

## 축산폐수 전처리를 위한 암모니아 탈기공정의 운전조건이 암모니아 제거에 미치는 영향

황규대<sup>†</sup> · 조영무

경희대학교 환경학과

## Effect of Operating Condition of Stripping Process on Ammonia Removal for Pre-treatment of Swine Wastewater

Gye-Dae Whang<sup>†</sup> · Young-Moo Cho

Department of Environmental Science, Kyunghee University

**Abstract** : Lab-scale experiments have been carried out to investigate ammonia stripping with a modified spray tower for removing ammonia nitrogen from swine wastewater. The operating conditions such as initial pH, temperature, air flow, hole size of distributor determining the diameter of water drops, and influent solids concentration were closely examined focusing on removal efficiency of ammonia.

As a result of the experiment, in order to achieve high rate of ammonia removal by the air stripping system, the air flow rate must be supplied at high rate with sufficiently high initial pH, temperature. The optimum operating condition to meet the residual ammonia concentration of 300 mg/L was the initial pH of 11.0 at 35°C with the air flow rate of 20 L/min. It also showed that the smaller hole size is, the higher removal rate of ammonia is expected. However, when used a small sized distributor (2 mm), the flooding problem at the upper column occurred due to clogging of the hole. With regard to the influent solids concentration, it was showed that the lower concentration of solids, the higher removal rate of ammonia. The removal of particulate materials in influent led to improve the removal efficiency of ammonia, rather than to control the operating condition including initial pH, temperature, and air flow. The empirical correlation between  $K_{La}$  and operating parameters would be driven as,  $K_{La} = (0.0003T - 0.0047) \cdot G^{0.3926} \cdot L^{-0.5169} \cdot C^{-0.1849}$ . The calculated  $K_{La}$  from proposed formula can be used effectively to estimate the optimum reaction time and to calculate the volume of modified spray tower system.

**keywords** : Ammonia stripping, Ammonia nitrogen, Swine wastewater, Spray tower system

### 1. 서 론

고농도의 유기물질 및 질소성분을 함유한 축산폐수는 일반적으로 생물학적 처리공정을 이용하여 처리하고 있다. 그러나, 폐수 내 존재하는 질소성분 특히, 암모니아성 질소는 미생물에 독성을 나타내어(Opatken 등, 1991), 유기물산화 및 질산화반응을 억제시켜 폐수처리효율을 저하시킨다. 또한, 혐기성소화에서도 암모니아 독성으로 인해 유기물 제거 효율 및 가스발생량이 저하된다(Angelidaki 등, 1993; Fujishiam 등, 2000; Hansen 등, 1998). 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 주처리공정 전에 축산폐수 내에 존재하는 암모니아 성분을 제거시키기 위한 물리화학적 처리공정의 도입이 필요할 것으로 사료된다.

고농도의 암모니아를 제거시키기 위한 물리화학적 처리 공정으로는 파과점 염소주입, 이온교환수지, 화학응집(MAP), 공기 탈기법 등을 들 수 있는데, 이들 공정의 경

우, trihalomethane이나 할로겐 화합물과 같은 부산물질이 생성될 뿐만 아니라 적용에 한계가 있으며, 약품이 매우 고가로 적용하기에 부적합하다. 이에 반해 공기 탈기법에 의한 암모니아 제거기술은 소화슬러지 상등액 및 하수슬러지 탈수액처리(Janus 등, 1997; Siegrist, 1996), 침출수처리(Cheung 등, 1997), 산업폐수처리(Kabadahli 등, 2000), 축산폐수처리(Liao 등, 1995; Bonmati 등, 2003) 등 다양한 분야의 폐수처리에 적용되고 있는데, 공정의 장점으로는 off-gas 암모니아로부터 유용한 부산물( $(NH_4)_2SO_4$ )을 얻을 수 있다. William 등(1981)은 암모니아 탈기공정을 반응조 형태에 따라 packing tower system, spray tower system, open pond, diffused aeration system 등으로 구분하였는데, open pond는 유지관리가 간편한 반면, 긴 수리학적 체류시간이 요구됨에 따라 많은 시설부지가 필요하며, 겨울철 동결로 인해 운전이 중단되는 문제점이 있다. Diffused aeration system을 축산폐수 처리에 적용시킬 경우, 높은 pH에 공기주입량이 클 경우 반응조 내에 거품이 과다하게 발생되어 운전이 제한적이다. 또한 packing tower system은 장기간 운전 시 충전된 여재에 scale이 형성되며 또한 축산폐

