

환경성과 경제성을 동시에 고려한 폐기물처리시설의 선정에 관한 연구



민 달 기

인하대학교 환경공학박사과정

<최우수상>

3-2. 생활폐기물 처리시설의 최적용량 산정

(1) 조성분류에 의한 소각용량의 산정

표 4의 결과에 의하면, 5개 자치구의 조성별 평균 폐기물 발생량은 음식물류 49%, 종이류 25%, 수지류 13% 이었으며, 이들 세 조성의 발생비율이 87%로 조사되었다. 따라서 서울 서부지역 5개 자치구 생활폐기물의 유기물량과 무기물량의 비율은 습량 기준으로 92:8, 음식폐기물을 부패성폐기물로 분리하였을 때에는 부패성, 가연성, 불연성의 비율은 49:43:8, 소각시 이차오염을 유발하는 물질을 분리하였을 때에는 부패성, 가연성, 난연성, 불연성의 비

전 체 목 차

국문요약
I. 서론
II. 연구방법
2-1. 모델지역의 생활폐기물 발생특성 조사
2-2. 폐기물 종합처리시설 최적용량 산정방법
III. 연구결과 및 고찰
3-1. 모델지역의 생활폐기물 발생특성
3-2. 생활폐기물 처리시설의 단계적 처리용량 확보 방안
IV. 결론

Table 6. Element Analysis of MSWs in Model Regions

(%)

		Element						ash
		Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulpher	Chloride	
region	A	45.08	6.67	28.96	2.01	1.77	0.90	14.61
	B	45.34	6.40	29.65	1.49	1.68	0.89	14.55
	C	50.20	7.23	26.79	1.21	1.85	0.91	11.90
	D	48.73	7.07	28.38	2.23	1.65	0.84	11.09
	E	48.04	6.76	28.52	1.98	1.68	0.89	12.13
site	dwelling	46.52	6.68	28.34	1.80	1.72	0.87	14.09
	business	48.46	6.95	29.60	1.62	1.78	0.86	10.75
	market	48.97	7.00	28.22	1.89	1.74	0.96	11.43
	street	44.32	6.80	29.19	1.28	1.76	0.96	13.55
	park	48.12	6.86	30.70	1.18	1.69	0.88	10.57
	school	46.90	6.89	28.32	1.38	2.30	0.90	13.33
	factory	36.47	5.54	30.81	1.47	1.98	1.25	22.47
season	spring	47.56	7.23	26.50	2.02	0.39	0.84	15.45
	summer	49.61	7.19	27.80	2.44	0.43	1.06	11.48
	autumn	48.13	6.79	29.97	1.43	2.50	0.86	10.33
	winter	44.73	6.08	30.84	1.20	1.33	0.80	15.02
mean		47.22	6.79	28.59	1.77	1.72	0.89	13.02

Table 7. Low Heating Value of MSWs in Model Regions

(kcal/kg)

		regions					total
		A	B	C	D	E	
mean		1,159	1,594	2,180	1,546	1,453	1,577
season	spring	1,000	1,348	2,405	1,222	1,340	1,453
	summer	729	1,321	1,837	1,170	901	1,209
	autumn	1,457	2,006	2,120	2,284	1,725	1,926
	winter	1,492	1,781	2,357	1,540	1,942	1,810
site	dwelling	1,048	1,130	1,648	1,280	1,020	1,212
	business	1,862	2,318	2,573	3,373	2,241	2,476
	market	877	1,623	2,677	1,406	2,062	1,649
	street	1,946	1,814	2,079	1,860	4,192	2,324
	park	2,317	1,768	2,852	1,605	-	2,119
	school	2,568	2,159	2,809	2,247	2,275	2,392
	factory	2,391	-	-	-	-	2,391

율이 49:27:16:8로 나타났다. 이를 그림 2와 같이 표현하였다.

