

돈사 내 암모니아 농도가 육성·비육돈의 행동 변화에 미치는 영향

김병현¹, 김종복¹, 권경석¹, 장동화¹, 판반뎃¹, 양가영^{2*}
¹국립축산과학원 축산환경과, ²국립축산과학원 동물복지연구팀

Effects of Ammonia Exposure on Behavior Change of Growing-Finishing Pigs

Byeonghyeon Kim¹, Jong-Bok Kim¹, Kyeong-Seok Kwon¹,
Dong-Hwa Jang¹, Vandet Pann¹, Ka-Young Yang^{2*}

¹Animal Environment Division, National Institute of Animal Science

²Animal Welfare Research Team, National Institute of Animal Science

요약 축산 농가 인구 고령화로 인한 인력 부족과 생산성 감소 문제를 해결하기 위해 스마트팜이 적극적으로 도입되고 있다. 이에 따라, 가축의 행동이나 음성과 같은 생체 데이터를 활용하여 이상개체를 판별하고 질병을 예방하기 위한 기술 개발이 필요하다. 따라서 본 연구는 돈사 내 암모니아 농도 차이에 따른 육성·비육돈의 행동을 분석하고 이상개체를 판별할 수 있는 행동 지표를 발굴하고자 하였다. 실험은 육성돈 40두(27.20±1.5 kg)를 공시하여 대조구(CON)와 처리구(TRT)로 나누어 한 펜(pen)당 10두씩 2처리 2반복으로 총 84일(육성기 39일, 비육기 45일) 동안 진행하였다. 암모니아 처리 방법은 25% 암모니아수(ammonium hydroxide)를 수돗물로 1.5배 희석한 후 2~5 ml/min으로 돈방 슬러리 피트에 투입하였고 행동 분석을 하기 위해 각 펜에 카메라를 설치하여 영상 데이터를 수집하였다. 육성·비육기 동안 행동 지표를 분석한 결과 암모니아 처리를 하였을 때 서기, 앉기, 사료섭취, 음수, 무리지음 행동이 증가하였지만(p<0.01), 눕기 행동의 경우 CON이 TRT보다 유의적으로 높았다(p<0.01). 결론적으로, 암모니아 처리에 의해 활동량과 무리지음과 같은 이상행동이 증가하였으며 이러한 결과를 바탕으로 향후 영상 기반 돼지 모니터링 및 의사결정 지원을 위한 관리 기술 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

Abstract Smart farms are actively being introduced to address the labor shortage and productivity decline issues caused by the aging population in livestock farming. Accordingly, technologies that utilize livestock behaviors, vocalizations, and other biological data to identify abnormal livestock and prevent diseases need to be developed. This study aims to analyze the behavior of growing-finishing pigs according to the ammonia concentration in pig houses and to identify behavioral indicators that can detect abnormal animals. Based on a randomized complete block design, a total of 40 growing pigs (27.20±1.5 kg) were allotted to a control group (CON) and a treatment group (TRT) with 2 replicates (10 pigs/pen) during 84 days of the experimental period. Ammonia treatment was performed by diluting 25% ammonium hydroxide with tap water at a ratio of 1.5:1 and injecting it into the slurry pit (2-5 ml/min). Video data were evaluated to analyze behavior. The behavioral indicators during the growing-finishing period showed increased standing, sitting, feeding, drinking, and huddling behavior (p<0.01) after the ammonia treatment, but the lying down behavior was significantly higher (p<0.01) in CON than in the TRT group. In conclusion, our results indicate that ammonia treatment increases the lying behavior and activity, leading to abnormal behaviors such as huddling. Therefore, it is expected that the behavioral data related to abnormal individuals will be helpful to develop second-generation smart farms.

Keywords : Smart Farms, Growing-Finishing Pigs, Ammonia, Behavior, Behavioral Indicator

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제명: 디지털기반 돼지 임신여부 자동판정 및 이상행동 탐지 기술 연구, 과제번호: PJ01681003)과 2023년 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것이다.

