

## 대체에너지로서의 RDF의 발전 잠재력



최갑석

(KIMM 열유체환경연구부)

- '64 - '72 한양대학교 기계공학과(학사)
- '78 - '80 인하대학교 기계공학과(석사)
- '81 - '87 충남대학교 기계공학과(박사)
- '72 - '74 인천제철(주) 사원
- '74 - '76 한국과학기술연구소 연구원
- '76 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



최연석

(KIMM 열유체환경연구부)

- '77 - '84 부산대학교 화학기계과(학사)
- '91 - '92 부산대학교 화학공학과(석사)
- '84 - '85 현대정공(주)
- '86 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



김석준

(KIMM 열유체환경연구부)

- '72 - '76 서울대학교 공과대학 기계공학과(학사)
- '82 - '85 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '88 - '93 한국과학기술원 기계공학과(박사)
- '80 - 현재 한국기계연구원 책임연구원, 부장

### 1. 서론

전세계 화석에너지의 매장량은 석유 40년, 천연가스 60년, 석탄 330년으로 추정되고 있는 가운데 에너지 소모량의 증가로 인한 에너지확보 문제는 나날이 심각해가고 있다. 특히, 산업구조가 에너지 다소비 구조로 되어있는 우리나라는 OPEC을 중심으로 한 산유국들의 고유가정책에 대응하기 위한 에너지원의 다양화 대책이 시급한 실정이다. 즉 에너지절약과 더불어 새로운 대체에너지의 개발확보가 시급한 현안으로 대두되어왔다.

우리 나라의 대체에너지 비율은 2000년 현재 1.04%로서 OECD국가의 약 4%에 비해 낮은 편으로 정부는 2%달성시기를 당초의 2006년에서 2003년으로 앞당기는 목표를 수립하였다. 현재 국내 총 대체에너지의 90%이상을 폐기물에너지가 차지하고 있어, 폐기물이 대체에너지량에 많은 기여를 하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 이것은 활용가능한 전체 폐기물에너지의 20%이하로 추정되고 있어, 폐기물에너지의 적극적인 활용여부가 대체에너지정책의 성공에 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 한편, 폐기물은 처리의 측면에서 환경문제와도 직접적으로 관계되므로 반드시 '친환경적 폐기물에너지 회수'가 가능한 기술을 개발하여 보급하는 것이 필요하다. 이와 같은 요구사항에 적합한 기술로서 폐기물을 가공하여 석탄과 비슷한 고체연료로 만든 폐기물고형연료(Refuse Derived Fuel, 이하 RDF)가 선진국에서는 많이 사용되고 있다.

본 연구는 RDF 및 RDF발전기술에 관한 국내

의 현황을 조사분석하고 RDF에 의한 에너지를 화력발전소에 이용하여 전력을 생산 할 경우 환경을 고려한 RDF의 발전 에너지 포텐셜에 대한 검토를 소개한 것이다.

## 2. RDF 와 그 특성

### 2.1 RDF의 특성

RDF란 쓰레기의 약 50%를 차지하는 수분을 건조시키고 압축 성형하여 만든 고품연료로서 단위 중량당 발열량이 쓰레기에 비해 높고 안정 연소가 가능하다. 제조과정중 폐기물중의 금속류나 불연물질이 제거되기 때문에 안정연소가 가능하고 다이옥신 발생도 저감시킬 수 있는 연료이다. 특히 비교적 작은 중소 도시에서는 쓰레기 소각로가 대형화 될 수 없기 때문에 소각로 운전이 연속적이지 못하여 연소조건이 변화되는 현상으로 유해물질과 다이옥신의 배출가능성이 높은 특성을 가지게 된다. 이러한 중소 도시에서는 RDF의 장점을 최대한 활용할 수 있게 된다.

RDF의 특성은 에너지 및 환경의 두가지 측면에서 살펴 볼 수 있는데 에너지특성은 경제성과 관계가 있으며 크게 보아 에너지자원 측면과 건설 및 유지관리비 측면으로 나눌 수 있고 환경 특성으로는 폐기물처리측면, 대기오염측면, 기타 잔류물 특성 측면으로 나눌 수 있다.

에너지 측면에서의 RDF특성은 RDF를 연소시켜 열에너지를 회수함으로써 에너지자원을 얻게 되는데 이와 관련시켜 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

#### (1) 연소 및 자원화 특성

- RDF는 연소가 안정적이다. 제조과정에서 불연물이 미리 제거되고, 작게 파쇄된 다음에 혼합, 압축, 성형되므로 가연성분의 조성이 균일하고 함수율은 10%이하가 되므로 생활폐기물RDF의 경우 발열량이 약 3,500~4,500Kcal/Kg 정도

의 연료가 된다. 발열량이 일정하므로 연소에 필요한 공기량이 일정하고 연료의 모양이 거의 일정하므로 열전도도 균일하다. 또한 RDF는 열회수를 목적으로 한 전용보일러를 이용함으로써 열회수 효율을 높일 수 있다.

- RDF는 열이용의 범위가 넓다. 즉, RDF의 운반, 보관이 용이하고 필요한 장소와 필요한 시기에 열이용이 가능하며 열이용의 형태에 적합한 전용 보일러를 선택함에 따라서 열이용 범위를 넓힐 수 있다. RDF의 사용사례는 다음과 같다.

- 학교, 호텔, 병원, 사무실등의 냉난방 및 급탕
- 화초, 야채, 과일등의 하우스난방
- 청소업 및 식품업의 급탕
- 제지공장, 시멘트제조업, 석회제조업, 제철소의 보조연료
- RDF전용 발전 및 석탄혼소 발전 연료

- 중소 지방자치단체에 설치된 중소형소각로는 배출되는 폐기물의 발생량이 한정 되어 있으므로 연속운전이 어렵고, 따라서 지속적이고 안정적인 에너지공급을 할 수 없으므로 실질적으로 폐열의 이용은 거의 불가능하다. 반면에 RDF는 아무리 소량의 폐기물이라도 고품연료화해서 필요시, 필요한 장소에서 연료자원으로 사용이 가능하다.

#### (2) 건설비 및 유지관리비

- RDF시설은 인력선별공정, 파쇄선별공정, 건조공정 및 압축성형공정으로 구성 되는데 이 중 연소설비는 건조용 열풍발생로 뿐이고 또한 배연가스중의 대기오염 물질의 농도가 낮기 때문에 고도의 공해방지 설비가 필요하지 않다. 또한 설비도 단순하고 비교적 소형이기 때문에 건물도 작고, 기계설비 등도 저렴하다. 그런데, 폐기물처리의 관점에서 보면 RDF를 연소시켜야만 비로소 폐기물처리가 완료되는 것이므로 RDF전용 보일러의 건설비도 고려해야 하지만, RDF보일러는 열을 발생하는 생산시설로 설치비

는 RDF가격이 저렴하므로 경제성이 충분하며 규모가 클수록 경제성은 증가한다.

- 기존의 석탄보일러를 이용하거나 집단난방이나 발전소와 같은 대형 RDF사용 시설을 건설해서 여러 곳에서 만들어진 RDF를 일괄 처리하는 광역화정책으로 운전비용 및 유지관리비용을 낮출 수 있다.

