

## 소각시설 이행지표를 활용한 운영 현황 평가

김중환 · 박준석\* · 배재근†

서울과학기술대학교 환경공학과, 강원대학교 지구환경시스템공학과\*  
(2016년 8월 29일 접수; 2016년 9월 5일 수정; 2016년 9월 23일 채택)

### Evaluation of Operation Status for Incineration Facility Using Performance Index

Jong-Hwan Kim · Joon-Seok Park\* · Chae-Gun Phae†

*Dept. of Env. Eng., Seoul National University of Science & Technology, Seoul 01811, Korea*

*\*Dept. of Earth & Env. Eng., Kangwon National University, Samcheok 25913, Korea*

*(Received August 29, 2016; Revised September 5, 2016; Accepted September 23, 2016)*

**요약** : 본 연구는 소각시설을 규모별, 유형별로 평가하기 위하여 이행지표를 설정한 후 설문조사를 실시하였다. 설문대상 수는 2012년 기준 전국 184개 중 약 15%인 28개를 선정하였다. 규모별로 대규모 ( $\geq 100$  t/d), 중규모( $50 \sim < 100$  t/d), 소규모( $< 50$  t/d)로 나누고, 유형별로는 스토커, 열분해, 유동층으로 분류하였다. 이행지표는 기술성, 경제성, 환경성으로 대별한 후 각각 6개, 10개, 30개의 세부항목을 설정하고 5등급으로 나누어 점수를 부과하였다. 평가결과 소각시설 규모별로는 기술성, 경제성, 환경성 평가에서 모두 대규모 시설이 소규모 시설 보다 높은 점수를 받았으며, 종합점수에서도 동일한 경향을 나타내어 소각시설의 규모가 증가할수록 더 높은 평가 점수를 받는 것을 알 수 있었다. 소각시설 유형별로는 기술성, 경제성, 환경성을 종합 평가한 결과에서 스토커식(65.3점)이 유동상(59.0점) 및 열분해(58.3점) 보다 우수한 평가결과를 나타내었다. 특히 소각시설 평가시 기술성, 경제성, 환경성 중 경제성에서 뚜렷한 차이를 나타내었다.

**주제어** : 소각시설, 스토커, 열분해, 유동층, 이행지표

**Abstract** : This research was performed to evaluate incineration facilities with different scale and type using performance index. Incineration facilities of 28 units, which occupying about 15% of 184 units in nationwide, were selected for questionnaire survey. The facilities were classified in scale with large( $\geq 100$  t/d), middle( $50 \sim < 100$  t/d), small( $< 50$  t/d) ones, and in type with stoker, pyrolysis, fluidized bed. Performance index was composed of technological, economical, and environmental items, which have 6, 10, and 30 kinds of questions, respectively. As a result of scale evaluation, large scale facility has higher score than small one in all technological, economical, and environmental items. In overall evaluation of the facilities with different type, stoker incinerator has

---

†Corresponding author  
(E-mail: [phae@snut.ac.kr](mailto:phae@snut.ac.kr))

higher score of 65.3 than 59.0 of fluidized bed and 58.3 of pyrolysis. It was shown that there was significant difference in economical evaluation field, in all technological, economical, and environmental items.

*Keywords : Incineration facility, Stoker, Pyrolysis, Fluidized bed, Performance index*

## 1. 서론

연도별 폐기물 발생량은 현재 안정화 단계에 이르러 크게 변화하지 않고 있다. 국내 공공부문 폐기물 처리시설은 2002년 기준 350개소에서 2010년 725개소로 급격히 증가되었지만 대부분 시·군·구 단위로 설치 운영되어 중복 투자되거나 사업이 지연되고 적정하지 않게 설치되는 등 비효율적 문제를 내재하여 왔다[1,2]. 최근 폐기물 감량과 재활용 정책이 강화되고 있고 자치단체의 통합 등으로 인한 광역 행정의 효율화 추세 및 양적 확대의 점진적 둔화를 고려하여 폐기물 처리시설의 증장기 전략 방향의 전환이 요구되고 있다[1,2]. 이를 위해서는 공공 폐기물처리시설의 운영 실태에 대한 대내·외적이고 체계적인 사후 평가와 관리체계 구축이 필요한 실정이다[1,2].

폐기물을 적정 처리하고 재정투자 효율을 극대화하기 위한 최적화 방안이 도입되고 있으며, 시·도 권역 내에서는 폐기물처리시설을 광역화·대형화·집적화하고 있다[3]. 또한 폐기물처리시설을 질적 고도화하고 수명을 연장하며, 발생폐기물을 타 환경기초시설과 연계 및 병합 처리하고 폐기물처리 비용을 절감하기 위하여 민간처리시설을 활용하거나 폐기물처리시설의 가동률 등을 제고하기 위한 최적화기술을 적용하고 유해하지 않은 생활계폐기물과와 사업장계 폐기물을 교차 처리하는 등의 방법이 고려되고 있다[3]. 이처럼 폐기물 최적화 개념을 수립하기 위해서는 먼저 해당 폐기물처리시설이 설치된 공간에서 운영실태를 파악하고 평가하여야 한다[3].

우리나라에 본격적인 대형 도시쓰레기 소각로가 설치된 것은 1987년 목동에 150 t/d 용량 1기가 설치된 것이 최초이다[4]. 소각시설은 폐기물을 열적으로 처리하는 방법으로 스토커, 열분해, 유동층 방식 등이 범용적으로 설치 운영되고 있다[4]. 유동층 소각로의 경우 가동, 정지가 용이하고 고수분 폐기물 등의 소각도 가능한 장점이 있으나, 쓰레기 투입크기에 제한이 있고 배가

스와 재처리를 완전히 하기 위해서는 대형화가 필요하다[4]. 따라서 도시폐기물 소각의 경우 스토커 소각로의 채용이 압도적이다[4]. 매년 발생하는 생활폐기물 중 약 25% 정도가 소각 처리되고 있으며, 그 비율은 2009년 20.3%에서 2014년 25.3%까지 매년 조금씩 증가하였다[5]. 생활폐기물, 건설폐기물과 사업장 폐기물(지정폐기물 제외)의 소각비율은 2009년 5.2%에서 2014년 5.8%로 소폭 증가하였다[5]. 이처럼 폐기물처리에서 소각 비율이 점차 증가하고 있고, 생활폐기물 처리에서 중요한 역할을 담당하고 있음에도 불구하고 아직까지 소각시설의 규모별, 유형별 운영실태 및 평가에 대하여 종합적으로 조사된 연구는 매우 미미한 실정이다.

