

석탄가스화 복합발전 기술개발 동향



지 평 삼

(한전 기술연구원 수석연구원)

- '76-'83 한전 본사
- '83-'89 한전 기술연구원 책임연구원
- '89-현재 한전 기술연구원 수석연구원



김 종 진

(한전 기술연구원 선임연구원)

- '76-'80 한전 여수화력 발전소
- '80-'83 한전 본사 발전처
- '83-현재 한전 기술연구원 과장



정 진 도

(한전기술연구원 선임연구원)

- '88-'89 오사카대학 연소공학 연구
- '85-'90 충남대학교 기계공학과(박사)
- '90-'91 한국기계연구소 기계공학부(Post Doc.)
- '91-현재 한전 기술연구원 선임연구원



김 남 호

(한전기술연구원 선임연구원)

- '78-'85 한양대학교 기계과 졸업
- '86-'88 한양대학원 정밀기계과 졸업
- '88-현재 한전 기술연구원 과장

1. 서 론

우리는 세계정세의 급격한 변화와 더불어 지속적인 경제성장을 위한 에너지의 안정적 확보와 지구환경 보존을 위한 공해방지 기술개발 등 에너지와 관련하여 많은 문제에 직면하고 있다.

현재 세계 1차에너지의 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 1차에너지원을 거의 대부분 해외수입에 의존하고 있어, 이들 에너지를 효율적으로 깨끗하게 이용하는 기술을 개발하지 않으면 안 될 입장에 있다.

장기적으로 에너지원의 안정적 확보를 위한 에너지원의 다양화 및 최적전원 구성을 감안할 때 석탄의 이용확대는 피할 수 없는 추세이며 현재는 물론 미래의 주요 에너지원으로도 큰 기대가 모아지고 있다. 그러나, 석탄의 확대사용은 지구 환경오염을 줄일 수 있는 신기술개발이 선행되어야 하며 이러한 석탄이용 신발전기술로는 석탄의 유동층연소와 석탄가스화 복합발전 등을 예로 들수 있다.

IGCC(Integrated Coal Gasification Combined Cycle), 즉 석탄가스화 복합발전은 고효율화를 통한 에너지의 유효이용과 환경보전성등 향후 석탄화력이 갖추어야 할 조건을 갖추고 있어 장래의 발전방식중 가장 중요한 위치를 차지할 것으로 예상되어 선진국에서는 이미 일부 실용화 단계이며 국내에서는 연구소, 대학 등에서 기초연구 및 Bench scale 규모 연구를 수행중이다. 특히 정부에서는 석탄가스화 기술의 중요성을 인식하여 이를 G7 프로젝트로 선정, 한국전력기술연구원이 주관기관이 되어 5T/D급 분류층 석탄가스화로 개발을 추진중이다.

2. 석탄가스화 복합발전기술개발 동향

2.1 국내 기술개발 동향

석탄가스화 복합발전에 대한 관심은 지구 환경보전 문제와 석유대체 에너지개발 측면에서 새롭게 부각되고 있으나 국내 기술축적은 미흡한 상태이다. 현재 국내에서는 1988년 이후 정부의 대체에너지개발사업으로 석탄가스화 및 가스정제 분야에 대한 기초연구가 대학 및 국책연구소에서

수행되고 있으며(표 1), 한국전력에서는 지난 1988년 IGCC 도입을 위한 타당성 조사를 수행한 결과 환경규제가 강화되는 2000년경 IGCC의 국내 도입이 가능한 것으로 판단되어, 이에 대한 중장기 연구개발계획을 수립하였으며 1990년부터 0.5T/D 규모의 분류층 석탄가스화 장치 및 정제시스템 개발을 한국에너지기술연구소와 공동으로 수행중에 있다.

표 2는 한전기술연구원에서 수행한 IGCC 연구사업을 나타내고 있다.

