creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000235915

2008년 2월
碩士學位論文

Stripping을 利用한 高濃度 암모니아 含有 廢水處理

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

尹 義 錫

Stripping을 利用한
高濃度 암모니아 含有 廢水處理

A Study on Treatment of Concentration
Ammonia Wastewater by Stripping

2008년 2월 25일

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

尹 義 錫

Stripping을 利用한
高濃度 암모니아 含有 廢水處理

指導敎授 申 大 允

이 論文을 工學碩士學位申請 論文으로 提出함

2007년 10월

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

尹 義 錫

尹義錫의 碩士學位論文을 認准함

委員長　朝鮮大學校 敎授　崔 炯 一 (印)

委員　朝鮮大學校 敎授　鄭 京 勳 (印)

委員　朝鮮大學校 敎授　申 大 允 (印)

2007년 11월

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Tables iii

List of Figures iv

ABSTRACT v

I. 서 론 1

II. 이론적 고찰 4

A. 질소의 발생 및 규제 4

B. 암모니아 함유폐수의 처리방법 6

1. Air Stripping 6
2. 이온교환법(Ion Exchange) 10
3. 파과점 염소처리법(Breakpoint chlorination) 11

III. 실험 장치 및 방법 13

A. 실험방법 13

1. pH 조절 약품선정 13
2. 탈기공정의 운전조건 모색 13
3. 회수공정의 운전조건 13

B. 실험장치 14

C. 분석항목 및 분석방법 15

IV. 결과 및 고찰 ····· 16
A. 폐수의 특성 ····· 16
B. pH 조절 ····· 16
C. 암모니아 탈기 ····· 17
1. pH 변화에 따른 암모니아 탈기 ····· 17
2. 반응온도의 영향 및 공기 주입량 변화에 따른 암모니아 탈기 ····· 20
D. 암모니아 회수 ····· 24

V. 결론 ····· 25

REFERENCES ····· 26

List of Tables

Table 1. Water quality reservation about total nitrogen & phosphate in a fresh-water(Domestic) ····· 4

Table 2. Water quality reservation of in a effluent wastewater ····· 5

Table 3. Water quality reservation about total nitrogen & phosphate in a fresh-water ····· 5

Table 4. Analytical methods and instruments ····· 15

Table 5. Characteristics of wastewater ····· 16

Table 6. Residual concentration of NH_3-N at various pH ····· 18

Table 7. Residual concentration of NH_3-N at air flow rate ····· 21

Table 8. Residual concentration of NH_3-N at air flow rate ····· 22

Table 9. Residual concentration of NH_3-N at air flow rate ····· 23

Table 10. Schematic diagram of ammonia recovery ····· 24

List of Figures

Fig. 1. NH_3 and NH_4^+ ion changes with pH and temperature ····· 7

Fig. 2. Schematic drawing of an ammonia stripping tower ····· 9

Fig. 3. Schematic diagram of ammonia stripping system ····· 14

Fig. 4. Residual concentration of NH_3-N at various pH ····· 17

Fig. 5. Residual concentration of NH_3-N at various pH ····· 19

Fig. 6. Residual concentration of NH_3-N at various air flow rate ····· 21

Fig. 7. Residual concentration of NH_3-N at various air flow rate ····· 22

Fig. 8. Residual concentration of NH_3-N at various air flow rate ····· 23

ABSTRACT

A Study on the Stripping of Ammonia Contained Wastewater under Decompression

by Yui-Seok Yewn
Advisor : Prof. Dae-Yewn Shin Ph.D
Department of Environmental Bio-Engineering
Graduate School, Chosun University

The objectives of this study were to examine the applicability of ammonia stripping process for the removal of highly concentrated ammonia nitrogen in the plating wastewater and to recover removed ammonia nitrogen.

In this study, the feasibility of a packed tower ammonia stripping for ammonia nitrogen removal and recovery from ammonia in plating wastewater.

The effects of operating variables such as hydraulic loading, pH, air flow and operation temperature were investigated. The optimum hydraulic loading of stripping and scrubbing unit were 5m/hr. Also, ammonia stripping and scrubbing were efficient at pH 10.5 and 3.5 respectively. At the pH of 10.5 and with and air flow rate of 20 L/min, it took approximately 3.8 hr to achieve 90% ammonia removal efficiency in stripping unit. At low temperature(25℃) ammonia removal efficiency was low and was directly dependent upon pH and air flow rate. However, it was possible to achieve high ammonia removal efficiency at elevated temperature(35℃, 5 5℃). At the waste water temperatures of 35℃ and 55℃, with the pH of 10.5 and air flow rate of 20 L/min. it took approximately 6 and 3.8 hr to achieve 90% ammonia removal efficiency, respectively. On the other hand, the recovery of ammonia in scrubbing unit was slightly decreased with the increasing temperature, due to the reduced solubility of gas at high temperature.

I. 서 론

금속표면처리(metal finishing)는 금속이 부식에 의하여 단시간에 소모되는 것을 방지하고, 금속자체의 내마모성과 내열성을 향상시킴과 동시에 금속표면의 색조와 광택을 좋게 할 목적으로 도입되었으며, 크게 도금(plating), 화성처리(chemical coatings), 도장(painting), 라이닝(lining), 표면경화(case hardings)로 분류한다.

도금은 금속이나 비금속 표면에 다른 금속을 사용하여 피막을 만드는 공정이며, 처리방법에 따라 전기도금, 화학도금, 용융도금, 진공도금, 침투도금 등으로 구분하고, 도금성분에 따라 구리도금, 니켈도금, 크롬도금, 아연도금, 카드뮴도금, 납도금, 주석도금, 금도금, 은도금, 로듐도금, 팔라듐도금, 백금도금, 합금도금 등으로 구분된다.[1)]

도금공정은 도금성분에 따라 달라지는 데 니켈 및 크롬도금공정의 경우 산처리-수세-탈지-수세-구리도금-수세-니켈도금-수세-크롬도금-수세-건조와 같은 복잡한 과정을 거치며, 전처리, 산처리, 도금, 수세 등의 과정에서 폐수가 발생된다.

도금폐수는 도금종류에 따라 성상이 달라지는 데 맹독성 시안화물을 위시하여 크롬, 구리, 아연, 니켈 등 유해물질이 포함되어 있으며, 산처리액, 폐도금액, 1차 세정폐수 등 고농도 폐수와 2차 세정폐수 등의 저농도 폐수로 분류된다.[2)]

도금폐수는 다른 산업에 비해서 양은 적으나 독성이 강하여 적절하게 처리하여 방류하지 않을 경우 하수관을 침식하거나 하수종말처리장의 생물학적처리를 방해하고 농수산업, 기타 공중위생에 미치는 영향이 크다.[2)]

도금폐수처리에는 폐수의 성상에 따라 달라지지만 일반적으로 시안폐수는 산화처리, 크롬산폐수는 환원처리, 산·알칼리폐수는 중화처리, 중금속폐수는 침전처리 등의 방법이 사용된다.[1,2)]

도금공정에서 암모니아 함유폐수는 암모늄염을 사용하는 전처리, 탈지, 알칼리처리, pH 조절, 도금 등의 과정에서 발생되며 공정에 따라 배출농도가 다르다. 암모니아 함유폐수를 별도로 처리하지 않고 중금속 폐수와 혼합할 경우 착염이 형성되어 중금속처리가 어렵고, 처리수의 T-N농도가 높아진다.

암모니아 함유폐수의 처리방법은 크게 물리·화학적 방법과 생물학적 방법으로 나눌 수 있는 데, 고농도의 암모니아성 폐수를 생물학적으로 처리할 경우 유리 암모니아에 의한 질산화 저해작용, 질산화 및 탈질균에 독성이 강한 질산이온의 축

적, 탈질과정의 외부 탄소원 과다소요 등이 발생된다.

