

고체연료화 방법을 적용한 우분 처리 가능성 평가

정광화* · 김종곤 · 이동준

농촌진흥청 국립축산과학원

Feasibility test for Solidified Fuel with Cow Manure

Kwang-Hwa Jeong* · Jung-Kon Kim · Dong-Jun Lee

National Institute of Animal Science, RDA, Korea

ABSTRACT

In this study, the availability of cow manure as raw material for solid fuel production was investigated. Since the water content of the cow manure was too high, it was dewatered using a laboratory hydraulic compressure (11.3 kg/cm²). The moisture content of the cow manure decreased from 82.01% to 73.36 wt.%. The dewatered cow manure was homogenized by the experimental apparatus and then put into the rotating cylindrical apparatus. From the consecutive processes, the cow ball-shaped pellet which size ranged from 3.0 to 25.0 mm was produced. The major factor for making palletized fuel from cow manure was the moisture content. Based on the experimental data, the moisture content of cow manure for pelletizing cow manure was identified as 65~75 wt.%. When the moisture content of the cow manure was lower than 30 wt.%, the diameter of the pellets maded from cow manure was smaller than 3 mm. On the other hand, when the water content of the cow manure was higher than 75 wt.%, the diameter of the processed pellets tended to be larger than 25 mm. The characteristics of the processed cow manure pellets was analyzed to be in accordance with the livestock solid fuel quality standard. The pyrolysis characteristic of the pellet was analyzed by raising the heating temperature of the experimental equipment from 200 to 900°C. The mass change between of 20 and 130°C corresponds to the amount of moisture contained in the cow manure. The amount of moisture was about 15% of the total weight of cow manure samples. The cow manure pellet was thermally stable up to 280°C. It can be interpreted that combustion of cow manure pellet does not occur until the surface temperature reaches 280°C. The mass change of pellet between of 280 and 450°C was considered to be due to the vaporization of volatile organic compounds (VOCs) present in the cow manure pellet. The maximum production of VOCs was showed near 330°C.

Key words : Cow manure, Solidified fuel, Pellet, Pyrolysis

1. 서 론

국민 식생활 패턴이 변화하면서 쌀을 비롯한 양곡소비가 줄어드는 반면에 육류나 유제품과 같은 축산물 소비가 늘어나고 있는 추세이다. 통계청의 양곡소비량 조사결과를 보면 1886년에 국민 1인당 연간 142.4 kg에 달하던 양곡소비량이 1996년 117.3 kg, 2006년 87.2 kg 그리고 2016년에는 71.2 kg으로 감소하였고 쌀 소비량만을 대상으로 보면 같은 시기에 각각 127.7 kg, 104.9 kg, 78.8 kg 그리고 61.9 kg 수준으로서 지속적인 감소 추세를 보이고 있다. 반면에 국민들의 육류소비량은 늘어나고 있는 것으

로 조사되었는데 농협중앙회 축산경제리서치 자료에 의하면 1970년에 5.2 kg이던 1인당 연간 육류 소비량이 2015년에는 47.6 kg으로 늘어났다. 계란과 우유소비량 역시 같은 기간 동안 각각 4.2 kg에서 13.4 kg 그리고 1.6 kg에서 77.6 kg으로 증가하였다. 육류와 축산물 소비가 늘어남에 따라 국내 축산업의 규모가 커지고 가축 사육두수도 많아지게 되었다. 이 과정에서 축산농가는 가축사육을 통해 농가의 주된 수입을 올리는 전업적 축산농가 형태로 변모하게 되었다. 이로 인해 각 농가당 사육두수가 많아짐에 따라 가축이 배설하는 분뇨의 양도 증가하는 결과를 가져왔다. 지난 2016년을 기준으로 보면 국내에서 사육되

