

폐기물 전처리 공정 및 RFTF 법을 이용한 최적 공정 설계와 경제성 평가

이성주, 조희찬, 안지환*, 유광석*

서울대학교 지구환경시스템 공학부, 한국지질자원연구원*

RDF Processing Equipment and Optimal Design of RDF Plants using RFTF method and Costs assessment

Sung-Joo Lee, Hee-Chan Cho, Ji-Whan Ahn*, Kwang-Suk Yoo*

School of Civil, Urban & Geo-system Engineering, Seoul National University

Institute of Geoscience & Mineral Resources*

요 약

최근에 도시생활폐기물(MSW) 관리는 처리 기술에 관한 것 뿐만 아니라 재활용 기술에서도 관심이 되고 있다. 그러므로 RDF(Refuse Derived Fuel)는 에너지 재활용 기술 부문에서 더욱더 중요성이 강조되고 있다. 본 연구에서는 RDF의 생산공정-전처리 과정의 기술적인 평가를 수행하였다. RFTF법을 이용하여 높은 발열량의 질 좋은 RDF를 생산하기 위한 최적 생산 라인을 설계하는 시도를 하였다. 다양한 RDF 생산라인의 효율을 비교하기 위하여 컴퓨터 모델인 RFTF법을 이용하였는데 이 모델은 Diaz et al에 의하여 개발된 모델로서 RFTF(Recovery Factor Transfer Function)에 따른 물질수지의 계산을 하기 위하여 개발되었다. 결과적으로 본 연구를 통하여 최적의 RDF 전처리 공정라인을 추정할 수 있었고 경제성 평가를 수행하여 경제적인 공정라인을 제시하였다.

1. 서 론

최근 사회는 에너지 소모의 시대로 치닫고 있는 상황에서 화석연료의 매장량이 석유는 40년, 천연가스는 60년, 석탄은 330년 동안 사용할 수 있는 양이 남아 있는 것으로 알려져 있어서 에너지 절약과 더불어 새로운 대체에너지의 확보는 시급한 현안이 되고 있다. 특히 우리나라는 화석연료의 의존도가 높은 다소비 산업구조를 하고 있어서 고유가정책이 지속되고 있는 현 시점에서는 그에 대한 대책이 시급한 상태이다. 따라서 현재 에너지로서 사용되고 있지 않은 폐기물 에너지를 활용할 수 있는 방안을 연구하여 대체 에너지 개발에 기여하고자 한다.

또한 현재 우리나라는 폐기물의 감량과 재활용에 많은 노력을 기울이고 있지만 매립지 확보의 한계와 더불어 소각율의 증가가 불가피하다. 그러나 중소형 소각로를 이용하여 폐기물을 직접 소각하는 기술은 경제적으로 불리하여 상대적으로 2차 환경오염이 클 수 밖에 없어서 소각로를 대형화하는 추세이다. 이러한 상황에 가연성 폐기물만 선별하여 성형한

RDF는 우수한 연소성을 가지고 성형시 저장, 운반이 용이하여 대형 설비에서의 소각도 가능하게 되므로 친환경적 처리를 이룰 수 있고 균질한 고발열량 연료로서의 기능을 가지므로 에너지 이용을 극대화 할 수 있는 폐기물 고품 연료 (Refuse Derived Fuel)는 최근 대체에너지 개발의 한 부분을 차지하고 있다.

2. 본 론

2.1 RFTF 법의 원리 및 RF(Recovery Factor)

RFTF란 Recovery Factor Transfer Function의 약자로서 Diaz에 의해 개발된 모델이다. 이 방법을 이용하여 RDF의 전처리 장비의 설치 개수나 배치를 디자인 하면 RDF 생산공정라인의 다양한 배치에 따라서 RDF 원료 조성 예측, Mass Yield 예측, 발열량 예측, Cost 예측 등을 가능하게 할 수 있다. 이 방법을 이용하면 실제 공정장비를 이용하지 않고도 RDF 최적 공정라인 디자인 및 경제성 평가를 가능하게 도와준다. RFTF의 원리를 기술하면 그림 2.1과 같은 모식도로 나타낼 수 있다.

그림 2.1에서 보는 바와 같이 임의의 전처리 장비에 폐기물을 투입할 경우 폐기물이 각 성분이 스트림1과 스트림2로 각각 recovery되거나 reject된다. 이때 각 성분이 전처리되어 다음 공정으로 나가는 비율을 r이라고 하고 이를 Recovery Factor라고 한다. 이 RF를 알면 스트림 1,2를 matrix로 나타낼 수 있고 그 값은 그림 2.1에 나타낸 것과 같다.

