



고분자 폐기물의 합성가스 전환을 통한 청정 발전기술 동향

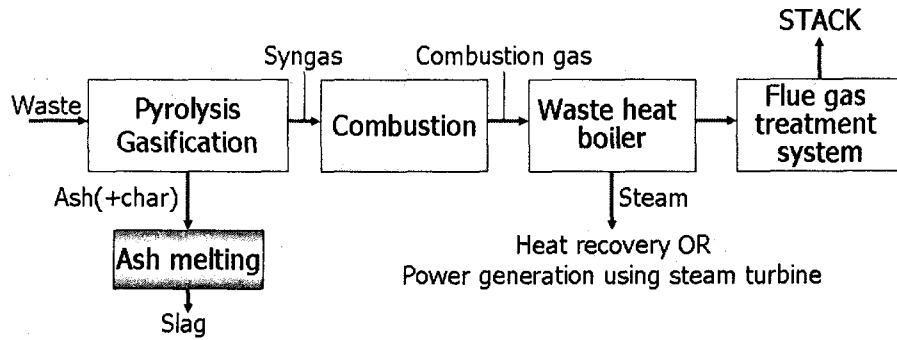
류태우*, 양 원*, 전금하**
한국생산기술연구원*, (주) 이투엔테크놀로지**

1. 서론

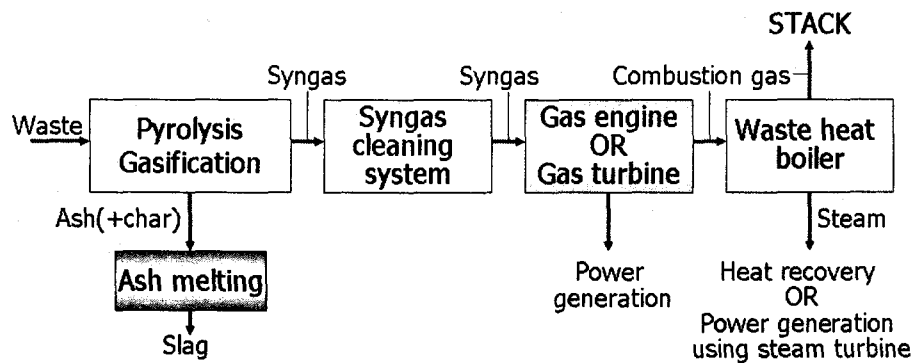
현재 국내에서 발생하고 있는 폐플라스틱을 포함한 고분자 폐기물은 약 400만톤에 달한다. 이들 중 약 20% 정도만이 재활용되고 나머지는 소각이나 매립에 의해 처리되고 있지만, 이들 대부분은 매우 높은 발열량을 가지고 있어 이들을 에너지원으로 전환하는 공정 개발이 매우 시급한 실정이다. 폐기물을, 그 중에서도 발열량이 높은 폐플라스틱을 포함한 고분자 폐기물을 에너지원으로 활용하고자 하는 기술은 크게 이를 유화하여 액체 연료로 변환하고자 하는 기술과 기체 연료로 변환하여 전력을 생산하는 기술로 나뉘어진다. 이 중에서 본 발표문에서는 고분자 폐기물을 열분해 또는 가스화하여 전력을 생산하는 기술 동향 및 한국생산기술연구원의 연구 현황에 대하여 기술하고자 한다.

2. 고분자 폐기물의 합성가스 전환을 통한 청정 발전 기술

폐플라스틱을 열분해/가스화하는 기술은 현재 연구개발 및 상용화가 활발하게 진행되고 있는 폐기물 열분해 용융 소각 시스템에 대해서도 일부 개발되어 있다. 그림 1 에는 폐기물 열분해 용융 소각 공정 개념과 폐기물의 합성가스 전환을 통한 청정 발전 기술 개념의 차이를 나타내었다. 폐기물 열분해 용융 소각 공정의 경우 용융 방식, 열분해/가스화 방식에 따라 다양한 종류의 공정이 있지만, 대체로 폐기물이 열분해 또는 가스화를 거쳐 합성 가스로 변환된 뒤 합성 가스는 연소실에서 연소되고 열분해/가스화 후 잔류 고형물질은 용융로에서 용융되는 방식을 가진다. 연소 가스는 보일러를 거쳐 온도가 내려가면서 스팀을 생성하고, 생성된 스팀은 지역 난방이나 온수 공급에 바로 사용되거나, 스팀 터빈을 이용하여 전력을 생산하는데 사용된다. 그러나, 이 때의 전력 생산 효율은 10% 이하로 매우 낮다. 보일러를 거친 연소 가스는 세정 설비 및 먼지 제거 장치, NOx 제거 장치 등을 거쳐 깨끗하게 되어 굴뚝으로 배출된다. 그러나, 그림 1(b)에서 기술한 것과 같은 폐기물의 합성가스 전환을 통한 청정 발전 공정에서는 폐기물이 열분해/가스화 공정을 거쳐 합성가스가 된 뒤, 이 합성 가스를 정제하는 과정을 거친다. 합성 가스 내 염소화합물과 황화합물, soot 등을 포함한 먼지 등을 제거하여 정제된 합성 가스는 가스 터빈 또는 가스 엔진에서의 전력 생산에 사용되고, 가스 터빈 또는 가스 엔진에서 연소가 완료된 연소 가스는 이후 보일러를 거쳐 스팀을 생산하는데 사용된 뒤 배출되며, 생산된 스팀은 소각로에서와 같이 난방 및 온수 공급 등에 사용되거나 스팀 터빈을 거쳐 전력을 생산하는 데에 재이용될 수 있다. 스팀 터빈을 사용하는 경우에는 복합 발전 시스템으로 사용이 가능하다.



