Research article

축산용 깔짚으로의 활용을 위한 억새의 먼지 발생특성

김승수¹ · 심수민¹ · 신동성² · 나창식³ · 원승건^{4*}

¹강원대학교 동물산업융합학과 박사후연구원, ²신코 주임, ³강원대학교 동물산업융합학과 교수, ⁴대구대학교 동물자원학과 조교수

Characteristics of dust production from Miscanthus for bedding materials in animal industry

Seungsu Kim¹, Soomin Shim¹, Dongsung Sin², Changsix Ra³, Seunggun Won^{4*}

¹Post-Doc, Department of Animal Industry Convergence, Kangwon National University, 1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 24341, Republic of Korea

²Senior Staff, SCINCO, 627 Bongeunsa-ro, Gangnam-gu, Seoul, 06083, Republic of Korea

³Professor, Department of Animal Industry Convergence, Kangwon National University, 1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 24341, Republic of Korea

⁴Assistant Professor, Department of Animal Resources, Daegu University, 201 Daegudae-ro, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, 38453, Republic of Korea

Corresponding author

Seunggun Won

Daegu University, 201 Daegudae-ro,
Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do,
38453, Republic of Korea

Tel : +82-53-850-6722

Fax : +82-53-850-6729

E-mail : swon@daegu.ac.kr

Received : January 11, 2021

Revised : February 19, 2021

Accepted : February 24, 2021

Gigantic Miscanthus had been developed as an energy crop for national renewable energy policy. However, market variation made Miscanthus not only use in energy production but also the other use other than energy production. The priority of bedding material selection for animal industry lies on supply of comfort to animal related to its productivity and further dust productivity may be one of concerning factors to prevent respiratory issue on animals and workers. This research was carried out to compare dust production between Miscanthus manipulated and sawdust in commercial use. The lab-scale simulator was designed and prepared to analyze dust production in practice. In order to produce lower dust production, Miscanthus length of less than 40 mm may be required, which results in safety on animals and workers. For animal industry, animal behaviour and composting performance using Miscanthus shall be further investigated in the future.

Key words : Miscanthus, Bedding materials, Dust production, Sawdust

서론

기후변화가 날로 극심해지는 가운데 국가의 에너지 정책과 연계한 청정에너지의 생산보급은 중대한 일이다. 국내에서는 청정에너지 생산기술 중 바이오에너지 생산을 위한 바이오매스 작물의 확대 재배를 통해 바이오에탄올을 생산해 왔다. 특히, 수변구역에 자생하는 억새는 우리나라 등 동아시아가 원산지인 바이오매스 수량이 많으며, 국내에서는 키가 4 m까지 자라는 거대억새를 키워 그 바이오매스를 에탄올 생산의 원료물질로 사용하고 있다. 마

른 줄기 최대수량은 30 t/ha으로 에탄올 잠재수량은 487 L/t으로 효율이 높게 나타나 우수 바이오매스 자원이다.

국가 에너지 정책과 연계한 바이오에너지 생산 보급은 바이오매스 작물의 확대 재배를 통한 원료작물의 안정적 공급이 필수적인데 억새는 우리나라 등 동아시아가 원산지이며 바이오매스 수량이 많아 세계적으로 주목을 받고 있다. 거대억새는 우리나라 자생 물억새로 키가 4 m까지 자라는 특성을 지니고 있고, 마른 줄기 최대수량은 ha당 30톤 (일반 물억새 대비 1.5배)이 생산되며, 에탄올 잠재

수율은 487 L/톤 (볏짚 대비 117% 수준)으로 효율이 높아 바이오에탄올, 연료펠릿 등 바이오에너지원이나 친환경 건축자재, 버섯배지 등으로 활용이 가능한 우수 바이오매스 자원임에 틀림없다 (Moon et al., 2010). 한편, 유럽에서는 화분에 이용되는 토탄의 가격이 비싸 이를 대체할 목적으로 역새의 퇴비를 이용하는 연구도 진행된 바 있다 (Clemmensen, 2004).

