

일반폐기물 자원회수시설의 전과정평가 및 환경영향 최적화에 관한연구

박찬일, *김형석, *허탁
에코네트워크(주), *건국대학교 융합신소재공학과

An LCA study on resource recovery facility of
municipal solid waste and its optimization of environment impact

Chanil Park, *Hyoungseok Kim, *Tak Hur
Econetwork Co., Ltd.

*Dept. of Chemical and Biological Engineering, Konkuk University, Seoul, Korea

Abstract

As difficult of creating landfill site, incineration which is one of the final disposal of waste is becoming important. however the problem has occurred in resource recovery facility. such as environment management plan and excess incineration. So efficient management of waste treatment becomes necessary. In this study, a LCA(Life Cycle Assessment) is conducted to identify and evaluate environmental impacts associated with the incineration of MSW(municipal solid waste) and its optimization of environment impact by relocating collect areas.

The methodology to analyse environment is LCA. LCA is a tool to examine the environmental consequences of making and using products or providing services, "from cradle to grave". This methodology consider the whole life cycle of target system. This study consider 1kg of MSW incineration for analysing environment impacts. As the result of GWP of target system is $7.04E-01\text{kg CO}_2 \text{ eq./kg}$. the most significant factors in GWP are air emissions and energy for operate system. and through optimization of collect areas, expected to reduce $2.26E+06\text{kg CO}_2 \text{ eq}$.

Keyword: LCA(Life Cycle Assessment), Municipal solid waste incineration, Recycling of bottom ash, Optimization of collect areas

1. 서론

국내의 경우 매립지 폐기물 매립지 부지 확보가 어려워짐에 따라 매립에 비해 부피와 무게를 감축할 수 있으며 열회수 측면에서 장점을 지닌 소각처리 방법이 매립의 대안으로

부각되고 있다. 그러나 소각량의 증가 및 쓰레기 종량제의 실시로 인하여 음식물쓰레기의 분리수거율이 높아지고 폐기물 중 비닐/플라스틱과 같은 포장재의 비중이 증가함에 따라 소각시 투입되는 일반폐기물의 발열량 증가로 인한 소각로의 과부하 등의 기술적 문제점과 소각로의 과부하로 인하여 불완전연소 발생 등의 환경적 문제 발생 등으로 인하여 일반폐기물의 효율적 관리가 필요해지고 있다. 또한, 자원회수시설의 양적 한계와 초기 건설된 시설의 노후화로 인한 자원회수시설 내의 유지·보수적인 측면에서 문제점들이 발생하고 있으며, 특정지역의 인구증가로 인한 일반폐기물 증가로 특정지역에서의 건설 당시의 용량보다 더 많은 양의 폐기물을 소각 하는 등의 문제에 대한 해결안이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 소각시스템의 문제점 해결과 효율적 관리를 위해 국가 평균 일반폐기물 소각의 환경성을 평가하였다.

2. 연구방법론

본 대상 시스템에 대한 환경성을 평가하기 위하여 원료 추출 및 획득부터 에너지와 물질의 생산 및 제조를 거쳐 사용과 제품 수명 종료 시 처리 및 최종 처분에 이르는 제품 및 시스템의 전과정을 고려하는 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)^[10]를 활용하였다.

3. 전과정평가

3.1 연구 목적 및 범위

3.1.1 연구 목적

본 연구의 목적은 일반폐기물의 최종처리 중 하나인 소각공정에 대한 전과정 목록 데이터베이스를 구축하고, 이를 토대로 환경에 미치는 잠재적 영향을 평가하며, 주요이슈를 규명하는데 있다. 또한, 이를 기초자료로 활용하여 환경적 이슈 해결을 통한 최적화를 수행하여 환경부하를 저감하는데 목적이 있다. 이 결과는 폐기물 관련 정책 담당자 및 자원회수시설 관계자들이 활용할 수 있도록 정량적인 정보를 제공하고자 한다.

3.1.2 연구 범위

본 연구의 대상은 생활계에서 발생한 일반폐기물을 소각을 통해 폐기물을 처리하는 39개 자원회수시설에서(화격자식 33개 시설, 유동상식 4개 시설, 열분해용융식 2개 시설) 반입, 저장 및 공급, 일반폐기물의 연소, 이를 통해 발생한 연소가스처리 및 배출수를 처리하는 공정이다. 연구를 위해서 설정된 시스템 경계는 Figure. 1과 같으며, 폐기물의 반입, 연소 및 연소가스처리 및 배출수 처리를 포함한다. 이로 인하여 발생하는 폐수 및 소각재의 처리까지를 포함하여, 일반폐기물 소각 단계에서 투입/산출 되는 물질에 대한 데이터를 바탕으로 연구를 수행하였다. 발생하는 폐열에 의해 생성되는 스팀은 다른 시스템에서 에너지원으로 사용될 수 있으나, 스팀의 사용처가 다양하고 경로를 추적하기에 어려움이 있어, 소각공정 환경영향의 Worst case를 고려하고자 폐열스팀으로 발생하는 환경적 이득 부분에 대해서는 제외하고 소각에 의한 환경영향만을 시스템 경계로 선정하였다. 또한, 평가를 위해서 설정한 대상 제품의 기능, 기능 단위 및 기준흐름은 Table 1과 같다.

