

노원구 폐기물 관리에 대한 전과정평가

최진영 · 유경선 · 김남찬
광운대학교 공과대학 환경공학과

Life Cycle Assessment to Solid Waste Management Programs of Nowon-Ku

Jin-Young Choi, Kyung-Sun Yoo and Nam-Chan Kim

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University,
Wolgye-dong 447-1, Nowon-gu, Seoul, 139-701, Korea

LCA(Life Cycle Assessment) deals with the entire process, which affects the environment, from acquiring raw materials to an appropriate disposal of end products. LCA analyses the whole routine of the production of specific goods and services, and predicts the subsequent environmental impact. LCA includes the consumed energy, produced energy, and materials that are related to the process of obtaining raw materials, manufacturing, conditioning, delivering, using, recycling and disposal of products. Based on LCA, an objective and optimum environmental impact assessment can be carried out to improve the present environmental problems. LCA consists of 4 steps : setting the goal and scope of work, inventory analysis, impact assessment and the interpretation of results. The first step defines the frame of work to be done. The second step is making the list of work. The third step tests technically the qualitative and quantitative assessment of environmental loads and demand of energy and resources, that are determined through antecedent investigations. The final step combines the previous 3 steps, which could be conducted efficiently through the sensitivity analysis. In this research, LCA was applied to solid waste management programs of Nowon-Ku, Seoul, Korea.

Key words: life cycle assessment, goal and definition, inventory, interpretation, solid waste management

1. 서 론

전세계적으로 환경에 대한 관심이 높아지면서 환경은 이제 단순한 자연보호에서 벗어나 경영이나 마케팅 그리고 기업의 활동을 제재하는 도구로까지 이용되고 있다. 또한 환경에 대한 관심은 막연한 동경이 아니라 체계를 갖추기 시작하였고 여러 가지 도구들을 만들어 가고 있다. 이러한 시점에서 매년 기업들이나 사회단체에서는 자신들의 활동이 환경에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다. 이러한 움직임은 기업들이 그렇게 하지 않으면 더 이상 이 세계에서 커갈 수 없다는 것을 잘 알고 있기 때문이다.

많은 기업들과 사회단체들은 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해 감사를 받고 있으며, 그러한 도구중의 하나가 바로 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)이다. 전과정평가는 1960년대부터 1970년대에 걸

쳐 석유위기를 경험한 각 기업체들 사이에서 에너지자원 관련 비용 및 환경측면의 편익을 평가하기 위해 제조공장의 공정개선의 기술적 장치로서 전과정평가를 연구하였다.¹⁾ 이제는 어떠한 제품의 전과정 뿐만 아니라 각종 서비스에까지 전과정평가를 적용하고 있다.²⁾

본 연구에서는 먼저 노원구 폐기물관리 현황을 살펴 보고, 노원구 폐기물관리에 전과정평가를 적용함으로써 폐기물 관리체계를 분석하고 앞으로 노원구 폐기물 관리의 나아갈 방향을 정하는데 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 대상지역의 특성

2.1. 개요

본 연구에서는 LCA적용 대상지역으로 서울시의 동북쪽에 위치한 노원구로 설정하였다. 노원구의 면적은

35.5 km²이며 이 중 주거지역은 13.0 km²이다. 노원구는 1988년도 이후 지속적으로 아파트 단지가 개발되면서 많은 인구가 유입되었으며, 1990년도부터 1993년도까지 가장 높은 인구 증가율을 보였다. 그 이후 인구의 증가가 둔화되고 있지만 1999년 12월 현재 60만명을 넘어섰다.³⁾

2.2. 발생폐기물의 특성

노원구의 1인 1일 발생량은 0.63 kg이고 1일 발생량은 370.1톤으로 나타났으며, 이 값은 서울시의 다른 구와 비교하여 볼 때 아주 낮은 값이다.⁴⁾ 발생 폐기물의 평균조성에서는 음식물쓰레기가 59.0%로 가장 많은 양을 나타냈으며, 그 다음으로 종이류, 비닐류 순으로 나타났다.⁴⁾ 주거형태별로 보면 아파트와 단독주택, 주상복합에서는 음식물쓰레기가 51.2%에서 70.7%까지 차지하고 있으며, 상가에서는 음식물쓰레기와 종이류의 비율이 각각 30% 이상을 차지하고 있다.

