

# 廢棄物發電의 현황과 전망에 관한 조사연구

3

성 영 권

고려대학교 공과대학 전기공학부 교수

## 4. 先進外國에서의 쓰레기 發電

### 1. 先進外國에서의 産業廢棄物의 효율적인 利用 現況

廢棄物은 一般廢棄物과 産業廢棄物로 나누어진다. 일반 폐기물은 都市쓰레기와 오물로 이루어지고 있으나, 산업폐기물은 그 종류가 대단히 많고, 사업활동에 의해 생기는 汚泥物, 燃燒物質, 廢酸, 廢알칼리 등의 처리, 처분에 있어서는 쓰레기의 減量化, 安定化, 無公害化 및 資源化를 원칙으로 하고 있다. 産業廢棄物의 處理에 있어서는 그 쓰레기의 완전연소와 2차 공해방지에 역점을 두되, 쓰레기를 단순히 無價値한 것으로 取扱하지 않고 有價物質로서 그 效率的 이용에 역점을 두어야 할 현재 활용되고 있는 주된 것은 제철소, 자동차공업 등에 있어서의 有價物의 抽出選別, 化學, 石油化學, 고무工業 등에 있어서의 기름, 플라스틱, 酸, 알칼리 등의 再生回收 및 이들 공업의 공장 내에서 온수 또는 증기로서 이용하는 熱回收 등의 이용을 들 수 있다. 이와 같이 산업폐기물의 排出量은 일반폐기물과 다르게 대단

히 다량이고 그 적절한 효율적 이용에 의한 효과는 대단히 큰 것으로 생각된다. 특히 高칼로리이고 그 배출량도 큰 산업폐기물을 이용하면 막대한 에너지 규모가 된다.

특히 電氣에너지는 다른 것에 대해 淸淨에너지일 뿐만 아니라, 부하측의 효율도 높고, 에너지의 送配가 용이하다는 등의 여러 가지 이점을 지니고 있다.

이것에 관해 西歐 여러 나라에서는 석탄화력에 의한 발전이 매우 많이 보급되어 있고, 특히 도시에서는 일반폐기물과 산업폐기물을 석탄과 혼합해 연소하는 混燒發電의 예가 많아 쓰레기 소각시설은 에너지 공급시설이라는 것이 상식화 되어 있다. 또한 寒冷地이기 때문에 熱에 대한 경제적 평가가 우리와는 달라 우리나라보다 폐기물로부터의 에너지 回收利用이 적극적으로 추진되고 있다.

표 4-1, 4-2는 西歐와 美國의 餘熱利用의 實態를 나타낸 것이다. 이것에 대해 우리나라에서는 季節에 따른 쓰레기質의 변동이 크기 때문에 전기의 질적 성격이 불안정한 까닭도 있겠으나 현재로서는 이에 속하는 설비는 전연 없다. 그러나, 같은 환경과 조건하에서도 이웃 일본에서는 소내용 전력을 비롯하여 지역난방의 열이용에도 활용하는 등, 쓰레기發電의 有效性을 충분히 활용하고 있다.

‡ '94,'95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ‡

〈표 4-1〉 西歐의 餘熱利用

用 途	플랜트 數	消却量(t/日)
發 電	22	18,864
地 域 暖 房	78	21,888
發電과 地域暖房	15	11,160
下 水 污 染 乾 燥	3	
工 場 으 로 의 蒸 氣 供 給	3	9,384
補 助 燃 料	4	

〈표 4-2〉 美 國 의 餘 熱 利 用

用 途	플랜트 數	處 理 能 力 (t/日)
發 電	1	600
蒸 氣	3	
冷 暖 房	11	2,930
工 業 플랜트	1	6,050
污 染 物 乾 燥	8	720
R D F		
發 電 所 補 助 燃 料	8	11,410
污 染 物 消 却 爐 補 助 燃 料	1	1,000

2. 先 進 外 國 에 서 의 廢 棄 物 發 電

廢棄物 發電이 전무상태인 우리나라에 비해 先進國, 특히 유럽 대도시에서의 쓰레기發電은, 그 역사도 길고, 石炭, 重油와의 混燒發電은 일반 화력발전 정도의 규모로, 그 실적에 수는 표 4-3, 4-4에 나타난 바와 같이, 10플랜트에 달하고 있다. 이들 플랜트에서는 약 80%의 燃燒率을 가진 석탄과 중유를 主燃料로 하고 있기 때문에 증기온도, 증기압력 및 발전출력은, 화력발전소와 거의 동일한 정도가 된다. 단지, 20% 정도의 쓰레기 燃料에 의한 HCl 부식 때문에 보일러의 耐久性에 문제가 많은 것이 현실이다.

이들의 플랜트에서는 도시의 일반폐기물은 물론, 일부의 산업폐기물도 연료로 하고 있고, 특히, 일반폐기물의 低位發熱量이 年間平均 2,200kcal/kg 정도로서 우리나라의 여름철 1,400kcal/kg, 겨울철 1,700kcal/kg과 비해 볼 때 높으며, 이것이 消却量과 더불어 발전용량에 크게 영향을 주는 것이다. 우리나라에서는 이상과 같은 쓰레기 混燒 발전

시설은 전무하고, 행정상의 제약이 있겠지만, 정부 당국자와 전력회사를 위시하여 국민적인 문제로서 시급히 재고할 과제라고 본다.

여기서 주로 유럽에 설치된 쓰레기發電의 대표적인 예를 개설하고 일본과 미국에 대해서는 다음 節에서 상술하기로 한다.

가. 암스테르담 市의 쓰레기 燒却場

네덜란드에 있는 4대 시설 중 1개로 1969년에 建設되고, 40만톤/년의 소각능력 규모를 갖는 쓰레기 專燒 발전소이다. 搬入 쓰레기의 약 73~74%는 일반 쓰레기로, 나머지는 식당으로부터의 산업폐기물이다. 이 도시는 運河의 편이 좋아, 큰 木材찌꺼기 등은 별도의 破碎設備場에서부터 거룻배에 실어, 쓰레기 피트까지 水上運送하고 있다.

