

# 가스센서를 활용한 암모니아 가스의 실시간 흡수 효율 평가에 관한 연구

## The Study on the Realtime Evaluation of NH<sub>3</sub> Absorption Efficiency Using Chemical Gas Sensor

임정진 · 김한수 · 김선태<sup>†</sup>

Jung-Jin Lim · Han-Soo Kim · Sun-Tae Kim<sup>†</sup>

대전대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Daejeon University

(2012년 7월 28일 접수, 2013년 3월 18일 채택)

**Abstract :** This study was carried out to develop the realtime evaluation system of NH<sub>3</sub> absorption efficiency with gas sensors which were installed on the inlet and outlet of lab-scale scrubber system. The NH<sub>3</sub> absorption amount, calculated by sensor outcomes for 3 hr, 6 hr, and 12 hr of absorption process, was compared with the results analysed by Indo-phenol method for the absorption solution. Even though the difference between two methods was about 20%, the correlation coefficient between the two results was very high, more than 0.99. In addition, we could find very good correlation between pH, absorption amount and reaction time. Also we could find out the breakthrough time in the middle of absorption process. With more diverse experiment in the future, we can make gas sensor system for the realtime evaluation of the odor and/or air pollution treatment efficiency.

**Key Words :** Odor, Semiconductor Gas Sensor, Realtime Efficiency Evaluation, Absorption, Ammonia

**요약 :** 본 연구에서는 실험실 규모의 스크러버 전단과 후단에 설치된 가스센서의 출력값으로부터 흡수제의 실시간 흡수효율을 평가하기 위한 연구를 진행하였다. 스크러버 전단과 후단에 설치된 가스센서는 센서표면에서의 가스 흡·탈착반응으로 발생하는 전기적인 변화를 출력신호로 나타내는 측정장치이며, 스크러버의 흡수제와 암모니아 가스의 반응시간(3시간, 6시간 및 12시간)에 따른 암모니아 가스의 흡수량을 산출하였다. 또한 가스센서의 출력값으로부터 산출된 암모니아 흡수량을 기존의 암모니아 분석방법인 인도페놀법에 의한 흡수량 산정방법과 비교해 보았으며, 약 20%의 차이를 보이긴 하나 0.99 이상의 높은 상관성을 보이고 있음을 확인하였다. 또한, 반응시간에 따른 pH와 흡수량과의 높은 상관성을 확인할 수 있었으며, 흡수제에 대한 암모니아 흡수량을 실시간으로 파악함으로써 흡수제의 파과시간을 예측할 수 있었다. 향후 다양한 연구를 통하여 악취배출시설의 스크러버에 이와 같은 가스센서를 적용하여 흡수제의 흡수 효율을 실시간으로 평가하여 교체주기 및 효율 등을 실시간으로 평가할 수 있는 시스템으로 발전이 가능함을 확인하였다.

**주제어 :** 악취, 반도체 가스센서, 실시간 효율 평가, 흡수, 암모니아

### 1. 서론

악취 민원 해결을 위한 악취 관리의 최종목표는 악취발생을 완전히 제거하는데 있으나, 이를 위해서는 비용부담 등의 제약이 크므로 주변 생활환경을 해치지 않는 정도로까지 악취발생량을 줄이는 것이 실제 목표가 되는 경우가 많다. 이러한 악취민원 해소 및 환경개선을 추진하는 노력의 일환으로 현재 “악취방지법” 제8조에 의거, 악취관리지역 내의 사업장에 대한 악취배출시설을 설치하거나 운영하고자 하는 경우에는 악취방지시설 설치를 의무화하고 있다.<sup>1,2)</sup>

그러나 환경부(대기오염물질 및 악취배출사업장 오염물질 관리방안 마련)<sup>3)</sup>에 따르면 국내 대부분의 악취배출시설에 설치되어 있는 악취방지시설 중 70%가 스크러버 및 활성탄 방지시설인 것으로 보고되고 있으나, 악취제거효율이 50% 이하로 운전되는 시설이 전체의 75~80%에 이르고 있어 대부분의 악취방지시설에 문제가 있음을 지적하고 있다.

이는 흡수액 및 활성탄 교체주기의 지연, 관리주체의 무관심으로 인한 장비의 방치 및 장비 사용의 미숙 등으로 인

한 총체적인 문제점으로 지적되고 있으며, 고농도로 악취를 배출하는 사업장에서 스크러버의 흡수액 및 활성탄의 교체를 연 4회 미만으로 관리하는 곳이 50% 이상에 달하고 있어 악취방지시설의 악취제거효율이 낮은 직접적인 원인이 되기도 한다. 악취배출 사업장의 환경전담부서 및 전문인력이 부족하며 환경지도 담당공무원이 관할지역의 수백~수천 개의 사업장을 체계적으로 관리하기엔 현실적으로 한계가 있는 것도 악취 민원 증가의 한 원인이 되고 있다.<sup>4)</sup>

