

폐기물의 에너지 포텐셜과 활용방안

도갑수 / 숭실대학교
화학공학과 교수

1. 서론

현대사회에 있어 에너지 소비량은 문명의 바로미터라 칭할 정도로 에너지의 중요성이 강조되고 있으며 보다 나은 문화생활을 누리기 위하여 지구상에 현존하는 에너지원 확보에 각국마다 보이지 않는 경쟁을 하고 있는 것이 현실이다.

최근에 이르러 부존에너지자원 중 유일한 무연탄이 개발 활용 한계에 이르렀고 에너지 다소비 사회구조의 변모는 값싼 에너지원 확보를 염두에 두지 않으면 안될 시기를 맞고 있다. 우리나라의 부존에너지로는 무연탄 매장량이 약16억톤(가채량 약 6억톤), 우라늄(U₃O₈ 0.03%) 원광이 약 1억톤, 수력이 포장수력 약 362만kWh(약 70% 개발 활용)이 고작이다.

1973, 1979년 2회의 석유파동은 3고(고유가, 고금리, 고물가)의 어려움을 주었으나 탈석유, 에너지 절약, 원유 공급원 다변화 등의 노력으로 위기를 극복하였으며 1986년 이후 3저(저유가, 저금리, 저환율) 시대를 잘 활용하여 우리 경제의 고도성장 과 무역흑자를 실현 가능케 하였다. 이와같은 고도 성장에 따라 에너지 다소비 풍조를 야기시켜 80년대 상반기 중 에너지 소비증가율이 연 4.4%이던 것이 하반기에 이르러서는 10%를 상회 하였으며, 금년에 들어 이미 작년 수준(18%)에 육박한 16% 증가율을 나타내는 것은 앞으로의 심각한 문제를 예측하게 한다. 80년도 하반기 소비증가 추세는 석유가 +12%, 가스는 +24.3% 전력이 +13.3%, 무

연탄은 -0.4%로 에너지 소비가 고급화되고 있음을 잘 나타내 주고 있으며 해외 의존도 역시 1985년의 76%에서 1988년도에는 83%로 증가하였고 멀지않아 90% 수준에 육박할 것으로 예측된다. 특히 석유의존도가 정부의 강력한 탈석유 정책에도 불구하고 50%선을 육박함으로써 석유 안정공급기반을 불안하게 하여 어떤 형태로든 장기적인 에너지원 확보정책을 수립하여 나가야 할 것으로 생각된다.

여러가지 국제환경 변화로 이제까지 돈만 주면 언제나 마음대로 에너지자원을 사올 수 있다는 단일한 생각은 자원민족주의가 날로 높아지는 현 국제정세를 생각할 때 온 국민의 숙고와 이에 대한 적절한 대책이 요망된다.

이미 선진국에서는 석유파동 이후 에너지 다소비, 고 에너지 가격을 대비한미래 에너지원으로 대체에너지 개발에 많은 연구와 실적을 남겼다. 항간에 세상을 떠들썩하게 만들었던 상온 핵융합과 같은 연구도 대체에너지 개발 차원에서 수행되었던 것이다.

우리 정부에서도 다소 늦은 감은 있으나 1987년에 「대체에너지 개발 촉진법」을 입법화하여 1988년부터 이를 위한 연구개발에 착수하게 된 것은 참으로 다행한 일이 아닐 수 없다. 정부가 추진하고 있는 대체에너지로는 ○ 태양에너지 ○ 바이오에너지 ○ 풍력 ○ 소수력 ○ 연료전지 ○ 석탄액화 및 가스화 ○ 해양에너지 ○ 폐기물에너지 등이다. 1988년도의 대체에너지 이용 실적은 총 에너지 공급량의 0.25% 수준으로 극히 저조한 상태이나, 2000

년대의 공급 목표는 3%로 계획 추진하고 있다. 이들 가운데 폐기물은 어느 대체에너지원보다 에너지 포텐셜이 높으며, 손쉽게 활용할 수 있음과 동시에 각종 환경오염 물질의 절감, 폐기물의 감량화 및 안정화에 의한 국토이용의 효율화 등에 크게 기여할 수 있다.

