

# 차세대 청정 석탄가스화 복합발전기술 현황 및 향후 전망

■ 안 달 홍 / 한국전력공사, 한국형 300 MW IGCC 사업, dhahn@kepri.re.kr

자원이 부족한 우리나라에서는 에너지의 안정적인 공급을 위하여 세계적으로 매장량이 풍부한 석탄자원의 활용이 필수 불가결하다. 또한 지구온난화 문제에 대응하기 위한 CO<sub>2</sub> 저감을 위해서 가능한 한 발전플랜트의 효율을 높일 필요가 있다. 석탄가스화복합발전(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)은 고효율 발전기술이며 환경성능이 매우 우수하여 이러한 문제를 해결하는 데 기여할 수 있으며, 21세기 석탄이용화력발전의 주력을 담당할 수 있는 유력한 발전방식으로서 조기 실용화가 매우 필요한 기술이다. 석탄가스화복합발전은 다음과 같은 특징적인 장점을 보유하고 있다.

- (1) 세계적으로 널리 분포하고 매장량이 풍부한 석탄 자원을 이용할 수 있다. 특히 이미 운용 중인 미분탄 화력발전소에서는 회 부차문제로 인하여 회용점이 낮은 석탄을 사용하기 어려우나 IGCC에서는 사용이 가능하므로 에너지 공급 안정성 확보, 이용 탄종의 확대에 기여할 수 있다.
- (2) IGCC는 열효율이 높으므로 단위 발전전력당 이산화탄소, 황산화물, 질소산화물, 분진의 발생량을 저감할 수 있고, 플랜트 출력에 대한 증기터빈 출력의 비가 낮기 때문에 온배수의 발생량을 저감할 수 있는 등 환경성이 매우 우수하다.
- (3) 석탄 회가 유리질의 용융 슬래그로 배출되므로 미연탄소가 거의 포함되지 않고 금속류의 용출도 없다. 또한 미분탄 보일러의 플라이애쉬와 비교하여 매립시 용적을 약 절반 정도로 줄일 수 있다.

또한 석탄가스화 복합발전이 보급되면 LNG에 대한 가격 전제 효과도 기대할 수 있다. 석탄가스화 복합발전의 상용설비(600 MW급)는 송전단 열효

율이 46%(HHV 기준, 1500 급 GT)로 높게 예측되고 있다.

## IGCC의 개요

석탄가스화 복합발전(IGCC)기술은 석탄가스화기술과 가스터빈 복합발전기술을 통합한 기술이다. 즉, 석탄을 고온에서 부분 연소시켜 가스화해 일산화탄소 50%와 수소 30%로 구성된 합성가스로 전환하고, 부식성 가스 및 분진을 제거한 후 가스터빈의 연료로 사용한다. 또한, 석탄이 가스화되는 과정에서 발생한 열과 가스터빈 배기가스 열을 회수해 배열회수보일러에서 증기를 생산, 증기터빈을 구동하는 복합발전방식이다. IGCC 발전소는 플랜트 열효율이 기존 미분탄 발전소보다 약 5% 정도 높으며, 대기오염물질 저감 및 고효율에 의한 이산화탄소 배출량 감소 등 환경보전성이 매우 우수한 발전기술이다. 연료로는 석탄뿐만 아니라 잔사유, 바이오매스, 폐기물 등을 사용할 수 있다. 그러나 다수의 공정을 통합함에 따라 설비가 복잡하고 초기 투자비가 높은 단점이 있다. IGCC를 구성하는 설비로는 석탄전처리설비, 산소분리설비, 가스화기, 제진설비, 정제설비, 배열회수보일러, 가스터빈, 증기터빈 등이 있다. 일반적으로 가스터빈이 총 출력의 65%, 증기터빈이 35%의 전력을 생산한다. 아울러 IGCC가 가스화설비, 정제설비, 복합발전설비 등 여러 설비들로 구성되어 있는 만큼 이들 설비들을 적절히 연계시키는 것이 매우 중요하다.