(a) 폐기물 열분해 용융 소각 공정



(b) 폐기물의 합성 가스 전환을 통한 청정발전 기술

그림 1. 폐기물 열분해 용융 소각 공정(a) 과 폐기물의 합성 가스 전환을 통한 청정발전 기술(b)

표 1 에는 폐기물 열분해 용융 소각 공정과 폐기물 열분해/가스화 플랜트에서의 발전 효율을 비교하여 나타내었다. 폐기물 열분해 용융 소각 공정은 전력 생산의 기준에서 보았을 때 스팀 터빈만 사용할 수 있다는 점에서 일반 소각로와 별 차이가 없으며, 그 효율도 20% 미만이지만 실제 10% 를 넘기는 것이 쉽지 않다. 그러나, 열분해/가스화 플랜트의 경우에는 가스 엔진을 사용할 때 발전 효율이 30% 를 넘을 수 있어 효율 측면에서 매우 유리하다. 그러나, 일반 소각 기술과 열분해 용융 소각 기술은 폐기물의 저공해 처리에 초점이 맞추어져 있고 어느 정도 검증된 기술인 데 비해, 열분해/가스화를 통한 청정 발전 시스템에서는 기술 개발에 있어 몇 가지 해결되어야 하는 문제점을 가지고 있는데, 그 중 대표적인 것은 다음과 같다. 첫째, 열분해/가스화를 통해 나온 합성가스의 발열량이 매우 낮고 (대부분 2000 kcal/Nm³ 이하), 둘째, 생성되는 합성가스의 조성이 불규칙하여 가스 터빈 또는 가스 엔진 구동에 있어 지속적인 발전 성능 확보가 어렵다는 것이며, 셋째, 합성 가스 내 함유된 황화합물 또는 염소 화합물의 정제가 쉽지 않고, 특히 가스 엔진 또는 가스 터빈을 이용한 발전시 이들 물질들로 인한 수명 감소 문제를 해결하기가 쉽지 않다는 것에 있다. 이러한 문제들을 해결하는 것이 폐기물 열분해/가스화를 통한 합성 가스 생산 및 청정 발전 기술 개발에 있어서 중요한 관건이라고 할 수 있다.

표 1. 발전 설비별 전력 생산 효율

시스템	열분해/가스화 플랜트 발전 효율	폐기물 열분해 용융 소각 공정 발전 효율
Steam Boiler and Turbine	< 20%	< 20%
Gas Engine	< 30%	사용 불가
Combined Cycle Gas Turbine	> 30%	사용 불가
Co-firing in existing power plant	< 30%	사용 불가

해당 공정에서 가장 핵심적인 기술로는 열분해/가스화 기술을 들 수 있으며, 열분해/가스화 기로 pusher 로형, 샤프트 로형, 스토커형, 로타리 킬른형, 유동층형, Entrained flow 형 등의 여러 형태의 기술이 개발되어 왔다. 각각의 특성에 대해서는 지금까지 많은 자료들을 통해 소개되어왔으므로 여기에서는 생략하도록 한다.

3. 국외 연구개발 동향

2장에서 기술했던 열분해 용융 소각로에 대해서는 이미 유럽 및 일본 등에서 많은 기술 개발이 이루어져왔고 상용화되어 운영되고 있다. 표 2 와 표 3 에는 한국기계연구원에서 정리한 각 type 별 열분해 용융 소각 공정의 상업 운영 현황에 대해 나타내었으며, 특히 표 3에서 나타나는 것처럼 일본에서 기술 개발 및 상업적 운영이 활발하게 이루어지고 있다.

표 2. Type 별 열분해 용융로 기술 개발 현황 (김우현, 소각로 운영관리기술)

열분해 방식	플랜트 업체	기술 제휴처	용융방식	실 적
Pusher 로형	Thermo-S elect社 (독일)	대우 건설, 川崎 제철	열분해가스화 용융방식	① 100t/일 실증플랜트(북이탈리아 폰토도체) ② 720t/일 칼스루헤(독일) 1999년 1월 준공 ③ 300t/일 안스바흐(독일) 2001년 준공예정 ④ 500t/일 기비아스코(스위스) 2002년 준공예정
	Von Roll (스위스)	日立 조선	Duotherm 방식	① 144t/일 실증플랜트(독일) 1997년 준공
스토커로형	PKA社 (독일) PKA Japan	한라산업 개발, 東芝	열분해·용융 가스화 시스템	① 15t/일 실제시설(산업폐기물)(독일) ② 60t/일 실제시설(도시쓰레기)(독일) ③ 쓰레기 발전 가능시설 12년간 가동중(독일)
로타리 킬른형	Noell社 (독일)	일본 가이시	Noell방식	① 12t/일 실증플랜트 ② 120t/일 산업폐기물(독일) 1999년 준공 ③ 750t/일 가스교환용(독일) 130MWh 발전
	지맨스社 (독일)	이테크, 三井 조선	열분해·연소용 공정	① 잔 실증플랜트(스위스) ② 480t/일 필트市(독일) ③ 20t/일 실증플랜트(일본) ④ 110t/일×2기 八女서부 광역사무조합 (福岡縣)

표 3. 일본의 열분해가스화 용융기술 상용화 설치 현황 (김우현, 조각로 운영관리기술)

