

생태도시 조성을 위한 통합폐기물 관리방안
- 전과정평가(LCA) 기법의 응용 -

김 익 수
아태환경·경영연구원

Integrated Solid Waste Management in Ecopolis
-Applying LCA-

Kim, Ik Soo
Asia-Pacific Environment & Management Institute

Abstract

Applicability of LCA in establishing the integrated solid waste management were examined. Data were collected from current waste management system. LCA method was then applied to find environmentally sustainable waste management. The process comprises five steps : (1) collecting data, comparing the data with comprehensive urban planning as well, (2) analyzing the current waste treatment procedure leading to the database establishment, (3) LCA for the waste management system, (4) finding alternative scenarios based on the former steps, (5) establishing the optimum method in Ecopolis, best fitted to the local situation. The results and suggestions in this study are expected to yield comprehensive analysis as to current practices in waste management. More importantly it will be a valuable data in minimizing environmental burdens in connecting with living environments of Ecopolis. Information regarding the urban system and total environmental quality are expected from this study.

Key words : Ecopolis, Integrated Solid Waste Management(ISWM), Life Cycle Assessment(LCA), Urban Comprehensive Plan

I. 연구의 배경 및 목적

최근 들어 생태도시의 중요성과 필요성에 대한 인식이 높아지면서 각 자치단체별로 이를 추진하려는 노력이 계속되고 있으나 도시의 '자립성, 안정성' 원칙상의 폐기물관리 분야에 있어서는 구체적인 자료에 입각한 체계적인 분석 및 대안의 제시가 거의 이루어지지 않고 있다.

자연환경을 보전하기 위해서는 인간의 활동이 집중되어 있는 도시로부터 비롯되는 환경부하를 함께 고려하는 통합계획개념이 절실히 필요하다. 즉, 폐기물의 효율적인 처리를 고려하지 않고 녹지만을 가지고 논하는 도시계획이나 정책에는 한계가 있다.

이를 구체적으로 종합·제시한 것이 생태도시계획이지만 실행을 위한 구체적인 방법론 및 분석모델의 제시가 미약한 실정이며, 기존의 대부분의 제안은 환경분야에 대한 이해의 부족으로 문제해결을 위한 실질적 대안을 제시하지 못했다고 할 수 있다.

또한, 지금까지 서로 다른 많은 종류의 물질들이 혼합된 폐기물을 거의 전적으로 처리방법의 용이성과 단기적, 즉시적인 경제성에 의존해 처리해 왔으며, 최근에 와서야 이러한 방법으로는 폐기물들을 효율적으로 관리하기 어렵다는 사실이 인식되기 시작하였다.

폐기물의 성질이 다른 경우 각각 다른 처리방법 즉, 물질 재활용, 생물학적처리, 열적처리를 비롯하여 그 나머지를 최종 매립으로 해결하는 몇가지 처리방법을 이상적으로 혼용하는 통합폐기물관리가 이루어져야 한다¹⁷⁾. 또한, 도시전체 차원에서는 도시의 경제·사회적 특성, 폐기물의 특성 및 처리환경의 제반여건 등이 함께 고려되어야 할 것이다.

유럽을 중심으로 발전을 거듭해오고 있는 전과정평가(LCA) 기법은 지금까지 통합폐기물관리를 수행하기 위한 방법론상 어려움을 해결해줄 수 있는 유용한 도구로서 자리잡고 있다.

따라서 본 연구에서는 생태도시의 원칙에 전과정평가(LCA) 기법을 응용하여 환경적으로 지속가능한 폐기물관리방안을 도출하고, 향후 생태도시계획 및 조성에 있어 구체적 방법론의 일부를 제시하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 먼저, 문헌 및 자료조사를 통한 이론고찰과 현장조사, 자료분석을 통해 연구의 틀을 마련하였으며, 전과정평가기법을 응용하여 서울특별시를 중심으로 생활폐기물의 처리 전과정에 대한 자료 및 방법론을 구축하고, 생태도시에 적용가능한 통합폐기물 관리방안을 도출하였다.

(1) 전과정평가 목적 및 범위설정

전과정평가의 목적은 국내 생태도시에 적용가능한 통합폐기물관리방안을 도출하기 위한 기초자료의 구축 및 방법론 정립으로 설정한다. 연구시스템은 국내 폐기물관리체계 즉, 폐기물의 배출 이후 수거부터 최종처리까지의 전과정이며, 하위시스템은 최종처리후 발생하는 침출수와 가스의 처리 등을 포함한다. 시간적 범위는 1994년 1년이며, 공간적 범위는 서울특별시에서 발생한 생활폐기물의 배출 이후 폐기물관리를 위한 중간처리장과 최종처리장으로 한정하고, 기능단위는 '가정에서 배출된 생활폐기물 1톤'으로 설정한다.

자료는 환경부 통계자료, 각 자치단체의 통계자료 및 내부자료, 재활용업체, 매립지, 소각장등 해당 기관 및 업체 내부자료, 관련 연구보고서, 학술논문 등을 이용하며, 수집된 자료는 Excell S/W Program을 이용하여 처리한다.