*Corresponding Author : Ka-Young Yang(National Institute of Animal Science)

email: y2k1983@korea.kr

Received July 20, 2023

Revised August 21, 2023

Accepted September 1, 2023

Published September 30, 2023

1. 서론

우리나라는 농가 인구 고령화 및 청년층 유입 감소로 인한 인구 절벽화 현상과 농업 시장 개방 확대로 많은 어려움이 있다. 축산업의 경우, 경쟁력 강화를 위해 사육 농가 규모 확대 및 시설 현대화 등 여러 정책들이 시행되고 있을 뿐만 아니라[1], 4차 산업혁명으로 정보통신기술(ICT: Information and Communications Technologies)을 활용한 스마트팜 모델 개발 연구가 활발히 진행되고 있다.

축산 스마트팜은 자동화 설비와 ICT 장비를 활용하여 원격으로 가축의 생육 환경을 조절하고 관리하는 농업 방식이다[2]. 1세대 스마트팜은 단순히 농가의 편의성 향상을 목적으로 하는 반면, 2세대 스마트팜은 가축의 행동 영상이나 음성과 같은 생체정보 데이터를 활용하여 성장을 예측하고 이상개체를 판별하여 질병을 예방할 수 있는 단계이다. 하지만, 2세대 스마트팜 개발에 있어서 중요한 것은 가축의 행동 및 생체정보 수집과 이상개체 탐지에 적합한 지표를 발굴하는 것이다[3].

돼지는 생육 환경에 따라 정상적인 행동과 이상행동을 보이고 돼지 행동을 분석하여 다양한 정보를 얻을 수 있으며 이러한 행동 데이터를 통해 스트레스를 받는 개체나 질병을 미리 예찰할 수 있다[4]. 돼지가 받는 스트레스 요인으로 고온, 이유, 밀사, 암모니아 농도 등 다양한 요인들이 있다. 특히, 환기 불량으로 인해 암모니아 농도가 높을 경우(25 ppm 이상) 가축의 성장 지연, 사료 섭취량 감소, 기침, 눈과 피부 자극 등 여러 부정적인 영향들을 끼치게 된다[5]. 또한, 공기 중 암모니아 농도가 25 ppm 이상일 경우 성장률이 감소하였으며[6], 20 ppmV 이상에 노출이 될 경우 염증반응을 유발하고 80 ppm 이상의 경우 폐에 친염증성 반응으로 인한 산화스트레스 유발과 급성 폐 손상을 일으킨다고 보고되었다[7,8].

돼지 성장 단계 중 육성·비육돈의 분뇨 배출량과 암모니아 발생량이 가장 많은 시기이고, 동절기 최소 환기량을 적용할 경우 하절기에 비해 암모니아 농도가 약 2배 이상 높아지게 된다[9]. 이러한 환경은 돼지 호흡기 질병을 유발하고 염증반응으로 인해 활동량이 감소하게 된다[10]. 따라서 본 연구에서는 돈사 내 암모니아 농도 차이가 육성·비육돈의 행동에 미치는 영향을 분석하고 이상개체 탐지에 적합한 행동 변화를 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험기간

본 연구는 2022년 9월 26일부터 12월 18일까지 국립축산과학원 내 환경조절돈사(Fig. 1)에서 실시하였으며 거세 육성돈(평균 체중 27.20 ± 1.5 kg) 40두를 사용하였다. 실험 기간은 육성돈은 39일, 비육돈은 45일로 총 84일 동안 실험이 진행되었다.



Fig. 1. (a) Swine facility (b) Pig pen captured by CCTV camera

2.2 실험방법

실험기간 동안 사료는 체중 변화 및 한국가축사양표준을 참고하여 급여하였다[11]. 물은 무제한 급여를 진행하였으며 점등은 10시간 점등, 14시간 소등하였다. 실험 디자인은 암모니아 처리를 하지 않은 대조군(CON: control)과 암모니아 처리를 한 그룹(TRT: treatment) 총 두 그룹(두 돈방)으로 나누고 각 처리구당 2개 펜(pen)으로 구성하여 한 펜당 10마리씩 나누어 2반복($n=10$ pigs per pen, $n=2$ pens per treatment)으로 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 네 개 펜의 크기는 각 12.34 m^2 , 12.42 m^2 , 12.33 m^2 , 12.39 m^2 로 처리구간

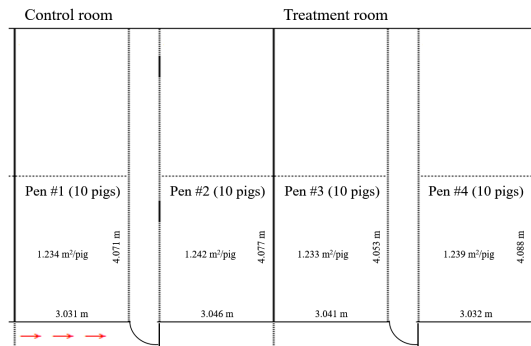


Fig. 2. Building layout comprising rooms for animal accommodation. Pigs in treatment room were exposed to atmospheric ammonia. Pens 1 and 2 were used for the control group and pens 3 and 4 were used for treatment group (10 pigs/pen). The floor area of each pen was 12.34 m^2 , 12.42 m^2 , 12.33 m^2 , 12.39 m^2 .

