

산소부하 연소 시스템을 이용한 폐기물 열처리에 관한 연구 이건주

상지대학교 환경공학과

The Study of Waste Treatment using Advanced Oxygen Enriched Combustion System

Keon Joo Lee

Department of Environmental Engineering, Sangji University, wonju, Korea

ABSTRACT

In this study, the waste of landfill was treated using advanced enriched oxygen combustion system. The oxygen concentration of this study was 21%, 25%, 30% and 40% and the operating capacity was 200 g/min and the residence time was 10 minutes. As increased the oxygen concentration of combustion air, temperature of the incinerator was increased and the temperature was increased rapidly when the oxygen concentration was 30%. As increased the oxygen concentration, the NO_x (ppm) of flue gas increase d for thermal NO_x, however the CO (ppm) of flue gas decreased according to the increase of combustion efficiency

. The optimum operation condition of incineration was obtained when the oxygen concentration is 30%~40%. The unburned carbon of ash decreased from 10% to 4% when the oxygen concentration was increased from 21% to 30%, therefore the high combustion efficiency can be obtained if used the oxygen enriched combustion system

Key words: Enriched oxygen combustion, reaction rate, oxygen concentration, temperature

I. 서론

산업화와 경제발전은 인류의 삶의 질을 향상시켰지만 이로 인한 공업화는 심각한 환경문제를 야기하였으며 그 중 폐기물 문제는 더욱 심각해져 지금은 큰 사회문제로 대두되고 있다. 폐기물을 처리하는 방법에는 크게 매립과 소각이 있지만 매립에 의한 처분은 차세대에 폐기물 문제를 전가할 뿐만 아니라 매립지의 확보 문제, 침출수로 인한 수질, 지하수, 토양 등 2차 환경오염을 일으키는 단점이 있으며 소각은 폐기물 감량화로 인하여 매립지를 축소할 수 있으며 소각시 발생하는 폐열을 재이용할 수 있는 장점이 있으나 유해물질의 생성과 생태학적 문제, 소각 후의 가스 및 소각잔사를 다시 처리해야 하는 부작용을 가지고 있다. 따라서 소각 후 배출되는 배기가스 및 소각잔사를 최소화하며 이 중 포함되어 있는 다이옥신류와 같은 유해물질에 대한 처리가 필요하다.

폐기물 소각시 기존 설비들에서 발생하는 문제점들이 고발열량 폐기물의 투입시 투입 직

후에 일시적으로 산소 부족 상태가 발생하여 오염물질의 발생이 급격히 증가하는 것과 저발열량 폐기물을 열처리 할 경우 로내 온도를 일정하게 유지하기 위하여 다량의 보조연료가 투입되므로 과도한 보조연료의 소모가 발생한다는 것, 일반공기를 사용하는 제어시스템에서는 연소실 내의 산소가 부족할 경우 연소공기의 공급량을 증가시키고 이때 공급되는 연소공기에 의해 로내 온도가 저하되어 불완전연소를 일으킬 우려가 있으며, 가스 체류시간의 단축, 소각로 내부압력 유지 등의 문제를 발생시켜 불안정한 소각상태를 유발시킨다. 따라서 이러한 여러 문제들을 해결하기 위한 방안으로 기존 운전 중인 설비를 비롯하여 간단한 설비 보완을 통하여 폐기물의 완전연소를 유도하고 소각용량을 증대시키며 일산화탄소, 다이옥신 등의 공해물질도 대폭 저감시킬 수 있는 저공해 에너지 절약형 소각 기술로 산소부화소각기술을 연구하는 것이다.

산소부화공기는 공기 중의 산소를 질소와 분리, 농축시킨 공기이다. 즉, 연소현상을 제어하는데 연소에 직접 관여하는 가연성 물질, 산화제, 불활성물질 등의 양이나 비율을 변화시킴으로서 연소현상의 제어가 가능하다. 연소현상이 일어나는 환경, 예를 들면 분위기 압력, 온도, 경우에 따라서는 흐름의 위치 등을 바꾸는 것에 의해서도 연소현상은 크게 변한다. 일반적으로 가연성물질로 알려진 것들 중 대부분은 탄소, 수소, 산소로 구성되어 있다. 이러한 것들과 산소 사이에서 연소가 일어나고 가연성물질의 연소에 의한 산화반응이 완료되면 CO_2 , H_2O 가 생성되고 연소열이 발생된다. 산소부화공기를 이용하는 장점들 중의 하나는 반응에 참여하지 않는 질소의 양을 줄임으로서 에너지 효율을 극대화 할 수 있다는 것이다.