본 연구에서는 이행지표를 이용하여 설문조사를 실시한 후 소각시설을 규모별, 유형별로 평가하였다. 본 연구의 자료 및 평가 결과는 향후 운영관리 정보시스템을 구축하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 설문조사

이행지표를 이용하여 소각시설을 평가하기 위하여 설문조사 계획을 수립하였다. 전국의 소각시설을 지역(지자체)과 시설용량별로 분류하고 대상시설을 선정하였다. 사전에 선정된 시설의 지자체 담당자에게 설문 목적을 설명하고 협조를 구한 후 직접 방문하여 설문지를 작성하였다. 2012년 기준 전국의 소각시설은 총 184개가 가동되고 있었으며, 50 ton/d 미만의 소규모 시설이 121개로 65.8%를 차지하였다. 이 중 총 28개 지자체의 협조를 구하여 설문 조사를 실시하였으며, 규모별 설문대상 수 등 구체적인 사항을 Table 1에 나타내었다[3]. 설문조사한 28개 소각로는 전국 소각시설(184개)의 약 15%에 해당되며, 현황을 파악하고 문제점을 도출하는 등 의미 있는 결론을 얻

Table 1. Status of incineration facility to complete a questionnaire in 2012

Scale	Facility capacity (ton/day)	Nationwide		Response		Code of local government for questionnaire survey
		Number	%	Number	%	
Large	≥100	46	25.0	16	57.1	S_L1, S_L2, S_L3, S_L4, S_L5, S_L6, S_L7, S_L8, S_L9, S_L10, S_L11, S_L12, P_L1, P_L2, P_L3, S_L13
Middle	50~<100	17	9.2	1	3.6	S_MI1
Small	<50	121	65.8	11	39.3	S_S1, S_S2, S_S3, S_S4, S_S5, S_S6, S_S7, S_S8, S_S9, P_S1, F_S1
Sum	-	184	100.0	28	100.0	-

는 데에는 무리가 없을 것으로 판단된다. 설문에 협조한 지자체의 소각로를 규모별로 살펴보면 대규모(≥100 t/d), 중규모(50~<100 t/d), 소규모(<50 t/d)가 각각 57.1%, 3.6%, 그리고 39.3%이었다. 표에는 각 지자체 소각시설의 유형과 규모를 알 수 있도록 코드를 부여하였으며, 시설유형\_규모 및 일련번호로 구성하였다. 시설유형에서 스토커(stoker), 열분해(pyrolysis), 유동층(fluidized bed)은 영문 알파벳 S, P, F를 부여하였으며, 시설규모에서 대규모(large), 중규모(middle), 소규모(small)는 각각 L, M, S를 부여하였다.

주요 설문항목은 기본현황, 기술성, 경제성, 환경성, 기타사항으로 구성하였으며, 운영현황의 객관성을 높이기 위해 운영비 집행내용, 보수내용 및 기타사항을 추가로 조사하였다[6]. 시설현황 및 운영기초현황에 대한 정보를 수집하기 위하여 운영담당자, 운영기관, 감독기관, 소각로 방식 및 설계용량, 가동년도, 운영형태, 반입함수율, 시설명, 처리공정 등도 조사하였다[6].

## 2.2. 이행지표

설문조사 결과를 바탕으로 현황평가를 실시하기 위하여 기술성, 경제성, 환경성 분야로 나누어 이행지표를 설정하였다[6]. 이행지표는 각 항목별로 A~E의 5가지 기준을 설정하고 배점을 1.0에서 0.2까지 부여하였다[6].

기술성 이행평가지표는 소각시설의 실제 가동현황에 관련된 6가지 항목으로 구성하였다[6]. 가

동률은 계획가동일수 대비 실제가동일수 비율을 나타낸 것이며, 부하율은 실제 처리되는 폐기물량을 설계시 계획폐기물 반입량으로 나눈 값으로 계획반입량 대비 실제처리 비율을 나타낸다. 이 밖에 연간보수일수, 최대연속운전시간, 시설운영인원, 바닥재발생률도 이행지표로 선정하였다.

경제성 평가지표는 기본적으로 폐기물처리량(ton)을 기본 단위로 설정하였으며, 운영비, 인건비, 보수비용, 에너지 판매수익, 에너지 사용비용, 부대수익, 약품비, 용수사용비용, 비산재와 바닥재 처리비용의 10가지 항목으로 구성하였다[6]. 경제성 평가는 지자체 운영방법별로 상이하므로 이번 평가를 통해 운영비 표준화 및 적정 운영비 산출이 가능할 것으로 판단된다. 또한 운영 중 발생하는 에너지 및 발생하는 수익 등을 평가하여 소각시설에 관한 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각된다[6].

환경성 평가지표는 에너지 사용, 폐수발생 및 용수사용, 환경오염물질 배출, 약품사용으로 대별한 후 각 항목을 설정하였다[6]. 에너지 사용에서는 에너지 자립률, 톤당 연료량 및 전기사용량, 환경기준위반 횟수로 구성되었고, 물 관련하여 폐수발생 및 상수, 지하수, 재이용수 사용을 평가하고자 하였다. 환경오염물질로는 황산화물, 질소산화물, 다이옥신, 먼지, 염화수소 등을, 사용되는 약품에 관해서는 소석회, 요소수, 암모니아, 활성탄 등을 선정하였으며, 보다 자세한 항목은 Table 6을 통하여 확인할 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 폐기물 발생, 처리 및 소각시설 현황

환경부에서는 매년 ‘전국 폐기물 발생 및 처리 현황’을 발간하여 생활폐기물과 사업장폐기물에 대한 통계자료를 발표하고 있다. 생활폐기물은 2005년 48,398 톤/일에서 2008년 52,072 톤/일 까지 증가하였다가 2010년 이후 다소 감소하여 안정화되면서 2014년에는 49,915 톤/일이 발생하였다[5,6]. 2014년 생활폐기물 처리현황을 살펴보면 49,915 톤/일 중 매립, 소각, 재활용으로 처리되는 비율은 각각 15.7%, 25.3%, 59.0%이었다[5].

설문조사가 이루어졌던 2012년과 2014년 기준 현재 운영되고 있는 소각시설 현황을 Table 2에 나타내었다[5]. 2014년 운영되는 전국 소각시설은 총 185개소이었으며, 이는 2012년(184개소)에

서 1개소가 증가한 것이다. 시설용량, 연간 처리량, 운영인원에서도 전국적으로는 큰 차이가 없었으나 서울이 크게 감소하였고, 인천이 크게 증가한 것을 볼 수 있다. 2014년 경기의 소각시설 수는 26개소로 연간 1,174,015톤을 처리하였으나, 전남은 소각시설 수(53개소)에 비하여 처리량은 107,953톤으로 나타나 상대적으로 소규모 소각시설이 많은 것으로 판단되었다.

#### 3.2. 기술성 평가

본 논문에서는 실제 조사된 현황자료를 중심으로 고찰하였으며, 설문조사 결과에 따라 부과점수는 추후 종합평가에서 활용될 것이다. 또한 본 논문에서는 지면 관계상 원데이터와 부과점수만 제시하고 소각시설 규모별, 유형별에 관해서는 저자들이 별도로 계산한 자료를 바탕으로 고찰할 것이다. 독자들은 표에 제시되어 있지 않은 규모별, 유형별 자료가 필요한 경우에는 코드명과 원

Table 2. Status of incineration facility in 2012 / 2014

Local government	Number of facility	Facility capacity (ton/day)	Amount of yearly treatment (ton)	Operating personnel (number)
Nationwide	184 / 185	17,206 / 16,769	4,337,568 / 4,342,480	3,491 / 3,583
Seoul	5 / 4	2,898 / 1,998	838,821 / 514,466	311 / 241
Busan	3 / 2	840 / 510	259,469 / 153,269	108 / 66
Daegu	1 / 1	480 / 480	136,477 / 135,534	48 / 51
Incheon	9/ 11	957 / 1,797	270,802 / 528,056	78 / 158
Gwangju	1 / 1	320 / 320	85,035 / 88,122	46 / 47
Daejeon	1 / 1	400 / 400	104,147 / 101,300	41 / 41
Woolsan	2 / 2	650 / 650	122,733 / 189,552	56 / 66
Sejong	1 / 1	45 / 45	13,506 / 13,217	16 / 17
Gyeonggi	24 / 26	5,130 / 5,114	1,138,641 / 1,174,015	909 / 975
Gangwon	16 / 16	576 / 582	150,333 / 159,769	225 / 243
Chungbuk	10 / 10	499 / 499	136,353 / 149,270	167 / 170
Chungnam	10 / 9	685 / 660	194,865 / 206,572	244 / 232
Jeonbuk	2 / 2	600 / 600	149,453 / 148,723	94 / 96
Jeonnam	51 / 53	500 / 496	106,922 / 107,953	321 / 320
Gyeongbuk	24 / 20	765 / 739	171,634 / 207,659	281 / 274
Gyeongnam	17 / 19	1,582 / 1,601	388,304 / 396,691	447 / 489
Jeju	7 / 7	279 / 278	70,074 / 68,319	99 / 97