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
gdwhang@knu.ac.kr

수와 같이 고농도의 입자상물질이 함유된 폐수의 경우 입자가 충전된 여재에 부착되어 clogging 현상이 초래되는 문제점을 지니고 있다. Spray tower system은 충전제가 필요 없어 packing tower system에 비해 시설비가 절감되나 반응조 용량이 커지는 단점을 지니고 있으며, 또한 분사노즐구가 scale 형성과 입자상물질에 의해 clogging 현상을 유발시키므로 이에 대한 대처방안이 필요하다. Spray tower system의 암모니아 탈기효율을 결정짓는 인자로는 pH, 반응온도, 공기주입량, tower 높이 등을 들 수 있는데, 이들 인자들에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔으나, 폐수 내 입자상물질이나 분사구 크기에 따른 영향에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구는 축산폐수를 중온혐기성소화공정으로 처리하기 위하여 전처리로서 spray tower system을 변형한 암모니아 탈기공정을 도입하여 온도, 공기주입량, 물방울 크기를 결정하는 분배판의 분배구 크기 및 고형물 농도가 암모니아 탈기효율에 미치는 영향을 고찰하고 최적 운전조건을 도출하였으며 또한, 실험결과를 토대로 각 운전조건과 총물질전달계수와의 상관관계식을 제시하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에 이용된 양돈폐수는 경기도 용인시에 소재한 슬러리돈사에서 채취하였으며, 시료 채취 시 1mm 스크린으로 조대고형물을 제거시킨 후 4°C 냉장고에 보관하여 실험 시 일정량을 취하여 이용하였다. Table 1은 시료 성상을 나타낸 것이다.

암모니아 탈기 실험을 수행하기 위하여 제작된 spray tower 형태의 탈기 반응조는 집수조와 탈기 칼럼으로 구성되며, 집수조는 유효용량이 13.5L인 사각 플라스틱 반응조로서 내부 상단에 교반기를 설치하여 고형물질의 침강을 방지하였다. 또한, 폐수온도를 일정하게 유지시키기 위하여 집수조 내부에 온도조절 장치를 설치하였다.

탈기 칼럼은 유입된 폐수가 탈기칼럼에서 균등하게 배분될 수 있는 상부칼럼과 폐수와 공기가 접촉하는 하부칼럼

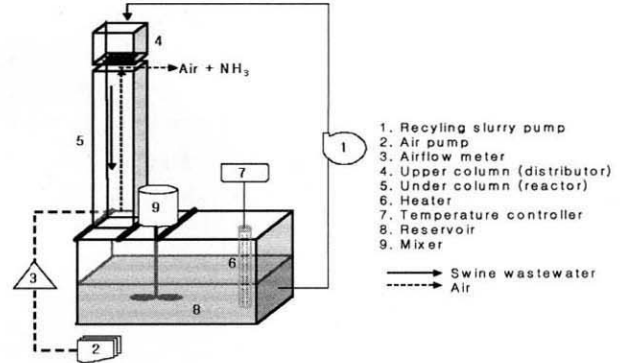


Fig. 1. Schematic diagram of the laboratory setup of the ammonia stripper.

으로 구분되는데, 상부와 하부칼럼의 단면은 가로 100mm, 세로 100mm로 동일하게 제작하였으며 높이는 상부칼럼이 300mm, 하부칼럼이 1000mm로 제작하였다. 폐수가 유입되어 하부칼럼으로 균등하게 폐수를 분배시키기 위하여 상부칼럼 하단에 가로 100mm, 세로 100mm인 분배판을 설치하였으며 분배판은 단위 cm<sup>2</sup> 당 1개의 구멍을 뚫어 하부칼럼으로 폐수가 균등하게 분배될 수 있도록 하였다. 또한 하부칼럼에서 탈기된 암모니아 gas와 공기가 배출될 수 있도록 하기 위하여 상부칼럼과 하부칼럼 사이에 15mm의 공간을 두었다.

폐수와 공기의 흐름은 count-current 방식으로 폐수는 정량펌프를 이용하여 상부칼럼으로 유입되며 공기는 air pump를 이용하여 하부칼럼으로 유입되도록 하였다. Air pump에서 반응조로 유입되는 공기량을 측정하기 위하여 air pump 후단에 airflow meter를 설치하였다.

