

## 폐기물 직매립 금지 및 온실가스 배출권을 고려한 매립단가 산정

### Estimation of Landfill Unit Cost Considering Prohibition of Direct Landfill and Greenhouse Gas Emission Right

정시용<sup>1</sup>, 천승규<sup>2\*</sup>

Si-Yong Chung<sup>1</sup>, Seung-Kyu Chun<sup>2\*</sup>

#### 〈Abstract〉

The calculation of the waste landfill unit price at the S landfill located in I city was analyzed in two cases: Method A by statistical techniques and Method B by reflecting policy variables such as the prohibition of direct landfilling of household waste and the right to emit greenhouse gases. As a result, in the case of method B, the landfill unit price increased by 34.1% to 57.6% depending on the type of waste compared to method A. By landfill unit price composition, landfill work cost, operation and management cost, greenhouse gas emission rights transaction cost, and resident support fund increased by 61.0%, 68.3%, 63.5%, and 34.1% to 57.6%, respectively. Therefore, considering the characteristics of the landfill, which requires more than 30 years of mid- to long-term operation and management even after the end of the landfill, policy variables should be identified periodically for stable landfill operation and management. In addition, periodic activities to calculate the landfill unit cost are considered necessary, such as predicting the amount of landfill waste and deriving additional future cost factors such as greenhouse gas emission rights.

*Keywords : Waste Landfill, Landfill Unit Cost, Direct Landfill Prohibition, Greenhouse Gas Emission Right, Estimation of Landfill Volume*

1 제1저자, 서울과학기술대학교 융합과학대학원  
E-mail: csy77@slc.or.kr

2\* 교신저자, 서울과학기술대학교 융합과학대학원, 교수  
E-mail: skchun@seoultech.ac.kr

1 First author, Graduate School of Convergence Science, Seoul National University of Science & Technology

2\* Corresponding author, Graduate School of Convergence Science, Seoul National University of Science & Technology, Professor

## 1. 서론

폐기물 매립시설은 생물학적 분해 과정을 통해 폐기물을 최종 처리하는 시설로서, 침출수가 유출되지 않도록 폐기물의 성상, 매립 고 등을 고려한 지하수 배제 층, 차수 층, 고밀도 폴리에틸렌 차수 막(HDPE Sheet) 등의 침출수 차단층과 침출수 집배수 및 처리시설, 폐기물 분해 과정에서 발생하는 매립가스를 포집·이송하고 처리하는 시설 등으로 구성된다[1,2]. 매립 작업은 매립시설에 폐기물을 하역한 후 다짐하고 폐기물 표면을 양질의 토사로 덮어 폐기물의 비산, 악취발산 등 폐기물로 인한 주변 지역의 환경피해를 최소화하며, 이러한 매립 과정에서 발생하는 침출수는 생물학적 처리, 화학적 처리 공정을 통해 처리하고 매립가스는 소각하거나 매립가스 발전 등에 사용한다[3].

폐기물 매립 처리의 특성 중 하나는 매립 작업이 완료되었다고 하더라도 수십 년간 침출수 및 매립가스가 발생하여 지속적인 처리가 필요하며, 폐기물관리법에서는 이를 위해 최소 30년의 법정 사후관리기간을 정하고 있다[4]. 즉, 이러한 매립 처리의 특성으로 매립 처리를 위한 비용은 단기적 관점의 매립시설 조성 비용, 매립 작업 비용, 운영관리 비용과 함께 매립 종료 후 사후 관리를 위한 장기적 관점의 침출수 처리 비용과 매립가스 처리 비용이 폐기물 매립 처리 원가로 고려된다.

국내 폐기물 매립 관련 정책의 큰 변화는 2000년 초부터 유럽에서 최소한의 폐기물만 매립하도록 폐기물 내 유기물질의 함량을 나타내는 총유기탄소(TOC) 등의 매립 기준치를 제시하여 직매립을 금지한 것과[5,6] 유사한 생활폐기물 직매립 금지제도의 도입이다. 즉, 2021년 폐기물관리법 시행규칙 개정으로 수도권은 2026년, 전국은 2030년부터 시행 예정으로, 소각이나 재활용 과정을 거친 후 그 과정에서 발생한 협잡물, 잔재물만을 매

립하게 됨에 따라 폐기물의 양적, 질적(종류, 성상) 변화가 예상되며, 이는 직간접적으로 매립 처리 원가에 큰 영향을 미칠 것으로 보인다.

아울러, 그간 매립장 표면을 통해 대기로 방출된 매립가스는 폐기물 매립 처리 비용과는 직접적인 관련이 없었으나 기후변화 대응을 위한 전 지구적 노력이 구체화 되고 각국이 실행계획을 수립하면서 비용적 관점에서의 접근이 필요하게 되었다. 이는 매립가스의 주성분이 지구온난화지수(GWP) 21 이상의 강력한 온실가스인 메탄에서 기인한다[7]. 2005년 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 이산화질소(N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>) 등 6가지 온실가스 배출량을 줄이도록 합의한 교토의정서가 채택되면서[8], 정부는 국제사회의 온실가스 저감에 동참하고 효율적으로 온실가스를 저감하기 위해 2010년 저탄소 녹색성장 기본법과 2012년 온실가스 배출권 할당 및 거래에 관한 법률을 제정하였으며, 2015년부터 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 정하고 발생하는 탄소배출권 수량을 기업 및 사업장별로 할당하는 계획 기간별 국가 배출권 할당 계획을 수립하여 온실가스 배출권거래 제도를 운영하고 있다[9].

