

국내 도시폐기물의 특성과 소각로 개발현황



김 석 준

(KIMM 열유체시스템연구부)

- '76. 2 서울대학교 공과대학 기계공학과(학사)
- '85. 2 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '93. 8 한국과학기술원 기계공학과(박사)
- '80. 9-현재 한국기계연구원 선임연구원



길 상 인

(KIMM 열유체시스템연구부)

- '84. 2 한양대학교 공과대학 기계공학과(학사)
- '86. 2 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '91. 8 한국과학기술원 기계공학과(박사)
- '91.11-현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

폐기물 소각기법은 본래 석탄 연소기술에서 발달된 것으로 폐기물의 처리 및 재활용에 일찍 관심을 갖은 독일을 비롯한 일부의 유럽국가에서 1900년대 초에 소개되기 시작하였다. 국내에서 도시폐기물 소각에 관심을 본격적으로 갖기 시작한 것은 1980년대 말로서 폐자원의 에너지화 문제와 매립지의 부족 그리고 매립지 선정시의 주민반발에 대한 새로운 폐기물 처리기법의 필요성이 요구되었기 때문이다. 1993년도에 발간된 환경자료에 의하면 국내에서 발생하는 일반폐기물, 즉, 가정에서 배출되는 쓰레기의 양은 하루 8만 톤이 넘고 있으며 부피로는 약 250,000m³이나 되어 더이상 매립에 대한 의존 가능성을 배제하게 한다.

폐기물에 대한 개념은 종래의 단순히 버려지는 물건과 환경공해물질에서 에너지원이 될 수 있다라는 인식 전환이 이루어지고 있다. 따라서 소각 기술은 에너지 재생의 한 방법으로 보아야 한다. 이러한 인식의 확산은 우리나라가 에너지 부존 자원이 부족하고 수차계의 에너지 파동을 겪었기 때문이다. 그러나 폐기물 소각분야에서 관련기술이 뒤떨어진 우리가 우선시 하여야 할 것은 우리폐기물의 실태를 정확히 인식하고 이에 적합한 소각방식의 개발이다. 이것은 폐기물의 부적당한 소각이 또다른 공해의 발생을 야기시킬 수 있기 때문이다.

현재 국내에서는 서울(상계, 일산, 평촌 등), 부산, 대구, 창원 등 대도시를 중심으로 도시폐기물

표 1. 국내 소각로 건설 현황

구 분	용량(ton/day)	시공업체	기술도입선	설치기간
의정부	50(25×2)	롯데기공	Kuboda	'83.12~'85. 4
목동	150	(주)대우	Hitachi-Zosen	'84.10~'86.12
대구	200	(주)대우	Hitachi-Zosen	'90. 8~'92.12
성남	100(50×2)	쌍용건설	Mitsui-Zosen	'90. 5~'93. 6
평촌	200	동부건설	Steinmüller	'91.11~'93. 7
일산	600(300×2)	삼성중공업	Mitsubishi	'92.12~'95. 5
노원	1600(400×4)	현대중공업	DBA	92.12~'95. 6
목동(증설)	400(200×2)	선경건설	Seghers	92.12~'94
부산	200	한라중공업	Volund	'93. 1~'94.12
대전	100	럭키개발		'88.11~'92.12
창원	200	한라중공업	Volund	'93. 1~'94. 8
중동	200	(주)대우	Hitachi-Zosen	'93. 1~'94.12
전주	200			'94년 착공예정
광주	400			'94년 착공예정
분당	600			'94년 착공예정
산본	200			'94년 착공예정

소각로 건설사업이 환경개선의 일환으로서 활발히 진행되고 있다. 표 1은 이미 건설된 그리고 현재 건설이 진행되고 있는 소각로의 현황을 나타낸 표이다. 이제까지는 원본 선진기술의 직접도입에 의해 건설이 이루어지고 있으나 환경 및 경제분야에 미치는 효과를 고려할 때 관련연구의 조속한 추진을 통해 우리나라에 적합한, 우리나라에서 개발된 기술의 정착이 요구된다.

소각로 설계 및 제작 기술의 세계적인 연결체계는 표 2에 나타난 바와 같이 원본기술국인 유럽의 독일, 스위스 등의 회사와 주사용 및 생산국인 일본과 미국 그리고 현재 관련사업이 활발히 진행되고 있는 우리나라가 기술제휴 형태로 연결되어 있다. 소각로에 있어서 세계적인 3대 제작사는 독일의 DBA(Deutsche Babcock)와 Martin 그리고 스위스의 Von Roll로서 이들 회사는 각각 현대중공업, 삼성중공업 그리고 대우와 기술제휴 형태로 국내 시장을 점유하고 있다. 이들 3사는 서로 다른 소각방식을 사용하여 세계의 소각로 개발을 선도하는 기업으로서 기술적인 보다 상세한 내용은 뒤에서 다시 설명하기로 한다.

국내 발생 도시폐기물의 성상 가운데 자체 설

계시 특히 주의하여야 할 항목은 고수분의 특성이다. 수분의 과다는 단순한 발열량 감소만의 문제뿐만 아니라 건조 및 소각과정의 지연으로 인하여 연소장의 원활한 형성이 어렵게 되기 때문이다. 따라서 25% 전후의 저수분 조건에 대해 설계된 기존 원본 선진 소각로의 직접적인 국내 적용은 연효 효율 또는 열작감량의 문제뿐만 아니라 공해의 제어에 있어서도 문제가 발생할 수 있으므로 수분의 처리에 효과적인 소각법의 국내 적용이 요구된다.

2. 국내 도시폐기물의 성상

폐기물 소각로를 설계 또는 제작하기 위해서는 대상폐기물에 대한 각종 물성치가 필요하다. 여기서 물성치라 함은 저위 또는 고위발열량, 함수율, 물리적 조성, 공업분석, 원소분석 등 폐기물이 갖고 있는 제반 특성을 이야기하며 이것들에 의해 로의 구조나 Grate의 형식 등 소각로에서 가장 중요한 설비의 형식과 형상이 결정된다. 소각로 이용 및 관련 연구가 활발한 일본 지방자치단체의 경우 매월 1회 해당지역에서 발생하는 도시쓰레기의

표 2. 소각기술의 협력체계

유럽	미국	일본	한국
DBA	Brown & Ferris Ind.	川崎重工	현대중공업
Martin	Ogden-Martin	三菱重工	삼성중공업
Von Roll	Wheelabrator-Frye	日立造船	(주)대우
Volund		日本鋼管	한라중공업
Steinmüller			동부건설
	Riley Stoker/Takuma	タクマ	대림산업
Seghers Eng.			선경건설
W + E Technic	W + E Blount		력기개발
		미쓰이	쌍용건설
	Forster Wheeler	가와사키	삼환기업
Lurgi			코오롱 ENG.
De Bartoloneis			한일개발
	Zurn Industrial		태영
		구보다	롯데기공
B & S			현대정공
K. K. 오퍼바우어			유원건설
		日本鋼管	현대건설
		I. H. I	코오롱건설
MAB-Lentjes			(주)한양
CDK 듀크라사			현대산업개발
	모스블저 인터내셔널		삼정종합건설

성상분석을 실시하여 쓰레기 소각로 건설시 및 에너지 이용에 자료로 사용하고 있다. 그러나 도시폐기물 소각로에 관한 연구 역사가 겨우 수년에 불과한 국내에서 폐기물의 성상과 소각로 설계와 관련된 자료가 충분하지 못한 상태이다.