## IGCC의 특징

IGCC의 특징은 무엇보다도 세계적으로 널리 분포하고 매장량이 풍부한 석탄 자원을 이용할 수 있

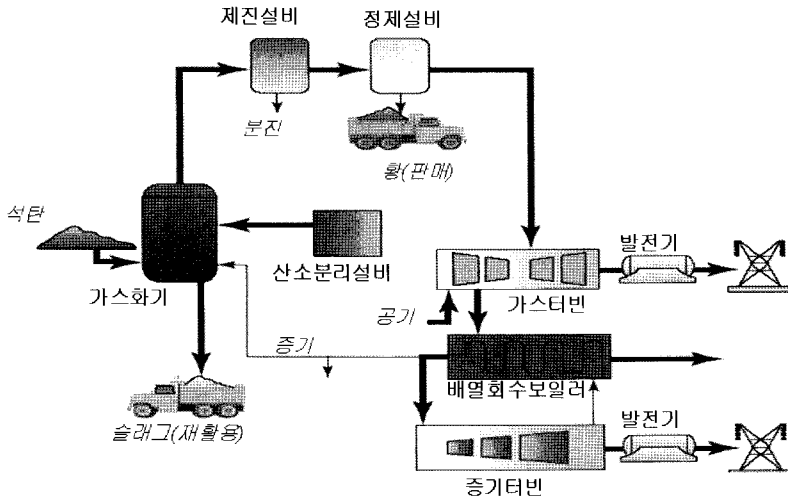


다는 점이다. 특히 이미 운용중인 미분탄 화력발전소에서는 회 부착문제로 인하여 회용점이 낮은 석탄을 사용하기 어려우나 IGCC에서는 사용이 가능하므로 에너지 수급 안정성 확보, 이용 탄종의 확대에 기여할 수 있다. 또, IGCC는 가스터빈 복합사이클로 구성되므로 플랜트 열효율이 높아 단위 발전전력량 당 이산화탄소, 황산화물, 질소산화물, 분진의 발생량을 저감할 수 있고, 플랜트 출력에 대한 증기터빈 출력의 비가 낮기 때문에 온배수의 발생량을 저감할 수 있는 등 환경성이 매우 우수하다. 아울러 석탄 회가 유리질의 용융 슬래그로 배출되므로 미분탄 화력발전소의 비산회(fly ash)와 비교하여 매립시 용적을 절반 정도로 줄일 수 있다. 또한 석탄가스화 복합발전이 보급되면 LNG에 대한 가격 견제 효과도 기대할 수 있다. 석탄가스화 복합발전의 상용설비(600 MW급)는 송전단 열효율이 43 ~ 45%(HHV 기준) 범위로 매우 높다.

### IGCC 응용 및 미래기술

IGCC의 핵심이 되는 가스화기술은 현재와 미래의 모든 석탄응용기술의 뼈대와 같은 역할을 하고 있다. 우선 가스화기술은 다양한 연료를 사용할 수 있을 뿐만 아니라 CO<sub>2</sub> 및 환경오염물질 배출이 없는 무공해 플랜트를 개발할 수 있는 장점을 가지고 있다. IGCC 응용 및 미래기술로써 우리나라에서 경제성이 있는 잔사유를 연료로 하는 잔사유 IGCC, 석탄액화(CTL, Coal to Liquid)기술, 그리고 온실가스 배출 제로화를 목표로 미국의 주도하에 국제공동연구로 진행되고 있는 FutureGen 프로젝트 등이 있다.