따라서 성분분석으로 평가한 소각시설의 규모는 종이류와 목재류를 대상으로 하였을 때 1일 370톤 규모이고, 가연성 폐기물을 대상으로 하였을 경우에는 580톤/일 규모이며, 음식물류 등의 부패성 폐기물을 포함하여 소각처리할 경우 소각시설의 규모는 1,230톤/일이다. 그리고 별도의 분리배출이 없는 상황에서 종량제 봉투를 전체 소각대상 생활폐기물로 생각한다면 1일 소각용량은 1,340톤이 된다. 반면 자원화시설의 규모는 음식폐기물의 발생량에 전적으로 의존하고 있으며 선진국에서의 유기성 폐기물 자원화율은 이론 발생량의 약 30%로 나타나고 있어²⁰⁾ 자원화시설의 최대규모는 약 200톤/일로 추

정할 수 있다.

(2) 삼성분 분석에 의한 최적용량의 산정

5개 자치구 생활폐기물의 삼성분 자료는 이미 표 5에 제시하였었다. 모델지역 생활폐기물의 삼성분 분석을 통한 가연분량 검토는 삼성분간의 관계에 의한 가연성의 판정방법으로, 그림 3에 제시된 바와 같이 50% 이하의 수분과 60% 이하의 회분 및 25% 이상의 가연분함량 조건을 만족시키는 생활폐기물로서 도식적으로는 폐기물 삼각분류표 내의 폐5각형 내부에 위치하는 생활폐기물이다⁶⁾.