따라서 악취방지시설의 효율적인 관리를 위해서는 무엇보다 악취배출시설에서의 주기적인 효율평가를 위한 배출가스 분석 등의 적극적인 대응체계를 마련하는 것이 시급한 상황이다. 그러나 이러한 배출가스 분석을 위하여 고가의 GC/MS, UV/VIS Spectrophotometer, IC, LC 등의 분석장치가 필요한 바, 악취방지시설의 효율평가 및 흡수제, 활성탄 등의 교체 주기를 실시간으로 판정하는 등의 일련의 노력은 현실적으로 어려운 실정이다.<sup>5,6)</sup>

최근에 반도체식 가스센서<sup>7,8)</sup>를 활용하여 실시간으로 악취방지시설의 전단과 후단의 가스농도를 측정하여 현재의 악

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: envsys@dju.ac.kr Tel: 042-280-2534 Fax: 042-283-8283

취체거효율을 판단하거나 흡수제 또는 흡착제의 교체 주기를 사전에 진단하는 등의 다양한 IT 협업기술들이 등장하고 있다. 이는 고가의 분석장치에 비해 측정결과에 대한 정확도는 떨어질 수 있지만, 악취방지시설의 진단과 후단에 설치된 센서로 실시간 악취제거 성능을 모니터링 할 수 있는 장점으로 관심을 받고 있다.<sup>9,10)</sup>

이에 본 연구에서는 실험실 규모의 스크러버 장치를 구축하여 스크러버 진단과 후단에 반도체식 가스센서를 설치하여 실시간 악취제거효율을 평가<sup>11,12)</sup>하기 위한 기초연구를 진행하고자 한다. 특히, 대표적인 악취성분인 암모니아 가스에 대한 흡수량 산출을 스크러버 진단과 후단에 설치된 가스센서 측정결과로부터 산정하고, 이를 기존 대기오염공정시험법상의 암모니아 가스<sup>13,14)</sup> 분석방법인 인도페놀법에 의한 흡수량 산정결과와 비교하여 가스센서에 의한 실시간 흡수효율 평가 시스템의 개발 가능성을 고찰하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에 활용한 흡수실험 장치는 Fig. 1처럼 가스발생부, 반응부 및 측정부<sup>15)</sup>로 구분할 수 있으며, 가스발생부에는 암모니아 표준가스(500 ppm 또는 1,000 ppm) 공급부분과 표준가스를 희석하기 위한 무취공기 발생부분으로 구성되며 표준가스의 농도는 각각의 유로에 설치된 질량유량계의 유량 조절을 통하여 암모니아 표준가스의 농도를 조절하게 된다. 반응부는 500 mL 임핀저(impinger)를 활용하며, 본 연구에서의 흡수제로 적용한 증류수 100 mL를 충전하였다. 가스발생부에서 일정한 농도로 희석된 암모니아 가스를 증류수에 각각 3시간, 6시간 그리고 12시간 동안 흡수될 수 있도록 하였으며, 반복실험에 따른 신뢰성을 고찰하기 위하여 3회의 반복실험을 진행하였다.

측정부는 암모니아 농도 변화의 측정을 위해 가스 흡/탈착을 이용하여 전기전도도 변화를 측정하는 박막형의 반도체식 가스센서(FIGARO사, model: TGS2602)<sup>16-18)</sup>와 실시간

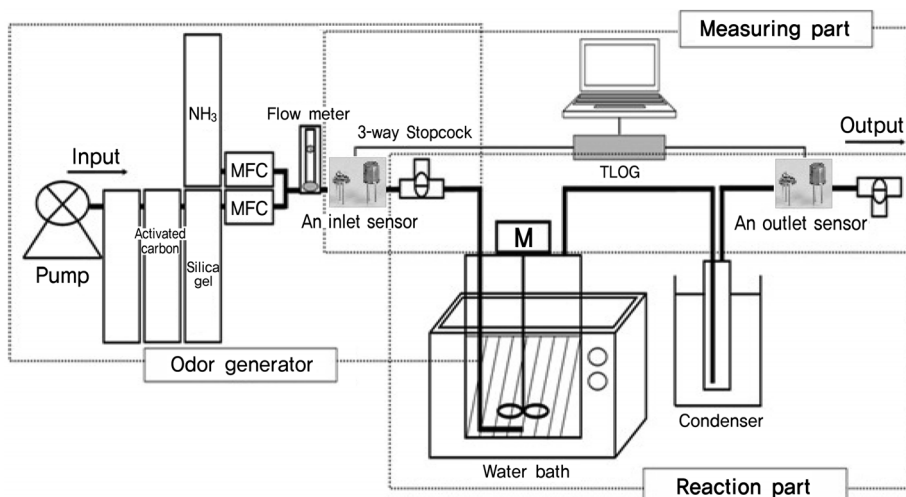
**Table 1.** Experimental materials and conditions used in this study

Odor gas	NH <sub>3</sub>	
Measurement sensor	Semiconductor gas sensor	
Inflow NH <sub>3</sub> concentration [ppm]	200	
Absorbent volume [mL]	100	
Absorbent	Distilled water	
Reaction time [hr]	3, 6, 12	
Reaction flow (air/NH <sub>3</sub> ) [mL/min]	3 hr	234.6 (140.7/93.9)
	6 hr	
	12 hr	471.6 (377.2/94.4)

으로 자료를 수집할 수 있는 데이터로거(TLOG-1000 모듈)와 컴퓨터로 구성하였고, Table 1에 실험조건을 간단히 요약하였다. 3시간과 6시간의 실험조건에서의 암모니아 유입량과 12시간 실험조건에서의 암모니아 유입량이 다른 이유는 12시간 실험시에 공급되는 암모니아 표준가스의 농도가 1,000 ppm으로 교체된 후 실험조건이 변경되었기 때문이다.

