

석탄화력발전소에서 폐플라스틱고형연료(RPF)의 혼소 연구

최 연석¹⁾

Co-combustion of RPF in the Coal Power plant

Yeonseok Choi

Key words : Refuse-Plastic Fuel(폐플라스틱 고형연료), Coal power plant(석탄화력발전소), CFBC(순환유동층 보일러), Co-combustion(혼합연소), Flue gas(배연가스), Dioxine(다이옥신)

Abstract : The co-combustion of coal and RPF(Refuse Plastic Fuel) mixture has been experimented in a commercially operating CFB coal boiler and the emissions such as SO_x, NO_x, TSP and dioxine were measured at the stack. The experimented RPF was supplied by domestic RPF company that is commercially producing RPF pellet from the wasted plastics. Up to 15% of total coal was substituted to RPF and no trouble was happened during normal boiler operation. SO_x and NO_x concentration was reduced about 15~20% and TSP(Total Suspended Particle) was drastically reduced about 30% during co-combustion. Dioxine concentration at mixing ratio of 7.5% was 0.0487ng-TEQ/Sm³ (O₂, 12%) that satisfied governmental emission regulation.

1. 서 론

현재 국내에서 대부분 매립 또는 소각처리하고 있는 생활폐기물 및 사업장폐기물 중에는 발열량이 높은 플라스틱, 종이와 같은 가연성폐기물이 많이 포함되어 있음에도 불구하고 유효한 에너지자원으로 활용되지 못하는 경우가 많다. 생활폐기물의 경우 소각율이 15%정도이며 그 중에서 대형소각로 일부를 제외하면 소각 폐열이 활용되는 경우는 많지 않다. 화석연료의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리나라는 국가의 산업경쟁력 제고 측면에서 신재생에너지(대체에너지)의 확보가 필수적이며 여러 종류의 신재생에너지 중에서 폐기물에너지가 많은 부분을 감당해야 한다. 생물학적 분해가 가능한 여러 폐기물(bio-degradable municipal solid waste)의 에너지재활용은 국제에너지기구(IEA)에서도 신재생에너지로 인정을 하고 있으므로 지구환경문제, 귀중한 폐자원의 효율적 이용 및 신재생에너지 개발측면에서 폐기물의 연료화가 중요하다.

최근에 다수의 선진국에서는 가연성폐기물고형연료(이하, RDF)에 관한 품질표준을 정하고 있고 유럽에서는 국가 간에 RDF의 교역량이 매년 증가하고 있으며 각종 관련제도의 개선을 통하여 RDF를 활용한 폐기물에너지의 회수에 많은 노력을 기울이고 있다.¹⁾ 우리나라도 현재 환경부가 시설비를 보조하여 건설한 생활폐기물RDF제조가 상용운전을 하고 있으며 2003년에는 폐플라스틱

고형연료(RPF) 품질기준을 제정하였고, 2006년 11월에는 생활폐기물을 원료로 하는 RDF에 대해서도 품질규격을 법제화하였다.²⁾ 한편 산업자원부에서도 신재생에너지로서 RDF의 중요성을 인식하고 RDF제조·연소기술 개발 및 RDF 관련 품질기준 및 연소시설 표준화 등에 관한 연구사업을 오랫동안 수행해 왔고 현재에도 RDF발전기술 개발 등을 진행하고 있다. 국가 신재생에너지 개발 계획의 내용을 보면 태양력, 풍력, 수소연료전지 등 11개의 신재생에너지원 중에서 폐기물에너지가 2011년도 목표치인 5%의 57%를 담당하는 것으로 되어있어서 폐기물에너지 회수목표의 달성여부가 국내 신재생에너지 정책의 성공여부와 직결되어 있다고 할 수 있다.

RDF는 신재생에너지 확보 측면에서도 중요하지만 환경적으로도 유리한 면이 많은 것으로 알려져 있다. RDF는 연소 시 다이옥신 배출농도가 소각에 비해서 적은 것으로 알려져 있는데 외국의 실험결과 70kg/hr 소규모 유동층소각로에서도 RDF를 연소했을 때 다이옥신농도가 0.2ng-TEQ/Nm³ 정도로 낮게 나타났다.³⁾ 그 이유는 폐기물 소각 시 다이옥신이 생성되는 De-novo 합성과정에서 중요한 원인이 되는 촉매제인 철 및 구리 등의 금속이 RDF에서는 제거되고 또한 경우에 따

1) 한국기계연구원 환경에너지연구본부
E-mail : yschoi@kimm.re.kr
Tel : (042)868-7344 Fax : (042)868-7284

라 염소를 중화하는 알칼리를 첨가하기도 하며 아울러 고온의 안정적인 연소가 가능하기 때문인 것으로 분석되었다.

