

Short Communication



CrossMark

Open Access

## 과수원에서 사과 및 배 재배 시 복합비료 시용에 따른 암모니아 배출계수 평가

김민욱, 홍성창, 유선영, 김진호\*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 기후변화평가과

### Evaluation of Ammonia Emission Coefficient according to the use of Compound Fertilizers when Cultivating Apples and Pears in Orchards

Min-Wook Kim, Sung-Chang Hong, Seon-Young Yu and Jin-Ho Kim\* (Climate Change Assessment Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration)

Received: 19 December 2021/ Revised: 23 December 2021/ Accepted: 28 December 2021

Copyright © 2021 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### ORCID

Min-Wook Kim  
<https://orcid.org/0000-0001-8262-5909>

Jin-Ho Kim  
<https://orcid.org/000-0002-5266-1586>

Seon-Young Yu  
<https://orcid.org/0000-0002-8514-1712>

Sung-Chang Hong  
<https://orcid.org/0000-0002-9042-1284>

#### Abstract

**BACKGROUND:** Ammonia is known as a precursor to fine particulate matter, and according to CAPSS, annual ammonia emissions in the agricultural sector were 249,777 tons as of 2018, accounting for about 79.0% of Korea's total ammonia emissions. In particular, ammonia emissions from agricultural land increased by 19,566 tons (10.2%) compared to the previous year. The Ministry of Environment is setting emission statistics using the ammonia emission coefficient developed in Korea in 2008, but researchers in the agricultural field regard it as a coefficient that does not reflect the reality of Korea's agricultural environment. Accordingly, in order to develop ammonia emission coefficients from the cultivation of apples and pears, Korea's representative fruit type, test agri-

cultural land was set in Iksan, Jeollabuk-do.

**METHODS AND RESULTS:** This study attempted to obtain the ammonia emission coefficient by the treatment of the composite fertilizer (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=12-7-9), and the flux was measured using a dynamic flow-through chamber method. As for the chamber, a total of 12 chambers were installed repeatedly in 4 zones and used to develop emission coefficients. Using compound fertilizers during fruit tree cultivation, the ammonia emission coefficient was evaluated as 10.4 kg NH<sub>3</sub>/ton for pears and 15.3 kg NH<sub>3</sub>/ton for apples. The reason why the ammonia emission coefficient according to the use of composite fertilizers was calculated higher for apple cultivation is believed to be due to the relatively high pH concentration of apple orchard soil.

**CONCLUSION(S):** This study may provide basic data for upgrading the ammonia emission coefficient when using composite fertilizers in agricultural land. In the future, it might be necessary to upgrade the calculation of emis-

\*Corresponding author: Jin-Ho Kim  
Phone: +82-63-238-2492; Fax: +82-63-238-3823;  
E-mail: water@korea.kr

sions through the development of ammonia and fine particulate matter emission coefficients considering the agricultural environment of Korea.

**Key words:** Ammonia emission, Compound fertilizes, Air pollution, Agriculture, Orchard

## 서 론

2018년 기준, 농업부문 연간 암모니아 배출량은 249,777 톤으로 우리나라 전체 암모니아 배출량 315,975 톤의 약 79.0%를 차지하고 있다. 환경부 국가미세먼지정보센터에 따르면, 농업부문은 전년 대비 5,442 톤(2.2%) 증가하였는데 비료사용량과 가축사육두수 증가가 주요 원인이라고 밝혔다. 비료 사용에 따른 암모니아 배출과 밀접한 관련이 있는 비료사용농경지 부문은 전년대비 19,566톤(10.2%) 증가한 것으로 나타났다. 암모니아는 2차 생성 미세먼지 전구물질로 대기 중 반응을 통하여 초미세먼지를 발생시킨다[1]. 그동안 농업분야에서 암모니아는 악취원인 물질과 질소비료로 인한 토양, 하천 오염 정도로 인식되다가 2019년 초부터 초미세먼지 원인 물질로 지목을 받으면서 이에 따른 각종 대책방안을 수립하고 있다[2]. 질소비료는 환경오염을 증가시킬 수 있음에 따라 작물의 질소 이용 효율을 향상시키고 질소 유실을 감소시켜야 한다[3].

