

2004국제 학회-10차 APCChE

장소: 일본 기타큐슈

기간: 10/17-10/21

10차 APCChE에서 발표된 폐기물 친환경 전환 내용과 관련기술의 개요이다.

1) 친환경 가스화 시스템

국내의 폐기물 발생량은 그림 1에 나타낸 바와 같이 매년 6.6%정도 증가하고 있으며 재활용이 59.8%를 차지하고 매립 24.2%, 소각 9.6% 기타 6.4% 순으로 처리하고 있다.

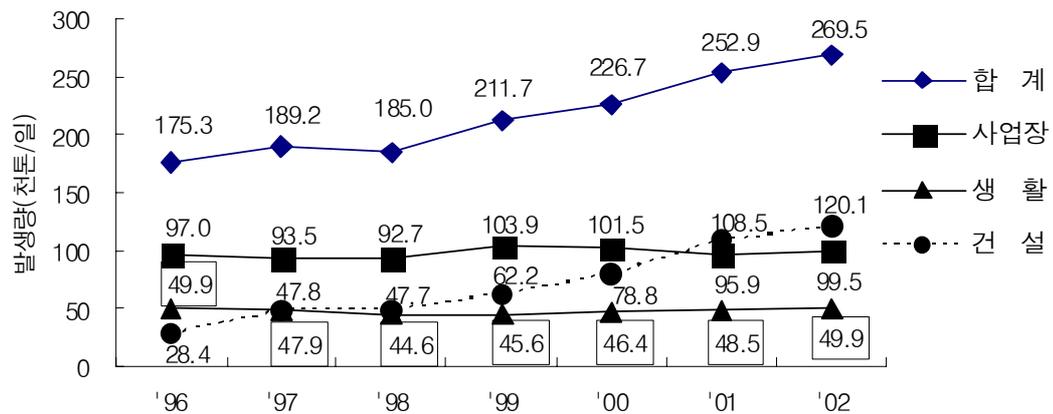


그림 1 국내의 폐기물 발생 현황 환경부, “2002년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황”, (2003)

폐기물의 최종 처분 방법으로는 매립과 해양투기 방법이 있으며, 매립지의 체적을 감소시키기 위하여 소각 또는 폐기물의 압축 등의 방법을 이용한다. 그러나 최근 들어 매립에 의존하던 폐기물 처분 방법이 매립지 확보의 어려움과, 폐기물도 자원이라는 관점에서 에너지 회수하는 소각과 폐기물 자원화 시키는 방법으로 전환되고 있으며, 폐기물의 재활용에 관심이 높아지고 있다. 또한 침출수에 의한 지하수, 지표수의 오염 및 분해 가스에 의한 대기 오염 등 2차 공해 문제와 사후 관리 문제 등 문제도 발생하고 있는 실정이다. 가연성 폐기물의 처리에 많이 이용되는 소각은 폐기물 의감량 처리 방법으로는 매우 좋으나, 다이옥신과 비산 분진 등 및 소각을 위해 탈수된 침출수가 수질오염원의 원인이 될 우려가 있다.

따라서 친환경 처리 기술인 가스화 기술에 대한 관심이 높아지고 있으며 일본에서는 폐기물을 이용한 분산형 발전 기술까지 연구되고 있는 실정이다. 가스화(gasification)란 일반적으로 저급의 고체/액체 연료로부터 기체 연료(syngas)를 제조하는 일체의 조작/반응을 뜻한다. 석탄, 중질 잔사유, 폐기물 등 중질 탄소원을 갖고 있는 물질의 경우, 이를 이용하려 할 때, 연소 조절의 어려움, 공해 물질 다량 발생, 고체 상태로 존재함에 따른 수송상의 어려움 등에 의하여, 이들을 가스화하려는 연구는 19세기말부터 이루어져 왔다. 특히 폐기물의 가스화 기술은 매립과 소각의 한계와 폐기물의 자원으로의 중요성이 대두됨에 따라, 유럽에서 중요한 이슈로 부각되어왔으며 국제적으로 다양한 연구개발이 추진되고 있다. 그 중에서도 이러한 가스화 기술의 폐기물에 적용은 크게 중질 탄소원의 부분산화 및 가스화 공정에서 접근한 기술(독일의 SVZ 방법)과 소각에서 접근한 기술(Thermo-select 방법)로 구분되어진다.

