

폐기물 고품연료(RDF)의 순환유동층 연소 및 증기생산

선 도원, 배 달희, 조 성호, 이 승용

Circulating Fluidized Bed Combustion of Refuse Derived Fuel and Steam Production

Dowon Shun¹⁾, Dal-Hee Bae, Sung-Ho Jo and Seung-Yong Lee

Key words : Circulating fluidized Bed Combustion(순환유동층), Refuse Derived Fuel(폐기물 고품연료), Steam Production(증기생산)

Abstract : A pilot scale circulating fluidized bed for refuse derived fuel is developed and constructed in order to demonstrate efficient and safe utilization of waste fuel. The capacity of the facility is 8 steam tons per hour with the steam quality of 450°C and 38atm. The quantity and the quality of the produced steam is sufficient to produce 1MWe power capacity. The test operation proved the high combustion efficiency of 99% and up. The emissions of NO_x, SO_x in flue gas are below 100, 60ppm respectively with out any emission control. HCl emissions were above 400ppm at the combustor exit but reduced below 10ppm after scrubber.

1. 서론

폐기물 고품연료(RDF)의 에너지화 기술은 세계 각국에서 다양한 방법으로 활발하게 실용화되고 있다. 특히 순환유동층 연소기술은 폐기물 고품연료의 고효율 연소와 증기생산 그리고 유해가스의 관리에 탁월한 기능이 있다. 국내에는 2003년까지 RDF에 관한 규정이 없었으므로 RDF가 폐기물로 간주되어 이용방법이 매우 제한적이었고 기술개발도 부진하였다. 2003년 처음으로 “폐플라스틱 고품연료제품의 품질기준 사용처 등에 관한 기준(환경부고시 제 2003-127호)”가 공표되어 RPF에 관한 품질 규격 사용처 기준이 마련되었다. 이에 본 연구진은 기존 연구진이 보유하고 있던 순환유동층 석탄연소 기술을 적용하여 2003년부터 폐기물 고품연료를 전용으로 사용하는 순환유동층 형식의 열병합 보일러를 개발해 오고 있다. 본 연구의 결과로 건설한 1MWe급에 해당하는 증기량 8ton/h급 실증규모인 보일러는 RDF와 RPF(Recycled Plastic Fuel) 전용 보일러로서 기존의 석탄 유동층 보일러와는 다른 기술적 특성을 갖고 있으며 제작과 유지보수가 간편하고 경제적인 특징을 갖는다. 또한 연소 운전에서 높은 연소효율과 유해성분의 억제와 운전 편의성이 입증 되었다. 본 사업을 통해 개발된 기술 상용화가 추진 중에 있으며 그 세부 기술로는 10MWe급 순환유동 보일러 설계기술과 외부 열교환기식 순환유동층 연소기술이 등이 있다. 폐기물 고품

연료를 연소하는 순환유동층 보일러 기술은 기존 순환유동층 석탄 연소기술과 종합하여 설계 국산화와 국산 재료 그리고 국내 기술로 10MWe 이상의 열병합 발전 보일러 건설이 가능하며 바이오 메스 등을 연소하는 열병합 설비로 동남아 시장 등에 수출이 가능하다.

제도상으로는 RDF의 연료에 관한 고시 등이 2006년 말 공포 되었으며¹⁾, 대기환경 보전법 상의 배출기준이 2007년 개정되어 명실 공히 RDF를 연료로 활용할 수 있는 제도적 장치가 마련되었다.

2. 보일러 설계

RDF를 연소하여 증기와 스팀을 생산하는 방식은 소각 기술에 비하여 다음과 같은 장점을 나타낸다.

- RDF 제조과정에서 철판, 유리, 자갈 등 조대 무기물, PVC, 난연성 수지 등 유해물질을 발생하는 성분이 미리 제거되므로 보일러에 가해지는 부하가 적다.

- 생활계 폐기물 1톤이 처리되어 RDF 0.5톤을 만들어 내므로 폐기물 처리 입장에서 볼 때 시설 부하가 1/2로 절감된다²⁾. 따라서 경제적이다.

