

유기성 폐기물의 발생 악취 제거를 위한 *Delftia* sp.의 성장조건 최적화

권혁구 · 정준오* · 추덕성* · 이장훈*†

호서대학교 산학협력단 지식재산경영실, *호서대학교 환경공학과
(2009. 8. 24. 접수/2009. 9. 17. 수정/2009. 10. 2. 채택)

Growth Optimization of *Delftia* sp. for the Odor Control of Organic Waste

Hyuk-Ku Kwon · Joon-Oh Jung* · Duk-Sung Chu* · Jang-Hoon Lee*†

Intellectual Property Management Office, Industry-Academic Cooperation Foundation, Hoseo University

*Department of Environmental Engineering, Graduate School Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(Received August 24, 2009/Revised September 17, 2009/Accepted October 2, 2009)

ABSTRACT

We isolated and identified a microorganism which was excellent for ammonia oxidation in the biological control of ammonia gas in odor producing materials from organic composting. The isolated strain was tested for growth characteristics and ammonia elimination efficiency under various conditions of temperature, pH, carbon concentration and ammonia concentration. The strain was isolated from a culture broth used in a NO₂ producing test with Griess-Ilosvay reagent. The results of 16S rRNA sequence from the isolated strain by using BLANST (Basic Local Alignment Search Tool) and confirming RDP (Ribosomal Database Project II) and ERRD (The European Ribosomal RNA Database) indicate that the strain is related to *Delftia* sp. UV-Spectrophotometer (Shimadzu, UVmini-1240) was used as a microbial growth test by measuring turbidity on OD660nm and ammonia concentration was measured by Spectrophotometer (HACH, DR-4000). The optimum growth culture conditions of the ammonia oxidizer *Delftia* sp. were 30°C, pH 7, glucose concentration 1.00% and (NH₄)₂SO₄ 0.5 g/l. Ammonia elimination efficiency was over 94% under the same conditions.

Keywords: microorganism, ammonia oxidation, 16S rRNA, *Delftia* sp., culture condition

I. 서 론

인구의 급속한 증가와 고도화된 산업 및 도시화로 인하여 폐기물 발생량이 급격히 증가하고 있다. 따라서 심각한 환경오염 문제를 유발하고 있으며, 이는 한 개인과 국가의 문제를 넘어 범지구적인 환경 문제가 되고 있다. 특히 생활 향상에 따라 급격히 발생량이 증가하고 있는 유기성 폐기물은 소각처리 방식으로는 낮은 열량과 높은 수분함량으로 인하여 소각효율이 떨어지며, 이에 따른 불완전 연소로 각종 유해물질의 배출 가능성이 높은 문제점이 있으며, 매립방식에 의한 처리는 침출수 발생에 의한 처리 비용 상승 및 2차 환경오염

문제가 발생하는 등 유기성 폐기물의 처리 및 처분에 많은 어려움이 있다.¹⁾ 또한 2005년 1월 1일부터 음식물 쓰레기의 직·매립 금지에 이어 2011년에는 해양배출 또한 불가능하게 될 것으로 예상된다.

2005년도 환경부 통계자료에 의하면 가축 분뇨의 경우 142,000 ton/day로 나타났으며,²⁾ 음식물 쓰레기의 발생량은 생활폐기물 발생량 48,398 ton/day 중 12,977 ton/day(26.8%)로 가장 높은 비율을 나타내었고 1인당 발생량은 0.27 kg/day로 전년도 0.24 kg/day에 비해 증가하였다.³⁾ 유기성 폐기물은 앞으로도 계속 증가할 것으로 예상되며, 그에 따른 유기성 폐기물의 지속적인 관리 및 효율적인 처리방안이 매우 필요한 실정이다.

유기성 폐기물을 처리하기 위한 가장 바람직한 방법은 우선 발생량을 최소화하는 것이며 발생된 유기성 폐기물은 가능한 자원화 하는 것이다. 이에 대한 대안으로 유기성 폐기물을 퇴비화 하여 처리하는 방법이

†Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Graduate School Hoseo University
Tel: 82-41-540-5741, Fax: 82-41-540-5748
E-mail : jhlee@hoseo.edu

Table 1. Carbon and nutrient sources for cultivation medium

Component	Concentration (g)	Component	Concentration (g)
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.47	FeSO ₄ ·7H ₂ O	2.5 mg
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.51	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.09 mg
Na ₂ HPO ₄	0.89	NaHCO ₃	1.0
NaH ₂ PO ₄	0.78	Glucose	0.4
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.05	pH	7.0
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.98	Deionized water	1 L

제시 되었으며 환경부, 농림부 등 관련부처에서 많은 연구가 진행 중이다. 그러나 유기성 폐기물의 퇴비화는 처리과정에서 대기 환경오염 물질인 악취 가스를 발생하는 단점을 갖고 있기 때문에 퇴비화 과정에서 발생하는 악취제거에 대한 관심은 더욱 높아지고 있다.

악취는 여러 가지 성분이 혼합된 상태로 존재하면서 인간의 후각을 자극하고 심리적 정신적 피해를 야기하는 감각공해이며, 최근 들어 산업화·도시화가 진행됨에 따라 환경오염문제로 인한 악취문제는 소음과 함께 가장 보편적인 민원대상이 되고 있다.