즉, 연소시 산소부화공기를 사용하면 다음과 같은 에너지 절감 효과가 있다.

- 연소에 기여하지 않으며 열을 뺏어가는 질소가 상대적으로 적어지므로 화염온도가 상승되고 피가열물과의 온도차가 커지므로 전열속도가 향상된다.
- 승온속도 향상
- 배기가스량이 감소되어 폐열손실량이 적어지며 이에 따라 연료에 에너지의 소요량이 감소되는 잇점이 있다.

산소부화공기를 이용한 소각공정에는 여러 가지 특성들이 있으며 이러한 특성들에 의해 처리효율 및 경제성 등이 고려된다. 산소부화공기를 사용한다고 하여도 산소부화공기의 산소농도에 따라 처리용량 및 처리효율의 차이가 크다. 먼저 산소부화공기를 사용하면 고온에 의하여 소각공정의 안정화를 이룰 수 있어 수분과 불연물의 함유량이 많은 도시쓰레기 및 슬러지 등의 저발열량 폐기물 등을 안정적으로 소각처리함과 동시에 보조연료의 사용량도 줄일 수 있다. 또한 탄소주위에 산소가 다량 존재하므로 인해 반응성이 빨라져 로내에 산소 고갈의 현상으로 인한 불완전연소를 방지할 수 있으며 소각 용량의 증대도 꾀할 수 있다. 산소부화공기는 질소량 감소에 의한 화염온도 상승과 피가열물과의 온도차에 의한 로내가 일정한 온도로 승온되는데 따른 승온속도가 빨라진다. 그러므로 로내온도를 고온으로 유지하기 위한 에너지 절감효과를 얻을 수 있으며 동시에 폐가스처리장치의 소형화도 기할 수 있다. 따라서 배가스량 감소에 의한 폐열 손실량이 감소하고 배가스의 체류 시간이 늘어나고 배가스량이 감소함에 따라 배가스 중의 비산분진의 양이 줄어든다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

산소부하연소 실험장치는 Fig. 1과 같은 폐기물 투입설비, 연소공기주입설비, 산소공급장치, 1차 및 2차 연소설비, 재처리 설비 그리고 자동제어장치 등으로 이루어져 있다. 폐기물은 투입구로 정량 공급 되며 폐기물의 노내 체류시간은 10분 정도이다. 소각로에서 전송된 신호는 제어판에서 연속적으로 모니터링 할 수 있다.