(2) 전과정목록분석

투입물은 시스템경계 밖에서 시스템경계내로 들어오는 물질중 폐기물처리와 직접 관련되는 물질 즉, 시설가동을 위한 전력, 경유, 도시가스 등의 연료, 소각과정 및 침출수처리과정에서 투입되는 보조물질, 공정수 등으로 한정한다. 배출물은 대기배출물과 수계배출물, 고형폐기물로 나눈다. 수송은 폐기물의 수거 및 수송, 중간처리장과 소각장, 매립지까지의 수송, 복토재의 수송으로 구분한다. 또한, 서울특별시에서 1994년 1년동안 생활폐기물을 처리하는데 소요된 투입물과 배출물을 기능단위인 생활폐기물 1톤을 기준으로 환산하여 목록분석표를 작성한다.

서울특별시의 경우 전체 생활폐기물의 처리과정상 소각과 매립에 대한 구분이 없으며, 매립지에서는 인천, 경기 지역의 일반폐기물들이 반입되어 같이 처리되므로 목록 분석표 작성시 매립(78.9%)과 소각(0.6%)에 대한 비율을 적용하고, 생활폐기물(60.15%)과 사업장일반폐기물(39.85%), 서울(63.6%)과 인천·경기(36.4%)지역에 대해 각각 비율을 적용한다.

고 판단된다. 또한, 이로 인해 종합환경진단이나 환경지속성의 관점에서 정책평가, 기본구상 및 기본계획, 부문별 체제정비방법, 행동계획등 여러 가지 다음 단계들을 추진하는데도 그 내용이 부실해질 여지가 많은 것으로 판단된다. 따라서 폐기물관리 전과정을 고찰하고, 각 과정별로 생태도시계획 각 부문과의 연계성을 고려해야 할 것이다.

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. 생태도시계획과 폐기물관리

1) 생태도시계획의 과제

지금까지의 생태도시계획은 주로 자연환경과 사회환경 그리고 폐기물관리를 제외한 생활환경분야 위주로 진행되어왔다. 그러나 폐기물관리방식의 차이로 인해 발생할 수 있는 환경영향을 고려할 때 정확한 조사 및 분석, 대안의 제시가 없이는 진정한 의미의 생태도시계획이라고 언급하는데는 무리가 있다고 판단된다.

예를 들어 폐기물의 처리방식에 따라 방대한 규모의 토지이용이 달라지게 되며, 폐기물 수송은 부가적으로 많은 교통량을 유발시키는등 결국, 도시내 물질순환에 큰 차이를 유발하기 때문이다.

최근의 생태도시계획 지침에 대한 연구에서는 '자원의 순환 및 절약형 도시건설'이라는 대원칙하에 폐기물 감량화, 재활용등 개괄적인 내용만을 제시하여 실제로 생태도시계획의 각 부문과 긴밀히 연관되는 폐기물관리의 구체적 추진을 위한 분석방법 및 대안의 제시가 미흡하였다

2) 생태도시계획과 폐기물관리의 관련성

생태도시계획의 각 부문은 복잡하게 연계되어 상호간 많은 영향을 미치게 되는 바, 환경관리부문중 폐기물관리를 중심으로 살펴보면 표 1과 같다.

첫째, 도시계획면적 및 인구규모는 미래에 대한 예측을 통해 바람직한 대안을 도출하기 위한 근간이 되며, 폐기물관리의 모든 과정과 상당히 높은 관련성을 유지하고 있다. 둘째, 토지이용은 도시의 변화방향을 예측하고, 처리시설과 주변지역과의 연계를 고려하기 위해 중요하며, 역시 폐기물관리의 모든 과정과 높은 관련성을 갖고 있다. 셋째, 교통은 환경친화적 교통체계 구축을 통해 수송으로 인한 에너지 사용과 대기오염물질배출을 줄이고, 쾌적한 환경을 조성할 수 있다는 차원에서 역시 중요하다. 교통은 폐기물 수거, 수송과 밀접하게 관련된다. 넷째, 공원·녹지는 자연환경의 수준을 평가하는 척도로서 중요한 바, 음식물쓰레기의 퇴비화를 통한 퇴비사용이나 사용종료후 매립지의 공원화와 관련될 수 있다. 다섯째, 에너지 역시 지속성과 자립성을 평가하는 중요한 척도이며, 폐기물 처리시 소요에너지 및 에너지회수, 에너지 사용으로 인한 지구온난화, 오존층파괴등 지구환경문제와 관련된다.

표 1. 생태도시계획부문과 폐기물관리의 관련성

구 분	도시계획면적 및 인구규모	토지이용	교 통	공원·녹지	에 너 지
폐 기 물 발생	●	○	△	△	△
수 거 및 수 송	●	○	●	△	●
중 간 처 리	●	●	○	○	●
소 각	○	●	○	△	●
매 립	○	●	●	○	●

주) ● : 높은 관련 / ○ : 약간 관련 / △ : 낮은 관련

2. 생태도시 통합폐기물 관리방안의 도출

1) 폐기물관리 전과정 자료구축

(1) 폐기물 수거 및 수송

서울특별시의 경우 수거를 위해 사용되는 작업차량(2.5톤 압축)의 경우 하루 평균 작업거리(90km) 및 주행거리(11km/ℓ), 평균연료사용량(8.2ℓ), 보유차량(1,541대), 가동율(0.8)을 이용하여 하루 평균 경유사용량(10,108.96ℓ)을 계산할 수 있다. 이를 서울특별시의 하루 평균 생활폐기물발생량(15,397톤)으로 나누면, 1톤 수거를 위해 0.6566ℓ의 경유를 사용하는 것으로 계산된다(표 2 참조).