또한 암모니아 가스의 농도를 실시간으로 측정하기 위한 가스센서의 교정을 위하여 Fig. 1의 가스발생부로부터 암모니아 표준가스를 발생시킨 후, 흡수제를 충전하는 스크러버(임핀저)의 진단과 후단에 설치된 각각의 가스센서와 반응시켜 농도에 따른 가스센서의 감도변화를 고찰하였으며, 가스발생부에서 발생된 암모니아 가스농도를 평가하기 위해 스크러버 후단에서 채취한 암모니아 가스를 가스검지관(GASTEC Co. 3M)으로 측정하여 가스센서의 전기적인 출력 변화값과 비교하였다.

마지막으로, 가스센서에서 측정되어진 실시간 암모니아 농도로부터 산출한 흡수제의 흡수량을 검증하기 위하여 3시간, 6시간 및 12시간 동안 암모니아 가스에 노출된 흡수제의 pH 변화와 암모니아 농도 측정을 위한 대기오염공정시험법의 인도페놀법에 의해 흡수제에 용해되어 있는 암모니아 흡수량을 별도로 산출하여 가스센서에 의한 흡수량 산출결과와 비교하였다.



**Fig. 1.** Schematic diagram of a lab-scale device for the realtime evaluation of ammonia absorption efficiency.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 흡수량 평가를 위한 장치의 구축과 평가

##### 3.1.1. 가스발생부의 유량 정확성 평가

실험시 필요한 농도의 암모니아 가스를 유입하기 위해서 봄베의 암모니아 표준가스와 무취공기를 일정비율로 희석하여 사용하도록 실험장치를 구성하였다. 여기서 암모니아 가스와 무취공기의 유입량을 제어하기 위한 목적으로 MFC (mass flow controller)를 활용하였으며, MFC를 통해 유출되는 표준가스 및 무취공기량의 정확성을 평가하기 위해 버블유량계를 이용하여 검증하였다.

Table 2는 암모니아 표준가스 공급용 MFC와 무취공기 공급용 MFC 장치에서의 설정 유량과 실제 유출 유량을 측정하여 비교한 자료이다. 각각의 검증평가를 5회 반복하였으며, 버블유량계를 기준으로 비교하면 암모니아 표준가스 공급용 MFC에 대한 상대표준편차는 0.24~0.42 %RSD로 0.5 %RSD 이내의 매우 안정적인 상태임을 확인할 수 있었다. 또한 무취공기 공급용 MFC에 대해서도 0.37~0.96 %RSD의 재현성 있는 결과를 확인하였으나, 각각의 MFC에 의해 설정된 유량과 실제 유출되는 유량과는 차이가 있음을 확인하였다(y는 유량계를 통한 측정유량(mL/min), x는 MFC 설정유량(mL/min)). 이에 가스발생부에서 암모니아 표준가스를 임의의 농도의 시료 가스로 희석하는 과정에서 이러한 차이를 보정하기 위하여 Table 2의 각 가스별 환산식으로 산정한 값을 이용하여 MFC의 유량을 설정하여 목표로 하는 유량이 공급되도록 하였다.

##### 3.1.2. 반도체식 가스센서를 이용한 암모니아의 농도 산출

Table 3은 표준가스를 무취공기로 희석하여 공급한 암모니아 가스의 농도를 실제 가스 검지관으로 측정하여 희석비율에 의해 계산한 이론적인 암모니아 농도와 비교한 결과이다. 여기서 이론농도는 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

$$C_{th} = (C_c \times Q_{NH_3}) / (Q_{Air} + Q_{NH_3}) \quad (1)$$

식 (1)에서  $C_{th}$ 는 이론농도를 나타내며  $C_c$ 는 실린더농도,  $Q_{NH_3}$ 와  $Q_{Air}$ 는 암모니아와 무취공기의 실제유량을 나타내며, 실제유량은 Table 2에서 나타난 보정식을 이용하여 계산한 값이다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 이론적인 농도와 실제 농도간의 상관성은 우수하나 절대 농도 측면에서는 이론적인 농도보가 매우 낮게(68% 수준) 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 공급되는 실린더 안의 암모니아 농도가 시간 경과에 따라 변화하기 때문인 것으로 판단되며, 결국 실험에 사용하는 농도값은 수시로 실측농도로 교정하여 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서도 암모니아 가스의 농도에 따른 가스센서의 전기적 신호값과의 상관관계를 고찰하는 과정에서는 희석배율에 의한 암모니아 이론 농도값을 사용하지 않고 실제 가스검지관에 의해 측정된 암모니아 가스의 농도로 활용하였다.

