

중소형 연속식 산업폐기물 소각로의 폐기물 투입에 따른 소각 및 배출 특성

이교우, 이성준, 정종수, 이승우*

한국과학기술연구원 지구환경연구센터, * (주) 모던텍

I. 서론

2000년 환경부에서 밝힌 우리나라의 1999년 폐기물 관련 통계를 보면 사업장 폐기물은 1일 103,893 톤이 발생하며, 그중 약 6.1%인 6,338 톤이 소각 처리되고 나머지는 매립(18.5%), 재활용(69.2%) 혹은 해양투기(6.2%)되고 있다. 사업장 폐기물은 성상별로 구분해보면 폐합성수지류, 종이, 목재류, 오폐수 등이다. 건설폐기물은 1일 62,221 톤이 발생되어 약 2.1%인 1,278 톤이 소각되고 나머지는 역시 매립(17.0%)이나 재활용(80.9%)으로 처리된다.[1] 특히 슬러지상 폐기물은 직매립 금지에 따라 처리가 매우 어려워지고 있으며 로타리 킬른식 혹은 유동상식 소각로를 이용한 소각처리가 유일한 방법으로 쓰이고 있다. 슬러지상 폐기물은 대부분 발열량이 낮아 보조연료 소비량이 과다하여 유지비용이 커지고, 건조시 악취발생 및 유동성이 저하되어 연소실로의 투입조작이 어려워지기도 한다.

서용칠 등[2]은 페타이어, 페플라스틱 및 폐섬유 소각에서 공기조절을 통한 소각특성 연구에서 배출가스 및 분진농도를 조사하여 연소 초기에 소각상태의 불안정으로 인한 CO의 급격한 증가를 보여주고 있으며, 서용칠 등[3]은 반건류식 상하연소식 소각로에서의 폐플라스틱 소각을 통해서 투입초기에 과도한 CO 배출특성을 보여주고 있으며, 정진우 등[4]은 로타리킬른 소각로를 이용하여 30% O₂를 사용할 경우 CO 배출량이 기준 이하로 현저히 감소함을 보여주고 있다.

본 연구에서는 슬러지상 폐기물을 처리하는 경제적인 방안으로 발열량이 큰 산업폐기물과 저발열량의 슬러지상 폐기물의 혼합소각을 최종목표로 하여, 먼저 산업폐기물 소각로의 일반적인 연소 및 배출가스 특성을 이해하고 슬러지 혼합 이전에 소각상태의 평가 기준을 설정하기 위하여 고상(solid) 산업폐기물을 소각하는 일련의 실험을 진행 중이다. 혼합소각 실험에 선행하여, 산업폐기물 단독 소각시의 로내의 연소상태, 배출가스 농도 등 여러 면에서 최적의 소각조건을 찾기 위한 실험이며, 조정 가능한 실험인자로 폐기물의 단위 투입량, 투입 주기, 연소공기 총량, 공기 배분율로 국한시켰다. 최적의 상태를 판별하는 인자는 연소실 내부 온도, 2차 연소실 출구 온도를 비롯한 각 부의 온도와 굴뚝 전단에서 샘플링한 배기가스 농도 중에서 특히 CO 생성량과 잔류산소농도이다. 이러한 실험을 하게된 것은 대상폐기물인 합성피혁류의 연소특성이 일반 도시폐기물과는 달리 투입 후 휘발분의 급격한 증발과 연소가 발생하여 잔류산소농도의 변화가 심하고 아울러 CO 생성량에도 큰 영향을 미치기 때문이다.

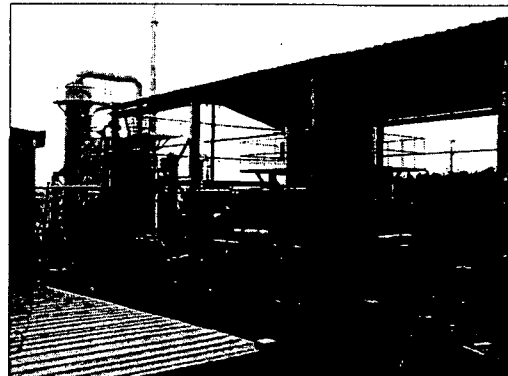


Fig. 1 The incineration facility at X Co.