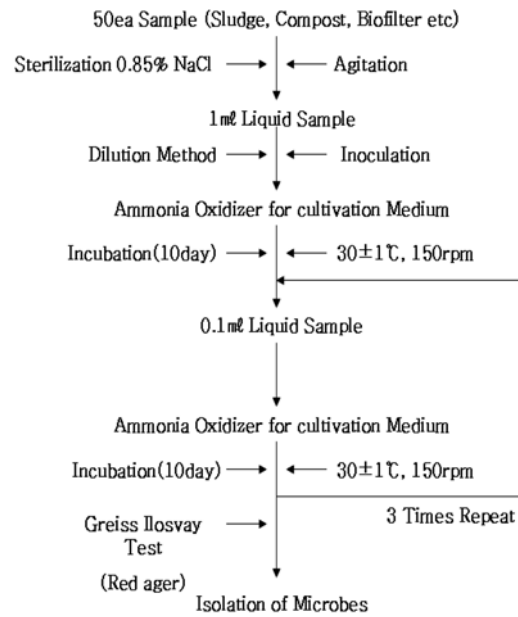
악취처리 방법 중 생물학적 처리방법은 악취 물질을 무취의 무해한 물질로 전환시켜 처리하는 근본적인 악취처리 방법이며 다른 공법과 비교해 뛰어난 처리효율과 2차 처리 불필요에 따른 낮은 처리비용 및 친환경적 오염저감기술이라는 장점들을 가지고 있다. 그러나 생물학적 처리방법은 탈취균주의 분해 능력과 미생물의 서식환경에 의해 그 효율이 좌우된다.^{4,5)} 따라서 분해 능력이 우수한 균주가 필요하며, 미생물의 최적 서식환경을 제공하여 최대의 효율을 유지하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 질소계 악취성분 중 가장 대표적이고 유기성 폐기물의 퇴비화 공정 중에 발생하는 지정악취물질중 하나인 암모니아를 제거하기 위해 암모니아 제거 능력이 우수한 미생물을 분리 및 동정 하였으며, 분리 균주의 온도, pH, 탄소원의 농도 및 암모니아의 농도변화에 따른 최적 서식환경 조건을 조사하였다.

II. 연구방법

1. 균주의 분리 및 배지 조성

유기성 폐기물 퇴비화 공정에서 암모니아가 높은 농도로 발생하다가 일정기간 이후 낮아지는 연구 결과⁶⁾를 보면 질소화합물 계통의 악취물질 산화에 관여하는 유효미생물이 유기성 폐기물 또는 퇴비에 존재한다고 판단되어 하수 슬러지, 계분 퇴비, 음식물 쓰레기 퇴비

**Fig. 1.** Isolation procedure of nitrogen oxidizing microbes.

및 C시 Bio-filter 등으로 부터 총 50여점의 시료를 채취하였다. 채취된 시료를 멸균생리식염수(0.85% NaCl)에 넣고 충분히 교반 후 상등액 1 ml를 분리배지(Table 1)에 접종하여 10일간 30°C에서 150 rpm으로 교반배양 후 배양액 0.1 ml를 동일배지에 재배양하는 방식으로 3회 반복 배양하였다.⁷⁾ 3회 계대 배양된 배양액 1을 취해 Griess-Ilosvay 시약으로 NO₂의 생성능 테스트 결과 발색반응이 좋은 배양액을 평판배지에 배양하여 질소화합물 산화세균을 분리하였다(Fig. 1).

2. 분리 균주의 동정

분리된 균주의 형태학적인 특징은 광학현미경(Olympus, BX50)으로 관찰하였으며, 균주의 계통분석을 위해 1.5 ml 원심분리 튜브에 분리균주와 멸균 식염수를 넣고 10,000 rpm으로 10 min 동안 원심분리 후 PCR 증폭을 하였으며, PCR 증폭을 통해 얻은 추출물을 Big Dye

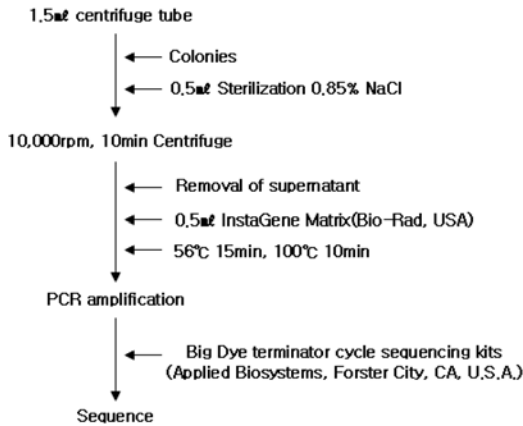


Fig. 2. 16S rRNA Sequencing of nitrogen oxidizing microbes.

terminator cycle sequencing kits(Applied Biosystems, Forster City, CA, U.S.A.)를 이용하여 16S rRNA Sequencing을 하였다(Fig. 2).

반응에 사용한 universal primer는 518F(5'-CCAG-CAGCCGCGGTAATACG-3')와 800R(5'-TACCAGGG TATCTAATCC-3')이며, 염기서열 분석에는 ABI Prism 3730XL analyzer(96 capillary type)를 이용하였다.

염기서열 분석 결과는 National Center for Biotechnology Information(NCBI)의 Basic Local Alignment Search Tool(BLAST)을 이용하여 16S rRNA database 정보와 유사한 염기서열을 비교하였고 각각 계통분류학적 위치를 판단하였다.

3. 균주의 성장 특성

1) 균주의 배양조건

분리 균주를 멸균생리식염수(0.85% NaCl)로 Mcfarland Turbidity 0.5 Standard에 맞추어 혼탁 시킨 후 100 μl를 배지 100 ml에 접종하여 15일 동안 30°C에서 150 rpm으로 교반배양 하면서 균 성장 및 암모니아성 질소 제거 시험에 사용하였다.