Table 2는 암모니아 탈기장치의 운전조건을 나타내었다. 적정 반응온도를 도출하기 위하여 수온을 각각 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, 65°C로 조정하여 실험을 수행하였으며, 공기주입량은 각각 5 L/min, 10 L/min, 15 L/min, 20 L/min, 30 L/min, 40 L/min으로 변화시켰다. 또한, 분배구 크기에 따른 암모니아 탈기효율을 분석하기 위하여 분배구 크기를 각각 2.0mm, 3.5mm, 4.5mm, 5.5mm로 각각 설정하

Table 1. Characteristics of swine wastewater

| Items         | pH  | Alkalinity as CaCO <sub>3</sub> mg/L | TSS % | TCOD <sub>Cr</sub> mg/L | SCOD <sub>Cr</sub> mg/L | TKN mg/L | NH <sub>3</sub> mg/L | TVFA mg/L |
|---------------|-----|--------------------------------------|-------|-------------------------|-------------------------|----------|----------------------|-----------|
| Average conc. | 7.8 | 18,900                               | 5.97  | 58,750                  | 29,840                  | 4,656    | 3,995                | 2,173     |

Table 2. Operating condition of ammonia stripper

| Operating variables | pH | Temp. °C           | Distributor hole size, mm | Air flow L/min        | Solids conc. g/L  |
|---------------------|----|--------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| Temp.               | 11 | 25, 35, 45, 55, 65 | 3.5                       | 15                    | 67.4              |
| Distributor         | 11 | 35                 | 2, 3.5, 4.5, 5.5          | 15                    | 58.6              |
| Air flow            | 11 | 35                 | 3.5                       | 5, 10, 15, 20, 30, 40 | 70.8              |
| Solid               | 11 | 35                 | 3.5                       | 15                    | 6.85, 54.3, 120.2 |

\* Influent wastewater flow : 1 L/min in all operating condition

여 실험을 수행하였다. 유입수의 입자상물질에 대한 암모니아 탈기영향을 분석하기 위하여 시료를 침강시켜 상등수만을 채취한 것과 침강된 slurry상태의 시료를 채취한 것, 그리고 시료를 완전혼합한 것으로 구분하여 고형물 농도를 각각 6.85 g/L, 54.3 g/L, 120.2 g/L로 시료를 조정하여 실험에 이용하였다. 각 운전조건에서 폐수의 유입율을 1 L/min로 유지되도록 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 반응온도에 따른 암모니아성 질소제거

본 연구에서는 혐기성 소화공정에 암모니아 독성을 미연에 방지하고 적정 C:N비를 유지시키며 또한 혐기성소화 후 잔류유기물을 효과적으로 제거시키기 위하여 암모니아 탈기공정의 잔류암모니아 농도를 300 mg/L로 설정하였다.

수중의 암모니아성 질소는 암모늄이온( $\text{NH}_4^+$ -N)과 유리암모니아(free ammonia,  $\text{NH}_3$ )로 존재하며 pH와 온도에 따라 존재형태의 농도가 변화된다. 유리암모니아 농도는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있는데, 여기서  $K_a$ 는 암모니아 이온화상수이며 또한  $pK_a$ 를 온도함수로 나타내면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (1)과 식 (2)에서 알 수 있듯이 pH와 온도가 높아질수록 유리암모니아농도는 증가하게 된다.

$$[\text{NH}_3] = \frac{[\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+]}{1 + \frac{[\text{H}^+]}{K_a}} = \frac{[\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+]}{1 + 10^{pK_a - \text{pH}}} \quad (1)$$

$$pK_a = 4 \times 10^{-8} \times T^3 + 9 \times 10^{-5} \times T^2 - 0.0356 \times T + 10.072 \quad (2)$$

pH가 암모니아 탈기에 미치는 영향은 많은 연구를 통해 도출되었으며(Liao 등, 1995; Bonmati 등, 2003), 대부분 10.5 이상이 적합하다고 하였으나, pH 10.5의 경우 온도 25°C와 45°C에서 유리암모니아 분율이 대략 80%와 99%로 19% 정도의 차를 보여 유리 암모니아 분율을 높게 유지시키기 위하여 본 실험에서는 NaOH를 이용하여 초기 pH를 11로 조정하였다.

반응온도가 암모니아 탈기에 미치는 영향을 조사하기 위하여 분배구 크기를 3.5mm, 공기주입량을 15 L/min, 폐수 내 고형물 농도 67.4 g/L로 하였으며, 이 때 반응온도를 각각 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, 65°C로 변화를 주어 실험하였으며, 실험결과를 Fig. 2(a)에 나타내었다. 모든 조건에서 운전시작 후 3시간동안은 암모니아 농도가 급격히 감소되는 것으로 나타났으며, 25°C의 경우 운전시작 후 4시부터 암모니아 탈기속도가 감소되었는데, 이는 암모니아 탈기시 pH 저하로 인하여 암모늄이온의 비율의 증가와 더불어 NaOH에 의해 유기질이 암모니아로 전환되었기 때문으로 판단된다. 특히 반응온도가 55°C와 65°C의 경우 전체 암모니아의 90% 이상이 운전시작 후 3시간 만에 제거되는 것으로 나타났다. 각 온도조건에서 설정 암모니아 농도 300

