RESEARCH ARTICLE

스마트 축사에서의 실효적인 암모니아 모니터링을 위한 센서사양 및 유지관리 기준 제안

강정아[1] · 배재영[2] · 곽영훈[3†] · 신학종[4] · 문선혜[5] · 허정호[6]

[1]서울시립대학교 도시과학연구원, 연구원
[2]엘시스 기업부설연구소, 선임연구원
[3]서울시립대학교 건축학부, 연구교수
[4]서울시립대학교 건축공학과, 박사과정
[5]에버리젠, 대표
[6]서울시립대학교 건축학부, 교수

Suggestion of Sensor Specifications and Maintenance Standards for Effective Ammonia Monitoring in Smart Livestocks

Kang Jeong-A[1] · Bae Jae-Young[2] · Kwak Young-Hoon[3†] · Shin Hak-jong[4] · Mun Sun-Hye[5] · Huh Jung-Ho[6]

[1]Researcher, Institute of Urban Science, University of Seoul
[2]Senior Researcher, R&D Center, ELSYS
[3]Research Professor, Department of Architecture, University of Seoul
[4]Ph.D. Candidate, Department of Architectural Engineering, University of Seoul
[5]CEO, EVEREGEN
[6]Professor, Department of Architecture, University of Seoul

[†]Corresponding author: ikyh2@uos.ac.kr

OPEN ACCESS

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.42, No.6, pp.65-74, December 2022
https://doi.org/10.7836/kses.2022.42.6.065

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 19 September 2022

Accepted: 3 November 2022

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

To implement smart livestock operations based on information and communication technology, a field monitoring environment based on measured data must be established. Ammonia should be managed more carefully than other environmental monitoring items because it is related to the comfort and production of livestock. Moreover, it is related to odor complaints and environmental protection issues. However, existing studies that propose ammonia measurement standards for each purpose differ from one another or are unclear, and ammonia sensors in the actual field have problems such as durability and management constraints; nonetheless, there is a lack of research on these aspects. Accordingly, for effective ammonia monitoring of smart livestock operations, the necessity of ammonia monitoring for smart livestock operations is first presented, after which a plan for ammonia monitoring of smart livestock operations, supplemented with sensor specifications and maintenance standards, is proposed. This study presents a clear measurement standard based on a comprehensive literature review, as well as an effective monitoring standard reflecting field operation information. This can lead to reliable ammonia data collection and can be a starting point for smooth smart livestock operation.

Keywords: 스마트 축사(Smart livestocks), 암모니아(Ammonia), 모니터링(Monitoring), 기준(Standards)

1. 서 론

최근 생산 및 관리의 용이성을 위한 정보통신기술(ICT) 기반의 스마트 축사가 지향되고 있다. 스마트 축사에서는 정량적인 데이터를 기반으로 현장 상황에 최적화된 제어를 할 수 있으며, 결과적으로 축산 농가의 수익 측면에서는 생산량 증가를, 운영 측면에서는 에너지 및 유지비용 감소에 기여함으로써 전반적인 축산 농가의 이익률 증대를 불러올 수 있다. 정부는 축산 농가의 디지털화를 지원하고 있으며, 스마트 축사 시설은 증가하는 추세이다. 이러한 스마트 축사 거동의 시작점은 센서를 통해 들어오는 측정 데이터라 할 수 있다. 스마트 축사에서 센서의 역할은 현장의 정보를 그대로 읽어오는 것이다. 따라서 측정 데이터는 신뢰성이 확보되어야 한다. 그러나 데이터의 신뢰성에 영향을 미치는 변수는 무수하며, 그 중 많은 변수가 초기 모니터링 환경 구축 단계에서 좌우될 수 있다. 신뢰성 있는 측정 데이터를 기반으로 스마트 축사를 구축하기 위해서는 측정 단계에서의 모니터링 기준이 검토되어야 할 것이다. 스마트축사의 환경 데이터 중에서도 검토가 필요한 데이터로는 암모니아를 제시할 수 있다. 암모니아는 독성기체에 속하며, 특유의 냄새와 부식성으로 인해 축사 환경의 저해를 일으킬 수 있다. 축사 내부 환경 측면으로는 가축의 쾌적성 및 생장에 영향을 미침으로써 축사 농가의 생산량을 좌우할 수 있으며, 축사 외부 환경 측면으로는 악취 민원 및 대기 오염을 초래할 수 있다. 이러한 이유들로 인해 암모니아는 유의하여 관리되어야 할 요소이지만, 기존문헌에서 언급하는 암모니아 모니터링 기준들은 각기 다른 관리 목적에 따라 상이하거나 불분명하게 명시되어 있다. 또한, 실제 축사 현장의 암모니아 센서 운영에는 내구성, 유지관리 등의 고려사항이 있음에도 불구하고, 문헌상의 모니터링 기준에는 이에 대한 반영이 미흡한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 스마트 축사에서의 실효적인 암모니아 모니터링을 위해, 암모니아의 센서 사양 및 유지관리 기준에 대해 제안하고자 한다. 이를 위해 우선, 스마트 축사의 현장 특성 및 암모니아의 특징을 바탕으로 스마트 축사에서의 암모니아 모니터링의 필요성을 제시하였다. 이후, 스마트 축사에서의 암모니아 모니터링에 관해 두 가지 측면에서 제안한다. 첫째로, 기존문헌들을 종합적으로 검토하여 상이하거나 불문명하게 명시된 내용들에 대해 제안한다. 둘째로, 실제 운영되고 있는 스마트 축사의 센서 고장 및 관리기록을 바탕으로 내구성 및 유지관리 측면에 대해 제안한다.

