

재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물의 자원화를 위한 도시생활폐기물과의 혼합소각 가능성 평가

Feasibility Evaluation of Co-Incineration with MSW for Efficient Recycling of the Rejects after Separation Processes in MRF

신태수 · 성백남* · 연익준**,[†] · 조병렬** · 김광렬***

Taek-Soo Shin · Baek-Nam Sung* · Ik-Jun Yeon**,[†] · Byung-Yeol Cho** · Kwang-Yul Kim***

동립건설기술(주) 기술개발연구소 · *GS건설 발전환경사업본부 · **충주대학교 환경공학과 · ***충북대학교 환경공학과
Technical Development Institute, DONGLIM Construction & Engineering Co., Ltd.

**Power & Environmental Division, GS Construction Corp.*

***Department of Environmental Engineering, Chungju National University*

****Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University*

(2011년 3월 23일 접수, 2011년 10월 26일 채택)

Abstract : The purpose of this study was to investigate the possibility of an alternative fuel resource by incinerating a mix of combustible MSW (municipal solid waste) and offals after separating recyclable material at the MRF (material recovery facilities) location. We analyzed the physical and chemical properties including the 3-contents, the calorific value, and chemical compositions of the separation rejects in MRF, and compared the results with combustible MSW. Moreover, we experimented the trend of combustible properties and the concentration change of air pollutants at mixed incineration in the MSW incinerator. According to the results of the experiment, the separation rejects showed higher heating value (5,865 kcal/kg), and lower moisture and ash content than combustible MSW. Since we have incinerated MSW in the MSW incinerator mixing the offals at 30% and 50% respectively, we know that the change of the concentration of dust, SO₂, NO₂, and CO did not appear significant, and not exceed the pollutants emission regulation. But, considering the enhancement of the HCl emission concentration (max. 33.7 ppm) at the co-incineration of the 50% offals, we believe that the proper mixing ratio of the separation rejects would become within 30%.

Key Words : Separation Rejects in MRF, MSW, Incinerator, Co-Incineration, Air Pollutants

요약 : 본 연구는 재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물을 자원화 하기 위해 가연성 생활폐기물과 혼합하여 도시폐기물 소각로에서 소각 처리할 수 있는 가능성에 대해 고찰하였다. 선별 잔재물을 대상으로 성분과 조성, 삼성분, 발열량을 조사하여 가연성 생활폐기물의 경우와 비교·분석하였고, 도시생활폐기물 소각로에서 가연성 폐기물과 함께 혼합소각 함으로써 연소특성과 오염물질 배출특성 변화에 대해 실험하였다. 연구결과 재활용 기반시설 선별 잔재물이 가연성 생활폐기물에 비해 발열량(5,865 kcal/kg)이 높고, 수분과 회분 함량은 적었다. 또한, 재활용 기반시설 선별 잔재물을 30%와 50% 혼합하여 연소시킬 경우, 가연성 생활폐기물만을 연소하는 경우와 비교할 때, 먼지(dust), SO₂, NO₂, CO 농도 변화는 크지 않았을 뿐만 아니라, 현행 배출허용기준을 만족하였다. 다만, 재활용 기반시설 선별 잔재물을 50% 혼합소각할 경우, HCl 농도(최고 33.7 ppm)가 배출허용기준을 초과하므로 30%까지 혼합하여 소각하는 것이 바람직하였다.

주제어 : 재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물, 도시생활폐기물, 소각로, 혼합 소각, 대기오염물질

1. 서론

과거 매립에 의존하던 많은 폐기물들은 자원화 정책에 따라 소각이나 재활용되는 비율이 크게 증가하였다. 특히 공동주택에서 발생하는 양질의 재활용 폐기물은 자체적으로 위탁 처리되어 90% 이상이 자원으로 재활용^{1,2)}되고 있으나, 일 반 단독주택이나 공공기관에서 회수된 재활용품의 재활용율은 현저히 떨어지는 실정이다. 한편, 재활용기반시설(MRF; material recovery facilities)로 반입되어 선별되고 남은 재활용 잔재물(MRF rejects)은 현행 폐기물 관리법상 사업장 폐기물로 분류되어 사업장폐기물 배출자 신고를 득하여야 하며, 폐기물처리업자나 다른 재활용 신고자에게 위탁처리하

여야 한다. 따라서 현재는 재활용 기반시설에서 발생하는 잔재물 대부분이 매립장으로 이송, 위탁 처리되고 있다.

전국 214개의 크고 작은 재활용 선별시설 및 관련설비가 설치, 운영되고 있는 사업장에서 발생하는 재활용 잔재물의 발생량에 대한 정확한 통계는 없지만 2006년을 기준으로 일 일 발생하는 재활용대상 폐기물 양이 27,920 ton에 달하고, 설문조사 결과 반입량의 약 28%가 잔재물 형태로 배출되는 점^{3,4)}을 감안하면, 일일 약 7,800여 톤 이상이 재활용 선별시설 잔재물로 배출되는 것으로 추정할 수 있다.

