

## 온실가스 문제 해결을 위한 자원 재활용 방안

### - 돈분, 계분, 혼합물의 연소성 분석 -

정영진

온실가스의 많은 양을 배출하는 가축분뇨는 매년 증가하는 추세로 지구 온난화에 대한 대책이 시급한 실정이다. 따라서 이 문제를 해결하기 위하여 자원재활용에 의한 재생에너지 연구가 필요하다. 본 연구에서는 가축분뇨 중 돈분, 계분 그리고 혼합물을 선택하여 재생에너지 연구를 하기 위하여 이들의 연소특성을 조사하였다. 시험 방법은 시료를 항량까지 건조시킨 후에, 콘칼로리미터(ISO 5660-1)를 이용하여 연소시험을 하였다. 그 결과 돈분(33.73 kW/m<sup>2</sup>)은 계분(28.45 kW/m<sup>2</sup>)보다 평균열방출률이 높게 나타났다. 이에 반하여 계분은 무기를 함량이 상대적으로 많기 때문에 평균열방출률이 비교적 낮았다. 따라서 재생 에너지를 생산하기 위하여는, 탄화수소 함량이 많은 가축분뇨를 재활용해야 할 것으로 판단된다.

**주제어:** 온실가스, 재생 에너지, 연소성, 평균열방출률

## I. 서론

우리 나라의 경우 2005년 온실가스 총 배출량은 5.9억 ton으로 전세계 배출량의 1.7%를 차지하고 있으며 현재 1990년과 대비하여 배출량이 98.7% 증가하였고, 획기적인 감축노력이 없을 경우 2020년 배출량은 2005년 대비 37.7% 증가할 것이라고 보고된 바 있다(환경부, 2009). 이와 관련하여 국내에서도 지구 온난화에 대비하여 전 세계 온실가스의 배출량 중 18%를 차지하는 축산폐기물 처리에 관련된 법률을 제정하여 규제를 강화 하고 있으나, 경제성장과 더불어 축산업이 동반성장 하면서 가축분뇨의 발생량이 매년 증가하는 추세로 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

이러한 축산분뇨 처리와 관련하여 미국, 유럽을 비롯한 선진국에서는 축산분뇨 에너지화로 재생에너지의 일정 부분을 담당하고 있으며, 환경오염 배출이 없는 청정 에너지로서 그 중요성이 날로 부각되고 있다. 그러나 국내의 경우에는 선진국에 비해 신재생에너지가 차지하는 비중은 현저히 낮은 실정이다.

이에 국가는 정부차원에서 가축분뇨 자원화 비율을 2010년 87%에서 2020년 98%까지 상승시키고, 가축분뇨 에너지화시설도 2011년 6개소, 2015년 35개소, 2020년 100개소까지 확대설치하여 가축분

에너지화 비율은 2010년 1%에서 2020년 5%까지 제고시킨다고 발표하였다(농림축산식품부, 2013). 또한 농림축산식품부는 가축분뇨 자원화 사업을 저탄소 녹색성장의 중심사업으로 발전시키고 기존처리 시설의 내설 있는 고려와 퇴·액비 품질향상, 효율적 관리를 위한 민간기구 추진 등 가축분뇨 자원화 처리 기반 시설의 구축에 대해 발표하였다(농림수산식품부, 2011).

일찍이 이에 대한 선행 연구로 Rajian(1996)은 다중 목적에 의한 지속 가능한 도시-환경 관리를 연구하였고, 국내에서는 국내여건에 적합한 가축분뇨 바이오가스 생산 최적시스템 연구를 하였고(황수철 외, 2006) 정부에서는 가축분뇨 자원화 및 효율적인 관리방안을 위해 노력해왔다(농림수산식품부, 2010). 이어서 자원순환형 가축분뇨 에너지화 방안 등을 지속적으로 연구해 왔다(김창현, 2011).