Table 3. Technology evaluation of incineration facility

Code	Operating rate		Loading rate		Repairing day		Continuous operating time		Operating personnel		Produced bottom ash	
	Data (%)	Score	Data (%)	Score	Data (day/year)	Score	Data (hr/yr)	Score	Data (person/ton)	Score	Data (%)	Score
S_L1	92.1	0.6	83.6	0.6	68	0.2	4,056	0.6	0.08	1.0	4.3	0.6
S_L2	84.5	0.2	81.1	0.6	3	1.0	6,720	0.8	0.09	1.0	4.0	0.8
S_L3	93.4	0.6	89.8	0.6	63	0.2	3,384	0.4	0.16	0.8	4.0	0.8
S_L4	101.9	1.0	83.4	0.6	43	0.2	4,104	0.6	0.16	0.8	2.4	0.8
S_L5	106.7	1.0	84.7	0.6	30	0.6	2,112	0.4	0.16	0.8	3.0	0.8
S_L6	121.0	1.0	55.9	0.2	117	0.2	1,704	0.2	0.25	0.8	4.4	0.6
S_L7	101.5	1.0	91.4	0.8	26	0.6	8,112	1.0	0.20	0.8	2.0	1.0
S_L8	107.0	1.0	101.3	1.0	34	0.4	3,912	0.4	0.33	0.6	1.7	0.8
S_L9	96.4	0.8	70.0	0.4	44	0.2	3,312	0.4	0.32	0.6	3.1	0.8
S_L10	103.3	1.0	73.6	0.4	55	0.2	1,872	0.2	0.08	1.0	2.8	0.8
S_L11	110.7	1.0	76.0	0.4	33	0.4	3,480	0.4	0.23	0.8	4.5	0.6
S_L12	108.3	1.0	72.7	0.4	40	0.4	-	0.2	0.17	0.8	2.8	0.8
S_L13	100.6	1.0	82.6	0.6	43	0.2	4,176	0.6	0.11	0.8	3.9	0.8
S_M1	102.8	1.0	92.3	0.8	36	0.4	4,344	0.6	0.49	0.6	3.1	0.8
S_S1	115.7	1.0	107.0	1.0	21	0.8	2,280	0.4	0.65	0.4	7.0	0.4
S_S2	108.3	1.0	150.0	1.0	40	0.4	2,112	0.4	0.77	0.2	6.6	0.4
S_S3	86.3	0.4	64.7	0.2	50	0.2	1,440	0.2	0.54	0.4	4.3	0.6
S_S4	100.0	0.8	107.9	1.0	35	0.4	2,160	0.4	0.75	0.2	6.2	0.4
S_S5	109.8	1.0	115.1	1.0	20	0.8	2,088	0.4	0.90	0.2	5.0	0.6
S_S6	88.3	0.4	67.8	0.2	40	0.4	144	0.2	0.53	0.4	10.0	0.2
S_S7	111.3	1.0	104.8	1.0	33	0.4	2,352	0.4	0.60	0.4	6.3	0.4
S_S8	95.8	0.8	87.6	0.6	44	0.2	2,040	0.4	0.40	0.6	4.4	0.6
S_S9	105.0	1.0	84.4	0.6	50	0.2	1,584	0.2	0.50	0.6	3.8	0.8
P_L1	92.3	0.6	67.0	0.2	94	0.2	6,360	0.8	0.14	0.8	0.0	1.0
P_L2	102.9	1.0	3.9	0.2	41	0.4	1,968	0.2	0.13	0.8	0.1	1.0
P_L3	102.7	1.0	46.9	0.2	57	0.2	1,224	0.2	0.21	0.8	0.0	1.0
P_S1	102.3	1.0	101.2	1.0	58	0.2	7,272	0.8	0.70	0.4	5.0	0.6
F_S1	94.3	0.6	115.9	1.0	28	0.6	3,600	0.4	0.63	0.4	2.6	0.8
Average	101.6	0.9	84.4	0.6	44.5	0.4	3,256	0.4	0.37	0.6	3.8	0.7

Table 4. Evaluation of operating rate for incineration facility in technological items with type and scale

Type	Scale	Facility number	Average data $\pm$ SD <sup>1)</sup> / Range (%)		Average data $\pm$ SD <sup>1)</sup> / Range (score)	
Stoker	Large	13	102.1 $\pm$ 9.3 / 84.5~121.0	102.2 $\pm$ 9.3 / 84.5~121.0	0.9 $\pm$ 0.3 / 0.2~1.0	0.9 $\pm$ 0.2 / 0.2~1.0
	Middle	1	102.8		1.0	
	Small	9	102.3 $\pm$ 10.4 / 86.3~115.7		0.8 $\pm$ 0.2 / 0.4~1.0	
Pyrolysis	Large	3	99.3 $\pm$ 6.1 / 92.3~102.9	100.1 $\pm$ 5.2 / 92.3~102.9	0.9 $\pm$ 0.2 / 0.6~1.0	0.9 $\pm$ 0.2 / 0.6~1.0
	Small	1	102.3		1.0	
Fluidized bed	Small	1	94.3	94.3	0.6	0.6

1) SD: Standard deviation

데이터를 이용하여 간단히 확인할 수 있으며, 예시를 Table 4에 나타내었다.

가동률은 84.5~121.0%로 전체 평균은 101.6%이었다(Table 3)[3]. 이를 소각로 규모별로 살펴보면 스토커는 대규모( $\geq 100$  t/d), 중규모( $50 < 100$  t/d), 소규모( $< 50$  t/d)가 각각 102.1%, 102.8%, 102.3%의 가동률을 나타내었고, 열분해에서도 대규모 가동률(99.3%)과 소규모 가동률(102.3%)은 규모별 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 유동층은 소규모 시설 한 곳만 조사되었는데 가동률은 94.3%이었다(Table 4). 소각로 유형에서는 스토커, 열분해, 유동층의 평균 가동률은 102.2%, 100.1%, 94.3%로 유동층이 상대적으로 다소 낮은 가동률을 보였다(Table 4).

부하율은 전체 3.9~150.0%(평균 84.4%)를 나타내었으며(Table 3), 규모별로는 대규모, 중규모, 소규모가 72.7%, 92.3%, 100.6%를 보였고, 유형별로는 스토커, 열분해, 유동층이 88.2%, 54.8%, 115.9%를 나타내었다. 연간보수일수는 전체적으로 3~117일(평균 44.5일)이었으며(Table 3), 규모별로는 대규모, 중규모, 소규모가 49.4일, 36.0일, 38.1일로 대규모에서 높았고 유형별로는 스토커, 열분해, 유동층이 42.1일, 62.5일, 28.0일로 열분해의 보수일수가 가장 높았다. 소각시설을 중지하지 않고 가동한 최대시간(연속가동시간)은 전체 144~8,112시간(평균 3,256시간)이었으며(Table 3), 규모별로는 대규모, 중규모, 소규모가

3,766시간, 4,344시간, 2,461시간이었고, 유형별로는 스토커, 열분해, 유동층이 3,068시간, 4,206시간, 3,600시간이었다. 소각로의 연속운전 시간을 단축시키고 열교환 효율을 저하시키는 원인으로 다음과 같은 연구가 보고되었는데 소각로의 2차 출구온도가 약 950°C를 넘으면 배기가스에 섞인 비산재가 흡착성을 띠게 되어 이대로 비산재가 배출되면 폐열회수 보일러의 수관 외벽에 부착되어 배기가스의 흐름을 방해한다고 한다[7]. 소각시설용량(톤) 당 운영인원은 전체 평균 0.37명(0.08~0.90명)이었으며(Table 3), 규모별로는 대규모, 중규모, 소규모가 0.18명, 0.49명, 0.63명으로 규모가 증가할수록 운영인원이 크게 감소하여 '규모의 경제'를 보여주고 있다. 유형별로는 스토커, 열분해, 유동층이 0.37명, 0.3명, 0.63명으로 나타났다. 소각폐기물 톤당 바닥재발생률은 전체 평균 3.8%(0.0~10.0%)이었다(Table 3). 규모가 작아질수록 발생률이 증가하는 경향을 보여 대규모 2.7%, 중규모 3.1%, 소규모 5.6%를 보였으며, 유형별로는 스토커(4.3%)가 유동층(2.6%)이나 열분해(1.3%) 높았다.

