

석탄가스화 기술의 과거, 현재와 미래

석탄가스화 기술은 석탄가스화복합발전(IGCC), 석탄의 간접액화, 석탄합성가스를 사용한 메탄올 등 화학원료 생산, 천연합성가스(SNG) 생산에 핵심 되는 기술이다. 석탄가스화 기술의 역사는 100년이 넘었지만 현재 사용되는 기술은 반응시간과 규모, 온도 압력 측면 등에서 전혀 다르다. 석탄가스화 기술의 간략한 역사와 최근 석탄가스화 업계 동향, 석탄가스화 분야에서 추진되고 있는 미래기술의 방향을 소개한다.

윤 용 승 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터, 센터장

e-mail : ysyun@iae.re.kr

가스화기술은 18세기 말부터 초보적이지만 산업에 사용되어 왔다. 기록에 의하면 1792년 석탄으로부터 열분해 반응을 통해서 도시가스를 제조하여 사용한 바 있고, 1812년에는 런던가스코크스 사가 설립되어 열분해와 스팀공급에 의한 수침반응을 이용한 상용공정으로 확립되었다. 이러한 과정을 통하여 1850년경 유럽 대부분 도시에서는 석탄 도시가스플랜트가 운영되기도 하였다. 20세기 1920~1940년대에 이르러서는 석탄가스화 기술 개발이 현재와 같은 개념의 공정으로서 구축되게 된다. 1926년에 개발된 독일의 윙클러(Winkler) 유동층공정, 1931년 루르기(Lurgi) 가압이동층 가스화공정, 1940년대 초에 개발된 토퍼스토척(Koppers-Totzek) 분류층공정이 있다. 1945년 2차 세계대전 말기에 독일은 9기의 석탄 간접액화공장과 10기의 석탄 직접액화 공장에서 연간 400만 톤의 연료유를 생산하여 독일이 필요로 하였던 수요의 90%를 충족시킨 바 있다.

1940~1950년대 들어 저렴한 천연가스가 대량 공급되게 됨에 따라 석탄에서 제조된 도시가스는 잊혀져가게 된다. 값싼 석유와 천연가스의 등장으로 1950~1960년대 가스화 기술은 공백기를 거치게 되었다가 '70년대 때 1,2차 오일쇼크로 인하여 석탄 활용기술 개발에 다시 관심이 미국을 중심으로 부활하게 된

다. 그러다가 1980년대에 값싼 원유가 에너지시장을 다시 주도하게 되어 침체되었다가 '90년대 들어 SOx, NOx 저감방안으로 가스화기술이 재등장하게 되었고 2000년대 들어서는 천연가스 가격 상승에 따라 미국 화학공장을 중심으로 석탄을 사용하여 합성천연가스를 생산하기도 하였다. 2005년 이후에는 지구온난화와 연계된 CO₂ 감축 측면에서 기존 미분탄연소발전 방식 대비 CO₂ 포집에 유리한 석탄가스화복합발전(IGCC) 기술이 부각되고 있기도 하다.

종종 듣는 질문이 위에 설명한 대로 석탄가스화 기술은 100년 넘게 개발되어 왔는데 무슨 기술개발이 더 필요한가였다. 한마디로 요약하면, 이전 기술이 소용량, 효율이 낮은 저압, 저반응속도의 기술이었다면, 현재 IGCC에 사용되는 최신 석탄가스화기는 40bar, 1,400℃, 총 가스화 반응시간 3~4초의 운전조건과 가스터빈과 스팀터빈이 연계된 복합발전 기술이다. 운전압력이 높아지고 반응시간이 총 3~4초에 불과한 현재의 석탄가스화기는 하루 2,000~3,000톤의 석탄을 처리하는 대용량화하는 데 적합하여 규모의 경제 구현이 가능하게 되었다. 국내 석탄화력발전소의 1기 규모만 보아도 500MW 이상이고, 가능하다면 1기당 1,000MW 이상 용량을 목표로 운영 효율성을 높이는 추세에 있다.