재활용 기반시설로부터 배출되는 잔재물은 육안으로 구분 하여도 대부분 비닐, 종이, 플라스틱계로 구성되어 있어 발열량이 높은 가연성 폐기물이 다량 포함되는 것으로 추정되

[†] Corresponding author E-mail: ijyn@cjnu.ac.kr Tel: 043-841-5359 Fax: 043-841-5350

며, 이를 매립 처분할 경우 분해가 어려워 매립지 안정화에 악영향을 줄 수 있는 반면, 소각 등을 통해 처리할 경우 충분히 에너지로 활용할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 한편 하수슬러지 등을 폐유나 생활폐기물(MSW; municipal solid waste) 혹은 RDF (refuse derived fuel)와 같은 가연성 폐기물과 혼합하여 소각하기 위한 기술개발이 1990년대부터 지금까지 활발하게 전개⁵⁻⁸⁾되어 왔으나, 재활용 기반시설로부터 배출되는 잔재물에 대한 자원화 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 사업장 폐기물로 분류되어 매립 처분되고 있는 재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물의 자원화 가능성을 고찰하기 위하여, 지방 중소도시인 C시의 광역쓰레기 재활용 선별시설에서 발생하는 선별분리 후의 잔재 폐기물을 대상으로 여러 물리화학적 분석을 통해 그 특성을 조사하여 이를 가연성 생활폐기물의 경우와 비교·분석하였다. 또한, 실제 가연성 생활폐기물을 소각처리하고 있는 소각로(MSWI; MSW incinerator)에서 도시고형폐기물과 함께 혼합소각 함으로써 연소특성과 오염물질 배출특성이 어떻게 변화하는지 고찰하였으며, 실험결과를 현행 배출허용 기준⁹⁾과 비교함으로써 선별 잔재물의 혼합소각 적용 가능성을 평가하였다.

2. 연구 방법

2.1. 실험 재료 및 특성 분석 방법

재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물의 가연성 생활폐기물과의 혼합소각 가능성을 평가하기 위하여 먼저 대상 폐기물의 특성 분석을 위한 시료는 현장에서 직접 채취하여 분석하였다.

먼저 가연성 생활폐기물의 특성 분석을 위한 시료는 C시 광역쓰레기 소각장으로 반입되는 가연성 도시생활폐기물을 대상으로 하였는데, C시의 경우 일반 생활폐기물중 가연성 폐기물만을 소각용 봉투에 분리 배출하도록 하여 이를 소각장으로 수거, 소각 처리하고 있었다. 반입되는 소각용 종량제봉투를 크기별로 구분하여 개수와 무게를 기입한 후, 습기나 이물질이 없는 비닐을 바닥에 깔고 가연성분과 불연성분을 선별하여 저울로 중량을 측정하였다. 성상 분석은 소각용 종량제봉투 크기별로 최소 두 개 이상씩을 택하여 최소 200 kg 이상의 폐기물에 대하여 3회 실시하였다. 폐기물 중 재활용품 분류 기준은 화장실 휴지 등 혐오스러운 종이류와 깨진 유리병 등 취급이 곤란한 경우 재활용 불가능으로 분류하였으며, 라면·과자 봉지류, 의류 등의 섬유류는 재활용품으로 분류하였다.

가연성 생활폐기물의 화학적 조성은 자동 원소분석기(모델명 Termo Quest EA-1110)를 사용하여 C, H, O, N, S, Cl 등에 대하여 분석하였고, 삼성분 분석은 반입되는 가연성 생활폐기물을 대상으로 폐기물 공정시험방법¹⁰⁾에 의거하여 수분과 회분, 가연분을 분석하였다. 또한, 발열량은 단열열량계(모델명 IKA C200 Bomb Calorimeter)를 사용하여 건조기

준의 고위발열량을 측정하였으며, 수분 함량을 참고로 습량 기준 저위발열량을 계산¹¹⁾하였다.

한편, 선별 처리후 발생하는 잔재물은 C시의 폐기물 재활용 기반시설에서 발생하는 잔재물을 대상으로 하였다. 참고로, 연구 대상이 된 C시의 재활용 기반시설은 현재 재활용업체에서 공동주택을 대상으로 유상 수거하고 있는 성상별로 깨끗이 분리된 재활용품을 제외하고 일반 단독주택과 공공기관에서 재활용품으로 분류되고는 있지만 성상 분리가 불량하여 일반 폐기처분 되고 있는 재활용품을 대상으로 재활용이 가능하도록 이를 회수하여 트로멜스크린, 자력선별, 풍력선별 등 기계적 선별장치와 수선별을 통해 재활용 가능한 물품을 성상별로 분리하는 1일 처리용량 50톤 규모의 시설로서, 원재료 특성상 폐기물 발생량이 많아 매일 10~20톤의 폐기물이 선별후 최종 잔재물로 배출되고 있었다. 실험에 사용한 시료의 분석을 위하여 50 kg 이상의 선별 잔재물을 3회 샘플링 하여 가연성 생활폐기물과 동일한 방법으로 성상 및 화학적 조성, 삼성분과 발열량을 조사하였다.

2.2. 연구대상 소각시설의 제원

연구대상 소각시설은 중부지방 중소도시인 C시 외곽에 위치한 1일 200톤 규모의 가연성 생활폐기물 소각시설(MSWI)로서, 형식은 국내에 최초로 적용된 고발열량에 강한 병행류 타입의 스토커식 소각로로 여열은 터빈 발전기에 의해 전력 생산에 이용한 후 터빈에서 발생하는 증기내 여열은 재회수하여 지역난방에 이용하고 있다. 소각시설 주요 설비로는 반입입급설비, 소각설비, 연소가스 냉각설비, 연소가스 처리설비, 재(ash) 반출 설비 및 운전 공정중 발생하는 폐수를 중수로 전량 재이용하기 위한 폐수처리설비 등이 있다.