하지만, 국제유가의 변동성과 기존 화석연료의 가격 경쟁력 향상으로 인해 개발된 역새의 활용 다변화가 요구되며, 축산분야에서의 축사바닥 깔짚재료의 다양성 확보는 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 국내 주요축종의 가축분뇨 수거방법은 ‘틈새식-기계식’, ‘틈새식-슬러리’, ‘바닥식-깔짚’, ‘바닥식-깔짚없음’, ‘기타’로 나누어지고 있다 (KOSTAT, 2015). 이중 돼지를 제외한 한우, 육우, 젖소, 닭의 사육바닥 조건으로 ‘바닥식-깔짚’이 가장 많이 사용되고 있는 실정으로 각각 87.5, 89.8, 89.3, 43.2, 41.3, 57.8%로 나타난다. ‘바닥식-깔짚없음’이 두 번째로 높은 점유율을 보이는 축종은 가금류로 케이지 사육을 하거나 깔짚 구입비용 등의 경제성 문제로 발생하는 사례로 설명될 수 있다. 바닥깔짚의 역할은 가축이 좋아하는 폭신한 바닥을 제공하고, 바닥으로부터의 냉기차단 역할도하며 건조하고 깨끗한 환경을 유지하는 것으로 가축사육에서는 필수적인 요소라고 할 수 있다 (Mitev et al., 2012). 바닥깔짚은 사육되고 있는 가축에게 안락감, 쾌적감의 제공을 통해 스트레스를 감소시켜 가축의 생산성 향상에 이바지하고, 가축의 사육과정에서 발생하는 분뇨의 적절한 혼합을 통해 분뇨의 수분을 조절하고 혼합물이 반출될 시 퇴비화 과정을 거쳐 농업토양에 환원될 때 환경적 악영향을 미치지 않아야 한다.

국내 축사바닥에 깔짚으로 사용되는 재료는 톱밥과 왕겨가 주를 이루고 있으며, 이외에도 코코피트 및 혼합사용 등으로 나타나고 있다. 톱밥이 왕겨보다 보수력이 좋아 농가들이 선호하나 수급의 불안정과 공급가격의 상승 등 외부요인에 의해 대체재를 찾고 있는 실정이다. 농가마다 톱밥의 사용량은 사양관행에 따라 매우 큰 차이를 보이는데, 톱밥사용량을 조사한 자료에 따르면 한우의 경우 연간 가축분뇨 발생량 대비 약 6.9% 수준 (평균 435 kg/animal/year)이며, 젖소의 경우 2.6% 수준 (평균 377 kg/animal/year)으로 나타난다 (Ra et al., 2015). 더구나 가축사육과정에서 발생하는 온실가스 중 장내발효를 통해 배출되는 온실가

스 이외에는 대부분이 분뇨로부터 발생하고 있어 깔짚의 선택과 관리는 더욱 중요해지고 있는 실정이다.

최근 가축사육과정에서 요구되는 톱밥의 국내수급량이 부족하여 대부분 수입에 의존하고 있는 바, 톱밥의 품질도 과거에 비하여 저하되고 있는 실정으로 그 영향으로는 가루상의 톱밥이 유통되며 먼지 발생량이 매우 높아 현장에서 사용시 가축뿐만 아니라 작업자의 호흡기에도 심각한 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 역새의 축산용 바닥깔짚으로의 활용을 위한 결정지표로 먼지의 발생도와 수분 흡수율은 매우 중요한 요소가 될 것이다.

본 연구는 가축의 생산성 향상에 기여하는 바닥깔짚의 다양성을 제고하고 역새의 활용 다변화를 위하여 역새의 물리적·화학적 특성을 조사하고 이를 축산용으로 활용하기 위한 기초자료, 즉 현장에 생축에 사용하기 전 먼지발생도와 같은 현장에서의 문제점을 파악하고 역새의 축산용 깔짚으로의 활용 가능성을 파악하고자 수행되었다.

재료 및 방법

거대역새의 특성을 분석하기 위해 국립농업과학원 바이오에너지작물연구소에서 관리 중인 세절된 거대역새를 공여받았고 세절크기별로 분류하여 각각의 물리화학적 특성을 분석하였다. 공여받은 역새는 세절된 형태의 역새 (chopped Miscanthus, CM)와 펠릿으로 가공된 역새 (pelletized Miscanthus, PM)의 두 종류로 CM의 경우 그 길이가 가루입자상에서부터 약 63.5 mm까지 존재하는 것으로 나타났으며, PM의 경우 바이오에너지작물연구소에서 가공한 상태의 한 가지 형태로 직경은 6 mm였다.

1. 역새의 특성분석

CM의 크기 구분은 길이별로 [40~63.5 mm], [20~40 mm], [below 10 mm]의 3단계로 구분하고 이 3가지 시료의 혼합물 (Mix)과 분쇄형 (pulverized Miscanthus, Pul.M)으로 세절된 역새의 경우를 추가하여 5가지 형태로 나누었으며, 이러한 형태의 역새 (5 CM, 1 PM)와 시중에 유통 중인 톱밥 (sawdust, SD)을 비교·분석하였다.

