

폐수의 감압 암모니아 탈기에 관한 연구

신대윤[†] · 오유경

조선대학교 공과대학 환경공학부

A Study on the Decompressed Ammonia Stripping from Ammonia Contained Wastewater

Dae Yewn Shin[†] and You Kyung Oh

Division of Environmental Engineering, Chosun University
(Received 3 December 2000 ; Accepted 26 February 2001)

ABSTRACT

This study aims at finding out pertinent reaction conditions for treating high concentration ammonia contained in N-chemical factory wastewater with decompressed ammonia stripping method that was designed. And it also tries to investigate adsorption capability of removed ammonia to soil. The results from experiments are as follows; 1. The removal rate of $\text{NH}_3\text{-N}$ of synthetic wastewater was under 85% at pH 10 with decompressed ammonia stripping method. The reaction time in pressure 360 mmHg at pH 11 and 12 was shorter than in 460 mmHg, and the removal rate of $\text{NH}_3\text{-N}$ with decompressed ammonia stripping method at 90°C was 11~15% higher than air stripping 2. The optimum conditions for decompressed ammonia stripping with synthetic sample were shown as pH 12, temperature 90°C, internal reaction pressure 460 mmHg and reaction time 50 minutes. These conditions were applied to treat the wastewater containing organic-N 290.5 mg/l, $\text{NH}_3\text{-N}$ 168.9 mg/l, $\text{NO}_2\text{-N}$ 23.2 mg/l, $\text{NO}_3\text{-N}$ 252.4 mg/l, T-N 735 mg/l. Organic-N turned out to be removed 60%, the removal rate of $\text{NH}_3\text{-N}$ is 94%, T-N is 50%. But $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ were increased with 7.8% and 14.9% respectively. 3. The COD_Cr removal rate in decompressed ammonia stripping reaction was 42% and SO_4^{2-} was removed 8.2%. It was turned out caused with higher pH and thermolysis. 4. In soil adsorption of ammonia desorbed from the decompressed stripping process of wastewater, the recovery rate was 76% in wet soil.

Keywords : Decompressed ammonia stripping, Ammonia recovery, Soil adsorption, Ammonia removal

I. 서 론

NH_3 는 18세기 후반에 발견되었으며, 19세기에 H_2 와 N_2 로부터 합성이 시도되었으나 성공하지 못하고, 20세기 초에 Haber-Bosch법이 개발되어 공업적으로 생산하게 되었다. 우리 나라에서는 1930년 조선비료주식회사 흥남공장 준공 이후, 충주비료(1961), 호남비료(1962), 영남화학(1967), 한국비료(1967) 및 남해화학(1977) 등이 차례로 준공되었다.¹⁾

NH_3 는 황산, 인산 등과 더불어 비료제조의 중간원료이며, 비료 외에도 군수화학용, caprolactam 및 acrylonitrile monomer와 같은 합성섬유, 냉동용, 소다공업, 중탄산 암모늄 제조등 화학공업에 널리 사용되고 있다.

폐수 중에 포함되어 배출되는 암모니아는 수생생물에 독성을 끼치며, *Nitrosomonas*와 *Nitrobacter*에 의하여 이질산염 및 질산염으로 산화될 때 하천의 용존산소를 소모한다. 또 정체된 호수나 바다에서 조류를 급증시켜 부영양화와 적조를 일으키는 원인물질이다.

암모니아 함유폐수의 처리방법은 크게 물리·화학적 방법²⁾과 생물학적 방법³⁻⁵⁾으로 나눌 수 있는 데, 물리·화학적 방법에는 air stripping⁶⁻⁸⁾, 이온교환법⁹⁾ 및 파과점 염소처리법 등이 있다.¹⁰⁻¹⁴⁾ Air stripping은 점축탑의 scale 생성과 겨울철 동결 등의 문제가 있고^{15,16)} 파과점 염소처리법의 경우 과량의 염소주입과 THM생성이 문제시되며, 이온교환법은 처리비용이 과다하여 적용하기 어렵다.

