 <그림 3.1.6>과 같다.

공기와 악취가스의 흐름은 가스탱크로부터 공급되는 고농도의 악취가스와 공기압축기로부터 공급되는 공기와 1차 혼합 후에 유수분리기를 통과하고, 2차 혼합을 위하여 혼합튜브를 거친 다음 유량계를 통하여 plenum chamber로 일정하게 공급된다. 여기에서 일정한 유속으로 충전컬럼부로 가스를 공급하기 위하여 중간에 다공관을 거치도록 하였으며, 장치를 구성하는 유수분리기, 혼합튜브, 유량계의 제원은 <표 3.1.6>와 같다.

악취가스 : 본 연구에서는 축산시설에서 가장 많이 방출되고 악취의 주원인으로 판단되는 암모니아와 황화수소 가스를 대상으로 실험하였으며, 천연상태의 것이 아니고 일정한 농도로 덕양가스(주)에 주문하여 사용하였다. 암모니아 가스 (Deokyang, 9.99%, N₂ balance)와 황화수소 가스 (Deokyang, 1.0%, N₂ balance)를 공기와 희석하여 암모니아는 180 ppm, 황화수소는 20 ppm으로 설정하였다.

압력측정장치 : 필터내부의 압력 측정을 위하여 digital manometer로 예비실험을 수행하였고, 그 결과를 토대로 측정범위 0~2±0.01 kgf/cm²의 니뿔형 압력게이지 (Woojin WPG-가216594)를 선택하였다. 컬럼의 상·하부에 설치하여 충전 재료에 의한 압력차를 측정하였다. <그림 3.1.7 참조>

풍속 및 상대습도 측정장치 : 충전컬럼 내부의 풍속과 상대습도를 측정하기 위한 풍속측정장치는 2점 이상의 풍속을 동시에 측정할 수 있는 Kanomax S6242 다점풍속계 (multi-point air velocity meter, min. range 99.0 m/s, 8 Ports, RH% & temperature)를 사용하였으며, 컬럼의 중심부에 설치하고 실리콘으로 기밀하였다. <그림 3.1.8 참조>

Table 3.1.6. Specifications of oil-water separator, mixing tube and air flow meter for the lab-scale biofiltration system <Model A>

Item	Model	Specifications
Oil-water separator	S-100	Company : SUNYOUNG. S_tech Capacity : 30 ℓ min ⁻¹ Material : FRP
Mixing tube	0821C	Company : SUNYOUNG. S_tech Material : Polyurethane tube Size : 6×4 mm
Air flow meter	RMA-25-SSV	Company : DWYER Material : Plastic Capacity : 100 ℓ min ⁻¹

가스검지관 : 휴대용 가스검지관 (gas detector tube, Gastec)과 검지관 펌프를 이용하여 악취가스의 농도를 측정하였다. 측정된 악취가스의 농도는 충전재료별 단위체적당 가스 흡착량으로써 식 3.1.3과 같이 나타내었다.

$$OA (\ell / \text{cm}^3) = \sum_t \frac{[\frac{\text{Inlet ppm} - \text{Outlet ppm}}{\text{Inlet ppm}}] \times A_F}{V_m} \quad (3.1.3)$$

여기서, OA = Odor gas absorption (ℓ / cm³)

t = Time (min), integer

A_F = Air flow (ℓ / cm³)

V_m = Volume of media (cm³)

Lab-scale 바이오필터의 운용 : 공기압축기의 배출압력은 0.05 kgf/cm²로, 유량은 15 ℓ min⁻¹으로 고정하였다. 무부하 상태에서 컬럼을 통과하는 공기의 유속은 0.09 m/s로 측정되었다. 풍속 및 상대습도 측정장비인 Kanomax S6242는 오차를 줄이고져 약 2분간 초기화한 후 실험이 진행되는 동안 실시간으로 측정하였다.

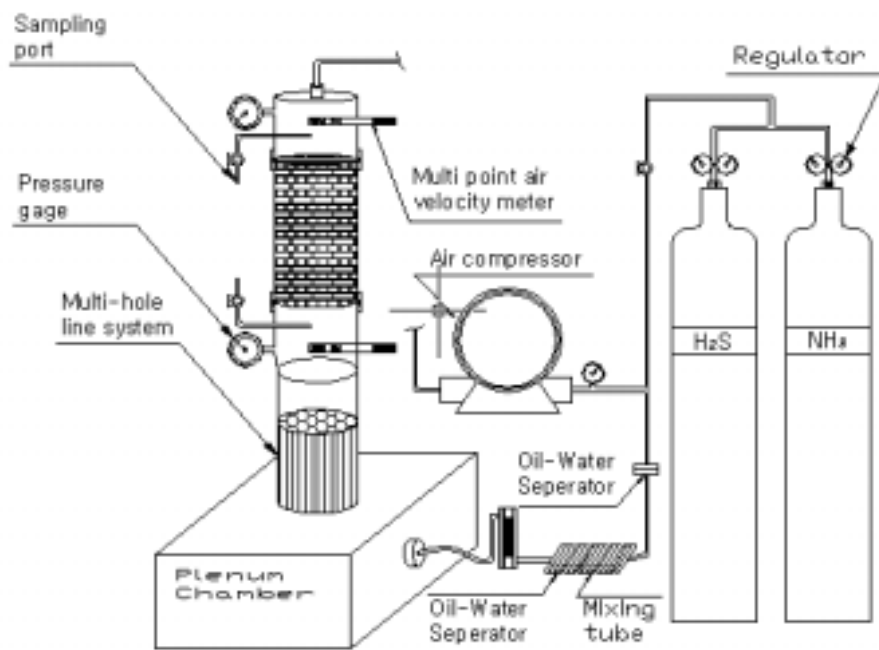
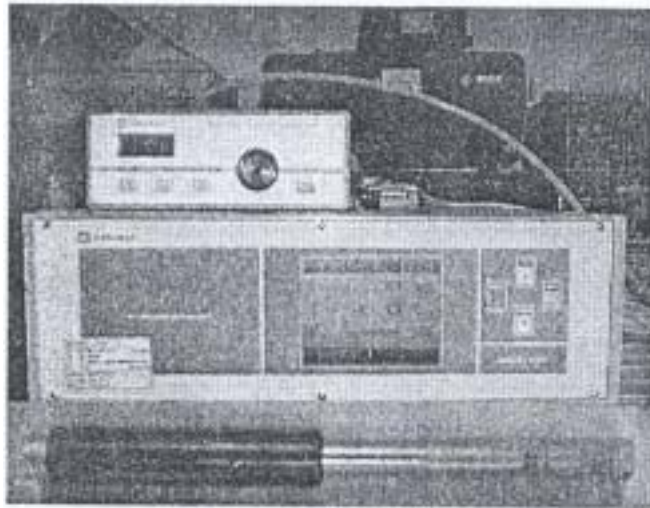


Fig. 3.1.6. Overall appearance of the lab-scale biofilter system <Model A>.



Fig. 3.1.7. Pressure gage.



- ① Multi-point air velocity meter.
- ② Air velocity probe.

Fig. 3.1.8. Picture of multi-point air velocity meter and probe.

충전재의 악취흡착 성능시험에서는 상향류의 운전방법을 채택하였다 [Classen 등, 2001; Morton, 2001; Sun 등, 2001]. 암모니아는 수용성 가스이므로 선정된 충전재의 수분함량에 따라 그 흡착성능을 분석하기 위하여는 각 재료를 대기중에 장시간 노출시켜 도달하는 평형함수율을 기준으로 하였다. 각 충전재료에 대하여 성능시험을 수행하였으며, 일정한 농도와 유량의 악취가스를 컬럼으로 통과시키면서 상·하부의 sampling port에서 1분 간격으로 성분의 농도, 풍속, 상대습도를 측정하였다.

4) 혼합재료의 악취제거특성 실험

단일충전재에 대한 성능시험 결과를 근거로 흡착능력이 우수한 재료를 선정하여 일정 비율로 혼합한 혼합충전재의 성능을 검토하였으며, 또한 혼합충전재에 미생물 균주를 접종하여 흡착성능에 미치는 접종효과를 시험하였다. 예비실험을 거친 다음 각 단일충전재에 대한 미생물의 정착실험은 2002년 9월 2일부터 9월 7일까지 1주간, 혼합충전재료의 악취흡착 성능시험은 2002년 9월 9일부터 9월 23일까지 2주간, 악취제거 미생물균주 접종실험은 2002년 9월 23일부터 10월 7일까지 2주간 각각 수행하였다.

혼합충전재 : 혼합재료로서는 암모니아에 대한 흡착성능이 다른 것에 비하여 상대적으로 높은 코코넛피트 및 소나무수피, 그리고 황화수소에 대한 흡착성능이 좋은 펄라이트를 선정하였다. 혼합비율(%)은 코코넛과 펄라이트, 소나무수피와 펄라이트의 두 가지 종류로 부피를 기준으로 결정하였다. 코코넛피트와 펄라이트는 50 : 50, 30 : 70, 70 : 30으로, 소나무수피와 펄라이트는 50 : 50, 30 : 70, 70 : 30로 혼합하였으며, 이들 혼합재료는 <그림 3.1.9>에 사진으로 나타내었다.

이 때의 각 혼합재료별 초기 함수율 (% as dry basis)은 코코넛피트와 펄라이트의 비율이 50 : 50인 혼합재료<1-1>은 0.22%, 30 : 70인 혼합재료<1-2>는 0.05%, 70 : 30인 혼합재료<1-3>은 0.32%로 나타났으며, 소나무수피와 펄라이트의 비율이 50 : 50인 혼합재료<1-4>는 0.09%, 30 : 70인 혼합재료<1-5>는 0.13%, 70 : 30인 혼합재료<1-6>은 0.05%로 나타났다. 혼합 충전재료의 물성은 <표 3.1.7>에서 보는 바와 같다.

미생물의 접종시험 : 선발된 바이오필터 혼합충전재에 제 1 세부과제에서 분리 선발한 미생물을 접종하여 악취저감 효과를 분석하였다. 여러 선발균주 중에서 암모니아 저감균인 균주번호 A4-2와 황산화균인 S5-5.2의 배양액 ($\sim 10^8$ c.f.u. ml^{-1})을 혼합충전재에 대하여 약 40% (v/v) 접종하였으며, 바이오필터 시스템에 충전시키고 3일동안의 순치기간을 둔 다음 악취가스 제거시험을 시작하였다. 전항<2>의 단일충전재의 성능시험과 동일한 조건으로 24시간 동안 3회 반복 시험하였으며, 단 악취가스의 공급 농도는 암모니아 가스 200 ppm과 황화수소 가스 20 ppm으로써 다소 차이가 있었다. 가스의 농도는 30분 간격을 두고 검지관으로 측정하였으며, 제거량과 악취가스의 초기 농도값의 비를 백분율(%)로 계산하여 동일조건에서 3반복시험의 산술평균값으로 표시하였다.

5) 충전재의 입자크기

전항<4>의 결과에 따라 코코넛피트 보다는 국내에서 구입이 용이한 소나무수피를 이용하여 펄라이트와 함께 혼합충전재를 조제하여 lab-scale 바이오필터 시스템에 충전하였다. 혼합비율 70% : 30% (v/v)으로 하여 소나무수피와 펄라이트의 입자크기에 따른 풍속과 풍압의 변화를 측정 비교하였다. 예비시험을 거쳐 2003년 2월 10일부터 3월 2일까지 4주간 실험하였다.

Table 3.1.7. Characteristics of the packing material mixtures for the lab-scale biofilter

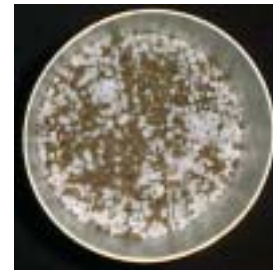
Characteristics	Material <1-1>	Material <1-2>	Material <1-3>	Material <1-4>	Material <1-5>	Material <1-6>
Bulk density (g/cm^3)	0.21	0.25	0.18	0.22	0.24	0.19
Moisture content (%d.b.)	0.22	0.05	0.32	0.09	0.13	0.05
Porosity (%)	64.4	67.4	63.4	65.7	70.0	68.9
Water absorption (vol%)	57.6	32.9	61.6	43.9	45.9	33.9



Mixture <1-1>
(coconut peat:50%,
perlite:50%)



Mixture <1-2>
(coconut peat:30%,
perlite:70%)



Mixture <1-3>
(coconut peat:70%,
perlite:30%)



Mixture <1-4>
(chaffs of pine:50%,
perlite:50%)



Mixture <1-5>
(chaffs of pine:30%,
perlite:70%)



Mixture <1-6>
(chaffs of pine:70%,
perlite:30%)

Fig. 3.1.9. Pictures of the mixed materials for the lab-scale biofilter.



Chaffs of pine<2-1>
(above 13.2 mm)



Chaffs of pine<2-2>
(9.5~13.2 mm)



Chaffs of pine<2-3>
(6.7~9.5 mm)



Perlite <2-1>



Perlite <2-2>



Perlite <2-3>

Fig. 3.1.10. Pictures of the chaffs of pine and perlite classified by particle size.



Mixture <2-1>



Mixture <2-2>



Mixture <2-3>



Mixture <2-4>



Mixture <2-5>



Mixture <2-6>



Mixture <2-7>



Mixture <2-8>



Mixture <2-9>

Fig. 3.1.11. Pictures of the mixed materials consisted of the chaffs of pine and perlite classified by particle size.

Table 3.1.8. Characteristics of the chaffs of pine and perlites

Characteristics	Chaff of pine<2-1>	Chaff of pine<2-2>	Chaff of pine<2-3>	Perlite <2-1>	Perlite <2-2>	Perlite <2-3>
Bulk Density (g/cm ³)	0.17	0.15	0.14	0.17	0.12	0.07
Moisture content (%db)	11.24	11.24	11.23	0.52	0.50	0.50
Porosity (%)	18.40	17.43	14.97	39.01	22.84	19.53
Pore size (mm)	15.0~13.2	13.2~9.5	9.5~6.7	5.0~2.4	2.4~1.2	1.2~0.6
Water absorption (vol%)	31.00	23.50	20.00	37.50	29.00	16.00

Table 3.1.9. Characteristics of the packing material mixtures <Series 2>

Characteristics	Material <2-1>	Material <2-2>	Material <2-3>	Material <2-4>	Material <2-5>	Material <2-6>	Material <2-7>	Material <2-8>	Material <2-9>
Bulk Density (g/cm ³)	0.17	0.16	0.15	0.17	0.17	0.15	0.17	0.16	0.16
Moisture content (%d.b.)	2.39	2.38	2.35	2.14	2.12	2.12	1.95	1.93	1.92
Porosity (%)	16.75	25.93	28.65	23.08	24.47	25.00	24.74	25.81	28.96
Water absorption (vol%)	12.16	12.64	13.46	13.08	14.09	14.41	13.33	14.59	15.22

입자크기별 혼합충전재 : 소나무수피와 펄라이트로 그 입자크기별 혼합충전재를 조제하고 lab-scale 바이오필터 시스템을 이용하여 풍압과 풍속변화를 3분마다 30분동안 측정하고 3반복으로 실험하여 산술평균 값을 구하였다.

표준체를 사용하여 입자크기 13.2 mm 이상인 소나무수피<2-1>, 9.5~13.2 mm인 수피<2-2>, 6.7~9.5 mm인 수피<2-3>으로 구분하였다. 펄라이트의 경우 (주)삼손에서 시판하는 입자크기 5 mm 이하의 크기별 제품을 구입하여 2.4~5.0 mm의 펄라이트<2-1>, 1.2~2.4 mm의 펄라이트<2-2>, 0.6~1.2 mm의 펄라이트<2-3>으로 구분하였다. 이들 소나무수피와 펄라이트를 혼합하여 아래와 같이 크기별 혼합충전재 선발시험을 수행하였다.

- 수피<2-1>+펄라이트<2-1>은 혼합충전재<2-1>
- 수피<2-1>+펄라이트<2-2>은 혼합충전재<2-2>
- 수피<2-1>+펄라이트<2-3>은 혼합충전재<2-3>
- 수피<2-2>+펄라이트<2-1>은 혼합충전재<2-4>
- 수피<2-2>+펄라이트<2-2>는 혼합충전재<2-5>
- 수피<2-2>+펄라이트<2-3>은 혼합충전재<2-6>
- 수피<2-3>+펄라이트<2-1>은 혼합충전재<2-7>
- 수피<2-3>+펄라이트<2-2>는 혼합충전재<2-8>
- 수피<2-3>+펄라이트<2-3>은 혼합충전재<2-9>

원료 및 혼합충전재의 외관을 그림으로 나타내었고 <그림 3.1.10 및 그림 3.1.11 참조>, <표 3.1.8>에는 수피와 펄라이트의 물성을, <표 3.1.9>에는 혼합충전재의 물성을 나타내었다.

6) 부속수피를 이용한 혼합충전재

전항의 실험결과에 의하면 소나무수피 9.5~13.2 mm의 것이 풍압과 풍속의 변화가 가장 적은 것으로 판단되었다. 부속수피를 사용한다면 냄새흡착 효율을 높일 수 있을 것이므로, 이에 따라 부속수피 <(법)금정원영농조합>와 펄라이트 <(주)삼손>를 혼합하여 혼합충전재를 조제하고 선발시험을 하였다. 그러나 부속수피의 경우 대체로 두께가 얇은 관계로 풍압과 풍속의 변화가 클 것으로 생각되므로, 펄라이트의 입자크기별로 혼합충전재를 조제하고 풍압과 풍속의 변화가 가장

적은 것을 선별하였다. 선별시험은 예비실험을 거친 다음 2003년 3월 30일부터 5월 1일까지 8주간 실시하였다.

부숙수피와 입자크기 : 부숙수피와 펄라이트를 70 : 30 (v/v)의 비율로 혼합하여 혼합충전재<3>을 조제하였다. 부숙수피의 평균 입자크기는 10.3 mm이었으며, 펄라이트의 경우 5 mm이하의 것을 구입하여 표준체로 0.6~1.2, 1.2~2.4, 2.4~5.0 mm로 구분하였다. 혼합충전재를 lab-scale 바이오필터 시스템에 충전하여 운전하면서 풍압과 풍속의 변화를 3분마다 30분동안 측정하였으며, 3반복 실험의 값을 산술평균하였다. 또한 혼합충전재<3-3>에 대하여는 미생물 균주를 접종하고 24시간 순치시킨 후, 4시간마다 36시간동안 취기가스를 측정하였다.

부숙수피와 펄라이트를 이용한 혼합충전재를 lab-scale 바이오필터 시스템에 충전한 모습을 <그림 3.1.13> 나타내었고, <표 3.1.10>에는 그 기초물성을 정리하였다.

나. Pilot-scale 바이오필터<모델 B>

1) Pilot-scale 바이오필터 시스템

혼합충전재<3>의 악취가스 제거율 실험을 위하여 (주)카보 텍의 pilot-scale 바이오필터 시스템<모델 B>를 임대·사용하였으며, 설계 및 운용파라미터는 다음과 같다.

설계 조건 : Pilot-scale 바이오필터 시스템에서는 다음과 같이 미생물의 정착에 적합한 조건을 충족시켜 주어야 한다.

- ▷ 충전재의 함수율 : 60~80%(w.b.)
- ▷ 악취제거가능 소요시간 : 10 s 이상
- ▷ 생육 가능 온도 : 10~37℃

시스템<모델 B>는 다음과 같은 설계치를 이용하여 제작하였고 <표 3.1.11 참조>, 그 설계도는 <그림 3.1.14>에 나타내었다.



**Composted chaffs of
pine**



Perlite

Fig. 3.1.12. Pictures of composted chaffs of pine and perlites.



Fig. 3.1.13. Column packed with the mixed material consisted of composted chaffs of pine and perlites.

Table 3.1.10. Characteristics of the composted chaffs of pine and perlites, and the material mixtures <Series 3>

Characteristics	Chaff of pine*	Perlite	Materials <3-1>	Materials <3-2>	Materials <3-3>
Bulk Density (g/cm ³)	0.36	0.25	0.32	0.33	0.33
Moisture content (%w.b.)	61.6	16.3	57.2	58.1	58.3
Porosity (%)	57.3	66.5	63.5	63.2	62.7
Water absorption (vol%)	13.8	11.2	28.6	27.3	26.5

* Chaffs of pine, composted.

Table 3.1.11. Technical requirements for designing the pilot-scale biofiltration system <Model B> from KavoTech Co. Ltd.

Items	Design factor	Remarks
Form	Cycle tandem type	
Biofilter's quantity	Two	
Air volume	6 m ³ /min	Variableness
Superficial velocity	Max. 360 h ⁻¹	Variableness
Linear velocity	Max. 0.18 m/s	Variableness
Detention period	Min 10 s	Variableness
Amount of water sprinkling	30 ℓ/m ³ day ⁻¹	
Dosage of nutrient	Max 1.2 ℓ/m ³ day ⁻¹	Variableness
1th water sprinkling time	3 min	Variableness
Max. pressure drop	200 mmAq	

용량의 계산 : 아래에 pilot-scale 바이오필터 시스템<모델 B>의 용량 계산결과를 제시하였다.

① 충전담체의 용량

▷ 충전 담체 용적 : $V = 6 * 60 / 360 = 1 \text{ m}^3$

▷ 각 biofilter의 충전담체 용적 : 0.5 m^3

② 충전층의 소요 단면적 및 지름

▷ 설계인자 : $LV \ 0.18 \text{ m/sec}$

▷ 충전층의 소요 단면적 $A = 6 / (60 * 0.18) = 0.56 \text{ m}^2$

▷ 원형 biofilter의 지름 $D = \sqrt{((4*A)/\pi)} = \sqrt{((4*0.56)/\pi)} \approx 0.85 \text{ m}$

③ 충전층의 소요 높이

▷ 설계인자 : $V = 0.5 \text{ m}^3$

$$A = 0.56 \text{ m}^2$$

$$D = 0.85 \text{ m}$$

▷ 충전층의 소요 높이 $H = 0.5 / 0.56 \approx 0.9 \text{ m}$

④ 충전층 압력손실

▷ 설계인자 : 40 mmAq/m-media

▷ 충전층 압력손실 : $0.9 * 40 = 36 \text{ mmAq}$

⑤ Duct 설비

▷ 설계인자 : 풍량 $6 \text{ m}^3/\text{min}$

▷ 통과속도 : 15 m/sec

▷ Duct 단면적 : $A = 6 / 15 * 60 = 0.0067 \text{ m}^2$

$$D = \sqrt{(4*0.0067/\pi)} \approx 100 \text{ mm}$$

⑥ 살수 설비

▷ 살수량 설계인자 : $30 \text{ L/media-m}^3\text{-day}$, 1일 6회, 1회 3분간 살수

▷ 1일 살수량 : 30 L/day

▷ 1회 살수량 : $30 / 6 = 5 \text{ L/회}$

▷ 살수 펌프 용량 : $5 \text{ L/회} * 1 \text{ 회}/3 \text{ min} = 1.67 \text{ L/min} * 20 \text{ mH}$

⑦ Nozzle

▷ 설계인자 : Nozzle 분사각 120° , 분사거리 (500~600 mm일때 최대),
간격 1 m , 4 EA/tower

▷ Nozzle 선정 : $1.67 \text{ L/min}/8 \text{ EA} = 0.2 \text{ L/min}$ (Nozzle 1개당 분사량)

▷ Nozzle 1.5 kg/cm²일 때 0.2 L/min, Full Cone Type

⑧ 역세 설비

▷ 역세 펌프 설계 인자 : 역세수 상승속도 10 m/h

▷ 역세 펌프 용량 : $0.56 \times 10/60 = 0.1 \text{ m}^3/\text{min} * 10 \text{ mH}$

▷ Air 주입량 설계인자 : 역세수 : Air = 1 : 0.6

▷ Air 주입량 : $0.6 \text{ m}^3/\text{min} \times 1.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$

⑨ ID FAN

▷ 가스도입부 압력손실 : 100 mmAq

▷ Biofilter 압력손실 : 36 mmAq

▷ System 압력손실 : 50 mmAq

▷ 압력 손실 합계 : 186 mmAq

▷ 설계압력손실 : 200 mmAq

▷ ID FAN 소요동력 = $(Q \times \Delta P / 6120) / (\alpha / \eta)$
= $(6 \times 200 / 6120) / (1.2 / 0.65) = 0.11 \text{ kW}$

시스템<모델 B>의 상세 사양 : 용량계산 결과를 근거로 산출한 pilot-scale 바이오필터 시스템의 상세 사양은 다음과 같다.

① 충전칼럼

▷ 용량 : 6 m³/min, 직렬식 2기

▷ 규격 : $\Phi 850 \times 2200 \text{ H}$

▷ 재질 : STS 304 or FRP(내산 재질)

▷ 부대설비 : 충전재 : 총 1 m³

Densimeter : Density 144 kg/m³

Manometer : 재질 Teflon

용량 : 0.2 L/min (사용압 1.5 kg/cm²)

② 급수탱크

▷ 용량 : 1 m³

▷ 규격 : $\Phi 1000 \times 1500 \text{ H}$

▷ 재질 : PP

▷ 수위계 : 전극봉 타입

- ▷ 보온 : 전기히터, 2 kW
- ③ Duct 통풍설비
 - ▷ 부식성 가스에 의한 부식방지와 내압에 견딜 수 있는 구조.
 - ▷ 규격 : $\Phi 100$ mm
 - ▷ 재질 : STS 304 or FRP
- ④ 유인송풍기
 - ▷ 형식 : 터보타입
 - ▷ 용량 : $6 \text{ m}^3/\text{min} \times 200 \text{ mmAq}$
 - ▷ 재질 : STS 304 3T
 - ▷ 기타 : 방진고무 설치
- ⑤ 부대 설비
 - ▷ 급수 펌프 : $1.67 \text{ L}/\text{min} \times 20 \text{ mH}$, 2대(예비포함)
 - ▷ 배수 펌프 : $1.67 \text{ L}/\text{min} \times 10 \text{ mH}$, 2 EA(예비포함)
 - ▷ 영양소 주입 펌프 : $33 \text{ ml}/\text{min} \times 2 \text{ kg}/\text{cm}^2$
 - ▷ 역세 펌프 : $0.1 \text{ m}^3/\text{min} \times 10 \text{ mH}$
 - ▷ 공기압축기 : $0.6 \text{ m}^3/\text{min} \times 1.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$
- ⑥ 기타
 - ▷ Utility 소요동력 : 2 kW

2) 무부하 상태에서의 시스템<모델 B>의 성능시험

무부하 상태에서 미생물에 의한 약취제거 소요시간 10 s 이상을 유지할 수 있는 즉 충전부의 풍속이 0.09 m/s 이하를 유지할수 있는 ID-FAN의 최적 주파수를 찾고자, 충전재를 충전하지 않은 상태로 20 Hz~60 Hz 범위에서 시스템<모델 B>의 풍속을 측정하였다. 주파수에 10 Hz씩 변화를 주면서 30분마다 3시간동안 측정하였고 3반복 실험의 값을 산술평균하여 최적의 입·출구 풍속을 계산하였다. 풍속계는 Kanomax Model 6112 (velocity range 0.01~50.0 \pm 0.01 m/s; temp. range 0.1~100.0 \pm 1 $^{\circ}$ C)를 <그림 3.1.16 참조> 흡기부와 배기부 중심부에 설치하였으며, 실리콘을 이용하여 기밀하였다. 충남대학교 농업생명과학대학에서 예비실험을 거친 다음 2003년 8월 20일부터 9월 3일까지 2주간 본실험을 수행하였다.

3) 시스템<모델 B>를 이용한 혼합충전재의 성능시험

부속수피와 펄라이트 70% : 30% (v/v)의 혼합충전재<3>에 미생물 균주를 접종하여 충전시키고 순치기간을 둔 다음 충전부 상·하층의 풍압차 변화, 풍속변화를 측정하였고, 시간에 따른 함수율의 변화, 미생물 생균수 및 악취가스 제거율을 측정하였다. 혼합충전재<3>의 총 충전량은 약 0.56 m³이었고, 부속수피는 약 0.392 m³, 펄라이트의 경우 약 0.168 m³소요되었다. 예비실험을 거친 다음 본실험은 2003년 9월 16일부터 10월 30일까지 7주간 충남대학교 농업생명과학대학에서 수행하였다.

실험조건 : 악취가스를 공기압축기에서 배출된 공기로 희석한 후 이를 무장식 모형돈사에 배출시키고, 모형돈사 안의 공기를 다시 바이오필터 시스템<모델 B>의 흡기부로 흡입하여 충전컬럼으로 공급하는 방식을 적용하였다. ID Fan은 최적 주파수 40 Hz에 맞추어 60시간동안 작동시켰고, 충전컬럼의 상·하층부의 압력차를 측정하기 위하여 장착한 차압계 (manometer)를 이용하여 일정간격으로 압력의 변화를 조사하였다. 또한 흡기부와 배기부에 장착한 sensor를 이용하여 흡·배기부의 풍속차를 측정하였다. 상·중·하층부의 함수율 변화를 측정하기 위하여 컬럼에 설치된 감시창을 이용하여 시료를 채취한 후, 건조오븐법을 사용하여 함수율을 측정하였다. 악취가스의 제거율은 흡·배기부에서의 농도차이를 백분율로 환산하였다. 각 측정치는 60시간동안 12시간 간격으로 측정하여 3반복 실험의 값을 산술평균하여 나타내었다.

다. 현장실험용 바이오필터<모델 C>

1) 현장실험용 바이오필터 시스템의 설계

Pilot-scale 바이오필터 시스템<모델 B>를 보완하여 소용량의 현장실험용 바이오필터 시스템<모델 C>를 설계하였으며, 바이오필터의 본체는 우송대학교 (박상진교수)로부터 임대·사용하였고, 여기에 계측 및 부수장비를 보완하고 제어 프로그램을 설치하였다. 전항의 <모델 A 및 B>와 다른 점은 바이오필터 본체의 하단부에 중량측정시스템을 장착하여 일정시간마다 중량을 측정함으로써 충전재의 중량변화에 따라 부족한 수분을 자동으로 산출·보충하여 미생물의 정착에 적

합한 함수율 60~80% (w.b.)와 풍온은 10~37℃를 유지하고; 가스의 유속은 충전층의 머무름시간이 10 s 이상 (악취제거 소요시간)이 되도록 하였다 [Cho 등, 2002; Garlinski 등, 2002; MWPS, 1998].

설계조건 및 내용 :

- ① 충전층의 악취가스 통과시간은 10초 이상을 유지하도록 한다.
- ② 충전층에 공급할 예상 급수량은 그 하단부에 로드셀을 설치하여 중량을 측정함으로써 수분보충량을 산출하여 공급한다.
- ③ 흡기부와 배기부에 감지장치를 장착하여 풍온·풍속을 측정할 수 있도록 한다.
- ④ 충전층 상·하부에 차압계를 장착하여 흡·배기의 음압차를 측정하여야 한다.
- ⑤ 송풍기에 공급되는 전원의 주파수조절에 의하여 풍량을 조정할 수 있어야 한다.

현장실험용 시스템<모델 C>의 외관 및 충전컬럼의 외형 치수 : 충전컬럼부, plenum chamber 및 급수부로 나누어 설계되었으며, 그 구조는 <그림 3.1.15>와 같다. 부식 방지를 위하여 STS304에 STS304 파우더를 도장하였으며, 충전컬럼부와 plenum chamber에 감시창을 설계하여 내부관찰이 용이하도록 설계하였다. 전체적인 크기는 내경이 260 mm이며 급수부, 충전컬럼부, plenum chamber의 길이는 각각 260, 350, 250 mm로서 컬럼의 1회 충전량은 겉보기 부피로 약 18,580 cm³이었다.

풍속측정장치 Kanomax Model 6112가 사용하였으며, 풍속감지기는 충전컬럼의 상단부와 하단부의 전단면 중심부에 설치하였다 [Martnec 등, 2001].

압력강하 (Pressure drop) 측정장치로서 압력범위 0~300±1 mmAq의 차압계 (Magnehelic Co., Ltd)를 사용하였으며, polyurethane tube로 충전컬럼의 상·하단부에 연결시켰다. <그림 3.1.17 참조>

송풍장치는 양압식으로 충전층에 공기를 공급하도록 turbo blower를 사용하였다. 최대배기량 1.5 CMM, 최대토출압 2000 mmAq, 정격토크 1500 mmAq이었다. <그림 3.1.18 참조>

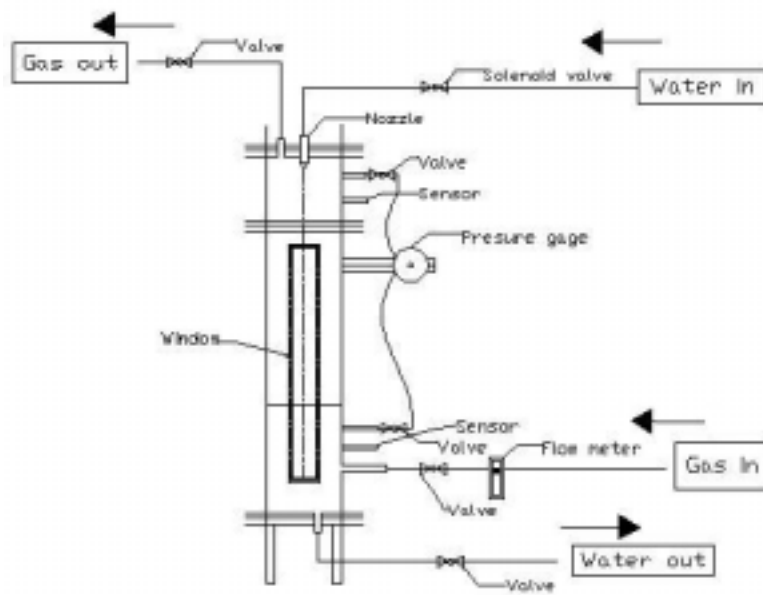


Fig. 3.1.15. Appearance of the spot-experimental biofiltration system <Model C>



Fig. 3.1.16. Kanomax Model 6112.



Fig. 3.1.17. Pressure drop gage.



Fig. 3.1.18. Turbo blower.

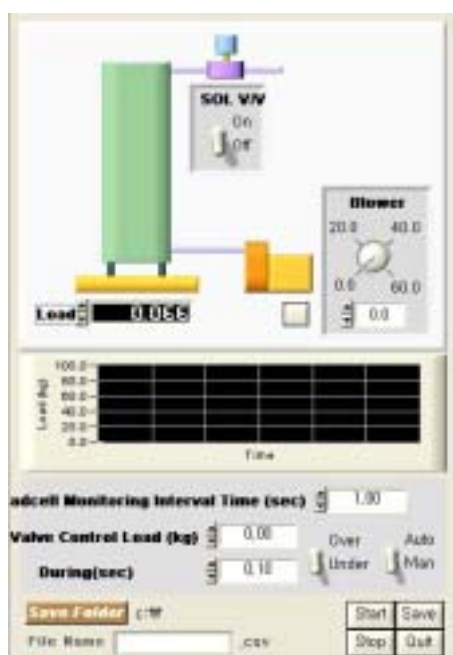


Fig. 3.1.19. Main display of the control program for pilot-scale biofilter system<Model C>.



Fig. 3.1.20. Gravimetry system.



Fig. 3.1.21. Spot-experimental biofiltration system <Model C> operating for the minimized pigsty. The main column of the system was provided by Professor Park, Woosong University.

제어프로그램 및 중량측정장치를 설계·장착하였다. 현장실험용 시스템<모델 C>에서는 중량측정장치 (Cas Co., Ltd. gravimetry system, 0~90 kgf with resolution 1/9000 kgf <그림 3.1.20 참조>)로 충전층의 중량 변화를 측정하고 여기에서 계산되는 함수율로부터 수분보충량을 자동으로 산출하여 공급하는 방식으로 설계하였으며, 이에 필요한 제어프로그램을 Lab Window CVI 5.5를 이용하여 작성하였다. 프로그램상에서 turbo blower에 공급되는 전원의 주파수를 조정함으로써 흡입되는 공기의 양을 조절하고, 또한 급수부에 장착된 solenoid valve를 제어함으로써 수분의 공급시간을 자동조절하도록 하였다. 제어프로그램의 초기화면은 <그림 3.1.19>에 나타내었다.

2) 현장실험용 시스템<모델 C>를 이용한 혼합충전재의 성능시험

현장실험용 시스템<모델 C>를 이용하여 미생물을 접종한 혼합충전재<3>의 성능시험은 두가지로 나누어 수행하였다. 즉 첫째, 무창식 모형돈사에 배출된 악취가스를 다시 바이오필터에 흡입하는 방식과 둘째, 실제 돈사내의 공기를 직접 흡입하는 방식으로 실험하였다. 예비실험을 거친다음 모형돈사에서 악취가스 제거 성능시험은 2004년 4월 5일부터 5월 10일까지 6주간 충남대학교 농업생명과학대학에 설치한 모형돈사에서; 그리고 실제돈사에서 성능시험은 2004년 5월 17일부터 7월 21까지 약 2개월간 부설동물사육장에서 각각 수행하였다.

모형돈사에서의 성능시험 : 현장실험용 시스템<모델 C>를 이용한 성능시험은 악취가스를 먼저 모형돈사로 배출시킨 다음 모형돈사 안의 공기를 다시 바이오필터로 흡입하여 실험하였으며, 충전층의 함수율이 자동조절되는 상태에서 상·하부의 풍압차의 변화, 풍속의 변화, 악취가스의 제거율, 미생물의 생균수를 측정하였다. 모형돈사에서 실험장면을 <그림 3.1.21>에 나타내었다.

실제돈사에서의 성능시험 : 현장실험용 시스템<모델 C>를 이용한 실제돈사에서의 악취가스 제거 성능시험은 모형돈사에서의 실험과 같은 방법으로 이루어졌다. 실제 돈사에서는 돈사내에서 나오는 공기를 흡입하여 충전칼럼에 통과시켜 악취가스 제거율을 측정하였으며, 실제돈사에서의 실험장면을 <그림 3.1.22>에 나타내었다.



Fig. 3.1.22. Pilot-scale biofilter system
<Model C> operating for the pigsty.

제 2 절 결과 및 고찰

축산악취의 화학성분을 분석하여 그 중에서 표적 성분을 선정하였으며, 그 결과를 <1 및 2항>에 기술하였다. 이러한 표적 성분을 분해할수 있는 미생물 즉 악취저감 균주를 자연계로부터 분리·선발하여, 그 생육특성과 대량배양 방법을 연구하고 상호 길항성 및 바이오필터 (생물막탈취장치)용 충전재에서의 정착성을 검토하였으며, 그 결과를 <3, 4 및 5항>에 기술하였다.