2.2.1. 가연성 생활폐기물 소각설비

소각로는 일일 200톤을 연속 소각할 수 있는 구조의 병행류식 스토커 방식이며, 총 스토커 면적은 42.5 m²로 건조기능 면적 14.6 m², 연소기능 면적 17.0 m², 그리고 후연소기능 면적 10.9 m²로 구성되어 있고, 연소율(stoker combustion rate)은 195.7 kg/m²·h, 열부하(thermal load)는 111, 280 kcal/m³·h로 설계되어 있다. 관련된 부대설비로는 포집 호퍼(charging hopper), 보조버너(aux burner), 열회수 및 냉각설비(hydraulic unit) 등이 있다.

2.2.2. 연소가스 냉각 및 이용설비

연소가스 냉각설비로는 시간당 44톤의 증기를 생산할 수 있는 폐열보일러와 증기복수기 등으로 구성되어 있으며, 여열 이용설비로는 2700 kW 규모로 발전을 할 수 있는 증기 터빈 발전기와 시간당 14 Gcal를 생산할 수 있는 지역난방 열교환기가 있다.

2.2.3. 배출가스 및 부산물 처리설비

폐기물 소각에 따라 발생하는 대기오염물질은 방지시설을 거쳐 배출기준 이하로 배출되는데 주요 대기오염방지 설비

로는 암모니아 주입 SNCR (Selective Noncatalytic Reduction) 과 반건식 반응탑, 활성탄 흡착탑, 1차 여과집진기와 SCR (Selective Catalytic Reduction) 및 다이옥신 처리를 위한 활성탄 및 소석회 분사장치와 2차 여과집진기가 있으며, 처리된 배출가스는 높이 120 m의 굴뚝을 통해 대기 중으로 배출된다.

2.3. 실험 방법

2.3.1. 시료 제조

재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물을 가연성 생활폐기물과 혼합할 때 특성 변화에 대하여 고찰하기 위하여 가연성 생활폐기물 중량기준에 대하여 잔재물을 각각 30%와 50%로 혼합하여 시료를 제조하였다. 혼합한 시료에 대하여 수분, 가연분, 회분의 함량과 발열량을 생활폐기물 및 잔재물과 동일한 방법으로 분석하였다. 또한 가연성 생활폐기물 소각로에서 선별 잔재물을 혼합소각할 때 연소특성과 오염물질 배출특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 선별 잔재물을 가연성 생활폐기물 중량에 대하여 각각 30%와 50%로 혼합한 시료를 소각로에 투입하여 소각하였다. 이때 온도 등 연소특성과 대기오염물질 배출특성(농도)을 측정하여, 가연성 생활폐기물만을 소각하는 경우와 비교하여 영향을 분석하였다.

선별 잔재물과 가연성 생활폐기물은 조성과 화학적 성상이 상이할 것이기 때문에 발생하는 대기오염 물질에도 변화가 있을 것이라는 가정하에, 일단 투입된 시료는 4시간 동안 연속적으로 소각하면서 대기오염물질 발생량과 농도 변화를 관찰하였다. 실험결과에 대한 재현성 확보를 위해 5회 반복적으로 실험하였다.

2.3.2. 대기오염물질 배출량 측정

가연성 생활폐기물과 재활용 기반시설 선별 잔재물의 혼합

소각시 또는 가연성 생활폐기물 단독 소각시 대기오염물질 배출량과 배출농도는 자동측정장치에 의해 측정되는 5분 평균데이터 값을 사용하였다. 분석 항목으로는 dust, NO₂, SO₂, HCl, O₂, CO, 유량, 로내온도, 굴뚝온도 등이며, 각 오염물질별 분석방법은 dust는 광투과법(FW300), HCl, CO, SO₂, NO₂ 등은 NDIR (Non-Dispersive InfraRed, MCS100E)법, 그리고 O₂ 농도는 자기식(MCS100E HW)으로 측정하였다.

본 연구에서 연소특성은 로내 온도와 배출가스 농도, 산소 농도 변화에 대해 분석하여 고찰하였고, 대기오염물질 발생과 배출특성은 먼지(dust)와 황산화물(SO₂), 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO), 염소(HCl)를 대상으로 실시하였다. 혼합폐기물 소각시 가연성 생활폐기물만을 소각하는 경우와 마찬가지로 배출가스 방지시설내 약품분사량 등 제반조건을 동일하게 (시간당 25% 암모니아수 주입량을 0.02 m³/hr, 15% 소석회 분사량을 0.87 m³/hr 내외로) 유지하는 등 기타 다른 조건에 의한 영향을 최대한 배제하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시료의 특성 분석 결과