환경적 측면에서의 RDF특성은 폐기물처리와 대기오염 및 지구온난화가스 발생 억제이며 다음과 같이 요약된다.

### (1) 폐기물처리 측면

- RDF제조과정에서 다이옥신과 같은 유해가스나 소각재 등이 전혀 발생하지 않으므로 RDF시설의 건설에 있어서 주민의 동의를 구하기 쉽다.  
- 소각처리 시설에 비교해서 건설비가 저렴하고 유지관리가 용이하다.

### (2) 대기오염 측면

- RDF와 관련된 대기오염문제는 RDF 사용처의 연소로에서 배출되는 gas와 관계되는데 RDF는 중화제가 첨가되어 있으며 균질한 성상의 안정된 연료이므로 대기오염물질의 배출량은 일반 소각과 비교해서 크게 감소한다.  
- 발열량의 변동이 적으므로 완전연소(CO농도: 100ppm이하) 및 연소로 내 온도의 관리가 용이하다.  
- 염화수소 발생농도가 낮다. 염화비닐수지 등 유기염소재질의 대형 제품이 고형 연료화의 인력선별 공정에서 대부분 제거되고, 또한 소석회를 첨가시키므로 발생농도가 낮다.  
- 다이옥신의 발생농도가 낮다.  
- 연료중의 수분이 10%이하이므로 배연가스 중의 수분이 적어서 백연방지의 대책이 필요 없다.  
- 일반적으로 중금속류의 염화물은 증기압이 높아 휘발하기 쉽다. 고형연료화 공정에서 대

형의 염화비닐류가 제거되고 소석회도 첨가되므로 중금속류의 염화물이 적게 생성되므로 비산이 적다.

### (3) 기타 특성

- 폐기물을 연료화하여 발전에 사용됨으로써, 발전에 필요한 에너지 사용량에 해당하는 이산화탄소량을 절감시킬 수 있다.  
- 연소재는 불연물이 미리 제거되므로 잔재량이 10%이하가 되며 또 비산재의 발생량도 고형화된 연료이기 때문에 적게 발생한다.  
- 연소재 속에 중금속의 용출량이 적고 비산재에는 염소계 플라스틱제거를 위한 소석회 등이 첨가되어 있으므로 휘산하기 쉬운 중금속 염화물의 생성을 억제하는 것이 가능하다.  
- 완전연소를 하기 때문에 소각재중의 미연분이 매우 적다.

## 2.2 일본RDF 현황

일본의 RDF기술은 1973년경 도입되었지만, 1980년대 후반에 소각로다이옥신배출문제가 커다란 사회적 문제로 대두되었고, 후생성의 소각로 다이옥신배출 실태조사 결과 규모가 작고 연속운전을 하지 않는 중소형소각로(Batch소각로 등)에서 배출되는 다이옥신의 농도가 대규모 연속소각로에 비해서 수백배에서 수천배정도로 많은 것이 밝혀졌으며 그 이후부터 일본에서는 준연속식 혹은 배치식 중소형소각로의 대안으로 RDF시설이 급부상하였고 1994년에는 RDF시설을 폐기물처리 국고보조지원시설로 지정하여 보급을 확대하고 있다. 현재는 폐기물 처리와 대체에너지 생산 및 국제 CO<sub>2</sub>배출량 감소협약(COP3)과 관련한 에너지 효율향상 측면에서 전기발전사업법을 개정하여 기업이나 지자체에서 RDF를 이용한 발전사업을 쉽게 할 수 있도록 하였다.

현재 약 30여개의 RDF시설이 가동 및 건설중이

며, 초기에는 산업계폐기물을 대상으로 해서 진행하여 왔지만 1990년대부터 주방쓰레기를 포함한 도시폐기물RDF화 플랜트도 15기 정도가 가동되고 있다. 산업계폐기물은 균질화하기 쉽기 때문에 처음에는 Fluff-RDF가 주류였지만 현재는 Pellet-RDF(고형화연료)가 주류이다. 전체공정은 그림 1의 카트렐방식과 그림 2의 리싸이클메네지먼트방식의 2종류로 크게 나누어지며 탈염소, 탈취 및 RDF 부패방지의 목적으로 생석회나 소석회를 첨가하고 있다. 일본의 에너지기술개발 중심기관인 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)에서도 RDF발전기술의 개발을 중요과제로 지원하고 있다.

### 2.3 미국과 유럽의 RDF 현황

미국의 RDF공정은 MRF(Material Recycling Facilities) 혹은 RRF(Resource Recovery Facilities)와 연계되어 선별에 많은 비중을 두고 있고 Eddy Current를 이용한 알루미늄캔과 유리병의 분리, 플라스틱 및 유리병의 색상별 분리,

플라스틱에서 PVC의 분리기술을 적용하여 정밀하고 자동화된 선별시스템을 개발함으로써 자원 재활용율을 크게 높인 RDF설비가 다수 설치되고 미국의 폐기물성분은 수분이 적고 가연분이 많기 때문에 발열량이 높고 RDF의 시장성 및 유통시스템이 잘 확립되어 있어 많은 발전을 하게 되었다. 1972년부터 St. Louis시에서 설계용량 300ton/d급 RDF공장이 최초로 가동한 이후, 1975년 가동하기 시작하여 현재까지 가동하는 가장 오래된 RDF공장인 Ames시의 200t/d급을 비롯한 30여개의 수백톤급의 대형 RDF시설이 건설되었고 Rochester시의 설계용량 2,000t/d의 초대형 RDF시설도 건설되었다. 미국의 RDF는 표 1과 같이 ASTM에서 c-RDF(coarse), f-RDF(fine), d-RDF(densified)등을 1번부터 7번까지로 나누어 규격화하고 있을 정도로 높은 수준이다.

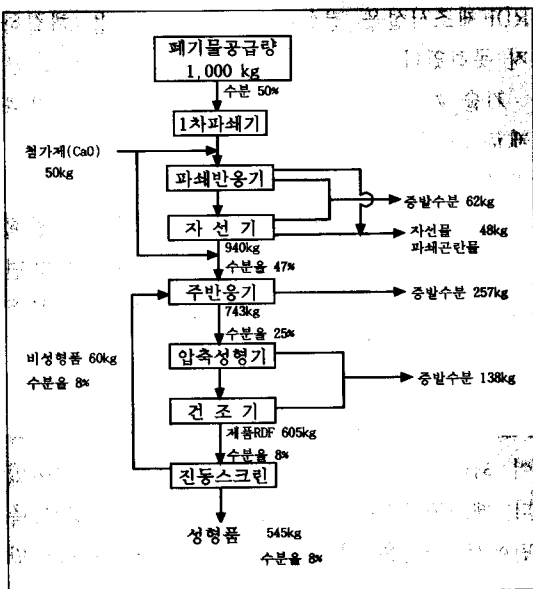


그림 1. Mass balance of 50% water content in waste (C-method)