축사에 적용할 수 있는 바이오필터 시스템을 개발하고자, 모두 3가지의 모델을 설계·제작·운용하였으며, lab-scale 바이오필터 시스템<모델 A>에 관하여는 <6항>에, pilot-scale 바이오필터 시스템<모델 B>는 <7항>에, 현장실험용 바이오필터 시스템<모델 C>는 <8항>에 각각 결과를 기술하였다.

1. 축산악취의 화학성분

가. 축분의 악취성분

신선분 (fresh feces) : 각 실험가축 즉 착유우 (milking cow), 비육우 (fattening cattle) 및 육성우 (중송아지/ heifer), 산란계 (layer) 및 육성계 (중추/pullet), 성돈 (sow) 및 육성돈 (piglet)으로부터 신선분을 채취하여 전항 <3장1절 3항>의 실험방법에 따라 악취성분을 분석하였으며 그 결과를 <표 3.2.1.> 정리하였으며, 휘발성 지방산은 별도로 <표 3.2.3>에 나타내었다. 크로마토그램은 <부록/ 그림 A1.1~A1.16>에 첨부하였다.

암모니아 (ammonia, NH_3)는 모든 축분에서, 아민류 (amines, $\text{R} \cdot \text{NH}_2$)는 착유우를 제외한 기타의 모든 축분에서 검출되었으며, 황화수소 (hydrogen sulfide, H_2S)는 돈분과 계분에서만 검출되었다. 에틸메르캡탄 (ethylmercaptan, $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$)은 착유우분과 성돈분을 제외한 모든 축분에서 나왔으며, 메틸메르캡탄 (methylmercaptan, CH_3SH)은 착유우분과 육성우분을 제외한 기타의 모든 축분에서 검출되었

다. 그러나 황화수소와 질소산화물의 농도는 전체 축분에서 검출한계 이하이었다. 그리고 착유우분 및 비육우분 등 반추가축의 축분에서는 각종 악취성분이 단위동물의 경우에 비하여 비교적 낮은 농도로 검출되었는데, 이 결과는 섭취사료의 조성과 관련이 있는 것으로 즉, 반추동물은 조사료를 섭취함으로써 조단백질이나 지방의 섭취가 닭이나 돼지에 비하여 상대적으로 낮아지기 때문이라고 생각된다. 소 특히 착유우분에서는 이러한 현상이 뚜렷한 것으로 나타났다.

휘발성 지방산의 분석 결과는 <표 3.2.3>에 나타낸 바와 같이, acetic · propionic · butyric/ iso-butyric · valeric/ iso-valeric acids 등이 검출되었다. 특히 butyric 및 valeric acids는 돈분에서 함량이 높았고, 산란계의 경우 acetic, propionic 및 butyric acids의 농도가 타 축분보다 높았다.

한편 각 축분의 pH는 6.13~6.93의 범위를 나타내어 큰 차이가 없었다.

부숙분 (rotten feces) : 즉 1개월간 부숙시킨 축분을 위와 같은 방법으로 분석하여 얻은 결과를 <표 3.2.2>에 정리하였으며, 휘발성 지방산은 별도로 <표 3.2.4>에 나타내었다.

암모니아의 경우 30~94 ppm으로 신선분보다 농도가 상승되었고, 아민류의 농도도 20~75 ppm으로서 높아졌으며, 황화수소도 착유우와 비육우를 제외한 기타의 모든 축분에서 농도가 상승하는 경향이었다. 그러나 에틸머캅탄 · 메틸머캅탄 · indole · trimethylindole (skatole) · 휘발성 지방산류 등은 부숙분에서 검출한계 이하로 크게 감소하였다. 그리고 pH는 신선분과 부숙분 사이에 뚜렷한 변화가 없는 것으로 나타났다. 축분의 pH는 부패가 진행되는 과정에서는 각종 유기산이 생성되어 낮아지는 것이 일반적이지만 [太田, 1994], 부패가 최성기를 지날 경우 오히려 휘발성 산 등의 이탈 및 생성물의 2차적 분해로 pH가 다시 상승할 수도 있다.

휘발성 지방산은 <표 3.2.4>에 보는 바와 같이 acetic acid는 비육우와 성돈의 경우 신선분에서는 2.4~16.5 ppm 검출되었으나 부숙축분에서는 육성우분에서만 낮은 농도로 검출되었다. 그리고 산란계분은 신선분이 부숙분에 비하여 상대적으로 높은 농도를 나타내었으며, 육성계와 육성돈은 신선분에서는 검출되지 않았으나 부숙분에서는 검출되었다. Propionic acid는 신선분에서는 1.3~105.0 ppm 범위로 전축종의 축분에서 검출되었으나 부숙분에서는 우분에서는 검출되지 않았고,

계분과 돈분에서 낮은 농도로 검출되었다. iso-butyric acid는 신선분과 부숙분간에 일정한 경향을 보이지 않았고, butyric acid에서는 전체적으로 신선분에서는 높은 수치를 보였으나 부숙축분에서는 상대적으로 매우 낮은 수준으로 검출되었다. Iso-valeric acid는 우분과 계분에 있어서는 일정한 경향을 보이지 않았으며, 돈분의 경우에는 부숙분에서 현저히 감소하는 결과를 보였다. Valeric acid는 육성우·육성계·육성돈·성돈에서 1.1~51.8 ppm 검출되었으나 부숙분에서는 육성돈에서만 낮은 농도로 나타났고 나머지 축종에서는 검출되지 않았다. 이상 언급한 바와 같이 부분적으로는 일정한 경향이 관찰되지 않은 면도 있지만 전체적으로는 축분이 부숙됨에 따라 악취물질이 감소되고 있다. 이처럼 휘발성지방산의 농도에 있어 부숙 축분이 신선분보다 낮게 나타난 것은 신선분은 체내의 혐기적 조건의 영향을 받은 것으로 생각되며, 부숙축분은 배설 후 호기적 조건에 노출되었기 때문으로 추측된다. 김 등 [1999]도 그들의 연구에서 이와 같은 결론을 내리고 있다. 물론 부패 초기에는 이들 성분의 양이 일시적으로 많아질 수도 있다고 사료되며,

Table 3.2.1. pH and concentration of malodorous substances in various fresh feces

Fresh feces	pH	NH ₃	R · NH ₂	H ₂ S	C ₂ H ₅ SH	CH ₃ SH	Indole	3methyl indole
Fattening cattle	6.90	4	10	-*	7.5	10.0	-	-
Milking cow	6.90	2	-	-	6.9	-	-	-
Heifer	6.69	5	12	-	4.8	-	-	-
Layer	6.54	2	5	2.5	7.1	6.9	1.9	2.2
Pullet	6.93	5	10	2.0	0.5	3.2	-	-
Sow	6.13	5	5	19.3	-	4.1	1.0	1.2
Piglet	6.44	6	5	7.3	3.4	10.9	-	-

* : Not detectable

Table 3.2.2 pH and concentration of odorable substances in various rotten feces

Rotten feces	pH	NH ₃	R · NH ₃	H ₂ S	C ₂ H ₅ SH	CH ₃ SH	Indole	3methyl indole
Fattening cattle	6.90	30	20	-*	-	-	-	-
Milking cow	6.95	36	25	-	-	-	-	-
Heifer	6.62	45	51	4.0	-	-	-	-
Layer	6.63	60	46	18.3	-	-	-	-
Pullet	6.97	81	51	13.0	-	-	-	-
Sow	6.33	92	40	33.5	-	-	-	-
Piglet	6.56	94	75	8.6	-	-	-	-

* : Not detectable

Table 3.2.3. Concentrations of volatile fatty acids in various fresh feces

Fresh feces	Acetic	Propionic	<i>i</i> -Butyric	Butyric	<i>i</i> -Valeric	Valeric
Fattening cattle	2.4	1.3	-*	0.9	-	-
Milking cow	4.4	14.4	2.6	-	3.0	-
Heifer	16.5	1.7	-	2.2	-	1.1
Layer	84.7	105.0	12.2	69.0	-	-
Pullet	-	9.7	-	4.8	3.7	2.8
Sow	4.0	16.7	3.0	30.3	45.6	5.9
Piglet	-	53.4	-	156.0	30.5	51.8

* : Not detectable

Table 3.2.4. Concentrations of volatile fatty acids in various rotten feces

Rotten feces	Acetic	Propionic	<i>i</i> -Butyric	Butyric	<i>i</i> -Valeric	Valeric
	----- $\mu\text{g/g}$, DM feces -----					
Fattening cattle	-*	-	-	-	-	-
Milking cow	-	-	-	0.5	0.3	-
Heifer	4.4		0.8	-	1.5	-
Layer	3.1	1.0	-	3.2	-	-
Pullet	28.5	1.5	-	1.4	1.7	-
Sow	-	8.5	1.2	-	0.6	-
Piglet	7.2	15.2	1.3	22.8	8.5	6.4

* : Not detectable

Table 3.2.5. Concentration of malodorous substances in various farm buildings

Livestck house*	NH ₃	R · NH ₃	H ₂ S	C ₂ H ₅ SH	CH ₃ SH	VFA	NO ₂
	----- ppm, DM feces -----						
Fattening cattle I	-**	-	-	-	-	-	-
Fattening cattle II	-	-	-	-	-	-	-
Fattening cattle III	-	-	-	-	-	-	-
Layer I	1	1	-	-	-	-	-
Layer II	1	2	-	-	-	-	-
Layer III	2	1	-	-	-	-	-
Sow I	1	2	-	-	-	C ₂ : 0.1 C ₄ : 0.1	-
Sow II	3	2	-	-	-	-	-
Sow III	2	1	-	-	-	-	-

* Types of livestock house : Loose barn (for beef cattle); Conventional sow house; and Layer house with scrapers.

** Not detectable

Yasuhara 등 [1984]도 이와 같은 결과를 보고하고 있다.

나. 축사의 악취성분

축사내의 악취농도는 <표 3.2.5>에 나타난 바와 같이 동일 축종·규격의 가축을 사양하고 있는 축사를 3개소씩 선정하여 측정하였는 바, 비육우사는 개방우사인 관계로 검출한계 이하로 나타났으며, 산란계사는 스크래퍼가 설치된 케이지식 계사에서, 모돈은 재래식 돈사에서 측정하였는 바, 이들 두 축종에서는 암모니아와 아민류가 1~3 ppm으로 검출되었다. 그리고 모돈사 I에서 acetic acid와 butyric acid가 각각 0.1 ppm 검출되었다. 이는 축종별 축사는 물론 동일 축종이라고 하더라도 각각 다양한 관리 및 환경조건으로 인하여 직접 비교하는 것은 무리가 있으며, 섭취하는 사료의 영양수준과도 매우 밀접한 관련이 있을 것으로 생각된다. 그리고 축사내에서 축분의 악취성분이 휘발하여 확산되거나 환기에 의하여 희석되므로, 실제 축사내에서 악취농도를 측정하면 검출한계 이하로 나타날 수 있다. 또한 우사의 경우 대부분 개방형 축사이고, 섭취사료가 조사료 위주이므로 악취의 배출은 계사나 돈사보다 적었다고 생각된다.

다. 축종간 축분악취의 유사성

Alpha M.O.S.의 Fox 3000 전자코를 이용하여 전항 <1절 3의 나>의 방법에 따라 축분의 취기성분을 분석하였으며, 그 결과를 <그림 3.2.1.>에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 비육우, 착유우 및 육성우분의 냄새가 같은 그룹에 분포되는 결과를 나타내었고, 산란계와 육성계분도 유사성을 나타내었으나 타 축분과는 구별되는 결과를 보였다. 그러나 성돈분은 유사성을 나타내지 않고 독립적 위치를 나타냈다.

본 시험에 사용된 기종 Fox 3000은 12개의 metal oxide sensor에 의하여 냄새성분을 감지하여 그 반복 측정값을 통계적으로 분석하는 시스템으로써, 냄새를 구성하는 각 성분 함량의 다소와는 별도로 혼합가스를 하나의 그룹으로 인식하여

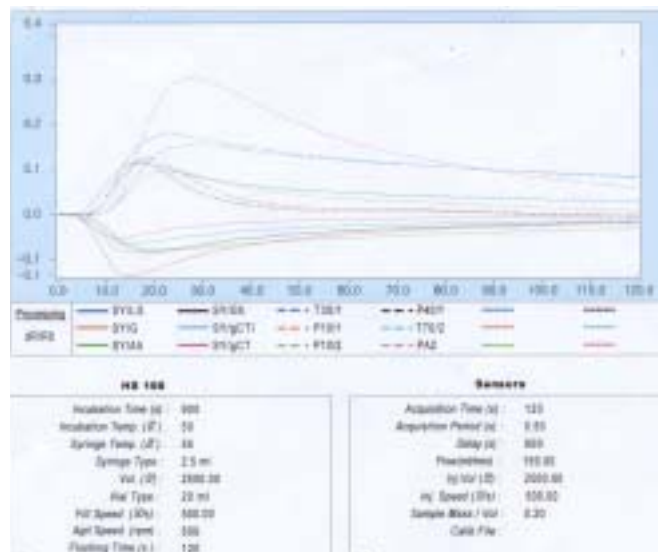
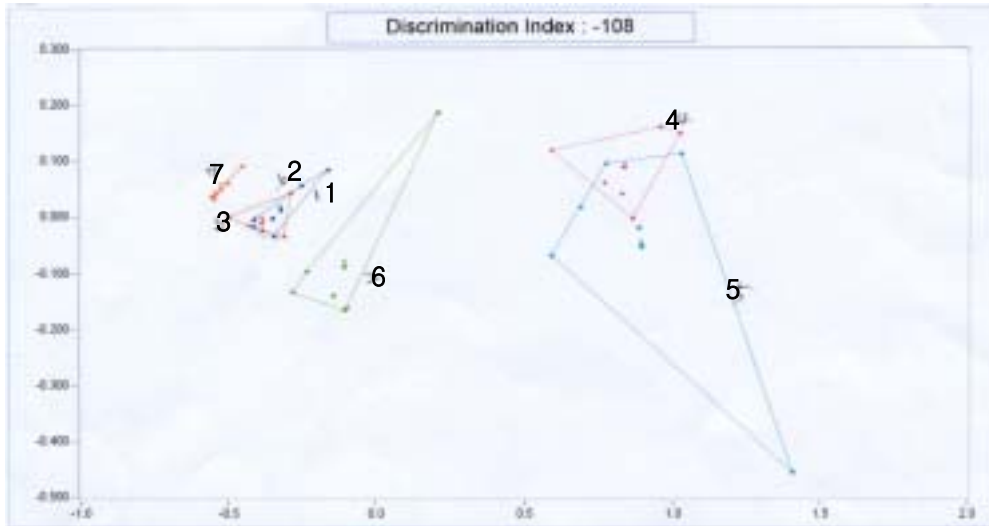


Fig. 3.2.1. Analysis of livestock feces odor by using an Electronic Nose Sensor Array System. Cattle: Fattening cattle<1>, milking cow<3> and heifer<6>; Poultry: layer<4> and pullet<5>; Pig: sow<2> and piglet<7>.

결과를 나타내고 있다. 따라서 그래프상에서 그룹을 형성하고 있는 점들이 분산되는 경우 유의성이 감소되는 것으로 해석되며, 여기에서 얻은 결과는 취기를 종합적으로 인식한 것이므로 성분의 정량적인 의미는 없으나 축종간 악취의 유사성을 분류할 수 있겠다.

2. 표적 악취성분의 선정

앞의 <1 및 2항>에서 얻은 분석자료를 근거로 이들을 비교 분석하여 표적 악취성분을 선정하였다.

- ▷ 황화합물: 황화수소 H_2S , 메틸메르캡탄 CH_3SH , 에틸메르캡탄 C_2H_5SH
- ▷ 질소화합물 : 암모니아 NH_3 , 아민류 $(CH_3)_3N$
- ▷ 휘발성지방산 : butyric 및 valeric acid (iso-포함)

등을 ‘일반적 표적성분 (general target compounds)’으로 선정하였고, 그 중에서도

- ▷ 황화수소 (threshold: 0.00047~4.6 ppm)
- ▷ 암모니아 (threshold: 1~46.8 ppm)

를 ‘주 표적성분 (primary target compounds)’으로 구분하였다. 여기에서 주 표적성분으로써 황화합물과 질소화합물 중 하나씩을 선정하고 butyric 및 valeric acid를 제외한 것은 휘발성지방산이 황화수소나 암모니아에 비하여 미생물에 의한 전환이 용이하므로, 바이오필터용 미생물 균주를 개발함에 있어서 황화수소나 암모니아를 분해할 수 있는 조건이면 이들 휘발성지방산도 함께 제거되기 때문이다. 그러나 휘발성지방산은 이미 오래전에 축산악취의 원인물질로서 지적된 바 있다 [Hamano 등, 1972].

한 등 [1984]은 돈분의 악취성분으로 암모니아, 황화수소, indole, skatole (trimethylindole), 휘발성지방산, cresol 등이라고 하였다. 또한 Yasuhara 등 [1980]은 돈분의 악취성분 중에 skatole, cresol, carboxylic acid도 포함하고 있다. 축분의 악취물질에 대하여 Zahn 등 [1997]은 황화수소, 암모니아, phenol, cresol, indole을 지목하고 있으며, Zhu 등 [1997a, 1997b]도 암모니아와 휘발성 지방산을 주된 성분

으로 지적하고 있다. 그리고, Brocker 등 [1998]은 아민류인 monomethylamine, dimethylamine, trimethylamine 등은 혐기적 상태에서는 다량 배출되지만 배설 후의 호기적 상태에서는 배출량이 급격히 감소된다고 하였다.

우리나라의 대기환경보전법 제2조 악취규제기준에 악취물질로써 황화수소 등 총 8종에 대하여 그 배출허용기준이 규정되어 있으며, 한편 일본 [1993]에서는 22종의 물질에 대한 규제하고 있다. 이들 8종 중에는 축산악취의 표적성분으로 선정된 암모니아, 트리메틸아민, 황화수소, 메틸메르캅탄 등이 포함되어 있고, <표 3.2.5>의 결과를 보면 암모니아와 트리메틸아민 성분이 축산단지를 벗어난 장소에서는 일부 계사 및 돈사에서 기준 농도를 초과할 수도 있을 것이다.

Table 3.2.6. Regulations for the control of malodorous substances

악취물질	배출허용기준* (ppm)		비 고 (측정방법)
	공업지역	기타지역	
황화수소	< 0.2	< 0.06	기기분석법**
메틸메르캅탄	< 0.01	< 0.004	기기분석법
황화메틸	< 0.2	< 0.05	기기분석법
이황화메틸	< 0.1	< 0.03	기기분석법
암모니아	< 5	< 2	기기분석법
트리메틸아민	< 0.07	< 0.02	기기분석법
아세트알데히드	< 0.5	< 0.1	기기분석법
스틸렌	< 2	< 0.8	기기분석법

*대기환경보전법 제2조

**기기분석법이외에 직접관능법, 공기희석관능법 등이 제시되어 있음.

3. 악취저감 미생물균주의 분리 및 우수균주의 선발

전항 <3장 2절 2>에서는 축산악취 성분을 분석·평가하여 ‘일반적 표적성분 (general target compounds)’으로써 황화합물·질소화합물·휘발성지방산의 3개군의 물질과 그 중에서 ‘1차 표적성분 (primary target compounds)’으로 암모니아와 황화수소를 선정한 바 있다. 여기에서는 이러한 1차 표적성분을 분해·제거할 수 있는 미생물을 자연계로부터 분리하고 우수균주를 선발하여 바이오필터용 미생물 균주를 개발하였다.

가. 악취저감 미생물균주의 분리

Lab-scale 바이오필터<모델 A-1, 그림 3.1.1>에서 고농도의 악취성분을 공급함으로써 집식배양 조건을 부여하여, 즉 바이오필터의 컬럼에 분리원으로서 유기질 비료 (돈분 및 계분퇴비, 수피 및 피트퇴비), 폐수처리오니 (활성오니, 소화농축조, 탈수슬러지), 퇴적토양 (하수 및 소화천) 등을 충전용 담체와 함께 혼합하여 접종하고 25±5℃에서 일정농도의 기체 (NH₃: 120 ppm 및 H₂S: 60 ppm)를 8주일간 통과시키면서 이러한 조건에서 충전재에 정착하여 우점하고 있는 세균을 각 컬럼으로부터 분리하였으며 질소 및 황 순환과정<그림 3.2.2 및 3.2.3>에 따라 암모니아 산화균 및 황화수소 산화균을 선발하였다.

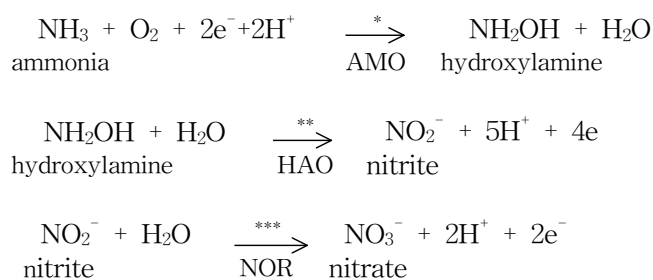


Fig. 3.2.2. Nitrification by bacterial enzymes.

* AMO, ammonia monooxidase; ** HAO, hydroxylamine oxidoreductase;

*** NOR, nitrite oxidoreductase.

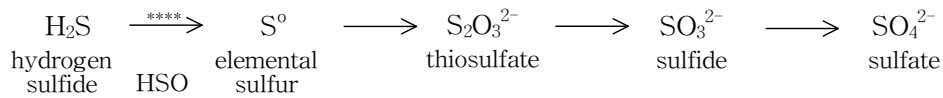


Fig. 3.2.3. Chemolithotrophic oxidations of sulfur.

**** HSO, hydrogen sulfide oxidase.

나. 암모니아 산화균

집식배양 컬럼으로부터 NH₃산화세균배지<A2>의 gelrite 평판에서 생육하는 78주의 암모니아 산화균 (NH₃-oxidizing bacteria)을 분리하고 이들을 대상으로 암모니아 산화력을 비교하였다. 분리균을 NH₃산화세균배지<A2> 120 ml (in 500-ml shake flask/ supplemented with 0.1% mannitol 또는 glucose)에 접종하여 28°C

Table 3.2.7. Selection of the isolates for ammonia oxidation

Strain No	NH ₄ -N (mg ℓ ⁻¹)			Medium<A2> Supplementation*
	0 h**	24 h	72 h	
AA1-1	420	294	265	Glucose
A2-5.1	420	330	313	Mannitol
A3	420	238	141	Mannitol
A4-2	420	343	329	Mannitol
K4-3.2	420	330	325	Glucose
M7-1	420	335	317	Mannitol

The isolates were cultivated in shake flasks containing the media<A2> which supplemented with 0.25% of carbon sources at 28°C for 72 h. The culture were taken with time intervals, and analyzed NH₄-N and NO₂-N according to the methods of Indophenol-Blue and Diazotization, respectively.

에서 72시간 배양하면서 경시적으로 배양액 중의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 $\text{NO}_2\text{-N}$ 를 정량하여 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 감소율을 비교함으로써 우수균주를 선발하였다. 분리균 중에서 암모니아 산화력을 나타내는 것은 분리번호 AA1-1, A2-5.1, A3, A4-2, K4-3.2 및 M7-1의 6개 균주로서 이들 1차 선발균주의 암모니아 산화활성은 <표 3.2.7>에 나타낸 바와 같다.

암모니아 산화율을 72 시간기준으로 계산하면 분리번호 A3균주의 경우 66.4%, AA1-1는 37%, 기타의 균주는 21.7~25.5% 수준이었으므로 최종적으로 A3 균주를 우수균주로 선정하였다.

다. 황화수소 산화균

집식배양 컬럼으로부터 $\text{NB} + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 배지에서 생육하는 109균주를 분리하였다. 분리 균주들을 대상으로 황 산화력의 보유여부를 확인하기 위하여 1차적으로 thiosulfate \rightarrow sulfate의 전환율을 측정하여 비교적 전환율이 높은 38개 균주를 선발하였다. <표 3.2.8>에 나타낸 바와같이 균주번호 S1-3, S4-2.3, S5-5.2, J2-6, 및 M2-3 등의 5개 균주가 전환율이 높았으며, 이 중에서도 S5-5.2가 가장 크게 나타났다 <그림 3.2.4 참조>. 이들 5개 균주에 대하여 hydrogen sulfide oxidase의 활성도를 비교하여 그 결과를 <그림 3.2.5>에 나타내었으며, 여기에서도 S5-5.2 균주가 황화수소의 산화력이 가장 높았기 때문에 (11,393 units/mg whole cells) 이를 우수균주로 최종 선정하였다.

라. 분리균주의 동정

1) 암모니아 산화균

MIDI에 따라 균체지방산의 조성 (cellular fatty acid profile)을 분석하여 결과를 <표 3.2.9>에 정리하였고, 그 GC 크로마토그램은 부록에 첨부하였다 <부록 그림 A2.1 참조>. 그리고 탄소원을 달리한 4개 평판배지에서 생육한 이들의 콜로니 형태를 사진으로 나타내었다 <그림 3.2.7 및 3.2.8 참조>.

Table 3.2.8. Selection of the isolates for sulfur oxidation

Strain Number	Growth (OD ₆₁₀)	Final pH	SO ₄ ²⁻ <ppm>
Y7-7	0.73	8.18	830.6
Y7-9	0.79	8.62	292.8
Y8-7	0.75	7.81	911.2
Y8-8	1.86	8.38	451.3
Y8-9	2.08	8.52	451.3
Y9-8	1.69	8.44	840.0
Y9-10	0.11	8.13	833.7
Y9-11	0.06	7.65	774.2
Y9-12	0.22	7.94	937.5
Y9-15	4.45	8.68	821.8
S1-1	0.99	8.06	764.0
S1-3	0.80	7.92	937.0
S4-2.3	0.94	8.85	1066.0
S5-1	1.26	8.76	866.6
S5-3	0.53	8.36	857.2
S5-5.1	1.68	8.32	800.7
S5-5.2	0.83	5.19	1809.8
S6-3	1.10	8.62	88.9
S8-11	1.69	8.71	772.6
J1-2	1.11	8.56	988.0
J1-5	0.33	7.77	814.0
J1-9	0.18	7.53	1042.1
J2-2	0.48	8.78	941.6
J2-4	0.86	8.38	1071.6
J2-5.1	0.03	7.49	890.0
J2-6	1.13	9.04	1031.0
J3-2	0.92	8.47	1110.3
K2-2.2	0.34	8.47	652.4
K2-2.3	0.37	8.62	162.2
K2-3.2	0.57	8.90	893.6
K4-4	0.35	7.90	926.9
K6-1	0.31	8.66	877.0
K6-2	0.20	7.27	939.1
K6-3	0.27	8.94	114.3
M1-2.3	0.64	8.76	757.3
M2-2	0.84	8.59	375.1
M2-3	0.85	6.25	1378.6
M7-15	1.56	9.01	890.9

Sulfur oxidation presented as the conversion rate of sulfate from thiosulfate.

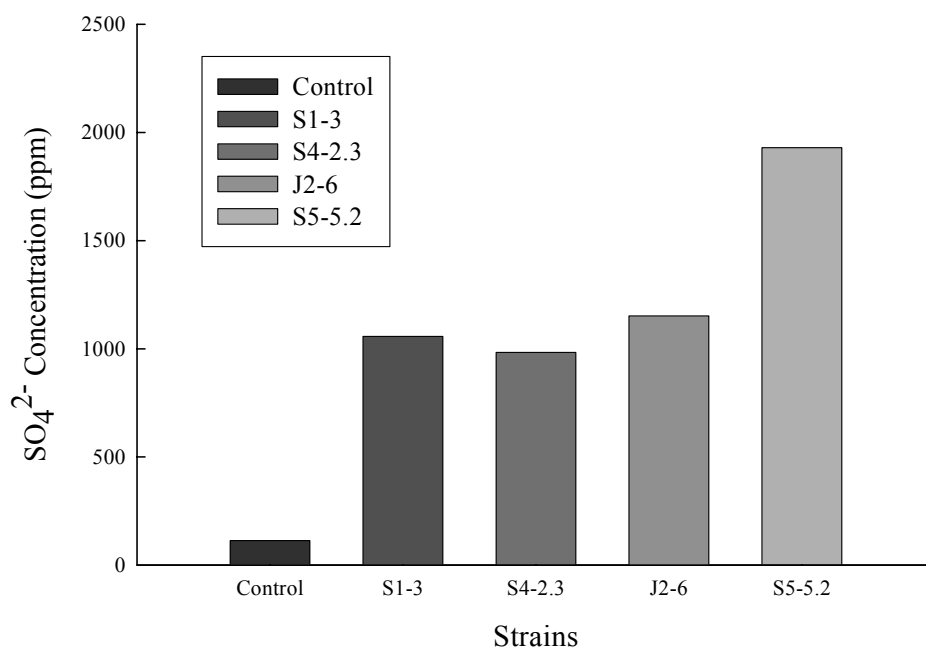


Fig. 3.2.4. Sulfur oxidation by the selected strains, S5-5.2, J2-6, S1-3 and S4-2.3.

Note refer to the table 1.

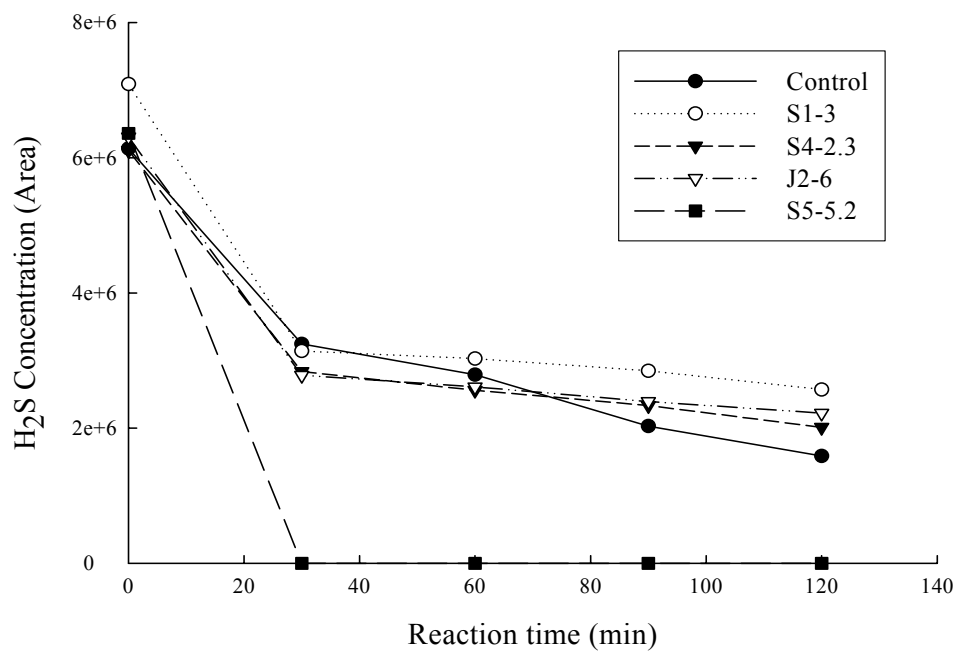


Fig. 3.2.5. Hydrogen sulfide oxidizing activities by the selected strains, S5-5.2, J2-6, S1-3 and S4-2.3.

- ▷ **A1-1** : Unknown (No match)
- ▷ **A2-5.1**: *Hydrogenophaga pseudoflava*
- ▷ **A3** : *Rhodococcus equi*
- ▷ **A4-2** : Unknown (*Rhodococcus equi*와의 상동성이 있으나 극히 낮음)
- ▷ **K4-3.2**: *Deinococcus erythromyxa*
- ▷ **M7-1** : *Arthrobacter ramosus*

2) 황화수소 산화균

MIDI에 의한 분석결과를 <표 3.2.10>에 정리하였으며, 그 GC 크로마토그램은 부록에 첨부하였다. <부록 그림 A2.2, 2.3, 2.4 참조>

우수균주 S5-5.2 균주는 주요 지방산으로 C_{17:0} cyclo (23.58%), C_{16:0} (16.90%) 그리고, C_{18:1} w7c, C_{19:0} cyclo w8c 등이 있고, iso I-C_{16:1}, iso 2OH-C_{15:1} 등 다양한 branched chain의 것을 함유하고 있었으나, MIDI data의 자료에서 지방산분포의 상동성을 가지는 균종을 찾지 못하였으므로 16S rDNA 서열에 의한 계통학적 분류법을 시도하게 되었다. 균주 S5-5.2와 *E. coli*의 16S rDNA를 정제하여 순도를 확인하고, 정제된 16S rDNA의 염기서열 (1,500 bp)을 분석하였다 <부록 그림 A2.5 및 2.6 참조>. 그 염기서열을 EMBL/GenBank의 database와 비교하여 근린결합법으로 계통분류한 결과, S5-5.2 균주는 *Alcaligenes*속에 속하는 하나의 종(species)로 동정되었다 <그림 3.2.6>. *Alcaligenes*속에 포함되는 계통학적 그룹에 속하며, 속내의 미동정균과 95%의 유연관계를 나타내었다.

