

國內產 RDF의 排出가스 特性 比較實驗[†]

[‡]朴 明 浩

江原大學校 機械工學科

A Comparative Experiment on the Emission Gas Characteristics of Domestic RDF[†]

[‡]Myung Ho Park

Dept. of Mechanical Eng., Kangwon National University

요 약

본 연구는 에너지의 합리적 이용 및 산업폐기물의 재활용을 위하여 고효율 폐기물 고행연료의 개발을 목표로 하였다. 이 분야의 대부분의 연구는 킬른과 같은 대형연소장치에 집중하여 연구가 이루어졌기 때문에 본 연구에서는 화적자연소방식인 열용량 66~132 m² 규모의 소용량 열시스템에 초점을 맞추었다. 실험은 RDF, 코크스 및 페타이어 3종류의 연료를 이용하여 질량값 및 열량값의 변화를 측정하였으며 CO, CO₂, NO, NO₂ 등의 연소가스 분석 실험을 수행하였다. 연소가스분석결과 RDF의 CO 농도값은 코크스와 페타이어보다 높았으며, RDF 및 코크스의 NO, CO₂, SO₂의 농도값은 페타이어보다는 낮은 값을 나타내었다.

주제어 : 연소, 페타이어, 코크스, 고행연료

Abstract

This study aimed at developing high-efficiency RDF(refuse derived fuels) fuel in order to use RDF energy rationally and to recycle industrial product. As most studies in this area are concentrated in large combustion apparatuses such as kilns, but this study was focused on the small-sized heating systems, applying them directly to grate type boiler which has a heating capacity of 66~132 m². The different kinds of fuel are experimented including RDF, Coke and Waste Tire. First, for this, we experimented and analyzed RDF to see the change in its mass and heating value. Also, four kinds of exhaust gas are sampled by gas analyzer including CO, CO₂, NO and NO₂ at different temperature. As a result, the levels of CO concentration of RDF are higher than these of coke and waste tire. But, the levels of NO, CO₂ and SO₂ concentration of RDF and coke were lower than the levels when waste tire is burned.

Key words : Combustion, Waste Tire, Coke, RDF(refuse derived fuels)

1. 서 론

최근의 이라크 사태는 우리산업의 지속적인 성장기반을 뒷받침할 수 있는 에너지 절약, 에너지의 효율적인 공급 및 활용가능한 폐기물의 재활용, 환경오염의 저감 등 다방면에 걸친 에너지 관련기술이 절실하다는 중요성을 인식시켰다. 특히, 정부는 지난해 “제2차 신·재생 에너지 기술개발 및 이용·보급 계획”을 마련, 2011년까

지 9조 1026억원의 예산을 투입, 신·재생에너지 비율을 5%까지 끌어올린다는 청사진을 제시했다. 따라서, 에너지 다소비형 산업구조인 국내상황으로 비추어 볼 때 폐기물자원에 대한 보다 합리적 이용기술에 대한 대책수립이 시급하다고 볼 수 있다. 이와같은 요구사항에 적합한 폐기물 고행연료로 RDF를 예로 들 수 있는 데, RDF(Refuse Derived Fuel, 이하 RDF)는 수분과 불연물을 제외하고 가연성분을 조개탄이나 분필 또는 원형 실린더형과 같이 사용하기 쉬운 형상으로 압출성형한 일종의 폐기물 고행연료로 수송과 저장성이 뛰어나기 때문

[†]2007년 7월 23일 접수, 2007년 9월 14일 수리

[‡]E-mail: parkmh@kangwon.ac.kr

에 미국, 일본 등에서는 이미 30년전부터 연구개발이 진행되어 왔다. 현재 RDF의 경우 발전, 지역난방 등 에너지로의 재활용 차원 및 소각로 연소시 미칠 수 있는 환경오염을 해결하기 위한 연구단계로 발전되고 있으며 이러한 RDF와 관련된 최근의 연구동향을 살펴보면 다음과 같다.¹⁾

RDF의 발열량은 5,000 kcal/kg 이상으로서 대체에너지로의 이용이 가능하고, 일반적인 소각방법에 비하여 수송성, 저장성, 연소안정성이 우수하여 소각시설의 열이용에 따르는 많은 문제를 해결할 수 있고, 과다한 초기 투자비를 필요로 하는 폐기물의 액체 또는 기체연료화 기술에 비해 상대적으로 경제성이 높은 장점을 갖고 있다.

