Research article

세정수 유형에 따른 소규모 습식 스크러버의 암모니아 저감효율 평가

노희철¹ · 김대훈¹ · 신진호¹ · 이승훈² · 위지수¹ · 안희권^{3*}

¹충남대학교 농업생명과학대학 동물자원과학부 박사과정, ²충남대학교 농업생명과학대학 동물자원과학부 연구교수,

³충남대학교 농업생명과학대학 동물자원과학부 교수

Effect of scrubbing liquid type on ammonia removal efficiency of wet scrubber

Heecheol Roh¹, Daehun Kim¹, Jinho Shin¹, Seunghun Lee², Jisoo Wi¹, Heekwon Ahn^{3*}

¹Ph.D. Student, Division of Animal and Dairy Science, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34134, Republic of Korea

²Research Professor, Division of Animal and Dairy Science, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34134, Republic of Korea

³Professor, Division of Animal and Dairy Science, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34134, Republic of Korea

Corresponding author

Heekwon Ahn
Chungnam National University, 99
Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon,
34134, Republic of Korea
Tel : +82-42-821-5785
Fax : +82-42-823-2766
E-mail : hkahn@cnu.ac.kr

Received : February 22, 2021

Revised : March 19, 2021

Accepted : March 23, 2021

The influence of scrubbing liquid type on the ammonia removal efficiency of wet scrubber installed in pig fattening houses was evaluated. Ammonia concentrations, which were ranged from 18.0 ± 2.9 to 21.8 ± 3.4 ppmv at the inlet of the wet scrubber, were reduced to 17.3 ± 2.7 , 15.5 ± 1.9 , 13.0 ± 1.5 ppmv, respectively as a result of treatment with scrubbing liquid with water, base agent, microbial agent. It is generally known that wet scrubbers have an ammonia removal of 45~72%, but they have a low removal rate of 18~25% in this study. It was confirmed that there is a significant difference in the daily ammonia removal efficiency. The ammonia removal efficiency was 1.8~26 times higher at nighttime than daytime, which is seen as a result of changes in ambient temperature. The ambient temperature was about 2°C higher than that of scrubbing liquid during the day. The ammonia removal efficiency was decreased due to the ammonia volatilization as the ambient temperature increased. In maintaining the wet scrubber treatment efficiency properly, it is essential to select the scrubbing liquid type correctly and develop appropriate operation methods according to ambient temperature changes, so further research related to this needs to be conducted in the future.

Key words : Wet scrubber, Ammonia, Scrubbing liquid, Fattening house, Temperature

서론

축산업의 성장과 함께 가축사육두수가 증가하였으며, 축산농가가 대규모화됨에 따라 가축분뇨의 관리가 중요해졌다. 특히, 국민들의 인식이 변화함에 따라 축산악취와 관련된 민원은 매해 증가하고 있다. 국내 축산악취 민원은 2013년 2,604건에서 2018년 6,718건으로 5년간 약 2.6배

증가하였으며 (Shin et al., 2021), 이로 인해 가축사육제한 거리와 같은 규제강화로 이어져 축산업 발전에 부정적 영향을 미치고 있다.

또한 악취는 황화수소, 메르캅탄류, 아민류 등 자극성이 있는 물질이 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의되어 있으나 (Brancher et al., 2017), 최근에는 불쾌감을 넘어 보건 및 환경문제를 일으킬 수 있는 물질로 인

식되고 있다 (Capelli et al., 2013). 특히, 암모니아는 돈사 내부 및 외부에 심각한 영향을 미칠 수 있는 오염물질 중 하나로 (Hartung and Phillips, 1994) 돈사에서 배출되는 암모니아는 지역사회에 부정적 영향 (악취 등) 뿐만 아니라 환경문제 (지구온난화, 토양의 산성화, 돼지 및 주민들의 건강 문제 등)를 야기하기에 많은 국가에서 이에 대한 배출규제 및 법률이 강화되고 있다.