탈기(stripping)는 액체 속에 용해되어 있던 가스가 물리·화학적 조건이 변함에 따라 대기중으로 방출되는 현상을 말하며, 기체이전을 용이하게 하기 위해 공기를 공급할 경우 air stripping이라 하고, 감압을 시킬 경우

[†]Corresponding author : Division of Environmental Engineering, Chosun University
Tel: 062-230-7153, Fax: 062-228-1466
E-mail: dysin@chosun.ac.kr

감압 stripping이라고 한다. Air stripping은 $\text{NH}_3\text{-N}$ 을 1,000 mg/l 이상 함유하고 있는 폐수에 NaOH 또는 석회(lime) 등 알칼리를 투여하여 pH 11로 조절하여 폐수 중의 암모니아를 유리시키고, 충전탑에서 순환 또는 holding pond의 교반에 의해 공기나 증기의 표면과 접촉시켜 기체상태로 휘산시켜 제거하는 방법이다.¹⁷⁻¹⁹⁾

수중에 흡수된 암모니아는 NH_4^+ 이온과 유리 NH_3 상태로 존재하며, 그 양은 pH와 온도에 따라서 다르다. 수온이 0°C일 때 pH 8이하에서는 주로 NH_4^+ , pH 12 이상에서는 유리 NH_3 로 존재하기 때문에, air stripping 법에서는 유리 NH_3 를 쉽게 탈기시키기 위해 폐수의 pH를 높이고 더운 공기를 주입한다.^{20,21)}

외국의 경우 대단위 비료공장에서 발생하는 다량의 고농도 암모니아 함유 폐수처리에는 air stripping이 주로 이용되고,^{10,11)} 이때 제거되는 NH_3 는 회수하여 비료 제조에 재활용한다. 국내에서는 물리·화학적 및 생물학적 처리방법들이 단일 혹은 조합된 형태로 적용되고 있으나, 처리효율이 우수한 방법이 제시되지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 고농도 암모니아 함유 폐수를 처리하기 위하여 air stripping법을 응용한 새로운 감압 암모니아 탈기공정을 개발하고, 적절한 운전조건을 모색하고자 한다. 이를 위하여 감압 암모니아 탈기반응

의 영향인자인 pH, 반응온도, 반응압력 및 반응시간이 미치는 영향을 조사하고, 제거되는 암모니아의 토양 환원 가능성을 검토하기 위하여 토양흡착실험을 실시하였다.

II. 실험 장치 및 방법

1. 실험장치

본 연구에서 개발한 감압 암모니아 탈기 장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 반응 system의 구성은 삼구플라스크에 온도계와 공기조절장치 및 콘덴서를 장착하였고, 콘덴서 상부에는 플라스크 내부에 감압 상태를 유지하기 위하여 aspirator, vacuum gauge, 삼방 cock 및 감압 valve 등 감압장치를 연결시켰다. 감압하에서 격렬한 비등현상에 견딜 수 있도록 길이가 65 cm인 기존의 리비히 냉각기보다 외경과 내경이 각각 5 mm씩 크게 제작하여 사용하였다. 공기조절장치는 반응기 내부로 유입되는 공기를 건조시키고 동시에 CO_2 를 제거하기 위해 실리카겔과 CaO를 충전시킨 column과 teflon cock adapter로 구성하였다. 또한 반응기의 온도는 mantle과 온도조절장치를 이용하여 조절하였다. 감압밸브를 통해서 탈기되는 암모니아 가스를 흡수하기 위해 H_3BO_3 0.5%용액 100 ml가 든 흡수병(fritted absorber) 2개에