II. 실험장치 및 방법

[연락처] 이교우 서울 성북구 하월곡동 38-1 Tel. 958-6702 Fax. 958-5805 gwlee@kist.re.kr

II-1. 대상 소각로 각부 설명 및 센서

실험에 사용한 대상 소각로는 2000년 12월에 건설된 천안에 위치한 X사의 산업폐기물 소각로로서, 처리규모는 시간당 160 kg/hr 이다. X사는 인조 합성피혁 제품을 생산하는 업체로서, 배출되는 폐기물은 폐합성섬유, 폐합성수지, 폐합성피혁 등이 주를 이룬다. Fig. 1은 소각로 및 후처리설비 전체를 보여주는 사진이며, 처리공정은 화격자 소각로, 보일러, 공기열교환기, 건식세정기, 백필터 등으로 구성되어있다. 본 설비는 일반 산업폐기물과 슬러지 폐기물의 혼합소각을 목표로 건설되었으며, 이를 위하여 기존의 화격자와는 개념이 다른 노즐 화격자를 설치하였다. Fig. 2에 노즐화격자를

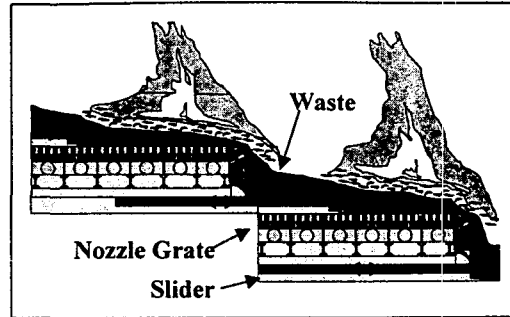


Fig. 2 Schematic of burning of waste on the fluidizing nozzle grate

포함한 로내의 구조를 도식적으로 표시하였다. 세라믹 재질(캐스터블)의 화격자 내부에 그림과 같은 노즐을 설치하여 공기를 공급하고 슬라이더를 이용하여 다음 단으로 폐기물을 이송한다. 이러한 노즐 화격자는 기존의 메탈 재질의 화격자와 비교할 때 시공 및 보수비용이 절감되고 부분적인 보수도 가능하며, 특히 고온의 예열공기를 사용하여 건조단에서 수분이 많은 폐기물을 효과적으로 건조할 수 있는 점 등의 장점이 있다. 반면 고속의 유속으로 인한 로내의 분진발생량 증가로 인한 후처리 설비의 부담이 커지는 점 등을 해결해야한다. 이러한 방식의 화격자 소각로로는 국내의 경우 X사에 처음으로 건설되었으며, 특히 슬러지 혹은 생활폐기물 등의 고수분의 폐기물에 대한 적용사례는 외국을 포함해서도 최초이다. 연소실 내부 온도는 연소단 후반부 상단에 설치된 열전대를 통해서 측정하며, 2차 연소실 출구의 온도는 보일러 입구부분에서 측정한다. 로내 압력은 연소실 내에 설치된 압력센서로 측정하며, CO 농도와 잔류산소농도는 굴뚝입구에서 연소분석기(KM-9006, Kane-May Co.)를 이용하여 샘플링하고 분석된다. 각 지점에서의 열전대의 전압과 압력센서의 전류는 보상선을 통해서 A/D Converter(ADAM-4520, Advantech Co.)를 거쳐 PC에 저장된다. 한편 송풍기로부터 연소실로 유입되는 공기량은 열선유속계(TSI Co.)로 측정한 유속으로부터 구하였다.

II-2. 투입 폐기물의 성상 분석 및 일반적인 특징

실험에 사용한 폐기물은 폐합성피혁만으로 국한시켰으며 폐기물의 열량 및 성분 분석결과를 Table 1에 제시하였다. 실제 소각에서는 배출되는 폐기물이 폭 1-2 m 가량의 롤(roll) 형태이므로 이를 적절한 길이로 자르는 전처리 과정이 올바른 소각에 필수적이었다.

Table 1 Proximate analysis of the waste

	수분 (wt%)	휘발분 (wt%)	재 (wt%)	고정탄소 (wt%)	열량 (kcal/kg)
합성피혁류	1.87	81.11	5.4	11.62	5815.3

Table 2 Experimental conditions

	Case #1	Case #2	Case #3	Case #4	Case #5
단위 투입량 (kg)	8	6	4	6	6
1차송풍기 공기량 (m ³ /hr)	850 (100)	850 (100)	850 (100)	850 (100)	690 (81)
1차송풍기 공기량 (m ³ /hr)	790 (100)	790 (100)	790 (100)	690 (87)	790 (100)
연소공기 총량 (m ³ /hr)	1640 (100)	1640 (100)	1640 (100)	1540 (94)	1480 (90)

III. 결과 및 토의

투입 폐기물은 시간당 160 kg이며, 2차 버너를 통해서 시간당 30 kg의 경우가 사용된다. Table 2에 각각의 실험의 조건들을 나열하였다.

