

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
부존자원을 활용한 고품연료 개발		농업환경	'13~	농업기술원 환경농업연구과	박중수
폐유기자원을 활용한 고품연료 개발		농업환경	'13	농업기술원 환경농업연구과	박중수
색인용어	폐유기자원, 음식물퇴비, 고품연료				

ABSTRACT

In this study, we attempted to find substitute materials for low priced fossil fuels at the cultivation under structure. To accomplish this, experiment materials were food waste compost and sludge in the food waste facilities. Total carbon of food waste compost by the collected time were highest in june and september. The calorific value of the waste food(100%) was 3,793~3,808Kcal/kg, and that was suitable for the current standards(3,500Kcal/kg above) of solid refuse fuel. But the ashes content of the waste food was 22.1~33.5%, and that was unsuitable for the current standards(20% below) of solid refuse fuel. The scrap vinyl of 0.087% was included in the food waste compost. It could be generated dioxine during combustion. Therefore, the food waste compost was unsuitable for material of agricultural solid refuse fuel.

Key words : Disposal organic resoures, Food waste compost, Solid refuse fuel

1. 연구목표

최근 난방비 절감을 위해 주목받고 있는 에너지자원으로는 폐기물, 지열, 바이오에너지 등이 있으며 자연환경을 보호하면서 에너지를 생산할 수 있는 장점으로 부각되고 있는 것으로는 폐기물 에너지가 있다(농촌진흥청, 2012). 폐기물 중 종이, 나무 등 가연성 폐기물은 고체연료로, 폐윤활유 등의 폐유는 재생유로, 플라스틱, 타이어 등은 액체연료로 재생되며, 기타 타는 쓰레기 등은 소각과정에서 발생하는 가스를 다시 정제하여 발전용 연료로 사용하고 폐열은 공장, 시설 등의 난방에 활용된다. 한편, 우리나라에서 발생하는 폐유기자원인 음식물 쓰레기는 연간 621만톤('12)으로 전체 쓰레기 발생량의 28%를 차지하고 있다(음식물쓰레기 줄이기 홈페이지). 음식물 쓰레기는 수분이 많고 부패와 악취가 수반되기 때문에 매립할 경우 주변환경을 오염시킬 우려가 있으며 매립지 확보 논란 등과 같은 문제점이 발생할 수 있다. 또한 런던협

약과 개정된 해양관리법에 따라 2013년부터는 음식물류 폐기물의 해양투기가 전면금지되어 음식물쓰레기의 재활용 및 자원화에 대한 대책마련이 시급한 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 퇴비화는 물론 시설재배 농가의 난방용 고형연료로 개발할 필요성이 있다. 일부 지자체에서는 음식물 쓰레기를 자원화하기 위해 퇴비로 제조하여 농가에 보급 중이나 퇴비의 품질이 낮아 선호하고 있지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구는 음식물쓰레기로 만든 음식물퇴비와 음식물폐기물 처리장에서 발생하는 오니를 이용하여 시설재배 농가 난방비 절감을 위한 저가의 화석연료 대체 난방용 고형연료를 개발코자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 시험은 2013년에 경기도농업기술원에서 수행하였다. 고형연료 제조를 위한 시험재료는 의정부시 음식물폐기물 자원화 센터에서 음식물퇴비는 4회('12년 12월, '13년 3월, 6월, 9월), 오니는 2회(6월, 9월) 수집하였다. 음식물퇴비는 음식물쓰레기 95%에 톱밥을 5% 비율로 혼합하여 호기성 퇴비화 방식으로 생산되며, 오니는 음식물쓰레기의 염분 제거를 위해 음식물쓰레기를 물과 혼합시 혼합조 바닥에 가라앉는 침전물로서 수분함량이 70% 정도로 높은 특성이 있다.

발열특성 조사를 위한 혼합제는 음식물퇴비에는 생석회, 탄가루를 사용하였으며, 혼합비율은 음식물퇴비에 생석회는 0%, 3%, 5%, 10%, 탄가루는 0%, 5%, 10%, 15% 혼합하였다. 수분함량이 많은 오니에는 혼합제를 생석회와 음식물퇴비를 사용하였고, 혼합비율은 오니에 생석회는 0%, 10%, 15%, 20%, 음식물퇴비는 0%, 80%, 90%, 95% 혼합하였다. 혼합 후에는 수분함량이 25%가 되도록 음건후 펠렛으로 성형하여 발열 특성 조사시료로 이용하였다.