열분해 방식	소각플랜트 업체	열분해가스화 용융방식	개발현황
유동상식	(1) 荏原제작소	선회유동상+선회용융로	450t/일=225t/일×2기 (青森RER社, 플라스틱쓰레기 등, 17.8MW)
	(2) 川崎중공업	유동상+CPC(부분연소로)	30t/일(千葉縣 에리가우라市)
	(3) 神戸제강소	유동상+선회용융로	30t/일(青森縣·중부上北) 60t/일(上北청소센터)
	(4) 日立조선	유동상+선회용융로	33t/일(岐阜縣내)
	(5) 일본가이시	유동상+선회용융로	25t/일(岐阜縣내)
	(6) 三菱중공업	유동상가스화로+연소로 +입형선회용융로	20t/일(三菱重工業 金澤공장)
	(7) 밥콕 日立	유동상+선회용융로	10t/일(히로시마현)
	(8) 栗本철공	유동상+선회용융로	10t/일(靜岡縣掛川市)
	(9) 三機공업	유동상+선회용융로	(8)~(11)공동실험
	(10) 도레이엔지니어링	순환유동층+로타리킬른	20t/일(자사공장내)
	(11) 유니티카	유동상+선회용융로	20t/일(토치키縣)
	(12) 住友중기계공업		
	(13) 月島기계		
간접가열 킬른식	(14) 三井조선	지멘스방식	110t/일×2(福岡縣·八女서부) 200t/일×2(豊橋市)
	(15) 타쿠마	지멘스방식을 개량 킬른+회전식표면용융로	90t/일(민간, 熊本縣내)
	(16) IHI +(17)쿠보다		20t/일(IHI공장내 공동실험)
직접가열 킬른식	(18) 東芝	PKA방식(PKA社)	4.6t/일(요코하마시)
	(19) 일본가이시	노엘방식(Noell社)	독일에 실제시설
	(20) 日立제작소	킬른형 가스화로+용융로	20t/일()
	(21) 바브콕日立		(20)~(21) 공동 실험
Pusher식	(22) 川崎제철	Thermoselect 방식 (Thermoselect 社)	150t/일(千葉市 자사공장내)
스토커식	(23) 日立조선	Von Roll방식(Von Roll社)	독일에 실증시설
입형방식	(24)일본강관	샤프트로 (코크스,석회석,산소)	64t/일 3기 (各務原市)
	(25)신일본제철	샤프트로 (코크스,석회석,산소)	150t/일 2기 (茨木市)
	(26)住友금속	샤프트로 (산소)	20t/일 (茨城縣)
	(27)川崎기연	샤프트로 (산소/Purox)	24t/일 (尾張東部組合)
	(28)千代田화공건설	샤프트로 (산소/Purox)	75t/일 건설중(秩父市)
	(29)日立금속	샤프트로 (플라즈마/Retech)	24t/일 (群馬縣)

폐기물을 이용한 발전 시스템에 대해서는, 폐기물의 소각열을 사용한 발전 시스템은 상용화가 이미 끝난 가운데 있으나 효율이 20% 미만으로 매우 낮으며, 이에 따라 가스화를 통한 가스 엔진 발전 또는 복합 발전의 필요성이 증대되고 있다. 이 분야에 대해서는 미국, 일본 및 유럽을 중심으로 연구가 진행되고 있으나, 아직 많은 문제점들을 안고 있다.

표 4 에는 폐기물을 이용한 발전 시스템 상용화 설치 예 및 중요 특징들을 나타내었다. 샤프트로, 킬른형, 드럼 반응기 등의 다양한 열분해 공정이 사용되고 있으며, 대부분이 폐플라스틱 및 생활 폐기물을 함께 처리할 수 있게 되어 있다. 이 중에서도 고분자 폐기물에 해당되는 폐플라스

탄의 경우 고발열량의 합성 가스 생산에 가장 유리한 것으로 알려져 있으나 실제 가스 발열량은 대부분 2000 kcal/Nm³ 이하로 매우 낮은데, 이렇게 되는 이유는 열분해/가스화를 위해 순산소나 스팀과 같은 가스 매체가 들어가면서 합성 가스 내에 단위부피당 발열량이 낮은 CO, CO₂, H₂ 와 같은 가스 성분이 많이 포함되기 때문이다. 이러한 이유들과 가스 정제의 어려움 등으로 인해 Landgard process 와 같이 정상 가동에 실패한 예도 있으며, 나머지 공정들도 많은 개선의 여지를 가지고 있다. 현재 알려진 합성 가스 발열량 최고치는 Thermostelect 의 약 2500~2600 kcal/Nm³ 인데, 이 수치를 만족시킬 수 있는 이유는 매체가 들어가지 않는 간접 열분해 방식을 사용했기 때문으로 보여진다. 대체적으로 유럽에서는 폐기물보다는 바이오매스를 사용한 열분해/가스화 및 이를 사용한 발전 공정에 대한 많은 연구 및 상용 플랜트 건설이 수행되고 있다. 그림 2 에는 폐기물 합성가스를 사용하여 가스 엔진을 통해 발전을 수행하고 있는 예로서 오스트리아 Brightstar Environmental 에서 설치한 폐기물 가스화 발전 장치 사진을 나타내었다.