*Corresponding author : gwhaju@korea.kr

Received : 2017. 12. 13 Reviewed : 2017. 12. 15 Accepted : 2017. 12. 26

Discussion until : 2018. 2. 28

는 모든 가축이 배설한 가축분뇨의 총량은 연간 4,698만 8천 톤에 달했다. 가축분뇨는 가축이 섭취한 사료가 가축 체내에서 소화흡수 과정을 거치고 나서 체외로 배출되는 물질이다. 따라서 가축분뇨에는 소화되지 못한 물질과 영양소 또는 각종 무기성분 그리고 가축체내에서 일어나는 대사과정에서 발생한 대사산물 등이 포함되어 있다. 그러므로 가축분뇨는 적절한 방법으로 잘 처리하면 퇴비와 액비 등의 유용한 유기성 비료자원으로서의 가치가 높다. 가축분뇨 퇴비나 액비는 질소, 인산, 칼리와 같은 주요 비료 성분 또는 유기물 등을 토양에 공급해 주는 효과가 있다. 또한 가축분 퇴비의 사용은 토양의 보수력과 보비력 등 토양의 물리성을 개선하는 효과가 있다(Sa et al., 2008). 우리나라는 축산농가와 취락지역이 근접해 있는 경우가 많은 관계로 가축분뇨를 퇴비화 또는 액비화하는 기술에 대한 연구와 시설투자가 적극적으로 이루어져 왔기 때문에 가축분뇨 퇴비화와 액비화시설 수준과 운영기술은 축산 선진국가에 비해서도 손색이 없을 정도이다. 그리고 현재 국내 가축분뇨 처리관련 정책방향도 발생한 가축분뇨를 가급적 최대한 퇴비나 액비 형태로 자원화한 뒤 효율적으로 토양에 재순환시키는 것이다. 가축분뇨 퇴비나 액비를 토양에 순환하는 것은 지력 증진과 영양소의 자연순환이라는 측면에서 볼 때 바람직한 방법이라고 할 수 있다. 그러나 가축분뇨 퇴비와 액비의 주요 수용층인 경작지의 면적이 매년 지속적으로 감소하고 있는 상황을 고려한다면 퇴비화와 액비화하는 방법 외에도 가축분뇨를 효율적으로 처리할 수 있는 기술이 개발, 보급되어야 할 필요가 있다. 최근 들어서 가축분뇨를 탄화한 바이오차(Bio-char)를 이용하여 악취제거용으로 사용하려는 시도가 이루어지고 있다(Lee et al., 2017). 현재 우리나라의 가축분뇨 처리 관련제도에도 따른 가축분뇨 자원화방법으로는 퇴비화, 액비화 그리고 에너지화 기술이 이용되어 왔다. 에너지화 방법은 가축분뇨를 혐기소화하는 방법과 고체연료화하는 방법으로 구분되어진다. 현재의 국내 기술수준을 고려해 볼 때 혐기소화기술은 바이오가스 발생기술, 바이오가스 이용기술 그리고 혐기소화액을 액비화 또는 정화하는 기술 등 전체적인 시설과 기술이 어느 정도 안정된 수준에 이른 것으로 볼 수 있다. 반면에 가축분뇨 고체연료화 기술은 아직까지는 실용화하는데 필요한 안정적인 시설과 기술개발이 더 요구되는 상황이다. 그러나 고체연

료화는 가축분뇨를 이용하여 연료용 가스나 액상물질을 회수하는 방법에 비해 상대적으로 소규모의 시설과 비용으로 유용한 에너지를 회수할 수 있다는 장점이 있다. 그 외에도 가축분뇨 고체연료화 기술이 가지는 장점이 많이 있겠지만 그 중에서 가장 중요한 것은 가축분뇨가 토양으로 가지 않고 바로 연료원으로써 직접 이용된다는 것이다. 다시 말하면 가축분뇨 고체연료화는 가축분뇨가 토양이나 지하수 환경에 아무런 영향을 미치지 않고 안정적으로 에너지자원화 처리될 수 있는 기술이라는 것이다. 또한 펠릿 형태로 가공된 후 안전하게 이동이 가능하므로 지역적 양분부하량 불균형 문제도 해결하면서 열 에너지도 확보할 수 있는 일거다득의 기술이 될 수 있다. 이런 측면에서 가축분뇨 고체연료의 품질 기준을 설정하기 위한 연구도 이루어진 바 있다(Jin et al., 2013). 따라서 본 연구는 가축분뇨 고체연료화 기술을 발전시키는 데 필요한 가공기술을 개발하고 이 과정에서 가공된 가축분뇨 고체연료의 활용성을 평가하기 위한 목적으로 수행되었다. 본 실험에서는 고체연료원 축분으로서 우분을 이용하여 연료가공효율을 높일 수 있는 방법을 설정하고 실험과정에서 가공된 펠릿의 특성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

본 실험에서 사용한 우분은 국내 J시에 위치한 우사에서 채취하여 사용하였다. 실험에 사용된 우분의 고형물 특성은 Table 1과 같다.

우사에서 채취한 신선 우분의 수분함량은 82.01 wt.% 수준으로서 본 실험에서 사용할 펠릿 가공 시험기에 투입하기에는 너무 높았다.

2.1. 우분 탈수 실험장치

우분중의 수분을 감소하기 위한 실험을 수행하였다. 아래의 Fig. 1은 본 실험을 수행하기 위해 제작한 연속식 수분감소 장치의 개략 구조도이다. 실험용 수분 감소장치는 직경 150 mm 규격의 원판형 압착용 유압실린더를 적용하였고 유압실린더에 부착된 압착판의 행정거리는 500 mm로 설계하였다. 유압식 압착판과 탈수판의 사이에서 압축된 우분이 물리적 압착에 의해 수분이 감소되는 형태로 탈수실험을 진행하였다.

Table 1. Characteristics of cow manure for producing cow manure pellet

Manure	pH	Moisture (%)	TS (%)	VS/TS (%)
Cow manure	8.09	82.01	17.99	87.68

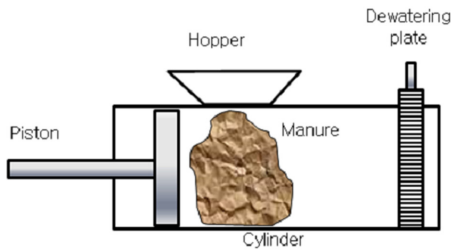


Fig. 1. Schematic diagram of pressure for dehydration of cow manure.