Fig. 3은 암모니아 가스 농도에 따른 스크러버 전단과 후단의 가스센서 출력신호값의 상관성을 나타내고 있다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 암모니아 가스의 농도를 50 ppm에서 300 ppm까지 변화를 주면서 전단 및 후단의 가스센서에 노출시

Table 2. Comparison between theoretical MFC flow rate and actual flow rate measured by bubble flow meter

Gas	Theoretical MFC flow rate (mL/min)	Actual flow rate (mL/min)								Calibration
		1st	2nd	3rd	4th	5th	mean	S.D.	%RSD	
Air	100	105	105	104	104	105	105	0.55	0.52	$y = 1,1596x - 10,068$ $R^2 = 0,9999$
	250	288	289	291	281	281	286	1,07	0,37	
	500	566	569	571	561	558	565	2,70	0,48	
	752	863	870	876	839	839	857	6,30	0,73	
	1,000	1,143	1,154	1,165	1,132	1,132	1,154	11,10	0,96	
NH <sub>3</sub>	100	92	92	93	92	92	92	0,22	0,24	$y = 0,9854x - 5,1078$ $R^2 = 0,9999$
	200	193	193	194	194	194	194	0,81	0,42	
	300	293	291	291	291	290	291	1,07	0,37	
	400	386	387	387	388	388	387	1,05	0,27	
	500	486	488	488	484	484	488	1,97	0,40	

Table 3. Comparison of NH<sub>3</sub> concentration between the theoretical one calculated by the cylinder concentration and the actual one measured with gas tube detector

MFC set flow (mL/min)		Actual flow rate (mL/min)		Theoretical concentration (ppm)	Detector tube concentration (ppm)					
Air	NH <sub>3</sub>	Air	NH <sub>3</sub>		1st	2nd	3rd	Mean	SD	%RSD
734	100,0	841,1	93,4	50,0	49,8	41,6	48,3	46,6	4,4	9,4
330	100,0	372,6	93,4	100,2	86,3	84,0	71,9	80,7	7,7	9,6
130	100,5	140,7	93,9	200,1	153,1	144,2	159,3	152,2	7,6	5,0
102	170,0	108,2	162,4	300,1	200,3	203,7	221,5	208,5	11,4	5,5
100	435,0	105,9	423,5	400,0	300,1	274,1	306,3	293,5	17,1	5,8

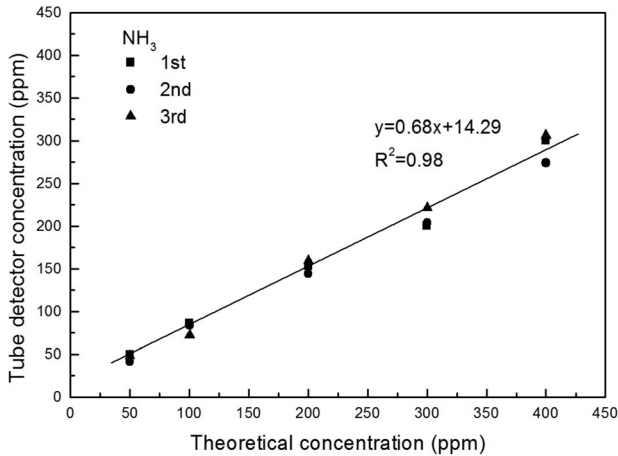


Fig. 2. Comparison of NH<sub>3</sub> concentration between the theoretical one calculated by the cylinder concentration and the actual one measured with gas tube detector.

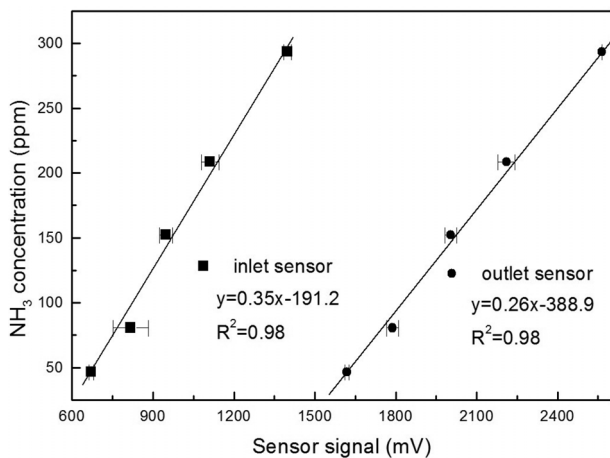


Fig. 3. The correlation between actual NH<sub>3</sub> concentration and sensor signal.