Table 1 기능, 기능단위, 기준흐름

구분	내용
기능	일반폐기물 소각
기능단위	일반폐기물 1kg 소각
기준흐름	일반폐기물 1kg

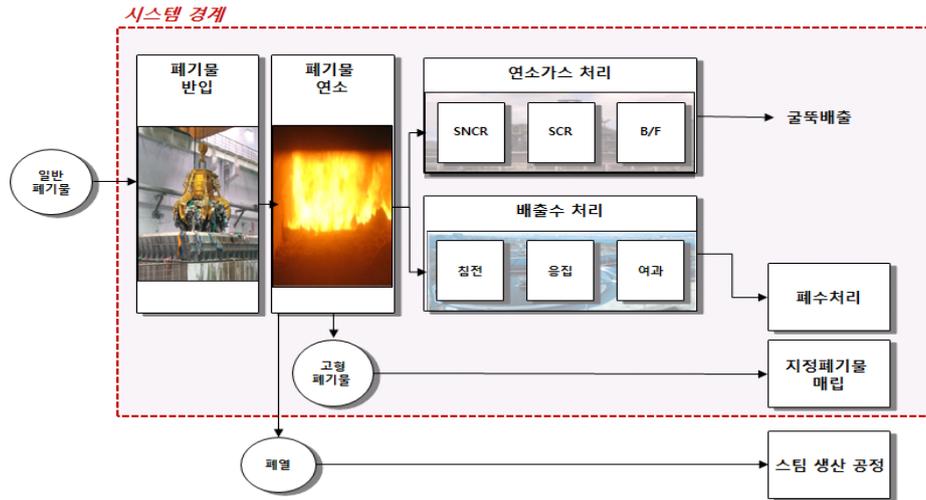


Figure 1 시스템 경계

3.1.3 가정 및 제한사항

본 연구의 수행에 있어 가정 및 제한사항은 다음과 같다.

- 소각공정에 대한 설비 및 Infra에 대한 환경부하는 고려하지 않음
- 공정의 투입물과 산출물에 대한 상위 및 하위흐름 연결은 국가 LCI 데이터베이스를 우선 고려하였으며, 부재 시 해외 데이터베이스를 적용함
- 국내 및 해외 데이터베이스 부재 시 자문을 통하여 유사 데이터베이스를 적용함
- 대기배출물은 업체에서 관리되는 실측치를 우선 적용하였으며, 관리되지 않는 배출물의 경우 'IPCC 1996' 배출계수를 적용하여 산출함
- 연소에 의해 배출되는 이산화탄소는 폐기물의 조성, 탄소함량을 고려하여 완전연소를 가정하여 계산치를 적용함
- 국내 자원회수 시설 중 현장 데이터수집이 가능한 19개 시설은 2013년 현장 데이터를 사용하였으며, 현장 데이터 수집이 불가능한 20개 시설에 대해서는 '2013 생활폐기물 자원회수시설 운영현황' 자료를 통한 문헌값을 사용함

3.2. 전과정 목록분석

3.2.1 데이터 수집

본 연구에서 데이터 수집은 대상시스템의 2013년 연간데이터를 사용하였으며, 실제 공정데이터를 수집하였다. 수집이 불가능한 경우에 한해서 데이터 계산을 통해 산출 및

문헌상의 데이터를 사용하였다. 투입/산출된 데이터는 Table 2와 같다.

Table 2 데이터 출처 및 활용 데이터베이스

구분	물질명	데이터 출처		LCI 데이터베이스		
		현장	계산	데이터베이스명	출처	
투입물	원료물질	일반폐기물	√		-	-
	보조물질	공정수	√		상수	환경부
		요소수	√		Urea	Ecoinvent
		액상소석회	√		수산화칼슘	환경부
		활성탄	√		활성탄	환경부
		암모니아수	√		암모니아	환경부
		황산	√		황산(25%)	환경부
		가성소다	√		가성소다	환경부
		황산반토	√		Aluminium sulphate	Ecoinvent
		킬레이트	√		Chemicals inorganic	Ecoinvent
		PAC	√		PAC	환경부
		폴리머	√		Chemicals organic	Ecoinvent
		불소처리제	√		Chemicals organic	Ecoinvent
	윤활유	√		윤활유	환경부	
	에너지	전기		√	전기	산자부
		도시가스	√		LNG	환경부
경유		√		경유	산자부	
폐열스팀			√	Steam	건국대	
산출물	폐기물	대기배출물		√	-	-
		고형폐기물	√		Disposal, municipal solid waste, landfill	Ecoinvent
		수계배출물	√		국가산단 폐수종말처리	환경부

3.2.2 데이터 계산

대상시설에서 TMS(Tele Monitoring System)를 통해 관리되고 있는 대기배출물에 대한 배출량은 농도 및 가스량을 통해 산출하였으며, TMS에서 관리되지 않는 배출물(CH₄, N₂O, NMVOC)에 대한 물질은 'IPCC 199'의 배출계수 및 계산식을 통해 산출하였다.^[2]

$$\text{대기배출물}(kg) = \text{연료투입량}(\ell) \times \text{순발열량}(TJ/\ell) \times \text{배출계수}(kg/TJ)$$