쓰레기 低位發熱量은 계획치로는 1,760~2,250kcal/kg으로, 燒却量 16~20톤/시, 4기의 熔込爐로 자동소각하여, 증기압력 43kg/cm<sup>2</sup>, 증기량 43톤/시, 증기온도 410℃로, 20.5MW의 발전기 2기를 운전하고 있다. 연간 평균 賣發電량은 23MW±10%이고, 연간가동률은 약 70%이다. 또한 燒却殘留物 중에서 鐵分(2.69%), 炭分(15.36%)은 매각하고, 그외는 埋立處分하고 있다. 다만, HCl의 高溫域腐蝕에 의해 보일러 過熱管은 1년마다 일부를 절단 교환하고 있다. 이 부식 대책으로서는, 증기온도 410℃의 설계치를 360℃로 저하시키고 있다.

나. 슈트트가르트 市 윈스터 發電所

윈스터 發電所는, TWS(Technische Werkeder Stad Stuttgart)라는 에너지 공급공사의 1공장으로, 화력발전소와 쓰레기 燒却플랜트가 결합한 시스템이다. 쓰레기 처리장은 이 시의 약 86%에 상당하는 25만톤/년으로, 전량의 2/3는 일반 가정쓰레기, 1/3은 기름, 오물 및 병원폐기물이고, 675MJ/s(161×10<sup>3</sup> kcal/s)의 열공급 외에, 164MW의 발전을 행하고 있다.

이 발전소의 특징은, 8기의 보일러가 있어, 그중 4기는

※ '94, '95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ※

〈표4-3〉 西歐에서의 스페기 發電所 實績例

국명 및 도시 또는 발전소명	원성 연월일	스페기 소각로			보 밀 리			그 밖 의 발전용 포일터의 계층	터 빈			
		처리 능력 (t/d)	발열량 (kcal/kg)	제형식	용량 (t/h)	압력 (t)	온도 (°C)		100% 부하시 보조연료	형식	압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	온도 (°C)
서독												
슈투트가르트, 윈스터	1965/6	480×1	800~2,200	밀칭 VKW	12.5×1	77	525	6機 합계 640	196.5	35	425	복수
"	1965	"	"	"	"	"	"	3機 합계 76	8.3×1	"	"	"
"	1971	"	1,400~2,500	"	"	"	"	"	6.4×2	60	510	"
로펜하임	1969	144×1	2,000	"	12	70	500	"	"	60	490	"
함부르크, 홀지터	1959	200×2	800~1,800	데로울	15.5×2	18	320	"	1~2	"	"	"
"	1963	200×3	800~1,800	데로울	20×3	18	350	"	16.4×1	"	"	"
"	1967	288×1	1,200~3,190	밀 칭	27×1	"	"	"	43.5×2	80	530	前置背壓
함부르크, 스테링갈	1972	592×2	1,500	"	40×2	41	410	"	8.5×2	15	350	복수
뒤셀도르프	1965	240×4	800~2,000	VKW	16×4	87	500	4機 합계 460	100×2	65	450	복수
"	1972	300×1	1,000~2,100	"	30×1	"	"	"	1.5×2	"	"	"
"	1967	384×4	800~2,500	"	26×4	"	470	"	1.1×1	20	400	복수
베를린, 루데켄	1968	384×2	"	"	32×2	"	"	"	5×1	"	"	"
"	1969	384×2	"	"	"	"	"	"	15×1	"	"	"
"	1966/67	300×4	800~2,500	데로울	32×4	59	500	합계 470	"	"	"	"
프랑크푸르트	1968	240×1	800~2,500	VKW	27.5×1	42	450	"	12×2	15	250	배압
카이젤	1969	"	"	"	"	"	"	"	0.65×2	17	245	"
"	1974	360×2	800~2,000	"	32×2	11.3	525	"	1.4×1	"	"	"
베를린, 리히텐부르크	1969	240×3	800~2,200	"	26×3	22	260	"	1.6×1	"	"	"
오렌바하	1970	192×2	"	"	20×2	25	250	"	5×2	"	"	"
이자른	1973	384×1	800~2,500	"	50×1	"	"	"	68×1	180	535	복수
"	1970	200×2	1,200~2,500	데로울	28×2	18	305	"	112×1	"	"	"
레버쿠젠	1970	"	"	"	25×2	42	450	"	124×1	"	"	"
출링겐	1969	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
북민헨	1964	600×2	900~1,800	밀 칭	100×2	20.5	540	"	50×5	95	500	배압
"	1966	960×1	900~2,000	"	365×1	"	"	"	16×2	60	455	배압
남민헨	1969	"	"	"	"	"	"	"	20×1	28	350	배압
"	1971	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
니센, 칼나프	1961/65	480×5	700~1,200	파프스 카	130×5	10.0	510	"	"	"	"	"
유다라인	1972	528×3	800~2,500	VKW	45×3	84	460	"	"	"	"	"
후퍼탈	1975	360×4	900~2,600	VKW	46×4	32	350	"	"	"	"	"