본 고에서는 우리 나라에서 발생하는 주요 폐기물의 에너지 포텐셜과 에너지원으로서의 활용 현황을 조사 분석하고 앞으로의 활용화 방향에 대해 언급하였다.

2. 주요 폐기물의 에너지 포텐셜

「폐기물 관리법」에 의하면 폐기물은 일반폐기물과 산업폐기물로 분류된다. 이 폐기물 가운데 가연성물질의 함량이 많아 연료로 이용할 수 있는 가능성이 높은 것은 일반폐기물 중 쓰레기, 축산폐기물과 산업폐기물 중 특정 산업폐기물인 폐유, 폐합성수지와 일반 산업폐기물인 유기물류 등이다. 폐기물의 대체에너지원으로서의 조건은 ○ 발열량이 적당히 높고 ○ 안정하며 ○ 혐오감이 없고 ○ 취급이 용이하고 ○ 정기적으로 대량 공급이 가능한 점 등이다.

주요 폐기물의 에너지 포텐셜은 다음과 같다.

2.1 일반폐기물

일반폐기물 중 쓰레기(municipal solid waste, MSW)의 경우 많은 물질로 구성되어 있다. 우리나라에서 연간 발생된 총 쓰레기의 평균 발열량을 산술당량(arithmetic equivalent)인 TOE로 환산하여 보니, 연간 약310만TOE의 에너지 포텐셜도 증가추세에 있었다. 발생상태에 따라 발열량의 차이가 심하나 쓰레기의 각 성분들마다 상당한 발열량을 가지므로 발열량이 높은 성분만을 분리수거(source separation)가 가능하다면 우수한 대체 연료의 가능성이 있다.

가축폐기물은 수분함량이 높아 직접 연료로는 불가능하나 BOD 부하가 높기 때문에 혐기성 소화를 통한 CH_4 가스를 발생, 회수하여 이를 에너지원으로 이용할 수 있다고 본다.

가축배설물을 모두 CH_4 로 전환시킬 경우 1987년도의 TOE는 255,750이며 연 평균 8.6%의 증가율

을 나타내었다.

쓰레기 가운데 종이류나 플라스틱류는 물질회수가 가능하고, 가축폐기물의 경우에는 퇴비화(composting)을 통하여 유기질비료나 토지개량제로의 회수가 가능하므로 실제 에너지 이용 가능성은 상당히 낮으며, 또 에너지로 활용하기 위하여는 소각 설비를 갖추어야 하므로 이의 전환에너지 및 에너지 전환효율을 고려한 대체당량(substitution equivalent) TOE는 더욱 더 낮아지게 된다.

또 폐기물의 소각장에서는 연소과정에서 발생하는 유해물질(TSP, SOx, NOx, HCl 및 dioxine 등)을 제거하기 위한 대기오염 방지설비를 필수적으로 설치하여야 하므로 그 경제적인 가치에 상당한 회의를 가지게 한다. 가연성 물질만을 분리시켜 제조한 재생연료인 RDF(refuse derived fuel)는 이론적으로는 가능하나 우리나라와 같이 쓰레기의 질이나 양의 변화가 심하고 분리수거가 잘 이루어지지 않는 나라에서는 전처리시스템(front-end system)이 복잡하게 되므로 경제성이 거의 없게 된다. 난지도의 청소공장(1,500T/D처리 규모)이 어려움을 겪고 있는 것을 보아도 잘 알 수 있다.