이러한 영향들로 인해 돈사에서 발생하는 가스를 저감하기 위한 다양한 기술들이 개발되었다. 악취저감 기술은 크게 돈사내부 (source based method)와 돈사외부 (end-of-pipe method) 기술로 나눌 수 있다. 돈사내부 악취저감 기술은 액비순환시스템, 사료, 첨가제, 미생물제제 등이 있으며, 돈사외부 악취저감 기술은 스크러버, 바이오필터, 윈드브레이크 (바이오커튼, 방풍림 등) 등 다양한 방법들이 있다.

이 중 돈사내부 악취저감 기술은 돈사 내부의 악취저감을 통한 사육환경 개선과 동시에 동물의 생산성을 증대시킬 수 있다는 장점이 있다. 이러한 이유로 수년간 돈사내부 악취저감 기술에 대한 연구가 많이 이뤄졌고 상용화되고 있으며 지속적인 연구가 이뤄지고 있다. 하지만 돈사내부 악취저감 기술만으로는 강화되는 규제를 만족시키는데 한계가 있기에, 돈사내부와 외부저감기술을 융합한 악취저감시설이 바람직하다.

돈사외부 악취저감 기술 중 스크러버는 운영비와 전력비가 많이 들며 배출수가 생성된다는 단점이 있음에도 불구하고 네덜란드를 비롯한 많은 유럽국가에서 엄격한 대기 오염 물질 배출 기준을 충족시키기 위해 많이 사용되고 있으며 (Melse et al., 2009), 축사에서 발생하는 오염물질을 저감하기 위한 방법으로 축사의 배기팬에 직접 연결하여 설치하는 농가형 소규모 스크러버가 개발되고 상용화되었다 (Melse et al., 2006, 2009; Lemay et al., 2009; Loyon et al., 2016).

스크러버의 저감효율에 미치는 영향은 매우 다양하다 (Van der Heyden et al., 2015). 그 중 특히, 스크러버의 유형 (세정수)에 따라 큰 차이가 존재하는데, 스크러버의 유형은 acid scrubber와 biotrickling scrubber로 크게 2가지로 구분된다 (Estellés et al., 2011). Melse and Ogink (2005)는 acid scrubber와 biotrickling scrubber의 암모니아 저감효율은 각각 약 96%, 70%라고 보고하였으며, Melse et al. (2012)은 bio-trickling scrubber의 암모니아 저감효율이 약

82%라고 보고하였다. 이와 같이 스크러버의 유형에 따라 저감효율이 크게 차이가 있으며, 암모니아 뿐만 아니라 먼지, 악취 등에 따라 저감효율이 차이를 보인다 (Aarnink et al., 2005). 최근에는 이러한 유형별 저감효율을 보완하기 위해 2가지 이상의 세정수를 사용하는 멀티스크러버에 대한 연구도 이뤄지고 있다 (Zhao et al., 2011).

또한 스크러버의 유형 외에도 온도에 따라 저감효율이 차이를 보인다. Melse et al. (2012)은 계절 및 일 중 암모니아 저감효율 변화를 평가하였는데, 입기되는 온도가 증가함에 따라 세정수의 온도에 직접적인 영향을 주어 암모니아 저감 효율이 감소하였다고 보고하였다.

이와 같이 국외의 경우 다양한 세정수 유형별 저감효율 평가에 대한 연구가 활발하게 이뤄지고 있으나, 국내의 경우 스크러버가 많이 보급되고 있는 반면, 이에 대한 연구는 많이 이뤄지고 있지 않고 있다. 특히, 일 중 변화에 대한 연구는 국외에서도 아직까지 많이 이뤄지고 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구는 실시간 모니터링 장치를 이용해 각 세정수 유형별 및 일 중 온도변화에 따른 암모니아 저감효율 평가를 진행하였다.

재료 및 방법

1. 돈사의 일반적 특성

본 연구는 기계적 환기시스템을 갖춘 무창형태의 비육 돈사에서 이루어졌으며, 약 250두의 비육돈을 대상으로 진행하였다. 각 돈방 (30 × 11 m)은 부분슬랫 형태의 바닥으로, 슬러리피트의 깊이는 1.2 m이다 (Figure 1). 슬러리피트 내 분뇨는 비육돈 전면출하 후 제거하였으므로 본 연구를 수행하는 동안에는 제거되지 않았다.