켜 가스센서의 반응성을 고찰한 결과, 농도에 따른 가스센서의 감응성은 명확히 선형적인 비례관계를 보임을 확인하였다. 센서 신호값과 암모니아 농도와의 결정계수는 약 0.98 수준으로 매우 높으며, 전단의 가스센서는  $y = 351.15x - 191.1$ 의 암모니아 농도 환산식을, 후단의 가스센서는  $y = 267.68x - 388.9$ 의 암모니아 농도 환산식을 산출할 수 있었다(y는 암모니아 농도(ppm), x는 가스센서의 출력신호값(mV)).

또한, 스크리버 전단과 후단의 가스센서가 서로 다른 암모니아 농도와의 상관성을 나타내는 것은 반도체식 가스센서가 갖는 일반적인 특성에 기인하는 것으로, 동일한 가스센서일지라도 센서표면의 미세한 구조 및 촉매 특성 등으로 서로 다른 감응특성을 나타내기 때문이며, 이로 인하여 본 연구에서와 같이 실험에 적용되는 각각의 가스센서에 대한 별도의 보정 작업이 필요한 상황임을 확인할 수 있었다.

### 3.2. 가스센서에 의한 실시간 암모니아 흡수효율곡선과 흡수량 산출

실험실 규모의 스크리버<sup>19)</sup> 장치에 의해 흡수된 암모니아

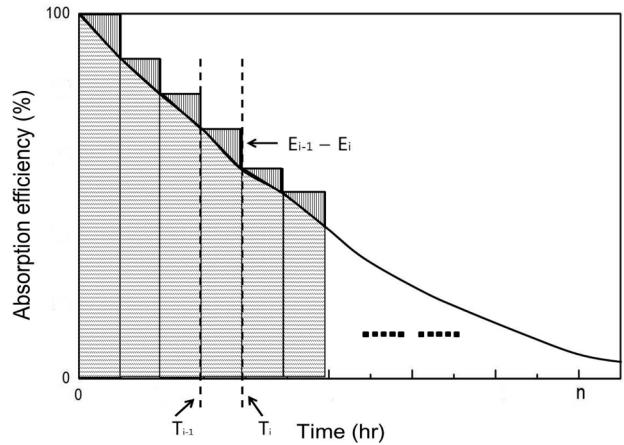


Fig. 4. Calculation of NH<sub>3</sub> absorption amount using the realtime absorption efficiency curve.

의 양은 두 가지 방법에 의해 비교산출하여 실험의 정확성을 평가하기로 하였다. 한가지 방법은 가스센서의 출력값을 농도로 환산하여 얻어진 Fig. 4와 같은 실시간 흡수효율을 이용하여 산정하는 것으로, 아래의 식 (2)에 의하여 산출될 수 있다.

$$A_{\text{sensor}} = \sum_{i=0}^n (C_i \times Q \times (t_i - t_{i-1}) \times \left( \frac{E_{t_i}}{100} - \frac{1}{2} \times \frac{E_{t_i} - E_{t_{i+1}}}{100} \right)) \quad (2)$$

식 (2)에서  $A_{\text{sensor}}$ 는 스크리버 전단과 후단에 설치된 가스센서 출력값으로부터 산출된 암모니아 가스의 흡수량(mg)을 의미하며,  $C_i$ 는 암모니아 유입농도(ppm),  $Q$ 는 스크리버에 주입되는 암모니아 가스의 유량(mL/min),  $t$ 는 흡수제와 암모니아 가스가 반응하는 시간(min) 및  $E_t$ 는 실시간 흡수효율<sup>20,21)</sup>을 나타내고 있다. 결국 식 (2)는 Fig. 4의 실시간 흡수 효율 곡선의 전체 면적에 암모니아 유입량을 곱한 값이 된다.

스크리버에 의해 흡수된 암모니아의 양을 산출하기 위한 또 다른 방법으로 흡수제로 사용한 증류수에 녹아 있는 암모니아의 양을 분석하는 방법으로 대기오염공정시험법 상의 암모니아 분석방법인 인도페놀법<sup>22)</sup>에 의해 흡수액의 암모니아 농도를 분석하여 흡수제에 녹아 있는 실제 암모니아 흡수량을 계산하였다. 이렇게 산정한 암모니아의 흡수량이 실제 반응시간 동안에 흡수제에 흡수된 암모니아 양으로 이 흡수량을 센서에 의해 구한 값과 비교하여 센서에 의한 실시간 흡수효율 평가의 타당성을 평가하는 것으로 하였다.