표 3은 우리나라 각 지역의 일반폐기물 특성 조사자료의 일부를 도표화한 것이다. 각 자료는 폐자원의 재활용 문제 해결 또는 폐기물 소각로 연구를 위하여 전문연구기관, 학교, 엔지니어링 회사 그리고 일본 및 UNIDO를 비롯한 외국의 전문기관에서 조사한 것이다. 또한 표 4는 수집된 자료를 이용하여 국내 발생 폐기물의 년도별 변화추세를 나타낸 것이다. 그 결과 종이, 고무 그리고 플라스틱류 등의 고발열 성분과 음식물류가 전체에서 차지하는 부분이 커지고 있으며 상대적으로 연탄재 등 불연재의 배출이 감소함을 알 수 있다. 종이와 플라스틱류의 증가추세는 정보

전달과 생활환경의 개선에 기인되며 음식물류는 불연성물질의 배출감소에 의한 상대적인 증가에 주원인이 있다. 또한 국내에서 폐기물을 처음 분석하기 시작하던 시기에는 분류기술의 부족으로 기타의 항목이 차지하는 비율이 컸으나 분류방법이 차츰 발달하여 미분류 성분이 현격하게 줄고 있다.

과거 일반가정의 대표적인 난방수단이었던 연탄은 1989-90년 들어 사용상의 불편, 환경공해 문제, 생활 수준 향상, 원유가 인하, 아파트와 같은 공동주택의 건설 등으로 인해 주연료로 가스나 석유가 사용됨으로 해서 연탄재의 배출이 현격하게 줄어들고 있다. 연탄재는 본래 소각로에 투입되지 않는 것으로 설계하고 있으나 쓰레기 분리수거의 미비로 인하여 소각로에 유입되는 것을 배제할 수 없다. 그럼에도 불구하고 현재와 같은 추세라면 국내 발생 도시폐기물에서 연탄재가

표 3. 국내 도시폐기물 성상

대 상 지 역		89국내	83대구	86대전	86부산	87도봉	88서울	89인천	90노원	92창원	
물 리 적 조 성 %	가 연 성	종이류	21.97	5.58	11.07	6.24	8.7	25.75	30.56	25.0	16.70
		고무, 플라스틱	12.59	4.31	8.03	5.76	2.5	10.45	14.77	14.0	10.71
		섬유, 가죽	4.44	0.93	3.47	2.88	1.7	2.43	6.98	1.7	2.76
		음식물류	40.14	6.53	14.00	37.13	16.5	47.09	25.20	53.4	49.43
		목재, 기타	3.14	2.00	28.91		2.3	3.93	0.68	0.4	3.99
		소 계	82.57	19.35	65.48	52.01	31.7	89.66		94.5	86.80
	불 연 성	유리, 금속	8.53	3.59	4.89	3.51	4.5	10.34	15.43	5.5	5.57
		연탄, 기타	8.90	32.53	29.63	44.48	63.8		6.40		7.63
		소 계	17.43	36.12	34.52	47.99	68.3	10.34		5.5	13.20
원 소 분 석 %	C	57.4				44.3	43.55	28.6	47.64	49.85	
	H	7.4				6.2	6.28	2.8	8.05	6.94	
	O	32.3				48.2	48.93	67.5	31.66	39.05	
	N	2.5				1.3	0.95	0.9	1.51	2.65	
	S	0.4					0.30	0.2		0.38	
	기타									cl : 1.14	
공 업 분 석 %	수 분	46.2	49.65	42.23	37.43	49.6	53.0	20.2	54.26	52.96	
	회 분	14.8		29.63		37.4	9.8	33.3	7.59	13.45	
	가연분	39.0		28.14		13.0	37.2	46.5	38.15	33.63	
저위발열량		1336	571	1037	1702	1536	1351	1520	1371	1657	
걸보기밀도		0.265						0.207	0.20	0.257	

발열량 : [kcal/g]

표 4. 국내 발생 도시폐기물의 연도별 성상 변화

기 간		이전-'86	'87-'88	'89-'90	2001예상	
물 리 적 조 성 %	가 연 성	종이류	8.73	15.62	20.53	25.0
		고무, 플라스틱	7.25	8.92	12.56	16.0
		섬유, 가죽	2.91	4.66	4.62	5.0
		음식물류	32.07	34.95	40.15	45.0
		목재, 기타	18.23	3.56	2.53	2.0
		소 계	69.16	67.71	80.39	92.0
	불 연 성	유리, 금속	3.99	10.28	7.87	5.0
		연탄, 기타	26.82	22.01	11.74	2.0
		소 계	30.81	32.29	19.61	7.0
원 소 분 석 %	C		49.46	47.08		
	H		6.84	6.54		
	O		41.06	41.27		
	N		1.89	2.07		
	S		0.22	0.30		
	기타		cl 등	cl 등		
공 업 분 석 %	수 분		48.13	46.96		
	회 분		24.05	15.43		
	가연분		27.82	37.62		
저위발열량		1256	1347	1339	1770	

저위발열량 : [kcal/kg]

차지하는 비율은 극히 미미하게 될 것이다. 또한 불연재의 상당부분을 차지하는 캔류의 양 또한 재활용의 영향으로 점차 줄어들 것으로 사료되며 쓰레기의 평균 발열량은 개별 발열량이 높은 고분자계 물질의 이용과 배출이 늘어나는 한 증가 추세가 이어질 것이다.

표 5는 1983년 이후의 국내와 1990년 일본의 동경 및 1985-86년 독일에서의 폐기물 성상을 비교한 것이다. 우리나라의 일반폐기물은 가연성이 약 75% 그리고 불연성이 25%를 차지한 반면 일본의 경우 가연성과 불연성의 비가 97:3로 불연성 폐기물의 발생이 작다. 특히 음식물은 우리나라에 비해 약 10% 정도 작게 배출되지만 반대로 열량이 높은 종이류는 30%이상 차이가 나서 국내의 3배에 달하고 있다. 이로 인해 발생하는 발열량의 차이는 600 kcal/kg이상에 달하고 있다.(1993년 일본의 도시폐기물 저위발열량은 약 3000kcal/kg 임.) 또한

'85-'86년 독일 도시쓰레기는 고무 및 플라스틱 류의 배출이 많아 저위발열량이 2000kcal/kg이나 되며 현재는 이보다 훨씬 크다. 따라서 독일이나 일본 기술을 국내에 적용한 경우 발열량의 현격한 차이로 인하여 국내 폐기물의 특수성을 고려하지 않는 이들의 소각로가 충분한 성능을 낼 수 있다고 보기는 다소 어렵다.