현재 제3차 계획기간(2021~2025)으로 이 거래제도에 따라 온실가스를 배출하는 일정 규모 이상의 기업 및 사업장은 할당받은 배출권의 범위 내에서 온실가스를 배출할 수 있으며, 부족분은 타 사업장과 거래를 통해 확보하여야 한다. 국가 온실가스 감축목표가 계획기간을 거듭하며 할당량은 감소하는 등 강화되고 있어, 매립가스로 인한 온실가스 배출권 부족분에 따른 비용이 장기간 발생할 수 있다. 따라서 장기적인 매립가스 발생에 따른 매립가스 포집 및 처리를 위한 비용 외에 매립가스 대기 발전에 의한 온실가스 배출권거래 제도를 이해하고 폐기물을 매립 처리하는 단계부터 장기적 관점에서의 배출권 거래비용을 고려한 처리 원가 반영이 필요하다.

본 연구는 I시에 위치한 S광역매립장을 대상으로 생활폐기물 직매립 금지와 온실가스 배출권거래 제도 등 정책변화를 고려한 폐기물 매립단가를 산정하였다. 과거 폐기물 매립량을 기초로 한 통계분석에 의한 폐기물 매립량 예측과 정책변화를 고려한 매립량 예측 등 두 가지 방법을 통해 기반 조성비, 매립작업비, 운영관리비, 사후 관리비, 온실가스 배출권거래비, 주민지원금 등을 산출하여 폐기물 매립단가를 산정하였다. 또한 두 방법의 매립단가를 비교 분석하여 매립단가 산정 방안을 제시함으로써 국내 폐기물 매

립장이 환경적으로 안정적인 운영관리를 위한 비용을 계획하는데 시사점을 제공하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구대상지 개요

연구 대상인 I시에 위치한 S광역매립장은 수도

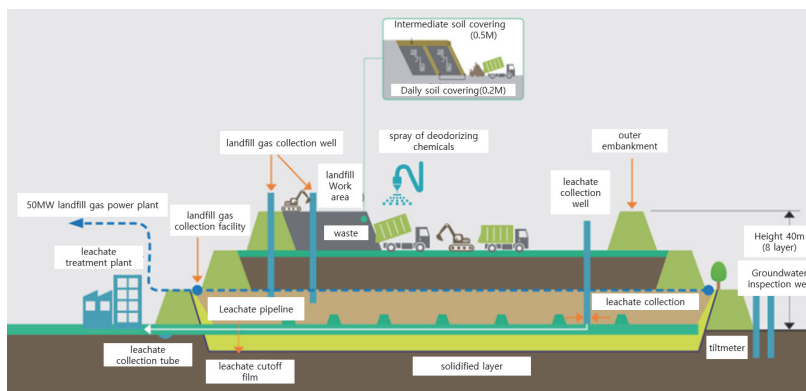


Fig. 1 Schematic diagram of landfill structure and process[11]

Table 1. Design structure and specifications for L1, L2, and L3[7,10]

Landfill site	L1	L2	L3
Landfill area(10 <sup>5</sup> m <sup>2</sup> )	25.0	26.2	8.3
Disposed waste quantity(10 <sup>6</sup> ton)	64.3	80.2	18.2(planned)
Operating period	1992.2 ~ 2000.10	2000.10 ~ 2018.10	2018.9 ~
Cost of building a foundation(10 <sup>8</sup> won)	327	3,374	1,365
Cost of landfill work(10 <sup>8</sup> won)	3,005	4,488	2,467(~'22)
Block number & size(aver.)	16(400m×400m)	25(300m×300m)	16(240m×220m)
Waste layer(intermediate covering)	4.5m( >0.5m)	4.5m( >0.5m)	4.5m( >0.5m)
No. of total layer(planned height)	8(40m)	8(40m)	8(40m)
No. of vertical well	329	669	239
No. of simple incinerator	-	78	51
Total surface area(10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	2,040	2,525	652
Upper(intermediate, final)	1,300	1,451	647
Bioreactor facility(m <sup>3</sup> /day)	-	3,800	-

권 생활폐기물, 건설폐기물, 사업장폐기물을 매립 처리하는 광역매립장으로 총 3개(L1, L2, L3)의 매립장이 있다. L1은 1992년부터 2000년까지, L2는 2000년부터 2018년까지 사용하고 현재 매립이 종료되어 사후관리 중이며, 2018년 9월부터 L3에서 매립이 진행 중이다[10]. L3는 블록당 평균 240m×220m인 총 16개 블록으로 나누어 매립하고 있으며, 1단은 하향 매립을 시행하고 2단 이상부터는 상향식으로 매립하며, 당일 매립된 쓰레기 노출 표면을 흙으로 복토하는 Cell 방식의 매립을 시행하고 있다[11]. 각 매립장 구조와 현황은 Fig. 1과 Table 1과 같다.

L1, L2 그리고 L3 매립장에서 발생한 매립가스는 수평 가스 포집관 및 수직 가스 포집정에 의해 포집되고 있고, 포집된 매립가스는 Manifold Station 및 이송관을 통하여 매립가스 발전시설로

공급되어 발전하고 있다[12]. Table 2과 Table 3은 매립가스 포집량 및 처리와 온실가스 배출권 거래제 이행 현황이다.

## 2.2 연구 절차

Fig. 2와 같이 연구 절차는 먼저 폐기물 매립량을 2024년부터 2030년까지 통계기법 예측(method A)과 정책변수 예측(method B) 두 가지로 예측하

Table 2. Landfill gas collection amount and treatment status[13]

(unit: m<sup>3</sup>/min.)

