



오리사 바닥재의 수분 증발량 평가

Assessment of Evaporation Rates from Litter of Duck House

이상연^a · 이인복^{b, †} · 김락우^c · 여육현^d · 데카노 크리스티나^e · 김준규^f · 최영배^g · 박유미^h · 정호혁ⁱ

Lee, Sang-Yeon · Lee, In-Bok · Kim, Rack-Woo · Yeo, Uk-Hyeon · Decano, Cristina · Kim, Jun-gyu ·

Choi, Young-Bae · Park, You-Me · Jeong, Hyo-Hyeog

ABSTRACT

The domestic duck industry is the sixth-largest among the livestock industries. However, 34.3% of duck houses were the duck houses arbitrarily converted from plastic greenhouses. This type of duck house was difficult to properly manage internal air temperature and humidity environment. Humidity environment inside duck houses is an important factor that directly affects the productivity and disease occurrence of the duck. Although the humidity environments of litters (bedding materials) affect directly the inside environment of duck houses, there are only few studies related to humidity environment of litters. In this study, evaporation rates from litters were evaluated according to air temperature, relative humidity, water contents of litters, and wind speed. The experimental chamber was made to measure evaporation rates from litters. Temperature and humidity controlled chamber was utilized during the conduct of the laboratory experiments. Using the measured data, a multi linear regression analysis was carried out to derive the calculation formula of evaporation rates from litters. In order to improve the accuracy of the multi linear regression model, the partial vapor pressure directly related to evaporation was also considered. Variance inflation factors of air temperature, relative humidity, partial vapor pressure, water contents of litters, and wind speed were calculated to identify multicollinearity problem. The Multiple R^2 and adjusted- R^2 of regression model were calculated at 0.76 and 0.71, respectively. Therefore, the regression models were developed in this study can be used to estimate evaporation rates from the litter of duck houses

Keywords: Duck house; evaporation rates; litter; multi linear regression

1. 서 론

국내 축산업 규모는 지속적으로 성장하고 있는 추세로 2017년 축산업 생산액은 약 20 조원으로 전체 농림업 생산액의 약 40%를 차지하고 있다 (MAFRA, 2018). 그중 국내 오리 산업은 다른 축종들에 비해 늦게 발달하였으나 2005년 이후 빠르게 성장하여 2017년 8,747 억원으로 전체 축산업 중 6위를 차지하고 있다 (MAFRA, 2018). 하지만 국내 오리 사육농가 중 약

34.3%가 간이시설 형태를 띠고 있어, 한우, 젓소, 돼지 등의 다른 축종에 비해 간이축사의 비율이 높다 (Statistics Korea, 2015). 플라스틱 온실을 개량한 간이 오리사의 경우 초기 설치 비용이 적다는 이점이 있지만, 태풍과 같은 기상재해 및 야생 동물에 의한 전염병 전파, 하절기 태양광에 의한 내부 기온 상승, 내부 온·습도 환경 관리 등에 취약한 형태를 띠고 있다.

오리의 사육 시 오리사 내부의 열적 환경은 생산성, 에너지 비용과 직결되기 때문에 중요한 요소 중 하나이며, 더불어 수분 환경 관리 또한 중요한 요소이다. 오리사 내부의 수분 관리 실패 시 암모니아와 악취 발생이 증가하며 죽어 피부염 등과 같은 피부 질환이 발생할 수 있어 생산성에 영향을 미치며, 전염성 질병이 발생할 경우 해당 농가뿐만 아니라 다른 농가까지 막대한 피해를 입을 수 있다 (Mayne, 2005). 특히 바닥재의 수분 함량은 오리사 내부 공기의 습도에 직접적인 영향을 미치는 요인 중 하나이며, 바닥재의 습도 관리 실패 시 살모넬라, 곰팡이, 발바닥 피부염 등이 발생하여 오리의 생산성에 악영향을 미친다 (Mayne, 2005).