표 4. 폐기물을 이용한 발전 시스템 상용화 설치 예 및 중요 특징

공정명	개발자	주요공정	열분해 대상	특징
Purox process	Union carbide (US)	수직형 샤프트로, 순산소사용(PSA)	생활폐기물 하수슬러지	CO: H ₂ 가스비율 2:1 Char 는 용융슬래그로 배출
Torrex process	Carboian-dam (US)	수직형 샤프트로-2 차연소실-1차열교환기-열회수-가스세정설비	생활폐기물 폐플라스틱 하수슬러지	열효율 37% 이상 Char 는 용융슬래그로 배출 Luxemburg 에 180t/D 상용화 설비
Landgard process	Monsanto (US)	킬른형 열분해로	폐플라스틱 생활폐기물	볼티모어에 상용화 설비 900t/D, 정상 가동 실패(사업 실패)
Thermo-select	Thermostelect (GER)	드럼 반응기, 순산소 사용	폐플라스틱 생활폐기물	간접 열분해 방식, 1000t/D 건설 경험
BKMI pyrocal process	Bobcock (GER)	킬른형 열분해로	폐플라스틱 생활폐기물	1982년 뮌헨 6만톤/년 실증화설비 건설, 고온 cracking 실시 (1300°C, 0.5sec)

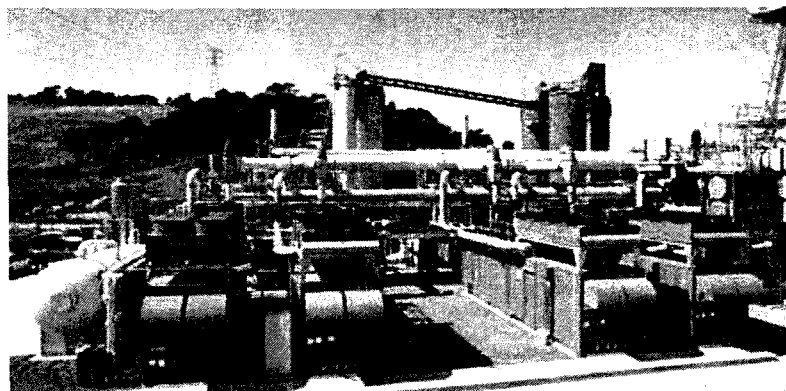


그림 2. Brightstar Environmental (오스트리아), 15 MW 급 MSW 가스화 발전 플랜트

대체적으로 유럽의 경우에는 폐기물보다는 바이오매스의 가스화를 통한 전력 생산에 중점을 두고 있는 반면에 일본에서는 바이오 매스 외에도 폐기물의 가스화를 통한 전력 생산에도 많은 연구를 수행하고 있다. 이 중 대표적인 것으로는 Tokyo Institute of Technology 와 미쯔비시 중공업의 주관으로 이루어지고 있는, 생활 폐기물, 산업 폐기물, 바이오매스 등과 같은 고체 연료들을 위한 가스화 기술과 발전 시스템의 상업화를 위한 STAR-MEET 시스템 개발을 들 수 있다. 이 시스템은 고정층 열분해로와 고온의 스팀/공기 혼합물을 사용하는 고온의 개질기로 구성되어 있으며, 열분해로의 하부에서 이루어지는 연소반응으로 열분해에 필요한 열을 공급한다. 하부의 재는 용융된 상태로 반응기 하부로 배출된다. 열분해 가스는 H_2 , CO , CH_4 , N_2 , CO_2 , O_2 , 저탄화수소, 타르 등으로 이루어졌으며 개질기로 주입된다. 개질기 이후에는 수성가스 반응기가 연결되어 있으며 산소가 없는 조건에서 반응이 이루어지기 때문에 다이옥신의 발생을 저감할 수 있다. 다양한 종류의 고체 연료들을 실험한 결과, 고온의 스팀/공기 혼합물이 열분해 가스로 효과적으로 주입되면, 타르와 soot가 CO 와 H_2 로 전환되어 타르와 미세 입자들이 거의 생성되지 않았다. 공기를 가스화 원료로 사용하기 때문에 이 가스화 시스템은 매우 낮은 열량의 가스를 생산한다. 가스화 시스템을 통해 생산된 가스와 디젤 연료를 혼합하여(20% 디젤+80% 생성가스), 디젤 엔진을 가동한 결과 30%의 열효율과 환경 오염물 발생이 줄어드는 효과를 얻었다. 특히 NO_x 는 큰 폭으로 감소하였다. 소규모 장치에서의 결과를 바탕으로 일본의 규슈 지역에 20ton/day 규모의 폐기물 가스화기가 건설되고 있으며 이 시스템에는 900kW의 디젤 엔진들이 연결되어 있다. 상업 규모 장치의 첫 실험은 2004년 2월에 이루어졌다.