국립농업과학원은 환경부 대기오염정책시스템(CAPSS; Clean Air Policy Support System)상의 노후화된 농업분야의 배출원 분류체계 및 비중별 암모니아 배출계수 개선 연구를 진행하고 있다. 비료사용농경지 부문 비중별 암모니아 배출계수를 살펴보면, 요소와 복합비료를 제외한 8종의 비중이 94년 US EPA 배출계수를 아직도 인용하고 있다. 우리나라에서 가장 많이 사용되고 있는 요소와 복합비료의 경우, 2008년 국내에서 암모니아 배출계수가 개발되었지만 현재 13년이 지난 노후계수이며 우리나라 작물재배방법을 반영한 암모니아 배출계수 개선이 필요한 시점이다.

본 연구는 주요과수(밭) 재배과정에서 복합비료 사용에 따른 암모니아 배출특성을 파악하기 위해, 전라북도 익산시 낭산면 소재의 사과, 배 과수원에 시험포장을 조성하였다. 암모

니아 포집은 과수 재배기간 및 휴경기를 포함하였으며 포집된 암모니아는 비색법(Nesslerization method)을 통해 농도 분석을 진행하였다. 암모니아 배출량 산정식을 이용하여 측정·분석된 데이터를 정리하였고 연간 총 암모니아 배출량은 매주 1회 실측자료를 이용하여 직선보간법으로 실측 기간의 총 누적 배출량을 추정하여 산정하였다. 본 연구를 통해 국내 농업환경 여건을 반영하여 복합비료 사용에 따른 암모니아 배출특성, 배출량 등의 과학적 근거 자료를 확보할 수 있었으며 기존 복합비료 암모니아 배출계수를 개선하였다.

## 재료 및 방법

### 시험 포장 선정 및 암모니아 포집 시스템 구축

주요과수 재배과정에서 복합비료 사용에 따른 암모니아 배출계수 개발을 위해 전라북도 익산시 낭산면 소재에 시험포장을 조성했다. 시험포장은 사과, 배 과수원으로 사과(후지) 과수원은 약 2.6 ha면적에 15년 이상 성목이 식재되어 있고, 배(그린시스, 슈퍼골드) 과수원은 약 1.3 ha면적에 24년 이상의 성목이 식재되어 있다. 두 과수원의 토성은 사양토(Sandy loam)로, 농촌진흥청 작물별 표준재배법으로 재배되고 있다. 토양으로부터 대기로 배출되는 암모니아를 포집하기 위해 다음과 같이 암모니아 포집 시스템을 구축하였다(Fig. 1). 비료 처리 조건을 달리하기 위해 실험 배치는 난괴법으로 1구역당 처리 면적은 1.5 m x 0.5 m이며, 과수 간 재식거리는 3 m이다. 챔버 위치는 과수에서 0.75 m 떨어진 거리에 4구역 3반복 총 12개의 챔버를 설치하였다.

### 암모니아 포집 및 배출량 산정방법

복합비료(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=12-7-9) 시비에 따른 암모니아 플럭스는 동적챔버(Dynamic flow-through chamber method) 방법을 사용하여 측정하였다. 동적챔버는 초기 제작 및 설치 비용이 높으나 대표 배출량을 산정하기 적합하다. 토양 챔버 재질은 PVC 소재로 부피가 9.8 L(∅ 25 cm x H 20 cm)이다[5]. NH<sub>3</sub> 포집에 사용한 용액은 0.1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(30 mL)이며 정량적 측정을 위해 UV/vis spectrophotometer (U-3900H)를 이용해 425 nm 파장에서 각각의 standard solution 흡광도를 측정하고 검량선을 작성했다. 토양에서부