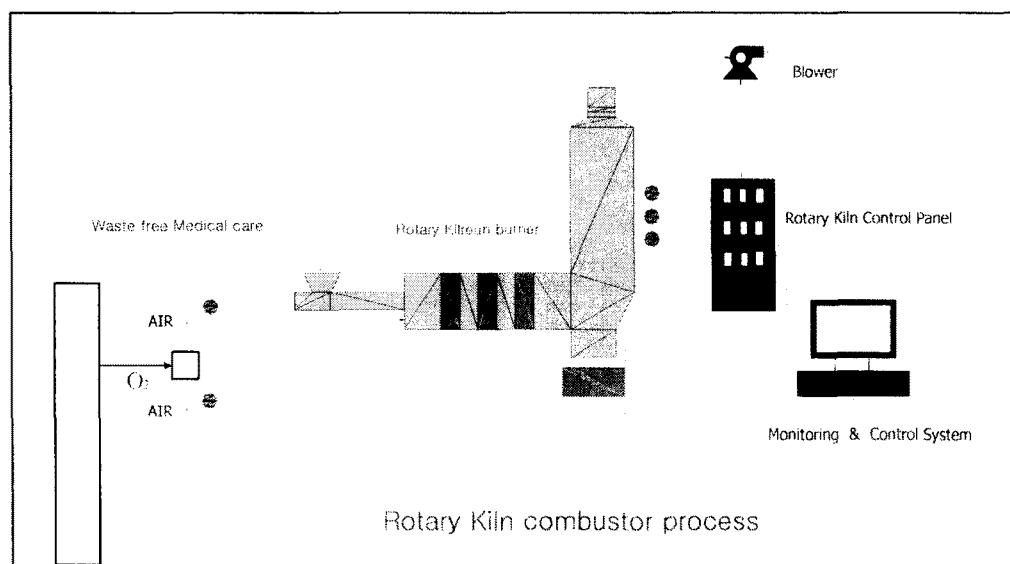


Fig. 1. Schematic diagram of enriched oxygen combustion system

2. 실험방법

본 연구에서는 산소농도별 연소특성실험을 실시하였으며 각 산소농도별 투입량을 다르게 하여 실험을 실시하였다. 산소농도는 21%, 25%, 30%, 35%, 40%로 실험하였으며 산소농도별로 투입량을 다르게 하여 배가스(CO, SO_x, NO_x, O₂)량과 1차 및 2차 연소실의 온도를 측정하였다. 배가스와 1차 및 2차 온도는 현장에서 측정을 하였으며 각 산소농도별에 따른 소각재의 삼성분 분석은 sampling을 하여 실험실에서 측정하였다. 또한 산소부하농도에 따른 소각재의 미연탄소분의 함량을 통한 폐기물의 연소상태를 조사하였다.

3. 대상폐기물 분석

본 실험에 사용된 폐기물은 광역 매립장에 반입되는 폐기물 및 슬러지를 대상으로 폐기물의 가연분 수분 회분 등을 폐기물 공정 시험법에 의하여 계산하였다.

폐기물의 화학적 조성 즉, 원소조성은 폐기물의 성분을 추정할 뿐만 아니라 연소용 공기의 물질수지를 계산하는데 중요한 자료가 된다. 이들 값으로 연소 공기량 및 연소가스 생성량과 시료의 조성 성분을 추산할 수 있으며 산출 고위 발열량 계산에도 이용된다. 쓰레기를 건조기(dry oven)에서 105℃, 2시간 이상 건조시켜 파쇄기를 이용하여 화학적 조성 분석에 이용한다. 그 대상항목은 C, H, O, N, S, Cl 의 6항목으로 했다. C, H, N 분석은 원소분석기 2000,LECO를 사용하였고 Cl은 IC DX 500, DIONEX 그리고 S는 S14DR LECO를 사용하였다. 본 실험에 사용된 폐기물의 발열량은 표 1과 같이 고위 발열량 중 실측 발열량은 평균 5867.55kcal/kg이고, 산출 발열량은 4988.34kcal/kg이다. 생활 폐기물의 저위 발열량은 4348.52 kcal/kg이다. 슬러지의 실측 발열량은 4428.04 kcal/kg이고, 산출 고위 발열량은 2934.10 kcal/kg이다. 슬러지의 저위 발열량은 2109.93 kcal/kg이다.

Table 1. Heating value of wastes

계 절 별		고위발열량(kcal/kg)		저위발열량 (kcal/kg)	발생비율		
		실 측	산 출				
생 활 폐기물	봄	5944.32	5181.54	4400.04	100		
	여 름	5889.85	4134.41	3481.51			
	가 을	5657.53	5279.24	4698.44			
	겨 울	5978.49	5358.17	4814.07			
	평 균	5867.55	4988.34	4348.52			
슬 러 지	하수 슬러지	봄	4585.60	2109.40	1268.20	100	
		여 름	2831.10	1032.35	275.15		
		가 을	4723.07	2120.45	1312.25		
		겨 울	4516.28	3071.35	2263.15		
	축산 폐수 슬러지	봄	6528.90	4267.00	3377.20	100	
		여 름	4042.80	3915.60	3065.40		
		가 을	5188.75	4099.65	3301.05		
		겨 울	3007.83	2857.00	2017.00		
평 균		4428.04	2934.10	2109.93	100		
혼합 폐기물 (생활 폐기물+ 슬러지)	봄	5537.26	4184.87	3361.37	100	100	
	여 름	4663.40	3304.20	2575.90			
	가 을	5306.72	4194.65	3502.55			
	겨 울	4870.28	4161.18	3477.08			
	평 균	5094.42	3961.23	3229.23			

III. 결과 및 고찰

1. 산소농도별 온도변화

산소부화공기를 일정한 농도로 유지하면서 연소실에 폐기물을 투입할 경우 그 농도변화에 따른 소각온도를 관찰하였다. 이 때 폐기물의 소각량은 200g/min이고 체류시간은 10분으로 하였다. 표 2는 산소부하농도에 따른 연소실 온도 변화를 나타낸 것이다.