2) 균주의 성장 시험

배양중인 배지에서 12시간 간격으로 2 ml를 취하여 분광광도계(UV-Spectrophotometer:Shimadzu, UVmini-1240)를 사용하여 O.D.(Optical Density) 660 nm에서 균 탁도를 측정하였다.

3) 암모니아성 질소 제거능 시험

배양중인 배지에서 12시간 간격으로 2 ml를 취하여 13,000 rpm에서 약 10분간 원심분리 후 Nessler Method⁸⁾에 따라 Spectrophotometer(HACH, DR-4000)

를 사용하여 암모니아성 질소의 농도를 측정하였다.

4) 온도 변화에 따른 영향

배양 온도 15°C, 20°C, 25°C, 30°C 그리고 35°C에서 각각 150 rpm으로 교반배양하면서 분리된 균주의 배양온도에 따른 균 성장 및 암모니아성 질소의 제거 능력을 측정하였다.

5) pH의 변화에 따른 영향

pH 변화에 따른 균 성장 및 암모니아성 질소의 제거 능력을 확인하기 위하여 pH 3, pH 4, pH 5, pH 6, pH 7, pH 8 그리고 pH 9에서 각각 30°C, 150 rpm 조건으로 교반배양하면서 측정하였다. 배지의 pH는 0.1N-HCl과 0.1N-NaOH를 이용하여 조절하였다.

6) 탄소원 농도 변화에 따른 영향

pH가 7인 배지에 Glucose를 0.00%, 0.05%, 0.10%, 0.50%, 1.00% and 2.00%의 농도로 각각 첨가한 후 균을 접종하여 30°C, 150 rpm 조건으로 배양하면서 탄소원 농도 변화에 따른 균 성장 및 암모니아성 질소의 제거 능력을 조사하였다.

7) 암모니아 농도 변화에 따른 영향

암모니아 농도에 따른 균 성장 및 암모니아성 질소의 제거 능력을 조사하기 위하여 pH7인 배지에(NH₄)₂SO₄가 0.1 g/l, 0.5 g/l, 1.0 g/l, 2.0 g/l 그리고 3.0 g/l로 각각 첨가 된 배지에 균을 접종하여 30°C에서 150 rpm으로 배양하면서 시험에 사용하였다.

4. 바이오필터 제작 및 가동

바이오필터 반응기는 밀폐형 구조로 내경 300 mm, 높이 1800 mm의 PVC 재질로 제작하였으며 바닥에서 300 mm 높이에 다공판을 설치하여 가스의 유입과 담체를 지지할 수 있도록 하였다. 반응기의 하단을 통하여 퇴비화 시설 내부에 설치된 흡인 펌프와 유량계를 거쳐 정량의 악취가스가 유입되도록 하였다. 담체는 바크, 나무칩, 퇴비화 시설의 부산물을 혼합하여 사용하였다. 담체를 건조와 고온멸균을 통하여 불필요한 미생물을 사멸한 다음 선별된 미생물을 접종하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 균주의 분리 및 동정

유기성 폐기물 또는 퇴비에서 채취한 시료를 동일 조건(10 day, 30°C, pH7, 150 rpm)으로 3회 계대배양

후 Griess-Ilosvay시약 test를 거쳐 분리된 균주를 평판 배지에 도말하여 30°C에서 3일간 배양 후 활성이 높은 균주를 형태적 차이에 따라 1차 분리·선별하였다.

1차 선별된 균주를 30°C에서 15일간 배양 후 암모니아 산화능력이 가장 우수한 균주를 최종 선별하였다. 분리된 균주는 Gram 염색결과 Gram negative 구균으로 확인되었다(Fig. 3).

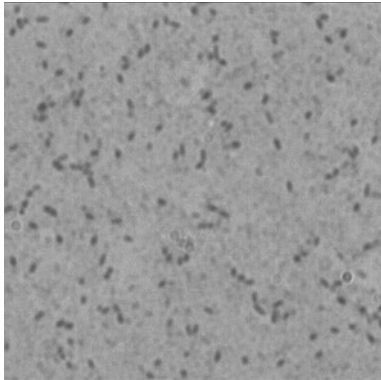


Fig. 3. Results of microbe on gram's staining (×10,000).

균주의 16S rRNA sequencing의 염기서열 결과를 BLANST(Basic Local Alignment Search Tool)를 이용하여 RDP(Ribosomal Database Project II)와 ERD(The European Ribosomal RNA Database)에서 확인한 결과 계통학적 분류체계에 따라 *Delftia* sp.와 유의성이 가장 높은 것으로 판별되었다(Fig. 4 및 Table 2).

호기성 세균인 *Delftia* sp.는 Liu and Yang⁹⁾과 Lee and Kim¹⁰⁾ 등의 연구에서 aniline과 perchloroethylene 등의 약취제거 균주로 보고되었지만 현재 암모니아 약취를 제거한다는 구체적인 문헌은 아직까지 없으며, 암모니아 또는 트리메틸아민 등의 질소화합물 약취를 제거하는 우수한 균으로 판단된다.

Table 2. Hierarchy of *Delftia* sp.