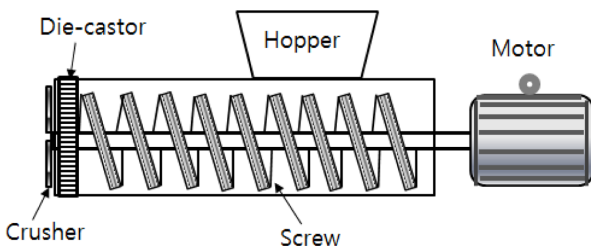
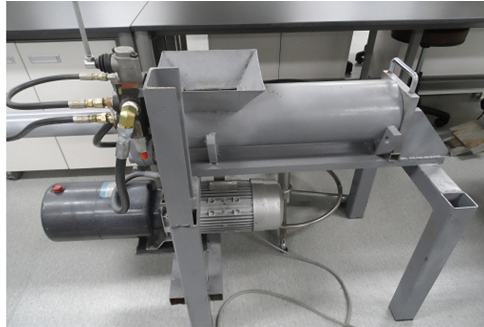


Fig. 2. Schematic diagram of homogenizer.

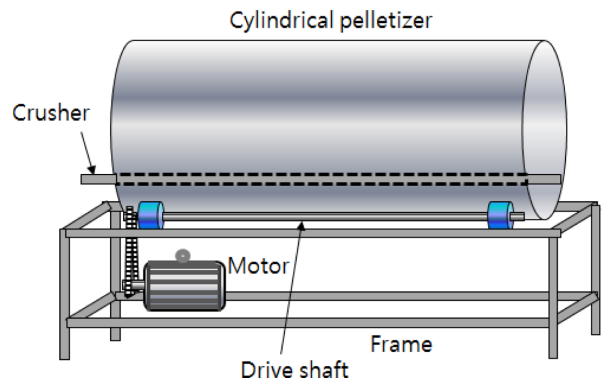


Fig. 3. Schematic diagram of cylindrical pelletizer.

압착이 끝난 뒤의 배출용 우분은 탈수판이 열린 후 피스톤의 잔여 행정거리 이동에 의해 탈수 실험기 외부로 배출되도록 구성하였다.

2.2. 우분 입상화 실험장치

우분을 입상화하는데 있어 우분에 혼합되어 있는 볏짚이나 건초 그리고 톱밥 등에 의해 펠릿화 효율이 저조하였다 따라서 원료 우분의 특성을 개선하여 펠릿화가 이루어질 수 있도록 균질화장치를 제작하여 우분을 처리하였다. 본 실험에서 제작한 균질화장치의 개략도는 Fig. 2에 나타난 바와 같다.

균질화장치는 원통형 실린더 내에 설치된 직경 100 mm의 스크루를 20 rpm의 속도로 회전시켜서 원료우분을 믹싱하면서 이송한 다음 스크루의 이송압력으로 압출기와 분쇄장치를 통과시키는 형태로 제작하였다. 균질화한 우분을 펠릿화하기 위하여 회전 원통방식 펠릿화 장치를 제작하였다. 본 실험을 수행하기 위하여 제작한 회전 원통형 펠릿화장치의 구성은 Fig. 3에 나타난 바와 같다.

회전 원통식 가공장치는 균질화 과정을 거친 우분을 회전 원통형 가공장치의 투입부에 투입하면 원통의 회전에 의해 우분이 원통 내면을 구르면서 이동하는 과정에서 구형대로 가공되도록 설계, 제작하였다. 실험장치의 원통 길이는 1,500 mm이고 직경은 550 mm 크기로 제작하였으며

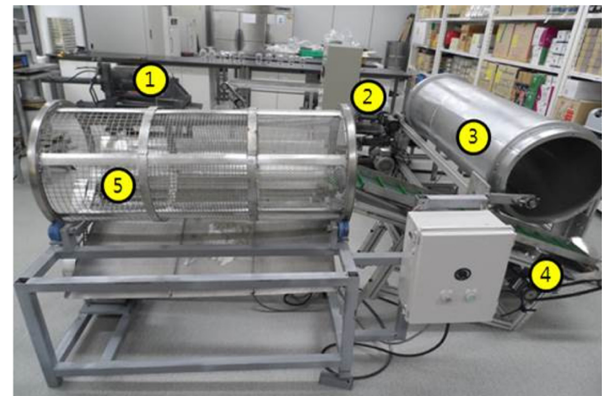


Fig. 4. Composition of pelletizing experimental apparatus. ① Compressor, ② Homogenizer, ③ pelletizer, ④ Conveyor, ⑤ Sieve.

원통의 회전속도는 25 rpm으로 가동하였다. 원료 우분의 수분함량이 75 wt.%를 넘는 경우 직경이 큰 펠릿이 가공되므로 이를 방지하기 위하여 원통 내와 나란하게 분쇄장치를 설치하였다. 본 실험을 수행하기 위하여 제작한 각 실험장치를 조합하여 설치한 모습은 Fig. 4에 나타난 바와 같다.

실험용 입상화장치에 의해 가공된 우분 펠릿시료는 채취 즉시 실험실로 이송하여 분석하였다.