(2) 폐기물 중간처리

서울시의 경우 중간처리를 위해 적환장에서 캔 및 페트병 압축기와 선별기, 계근대, 페이로다 등을 운용하고 있으며, 압축기는 95~200t 용량으로서 평균 사용전력량은 약64.54kWh/t로 조사되었다. 또한, 압축 및 악품투여시 발생하는 오수에 대해서도 고려해야 할 것으로 판단된다. 전력사용으로 인한 배출물 산정은 전과정평가 소프트웨어의 한 종류인 SimaPro의 목록자료를 우리나라 '94년도 전력생산 발전비율중 수력(2.5%), 화력(62.0%), 원자력(35.5%)에 적용한 값¹⁵⁾을 이용하였다. 국내에서는 아직 본격화되고 있지는 않지만 음식물쓰레기의 퇴비화는 시급한 선결과제라고 볼 수 있다.

표 2. 생활폐기물 수거시 사용연료¹⁴⁾

평균작업거리 (km/일)	평균주행거리 (km/ℓ)	연료사용량 (ℓ/대.일)	보유차량 (대)	가동율	총사용연료량 (ℓ/일)	1톤처리시 사용연료(ℓ)
90	11	8.2	1,541	0.8	10,108.96	0.6566

표 3. 서울특별시 생활폐기물 수송현황¹⁵⁾

구 분	수송거리 (km/일)	평균주행거리 (km/일)	연료사용량 (ℓ/대.일)	사용대수 (대/일)	총사용연료량 (ℓ/일)	1톤처리시 사용연료(ℓ)
11톤 암물	141	8	17.6	970	17,072	1,4058

표 4. 경유 1ℓ 사용시 대기오염배출계수¹⁶⁾

배기배출물	CO	CxHy	NOx	SOx	Particles	Aldehydes
발생량(mg/ℓ)	12.1	4.49	56.2	3.74	4.01	0.84

수거된 생활폐기물을 중간적환장, 소각장 혹은 매립지로 수송하기 주로 11톤 암물트럭이 많이 이용되고 있다. 김포매립지까지 왕복평균 수송거리가(약 61km), 1회 수송시간(약 2.6시간), 차량 1대당 하루평균 수송회수(약 2.3회), 소요대수(970대)를 이용하여 하루평균 매립량(12,144톤)으로 나누면, 1톤의 생활폐기물을 김포매립지까지 수송하는데 소요되는 연료는 경유 1.4058ℓ인 것으로 계산된다(표 3 참조).

경유 1ℓ 사용으로 인한 대기배출물은 환경처에서 1993년 연구발표한 대기오염배출계수를 이용할 수 있다(표 4 참조).

유럽에서 연구된 자료를 보면, 음식물쓰레기를 퇴비화해서 퇴비생산물 1톤을 생산할 때 0.06 kWh의 전력이 소요되며, CO₂가 640kg 발생해서 대기배출물의 비중이 매우 큰 것을 알 수 있다(표 5 참조).

표 5. 음식물쓰레기 퇴비화에 따른 전력소요 및 배출물¹⁷⁾

퇴비생산물			1톤
전력소요(kWh)			60
배출물	대기배출물(kg)	CO ₂	640
	수계배출물(kg)	BOD	0.162
		COD	0.274
		Ammonium	0.028

(3) 소각

목동 자원회수시설의 경우 1995년까지 1일 150톤의 일반폐기물을 소각·위생처리하고 있으며, 1년에 1개월의 보수기간을 제외하고 11개월간 24시간 연속가동하고 있다⁵⁾. 소각과정중 가성소다(0.48t/h), 소석회(0.189t/h), 황성탄, 암모니아수 등의 물질과, 경유(15 l/회), 도시가스(107 l/h), 전기(2,000kWh) 등의 에너지와 공정수(18t/h)가 투입되는 것으로 조사되었다. 또한, 대기자가측정기록에 의하면 황화물질, 암모니아 등의 필수 자가측정항목과 질소산화물, 염화수소 등의 대기오염물질과 다이옥신이 발생하는 것으로 나타났다. 다이옥신의 경우, 목동에서 측정된 결과값을 1톤기준으로 환산한 0.038~6.4 ng/Sm³-TEQ/t로 발생량을 표시하였다. 평균적으로 소각량의 약 24%정도의 소각잔재물이 발생되므로 목동의 경우 1일 36톤의 소각잔재물이 발생하며, 생활폐기물 1톤 소각시 약 0.24톤이 발생하는 것으로 계산할 수 있다.