그러나 주거지에서 배출되는 생활폐기물은 지역에 상관없이 모두가 가연성이 적은 것으로 나타나 소각에 적합하지 않은 것으로 나타났으며, 지역적으

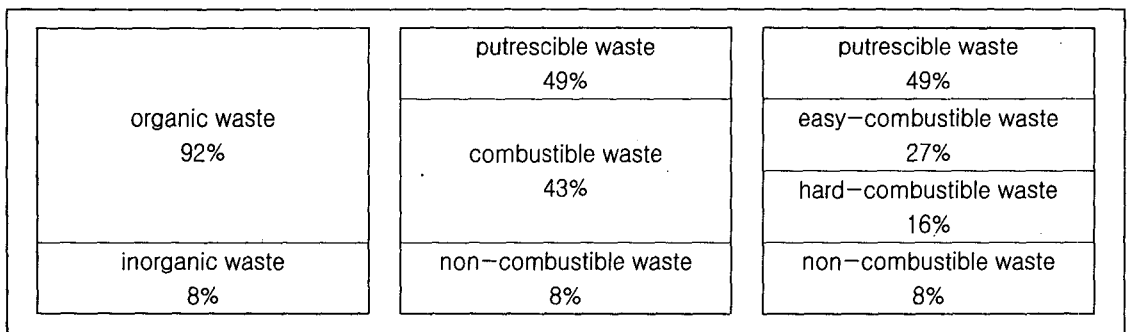


Fig. 2. Component Analysis of MSW

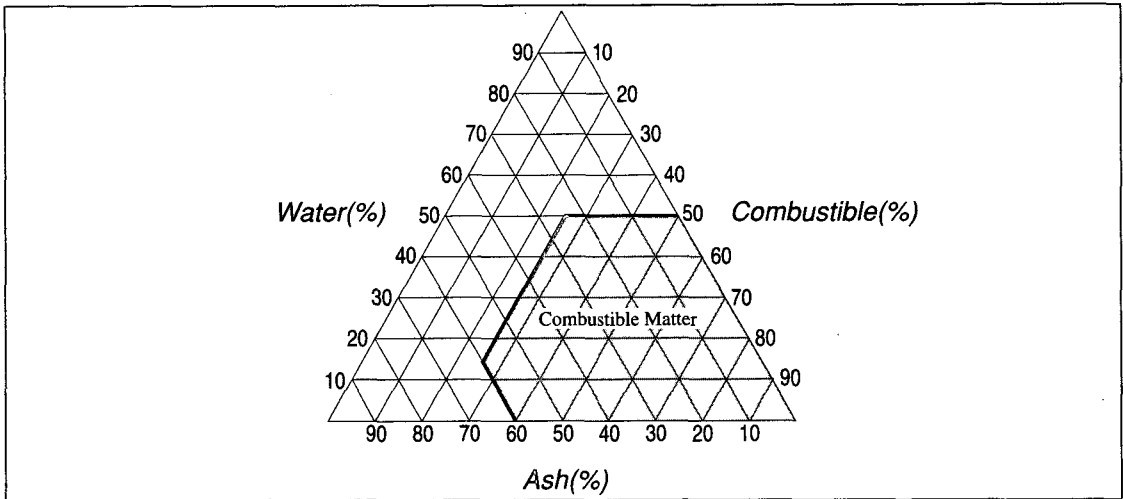


Fig. 3. Combustible Analysis of MSW

로는 C 지역의 생활폐기물이 가연성으로 나타나 소각에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 모델지역의 생활폐기물에 대한 소각처리시설의 규모를 고려할 때 우선적으로 가정에서 배출된 것은 분리·배제할 필요가 있으며, 불가피하게 소각을 시도할 때에는 수분의 사전배제 및 철저한 분리수거가 뒤따라져야 한다. 폐기물 삼각분류표에 의하여 표 5에서 가연성이 확실한 배출원(음영처리된 부분)에서 발생하는 소각 가능 생활폐기물량은 1일 400톤으로 산정되며, 이는 모델지역 5개 자치구에서 발생하는 전체 생활폐기물량의 30%에 해당하고 있다.

(3) 경제성 및 환경성분석에 의한 최적용량의 산정

경제·환경적인 측면에서 폐기물 종합처리시설의 규모산정은 자원(퇴비)화(CMP), 소각(INC)과 매립(LF)의 상관관계로부터 결정되어진다¹⁷⁾. 국내 생활폐기물처리 매립에서 향후 선별·분리, 자원(퇴비)화, 소각 및 매립의 방법으로 다양하게 진행되어질 것이다. 따라서 폐기물의 처리방안을 기존의 매립처리 방식과 비교하여 자원(퇴비)화와 매립의 처리(대안 1~2) 방식과, 소각과 매립처리(대안 3~8) 방식 및 자원(퇴비)화와 소각 및 매립의 병용처리(대안 9~13) 방식 등 총 13가지 대안을 설정하여 표 8에 제시하였다.

표 8에서는 현재의 처리방법과 13가지의 대안을 비교·검토하여 종합처리시설에 필요한 처리시설과 처리용량을 선정하였고 환경성과 경제성을 검토하여 우선순위를 도출하였다. 여러 대안들을 적용하였을 경우 기존의 총 처리량 1,331.1톤/일에 비하여 총 처리량은 최소 5%(대안 3)부터 최대 34%(대안 8) 증가하며, 반대로 최종처분 되어지는 매립용량은 최소 13%(대안 3)부터 최대 68%(대안 12 및 13)까지 감소되어지는 것을 알 수 있다. 특히 대안 7 이후의 방법이 채택되어질 때 기존 매립지의 매립잔여용량을 3배 가량 연장시킬 수 있다.

설계량에 추가하여 각각의 분리대안별 처리비용을 비교하여 경제성을 검토함으로써, 분리수거의 최적효율을 산정할 수 있다. 이를 위하여 자원(퇴비)화, 소각 및 매립의 처리비용이 추가되어야 하며, 처리방법별 편익을 차감한 실처리비용으로 자원(퇴비)화는 52,319원/톤, 소각은 36,904원/톤 및 매립은 25,632원/톤으로 계상하였다²⁰⁾. 그 결과, 서울 서부지역 5개 자치구에서 배출되는 1일 1,331.1톤의 생활폐기물을 매립하는데 소요되는 비용은 34.1백만원으로 평가되었다. 매립용량을 줄이고 자원(퇴비)화나 소각처리를 병행할 경우 비용의 증가는 불가피하였으므로 경제성만으로 생활폐기물처리시설을 선택할 수는 없게 된다.