특히, RDF 연소재의 발생특성을 파악한 결과 발생위치에 관계없이 RDF 연소재는 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO의 성분이 차지하는 비율이 65~85%이며, 중금속 성분 중에서 As, Pb, Cu 성분의 함량은 바닥재(Bottom Ash)가 가장 높았고, Cd, Zn, Fe, Hg 성분의 함량은 비산재(Fly Ash)가 높았다.²⁾ 또한, RDF에 포함된 가연물질은 열분해 공정에 의한 휘발화 과정과 좌 연소 반응이 일어나기 때문에, 연소장치에서 RDF와 공기 및 가스의 양호한 혼합과 높은 반응효율을 얻을 수 있어야 저공해 완전연소를 달성할 수 있다. 따라서, 이동화격자 형태의 100 kg/hr 용량의 RDF 연소장치 설계를 위하여 전산유체역학에 의한 난류유동장 및 반응장 해석을 통하여 얻은 결과를 이용하여 RDF 약 100 kg/hr 용량의 연소로를 제작하여 실험한 결과 배출되는 대기오염물질인 CO는 약 50ppm, NO_x는 약 135ppm, SO₂는 약 15 ppm, 분진의 배출농도는 65.54 mg/Nm³로 대기환경법을 만족하므로 향후 중대형 RDF 연소장치 설계에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.³⁾

이와같이 RDF 연료의 재활용에 관한 연구를 요약하면 에너지로의 회수에 대한 열적처리 방법으로 연소재의 발생특성 및 대형 소각로에 관한 것으로, RDF의 소규모 난방을 위한 열이용장치의 연소생성물의 연소특성 및 열효율 등에 관한 연구가 적었기 때문에 보다 많은 기초 연구가 필요하다고 볼 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 RDF의 대체연료로서의 물성치를 알아보기 위하여 먼저 RDF연료의 성분분석, TG/DSC를 이용한 질량 및 열량변화 분석실험과 응용면에서 소형보일러 연소장치에 직접 적용시켜 연소후의 바닥재(Bottom Ash)의 성분분석, 연료생성물의 특성을 코크스 및 페타 이어와의 비교·실험과 함께 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

Fig. 1은 이번 실험에 사용된 화격자형 소형보일러의 연소장치를 나타내고 있으며, 크게 몸체부, 연료공급장치, 연소장치 및 재반이의 4개 부분으로 구성되어 있다. 난방면적은 66~132 m² 넓이로 가정용 및 대형음식점 등에 사용이 가능하며, 보일러의규격(W×L×H)은 650×1230×1600(mm), 저장량 및 중량은 각각 110l와 210kg으로 설계되었다.

2.2. 실험방법

먼저, Fig. 1의 연료주입구를 통하여 일정량의 RDF를 투입 하게 된다. 이어서, 버너에 의해 연료착화가 진행되고, 연소실에서 발생하는 가스의 배출 및 연소실의 공기공급은 blower에 의해 작동이 이루어지게 된다. 연소가 진행된 후 연소실내의 온도변화는 연소실 창문을 이용하여 디지털 온도계로 측정이 이루어지도록 설치하였다. 동시에 배출가스는 blower위의 연통위에서 작은 구멍을 설치하여 가스분석기의 검출프로브가 통과할 수 있도록 설치하였다. 실험은 한번 연소가 종료된 후 회분을 제거하고 동일한 방법으로 연소실험을 반복하게 된다.

