

자원 리사이클형 RDF 발전시스템

김 남 하
대한전기협회 전문위원

머리말

2000년 현재 우리 나라에서는 하루에 폐기물이 20만톤 정도 발생하는데, 그 중 일반 폐기물이 5만톤, 산업폐기물이 15만톤 정도로 추정된다. 일반 폐기물은 국민 1인당 하루 1.1kg이 조금 넘어서 선진국 수준과 비슷한 것으로 알려져 있다. 일반 폐기물은 현재 8% 정도가 소각되어 80% 정도를 소각하고 있는 일본의 수준에는 훨씬 못 미치는 실정이며, 매립지 부족과 환경에 대한 영향 때문에 사회문제로 대두된 지 이미 오래다. 따라서 현재의 매립 위주의 폐기물 처분방식에서 벗어나 폐기물을 재생자원으로 이용하는 리사이클형 사회의 기반을 구축하기 위한 정책과 기술 개발이 절실히 요구된다고 하겠다. 선진국에서는 이에 대한 최선의 방법을 폐기물에 대한 재료 리사이클 시스템으로, 그것에 적절치 못한 것은 폐기물을 열에너지로 회수하는 열에너지 리사이클 시스템으로 정의하였다.

재료 리사이클은 쓰레기 분리수거 시스템의 정착으로 상당한 효과를 거두고 있으나 열에너지 리사이클 시스템은 그 방법이 다양하고 관련 기술개발이 아직은 진행중이라 할 수 있다. 선진국은 열에너지 리사이클에 대한 효율적인 수단을 「폐기물 발전」으로 규정하고 그에 대한 장기 정책을 수립하여 관련 기술개발과 산업육성을 착실히 실천하고 있다. 폐기물 소각열을 발전시스템으로 이용하는 것은,

- 화석에너지의 CO₂ 발생량을 억제하여 지구온난화 방지에 기여하고,
- 화석에너지를 대체 절감함으로써, 자원의 유효 이용에 의한 리사이클형 사회로의 전환에 중요한 역할을 한다.

이러한 배경에서 우리 나라도 1997년 말에 법률 제 5446호 “대체에너지 개발 및 이용, 보급 촉진법”을 제정하여 시행중에 있다. 여기서는 동법의 “제2조(정의) 8.

가연성 폐기물 고체연료 등을 포함한 폐기물 에너지”에 근거하여 현재 우리 나라의 폐기물 처리, 처분 시스템을 자원 재생형 리사이클 시스템으로 전환하기 위한 최선의 방법론을 “폐기물 발전시스템”으로 가정하고, 그에 관한 개요를 설명하고자 한다.

1. 폐기물

가. 폐기물의 분류

폐기물을 일반 폐기물과 방사성 폐기물로 대별하여, 그에 대하여 개략적으로 분류하면 그림 1과 같다. 방사성 폐기물은 그 특수성 때문에 국가 차원에서 특별관리를 요하며 일반 폐기물은 대체로 지방자치체 중심으로 처리되는 것이 원칙이고, 그 중에서도 특별관리를 필요로 하는 일반 폐기물은 따로 규정된 바에 따라 처리되고 있다. 사업장에서 발생하는 산업 폐기물은 사업자가 관계법규에 의거 처리하게 되어 있으므로 여기서는 일반 폐기물에서 가연물을 추출하여 처리하는 것을 범위로 하여 기술한다.

나. 폐기물 처리 현황

국내 폐기물은 '97년말 기준으로 하루에 총 19만 5000톤이 발생하였고, 그 중 생활 폐기물이 4만 8000톤, 산업 폐기물이 14만 1000톤, 특별관리 폐기물이 6,000톤 정도인 것으로 분석된다. 생활 폐기물을 1인당으로 환산하면 하루에 약 1.05kg이 배출되어, 선진국과 거의 비슷한 수준이다. 이는 '90년도 2.3kg의 절반 이하로 줄어든 수치로 쓰레기 종량제의 시행이 쓰레기 발생 감량에 크게 기여하고 있음을 보여주고 있다. 폐기물의 처리는 크게 매립, 소각, 재활용으로 대별되며, 최근까지 대부분을 매립에 의존하고 있다. 이로 인해 국토가 좁은 우리나라로서는 폐기물 매립장의 확보가 점점 더 어려워지고 있다. 폐기물의 처리방법 중 재활용(재료리사이클)이 가장 바람직한 것은 두말할 나위 없으나, 모든 폐기물을 재활용하

〈표 1〉 폐기물의 처리현황

(1997년)

구분	처리량(천톤/년)	
		매립
도시형 폐기물	소각	1,244(7.1%)
	재활용	5,076(29.1%)
	매립	12,313(36.1%)
산업 폐기물	소각	1,981(5.9%)
	재활용	19,844(58.0%)
	매립	