생활폐기물 처리비용에 의한 처리방식의 선정이 경제적인 관점에서의 대안이라면, 매립용량은 환경적인 측면에서의 대안이 될 수 있다. 따라서 환경성을 나타내는 설계인자는 생활폐기물의 매립처분을 기준으로 하여 경제성과 환경성을 동시에 나타내는 설계인자로 처리비용×매립용량 항목을 선택하였다. 그 결과 기존의 전량 매립방식은 처리비용×매립용량이 45.4×109 라는 수치에 도달하였으며, 이 결과는 대안 1을 제외한 모든 대안이 기존의 처리방식보다는 더 유효한 것으로 조사되었다. 최적의 대안으로는 대안 7과 같이 불연성 폐기물은 분리·배출하여 매립하고, 나머지는 전량 소각처리하는 방안에 가장 최적의 처리방법으로 나타나고 있으며, 그 외에도 대안 8과 같이 모든 생활폐기물을 소각처리

후 잔재물을 매립하는 방식과 대안 10 및 대안 13 등의 순으로 우선순위가 도출되었다.

모델지역 5개 자치구별로 상기의 13개 대안을 적용해 본 결과, C 지역을 제외한 모든 자치구에서 전체적인 결과와 동일한 대안 7이 최적의 처리방법으로 선정되었으나, C 지역은 유기성 폐기물의 자원(퇴비)화를 종합처리시설에 포함한 대안 13이 최적의 방안으로 선정되었다. 따라서 국지적인 처리방안을 적산해보면, 1일 생활폐기물 발생량 1,331.1톤 중에서 자원(퇴비)화 처리량이 184.2톤/일, 소각량이 1,037.2톤/일이며, 자원화 부산물과 소각잔재를 포함한 매립량이 424.4톤/일로 산정되어 전체 처리용량은 1645.8톤/일로 나타났다.

Table 8. Evaluation of Incineration Capacity of MSWs in Model Regions

		separated wastes				treatment amount (ton/day)				cost (10 ⁶ ₩/đ)	cost × LF vol (×10 ⁹)	priority setting
		putr. waste	combustible		non-comb waste	CMP	INC	L F	total			
			paper wood	etc.								
alternative	(present)	L F	L F	L F	L F	-	-	1331.1	1331.1	34.1	45.4	(present)
	scenario 1	CMP	L F	L F	L F	647.4	-	845.6	1493.0	55.5	47.0	
	scenario 2	CMP	CMP	L F	L F	983.6	-	593.4	1577.0	66.7	39.6	
	scenario 3	L F	L F	INC	L F	-	238.0	1160.9	1398.9	38.5	44.7	
	scenario 4	L F	INC	L F	L F	-	336.2	1090.7	1426.9	40.4	44.0	
	scenario 5	L F	INC	INC	L F	-	574.2	920.5	1494.7	44.8	41.2	
	scenario 6	INC	L F	INC	L F	-	885.4	698.0	1583.4	50.6	35.3	
	scenario 7	INC	INC	INC	L F	-	1221.6	457.7	1679.3	56.8	26.0	I
	scenario 8	INC	INC	INC	INC	-	1331.1	457.7	1788.8	60.9	27.9	II
	scenario 9	CMP	INC	INC	INC	647.4	683.7	435.0	1766.1	70.3	30.6	
	scenario 10	CMP	INC	INC	L F	647.4	574.2	435.0	1656.6	66.2	28.8	III
	scenario 11	CMP	INC	L F	L F	647.4	336.2	605.2	1588.8	61.8	37.4	
	scenario 12	CMP	CMP	INC	INC	983.6	347.5	423.2	1754.3	75.1	31.8	
scenario 13	CMP	CMP	INC	L F	983.6	238.0	423.2	1644.8	71.1	30.1	IV	
regional optimum treatment plan	A region	INC	INC	INC	L F	-	257.2	70.0	327.2	11.3	0.8	scenario 7
	B region	INC	INC	INC	L F	-	333.7	122.9	456.6	15.5	1.9	scenario 7
	C region	CMP	CMP	INC	L F	184.2	35.8	94.1	314.1	13.4	1.3	scenario 13
	D region	INC	INC	INC	L F	-	234.9	82.3	317.2	10.8	0.9	scenario 7
	E region	INC	INC	INC	L F	-	175.6	55.1	230.7	7.9	0.4	scenario 7
	total					184.2	1037.2	424.4	1645.8	58.9		