2. 스마트 축사에서의 암모니아 모니터링 필요성

2.1 스마트 축사의 현장 특성

스마트 축사는 정보통신기술(ICT, Information & Communications Technology) 시설장비를 기반으로 구축된다. Fig. 1은 스마트 축사의 구성도로, 스마트 축사는 센서(Sensor) 노드를 통해 축사 현장 상황을 반영하는 데이터를 관찰하는 모니터링(Monitoring)부와, 구동기(Actuator) 노드를 통해 관찰한 데이터를 바탕으로 축사 현장의 환경조절 등을 실행하는 제어(Control)부로 나뉜다.

이와 같은 스마트 축사 환경에서는 정량적이고 통합적인 제어가 가능해지며, 암모니아와 같은 특수 환경요소

를 제어할 때 더욱 유용할 수 있다. 일반적으로 축사 내부의 암모니아는 농도가 높아질 시 환기를 통해 이를 배출한다. 그러나 암모니아 농도가 낮아지는 것과는 반대로, 환기 시 겨울철에는 축사 내부의 온열 환경이 저하되며, 여름철에는 축사 외부의 악취 민원이 발생할 수 있다. 스마트 축사에서는 이러한 관련 요소들을 통찰할 수 있는 최적 제어 환경이 마련되며, 신뢰성 있는 기준을 통한 모니터링은 이를 뒷받침할 수 있다.

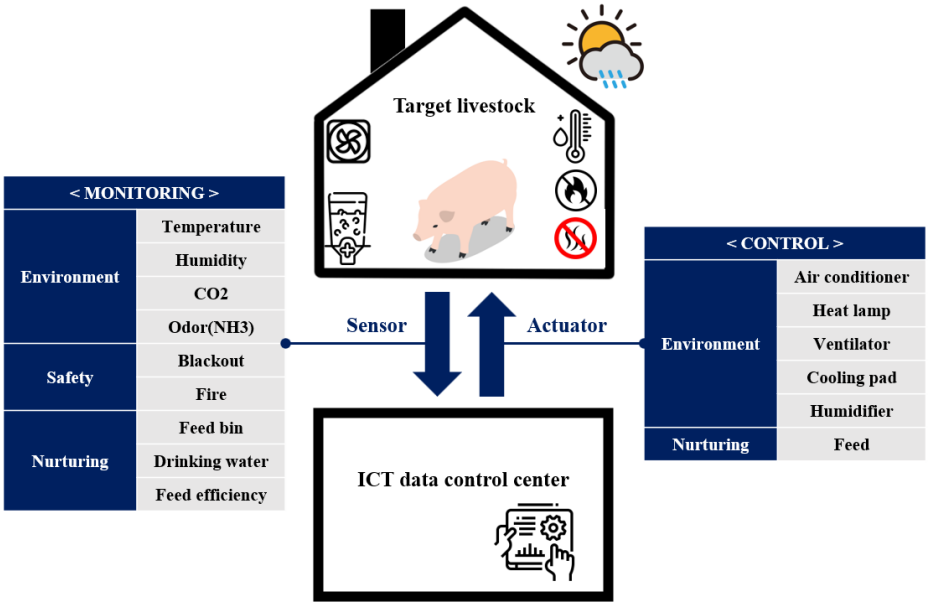

Fig. 1 Diagram of smart livestocks[1)]