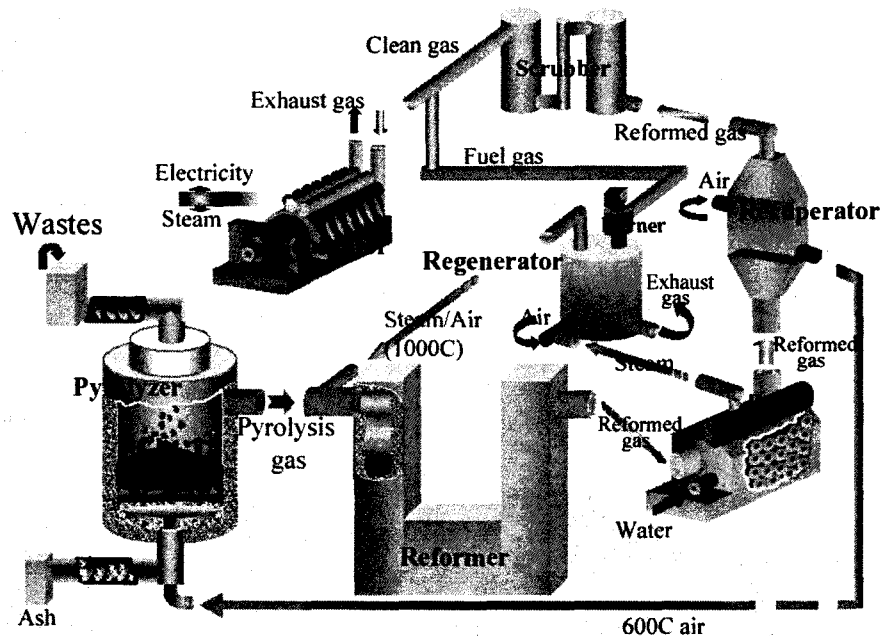


그림 3. 일본의 Star-Meet 시스템 개념도

4. 국내 연구개발 동향

폐기물 열분해/가스화 용융 소각 관련 연구는 한국기계연구원, 한국에너지기술연구원, 고등기술연구원과 같은 연구소들을 중심으로 이루어져왔다. 한국기계연구원에서는 5톤/일 규모 하향통 풍식 화염열분해 가스화 방식으로 파일럿 스케일의 열분해 용융 소각 시스템을 개발하였고, 한국생산기술연구원에서도 5톤/일 규모 파일럿 스케일의 열분해 용융 소각 시스템을 자체 기술로 개발하여 운전을 수행하였다. 이와 별도로, 동부건설, POSCO 건설, 대우 등과 같은 기업체에서는 Thermostelect, R-21, 신일본제철 또는 Evara 와 같은 외국 기업으로부터 열분해/가스화 용융 소각로를 들여오고 있고, 경남 양산에는 POSCO 건설이 200톤/일 규모의 실 플랜트를 짓고 있다.

자체 기술로 연구소에서 개발하는 위 시스템들은 모두 폐기물의 저공해 처리에 초점이 맞추어져 있었기 때문에, 열분해 가스는 단순히 열분해로 뒤에 설치된 연소실을 통해 완전 연소를 수행하여 보일러에서 폐열을 얻는 수준의 이용에 중점을 두고 있다. 이에 따라 폐기물에서 가스 연료를 뽑아내어 가스 터빈/가스 엔진 등을 사용한 발전 시스템을 구성하거나 기존 보일러에 혼소를 수행하는데 있어서는 한계를 가지고 있다. 실제 열적 처리를 통해 폐기물로부터 유용한 합성 가스를 뽑아내기 위해서는 열분해/가스화 공정의 채택과 함께, 최적의 운전 조건 도출을 위한 연구가 필요하며, 뽑아낸 합성 가스의 활용처를 고려한 연구가 필요하다. 또한, 합성 가스를 이용하기 위해서는 합성 가스의 정제 공정 개발이 필요하다. 이러한 연구개발은 현재 에너지 기술 연구원과 고등기술연구원 등에서 기존 설비를 중심으로 진행되고 있고 한국생산기술연구원에서 시작단계에 있다.

5. 한국생산기술연구원에서의 연구개발

5.1 열분해 용융 소각로 개발

한국 생산기술 연구원에서는 폐기물의 무해화 처리를 위한 “축열식 고온 용융 폐기물 처리시설” 연구 개발을 수행하고 있다. 그림 4 에는 해당 연구 결과를 통해 도출된 30 kg/hr 규모 실험 장치와 200 kg/hr 규모의 파일럿 규모 설비 사진을 나타내었다. 이 공정은 압축 및 열 분해 공정, 1500°C의 고온 폭기 용융공정, 1200°C의 고온 산화 연소 공정 및 가스 안정화공정 등으로 세분되며, 폐기물의 연소 후 발생하는 대기오염 및 토양오염 등 제 2 차 환경오염의 피해를 최소화하는 데에 그 초점이 맞추어져있다. 실험을 통하여 다단 연소 기술이 적용되어 우수한 NOx 저감 특성 및 용탕에서의 용융 특성을 보여주었다.

그림 5 에는 5톤/일 규모 파일럿 규모에서 수행된 용탕 유지 실험 결과 사진을 나타내었다. 폐기물로는 폐플라스틱과 폐목재 혼합물을 사용하였는데, 초기 용탕 형성 후 LPG와 같은 보조 연료 또는 순산소 공급이 없는 경우에는 용탕 유지가 쉽지 않으나(그림 5(a)), 페타이어를 용탕 풍구를 통해 투입하여 용탕 내부에서 연소가 일어나게 했을 경우 순산소와 보조 연료 주입 없이도 slag 의 버블링이 매우 활발하게 형성되는 것을 볼 수 있으며, 이를 통해 보조 연료 없이 고

분자 폐기물을 사용하여 용탕을 유지할 수 있음을 확인할 수 있다. 본 실험은 단일 풍구에서의 페타이어 투입에 대한 것이며, 실제 2~3 개의 풍구에서 페타이어를 투입하게 되면 용탕 유지에 필요한 페타이어 분말량은 더욱 줄어들 것으로 예측된다. 그림 6 에는 파일럿 규모 시스템 운전 시 나타나는 온도 및 가스 조성을 나타내었으며, 안정적인 운전이 가능함을 확인할 수 있었다.