2.2 산업폐기물

산업폐기물은 일반폐기물과는 달리 사업장에서 배출되는 물질이므로 각 사업장의 특성에 따라 나오는 폐기물의 양이나 질이 판이하다. 국내의 산업폐기물은 매년 13.7%의 높은 증가율을 나타내고 있으며 이들 중 상당량의 유기물을 함유하고 있는 폐유, 폐플라스틱, 폐목재, 폐지 등은 에너지 포텐셜이 상당히 높을 것으로 추산되며 상당한 에너지 포텐셜을 가지는 농업용 폐필름이나 페타이어도 대체에너지로 검토할 가치가 있다.

폐유 중 폐윤활유의 경우 평균 발열량은 벙커C유 보다 높은 약 11,000Kcal/kg이나 되고 그 발생량이 연21.4%의 증가추세를 나타내므로 에너지 대체효과가 클 것으로 기대된다. 1987년도의 에너지 포텐셜은 155,780 TOE나 되고, 폐기물 관리법에 의하면 폐유는 소각한 후 매립토록 되어 있으므로 폐기물 처리와 에너지 회수가 잘 조화될 수 있으리라 본다. 최근에는 유동성이 있는 폐유를 연속 열분해 회수처리장치를 통하여 등유와 A중유 등을

85%의 높은효율로 회수할 수 있는 시스템이 개발되었다. 그러나 플라스틱은 각종 polymer와 첨가제를 혼합하여 만든 것으로 그 사용 목적에 따라 종류가 다양하므로 산업체에서 널리 사용되고 있고 그 폐기량도 증가 추세에 있다.

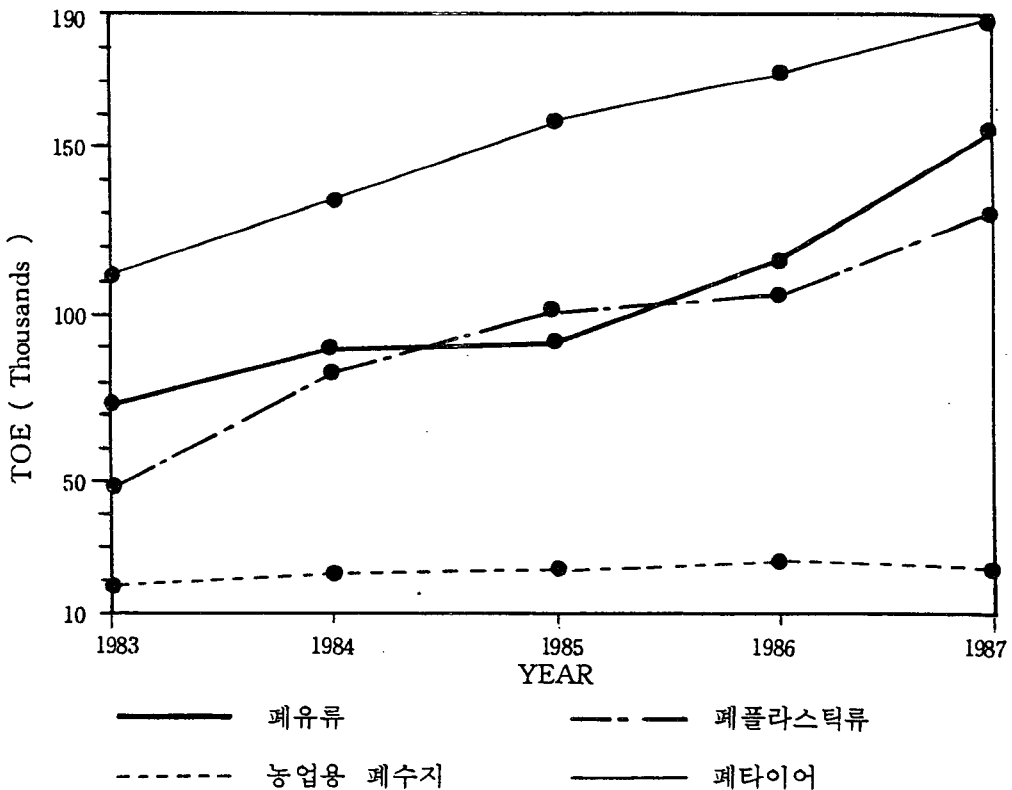
플라스틱의 발열량은 종류에 따라 큰 차이가 있으나 평균 9,600Kcal/kg으로 취하여 에너지 포텐셜을 구해보면 1987년도는 131,400 TOE가 되었다. 플라스틱은 쓰레기 (MSW)에 약 7% 함유되어 있기 때문에 산업폐기물에서의 플라스틱비율은 낮아진다.