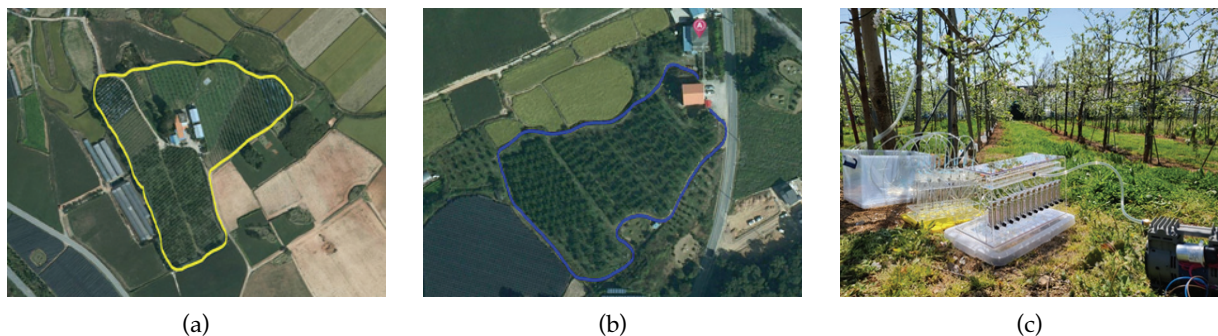


Fig. 1. (a) Pear orchard, (b) Apple orchard, (c) Ammonia measuring instrument.

터 휘발되는 암모니아 농도가 낮기 때문에 인도페놀법보다 암모니아 가스 검출 감도가 높은 Nesslerization method을 통해 농도 분석을 진행하였다.

시험포장에서 1회 측정 시 분당 2 L씩 1시간 동안 토양에서 발생하는 암모니아를 포집하였고 재배기간 중 주 1회 측정하였다. 단, 추비 이후에는 암모니아 휘산이 약 일주일간 급격히 증가하는 경향을 보이기 때문에 추비 후 5일간 일 1회 측정했다. 수확 후 비 재배기간 중에는 격주로 1회씩 주요 과수 재배과정에서 복합비료 사용에 따른 암모니아를 포집하였다. 암모니아 배출량을 산정하기 위한 식(1)은 아래와 같다 (Andreas et al., 2006).

$$f(NH_3) V \times conc. \times 10^{-6} \times \rho_{NH_3} \times U_N \times U_a \times U_z \quad (1)$$

여기서,  $f(NH_3)$ 는  $NH_3$  플럭스(mg N m/h), V는 챔버 부피(L),  $conc.$ 는  $NH_3$  농도(mg/L),  $\rho_{NH_3}$ 는 온도에 따른 대기 중  $NH_3$  밀도,  $U_N$ 은  $NH_3$ 에서  $NH_3-N$  변환 계수,  $U_a$ 는 면적( $m^2$ ) 및  $U_z$ 는 시간 변환 계수(h)이다. 연간 총 암모니아 배출량은 재배기간 및 휴경기를 포함한 분석 자료를 이용하여 직선보간법으로 실측 기간의 총 누적 배출량을 추정하여 산정하였다.

#### 비료처리 조건

복합비료는 질소, 인산, 칼리 중 2종 이상의 성분이 알맞게 함유된 비료이며, 작물 성장을 도와준다. 복합비료(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=12-7-9) 처리는 질소 기준으로 시비량을 4 처리(무처리, 반량, 표준, 배량)로 구분하였다. 이와 같이 4 처리를 설정한 이유는 지역마다 농과 관행마다 비료 시비량이 모두 다르기 때문이다. 질소 시비수준은 농촌진흥청 '작물별 표준

재배법'을 인용하였다. 사과, 배 시비량을 산정하기 위한 식(2) (3)은 아래와 같다.

$$\frac{100 \text{ kg}}{10000 \text{ m}^2} \times \frac{100\%}{12\%} \times \frac{490.625 \text{ cm}^3}{\text{chamber}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \approx 4.1 \text{ g/chamber} \quad (2)$$

$$\frac{50 \text{ kg}}{10000 \text{ m}^2} \times \frac{100\%}{12\%} \times \frac{490.625 \text{ cm}^3}{\text{chamber}} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \approx 2.0 \text{ g/chamber} \quad (3)$$

표준시비 경우, 사과와 배 과수원에 설치된 챔버 안에 각각 4.1 g, 2.0 g 처리하였으며 이를 기준으로 반량, 배량 수준으로 비료 처리 조건을 달리하여 농업환경 여건을 반영하고자 하였다(Table 1).

