

Short Communication



CrossMark

Open Access

## 새만금 간척지 지역 공기 중 암모니아 농도의 연간 분포

홍성창, 김민욱, 김진호\*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 기후변화평가과

### Annual Distribution of Atmospheric Ammonia Concentration in Saemangum Reclaimed Land Area

Sung-Chang Hong, Min-Wook Kim and Jin-Ho Kim\* (Climate Change Assessment Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 16 December 2021/ Revised: 20 December 2021/ Accepted: 21 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

Sung-Chang Hong

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

Min-Wook Kim

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

Jin-Ho Kim

<https://orcid.org/0000-0002-5266-1586>

### Abstract

**BACKGROUND:** More recently, it has been shown that atmospheric ammonia ( $\text{NH}_3$ ) plays a primary role in the formation of secondary particulate matter by reacting with the acidic species, e.g.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , to form  $\text{PM}_{2.5}$  aerosols in the atmosphere. The Jeonbuk region is an area with high concentration of particulate matter. Due to environmental changes in the Saemangeum reclaimed land with an area of  $219 \text{ km}^2$ , it is necessary to evaluate the impact of the particulate matter and atmospheric ammonia in the Jeonbuk region.

**METHODS AND RESULTS:** Atmospheric ammonia concentrations were measured from June 2020 to May 2021 using a passive sampler and CRDS analyzer. Seasonal and annual atmospheric ammonia concentration measured using passive sampler was significantly lower in Jangjado (background concentration), and the concentration ranged from  $11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  to  $18.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Atmospheric ammonia concentrations in Buan, Gimje, Gunsan, and Wanju regions did not show a significant difference, although there was a slight seasonal difference. The maximum atmospheric ammonia concentration measured using the CRDS analyzer in-

stalled in the IAMS near the Saemangeum reclaimed land was  $51.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in autumn,  $48.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in summer,  $37.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in winter, and  $32.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in spring. The minimum concentration was  $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in spring,  $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in summer, and  $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in autumn and winter. The annual average concentration was  $14.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**CONCLUSION(S):** Long term monitoring of atmospheric ammonia in agricultural areas is required to evaluate the formation of fine particulate matter and its impact on the environment. In addition, continuous technology development is needed to reduce ammonia emitted from farmland.

**Key words:** Agriculture, Air quality, Atmospheric ammonia ( $\text{NH}_3$ ), Fine particulate matter( $\text{PM}_{2.5}$ ), Saemangeum reclaimed land

### 서론

대기 중에 가장 풍부하게 존재하는 가스상 알칼리 물질로서 암모니아는 초미세먼지( $\text{PM}_{2.5}$ )를 생성함으로써 황산과 질산을 중화할 수 있으며 초미세먼지는 사람의 건강과 시정을 악화시키는데 밀접한 관련이 있다[1]. 암모니아( $\text{NH}_3$ )는 다양한 인간활동과 자연 공급에 의해 대기중에 광범위하게 존재하며 대개 ppt(part per trillion)에서 ppb(parts per billion) 농도로 분포한다[2]. 대기 중의 암모니아는 부영양화,

\*Corresponding author: Jin-Ho Kim

Phone: +82-63-238-2492; Fax: +82-63-238-3825;