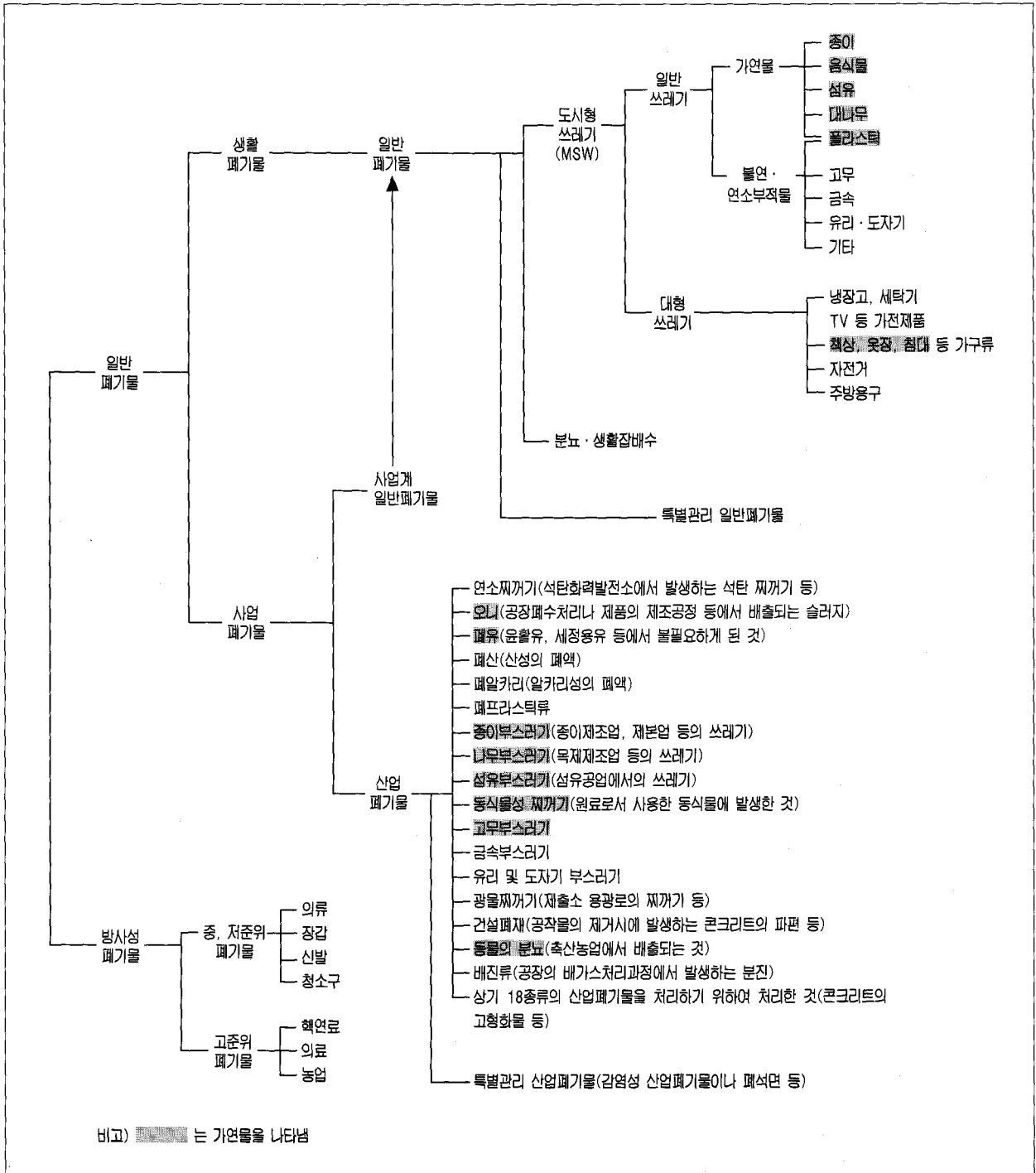
는 데에는 한계가 있다. 소각은 폐기물의 양을 줄이며, 에너지를 회수할 수 있는 장점이 있으나 2차 오염을 피할 수 없으므로 최선의 방법은 아니다. 다만 현재의 기술로는 환경영향을 최소화하고 열 에너지를 회수함으로써 열리사이클형 자원재생 사회의 구축을 위한 대안이 되고 있다.

표 1에서 볼 수 있듯이 소각률은 산업 폐기물 5.9%, 생활 폐기물 7.1% 정도로 선진국에 비하면 매우 낮은 편이다. 선진 각국의 도시형 폐기물 소각처리 비율을 보면 스위스가 79%로 가장 높고, 일본이 75%, 덴마크가 65%, 프랑스가 41% 등으로 높은 수준이다. 특히, 많은 유럽국가들이 소각 등으로 중간 처리되지 않는 쓰레기는 매립할 수 없도록 정책방향을 설정하고 있으며, 일본은 향후 건설되는 폐기물 소각시스템은 RDF 발전설비를 택하도록 하고 있다. 우리 정부에서도 2001년까지 소각률을 15%로 높이기 위하여 소각시설을 하는 지자체에 시설비의 30%를 국가 보조금으로 지원하고 있으나 구체적인 기술과 계획은 마련되어 있는 것 같지 않다.

참고로 일본의 폐기물 소각과 관련된 정책과 투자 등에 대한 내용을 표 2에 요약하였다. 이것은 일본이 폐기물 처리를 국가의 우선 정책으로 설정하여 추진하는 것을 보여주고 있으며 우리에게 시사하는 바가 크다.

다. 폐기물 소각열의 이용방법

폐기물 소각시설에서 생산되는 열에너지는 그림 2와 같이 플랜트 프로세스 가열, 시설 내·외의 목욕탕, 냉난방, 지역 열공급 등에 이용되고, 증기용으로는 1atm 이하의



〈그림 1〉 폐기물의 분류

〈표 2〉 일본의 일반폐기물시설 정비계획과 관련동향

폐기물시설 정비계획	예산규모 (억엔)	계획주요목표	법정비 등의 활동
제2차 ('67~'71)	1,330 ('69. 2 각의)		'67 도쿄도 쓰레기 전쟁 '69 도쿄도 폐기물발전 1호 완성 '70 폐기물소각법 등 공해관계 14법 공포
제3차 ('72~'75)	4,020 ('75.1 각의)	소각률 54.6% 처리량 72,673t/일 ('74)	'72 폐기물처리시설정비 긴급지침 '73 쓰레기처리·분뇨처리시설구조지침(안) '74 SO _x 총량규제 11지구 지정 '75 산업폐기물 문제 관계에 대한 전부처간 회의 실시
제4차 ('76~'80)	11,300 ('76.8 각의)	소각률 58.9% 처리량 111,039t ('78)	'77 폐기물처리시설구조지침(후생성) '77 일반폐기물처리사업에 대한 지도강화(후생성 통지) '79 제2차 석유위기
제5차 ('80~'85)	17,600 ('81.11 각의)	소각률 67.6% 처리량 110,975t ('83)	'80 워싱턴조약 발효(해양오염방지) '82 오사카만 광역임해환경정비센터(피닉스) '83 쓰레기 에너지 활용에 대한 검토위원회
제6차 ('86~'90)	19,100 ('86.11 각의)	소각률 72.8% 처리량 128,165t ('88)	'86 쓰레기처리구조지침의 개정 '88 생활환경폐기물감량 화재이용전문위 대신 '89 폐기물연구재단 설립 '90 공공투자기본계획(2000년 목표로 감량처리)
제7차 ('91~'95)	28,300 ('91.8 각의)	소각률 74.3% 처리량 137,532t ('92)	'91 순환형 사회시스템검토회, 감량목표 제언, 쓰레기발전사업 채권 대상, 쓰레기발전 제언, 재생자원이용촉진법(리사이클법), 폐기물청소 법개정(리사이클발전 추진) '95 포장용기 리사이클법

출전 : (사)일본환경위생공업회편 "일환공 30년의 발자취"

