

천연중화제를 이용한 암모니아 제거특성

김탁현 · 박형용* · 김상용

한국생산기술연구원 청정생산기술개발센터
*유원환경기술(주)

(1999년 3월 2일 접수, 2000년 1월 14일 채택)

Characteristics of Ammonia Removal by Natural Neutralizer

Tak-Hyun Kim · Hyung-Yong Park* · Sangyong Kim

Cleaner Production Technology R&D Center, Korea Institute of Industrial Technology
**Yoowon Enviro-Tech. Co., Ltd.*

ABSTRACT

The characteristics of ammonia removal by natural neutralizer were studied by using a scrubber type equipment. As operation parameters, neutralizer dilution ratio, neutralizer inlet flowrate, air flowrate and initial ammonia concentration were selected and their effects on ammonia removal efficiency were investigated. The optimal removal effect was achieved at neutralizer dilution ratio of 1.0% and neutralizer inlet flowrate of 60ml/min. On the other hand, with respect to air flowrate and initial ammonia concentration, there was no significant effect on removal efficiency, when loading rate was considered. In addition, ammonia removal reaction was investigated by analyzing the ammonia oxides, such as nitrites and nitrates, after reacting ammonium solution with natural neutralizer. The result shows a partial oxidation by natural neutralizer besides dominant absorption of ammonia.

Key Words : Ammonia Removal, Natural Neutralizer, Removal Efficiency, Ammonia Oxidation

요 약 문

천연중화제의 스크리버 타입의 탈취장치에 의한 암모니아 제거반응 특성 및 중화반응에의 산화반응의 관여여부에 대하여 연구하였다. 중화제 회석비 및 유입유량, 공기유량, 암모니아 초기 농도를 운전인자로 선정하여 이들이 암모니아 제거효율에 미치는 영향을 살펴본 결과, 중화제 회석비는 1.0%, 중화제 유입유량은 60ml/min이 적절하고, 암모니아 초기농도 및 공기유량에 대해서는 loading rate를 함께 고려하면 제거효율에 큰 영향성은 나타내지 않았다. 암모니아의 중화반응에 산화반응의 관여여부를 살펴본 결과, 암모니아의 아질산염 및 질산염으로의 산화반응이 확인되었으며, 중화제량이 증가할수록 그 산화반응의 진행정도도 증가함을 확인하였다. 즉, 중화제에 의한 흡수현상과 함께 부분적으로 산화반응이 관여함을 확인하였다.

주제어 : 암모니아, 천연중화제, 중화효율, 암모니아 산화반응

1. 서 론

악취문제에서 대기오염이나 수질오염, 소음 등의 다른 공해문제와 크게 다른 점은 악취물질 성분농도인 자극량과 취기의 강도를 나타내는 감각량 사이의 관계가 다르게 나타난다는 것이다. 이는 Weber-Fechner의 법칙에 의하면 악취물질의 농도와 그 강도와는 지수함수적인 관계가 있어서, 악취물질의 농도가 감소하여도 취기의 강도는 이에 상응하는 만큼으로 감소하지 않게 된다. 이것이 악취치리에 있어서 애로사항이라고 할 수 있다.¹⁾

악취처리기술 중에는 활성탄에 의한 흡착, 약액세정, 연소 등에 의한 물리화학적 처리기술과 미생물을 이용한 생물학적 처리기술로 나누어 볼 수 있다. 물리화학적 탈취기술은 악취의 부하변동에 대응하기 쉽다는 장점을 가진 반면, 설치비가 비교적 비싼 편이며 활성탄, 약액, 연료 등 소모성 재료를 필요로 하고 2차오염물질의 처리를 필요로 하는 등 기술적, 경제적 측면에서 단점을 갖고 있다. 반면 생물학적 처리기술은 토양탈취의 경우 상당히 넓은 설치면적을 요구하고, 압력손실로 인한 동력비가 증가하고 처리용량의 제한 등의 문제점을 안고 있다.^{2~10)} 이와 같은 탈취에 관한 연구는 주로 환경시설로부터 발생하는 악취를 대상으로 많이 이루어지고 있다.

본 연구에서와 같이 스크리버 타입의 반응기가 탈취반응에 많이 응용되는데, Card는 pilot 규모의 충전탑과 미스트 분사장치를 이용한 VOC 성분의 악

취가스를 제거하는 연구를 수행하여, 이 두 가지의 시스템에서의 처리효율을 비교한 결과 충전탑보다는 미스트 분사장치에 의한 탈취효율이 뛰어난 것으로 보고하였다.¹¹⁾ Barker 등은 악취성분을 제거하기 위하여 산화제로서 UV/ozone 시스템을 채용한 가스 스크리버를 이용하여 만족할 만한 탈취효율을 획득하였고, 스크리버 부분중 분사장치 부분보다는 배수조에서 UV의 조사가 양호하다고 하였다.¹²⁾ Goldstein은 퇴비화 시설에서의 악취문제를 해결하기 위하여 스크리버 타입의 탈취장치에 대한 연구를 수행하였다.¹³⁾