‡ '94,'95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ‡

〈표 4-4〉 西歐에서의 쓰리기 發電所의 實績例

국명 및 도시 또는 발전소명	완성 연월일	쓰리기 소각로				보일러				그 밖의 발전용 보일러의 총계	터빈		
		처리능력 (t/d)	발열량 (kcal/kg)	배형식	용량 (t/h)	압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	溫度 (°C)	100% 부하시 보조연료	형식		용량 (MW)	압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	온도 (°C)
클레펠드 레펠겐 란스 후트 "	1975	288×2	800~2,500	VKW	38×2	30	375	沈殿粉	드림	1.4×2	20	370	背壓
	1975	"	1,200~3,000	"	32×2	50	410	-	"	9.5×1	38	405	"
	1971	72×1	1,200~3,500	테로울	6×1	20	300	-	"	"	"	"	"
	1974	72×1	"	"	"	"	"	-	"	"	"	"	"
포랑스 프와르제 파리, 이브리나 파리, 잇시 스트라스부르크	1968	192×2	1,000~2,000	VKW	21.7×2	20	250	-	드림	1.0×2	14	230	背壓
	1969	1,200×2	1,250~2,500	멀칭	13.4×2	97	470	-	"	64	75	470	抽氣復水
	1965	408×4	900~2,500	"	40×4	64	410	-	"	9×1	50	400	背壓
	1974	300×3	1,200~3,500	테로울	"	55	460	-	"	15.9×1	18	280	復水
	1969	260×2	1,200~2,500	테로울	28×2	37	420	-	드림	10×1	36	415	抽氣復水
스위스 쾨리히 " 주네리 부제른 바젤	1974	450×1	1,600~3,300	멀칭	38.2×1	"	"	-	"	5.25×2	"	"	復水
	1966	200×2	2,200	테로울	25×2	32	375	-	"	6.2×1	"	"	"
	1971	100×2	2,400	"	12.5×2	36	370	-	"	6.7×1	36	350	"
	1969	300×2	2,500	"	37.5×2	40	350	-	"	2.3×1	33	"	"
	1971	375×4	1,275~2,150	멀칭	30×4	43	410	-	드림	20.5×1	"	"	"
	1971	480×6	800~3,000	VKW	65×6	35	350	-	"	11×2	39	420	"
네이란드 노틀담 " 헤이그 "	1967	300×3	1,200~2,500	테로울	37×3	40	425	-	"	"	"	"	"
	1974	300×1	"	"	"	"	"	-	"	"	"	"	"
	1971	360×2	1,000~1,800	멀칭	38.5×2	"	"	-	드림	0.50×1	"	"	"
영국 런던	1963	200×3	800~1,800	테로울	19.5×2	22	300	-	"	0.40×2	"	"	"
	1969	336×5	1,800~2,320	VKW	39.5×5	44	455	-	드림	12.5×4	43	450	復水背壓
스웨덴 스톡홀름 이탈리아 제노아	1970	360×2	1,600~2,200	VKW	40×2	42	360	-	드림	24×1	38	355	復水
	1972	200×3	1,000~2,500	테로울	19×3	32	375	-	"	6×1	31	360	"

석탄전소로, 1기는 천연가스와 중유의 混燒로, 나머지 2기는 쓰레기 專燒爐로 구성되고, 각 보일러로부터의 증기는 하나의 공통 증기 헤더로 모아 985톤/時, 60bar, 500℃의 증기를 공급하고 있다. 이중, 쓰레기와 중유의 混燒爐는 각각 별개의 연소실을 가지고 있다. 이 발전소는 가스바크 발전소와 더불어, 시의 평균부하 및 피크 부하용으로 건설된 것으로, 전력공급 면에서는 중요한 위치를 차지하고 있다. 또, 燒却灰로부터의 回收鐵分은 市가 판매하고 있다.

**다. 뮌헨 쓰레기 燒却 發電所**

뮌헨 쓰레기 燒却 發電所는, 뮌헨전력회사에 속하고, 같은 회사의 발생 총전력 848MW의 거의 절반인 428MW를 발생시키는 외에, 열공급 490Gcal/시의 능력을 지니고 있어 뮌헨시에서 배출되는 쓰레기를 100% 소각하는 등, 전형적인 대규모 쓰레기 혼소 발전소이다. 동 전력회사는 상술한 쓰레기 소각 발전소 외에 123MW의 열병합 발전소, 204MW의 열병합 가스터빈 발전소, 93MW의 수력 발전소

및 315Gcal/시의 열공급소에 의해 구성되고 있다. 표 4-5는 이 발전소의 주요 항목을 나타낸 것으로 南部IV, V는 北部I, II의 경험을 살려 건설된 것이다.

**라. 비인市 쓰레기 燒却發電**

이 시설은 都市쓰레기의 600톤/日의 燒却과 周邊에의 熱供給이 목적이고 발전은 부차적인 것으로 발전량은 200만 kWh/년 정도이다. 다만 水性가스 反應에 의해 쓰레기 未熱分을 효율적으로 연소시키는 Von Roll시 燒却爐를 이용하고 있다.

**마. 파리 TIRU 쓰레기 處理工場**

프랑스 電力公社의 都市廢棄物 産業處理局에는 부속되어 있는 4개 공장에 의해 구성되고 세계 최대의 1200톤/일, 2기의 소각능력을 가지고 있는 이브리工場 외에 408톤/일의 잇씨 工場, 360톤/일 상트왕 工場과 200톤/일의 肥料混合物의 로망빌 工場에 의해 구성되어 있다.

그중 이브리 공장은 열병합발전으로서 2기가 135톤/시의 보일러로 97kg/cm<sup>2</sup>, 470℃의 過熱蒸氣를 回收해 64MW 抽氣復水 터빈으로 발전하여 최대 150톤/時, 280℃의 증기를 抽氣와 剩餘蒸氣로 만들어 공공시설의 난방과 급탕에 이용하고 있다.

이상은 유럽대도시의 실례를 개설했으나, 광대한 농경지와 산림지대를 지닌 미국에서의 産業廢棄物 燒却發電計劃의 大體的인 실례는 다음과 같다(具體的인 것은 다음 절에서 다룬다).

즉, 미국은 유럽의 여러 도시와는 달리 대규모의 쓰레기 燒却發電은 엿볼 수 없지만, 農作物, 森林伐採 등의 廢材 處理로서 燒却計劃이 무성히 추진되고 있다.

미국의 3대 농작물로서의 강냉이, 大豆 및 小麥은 전국생산량의 65%가 12개주에서 생산되고 그 농작물의 잉여물에 의한 소각발전으로 근접한 5개주에 전체 전력수요의 25%를 충당한다는 계획을 갖고 있어, 이 열량은 전국 1차 에너지의 2%에 상당하는 양이다.

다음으로 워싱턴주의 코르빌에서는 북부에 광대한 삼림지

〈표 4-5〉 뮌헨의 쓰레기 燒却 發電所의 規模

플랜트 名	北部I	北部II	南部IV	南部V	北部III	計
설립연월	1946.6	1966.5	1969.4	1971.7	1981.12	
Unit수	2	1	1	1	2	7
Unit당 소각량 (t/日)	600	960	960	960	480	
저위발열량 (Kcal/kg)	900~1,800	900~2,000	900~2,000	900~2,000	2,500	
초기압력(ata)	181	181	181	181	41	
증기온도(℃)	540	540	540	540	400	
쓰레기분 증발량 (t/시)	2×20	73	73	73	2×58	373
주연료증발량 (t/시)	2×80	292	292	292	0	1,036
전증발량(t/시)	2×100	365	365	365	2×58	1,411
쓰레기 혼소율 (%)	40	20	20	20	100	
주연료	석 탄	석 탄	천 연 가스	천연가스, 중유	오염물	
발전출력(MW)	68	124	124	124	26	454
열공급능력 (Gcal/時)	80	130	130	130	60	490

‡ '94,'95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ‡

대가 있어, 이 廢材殘渣物은 伐採 400만톤/년, 製材 50만톤/년 및 建材 15만톤/년이나 되어, 木材 燃料 發電所의 시안을 세우고 있다.