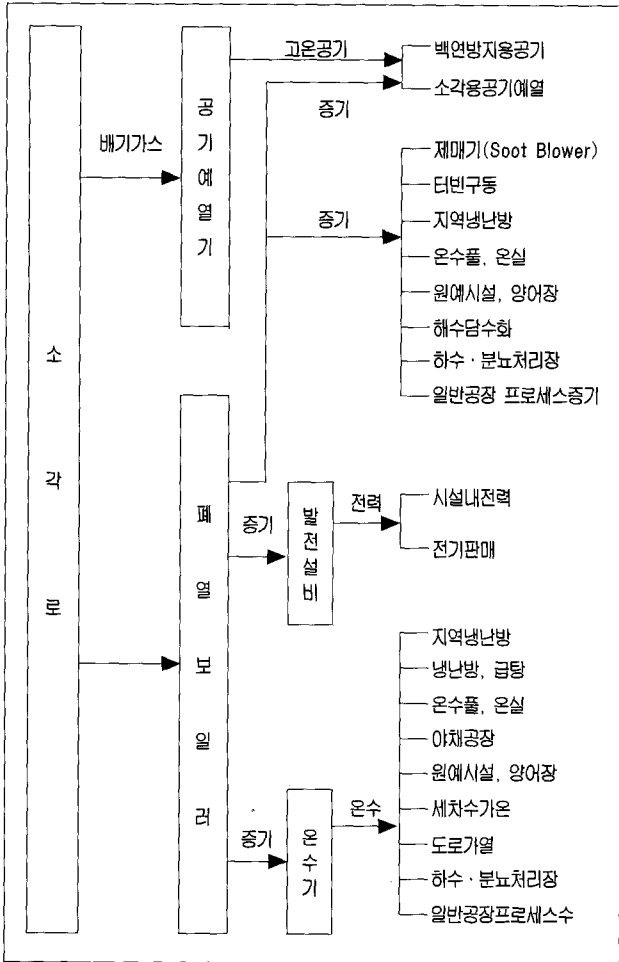
포화증기, 온수이용으로는 130°C 정도의 고온수에서 80°C 이하의 온수까지 사용되고 있다. 소각열의 유효이용은 시설부근에 대량의 열수요가 예상되는 경우는 열 및 전기공급에 의한 높은 열효율이 예상되지만, 대개의 경우 시설 내의 목욕탕이나 근접공공시설의 열 공급 정도이며, 이 열량은 회수된 소각열의 약간에 불과하다. 소각열을 적극적으로 이용하기 위한 방법은 발전방식이다. 이것은 소각열 이용규모, 이용패턴 등에 자유도가 높고, 열 이용 시설의 열 공급형태와 조합에 있어서도 대단히 효율적인 방법이다. 그림 2는 소각열의 이용방법을 대체적으로 표현한 것이다.

2. 도시형 폐기물 소각 기술

폐기물 소각의 가장 큰 장벽은 다이옥신 배출로 인한

주변의 환경오염문제이다. 현재 우리 나라의 폐기물 처리, 처분은 매립 부지의 부족과 제한된 공간에서 오는 토질 오염, 그리고 소각으로 인한 대기오염물질의 배출 등의 문제 때문에 주민들의 설치 반대가 극심하여 사회문제가 된지 오래다.

또한 설치된 소각로도 전부 외국 기술을 도입한 것인데 미국 및 유럽에 비하여 우리는 도시형 폐기물의 조성이 다르기 때문에 운전되는 소각로에서 많은 기술적 문제점이 발생하고 있다. 이와 같은 문제를 해결하는 대안이 일반 폐기물에서 가연물을 추출하여 연료를 만들어서 소각하는 RDF(Refuse-Derived Fuel : 폐기물 추출 연료) 소각 방식이다. 이 방법은 연료화 과정에서 불순물과 수분을 제거하고 첨가제를 추가하여 공해물질을 제거함으로써 저질탄 정도(4000kcal/kg)의 열량을 갖는 상당히 안정된 연료를 얻을 수 있다. 여기서는 한국기계연구원



〈그림 2〉 소각열의 이용방법

(KIMM)이 최근 한 중소기업과 공동으로 개발한 KRDF 연소를 중심으로 설명한다.

가. RDF(폐기물 추출 연료)

RDF는 폐기물에서 가연성 물질을 추출하여 연료로 만든 것을 말한다. RDF의 정의는 대체로 미국 재료시험협회(ASTM)의 표준에 따르며, 여기에서는 “표 3 RDF의 분류”에서 RDF-5의 펠렛형 연료를 말한다.

우리 나라의 폐기물 소각은 대개 RDF-1에 준한 직접 소각방식을 택하고 있는데, 앞서 설명한 대로 한국기계연

〈표 3〉 RDF의 분류(ASTM)

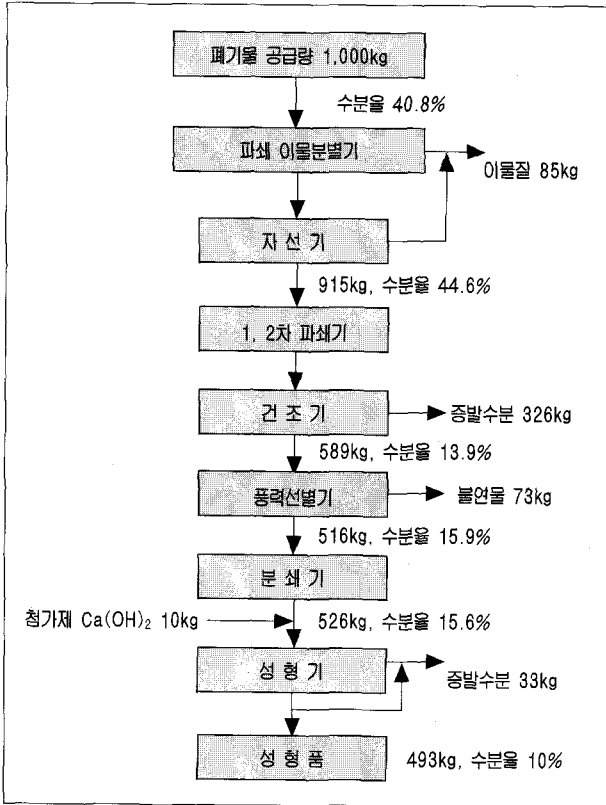
분류	제 조 방 법
RDF-1	폐기된 형태의 것을 연료로 이용하는 것
RDF-2	폐기물을 파쇄하여 6인치 스크린을 통과한 것
RDF-3	폐기물을 분쇄하여 금속, 유리, 기타의 유기물을 선별한 것으로서 2인치 메시스크린을 통과한 것(Fluff)
RDF-4	폐기물을 분쇄가공하여 10메시스크린(2mm)을 통과한 것(Powder-RDF)
RDF-5	폐기물을 분쇄한 후 펠렛, 큐브, 조개탄 모양으로 압축한 것(Densified-RDF)
RDF-6	폐기물을 액상 연료로 가공한 것
RDF-7	폐기물을 기체 연료로 가공한 것