- ▷ **M2-3** : Unknown (*Pseudomonas doudoroffii*와의 상동성이 있으나 극히 낮음)
- ▷ **J2-6** : Unknown (No match)
- ▷ **S1-3** : *Nocardia otitidiscaviarum*
- ▷ **S4-2.3**: *Ochrabactum anthropi*
- ▷ **S5-5.2**: *Alcaligenes* sp. (No match with MIDI data)

Table 3.2.9. Fatty acid profiles of the selected strains, NH₃-oxidizing organisms, which obtained by MIDI system

Strain No.	Fatty Acid Profile	Identified as
<NH ₃ >		
A4-2	10:0 0.37/ 12:0 0.17/ 14:0 4.33/ un14.959 3.57/ 16:1w7c &15 iso2OH 1.40/ 15:0 iso2OH&16:1 w7c 22.58/ 16:0 31.67/ 16:0 10methyl 3.82/ 18:1 w9c 0.80/ 18:1 w7c 0.76/ 18:0 1.75/ tbsa10Me18:0 18.01/ un18.84&19:1 w6c 1.38/ 19:0 6.40/ 20:4 w6,9,12,15c 3.00/ 16:1 w7c& 15 iso2OH 23.99/ un18.84&19:1w6c 1.38	<i>Rhodococcus equi</i> (0.093)
K4-3.2	10:0 0.41/ 12:0 0.23/ 13:0 iso 0.28/ 14:0 iso 1.01/ 14:1 w5c 0.48/ 14:0 2.57/ 13:0 2OH 0.11/ 15:1 isoI&13:0 3OH 0.56/ 15:0 iso 17.91/ 15:0 anteiso 57.70/ 15:1 w6c 0.67/ 16:1 isoH 0.34/ 16:0 iso 0.67/ 16:1 w7c&15 iso2OH 7.66/ 16:0 3.32/ iso17:1 w9c 0.78/ anteiso17:1 w9c 1.12/ 17:0 iso 0.83/ 17:0 anteiso 1.41/ 17:0 0.27/ 18:0 0.55/ un18.81 0.50/ 18:1 2OH 0.62/ 15:1 isoH& 13:0 3OH 0.56/ 16:1 w7c&15 iso2OH 7.66	<i>Deinococcus erythromyxa</i> (0.711)
M7-1	10:0 0.32/ 13:0iso 0.16/ 13:0 anteiso 0.15/ 14:0 iso 2.08/ 14:1 w5c 0.13/ 14:0 0.35/ 15:1 anteisoA 0.58/ 15:0 iso 8.61/ 15:0 anteiso 76.00/ 16:0 iso 5.15/ 16:0 0.79/ 17:0 iso 0.44/ 17:0 anteiso 5.25	<i>Arthrobacter protophormiae/ ramosus</i> (0.725)
A2-5.1	10:0 0.06/ 10:0 3OH 2.46/ un11.799 0.05/ 12:0 3.28/ 14:1 w5c 0.15/ 14:0 3.22/ 15:1 w6c 0.14/ 15:0 0.21/ 16:1 w7c&15 iso2OH 48.41/ 16:1 w5c 0.11/ 16:0 20.88/ 17:0 0.11/ 18:1w7c 20.62/ 18:0 0.12/ 11methyl 18:1w7c 0.07/ un18.846&19:1w6c 0.10/ 16:1w7c&15 iso2OH 48.41/ un18.846&19:1w6c 0.10	<i>Hydrogenophaga pseudoflava*</i> (0.805)
A3	10:0 0.67/ 12:0 0.16/ 14:0 5.5/ 15:1 w8c 0.19/ 15:1 w5c 0.29/ unknown 14.959 0.52/ 15:0 1.63/ 16:1 w9c 0.44/ Sum in feature 3 22.53/ 16:0 30.74/ 17:1 w8c 1.40/ 17:0 1.75/ 18:1 w9c 17.66/ 18:0 1.89/ tbsa 10Me 18:0 11.18/ Sum in feature 6 1.02/ 20:2 w6,9c 2.25	<i>Rhodococcus equi</i> (0.424)
AA1-1	10:0 iso 0.12/ 10:0 0.60/ 10:0 2OH 0.21/ 10:0 3OH 16.08/ 12:0 8.58/ 11:0 iso 3OH 0.10/ 11:0 3OH 0.16/unknown 12.484 0.52/ 13:1 at 12-13 0.53/ 12:0 2OH 35.24/ 12:1 3OH 0.15/ 12:0 3OH 12.42/ 14:0 0.63/ 15:0 0.26/ Sum in feature 3 5.92/ 16:0 6.41/ Sum in feature 4 0.79/ 17:0 cyclo 3.31/ Sum in feature 5 0.65/ 18:1 w7c 5.27/ 18:1 w5c 1.13/ 19:0 cyclo w8c 0.92	No match

* Previously known as *Pseudomonas pseudoflava*

Table 3.2.10. Fatty acid profiles of the selected strains, H₂S-oxidizing organisms, which obtained by MIDI system

Strain No.	Fatty Acid Profile	Identified as
<H ₂ S> M2-3	10:0 0.18/ 9:0 3OH 0.03/ 11:0 iso 0.04/ 11:0 0.30/ 10:0 3OH 3.10/ un11.799 3.75/ 12:0 5.42/ 11:0 iso3OH 0.34/ 11:0 3OH 0.32/ un12.484 0.07/ 13:0 iso 0.40/ 13:0 0.37/ 12:0 2OH 0.04/ 12:1 3OH 0.02/ 12:0 3OH 2.72/ 14:1 w5c 0.29/ 14:0 2.27/ 13:0 3OH&15:1 iI&H 0.09/ 15:0 iso 0.27/ 15:1 w8c 0.80/ 15:1 w6c 1.69/ 15:0 3.46/ 14:0 3OH&16:1 isoI 0.04/ 16:0 iso 0.06/ 16:1 w7c&15 iso2OH 27.19/ 15:0 iso2OH&16:1 w7c 3.94/ 16:1 w5c 0.21/ 16:0 11.13/ iso17:1 w9c 0.07/ 17:0 iso 0.74/ 17:1 w8c 2.28/ 17:1 w6c 1.10/ 17:0 0.93/ 16:0 3OH 0.02/ 18:1 w7c 24.74/ 18:0 0.32/ 11methyl18:1 w7c 0.27/ 17:0 iso3OH 0.06/ un18.814 0.24/ un18.846 &19:1 w6c 0.56/ 19:0 10methyl 0.12/ 15:1 isoH&13:0 3OH 0.09/ 12:0 ALDE 0.04/ 16:1 w7c&15 iso2OH 31.13/ un18.846&19:1 w6c 0.56	<i>Pseudomonas doudoroffii</i> (0.070)
J2-6	10:0 iso 0.39/ 10:0 0.31/ 11:0 iso 11.46/ 11:0 anteiso 0.76/ 12:0 iso 0.19/ 11:0 iso3OH 7.32/ 11:0 2OH 0.37/ 13:0 iso 0.37/ 12:0 iso3OH 0.36/ 14:0 iso 2.15/ 14:1 w5c 0.09/ 14:0 0.75/ un14.263 0.22/ 15:1 isoF 3.63/ 13:0 3OH&15:1 iI&H 0.26/ 15:0 iso 38.60/ 15:0 anteiso 2.80/ 15:0 0.21/ 16:1 w7c/ 16:1 isoH 1.54/ 16:0 N alcohol 0.09/ 16:0 iso 7.61/ 16:1 w7c&15 iso2OH/ 16:0 1.46/ iso17:1 w9c 14.38/ 17:0 iso 1.90/ 17:0 anteiso 0.12/ 15:1 isoH&13:0 3OH 0.26/ 16:1 w7c&15 iso2OH 1.72	No match
S1-3	10:0 0.79/ 14:1 w5c 0.32/ 14:0 3.10/ 15:1 w8c 0.59/ 15:1 w5c 0.50/ 15:0 1.71/ 16:1 w9c 0.35/ 15:0 iso2OH &16:1 w7c 27.75/ 16:0 40.52/ 17:0 0.77/ 18:1 w9c 4.11/ 18:0 0.86/ tbsal0Me18:0 18.63	<i>Nocardia otitidiscaviarum</i> (0.323)
S4-2.3	10:0 1.43/ 11:0 2OH 0.40/ 14:1 w5c 0.61/ 14:0 0.55/ 13:0 3OH&15:1 iI&H 0.89/ 15:0 0.85/ 16:1 w7c&15 iso2OH 2.33/ 16:0 15.47/ 17:0 cyclo 1.77/ 17:0 2.52/ 18:1 w7c 35.18/ 18:0 3.55/ 19:0 cyclo w8c 32.30/ 18:1 2OH 2.14/ 15:1 isoH&13:0 3OH 0.89/ 16:1 w7c&15 iso2OH 2.33	<i>Ochrabactum anthropi</i> (0.300)
S5-5.2	unknown 1.77/ 12:0 23.64/ 12:0 2OH 2.73/ 14:0 0.67/ Sum in feature 16.23 (14:0 3OH/16:1 iso)/ Sum in feature 7.69 (16:1 w7c/ 15 iso 2OH)/ 16:0 16.90/ 17:0 cyclo 23.58/ 16:0 2OH 3.03/ 18:1 w7c 1.48/ 19:0 cyclo w8c 2.27	No match

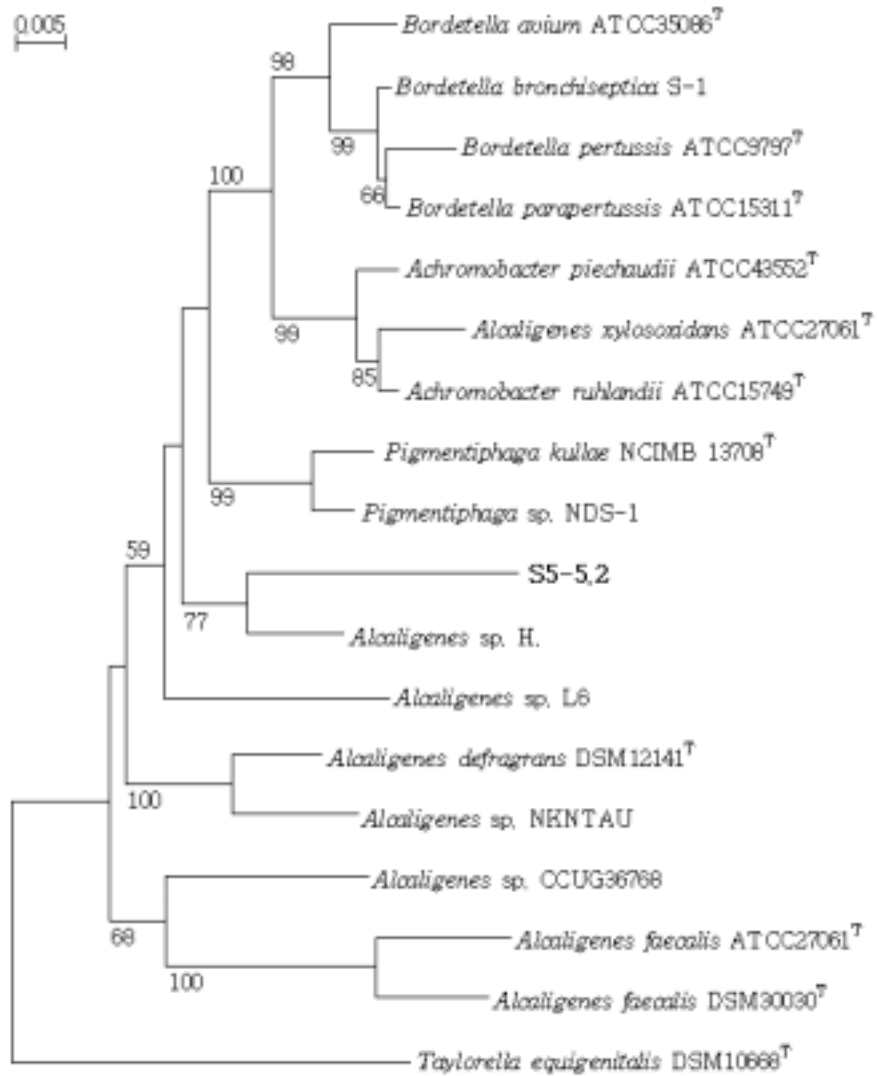


Fig. 3.2.6. Phylogenetic tree based on 16S rDNA partial sequence showing the position of S5-5.2 and the type strains of related bacteria taxa. Scale bar represents 0.005 substitution per nucleotide position.

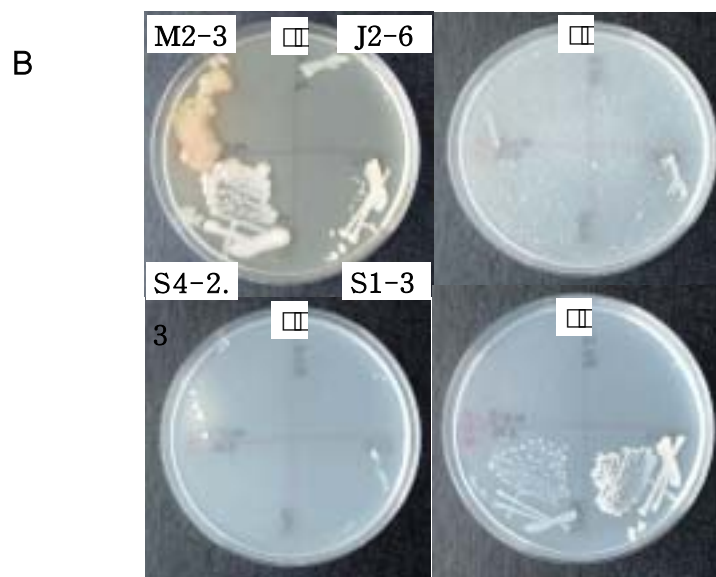
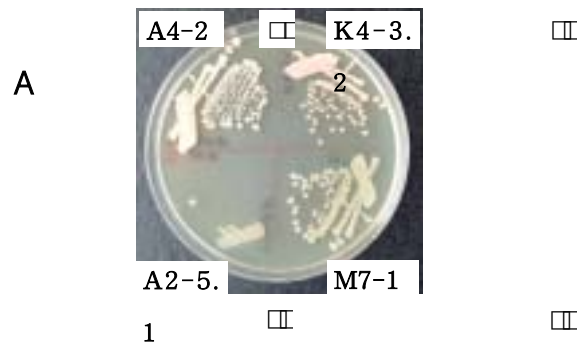


Fig. 3.2.7. Colony morphologies of the selected bacterial strains which grown in various agar plates. <A> Ammonia-oxidizing strains, and Hydrogen sulfide-oxidizing strains : P, nutrient agar; C, casein-cholesterol agar; G, glucose-cholesterol agar; N, *Nitrosomonas* medium; and T, *Thiobacillus* medium.



Fig. 3.2.8. Colony morphologies of the selected bacterial strains which grown in various agar plates. <A> and Ammonia-oxidizing strains, and Hydrogen sulfide-oxidizing strains : TSA, trypticase soy agar; NA, nutrient agar.

4. 악취저감균의 생육특성 및 대량배양

전항에서 분리·선발한 악취저감균을 바이오필터에 접종하기 위하여는 미생물 균체의 배양액을 효율적으로 생산해야 하므로, 여기서는 각 균주의 배지 및 배양적 성질을 조사하고 이를 근거로 발효조에서의 액체배양법을 적용하여 대량배양을 위한 기초자료를 구하였다.

가. 암모니아 산화균

먼저 배지성분 중에서 무기영양소를 제외하고 흔히 사용하는 유기성 배지 즉 nutrient broth를 대조구로 하고 yeast extract, soytone, peptone, trypticase peptone, brain heart infusion을 기질로 하여 선발균주의 생육을 비교하였으며 그 결과를 <표 3.2.11>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 다양한 배지성분 중에서 NB를 대체할 만한 유기성 배지를 찾지 못하였으며, soytone 등이 다음으로 좋은 결과를 나타내었다.

선발균주를 전배양한 다음 밀기울 (wheatbran) 배지를 사용하여 고체배양 (solid cultivation)을 하거나, 또는 액체배지로 발효조에서의 회분식 (batch) 및 반연속식 (semicontinuous) 배양방법을 적용하여 생균체의 생육과 균체회수율을 비교한 결과, 발효조를 사용한 반연속식 배양방법이 가장 효율적이었다. *Rhodococcus equi* A3의 경우 12시간마다 발효조 운용용량의 9/10량의 배양액을 회수 할 수 있었다 <그림 3.2.11>.

나. 황화수소 산화균

전항에서와 같이 황 산화균에 대하여도 유기성 배지를 검토한 결과, <표 3.2.11.>에서 보는 바와 같이 유사한 결과를 얻었다. 또한 배양방법에 있어서도 발효조를 사용한 반연속식 배양방법이 가장 효율적이었다. *Alcaligenes* sp. S5-5.2의 경우 매 18시간마다 발효조 운용용량의 9/10량의 배양액을 회수 할 수 있었다 <그

립 3.2.11.>.

NB + Na₂S₂O₃배지에 고체배지에서 자란 S5-5.2의 균체 1백금이를 접종하여 30°C, 150 rpm에서 진탕배양을 하면서 일정시간 간격으로 610 nm에서 흡광도 (탁도)를 측정하여 균체의 증식속도를 확인하였다. <그림 3.2.10.>에 나타난 것처럼 6시간 이후부터 48시간까지 탁도가 증가하였으며, 48시간 이후부터는 완만하게 감소하였다. 일정시간 간격으로 시료를 취하여 배양여액 중의 sulfate 농도를 IC로 측정한 결과, <그림 3.2.10.>에서 보는 바와 같이 배양 72시간에 이르는 동안 sulfate 농도는 현저하게 증가하여 배양기간내 그 수준을 유지하였으며 배양 120시간 이후부터 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 배양액의 pH 변화를 보면 초기의 pH 7로부터 배양 12시간까지는 pH 9의 수준으로 상승하였고, 기질의 산화 (thiosulfate→sulfate)에 따라 배양 18시간부터는 저하되어 7일 후 pH 4.67을 나타

Table 3.2.11. Growth of the selected bacterial strains on various organic media

Organic media		<i>R. equi</i> A3		<i>Alcaligenes</i> sp.S5-5.2	
		12 h	48 h	12 h	48 h
Nutrient broth	0.4%	0.4	1.2	0.3	1.1
	0.8%	0.4	1.4	0.5	1.8
Yeast extract	0.5%	<0.1	0.6	<0.1	0.6
	1.0%	<0.1	1.0	<0.1	0.8
Peptone	1.0%	<0.1	0.3	<0.1	0.2
	2.0%	<0.1	0.3	<0.1	0.3
Soytone	1.0%	0.2	0.9	0.2	0.9
	2.0%	0.2	1.3	0.3	0.9
Trypticase soybroth	1.5%	0.2	1.1	0.2	0.7
	3.0%	0.2	1.1	0.2	0.9
Brain heart infusion	1.9%	<0.1	0.8	<0.1	0.3
	3.8%	<0.1	1.1	<0.1	0.3

The strains were grown on the media (the basal salt 0.2% K₂HPO₄, + Difco organic media with the concentrations indicated, pH 6.8) at 37°C by shaking, and then their turbidities were measured by A₆₁₀ with time intervals.

내었다.

Alcaligenes sp. S5-5.2 H₂S oxidase의 부분정제 및 특성 : NB + Na₂S₂O₃배지에서 배양액 16 L로부터 얻은 80 mL (1,178 mg protein)의 추출물을 2% protamine sulfate로 처리하여 핵산을 제거하고 (NH₄)₂SO₄로 분별 침전하여 35~70% 포화도 (644 mg protein/14 mL)에서 가장 높은 효소력 (16,810 units mg⁻¹ protein)을 확인하였다. 이를 투석하여 탈염 한 후 겔 여과법과 이온교환크로마토그래피를 적용하여 효소를 부분적으로 정제하고 그 특성을 구명하였다. <표 3.2.12.>

Table 3.2.12. Characteristics of the partially purified H₂S oxidase from *Alcaligenes* sp. S5-5.2

Properties	Remarks
Optimum pH	pH 6.5
pH stability	pH 4.0 ~ 7.0
Optimum temperature	40°C
Thermostability	▷ 0~40°C; ▷ lost 40% of activity above 40°C
Inhibition	▷ 3 mM EDTA; ▷ not affected by 1 mM의 Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Ba ²⁺ , Al ³⁺ , Mn ²⁺ and 10 μM의 FAD

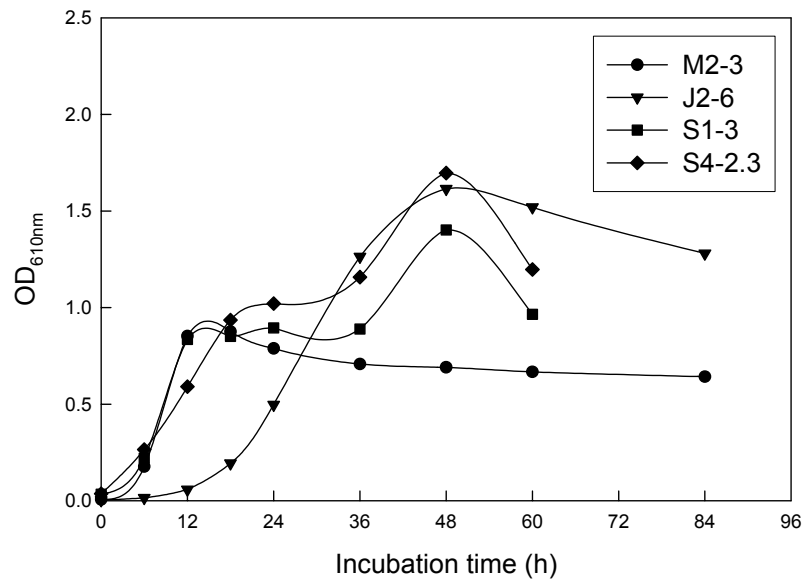
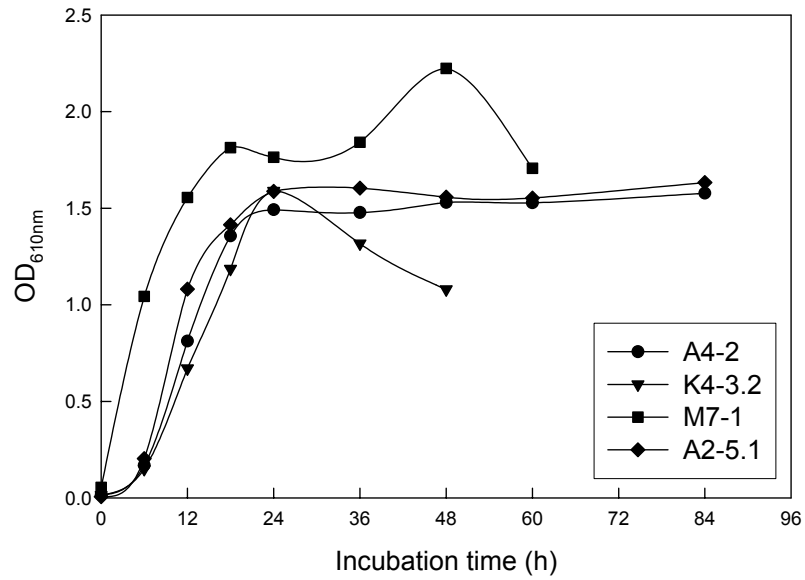


Fig. 3.2.9. Growth curves of the selected strains on nutrient broth media. <Upper> Ammonia oxidizing strains, and <Lower> Sulfur oxidizing strains. The cultures were grown on 50 mL of NB in 250-mL shake flasks.

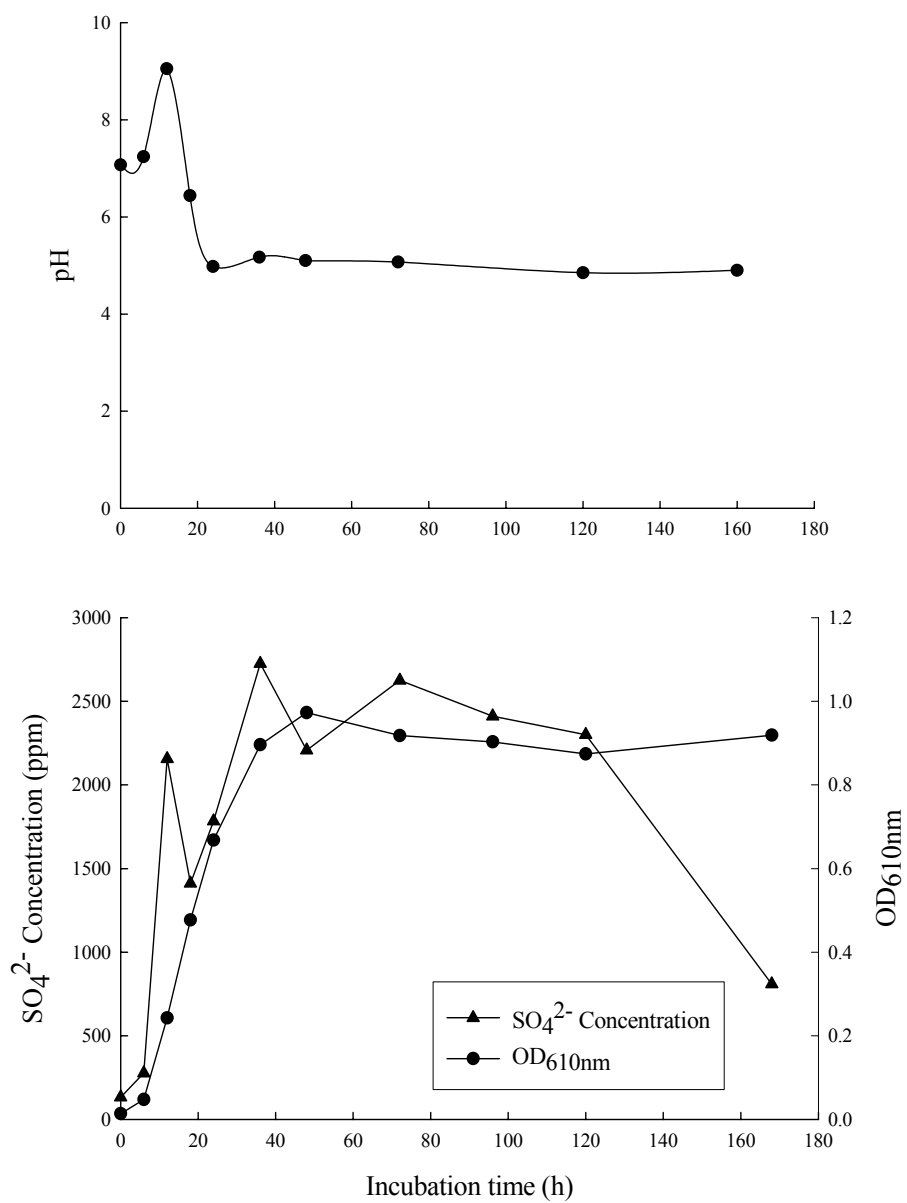


Fig. 3.2.10. Growth of the strain S5-5.2 in the medium $\langle \text{NB} + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rangle$. The line with circles indicates the sulfate concentration in the culture broth. The conditions for cultivation refer to the text.

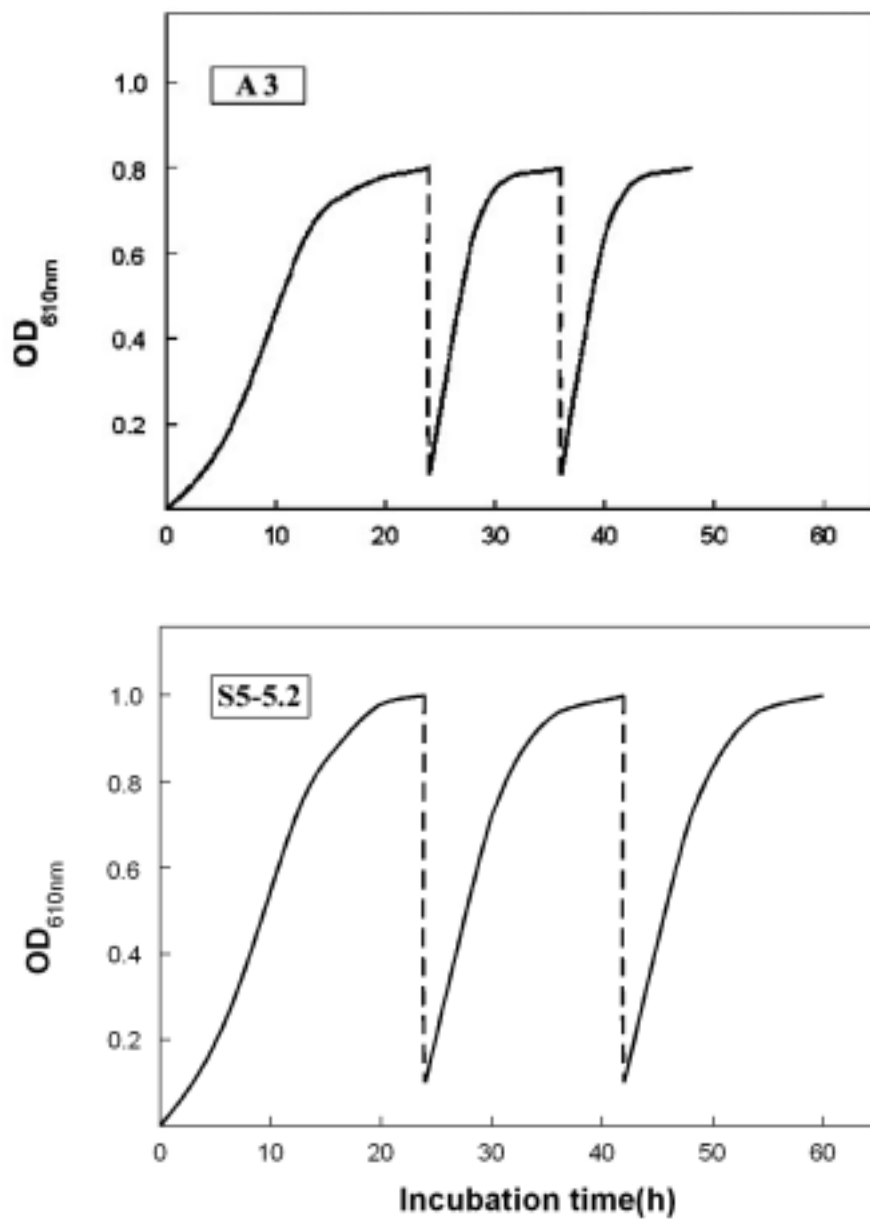


Fig. 3.2.11. Semicontinuous cultivation of the strains, *Rhodococcus equi* A3 and *Alcaligenes* sp. S5-5.2 on the modified nutrient broth, employing a fermentor KF-5L.

5. 악취저감균의 바이오필터 정착성

가. 악취저감균의 상호 공존성

바이오필터 시스템에 혼합 미생물제제를 적용하기 위하여, 전항에서 선발한 균주에 대하여 균주의 조합별로 혼합배양 (mixed culture)을 실시하여 상호 공존성 특히 길항성 여부를 관찰하였으며, 아울러 다양한 미생물이 존재하는 비특이적 활성오니 잔사의 영향을 검토하였다. 그 결과를 <표 3.2.13.>에 요약하여 나타내었다. 선발균주는 모두 비특이적 활성오니 잔사의 영향을 받지 않았으며 일부의 경

Table 3.2.13. Compatibility among and between the selected bacterial strains and the sludge sediments from municipal waste treatment process

Microorganism tested	Incompatibility among/between the strains
▷ <u>NH₃-reducing organism</u>	
AA1-1 (Unknown/ no match)	
A2-5.1 (<i>Hydrogenophaga pseudoflava</i>)	K4-3.2 ↔ A2-5.1 M2-3 ↔ A2-5.2 and J2-6
A3 (<i>Rhodococcus equi</i>)	
A4-2 (<i>Rhodococcus equi</i>)	
K4-3.2 (<i>Deinococcus erythromyxa</i>)	▷ <u>Remarks</u> : Growth of the tested organism was not affected by the sludge sediments from municipal waste treatment process.
M7-1 (<i>Arthrobacter ramosus</i>)	
▷ <u>Sulfur-oxidizing organism</u>	
M2-3 (<i>Pseudomonas doudoroffii</i>)	
J2-6 (Unknown/ no match)	
S1-3 (<i>Nocardia otitidiscaviarum</i>)	
S4-2.3 (<i>Ochrabactum anthropi</i>)	
S5-5.2 (<i>Alcaligenes</i> sp.)	

우를 제외하면 상호 길항작용을 나타내지 않았다. 길항작용을 나타내는 균주의 조합은 K4-3.2↔A2-5.1; M2-3↔A2-5.2; 및 M2-3↔J2-6이었으며, 우수균주로 선정된 암모니아 산화균 *Rhodococcus equi* A3 및 황 산화균 *Alcaligenes* sp. S5-5.2의 경우 타균주와의 상호 길항성이 없으며, 활성오니 잔사의 영향을 받지 않음으로서 실제 응용에 문제점이 없는 것으로 판단되었다.

나. 바이오필터에의 정착성

1) Lab-scale 바이오필터 시스템

바이오필터의 혼합충전재 (부숙소나무수피 70% : 펠라이트 30%, v/v, <6-마항 참조>)에 대한 악취저감균의 정착성을 알아보기 위하여, 컬럼에 복합균주의 생균체를 접종하고 실온에서 72시간 순치기간을 부여한 다음, 일정농도의 기체 (NH_3 : 120 ppm 및 H_2S : 30 ppm)를 12주간 상향류로 통과시키면서 악취성분 제거효율, 컬럼 충전재의 미생물 총균수 및 함수율의 변화를 조사하였다. 기간중 매 2주 간격으로 바이오필터에 수분을 보충하여 주었으며 공급량은 충전재의 부피에 대하여 12.5%로서 위로부터 서서히 부어내려 충분히 적셔지도록 하였다.

컬럼의 충전 및 접종비율 : 여기서 사용한 lab-scale 바이오필터 시스템<모델 A-1>의 컬럼용적은 1,600~1,650 cm^3 이므로 약 1.8 litre의 충전재를 준비하였고, 부숙소나무수피 1,260 cm^3 (70%), 펠라이트 540 cm^3 (30%)에 복합균주의 생균 배양액 (*Rhodococcus equi* A3/ 2.9×10^9 c.f.u. mL^{-1} 및 *Alcaligenes* sp. S5-5.2/ 1.3×10^9 c.f.u. mL^{-1} 의 배양액 1:1 혼합물)을 각각 105 및 55 mL씩을 접종하여 충전재의 수분함량이 60~65%가 되도록 한 다음 이를 컬럼에 충전하여 72시간 순치시켰다. 대조구에는 동량의 재료에 배양액 대신 0.85% 생리식염수를 같은 양 첨가하여 컬럼에 충전하였으며, 기타 시험구와 같은 절차를 따라 시험하였다.

바이오필터<모델 A-1>에서의 생균수의 변화 및 정착성 : 미생물을 접종한 접종구와 미생물을 접종하지 않은 대조구에 대하여 각 2조의 컬럼으로 생균수의 변화를 조사하였으며, 그 결과를 <그림 3.2.12>에 그림으로 나타내었다. 이렇게 생균수 10^8 c.f.u. g^{-1} 수준의 배양액을 바이오필터 컬럼에 접종하였을 때 순치기간이 경과한 후 충전재의 생균수는 9.5×10^8 c.f.u. g^{-1} 이었으며 12주간의 실험기간 동안

$7.3 \times 10^8 \sim 1.2 \times 10^9$ 의 범위에서 비슷한 수준을 유지하였다. 한편 대조구에서도 부속 소나무수피에서 혼입되는 미생물로 인하여 최초 6×10^7 c.f.u. g^{-1} 의 생균이 검출되었으며, 바이오필터 시스템의 작동초기 2주 이내에 생균수가 10^8 c.f.u. g^{-1} 수준으로 증가한 다음 이 수준 ($1.3 \sim 2 \times 10^8$) 을 지속하였다.

위 실험중 충전재<표 3.1.5 참조> - 코코넛피트, 활성탄, 펄라이트, 왕겨, 소나무수피 - 에 미생물 배양액을 접종하여 lab-scale 바이오필터<모델 A-1>의 각 컬럼에 충전하고 72시간 순치시킨 다음 정착한 미생물의 균체를 SEM으로 검경하여 <그림 3.2.13>에 충전재 별로 나타내었다. 그림에서 보면 충전재의 표면에 균체세포가 부착되어 있는 상태를 관찰할 수 있었다.

2) Pilot-scale 및 현장실험용 바이오필터 시스템

같은 방법으로 pilot-scale 바이오필터<모델 B>를 사용하여 실험한 결과, 순치후 시험기간 중 $9.5 \times 10^8 \sim 3.2 \times 10^9$ c.f.u. g^{-1} 수준의 생균수를 유지하면서 지속적으로 악취가스 제거효과를 나타냄으로서 접종한 미생물이 충전재에 잘 정착하고 있음을 알 수 있었다 <7-다, 그림 3.2.27>.

현장실험용 바이오필터<모델 C>에서도 충전재중의 미생물 생균수가 잘 유지되어 모형돈사의 경우 $9.4 \times 10^8 \sim 3 \times 10^9$, 실제돈사의 경우 $9.7 \times 10^8 \sim 3.4 \times 10^9$ c.f.u. g^{-1} 의 수준을 지속하였다 <8-나, 그림 3.2.33 및 8-다, 그림 3.2.39 참조>

다. 악취제거 효율

1) Lab-scale 바이오필터 시스템

혼합충전재를 충전한 <모델 A-1>의 경우 NH_3 의 제거효율은 접종구와 대조구 모두 99%이상으로 높았으며, H_2S 는 대조구의 81~87%에 비하여 접종구는 99%이상으로서 미생물 접종효과가 현저하였다. 여기에서 99%는 출구에서 검지관으로 가스농도를 측정할 때 미검출 (not detectable) 즉 검출한계 이하일 경우를 가리키며, 바이오필터<모델 A-1>에서는 접종구와 대조구간에 NH_3 의 제거효율은 구별되지 않았으나 H_2S 의 제거효율에 있어서는 뚜렷한 효과를 나타내었다.

<모델 A>에서 같은 방법으로 실험하였을 때 일반수피를 재료로 하였을 경우 NH_3 의 평균제거율 95.6%, H_2S 91.5%이었으며 <6-마, 그림 3.2.18 및 3.2.20 참조>

>, 부숙수피를 재료로 하였을 경우 NH₃ 97.8%, H₂S 93.1%이었다 <6-사, 그림 3.2.23 참조>

2) Pilot-scale 및 현장실험용 바이오필터 시스템

Pilot-scale 바이오필터<모델 B>에서 같은 방법으로 실험한 결과, NH₃의 제거율 95.3~97.1% (평균 96.1), H₂S 90.1~92.1% (평균 91.1)이었으며 <7-다, 그림 3.2.26 참조>, 현장실험용 바이오필터<모델 C>에서는 모형돈사의 경우 NH₃의 제거율 92~97% (평균 95.6), H₂S 72~90% (평균 82.4), 실제돈사의 경우 NH₃ 85.3~94.7% (평균 89.5), H₂S 71.4~88.4% (평균 78.2)이었다 <8-나, 그림 3.2.30 및 8-다, 그림 3.2.36 참조>

위에서는 주로 NH₃와 H₂S의 두 성분에 대하여 기술하였으나, 다른 악취성분의 제거효율에 대하여는 현장실험용 바이오필터<모델 C>의 실제돈사 적용실험에서 찾아볼 수 있다. 바이오필터<모델 C>를 실제돈사에 연결하여 실험하는 동안 입·출구의 가스농도를 측정하여 보면, 입구의 가스에 존재하는 NH₃, H₂S, CH₃SH, VFA 등이 출구에서는 H₂S를 제외한 타 가스가 검출되지 않았다 <8-다, 표 3.2.17 및 3.2.18; 그림 3.2.40 및 3.2.41 참조>. 즉 부숙수피를 사용한 혼합충전재에 암모니아 및 황 산화균을 접종하면 타 성분도 함께 제거되었으므로, 이와 같은 결과는 바이오필터의 현장 적용에 있어서 암모니아 및 황 산화균이외에 추가적으로 다른 미생물 균주를 접종하지 않아도 악취저감 효과를 거둘 수 있음을 의미한다.

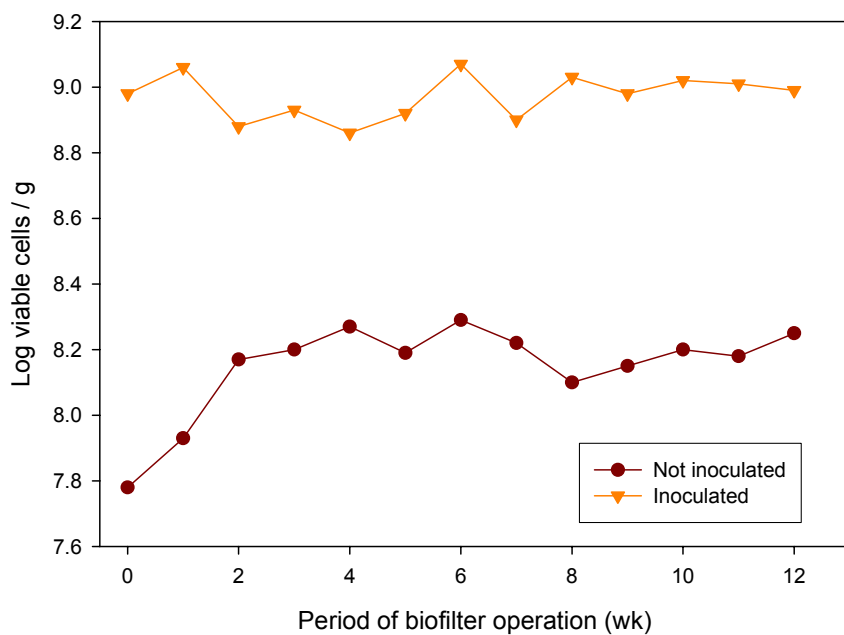


Fig. 3.2.12. Changes in number of bacterial cells during operation of the lab-scale biofilter. Packing materials of columns of the biofilter were chaff of pine and perlite (70% : 30%). Two sets of columns were inoculated by the culture broth of the strains, A3 and S5-5.2, and the other two were not inoculated but added by same amount of sterile water. After one week of acclimation period, NH_3 and H_2S gases were supplied at the concentrations of 120 ppm_v and 20 ppm_v. The bacterial titres were presented as mean values from triplicate determination.