캘리포니아주에서는 루이지아나 퍼시픽사의 펄프工場에 있어서 600톤/日, 黃酸펄프로서 레드우드를 使用하고 있으나 그 벌크 殘渣는 매립이 금지되어 있기 때문에 위해 燒却發電하고 賣電도 하고 있다. 다만 賣電價格은 비용의 2/3 정도라는 약점이 있다.

또한 같은 주의 에너지 리소스사에서는 廢纖維, 벗단, 果樹剪定찌꺼기를 1000°F 流動바닥熱分解에 의해 기름을 抽出하고 廢가스는 發電과 乾燥熱源으로서 이용하고 있다.

이 외에 서클라멘트의 200萬톤/년의 벗단을 30%의 보조 연료로서 100kW의 混燒發電計劃을 비롯하여 플로리다주의 製糖工場의 나무껍질 찌꺼기, 온타리오주의 아워대르비 製紙會社의 바쿠다스토 등에 의한 발전계획 등이 있다.

이외에 특수한 예로서는 북캘리포니아에 있어서 미개발의 低溫地熱에 의해 250°C의 溫水를 回收하여 이것에 의해 木材부스러기를 건조하여 木材發熱量을 4017BTU에서 6314BTU로 하여 이것에 의한 燒却發電이 1981년에 완성되었다.

한편, 탄광관계로서 미국에서는 폐산탄광에 의한 폐가스를 이용한 10~100MW의 발전계획, 영국에서는 水分, 炭分, 黃분이 많은 炭鑛廢棄物을 이용하여 流動燃燒方式에 의해 66MW의 발전을 하고 있다.

이상에 설명한 美國에서의 一般 쓰레기와 산업폐기물은 그 종류와 양에 있어 우리나라와는 크게 다르지만 산업폐기물의 電力에너지 回收利用은 이제 우리에게도 시급한 과제라고 할 수 있다.

3. 일본의 쓰레기 處理發電

일본에서 排出되는 쓰레기(일반폐기물)는 1991년에 1일당 13만 8700톤, 1인 1일당 평균 1.12kg이며, 연간 배출량은 약 5000만

톤이다. 최근 수년 동안에 1인 1일당 쓰레기 배출량은 3~4% 증가하고 있는 추세이다. 쓰레기 수집에는 市町村이 직영으로 하는 것(전체의 약 52%), 委託業者가 하는 것(약 30%), 許可業者가 하는 것(약 20%)의 세가지가 있는데 市町村 直營의 비율은 감소하고 있다. 수집된 쓰레기의 약 73~74%는 소각처리되고, 17%는 직접 매립된다. 매립 비율은 최근에 감소하고 있고, 나머지 수%는 中間處理 후에 再利用되거나, 混合肥料(Compost)化되어 이용되고 있다. 재생이용에 보내지고 있다(표 4-6 참조). 燒却에 의해 발생 하는 에너지는 거의 회수되지 않고 공기중에 배출되어 地球 溫暖化에 일조하고 있다. 또 소각에 보내지는 쓰레기를 보면 소각 후에 재가 약 15% 생기기 때문에 매립에 보내지는 비율은 전체량의 약 33~33%에까지 오르게 된다.

현재, 일본이 직면하고 있는 문제는, 쓰레기 매립지가 점점 부족해진다는 점이다. 문제해결의 긴급한 정도는, 埋立地의 여유가 어느 정도인가에 달렸다. 東京都, 岐玉縣, 千葉縣, 神奈縣의 殘餘容量은 앞으로 약 4년분밖에는 없다고 하는 위태로운 상황에 있다. 橫浜市, 川崎市 등은 98% 이상의 쓰레기를 소각하고 있으나, 東京部(區部)는 60.5%로 낮기 때문에, 埋立地의 殘餘容量을 장기화하기 위해서는, 소각의 비율을 높이는 것이 우선 필요할 것이다.

여기서 쓰레기의 소각율, 매립지를 절약하려고 하는 목적 때문이 아니라, 보다 기본적인, 쓰레기를 연료로서 받아들이

〈표 4-6〉 일본의 쓰레기 處理의 狀況

구 분	1986	1987	1988	1989	1990	1991
總人口(千名)	122,000	122,185	122,648	123,137	123,529	124,150
쓰레기 排出量(ton/일)	122,599	126,956	132,582	136,912	138,196	138,708
1인 1일당(g)	1,007	1,040	1,082	1,114	1,120	1,118
(참고) 단체에 의한 集團回收量(ton/일)	1,200	1,552	1,512	1,899	2,701	3,858
처 리 방 법						
燒 却 (ton/일)	84,548	89,116	93,552	98,424	100,482	98,822
埋 立 (ton/일)	29,008	28,773	29,613	28,772	27,519	23,109
堆肥化 (ton/일)	163	144	165	169	251	156
기 타 (ton/일)	3,974	4,730	5,285	5,780	6,765	2,027
合 計 (ton/일)	117,693	122,762	128,615	133,145	135,016	135,839
(참고) 中間處理에 수반한 資源化量(ton/일)	3,064	3,500	3,849	4,182	4,613	4,612

려고 하는 시점에서 생각해 보면, 문제의 다른 측면이 분명해질 것이다. 즉, 현재 하루에 발생하고 있는 13만 5845톤의 쓰레기로부터, 4절에서 다룬 미국의 쓰레기 처리발전설비와 동일한 1톤당 평균 600kWh의 발전이 가능하다고 가정하면, 8150kWh의 발전이 가능하다는 계산이 된다

한 세대가 1개월간 쓰는 전력사용량을 250kWh라고 한다면(1일당 8.3kWh), 이 발전량은 978만 세대분의 전력 에너지원이 될 것이다. 실제로는 쓰레기를 배출하는 장소가 모두 쓰레기 처리발전을 가능하게 할만큼 대규모는 아니기 때문에, 모든 쓰레기 처리장이 이러한 발전능력에 해당되지는 않는다. 그러나, 여기에서 말하려는 것은, 80% 이상의 에너지원을 수립하고 있는 우리나라에 있어서, 주변의 쓰레기 자원—이 쓰레기 자원이 되는 물질도 약 30% 가까이 수입하고 있다—에 에너지원을 주목하지 못하는 것은, 사회적으로 매우 큰 손실이라고 할 수 있다.