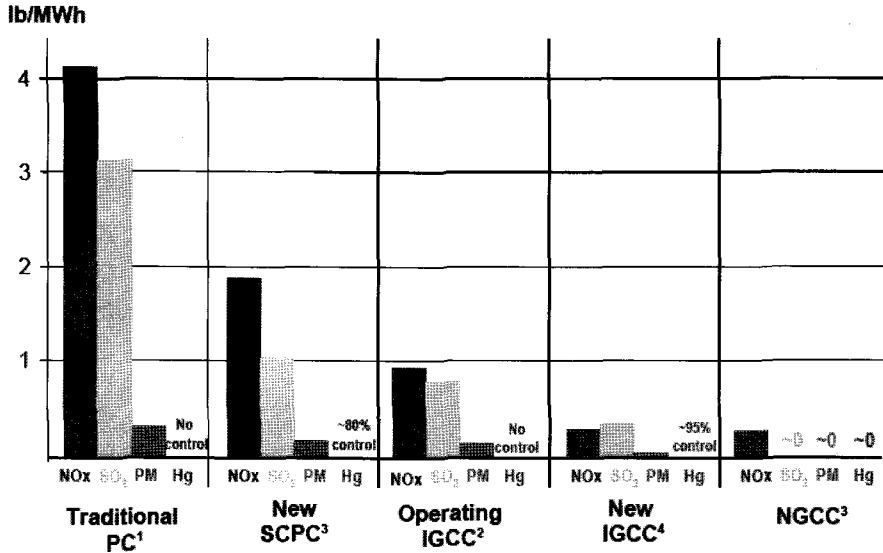
우선, 잔사유 IGCC는 원유를 정제하고 남은 최종 잔재물인 아스팔트, 코크, 타르, 피치 등을 원료로 사용하여 한다는 점에서 석탄 IGCC와 구별된다.



[그림 1] IGCC의 구성도

<표 1> 미분탄 화력발전과 석탄가스화복합발전의 비교

구분	미분탄 화력발전	석탄가스화 복합발전
① 발전효율	37 ~ 40%	45 ~ 46%
② 환경오염물질	SOx : ~ 150 ppm NOx : ~ 200 ppm	SOx : 5 ~ 20 ppm NOx : 15 ~ 30 ppm
④ 국내 기술수준(선진국대비)	상용급(2000톤/일) 자립단계	소규모(3톤/일급) 검증단계



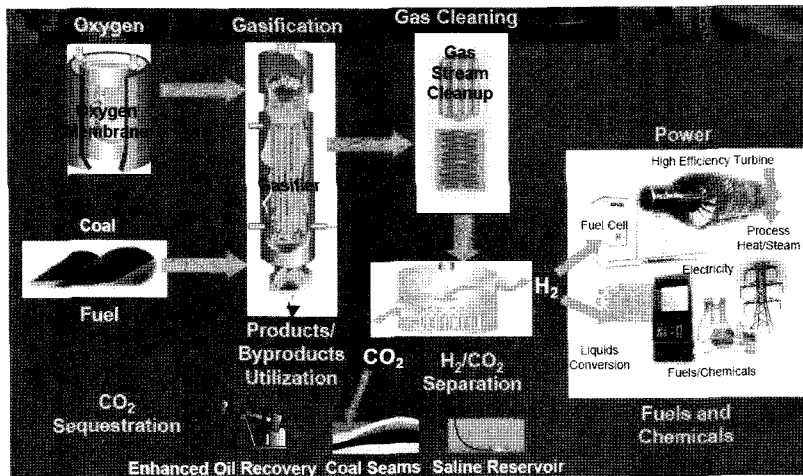
<sup>1</sup> Based on typical performance levels.  
<sup>2</sup> Based on emissions performance of four operating IGCC facilities provided in NETL, *Major Environmental Aspects of Gasification-Based Power Generation Technologies*, December 2002.  
<sup>3</sup> Based on emissions levels in EPR/NETL, *Evaluation of Innovative Fossil Fuel Power Plants with CO<sub>2</sub> Removal*, Dec. 2002, SCPC and NGCC 7FA base cases.  
<sup>4</sup> Levels proposed for qualification in 3 Party Covenant federal incentive program. Based on performance characteristics provided in NETL, *Major Environmental Aspects of Gasification-Based Power Generation Technologies*, December 2002; and performance estimates from Eastman Chemical Company.

Traditional PC : 재래식 미분탄 발전소 / New SCPC : 신규 초임계압 미분탄 발전소

Operating IGCC : 운전중인 IGCC 발전소 / New IGCC : 신규 IGCC 발전소 / NGCC : 천연가스 복합발전소

출처: Deploying IGCC in this Decade with 3 party covenant financing, William G. Rosenberg, Harvard Univ., 2004. 7

[그림 2] 환경오염물질 배출성능 비교



Oxygen 산소 / Gasification 가스화 / gas cleaning 가스정제 / coal 석탄 / fuel 연료 / products / byproducts Utilization 생산물 부산물 활용 / gas stream cleaning 가스정제 / H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> separation 수소이산화탄소 분리 / power 전력 / high efficiency turbine / Fuels and Chemicals / Enhanced oil recovery 유전층 저장 / coal seams 석탄층 저장 / saline reservoir 염호층 저장