1) 한국에너지기술연구원

E-mail : dshun@kier.re.kr

Tel : (042)860-3672 Fax : (042)860-3134

- 소각로가 약 300℃ 15atm의 증기를 생산하여 발전측면에서 이용가치가 낮은 반면, RDF 전용 열병합 보일러에서는 450℃, 40atm의 증기가 생산되어 공정증기는 물론 발전용으로 적합하다.

- RDF는 고형폐기물 중에서 가연성분을 추출하고 불연 또는 난연성분을 제거한 연료이므로 배연중 유해가스의 농도가 낮을 뿐 아니라 애초에 연료의 절대량이 적어 배가스량 또한 소각로의 절반 정도이다. 과잉공기의 양 또한 소각에 비해 적다. 따라서 후처리 설비의 부담이 적고 성능이 향상된다.

- RDF 연소에 있어 연소후 발생하는 최종 불연물이 비산재 또는 하부재이다. 그러나 소각재에 비해 성상이 안전하고 추출시험에도 안전성이 높게 나타나 재활용 가능성도 있다.

한편 폐기물 고형연료를 연소하는 보일러 설비는 석탄 연소 보일러 설비에 비해 다음과 같은 주의점이 나타난다.

- 연료의 원료가 폐기물이므로 유해물질을 함유할 우려가 높다. 잘 알려진 PVC 이외에도 할로겐화합물, 중금속 등이 포함되어 연소후 대기중에 배출될 가능성이 있어 후처리설비에 주의가 필요하다.

- 연소중 발생하는 산성가스는 주로 철재인 보일러 재료에 고온 부식을 일으키게 되어³⁾ 보일러의 수명을 단축시키고 때로는 열교환기 국부부식을 촉진시켜 폭발사고 등을 일으킨다. 이때 고온부식에 가장 취약한 과열기의 보호가 가장 중요한 문제이다.

- 석탄 배연 중 중요한 성분은 SOx, NOx 등이나 폐기물 고형연료에 있어 심각한 성분은 HCl과 dioxine일 것이다⁴⁾. HCl은 석회석의 연소로 주입과 같은 노내 제거로 탈황제거와 동시에 제거가 되나 약 제거율은 70% 정도로 알려져 있다.

Table 1에 보일러 설계사양을 나타내었다.

Table 1 Design specifications

Capacity, MWth	6.2
Boiler type	Natural circulation
Steam rate, ton/h	8
Final steam pressure, atm	38
Final steam temperature, ℃	450
Feed water, ℃	150
Boiler efficiency, %	83
Fuel specification	RDF
Moisture	6.7
Volatile	69.2
Ash	16.2
Fixed carbon	7.9
S	-
HCl	1
연료사용량, kg/h	1000
발열량, kcal/kg	5000
SO2 (2 12% O2)	30
Nox	70
HCl	20
Dust	20

Table 1에 나타난 배출기준은 2007년 개정된 대기환경 보전법 상의 수치이다⁵⁾.

Fig. 1과 같이 보일러는 기체흐름 방향으로 순환 유동층 연소로 - 사이클론-대류전열부-SDR(semi dry reactor) - bag filter- 활성탄 scrubber - stack으로 구성되었다.