큰 차이가 없는 환경에서 실험을 진행하였다(Fig. 2). 동물복지 차원에서 적정 사육밀도를 제공하기 위해 한 펜당 10두씩(약 1.24 m²/두) 사육하였고[12] 적정 사육밀도를 제공함으로써 암모니아 농도 이외에 행동에 영향을 줄 수 있는 다른 요인을 제외하였으며 사육밀도 이외에도 온·습도를 비슷하게 유지하기 위해 두 돈방에 온·습도계를 각각 설치하여 매일 측정하여 조절하였다.

암모니아 처리 방법은 25% 암모니아수(ammonium hydroxide)를 수돗물로 1.5배 희석한 후 2~5 ml/min으로 돈방 슬러리 피트에 투입하였다. 위 방법은 슬러리 내 암모니아 농도를 감소시키기 위한 방법으로 사용되는 방법인 황산(sulphuric acid)을 슬러리에 조금씩 첨가하는 방식을 반대로 응용하여 적용하였다[13]. 돈사 내 암모니아 농도를 조절하기 위해 암모니아수 투입량을 조절하였으며 매일 공기 중 암모니아 농도를 측정하였다.

행동 관찰을 위하여 각 펜에 CCTV를 설치하여 녹화하였으며 수집된 모든 데이터는 중앙 서버에 저장하였다. 행동 관찰 참고문헌을 참고하여 기본행동(서기, 눕기, 앉기, 사료섭취, 음수)과 특이행동(싸우기, 무리지음)을 분석하였으며[14] 육성기와 비육기는 모두 3일 간격으로 총 10일과 12일치 영상 데이터를 확보하여 육성기는 1분 간격으로 비육기는 2분 간격으로 스캔 샘플링(scan sampling)을 진행하였다. 스캔한 이미지 파일은 일관된 결과를 확보하기 위해 한 명의 숙련된 관찰자가 모든 관찰 및 행동 분석을 실시하였으며 행동 기준(Fig. 3)을 통일하여 각 행동에 해당하는 개체 수를 카운팅하여 분석하였다.

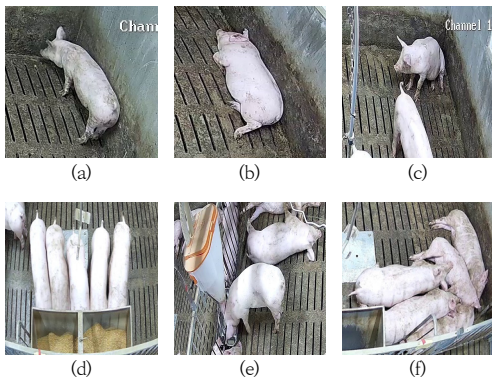


Fig. 3. Basic behavioral characteristics of pigs captured by CCTV camera.

- (a) Standing (b) Lying (c) Sitting (d) Feeding
- (e) Drinking (f) Huddling

2.3 분석방법

행동 분석 데이터는 SAS 프로그램[15]의 general linear model (GLM) procedures를 사용하여 분석하였으며 행동 영상 데이터 분석을 위해 scan sampling 하여 분석한 데이터를 실험 단위(experimental unit)로 이용하였다. 평균 간의 유의성 검증은 95% 유의수준에서 분석하였으며 데이터 결과는 평균과 표준오차(SEM: standard error of the means)로 표기하였다.

3. 결과

실험기간 동안 돈방 내 온·습도 측정 결과 대조구는 평균 온도 25.9°C, 평균 상대습도 58.5% 이었으며 처리구는 평균 온도 25.8°C, 평균 상대습도 63.5% 이었다(Table 1).