구원이 개발한 KRDF는 RDF-5에 해당하며 그림 3에 이의 제조과정에 대한 흐름과 수지를 나타내었다. 이것은 쓰레기 분류가 비교적 잘된 폐기물 처리에 대한 수치계산이고, 포함되는 수분과 구성에 따라서 많은 차이를 보일 것으로 이해된다.

나. RDF의 특성

KRDF는 한국기계연구원이 우리 나라의 일반폐기물 조성을 기초로 하여 개발한 한국형 도시형 고체 폐기물(MSW)을 연료화한 것이다. 한국기계연구원이 KRDF의 연소시험결과를 토대로 제시한 특성은 다음과 같다.

- 쓰레기의 수분 제거 및 중화제 첨가로 인해 악취제거 및 장기보관 가능
- 성형된 RDF형상이 일정하므로 보관 및 운반이 용이
- 발열량이 저질탄과 비슷함(4000kcal/kg 이상)
- 수분의 제거(10% 이하), 가연성분 혼합의 균일, 형상 균일 등으로 인해 연소효율 높음
- 저가의 고체연료로서 기존의 연료대체 가능
- 연소효율이 높고 제조과정 중에서의 이물질 선별로 인해 연소시 유해가스 및 다이옥신 생성이 매우 낮음
- RDF 처리중에는 유해가스 등이 거의 발생하지 않음
- RDF 생산량은 쓰레기 용량의 약 50% 정도임
- RDF 연소재는 RDF의 약 10% 정도임(폐기물 감량효과 약 95%)



〈그림 3〉 KRDF의 공정도(예)

한편 폐기물을 소각하는데는 연소방법에 따라 다음과 같이 3가지의 소각로와 그 특성을 설명하였다.

(1) 스토커(Stoker)

일반폐기물, 섬유계통 폐기물의 소각에 적합한 노(爐)이다. 화격자의 종류에 따라 고정 화격자와 이동 화격자로 분류하며 폐기물이 이동하고 화격자 위에서 연소하는 것이 주이고 연소용 공기는 일반화격자의 아래에서 2차 공기를 노상부에서 불어 넣는 것도 있다.

(2) 로터리 킬른(Rotary Kiln)

사업장폐기물의 소각에 가장 널리 이용되는 것으로서 오니와 같은 발열량이 아주 낮은 것에서 플라스틱과 같이 발열량이 높은 것까지 전소 또는 혼소용으로 광범위하게

사용되고 있다. 폐기물은 노의 회전에 따라 출구 쪽으로 이동하는 과정에서 가스화, 연소 그리고 회분화되어 간다.

(3) 유동층로(Fluidized Bed Combustion)

원형 또는 각형으로 노(爐)를 만들고, 노내의 하부 회장에는 유동용 모래, 노의 상부에는 유동용 공기 노즐이 설치된다. 폐기물은 유동용 모래나 층내에 공급되는 보조 연료의 연소열을 받아서 수분의 증발 및 유기물의 분해가 일어난다. 분해된 가연성분은 모래층 상부의 공간에서 연소된다.

도시형 폐기물의 소각은 지금까지는 대개 스토커로 방법을 적용하였으나 점차 유동층 연소로를 채택하는 경향이 강한 것 같다. 유동층 연소로는 대형 화력발전소를 중심으로 아직도 기술개발이 진행중이며 지금은 대기압 유동층로(FBC)는 실용화되고 있으나 가압 유동층로(PFBC)는 실증로 정도가 개발된 것으로 알려져 있다. 각종 논문이 제시한 자료를 토대로 스토커로와 유동층로에서 배출되는 다이옥신 배출농도 현황을 개략적으로 표현하면 표 4와 같다.

한편, 폐기물을 처리하는데 있어서 매립, 직접소각·RDF 소각에 의한 방법을 환경적 측면과 에너지 측면에서 요약하여 표 5에 나타내었다.

여기서 알 수 있듯이 RDF 소각이 폐기물을 직접 매립 또는 소각하는데 비하여 여러 가지 좋은 특징을 많이 갖고 있다. 이러한 특성 때문에 일본은 1998년에 국가의 정책으로 신규 건설되는 일일 100톤 이상을 소각하는 연소로는 RDF 소각을 원칙으로 하고 기존에 설치된 연소로

〈표 4〉 연소로 방식에 의한 RDF 연소시 다이옥신 배출농도

항목	연소방식 시설	스토커식연소로		유동층식연소로	
		NO.1	NO.2	NO.1 (내부순환식)	NO.2 (외부순환식)
다이옥신의 농도	백필터 입구	15.0	11.9	4.61	0.38
	백필터 출구	0.2	0.002	0.18	0.008