외국의 경우를 볼 때 향후 생활폐기물중에서 가연분만 분리수거하여 소각하는 경우 소각잔재물의 발생은 4.16%까지 낮추고 발열량도 높일 수 있을 것으로 예상된다⁸⁾. 목동 자원회수시설에서 매립지까지의 왕복 수송 거리는 약 33km이며, 이를 11톤 덤프트럭으로 수송하는 경우 소각잔재물 1톤 수송을 위해서는 경유 0.3837 l가 소요되고 이 값에 소각비율 0.006을 곱하면 0.002302 l로 계산된다. 소각과정에서 배출물의 산정은 SO₂의 경우 소각시 측정된 값 15.88ppm과 전력사용으로 인해 배출된 값 0.0015079, 소각잔재물수송시 경유 사용으로 인해 발생된 값을 합해 산정할 수 있다. 소각시설에서 배출되는 배출수의 경우 종류별로 정확한 오염물질의 수치를 측정할 값이 없으며, 쓰레기의 질에 따라

또, 계절별로 너무 다양한 수치를 나타내므로 수치의 평균값을 이용하는 것이 무의미한 것으로 판단된다. 그러나 소각재배출수나 소각재 핏배출수, 세정배출수등은 BOD도 높고, 중금속류를 포함하는 경우도 있으므로 주의 깊은 취급이 요망되며 이에 대한 수치도 정확히 측정되어야 할 것으로 판단된다. 자원회수시설에서 발생한 스텝은 지역난방 열병합발전설비와 연계해서 인근 아파트 단지의 열원으로 공급될 수 있는 바, 400톤/일 규모의 시설이 가동되면 연간 11,510kWh 규모의 전력을 생산할 수 있다⁹⁾.

(4) 매립

김포수도권매립지에는 서울특별시, 인천, 경기도 지역의 생활폐기물과 사업장일반폐기물이 반입되고 있으며, 주된 성상은 생활폐기물, 연탄재, 사업장폐기물(산업폐기물, 다량배출, 폐합성 등), 하수정수오니, 하수준설토, 건설잔재물등으로 대별된다.

① 매립량 및 성상

본 연구에서는 1994년 서울특별시의 1일 평균 매립량(12,144톤)을 기준으로 하였으며, 김포매립지에 기타 지역의 생활폐기물이 혼합 매립되는 것을 고려해서 서울특별시 생활폐기물의 매립지 평균반입 비율은 0.3018로 설정하였다.

② 에너지, 자원 소비량

김포매립지에서 침출수처리등 폐기물 처리시설가동을 위해 사용된 전력은 하루 평균 약 17,692.277 kWh로 조사되었다. 이를 서울특별시의 매립지 반입비율(0.3018)을 곱하고 1일 매립량(12,144톤)4)으로 나누면, 1톤 처리를 위해 소요되는 전력은 0.4396 kWh로 계산된다. 매립용 장비에는 불도저, 로울러, 굴삭기등이 사용되는데, 1일 평균 6시간의 가동시간을 기준으로 장비별 연료사용

표 6. 김포매립지 장비사용에 따른 오염물질배출³⁾

장비명	모 델	규 격	사용대수(대)	연료사용량(l/hr)		오염물질 배출계수(g/t)	
				대당	총량	NO ₂	TSP
불도저	D8N 등 8종	39T 등 5종	20	23.8	476	53.9	1.77
로울러	진동, C.P	20T, 52T	8	7.5	60	58.5	2.63
굴삭기	MX08 등 3종	0.8, 0.6m ³	10	23.8	238	53.9	1.77
계			38		774		

량과 오염물질배출계수를 이용하여 오염물질배출량을 산정할 수 있다(표 6 참조). 이값에 서울특별시의 적용비율(0.3018)을 곱하면 NO₂와 TSP가 각각 76.0436 kg/일, 2.5744 kg/일 발생하는 것으로 계산된다.

③ 발생가스

김포매립지의 경우 혐기성 매립방식으로 인해 메탄(CH₄)이 많이 생성되고 있으며, 자료의 부족이로 인해 본 연구에서는 이론적 조성비에 의한 계산값을 이용하여 가스발생량을 추정하였다(표 7 참조).

④ 침출수 발생 및 약품사용

1994년 김포수도권매립지의 1일 평균 침출수처리량(2,295톤)을 1일 매립량(12,144톤)으로 나누고, 서울특별시의 폐기물반입비율(0.3018)을 반영하여, 1톤 매립시 0.1202톤의 침출수가 발생하는 것으로 계산할 수 있다. 또한, 침출수의 약품처리후 방류되는 수질의 측정값을 기준으로 수계배출물을 산정할 수 있다(표 8,9 참조).

⑤ 복토재

김포매립지에서는 매립지 복토를 위해 하루 평균 11톤 덤프트럭 90대분의 복토재를 수송하고 있어 서울특별시 생활폐기물 1톤에 대해 0.039365 l의 경유를 사용한 것으로 계산되며, 복토재 확보를 위해 사용되는 에너지나 연료등에 대해서는 고려하지 않았다.

이상의 자료와 기준들을 종합하여 생활폐기물 1톤을 처리하기 위한 전과정에서 투입된 물질과 수자원, 에너지, 수송자료, 배출물들에 대한 자료수집서와 배출물 목록 및 배출량 등은 표 10 및 표 11과 같이 정리할 수 있다.