mg/L에 도달되는데 소요되는 시간을 살펴보면, 반응온도가 거의 상온인 25°C에서 운전된 경우, 운전시작 후 8시간이 경과하였음에도 불구하고 처리목표인 잔류 암모니아농도 300 mg/L에 도달되지 않는 것으로 조사되었으며, 반응온도가 35°C인 경우 운전시작 후 8시간이 경과된 후 목표농도에 도달된 반면, 반응온도가 45°C, 55°C, 65°C의 경우, 운전시작부터 잔류암모니아농도가 급감하기 시작하여 운전시작 후 각각 5시간, 4시간, 3시간 만에 목표농도에 도달되는 것으로 나타났다. 실험시작 후 8시간 경과 뒤, 유리암모니아 제거효율을 살펴보면 적용온도에 따라 각각 77%, 93%, 99%, 100%, 100%로 나타났다.

#### 3.2. 공기주입량 변화에 따른 암모니아성 질소제거

pH나 온도에 의해 유리암모니아 분율을 높이더라도 공기주입량이 부족하게 되면 암모니아 탈기효율은 급격하게 저하되게 된다. 따라서 본 실험에서는 폐수 내 고형물 농도는 58.6 g/L, 분배구 크기는 3.5mm, 반응온도는 35°C로 고정된 후 공기주입량을 각각 5 L/min, 10 L/min, 15 L/min, 20 L/min, 30 L/min, 40 L/min을 적용시켜 반응시간에 따른 잔류암모니아 농도를 측정하였다. Fig. 2(b)는 공기주입량에 따른 암모니아성 질소제거 실험결과를 나타낸 것으로 공기주입량을 5 L/min으로 유지시킨 경우 초기 pH 11과 반응온도 35°C에서 유리암모니아가 총암모니아의 99%를 차지하면서도 암모니아의 제거속도는 매우 낮게 나타났으며, 이는 낮은 공기주입량으로 인하여 물질전달이 충분히 이루어지지 못하였기 때문으로 사료된다. 반면, 공기주입량이 커질수록 암모니아 탈기속도는 증가되는 것으로 나타났으며, 이것은 공기주입량이 20 L/min 이상인 경우 운전시작부터 폐수 내의 잔류암모니아농도가 큰 폭으로 감소되었다. 또한 각 공기주입량 조건에서 설정목표농도에 도달되는데 소요되는 시간을 살펴보면, 공기량이 5 L/min과 10 L/min, 15 L/min의 경우, 처리시간이 8시간이 경과하였음에도 처리목표농도에 도달되지 않은 것으로 나타났으며, 공기량 20 L/min, 30 L/min, 40 L/min의 경우, 각각 7시간, 6시간, 5시간으로 나타나 공기주입량은 20 L/min 이상이 적합할 것으로 판단된다.

#### 3.3. Hole 크기와 고형물농도에 따른 암모니아성 질소제거

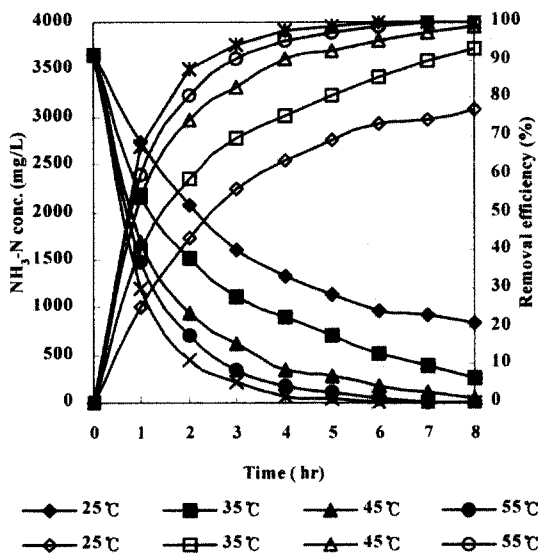
Diffused aeration system에서는 공기입자의 크기에 따라 암모니아 탈기효율이 결정되나 spray tower system을 변형한 본 system에서는 분배되는 폐수의 물방울 크기가 암모니아 탈기효율에 영향을 미치므로 분배구 크기가 암모니아 탈기에 미치는 영향을 조사하였다.

