

폐기물고형연료(RDF) 기술 동향 및 석탄/RDF 혼소기술 개발

최연석

The state-of-art of RDF technology and the development of RDF co-combustion technology at the coal power plant

Yeonseok Choi

요 약

유럽에서 RDF기술 확산 동향과 국가별 RDF사용 현황, 각국의 RDF품질표준 및 최근 유럽공통RDF품질표준화 추진현황을 소개하고 RDF사용처별 경제성분석 내용을 소개하였다. 소각로, 시멘트공장 및 석탄화력발전소에서 RDF를 사용할 경우에 열회수량은 시멘트공장이 다소 높게 나타났고 손익평가(cost benefit balance)는 석탄화력발전소가 가장 높게 나타났다. 국내에서 가동 중인 20MW급 순환유동층 석탄화력발전보일러에서 폐플라스틱고형연료(RPF)를 혼합연소하는 기술과 염화수소 및 다이옥신 측정내용을 소개하였다. 전연소량 0.4~0.6% RPF를 2.5%혼소 시 염화수소는 10ppmv 정도로 분석되었고 다이옥신은 0.003ng-TEQ/Sm³으로 거의 검출이 되지 않았다.

1. 서 론

RDF기술 발생지인 유럽에서도 근래에 기후변화협약 준수 및 화석연료 가격상승 등에 대처하기 위하여 각종 신재생에너지의 보급에 많은 노력을 기울이고 있으며 폐기물에너지의 보급도 더욱 박차를 가하고 있다. 예를 들면, 가연성폐기물의 회수를 위하여 매립기준을 엄격하게 한 유럽공통 폐기물매립 지침을 시행하고 있으며 또한 유럽공통의 RDF품질표준을 제정하는 작업이 진행되고 있다. 현재 유럽에서는 RDF의 국가간 무역거래가 이루어지고 있으며 이를 더욱 활성화하기 위하여 공통품질규격 제정을 EU차원에서 진행하고 있다. 아울러 RDF의 종류와 사용방법에 따른 에너지회수효과, 지구온난화 억제효과 및 손익성 등을 매립 및 소각방법과 비교평가하기도 하였다.

에너지원을 대부분 수입에 의존하고 있으며 또한 에너지 다소비 산업 구조를 가진 우리나라는 신재생에너지의 개발이 국가 최대현안의 하나로 대두되고 있다. 1) 우리나라의 대체에너지 비율은 2004년 현재 1.5%이며 그 중에서 90% 이상을 폐기물에너지가 차지하고 있고 2) 2011년의 신재생에너지 목표치인 5%를 달성하기 위해서는 폐기물에너지가 50% 이상을 보급해야만 할 것으로 예상된다. 현재 신재생에너지의 90% 이상을 차지하고 있는 폐기물에너지는 전체 폐기물에너지량의 20% 정도만 활용된 것으로 추정되므로 미활용 폐기물에너지의 적극적인 활용여부가 우리나라 신재생에너지 정책 성공여부의 가장 중요한 요소로 작용할 것으로 판단된다. 그러나 우리나라에서는 그동안 RDF에 관한 잘못된 인식과 낮은 기술력 등으로 외국에 비해서 RDF보급이 매우 적으며 최근에 본격적인 시작단계에 진입하고 있다. 2003년 하반기에 폐플라스틱고형연료(RPF) 품질규격이 고시되었고, 그에 따라 2004년에는 약 2만TOE의 RPF가 품질인증을 받아서 시멘트공장이나 제지공장에서 연료로 사용되었다. 그리고 현재 원주시에 생활폐기물 대상 80톤/일 규모의 상용RDF 제조 플랜트가 2006년 하반기 가동예정으로서 건설 중이고 생산된 RDF는 시멘트공장과 건물냉난방 연료로 사용될 예정이다. 최근 석탄가격의 상승으로 인하여 시멘트공장 및 제지공장에서 RPF사용 희망량이 증가함에 따라 현재는 공급이 부족한 실정이고 내년부터 생산될 RDF에 대해서도 관심이 매우 높다.