표 1. 1992년도 IGCC관련 대체에너지 개발사업

| 과 제 명 | 연구기관 | 연구 내용 | 기간 |
|--|--------|-------------------------------------|------------------|
| 새로운 석탄가스화 기술개발 연구 | 서울대 | 석탄가스화 기초반응실험 | ('88~'91) |
| 석탄가스화 반응 특성연구 | KAIST | 유동층 석탄가스화로의 석탄가스화 연구 | ('89~'90) |
| 촉매이용 석탄가스화 기술 개발연구 | KIST | 유동층 석탄가스화로의 촉매를 이용한 석탄가스화 | 한전자금지원 ('88~'91) |
| 석탄가스화 기술의 기초연구 및 공정선정 | 에너지(연) | 석탄가스화 기초반응실험연구 고정층 및 유동층 석탄가스화 반응연구 | 한전자금지원 ('88~'91) |
| 순환유동층을 이용한 석탄 가스화 반응기 개발 | KAIST | 순환유동층을 이용한 석탄가스화 반응 기초연구 | ('92~) |
| 석탄가스화 촉매반응에 관한 적외선 확산분광법 | 서울대 | 석탄가스화 촉매반응에 관한 적외선 확산분광법 | ('92~) |
| IGCC용 고온건식 탈황시스템 개발 | 에너지(연) | 석탄가스화 복합발전용 고온건식 탈황 장치 개발 | 한전자금지원 ('92~) |
| 석탄가스화 복합사이클 발전 시스템 실용화 개발 | 아주대 | 2T/D 석탄가스화 BSU 설계 제작 운용 연구 | ('92~'94) |
| 촉매합침 무기재료막을 이용한 석탄가스화 반응물에 의한 수소 제조 기술연구 | KAIST | 석탄가스화를 이용한 수소제조연구 | ('92~) |

표 2. 한전기술연구원 IGCC 연구사업

| 과 제 명 | 연구기관 | 연구비(백만원) | 기간 |
|------------------------------|---|----------|----------------|
| 석탄가스화 복합발전 기술연구 | · 한전기술연구원 · 한국전력기술(주) · Gilbert/Commonwealth | 300 | '89. 5~'88. 12 |
| 복합발전용 석탄가스화 장치 및 정제 시스템 연구 | · 한전기술연구원 · 한국에너지기술연구소 | 290 | '90. 9~'93. 8 |
| G7프로젝트 "5T/D분류층 석탄가스화 장치 개발" | · 한전기술연구원(주관기관) · 한국에너지기술(연) · 한국기계연구원 · 한국과학기술원 · 산업과학기술연구소등 8개 기관 | 21,033 | '92.10~'97. 9 |

4.2 국외 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 기술개발에 큰 진전이 있었으며 그 결과 고온가압형으로 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 Cool Water Plant(120MW)와 Dow Project(160MW)에서 석탄슬러리공급 분류층 석탄가스화로를 이용한 실증

플랜트를 운용중이며, 독일에서는 1930년대에 개발된 Lurgi, Winkler, Kopper-Totzek등 가스화 기술을 바탕으로 1987년부터 미분탄 공급 분류층 석탄가스화 실증시험 플랜트인 PRENFLO Plant(48 T/D)를 건설하여 실증시험 운전중에 있다. 일본에서는 '83년부터 전력중앙연구소(CRIEPI)가 공기를 산화제로 이용하는 24T/D 규모의 석탄가스화로를 미쓰비시 중공업과 공동으로 개발하여 실험 연구중이며, '86년부터 NEDO의 주관하에 IGCC연구조합을 결성하여 국가사업으로 공기분류층, 가압, 건식 200 T/D 규모의 Pilot Plant를 설치하여 1991년부터 시험 운전중으로 92년 7월 까지 1/4부하발전(3.5MW) 실험에 성공하였다.

상업화 규모의 실증실험설비로는 네덜란드가 Shell가스화로를 적용한 250MW 규모의 IGCC 플랜트를 1993년 완공 목표로 건설중에 있어 선진국에서는 '90년대 후반 실용화가 예상되고 있다. 각국의 가스화로 및 IGCC의 설치 및 건설현황이 표 3에 나타나 있다.