[그림 3] 퓨처젠 프로젝트의 개념도



이 기술은 현재 잔사유 잉여 문제와 그에 따른 환경문제를 동시에 풀 수 있는 매우 적절한 해법의 하나로 제시되고 있다. 잔사유 IGCC 기술개발은 석유제품의 고품질에 따른 부산물 증가와 더불어 중장기적으로 석탄 IGCC와 병행하여 세계적으로 급속히 보급될 것으로 전망되고 있다.

석탄액화(CTL)기술은 석탄가스화 기술에 Fisher-Tropsch(F-T) 공정을 결합한 형태이다. 즉, 석탄 가스화 공정과 정제공정을 통하여 합성가스를 생성한 후, F-T공정에서 코발트 또는 철 촉매에 의해 디젤을 위주로 한 중질유, 가솔린, 올레핀 등의 합성석유를 제조하는 것을 말한다.

미국의 FutureGen 프로젝트는 석탄으로부터 수소와 전기를 생산하면서 CO<sub>2</sub>를 포함한 모든 공해물질 배출을 제로화하는 플랜트를 실증하는 사업으로서, 이 기술이 2020년 이후 본격적으로 상용화된다면 석탄을 사용하여 전기를 생산하는 모든 석탄 화력발전소를 대체할 무한한 잠재력을 갖고 있다. CO<sub>2</sub> 저감 문제를 근간으로 하는 기후변화협약에 대한 대처와 수소생산에 대한 이점 및 인조석유를 생산할 수 있어 미래에 필요로 하는 모든 기본 개념기술을 모두 포함하고 있다. 우리나라도 현재 FutureGen 사업에 공동 참여하고 있으며, 석탄 가스화를 기반으로 한 수소생산, 이산화탄소 포집, 저장 등과 같은 차세대 발전기술 확보에 적극 노력하고 있다.

## 해외 IGCC 현황

석탄가스화 복합발전 기술은 미국, 네덜란드, 일본 등이 각국의 정부지원에 힘입어 차세대 환경친화적 발전기술로서 상용화 바로 전단계인 실증 플랜트의 설계/건설/운전 단계에 이르렀으며, 현재 300 MW급 실증 플랜트 4기(미국 2기, 네덜란드, 스페인 각각 1기)가 운전 중이며, 세계적으로 수십기가 건설 중이거나 예정되어 있다. 현재 석탄가스화 플랜트 관련 세계시장은 미국의 GE사와 CoP사, 네덜란드의 Shell사 등 주요 선진국의 회사들이 주도하고 있으며, 일본도 자체 개발한 독자모델을 바탕으로 시장진입을 추진하고 있다.

미국은 1984년 세계최초로 석탄 IGCC 발전소

(Cool Water Project, 120 MW)을 운전한 바 있으며, 현재 GE사 및 CoP사의 가스화기술로 구현된 300 MW급 IGCC 발전소를 10여 년간 운전 중에 있다. 또한 Vision 21 프로그램을 통하여 가스화기술의 개발을 핵심기술(key core technology)의 하나로 인식하여 중점개발하고 있으며 2015년까지 효율 60%가 가능한 시스템 구성을 목표로 하고 있다. 이와 더불어, 교토의정서를 비준하지 않고 독자적으로 지구온난화 대책을 추진하는 미국은 석탄 가스화를 이용한 수소제조 및 이용으로부터 CO<sub>2</sub>의 분리 회수·고정까지의 일련의 기술을 통합함으로써 Zero Emission(온실가스 및 공해물질 무배출)을 실현하기 위하여 10년간 10억불을 투입하여 275 MW 규모로 전기와 수소를 생산하는 플랜트를 2015년까지 건설하여 실증 운전하는 FutureGen 프로젝트를 추진 중에 있다.