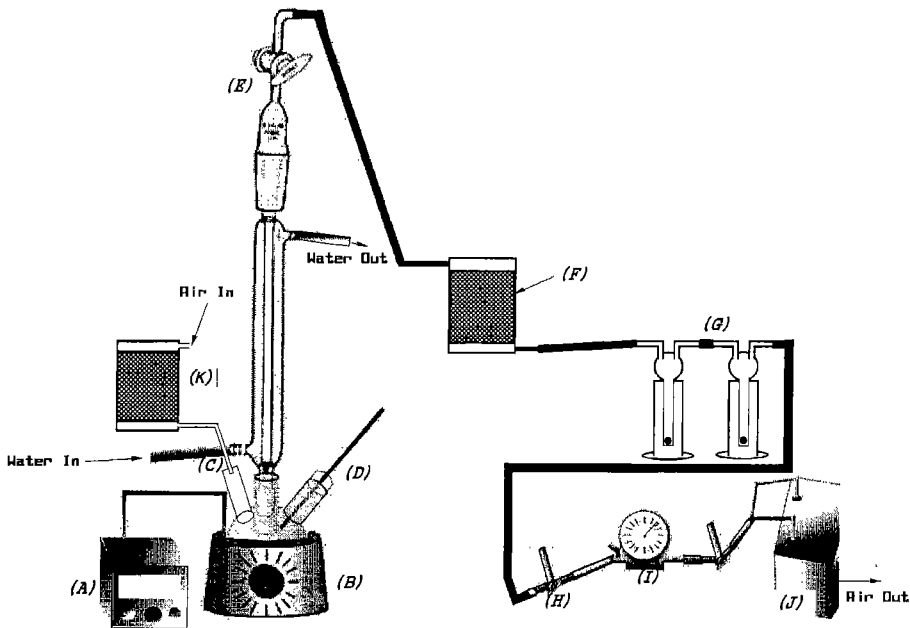


Fig. 1. Schematic of decompression ammonia stripping apparatus; (A) Thermostat, (B) Heating mantle, (C) Teflon cock adapter, (D) Thermometer, (E) Decompression valve, (F) Adsorption tower, (G) Fritted absorber, (H) 3-way cock, (I) Vacuum gauge, (J) Aspirator, (K) H_2O and CO_2 removal tower.

통과시켰다.

탈기되는 암모니아 가스의 토양흡착실험은 감압 암모니아 탈기장치의 감압 유로에 건조토양이나 습한 토양을 충전한 토양흡착탑을 부착시켜 수행하였다.

2. 실험방법

(1) 감압 암모니아 탈기

감압 암모니아 탈기 실험은 두 가지 시료 즉 합성시료와 N-화학공장의 배출수를 대상으로 실시하였다. 합성시료는 NH₃-N 농도가 500 mg/l되도록 시약 1급 NH₄Cl로부터 조제하였고, N-화학공장 배출수는 여과하지 않고 그대로 사용하였다.

감압 암모니아 탈기 실험의 적절한 pH, 반응조건, 반응압력 및 반응시간을 조사하기 위해 시료 500 ml를 취하고 pH 9~12(5N-NaOH를 가하여 조절), 반응온도 70~100°C, 반응압력 260~760 mmHg 및 반응시간 10~60분의 범위에서 각각의 조건을 변화시키면서 실험하였다. 탈기되는 암모니아는 H₃BO₃ 0.5% 용액에 흡수시켜 반응시간에 따른 탈기량을 측정하였다.²²⁾ 실제 폐수인 N-화학공장 배출수의 감압 암모니아 탈기실험은 합성시료실험결과 최적조건으로 구해진 pH 12, 반응압력 460 mmHg 및 반응온도 90°C를 적용하여 실험하였다.

(2) 암모니아의 토양흡착

N-화학공장 폐수 500 ml를 취하여, pH 12, 반응압력 460 mmHg, 반응온도 90°C로 유지하고 반응시간 50분 동안 탈기되어 나온 NH₃ gas를 건조토양과 습한 토양에 각각 통과시켜 흡착되는 NH₃의 양을 조사하였다. 사용한 토양은 직경이 약 5 mm인 난석이며 접촉표면적을 일치시키기 위해 난석의 무게를 420 g씩으로 같게 하였고, 습한 토양은 수분무게를 포함하여 500 g이 되도록 하였다. 탈기되어 나온 암모니아가스가 먼저 토양에 흡착되도록 하고 흡착되지 않은 암모니아 가스를 봉산용액에 흡수시켰으며, 건조토양과 습한 토양에 흡착된 암모니아의 시간에 따른 흡착량과 토양 1 mg당 흡착된 암모니아의 양을 조사하였다.