또한, 폐기물의 연소로 인한 이산화탄소 배출량 산정을 위해 폐기물을 구성하고 있는 총 탄소량을 산출하였다. 총 탄소량은 일반폐기물을 구성하고 있는 물질(비닐, 플라스틱 등)의 물리적 조성비와 원소조성을 통하여 산출하였으며, Biogenic Carbon(종이, 목재 등) 방출은 대기 중 온실가스 증가에 기여하지 않으므로 제외하였다.^[5]

$$\text{총탄소량}(kg) = \text{폐기물량}(kg) \times \text{물리적조성비}(\%) \times \text{건조고형분비율}(\%) \times \text{탄소조성비}(\%)$$

Table 3 일반폐기물의 삼성분 및 폐기물별 조성 비율^{[1][3]}

삼성분(%)			습량기준 물리적 조성 (%)						
수분	가연분	회분	종이류	나무, 짚류	비닐, 플라스틱류	음식물	섬유, 가죽류	불연물	기타
32.73	55.39	11.88	33.52	7.83	25.43	12.97	8.98	7.56	3.71

구분	항목	가연성								가연성 기타	
		평균	음식물류	종이류	나무류	고무류	피혁류	섬유류	플라스틱류	기저귀류	기타
평균 (%)	C	56.42	49.4	44.6	47.9	65.79	53.48	55.94	79.97	59.7	51.37
	H	8.2	7.72	6.31	6.28	7.21	6.4	6.49	12.15	9.2	6.19
	O	34	38.99	48.69	44.96	15.73	27.71	35.44	6.86	28.99	38.51
	N	0.89	2.84	0.22	0.5	3.99	5.28	1.88	0.34	1.94	2.9
	S	0.09	0.23	0.04	0.03	0.92	0.45	0.09	0.07	0.03	0.33
	Cl	0.4	0.82	0.13	0.33	1.35	6.68	0.16	0.61	0.15	0.7

이와 같이 도출된 총 탄소량을 통해 폐기물의 완전연소를 가정하여 투입되는 이산화탄소 및 수증기 배출량을 산출하였다.



또한, 39개 자원회수시설에 대한 데이터는 수직법(Vertical method)으로 통합하였다.

3.2.3 전과정목록표

39개 자원회수시설의 연간 데이터를 통합한 후 투입/산출 목록표를 작성하였으며, 일반폐기물 1kg을 기준으로 환산하여 다음 Table 3.과 같은 소각공정에 대한 Gate-to-Gate(GtG) 목록표를 작성하였다.

Table 4 GtG 목록표

소각공정 (kg/1kg 일반폐기물 소각)							
투입물				산출물			
구분	물질명	물질양	단위	구분	물질명	물질양	단위
원료물질	일반폐기물	1.00E+00	kg	고형폐기물	바닥재	1.56E-01	kg
	공정수	1.30E-01	kg		비산재	3.51E-02	kg
보조물질	요소수	2.08E-03	kg	수계배출물	폐유	1.71E-05	kg
	액상소석회	4.31E-02	kg		대기배출물	폐수	1.19E-01
	활성탄	3.61E-03	kg	NOx		1.83E-01	kg
	암모니아수	1.32E-03	kg	SOx		6.27E-03	kg
	황산	1.27E-05	kg	CO		4.40E-02	kg
	가성소다	1.02E-05	kg	HCl		1.59E-02	kg
	황산반토	3.77E-05	kg	다이옥신		2.80E-14	kg
	킬레이트	1.31E-04	kg	CO ₂		6.09E-01	kg
	PAC	1.34E-05	kg	PM		1.33E-02	kg
	폴리머	5.96E-07	kg	CH ₄		7.17E-07	kg
	불소처리제	2.40E-05	kg				
	윤활유	2.36E-05	kg				

소각공정 (kg/1kg 일반폐기물 소각)						
투입물				산출물		
에너지	산소	7.49E-01	kg			
	전기	1.17E-01	kWh			
	도시가스	2.87E-03	kg			
	경유	1.15E-04	kg			
	페열스팀	4.82E-06	MJ			
				N ₂ O	1.73E-08	kg
				NM VOC	7.06E-07	kg
				수증기	4.92E-01	kg

3.3 전과정 영향평가

본 연구에서는 환경부 환경성적표지(EDP 2013) 영향평가 방법론을 적용하여 6개 영향범주 (지구온난화(GWP), 자원고갈(ADP), 오존층영향(ODP), 산성화(AP), 부영양화(EP), 광화학적산화물생성(POCP))에 대하여 전과정평가를 수행하였다. 영향평가 결과는 다음과 Figure. 2 및 Table 4.와 같다.

Table 5 일반폐기물 소각 영향평가 결과

영향범주	단위	Total	Combustion emission	Air emission treatment	Energy	Water treatment	Solid waste treatment
POCP	kg C ₂ H ₄ eq.	1.27E-03	1.19E-03	1.83E-05	5.89E-05	8.86E-07	1.52E-06
			93.7%	1.4%	4.6%	0.1%	0.1%
ADP	kg sb eq.	8.84E-04	0.00E+00	4.59E-04	4.20E-04	3.01E-06	2.52E-06
			0.0%	51.9%	47.5%	0.3%	0.3%
AP	kg SO ₂ eq.	1.42E-01	1.42E-01	2.66E-04	1.06E-04	4.53E-06	2.53E-06
			99.7%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	2.39E-02	2.38E-02	8.61E-05	1.85E-05	7.63E-07	4.96E-07
			99.6%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%
GWP	kg CO ₂ eq.	7.04E-01	6.09E-01	3.37E-02	5.95E-02	4.58E-04	1.72E-03
			86.5%	4.8%	8.4%	0.1%	0.2%
ODP	kg CFC11 eq.	3.17E-09	0.00E+00	2.95E-09	1.60E-10	6.02E-11	9.22E-13
			0.0%	93.0%	5.0%	1.9%	0.0%