슬러지 및 고형폐기물 퇴비화시설, 폐수처리장으로부터의 악취를 대상으로 화학중화제를 이용한 탈취 연구에서 98%의 양호한 탈취효율을 획득하였으며, 폐수처리장 유출관으로부터의 악취가스를 제어하기 위하여 화학중화제의 증기상(vapor-phase) 기술을 적용한 연구사례가 있다.^{14,15)} 폐수처리장의 1차 침전조 웨어의 탈기과정에서 발생하는 악취를 노즐장치로 화학적 중화제를 분사시켜 감소시켰다.

기존 악취처리기술의 문제점들에 대한 해결방안의 하나로서, 본 연구에서는 최근 새롭게 각광받으며, 석유화학, 제철, 피혁, 염색, 제지, 전자, 식품 등 대부분의 산업분야에서 널리 활용되고 있는 천연중화제에 대하여 연구하였다. 천연중화제는 식물성 정유(精油, natural essential oil), 계면활성제가 주성분으로서, 이에 의한 악취제거 기구는 다음과 같다. 숲의 나뭇잎으로부터 발산이 일어나는 동안 다음의 구성성분들 즉: (1) 물, (2) 수액(樹液)에서

발견되는 지방산과 무기염으로부터의 지방산염류, (3) 식물 추출물(terpenes 등)들이 미세한 미셀(micelle)을 형성한다. 이후 각각의 미셀내에 탄화수소핵을 둘러싸고 있는 미세 물방울층은 낮 동안에는 광합성작용으로 인해 산소가 풍부한 상태가 되고, 밤 동안에도 산소는 과잉의 상태로 유지된다.⁷⁾ 이렇게 형성된 미셀들에 이어 이들 원형의 콜로이드들이 에어로졸로 식물의 모세관현상 및 분산에 의해 생기는 압력에 의해 잎에서부터 떨어져 나와 대기중으로 확산된다. 이들 에어로졸들은 결국 개별적으로 중력에 의해 서서히 지상으로 침강하거나 또는 에어로졸 입자간에 접촉하거나 약취성분과 같은 부유입자들과 접촉하여 보다 큰 에어로졸로 된 다음 빠른 속도로 중력에 의해 침강하게 된다. 또한, 일단 노출된 monoterpene류의 천연중화제는 공기중으로 확산되면서 성분내의 활성분자인 알데히드기(CHO)가 약취분자인 암모니아, 아민, 멸캅탄류와의 중화반응을 통해 약취분자의 화학적 구조적인 치환작용을 일으킴으로써 탈취를 도모하게 된다.¹⁶⁾ 이 반응에 의하면, 암모니아가스(NH₃)는 NH₄⁺ 및 OH⁻ 이온으로, 황화수소가스(H₂S)는 H₃O⁺ 및 S⁻ 이온으로, 이산화황가스(SO₂)는 HSO₃⁻ 및 H₃O⁺로, 그리고 염소가스(Cl₂)는 HOCl, H₃O⁺ 및 Cl⁻ 이온으로 치환됨으로써 탈취반응이 일어나게 된다. 이들 중화제에 의한 탈취기술은 분무, 살포, 증발기화 등의 방법으로 적용한다.¹⁷⁾

본 연구에서는 스크러버 타입의 반응기에서의 천연중화제를 이용한 암모니아(NH₃) 가스의 탈취특성 및 탈취반응 메커니즘에 대하여 살펴보았다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 천연중화제를 이용한 암모니아(NH₃)의 제거특성을 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 먼저, 본 스크러버 타입의 탈취장치에 의한 천연중화제의 암모니아 제거특성을 운전인자값들을 다양하게 변화시켜 가며 각 조건에서의 제거특성에 대하여 알아보았고, 천연중화제와 암모늄용액을 이용하여 천연중화제에 의한 암모니아 제거반응 메커니즘에 대하여 조사, 분석하였다.

2.1. 암모니아 제거특성 평가 실험

2.1.1. 실험재료 및 시약

중화제는 Y社의 천연중화제를 사용하였는데, 이는 연한 우유빛의 액체상으로서 비중은 약 1.0, 비등점 약 100℃, 빙점 약 0℃, pH 7.0(+0.5), 물에 대해서는 완전 수용성이다. 이들을 회석하여 압축공기로 미세한 입자형태로 약취성분에 분사하며, 약취농도에 따라 최고 200배까지 회석하여 사용한다. 본 장치의 탈취성능 평가대상으로 선정한 암모니아는 순도 25.0%의 분석용 NH₄OH 용액(Duk San Pure Chemicals Co. Ltd.)을 사용하였으며, 증류수로 원하는 농도의 NH₄OH 용액으로 제조하였다. 암모니아 가스의 분석에는 검지관(detector tube)법을 사용하였으며, 사용된 가스채취기는 GASTEC社의 Model No.GV-100S이다. 또한, 암모니아 가스의 분석에 사용된 검지관은 GASTEC社의 3H(측정범위 0.2~32%), 3M(10~1,000ppm), 3La(2.5~200ppm) 및 3L(0.5~60ppm)이었다.