	Amount of collection				Amount of use		
	Sum	L1	L2	L3	Power	Incineration	etc
2015	514	54	460	-	335	178	-
2016	448	46	402	-	319	129	-
2017	422	36	386	-	339	83	-
2018	407	31	375	-	327	79	-
2019	401	33	368	-	344	57	-
2020	374	31	326	17	276	60	38
2021	391	31	289	71	283	62	45
2022	398	28	273	97	317	62	18

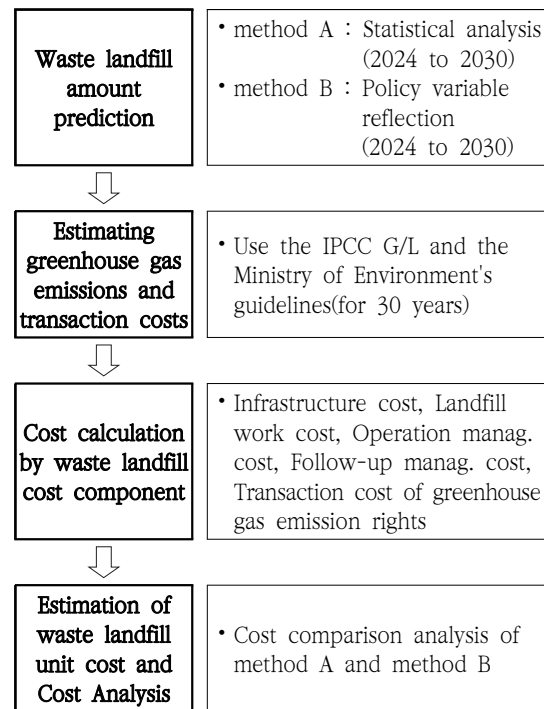


Fig. 2 Research Procedures

Table 3. Implementation status of the GHG emissions trading scheme[14]

(unit: tCO<sub>2</sub>)

	1st Plan. period			2nd Plan. period			3rd Plan. period	
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Emission Quota	122,964	130,209	129,538	1,482,297	1,409,749	1,616,803	1,261,228	1,261,228
GHG Emission	139,065	149,159	140,867	1,641,073	1,569,233	1,773,488	1,384,227	1,241,461
Excess Emission	16,101	18,951	11,330	158,776	159,484	156,685	122,999	-19,767

고, 매립량과 성상에 따라 온실가스 발생량을 추정하였다. 다음으로 매립량에 따른 기반 조성비, 매립작업비, 운영관리비, 사후 관리비, 온실가스 배출권 거래비, 주민지원금 등의 총원가를 각각 산정한 후 폐기물 종류별 매립량에 따라 총원가를 안분하여 매립단가를 산정하였으며, 매립량 예측 방법별 매립단가 결과를 비교 분석하여 매립단가 산정 방안 등 연구 결과를 도출하였다.

### 2.3 폐기물 매립단가 구성항목 및 산정 방법

폐기물 매립단가(톤당 매립비용) 구성항목은 Fig. 3과 같이 category 1과 세부 구성항목인 category 2와 같으며, 단가 산정은 구성 항목별 비용을 톤당 산출하여 합산하였다. 단가 산정 기간은 2024년부터 2030년까지를 기준으로 하였고, 매립단가 구성 항목별 톤당 비용은 단가 산정 기간의 구성 항목별 총원가를 산정하고, 단가 산정 기간의 총매립량으로 나누어 산출하였다. 기반 조성비는 기반 조성비를 분담하지 않은 사업장폐기물에 부과하는

원가로 매립장 조성비와 매립 부지사용료를 매립장 총용량 대비 단가 산정 기간 사업장폐기물 매립 비율을 적용하여 도출하였으며, 매립작업비는 폐기물 매립비, 침출수 처리비, 매립가스 처리비로서 매립량을 고려하여 연도별 해당 비용을 추정하여 산출하였다. 운영관리비는 매립 작업 등을 지원하기 위한 기관운영비 등 간접비용으로 최근 3개년 평균 운영관리비를 적용하였으며, 사후 관리비는 매립 종료 후 30년간 사후 관리를 위한 비용으로 최종 복토 공사비, 시설물 유지관리비, 침출수 및 매립가스 처리비, 각종 법정 검사비로 사후 관리 중인 매립장의 비용을 규모에 비례하여 적용하였다. 온실가스 배출권거래 비용은 향후 30년간 온실가스 배출량에서 온실가스 배출권 거래제에 의한 할당량을 제외한 배출권 초과량을 산출하고 최근 1년의 평균 배출권거래 가격을 적용하여 총비용을 산정하였다. 주민지원금은 폐기물시설축진법에 따라 기반 조성비, 매립작업비, 운영관리비, 사후 관리비, 온실가스 배출권 거래비를 합산한 금액의 10%를 적용하였으며, 매립단가 구성항목 비용 분석 시 연도별 비용은 과거 10년간의 소비자 물가 상승률을 적용하여 현가화하였다.