현재 가축분뇨의 에너지화 과정 중 바이오가스와 퇴 액비를 이용한 에너지화에 대한 연구들은 보고된 바 있으나, 가축 폐기물의 연소특성 및 열에너지에 대한 연구는 미비한 실정으로 부가적인 연구가 필요하다. 이들의 연소특성 및 열에너지는 착화성, 열방출률, 연소전과 등을 측정하여 평가할 수 있다. 이들 중 가장 중요한 평가요소 중의 하나는 가연물이 연소되는 동안에 발생하는 열방출률(heat release rate)이다. 많은 기술들이 발전되어 왔는데 그 중 열방출률 측정을 실제와 같이 가장 잘 모사한 방법 중의 하나가 콘칼로리미터(cone calorimeter)법이다(Babrauskas, 1986). 콘칼로리미터법에 의한 열방출률 측정은 대부분의 유기재료가 연소 중에 산소 1kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출되는 산소 소비 원리를 바탕으로 하고 있다(Hirschler, 2001).

따라서 본 연구의 목적은 우리나라 가축분뇨 중 돈분과 계분 그리고 이들 혼합물의 연소특성을 콘칼로리미터(ISO 5660-1)(Babrauskas, 1986)를 이용하여 착화시간, 불꽃소멸시간, 질량감소율, 평균열방출률, 최대열방출률, 유효연소열 등을 측정하고, 이들의 열에너지 전환으로의 가능성 등을 검토하였다.

## II. 실험

### 1. 재료

전처리 과정을 거친 돈분, 계분, 혼합물(돈분 : 계분 = 1 : 1)의 3종 가축분뇨 시료는 100 ℃의 건조 오븐에서 건조시키면서 24시간마다 측정했을 때 무게가 0.1% 또는 0.1g 이상 차이가 나지 않았을 때 항량으로 하였다. 본 연구에서는 Sam Woo Scientific사의 Mechanical circulation oven을 이용하여 100 ℃에서 12시간 후에 무게의 변화가 둔화되어, 건조 후 4시간 간격으로 12시간 동안 만 측정하였다(전인규, 2013).

시료의 원소분석은 Rigaku사의 X-Ray Fluorescence Spectrometer(XRF, model: ZSX-100e)을 사용하여 측정된 값을 사용하였다. 표 1,2는 돈분, 계분, 혼합물 각각에 대하여 원소분석과 명세를 나타내었다(전인규, 2013).

<표 3>의 시편의 체적밀도는 시험하기 전에 전술한 절차에 의하여 건조된 시료의 부피와 무게를 측정하여 계산하였다.

<표 1> 돈분, 계분, 혼합물의 원소분석

| 샘플  | C(wt%) | H(wt%) | S(wt%) | N(wt%) |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| 돈분  | 42.57  | 6.58   | 1.01   | 3.63   |
| 계분  | 29.62  | 4.25   | 0.00   | 3.98   |
| 혼합물 | 39.79  | 6.09   | 0.00   | 3.57   |

<표 2> XRF에 의한 돈분, 계분, 혼합물의 무기물 분석결과

| 샘플  | C <sub>6</sub> O (wt%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (wt%) | ZnO (wt%) | K <sub>2</sub> O (wt%) | SO <sub>3</sub> (wt%) | MgO (wt%) | F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt%) | Others (wt%) |
|-----|------------------------|-------------------------------------|-----------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------------------|--------------|
| 돈분  | 24.80                  | 21.50                               | 13.40     | 12.90                  | 5.82                  | 5.58      | 4.94                                | 11.06        |
| 계분  | 53.10                  | 12.90                               | 0.41      | 12.70                  | 5.68                  | 4.37      | 1.63                                | 9.21         |
| 혼합물 | 33.90                  | 18.80                               | 10.30     | 11.30                  | 6.76                  | 5.19      | 4.20                                | 9.55         |