시험재료의 화학성 분석은 pH는 초자전극법, EC는 포화용액침출법, OM은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster법, NO₃-N은 Kjeldahl 증류법 등 농촌진흥청(2013)의 종합검정실 분석 매뉴얼에 준하였다. 펠렛으로 성형 후 원소분석은 원소분석기(EA-1110)로, 발열량은 단열열량계(6200 Calorimeter)로 측정하였다. 삼성분 중 회분 측정은 800±25℃의 전기로에서 약 2시간 동안 완전히 태우고 30분간 방랭 후 무게를 측정하였고, 가연분은 수분과 회분함량을 제외한 양으로 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수집시기별 음식물퇴비 및 오니의 화학성

수집시기별 음식물퇴비 및 오니의 화학성은 표 1과 같다. 음식물퇴비에 함유되어

있는 유기물 함량은 2012년 12월, 2013년 3월 수집은 각각 47.0%, 44.2%, 2013년 6월, 9월 수집은 각각 70.3%, 77.6%로 6월과 9월 수집에서 높았으며, 총탄소 함량도 2012년 12월, 2013년 3월 수집은 각각 22.1%, 21.0%, 2013년 6월, 9월 수집은 각각 40.1%, 28.3%로 6월과 9월 수집에서 높았다. 이와 같이 수집시기별 음식물퇴비의 화학성이 다른 이유는 여름과 가을에는 겨울과 봄에 비해 채소류 등과 같이 탄소함량이 높은 식물성 음식물쓰레기의 배출량이 상대적으로 많기 때문으로 추측된다. 수분함량은 9월 수집이 22.1%로 가장 낮았고 기타 수집시기에는 30.9~39.3% 정도를 나타내었다. 오니의 화학성으로 유기물은 6월과 9월 수집에서 큰 차이 없었으나, 총탄소 함량은 6월과 9월 수집시 각각 27.3%, 11.9%로 9월 수집에서 낮았다. 오니의 수분함량은 68.2~70.0%로 음식물퇴비에 비해 3배 정도 높았다.

음식물퇴비와 오니의 화학적 조성은 표 2에서와 같이 탄소 함량은 음식물퇴비와 오니간에 큰 차이 없었다. 음식물퇴비의 질소 함량은 3.56%로 오니에 비해 많았고, 황의 함량은 0.29%로 오니에 비해 적었다.

표 1. 수집시기별 음식물퇴비 및 오니의 화학성

수 집 시 기	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	T-C (%)	T-N (%)	수분 (%)	
음식물	'12. 12.	7.3	36.7	47.0	1.41	0.46	6.93	0.17	1,879	40	22.1	2.3	35.1
	'13. 3.	8.5	29.0	44.2	0.43	0.29	6.36	0.16	1,559	23	21.0	2.3	39.3
퇴비	'13. 6.	7.9	31.1	70.3	1.37	0.60	5.25	0.18	1,595	19	40.1	2.6	30.9
	'13. 9.	8.4	32.2	77.6	2.19	0.62	6.64	0.19	2,137	18	28.3	2.9	22.1
오니	'13. 6.	8.9	28.6	30.0	2.01	0.08	4.39	0.21	2,894	4	27.3	1.1	70.0
	'13. 9.	8.7	22.2	31.4	2.41	0.21	7.03	0.24	1,805	0	11.9	0.9	68.2

※ 수집 장소 : 의정부시 음식물폐기물 자원화 센터

표 2. 시험재료의 화학적 조성

시 험 재 료	화학적 조성(%)		
	C	N	S
음식물 퇴비	34.9	3.56	0.29
오 니	39.2	2.61	0.55

나. 음식물퇴비 이용 고품연료 제조시 혼합제 혼합비율별 발열 특성

생석회(CaO)는 석회석 또는 백운석을 1,000~1,200℃로 가열하여 이산화탄소를 휘산시켜 제조되는 강한 알칼리성 물질로 물과 반응시 200℃까지 올라가는 발열반응을