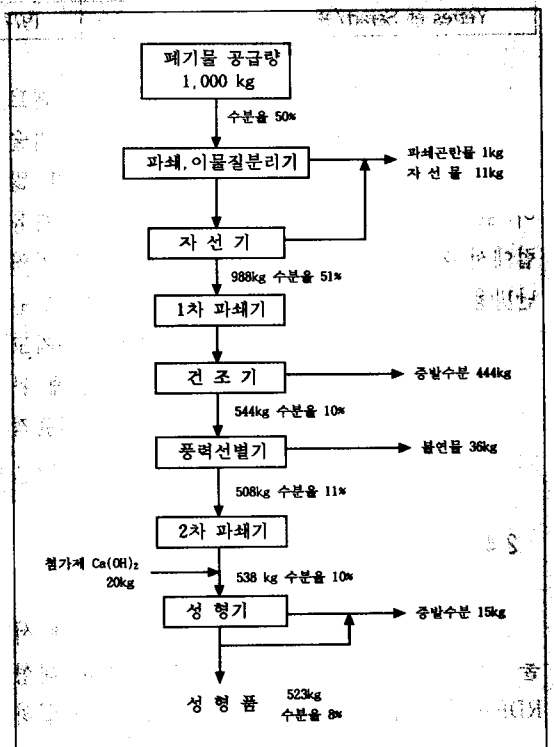


그림 2. Mass balance of 50% water content in waste (R-method)

## 技術現況分析

표 1. RDF Product Classification by ASTM

분류	제조 방법
RDF - 1	폐기물로 배출된 상태의 것
RDF - 2	폐기물을 파쇄하여 6인치 메시스크린을 중량비로 95% 통과하는 것(coarse - RDF)
RDF - 3	폐기물을 분쇄하여 금속, 유리, 기타의 유기물을 선별한 것으로서 2인치 메시스크린을 중량비로 95% 통과하는 것(fine - RDF)
RDF - 4	폐기물을 분쇄가공하여 10메시스크린(2mm)을 중량비로 95% 통과하는 것(Power - RDF)
RDF - 5	폐기물을 분쇄한 후 펠릿, 큐브, 조개탄모양으로 압축한 것(densified - RDF)
RDF - 6	폐기물을 액상 연료로 가공한 것
RDF - 7	폐기물을 기체 연료로 가공한 것

표 2. Representative RDF Plants in Europe

지역명(시설명)/국가	용량(ton/d)	설치시기	내용	폐기물 종류	제 조 자
Byker (Reclamation Plant) /영국	240	1980	열이용, 석탄보일러혼소	도시폐기물 power RDF	Warren사
Herten Rhur/독일	1,000	1982	열이용, 석탄보일러혼소	도시폐기물 pellet RDF	Combustion사
Kovik/스웨덴	240	1981	열이용	도시폐기물 pellet RDF	PLM사
Moudon/스위스	200	1988	열이용	도시폐기물 pellet RDF	Catrel사
페르기아/이태리	-	1977	열이용	도시폐기물	-
Yerres et Serart/프랑스	150	1977	열이용	도시폐기물	-

한편, 유럽의 RDF는 이태리의 LEECE플랜트 이외에는 전부 d-RDF로 알려져 있다. RDF기술의 발상지인 유럽은 가정폐기물에 종이류가 많이 포함되어 있고 제조된 RDF는 영국이나 북유럽에서 가정연료나 중소산업용 보일러연료, 지역 난방용 연료로 사용되고 있다. 최근에 에너지원의 확보측면에서 RDF에 관한 관심이 높아지고 있고 RDF연소 및 배연가스의 처리기술 등에 관한 연구가 계속되고 있다. 표 2는 유럽의 대표적 RDF플랜트를 나타내고 있다.

### 2.4 국내 현황 및 대체에너지 추진정책

현재 국내에서는 1983년부터 1988년 사이에서 울 난지도 매립장에 1,500톤/일 규모의 대형 RDF시설을 덴마크의 I. Kruger사로부터 도입하여 RDF화는 가능하였지만 당시 연탄재가 30% 이상을 차지하고, 함수율도 유럽의 폐기물보다

훨씬 높아 정상가동은 실현되지 않았다. 1991년에는 청주시에서 국내기업의 기술로 200 m<sup>3</sup>/d급 RDF제조시설을 건설하였으나, 문제점을 해결하지 못하였다.

기술 개발 연구를 위해서 90년대 초반 국책과제로 폐목재와 폐 PE Film을 혼합한 RDF를 제작하고 연소성을 실험한 연구사제가 있으며, 함수율이 높은 음식폐기물이 포함된 일반 가정폐기물을 대상으로한 RDF기술의 연구는 1996년 산업자원부의 지원으로 수행된 '도시폐기물의 고형연료화 장치개발' 연구사업에서 폐기물기준으로 10ton/d급 Pilot Plant가 개발되었다. 본 Plant에서 제조된 RDF는 'K-RDF'로 상표등록이 되어 있으며 제조공정은 특허등록이 되어있다. 제조된 RDF의 실험결과 에너지와 환경적 측면에서 산업용 연료로서 사용가능한 조건을 만족하고 있는 것으로 나타났고 국내에서도 RDF기술의 적용가능성이 확인되었다.

한편, 에너지자원의 다원화를 목표로 추진된 대체에너지 개발·보급을 위한 우리나라 정책에서 당면과제를 기술개발부문, 이용·보급부문, 제도 및 Infra구축부문에서 찾아내고 발전목표와 추진전략을 수립하였으며 그 내용은 다음과 같이 요약된다.

발전목표는

- 1) 대체에너지 자원의 확보로 선진형 에너지 구조로의 전환
- 2) 국가 대체에너지 사용의 다변화를 위하여 대체에너지 공급확대
  - 2002년 1차 에너지 소비량 기준의 1.4% (2,884 천 TOE 공급)
  - 2003년 1차 에너지 소비량 기준의 2.0% (4,640 천 TOE 공급)

으로 고유가 시대 및 지구환경변화에 대응할 수 있는 공급에너지 시스템 구축과 대체에너지 산업의 활성화 체계기반 구축을 도모할 계획이다.

세부 개발목표로서는 국내 대체에너지 기술수준을 선진국수준으로 근접토록 육성하고 보급목표로서는 장기전망분석, 에너지사용량, 보급잠재량, 환경저감특성 등을 고려하여 분야별로 세부 목표를 설정하였으며 대체에너지별 공급 목표는 다음과 같다.

표 3. Alternative Energy Plan in Korea(단위: 천 TOE)

분 야	1998년	2002년	2006년
태양열	44.0	75.0	127.0
바이오	63.2	170.0	148.0
폐기물	1,577.2	2,577.1	4,265.0
태양광	3.7	6.9	15.0
풍 력	0.4	13.0	21.0
소수력	27.2	42.0	64.0
계	1,715.7 (1.03)	2,884.0 (1.4)	4,640.0 (2.0)
총에너지	166,572	206,000	232,000

이중 폐기물 에너지에 국한하여 2002년까지의 추진계획에 의하면 폐기물 에너지를 1998년

1,577.2천TOE에서 2002년에는 2,577.1천톤으로 확대 공급할 계획이며, 폐기물에너지는 1998년 기준 우리나라 대체에너지보급량중 91.9%를 차지하고 있으나, 폐기물 이용시설은 1999년말 453개소로 이용처가 부족하여 잠재량의 5%정도만 이용하고 있는 실정이다.