(5) 결과종합

본 연구에서는 가능한한 국내에서 조사된 자료를 수집, 이용하여 국내 현황에 맞는 자료의 구축에 초점을 맞추고자 하였으나 부족부분이 많아 SimaPro, Nordic 등과 같은 외국자료들을 이용하여 보완하였지만, 적용상 무리한 부분이 많음을 지적할 수 있다. 예를 들어 SimaPro 등의 자료는 경유나 가스는 원유·천연가스의 채취, 수송 단계를 포함한 값이므로 적용하는데 무리가 있으며, 수송 단계의 차량은 28톤 대형트럭을 기준으로 하여 역시 11톤을 지향하고 있는 우리 현실에 맞지 않는다고 판단된다. 소각의 경우 본 연구에서는 반입폐기물의 각 성상별로 오염물질 배출을 고려하지 않고 혼합된 상태에서의 소각으로 인한 실측값을 이용하고 있으므로 적용상 일관성이 떨어지며, 매립의 경우도 마찬가지로 판단되었다. 또한, 현재까지도 폐기물의 처리는 주로 매립에 의존하고 있으며, 소각에 의해 발생하는 열에너지의 활용이나 매립지에서의 가스의 포집 및 활용은 거의 이루어지고 있지 않은 것으로 나타났다. 투입물질로는 매립과 소각시 FeSO₄, H₂O₂, 소석회 등이 투입되고, 소각시 공정수가 사용되고 있으며, 전력, 경유, 도시가스등의 에너지는 전 과정에서 투입되고 있다. 특히 중간처리과정에서 전력을 많이 사용하고 있었는데, 이것은 전력을 사용하는 장비의 운영이 대부분이기 때문인 것으로 판단된다. 배출물에 있어서는 대기배출물의 경우 매립지에서 CH₄, CO₂가 다량 배출되는 것으로 나타났고, 수계배출물의 경우 매립지에서 TS, Cl가 다량 배출되는 것으로 나타났다.

표 7. 계산식에 의한 매립지 발생가스¹⁵⁾

(단위 : 용적 %)

CH ₄	CO ₂	NH ₃	H ₂ S	비 고
50.25	45.37	2.7	1.68	표준상태에서 0.181m ³ /kg-refuse(추정치)

표 8. 김포수도권매립지 침출수 방류수질('93,'94)¹⁶⁾

(단위 : mg/l)

구 분	pH	BOD	COD _{MN}	ALK	Cl ⁻	T-K	NH ₃ -T	TS	TSS	유기산
'93	8.2	44.3	249.6	1786.6	3035.5	406.6	206.9	7727.8	84.1	1069
'94	8.2	49.7	425.8	1960	4230.5	854	244.0	11725.3	155.3	1194.5

표 9. 침출수 처리를 위한 화학물질¹¹⁾

(단위 : mg/l)

구 분	FeSO ₄	H ₂ O ₂	POLYMER
주 입 농 도	1214	1209	7.5

표 10. 서울특별시 폐기물처리 단위공정별 투입물 목록 및 투입량

단위공정 : 생활폐기물처리	대상지역 범위 : 서울특별시
시간범위 : 1994	
단위공정 설명 : 서울특별시에서 발생한 생활폐기물 1톤을 처리하는데 소요된 투입물	

투입 물질	단 위	투입량	산 정 기 준			
FeSO ₄	kg/t	0.06924	매립지 침출수처리용			
H ₂ O ₂	kg/t	0.068959	매립지 침출수처리용			
polymer	kg/t	0.000428	매립지 침출수처리용			
소석회	kg/t	0.18144	소각공정			
가정소다	kg/t	0.4608	소각공정			
사용 수자원	단 위	소 비 량	산 정 기 준			
공정수	kg/t	17.28	소각공정			
도로세정수	kg/t	-	매립지			
투입 에너지	단 위	투 입 량	산 정 기 준			
전 력	kWh/t	66.89969	중간처리(64.54) + 소각(1.92) + 매립(0.439686)			
경 유	ℓ/t	0.116012	소각(0.0006) + 매립(0.115412)			
도시가스	ℓ/t	0.10272	소각공정			
수송단계	수송수단	수송거리(km)	최대용량(ton)	사용연료	연료량(ℓ/t)	적재율(%)
배출→적환장, 소각장	2.5t 압축	11	2.5	경유	0.6566	80
배출→매립장	11t 암물	141	11	경유	1.4058	80
소각장→매립장	11t 암물	33	11	경유	0.0022302	80
복토재수송	11t 덤프	141	11	경유	0.039365	80

가 정

- 수거차량의 가동율은 80%
- 수거차량은 2.5톤 압축차량용 기준
- 수송차량은 11톤 암물트럭용 기준
- 중간처리장과 소각장까지의 거리는 같은 것으로 가정
- 적환장에서 압축기 사용으로 인한 전력량 및 오염물질배출량을 계산
- 압축 및 약품투여시 발생하는 오수에 대해서는 자료의 부재로 인해 제외
- 중간처리는 적환장에서 선별과정만을 다룸
- 소각잔재물의 매립지 수송시 적재율에 따른 차이는 고려않음
- 공정수는 24시간 계속투입되는 것으로 가정
- 소각은 24시간 연속 가동되는 것으로 가정
- 소각으로 인해 발생한 에너지는 고려하지 않음
- 최근의 공정에서는 활성탄과 암모니아수가 사용되어지나 고려않음
- 매립장비는 1일 평균 6시간 가동기준
- 청소수 사용 수자원은 고려치 않음
- 매립지 발생가스는 이론적 조성비에 의한 계산값으로 추정
- 복토재 확보를 위한 에너지, 연료소모는 고려치 않음

- 서울시 청소사업본부, 1996
- 서울시 청소사업본부, 일반폐기물 단계별 처리비용 및 환경미화원 적정과업량, 1995
- 환경처, 대기오염배출계수, 1993
- 공업진흥청, LCA의 산업체 적용을 위한 전기에너지 데이터베이스의 구축, 1995
- 부산환경개발(주), 부산환경시설공사 기본 설계보고서
- 서울시 청소사업본부, 강남자원회수시설 건설사업 환경영향평가서, 1993
- 서울시 청소사업본부, 목동자원회수시설 다이옥신 측정평가 중간보고서, 1995
- 건설연구사, 건설표준품셈, 1993
- 수도권매립지, 내부자료, 1995
- Wark K, Warner C.F. Air Pollution, 1981

