

# 가스화 복합발전 기술 개발 및 신산업으로의 발전 방향

윤 용 승

고등기술연구원 플랜트 엔지니어링 센터

## Development of IGCC Technology and Direction as a New Core-Industry

Yongseung Yun

Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

### 요 약

대체에너지 기술개발의 일환으로 석탄가스화 복합발전에 대한 기술개발 분야는 지난 80년대부터 국내의 기반기술을 축적하여 왔고, 90년대 들어 에너지기술개발 및 선도기술개발 과제의 형태로서 pilot 플랜트의 시스템기술과 이에 필요한 전산모사기술을 개발하여 오고 있다. 선진외국의 상용급 플랜트 규모에는 미치지 못하나 그 동안의 기술축적의 결과를 바탕으로 폐기물을 대상으로 한 일부 중소형급 실용화 분야에서는 국내에서도 상용급에 준하는 기술을 축적하기에 이르렀고, 축적된 국내의 기반기술이 석탄만이 아니라 정유공장 부산물인 고유황 함유의 중질잔사유 및 폐기물에 이르기까지 에너지와 환경을 동시에 해결하는 대안기술로서 광범위하게 적용될 기반을 구축하였다. 또한, 산학연의 기술개발 분담을 통하여 국내고유의 고온탈황제 및 고온집진 필터의 제조기술도 에너지 및 환경분야 전반에 적용할 수 있는 수준에 도달하여 향후 신산업으로의 확대 적용이 가능한 수준에 도달하였다.

## 1. 서론

가스화기술의 역사는 200년이 넘게 유럽에서 발전하여 왔으나 환경문제와 에너지효율 문제를 해결하는 수준의 가스화기술은 1970년대 들어서부터 공정기술로 재개발되어 오고 있다. 70년대의 오일쇼크 이후 석유 대체원으로서 가스화공정이 개발되어 22-27기압에서 운영되는 석탄가스화공정과 60기압 이상에서 운영되는 비료나 암모니아 합성용의 석탄 및 petroleum coke 가스화공정이 상용화되었고, 80년대 들면서부터 환경문제가 부각되면서 가스화반응 자체의 특성상 SOx와 NOx의 발생이 안된다는 점을 활용한 공정개발이 이루어져 오고 있다.

가스화용융 기술의 요체는 기존 방식보다 높은 효율을 얻으면서도 향후 강화될 환경규제치도 만족할 정도로 깨끗하게 더러운 시료로 여겨졌던 고유황, 고회분의 저급 석탄, 정유공장 부산물 및 도시쓰레기까지도 에너지원으로 깨끗하게 처리할 수 있다는 점이다. 생성가스의 최종 사용처는 발생가스의 정제를 통하여 연료전지의 원료가스로 적용이 가능하고 암모니아 및 비료생산에도 사용할 수 있다.

가스화 처리시의 장점으로는 우선 화학반응 자체에서 주요 공해물질인 SOx와 NOx가 발생치 않는다는 점이다. 기존의 미분탄연소발전과 같이 연소반응에 근거한 공정에서 발생하는 SOx, NOx의 발생량을 최소화할 수 있다. 이는 가스화반응이 산소가 불충분한 불완전연소이므로 화학반응 자체에서 SOx, NOx가 발생치 않고 시료내의 S와 N 성분이 대신 H<sub>2</sub>S와 NH<sub>3</sub>로 대부분 발생되므로 후단 공정에서의 처리가 용이하게 된다. 재의 용융처리를 연소에 근거하는 경우에 플라즈마나 전기아크 등 수천도의 고온에서 처리케 되는데, 이 때는 공기중의 질소와 산소가 반응하여 발생하는 thermal NOx가 수%까지 발생할 수 있어서 공해처리 설비에 큰 부담을 주게 된다. 이러한 thermal NOx를 줄이기 위해 반응분위기를 산소가 없도록 질소 등으로 대체하는 경우가 있게 되나 가스화반응에서는 온도가 높더라도 반응자체에서 NOx가 발생치 않게 되는 장점이 있다.

가스화반응의 다른 장점으로는 시료내 열량의 대부분을 chemical energy로 바꾸어 발생케 되므로 후단 정제과정에서의 온도변화에 전체공정의 효율감소가 적게 된다는 점이다. 연소반응에 의한 생성가스는 주로 CO<sub>2</sub>이고 CO<sub>2</sub>는 발열량이 없기 때문에 dioxin 등의 저감을 위해 급속세정을 하게 되면 가스내의 현열이 거의 없어지게 되어 에너지의 손실이 크게 된다. 반면에 가스화반응의 주요 생성물은 CO와 H<sub>2</sub>이므로 이들 가스는 연소시 큰 발열량을 내게 된다. 즉, 가스화반응에 의해서는 시료내의 상당부분 에너지가 CO나 H<sub>2</sub>같이 chemical energy를 가진 가스로 발생되고 이들 가스는 급속냉각을 시키더라도 자체의 chemical energy가 그대로 유지되어 필요시 연소를 시키면 가스터빈이나 증기터빈을 통해 에너지를 재회수할 수가 있게 된다. 시료의 함유에너지로부터 얼마나 chemical energy로 회수하는 가 하는 비율을 나타내는 것이 냉가스효율(cold gas efficiency)인데 석탄의 경우는 이 냉가스효율이 65-80%에 달하고 폐기물의 경우에는 폐기물의 성상이 천차만별이므로 대별하기는 어려우나 60%까지도 가능하다.

