

# 石炭가스化 複合發電

지 평 삼\*

(\*한전기술연구원 수석연구원)

## 1. 서 론

우리는 세계정세의 큰 변화와 더불어 에너지 수급 문제, 지구환경문제 등 에너지 소비와 관련한 제반 문제에 직면하고 있다.

현재 세계 1차 에너지의 86%를 화석연료가 담당하고 있으며 화석연료의 과다 사용은 유황산화물과 질소산화물 생성에 의한 산림 파괴와 이산화탄소 배출에 의한 지구 온난화 문제를 유발하여 지구환경보전에 악영향을 미치고 있다. 특히 우리나라는 이러한 환경문제와 함께 1차 에너지원을 거의 대부분 해외수입에 의존하고 있어, 이들 에너지를 효율적으로 깨끗하게 이용하는 기술을 개발하지 않으면 안된다.

현재는 물론 미래의 주요 에너지원으로 큰 기대가 모아지고 있는 석탄자원은 그 매장량과 사용추이로 볼때 300년 이상 이용이 가능하나 석탄의 확대사용은 지구 환경오염을 방지할 수 있는 신기술개발이 선행되어야만 가능하다. IGCC(Integrated Coal Gasification Combined Cycle), 즉 석탄가스화 복합발전은 고효율화를 통한 에너지의 유효이용과 환경보전성등 향후 석탄화력이 갖추어야 할 조건을 충족하여 장래의 발전방식중 가장 중요한 위치를 차지할 것으로 예상되어 선진국에서는 IGCC 실용화를 위한 기술개발에 힘쓰고 있다.

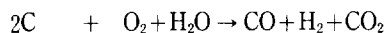
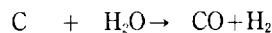
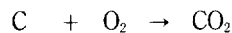
## 2. 석탄가스화 복합발전의 개요

### 2.1 석탄가스화 방식 및 원리

석탄가스화로는 석탄이 가스화제(산소, 증기)와 접촉되는 방식에 따라 그림 1과 같이 고정층, 유동층 및 분류층 등으로 분류하고 있다. 석탄가스화를 위한 다양한 공정들이 개발중에 있으나 가스화로를 통과하면서 일어나는 과정은 기본적으로 다음과 같은 화학반응을 수행한다.

석탄가스화로에 투입된 석탄은 먼저 (1) 가스화로의 최상부인 건조구역에서 하부로 부터 올라오는 고온가스에 의하여 예열되며, (2) 건류구역에서 석탄에 함유된 휘발분이 방출되고, (3) 가스화구역에서 차(Char)가 증기 및 CO<sub>2</sub>와 접촉하여 수소와 CO를 생성하고, (4) 연소구역에서 석탄속에 남아 있는 탄소가 산소 또는 공기에 의해 연소되어 상부의 반응에서 필요한 열을 공급한다.

석탄가스화로의 정상운전중에는 이들 4구역이 서로 중첩되어 명확한 구분이 존재하지 않으며 특히 유동층 및 분류층 가스화로내에서는 이들 4반응이 거의 전역에서 일어난다고 할 수 있다.