2.1.2. 실험장치

본 연구에서 사용된 스크러버 타입의 탈취장치는 크게 네 부분으로 구성되어 있다. 약취성분을 주반응기로 흡입시켜주는 팬(fan), 중화제를 회석하여 주반응기로 주입시켜주는 액비혼입기, 주입공기로 회석되어 주입되는 중화제를 분사시켜주는 분사노즐, 그리고 중화반응이 일어나는 주반응기로 구성되어 있다. 본 연구에 사용된 탈취장치의 개념도는 아래의 Fig. 1과 같다.

먼저, 액비혼입기의 회석배수를 원하는 배율로 조

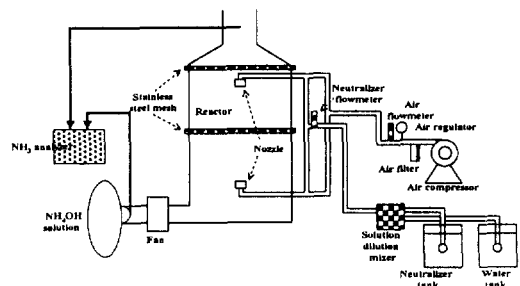


Fig. 1. Schematic diagram of experimental system.

질하고, 물공급 밸브를 열어 중화제 원액과 물을 원하는 희석비율로 희석시키고, 분사노즐의 분사량을 조절한다. 팬 조작버튼으로 풍량을 조절하고, 준비된 NH₄OH 용액을 팬 입구에 가져다 놓는다. 탈취 반응이 충분히 일어난 후 검지관을 이용하여 배출구로부터의 암모니아 가스농도를 측정한다.

팬에 의해 흡입되는 암모니아가스는 흡입구를 통해 주반응기로 접선방향으로 회전하면서 유입되며, 액비혼입기(model : D-400-RE)는 깨끗한 물과 중화제를 일정한 비율로 혼합하여 주며 1:25~200 (4.0~0.5 v/v %)까지 희석이 가능하다. 반응기내의 분사노즐은 2개로 구성되어 있으며 상부반응기에서는 하향류로, 하부반응기에서는 상향류로 희석 중화제를 압축공기에 의해 분사시켜 주게 된다. 본 분사노즐은 RA-CL-3의 모델이며 본 장치에서는 오리피스 직경 0.5mm, 유량 0~60ml/min, 분사폭 200mm, 최대 공기압 60kgf/cm²의 것을 채용하였다. 중화제의 분자입자와 유해가스 분자입자가 원활하게 반응하도록 체류시간을 보다 길게 하여 줌으로써 반응효율을 향상시킬 수 있도록 주반응기 중간과 상부의 유출관 직전에 간격 1mm의 스테인레스 스틸망을 설치하였다. 반응기 전체도 스테인레스 스틸로 제작하여 액체에 의해 녹이 스는 것을 방지토록 하였다.

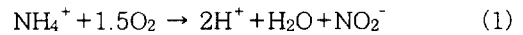
2.1.3. 실험방법

먼저 암모니아에 대해 여러 가지 운전조건에 따른 제거특성에 대하여 실험을 수행하여 각 운전인자들이 암모니아 제거효율에 미치는 영향을 조사하였다. 운전인자로는 주입 중화제의 희석비, 처리대상인 암모니아의 초기농도, 주입 공기의 유량 그리고 희석

중화제의 유입유량 등을 변수로 선정하여 Table 1과 같은 범위의 값들을 채택하였다. 타 변수들은 일정한 값으로 고정시키고 한 가지 운전변수를 변화시켜가며 이때의 거동을 살펴보고, 또한 이때 얻어진 결과들을 중화제 단위질량당 제거해야 하는 암모니아 질량 즉, loading rate 개념 및 공기압의 변화를 이용하여 해석해 보았다.

2.2. 암모니아의 제거거동 실험

암모니아가 중화반응에 의해 어떤 경로를 거쳐 반응이 일어나는지에 대해 알아볼 필요가 있으며, 본 실험에서는 암모니아의 산화반응 경로를 중심으로 하여 중화반응에 산화반응이 관여하는지 여부를 살펴보았다. 즉, 다음의 식(1), (2)와 같은 암모니아의 산화반응경로를 바탕으로 하여 암모니아의 중화반응이 일어남에 따라 암모니아 화합물뿐만 아니라 그 대표적인 산화물 nitrites, nitrates의 분포비율을 조사하기 위하여 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 농도를 측정하였다.