최근의 석탄가스화 기업 현황

2000년대 초반 하여도 전 세계적으로 상용급 석탄가스화기 기술을 보유한 회사는 미국의 텍사코(현재의 GE에너지), 네델란드 쉘, 독일의 우데(Uhde)와 루르기 정도였다. 이러한 상황은 2000년대에 중국에서 상업용 규모 석탄가스화기를 미국과 유럽 기술을 도입하여 30기 이상을 건설 운영하는 실적에 힘입어, 이전에 석탄가스화 기술을 보유하였으나 사업을 포기하였던 회사들을 자극하여 시장에 재진입하게 하였다. 중국에서는 지난 10여 년간 루르기사 석탄가스화기 2기, 쉘사 석탄가스화기 19기, GE에너지사 석탄가스화기 10기를 제작 건설하였고 독일 지멘스사도 지난 2년 사이에 10여 기를 수주하는 실적을 발표한 바 있다. 2009년에 예전 석탄 가스화 기술 보유사였던 루르기사와 우데사가 다시 시장진입을 선언하였다.

이러한 중국의 석탄가스화기 대량 제작 건설에 의해서 IGCC플랜트의 핵심인 가스화 블록 이외의 설비는 여러 업체들로부터 재고품 구매(off-the-shelf)가 가능한 구매단계에 진입하고 있다. 따라서, 향후 건설비 저감 가능성이 높아졌다.

현재 전 세계적으로 가스터빈 시장을 독과점하고 있는 3대 업체인 GE, 지멘스, 미쯔비시 사 모두 상용급 석탄가스화기 기술을 보유하게 되었다는 점을 유념할 필요가 있다. GE와 지멘스는 석탄가스화기 기술

보유사를 아예 매입하였고, 일본 미쯔비시중공업은 일본 정부의 지원을 받아 자체 개발하였다. GE는 미국 텍사코 사, 지멘스는 동독의 Future Energy 사를 인수하여 석탄가스화기 기술을 보유하고 있다. 이를 두고 일부 전문가는 IGCC는 가스터빈 제작사들이 가스터빈 시장을 키우기 위해 억지로 환경성과 효율을 강조하여 추진한다는 음모론을 제기하기도 한다. 그러나 IGCC 기술은 가스터빈 기술의 최근 급속히 향상되고 있는 가스터빈의 고효율을 그대로 전력 생산효율로 반영할 수 있는 장점이 있고, CO₂ 저감이 필수적으로 되는 시대에 고농도 CO₂를 더 경제적으로 생산할 수 있어서 유리한 점은 분명하다.

이들 회사 외에도 '80년대부터 본격 개발에 나선 일본과 2000년대 해외기술을 도입하여 설계와 제작기술을 습득한 중국이 자체기술 아이디어를 합하여 상용규모 석탄가스화기를 개발한 후 실증단계에 있다. 현재 일본의 미쯔비시중공업과 중국의 TPRI, ECUST 사가 석탄가스화기 수출을 추진 중이다.

국내에서는 SK에너지와 포스코가 석탄가스화 기술 보유를 추진하기 시작하였다. SK에너지는 2010년 6월에 유동층 석탄가스화기 기술을 보유한 KBR사와 합작법인을 만들어 아직 상용급 규모의 기술까지는 도달치 못한 KBR 석탄가스화 기술을 보완 개발해서 저급탄에 특화된 석탄가스화 시장에 진입을 목표로 하고 있다. POSCO는 미국 코노코-필립스 사 석탄가스

화기를 도입하여 광양제철소 석탄 부두 인근에 약 1조 원을 투자하여 합성천연가스(SNG) 생산 플랜트를 건설하고 이 기술을 발전시켜 특화된 기술 보유를 희망하고 있다. 이들 국내 2개의 석탄가스화 프로젝트들은 2009년도 지경부에서 지원한 스마트프로젝트로 추진된 것이며 2011년 1월에 1단계가 종료되는 일정이다. 이들 국내의 2개 프로젝트는 전기 생산을 목적으로 하는 IGCC가 아니고, 석탄 합성가스를 생산하여 화학원료로서 정유공장에 공급하거나 합