표 11. 서울특별시 폐기물처리 단위공정별 배출물 목록 및 배출량

(단위 : kg)

구 분	배출물 목록	배 출 량				
		계	수거·수송	중간처리	소 각	매 립
배기배출물	aldehyde	2.21E-06	1.73E-06	3.9E-07	4.95E-08	3.57E-08
	ammonia	2.03E-07	—	1.96E-07	5.82E-09	1.33E-09
	benzene	1.92E-08	—	1.85E-08	5.51E-10	1.26E-10
	benzo[a]pyrene	1.52E-10	—	1.47E-10	4.36E-12	9.98E-13
	Cd	4.31E-10	—	4.16E-10	1.24E-11	2.83E-12
	CH ₄	1.960676	—	—	—	1.960676
	C ₆ H ₆	3.1E-06~ 1.9E-05	—	—	3.1E-06~ 1.9E-05	—
	CO	0.0044681	2.5E-05	1.1E-06	0.004654	4.84E-07
	CO ₂	42.37647	—	36.40056	1.08288	4.89303
	CS ₂	7.13E-05	—	—	7.13E-05	—
	Cu	3.91E-09	—	3.78E-09	1.12E-10	2.57E-11
	CxHy	1.33E-05	1.18E-05	1.34E-06	5.03E-08	1.86E-07
	CxHy aromatic	1.08E-06	—	1.04E-06	3.09E-08	7.08E-09
	Dioxin(ng/Sm ³ -TEQ)	1.5E06~ 0.0063	—	—	1.5E-06~ 0.0063	—
	dust(SPM)	0.001251	8.27E-06	5.94E-08	0.000541	0.000702
	HCl	0.000597	—	5.03E-06	0.000592	3.43E-08
	H ₂ S	0.14365	—	—	0.004354	0.1392958
	mercury	2.34E-09	—	2.26E-09	6.72E-11	1.54E-11
	methane	0.104364	—	0.100682	0.002995	0.000686
	N ₂ O	9.57E-09	—	9.23E-09	2.75E-10	6.29E-11
	NH ₃	0.0012371	—	—	0.000303	0.1119341
	non methane VOC	3.93E-05	—	3.79E-05	1.13E-06	2.59E-07
	NOx	0.116538	0.000116	0.092292	0.002746	0.021384
	Pb	2.15E-09	—	2.08E-09	6.18E-11	1.42E-11
	SO ₂	0.234327	7.71E-06	0.224599	0.00819	0.001531
	V	5.51E-07	—	5.31E-07	1.58E-08	3.62E-09
	Zn	1.31E-09	—	1.26E-09	3.76E-11	8.62E-12
수계배출물	ALK	0.111788	—	—	—	0.111788
	BOD	0.002835	—	5.87E-08	1.75E-09	0.002835
	Cl ⁻	0.24126	—	—	—	0.24126
	Cl ₂	0.232811	—	0.224599	0.006682	0.00153
	COD	0.024285	—	1.76E-07	5.24E-09	0.024285
	crude oil	4.38E-06	—	4.22E-06	1.26E-07	2.88E-08
	CxHy aromatic	4.84E-07	—	4.67E-07	1.39E-08	3.18E-09
	dissolved substances	2.13E-06	—	2.06E-06	6.12E-08	1.4E-08
	organic acid	0.068128	—	—	—	0.0368128
	NH ₃	0.013917	—	5.85E-07	1.74E-08	0.013916
	sulphates	0.799204	—	0.125853	0.003744	0.669607
	suspended substances	0.008857	—	5.87E-08	1.75E-09	0.008857
	T-K	0.048708	—	—	—	0.48708
	Zn	4.25E-07	—	4.1E-07	1.22E-08	2.8E-09
고형폐기물	final waste(inert)	4.35657	—	4.201554	0.126392	0.028624
	productwaste(inert)	0.3017172	—	0.291075	0.0086592	0.001983

2) 생태도시 통합폐기물 관리방안

이상의 연구내용들을 종합해보면 생태도시의 폐기물관리를 위해 먼저, 도시현황자료수집 및 도시기본계획검토, 폐기물 처리과정별 현황조사 및 자료구축, 폐기물관리의 전과정평가, 대안시나리오 작성, 지역특성에 맞는 지속가능한 폐기물관리방안 도출의 순으로 관리방안을 모색해야 할 것으로 판단된다(그림 1 참조).

수거 및 수송체계, 수거빈도, 수거방법, 수거 및 수송지, 왕복평균거리, 차량소요대수, 사용연료 및 연료량, 소요비용을 구한다.

③ 폐기물 중간처리

중간처리체계, 장비, 사용연료 및 연료량, 전력량, 수송지, 수송거리, 차량소요대수, 왕복평균수송거리, 사용연료 및 연료량, 소요비용을 구한다.

