

## 피드빈 온습도 관리에 미치는 환기 시스템의 영향

김정혁<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>제주국제대학교 전기에너지공학과

## Feed Bin impact of ventilation on the temperature and humidity management

Jeong-Hyuk Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Energy Engineering, Jeju International University

**요약** 본 논문에서는 피드빈 내부의 온도와 습도를 계측하여 분석하고, NV, EA, SA, SA · EA 환기 시스템을 적용하여 효율적인 관리와 운영방향을 제안한다. 외부기온과 상대습도에 따른 피드빈 내부온도와 습도의 변화를 확인하기 위해 사료 투입 기간과 투입하지 않은 기간을 대상으로 환기시스템을 적용한 후 비교분석 한다. 외부기온과 상대습도의 비교분석을 통해 내부온도는 SA · EA, 내부습도는 NV, SA 환기시스템의 적용과 효율을 확인할 수 있다.

**Abstract** In this paper, we analyzed by measuring the temperature and humidity inside of the Feed Bin, NV, EA, SA, SA · EA, by applying the ventilation system offers an efficient management of the operating direction. In the period the target is not input and feed period to make a change in the Feed Bin within the temperature and humidity of the outdoor air temperature and relative humidity compared to accept the ventilation system. Internal temperature over a comparison of the external temperature and the relative humidity is SA · EA, internal humidity can verify the efficiency and NV, SA ventilation applied.

**Keywords** : Feed Bin, Feedstuff storage, Ventilation system, Management system

### 1. 서론

피드빈(Feed Bin) 내부의 저장사료에 있어 신선도를 어떻게 유지 할 것인가에 대한 문제점이 중요한 이슈가 되고 있다. 저장사료의 신선도를 유지하기 위한 방법으로 차광막, 단열천, 단열도료, 우레탄 도포 등 수동적인 관리방법이 적용되고는 있으나, 수동적인 관리방법에 대한 문제점이 나타나고 있어 보다 능동적인 대처가 필요하다. 피드빈 관리에 있어 저장사료는 외부요인과 내부요인의 영향에 의해서 변화를 일으킨다. 온도의 조건이 15[°C]이하가 되면 곤충, 세균, 곰팡이 등이 활발한 번식과 서식이 어려우며, 수분함량의 경우도 13~14[%] 범위가 사료저장에 있어 안전하다고 볼 수 있다 [1]. 따

라서 사료를 저장하는데 필요한 온도는 저장된 사료의 품질결정에 있어 가장 중요한 요소라고 할 수 있다 [2].

저장사료의 온도변화는 내부와 외부의 열에 의해 발생하며, 내부열원으로는 사료의 호흡, 해충, 곰팡이 등이며, 외부의 열원으로는 태양복사에 의한 온도와 습도의 변화이다 [3]. 사료에 사용되는 곡물은 열에 대한 전도도가 느리며, 저장된 사료 사이의 공기에 의한 대류 열전달은 매우 작아 무시해 버리는 경향이 있다. 그러나 내부와 외부의 열원에 의한 자연대류현상에 의해 고온부에서 저온부로의 수분이동으로 해충이나 곰팡이 등의 번식을 증가시켜 저장된 사료의 품질에 영향을 미친다 [4].

사료에 대한 품질손상을 최소화하기 위해 곡물 냉각기, 상부 냉각시스템 부착 사일로 등 저온저장 시설이 보

\*Corresponding Author : Jeong-Hyuk Kim(Jeju International Univ.)

Tel: +82-10-2695-4000 email: ggum21c@jeju.ac.kr

Received July 10, 2015

Revised (1st August 6, 2015, 2nd August 17, 2015)

Accepted September 11, 2015

Published September 30, 2015

급되고 있다 [5]. 그러나 현재 보급되고 있는 시설은 일정규모 이하에서 사용할 경우 경제적인 비용부담과 저장중의 곡물에 대한 특정부분의 온도제어가 어렵다는 단점을 가지고 있다 [6]. 그리고 소규모 저장사료의 경우에도 신선도 유지를 위해 피드빈 상단에 배기 훈, 자동온도 조절기 등 환기시스템을 부착하여 사용하고 있으나 시스템의 오작동, 화재 등 잠재적인 요인들이 단점으로 작용하고 있다.