석탄가스화로의 특징을 살펴보면 가장 먼저 개발된 고정층(Fixed bed) 가스화로는 공급되는 석탄이

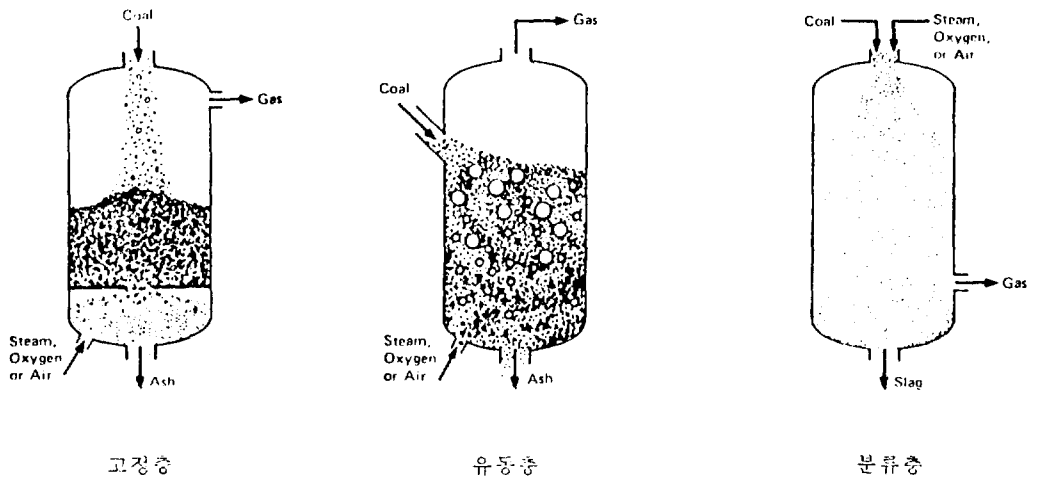


그림 1 석탄가스화로의 종류

발생가스와 서로 반대방향의 흐름에 있어 탄소전환율(90~98%)이 높고, 생성가스의 온도가 비교적 저온(400~600°C)으로 열효율면에서 유리하나, 자유팽창지수가 높은 석탄(8이상), 점결성석탄 및 분탄 함량이 높은 석탄을 사용할 수 없는 단점이 있다.

유동층(Fluidized bed) 가스화로는 증기와 공기가 분쇄석탄(10mm이하)층 밑으로 분포 공급되며, 유동층 반응로의 특성상 가스화 온도(860~950°C)가 낮고 체류시간이 비교적 짧아 탄소전환율(70~90%)이 낮으므로 고품위탄 보다는 갈탄, 아역청탄 등과 같은 휘발분과 산소함유량이 높은 저급탄에 적합하다. 또한 고정층방식과 달리 분탄의 사용은 가능하나 점결성 석탄의 반응은 어렵다.

분류층(Entrained Flow) 가스화로에서는 미분탄(200mesh 70%)이 증기/산소 혼합물과 동일한 방향으로 상부 또는 하부로 흐른다. 가스화 온도와 압력(1200~1700°C, 20kg/cm<sup>2</sup>이상)이 높아 탄소전환율(90~98%)이 높고, 타르와 Oil이 생성되지 않고, 회를 용융처리하며, 광범위 탄종에 대한 적응성을 가지고 있다. 발생되는 석탄가스의 온도가 높아 약 15% 이상의 열량이 증기상태로 회수되므로 발전용으로 적합하며, 탄종적합성, 부하추종성 및 대용량화 등에 유리하여 세계적으로 기술개발이 진척되고 있다.

2.2 IGCC Plant의 원리 및 특징

석탄가스화복합발전의 원리를 살펴보면 구성개념

도에 도시한 바와 같이 먼저 원료석탄을 분쇄한 후 가스화제(증기, 산소 또는 공기)와 함께 가스화로에 공급하여 가연성가스(CO, H<sub>2</sub> 주성분)를 생성한 후 가스냉각기에서 저차 가스를 냉각하고 불순물(미연탄소, 분진)과 유황산화물(H<sub>2</sub>S)등을 가스정제장치에

표 1 발전형태별 열효율 예측

연료	발전방식	총합효율	실용화 시기	비 고
석탄	미분탄화력	약 39%	현 재	FGD 부차/ 열효율 : 35~36%
	석탄가스화 복합발전	약 41%  약 46%	1990년대 중기  2000년대 초기	1,300°C 조업 공냉가스터빈 습식가스정제  1,400°C 조업/ 공냉습식가스 정제 ·
천연가스	LNG 화력발전	약 35%	현재	
	LNG 복합발전	약 47%  약 50%	1980년대 후기  1990년대 후기	1,300°C 조업 공냉가스터빈  1,400°C 조업공 냉가스터빈

서 제거하여 가스터빈연료로 사용, 발전하며, 가스 터빈의 배열을 배열회수장치(HRSG)에서 회수하여 가스냉각기로 부터 회수된 증기와 함께 증기터빈 발전에 이용하는 복합발전방식이다.

IGCC의 구성요소중 석탄가스화로, 가스정제장치 및 가스터빈등의 성능을 향상 시키므로써 높은 열효율(43%~46%)을 이룰 수 있으며 효율향상 및 성능에 미치는 주요 선택요소는 (1) 가스화로형식(고정층, 유동층, 분류층), (2) 가스화제선정(공기 또는 산소), (3) 석탄공급방식(미분탄 또는 석탄유체화연료), (4) 가스정제방식(고온건식 또는 습식)등으로

표 2 발전형태별 환경보전성 비교

항 목	IGCC	석탄화력	중유화력
SOx (ppm)	30	100	60
NOx (ppm)	30	300	60
분진(mg/Nm <sup>3</sup> )	5	50	10
비고	습식탈황 설비	최신기술의 목표치	최신기술의 목표치

(주) SOx, NOx는 과잉산소 6% 환산치

각 요소별 장단점을 파악하여 최적 IGCC발전플랜트를 구성하는 것이 매우 중요하다.