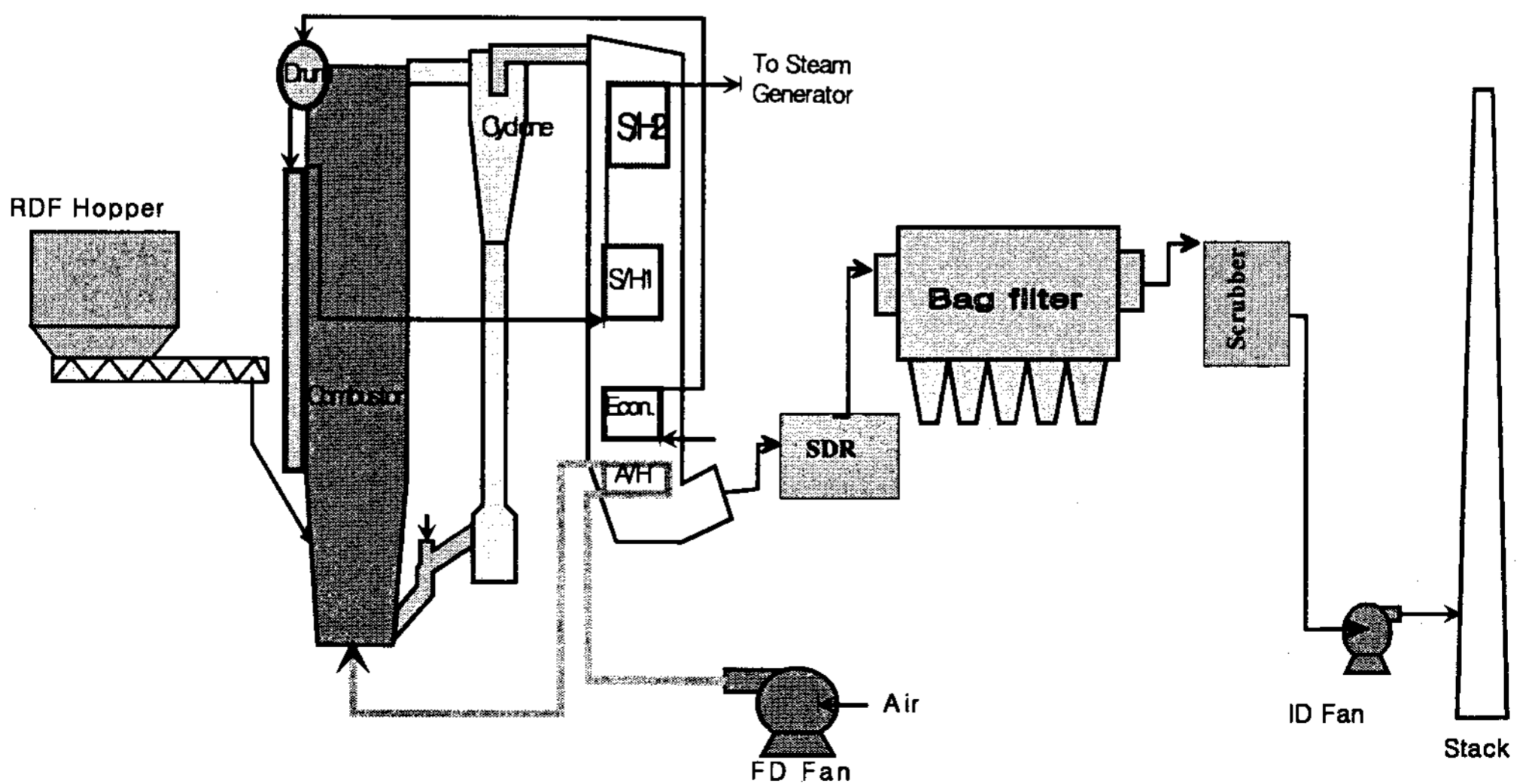


Fig. 1. Flow diagram of CFBC for RDF

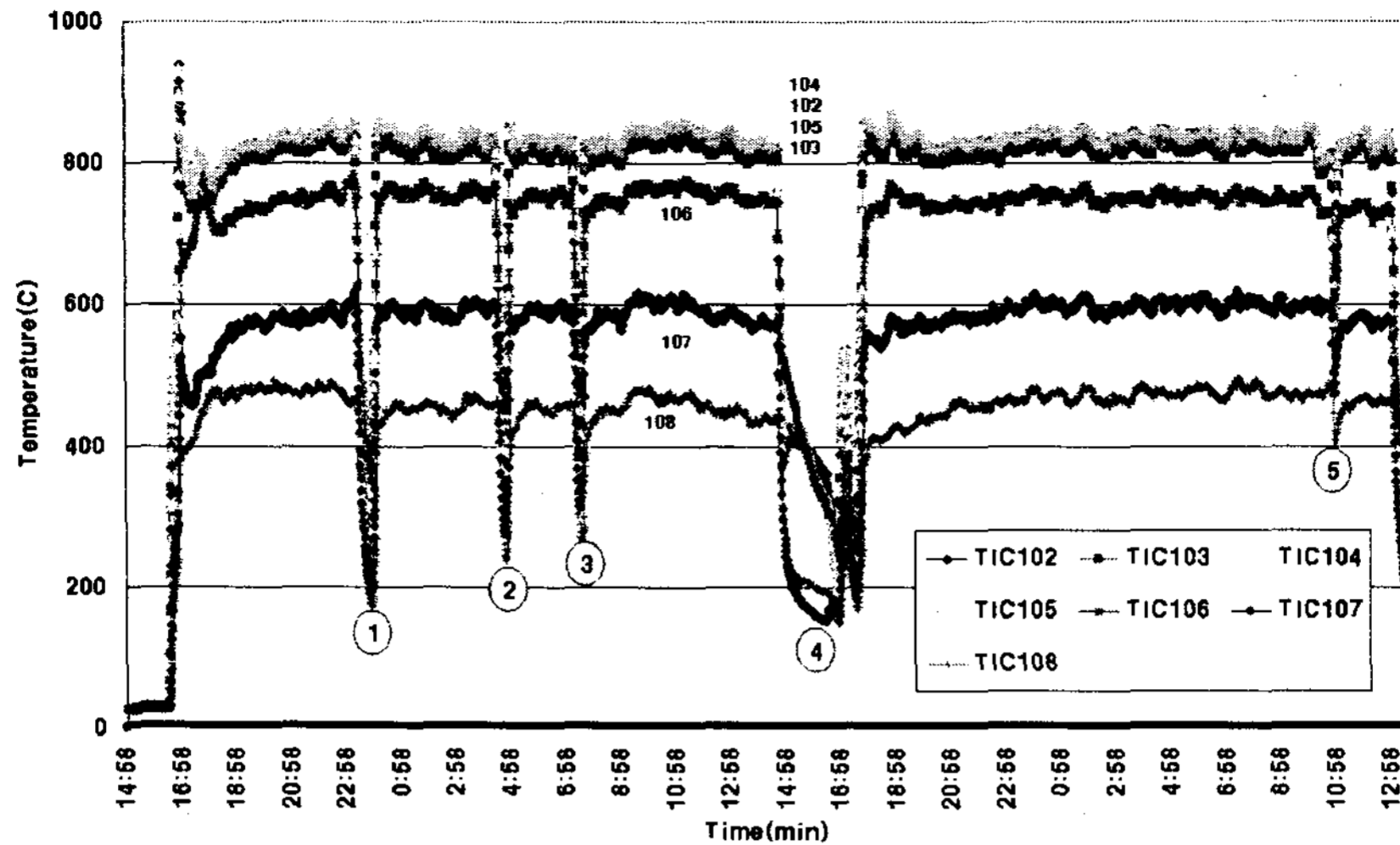


Fig 2. Temperature variation during 24hour operation(D-RPF 2006/11/22)

Table 2에 보일러의 물질 수지를 나타내었다.

3. 운전시험

Table 2 Designed boiler mass balance

	atm	℃	MWth	kg/h
Environment		40		
Feed water	45.0	150	1.4	8,000
Eco out	44.8	240		
Sat. steam	42.0	254		
SH1 out	41.0	440		
SH2 in	39.0	405		233
Steam	38.00	450	7.6	8,233
Heat Input			7.7	
Heat output			6.2	
Fuel				1,167
Limestone				120
Air				12,140
Flue Gas				13,373
Bottom ash				54
Bag ash				217