우선, 세가지 반응시간 조건에서의 암모니아의 실시간 흡수효율 곡선을 Fig. 5에 나타내었다. 6시간의 실험조건에서는 3회 반복실험의 결과가 다소 차이를 보이고 있었지만, 3시간과 12시간 반응조건 실험에서는 3회 반복의 자료가 구별할 수 없을 정도로 거의 일치하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 한편, 12시간의 실험조건 흡수효율곡선이 3시간이나 6시간의 결과보다 앞서 나타나는 것은 앞서 설명한 바와 같이

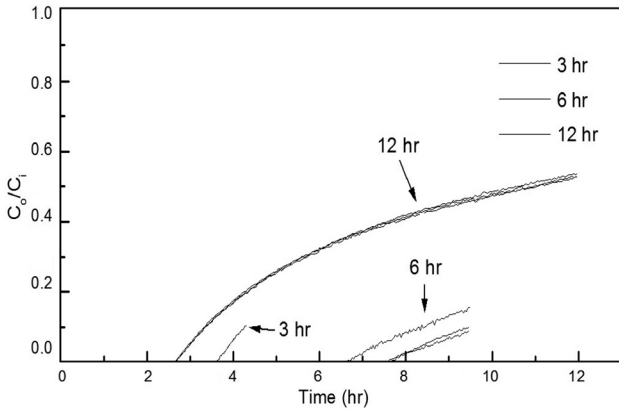


Fig. 5. Realtime breakthrough curve of NH<sub>3</sub> absorption.

12시간 실험시에 암모니아 표준가스를 500 ppm에서 1,000 ppm으로 새로 교체하는 등 실험조건이 변화하여 암모니아 흡수량이 3시간과 6시간 반응시킬 때 보다 12시간 조건에서 2배 정도 증가하여 유입된 관개로 포화되는 시간이 빠르게 나타난 것이다. 또한, 그림 중에서 실선의 아주 미세한 파형이 보이는 것은 센서 전기신호의 노이즈와 수 초 단위의 실시간 자료를 그리는 과정에서의 소수점의 절단과정에서 나타나는 미세한 변화이다.

### 3.3. 가스센서에 의해 산정한 암모니아 흡수량과 실제 분석결과와의 비교

Table 4에 3시간, 6시간 12시간의 반응시간에서 3회 반복실험에 따른 결과를 정리하여 나타내었다. 실험 전후의 흡수액의 pH 변화를 측정하여 동시에 나타내었으며, 센서를

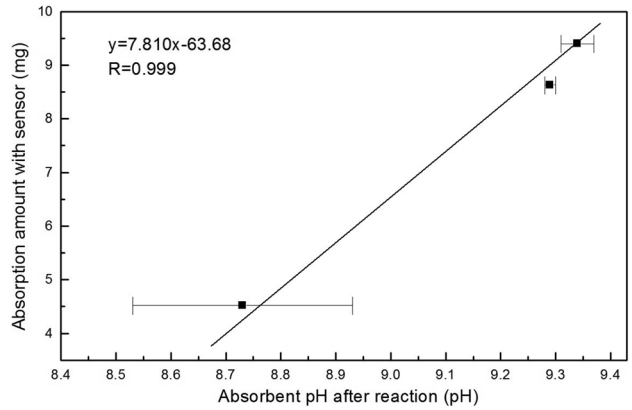


Fig. 6. Comparison of absorption amount and absorbent pH after ammonia absorption (Horizontal lines indicate mean and standard deviation).

이용하여 얻어진 실시간 효율곡선으로부터 산출한 암모니아의 흡수량과 흡수액에 실제 용해된 암모니아양을 대기오염공정시험법 상의 인도페놀법에 의해 분석하여 얻어진 암모니아 흡수량을 각각 나타내어 비교하도록 하였다.

암모니아의 흡수 이전과 이후의 pH는 중성에서 알칼리성으로 변화하였으며, 반응시간에 따른 변화 정도도 3시간의 8.73에서 6시간의 9.29, 12시간의 9.34로 점점 높게 나타났다. 반복실험에 따른 재현성도 암모니아 가스 흡수 이전이 더 차이가 있을 뿐, 흡수 이후의 pH 값의 반복재현성은 매우 높게 나타났다.

Fig. 6은 스크러버 전단과 후단에 설치된 가스센서 출력값으로부터 산출된 암모니아 가스의 흡수량을 암모니아 흡수

Table 4. pH value before and after ammonia absorption and the comparison of absorption amount estimated by sensor measurement and analysed by Indo-phenol method with reaction time

Reaction time (hr)	pH		Absorption amount estimated with sensor measurement (mg)	Absorption amount analysed with Indo-phenol method (mg)	
	Before	After			
3	1	7.85	8.06	4.57	-
	2	6.13	8.93	4.57	4.16
	3	7.96	9.21	4.41	3.24
	<b>Mean</b>	<b>7.20</b>	<b>8.73</b>	<b>4.52</b>	<b>3.70</b>
	SD	0.94	0.20	0.09	0.65
	%RSD	12.99	2.27	2.05	17.62
6	1	6.97	9.32	8.30	7.06
	2	7.10	9.26	8.80	7.90
	3	6.35	9.28	8.83	6.15
	<b>Mean</b>	<b>6.81</b>	<b>9.29</b>	<b>8.63</b>	<b>7.02</b>
	SD	0.40	0.01	0.11	1.24
	%RSD	5.89	0.15	1.23	17.57
12	1	7.44	9.3	9.30	8.35
	2	6.59	9.36	10.0	8.20
	3	7.75	9.36	8.80	9.26
	<b>Mean</b>	<b>7.16</b>	<b>9.34</b>	<b>9.40</b>	<b>8.73</b>
	SD	0.84	0.03	0.60	0.75
	%RSD	11.76	0.37	6.37	8.76