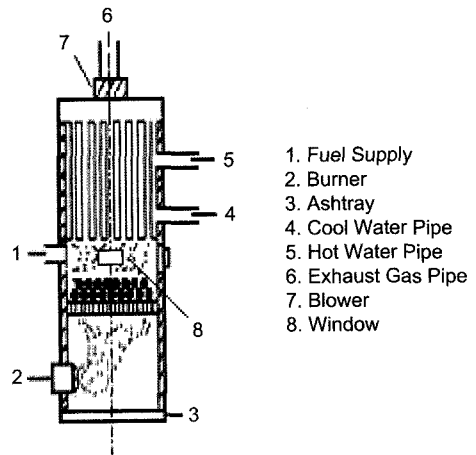


Fig. 1. Schematic of grate-type small-size boiler.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. RDF 연료

Tabel 1은 국내에서 생산된 RDF의 특성을 나타낸 것

Table 1. Domestic RDF, coke and waste tire characteristics

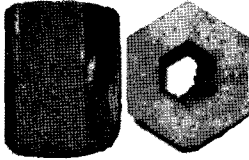
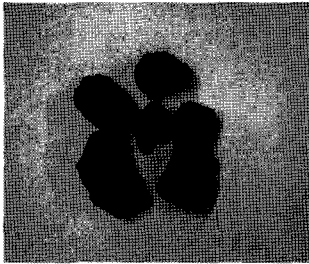
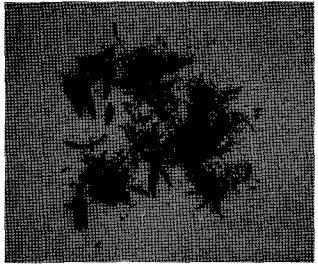
fuel name	RDF	coke	waste tire
shape			
size	100×120 mm	50~80 mm	20~40 mm
heating value (kcal/kg)	5,200	6,300	9,200
materials	food waste	coke	waste tire
use	middle size heating large size heating cement kiln	small size heating middle size heating	cement kiln

Table 2. Ultimate analysis of RDF, Coke and Waste Tire(wt%)

Element	RDF	Coke	Waste Tire
Carbon	56.8	87.62	85.9
Hydrogen	8.38	2.47	8.0
Oxygen	2.99	0.82	2.3
Sulfur	0	6.38	1.0
Nitrogen	0.54	1.51	0.4

주1) RDF의 성분분석은 RDF 제조회사마다 각기 다를 수 있음

으로 일정한 모양을 하고 있지만 그 형태나 크기는 업체별로 다르다. 생산된 RDF의 형태는 직경 15~100 mm 정도의 원통형, 사각형 또는 육각형이 있으며 생산업체에 따라 대형 RDF를 생산하는 곳도 있다.⁴⁷⁾ 본 연구에 사용된 RDF는 국내산 (주)티에이엔사의 육각 실린더형 형태로 크기는 100×120 mm, 발열량 5,200 kcal/kg의 RDF를 사용했다. 동시에 비교실험에 사용된 코크스는 (주)삼천리의 코크스연료를 사용하였으며, 페타이어는 한국타이어의 트럭/버스용 Radial Tire의 트레드 부분을 2~4cm 정도로 파쇄한 것을 시료로 사용하였다. Table 2는 본 실험에 사용된 RDF 및 코크스의 연료의 원소분석결과를 보여주고 있다.

3.2. TG/DSC 분석결과

Fig. 2는 음식물쓰레기로 제조된 RDF 시료를 유속 50 ml/min의 질소 분위기하에서 가열속도(10°C/min)로 변화시키면서 TG/DSC장치를 이용하여 1000°C까지의

Table 3. Analysis of inorganic materials for RDF bottom ashes

Composition	Ultimate Analysis wt%
F	0.35
Na ₂ O	0.81
MgO	29.0
Al ₂ O ₃	3.98
SiO ₂	5.68
P ₂ O ₅	0.95
SO ₃	1.91
Cl	0.79
K ₂ O	1.25
CaO	53.5
TiO ₂	0.31
Cr ₂ O ₃	0.0138
MnO	0.0596
Fe ₂ O ₃	1.22
NiO	0.0058
ZnO	0.0496
Br	0.0016
Rb ₂ O	0.0048
SrO	0.0259
Tm ₂ O ₃	0.0205

온도범위에서 연소시켰을 경우에 질량 및 열량변화를 분석한 결과이다.