따라서, 지금과 같이 환경과 에너지 문제가 점차 심각해지고 일반인들의 인식이 높아지는 상황에서는 현재와 같은 연소에 근거한 공정으로부터 가스화에 근거한 공정으로의 전이는 필연적으로 보여진다. 단지 가스화에 근거한 공정은 생성가스가 폭발성 및 유독성을 지니고 있으므로 설비의 복잡성은 피할 수 없는 상황이므로 얼마나 경제성 있고 안정성 있게 공정을 구성하는가가 실용화를 얼마나 앞당길 수 있는가를 결정하는 가장 중요한 인자가 된다.

다른 또 하나의 중요한 장점은 시료내에 S성분이 많을수록 유리하다는 점이다. S성분은 가스화반응에 의해 H<sub>2</sub>S가스로 주로 발생되는데 정유공정에서 50년이상 사용되어 오고 있는 Claus공정을 통하면 H<sub>2</sub>S 가스로부터 elemental 유황이나 황산을 생산해낼 수 있다. 이들 유황이나 황산은 유상판매가 가능하게 되므로 시료내의 S 성분을 공해물질인 SO<sub>x</sub>로 발생시키는데 아니라 오히려 판매할 수 있는 제품으로 추출해내게 되기 때문에 시료에 유황성분이 많을수록 연소

처리 공정에 비해 더욱 경제적으로 유리하게 된다. 주요 적용시료의 예가 정유 공장의 찌꺼기 제품인 중질잔사유(heavy residual oil)로서 유황함량이 6-8%에 이른다. 현재는 아스팔트나 선박용 병커C유에 첨가 희석하여 처리하고 있으나 아스팔트의 가격이 낮아지거나 환경오염 구제가 강화되면 중잔유의 처리가 문제가 되기 때문에 상당수의 해외 정유사에서는 이미 가스화공정을 채택하여 발전 및 수소를 생산해 사용하고 있고 국내의 2개 정유사에서도 가스화공정의 채택을 추진하고 있다. 국내의 정유공장에서 발생하는 고유황 함유의 중질잔사유는 IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle: 가스화복합발전) 방식이 아니면 경제적으로 처리할 수 있는 대안이 없는 현황이고, 발생량 규모도 원자력발전소 8기 이상의 발전용량인 8,000MW에 해당하는 양이 매년 생산되고 있기 때문에 IGCC 기술이야말로 가장 현실적인 대안이며, IGCC 기술개발에 따른 기술적 파급효과도 상당히 클 것으로 예견된다.

## 2. 국내 기술개발의 필요성

현재 미국과 네덜란드 및 스페인에서는 300MW급의 IGCC 실증(demonstration) 발전소가 운영중인데, 아직까지는 IGCC 기술을 석탄에 적용하여 85%이상의 신뢰성을 갖는 발전소를 운영하지는 못하고 있는 실정이다. 따라서, 국내에 IGCC 기술을 사용한 CCT 발전소를 건설하기 위해서는 최소한 국내에서 IGCC 발전소에 적용하려고 하는 연료탄에 대한 기초 운전자료의 확보는 필수적이라 하겠다.

이외에 IGCC 기술은 환경 오염물질 배출면에서도 LNG 복합발전과 유사할 정도로 석탄을 깨끗한 발전원료로 사용할 수 있도록 하면서, 복합발전의 최신기술을 모두 접목시킴에 따라 발전소 효율이 기존 발전소보다 높은 50%이상까지도 가능하도록 점진적인 기술향상이 가능하다는 점 등의 장점이 있다. 신규 발전소의 운전기간을 30년 이상으로 본다면, 점차 강화되는 21세기초의 환경 규제치

를 고려하여 석탄을 깨끗하게 사용할 수 있는 IGCC 기술은 국내에서 반드시 적용될 차세대 발전기술로 판단된다.

국내에서 앞으로 30~50년내에는 발전연료의 최소한 30%는 석탄이 담당해야 할 상황이고, 그 이후도 획기적인 에너지 전환방법이 개발되지 않는 한 IGCC 기술이 가장 적절한 석탄이용 환경 친화적 발전기술임이 분명하다. 또한, 향후 IGCC 기술이 연료전지에 연계된 고효율의 발전방식으로 향상될 것이므로 향후 석탄발전의 신기술 추이는 IGCC 기술로 나아가리라 판단된다. 따라서, 소규모이나마 국내 IGCC발전소에 대비하여 국내 인력에 의한 고온고압 석탄가스화를 통한 실질적 결과를 얻는다는 것은 큰 의미가 있다 하겠다.

가스화 용융 분야에서 가장 먼저 상업화한 공정으로는 석탄 가스화를 이용한 복합 발전 분야이다. 이 기술은 석탄에 포함된 탄소, 수소 성분은 가스 연료인 일산화탄소와 수소 가스로 전환함과 동시에 석탄 내에 포함된 회재를 용융하여 슬래크로 배출한 후, 발생된 석탄가스는 사용 목적에 따라 세정 공정을 거친 후 연소된 가스를 이용한 가스 터빈, 폐열을 이용한 증기 터빈을 구동한 발전을 통하여 기존 석탄 화력 발전 방식보다, 고효율, 청정 발전 방식이다.