오리사 바닥재의 수분 환경에 관련된 연구들을 살펴본 결과 주로 계사를 대상으로 연구가 수행되었으며 오리사에 대한 연구는 국내·외 모두 미비한 실정이다. 계사의 바닥재에 첨가물을 적용함에 따라 가스 발생 저감 효과를 분석한 연구

^{a,c,d,e,f,g} PhD Student, Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

^b Professor, Department of Rural Systems Engineering, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

^h MS Student, Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

ⁱ Undergraduate Student, Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-880-4586 Fax: +82-2-873-2087

E-mail: iblee@snu.ac.kr

Received: August 12, 2019

Revised: September 4, 2019

Accepted: September 5, 2019

(Choi and Nahm, 2004; Nahm, 2004; Choi, 2017), 바닥재를 포함한 계사의 환경이 피부염에 미치는 영향을 분석한 연구 (Mayne, 2005; Tabler et al., 2013), 바닥재의 습도에 초점 맞추어 급수기의 인접 여부, 보관 및 취급, 계사 내부 유동 특성, 닭의 주령 등이 바닥재의 습도 변화에 미치는 영향을 분석한 연구 (Bernhart and Fasina, 2009; Wadud et al., 2012; Dunlop et al., 2015), 육계사 내부 암모니아 농도와 바닥재의 특성 사이의 관계를 분석한 연구 (Miles et al., 2006; Miles et al., 2011) 등이 수행되었다. 특히, Dunlop et al. (2015)는 계사 바닥재에 첨가되는 수분량, 증발량, 수분 보유량 등의 수분 평형을 정량적으로 분석하기 위하여, 챔버실험을 통하여 계사의 바닥재에서의 수분 증발량을 정량적으로 측정하였지만 바닥재의 흡수비와 주변 풍속만 고려하여 제한된 실험 조건에서 수행되었다. 계사를 대상으로한 다수의 연구에서 바닥재 수분 관리의 중요성을 시사하고 있으며 이는 오리사도 내부의 환경 조절을 위해 바닥재의 수분 관리가 중요함을 의미한다. 하지만 오리의 경우, 물을 좋아하는 오리의 습성으로 인해 바닥재의 수분 관리가 계사보다 어려운 실정이며, 오리사 수분 환경 제어를 위한 바닥재에 유입되는 수분량, 수분 증발량 등에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 오리사 내부 습도 관리에 필요한 여러 요인 중에서 우선 바닥재에서 발생하는 수분량을 정량적으로 평가하고자 하였으며 상대적으로 현장에서 취득하기 쉬운 환경변수들인 내부 기온, 습도, 풍속, 바닥재의 흡수비를 통하여 바닥재에서 발생하는 수분량을 산정할 수 있는 관계식을 도출하고자 하였다. 실험을 위해 제작한 챔버를 이용하여 내부 기온, 습도, 풍속, 바닥재의 흡수비 조건에서의 바닥재 수분 증발량을 측정하였으며, 최종적으로 측정데이터의 분석을 통하여 바닥재의 수분 증발량 회귀식을 도출하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 채취

본 연구에서는 챔버실험을 통하여 바닥재의 수분 증발량을 측정하고자 2018년 7월 24일, 2018년 8월 30일 두 차례에 걸쳐, 전라남도 영암군 신북면에 위치한 터널환기식 무창오리사에서 실제 이용하고 있는 바닥재를 밀폐용기에 채취하여 이용하였다. 시료를 채취한 오리 농장은 아래 Fig. 1과 같다. 시료를 채취한 무창오리사의 바닥면적은 540 m², 사육수는 2,000 마리로 한 마리당 사육 면적은 0.27 m² · animal⁻¹이다. 오리의 바닥재는 오리가 출하하고 나서 교체하는 것이 아니라 건조하여 연속적으로 이용하고 있었다. 농장주의 판단



Fig. 1 Target duck house for collecting samples of litter

에 따라 오리 사육기간에 왕겨를 수시로 살포하는 방식으로 바닥재를 관리하고 있었다. 바닥재의 관리 방식에 따라 채취한 시료에 왕겨뿐만 아니라 오리의 배설물이 다량 포함되어 있었다. 채취된 바닥재 시료는 밀폐용기에 담아 실험실로 운반하였다. 오리사 바닥재의 경우 다량의 수분이 함유되어 있어 밀폐 용기에서 장시간 방치할 경우 곰팡이, 세균 등의 번식이나 발효 등 유기물 조성이 변형될 수 있기 때문에 시료 채취 후 전기건조로에서 완전 건조한 후 이용하였다.