물리·화학적 특성을 비교하기 위하여 용적중 (bulk density)을 측정하였으며 (Schaub-Szabo and Leonard, 2013), 시료 내 함유되어 있는 화학적 성분을 측정하였다. 화학적 성분으로는 수분함량 (moisture content, MC), 총고형물

(total solids, TS), 휘발성고형물 (volatile solids, VS), 총질소 (total nitrogen, T-N), $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_x\text{-N}$, 총인 (total phosphorus, T-P), 용해성 인 (ortho-phosphate, O-P)을 측정하였다 (APHA, 2005).

2. 깔짚재료의 먼지발생도

깔짚이 함유하고 있는 크기가 작은 입자물질들은 축사 바닥에 적용시 일시적으로 확산되어 작업자 및 가축의 호흡기에 악영향을 미칠 수 있으므로 초기에 깔짚을 깔아준 이후 가축이 분을 배설했을 때 먼지의 발생률을 측정하고자 하였다. 건조한 깔짚의 경우 분이 투입되었을 때 미세입자들은 확산되어 부유하기 때문에 한우의 항문 위치에서 바닥에 투척되었을 때 부유하는 먼지의 양을 측정할 수 있도록 장치를 마련하였다 (Figure 1). 모의실험장치 바닥의 면적은 0.2 m^2 였으며, 10 L 부피의 깔짚시료로 도포하여 높이가 약 5 cm가 유지되도록 하였다 (ME, 2008).

Figure 1의 모의실험장치 벽면에는 250, 500, 1,000, 1,250 mm 위치에 구멍을 내고 미리 무게를 측정한 증류수로 적신 filter paper를 삽입하여 단위면적당 높이별 흡착부유물질의 무게를 측정하도록 하였으며, 1,250 mm 높이의 위치에서 $10 \mu\text{m}$ 이하의 미세입자의 낮은 흡착률에 기인한 미측정치의 보정을 위해 레이저광산란식 먼지측정기 (Air Quality Monitor-SDL607, xi'an yima opto-electrical technology Co., Ltd, China)를 이용하여 미세입자를 측정하였다 (Table 1).

먼지발생도의 측정을 위한 시험은 단위면적당 한우사육기준 (Korean Law Information Center, 2015)에 따라 비

Table 1. Specification of the dust analyzer.

Measuring range	0~999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Accuracy	0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Size of measurable dust	0.3~10 μm

육우 $7 \text{ m}^2/\text{두}$ 를 기준으로 한우 분뇨배출원단위인 분뇨합계 $13.7 \text{ kg}/\text{두} \cdot \text{일}$ (ME, 2008)을 적용하여 모의실험장치의 일일투입량은 390 g으로 산정하였다. 실험은 총 19일간 진행되었으며 1일 1회의 분뇨 투입을 통해 먼지발생량과 깔짚 내 수분함량 측정을 병행하였다.

결과 및 고찰

1. 역새의 특성분석

거대역새를 세절하거나 펠렛으로 가공할 경우, 사용처에 따라 그 목적이 크게 달라질 수 있으며, 미세입자상의 함유량에 따라 그 화학적 특성도 달라질 수 있을 것으로 예측된다. 우선, 용적중을 비교한 결과를 Table 2에 나타내었다. 예상과 같이 용적중에서는 PM의 형태로 가공된 역새가 단위부피 (m^3) 당 599 kg의 무게로 가장 높았으며, CM[below 10 mm]이 SD와 가장 유사했고, Pul.M은 SD에 비하여 약 30%정도 높게 나타났다. 입자의 크기가 작을수록 용적중이 증가하는 경향을 보였으며 이 입자의 크기가 작을수록 보수력이 증가하여 가축에게 보다 나은 안락감을 줄 수는 있으나 먼지의 발생도는 증가하여 가축의 호흡기에 부정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

Table 3에는 시료별 역새와 톱밥의 성분을 분석하여 비

Figure 1. Simulator for measurement of dust productivity from bedding materials.