III-1. 단위 투입량 및 투입 주기 변화에 따른 소각 및 배출 특성

먼저 8 kg 단위로 3분 간격으로 투입하여 각 부분의 온도 및 로내 압력 그리고 배출가스 조성 등을 확인하여 적절한 투입인지를 검토하였다. 이를 바탕으로 6 kg 단위로 2분 15초 간격으로 투입하였으며, 마지막으로 4 kg 단위로 1분 30초 간격으로 투입하였다. 이때 공기유량 등의 다른 조건들은 그대로 고정하였고 단지 이 단위 투입량을 변화시켰다. Fig. 3은 3분 간격으로 8kg의 단위 투입을 한 경우의 연소로 내의 온도, 2차 연소실 출구 온도(보일러 입구 온도), 로내 압력 그리고 굴뚝입구에서 측정된 잔류산소와 CO 농도를 보여주고 있다. 먼저 눈에 띄는 것은 투입 주기와 같이 움직이는 각 부분의 온도이다. 연소로 내의 온도는 800 - 900 °C의 범위에서 비교적 크게 변동하고 있으며, 2차 연소실 출구의 온도는 2차 버너의 열량공급이 일정하기 때문에 로내의 온도보다는 변동폭이 작다. 로내 압력은 평균적으로 약 - 2.5 mmH₂O를 유지하고 있다. 잔류산소량은 5 - 17% 정도의 범위에서 매우 큰 변동을 보이고 있다. CO 농도 역시 배출규제치인 600 ppm을 초과한 상태가 여러 번 나타나고 있다. 이러한 결과는 폐기물 투입 후 다량의 가연분이 발생하는 상태에서 공기량이 부족하거나 발생한 가연성 기체와 공기의 혼합이 충분하지 못하여 미연분이 다수 배출되는 것으로 생각된다. 그러나 전반적으로는 잔류산소농도가 높은 것으로 미루어 가연분이 다량으로 발생하는 그 순간에만 국한되어 공기량이 부족한 것이므로 공기량을 가변적으로 공급하거나 단위 투입량을 줄여야 한다는 것을 알 수 있다. 중소형 규모의 소각로에서 연소 공기량을 가변적으로 조절하는

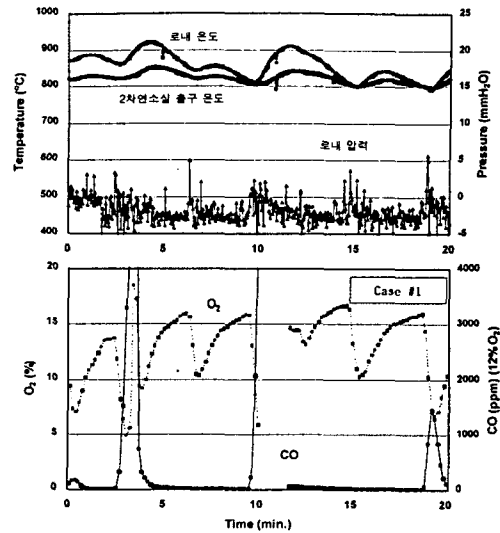


Fig. 3 The results of experiment Case #1

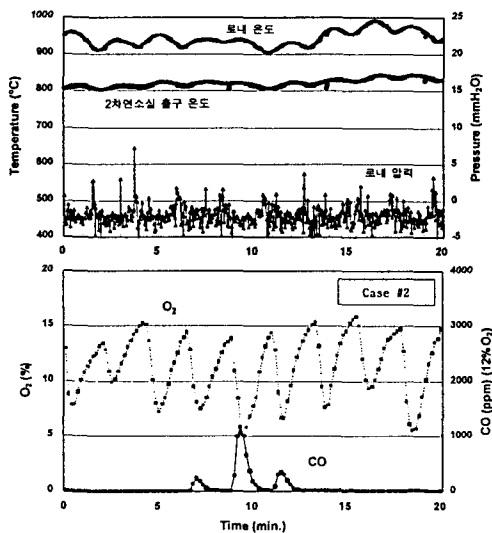


Fig. 4 The results of experiment Case #2

것이 현실적으로 어렵기 때문에 본 연구에서는 단위 투입량을 조절하는 방안을 사용하였다. Fig. 4는 같은 조건에서 6 kg의 폐기물을 2분 15초 간격으로 투입한 결과를 보여주고 있다. 앞선 Fig. 3의 8 kg 경우와 비교하면 차이가 현저히 나타나고 있다. 우선 로내 온도와 잔류산소농도에서 투입 주기를 달리한 것이 가장 먼저 보이고 로내 온도는 900 °C 이상으로 유지되며 변동폭도 줄어들었음을 볼 수 있다. 2차 연소실 출구의 온도는 820 °C 정도를 유지하고 있다. 잔류산소량과 CO 생성량을 보면 8 kg과의 차이는 더욱 분명히 나타난다. 잔류산소는 6 - 14% 선을 유지하며 CO 생성량은 대체로 규제치 이내의 값을 나타냈다. Fig. 5는 4 kg 폐기물을 1분 30초 간격으로 투입하였다. 로내 온도는 평균적으로 900 °C 이상을 유지하며 변동은 6 kg 때보다도 더욱 작다. 2차 연소실 출구의 온도는 810 - 820 °C 선을 유지하고 있다. 잔류산소와 CO 배출량도 특별히 달라진

것은 없어 보인다. 이상의 결과를 바탕으로 적절한 투입방식으로, 단위 투입량은 6 kg, 투입 주기는 2분 15초로 결정하였다.