본 논문에서는 외부기온과 상대습도 변화에 따른 피드빈 내부의 온도와 습도를 계측하고, 사료를 투입하기 전의 조건과 투입 후 조건의 피드빈에 대해 자연환기(Natural Ventilation), 강제배기(Exhaust Air), 강제급기(Supply Air), 강제 급·배기(Supply Air · Exhaust Air) 시의 온도와 습도 차이를 분석하여 피드빈 내부의 온도 및 습도에 대한 효율적인 환기시스템 도입과 적용을 제안하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 기류특성해석

내부 공간에 대한 기류특성을 해석하기 위해서는 열이동과 온도분포를 구하는 에너지방정식으로 나타낼 수 있다 [7].

체적의 에너지 변환율은 체적에 가해진 일과 열의 변환율의 합과 같다는 열 역학 제1법칙의 에너지 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\mu_j T) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\mu_j T) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \frac{\mu}{\text{Pr}} \left( \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) - \rho\mu_j' T \right] (\rho\mu_j' T) = \frac{\mu_t}{\text{Pr}_t} \left( \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

대류열전달계수는 강제대류 열전달계수와 자연대류 열전달계수의 합으로 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$h_{conv} = \sqrt[3]{(h_{forced}^3 + h_{free}^3)} \quad (2)$$

여기서, 강제대류 열전달계수  $h_{forced}^3$  와 자연 대류 열전달계수  $h_{free}^3$ 는 식(3)과 식(4)로, 수평면에 대한 외부의 강제대류  $N_{forced}$  와 수직면에 대한 자연대류

$N_{free}$ 의 상관관계를 나타내는 Nusselt number는 식(5)과 식(6)으로 나타낼 수 있다 [8,9].

$$h_{forced} = \frac{N_{forced}\lambda}{cdim} \quad (3)$$

$$h_{free} = \frac{N_{free}\lambda}{cdim} \quad (4)$$

$$N_{forced} = [0.37Re^{0.8} - 871]Pr^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

$$N_{free} = 0.68 + \frac{(0.67Re^{\frac{1}{4}})}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \quad (6)$$

식(7)은 동적 운동량의 퍼짐도와 열적 퍼짐도의 비를 근사적으로 표현한 Prandtl number로,  $\nu$ 는 동적 접성계수를  $\alpha$ 는 열적 퍼짐도를 나타낸다.

식(8)은 수직면 근처의 자유대류를 Grashof number와 Prandtl number의 곱으로 정의한 Rayleigh number이며, 식(9)는 부력과 접성력의 비를 근사적으로 표현한 Grashof number이다.

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (7)$$

$$Ra = Gr Pr \quad (8)$$

$$Gr = \frac{g\alpha(T_w - T_f)cvol}{v^2} \quad (9)$$

### 3. 피드빈 온·습도 계측

#### 3.1 온·습도 측정 및 급배기 시스템 구성

##### 3.1.1 온·습도 측정 모니터링 시스템

외부기온의 변화에 따른 피드빈 내부의 온도와 습도의 변화를 측정하기 위한 모니터링 시스템 구성을 Fig. 1에 나타내었다. 피드빈 내부의 온도와 습도를 측정하기 위한 온·습도 센서는 각각의 피드빈의 그룹 A, B, C, D로 구성되어 각 모듈마다 온도와 습도가 측정되고, 측정된 온도와 습도 데이터는 RS232 유선통신을 이용하여 서버로 전송된다.