Table 1. Temperature (Temp, °C) and relative humidity (RH, %) during the experimental period

Item ²	Treatment ¹			
	CON		TRT	
	Temp, °C	RH, %	Temp, °C	RH, %
Max	27.5	71.2	27.6	74.2
Min	25.1	52.3	24.4	55.9
Mean	25.9	58.5	25.8	63.5
STDEV	1.1	8.9	1.3	6.7

¹CON: control group without ammonia exposure; TRT: treatment group with ammonia exposure.

²Max: maximum level; Min: minimum level; STDEV: standard deviation.

온·습도 수치는 처리구간 큰 차이는 없었으나 실험기간 동안 대조구의 암모니아 농도는 평균 16.85 ppm, 처리구의 암모니아 농도는 평균 41.87 ppm 으로 큰 차이를 보였다(Table 2).

Table 2. Aerial ammonia (NH₃) concentration (ppm) during the experimental period

Item ²	Treatment ¹	
	CON	TRT
Max	24.68	56.57
Min	6.21	19.74
Mean	16.85	41.87
STDEV	5.36	10.47

¹CON: control group without ammonia exposure; TRT: treatment group with ammonia exposure.

²Max: maximum level; Min: minimum level; STDEV: standard deviation.

대조구 암모니아 최고 농도 수치는 24.68 ppm 이었지만 처리구 암모니아 최고 농도 수치는 56.57 ppm 이었다. 평균 암모니아 수치를 비교한 결과, 대조구는 16.85 ppm 이었고 처리구는 41.87 ppm 으로 약 2.5 배 높은 수치였다.

암모니아 농도에 따른 행동 지표를 분석한 결과 눕기(lying) 행동 지표는 육성기(7.967 vs. 7.804; Table 3)와 비육기(8.467 vs. 8.357; Table 4) 모두 대조구가 처리구에 비해 유의적으로($p=0.001$) 높았다. 또한 육성·비육기 전체적으로 보았을 때 눕기 행동이 대조구가 처리구에 비해 유의적으로($p=0.001$) 높은 지표 결과를 보였다(8.144 vs. 7.999; Table 5). 반면에, 암모니아 농도가 높았을 때 육성기와 전체 실험기간 동안 행동 지표 중 서기(standing), 앉기(sitting), 사료섭취(feeding), 음수(drinking) 및 무리지움(huddling)과 같은 활동적인 행동이 유의적으로($p<0.01$) 증가하였다. 하지만, 비육기에는 서기 및 앉기 행동의 유의적인 차이는 보이지 않았다(Table 4).

Table 3. Effect of ammonia (NH₃) treatment on behavior change of growing pigs

Item	Treatment ¹		SEM ²	p-value
	CON	TRT		
Basic behavior (mean no. of pigs)				
Standing	1.136	1.198	0.007	0.001
Lying	7.967	7.804	0.011	0.001
Sitting	0.048	0.056	0.001	0.001
Feeding	0.627	0.678	0.005	0.001
Drinking	0.222	0.264	0.002	0.001
Singularity behavior (mean no. of pigs)				
Fighting	0.007	0.007	0.0003	0.469
Huddling	0.488	0.709	0.003	0.001

¹CON: control group without ammonia exposure; TRT: treatment group with ammonia exposure.

²SEM, standard error of the means.

Table 4. Effect of ammonia (NH₃) treatment on behavior change of finishing pigs

Item	Treatment ¹		SEM ²	p-value
	CON	TRT		
Basic behavior (mean no. of pigs)				
Standing	0.868	0.881	0.007	0.395
Lying	8.467	8.357	0.012	0.001
Sitting	0.055	0.060	0.001	0.125
Feeding	0.439	0.482	0.005	0.001
Drinking	0.170	0.219	0.004	0.001
Singularity behavior (mean no. of pigs)				
Fighting	0.004	0.003	0.0003	0.927
Huddling	0.423	0.511	0.003	0.001

¹CON: control group without ammonia exposure; TRT: treatment group with ammonia exposure.

²SEM, standard error of the means.

Table 5. Effect of ammonia (NH₃) treatment on behavior change of growing-finishing pigs

Item	Treatment ¹		SEM ²	p-value
	CON	TRT		
Basic behavior (mean no. of pigs)				
Standing	1.042	1.086	0.005	0.001
Lying	8.144	7.999	0.008	0.001
Sitting	0.051	0.057	0.001	0.001
Feeding	0.560	0.609	0.004	0.001
Drinking	0.204	0.248	0.002	0.001
Singularity behavior (mean no. of pigs)				
Fighting	0.006	0.005	0.0002	0.495
Huddling	0.465	0.639	0.002	0.001

¹CON: control group without ammonia exposure; TRT: treatment group with ammonia exposure.