표 3. 각국의 IGCC의 개발 현황

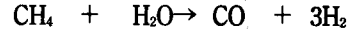
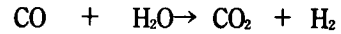
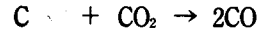
| Plant 명칭 (개발주체) | Sponsor (설치 장소) | 형식 및 용 량 | 가스화제 압력(ata) | 72 76 80 84 88 92 94 | | | | | | | |
|---|--|--------------------------------|-------------------|----------------------|----|----|----|----|-------------|-------------|---|
| | | | | 72 | 76 | 80 | 84 | 88 | 92 | 94 | |
| Kellerman Power Station (STEAG사) | 독일정부 (독일 Essen Lunen) | 고정층 170 MW 420 T/D 5기 | 공기 20 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| KBW (KBW사) | B & W, Koppers (미국, Pittsburgh) | 분류층 Bi Gas 120 T/D | 산소 상압/가압 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Cool Water Power Station (Texaco, GE) | Texaco, GE, SCE, EPRI, JCWP 등 (미국) | 분류층 1,000 T/D | 산소 42 | | | | | | 120 MW ■ | ■ | ■ |
| CE Plant (CE 사) | DOE, EPRI (미국, Windsor) (미국, Springfield) | 분류층 120 T/D 600 T/D | 공기 상압 | 120 T/D ■ | ■ | ■ | ■ | | | 65MW ■ | ■ |
| Shell Plant (Shell 사) | EPRI, Shell (미국, Deer Park) (화란, Buggenum) | 분류층 250~400T/D 2000T/D | 산소 30 | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| 2T/D분류층 가 스화로 (CRIEPI, 미쓰비시) | CRIEPI, MHI (일본, 요코스카) | 가압2단 분류층 2 T/D | 공기/산소 상압 20 | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 200T/D 분류층 Pilot Plant (IGC) | 통산성 (일본, Nakoso) | 가압2단 분류층 200 T/D | 공기 20 | | | | | | | 12.5MW ■ | ■ |
| 20T/D 분류층 Pilot Plant (Hitachi) | 일본 (일본, 치바) | 분류층 건식, 수소제조 | 산소 | | | | | | | | ■ |

3. 석탄가스화 복합 발전 개요

3.1 석탄가스화 복합발전 시스템

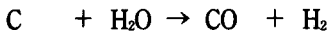
석탄가스화로는 산화제로서 산소 또는 공기를 사용하여 석탄을 완전연소까지 행하지 않고, 산소 부족의 상태에서 고온 반응시키어 일부는 연소하고, 일부는 CO와 H₂를 주성분으로 하는 연료가스를 발생한다.

석탄이 가스화로를 통과하면서 일어나는 화학 반응은 다음과 같다.



이와 같이 생성된 가스는 석탄중의 유황분을 포함하고 있기 때문에 연료가스의 상태에서 탈황, 탈진의 가스정제를 행한다. 정제된 가스를 연소하여 가스터빈을 구동함과 동시에 배기가스의 여열로 증기를 발생하여 증기터빈을 구동하는 복합사이클을 구성하며 주된 구성설비는 다음과 같다.