현재 폐기물 관리법에는 농업용 폐비닐을 산업폐기물의 범주속에 포함시키지 않고 있다. 농업용 폐비닐은 별도의 「합성수지 폐기물 처리사업법」에

의하여 한국자원재생공사(KORECO)로 하여금 수집, 재활용 및 처리하도록 조치하고 있다. 폐기된 상태로의 평균 발열량을 7,700Kcal/kg으로 추정하면 그 에너지 포텐셜이 24,050TOE (1987년)이나 됨을 알 수 있었다.

최근 자동차의 증가추세가 가속화되므로 폐타이어의 발생량도 크게 증가하고 있다. 1987년에는 189,720TOE에 해당하는 에너지 포텐셜을 가졌으며, 연평균 14.2%의 높은 증가율을 보이고 있다.

<그림 1>에 폐유, 폐플라스틱, 폐농업용 필름 및 폐타이어의 연도별 산술당량 TOE의 값을 플로트하였다. 폐플라스틱이 33%의 증가율로 가장 높은 증가율을 보이고, 폐유, 폐타이어, 폐농업용 필름 순이었다.



(그림 1) 연도별 각종 폐기물의 에너지 포텐셜

일반 산업폐기물 중 유기물은 폐지, 폐목재, 폐가죽, 동식물 고형잔재, 폐고무, 동물의 분뇨, 오니류 등으로 아주 다양하며 그 양은 전체 산업폐기물의 17.8%에 해당되지만, 그 질이 다양하므로 평균 발열량을 예측하기란 어렵다.

유기물 약 3,000Kcal/kg (폐목재 4,400Kcal/kg, 폐지 3,400Kcal/kg, 오니류 1,000Kcal/kg)을 취하면 연도별 에너지 포텐셜 TOE를 계산하면 1987년도는 816,650 TOE으로 평균 30%의 높은 증가율을 보이며 실제 사업장에서 소규모 소각장으로 열을 회수할 수 있는 폐기물 가운데 가장 손쉬운 것이다.

3. 폐기물의 에너지 이용 현황과 문제점

전장에서 일반 산업폐기물에는 상당량의 에너지 포텐셜이 있음을 밝혔다.

그러나 이를 실제 에너지로 전환하여 활용하기에는 많은 문제점이 있기 때문에 그 실제 이용 정도는 아주 보잘것 없다. 또 정확한 자료를 입수하기도 상당히 어려운 실정이지만, 여러 자료를 통하여 폐기물의 종류별 에너지 이용현황과 문제점을 분석하고자 한다.

3.1 일반폐기물

일반폐기물 가운데 쓰레기(MSW)는 앞서 밝힌 바와 같이 아주 높은 TOE를 가지고 있으나 실제 이용 정도는 아주 미약하다.

우리 나라의 도시 쓰레기용 소각로는 의정부의 50T/D(1983~1984), 목동 열병합공장 150T/D(1984~1986) 두 곳에만 설치되어 있으며 이 중 에너지회수 재활용 시스템으로는 목동이 유일하다. 경기도 성남시의 100T/D의 소각장건설을 위한 기본조사를 실시한 바 있으나 아무런 사후 조치도 결정하지 못하고 있는 것이 현실이다. 또 난지도 청소공장에서 1일 470T/D(총 용량의 31.4%)의 RDF를 생산예정 (1987년 12월 준공 계획)이었으나 아직도 가동하지 못하고 있으므로 쓰레기의 에너지 활용에 암담한 결과를 초래하고 있다. 현재 가동되고 있는 소각로를 통한 에너지회수는 연간 8,760 TOE로 전체 에너지 포텐셜 3,105,000 TOE에 비하면 불과 0.28%인 실정이다.