교하여 나타내었다. 한우사육 깔짚의 역할은 한우에게 물리적 안락감을 제공하기도 하지만 분뇨의 발생 후 처리과정에서 퇴비화 중 요구되는 적정 C/N ratio의 유지를 위해 탄소원을 제공한다. 대부분의 식물이 그러하듯 역새의 경우에도 질소에 비하여 상당량의 탄소를 함유하고 있는 것으로 나타났다. 톱밥의 VS (893.6 g/kg)와 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 분석되었으나, T-N 함량에서는 톱밥과 비교하여 더 높게 나타나는 시료들이 관찰되었다. [CM below 10 mm], [CM Mix], Pul.M의 T-N 함량은 톱밥보다 높게 나타났으나, 이 외의 더 큰 크기의 시료 즉, [CM 20~40 mm], [CM 40~63.5 mm]의 경우 낮은 값이 관찰되었는데, 이는 역새의 줄기 이외에 잎에 질소성분이 많고 미세입자로 부서진 후 크기별로 나누어지는 과정에서 발생한 결과라고 판단된다. 결과적으로 CM Mix와 PM의 T-N 함량은 톱밥과 비슷한 것으로 나타나 역새 전체의 질소함량은 톱밥과 비슷하다고 할 수 있다.

Table 2. Bulk density of sawdust and Miscanthus in different shapes.

Sample ID	Bulk density (kg/m ³)
Pul.M	234.7 ± 4.2
CM Mix	153.3 ± 2.3
CM below 10 mm	156.0 ± 5.3
CM 20~40 mm	143.3 ± 4.2
CM 40~63.5 mm	136.7 ± 3.1
PM	599.0 ± 10.9
SD	180.0 ± 1.4

*Pul.M, pulverized Miscanthus; CM, chopped Miscanthus; PM, pelletized Miscanthus; SD, sawdust.

Table 3. Characteristics of sawdust and Miscanthus manipulated in different shapes.

Parameters	Unit	Pul.M*	CM Mix	CM below 10 mm	CM 20~40 mm	CM 40~63.5 mm	PM	SD
MC [†]	%	10.76 ± 0.15	8.45 ± 0.08	8.95 ± 1.67	8.23 ± 0.27	9.62 ± 0.46	9.89 ± 0.10	9.91 ± 0.04
TS		892.4 ± 1.5	915.5 ± 0.8	910.5 ± 16.7	917.7 ± 2.7	903.8 ± 4.6	901.1 ± 1.0	900.9 ± 0.4
VS	g/kg	866.6 ± 0.3	880.8 ± 1.2	860.3 ± 16.5	887.1 ± 1.7	878.5 ± 3.5	877.2 ± 1.4	893.6 ± 1.1
Ash		25.8 ± 1.3	34.8 ± 1.2	50.2 ± 0.6	30.6 ± 1.4	26.3 ± 0.3	23.9 ± 0.4	7.3 ± 1.1
T-N		1,628.3 ± 21.9	1,192.2 ± 209.8	1,712.1 ± 43.7	936.9 ± 150.9	597.5 ± 172.4	1,140.5 ± 204.1	1,158.1 ± 61.9
NH ₄ -N		11.0 ± 7.6	14.7 ± 3.9	27.0 ± 4.9	18.0 ± 2.9	6.2 ± 0.6	13.5 ± 1.9	79.9 ± 3.8
NOx-N	mg/kg	0.06 ± 0.05	0.16 ± 0.15	0.39 ± 0.07	0.35 ± 0.00	70.10 ± 0.08	103.69 ± 18.56	N.D.
T-P		502.1 ± 53.6	224.7 ± 22.4	194.5 ± 18.0	207.9 ± 47.1	238.9 ± 91.1	896.2 ± 105.1	1,053.6 ± 79.4
O-P		17.6 ± 0.5	48.9 ± 14.4	77.5 ± 13.2	70.3 ± 1.0	28.7 ± 2.0	730.4 ± 4.5	62.6 ± 3.2

*Pul.M, pulverized Miscanthus; CM, chopped Miscanthus; PM, pelletized Miscanthus; SD, sawdust.

[†]MC, moisture content; TS, total solids; VS, volatile solids; T-N, total nitrogen; T-P, total phosphorus; O-P, ortho-phosphate; N.D., not detected.

톱밥과 달리 공여받은 역새시료에서는 질소의 산화된 형태인 NOx-N가 검출되었는데 이는 역새시료가 공여받기 전 장기간 실온에서 보관되었기 때문에 보관기간 중 일어난 산화작용으로 추측되며, 목질계인 톱밥에 비하여 초본계인 역새가 분해되기 더 용이할 것이라는 예측이 가능할 것이다.