재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물의 가연성 생활폐기물과의 혼합소각 가능성을 평가하기 위하여 먼저 선별 잔재물의 성상과 발열량 및 원소분석 등 여러 가지 물리화학적 분석을 수행하여 그 결과를 소각대상 가연성 생활폐기물에 대한 결과와 비교하였다. 먼저 C시 광역쓰레기 소각장으로 반입되는 가연성 도시생활폐기물(MSW)과 C시의 재활용 기반시설에서 재활용품 선별후 발생하는 잔재물을 대상으로 성상조사를 실시한 결과를 비교하여 Table 1에 나타내었다. 또한, 두가지 폐기물을 대상으로 가연성분에 대한 화학적 조성과 가연성분에 대한 함량 및 발열량을 분석한 결과를 각각 Table 2와 Table 3에 제시하였다. 한편 가연성 생활폐기물

Table 1. The compositions of MSW and MRF rejects by identifiable items

Type	MSW						MRF Rejects						
	Combustibles					Uncombust.	Combustibles					Uncombust.	
Samples	Paper	Vinyls	Plastics	Foods	etc.		Plastic	Vinyl	Paper	Cloth	Styrofoam	Metal	Glass etc.
Sample 1	30,45	23,48	12,16	0,15	28,06	5,70	41,83	10,15	9,39	6,97	6,09	0,60	24,97
Sample 2	28,74	25,68	13,19	0,13	27,58	4,68	47,26	12,18	8,06	4,58	8,51	0,54	18,87
Sample 3	29,25	26,71	10,16	0,24	26,54	7,10	43,58	12,54	12,81	5,51	7,57	0,58	17,41
Mean	29,48	25,29	11,84	0,17	27,39	5,83	44,22	11,62	10,09	5,69	7,39	0,57	20,42

Table 2. The chemical compositions of MSW and MRF rejects

Type	MSW						MRF Rejects					
	Chemical Compositions of Combust.(%)						Chemical Compositions of Combust.(%)					
Samples	C	H	O	N	S	Cl	C	H	O	N	S	Cl
Sample 1	46,24	6,48	34,20	4,04	0,16	0,42	73,08	7,68	9,82	1,21	0,24	1,24
Sample 2	42,88	6,02	38,64	3,84	0,08	0,58	67,28	8,82	14,05	2,62	0,15	1,35
Sample 3	48,02	5,92	33,40	3,22	0,12	0,86	68,02	10,02	11,24	1,84	0,20	1,46
Mean	45,71	6,14	35,41	3,70	0,12	0,62	69,46	8,84	11,70	1,89	0,20	1,35

Table 3. The 3-contents and heat values of MSW and MRF rejects

Type Items	MSW					MRF Rejects				
	3-Contents(%)			Heat Value (kcal/kg)		3-Contents(%)			Heat Value (kcal/kg)	
	Moist.(%)	Combust(%)	Ash(%)	High [Dry base]	Low [Wet base]	Moist. (%)	Combust(%)	Ash(%)	High [Dry base]	Low [Wet base]
Sample 1	29.84	52.24	17.92	5171	3,211.95	6.95	85.85	7.20	6780	6,267.09
Sample 2	22.44	57.45	20.11	4188	2,810.81	5.69	86.65	7.66	6785	5,980.12
Sample 3	26.55	53.67	19.78	4339	2,830.37	5.98	84.72	9.30	6178	5,349.91
Mean	26.28	54.12	19.22	4566	≈2,950	6.21	85.74	8.05	6581	≈5,865

Table 4. The 3-contents and heat values of 30% and 50% mixed refuse

Type Items	30% Mixed Refuse					50% Mixed Refuse				
	3-Contents(%)			Heat Value (kcal/kg)		3-Contents(%)			Heat Value (kcal/kg)	
	Moist.(%)	Combust(%)	Ash(%)	High [Dry base]	Low [Wet base]	Moist. (%)	Combust(%)	Ash(%)	High [Dry base]	Low [Wet base]
Sample 1	21.68	61.05	17.27	5,527	3,987.21	15.18	71.8	13.02	6,138	4,853.82
Sample 2	25.58	59.15	15.27	5,403	3,804.13	15.68	71.68	12.64	6,034	4,238.48
Sample 3	25.67	54.25	20.08	5,495	3,157.48	17.38	73.06	9.56	6,332	4,956.12
Mean	24.31	58.15	17.54	5,475	≈3,650	16.08	72.18	11.74	6,168	≈4,683

중량을 기준으로 선별 잔재물을 각각 30%와 50%로 혼합하여 조제한 연구대상 시료를 대상으로 수분, 가연분, 회분의 삼성분과 발열량을 분석한 결과를 Table 4에 제시하였다.

Table 1에서 보는 바와 같이 가연성 생활폐기물과 선별 잔재물에 대한 성분조사 결과, 가연성 생활폐기물의 물리적 조성은 대부분 종이와 비닐류, 플라스틱류, 그리고 화장지나 기저귀 같은 위생용품 등 기타 가연성물질이 대부분으로 총 가연분이 평균 94.2%로 높게 나타났으며, 불연성 물질은 대부분 병뚜껑, 깨진 유리조각 등으로 함량이 높지 않고, 음식물류 함유량도 낮게 나타나 원활한 소각이 이루어 질 것으로 기대되었다. 한편 재활용 기반시설에서 선별처리 후 발생하는 잔재물의 경우에는 전체의 79.0%가 가연분으로 이루어져 있어 가연성 생활폐기물에 비하여 불연성분이 높은 함량을 나타냈었는데, 이는 재활용품으로 분류되었다가 재활용되지 않고 남은 선별 잔재물중 유리조각 등 불연성분이 많기 때문으로 분석되었다. 가연성분 중에는 플라스틱과 비닐, 종이류가 전체의 65.9% 이상으로 대부분을 차지하였다.