〈표 5〉 폐기물 소각 방법의 특징

구분	항목	RDF 소각	직접소각	매립
환경적 측면	폐기물 처리 방법	<ul style="list-style-type: none"> 처리시 공해발생이 기준치 이하임 장기보관 및 운송이 용이 시설비가 저렴하고 유지관리가 용이 리사이클 시설로 지역 이미지 향상 주민과의 합의 용이 폐기물의 연료화에 따른 자원 절약 공공시설에의 자가 연료 공급 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 처리시 유해가스 발생 장기보관시 부패, 운송 불편 시설비가 고가이며 운반, 관리가 어려움 연소시설이므로 님비(NIMBY) 대상임 열 회수 효율이 낮음 소각로와 공공시설과의 위치에 의해 이용이 제한됨 	<ul style="list-style-type: none"> 매립지 확보가 어려움 인근 주민 집단민원 유발 매립후 위생처리 곤란 매립후 2차 공해 유발 매립지 안정화 소요기간 20년 소요 침출수에 의한 지하수 오염 강수 유출에 의한 지표수 오염
	대기 오염 특성	<ul style="list-style-type: none"> 완전연소 및 연소로내 온도관리 용이 염화수소발생 농도가 낮음 다이옥신발생 농도가 낮음 배연가스 중 수분이 적음 먼지 비산이 적음 매연발생 농도가 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> 완전연소 및 연소로내 온도관리가 어려움 염화수소발생농도가 높음 다이옥신발생농도가 높음 백연 방지 시설 필요 비산 대책 필요 집진 장치 부담이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 병원균 매개체 서식(파리, 모기 등) 종이들의 훔날림 악취, 먼지, 매립지, 분해가스, 유해가스 등 화재
	잔유물 특성	<ul style="list-style-type: none"> 연소재 잔재량이 10% 이하 중금속 용출량이 적음 중금속 염화물 생성 억제 소각재 중의 미연물 발생 적음 	<ul style="list-style-type: none"> 잔재량이 10% 이상 중금속 용출량이 많음 중금속 염화물 생성 소각재 중의 미연물 발생 많음 	<ul style="list-style-type: none"> 미관저해, 지역환경악화 소음 교통체증 매립지 바닥·사면붕괴 홍수범람
에너지 측면	연소 특성	<ul style="list-style-type: none"> 연료조성이 균일 연소가 안정 발열량 : 4,000~4,500kcal/kg 	<ul style="list-style-type: none"> 연료조성이 불균일 연소가 불안정 발열량 : 약1,500kcal/kg 	<ul style="list-style-type: none"> 매립지 가스(LFG) 추출 및 정제 시스템 연구중
	자원화 특성	<ul style="list-style-type: none"> 열에너지의 회수효율이 높음 열 이용의 범위가 넓음 필요시 필요한 장소에서의 이용가능 	<ul style="list-style-type: none"> 열에너지 회수 효율이 낮음 열이용 범위가 제한됨 중, 소형 소각로에서 열 이용은 거의 불가능 	
	건설비 및 유지 관리비	<ul style="list-style-type: none"> 시설비가 저가 공해방지 시설비가 저가 대형소각시설과 비교하여 운전관리비가 다소 낮다 	<ul style="list-style-type: none"> 시설비 고가 공해방지 시설의 고가 종합적인 운전관리비가 RDF보다 높다 	

를 개량할 때도 RDF 연소방식을 채택하도록 하고 있는 것으로 알려졌다.

3. 발전기술과 폐기물 발전

가. 발전기술

에너지는 경제사회활동에 빠질 수 없는 필수 재화라고 하는 점과 그것의 편재성, 개발, 생산에 요하는 장기의 리드타임, 최종 재화 혹은 서비스를 산출하는 특성을 갖고 있는 점 등에서 통상의 재화와는 크게 다른 측면을 갖고 있다.

에너지는 석유, 석탄, 천연가스 등의 화석에너지를 1차 에너지로 분류한다. 이 1차 에너지는 원유를 정제하

여 얻을 수 있는 각종 석유제품과 석탄, 중유, LNG 등을 연소하여 얻을 수 있는 전력 등의 2차 에너지로 구분한다. 최종 에너지란 최종 소비자의 사용목적에 인도된 것을 말하며 대체로 2차 에너지가 주류이지만 석탄과 같이 1차 에너지 그대로 최종 에너지로 소비되는 경우도 있다. 에너지 시스템이라 함은 에너지의 원천(1차 에너지)에서 최종 수요단(2차 에너지)에 이르는 수요, 공급 시스템 전체를 나타내는 말이다. 또한 1차 에너지를 2차 에너지의 형태로 바꾸는 기술을 전환 혹은 변환 기술이라 부르며 전력의 대부분이 대형 발전소에서 집중적으로 변환이 이루어지고 있다. 발전소는 이용하는 원천에 따라서 수력, 석탄, 석유, LNG, 원자력 등으로 불리우며 현재까지 실용화된 대표적인 발전기술의 형태는 표 6과 같다.

〈표 6〉 대표적인 발전 시스템

1차 에너지	발전 시스템	
석탄	-미분탄 -COM(Oil)/CWM(Water)	-가압유동층(PFBC) -석탄가스화 복합(IGCC)
석유	-중질유 -오리멸전(인조석유)	
액화천연가스 (LNG)	-LNG 복합 사이클 -LNG 냉열	
원자력	-열중성자로 -고속중성자로	
재생가능 에너지 (Renewable)	-수력 -지열 -풍력	-태양 -해양 -바이오매스
폐기물에너지	-직접소각 -수퍼 폐기물(LNG 복합) -RDF	
연료전지	-인산형(PAFC) -융융탄산염형(MCFC)	-고체 전해질형(SOFC) -고체 고분자형(PEFC)
전기-열병합 발전 (Cogeneration)	-전기 -증기	-온수(난방) -냉수(냉방)

나. 폐기물 발전의 의의

대체에너지란 용어는 1970년대에 2차례의 오일쇼크를 겪으면서 사용되기 시작하였으며 석유를 대체할 수 있는 에너지의 의미를 지닌다. 이것은 수력, 석탄, LNG, 원자력 등 재래형 에너지와 태양, 풍력, 해양 등의 재생가능 에너지 그리고 폐기물 에너지, 직접발전 방식인 연료 전지 등 석유 이외의 모든 에너지를 가리킨다. 그러나 우리나라는 1997년에 공포된 “대체 에너지 개발 이용, 보급 촉진법”에서 “대체 에너지”라 함은 석유·석탄·원자력·천연가스가 아닌 에너지로 정의하였다. 따라서 폐기물 에너지는 대체 에너지의 특정분야로 정의된다. 폐기물 발전은 폐기물 에너지 활용의 한 방법론이며 화석연료의 사용을 억제하고 CO₂ 발생을 억제하는 리사이클링 에너지를 말하며, 도시지역을 입지로 하는 분산형 전원으로 활용함으로써 지역사회 에너지센터의 역할을 담당하기 때문에 지구환경문제, 에너지문제, 사회의 친화력(Amenity) 향상에 공헌하는 것으로 사용목적에

따라 기여도가 다양각색이다.