Domain	Bacteria
Phylum	Proteobacteria
Class	Betaproteobacteria
Order	Burkholderiales
Family	Comamonadaceae
Genus	<i>Delftia</i>

```

ATGGCTCAGATTGAACGCTGGCGGCATGCCTTACACATGCAAGTCGAACGGTAACAGGTC
TTCGGACGCTGACGAGTGGCGAACGGGTGAGTAATACATCGGAACGTGCCAGTCGTGGG
GGATAACTACTCGAAAGAGTAGCTAATACCGCATACGATCTGAGGATGAAAGCGGGGGA
CCTTCGGGCCTCGCGGATTGGAGCGCCGATGGCAGATTAGGTAGTTGGTGGGATAAAA
GCTTACCAAGCCGACGATCTGTAGCTGGTCTGAGAGGACGACCAGCCACACTGGGACTGA
GACACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATTTTGACAATGGGCGAAAGC
CTGATCCAGCAATGCCGCGTGCAGGATGAAGGCCTTCGGGTTGTAAACTGCTTTTGTACG
GAACGAAAAAGCTTCTCCTAATACGAGAGGCCATGACGGTACCGTAAGAATAAGCACCG
GCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGTAGGGTGCAGCGTTAATCGGAATTACT
GGGCGTAAAGCGTGCGCAGGCGTTATGTAAGACAGATGTGAAATCCCCGGGCTCAACCT
GGGAAGTGCATTTGTGACTGCATGGCTAGAGTACGGTAGAGGGGGATGGAATCCCGCGTG
TAGCAGTGAAAATGCGTAGATATGCGGAGGAACACCGATGGCGAAGGCAATCCCCGACC
TGTACTGACGCTCATGCACGAAAGCGTGGGGAGCAAACAGGATTAGATACCCGTTAGTC
CACGCCCTAAACGATGTCAACTGGTTGTTGGGAATTAGTTTTCTCAGTAACGAAGCTAA
CGCGTGAAAGTTGACCGCCTGGGGAGTACGGCCGAAGGTTGAAACTCAAAGGAATTGACG
GGGACCCGCACAAGCGGTGGATGATGTGGTTTAATTCGATGCAACGCGAAAAACCTTACC
CACCTTTGACATGGCAGGAAGTTTCCAGAGATGGATTTCGTGCTCGAAAGAGAACCTGCAC
ACAGGTGCTGCATGGCTGTCGTCAGCTCGTGTGAGATGTTGGGTTAAGTCCCGCAAC
GAGCGCAACCTTGTCAATTAGTTGCTACATTTAGTTGGGCACTCTAATGAGACTGCCGGT
GACAAACCGGAGGAAGGTGGGGATGACGTCAAGTCCTCATGGCCCTTATAGGTGGGGCTA
CACACGTCATACAATGGCTGGTACAGAGGGTTGCCAACCCGCGAGGGGGAGCTAATCCCA
TAAACCAGTCGTAGTCCGGATCGCAGTCTGCAACTCGACTGCGTGAAGTCGGAATCGCT
AGTAATCGCGGATCAGCATGCGCGNTGAATACGTTCCCGGGTCTTGTACACACCG

```

Fig. 4. The partial nucleotide sequence of 16S rRNA sequence from isolated *Delftia* sp.

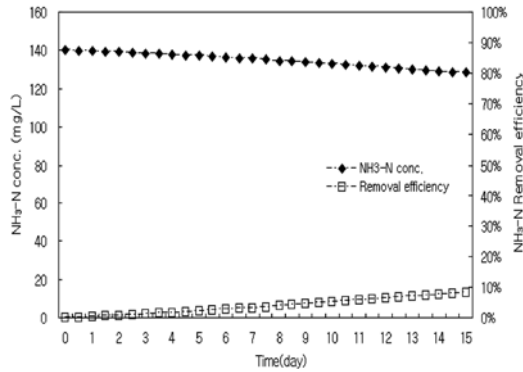


Fig. 5. Result of volatilized NH₃-N concentration.

2. 악취제어를 위한 배양조건의 최적화

최종 선별된 균주인 *Delftia* sp.를 온도, pH, glucose 농도 및 암모니아 농도 변화에 따른 최적 배양 조건을 조사 하였다.

미국 내 임상실험 기관인 NCCLS(National Committee for Clinical Laboratory Standards)¹¹⁾에 의하면 Mcfarland Turbidity 0.5 Standard에서 *E. coli* ATCC25922의 경우 10⁸ CFU/ml 정도의 값을 나타낸다고 하였지만 본 연구에서 분리된 *Delftia* sp.의 경우에는 10⁵ CFU/ml의 값을 나타내었다. 암모니아의 자연 감소를 알아보기 위하여 멸균된 배양 배지를 30°C, pH 7, 150 rpm 조건으로 15일간 균주의 접종 없이 방치해 본 결과 약 10%의 암모니아가 자연 휘발되었다(Fig. 5).

1) 균주의 최적 배양온도

균주의 최적 배양 온도를 조사하기 위하여 배지에 Macfarland Turbidity 0.5 Standard에 맞추어 균 액을 접종하여 15°C, 20°C, 25°C, 30°C 그리고 35°C에서 15일간 배양하면서 균 성장, 암모니아성 질소의 산화능력 및 제거 효율을 시험 하였다(Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8).

균주의 생육특성은 20°C, 25°C 그리고 30°C에서 균 성장이 우수 하였으며, 15°C에서는 1일 이후 35°C에서는 2일 이후부터 균 성장을 확인할 수 있었다. 따라서 15~35°C의 온도범위에서 성장이 가능하고 최적 배양 온도가 30°C인 중온성 미생물로 조사 되었다(Fig. 6).