돈사의 환기시스템은 입기의 경우 돈방 측면에 위치한 4개의 입기구를 통해 이뤄졌으며, 돈방 내 온도조절을 위해 Ø65 cm 측벽 상시 환기팬 4기와 비상시 굴뚝 배기팬 4기를 갖추고 있다 (Figure 1).

2. 스크러버 특성

스크러버 (1.8 × 1.05 × 1)는 돈사외부에 설치되었으며, 측벽 상시환기팬에 각각 독립적으로 설치되어 운영되었다. 돈사에서 배출되는 공기는 스크러버로 들어가 4개의 packed bed를 통과하면서 6개의 노즐 (Ø10)을 통해 분사

Figure 1. Cross-section of the experimental swine barn (top view).

Figure 2. Cross-section of the experimental wet-scrubber (side view).

되는 세정액에 의한 탈취과정을 거쳤다. 세정수의 부피는 약 400 L로 연구기간 동안 재순환되었으며 수위센서를 통해 증발되는 물의 양만큼 지하수가 유입되도록 설정되었다 (Figure 2).

3가지 유형 (물, 미생물제, 염기성제)의 세정수를 대상으로 각각 약 1주간 진행하였으며, 세정수 유형 교체 시 순환되는 모든 세정수를 제거하였다. 미생물제와 염기성제는 각각 전체 세정수 부피의 약 0.6%, 1% 투입되었고 각 세정수 유형별 3반복하였다.

3. 측정

(1) 암모니아

가스 측정 지점은 스크러버의 입기와 배기부분으로 입기와 배기에서 동시간에 측정되도록 설정하였으며, 전기화학식 가스센서 (NH₃/CR-200, Memprapor Co., Wallisellen, Switzerland)를 이용한 실시간 자동약취측정장치 (OMS-200, Smart Control & Sensing Inc., Daejeon, Rep. of Korea)를 통해 암모니아 농도를 측정하였다. 가스는 1시간 간격

으로 측정하였으며, 측정 시 2 L min^{-1} 의 유량으로 5분간 측정 후 10분간 flushing 하였다. 가스센서는 표준가스 (0, 6, 12, 24, 48 ppm)를 이용하여 교정하였다.

(2) 온·습도

돈사 내부에 온·습도 센서 (MHTP-485S, Econarae Co, Yongin, Rep. of Korea)를 설치하여 가스 측정 시점의 온·습도를 측정하였으며, 돈사 외부의 온·습도는 기상청에서 제공하는 지역별 날씨정보를 이용하였다.

또한 일간 외기는 변화가 스크러버 효율에 미치는 영향을 확인하기 위해 T-type thermocouple과 Labview software (National Instruments, version 2011)을 사용하여 외기온과 세정수 온도, 스크러버 상단부 온도 변화를 모니터링 하였다.

(3) 세정수 분석

각 세정수 유형별 시작시점과 종료시점의 세정수를 샘플링 하였다. 샘플링 된 세정수는 4°C 이하로 냉장보관 하였으며 pH, electric conductivity (EC), ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$), alkalinity를 분석하였다. pH, EC는 유리전극을 이용한 pH meter (Thermo Scientific, Orion 4 Star pH, and EC conductivity benchtop meter)로 측정하였고 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 alkalinity는 흡광도분석법을 이용하여 분석하였다 (Thermo Scientific, Gallery Discrete Analyzer).

4. 통계분석

선별된 데이터는 Origin Pro software (Origin Lab, version 8.1)를 이용해 분산분석 (one-way ANOVA)을 사용하여 통계적 유의성에 대해 평가하였다. 집단 간 차이는 95% 신뢰수준에서 결정되었다 ($p < 0.05$).

결과 및 고찰

1. 세정수 유형별 저감효율 평가

Table 1은 각 세정수 유형별 연구기간 동안의 평균온도, 암모니아 농도 및 저감효율을 나타내었다. 세정수 유형 중 염기성제의 경우 기기의 오류로 인해 4일차 ($n = 5$)까지의 데이터만을 나타내었다.