### 3. RDF발전기술현황

RDF이용은 그 수요면에서 볼 때 화력발전소 시설에 직접 연료로 사용하여 발전을 하는 분야가 대규모 시설로서 큰 몫을 할 수 있고 RDF제조시설과 바로 연계시킬 수 있는 이점도 있어 경제성이 높아진다. RDF를 대규모로 사용할 수 있는 대표적인 시설이 화력발전소로 판단되어 RDF화력발전 이용기술과 그 현황을 요약 정리한다. 우리나라의 쓰레기 특성과 지역적인 특성이 유사한 일본에서는 RDF발전의 실용화를 위한 기술 개발이 완성단계에 이르러 있으며, 미에켄을 비롯하여 RDF제조설비와 연계시킨 RDF발전소 건설이 진행중이며 2002년경부터는 상업운전을 본격화할 계획이다. 이러한 시점에서 RDF발전기술현황의 이해는 일본 기술소개로 쉽게 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

1997년 1월 <쓰레기처리와 관련하여 다이옥신 발생방지등 가이드라인(신가이드라인)>에서는 인근 市, 町, 村이 연계하여 RDF화를 포함한 광역화 처리를 제시하여 추진 중이다. 인근 市, 町, 村연계의 일례로써, 각 市, 町, 村에서 노후화된 쓰레기 소각로를 순차적으로 RDF제조장치로 갱신하고 이 시설에서 제조된 RDF를 인접 RDF화력발전소에 모아서 처리하는 광역화처리가 추진되고 있다. 이 시스템에서는 각 市, 町, 村단위에서 쓰레기소각대신에 RDF를 제조하므로 쓰레기가 소각되지 않기 때문에 환경부하가 대폭 경감된다. RDF는 수송, 저장 및 취급이 용이하므로 방지시설이 잘 구비된 RDF화력발전소까지 쉽게 운반한 후 고가의 전기를 생산하여

판매할 수 있으므로 RDF화력발전사업이 지자체의 수익사업으로 확대되기 시작하였다. 지자체에서 RDF발전시스템의 기본계획시 NEDO에서는 사전타당성조사사업비를 지원하며 지자체는 타당성조사사업을 통하여 사업대상지역 범위의 결정과 경제성 및 필요한 각 주요설비에 대한 효율, 초기투자 및 운영비(Initial and Running Cost) 등을 조사분석하고 추진전략을 수립한다.

표 4는 현재 일본에서 건설중이거나 계획된

RDF화력발전소 현황이다.

현재 진행중인 RDF화력발전소에 있어서 발전부 설비 및 환경 설비에 적용되는 기술은 다음과 같다.

### 3.1 발전부 설비

#### (1) RDF의 반입, 저장, 투입설비

RDF의 저장방식으로는 포장방식, 사이크론

표 4. RDF Power Plants under construction/plan

지자체명(조합명)	개요	발전규모 목표효율등
아오모리 시청	일반폐기물과 일반 산업폐기물을 RDF화, 파쇄폐기물을 주로 하고 오톨을 혼소하는 시스템	처리량 : 300t/d 발전출력 : 2.2만kW
미에현 기업청	縣内市町村 및 일부 사무조합에서 제조한 약 200t/d의 고행연료를 이용하여 縣이 1.4만 kW 발전계획, 총사업비는 83억엔으로 알려짐	처리량 : 100t/d x 2기 처리출력 : 0.7만kW x 2기
도치기현 기업청	일반폐기물계의 RDF를 제조하고 재용융시스템(60t/d)를 포함한 RDF 발전을 검토, 용치확보추진	처리량 : 350t/d 발전출력 : 2.2만kW급 발전효율 : 27%
(사)시즈오카환경 자원협회(시마다시)	縣内市町村 및 광역조합에서 제조한 고행연료를 이용하여 縣이 발전하는 <지역쓰레기 발전사업>을 검토·1996년도에는 RDF제조 및 연소시험, 경제성등 F.S.(타당성검토)수행하여 사업화검토 완료	처리량 : 60t/d 발전출력 : 지자체 RDF 1.5~2.7MW, 산폐혼소 5 MW
군마현 기업청	공장에서 나오는 폐플라스틱 및 일반폐기물을 고행연료화하여 발전에 이용하는 조사 실시	발전규모 : 2.5만 kW급 발전효율 : 25%
자가현청 구레	일반폐기물계 RDF를 琵琶湖의 관리 파생폐기물(부유성 가연쓰레기 등)을 혼소, 발전을 목표	처리량 : 400t/d 발전규모 : 2만 kW급 발전효율 : 25%
히로시마현 기업국	일반폐기물의 RDF, 톱밥,천조각과 약간의 산업폐기물을 혼소하여 발전하는 방식 검토	발전규모 : 1.5만kW급 발전효율 : 28%정도
야마구치현 청	일반폐기물의 고행연료와 석탄혼소에 의한 발전	발전규모 : 3만 kW급 발전효율 : 28%정도
구마모토현 기업국	일반폐기물계 RDF, 농업계, 공업계 폐플라스틱을 혼소하여 발전하는 방식을 검토	발전규모 : 1.4만 kW급 발전효율 : 30%정도
고우치현 기업국	일반폐기물의 고행연료와 각종 축산폐기물을 혼소하여 1만 kW급 발전을 목표	발전규모 : 1만 kW급
동경도 청소국	미나토구 청소공장내 고행연료화 실증플랜트를 건설할 예정, 1996년도에 기본계획·설계작업진행, 1997~98년에 건설, 99년 1월 완성예정	
都城北쪽縣 廣城市 町村組合	미야자끼현북쪽 농림진흥국관내 및 3개市町村에서 발생하는 축분, 톱밥, 일반쓰레기의 RDF를 연료로 하는 고행을 발전 및 열공급의 조사	

방식, 핏트방식, 야드방식 등이 있는데, 경제성 및 사이트 등의 조건을 고려할 경우 대부분 야드방식이 최적으로 나타난다. 야드방식은 트럭으로 반입된 RDF를 저장장에 직접 저장하고, 필요시 RDF를 반출할 수 있는 방식인데, 반출시 Shovel Loader등을 이용한다. 또 빗물에 의한 RDF부패를 방지하기 위해서는 옥내식으로 할 필요가 있다. 이 방식은 간단한 설비로 소규모적인 RDF제조설비로부터 대규모 제조설비까지 사용이 가능하다.

(2) 산업폐기물의 반입, 저장, 반출설비

산업폐기물의 저장설비는 톱밥 및 하수오니의 성상, 용량을 고려해서 사이크론방식으로 하고 톱밥과 하수오니를 혼합하여 저장하는 방법이 있다. 사이크론 방식은 반입된 산업폐기물을 직접 사이크론에 저장하고 필요시 산업폐기물을 반출하는 방식으로, 미리 반입 반출이 가능하다. 악취대책으로서는 사이크론내를 부압으로 유지하고, 내부 악취를 흡입하여 보일러설비에서 열분해처리를 한다. 반출에 대해서는 Screw Feeder로 한다.