우리 나라의 쓰레기 에너지 이용율이 낮은 것은 쓰레기의 질이 외국에 비하여 ash함량과 수분함량이 높고, 분리수거(source separation)가 잘 되지 않아 발열량이 낮으며, 아직도 국내 기술의 축적이 없으므로 간단한 매립 쪽으로 선호하기 때문이라고 본다. 또 쓰레기의 발생량이나 질의 변화가 심하므로 적절한 관리가 어렵지만, 필자의 생각으로는 50T/D 이하의 소형 소각로를 시나 읍단위의 아파트 주위에 건설하여 그 에너지를 활용하고 또한 기술축적도 시킬 필요가 있다고 본다.

축산폐기물은 작년부터 대형 축산농가에 대하여는 폐기물 처리시설을 갖추도록 의무화 하였으나 여러가지 경제적 여건 때문에 혐기성 소화시설은 아직 전무한 실정이다.

3.2 산업폐기물

1987년도 국내의 산업폐기물 관리현황은 물질회수가 53.9%, 매립이 34.3%인데 비하여, 소각 열회수는 2.1%에 불과하였다.

여러가지 폐기물의 에너지 포텐셜과 에너지 이용량(TOE), 에너지 이용율을 <표1>에 나타내었다.

1987년도 폐유의 연료화는 총 155,780 TOE, 가운데 8.8%인 13,700 TOE이었다. 석유의 소비량이 증가추세에 있어 폐유도 많이 발생될 것으로 예측되므로 이들로부터 연료유를 회수하거나 소각하기 위한 기술 개발이 필요하다.

폐플라스틱을 재활용하는 방법으로는 원료이용, 열회수 및 화학물질 회수가 있는데, 이중 열회수는 플라스틱만을 소각시키는 소각 시스템은 드물고 타 연소성 물질과 섞어서 소각, 열회수하는 경우가 많다.

최근 전자산업이나 재료공업의 발달로 플라스틱에 규사, 석면, 유리섬유, 금속등과 혼합체를 이룬 플라스틱 혼합물(plastic mixture)이 많아 이들의 처리에 신중을 요하고 있다. 일본의 경우 폐플라스틱의 42.6%가 플라스틱 혼합물이었으며, PVC도 소각하지 않으므로 소각 열회수에 활용되는 폐플라스틱은 불과 30%이었다.

플라스틱의 열분해에 의한 물질회수는 많은 연구가 진행되고 있으나 국내에서는 아직 이용단계는 되지 못하고 있다.

플라스틱은 일반폐기물에 비하여 발열량이 2~4 배나 되며, 완전연소를 위하여 많은 공기량(일반 폐기물의 약 10배)이 필요하고 높은 불꽃온도(flame temperature)를 가진다. 이와같은 문제들 때문에 소각로의 구조와 설계에각별한 주의를 요한다.

지난해의 에너지 이용량은 전체 폐플라스틱의 약 15.3%인 20,100TOE 정도로 추정된다.

한국자원재생공사에서 관리 운영하는 농업용 폐 필름은 2,500T/Y(약 8%)가 소각 처리되나 이 소각은 대부분 단순소각에 불과하다. 현재로는 에너지

〈 표 1 〉 여러가지 폐기물의 에너지 포텐셜 및 이용현황

Classification	Materials	Total TOE	Utilized TOE	Utilization (%)	Utilized TOE
					Total Utilized TOE
General waste	MSW	3,105,000	8,760	0.25	
	Animal manure	360,220	0	0.00	
Sub total		3,465,220	8,760	0.25	3.1
Industrial waste	Oil	155,780	13,700	8.8	
	Plastic	131,400	20,100	15.3	
	Organics	816,650	108,720	13.3	
Sub total		1,103,830	142,520	12.9	50.7
Others	Agricultural film	24,050	0	0.0	
	Tires	189,720	129,960	68.5	
Sub total		213,770	129,960	60.8	46.2
Total		6,490,300	281,240	4.3	100.0