Table 2는 가연성 생활폐기물과 재활용 기반시설 선별 잔재물의 가연성분을 대상으로 원소를 분석한 결과로, 가연성 생활폐기물내 가연분의 화학적 원소는 C가 45.7%, O가 35.4%로 두 원소 함량이 80% 이상을 차지하였고, S와 Cl은 1% 미만으로 나타났다. 선별 잔재물의 경우에는 C가 69.5%로 가연성 생활폐기물에 비하여 높게 나타난 반면 O는 11.7%로 낮게 나타났고, S와 Cl 함량은 가연성 생활폐기물보다 약간 더 높게 나타났다. 이는 선별 잔재물과 가연성 생활폐기물과의 성상 차이에서 기인하는 것으로 사료된다.

반입되는 가연성 생활폐기물과 재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물을 대상으로 삼성분과 건조기준 고위발열량을 측정하고 습량기준 저위발열량을 계산한 결과를 Table 3에 각각 나타내었다. 가연성 생활폐기물의 경우에는 가연분이 54.1%를 차지하였으며, 회분이 19.2%로 상당히 높게 측정되어 소각후 소각재 발생량이 많을 것으로 예상되었

고, 저위 발열량은 약 2950 kcal/kg 정도로 계산되었다. 이는 지금까지의 연구결과¹²⁻¹⁵⁾ 보통 생활폐기물의 삼성분이 수분 25~50%, 가연분 30~80%, 회분 5~20% 범위이고 발열량이 통상 1,500~3,000 kcal/kg의 범위임을 감안할 때, 비교적 높은 열량 수준임을 알 수 있었는데, 대상 폐기물이 생활폐기물중 가연성분을 분리하여 수거한 소각용 폐기물이기 때문으로 사료된다. 한편 재활용 기반시설 선별 잔재물의 경우에는 가연성 생활폐기물에 비해 가연분 함량이 85.7%, 저위 발열량이 5,865 kcal/kg으로 상당히 높게 나타난 반면, 수분(6.2%)과 회분(8.1%)은 낮게 나타났다. 이는 플라스틱이나 비닐, 종이류가 많은 선별 잔재물의 특성에서 기인하는 것으로, 가연성 생활폐기물과는 다른 연소특성을 나타냄으로써 혼합 소각시 연소특성에 변화를 초래할 것으로 예측되었다.

한편, 본 연구에서 시료로 사용한 선별 잔재물을 30%와 50%로 혼합한 시료에 대하여 삼성분과 발열량 변화를 측정하고 결과를 Table 4에 제시하였다. 분석결과 혼합비율이 30%와 50%일 경우 가연분이 각각 58.2%와 72.2%로 분석되었으며, 습윤 저위발열량은 각각 3,650 kcal/kg와 4,683 kcal/kg으로 나타나, 혼합비가 클수록 가연분 함량 및 발열량이 높게 나타났다.

3.2. 혼합소각에 따른 연소특성의 변화

재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물과 가연성 생활폐기물을 혼합소각할 경우, 로내 연소온도와 배출가스 유량 및 배출가스내 산소의 농도를 측정하고 결과를 가연성 생활폐기물만을 소각할 경우와 비교하여 Table 5에 제시하였다. 선별 잔재물 혼합소각시 로내 연소온도 및 배출가스 유량과 산소 농도 모두 선별 잔재물의 혼합 비율이 증가할수록 높은 것으로 나타났다. 이는 선별 잔재물이 가연성 생활폐기물에 비해 발열량이 크고 연소시 과잉공기 요구량이 더 크기 때문으로 생각되었다. 선별 잔재물 혼합비율이 증가할수록 가연분과 발열량이 높아짐에 따라 로내 온도가 증가되

Table 5. The changes of combustion characteristics according to the mixed incineration of MRF rejects

Mixed Ratio of Offalss by MRF	Not Mixed (0%)	30%	50%
Temperature of incinerator (°C)	927~940 (Avg. 936)	936~950 (Avg. 945)	946~956 (Avg. 951)
Amount of Combustion Gas (m ³ /hr)	48,208~49,382 (Avg. 48,938)	54,456~55,242 (Avg. 54,862)	58,584~59,378 (Avg. 58,846)
Concentration of O ₂ in the Combustion Gas (%)	7.68~8.02 (Avg. 7.88)	8.16~8.39 (Avg. 8.28)	8.64~8.76 (Avg. 8.72)

며, 완전연소를 위해 1, 2차 급기 공기량이 추가 공급되기 때문에 연소가스 유량 역시 증가된 것으로 분석되었다. 혼합 비율 증가에 따른 산소 농도 증가는 공급되는 공기량 증가에 따라 반응하지 않고 배출되는 산소 양이 상대적으로 많아진 것으로 생각된다.