E-mail: water86@korea.kr

식생생태에 큰 영향을 주는 주요한 오염물질이다[3]. 최근에는 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>와의 작용으로 초미세먼지를 생성한다고 알려져 있다. 입자상의 암모니아는 대기질을 악화시키고 시정을 나쁘게 한다. 암모니아는 산업활동과 운송분야에서도 배출되나 주로 농업지역의 축산, 농경지의 질소비료 처리로 배출된다[4]. 환경부의 대기오염물질 배출량 통계인 2017년 대기환경정책지원시스템(CAPSS) 자료에 따르면 우리나라 암모니아 배출량의 79.3%인 244,335톤이 농업분야에서 배출되며 이중 축산이 93%(226,581톤), 농경지가 7%(17,754톤)를 차지한다. 축산분야에서 암모니아는 소, 돼지, 닭 등을 기르는 과정과 이들 가축분뇨의 저장, 이동 중 주로 배출된다. 최근 가축사육두수는 육류소비의 증가로 지속적으로 증가하고 있다. 또한 농경지에서는 작물재배를 위해 투여되는 질소질 비료와 가축분퇴비 시용에 의해 배출된다. 우리나라 농경지의 질소수지는 217 kg/ha 인데 화학비료의 증가는 둔화되고 있으나 가축분퇴비의 투입량 증가로 줄지 않고 있다. 전북지역의 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 농도는 2016년 31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2017년 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전국에서 가장 높았고, 2018년 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  2019년에 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 전국에서 두 번째로 높았다. 새만금간척지는 면적이 219 km<sup>2</sup>에 달하고 군산시, 김제시, 부안군에 걸쳐 있는 지역으로 전북지역의 미세먼지 농도에 대한 영향 및 기여도 평가가 요구된다. 현재 새만금간척지는 바다에서 육지로 드러난 지역에 배수로 설치, 토지구획 공사 등이 이루어지고 있어 인근지역에 비산먼지가 발생되고 있다. 새만금간척지 공사부지 중 군산시 지역은 각종 공사가 상당부분 진척이 된 지역이며 인근에는 공업단지와 농경지에 접해 있다. 김제시 지역은 막바지 농생명용지 조성공사가 진행 중이거나 완료된 상태이며 벼, 감자를 재배하는 농경지에 인접해 있다. 부안군 지역은 주로 간척공사 후 배수로, 토지구획 정리 공사가 주로 이루어지고 있다. 따라서, 본 연구는 새만금간척지 지역의 대기중 암모니아 농도를 모니터링하여 새만금간척지 지역의 대기질 및 미세먼지 발생농도에 대한 영향을 평가하기 위한 기초자료를 생산하기 위하여 수행하였다.

**재료 및 방법**

**측정소 설치 및 운영**

새만금간척지 공사 지역의 대기 암모니아 농도를 측정하기 위하여 2020년 6월에 군산시 옥도면의 장자도, 군산시, 김제시, 부안군 지역에 측정소를 설치하였다(Fig. 1). 장자도는 새만금간척지 지역에서 육지로 접근할 수 있는 최서단 지역에 위치한 고군산군도의 섬으로 대기 암모니아의 배경농도 지역으로 추정하여 4층 건물 옥상에 측정소를 설치하였다. 군산시, 김제시, 부안군 지역의 측정소는 새만금간척지 공사사무소 내부에 설치하였다. 완주 지역의 측정소는 전북 완주군 이서면의 국립농업과학원의 구내 시험포장에 설치하였다.

**대기 암모니아 농도 측정**

대기 암모니아 농도는 패시브 샘플러(Passive sampler,

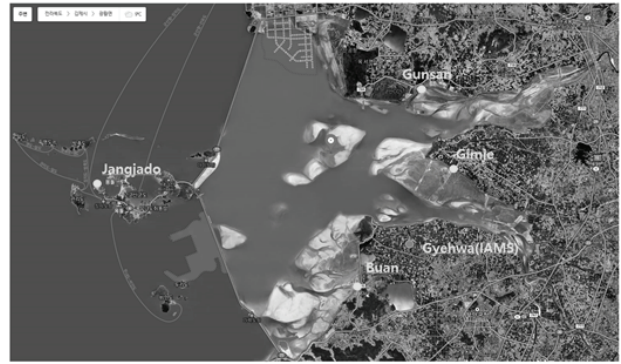


Fig. 1. Atmospheric ammonia monitoring sites of Saemangum reclaimed land area.

\* IAMS : Intensive Air Monitoring Station

RAD168, Radiello, USA)와 실시간 암모니아 측정기를 이용하여 측정하였다. 패시브 샘플러는 2주 간격으로 수거하여 증류수로 추출한 후 인돌페놀블루 분석법으로 암모늄이온 농도를 측정하였고 대기 암모니아 농도는 제조사의 사용자 매뉴얼을 참고하여 환산하였다.