표 1 전 세계 석탄가스화기 제공 가능 회사 및 기관 현황

국가	회사/기관	비고
미국	GE에너지	이전 텍사코 사 기술
	코노코-필립스	이전 DOW 사 기술, POSCO 도입기술
	KBR	120MW급 실증추진, SK에너지 사와 벤처투자회사 설립
	Gas Research Institute	유동층 석탄가스화, 미국 비영리연구기관
유럽연합	쉘	서부발전 건설될 300MW급 석탄IGCC발전소 적용기술
	지멘스	이전 Future Energy 사 기술
	우데	이전 플렌프로 석탄가스화 기술, 2009년 영업 재개
일본	루르기	Air Liquide 그룹이 인수, 2009년 영업 재개
	미쯔비시중공업	공기사용 석탄가스화 기술
중국	히다치중공업	현재 150톤/일급, 1,000톤/일급 실증 추진
	TPRI	熱工研究院有限公司
	ECUST	East China Univ. of Science & Tech.

성천연가스를 제조하는 공정을 대상으로 한다.

석탄가스화가 연계된 플랜트의 EPC(Engineering, Procurement & Construction) 부분에서는 2009년에 국내의 삼성엔지니어링이 미국(GE 사 가스화기)과 호주(Perdaman Chemicals, Coal-to-Urea, Shell 사 가스화기)에서 석탄가스화 프로젝트 EPC를 수주한 바 있다.

석탄가스화 기술의 미래 방향

현재의 석탄가스화 산업에서 가장 문제가 되고 있는 핵심 두 가지는 플랜트의 가용성(availability)과 건설단가이다. 석탄가스화 설비 자체는 가용성이 95% 이상이나 여러 설비들이 연계되는 IGCC와 같은 플랜트에서의 가용성은 아직 85% 수준이다. 중국에서 건설된 30기 이상의 석탄가스화 설비는 대부분 화학원료 제조용이며, 일부 석탄액화와 SNG 생산 용도로 사용되고 있고 IGCC와 같은 전력 생산은 2010년에 텐진에 건설 중인 1기만이 있다. 이러한 화학원료 생산 공정에는 석탄가스화기 후단 공정에 지난 수십 년간 검증된 기술들

을 사용하였기 때문에 전체 플랜트의 가용성은 매우 높다. 또한, 화학원료나 석탄액화, SNG 제조용 석탄가스화기는 예비 가스화기를 운용하는 것이 일반적이므로 플랜트 전체의 가용성은 95%를 상회하게 된다. IGCC의 경우는 합성가스 연소기, 가스터빈, 스팀터빈이 연계된 복합발전 부분과 산소분리공정 부분, 부식대응 재료 기술, 버너 내구연한 증대 등이 가용성을 높이기 위해 필요하다.

석탄가스화가 연계된 모든 플랜트에서 건설단가는 현재 매우 높은 수준(예: 석탄IGCC 발전플랜트 미국의 경우 US\$3,000~3,900/kW)이다. 중국 텐진에 건설 중인 300MWe급 석탄IGCC의 건설비는 US\$1,600/kW로 알려지고 있는데 이는 아직 예외적인 경우로서, 적용되는 고급재질의 대체재 사용 등 내구성 측면에서는 조심스러운 평가가 필요하다. 2008년도에 전세계적으로 플랜트 건설 붐이 일어나 엔지니어링과 재료, 제작 비용들이 모두 급격히 높아졌는데 낮아지는 속도는 예상보다 더딘 편이다. 중국에서 많은 석탄가스화기 발주로 인하여 점차 대량생산 체제로 옮겨가고 있기 때문에 향후 5~10년에는 수십 %의 건설단가 인하가 가능할 것으로 예측된다.