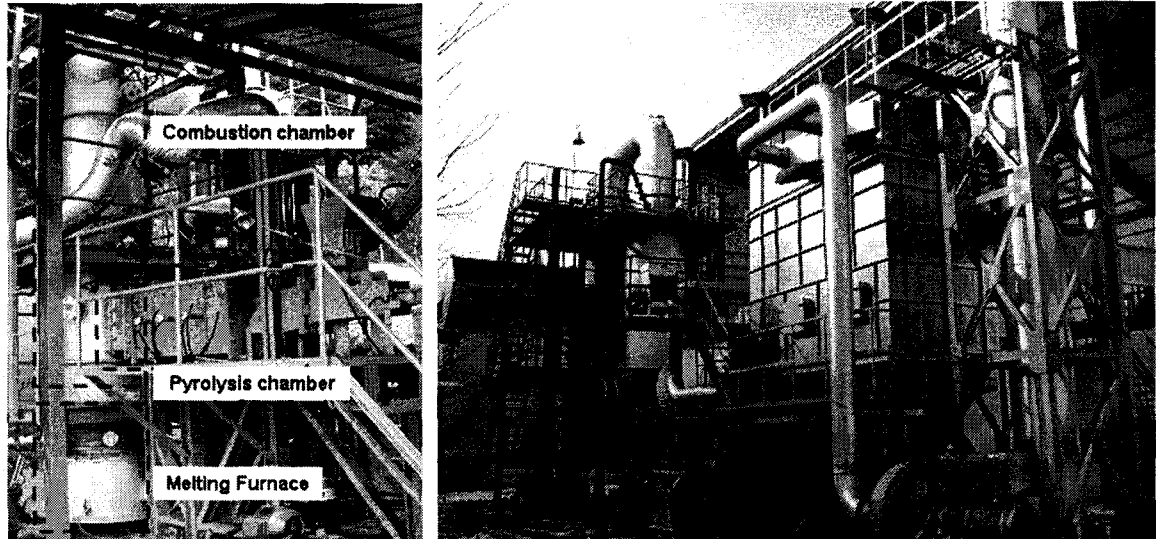
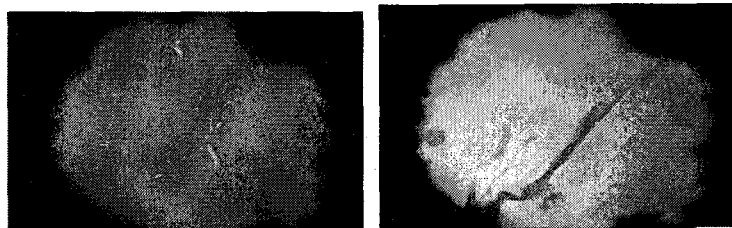


그림 4. 한국생산기술연구원에서 개발한 5톤/일 규모 열분해 용융 소각 시스템



(a)

(b)

[그림 5. 용융로 내 슬래그 특성: (a) 순산소/LPG/페타이어 공급이 없는 경우 (b) 페타이어만 공급된 경우]