2.2 암모니아 모니터링의 필요성

암모니아는 알칼리성의 부식성 물질이자 독성 기체이며, 특유의 냄새가 있다. 2018년 국가 대기오염물질 배출량 통계에 따르면, 암모니아 배출량 중 79%가 농업에서 배출되며, 이 중 약 92%가 축산에서 배출되는 것으로 나타났다[2)]. 축사 내의 주된 암모니아 발생원은 가축의 분뇨로, 관리가 미흡하거나, 고온의 환경이거나, 환기가 미흡할 시 정도가 심화될 수 있다. 축산농가에서 암모니아 관리 필요성이 제시되는 이유는 독성기체로써 가축에게 미치는 쾌적성의 문제와, 특유의 냄새로 인한 악취민원 때문이다. 축사 내부 환경에서의 암모니아는 가축의 생장 및 건강상태와 밀접한 관련이 있다. 동물보호법 시행규칙에서는 동물의 적절한 사육·관리 방법에 관하여 축사 내 암모니아 농도 기준을 제시(25 ppm 미만)하며 중요성을 시사한 바 있다[3)]. 낮은 공기질은 가축의 호흡기질환 및 피부발병을 유발[4)]함으로써 쾌적성을 저하시키고, 결과적으로 발병률과 사망률에 따른 축산 농가의 생산성 저하를 야기할 수 있다[5)]. 축사 외부 환경에서의 암모니아는 악취민원 및 대기환경과 관련이 있다. 암모니아는 발생원의 크기에 따라 바람이 부는 방향으로 수백 미터까지 영향을 미칠 가능성이 있다(Pitcairn et al., 2002)[6)]. 환경부는 악취방지법 시행규칙에서 2005년 2월 10일부터 암모니아를 지정악취물질로 구분하였으며[7)], 대기환경보전법 시행규칙에서 기존 50 ppm 이하였던 암모니아의 배출허용기준을 2020년 1월 1일부터

30 ppm 이하로 강화하였다[8]. 축산환경관리원에서는 악취관리 목적의 ICT 기반 모니터링 시스템을 개발[9]하였으며, 이에 대한 매뉴얼을 제시[10]하고 있다. 축사 내외부에 걸쳐 영향을 미치는 암모니아의 모니터링은 필수적이며, 효율적인 암모니아 모니터링을 위해 기준 검토 및 구체적인 제안이 필요할 것으로 사료된다.

3. 스마트 축사에서의 암모니아 모니터링 제안

3.1 기존문헌 검토

기존문헌에서는 스마트축사 구축과 악취관리라는 각기 다른 모니터링 목적 하에 센서의 성능 기준을 제시하고 있다[1,10-13]. 각각의 문헌들이 개별적으로 제시하고 있는 기준은 권장사항이며, 필수사항이 아니다. 이로 인해 제시되는 암모니아 센서의 성능 기준은 다소 상이한 실정이며, 효율적인 암모니아 모니터링을 위해 해당 기준들은 검토되어야 한다. 검토된 기준을 바탕으로 암모니아 센서 및 데이터의 통합 운용이 가능해지며, 명확한 기준 설정을 통한 양질의 데이터 수집이 가능해질 수 있다.

기존문헌에서 제시하는 암모니아 모니터링의 성능 기준은 Table 1과 같다. 스마트축사 구축 관련 기준은 정보통신단체표준 및 방송통신표준에서 제시하고 있으며, 3개 문헌에서 찾아볼 수 있다. 악취관리 관련 기준은 축산환경관리원의 2개 문헌에서 각각 센서 성능 및 측정지점을 제시하고 있다. 암모니아 센서의 측정방식은 단 1개의 문헌에서만 구체적으로 제시하고 있다. 각 문헌에서 제시하고 있는 측정범위 또한 상이하다. 스마트축사 구축 목적의 3개 문헌이 동일한 기준으로 1 ~ 100 ppm을 제시했고, 악취관리 목적의 문헌은 0 ~ 100 ppm, 500 ppm이라는 두 가지 기준을 제시하고 있다. 허용오차는 4가지 문헌 모두 ±5%로 동일하였다.