석탄가스화 기술의 적용처는 향후에 바이오매스, 폐기물 등 원료의 다변화 부분만이 아니라 생산된 합성가스가 더욱 다양한 분야에서 활용될 것으로 예상된다. 화학원료와 합성석유 생산이 가장 대표적이다(그림 1 참조). 중국에서 대량 건설 운영하고 있는 메탄올 등 화학원료 생산에 이용은 상업적으로 검증되어 성숙기술 단계로 접어들고 있지만, 효율 향상과 CO₂ 발생량 저감 등 측면에서는 여러 개발기술이 반영될 여지가 많다. 석탄가스화를 통한 간접방식의 합성석유 생산은 고정층 석탄가스화기를 사용한 남아공의 사솔(Sasol) 플랜트가 유일한 상태로서, 미국과

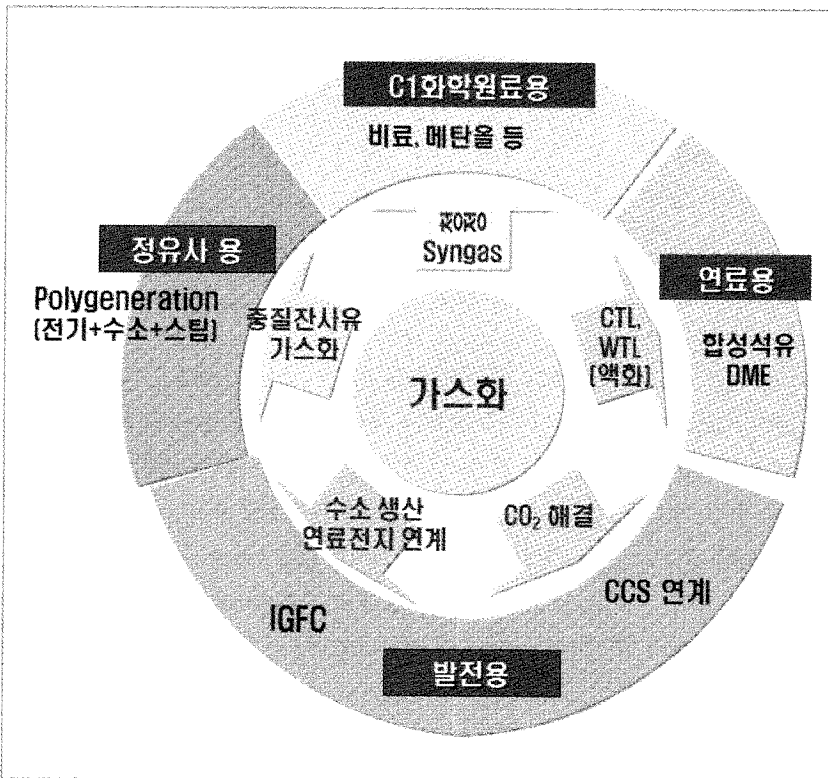


그림 1 석탄가스화를 통한 다양한 활용처

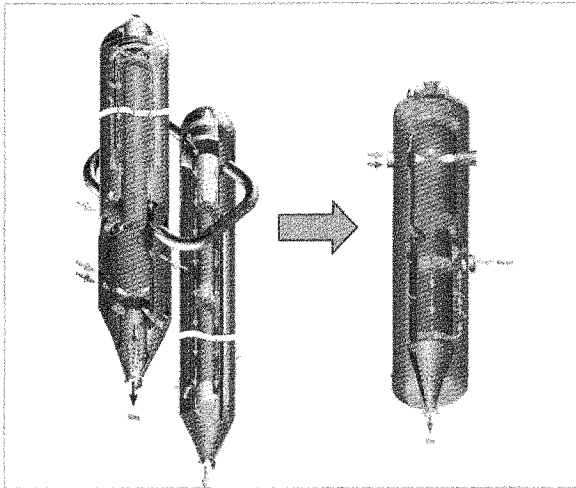


그림 2 독일 우데 사의 석탄가스화기 단순화 모델

중국 등에서 여러 프로젝트들이 기획되고 있다. 최근에는 미국, 중국, 한국에서 석탄가스화를 통한 합성천연가스(SNG) 생산 플랜트 건설계획이 동시에 추진되고 있다. 천연가스 보급을 활성화시키기를 원하는 중국과 저렴한 석탄을 활용하고자 하는 한국에서 추진되고 있다. 이들 합성석유와 SNG 제조 부분에서는 향후 물 사용량과 CO₂ 발생량을 최소화하는 기술의 발전이 필요하다. 세부적으로는 석탄액화와 SNG 제조에 필수적인 반응효율이 높고 발열반응에 의한 열 제거가 용이한 반응기와 적용되는 촉매의 효율과 내구성 향상 측면에서는 아직 기술 개선의 여지가 많다.