3-3. 생활폐기물 처리시설의 단계적 처리용량 확보 방안

종합처리시설의 최적처리용량은 주어진 조건과 설계자료 값에 따라 다양한 수치로 표현되어질 수 있으나, 본 연구에서는 표 8의 연구결과와 같이 경제성과 환경성을 동시에 나타내는 설계인자인 최종 처분시설(매립) 용량×처리비용을 우선순위 도출을 위한 설정인자로 사용하기로 한다. 다만, 표 8에서는 불연성 폐기물을 매립처리하고, 나머지 폐기물은 소각처리하는 방안이 최적의 우선순위로 도출되었으나, 5개 차치구에 적용한 결과에 의한 최종적인 결론으로는 종합처리시설의 다양화와 국지적인 해석으로 도출된 C 지역의 유기성 폐기물 자원(퇴비)화 시설을 추가하였다.

생활폐기물을 처리하기 위한 폐기물 처리시설 중 현재 가동중인 것은 매립시설뿐이고, 자원(퇴비)화 시설과 소각시설은 설치되어 있지 않은 상태이므로 종합처리시설을 구축하기 위해서는 단계적으로 이들 처리시설을 확보하는 방안이 있어야 한다. 이러한 단계적 처리시설의 확보 방안을 표 9와 같이 나타내었다. 초기 및 최종 매립용량×처리비용을 근거로 건설단계를 구분하면 가동시설(현재) → 대안 2(1단계) → 대안 5(2단계) → 대안 6(3단계) → 대안 7(4단계)로 발전하여 4단계로 시설을 확충하는 것이 바람직하다. 이러 순서로 시설을 확충해가면 비용의 투자는 단계별로 평균 6.2백만원/일을 추가하게 되고, 전체 시설용량도 약 80톤/일 규모로 증가하게 되나, 매립용량은 230톤/일 정도의 규모로 감소하게 된다. 그러나 1단계에서는 설계지표가 되는

Table 9. Priority to Construction of MSWs Treatment Facility in Model Regions

		Construction Step					
		(present)	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	
MSWs Treatment	Putrescible	LF	CMP + LF	CMP + LF	CMP + INC	CMP + INC	
	Combustible	paper wood	LF	CMP + LF	CMP + INC	CMP + LF	CMP + INC
		etc.	LF	LF	INC	INC	INC
	Non-Combustible	LF	LF	LF	LF	LF	
Treatment Amount (ton/day)	Composting	-	184.2 (△184.2)	184.2 (-)	184.2 (-)	184.2 (-)	
	Incineration	-	-	390.0 (△390.0)	701.2 (△311.2)	1,037.2 (△336.0)	
	Landfilling	1,331.1	1,193.0 (▽138.1)	914.1 (▽278.9)	691.6 (▽222.5)	424.4 (▽267.2)	
	total	1,331.1	1,377.2 (△46.1)	1,494.7 (△117.5)	1,583.4 (△88.7)	1,645.8 (△62.4)	
Cost (1,000won)		34,100	40,220 (△6,120)	47,500 (△7,280)	53,240 (△5,740)	58,790 (△5,550)	
Cost × LF (×10 ⁹)		45.4	48.0	43.4	36.8	25.0	

매립용량×처리비용의 값이 기존처리시의 매립용량×처리비용 값보다 증가되어 투자가치가 없는 것으로 평가되지만, 이는 C 자치구의 자원(퇴비)화시설을 처리의 다양성 측면에서 투입한 결과이다. 그 외의 2, 3, 4단계에서의 설계지표는 최종적으로 감소하는 값을 보여주고 있다. 이 계획은 투자비용의 배분이나, 처리물량의 증가분, 매립용량의 감소분 등이 일정율로 설계되어 있으므로 매우 안정적인 공정관리를 시행할 수 있다.