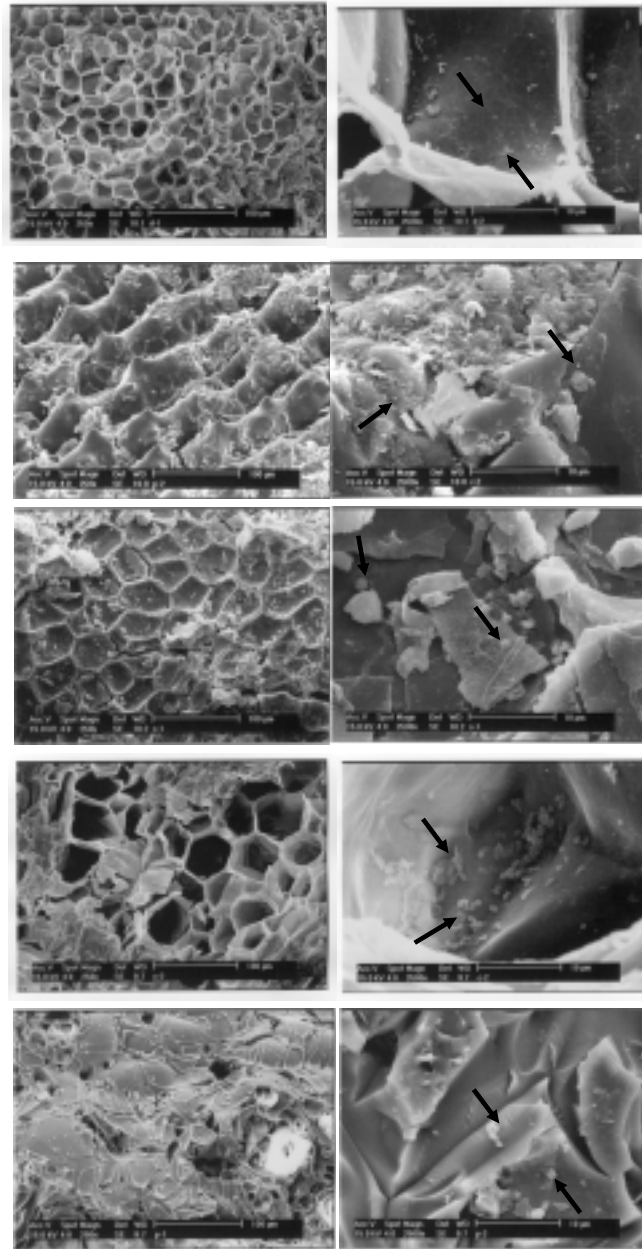


Fig 3.2.13. Morphologies of the selected materials and the bacterial cells settled on the surface of the materials observed by SEM. Magnification: 250×<Left>; 2,500×<Right>. The arrows indicate the bacterial cells inoculated to the materials.

6. Lab-scale 바이오필터 시스템<모델 A> 및 충전재 개발

가. Lab-scale 바이오필터 시스템의 작동특성

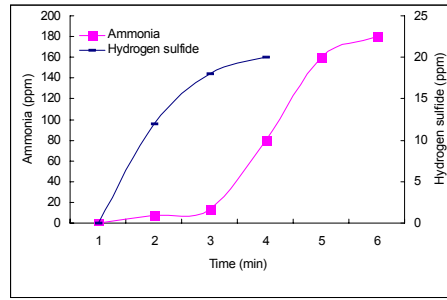
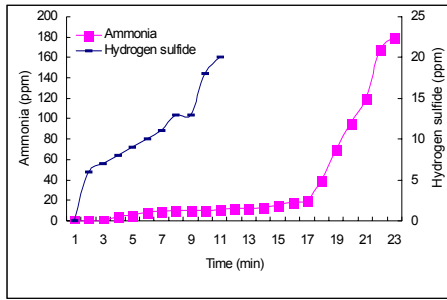
전항의 재료 및 방법<4-가>에 따라 제작한 lab-scale 바이오필터 시스템은 컬럼 내부에 일정한 유속을 유지시키는데 약 2분 30초가 소요되었으며, 공기압축기의 탱크압력은 5 kgf/cm²으로 일정한 압력으로 유지가 가능하였다. 이 때의 유량은 15 l/min이었다. 충전칼럼으로 공급되는 악취가스의 농도는 악취흡착 성능시험에서는 암모니아 가스 180 ppm, 황화수소 가스 20 ppm이었으며, 혼합재료의 악취흡착 성능시험과 악취제거 미생물 균주 접종시험에서는 암모니아 가스 200 ppm, 황화수소 가스 20 ppm이었다. 본 실험을 진행하는 동안 공급되는 악취가스의 농도는 일정하게 유지되었다. 칼럼의 내부압력과 기밀도 또한 성공적으로 유지되었다.

나. 단일충전재의 악취흡착 성능

Lab-scale 바이오필터 시스템<모델 A>를 이용하여 왕겨, 벚짖, 코코넛피트, 펄라이트, 하이로드볼, 소나무수피 등 단일재료의 악취흡착 성능을 시험하였으며, 그 결과는 <표 3.2.14> 및 <그림 3.2.14>에 나타내었다.

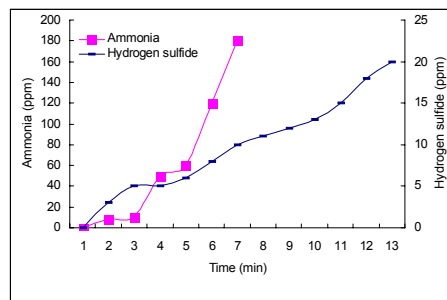
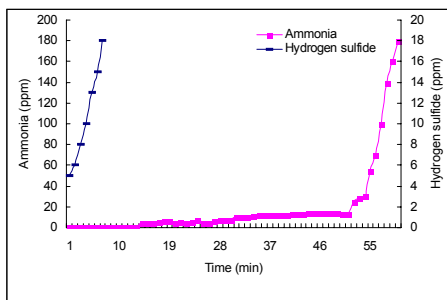
각 충전재료는 암모니아와 황화수소 가스에 대하여 각기 다른 흡착성능을 보였다. 즉 암모니아 가스의 경우 코코넛피트, 소나무수피, 왕겨에서 흡착성능이 각각 0.158, 0.112 및 0.054 l/cm³이었고, 황화수소 가스는 펄라이트와 왕겨에서 0.02 및 0.016 l/cm³로써 다른 재료에 비하여 우수한 것으로 나타났다.

성능시험중에는 컬럼내부의 압력강하와 풍속변화를 조사하였으며, <그림 3.2.15>에 결과를 제시하였다. 풍속과 압력강하 간에는 반비례의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 공급률이 클수록 압력강하는 작아지는 경향을 보였다. 흡착성능이 우수한 재료의 경우 다른 재료에 비하여 압력손실이 높았다.



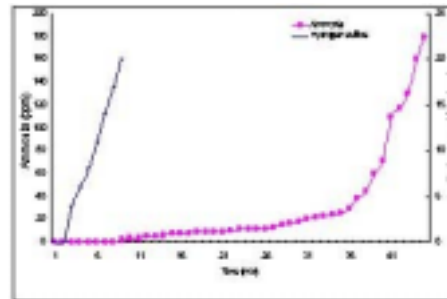
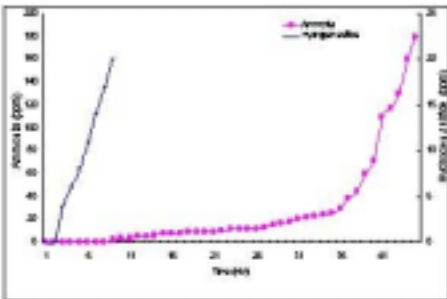
Rice hull

Rice straw



Coconut peats

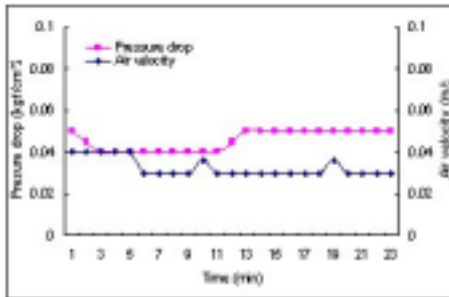
Perlite



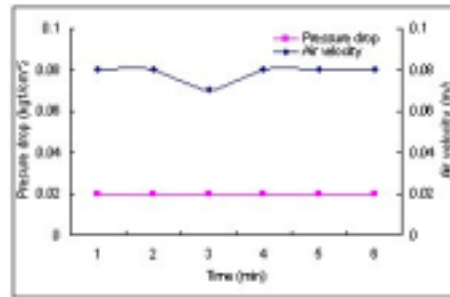
Highroad ball

Chaff of pine

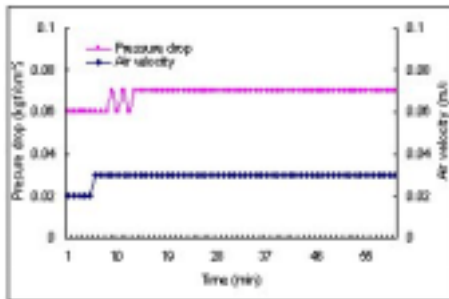
Fig. 3.2.14. Adsorption characteristics of the column materials tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>. Inlet concentration of NH_3 and H_2S were 180 and 20 ppm.



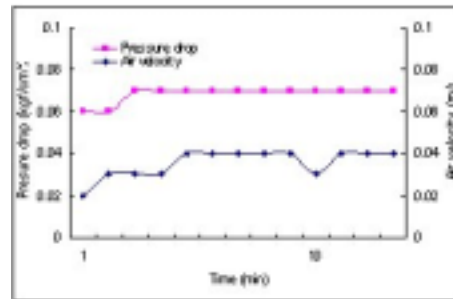
Rice hull



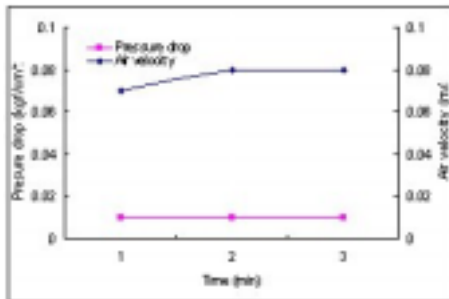
Rice straw



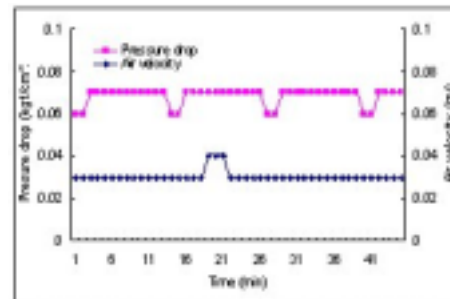
Coconut peat



Perlite



Highroad ball



Chaff of pine

Fig. 3.2.15. Pressure drops and changes in air velocity of the column materials tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>.

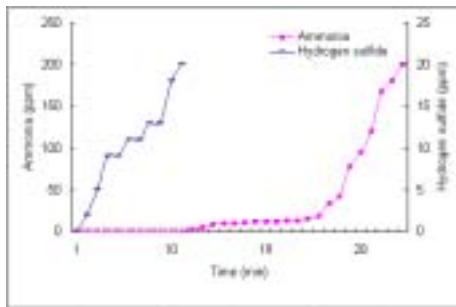
Table 3.2.14. Operation of the biofiltration system <Model A> packed with the single materials

Materials	NH ₃ (180 ppm)		H ₂ S (20 ppm)		Pressure drop (kgf/cm ²)	Air velocity (m/s)	Relative humidity (%)
	Quantity of reduction (ℓ/cm ³)	Reduction time (min)	Quantity of reduction (ℓ/cm ³)	Reduction time (min)			
Rice hulls	0.054	22	0.016	10	0.046	0.033	53.1
Straw	0.010	6	0.004	4	0.017	0.067	41.6
coconut peat	0.158	61	0.010	8	0.068	0.029	53.5
Perlite	0.014	7	0.020	13	0.068	0.035	44.3
Highroad ball	0.004	3	0.003	2	0.010	0.076	45.3
Bark of pine	0.112	45	0.015	9	0.068	0.031	53.6

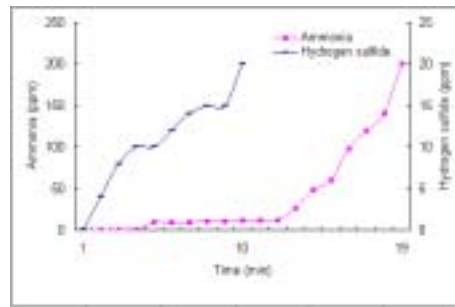
다. 혼합충전재의 악취 흡착성능

Lab-scale 바이오필터 시스템<모델 A>를 이용하여 혼합재료 즉 코코넛피트와 펄라이트의 비율(%)이 각각 50 : 50, 30 : 70, 70 : 30이고 소나무수피와 펄라이트의 비율이 50 : 50, 30 : 70, 70 : 30인 혼합충전재의 악취흡착 성능을 시험하였으며, 그 결과를 <표 3.2.15> 및 <그림 3.2.16>에 나타내었다.

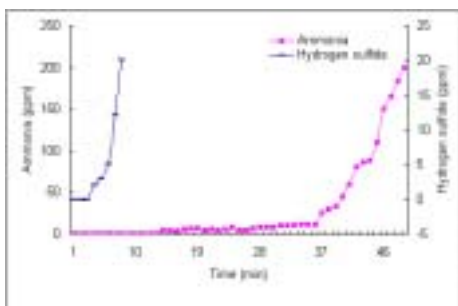
각 혼합재료는 악취가스에 대하여 서로 다른 흡착성능을 보였으며, 암모니아 가스의 경우 단일충전재 코코넛피트의 성능과 비슷하게 나타났으며, 황화수소 가스의 경우 펄라이트의 비율이 높아짐에 따라 흡착성능이 완만히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 각 혼합충전재의 암모니아 가스에 대한 흡착성능은 코코넛피트 70%와 펄라이트 30%의 혼합충전재<1-3>, 소나무수피 70%와 펄라이트 30%의 혼합충전재<1-6>가 다른 혼합재료에 비하여 우수하였으며, 흡착량은 0.123 ℓ/cm³, 0.111 ℓ/cm³이었다. 황화수소 가스의 경우 혼합충전재<1-4>와 <1-5>에서 다른 혼합재료보다 다소 높았으나, 0.014~0.020 ℓ/cm³의 범위로 진폭이 매우 작은 것으로



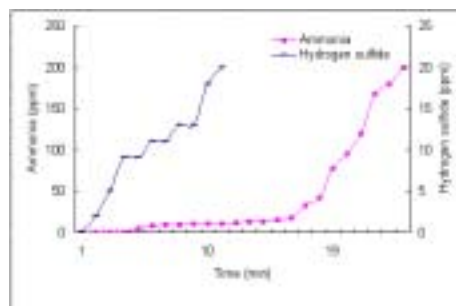
Mixture material <1-1>
(Coconut peat 50%, Perlite 50%)



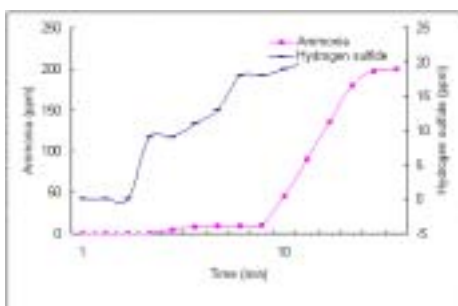
Mixture material <1-2>
(Coconut peat 30%, Perlite 70%)



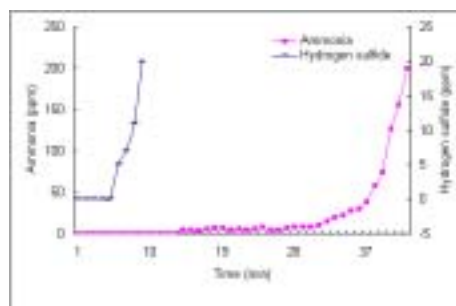
Mixture material <1-3>
(Coconut peat 70%, Perlite 30%)



Mixture material <1-4>
(Chaffs of pine 50%, Perlites 50%)



Mixture material <1-5>
(Chaffs of pine 30%, Perlites 70%)



Mixture materials <1-6>
(Chaffs of pine 70%, Perlites 30%)

Fig. 3.2.16 Adsorption characteristics of the mixture packing materials tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>. Inlet concentration of NH_3 and H_2S were 200 and 20 ppm, respectively.

Table 3.2.15. Operation of the biofiltration system <Model A> packed with mixed materials

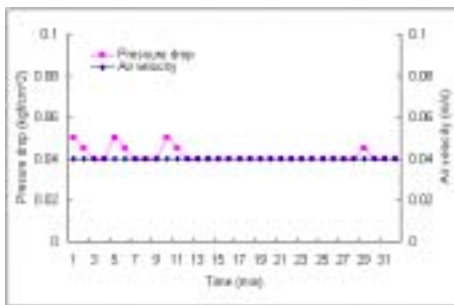
Mixture materials	Ammonia (NH ₃ :200ppm)		Hydrogen sulfide (H ₂ S:20ppm)		Pressure drop (kgf/cm ²)	Air velocity (m/s)	Relative humidity (%)
	Quantity of reduction (ℓ /cm ³)	Reduction time (min)	Quantity of reduction (ℓ /cm ³)	Reduction time (min)			
Material<1-1>	0.079	32	0.016	10	0.042	0.040	53.0
Material<1-2>	0.045	19	0.014	10	0.045	0.033	53.1
Material<1-3>	0.123	49	0.017	8	0.068	0.029	53.5
Material<1-4>	0.055	24	0.016	11	0.046	0.033	53.0
Material<1-5>	0.031	15	0.015	11	0.043	0.034	53.2
Material<1-6>	0.111	42	0.020	9	0.063	0.026	53.5

나타났다.

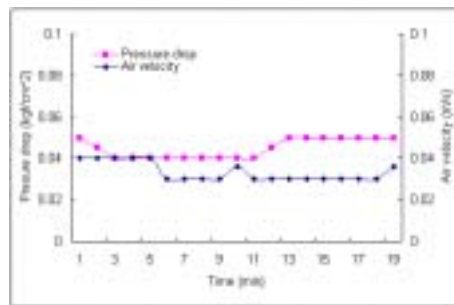
코코넛피트와 펄라이트, 소나무수피와 펄라이트의 혼합충전재 6종의 악취흡착 성능시험중 컬럼내부의 압력과 풍속을 측정한 결과는<그림 3.2.17>에서 보는 바와 같다. 혼합충전재의 경우 코코넛피트와 소나무수피의 비율이 높아질수록 압력손실이 높았다. 혼합충전재의 충전방법과 압밀정도에 따라 공극률의 변화가 심하게 일어나기 때문에 풍속과 압력손실에 민감하게 영향을 미칠수 있는 것으로 생각된다.

라. 악취제거 미생물균주 정착특성

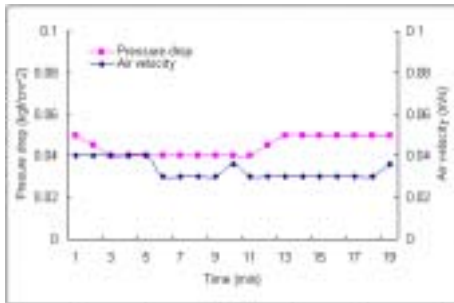
전항 <5-나> 참조



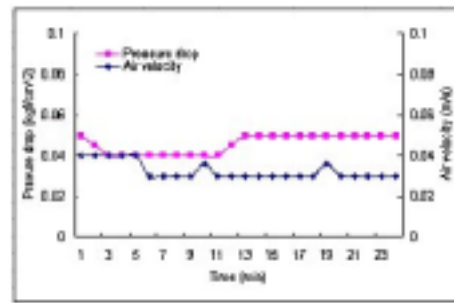
Mixture material <1-1>
(coconut peat 50%, perlite 50%)



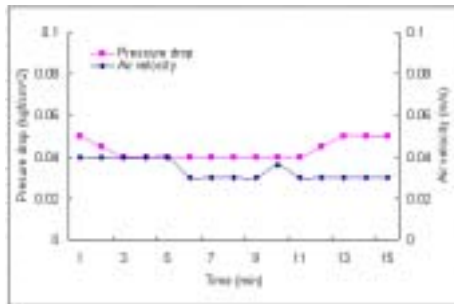
Mixture material <1-2>
(coconut peat 30%, perlite 70%)



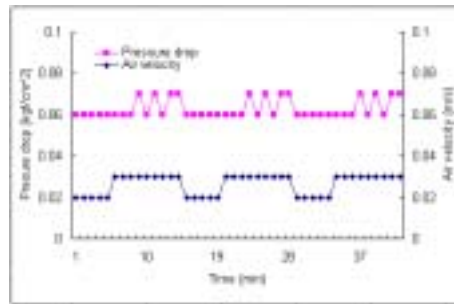
Mixture material <1-3>
(coconut peat 70%, perlite 30%)



Mixture material <1-4>
(chaff of pine 50%, perlite 50%)



Mixture material <1-5>
(chaff of pine 30%, perlite 70%)



Mixture material <1-6>
(chaff of pine 70%, perlite 30%)

Fig. 3.2.17. Pressure drops and changes in air velocity of the mixture materials tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>.

마. 미생물 균주를 접종한 혼합충전재의 악취제거특성

혼합재료의 악취흡착 성능시험 결과에 의하면 각종 혼합충전재 중에서 코코넛피트와 펠라이트, 소나무수피와 펠라이트의 혼합비율이 각각 70 : 30인 혼합충전재<1-3>과 <1-6>가 암모니아와 황화수소 가스에 대한 물리적인 흡착능력이서 가장 우수한 것으로 나타났으므로, 이 중에서 국내조달이 용이한 소나무수피를 선택하여 미생물 접종효과를 시험하였다.

혼합충전재<1-6> (소나무수피 70 : 펠라이트 30)에 미생물의 배양액을 접종하고 컬럼에 충전하여 28℃로 3일간 순치한 다음, 악취제거 시험을 24시간동안 수행하였다. 악취제거 성능시험의 결과는 <그림 3.2.18>에 나타내었으며, 악취제거율은 별도로 <그림 3.2.20>에 정리하였고, 컬럼내부의 압력강하와 풍속변화는 <그림 3.2.19>과 같았다. 평균 악취가스제거율은 암모니아의 경우 91.0~98.3%이었으며, 평균 95.6%이었고, 황화수소의 경우 86.0~98.5%이었으며, 평균 91.5%로 높은 수준이었다.

바. 혼합충전재의 입자크기

소나무수피와 펠라이트의 입자크기별로 풍속과 압력강하를 시험하여 입자크기에 따른 혼합충전재 선별시험을 수행하였다. 소나무수피와 펠라이트의 혼합비율을 70 : 30로 고정하고, 소나무수피의 입자는 6.7~9.5, 9.5~13.2, 13.2 mm 이상으로 구분하고, 펠라이트는 0.6~1.2, 1.2~2.4, 2.4~5.0 mm로 구분하였다. 각 재료를 입자크기별로 혼합하여 혼합충전재<2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8, 2-9>의 풍속과 압력강하를 측정하였으며, 그 결과를 <그림 3.2.21>에 나타내었다.

실험 결과로 보아 소나무수피의 크기가 9.5 mm이상의 경우 펠라이트 1, 2, 3의 제품을 혼합하여 사용하여도 풍압과 풍속의 커다란 변화가 없는 것으로 나타남으로서, 펠라이트의 입자크기는 결과에 영향을 미치지 않았다.

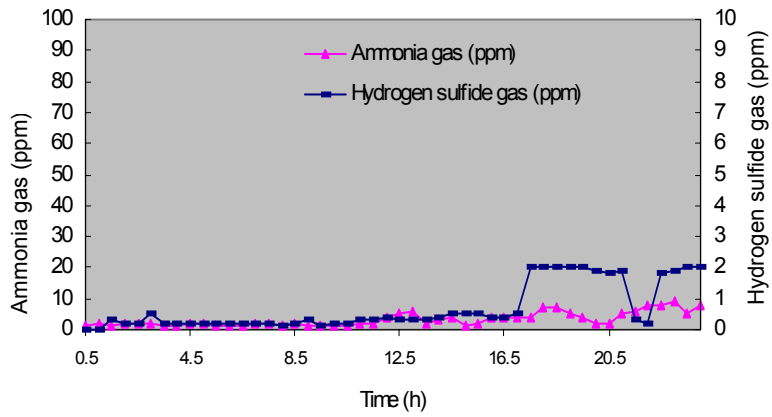


Fig. 3.2.18. Deodorization characteristics of mixture materials inoculated by the selected bacterial strains, when tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>. Inlet concentration of gas: NH_3 , 200 ppm; and H_2S , 20 ppm.

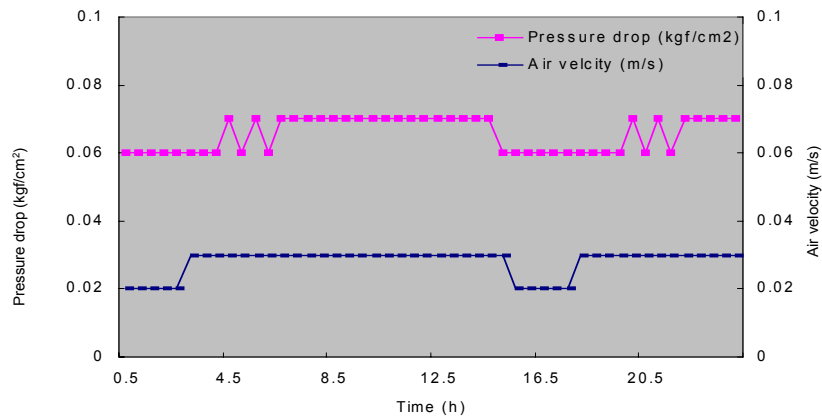


Fig. 3.2.19. Pressure drops and changes in air velocity of mixture materials inoculated by the selected bacterial strains, when tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>.

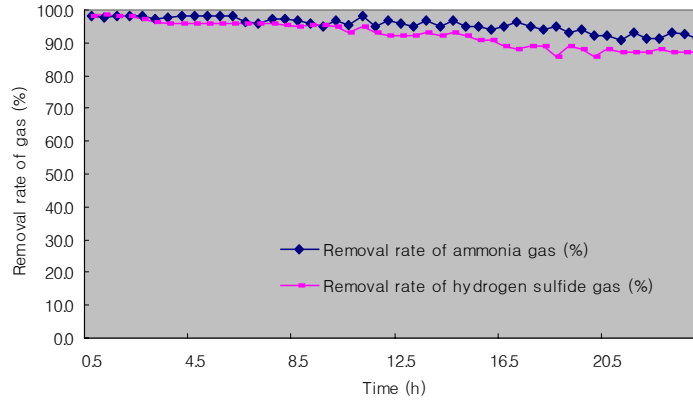


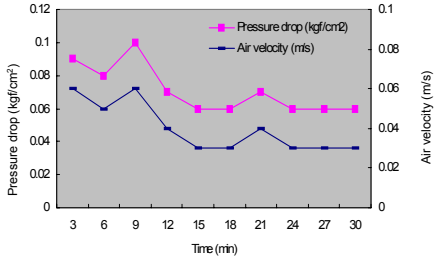
Fig. 3.2.20. Deodorization efficiency of mixture materials inoculated by the selected bacterial strains, when tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>. Inlet concentration of gas: NH₃, 200 ppm; and H₂S, 20 ppm.

사. 부숙수피를 이용한 혼합충전재

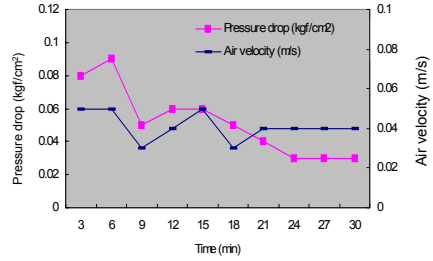
전항에서 혼합충전재료의 입자크기를 선정하였으므로, 본 항에서는 일반수피에 비해 제거효율이 높을 것으로 생각되는 부숙수피를 이용하여 즉 일반수피를 10.3 mm 내외의 부숙수피로 대체하여 혼합충전재 (함수율 65%, w.b.)를 조제하고, 압력 및 풍속의 변화를 측정하였다. 또한 시스템에 악취성분을 공급하면서 부숙수피-혼합충전재의 악취제거 특성과 함수율 변화를 시험하였다.

부숙수피를 사용한 혼합충전재<3>의 시간에 따른 압력강하 및 풍속변화를 시험한 결과를 <그림 3.2.22>에 나타내었다.

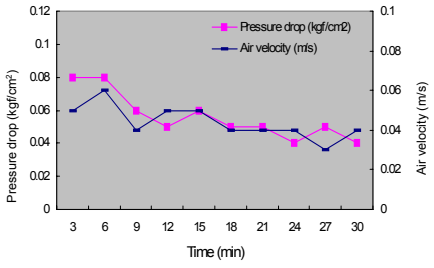
위의 결과에서 보면 크기에 따른 혼합충전재의 경우보다 부숙수피를 사용한 혼합충전재는 입자크기의 경우보다도 풍압 및 풍속 변화의 진폭이 더 큰 경향을 보였다. 이중에서도 혼합충전재<3-1>의 부숙수피와 펄라이트의 혼합에서 풍압 및 풍속변화가 비교적 작은 것으로 판단되었으므로, 이 조성으로 미생물 접종시험을



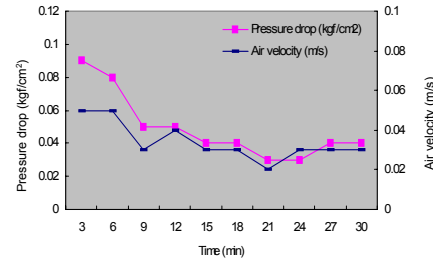
Mixture material <2-1>
C: 13.2mm< + P: 2.4~5.0mm



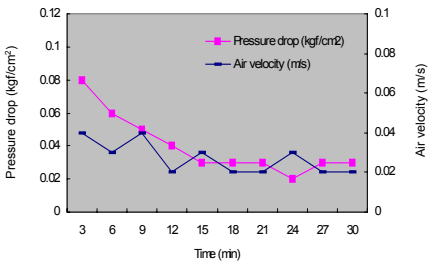
Mixture material <2-2>
C: 13.2mm< + P: 1.2~2.4mm



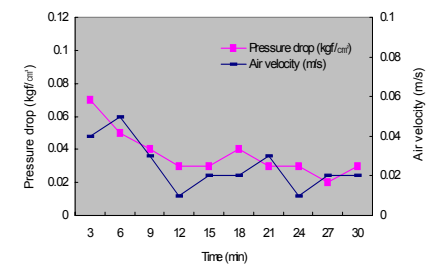
Mixture material <2-3>
C: 13.2mm< + P: 0.6~1.2mm



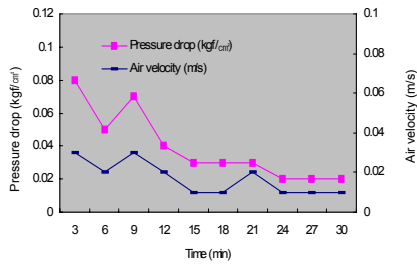
Mixture material <2-4>
C: 9.5~13.2mm + P: 2.4~5.0mm



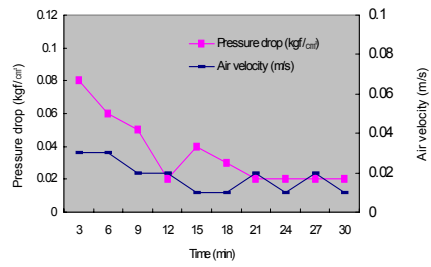
Mixture material <2-5>
C: 9.5~13.2mm + P: 1.2~2.4mm



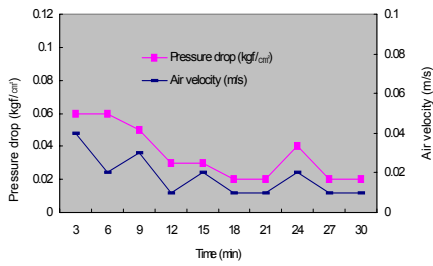
Mixture material <2-6>
C: 9.5~13.2mm + P: 0.6~1.2mm



Mixture material <2-7>
C: 6.7~9.5mm + P: 2.4~5.0mm

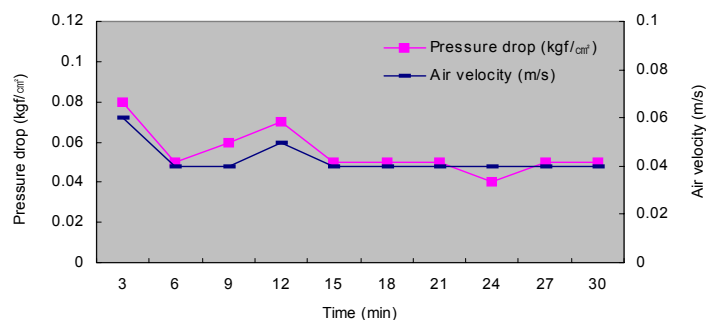


Mixture material <2-8>
C: 6.7~9.5mm + P: 1.2~2.4mm

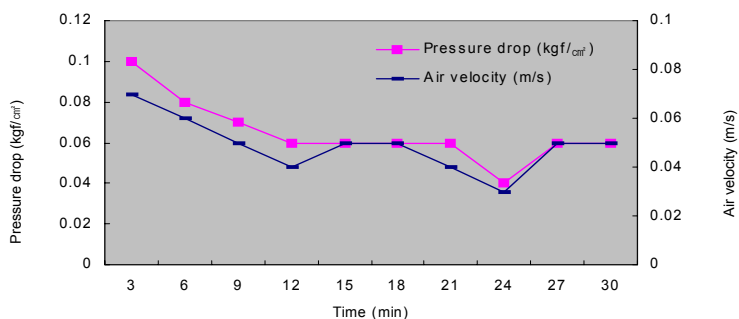


Mixture material <2-9>
C: 6.7~9.5mm + P: 0.6~1.2mm

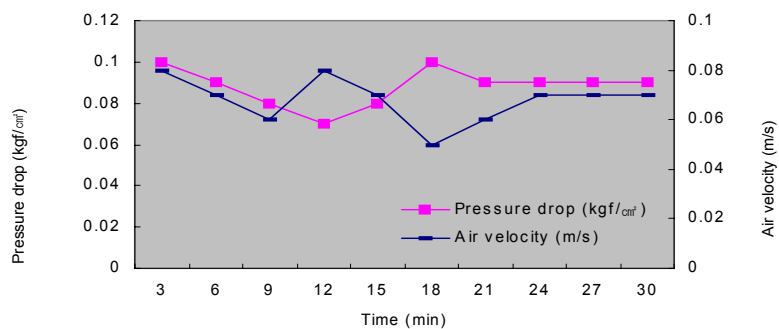
Fig. 3.2.21. Pressure drops and changes in air velocity of mixture materials tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>. The mixture materials consisted of chaffs of pine (C) and perlites (P) with different particle sizes.



Mixture material <3-1>



Mixture material <3-2>



Mixture material <3-3>

Fig. 3.2.22. Pressure drops and changes in air velocity of mixture materials tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>. The mixture materials consisted of composted chaffs of pine and perlites: A, <3-1>; B, <3-2>; C, <3-3>.

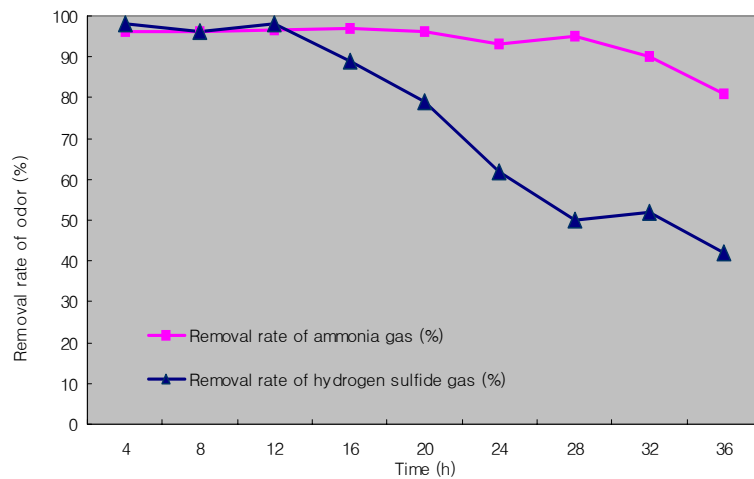


Fig 3.2.23. Removal rates of malodor gases by mixture materials inoculated by the selected bacterial strains, when tested by the lab-scale biofiltration system <Model A>. The mixture materials<3-1> consisted of chaffs of pine and perlites.

진행하였다. 즉 혼합충전재<3-1>에 미생물 균주를 접종하고 lab-scale 바이오필터 시스템 <모델 A>에 충전하여 72시간 동안 순치한 다음, 36시간동안 약취제거특성을 조사하였으며, 4시간마다 얻은 3반복 측정치를 산술평균하였다. 그 결과는 <그림 3.2.23>에 나타내었다.

암모니아 가스의 경우 28시간까지 약취제거 효율이 95.2~99.2%이었으며 평균 제거율은 97.8%로 상당히 높은 것으로 나타났지만, 그 이후에는 제거 효율이 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 황화수소의 경우 16시간까지 약취제거 효율이 89.2~98.3%이었으며 평균제거율은 93.1%로써 상당히 높았으나, 그 이후에는 저하되는 것으로 나타났다. 이는 컬럼충전재의 함수율이 60%(w.b.) 이하로 감소한 시기에 해당되었으므로, 이 결과를 통하여 함수율을 유지하기 위한 수분공급 장치가 필요함을 확인하였다.

7. Pilot-scale 바이오필터 시스템<모델 B>

가. Pilot-scale 바이오필터 시스템의 작동특성

전항의 재료 및 방법<4-나>에 따라 제작된 pilot-scale 바이오필터 시스템은 컬럼내부에 최대 유속을 유지시키는데 약 6분이 소요되었으며, 이때의 ID FAN의 최대 풍량은 6 CMM이었고, 최대 풍속은 흡·배기구에서 15 ㎞/h이었다. 또한 최대 압력 손실을 200 mmAq이었다. ID FAN에 공급되는 전원의 주파수는 20~60 Hz이었고, 소요동력은 0.11 kW이었다. 컬럼내부의 압력과 기밀도 또한 성공적으로 유지되었고, <그림 3.2.24>에 pilot-scale 바이오필터 시스템을 사진으로 나타내었다.

나. 무부하상태에서 pilot-scale 바이오필터 시스템의 성능

Pilot-scale 바이오필터 시스템의 ID FAN에 공급되는 전원의 주파수를 변화

Table 3.2.16. Air velocities of inlet and outlet according to the frequency of ID FAN in the pilot-scale biofiltration system <Model B>

Frequency of ID FAN (Hz)	Air velocity of inlet (m/s)	Air velocity of outlet (m/s)
20	4.7	4.9
30	5.3	5.7
40	6.3	6.7
50	8.9	9.4
60	10.0	10.8

The tests were carried out in no-pressure drop situation.

시켜 충전재-미생물의 악취제거 가능시간인 10 s 이상을 유지시키는데 필요한 주파수를 구명하고자, 무부하상태에서 시스템의 성능실험을 수행하였다. 전원의 주파수 범위 20~60 Hz에서 10 Hz 단위로 공기를 공급하면서 실험하였으며, 그 결과를 <표 3.2.16>에 제시하였다.