ADP: Abiotic resource depletion Potential, AP: Acidification Potential, EP: Eutrophication Potential, GWP: Global warming Potential, ODP: Ozone layer depletion Potential, POCP: Photochemical oxidation creation Potential

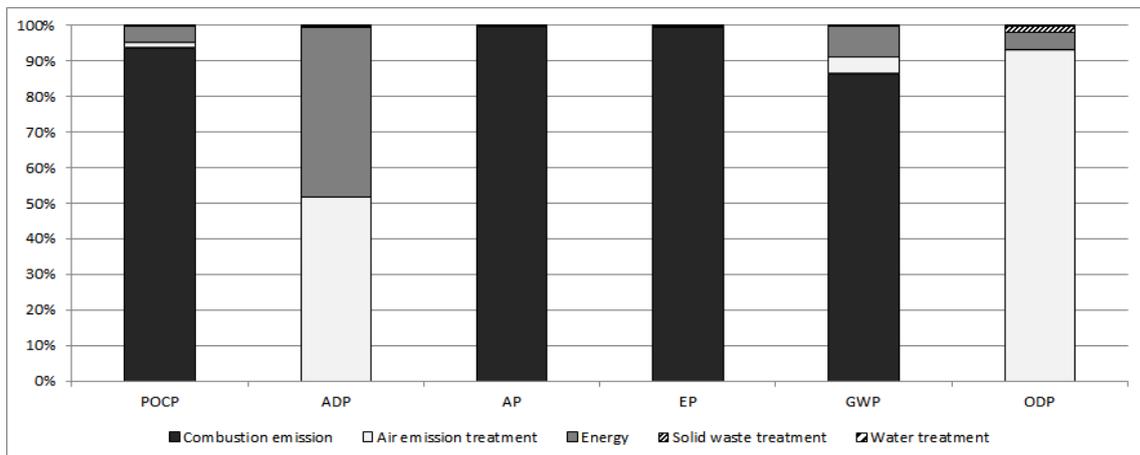


Figure 2 영향 범주 별 공정 비율

POCP, AP, EP, GWP 영향범주에 대해서는 공정 중 배출에 의한 영향이 모두 86%이상 나타나는 것으로 나왔으며, 수처리, 연소가스처리 순으로 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한, ADP와 ODP 영향범주에서는 연소가스처리와 수처리에 의한 영향이 크게 도출되는 것으로 나타났다.

3.4. 전과정 해석

3.4.1 자원회수 시설 별 비교

국내 자원회수시설 39개 시설 중 19개 시설에 대해 현장데이터를 수집하였으며, 20개 시설에 대해서는 소각시설 유형 및 처리시설 유형에 따른 문헌데이터를 수집하였다. 이에 따른 전과정 환경부하를 도출하였으며, 공정 투입 물질에 의한 환경부하를 비교하기 위하여 폐기물 연소 의해 배출되는 대기배출물을 제외한 공정 중 환경부하를 비교하였다. Table 5.는 각 시설 및 공정 별 지구온난화 영향 값을 비교한 표이다.

Table 6 자원회수시설별 환경영향

지역	일반폐기물 소각*	일반폐기물 소각 (공정)**	지역	일반폐기물 소각*	일반폐기물 소각 (공정)**
강남	7.00E-01	8.74E-02	양산	9.40E-01	1.34E-01
고양	1.02E+00	9.76E-02	양천	6.07E-01	1.00E-01
과천	7.44E-01	1.18E-01	용인	7.92E-01	5.97E-02
광명	5.10E-01	9.23E-02	울산	5.68E-01	9.85E-02
구리	7.31E-01	5.94E-02	의정부	6.18E-01	9.83E-02
군포	1.30E+00	1.04E-01	이천	7.18E-01	9.22E-02
김해	7.84E-01	9.90E-02	익산	8.20E-01	1.38E-01
노원	5.80E-01	6.61E-02	인천공항	7.54E-01	1.80E-01
대전	8.07E-01	9.57E-02	전주	8.57E-01	9.69E-02
마포	7.59E-01	1.10E-01	제주	5.80E-01	1.03E-01
명지	5.02E-01	6.88E-02	창원 마산	7.82E-01	9.66E-02
부천	7.24E-01	8.96E-02	창원 성산	4.99E-01	1.21E-01
상무	8.64E-01	1.02E-01	천안	7.16E-01	9.67E-02
성남	6.96E-01	6.54E-02	청라	7.89E-01	9.67E-02
성서	6.15E-01	6.27E-02	청주	8.49E-01	9.66E-02
송도	7.72E-01	1.30E-01	춘천	8.68E-01	1.45E-01
수원	4.84E-01	1.06E-01	파주	9.80E-01	1.62E-01
수지	6.84E-01	1.01E-01	평촌	8.27E-01	9.29E-02
아산	8.33E-01	9.67E-02	해운대	5.38E-01	6.56E-02
안산	6.83E-01	1.15E-01			
일반폐기물 소각 (시스템)		평균	7.41E-01	표준편차	1.60E-01
일반폐기물 소각 (공정)			1.04E-01		2.74E-02

*일반폐기물 소각: 공정에 투입되는 물질에 의한 환경부하+폐기물 연소에 의해 발생하는 환경부하
 **일반폐기물 소각(공정): 공정에 투입되는 물질에 의한 환경부하

환경성 평가 결과 전국 평균의 경우 7.41E-01kg CO₂ eq./kg로 나타났으며, 표준편차는 약 0.16값을 갖는다. 각 도시별 환경영향으로는, 군포시의 영향이 가장 크게 도출되었다. 이는 가연분 및 플라스틱류의 비율이 높기 때문으로 나타났다. 가장 낮게 나타난 도시는 수원시이며, 폐기물 중 가연분 및 플라스틱류의 비율이 낮아 공정 중 배출되는

이산화탄소량이 적기 때문으로 나타났다.