### 3.3. 경제성 평가

경제성 평가는 10가지로 구성하였다[3]. 소각시설 전체 평균 운영비는 161,677 원/톤(53,508~1,254,743 원/톤)이었으며(Table 5), 유형에서는 열분해(439,864 원/톤)가 유동층(163,064 원/톤)

Table 5. Economy evaluation of incineration facility

Code	Operating expenses		Labor cost		Repairing cost		Energy sale profit		Energy cost		Additional income		Reagent cost		Water cost		Fly ash treatment cost		Bottom ash treatment cost	
	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score
S_L1	83,899	0.8	7,657	1.0	33,409	0.4	48,442	0.8	11,778	0.8	22,731	1.0	5,002	0.6	1,355	0.8	5,064	0.8	3,606	0.8
S_L2	58,302	1.0	15,506	1.0	13,820	0.8	26,791	0.4	5,774	1.0	0	0.2	3,486	0.8	1,259	0.8	2,496	1.0	3,761	0.8
S_L3	53,545	1.0	20,568	0.8	12,606	0.8	1,120	0.2	1,216	1.0	0	0.2	4,974	0.8	466	1.0	779	1.0	4,935	0.8
S_L4	82,323	0.8	22,864	0.8	22,118	0.6	19,649	0.4	6,966	1.0	128	0.2	5,932	0.8	964	1.0	3,085	0.8	517	0.8
S_L5	65,516	1.0	16,421	1.0	8,760	1.0	27,504	0.4	16,614	0.8	0	0.2	3,782	0.8	837	1.0	2,755	1.0	0	1.0
S_L6	148,542	0.2	71,661	0.4	31,427	0.4	60,919	1.0	13,452	0.8	497	0.2	647	1.0	666	1.0	0	1.0	357	0.8
S_L7	106,410	0.6	34,653	0.8	20,967	0.6	28,095	0.4	13,114	0.8	29,500	1.0	13,472	0.8	1,007	0.8	4,780	0.6	3,404	0.8
S_L8	83,351	0.8	30,661	0.8	5,558	1.0	0	0.2	9,676	1.0	25,388	1.0	6,951	0.8	0	1.0	3,175	0.8	1,360	0.8
S_L9	109,503	0.6	57,627	0.6	7,215	1.0	0	0.2	9,817	1.0	0	0.2	7,154	0.2	1,296	0.8	-	0.8	-	0.2
S_L10	53,508	1.0	18,738	1.0	8,281	1.0	20,996	0.4	12,267	0.8	56	0.2	3,267	0.8	370	1.0	2,567	1.0	1,573	0.8
S_L11	102,059	0.6	45,729	0.6	12,535	0.8	0	0.2	4,059	1.0	0	0.2	6,156	0.8	1,645	0.8	3,618	0.8	9,354	0.6
S_L12	105,735	0.6	31,169	0.8	10,773	0.8	33,148	0.6	20,102	0.6	1,267	0.2	4,955	0.8	1,205	0.8	1,447	1.0	9,865	0.6
S_L13	78,513	1.0	19,173	1.0	17,724	0.8	47,449	0.8	12,286	0.8	0	0.2	6,451	0.8	278	1.0	3,204	0.8	541	0.8
S_M1	170,144	0.2	78,808	0.4	15,764	0.8	22,424	0.4	10,877	0.8	19,900	0.8	5,126	0.8	2,814	0.6	3,736	0.8	4,748	0.8
S_S1	140,076	0.2	83,275	0.2	20,161	0.6	0	0.2	549	1.0	0	0.2	5,696	0.8	0	1.0	2,382	0.8	0	1.0
S_S2	122,186	0.4	-	0.2	8,905	1.0	0	0.2	9,737	1.0	0	0.2	9,820	0.2	1,150	0.8	20,132	0.8	445	0.8
S_S3	164,492	0.2	83,098	0.2	12,517	0.8	0	0.2	18,688	0.8	0	0.2	5,290	0.8	3,526	0.4	2,614	0.8	0	1.0
S_S4	132,823	0.4	62,913	0.4	5,489	1.0	0	0.2	1,264	1.0	0	0.2	8,051	0.8	0	1.0	1,857	0.8	0	1.0
S_S5	172,366	0.2	-	0.2	1,172	1.0	0	0.2	15,342	0.8	0	0.2	7,356	0.8	259	1.0	2,998	0.8	0	1.0
S_S6	77,559	1.0	-	0.2	-	0.2	0	0.2	-	0.2	0	0.2	-	0.8	-	0.2	2,714	0.2	0	1.0
S_S7	240,356	0.2	89,561	0.2	61,246	0.2	0	0.2	16,694	0.8	0	0.2	3,652	0.8	0	1.0	3,502	1.0	0	1.0
S_S8	136,098	0.4	56,686	0.6	11,525	0.8	0	0.2	16,059	0.8	0	0.2	10,064	0.8	4,766	0.2	4,948	0.6	0	1.0
S_S9	182,579	0.2	73,584	0.4	11,870	0.8	0	0.2	0	1.0	0	0.2	13,866	0.8	0	1.0	3,610	0.6	0	1.0
P_L1	161,301	0.2	35,835	0.8	14,423	0.8	30,056	0.6	25,003	0.6	6,461	0.4	58,027	0.6	1,784	0.8	6,824	0.2	0	1.0
P_L2	1,245,743	0.2	469,615	0.2	111,111	0.2	0	0.2	252,143	0.2	0	0.2	57,646	0.2	7,689	0.2	46,623	0.2	44,595	0.2
P_L3	150,186	0.2	50,243	0.6	16,546	0.8	0	0.2	37,136	0.4	1,763	0.2	8,832	0.6	1,988	0.8	5,783	0.8	0	1.0
P_S1	193,226	0.2	91,667	0.2	36,239	0.4	0	0.2	29,561	0.6	0	0.2	7,552	0.8	193	1.0	4,449	0.8	0	1.0
F_S1	163,064	0.2	62,334	0.4	0	1.0	0	0.2	28,676	0.6	0	0.2	12,739	0.6	4,108	0.2	7,606	0.6	0	1.0
Average	161,677	0.5	65,202	0.6	19,710	0.7	13,093	0.3	22,180	0.8	3,846	0.3	10,591	0.8	1,468	0.8	5,657	0.7	3,299	0.8

이나 스토커(113,236 원/톤) 보다 상대적으로 매우 높았다. 대규모 164,499 원/톤, 중규모 170,144 원/톤, 소규모 156,802 원/톤으로 규모에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났지만 이는 대규모 P\_L2(열분해) 시설이 1,254,743 원/톤으로 다른 시설에 비하여 매우 높은 값을 보였기 때문에 사료된다. P\_L2를 제외하고 평균값을 비교하면 대규모가 91,816 원/톤으로 소규모의 156,802 원/톤에 비하여 크게 작아짐을 확인할 수 있다.