3. 분석항목 및 분석방법

처리수의 수질 분석항목은 수온, pH, TKN, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, T-N, COD_{Cr}, SS 및 SO₄²⁻등이며, 각 항목별 분석방법은 우리나라 수질오염공정시험법²³⁾과 Standard Method²⁴⁾에 준하여 실험하였다. 즉, COD는 K₂Cr₂O₇에 의한 측정법, TKN은 Macro-kjeldahl method, T-N과 NH₃-N은 흡광광도법(Shimadzu UV 160A), NO₂-N, NO₃-N, SO₄²⁻등은 Ion chromatography(DX-

120)를 이용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 폐수의 특성

실험에 사용한 시료는 비료를 제조하는 전라남도 여수시 여천산업단지에 소재한 N-화학공장의 배출수로서 시료의 성상은 Table 1과 같이 pH 3~6.7인 산성폐수이고, Organic-N 270 mg/l, NH₃-N 169 mg/l, NO₃-N 268 mg/l, T-N이 785 mg/l, COD 269 mg/l 및 SO₄²⁻ 2,731 mg/l이었으며, 조업상태에 따라 폐수의 농도와 pH가 큰 차이를 나타내었다.

2. 합성시료의 감압 암모니아 탈기

NH₃-N의 농도가 500 mg/l인 합성시료에 대하여 pH, 반응온도, 반응압력 및 반응시간등을 변화시키면서 감압 암모니아 탈기실험을 실시한 실험결과를 Table 2에 나타내었다.

pH 10 이하에서는 반응 압력, 온도, 반응시간 등에 관계없이 NH₃-N 제거율이 85% 미만임을 알 수 있으며, 이러한 현상은 용액 중의 NH₃가 유리상태와 이온 상태로 혼재해 있기 때문이다.

pH 11과 pH 12일 때의 제거율을 비교하면, 반응압력 360 mmHg와 460 mmHg인 경우 반응압력이 낮은 쪽이 반응시간이 짧게 소요되고, 반응온도 90°C를 기준으로 할 때 감압 stripping의 제거율이 air stripping 보다 11~15% 높게 나타났다.

반응조건이 pH 12, 반응압력 460 mmHg, 반응온도 90°C이고, 반응시간이 60분일때 NH₃-N제거율이 가장 좋은 99.5%를 나타내었으나, 반응시간 50분일 때의 제거율 99.2%와 큰 차이가 없으므로 반응시간은 50분 정도가 적절하다고 판단된다.

Table 1. Characteristics of wastewater (unit : mg/ml)

Item	Range	Average
Temperature(°C)	10~30	20
pH	3.0~6.7	5
Organic-N	204.1~301.1	270
NH ₃ -N	118.7~175.1	169
NO ₂ -N	10.4~23.2	19
NO ₃ -N	205.0~388.2	268
T-N	520.3~881.4	785
COD _{Cr}	206.2~347.0	269
SS	26~30	27
SO ₄ ²⁻	2,620.6~2,834.5	2,731

Table 2. The NH₃ removal rate with temperature, reaction pressure, pH and reaction time of synthetic sample (NH₃-N conc. of synthetic sample 50 mg/l)