○리사이클링 에너지

매년 증가하고 있는 폐기물의 처리, 처분에 관한 문제의 해결방법으로 폐기물의 재이용 또는 재자원화를 도모하는 한편 폐기물의 발생량, 처분량을 감소시키는 것을 대안으로 하고 있다. 이들의 재이용, 재자원화를 철저하게 이행하는 데는 많은 시간을 필요로 하며, 그것에 적합하지 않은 것은 소각처리하여 감용화를 하는 것이 일반적인 추세이다. 폐기물의 소각처리에서 소각열을 유효 이용하는 것은, 자원을 열적으로 재이용하며 화석연료의 사용을 억제하는 것이 되므로 자원 절약에 기여하게 될 것이다. 또한 소각처리하고 있는 폐기물의 소각열을 에너지로 이용하여도 CO₂를 증가시키는 요인이 되지 않는 기 때문에 지구환경 대책에도 바람직한 에너지라고 말할 수 있다.

○도시입지형 분산형 전원

일반적으로 발전소는 주로 전력 수요지에서 먼 거리에 위치하는 것이 많은데 비하여, 폐기물 소각시설은 도시 또는 그 주변에 설치되기 때문에 전력회사의 일반발전소에 비하여 규모는 작지만 전력 수요지에 직결되는 전원이 되므로 송전손실이 극히 적은 전원이 된다. 소각시설에 의한 발전도 연소안전제어, 증기량제어 등의 기술 향상으로 전원으로서의 신뢰성도 향상되고 전기사업법의 개정으로 인한 전기사업의 신규참여의 확대와 자율안전체제 등의 규제완화로 향후 분산형 전원으로 기본자리 매김을 할 수 있을 것으로 기대된다.

○지역사회의 에너지 센터

발전과 병행하여 인접한 지역의 온수 풀, 복지센터 등 공공시설에의 온수, 증기공급이 이루어지고 있지만 나아가서 주변지역의 열공급 즉, 지역 냉·난방, 식물원 등 농업용 온실 등 장외용도 적극적으로 추진하여 주민복지의 향상에 기여할 수 있다.

다. 폐기물 직접소각 발전과 RDF 소각발전의 차이

일반 폐기물의 소각에서 발생한 열을 이용하여 발전을 하는데 있어 우선적으로 제약을 받는 것이 사회적 요건이

다. 폐기물 발전소 주변의 쓰레기 적치장에서 발생하는 악취, 먼지, 교통혼잡과 연소시 다이옥신류, 유황화합물, 질소화합물의 배출로 인한 인근지역의 공기오염, 환경협오시설의 건설에 대한 주민들의 거부반응 등 여러 가지

〈표 7〉 폐기물 직접 소각발전과 RDF 소각발전의 차이점

항 목	RDF 소각시스템	폐기물 소각시스템
처리흐름도		
에너지	<ul style="list-style-type: none"> • 입지조건, 규모에 관계없이 RDF화하여 언제, 어디서든 이용 가능 • 발열량, 형상이 거의 균일하고, 연료특성, 임시저장, 수송, 취급이 우수 • 발전단 효율이 20~30% 정도로 높음 	<ul style="list-style-type: none"> • 중소규모시설로 지역내의 온수 이용 정도 • 전력회수가 가능하나 발전단 효율이 10~15% 정도이고, 대규모(200t/일 이상)시설에 한함
환경	<ul style="list-style-type: none"> • 건조, 탈취용으로 등유를 사용해서 배기가스의 처리가 쉬움 • 폐기물 오수를 건조로에서 처리하기 위한 열원이 필요 • RDF 이용시설에는 쓰레기 소각시설과 동등 이상의 환경오염 방지 설비가 필요 • 다이옥신류의 발생억제 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 고도의 배기가스 처리대책이 필요 • 폐기물 오수는 소각로의 열을 이용하여 증발처리할 수 있음 • 배기가스 성상이 수시로 변하기 때문에 배기가스 대책의 고도화가 필요함 • 다이옥신류의 발생량이 많고 대응이 곤란
찌꺼기	<ul style="list-style-type: none"> • RDF 공정에서 불연물 등의 찌꺼기가 발생(1~8%)하여 적정처분이 필요 • 석회를 첨가하기 때문에 첨가량에 의해서 회분이 많이 발생할 수도 있음 • RDF 연소찌꺼기는 직접소각회보다도 적고 깨끗함(8~25%) 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물량의 약 10~20% 정도이며 소각로의 형식에 따라 차이가 있음 • 선별 공정이 없기 때문에 찌꺼기나 먼지의 성상이 나쁨
유지관리	<ul style="list-style-type: none"> • 고온부가 없어 손상이 적고(600℃ 이하) 설비 수명이 김 • 고장시의 점검, 보수가 쉽고 기간이 짧음 • 건조용 연료를 (등유, 중유) 필요로 함 • 가동시간이나 가동률을 운영관리체제에 기초하여 설정할 수 있음 • 부적물의 처리가 필요 • 페플라스틱이 혼입되어도 지장 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 고온부가 많아서 화로나 굴뚝의 손상과 마모가 심하고 화로의 수명이 짧음 • 화로의 정비보수가 2~4주 정도로 김다 • 처리능력 가동시간 가동률 운영체제가 규정되어 있음 • 가연성 폐기물의 처리가 쉬움 • 페플라스틱의 다량 혼입은 지장 있음
건축구조물	<ul style="list-style-type: none"> • 건조, 탈취 열풍용으로 등유를 사용하며 배기가스량이 적어서 깨끗함 • 굴뚝은 소구경이고 높이가 낮음 • 배치정도에 따라 다르지만 적재하중이 지반의 강도가 적어도 됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 배기가스량이 많고 대기오염 배출물질이 많기 때문에 확산회석을 위하여 굴뚝을 높여야 됨 • 화로구조에 따라 다르지만 적재하중이 크기 때문에 지반강도가 커야 됨
사회적	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물 순환형 이행에 적합 • 배기가스 등에 문제가 없어 지방자치체 동의를 얻기가 쉽고 입지조건도 완화됨 • 폐기물의 감량, 분리, 재생 등을 철저히 하기가 쉬움 	<ul style="list-style-type: none"> • 방대한 비용과 노력을 들여서 간단히 태우는데 지나지 않음 • 배기가스 문제 때문에 지방자치체의 동의를 얻기가 어렵고 건설이 곤란 • 폐기물 처리에 대한 관심이 높을 뿐 주민의 반대로 추진이 어려움

난관에 부딪히게 된다. 이것은 소각에서 발생하는 열을 가정 또는 공공시설에 공급하는데 열손실을 최소화하기 위하여는 불가피한 선택이다. 따라서, 그 지역에서 필요로 하는 열에너지를 공급하고 남은 에너지로 발전을 하여 재생에너지의 이용을 극대화하려는 것이 폐기물 발전의 취지이다. RDF 발전은 폐기물을 직접 소각하는 것이 아니다. 폐기물을 RDF 공정에 의한 신중연료로 제조하여 연소시킴으로써 인근지역의 공기오염, 환경오염 등을 규제치 이하로 줄일 수 있고 주민의 거부반응을 완화시킬 수 있어서 사회적 제약요건을 배제할 수 있다. 표 7은 일반 폐기물의 직접 소각에 의한 발전과 RDF 소각 발전에 의한 장단점을 요약한 것이다.