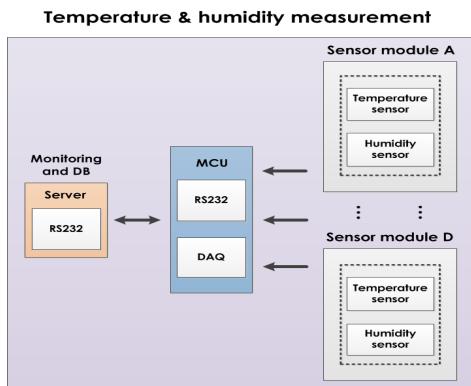


Fig. 1. Data acquisition system configuration

Fig. 2는 피드빈의 내부에 온도와 습도의 변화를 측정하기 위해 온·습도 센서와 서버가 실제 현장에 설치된 모습을 보여주고 있다. 각 피드빈에 대한 내부의 온도와 습도를 측정하기 위해 온·습도 센서를 피드빈 높이와 폭의 1/2로 하여 상단에서 1.75[m], 좌측과 우측에서 동일하게 0.91[m]로 하여 피드빈의 중심부에 위치하도록 설치하였다.



Fig. 2. Temperature/humidity sensor and data server

### 3.1.2 급기 및 배기 시스템

피드빈의 내부로 외부공기를 공급하고 내부공기를 배출하기 위한 급기와 배기의 공기순환에 필요한 환기 시스템을 Fig. 3과 같이 설치하였다. 각각의 피드빈 A, B, C, D의 시스템 구성은 살펴보면, 피드빈 D는 자연환기(NV)를, 피드빈 C는 배기(EA) 기능을, 피드빈 B는 급기(SA) 기능, 피드빈 A는 급기와 배기(SA · EA)가 가능하도록 시스템을 구성하였다.



Fig. 3. Feed Bin ventilation system

환기 시스템에 적용된 급기 시 정압은 16[mmAq], 최대풍량은 1,200[m<sup>3</sup>/h]이며, 배기 시의 정압은 14[mmAq], 최대풍량은 2,200[m<sup>3</sup>/h]의 시로코 펜을 사용하였으며, 급기와 배기 및 에어분기에 있어 150[mm], 200[mm] 테플론 폴리에스터 직조 PVC 난연 코팅 플렉시블 덕트 호스와 T자형 아연도 함석덕트를 사용하였다.

## 4. 현장 데이터 계측 및 비교

### 4.1 외부기온 온습도변화 비교

외부기온과 상대습도의 변화를 확인하기 위해 2015년 2월부터 3월까지의 온도와 습도 변화를 기상청에서 제공된 제주(청) 지상관측자료 중 요소별 자료를 이용하여 평균기온과 상대습도를 Fig. 4에 나타내었다.