현재와 같은 추세라면 도시폐기물의 저위발열량은 1996년경에는 1670 kcal/kg, 2001년경에는 1770 kcal/kg이 될 것으로 예상된다. 그러나 발생폐기물에서 많은 부분을 차지하는 음식물류의 변화는 고발열성분의 변화로 이어져 전체적인 발열량의 큰 변화를 야기시킬 수가 있으므로 당분간은 음식물 발생을 추이를 관찰할 필요가 있으며 발열량이 큰 고분자계 산업폐기물의 유입은 일반쓰레기 발열량의 큰 변화를 야기시킬 수 있다.

앞에서 잠시 소개하였듯이 국내 도시폐기물

표 5. 도시폐기물의 성상 비교

비 교 치		국내평균	1990년 동경	'85-'86 독일	
물 리 적 조 성 %	가 연 성	종이류	16.10	46.2	23.02
		고무, 플라	10.36	8.0	20.24
		섬유, 가죽	4.36	4.2	1.97
		음식물류	36.66	28.2	34.08
		목재, 기타	6.13	10.8	6.90
		소 계	73.61	97.4	86.21
	불 연 성	유리, 금속	8.38	2.3	11.62
		연탄, 기타	18.01	0.3	2.17
		소 계	26.39	2.6	13.79
원 소 분 석 %	C	48.75			
	H	6.73			
	O	40.70			
	N	2.00			
	S	0.34			
	기타	cl : 2.18			
공 영 분 석 %	수 분	47.44			
	회 분	20.14			
	가연분	32.42			
저위발열량(계산치)		1295(1316)	(1864)	(2000)	
겉보기밀도		0.232			

독일 : Beilfeld 일반쓰레기 소각로

저위발열량 : [kcal/kg]

처리의 가장 큰 문제는 고수분과 그에 따른 저발열이다. 표 6은 일반폐기물의 저위발열량과 함수율이 계절에 따라 어떻게 달라지는가를 나타낸 것으로서 서울평균 및 도봉지역의 자료이다. 계절에 따른 폐기물의 변화 추이는 발열량과 직접적인 관련이 있으므로 도시폐기물 소각로 설계에서 고려되어야 할 중요한 사항이다. 이 표에서 보는 바와 같이 계절적 변화가 명확한 우리나라는 봄, 가을로 양질의 일반폐기물이 발생되며 수분의 사용이 많고 우기가 들어있는 여름에 발열량이 떨어진다. 계절의 변화에 따라 수분과 발열량은 각각 14%, 850kcal/kg 정도의 큰 변동이 예상되며 실제로는 기후조건에 따라서 더 큰 변동이 예상된다.

환경처 발표에 따르면 현재 국내발생 일반폐기물의 재활용 정도는 약 2%에 불과하며 앞으로 표 7과 같은 재활용 이용 목표를 통한 폐기물의 발생저감과 재활용에 따른 경제적 이득을 계획하고 있다. 도시폐기물 소각에 있어서 재활용 문제는 경우에 따라서 소각로의 운전이 심각한 영향을 줄 수 있기 때문에 이에 대한 정확한 영향평가가 요구된다. 이것은 재활용 대상이 종이, 고무/플라스틱류 그리고 섬유/가죽 등의 고발열 성분이기 때문이며 만일 이들 성분이 제외된다면 도시쓰레기의 연소가 잘 이루어지기 어렵고 경우에 따라서는 소각이 불가능해질 수도 있다. 실제 유럽에서는 재활용의 영향으로 폐기물의 질이 떨어지고 소각로 운전이 어려워지는 문제가 나타나고 있다.

표 7에서 제시된 재활용율에 따라 1996년경에는 약 55kcal/kg의 발열량 감소의 효과가 기대되며 2001년경에는 115kcal/kg의 열량이 재활용으로 인하여 감소할 것으로 예측된다. 과거 우리나라의 재활용은 유리/금속류 등에 치중하였으나 현재는 종이, 플라스틱류 등에 더 많은 관심을 두고 있다. 앞에서도 설명한 바가 있는 고발열특성을 나타내는 고분자계물질의 재활용도는 발열량이 낮은 우리나라에서는 매우 중요한 사항이다. 선진기술 국에서도 재활용에 따른 발열량 감소로 소각로 운전시 애로 겪는 경우가 현재 발생되고 있다. 따라서 재활용도는 주요성분의 분리수거 추이는

표 6. 도시폐기물 성상의 계절적 변화 특성

자 료	성 분	봄	여름	가을	겨울	
88년 서울	저위발열량	1817	717	1414	1230	
	수분점유도	49	59	53	53.9	
89년 국내	저위발열량	925			1228	1502
	수분점유도	56			48.9	49.6
86년 도봉	저위발열량	1745	868	1332	1144	
	수분점유도	41.8	59.9	47.8	50.5	
수분 변동폭 : 약 14%						
발열량 변동폭 : 약 850 kcal/kg						

단위 : 저위발열량 [kcal/kg], 수분점유도 [wt %]

표 7. 도시폐기물의 재활용 계획

[단위 : %]

성분 년도	종이	고무/ 플라스틱	섬유/ 가죽	유리/ 금속
1996	15	8	10	18
2001	25	15	15	25
2006	30	20	20	30

소각로 설계기술을 개발하는 입장에서 관심을 갖고 지켜보아야 할 것이다. 위의 예측에서는 재활용도가 폐기물 소각의 기준이 되는 발열량에 절대적인 영향을 주지는 않을 것으로 나타났으나 환경처에서는 폐기물 재활용의 확대를 계획하고 있으므로 일반쓰레기의 성상 변화와 마찬가지로 재활용의 추이가 주목된다.

3. 원본 기술 동향

소각로는 본래 폐기물 전용 처리를 위한 로의 개발에 의해서 만들어진 것이 아니라 폐기물 소각의 필요성에 의해 기존에 사용하던 석탄연소로 (coal combustor)가 폐기물 소각로로 변형된 것으로서 크게 로본체, 투입 및 회출설비, 폐열이용 시스템 그리고 후처리설비로 구성된다.

