

E.V.A., 고무폐기물 소각에 따른 폐가스 처리의 연구

배병훈 · 장성호 · 임경택
동아대학교 환경공학과
(1995년 12월 15일 접수)

Combustion Characteristics of E.V.A., Rubber Waste Treatment by Fixed-Bed Incinerator.

Byung-Hoon BAE, Seong-Ho JANG and Gyong-Teck LIM
Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University, Pusan, 604-714, Korea
(Manuscript received 15 December 1995)

The objectives of this study are to examine combustion characteristics of E.V.A. and rubber wastes by fixed-bed incinerator. The results are as follows. Combustion temperature with time rises rapidly, and mass of E.V.A. reduces at short time in E.V.A. combustion. In variation of air-fuel ratio (m), the ideal values of m of E.V.A. and rubber are 2.5, 1.5 respectively. Mixed-waste combustion is more economic than single E.V.A. combustion, because we can get high combustion efficiency (94.0~99.0%) at 2.0 air-fuel ratio of mixed-waste combustion. Removal efficiencies of SO_2 at cooling tower are about 20%. The combustion efficiencies of rubber are over 98.0% according to the experimental conditions.

Key words : Combustion, Fixed-bed Incineration, Air-Fuel Ratio, Combustion Efficiency

1. 서 론

최근 고도의 산업발전과 경제성장으로 인하여 산업체의 생산활동에서 발생하는 산업폐기물의 양은 매년 증가하고 있다. 이러한 폐기물들은 그 종류와 성상이 다양하며 난분해성물질 및 중금속 등과 같은 인체에 유해한 물질을 다량 함유하고 있어 처리문제에 많은 문제점을 야기하고 있다.

지금까지 이러한 폐기물은 주로 단순매립에 의존하고 있으나 매립에 따른 2차 환경오염문제의 가중과 매립지의 유한성으로 인하여 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 특히 새로운 사회현상으로 부각되고 있는 님비현상(NIMBY: Not in My Back Yard)은 부족한 매립지 확보에 더욱 어려움을 가

중시키고 있다¹⁾. 따라서 선진국의 경우 날로 증가하는 폐기물의 감량화와 안정적 처리 및 대체 에너지화를 동시에 고려한 직접 소각법에 대한 실용화연구가 1970년대 이후 활발히 진행되고 있다²⁾. 타이어 및 신발류 제조공장, 합성수지공장 등에서 발생하는 고열량의 폐기물들은 자연 분해하는 속도가 매우 느리기 때문에 그대로 자연방치할 수도 없으며 더욱이 매립하기도 곤란하며 매립처리할 경우 폐기물속에 존재하고 있는 각종 유해 화학성분들에 의한 토양오염 및 수질오염을 야기시키게 될 것이다³⁾. 그리고 현재 일부 중소기업에서는 열공급시설(주로 폐열보일러)의 열원으로 사용되고 있으나 소각시스템과 연소방법의 부적합, 운전부주의, 비효율적인 공해방지시설등으로 대기오염을 유

발하고 있으며 폐열회수 효율도 아주 낮다⁴⁾. 본 연구는 신발공장에서 발생되는 폐기물 중 고열량의 폐기물 (폐고무, 폐합성수지 등)에 대한 성분을 조사 분석하고 소형 소각로에서 소각시 대기오염 물질의 발생량을 줄이고 완전연소를 위한 최적조건을 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 폐기물

본 실험에 사용된 폐기물은 신발제조공장에서 발생하는 E.V.A. 및 고무이며 각각의 원소조성비와 발열량은 Table. 1에 나타내었다.

2.2 실험장치

연소실험을 위해 사용된 실험장치는 1차 및 2차 연소로 본체, 공기유입장치, 온도 및 압력 측정계기, 냉각탑, 배기가스 흡입장치 등으로 구성되어 있으며 전체공정도는 Fig. 1과 같다.