한편, 외국에서는 RDF 또는 RPF를 석탄화력발전소에서 혼소하는 사례가 많고 경제성이 매우 우수한 것으로 평가하고 있으므로 외국의 사례를 참고해서 국내에서도 이 부분의 연구를 시작하였고 몇 가지 긍정적인 결과도 조사가 되었다.

2. 본 론

가. 유럽에서 RDF 사용현황 및 동향

1) 유럽 각국 RDF 생산 및 이용 현황

다음 표 는 유럽 각국에서 2001년에 생활폐기물을 원료로 생산한 RDF량이다. 연간 약 300만톤의 MSW RDF가 생산되며 계속 RDF생산플랜트가 증가하고 있다.³⁾

< 표 1 : 유럽의 RDF플랜트 및 생산량 >

Country	Type and Number of plant ^{a)}	Waste input ^{a)}		Fuel output ^{a)}
		Capacity (x10 ³ tpa)	Quantity processed (x10 ³ tpa)	Quantity produced (x10 ³ tpa)
Austria	10 MBT (+2)	340 (+60)	340 ^{g)}	70
Belgium ^{e)}	1+ (4 MBT)	NI + (600)	-	NI+(240-300)
Denmark	- ^{c)}	-	-	-
Finland	12 + (8)	200-300	140 - 300 ^{f)}	40 - 90 ^{b)}
France	- ^{c)}	-	-	-
Germany	14 MBT	1,100	NI	336 ^{b)}
Greece	-	-	-	-
Ireland	-	-	-	-
Italy	16 MBT + 6 + (3)	1,500 + NI	1,000 + NI	300 ^{b)}
Luxembourg	-	-	-	-
Netherlands	13 (+12)	2,000 (+1,300)	2,000	700
Portugal	-	-	-	-
Spain	NI	NI	NI	NI
Sweden ^{e)}	NI	NI	NI	1,350 ^{b)}
United Kingdom	3	250	250	90
Total EU	> 50	> 5,500	>3,700	≈ 3,000

Notes:

a) Plants producing RDF planned or under construction are given into brackets

b) Assuming a RDF production rate of 30%

c) RDF production discontinued for economic reasons

d) Including MSW, sewage sludge, waste wood and commercial waste

e) Figures reported for the Flemish Region - there is no reported RDF from MSW in the Walloon Region

f) Including household, commercial and construction/demolition waste

g) Not clear which treatment had been applied to produce this high calorific household waste

MBT Mechanical-biological treatment plant

○ 각 국가별 생산이용현황은 다음과 같다.

- 핀란드 : 분리된 생활 폐기물, 사업장 폐기물, 산업, 건설 폐기물로 생산,
- 오스트리아: 주로 MBT에서 180 만 tpa 이상의 RDF 가 폐기물 전용 공정이 아닌 제지, 목재 생산 공정에서 이용
- 벨기에: MSW 로부터 40-50% 정도를 RDF 로 생산 (27 만톤), 50-70 유로/t 의 가격으로 주로 시멘트 공장에서 이용
- 독일: 주로 MBT공정에서 RDF를 생산하며 Cement kiln, 전력 생산 등 70 개 혼소 공정에서 100만 tpa 이용
- 네덜란드: 생활 폐기물에서 물리적으로 분리된 종이 및 플라스틱 등으로 13 개의 공장에서 RDF 생산(70 만tpa). 전력 생산, 가스화 공정 등에 이용.
- 스페인: 4 가지 type 으로 폐기물 연료를 분류하여 이용하며 주로 cement 공정 및 brick 생산 공정에 이용
- 이태리: 주로 MBT공정에서 97 만 tpa RDF 가 생산이 되어 대부분 cement kiln 에서 이용
- 스웨덴 : 생활폐기물로부터 생산

2) 유럽 RDF품질표준화 현황

RDF에 대한 명확한 정의는 국가마다 다르므로 통일된 유럽규격 작업이 진행

중이다. MSW 에서 만들어진 연료는 Recovered Fuel (REF), packaging Derived Fuels (PDF), Paper and Plastic Fraction (PPF), Process Engineered Fuel (PEF) 등 원료와 공정에 따라 여러 가지 형태와 이름으로 불리우고 있고 유럽규격위원회는 SRF(Solid Recovered Fuel)로 정하였다. RDF에 관한 규격을 가지고 있는 Europe의 나라는 핀란드, 이태리, 독일 등이다.