실험방법은 초기농도가 392mg/l인 암모니아 수용액(NH₄OH)에 중화제를 0.1%, 0.5%, 1.0%, 4.0%, 10.0% 등의 희석비로 제조하여 이를 1:1 (v:v)의 비로 혼합하여 5분간의 일정한 화학반응을 일으킨 다음 이를 분석하여 각각의 성분들에 대하여 그 농도 구성비를 조사하였다. 암모니아성 질소(NH₃-N) 및 아질산성 질소(NO₂⁻-N), 질산성 질소(NO₃⁻-N)의 분석에는 다음의 Table 2와 같은 분석방법이 사용되었다. 이들 분석방법은 Standard Methods에 의거한 Spectrophotometer법을 이용한 방법이다.¹⁸⁾

Table 1. Experimental conditions

Experimental variables	Unit	Range
Neutralizer dilution ratio	vol. %	0.1~4
Air flowrate	ℓ/min	35~60
Neutralizer inlet flowrate	ml/min	40~100
Initial ammonia concentraion	ppm	80~2,300
Fan speed	m/sec	8.8

Table 2. Analysis method for ammonia, nitrite and nitrate

Item	Analysis Method
Ammonia (NH ₃ -N)	Nesslerization Method
Nitrite (NO ₂ ⁻ -N)	Diazotization Method
Nitrate (NO ₃ ⁻ -N)	Cadmium Reduction Method

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 암모니아 제거특성 평가 실험

중화제 회석비, 암모니아 초기농도, 공기유량, 중화제 유입유량 등의 운전변수들을 변화시켜 가면서 각각의 경우에 대한 암모니아 제거효율을 조사, 분석하여 보았다. 특히, 각각의 경우에 대하여 가해지는 중화제 순질량당 가해지는 암모니아 순질량 즉, loading rate와 이때의 암모니아 제거효율을 비교함으로써 그 결과들을 해석하고자 하였다. 또한, 공기유량변화 실험에 대해서는 공기압변화에 의해 암모니아 제거결과를 해석하였다. 각각의 운전인자들의 변화에 따른 암모니아의 제거효율 및 이때의 loading rate, 공기압은 아래와 같이 나타났다.

3.1.1. 중화제 회석비

먼저, 중화제액의 회석비에 따른 암모니아의 제거특성에 대하여 조사, 분석하였다. 중화제액의 회석비를 각각 0.1%, 0.3%, 0.6%, 1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%로 변화시키면서 각 경우의 암모니아의 농도변화를 측정하여 제거효율을 조사하였다. 이때 중화제의 회석비를 제외한 기타 운전인자들의 값들은 각각 주입 공기유량 60 ℓ/min, 회석중화제 유입유량 60ml/min, 암모니아 초기농도 300ppm, 팬 풍속 8.8m/sec로 고정시켰다.

중화제 회석비에 따른 암모니아 제거효율 및 이때의 loading rate는 Fig. 2와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 중화제의 회석비를 0.1%에서 0.6%까지 증가시킬 때는 그 제거효율이 79.2%에서 91.4%로 크게 증가하는 추세를 나타내다가 1.0% 이후에서는 회석비를 크게, 즉 농도를 증가시켜도 제거효율은 큰 증가를 보이지 않고 94.0%의 제거효율을 유지하고 있으며, 이 지점에서 최대 제거능력에 도달했다고 할 수 있다. 이는 loading rate에 대한 자료들로부터도 유추할 수 있다. 즉, 회석비가 0.1%에서 4.0%로 증가됨에 따라 loading rate는 8.3, 2.8, 1.4, 0.8, 0.4, 0.3, 0.2g NH₃/g Neutralizer로 감소하여 암모니아 제거효율은 증가하게 되었다. 그러나, 이렇게 loading rate가 감소함에도 일정수준까지는 증가하지만 그 이후에는 증가폭이 둔화되어 일

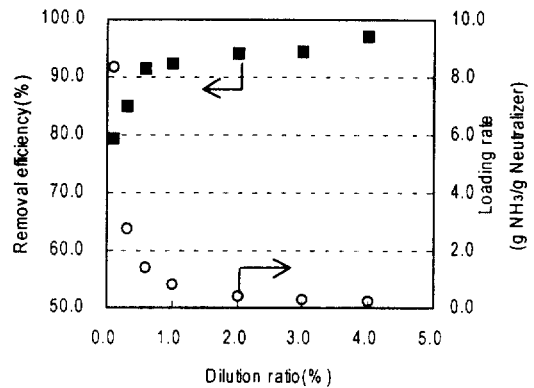


Fig. 2. Effect of neutralizer dilution ratio on ammonia removal efficiency. (initial ammonia conc. 300ppm, air flowrate 60 ℓ/min, neutralizer inlet flowrate 60ml/min, fan speed 8.8m/sec)