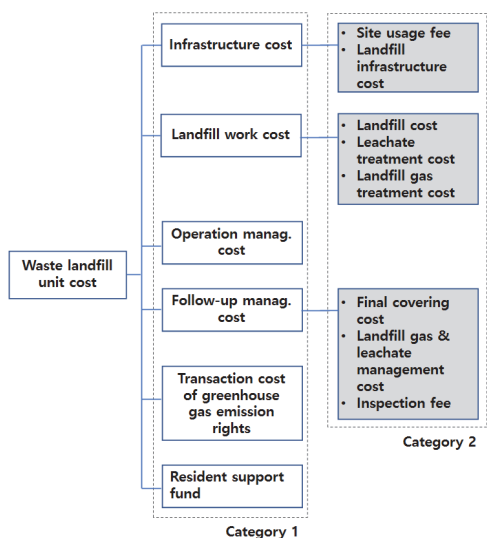


Fig. 3 Waste landfill unit cost composition system

### 2.4 폐기물 매립량 예측 방법

폐기물 매립량 예측은 매립단가 구성 항목별 총원가에 영향을 미치고 최종적으로 매립단가에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 폐기물 매립량 예측은 통계기법에 따른 매립량 예측(method A)과 정책변수에 의한 매립량 예측(method B) 두 가지로 예측하였다. 매립량 예측(method A)은 S매립장의 과거 폐기물 종류별 매립량 데이터를 기초로 IBM SPSS Statistics Ver. 12를 사용하여 이동평균(Moving Average), 회귀분석(선형, 로그, 지수) 등 4가지 모델로 폐기물 종류별 매립량을 예측한 후, 과거 매립

추이와 비교하여 가장 적합한 모델을 적용하여 예측하였으며, 매립량 예측(method B)은 매립량 예측(method A)의 결과를 이용하여 2026년 생활폐기물 직매립 금지, 온실가스 배출권 거래제도 등 폐기물 정책변수를 반영하여 수정된 매립량을 추정하였다.

### 2.5 온실가스 배출량 분석 방법

온실가스 배출량은 다양한 영향인자에 의하여 폐기물 분해가 발생하기 때문에 가정 사항에 따라 다양한 산정 방식이 있으나, 본 연구에서는 관리형 매립시설에서 1차 반응에 의한 폐기물 분해를 가정하여 IPCC G/L과 환경부 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침을 이용하여 분석하였다. 주요 변수인 DOC(Degradable Organic Carbon)는 0.5, MCF(Methan Correction Factor)는 1.0, OX(Oxidation Factor)는 0.1을 적용하였다[15,16].

$$CH_4\ emissions_T = [\sum_x CH_4\ generated_{x,T} - R_T] \times (1-OX)$$

$$CH_4\ generated_{x,T} = DDOCm, decomp_T \times F \times 1.336$$

$$DDOCm, decomp_T = DDOCm_{T-1} \times (a - e^{-k})$$

$$DDOCm_{T-1} = DDOCm_{T-2} + (DDOCm_{T-2} \times e^{-k})$$

$$DDOCm_{T-1} = W_{T-1} + DOC \times DOC_f \times MCF$$

여기서,  $CH_4\ emissions_T$ 는 T년도 메탄 배출량

$CH_4\ generated_{x,T}$ : T년도 발생 가능한 최대 메탄배출량

$R_T$ : T년도에 회수된 메탄량

$OX$ : 매립지 표면에서의 산화율

$DDOCm, decomp_T$ : T년도에 혐기적으로 분해된 유기탄소

$F$ : 발생 매립가스에 대한 메탄 부피비

1.336:  $CH_4$ 의 분자량(16.043)/C의 원자량(12.011)

$DDOCm_{T-1}$ : T-1년도 말까지 누적된 유기탄소

$k$ : 메탄 발생 속도상수

$DDOCm_{T-1}$ : T-1년도에 매립된 혐기적 분해가능한 유기탄소

$W$ : 폐기물 매립량

$DOC$ : 분해 가능한 유기탄소 비율

$DOC_f$ : 실제 메탄으로 전환 가능한 DOC 비율

$MCF$ : 호기성 분해에 대한 메탄 보정계수

$T$ : 산정년도

또한 폐기물 종류별 유기탄소 비율 등을 산정하기 위해 2022년 성상 분석 실측 데이터[17,18]를 활용하였고, 메탄 회수 비율은 2022년 발생량

Table 4. DOC and k values applied by waste types and properties

	waste properties	DOC	k
House hold	mixed waste(bulk)	0.14	0.09
	paper	0.40	0.06
	fiber	0.24	0.06
	food	0.15	0.185
	wood	0.43	0.03
	garden & park waste	0.20	0.1
	diapers	0.24	0.06
	rubber leather	0.39	0.03
	plastics	0.00	0
	metals	0.00	0
	glass	0.00	0
	other	0.00	0
Business	mixed waste(bulk)	0.15	0.09
	food	0.15	0.185
	fiber	0.24	0.06
	wood	0.43	0.03
	paper	0.40	0.06
	petroleum products	0.00	0
	synthetic rubber	0.39	0.03
	construction and shredding residues	0.04	0.1
	sewage sludge	0.05	0.185
	wastewater sludge	0.09	0.185
	other	0.01	0.1

대비 배출량 비율이 지속될 것으로 가정하여 산정하였으며, 폐기물 종류 및 성상별로 적용한 DOC 및 k는 Table 4에 나타내었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 폐기물 매립량 예측

과거 매립량을 기초로 이동평균, 회귀분석(선형,









정되었다. 온실가스 배출권 거래제도에 의한 할당량에 따른 초과 배출량 즉 배출권 부족량은 1,581천 톤으로 온실가스 배출권 거래비용으로 28,499백만 원이 발생할 것으로 추정되었다.