RDF 연소재의 TG곡선을 살펴보면 225~700°C의 온도범위에서 57~70%의 무게감량을 나타내었는데, 이것은 탈수현상 및 탄화현상이 빠르게 진행됨과 동시에 분해효과 또한 컸기 때문이라고 볼 수 있다. DSC곡선은 553.5°C 부근에서 발열피크값이 나타났으며, 이때의 발

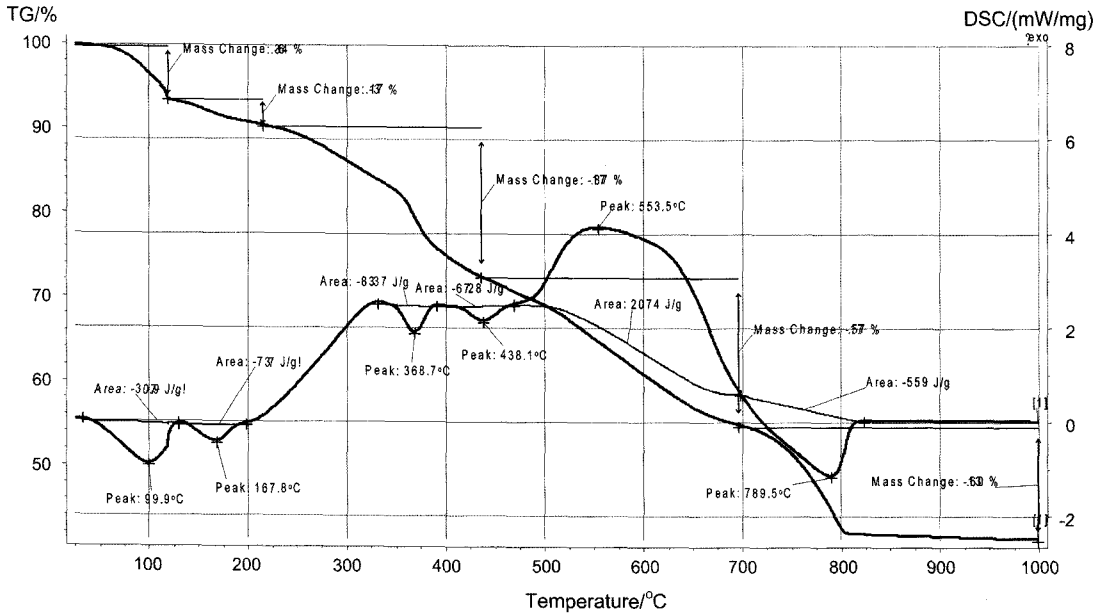


Fig. 2. TG/DSC thermograms for RDF Heating rate : 10°C/min.

열량은 2074 J/g이었다.

3.3. 연소후에 발생된 RDF 바닥재의 원소분석결과

Table 3는 RDF 연소후에 발생된 바닥재에 대한 화학성분의 측정결과를 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면, MgO, Al₂O₃, SiO₂, CaO의 성분이 차지하는 비율이 92.16%로 대부분을 차지했다.

3.4. 연소온도 변화에 따른 CO 농도의 변화

Fig. 3은 보일러내에서 RDF를 연소시켰을 때 얻어진 CO농도의 측정결과로 비교를 위하여 코크스 및 페타이어의 측정값과 함께 나타내었다. 결과를 살펴보면 RDF의 CO농도의 경우가 코크스 및 페타이어와 비교할 때

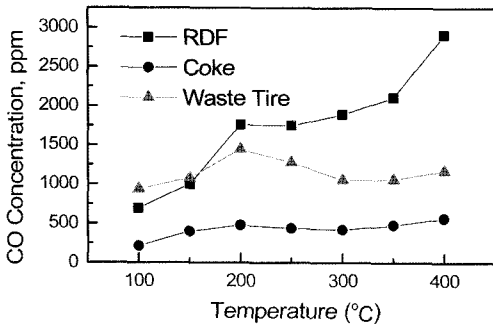


Fig. 3. CO concentration of RDF.

