



소각로 운영조건에 따른 연소배가스 특성 연구

이견주[†]

상지대학교 환경공학과

(2009년 12월 7일 접수, 2010년 3월 19일 수정, 2010년 3월 22일 채택)

The study of combustion gas characteristic by incinerator operation condition.

Keon - Joo Lee[†]

Department of Environmental Engineering, SangJi University, Korea

ABSTRACT

This study was done to analyze the condition of combustion exhaust gas that is produced according to incinerator operating condition in A area Kyonggido. The boiler exhaust gas temperature, the oxygen concentration of boiler, the outgassing temperature of Semi Drying Sorber(SDS), the temperature of catalytic reactor, the concentration of NOx, SOx, CO, Hcl and Dust were investigated by change the temperature of incinerator. The concentration of SOx, CO, HCL and DUST were below 5 ppm as increase the temperature of incinerator however the concentration of NOx was increased from 40 ppm to 70 ppm as increase the temperature of incinerator. The boiler exhaust gas temperature and the temperature of catalytic reactor were not changed however the oxygen concentration of boiler was decreased gradually as increase the temperature of incinerator.

Keywords : Combustion gas, SDS, oxygen concentration, Selective catalytic Reactor

초록

본 연구는 경기도 A지역 자원회수시설에서 연소온도의 변화에 따른 NOx, SOx, CO, HCL, DUST의 발생변화와 보일러 배출가스 온도, 보일러 출구산소 농도, 반건식 반응탑 출구온도, 촉매탑온도, 배출가스 온도의 변화를 분석하

[†]Corresponding author : kjoolee@sangji.ac.kr

였다. SOx, CO, Hcl, DUST는 자원회수시설 내의 연소온도가 상승함에 따라 거의 5 ppm 미만의 일정한 값을 유지한 반면 NOx는 40 ppm에서 70 ppm으로 증가하는 추세였다. 한편 보일러 배출가스 온도와 촉매탑 온도는 일정치를 유지하였으나 보일러 출구의 산소농도는 조금씩 감소하는 결과를 나타 내었다.

핵심용어 : 연소가스, 반건식반응기, 산소농도, 촉매반응기

1. 서 론

폐기물처리에 있어서 소각처리는 급격하게 증가하는 폐기물의 감량화, 감용화, 무해화라는 장점과 함께 국토면적이 협소한 국내 여건상 매립지 확보의 어려움을 해결하기 위한 대안으로 주목받고 있으며 국가에서도 폐기물 소각처리 비율을 20%까지 높이려는 계획이 폐기물종합관리 계획을 통하여 수립되고 있다.

소각장 시설은 분리수거를 통한 자원 재활용과 감량화 및 위생적 처리를 통하여 매립지 확보난을 해소하고, 폐열을 이용한 에너지 절감 수립, 또한 점점 심각해지는 도시 환경 오염을 감소시키고, 보다 쾌적한 주거 환경을 마련하고자 하는데 목적이 있다. 현재 국내에서 가동, 운영중인 소각시설은 12,338개이며, 이중 사업장폐기물 소각시설이 전체의 약 68%를, 생활폐기물 소각시설이 전체의 약 32%를 차지하고 있으며 규모별로 보면 중·소형소각시설이 전체의 90% 이상을 차지하고 있다¹⁰⁾. 폐기물의 소각에 의한 처리의존도가 높아질수록 그리고 대기오염물질의 배출규제가 강화될수록 소각설비를 보유하고 운영하는 업체들에 대하여 앞으로 계속 주목의 대상이 될 것이며 보완해야 할 많은 문제점들의 지적과 규제를 가할 것이다. 그러므로 소각시설의 적절한 운전방법과 관리기술에 대한 적극적인 대응과 기술적·정책적으로도 적절한 관리 및 운영방안이 마련되어야 할 것이다. 본 내용은 이러한 방안을 도모하기 전에 자원회수시설 운영조건에 따라 배기가스의 농도변화를 파악하고자 한다.