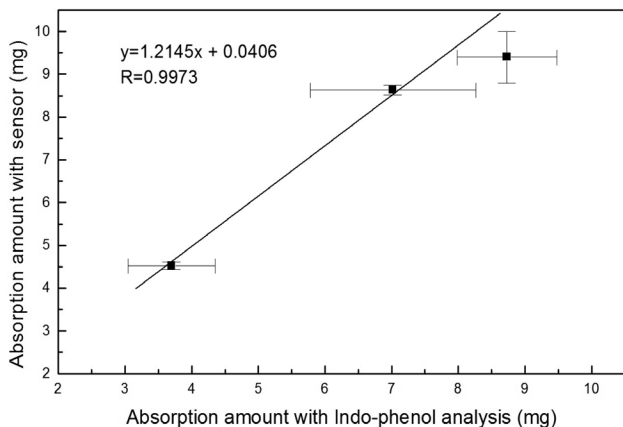


Fig. 7. Comparison between absorption amount estimated by sensor measurement and absorption amount analysed by Indo-phenol method (Horizontal lines indicate mean and standard deviation).

후의 흡수액의 pH 값과 비교한 것으로 흡수 후의 pH 농도와 센서 결과로부터 얻어진 암모니아의 흡수량과도 초기 실험인 3시간 반응조건에서의 결과에서 다소의 편차가 나타나고 있지만 전체적으로 양호한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

Table 4에서와 같이 본 연구의 실험 조건에서 3시간 반응 후의 암모니아 가스의 흡수량은 4.19 mg, 6시간 반응 후는 8.63 mg, 그리고 12시간 반응 후는 9.40 mg으로 산출되었다. 또한, 실제 인도페놀법에 의해 분석한 흡수제의 암모니아 흡수량은 각각 3.70 mg, 7.02 mg 및 8.73 mg으로 암모니아 가스와 흡수제의 반응시간에 따라 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 7은 인도페놀법에 의해 산출된 흡수제의 암모니아 가스 흡수량과 가스센서의 출력값으로부터 산출된 흡수량의 상관관계를 나타내고 있으며, 약 20%의 차이를 보이고는 있지만 매우 높은 상관성이 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 모든 반응시간의 실험조건에서 반복실험에 따른 재현성도 상당히 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 또한 암모니아 가스와 반응 시간에 따라 산출된 흡수량의 결과를 각각 반응시간으로 나누어준 흡수율을 산정하면 3시간 반응시킨 후의 시간당 흡수율은 1.40 mg/hr, 6시간 반응시킨 후의 시간당 흡수율은 1.44 mg/hr 그리고 12시간 반응시킨 후의 시간당 흡수율은 0.78 mg/hr로 계산됨에 따라, 본 연구에서 적용된 암모니아 가스 농도 200 ppm 수준에 대한 100 mL의 증류수의 교체 주기는 6시간과 12시간 사이에 파과가 일어나는 것으로 추정할 수 있다.

이러한 결과를 통하여 스크러버 전단과 후단에 설치된 가스센서의 출력값으로부터 흡수제에 녹아 있는 암모니아의 흡수량을 화학성분분석법이나 기기분석을 적용하지 않더라도 충분히 결과를 산출할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 악취배출시설의 스크러버에 이와 같은 가스센서를 적용하여 흡수제의 흡수량을 산출하는 동시에 교체주기 및 효율 등의 자료도 효율적으로 획득할 수 있는 시스템으로 발전이 가능함을 확인하였다.

#### 4. 결론

대표적인 악취유발 가스인 암모니아의 흡수처리를 위한 실험실 규모의 스크러버 장치를 활용하여, 스크러버 전단과 후단에 설치된 가스센서의 출력값으로부터 흡수제의 실시간 효율을 평가하는 연구를 진행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 반도체식 가스센서를 활용한 실시간 흡수효율 평가 시스템을 구축하여 유입 유량과 농도 등에 대하여 평가한 결과 안정적인 결과를 확인할 수 있었으며, 기존 악취가스 측정을 위해 활용되는 화학성분분석법과 기기분석법이 아닌 반도체 가스센서를 활용하여 암모니아 가스의 농도를 실시간으로 평가한 결과, 가스 검지관에 의해 측정된 암모니아 농도와와의 상관성이 0.99 이상으로 매우 양호함을 확인할 수 있었다.

2) 반도체식 가스센서를 활용한 3시간, 6시간 및 12시간 동안의 평가에서 얻어진 신호값을 이용하여 실시간 암모니아의 흡수량을 평가한 결과, 실험조건별 재현성과 반응시간에 따른 선형성을 확인할 수 있었다.