〈석탄가스화의 주요 반응〉



① 석탄 전처리 설비

② 석탄가스화 설비

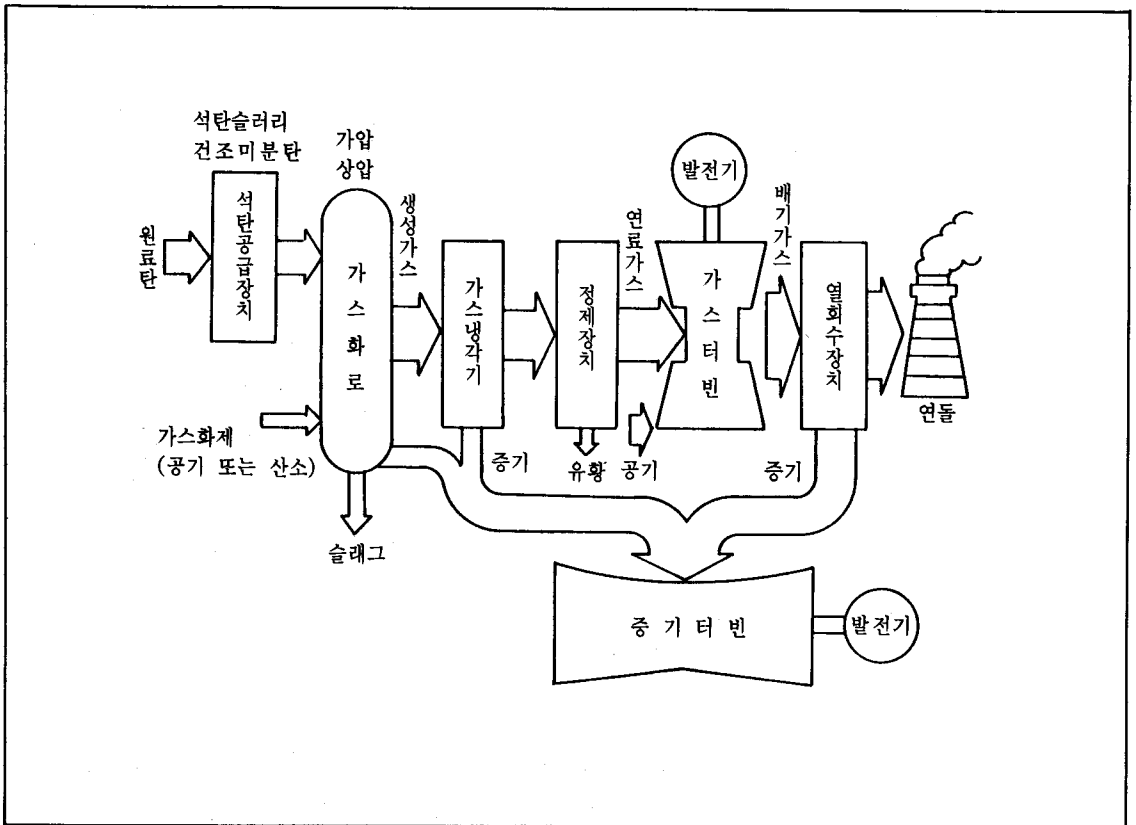


그림 1. 석탄가스화 복합발전(IGCC) 구성개념도

- ③ 가스정제(탈황, 탈진) 설비
- ④ 복합발전(가스터빈, 배열회수, 증기터빈) 설비

3.2 석탄가스화 복합발전의 특징

(1) 열효율이 높음

일반적인 미분탄화력의 열효율이 39% 정도인데 비하여, IGCC는 43%~46%까지 가능한 것으로 예상된다. 이는 입구가스온도의 고온화를 통한 고효율 가스터빈과 증기터빈의 조합에 의한 복합발전방식이기 때문이다. 표 4는 발전형태별 열효율 비교를 나타낸다.

(2) 환경 대응면에서 유리

가스화로에서 생성된 연료가스를 처리하기 때문에 미분탄화력의 연소후 처리와 비교해서 정제효율이 우수하다. Cool Water Plant 실험에서는 SO_x 10ppm 정도, 분진 2mg/Nm³정도(과잉산소 6% 환산치) 정제실적을 갖고 있으며, 장치 엄격하게 될 환경규제에 충분히 부합할 수 있다.

또한 석탄연소시 발생하는 회의 처리가 용이하다. 분류층 가스화로의 경우, 노내 온도가 회 융점이상으로 유지되므로 석탄 회는 유해물질이 없는 Slag 상태로 배출되어 도로건설 매립재등으로 활용이 가능하다.

표 5. 발전형태별 환경 보전성 비교

| 항 목 | IGCC | 석탄화력 | 중유화력 |
|-----------------------------|--------|----------|----------|
| SO _x (ppm) | 30 | 100 | 60 |
| NO _x (ppm) | 30 | 300 | 60 |
| 분진 (mg/Nm ³) | 5 | 50 | 10 |
| 비 고 | 습식탈황설비 | 최신기술의목표치 | 최신기술의목표치 |

(주) SO_x, NO_x는 과잉산소 6% 환산치

3.3 가스화로의 종류와 특징

가스화로 형태는 기본적으로 고정층(Fixed Bed), 유동층(Fluidized Bed) 및 분류층(Entrained Bed)으로 구분할 수 있다. 이러한 가스화로 형태에 따라 온도분포가 크게 달라지며, 발생가스의 조성 및 회의 생성형태에 영향을 미친다.