현재까지의 연구결과에 의하면 발전용 석탄가스화로의 방식으로서는 탄종적합성과 설비 운용성이 뛰어난 분류층 방식이 가장 적합하며, 고효율을 이룩하기 위한 가스화제로 공기의 사용이 유리하나 장치가 대형화되며 발생가스의 발열량이 낮은 단점이 있다. 석탄공급방식은 건식 미분탄방식이 열효율면에서 유리하나 기기의 신뢰성면에서는 다소 불리한 것으로 평가되고 있다. 가스정제방식은 습식이 상용화되어 있으나 열효율 향상을 위하여 고온 건식방식이 개발중에 있다.

석탄가스화 복합발전은 재래식 미분탄 화력발전에 비하여 (1) 발전효율이 약 3~5% 높고(1,300°C 급 가스터빈 적용시), (2) 분진, SOx 및 NOx의 배출량이 적고 온배수량도 약 30% 감소하는 등 환경보전면에서 우수하며, (3) 경제적 측면에서도 경쟁가능성이 있어 차세대 석탄이용의 중점기술로서 기대되며 선진 각국에서 기술개발이 활발하게 진행되고 있다.

### 3. 기술개발동향 및 전망

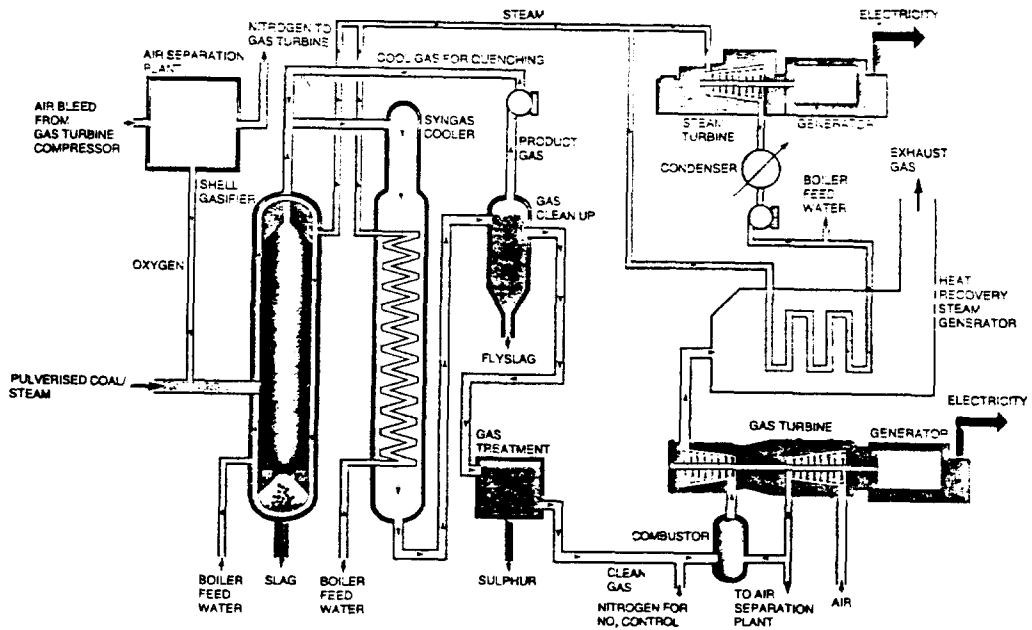


그림 2 석탄가스화복합발전 구성개념도

3.1 선진국 기술개발동향

석탄가스화복합발전의 핵심기술인 석탄가스화 공정은 1812년 영국 런던에 세계 최초의 석탄가스회사가 설립되어 운용된 이후 세계적으로 널리 이용되어

1930년대 이르러서는 Lurgi(고정층), Kopper-Totzek(분류층) 및 Winkler(유동층)와 같은 대용량 석탄가스화 공정이 개발되었다.