2. 측정 및 분석방법

2.1 실험에 이용한 소각공정

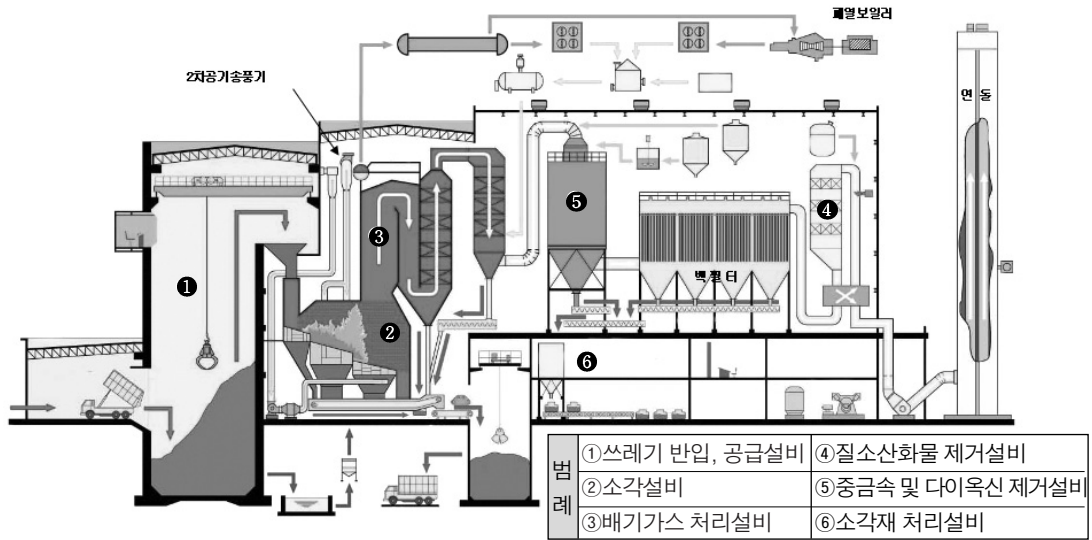
폐기물 자원회수시설은 폐기물반입설비, 소각설비, 에너지회수설비, 다이옥신 및 중금속등 유해가스제거설비 그리고 소각재처리설비 등으로 이루어져있으며 공정은 [Fig 1] 에 나타내었다^{11), 2)}. 쓰레기 투입호퍼를 통하여 공급된 쓰레기는 쓰레기 투입피더에 의해 화격자로 이송되고, 화격자의 구동에 의하여 건조, 연소 및 후연소의 과정을 거쳐 연소된 재는 재추출장치로 낙하되며, 연소과정에서 생성된 가스는 연소가스 냉각설비(폐열보일러)쪽으로 배출된다.

연소실 내부는 경사도 0°의 수평 왕복동식 단층 반전 화격자로서 고정화격자 전, 후단에 설치되는 이동화격자간의 서로 반대방향으로의 전, 후진 왕복운동 및 고정화격자와 이동화격자간의 상대운동에 의해 쓰레기를 균일하게 혼합시키고 이송시킴으로써 쓰레기를 완전연소시키도록 한다. 아울러 화격자간의 틈새를 작게 유지하여 연소공기에 대하여 높은 압력손실을 갖도록 함으로써 전체 화격자폭에 대하여 균일한 연소공기의 분산효과를 주어 쓰레기층 두께와 쓰레기 질이 균일하지 않을 때의 영향을 최소화 하도록 설계되어 있다.

쓰레기 소각처리시설의 배출가스 내에는 염화수소, 황산화물, 질소 산화물, 분진 및 다이옥신 등과 같은 대기오염 물질이 포함되어 방출되므로 이 같은 대기오염 물질에 대한 방지설비가 아래와 같이 설계되었다.

유해가스처리설비는 다음과 같은 처리계통으로 이루어 진다^{3), 4)}.

- ① 폐열보일러에서 냉각된 연소가스는 유해가스 처리설비로 보내진다.
- ② 연소가스는 반건식 반응탑으로 유입되어 가성소다와 소석회 슬러리에 의해 유해물질을 염의 상



[Fig. 1] The process diagram of incinerator system.

태로 제거한다.

- ③ 연소가스는 세정탑 및 반건식 반응탑에서 유해물질이 제거된 후 백필터로 보내져 백표면센서 추가로 반응을 하면서 염화수소와 황산화물의 배출치를 규제치 이하로 유지하게 된다.
- ④ 백필터를 통과한 연소가스는 가열과정을 거친 후 질소산화물 제거설비를 거치면서 질소산화물의 배출치를 규제치 이하로 만족 시킨다.
- ⑤ 황성탄 분말은 백필터의 입구덕트에 분사하여 다이옥신 및 중금속을 흡착한 후 백필터에서 포집, 제거된다.