실시간 대기 암모니아 측정은 부안군 계화면에 위치한 국립식량과학원 계화시험지에 설치한 농업지역 대기질 집중측정소(Intensive Air Monitoring Station)의 실시간 암모니아 측정기(Scanned-Cavity Ring Down Spectroscopy, CRDS analyzer, G-2103, Picarro, USA)를 이용하여 2020년 6월 1일 부터 2021년 5월 30일까지 1분 간격으로 연속적으로 측정하였다. 자료의 통계분석은 통계패키지 R을 이용하여 던컨의 다중검정(DMRT)을 시행하여 표기하였다.

**결과 및 고찰**

새만금간척지 인근 지역의 대기 중의 암모니아 농도를 패시브 샘플러(passive sampler)를 이용하여 2주 간격으로 2020년 6월부터 2021년 5월까지 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. 봄, 여름, 가을, 겨울철 및 연간 대기 암모니아 농도는 장자도가 통계적으로 유의하게 낮았다(Fig. 2.e). 계절에 따라 다스간의 변동은 있었으나 농도는 11.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  에서 18.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  였으며 새만금간척지 지역의 계절에 따른 대기 암모니아 농도는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 장자도의 대기 암모니아 농도가 새만금간척지 공사 부지내에 위치한 측정소보다 낮은 것은 농경지, 공업단지와 상대적으로 멀리 떨어져 있는 섬지역의 특성에 의한 것으로 추정된다.

실시간 대기 암모니아 측정기를 이용하여 2020년 6월부터 2021년 5월까지 측정한 대기 암모니아 농도는 Fig. 3과 같다. 최대치는 가을 51.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 여름 48.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  겨울 37.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 봄 32.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  순이었다. 최소치는 봄 4.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 여름 3.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 가을과 겨울이 4.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타냈다. 계절별 평균농도는 봄과 여름이 15.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 가을 14.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 겨울 13.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  순이었고 연중 대기 암모니아 평균 농도는 14.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  였다.