IGCC 기술은 기술적, 경제적, 사회적 기대효과와 파급효과가 큰 차세대 청정 기술로서, 일본이 Sun-shine 프로젝트의 일환으로서 200톤/일 규모의 IGCC 파일럿 플랜트에 90%의 비용을 정부에서 지원한 예로서 선진외국에서의 IGCC 기술 중요성에 대한 인식을 설명할 수 있을 것이다. 현재 국내의 IGCC 기술은 대형 플랜트에 대한 경험이 부족한 실정이지만, 각 단위 장치 또는 단위 시스템에 대한 운전경험 및 설계능력은 선진국에 비하여 떨어지지 않는 상황이다. 따라서, 에너지사업이 국가의 기간산업이라는 측면을 고려하여, 정부의 지속적인 지원이 이루어진다면 적어도 2013년과 2014년으로 예정된 한전의 Clean Coal 발전소 건설단계에서는 IGCC 기술의 상당한 분야에서 선진국의 기술수준에 도달할 수 있을 것으로 판단된다.

2010년 이전에 국내에도 가스화복합발전 플랜트의 건조가 IMF사태와 같은 극

단적인 사건이 발생하지 않는 한 이루어질 것으로 판단되는데, 이때 필요한 기반기술의 축적은 현재까지 선진외국에서의 설계와 운전상의 시행오차를 감안하면 반드시 필요한 사항으로 판단된다. 국내 에너지원은 한정되어 있고 점차 공해물질 발생규제와 CO<sub>2</sub> 등 온실가스 규제가 강화되는 추세는 필연적이라고 볼 때 석탄과 중질잔사유의 처리기술은 가스화에 근간한 공정기술이 필연적이다.

이상과 같이 IGCC 기술에 대한 국내기술 확보를 위하여 지난 1992년 이후 현재까지 대체에너지기술개발 및 선도기술개발 사업으로서 각 IGCC 구성 시스템에 대한 요소기술 개발 및 운전기술 확보가 이루어졌으며, 현재까지 개발한 IGCC의 요소기술들을 연계하여 연속운전 신뢰성을 확보하는 기술개발이 진행되고 있다.

미국의 Vision 21 프로그램에서도 가스화기술의 개발이 key core technology의 하나로 인식하여 중점개발하고 있으며, 특히 fuel-flexible 발전소의 개발에 주요한 초점을 맞추고 있다. 국내의 현실에서 이러한 미국이나 일본의 기술개발 방향을 그대로 모방하기에는 연구개발비 총액의 열세로 개발된 기술을 항상 뒤따르는 상황이 되고, 개발하더라도 대규모로 검증할 기회가 주어지지 않기 때문에 고생은 고생대로 하고 실용화에 뒤지는 상태가 되어 오고 있는게 국내의 현재 실정이다.

선진외국에서도 나름대로 값비싼 시행오차를 겪으면서 추려서 뽑은 fuel-flexible 가스화와 같은 key core technology라면 이러한 기반기술의 축적에는 국내에서도 적극적인 자세를 가지고 투자가 이루어져야 한다고 본다. IGCC와 같이 상용급 기술개발 단계에서 대규모 투자가 수반되는 경우에는, 상당한 국내의 기반기술을 충분히 축적한 연후에 상용급 기술을 도입하여 시행오차를 최소화하면서 기술도입 비용의 최소화를 이루고 축적된 기술을 기반으로 타 시료에 대한 중소형 플랜트를 자체 개발하여 실용화한다면 기술개발 비용의 충분한 효과를 거둘 수 있을 것이다.

### 3. 가스화복합발전 기술의 국내외 개발 현황

국내에서도 지난 92년 이래로 에너지기술개발과 선도기술개발사업의 일환으로 석탄가스화복합발전 기술개발이 이루어져오고 있고, '99년부터는 1-3톤/일 규모의 고압 가스화설비와 고온탈황과 고온집진의 연계 기술개발이 이루어져 현재는 bench급에서는 나름대로 선진외국에도 발표할 수준의 결과를 도출해내고 있다. 또한, 기술개발에 소요되는 장비의 대부분이 국내업체로부터 공급받게 되어 90년대 초반에 pilot 플랜트를 건설할 단계에서의 외국산 물품의 비중은 일부 분석설비와 전계장 부품류로 국한되고 있어서 기술개발 자금의 국내 선순환이 이루어지고 있다.

이러한 석탄가스화 용융기술을 근간으로 국내에 기술전파가 이루어져 이제는 국내에서 5-10톤/일급 규모의 고온고압 가스화용융 설비를 자체 제작하여 사용한다고 하여도 그 실현성에 대하여 의문을 제기하는 사람은 거의 없는 상태로까지 발전하였다. 즉, 상용급 석탄가스화설비와 같은 2,000-3,000톤/일급의 규모는 아니더라도 3-50톤/일급의 규모에서는 그 동안 본 과제를 통하여 개발된 기술을 근간으로 실용적인 시스템 공정기술의 구성이 자체적으로 가능한 기술수준에 도달하였다.

고온탈황제 부문에서는 내마모도가 증진된 성능을 갖도록 제조 recipe를 계속 개선하여 제조가 이루어져서, 적어도 현재 미국에서 발표되고 있는 고온탈황제의 내마모도 성능을 갖는 제품이 생산되어지고 있다. 이 고온탈황제를 실제 고온조건에서 150시간 이상 연속운전을 통해 성능의 검증을 진행하고 있고, 탈황제의 대량제조를 위한 기술개발과 설비보완이 계속되고 있다.