2. 실험 챔버

본 연구에서는 바닥재의 수분 증발량을 측정하기 위한 챔버실험을 수행하기 위하여 실험 챔버를 자체 제작하여 이용하였다. 실험 챔버는 오리의 바닥재를 시료부에 담고, 시료 위쪽 실험부에 온·습도가 통제된 유동을 형성하도록 하였다. 실험 챔버 제작 시 계사의 바닥재를 대상으로 수행된 연구 (Dunlop et al., 2015)를 참고하여 실험 챔버를 설계하였다. 바닥재가 공기 유동에 노출되는 실험부의 크기는 폭 0.5 m, 길이 0.5 m, 높이 0.1 m이며, 시료부의 크기는 실험부와 폭과 길이가 동일하며 높이 0.05 m이다. 팬의 송풍 방향을 음압식으로 설계하였으며 외기 유입부에 허니콤 메쉬를 설치하여 챔버 내부의 유동이 균일하게 형성되도록 하였다. 실험 전후 바닥재의 무게 측정에 용이하도록 시험부와 시료부가 탈·부착 가능하도록 제작하였으며, 외부에서 챔버 내부의 관찰이 가능하도록 챔버의 위쪽 부분을 투명 아크릴판으로 제작하였다. 무창오리사의 경우 하절기 환기와 오리의 체감 온도 저감을 위해 터널환기 방식으로 배기팬을 가동하며, 입기구 앞쪽에서는 2.5 m · s⁻¹ 이상의 풍환경이 형성되었다. 이를 고려하여 팬의 풍량의 경우 챔버 내부에 충분한 유동이 형성될 수 있도록 실험부의 단면적을 고려하여 결정하였으며, 가변저항

을 이용한 풍속제어장치를 추가적으로 설치하였다. 또한 챔버에 유입되는 공기의 온도 및 습도를 조절하기 위하여 항온 항습조 내부에 챔버를 위치하여 실험을 진행하였으며, 항온 항습조 내부에서 전력을 공급하기 위한 전력공급장치도 함께 제작하였다. 실험 챔버의 형상 및 제원은 다음 Fig. 2와 Table 1과 같다.

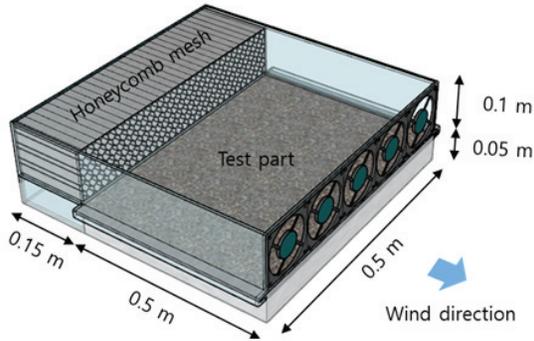


Fig. 2 Chamber for Lab experiment

Table 1 Specification of chamber for Lab experiment

Contents		Value
Test part	Width	0.5 m
	Length	0.5 m
	Height of litter	0.05 m
	Height of airflow part	0.1 m
Honeycomb mesh (Flow straightener)	Width	0.15 m
	Length	0.5 m
	Height	0.1 m
Fan	Number	5 ea
	Diameter	0.092 m
	Maximum flow	0.035 m ³ · s ⁻¹

3. 연구 방법

가. 챔버 내부 풍속 측정

본 연구에서는 환경조건에 따른 바닥재의 수분 증발량을 측정하기에 앞서 다채널 열선풍속계 (Model 1560, Kanomax Inc., Japan)를 이용하여 저항의 단계 조절에 따라 챔버 내부 실험부에 형성되는 유속을 측정하였다. 다음 Fig. 3과 같이 실험 챔버의 내부 공간을 등간격으로 나누어 총 9 지점에서 각 저항 단계 1~10에 대하여 1초 간격으로 10분 동안 측정을 수행하였으며, 각 case에 대하여 3반복 측정을 수행하였다 (Table 2). 실험 챔버 내부의 유동 안정화를 위하여 1분 동안 팬을 가동한 후 실험을 수행하였다. 시료의 유무에 따라 실험 챔버 내부의 유동이 달라지기 때문에 본 실험과 동일하게 시료를 배치하고 풍속을 측정하였다. 최종적으로 실험 챔버 내부 9 지점에서 측정된 풍속 결과를 평균하여 이용하였다.

나. 바닥재의 수분 증발량 측정

주변 공기의 온도, 습도, 풍속, 바닥재의 함수비에 따른 바닥재의 수분 증발량을 측정하였다. 실험 조건은 온도 3가지 (15, 25, 35°C), 습도 3가지 (40, 60, 80%), 풍속 2가지 (1.8,

Table 2 Experimental conditions for measuring wind speed inside experimental chamber

Contents	Value
Sensor	Multi-channel anemometers (Kanomax Inc.)
Time interval of measurement	1 s
Measuring time	10 min
The number of repetition	3 repetition
Level of wind speed	0~10 steps