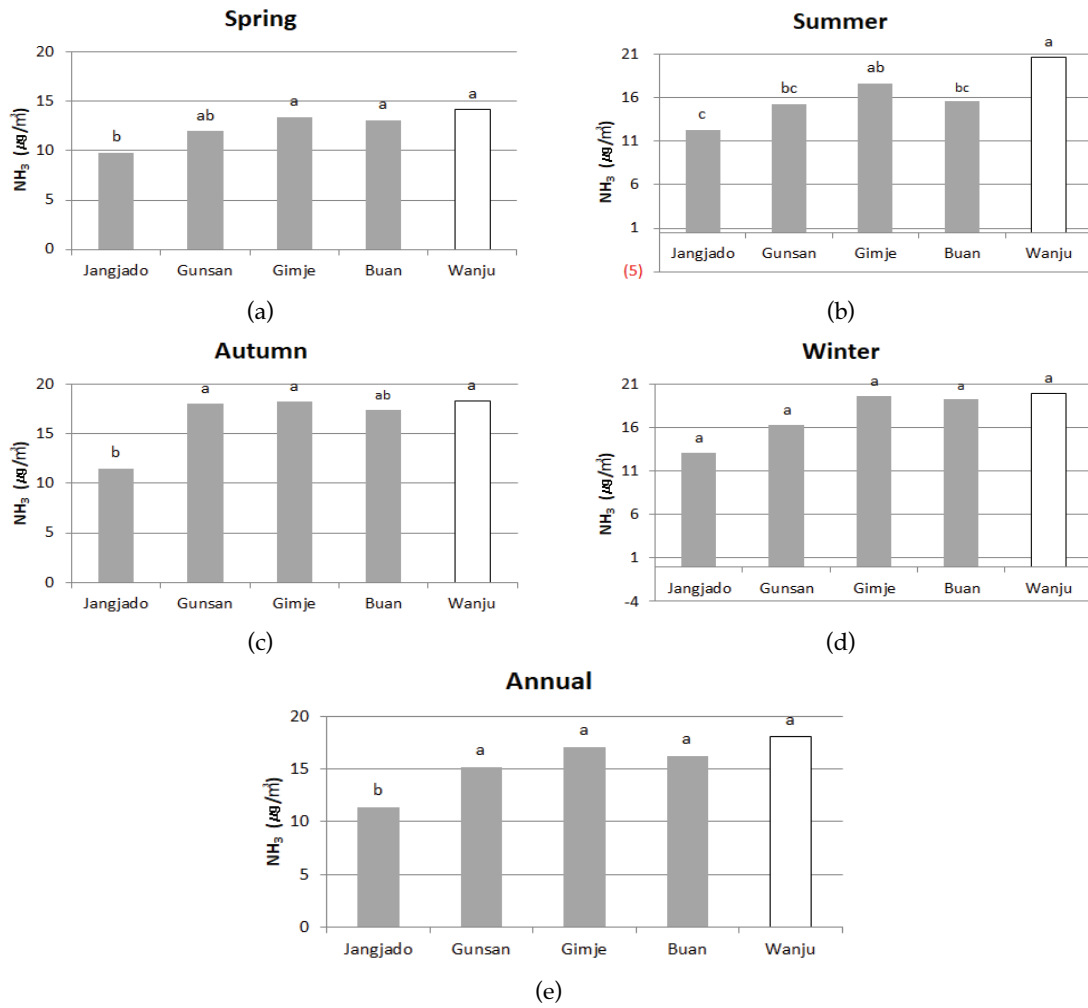


Fig. 2. Seasonal and annual atmospheric ammonia concentrations measured in monitoring sites around Saemangum reclaimed land area. The letters on the bars in the figure represent a DMRT test at 0.05% probability.

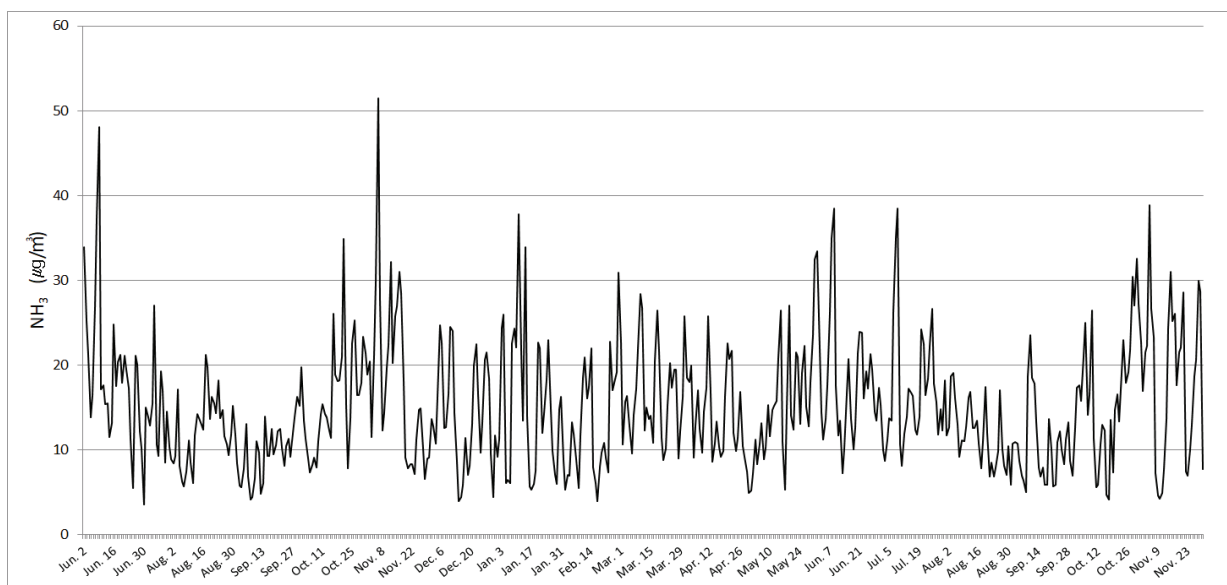


Fig. 3. Atmospheric ammonia concentration measured using CRDS analyzer at Kewha intensive air monitoring station in June 2020 to May 2021.