과 증기압력을 가지고 있다. 그러나 상계소각장의 경우 발생하는 증기온도와 압력이 다른 소각로에 비해 두 배 가량 높은 것을 볼 수 있다. 성남소각장의 경우에는 폐열 회수 보일러를 쓰지 않기 때문에 증기발생이 없다. 증기 발생량을 폐기물 처리용량 비율로 살펴보면 폐기물 1톤 당 대략 3.0~3.5톤 정도의 증기가 발생하고 있음을 알 수 있다.

소각열 회수율에 영향을 끼치는 인자는 가스측의 경우 연소실 출구온도, 보일러 출구온도, 보일러 효율 등이다. 대부분의 소각장들이 75% 정도의 열회수율을 나타내고 있으며 이 값들은 설계값들이고 실제로는 보일러 효율에 있어서 보일러의 관리상태에 따라 차이가 나기 때문에 실제 회수율은 이보다 다소 낮을 것으로 생각된다.

소각로들의 증기이용 현황 및 터빈을 이용한 발전기 출력을 살펴보면 표 8과 같다. 목동과 상계동이 열병합의 효율적인 발전소로 보이고, 나머지는 소내전력 정도 커버하고 있으므로, 열이용 극대화 측면에서 적합성과 효율성을 재검토하면 개선방안이 도출될 것으로 보인다.

4. 국내 폐기물 발전의 현황과 향후 방향

가. 국내 소각로의 폐열 이용 현황

국내 소각로의 폐열회수 및 이용 현황을 표 8에 나타내었다. 대부분의 소각로들이 대체로 비슷한 증기발생량

〈표 8〉 국내 소각로의 폐열회수 및 이용현황

소각장명	처리용량 (ton/day)	설비 이용률 (79.5%)	방식	증 기					터빈출력 (kW)	비 고
				발생량 (용량대비, ton/hr)	온도 (°C)	압력 (kg/cm ² g)	증기사용처			
							지역난방	발 전		
고양 일산	300	77.6	스토커	40(3.20)	203	16.0	○			
서울 목동	200×2	64.2	스토커	25.9(3.11)	197.4	14.0	○	○	30,000	열병합
서울 상계	400×2	52.1	스토커	41.4(2.48)	400	41	○	○	37,000	열병합
부천 중동	200	79.5	스토커	27(3.24)	203	16	○			
안양 평촌	200	84.9	스토커	25.7(3.08)	207	17.3	○			
경기 성남	50×2	74.7	유동층				-	-		증기발생 無
대구 성서	200	83.3	스토커	27.6(3.31)	203	16	○	○	700	소내전력
경남 창원	200	90.0	스토커	26(3.12)	220	20	○	○	1,100	소내전력
부산 다대	200	72.5	스토커	26.7(3.20)	203	16	○	○	700	소내전력
부산 해운대	200×2	83.8	스토커	30.2(3.62)	203	16	○			

(주) 이 용 률 : 연간 실제 폐기물 처리실적/가동을 100%에서의 폐기물 처리량(1996년)
용량대비 : 폐기물 1톤당 발생하는 증기량

나. 폐기를 발전 잠재력(Potential)

2010년까지 우리 나라의 일반 폐기물 소각률을 일본의 수준인 80%까지 끌어올리려면 연간 1500만톤을 소각할 수 있는 시설을 갖추어야 한다. 이것은 현재 연간 150만톤 소각시설의 10배에 달하는 양이다.

100만kW 용량의 석탄 화력발전소의 석탄소요량을 연간 200만톤으로 볼 때 발열량을 석탄의 40%, 발전효율을 석탄화력의 50% 정도로 감안하면 150만kW의 폐기물 발전시설을 건설할 수가 있다.

OECD의 IEA(International Energy Agency) 자료에 의하면 순수 일반 폐기물 발전소 건설 단가는 5,000\$/kW라고 제시하고 있으므로 총량 규모 75억불, 약 9조원 규모의 시장이다.

그러나 여기에는 고려해야 할 사항도 많다.

첫째로 폐기물 발전소의 건설단가 계산방식에 따라 큰 차이가 있다. 상기의 가정치는 폐기물을 수집하여 적치한 장소에서 전기 에너지를 회수하는 전체과정을 포함시킨 값이다. 일본의 신에너지개발기구(NEDO)는 이 과정의 구성률을 대략 건축설비 40%, 소각설비 45%, 발전설비 15%로 제시하고 있다. 폐기물발전소 건설비용의 85%는 국가 또는 지방자치단체가 환경문제와 열에너지 회수 측면에서 의무적으로 해결하여야 할 문제이므로 여기서는 발전설비 건설단가는 15%만 계산한 것이다.

즉 여름에 전기 또는 냉방용으로 겨울에는 증기 또는 온수 생산을 하는 열병합 시스템(Cogeneration)을 갖추는 열에너지 이용의 극대화 측면에서 접근하여야 할 것이다. 기존의 폐기물 소각 시설에 대한 발전설비의 추가와 향후 건설되는 폐기물 소각시설은 열, 전기 병합 발전소의 건설을 의무화하는 정책적 배려가 있어야 지구 온난화 주범인 CO₂ 감축에 기여하고, 연간 300만톤 석탄 대체 효과도 거둘 수 있다.