²SEM, standard error of the means.

4. 고찰

돼지에게 영향을 줄 수 있는 스트레스는 사회적, 환경적, 대사적, 면역적 스트레스 등 다양하다[16]. 본 연구에서 이러한 스트레스 요인들을 처리구간 동일하게 설정하기 위해 대조구와 처리구의 평균체중, 온·습도, 사육밀도, 급여 사료와 같은 요인들을 동일하게 설정하였다. 반면에, 대조구 암모니아 농도는 최고 24.68 ppm 으로 돈사 내부 적정 암모니아 수치인 25 ppm 보다 낮은 수치였지만, 처리구 암모니아 최고 농도는 56.57 ppm 이었다. 이전 연구 결과에 의하면 40 ppm의 암모니아 농도를 급성 혹은 만성적으로 돼지에게 노출시킬 경우 후각 인식을 방해하거나 영향을 주어 사회적 신호 및 행동에 영향을 줄 수 있으며[17], 세 시간 이상 50 ppm 에 노출이 될 경우 돼지의 눈, 코 그리고 입에 자극을 주어 기침을 유발하고 생산성을 저하시킨다고 보고된바 있다[5]. 따라서 본 연구결과에서 설정한 환경(암모니아 농도) 변화에 의해 돼지 행동에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

동물은 일반적으로 환경 변화에 반응을 하고 암모니아와 같은 불쾌한 자극을 줄 경우 행동에 영향을 미치게 된다[16]. 본 연구결과에서 대조구의 경우 처리구에 비해 눕기 행동이 증가하고 활동량이 더 적었는데 일반적으로 눕기 행동 증가는 환경에 대한 습관화 및 적응된 상태를 말하며 서기와 앉기 행동은 운송, 이유 및 급식 등 다양한 스트레스를 받았을 때 증가하게 된다[18]. 앉기 행동의 경우 자세를 변환하기 위한 중간단계의 행동으로 스트레스를 받을 경우 증가하였다가 스트레스가 완화될 경우 앉기 행동이 감소하게 된다[18,19]. 뿐만 아니라, 다리를 벌리고 앉는 행동(견와자세)은 호흡기계 감염이 있

거나 폐의 용적을 늘려 호흡을 용이하게 하기 위해 취하는 행동이다[20].

암모니아의 급성 및 만성적인 노출은 돼지에게 미치는 행동과 생리적 영향도 다르다. 이전 연구결과에 의하면 암모니아 40 ppm 농도에 노출시키고 처음 일주일 동안 육성돈의 활동성과 공격성이 증가하였다가 이후엔 낮아졌다[21]. 하지만, 더 짧은 시간인 24시간 동안 암모니아 노출 후 스트레스 호르몬인 코티솔(cortisol)을 타액에서 분석한 결과 오히려 암모니아에 노출시킨 육성돈에 비해 정상적인 환경에서 사육된 육성돈에 비해 낮아졌고 활동성 또한 감소하는 것으로 나타났다[22]. 따라서 고농도 암모니아의 급성적인 노출은 코티솔을 증가시키고 활동성을 저하시키지만 지속적인 노출은 환경에 대한 적응성으로 인한 암모니아의 영향이 줄어들었으므로 활동성이 증가하였다가 감소하는 것으로 판단된다. 본 연구결과에서는 처리구간 공격성의 차이는 없었으나 육성·비육돈 모두 암모니아에 노출시킬 경우 높기 행동이 감소하는 등 오히려 활동성이 증가하였는데 이는 다른 연구에 비해 오랜 기간 동안 노출을 시켰기 때문인 것으로 판단된다. 하지만, 비육기에 비해 육성 기간 동안 정상적인 행동인 섭취행동이 아닌 서기와 앉기 행동 지표가 증가한 것으로 보아 실험 초기에 암모니아 농도에 의한 영향이 비육기보다 더 컸던 것으로 보이며 오랜 시간 암모니아에 노출 후 적응을 한 것으로 판단된다.