#### 시험전·후의 토양 분석

토양이 가지고 있는 물리적·화학적 성질을 파악하고 복합비료 시비에 따른 토양에서부터 대기로 배출되는 암모니아 휘산량을 파악하기 위해 재배 전('21.3월), 수확 후('21.10월)의 토양분석을 실시하였다. 시험포장 내에서도 지점에 따라 토양 양분함량이 불균일하므로 전체 포장을 대표할 수 있도록 시료 채취 지점을 여러 곳 선정해야 한다(농촌진흥청, 2017). 신뢰도 높은 토양분석을 위해서는 정확한 시료 채취가 선행되어야 한다. 지표면의 식물 잔사나 이물질 등을 제거하고 지그재그로 이동하면서 비료 처리 조건 지점에서 재배 전, 수확 후 표토(0-15 cm)와 심토(15-30 cm)를 각각 3회 채취하여 토양분석(pH, EC, 유기물, 유효인산, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, T-N)을 진행하였다.

Table 1. Amount of applied fertilizer

Treatment							
Label	Plot No.	Apple fertilizer		Pear fertilizer			
		kg N /ha	application level g/chamber	kg N /ha	application level g/chamber		
A-1	1			A-1	1		
A-2	5	0	0.0	A-2	5	0	0.0
A-3	9			A-3	9		
B-1	2			B-1	2		
B-2	6	50	2.0	B-2	6	25	1.0
B-3	10			B-3	10		
C-1	3			C-1	3		
C-2	7	100 (Standard)	4.1	C-2	7	50 (Standard)	2.0
C-3	11			C-3	11		
D-1	4			D-1	4		
D-2	8	200	8.2	D-2	8	100	4.0
D-3	12			D-3	12		

**결과 및 고찰**

**토양분석 결과**

수소이온지수(pH)는 양분 공급의 척도가 되는 지표이며 토양의 pH가 7.0 이상일 때 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>이 NH<sub>3</sub>로 전환되어 대기 중으로 손실될 수 있는 걱정 조건이다[4]. 토양성분 분석 결과, 두 과수원 모두 토양 화학적 적정 범위로 나타났으며 배 과수원에서는 재배 전보다 수확 후 토양의 pH가 약 4.8% 증가하였다.

토양 중의 수용성염류의 총량을 나타내는 전기전도도(EC), 유기물(OM)은 토양 화학적 적정 범위였으며 마그네슘(Mg)은 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 작물의 초기 생육에 중요한 유효인산과 토양의 pH 교정 역할을 하는 칼슘

(Ca)과 칼리(K<sup>+</sup>) 경우도 토양 화학적 적정 범위를 1-2배 초과하는 것으로 분석되었다(Table 2).

**복합비료 시용에 따른 암모니아 배출특성**

배 과수원에서 복합비료 시용에 따른 암모니아 배출특성 실험은 21년 3월 17일부터 12월 7일까지 약 264일 동안 진행하였다. 21년 6월 21일 추비(복합비료[12-7-9]) 후, 시비수 준별(질소 기준) 암모니아 배출량은 무처리(0 kg N/ha) 대비 약 1.5배-6배까지 증가하는 것으로 나타났다. 추비 이후, 약 5일차부터 암모니아 배출량은 추비 이전의 수준으로 감소되는 경향을 보였는데 이는 암모니아가 질산으로 변해가는 과정에서 암모니아 휘산 반응이 감소되기 때문이다(Fig. 2).