가스화 기술의 장점은 1. 미반응 물질인 무기물은 용융후, 유리질로 고화되어 매립하더라도 유해물질이 용출되지 않고, 2. 가스상 물질에서도 다이옥신, 비산분진, 타르 등이 발생하지 않으며 3. 복잡한 조성을 지닌 유기성 폐기물 처리 용이, 4. 소각 시 발생하는 환경 공해(분진, 다이옥신 등) 물질의 발생 저감, 5. 자원의 재활용 등이다.

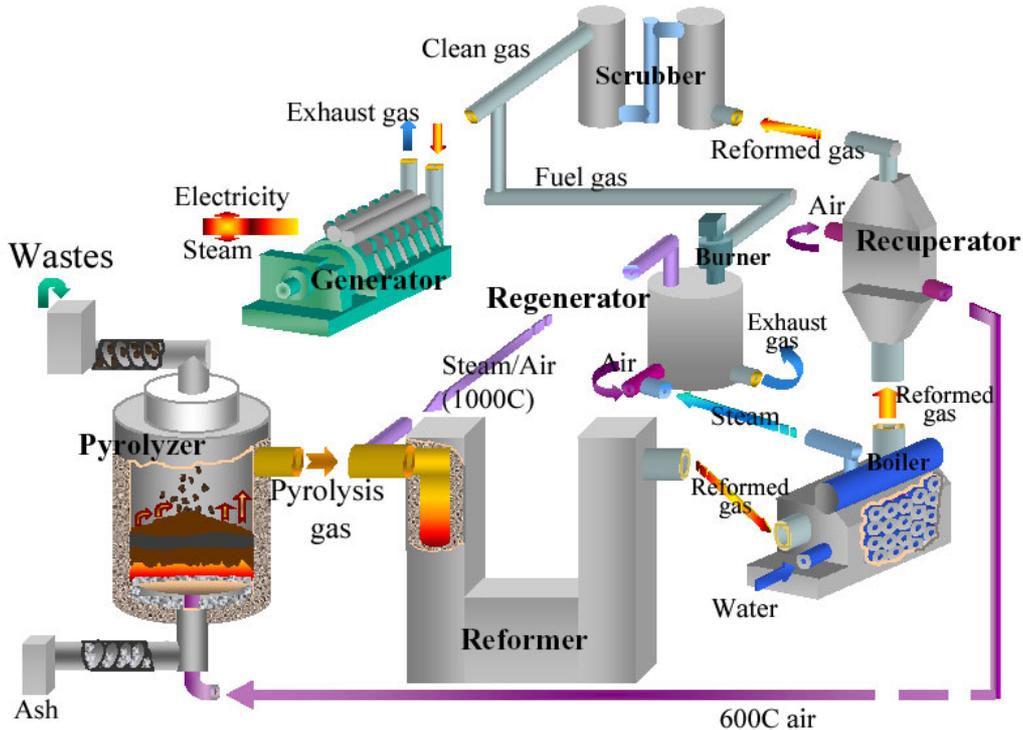


그림 2 STAR-MEET system Kunio Yoshikawa, Department of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology, Japan (on-line: 5005)

생활 폐기물, 산업 폐기물, 바이오매스 등과같은 고체 연료들을 위한 혁신적인 가스화기술과 발전 시스템의 기술적인 시연과 상업화가 STAR-MEET 시스템이란 이름으로 현재 일본에서 진행 중이며 그림 2에 나타내었다. STAR-MEET 시스템은 고정층 열분해로와 고온의 스팀/공기 혼합물을 사용하는 고온의 개질기로 구성되어 있다. 고체 연료로 사용되는 폐기물들은 고정층 열분해 반응기로 스쿠르 피더를 통해 주입되며 열분해로의 하부에서 이루어지는 연소반응으로 열분해에 필요한 열을 공급한다. 하부의 재는 용융된 상태로 반응기 하부로 배출된다. 열분해 가스는 H₂, CO, CH₄, N₂, CO₂, O₂, 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 CO와 H₂로 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_x는 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.