(3) 보일러 설비

RDF연소 보일러 설비에 대해서는 고효율화를 우선으로 한 외부순환형 유동상 보일러와 내부순환형 유동상 보일러의 두 가지 방식이 있다. 코스트의 저감과 부하응답성의 평가를 비교함으로써 두 방식의 특징을 소개한다.

1) 외부순환형 유동상 보일러

가) 개요

외부순환형 유동상 보일러는 순환유동층연소를 연소부(Combustor)에, 기포유동층상태를 외부열교환기부에 채용한 보일러이다. 고속유동상태에서 연소부(Combustor)로부터 비산한 입자는 출구에 설치된 사이크론에서 포착되어 다시 연소부(Combustor)에 되돌려지고, 일부는 추출벨

브에서 외부 열교환기로 보내져 그곳에 설치된 전열관에서 과열증기를 만드는데 이용된다.

외부 순환형 유동상보일러는 다음과 같은 특징을 가진다.

- a) Combustor부에서 양호한 혼합 교환과 긴 체류시간으로 높은 연소효율이 얻어질 수 있다.
- b) 외부 열교환기에서 냉각된 입자의 일부를 연소부에 되돌림으로써 연소기부의 온도를 제어한다. 연소기 온도제어와 공기량 제어가 독립적이다.
- c) DeSOx는 850℃에서 가장 효과적이다. 연소기 온도제어와 공기량제어가 독립적이기 때문에 연소기의 온도를 850℃로 제어하고, 또 1,2차공기비의 최적화가 도모될 수 있기 때문에 저NOx, 저SOx의 동시 달성이 가능하다.
- d) 고온부식의 원인이 되는 염소가스가 존재하지 않기 때문에 외부유동층 열 교환기에 전열관을 설치함으로써 고온증기로 고효율 발전율이 얻어질 수 있다. 또 공압속도는 매우 느리기 때문에 마모의 문제가 없다.

나) 부하응답성

현재 RDF연소 외부순환 유동상보일러에서 검증된 데이터는 없고 대신에 석탄연소 외부순환 유동상보일러에서의 부하변동 실험결과 부하응답성이 양호한 것으로 나타났다. RDF연소의 경우, 연료중의 휘발분이 석탄에 비해 많기 때문에 부하응답성은 석탄과 동급이거나 그 이상으로 예상되고 있다.

2) 내부순환형 유동상 보일러

가) 개요

내부순환형 유동상 보일러는 Bubbling 유동상 연소방식을 채용하고, 유동상부를 연소 Cell과 열회수 Cell로 나누고 연소Cell에 연료인 RDF를 투입하며 유동공기로 약 850℃에서 연소시킨다. 열



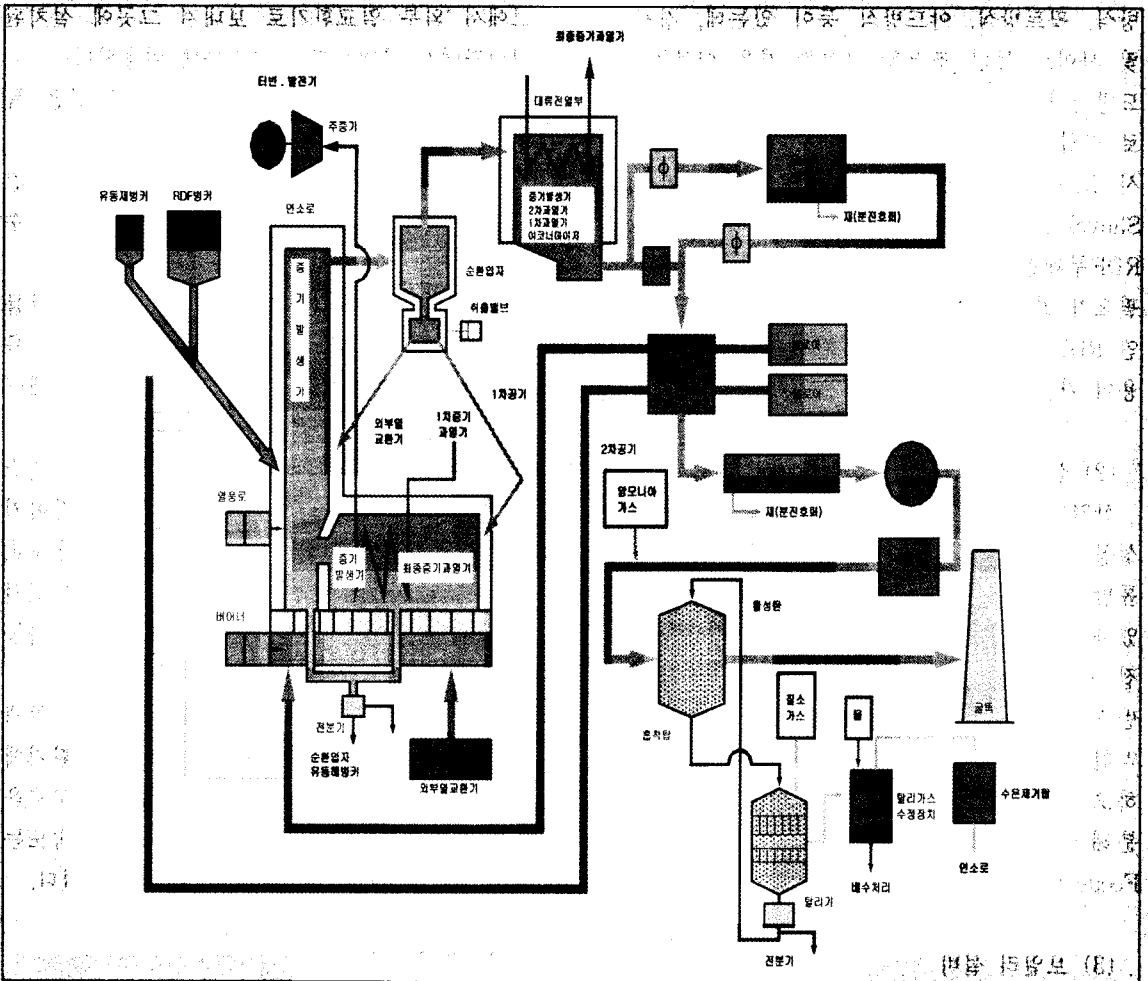


그림 3. Concept of RDF Power Plant of external FBC

회수부의 유동공기 유속을 연소Cell 유동공기속 도보다도 느리게 해서 유동매체를 순환시켜, 그 유동매체의 현열로 열회수 Cell에 설치된 전열관을 가열시켜 고온의 증기를 얻고 있다.

내부순환형 유동상 보일러는 다음과 같은 특징을 가진다.

- a) 연소 Cell과 열회수 Cell로 나누어져 있기 때문에 전열관이 연소 배기와 접촉함이 없고, RDF연소시에 발생하는 HCl가스로 전열관의 고온부식을 방지할 수 있기 때문에 보일러의 고온, 고압이 얻어질 수 있고, 고발전효율을 얻을 수 있다.