운전은 FD fan을 이용하여 초기 유동화를 시작하여 정상상태를 유지한 후, 경유버너를 사용하여 발화가 500℃ 부근에서 연료를 투입하였다.

초기 운전 시 연료의 질적인 문제(불규칙적인 조대 연료, 섬유물질, 금속성물질 등), 연료 공급 Feed의 Jam 발생 및 보일러 운전 미숙으로 인한 복합적인 문제로 운전이 어려움이 많았다.

연소시험에는 K사의 성형 RDF(K-RDF)와 D사의 미성형 RPF(D-RPF) 두 가지를 사용하였다.

Fig. 2는 D-RPF를 1000kg/hr로 공급하였으며, 그래프에서 ①, ②, ③은 Feed가 막혀 제거 후 재가동 하였으며, ⑤는 연료 Hopper에 Hole이 생겨

잠시 연료투입이 중단되어 빠른 조치 후 재가동 하였다. ④는 ID팬 과부화로 작동이 중단되어 보일러를 일시적으로 중단하였다가 조치 후 재가동 하였다. Feed Jam 현상은 미성형 RDF의 연소에서는 빈번하게 발생하였으며, 부정형의 sheet상 RPF로 인한 feeder 막힘이 주 현상이었다. 한편, RPF는 주성분이 플라스틱이어서 연소성은 매우 뛰어났다. 운전 시 발생하는 비산회를 채취하여 공업 분석을 실시한 결과 고정탄소분이 0.4-2.7%로 분석되어 비산회중 미연분이 거의 없이 연소된 것을 확인 할 수 있었다.