* Total energy consumption in 1987 : 67 Million TOE

(Waste energy)/(Total energy consumption) = 0.42 %

(Total energy potential of waste)/(Total energy consumption) = 9.7 %

이용량이 없는 것으로 평가되나 실질적으로는 가장 손쉽게 에너지를 얻을 수 있으므로 목재와 혼합한 혼합연료 및 복합연료를 개발하기 위하여 필자는 준비하고 있다.

페타이어는 오래전부터 열원으로 많이 사용되어 오고 있었으나 대기오염 문제로 논란이 많아서 소각이 68.5%로 가장 많고, 재생이용이 15.7%이다.

에너지 이용량은 129,960 TOE나 되나 각종 환경오염 때문에 에너지 이용량이 점차 감소하는 추세이며 이를 극복하기 위한 다른 process 즉, pyrolysis를 통한 연료유를 얻는 방법이 고려될 수 있다.

유기물은 종류가 다양하므로 주로 열회수를 하는 것은 취급이 쉬운 종이류, 목재류 및 고무, 가죽 등이며 오니류로는 제지공장 오니, 식품공장 오니 등이 있으며, 그 에너지 이용량은 전체 포텐셜의 약 13.3%로 108,720 TOE에 해당되었다.

4. 폐기물의 에너지 활용방안과 장기 대책

폐기물의 에너지 활용방안은 직접 소각하여 에너지를 회수하는 방법과 화학적, 생물학적 방법에 의하여 연료유나 연소기체를 얻는 방법이 있다.

일반폐기물이나 산업폐기물의 관리에 있어 매립지 확보가 어려움에 봉착되어있는 이때 환경오염 방지, 폐기물의 감량화, 안정화 차원에서 폐기물의 에너지화는 크게 각광을 받게 될 것으로 본다.

작금 대구시와 성남시의 쓰레기 소각로의 공사가 계약단계에 있고 다른 시에서도 긴박한 상황에 있으므로 우리 나라 쓰레기에 알맞는 소각로의 개발이 아쉬운 실정이다. 뿐만 아니라 사업장에서 발생하는 여러가지 가연성 성분을 소각 열회수 할 수 있는 소형 소각로의 개발도 수행되어야 할 중요 과제이다.

연료사용 규제고시(환경청고시 87-24)에 의하면 규제대상지역(서울시 외16개도시)에서는 자기 사업장 외의 소각은 불가능하게 되어 있으나 소형 배출업자들의 폐기물의 경우는 수집 처리할 수 있는 콤비나트 시스템 개발이 필요하므로 이에 대한 재고도 필요하다고 본다.

동력자원부와 에너지 관리공단에서 실시하는 대

체에너지 개발에 대한 R&D개발에 적극 참여함과 동시에 대체에너지 개발 보급사업을 위한 석유사업 기금지원(연리, 3%, 5%)도 많이 권고하여 적극 활용토록 함이 바람직하다.

특히 산업폐기물 소각 발생 열이용 시설에 있어서는 현행 25Kcal/hr 이상인 것으로만 한정되어 있는데 이를 10만Kcal/hr로 내려 소형 소각로 활용을 적극 권장하는 것이 바람직하다.

- (1) 페타이어의 직접 소각 열회수 시스템 개발
- (2) WDR(Wood derived fuel) 개발 및 열회수 시스템 개발
- (3) 한국형 RDF(Refuse derived fuel) 개발 및 열회수 시스템 개발
- (4) Moduler type plant 개발
- (5) 완벽한 배출기체 환경오염방지 시스템 개발.

* (이 논문은「월간 신. 재생에너지 기술동향」89년12월호에 게재됐던 것입니다.)