분배구 크기에 따른 암모니아 탈기 영향을 분석하고자 반응온도를 35°C, 공기주입량을 15 L/min, 고형물 농도를 70.8 g/L로 조정된 후 분배구 크기를 각각 2mm, 3.5mm, 4.5mm, 5.5mm로 설정하여 실험을 수행하였으며, 실험결과를 Fig. 2(c)에 나타내었다. 실험결과, 분배구 크기가 작아질수록 암모니아성질소의 탈기가 빨리 이루어지는 것으로

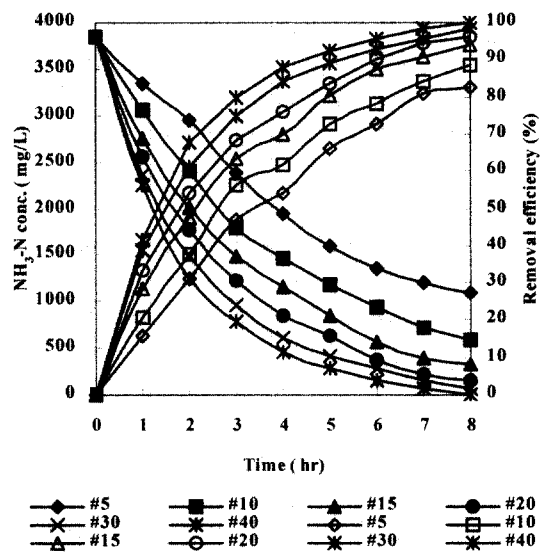
나타났는데, 분배구 크기를 2mm로 하여 실험한 결과, 목표 농도에 도달되는 시간은 대략 6시간이 소요되는 것으로 나타났으며, 분배구 크기를 3.5mm로 한 경우, 목표농도에 도달되는 시간이 대략 8시간이 소요되었고, 분배구 크기를 4.5mm와 5.5mm로 한 경우, 운전종료 시점까지 목표농도에는 도달되지 않은 것으로 조사되었다. 반면, 운전 중 분배구 크기를 2mm로 설치하여 운전된 반응조에서 분배구가 막혀 상부칼럼의 수위가 계속해서 높아져 넘치는 현상이 초래되었는데, 원수를 1mm 스크린으로 조대입자상물질을 제거시켰음에도 불구하고 분배구가 막히는 것은 초기 pH 조정으로 사용된 NaOH로 인해 폐수의 점도가 높아지고 입자가 응집되었기 때문으로 사료된다. 따라서 암모니아 탈기효율을 증가시키기 위하여 분배구 크기를 작게 가져가는

것도 중요하나 무엇보다 암모니아 탈기공정 전단계로 입자상물질의 제거가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

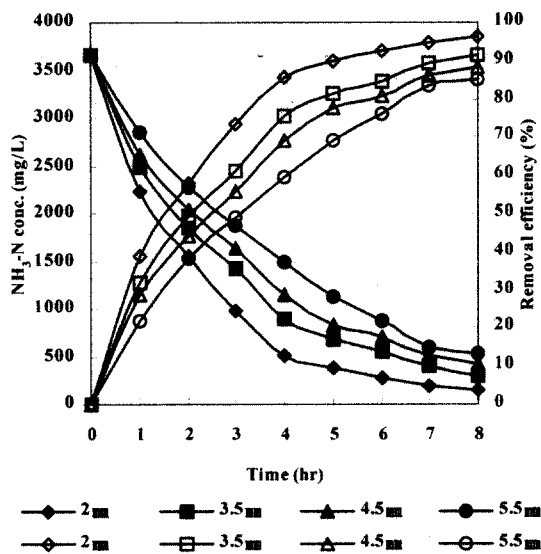
폐수 내 고형물 농도에 따른 암모니아 탈기영향을 분석하기 위하여 반응온도를 35°C, 공기주입량을 15 L/min, 분배구 크기를 3.5mm로 한 후 폐수 내 고형물 농도를 6.85 g/L, 54.3 g/L, 120.2 g/L로 각각 조정하여 실험하였으며 실험결과를 Fig. 2(d)에 나타내었다. 실험결과, 고형물 농도가 6.85 g/L로 낮은 시료의 암모니아 탈기를 살펴보면, 운전시작 후 암모니아 농도가 급감하는 것으로 나타난 반면 고형물 농도가 120.2 g/L로 가장 높은 시료의 경우, 상대적으로 고형물 농도가 낮은 시료에 비해 암모니아 탈기 속도가 저조한 것으로 나타났는데, 이는 폐수 내 입자상물질이 많이 존재할 경우 액체와 기체의 경계층에서 물질전달을