암모니아 함유폐수의 물리·화학적 방법에는 air stripping, 이온교환법 및 파과점 염소처리법 등이 있다.[1,2,3,4,5,)] Air stripping은 접촉탑의 scale 생성과 겨울철 동결 등의 단점이 있고,[6,7)] 파과점 염소처리법의 경우 과량의 염소주입과 THM생성이 생성되는 단점이 있으며, 이온교환법은 처리비용이 과다하여 적용하기 어렵다.[8)] 따라서 처리공정을 선택할 때에는 처리방법별로 단점이 있기 때문에 운전비용, 성능, 운전 및 유지상의 문제점 등을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 도금공정에서 발생하는 고농도 암모니아 함유폐수를 처리하기 위하여 air stripping법을 적용하였으며, 적절한 운전조건을 모색하고자 탈기장치의 적절한 pH, 반응온도 및 반응시간을 조사하였다.

.

II. 이론적 고찰

A. 질소의 발생 및 규제

질소함유폐수는 유기성 질소 함유폐수, 암모니아성 질소 함유폐수, 질산성 질소 함유폐수 및 이들 성분의 혼합폐수로 구분되며, 질소성분만 단독으로 포함되어 있는 경우는 거의 없고 발생원에 따라 여러 성분이 혼입되어 있다.

질소함유폐수의 주요 발생원은 질소비료공장, 분뇨, 축산분뇨, 농업배수 및 산업폐수 등이며 도시하수의 T-N농도는 15~50㎎/L이다. 도시하수의 질소는 암모니아성 질소가 약 60%이고, 나머지는 유기성 질소이다.

질소함유폐수처리의 문제점은 질산화가 진행되는 동안 산소를 소모하고 처리수를 산성화한다는 점이다. 부영양화가 우려되는 지역에서는 T-N을 기준으로 규제하고 있으나, 그 외의 지역에서는 T-N보다도 질산화에 의한 산소소모를 방지하기 위해 암모니아성 질소를 기준으로 규제하고 있다.

질소와 인에 의한 부영양화를 방지하기 위해서 호소수의 수질기준에 총질소와 총인의 농도를 Table 1과 같이 정하여 관리하고 있다.

Table 1. Water quality reservation about total nitrogen & phosphate in a fresh-water(Domestic) (unit : ㎎/L)

등급 / 항목	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
총 질 소	<0.2	<0.4	<0.6	<1.0	<1.5
총 인	<0.01	<0.03	<0.05	<0.1	<0.15

하천, 호소 및 해양에서 부영양화를 억제하기 위해서 Table 2에 나타낸 바와 같이 1996년 1월 1일 이후 하수종말처리시설 및 폐수종말처리시설의 방류수 수질기준에 질소와 인의 농도를 T-N 60㎎/L, T-P 8㎎/L로 규제하기 시작하였으나, 도시하수의 경우 규제기준보다 낮아 실효를 거두지 못하였다.

따라서 2000년 8월 5일 이후 특별대책지역 및 잠실수중보권역에 대해 처리시

설의 방류수 수질기준이 T-N 20㎎/L, T-P 2㎎/L로 강화되었다.

Table 2. Water quality reservation of in a effluent wastewater(unit : ㎎/L)

구 분		'95. 12. 31까지			'96. 1. 1 이후					'2000. 8. 5 이후				
		BOD	COD	SS	BOD	COD	SS	T-N	T-P	BOD	COD	SS	T-N	T-P
하수종말처리시설	기타지역	30	-	70	20	-	20	60	8	20	40	20	60	8
	특별대책지역 및 잠실수중보권역	-	-	-	-	-	-	-	-	10	40	10	20	2
폐수종말처리시설		30	50	70	30	40	30	60	8	30	40	30	60	8

Table 3은 외국의 하수처리장 방류수 수질기준을 나타낸 것으로 규제가 필요한 지역에서는 우리나라보다 훨씬 강한 기준을 적용하고 있는 것을 알 수 있다.

Table 3. Water quality reservation about total nitrogen &phosphate in a fresh-water (unit : ㎎/L)

지역	T-N	T-P
남아프리카	10	1.0
호주	5-10	1.0
스위스	-	1.0
스웨덴	-	1.0
미국 오대호지역 플로리다 프토맥강 하류 Susqueehana강 하류	3.2-19.3* 3 - - -	1.0 1.0 0.2-1.0 2.0 0.23
일본 카스미가우라(호북) 카스미가우라(수향) 비파호 하마마쯔	 12 15 10 5	 0.3 0.4 0.5 1.0

일반적으로 하수종말처리장 방류수에 대한 질소·인의 규제는 일률적으로 정하지 않고 방류수역의 특성에 따라 총량 개념을 기준으로 설정하고 있는 것을 알 수 있으며, 이를 위해서 사전에 많은 조사를 수행한다.

B. 암모니아 함유폐수의 처리방법

1. Air Stripping

탈기(stripping)는 액체에 용해된 가스가 물리·화학적 조건이 변함에 따라 대기중으로 방출되는 현상을 말한다. 기체이전을 용이하게 하기 위해 공기를 공급할 경우 air stripping이라 하고, 감압을 시킬 경우 감압 stripping이라고 한다.

암모니아 탈기공정은 공기와 폐수의 접촉방식에 따라 lagoon, diffused aeration, packed tower system 등으로 구분된다.[9,10] Lagoon의 경우 운전비용은 작지만 긴 체류시간이 요구됨에 따라 넓은 부지가 요구되고 또한 동절기 경우 결빙으로 운전이 불가능하여 주로 diffused aeration과 packed tower방식이 적용되어 왔다.

Fletcher[9]와 Avezzu 등[11] 은 암모니아 탈기공정을 packed tower방식으로 운전할 경우 diffused aeration방식에 비하여 운전성능이 우수하고 약품비, 전력비 등 운전비용이 절감되었다고 보고하였다.

Ligo 등[12]은 diffused aeration 방식으로 운전할 경우 폐수의 pH가 높아야 하고 주입 공기량이 많으면 반응조 내에 거품이 많이 발생하여 운전에 영향을 미친다고 보고하였다.

Packed tower 탈기공정의 경우 장기간 운전 시 탈기탑 내부에 $CaCO_3$ scale이 형성된다고 지적되어 왔다.[10,12,13,14] 따라서 이를 해결하기 위하여 다양한 플라스틱 충전제가 개발되었고, 유입 공기에 포함된 CO_2에 의한 scale 형성을 최소화하기 위하여 off-gas 흡수탑에서 배출되는 공기를 재순환하는 공정이 개발되었다[10,15]

Air stripping은 NH_3-N농도가 1,000㎎/ℓ이상인 폐수에 NaOH, 석회 등 알칼리를 투여하여 pH를 10이상으로 유지하면서 뜨거운 공기를 불어 넣어 폐수중의 암모니아를 유리시키고, 충전탑에서 순환 또는 holding pond의 교반에 의해 공기나 증기의 비표면과 접촉시켜 암모니아를 기체상태로 휘산, 제거하는 방법이다.[16,17,18]

고농도 암모니아폐수를 저농도로 처리하는 데 많이 이용되고 제거율이 높으며 부지를 적게 차지하고 운전비용이 적게 드는 장점이 있는 반면, pH를 높게 유지하고 높은 온도를 유지하기 때문에 약품비와 에너지 비용이 많이 들고, pH조절제로서 석회를 사용하면 인(P)도 함께 제거되나 충전탑 내에 scaling이 형성되고 시설주변에 암모니아에 의한 대기오염을 유발하며 수온이 빙점이하로 저하되면 stripping 탑에서 암모니아 제거가 거의 불가능해질 뿐만 아니라 동파되는 단점이 있다.

a) pH와 온도에 따른 암모니아 평형

수중에 흡수된 암모니아는 pH와 온도에 따라 NH_4^+이온과 유리 NH_3상태로 존재한다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 수온이 0℃일 때 pH 8이하에서는 주로 NH_4^+으로 존재하고, pH 12이상에서는 유리 NH_3로 존재하기 때문에, air stripping 법에서는 유리 NH_3 상태로서 탈기시키기 위해 폐수의 pH와 온도를 높게 유지하면서 공기를 주입한다.