3) 흡수반응 전후의 증류수에 흡수된 암모니아의 양과 pH를 측정하여 비교한 결과, 흡수 반응 전후의 암모니아의 흡수량과 pH 변화가 매우 높은 상관성을 보임을 확인할 수 있었다. 또한, 가스센서 출력값으로부터 산출된 암모니아 흡수량과 대기오염공정시험법 상의 암모니아 분석방법인 인도페놀법에 의해 분석된 암모니아 흡수량을 비교한 결과 약 20% 정도의 차이는 있었지만, 상관계수는 0.99 이상으로 매우 높게 나타났다.

4) 향후 현장조건에 맞는 다양한 연구를 통하여 악취방지 시설에 가스센서를 적용하여 실시간의 흡수제의 흡수량을 산출하는 동시에 흡수액의 교체주기 및 실시간 효율 등의 평가자료로도 효율적으로 활용할 수 있는 시스템으로 발전이 가능함을 확인하였다.

#### 사 사

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업을 지원받아 수행된 것임(2011-0090).

KSEE

#### 참고문헌

1. National institute of environmental research, "Odor emissions and emission standards," Hearing Sourcebook odor regulation (2003).
2. Ministry of environment, "offensive odor control law"(2006).
3. Ministry of environment, "To develop a management plan

- pollutant emission of foul odor and workplace air pollutants” (2006).
4. Kim, J.-C., “The development of an adsorption efficiency evaluation system for the odor treatment by electrochemical gas sensors,” Graduate School, Deajeon University(2011).
  5. Kim, J.-C. and Kim, S.-T., “A study on the realtime evaluation of odor adsorption efficiency with electrochemical gas sensors,” *Kor. J. Odor Res. Eng.*, **10**(1), 25~32(2011).
  6. Hong, S.-J., “Development of the real-time evaluation system of the deodorants efficiency by using semiconductor gas sensors,” Graduate School, Deajeon University(2009).
  7. P. N. Bartlett, J. M. Elliott, and J. W. Gardner, “Electronic nose and their application in the food industry,” *Food Technol.*, **51**(12), 44~48(1997).
  8. H. Nanto, T. Minami, and S. Takata, “Zinc oxide thin film ammonia gas sensors with high sensitivity and excellent selectivity,” *J. Appl. Phys.*, **60**(2), 482~484(1986).
  9. Kim, H.-M., “A Study on the Development and Application of Odor Evaluation Methodology for Ambient Odor Using Odor Sensor” Graduate School, Daejeon University(2001).
  10. Kil, I. S., “Research on Tracking System of Odor Emission by Real-time Odor Monitoring System,” Graduate School of Knowledge-based Technology and Energy Korea Polytechnic University(2009).
  11. Seo, J.-Y., “A study on the removal of ammonia in odorous exhaust air with a biofilter,” *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **14**(1), 47~57(1992).
  12. Ahn, Y. T., Hwang, Y. H. and Shin, H.-S., “Ammonia Removal Characteristics in Membrane Contactor System Using Tubular PTFE Membrane,” *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **35**(5), 353~358(2011).
  13. Sa, J.-H., Yoon, S.-K., Roh, G.-H. and Jeon, E.-C., “Analysis Methods for Measurement of Ammonia Concentration,” *J. Kor. Soc. Atmos. Environ.*, **24**(1), 43~54(2008).
  14. Kim, G.-S., “A study on biofiltration for the treatment of odorous gases containing ammonia & hydrogen sulfide,” Myongji University(2002).
  15. Hong, S.-J., Kim, S.-T., Yim, B.-B., Huh, H. S. and Kim, H.-N., “A Study on the Evaluation Method of Absorption Efficiency Using Gas Sensor,” Proceeding of the 45th Meeting of KOSAE(2007) Korean Society for Atmospheric Environment, pp. 378~379(2007).
  16. S. Matsushima, Y. Teraoka, N. Miura, and Y. Yamazoe, “Electronic interaction between metal additives and tin dioxide in tin dioxide-based gas sensors,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**, 1798~1802(1988).
  17. S. R. Morrison, “Selectivity in semiconductor gas sensor,” *Sensors and Actuators B*, **12**, 425~440(1987).
  18. K. Arshak, and I. Gaidan, “Gas sensing properties of ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO screen-printed thick films,” *Sensors and Actuators B*, **111~112**, 58~62(2005).
  19. Park, S.-S., Hong, J.-P., Park, S.-Y. and Kim, K.-H., “Flue Gas Desulfurization by a Gas Layered Sieve Plate Absorber,” *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **20**(11), 1611~1618(1998).
  20. Park, Y.-S. and Kyung, D.-H., “A Study on the Absorption Characteristics of HCHO Using Bubble Tank,” *Kor. J. Odor Res. Eng.*, **8**(4), 196~201(2009).
  21. Park, Y.-S. and Suh, M.-S., “A Study on the Absorption Characteristics of Acetaldehyde using Bubble Tank,” *Kor. J. Odor Res. Eng.*, **7**(3), 139~146(2008).
  22. Chung, H.-K. and Kim, B.-S., “Comparison and Evaluation for the Reaction-Rate, Equilibrium and Flow-Injection Analysis Methods Determination of Aqueous Ammonia with Indophenol Method,” *J. Environ. Sci.*, **4**(1), 91~103(1995).