Table 1 Ammonia monitoring performance standards in existing literature

Purpose	Setting smart livestocks			Odor management
Institution	Telecommunications Technology Association[11]	Telecommunications Technology Association[1]	Korean Industrial Standards[12]	Livestock Environmental Management Institute[10,13]
Date	2017.6.28	2022.6.29	2020.11.11	2021.4
Measuring type	Unregulated	Electrochemical	-	Unregulated
Measuring point	-	Inside	-	Inside and outside
Measuring range	0 ~ 100 ppm	0 ~ 100 ppm	0 ~ 100 ppm	0 ~ 100, 500 ppm
Tolerance	±5%	±5%	±5%	±5%

이를 검토한 제안은 Table 2와 같다. 암모니아 성능 기준의 제정목적은 센서 및 데이터의 통합 운용을 위해 통일될 필요성이 있다. 측정방식에 대해, 최신에 발표된 문헌[1]을 기준으로 측정방식에 대한 명시를 제안한다. 최신의 문헌에서 제시한 방식인 전기화학식은 대상 가스가 내장된 전극에 의해 산화 또는 환원반응을 일으킬 때

발생하는 전류의 양을 측정하여 가스 농도를 감지하는 방식으로[14], 저전력에 비용 효율적이며, 높은 감도를 보장하는 장점으로 인해 암모니아 측정에 권장되는 방식이다[15,16].

측정범위에 대해, 암모니아의 측정 위치 별 기준 구분을 제안한다. 악취관리 목적의 문헌에서 측정범위가 다르게 제시된 이유는 가축의 사육장소 뿐만 아니라 분뇨의 처리 및 저장장소까지 장비설치 위치를 제시하고 있기 때문으로 사료된다. 그러나 문헌에서는 측정장소별 성능 기준을 별도로 분리하지 않았다. 일반적으로 축사 사육장소의 암모니아 발생 수준은 0 ~ 50 ppm[17]이며, 분뇨 처리장소는 계절에 따라 38.1 ~ 115.2 ppm[18]으로 나타난다. 명확하지 않은 기준에 의하여 목적에 맞지 않는 모니터링을 수행할 시 과도한 비용이 소요되거나, 목적에 적합한 데이터를 얻을 수 없다. 따라서 기존문헌의 기준을 통합하되, 측정 지점에 따라 구분하여 명시하는 것을 제안한다. 허용 오차는 4가지 기존문헌 모두 ±5%를 제시하고 있으며, 해당 범위가 충분한 센서 성능을 보장한다는 전문가의 검토에 따라, 기존문헌과 동일한 ±5%를 권장한다.

Table 2 Ammonia monitoring criteria suggestions - sensor specifications

Purpose	Setting smart livestocks and odor management	
Measuring type	Electrochemical	
Measuring point	Inside (livestock breeding area)	Outside (manure disposal area)
Measuring range	0 ~ 100 ppm	0 ~ 500 ppm
Tolerance	±5%	

3.2 현장 운영정보 반영

실제 축사환경에서의 암모니아 모니터링은 제시하는 기준과 상이한 경우가 많으며, 문헌보다는 현장 특성과 경험에 의존하는 실정이다. 그 이유로는 앞서 언급한 바와 같이 각각의 기준들은 상이하거나 불분명하며, 필수사항이 아닌 권장사항이기 때문으로 사료된다. 또한 실제 축사 환경에서 암모니아 모니터링에 영향을 미치는 결정적인 요소는 현장 운영과 관련된 유지관리 및 내구성 문제이기 때문이다. 따라서 효율적인 암모니아 모니터링의 기준은 기존문헌의 검토와 함께, 현장 상황을 반영한 실질적인 센서 운영의 내용이 보완되어야 한다. 이에 대한 내용을 실제 스마트 축사의 암모니아 센서 운영 사례를 바탕으로 제안하고자 한다. Fig. 2는 순천에 위치한 축사로, (a)는 전체 축사의 배치도, (b)는 자돈사 평면도, (c)는 자돈사 단면도이다. 해당 축사는 ICT 시설장비가 구축된 스마트 축사이다. 전체 축사 중 자돈사를 대상으로 하며, Fig. 3과 같이 암모니아 센서는 자돈사 중앙 천장으로부터 약 20 cm 떨어진 지점에 1개소 설치되어 있다.