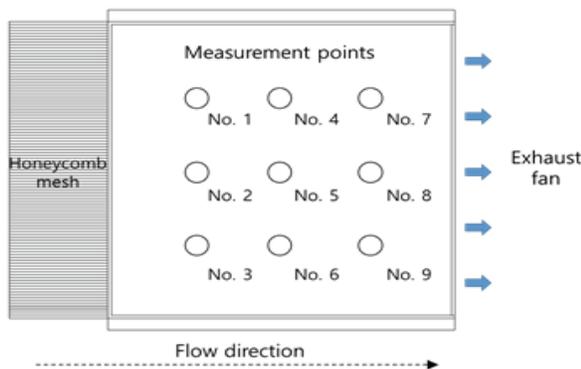


Fig. 3 Measurement of wind speed in the experimental part of chamber

$2.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 바닥재의 함수비 3가지(10, 35, 60%)로 다음 Table 3과 같다. 실험 순서를 간략히 나타내면 Fig. 4와 같다. 일반적인 토양의 경우 110°C 에서 건조시키지만, 오리사에서 채취한 바닥재는 유기물질이 포함된 시료이기 때문에 전기건조로를 이용하여 60°C 조건에서 48시간 동안 건조하였다 (ASTM, 2012). 원하는 바닥재의 함수비를 맞추기 위하여 건조된 바닥재에 물을 첨가하여 교반시킨 후 밀폐용기에서 충분히 배치시켰다. 원하는 함수비로 맞춰진 바닥재를 실험 챔버에 담아 온·습도가 통제된 항온항습조 내에 두고 팬을 가동한 상태로 실험을 수행하였다. 항온항습조 내에서 3시간 동안 실험을

수행한 후, 실험 전후의 바닥재 무게 차이를 통하여 바닥재에서 수분증발량을 측정하였다. 최종적으로 오리사 바닥재에서 하루 동안 발생하는 단위면적당 수분량 ($\text{L} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{day}^{-1}$) 결과를 도출하였다.

Table 3 Experimental conditions for measuring evaporation rates from the litter of duck house according to environmental conditions

Contents	Cases
Air temperature inside chamber	15, 25, 35°C
Relative humidity inside chamber	40, 60, 80%
Wind velocity inside chamber	1.8, $2.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Water contents of litter	10, 35, 60%

다. 바닥재의 수분 증발량 산정식 도출

일반적으로 오리사 농장에서 오리의 생육에 따라 오리의 분뇨가 바닥재에 공급되기 때문에 오리의 생육기간동안 바닥재에 공급되는 수분량과 발생하는 수분량을 직접 실측하기는 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 상대적으로 취득하기 쉬운 환경변수들인 주변 공기의 온도, 습도, 풍속, 바닥재의 함수비 조건으로부터 바닥재에서 발생하는 함수비를 산정할 수 있는 관계식을 도출하고자 하였다. 이를 위하여 환경 조건에 따라 도출된 총 54 case의 수분증발량 측정 데이터를 이용하여 다중선형회귀분석을 수행하였다. 다중선형회귀분석을 위한 기본 모형은 종속변수와 독립변수의 관계를 선형으로 가정한 식 (1), (2)와 같다. 바닥재의 주변 공기의 온도, 습도, 바닥재의 함수비, 주변 풍속을 독립변수로 다중선형회귀분석을 실시하였으며, 정확도 향상을 위하여 상대습도 대신에 수분 증발과 직접적인 연관이 있는 인자인 수증기분압으로 환산하여 분석을 수행하였다. 또한 다중선형회귀분석은 각 변수들이 독립이라는 전제 가정을 바탕으로 하기 때문에, 각 변수들이 독립인지 확인하기 위하여 다중공선성을 확인하였다. 일반적으로 분산팽창지수 (Variance Inflation Factor)가 10 이상일 경우 다중공선성관계가 있다고 판단하기 때문에, 다중선형회귀분석에 앞서 분산팽창지수를 산정하여 각 변수들이 독립임을 검증하였다.



(a) Dry litter at 65°C (48 hr)



(b) Add water and mix



(c) Place into the temperature and humidity test chamber



(d) Weigh to determine the moisture loss

Fig. 4 Experimental procedure for measuring evaporation rates from litter of duck house

$$ER = aT + bRH + cWC + dV + C \quad (1)$$

$$ER = a'T + b'PVP + c'WC + d'V + C' \quad (2)$$

ER : Evaporation rates from litter of duck house ($\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$)

T : Air temperature ($^\circ\text{C}$)

RH : Relative humidity (%)

PVP : Partial vapor pressure (Pa)

WC : Water contents of litter (%)