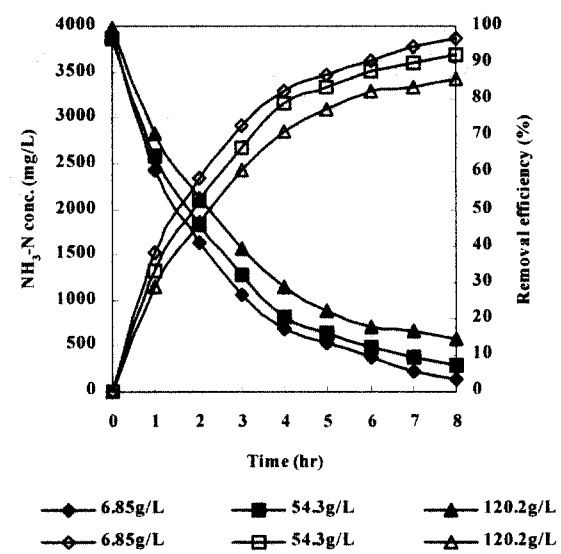
(a) Temperature



(b) Air flow rate



(c) Hole size of distributor



(d) Influent solids concentration

Fig. 2.  $\text{NH}_3\text{-N}$  stripping at various operating condition.

저해하여 유리암모니아가 대기 중으로 탈기되지 못하였기 때문에 사료된다. 각 고형물 함량 조건에서 설정목표농도에 도달되는데 경과된 시간을 살펴보면 고형물 함량이 6.85 g/L인 경우 운전시작 후 대략 6.5시간이 경과되었을 때 목표농도에 도달되는 것으로 나타났으며, 고형물 농도가 54.3 g/L인 경우 거의 운전시작 후 8시간이 다 경과되어서야 목표농도에 도달되는 것으로 나타났고, 고형물 농도가 120.2 g/L인 경우 운전종료시점에도 목표농도에 도달되지 않는 것으로 나타났다. 각 조건에서 운전종료시점의 제거효율을 살펴보면, 각각 97%, 92%, 86%로 폐수 내에 고형물 함량이 작을수록 탈기가 잘 이루어지는 것으로 조사되었다.

따라서 암모니아 탈기효율을 높이기 위하여 초기 pH, 반응온도, 공기주입량을 높이는 방법도 있으나 무엇보다 암모니아 탈기공정 전에 고액분리를 통한 입자상 물질을 제거 시킴으로서 보다 작은 분배구 크기를 적용시킬 수 있으며, 입자상오염물질에 의한 탈기효율의 저하를 막을 수 있어 보다 효과적인 것으로 사료되며, 또한, 혐기성소화공정 전 시료 내 입자상물질을 제거시킴으로서 혐기성소화공정의 HRT를 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

3.4. 총물질전달계수 도출

암모니아 탈기공정의 설계 지표로 이용되는 총물질전달계수,  $K_{La}$  값은 실험에서 얻어진 결과를 식 (3)에 대입하여 구할 수 있으며, Table 3은 식 (3)을 이용하여 도출된  $K_{La}$  값을 나타낸 것으로 온도와 공기주입량이 증가할수록, 분배구 크기가 작아질수록, 폐수 내 고형물 농도가 낮을수록 커지는 것으로 나타났다.

$$\ln \frac{C_1}{C_2} = K_{La}(t_2 - t_1) \tag{3}$$

Eugene(1981)은 diffused aeration system을 이용하여 암모니아 탈기실험을 수행한 후  $K_{La}$  값을 온도, 공기주입량, 수위에 대한 함수로 표현하였는데(식 (4)), 여기서,  $\ln a_1$ 은 온도에 관한 항이며,  $a_2 \ln G$ 는 공기주입량,  $a_3 \ln H$ 는 수위에 관한 항이다. 반면 본 연구에서는 운전변수가 온도, 공기주입량, 분배구 크기, 고형물농도이므로 식 (4)를 변형하여 다시 나타내면 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln K_{La} = \ln a_1 + a_2 \ln G + a_3 \ln H \tag{4}$$

$$\ln K_{La} = \ln a_1 + a_2 \ln G + a_3 \ln L + a_4 \ln C \tag{5}$$

여기서,  $\ln a_1$ 과  $a_2 \ln G$ 항은 식 (4)와 동일하며,  $a_3 \ln L$ 은 분배구 크기, 그리고  $a_4 \ln C$ 는 유입수의 고형물농도에 관련된 항이 된다. 우변의 항목 중 온도의 상수  $a_1$ 을 제외한  $a_2, a_3, a_4$ 값은 다음과 같이 결정되었다. 각각의 운전변수와 실험을 통해 결정된  $K_{La}$ 값을 log를 취해 좌표로 표시하면 상수가 기울기가 되는 선형관계를 나타낼 수 있어 공기주입량의 상수  $a_2$ 값, 분배구 크기에 대한 상수  $a_3$ 값, 고형물농도에 대한 상수  $a_4$ 값을 각각 구할 수 있다. 따라서 이들 값을 식 (5)에 대입하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_{La} = a_1 \cdot G^{0.3926} \cdot L^{-0.5169} \cdot C^{-0.1849} \tag{6}$$