흡·배기구의 직경은 0.1 m이었고 충전칼럼의 직경은 0.85 m이었다. 결과를 해석하여 보면 ID FAN에 공급되는 전원의 주파수가 약 40 Hz일 때 10 s를 보장 되도록 유지 가능한 칼럼내부의 풍속 0.09 m/s를 유지할 수 있었다. 또한 ID FAN이 배기구에 설치된 음압식 바이오필터이기 때문에 흡입구의 풍속보다 배기구의 풍속이 약간 높은 것으로 측정되었다.

다. 혼합충전재의 악취제거 성능

Pilot-scale 바이오필터 시스템을 이용하여 혼합충전재의 악취제거 성능을 시험하였다. 혼합충전재<3>에 미생물 균주를 접종하여 초기습수율 65%(w.b.)로 충전하였으며, 72시간동안 순치 후 12시간마다 풍속, 습수율 변화, 악취가스 농도 등을 측정하면서 60시간동안 진행하였다. ID FAN의 작동 주파수는 40 Hz이었고,



Fig. 3.2.24. Overall appearance of the pilot-scale biofiltration system <Model B>, which provided by KavoTech Co. Ltd. for these experiments.

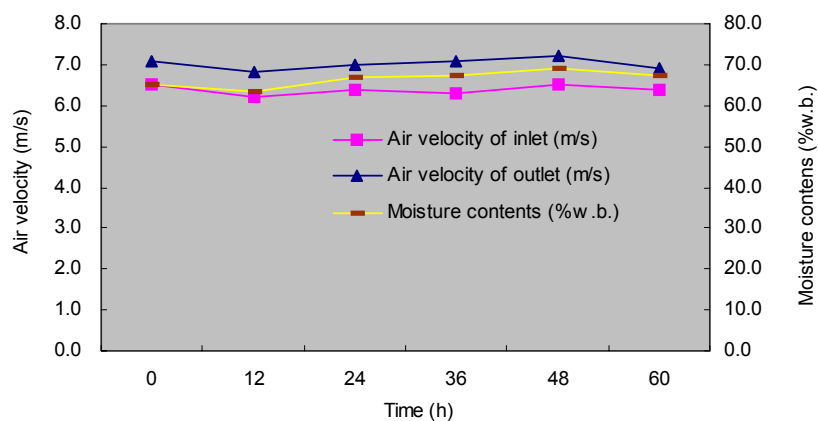


Fig. 3.2.25. Changes in air velocities and moisture contents of the column materials during operation of the pilot-scale biofiltration system <Model B>. The column material<3-1> was the mixture of composted chaffs of pine and perlites which inoculated by the selected bacterial strains.

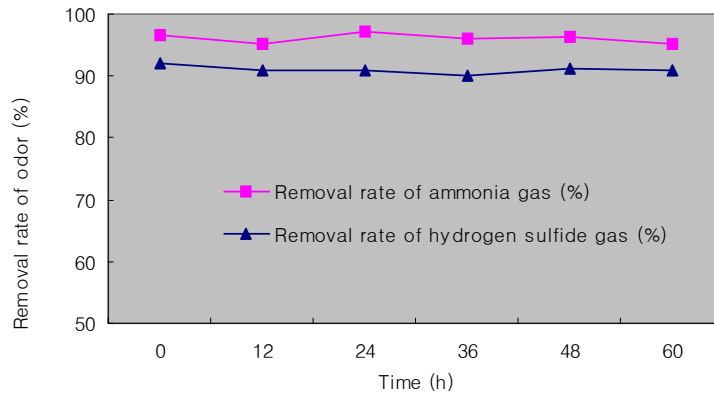
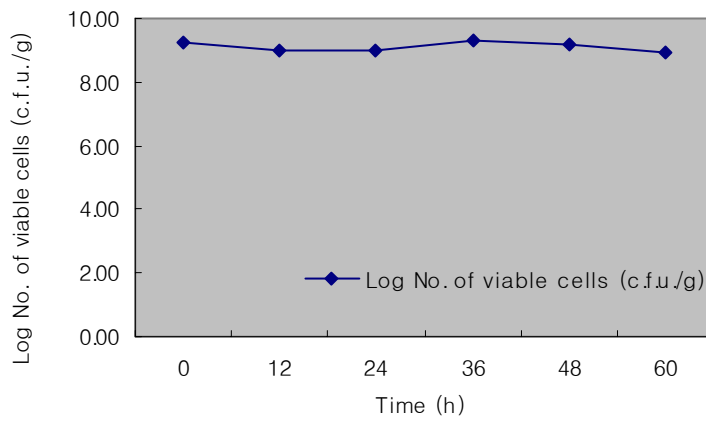


Fig. 3.2.26. Changes in removal rates of malodor gases by the column materials during operation of the pilot-scale biofiltration system <Model B>. Notes refer to the previous figure.



(c.f.u.: colony forming units)

Fig. 3.2.27. Changes in total bacterial counts of the column materials during operation of the pilot-scale biofiltration system <Model B>. Notes refer to the previous figure.

악취가스의 공급량은 암모니아 160~200 ppm, 황화수소 6.0~16.0 ppm이였고, 미

생물의 생육을 위하여 6시간마다 평균 7.5 ℓ의 물을 공급하여 함수율 60~80% (w.b.)를 유지하였다.

실험의 결과로써 시스템의 흡·배기구 풍속 및 함수율 변화는 <그림 3.2.25>, 악취가스 제거율은 <그림 3.2.26>에, 그리고 악취가스 제거 성능실험기간 동안 미생물의 생균수의 변화는 <그림 3.2.27>에 각각 나타내었다. 암모니아 가스의 제거율은 95.3~97.1%이었으며, 평균 제거율은 96.1%이었고, 황화수소 가스의 제거율은 90.1~92.1%이었으며, 평균 제거율은 91.1% 이었다. 또한 미생물의 생균수는 시간경과에 따라 크게 증가하거나 감소하지 않는 즉 유의성 있는 변화를 나타내지 않았으므로 pilot-scale 바이오필터 시스템에서 미생물의 생육 환경조절에 성공한 것으로 분석되었다.

8. 현장실험용 바이오필터 시스템<모델 C>

가. 현장실험용 바이오필터 시스템의 성능

현장실험용 바이오필터 시스템은 설계조건 및 내용을 고려하여 <4-다>에 따라 비교적 소용량으로 하였고, 공급되는 전원의 주파수 조절이 가능한 turbo blower를 사용하여 양압식으로 가스를 공급하였다. 또한 일정시간마다 중량측정시스템으로 무게변화를 산출 후 물 공급 예상량을 자동적으로 산출하여 solenoid valve로 제어토록 하였다.

전항 제1절의 <그림 3.1.19>에서 보는 바와 같이 현장실험용 바이오필터 시스템의 제어프로그램에서는 turbo blower에 공급되는 전원의 주파수의 조절, 중량측정시스템의 측정값 표시, solenoid valve의 작동, 중량하한치 입력, 중량측정 시간, 물 공급시간 설정, 모든 시스템의 자·수동의 작동 등을 프로그래밍하여 현장실험용 바이오필터 시스템을 제어·계측할 수 있었다. 컬럼내부의 압력과 기밀도 또한 성공적으로 유지되었고, 제어프로그램의 소스는 <부록 표 A3.1>에서 보는 바와 같다.

나. 모형돈사에서 현장실험용 바이오필터 시스템을 이용한 혼합충전재의

악취가스 제거성능

현장실험용 바이오필터 시스템<모델 C>를 이용한 모형돈사에서 악취가스 제거 성능시험은 전항의 pilot-scale 바이오필터 시스템의 실험방법과 같이 모형돈사에 희석된 악취가스를 배출하고 다시 모형돈사 안의 공기를 흡입시키는 방식을 적용하였다. 부숙수피와 펄라이트의 혼합비율을 70 : 30로 한 혼합충전재<3>에 미생물 균주를 접종한 후, 층별로 충전하여 초기함수율을 65%(w.b.)로 조절한 다음 24시간동안 상온에서 순치시켰다. 풍속의 경우 turbo blower의 속도를 조절하여 입·출구에서는 평균 0.03~0.05 ㎧로 유지시켜 미생물 악취산화 시간인 10 s를 유지하였다. 실험은 한번 충전 후 7일 동안 이루어졌고, 3반복 실험을 하였으며, 악취가스 제거율 및 풍속과 중량변화는 12시간마다 측정하여 산술평균값을 구하였다.

<그림 3.2.28 및 3.2.29>는 현장실험용 바이오필터 시스템의 운전시에 암모니아 가스와 황화수소 가스의 유입농도와 배출농도를 나타낸 그림이다. 가스의 유입농도는 암모니아 가스의 경우 160~210 ppm 이었고, 황화수소 가스의 경우 20~60 ppm 이었다. 또한 가스의 배출농도는 암모니아 가스의 경우 6.0~16.0 ppm 이었고, 황화수소 가스의 경우 4.0~8.0 ppm이었다. <그림 3.2.30>은 혼합충전재를 충전한 상태에서의 현장실험용 바이오필터 시스템에서 운전하였을 때의 악취가스 제거율을 나타낸 것이다. 시험기간 동안 암모니아 가스의 제거율은 92~97%이었으며, 평균제거율은 95.6%로 매우 우수하였으며, 황화수소 가스의 제거율은 72~90%로 암모니아 가스 제거율보다 조금 낮았으나 평균제거율은 82.4%로 비교적 우수한 것으로 나타났다. <그림 3.2.31>에 나타난 중량변화량에 따라 함수율 변화를 산출 후 함수율 60~80% 유지를 위해 적정량의 물을 공급하였다. <그림 3.2.32>은 실험기간 중의 충전재의 함수율 변화 상태를 나타냈는데, 함수율은 미생물 생육조건인 60~80%로 잘 유지되는 것으로 나타났다. 또한 악취가스 제거 성능시험기간 동안 미생물의 생균수는 <그림 3.2.33>과 같았으며 실험진행 시간 동안에 유의차가 나타나지 않아서 모형돈사에서 현장실험용 바이오필터 시스템은 미생물의 생육환경 조절에 성공한 것으로 분석되었다.

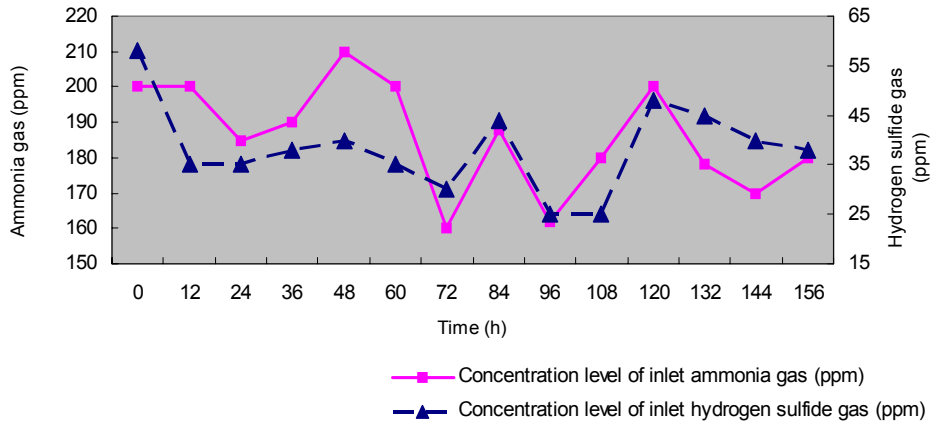


Fig. 3.2.28. Changes in inlet concentrations of NH_3 and H_2S gases during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the minimized pigsty. The column material was the mixture of composted chaffs of pine and perlites which inoculated by the selected bacterial strains.

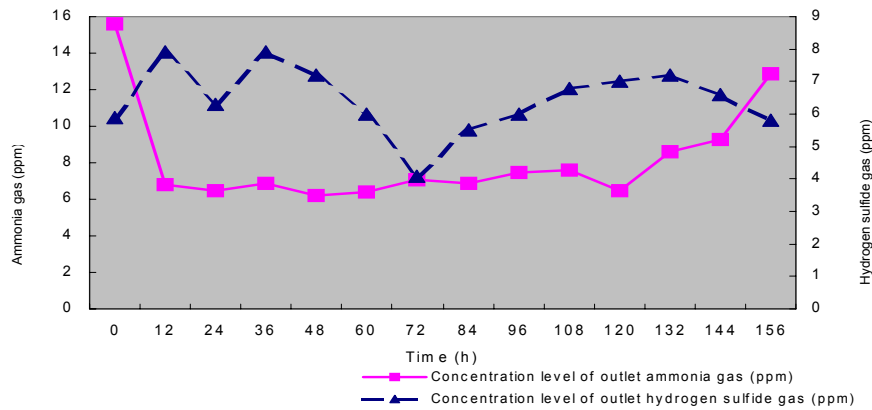


Fig. 3.2.29. Changes in outlet concentrations of ammonia and hydrogen sulfide gas during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the minimized pigsty. Notes refer to the previous figure.

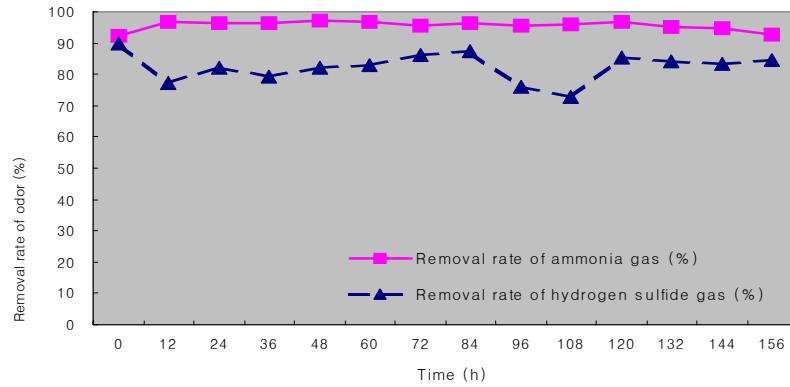


Fig. 3.2.30. Changes in removal rates of ammonia and hydrogen sulfide gases during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the minimized pigsty. Notes refer to the previous figure.

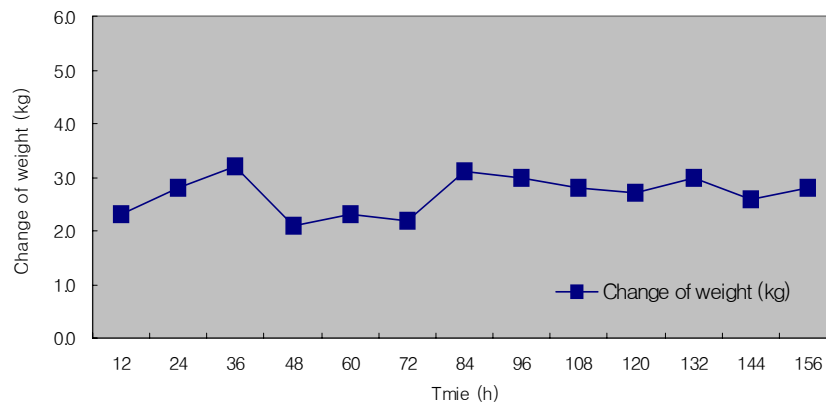


Fig. 3.2.31. Changes in weights of the column material during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the minimized pigsty. Notes refer to the previous figure.

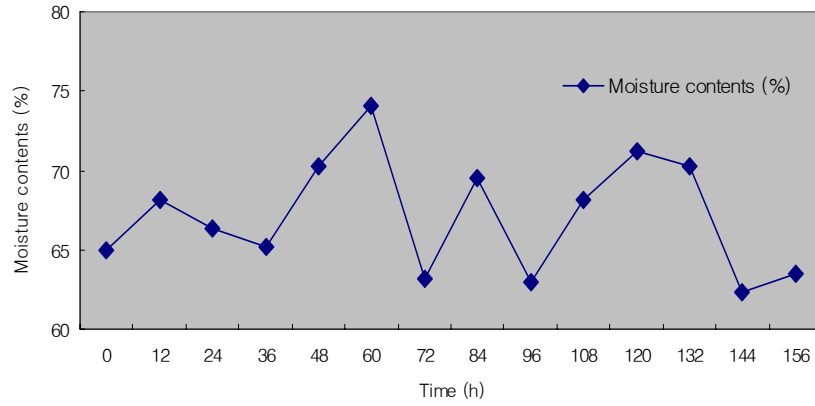
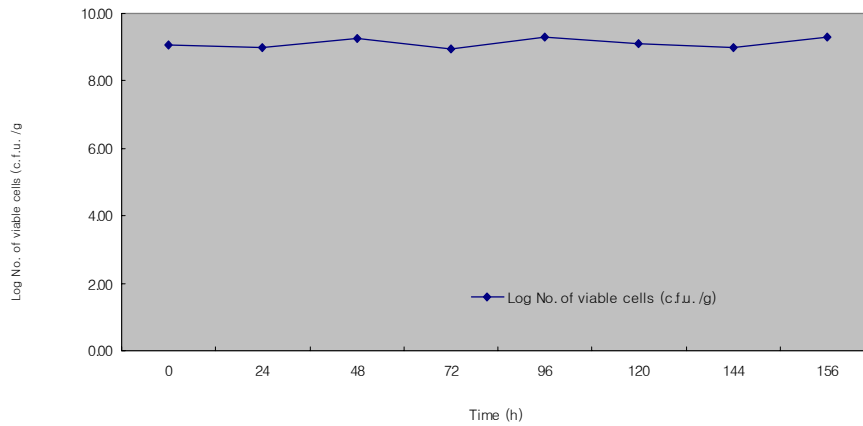


Fig. 3.2.32. Changes in moisture contents of the column materials during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the minimized pigsty. Notes refer to the previous figure.



(c.f.u.: colony forming units)

Fig. 3.2.33. Changes in total bacterial counts of the column materials during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the minimized pigsty. Notes refer to the previous figure.

다. 실제돈사에서 현장실험용 바이오필터 시스템을 이용한 혼합충전재의 악취가스 제거성능

실제돈사에서 현장실험용 바이오필터 시스템<모델 C>를 이용한 혼합충전재의 악취가스 제거성능을 구명하기 위하여 부속수피와 펄라이트의 혼합비율을 70 : 30로 한 혼합충전재에 미생물균주를 접종한 후, 층별로 충전하여 초기함수율을 65% (w.b.)로 조절한 다음 72시간동안 상온에서 순치하여 실험을 실시하였다. 흡입되는 공기는 실제돈사 내에서 발생하는 공기를 흡입시켰고, 풍속은 turbo blower의 속도를 조절하여 입·출구에서는 평균 0.03~0.05 ㎧로 유지시켜 미생물의 악취산화 시간인 10 s를 유지하였다. 실험은 한번 충전 후 10일 동안 진행하였고, 3반복 실험을 하였으며, 악취가스 제거율 및 풍속과 중량변화는 24시간 단위로 측정하여 산술평균값으로 나타내었다.

<그림 3.2.34>와 <그림 3.2.35>은 현장실험용 바이오필터 시스템의 운전시에 암모니아 가스와 황화수소 가스의 유입농도와 배출농도를 나타낸 그림이다. 가스의 유입농도는 암모니아 가스의 경우 18.0~28.0 ppm 이었고, 황화수소 가스의 경우 4.0~9.0 ppm 이었다. 또한 가스의 배출농도는 암모니아 가스의 경우 1.0~4.0 ppm 이었고, 황화수소 가스의 경우 1.0~3.0 ppm이었다. <그림 3.2.36>는 혼합충전재를 충전한 상태에서의 현장실험용 바이오필터 시스템에서 운전하였을 때의 악취가스 제거율을 나타낸 것이다. 시험기간 동안 암모니아 가스의 제거율은 85.3~94.7%이었으며, 평균제거율은 89.5%로 우수하였으며, 황화수소의 제거율은 71.4~88.4%로 암모니아 제거율보다 조금 낮았으나 평균제거율은 78.2%로 비교적 우수한 수준이었다. <그림 3.2.37>에 나타난 중량변화량에 따라 함수율 변화를 산출 후 함수율 60~80% 유지를 위해 적정량의 수분을 공급하였다. <그림 3.2.38>은 실험기간 중의 충전재의 함수율 변화 상태를 나타냈는데, 함수율은 60~80%의 범위로서 미생물의 생육에 적합한 조건이 유지되는 것으로 나타났다. <표 3.2.17 및 3.2.18>는 여러종류의 가스의 입출구에서의 농도를 측정한 결과이다. <그림 3.2.39>은 실제돈사에서 현장실험용 바이오필터 시스템을 이용하여 악취제거 성능 실험을 실시하였을 때의 미생물 생균수의 변화를 나타내었는데, 이로써 실제돈사에서 현장실험용 바이오필터 시스템이 미생물에 대하여 적절한 생육환경이었다고 생각된다.

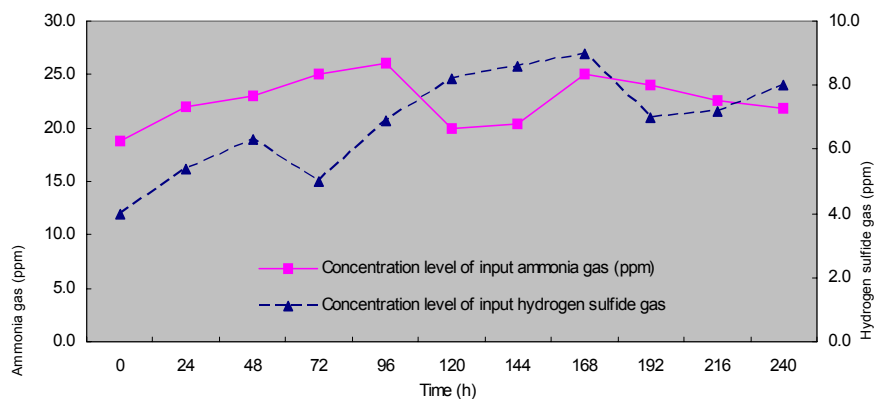


Fig. 3.2.34. Changes in inlet concentrations of NH_3 and H_2S gases during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the pigsty. The column material<3-1> was the mixture of composted chaffs of pine and perlites which inoculated by the selected bacterial strains.

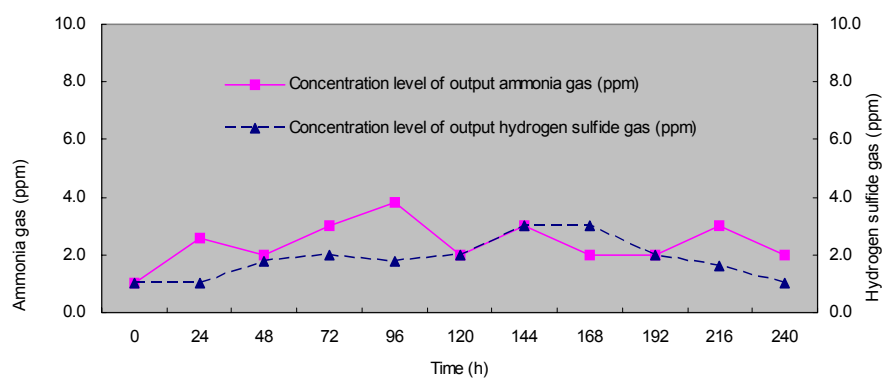


Fig. 3.2.35. Changes in outlet concentrations of ammonia and hydrogen sulfide gases during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the pigsty. Notes refer to the previous figure.

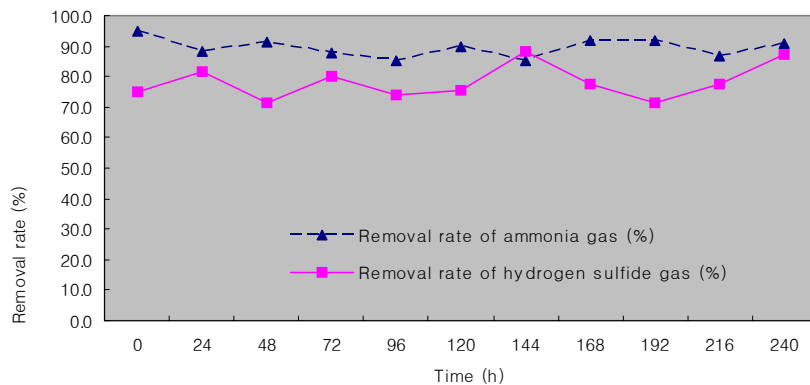


Fig. 3.2.36. Changes in removal rates of NH_3 and H_2S gases during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the pigsty. Notes refer to the previous figure.

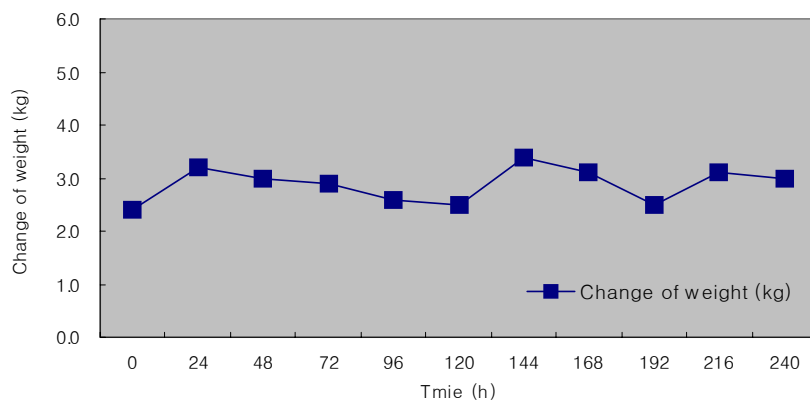


Fig. 3.2.37. Changes in weight of the column materials during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the pigsty. Notes refer to the previous figure.

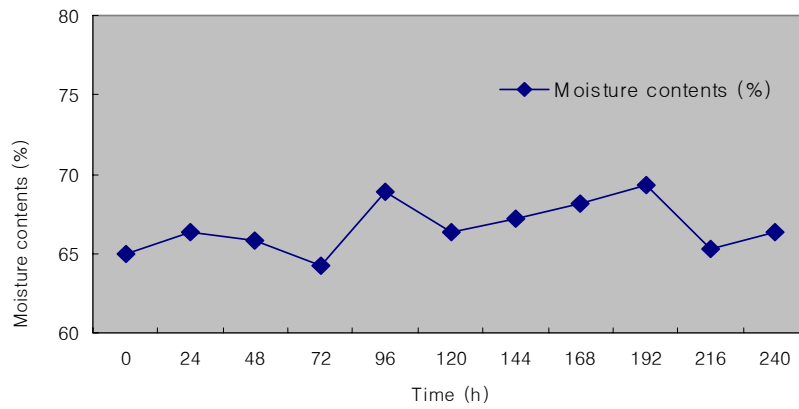
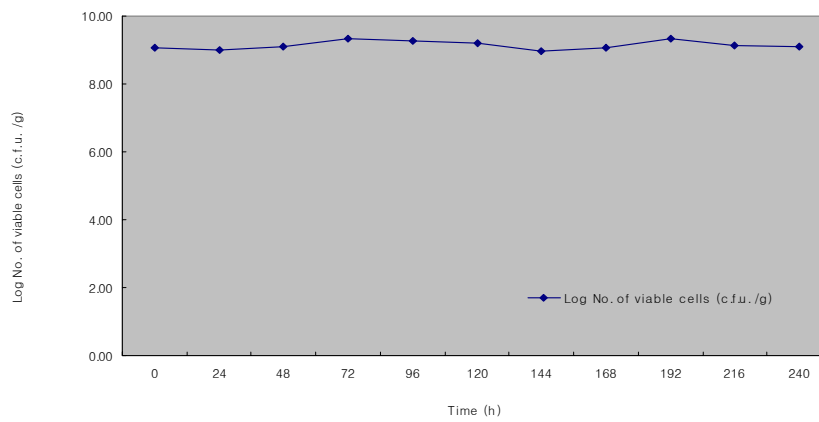


Fig. 3.2.38. Changes in moisture contents of the column materials during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the pigsty. Notes refer to the previous figure.



(c.f.u. : colony forming units)

Fig. 3.2.39. Changes in total bacterial counts of the column materials during operation of the spot-experimental biofiltration system <Model C> for the pigsty. Notes refer to the previous figure.

Table 3.2.17. Concentration of nitrogen- or sulfur-containing substances in inlet and outlet of the biofiltration system <Model C> operating for the pigsty

Biofilter	NH ₃ *	R-NH ₃	H ₂ S	C ₂ H ₅ SH	CH ₃ SH
-----ppm-----					
Inlet	1.0	-	4.2	-	2.3
Outlet	0.0	-	0.1	-	0.0

The column material<3-1> was the mixture of composted chaffs of pine and perlites which inoculated by the selected bacterial strains.

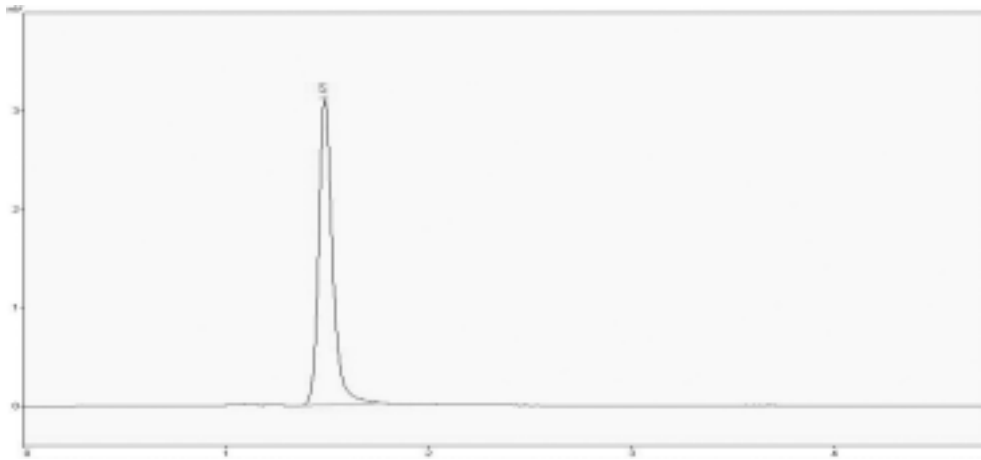
*Ammonia gas was determined by Gastec detection tubes, the others by GC/FPD system.

Table 3.2.18. Concentration of volatile fatty acids in inlet and outlet of the biofiltration system <Model C> operating for the pigsty

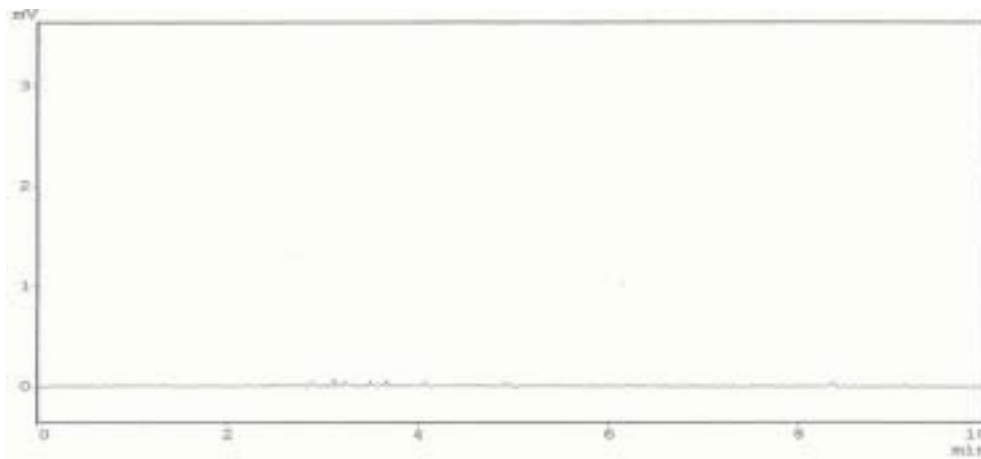
Biofilter	Acetic	Propionic	<i>i</i> -Butyric	Butyric	<i>i</i> -Valeric	Valeric
-----ppm-----						
Inlet	0.1	0.02	-	0.1	0.01	0.001
Outlet	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0

The column material<3-1> was the mixture of composted chaffs of pine and perlites which inoculated by the selected bacterial strains.

VFA's were determined by GC/FID system.

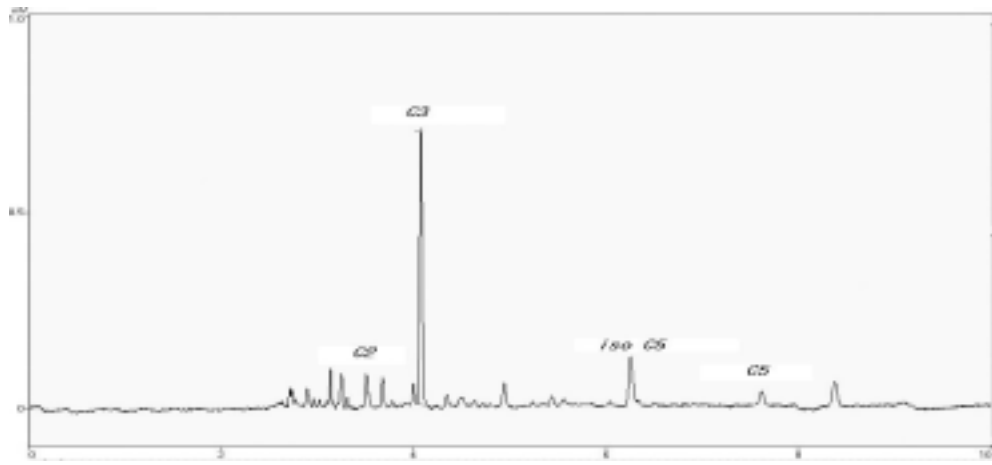


A

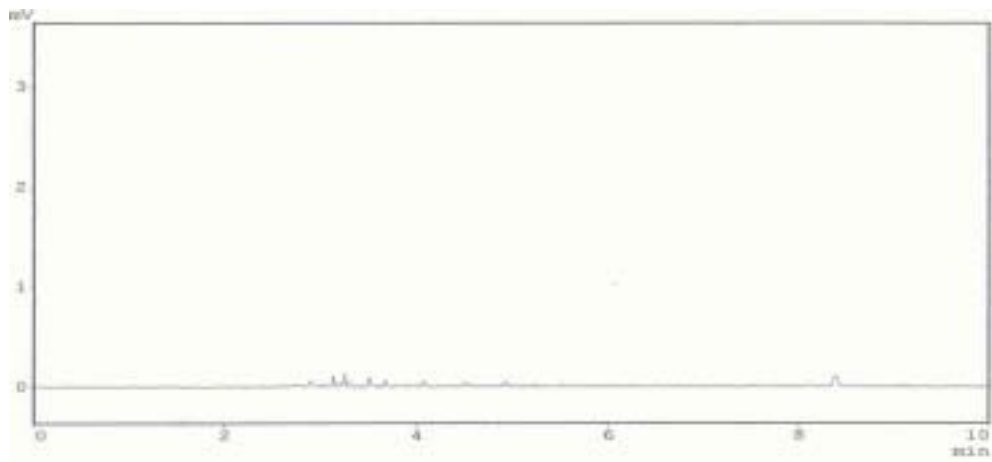


B

Fig. 3.2.40. GC chromatogram of hydrogen sulfide from the inlet <A> and outlet gas from the biofiltration system<Model C> which operated for pigsty.



A



B

Fig. 3.2.41. GC chromatogram of VFA from the inlet <A> and outlet gas from the biofiltration system<Model C> which operated for pigsty.

라. 경제성 분석

1) 배경 및 기준 설정

경제성의 분석은 대조구와 비교하여 분석하는 것이 일반적이라 하겠으나, 여기에서는 본 연구와 직접 비교할 수 있는 기존의 시스템이 없으므로 단순한 비용 산출에 그칠 수 밖에 없다. 그러나, 축산악취가 감소됨으로 인한

- ▷ 대기 및 수질오염 방지
- ▷ 국민 보건 증진
- ▷ 주변 주거환경 개선

등의 공익적 가치는 금전적으로 환산할 수 없는 매우 소중한 것이다. 현재로서는 본 연구에서 개발한 바이오필터 시스템을 축산현장에 보급하는데 시간이 걸릴 것으로 예상되지만, 점차 대기환경보전법규가 강화됨에 따라 관련 시장의 규모도 성장하고 축산업계에서도 공기정화 시스템의 운용이 긍정적으로 검토될 것이다.

근래에 계사와 돈사에 있어서는 무창 시스템이 도입되고 있다. 무창계사에서 환기장치 등 환경조절 기능이 개선되어 건물 안에서 계분의 건조가 어느 정도 이루어지도록 되어 있어서, 재래식에 비하여 하절기 연변(wet droppings) 문제나 부패로 인한 악취가 크게 감소하였다. 돈사는 스크레퍼식의 분뇨의 배출시설을 갖춘 곳이 많고 간혹 슬러리식도 있다. 스크레퍼 시설에서도 고액분리(분·뇨의 분리)가 잘 되지 않아서 계사보다는 악취가 심하다. 우사의 경우는 대부분 개방형이고, 섭취사료가 조사료 위주이므로 악취의 배출은 닭이나 돼지에 비하여 적다.

따라서 경제성 분석에는 악취가 심한 돈사를 모델로 하였던 바, 재래식의 개방형돈사보다는 바이오필터를 적용하기에 적합한 무창돈사를 대상으로 하였다. 무창돈사는 내부 환경을 인위적으로 돼지의 성장에 적합한 상태로 유지함으로써 생산성을 극대화할 수 있으므로 현재 우리나라에서는 주로 모돈사(분만돈사)와 이유자돈사로 이용되고 있다. 본 연구에서는 100평 크기의 모돈사를 기준으로 현장에 적용할 수 있는 바이오필터를 설계하고 <그림 3.2.40>, 이를 설치·운용하는데 소요되는 비용을 산출하였다.