결국, 일본에는 약 100군데의 쓰레기처리 발전소가 있으나, 그 대부분은 하루 처리량이 600톤 정도에 지나지 않는 소규모이고, 따라서 발전규모도 4,000kW 이하인 것이 70% 이상이나 된다. 일본 전국의 쓰레기 처리발전 능력은 총 34만kW이고, 이들에 의한 쓰레기처리의 합계는 하루 5만 4600톤이므로 쓰레기 1톤당 160kWh의 에너지 회수를 하고 있는 셈이다. 미국의 쓰레기처리발전소가 쓰레기 1톤당 600kWh의 에너지를 회수하는 것에 비해, 너무나도 차이가 크다.

이와 같이 일본에 있어서의 쓰레기처리발전의 문제점은, 우선 규모가 작아서 에너지의 회수에 적합하지 않다는 점, 종래의 건설 비용이 너무 비싸다는 점, 燒却爐의 기술이 고

온에 의한 소각을 상정해 놓지 않아, 결과적으로 에너지의 회수가 낮아질 수밖에 없다는 점, 쓰레기를 소각에 의해 처리하면 된다고 하는 생각이 강하여, 쓰레기를 에너지 회수를 위한 연료로 취급하는 것이 불충분하다는 점 등이다. 즉, 쓰레기 처리에 대응함에 있어서, 일본은 에너지의 80% 이상을 수입하여, 결과적으로 쓰레기로서 배출되는 그 외의 많은 제품의 원료도 외국으로부터 수입하고 있다는 사실과, 자원이 적은 나라라고 하는 사실 등이 충분히 고려되고 있지 않다고 할 수 있다. 쓰레기 처리의 문제를 총합적으로, 경제적·사회적·기술적으로 어떻게 해야 할 것인가를 파악하여 대처해야 한다고 생각된다.

### 가. 일본의 쓰레기 處理發電 現況

쓰레기 處理發電을 하고 있는 清掃工場은, 1995년 완성분도 합해서 145개소로 전국 청소공장 약 2000개의 약 7%에 지나지 않는다(1992년의 시점에서 가동중인 공장은 109개소로 전국 1,950개 공장의 약 5%). 이 쓰레기 처리발전소를 규모별로 보면, 표 4-7 처럼 80% 이상은 1일 쓰레기 처리량이 600톤 이하의 Plant이다. 이들 Plant는 약 94%가 2개 이상의 보일러를 사용하고 있으며, 보일러의 처리능력은 1일당 150~300톤 정도가 대부분이고, 400톤 이상인 것은 7Plant밖에 없다. 이러한 소규모의 소각로는 운영상 가동 및 보수 탄력성을 고려하여 결정되고 있다고 여겨지지만, Plant의 발전출력을 보면, 표 4-8에 나타나 있듯이 70% 이상이 4000kW 이하의 출력을 유지하고 있다.

출력 Base와 실제의 발전실적에 어느 정도의 차이가 있는지에 대해서는 Data가 없기 때문에 검토되지 않으나(가동률은 약 50%라고 한다.), 출력 Base로 쓰레기의 톤당 발전규모를 계산하면, 1994년까지는 132Plant에서 쓰레기당 160kWh, 1995년 완성예정인 것까지 합해서 계산하면, 쓰레기 톤당 평균 180kWh가 된다. 다만 여기서 주의해야 하는 것은, 같은 규모의 Plant, 例

〈표 4-7〉 規模別 쓰레기 발전 Plant

쓰레기 處理量/日 · ton	Plant 수
~400	62
401~600	58
601~1,200	19
1,201~1,800	5
1,800 이상	1
합 계	145

〈표 4-8〉 發電規模別 쓰레기 處理 Plant

발전규모(kW)	Plant 수
~2,000	77
2,001~4,000	29
4,001~6,000	16
6,001~8,000	5
8,001~	18
합 계	145

## ‡ '94,'95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ‡

를 들면 1일당 150톤인 2개의 보일러, 즉 1일당 300톤인 쓰레기 발전의 출력이, 어떤 공장에서는 2500kW로 표시되고, 또 다른 공장에서는 960kW로 표시되는 등 공장에 따라 가지각색이라는 점이다. 이것을 쓰레기 톤당의 발전규모 Base와 비교하면 전자는 톤당 200kWh, 후자는 톤당 77kWh로 3배에 가까운 차이를 보인다. 145개의 Plant를 비교하면 이러한 예가 드문드문 보이는데 이와 같은 결과는 과연 무엇이 쓰레기 처리 규모를 크게 넘는 발전용량을 갖게 하거나 발전 효율이 매우 작은 전력밖에 발전을 하지 못하는 Plant를 사용하고 있는지 하는 의문이 생긴다. 어쨌든, 쓰레기를 에너지源으로 받아들여 소각을 하는 시점에서 Plant 설계가 불충분하다든지, 이용하고 있는 시설의 효율면에서 표준화가 이루어지지 않았다는 사실을 보여준다고 할 수 있겠다.

### 나. 日本의 쓰레기 處理發電의 문제점

#### (1) 총합적으로 쓰레기를 받아들이는 방식의 결여

우선 첫번째 문제점으로 받아들여야 하는 것은, “쓰레기”는 성가신 것이니까 소각처리를 한다면 그 목적은 달성된 것이라고 하는 좁은 생각일 것이다. 뒷마당에서 휴지조각을 태워 처분하고 있는 한 가정에 있어서는 Mentality가 그대로 지방자치체의 수준을 떠올리게 되는 것은 아닐까 하고 생각할 수밖에 없다. 습관적으로 그러한 취급을 받아들여 왔기 때문에, 소규모로 처리하는 것에 대해서는 비용을 별로 의식하지 않았거나 또는 자치체가 한데 뭉쳐서 대량화한 쓰레기로부터 효율이 좋은 에너지를 회수하려는 사고방식이 최근까지 생겨나지 않았다. 사실, 근대적 생활에 불가결한 에너지源을 80% 이상이나 외국에서 수입하며, 2번이나 Oil Shock를 경험하고도 일본경제와 에너지와의 관계를 국민적 수준에서 아니라고 하는 정도의 느낌으로만 이해하는 국민, 그 국민의 세금을 사용하고 지역 일에 서비스를 제공하는 조직으로서 존재하는 자치체가 대응하지 못했다고 하는 것은 놀랄 수밖에 없다고 생각된다.