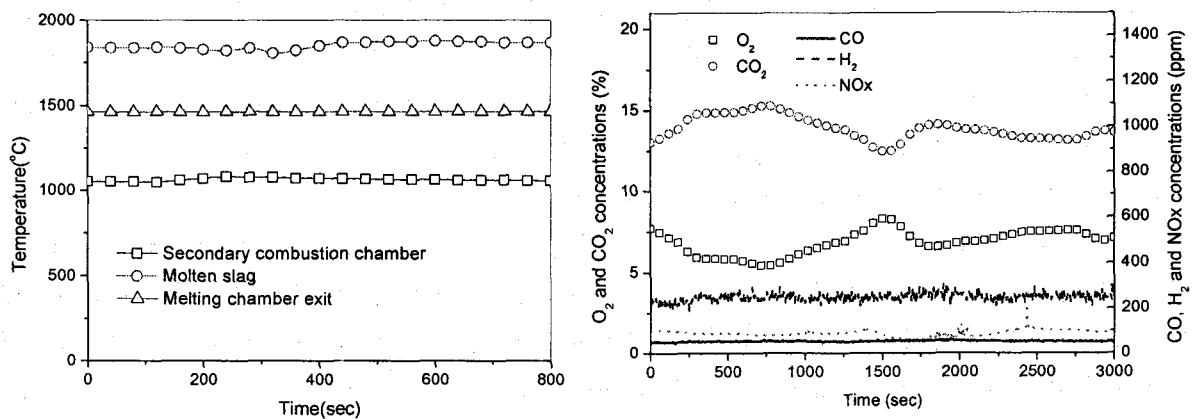


그림 6. 5 ton/day 열분해 용융 소각로 운전 (a) 용융로 및 연소실 온도, (b) 가스 조성 변화

5.2 고분자 폐기물의 다단열분해를 통한 청정 합성가스 생산 기술 개발

5.1에서 기술한 폐기물 열분해 용융 소각로는 폐기물의 저공해 처리에 초점이 맞추어져있고, 시스템의 간결성을 위해 열분해로와 연소실이 연결되어 있어서 그 사이에서 합성가스를 뽑아내어 청정 발전에 사용하는 것은 불가능하다. 그리고, 전술한 바와 같이 합성 가스의 발열량 문제, 폐기물 내 염소, 황(폐플라스틱에서는 해당되지 않으나 페타이어와 같은 고분자 폐기물에서는 해당됨) 성분이 열분해 과정 중에 화합물을 이루어 가스 엔진에 들어가게 되는 경우 발생하는 가스 엔진의 수명 문제 등의 문제가 해결되어야 한다. 이를 위해 고분자 폐기물의 다단열분해를 통한 청정 합성 가스 생산 기술 개발이 초기 진행 단계에 있다. 열분해로는 폐기물 내 PVC 가 주로 함유하고 있는 염소 성분 및 페타이어 등이 주로 함유하고 있는 황 성분을 원천적으로 제거하기 위해 다단으로 설계하였다. 1차 열분해로의 온도를 300~400°C 으로 유지하면 염소 화합물이 열분해 가스에 포함되어 나오고, 2차 열분해로의 온도를 500~600°C 으로 유지하면 황화합물이 열분해 가스에 포함될 것으로 예측하였고, 이러한 사실을 확인하기 위해 소형 열분해로에서 온도를 일정하게 설정하여 열분해 실험을 수행한 결과 그림 7과 같은 결과를 얻었다. 그림 7은 일정 온도에서 열분해를 수행한 후 남아 있는 고형물에서 염소와 황 성분이 얼마나 남아있는지를 측정된 결과로서, PVC 의 경우 300°C 열분해 후에는 약 60% 가량이 열분해 가스로 포함되어 제거되었고, 500°C 열분해 후에는 약 90% 이상이 열분해 가스로 포함되어 제거된 사실을 확인할 수 있었다. 황 성분의 경우에는 페타이어의 경우 약 50% 이상이 500°C 열분해 후 제거된 것을 확인할 수 있다. 이러한 제거 효율은 결국 열분해로 내 온도 분포를 어떻게 균일화할 수 있는냐에 따라 결정될 것으로 보여진다.

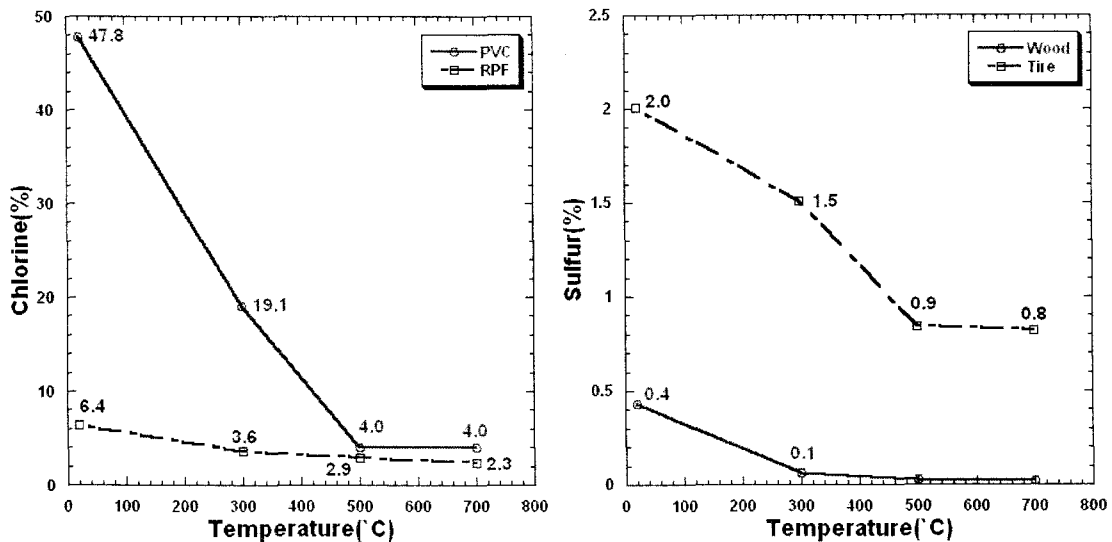


그림 7. 열분해 후 잔류 고형물 내 염소와 황 성분 변화

그림 8 에는 해당 연구를 통해 개발하고자 하는 청정 합성가스 생산 시스템을 나타내었다. 전술한 것처럼 열분해는 다단으로 이루어져있으며, 처리하고자 하는 폐기물의 종류에 따라 2단 또는 3단으로 나눌 수 있다. 1차 열분해 가스 및 2차 열분해 가스는 각각의 함유 성분에 맞는 정제 방

식을 거쳐서 정제된 뒤 최종 합성 가스에 포함되며, 3차 열분해 가스는 별다른 정제과정 없이 합성 가스에 포함된다. 이들은 다시 dry scrubber 및 집진 장치를 거쳐 최종 합성가스를 생성하게 된다. 열분해로는 모두 간접 가열식으로 되어 있으며, 열분해에 필요한 에너지는 남은 고형물의 연소열 등을 통해 열분해로에 공급된다. 열분해로를 간접 가열식으로 한 이유는 폐기물을 가열하는 매체가 들어가는 경우 이들이 합성 가스에 포함되어 발열량을 떨어뜨리기 때문으로, 열분해 가스 내에 CO, H₂, CO₂ 성분을 최소화하고 탄화수소 성분을 최대화 하는 것이 고발열량 합성 가스를 얻기 위한 필수 조건이다. 이를 위해서는 폐기물 열분해시 공급되는 공기(또는 산소)량이 최소화되어야 한다. 그림 9 에는 이러한 공정을 폐기물이 거치면서 합성 가스가 생성되는 과정을 나타내었다. 공정의 설계에 있어 발생할 수 있는 또 다른 문제는 탄소 수가 많은 탄화 수소와 생성되는 타르 등을 고온 cracking 할 수 있어야 한다는 것이며, 이러한 문제들을 해결하기 위한 다양한 최적 설계 자료를 찾기 위한 연구가 수행될 예정이다. 또한 생성되는 합성 가스를 가스 엔진에 적용하여 구동하는 것을 최종 목표로 하고 있다.