고온집진 금속필터 개발과 필터의 파열시 후단공정에서의 피해를 줄일 수 있는 안전필터 시스템의 개발도 성과를 거두고 있다. 이들 설비가 모두 연계되는 2002년에는 각 위탁기관에서 개발된 부품과 시스템이 연계되어 실증결과를 국내에서도 구할 수 있을 것이다.

이를 위하여 현재까지 개발된 3톤/일급이하 가스화/탈황/집진 설비를 연계한 시스템 설계 및 운전기술을 개발하여, 선도기술개발사업 1, 2단계동안 축적된 가스화 복합발전 기술개발의 성과를 규모는 선진외국에 비하여 작으나 시스템으로 연계하여 가시화하는 연구가 진행되고 있다. 이와 병행하여 IGCC 플랜트의 국내 조기 실용화를 위하여 선형 IGCC 플랜트인 미국의 TAMPA 및 Wabash 등 외국의 선형 IGCC 플랜트로부터 파악된 운전상 문제점을 기반으로 가스화 복합발전의 운전장애 대책기술과 핵심요소기술을 개발하고 있다.

그리고, 가스화기에 공급되는 다양한 연료에 대한 특성 평가 및 각각의 슬래그의 특성 평가기술을 확보하여 이를 database화함으로써 추후 도입될 상용화급 IGCC 플랜트의 대상연료 선정시 기초자료로 제공할 예정이다. 고온탈황장치와 가스화기와의 연계를 통하여는 실제 생성가스를 이용한 탈황공정의 안정성과 신뢰성을 확보중이며, 연속적인 유동층 황화-재생 실험을 통해 개발중인 탈황제의 성능시험에 적용하여 고온·중온 건식 탈황제 제조방법 개발 및 탈황제의 수명연장 기술개발에 활용하고 있다. 가스화기/탈황장치/집진 시스템의 연계 운전시 가스화기내의 운전 조건 변화에 따른 필터 집진기의 신뢰성 확보를 위한 방법으로 fail safety 필터를 이용하여 운전시에 일부분의 필터가 파손이 되더라도 과도한 분진이 가스터빈에 유입되는 것을 방지함으로써 IGCC 시스템의 이용율(availability)을 제고시킬 수 있는 집진장치 개발도 함께 진행되고 있다.

탈황부분을 살펴보면, 국내에서도 IGCC용 고온건식 탈황공정기술의 개발에 대한 연구가 8년전부터 진행되어 왔으나 아직은 국제적인 수준에 미치지 못하고 있는 실정이다. 특히 탈황제의 개발은 탈황공정 연구분야의 아주 중요한 핵심부분이라고 할 수 있으며 국외의 경우에도 반응성이 우수하며 재생이 용이하고 내구성 및 내마모성이 우수한 탈황제의 개발에 연구의 초점이 맞추어지고 있다.

현시점에서 탈황제 개발을 위하여 선진국에서는 다양한 흡수제로의 가능성에 대하여 매우 활발한 연구를 수행하고 있고, 일부는 Pilot 시험단계도 마쳤지만 여전히 상용화된 탈황제는 없는 실정이다. 이러한 상황에 편승하여 국내에서도

2010년 이전에는 IGCC 가스화로를 도입할 계획이 있으므로, 탈황제에 한해서 만이라도 국내 고유의 기술로 독자적인 개발을 하여야 하는 필요성은 매우 크다 하겠고, 기술 이전의 폐쇄성에 적극적으로 대처하는 능동적인 자세는 국가적인 차원에서도 바람직하다고 여겨진다.

#### 4. IGCC 기반기술의 확대 적용 및 신산업으로의 연계

IGCC의 공정에서 가스화 용융 기술은 석탄으로부터 연료 가스를 생성하는 가장 핵심 기술로, 균일한 조성 및 양의 석탄 가스를 공급하여야 하며, 반응시간이 3~6초에 불과하고, 고온고압의 운전조건에서 반응이 일어나게 되며, 발전소의 장시간 안정적인 운전을 위하여 가스화기 유지보수, 제어 및 운전 등 해결해야 할 문제가 IGCC 기술개발 못지 않게 중요한 과제로 존재하고 있는 상태이다. 특히 건식 공급방식의 고압 가스화에 의해 발생하는 석탄가스는 15~30기압에서 CO가 50~60%, 수소가 20~35%에 달하고 그 반응시간이 매우 빠르기 때문에, 순간적인 기기의 오작동이나 운전 미숙은 대형 폭발로 이어질 수 있는 잠재적 위험성을 내포하고 있으므로 안정적인 연속 운전기술은 상용화급 IGCC 발전을 운전하기 전에 필수적으로 습득되어야 하는 항목이다. 이러한 가혹조건에서 축적된 설계, 장비제작, 제어 및 운전기술은 환경폐기물 용융처리와 같은 고온이 요구되는 플랜트 공정기술로 적용되어 국내의 플랜트 설계, 제작, 제어기술 발전에 도움이 되고 있다. 적어도 일일 50톤 처리 용량 이하의 플랜트는 본 기술개발 결과를 적용하여 충분히 소화가 가능한 수준에 도달하였다.