- b) 저공압속도에서 유동화하는 수열Cell내에 전열관을 설치하고 있기 때문에 전열관의 마모가 저감된다.
- c) 열회수부의 유동공기는 2차 공기로서 연소 Cell에서 발생한 미연의 가스를 Free Board에서 연소시키고 있다. Free Board의 최고 온도는 약 1,000℃의 고온으로 되고, 전연소와 저 다이옥신을 도모할 수 있다.

나) 부하용답성

실제 규모의 내부순환형 유동상보일러의 부하용답성 즉, 쓰레기 발열량의 변화에 따른 발전량

의 변화율을 Simulation한 결과 양호하게 나타났다. RDF는 발전량의 변화도 적고, 쓰레기 제어 범위 내에서는 충분한 운전이 가능할 것으로 예상되고 있으나, 향후 실제 규모에서 확인이 전제되고 있다. 외부 순환형 유동상 보일러와 내부 순환형 유동상 보일러의 특징 비교는 표 5와 같다.

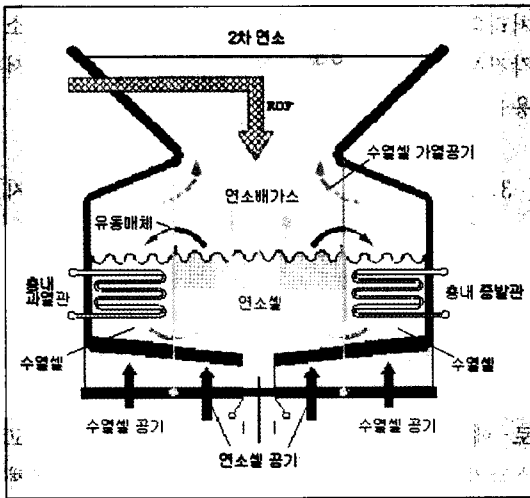


그림 4. Concept of RDF Power Plant of internal FBC

(4) 터빈·발전기 설비

쓰레기 처리시설에 사용되는 증기터빈의 기본적인 형식은 배압터빈과 복수터빈의 두 종류가 있으나, 발전을 적극적으로 할 경우는 고압증기 조건을 얻을 수 있는 추기복수터빈이 사용된다.

복수터빈은 배기압력을 대기압 이하까지 낮추어, 열낙차를 크게 하기 때문에 배압터빈과 비교하여 터빈입구 증기가 동일 조건일지라도 대폭 발전효율을 올릴 수 가 있다. 또 터빈의 중간단에서 열이용 등에 필요한 량과 압력의 증기로 추기터빈방식을 이용함으로써 보다 효율화를 도모할 수 있는 시스템이다.

3.2 환경대책설비

(1) 고도 배연처리 시스템

RDF발전용 배연가스 초정정화기술로서 사업용 석탄화력발전소에서 채용되고 있는 건식 탈황탈질기술과 소각재중의 다이옥신을 저감시키기 위한 전기집진기를 채용한 시스템에 대해 기술한다. 이 시스템은 SO<sub>x</sub>나 NO<sub>x</sub>이외에 HCl이나 다이옥신, 중금속류 등도 제거할 수 있으며, 이 시스템의 최대 특징은 활성탄에 흡착제거된 다이옥신이 활성탄의 가열재생시에 거의 완전히 분해되는 점이고, 그 효과는 보일러 시험에서 확인 된 것이다. 배기중의 SO<sub>x</sub>는 연도내에 투여된 암모니아수로 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 또는 암모니아화합물(NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>)로 하여 활성탄에서 흡착 제거된다. SO<sub>2</sub>를 흡착한 활성탄은, 재생을 위하여 脫離塔에 보내지고, 질소분위기 중에서 약 450℃에서 간접가열됨에 따라 SO<sub>2</sub>가 탈리된다. 이때 발생하

표 5. Comparison between external and internal FBC Boiler

외부 순환형 유동상 보일러	내부 순환형 유동상 보일러
<p>(1) RDF연소시의 증기의 고온화 대응</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>고온 부식의 원인이 되는 염소가스가 존재하지 않기 때문에 유동층 열교환기(외부 열교환기)에 과열기를 설치하여 고온 증기를 얻을 수 있다.</li> </ul>	<p>(1) RDF연소시의 증기 고온화 대응</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>고온 부식의 원인이 되는 염소가스가 비교적 적기 때문에 흡열 Cell내에 과열기를 설치하여 고온 증기를 얻을 수 있다.</li> <li>* 외부순환의 외부열교환기의 염소농도에 비해 조금 높을 것으로 예상되어 부식에는 염려가 조금 되고 있다.</li> </ul>
<p>(2) 구조</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>연소실 및 사이클론, 외부 열교환기에서 외부순환시스템을 구성하고 있다.</li> </ul>	<p>(2) 구조</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>유동상부를 연소Cell과 열회수Cell로 나누어, 유동공기유속의 차이로 내부순환 시스템을 구성하고 있다.</li> <li>* 외부순환설비가 필요치 않기 때문에 설비가 Compact하다.</li> </ul>

는 가스(탈리가스)중에는 SO<sub>2</sub>외에 동시에 흡착된 HCl이나 Hg등이 포함되어 있으나 세정장치에서 HCl이, Hg흡착제에 의해서 Hg가 제거되고, 나머지 SO<sub>2</sub>를 주성분으로 하는 탈리가스는 다시 보일러에 반송되어 노내에서 탈황시킨다. 배기중의 NO<sub>x</sub>는 활성탄의 촉매작용으로 암모니아와 반응하고 N<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O로 분해 제거된다. 또 재중에 다이옥신을 저감하기 위하여, 집진기에 Bag Filter를 설치하지 않고 전기집진기를 채용하고 있다. Bag Filter의 경우 배기가 Bag표면에 퇴적된 Dust층을 통과할 때 배기중의 다이옥신이나 중금속의 농도는 저감되지만, 비산재중의 농도는 증가할 가능성이 있다. 전기집진기의 경우 집진극의 Dust층을 배기가 통과하는 일은 없기 때문에 배기중의 중금속이나 다이옥신은 비산재중에 포함되는 것은 어려운 것으로 예측하고 있다. 이때 전기집진기 출구에서는 배기중의 중금속이나 다이옥신은 저감되지 않지만 후처리 장치로 활성탄식 배연처리장치를 설치함에 따라 제거된다. 이 시스템으로 RDF연소에 의한 비산재중의 중금속류나 다이옥신등의 함유 농도가 저감되고, RDF연소 비산재를 석탄재와 함께 처분할 수 있는 가능성도 있는 장점이 있다.

(2) 재처리 시스템

1) 소각잔사의 법적 구분과 규칙

쓰레기 소각설비로부터 배출되는 잔사는 소각로의 로바닥으로부터 배출되는 바닥재와 집진장치 및 보일러, 가스냉각탑 등으로부터 배출되는 배연의 총칭인 비산재가 있다. 이중 집진장치에서 포집된 분진은 집진재라고도 하고 폐기물의 처리 규정에서 특별관리하고 있어 일반폐기물로 취급하고 있는 다른 잔사와는 다르다. 이는 잔사와 비교하여 집진재에는 중금속류가 많이 포함되어 있고 매립처분시 납 등은 용출기준보다 많이 나올 가능성이 있게 된다. 따라서 특별관리 일반폐기물인 집진재는 중간처리의무를 이행하도록 하고 있으며 처분할 때는 금속 등을 포함한 산업

폐기물에 관련된 판정기준에 맞춰야 한다.