산성가스 중 용해성이 작은 질소산화물(NO, NO₂)과 다이옥신류를 특수재질의 촉매반응에 의해 환원 제거하는 방법으로서, 다음과 같은 반응에 의해서 질소산화물과 다이옥신이 제거된다. 성능은 SCR에서의 공탑 속도, 운전온도, 촉매재질과 암모니아 주입비에 달려 있다. 촉매반응기 촉매성분은 TiO₂, WO₃, V₂O₅ 등이며 운전온도는 200~300℃ 등을 유지하여야 한다. 촉매반응기의 장점은 다이옥신 및 질소산화물 제거를 동시에 할수 있다는 것이며 단점으로는 설치 및 운전비용이 고가이며 운전온도 조절을 위한 재가열이 필요하며 암모니아 누출 가능성이 있다는 것이다.

2.2 측정 인자의 분석방법

자원회수시설 주변지역의 대기질 농도측정은 환경정책기본법시행령 별표 1호 규정과 대기오염공정시험법에 의거하여 현장에서의 시료채취와 분석을 실시하였다. 시료채취 및 항목별 분석방법은 다음과 같다^{5),6)}.

SO_x 와 NO_x 는 Handy Air Sampler(Lamotte, USA)와 Spectrophotometer를 이용하여 24 시간 측정하였으며 황산화물은 파라로자닐린법을 이용하여 분석하였으며 질소산화물은 야콥스호호하이저법을 이용하여 분석하였다.

일산화탄소는 일산화탄소 자동측정기(Green line, italy)를 사용하였으며 일산화탄소의 적외선 영역에서 광흡수를 이용하여 공기중 CO농도를 비분산형 적외선 가스분석계로 측정 분석 하였다.

미세먼지는 High Volume Air Sampler,와 Minivol Portable Sampler(Air matrices, USA)를 이용하여 24 시간 측정 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

연소실내 온도별 연돌 배기가스의 분석결과는 [Fig. 2]와 같이 나타났다. [Fig. 2]에서는 소각로 내의 온도

변화에 따른 질소산화물, 황산화물, 염화수소, 일산화탄소 그리고 분진 농도등의 변화를 나타낸 것이다. 노내 온도 변화에 따라 황산화물, 염화수소, 일산화탄소 그리고 분진 농도는 일정한 값을 유지하고 있었으며 다만 질소 산화물의 농도는 온도가 증가함에 따라 농도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 연소온도가 증가함에 따른 thermal NOx가 증가함으로써 나타나는 것으로 사료된다. 일반적으로 노내온도 900 °C 이상에서는 황산화물, 염화수소, 일산화탄소 등의 유해가스 물질 농도가 환경기준치 이내로 만족함을 보였다.⁷⁾⁻⁹⁾

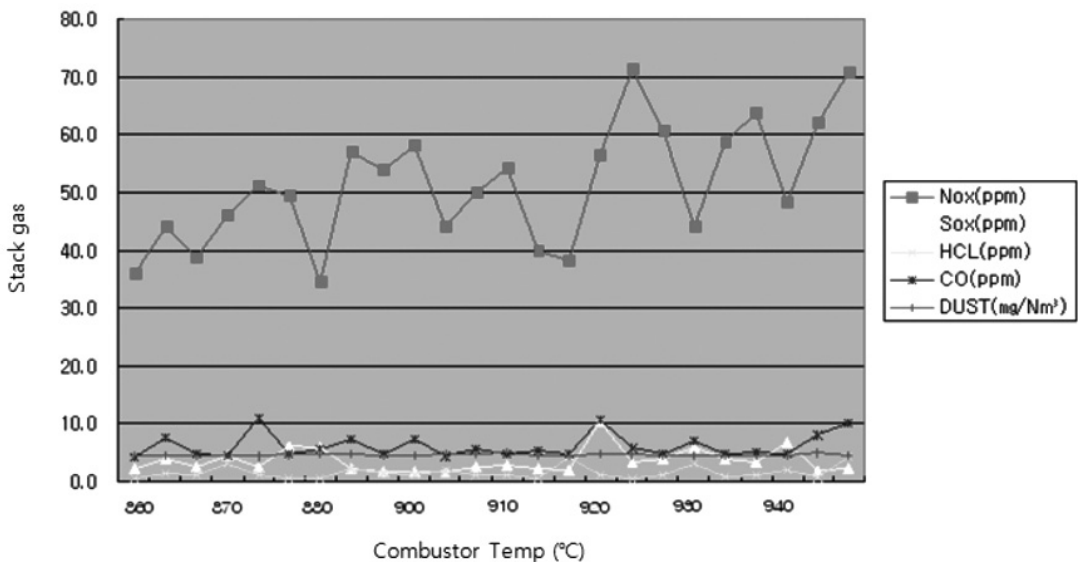
노내 온도 변화에 따른 보일러 출구온도, 보일러출구산소농도, 반건식 반응탑 출구온도, 촉매반응기 온도 그리고 굴뚝 배출가스온도 등에 대한 결과를 [Table 1]에 나타내었다. 일반적으로 노내온도 900 °C에서는 보일러출구 산소농도가 평균적으로 6 ppm을 보이며 촉매반응기 출구온도는 205 °C이며 굴뚝으로 배출되는 온도는 200 °C 정도를 나타내는 것으로 보인다. 보일러 배출 산소농도가 6 ppm 일 때 연소실의 온도가 평균 907 °C 정도를 유지하였으며 연소효율과 보일러 배출 산소농도는 서로 밀접한 관계를 보이는 것으로