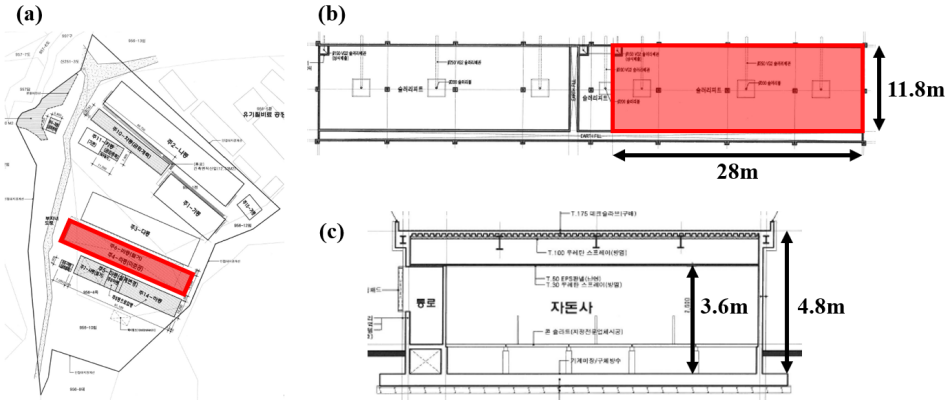

Fig. 2 Ammonia monitoring target livestock (Suncheon) (a) Site location plan, (b) Target livestock plan, (c) Target livestock section

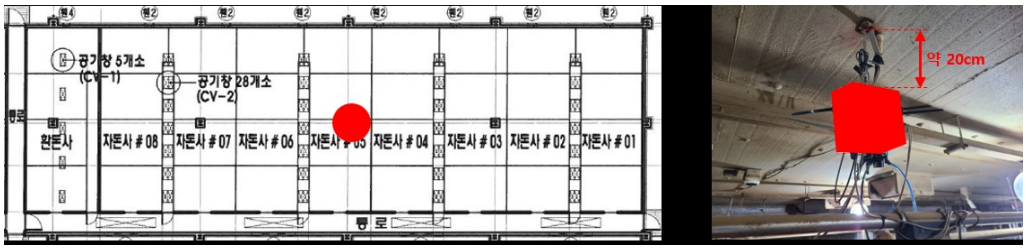

Fig. 3 Ammonia monitoring installation in target livestock

현장에 적용된 센서는 총 3가지로, 각각의 정보는 Table 3과 같다. 센서 A, B, C 모두 측정방식은 가장 최신의 문헌에서 제시하는 성능 기준과 동일한 전기화학식을 채택하고 있다. 측정범위 역시 0 ~ 100 ppm으로 성능 기준을 만족하며, 그 중에서도 센서 A는 성능기준보다 뛰어난 ±3%의 오차범위를 나타낸다. 모든 센서의 성능은 축사 내부의 일반적인 암모니아 발생수치인 30 ppm 내외를 충분히 반영할 수 있는 범위이며, 안정적인 측정 방식을 채택하고 있음에도 불구하고 실질적인 축사 운영 과정에서는 에러가 발생하였다.

Table 3 Ammonia monitoring field sensor performance

	Sensor A	Sensor B	Sensor C
Measuring type	Electrochemical	Electrochemical	Electrochemical
Measuring range	0 ~ 100 ppm	0 ~ 100 ppm	0 ~ 100 ppm
Tolerance	±3%	-	1.5 ppm or ±3%
Resolution	1 ppm	1 ppm	0.5 ppm

실제 현장에서의 암모니아 센서 운영 기록은 Fig. 4와 같다. 2020년 9월부터 2021년 8월까지의 12개월 동안 축사 운영을 살펴본 결과, 현장의 환기팬 가동률이 일평균 20% 이내로 안정적으로 가동되었음에도 불구하고

암모니아 측정 데이터는 불안정한 값을 나타냈다. 대상 자돈사는 자돈 두수와 축사 환경을 고려하였을 때 그림에서 표시된 10 ~ 20 ppm 범위의 암모니아 데이터가 감지되어야 한다. 해당 범위에 들지 못하는 데이터는 센서의 고장으로 간주하여 약 1 ~ 6개월 간격으로 총 5회에 걸쳐 교체되었다. 2021년 2월 중순까지의 센서 A의 경우 감지범위 아래의 값이 측정되었기 때문에 수차례에 걸쳐 동일 모델로 변경을 시도하였다. 몇 차례의 센서 변경에도 충분한 값이 감지되지 않아 센서 B로 교체하였으나 유사한 문제가 또다시 발생하였고, 다시 센서 A로 교체했음에도 불구하고 불안정한 값이 측정되었다. 최종적으로 2021년 6월 중순 센서 C를 채택함으로써 안정적인 측정 성능을 확보하여 현재까지 측정에 활용되고 있다.