3.3. 혼합 조건에 따른 대기오염물질 배출 농도의 변화

재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물의 혼합소각 가능성 평가를 위해 가장 중요한 요소 중 하나가 대기오염물질 배출농도에 관한 것이다. 이는 현장에서 가연성 생활폐기물 소각로에 선별 잔재물을 혼합 소각할 경우 현행 대기환경보전법상의 배출허용기준에 저촉되지 않아야 안정적인 적용을 보장할 수 있기 때문이다. 본 연구에서 선별 잔재물의 혼합소각시 배출되는 각종 대기오염물질의 배출농도를 측정 한 결과를 Fig. 1~5에 제시하였다.

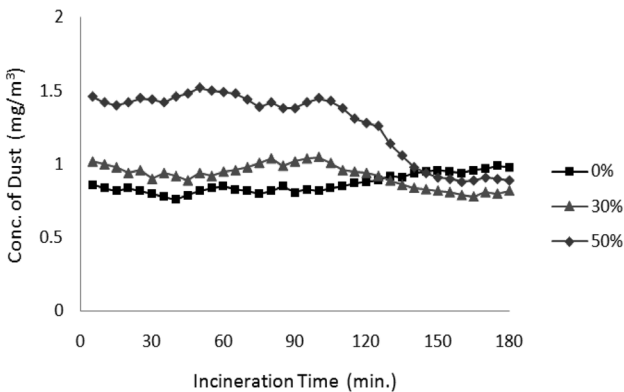


Fig. 1. The changes of dust concentrations at mixed condition with MRF rejects according to the incineration time.

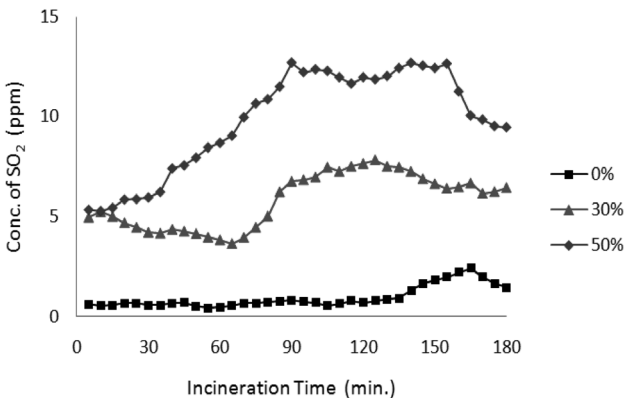


Fig. 2. The changes of SO₂ concentrations at mixed condition with MRF rejects according to the incineration time.

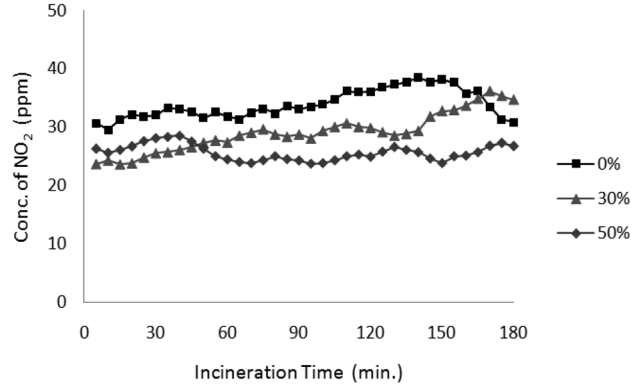


Fig. 3. The changes of NO₂ concentrations at mixed condition with MRF rejects according to the incineration time.

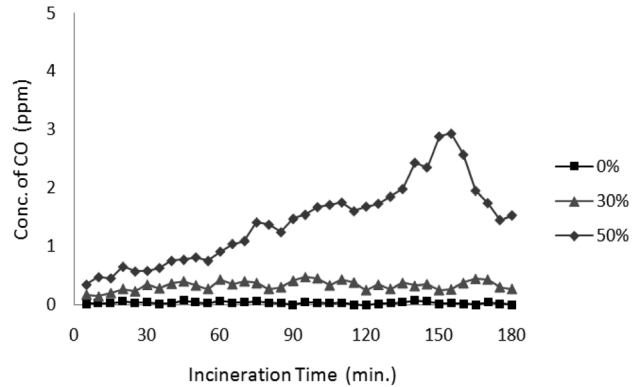


Fig. 4. The changes of CO concentrations at mixed condition with MRF rejects according to the incineration time.

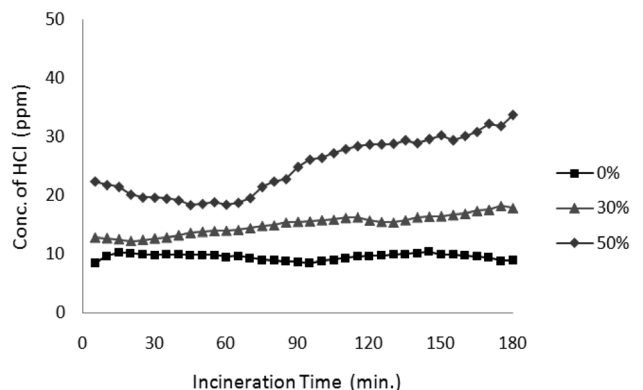


Fig. 5. The changes of HCl concentrations at Mixed condition with MRF rejects according to the incineration time.