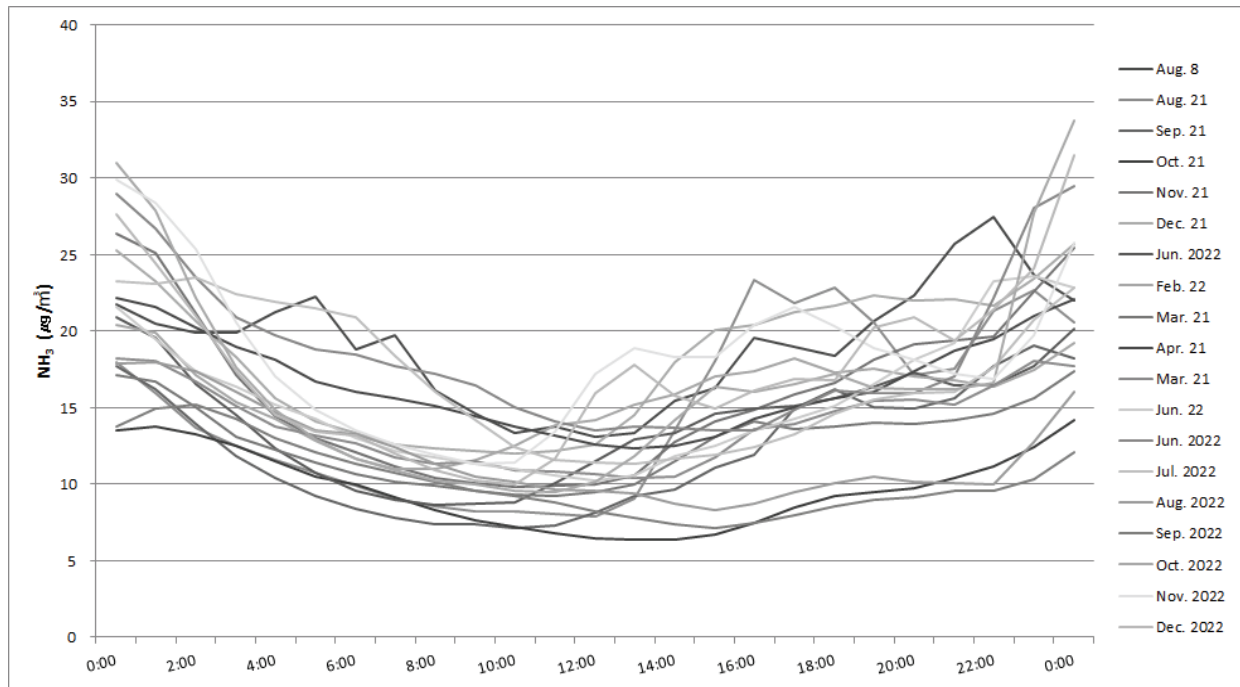


Fig. 4. Monthly diurnal fluctuation of atmospheric ammonia concentrations measured using CRDS analyzer at Kewha intensive air monitoring station in June 2020 to May 2021.