일반적으로 wet scrubber의 효율은 세정수 유형별로 크게 차이가 있으며, 산제 ($\text{pH} < 4$)를 사용하는 스크러버는 약 90% 이상의 암모니아 저감효과를 나타내고 물을 이용한 bio-trickling 스크러버는 약 70%의 효율을 나타낸다 (Melse and Ogink, 2005). 그러나 본 연구에서의 각 세정수 유형 (물, 염기성제, 미생물제)별 스크러버 입기구의 암모니아 평균농도는 각각 21.8 ± 3.4 , 20.5 ± 2.9 , 18.0 ± 2.9 ppmv, 배기구의 암모니아 평균농도는 각각 17.3 ± 2.7 , 15.5 ± 1.9 , 13.0 ± 1.5 ppmv로 전체기간 동안의 암모니아 저감효율은 각각 18.0 ± 10.0 , 18.0 ± 18.1 , $25.3 \pm 14.9\%$ 를

Table 1. Daily mean NH_3 concentration, removal efficiency, and temperature of each liquid type. (Mean $\pm$ S.D.)

		Water (n = 9)	Basic (n = 9)	Microorganism (n = 5)
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Ambient	24.0 ± 2.1	22.5 ± 0.7	22.3 ± 2.4
	Room	27.4 ± 0.6	27.7 ± 0.3	27.5 ± 1.1
NH_3 concentration [†] (ppmv)		21.8 ± 3.4	20.5 ± 2.9	18.0 ± 2.9
NH_3 concentration [‡] (ppmv)		17.3 ± 2.7	15.5 ± 1.9	13.0 ± 1.5
NH_3 removal efficiency (%)		18.0 ± 10.0 a [§]	18.0 ± 18.1 a	25.3 ± 14.9 a

[†] inlet, [‡] outlet, [§] Means with different superscripts in the same row of each group are significantly different ($p < 0.05$).

Table 2. Mean of pH, EC, $\text{NH}_4\text{-N}$, and alkalinity of each liquid type. (Mean $\pm$ S.D.)

	pH		EC ($\mu\text{S/cm}$)		$\text{NH}_4\text{-N}$ (ppm)		Alkalinity (ppm)	
	Start	End	Start	End	Start	End	Start	End
Water	7.9 (0.3)	8.1 (0.1)	408.3 (49.4)	2,202.0 (460.6)	17.4 (± 8.4)	1,164.6 (223.5)	85.0 (25.8)	527.3 (11.5)
Basic	8.7 (0.1)	8.3 (0.2)	504.7 (90.0)	1,602.0 (180.3)	0.0 (0.0)	696.7 (51.0)	815.1 (8.5)	463.3 (27.0)
Microorganism	3.1 (0.0)	7.9 (0.0)	2,996.7 (267.6)	3,350.0 (735.1)	65.8 (30.4)	1,158.1 (270.4)	0.0 (0.0)	351.8 (46.6)

보였으며, 이는 기존 문헌에서 보고한 암모니아 저감효율과는 달리 매우 낮은 암모니아 저감효율을 보였다.

이와 같이 스크러버의 암모니아 저감효율에 미치는 영향은 온도, 환기량, 분사 속도, packed bed의 두께 등 다양하나, 본 연구에서의 낮은 저감효율은 스크러버의 설계에 의한 영향으로 판단되며, 특히, discharge water flow에 의한 영향으로 판단된다. discharge water flow는 산제를 사용할 경우 황산암모늄을 제거하고, 물을 사용 할 경우 (bio-trickling method) 질산화 과정을 억제하는 free NH_3 , free nitrous acid (HNO_2)의 축적을 방지하기 위해 요구된다.

이러한 이유로 Melse and Ogink (2005)는 잘 설계되고 안정적인 시스템에서의 효율이 각각 90%, 70%라고 보고하였으며, 이를 위해서는 최소한의 discharge water flow가 필요하다고 보고하였다. 또한 Melse (2009)는 적절한 discharge water flow를 통해 일반적으로 재순환수는 다음과 같은 조건이 만들어진다고 보고하였다; $6.5 < \text{pH} < 7.5$, $1 < [\text{N-total}] (\text{g L}^{-1}) < 4$, $0.8 < [\text{NH}_4^+]/[\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-] < 1.2$.