<표 3> 돈분, 계분, 혼합물의 명세사항

| 샘플  | 두께(mm) | 무게(g) | 무기물 함량(wt%) | 밀도(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----|--------|-------|-------------|------------------------|
| 돈분  | 10.0   | 28.6  | 8.3         | 0.286                  |
| 계분  | 10.0   | 34.0  | 41.0        | 0.340                  |
| 혼합물 | 10.0   | 29.2  | 29.4        | 0.292                  |

2. 콘칼로리미터 시험

Dual cone calorimeter(Fire Testing Technology)에 의한 열방출률 측정(Babrauskas, 1986)은 설정한 복사열에 노출된 시편이 착화되어 연소될 때 연소 생성물 흐름속의 산소 농도와 유속으로부터 유도된 산소 소비량을 측정하여 평가하였다. 재료의 연소로 인한 열방출률과 단위면적당 열방출률은 식 (1)과 (2)에 의하여 계산된다.

$$\dot{q}(t) = (\Delta h_c / r_o) (1.10) C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_c}} \frac{X_{O_2} - X_{O_2}}{1.105 - 1.5X_{O_2}} \quad (1)$$

$$q_A(t) = \dot{Q} / A = \dot{q}(t) / A_s \quad (2)$$

이때 q<sub>A</sub>(t): 단위면적당 열방출률(kW/m<sup>2</sup>),  $\dot{q}(t)$ : 열방출률(열방출속도) (kW), A<sub>s</sub>: 실험체의 표면적(m<sup>2</sup>), Δh<sub>c</sub>: 순수연소열(kJ/kg), r<sub>o</sub>: 화학양론적 산소 대 연료 질량비, C: 산소소비량 보정상수(m<sup>1/2</sup>kg<sup>1/2</sup>K<sup>1/2</sup>), ΔP: 오리피스의 압력차(Pa), T<sub>c</sub>: 오리피스에서의 기체의 절대온도(K), X<sub>O<sub>2</sub></sub>: O<sub>2</sub>의 몰분

율에 대한 산소분석기 눈금 판독 값, X<sub>O<sub>2</sub></sub>: 산소분석기 눈금의 초기 값이다.

사용한 시험편의 두께는 10mm로서 크기는 100mm x 100mm (± 0.2)의 규격으로 제작하였으며, 시험조건은 온도 23±2℃, 상대습도 50±5%에서 항량이 될 때까지 유지한 다음 알루미늄 호일로 비노출면을 감싼다. 시험에 앞서 콘터의 열량이 설정값±2% 이내, 산소분석기의 산소농도가 20.95±0.01%가 되도록 교정하고 배출유량을 0.024±0.002m<sup>3</sup>/s로 설정하였다.

시험편은 단열제인 저밀도 유리섬유를 이용하여 높이를 조절하였으며, 시편 홀더로의 열손실을 감소시키기 위하여 전도도가 낮은 고밀도 세라믹판 재료로 절연시켰다. 시편홀더는 수평방향으로 위치시켰다. 시편의 체적밀도는 시험하기 전에 부피와 무게를 측정하여 계산하였다. 연소시험은 지속적인 불꽃 연소가 시작된 때부터 30분 경과 후에 종료하였으며, 추가로 2분간의 데이터 수집시간을 부여하였다.

본 연구에서 선정된 시험편은 콘칼로리미터에 수평으로 설치하고 외부 점화장치를 부착한 상태로 50kW/m<sup>2</sup> 외부 열유속에 수신편 동안 노출시켜 착화되는 시간과 착화된 시료로부터 열방출률 관련 지수를 구하였다.