사료된다.

평균적으로 노내온도가 907.°C 를 유지하면 보일러 배출가스온도는 236.3°C 이며 그때 보일러 출구의산소농도는 6 ppm 이며 반건식 반응기와 촉매반응기의 출구온도는 각각 158.8°C와 205.4°C를 나타내었다. 굴뚝으로 배출되는 가스의 평균온도는 200.7°C를 나타내었다.

[Fig. 3]은 자원회수시설내 온도와 보일러 온도와의 관계를 그래프로 나타낸 것으로 보일러 배출가스온도는 최저 228.4°C, 최고 241.8°C 평균 236.3°C로 노내 온도에 상승에 대해 비교적 일정한 값을 유지하고 있다. 연소효율을 높이기위해서는 연소실 내의 온도가 일정하게 유지되어야하며 보일러배출가스 또한 열회수설비의 안정을 위하여 매우 중요하다. 향후 폐기물 자원회수시설을 이용하여 폐열을 회수할 경우에는 폐기물의 발열량과 연소효율을 비교하여 충분한 보일러의 열회수계획을 유지하여야한다¹⁾.

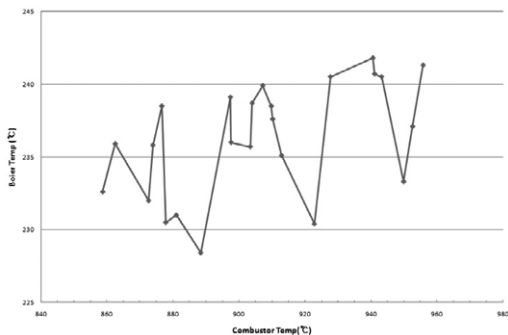
[Fig. 4]는 자원회수시설내 온도와 보일러 출구 산소농도와의 관계를 나타낸 것으로 보일러 출구산소농도는 최저 3.5ppm, 최고 8.8ppm, 평균 6ppm으로 노내온



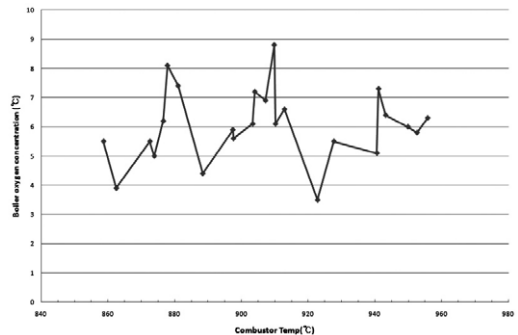
[Fig. 2] The analysis of stack gas for incinerator temperature.