2. 먼지발생도

재료 및 방법에서 설명한 바와 같이 먼지발생 모의실험 장치를 이용하여 젖은 filter paper에 흡착하는 먼지의 무게를 250, 500, 1,000, 1,250 mm의 높이별로 측정을 실시하였으며 무게로 측정하기 어려운 미세먼지인 따라서, 10 µm 이하의 먼지 측정은 먼지측정기를 사용하였다 (Figure 2). 작업자의 호흡기에도 영향을 미칠 수 있는 높이인 1,250 mm 높이에서 측정한 결과, 시험개시시에 가장 높은 먼지

Figure 2. Fine dust productivity using a dust analyzer with elapsed time.

발생도를 확인할 수 있었다. 시험개시시의 먼지측정기 결과를 살펴보면 가장 높은 수준의 먼지발생도는 CM[below 10 mm]였고, Pul.M에서 비슷한 수준의 값을 얻을 수 있었다. 그 다음으로 낮은 시료의 값은 50% 낮은 수준을 보였는데 CM[20~40 mm] > CM Mix > CM[40~63.5 mm] > SD > PM 순으로 나타났다. PM과 SD시료는 비슷한 수준이었고, CM[20~40 mm], CM Mix, CM[40~63.5 mm] 시료가 비슷한 농도의 먼지를 발생시키는 것으로 관찰되었다. 예상과 다르게 분뇨의 투입 즉시 건조한 상태의 시료에서 먼지발생도가 높지 않았고, 3에서 5일 부근에 높게 나타나는 결과를 보였는데, 이는 미세먼지가 젖은 filter paper에 흡착하더라도 무게변화에 영향을 크게 미치지 않았던 것으로 사료되며 기기적 한계라고 판단된다.

젖은 filter paper에 발생하는 먼지를 흡착시켜 높이별로 측정한 결과는 Figure 3에 나타내었다. 시험개시시 투입된 분뇨는 수분을 함유하고 있기 때문에, 시험개시 후 1일차에서는 대부분의 시료에서 먼지발생도가 급격히 감소하여 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준 이하로 감소하였으며, 시험개시시 가장 높은 값을 기록한 CM[below 10 mm]의 경우에도 45%수

준으로 감소한 $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소하여 바람이 불지 않는 작업장의 경우 1,250 mm의 위치에서는 완전 건조상태의 시료가 아니라면 미세먼지에 의한 작업자의 호흡기 피해 예방을 위해서는 살포시에 매우 주의해야하며 그 이후에는 비교적 안전할 것으로 추측된다. Pul.M 시료에서 가장 높은 먼지발생도를 예상했으나 실험개시 후 급격히 감소한 이유는 CM[below 10 mm]와 달리 전체적으로 균일한 입자크기를 갖게 되어 약간의 수분과도 흡착율이 높아 시험개시 후 급격히 감소한 것으로 사료되나, CM[below 10 mm]의 경우에는 입자의 크기가 일정하지 않아 수분과 균일하게 흡착되지 못하고 큰 입자에 붙어있던 작은 입자들이 순차적으로 수분과 반응하며 먼지발생도 감소율을 저하시킨 원인이 된다고 판단된다.

젖은 filter paper를 이용한 먼지발생도 측정결과 깔짚재료에 따라 전체적인 발생유형은 유사성을 보였으나 발생양에서는 차이가 큰 것으로 나타났다(Figure 3). 한우의 특성상 호흡기가 바닥에서부터 1,000 mm 부근까지 위치할 수 있기 때문에 구간별로 나누어 측정하였다. 가장 낮은 위치인 250 mm 높이에서는 시험개시 후 5일 이내에 SD에서

Figure 3. Comparison of dust productivity in different height with elapsed time (A, 1,250; B, 1,000; C, 500; D, 250 mm).

가장 높은 약 8,000 mg/m² 수준이 측정되었고, CM[20~40 mm]에서 6,500 mg/m² 수준이었으며 CM[40~63.5 mm]와 PM에서 유사한 5,400 mg/m²의 발생도를 보였다. 그림에 나타난 바와 같이 가장 높은 위치인 1,250 mm에서는 5일 이내에 Pul.M에서 가장 높았고 (5,800 mg/m²), 1,000 mm에서는 SD (4,300 mg/m²), 500 mm 높이는 다시 Pul.M (5,800 mg/m²)인 것으로 나타나 역새를 분쇄할 경우 먼지의 발생이 상당히 심할 것으로 사료되어 축사의 바닥깔짚으로의 사용이 어려울 것이라는 결론에 도달하였다. 예상한 바와 같이 CM[40~46.5 mm]에서 가장 먼지발생량이 적게 나타났으며 PM과 CM Mix에서는 비교적 Pul.M이나 SD보다 낮은 발생률을 보였다.