III-2. 공기 총량 및 배분률 변화 실험

앞의 실험결과에서 굴뚝입구에서 측정되는 잔류산소는 10 - 11% 수준으로 다소 높았다. 따라서 공급되는 공기의 총량을 Table 2의 네 번째와 다섯 번째 조건으로 약간씩 줄여서 공급하였다. Fig. 6에 CO와 O₂ 측정결과를 나타내었는데, Case #4의 결과는 현저히 나빠진 상태로 보이는데 이는 측벽에서의 공기공급이 줄어들면서 연소로 내부의 혼합이 나빠진 것이 원인으로 생각된다. 그러나 이 두 결과로는 혼합의 영향에 대한 결론을 내리기는 어려우며 앞으로 보다 상세한 조사를 할 예정이다.

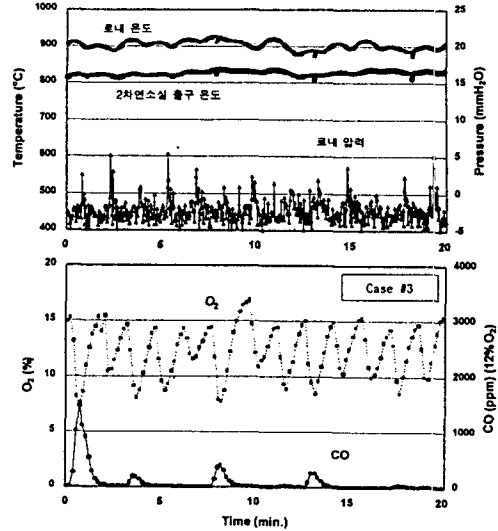


Fig. 5 The results of experiment Case #3

IV. 향후 연구계획

대상 폐기물과 같은 가연성분이 많은 산업폐기물 소각에서 발생할 수 있는 문제를 폐기물의 투입을 조절하여 개선하였고, 이를 근거로 슬러지상 폐기물의 혼합소각을 준비중이다. 투입 초기에 급격한 연소가 일어나는 본 대상 폐기물에 고수분 함량의 저발열량 슬러지를 함께 소각한다면 소각상태는 오히려 양호해질 수 있을 것으로 기대된다.

V. 후기

본 연구는 과학기술부 중소기업에너지기술과제의 연구비 지원을 통해서 이루어진 것입니다. 도움을 주신 관계자 여러분께 감사 드립니다.

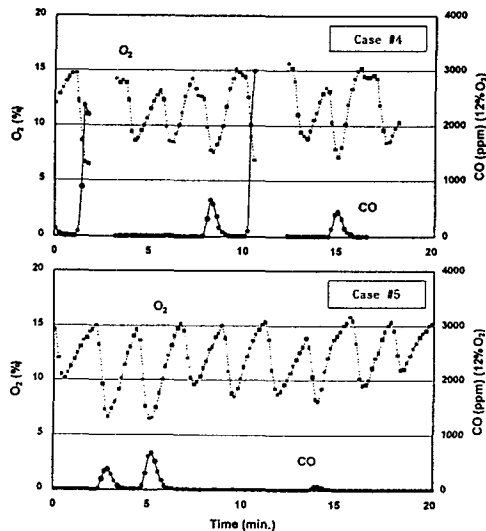


Fig. 6 The results of experiment Case #4 & 5

VI. 참고문헌

- [1] 환경부, 2000, " '99 전국 폐기물 발생 및 처리 현황," 행정간행물
- [2] 서용철, 김인태, 안병길, 김준형, 1989, "단일 연소실 공기제어 소각로의 특성연구," 한국폐기물학회지, 제6권 제2호, pp. 129~135
- [3] 서용철, 민경대, 양희철, 김준형, 1994, "반전류상하연소식 소각로에서의 폐플라스틱 시험소각," 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문초록집, pp. 129~132
- [4] 정진우, 한인호, 손성섭, 2000, "로타리킬른 소각로를 이용한 폐고무 소각에서의 산소부화 효과," 한국폐기물학회지, 제17권 제8호, pp. 994~1000