소규모 폐기물 장치에서의 성공을 바탕으로 일본 연구자들은 바이오매스를 포함한 가연성 폐기물을 이용한 수소 생산 프로젝트를 수행하고 있다. 이는 1,100-1,300 oC의 고온을 이용하며 합성 가스인 H₂와 CO를 생산하게 된다. 이를 HyPR-MEET 시스템이라 부르며 그림 3에 나타내었다. 바이오매스를 포함한 고체 연료들은 고정층 가스화기로 주입되며 산소를 이용하는 개질기로 생성 가스가 주입된다. 개질기를 통과한 가스는 고온의 집진기를 거쳐 가스 정제 공정을 통해 이용되게 된다. 반응에 사용되는 고온의 공기는 열교환기와 촉 연소로를 통해서 생산되며 고온의 증기 히터로 주입되어 1,300oC의 증기를 생산하게 된다.

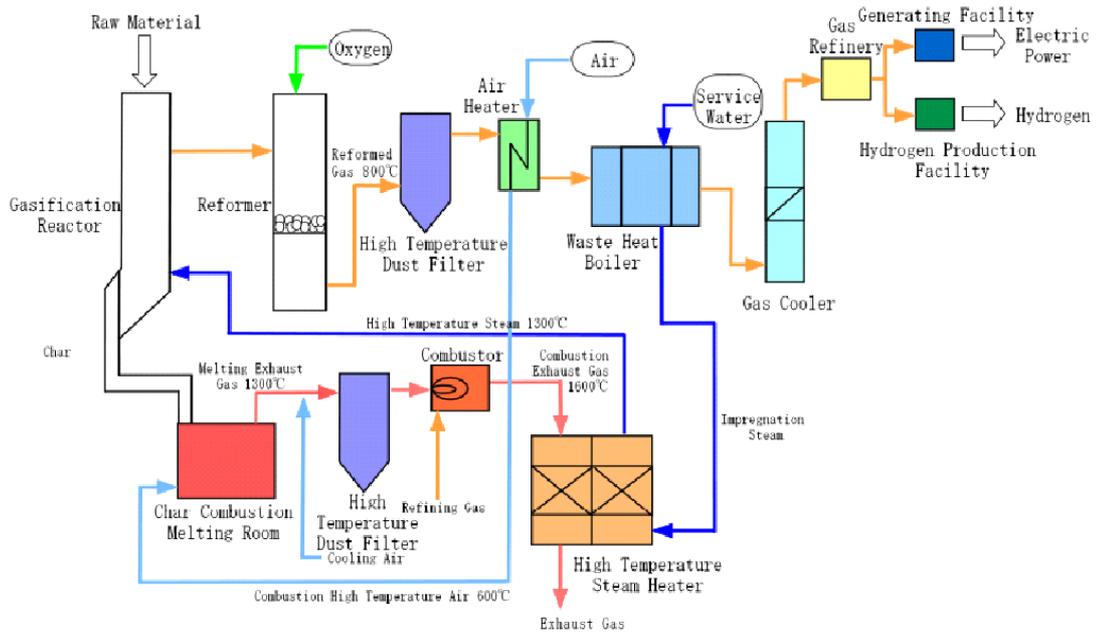


그림 3 HyPR-MEET system

2) 친환경 전환 공정

일본에서 발생한 폐PVC의 양은 1백만 톤 이상으로 조사되며 35%만이 재활용되고 나머지는 매립된다. 매년 매립지가 작아지기 때문에 PVC의 재활용에 대한 요구가 점차 증가하고 있는 실정이다. 그러나 PVC의 물질 재활용은 재활용 할 수 있는 PVC의 양이 정해져 있기 때문에 단일상으로 이루어져야 하며 불순물이 없어야 한다. 또한 연소나 소각과 같은 열적 전환 공정이 들어가면 다이옥신 등의 유해물질이 발생하고 연소로, 열교환기 등의 부식이 일어나기 때문에 쉽게 이용할 수 없다. 폐PVC의 화학 재생 기술들은 촉 또는 합성가스와 같은 물질들을 목적으로 하고 있다. 이 공정은 PVC 또는 합성가스에서 HCl을 분리하기 위하여 dechlorination 또는 염소 중화 반응과 같은 공정들이 연결된다. 그러나 HCl의 양이 풍부하기 때문에 폐PVC를 통해 발생하는 HCl의 재생율은 낮은 편이다. 그림 4에는 PVC에서 사용되는 Cl의 발생원을 나타내었다.