2.3. 폐기물 관리체계의 특성

2.3.1 수거·운반 단계

노원구 폐기물의 수거·운반은 직영체제와 대행체제로 나뉘어져 있다. 직영체제의 경우 기존에 형성된 주택지를 수거하는 관계로 2.5톤 소형차량으로 수거하고 있으며, 차량의 진입이 불가능한 곳이 많기 때문에 환경미화원이 리어카로 도로변에 수집하여 놓으면 수거차량이 수거해가고 있다. 한편, 대행체제로 폐기물을 수거운반하는 회사는 4개사로 이들이 1997년에 수집·운반한 양은 전체 수거량의 70.0%를 차지한다.

2.3.2 소각

노원구는 800톤/일 규모의 자원회수시설을 1996년 9월부터 시험가동하여 1996년 11월부터 가연성 폐기물을 전량 소각처리하고 있다.⁵⁾

2.3.3 매립

노원구는 소각재와 불연성 폐기물을 수도권매립지에 전량 매립하고 있다. 노원구의 단위반입량은 1997년에 서울시 25개구 중에서 제일 적은 0.09 kg/인·일로, 서울시 평균인 0.57 kg/인·일에 비하여 매우 낮은 편이다.

3. 전과정 평가의 적용

3.1. 목적 및 범위

본 연구에서는 노원구 폐기물관리에 전과정평가를 적용함으로써 현재의 노원구 폐기물관리 실태를 파악하고 좀더 효율적인 폐기물 관리방안을 제시하고자 한다. 시간적 범위는 1997년 1년을 기준으로 분석하였다. 기능단위로는 노원구에서 발생된 고품폐기물 1톤을 대상으로 하였다. 시스템 범위는 노원구에서 발생한 고품폐기물의 수거·운반, 소각 및 매립의 전과정을 범위로 하였으나, 재활용에 관한 부분과 지정폐기물에 관한 범위는 자료의 부족으로 제외하였다. 그리고 폐기물 시설유지 부분과 시설에 관계된 난방이나 조명도 제외하였다.

3.2. 목적 분석

3.2.1 폐기물 발생량 및 처리 현황

1997년에 지정폐기물을 제외한 노원구의 폐기물발생량은 182,926톤이었으며, 이 중 57.0%를 소각처리하였고, 매립은 12.7%, 재활용은 30.2%로 나타났다.

3.2.2 각 단계별 특성

(1) 수거·운반

수거한 폐기물을 자원회수시설로 운반하여 소각한후 N환경에서 수도권매립지까지 수송하였다. 수거와 운반에 사용된 경유의 양은 직영체제에서 사용한 경유의 양을 기준으로 운반량에 비교하여 계산하였다. 사용된 경유의 양은 총 846,240리터이었으며 이 중 직영체제에서 사용한 경유의 양은 225,600리터이었다. 경유 1리터를 사용하였을 때 발생하는 대기오염물질의 농도는 Table 1의 대기오염 배출계수를 참조하였다.⁶⁾

NO_x의 경우 1리터를 소비할 때 56.2 mg이 발생되는 것으로 조사되었다. 1997년 발생된 총 NO_x의 양은, 경유 소비량 846,240리터를 곱한 후 단위환산하면 0.0476톤이 된다.