바이오필터 충전재의 비용 : 모돈사의 경우 100평에 약 40개의 분만돈방 (또

Table 3.2.19. Ventilation capacity required for sow and litter

구 분	환기량의 단위	동 계		하계
		최소	최대	
모돈1두 + 자돈	m ³ /min	0.65	2.26	5.94
모돈40두 + 자돈	m ³ /s	0.43	1.51	3.96
모돈40두 + 자돈	m ³ /min	26.0	90.4	237.6
모돈40두 + 자돈	m ³ /h	1,560	5,424	14,256

는 분만틀)을 넣을 수 있으므로 이를 기준하여 환기량을 계산하면 <표 3.2.19>와 같다. 환기량의 추산은 동절기에 비하여 요구량이 많은 하절기를 기준으로 계산하면, 충전칼럼부의 크기는 가로2×세로18.3×높이1 m, 용적은 39.6 m³가 된다. 여기에 혼합충전재 (부숙소나무수피 70% + 펠라이트 30%)를 충전하려면

▷ 부숙수피 : 용량 27.72 m³ → 1,108,800원 (2,000원/50 ℓ)

▷ 펠라이트 : 용량 11.88 m³ → 1,425,600원 (12,000원/100 ℓ)

이 각각 소요되어, 총비용은 2,534,400원이 소요된다.

바이오필터 구조물/ 외부, 내부(바닥시렁), 급수시설 : 철근콘크리트 구조물을 가로2.3×세로18.6×높이2 m (두께 15 cm)의 크기로 설치하고, 바닥에 외경0.2×높이 0.7 m의 원통형구조물 5 개/m² 씩을 세운 다음 그 위에 다공성 강화플라스틱 바닥재를 깔고 혼합충전재를 1 m 두께로 채우도록 설계하였다. 돈사에서 환기팬을 통하여 배출되는 공기는 가습장치를 거쳐 바이오필터의 바닥 공간으로 공급되어 충전칼럼층을 통과하도록 하였다. 충전재의 함수량을 일정하게 유지시키기 위하여, 그리고 축사로부터 배출되는 공기를 가습하기 위하여 스프레이 노즐식의 급수 및 가습장치를 부설하였다. 구조물의 가설비용은

▷ 철근콘크리트 구조물 : 용량 30 m³ → 1,000,000원

▷ 철근 (Φ16 mm) : 중량 2 M/T → 1,000,000원

▷ 급수 및 가습장치 : 배관·노즐설치 → 1,300,000원

▷ 기타 자재 및 노임 : 바닥재 포함 → 4,000,000원

등으로 총소요비용은 7,300,000원이 된다.

미생물 접종액 : 충전재에 미생물 생균체를 접종하기 위하여는 대형 발효조를 보유하고 있는 업체에 위탁배양해야 하며, 부속수피 27.72 m³ 및 펄라이트 11.88 m³에 대하여 각각 2,310와 1,210 ℓ, 총 3,520 ℓ의 배양액이 소요되므로 그 소요비용은 2,400,000~3,600,000원으로 추산된다.

전기료 : 농사용(병)을 적용하여 아래와 같이 계산된다.

▷ 1 kW/h × 1,060원/kW × 8 h/일 × 30일 = 254,400원/월

관리비 : 축사관리를 위한 상용노임에 포함시킬 수 있으므로 별도의 추가비용은 소요되지 않는다.

감가상각비 : 바이오필터의 수명을 약 10년으로 가정하여 감가상각비를 직선법으로 계산하면

$$\frac{\text{시설비} - \text{잔존가액}}{\text{내구연한}} = \frac{7,300,000\text{원} - 0\text{원}}{10\text{년}} = 730,000\text{원}$$

2) 월간 운용비용 산정

바이오필터 충전재의 수명을 12개월로 가정하여 월간 운용비용을 산정하면 776,400원으로 계산되었다 <표 3.2.20>. 따라서 충전재의 수명을 연장할 수 있거나 또는 충전재를 부분적으로 재사용할 수 있다면 운용비용은 그 만큼 절감된다.

Table 3.2.20. Monthly expenses for operation of a biofiltration system for the pigsty with area of 330 m²

항 목	비 용	산 출 근 거	비 고
시설비/감가상각비	60,800원	(7,300,000원 - 0원)/ 10년×12개월	
재료비/혼합충전재	211,200원	2,534,400원/ 12개월	
전 기 료	254,400원	1 kW/h×1,060원/kW× 8 h/일×30일	농사용(병)
미생물 접종액	250,000원	2,400,000~3,600,000원÷ 12개월	
관 리 비	-	축사상용노임에 포함	
합 계	776,400원		

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표의 달성도

항목별 연구개발 목표와 수행 내용을 아래에 기술하였으며, 그 달성도를 <표 4.1.1>에 요약하여 나타내었다.

1. 표적 악취성분의 선정

소 (비육우·착유우·육성우), 닭 (산란계·육성계), 돼지 (성돈·육성돈)의 분뇨와 축사를 대상으로 ① 검지관, ② GC/MS, GC/FID, GC/FPD (SPME 및 SDA 추출성분) 및 ③ 전자코에 의한 분석자료를 비교분석하여 표적물질을 선정하였다.

2. 악취저감 유용미생물 균주의 개발

자연계로부터 1차 표적성분을 분해·제거할 수 있는 미생물을 분리하고 우수 균주로서 암모니아 산화균 *Rhodococcus equi* A3 및 황 산화균 *Alcaligenes* sp. S5-5.2를 선발하였다. 이들 악취저감 미생물을 대량배양하여 바이오필터에 접종·실용화하기 위하여 배지조성 및 반연속식배양방법, 그리고 컬럼충전재에 대한 혼합 및 정착, 관리에 관한 기술을 개발하였다.

3. 악취저감균의 정착성 및 악취제거 효율

충전재에서 악취저감균이 정착하여 높은 생균수를 유지하는 것을 확인하였고 각종 바이오필터 시스템에서의 악취제거 효율을 구명하였다: 현장실험용 바이오필터<모델 C>에서는 모형돈사의 경우 NH₃의 평균제거율 95.6%, H₂S 82.4%, 실제 돈사의 경우 NH₃ 89.5%, H₂S 78.2%이었으며, 메르캅탄 및 휘발성지방산 등의 타 성분도 함께 제거되었다.

4. 바이오필터 충전재의 개발

Lab-scale 바이오필터를 이용하여 압밀이 적고 다공성, 흡착성, 보습성, 미생물의 정착성 등이 우수하면서도 염가인 축산농가 보급형의 충전용 재료를 선발하였다. 각종 단일재료, 혼합재료 및 혼합비율, 재료의 입자크기를 비교하여 최적의 조성 즉 부숙소나무수피70% (9.5~13.2 mm)+펄라이트30% (2.4~5.0 mm)를 선정하였다.

5. 바이오필터 시스템의 개발

Pilot-scale 시스템<모델 B>와 현장실험용 시스템<모델 C>를 설계·조립하여 악취제거 효율을 향상시키기 위한 최적의 운용파라미터를 구하였으며, 특히 시스템<모델 C>는 모형돈사 및 실제돈사에서 성능을 구명하였다. 또한 현장실험용 바이오필터 시스템을 제어·계측할 수 있도록 제어프로그램을 적용하였다. 이에 근거하여 100평 규모의 무창모돈사에 적용할 수 있는 표준 바이오필터 시스템을 설계하였다.

6. 경제성 분석

앞에서 설계한 무창모돈사에 바이오필터 시스템을 설치·운영하는데 소요되는 비용을 산출하였으며, 충전재의 수명을 12개월로 추정할 때 월간 운영비용은 776,400원으로 산정되었다.

Table 4.1.1. Objectives of the study and their achievements

연구 개발 목표	달성도	주요 연구 개발 내용
<ul style="list-style-type: none"> ○ 축산시설 악취유발 물질중 표적성분 선정 ○ 악취저감 미생물 균주 개발 	100%	<ul style="list-style-type: none"> ▶ GC/MS · FID · FPD, 검지관 및 전자코에 의한 축산 악취물질의 분석 및 해석 ▶ 표적 성분의 선정 ▶ H₂S, NH₃ 분해균의 분리 및 우수균주의 선발
<ul style="list-style-type: none"> ○ 바이오필터 충전재개발 ○ 바이오필터 설계인자구명 	100%	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 각종재료중에서 lab-scale 바이오필터를 사용하여 혼합충전재 선발: 부속소나무 수피 + 펄라이트 (70:30, v/v) ▶ Lab-scale바이오필터의 설계 · 제작 · 운전
<ul style="list-style-type: none"> ○ 미생물의 대량배양 방법 구명 	100%	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 배양 방법: 배지 및 배양조건 - ‘반연속식 액체배양법’ (발효조 사용) ▶ 혼합제제(복합균주)를 위한 균주 상호간 및 비특이적활성오니잔사와의 공존성 구명
<ul style="list-style-type: none"> ○ 바이오필터시스템 운전 및 설계인자 선정 ○ Pilot plant 제작 	100%	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pilot-scale바이오필터의 설계 · 운전 - 무부하 상태에서 최적 입출구 풍속산출 - 무장 모형돈사에 적용하여 혼합충전재의 악취제거 성능 구명 ▶ Pilot-scale<B형> 및 현장실험용<C형> 바이오필터 시스템의 설계 및 조립
<ul style="list-style-type: none"> ○ 미생물의 바이오필터 충전재에서의 정착 및 유효기간 구명 	100%	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 충전재에 대한 미생물의 정착성 구명 ▶ 충전제와의 접촉비율, 순치조건 및 유효기간 설정
<ul style="list-style-type: none"> ○ 악취물질 포집시설 설계 및 문제점 보완 실험 ○ 바이오필터시스템의 경제성 분석 	100%	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 현장실험용 바이오필터시스템의 조립 및 운전: 모형돈사 및 실제돈사에 적용하여 혼합충전재의 악취제거 성능비교 ▶ 모돈사(330m²)를 기준으로하여 고정비 및 변동비의 분석

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 악취성분의 분석기술

축산악취의 분석에 적용한 기술 즉 i) 검지관법, ii) SPME fiber로 흡착한 Head space 성분 또는 SDA 증류성분의 GC/MS 방법, iii) 휘발성 지방산의 GC/FID 분석, iv) 유황계 화합물에 대한 GC/FPD 분석, v) 전자코에 의한 냄새의 유형 구분등은 기체성분의 분석에 광범위하게 적용된다.

2. 악취저감 유용미생물

본 연구에서 분리 선발한 암모니아 및 황 산화세균은 생물 유전자원으로서의 중요성을 지니며, 바이오산업의 발전에 기여할 것이다.

3. 바이오필터 충전재 및 바이오필터 시스템

현재로서는 본 연구에서 개발한 바이오필터 시스템을 축산현장에 보급하는데 시간이 걸릴 것으로 예상되지만, 점차 대기환경보전법규가 강화됨에 따라 관련 시장의 규모도 성장하고 축산업계에서도 공기정화 시스템의 운용이 긍정적으로 검토되어 축산업의 발전에 기여할 것이다. 본 기술은 도시의 하수처리장 및 기타 산업 악취의 제거에도 적용범위가 확대될 수 있다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

축산시설업계에 바이오필터 시스템을 이용한 악취제거 기술을 이전하여 활용하도록 해야 할 것이며, 부차적으로 본 기술은 일반 폐수 및 하수처리장의 악취제거에도 응용할 수 있으므로 활용범위가 확대될 수 있을 것이다. 따라서 이를 위하여는 구체적으로 아래와 같은 조치가 필요하다.

1. 지적재산권의 확보

- ▷ 바이오필터 시스템에 관한 기술특허
- ▷ 악취저감 미생물에 대한 균주특허

2. 신기술 이전으로 벤처기업을 지원함으로써 산업화 또는 기업화에 기여

- ▷ 바이오필터 시스템의 설계 및 운용 기술
- ▷ 혼합충진재의 사용 및 관리 기술
- ▷ 악취저감 미생물의 대량배양 기술
- ▷ 악취저감 미생물의 충전재 접종 기술
- ▷ 축산악취 측정 및 분석 기술

3. 축산단지·조합 및 농가에 운전기술의 보급·교육 및 홍보

비전문가인 일반 축산농가에서 이해하고 활용할 수 있도록 쉽고 간편한 내용으로 위 2항에서와 같은 기술을 교육·보급한다. 축산분뇨 및 폐수의 처리에도 부담을 안고 있는 축산농가에서 현실적으로 축산악취에까지 관심을 갖기는 어렵기 때문에, 그 필요성을 적극 인식시켜서 업계의 의식을 개선하는데 노력해야 할 것이며, 따라서 축산관련 잡지 및 신문에 자주 투고하거나 농축산 박람회출품하여 적극적으로 홍보한다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 연구개발과제의 진행과정중에 수집한 주요 해외기술을 아래에 분야별로 정리하였다.

1. 바이오필터의 형식

가. 하향류 방식

Classen 등의 연구 [2001] : 돈사용 바이오필터를 설계함에 있어서 하향류 방식의 공급관 설계 및 악취가스 포집의 방법에 진전된 기술을 적용하고 있으며, 물 공급량을 산출함에 있어서 물의 밀도와 충전재 밀도를 이용하여 구하는 식을 제시하였다.

나. 상향류 방식

Martinec 등의 연구 [2001] : 상향류 방식의 장·단점을 하향류 방식과 비교 분석하고, 각 방식에 따른 센서의 종류 및 부착위치 등에 대한 기술정보를 제시하고 있다.

Garlinski 등의 연구 [2002] : 측면으로 공기를 공급하는 방식의 Prototype biofilter에 대한 진보된 기술, 즉 공기를 측면에서 공급하여 상향류로 공기를 배출하게 되며, 이때 바이오필터 내부의 공기흐름을 측정하는 기술정보 및 송풍기 용량산출에 필요한 충전필터 표면에서의 예상 공기속도에 대한 수식을 제시하고 있다.

다. 고형폐기물에서 발생하는 악취제거용 바이오필터

Augenstein의 미국특허 US2003/0008381 A1 [2003] : 매립된 고형폐기물에서 발생하는 질소·탄소·황의 산화물 및 VOC's 등 악취성분을 제거하기 위하여 매립지 자체를 바이오필터 (bioreactor)로 직접 이용하는 기술로서, 함수율을 20~65%로 유지하여 자연적으로 존재하는 미생물을 활성화시키고 여기에 악취가스가 확산되도록 유도해주는 기술을 제시하고 있다.

Finn의 미국특허 US6,087,159 [2000] : 퇴비부숙 시설에서 발생하는 악취가스를 제거하기 위한 다단식 액상의 바이오필터에 관한 기술정보를 담고 있다.

2. 새로운 바이오필터용 미생물 균주

Jenneman의 미국특허 US5,686,293 [1997] : 황 산화균 (sulfide-oxidizing bacteria) *Campylobacter* sp. CVO (NRRL B-21472).

Hovanec의 미국특허 US6,207,440 [2001] : 아질산 산화균 (nitrite-oxidizing bacterium) *Nitrospira moscoviensis* - CLONE 710-9.

Kowalchuk [1997] : 16S rDNA 서열에 의한 암모니아 산화균 (ammonia-oxidizing bacteria) *Proteobacteria*강 (class)의 β -subdivision에 속하는 균주의 계통분류.

3. 기타 폐수처리용 바이오필터

Morton [2001] : 돈사폐수 처리용의 trickling filter를 위한 플라스틱 충전재 및 하향류로 다수의 컬럼을 설계할 경우 폐수 공급량의 산출을 위한 기술정보를 제시하고 있다.

Groenestijn 등의 미국특허 US6,709,592 B2 [2004] : 폐수중의 황 화합물을 제

거하기 위한 2개의 독립된 bioreactor를 혐기적으로 운용하는 기술로서, 다양한 황산화균을 활용하기 위한 조건을 주어 ACP과정 (anaerobic contact process/ U.S. Pat. No. 4,735,723)을 거치도록 하는 정보를 제공하고 있다.

제 7 장 참고문헌

- Abalos, M., J. M. Bayona, and J. Pawliszyn. 2000. Development of a head space solid-phase microextraction procedure for the determination of free volatile fatty acids in waste waters. *J. Chromatogr.* A873: 107~115.
- Anderson, D. P., Beard, C. W. and Hanson, R. P. 1964. The adverse effects of ammonia on chickens including resistance to infection with New Castle disease virus. *Avian Diseases.* 8: 360~379.
- AOAC. 1990. Official method of analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C.
- ASAE. 2000. ASAE Standard 2000. American Society for Agricultural Engineering.
- Augenstein, D. C. 2003. Landfill biofiltration system and methods for removal of gas-phase pollutants and contaminants. U.S. Pat./ Pub. No. 0008381 A1.
- Brock, T. D., and M. T. Madigan. 1988. Biology of microorganisms(5th ed.). W.C. Brown Publishers. USA. 146~173.
- Bullis, K. L., G. H. Snoeyenbos, and H. Van Roekel. 1950. A keratoconjunctivitis in chickens. *Poultry Sci.* 29: 386~389.
- Cha, J. M., and I. W. Lee. 1993. Biological degradation characteristics of hydrogen sulfide using a carrier of immobilized microorganism. *Symposium of the Korea Society of Environmental Engineers.* 119~122.
- Cho. S. I., M. R. Kim. and W. Y. Yeo. 2002. Development of biofilter system to ammonia removal exhausted from livestock facilities. *Proceedings of the KSAM 2002 Winter Conference.* 7(1): 383~388. The Korean Society for Agricultural Machinery.
- Christie, W. W. 2000. Lipid analysis (short chain fatty acid), 2nd ed. Pergamon Press. p.55.
- Chung, Y. K., and J. S. Ahn. 1994. A study on the removal of ammonia by using peat biofilter. *J. of Structures, Construction, Management, Nuclear Power, Railroad Engineering.* Korean Society of civil Engineers 14: 655~668.

- Chung, Y. K., J. H. Park, and D. K. Min. 1991. An experimental study on the vertical pollutant transfer in a paddy soil. *J. of Korea Solid Wastes Engineering Society* 8: 33~40.
- Classen, J. J., J. S. Young, R. W. Bottcher, and P. W. Westerman. 2001. Design and analysis of a pilot scale biofiltration system for odorous air. *Transactions of the ASAE*. 43(1): 111~118.
- Erwin, E. S., G. J. Macro and E. W. Emergy. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by GC. *J. Anim. Sci.* 44: 1768~1774.
- Finn, L. J. 2000. Odor control system. U.S. Pat. No. 6,087,159.
- Garlinski, E. M., and D. D. Mann. 2002. Design and evaluation of a horizontal airflow biofilter on a swine facility. *The ASAE paper* No. 034051.
- Groenestijn, J. W., and J. S. A. Langerwerf. 2004. Removal of sulfur compounds from wastewater. U.S. Pat. No. 6,709,592.
- Hannano, T. Y. Oka, O. Takada, and T. Asano. 1972. Test of malodor composition in the feces of domestic animals, *Bull. Hyogo Prefect. Stan. Anim. Husbandry*. 9: 140~145.
- Hovanec, T. A. 2001. Bacterial nitrite oxidizer. U.S. Pat. No. 6,207,440.
- Jacobson, L. D., D. R. Schmidt, R. E. Nicolai, and K. A. Janni. 2001. Comparison of five models for setback distance determination. *The ASAE paper* No. 01-4045.
- Jenneman, G. E. 1997. Sulfide-oxidizing bacteria. U.S. Pat. No. 5,686,293.
- Johnson, J. G. 1994. Similarity analysis of rRNAs, In Gerhardt, P., R. G. E. Murray, W. A. Wood, N. R. Krieg (Eds), *Methods for General and Molecular Bacteriology*. ASM, 683~700.
- Kowalchuk, G. A. 1997. Analysis of ammonia-oxidizing bacteria of the β -subdivision of the class *Proteobacteria* in coastal sand dunes by denaturing gradient gel electrophoresis and sequencing of PCR-amplified 16S ribosomal DNA fragments. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 1489~1497.
- Martinec, M., E. Hartung, T. Jungbluth, F. Schneider, and P. H. Wieser. 2001. Reduction of gas, odor and dust emissions from swine operations with

- biofilter *The ASAE paper* No. 014075.
- Midwest Plan Service. 1998. Swine Housing and Equipment Handbook (4th ed.) MWPS-8. Iowa State University.
- Morton, A. 2001. Comparison of plastic trickling filter media for the treatment of swine lagoon effluent. *The ASAE paper* No. 01-2286.
- Ohta, Y., and Y. Nakada. 1999. Purification and properties of hydrogen sulfide oxidase from *Bacillus* sp. BN53-1. *J. Biosci. Bioeng.* 87: 452~455.
- Ohta, Y., K. Sumida, and Y. Nakada. 1997. Purification and properties of a sulfide-oxidizing enzyme from *Streptomyces* sp. strain SH91. *Can. J. Microbiol.* 43, 1097~1101.
- Ohta Y., and Y. Kuwada. 1988. Rapid deodorization of cattle feces by microorganisms. *Biological Wastes.* 24: 227~240.
- Ohta, Y., and H. Sato. 1985. An artificial medium for deodorant microorganisms. *Agric. Biol. Chem.*, 49(4): 1195~1196.
- 太田欽幸. 1994. 微生物で悪臭を防ぐ. *化学と生物.* 32(1): 11~12.
- 太田欽幸, 池田貢. 1979. 微生物による豚ふんの急速無臭化法. *日本農藝化学會誌.* 53(9): 277~284.
- 太田欽幸, 池田貢, 逸見良則. 1979. 鶏ふんの微生物による急速無臭化法. *日本發酵工學會誌.* 57(5): 372~379.
- Park, S. J., and D. S. Kim. 1999. A Comparison study on the removal of hydrogen sulfide using ceramics as microbial carrier. *J. of Korea Solid Wastes Engineering Society* 16: 36~45.
- Rizzuti, A. M., A. D. Cohen, P. G. Hunt, and M. B. Vonotti. 1999. Evaluating peats for their capacities to remove odorous compounds from liquid swine manure using headspace "solid-phase microextraction" *J. Environ. Sci. Health.* B34(4): 709~748.
- Saitou, N., and M. Nei. 1987. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol. Biol. Evol.* 4: 406~425.
- Sato, H., T. Hirose, T. Kimura, Y. Moriyama, and Y. Nakashima. 2001. Analysis of malodorous volatile substances of human waste: feces and urine. *J.*

- Health Sci.* 47(5): 483~490.
- Shaney, A. L. and E. P. Marbach. 1962. Modified reagent for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*. 8: 130~132.
- Sun, Y., C. J. Clanton, K. A. Janni, and G. L. Malzer. 2001. Sulfur and nitrogen balance in biofilters for odorous gas emission control. *Transaction of the ASAE*. 43(6): 1861~1875.
- Thompson, J. D., D. G. Higgins, and T. J. Gibson. 1994., CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, positions specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acid Res.* 22: 4673~4680.
- Weon, Y. D., S. B. Park, W. K. Lee, and S. K. Song. 1995. Removal of malodorous sulfur compounds by *Thiobacillus neapolitanus R-10*. *J. of The Korean Environmental Sciences Society* 4: 111~118.
- Yasuhara, A., and K. Fuwa. 1980. Isolation and characterization of odorous compounds in solid swine manure. *Agric. Biol. Chem.*, 44(10): 2379~2385.
- Yasuhara, A., K. Fuwa, and M. Jimnbu. 1984. Identification of odorous compound in heated swine feces. *Agric. Biol. Chem.*, 48(1): 111~116.
- Yasuhara A., K. Fuwa, and M. Jimnbu. 1984. Identification of odorous compound in fresh and rotten swine manure. *Agric. Biol. Chem.*, 48(12): 3001~3010.
- Yun, S. I, and Y. Ohta. 1997. Some physiological properties of microorganisms capable of deodorizing farm animal feces. *Bioresource Technology* 60: 21~26.
- Zahn, J. A., J. L. Hatfield, Y. S. Do, A. A. DiSprito, D. A. Laird, and R. L. Pfeiffer. 1997. Characterization of volatile organic emissions and wastes from a swine production facility. *J. Environ. Qual.* 26: 1687~1696.
- Zhu, H., F. Qu, and L-H. Zhu. 1993. Isolation of genomic DNAs from plants, fungi and bacteria using benzyl chloride. *Nucleic Acids Res.* 21: 5279~5280.
- Zhu J, D. S. Bundy, X. W. Li, and N. Rashid. 1997a. Controlling odor and volatile substances in liquid hog manure by amendment. *J. Environ. Qual.*

26: 740~743.

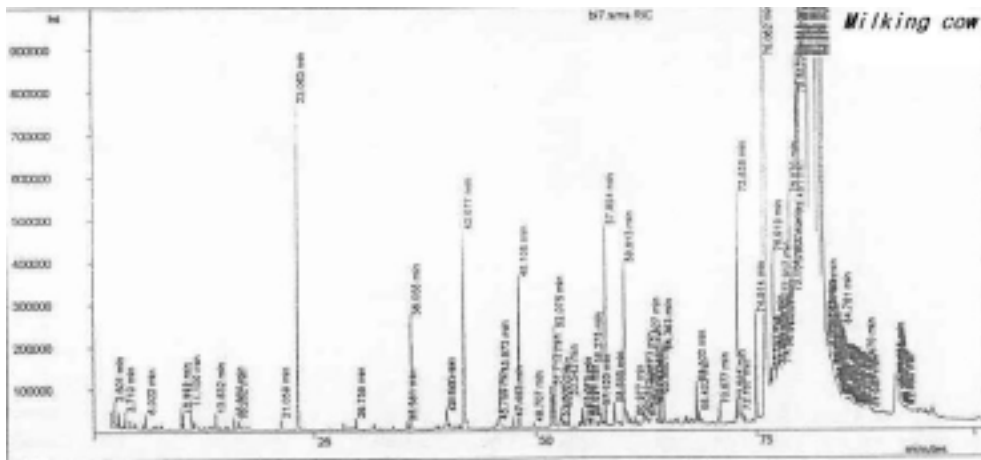
- Zhu, J., D. S. Bundy, X. W. Li, and N. Rashid. 1997b. Reduction of odor and volatile substances in pig slurries by using pit additives. *J. Environ. Sci. Health*. A32(3): 605~619.
- 김태일, 한정대, 남은숙, 양창범, 김재환, 백순용. 1999. 숲 토양 미생물의 돼지슬러리 탈취 적용 효과. *한국축산학회지*. 41(1): 101~108.
- 권영진, 이석기, 서영민, 정지형. 2002. GC/FTD를 이용한 암모니아 분석법에 관한 고찰. *한국냄새환경학회2002학술대회초록집*. 131~132.
- 박상진, 2000. 목탄을 이용한 황화수소와 암모니아 2성분 혼합악취 제거에 관한 연구 *대한환경공학회추계학술대회초록집(II)*, 43~44.
- 박상진, 서정석, 오성근, 김대승, 이재호, 김창일. 1999. 구조토 세라믹 biofilter를 이용한 황화수소, 메틸메르캅탄, 이황화메틸 악취제거. *한국물환경학회 춘계학술 발표회초록집*. D-1: 227~228.
- 박상진. 1994. 생물탈취용 담체선정을 위한 기초실험연구. *대한환경공학회추계학술 대회초록집*.
- 빈정인, 이병현, 김중균, 권성현, 감상규, 이민규. 2001. 황화수소 제거를 위한 Biofilter에 관한 연구. *J. Korean Environ. Sci.* 10: 287~292.
- 신창섭. 1999. 사업장등에서의 악취제거기술 개발. 환경부.
- 양성봉. 2000. 악취관리제도의 국가간 비교연구 (A comparative study for odor control regulations). *한국대기환경학회지*. 16: 79~87 및 1225~3464.
- 우영제. 1995. 돈사시설 핸드북. 양돈연구.
- 이민규, 빈정인, 이병현, 김중균, 최혁, 권성현. 2001. 화산석을 담체로 한 Biofilter에서 황화수소 제거 특성. *J. Korean Inst. Chem. Eng.* 39, 379~384.
- 이민규, 빈정인, 이병현. 2002. 활성탄 충전 바이오필터의 상향류 및 하향류 운전방식에 따른 성능비교. *한국냄새환경학회2002추계학술대회초록집*.
- 최용식. 1995. Cera-Biofilter 정화조 개발. *월간세라믹스*. 88: 111~118.
- 코오롱 엔지니어링(주). 1997. 미생물 담체를 이용한 유동형 폐수처리장치 및 방법. *대한민국특허 출원번호 제97-061789*.
- 한인규, 김정대, 이진희, 이상철, 김태한, 곽중희. 1984. 생균제제의 성장촉진효과에 관한 연구 박종문. 2001. 바이오필터를 이용한 황화수소의 처리. *비전과 토픽 I*:

바이오환경산업, III. 자돈에 대한 *Clostridium butyricum* ID의 성장 촉진 효과
와 분변내 세균총의 변화에 미치는 영향. 한국축산학회지. 26(2): 166~171.
허목. 2002. 약취방지기술과 평가. 한국냄새환경학회2002초록집. 53~74.

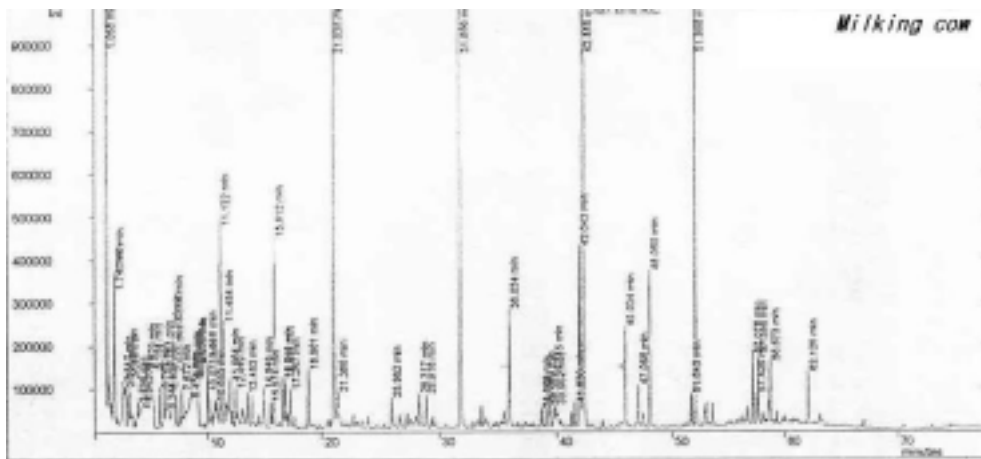
감 사 의 글

본 연구를 수행하는 동안 여러모로 도움을 주신 분들에게 고마움을 표하며, 특히 충남대학교 농업과학대학연구소 공동기기실의 각종 분석기기사용의 편의를 제공하고 Electronic Nose, GC/MS 등의 결과해석을 도와주신 이기택 교수님, Pilotscale 바이오필터 제공하여 주신 (주)카보 텍의 임재신 박사님, 그리고 현장실 험용 바이오필터 본체를 제공하여 주신 우송대학교 박상진 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

부 록

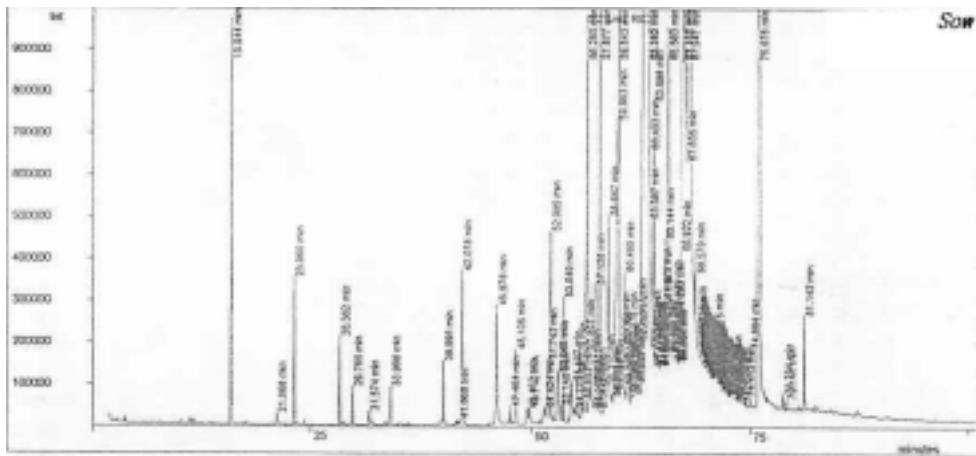


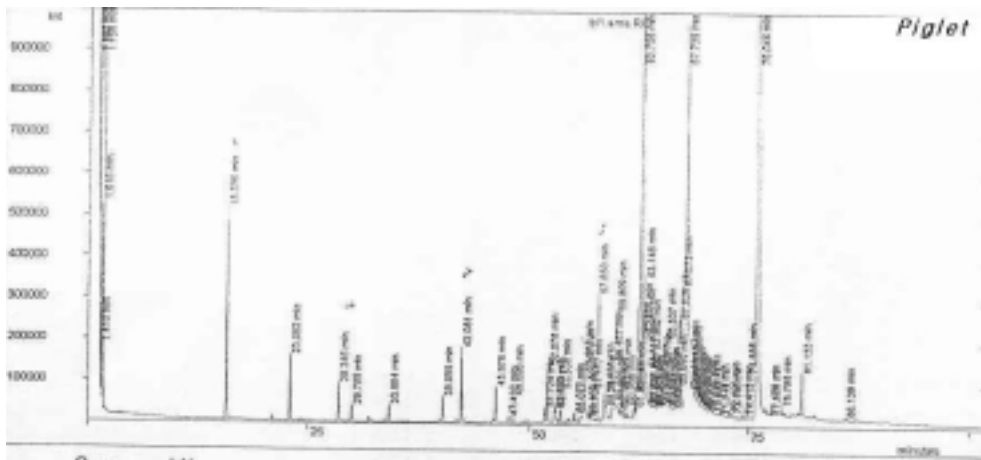
A

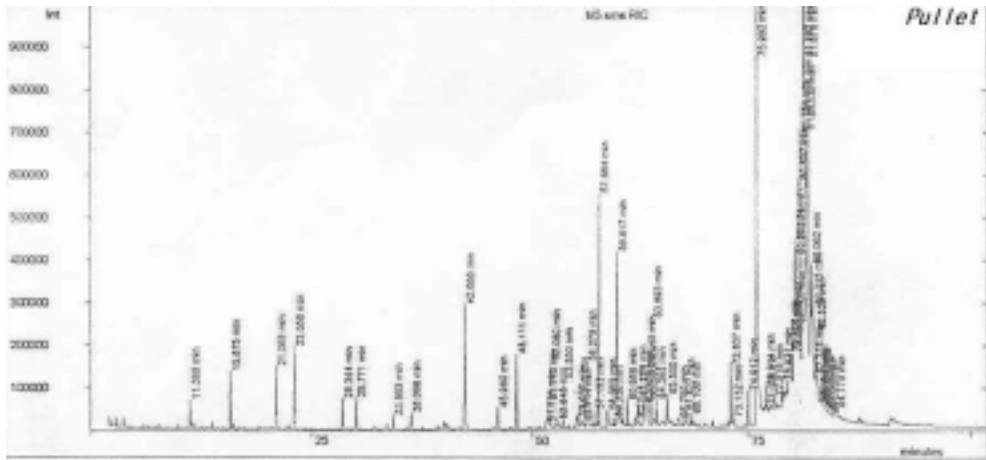


B

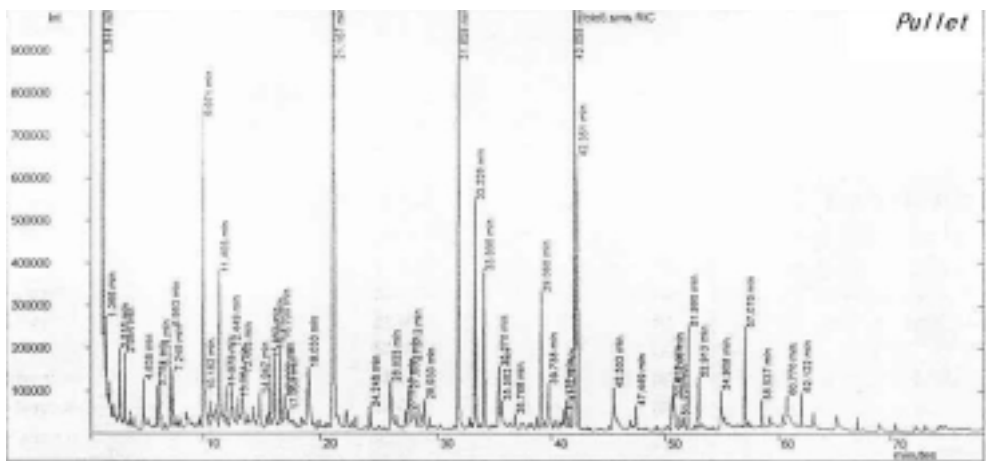
Fig. A1.2. GC/MS chromatogram of volatile components from the milking cow feces which extracted by the steam distillation <A> and SPME method.





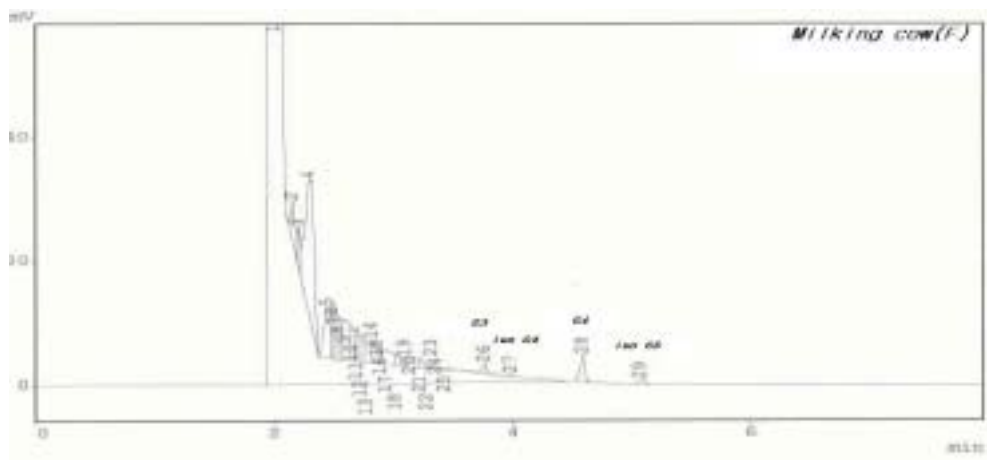


A

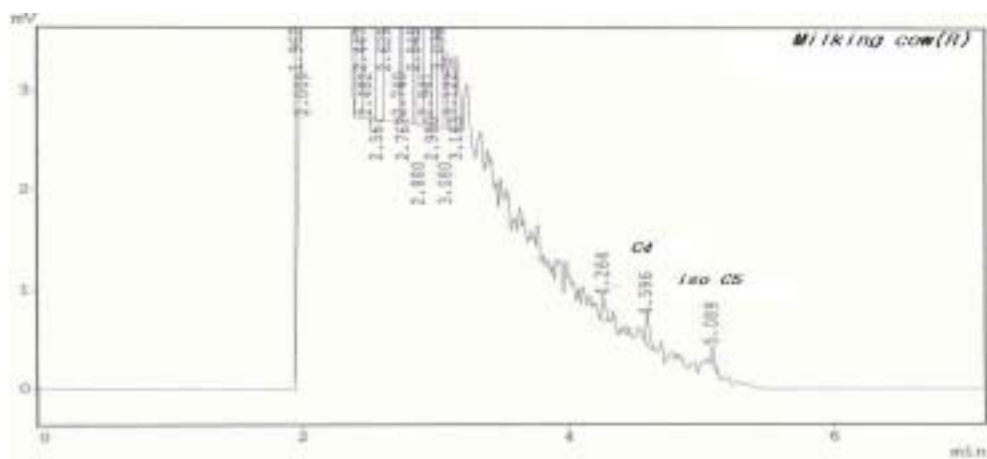


B

Fig. A1.7. GC/MS Chromatogram of volatile components from the pullet feces by steam distillation<A> and SPME method.