또 다른 가스화 용융 분야로는 폐기물의 가스화 용융으로서, 기존 연소 방식으로 폐기물을 처리하는 소각 방식의 기술적인 문제점을 극복하고, 매립시 발생하는 지하수, 토양 등의 오염문제를 해결할 수 있는 대안으로 대두되어 1980년대 중반부터 활발한 개발 및 상업화가 진행되고 있다.

이 기술은 폐기물을 열분해 등을 통하여 가스화기로 공급되는 폐기물의 성장

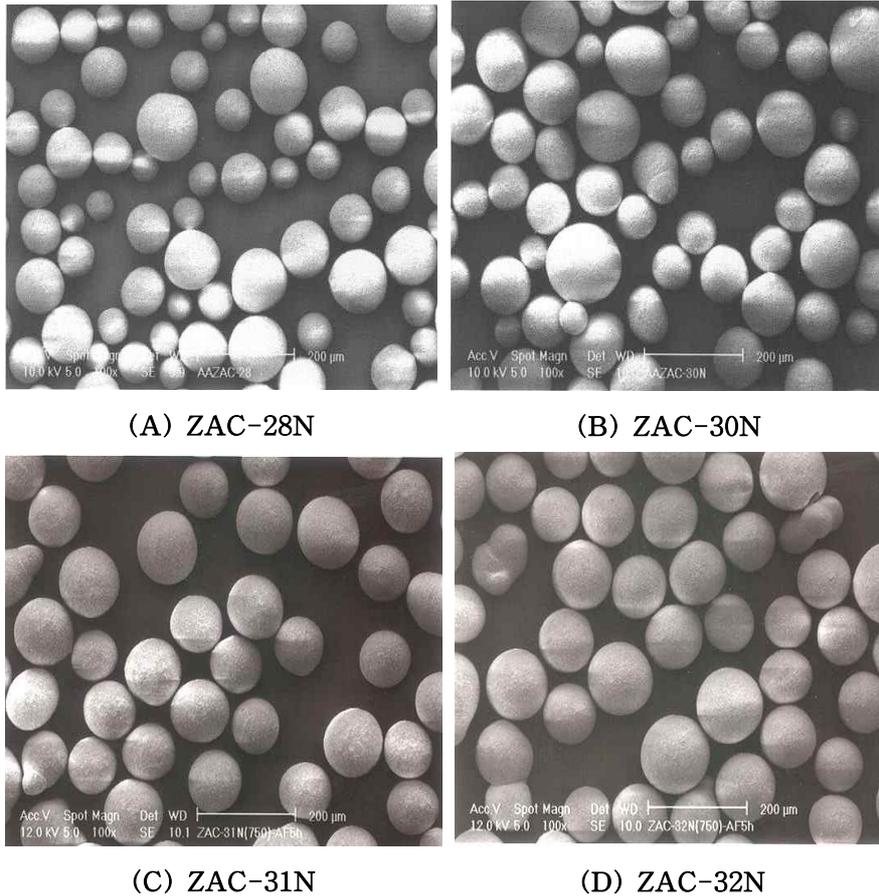
의 1차 조정된 후 가스화 용융로에서 폐기물 내의 탄소와 수소 성분은 기상의 가스 연료인 일산화탄소와 수소로 전환하고 불연물은 용융하여 슬랙으로 배출함으로써, 폐기물의 무해화, 안정화 처리가 가능할 뿐만 아니라, 생성된 연료 가스를 청정 연료 또는 화학 원료로 재활용함으로써, 폐기물의 처리 및 이용 효율을 극대화 할 수 있는 기술이다. 이러한 가스화 용융 기술은 기존 폐기물 소각 처리시 발생하는 다이옥신 문제와 소각재의 중금속 용출에 의한 환경 오염문제를 동시에 해결할 수 있는 기술로 최근 유럽과 일본을 중심으로 상업화가 활발히 추진되고 있으므로 국내에서도 조만간 적용될 대상을 찾을 것으로 판단된다.

공정기술 분야에서는 가스화용융 분야의 기반기술이 위에 설명한 폐기물 분야에 확대 적용될 수가 있고, 고온탈황 공정기술도 외국과 차별화 된 고효율의 transport 반응기를 적용하여 실증함으로써 석탄연소나 폐기물 처리기술 분야에 적용이 향후 가능할 것이다.

특히, 우수한 국내 대학 연구진의 창의적 노력을 중심으로 고온탈황제와 고온 집진 필터의 개발이 이루어 지고 있는 점은 주목할 만한 사항이다. 대학에서 개발된 시제품을 연구소에서 기본실험을 통하여 입증한 후 고온고압의 실제 석탄 및 중질잔사유 가스화공정에 실증 적용하는 산학연의 협동 노력을 하고 있다. 이러한 산학연의 공동노력에 힘입어 막대한 연구비를 투입하고 있는 미국, 유럽, 일본과 경쟁이 가능한 국내 고유의 핵심 제조기술을 상당수준까지 개발되었고, 본 IGCC 분야만이 아니라 타 환경 및 에너지분야에도 적용할 기술수준에 도달하고 있다.