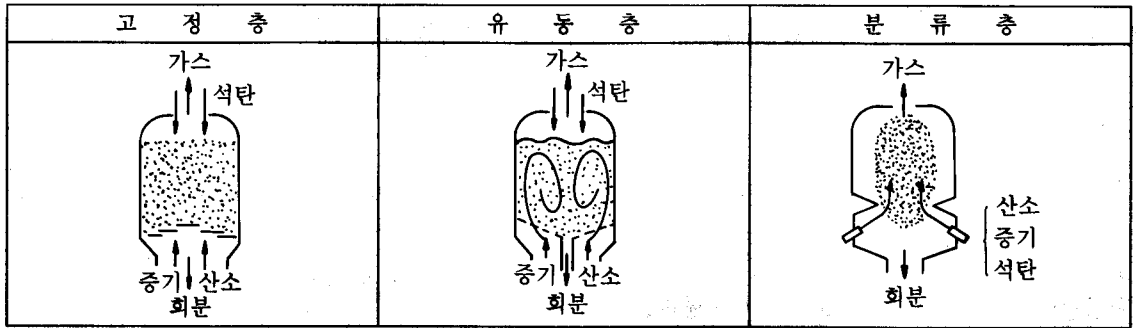
3.3.1 고정층

석탄이 상부로 공급되어 중력에 의해 천천히 하강하면서 가스화 반응을 거친후 하부에서 회로 배출된다. 하부에서 공급되는 가스화제는 배출되는 회의 고온열을 회수한 후 연료와 반대방향으로 상승하면서 가스화 반응을 한다.

표 4. 발전형태별 열효율 비교

| 연료 | 발전 방식 | 총합효율 | 실용화시기 | 비 고 |
|----------|------------|-------|-----------|--------------------------|
| 석탄 | 미분탄화력 | 약 39% | 현재 | FGD 부착/열효율 : 35~36% |
| | 석탄가스화 복합발전 | 약 41% | 1990년대 중기 | 1,300°C 조업/공냉가스터빈 습식가스정제 |
| | | 약 46% | 2000년대 초기 | 1,400°C 조업/공냉가스터빈 건식가스정제 |
| 천연 가스 | LNG 화력발전 | 약 38% | 현재 | |
| | LNG 복합발전 | 약 47% | 1980년대 후기 | 1,300°C 조업/공냉가스터빈 |
| | | 약 50% | 1990년대 후기 | 1,400°C 조업/공냉가스터빈 |

표 6. 석탄가스화로의 종류 및 특징



| 형 식 | | 가스화로 명 | 특 징 | |
|-------|---------------|-------------------------------------|--|--|
| 고정층 | 건 회 처 리 | Lurgi | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 기존기술로 실적이 많음 ◦ 대용량화 곤란 ◦ 사용석탄의 제약이 큼 ◦ PSI가 큰 석탄, 분탄이 많은 탄 사용불가 ◦ 가스화로의 효율은 높은 편 | |
| | 슬래깅처리 | BGC/Lurgi | | |
| 유 동 층 | | U-Gas, Westinghouse H. T Winkler | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 회중의 미연탄소가 많음 ◦ 탄소전환율이 낮음 ◦ 粘結炭의 사용불가 | |
| 분류층 | 석탄슬러리 공급방식 | 1단 하향류 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 탄소전환율이 높음 ◦ 건조미분탄 방식에 비하여 효율이 낮음 ◦ 석탄슬러리 농도에 따라 효율저하가 심함 ◦ 고온내열 구조 필요 | |
| | | 2단 상향류 | | Destec |
| | 미 분 탄 공급방식 | 산 소 가압식 | Shell, PRENFLO | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 고순도의 산소사용 가스화 효율높음 ◦ 가스화로의 규모가 작아짐 ◦ 중열량 가스발생 ◦ 산소를 사용 운전취급에서 위험이 내포 ◦ 고온내열 구조 필요 |
| | | 공 기 가압식 | ABB CE 일본 CRIEPI | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 공기를 산화제로 사용 위험성이 경감 ◦ Air Separation Unit배제 설비비 저감 ◦ 가스화로 및 열회수장치가 대형화 ◦ 생성가스의 발열량이 낮아 발전전용 ◦ 고온내열 구조 필요 |

장점은 가스화로 내의 석탄과 가스간의 대향류 흐름으로 직접적인 접촉으로 열교환이 이루어져 열손실이 최소화되고 체류시간이 길어 탄소 전

환율이 높은 점이나, 단점은 탄종의 제한이 있으며, 점결성이 높은 탄일 경우 교반기를 부착하거나 Mild Oxidation과 같은 전처리 과정을 거치후

연료를 공급해야 한다.

3.3.2 유동층

하부에서 주입되는 가스화제의 속도를 이용하여 석탄입자를 유동화 상태에서 가스화하는 것으로 석탄을 상부에서 공급하는 방법과 하부에서 공급하는 방법이 있다.