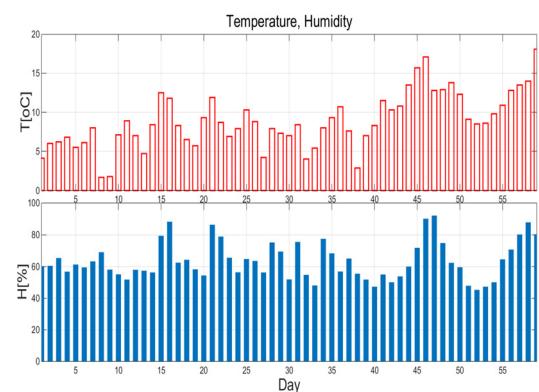


Fig. 4. External average temperature/humidity by KMA data

2월부터 3월까지의 외부기온과 평균상대습도 변화를 살펴보면, 2월 중 평균기온과 평균상대습도는  $7.25[^\circ\text{C}]$  와 63.8[%], 최고기온은  $12.5[^\circ\text{C}]$ , 최저기온은  $1.7[^\circ\text{C}]$  를, 최고 상대습도는 88.4[%], 최저 상대습도는 51.8[%] 를 나타내고 있다. 3월의 경우 평균기온과 평균상대습도는  $10.4[^\circ\text{C}]$  와 63.5 [%], 최고기온은  $18.1[^\circ\text{C}]$ , 최저기온은  $2.9[^\circ\text{C}]$  를, 최고 상대습도는 92.3[%], 최저 상대습도는 45.3[%]를 나타내고 있으며, 2월과 3월의 평균 온도 차는  $3.15[^\circ\text{C}]$ , 평균 상대습도 차는 0.3 [%]이지만, 2월과 3월 중의 최저와 최고에 해당하는 외부기온 간의 차이와 평균상대습도 간의 차이가 크게 발생하는 현상을 알 수가 있다.

#### 4.2 피드빈 내부의 온습도변화 특성

외부기온과 평균상대습도에 따른 피드빈 내부의 온도와 습도의 변화를 확인하기 위해 사료를 투입하기 전의 조건과 투입 후 조건을 대상으로 피드빈 4개소에서 NV, EA, SA, SA · EA 시스템을 적용하여 가동한 후 피드빈 내부에서 계측된 평균기온과 상대습도를 하루단위로 비교하여 Fig. 5에 나타내었다.

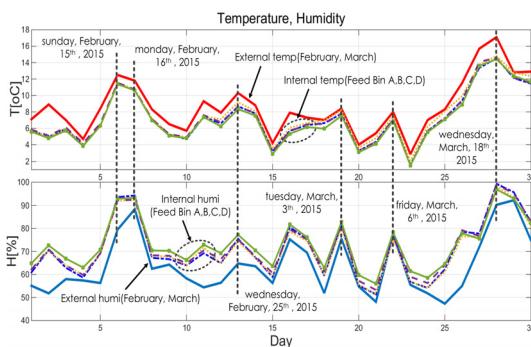


Fig. 5. External temperature and the average temperature/humidity in Feed Bin by KMA data

외부기온의 경우 피드빈 4개소의 내부온도 보다 전체적으로 높은 것을 알 수 있으며, 상대습도의 경우에는 기상청 제공 평균상대습도 보다 피드빈 4개소의 내부습도가 높게 나타나고 있다.

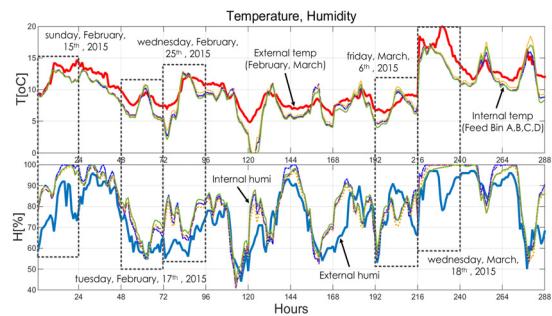


Fig. 6. External temperature and the average internal temperature/humidity in Feed Bin

Fig. 6은 제안한 실제 피드빈 4개소를 대상으로 외부기온은  $7[^\circ\text{C}]$ , 평균상대습도는 60[%] 이상을 기준으로 하여 각각의 피드빈에 NV, EA, SA, SA · EA 시스템을 적용하고 가동한 후 피드빈 내부의 온도와 습도 변화를 시간단위로 비교하여 나타내었다. 외부기온이 피드빈 4개소의 내부온도 보다 전체적으로 높은 것을 알 수 있으며, 상대습도의 경우에는 기상청 제공 평균 상대습도 보다 피드빈 4개소의 내부습도가 높게 나타나고 있다.

##### 4.2.1 NV에 의한 피드빈의 온습도 특성

2월 중 외부기온과 평균상대습도에 대하여 사료를 투입하기 전의 조건 피드빈 A, B, C, D를 대상으로 NV 시스템을 적용하여 외부기온 변화에 따른 피드빈 내부의 온도와 습도변화를 시간단위로 비교하여 Fig. 7에 나타내었다.