정한 수준을 유지하는 것으로 보아 중화제에 의한 제거효율은 이 시점에서 최대점에 이르렀다고 할 수 있다. 양호한 제거효율과 함께 중화제 사용량의 경제적 측면까지 고려한다면 1.0%의 회석비이면 94.0% 이상의 양호한 제거효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

3.1.2. 암모니아의 초기농도

암모니아의 초기농도에 따른 암모니아의 제거특성에 대하여 조사, 분석하여 보았다. 암모니아의 초기농도를 각각 80ppm, 270ppm, 1100ppm, 2300 ppm으로 변화시키면서 각 경우의 암모니아의 농도변화를 측정하여 제거효율을 계산하여 보았다. 이때 암모니아의 초기농도를 제외한 기타 다른 운전인자들의 값들은 각각 중화제 회석비 4.0%, 주입공기유량 60 ℓ/min, 회석중화제 유입유량 60ml/min, 팬 풍속 8.8m/sec로 고정시켰다.

탈취대상인 암모니아의 초기농도에 따른 제거효율 및 이때의 loading rate는 Fig. 3과 같았다. 암모니아의 농도를 증가시키에 따라 제거효율은 각각 97.5%, 97.0%, 96.4%, 95.8%로 서서히 감소하는 추세를 나타내고 있다. Loading rate는 암모니아 초기농도가 80ppm에서 2300ppm으로 증가함에 따라 0.6, 1.9, 7.6, 16.0g NH₃/g Neutralizer로 증가하고 있다. 따라서, loading rate가 증가하므로

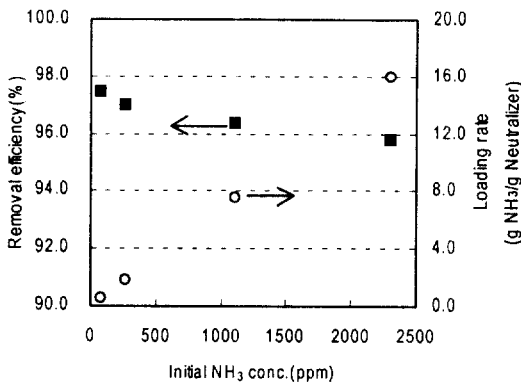


Fig. 3. Effect of initial ammonia concentration on ammonia removal efficiency. (dilution ratio 4.0%, air flowrate 60 l/min, neutralizer inlet flowrate 60 ml/min, fan speed 8.8m/sec)

암모니아 제거효율은 감소하게 된다. 즉, 동일한 중화제량으로 암모니아를 처리하므로, 암모니아 초기 농도가 증가함에 따라 전체적인 제거효율은 당연히 감소하지만, 이에 따른 loading rate가 증가하는 만큼 제거효율의 감소폭은 그다지 크지 않다. 따라서 loading rate 값을 고려한다면 암모니아의 초기 농도가 높아지더라도 제거효율에는 그다지 큰 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다.

3.1.3. 주입 공기유량

중화제를 분사시켜주는 공기의 유량을 운전변수로 하여 이에 따른 암모니아의 제거특성을 알아보았다. 공기유량을 각각 35 l/min, 47 l/min, 55 l/min, 60 l/min으로 변화시켜가면서 각 경우의 암모니아 농도변화를 측정하여 제거효율을 조사하였다. 이때 다른 운전인자들의 값들은 각각 중화제 회석비 4.0%, 초기 암모니아 농도 300ppm, 회석중화제 유입유량 60ml/min, 팬 풍속 8.8m/sec로 고정시켰다.

공기유량변화에 따른 제거효율 및 이때의 air pressure는 Fig. 4와 같았다. 암모니아의 제거효율은 공기유량을 35 l/min에서 60 l/min으로 변화를 줄 때 각각 96.0%, 97.0%, 97.0%, 97.3%의 증가추세를 보여주고 있다. 이때의 loading rate는 중화제의 회석비 및 유입유량, 그리고 암모니아 가

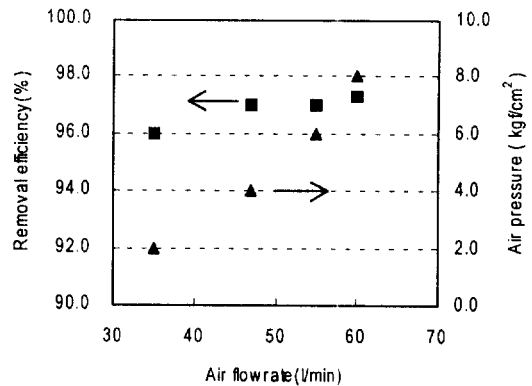


Fig. 4. Effect of air flowrate on ammonia removal efficiency. (dilution ratio 4.0%, initial ammonia conc. 300 ppm, neutralizer inlet flowrate 60ml/min, fan speed 8.8m/sec)