Table 8은 매립되는 폐기물 종류별 성상에 따른 온실가스 발생량 기여도를 분석한 결과이다.

method A의 경우 생활폐기물은 종이 40.7%, 음식물 15.7%, 기저귀 15.2%, 섬유 4.9% 등으로 나타났다, 사업장폐기물은 목재 8.2%, 종이와 잔재물이 3.5%, 폐수 슬러지 3.3% 등으로 분석되었으며, method B의 경우 생활폐기물은 종이 25.8%, 음식물 10%, 기저귀 9.6%, 섬유 3.1% 등으로 나타났다, 사업장폐기물은 폐수 슬러지 33.3%, 기타 10.5%, 하수슬러지 4.4% 등으로 분석되었다.

Table 8의 온실가스 발생량 기여도는 폐기물 종류별로 성상에 따라 온실가스 배출권 거래비용을 배분하는 데 사용하였다.

**Table 7. Greenhouse Gas Emission Forecast Results (2024~2053)**

(unit: 10<sup>3</sup>ton)

	method A	method B
CH <sub>4</sub> generation	1,944	1,766
CH <sub>4</sub> recovery	963	876
CH <sub>4</sub> emission	883	801
GHG(CO <sub>2</sub> ) conversion	18,534	16,829
quota	16,205	15,249
shortage	2,329	1,581
shortage costs(10 <sup>6</sup> won)	41,998	28,499

### 3.3 폐기물 매립단가 구성 항목별 총비용

2024년부터 2030년까지 기반 조성비, 매립작업비, 운영관리비, 사후 관리비, 온실가스 배출권 거래비, 주민지원금 등 폐기물 매립단가 구성 항목

**Table 8. Contribution rate of emission trading costs according to physical composition**

Waste properties		Method A		Method B	
		TC (ton)	Contribution rate (%)	TC (ton)	Contribution rate (%)
Household waste	paper	356,312	40.7	93,822	25.8
	fiber	43,098	4.9	11,348	3.1
	food	137,743	15.7	36,270	10.0
	wood	7,810	0.9	2,056	0.6
	diapers	132,693	15.2	34,940	9.6
	rubber leather	13,523	1.5	3,561	1.0
Business waste	food	158	0.0	7	0.0
	fiber	4,277	0.5	178	0.0
	wood	71,918	8.2	2,998	0.8
	paper	30,715	3.5	1,280	0.4
	synthetic rubber	8,046	0.9	335	0.1
	construction & shredding residues	30,817	3.5	1,285	0.4
	sewager sludge	3,770	0.4	16,158	4.4
	wastewater sludge	28,681	3.3	120,903	33.3
other	6,004	0.7	38,316	10.5	

별 총비용을 method A와 method B에 따라 산정한 결과는 Table 9와 같다. method A의 경우 기반 조성비 67,753백만 원, 매립작업비 222,633백만 원, 운영관리비 237,664백만 원, 사후 관리비 44,481백만 원, 온실가스 배출권 거래비 41,998백만 원, 주민지원금 61,453백만 원으로 나타났다. method B는 기반 조성비 11,912백만 원, 매립작업비 115,755백만 원, 운영관리비 237,664백만 원, 사후 관리비 14,368백만 원, 온실가스 배출권 거래비 28,499백만 원, 주민지원금 40,820백만 원으로 나타났다. method B와 method A의 단가 구성 항목별 총비용을 비교해 보면 기반 조성비는

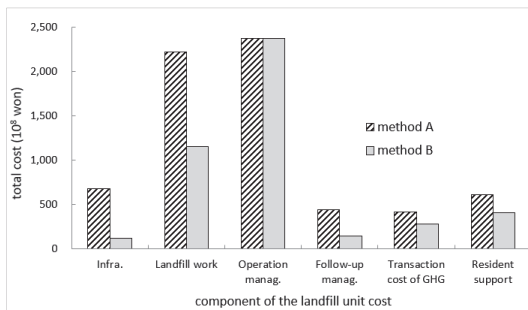


Fig. 5 Compare for the total cost of each component

82.4%, 매립작업비는 48.0%, 사후 관리비는 67.7%, 온실가스 배출권 거래비는 32.1%, 주민지원금은 33.6% 감소하였다. method A와 method B의 폐기물 매립단가 구성 항목별 총비용 비교는 Fig. 5와 같다.

### 3.4 폐기물 매립단가

Table 9의 폐기물 매립단가 구성 항목별 총비용을 method A와 method B의 폐기물 종류별 매립량에 따라 배분한 폐기물 매립단가 즉 톤당 처리비를 Table 10과 11에 나타내었다. 이중 온실가스 배출권 거래비용 단가는 Table 8의 폐기물 성상별 탄소배출 기여도를 함께 반영한 결과이다.

method A에 의한 폐기물 매립단가(톤당 처리비)는 생활폐기물 70,582원/톤 등으로 분석되었고, 매립단가 구성 항목별로는 매립작업비 31,203원/톤, 운영관리비 19,962원/톤, 사후 관리비 6,234원/톤이었다. 매립장을 건설할 때 기반 조성비를 분담하지 않은 사업장폐기물의 기반 조성비는 38,739원/톤으로 산정되었고, 폐기물 종류에

Table 9. Total cost of each component of the landfill unit cost

(unit: 10<sup>6</sup> won)

Category 1	Category 2	method A ('24~'30)	method B ('24~'30)
Infrastructure cost	Site usage fee	37,926	6,668
	landfill infrastructure cost	29,827	5,244
Landfill work cost	Landfill cost	175,836	68,958
	leachate treatment cost	12,040	12,040
	Landfill gas treatment cost	34,757	34,757
Operation management cost		237,664	237,664
Follow-up management cost	Final covering cost	17,267	5,577
	Landfill gas & leachate management cost	27,142	8,767
	Inspection fee	72	23
Transaction cost of greenhouse gas emission rights		41,998	28,499
Resident support fund		61,453	40,820