유럽국가중 IGCC 발전기술에 대한 실증 및 상업용 플랜트에 대한 건설이 활발히 이루어지고 있는 국가로는 독일, 네덜란드 및 스페인 등을 들 수 있다. 네덜란드의 경우에는 국가적으로 석탄 화력이 차지하는 비중이 전체 전력생산량의 40%를 담당하고 있어 친환경 석탄발전기술에 대하여 많은 관심을 가지고 있으며, 1994년부터 Shell사의 가스화기술로 구현된 250 MW급 석탄 IGCC 발전소가 지금까지 성공적으로 운전 중에 있다. 스페인의 경우에는 다국적 법인인 Elcogas의 주도하에 335 MW급 석탄 IGCC 발전소가 운전 중에 있으며, 이외에도 이탈리아의 경우 다수의 잔사유 IGCC 발전소가 운전 혹은 건설 중에 있다.

아시아에서 석탄가스화 관련 기술이 가장 앞서있는 일본의 경우에는 8대 청정에너지기술을 선정하여 석탄가스화 관련 2개 프로젝트를 추진하고 있는데, 그 중 하나는 IGCC(석탄가스화 복합발전) 프로젝트이고 다른 하나는 IGFC(석탄가스화 연료전지) 프로젝트이다. 1990년대 초반부터 적극적인 연구개발을 통해 석탄가스화 원천기술을 확보한 일본은 발전사/연구소 컨소시엄을 통해 100% 자국기술로 250 MW급 IGCC 발전소를 2004년부터 건설, 2007년 완공하여 조만간 시운전을 앞두고 있다.

한편, 세계적으로 석탄의 최대 생산국이자 소비

국이며, 미국과 함께 온실가스 최대 배출국의 불명예를 안고 있는 중국은 Agenda 21 계획을 통하여 IGCC를 가장 중요한 기술항목으로 정한 바 있으며, 2010년 이후에 200 ~ 400 MW급의 석탄 IGCC 플랜트 건설을 목표로 하고 있다. 현재 중국 내에 운전 중인 GE사, Shell사 등의 상용 가스화 플랜트 건설 제작 경험을 활용하여, 중국 자체 가스화기술로 개발할 예정이다.

### 국내 IGCC 현황

지난 2005년 2월 교토의정서가 발효됨에 따라 세계 온실가스배출량 10위인 우리나라도 교토의정서 2차기간(2013 ~ 2017)부터 CO<sub>2</sub> 감축의무 부담국에 포함될 가능성이 높아 국내 산업 중 CO<sub>2</sub> 발생이 많은 발전설비에서의 저감노력이 요구된다. 우리나라 전체 발전량의 7%(2004년 기준)를 차지하고 있는 석탄발전소에서 CO<sub>2</sub> 등의 온실가스 배출을 줄이기 위해 초임계 석탄화력 건설 등 발전효율 향상과 탈황, 탈질설비를 설치하고 있으나, 기존의 미분탄 화력발전소는 탈황, 탈질 설비의 투자비와 운영비가 증대되고 열효율 향상과 배출량 저감에 한계가 있다.

석탄 IGCC 발전기술은 석탄을 사용하면서도 발전효율이 일반 화력발전보다 높고 환경오염물 배출이 크게 낮아 최근 차세대 석탄발전방식으로 부각되고 있으며 선진국에서는 이에 대한 기술개발에 많은 연구비를 투입하고 있다. 우리나라 정부에서도 IGCC 발전기술의 국내확보와 신·재생에너지 발전비율을 높이기 위해 2004년 12월 제2차 전력수급기본계획에 300 MW급 CCT(Clean Coal Technology) 1호기를 반영하였으며, 제2차 신·재생에너지기본계획에서는 2012년까지 총 발전량의 7%를 IGCC를 포함한 신·재생에너지로 대체하기 위한 계획을 수립한 바 있다.

우리나라는 1990년대 초반부터 정부의 G7 프로젝트로 IGCC 상용화를 위한 연구소 중심의 기초 연구를 추진하여 선진국 대비 40 ~ 60% 기초기술을 확보하고 있으나, 국내 실험용 플랜트는 상용규모의 1/1000 수준으로 이 기술을 직접 상용급 IGCC 플랜트에 적용하기에는 기술격차가 있다.