3.4.2 자원회수시설 유형 별 비교

국내 자원회수시설은 약 85%의 화격자식, 10%의 유동상식, 5%의 열분해용융식으로 이루어지고 있다. 이와 같은 세 가지 유형별 공정의 환경영향을 도출하고 환경성 비교 및 분석을 수행하였다.

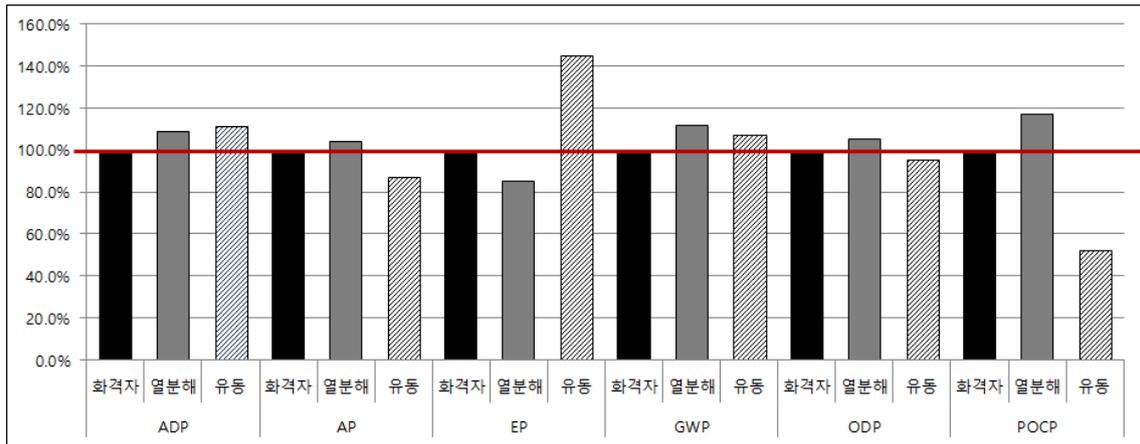


Figure 3 소각 방식별 환경영향 비교(공정)

유형별 분석결과 AP 범주에서 유동상식의 영향이 낮게 도출되었으며 이는 유동상식에서 분진이 상대적으로 적게 발생하여 집진역할을 하는 활성탄이 화격자식과 열분해용융식에 비하여 약 1/6정도 투입되기 때문으로 나타났다. 또한, EP 영향범주에서 차이발생 원인은 유동상식의 소각방식에서 질소산화물 제거를 위한 암모니아수의 투입량이 화격자식과 열분해식보다 많기 때문으로 나타났으며, POCP 영향범주에서는 유동상식 소각이 에너지원으로 전기와 경유를 사용하는 반면에 다른 두 소각 방식은 경유, 전기, LNG를 사용하기 때문으로 나타났다.

3.4.3 시나리오 분석

현재 폐기물 소각에서 발생하는 소각재는 연간 약 514,035ton이 발생되고 있으며 매립을 통하여 이를 처리하기 위해 상당량의 환경 부하 및 경제적 비용이 발생되고 있다.^[1] 일반폐기물의 소각으로 발생하는 소각재의 경우 재활용 되지 않는 상황이며, Pilot 단계의 소각재 재활용 공정의 데이터 수집을 통하여 환경적, 경제적 비교를 수행하였으며, 산출되는 재생골재의 환경부하는 회피효과를 고려하였다. 다음 Table 7.은 수집된 소각재 재활용 기술의 투입/산출 목록데이터 수집을 통해 평가한 환경적, 경제적 영향을 나타내고 있다.

Table 7 대상공정 투입/산출 별 환경결과 및 비용^[4]

항목			영향결과 (kg CO ₂ eq./kg)	비용 (원/kg)
투입물	원료물질	바닥재	-	-
		석회	3.80E-03	2.3
		인산	1.26E-01	14.4
		산	4.51E-02	2.70
		시멘트	7.95E-02	0.9
	에너지	전기	3.87E-03	0.095
산출물	제품	재생골재	-2.04E-03	-
총합			2.56E-01	20,395

다음 Figure 4에서는 현재 소각재 처리방법인 유해폐기물 매립방법과 Pilot 수준의 기술 개발 중인 소각재 재활용 방법과 지구온난화 영향에 대한 특성화 값을 비교하였다.