여기에는 일본사회 특유의, 사회적, 경제적, 과학적으로

평가한 위에 총합적으로 분석하고, 판단하고, 행동하는 접근성의 부족, 말하자면 사고방식이 너무나도 좁아서 서로 관련지어 생각하지 않는 빈곤의 한 면을 보는 듯한 느낌이 든다. 自治體가 담당하는 범위가 한정되어 있다는 점, 이들의 행동을 규제하는 법률상의 제도 등이 존재한다는 점, 그것들이 이러한 총합적인 견해와 그것에 기초한 행동계약의 요인이 되고 있었다고 하는 면은 있을 것이지만, 이것을 넘어서 쓰레기를 유효한 에너지源으로서 최대한으로 활용하고자 하는 정치적 지도력을 지닌 인재의 부족, 그것을 지지하도록 하는 시민 Group 등이 여태껏 나타나지 않았다는 사실은, 역사적으로 보면 일본 현대사회의 미성숙한 국면을 보여주고 있는 것이 아닐까.

#### (2) 기술면에서의 제약

쓰레기 처리발전의 기술을 고려할 때, 일본에서는 80년대에 구미에서 의논되었던 것처럼 Massburn인가 RDF인가 하는 의논이 없었던 듯이 보인다. 미국에서는 쓰레기 처리발전 프로젝트는 우선, Massburn인가 그렇지 않은가로 기술 분류하고 Massburn의 경우 어느 기술인가, 어떤 구조의 爐로할 것인가를 분류한다. 일본에 최초로 소개되었던 기술이 유럽계의 Massburn이었다는 사실, 이것들의 면허를 얻은 Plant 제작자에 의해 행정당국과 업계의 표준사양이 결정되고, 계속 그 테두리 안에서 쓰레기 처리가 고려되어 왔다는 사실이 배경에 있는 듯하지만, 이 점이 큰 제약조건이 되었다고는 생각되지 않는다. 극히 최근에 와서는 RDF의 연구와 실용화의 시도가 여러 가지 형태로 행해지고 있기는 하지만 Massburn의 系譜에 있는 流動床 기술을 도입하고 그 기술의 고도화를 위해 오랜 기간 연구해 오면서도 왜 오늘날까지 Massburn 이외의 技術이 選擇肢의 하나로 받아들여지지 않았는지 이상하게 여겨진다.

일본에서의 중점연구과제는 소각에 의한 공해방지의 기술면이었다. 이 소각으로 생기는, 대기오염의 방지기술은 행정 서비스 제공자보다는, 어떤 조건으로 나타날까 하는 정책적 위치가 기술면에서의 개량의 동기가 되어 기술이 개선되어 온 듯이 여겨진다. 1970년 전반에 通産省은 자동차 업계에



대해, 排氣가스 規制 目標値를 높은 값으로 제시하여 그것이 자동차의 國際的 環境規制 면에서 優位性을 보였고 결과적으로 선진적인 정책 제시가 된 예가 있었다. 그러나 나중에 살펴볼 미국의 SEMASS의 경우에는 실적을 제시하고, 그것이 행정측면에서 참고로 삼은 기준이 되듯이, 사기업 혹은 사업주체자 측에서 하는 제안이 가능한 개방된 상황이나, 미국의 PURPA(Public Utility Regulatory Policy Act, 公共事業規制法)의 목적에 있듯이, 에너지 이용의 다양화를 연방정부의 수준에서 광범위하게 추진하는 계획으로 만드는 총합적 정책으로 제시하는 예에 보여지는 바와 같은 정책면에서의 협력, 대규모의 목표제시가 되지 않았다고 하는 것은, 일본에 있어서의 관련 행정기구의 구상력의 부족, 낮은 문제의식 수준이 드러난 것이라는 면에서 유감으로 여겨진다.

일본에 있어서 쓰레기 처리발전의 시스템 설계의 대전제로서 과거 20년 동안 행해져 왔던 것에 排氣가스 溫度와 腐蝕速度와의 관계가 있다. 이것에 의하면 爐의 腐蝕速度는 排氣가스의 온도가 300℃를 넘으면 급속도로 악화되기 때문에, 배기가스온도는 반드시 300℃ 이하로 해야 한다는 것이다.

“우리나라에서 최초로 운전을 개시한 대판시의 쓰레기 처리발전 설비운영중 腐蝕損傷事故의 경험으로부터, 加熱器官의 腐蝕損傷은 鹽化水素 가스와 溶蝕鹽과의 상호작용에 의한 것이라고 결론 내렸다. 그 결과, 튜브材料의 금속 온도를 400℃ 이하 증기온도를 300℃로 억제시키는 것이 제안되었고, 이후 20여년 동안 우리나라의 쓰레기 처리발전 설비의 설계방침으로 이용해왔다.”

여기서 의문으로 여겨지는 것은, 부식속도가 단순히 배기가스의 온도와 1차적 상관관계를 보이는지 어떤지 하는 점이다. 미국의 자문에 의하면 부식은 爐안의 공기의 양 그의 흐름방향과 속도와의 관계한다고 기술하고 있다. 나중에 기술한 SEMASS의 예에서는, 일본의 쓰레기소각 시스템과 다른 Shred and Burn을 위해, 쓰레기의 질이 달라지고 있다고 하는 점을 보아도, 爐안의 공기의 흐름, 속도를 조정함으로써 부식의 진행을 큰 폭으로 억제하는 데에 성공하고

있다. 여기서 고려해야 할 것은 부식의 원인에 대한 분석을 다각적으로 연구하여, 20년 전에 작성한 전제조건을 다시 살펴보아야 하는 것이 마땅하지 않을까?