전체적으로 보았을 때 육성·비육기 모두 환경적 변화에 의해 나타나는 행동 중 하나인 무리지움 행동이 증가하였는데 일반적으로 돼지가 질병에 걸린 경우 이러한 행동 변화가 일어나게 되며 다른 주변의 돼지와 상호작용이 증가하거나 무리지움 행동과 같은 이상행동을 보이게 된다[4]. 뿐만 아니라, 대조구와 처리구 모두 돈방 온도가 같았던 것으로 보아 암모니아 농도가 무리지움과 같은 이상행동에 영향을 준 것으로 판단된다.

5. 결론

돼지가 지속적으로 높은 암모니아 농도에 노출이 될 경우 행동 변화를 보였다. 특히 돈사 내 높은 암모니아 농도는 활동량을 증가시켰고 호흡기 증상이 있을 경우 발생하는 견와자세 증가와 이상행동 증상인 무리지움 행동 지표가 증가하였다. 반면에, 정상적인 암모니아 농도 환경에서 자란 돼지는 높기 행동이 처리구에 비해 상대적으로 높았다. 따라서 이러한 결과들을 바탕으로 스트

레스나 질병으로 발생하는 이상행동과 관련된 행동 변화를 분석함으로써 이상개체 판별 및 영상 기반 돼지 모니터링 지원 시스템 개발에 도움을 줄 것으로 기대된다.

References

- [1] S. Heo, J. Park, J. H. Lee, "A review on ICT convergence in livestock industry in South Korea and its application in animal breeding", *Journal of Animal Breeding and Genomics*, Vol.5, No.4, pp.171-180, Dec. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.12972/jabng.20210016>
- [2] B. Kim, "Implementation of feeding management service model based on pig raising data", *Journal of Digital Convergence*, Vol.19, No.10, pp.105-110, Oct. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.14400/JDC.2021.19.10.105>
- [3] C. Pomar, A. Remus, "Precision pig feeding: A breakthrough toward sustainability", *Animal Frontiers*, Vol.9, No.2, pp.52-59, Apr. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfz006>
- [4] Y. Li, "Normal and abnormal behaviors of swine under production conditions", Pig site: factsheet Pork Information Gateway, 2014, pp.1-5.
- [5] J. J. Colina, A. J. Lewis, P. S. Miller, "A review of the ammonia issue and pork production", *Nebraska Swine Reports*, 2000, pp.24-25.
- [6] T. Wang, Q. He, W. Yao, Y. Shao, L. Ji, F. Huang, "The variation of nasal microbiota caused by low levels of gaseous ammonia exposure in growing pigs", *Frontiers in Microbiology*, Vol.10, pp.1-14, May. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01083>
- [7] D. Li, L. Shen, D. Zhang, X. Wang, Q. Wang, W. Qin, Y. Gao, X. Li, "Ammonia-induced oxidative stress triggered proinflammatory response and apoptosis in pig lungs", *Journal of Environmental Sciences*, Vol.126, pp.683-696, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.05.005>
- [8] X. Wang, M. Wang, S. Chen, B. Wei, Y. Gao, L. Huang, C. Liu, T. Huang, M. Yu, S.-H. Zhao, X. Li, "Ammonia exposure causes lung injuries and disturbs pulmonary circadian clock gene network in a pig study", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol.205, No.111050, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111050>
- [9] K. Y. Kim, H. J. Ko, H. T. Kim, "Comparison of seasonal concentration of ammonia and hydrogen sulfide in swine house according to pig's growth stage", *Journal of Agriculture and Life Science*, Vol.46, No.2, pp.163-168, April. 2012.
- [10] E. von Borell, A. Özpınar, K. M. Eslinger, A. L. Schnitz, Y. Zhao, F. M. Mitloehner, "Acute and prolonged effects of ammonia on hematological variables, stress

responses, performance, and behavior of nursery pigs”, *Journal of Swine Health and Production*, Vol.15, No.3, pp.137-145, 2007.

[11] NIAS (National Institute of Animal Science), Korean feeding standard for swine, Rural Development Administration, 2017, pp.190-199.