미성형 RDF의 연소에서 나타나는 또 하나의 문제점은 이물질로 주로 철사, 생활폐기물 배출 중에 혼합된 숟가락 등, 가정용 철제품 등이 혼재하여 연소로 하부에 침적하였다.

연소로 하부 압력은 일정한 frequency로 진동을 하나 연소로 하부에 이물질이 쌓여 층물질의 유동이 방해될 때는 보일러 운전 중 하부의 압력이 증가하였다. 이는 연료 내에 존재하는 유리류 또는 900℃ 이상에서 녹기 쉬운 입자들이 뭉쳐서 작은 알갱이를 형성하여 쌓인 것으로 판단되며, 운전 중 압력을 확인하면서 배출하였다. D-RPF 연료 내에 존재하는 쇠조각들이 보일러 하부 노즐에 끼어 유동화가 잘 이루어 지지 않아 연소로 하부 압력계의 음직임이 지속적으로 둔화되었다.

Fig. 3.는 K사의 성형 RDF를 사용하여 연소시험을 한 경우이다. 그림에서 초기 점화 미숙으로 일부 지체한 것 이외에는 탁월한 연소 안정성을 나타내었다. 20여 시간의 연속운전 동안 각 부분의 온도는 매우 안정적이었으며 부하변동에도 안정적으로 대응하였다. 연료량 변화에 따른 온도변화가 나타났으며 운전시간 내내 400℃의 일정한 증기를 생산하였다.

폐기물 연료임을 감안하여 충분한 연소 효과를 얻기 위해 출구 산소농도 8% 정도에서 운전하였다. 초기에 연소로의 출구온도가 낮게 조절된 경우에는 CO농도가 높게 나타났으나 연소로 출구 온도를