소각로는 가동을 시작하거나 중지할 때 저온 구간을 지나면서 다이옥신이 다량 발생하는 것으로 알려져 있는데 중소지자체에서는 주로 설치되는 중소형 소각로는 매일 소각로 가동과 중지를 반복하는 문제가 있다. 이를 해결하는 방법으로 외국에서는 중소지자체에서 폐기물을 RDF로 만들고 이것을 대형 발전소나 시멘트 공장에서 모아서 연료로 사용하는 방법으로 광역화처리를 해서 비연속식 중소형소각로의 다이옥신 문제를 해결하고 있다. 이 외에 RDF는 수분이 적기 때문에 완전연소가 용이하고 따라서 일산화탄소와 같은 유해가스의 발생량도 감소한다. 따라서 폐기물 에너지의 환경친화적 회수를 위해서는 대형소각로의 폐열을 활용하는 방안을 더욱 적극적으로 추진함과 동시에 중소지자체의 중소형소각로는 RDF 시설로 대체하는 방안이 매우 유력하다.

한편, RDF생산을 활성화하기 위해서는 RDF를 사용하는 시설을 충분히 확보하는 것이 매우 중요한 과제이다. RDF수요처는 기존 상업운전 중인 발전소, 시멘트소성로 등을 이용하는 방법과 운반거리가 먼 곳은 RDF전용발전소 등을 건설하는 방안이 필요하다.

본 연구는 국내에서 생산되는 폐플라스틱고형연료(RPF; Refuse Plastic Fuel)를 상업운전을 하고 있는 석탄화력발전소에서 혼소를 하면서 그 때의 배가스 농도를 고찰하고 다이옥신도 측정하여 환경성을 평가하였다.

2. 실험 장치 및 시료

2.1 폐플라스틱고형연료(RPF) 현황

정부는 2002년경부터 폐기물재활용 향상을 위해서 생산자책임 재활용제도(EPR)를 실시하였고 그에 따라서 2003년 8월에 폐플라스틱 재활용을 향상을 위하여 폐플라스틱 고형연료제품의 품질기준·사용처 등에 관한 기준' (환경부고시 제 2003-127호)을 고시하였다. 동 제도에 따라서 많은 RPF생산업체가 생겨났고 2006년에는 33,000톤의 EPR-RPF가 생산되었다. RPF생산시설은 업체별로 기술수준의 차이가 매우 큰 편이며 펠렛형으로 만드는 업체는 2-3 곳에 불과하고 많은 업체가 가열용융하여 부정형으로 성형을 하고 있다. 가열용융방법을 사용하는 업체는 가열시 PVC 등이 열분해되면서 HCl 등이 배출되어 공해를 유발하는 문제가 제기되고 있다. 이 외에 비 EPR-RPF로서 미성형형태로 연간 약 8만톤 정도가 시멘트소성로에서 사용되고 있는 것으로 알려져있다.

다음 Fig.1은 국내에서 생산된 펠렛형RPF의 모습이며 직경 20mm, 길이 50mm 정도로 소형이고 밀도가 높아서 사용자가 선호하고 있는 제품이다. Fig.1의 RPF를 생산하는 업체의 RPF제조 공정은 투입->수선별->조대파쇄->자력선별->파쇄->분쇄->비철금속 선별->저장->석회첨가->성형->냉각->저장 순서로 구성되어 있다. 수선별 공정에서는 PVC를 제거하고 있으며 자력선별에서 철금속을 제거하고 파쇄 및 분쇄

공정을 거친 후 eddy current 장치에서 알루미늄과 구리를 제거한 다음 저장조에서 정량으로 성형기에 공급한다. 성형기는 Ring-dies 방식과 flat -dies 방식의 성형기를 동시에 사용하고 있다.