Table 2. The effect of oxygen concentration in combustion temperature

Oxygen concentration	1st combustor temperature	2-1 combustor temperature	2-2 combustor temperature	2-3 combustor temperature	2-4 combustor temperature
21%	907.23	657.62	618.00	583.92	576.08
25%	839.31	530.23	500.31	441.92	448.69
30%	833.54	853.00	872.85	909.46	947.92
40%	812	878.23	891.77	914.23	961.62

위의 결과로부터 연소공기 중의 산소농도를 높임에 따라 로내 온도는 증가하며 그 경향은 25% ~ 30%범위 선에서 급격한 상승곡선을 보이다가 35% ~ 40% 범위에서는 그 경향이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 로내 온도상승은 연소공기 중의 산소농도가 증가함에 따라 산소 주입 총량은 일정하더라도 연소공기 주입량이 감소함에 의한 효과가 주요한 것으로 판단된다. 또한 연소반응의 연소 에너지 감소에 의한 로내 온도 상승효과 등도 영향을 준다. 그리고 1·2차 연소실의 온도차는 킬른과 소각재 배출 후드 사이의 연결부에서 외부공기 유입에 따른 온도 강하와 방산열에 의한 열손실에 의하여 발생한다.

2. 산소농도별 배가스 농도 변화

산소부화공기를 일정한 농도로 유지하면서 연소실에 폐기물을 투입할 경우 그 농도변화에 따른 배가스 변화를 관찰하였다. 이 때 폐기물의 소각량은 200g/min이고 체류시간은 10분으로 하였다.

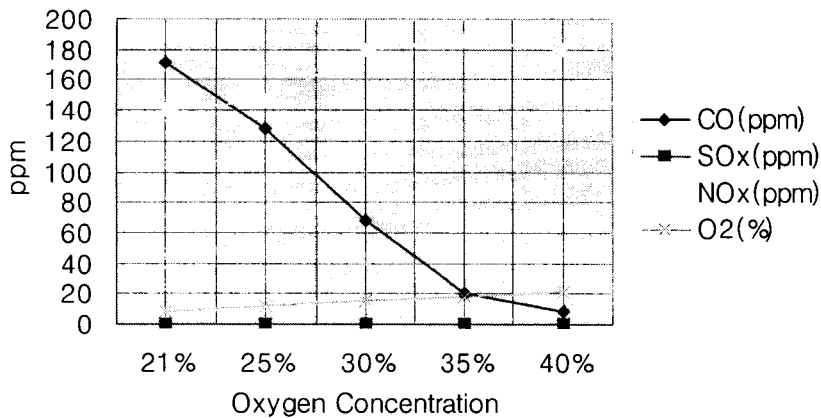


Figure 2. Flue gas concentration for different oxygen concentration

산소농도가 높아질수록 NO_x (ppm)의 발생량이 증가하였고 발생량이 가장 높았다. 다음으로 CO(ppm)의 발생량이 컸다. 산소농도가 증가함에 따라 NO_x (ppm)가 증가하는 것은 투입되는 질소량의 증가에 기인한 것으로 사료된다. 국내의 배출허용기준을 감안할 때 일반공기(21% 산소) 사용 시에는 NO_x 가 문제되지 않고 비록 실험에서는 대기오염물질 배출기준(200ppm 12% O_2)을 만족하였으나, 산소부화공기(25%, 30%, 40%)를 사용할 때에는 NO_x 의 저감대책이 요구된다.

반면 연소공기중의 산소농도가 높아질수록 CO농도가 급격히 감소되었다. 이것은 일반공기를 사용하였을 때에는 미연탄소분과 산소와의 반응성이 저하되는 반면, 산소 농도가 높아질수록 가연분과 산소간의 산소 전달속도가 개선됨으로써 이러한 경향이 나타나는 것으로 사료된다.

폐기물이 투입되는 순간 급격한 열분해로 인해 로내는 일시적으로 산소부족 상태로 되어 불완전 연소상태가 발생하는 것으로 판단되어지며 이러한 현상을 방지하기 위해서는 투입되는 폐기물량을 줄이거나 2차 연소실의 설비용량을 증대하여 배기가스 배출특성을 개선시킬 수 있다.

3. 산소농도별 연소효율

본실험에서는 산소농도에 따른 연소상태를 조사하였다 산소부화공기 30%에서 회분이 84.53%로 가장 많은 것으로 나타났으며 가연분이 0.38%로 가장 작은 것으로 나타났다. 일반 연소공기보다 산소농도 25% ~ 30%에서 가연분의 대부분이 소각이 잘 이루어진 것으로 판단되며 연소효율이 증가하는 것으로 사료된다.