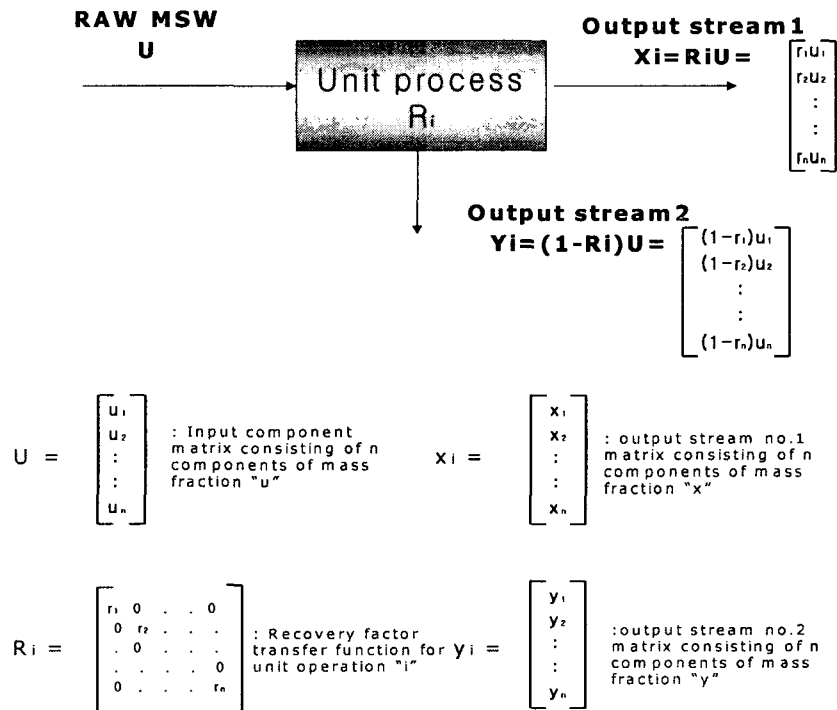


Figure 2.1 The principle of RFTF method

Table 2.1 Recovery Factor

Equipment	Fraction	Wood	Paper	Plastic	OR	Fe	Al	Glass	OIR
S	Refuse	1	1	1	1	1	1	1	1
	Moisture	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
M	Refuse	1	1	1	1	1	1	1	1
	Moisture	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
T	Refuse	0.8	0.85	0.9	0.25	0.8	0.8	0.2	0.25
	Moisture	0.8	0.85	0.9	0.25	0.8	0.8	0.2	0.25
PT	Refuse	0.6	0.69	0.62	0.11	0.41	0.37	0.01	0.02
	Moisture	0.6	0.69	0.62	0.11	0.41	0.37	0.01	0.02
ACC(s)	Refuse	0.8	0.98	0.98	0.7	0.1	0.8	0.7	0.2
	Moisture	0.7	0.882	0.882	0.63	0.09	0.72	0.63	0.18
ACC(u)	Refuse	0.5	0.98	0.98	0.4	0.1	0.5	0.02	0.15
	Moisture	0.45	0.882	0.882	0.36	0.09	0.45	0.018	0.135
MS	Refuse	0.98	0.98	0.98	0.95	0.2	1	1	1
	Moisture	0.98	0.98	0.98	0.95	0.2	1	1	1
ECS	Refuse	0.98	0.98	0.98	0.98	0.2	0.1	1	0.95
	Moisture	0.98	0.98	0.98	0.98	0.2	0.1	1	0.95
HS	Refuse	1	1	1	0.9	0.9	0.5	0.7	0.7
	Moisture	1	1	1	0.9	0.9	0.5	0.7	0.7

S : shredder ACC(s) : 파쇄후 air classifier with cyclone
M : hammermill ACC(u) : 파쇄전 air classifier with cyclone
T : trommel screen MS : magnetic separator
PT : pre-trommel screen ECS : eddy current separator
HS : hand sorting

2.2 다양한 수와 배치의 공정라인

이 보고서는 RDF의 원료를 최적화시키기 위한 전처리 공정의 설계를 목표로 하고 있기 때문에 임의로 다양한 배치를 해보고 경제성 평가를 해서 최적공정을 선정하였다. 총 42공정의 공정라인을 프로그램에 적용하여 Mass Yield, 발열량 및 RDF의 단가를 계산하였다. 공정라인의 배치 종류는 표 2.2에 나타내었다.