가) 핀란드 규격

- 규격 번호 : SFS 5875
- 제 목 : Solid Recovered Fuel Quality Control System
- 내용
 - RDF대신 REF(Recovered Fuel or Recycled Fuel) 이라는 용어를 사용함
 - REF 정의 ; 생활폐기물 또는 사업장폐기물에 포함되어 있는 여러성분 중에서 가연성, 건조, 고체상인 성분을 선별하여 연료로 사용하는 것
 - REF 생산자는 품질에 대한 책임이 있음
 - REF 생산자는 정부로부터 허가를 받은 사용자에게만 REF를 공급해야 함
 - REF 사용자는 먼저 시험연소를 실시하여 환경배출허용기준에 합격해야 REF를 본격적으로 사용을 할수 있음
 - REF 품질 등급

< 표 2 : 핀란드의 RDF 품질표준 >

구분	항 목 (D.B.)	단위	품질 등급			비고
			I	II	III	
1	염소 함량	%(m/m.)	<0.15	<0.50	<1.50	
2	황 함량	%(m/m.)	<0.20	<0.30	<0.50	
3	질소 함량	%(m/m.)	<1.00	<1.50	<2.50	
4	K 및 Na 함량	%(m/m.)	<0.20	<0.40	<0.50	
5	Al (metallic)함량	%(m/m.)				
6	Hg 함량	mg/kg	<0.1	<0.2	<0.5	
7	Cd 함량	mg/kg	<1.0	<4.0	<5.0	

나). 이태리 규격

- 최저 저위발열량 (kcal/kg) 3584
- 최대 수분량 (% by wt) 25
- 최대 회분량 (%by wt, dry basis) 20
- 최대 염소 함유량 (% by wt) 0.9
- 최대 황 함유량 (% by wt) 0.6
- 최대 납 함유량 (mg/kg-dry basis) 200

○ 최대 크롬 함유량 (mg/kg-dry basis)	100
○ 최대 수용성 구리 함유량 (mg/kg-dry basis)	300
○ 최대 망간 함유량 (mg/kg-dry basis)	400
○ 최대 니켈 함유량 (mg/kg-dry basis)	40
○ 최대 비소 함유량 (mg/kg-dry basis)	9
○ 최대 카드뮴 +수은 함유량 (mg/kg-dry basis)	7

3) EU공통 RDF품질표준화 추진 현황4)

유럽표준협회(CEN)/TC(Technical Committee) 343에서 EU공통 RDF품질표준화를 추진 중이며 작업내용은 다음과 같다.

○ SRF(Solid Recovered Fuel ; 폐기물재활용 고형연료) 정의

- 폐기물소각로 또는 혼소 플랜트에서 에너지회수를 위해 사용되어질 수 있는 비유해성 폐기물에서 만들어진 연료

○ 필요성

- 신재생에너지의 증가를 위하여 비선별된 생활폐기물의 소각은 지양해야 한다.
- SRF 거래 시장의 활성화가 필요하며 이를 위해 SRF품질의 표준화를 해야 한다.

○ 범위

- SRF에 고체바이오연료(CEN/TC 335)는 포함하지 않는다.
- CEN TC 343 사업내용 범위는 SRF의 생산과 무역으로 한다.