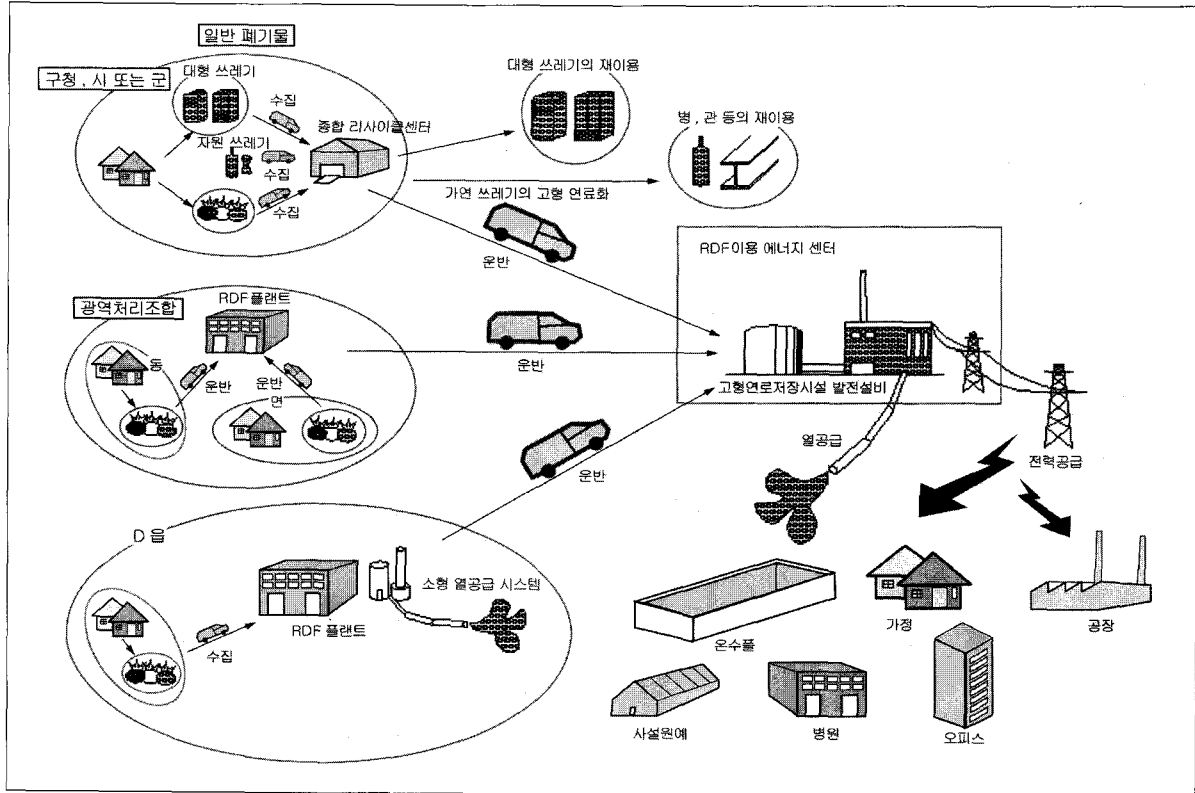
폐기물 발전소는 수요지의 위치에 따라 500kW~5만 kW 정도로 그 용도가 아주 다양하다. 연간 10만톤을 소각하는 폐기물 발전소를 150기 건설하는 프로젝트이며, 발전소 종업원을 30명 정도 계상하면 4,500명의 고용창출효과가 예상된다.

일반 폐기물 처리를 자원 재생 리사이클형 사회 구축에 목표를 두고 최근의 기술을 접목한 것이 RDF 소각 발전 시스템이며 이에 대한 개념을 구체화한 것이 그림 4이다.

5. 결론

우리 나라에서 일반 폐기물을 효율적으로 처리하는 최선의 대안은 RDF 발전 시스템이라는 결론을 얻었으며 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 일반 폐기물은 선진국 특히 생활문화가 비슷한 일본에 비하여 우리 나라는 폐기물 에너지 회수에 대한 구체적인 정책과 기술개발 계획이 수립되어 있지 않다.
- 산업 폐기물 에너지 이용기술은 관련산업체가 선진국의 기술을 도입 및 응용할 수 있는데에 반하여 일반폐기물 에너지 이용기술은 지방기초단체가 주관하여야 하지만 그것을 계획 및 건설하여야 할 구체적인 자료가 없다.
- 일반 폐기물 발전소 건설은 지방자치체의 산업, 문화, 인구분포 등의 구체적인 통계자료를 근거로 계획 및 시행되어야 한다.
- 해당 지방자치체의 통계자료에 맞는 열에너지 회수 정책을 수립할 수 있는 폐기물 발전시스템 설계 전문업체를 육성하여야 한다.
- 폐기물 발전용 재료, 보일러, 터빈, 발전기 등을 생산하는 산업체 육성과 기기표준화를 통하여 관련기술을 개발 및 보급하여 국산화를 증진하고 건설단가를 낮추어야 한다.



〈그림 4〉 RDF 열병합발전 시스템구축 개념도

- 일반 폐기물은 RDF를 만들어서 소각하는 것이 선진국의 기본 정책이며 우리 나라도 한국형 RDF가 이미 개발되어 실증시험까지 마쳤다.
- KRDF를 소비시킬 수 있는 최선의 기술이 KRDF 소각 발전소 건설이며, 이를 위한 구체적인 정책과 방

법론 결정이 시급히 요구된다. 이상의 내용을 구체화할 수 있는 관·학·산의 리더십과 유대관계를 돈독히 할 수 있는 조직의 구성을 제안하며, 장기적인 안목에서 구체적인 계획의 수립과 시행에 대한 정책적 배려를 건의한다.

참고문헌

1. 김남하 "폐기물 발전의 현황과 전망" 전력기술, 한국전력기술(주), 1998. 여름호
2. 김석준 "폐기물 소각기술의 현황과 전망" 기계저널, 대한기계학회, 2000. 7월호
3. 최연석 외 4명 "도시폐기물 고품 연료화장치 개발" 한국폐기물학회 제16권 제6호 별책, 1999. 9
4. 최상민 "국내폐기물 소각 시설의 폐열 회수 현황 및 평가" 첨단 환경기술, 1998. 6
5. 편집부 번역 "폐기물 처리와 소각 발전기술(1)", 첨단환경기술, 1998. 6. 특집호
6. 통상산업부 "에너지기술개발 10개년 계획", 1997. 1
7. 에너지관리공단 "1999년도 신·재생에너지 관련자료집", 2000. 5
8. "폐기물 발전 도입 기본 매뉴얼", 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO), 1996. 3 Tokyo, Japan
9. 해외전력조사회 "해외 신에너지의 현상과 과제에 대해서", 전기협회잡지, 일본전기협회, 1999. 11월 및 12월호