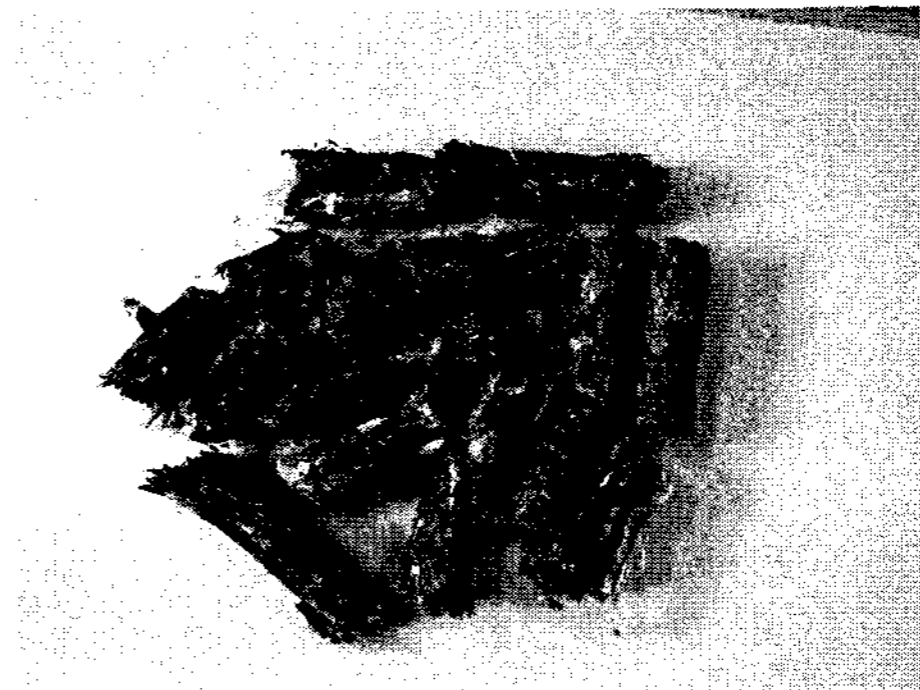


Fig.1 commercial RPF in KOREA

다음 Fig.2는 Ring-dies 방식 성형기의 모습이다.