Table 2.2 The various processing lines

0	전처리 공정 없음	1u	PT-HS-MS-ACC-S-T-M-T
가	S-MS	2s	T-HS-MS-S-ACC-T-M-T
나	S-MS-ACC	2u	T-HS-MS-ACC-S-T-M-T
다	S-MS-T-ACC	3s	T-HS-MS-S-ACC-T-MS-M-T
라	S-ECS-T-ACC	3u	T-HS-MS-ACC-S-T-MS-M-T
마	S-MS-T-ECS-ACC	4s	T-HS-MS-S-ACC-T-MS-M-T-MS
바	S-MS-T-M-ECS-ACC	4u	T-HS-MS-ACC-S-T-MS-M-T-MS
1	PT-HS-MS-S-T-M-T	5s	T-HS-MS-S-ACC-T-ECS-M-T
2	T-HS-MS-S-T-M-T	5u	T-HS-MS-ACC-S-T-ECS-M-T
3	T-HS-MS-S-T-MS-M-T	6s	T-HS-ECS-S-ACC-T-ECS-M-T
4	T-HS-MS-S-T-MS-M-T-MS	6u	T-HS-ECS-ACC-S-T-ECS-M-T
5	T-HS-MS-S-T-ECS-M-T	7s	T-HS-MS-S-ACC-T-S-T-M-T
6	T-HS-ECS-S-T-ECS-M-T	7u	T-HS-MS-ACC-S-T-S-T-M-T
7	T-HS-MS-S-T-S-T-M-T	8s	T-HS-MS-S-ACC-T-MS-S-T-M-T
8	T-HS-MS-S-T-MS-S-T-M-T	8u	T-HS-MS-ACC-S-T-MS-S-T-M-T
9	T-HS-MS-S-T-ECS-S-T-M-T	9s	T-HS-MS-S-ACC-T-ECS-S-T-M-T
10	S-T-MS-M-T	9u	T-HS-MS-ACC-S-T-ECS-S-T-M-T
11	S-T-MS-S-T-M-T	10s	S-T-MS-ACC-M-T
12	S-T-MS-S-T-MS-M-T	11s	S-T-MS-ACC-S-T-M-T
13	S-T-ECS-S-T-MS-M-T	12s	S-T-MS-S-ACC-T-MS-M-T
14	S-T-ECS-S-T-ECS-M-T	13s	S-T-ECS-S-ACC-T-MS-M-T
1s	PT-HS-MS-S-ACC-T-M-T	14s	S-T-ECS-S-ACC-T-ECS-M-T

2.3 최적 공정라인 추정 결과 (충북 생활폐기물 원료 투입시)

Table 2.3 Composition of Chung-Buk wastes (ton/day)

Wood	Paper	Plastic	OR	Fe	Al	Glass	OIR	Water	합계
80.64	302.8	87.93	105.6	21.96	2.97	9.63	39.84	277.83	929.2
8.6784	32.587	9.463	11.365	2.3633	0.3196	1.0364	4.287559	29.89991	100%

Mass Yield의 계산

Mass Yield란 투입 폐기물과 전처리 과정후의 폐기물량의 비율을 나타낸 것으로 정의 할 수 있는데 공정라인 다의 예로 설명을 하자면 다음과 같다.

충북 폐기물의 총량은 929.2 ton/day 이고 공정라인을 통과 후 폐기물의 양은 479.11 ton/day 이다. 이 경우의 Mass Yield는 다음과 같다.

$$479.11/929.2 * 100 = 51.6 \%$$

즉 총 100을 투입했을 때 RDF 원료가 51.6이 생산된다는 의미이다. 그러므로 전처리 공정을 설계할 때 이 Mass Yield의 값은 높게 할수록 생산의 양이 많아지므로 경제적이다 라고 말할 수 있다.