암모니아성 질소 제어 효율을 확인한 결과 균주의 생육이 높았던 20°C, 25°C 그리고 30°C에서 각각 86.6%, 94.3% 그리고 95.7%의 높은 제거 효율을 나타 내었다. 균 성장이 없었던 15°C에서 1일간과 35°C에서 2일간은 암모니아의 자연 휘발로 인해 약 1%의 제거

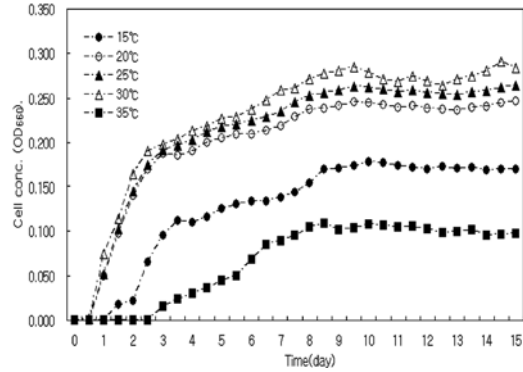


Fig. 6. Effect of temperature on the growth of *Delftia* sp.

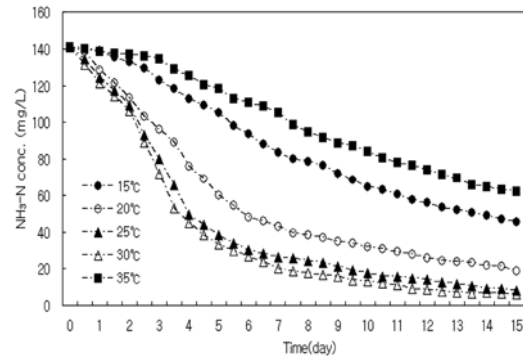


Fig. 7. Effect of temperature on the NH₃-N oxidizing ability of *Delftia* sp.

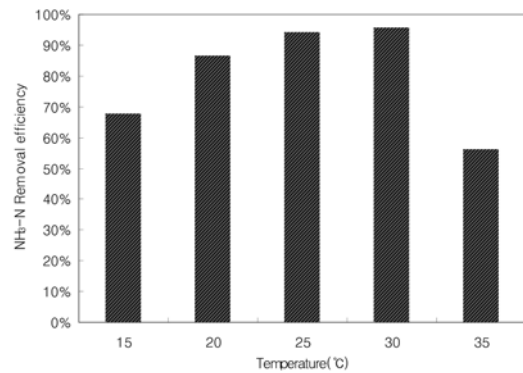


Fig. 8. Results of temperature on the NH₃-N removal efficiency curve of *Delftia* sp.

효율을 보였으며, 15일간 배양하였을 경우 각각 67.6%, 56.1%의 제거 효율을 나타내었다(Fig. 7 및 Fig. 8).

2) 균주의 최적 배양 pH

균주의 최적 배양 pH를 조사하기 위하여 pH를 3,

4, 5, 6, 7, 8 그리고 9로 조절한 배양 배지에 균을 접종하여 15일간 배양 하면서 균 성장, 암모니아성 질소의 산화능력 및 제거 효율을 시험 하였다(Fig. 9, Fig. 10 및 Fig. 11).

균주의 생육특성 시험 결과 pH 3에서는 균이 성장하

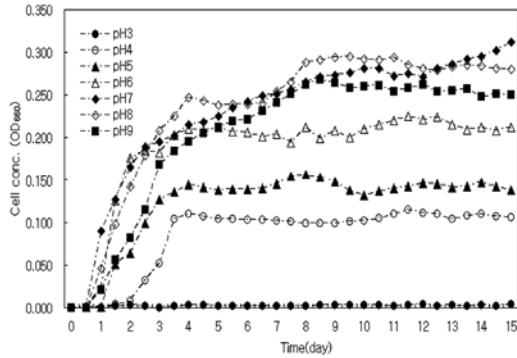


Fig. 9. Effect of initial pH on the growth of *Delftia* sp.

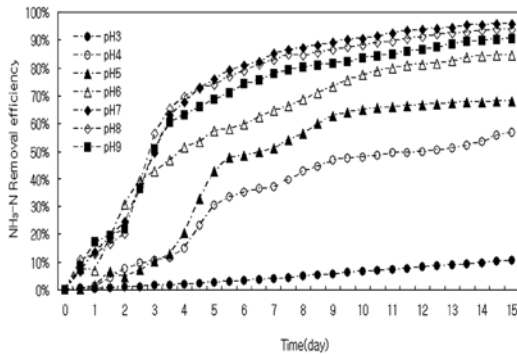


Fig. 10. Effect of initial pH on the NH₃-N removal efficiency curve of *Delftia* sp.

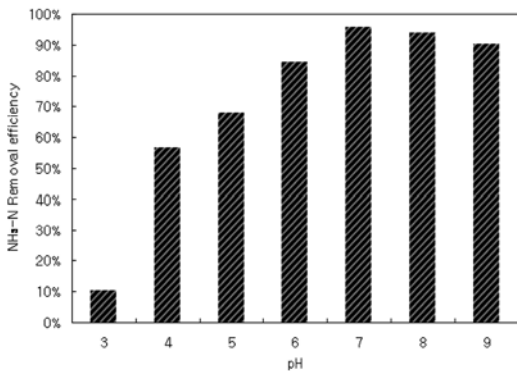


Fig. 11. Results of initial pH on the NH₃-N removal efficiency of *Delftia* sp.