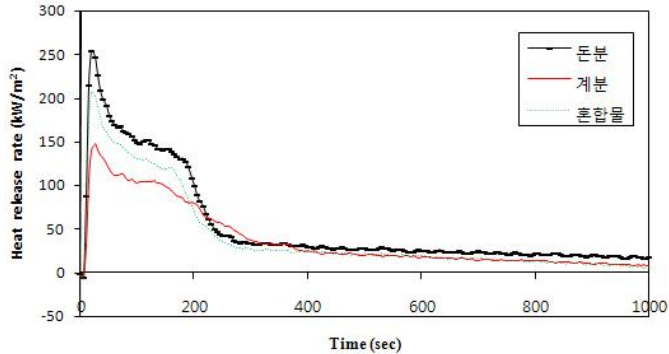
III. 결과 및 고찰

가연성 물질이 연소될 때의 에너지 방출 속도, 연기생성, 가스 독성은 가연물의 종류, 밀도, 수분함량, 열침투성 및 열적특성 등에 따라 결정된다(Chung, 2010; Pearce et al., 1981; Dehaan, 2002). 시험하는 동안에 측정되는 주 연소특성은 열방출률이다. 그것은 시료 표면적당 발생한 순간적인 열량의 크기이며, 재료의 연소 위험성을 가장 잘 나타낼 수가 있는 요소이며, 연소모델링을 위한 중요한 측정값이다(Babrauskas, et al., 1992; Babrauskas, 2008). 가연물과 관련하여 연소 특성의 이해를 돕는 다른 중요한 성질은 착화시간(time to ignition, TTI)과 질량감소율(mass loss rate, MLR)이다. 표 4는 측정된 시험편들의 연소성질을 나타내었다.

<그림 1>은 <표 1>과 <표 2>의 시험편 조성에 대한 열방출률 커브를 나타내었다. 50kW/m<sup>2</sup>의 외부열원에서 시험한 돈분 시험편의 평균열방출률(mean heat release rate, MHRR) 33.73kW/m<sup>2</sup>의 커브는 계분의 평균열방출률(28.45kW/m<sup>2</sup>) 커브보다 비교적 높게 나타났다. 이것은 돈분에 함유된 무기물 함량(8.39wt%)이 계분에 함유된 무기물 함량(41.0wt%)보다 적기 때문으로 판단된다. 또한 돈분과 계분을 체적비로 1 : 1 혼합한 시험편의 열방출률 커브가 겹보기로 그의 중간값으로 측정될 것으로 예측할 수도 있으나, 오히려 더 높은 값을 나타내었다. 이것은 위 2종의 분료를 혼합함으로써 인하여 계분에 포함된 무기물의 함량이 상대적으로 감소하고, 혼합물의 C, H 함량이 증가하였기 때문으로 이해된다.

돈분 시험편의 단위 면적당 최대열방출률(peak heat release rate per unit area, PHRR)은

256.82kW/m<sup>2</sup>(21초에서)로 나타났으며, 계분 시험편은 147.95kW/m<sup>2</sup>(32초에서)로 나타났다. 혼합물은 206.18kW/m<sup>2</sup>(20초에서)로 나타났다. 이것은 위에서 언급한 평균열방출률에 대한 설명과 같은 맥락으로 돈분 조성중 가연성 C, H 함량에 의하여 나타났다.