Air stripping법을 이용한 경우 충전탑의 접촉온도 20～50℃에서는 암모니아 제거율이 약 90%이고, 접촉온도가 10℃로 저하되면 제거율이 75%로 감소된다.[19]

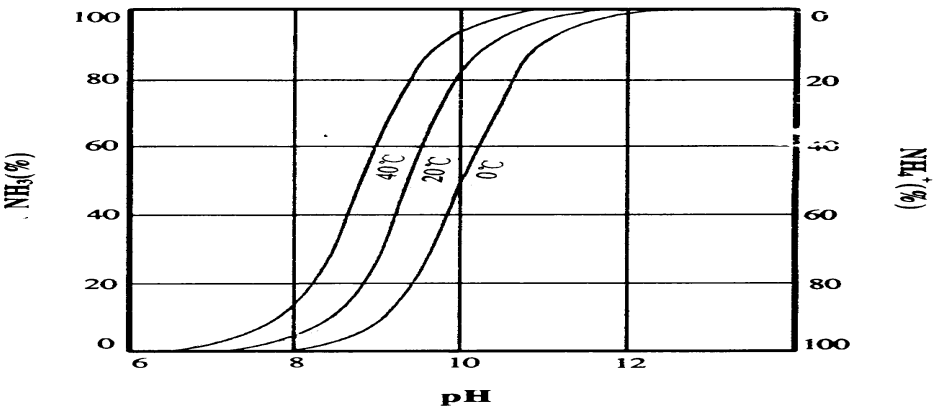


Fig. 1. NH_3 and NH_4^+ion changes with pH and temperature.

수중의 암모니아성질소는 Fig. 1과 같이 pH와 온도 영향에 따라 암모늄이온(NH_4^+)과 용존 암모니아 기체분자(dissolved ammonia gas, NH_3) 두 형태로 존재하며, 용존 암모니아 기체분자 분율은 온도, pH 그리고 NH_4^+ 농도의 함수로 Anthonisen[20]등이 제안한 식(1), (2)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$NH_3,\ \text{mg/L} = \frac{[NH_3 + NH_4^+]}{\left(1 + \frac{[H^+]}{K_a}\right)} \qquad (1)$$

여기서, NH_3 : 용액중의 용존 암모니아 농도(mg/L)

$NH_3 + NH_4^+$: 용액내 암모늄이온과 암모니아 농도의 합(mg/L)

H^+ : 수소이온농도(mole/L)

K_a : 암모니아 산해리상수(mole/L)

두 상수값 K_b, K_w는 온도함수로써 식 (2)와 같다.

$$\frac{1}{K_a} = \frac{K_b}{K_w} = e^{[6344/(273+T)]} \qquad (2)$$

K_b : 암모니아 평형방정식의이온상수(mole/L)

K_w : 물의 이온적(mole/L)

수온이 20℃, 35℃ 및 55℃이고 pH 11.0일 때 수중의 용존 암모니아 기체 분율 각각은 97.86%, 98.79% 및 99.34%로 존재하지만, pH 8에서는 각 온도조건에서 4.38%, 7.56% 및 13.03% 존재하게 된다. 따라서 pH와 온도가 높을수록 암모니아 기체분율은 증가하며, 이때 탈기탑의 효율은 증가한다. 그러나 off-gas 암모니아 회수를 위한 흡수탑에서의 동력학은 탈기탑과 정반대다. 즉, 탈기탑으로부터 배출되는 off-gas 흡수액 pH가 낮더라도 off-gas 온도가 높을 경우 암모니아 용해도 감소로 인한 운전성능은 저하한다.

pH조절제로서 석회를 사용할 경우에는 인의 침전제거 효과도 동시에 나타나기 때문에 가장 경제적인 질소제거 방법이라고 볼 수 있으며, 일반적으로 처리효율이 높고 암모니아를 회수하여 재이용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 유기질소, 아

질산성 질소, 질산성 질소는 거의 제거되지 않고 암모니아성 질소만 처리가 가능하며 온도에 매우 민감하고, 대기 중에 노출되는 공기 주입법에서는 부식과 동결문제가 유발되며, 탈기탑에서 $Ca(OH)_2$와 이산화탄소가 반응하여 탄산칼슘이 생성되어 스케일을 생성하는 단점이 있다.[18,19)]

b) 공기 요구량과 수리부하

암모니아 탈기에 요구되는 이론적 공기량을 결정하기 위한 탈기탑에 대한 물질수지는 Fig. 2와 같다.[21)] 화학반응이 없는 정상상태에서 암모니아 유입량=유출량, 따라서 물질수지는 식(3), (4)와 같으며,

$$LX_2 + GY_1 = LX1 + GY_2 \quad (3)$$

$$L(X_2-X_1) = G(Y_2-Y_1) \quad (4)$$

여기서 ,

L & G = Wastewater & air mass flow rate,㎏/hr · m^2

X_1,X_2 = Ammonia concentration in the wastewater(as mass ratios), ㎏ NH_3/㎏H_2O

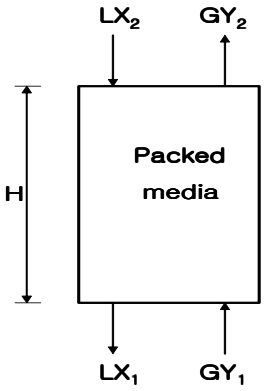
Y_1, Y_2 = Ammonia concentrations in the air(as mass ratios), ㎏ NH_3/㎏ air

식(4)에서 유입공기 중 암모니아가 존재하지 않고 (Y1=0), 유출수 암모니아 농도를 무시한다면(X1≒0), 이때 물과 공기의 비는 식(5)와 같이 정의할 수 있다.

Fig. 2. Schematic drawing of an ammonia stripping tower.

$$\frac{L}{G} = \frac{Y_2}{X_2} \quad (5)$$

식(5)에서 이론적인 물과 공기의 비는 일정한 온도와 탑 높이(tower height, H)를 고려한 평형상태곡선의 기울기와 같으며, 이론적 요구 공기량에 대한 기액비(air to water flow rate)는 식(6)에서와 같이 기울기의 역수로 구할 수 있



다.

$$\frac{G}{L} = \frac{1}{slope} = \frac{1}{Y_2/X_2} \qquad (6)$$

일반적으로 탈기를 위한 설계 공기량은 이론치의 1.5~1.75배 정도이며, 과량의 공기 요구량은 운전비용을 상승시킬 뿐만 아니라, 충진탑내 공기 압력손실 증가로 탑상부 넘침현상(flooding)을 발생시킨다. 수리부하는 탈기공정에서 공기량과 함께 기액비(air to water flow rate)를 결정하는 중요한 운전변수인 동시에 운전성능에 상당한 영향을 미친다. 수리부하율($m^3/m^2 \cdot hr$)는 단위 시간동안 충진 media 단면을 통과하는 처리수 유량으로 높을 경우 충진탑 내부에서 수막현상(sheeting)이 발생되며, 너무 낮을 경우 건조현상(drying)에 의한 성능저하 및 scale형성을 가속화시키므로 최적 수리부하 조건이 요구된다.[17)]

2. 이온교환법(Ion Exchange)

이온교환법[1,2,3)]에 의한 암모니아 제거에는 clinoptilolite라고 하는 천연 제올라이트가 많이 이용되며, 이 공정에서 제올라이트가 오염되는 것을 방지하기 위해 폐수를 여과 및 활성탄 흡착 처리한 후 clinoptilolite가 충전된 고정상 칼럼을 통과시킴으로써 이온교환이 이루어진다.