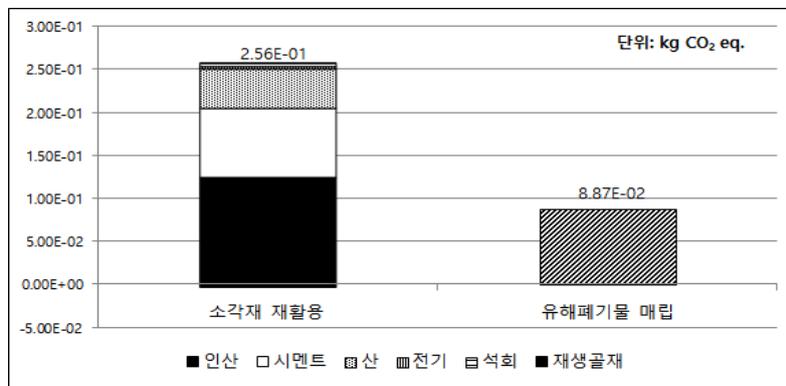


Figure 4 재활용 기술 및 유해폐기물 매립에 대한 지구온난화 영향 비교(특성화)

비교 결과 환경영향은 현재 진행 중인 매립보다 1.67E-01kg CO₂ eq./kg의 영향이 더 발생하는 것으로 나타났으며, 경제적으로는 8,861원/ton의 이익이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 대상 재활용공정은 향후 최적화 및 고효율화를 통해 환경적 개선이 이루어진다면 자원회수 관점에서 상당한 효과를 볼 수 있을 것으로 생각된다.

4. 최적화

2013년 기준 국내 자원회수시설 39개 중 5개 시설에서 시설용량을 초과하여 폐기물을 소각하는 것으로 나타났다. 자원회수시설에서 폐기물의 과소각이 발생하게 되면, 폐기물의 불완전 연소, 소각시설의 부식, 소각로 벽 균열 등의 잠재적 문제가 발생 할 수 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 폐기물 수거구역의 최적화를 통해 환경적 이득을 전방하고자 한다.

4.1 소각지역 현황

앞서 말한 것과 같이 국내 5개 지역에서는 시설용량 이상으로 폐기물 소각을 수행하고 있다. 가장 많은 양이 초과하는 지역은 부산 해운대구이며 연간 4,618ton이 기준용량대비 과소각이 진행되고 있으며, 다음으로는 전북 익산지역이 3,578ton이 과소각되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 과소각량을 인근 지역으로 분배하여 기존영향과의 비교를 위해

대상지역의 인근 지역을 최대 이동범위로 설정하고 Table 8.과 같이 현황을 조사하였다.

Table 8 대상지역 및 인근지역 소각 현황^[3]

지역			소각량 (ton)	소각용량 (ton)	소각 비율	지역			소각량 (ton)	소각용량 (ton)	소각 비율
부산 ·경 남지 역	인근	김해	50,846	60,000	85%	경기	인근	성남	132,901	179,599	74%
		마산	58,010	59,804	97%			이천	79,273	90,000	88%
		성산	77,967	122,502	64%		대상	수지	22,673	20,994	108%
		양산	24,761	60,000	41%			인근	군포	43,914	60,156
		울산	85,855	114,474	75%		수원		172,692	180,000	96%
	대상	명지	102,527	102,000	101%		평촌	11,590	60,000	20%	
		해운대	71,417	66,799	107%		대상	안산	60,991	60,000	102%
전북	인근	전주	94,842	118,284	80%						
	대상	익산	63,578	60,000	106%						

4.2 수거구역 최적화

수거구역 최적화를 위해 Table 9.와 같이 각 지역의 공정 영향을 도출하였으며, Figure. 5와 같이 과소각 지역의 정상상태 시 공정 영향을 도출하였다.

Table 9 대상지역 시스템 및 공정 영향

단위: kg CO₂ eq./kg

지역	시스템	공정	지역	시스템	공정
김해	7.84E-01	9.90E-02	성남	6.96E-01	6.54E-02
마산	7.82E-01	9.66E-02	이천	7.18E-01	9.22E-02
성산	4.99E-01	1.21E-01	수지	6.84E-01	1.01E-01
양산	9.40E-01	1.34E-01	군포	1.30E+00	1.04E-01
울산	5.68E-01	9.85E-02	수원	4.84E-01	1.06E-01
명지	5.02E-01	6.88E-02	평촌	8.27E-01	9.29E-02
해운대	5.38E-01	6.56E-02	안산	6.83E-01	1.15E-01
전주	8.57E-01	9.69E-02			
익산	8.20E-01	1.38E-01			