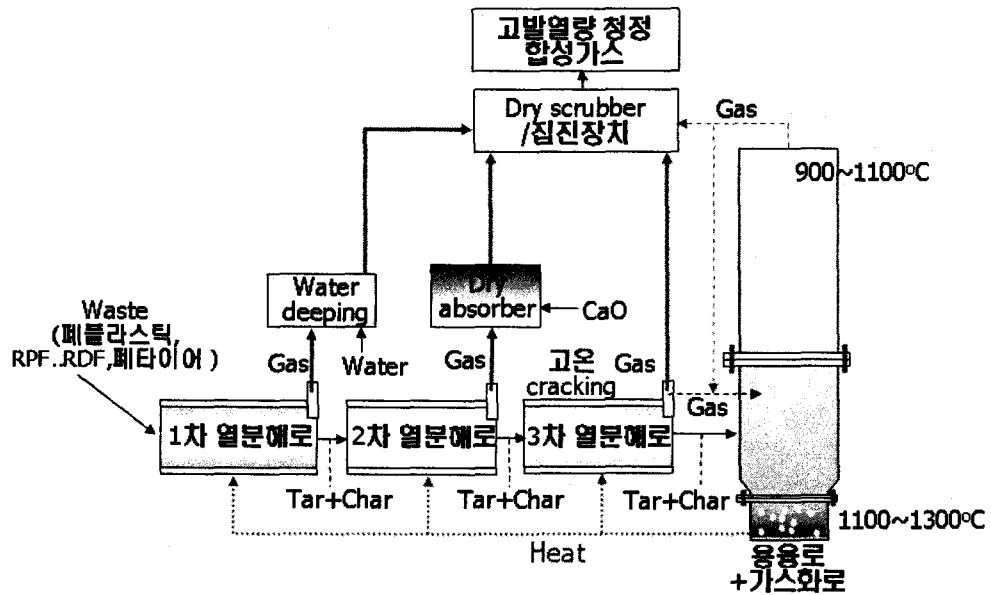


그림 8. 한국생산기술연구원에서 개발을 수행하고 있는 청정 합성가스 생산 시스템 개념도

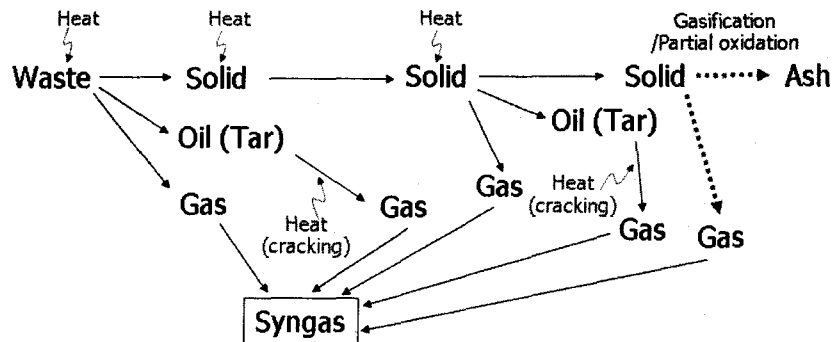


그림 9. 청정 합성가스 생산 시스템에서 폐기물의 거동 특성

6. 결 론

폐기물의 열분해/가스화를 통한 청정 합성 가스 생산 및 발전 기술 현황에 대하여 정리하였다. 국내외에서 폐기물의 열분해 용융을 통한 소각 기술은 유럽과 일본을 중심으로 많은 기술 개발이 이루어져왔고 일부 상용화가 되었으며, 국내에서도 기술 도입과 개발이 비교적 활발하게 이루어지고 있으나 폐기물의 열분해/가스화를 통한 청정 발전 시스템 개발은 합성 가스의 발열량 문제와 합성 가스의 청정도 문제에 의해 기존 열분해 용융 소각 시스템을 통하여는 기술 개발이 훨씬 어려운 가운데 있다. 본 발표자료에서는 국외 일부 이루어진 폐기물 열분해/가스화를 통한 합성 가스 생산 및 가스 엔진 발전 시스템 기술 개발 현황에 대하여 정리하였으며, 앞에서 기술한 이러한 문제들을 해결하기 위해 한국생산기술연구원에서 수행해온 연구들과 앞으로 수행할 연구들에 대해 간단하게 기술하였다. 추후 폐기물을 저공해 처리 개념을 뛰어넘어 에너지원으로 활용하기 위한 연구가 계속하여 활발하게 진행될 것으로 예측되며, 국내에서도 기존에 수행했던 열분해 용융 소각 기술 개발 경험을 살려 체계적인 기술 개발이 계속되어야 할 것으로 보여진다.

<참고문헌>

김우현, 소각로 운영관리기술, ETIS 분석지 26권

김재호, 폐기물 가스화의 기술개발 현황

Kunio YOSHIKAWA, "R&D and Commercialization of Distributed Power and Hydrogen Generation from Solid Wastes" Proceedings of 10th Asian-Pacific Confederation of Chemical Engineering, 2004, Japan

류태우, 김봉근, 양원, 전금하, 신동훈, 박상욱, 임성진, 김대성, 이진호, 황정호, 2006, "30 kg/hr 급 열분해 용융 소각로에서의 폐기물 열분해/연소/용융 특성 연구", 32회 한국연소학회 춘계 학술대회

류태우 외, 2005. 축열식 고온용융 소각로 개발, 연구 보고서.