2.3 실험방법

연소실험에서 회분식 실험에서는 연료를 일정량 취하여 연소로에 수직으로 random하게 쌓고 공기를 일정한 유량으로 밸브와 마노메타로 조절하면

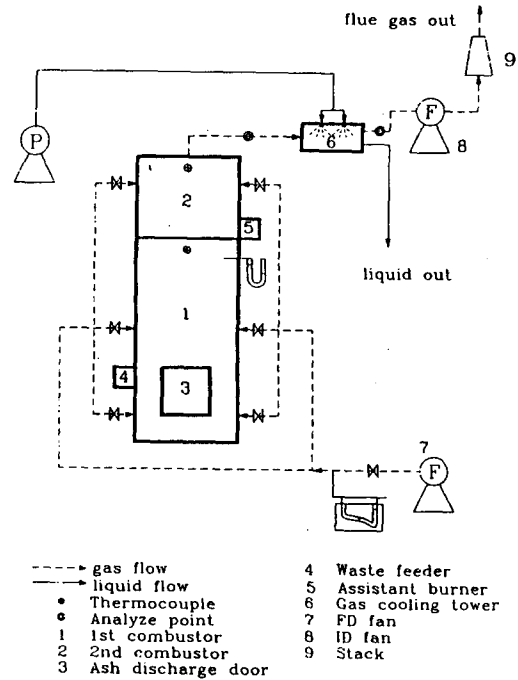


Fig. 1. Schematic view of the two-staged combustor.

서 공급한다. 초기 점화는 연소로 하부에서 가스버너를 사용하였고 일정 시간동안 점화시킨다. 점화가 되면 연소로 내부의 온도가 상승하게 되며 1차, 2차 연소실 및 연도에 열전대를 설치하여 온도를 측정하였으며 연소로 내부압력이 $-5 \sim 2\text{mmH}_2\text{O}$ 가 되도록 배기가스 흡입 송풍기를 조절하였다.

연속식 실험에서는 연소용 공기를 밸브와 마노메타를 조절하면서 일정하게 공급하고 1차 연소실

Table 1. Analytical results of wastes

	Moisture (%)	Ash (%)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Heating value (Kcal/kg)
E.V.A	0.2	21.4	63.0	10.4	3.9	1.1	-	high
								8764
Rubber	0.4	36.7	48.0	5.5	2.0	6.0	1.4	low
								8226
Rubber	0.4	36.7	48.0	5.5	2.0	6.0	1.4	high
								5871
								Low
								5588

Table 2. Measuring and analytical instruments

INSTRUMENT	RANGE	MODEL
Elemental Analyzer	C, H, N, S, O	Carlo Erba, EA-1108
Thermocouple	115~1200°C	Woojin, 8600DS
Air Manometer	0~45m/sec	Dwyer, MM-400
F.D. Fan	0~12m ³ /min	Dong Kun Blower, DB-2
GAS Analyzer	O ₂ , CO, CO ₂ , SO ₂ , NO, NO ₂ , NO _x	Enerac 2000E
I.D. Fan	0~15m ³ /min	Sung Jin Fan, 93090107

의 온도가 일정하게 유지되도록 연속적으로 연료를 주입하였다. 본 실험에 사용된 주요 측정 및 분석 기기의 사양에 대해서는 Table. 2에 나타냈다.

고무폐기물의 연소속도는 E. V. A.보다 느리게 나타났고, 최고온도도 E. V. A.보다 낮게 나타났다 (Fig. 3).

3. 결과 및 고찰

3.1 연소온도분포

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4는 연소시간 경과에 따른 소각로 내의 온도변화를 나타낸 것이다. E. V. A.는 짧은 시간에 급격한 열분해가 일어나면서 최고 온도에 도달하고 이렇게 열분해 속도가 빠른 폐기물을 연소시키기 위해서는 충분한 산소를 빠른 속도로 확산시켜 줄 필요가 있다 (Fig. 2).

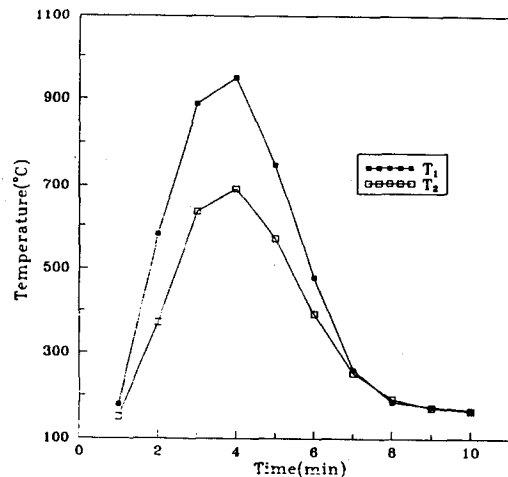


Fig. 2. Variation of combustion temperature with time: (m: 2.5, E. V. A.: 1kg).