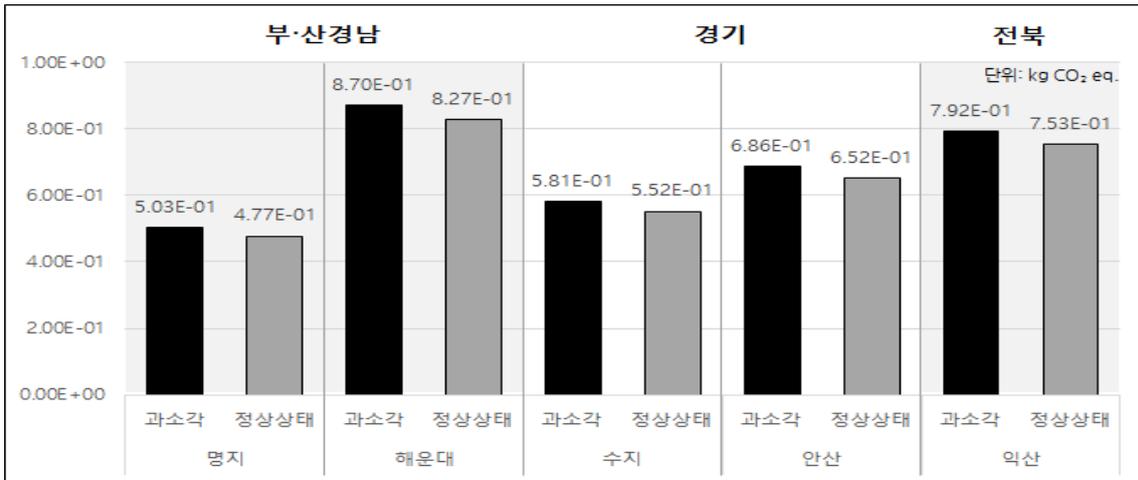


Figure 5 대상 시설의 과소각 및 정상상태 시 환경영향(공정)

또한, 수송 부하를 고려하기 위해 각 지역의 구청 및 시청간의 이동거리를 수거거리로 가정하여 Figure 6과 같이 수거지역과 자원회수시설간의 거리를 도출하였다.

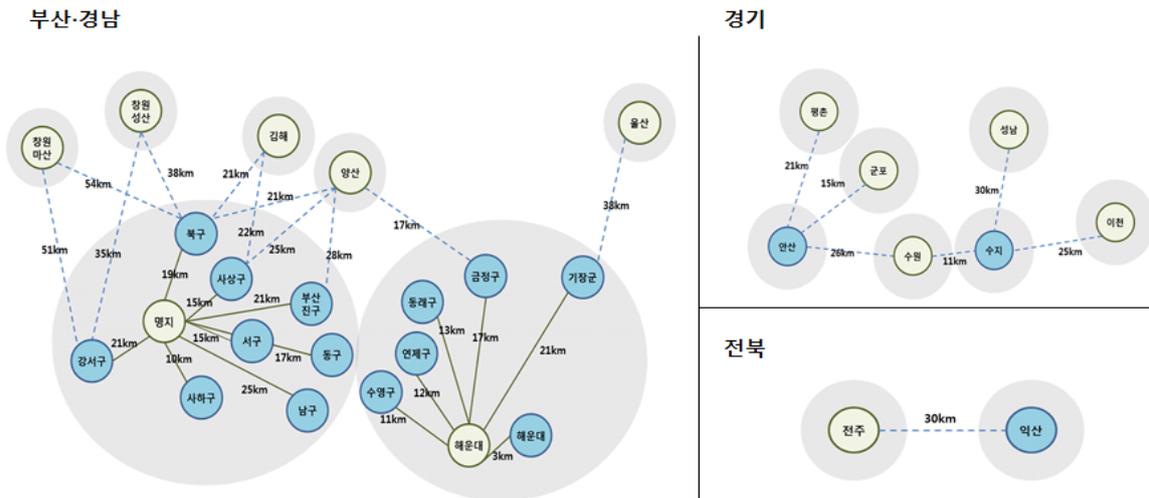


Figure 6 현재 수거구역 및 대상 지역 간 거리

이렇게 도출된 인근 자원회수시설의 환경영향과 정상상태 시 환경영향, 운송부하를 모두 고려하여, 환경영향이 가장 낮은 지역으로의 폐기물 운송을 가정하여 환경영향을 도출하였으며, Table 10와 같이 기존 환경영향 대비 저감량을 산정하였다.

Table 10 최적화를 통한 지역별 소각량 및 환경영향 감축량

지역	소각량 (ton)	소각용량 (ton)	소각률	지역별 감축량	총 감축량	
				(kg CO ₂ eq.)		
부산·경남	김해	50,846	60,000	85%	1.28E+06	2.26E+06
	창원	58,537	59,804	98%		
	창원	77,967	122,502	64%		
	양산	24,761	60,000	41%		
	울산	90,442	114,474	79%		
	명지	102,000	102,000	100%		
	해운대	66,427	66,427	100%		
경기	성남	132,901	179,599	74%	3.45E+05	
	이천	79,273	90,000	88%		
	수지	20,994	20,994	100%		
	군포	43,914	60,156	73%		
	수원	175,362	180,000	97%		
	평촌	11,590	60,000	19%		
	안산	60,000	60,000	100%		
전북	전주	98,419	118,284	83%	6.35E+05	
	익산	60,000	60,000	100%		

Figure 7과 같이 부산 명지의 경우 최적화 결과 거리상으로 창원 성산 보다 더 멀지만 저감효과가 큰 창원 마산 지역으로 이동이 가장 최적의 결과를 나타냈으며, 해운대지역의 경우 양산보다 먼 울산 지역으로의 이동이 환경영향이 더 적은 것으로 나타났다. 또한, 경기도 수지의 경우 군포, 평촌보다 더 먼 수원으로의 이동이 최적의 결과를 나타냈으며, 경기 수지의 경우역시 수원으로의 이동이 가장 낮은 환경부하를 나타냈다. 전북지역의 경우 익산에서 전주로의 폐기물 운송결과 환경영향을 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