그러나 본 연구에서는 Table 2와 같이 pH가 해당범위가 아닌 pH 8에 머물러 있다. 또한 용해도를 의미할 수 있는 EC의 경우 세정수가 배출되지 않음으로써 지속적으로 축적되고 있으며, 이는 질소의 축적으로 인해 용해 및 반응을 억제할 수 있는 요인으로 작용할 수 있다. 이러한 이유로 암모니아 저감효율이 감소한 것으로 판단되며, 총질소, 암모늄질소/아산화질소의 비율은 본 연구에서 측정하지 못하였으나, 이를 통해 스크러버의 시스템을 파악할 수 있을 것으로 보이며 이에 대한 연구는 더 이뤄져야 할 것이다.

또한 각 세정수 유형별 저감율은 미생물제의 경우 초기 pH가 4 이하로 암모니아 저감효율이 높은 pH 범위에 있

었지만, 지하수 유입 등의 이유로 pH가 유지되지 못했으며 이에 타세정수에 비해 약 1.4배 높은 암모니아 저감효율을 보였으나 3가지 유형별 유의적 차이는 존재하지 않았다 ($p > 0.05$).

2. 하루 중 저감효율 평가

(1) 온도

하루 중 스크러버 배출구의 온도와 외기온은 외기온이 증가함에 따라 배출구 부분의 온도 또한 증가하는 경향을 보였으며 ($r = 0.91$, $p < 0.05$), 배출구는 낮과 밤이 각각 27.4 ± 1.0 , $25.1 \pm 0.6^\circ\text{C}$, 외기온은 각각 27.0 ± 2.0 , $24.2 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 로 낮이 밤보다 약 1.1배 높은 온도를 보였다 ($p < 0.05$). 이와는 반면, 세정수의 온도와 외기온은 각기 다른 경향을 보였다. 외기온은 낮이 밤에 비해 약 1.1배 높은 온도를 보였으나 ($p < 0.05$), 세정수 온도는 약 25°C 로 비교적 일정하게 유지되었다 ($p > 0.05$).

(2) 암모니아 농도

암모니아 농도와 외기온은 전체기간 동안의 각 시간대별 평균값을 통해 계산하였으며, 이는 Figure 3과 같다.

Melse et al. (2012)은 외기온이 증가함에 따라 스크러버 입기 부분에서의 암모니아 농도는 감소하고, 배출구 부분의 암모니아 농도는 증가하는 경향을 보인다고 보고하였으며, 이는 외기온에 따른 희석효과와 세정수의 온도변화로 인해 나타나는 결과라고 보고하였다.

본 연구 또한 기존 연구결과와 같은 경향을 나타내었으며, 특히, 외기온이 높은 13~16시경 스크러버의 배출구가

Figure 3. Daily pattern of ammonia concentration and ambient temperature.

입기구의 암모니아 농도보다 높은 경향을 나타냈다. 하지만 기존 연구결과와는 달리 외기온이 증가함에도 불구하고 세정수 온도는 25°C를 유지하였기에 세정수의 온도변화가 아닌 세정수와 외기온의 온도차이로 인한 결과로 사료된다.

일반적으로 암모니아와 암모늄의 전환은 온도에 의해 영향을 받으며, 온도가 증가할 경우 가스 형태의 암모니아로 휘산되는 비율이 증가하고 (Huang and Shang, 2006), 온도가 1°C 증가할 경우 용해도는 약 5% 감소한다.

이러한 이유로 스크러버의 상단부, 세정수, 외기온도가 약 25°C로 유사한 밤에는 온도에 의한 휘산없이 물에 녹아 있는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 으로 존재하는 반면, 세정수와 외기온도가 약 2°C 차이가 나는 낮에는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 형태로 물에 녹아있던 물질들이 NH_3 (gas)로 휘산되어 배출됨으로써 스크러버의 배출구가 입기구에 비해 높은 암모니아 농도를 보인 것으로 사료된다.

(3) 암모니아 저감효율

이미 외기온이 증가할수록 암모니아 저감효율은 낮아진다는 것은 많은 연구자들에 의해 보고되어 왔으며, 이는 세정수 온도, contact time 등의 이유로 나타난다고 보고하였다. 이렇듯 기온이 비교적 높은 낮에 암모니아 저감효율이 감소하는 경향을 보이며, 본 연구결과 외기온과 암모니아 저감효율은 음의 상관관계 ($r = 0.8, p < 0.05$)로 기존 문헌들과 같은 경향을 나타내었다.