'70년대 석유파동 이후 석탄가스에 대한 관심이 다시 고조되어 고효율 대용량 상업용 가스화로 기술개

표 3 각국의 IGCC개발 현황

Plant명칭	Sponsor (설치장소)	형식 및 용량	가스화제 (압력)	년도						
				72	76	80	84	88	92	94
Kellerman Power Station (STEAG사)	독일 정부 (Essen Lunen)	고정층 170MW 420T/D 5기	공기 20atm	□	□	□	□	□	□	□
Westinghouse (Westing house사)	DOE (미국 Pittsburgh)	유동층 15T/D 1,200 T/D	공기 / 산소 10atm	□	□	□	□	□	□	□
KBW (KBW사)	B&W, Koppers (미국)	분류층 Bi Gas 120 T/D	산소 상압/가압	□	□	□	□	□	□	□
Cool Water Power Station (Texaco, GE)	Texaco, GE, SCE, EPRI, JCWP등 (미국)	분류층 1,000T/D	산소 42atm				□	□	□	□
CE Plant (CE사)	DOE, EPRI (Windser)	분류층 120T/D 150MW	공기 상압	120 T/D	□	□	□	□	□	65MW □
Shell Plant (Shell사)	EPRI, Shell (미국, Deer Park)	분류층 250 400T/D	산소 30 atm				□	□	□	2000T/D □
2T/D분류층 가스 화로 (CRIEPI, 미쓰비 시)	CRIEPI, 미쓰비시 (일본)	가압2단 분류층 2T/D	공기 / 산소 상압 20atm				□	□	□	□
0.5T/D분류층 가 스화로(히다찌사)	히다찌 (일본)	1단분류층 0.5T/D	산소 10atm				□	□		
200T/D 분류층 Pilot Plant	통산성 (Nakoso)	가압2단 분류층 200T/D	공기 20atm				□	□	□	□

발에 큰 진전이 있었으며 그 결과 고온 가압형으로 개량된 BGC/Lurgi(용융회처리 고정층); H. T Winkler(고온가압 유동층); Texaco, Shell, PRENFLO(가압 분류층)등의 가스화 공정이 개발되었다.

각국의 석탄가스화 복합발전 기술개발 현황을 살펴보면, 미국에서는 Edison 전력의 Coll Water Plant(120MW)와 Dow Project(160MW)에서 석탄 슬러리 공급 분류층 석탄가스화로를 이용한 실증 플랜트를 운용중이며, 독일에서는 1930년대에 개발된 Lurgi, Winkler, Kopper-Totzek 등 가스화 기술을 바탕으로 1987년부터 미분탄공급 분류층 석탄가스화 실증시험 플랜트인 PRENFLO Plant(48 T/D)를 건설하여 실증시험 운전중에 있다.

일본에서는 '83년부터 전력중앙연구소(CRIEPI)가 공기를 산화제로 이용하는 2.4 T/D 규모의 석탄가

스화로를 미쓰비시 중공업과 공동으로 개발하여 실험 연구중이며, '86년부터 NEDO의 주관하에 IGC 연구조합을 결성하여 국가사업으로 200T/D규모의 Pilot Plant를 설치하여 1991년 부터 시험 운전중에 있다.

상업화 규모의 실증실험설비로는 네덜란드가 Shell 가스화로를 적용한 250MW 규모의 IGCC 플랜트를 설치하여 1993년 완공목표로 건설중에 있어 선진국에서는 '90년대 후반 실용화가 예상되고 있다.

### 3.2 국내기술개발동향

석탄가스화복합발전에 대한 관심은 지구환경보전 문제와 석유대체 에너지개발측면에서 새롭게 부각되고 있으나 국내 기술축적은 미흡한 상태이다.