대기 암모니아 농도의 하루 중 시간별 변화를 나타낸 것은 Fig. 4와 같다. 대기 암모니아 농도는 하루 중 오전 10시에서 12시에 최저농도를 나타냈고 오후 10시에서 12시에 최고 농도를 나타냈다. Park 등[5]은 다양한 선행연구와 같이 늦은 밤 이후에 안정된 대기경계층 (planetary boundary layer)에 의해 암모니아가 침착되면, 대기 중 농도가 감소될 수 있다고 하였다. 반면, 일출 이후 온도가 상승하게 되면서 대기 경계층이 확장되고 혼합층이 두꺼워지면, 상층 공기와의 수직 혼합이 이루어지면서 암모니아의 농도는 점차 상승할 수 있다고 하였다. Wang 등[6]은 중국은  $15.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (도시지역, 2007~2010년, passive sampler),  $7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (농업지역, 2007~2010년),  $14.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (농업지역, 2008~2009, passive sampler)라 했고 인도는  $16.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2007년, 농업지역,  $\text{NO}_x\text{-NH}_3$  Online analyzer), 캐나다는  $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (농업지역, 2010~2011년, passive sampler), 한국은  $7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{~}8.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (2010~2011년, 도시지역, WS-CRDS) 라 했다.

Hristov[7]는 대기 중에서 황산화물, 질소산화물 등은 암모니아와 반응하여 황산암모늄, 질산암모늄 등의 초미세먼지를 생성한다고 했으며 초미세먼지 중 축산에서 유래한 것이 암모니아에 의한 초미세먼지 생성 기여율은 여름철에는 5%, 겨울철에는 11%라 추산하였다. 본 연구는 모니터링 사이트를 새롭게 구축하고 1년동안 모니터링한 결과로 새만금간척지역의 대기 암모니아 농도와 주변지역으로 부터의 영향을 파악하기 위해서는 보다 장기적인 모니터링으로 측정 데이터의 축적이 필요하며, 자료수집에 드는 시간과 노력을 줄이기 위해서는 실시간 분석장비와 원격제어·감시시스템을 접목한

모니터링시스템 도입이 필요하다고 판단되었다. 또한, 농업분야에서 영농활동 중 배출되는 암모니아는 초미세먼지의 생성을 촉매하고 생태환경에 악영향을 줄 수 있으므로, 농업지역 대기 암모니아 농도의 장기적인 모니터링을 위한 체계구축이 필요하며 농경지 암모니아의 배출 저감을 위한 지속적인 연구개발이 필요하다고 판단되었다.

**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. PJ014910)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

**References**

1. Wu SY, Hu JL, Zhang Y, Aneja VP (2008) Modeling atmospheric transport and fate of ammonia in North Carolina-Part II: Effect of ammonia emissions on fine particulate matter formation. *Atmospheric Environment* 42, 3437-3451, <https://doi.org/10.1016/j.atmosen>

- v.2007.04.031.
2. Clarisse L, Clerbaux, C, Dentener, F, Hurtmans, D, Coheur PF (2009) Global ammonia distribution derived from infrared satellite observations. *Nature Geoscience* 2, 479-483, <https://doi.org/10.1038/ngeo551>.
  3. Sutton MA, Fowler D (2002) Introduction : fluxes and impacts of atmospheric ammonia on national, landscape and farm scales, *Environmental Pollution* 119, 7-8, [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00145-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00145-2).
  4. Sheppard LJ, Leith ID, Mizunuma T, Cape JN, Crossley A, Leeson S, Sutton MA, Dijk NV, Fowler D (2011) Dry deposition of ammonia gas drives species change faster than wet deposition of ammonia ions : evidence from a long-term field manipulation. *Global Change Biology*. 17, 3589-3607, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02478.x>
  5. Park JS, Ryoo JY, Jee JB, Song MJ (2020) Origins and distributions of atmospheric ammonia in Jeonju during 2019~2020. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* Vol. 36, No. 2, <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2020.36.2.262>.
  6. Wang S, Nan J, Shi C, Fu Q, Gao S, Wang D, Cui H, Alfonso SL, Zhou B (2015) Atmospheric ammonia and its impacts on regional air quality over the megacity of Shanghai China. *Scientific Reports*, volume 5, Article number: 15842, <https://doi.org/10.1038/srep15842>.
  7. Hristov AN (2011) Contribution of ammonia emitted from livestock to atmospheric fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in the United States. *Journal of American Dairy Science*, 94(6), 3130-3136, <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3681>.