2.3. 우분 펠릿가공품 특성 분석

가공된 우분 펠릿의 특성을 분석하였다. 우분 펠릿의 성분분석은 한국화학융합시험연구원에 분석을 의뢰하였다. 열적 특성분석은 열 분석기를 이용하여 우분에 대한 열분석 실험을 하였다. Table 2는 우분펠릿의 열분석 실험을 수행하기 위한 실험조건을 나타낸 것이다.

실험 과정에서 채취한 분석용 시료는 냉장상태로 실험실로 이송한 후 표준분석법에 준하여 화학성분 분석을 실시하였다(Rice et al, 2005, APHA., William and George, 2007, AOAC)

3. 결과 및 고찰

소가 배설한 우분은 수분이 82 wt.% 내외 수준으로서 펠릿 형태로 가공하기에는 수분함량이 너무 높았다. 또한 건조나 볏짚 등의 섬유상 물질이 함유되어 있어서 직접적으로 구 모양의 소형 펠릿으로 가공하기가 불가능하였다. 따라서 본 실험에서는 우사에서 채취한 우분을 펠릿으로 직접 가공하기에 적합한 수분조건을 설정하기 위한 탈수 실험을 수행하였다. 탈수과정에 의해 수분함량을 75 wt.% 내외로 감소시킨 우분을 균질화 시킨 후 구 모양의 펠릿으로 가공하는 펠릿가공 효과를 분석하였다. 이어서 상기 실험과정을 통해 펠릿으로 가공된 우분의 고체연료적 특성을 분석하였다.

Table 2. Experimental conditions for thermal analysis experiment

Temperature	20°C → 900°C
Temperature rise condition	10°C/min
Gas flow rate	60 mL/min (N ₂ and CO ₂)
Sample weight	10 ± 0.2 mg (Cow manure)

Table 3. Change of characteristics of cow manure by compression

Manure	pH	Moisture (%)	TS (%)	VS/TS (%)
Raw cow manure	8.09	82.01	17.99	87.68
Compressed cow manure	8.34	73.36	26.64	88.38

Table 4. Change of solids content of cow manure and leachate by compression treatment

Classification	pH	VS (%)	TS (%)
Hanwoo manure	8.41	89.83	18.99
Hanwoo manure leachate	7.08	75.51	3.74

3.1. 탈수실험 수행 결과

본 실험에서는 탈수방식으로서 피스톤을 사용한 압착방식을 적용하여 물리적으로 탈수하는 처리방식을 적용하였다. 탈수방법 적용에 따른 우분의 고체연료화 관련 특성 분석 결과를 Table 3에 수록하였다.

압착용 실험장치를 이용하여 우분을 압착함에 따라 TS (Total Solids, 총고형물)함량이 17.99 wt.%에서 26.64 wt.%로 증가하였고 TS중에 함유된 VS(Volatile Solids, 휘발성 고형물) 함량도 역시 증가하는 효과가 나타났다. 이 결과는 우분을 압착함에 따라 고체연료의 열원이 되는 고형물 함량이 늘어나고 구 모양의 펠릿형태로 가공하기에 적합한 수분조건이 된다는 긍정적인 효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다. 또한 가축분 고체연료 품질 규격에서 정하고 있는 수분함량 20%이하 수준까지 건조하는데 필요한 에너지 소요량을 절감하는데에도 도움이 될 것으로 판단된다. 가축분뇨를 고체연료화하는데 있어서 주된 문제는 건조에 필요한 에너지소모량 감소방법 설정 그리고 건조과정에서의 악취발생 감소기술 등이다(Neyens, E. et al., 2003, Song, C. W et al., 2015). 따라서 압착에 의한 고체연료 원료의 수분감소는 단순한 물리적 공정만으로도 건조효율을 증진시키는 효과가 있을 것으로 기대되는 방법이다. 본 실험에서도 압착에 의해 우분 중에 함유되어 있던 수분이 침출액 상태로 배출되었는데 이에 따라 압착장치에 투입된 우분의 무게가 압착 후에 약 15~20% 정도 감소하는 결과를 보였다. 이때 발생한 침출액의 비중은 0.99 수준이었다. 압착실험 과정에서 우분에서 발생한 침출액의 특성을 분석하기 위하여 축사에서 신선우분을 추가로 채취한 다음 즉시 압착실험을 수행하고 이 과정에서 발생한 침출액의 고형물 함량을 분석한 결과는 Table 4에 나타난 바와 같다.

한우 분의 압착처리에 의해 발생하는 침출액의 TS 함량은 약 3.74 wt.% 내외이며 VS는 75.51 wt.% 수준이었다. 침출액의 TS와 VS 함량은 원료 우분에 비해 각각 80.31%와 15.94% 가 낮아지는 결과를 보였다. 이 결과는

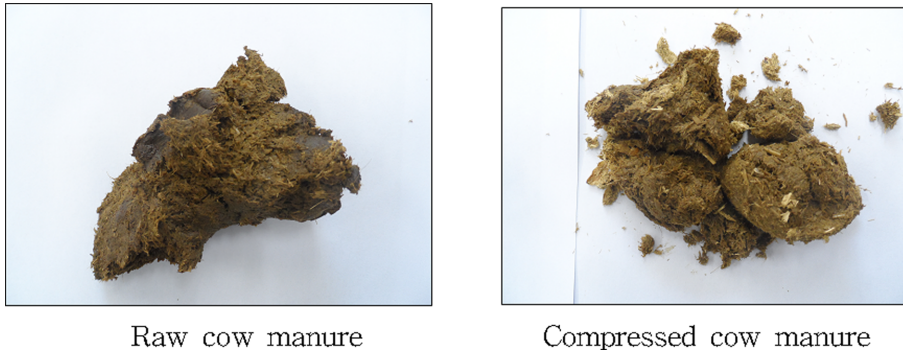


Fig. 5. Change in appearance of cow manure due to squeezing treatment.