IV. 결론

S시 5개 자치구에서 발생하는 생활폐기물의 양과 생활폐기물의 물리적·화학적 특성을 발생원별, 계절별로 분석·검토한 결과를 요약하면 다음과 같은 결론으로 나타낼 수 있다.

첫째, 5개 자치구의 폐기물 발생량은 1,331.1톤/일이며, 배출밀도를 고려한 배출용량은 6,337m³/일로 나타났다.

둘째, 생활폐기물의 조성중 음식물류, 종이류, 수지류의 합이 87%로 대부분이며, 부패성, 가연성, 불연성의 비율은 49: 43: 8로 나타났다.

셋째, 삼성분 분석중 함수율은 C 지역에서 40%로 가장 건조한 상태로 배출되고 있으며, 기타 지역은 53~62% 정도로 나타났다.

넷째, 5개 자치구의 생활폐기물 조성식은 C₁₅₇H₂₇₁O₇₁N₅S₂Cl · 218H₂O로 나타났으며, 저위발열량은 1,577kcal/kg으로 높은 값을 보여주고 있다.

또한 본 연구에서 모델지역내 폐기물 종합처리시설 종류와 최적용량을 산정하기 위하여 5개 자치구 생활폐기물의 data-base를 기초로 경제성 및 환경성 분석에 의한 방법을 사용하여 도출한 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 본 연구에 의하여 제시된 경제성 및 환경성 분석에 의한 방법에 의하여 폐기물 종합처리시

설의 종류와 최적 처리용량, 단계별 입지확보 방안 등을 설계할 수 있었다.

둘째, 경제성과 환경성을 복합적으로 나타낸 처리비용×매립용량 항목을 이용하여 도출된 종합처리시설의 대안은 불연성 폐기물은 분리·배출하여 매립하고, 나머지는 전량 소각처리하는 것이 최적방안으로 나타났으며, 5개 자치구에 대한 1,331.1톤의 생활폐기물을 처리하기 위한 최적용량은 전체 1,645.8톤/일로 산정되었고, 이 중 184.2톤/일은 자원(퇴비)화, 1,037.2톤/일의 폐기물은 소각처리, 잔여분인 424.4톤/일은 매립하는 것으로 나타났다.

셋째, 종합처리시설을 구축하기 위한 단계적 확보 방안을 매립용량×처리비용을 근거로 하면 4단계로 확충하는 것이 바람직하며 비용투자는 단계별로 평균 6.2백만원/일을 추가하게 되고, 전체 시설용량도 약 80톤/일 규모로 증가하게 되나, 매립용량은 약 230톤/일 규모로 감소하게 된다.

참고 문헌

1. 환경부 : '96 폐기물 통계조사 (1997)
2. 환경부 : 환경백서 (1999)
3. Bonomo, L., and Higginson, A.E. : International Overview on Solid Waste Management, Academic Press (1988)
4. 환경부 : 폐기물관리법 (2000)
5. 이승희 : 폐기물 유통, 재활용 및 처리 통합관리 체계 구축방안, 국가과학기술자문회의, (1995)
6. 구자공 : 쓰레기의 질적 특성 및 처리방법에 관한 연구보고서, 한국환경과학연구협의회, (1990)
7. 환경처 : 쓰레기 처리시설 구조지침 및 해설, pp. 495-532 (1991)
8. 서울 서부지역 5개 자치구 내부자료 (1998)
9. 김포매립지 내부자료 (1998)

< 끝 >