Pressure (mmHg)	Time	30 min				40 min				50 min				60 min			
		70	80	90	100	70	80	90	100	70	80	90	100	70	80	90	100
pH 9	260	60.2	-	-	-	72.1	-	-	-	76.5	-	-	-	77.4	-	-	-
	360	59.3	62.1	-	-	71.0	73.5	-	-	73.6	78.6	-	-	74.5	79.5	-	-
	460	57.4	60.0	65.3	-	65.0	70.5	75.2	-	70.2	74.5	81.3	-	71.1	75.3	82.1	-
	760	55.2	58.2	60.1	61.8	61.0	68.3	70.1	70.9	65.2	70.2	72.2	74.3	66.0	71.1	73.1	75.2
pH 10	260	64.3	-	-	-	74.5	-	-	-	78.4	-	-	-	79.2	-	-	-
	360	63.9	65.3	-	-	73.4	76.6	-	-	76.1	76.5	-	-	77.0	77.4	-	-
	460	60.6	62.1	68.2	-	71.6	73.4	73.0	-	71.5	75.4	83.6	-	72.4	76.3	84.3	-
	760	58.2	59.5	62.1	63.6	65.8	70.2	71.2	73.6	65.1	72.4	75.8	76.7	66.0	73.2	76.5	77.4
pH 11	260	70.1	-	-	-	77.9	-	-	-	79.0	-	-	-	80.0	-	-	-
	360	67.3	85.6	-	-	70.1	92.4	-	-	74.0	94.5	-	-	75.0	95.2	-	-
	460	65.5	76.1	87.0	-	67.5	87.0	93.6	-	69.0	91.4	98.1	-	70.0	92.3	99.0	-
	760	62.6	64.4	72.1	80.5	63.4	69.5	80.6	89.2	65.5	73.1	88.2	93.3	65.9	74.0	89.0	94.1
pH 12	260	69.3	-	-	-	78.8	-	-	-	80.8	-	-	-	81.6	-	-	-
	360	67.2	84.3	-	-	75.4	93.0	-	-	78.9	94.1	-	-	79.5	95.0	-	-
	460	66.3	71.0	86.2	-	69.6	87.0	98.0	-	72.4	85.2	99.2	-	73.1	86.1	99.5	-
	760	63.3	67.2	75.3	83.1	65.4	71.1	83.3	93.6	68.3	73.2	85.2	94.3	69.1	74.1	86.1	95.0

Table 3. Removed or increasing rate of nitrogen compounds with reaction time under decompression NH₃ stripping in N-Chem. factory wastewater

Components	Time(min)	sample (mg/l)	10	20	30	40	50	60
			Organic-N	Rem. rate(%)	290.5	21	38	50
NH ₃ -N	Rem. rate(%)	168.9	39	68	80	91	94	95
NO ₂ -N	Incre. rate(%)	23.2	3.0	3.4	4.7	6.5	7.8	8.0
NO ₃ -N	Incre. rate(%)	252.4	6.3	11.1	13.0	14.1	14.9	15.0
T-N	Rem. rate(%)	735	21	36	45	49	50	51

3. 폐수의 감압 암모니아 탈기

Organic-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N 및 T-N이 각각 290 mg/l, 169 mg/l, 23 mg/l, 252 mg/l 및 735 mg/l인 폐수를 pH 12, 반응압력 460 mmHg 및 반응온도 90°C의 조건에서 감압탈기하였을 때 질소성분의 거동은 반응시간 30분까지는 Organic-N, NH₃-N 및 T-N의 제거율이 급속히 상승되었으나, 그 이후에는 제거율이 둔화되어 반응시간 50분 이후에는 거의 제거율의 변화가 없었다. Organic-N은 NH₃로 전환된 후 탈기되며, 탈기되는 동안 일부가 산화되어 NO₂과 NO₃이 됨을 알 수 있다.

반응시간 50분 이후에는 제거율의 변화가 거의 나타나지 않았으며, 처리수의 수질은 Organic-N은 116 mg/l, NH₃-N은 10 mg/l, NO₂-N은 25 mg/l, NO₃-N은

290 mg/l 및 T-N은 367 mg/l로서 Organic-N 60%, NH₃-N 94% 및 T-N이 약 50% 감소된 반면, NO₂-N과 NO₃-N은 각각 7.8%와 14.9%씩 증가되었다.

Table 3에 N화합공장 배출수의 감압탈기시 반응시간에 따른 질소성분의 제거율과 증가율을 나타내었으며, Fig. 2에 감압탈기시 반응시간에 따른 질소화합물들의 농도변화를 나타내었다.

4. 반응시간에 따른 COD 농도의 변화

폐수에 대한 감압 암모니아 탈기실험에 있어서 반응시간에 따른 COD농도 변화는 Fig. 3과 같다. 시료의 초기 COD_{Cr}은 347.0 mg/l이었고, pH 12, 반응압력 460 mmHg, 반응온도 90°C 조건에서 반응시간 30분 후 제거율은 33%, 50분 후 제거율은 41%, 60분 후 제거율은

은 42%이었다. 반응시간 30분까지는 제거율이 급격히 증가하였으나, 그 이후로는 제거율이 둔화되어 50분 이후에는 제거율의 변화가 거의 없었다. 이와 같은 COD의 감소는 시료중의 유기물질이 강한 알칼리성 상태에서 열분해에 의해 산화되었기 때문이라고 사료된다.