소각형식은 폐기물의 종류와 성상에 따라 결정되며 열분해방식, 유동층 방식 그리고 스토크 방식이 있다. 본 지면에서는 도시폐기물 소각의 가장 일반적인 그리고 국내외 대부분의 소각로가

채택하고 있는 스토커식 소각에 대해 설명하고자 한다. 스토커식 소각에서 운전이 직접적인 영향을 주는 인자로는 가스 유동과 폐기물 진행 방법이 있다. 로내 가스의 유동 방식에는 투입된 쓰레기와 같은 방향으로 연소가스가 흘러가는 병행류 방식과 이 두 방향이 서로 반대인 대향류방식 있으며 간혹 배출구가 로의 중간에 위치하여 병행류와 대향류가 동시에 발생하는 관계로 중간류를 정의하는 사람도 있다.

일반적으로 병행류는 쓰레기가 수분이 적고 발열량이 높아 소각이 비교적 원활한 경우 많이 사용하며 대향류는 고수분의 저발열 쓰레기 소

각에 비교적 효과적인 것으로 알려져 있으며 많은 경우의 소각로가 이 방식을 채택하고 있다.

소각로 내에 투입된 쓰레기는 건조, 연소 그리고 후연소의 과정을 거치면서 회분이 되어 로밖으로 배출되며 이때 쓰레기를 로내에서 이송시키는 것이 화격자(grade bar)이다. 화격자에는 왕복동 운동에 의해 쓰레기를 투입방향으로 역운동을 시키는 역송식, 회출방향으로 이송시키는 순송식 그리고 회전자에 의해 쓰레기의 진행을 제어하는 회전식 소각로가 있다. 선진기술사 가운데 순송식 화격자 방식을 채택하고 있는 회사로는 Von Roll, EVT, Steinmüller 그리고 일본의 Takuma 등이 있

표 8. 원본 기술사 소각로 건설 실적표

1. 국내기술도입사	삼성중공업		(주) 대우		현대중공업	
2. Plant실적 (설치장소, 용량, 가동년도 등)	세노코 (싱가포르)	Stockholm (스웨덴)	Massachu- sette(미국)	대구 (한국)	Essen-Karnap (독일)	Hempstead (미국)
	23t/h 5기 1992년	18t/h	28.4t/h 2기 1975	8.3t/h 1993년	21t/h 4기	31t/h 3기 1989
3. 대상쓰레기성상						
a. 기준발열량 [kcal/kg]	1,250-1,430	2,500	2,160	1,400	2,500	2,890
b. 발열량변동폭 [kcal/kg]	950-1,950	1,800-3,800		1,000-2,200		2,600-3,300
c. 수분[%]				38.2-46.9		0-30
4. Grate 형식명칭	역송 grate	역송 grate	순송 grate	순송 grate	Roller Grate	Roller grate
5. Grate 기본형상						
a. 열, 단의 수	13단	3열15단			6단	6단
b. 총면적[m ²]		60.0		40.15		
c. 폭(w)과 길이(l) [m]	8.5*×9.1 ¹	6.32*×9.50 ¹		3.23*×12.4 ¹	5.5*	5.5*
d. 경사도[°]	26			15	30	30
6. 가스유동방식	대향류	대향식	대향류	대향류	중간, 대향류	중간, 대향류
7. Grate 소각능력						
a. 증광부하 [kg/m ² h]	330	250-300		228	259	
b. 열부하 [Mcal/m ² h]	478	770		Max. 456	738	
c. 단위포당 처리 능력[t/m h]	2.49	2.85		2.56	3.8	

으며 역송식 화격자 방식을 채택하고 회사는 독일의 Martin사가 있다. 회전식 로각로를 건설하는 회사로는 DBA이 유일하게 있다. 이중 각 방식의 대표회사인 Von Roll, Martin 그리고 DBA에서 제작되는 화격자를 중심으로 소각방식을 설명하며 대표적인 건설실적은 표 8에 나타나 있다.

3.1 Von Roll 화격자

Von Roll은 순송식 화격자의 대표적인 회사이며 일본을 비롯한 아시아 지역에 가장 빨리 기술진출을 시도하여 소각로 건설 실적이 매우 많다. 또한 현재 세계의 여러 회사에서 제작중인 순송식 화격자의 많은 모델이 Von Roll식에 근거하고 있다. Von Roll의 대표적인 화격자는 QL-type, R-type, Q-type등이 있으며 화격자의 구동 및 형상에서 점차적인 발전을 거듭하였다. 그림 1은 Von Roll