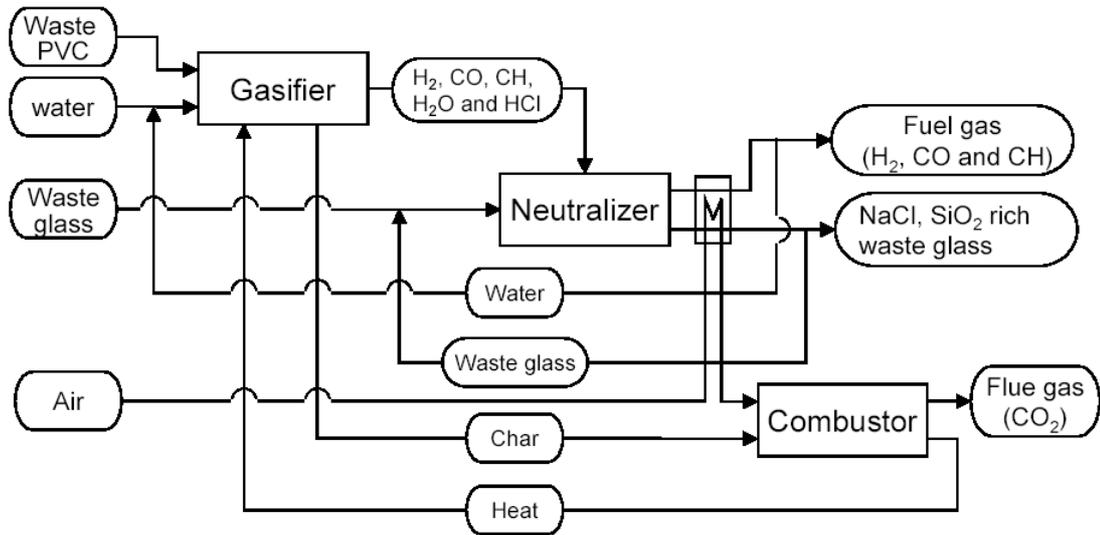


그림 4 Sodium and Chlorine flow from soda and soda ash industry in Japan Hojin Sung, Tomoya Hirotsu, Reiji Noda and Masayuki Horio, Department of Chemical Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan(On-line: 0798)

PVC에 포함된 염소 성분은 거대한 양의 전기가 소모되는 전기 분해를 통해 NaCl로부터 기원한다. 한편 소다수 회재 산업에서 제공되는 NaCl의 1/2 정도는 유리 산업에서 첨가제로 사용된다. 현재 매립되고 있는 PVC와 폐유리들을 사용할 경우에 발생하는 이익들을 보여주기 위하여 저자들은 실험실 규모의 고정층 반응기를 제작하였다. 고정층 반응기에서는 PVC가 폐유리에서 발생하는 Na와 반응하여 NaCl로 중화된다. 이 반응은 450-550°C에서 발생한다. SEM과 EDS가 반응 후에 폐유리 표면에서 발생하는 NaCl 결정들을 측정하기 위하여 사용되었다. 가스, 찌, 타르 등에 함유되는 Cl의 양은 PVC 반응이 없는 상태에서의 결과보다 낮았다. NaCl의 형성과 폐PVC 수지와 폐유리들을 통한 연료가스는 에너지 생산뿐만 아니라 NaCl의 생성에 따른 자원화가 가능함을 보여주었다.

현재 재생에너지 자원 중에서 가장 널리 이용되고 있는 자원은 바이오매스이다. 대부분은 개발도상국에서 소각으로 사용되고 있으나 덴마크, 스웨덴과 같은 유럽 국가에서는 연소로, 가스화기 등에서도 널리 이용되기 시작하였다. 또한 미래의 에너지원으로 가장 각광을 받고 있는 수소 생산을 위한 1차 공급 원료로서도 그 가능성이 검토되고 있는 실정이다. 가장 매력적인 바이오 매스의 이용은 1차 생산품(음식 또는 섬유)를 만들기 위해 원료 물질들을 수집 및 공급을 위한 시스템이 설립된 장소에서 전력을 생산하는 것이다. 이와 같은 환경은 매력적인 가격으로 섬유 제품을 공급하고 수소를 생산할 수 있도록 해준다.