5. 반응시간에 따른 SO₄²⁻농도의 변화

폐수에 대한 감압 암모니아 탈기 실험에 있어서 반응

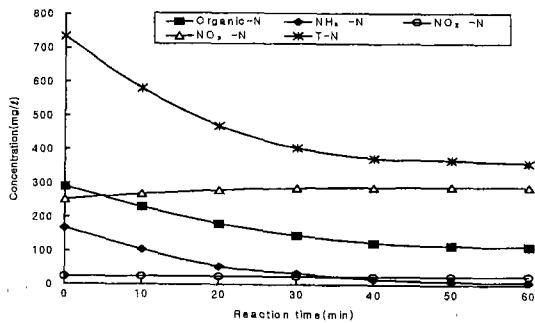


Fig. 2. The concentration changes of nitrogen compounds with reaction time under decompression NH₃ stripping (pH 12, Reaction pressure 460 mmHg, Temp. 90°C).

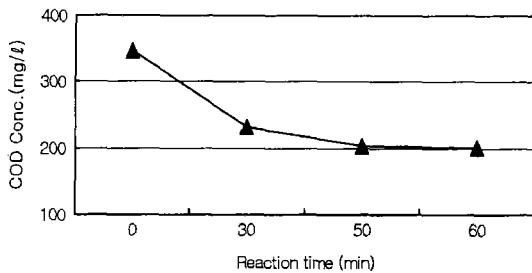


Fig. 3. The variation of COD_C concentration with reaction time under decompression NH₃ stripping (pH 12, Reaction pressure 460 mmHg, Temp. 90°C).

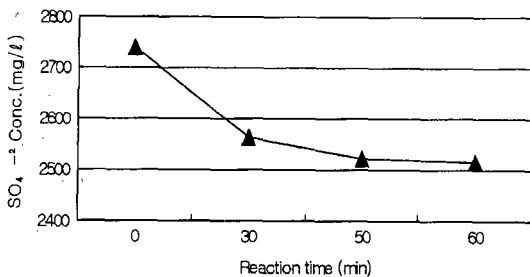


Fig. 4. The variation of SO₄²⁻ concentration with reaction time under decompression NH₃ stripping (pH 12, Reaction pressure 460 mmHg, Temp. 90°C).

시간에 따른 SO₄²⁻의 농도변화는 Fig. 4와 같다. SO₄²⁻의 초기 농도는 2738.6 mg/l이었고, 반응시간 30분 후 제거율은 6.4%, 50분 후 제거율은 7.9%, 60분 후 제거율은 8.2%이었다. 이와 같은 SO₄²⁻의 감소는 SO₄²⁻이 강한 알칼리성 상태에서 높은 열에 의하여 불안정한 상태의 SO₂와 SO₃의 gas로 전환되어 휘발된데 기인한다고 사료된다.

6. 탈기되는 암모니아의 토양흡착

본 실험은 장치에서 탈기되는 암모니아를 대기 중에 방출할 경우 대기오염을 유발하게 되므로 토양흡착제 거의 가능성을 검토하기 위해 실시하였다.

N-화학공장폐수를 감압 암모니아 탈기 후 건조 토양과 습한 토양을 흡착제로 사용하여 시간에 따른 NH₃-N 탈기량 및 토양흡착량을 조사하여 Fig. 5~7에 나타내었다.

건조 토양의 경우 초기 NH₃-N량이 59.3 mg인 폐수를 50분간 탈기시켰을 때 NH₃-N의 탈기량 58.1 mg이

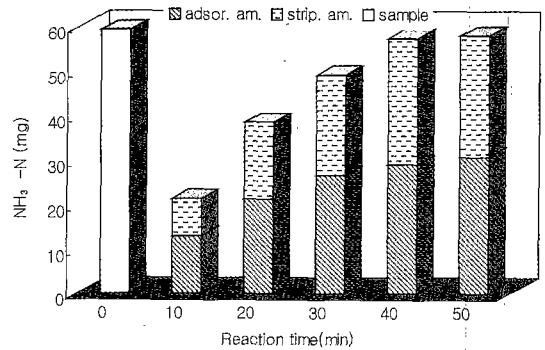


Fig. 5. NH₃-N stripping and adsorbed amount to dry soil (pH 12, Reaction pressure 460 mmHg, Temp. 90°C).