스의 유입농도 및 팬 풍속이 일정하므로 0.83g NH₃/g Neutralizer로 일정하다. 운전변수인 공기 유량은 loading rate에는 직접적인 영향을 주지 않았다. 그리고, 공기유량변화에 따른 암모니아 제거 효율 특성은 이때의 공기압변화로 설명할 수 있다. 즉, 액비혼입기에 의해 일정한 비율로 희석된 중화제가 압축공기에 의해 반응기내 노즐로부터 분사되어 암모니아 gas와 접촉하면서 중화반응이 일어나게 되는데, 여기서, 공기유량의 증가는 곧 공기압의 증가를 가져와 희석액의 노즐로부터 분사되는 액적의 입경을 감소시켜 암모니아 gas와의 접촉 기회를 증가시켜 줌으로써 제거효율이 증가하게 된다. 본 실험에서도 공기유량이 35 l/min에서 60 l/min으로 증가함에 따라 공기압이 2.0, 4.0, 6.0, 8.0kgf/cm²으로 증가하였다. 즉, 공기유량의 증가에 따른 암모니아 제거효율의 증가는 이때의 공기압 증가에 따른 분사액적 입경의 감소에 의한 반응기회의 증가현상으로 해석할 수 있다. 그러나, 공기압의 증가폭에 비하여 암모니아 제거효율의 증가폭은 적은 편이므로, 공기유량이 제거효율에 미치는 영향은 미미하다고 할 수 있다.

3.1.4. 회석 중화제의 유입유량

이번에는 중화제의 유입유량을 영향인자로 하여 이에 따른 암모니아의 제거특성에 대하여 고찰하였

다. 회석된 중화제의 유입유량을 Fig. 5와 같이 40 ml/min, 60ml/min, 80ml/min, 100ml/min으로 변화시키면서 각각 경우의 암모니아 제거효율을 산출하였다. 이때 영향인자로 선택한 중화제의 유입유량 이외의 다른 운전인자들의 값들은 각각 중화제 회석비 4.0%, 초기 암모니아농도 300 ppm, 주입공기 유량 60 ℓ/min, 팬 풍속 8.8m/sec로 고정시켰다.

회석중화제의 유입유량에 따른 암모니아 제거효율은 Fig. 4의 주입 공기유량에 따른 암모니아 제거 실험 결과와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 즉, 제거효율은 중화제 유입유량에 따라 약간의 증가추세를 보이는데, 96.0%, 97.1%, 97.0%, 97.3%의 안정된 제거효율을 나타내고 있다. 이때의 loading rate는 3.1, 2.1, 1.6, 1.3g NH₃/g Neutralizer로 감소하였다. 즉, 중화제 유입유량이 증가함에 따라 암모니아 단위질량에 가해지는 중화제량이 증가하므로 loading rate가 감소하여 암모니아 제거효율의 증가를 가져왔다고 할 수 있다. 그러나, 중화제 유입유량의 증가에 따른 loading rate의 감소폭에 비하여 이에 따른 암모니아 제거효율의 증가폭은 그다지 크지 않다. 중화제의 경제성 측면을 함께 고려한다면 중화제 유입유량을 60ml/min으로 운전하는 것이 타당함을 알 수 있다.

3.1.5. 중화제 net loading rate와 제거효율과의 관계

다양한 운전조건하에서 반응이 일어나더라도, 이때의 운전조건이 달라지게 되면 단순한 제거효율의 비교는 별 의미가 없게 된다. 따라서 이들 단순 제거효율과 함께 각각의 운전조건하에서 가해지는 중화제 단위 질량당 순수하게 제거되는 암모니아의 질량 즉, net loading rate를 산출해 줌으로써 제거효율을 중화제 단위질량당 실제로 수행한 제거성능의 형태로 나타낼 수 있다. 또한 이를 통하여 중화제가 갖고 있는 최대의 제거성능을 찾을 수도 있을 것이다. 중화제 단위질량당 제거되는 순 암모니아량(net loading rate)간에는 일정한 관계가 있을 것으로 사료되어 위의 3.1.1에서 3.1.4까지의 각각의 영향인자별 실험결과들로부터 중화제 net loading rate와 이때의 암모니아 제거효율간의 관계를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 y절편값이 말해 주듯이,