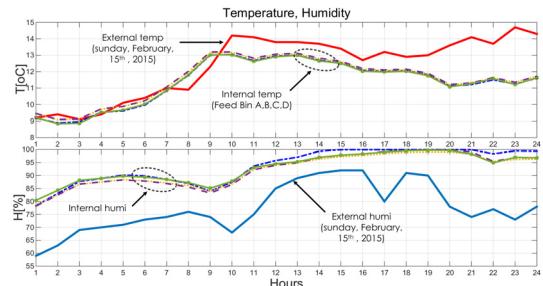


Fig. 7. External and internal temperature/humidity in empty Feed Bin by NV system

NV에 의한 각각의 피드빈 A, B, C, D의 내부온도는 오전 9시를 기준으로, 이전 시간에는 전체적으로 온도상승에 의한 내부온도와 외부기온에 대한 그래프 곡선이 서로 유사하게 나타나고 있으나, 오전 9시 이후부터는

구름에 의한 일사량 감소와 강수량에 의한 외부기온의 점차적 감소에 의해서 외부기온 보다 피드빈 4개소의 내부온도가 전체적으로 낮게 형성되었고 그래프 곡선도 서로 유사하게 나타나고 있다. 상대습도의 경우에는 기상청 제공 평균 상대습도 보다 피드빈 4개소의 내부습도가 높게 나타나고 있으며, 내부습도 그래프 곡선은 거의 유사하게 나타나고 있다.

#### 4.2.2 EA에 의한 피드빈 온·습도 특성

Fig. 8은 2월 중 사료를 투입하기 전 조건의 피드빈 A와 C를 대상으로 EA시스템을 적용하여 가동 후 외부기온 변화에 따른 피드빈 내부의 온도와 습도변화를 비교하여 나타내었다.

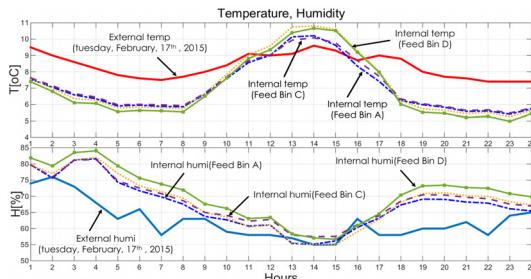


Fig. 8. External and internal temperature/humidity in empty Feed Bin by EA system

EA에 의한 피드빈 A와 C의 내부온도는 전체적으로 외부기온보다 낮게 형성되고 있으나, 외부기온의 상승으로 온도가 약 9[°C]를 넘으면서 태양복사에 의한 피드빈 내부의 혼열로 인해 피드빈 A와 C의 내부온도가 외부기온보다 약 1[°C]정도 높게 나타나고 있으며, 피드빈 D보다는 내부온도가 낮게 나타나고 있다. 상대습도의 경우에도 기상청 제공 평균 상대습도 보다 피드빈 A와 C의 내부습도가 높게 나타나고 있으나, 평균 상대습도가 약 60[%]를 기준으로 EA에 의한 피드빈 A와 C가 피드빈 D보다 내부습도가 낮게 나타나는 특성을 확인 할 수 있다.

#### 4.2.3 SA에 의한 피드빈 온습도 특성

SA에 의한 피드빈 A와 B의 온도와 습도의 특성을 확인하기 위해, 2월 중 사료를 투입하기 전 조건의 피드빈에 SA시스템을 적용하여 가동한 후 외부기온 변화에 따른 피드빈 내부의 온도와 습도변화를 비교하여 Fig. 9에

나타내었다.