장점은 가스와 입자의 혼합 및 접촉이 용이하여 층내의 온도분포가 균일하고 온도평형이 빨리 이루어진다. 단점은 점결성이 높은 탄을 사용할 때 응집에 의한 유동화의 방해와 Coking 등의 문제점이 발생되어 Mild Oxidation과 같은 전처리 과정을 거친후 사용해야 하며, 하부 배출 회나 비산화에 다량의 미연분이 함유되어 탄소전환율이 낮은 점이다.

3.3.3 분류층

석탄을 산화제와 함께 상부 또는 하부에 위치한 버너 노즐을 통해 공급한다. 공급형태는 미분탄을 압축공기로 분사하는 방법과 Slurry 형태로 주입하는 방법이 있다.

장점은 연료탄의 사용범위가 넓고, 대용량화가 가능하여 발전용으로 좋은 평가를 받고 있다. 그러나, 연료와 가스가 동일방향으로 진행되며 고온출구가스의 냉각시 부수적인 에너지 손실이 발생하는 단점이 있다.

석탄가스화 복합발전의 핵심기술인 석탄가스화 공정 중, 가압 분류층 석탄가스화 공정은 가스화 온도와 압력(1200~1700°C, 20KG/cm²이상)이 높아, 탄소전환율(90~98%)이 높고, 타르와 오일이 생성되지 않고, 회를 용융처리하며, 탄종 적합성이 매우 우수한 방식이다.

또한, 연료가스의 온도가 매우 높아 많은 열량이 증기상태로 회수되므로 발전용으로 적합하며 탄종적합성, 부하 추종성 및 대용량화, 운용성 등에 유리하다.

분류층 가스화 공정에는 석탄의 공급방식(건식 및 습식)과 가스화로 운전조건(가압 및 상압), 산화제(공기 및 산소)의 종류에 따라 각각 독특한 기술 및 발전방식을 가지고 있다.

현재, 전 세계적으로 기술 개발이 되고 있는 주요 분류층 석탄가스화 공정에 대해 살펴보면

다음과 같다.

- ① Texaco(미국)
- ② Krupp-Koppers(독일)
- ③ Shell(네델란드)
- ④ CRIEPI & ABB CE(일본 & 미국)

4.1 Texaco 공정 ; (습식, 가압산소분류층)

가장 상업화단계에 근접한 석탄가스화 기술로 40년의 역사를 갖고 있으며, 미국 LA에 위치한 Texaco Syngas Inc. 산하 Montebello Lab.은 1948년부터 석탄, 석유코크스 등을 원료로 하여 합성가스제조에 관해 연구하고 있으며 분류층 형식(Entrained Flow Type)의 Texaco Coal Gasification Process(TCGP)의 산실이다.

Montebello Research Lab.에는 압력이 350~1200 psi인 석탄처리능력 15~20T/D규모의 Gasifier 2기와 압력 1200psi, 50T/D의 Gasifier 1기가 설치되어 있으며, 탄종에 따른 석탄가스화 반응성, Down Stream의 가스공급 조건 등의 상업화 공정에 필요한 실험 자료를 도출하기 위해 고압하에서 가스화 실험을 수행하고 있다.

Texaco사의 이러한 기술개발 결과는 분류층 석탄가스화 복합발전기술 실증시험인 Cool Water Program에 반영되어 있으며, 1978년 Texaco사와 에디슨 전력회사(Southern California Edison Co.)가 사업을 추진한 이래 EPRI(Electric Power Research Institute), Bechtel, General Electric 등 미국 전력회사 및 일본의 전력중앙(연), 동경전력(주) 등의 일본 전력회사들이 Cool Water Partnership(JCWP)으로 참여하였다.

발전용량 120MW의 Cool Water Plant는 84년부터 89년까지 5년간 실증시험을 완료하였으며 현재는 Sewage 등의 사용을 위한 연료전환을 추진중이다.

Cool water project는 슬러리 공급 분류층 형식인 Texaco 가스화로와 General Electric의 가스터빈(GE Frame 7E), 습식정제시스템이 채용되어, 석탄가스화 복합발전의 환경보전 적합성과, 기동정지, 부하추종성 등의 설비운용성, 열효율 및 설비투자비 등에 대한 검토가 이루어졌다.