(2) 소각

(가) 전력사용에 의한 부하량

자원회수시설에서 사용하는 전력량 1kwh에 따른 배출물은 Table 2와 같다. Table 2에서 전력사용으로 인한 배출물 산정은 1994년의 전력생산 발전비율중 수력(2.5%), 화력(62.0%), 원자력(35.5%)의 적용값을 이용하

Table 1. The quantities of exhaust emissions generated from consumption of 1-L diesel oil (unit:mg/L)

Exhaust emissions	CO	C _x H _y	NO _x	SO _x	Particulates	Aldehyde
Quantities	12.1	4.49	56.2	3.74	4.01	0.84

Table 2. Emission inventory and quantities with electric consumption (unit:g/kWh)

Emissions	Item	Quantity
Air	Aldehyde	6.04×10^{-6}
	NH ₃	3.03×10^{-6}
	C ₆ H ₆	2.87×10^{-7}
	Benzopyrene	2.27×10^{-9}
	Cd	6.44×10^{-9}
	CO	1.7×10^{-5}
	CO ₂	5.64×10^2
	Cu	5.85×10^{-8}
	C _x H _y	2.08×10^1
	C _x H _y (aromatic)	1.61×10^{-5}
	Dust	1.92×10^{-6}
	HCl	7.79×10^{-5}
	Hg	3.5×10^{-8}
	CH ₄	1.56×10^0
	N ₂ O	1.43×10^{-7}
	VOC	5.88×10^{-4}
	NO _x	1.43×10^0
	Pb	3.22×10^{-8}
	SO ₂	3.48×10^0
	V	8.23×10^{-6}
Zn	1.96×10^{-8}	
Wastewater	BOD	9.1×10^{-7}
	Cl ₂	3.48×10^0
	COD	2.73×10^{-6}
	Oil	6.54×10^5
	C _x H _y	7.23×10^{-6}
	DS	3.19×10^{-5}
	NH ₃	9.06×10^{-6}
	S	1.95×10^0
	SS	9.1×10^{-7}
	Zn	6.36×10^{-6}
Solid waste	Final waste(inert)	6.51×10^1
	Produced waste(inert)	4.51×10^0

Table 3. The concentration of exhaust emissions (unit : ppm)

Item	Annual average
SO _x	2.45
NO _x	35.3
HCl	0.42
CO	19.49
Dust	1.66

Table 4. The concentration of water pollutants (unit : mg/L)

Item	Concentration
pH	7.1
BOD	18.1
COD	46
SS	8.2
Cu	0.04
Pb	0.14
Cr ⁶⁺	ND
Phenol	ND

ND=no detected

였다.⁷⁾ 1997년 자원회수시설에서 전력 15,826,165 kwh을 사용하여 발생시키는 CO₂양은 8,926톤이었다.

(나) 배기가스에 의한 부하량

1997년 자원회수시설에서 발생된 배기가스 추정치는 Table 3과 같다.⁵⁾ 1997년 총 배기가스의 양이 16,005,950 Nm³/년일 때 SO_x의 경우 평균농도에 배기가스 양을 곱하고 소각률 0.89를 곱한 다음 단위환산하면 1년 동안 911.7톤이 발생된다.

(다) 수질 부하량

1997년 자원회수시설에서 배출된 수질오염물질의 농도는 Table 4와 같으며,⁵⁾ 1년 동안 발생한 총 BOD의

양은 총 배출수량 11,993톤에 BOD의 평균 추정값 18.1 ppm을 곱하고, 소각률 0.89를 곱한 후 단위환산하면 0.000193톤이 발생된다.

(라) 약품과 연료의 사용

자원회수시설에서는 많은 용수와 LNG같은 연료를 사용하고 있었다.

(3) 매립

(가) 수도권매립지중 노원구의 할당

수도권매립지에서는 노원구의 폐기물만을 매립하는 것이 아니기 때문에 매립량에 따라 할당율을 정하고 있다. 1997년 총 매립량중 노원구의 비율은 0.306096%이 었기 때문에 노원구의 할당율을 0.00306으로 하였다.⁸⁾

(나) 전력사용에 따른 환경부하

매립지에서 사용한 전력의 양은 1997년 13,310,640 kwh이었다. 이 값에 노원구의 할당율을 곱하고 Table 2의 값을 적용하면 전력사용에 따른 환경부하값을 구할 수 있다.