전체 평균 인건비는 65,202 원/톤(7,657~469,615 원/톤)이었다(Table 5). 대규모( $\geq 100$  t/d), 중규모(50~ $<100$  t/d), 소규모( $<50$  t/d)의 평균 인건비는 59,258 원/톤, 78,808 원/톤, 75,390 원/톤이었고, 열분해, 유동층, 스토커는 각각 46,018 원/톤, 161,840 원/톤, 62,334 원/톤이었다. 보수비는 전체 평균 19,710 원/톤(0~111,111 원/톤)이었고(Table 5), 대규모 21,705 원/톤, 중규모, 15,764 원/톤, 소규모 16,912 원/톤, 그리고 스토커 16,084 원/톤, 열분해 44,580 원/톤이었다. 에너지판매수익을 살펴보면 전체 평균은 13,093 원/톤(0~60,919 원/톤)이었으며(Table 5), 대규모와 중규모가 각각 21,511 원/톤과 22,424 원/톤으로 비슷하였고 소규모에서는 수익이 없는 것으로 나타났다. 스토커와 열분해가 14,632 원/톤과 7,514 원/톤으로 비교적 낮게 나타났는데 이는 판매수익이 없는 소규모 시설이 유형시설 계산에 영향을 미쳤기 때문이다. 소각시 발생하는 열은 전력을 생산하여 수익을 창출하거나 주변 지역에 온수 및 난방으로 공급하여 인근 주민의 복지시설로 재활용할 수 있다[8].

전 소각시설의 평균 에너지비용, 부대수익, 약품비, 용수사용비용, 그리고 비산재와 바닥재 처리비용을 살펴보았다(Table 5). 에너지비용은 22,180 원/톤, 부대수익은 3,846 원/톤, 약품비 10,591 원/톤, 용수사용비 1,468 원/톤, 비산재 처리비 5,657 원/톤, 바닥재 처리비 3,299 원/톤으로 나타났다. 재처리비용은 비산재가 바닥재 보다 높은 것으로 파악되었다. 추가적으로 본 항목들에 대한 규모별, 유형별 고찰은 별도의 계산을 통하여 확인할 수 있다. 일반적으로 연소시 바닥재가 많이 발생되지만 소각시 휘발하는 원소의 특성 때문에 비산재에 유용한 원소가 많이 포함되어 있어[9] 재활용 가능성이 높으며 이 경우 비산재 처리비용을 크게 저감시킬 수 있을 것으

로 사료된다.

### 3.4. 환경성 평가

환경성 평가를 위하여 에너지 사용, 폐수발생 및 용수사용, 환경오염물질 배출, 약품사용으로 대별한 후 각 항목을 설정하였다(Table 6(a)~(c))[3].

28개 시설 중 에너지 자립률에 응답한 시설은 1개소(S\_L1) 뿐으로 자립률은 661%로 나타났으나(Table 6(a)), 민감한 사항이라서 그런지 전체적 응답률이 너무 낮아서 이것만으로 소각시설에 대한 전반적 에너지 자립률을 판단하는 것은 다소 무리가 있다고 판단된다. 응답하지 않은 시설에 대한 부과점수는 가장 낮은 0.2로 처리하였다. 연료사용량은 전체 평균 0.00414 TOE/톤(0.00000~0.08856 TOE/톤)이었으며, 열분해(0.02306 TOE/톤)가 스토커(0.00103 TOE/톤)보다 높았다(Table 6(a)). 전기사용량은 전체 평균 177.6 kW/톤(42.2~1,051.7 TOE/톤)이었으며, 열분해가 422.0 TOE/톤으로 유동층(276.3 TOE/톤)과 스토커(130.8 TOE/톤)보다 월등히 높았다. 연간 환경기준 위반횟수는 0~125 회/년(평균 9.2 회/년)이었으며, 열분해 시설 중 한 곳에서 가장 많은 위반이 나타났다. 유동층(1개), 열분해(4개), 스토커(23개) 시설의 평균 위반횟수는 각각 57.0 회/년, 36.3 회/년, 1.8 회/년이었으며, 스토커가 낮은 수치를 보인 것은 기술이 많이 보급되어 안정화 단계에 도달해 있음을 의미하는 것이라고 생각된다(Table 6(a)).

용수사용과 관련하여 전 소각시설의 평균 폐수발생량, 상수사용량, 지하수사용량, 재이용수사용량을 살펴보면 전체 평균이 각각 222 L/톤(0~1,380 L/톤), 1.1 m<sup>3</sup>/톤(0.0~7.0 m<sup>3</sup>/톤), 0.17 m<sup>3</sup>/톤(0.00~1.54 m<sup>3</sup>/톤), 0.1m<sup>3</sup>/톤(0.00~2.3 m<sup>3</sup>/톤)이었다(Table 6(a)).

환경오염물질 배출은 규모에 따른 특별한 차이점이 보이지 않아 생략하고 황산화물, 질소산화물, 다이옥신에 대하여 유형별 고찰을 하였으며, 기타 항목은 전반적인 현황만을 살펴보았다. 황산화물은 0.0~5.4 톤/년(평균 0.7 톤/년)이 배출되었으며(Table 6(a)), 스토커(0.7 톤/년)가 열분해(0.5 톤/년) 및 유동층(0.5 톤/년)보다 높은 경향을 보였다. 질소산화물은 평균 6.1 톤/년(0.0~18.5 톤/년)이었고(Table 6(a)), 스토커 6.6 톤/년, 열분해 4.8 톤/년, 유동층 1.8 톤/년을 보였다. 다이옥신은 평균 0.100 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>(0.000~1.183 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>)이었다(Table 6(b)).