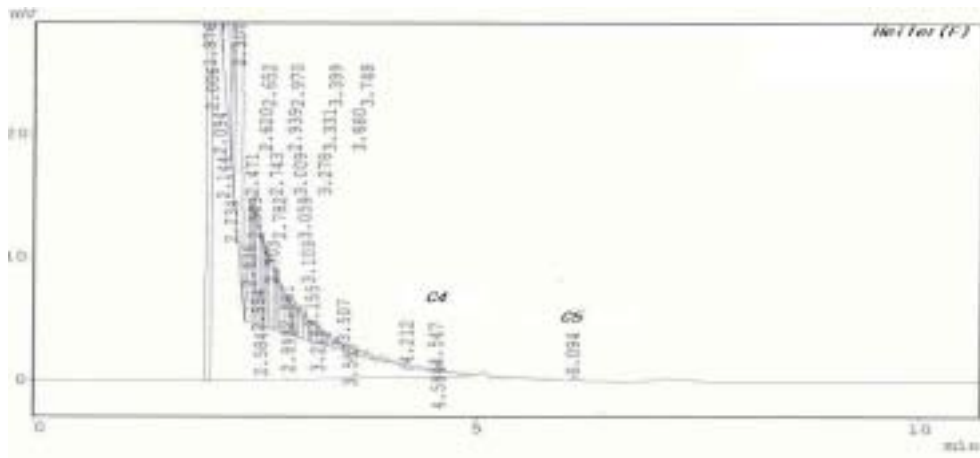


F

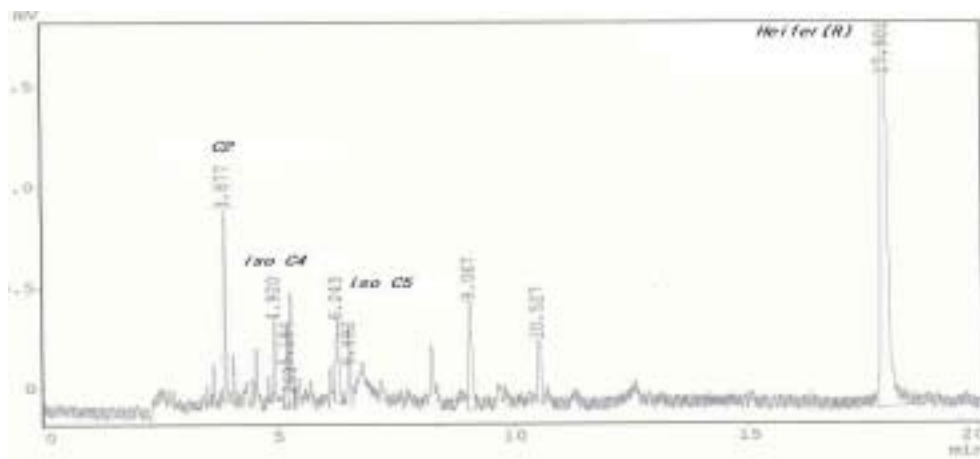


R

Fig. A1.8. GC chromatogram of VFA from the fresh <F> and rotten <R> feces of the milking cow.

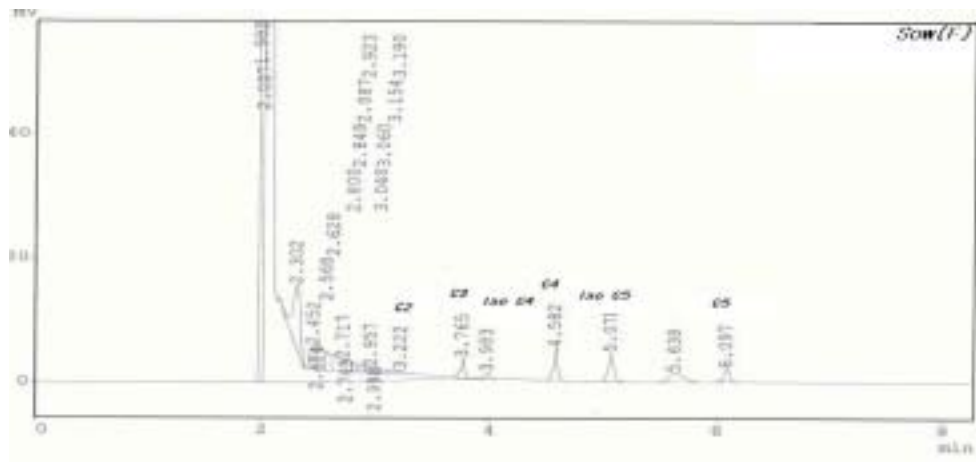


F

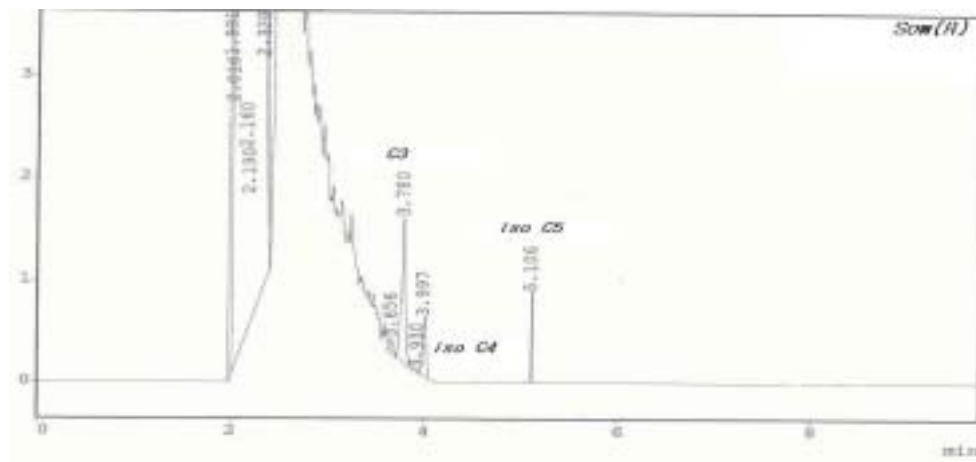


R

Fig. A1.9. GC chromatogram of VFA from the fresh <F> and rotten <R> feces of the heifer.

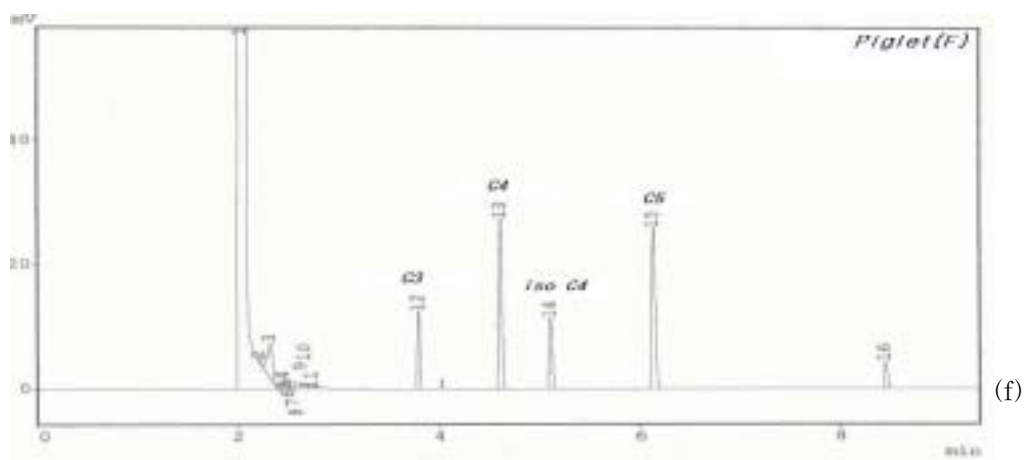


F

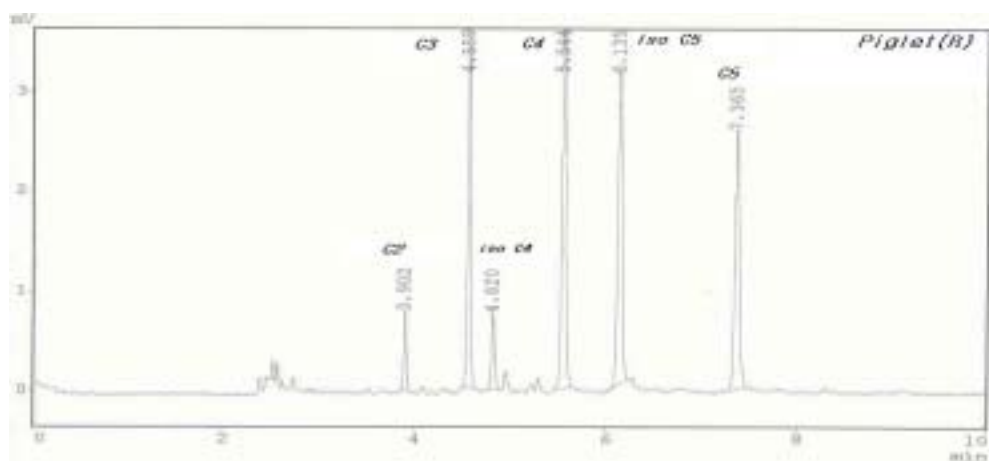


R

Fig. A1.10. GC chromatogram of VFA from the fresh <F> and rotten <R> feces of the sow

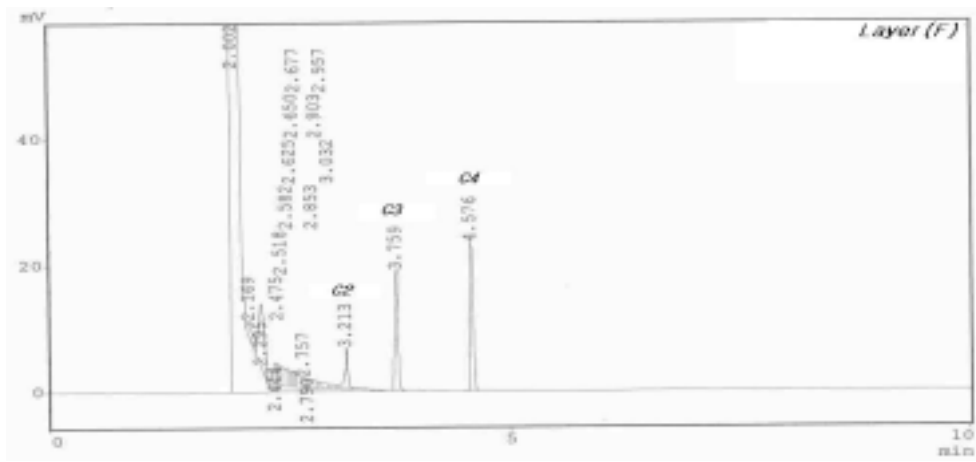


F

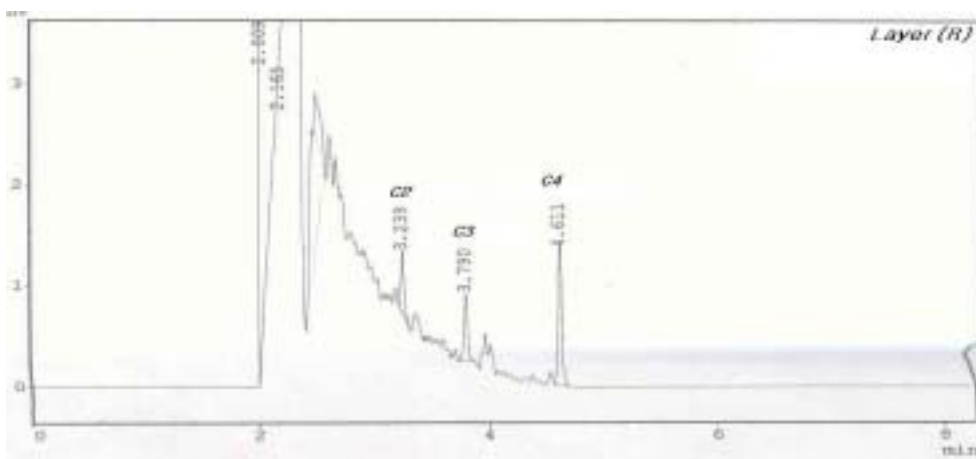


R

Fig. A1.11. GC chromatogram of VFA from the fresh <F> and rotten <R> feces of the piglet.

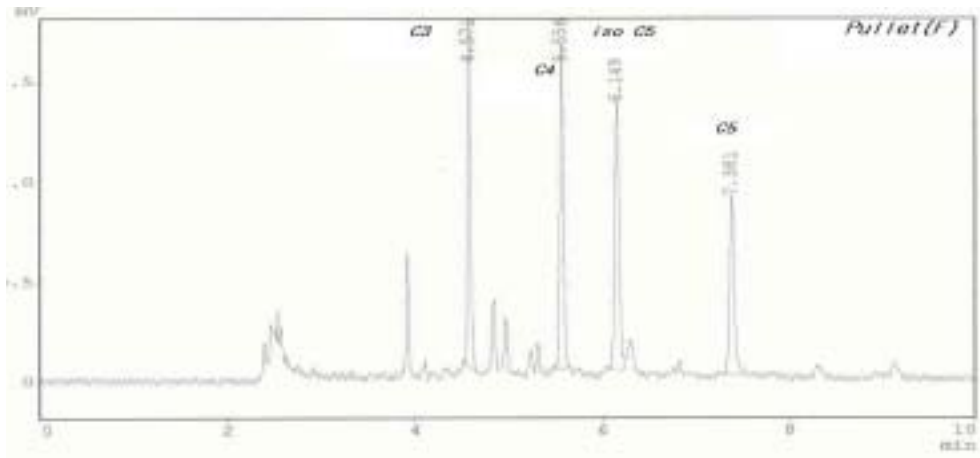


F

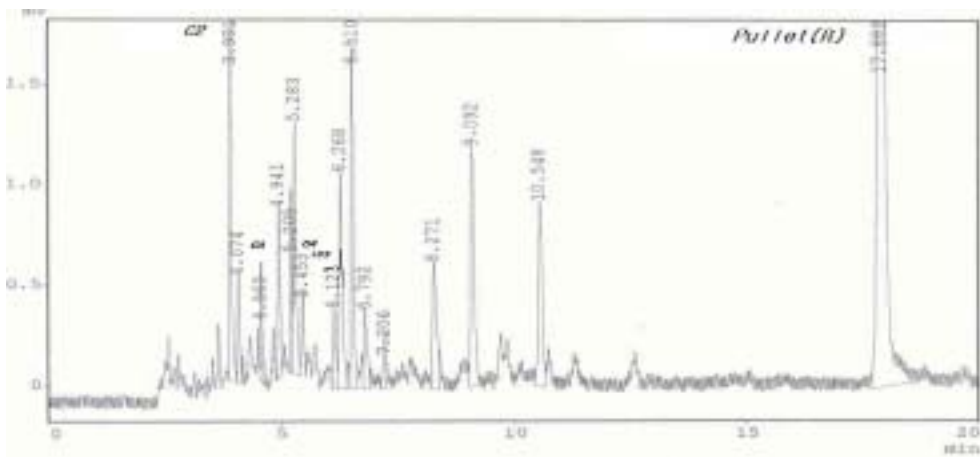


R

Fig. A1.12. GC chromatogram of VFA from the fresh <F> and rotten <R> feces of the layer.

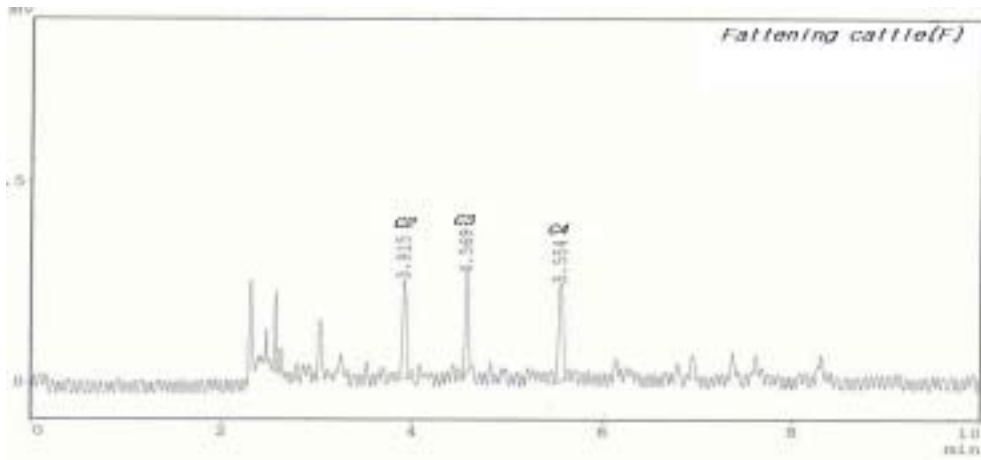


F

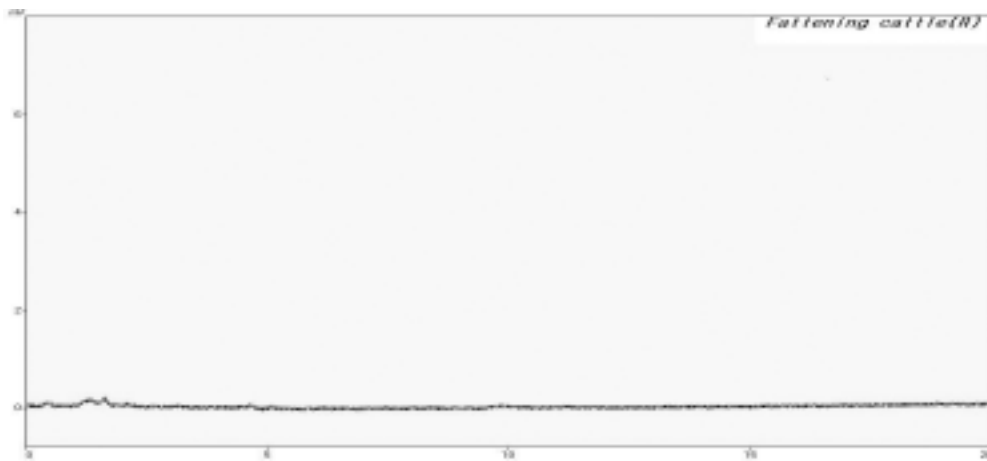


R

Fig. A1.13. GC chromatogram of VFA from the fresh <F> and rotten <R> feces of the milking pullet.

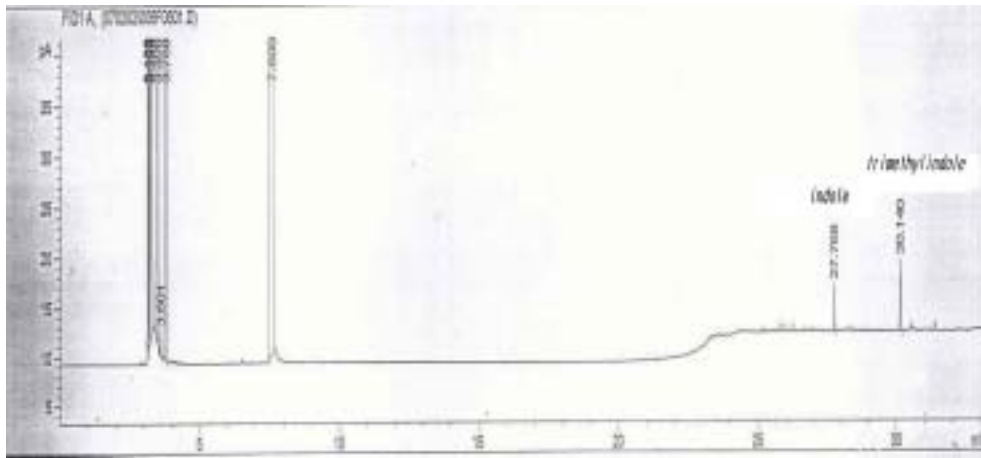


F

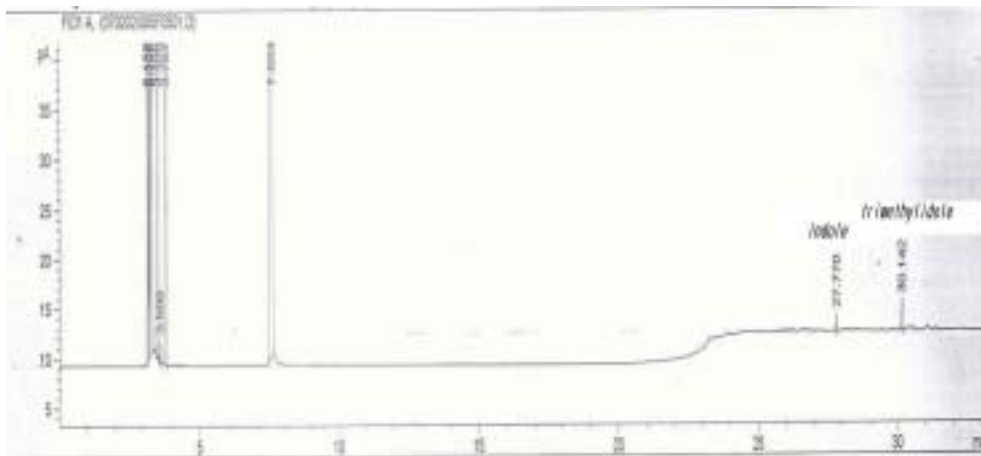


R

Fig. A1.13. GC chromatogram of VFA of fresh <F> and rotten <R> feces from the fattening cattle.



A



B

Fig. A1.14. GC chromatogram of indole and trimethylindole from the fresh feces of layer <A> and sow .

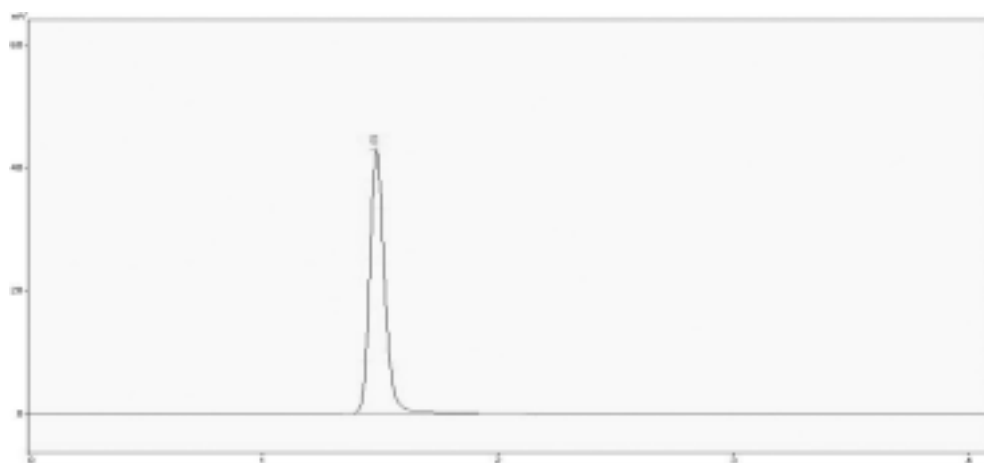


Fig. A1.15. GC chromatogram of hydrogen sulfide from the fresh feces from sow.

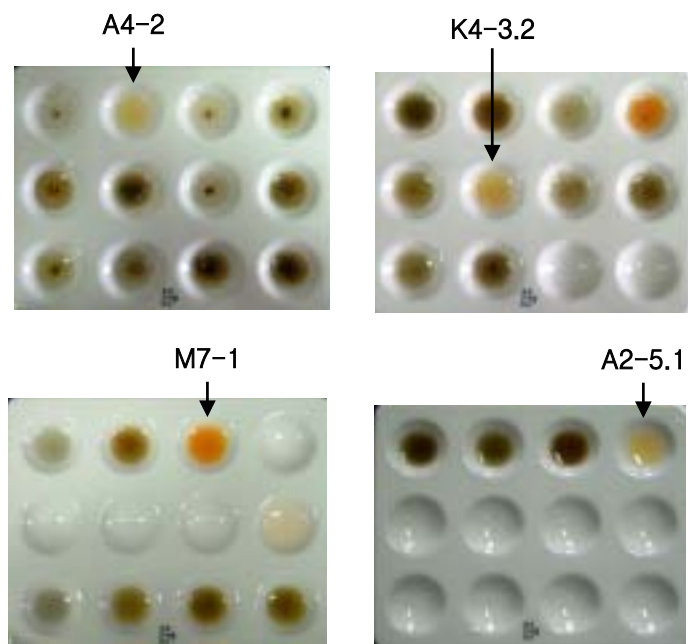
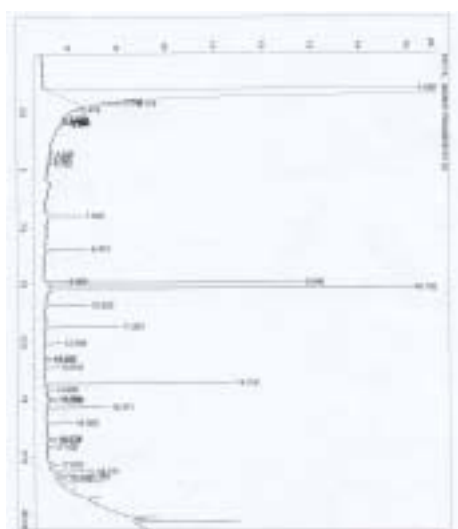
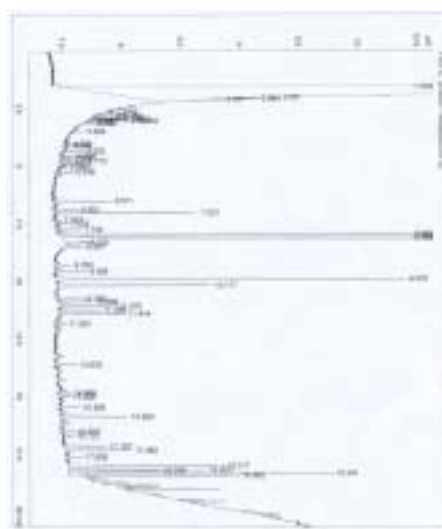


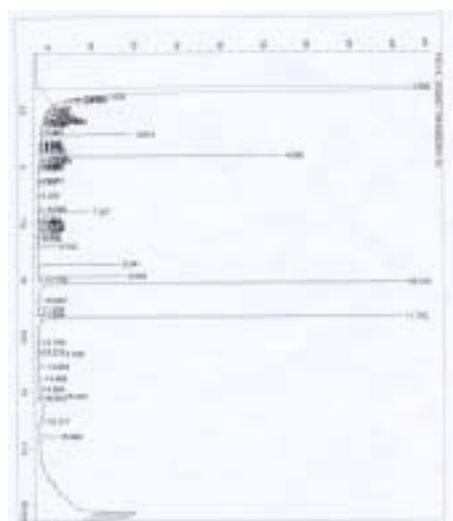
Fig. A2.1. Tests of ammonia oxidation by Nessler's, Trommsdorf's and diphenyl-amine reagents



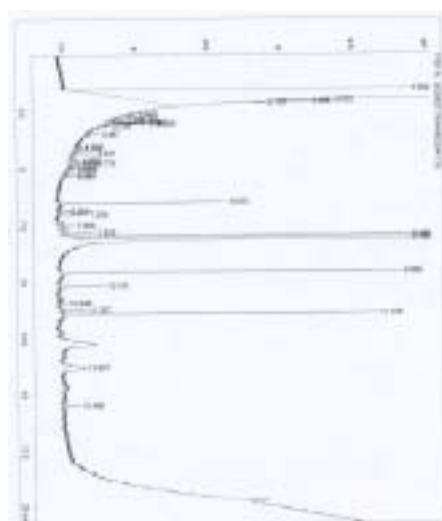
A4-2



K4-3.2

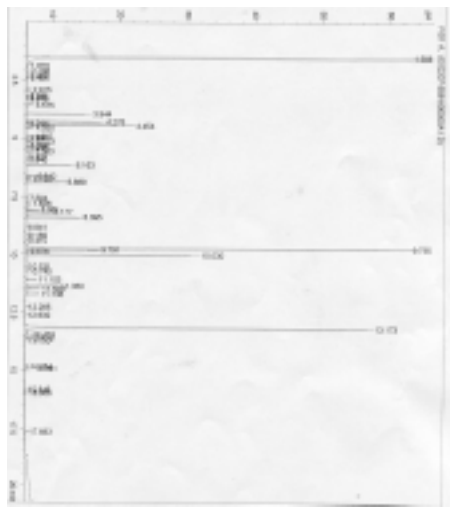


A2-5.1



M7-1

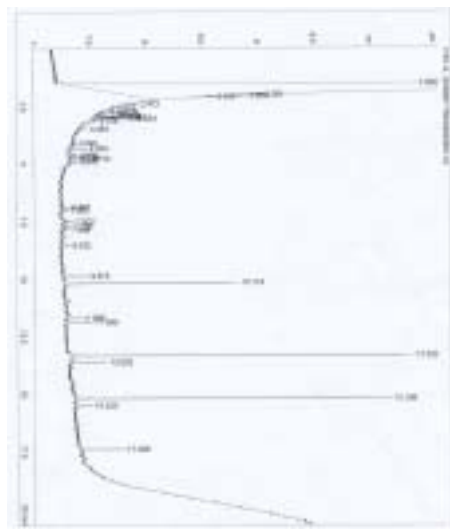
Fig. A2.2. GC chromatograms for fatty acid profiles of the selected NH_3 -oxidizing strains, A4-2, K4-3.2, M7-1, and A2-5.1.



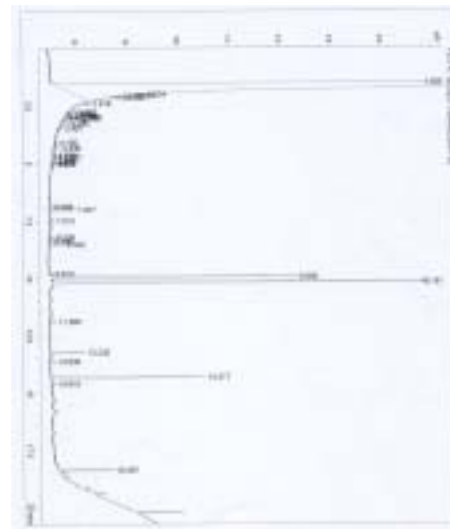
M2-3



J2-6



S4-2.3



S1-3

Fig. A2.3. GC chromatograms for fatty acid profiles of the selected H₂S-oxidizing strains, M2-3, J2-6, S1-3, and S4-2.3.

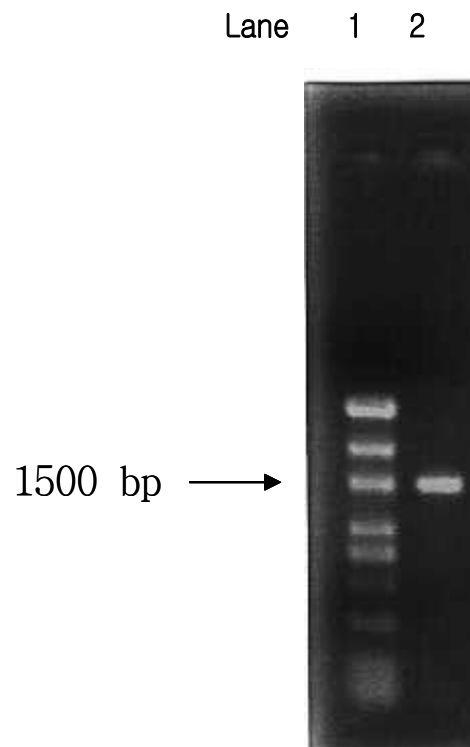


Fig. A2.5. Agarose gel electrophoresis of the purified 16S rDNA from the strain, *Alcaligenes* sp. S5-5.2.

Lane 1: the marker (ATGene PCR marker)

Lane 2: the purified 16S rDNA from the strain S5-5.2

TCTTCCGGCAGCGCGGAACTTCGGTTCTGGCGGCGAGTGGCGAACGGG
TGAGTAATGTATCGGAACGTGCCAGTAGCGGGGGATAACTACGCGA
AAGCGTGGCTAATACCGCATAACGCCCTACGGGGGAAAGGGGGGATCG
CAAGACCTCTCACTATTGGAGCGGCCGATATCGGATTAGCTAGTTGGT
GGGGTAAAGGCCTACCAAGGCAACGATCCGTAGCTGGTTTGAGAGGAC
GACCAGCCACACTGGGACTGAGACACGGCCCAGACTCCTACGGGAGGC
AGCAGTGGGGAATTTTGGACAATGGGGGCAACCCTGATCCAGCCATCC
CGCGTGTGCGATGAAGGCCTTCGGGTTGTAAAGCACTTTTGGCAGGGA
AGAAAAGCCACTGGATAATACCTGGTGGCGCTGACGGTACCTGCAGAA
TAAGCACCGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGTAGGGTG
CAAGCGTTAATCGGAATTAAGCGTAAAGCGTGCGCAGGCGGTTTCG
GAAAGAAGGTGTGAATCCCAGGGCTTAACCTTGGAAGTGCACCTTTA
CTACCGGGCTAGAGTAT

Fig. A2.6. Partial sequence of the 16S rDNA from the strain, *Alcaligenes* sp. S5-5.2.