V : Wind speed ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

$a, b, c, d, a', b', c', d'$: Coefficient

III. 결과 및 고찰

1. 챔버 내부 풍속 측정 결과

바닥재 수분 증발량을 측정하기 위한 실험 전 챔버 내부의 풍환경을 분석하기 위하여 다채널 열선 풍속계를 이용하여 챔버 내부의 풍속을 측정하였다. 저항 단계에 따른 내부 9 지점에서 측정된 평균 풍속을 그래프로 Fig. 5에 나타내었다. 저항이 감소함에 따라 챔버 내부에 형성되는 풍속은 선형적으로 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 고풍속 조건에서는 평균풍속 기준 지점별 풍속 차이가 최대 $0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 측정되었으며, 저풍속 조건에서는 평균풍속 기준 지점별 풍속 차이가 최대 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 측정되었다. 저풍속 조건에서보다 고풍속 조건에서 지점별 차이가 좀 더 크게 분석되었다. 본 연구에서는 저항 0단계와 5단계의 풍속 조건인 $1.8, 2.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 챔버실험을 수행하였다.

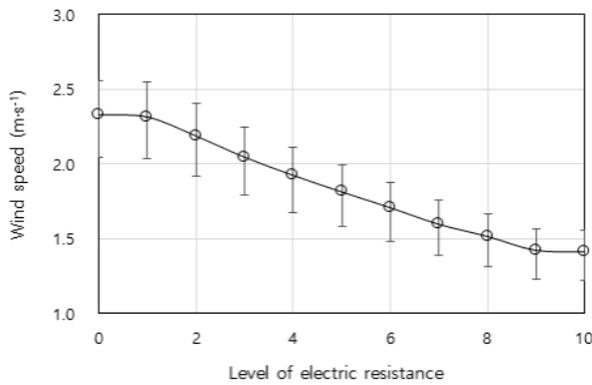


Fig. 5 Average of wind speed measured at 9 points inside experimental chamber

2. 바닥재의 수분 증발량 측정 및 산정식 도출 결과

챔버실험을 통하여 다양한 환경조건하에 오리사의 바닥재에서 발생하는 수분량을 측정하였으며, 주변 온도, 상대습도, 바닥재의 함수비, 주변 풍속 조건에 따라 산정된 바닥재의 수분 증발량 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 일반적으로 예측할 수 있듯이 바닥재의 주변 온도가 높을수록, 상대습도가 낮을수록, 바닥재의 함수비가 높을수록, 풍속이 강할수록 오리사 바닥재에서 발생하는 수분량이 선형적으로 증가하는 경향이 나타났다. 오리가 성장함에 따라 바닥재에 니플에서의 음수 유출이나 오리의 분뇨가 누적되기 때문에 일반적으로 오리사 바닥재의 함수비가 지속적으로 증가하게 되며, 이에 따라 바닥재의 수분 증발량도 지속적으로 증가할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 수행된 챔버실험을 통하여 측정된 오리사 바닥재의 수분 증발량 값이 타당한지 판단하기 위하여, 계사의 바닥재에서 발생하는 증발량을 측정했던 선행연구 결과와 비교하였다. Dunlop et al. (2015)의 측정 결과에 따르면 주변 온도 25°C , 상대습도 50%, 계사 바닥재 함수비 60%, 주변 풍속 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 계사 바닥재의 수분 증발량은 약 $10 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 이며, 본 연구를 통하여 주변 온도 25°C , 상대습도 60%, 오리사 바닥재 함수비 60%, 주변 풍속 $2.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 오리사 바닥재의 수분 증발량은 약 $13.4 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 측정되었다. 본 연구의 결과가 선행연구의 결과보다 크게 산정되었지만 주변 풍속이 더 높으며, 바닥재의 종류 등의 차이를 고려했을 때 본 연구의 결과가 타당하다고 판단된다.

다중선형회귀분석에 앞서 독립변수들이 서로 독립임을 검증하기 위하여 분산팽창지수를 산정하였으며 결과는 다음 Table 4와 같다. 바닥재의 주변 공기의 온도, 습도, 바닥재의



(a) Surface condition of litter at water contents of 35% before lab experiment



(b) Surface condition of litter after lab experiment in the temperature and humidity controlled chamber

Fig. 6 Surface condition of litter at water contents of 35% before and after lab experiment when air temperature was 15°C , relative humidity was 40% and wind speed was $2.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