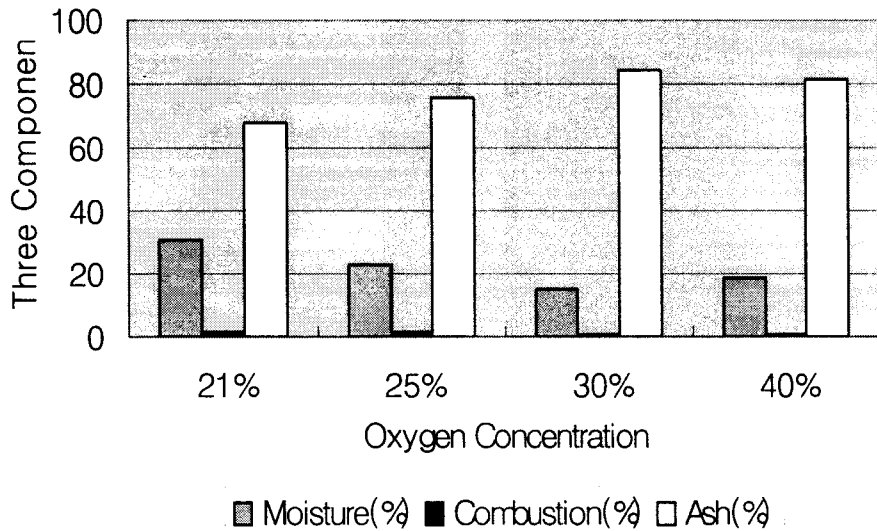


Figure 3 Three component of ash for different oxygen concentration

4. 산소부화농도에 따른 에너지소모율

산소부화공기를 일정한 농도로 유지하면서 소각하였을 때 각 농도별 에너지 소비량을 측정하였다. 산소농도가 증가 할수록 전력 사용량은 감소하였다. 이것은 산소농도가 증가함에 따라 배기가스량이 감소했기 때문에 씨스템 운전에 적용되는 유인송풍기의 동력비용이 저감되었기 때문으로 사료됨.

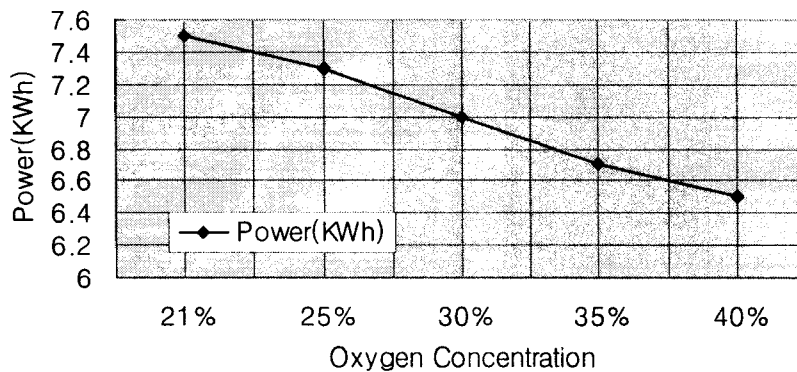


Figure 4. Energy consumption with oxygen concentration

5. 산소농도에 따른 소각 용량 변화

일반공기를 적용하였을 때 100g/min의 용량을 소각하던 킬른에서 산소농도 40%에서 200g/min의 폐기물 소각이 가능하였다. 그리고 산소농도 30%까지는 소각용량이 증가하다가 그 이후 용량 증대는 둔화되었으나 30%까지는 산소농도가 증가됨에 따라 지속적으로 소각용량이 증대되는 것을 볼 수 있다. 이것은 높아진 산소농도가 로내 열 전달속도를 증가시켜 연료의 반응속도를 빠르게 함으로서 소각시킬 수 있는 용량을 증대시킨 것으로 사료된다.