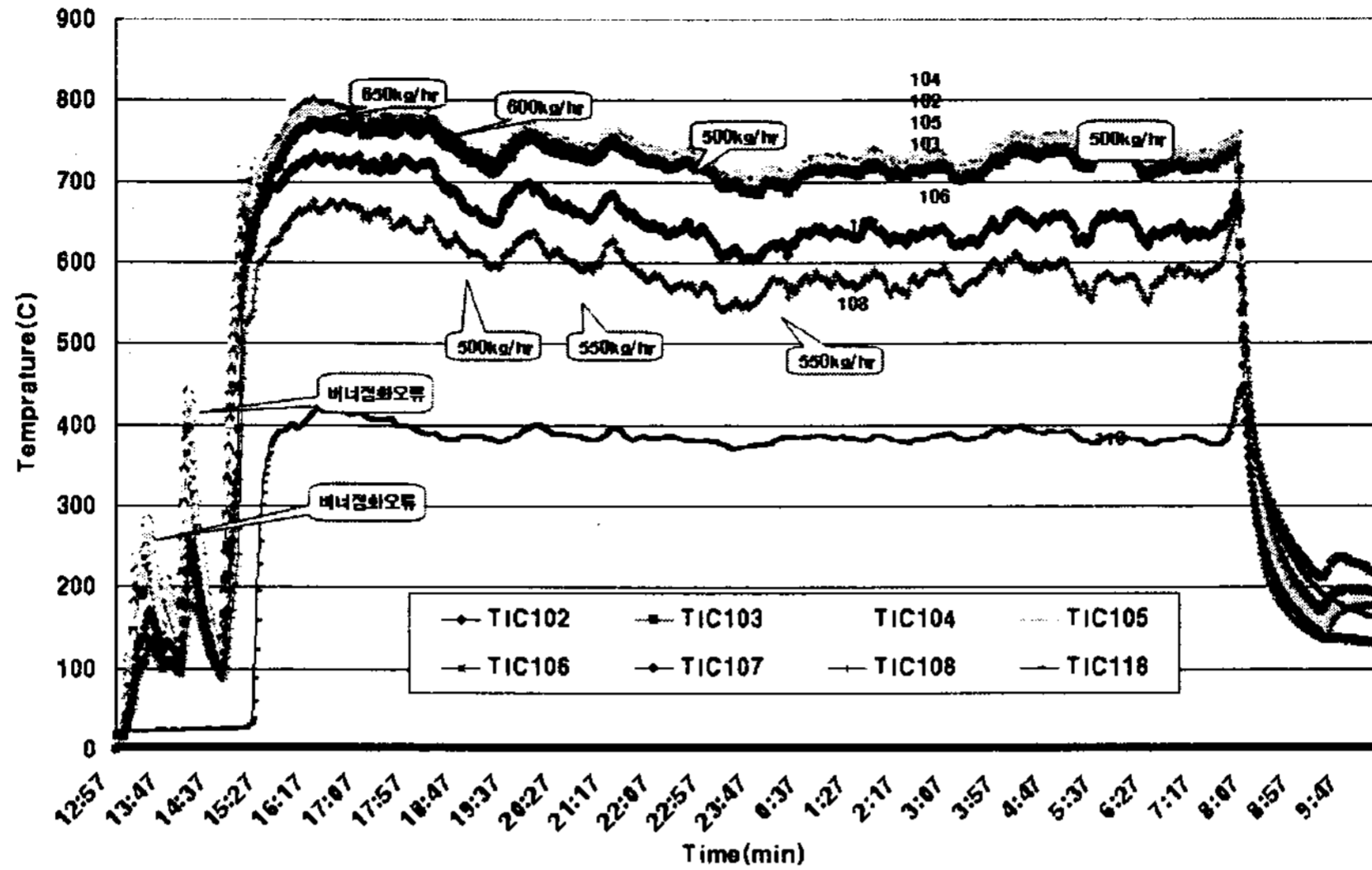


Fig 3. Temperature variation during 24hour operation(K-RDF 2007/3/28)

800℃까지 상승 시킨 후에는 수십ppm 단위로 낮아졌다. 별도의 공기 분급을 하지 않은 상태에서 Nox는 항상 100ppm미만 SOx는 70ppm 미만을 나타내었다. K-RDF의 경우 HCl은 500ppm, D-RPF의 경우 300ppm을 나타내었다. 연돌로 배출하기 전에 scrubber를 사용하여 모두 10ppm미만으로 제어하였다.

4. 결론

- 연소의 안정성은 연료의 상태에 크게 좌우되었다. 미성형 RPF의 경우 연료의 부정형 특성과 이물질로 말미암아 빈번한 운전 중단을 일으켰다. 반면 성형 RDF는 운전상의 문제는 일으키지 않았다.

- 기동은 외부 duct 버너를 이용하여 단시간에 정상 상태에 도달하였으며 1회 시운전을 72시간까지 지속하였다.

- 보일러의 운전특성은 안정적이었으며 이를 기본으로 하는 상용 보일러의 설계가 가능하다고 결론지었다⁶⁾

후 기

본 연구는 산업자원부 신재생에너지 기술개발 사업의 일환으로 에너지 관리공단으로부터 연구비 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- [1] 환경부, "자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙 일부개정령" 환경부령 제220호, (2006).
- [2] 최연석, 김우현, 노선아, 최동석, 김영재, "가연성폐기물 고형연료(RDF) 경제성 분석 및 제조도입에 관한연구, 한국기계연구원 보고서 164pp., 2005.
- [3] La Nauze, von R.D., Minchener, A.J., Rogers, E., "High temperature corrosion in fluidized bed combustors," VDI-Berichte, 322, pp. 121-129 (1978).
- [4] Tagashira, K., Torii, I., Myouyou, K., Takeda, K., Mizuko, T., and Tokushita, Y., "Combustion characteristics and dioxine behavior of waste fired CFB," chemical Engineering Science 54, 5599-5607, 1999.
- [5] 환경부, 대기환경보전법시행규칙개정령(2007년1월공포)
- [6] 선도원, 배달희, 진경태, 이창근, 박재현, 조성호, 유호정, 이승용, "RDF 연소 순환유동층 열병합 발전시스템 개발," 한국에너지기술연구원 보고서 215pp. (2007).