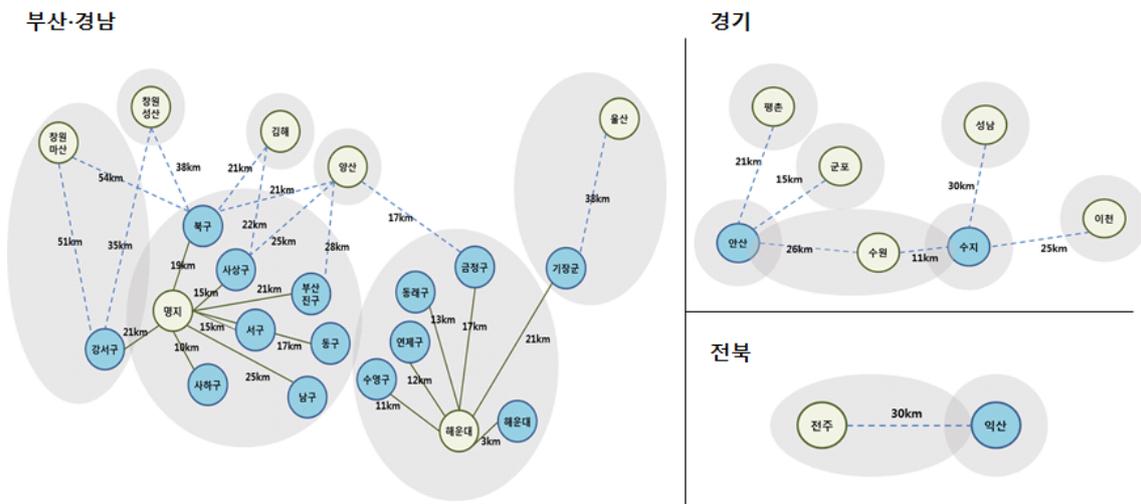


Figure 7 최적화를 통하여 재분배된 수거구역

이와 같이 경남, 경기, 전북지역의 수거지역 최적화를 통하여 총 3.64E+04kg CO₂ eq.의 감축이 가능할 것으로 분석되었으며, 지역을 더 세분화하여, 동(洞)단위로 폐기물 배출량 분석이 가능하다면, 조금 더 많은 양의 저감이 가능할 것으로 여겨진다.

5. 결론

본 연구에서 일반폐기물 소각공정에 대한 전과정평가 수행 시, 폐기물의 저장부터, 소각재 처리 및 배출가스 처리까지를 고려하였다. 소각공정에서 발생한 환경부하는 대부분이 공정 중 배출가스에 의해 발생하는 것으로 도출되었으며, 주로 CO₂, CO, NO_x, SO_x 등에 의해 발생하였다. 공정상에서는 주로 액상소석회 및 암모니아수에 의한 영향이 크게 발생하는 것으로 나타났으며, 환경성 평가 결과 지구온난화지수는 약 7.04E-01kg CO₂ eq. 이며, 소각 중 배출이 6.07E-01kg CO₂ eq. 로 약 86.3%의 비율을 갖는 것으로 나타났다.

또한 국내에는 화격자식, 유동상식, 열분해용융식의 3가지 유형의 자원회수시설이 운영되고 있으며, 이에 대한 환경영향 비교를 수행하였다. 환경영향 비교 시, 지구온난화 측면에서 열분해용융 > 화격자 > 유동상의 순으로 나타났으며, 공정만을 비교하였을 경우, 화격자 > 열분해용융 > 유동상의 순으로 나타났다.

수거지역 재분배를 통한 최적화 과정을 통하여 환경저감 효과를 분석하였다. 국내 39개 자원회수시설 중 5개 시설에서 시설용량보다 많은 폐기물을 소각하고 있었으며, 이를 환경적으로 최적화하기 위해 각각의 시설의 환경성평가를 수행하고, 수거지역 재분배를 통한 환경영향을 예측해보았다. 최적화 수행 결과 연간 약 2.26E+06kg CO₂ eq의 온실가스 저감이 가능할 것으로 예측되었다.

본 연구를 통해 국내 자원회수시설을 통한 소각 시스템의 환경성평가를 수행하였다. 이를 통해 현재 소각 시설의 최적화를 수행하여 환경부하를 줄일 수 있는 가능성을 확인하였으며 본 연구를 바탕으로 폐기물 소각경로, 소각량 등을 조절한다면 현재보다 적은 환경부하로 동일한 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

6. 참고문헌

1. 『제 2차 국가폐기물관리종합계획(2002-2011) 수정계획』, 2007, 환경부
2. 『-96년 IPCC개정판- 온실가스 배출량 산출 지침』, 에너지관리공단, 1998
3. 『2013년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황』, 2014, 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회
4. 안지환 외 2인, 『생활폐기물 소각 바닥재의 재활용을 위한 연구』, 한국자원리사이클링 학회, 2008
5. 『Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services』, Ecoinvent, 2009
6. 이진모 외 2인, 『환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침』, 한국 품질환경인증협회, 1998
7. 정재수, 『생활폐기물 소각공정의 전과정평가(LCA)』, 에코아이, 2004
8. 『서울시 생활계폐기물 발생 및 처리경로 분석연구』, 1998, 서울 시정개발연구원
9. 『LCI 데이터베이스 표준지침서』, 환경부, 2003
10. 『LCI 데이터베이스 구축 일반지침』, 환경부, 2006
11. KS ISO 14040:2007 환경경영-전과정평가-원칙 및 기본구조

12. KS ISO 14044:2007 환경경영-전과정평가-요구사항 및 지침
13. 임송택, 『생활폐기물 소각 및 매립공정에 대한 전과정평가 연구』, 건국대학교 대학원, 석사학위 청구논문, 2003