**Table 10. Cost per ton of waste landfill disposal (method A: 2024~2030)**

Type of Waste		Cost(won/ton)						
		Total	Infra.	Landfill work	Operation manag.	Follow-up manag.	Emission trading	Resident support
Municipal	Household Waste	70,582	0	31,203	19,962	6,234	6,766	6,417
		(100%)	(0.0%)	(44.2%)	(28.3%)	(8.8%)	(9.6%)	(9.1%)
	Coal briquette ash	63,139	0	31,203	19,962	6,234	0	5,740
		(100%)	(0.0%)	(49.4%)	(31.6%)	(9.9%)	(0.0%)	(9.1%)
Domestic	Workplace municipal waste	106,253	38,739	31,203	19,962	6,234	456	9,659
		(100%)	(36.5%)	(29.4%)	(18.8%)	(5.9%)	(0.4%)	(9.1%)
	Sewage dredged soil	65,767	0	31,203	19,962	6,234	2,389	5,979
		(100%)	(0.0%)	(47.4%)	(30.4%)	(9.5%)	(3.6%)	(9.1%)
Facilities	Water treatment sludge	67,869	0	31,203	19,962	6,234	4,300	6,170
		(100%)	(0.0%)	(46.0%)	(29.4%)	(9.2%)	(6.3%)	(9.1%)
	Intermediate treatment remnants	111,463	38,739	31,203	19,962	6,234	5,191	10,133
		(100%)	(34.8%)	(28.0%)	(17.9%)	(5.6%)	(4.7%)	(9.1%)
	Sewage sludge	65,767	0	31,203	19,962	6,234	2,389	5,979
		(100%)	(0.0%)	(47.4%)	(30.4%)	(9.5%)	(3.6%)	(9.1%)
Ash	63,640	0	31,203	19,962	6,234	456	5,785	
	(100%)	(0.0%)	(49.0%)	(31.4%)	(9.8%)	(0.7%)	(9.1%)	
Others	106,253	38,739	31,203	19,962	6,234	456	9,659	
	(100%)	(36.5%)	(29.4%)	(18.8%)	(5.9%)	(0.4%)	(9.1%)	

**Table 11. Cost per ton of waste landfill disposal (method B: 2024~2030)**

Type of Waste		Cost(won/ton)						
		Total	Infra.	Landfill work	Operation manag.	Follow-up manag.	Emission trading	Resident support
Municipal	Household Waste	111,222	0	50,228	33,589	6,234	11,061	10,111
		(100%)	(0.0%)	(45.2%)	(30.2%)	(5.6%)	(9.9%)	(9.1%)
	Coal briquette ash	99,056	0	50,228	33,589	6,234	0	9,005
		(100%)	(0.0%)	(50.7%)	(33.9%)	(6.3%)	(0.0%)	(9.1%)
Domestic	Workplace municipal waste	142,488	38,739	50,228	33,589	6,234	745	12,953
		(100%)	(27.2%)	(35.3%)	(23.6%)	(4.4%)	(0.5%)	(9.1%)
	Sewage dredged soil	103,351	0	50,228	33,589	6,234	3,905	9,396
		(100%)	(0.0%)	(48.6%)	(32.5%)	(6.0%)	(3.8%)	(9.1%)
Facilities	Water treatment sludge	106,788	0	50,228	33,589	6,234	7,029	9,708
		(100%)	(0.0%)	(47.0%)	(31.5%)	(5.8%)	(6.6%)	(9.1%)
	Intermediate treatment remnants	151,004	38,739	50,228	33,589	6,234	8,486	13,728
		(100%)	(25.7%)	(33.3%)	(22.2%)	(4.1%)	(5.6%)	(9.1%)
	Sewage sludge	103,351	0	50,228	33,589	6,234	3,905	9,396
		(100%)	(0.0%)	(48.6%)	(32.5%)	(6.0%)	(3.8%)	(9.1%)
Ash	99,875	0	50,228	33,589	6,234	745	9,080	
	(100%)	(0.0%)	(50.3%)	(33.6%)	(6.2%)	(0.7%)	(9.1%)	
Others	142,488	38,739	50,228	33,589	6,234	745	12,953	
	(100%)	(27.2%)	(35.3%)	(23.6%)	(4.4%)	(0.5%)	(9.1%)	