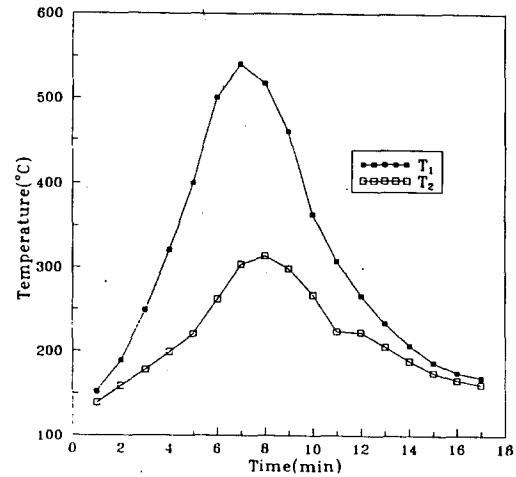


Fig. 3. Variation of combustion temperature with time: (m: 2.5, Rubber: 1kg).

Fig. 4는 E. V. A. : Rubber=1 : 3의 비율로 혼합하여 연소한 경우로서 Fig. 2, Fig. 3과 비교하면 최고 온도의 도달시간은 연소속도가 빠른 E. V. A.에 의해 결정됨을 알 수 있다.

3.2 공기유량에 따른 영향

3.2.1 회분식 실험

Fig. 5, Fig. 6은 공기유량에 따른 CO의 농도를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 CO의 최

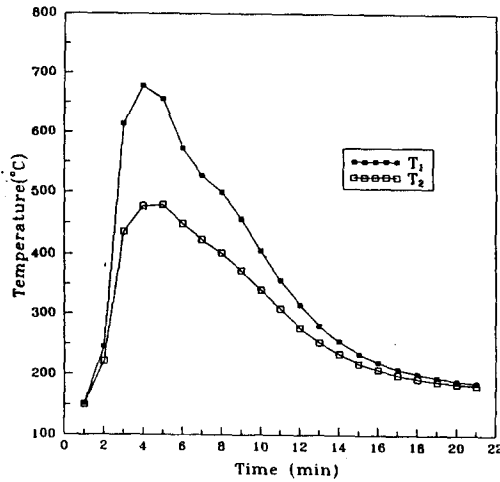


Fig. 4. Variation of combustion temperature with time: (m: 2.0, E.V.A.: Rubber=1:3).

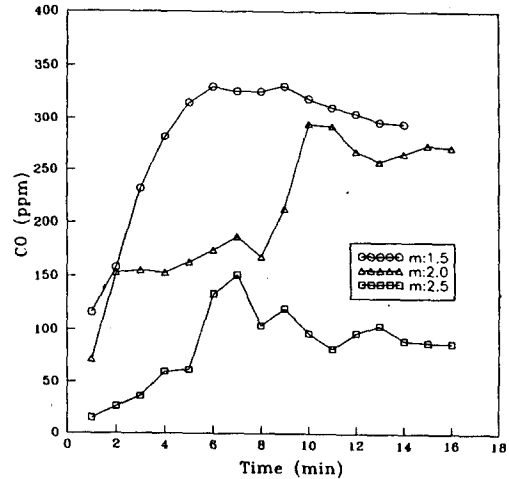


Fig. 6. CO concentration profiles with regard to air-fuel ratio (m): (Rubber: Batch experiment).

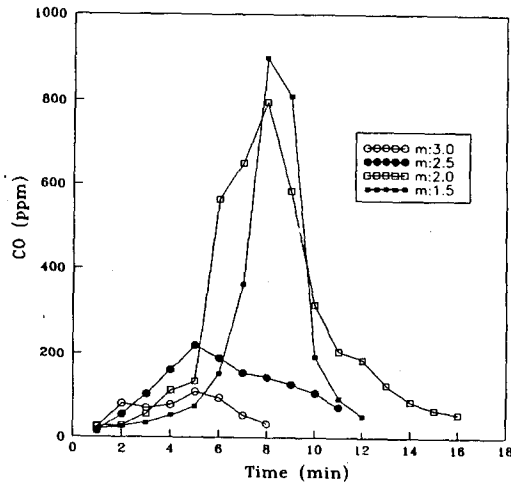


Fig. 5. CO concentration profiles with regard to air-fuel ratio (m): (E. V. A.: Batch experiment).