함수비, 주변 풍속에 대한 분산팽창지수가 각 1.37, 1.44, 1.02, 1.04로 10보다 작아 다중공선성 문제가 없음을 확인하였다. 따라서 독립변수인 바닥재의 주변 공기의 온도, 습도, 바닥재의 함수비, 주변 풍속이 서로 독립임을 검증하였다. 바닥재의 주변 공기의 온도, 습도, 풍속, 바닥재의 함수비에 따른 바닥재의 수분 증발량의 다중선형회귀 분석을 수행하였으며 결과는 Table 5와 같다. 다중선형회귀 분석 결과, F-statistic의 p-value가 3.29×10^{-6} 으로 0.05보다 작아 다중선형회귀 모델이 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다. 바닥재 주변의 온도, 습도, 바닥재의 함수비, 주변 풍속에 대한 p-value가 모두

0.05 이하로 나타나 각 변수들이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 최종적으로 바닥재 주변의 온도, 습도, 바닥재의 함수비, 주변 풍속 데이터로부터 다음 식 (3)과 같이 바닥재의 수분 증발량 산정식을 도출하였다. 다중선형회귀 분석을 통하여 도출된 식의 Multiple R²와 adjusted-R² 값이 각 0.76, 0.71로 분석되어, 챔버실험이 수행된 조건 내에서 오리사 바닥재 주변 온습도 환경, 바닥재의 함수비, 주변 풍속의 자료를 통하여 바닥재의 수분 증발량을 예측할 수 있을 것이라 판단된다.

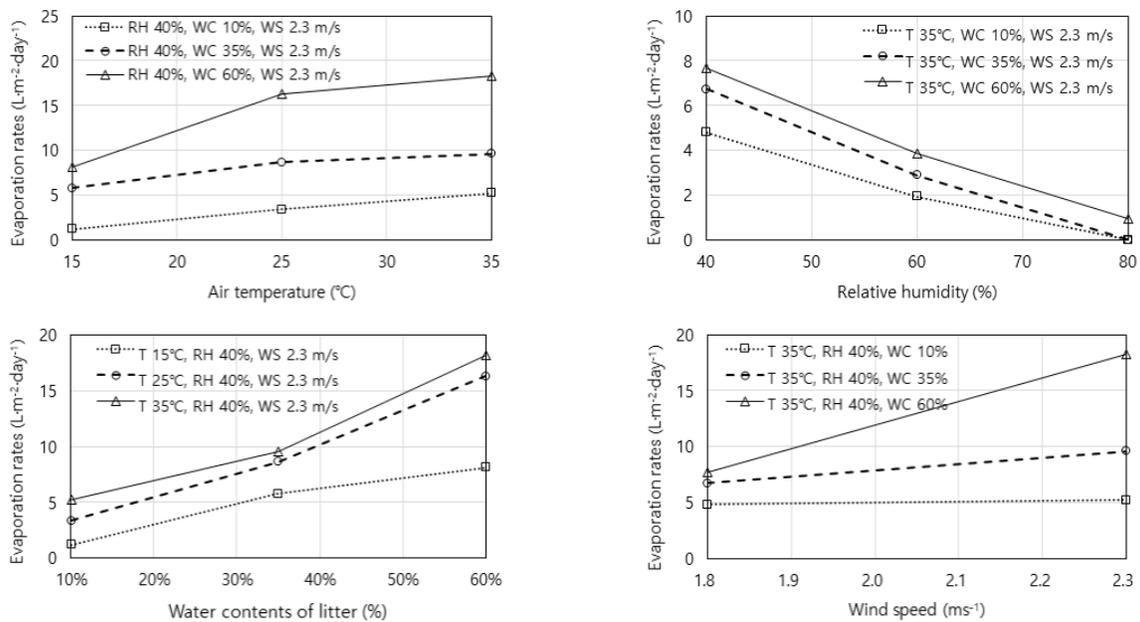


Fig. 7 Evaporation rate from litter of duck house according to air temperature (T), relative humidity (RH), water contents (WC), wind speed (WS)

Table 4 Variance inflation factor for evaluating Multicollinearity between air temperature, relative humidity, water contents, wind speed (independent variables)

Parameter	Air temperature	Relative humidity	Water contents	Wind speed
Variance inflation factor	1,37	1,44	1,02	1,04

Table 5 Multi linear regression analysis to evaluate evaporation rates (dependent variable) from air temperature, relative humidity, water contents, wind speed (independent variables)

Multiple R ²	0,76	Adjusted R ²	0,71	p-value	$3,29 \times 10^{-6}$
Contents	Estimate	Std. Error	t value	p-value	
(Intercept)	-11,31	4,65	-2,43	0,02415 *	
Air temperature	0,25	0,07	3,79	0,00108 **	
Relative humidity	-0,2	0,04	-4,53	0,00018 ***	
Water contents	10,86	2,29	4,74	0,00011 ***	
Wind speed	7,74	1,89	4,10	0,00051 ***	