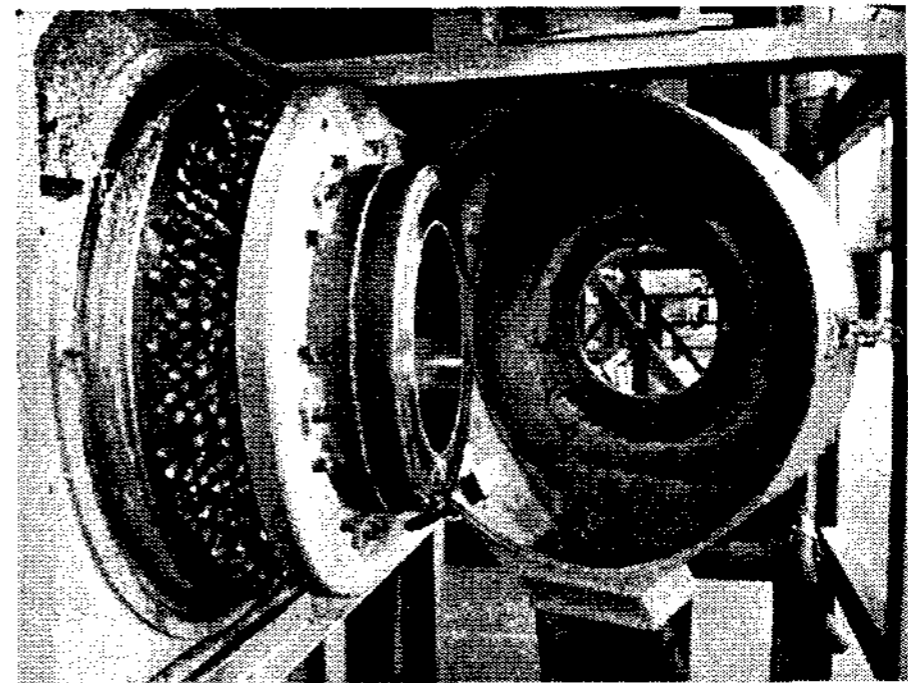


Fig.2 Ring-dies type pelletizer

국내에서 생산된 RPF는 시멘트회사, 제지회사 및 발전보일러에서 연료로 사용되고 있다. RPF생산 초기에는 RPF제조자가 운반비를 부담하면서 시멘트공장에 무료공급하였으나 최근에 Fig.1과 같은 양질의 RPF는 2만원/톤 이상의 가격으로 산업공단보일러업체에 유상판매되고 있다. 향후 국제석탄시장의 동향을 볼 때 석탄가격의 상승은 불가피할 것으로 판단되며 그로 인하여 화력발전소, 시멘트 공장이나 제지공장 등에서 RPF공급요청이 많아질 것이고 그에 따라서 양질의 RPF를 중심으로 정상적인 시장이 형성될 것으로 보인다.

2.2 실험용 RPF특성 분석

본 연구에서는 환경자원공사에서 품질인증을 받은 제품인 Fig.1의 RPF를 혼소실험에 사용하였다. 동 RPF는 직경 15mm와 길이 50~100mm 정도의 펠렛이고 소석회가 1~2% 첨가된 상태로서 균

일한 크기와 밀도를 가지므로 자동으로 연료를 공급하기에 매우 적합한 상태였다. 염소농도는 7,542~20,655 ppm wt.로 시료에 따라서 편차가 다소 큰 편이었으며 발열량은 약 7,500~8,000kcal/kg, 수분은 2% 이하, 회분은 5% 이하의 분석값을 보였다. RPF품질기준으로 보면 시험품의 등급은 발열량 기준으로는 '가' 균이고, 염소농도 기준으로는 평균 3등급에 해당하였다. RPF의 발열량이 일반 석탄보다 높으므로 발열량 측면에서는 매우 경제성이 좋은 양질의 연료이고, 회분도 석탄보다 적기 때문에 비산재나 바닥재의 발생량도 적어지는 장점도 있다.

2.3 혼소 실험 장치

전술한 바와 같은 품질인증RPF를 석탄화력발전소에서 석탄과 혼소하면서 배연가스 변화와 다이옥신 농도 등을 분석하였다. 석탄화력발전소는 B염색공단이 운영하는 상용 순환유동층화력발전소로서 석탄보일러의 구성은 Fig.4와 같으며 공해방지시설은 전기집진기만 있다.

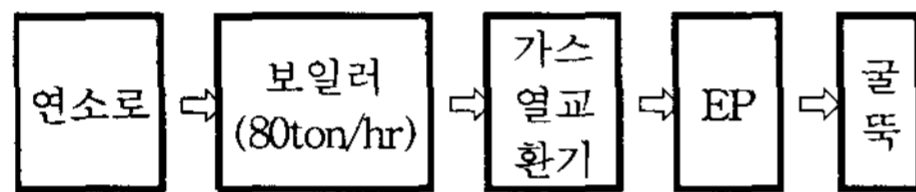


Fig. 3 Blockdiagram of BDIC Coal Powerplant

동 발전소의 용량과 구성은 다음과 같다.

- 용량 : 증기 80톤/시, 2기
- 방식 : 순환유동층
- 증기 조건 : 온도 480℃, 압력 85 kgf
- 터빈 : 19MW Max.
- 석탄 사용량 : 약 10톤/시/기
- 사용 석탄 : 중국 선화탄
- 방지시설 : 전기집진기
- 특징 : U-beam에 의한 유동사 순환

혼소실험 시 RPF펠렛 공급관을 석탄공급관에 연결하여 석탄과 함께 보일러로 투입되도록 하였다. 이 때 RPF에 의한 공급관의 막힘 현상은 전혀 없이 양호하게 이송이 되었고 아울러 공급량 조절도 매우 정확하게 할 수 있었다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig.4는 RPF를 총 석탄 사용량의 7.5%로 대체하여 혼소했을 때의 SOx 농도에 관한 TMS 그래프로서 수평직선은 석탄만 사용할 때의 SOx 농도를 나타낸 것이다. RPF가 혼소시 SOx 농도는 약 140~150ppmv 정도로 나타났고 석탄만 사용할 때보다 SOx 농도가 약 20% 정도 감소하였다. Fig.5는 동일한 조건에서 NOx 농도에 관한 TMS 그래프이며 농도가 약 180~200ppmv 정도로서 석탄만 사용할 때보다 약 15% 정도 감소하였다.