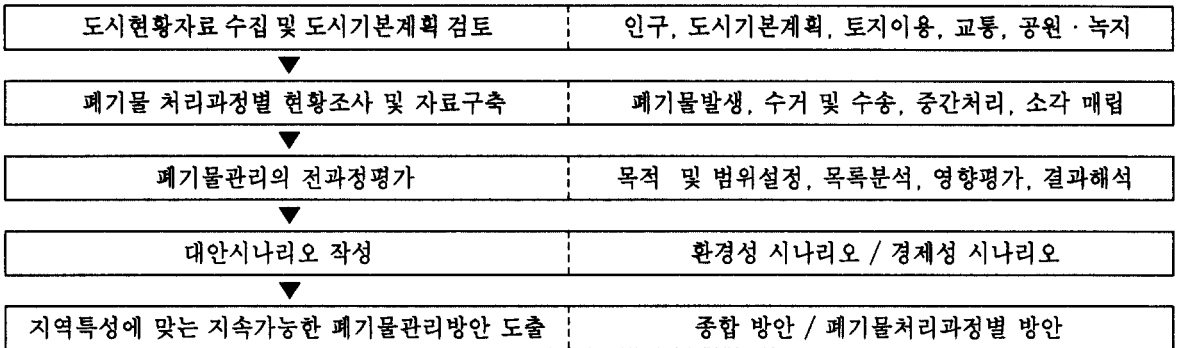


그림 1. 생태도시 통합폐기물 관리방안 도출과정

(1) 도시현황자료수집 및 도시기본계획검토

생태도시계획을 수행하기 위해서는 먼저, 해당 도시의 환경용량을 산정한 뒤 이를 기초로 한 도시계획, 토지이용계획의 적정화 방안을 모색하는 것이 바람직하다¹³⁾.

따라서 해당 도시의 현재 혹은 미래의 환경적 수용능력을 판단하기 위해 토지이용, 교통, 공원·녹지, 인구, 도시기본계획등 도시의 현황 및 관련자료를 광범위하게 수집해야 할 것이다.

(2) 폐기물 처리과정별 현황조사 및 자료구축

폐기물 발생, 수거 및 수송, 중간처리, 소각, 매립에 대해 현황을 조사하고, LCA 수행 및 대안시나리오 작성을 위해 다음과 같이 관련 자료들을 구축한다.

① 폐기물 발생

먼저, 대상지역 혹은 도시를 설정하고, 인구 및 가구수, 가구당 평균가족수 등 대상지역의 기본 현황자료를 구한다. 폐기물 발생 및 구성과 관련하여 대상지역의 1인당 년평균폐기물발생량 및 폐기물의 구성비를 구하고, 국가평균과 비교하여 세부구성비를 도출한다.

② 폐기물 수거 및 수송

④ 소각

소각량, 반입폐기물의 조성비, 발열량, 사용연료 및 사용량, 전력량, 소각잔재물, 수송지 및 수송거리, 차량소요대수, 사용연료 및 연료량, 소요비용을 구한다.

⑤ 매립

매립량, 반입폐기물의 조성비, 사용장비, 사용연료 및 연료량, 전력량, 복토재수송지 및 반입량, 수송거리, 차량소요대수, 매립가스발생량, 가스로 부터의 에너지재생량, 침출수발생량, 침출수처리약품, 소요비용을 기입한다.

⑥ 공정별 수집자료 종합 및 전과정목록분석표 작성

이상에서 조사, 기입한 자료들과 서울특별시의 전과정 목록분석에서 인용한 기초자료들을 이용하여 수거 및 수송, 중간처리, 소각, 매립의 각 과정별로 투입물질과, 사용수자원, 투입에너지양을 산정하고, 대기배출물, 수계배출물, 고형폐기물(최종잔재물) 각각의 항목에 대해 기능단위당 값으로 산정한다. 폐기물 처리과정별 현황조사 및 자료수집은 위와 같은 기본적인 틀을 유지하면서 각 지역의 특성에 맞게 보완·조정되어야 할 것이다.

(3) 폐기물관리의 전과정평가

앞서 수행한 폐기물의 처리과정별 현황자료와 서울특별시에서 적용한 방법을 이용하여 전과정평가를 실시한다. 전과정평가 결과는 판별이 용이하도록 그래프 등 다양한 형태로 작성해야한다.

(4) 대안 시나리오 작성

① 환경성 시나리오

전과정평가 결과를 이용하여 현재 이용되고 있는 폐기물처리단계별로 투입물과 배출물에 대해 일정 비율을 적용하거나 해당 지역의 환경목표 혹은 생태도시 원칙에 따라 대안을 작성하고, 대안별 결과값을 비교하여 최적의 시나리오를 도출한다.

② 경제성 시나리오

수집, 선별, 수송, 처리, 매립 등 전과정에서 지역특성에 따라 비용차이가 심하므로 평균값을 이용하거나 혹은 지역특성에 맞는 적정기준을 설정하여야 할 것이다. 또한, 전과정평가를 이용하여 현재 이용되고 있는 폐기물처리 단계별로 투입물과 배출물에 대해 일정 비율을 적용하여 각 대안별 결과값을 비교하여 최적의 시나리오를 도출한다. 대안의 작성은 현황자료에 근거하지만, 향후 도입 예정인 음식물쓰레기 퇴비화, 소각열 회수 및 이용 등에 대해서도 가정에 근거하여 환경성과 경제성에 대한 시나리오를 작성하여 현황과 비교할 수 있다.