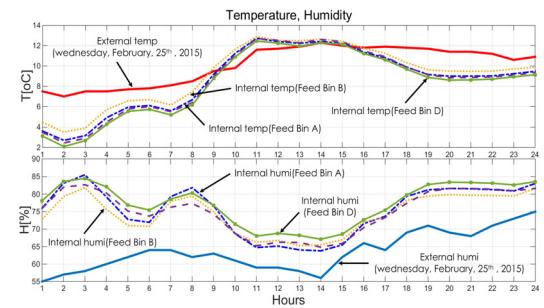


Fig. 9. External and internal temperature/humidity in empty Feed Bin by SA system

SA에 의한 피드빈 A와 B의 내부온도는 전체적으로 외부기온보다 낮게 형성되고 있으나, 외부기온의 상승으로 온도가 약 9[°C]를 넘으면서 태양복사에 의한 피드빈 내부의 혼열로 인해 피드빈 A와 B의 내부온도가 외부기온보다 약 1[°C]정도 높게 나타나고 있으며, 피드빈 A와 B의 내부온도가 피드빈 D 보다 높게 나타나고 있다. 상대습도의 경우에는 기상청 제공 평균 상대습도 보다 피드빈 A와 B의 내부습도가 높게 나타나고 있으며, 평균 상대습도가 약 65[%]를 기준으로 SA에 의한 피드빈 A와 B가 피드빈 D보다는 내부 습도가 낮게 나타나는 특성을 확인 할 수 있다.

#### 4.2.4 SA·EA에 의한 피드빈 온·습도 특성

3월 중 사료를 투입하기 전의 조건과 투입 후 조건을 각각의 피드빈에 대하여 NV, EA, SA, SA·EA시스템을 적용하여 가동한 후 외부기온 변화에 따른 피드빈 내부의 온도와 습도변화를 비교하여 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다.

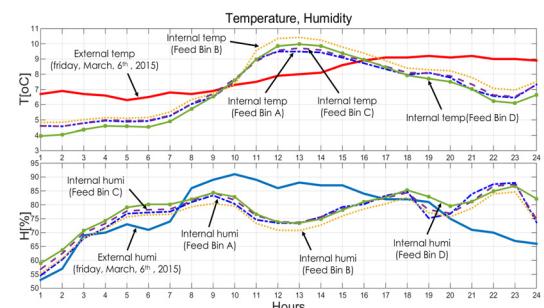


Fig. 10. External and internal temperature/humidity in empty Feed Bin by SA · EA system

Fig. 10은 사료를 투입하기 전 조건의 피드빈 A, B, C, D에 대한 내부온도는 외부기온보다 낮게 형성되고 있으며, 내부온도의 그래프 곡선도 약간의 온도차이를 보이고 있으나 서로 유사하게 나타나고 있다. 또한 외부기온보다 내부온도가 높게 형성되는 시간대의 피드빈 A와 C가 피드빈 B와 D 보다 내부온도가 낮게 나타나고 있다. 상대습도의 경우에는 기상청 제공 평균 상대습도보다 내부습도가 낮게 형성되는 시간대의 피드빈 A와 B가 피드빈 C와 D보다 내부습도가 낮게 나타나고 있다.

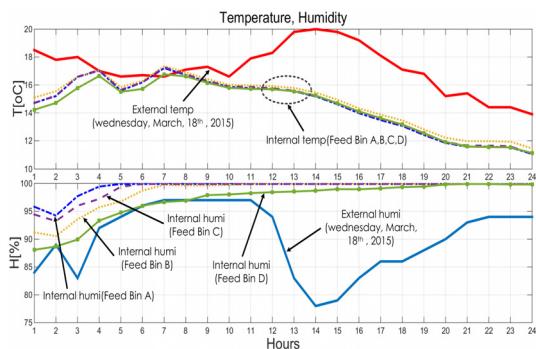


Fig. 11. External and internal temperature/humidity in the filled Bin by SA · EA system