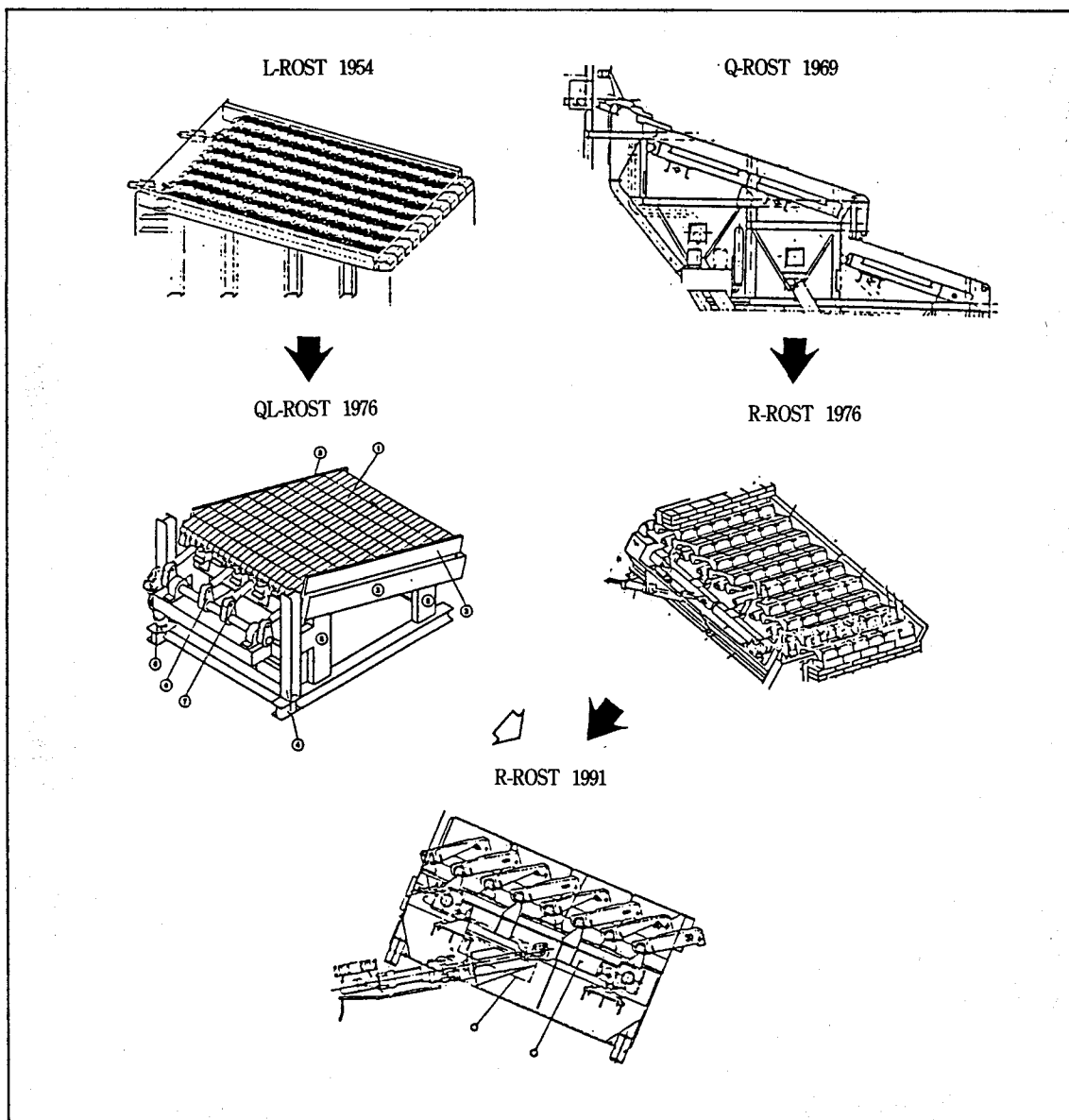


그림 1. Von Roll 순송식 화격자의 변천

화격자의 변천사를 한눈에 알아볼 수 있도록 도시한 것이다. Von Roll의 가장 대표적 고유 모델은 1976년 소개된 QL화격자 방식으로서 종 또는 횡방향 화격자가 일괄 구동하는 방식이다. 이 모델들이 1991년에는 열에 따라 가동과 고정화격자를 교대로 배치하여 제어하는 화격자가 새로이 적용되었다. 국내에도 그림 2와 같이 순송식 소각로가 현재 서울, 대구 등에서 운전되고 있다. 이들 소각로는 대부분 1980년대말 건설 또는 설계된 것으로 QL 또는 R화격자 방식을 채택하고 있다.

Von Roll식 쓰레기 소각 plant는 유럽에서는 중소규모의 건설실적이 많은 반면 일본에서는 대형소각로 건설실적이 많다. Von Roll에서 제작되는 도시폐기물 소각로에 사용되는 화격자의 길이는 대략 6에서 12m 사이이며 이 값은 폐기물의

질에 따라 달라진다.

아시아 특히 일본지역에서 발주되는 도시쓰레기 소각로에서는 grate면적을 이론계산치 보다 다소 확대 요구하는 경향이 있는데 이는 쓰레기의 질이 유럽의 것과 다소 다르기 때문이다. 이러한 문제 발생의 이유는 선진 화격자가 유럽의 고발열쓰레기에 준하여 설계된 것으로 일본의 폐기물 특성과의 차이에서 발생하는 것이다. 국내에도 Von Roll식 순송화격자 소각로의 도입이 이루어졌으나 상기 내용과 같은 검토가 이루어진 예는 아직 알려진 바가 없다. 그러나 폐기물의 질이 일본에 비해 더욱 떨어지는 국내의 사정을 고려할 때, 화상에서의 폐기물 처리에 대한 국내 운전 실상이 매우 궁금하며 앞으로 소각로 건설시에 이에 대한 정확한 판단이 요구된다.

- | | | | | | |
|----------|------------|-----------|------------|---------------|------------|
| ① 반입실 | ⑥ 건조화격자 | ⑪ 소각재냉각장치 | ⑮ 전기집진기 | ⑳ 증기복수기 | ⇨ 쓰레기흐름방향 |
| ② 쓰레기투입문 | ⑦ 연소화격자 | ⑫ 재크레인 | ⑯ 유인송풍기 | ㉑ 쓰레기 크레인 조정실 | ⇨ 재흐름방향 |
| ③ 쓰레기받기 | ⑧ 후연소화격자 | ⑬ 재받기 | ⑰ 배기가스세정탑 | ㉒ 폐수처리 실비 | ⇨ 배기가스흐름방향 |
| ④ 쓰레기크레인 | ⑨ 재낙하판 | ⑭ 압입송풍기 | ⑱ 굴뚝 | ㉓ 중앙제어실 | |
| ⑤ 투입호퍼 | ⑩ 라울링호퍼·슈트 | ⑫ 보일러 | ㉔ 중기타닌 발전기 | ㉕ 여열이용실비실 | |

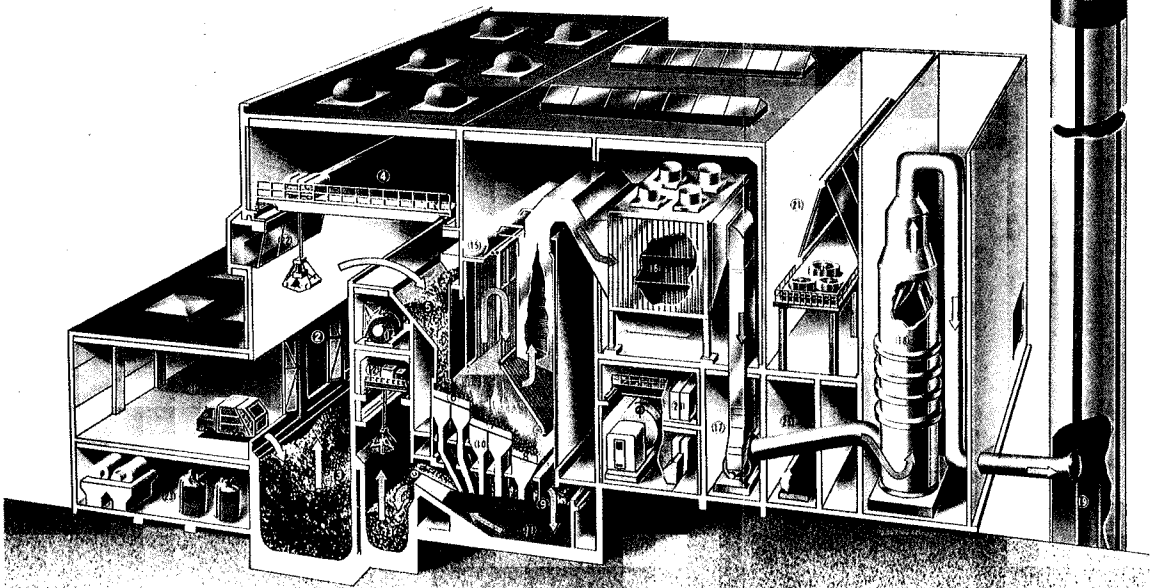


그림 2. 순송식 화격자를 사용한 소각시스템 구성도

저질쓰레기를 소각하는 방법으로는 보조 열원의 투입, 건조효율의 향상에 의한 연소활성화, 예열 공기 공급 등의 방법이 있다. 이중에 보조열원의 투입과 지나친 예열은 별도 에너지가 요구되기 때문에 수요자가 기피하는 실정이다. 소각로 회사에서는 저질쓰레기의 처리를 위해 쓰레기의 발열량 저하와 연소지연을 야기시키는 수분의 건조에 많은 신경을 쓰고 있다. 이의 방법으로는 계단구조의 화격자 형상에 건조활성화나 쓰레기끼리의 혼합활성화에 의해 연소가 이루어지기 전에 수분을 증발시키는 방법이 있다. 이중에 Von Roll은 ignition loss를 감소시키기 위하여 건조, 연소, 후연소로 영역을 분리하는 연소실 구조를 채택하고 있다.