Clinoptilolite의 재생은 NaCl 2% 용액을 주입하고 전기분해함으로써 이루어지는데, 전기분해하기 전에 Na_2CO_3와 NaOH를 넣어 가능한 많은 양의 $CaCO_3$와

$Mg(OH)_2$를 침전시킨다.

이온교환공정의 화학반응은 다음 평형식으로 나타낼 수 있다.

치환반응	RH	+	Na^+	⇔	RNa	+	H^+		(1)
	RNa_2	+	Ca_2^+	⇔	RCa	+	$2Na^+$		(2)
재생반응	RNa	+	HCl	⇔	RH	+	NaCl		(3)
	RCa	+	2NaCl	⇔	RNa_2	+	$CaCl_2$		(4)

이온포집력의 순서는 다음과 같다.

$$K^+ > NH_4^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Fe^{2+} > Mg^{2+} \quad (5)$$

도시하수중의 칼륨이온 농도는 암모늄이온 농도에 비해 매우 낮기 때문에 칼륨이온은 암모늄 이온 제거에 방해되지 않으며, 암모늄이온은 clinoptilolite 칼럼에서 이온교환이 잘 이루어진다.

이온교환법은 암모니아와 질산성 질소의 전처리 조작에 의하여 높은 처리 효율을 얻을 수 있는 장점이 있으나, 도시하수 처리법으로서는 비경제적이며, 폐수를 고온으로 유지하기 위한 가열 system과 재생수를 처리하여야 되는 단점이 있다.

3. 파과점 염소처리법(Breakpoint chlorination)

염소는 가수분해 반응하여 차아염소산과 염산을 생성한다. 특히 pH 5~7인 묽은 용액상태에서는 가수분해반응은 활발하게 진행되며, 생성된 HOCl은 극소량이 pH 9~10에서 다시 분해되고 염소용액은 극히 소량 존재한다.[17,18]

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + H^+ + Cl^-$$

$$HOCl \underset{pH < 7}{\overset{pH > 9}{\rightleftharpoons}} H^+ + OCl^- \quad (6)$$

만일 물속에 NH_3가 존재한다면 이와 같은 HOCl과 반응하여 NH_2Cl, $NHCl_2$, NCl_3등의 chloramine이 생성된다. 이들 반응은 pH, 온도, 반응시간, 반응초기의 염소와 암모니아의 비율에 영향을 받는다. pH 4.5~8.5의 범위에서는 NH_2Cl, $NHCl_2$가 생성되며 pH 8.5 이상에서는 NH_2Cl 그리고 pH 4~5 이하에서는 NCl_3가 주류를 이룬다. 만약 투여하는 염소량이 파과점보다 많고 pH가 7~8이면 중간생성물인 NH_2Cl은 질소가스로 산화되어 없어지게 된다.

암모니아가 산화되는 단계적인 반응은 다음과 같다.

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HOCl \quad (7)$$

$$NH_4^+ + HOCl \rightarrow NH_2Cl + H_2O + H^+ \quad (8)$$

$$2NH_2Cl + HOCl \rightarrow N_2\uparrow + 3HCl + H_2O \quad (9)$$

이들 화학반응의 총괄반응식은 다음과 같다.

$$2NH_4^+ + 3Cl_2 \rightarrow N_2\uparrow + 6HCl + 2H^+ \quad (10)$$

위의 식으로부터 2mole의 암모니아를 제거하기 위해서는 3mole의 염소가 필요함을 알 수 있다. 즉, 암모니아성 질소 1mg에 대해 7.6mg의 염소가 필요하게 되지만, 실제로는 암모니아 이외의 피산화물 또는 trichloramin이나 질산성질소를 생성하기 때문에 암모니아성 질소 1㎎을 제거하는 데는 약 10㎎의 염소가 필요하며, 반응중에 생성된 산성화합물을 중화하기 위하여 NaOH, 석회등의 투여가 필요하다.

이 공정은 높은 처리효율을 얻을 수 있고, 물리화학적 고도처리와 병행할 수 있는 장점이 있지만, 원폐수의 암모니아 농도에 따라 처리비용이 결정되고, 슬러지량이 증가하며, 총 용해성 고형물질과도 반응하게 되므로 운전비용이 많이 든다.

III. 실험 장치 및 분석방법

A. 실험장치

Fig. 3은 암모니아 탈기장치의 개략도를 나타낸 것으로 countercurrent packed tower시스템으로 구성되었다. 장치의 높이는 110㎝, 내경 8.5㎝이고 media 충진 깊이를 80㎝로 하였다. 충진탑 내 scaling 문제를 해결하고 공기와 액체의 접촉면적을 극대화하기 위하여 polypropylene(P.P.) 재질의 충진제를 이용하였으며, media 공극율 및 표면적은 85%, 165m^2/m^3이었다. 탈기를 위한 공기공급은 100 L/min 용량의 blower를 이용하였다. 폐수 및 흡수액 pH 조절은 20% NaOH와 20% H_2SO_4 수용액을 이용하였다.

모든 실험은 암모니아성질소 제거목표 수준(90%) 이상 도달할 때까지 폐수를 연속적으로 내부회송 하면서 수행하였다.

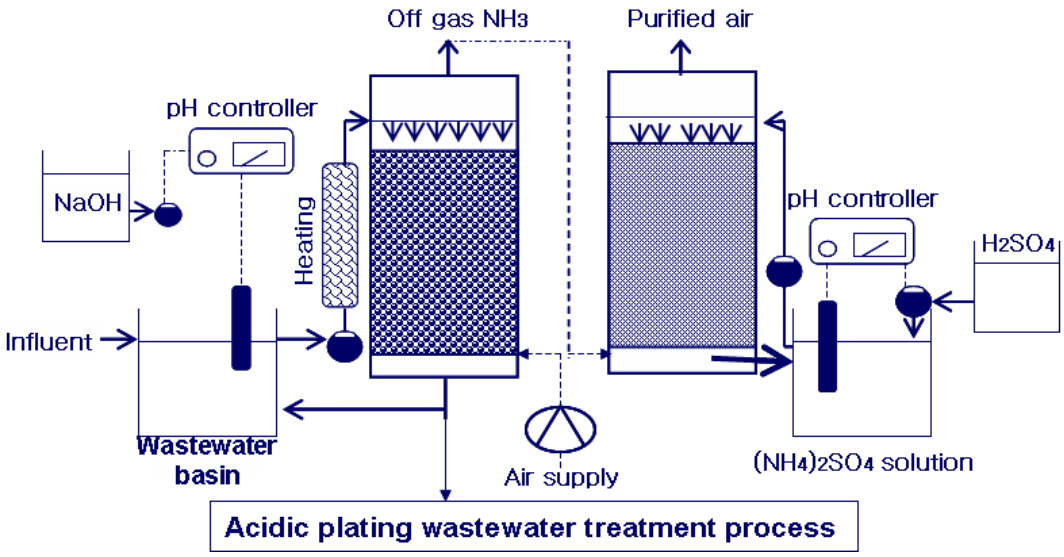


Fig. 3. Schematic diagram of ammonia stripping system.

B. 분석항목 및 분석방법

처리수의 수질 분석항목은 수온, pH, NH_3-N, T-N, COD_{Cr}, 및 SS 이고, Table 4에 항목별 분석방법과 분석기기를 나타내었다.

분석은 우리나라 환경오염공정시험법[22)]과 미국 EPA의 Standard Method[23)]에 준하여 실험하였다. 수온은 봉상온도계, pH는 pH meter, COD_{Cr}는 $K_2Cr_2O_7$에 의한 측정법, SS는 중량법, T-N과 NH_3-N은 흡광광도법으로 측정하였다.