[Table 1] The Temperature of Unit Equipment for Incinerator Temperature

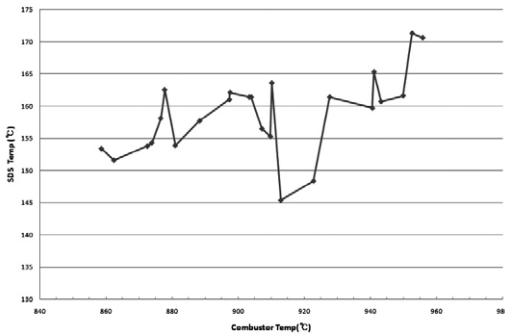
Temp of unit equipment	temperature of combustor (°C)	gas temp of boiler (°C)	Oxygen conc of boiler(ppm)	temperature of SDS (°C)	temperature of SCR (°C)	stack gas temperature (°C)
Temperature status	858.7	232.6	5.5	153.4	204.8	199.0
	862.5	235.9	3.9	151.6	205.4	199.3
	872.6	232.0	5.5	153.8	206.3	199.6
	873.9	235.8	5.0	154.3	205.8	199.6
	876.6	238.5	6.2	158.1	205.9	199.6
	877.8	230.5	8.1	162.5	207.7	200.2
	881.0	231.0	7.4	153.9	205.5	200.2
	888.4	228.4	4.4	157.7	207.8	200.2
	897.4	239.1	5.9	161.0	205.5	200.4
	897.6	236.0	5.6	162.1	204.8	200.6
	903.4	235.7	6.1	161.4	205.3	200.6
	904.0	238.7	7.2	161.4	204.5	200.6
	907.2	239.9	6.9	156.5	205.0	200.7
	909.8	238.5	8.8	155.3	205.3	200.7
	910.2	237.6	6.1	163.6	204.6	200.7
	912.9	235.1	6.6	145.4	205.2	200.7
	922.8	230.4	3.5	148.4	204.8	201.0
	927.7	240.5	5.5	161.4	205.3	201.0
	940.6	241.8	5.1	159.7	204.9	201.7
	941.1	240.7	7.3	165.3	204.9	201.9
	943.2	240.5	6.4	160.7	205.5	201.9
949.9	233.3	6.0	161.6	205.4	201.9	
952.6	237.1	5.8	171.3	204.9	201.9	
955.8	241.3	6.3	170.6	205.6	202.3	
M I N	858.7	228.4	3.5	145.4	204.5	199.0
M A X	955.8	241.8	8.8	171.3	207.8	202.3
A V R	907.0	236.3	6.0	158.8	205.4	200.7



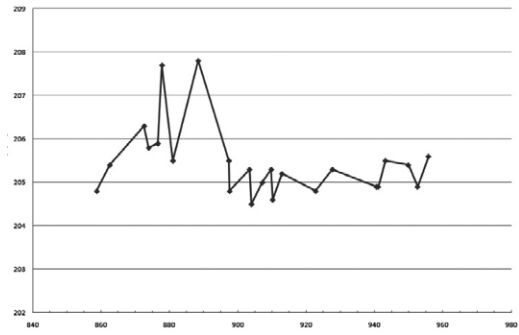
[Fig. 3] The temperature of incinerator vs boiler outgassing.



[Fig. 4] The temperature of incinerator vs oxygen concentration.



[Fig. 5] The temperature of incinerator vs SDS temperature.



[Fig. 6] The temperature of incinerator vs SCR temperature.

도에 상승에도 오히려 조금씩 낮아지는 결과가 나타났다. 보일러 출구산소농도는 폐기물의 연소효율 및 다이옥신등의 유해가스농도생성에 매우 밀접한 관계를 갖는 것으로 사료되며 자원회수 시설의 운전시 매우 중요한 운전요인중 하나로 사료된다^{6), 12)}. [Fig. 5] 는 자원회수시설내 온도와 반건식 반응탑출구 온도와의 관계를 보여주며 그림에서 반건식 반응탑 출구온도는 최저 145.4℃, 최고 171.3℃, 평균 158.8℃의 값을 나타내었고, 노내온도가 상승함에 따라 보일러 출구산소농도는 조금씩 낮아지는 결과치를 나타내었다. 반건식 반응기는 유해가스중의 황산화물, 중금속 성분 및 다이옥신 등의 유해물질을 제어하는 반응기로서 국내외 대부분의 자원회수시설공정에서 매우 중요한 시설이다. 이 반응기에서 유해물질 제어효율은 반응기의 온도가 매우 중요한 요소이며 운전시 온도와 제어효율의 상관관계를 매우 중요하게 고려하여야 한다²⁾.