고 농도는 공기비 1.5, 2.0의 경우가 공기비 2.5, 3.0의 경우와 비교하여 현저한 차이를 나타내었고, E. V. A.를 단독 소각할 경우는 공기비 2.5가 적당한 것으로 생각되었다. Fig. 6은 CO의 최고농도가 공기비 1.5와 2.0에서 거의 유사함을 알 수 있었으며 공기비 2.5에서는 낮게 나타났다. 그리고 공기비 1.5에서의 CO최고농도가 배출허용기준 (600 (12) ppm이하)보다 낮게 나타났다. 따라서 Rubber를 단독소각할 경우 공기비는 1.5가 적합함을 알 수 있다.

Fig. 7은 고무 폐기물의 회분식 실험에서 공기비가 1.5일때 연소시간에 따른 배기가스농도를 나타낸 것이다. SO₂, NO_x, O₂, CO₂의 농도는 시간에 따라 큰 변화가 없었으나, CO 농도는 연소초기의 6분까지는 급격히 증가하다가 그 이후에는 큰 변화 없이 조금씩 감소하였다.

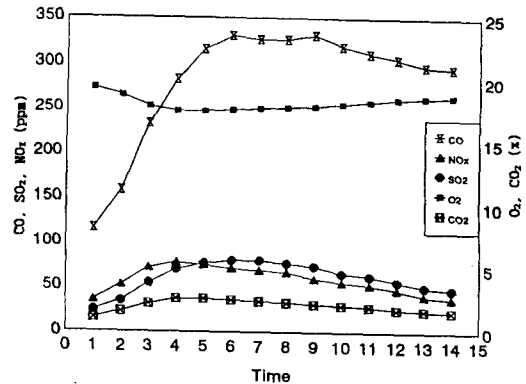


Fig. 7. Effluent gas concentrations in batch experiment: (m: 1.5, Rubber).

Fig. 8은 실험폐기물을 혼합 (E. V. A.: Rubber=1:3) 연소할때 CO의 농도를 나타낸 것으로 Fig. 5, Fig. 6에서 공기비 2.0인 경우, CO의 최고농도가 각각 795ppm (E. V. A.), 337ppm (Rubber)로 나타났으나 혼합연소인 경우, Fig. 8에서 CO 최고농도

는 242ppm으로 나타났다. 따라서 E. V. A., 고무 폐기물을 각각 소각하는 것보다 혼합하여 소각하면 낮은 공기비에서도 높은 연소효율을 기대할 수 있다.

Fig. 9는 E. V. A.의 회분식 실험에서의 온도와 CO농도의 상관관계를 나타낸 것이다. 온도가 증가함에 따라 CO 농도가 증가함을 알 수 있으며 연소로 내의 최고온도 도달시간후 약 1분후에 CO의 농도가 최고값을 보이고 있다. 이것은 배기가스가 측정지점으로부터 가스분석기까지 도달하여 분석되는 시간으로 보여진다.

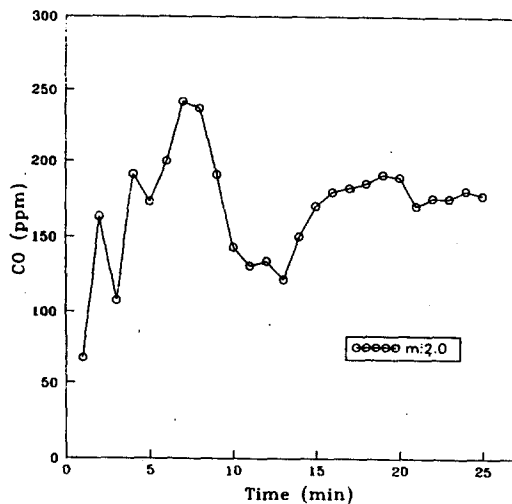


Fig. 8. CO concentration in mixing fuel combustion: (E. V. A. : Rubber=1 : 3).

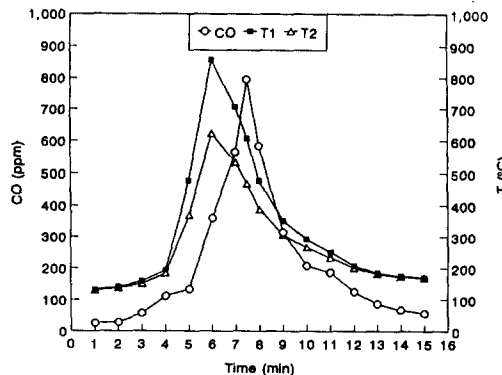


Fig. 9. Relation between CO concentration and Temperature: (m: 2.0, E. V. A.: Batch experiment).