<그림 1> 50kW/m<sup>2</sup>의 외부 열유속에서 돈분, 계분, 혼합물 시험편의 열방출률 커브

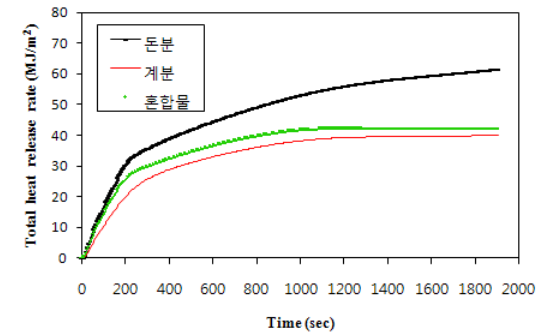
<표 4> 돈분, 계분, 혼합물의 연소성질

| 시험편 | 착화시간 <sup>a</sup><br>(sec) | 불꽃소멸<br>시간 <sup>b</sup> (sec) | 질량감소율 <sup>c</sup><br>(g/s) | 평균열방출률 <sup>d</sup><br>(kW/m <sup>2</sup> ) | 최대열방출 <sup>e</sup><br>(kW/m <sup>2</sup> ) | 유효연소열 <sup>f</sup><br>(MJ/kg) |
|-----|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|--|-------------------------------|
| 돈분  | 5                          | 256                           | 0.015                       | 33.73                                       | 256.82                                     | 20.47                         |
| 계분  | 5                          | 309                           | 0.014                       | 28.45                                       | 147.95                                     | 17.38                         |
| 혼합물 | 4                          | 241                           | 0.019                       | 38.13                                       | 206.18                                     | 17.46                         |

※ <sup>a</sup>time to ignition(TTI); <sup>b</sup>time to flameout(TTF); <sup>c</sup>mass loss rate(MLR); <sup>d</sup>mean heat release rate(MHRR); <sup>e</sup>peak heat release rate(PHRR); <sup>f</sup>effective heat of combustion(EHC)

다음은 총열방출률(Total heat release rate, THRR)에 대하여 <그림 2>에 나타내었다. 보여준 바와 같이 돈분의 시험편에서 총열방출률 커브가 가장 높게 나타났다. 총열방출량은 각 실험에서 실험재료의 연소로 인해 방출된 열량으로서 시료 표면적당 시간에 대한 함수로 표현되는 열방출률을 주어진 시간으로 적분하여 계산하였다. 무기물 함량이 많은 계분 시편의 총열방출률 커브는 첨가된 무기물 함량 및 무기물 조성의 함량에 따라 감소하였다. 이것은 <표 2>에서 보여준 바와 같이 CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZnO, MgO 등의 무기물들이 열안정성 및 연소억제 효과에 의해 총열방출량이 낮아지는 것으로 설명될 수 있다. 즉 CaO는 277℃ 미만에서는 물과 반응하여 Ca(OH)<sub>2</sub>를 생성하며 큰열을 발생하지만(Windholdz, 1983), 온도가 상승하면 432-452℃에서 Ca(OH)<sub>2</sub>가 다시 분해하여 CaO와 H<sub>2</sub>O를 생성한다(Alonso, 2010). 이후 더 높은 온도에서 생성된 물은 증발되고 CaO는 열안정성을 갖는 것으로 이해

된다.



<그림 2> 50kW/m<sup>2</sup>의 외부 열유속에서 돈분, 계분, 혼합물 시험편의 총열방출량 커브

산화아연(ZnO)은 1975℃ 근처에서 아연(Zn)기체와 산소(O<sub>2</sub>)로 분해되므로, 상당한 열안정성을 갖으나(Greenwood, *et al.*, 1997), 난연제로서는 지극히 제한된 효과를 준다(Hirscher, 1984).

P2O<sub>5</sub>는 비가연성으로서 연소를 돕지 않고, MgO는 화재방벽 역할을 하기 때문에 이해된다(Windholdz, 1983).

시험편의 표면에 대한 외부 열유속과 화염으로부터의 열유속은 시험편의 열방출률이 최대가 되도록 빨리 도달되게 한 다음, 열분해 전단이 시편의 안쪽으로 이동함에 따라 슛층이 점진적으로 생성된다. 이 슛층은 외부 열속에 노출된 표면과 열분해 전단 사이에 증가되는 열적 저항을 형성한다. 결과적으로 최대열방출률이 지속적으로 감소되는 것으로 본 시험결과와 일치한다(Babrauskas *at al.*, 1992). 위 시료의 경우 CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZnO, MgO 등이 열적 안정성을 가지고 있어서 이들 시험편의 열적 저항 작용에 대하여 일부 시너지 효과로 나타나는 것으로 이해된다.