### (3) 발전효율의 낮음

일본의 쓰레기 처리발전 시설의 발전효율은 전체적으로 낮다. 대부분은 시설의 효율이 10% 이하이고, 대규모시설도 10%의 절반이 되면 어느 정도 높은 수준으로 평가되어 왔다. 최근, 쓰레기 처리발전소의 발전효율을 높이기 위해 소위 Super쓰레기발전이라고 하는 발전설비를 병설하였는데 이는 도시가스, 등경유의 배기가스의 의해 소각로에서 발생한 증기를 가열하는 방식이다. 이 Super 쓰레기발전에 의해 발전효율의 향상을 기대할 수 있으나, 이러한 시스템은 경제성의 관점에서 보면 과연 좋은 것인지 어떨지의 의문이 생긴다. 현재의 발전효율의 개념 가운데에는 그의 定義,

$$\text{발전효율} = \frac{\text{시스템出力}}{\text{쓰레기 發熱量}}$$

에서, 資本費用의 概念은 포함되어 있지 않다. 따라서 추가로 가스터빈을 설치하고, 또한 추가연료에 의해 효율이 향상되었다고 해도, 1kW 발전을 위한 자본비용이 어느 정도 드는지를 검토하지 않으면 그 의미는 제대로 평가할 수 없는 것이다. 이 점에서, 현재 행해지고 있는 Super쓰레기발전에 의한 발전효율의 향상에 관해서는 경제적 비용과 이익과의 관계에 대한 재검토가 필요하지 않을까 한다.

발전효율에 관련하여 의문으로 여겨지는 것은, 일본의 제작자가 제작하여 外國에 수출한 Plant의 예로 일본보다도 효율이 좋은 것이 많다고 하는 점이 있다. 일본의 Plant제작자에 의해 싱가포르, 중국 등에 수출된 Plant의 가동실적을 보면, 이러한 Plant에서 소각되고 있는 쓰레기의 평균 칼로리는 일본의 것보다 낮음에도 불구하고, 보일러의 배기가스의 온도는 370~400℃, 쓰레기 1톤당 발전량은 톤당 400kW 이하이고, 발전효율은 25% 이상으로, 일본 국내의 수준보다도 5% 이상 높은 실적을 나타내고 있다. “동남아시아에서의 발전효율만 보아도 국내보다 높은 수준에 있는 것

‡ '94,'95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ‡

은 수요의 차이에 의한 것이고, 기술적으로는 국내외를 막론하고 같은 정도의 발전효율을 얻는다는 것이 가능해지고 있다"고 한다.

그렇다면 동남아시아의 Plant의 경우 腐蝕의 문제는 어떻게 해결되고 있는가에 우선 관심이 간다. 동시에, "수요"가 높은 발전효율을 얻으려면, 왜 일본의 Plant에서는 그러한 수요에 대응할 수 없는 것인가? 또 "같은 정도의 발전효율을 얻는 것이 가능"하다면 排氣가스의 온도가 300℃ 이하라고 하는 일본의 "설계방침"은 적절할 것인가 하는 문제에는 어떻게 답할 수 있을까? 다음에 유지보수상의 문제로 배기가스의 온도를 300℃ 이하로 할 필요가 있다면, 300℃의 경우와 400℃로 올릴 경우의 유지보수비용의 한계적 증가와 발전효율의 향상에 의한 이익과의 관계는 어떻게 될 것인가가 문제가 될 것이다. 이 점에 대해서도 전문가에 의한 실증적 연구를 기대하고 싶다.

어쨌든 20년 전의 대전제를 Base로 막다른 골목에 들어간 것처럼 보이는 쓰레기처리발전에 관한 사고방식을 한층 기본적으로 다시 살펴보고, 경제적 측면에 평가도 더하여 "Re-engineering"하고 있다고는 생각되지 않는다.

(4) 쓰레기처리 규모가 지나치게 작음

전술한 바와 같이, 일본의 쓰레기 소각시설은 소규모의 것이 대부분이다. 이것은 쓰레기를 줄이기 위해 재(灰)로 만드는 것을 목적의 달성으로 여겼던 기본적인 사고 방식 아래에서 地方自治體가 각각의 지구에 생기는 쓰레기를 처리해 왔다는 사실에 의한 것일 것이다. 그러나, 쓰레기를 "原料"로 받아들이고, 그의 소각에 의해 최대한의 에너지를 회수한다는 목적하에서 보면, 소규모로 된 쓰레기 처리발전은 지극히 비능률적이다. 그 낮은 능률은 우선 하나의 시설에 대한 경제적 평가를 불가능하게 하고 있다.

한편으로는 지방자치체의 재정면에서 어느 정도의 비용이 될 것인가. 만약 시설을 大型化하고, 賣電을 독립재산으로까지는 하지 않는다 하더라도, 운전비와 자본비용의 일부를 커버하는 형태의 프로젝트에 비해, 어느 정도의 기회비용을 들일 것인지 등, 얻어질 수 있는 메리트를 간과하고 있는지

에 관한 평가를 불가능하게 하고 있다. 또 이것에 의해 지역 주민이 세금면에서 어느 정도 부담을 줄일 수 있는지 하는 점도 명확하게 못하고 있다.

지방자치체에는 각각의 행정구역으로서의 독자성의 유지라고 하는 면에서 각종 제약이 따른다는 사실은 예상할 수 있다. 그러나, 쓰레기의 集荷規模를 몇 개의 自治體의 협력에 의해 조정하여 대규모화하고 관련 비용을 절약하여 주민의 세금을 줄이는 것이 가능하다고 예상한다면, 시민의 입장에서 지방자치체 동지의 협조, 조정은 비록 어렵더라도 옳고 그름을 가리고 싶은 것이다. 이제 사회의 흐름은 생산자 중심의 사고방식에서 생활자를 중시하는 쪽으로 변화하고 있고 행정측면으로서도 관점을 바꾸어, 무엇이 가장 생활자에 있어서 베스트일까 하는 관점에서, 쓰레기처리 문제를 총합적으로 받아들일 필요가 있을 것이다.

대형화를 가능하도록 하는 한가지 접근으로서, 소규모의 소각 Plant를 설치하는 대신에 쓰레기 中繼所(Transfer Station)를 만들어, 그곳에서 분별하고, 가공하여(RDF나 Shred and Burn 시스템의 경우는 Shred-파쇄하여), 그것을 철도나 트랙터, 혹은 수로로 대규모프로젝트가 있는 장소까지 운반함으로써 쓰레기 집하의 대량화를 행하는 것이 고려되어야겠다. 이 경우도 후에 기술할 SEMASS의 경우처럼, 중계소에 일단 모은 쓰레기가 트랙터나 철도로 Plant Site에 운반되는 예는 참고로 할 만하다.