발열량의 계산

발열량은 우선 고위 발열량을 계산한 후 저위발열량을 계산하였다. 고위 발열량을 계산할 때는 평균발열량을 이용하였다. 나무는 4500 kcal/kg, 종이는 2100 kcal/kg, 플라스틱은 6300 kcal/kg, OR은 1500 kcal/kg 으로 계산하였다.

$$\text{고위 발열량} = \text{Wood/전체} * 4500 + \text{Paper/전체} * 2100 + \text{Plastic/전체} * 6300 + \text{OR/전체} * 1500$$

(여기서 전체는 건조성분+수분의 총량임)

$$\text{저위 발열량} = \text{고위 발열량} - (\text{수분량/전체}) * \text{증발열}$$

(여기서 증발열은 물 20도씨 기준으로 했을 때 약 620 kcal/kg로 계산)

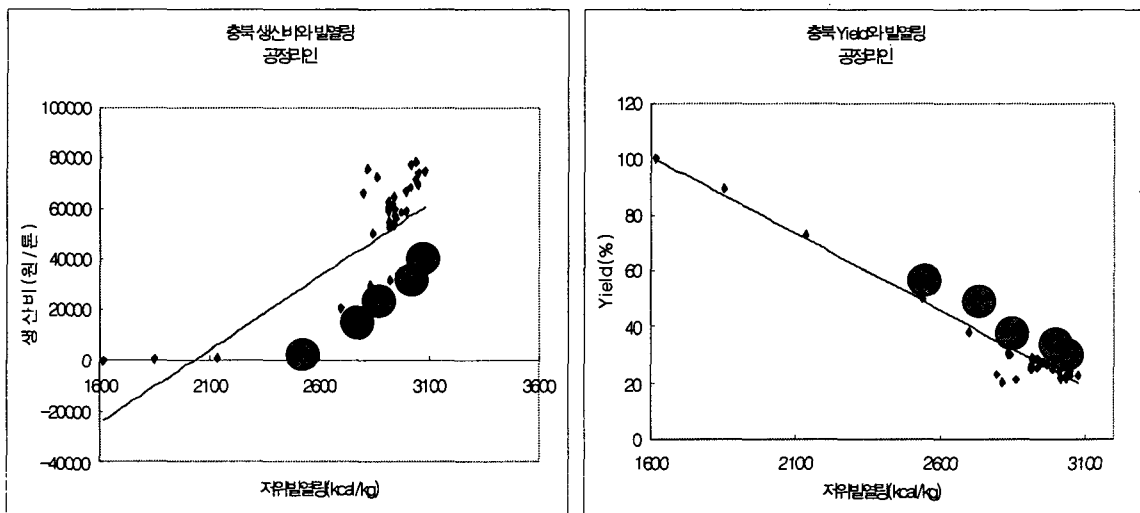


Figure 2.2 Relation of the Heating Value, Mass Yield, and operating cost by each processing lines of Chung-Buk wastes

본 보고서에서는 첨가 원료로 플라스틱과 칩타이어를 사용하여 경제성 평가를 시행하였다. 위의 최적 공정라인으로 추정할 수 있는 라인은 그림 2.2에 나타내었다. 최적 공정

라인으로 추정된 공정라인은 다음과 같다.

다라인 : S-MS-T-ACC

바라인 : S-MS-T-M-ECS-ACC

10s라인 : S-T-M-ACC-M-T

14라인 : S-T-ECS-S-T-ECS-M-T

14s라인 : S-T-ECS-S-ACC-T-ECS-M-T

이 다섯 공정라인과 전처리를 전혀 하지 않은 0라인을 첨가해서 경제성 평가를 시행하고자 한다.

2.4 최적 공정라인 경제성 평가

계산에 필요한 식들은 다음과 같다.

시설투자비 : 전처리 장비의 가격의 합, 운전비(생산비) : 전처리 장비 운전비의 합, 톤당 생산비 계산 : 총생산비/총생산량

첨가물질(플라스틱, 칩타이어) 첨가량 : 발열량 기준이 4000 kcal/kg 이므로 공정라인 총 발열량 : 발열량*생산량, 첨가물 총 발열량 : 발열량*첨가량

$4000 = (\text{공정라인 총발열량} + \text{첨가물 총 발열량}) / (\text{생산량} + \text{첨가량})$

이 식에 의해서 첨가물질 첨가량을 산정할 수 있다.

첨가물질 첨가RDF 단가 : RDF원료 생산비 + 첨가물질 가격

철, 알루미늄 회수비는 철단가 : 약 48만원/톤, 알루미늄단가 : 약 60만원/톤의 값으로 계산 (서울 경제신문 2004년 10월 8일 경제란에서 참고함)

최종 RDF 생산비는 다음과 같이 산정하였다.

--> 공정RDF생산량(톤) * 공정RDF생산비(원/톤) +
후처리RDF생산량(톤) * 후처리RDF생산비(원/톤) +
후처리비(매립) - 철회수비 - 알루미늄회수비

최종 RDF 생산단가 (원/톤)는 다음과 같이 산정하였다.