표 4 장기 발전 설비 계획

(단위 : MW(기수))

년도	원자력	석탄	LNG	수력	석유	계
1991-2001	8,100( 9)	12,440(25)	5,230( 8)	2,130(16)	20(2)	27,920(60)
2001-2006	8,100( 9)	2,800( 4)	4,500( 6)	1,500( 6)	-	16,900(25)
계	16,200(18)	15,240(29)	9,730(14)	3,630(22)	20(2)	44,820(85)

표 5 각국의 석탄가스화 복합 발전소 건설계획

위치	용량	가스화로	완공년도	비 고
<u>미국</u>				
Florida (FP & L)	800MW	미 정	1995년	단계별 건설추진
Polk county (Tampa Electric)	200MW	Lurgi	1996년	CCT III 재정지원
Spring field LW&P)	65MW	ABBCE	1998년	CCT II 재정지원
Terre Haute (PSI/Destec)	265MW	Destec	1995년	CCT IV 재정지원
<u>독일</u>				
Berlin	180MW	Lurgi	1994년	건설중
Eriangen	750MW	미 정	1997년	단계별 건설추진
Gersteinwerk	200MW	Lurgi	1993년	연료 : 갈탄
Goldenberg	320MW	HTW	1995년	건설중
<u>네덜란드</u>				
Buggenum	250MW	Shell	1993년	건설중

현재 국내에서는 1988년 이후 정부의 대체에너지 개발사업으로 석탄가스화 및 가스정제분야에 대한 기초연구가 대학 및 국책연구소에서 수행되고 있다.

한국전력에서는 지난 1988년 IGCC도입을 위한 타당성조사를 수행한 결과 환경규제가 강화되는 2000년경에 IGCC의 국내 도입이 가능한 것으로 판정하였고 중장기 연구개발계획을 수립하여 1990년 부터 0.5T/D규모의 분류층 석탄가스화 장치 및 정제시스템 연구를 에너지기술연구소와 공동으로 수행중에 있다.

최근 정부는 G7프로젝트 신에너지기술개발사업에 IGCC 기술개발을 포함하여 2001년 까지 석탄가스화로를 포함한 IGCC의 핵심기술자립을 위한 범국가적 산학연의 협동연구 개발사업을 계획하고 있다.

### 3.3 실용화전망

기술개발로 IGCC의 건설비용이 저렴해지고 환경규제가 더욱 강화되면 기존의 천연가스 복합발전과 석탄화력발전소등이 부분적으로 IGCC로 대체될 것으로 예상된다. 2000년까지의 대체적인 국제수요는 14,000 MW 이상이 예상되며, 국내 외에서도 2002~2006년 사이의 발전설비의 계획중 유연탄화력 1기(700 MW)와 LNG 화력 1기(800 MW)를 IGCC로 대체할 수 있을 것으로 예상된다.

## 4. 결 론

석탄을 가장 효율적으로 깨끗하게 이용할 수 있는 석탄가스화복합발전(IGCC)의 향후 실용화 시기를 전망해 보면 국외에서는 1995년 이후에 상용발전소

가 운용될 것으로 예상되며, 국내에서도 환경규제가 강화되는 1996년 이후 2005년경에는 석탄가스화복합발전소를 건설할 수 있을 것으로 판단된다.

석탄가스화 복합발전소의 국내 도입은 전력수요증가, 투자재원 및 실용화시기 등을 감안하여 신규 IGCC를 건설하거나, 기존 복합발전설비나 석탄화력에 석탄가스화로를 추가 설치하는 설비개조(Repowering)방안이 있으며, 가스터빈발전기 설치 후 증기터빈발전기와 석탄가스화로등을 적절한 시기에 단계적으로 건설하는 단계적건설(Phased Construction)등으로 추진할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 석탄가스화복합발전기술연구, 87G-T04, 한국전력 1988
- [2] 공무 국외여행귀국보고서, 87H-I-1-79, 엄영창, 한국전력 1987
- [3] 공무 국외여행귀국보고서, 88H-I-1-16, 안달홍, 한국전력 1988
- [4] 장기전력 수급계획(안), 한국전력, 1990
- [5] 석탄가스화복합발전기술 현황조사 및 연구협력, 출장보고서, 박태준 KIER 1992
- [6] Gasification Combined Cycle Plant Configuration Studies; EPRI AP1393
- [7] Texaco Based Gasification Combined Cycle System Performance Studies EPRI AP1429
- [8] Coal Gasification Systems: A Guide to Status, Applications, and Economics
- [9] Shell Based Gasification Combined Cycle Power, Plant Evaluations
- [10] Proceedings: Seventh Annual EPRI Contractors Conferece on Coal Gasification



지평삼(池平三)

1943년 12월 10일생. 1969년 동아대 공대 기계공학과 졸업. 1990년 충남대 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1969년 한전입사. 1981년 전원계획부 전원개발부장. 현재 한전기술연구원 발전연구실 수석연구원.