(다) 장비사용에 따른 환경부하

Table 5에 수도권매립지에서의 장비사용에 따른 오염 물질의 배출을 나타내었다. Table 5에 유류사용량을 적용하면 대기오염 배출물질의 양을 구할 수 있다.

(라) 수질

1997년 수도권매립지에서 2,074,660톤의 침출수가 발

Table 5. The coefficient of exhaust emissions to use of heavy equipment⁹⁾

Name of equipment	Specification	Used units	Fuel consumption (L/h)		Emission coefficient (g/L)	
			Per unit	Total	NO ₂	TSP
Bulldozer	39T etc.	20	23.8	476	53.9	1.77
Roller	20T, 52T	8	7.5	60	58.5	2.63
Excavator	0.8, 0.6m ³	10	23.8	238	53.9	1.77
Sum		38		774		

Table 6. The generation ratio of landfill gas by calculation formula¹⁰⁾ (unit:%)

CH ₄	CO ₂	NH ₃	H ₂ S	Sum
50.25	45.37	2.7	1.68	100.0

생하였다. 침출수는 매립즉시 방출되는 것이 아니지만 본 연구에서는 그 해에 발생하는 침출수를 적용하였다. 침출수의 처리는 모두 매립지내 처리장 내에서 처리한다고 가정하고 계산하였다. 계산은 노원구 할당비율과 단위환산을 이용하여 구하였다.

(마) 매립지에서 발생하는 가스

수도권매립지의 경우 메탄이 많이 발생하는 것으로 알려져 있지만 발생량을 실제로 측정하고 있지 않았다. 따라서 Table 6에 나타낸 이론적인 발생가스량을 이용하여 추정하였다.

(4) 제외하는 부분

복토제를 수송하는 부분이나 약품의 가운을 위하여 사용하는 원료, 그리고 관리자를 위한 난방이나 조명에 관한 부분은 제외하였다.

3.2.3 전과정 목록

단위공정 : 폐기물 처리(지정폐기물 제외)

대상지역 범위 : 노원구

시간 범위 : 1997년

3.3. 영향 평가

영향평가는 아직까지 표준화된 방법이 제시되지 않았으며 제안된 방법들도 지역적, 시간적으로 객관성을 띠지 못한 것이 많다. 따라서 본 연구에서는 이 부분을 제외하였다.

3.4. 결과 해석

3.4.1 단계별 분석

(1) 수거·수송 단계

폐기물 1톤을 수거·수송할 때 발생하는 오염물질은 주로 NO_x로서 이것은 수거·수송시 사용하는 경유에서 나오는 배기가스의 주 배출물이 NO_x이기 때문으로 생각된다. 1997년에 노원구에서 1톤의 폐기물을 수거·수송하는데 NO_x가 389 g 발생하였다.

(2) 소각단계

1997년에 소각단계에서 발생된 오염물질은 총 46가지이었다. 이 중에서 눈여겨 보아야 할 것은 일산화탄소, 이산화탄소, 염화수소, 메탄, VOC, NO_x, 이산화황, 염소, SO_x이다. 폐기물 1톤을 소각할 때 이산화탄소와 NO_x가 주된 오염물질로서 이산화탄소는 대부분 소각장에 사용되는 전기를 발생시키는 과정에서 발생되었고, NO_x는 대부분 배기가스에서 배출되었다. 배기가스에서 배출되는 오염물질은 주로 일산화탄소, 먼지, 염화수소, NO_x, SO_x이다. 또 비메탄계 VOC의 방출도 눈에 띈다.