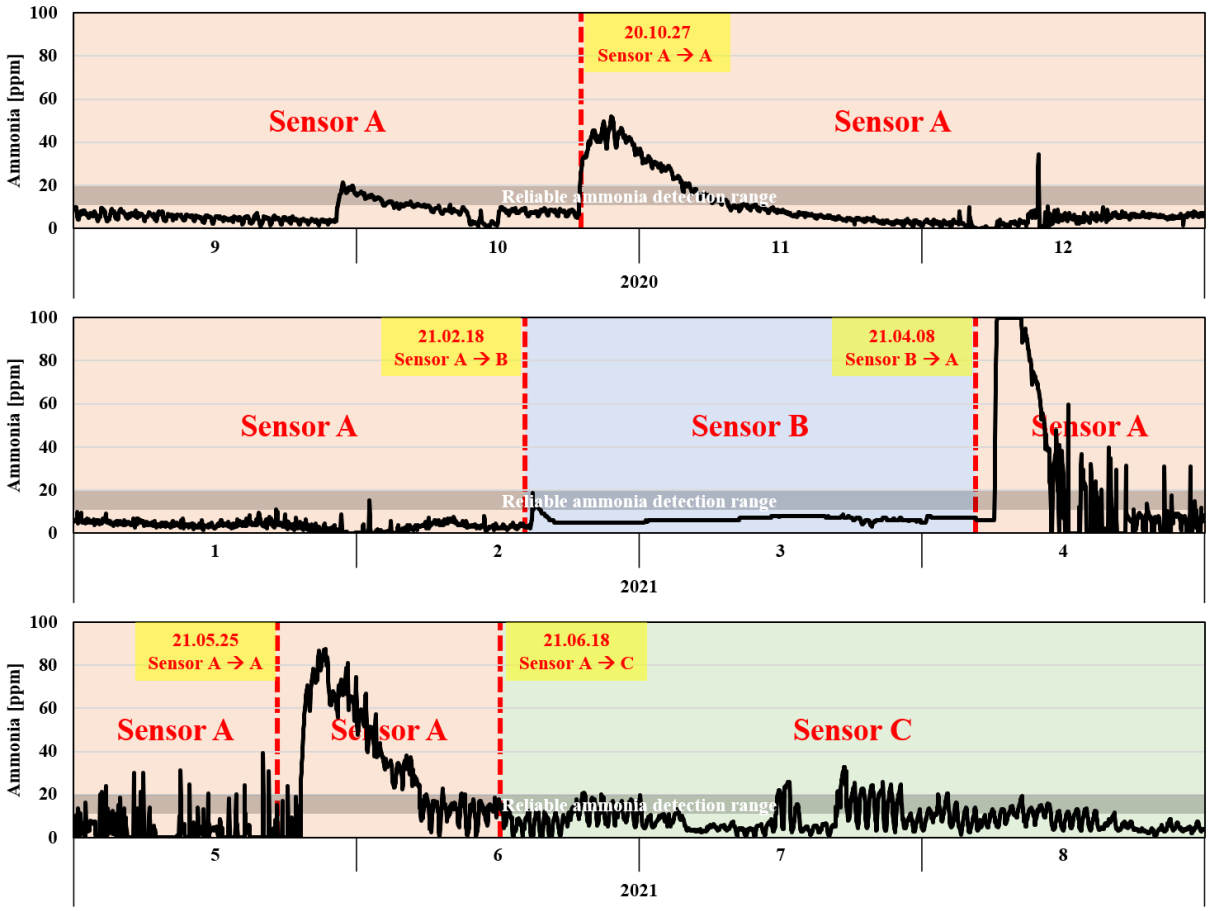

Fig. 4 Ammonia measurement data and replacement time

현장 운영에서 발생한 문제에 관하여, 센서의 구조에서 원인을 분석할 수 있었다. 센서 A와 B 교체과정에서 내부 부식이 발견되었는데, 이는 부식성을 지닌 독성물질인 암모니아 기체가 내부로 유입되었기 때문으로 사료된다. 암모니아 기체의 내부 유입을 방지할 수 있는 구조는 필터이다. 센서 A와 B의 경우 내부의 필터구조가 미미하였으며, 센서 C와 비교했을 때 계기판 장착으로 인한 비교적 복잡한 내부 구조를 지님으로써 부식에 취약

했던 것으로 판단된다. 이에 반해 센서 C의 경우는 계기판이 없고 비교적 단순한 내부 구조를 지니고 있었다. 또한, 내부에는 필터구조가 충실히 되어있었으며, 교체 또한 용이하였다. 더불어 센서 C는 약 1 ~ 2개월 주기로 필터를 교체하였다.