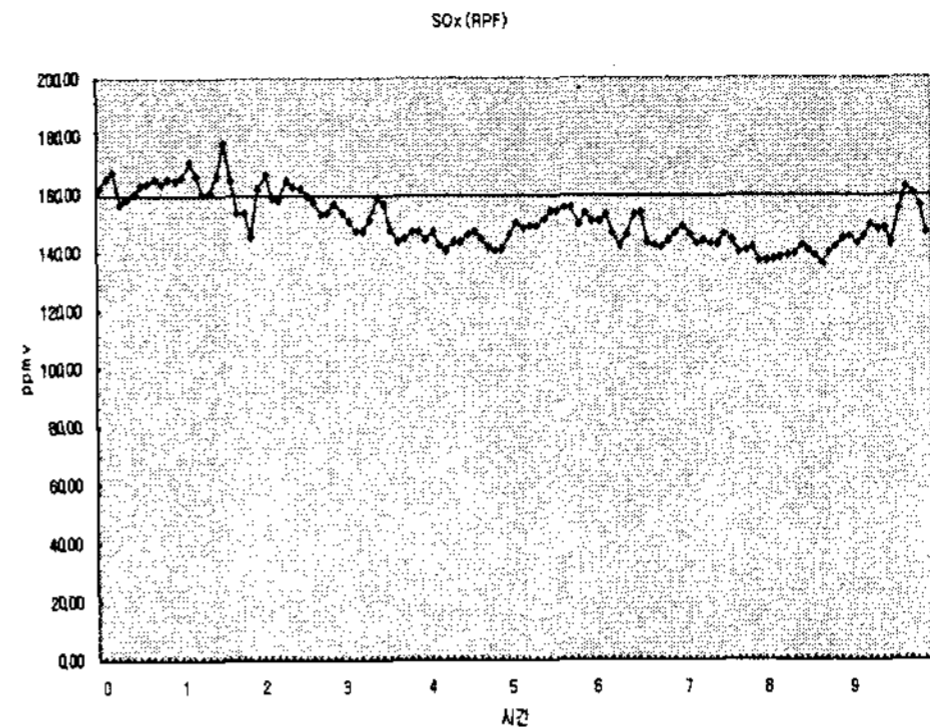


Fig.4 SOx concentration during co-combustion of RPF

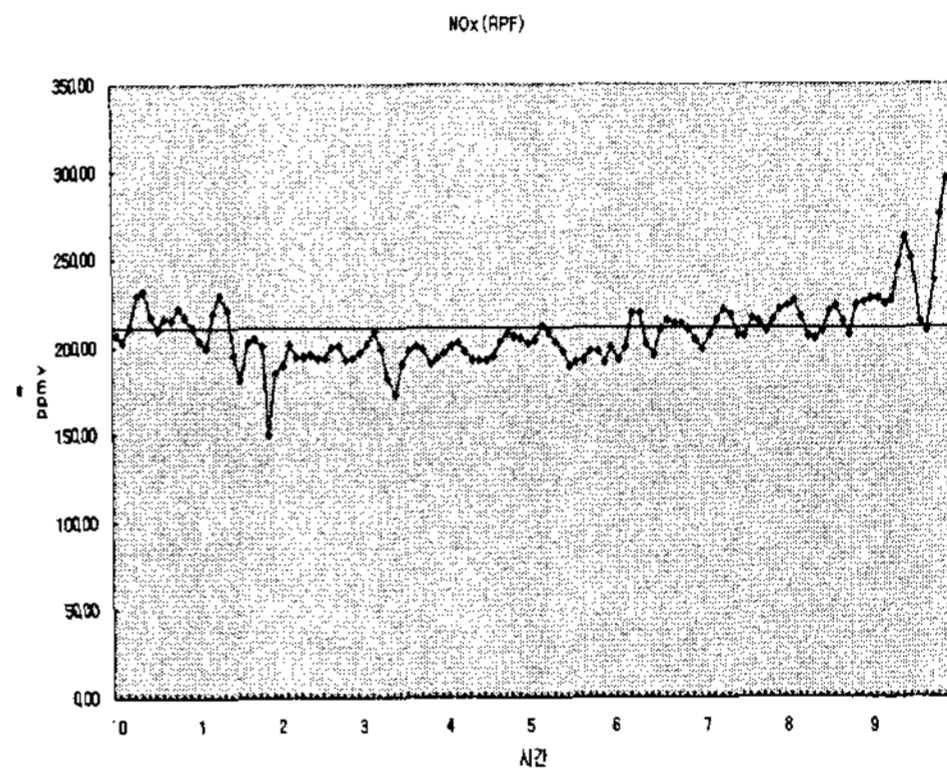


Fig.5 NOx concentration during co-combustion of RPF

Fig.6은 동일조건으로 혼소했을 때 기록된 TSP (Total Suspended Particulate) 농도에 관한 TMS 그래프로서 농도가 약 30 mg/Sm³ 정도로 나타났고, 석탄만 사용할 때보다 미세분진이 약 30% 정도 감소하였다. Fig. 7은 동일한 조건에서 O₂ 농도에 관한 TMS 그래프이며 약 7% 정도로 측정되었고 석탄만 사용할 때와 농도 차이가 없었다.