석탄가스화기 자체에 대해서도 미국과 유럽의 석탄가스화기 기술 보유사를 중심으로 많은 기술개발이 추진되고 있으며 단순화, 소형화, 대형화로 요약된다. 단순화는 독일 우데 사가 가장 적극적인데 그 이유는 스페인에 건설한 330MW_e급 석탄가스화기가 효율 대비 필요 이상으로 복잡하여 플랜트의 가용성이 낮았기 때문이다. 이에 단순화된 모델을 제시하여 2009년부터 영업을 하고 있다(그림 2). 소형화는 미국 PWR 사가 에너지성의 기술개발 자금을 지원받아 개발 중이며, 현재 18톤/일 규모 파일럿 설비를 운영하고 있다.(그림 3)

대용량화는 독일 지멘스 사와 미국 GE에너지사가 같은 방식으로 추진하고 있다. 현재 IGCC용 석탄가스화기는 가스터빈 발전용량에 맞추어져 있어 250~300MW_e 규모이지만, 기존 석탄화력발전소와 경

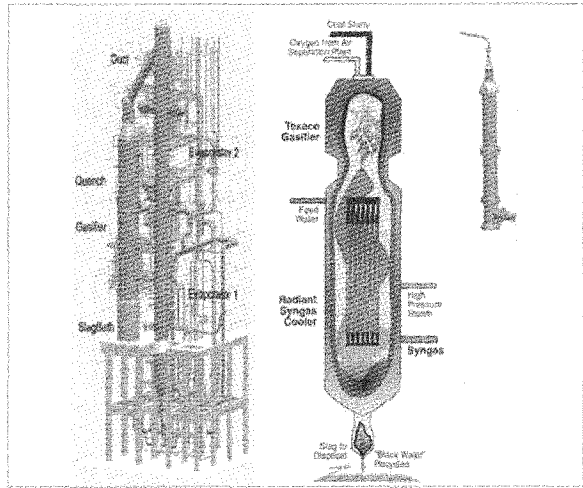


그림 3 기존 상용급 석탄가스화기 대비 미국 PWR 사의 소형화 가스화기 크기 비교

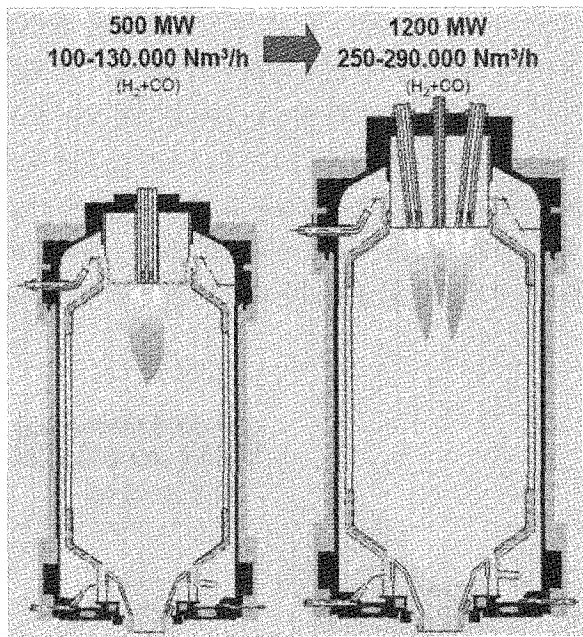


그림 4 독일 지멘스 사의 석탄가스화기 대용량화 개념

쟁하기 위해서는 600MW_e급으로 대형화할 필요가 있다. 이를 위해서는 석탄가스화기를 복수로 놓는 방안도 있지만 비용이 많이 소요되기 때문에 단위 석탄가스화기를 대형화할 필요가 있다. 현재 1개인 하향 분류층 석탄가스화기 버너를 여러 개로 늘려 설치함으로써 1개 가스화기 반응기 용량을 증대하려는 시도이다. 반응시간이 3~4초로 짧은 영역에서 미분석탄 입자와 산소, 스팀의 혼합을 용이하게 하고 미반응률을 낮추는 부분에서 기술 검증이 필요한 상태이다.