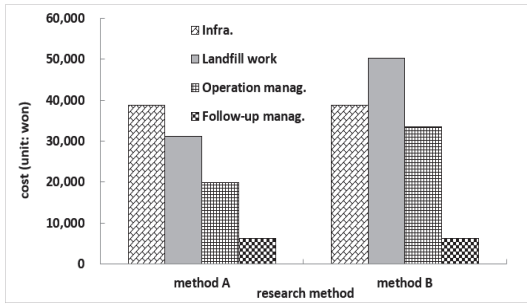


Fig. 6 Comparison of detailed configuration costs by method A, method B

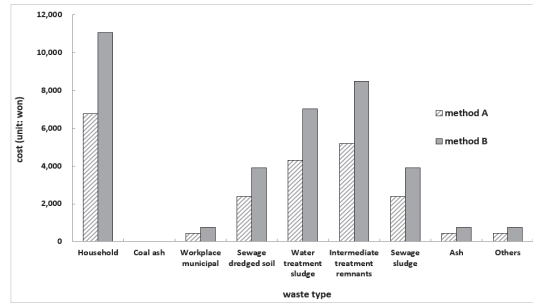


Fig. 8 Comparison of greenhouse gas transaction costs by waste type

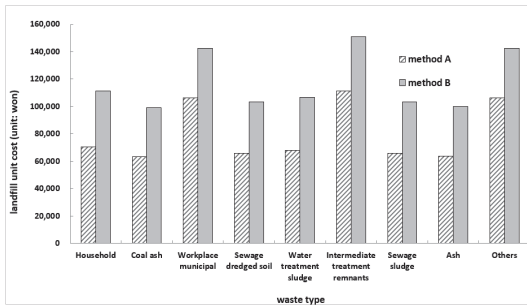


Fig. 7 Comparison of landfill unit costs by waste type

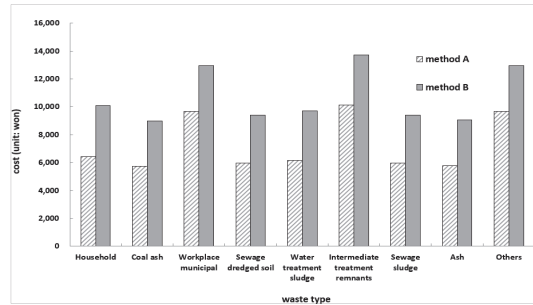


Fig. 9 Comparison of resident support fund by waste type

따라 온실가스 배출권 거래비는 0원/톤~6,766원/톤, 주민지원금은 5,740원/톤~10,133원/톤으로 산출되었다.

method B의 경우 폐기물 매립단가(톤당 처리비)는 method A와 비교할 때 생활폐기물의 경우 57.6% 증가한 111,222원/톤으로 분석되었고, Fig. 6과 같이 세부 단가 구성 항목별로는 매립작업비는 61.0% 증가하여 50,228원/톤, 운영관리비는 68.3% 증가한 33,589원/톤으로 산정되었으며, 기반 조성비와 사후 관리비는 변화가 없는 것으로 분석되었다.

Fig. 7에는 폐기물 종류별 매립단가를 비교하였다. 매립단가는 method B가 method A 보다 생활폐기물은 57.6%, 연탄재는 56.9%, 사업장 비배출시설계자기는 34.1%, 하수준설토 57.1%, 상수오

니 57.3%, 중간처리 잔재물 35.5%, 하수슬러지 57.1%, 소각재 56.9%, 기타 34.1% 높게 나타났다.

Fig. 8과 Fig. 9 에는 폐기물 종류별 온실가스 배출권 거래단가와 주민지원금 단가를 비교하였다. 온실가스 배출권 거래단가는 method B가 method A 보다 63.5% 높았으며, 주민지원금은 폐기물 종류에 따라 34.1% ~ 57.6% 높게 나타났다.

### 3.5 폐기물 매립단가 산정 방안

과거 폐기물 매립량에 의한 통계분석 예측(method A)과 폐기물 정책변화를 반영한 매립량 예측(method B)에 의한 폐기물 매립단가 변화를 Table 11, Table 12, Fig. 6~9에서 확인하였다.

이러한 단가 변화 요인은 정책변화에 따른 매립량의 변화와 Table 10과 같이 폐기물 매립단가 구성항목의 총비용이 매립량에 따라 변하지 않거나 매립량의 증감만큼 충분히 증가하거나 감소하지 않기 때문이다. 이는 매립작업비는 대부분 매립량에 변동하는 변동비로 구성되어 있으나, 고정비 성격의 비용도 있어 매립량 감소와 정비례 하지 않으며, 운영관리비는 인건비 등 기관운영비로써 매립량 변동에 민감하게 반응하지 않는 특성에서 기인한다. 아울러 생활폐기물, 사업장 비배출시설계자가, 하수준설토, 상하수오니, 중간처리 잔재물 등의 단가에서 온실가스 감축 정책에 의한 배출권 거래비용이 4% ~ 10% 수준으로 분석되었고, 이 결과는 최근 1년간의 배출권거래 시장에서의 배출권 거래단가를 적용한 것으로 온실가스에 대한 정책이 강화될 경우 거래단가가 올라갈 여지도 있어 온실가스 배출권거래 비용 비중은 더 커질 수 있을 것으로 예측된다.

따라서 폐기물 매립단가는 통계기법에 따른 매립량 예측 후 정책변수의 반영을 통해 최종 매립량을 예측하는 과정을 거쳐 산정해야 할 필요성이 있으며, 온실가스 배출권 거래비용과 같이 정책적으로 발생할 수 있는 미래 비용을 원가에 반영함으로써 중장기적으로 안정적인 매립지 관리를 기할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

I시에 위치한 S매립장의 폐기물 매립단가 산정을 통계기법에 따른 매립량 예측(method A)과 정책변수를 반영한 매립량 예측(method B) 두 가지 경우로 분석을 시행한 결과, method A의 생활폐기물 매립단가는 70,582원/톤으로, 단가 구성 항목별로는 매립작업비 31,203원/톤, 운영관리비

19,962원/톤, 사후 관리비 6,234원/톤으로 분석되었다. 매립장을 건설할 때 기반 조성비를 분담하지 않은 사업장폐기물에 부담시키는 기반 조성비는 38,739원/톤이며, 폐기물 종류에 따라 온실가스 배출권 거래비는 0원/톤~6,766원/톤, 주민지원금은 5,740원/톤~10,133원/톤으로 나타났다. method B에 의한 매립단가는 method A와 비교할 때 생활폐기물의 경우 57.6% 증가한 111,222원/톤으로 분석되었고, 매립작업비는 61.0% 증가하여 50,228원/톤, 운영관리비는 68.3% 증가한 33,589원/톤으로 산정되었으며, 기반 조성비와 사후 관리비는 변화가 없는 것으로 분석되었고, 폐기물 종류에 따라 온실가스 배출권 거래비는 0원/톤~11,061원/톤, 주민지원금은 9,005원/톤~13,728원/톤으로 산출되었다.