복합비료 시용에 따른 암모니아 배출량 산정 결과, 25, 50

Table 2. Chemical properties of soil

Classification	Sample number	pH	EC	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	T-N	
			dS/m	g/kg	mg/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	cmol/kg	%	
Apple (21.Mar)	Topsoil	1-1	7.3	0.6	19.8	632.3	10.04	0.33	3.62	0.09	0.10
	Subsoil	1-2	7.2	0.5	16.4	397.1	8.95	0.29	3.51	0.11	0.09
	Topsoil	2-1	7.1	0.8	15.6	403.0	6.44	0.27	2.27	0.09	0.09
	Subsoil	2-1	7.3	0.5	12.1	367.5	6.03	0.24	2.28	0.14	0.06
	Topsoil	3-1	6.9	0.5	21.8	560.7	8.57	0.32	3.38	0.07	0.10
	Subsoil	3-2	6.9	0.5	15.4	462.3	7.08	0.34	3.36	0.10	0.08
Average		7.1	0.6	16.9	470.5	7.85	0.30	3.07	0.10	0.09	
Apple (21.Oct)	Topsoil	1-1	6.8	0.54	14.8	162.8	5.19	1.04	1.91	0.02	0.10
	Subsoil	1-2	6.9	0.45	11.9	153.4	5.28	1.07	2.25	0.06	0.09
	Topsoil	2-1	7.3	0.48	13.0	184.4	6.51	1.04	2.89	0.06	0.09
	Subsoil	2-1	7.2	0.51	17.4	184.4	6.80	1.05	2.92	0.06	0.11
	Topsoil	3-1	7.3	0.45	16.5	189.7	6.38	0.72	2.33	0.04	0.11
	Subsoil	3-2	7.1	0.46	17.9	214.0	6.55	0.60	2.42	0.05	0.11
Average		7.1	0.5	15.3	181.4	6.12	0.9	2.45	0.0	0.10	
Pear (21.Mar)	Topsoil	1-1	6.0	0.3	21.3	444.3	7.05	0.67	2.60	0.03	0.13
	Subsoil	1-2	6.4	0.3	20.8	220.3	7.53	0.57	2.74	0.04	0.11
	Topsoil	2-1	6.7	0.4	21.6	144.0	7.32	0.92	2.92	0.03	0.11
	Subsoil	2-1	6.5	0.3	11.9	185.0	5.99	0.71	2.63	0.05	0.06
	Topsoil	3-1	5.9	0.4	22.7	235.9	5.39	0.89	2.49	0.02	0.10
	Subsoil	3-2	5.7	0.4	17.5	183.6	5.38	0.63	2.24	0.03	0.08
Average		6.2	0.4	19.3	235.5	6.44	0.73	2.60	0.03	0.10	
Pear (21.Oct)	Topsoil	1-1	7.2	0.69	22.3	246.1	10.92	0.92	2.15	0.02	0.16
	Subsoil	1-2	7.1	0.78	15.5	195.3	8.32	0.77	2.26	0.02	0.12
	Topsoil	2-1	6.2	0.26	14.0	103.9	4.88	0.90	2.13	0.01	0.09
	Subsoil	2-1	5.5	0.21	6.7	66.8	2.19	0.75	1.08	0.01	0.04
	Topsoil	3-1	6.4	0.30	10.2	161.1	4.96	1.08	2.19	0.01	0.07
	Subsoil	3-2	6.5	0.33	12.7	159.1	5.34	0.94	2.16	0.01	0.08
Average		6.5	0.4	13.6	155.4	6.10	0.89	1.99	0.01	0.09	
Range of soil chemical characteristic		6.0-7.0	2	20-30	300-550	5.0-6.0	0.50-0.80	1.5-2.0	-	-	