앞장에서의 기존문헌 검토와, 현장 운영 정보를 반영한 암모니아 모니터링 제안은 Table 4와 같다. 내구성 측면에서 암모니아 가스의 유입을 최소화하기 위해, 필터가 필수적으로 장착된 센서의 사용을 제안한다. 또한 암모니아 가스부터 내식성을 확보하기 위해서는 내부 구조가 단순할수록 유리하며, 센서의 견고한 외부구조 또한 고려해야 할 것이다. 유지관리 측면에서 필터의 주기적인 교체를 제안한다. 제조사에서는 필터의 교체 주기를 별도로 명시하지 않았으며, 측정환경에 따라 필요 시 교체하는 것을 권장하고 있다. 그러나 축사와 같은 분진 및 악취환경에서는 교체주기가 더 빨라질 수 있으며, 실제 현장 운영에서는 약 1 ~ 2개월 주기로 필터를 교체한 결과 원활한 데이터를 얻을 수 있었다. 단, 해당 주기는 본 연구의 대상인 순천 축사에서 유효한 결과였으며, 제조사가 권장하는 바와 같이 실제 축사 환경 조건은 각기 다르므로 현재로써 필터 교체에 대한 명확한 기준을 제시하기는 어렵다. 그러나 기존문헌에서는 이러한 내용이 미미하거나 없었으므로, 구체적인 사례를 바탕으로 유지관리의 중요성을 재고하는 제안을 하였다.

Table 4 Ammonia monitoring criteria suggestions - sensor specifications and maintenance

Purpose	Setting smart livestocks and odor management	
Measuring type	Electrochemical	
Measuring point	Inside (livestock breeding area)	Outside (manure disposal area)
Measuring range	0 ~ 100 ppm	0 ~ 500 ppm
Tolerance	±5%	
Durability	Management of internal filter and corrosion resistance	
Maintenance	Recommendation of periodic filter replacement or cleaning	

4. 결과 및 결론

본 연구에서는 암모니아 모니터링 관련 기존문헌들의 검토를 통해 명확한 측정 기준을 제안하였으며, 실제 현장 운영정보를 반영한 실효적인 기준의 필요성을 시사함으로써 스마트 축사 암모니아 모니터링에 관해 제안하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 스마트 축사 구축 및 악취 관리 목적의 4가지 기존문헌을 검토하였다. 이를 바탕으로 암모니아 측정의 목적을 통일하여 제안하였다. 측정방식의 통일 및 명시를 제안하였으며, 최신 문헌에서 제시된 전기화학식은 저전력에 비용 효율적이며, 높은 감도를 보장하는 장점이 있기 때문에 이를 권장하였다. 암모니아 센서의 사양에서 측정범위에 대한 명시를 제안하였으며, 측정장소에 따른 성능 기준을 구분하여 축사 사육장소의 경우 0 ~ 100 ppm 측정범위를, 분뇨 처리장소의 경우 0 ~ 500 ppm 측정범위의 센서 사용을 권장

하였다.

(2) 실제 축사 현장의 운영 사례를 바탕으로 내구성 및 유지관리에 대하여 제안하였다. 내구성에 대한 제안으로, 센서 내부에 필터구조가 적용되고, 암모니아 기체로 인한 내식성을 확보할 수 있는 센서의 사용을 권장하였다. 유지관리에 대한 제안으로, 주기적인 필터 교체 혹은 청소를 권장하였다. 실제 현장 운영 사례에서는 1 ~ 2개월 주기로 필터 교체를 진행하였지만 이는 제품 및 개별 현장의 물리적 환경에 따라 달라질 수 있다.