나타내는 특성을 가지고 있으며 반응후에는 수산화칼슘(소석회)으로 변한다. 주요 용도는 석회 비료, 산성토양 개량제, 수분 포집제로서의 건조제, 혼합 시멘트 등 토목용 재료, 소독 등에 사용된다. 음식물퇴비에 생석회를 혼합하게 되면 발열반응으로 수분이 제거되고 암모니아 등 휘발성 악취성분의 감소 효과가 있다. 음식물퇴비에 생석회를 혼합하여 혼합비율별 발열 특성을 조사한 결과는 표 3과 같다. 발열량은 생석회를 혼합하지 않은 음식물퇴비 100% 처리는 3,808Kcal/kg로 나타났으며 생석회 혼합비율이 증가 할수록 발열량은 감소하였다. 연소후 삼성분은 음식물퇴비에 생석회 혼합비율이 증가할수록 가연분은 적어지고 회분량은 많아지는 것으로 나타났는데, 이는 생석회가 자체 발열량이 없기 때문이다. 따라서 음식물퇴비의 수분과 악취제거를 위해 생석회를 사용할 경우 가능한 최소량을 혼합하여 사용하는 것이 발열량 유지에 유리한 것으로 생각된다.

표 3. 음식물퇴비와 생석회 혼합비율별 발열 특성

처 리 내 용	발열량 (Kcal/kg)	삼 성 분(%)		
		수분	가연분	회분
1) 음식물퇴비 100 + 생석회 0%	3,808	13.5	64.4	22.1
2) 음식물퇴비 97 + 생석회 3%	3,548	12.5	60.5	27.0
3) 음식물퇴비 95 + 생석회 5%	3,366	10.9	58.1	31.0
4) 음식물퇴비 90 + 생석회 10%	3,052	10.0	51.5	38.5

발열량은 연료로서 제조할 경우 회분함량과 함께 중요한 요소이며, ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행규칙 별표 7(2013. 1. 13 개정)’에는 폐기물을 연료로 사용할 경우 고�형연료 제품의 품질기준은 저위 발열량이 3,500Kcal/kg 이상이고 회분은 20% 이하로 규정하고 있다. 음식물퇴비에 탄가루를 0%, 5%, 10%, 15% 혼합하여 발열량을 조사한 결과(표 4), 탄가루 혼합비율이 증가할수록 발열량과 가연분은 증가하였으며, 탄가루 15% 혼합시에도 발열량이 4,375Kcal/kg로 나타나 목재펠릿 수준의 발열량(4,500Kcal/kg 내외)에는 미치지 못하였다. 또한, 표 3과 표 4에서 살펴본 바와 같이 음식물퇴비(100%)의 시료별 발열량은 15Kcal/kg로 차이가 적었으나 회분함량은 11.4%로 차이가 컸는데, 이는 수집된 음식물퇴비의 균질도가 낮기 때문으로 생각되었다. 표 3과 표 4의 조사결과로 볼 때 음식물퇴비(100%)의 발열량은 3,793~3,808Kcal/kg, 회분 함량은 22.1~33.5% 정도로 나타나 음식물퇴비는 현행 고�형연료 기준인 발열량 기준(3,500Kcal/kg 이상)은 충족하였으나 회분함량 기준(20% 이하)은 충족하지 못하였다.

표 4. 음식물퇴비와 탄가루 혼합비율별 발열 특성

처 리 내 용	발열량 (Kcal/kg)	삼 성 분(%)		
		수분	가연분	회분
1) 음식물퇴비 100 + 탄가루 0%	3,793	12.6	53.9	33.5
2) 음식물퇴비 95 + 탄가루 5%	4,097	12.5	54.6	32.9
3) 음식물퇴비 90 + 탄가루 10%	4,235	13.4	57.7	28.9
4) 음식물퇴비 85 + 탄가루 15%	4,375	10.2	59.6	30.2

음식물퇴비 90%에 탄가루를 10% 혼합한 후 버섯폐배지를 0%, 5%, 10%, 15% 혼합하여 혼합비율별 발열특성을 조사하였다(표 5). 탄가루 혼합 음식물퇴비에 버섯폐배지의 혼합비율이 증가할수록 발열량과 가연분은 감소하였고 회분은 증가하였다. 이는 혼합재인 버섯폐배지의 발열량이 음식물퇴비 90%에 탄가루 10% 혼합시의 발열량 4,327Kcal/kg에 비해 낮기 때문으로 생각되었다.