Table 5. Particle distribution of raw materials by homogenization process (Unit :%)

Classification	Smaller than 2.38 mm	2.38~5.0 mm	Larger than 5 mm
Raw cow manure	43.9	33.5	22.6
Homogenized cow manure	62.8	27.7	9.5

압착에 의해 탈리되는 침출액에는 고체연료의 열원이 되는 VS 함유량이 적어서 우분을 고체연료화 했을 때 열량 증가에 도움이 되는 요인으로 작용할 것으로 판단된다. 우분 고체연료화과정에서 발생된 침출액은 TS가 3.74%이고 그 중의 VS 함유량이 75.51% 수준이므로 액비화나 바이오 가스화 공정의 원료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 5는 우분을 압착하는 실험을 하였을 때 우분의 외관적 변화를 나타낸 것이다

우분을 압착처리 하였을 때 외관상의 수분은 거의 제거된 모습을 보이지만 실제 수분 감소율은 약 10.55% 내외인 것으로 나타났다.

3.2. 균질화 방법 적용효과 평가

본 실험에서 사용된 우분의 수분함량은 82.01 wt.% 내외로서 펠릿형태로 가공하기에 수분이 너무 높았다. 또한 우분에는 볏짚이나 톱밥 등이 섞여있어서 작은 펠릿형태로 뭉쳐지기 어려웠다. 따라서 Fig. 2에 도시한 균질화 장치를 적용하여 우분을 전 처리하였다. Table 5는 원 우분과 균질화 처리된 우분을 각각 증류수에 녹인 후 눈 크기 2.38 mm와 5.0 mm 표준체를 이용하여 입자크기별로 분리하여 풍건시킨 후 건조물 무게기준으로 입자크기별 분포정도를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

본 실험에서 사용한 우분을 균질화 함에 따라 2.38 mm 이하의 입경을 가진 입자의 분포비율이 원분에 비해 약 43.05%가 증가한 반면에 5 mm 이상의 직경을 가진 입자의 분포비율은 57.96% 감소하였다. 입경이 큰 입자의 분포도가 높게 되면 펠릿 형성에 방해가 되므로 우분

을 구 모양의 소형 펠릿형태로 가공함에 있어서 균질화는 매우 중요한 공정이 될 것으로 판단된다. 균질화 과정에서 우분의 열량이나 성분변화가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이는 균질화중에는 우분이 단순한 물리적 분쇄과정만 거치게 되므로 이 과정에서 화학적 성분변화는 나타나지 않는 것으로 판단된다.

3.3. 펠릿 가공효과 평가

탈수와 균질화과정을 거친 우분을 실험용 회전 원통식 펠릿화장치에 투입하여 가공하였을 때의 우분 입상화 효과를 분석하였다. 본 실험을 위해 제작, 적용한 원통형 회전 가공방식은 아직까지 국내에서 가축분 고체연료 가공 방법으로 적용된 적이 없는 기술이다. 전 처리된 우분을 대상으로 하여 구(공) 모양의 우분 펠릿을 가공하였다. 가공된 우분 펠릿의 외관은 Fig. 6과 같다.

원통형 회전방식은 원료 우분의 수분이 약 70~75 wt.% 내외일 경우 구 형태로의 원활한 가공이 가능하였다. 가공원리는 회전하는 원통 내에 균질화된 우분을 투입하면 투입된 우분이 원통 내부의 표면을 구르는 과정에서 구 형태로 가공되는 방식이다. 본 실험과정에서는 투입된 우분이 약 2분 정도 가공장치 내에 체류한 후 펠릿 상태로 배출되도록 조건을 설정하여 운영하였다. 실험에서 사용한 원통형 펠릿 가공장치의 실제 내경이 500 mm이고 회전속도를 25 rpm으로 설정하였음을 감안했을 때 투입된 우분은 2분 동안에 약 78.5 m의 거리를 구른 뒤에 펠릿 형태로 배출되었다. 실험 결과 회전 원통방식의 펠릿화 과정에서 우분 펠릿 가공효과는 우분이 원통 내를 구르는

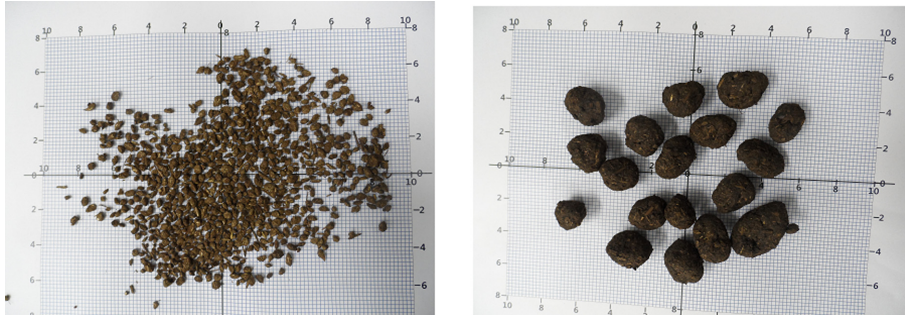


Fig. 6. Sphere-shaped cow manure pellet.