H₂S와 HCl 등의 유독 가스들은 바이오매스의 가스화 과정에서 배출되며 가스화와 연계된 연료전지 운전의 성능을 저감시킨다. 또한 바이오매스 가스화는 중금속들, 방향족 탄화수소 등과 같은 환경 저해 물질들을 배출시키기도 한다. 이와 같은 독성 화합물들의 거동은 MCFC와 같은 연료전지의 사용을 위해서 가스 정제 공정의 설계와 안정적인 운전이 반드시 필요하며 환경에 영향을 최소화 시키는 가스화 운전 조건의 최적화가 이루어져야 한다. 그러나 불행히도 이와 같은 화합물들의 배출은 주입되는 바이오매스의 조성에 큰 영향을 받는다. 그래서 본 연구에서는 바이오매스 연료들을 평형 조건에서 모델링하여(Gibbs Energy Minimization model) 환경 영향을 고찰하였다. 표 1에는 각종 바이오매스의 원소 분석을 나타내었다. 이들은 바이오매스의 연소, 가스화 등의 유

해물질 배출에 영향을 미친다. 평형 모델에 따르면 바이오매스 연료들에 따라 배출 특성이 다르게 나타났다. 더욱이 원료물질의 조성과 가스화 온도는 환경오염물의 배출에 큰 영향을 끼쳤다.

표 1 Elemental analysis of six biomass fuels Hidetoshi Kuramochi, Wei Wu and Katsuya Kawamoto, Research Center for Material Cycles and Waste Management, National Institute for Environmental Studies, Japan(On-line:0929)

Composition	Unit	Demolition Wood	Verge grass	Sewage sludge	Bio-dried wood by composting	Railroad ties	Cacao shells
Water	Wt% ar	6.1	7.3	10.6	14.8	10.6	13.4
Ash	Wt% dry	2.08	17.6	36	18.3	2.6	10.5
Volatiles	Wt% daf	80.0	79.0	86.2	74.5	81.3	75.8
HHV	MJ/kg daf	20.3	20.0	23.1	19.9	21.7	20.5
LHV	MJ/kg daf	19.1	18.7	21.5	18.6	20.4	19.3
C	Wt% daf	51.0	49.9	52.2	51.5	54.4	53.0
H	Wt% daf	5.55	5.68	7.27	5.70	5.78	5.85
O(diff.)	Wt% daf	42.9	40.9	30.7	41.3	39.4	37.6
N	Wt% daf	0.46	2.47	7.06	1.16	0.27	3.39
S	Wt% daf	0.043	0.18	2.61	0.25	0.10	0.22
Cl	Wt% daf	0.073	0.86	0.15	0.027	0.016	0.016
F	Wt% daf	0.002	0.003	0.044	0.013	0.002	0.001
Al	g/GJ	18	na	1470	370	11	na
As	g/GJ	0.36	0.06	0.41	0.17	0.10	0.06
B	g/GJ	0.36	na	4.5	2.4	0.15	na
Ba	g/GJ	6.4	na	29	8.5	4.2	na
Ca	g/GJ	170	840	2800	990	96	130
Cd	g/GJ	0.03	0.06	0.10	0.01	0.02	0.06
Co	g/GJ	0.1	0.1	0.5	0.3	0.03	0.1
Cr	g/GJ	2.2	0.7	4.6	8.5	0.5	0.2
Cu	g/GJ	1.3	0.6	33	2.7	0.4	2.0
Fe	g/GJ	22	na	3700	240	76	na
Hg	g/GJ	0.047	0.003	0.17	0.007	0.005	0.003
K	g/GJ	38	1400	160	400	13	1600
Mg	g/GJ	18	120	270	130	10	280
Mn	g/GJ	3.6	9.7	29	9.2	1.9	4.9
Mo	g/GJ	0.03	na	0.46	0.13	0.03	na
Na	g/GJ	29	97	120	240	12	1.7
Ni	g/GJ	0.3	0.1	12	35	0.3	0.6
P	g/GJ	3.7	160	1600	46	2.6	190
Pb	g/GJ	9.1	0.9	13	8.5	2.4	1.9
Sb	g/GJ	0.03	0.06	0.02	0.07	0.05	0.06
Se	g/GJ	0.01	0.06	0.03	0.05	na	0.06
Si	g/GJ	160	2500	2400	1300	65	440
Sn	g/GJ	0.032	0.65	1.7	0.11	0.03	0.29
Sr	g/GJ	0.64	na	25	3.2	na	na
Te	g/GJ	na	0.06	na	na	na	0.06
Ti	g/GJ	8.6	na	30	14	na	na
V	g/GJ	0.037	0.4	1.0	1.2	0.043	0.12
Zn	g/GJ	13	2.9	67	7.2	13	5.2