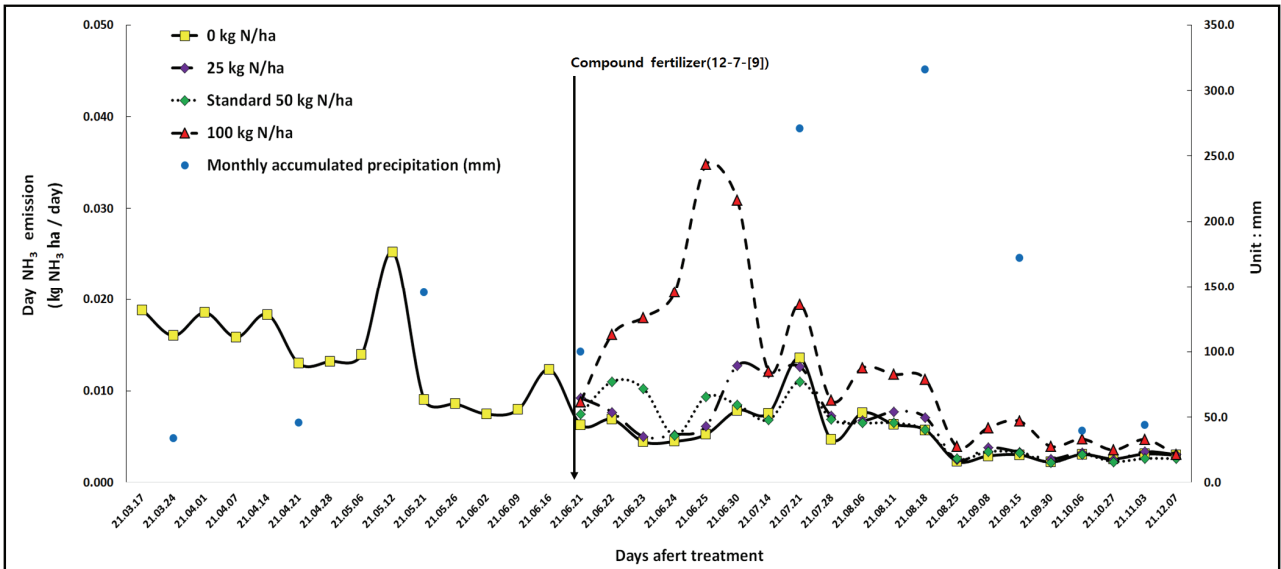


Fig. 2. Season fluxes of ammonia gas measured with soil surface in pear orchard.

및 100 (kg N/ha)에서 각각 2.20, 2.05 그리고 3.08 (kg NH<sub>3</sub>/ton)으로 나타났다.

사과 과수원에서 복합비료 사용에 따른 암모니아 배출특성 실험은 21년 4월 14일부터 12월 7일까지 약 237일 동안 진행하였다. 21년 6월 7일 추비(복합비료[12-7-9]) 후, 시비수준별(질소 기준) 암모니아 배출량은 무처리(0 kg N/ha) 대비 약 2배-11배까지 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

이는 배 재배과정에서 복합비료 사용에 따른 암모니아 배출량 추이와 비슷한 경향을 보였다. 추비 이후, 약 5일차부터 암모니아 배출량은 추비 이전의 수준으로 감소되는 경향을 보였으며 암모니아 배출량 산정 결과, 50, 100 및 200 kg N/ha 에서 각각 2.86, 3.53 그리고 5.29 kg NH<sub>3</sub>/ton 으로 나타났다.

토양에서 배출되는 암모니아 휘산은 토양의 특성(pH, 양이온치환 능력 등), 기상조건(온도, 강수 등) 그리고 농업활동(시비방법 등)에 영향을 받는데[6]. 월별 누적 강수량을 보면 비가 내린 후, 암모니아 배출이 감소하는 경향을 보였다. 이는 토양 속 수분이 증가하고 가수분해 되는 양이 증가되기 때문이다(Ku., 2020). 시비방법은 암모니아 배출특성에 가장 큰 영향을 미친다. 암모니아성 질소비료를 토양표면에 사용(표층시비) 시 대기 온도에 직접적인 영향을 받아 NH<sub>3</sub> 배출량이 증가되며, 심층시비 경우 토양 10 cm 깊이에 시비하기 때문에 온도에 민감하게 반응하는 NH<sub>3</sub> 휘산량은 상대적으로 감소하게 된다. 농촌진흥청 ‘농업기술 길잡이 과원 토양관리’를 따르면 과수원의 경우, 복합비료 시비방법을 심층시비로 권장하고 있다. 본 연구에서는 심층시비를 기준으로 암모니아