Table 6(a). Environment evaluation of incineration facility

Code	Energy independence rate		Fuel use		Electricity use		Violation frequency of environmental standards		Wastewater generation		Tap water use		Ground water use		Recycled water use		Sulfuric oxides		Nitric oxides	
	Data (%)	Score	Data (TOE/ton)	Score	Data (kW/ton)	Score	Data (No./yr)	Score	Data (L/ton)	Score	Data (m <sup>3</sup> /ton)	Score	Data (m <sup>3</sup> /ton)	Score	Data (m <sup>3</sup> /ton)	Score	Data (ton/yr)	Score	Data (ton/yr)	Score
S_L1	661	1.0	0.00076	1.0	119.2	0.8	0	1.0	20	1.0	1.0	0.8	0.00	0.2	0.0	0.2	0.2	1.0	13.7	0.4
S_L2	-	0.2	0.00085	1.0	74.9	1.0	6	0.6	167	0.8	0.6	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.6	0.8	18.5	0.2
S_L3	-	0.2	0.00000	1.0	96.8	1.0	21	0.2	200	0.8	0.7	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.5	0.8	5.5	0.8
S_L4	-	0.2	0.00000	1.0	95.7	1.0	7	0.6	166	0.8	0.8	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	5.4	0.2	15.1	0.4
S_L5	-	0.2	0.00089	1.0	113.4	0.8	0	1.0	64	1.0	0.3	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.5	0.8	7.5	0.8
S_L6	-	0.2	0.00000	1.0	199.6	0.8	0	1.0	173	0.8	0.6	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.4	1.0	4.4	0.8
S_L7	-	0.2	0.00000	1.0	152.8	0.8	1	0.8	116	0.8	1.0	0.8	0.00	0.2	0.0	0.2	0.5	0.8	15	0.4
S_L8	-	0.2	0.00000	1.0	112.0	0.8	0	1.0	1,380	0.2	0.8	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.5	0.8	4.7	0.8
S_L9	-	0.2	0.00000	1.0	77.2	1.0	0	1.0	-	0.2	1.1	0.8	0.00	0.2	0.0	0.2	1.0	0.8	3.4	1.0
S_L10	-	0.2	0.00000	1.0	65.6	1.0	0	1.0	0	1.0	0.2	1.0	0.21	0.2	0.0	0.2	0.8	0.8	7.4	0.8
S_L11	-	0.2	0.00038	1.0	42.2	1.0	0	1.0	-	0.2	0.7	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.6	0.8	7.5	0.8
S_L12	-	0.2	0.00862	0.2	166.4	0.8	0	1.0	115	0.8	0.4	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.0	1.0	9.5	0.6
S_L13	-	0.2	0.00137	0.8	61.8	1	0	1.0	267	0.6	0.8	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	1.0	0.8	14.9	0.4
S_M1	-	0.2	0.01044	0.2	128.8	0.8	0	1.0	124	0.8	2.0	0.8	0.06	0.2	0.0	0.2	0.5	0.8	3.4	1.0
S_S1	-	0.2	0.00000	1.0	135.1	0.8	0	1.0	236	0.6	0.0	1.0	1.47	1.0	0.0	0.2	-	0.2	-	0.2
S_S2	-	0.2	0.00000	1.0	150.0	0.8	0	1.0	132	0.8	0.6	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.7	0.8	2	1.0
S_S3	-	0.2	0.00000	1.0	129.0	0.8	0	1.0	-	0.2	3.1	0.4	0.00	0.2	0.0	0.2	0.2	1.0	4	0.8
S_S4	-	0.2	0.00000	1.0	132.7	0.8	-	0.2	-	0.2	0.7	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.6	0.8	1	1.0
S_S5	-	0.2	0.00000	1.0	167.2	0.8	0	1.0	-	0.2	0.7	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2	0.0	1.0	0.0	1.0
S_S6	-	0.2	0.00000	1.0	102.1	0.8	0	1.0	38	1.0	0.0	1.0	0.00	0.2	2.3	1.0	0.2	1.0	1.4	1.0
S_S7	-	0.2	0.00000	1.0	170.8	0.8	-	0.2	-	0.2	0.0	1.0	0.01	0.2	0.0	0.2	1.1	0.6	1.2	1.0
S_S8	-	0.2	0.00000	1.0	326.7	0.4	1	0.8	142	0.8	1.2	0.8	0.00	0.2	0.0	0.2	0.4	1.0	2.8	1.0
S_S9	-	0.2	0.00029	1.0	189.3	0.8	1	0.8	165	0.8	0.0	1.0	0.82	0.6	0.0	0.2	0.5	0.8	1.7	1.0
P_L1	-	0.2	0.00296	0.6	133.4	0.8	0	1.0	338	0.4	1.0	0.8	0.00	0.2	0.0	0.2	0.9	0.8	6.9	0.8
P_L2	-	0.2	0.08856	0.2	1,051.7	0.2	0	1.0	-	0.2	7.0	0.2	0.00	0.2	0.0	0.2	0.4	1.0	7.2	0.8
P_L3	-	0.2	0.00001	1.0	306	0.4	20	0.2	88	1.0	1.2	0.8	0.00	0.2	0.0	0.2	0.3	1.0	4.2	0.8
P_S1	-	0.2	0.00072	1.0	196.7	0.8	125	0.2	168	0.8	0.3	1.0	0.68	0.6	0.0	0.2	0.2	1.0	0.9	1.0
F_S1	-	0.2	0.00000	1.0	276.3	0.6	57	0.2	558	0.2	3.1	0.4	1.54	1.0	0.0	0.2	0.5	0.8	1.8	1.0
Average	661	0.2	0.00414	0.9	177.6	0.8	9.2	0.8	222	0.6	1.1	0.9	0.17	0.3	0.1	0.2	0.7	0.8	6.1	0.8

Table 6(b). Environment evaluation of incineration facility

Code	Dioxin		Dust		Hcl		NH <sub>3</sub>		CO		H <sub>2</sub> S		BOD		COD		SS		T-N	
	Data (ng-TEQ/Nm <sup>3</sup> )	Score	Data (mg/Sm <sup>3</sup> )	Score	Data (ppm)	Score	Data (ppm)	Score	Data (ppm)	Score	Data (mg/L)	Score	Data (mg/L)	Score	Data (mg/L)	Score	Data (mg/L)	Score	Data (mg/L)	Score
S_L1	0.020	0.2	1.5	1.0	2.8	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	36.0	0.2	46.3	0.2	33.2	0.4	19.6	0.8
S_L2	0.000	1.0	1.1	1.0	3.5	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	10.9	0.6	11.4	0.8	17.2	0.8	6.3	1.0
S_L3	0.150	0.2	1.7	1.0	1.0	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	10.0	0.8	40.0	0.4	10.0	0.8	20.0	0.8
S_L4	0.047	0.2	2.5	1.0	4.9	0.8	-	0.2	-	0.2	-	0.2	3.3	1.0	6.3	1.0	5.0	1.0	10.2	1.0
S_L5	0.030	0.2	2.2	1.0	2.4	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	60.1	0.2	47.2	0.2	53.4	0.2	15.9	0.8
S_L6	0.012	0.4	1.0	1.0	3.4	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	1.5	1.0	10.7	0.8	4.0	1.0	24.5	0.8
S_L7	0.000	1.0	0.9	1.0	7.3	0.8	-	0.2	-	0.2	-	0.2	8.4	0.8	14.7	0.8	12.2	0.8	10.9	1.0
S_L8	0.005	0.8	6.9	0.8	1.5	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	100.0	0.2	1,500.0	0.2	10.0	0.8	110.0	0.2
S_L9	0.004	0.8	1.2	1.0	6.3	0.8	-	0.2	-	0.2	-	0.2	23.6	0.2	45.9	0.2	41.1	0.2	8.3	1.0
S_L10	0.001	1.0	1.9	1.0	1.0	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
S_L11	0.000	1.0	2.3	1.0	3.9	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	2.5	1.0	4.8	1.0	19.1	0.8	-	0.2
S_L12	0.008	0.6	2.0	1.0	4.0	0.8	-	0.2	-	0.2	-	0.2	4.3	1.0	-	0.2	1.9	1.0	9.0	1.0
S_L13	0.003	0.8	3.0	1.0	2.0	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	5.0	1.0	10.8	0.8	5.6	1.0	11.7	1.0
S_M1	0.001	1.0	2.3	1.0	3.4	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	5.0	0.8	13.0	0.8	18.0	0.8	5.9	1.0
S_S1	0.136	0.2	3.0	1.0	7.0	0.8	-	0.2	-	0.2	-	0.2	0.0	1.0	-	0.2	-	0.2	-	0.2
S_S2	0.002	1.0	4.3	0.8	5.7	0.8	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
S_S3	0.010	0.4	5.0	0.8	12.5	0.4	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
S_S4	0.100	0.2	10.0	0.6	10.0	0.6	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
S_S5	0.097	0.2	3.0	1.0	3.0	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
S_S6	0.002	1.0	3.1	1.0	3.3	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
S_S7	0.463	0.2	7.1	0.8	3.1	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
S_S8	0.010	0.4	1.6	1.0	1.4	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
S_S9	0.400	0.2	1.0	1.0	9.0	0.6	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
P_L1	0.019	0.2	1.4	1.0	3.2	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	1.7	1.0	2.3	1.0	1.0	1.0	5.9	1.0
P_L2	0.004	0.8	1.0	1.0	1.0	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	10.0	0.8	10.0	0.8	3.0	1.0	15.0	0.8
P_L3	0.085	0.2	3.7	1.0	3.1	1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	2.3	1.0	5.0	1.0	3.0	1.0	30.0	0.8
P_S1	0.001	1.0	2.0	1.0	6.0	0.8	-	0.2	-	0.2	-	0.2	20.0	0.4	25.0	0.6	10.0	0.8	15.0	0.8
F_S1	1.183	0.2	0.5	1.0	7.0	0.8	-	0.2	-	0.2	-	0.2	5.5	0.8	18.0	0.8	36.7	0.4	28.7	0.8
Average	0.100	0.6	2.8	1.0	4.4	0.9	-	0.2	-	0.2	-	0.2	14.8	0.6	95.3	0.5	14.2	0.6	18.3	0.7