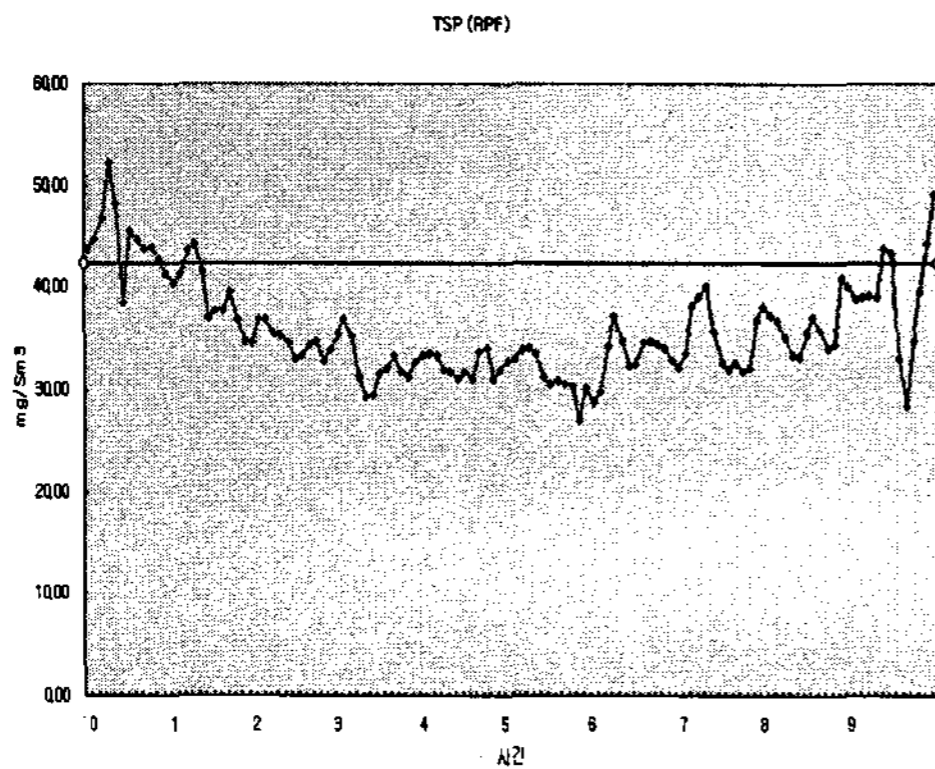


Fig.6 TSP concentration during co-combustion of RPF

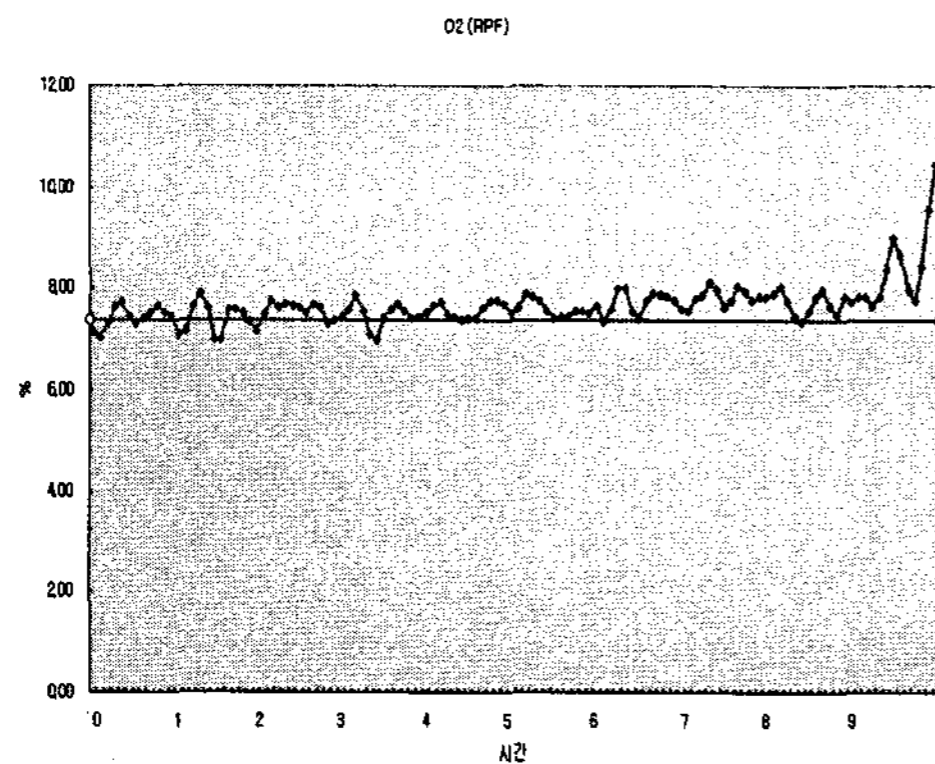


Fig.7 O₂ concentration during co-combustion of RPF

다음은 RPF를 혼소율 2.5% 및 7.5% 두 가지로 혼소하면서 그 때의 다이옥신 농도를 측정하였다.

2.5% 혼소시 사용한 RPF의 염소농도는 0.6%였고 그 때의 다이옥신은 0.0031ng-TEQ /Sm³ (O₂ 12%)로 측정되었다. 이 때 동시에 가스상 오염물질 16종(NH₃, CO, HCl, SO₂, NO₂, CS₂, HCHO, H₂S, F, HCN, Br, C₆H₆, C₆H₅OH, Hg, As)과 입자상 오염물질 8종(먼지, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, 매연)을 측정하였으며 결과는 모두 해당시설의 배출기준을 만족하였다.

7.5% 혼소시 사용한 RPF의 염소농도는 2.0%였고, 그 때의 다이옥신 농도는 0.0487 ng-TEQ/Sm³ (O₂ 12%)로 다소 높게 측정되었다. 