*** : 0,001, ** : 0,01, * : 0,05

$$ER = 0.25 T - 0.2 RH + 10.86 WC + 7.74 V - 11.31 \quad (3)$$

$$ER = -0.525 T - 3.48 \times 10^{-3} PVP + 10.9 WC + 7.75 V - 21.4 \quad (4)$$

앞서 수행된 다중선형회귀분석 모델의 정확도 향상을 위하여 상대습도를 수분 증발과 직접적인 연관이 있는 수증기분압으로 환산하여, 다중선형회귀분석을 추가적으로 수행하였다. 바닥재의 주변 공기의 온도, 수증기분압, 바닥재의 함수비, 주변 풍속에 대한 분산팽창지수가 각 3.74, 3.85, 1.02, 1.04로 10보다 작아 다중공선성 문제가 없음을 확인하였다 (Table 6). 하지만 상대습도를 수증기분압으로 환산 시 온도 데이터도 활용되기 때문에 주변 공기의 온도와 수증기분압에 대한 분산팽창지수가 증가하며, 바닥재의 함수비와 주변 풍속에 대해서는 분산팽창지수의 변화가 없는 것으로 분석되었다. 또한 Table 7에 나타난 바와 같이 다중선형회귀 분석 결과, F-statistic의 p-value가 2.03×10^{-6} 로 0.05보다 작아 다중선형회귀 모델이 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었으며, 바닥재 주변의 온도, 수증기분압, 바닥재의 함수비, 주변 풍속에 대한 p-value가 모두 0.05 이하로 나타나 각 변수들이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 최종적으로 챔버 실험이 수행된 조건 내에 해당하는 바닥재 주변의 온도, 수증기분압, 바닥재의 함수비, 주변 풍속 데이터로부터 다음 식 (4)을 이용하여 바닥재의 수분 증발량 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 도출된 다음 식의 Multiple R²와 adjusted-R² 값이 각 0.77, 0.72로 분석되어, 상대습도를 독립 변수로 적용하는 경우와 비교하여 모델의 정확도가 크게 차이 나지 않는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 수행된 다중선형회귀모델 모두 오리사 바닥재에서 발생하는 수분량을 예측하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 상대적으로 현장에서 취득하기 쉬운 주변 공기의 온도, 습도, 풍속, 바닥재의 함수비 데이터를 통하여 오리사의 바닥재에서 발생하는 수분량을 정량적으로 추정하고자 하였다. 이를 위해 챔버실험을 통하여 주변 공기의 온도, 습도, 풍속, 바닥재의 함수비 조건에서의 바닥재 수분 증발량을 측정하였으며, 최종적으로 측정데이터의 분석을 통하여 바닥재의 수분 증발량 산정식을 도출하였다.

바닥재 수분 증발량을 측정하기 위하여 챔버를 자체 제작하였으며, 저항 단계에 따라 챔버 내부에 $1.4 \sim 2.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 범위 풍속이 형성되는 것으로 측정되었다. 측정 결과를 바탕으로 $1.8, 2.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 조건에서 챔버실험을 수행하였다.

항온항습조 내부 통제된 환경조건에서 챔버실험을 수행하여, 다양한 환경 조건에 따른 바닥재 수분 증발량을 측정하였다. 바닥재의 수분 증발량 측정 결과, 일반적으로 예측할 수 있듯이 바닥재의 주변 온도가 높을수록, 상대습도가 낮을수록, 바닥재의 함수비가 높을수록, 풍속이 강할수록 오리사 바닥재의 수분 증발량이 증가하는 경향이 나타났다. 또한 계사의 바닥재를 대상으로 수행된 선형연구와 비교하여, 본 연구의 측정결과가 타당한 것으로 판단되었다.

최종적으로 측정 자료를 바탕으로 다중선형회귀분석을 수행하여 주변 공기의 온도, 상대습도, 풍속, 바닥재의 함수비에 따른 바닥재의 수분 증발량 산정식을 도출하였다. 바닥재의 주변 공기의 온도, 상대습도, 바닥재의 함수비, 주변 풍속에

Table 6 Variance inflation factor for evaluating Multicollinearity between air temperature, partial vapor pressure, water contents, wind speed (independent variables)

Parameter	Air temperature	Partial vapor pressure	Water contents	Wind speed
Variance inflation factor	3,74	3,85	1,02	1,04

Table 7 Multi linear regression analysis to evaluate evaporation rates (dependent variable) from air temperature, partial vapor pressure, water contents, wind speed (independent variables)