(5) 자본비용이 지나치게 높음

자본비용의 문제는 전술한 여러 가지 문제점과 관련되어 있으나, 앞으로 쓰레기처리발전 시설의 경제적 평가를 한 위에 부딪치지 않는 문제이다. 항간에서는 쓰레기처리 설비는 쓰레기 1톤 처리능력당 대략 5000만~1억엔이라는 비용이 든다고도 한다. 최근에 발표된 예에서는 다쿠마 住友建設이 東京都에서부터 강동구에 건설한 1일 1800톤 처리 시설을 879억엔에 수주한 예(1994년 7월 8일, 日本經濟新聞)와 日立造船/前田建設이 1일 처리능력 600톤의 墨田區에 건설하는 시설을 333억엔으로 東京都로부터 수주(1994년 7월 10일, 日經産業新聞)한 예가 있다. 이들은 각각 1시간

당 5만kW, 1만 2000kW의 발전능력을 갖춘 쓰레기 처리 발전시설이다. 이들의 톤당 비용은, 1일당 1800톤의 시설이 톤당 4900만엔, 1일당 600톤의 시설이 톤당 5500만엔이 된다. 후술할 미국의 예에서 Massburn의 평균이 톤당 9만 3000달러이다. Data가 오래된 것을 고려하여, 톤당 10만달러로 하면 현재의 엔당 달러의 비율로는 톤당 1000만엔이 되고, 앞에서 거론한 톤당 가격은 미국의 예의 약 5배라고 할 수 있다(1달러를 200엔이라고 하면 20만달러로 2.5배). 일본 고유의 조건, Rule이 있다고 하면, 이처럼 큰 격차—내외가격차—는 부적당하다고 판단할 수밖에 없다.

이와 같은 가격차에는 종래로부터 商習慣, 사회적 배경이 있다는 것은 이해할 수 있으나, 동시에 일본의 Plant 제작자가 국제적 경쟁을 하는 해외 시장에서는 같은 시설을 낮은 가격으로 수주하고 있다는 것을 고려하면, 일본의 地方自治體가 왜 이처럼 높은 가격의 시설을 용인하고 있는 것인지 알 길이 없다. 수주결정의 시스템을 재검토할 필요가 있는 것은 아닐까.

앞으로, 쓰레기처리발전의 독립채산성을 검토해 가는 위에, 이 자본 비용의 저감도 도모할 지에 대해 행정과 민간기업이 지혜를 나눌 시기가 되었다고 할 수 있겠다.

## 다. 日本에 있어서 쓰레기 處理發電의 Criteria

앞으로, 쓰레기를 에너지원의 하나로 받아들여, 그것을 최대한으로 회수하고, 이용해 가자고 할 경우, 어떠한 기준이 전망되는가를 생각해 보면, 다음과 같은 요소를 들 수 있을 것이다.

우선 첫번째로, 쓰레기 1톤당 에너지 回收率이 높을 것. 이것에는 大氣汚染防止면에서의 기준이 지켜진 위에 달성되는 것이 조건이다. 또, 이를 달성하기 위해서는, 쓰레기 집하의 廣域化 및 쓰레기 燒却施設 規模의 大型化가 반드시 필요할 것이다. 마찬가지로 여기에는 쓰레기의 加工과 運送면에서의 공리가 필요할 것이다.

두번째의 Criteria로서, 특히 일본과 같이 국토의 17%밖

에 이용할 수 없는 지리적환경에 있는 나라에서는, 어떻게 매립지를 적게 할 것인가 하는 점이 중요한 요소가 된다는 것은 당연할 것이다. 귀중한 토지를 매립을 위해서 이용하는 사회적 비용은, 지하수 오염의 가능성까지 고려한다면 가격으로 예측할 수 없을 정도로 높다고 인식할 만하다.

현재 쓰레기의 약 35%가 직접 쓰레기 혹은 소각후의 재로서 매립되고 있다. “정원처럼 아름답다”고 말해지는 일본의 국토를 더 이상 쓰레기와 재로 변화시키고 말겠다는 것은 누구라도 허락할 수 없다고 생각한다. “일본제”를 세계시장에서 통용되는 많은 상품들 속에서 일류상품으로 육성시킨 일본기업의 기술이, 쓰레기처리의 면에서만 유독 발휘될 수 없다고는 생각되지 않는다.

우선 직접 쓰레기를 매립하는 것을 그치고, 다음에 재를 매립하지 않는 다른 방법을 고안하고 시설해 가는 것이 시급하다. 많은 기업이 소각되고 남은 재의 시멘트, 건축재 등으로의 이용법에 대해 검토하고, 제품화시키고 있는 사실이 알려지고 있으나, 하루라도 빨리 대규모로 이용할 만한 시설을 기대하고 싶다. 일본 및 다른 인구밀도가 높은 동남아시아 여러 나라에서는 소각되고 남은 재가 어떻게 이용되는지, 그것에 의해 매립량을 어떻게 줄이는지 하는 점이 앞으로 쓰레기 매립시설의 선택 기준에 한층 중요한 요소가 된다고 생각된다.

세번째의 Criteria는, 앞으로 관계자들 사이에서 도입할 것이 기대되는 “독립채산성”의 면이다. 현재에도 자본비용이 충분히 낮고, 일정수준 이상의 매진비율과 쓰레기 수집 가격이 설정되면 실현가능하다.

앞으로는 구체적으로 특정 프로젝트를 독립채산 Base로 가능하게 하기 위하여 어떤 조건이 필요할지를 입증하는 의미에서도 실현하고, 그것이 관계자, 특히 자치체의 재정상에 어떠한 좋은 영향을 줄 것인가 하는 점에 대해 실제로 증명하는 것이 전망된다.

그러나, 앞으로 일본의 폐기물 발전의 도입 및 확충 촉진에는 비용 저감을 위한 기술개발 외에, 전기사업법에 있어서의 규제완화 등을 기하면서, 2000년도에 약 200만kW, 2010년도에는 약 400만kW로서 확충을 계획, 추진중에 있다.