3.2.2 연속식 실험

Fig. 10은 연속실험에서 고무폐기물의 공기비에 대한 CO의 농도를 나타낸 것이다. CO 농도가 공기비 1.3과 1.6은 비슷한 경향을 보였으나 공기비 1.0과 1.3은 큰 차이를 나타내었다. 따라서 고무폐기물 연속실험에서는 공기비가 1.3이상일 경우는 높은 연소효율을 기대할 수 있다.

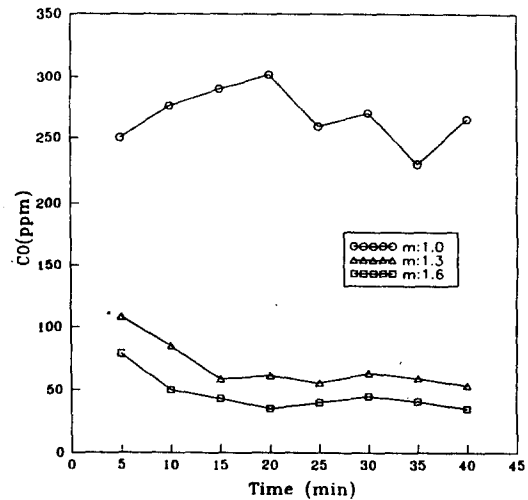


Fig. 10. CO concentration profiles with regard to air-fuel ratio (m): (Rubber continuous experiment, $T_1=500\sim600^\circ\text{C}$, $T_2=400\sim500^\circ\text{C}$).

Fig. 11은 고무폐기물의 연속실험에 있어서 공기비에 대한 배기가스의 농도를 나타낸 것으로 SO_2 , NO_x , O_2 , CO_2 의 농도는 공기비의 증감에 따른 변동은 거의 없었다. 그러나 CO의 농도는 공기비가 1.57보다 크지면 급격히 감소하는 경향을 보였다.

그리고 Fig. 10과 비교하여 소각로 내의 온도가 $600\sim700^\circ\text{C}$ 경우보다 저온인 $500\sim600^\circ\text{C}$ 인 경우가 동일한 공기비에서 CO의 농도가 낮게 나타남을 확인했다. 따라서 고무폐기물 연속실험에서는 소각로 내의 온도 영향에 따라서 CO농도의 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 12는 고무폐기물 연속실험에 있어서 공기비 1.3일때 냉각탑 전과 후의 SO_2 농도를 나타낸 것

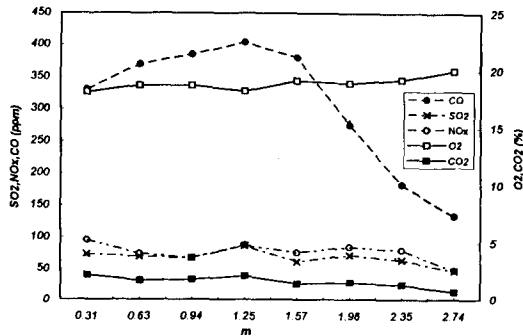


Fig. 11. Relation between effluent gas concentrations and air-fuel ratio (m): (Rubber continuous experiment, $T_1=600\sim 700^\circ\text{C}$, $T_2=500\sim 600^\circ\text{C}$)

로 냉각탑에서의 SO_2 제거율은 약 20%였다.

3.3 연소효율

각 실험조건 변화에 따른 연소효율은 Table. 3에 나타내었다. 혼합연소 (E. V. A. : Rubber=1 : 3)인 경우 94.0~99.0%를 나타내는데 초기 연소효율이 낮은 이유는 E. V. A.에 기인된 것으로 사료된다. 그리고 고무폐기물의 각 실험 조건에서의 연소효율은 98.0% 이상을 나타내었다.