3.2 Martin 화격자

Martin사는 그림 3과 같이 쓰레기를 하류에서 상류의 쓰레기 투입구 방향으로 역진시키는 역송식 화격자 방식으로 소각을 하는 회사이다. 역송에 의해 grate 근접부의 쓰레기가 상류와 표층부로 부상하는 2가지의 유동형태를 갖으며 이러한

mixing motion에 의해 건조 및 연소 효율을 향상시킨다고 회사는 주장하고 있다.

Martin식 소각로의 화상은 길이, 폭 그리고 형상이 서로 다른 10가지 이상의 다양한 종류의 화격자로 구성된다. Martin grate는 열에 따라서 고정과 가동화격자가 교대로 배치되어 있는데 이제까지 설치된 대부분의 소각 plant의 화격자는 총 13단 내지 17단으로 이루어져 있다. 이 단의 수는 쓰레기의 재질과 깊은 연관을 갖고 있으며 저질의 경우 단과 길이의 증가에 의해 투입쓰레기가 충분히 연소될 수 있도록 한다.

역송식 화격자는 쓰레기의 혼합에 의해 순송식의 경우 보다 화격자상에서 받는 열량이 많다. 이는 연소중인 쓰레기가 화격자 바로 상면을 따라 상류로 이동하고 혼합과정중에 화격자가 노출되어 심한 복사열을 받을 수 있기 때문이다.

소각로에서 grate bar의 역할은 쓰레기의 이송 및 고온장 또는 연소장의 형성이다. 이러한 화상을 형성하기 위해서는 공기공급이 매우 중요하며 또한 이 공기는 화격자 보호의 역할을 하게 된다. 따라서 화격자에서의 공기 유로 및 칫수 결정은 매우 중요한 것이며 설계시 고려하여야 할 사항은

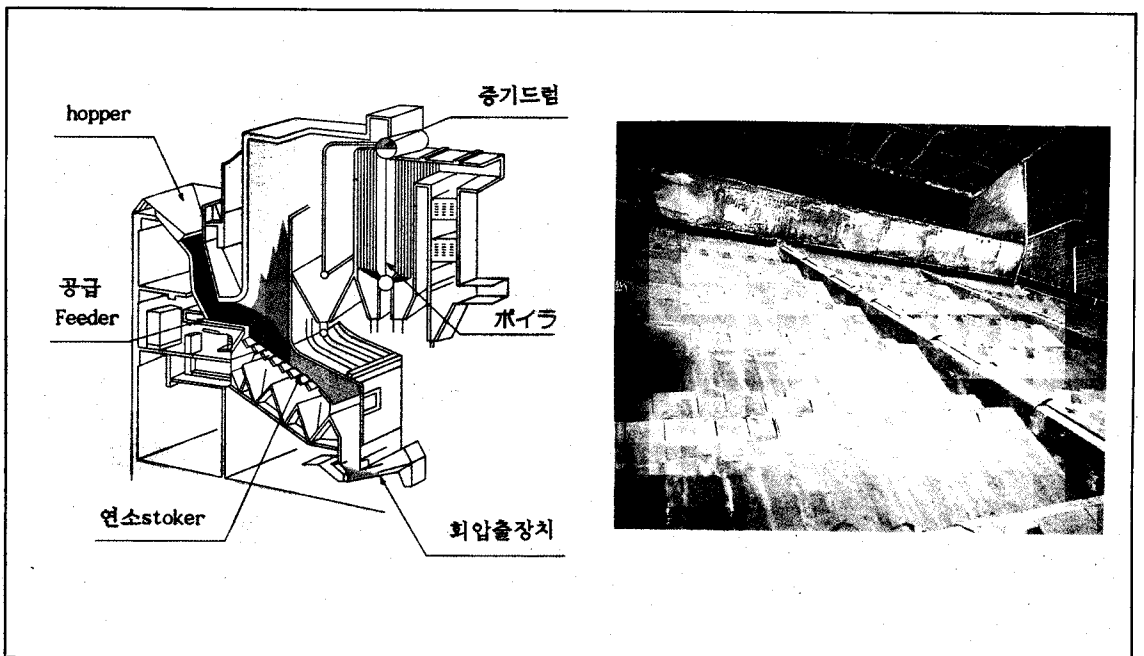


그림 3. 역송식 화격자의 형상과 소각시스템 구성도

air에 의한 grate bar의 냉각과 high resistance를 갖는 bar 구조에 의한 air의 폐기물내 균일 공급이다.

3.3 DBA 화격자

대부분의 선진소각로 제작사가 왕복동식 화격자를 채택하고 있는 반면에 DBA사는 주품목으로 그림 4와 같은 Roller에 의한 회전식 소각법을 도입하고 있다. 이 Roller는 활형태의 개별 bar의 조합으로 구성되며 조립, 체결 그리고 이와 관련된 형상의 대부분이 특허화되어 있다. 회전화격자에 의한 소각 방법은 고발열 성분의 쓰레기에 적합한 것으로 알려지고 있으며 현재 국내의 상계지구 소각로 건설에 도입될 예정이다.

Roller의 수는 5단 내지 6단, 저질과 같은 특이 조건의 경우 7단으로 하고 있으며 roller grate의 회전수는 쓰레기의 소각량, 연소상태(연소불량정도)에 따라 조절한다. 공기의 공급을 위한 grate 하부의 공기압은 약 50mmAq 내외의 저압이며 grate bar의 최고 온도가 400°C에 불과하기 때문에 사용가능 상한온도가 비교적 낮은 순수주물을 재료로 사용하고 있다.

근래 제작된 대부분의 왕복동식 화격자 소각로가 가스유동방식으로 대향류식을 채택하는 반면 roller grate type은 중간류 또는 중간류와 대향류의 중간형태를 채택하고 있다. 이는 roller 방식을 채택한 대부분의 소각로가 소각이 비교적 용이한 고발열량 쓰레기의 처리를 담당하고 있기 때문으로 생각된다.