HRR은 질량감소율(mass loss rate, MLR)과 유효연소열(effective heat of combustion, EHC)의 함수이며, 다음과 같은 식으로 설명되어진다(Babrauskas, *et al.*, 1992).

$$\dot{Q} \text{ (HRR)} = \dot{m} \cdot \Delta h_c \quad (1)$$

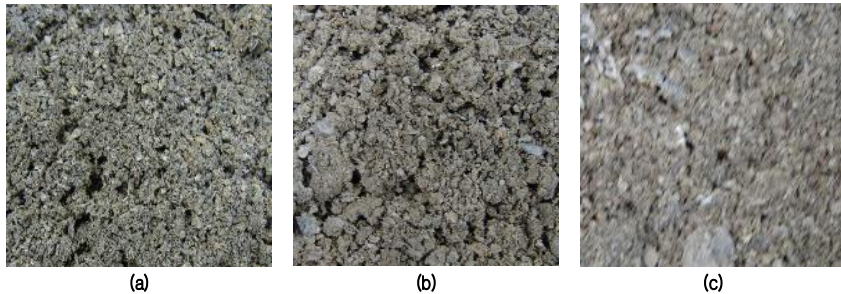
여기에서  $\dot{Q}$ (kW)= 열방출률;  $\dot{m}$  (kg/s)= 질량감소율;  $\Delta h_c$  (kJ/kg)= 유효연소열로 표시된다. 질량감소율은 화재거동에 대하여 추가적인 정보를 준다(Babrauskas, 2008).

유효연소열은 질량감소율과 함께 물질의 화재거동에 추가적인 정보를 제공해 주기 위하여 사용될 수 있다. 유효연소열은 한 가지의 분해 형태를 갖는 균일한 시편의 연소시간 동안의 상수로서 이론적인 순연소열의 값보다 적다(Babrauskas, 2008). 한 가지 이상의 분해형태를 갖는 재료나 복합재료 또는 비균일한 재료의 유효연소열은 반드시 일정하지는 않다. <표 4>에 나타난 바와 같이 돈분의 시험

편(EHC = 20.47MJ/kg)과 무기물 함량이 많은 계분의 시험편(EHC = 17.3MJ/kg)은 차별성이 있다. 따라서 돈분은 재생 에너지로서의 활용 가능성이 높다.

연소 착화시간(TTD)은 시험편의 열원에 의한 노출로부터 지속적인 불꽃연소의 시작 전까지를 나타내며 표 4에 나타내었다. 그러나 표 4에서 보는 바와 같이 3가지 형태의 가축분뇨에 대하여 특별한 차별성이 없었다. 이것은 시료의 체적밀도(0.286-0.340g/cm<sup>3</sup>)가 매우 낮은 상태이고, 주로 C, H로 구성된 분뇨가 100℃에서 항량까지 건조시킨 후 50kW의 외부열원에 노출되었기 때문에 착화시간의 차별성이 없는 것으로 이해된다.

그러나 불꽃소멸시간(TTF)은 <표 4>에 나타낸 바와 같이 돈분 256초, 계분은 309초 로 나타났다. 이와 같이 계분의 불꽃소멸시간이 긴 것은 앞서 설명된 돈분에 포함된 무기물함량(8.3wt%)에 비하여 계분에 포함된 많은 무기물 함량(41.0wt%) 및 구성 성분들이 탄화수소의 연소억제 작용을 효과적으로 하는 것으로 판단된다.