3.3.1. 먼지(DUST) 배출량 및 배출 농도 변화

가연성 생활폐기물 소각시설(MSWI)에서 반입되는 생활폐기물에 재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물을 각각

30%와 50% 혼합하여 소각할 경우 시간에 따라 배출되는 배출가스내 먼지(dust)의 배출농도를 측정할 결과를 가연성 생활폐기물만을 소각하는 경우와 비교하여 Fig. 2에 제시하였다. 선별 잔재물을 혼합 소각할 경우 배출가스중 먼지(dust) 농도 증가는 거의 없는 것으로 나타났으며, 강화된 현행 배출허용기준인 20 (12) mg/Sm³과 비교할 때 1/10 수준 이하로 만족시킬 수 있었다. 이는 혼입되는 선별 잔재물 성상이 가연성 생활폐기물과 유사하기 때문에 혼합 소각이 먼지 배출에 크게 영향을 주지 않기 때문으로 생각되며, 현재 운영되는 여과집진기 등 분진 방지시설만으로도 충분히 혼합소각이 가능함을 알 수 있다.

3.3.2. 황산화물(SO₂) 배출량 및 배출농도 변화

선별 잔재물을 가연성 생활폐기물과 혼합소각 할 경우 배출가스내 황산화물(SO₂) 배출농도가 가연성 생활폐기물만을 소각하는 경우와 비교하여 어떻게 변화하는지 실험한 결과, Fig. 2에서 보는 바와 같이 가연성 생활폐기물만을 소각하는 경우(배출가스중 황산화물의 농도 2.4 ppm 이하)에 비하여 잔재물을 혼합소각 할 경우 대체로 높아짐(30%의 경우 3.6~7.8 ppm, 50%의 경우 5.3~12.7 ppm으로 증가)을 알 수 있다. 그러나 현행 배출허용기준 30 (12) ppm으로 볼 때, 선별 잔재물을 혼합소각 하는 경우에도 현재 방지시설만으로 충분히 배출허용기준을 만족시킬 수 있음을 알 수 있다.

3.3.3. 질소산화물(NO₂) 배출량 및 배출농도 변화

선별 잔재물의 혼합소각시 배출가스내 질소산화물(NO₂)의 배출농도의 변화에 대한 실험 결과 Fig. 3과 같이 가연성 생활폐기물만을 소각하는 경우와 비교하여 농도에 큰 변화는 없고 오히려 약간 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 연료 혼합에 의한 영향이라기 보다 소각온도 등 질소산화물 생성에 관여하는 다른 요인에서 기인하는 것으로 판단되었다. 또한 현행 질소산화물 배출허용기준인 70 (12) ppm과 비교할 때, 잔재물의 혼합소각 가능성은 충분한 것으로 판단되었다.

3.3.4. 일산화탄소(CO)의 배출량 및 배출농도 변화

배출가스내 일산화탄소(CO) 배출농도에 선별 잔재물의 혼합소각이 미치는 영향을 실험한 결과는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 분진(dust)과 마찬가지로 배출농도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 따라서 선별 잔재물의 혼합소각시에도 현행 대기환경보전법상의 배출허용기준(CO로서 50 (12) ppm)을 1/10 수준 이하로 만족시키는 것을 알 수 있다.

3.3.5. 염화수소(HCl)의 배출량 및 배출농도 변화

폐기물 소각시설에서 염소계 플라스틱의 유기화합물 분해 과정에서 생성되는 염소에 의해 주로 발생하는 것으로 알려진¹⁶⁻¹⁷⁾ 염화수소(HCl)는 앞 절에서 원소분석 결과 재활용 기반시설에서 발생하는 잔재물의 염소 함량이 가연성 생활쓰레기에 비하여 다소 높게 나타났기 때문에, 가연성 생활폐기물 소각시설에서 재활용 기반시설 선별 잔재물을 혼합 소각할

경우 염화수소(HCl) 발생량 증가가 예측되었다.

실제로 선별 잔재물을 혼합 소각 할 때, 배출가스내 염화수소 배출농도는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 잔재물을 50% 혼합소각할 경우 평균 24.9 ppm, 최고 33.7 ppm의 HCl이 배출되는 것으로 나타났으며, 이는 2010년 강화된 배출허용기준인 20 (12) ppm을 초과하는 것으로 나타나 별도의 HCl 처리시설을 추가하지 않는 한 재활용 선별시설 선별 잔재물을 50%까지 혼합하는 것은 어려운 것으로 사료되었다. 한편, 잔재물을 30% 혼합소각할 경우에는 평균 15.1 ppm, 최고 18.2 ppm이 발생하는 것으로 나타나 생활폐기물만을 소각하는 경우에 비하여 약 6 ppm 정도 증가하였으나, 표준산소농도 등을 고려하면 배출허용기준을 충분히 만족시키는 수준이었다.