Fig. 11은 사료 투입 후 조건의 피드빈 A, B, C, D에 대한 내부온도는 외부기온보다 낮게 형성되고 있으며, 내부온도의 그래프 곡선은 거의 유사하게 나타나고 있다. 상대습도의 경우에는 기상청 제공 평균 상대습도보다 피드빈 A, B, C, D의 내부습도가 높게 형성되고 있으며, 피드빈 D와 B가 피드빈 C와 A 보다 내부습도가 낮게 나타나고 있어, 습도가 높은 경우에는 EA와 SA · EA 시스템을 적용하여 가동 하는 것 보다 NV나 SA시스템을 적용하여 가동하는 것이 내부습도를 낮출 수 있음을 확인 할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 실제 피드빈을 대상으로 사료 투입전과 투입 후의 조건에 대한 환기시스템 도입과 적용을 제안하였다. 제안한 NV시스템은 내부온도는 낮게, 상대습도는 높게 나타났으며, EA와 SA시스템은 NV시스템 보다 내부온도와 상대습도가 낮게 나타나고 있다. 사료를 투입하기 전의 SA · EA시스템에서 내부온도는 피드빈

A가, 상대습도는 피드빈 B가 낮으며, 사료 투입 후 외부기온 보다 피드빈 4개소의 내부온도는 낮았으며, 그 중 피드빈 A가 가장 낮게 나타났고, 기상청 제공 평균상대습도 보다 피드빈 4개소의 습도가 높게 나타나고 있어 습도가 높으면 EA, SA · EA시스템 보다는 NV, SA시스템이 내부습도를 낮출 수 있음을 확인 할 수 있었다. 향후 환기시스템을 태양광발전과 ESS를 적용한 냉방시스템 도입과 외부 온 · 습도변화에 의한 피드빈 내부의 온 · 습도특성 제어 알고리즘을 비교 분석하면 피드빈에 직접적으로 적용할 수 있으리라 기대된다.

## References

- [1] Choi, M. Y, E. J, Lee, E. Rhim, T. J, Cha, B. C. and Park, H. J, "Antimicrobial activites of pine needle(*Pinus densiflora* Seib et Zucc.)extract", Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol vol 25, pp. 293-297, 1997.
- [2] Sun, D. W, Woods, J. L, "Low temperature moisture transfer characteristics of barley: thin-layer models and equilibrium isotherms", Journal of Agricultural Engineering Research, vol 59, pp. 273-283, 1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1994.1086>
- [3] Brooker D. B, Bakker-Arkema F. W, Hall C. W. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. Van Nostrand Reinhold, p. 389, 1992.
- [4] Brooker D. B, Bakker-Arkema F. W, Hall C. W. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. Van Nostrand Reinhold, p. 26, 1992.
- [5] Lee, J. S, H. K. Hong, H. Li, J. S. Park, T. M. Ham, C. S. Han, "Low Temperature Storage of Rough Rice Using Cold-Air in Winter(II) - Low Temperature Storage Characteristics of Rough Rice Using a Cooling System in the Top of a Bin", J. of Bio system Eng., vol 32, pp. 13-19, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2007.32.1.013>
- [6] Keum, D. H. Characteristics and selection criteria of the rice storage facilities. RPC Technology and Management, vol 2, pp. 55-64, 2003.
- [7] Ian B, "The adaptive coupling of heat and air flow model ling within dynamic whole-building simulation", University of Strathclyde, pp. 10-35, 2000.
- [8] Ibrahim D, Marc Ad, Thermal Energy Storage Systems and Applications. Wiley, p. 50, 2002.
- [9] De Witt, David P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer(4th ed.). Wiley. p. 493, 2000.

---

김 정 혁(Jeong-Hyuk Kim)

[정회원]



- 2005년 8월 : 제주대학교 전기공학  
과(공학석사)
- 2013년 8월 : 제주대학교 전기공학  
과(공학박사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 주대륜엔지  
니어링 부대표
- 2014년 10월 ~ 현재 : 제주국제대  
학교 전기공학과 겸임조교수

<관심분야>

에너지효율, 건물에너지시스템, 스마트그리드, 마이크로그리드