지 않았으며, pH 7, 8 그리고 9에서 균 성장률이 우수 하였다. pH 5, 6에서도 균 성장을 확인할 수 있었으며, pH 4에서는 2일 이후부터 균이 성장하였지만 성장률이 저조 하였다. 따라서 pH 4~9의 범위에서 성장이 가능 하고 최적 배양 조건은 pH 7~8로 조사되었다(Fig. 9).

균 접종 초기 배지의 pH가 4~9인 조건에서 암모니아성 질소의 제거 효율이 우수하게 나타났으며, 균 증식이 없는 pH 3에서는 자연 휘발된 암모니아성 질소의 감소만 보였다(Fig. 10).

배지의 pH별로 15일간 균주를 배양 후 암모니아성 질소의 제거 효율을 조사한 결과는 다음과 같다. 균의 성장이 나타나지 않았던 pH 3에서는 암모니아가 자연 휘발되어 약 10%정도의 제거 효율이 나타났으며, pH 4,5,6,7,8,9에서는 각각 56.6%, 68.0%, 84.3%, 95.6%, 93.7%, 90.3%의 제거 효율을 보였다. pH 3인 경우를 제외하고 거의 모든 pH범위에서 생육활성 및 암모니아성 질소의 제거 능력을 나타내었으며, 최적 배양 pH조건 은 균 성장 및 암모니아성 질소의 제거 효율이 가장 우수 하였던 pH 7임을 확인하였다(Fig. 11).

3) 초기 탄소원 농도 조건에 따른 영향

Macfarland Turbidity 0.5 Standard에 맞춘 균 배양 액을 탄소원 농도가 0.00%, 0.05%, 0.10%, 0.50%, 1.00% 그리고 2.00%로 조절된 배지에 접종하여 15일간 배양하면서 균 성장, 암모니아성 질소의 산화능력 및 제거 효율을 조사 하였다(Fig. 12, Fig. 13 및 Fig. 14).

탄소원 농도에 따른 균 생육특성을 살펴보면 0.00%에서는 균이 성장하지 못하는 중속영양세균으로 조사 되었다. 0.05%에서부터 1.00%까지 탄소원의 농도가 증가할수록 균체의 성장도 증가 하였으나, 2.00%의 농도에서는 오히려 균체의 성장이 0.05%보다 감소하였다.

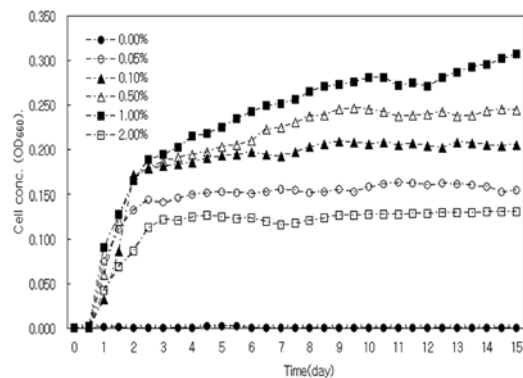


Fig. 12. Effect of initial carbon source on the growth of *Delftia* sp.

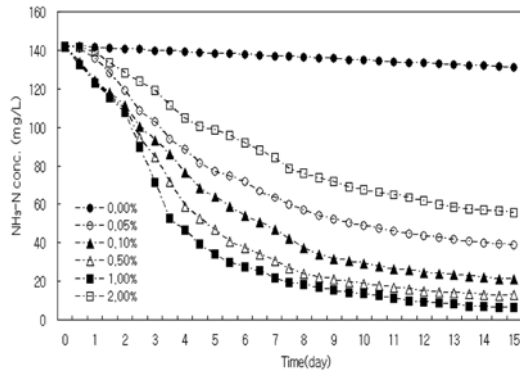


Fig. 13. Effect of initial carbon source on the NH₃-N oxidizing ability of *Delftia* sp.

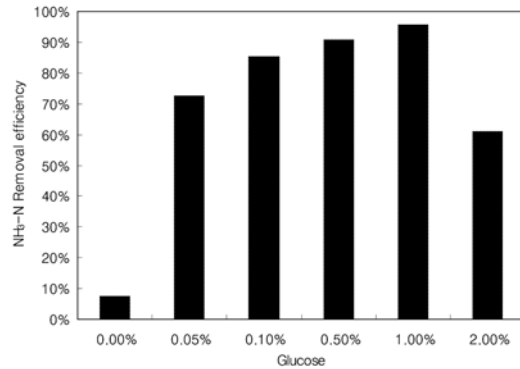


Fig. 14. Results of initial carbon source on the NH₃-N removal efficiency curve of *Delftia* sp.

이는 탄소원으로 사용된 포도당이 저농도에서는 균체의 빠른 생육에 도움이 되나, 고농도의 포도당 농도가 catabolite repression 작용¹²⁾을 하는 것으로 생각된다 (Fig. 12).

탄소원 농도 변화에 따른 암모니아성 질소의 산화를 조사한 결과, 균주의 성장이 없었던 0.00%에서 약 10%의 암모니아 감소는 Fig. 6에서처럼 자연회발에 의한 것으로 판단되며 0.05%~1.00%까지 탄소원이 증가할수록 암모니아성 질소의 산화 능력도 증가 하였다(Fig. 13).

탄소원 농도가 0.05%, 0.10%, 0.50%, 1.00%에서의 암모니아성 질소 제거 효율은 각각 72.7%, 85.3%, 91.0% 그리고 95.6%로 조사 되었고, 탄소원으로 사용된 포도당이 catabolite repression 작용을 하였다고 판단된 2.00%에서는 61.0%의 제거 효율을 나타내었다(Fig. 14).