4. 결론

재활용 기반시설(MRF)에서 발생하는 선별 잔재물을 자원화하기 위해 200톤/일 용량의 가연성 생활폐기물 소각시설(MSWI)에서 일반 가연성 생활폐기물과 혼합소각 가능성을 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 물리적 조성 분석결과 가연성 생활폐기물은 가연성분이 94.2%로 높게 나타난 반면, 선별 잔재물은 전체의 79.0%가 가연성분으로 이중 비닐과 플라스틱류, 종이 대부분으로 나타났다.
- 2) 가연성분을 구성하는 화학원소 분석결과 가연성 생활폐기물에 비해 재활용 기반시설 선별 잔재물이 탄소(C) 함량이 높고 산소(O)는 적은 반면, 황(S)과 염소(Cl)함량은 약간 더 높게 나타났다.
- 3) 삼성분과 발열량 분석결과, 가연성 생활폐기물은 가연분이 54.1%, 회분이 19.2%로 상당히 높았으며, 저위발열량은 약 2,950 kcal/kg로 나타난 반면, 선별 잔재물은 가연분 85.7%, 발열량 5,865 kcal/kg으로 가연성 생활폐기물보다 상대적으로 높았고, 수분과 회분 함량은 상대적으로 적게 나타났다.
- 4) 재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물을 각각 30%와 50% 혼합하여 가연성 생활폐기물 소각로에서 연소시킬 경우 가연성 생활폐기물만을 연소하는 경우와 비교할 때 먼지(dust)와 NO₂ 및 CO 농도 변화는 크지 않았을 뿐만 아니라, 현행 배출허용기준을 충분히 만족시키는 수준이었다. SO₂의 경우 생활쓰레기만 연소할 때에 비하여 선별 잔재물을 30% 혼합 소각시 최대 7.8 ppm, 50% 혼합소각시 최대 12.7 ppm으로 농도가 높아졌으나 현행 배출허용 기준을 모두 만족하는 수준이었다.
- 5) 배출가스중 HCl 농도의 경우 선별 잔재물을 50% 혼합소각 할 경우 최고 33.7 ppm이 배출되어 배출허용기준을 초과하므로 별도 방지시설 증설 없이는 혼합소각이 불가능한 것으로 판단되었다. 다만, 선별 잔재물을 30% 혼합하여 소각할 경우에는 평균 15.1 ppm으로 가연성 생활폐기물만을

소각하는 경우에 비해 약 6 ppm 정도 증가하나, 현행 배출 허용기준을 만족하는 것으로 나타나 별도 대기오염방지설비의 추가 설치 없이 충분히 혼합 소각이 가능할 것으로 판단된다.

결론적으로 재활용 기반시설에서 발생하는 선별 잔재물의 자원화를 위해 기존 가연성 생활폐기물소각로(MSWI)에서 가연성 생활폐기물과 혼합소각할 경우, 별도의 방지시설 추가 없이도 가연성 생활폐기물 질량에 대해 재활용 기반시설 잔재물을 30%까지는 혼합하여 소각할 수 있을 것으로 판단되었다.

사 사

이 논문은 2010년도 충주대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.

KSEE

참고문헌

1. 환경부, 한국환경자원공사, 전국폐기물 발생 및 처리현황, 환경부(2009).
2. 윤용승, “폐기물 에너지 기술의 현황과 발전 방향,” 소각기술협의회 2008 춘계기술워크샵 자료집, 한국과학기술회관, 서울(2008).
3. 환경부, 재활용품 집하선별시설 점검표, 환경부 자원재활용과(2006).
4. 환경부, 국가폐기물관리종합계획 수정계획 제2차:2002-2011, 환경부(2007).
5. 최용준, 김우현, 장정국, 이재근, “유동층 소각로에서 폐유-하수슬러지의 혼합소각 특성,” 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문초록집, 제주대학교, 제주, pp.141~144(1994).
6. 송상훈, “유동층 소각로를 사용한 하수슬러지와 도시쓰레기의 혼합소각기술 및 운용사례,” 한국폐기물학회 2004년 추계특별심포지엄 논문집, 한국폐기물학회, pp.179~195(2004).
7. 정상순, “스토카소각로를 사용한 하수슬러지와 도시쓰레기의 혼합소각기술 및 운용사례,” 한국폐기물학회 2004년 추계특별심포지엄 논문집, 한국폐기물학회, pp.197~216(2004).
8. 배성근, “생활폐기물과 하수슬러지의 혼합소각 기술동향,” 유기물자원화, **14**(1), (2006).
9. 환경부, 대기환경보전법 시행규칙(환경부령 제391호), 환경부(2010).
10. 환경부, 폐기물공정시험방법개정(환경부고시 제2007-151호), 환경부(2007).
11. 김광렬, 연익준, 최신 연소공학, 동화기술(2005).
12. 송동근, 김승도, 장은석, 박종호, 정재성, 공성호, “춘천시 생활폐기물의 물리·화학적 특성에 대한 연구,” 한국폐기물학회지, **20**(8), 807~817(2003).
13. 김정권, 김석구, 박남배, “매립장의 생활쓰레기의 화학적 특성 및 침출수 수질경향에 관한 연구,” 한국폐기물학회지, **21**(6), 607~617(2004).
14. 이준홍, 문동호, 김재원, “수도권매립지에 반입되는 쓰레기의 성상 및 물리·화학적 특성,” 한국폐기물학회지, **17**(3), 363~369(2000).
15. Bagchi, Amalendu, Design of Landfills and Integrated Solid Waste Management, John Wiley & Sons(2004).
16. 임계구, “폐기물 소각시설 분석과 소각로 선정,” 한국대기보전학회지, **11**(2), 107~117(1995).
17. Uchida, S., Kamo, H., Kubota, H. and Kanaya, K., “Reaction Kinetics of Formation of HCl in Municipal Refuse Incinerators,” *Industrial Eng. Chem Process Des. Dev.*, **22**(1), 144(1983).