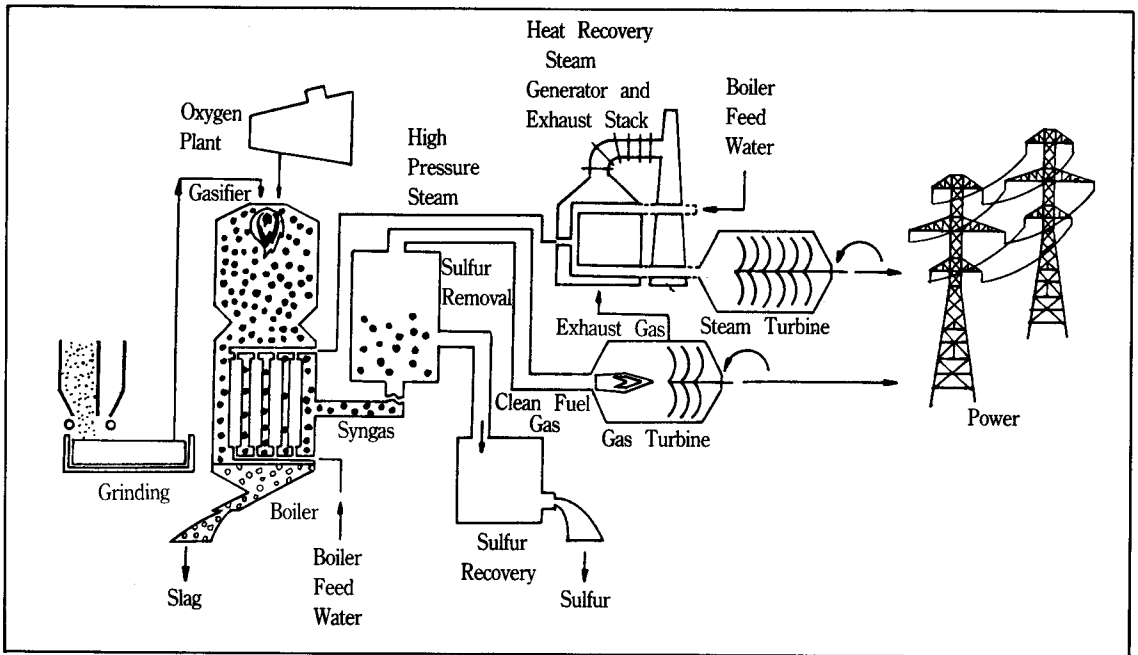


그림 2. Texaco 분류층 석탄가스화 공정도

표 7. Cool Water Plant의 운전 실적

| 측 정 항 목 | 측 정 값 | 측 정 항 목 | 측 정 값 |
|----------------------------------|---------|----------------|------------|
| 가스화반응기 운전시간(Hr) | 7,357 | 유황 회수량(T) | 617 |
| 석탄 사용량(T) | 229,620 | 설비 이용율(%) | |
| 산소 소모량(T) | 275,945 | 총운전일수 기준 | 44.8 |
| 총발전 전력량(MWh) | 699,945 | 발전시간 기준 | 71.8 |
| 발전소내 전력사용량(MWh) | 52,821 | 운전회수 | 60 |
| O ₂ Plant의 소비전력량(MWh) | 116,133 | 최장 연속 운전시간(Hr) | 640(약 27일) |

주 : 1984년 6월 24일 1985년 12월 31일까지 누적자료임.

4.2 Krupp-Koppers공정 : PRENFLO(건식, 가압산소분류층)

Krupp Koppers GmbH의 본사는 독일의 Essen에 위치하고 있으며, 1941년 상압산소분류층 가스화 기술인 Koppers-Totzek 공정을 개발하여, 1950년에 상업화 Plant를 건설한 바 있다.

1973년에 PRENFLO(Pressurized Entrained-Flow) 공정개발이 착수되었으며, 1976년에 Shell사와 공동으로 석탄가스화 장치를 개발하여 1978~1981년에 150T/D 규모의 Shell-Koppers Plant를 독일

Hamburg에 건설한 바 있다.

1985~1986년에 Furstenhausen에 48T/D Prenflo 시범 Plant를 건설하여 현재까지도 연구개발을 계속하고 있으며, 새로운 기술의 적용을 위한 설계 변경을 추진하고 있다. PRENFLO 석탄가스화 실증 Plant개발에는 1973년부터 약 4억 DM 이상이 투자되었다.