폐기물 종류별 매립단가는 method B가 method A 보다 생활폐기물 57.6%, 연탄재 56.9%, 사업장 비배출시설계자가 34.1%, 하수준설토 57.1%, 상수오니 57.3%, 중간처리 잔재물 35.5%, 하수슬러지 57.1%, 소각재 56.9%, 기타 34.1% 높았으며, 온실가스 배출권 거래단가는 method B가 method A 보다 63.5%, 주민지원금은 폐기물 종류에 따라 34.1% ~57.6% 높게 나타났다.

따라서 매립 당시뿐 아니라 매립 종료 후에도 30년 이상의 중장기적인 운영관리가 필요한 폐기물 매립장의 특성을 고려할 때 안정적인 매립장 운영관리를 위해 주기적으로 정책변수를 파악하고 이를 고려한 폐기물 매립량 예측과 온실가스 배출권과 같은 추가적인 미래 비용 요소를 도출하는 등의 폐기물 매립단가 산정 활동이 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] H. G. Jung, Standards for Installation and

- Management of Waste Landfill Facilities, Journal of Ground Environment, Vol.10, No.4 pp. 33-39, (2009).
- [2] M. J. Lee, Installation of Reclamation Facilities for Efficient Operation Management, Journal of Environmental Technology, Vol.14, No.9 pp. 94-100, (2006).
- [3] S. H. Lee, S. Y. Kim, A Case Study on the Landfill Gas Power Generation (50MW) CDM Project in SUDOKWON Landfill Site, Journal of Environmental Technology, Vol.30, No.3 pp. 116-123, (2022).
- [4] S. K. Chun, A Study on the Calculation of Stabilization Period of Landfill Site 1, SUDOKWON Landfill Site Management Corp., pp. 121-126, (2019).
- [5] S. W. Lee, H. S. Moon, K. H. Kim, Study on the TOC Analysis of MSW for the Application of Landfill Criteria, Journal of Korea society of waste management, Vol.32, No.8 pp. 819-826, (2015)
- [6] K. Y. Kim, I. W. Choi, S. W. Lee, J. S. Park, Y. G. Kim, D. J. Lee, K. H. Kim, G. J. Oh, A Survey on Minimization of Organic Waste Landfilling, National Institute of Environmental Research, pp. 4-11, (2013)
- [7] S. K. Chun, J. K. Park, M. G. Kim, Analysis of surface emission and oxidation rate of landfill gas by major discharge path of landfill, Journal of the Korean Applied Science and Technology, Vol.40, No.3 pp. 425-434, (2023).
- [8] G. Y. Go, Enforcement of the Kyoto Protocol and Measures to Respond to the Energy Industry Sector, Journal of Air Cleaning Technology, Vol.18, No.3 pp. 1-14, (2005).
- [9] Ministry of Environment : Emissions Trading System [Internet]. Available From: <https://www.easylaw.go.kr/CSP/CnpClsMain.laf?csmSeq=1866&ccfNo=1&cciNo=1&cnpClsNo=1>. (accessed May, 25, 2024).
- [10] SLC(SUDOKWON Landfill Site Management Corp.), Management Landfill Survey Results Report, pp. 1-5, (2023).
- [11] SLC(SUDOKWON Landfill Site Management Corp.) : Landfill treatment [Internet]. Available From: <https://slc.or.kr/slc/mb/sl/ecoLandfill.do?tabNo=0&#/eyJwYWdlIjoxLCJ3ZWJQYWdlTm8iOiYMDUiLCJ0YWJObyI6MH0=>. (accessed May, 25, 2024).
- [12] Y. M. Kim, H. S. Song, S. K. Chun, Application of the Microbial Process for Hydrogen Sulfide Removal and Bio-Sulfur Production from Landfill Gas, New & Renewable Energy, Vol.16, No.1 pp. 68-76, (2020).
- [13] SLC(SUDOKWON Landfill Site Management Corp.), Sudokwon Landfill Statistics Yearbook, pp. 93-101, (2023).
- [14] SLC(SUDOKWON Landfill Site Management Corp.), Sudokwon Landfill Statistics Yearbook, pp. 21-24, (2023).
- [15] S. H. Jung, H. U. Hwang, M. G. Kim, C. Z. Yan, A. M. Nzioka, J. Nyamoko Tinega, Y. J. Kim, Study of Selected IPCC Methodologies for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions from a Landfill, Journal of Korean Inst. of Resources Recycling, Vol.25, No.5 pp. 28-35, (2016).
- [16] SLC(SUDOKWON Landfill Site Management Corp.), A report on the method of estimating greenhouse gas emissions in landfill sites, pp. 3-6, (2021).
- [17] SLC(SUDOKWON Landfill Site Management Corp.), A Report on the Properties of Waste : Construction Design of the Infrastructure for the 3rd landfill Site in SUDOKWON Landfill, pp. 23-33, (2009).
- [18] SLC(SUDOKWON Landfill Site Management Corp.), 2022 Waste Property Survey Results, pp. 4-11, (2023).