4. 순송식과 역송식 소각로의 특성 비교

표 9는 제작사에서 소개한 자료상의 순송식과 역송식 화격자 특성을 열거하여 비교한 결과이다. 소각로 설계를 위한 폐기물의 평균발열량은 순송식이 2,000에서 2,500kcal/kg인 반면 역송식은 1,250에서 2,700kcal/kg의 다양한 평균치에 적용되었음을 알 수 있다. 이는 순송식 화격자를 이용한 소각로가 유럽, 미국을 비롯한 고발열량 쓰레기를 배출하는 지역에 주로 건설된 반면 역송 화격자 소각로는 저발열에서 고발열 쓰레기를 배출하는 지역에 다양하게 건설되어 가동되고 있음을 의미한다. 상기의 적용폐기물 비교는 2번항의 소각 대상의 발열량 범위에서도 확인할 수 있다.

소각로 내에서의 가스유동 방식은 연소상태 및

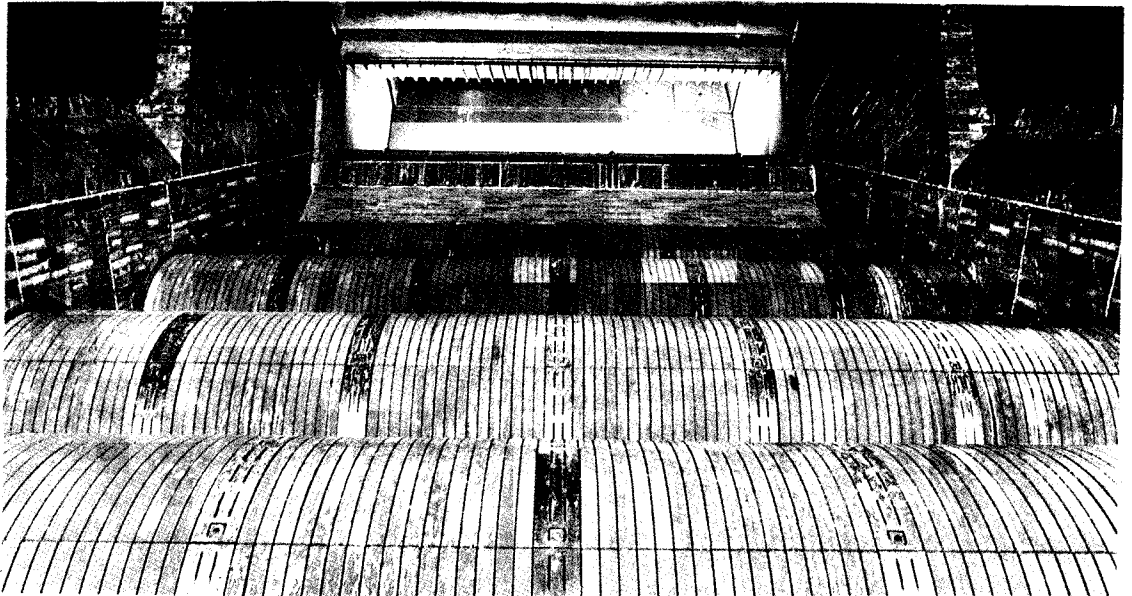


그림 4. 회전식 소각로의 내부 전경

표 9. 순송식과 역송식 소각로의 운전 특성 비교

비교내용	비교대상	순 송 식	역 송 식
1. 설계기준 발열량 [kcal/kg] : 실적기준		2,000-2,500	1,250-2,700
		-역송식 소각로의 적용범위가 방대하며 저발열쓰레기에 대한 실제 적용예가 많음.	
2. 소각 대상 쓰레기 의 발열량 범위		(실적) 1,500-3,000	950-3,800
		(회사자료) 1,400-3,300	1,000-3,000
		-회사 발표 자료에서는 범위의 폭은 거의 동일하지만 순송식이 비교적 양질의 쓰레기를 소각시킴.	
3. 가스 유동 방식		대 향 류 식	대 향 류 식
		-종래에는 병행류 또는 중간류의 가스 유동 방식을 채택한 경우가 있으나 근래에는 쓰레기의 질에 상관없이 대향류식을 plant건설에 사용하고 있음.	
4. grate의 증량부하 [kg/m ² /h] : 실적기준		270-400	250-300
		-순송식 grate의 증량부하가 역송식에 비해 다소 크다. *한국에 적용된 증량부하는 매우 작다.(대구 220)	
5. grate의 열부하 [Mcal/m ² /h]		(실적) 600-800	480-770
		(회사자료) 620-860	597-812
		-순송식이 역송식에 비해 약간 열부하가 크다 -열부하 범위의 폭은 거의 같다.	
7. 단위폭당 처리능력 [t/m/h] : 실적기준		2.0-4.3	2.5 전후
		-Von Roll과 Martin 식은 2.5전후의 값이며 기타회사의 경우 다소 높은 경우가 있다.	
8. grate의 길이 [m] : 실적기준		약 12	약 5.5~.7.5
		-기존의 실예에서 순송식은 grate의 길이가 대략 12m 그리고 역송식은 7.5m 이내로 거의 일정하다	

연소효율 그리고 공해발생 특성 등 다양한 성능을 좌우하게 되는 매우 중요한 인자이다. 과거 소각로에는 병류식 또는 중간류식 등의 가스유동방식이 적용되었으나 현재는 대향류식이 주로 적용되고 있다. 화격자에서의 증량부하 또는 열부하는 소각대상물의 성질에 따라서 많은 차이가 있으나 기존의 선진소각로에서는 위 항의 값이 거의 유사하거나 순송식이 다소 높은 것으로 나타나 있다. 이는 순송식 소각로의 처리능력이 뛰어난 의미를 의미하는 것이 아니며 앞에서 잠시 설명한 바와같이 이제까지 건설된 소각로의 대상지역에 따른 차이에서 발생하는 것이다.

화격자 총길이의 비교에서는 역송식이 7내지 9m인 반면 순송식이 12m 전후의 값을 갖는다. 이것은 역송식에 의한 쓰레기의 혼합 및 건조

그리고 여기에 필요한 열원의 하부로 부더의 공급에 의해 소각과정이 짧아질 수 있음을 의미한다. 일례로 일본에서는 동일지역에서 배출되는 거의 유사쓰레기를 처리함에 있어서 순송식은 12m의 길이에서도 소각과정이 끝나지 못하는 반면 역송식에서는 총 5.5m의 화격자 길이중 약 4m 이내에서 소각이 완료되는 사실을 확인한 바가 있다. 그러나 이러한 비교가 소각후의 회출상태, 배기가스의 상태 그리고 운전실태에 대한 검증이 이루어지지 못하였기에 성능의 차이를 나타내는 단순비교 자료는 되지 못한다.