Table 7. Data sheet

(unit : t/yr)

	Input substances	Quantity
Leachate treatment plant	H ₂ SO ₄	17.02
	FeSO ₄ · 7H ₂ O	177.93
	H ₂ O ₂	19.25
	NaOH	33.49
	Defoamer	0.87
	H ₃ PO ₄	0.34
Recovery facility of resources	Coagulant for dewatering	0.24
	Coagulant for settling	0.13
	Process water	73,159
	Boiler water	49,820m ³
	LNG	370,779(As steam)
	Protection of pollution - 2,119,511Nm ³	
	For aids - 3,175,799Nm ³	

Table 8. Emission inventory and amount to each process (unit:g/t)

Emissions	Item	Quantity			
		Total	Collection & Transportation	Incineration	Landfill
Air	H ₂ S	1.39 × 10 ³		0	1.39 × 10 ³
	Aldehyde	6.84 × 10 ⁰	5.81 10 ⁰	1.02 × 10 ⁰	1.06 × 10 ⁻²
	NH ₃	1.12 × 10 ³		5.11 × 10 ⁻¹	1.12 × 10 ³
	C ₆ H ₆	4.9 × 10 ⁻²		4.84 × 10 ⁻²	4.97 × 10 ⁻⁴
	Benzopyrene	3.87 × 10 ⁻⁴		3.83 × 10 ⁻⁴	3.93 × 10 ⁻⁶
	Cd	1.1 × 10 ⁻³		1.09 × 10 ⁻³	1.11 × 10 ⁻⁵
	CO	9.44 × 10 ¹	8.38 10 ¹	1.06 × 10 ¹	3.21 × 10 ⁻²
	CO ₂	1.45 × 10 ⁵		9.51 × 10 ⁴	4.97 × 10 ⁴
	Cu	9.97 × 10 ⁻³		9.87 × 10 ⁻³	1.01 × 10 ⁻⁴
	C _x H _y	3.46 × 10 ¹	3.11 10 ¹	3.51 × 10 ⁰	3.7 × 10 ⁻²
	C _x H _y (aromatic)	2.74 × 10 ⁰		2.72 × 10 ⁰	2.79 × 10 ⁻²
	Dust	2.86 × 10 ¹	2.78 10 ¹	8.14 × 10 ⁻¹	2.5 × 10 ⁻³
	HCl	1.34 × 10 ¹		1.33 × 10 ¹	1.35 × 10 ⁻²
	Hg	5.96 × 10 ⁻³		5.9 × 10 ⁻³	6.07 × 10 ⁻⁵
	CH ₄	1.99 × 10 ⁴		2.63 × 10 ²	1.96 × 10 ⁴
	N ₂ O	2.44 × 10 ⁻²		2.41 × 10 ⁻²	2.47 × 10 ⁻⁴
	VOC	1.00 × 10 ²		9.92 × 10 ¹	1.02 × 10 ⁰
	NO _x	2.03 × 10 ³	3.89 10 ²	1.64 × 10 ³	2.49 × 10 ⁰
	Pb	5.49 × 10 ⁻³		5.43 × 10 ⁻³	5.56 × 10 ⁻⁵
	SO _x	2.69 × 10 ¹	2.59 10 ¹	9.72 × 10 ⁻¹	8.54 × 10 ⁻⁴
	SO ₂	6.19 × 10 ²		5.87 × 10 ²	6.02 × 10 ⁻⁰
	V	1.4 × 10 ⁰		1.39 × 10 ⁰	1.42 × 10 ⁻²
Zn	3.34 × 10 ⁻³		3.31 × 10 ⁻³	3.39 × 10 ⁻⁵	
Wastewater	BOD	1.60 × 10 ⁻¹		1.56 × 10 ⁻¹	4.09 × 10 ⁻³
	Cl ₂	5.92 × 10 ³		5.87 × 10 ²	6.02 × 10 ⁰
	COD	0.50 × 10 ⁰		4.66 × 10 ⁻¹	2.93 × 10 ⁻²
	Oil	1.11 × 10 ¹		1.10 × 10 ¹	1.13 × 10 ⁻¹
	C _x H _y (aromatic)	1.23 × 10 ⁰		1.22 × 10 ⁰	1.25 × 10 ⁻²
	DS	5.43 × 10 ⁰		5.38 × 10 ⁰	5.51 × 10 ⁻²
	T-P	2.23 × 10 ⁻⁵		0	2.23 × 10 ⁻⁵
	T-N	3.63 × 10 ⁻¹		0	3.63 × 10 ⁻¹
	NH ₃	1.87 × 10 ⁰		1.53 × 10 ⁰	3.41 × 10 ⁻¹
	N ₂	2.15 × 10 ⁻⁴		0	2.15 × 10 ⁻⁴
	S	3.32 × 10 ²		3.29 × 10 ²	3.37 × 10 ⁰
	SS	1.59 × 10 ⁻¹		1.54 × 10 ⁻¹	4.65 × 10 ⁻³
	Zn	1.08 × 10 ⁰		1.07 × 10 ⁰	1.10 × 10 ⁻²
	Cu	2.27 × 10 ⁻⁵		4.55 × 10 ⁻⁶	1.81 × 10 ⁻⁵
	Pb	1.59 × 10 ⁻⁵		1.59 × 10 ⁻⁵	0
	C ₆ H ₆ O	1.4 × 10 ⁻⁵		0	1.4 × 10 ⁻⁵
	F	2.23 × 10 ⁻⁵		0	2.23 × 10 ⁻⁵
	Cr	2.79 × 10 ⁻⁶		0	2.79 × 10 ⁻⁶
	Fe	2.79 × 10 ⁻⁴		0	2.79 × 10 ⁻⁴
	Mn	2.4 × 10 ⁻³		0	2.40 × 10 ⁻³
CN	2.79 × 10 ⁻⁶		0	2.79 × 10 ⁻⁶	
Solid waste	Final waste(inert)	1.10 × 10 ⁴		1.10 × 10 ⁴	1.13 × 10 ²
	Produced waste(inert)	7.68 × 10 ²		7.61 × 10 ²	7.80 × 10 ⁰