[Fig. 6] 은 소각로내 온도와 촉매탑 온도와의 관계에서는 촉매탑의 온도는 최저 204.5℃, 최고 207.8℃, 평균 205.4℃로 소각로의 온도가 상승과 관계없이 평균치를 밀도는 결과를 나타내었다. 촉매 반응기는 질소 산화물과 다이옥신 등의 유해물질을 제거하는 반응기로서 촉매반응온도에 따라 제거효율에 매우 밀접한 상관 관계를 가지고 있다²⁾. 다만 질소산화물 저감을 위하여 촉

매 반응기 온도는 평균적으로 205 ℃이상을 유지하여만 좋은 제거 효율을 얻을수 있다고 사료되어진다^{11), 12)}.

4. 결론

본 연구는 가동중인 소각로의 연소온도를 변화시키는 것에 의하여 배기가스 열회수공정 대기오염방지설비에 미치는 영향을 검토하였다. 본 연구를 위하여 소각로의 연소온도는 858 ℃에서 956 ℃까지 변화시켰으며 그에따른 배기가스의 온도를 분석하였으며 다음의 결론을 얻었다.

1. SOx, HCL, CO, DUST는 온도의 변동과 상관없이 거의 일정한 값을 유지하였으나 NOx는 온도가 상승할수록 증가하는 추세를 보이고 있다.
2. 보일러 배출가스 온도는 자원회수시설내 온도상승에도 평균치 236.3℃에서 ±5℃를 유지하며 큰 변동이 없다. 그 이유는 소각설비내에 연소가스 냉각시설에 의해 일괄적으로 온도가 250℃로 낮추어 지기때문일 것이다.
3. 보일러 출구산소농도는 온도가 878 ℃에서 955.8 ℃로 올라감에 따라 8.1 ppm에서 6.3 ppm으로 조금씩 낮아지는 결과가 나타났다.
4. 반건식 반응탑의 출구온도와 자원회수시설내 온

도의 관계에서는 온도의 상승함에 따라 반응탑의 출구 온도 역시 같이 상승하는 결과치가 나왔다.

5. 촉매탑의 온도 역시 자원회수시설의 온도가 상승하여도 거의 일정치를 유지하고 있었다.
6. 위의 내용과 같이 자원회수시설의 온도 상승에도 배출된 가스가 폐열보일러에서 냉각장치를 거쳐 일정한 온도를 유지한 상태로 각 설비로 배출되기 때문이다.

감사의글

본 연구는 2008년도 상지대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 한불에너지관리주식회사, “의정부시 자원회수시설 환경상 영향조사 및 안전도 성능검사서”, pp. 35~125 (2002).
2. 한국건설기술연구원, “소각로 성능향상을 위한 제어기법 및 장치 제안”, pp. 20~50 (1995).
3. R. Stahlberg and U. Feuerrieg “Thermoselect—Energy and Raw Materials Recovery Process Foundation for the Continuous Conversion of Wastes”, IT3 conference proceeding, pp. 535~541 (1995).
4. C.A. Shell, R.G.Novak and R.J. Nehrbaauer “Thermal treatment of biological Sludge in a Pilot Rotary Kiln”, IT3 conference proceeding, pp. 255~263 (1995).
5. 이진주, “경기도 B시 생활폐기물 물리·화학적 특성에 관한 연구” 한국 폐기물 학회지, 19(4) pp. 473~480 (2002).
6. 이진주, “산소부하 연소 시스템을 이용한 폐기물 처리에 관한 연구” 한국 폐기물 학회지, 19(8) pp. 941~946 (2002).
7. 환경관리공단, “소각시설 설치·운영의 기술적 지침제정에 관한 연구”, pp. 25~55 (1995).
8. 환경관리공단, “생활폐기물 소각시설 설치에 따른 기술지침 해설서 작성에 관한 연구”, pp. 36~65 (1994).
9. 이성준, 이진주, 서용철, “매립지와 소각시설의 설치시 생활폐기물에 관한 특성연구”, 한국폐기물 학회지, 15(5), pp. 548~556 (1998).
10. 한국전력공사 기술연구, “화력발전소의 환경 종합대책 수립 연구”, pp. 33~66 (1989).
11. 김남걸, “화력발전설비질소산화물저감방안연구 보고서”, 한국전력공사환경관리처 pp. 25~55 (1997).
12. 박영옥, 손재익, “폐기물 소각 배가스 제어기술 (II)”, 한국폐기물학회지, 8(3), pp. 450~457 (1991). 