식 (6)에서 도출된 공기주입량 상수  $a_2$ 값은 Eugene(1981)이 제시한 0.45와 Lee(2002)가 제시한 1.0501보다 작게 나타났다. 이는 Eugene과 Lee가 실험에 이용된 암모니아 탈기방식이 diffused aeration system으로 본 실험에 적용된 spray tower system과 탈기방식이 달랐으며, 이들이 실험에 이용된 폐수는 수돗물에 암모니아농도를 50 mg/L와 5,000

Table 3.  $K_{La}$  at various operating condition

| Solids conc.<br>(g/L) | Temperature<br>(°C) | Hole size<br>(mm)        | Air loading rate(m3/m2/hr)<br>(Airflow rate , L/min)             | $K_{La}$<br>(hr-1) |
|-----------------------|---------------------|--------------------------|--|--------------------|
| 67.4                  | 35                  | 3.5                      | 90 (15)  | 0.184              |
|                       |                     |                          |  | 0.330              |
|                       |                     |                          |  | 0.581              |
|                       |                     |                          |  | 0.775              |
|                       |                     |                          |  | 0.930              |
| 58.6                  | 35                  | 3.5                      | 30 (5)<br>60 (10)<br>90 (15)<br>120 (20)<br>180 (30)<br>240 (40) | 0.219              |
|                       |                     |                          |  | 0.261              |
|                       |                     |                          |  | 0.339              |
|                       |                     |                          |  | 0.394              |
|                       |                     |                          |  | 0.469              |
|                       |                     |                          |  | 0.552              |
| 70.8                  | 35                  | 2.0<br>3.5<br>4.5<br>5.5 | 90 (15)  | 0.404              |
|                       |                     |                          |  | 0.311              |
|                       |                     |                          |  | 0.267              |
|                       |                     |                          |  | 0.240              |
| 6.85                  | 35                  | 3.5                      | 90 (15)  | 0.426              |
| 54.3                  |                     |                          |  | 0.324              |
| 120.2                 |                     |                          |  | 0.242              |

mg/L로 각각 조제한 것으로 본 실험의 축산폐수의 시료성상과 큰 차이를 보였기 때문에 사료된다. 따라서 본 연구에서 도출된 상수  $a_2$  값이 실제 축산폐수 처리에 더 적합할 것으로 사료된다.

온도변수인  $a_1$ 을 구하기 위하여 식 (6)에 공기주입량, 분배구 크기, 고형물 농도를 대입하고 각각의 온도와 온도변화조건에서 얻어진  $K_{La}$  값에 log를 취해 좌표에 표시하여 이들의 상관관계로부터  $a_1$ 을 구할 수 있다. 온도에 대한  $K_{La}$  값의 상관관계  $a_1$ 은  $0.0003T-0.0047$ 이 된다. 따라서 도출된 변수값을 식 (6)에 대입하여 나타내면 온도, 공기주입량, 분배구 크기, 고형물농도에 따른 총물질전달계수  $K_{La}$ 는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$K_{La} = (0.0003T - 0.0047) \cdot G^{0.3926} \cdot L^{-0.5169} \cdot C^{-0.1849} \quad (7)$$

여기서, T : 온도, °C

G : 공기주입량,  $m^3/m^2/hr$

L : 분배구 크기, m

C : 폐수 내 고형물 농도, g/L

Fig. 3은 각 실험조건에서 얻어진  $K_{La}$  값과 제안된 식 (7)에 의하여 계산된  $K_{La}$  값을 나타낸 것으로 이들의 관계는 1차 함수로써 표현되며, 기울기가 1.0044로 1에 가깝고, 절편이 -0.0079로 0에 근접하며, 상관도  $R^2$ 이 0.9664로 나타나 제안된 총물질전달계수의 상관관계식은 spray tower system의 운전조건 및 폐수성상에 따른 탈기속도를 잘 나타낸 것으로 사료된다.

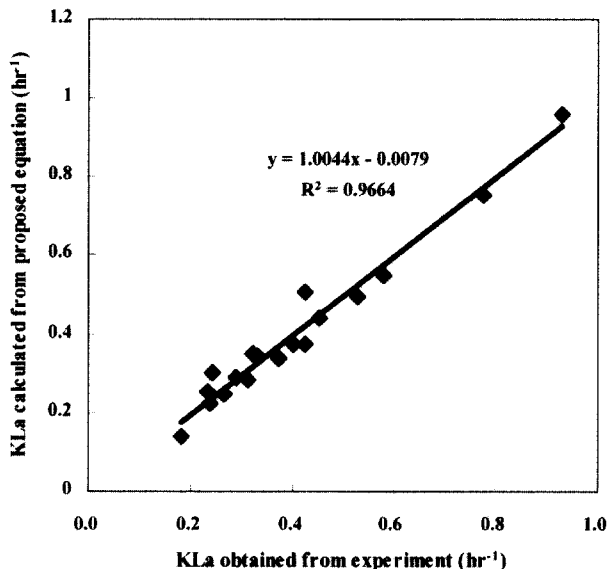


Fig. 3. Comparison of  $K_{La}$  calculated from proposed equation with  $K_{La}$  obtained from experiment.