<그림 3> 50kW/m<sup>2</sup>의 외부 열유속에서 돈분, 계분, 혼합물 시험편의 연소 후 잔여물의 사진

다음은 <그림 3>에 시험편의 연소 종료 후 탄화된 형태로서 시험편의 겉보기 잔여물 사진을 나타내었다. 돈분 시험편(a)은 완전 연소 후 탄화 잔여물이 약간의 노란색이 섞인 진한 회색으로 비교적 곱게 나타났다. 계분 시험편(b)의 겉보기 잔여물은 조금 불규칙한 거친 모양의 진한 회색으로 나타났고, 이들의 혼합물(c)은 열은 회색과 진한 회색이 혼재하였다. 그러나 탄화된 시험편 잔여물에서 특별한 형태의 특징을 관찰할 수 없었기 때문에 이들의 연소성질을 설명하기에는 한계가 있었다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 가축분뇨 중 돈분, 계분 그리고 이들의 혼합물을 선택하여, 재생에너지로서의 활용 가능성을 알아보기 위하여 이들의 연소특성을 조사하였다.

첫째, 50kW/m<sup>2</sup>의 외부열원에서 시험한 결과 돈분(33.73kW/m<sup>2</sup>)은 계분(28.45kW/m<sup>2</sup>)보다 평균열방출률(MHRR)이 높게 나타났다. 이것은 돈분에 함유된 탄화수소 함량(C: 42.57wt%, H: 6.58wt%)이 계분에 함유된 탄화수소 함량(C: 29.62wt%, H: 4.25wt%)보다 높기 때문으로 판단된다.

둘째, 돈분 시험편의 최대열방출률(PHRR)은 256.82kW/m<sup>2</sup>(21초에서)로 나타났으며, 계분 시험편은 147.95kW/m<sup>2</sup>(32초에서)로 나타났다. 또 혼합물은 206.18kW/m<sup>2</sup>(20초에서)로 나타났다. 이것은 앞에서 언급한 평균열방출률에 대한 설명과 같은 맥락으로 분뇨 조성중 가연성 탄화수소의 함량에 의존하는 것으로 이해된다.

셋째, 무기물 함량이 많은 계분 시험편의 총열방출률(Total heat release rate, THRR) 커브는 첨가된 무기물 함량 및 무기물 조성의 함량에 따라 감소하였다. 즉 CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZnO, MgO 등 무기물들의 열안정성 및 연소억제 효과에 의해 총열방출률이 낮아지는 것으로 설명될 수 있다.

넷째, 불꽃소멸시간(TTF)은 돈분 256초, 계분은 309초로 나타났다. 이와 같이 계분의 불꽃소멸시간이 긴 것은 돈분에 포함된 무기물함량(8.3wt%)에 비하여 계분에 포함된 많은 무기물 함량(41.0wt%) 및 구성 성분들이 탄화수소의 연소억제 작용을 효과적으로 하는 것으로 판단된다.

다섯째, 따라서 재생에너지를 생산하기 위해서는 탄화수소 함량이 높아서 유효연소열 측정값이 높은 돈분(20.47MJ/kg)과 같은 가축분뇨를 재활용해야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

김창현. 2011. 자원순환형 가축분뇨 자원화 에너지화 방안: 2011년도 자원순환형농업과징. 농식품부 농업연수원.  
 농림축산식품부 보도자료. 2013. 중장기 가축분뇨 자원화 대책 수립, 시행(2013. 5).  
 농림수산식품부 보도자료. 2011. 농식품부, 매년 1월 1일부터 가축분뇨 해양투기 전면 중단키로(2011. 12).  
 농림수산식품 축산정책과. 2010. 가축분뇨 자원화 및 효율적 관리 방안. 농식품부.  
 전인규. 2013. 유기성 폐기물의 자원화를 위한 돈분 및 계분의 연소특성에 관한 연구. 강원대학교 석사학위논문.  
 환경부. 2009. 에너지자립형 농촌마을 조성. 환경부.  
 황수천. 2006. 국내 여건에 적합한 가축분뇨 바이오가스 생산 최적시스템 연구. 농식품부.  
 Alonso, D. F., R. Martin., Vila M. Mariscal., M. Ojeda., L. Granados, and J. Santamaria-Gonzalez. 2010. Relevance of the Physicochemical Properties of CaO Catalysts for the Methanolysis of Triglycerides to Obtain Biodiesel. *Catalysis Today*. 158: 114-120.  
 Babrauskas, V. 1986. The Cone Calorimeter, Fire Properties. S. J. Grayson and D. A. Smith. eds.