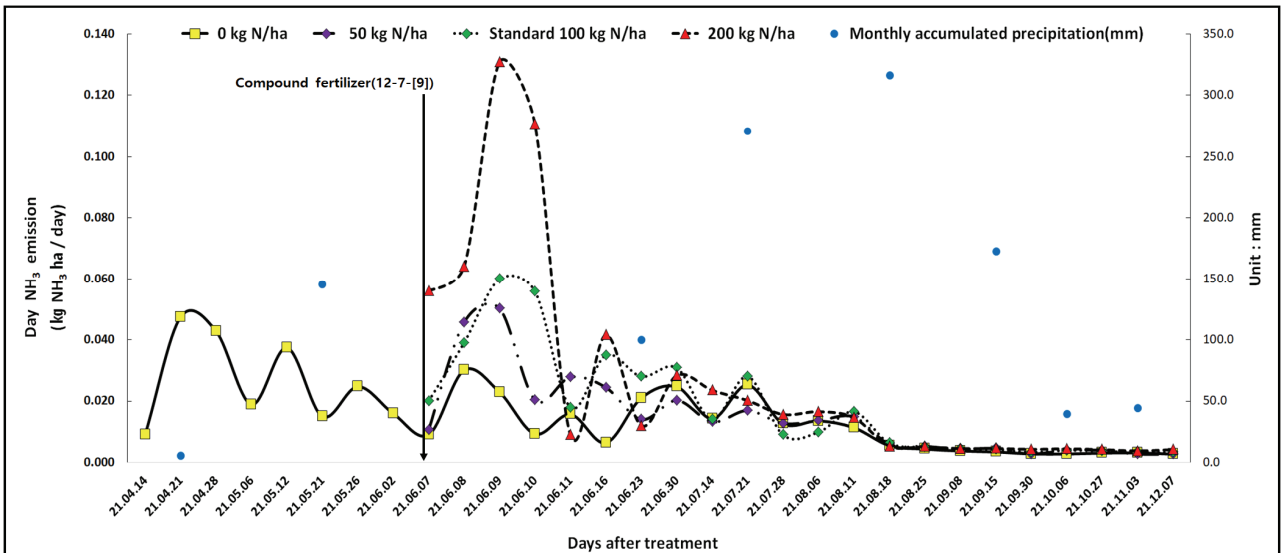


Fig. 3. Season fluxes of ammonia gas measured with soil surface in apple orchard.

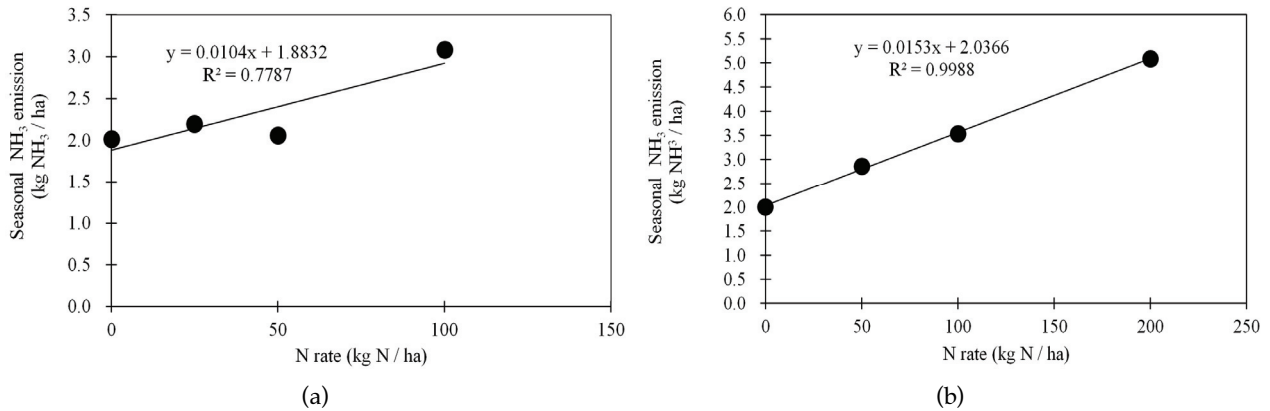


Fig. 4. Ammonia emission factors for compound fertilizers: (a) Pear orchard, (b) Apple orchard.

Table 3. Comparison of ammonia emission factors

Emission source	Types of fertilizer	NH <sub>3</sub> Emission factor (kg NH <sub>3</sub> /ton)			
		CORINAIR <sup>a)</sup>	USEPA <sup>b)</sup>	NIR <sup>c)</sup>	This study
Use of fertilizer	Compound fertilizer	20.0	48.0	75.2	10.4 (Pear orchard) 15.3 (Apple orchard)
12.9					

<sup>a)</sup> EUROPE, CORINAIR

<sup>b)</sup> US EPA, Development and selection of ammonia emission factors, final report, 1994

<sup>c)</sup> NIER, A Study on a guideline for the estimation of a national air pollutants emission(II), 2008

배출량 특성을 확인하였다.

**복합비료 암모니아 배출계수 산정**

복합비료 암모니아 배출계수 개발 시, 작물에 대한 질소 비료 시비반응은 일반적으로 4개 질소 수준으로 두며, 시비반응 곡선(1차 함수값 기울기)을 이용하여 복합비료 암모니아 배출계수를 산정하였다.