Table 4. Analytical methods and instruments

Item	Analytical method	Instruments
Water temp.	Thermometer	Mercury thermometer(KSB 5316)
pH	Electrode method Direct measurement	pH meter(TOA, HM-14P)
COD_{Cr}	$K_2Cr_2O_7$ Open reflux	CODcr measurement apparatus
SS	Filtering method	Glass fiber filter
NH_3-N	UV spectrophotometry	UV spectro. (shimadzu, UV 160A)
T-N	UV spectrophotometry	UV spectro. (shimadzu, UV 160A)

C. 실험방법

시료는 J 도금공장에서 발생하는 암모니아함유 폐수를 사용하여, pH 조절공정, 암모니아 탈기공정 및 암모니아 회수공정으로 구분하여 수행하였으며 암모니아 탈기공정의 적정운전조건 모색에 목표를 두었으며, 회수공정의 적정운전조건은 제시하지 못하였다.

1. pH조절 약품

pH조절을 위해 NaOH를 사용하여 폐수의 pH를 암모니아 탈기공정의 적정 반응 pH로 상승시켰으며, 적정반응에 소요되는 약품량을 산정하였다.

2. 탈기공정의 운전조건

반응 온도와 공기주입량을 변화시켜 탈기공정의 적정 운전조건을 모색하였다.

반응온도는 각각 25, 35 및 55℃로 달리 적용한 후 각 온도에서 공기 주입량을 각각 5, 10 , 15 및 20 L/min로 변화시켜 암모니아 탈기를 수행하였다.

최적 수리부하 조건에서 pH, 공기량 및 온도 변화에 따른 탈기탑 운전성능을 고찰하고, 운전변수 최적화를 위한 실험을 수행하였다.

3. 회수공정의 운전조건

탈기탑에서 배출되는 off-gas 암모니아는 흡수탑의 packed bed를 통과하면서 흡수액에 흡수되어 최종적으로 $(NH_4)_2SO_4$용액으로 회수한다. 이때 흡수탑의 운전성능은 흡수액 pH, 수리부하 그리고 off-gas 온도와 같은 운전변수에 좌우된다. 실험에 사용된 흡수액은 3.5L이었으며, 흡수탑 운전변수는 흡수액 pH 범위, 수리부하 및 탈기탑으로부터 off-gas 온도가 암모니아 회수에 미치는 영향인자이다. 본 실험에서는 회수공정의 흡수탑의 조건은 문헌조사를 통하여 흡수액 pH범위는 3~3.5범위를 유지하였으며, 수리부하는 5m/hr로 조절하여 실험하였다. off-gas 온도는 별도의 냉각장치 없이 이동시간 동안의 공기 냉각에 의존하여 실험하였다.

IV. 결과 및 고찰

A. 폐수의 특성

실험에 사용한 시료는 J도금공장에서 발생한 폐수로서 시료의 성상은 Table 5에서와 같이 pH가 8.2～8.9로서 알칼리성폐수이고, NH_3-N 400mg/ℓ, T-N이 585mg/ℓ, COD 769mg/ℓ 및 SS 231mg/ℓ이었으며, 조업상태에 따라 폐수의 농도와 pH가 차이를 나타내었다.

Table 5. Characteristics of wastewater (unit : mg/ℓ)

Item	Range	Average
Temperature(℃)	10 ～ 30	20
pH	8.2 ～ 8.9	8.4
NH_3-N	368.65 ～ 435.08	401
T-N	520.25 ～ 681.44	600
COD_{Cr}	706.18 ～ 747.02	726
SS	120 ～ 184	150

B. pH 조절

탈기공정에서는 pH 조절이 필수적이므로 일반적으로 사용되는 pH 조절제인 NaOH를 10%용액으로 제조하여 pH조절을 하였다. Fig. 4에 암모니아 탈기공정에 적용할 pH 까지 폐수의 pH를 상승시키는 데에 소요되는 투입량을 산정하기 위하여 약품 주입량에 따른 pH 변화를 나타내었다. 약품 주입량이 증가함에 따라 폐수의 pH는 10.5~12.1 구간에서는 급격히 증가하는 것으로 조사되었고, pH 8.5~10.5 구간에서는 매우 서서히 증가하는 것으로 조사되었다. pH 8.5~10.5 구간에서 약품 주입량에 따라 pH가 서서히 증가하는 이유는 폐수 내에 존재하는 NH_4^+이 NH_3

gas 상태로 전환되면서 약품 주입량에 따른 pH 상승에 대하여 완충작용[24]을 하기 때문인 것으로 판단된다. 폐수의 pH를 9.5, 10.5, 11.5로 상승시키기 위하여 소용되는 약품의 양은 각각 5, 10, 12mL이었다.

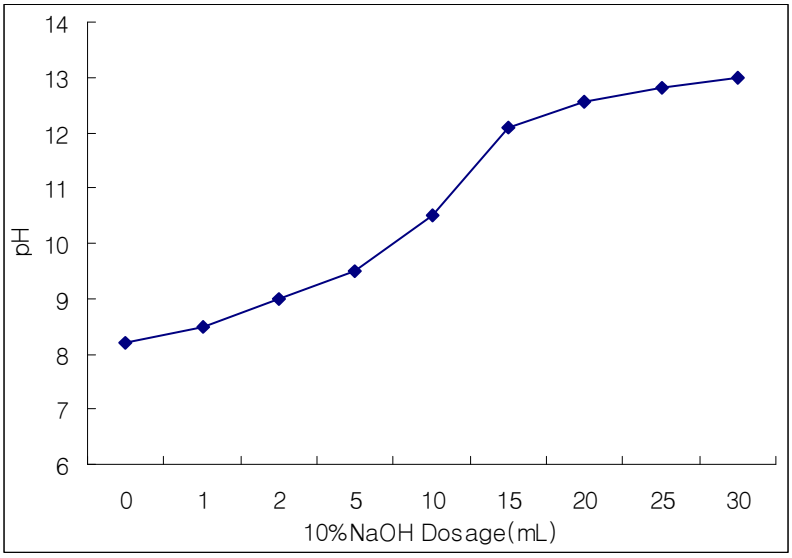


Fig. 4. Variation of pH by adding 10% NaOH.

C. 암모니아 탈기

처리수의 배출기준은 60mg T-N/L 이하로 되어있어, nitrogen계 폐수의 T-N을 암모니아 탈기공정을 이용하여 30~40mg/L이하로 처리한 후 기존의 폐수처리장으로 유입시킬 경우 10~20mg/L T-N을 함유한 Acid계 폐수와 혼합되어 전체 폐수의 T-N이 60mg/L 이하로 유지되므로 후처리공정으로 생물학적 질산화 공정과 탈질공정을 적용하지 않아도 배출허용 기준을 만족시킬 수 있다. 따라서 암모니아 탈기 실험에서는 폐수 내 암모니아성 질소의 처리목표 농도를 30~40mg/L로 정하였다.

1. pH 변화에 따른 암모니아 탈기

Table 6과 Fig. 5는 암모니아 탈기공정의 적정 반응 pH를 도출하기 위하여 반응온도 22℃, 공기 주입량 15L/min에서 반응 pH를 9.5, 10.5 및 11.5에서 반응시간에 따른 암모니아성 질소 농도변화를 나타낸 것이다. 암모니아성 질소의 잔류량은 반

응시간이 경과함에 따라 감소하였으며, pH가 높을수록 암모니아성질소 제거율은 증가하고 있음을 볼 수 있다. 이는 암모니아 탈기가 폐수 내 존재하는 암모니아성 질소 중 NH_3 형태의 free ammonia를 제거하는 것으로 pH 9.5, 10.5 그리고 11.5에서 전체 암모니아성 질소 중 NH_3 형태로 존재하는 비율이 각각 64.9, 94.9 그리고 99.5%를 차지하기 때문이다.[24)]

운전 10시간 동안 pH 9.5, 10.5, 11.5 조건에서 암모니아 탈기효율은 각각 67.2%, 82.8%, 86.2%로 pH 9.5보다 pH 10.5일 때 제거능이 15.6% 향상되었고, pH 11.5 일 때 pH 10.5보다 3.4% 높은 제거율을 나타냈다. pH를 10.5로 유지하였을 경우의 암모니아 탈기가 pH 9.5를 유지하였을 경우보다 빠르게 진행되었고, pH를 11.5로 유지하였을 경우는 큰 차이가 없는 것으로 조사되어 암모니아 탈기공정의 적정 반응 pH는 10.5로 유지하여 실험하였다.