Table A3.1. Programs for control of the pilot-scale biofilter <Model C>

```
/**SYAB Main Program**/
```

```

#include <windows.h>
#include <formatio.h>
#include <ansi_c.h>
#include <cvirte.h>
#include <userint.h>
#include "SYABB.h"
#include "Dask.h"
#include <utility.h>

static int pnl;

int savemode;
int dodata;
int cardID;
float ys1[1], ys2[1];
float DataL[1];
float VC;
int AM, OU;

void filesave(void);

int __stdcall WinMain (HINSTANCE hInstance, HINSTANCE hPrevInstance,
                      LPSTR lpszCmdLine, int nCmdShow)
{
    if (InitCVIRTE (hInstance, 0, 0) == 0)
        return -1;          /* out of memory */
    if ((pnl = LoadPanel (0, "SYABB.uir", PNL)) < 0)
        return -1;
    cardID = Register_Card(PCI_9112, 0);
    DO_WritePort(cardID, 0, 0);
    dodata=0;
    ys1[0]=0.; ys2[0]=90.;

    DisplayPanel (pnl);
    RunUserInterface ();
    DiscardPanel (pnl);
    return 0;
}

int CVICALLBACK pnlc (int panel, int event, void *callbackData,
                     int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
        {

```

```

        case EVENT_GOT_FOCUS:

            break;
        case EVENT_LOST_FOCUS:

            break;
        case EVENT_CLOSE:
            Release_Card(cardID);
            QuitUserInterface (0);
            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdSFc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    char pathname[MAX_PATHNAME_LEN];
    int response;

    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            response = DirSelectPopup ("c:\\", "Select Directory", 1, 1,
pathname);
            if (response==1) {
                if(StringLength (pathname) >4) sprintf (pathname,
"%s\\", pathname);

                    SetCtrlVal(pnl, PNL_dtxt, pathname);
            }
            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK bswSVc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int dust;

    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_bswSV, &dust);
            if (dust==1) {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 0, 1);
            }
            else {

```



```

                                DO_WriteLine(cardID, 0, 0, 0);
                                }
                                break;
                                }
                                return 0;
                                }
int CVICALLBACK nslBc (int panel, int control, int event,
                      void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    float las;
    F64 lasv;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_nslB, &las);

            lasv=5./60.*las;
            AO_VWriteChannel(cardID, 0, lasv);
            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK tbnBc (int panel, int control, int event,
                      void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    int gmst;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_tbnB, &gmst);
            if (gmst==1) {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 1, 1);
            }
            else {
                DO_WriteLine(cardID, 0, 1, 0);
            }
            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK TIMER2c (int panel, int control, int event,
                        void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    F64 AdVoltage;
    int err;

```

```

switch (event)
{
case EVENT_TIMER_TICK:

err = AI_VReadChannel(cardID, 0, AD_U_10_V,
&AdVoltage);

//DataL[0]=(10.-0.)/(ys2[0]-ys1[0])*(AdVoltage-ys1[0])+10.;
DataL[0]=(ys2[0]-ys1[0])/(10.)*(AdVoltage)+ys1[0];

SetCtrlVal(pnl, PNL_nLoad, DataL[0]);

PlotStripChart (pnl, PNL_STR, DataL, 1, 0, 0,
VAL_FLOAT);

if (savemode==1) filesave();

break;
}
return 0;
}

int CVICALLBACK TIMERc (int panel, int control, int event,
void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
float ST3;
F64 AdVoltage;
int err;

switch (event)
{
case EVENT_TIMER_TICK:
SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER2, ATTR_ENABLED,
0);

err = AI_VReadChannel(cardID, 0, AD_U_10_V,
&AdVoltage);

DataL[0]=(ys2[0]-ys1[0])/(10.)*(AdVoltage)+ys1[0];

SetCtrlVal(pnl, PNL_nLoad, DataL[0]);
if (AM==1) {
if (OU==1) {
if (VC<DataL[0]) {
DO_WriteLine(cardID, 0, 0, 1);
GetCtrlVal(pnl, PNL_nVD,
&ST3);
SetCtrlAttribute (pnl,
PNL_TIMER3, ATTR_INTERVAL, ST3);
SetCtrlAttribute (pnl,
PNL_TIMER3, ATTR_ENABLED, 1);
}
}
}
}
}
}

```

```

    }
}
else {
    if (VC>DataL[0]) {
        DO_WriteLine(cardID, 0, 0, 1);
        GetCtrlVal(pnl, PNL_nVD,
&ST3);
        SetCtrlAttribute (pnl,
PNL_TIMER3, ATTR_INTERVAL, ST3);
        SetCtrlAttribute (pnl,
PNL_TIMER3, ATTR_ENABLED, 1);
    }
}
}

SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER2, ATTR_ENABLED, 1);
break;
}
return 0;
}

int CVICALLBACK cmdStartc (int panel, int control, int event,
void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    float ST;
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            GetCtrlVal(pnl, PNL_nNI, &ST);
            GetCtrlVal(pnl, PNL_nVC, &VC);
            GetCtrlVal(pnl, PNL_bswAM, &AM);
            GetCtrlVal(pnl, PNL_bswOU, &OU);
            SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER,
ATTR_INTERVAL, ST);
            SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER,
ATTR_ENABLED, 1);
            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdStopc (int panel, int control, int event,
void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {

```

```

        case EVENT_COMMIT:
            SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER, ATTR_ENABLED, 0);
            savemode=0;
            break;
    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdQuitc (int panel, int control, int event,
    void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            DO_WritePort(cardID, 0, 0);
            Release_Card(cardID);
            QuitUserInterface (0);
            break;
    }
    return 0;
}

void filesave(void)
{
    int hours,minutes,seconds;
    float fsdata[15];
    char filename[60];
    char pathname[MAX_PATHNAME_LEN];
    char fileN[MAX_PATHNAME_LEN];
    int i, savest;

    GetSystemTime (&hours, &minutes, &seconds);

    GetCtrlVal(pnl, PNL_dtxt, pathname);
    GetCtrlVal(pnl, PNL_strSF, filename);
    sprintf(fileN,"%s%s.csv",pathname, filename);

    fsdata[0]=hours;
    fsdata[1]=minutes;
    fsdata[2]=seconds;
    fsdata[3]=DataL[0];

    DisableBreakOnLibraryErrors ();
    savest = ArrayToFile (fileN, fsdata, VAL_FLOAT, 4, 1,
VAL_GROUPS_TOGETHER,
VAL_GROUPS_AS_ROWS, VAL_SEP_BY_COMMA, 11, VAL_ASCII, VAL_APPEND);

    EnableBreakOnLibraryErrors ();
}

```

```

}

int CVICALLBACK TIMER3 (int panel, int control, int event,
                        void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_TIMER_TICK:
            DO_WriteLine(cardID, 0, 0, 0);
            SetCtrlAttribute (pnl, PNL_TIMER3, ATTR_ENABLED, 0);

            break;

    }
    return 0;
}

int CVICALLBACK cmdSavec (int panel, int control, int event,
                          void *callbackData, int eventData1, int eventData2)
{
    char filename[60];
    char pathname[MAX_PATHNAME_LEN];
    char fileN[MAX_PATHNAME_LEN];
    int fileHD;

    switch (event)
    {
        case EVENT_COMMIT:
            savemode=1;
            GetCtrlVal(pnl, PNL_dtxt, pathname);
            GetCtrlVal(pnl, PNL_strSF, filename);
            sprintf(fileN,"%s%s.csv",pathname, filename);

            fileHD = OpenFile (fileN, VAL_WRITE_ONLY,
            VAL_TRUNCATE, VAL_ASCII);
                WriteLine (fileHD, "hours,min.,sec,Load", -1);
            CloseFile(fileHD);

            break;

    }
    return 0;
}

```

/**SYABB.H**/

```

/* LabWindows/CVI User Interface Resource (UIR) Include File */
/* Copyright (c) National Instruments 2004. All Rights Reserved. */

```

```

/*                                                                    */
/* WARNING: Do not add to, delete from, or otherwise modify the contents */
/*           of this include file.                                       */
/*****/

#include <userint.h>

#ifdef __cplusplus
    extern "C" {
#endif

    /* Panels and Controls: */

#define PNL 1 /* callback function: pnlc */
#define PNL_nLoad 2
#define PNL_nslB 3 /* callback function: nslBc */
#define PNL_cmdS 4 /* callback function: cmdSFc */
#define PNL_bswSV 5 /* callback function: bswSVc */
#define PNL_DECORATION_8 6
#define PNL_DECORATION_7 7
#define PNL_DECORATION_2 8
#define PNL_DECORATION_3 9
#define PNL_DECORATION_4 10
#define PNL_DECORATION_9 11
#define PNL_DECORATION_6 12
#define PNL_DECORATION_5 13
#define PNL_DECORATION_10 14
#define PNL_DECORATION_12 15
#define PNL_nNI 16
#define PNL_DECORATION_13 17
#define PNL_nVD 18
#define PNL_nVC 19
#define PNL_bswOU 20
#define PNL_bswAM 21
#define PNL_tbnB 22 /* callback function: tbnBc */
#define PNL_cmdQuit 23 /* callback function: cmdQuitc */
#define PNL_cmdSto 24 /* callback function: cmdStopc */
#define PNL_cmdSave 25 /* callback function: cmdSavec */
#define PNL_cmdStart 26 /* callback function: cmdStartc */
#define PNL_CANVAS 27
#define PNL_strSF 28
#define PNL_DECORATION_11 29
#define PNL_DECORATION_14 30
#define PNL_DECORATION_15 31
#define PNL_TEXTMSG_3 32
#define PNL_dtxt 33
#define PNL_STR 34
#define PNL_TIMER2 35 /* callback function: TIMER2c */

```

```

#define PNL_TIMER 36 /* callback function: TIMERc */
#define PNL_DECORATION 37
#define PNL_TIMER3 38 /* callback function: TIMER3 */

/* Menu Bars, Menus, and Menu Items: */

/* (no menu bars in the resource file) */

/* Callback Prototypes: */

int CVICALLBACK bswSVc(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK cmdQuitc(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK cmdSavec(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK cmdSFc(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK cmdStartc(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK cmdStopc(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK nslBc(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK pnlc(int panel, int event, void *callbackData, int eventData1, int
eventData2);
int CVICALLBACK tbnBc(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK TIMER2c(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK TIMER3(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);
int CVICALLBACK TIMERc(int panel, int control, int event, void *callbackData, int
eventData1, int eventData2);

#ifdef __cplusplus
}
#endif

/** Dask.h**/

#ifndef _DASK_H
#define _DASK_H

#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif

```

```

//DASK Data Types
typedef unsigned char    U8;
typedef short           I16;
typedef unsigned short  U16;
typedef long            I32;
typedef unsigned long   U32;
typedef float           F32;
typedef double          F64;

//ADLink PCI Card Type
#define PCI_6208V        1
#define PCI_6208A        2
#define PCI_6308V        3
#define PCI_6308A        4
#define PCI_7200         5
#define PCI_7230         6
#define PCI_7233         7
#define PCI_7234         8
#define PCI_7248         9
#define PCI_7249        10
#define PCI_7250        11
#define PCI_7252        12
#define PCI_7296        13
#define PCI_7300A_RevA  14
#define PCI_7300A_RevB  15
#define PCI_7432        16
#define PCI_7433        17
#define PCI_7434        18
#define PCI_8554        19
#define PCI_9111DG      20
#define PCI_9111HR      21
#define PCI_9112        22
#define PCI_9113        23
#define PCI_9114DG      24
#define PCI_9114HG      25
#define PCI_9118DG      26
#define PCI_9118HG      27
#define PCI_9118HR      28
#define PCI_9810        29
#define PCI_9812        30
#define PCI_7396        31
#define PCI_9116        32
#define PCI_7256        33
#define PCI_7258        34

#define MAX_CARD        32

//Error Number

```



```

#define NoError 0
#define ErrorUnknownCardType -1
#define ErrorInvalidCardNumber -2
#define ErrorTooManyCardRegistered -3
#define ErrorCardNotRegistered -4
#define ErrorFuncNotSupport -5
#define ErrorInvalidIoChannel -6
#define ErrorInvalidAdRange -7
#define ErrorContIoNotAllowed -8
#define ErrorDiffRangeNotSupport -9
#define ErrorLastChannelNotZero -10
#define ErrorChannelNotDescending -11
#define ErrorChannelNotAscending -12
#define ErrorOpenDriverFailed -13
#define ErrorOpenEventFailed -14
#define ErrorTransferCountTooLarge -15
#define ErrorNotDoubleBufferMode -16
#define ErrorInvalidSampleRate -17
#define ErrorInvalidCounterMode -18
#define ErrorInvalidCounter -19
#define ErrorInvalidCounterState -20
#define ErrorInvalidBinBcdParam -21
#define ErrorBadCardType -22
#define ErrorInvalidDaRefVoltage -23
#define ErrorAdTimeOut -24
#define ErrorNoAsyncAI -25
#define ErrorNoAsyncAO -26
#define ErrorNoAsyncDI -27
#define ErrorNoAsyncDO -28
#define ErrorNotInputPort -29
#define ErrorNotOutputPort -30
#define ErrorInvalidDioPort -31
#define ErrorInvalidDioLine -32
#define ErrorContIoActive -33
#define ErrorDblBufModeNotAllowed -34
#define ErrorConfigFailed -35
#define ErrorInvalidPortDirection -36
#define ErrorBeginThreadError -37
#define ErrorInvalidPortWidth -38
#define ErrorInvalidCtrSource -39
#define ErrorOpenFile -40
#define ErrorAllocateMemory -41
#define ErrorDaVoltageOutOfRange -42
//Error number for driver API
#define ErrorConfigIoctl -201
#define ErrorAsyncSetIoctl -202
#define ErrorDBSetIoctl -203
#define ErrorDBHalfReadyIoctl -204

```

```

#define ErrorContPIOctl          -205
#define ErrorContStatusIoctl    -206
#define ErrorPIOctl              -207
#define ErrorDIntSetIoctl       -208
#define ErrorWaitEvtIoctl       -209
#define ErrorOpenEvtIoctl       -210
#define ErrorCOSIntSetIoctl     -211
#define ErrorMemMapIoctl        -212
#define ErrorMemUMapSetIoctl    -213
#define ErrorCTRIoctl           -214
#define ErrorGetResIoctl        -215

#define TRUE    1
#define FALSE   0

//Synchronous Mode
#define SYNCH_OP      1
#define ASYNCH_OP    2

//AD Range
#define AD_B_10_V    1
#define AD_B_5_V     2
#define AD_B_2_5_V   3
#define AD_B_1_25_V  4
#define AD_B_0_625_V 5
#define AD_B_0_3125_V 6
#define AD_B_0_5_V   7
#define AD_B_0_05_V  8
#define AD_B_0_005_V 9
#define AD_B_1_V     10
#define AD_B_0_1_V   11
#define AD_B_0_01_V  12
#define AD_B_0_001_V 13
#define AD_U_20_V    14
#define AD_U_10_V    15
#define AD_U_5_V     16
#define AD_U_2_5_V   17
#define AD_U_1_25_V  18
#define AD_U_1_V     19
#define AD_U_0_1_V   20
#define AD_U_0_01_V  21
#define AD_U_0_001_V 22

//Clock Mode
#define TRIG_SOFTWARE      0
#define TRIG_INT_PACER    1
#define TRIG_EXT_STROBE   2
#define TRIG_HANDSHAKE    3

```

```

#define TRIG_CLK_10MHZ          4 //PCI-7300A
#define TRIG_CLK_20MHZ          5 //PCI-7300A
#define TRIG_DO_CLK_TIMER_ACK   6 //PCI-7300A Rev. B
#define TRIG_DO_CLK_10M_ACK     7 //PCI-7300A Rev. B
#define TRIG_DO_CLK_20M_ACK     8 //PCI-7300A Rev. B

//Virtual Sampling Rate for using external clock as the clock source
#define CLKSRC_EXT_SampRate      10000

/*----- Constants for PCI-6208A/PCI-6308A/PCI-6308V -----*/
//Output Mode
#define P6208_CURRENT_0_20MA     0
#define P6208_CURRENT_4_20MA     3
#define P6208_CURRENT_5_25MA     1
#define P6308_CURRENT_0_20MA     0
#define P6308_CURRENT_4_20MA     3
#define P6308_CURRENT_5_25MA     1
//AO Setting
#define P6308V_AO_CH0_3          0
#define P6308V_AO_CH4_7          1
#define P6308V_AO_UNIPOLAR       0
#define P6308V_AO_BIPOLAR        1
/*----- Constants for PCI-7200 -----*/
//InputMode
#define DI_WAITING                0x02
#define DI_NOWAITING              0x00

#define DI_TRIG_RISING            0x04
#define DI_TRIG_FALLING          0x00

#define IREQ_RISING               0x08
#define IREQ_FALLING              0x00

//Output Mode
#define OREQ_ENABLE               0x10
#define OREQ_DISABLE              0x00

#define OTRIG_HIGH                0x20
#define OTRIG_LOW                 0x00

/*----- Constants for PCI-7248/7296/7396 -----*/
//DIO Port Direction
#define INPUT_PORT                 1
#define OUTPUT_PORT               2

//Channel & Port
#define Channel_P1A                0
#define Channel_P1B                1
#define Channel_P1C                2

```

```

#define Channel_P1CL      3
#define Channel_P1CH      4
#define Channel_P1AE     10
#define Channel_P1BE     11
#define Channel_P1CE     12
#define Channel_P2A      5
#define Channel_P2B      6
#define Channel_P2C      7
#define Channel_P2CL     8
#define Channel_P2CH     9
#define Channel_P2AE    15
#define Channel_P2BE    16
#define Channel_P2CE    17
#define Channel_P3A     10
#define Channel_P3B     11
#define Channel_P3C     12
#define Channel_P3CL    13
#define Channel_P3CH    14
#define Channel_P4A     15
#define Channel_P4B     16
#define Channel_P4C     17
#define Channel_P4CL    18
#define Channel_P4CH    19
#define Channel_P5A     20
#define Channel_P5B     21
#define Channel_P5C     22
#define Channel_P5CL    23
#define Channel_P5CH    24
#define Channel_P6A     25
#define Channel_P6B     26
#define Channel_P6C     27
#define Channel_P6CL    28
#define Channel_P6CH    29
//the following are used for PCI7396
#define Channel_P1      30
#define Channel_P2      31
#define Channel_P3      32
#define Channel_P4      33
#define Channel_P1E     34 //only used by DIO_PortConfig function
#define Channel_P2E     35 //only used by DIO_PortConfig function
#define Channel_P3E     36 //only used by DIO_PortConfig function
#define Channel_P4E     37 //only used by DIO_PortConfig function
/*----- Constants for PCI-7300A -----*/
//Wait Status
#define P7300_WAIT_NO      0
#define P7300_WAIT_TRG    1
#define P7300_WAIT_FIFO    2
#define P7300_WAIT_BOTH   3

```

```

//Terminator control
#define P7300_TERM_OFF          0
#define P7300_TERM_ON          1

//DI control signals polarity for PCI-7300A Rev. B
#define P7300_DIREQ_POS         0x00000000L
#define P7300_DIREQ_NEG         0x00000001L
#define P7300_DIACK_POS         0x00000000L
#define P7300_DIACK_NEG         0x00000002L
#define P7300_DITRIG_POS        0x00000000L
#define P7300_DITRIG_NEG        0x00000004L

//DO control signals polarity for PCI-7300A Rev. B
#define P7300_DOREQ_POS         0x00000000L
#define P7300_DOREQ_NEG         0x00000008L
#define P7300_DOACK_POS         0x00000000L
#define P7300_DOACK_NEG         0x00000010L
#define P7300_DOTRIG_POS        0x00000000L
#define P7300_DOTRIG_NEG        0x00000020L
/*----- Constants for PCI-7432/7433/7434 -----*/
#define PORT_DI_LOW              0
#define PORT_DI_HIGH             1
#define PORT_DO_LOW              0
#define PORT_DO_HIGH             1
#define P7432R_DO_LED            1
#define P7433R_DO_LED            0
#define P7434R_DO_LED            2
#define P7432R_DI_SLOT           1
#define P7433R_DI_SLOT           2
#define P7434R_DI_SLOT           0
/*- Dual-Interrupt Source control for PCI-7248/96 & 7432/33 & 7230 & 8554 & 7396 &7256
-*/
#define INT1_DISABLE              -1 //INT1 Disabled
#define INT1_COS                  0 //INT1 COS : only available for PCI-7396,
PCI-7256
#define INT1_FP1C0                1 //INT1 by Falling edge of P1C0 : only
available for PCI7248/96/7396
#define INT1_RP1C0_FP1C3          2 //INT1 by P1C0 Rising or P1C3 Falling :
only available for PCI7248/96/7396
#define INT1_EVENT_COUNTER        3 //INT1 by Event Counter down to zero : only
available for PCI7248/96/7396
#define INT1_EXT_SIGNAL           1 //INT1 by external signal : only available for
PCI7432/7433/7230/8554
#define INT1_COUT12               1 //INT1 COUT12 : only available for PCI8554
#define INT1_CH0                  1 //INT1 CH0 : only available for PCI7256
#define INT2_DISABLE              -1 //INT2 Disabled
#define INT2_COS                  0 //INT2 COS : only available for PCI-7396
#define INT2_FP2C0                1 //INT2 by Falling edge of P2C0 : only

```

```

available for PCI7248/96/7396
#define INT2_RP2C0_FP2C3      2    //INT2 by P2C0 Rising or P2C3 Falling :
only available for PCI7248/96/7396
#define INT2_TIMER_COUNTER    3    //INT2 by Timer Counter down to zero :
only available for PCI7248/96/7396
#define INT2_EXT_SIGNAL       1    //INT2 by external signal : only available for
PCI7432/7433/7230/8554
#define INT2_CH1              2    //INT2 CH1 : only available for PCI7256

/*----- Constants for PCI-8554 -----*/
//Clock Source of Cunter N
#define ECKN                   0
#define COUTN_1                1
#define CK1                    2
#define COUT10                 3

//Clock Source of CK1
#define CK1_C8M                0
#define CK1_COUT11             1

//Debounce Clock
#define DBCLK_COUT11           0
#define DBCLK_2MHZ             1

/*----- Constants for PCI-9111 -----*/
//Dual Interrupt Mode
#define P9111_INT1_EOC          0    //Ending of AD conversion
#define P9111_INT1_FIFO_HF     1    //FIFO Half Full
#define P9111_INT2_PACER       0    //Every Timer tick
#define P9111_INT2_EXT_TRG     1    //ExtTrig High->Low

//Channel Count
#define P9111_CHANNEL_DO       0
#define P9111_CHANNEL_EDO      1
#define P9111_CHANNEL_DI       0
#define P9111_CHANNEL EDI      1

//EDO function
#define P9111_EDO_INPUT        1    //EDO port set as Input port
#define P9111_EDO_OUT_EDO      2    //EDO port set as Output port
#define P9111_EDO_OUT_CHN      3    //EDO port set as channel number ouput port

//Trigger Mode
#define P9111_TRGMOD_SOFT      0x00 //Software Trigger Mode
#define P9111_TRGMOD_PRE       0x01 //Pre-Trigger Mode
#define P9111_TRGMOD_POST      0x02 //Post Trigger Mode

//AO Setting
#define P9111_AO_UNIPOLAR      0

```

```

#define P9111_AO_BIPOLAR          1

/*----- Constants for PCI-9118 -----*/
#define P9118_AI_BiPolar          0x00
#define P9118_AI_UniPolar        0x01
#define P9118_AI_SingEnded       0x00
#define P9118_AI_Differential    0x02
#define P9118_AI_ExtG            0x04
#define P9118_AI_ExtTrig        0x08
#define P9118_AI_DtrgNegative    0x00
#define P9118_AI_DtrgPositive    0x10
#define P9118_AI_EtrgNegative    0x00
#define P9118_AI_EtrgPositive    0x20
#define P9118_AI_BurstModeEn     0x40
#define P9118_AI_SampleHold      0x80
#define P9118_AI_PostTrgEn       0x100
#define P9118_AI_AboutTrgEn      0x200

/*----- Constants for PCI-9116 -----*/
#define P9116_AI_LocalGND        0x00
#define P9116_AI_UserCMMD        0x01
#define P9116_AI_SingEnded       0x00
#define P9116_AI_Differential    0x02
#define P9116_AI_BiPolar         0x00
#define P9116_AI_UniPolar        0x04
#define P9116_TRGMOD_SOFT        0x00 //Software Trigger Mode
#define P9116_TRGMOD_POST        0x10 //Post Trigger Mode
#define P9116_TRGMOD_DELAY       0x20 //Delay Trigger Mode
#define P9116_TRGMOD_PRE         0x30 //Pre-Trigger Mode
#define P9116_TRGMOD_MIDL        0x40 //Middle Trigger Mode
#define P9116_AI_TrgPositive     0x00
#define P9116_AI_TrgNegative     0x80
#define P9116_AI_ExtTimeBase     0x100
#define P9116_AI_IntTimeBase     0x000
#define P9116_AI_DlyInSamples    0x200
#define P9116_AI_DlyInTimebase   0x000
#define P9116_AI_ReTrigEn        0x400
#define P9116_AI_MCounterEn      0x800
#define P9116_AI_SoftPolling     0x0000
#define P9116_AI_INT             0x1000
#define P9116_AI_DMA             0x2000

/*----- Constants for PCI-9812 -----*/
//Trigger Mode
#define P9812_TRGMOD_SOFT        0x00 //Software Trigger Mode
#define P9812_TRGMOD_POST        0x01 //Post Trigger Mode
#define P9812_TRGMOD_PRE         0x02 //Pre-Trigger Mode
#define P9812_TRGMOD_DELAY       0x03 //Delay Trigger Mode

```

```

#define P9812_TRGMOD_MIDL          0x04  //Middle Trigger Mode

//Trigger Source
#define P9812_TRGSRC_CH0          0x00  //trigger source --CH0
#define P9812_TRGSRC_CH1          0x08  //trigger source --CH1
#define P9812_TRGSRC_CH2          0x10  //trigger source --CH2
#define P9812_TRGSRC_CH3          0x18  //trigger source --CH3
#define P9812_TRGSRC_EXT_DIG      0x20  //External Digital Trigger

//Trigger Polarity
#define P9812_TRGSLP_POS          0x00  //Positive slope trigger
#define P9812_TRGSLP_NEG          0x40  //Negative slope trigger

//Frequency Selection
#define P9812_AD2_GT_PCI          0x80  //Freq. of A/D clock>PCI clock freq
#define P9812_AD2_LT_PCI          0x00  //Freq. of A/D clock<PCI clock freq.
//Clock Source
#define P9812_CLKSRC_INT          0x000  //Internal clock
#define P9812_CLKSRC_EXT_SIN      0x100  //External SIN wave clock
#define P9812_CLKSRC_EXT_DIG      0x200  //External Square wave clock

/*----- Timer/Counter -----*/
//Counter Mode (8254)
#define TOGGLE_OUTPUT              0    //Toggle output from low to high on
terminal count
#define PROG_ONE_SHOT              1    //Programmable one-shot
#define RATE_GENERATOR              2    //Rate generator
#define SQ_WAVE_RATE_GENERATOR      3    //Square wave rate generator
#define SOFT_TRIG                  4    //Software-triggered strobe
#define HARD_TRIG                  5    //Hardware-triggered strobe

//General Purpose Timer/Counter
//Counter Mode
#define General_Counter            0x00  //general counter
#define Pulse_Generation            0x01  //pulse generation
//GPTC clock source
#define GPTC_CLKSRC_EXT              0x08
#define GPTC_CLKSRC_INT              0x00
#define GPTC_GATESRC_EXT            0x10
#define GPTC_GATESRC_INT            0x00
#define GPTC_UPDOWN_SELECT_EXT      0x20
#define GPTC_UPDOWN_SELECT_SOFT     0x00
#define GPTC_UP_CTR                  0x40
#define GPTC_DOWN_CTR               0x00
#define GPTC_ENABLE                  0x80
#define GPTC_DISABLE                0x00

//16-bit binary or 4-decade BCD counter
#define BIN                          0

```



```

#define BCD                1

//Previous renamed functions re-directed for compatibility
#define AI_VScale          AI_VoltScale
#define AO_VScale          AO_VoltScale
#define CTR_Reset          CTR_Clear

//DAQ Event type for the event message
#define AIEnd              0
#define DIEnd              0
#define DOEnd              0
#define DBEvent            1

/*-----** PCIS-DASK Function prototype-----*/
I16 __stdcall Register_Card (U16 CardType, U16 card_num);
I16 __stdcall Release_Card (U16 CardNumber);
I16 __stdcall GetActualRate (U16 CardNumber, F64 fSampleRate, F64 *fActualRate);
/*-----*/
//I16 __stdcall AI_9111_Config (U16 CardNumber, U16 TrigSource, U16 PreTrgEn, U16
TraceCnt);
I16 __stdcall AI_9111_Config (U16 CardNumber, U16 TrigSource, U16 TrgMode, U16
TraceCnt);
I16 __stdcall AI_9112_Config (U16 CardNumber, U16 TrigSource);
I16 __stdcall AI_9113_Config (U16 CardNumber, U16 TrigSource);
I16 __stdcall AI_9114_Config (U16 CardNumber, U16 TrigSource);
I16 __stdcall AI_9116_Config (U16 CardNumber, U16 ConfigCtrl, U16 TrigCtrl, U16
PostCnt, U16 MCnt, U16 ReTrgCnt);
I16 __stdcall AI_9118_Config (U16 CardNumber, U16 ModeCtrl, U16 FunCtrl, U16
BurstCnt, U16 PostCnt);
I16 __stdcall AI_9812_Config (U16 CardNumber, U16 TrgMode, U16 TrgSrc, U16
TrgPol, U16 ClkSel, U16 TrgLevel, U16 PostCnt);
I16 __stdcall AI_9812_SetDiv (U16 wCardNumber, U32 PacerVal);
I16 __stdcall AI_9114_PreTrigConfig (U16 CardNumber, U16 PreTrgEn, U16 TraceCnt);
I16 __stdcall AI_9116_CounterInterval (U16 wCardNumber, U32 ScanIntrv, U32
SampIntrv);
I16 __stdcall AI_InitialMemoryAllocated (U16 CardNumber, U32 *MemSize);
I16 __stdcall AI_ReadChannel (U16 CardNumber, U16 Channel, U16 AdRange, U16
*Value);
I16 __stdcall AI_VReadChannel (U16 CardNumber, U16 Channel, U16 AdRange, F64 *voltage);
I16 __stdcall AI_VoltScale (U16 CardNumber, U16 AdRange, I16 reading, F64 *voltage);
I16 __stdcall AI_ContReadChannel (U16 CardNumber, U16 Channel, U16 AdRange,
U16 *Buffer, U32 ReadCount, F64 SampleRate, U16 SyncMode);
I16 __stdcall AI_ContReadMultiChannels (U16 CardNumber, U16 NumChans, U16
*Chans, U16 *AdRanges, U16 *Buffer, U32 ReadCount, F64 SampleRate, U16 SyncMode);
I16 __stdcall AI_ContScanChannels (U16 CardNumber, U16 Channel, U16 AdRange,
U16 *Buffer, U32 ReadCount, F64 SampleRate, U16 SyncMode);
I16 __stdcall AI_ContReadChannelToFile (U16 CardNumber, U16 Channel, U16 AdRange,
U8 *FileName, U32 ReadCount, F64 SampleRate, U16 SyncMode);

```

```

I16 __stdcall AI_ContReadMultiChannelsToFile (U16 CardNumber, U16 NumChans, U16
*Chans, U16 *AdRanges, U8 *FileName, U32 ReadCount, F64 SampleRate, U16
SyncMode);
I16 __stdcall AI_ContScanChannelsToFile (U16 CardNumber, U16 Channel, U16
AdRange, U8 *FileName, U32 ReadCount, F64 SampleRate, U16 SyncMode);
I16 __stdcall AI_ContStatus (U16 CardNumber, U16 *Status);
I16 __stdcall AI_ContVScale (U16 wCardNumber, U16 adRange, void *readingArray, F64
*voltageArray, I32 count);
I16 __stdcall AI_AsyncCheck (U16 CardNumber, BOOLEAN *Stopped, U32 *AccessCnt);
I16 __stdcall AI_AsyncClear (U16 CardNumber, U32 *AccessCnt);
I16 __stdcall AI_AsyncDblBufferHalfReady (U16 CardNumber, BOOLEAN *HalfReady,
BOOLEAN *StopFlag);
I16 __stdcall AI_AsyncDblBufferMode (U16 CardNumber, BOOLEAN Enable);
I16 __stdcall AI_AsyncDblBufferTransfer (U16 CardNumber, U16 *Buffer);
I16 __stdcall AI_AsyncDblBufferOverrun (U16 CardNumber, U16 op, U16 *overrunFlag);
I16 __stdcall AI_EventCallBack (U16 CardNumber, I16 mode, I16 EventType, U32
callbackAddr);
/*-----*/
I16 __stdcall AO_6208A_Config (U16 CardNumber, U16 V2AMode);
I16 __stdcall AO_6308A_Config (U16 CardNumber, U16 V2AMode);
I16 __stdcall AO_6308V_Config (U16 wCardNumber, U16 Channel, U16 wOutputPolarity,
F64 refVoltage);
I16 __stdcall AO_9111_Config (U16 CardNumber, U16 OutputPolarity);
I16 __stdcall AO_9112_Config (U16 CardNumber, U16 Channel, F64 refVoltage);
I16 __stdcall AO_WriteChannel (U16 CardNumber, U16 Channel, I16 Value);
I16 __stdcall AO_VWriteChannel (U16 CardNumber, U16 Channel, F64 Voltage);
I16 __stdcall AO_VoltScale (U16 CardNumber, U16 Channel, F64 Voltage, I16
*binValue);
I16 __stdcall AO_SimuWriteChannel (U16 wCardNumber, U16 wGroup, I16 *pwBuffer);
I16 __stdcall AO_SimuVWriteChannel (U16 wCardNumber, U16 wGroup, F64 *VBuffer);
/*-----*/
I16 __stdcall DI_7200_Config (U16 CardNumber, U16 TrigSource, U16 ExtTrigEn, U16
TrigPol, U16 I_REQ_Pol);
I16 __stdcall DI_7300A_Config (U16 CardNumber, U16 PortWidth, U16 TrigSource, U16
WaitStatus, U16 Terminator, U16 I_REQ_Pol, BOOLEAN clear_fifo, BOOLEAN
disable_di);
I16 __stdcall DI_7300B_Config (U16 CardNumber, U16 PortWidth, U16 TrigSource, U16
WaitStatus, U16 Terminator, U16 I_Cntrl_Pol, BOOLEAN clear_fifo, BOOLEAN
disable_di);
I16 __stdcall DI_InitialMemoryAllocated (U16 CardNumber, U32 *DmaSize);
I16 __stdcall DI_ReadLine (U16 CardNumber, U16 Port, U16 Line, U16 *State);
I16 __stdcall DI_ReadPort (U16 CardNumber, U16 Port, U32 *Value);
I16 __stdcall DI_ContReadPort (U16 CardNumber, U16 Port, void *Buffer,
U32 ReadCount, F64 SampleRate, U16 SyncMode);
I16 __stdcall DI_ContReadPortToFile (U16 CardNumber, U16 Port, U8 *FileName,
U32 ReadCount, F64 SampleRate, U16 SyncMode);
I16 __stdcall DI_ContStatus (U16 CardNumber, U16 *Status);
I16 __stdcall DI_AsyncCheck (U16 CardNumber, BOOLEAN *Stopped, U32 *AccessCnt);

```

```

I16 __stdcall DI_AsyncClear (U16 CardNumber, U32 *AccessCnt);
I16 __stdcall DI_AsyncDblBufferHalfReady (U16 CardNumber, BOOLEAN *HalfReady);
I16 __stdcall DI_AsyncDblBufferMode (U16 CardNumber, BOOLEAN Enable);
I16 __stdcall DI_AsyncDblBufferTransfer (U16 CardNumber, void *Buffer);
I16 __stdcall DI_ContMultiBufferSetup (U16 wCardNumber, void *pwBuffer, U32
dwReadCount, U16 *BufferId);
I16 __stdcall DI_ContMultiBufferStart (U16 wCardNumber, U16 wPort, F64
fSampleRate);
I16 __stdcall DI_AsyncMultiBufferNextReady (U16 CardNumber, BOOLEAN
*bNextReady, U16 *wBufferId);
I16 __stdcall DI_AsyncDblBufferOverrun (U16 CardNumber, U16 op, U16 *overrunFlag);
I16 __stdcall DI_EventCallBack (U16 CardNumber, I16 mode, I16 EventType, U32
callbackAddr);
/*-----*/
I16 __stdcall DO_7200_Config (U16 CardNumber, U16 TrigSource, U16 OutReqEn, U16
OutTrigSig);
I16 __stdcall DO_7300A_Config (U16 CardNumber, U16 PortWidth, U16 TrigSource, U16
WaitStatus, U16 Terminator, U16 O_REQ_Pol);
I16 __stdcall DO_7300B_Config (U16 CardNumber, U16 PortWidth, U16 TrigSource, U16
WaitStatus, U16 Terminator, U16 O_Cntrl_Pol, U32 FifoThreshold);
I16 __stdcall DO_InitialMemoryAllocated (U16 CardNumber, U32 *MemSize);
I16 __stdcall DO_WriteLine (U16 CardNumber, U16 Port, U16 Line, U16 Value);
I16 __stdcall DO_WritePort (U16 CardNumber, U16 Port, U32 Value);
I16 __stdcall DO_WriteExtTrigLine (U16 CardNumber, U16 Value);
I16 __stdcall DO_ReadLine (U16 CardNumber, U16 Port, U16 Line, U16 *Value);
I16 __stdcall DO_ReadPort (U16 CardNumber, U16 Port, U32 *Value);
I16 __stdcall DO_ContWritePort (U16 CardNumber, U16 Port, void *Buffer,
U32 WriteCount, U16 Iterations, F64 SampleRate, U16 SyncMode);
I16 __stdcall DO_PGStart (U16 CardNumber, void *Buffer, U32 WriteCount, F64
SampleRate);
I16 __stdcall DO_PGStop (U16 CardNumber);
I16 __stdcall DO_ContStatus (U16 CardNumber, U16 *Status);
I16 __stdcall DO_AsyncCheck (U16 CardNumber, BOOLEAN *Stopped, U32 *AccessCnt);
I16 __stdcall DO_AsyncClear (U16 CardNumber, U32 *AccessCnt);
I16 __stdcall EDO_9111_Config (U16 CardNumber, U16 EDO_Fun);
I16 __stdcall DO_ContMultiBufferSetup (U16 CardNumber, void *pwBuffer, U32
dwWriteCount, U16 *BufferId);
I16 __stdcall DO_AsyncMultiBufferNextReady (U16 CardNumber, BOOLEAN
*bNextReady, U16 *wBufferId);
I16 __stdcall DO_ContMultiBufferStart (U16 wCardNumber, U16 wPort, double
fSampleRate);
I16 __stdcall DO_EventCallBack (U16 CardNumber, I16 mode, I16 EventType, U32
callbackAddr);
/*-----*/
I16 __stdcall DIO_PortConfig (U16 CardNumber, U16 Port, U16 Direction);
I16 __stdcall DIO_SetDualInterrupt (U16 CardNumber, I16 Int1Mode, I16 Int2Mode,
HANDLE *hEvent);
I16 __stdcall DIO_SetCOSInterrupt (U16 CardNumber, U16 Port, U16 ctlA, U16 ctlB, U16 ctlC);

```

```

I16 __stdcall DIO_INT1_EventMessage (U16 CardNumber, I16 Int1Mode, HANDLE
windowHandle, U32 message, void *callbackAddr());
I16 __stdcall DIO_INT2_EventMessage (U16 CardNumber, I16 Int2Mode, HANDLE
windowHandle, U32 message, void *callbackAddr());
I16 __stdcall DIO_7300SetInterrupt (U16 CardNumber, I16 AuxDIEn, I16 T2En, HANDLE
*hEvent);
I16 __stdcall DIO_AUXDI_EventMessage (U16 CardNumber, I16 AuxDIEn, HANDLE
windowHandle, U32 message, void *callbackAddr());
I16 __stdcall DIO_T2_EventMessage (U16 CardNumber, I16 T2En, HANDLE
windowHandle, U32 message, void *callbackAddr());
I16 __stdcall DIO_GetCOSLatchData(U16 wCardNumber, U16 *CosLData);
/*-----*/
I16 __stdcall CTR_Setup (U16 CardNumber, U16 Ctr, U16 Mode, U32 Count, U16
BinBcd);
I16 __stdcall CTR_Clear (U16 CardNumber, U16 Ctr, U16 State);
I16 __stdcall CTR_Read (U16 CardNumber, U16 Ctr, U32 *Value);
I16 __stdcall CTR_Update (U16 CardNumber, U16 Ctr, U32 Count);
I16 __stdcall CTR_8554_ClkSrc_Config (U16 CardNumber, U16 Ctr, U16 ClockSource);
I16 __stdcall CTR_8554_CK1_Config (U16 CardNumber, U16 ClockSource);
I16 __stdcall CTR_8554_Debounce_Config (U16 CardNumber, U16 DebounceClock);
I16 __stdcall GCTR_Setup (U16 wCardNumber, U16 wGCtr, U16 wGCtrCtrl,U32
dwCount);
I16 __stdcall GCTR_Clear (U16 wCardNumber, U16 wGCtr);
I16 __stdcall GCTR_Read (U16 wCardNumber, U16 wGCtr, U32 *pValue);
/*-----*/
I16 __stdcall AI_GetEvent(U16 wCardNumber, HANDLE *hEvent);
I16 __stdcall AO_GetEvent(U16 wCardNumber, HANDLE *hEvent);
I16 __stdcall DI_GetEvent(U16 wCardNumber, HANDLE *hEvent);
I16 __stdcall DO_GetEvent(U16 wCardNumber, HANDLE *hEvent);
/*-----*/
I16 __stdcall AI_GetView(U16 wCardNumber, U32 *pView);
I16 __stdcall DI_GetView(U16 wCardNumber, U32 *pView);
I16 __stdcall DO_GetView(U16 wCardNumber, U32 *pView);
/*-----*/
I16 __stdcall GetCardType (U16 wCardNumber, U16 *cardType);
I16 __stdcall GetBaseAddr(U16 wCardNumber, U32 *BaseAddr, U32 *BaseAddr2);
I16 __stdcall GetLCRAAddr(U16 wCardNumber, U32 *LcrAddr);

#ifdef __cplusplus
}
#endif

#endif          //_DASK_H

```