대부분의 처리구에서 5일경 이후부터는 수분 함량의 증가에 따라 부유하는 먼지의 양이 급격히 줄어들어 거의 발생하지 않는 결과를 얻을 수 있었다. 모든 결과에서 15일경 급격한 먼지발생도의 증가는 모의실험장치에 분뇨투입 후 15일 경에 바닥을 뒤집어 주어 모서리에 묻혀있던 깔짚의 영향으로 파악되었으며 이는 현장에서도 발생하는 경우로 일단 입자가 고울수록 수분흡착에 의해 1주일 이내에 먼지발생도는 급격히 감소하지만, CM 40 mm 미만 크기의 시료들은 1,000 mm 이상의 높이까지 부유할 수 있는 것으로 나타나 40 mm 이하로 세절하거나 분쇄하는 등 가루형태로 깔짚을 공급할 경우 가축과 작업자의 호흡기에 악영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. Kwiatkowska-Stenzel et al. (2017)이 마상의 깔짚 종류에 따른 먼지수준과 위생에 대한 연구에서 벧짚, 대팻밥, 분쇄목재펠릿을 비교한 결과 호흡기에 가장 안전한 재료가 벧짚이었다는 결과와 유사한 것으로 나타났다.

결론

실험을 통해 분쇄되거나 40 mm이하로 세절한 역새의 경우 톱밥과 유사한 먼지발생도를 보이게 된다는 결론에 도달하였으며, 이를 감소시키기 위해서는 약 40 mm 이상의 길이로 세절하거나 40 mm 이상과 그 이하의 크기가 혼합하여 공급한다면 먼지발생도 측면에서 톱밥보다는 우수할 것으로 판단된다. 또한 깔짚으로써의 우선적인 역할이 안락감의 제공측면에서 가축의 행동적 분석이 차후에 요구되며, 이후 깔짚교체시 분뇨와의 혼합물을 수거한 후 자원화 과정 즉, 퇴비화시 수분조절재로써의 역할 및 탄소공급원으로써 역새의 성능을 기 사용 중인 톱밥과 비교할

필요가 있을 것으로 사료된다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ012577)의 지원으로 수행되었음.

인용문헌

- APHA, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed. American Public Health Association, Washington DC, USA.
- Clemmensen, W.A., 2004. Physical characteristics of Miscanthus composts compared to peat and wood fiber growth substrates. *Compost Science & Utilization*, 12(3), 219-224.
- Korean Law Information Center, 2015. Appropriate livestock breeding standards per unit area of livestock breeding facilities. <https://www.law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000035120>
- KOSTAT (Statistics Korea), 2015. Census of agriculture, forestry and fisheries. http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/8/2/index.board?bmode=read&aSeq=350112&pageNo=&rowNum=10&amSeq=&sTarget=&sTxt=
- Kwiatkowska-Stenzel, A., Witkowska, D., Sowińska, J., Stopyra, A., 2017. The effect of stable bedding materials on dust levels, microbial air contamination and equine respiratory health. *Research in Veterinary Science*, 115, 523-529.
- ME (Ministry of Environment), 2008. Standard explanation for livestock excreta recycling facility (Commentary). <https://www.me.go.kr/home/file/readDownloadFile.do?fileId=6249&fileSeq=1>
- Mitev, J., Varlyakov, I., Miteva, T., Vasilev, N., Gergovska, Z., Uzunova, K., Dimova, V., 2012. Preferences of freestall housed dairy cows to different bedding materials. *Acta Veterinaria Eurasia*, 38, 135-140.
- Moon, Y.-H., Koo, B.-C., Choi, Y.-H., Ahn, S.-H., Bark, S.-T., Cha, Y.-L., An, G.-H., Kim, J.-K., Suh, S.-J., 2010. Development of "Miscanthus" the promising bioenergy crop. *Korean Journal of Weed Science*, 30(4), 330-339.
- Ra, C., Ryu, J.W., Song, J.I., Won, S., Park, J.Y., Kim, J.S., Jeon, D.Y., You, B., Shim, S., Yoon, S., 2015. Investigation of the actual state of livestock manure treatment and nutrient loading against the policy reinforcement. Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
- Schaub-Szabo, S.M., Leonard, J.J., 2013. Characterizing the bulk density of compost. *Compost Science & Utilization*, 7(4), 15-24.