일반적으로, 폐수온도 20℃에서 암모니아 탈기공정의 효과적인 운전을 위한 폐수 pH 범위는 10.5~11.5 정도로 제시되고[24)] 있으며, pH 10.5 이하 경우 수중에 존재하는 암모니아 기체분자 분율은 pH 영향뿐만 아니라 수온조건에 따라 상당한 차이를 나타낸다. 따라서 계절적 영향, 즉 동절기와 하절기의 폐수 및 공기 온도 변화에 따른 수중의 암모니아 상전환 분율을 고려하여야 할 것이다.

Table 6. Residual concentration of NH_3-N at various pH (unit : ㎎/ℓ, %)

time(hr)	pH 9.5	pH 10.5	pH 11.5
0	348	348	348
1	300(13.8)	276(20.7)	258(25.9)
2	264(24.1)	234(32.8)	216(37.9)
3	222(36.2)	192(44.8)	168(51.7)
4	210(39.7)	162(53.4)	144(58.6)
5	186(46.6)	138(60.3)	120(65.5)
6	162(53.4)	114(67.2)	96(72.4)
7	150(56.9)	96(72.4)	72(79.3)
8	138(60.3)	78(77.6)	60(82.8)
9	120(65.5)	66(81.0)	54(84.5)
10	114(67.2)	60(82.8)	48(86.2)

※ ( ) : NH_3-N removal rate %

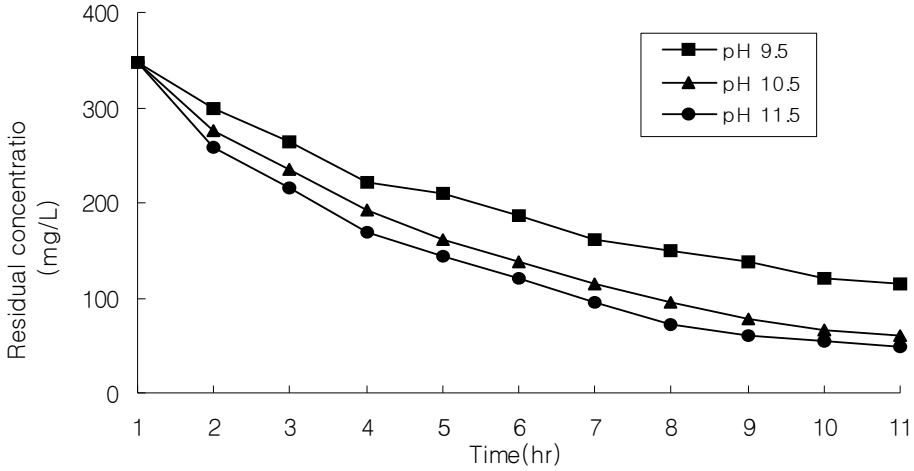


Fig. 5. Residual concentration of NH_3-N at various pH.
<Condition> Air flow rate: 15L/min , Temp : 22℃

2. 반응온도의 영향 및 공기 주입량 변화에 따른 암모니아 탈기

반응 온도 및 공기 주입량 변화에 따른 암모니아 탈기 효율을 조사하였다. Table 7~9과 Fig. 6~8은 반응 pH 10.5일 때 반응 온도 25℃, 35℃및 55℃에서 공기 주입량을 5, 10, 15, 20 L/min로 변화시켜 반응 시간 경과에 따른 암모니아성 질소의 농도변화와 제거율을 나타내었다.

암모니아성 질소의 제거는 반응 온도가 높을수록, 공기 주입량이 클수록 제거 속도가 빠르게 진행되었으며, 암모니아성 질소의 농도를 40mg/L 이하로 낮추는 데는 소요된 시간은 25℃에서는 10시간 경과 후에도 처리 목표농도 40mg/L를 만족시킬 수 없는 것으로 나타났다. 35℃에서, 공기 주입량을 15, 20 L/min 일 때 각각 9, 5시간이었고, 55℃에서 공기 주입량을 10, 15, 20 L/min일 때 각각 8, 4.6, 3.6, 시간으로 조사되었다. 그러나 35℃, 554℃에서 공기 주입량을 5L/min로 하였을 경우에는 반응 개시 후 10시간 경과 후에도 처리 목표농도 40mg/L를 만족시킬 수 없는 것으로 나타났다. 제거속도가 이등[25, 26]의 결과보다 낮게 나타났으며, 이는 유입폐수의 암모니아성 질소의 농도가 낮아 농도구배에 따른 탈기에 의한 확산이 느리기 때문으로 사료된다.

35℃, 55℃ 각 조건에서 pH 10.5, 공기량 15 L/min 일 때 90% 암모니아성질소 제거율 각각은 운전 9.8, 5시간이내 도달하였고, 공기량 20 L/min 일 때 90% 암모니아성질소 제거율 각각은 운전 6, 3.8시간이내 도달하였다. 이러한 실험결과에 의하면 낮은 온도 조건에서 암모니아성질소 제거율은 pH와 공기량의 함수로 두 운전 변수를 높게 유지할수록 증가하였고, 폐수 온도 35℃, 55℃로 증가시켰을 때 pH와 공기량이 낮더라도 온도의 영향으로 인하여 탈기공정의 운전성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

탈기시스템의 적정운전조건은 폐수의 pH 10.5, 온도 55℃ 및 공기량 20L/min으로 선정하고자 한다. 그러나 현장에서 폐수 온도를 증가시킬 경우 사실상 운전비용 상승을 가져오므로, 공기비의 증가와 폐수의 온도 상승간의 경제성을 평가하여 운전조건을 선정해야 할 것으로 판단된다.

Table 7. Residual concentration of NH_3-N at air flowrate (unit : ㎎/ℓ, %)
(pH : 10.5 Temp. : 25℃)

Time(hr)	5L/min	10L/min	15L/min	20L/min
0	386	406	400	401
1	336(8.3)	309(23.9)	284(29.0)	248(38.2)
2	297(18.4)	241(40.6)	210(47.5)	163(59.4)
3	264(26.9)	205(49.5)	158(60.5)	118(70.6)
4	218(38.9)	169(58.4)	130(67.5)	83(79.3)
5	204(42.5)	157(61.3)	105(73.8)	58(85.5)
6	180(48.7)	128(68.5)	87(78.3)	54(86.5)
7	162(53.4)	121(70.2)	75(81.3)	51(87.3)
8	151(56.2)	100(75.4)	69(82.8)	49(87.8)
9	139(59.3)	93(77.1)	63(84.3)	
10	132(61.1)	84(79.3)	54(86.5)	
11	115(65.5)	75(81.5)		