--> 최종 RDF생산비(원)/최종 RDF생산량(톤)

(단, 플라스틱은 무상 배부되고, 발열량은 6500 kcal/kg, 칩타이어는 톤당15000원이고 발열량은 9000 kcal/kg이다.)

매립은 수도권 매립지 공사의 매립처리비용 값이고 소각은 최하한 값을 이용하였다.

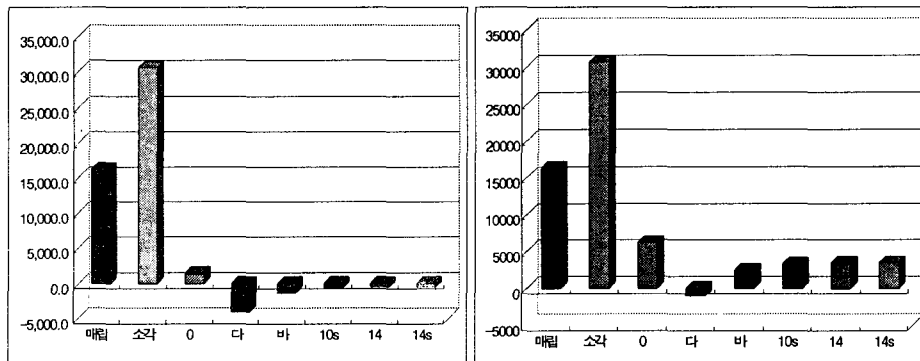


Figure 2.3 Costs of Landfill, Incineration, and RDF among the various processing lines (left : mixing plastic , right : mixing chip tire)

3. 결 론

RDF의 최적 공정라인은 공정라인으로서 *공정라인 다 : S-MS-T-ACC*

이상 네가지의 전처리 공정으로 구성 할 때 가장 경제성이 있다는 결론을 내릴 수 있었고 공정이 복잡해지더라도 경제성은 별로 없다고 판단된다.

4. 참고 문헌

- 1) Antonio C. Caputo, Pacifico M. Pelagagge, RDF Production plants : I Design and costs, Applied Thermal Engineering, 22, 423-437, 2002
- 2) Antonio C. Caputo, Pacifico M. Pelagagge, RDF Production plants : II Economocs and profitability, Applied Thermal Engineering, 22, 439-448, 2002
- 3) James R. Palmer, Optimization of an MSW Separation System, Air & Waste Management Association's 92nd Annual Meeting & Exhibition, Presentation No. 99-212, 1999
- 4) 안지환, 유광석, Application of RDF to the Cement Industry, 2004
- 5) Andrew Porteous, Refuse Derived Fuels, 1981
- 6) Luis F. Diaz, George M. Savage, Clarence G, Resource recovery from Municipal solid wastes volume I Primary Processing, 1982
- 7) Charles R. Rhyner, Leander J. Schwartz, Robert B. Wenger, Mary G. Kohrell, Waste Management and Resource Recovery, 1995
- 8) 윤서성의 다수, 2002년 전국 폐기물통계조사, 환경부, 2002
- 9) P. Aarne Vesilind, Alan E. Rimer, Unit Operations in Resource Recovery Engineering, 1980
- 10) A. gendebien, A. Leavens ets, Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives, 2003
- 11) 최연석외 4명, 도시폐기물 고품연료화 장치 개발, 1999
- 12) 최연석, 권영배, 폐기물 고품연료(RDF)의 특성 및 전망, 1998
- 13) 김석준, 최연석, 김우현, 폐기물 고품연료(RDF)의 국내외 기술 동향, 1999
- 14) 신병철, 이조영, 최형욱, 폐기물 고품연료(RDF)의 활용방안 및 전망, 2002
- 15) B. Boesmans, Refuse Derived Fuel in the Netherlands, 1986
- 16) 신대현외 다수, 폐합성수지류의 산업체 연료화 이용기술 개발, 산업자원부, 2001
- 17) 최연석외 다수, 도시 폐기물의 고품 연료화 장치 개발에 관한 연구, 산업자원부, 1999
- 18) Yoshiaki Ishii, Noboru ishii, Yuichi Iida, A system for Preparation and Production of RDF(Rdfuse Derived Fuel) from a Source-Separated Fraction of MSW(Municipal Solid Waste) in Narashino, 1987
- 19) P. Aarne Vesilind, Air Classification of Shredder Refuse, 1986