[그림 1]은 국내에서 개발된 고온의 Syngas를 고온에서 탈황할 수 있는 탈황제가 내마모도 시험후에도 원래의 구형 형상을 그대로 유지하고 있으며 평균 입자크기도 초기의 90% 이상을 유지하고 있음을 보여주는 사진이다. 고온탈황제는 ZAC (Zinc-family, Alumina-sol, Celite) 성분으로 주로 구성되어 있으며, binder matrix로 점토류와 시멘트류 무기결합제와 기타 보강 무기결합제를 사용하여 제조한 아연계 탈황제의 내마모도는 상업용 요구조건을 만족하고 상용

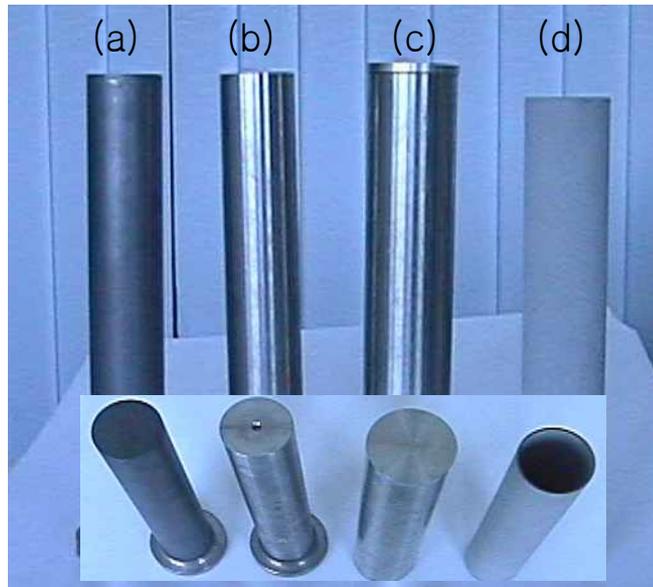
FCC 촉매와 비교하여도 동등 이상의 좋은 결과를 보여 고밀도 고강도 탈황제의 제조 가능성을 입증할 수 있었다.



[그림 1] 마모실험 후의 ZAC 고온 탈황제 형상

또한, [그림 2]는 본 기술개발을 통하여 국내 대학연구진이 개발한 고온 금속 집진필터의 시제품을 미국의 상용제품과 비교하여 보여주고 있다. 여기서 코어는 1300℃ 이상의 고온에서 시제품 제작을 위하여 제작된 것이다.

이러한 가스화용융, 고온탈황 공정기술 및 고온탈황제, 고온집진 필터 제조기술은, 국내의 기술개발 역량을 최소의 비용으로 집적화 함으로써 에너지 및 환경분야의 많은 세부분야에서 실용화의 실적으로 돌아올 것으로 보인다.



[그림 2] 고온 금속집진 필터 제조용 지그 및 필터 시제품  
(a: 흑연코어, b: 철계코어, c: 외부몰드, d: 상용 SUS 316L 필터)

개발된 관련기술을 21세기의 에너지분야 신산업으로 접목시키는 일은 중소형급 규모로서 국내에서 배출되는 시료의 특성에 맞게 특화된 공정을 개발하는 일로 가능할 것으로 판단된다. 또한, 그 동안 여러 이유로 대체에너지원으로서 활용되지 못한 정유공장의 중질잔사유를 가스화복합발전에서 사용하는데 외국 정부의 지원사례를 소개함으로써 국내 대체에너지원을 적극 활용하는 에너지 신산업으로 도약키 위한 필요조건이 제시될 필요가 있다. 이태리 및 미국에서는 석탄 외에도 중질잔사유를 사용한 IGCC 발전에 전기구입 가격 측면에서 상당한 특혜를 주고 있는 점은 주목할 만하다.

IGCC분야에서 개발된 기술이 적용될 수 있는 대표적 분야로는 폐기물 분야를 들 수 있다. <표 1>에는 열분해, 가스화 소각 용융에 의해 폐기물을 처리하여 기술을 보유하는 업체 현황을 나타내었다. 현재 상용화 수준에 도달되어 도시 폐기물을 처리 하는 시스템 중에서 일본의 Nippon Steel, NKK을 제외하고는 대부분 가스화·소각 용융로 전단에 열분해로를 설치하여 가스화·소각 용융로의

운전 안정성을 도모 하면서 열분해 잔류물 중 회수 가능한 물질 등을 사전에 회수한 공정을 채택함을 알 수 있다. 반면, Nippon Steel, NKK은 제철소에서 사용하고 있는 용광로의 원리를 폐기물 처리에 적용한 것으로, 폐기물과 코크스등을 채워 넣고 산소를 하부에서 불어 넣어 폐기물을 용융하는 방식으로 특별한 물리적인 폐기물 전처리 시스템이 필요 없는 것이 특징이다.

이와 같이 폐기물 가스화 용융 방식을 폐기물에 적용할 경우, 각각의 제작사 고유의 공정을 구성하고 있으며, 이러한 공정의 구성은 폐기물 전처리 시스템, 가스화 방식, 생성 가스 처리 시스템, 생성 가스 활용 방법, 잔류물 처리 방법 등으로 대별될 수 있으며, 각각의 공정에 대한 구성의 일반 사항을 [그림 3]에 나타내었다. [그림 3]에 나타난 주요 설비 및 공정기술은 본 기술개발을 통하여 대부분 기반을 갖춘 내용이어서, 이러한 환경 폐기물 분야에 축적된 기반기술을 일일 50톤 규모 미만의 공정규모에 확대 적용하는 데에는 무리가 없을 것이다.