해당 연구의 한계는 기준을 제시하기 위해 참고한 4가지 기존문헌 및 단일 축사현장의 사례가 다소 협소하다는 점과, 유지관리 제안에서 정량적인 기준보다는 기존의 미흡한 관리의 촉구에 한정되었다는 점이다. 향후 연구에서는 이러한 한계를 바탕으로 다양한 관련 문헌의 추가, 여러 현장의 운영 사례 및 정량적 실험자료를 보완하고자 한다. 이를 통해 제시되는 모니터링 기준의 신뢰성을 강화할 수 있을 것이며, 정량적인 기준을 추가할 수 있을 것으로 사료된다.

그럼에도 불구하고 연구를 통해 기존문헌에서 상이하거나 불분명하게 명시된 암모니아 모니터링 센서사양 기준을 통합하였으며, 현장 운영정보의 반영을 통해 기존문헌에서는 미미하거나 명시되지 않았던 내구성 및 유지관리의 중요성을 재고한 점에 의의가 있다. 연구의 결과를 활용한다면 축사 환경 저해 및 가축의 생장에 영향을 미치는 암모니아 데이터 수집에 신뢰성을 높일 수 있으며, 스마트 축사의 최적 제어 환경을 뒷받침함으로써 원활한 스마트 축사 운영의 기점이 될 수 있다.

후 기

본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2022-0-00591, 2018-0-00387).

REFERENCES

1. Telecommunications Technology Association, Operation Requirements and Installation Guidelines for Smart Livestock ICT Convergence Equipment − Part 1 : Pig, TTAK.KO-10.1175-Part1R1, 2022.06.29.
2. Rho, J. Y., Kang, S. M., Kim, G. H., and Jeon, E. C., Method and Characterization of Ammonia Emission Estimation in Open Houses, Journal of Climate Change Research, Vol. 12, No. 5-1, pp. 505-513, 2021.
3. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Enforcement Rules of the Animal Protection Act [Annex 1], 2022.6.18.
4. Yu, L. H. and Liu, J. C., The Influence and Control of Air Quality in Pig House in Winter in North China, Modern Animal Husbandry Technology, Issue 6, 31, 2016.
5. Ding, Y. and Moon, C. S., Literature Review of the Reduction of Hydrogen Sulfide and Ammonia in Livestock Pen: Comparison between Korean and Chinese Cases, Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 29, No. 4, pp.442-451, 2019.

6. Cape, J. N., van der Eerden, L. J., Sheppard, L. J., Leith, I. D., and Sutton, M. A., Evidence for Changing the Critical Level For Ammonia, Environmental Pollution, Vol. 157, No. 3, pp. 1033-1037, 2009.
7. Ministry of Environment, Enforcement Rules of the Odor Prevention Act [Annex 1], 2021.12.31.
8. Ministry of Environment, Enforcement Rules of the Air Conservation Act [Annex 8], 2022.6.30.
9. Yoon, S. U., Choi, S. M., and Lee, J. H., A Study on the Development of Livestock Odor (Ammonia) Monitoring System Using ICT (Information and Communication Technology), Agriculture, Vol. 12, No. 46, 2022.
10. Livestock Environmental Management Institute, Odor Measurement ICT Machine and Equipment Installation Location Selection Manual, 2021.4.
11. Telecommunications Technology Association, Internal Sensor Interface for Smart Livestock Barn, TTAK.KO-10.0980, 2017.06.28.
12. Korean Industrial Standards, Sensor Interface for Smart Livestock Barn, KS X 3279, 2020.11.11.
13. Livestock Environmental Management Institute, Odor Measurement ICT Machinery and Equipment Equipment Installation Standards and Service Standards (Draft), 2021.4.
14. Yoon, S. U., Choi, S. M., and Lee, J. H., A Study on the Development of Livestock Odor (Ammonia) Monitoring System Using ICT (Information and Communication Technology), Agriculture, Vol. 12, No. 1, 46, 2022.
15. Linhongjia, X. and Richard, G. C., Amperometric Gas Detection: A Review, Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 9, pp. 7152-7181, 2014.
16. Xiong, L. and Compton, R. G., Amperometric Gas Detection: A Review, Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 9, No. 12, pp. 7152-7181, 2014.
17. Pigpeople, 2017. http://www.pigpeople.net/mobile/article.html?no=3436. last accessed on the 22nd December 2022.
18. Kim, K. Y., Seasonal Field Assessment of Odor Emitted from Livestock Manure Composting Facility, The Korean Society for Livestock Housing anf Environment, Vol. 21, No. 2, pp. 41-46, 2015.