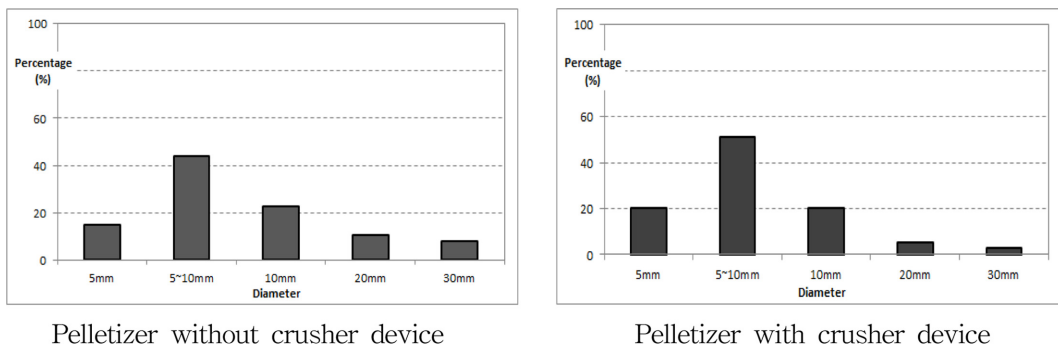


Fig. 7. Effect of installing crusher device in the cylindrical pelletizer.

Table 6. Pellet production efficiency according to water content of cow manure

(Unit : %)

Water content of cow manure	0~49	50	60	70	80	81~100
Production efficiency	0	10.28	62.34	100	25.02	0

거리와 밀접한 관련이 있었다. 실험 과정에서 발견된 회전 원통형 펠릿화 방식의 문제점은 가공된 고체연료의 크기가 고르지 않고 입자 크기가 큰 덩어리가 형성되는 것이었다. 본 실험에서는 이 문제를 해소하는 대책으로서 원통 내부에 회전형 로타리 방식의 펠릿 파쇄 장치를 장착하였다. Fig. 7은 파쇄장치를 설치함에 따른 구 형태 가공물의 입자 분포 변화를 나타낸 것이다.

본 실험에서 파쇄장치를 장착하여 가공한 결과 직경 5 mm~20 mm 크기를 가진 펠릿의 가공비율이 높아진 것으로 나타났다. 반면에 파쇄장치가 없는 경우에는 직경 20 mm 이상의 펠릿비율이 상대적으로 높아지는 결과를 보였다. 고체연료 입자 크기가 작을수록 고체연료의 가열이 빨리 이루어지기 때문에 연소속도가 증가하고 연소초기의 탈 휘발속도가 빠르므로 고체연료의 입자크기를 줄일 필요가 있다고 하였는데(Chio et al, 2004) 본 실험 결과를 바탕으로 보면 원통형 펠릿 가공장치 내에 파쇄장치를 설치할 필요가 있는 것으로 판단된다. 연료의 착화

성을 개선하면 연소효율이 좋아져서 HCL, CO, SOx 등과 같은 오염성 물질 발생을 줄이는 효과가 있다는 보고를 참조하면(Kim et al., 2006) 가공되는 펠릿크기를 줄이는 것은 가축분뇨 고체연료화에 긍정적 요소로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 회전 원통형 펠릿가공의 경우 원료의 수분함량이 가공효율에 가장 큰 영향을 미치는 요인인 것으로 나타났다. Table 6은 우분을 대상으로 회전 원통형 방식으로 펠릿화 실험을 수행하였을 때 입경 3~25 mm 크기의 펠릿으로 가공되는 효율을 나타낸 것이다. 가공효율은 투입된 원료에 대한 펠릿화 제품의 비율을 무게비로 환산하였다.

우분펠릿 가공효과에 가장 큰 영향을 주는 요인은 원료 우분의 수분 함량인 것으로 나타났다. 결착제나 다른 첨가제 없이 우분만을 단독으로 한 원료의 수분함량이 50 wt.% 보다 낮으면 펠릿으로 가공되지 않고 가루형태를 유지하는 결과를 나타냈다. 회전 원통형 방식에 의한 펠릿 가공에 최적의 수분은 65~75 wt.%인 것으로 나타났는데

Table 7. Characteristics of cow manure pellet

Classification	Result	Regulation
Low heating value	3,782	> 3,000 kcal/kg
Sulfur	0.28	< 2%
Cadmium	0.18	< 9 mg/kg
Lead	2.8	< 200 mg/kg
Chromium	3.3	< 70 mg/kg
Mercury	N.D	< 1.2 mg/kg
Ash	15.5	< 30%
Water content	< 20%	< 20%

이 수분에서는 거의 100%의 가공효율을 나타냈다. 반면에 수분함량이 80 wt.%를 넘게 되면 펠릿화 되지 않고 커다란 덩어리로 뭉쳐지는 현상이 나타났으며 파쇄장치를 적용하여도 효과를 보지 못하는 결과를 나타냈다. 박 등 (Park et al., 2009)은 가축분을 입상화 할 때 탈수가 중요한 사안이라고 하였는데, 본 실험 결과에서도 원료 우분의 수분함량을 조절하는 것이 우분 펠릿화에 있어 가장 중요한 요소인 것으로 나타났다.