표 5. 탄가루 혼합 음식물퇴비와 버섯폐배지 혼합비율별 발열 특성

처 리 내 용	발열량 (Kcal/kg)	삼 성 분(%)		
		수분	가연분	회분
1) 음식물퇴비 [↓] 100 + 버섯폐배지 0%	4,327	12.3	61.1	26.6
2) 음식물퇴비 [↓] 95 + 버섯폐배지 5%	4,240	12.8	57.5	29.6
3) 음식물퇴비 [↓] 90 + 버섯폐배지 10%	4,212	12.4	54.3	33.3
4) 음식물퇴비 [↓] 85 + 버섯폐배지 15%	4,041	12.0	52.4	35.6

↓ 음식물퇴비 : 음식물퇴비 90% + 탄가루 10% 혼합

다. 오니 이용 고품연료 제조시 혼합제 혼합비율별 발열 특성

음식물쓰레기 처리과정에서 발생하는 오니에 생석회를 0%, 10%, 15%, 20% 혼합하여 혼합비율별 발열 특성을 조사한 결과는 표 6과 같다. 발열량은 오니 100% (3,870Kcal/kg)에 비해 생석회 혼합비율이 증가할수록 감소하였으며, 삼성분 중 가연분은 감소하고 회분은 증가하였다. 오니에 생석회 20% 혼합시에는 발열량이 1,928Kcal/kg까지 크게 감소하므로 오니의 수분제거를 위해서는 생석회 이외의 다른 방법의 모색이 필요할 것으로 생각되었다.

음식물퇴비의 수분함량은 22~39% 정도로 비교적 낮기 때문에 수분함량이 높은 오니를 고품연료로 활용하기 위해서는 음식물퇴비에 혼합하는 것이 유리할 것으로 판단되어 오니 95%에 생석회 5%를 혼합한 후 음식물퇴비를 0%, 80%, 90%, 95%로 혼합하여 표 7에서와 같이 발열 특성을 조사하였다. 음식물퇴비를 혼합하지 않고 생석회만 5% 포함된 오니 100%의 발열량은 3,530Kcal/kg인데 비해, 음식물퇴비 혼합

비율이 증가할수록 발열량이 증가하였으며 95% 혼합시에는 발열량이 3,864Kcal/kg로 증가하였다. 따라서 수분함량이 높은 오니를 고행연료로 활용할 경우 오니(오니 95%+생석회 5% 혼합) 5%에 음식물퇴비 95%를 혼합하여 제조하는 것이 유리할 것으로 생각되었다.

표 6. 오니와 생석회 혼합비율별 발열 특성

처 리 내 용	발열량 (Kcal/kg)	삼 성 분(%)		
		수분	가연분	회분
1) 오니 100 + 생석회 0%	3,870	8.9	52.4	38.7
2) 오니 90 + 생석회 10%	2,463	10.0	40.0	50.0
3) 오니 85 + 생석회 15%	2,135	10.4	34.0	55.6
4) 오니 80 + 생석회 20%	1,928	9.2	22.9	67.9

표 7. 생석회 혼합 오니와 음식물퇴비 혼합비율별 발열 특성

처 리 내 용	발열량 (Kcal/kg)	삼 성 분(%)		
		수분	가연분	회분
1) 오니 [↓] 100 + 음식물퇴비 0%	3,530	20.0	52.4	27.6
2) 오니 [↓] 20 + 음식물퇴비 80%	3,764	20.2	57.7	22.1
3) 오니 [↓] 10 + 음식물퇴비 90%	3,769	20.9	57.5	21.6
4) 오니 [↓] 5 + 음식물퇴비 95%	3,864	16.2	62.7	21.1