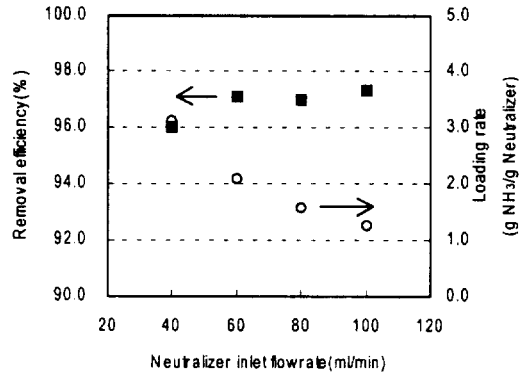


Fig. 5. Effect of neutralizer inlet flowrate on ammonia removal efficiency. (dilution ratio 4.0%, initial ammonia conc. 300ppm, air flowrate 60 ℓ/min, fan speed 8.8m/sec)

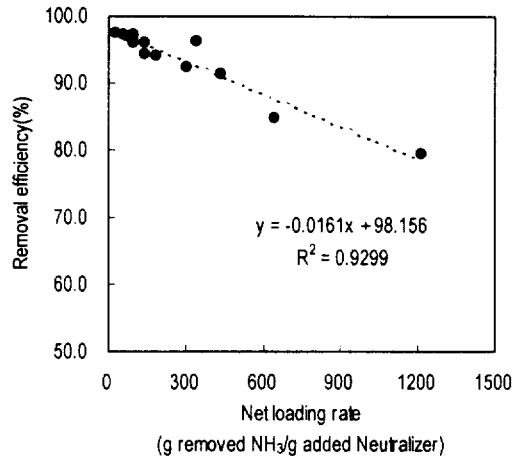


Fig. 6. Correlation of net loading rate with ammonia removal efficiency.

Table 1과 같은 본 연구에서의 운전조건하에서는 Y社의 천연중화제에 의하여 암모니아 가스를 최대 98.1%까지 제거 가능함을 알 수 있다. 또한, 본 결과로부터 Fig. 2에서의 중화제 회석비에 따른 암모니아 제거실험에서 중화제 회석비를 증가시켜 줌에도 불구하고 암모니아 제거효율이 더 이상 증가하지 않고 일정한 한계값을 보이는 경향을 설명할 수 있다.

3.2. 암모니아의 제거반응 거동 실험

본 실험에서는 암모니아의 중화반응에 산화반응이 관여하는지 여부를 알아보기 위하여 중화제 회석

비에 따른 암모니아 산화물들의 농도 분포를 살펴 보았다. 앞에서 언급한 식(1), (2)와 같은 암모니아의 산화반응경로를 따라서 Table 2의 방법에 의해 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 농도를 측정하였다.

실험결과 중화제 회석비에 따른 암모니아의 산화물 분포는 아래의 Table 3과 Fig. 7과 같이 나타났다. 이에서 알 수 있듯이 확실히 암모니아의 중화반응에 산화반응이 일부 관여함을 알 수 있었다. 또한 중화제의 회석비가 높아짐에 따라 식(1) 및 (2)에서와 같이 NH_4^+ (NH_3) 형태의 것이 중화반응이 일어나는 데 따라 NO_2^- , 더 나아가 NO_3^- 형태로 전이하는 비율이 상대적으로 증가하는 것으로 미루어 보아, 중화제량이 중화반응중 산화반응에 중요한 영향인자로 작용함을 알 수 있게 한다.

즉, 천연중화제에 의한 탈취 메카니즘은 서론에서

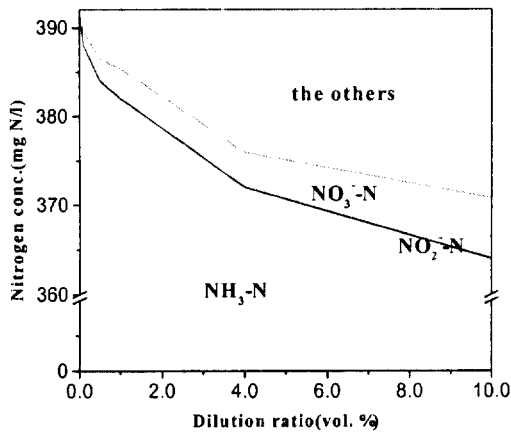


Fig. 7. Distribution of nitrogen oxides at ammonia removal reaction by natural neutralizer.

Table 3. The distribution of nitrogen oxides at ammonia removal reaction by natural neutralizer (unit : mg/l)

Neutralizer dilution ratio	0.1%	0.5%	1.0%	4.0%	10.0%
initial NH_3 conc.	392	392	392	392	392
NH_3-N	388	384	382	372	364
NO_2-N	0.022	0.024	0.025	0.028	0.048
NO_3-N	1.5	2.4	3.4	3.9	6.7
the others	2.478	5.576	6.575	16.072	21.252