3.4. 우분 펠릿 특성평가

본 실험에서 가공한 우분 펠릿을 대상으로 하여 가축분뇨 고체연료 품질기준에서 정하는 성분을 분석하였다 또 한 우분 고체연료를 가열하였을 때 나타나는 특성을 분석하기 위하여 우분을 대상으로 하여 열분해 특성분석을 실시하였다.

3.4.1. 우분 펠릿 성분분석

가축분 고체연료는 에너지원으로 사용되는 것이 주요 용도이므로 열량가가 중요한 평가 요소가 된다. 현재 관련법에서 정해진 축분 고체연료의 열량은 저위발열량 기준으로 3,000 kcal/kg 이상으로 설정되어 있다(Ministry of Environment, 2015.). 또한 같은 법에서 가축분 고체연료의 성분도 규정하고 있으므로 이 규정에도 합당하여야 한다. 따라서 본 실험에서 가공된 우분 펠릿을 대상으로 하여 성분분석을 실시하였다. Table 7은 가축분 고체연료 품질기준에서 정한 수분함량 20% 수준으로 건조한 우분 펠릿의 성분 분석 결과를 나타낸 것이다.

우분 펠릿의 저위 발열량을 분석한 결과 3,782 kcal/kg 수준으로서 가축분뇨 고체연료 품질기준을 충족하는 것으로 나타났다. 또한 본 실험에서 가공한 우분펠릿의 성분들을 분석한 결과 모든 항목에서 가축분뇨 고체연료 품질기준에서 정하는 안전기준 내의 농도를 가진 것으로 분석되었다.

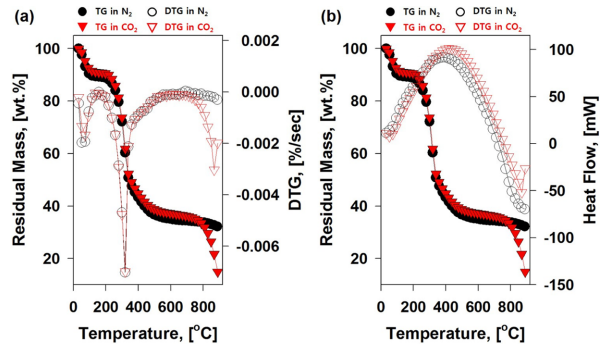


Fig. 8. Result of pyrolysis test on cow manure.

3.4.2. 우분 펠릿의 열분해 특성분석

열분석기를 이용하여 우분에 대한 열분석 실험을 하였다. 열분해 온도는 20°C에서 시작하여 900°C까지 상승시켰다. 승온 속도가 증가함에 따라 시료표면에 열이 가해지는 시간이 짧아지게 되어 시료의 내부까지 열분해에 필요한 열이 충분히 전달되지 않기 때문에 최대 반응 속도를 갖는 온도가 점차 고온으로 전이된다(Shin et al., 2008). 본 실험에서는 N₂와 CO₂를 분당 60 mL 수준으로 흘려주면서 우분 시료의 열분해 특성을 분석하였다. Fig. 8은 열분해 실험결과를 나타낸 것이다.

실험결과 20~130°C까지의 우분시료의 질량변화는 시료 전체무게의 15%에 해당한 것으로 나타났으며 그 양은 우분에 포함된 수분인 것으로 판단된다. 온도 20°C부터 280°C까지는 우분시료의 질량에 변화가 없었으며 이 결과는 우분은 280°C까지 열적으로 안정한 것으로 볼 수 있음을 의미한다. 이 결과로 볼 때 우분 고체연료를 연소할 경우에 우분의 표면온도가 280°C에 이르기 전까지는 연소가 불가하다는 것을 나타내주고 있는 것이다. 김 등 (2009)은 강원도 원주에서 가공된 RDF(Refuse Driven Fuel)에 대한 열분해 특성을 조사한 결과 350~700°C 사이에서 열분해 및 연소가 이루어졌다고 보고하였다. 본 실험에서도 온도 280°C부터 450°C 사이에서의 시료의 질량변화가 발생하였는데 이는 시료에 존재하는 휘발성물질(VOCs)이 기화하는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 열분해 실험에서 나타난 시료의 질량변화를 시간에 따른 속도로 변환해 보면 330°C에서 VOCs 발생이 최대화되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