○ 시장환경 및 목표

- EU 내 SRF시장 규모는 2000년에 140만톤(0.7Mtoe)였으며 2005년에는 1,300만톤(6.5Mtoe)로 예상됨.
- SRF는 고체화석연료를 대체하므로 이산화탄소 배출 총량을 낮출 수 있다. 환경보전을 위해서 자연자원을 보존하고 폐기물을 잘 관리하는 것이 중요하다.
- SRF 품질표준화는 SRF시장 확대에 있어서 가장 중요한 추진제가 될 것이다.
- 폐기물에너지 사용의 증가는 지역, 국가 및 EU전체에 걸쳐서 사회경제적으로 긍정적인 영향을 나타낼 것이다. SRF 생산 증가는 여러 산업분야에서 새로운 사업분야 및 고용창출 효과를 가져 올 것이다.
- SRF 품질의 안정화를 통해서 사용자의 신뢰성을 확보하는 것이 필수적이며 SRF사용기기 제조업체의 활성화에도 밀접한 관계가 있다.

○ 경과

1996년 THERMIE 프로그램에서 7개국 13개사로 구성된 산업체 연합이 연료와 에너지의 회수를 제안하였고 그 결과에 따라서 1999년에 7개국 15개사로 구성된 산업체연합이 RDF규격화를 제안하였고 경제성분석(Cost-Benefit

Analysis)을 하였다. 이 후 CEN에서 2000년 10월에 CEN/BT/Task Force 118을 구성하여 기초항목 등을 마련토록 하였으며 TB 118 결과에 바탕으로 2002년 3월에 정식 표준화를 위한 CEN/TC 343이 구성되어 현재 작업이 진행 중이다. TC 343은 RDF대신에 SRF(Solid Recovered Fuels)를 공식 용어로 하기로 하였다.

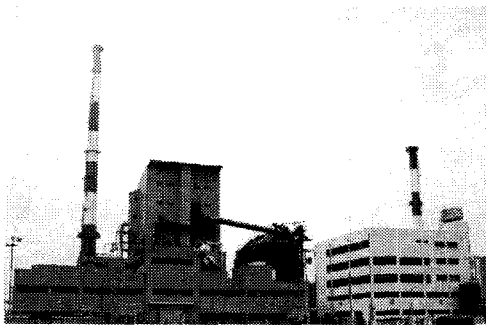
- CEN/TC 343은 업무 분담을 위하여 다음의 5개 워킹그룹을 구성하였다.
- Terminology and Quality Assurance.
- Fuel specifications and classes.
- Sampling, sample reduction and supplementary tests.
- Physical/mechanical tests.
- Chemical tests.

나. 순환유동층 석탄화력발전소에서 RPF혼소기술 개발

1) 연구 개요

본 연구는 석탄비용의 절감과 국제적 해양투기금지가 확산되고 있는 슬러지 처리대책으로서 염색폐수슬러지의 연료화 처리기술을 개발하는 것이 목적이다. 연구내용은 건조된 염색폐수슬러지와 플라스틱을 혼합한 RPF(Refused-Plastic Fuel)를 제조하는 기술을 개발하고 연소특성을 조사하여 최적운전조건을 도출하는 것이다. 그림1은 참여기업인 부산염색공단 열병합발전소 모습이며 용량은 증기 80톤/시 이고 주간 운전시에 석탄사용량은 1기당 8~9톤/시 정도이며 2기로 구성되어 있다.

슬러지혼합RPF 혼소실험에 앞서 우선 RPF혼소 시 보일러 상태를 파악해보기 위해서 품질인증RPF를 사용하여 석탄과 RPF의 혼소실험을 수행하였다.



[그림 1 : 부산염색공단 석탄보일러]



[그림 2 : 실험에 사용한 RPF]

2) 연구 결과

그림2는 혼소실험에 사용한 RPF사진이며 전염소량은 0.4~0.6% wt. 정도로서 양호한 편이었고 크기는 50mm 내외의 부정형이었다.

HCl 농도 측정은 먼저 석탄만 단독으로 연소할 경우에 대하여 먼저 분석을 하였으며 측정된 농도는 약 2%정도로 나타났다. 다음으로 RPF를 2.5% 정도 혼합연소를 했을 때 측정된 HCl 농도는 약 10 ppmv (O₂ 6% 기준) 정도로 분석되었다.