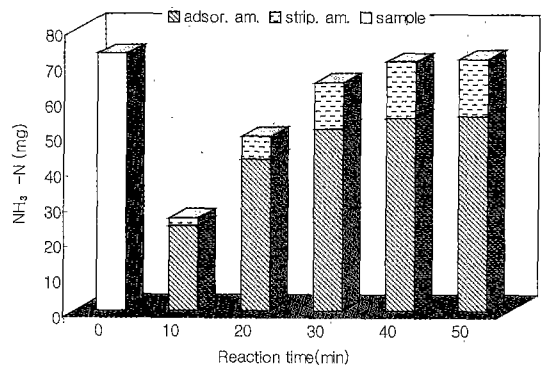


Fig. 6. NH₃-N stripping and adsorbed amount to wet soil (pH 12, Reaction pressure 460 mmHg, Temp. 90°C).

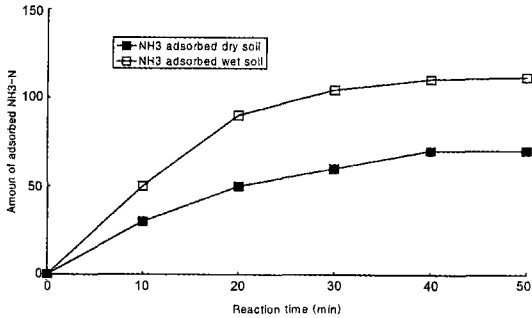


Fig. 7. Amount of Adsorbed NH₃-N with reaction time.

었으며, 이중 토양에 흡착된 량은 30.9 mg으로서 탈기되는 암모니아의 회수율은 52%이었다.

습한 토양의 경우 초기 NH₃-N량이 73.1 mg인 폐수를 50분간 탈기시켰을 때 NH₃-N의 탈기량은 71.6 mg이었으며, 이중 토양에 흡착된 양은 55.6 mg으로서 탈기되는 암모니아의 회수율은 76%이었다.

NH₃의 토양흡착 실험결과 건조 토양보다는 습한 토양에 대한 암모니아의 회수율이 높게 나타났는데 이는 물에 대한 NH₃ 용해도가 0°C일 때 89.9g/100 ml, 20°C일 때 52.1 g/100ml, 96°C일 때 7.48 g/100 ml로서 NH₃가 물에 매우 잘 녹는 기체이기 때문이다.²⁵⁾ 결과적으로 탈기되는 NH₃의 습한 토양에 대한 흡착제거는 매우 유용한 방법이라고 판단된다.

IV. 결 론

고농도 암모니아 함유폐수를 처리하기 위한 감압 암모니아 탈기장치를 개발하여 적절한 반응조건을 모색하고, 탈기되는 암모니아에 대한 토양흡착실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 합성시료의 감압 암모니아 탈기 실험에서 pH 10 이하 일 때 NH₃-N 제거율은 85% 미만이었다.

pH 11과 12일 때 NH₃-N 탈기반응은 반응압력이 360 mmHg인 경우 460 mmHg보다 반응시간이 짧게 소요되었으며, 반응온도 90°C에서 감압 stripping의 제거율이 air stripping 보다 11~15% 높게 나타났다.

2. 감압 암모니아 탈기반응의 최적 조건인 pH 12, 온도 90°C, 반응압력 460 mmHg, 반응시간 50분의 조건에서 Organic-N 290.5 mg/l, NH₃-N 168.9 mg/l, NO₂-N 23.2 mg/l, NO₃-N 252.4 mg/l, T-N 735 mg/l가 함유된 폐수를 처리한 결과, 처리수의 Organic-N 60%, NH₃-N 94%, T-N이 50% 감소된 반면, NO₂-N과 NO₃-N은 7.8%와 14.9%로 증가하였다.