↓ 생석회 혼합 오니 : 오니 95% + 생석회 5% 혼합, 제조전 오니 수분함량 : 71%

음식물쓰레기에 포함된 각종 비닐봉투는 음식폐기물 자원화 센터에서 음식물퇴비 제조과정 중 선별기능이 없어 포함된 것으로 음식물퇴비에 폐비닐이 육안으로 많이 관찰되어 3월, 5월, 9월 수집분에 대하여 폐비닐 함량을 조사하였다(표 8). 음식물퇴비에 포함된 폐비닐 함량은 3월 수집에서 0.073%, 5월 수집에서 0.104%, 9월 수집에서는 0.085%로 나타났다. 1급 발암물질로 분류되는 다이옥신은 폐비닐, PVC와 같은 염화비닐, 염화벤젠, 염화페놀 등이 250~400℃ 온도조건에서 불완전 연소시 발생되고, 800℃이상의 고온조건에서 연소시에는 발생되지 않는다(박 등, 2011). 환경부에서는 소각장의 다이옥신 배출허용 기준('01. 1. 1)을 0.1ng-TEQ/Nm³ 이하로 규정하고 있다. 박 등(2011)은 국내 고행연료 제조시설의 배출가스 중 다이옥신 농도는 초기 운전시 온도가 올라가면서 미연분의 불완전연소가 순간적으로 촉진되면서 발생량이 많다고 하였다.

이상에서와 같이 음식물퇴비 중에 폐비닐이 3회 수집 평균 0.087% 포함되어 있으므로 음식물퇴비로 제조한 펠릿연료는 농가 시설재배 난방용으로 사용할 경우 800℃

이상으로 연중 연소가 불가능하므로 다이옥신 발생을 피할 수 없다. 따라서 음식물 퇴비 펠릿연료는 시설재배 농가의 난방용 소재로는 부적합하기 때문에 800℃이상으로 연중 연소가 가능한 시멘트 소성로, 화력발전소, 열병합발전소, 지역난방시설 등에 활용하여야 할 것으로 판단되었다.

표 8. 수집시기별 음식물퇴비 중 폐비닐 함량

수집 시기	폐비닐 함량(건조후 무게, %)	비 고(폐비닐)
3월	0.073	
5월	0.104	
9월	0.085	
평 균	0.087	

※ 소각장 다이옥신 배출허용 기준('01. 1. 1) : 0.1ng-TEQ/Nm³ 이하

4. 적 요

음식물쓰레기로 만든 음식물퇴비와 음식물쓰레기 처리장에서 발생하는 오니를 이용하여 시설재배 농가 난방비 절감을 위한 저가의 화석연료 대체 난방용 고품연료를 개발코자 수행한 결과는 다음과 같다.

- 가. 수집시기별 음식물퇴비의 총탄소 함량은 '12년 12월 22.1%, '13년 3월 21.0%에 비해, '13년 6월 40.1%, 9월 28.3%로 6월과 9월 수집에서 높았다.
- 나. 음식물퇴비(100%)의 발열량은 3,793~3,808Kcal/kg, 회분 함량은 22.1~33.5% 정도로 현행 고품연료 기준인 발열량 기준(3,500Kcal/kg이상)은 충족하였으나 회분함량 기준(20%이하)은 충족하지 못하였다.
- 다. 음식물퇴비는 연소시 다이옥신이 발생하는 폐비닐이 0.087% 포함되어 있어 시설재배 난방용 고품연료 소재로는 부적합하였다.

5. 인용문헌

- 음식물쓰레기 줄이기 홈페이지(zero-foodwaste.or.kr)
- 농촌진흥청. 2012. 농업의 에너지 독립선언. RDA Interrobang(85호)
- 농촌진흥청. 2013. 종합검정실 분석 매뉴얼(토양, 식물체, 수질, 중금속)
- 박재성, 김기현, 강준규, 류지연, 최훈근, 이상우, 차준석, 오길중. 2011. 폐기물 고품연료화 시설의 성능 및 관리방안에 관한 연구. 국립환경과학원 연구보고서. pp25-29.

6. 연구결과 활용제목

- 고품연료 제조시 음식물퇴비의 발열 특성(기초활용)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도
폐유기자원을 활용한 고품연료 개발	책임자	농업기술원 환경농업연구과	농업연구관	박중수	연구수행 총괄	'13
	공동연구자	"	농업연구사	노안성	자료 조사	'13
		"	"	원태진	성분 분석	'13
		" (주)비케이	농업연구관 대표	주영철 박상규	시험결과 검토 공동연구	'13 '13