Multiple R ²	0,77	Adjusted R ²	0,72	p-value	$2,03 \times 10^{-6}$
Contents	Estimate	Std. Error	t value	p-value	
(Intercept)	-21,4	4,21	-5,27	$5,08 \times 10^{-5}$ ***	
Air temperature	$-5,25 \times 10^{-1}$	$1,06 \times 10^{-1}$	4,96	$6,65 \times 10^{-5}$ ***	
Partial vapor pressure	$-3,48 \times 10^{-3}$	$7,33 \times 10^{-4}$	-4,75	$1,09 \times 10^{-4}$ ***	
Water contents	10,9	2,24	4,86	$8,43 \times 10^{-5}$ ***	
Wind speed	7,75	1,84	4,20	$3,99 \times 10^{-4}$ ***	

*** : 0,001, ** : 0,01, * : 0,05

대한 분산평창지수가 모두 10보다 작아 각 변수들이 독립임을 확인하였다. 도출된 모델의 Multiple R²와 adjusted-R² 값이 각 0.76, 0.71로 분석되어, 바닥재에서 발생하는 수분량을 산정하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 다중선형회귀분석 모델의 정확도 향상을 위하여 상대습도를 수분 증발과 직접적인 연관이 있는 수증기분압으로 환산하여, 다중선형회귀분석을 추가적으로 수행하였다. 상대습도를 독립변수로 적용하는 경우와 비교하여 모델의 정확도가 크게 차이 나지 않는 것으로 분석되어 두 모델 모두 바닥재의 수분 증발량 산정에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 오리사의 수분 환경 관리에 중요한 요소 중 하나인 바닥재에서 발생하는 수분량을 정량적으로 평가한 데에 큰 의의가 있다고 사료된다. 추후 오리사 바닥재를 고려한 내부 수분평형에 대한 연구가 추가적으로 수행된다면 본 연구의 연구결과와 더불어 오리사의 내부 환경관리에 유용하게 활용될 수 있을 것이라 전망된다.

REFERENCES

- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2012. Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. Designation: D2216-10.
- Bernhart, M., O.O. Fasina, 2009. Moisture effect on the storage, handling and flow properties of poultry litter. *Waste Management* 29: 1392-1398. doi:10.1016/j.wasman.2008.09.005.
- Choi, I. H., and K. H. Nahm, 2004. Effect of applying two different chemical additives to the litter on broiler performance and the carbon dioxide gas production in poultry houses. *Korean Journal of Poultry Science* 31(3): 171-176 (in Korean).
- Choi, I. H., 2017. Duck litter characteristics from ducks fed *houltuynia cordata*. *Journal of Environmental Science International* 26(2): 265-268 (in Korean). doi:10.5322/JESI.2017.26.2.265.
- Dunlop, M. W., P. J. Blackall, and R. M. Stuetz, 2015. Water addition, evaporation and water holding capacity of poultry litter. *Science of the Total Environment* 538: 979-985. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.092.
- Mayne, R. K., 2005. A review of the aetiology and possible causative factors of foot pad dermatitis in growing turkeys and broilers. *World's Poultry Science Journal* 61: 256-267. doi:10.1079/WPS200458.
- Miles, D. M., P. R. Owens, and D. E. Rowe, 2006. Spatial variability of litter gaseous flux within a commercial broiler house: Ammonia, nitrous oxide, carbon dioxide, and methane. *Poultry Science* 85: 167-172. doi:10.1093/ps/85.2.167.
- Miles, D. M., D. E. Rowe, and T. C. Cathcart, 2011. Litter ammonia generation: Moisture content and organic versus inorganic bedding materials. *Poultry science* 90(6): 1162-1169. doi:10.3382/ps.2010-01113.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2018. Major statistics data of agriculture, food and rural affairs. 11-1543000-000128-10 (in Korean).
- Nahm, K. H., 2004. Effect of addition of three different chemicals to litter on broiler performance, ammonia and carbon dioxide production in poultry houses. *Korean Journal of Poultry Science* 31(4): 213-219 (in Korean).
- Statistics Korea, 2015. Agriculture, forestry and fisheries census (in Korean).
- Tabler, T., J. Wells, W. Zhai, H. M. Yakout, and Y. Liang, 2013. What causes footpad dermatitis in poultry?. Mississippi State University Extension Service 2769.
- Wadud, S., A. Michaelsen, E. Gallagher, G. Parcsi, O. Zemb, R. Stuetz, and M. Manefield, 2012. Bacterial and fungal community composition over time in chicken litter with high or low moisture content. *British Poultry Science* 53(5): 561-569. doi:10.1080/00071668.2012.723802.