표 10은 건조방식, 화상의 배분 그리고 비산재의 발생과 관련된 주요 문제 발생 인자 및 설계인자에 대한 검토, 분석한 결과이다. 국내 발생쓰레기에서 가장 문제가 되는 것은 고수분함유 폐기물의 건조

표 10. 기존 순송식과 역송식 소각로에서의 주요 문제점 분석

검토내용	검토대상	순 송 식	역 송 식
1. 건조방식		예열공기, 복사열, 대류열전달(대향류)	예열공기, 복사열, 전도(고온불씨), 대류열전달(대향류).
		- 근래 제작된 plant는 대량류에 의한 대류열전달 효과를 적극 이용하고 있음. - 역송식은 연소중인 고온폐기물을 건조열원으로 이용 -(금, 부정적 효과가 있음.)	
2. 영역분리		(저발열쓰레기) 건조, 연소, 후연소 분리 (고발열쓰레기) 분리없음	분리없음
		역송식: 연소영역의 열원이 건조 영역으로 전달됨으로써 건조를 빨리하고 폐기물 입자의 path를 길게하여 연소효율을 좋게함.	
3. 재의 배출 특성		체류지연과 grate길이에 의한 미연소분 배출 억제	미연소분의 연소대로의 재순환에 의한 배출억제
		- 순송식은 역송식에 비해 상대적으로 긴 길이(12m : 7m)에 의해 재의 배출 특성을 보완할 수 있다.	
4. 비산재 발생 근원		주원인: 공기의 유속, 낙차, 쓰레기 두께의 불균일	
		- 비산재 발생을 억제하기 위해서는 지나친 교반 및 낙차가 좋지 않으면 쓰레기층의 두께가 균일할수록 좋다.	
6. 연소효율 및 공해		수분이 많은 경우 건조문제로 인하여 연소효율이 떨어질 우려가 있음.	건조와 연소영역의 불확실성으로 전반적인 온도 저하가 발생될 수 있음.
		- 일반적으로 역송식의 연소실 열부하가 순송식에 비해 높고 이로 인해 역송식 소각로에서 질소산화물이 많이 배출되는 것으로 알려져 있음. - 순송식: 저발열량 쓰레기에 대해서는 연소완성을 위해서 연소시간 확대, 확장자 길이 확장을 요구하는 경향이 있음. - 역송식: 저발열량 쓰레기에는 적합하나 고발열량 쓰레기의 경우 공해 과다 발생 가능성이 높음.	

및 소각이다. 쓰레기의 소각은 건조, 착화, 연소 과정으로 이어진다. 수분이 많은 경우 착화원의 공급에도 바로 연소가 이루어지지 못하며 수분의 건조가 어느정도 이루어져 착화온도에 도달하여야 비로소 소각이 시작된다. 고발열 쓰레기를 이루는 종이 및 고분자계 물질의 함유가 많아 발열량이 높으면 건조과정이 짧을 수 있으나 국내에서와 같이 수분량이 50%에 이르는 경우에는 건조과정의 의한 소각 및 착화지연이 길다. 따라서 소각처리의 효율화를 위해서는 건조과정으로의 열원공급이 요구되며 예열공기, 복사열, 대향류에 의한 대류 열전달 그리고 연소중인 고온 폐기물로 부터의

전도 등의 효율적인 이용이 필요하다.

쓰레기가 소각될 때에는 건조, 연소, 후연소의 과정을 거치는데 화격자에서 이러한 과정을 낙차를 통해 분리하는 경우가 있다. 이는 순송식에서 저발열 쓰레기의 경우 교반효과를 이용해 소각의 활성화를 위한 것이며 역송식에서는 적용되지 않고 있다. 이러한 낙차의 크기는 일반적으로 1 내지 1.2m 정도가 되며 쓰레기가 높은 곳에서 낮은 곳으로 떨어질 때 발생하는 비산재로 인한 공해 문제를 야기시킨다. 비산재의 주원인으로는 고속 공기의 주입, 낙차 그리고 쓰레기층의 불균일성 등이 있으며 심한 교반 또는 비산재 발생을 야

기시킨다.

쓰레기 유동에서 순송식을 채택하고 있는 곳은 Von Roll, EVT, DBA, 등 여러 곳이 있으나 이들 제작사 간의 차이는 grate bar의 형상과 구동 그리고 공기 공급 방식등에서 나타날 뿐 실제 화상의 쓰레기 유동이나 연소등에서는 크게 구별되지 않는다. 이러한 순송식과 비교해서 역송식은 다소 다른 특성을 갖는다.

역송식은 mixing motion으로 설명되는 쓰레기의 역류와 들어올려지는 이중의 뒤섞임 효과가 순송식에 비해 크다. 반면에 순송식은 낙차를 이용하여 교반을 야기시키지만 이는 건조부와 연소부 그리고 연소부와 후연소부가 만나는 지점에서 이루어져 실질적으로 교반의 효과가 가장 필요한 건조에 미치는 영향은 역송식에 비해 적으리라고 사료된다. 앞에서 설명한 교반의 효과가 폐기물에 소각에 어떠한 영향을 미치는가 하는 것은 서로 상반된 다음의 두가지로 설명된다. 건조부에서는 고온 열원의 혼합에 의한 교반이 건조속도를 빨리할 수 있어 수분이 많은 쓰레기에 대해서는 효과적이다. 그러나 고품폐기물의 연소에 있어서 심한 교반이 연소 촉진에 효과적이라는 이론적 근거는 찾기 힘들다. 교반 보다는 공기의 연소대 유입을 활성화시키는 들어올림작용이 연소를 활성화시키는데는 더 나은 효과를 나타내는 것으로

사료된다.

5. 국내 도시폐기물 소각로 개발을 위한 연구 개발 동향

폐기물 소각로 개발 연구는 본래 중소기업을 중심으로 산업폐기물의 처리에 집중되었으나 도시폐기물에 의한 환경문제의 심각성과 더불어 3조원에 이르는 국내 시장의 형성에 따른 경제적인 문제가 나타나면서 이분야에 대한 관련기관 및 기업의 관심이 현재 극도로 높아져 있는 상황이다. 현재 관련규정에 의하면 도시폐기물 소각로 건설하기 위해서는 건설실적을 갖고 있어야 하지만 소각로 건설역사가 짧고 기술축적이 이루어지지 못한 현시점에는 도입 원본기술에 전적으로 의존하고 있는 실정이다. 따라서 기업 및 관련기관에서는 해당기술의 국내 자체 개발을 서두르고 있다.

소각로의 국산화에 필요한 주요 연구 대상은 화상을 형성하는 화격자 및 연소 시스템과 소각로용 보일러 그리고 집진과 탈공해를 위한 후처리 설비로서 G7기술개발사업 및 에너지·자원 관련 사업의 일환으로 국내 대기업과 출연 연구소 그리고 학교로 이루어진 산학연의 협동 연구가 현재 진행되고 있다.