이 결과 Table 3과 같이 3가지 세정수 유형 모두 외기온이 높은 낮이 밤에 비해 암모니아 저감효율이 감소하는 것을 볼 수 있었으며 ($p < 0.05$), 물, 염기성제, 미생물제의 낮과 밤 간 암모니아 저감효율은 밤이 낮에 비해 각각 약 8, 26, 1.8배 높게 나타났다.

결론

본 연구는 습식 스크러버의 효율 평가를 위해 약 250두 규모의 돈사에서 세정수 유형별 각 1주간 실시간 모니터링을 하였다. 이 결과 세정수 유형별 암모니아 저감효율은 기존 연구결과의 약 26~28% 수준의 낮은 저감효율을 나타내었으며, 세정수 유형별 암모니아 저감효율에 있어 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 다양한 요인들 중 세정수 배출 유량 (Discharged water flow)의 부재와 pH 및 EC의 유지문제로 인해 나타난 것으로 보인다. 이러한 문제를 해결하기 위해 EC meter를 설치하여 세정수 배출 유량을 조절함으로써 스크러버의 저감효율을 증진시킬 수 있을 것으로 보이며, 특히, 산제를 사용하는 스크러버의 경우 pH meter를 통해 4 이하의 pH로 조절하여 보다 높은 저감효율을 이끌어 낼 수 있을 것으로 예상된다.

또한 습식 스크러버를 가동하는데 있어 하루 중 암모니아 저감효율이 크게 변화한다는 것을 확인할 수 있었다. 이런 변화는 외기온에 의한 영향을 크게 받으며 외기온과 암모니아 저감효율 사이에는 음의 상관관계를 보이는 것을 확인할 수 있었고 이에 낮이 밤에 비해 현저하게 낮은 저감효율을 나타내었다. 특히, 특정시간 대에 배출구의 암모니아 농도가 입기구의 농도보다 높은 결과를 보였는데, 이 또한 세정수 배출 유량을 높여 비교적 깨끗한 지하수를 유입 시킴으로써 휘산되는 암모니아를 저감할 수 있을 것으로 보인다.

이처럼 돈사 배기구에 습식 스크러버를 설치함으로써 외부로 배출되는 암모니아를 감소시킬 수 있다. 이러한 이유로 국내에서는 스크러버에 대한 관심이 많아지고 있으며 악취에 대한 민원으로 스크러버를 설치하여 민원을 해소하고자 하는 노력들이 많아지고 있다. 실제로 광역축산 악취 개선 사업 중 스크러버의 보급비율이 약 24%로 많은

Table 3. Diurnal characteristics of ambient temperature, and NH_3 removal efficiency per hour of each liquid type.

		Water		Basic		Microorganism	
		Day	Night	Day	Night	Day	Night
Ambient temperature (°C)	Min	22.9	20.7	20.1	19.0	21.7	24.2
	Max	28.4	23.3	28.3	23.4	27.6	20.2
	Mean	26.7 ± 1.8 a [†]	21.6 ± 0.8 b	25.0 ± 2.7 a	20.4 ± 1.4 b	25.9 ± 2.0 a	21.6 ± 1.3 b
NH_3 removal efficiency (%)	Min	-7.1	6.9	-35.6	-3.4	3.7	15.8
	Max	26.5	32.6	57.7	59.5	43.1	44.0
	Mean	7.9 ± 12.3 a	26.4 ± 8.4 b	1.5 ± 34.9 a	38.6 ± 25.1 b	18.1 ± 15.0 a	32.3 ± 8.3 b

[†] Different superscripts in the same row in each liquid meaning each group are significantly different ($p < 0.05$).

비율을 차지하고 있다 (Ahn et al., 2021). 그러나 아직까지 국내에서 보급 중인 스크러버에 대한 연구는 많이 이뤄지지 않고 있으며, 대부분의 연구는 저감효율에 중점을 두어 이뤄지고 있는 실정이다.