우분을 고체연료화하는 기술을 개발하기 위하여 실험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 우분을 압착함에 따라 고체연료의 열원이 되는 고형물 함량이 늘어나고 구 모양의 펠릿형태로 가공하기에 적합한 수분조건이 된다는 긍정적 효과를 얻을 수 있었다.
- 2) 우분을 균질화 함에 따라 2.38 mm 이하의 입경을 가진 입자의 분포비율이 원분에 비해 약 43.05%가 증가한 반면에 5 mm 이상의 직경을 가진 입자의 분포비율은 57.96% 감소하였다. 입경이 큰 입자분포도가 높게 되면 펠릿 형성에 방해가 되므로 우분을 구 모양의 소형 펠릿형태로 가공함에 있어 균질화는 중요한 공정이 될 것으로 판단된다.
- 3) 우분펠릿 가공효과에 가장 큰 영향을 주는 요인은 원료우분의 수분 함량인 것으로 나타났다. 결착제나 다른 첨가제 없이 우분만을 단독으로 한 원료의 수분함량이 50 wt.% 보다 낮으면 펠릿으로 가공되지 않고 가루형태를 유지하는 결과를 나타냈다. 회전 원통형 방식에 의한 펠릿 가공에 최적의 수분은 65~75 wt.%인 것으로 나타났는데 이 수분에서는 거의 100%의 가공효율을 나타냈다.
- 4) 우분 펠릿의 저위 발열량을 분석한 결과 3,782 kcal/kg 수준으로서 가축분뇨 고체연료 품질기준을 충족하는 것으로 나타났다. 또한 본 실험에서 가공한 우분펠릿의 성분들을 분석한 결과 모든 항목에서 가축분뇨 고체연료 품질기준에서 정하는 안전기준 내의 농도를 가진 것으로 나타났다.
- 5) 우분 열분해 실험결과 20~130°C까지의 우분시료의 질량변화는 시료 전체무게의 15%에 해당한 것으로 나타났으며 그 양은 우분에 포함된 수분인 것으로 보이며 온도 20°C부터 280°C까지는 우분시료의 질량에 변화가 없었으며 이 결과는 우분은 280°C까지 열적으로 안정하므로 우분 고체연료를 연소할 경우에 우분의 표면온도가 280°C에 이르기 전까지는 연소가 불가능한 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구과제인 가축분뇨 고형연료 열량증대 기술 개발(PJ01094801) 연구과정에 의해 작성되었으며, 이에 감사드립니다.

References

Choi, J.H., Choi, S.M., and Lee, S.D., 2004, Investigation of

solid fuel combustion characteristics in various types of combustors, *J. Korean Society of Combustion*, **9**(3), 1-9.

E Neyens and J Baeyens., 2003, A Review of Thermal Sludge Pre-treatment Process to Improve Dewaterability, *J. of Hazardous Materials*, **98**, 51-67.

Jin, H.E., Yoon, Y.M., Hong, J.H., Byeong, B.S., Na, P.S., Ahn, Y.M., Kim, S.H., Oh, S.Y and Hong, J.M., 2013, Study on Setting Quality and Grade standards of Livestock Manure Solidified Fuel, Keco.

Kim, D.W., Lee, J.M., and Kim, J.S., 2009, Study on the pyrolysis kinetics of RDF(Refuse Derived Fuel) with thermogravimetric analysis, *Korean Chem. Eng. Res*, **47**(6), 676-682.

Kim, Y.H., 2006, A Study on Combustion Characteristics of Refuse Derived Fuel(RDF) in Various Incinerators, *J. Korea Inst. of Resource Recycling*, **15**(1), 46-57.

Lee, Y.J., Oh, M.A., Park, K.J., and Lee, J.Y., 2017, A Study on Assessment of Biochar Adsorption Applicability by Physical and Chemical Characterization with Livestock Manure, *J. Soil Groundwater Environ.* **22**(2), 52-57.

Ministry of Environment., 2015, Notification on Construction of Facility for Livestock Manure Solidified Fuel, Notification No.2015-110 of the Ministry of Environment.

Park, S.J., Choi, Y.C., and Chio, I.K., 2009, Dehydration and RDF Production of Organic Wastes, *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, **20**(5), 439-446.

Rice, E.W. and Bridgewater, L., 2005, APHA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th ed., American Public Health Association.

Sa, T.M., Chung, J.B., and Han, G.H., 2008, Effect of Livestock Manure on Yield of Plant and Change in Physio-chemical Properties of Soil, *Korean Society Of Soil Sciences And Fertilizer*, 63-75.

Shin, I.S., Kim, U.Y., Sung, M.S., Kang, Y., Yoon, B.T. and Choi, M.J., 2008, Investigation on Pyrolysis Characteristics of Waste Polystyrene Plastics(Yakult Bottles) Using TGA, *Journal of Korea Society of Waste Management*, **25**(1), 36-42.

Song, C.W., Kim N.C., Ryu., J.K., and Kim, J.M., 2015, A study on the Fuelization of Livestock Sludge using Thermal Hydrolysis, *J. KOWREC*, **23**(3), 51-59.

William, H. and George, W.L., 2007, AOAC: Official Methods of Analysis of AOAC International, The Scientific Association.