※ ( ) : NH_3-N removal rate %

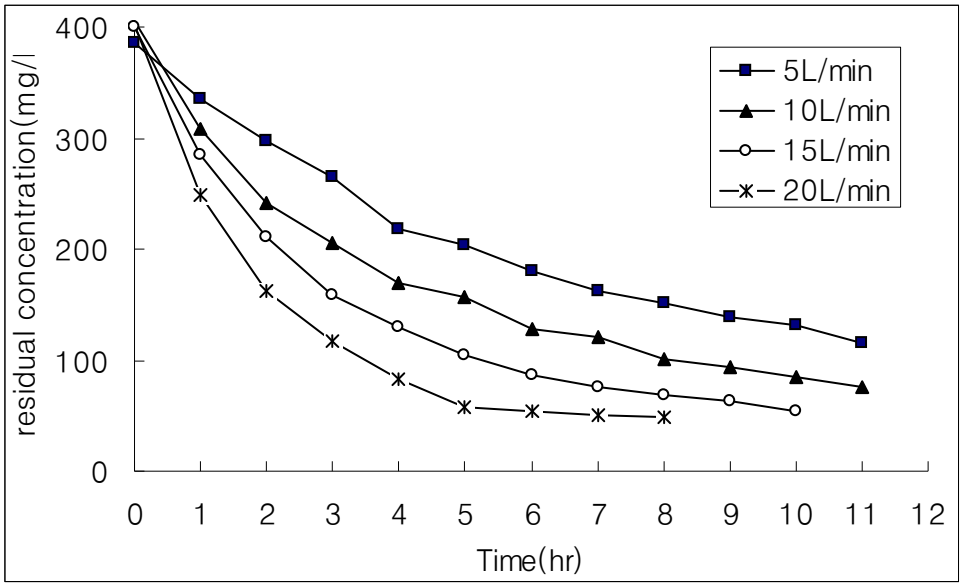


Fig. 6. Residual concentration of NH_3-N at various air flow rate.
(pH : 10.5 , Temp. : 25 ℃)

Table 8. Residual concentration of NH_3-N at air flowrate (unit : ㎎/ℓ, %)
(pH : 10.5 , Temp. : 35 ℃)

Time(hr)	5L/min	10L/min	15L/min	20L/min
0	386	382	378	382
1	306(20.7)	279(27.0)	260(31.2)	228(40.3)
2	267(30.8)	216(43.5)	180(52.4)	144(62.3)
3	234(39.4)	180(52.9)	138(63.5)	100(73.8)
4	198(48.7)	144(62.3)	108(71.4)	62(83.8)
5	174(54.9)	132(65.4)	84(77.8)	40(89.5)
6	150(61.1)	114(70.2)	66(82.5)	36(90.6)
7	127(67.1)	96(74.9)	54(85.7)	32(91.6)
8	120(68.9)	78(79.6)	48(87.3)	30(92.1)
9	108(72.0)	66(82.7)	42(88.9)	
10	106(72.5)	60(84.3)	36(90.5)	
11	96(75.1)	52(86.4)		

※ ( ) : NH_3-N removal rate %

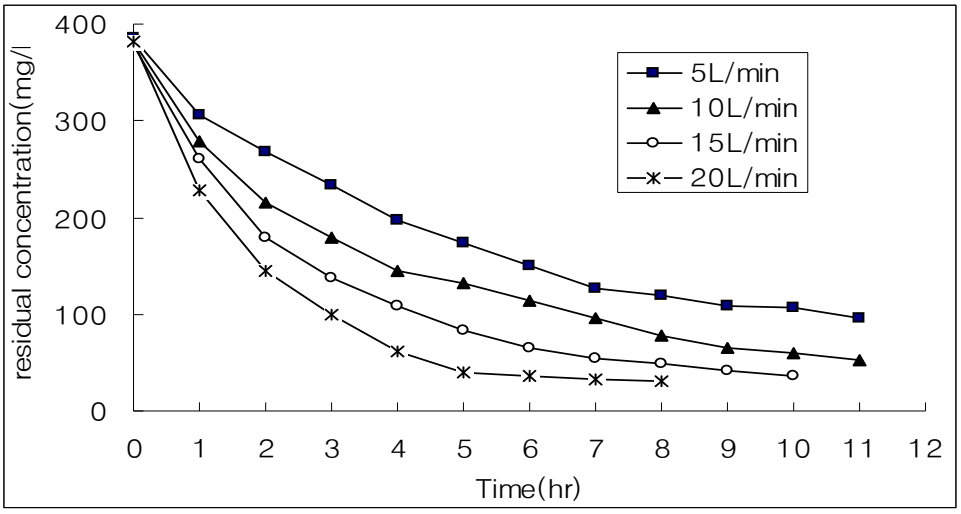


Fig. 7. Residual concentration of NH_3-N at various air flow rate.
(pH : 10.5 , Temp. : 35 ℃)

Table 9. Residual concentration of NH_3-N at air flowrate (unit : ㎎/ℓ, %)
(pH : 10.5 , Temp. : 55 ℃)

Time(hr)	5L/min	10L/min	15L/min	20L/min
0	380	372	385	379
1	300(21.1)	240(35.5)	210(45.5)	168(55.7)
2	220(42.1)	162(56.5)	114(70.4)	90(76.3)
3	192(49.5)	120(67.7)	78(79.7)	60(84.2)
4	162(57.4)	96(74.2)	54(86.0)	33(91.3)
5	138(63.7)	72(80.6)	32(91.7)	28(92.6)
6	114(70.0)	54(85.5)	30(92.2)	
7	102(73.2)	45(87.9)		
8	84(77.9)	41(89.0)		
9	72(81.1)			
10	60(84.2)			
11	52(86.3)			

※ ( ) : NH_3-N removal rate %

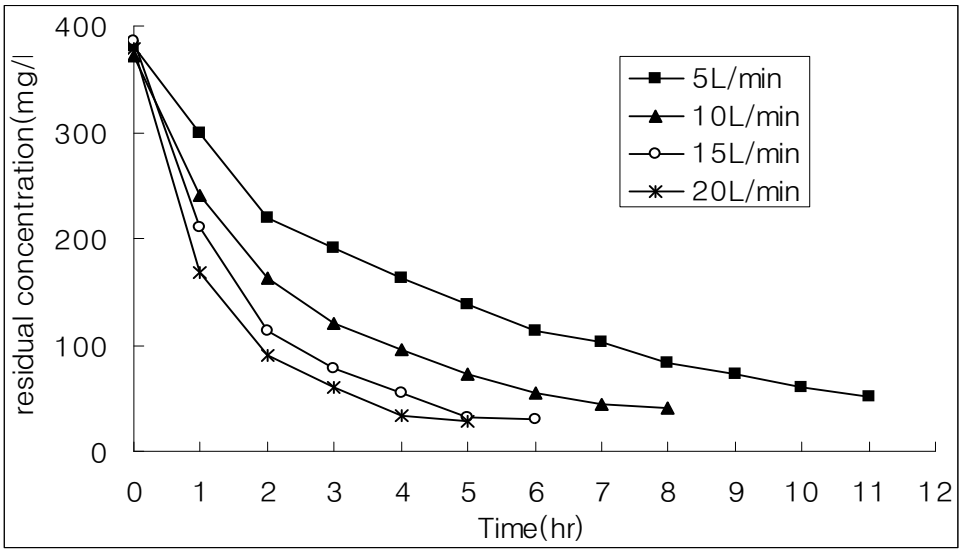


Fig. 8. Residual concentration of NH_3-N at various air flow rate.
(pH : 10.5 , Temp. : 55 ℃)

D. 암모니아 회수

암모니아 탈기공정에서 배출되는 폐가스에 함유된 암모니아성 질소를 회수하기 위하여 암모니아 흡수 실험을 수행하였으며, 그 결과를 Table 10에 나타내었다. 폐수의 초기 pH는 8.3이었고 암모니아성 질소의 농도는 400mg/L이었으며, NaOH 14g/L를 적용하여 pH 조절을 수행한 결과 폐수의 pH는 10.5 부근으로 상승하였다. 반응 pH는 10.5, 공기 주입량은 20L/min, 반응 온도 55℃를 적용하여 암모니아 탈기 4시간 운전 및 흡수를 수행한 결과 반응완료 후 암모니아 탈기 반응기 내부에 시료량은 3.2L이었고, 암모니아 질소 농도는 33mg/L 이었으며, 흡수병 내부의 시료는 0.3L이었고, 암모니아성 질소 농도는 3,620mg/L이었다. 암모니아성 질소가 92.03% 제거 되었고, 84.85%가 회수되었다. 제거율과 회수율의 차이가 5.2%로 나타나 시료의 채취 및 pH 조절시 손실량이 있는 것으로 사료된다.[27)]