#### 4. 결론

축산폐수 내의 고농도 암모니아성 질소를 제거하기 위하

여 암모니아 탈기공정의 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 초기 pH와 반응온도가 높을수록, 공기주입량이 클수록 암모니아 탈기효율은 증가되었다. 변형된 spray tower system을 이용하여 잔류암모니아농도 300 mg/L를 얻기 위한 적정 반응온도는 35°C 이상, 공기주입량은 20 L/min 이상이 적합할 것으로 사료된다.
- 2) 폐수의 입자 크기를 결정짓는 분배판의 hole 크기가 작을수록 탈기효과가 증가되는 것으로 나타났으며, 분배판의 적정 hole 크기는 3.5mm로 조사되었고, 분배판의 hole 크기가 3.5mm보다 작을 경우 분배구가 막혀 상부 칼럼에서 flooding 현상을 초래하는 것으로 나타났다. 또한 폐수 내의 고형물농도가 낮을수록 암모니아 탈기효율이 증가되는 것으로 조사되었다.
- 3) 실험결과를 토대로 총물질전달계수  $K_{La}$  값과 운전인자간의 상관관계식은  $K_{La} = (0.0003T - 0.0047) \cdot G^{0.3926} \cdot L^{-0.5169} \cdot C^{-0.1849}$ 로 표현할 수 있었으며, 이 식과 실험결과를 표현한 결과 암모니아 탈기속도를 잘 표현한 것으로 조사되었다.

따라서, 암모니아 탈기공정의 효율을 높이기 위해서 pH와 온도, 공기주입량을 높이기보다는 암모니아 탈기 전 시료 내의 입자상물질의 제거하는 것이 보다 경제적이며 암모니아 탈기 효율 또한 높일 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. Opatken, E. J. and Bond, J. J., RBC nitrification of high ammonia leachate, *Environmental Progress*, **10**(1), pp. 60-63 (1991).
2. Angelidaki, I., and Ahring, B. K., Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **38**(3), pp. 560-564 (1993).
3. Fujishima, S., Miyahara, T. and Noike, T., Effect of moisture content on anaerobic digestion of dewatered sludge: ammonia inhibition to carbohydrate removal and methane production, *Water Science and Technology*, **41**(3), pp. 119-127 (2000).
4. Hansen, K. H., Angelidaki, I. and Ahring B. K., Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. *Water Research*, **32**(1), pp. 5-12 (1998).
5. Janus, H. M. and van der Roest, H. F., Dont reject the idea of treating reject water, *Water Science and Technology*, **35**(10), pp. 27-34 (1997).
6. Siegrist, H., Nitrogen removal from digester supernatant - Comparison of chemical and biological method, *Water Science and Technology*, **34**(1-2), pp. 399-406 (1996).
7. Cheung, K. C., Chu, L. M. and Wong, M. H., Ammonia stripping as a pretreatment for landfill leachate, *Water, Air, and Soil Pollution*, **94**, pp. 209-221 (1997).
8. Kabdahli, I., Tunay, O., Ozturk, I., Yilmaz, S. and Arikan, O., Ammonia removal from young landfill leachate by magnesium ammonium phosphate precipitation and air stripping, *Water Science and Technology*, **41**(1),

- pp. 237-240 (2000).
9. Liao, P. H., Chen, A. and Lo, K. V., Removal of nitrogen from swine manure wastewaters by ammonia stripping, *Bioresource Technology*, **54**, pp. 17-20 (1995).
  10. Bonmati, A. and Flotats, X., Air stripping of ammonia from pig slurry: characteristics and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion, *Waste Management*, **23**(3), pp. 261-272 (2003).
  11. William, J. C., Diffused-air stripping of ammonia in advanced wastewater treatment, *Chemistry in water reuse*. Ann Arbor Science. (1981).
  12. Eugene. S. Diffused-air stripping of ammonia in advanced wastewater treatment, *Chemistry in water reuse*. **2**, pp. 497-508, Ann Arbor Science. (1981).
  13. 이병진, 탈기공정에 의한 고농도 암모니아 폐수의 처리, 아주대학교 박사학위논문. (2002).