질소시비 수준에 따른 복합비료 암모니아 배출계수는 배 과수원 10.4 kg NH<sub>3</sub>/ton, 사과 과수원 15.3 kg NH<sub>3</sub>/ton으로 산정하였다(Fig. 4). 사과 과수원의 복합비료 암모니아 배출계수가 배 과수원 보다 높게 산정된 이유는 토양의 pH 농도가 배 과수원보다 상대적으로 높기 때문이다.

본 연구에서 산정한 배출계수와 기존 국내·외 복합비료 암모니아 배출계수와 비교한 결과, 유럽의 CORINAIR는 약 1.6배, US EPA는 약 3.7배, 우리나라 배출계수 보다는 약 5.8배 낮은 것으로 나타났다(Table 3).

시비방법에는 표층시비와 심층시비가 있는데 국내 과수 복합비료의 경우 심층(윤구,방사구)시비를 권장하고 있다. 심층시비는 토양 10 cm 깊이에 시비하기 때문에 식물의 질소 이용률이 증가되고 작물 생육에 도움이 된다. 또한 토양에서부터 대기 중으로 배출되는 암모니아 휘산량이 표층시비보다 상대적으로 감소하는 경향을 보인다. 본 연구는 심층시비를 통한 복합비료 암모니아 배출계수이며 기존 국가 암모니아 배출계수는 표층시비 기준으로 개발되어 본 연구 결과보다

상대적으로 높은 것으로 판단된다.

암모니아 발생 저감을 위해 밭 토양조건에서 복합비료 시비에 따른 NH<sub>3</sub> 대한 정확한 평가가 선행되어 이루어져야 한다[7]. 기존 복합비료 암모니아 배출계수는 시·공간 변이성을 대표할 수 없었으며 배출계수 등급이 D 수준으로 신뢰도 및 등급 향상을 위한 연구가 필요했다. 또한, 복합비료 암모니아 배출계수는 2008년 국내에서 개발된 13년 된 노후계수이며 현재의 작물재배방법을 반영한 암모니아 배출계수 현행화가 필요한 시점이다.

본 연구는 농업 유래 암모니아의 배출량을 질소 배출원별, 시기별 등의 다양한 조건에 따라 정량적으로 산출할 수 있는 산정 방법론을 제시하고 국가 복합비료 암모니아 배출계수 등급 고도화를 위한 평가 자료 제공이 가능할 것으로 사료된다.

**Note**

The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement**

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ015060012021)", National

Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Climate Change Assessment Division, Republic of Korea.

### References

1. Choi BS, Song MJ (2017) Distributions and origins of PM<sub>10</sub> in Jeollabuk-do from 2010 to 2015. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 33(3), 251-264. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2017.33.3.251>.
2. Kim ST, Bae MA, Kim EH, Son KW, Kang YH, Kim YH, You SH, Kim BU, Kim HC (2021) Identifying the drivers of PM<sub>2.5</sub> concentration changes. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 37(3), 371-387. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2021.37.3.371>.
3. Park JH, Park SJ, Seo YJ, Kwon OH, Choi SY, Park SD, Kim JE (2014) Effect of mixed treatment of urea fertilizer and zeolite on nitrous oxide and ammonia emission in Upland soil. *Korean Journal of Soil Sciences and Fertilizer*, 47(5), 368-373. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2014.47.5.368>.
4. Park SM, Kim SU, Hong CO (2020) Effect of ammonia volatilization from the arable soil with iron sulfate. *Korean Journal of Soil Sciences and Fertilizer*, 53(4), 405-414. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2020.53.4.405>.
5. Ku HH (2020) Measurement of soil surface and plant canopy ammonia fluxes in red pepper field using dynamic chamber method. *Korean Journal of Soil Sciences and Fertilizer*, 53(4), 643-649. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2020.53.4.643>.
6. Kim Ms, Park MS, Min HG, Chae EJ, Hyun SH (2021) A case study on monitoring the ambient ammonia concentration in paddy soil using a passive ammonia diffusive sampler. *Korean Journal of Environmental Biology*, 39(1), 100-107. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2021.39.1.100>.
7. Kim SU, Chuanpit Ruangcharus, Lee HH, Park HJ, Hong CO (2018) Effect of application rate of composted animal manure on nitrous oxide emission from upland soil supporting for sweet potato. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 37(3), 172-178. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2018.37.3.28>.