상대적으로 높은 농도값을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

연소가스중의 CO농도는 연소장의 당량비(equivalence ratio)에 크게 의존하고 있는데, 완전산화가 되면 CO₂로 전환되지만, 산소가 부족하게 되면 다량의 CO가 발생하게 된다. 즉, 당량비가 $\phi > 1$ 인 과농혼합기에서 CO의 발생이 현저히 증가하게 되고, 반대로 $\phi > 1$ 희박혼합기에서는 CO의 생성은 적어지게 된다.⁸⁾ 따라서, RDF의 경우 코크스 및 페타이어와 비교하여 높은 공연비(또는 공기과잉률)가 요구됨을 확인할 수 있었다.

3.5. 연소온도 변화에 따른 CO₂ 농도의 변화

Fig. 4는 Fig. 3과 동일조건하에서 연소실험을 하여

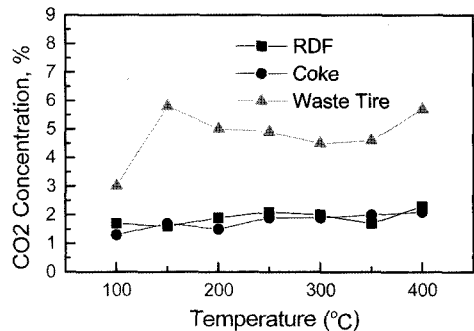


Fig. 4. CO₂ Concentration of RDF.

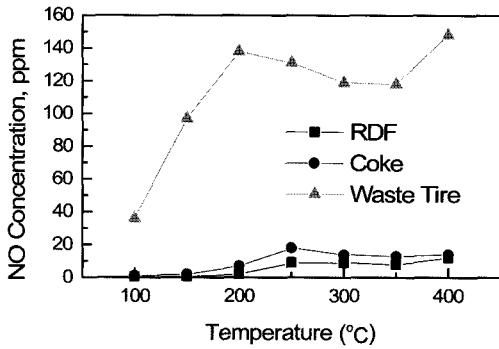


Fig. 5. NO concentration of RDF.

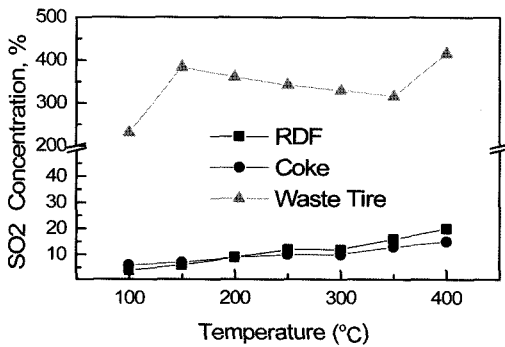


Fig. 6. SO₂ concentration of RDF.

얻어진 RDF, 코크스 및 페타이어의 CO₂의농도변화를 나타내고 있다. 결과에서 볼 수 있듯이 RDF의 CO₂ 농도값은 페타이어와 비교할 때로 낮은 값을 나타내었으며, 코크스와는 유사한 변화를 나타내고 있다.

3.6. 연소온도 변화에 따른 NO 농도의 변화

Fig. 5 또한 동일조건하에서 측정된 RDF, 코크스 및 페타이어의 NO농도의 측정결과를 나타내고 있으며, 결과에서 볼 수 있듯이 RDF 및 코크스의 경우가 페타이어의 NO농도값과 비교할 때 감소함을 확인할 수 있었다. 연소실에서 발생하는 연소가스는 대부분 NO로 NO 및 NO₂를 일반적으로 이들을 NOx로 규정하고 있다. NOx의 발생은 Thermal NOx, Prompt NOx 및 Fuel NOx로 크게 구별되며, 기체연료나 탈질화된 연료를 사용하는 경우 Thermal NOx와 Prompt NOx가 발생되며 중유와 석탄 등과 같이 연료에 N 성분이 3% 이상 존재하는 경우 Fuel NOx가 NOx 발생의 주원인이 된다. 본 실험의 경우 RDF 및 코크스의 NO 발생량은 20ppm이하로 환경기준치 350ppm과 비교할 때 낮은값

을 보였다.