2) 집진재 중간처리 기술

일본의 경우 집진재의 처리방법에는

① 용융고화 ② 세멘트 고화

③ 약제처리 ④ 산, 기타 용매에 의한 안정화의 네 종류가 있으며, 이중 세멘트 고화 및 약제처리의 채용이 지금까지 많은 실적이 있으나, 소각잔사중의 다이옥신류의 무해화처리 기술로서 용융고화처리방식의 기술이 시행단계에 있다.

3) 쓰레기 처리에 있어서 다이옥신 발생방지 Guideline과소각재 처리 기술

1997년 일본의 다이옥신 가이드라인에서는 금후 신설되는 소각시설에서는 배기중의 다이옥신 농도를 0.1ng/Nm<sup>3</sup>이하로 규정하고 있으나 소각재, 비산재에 대해서도 똑같은 규제가 있을 것으로 예상되었기 때문에 배기중에서만이 아니고 소각잔사중의 다이옥신류에 대해서도 저감 대책이 필요하게 되었다. 신 가이드라인에서는 소각잔사의 다이옥신 대책으로서 소각재, 비산재를 대상으로 한 용융고화처리를 제시하고 있다. 소각재는 최종처분장의 어려움도 있기 때문에 용융처리하여 감용시키고 생성된 슬라그 등을 재이용할 필요가 제기되고 있다. 또 이 처리방법은 중금속 대책도 겸할 수 있기 때문에 최근 주목을 받고 있으며 여러 방식의 소각재 용융로가 개발·실용화되고 있다. 그러나 소각재의 용융처리는 1300℃를 넘는 고온에서 조작되기 때문에 운전, 보수비가 많고, 용융로로부터 배출되는 비산재 중에는 휘발된 중금속이나 염류가 고농도로 농축되기 때문에 용융비산재의 처리가 필요하게 되어 관련된 기술개발이 진행되고 있다.

4. RDF발전 수요와 전력공급

국내에서 발생하는 폐기물을 생활계와 사업장계로 나누고 또한 광역시와 비광역시로 구분하

여 폐기물처리방법별로 비율을 다르게 추정하여 RDF가 가능한 폐기물량과 발전가능량을 2000년 발생 폐기물을 전제로 하여 산출하였다.

표 6은 광역시의 폐기물중 RDF가능량을 추정 한 것으로서 광역시는 현재 소각과 재활용이 많이 적용되고 있으므로 생활폐기물중의 RDF대상 비율을 20%, 투입 폐기물의 50%가 RDF로 생산, RDF발열량을 4,500kcal/kg으로 하였다. 사업장폐기물은 RDF대상비율을 10%, 투입폐기물의 90%가 RDF로 생산, RDF발열량을 7,000kcal/kg으로 가정하였다. RDF화력발전소는 15MW급을 기준으로 산출하였고 에너지회수량은 생산한 전기량을 환산한 2차에너지 기준이다.

표 7은 국내 비광역시의 폐기물중 RDF가능량을 추정한 것으로서 발전소 수를 산출하기 위하여 다음 사항을 전제하였다. 생활폐기물중의 RDF대상 비율을 50%, 투입 폐기물의 50%가 RDF로 생산되며, RDF발열량을 4,000kcal/kg으로 하였다. 사업장폐기물은 RDF대상비율을 30%, 투입폐기물의 90%가 RDF로 생산되고, RDF발열량을 7,000kcal/kg으로 가정하였다.

표 8은 RDF화가 가능한 국내의 폐기물원을 나타낸 것이며, 매립지정화폐기물은 환경부가 과거에 비위생으로 매립한 불량매립지를 정화하는 과정에서 발생하는 고분자폐기물이며, 해양폐기

물은 해양수산부가 최근에 해양환경복원을 위해서 연안해저에 침적한 폐그물, 폐목재, 폐타이어 등을 수거하는 과정에서 발생하는 폐기물이고, 농업용 폐기물은 한국자원공사가 농촌폐비닐을 현재의 저급펠렛화기술에서 에너지자원화로 전환할 경우에 발생하는 폐기물이다.

상기 각 배출원을 기초로 해서 15MW급 RDF 화력발전소를 산출하면 48개소가 되며 RDF발전량은 약 725만MWh/년으로서 한국전력 총 발전량의 약 3%에 해당된다. 1차에너지 기준으로는 약 166만TOE/년으로서 국내 총 1차에너지의 약 1.1%를 담당할 수 있는 양이 된다. 비광역시중에서는 경기도가 폐기물량이 가장 많이 발생하며 10개의 15 MW급 RDF화력발전소에 해당한다. 이 경우에는 폐기물 발생이 집중되는 곳을 중심으로 해서 발전소규모를 30~50MW급으로 조정하여 건설하고 전기를 생산하는 방법의 반영도 고려도 해야 할 것이다. 대도시의 경우는 수송거리가 짧으므로 가연성분을 별도로 수거하여 미성형RDF상태로만 가공하여 사용하는 것도 좋은 방법이 될 수 있다.

그림 5는 비광역시의 15 MW급 RDF화력발전소를 추정하여 광역화개념도로 나타낸 것이며 타원의 장축방향 거리는 약 30km정도에 해당된다. 광역시에서 광역화개념으로 인근의 중소지자

표 6. Available energy for RDF power generation in large cities

	생활폐기물		생활폐기물RDF		사업장폐기물 <sup>(1)</sup>		사업장폐기물RDF		발전가능량 (생활+사업장)		기준 발전소	에너지 회수
	톤/일	천톤/년	톤/일	천톤/년	톤/일	천톤/년	톤/일	천톤/년	GWh/년	MW	개소	kTOE/년
계	23,241	8,483	2,324	848	4,267	1,557	384	140	1,674	208	10	103.7
서울	10,765	3,929	1,077	393	988	361	89	32	696	87	5	51.9
부산	3,893	1,421	389	142	1,421	310	77	28	291	36	2	20.7
대구	2,593	946	259	95	946	122	30	11	175	22	1	10.4
인천	2,097	765	210	77	765	283	70	25	182	23	1	10.4
광주	1,492	545	149	54	545	92	23	8	106	13	-	-
대전	1,351	493	135	49	493	103	25	9	100	12	-	-
울산	1,050	383	105	38	383	287	71	26	12	15	1	10.4

주 : 1) 사업장일반폐기물 가연성중의 종이류, 나무류 및 폐합성고분자화합물과 건설폐기물의 가연성을 합한 것임.