Table 10. Schematic diagram of ammonia recovery

Variables	Raw wastewater	Ammonia stripping condition	Stripped water	Absorbent
pH	8.3	10.5	10.2	5.0
NH_3-N(㎎/ℓ)	400	400	33	3,620
Reactor volume(ℓ)	40	3.2	3	0.3
Removal rate & Absorbent rate(%)		-	92.03	84.85

V. 결 론

암모니아를 함유한 도금폐수를 처리하기 위해 암모니아 탈기법을 이용하여 적절한 운전조건을 모색하였으며, 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 폐수의 pH조절제로서 NaOH를 사용함으로써 scaling발생을 방지하고 슬러지 발생량을 감소시켰다. 폐수의 pH를 10.5로 상승시키는 데 소요되는 NaOH의 양은 12g/L이었다.

2. 암모니아 탈기공정의 적정 pH는 10.5이며, 공기 주입량 20 L/min, 반응온도 35℃ 및 55℃를 적용할 경우 처리농도 40mg NH_3-N/L에 도달하는 시간은 각각 6시간 및 3.8시간이었다. 반응온도가 높고, 공기 주입량이 많을수록 암모니아 제거율이 증가하였다.

3. 암모니아 탈기조건을 pH 10.5, 공기 주입량 20L/min, 온도 55℃로 유지하여 4시간동안 운전한 결과 반응 시료량은 3.2L이고, 암모니아 질소농도는 33mg/L이었으며, 흡수병 내부의 시료량은 0.3L, 암모니아성 질소농도는 3,620mg/L이었다. 암모니아성 질소 제거율은 92.03%이었고, 회수율은 84.85%이었다.

REFERENCES

1. 廉熙澤, 呂運寶, “최신금속표면처리”, 동명사, (1983).
2. 임재명, 신항식, 정재춘, 이남훈, 민병헌, 이상호, “산업폐수처리공학”, 신광문화사, pp 482~495, (1996).
3. 양병수, “용수 및 폐수처리”, 동화기술, pp. 63～75, 293～300, 461～471, (1995).
4. 신성의 · 김재건, “수처리공학”, 동화기술, pp. 518～519, (1992).
5. Belhateche, D. H., "Choose appropriate wastewater treatment technologies", Ind. Chem. Eng., Process Des. Develop., pp. 34, 32～51, (1995).
6. 홍정선 등, “폐 · 하수처리 실용화기술개발에 관한 연구(Ⅱ) : 탈질, 탈인 기술을 중심으로”, 국립환경연구원, (1993).
7. Snoeyink, V. L. and Jenkins, D., Water chemistry, John wiley & Sons Inc., New York, pp. 264～282, (1980).
8. 노승백, “오염된 지하수에서 휘발성 유기물질 제거를 위한 Air Stripping Tower의 설계기술, 대한환경공학회지, Vol. 18, No. 4, pp. 56～63, (1987).
9. Thomas P. O’Farrell, Francis P. Frauson, Alan F Cassel, and Dolloff F. Bishop, "Nitrogen removal by ammonia stripping", August, Vol. 44, No. 8, pp. 152 7～1535, (1972).
10. Mossakowska. A.,Reinius, K. R., and Hultman. B., "Nitrification Reactions in Treatment of Supernatant from Dewatering of Digested Sludge." Water Environ. Res., 69(6), 1128~1133(1997)
11. Fletcher, I J., "Ammonia Stripping for Landfill Leachate Treatment-A Review,"Nutrient Removal from Wastewater, Horan, N.J.(Ed.). Technomic Publishing Co. Inc., pp,109~117(1994)
12. Russell,L.C..George, M. W. and Gordon,L.C..Handbook of Advanced Wastewater Treatment,2nd ed.,Van nostrand Reinhold Company, New York, pp. 298~323(1992)

13. Avezzu,F.,Bertanza,G.,and Collivignarelli,C., "Ammonia Stripping from Landfill Leachate; Process Modelling and Comparison between Bubble Reactor and Packed Column," in Proceeding of the Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliari, Italy, pp. 277~284 (1999)
14. Liao. P. H,. Chen. A., and Lo, K, V.,"Removal of Nitrogen from Swine Manure Wastewater by Ammonia Stripping." Bioresource Technology, 54.17~20(1995)
15. Metcalf & Eddy., Wastewater Engineering;Treatment, Disposal and Reuse, 3rd ed.,McGraw-Hill, Inc., New York, pp. 735~741(1991)
16. U. S. EPA, Manual of Nitrogen Control,EPA/625/R-93/010, Washington, D,C., pp.44~49(1993)
17. Saracco, G, and Genon, G.,"High Temperature Ammonia Stripping and Recovery from Process Liquid Wastes,"Journal of Hazardous Material, 37, 191~206(1994)
18. 임연택 등, 오폐수처리 신공법연구(Ⅳ) "지역특성에 적합한 오염물질 정화기술 개발", 국립환경연구원, pp. 1～3, (1994).
19. 조영일 外, 환경공학, 신광출판사, pp. 61～64, 279～281, (1994).
20. 정문식 外, 환경화학, 신광문화사, (1993).
21. 尹永珠, “Air Stripping에 依한 畜産廢水中의 Ammonia除去特性에 關한 硏究”, 석사학위논문, 한양대학교, (1995).
22. Anthonisen, A. C., Loehr, R. C.. Praksam.T.B.S.. and Srinath, E. G.. “Inhibition of Nitrification by Ammonia and Nitrous Acid." J. Water Pollut. Cont. Fed.. 48. 835(1976)
23. Reynolds. Tom D.. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. PWS-KENT Publishing Company, pp. 171~186(1982)
24. 환경부, 환경오염공정시험법해설, 신광출판사, (1996).
25. APHA AWWA, "Standard methods for the Examination of Water and

Wastewater" 19th ed., Washingtion, (1995).

26. 허남효, 박순철, 이진석, 이준표, 강호, “암모니아 탈기공정을 이용한 혐기소화 슬러지 탈수액의 고농도 암모니아성질소 제거 및 회수”, 대한환경공학회지, Vol. 23, No. 4, pp. 601~ 612, (2001).
27. 이병진, 조순행, " 확산포기시스템을 이용한 헥산발효폐수의 질소 제거" 한국폐기물학회지, Vol.19, No.1, pp. 58~69 (2002).
28. 김상식 , 이건모 , 이태진, "공기 탈기법에 의한 석탄가스 폐수중 고농도 암모니아성질소 제거", 대한환경공학회지, Vol. 20, No.2, pp. 161~169, (1998).
29. 이병진, 조순행, " 암모니아 탈기에 의한 Wafer 세정폐수의 질소제거“ 한국폐기물학회지, Vol. 19, No. 1, pp. 76~84 (2002).

저작물 이용 허락서

학 과	환경생명공학과	학 번	20067206	과 정	석 사
성 명	한글 : 윤의석 한문 : 尹義錫 영문 : Yun Eui-Seok				
주 소	광주광역시 북구 삼각동 그린타운 102동 1205호				
연락처	E-MAIL : euiseog@hanmail.net				
논문제목	(한글) Stripping을 이용한 고농도 암모니아함유 폐수처리				
	(영어) A Study on Treatment of Concentration Ammonia wastewater by Stripping				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가
   없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대( )

2008년 2월 일

저작자 : 윤 의 석 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하