4) 초기 암모니아 농도 조건에 따른 영향
(NH₄)₂SO₄ 시약으로 0.1 g/l, 0.5 g/l, 1.0 g/l, 2.0 g/l

그리고 3.0 g/l로 각각 조절한 배지에 Macfarland Turbidity 0.5 Standard에 맞춘 균 배양액을 접종하여 15일간 배양하면서 배지의 초기 암모니아 농도 조건에 따른 균 성장, 암모니아성 질소의 산화능력 및 제거효율을 조사 하였다(Fig. 15, Fig. 16 및 Fig. 17).

초기 암모니아 농도 조건에 따른 생육특성은 (NH₄)₂SO₄가 0.5 g/l인 배지에서는 균 성장이 빠르게 진행된 것을 확인할 수 있었으며, 0.1 g/l에서는 균주가 필요로 하는 기질의 농도가 낮아 초기 급성장 하였다가 2일 이후부터 정지기의 상태를 유지하는 것으로 나타났다.

기질의 농도는 미생물의 성장에 많은 영향을 미치며 대사과정에서 필요 이상의 물질은 요소생산에 저해되고 효소의 되먹임저해 등을 통해 기질이 필요 이상으로 대사되는 것을 막는다고 알려져 있다.¹³⁾ 본 실험에 사용된 균주의 경우 1.0 g/l 이상으로 암모니아의 농도가 증가하면 균 성장률이 저감되는 것으로 조사 되었다(Fig. 15).

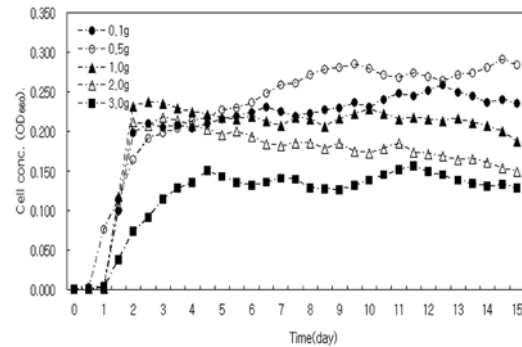


Fig. 15. Effect of initial ammonia concentration on the growth of *Delftia* sp.

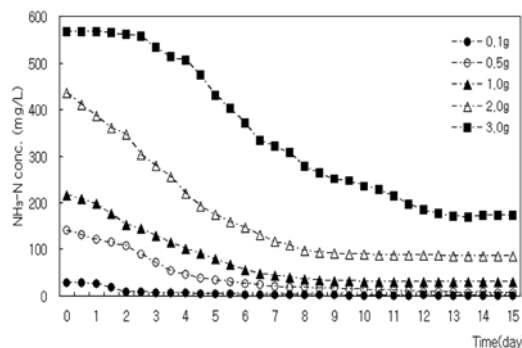


Fig. 16. Effect of initial ammonia concentration on the NH₃-N oxidizing ability of *Delftia* sp.

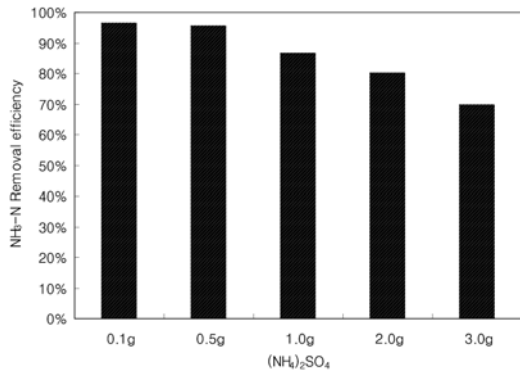


Fig. 17. Results of initial ammonia concentration on the NH₃-N removal efficiency curve of *Delftia* sp.

배지의 암모니아 농도에 따른 암모니아성 질소 제거 효율을 확인한 결과 (NH₄)₂SO₄ 0.1 g/l에서는 배양 후 6일 만에 90%이상의 제거 효율을 나타내었으며, 0.5g/l, 1.0 g/l, 2.0 g/l 그리고 3.0 g/l의 농도 조건에서는 제거 효율이 각각 95.7%, 86.6%, 80.3% 그리고 69.7%로 조금씩 감소하였다. 본 실험에 사용한 *Delftia* sp. 는 비록 (NH₄)₂SO₄ 3.0 g/l에서 제거효율이 69.7%을 보였으나 산화된 암모니아의 농도는 약 300 mg/l 이상이며 그 외 농도에서는 모두 80% 이상의 제거 효율을 나타내어 암모니아 제거 효율이 매우 우수한 균주인 것으로 조사 되었다(Fig. 16 및 Fig. 17).

3. 바이오필터 가동특성

1) 암모니아 제거효과

분리된 균주 *Delftia* sp.를 바이오 필터 반응기에 접종하여 약 30일 동안 실험가동 하였다. 악취가스의 유입 유량은 적정 체류시간인 45초로 하여 0.15 l/min으로 주입하였다. 약 68시간이 경과 되면서 암모니아 가스가 발생하기 시작했으나 68시간 이후로도 *Delftia* sp.