이 결과는 앞의 실험과 비교해보면 혼소율은 3배 높아졌으나 다이옥신 농도는 16배 정도 높아진 것으로서, 그 이유는 RPF의 염소농도가 앞 실험에서 사용된 것보다 높았기 때문으로 판단된다. 그러나 이 경우에도 다이옥신 배출기준 0.1 ng-TEQ/ Sm³ 보다 적은 값으로 분석되었다.

4. 결론

상용운전을 하고 있는 순환유동층 석탄보일러에서 품질인증을 받은 폐플라스틱고형연료(RPF)를 혼소하면서 SO_x, NO_x, TSP 및 다이옥신을 측정하였다. RPF를 7.5% 혼소했을 때 SO_x는 20%, NO_x는 15% 및 TSP는 30% 감소하였다. 다이옥신도 2.5% 혼소 시 0.0031ng-TEQ/Sm³ (O₂ 12%), 7.5% 혼소 시 0.0487 ng-TEQ/ Sm³ (O₂ 12%)로서 배출기준보다 매우 낮게 측정되었다.

결론적으로 RPF는 우수한 석탄대체연료로 사용될 수 있는 것으로 판단되었다.

후기

본 연구는 에너지관리공단 신재생에너지센터에서 지원하는 신재생에너지기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 최연석, '가연성폐기물고형연료(RDF)의 경제성 분석 및 제도도입에 관한 연구' 수도권매립지관리공사 용역보고서 2006-10-003 -01
- [2] 환경부령 제 220호, 2006.11
- [3] 鍵谷 司, 'ごみ固形燃料利用におけるダイオキシン類の発生抑制について' 月刊廃棄物 1997-5