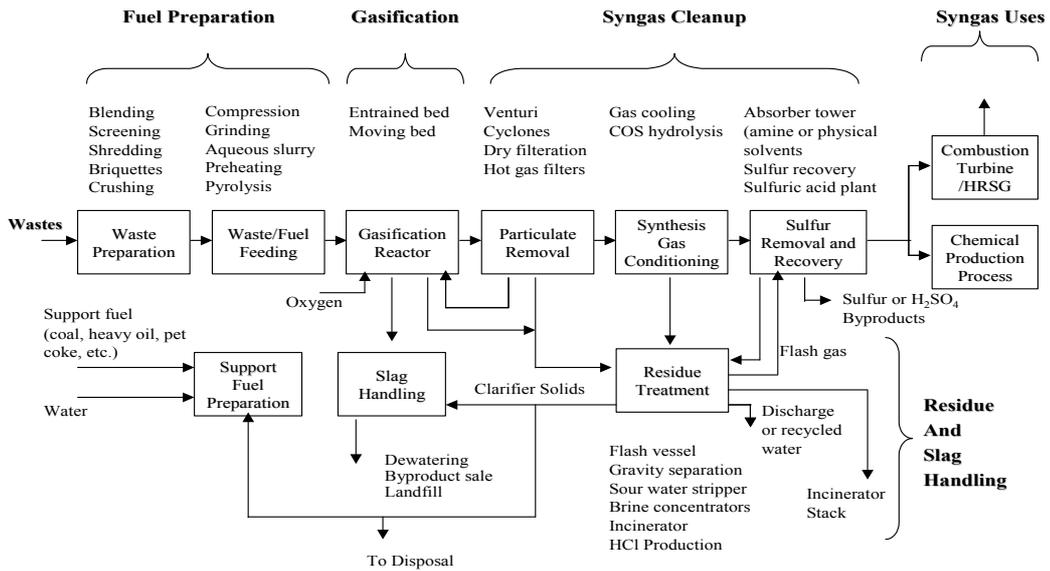
<표 1> 가스화 소각 용융로의 상용화 현황

Status	Suppliers	Process	Markets
Fully commercial	ABB/Ebara	Gasification/Combustion/Melting	ASR, MPW
	Nippon Steel	Gasification/Melting	MSW, ASR, MPW
	Thermoselect	Pyrolysis/Gasification/Melting	MSW, Industrial waste
Commercial	Mitsui	Pyrolysis/Combustion/Melting	MSW, ASR
	Takuma	Pyrolysis/Combustion/Melting	MSW, ASR
	Von Roll	Pyrolysis/Combustion/Melting	MSW, ASR
Semi-commercial	Krupp Uhde	Gasification/Melting	MSW, ASR
	PKA	Pyrolysis/Gasification/Melting	Mixed waste
Pilot Scale	NKK	Gasification/Melting	MSW, MPW, ASR

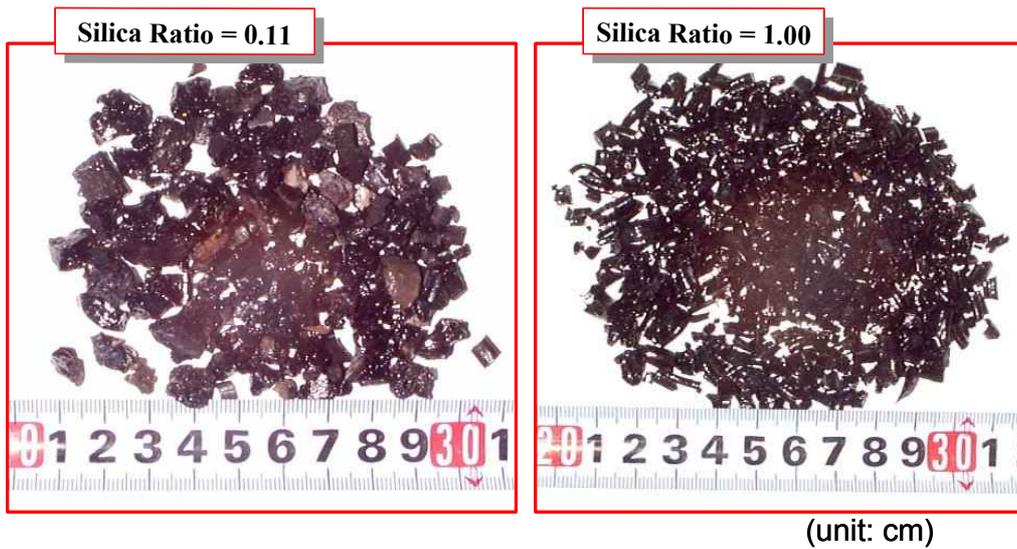
주) MSW : Municipal Solid Waste, MPW : Mixed Plastic Waste, ASR : Auto Shredder Residue

[그림 4]는 고온용융 기술을 폐기물중의 하나인 하수슬러지의 용융처리에 적

용하여 얻은 슬래크의 형상을 보여주고 있다. 슬래크의 흐름을 조절하기 위해 염기  
 도 (silica ratio = CaO/SiO<sub>2</sub> 비)를 1.0으로 맞추는 조건이 하수슬러지의 슬래크를  
 배출하는데 최적임을 알 수 있었던 결과를 보여주고 있다.