- New Technology to Reduce Fire Losses & Costs*. London, UK: Elsevier Applied Science Publisher.
- Babrauskas, V. and S. J. Grayson. 1992. *Heat Release in Fires*. London, UK: Chapman and Hill. London. UK.
- Babrauskas, V. 2008. Heat Release Rate. Section 3. *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 4th ed. National Fire Protection Association. Massachusetts.
- Chung, Y. J. 2010. Comparison of Combustion Properties of Native Wood Species Used for Fire Pots in Korea. *J. Ind. Eng. Chem.* 16: 15-19. doi: 10.1016/j.jiec.2010.01.031.
- DeHaan, J. D. 2002. *Kirks's Fire Investigation*. 5th. New Jersey: Prentice Hall.
- Greenwood, N. N. and A. Earnshaw. 1997. *Chemistry of Elements*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Hirscher, M. M. 1984. Reduction of Smoke Formation from and Flammability of Thermoplastic Polymers by Metal Oxides. *Polymer*. 25(March): 405-411.
- Hirschler, M. M. 2001. *Thermal Decomposition and Chemical Composition*. American Chemical Society Symposium Series 797.
- ISO 5660-1. 2001. *Reaction-to-Fire Tests - Heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate - Part 1: Heat Release Rate (Cone Calorimeter Method)*. Geneva.
- Pearce, F. M., Y. P. Khanna, and D. Raucher. 1981. Thermal Analysis in Polymer Flammability. *Thermal Characterization of Polymeric Materials*. New York: Academic Press.
- Ranjian, B. K. 1996. Sustainable Urban Energy-Environment Management with Multiple Objectives. *Journal of Energy*. 21(4): 305-318.
- Windholz, M. 1983. *The Merck Index*. 10th. Rahway, NJ: Merck & Co. Inc.

The Resource Recycling Measures for Problem Solution Caused by Greenhouse Gas Emissions:  
Analysis on Combustion Properties of Swine Manure, Poultry Manure and Mixture

Yeong Jin Chung

Large amounts of greenhouse gas emissions have increased annually. Therefore, measures for global warming is urgent. To solve this problem, due to the resource recycling-energy for renewable energy research is needed. In this study, three kinds of manure (swine, poultry, and a mixture) was selected. And to evaluate the potential use of renewable energy, their combustion characteristics were investigated. After the sample was dried to a constant weight, cone calorimeter (ISO 5660-1) was used to test the combustion. It was found that the mean heat release rate (MHRR) in the swine manure (33.73 kW/m<sup>2</sup>) was high due to the combustive properties compared with poultry manure (28.45 kW/m<sup>2</sup>). On the contrary, the mean heat release rate of the poultry manure is relatively low because its mineral content is high. Thus, for the production of renewable energy, a lot of manure hydrocarbon content is expected to be recycled.

**Key words:** greenhouse gas, renewable energy, combustive properties, mean heat release rate (MHRR)

**鄭榮振** 인하대학교에서 박사학위를 취득하고, 현재 강원대학교 소방방재학부 소방방재공학과 교수로 재직중이다. 주요 논문으로는 'Comparison of Combustion Properties of Native Wood Species Used for Fire Pots in Korea(2010)', 'Flame Retardant Properties of Polyurethane Produced by the Addition of Phosphorous Containing Polyurethane Oligomers(II)(2009)' 등이 있으며, 관심 분야는 화재위험성 평가, 유해 위험물안전 등이다(yjchung@kangwon.ac.kr).

투 고 일: 2013년 07월 03일

수 정 일: 2013년 07월 25일

게재확정일: 2013년 07월 28일