그러나 아직까지 생태계파괴나 지구온난화등에 대한 경제적가치 부여기준이 정립되지 못한 상황에서 자칫 경제성을 언급하여 의사결정자들로 하여금 그릇된 판단을 유도할 수도 있으므로 경제성시나리오에 대해서는 보다 합리적인 방법이 개발될때까지는 그 사용을 주의해야할 것으로 판단된다.

(5) 지역특성에 맞는 지속가능한 폐기물관리방안 도출
자료의 수집 및 전과정평가, 대안시나리오의 작성등을 통해 해당 도시에 대한 이해의 폭을 넓히고, 정량적인 판단근거를 확보한 후, 지역특성에 맞는 폐기물관리방안을 도출한다.

본 연구는 서울특별시를 중심으로 자료의 수집 및 조사·분석을 통해 통합폐기물관리방안을 도출하였으나, 기존 연구자료가 상당 부분 미비했던 이유로 인해 계산식에 의한 수치를 다수 사용하였고, 재활용 부분에 대한 고려가 약하며, 경제성에 대한 분석을 수행하지 못했고, 또한, 생활폐기물만 다루었다는 한계를 가지고 있다.

그러나 본 연구결과 작성된 통합폐기물관리방안은 생태도시의 계획과정중 생활환경 조사 및 분석단계에서 대상도시의 폐기물관리현황을 분석하고, 환경영향 최소화 방안을 선택하기 위한 대안의 작성 및 평가에 기여할 수 있으며, 이를 통해 대상 도시의 수용능력을 분석하고 종합환경진단을 수행하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 본 연구결과는 에너지나 대기질, 수질 등의 기타 환경분야에도 적용이 가능할 것으로 판단되며, 향후 이러한 분야들을 포함하는 통합적인 모델이 개발된다면 생태도시계획 및 설계시 보다 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 사료된다. 향후 연구되어야할 과제는 다음과 같다고 판단된다.

첫째, 음식물쓰레기의 퇴비화, 적환장의 오·폐수발생량 및 방류수질, 폐기물 재활용시 성상별 투입물과 배출물등과 같이 아직까지 국내에서 구축되지 않은 자료들에 대한 연구 및 조사가 이루어져야 한다. 또한, 환경공학기술의 개발에 따라 변화하게 될 배출물 목록 및 배출량에 대해서도 꾸준히 모니터링하여 이용가능한 최적의 폐기물관리방안을 도출하도록 노력해야 할 것이다.

둘째, 매립지 확보로 인한 자연훼손, 매립지운영에 따른 각종 환경오염등 정확한 측정이 어려운 부분에 대한 환경성 평가기준에 대한 연구와 생태계파괴등 경제적가치를 반영하기 어려운 부분에 대한 가치기준 연구가 이루어져야 한다.

셋째, 향후 생태도시 조성을 목표로 신도시를 건설하는 경우 지금까지의 방식을 탈피해서 폐기물관리를 우선으로 도시를 계획·설계하고, 폐기물의 소각, 재활용, 매립등의 관련시설들을 한 장소 혹은 지역에서 단지화하여 효율성을 극대화하는 방안도 적극 모색되어야 할 것이다.

V. 결론 및 제언

참고문헌

1. 공업진흥청, 1995, LCA의 산업체 적용을 위한 전기에너지 데이터베이스의 구축 : 183
2. 김귀곤, 1997, 생태도시 계획지침에 관한 연구, 환경정책 제5권 제1호, 한국환경정책학회 : 103, 112-113
3. 서울특별시 청소사업본부, 1993, 강남자원회수시설 건설사업 환경영향평가서 : 132, 146
4. 서울특별시 청소사업본부, 1994, 일반폐기물 단계별 처리비용 및 환경미화원 적정과업량 : 78-85, 146
5. 서울특별시 청소사업본부, 1995, 목동자원회수시설 다이옥신측정평가 중간보고서 : 42-43
6. 연세대학교 보건과학연구소, 1995, 수도권매립지 침출수처리 막분리공정 타당성조사 : 3,5
7. 유희찬, 1992, "지역특성과 분리수거형태를 고려한 일반폐기물 관리시스템의 최적화", 한국과학기술원 토목공학과 박사학위논문 : 59-68
8. 한국환경기술개발원, 1995, 폐기물 처리시설 적정관리를 위한 폐기물 유통체계 개선방안 : 2,22,30, 123
9. 현대중공업(주), 숭실대학교 폐기물자원화 연구센터, 1994, 쓰레기 소각설비의 배출가스 영향과 처리대책 : 45
10. 환경부, 1995, 전국폐기물발생 및 처리현황 '94 : 18, 29, 32-33
11. 환경부, 1995, 수도권매립지 침출수 처리대책에 대한 공청회 : 47
12. 환경부, 1996, 전국 일반폐기물 발생 및 처리현황 '95 : 17, 18, 29, 32, 61
13. 환경부, 1996, 생태도시조성 기본계획수립을 위한 용역사업 : 83, 149-202
14. 환경부, 1996, 전과정평가의 기법개발과 국내산업에의 적용 : 54-111
15. 환경처, 1991, 수도권매립지(1단계) 매립작업 기본설계보고서 : 96
16. 환경처, 1993, 대기오염배출계수 : 136-137, 139
17. White P., Franke M., Hindle P., 1995, Integrated Solid Waste Management : A Life-cycle Inventory, Blackie Academic & Professional, London : 37, 48