[그림 3] 폐기물 처리시 가스화 응용 공정의 구성 개략도



[그림 4] 하수슬러지에 고온용융 기술을 적용하여 얻은 슬래크의 모습

## 5. 결 론

석탄가스화 용융기술로부터 출발하여 폐기물의 소각용융 및 가스화용융 기술 개발이 이루어지고 있고, 상용급 석탄가스화설비와 같은 2,000-3,000톤/일급의 규모는 아니더라도 3-50톤/일급의 규모에서는 그 동안 개발된 기술을 근간으로 실용적인 시스템 공정기술의 구성이 가능한 기술수준에 도달하였다. 일일 수천 톤의 시료를 처리하는 공정의 개발은 일본과 미국의 예를 보면 5-10여년간 수천 억원 이상을 집중적으로 투자하여 얻을 수 있는 단계로서, 국내현실에서는 이러한 대규모 실증공정 개발이 사실상 불가능하다고 하여도 과언이 아닐 것이다.

국내의 현실에서 미국이나 일본과 같이 대규모 기술개발의 장기적 선투자를 하는데는 한계가 있으므로, 대규모 설비가 요구되는 분야에서는 기반기술을 충실히 확보하면서 이러한 확보기술을 폐기물과 같은 중소형 규모에서도 상용규모로 응용할 수 있는 분야로 실용 적용을 우선 실시하는 방안이 가장 적절하다고 보인다. 또한, 향후 강화되어질 환경규제라면 오히려 과감히 환경오염 물질들의 연도별 규제치를 선진국 수준으로 제시하고 강제 이행시킴으로써 국내의 기술산업 발전과 관련 부품업체들의 발전도 동시에 이룩할 수 있다고 본다. 환경규제에 대비하는 기술의 도입이 부대비용으로 인식되는 한은 국내시장은 선진외국의 기술전시장이 될 수 밖에 없고, 결과적으로 치러야 할 비용은 비용대로 치르면서 기술개발과 유관 기술업체의 발전도 막는 우를 범한다는 사실은 지난 수십년간 국내의 소각로 등 환경산업에서 겪은 현실이 증명하게 주고 있다. 그리고, 본 기술개발에서 경험한대로 설비 설치의 초기에는 외국설비의 활용이 주를 이루었으나 정확한 기술사항과 요구조건을 제시할 기술능력이 축적됨에 따라 대부분의 설비와 부품을 국내업체에서 수급하게 되는 점은 국내 기술개발 자금의 국내에서의 선순환을 이루게 되어 유관산업의 부양 효과까지도 기대할 수 있게 된다. 따라서, 보다 적극적인 기술개발 투자와 국내 시장이 형성될 수 있도록 관계자들간의 유기적인 협력이 필수적이며 국내의 제한된 인력과 자금의 역량을 최대

로 발휘할 수 있는 상승효과를 나타내야만 할 것이다.

## 감 사

본 연구는 산업자원부산하 에너지관리공단에서 지원하는 '가스화복합 시스템 연계실증 및 모사기술 개발' 과제에서 지원한 내용입니다. 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Y. Yun and Y.D. Yoo, "Performance of a Pilot-Scale Gasifier for Indonesian Baiduri Coal," *Korean J. Chem. Eng.* **2001**, *18(5)*, 679-685..
2. 윤용승, 정석우, 김원배, "건식 가스화기 시료의 선정인자 및 변화에 따른 가스화 특성과 주요 운전상 문제점," *에너지공학* **2001**, *10(2)*, 90-104.
3. 이승중, 윤용승, "주요 운전변수에 따른 중잔유 가스화의 성능예측," *에너지공학* **2001**, *10(2)*, 140-152.
4. 이승중, 윤용승, 유진열, 서인준, "중잔유의 500MW급 가스화 복합발전 적용 성능 평가," *화학공학* **1999**, *37(5)*, 775-781.
5. 이승중, 이진욱, 김용철, 이찬, 윤용승, "공정개발급 석탄가스화 복합발전플랜트의 성능 평가," *화학공학* **1999**, *37(1)*, 47-55.
6. 이승중, 윤용승, 이진욱, "탄종 및 석탄공급방식 변화에 따른 석탄가스화 복합발전 플랜트의 성능평가," *에너지공학* **1997**, *6(2)*, 176-187.
7. Y.C Choi, X.Y Lee, T.J. Park, J.H Kim, J.G. Lee, "Numerical Analysis of the Flow Field inside an Entrained-Flow Gasifier", *Korean J. Chem. Eng.* **2001**, *18(3)*, 376-381.
8. 이창근, 조성호, 손재익, 문영섭, 최정후 "Zinc Titanate 탈황제의 탈황 재생 반응속도 해석" *화학공학* **2001**, *39(2)*, 251-256.
9. 박노국, 류시욱, 이태진, "MnO<sub>2</sub> 첨가제에 의한 아연계 탈황제의 반응특성연구", *응용화학* **2001**, *5(1)*, 155.
10. Hee-Kwon Jun, Tae-Jin Lee, Si-Ok Ryu and Jae Chang Kim, "A Study of Zn-Ti-Based H<sub>2</sub>S Removal Sorbents Promoted with Cobalt Oxides", *Ind. Eng. Chem. Res.* **2001**, *40*, 3547.
11. J-H Choi, Y-G Seo, J-W Chung, "Experimental study on the nozzle effect of the pulse cleaning for the ceramic filter candle", *Powder Technology* **2001**, *114 (1-3)*, 129-135.
13. 박영철, 최주홍, "석탄가스 정제를 위한 safety filter 제작용 내식 합금의 평가", *에너지공학* **2001**, *10(2)*, 132-139.