[12] X. Li, X. Xiong, X. Wu, G. Liu, K. Zhou, Y. Yin, “Effects of stocking density on growth performance, blood parameters and immunity of growing pigs”, *Animal Nutrition*, Vol.6, pp.529-534, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/i.aninu.2020.04.001>

[13] V. Overmeyer, M. Trimborn, J. Clemens, R. Hölscher, W. Büscher, “Acidification of slurry to reduce ammonia and methane emissions: Deployment of a retrofittable system in fattening pig barns”, *Journal of Environmental Management*, Vol.331, No.117263, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117263>

[14] P. Martin, P. Bateson, *Measuring behaviour: An introductory guide* (3rd ed.), Cambridge University published, pp.48-61, 2007.

[15] SAS. SAS User’s Guide (version 9.4), SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 2009.

[16] J. B. Jones, L. R. Burgess, A. J. F. Webster, C. M. Wathes. “Behavioural responses of pigs to atmospheric ammonia in a chronic choice test”, *Animal Science*, Vol.63, No.3, pp.437-345, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1357729800015332>

[17] J. B. Jones, C. M. Wathes, K. C. Persaud, R. P. White, R. B. Jones, “Acute and chronic exposure to ammonia and olfactory acuity for *n*-butanol in the pig”, *Applied Animal Behaviour Science*, Vol.71, No.1, pp.13-28, Feb, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(00\)00168-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(00)00168-4)

[18] J. McGlone, A. Johnson, “Weaned pig transport: animal welfare impact of duration of trip, and provision of feed and water”, *Research Report*, 2014.

[19] K.-Y. Yang, J.-H. Jeon, K.-S. Kwon, H.-C. Choi, J.-J. Ha, J.-B. Kim, J.-Y. Lee, “Classification of behavior at the signs of parturition of sows by image information analysis”, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.19, No.12, pp.607-613, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.12.607>

[20] S. T. Millman, “Sickness behaviour and its relevance to animal welfare assessment at the group level”, *Animal Welfare*, Vol.16, No.2, pp.123-125, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962728600031146>

[21] M. O. Parker, E. A. O’Connor, M. A. McLeman, T. G. M. Demmers, J. C. Lowe, R. C. Owen, E. L. Davey, C. M. Wathes, S. M. Abeyesinghe, “The impact of chronic environmental stressors on growing pigs. *Sus scrofa* (Part 2): social behaviour”, *Animal*, Vol.4, No.11, pp.1910-1921, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731110001084>

[22] E. A. O’Connor, M. O. Parker, M. A. McLeman, T. G. M. Demmers, J. C. Lowe, R. C. Owen, E. L. Davey, C.

M. Wathes, S. M. Abeyesinghe, “The impact of chronic environmental stressors on growing pigs. *Sus scrofa* (Part 1): stress physiology, production and play behaviour”, *Animal*, Vol.4, No.11, pp.1899-1909, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731110001072>

김 병 현(Byeonghyeon Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 충남대학교 축산학과 (농학석사)
- 2019년 8월 : 충남대학교 축산학과 (농학박사)
- 2019년 9월 ~ 2023년 1월 : 국립 축산과학원 전문연구원
- 2023년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연수사

<관심분야>

축산 스마트팜, 축산 데이터, 단위동물 영양-사양

김 종 북(Jong-Bok Kim)

[정회원]



- 2006년 9월 : UCLA Electrical Eng. (공학석사)
- 2022년 8월 : 전북대학교 컴퓨터 공학과 (공학박사)
- 2006년 10월 ~ 2018년 1월 : LG 이노텍 책임연구원
- 2018년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연수관

<관심분야>

축산 스마트팜, 축산 시설환경, 인공지능, 표준화

권 경 석(Kyeong-Seok Kwon)

[정회원]



- 2010년 8월 : 서울대학교 지역시스템공학과 (공학석사)
- 2016년 8월 : 서울대학교 지역시스템공학과 (공학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연수사

<관심분야>

시설환경, 대기환경, 전산유체역학, 스마트팜

장 동 화(Dong-Hwa Jang)

[정회원]



- 2020년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2023년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

축산 스마트팜, 영상처리, 인공지능

판 반 뢰(Vandet Pann)

[정회원]



- 2022년 8월 : 전북대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원

<관심분야>

오디오 신호처리, 이미지 처리, 비디오 처리

양 가 영(Ka-Young Yang)

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 동물자원학과 (농학석사)
- 2016년 8월 : 강원대학교 동물시스템과학과 (농학박사)
- 2017년 2월 ~ 2022년 12월 : 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원
- 2023년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물행동, 동물복지, 동물교감치유