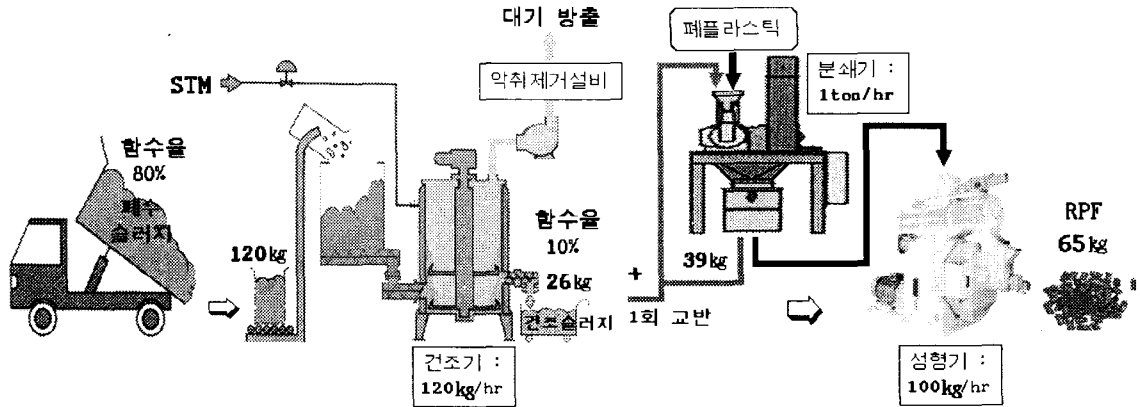
다음으로 동일한 조건에서 다이옥신 농도를 측정한 결과는 표3과 같으며 허용기준값의 1/30 이하로 나타났다. 다이옥신 농도가 낮은 것은 전기집진기가 160°C 정도로 운전되고 있어서 알려진 다이옥신 재합성온도보다 낮기 때문으로 판단된다. 또한 황성분이 다이옥신 생성을 억제한다는 실험결과가 알려져 있는데) 석탄 중에는 비교적 황성분이 많이 들어있기 때문인 것으로도 판단된다. 핀란드 자료에는 염소 0.35% RDF를 25%까지 혼소한 경우에도 다이옥신이 0.1ng-TEQ/m³이하로 나타난 보고가 있다.[6]

< 표 3 : RPF 2.5% 혼소시 다이옥신 농도 >

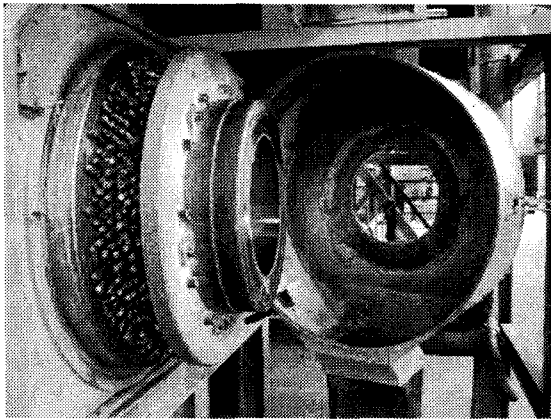
구분	Raw	6%적용	12%적용
다이옥신 (ng-TEQ/Sm ³)	0.004	0.005	0.003
기준(12%적용)	0.1		

한편, RPF혼소에 따라 CO농도는 소각로시설(2톤/hr이상)기준은 초과하였다. 따라서 RDF혼소시설에 관한 배출허용기준을 합리적으로 조정할 필요가 있는 것으로 나타났다. RPF혼소에 따른 급격한 보일러 내부온도변화 등은 보이지 않았으므로 운전상의 어려움은 거의 없었다.