언급하였듯이, 주로 분사장치에 의해 분사된 중화제 에어로졸이 확산에 의해 악취물질과 접촉하여 기-액간의 물리적 흡수작용과 이에 이은 화학적 구조적인 치환작용에 의해 중화가 이루어지게 된다. 암모니아 가스(NH_3)는 이 반응에 의하여 NH_4^+ 및 OH^- 이온으로 치환됨으로써 탈취반응이 일어나게 된다.^{7,16)} 본 연구에서는 이때 산화반응도 병행하여 일어남을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 암모니아(NH_3)에 대하여 주입 중화제의 회석비, 처리대상인 암모니아의 초기농도, 주입 공기의 유량, 회석 중화제의 유입유량을 영향인자로 선정하여 각각의 인자들이 제거효율에 미치는 영향에 대하여 조사·연구하였다. 또한, 중화반응에 의한 암모니아 제거반응 메카니즘 중 산화반응의 관여여부를 살펴보았다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 영향인자로 선정한 중화제의 회석비, 암모니아의 초기농도, 주입 공기유량, 그리고 회석 중화제 유입유량 중 제거효율을 이때의 loading rate와 함께 고려할 때 상대적으로 중화제의 회석비, 그리고 회석 중화제 유입유량이 제거효율에 보다 큰 영향을 미쳤다. 최적운전인자를 선정해보면, 중화제 회석비는 1.0%, 중화제 유입유량은 60ml/min이었다.
- 2) 암모니아의 초기농도, 유입 공기유량의 제거효율에의 영향성은 그다지 크게 나타나지 않았다.
- 3) 암모니아의 중화반응중 산화반응 관여여부를

살펴보기 위하여 암모니아 화합물(NH₃-N) 뿐만 아니라 그 대표적인 산화물 즉, nitrites, nitrates의 농도분포비율을 조사하여 본 결과, 천연중화제에 의한 제거반응에 산화반응이 일부 관여함을 알 수 있었다. 또한 중화제량에 비례하여 암모니아의 산화반응이 nitrites (NO₂⁻-N), nitrates (NO₃⁻-N)로 더욱 진행됨을 알 수 있었다. 즉, 주로 흡수현상의 물질 전달에 의한 메카니즘에 의해 암모니아 제거가 일어나고, 부차적으로 천연중화제에 의한 중화 및 산화반응이 암모니아의 제거에 관여한다고 할 수 있다.

사 사

본 논문은 한국생산기술연구원의 연구비지원('97년 생산기술개발과제, 참여기업 : 유원환경기술(주))으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Calvert, S. and Englund, H. M., Handbook of Air Pollution Technology, pp. 850~851(1984).
- Cheremisinoff, P. N. and Young, P. E. R. A., Industrial Odor Technology Assessment, An Arbor Science Publishers Inc., p. 215(1975).
- 김용진, "악취방지장치," 공기청정기술, **6**(4), 20~34(1993).
- 國部 進, "新しい、脱臭技術," 工業調査會, pp. 41~69(1997).
- 許 木, 大正浩, "硫黄化合物の微生物による除去メカニズム," *J. Odor Research and Eng.*, **21**(2), 79~89(1990).
- Bohn, H. L., "Soil and Compost Filters of Malodorant Gases," *J. of Air Poll. Control Ass.*, **25**(9), 953~955(1975).
- Mills, B., "Review of methods odor control," *Filtration and Separation*, **32**(2), 147~152(1995).
- Hwang, Y., Matsue, T., Hanaki, K. and Suzuki, N., "Removal of odorous compounds in wastewater by using activated carbon, ozonation and aerated biofilter," *Water Research*, **28**(11), 2309~2319(1994).
- Zhang, R., Yamamoto, T. and Bundy, D. S., "Control of ammonia and odors in animal houses by a ferroelectric plasma reactor," *IEEE Transaction on Industry Applications*, **32**(1), 113~117(1996).
- Chang, M. B. and Tseng, T. D., "Gas-phase removal of H₂S and NH₃ with dielectric barrier discharges," *J. of Environmental Engineering*, **122**(1), 41~46(1996).
- Card, T., "VOC removal in absorption odor control systems," *National Conference on Environmental Engineering*, Published by ASCE, New York, USA, pp. 243~249 (1990).
- Barker, R. and Jones, A. R., "Treatment of malodorants in air by UV/ozne technique," *Ozone: Science and Engineering*, **10**(4), 405~417(1988).
- Goldstein, N., "New insights into odor control," *BioCycle*, **30**(2), 58~61(1989).
- Canzano, P. S. and Aiani, K. J., "Optimum system for odor control," *BioCycle*, **9**(7), 40~44(1988).
- Green, M., "Stop odors in the vapor phase," *Water/Engineering and Management*, **138**(1), 18(1991).
- Wong, J., Odor Control with Natural Neutralizers, Enviro-Air Technology Pty. Ltd., pp. 1~14(1975).
- Faith, W. L., Atpinsson, A. A. Jr., Air Pollution, Wiley Interscience, pp. 206~215(1972).
- HACH WATER ANALYSIS HANDBOOK, 2nd Edition, HACH Company, pp. 773~845(1997).