Table 6(c). Environment evaluation of incineration facility

Code	T-P		Ca(OH) <sub>2</sub>		Urea		NH <sub>3</sub>		Activated carbon		Polymer		Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		Fecl <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		NaOH	
	Data (mg/L)	Score	Data (L/ton)	Score	Data (L/ton)	Score	Data (L/ton)	Score	Data (kg/ton)	Score	Data (L/ton)	Score	Data (L/ton)	Score	Data (L/ton)	Score	Data (L/ton)	Score	Data (L/ton)	Score
S_L1	0.2	1.0	21.1	1.0	0.0	1.0	6.3	0.40	0.6	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.09	0.6	0.00	1.0
S_L2	2.0	1.0	0.9	1.0	7.1	0.8	0.0	1.00	0.2	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.01	0.8	0.00	1.0
S_L3	0.0	1.0	61.9	0.8	6.5	0.8	0.0	1.00	0.6	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.21	0.8
S_L4	1.0	1.0	46.9	1.0	4.9	0.8	0.0	1.00	0.5	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.79	0.6
S_L5	0.5	1.0	20.1	1.0	0.0	1.0	3.6	0.60	0.4	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_L6	0.2	1.0	58.8	0.8	0.0	1.0	3.6	0.60	0.5	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_L7	0.1	1.0	47.2	1.0	5.1	0.8	0.0	1.00	0.4	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_L8	10.0	0.2	58.6	0.8	6.2	0.6	0.0	1.00	0.7	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_L9	3.5	0.8	87.5	0.8	2.5	0.8	0.0	1.00	0.3	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.03	0.8	0.00	1.0
S_L10	0.0	1.0	16.6	1.0	0.0	1.0	1.3	0.80	0.9	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.14	0.8
S_L11	-	0.2	65.6	0.8	0.0	1.0	2.2	0.80	1.0	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.16	0.8
S_L12	1.0	1.0	12.8	1.0	0.0	1.0	2.1	0.80	0.0	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_L13	1.0	1.0	89.2	0.8	0.0	1.0	2.4	0.80	0.4	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.12	0.4	1.37	0.4
S_M1	1.0	1.0	65.7	0.8	0.0	1.0	1.2	0.80	0.3	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_S1	-	0.2	32.3	1.0	2.6	0.8	0.0	1.00	0.4	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_S2	-	0.2	53.5	0.8	5.9	0.8	0.0	1.00	0.5	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_S3	-	0.2	22.2	1.0	1.1	0.8	0.0	1.00	0.4	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_S4	-	0.2	397.0	0.2	28.6	0.2	0.0	1.00	13.3	0.20	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_S5	0.0	1.0	51.6	0.8	3.5	0.8	0.0	1.00	0.7	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_S6	-	0.2	0.6	1.0	0.0	1.0	0.0	1.00	0.7	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_S7	-	0.2	24.2	1.0	0.5	0.8	0.0	1.00	0.9	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_S8	0.2	0.2	67.8	0.8	6.6	0.8	0.0	1.00	1.4	0.60	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
S_S9	0.2	0.2	70,460.6	0.2	3.2	0.2	0.0	1.00	0.4	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
P_L1	0.1	1.0	20.8	1.0	7.9	0.8	0.0	1.00	0.6	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
P_L2	0.1	1.0	402.8	0.2	0.0	1.0	68.9	0.20	0.6	0.20	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
P_L3	3.5	0.8	58.9	0.8	0.0	1.0	1.4	0.80	0.5	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.21	0.8
P_S1	0.7	1.0	11.7	1.0	3.6	0.8	0.0	1.00	0.5	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
F_S1	1.7	1.0	56.9	0.8	11.0	0.8	0.0	1.00	0.8	0.80	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
Average	1.3	0.7	2,583.7	0.8	3.8	0.8	3.3	0.9	1.0	0.8	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.01	1.0	0.10	0.9

유형별로는 유동층이 1.183 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>으로 가장 높았고, 다음으로는 스토커(0.065 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>)와 열분해(0.027 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>) 순이었다. 일반적으로 소각장에서 다이옥신류는 염소유기화학제품이 생활폐기물로 소각될 때 완전 분해되지 않고 배출되는 경우[10,11], 고온영역에서 클로로벤젠, 클로로페놀, PCBs 등과 같은 화학적으로 유사한 전구물질로부터 생성되는 경우, 후연소지역에서 벤젠핵을 갖고 있는 전구물질과 염소화합물로부터 *de novo* 합성에 의해 생성된다[10-12]. 일반적으로 사업장폐기물의 질적 특성은 생활폐기물에 비하여 다양하기 때문에 다이옥신 배출억제에 더 어려움이 있다[13].

전 소각시설의 평균 먼지 배출농도는 2.8 mg/Sm<sup>3</sup>(0.5~10.0 mg/Sm<sup>3</sup>)이었으며(Table 6(b)), 염화수소 4.4 ppm(1.0~12.5 ppm), BOD 14.8 mg/L(0.0~100.0 mg/L), COD 95.3(0.0~1,500 mg/L), SS 14.2 mg/L(0.0~53.4 mg/L), T-N 18.3 mg/L(0.0~110.0 mg/L)를 보였고(Table 6(b)), T-P는 1.3 mg/L(0.0~10.0 mg/L)을 나타내었다(Table 6(c)). 암모니아, 일산화탄소, 황화수소에 대한 자료는 응답을 받지 못하여 평가점수는 모두 최저 점수 0.2를 부과하였다(Table 6(b)). 약품사용량에서는 공통적으로 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)를 가장 많이 사용하고 있는 것으로 나타났으며(Table 6(c)), 전 시설 평균 사용량은 2,584 L/톤으로 확인되었다.

### 3.5. 종합 평가

앞에서 논의된 기술성, 경제성, 환경성에 대하여 점수로 부과된 자료(Table 3~6 참조)를 바탕으로 소각시설에 대하여 종합 평가를 실시하였다[3]. 점수는 기술성, 경제성, 환경성에 대하여 가중치를 각각 30%, 40%, 30%로 설정하여 다음과 같이 산정하였다[6]. 예를 들어, 기술성의 경우 평가항목이 6가지이므로 1항목당 5점을 만점으로 배정하였으며, S\_L1의 경우 기술성에서 6가지 항목의 총합이 0.6 + 0.6 + 0.2 + 0.6 + 1.0 + 0.6 = 3.6으로 여기에 배점 5를 곱하면 18이 된다[6]. 이와 같이 하여 Table 7에 종합 평가를 완료하였다.