## 技術現況分析

표 7. Available energy for RDF power generation in small and medium cities

	생활폐기물		RDF		사업장폐기물		RDF		발전가능량 (생활+사업장)		기준 발전소	에너지 회수
	톤/일	천톤/년	톤/일	천톤/년	톤/일	천톤/년	톤/일	천톤/년	GWh/년	MW	개소	kTOE/년
계	21,372	7,801	5,343	1,950	4,848	1,770	1,309	478	3,888	484	26	269.7
경기	7,819	2,854	1,955	713	1,776	648	480	175	1,423	177	11	114.1
강원	1,600	584	400	146	91	33	25	9	226	28	1	10.4
충북	1,282	468	321	117	654	239	177	64	321	40	2	20.7
충남	1,947	711	487	178	332	121	90	33	328	41	2	20.7
전북	1,582	577	396	144	359	131	97	35	288	36	2	20.7
전남	1,889	689	472	172	324	118	87	32	318	40	2	20.7
경북	2,146	783	537	196	762	278	206	75	457	57	3	31.1
경남	2,568	937	642	234	528	193	143	52	454	56	3	31.1
제주	539	197	135	49	22	8	6	2	72	9	-	-

표 8. Available energy for RDF power generation by non-MSW and Industrial wastes

	기타 폐기물		RDF		발전가능량		기준발전소	에너지 회수
	톤/일	천톤/년	톤/일	천톤/년	GWh/년	MW	개소	kTOE/년
계	3,393	1,238	1,900	694	1,694	211	12	124.5
매립지정화	2,397	875	1,342	490	1,196	149	9	93.3
해양 폐기물	695	254	389	142	347	43	2	20.7
농업 폐필름	301	110	169	62	150	19	1	10.4

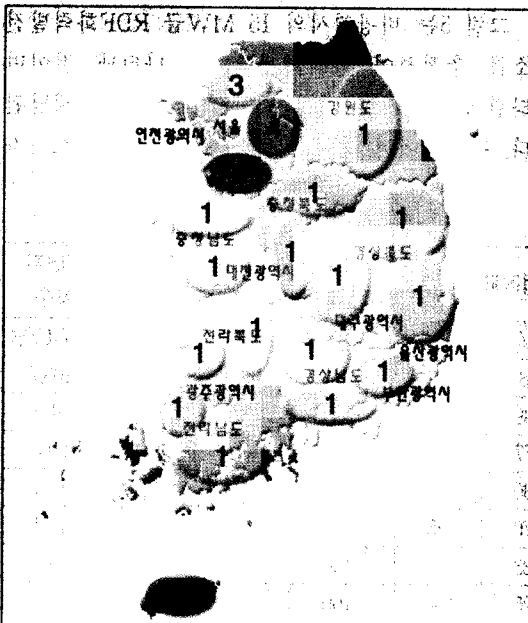


그림 5. Site prediction map for RDF power plant(15 MW) by MSW in small and medium cities

체에서 생산한 RDF를 반입하여 RDF화력발전소에 사용할 경우에는 그림상의 빈 공간도 거의 카마할 수 있을 것으로 판단할 수 있다.

### 5. 결론

97%이상의 1차 에너지를 수입에 의존하고 있고 에너지자원의 다양화를 위하여 우리나라에서는 숙명적인 대처가 불가피한 실정에서 2003년까지 대체에너지 공급비율을 2.0%로 증대시키려는 정부정책에 편승해, 대체에너지중에 가장 비중이 큰 폐기물로부터 에너지회수 이용과 환경문제를 고려하여 RDF와 RDF발전의 특성과 기술현황을 조사하고 RDF화력발전사업을 위한 주요 추정된 자료를 소개하였다.

RDF는 화력발전용 연료로서만이 아니고 하수슬러지 소각 보조연료, 철강공장의 고로환원제,

시멘트 소성로 대체연료 등으로 사용되고 있는데 본 논문에서는 RDF의 수요와 기술측면에서 에너지와 환경문제를 동시에 다룰 수 있고 전망이 밝은 화력발전소에 대하여 국한 시켰으며 그 내용을 다음과 같이 요약한다.

1) 선진국에서는 폐기물의 단순소각 처리를 지양하고 물질재활용 또는 에너지재활용 기술에 집중하고 있으며, RDF제조 및 화력발전소의 연료로 하는 기술이 실용화되고 있으며 국내에서도 에너지 다원화와 쓰레기 처리에 따른 환경문제 해결을 위하여 RDF제조·이용기술 개발에 적극적인 대응이 절실한 시기이다.

2) 성형RDF를 화력발전연료로 사용하기 위한 보일러는 순환유동층 방식이 가장 유력한 기술로 조사되었다. RDF연소시 열교환시설의 고온부식을 방지하는 기술이 중요하며 발전효율은 30%정도로 나타났다. 국내에서 RDF화력발전소를 개발할 경우에 연소보일러부분의 집중적인 개발이 필요하며, RDF광역화처리목적에 적합한 발전 규모는 약 10-15MW정도로 추정된다.

3) 국내에서 폐기물을 RDF화하여 화력발전연료로 사용할 경우에 국내 총 1차에너지의 1%를 대체할 수 있으며 총 전기생산량의 3%를 담당할 수 있는 것으로 산출되었다. 15MW급 기준으로 약 48개의 RDF화력발전소 건설이 가능하고 생활 폐기물만을 고려할 때 RDF발전소는 26개에 해당한다.

### 참 고 문 헌

- [1] NEDO : RDF利用發電に關する 事業化 可能性調査 (1994.3)
- [2] 環境計劃センター-(EPC) : ごみ固形燃料化技術に關する 세미나-(1999.7)
- [3] 鍵谷 司 : ごみ固形燃料(RDF)の 未來の 展望, 月刊廢棄物(2000. 6)
- [4] 崔然碩 외 : 폐기물 고품연료(RDF)의 특성 및 전망, 한국폐기물학회지, 제 15권, 제 4호 (1998)
- [5] 崔然碩외 : 도시폐기물 고품연료화 장치 개발, 한국폐기물학회지 제16권, 제6호(1999)
- [6] 日本 中部 電力 : ローカルエネルギー-サイクリング構想 事業化 研究調査 報告書, (1994).
- [7] NEDO : 廢棄物 發電 導入 基本マニュアル (1996. 3).
- [8] 北海道企業局 : 高效率廢棄物發電(一廢等 RDF利用) 事業化 及び RDF製造から發電までを一貫して行なう事業(公設民營方式)可能性調査, 平成10年3月.
- [9] 廣島縣 企業局 : 一般廢棄物 及び 産業廢棄物を利用した RDF發電の 實用導入調査” 高效率廢棄物發電(一廢RDF/木片等利用)事業化調査”,平成10年3月.
- [10] 福岡縣保健環境部 : 全縣域を 對象とした廣域 RDF發電事業化 及び 最適 RDF輸送システムの 調査” 高效率廢棄物發電(一廢RDF/産炭地域)事業化調査”, 平成10年 3.
- [11] 日本電源開發(주) : RDF(신형폐기물고형화 연료 발전기술개발) Catalogue
- [12] 에너지관리공단 : 에너지기술개발 및 대체 에너지기술개발사업 관련 법령 및 규정 (1998. 5)
- [13] 산업자원부 : 대체에너지 기술개발·보급종합대책(2000. 12)
- [14] 守岡修一 : 高效率 RDF發電システム 開發事例, 川崎重工業株式會社
- [15] 大塚哲夫 : 日本における廢棄物發電の現狀と當社の取組み, 폐기물고형연료 (RDF)제조 및 이용기술 워크샵, (2000. 11. 8) 한국기계연구원