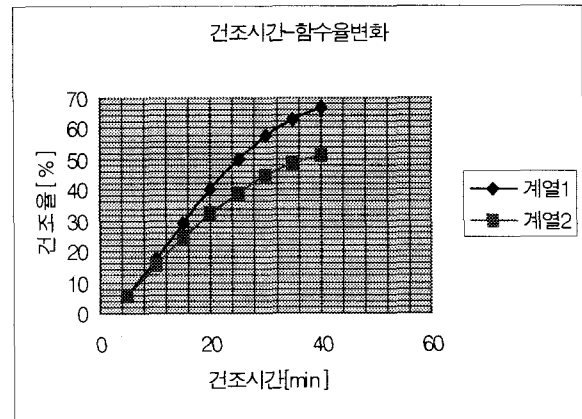
그림3은 염색슬러지를 건조하고 폐플라스틱과 혼합하여 RPF를 제조하는 파일럿플랜트의 흐름도이다. 그림4는 본 연구에서 사용될 성형기로서 국내K사와 한국기계연구원이 공동으로 개발하여 KT마크를 획득한 고효율의 Ring-dies방식 성형기이며 펠렛형RPF가 제조된다. 건조는 기술방식 선정을 위한 사전 실험에서 그림5와 같이 염색슬러지가 하수슬러지보다 건조시간이 오래 걸리는 특징을 보였고 따라서 일반 패들형은 적합하지 않은 것으로 판단하여 건조효율이 높은 원심가열식 건조방식을 선정하였다.



[그림 3 : 염색슬러지 혼합 RPF제조 파일럿 플랜트 흐름도]



[그림 4 : Ring-dies 성형기 모습]



[그림 5 : 염색슬러지와 하수슬러지 건조특성곡선(계열1;하수슬러지,계열2;염색슬러지)]

3) 향후 연구 계획

본 연구는 '05년 10월 현재 염색폐수슬러지혼합RPF 제조플랜트가 설치중이며 시운전을 거쳐 '06년부터 최적 건조 및 성형조건 도출을 위한 본 실험이 수행될 예정이다. 건조실험인자는 가열온도와 건조시간이며, 성형실험인자는 슬러지 비율, 다이스 L/D 및 형상, 함수율 등이다. 그리고 RPF연소시 발생하는 HCl의 제거를 위한 목적으로 보일러 연소실에 중화제를 투입하여 효과를 검증하는 내용과 추가적인 다이옥신 분석을 수행할 예정이다. 아울러 RPF투입에 의한 보일러 부식 상태를 장기간에 걸쳐 조사할 예정이다. 이를 위해서 보일러 내부에 실험용 시편을 설치하였다.

3. 결 론

RPF를 순환유동층 석탄화력 열병합발전 보일러에서 대체 연료로서 사용하는 기술개발을 위해 전염소함량 0.4~0.6%의 품질인증RPF를 2.5%혼소한 결과 양호한 연소성능을 보였고 정상적인 보일러 운전조건으로 가동되었다. 배연가스분석결과 는 다이옥신이 거의 검출이 되지 않았으며 HCl농도가 10ppmv 정도로 나타났다.

염색폐수슬러지혼합RPF를 제조하기 위하여 원심가열식 건조기와 Ring-dies방식 성형기로 구성된 파일럿플랜트를 개발하였고 염색폐수슬러지가 하수슬러지보다 건조가 어려운 특징을 보였다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단 신재생에너지센터의 기술개발사업에 의해 수행된 것으로서 연구개발지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김남하, '자원재생리사이클형 RDF발전시스템', KIMM 세미나자료, 2000
2. 산업자원부, '대체에너지 개발보급 3개년 계획', 대체에너지개발보급 대토론회자료, 2000.4.
3. A.Gendebien, et al, Refuse derived fuel, current practice and perspectives, WRc Ref CO5087-4, 2003
4. CEN/TR 14745, Solid Recovered Fuel, 2003
5. Hiroshi Ogawa, et al, 'Dioxin reduction by sulfer component addition', Chemosphere Vol.32.No.1pp.151-157, 1996
6. Juha Huotari, Raili Vesterinen, 'PCDD/F Emission from Co-Combustion of RDF with peat, wood waste, and coal in FBC boiler', Hazardous waste & Hazardous materials, Vol.12, No.1, 1996