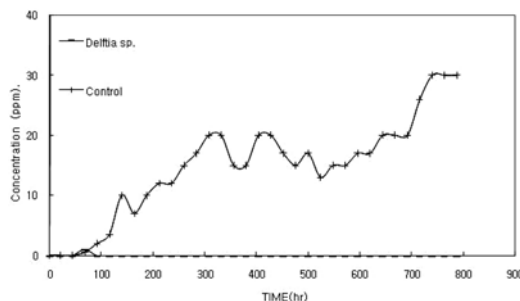


Fig. 18. Results of ammonia removal curve by *Delftia* sp. in bioreactor.

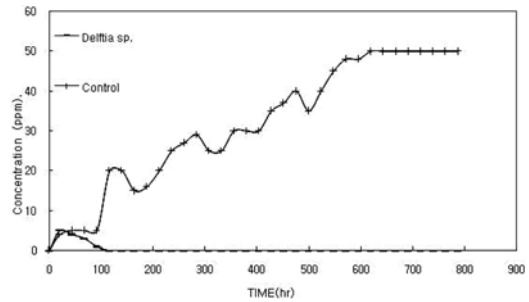


Fig. 19. Results of tri-methylamine removal curve by *Delftia* sp. in bioreactor.

를 접종한 반응기는 암모니아 가스가 발생되지 않았으며 control 반응기에서는 암모니아 가스의 포화 농도인 30 ppm이 전부 발생할 때까지의 시간은 약 788시간이 소요되었다(Fig. 18).

2) 트리메틸아민 제거효과

트리메틸아민 가스의 경우 실험 조건은 암모니아 가스의 실험과 동일하였고, 각 반응기가 약 20시간이 경과 되면서 트리메틸아민 가스가 발생하기 시작했다. 116시간이 지나서는 *Delftia* sp.를 접종한 반응기에서 가스가 검출되지 않았고, control 반응기에서 트리메틸아민 가스의 포화 농도인 50 ppm이 전부 발생할 때까지의 시간은 약 764시간이 소요되었다(Fig. 19).

IV. 결 론

본 연구에서는 유기성 폐기물의 퇴비화에서 발생하는 악취물질 중 암모니아의 생물학적 제거를 위해 암모니아 산화능력이 우수한 미생물을 분리 및 동정을 하였으며, 분리 균주의 최적 배양 조건 및 추후 악취처리 공정에 적용가능성에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 최종 선별한 균주의 16S rRNA sequencing의 염기서열 결과를 BLANST(Basic Local Alignment Search Tool)를 이용하여 RDP(Ribosomal Database Project II)와 ERRD(The European Ribosomal RNA Database)에서 확인한 결과 *Delftia* sp.와 유의성이 가장 높은 것으로 조사되었다.

2. *Delftia* sp.는 Gram-negative 구균으로 aniline과 perchloroethylene 등의 악취제거 균주로 보고되었지만 현재 암모니아 악취를 제거 한다는 보고는 없다. 그러므로 본 실험에서 분리 동정된 *Delftia* sp.는 암모니아, 트리메틸아민 등의 질소화합물 악취를 제거할 수 있는

새로운 종으로 판단된다.

3. 암모니아 산화 균주인 *Delftia* sp.의 최적 배양 조건을 확인한 결과 온도 30°C, pH 7, glucose 농도 1.00%, (NH₄)₂SO₄ 0.5 g/l의 조건에서 균 성장이 가장 우수하였으며, 94% 이상의 암모니아 제거 효율을 나타내었다.

참고문헌

1. Bae, J. S. : Characteristics of nitrous oxide(N₂O) release from organic waste composting and population analysis of microorganism by FISH, Department of environmental education, The graduate school of education kyunghee university, 2003.
2. Ministry of environment republic of korea, Ministry for food agriculture forestry and fisheries : Management and use measure of Manure, 4-6, 2004.
3. Ministry of environment republic of korea : Wastes generation and disposal in the country, 35-37, 2005.
4. Van Groenestijin, J. W., Hesselink, P. G. M. : Biotechniques for Air Pollution Control. *Biodegradation*, **4**(4), 283-301, 1993.
5. Devinny, J. S., Deshusses, M. A., Webster, T. S. : Biofiltration for Air Pollution Control, Lewis Publishers, London, 1999.
6. Lee, J. O. : Characteristics of odor materials emitted during composting process of organic waste, Department of environmental engineering, The graduate school Hoseo university, 2006.
7. Yang, C. S., Kim, J. S. : Soil microbes experimental method, Worldscience, Seoul, 226-233, 2002.
8. HACH Company : DR-4000 procedure method 8038.
9. Liu, Z., Yang, H., Huang, Z., Zhou, P., Liu, S. J. : Degradation of aniline by newly isolated, extremely aniline-tolerant *Delftia* sp. AN3. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **58**(5), 679-628, 2002.
10. Lee, W. S., Kim, J. E., Kim, H. S., Ahn, C. Y., Oh, H. M. : Serial degradation of perchloroethylene by *Delftia* sp. N6 after dechlorination using Fenton's reagent. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, **16**(11), 1734-1739, 2006.
11. Clinical and laboratory standard institute. Available from : <http://www.nccls.org>
12. Kwon, H. K., Jung, J. O. : Isolation and characteristics of novel ammonia oxidizing bacteria *Brevundimonas diminuta*. *Korean Journal of Environmental Health Society*, **33**(4), 293-298, 2007.
13. Jeong, G. T., Lee, G. Y., Lee, K. M., Lee, H. J., Ryu, H. W., Kim D., Chough, S. H., Kim, S. W., Cha, J. M., Jang, Y. S., Park, D. H. : Isolation and characterization of odor treatment bacteria. *Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering*, **20**(5), 345-349, 2005.