이러한 배경을 바탕으로 산업자원부는 IGCC의 실용화를 위한 사업기본계획을 수립하였고, 이 계획에 따라 “300MW급 IGCC 실증플랜트 건설사업”을 추진하게 되었다.

### 한국형 IGCC 사업의 추진 배경

석탄 IGCC 발전기술은 기존의 석탄화력발전 보다 발전효율이 높고, 환경오염물의 배출량이 크게 낮아 일찍이 차세대 석탄발전방식으로 부각되어 왔다. 세계적으로 IGCC 기술은 선진국을 중심으로 상용화 진입단계에 있으며, 향후 기술수요가 급속히 증가할 것으로 예상되어 지금이 국내 IGCC 기술을 확보할 수 있는 적기라고 판단된다.

이러한 배경을 바탕으로 정부에서 IGCC 발전기술의 국내확보와 신재생에너지 발전비율을 높이기 위해 전력수급기본계획에 300 MW급 IGCC 1호기를 반영하였으며, 제3차 신재생에너지 기본계획에서는 2020년까지 총 발전량의 4%로 대체하기 위한 계획을 수립한 바 있다.

석탄 IGCC 사업의 역할은 정부의 정책목표 달성 과 석탄이용분야의 세계적인 기술력 확보 및 산업화 견인을 목표로 한다. 따라서 석탄이용기술분야 즉, 석탄을 청정연료 및 원료로 이용하기 위한 기술로서, 석탄가스화복합발전(IGCC), 석탄액화(CTL), 석탄으로부터 수소제조 및 이용기술 개발 등 석탄이용 신기술분야의 기술개발·상용화·보급을 촉진하기 위한 일괄프로세스의 프로젝트형 사업을 추진하기 위한 것이다.

### 한국형 300 MW급 설계기술 자립 및 실증플랜트 건설 사업 개요

지식경제부는 300 MW IGCC 실증사업에 한국전력, 서부발전(주)을 포함한 5개 발전회사, 두산중공업, 대학교 및 연구소가 컨소시엄으로 참여하여 “한국형 IGCC 기술 확보를 위한 300 MW급 설계 기술 자립 및 실증플랜트 건설(8년, 총사업비 5,992억원)”이라는 목표 하에 다음과 같은 프로젝트들을 수행하고 있다.

제 1 과제 : 가스화 플랜트 설계기술 개발

제 2 과제 : 300 MW급 실증 IGCC 플랜트 종합설계, 제작 및 건설



- 제 3 과제 : 실증 IGCC 플랜트 운영기술 개발
- 제 4 과제 : Pilot Test-Bed 및 단위공정 국산화 기술 개발

**국제시장에서의 경쟁력 확보를 위한 정부의 역할**

IGCC는 고효율로서 환경친화적인 미래기술이지만 초기투자비가 높아 기술개발에 장애가 되고 있다. 따라서, 무엇보다 중요한 것은 본 사업의 성공을 위해서는 300 MW IGCC 건설비에 대한 정부 지원이 절대적으로 필요하다. 그 이유는 IGCC 발전소 건설비가 기존 미분탄 발전방식에 비하여 현재 가격으로 약 30% 이상 높으며, 운전유지비도 기존의 미분탄방식에 비하여 높고, 발전소 가동율도 현재 78 ~ 82%로 기존 미분탄발전소의 92%에 비하

여 많이 낮은 편이다. 이와 같은 조건들을 극복하고 사업을 성공으로 이끌기 위하여 정부의 충분한 예산 지원과 관련기관의 이해 협조가 필요하다.

국내 산업계, 학계, 연구계의 석탄가스화 전문가들의 결집으로 추진하고 있는 한국형 IGCC 사업은 오는 2014년까지 총 8년 동안 상용급인 300MW급 IGCC 설계기술을 확보하고 실증플랜트를 제작, 건설, 시운전하는 대규모 장기 국책 프로젝트이다. 이 사업을 통하여 우리나라는 "IGCC 상용기술의 체계화·종합화"를 통해 2010년 이후 기존 설비의 노후에 따라 폐지되는 국내 미분탄 화력 발전소를 국내기술 IGCC로 대체하고, 아울러 해외의 IGCC 플랜트 시장에 진출할 수 있는 역량을 확보할 것으로 기대되고 있다. ④