그리고 전력사용으로 발생하는 것은 이산화탄소와 메탄, 황산염류 등이다.

(3) 매립 단계

폐기물 1톤을 매립할 때 방출되는 주요 오염물질은 이산화탄소, 메탄, 황화수소, 암모니아로서 이 중 이산화탄소는 1톤을 매립할 때 49 kg 발생된다.

4. 결 론

본 연구에서는 전과정 평가기법을 노원구의 폐기물 관리에 적용시켜 다음의 결과를 얻었다.

1) 수거·수송단계에서는 폐기물 1톤당 NO_x 가 389 g으로 가장 많이 발생하였다. 그 이유는 수거·수송시 사용하는 경유로부터 나오는 배기가스의 주 배출물이 NO_x 이기 때문이다.

2) 소각단계에서는 일산화탄소와 NO_x 가 주로 발생하였다. 이산화탄소는 소각과정에서 사용한 전기발전에서 발생되었으며, NO_x 는 배기가스에서 배출되었다.

3) 매립단계에서는 이산화탄소와 메탄이 주로 발생되

었다. 그 이유는 매립지에서 발생하는 매립가스의 영향이다.

참고문헌

- 1) Curran, "Environmental LCA", 1996, 418, McGraw-Hill, U.S.A.
- 2) 김선희, "Life Cycle Assessment의 방법론 및 적용에 관한 연구", 1994, 서울 시립대학교 박사학위논문
- 3) 노원구, "제12회 노원통계연보", 2000
- 4) 배재근, "노원구 폐기물 기본정책 수립을 위한 연구보고서", 1997
- 5) 한불에너지, "상계자원회수시설 내부보고서", 1998
- 6) 환경부, "대기오염 배출계수", 1993, 136-137
- 7) 공업진흥청, "LCA의 산업체 적용을 위한 전기에너지 데이터베이스의 구축", 1995, 183
- 8) 환경관리공단, "수도권매립지 폐기물반입 통계자료집", 1998
- 9) 서울특별시 청소사업본부, "강남 자원회수시설 건설사업 환경영향평가서", 1995, 132, 146, 149
- 10) 환경부, "수도권매립지 매립작업 기본설계보고서", 1991, 96.