3.7. 연소온도 변화에 따른 SO₂ 농도의 변화

Fig. 6은 동일조건하에서 RDF, 코크스 및 페타이어를 각각 연소시켰을 때 얻어진 SO₂의 농도변화를 나타내고 있다. 측정결과 RDF 및 코크스의 경우 유사한 농도변화를 볼 수 있었으며 페타이어와의 비교에서는 상대적으로 낮은 농도값을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 난방면적이 66~132 m² 규모인 화격자형 소형보일러 연소장치를 이용하여 국내에서 생산된 P사의 RDF 연료를 이용 먼저TG/DSC 분석을 하였고, 연소후 발생된 연소재중 바닥재(bottom ash)의 물성 및 연소온도변화에 따른 배출가스인 CO, CO₂, NO 및 SO₂ 연소생성물을 측정하였으며, 연소생성물의 비교를 위하여 코크스 및 페타이어와의 비교·실험을 동시에 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. RDF 연소재의 TG곡선을 살펴보면 225~700°C의 온도범위에서 57~70%의 무게감량을 나타내었고, DSC 곡선은 553.5°C 부근에서 발열피크값이 나타났으며, 이때의 발열량은 2074 J/g이었다.
2. RDF 연소후에 발생된 바닥재에 대한 화학성분 측정결과, MgO, Al₂O₃, SiO₂, CaO의 성분이 차지하는 비율이 92.16%로 대부분을 차지했다.
3. RDF의 CO 발생량은 코크스 및 페타이어에 비해 증가하였으나, CO₂의 발생량은 RDF 코크스 모두 페타이어와 비교하여 작은값을 나타내었다.
4. RDF 및 코크스의 NO의 발생량은 페타이어에 비해 낮은 값을 나타내었으며 크게20ppm이하로 환경기준치 350ppm 이하였으며, SO₂의 발생량또한 10ppm 이하로 환경기준치 250ppm값을 만족하고 있다.

참고문헌

1. 이승우, 최연석, 2002 : “도시고형폐기물(MSW)로 제조한 RDF의 열분해 특성”, 대한환경공학회 논문집, pp.197-199.
2. 소현조, 유명선 외 6인, 2003 : “무한주행식 화격자형 소형보일러에서의 RDF 연소재 발생특성에 관한 연구”, 한국폐기물학회지 논문집, pp.393-403.
3. 임태인, 류창국, 2003 : “유동해석과 연소실험을 이용한 이동 화격자식 RDF 연소로 설계”, 대한환경공학회 논문집, pp.480-485.

4. 鎌谷 司, 1994 : “ごみシ固形燃料に関する調査研究シリーズ (6)”, 環境の計劃, 5(3), pp.26.

5. 신병철, 이조영, 최형욱, 2002 : “폐기물 고품연료(RDF)의 활용방안 및 전망”, 고분자과학과 기술, 13(3), pp.307-314.

6. 최연석, 김석준 외 3인, 2000 : “폐기물 고품연료(RDF)를 활용한 화력발전사업 타당성 연구”, 한국폐기물학회 논문집, 18(4), pp.69-79.

7. Namba, K. et al., 1998 : “Journal of the Japan Society of Waste Management Expects”, 6(7), pp.302.

8. 日本機械學會, 1995 : “燃燒工學ハンドブック”, 丸善株式会社, 東京, 日本, pp.100-102.

朴 明 浩

- 1987년 강원대학교 기계공학과 공학사
- 1992년 강원대학교 기계공학과 공학석사
- 1996년 九州工業大(일본) 기계공학과 공학박사
- 1999년 공업기술연구소(일본) AIST fellow
- 현재 강원대학교 기계자동차공학부 교수

學會誌 投稿 安內

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解説	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解説, Review
技 術 報 告	實際的인 試驗, 調査의 報告
技術, 行政情報	價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解説하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會義의 報告, 國內外的 研究 機關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 隨霜 등
Group 紹介	企業, 研究機關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 掲載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.