3. 폐수의 감압 암모니아 탈기반응에서 강한 알칼리성과 열 분해에 의하여 COD_{Cr}가 42% 감소되었고, SO₄²⁻이 8.2% 감소되었다.

4. 토양흡착에 의한 탈기되는 NH₃의 회수율은 습한 토양일 때 76%이었다.

감사의 글

이 논문은 1999년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 농림수산부 : 비료연감, 1994.
- 2) 박종안, 허준무, 손부순 : 회전원판공정과 화학침전공정 조합을 이용한 유기물과 질소, 인의 동시 제거, 한국환경위생학회지, **24**(1), 132-140, 1998.
- 3) 여운호 : 가축분뇨 유기물부하별 연속회분식반응조 효율에 관한 연구, 한국환경위생학회지, **21**(4), 32-36, 1995.
- 4) 박태진 외 : A²O 공정에서의 섬모상단체 사용 유무에 따른 하수의 질소, 인 제거에 관한 연구, 한국환경위생학회지, **26**(3), 69-75, 2000.
- 5) 김연규, 양익배, 김인배 : CNR 공법의 체류시간에 따른 도시하수의 질소 제거, 한국환경위생학회지, **26**(3), 98-102, 2000.
- 6) 김상식, 이건모, 이태진 : “공기탈기법에 의한 석탄가스 폐수 중 고농도 암모니아성 질소 제거”, 대한환경공학회지, **20**(2), 161-170(1997).
- 7) William, J.C.: Diffused-air stripping of ammonia in advanced wastewater treatment, Chemistry in water reuse, 2, Ann Arbor Science, 497-508, 1981.
- 8) 이병진, 조순행 : 암모니아 탈기 공정을 이용한 암모니아성 질소 제거(I), 대한환경공학회지, **22**(10), 1893-1904, 2000.
- 9) 안대회, 장원석, 정운철 : 응집 및 천연 제올라이트 전처리 공정을 이용한 침출수 처리에 관한 연구, 한국폐기물학회지, **14**(4), 380-388, 1997.
- 10) 양병수 : 용수 및 폐수처리, 동화기술, 63-75, 293-300, 461-471, 1995.
- 11) 신성희, 김재건 : 수처리공학, 동화기술, 518-519, 1992.
- 12) Belhatche, D. H.: “Choose appropriate wastewater treatment technologies”, Ind. Chem. Eng., Process Des. Develop., **34**, 32-51, 1995.
- 13) 홍정선 등 : 폐·하수처리 실용화기술개발에 관한 연구 (II) : 탈질, 탈인 기술을 중심으로, 국립환경연구원보, 15, 1993.
- 14) Snoeyink, V. L. and Jenkins, D.: “Water chemistry”, John Wiley & Sons Inc., New York, 264-282, 1980.
- 15) 노승백 : 오염된 지하수에서 휘발성 유기물질 제거를 위한 Air Stripping Tower의 설계기술, 대한환경공학회지, **18**(4), 56-63, 1987.
- 16) Thomas P. O'Farrell, et.: Nitrogen removal by ammo-

- nia stripping, August, **44**(8), 1527-1535, 1972.
- 17) 임연택 등 : 오·폐수처리 신평법연구(IV), 지역특성에 적합한 오염물질 정화기술 개발, 국립환경연구원, **16**, 1-3, 1994.
 - 18) 조영일 外 : 환경공학, 신평출판사, 61-64, 279-281, 1994.
 - 19) 정문식 外 : 환경화학, 신평문화사, 223, 1993.
 - 20) 윤영주 : Air Stripping에 의한 축산폐수중의 Ammonia 제거특성에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 1995.
 - 21) USEPA: Manual Nitrogen Control, EPA/625/r-93/010, September, 1993.
 - 22) Patricia A. Westphal, G. Lee Christensen, Lime stabilization : Effectiveness of Two Process Modifications, WPCF **55**(11), 1983.
 - 23) 환경부 : 환경오염공정시험법해설, 신평출판사, 1996.
 - 24) APHA AWWA: Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed., Washington, 1995.
 - 25) 전학제 외 : 이화학대사전, 신일출판사, 715, 1980.