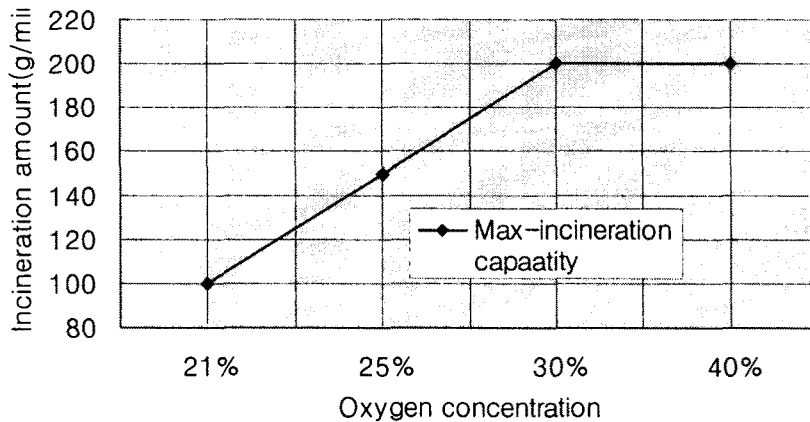


Figure 5. The amount of waste incineration with oxygen concentration

IV. 결론

- (1) 연소공기 중의 산소농도를 높임에 따라 2차연소실의 온도는 증가하는 경향을 보였다. 그러므로 이 실험에서는 산소농도 증가에 따른 2차연소실 온도의 고온상승이 일어나는 경향을 보였다.
- (2) 산소농도별에 따른 폐기물의 소각후 소각재의 삼성분의 분석 결과 산소부화공기 30%에서 회분이 가장 많은 것으로 나타났으며 가연분이 가장 작은 것으로 나타났다. 이는 산소농도 30% ~ 35% 에서의 폐기물의 소각이 가장 잘 이루어져 가연분의 연소효율이 산소농도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 판단된다.
- (3) 산소농도가 높아질수록 thermal NOx(ppm)의 발생량이 증가하였고 발생량이 가장 높았다. 초기 CO(ppm)의 발생량이 컸으나 산소부화공기의 농도가 증가함에 연소효율의 증가에 의하여 CO(ppm)의 발생량이 급격히 감소하는 경향을 보였다.
- (4) 산소농도별 소각재의 삼성분의 분석 결과 산소부화공기 30%에서 회분이 가장 많은 것으로 나타났으며 가연분이 가장 작은 것으로 나타났다. 30% ~ 35% 에서의 소각이 가장 잘 이루어진 것으로 판단된다.

(5) 일반공기를 적용하였을 때 100g/min의 용량을 소각하던 킬른에서 산소농도 30%에서 200g/min의 폐기물 소각이 가능하였다. 결과적으로 산소부화공기의 농도가 30% ~ 40%일 때 같은 시간동안 같은조건에서 2배이상 양을 소각가능 하였다.

Reference

1. EPA Report :Occurrence of Transient Puffs in a Rotary Kiln Incinerator Simulator, (1987)
2. Ministry of environment: The development of waste incinerator, (1996)
3. Moon: The prospective of air separation technology, Chemical Industry and Tech. (1997)
4. Walter R. Niessen: Combustion and incineration Processes, Marcel Dekker, (1995)
5. K. Yoshikawa : Gasification and Combustion of waste using high temperature air, IT3 conference proceeding, session6 gasification and pyrolysis (1999)
6. E. Henrich, S. Burkle and S. Rumpel: Waste char combustion in oxygen enriched air, IT3 conference proceeding, session6 gasification and pyrolysis (1999)
7. Westerhout, R.W.J., Waanders, J., Kuipers, J.A.M. and van Swaaij, W.P.M. :Kinetics of the Low Temperature Pyrolysis of Polyethane, Polypropene, and Polystyrene Modelling, Experimental Determination and comparison with Literature Models and Data, Ind. Eng. Chem. Res.m, Vol.36, pp. 1955-1964 (1997)
8. N.M. Laurendeau: Prog. Energy Combustion Sci., vol.4 pp 221 (1978)
9. L. Stieglitz, H. Vogg: Chemosphere vol.16, pp 1917-1922, (1987)
10. L. Stieglitz, G. Zwick, J. Beck, W. Roth, H. Vogg: Chemosphere vol.18, pp 1219-1226, (1989)
11. R. Stahlberg and U. Feuerriegel: Thermosteect-Energy and Raw Materials Recovery Process Foundation for the Continuous Conversion of Wastes, pp 535-541, IT3 conference proceeding (1995).
12. C.A. Shell, R.G.Novak and R.J. Nehrbaauer: Thermal treatment of biological Sludge in a Pilot Rotary Kiln, pp 255- 263, IT3 conference proceeding (1995).