소각시설 규모별로는 기술성에서 대규모(≥100 t/d), 중규모(50~<100 t/d), 소규모(<50 t/d)가 각각 18.9, 21.0, 16.5점을 나타내었으나 중규모 시설의 수가 1개라서 일관성 있는 결과를 보긴 어려웠다(Table 7). 그러나 중규모를 제외하면 대

규모가 소규모 보다 높은 점수를 나타내었다. 중규모를 제외하고 경제성과 환경성을 비교할 때에도 모두 대규모가 소규모 시설보다 높은 점수를 받은 것으로 평가되었다. 이를 종합해서 살펴봐도 대규모(67.5점)가 소규모(58.6점) 보다 높은 점수를 나타내어 규모가 커질수록 높은 종합점수를 받은 것으로 평가되었다.

소각시설 유형별로 살펴보면 기술성과 환경성에서는 큰 차이를 볼 수 없으나 경제성에서는 스토커가 26.7점으로 열분해(19.0점) 및 유동층(20.0점) 보다 높았다(Table 7). 기술성, 경제성, 환경성을 종합한 평가점수도 스토커가 65.3점으로 열분해(58.3점)나 유동층(59.0점) 보다 높았다(Table 7, Fig. 1). 본 논문의 결과는 향후 지자체에서 소각시설을 선정할 때에 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 이행지표를 선정한 후 설문조사를 통하여 소각시설을 규모별, 유형별로 평가하고자 하였으며, 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 생활폐기물 중 소각으로 처리되는 비율은 2014년 기준 25.3%이었다. 2014년 운영되는 전국 소각시설은 총 185개소이었으며, 이는 2012년(184개소)에서 1개소가 증가한 것이다.
2. 소각시설 규모별로는 기술성, 경제성, 환경성 평가에서 모두 대규모 시설이 소규모 시설 보다 높은 점수를 받았으며, 종합점수에서도 동일한 경향을 나타내어 소각시설의 규모가 증가할수록 더 높은 평가 점수를 받는 것을 알 수 있었다.
3. 소각시설 유형별로는 기술성, 경제성, 환경성을 종합 평가한 결과에서 스토커(65.3점)가 유동층(59.0점) 및 열분해(58.3점) 보다 우수한 평가결과를 나타내었다.
4. 소각시설 종합평가시 기술성, 경제성, 환경성 중 경제성에서 가장 뚜렷한 차이를 보였고, 나머지 두 가지 평가에서는 큰 차이를 나타내지 못하였다. 이로써, 소각시설의 평가에서는 경제성이 중요하게 작용함을 알 수 있었다.

Table 7. Overall evaluation of incineration facility with different scale and type

Local government code		Technology (30) <sup>1)</sup>			Economy (40)			Environment (30)			Overall (100)		
		Score	Avg.	Avg.	Score	Avg.	Avg.	Score	Avg.	Avg.	Score	Avg.	Avg.
Large scale	S_L1	18	19.2	18.9	31	29.4	27.3	21	21.5	21.4	70	70.1	67.5
	S_L2	22			31			22			75		
	S_L3	17			30			22			69		
	S_L4	20			29			21			70		
	S_L5	21			33			21			75		
	S_L6	15			27			23			65		
	S_L7	26			29			22			77		
	S_L8	21			33			19			73		
	S_L9	15			22			20			57		
	S_L10	18			32			24			74		
	S_L11	18			26			21			65		
	S_L12	18			27			22			67		
	S_L13	20			32			22			74		
Middle	P_L1	18	17.7	18.0	24	18.0	22	20.7	64	56.3	60	70.0	70.0
	P_L2	18			8		19		45				
	P_L3	17			22		21		60				
Middle	S_M1	21	21.0	21.0	26	26.0	26.0	23	23.0	23.0	70	70.0	70.0
Small	S_S1	20	15.9	16.5	24	22.9	22.5	19	19.2	19.5	63	58.0	58.6
	S_S2	17			22			19			58		
	S_S3	10			22			18			50		
	S_S4	16			27			16			59		
	S_S5	20			25			24			69		
	S_S6	9			17			22			48		
	S_S7	18			22			18			58		
	S_S8	16			22			18			56		
	S_S9	17			25			19			61		
	P_S1	20			22			22			64		
F_S1	19	19.0	20	20.0	20	20.0	59	59.0					
Overall average		18.0			25.4			20.7			64.1		
Type		Range	Average		Range	Average		Range	Average		Range	Average	
Stoker		9~26	18.0		17~33	26.7		16~24	20.7		48~77	65.3	
Pyrolysis		17~20	18.3		8~24	19.0		19~22	21.0		45~54	58.3	
Fluidized Bed		19	19.0		20	20.0		20	20.0		59	59.0	

1) weighted score

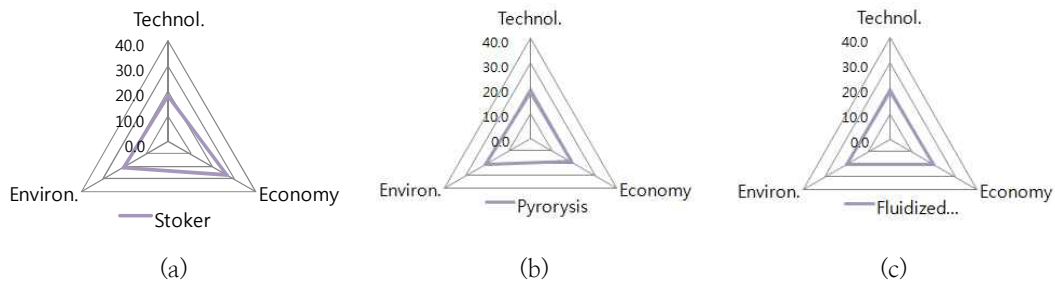


Fig. 1. Overall evaluation of incineration facility with type

## References

1. Samcheok City, Report on feasibility estimation for landfill Site optimization and integrated management, Report, Dec. (2012).
2. Ministry of Environment, Optimization strategy of solid waste treatment facility for reasonable solid waste treatment and efficient financial investment, Report, Feb. (2011).
3. Korea Environment Corporation, Operation and management status of solid waste treatment facility in local government, Report, Dec. (2012).
4. M. S. Shin, N. R. Shin, D. S. Jang, A numerical study for effective operation of MSW incinerator for waste of high heating value by the addition of moisture air, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **35**(2), 115-123(2013).
5. Ministry of Environment · Korea Environment Corporation, Generation and treatment status of municipal solid waste in nationwide, Annual Report (2013, 2015).
6. J. H. Kim, J. S. Park, C. G. Phae, Evaluation of performance index for optimization of food waste treatment and recovery facility, *Clean Technol.*, **22**(3), 181-189(2016).
7. S. M. Hwang, J. D. Jung, J. H. Song, A study in reduction of nitrogen oxide (NOx) and stability of incineration facility by the food wastewater incineration, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **31**(10), 901-908 (2009).
8. W. G. Choi, R. S. Seo, S. C. Park, Study on the measurement of GHG emissions and error analysis in form the MSW incineration plant equipment with the recovery heat system (2009~2013), *J. Env. Sci. Inter.*, **25**(2), 239-246(2016).
9. S. B. Kim, W. T. Lee, Characterization of fly ash produced from a sewage sludge incineration facility in Korea, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **38**(2), 96-99(2016).
10. Korea Environmental Technology Research Institute, Study on effective installation and operation of incineration facility, Report, Dec. (1996).
11. J. B. Kim, W. K. Kim, Emission characteristics of PCDD/Fs in MSW incineration(I): The Effect of Air Pollution Control Device, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **22**(10), 1817-1824(2000).
12. R. G. Barton, W. D. Clark, W. S. Lanier, W. R. Seeker, Dioxin emissions from waste incinerators, *Chemosphere*, **15** (9-12), 1373-1378(1986).
13. K. D. Yoon, A comparison of operation and dioxin emission characteristics of municipal and industrial waste stoker type incinerator, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **25**(6), 723-731(2003).