Melse et al. (2012)은 환기량이 증가할 경우 저감효율은 비교적 낮게 나타날 수 있다고 보고하였다. 본 연구 또한 외기온이 높은 낮에 저감효율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 양적인 면으로 봤을 경우에는 낮 시간에 가장 많은 양의 암모니아 저감되므로 환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있다. 그러나 국내 대부분의 연구는 저감효율에 중점을 두어 이뤄지고 있는 실정이기에 환경에 미치는 영향을 고려한 저감량에 대한 연구가 필요할 것으로 보이며, 이 외에도 저감량 및 저감효율을 개선하기 위한 환기량, 스크러버의 작동인자 등의 영향요인 대한 연구가 필요하다.

인용문헌

- Aarnink, A., Landman, W., Melse, R., Huynh, T., 2005. Systems for eliminating pathogens from exhaust air of animal houses, Livestock Environment VII, 18-20 May 2005, Beijing, China. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 239.
- Ahn, H.K., Jung, M.W., Lee, I.B., 2021. Study on swine farm odor emission characteristics and reduction technology. Research Report. Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
- Brancher, M., Griffiths, K.D., Franco, D., de Melo Lisboa, H., 2017. A review of odour impact criteria in selected countries around the world. Chemosphere, 168, 1531-1570.
- Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R., Guillot, J.-M., 2013. Measuring odours in the environment vs. dispersion modeling: A review. Atmospheric Environment, 79, 731-743.
- Estellés, F., Melse, R., Ogink, N., Calvet, S., 2011. Evaluation of the NH₃ removal efficiency of an acid packed bed scrubber using two methods: A case study in a pig facility. Transactions of the ASABE, 54, 1905-1912.
- Hartung, J., Phillips, V., 1994. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. Journal of Agricultural Engineering Research, 57, 173-189.
- Huang, J.-C., Shang, C., 2006. Air stripping, Advanced physicochemical treatment processes. Springer, pp. 47-79.
- Lemay, S.P., Martel, M., Belzile, M., Zegan, D., Feddes, J., Godbout, S., Pelletier, F., 2009. A systematic literature review to identify an air contaminant removal technology for swine barn exhaust air. CSBE/SCGAB 2009 Annual Conference, Prince Edward Island.
- Loyon, L., Dupard, P., Saint Cast, P., Guiziou, F., 2016. Assessment of NH₃ reduction and N₂O production during treatment of exhausted air from fattening pigs building by a commercial scrubber. Agricultural Sciences, 7, 693-709.
- Melse, R., Van Wagenberg, A., Mosquera, J., 2006. Size reduction of ammonia scrubbers for pig and poultry houses: Use of conditional bypass vent at high air loading rates. Biosystems Engineering, 95, 69-82.
- Melse, R.W., 2009. Air treatment techniques for abatement of emissions from intensive livestock production. Wageningen Livestock Research, Environmental Technology, WIMEK.
- Melse, R.W., Ogink, N., 2005. Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. Transactions of the ASAE, 48, 2303-2313.
- Melse, R.W., Ogink, N.W., Rulkens, W.H., 2009. Overview of European and Netherlands' regulations on airborne emissions from intensive livestock production with a focus on the application of air scrubbers. Biosystems Engineering, 104, 289-298.
- Melse, R.W., Ploegaert, J.P., Ogink, N.W., 2012. Biotrickling filter for the treatment of exhaust air from a pig rearing building: Ammonia removal performance and its fluctuations. Biosystems Engineering, 113, 242-252.
- Shin, J., Lee, S., Chilakala, R., Kim, D., Roh, H., Wi, J., Chung, W., Ahn, H.K., 2021. Evaluation of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a swine growing barn equipped with pit recharge system combined with swine slurry purification facility. Korean Society of Odor Research and Engineering Conference. Seoul, Korea.
- Van der Heyden, C., Demeyer, P., Volcke, E.I., 2015. Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives. Biosystems Engineering, 134, 74-93.
- Zhao, Y., Aarnink, A., De Jong, M., Ogink, N., Koerkamp, P.G., 2011. Effectiveness of multi-stage scrubbers in reducing emissions of air pollutants from pig houses. Transactions of the ASABE, 54, 285-293.