4. 결 론

E. V. A., 고무폐기물을 고정상 연소방식을 이용

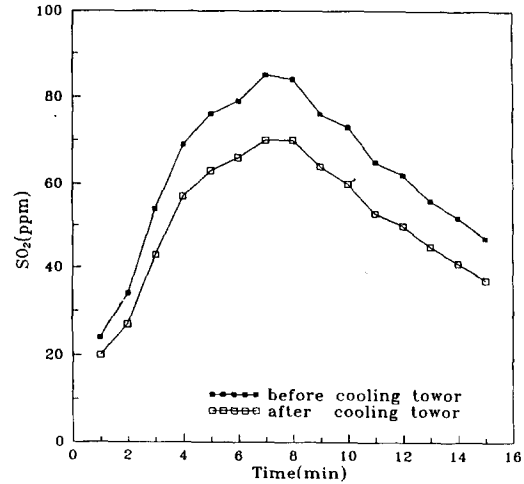


Fig. 12. Variation of SO_2 Concentration: (m: 1.3, Rubber)

하여 실험을 행하여 기본적인 연소특성과 오염물질 배출특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. E. V. A.의 단일연소에서는 연소로 내의 온도 변화가 급격히 상승하여 짧은 시간에 질량이 감소하였다. E. V. A.와 고무폐기물 혼합연소에서는 최고 온도 도달시간은 열분해가 빠른 E. V. A.에 의해 결정되었다.
2. 회분식 실험에 있어서 E. V. A.를 단독으로 소각할때는 공기비 2.5, 고무폐기물의 단독 소각시에는 공기비 1.5가 타당한 것으로 사료되었다.
3. E. V. A.와 고무폐기물의 혼합연소는 공기비

Table 3. Combustion efficiency with regard to air-fuel ratio

Air-Fuel ratio (m)	Efficiency (%)	Temperature T_1 ($^\circ\text{C}$)	Type of Experiment
2.0	94.0~99.0	153~678	Batch(E.V.A : Rubber=1 : 3)
1.0	98.0	500~600	Continuous (Rubber)
1.3	99.0	500~600	Continuous (Rubber)
1.6	98.0~99.0	500~600	Continuous (Rubber)
1.25	98.0	600~700	Continuous (Rubber)
1.57	98.0	600~700	Continuous (Rubber)
1.96	98.0	600~700	Continuous (Rubber)
2.35	98.0	600~700	Continuous (Rubber)
2.74	98.0	600~700	Continuous (Rubber)

2.0에서 94% 이상의 연소효율을 얻을수 있었고, E. V. A. 단독 연소보다 혼합 연소하는 것이 경제적인 것으로 생각되었다.

4. Cooling tower에서의 SO₂ 제거율은 약 20%로 나타났다.

5. 고무폐기물 연소에 있어서 실험조건 변화에 따른 연소효율은 98% 이상 높게 나타났다.

참 고 문 헌

- 과학기술처, 1993, 난연성 폐기물 유동층 소각기술 개발 (I), 27 pp.
- 생산기술연구원, 1991, 산업폐기물 소각시설의 표준화 정립에 관한 연구, 23~27 pp.
- 환경관리공단, 1993, 폐기물 소각처리 실무, 13~63 229~248 pp., 571~585 pp.
- 동력자원부, 1990, 폐열리용을 위한 소규모 산업폐기물 소각시스템 개발.
- 한국자원재생공사, 폐기물자원화요람, 100~120 pp.
- 도갑수외 1, 1992, 폐 PE Film을 혼합한 목질계 연료의 연소특성 (I), 한국 폐기물 학회지 9(1), 37~44 pp.
- 도갑수외 1, 1993, 회분식 소각로내에서 목질계 고체연료의 연소특성 (II), 한국 폐기물 학회지 10(3), 303~315 pp.
- 김우현, 1992, 유동층 소각로에서 하수슬러지와 폐유의 혼합특성, 부산수산대학교 학위논문.
- 이봉훈, 1992, 쓰레기 소각로 선정의 기술적 평가, 동화기술, 37~53 pp. 82~87 pp. 491~495 pp.
- 이봉훈, 1993, 폐기물 소각로 계획과 설계, 세화, 11~30 pp. 105~136 pp.
- 김병채, 1992, 소각로 기본 설계 및 선정방법, 환경관리인.
- 임경택, 대기오염 제어공학, 녹원출판사.
- Louis Theodore, AIR POLLUTION CONTROL, EQUIPMENT, Vol. II, 115~136 pp.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1992, FIELD OPERATIONS AND ENFORCEMENT MANUAL FOR AIR POLLUTION CONTROL, VOL II, 6.3.1~6.3.24 pp.
- Calvin R. Brunner, 1991, HANDBOOK OF INCINERATION SYSEMS, Me Graw-Hill. Inc.
- Richard C. Flagan, 1988, FUNDAMENTALS OF AIR POLLUTION ENGINEERING, 59~163 pp.
- Forman A. Willams, 1965, COMBUTION THEORY, Addison-Wesley Publishing Company. Inc., 95 pp.