Prenflo 석탄가스화 방식은 독일의 Koppers-Totzek 석탄가스화 기술에서 유래된 가압산소분류층 가스화 공정(Pressurized Entrained Flow Process)으로서 건조된 석탄(Dry Coal)으로 부터 증발열량

가스(Medium BTU Gas)를 생산한다.

48T/D 규모의 석탄가스화 Pilot Plant 운전이 1986년 8월부터 진행되어 오고 있으며, 그간 독일 미국 등지의 100여종의 석탄이 실험된 바 있다.

실증시험 설비로는 EC로부터 자금지원을 받아 독일 및 스페인 등에 2,400T/D규모(전력생산량 300 MW)의 IGCC Plant를 건설할 예정에 있다.

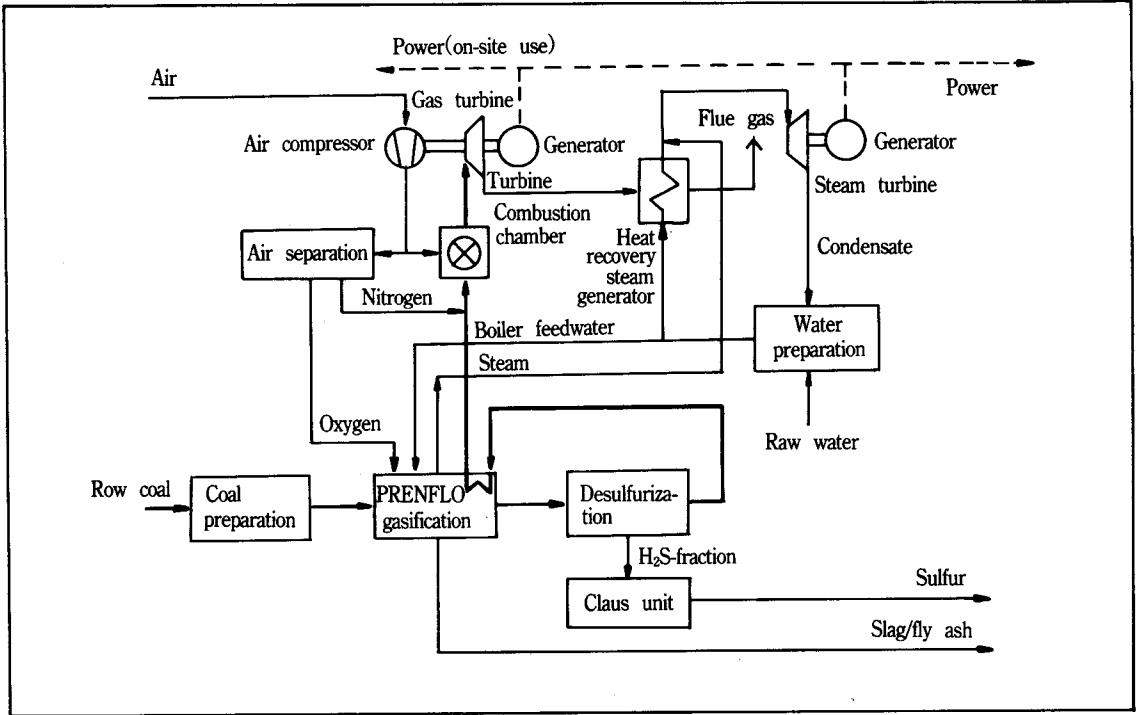


그림 3) PRENFLO 분류층 석탄가스화 공정도

표 8. Prenflo Process의 실증 실험 결과

| 항 목 | 단 위 | 가스화제인 O ₂ 의 조성이 95%인 경우 | 가스화제인 O ₂ 의 조성이 90%인 경우 |
|---------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 가스조성(Dry) | vol % | | |
| CO ₂ | 〃 | 3.38 | 3.73 |
| CO | 〃 | 62.34 | 59.59 |
| H ₂ | 〃 | 27.65 | 26.00 |
| CH ₄ | 〃 | 0.01 | 0.01 |
| H ₂ S+COS | 〃 | 0.72 | 0.72 |
| N ₂ +Ar | 〃 | 5.90 | 9.95 |
| 생성가스의 고위 발열량 | MJ/m ³ (Dry) | 11.595 | 11.040 |
| 생성가스의 압력 | Bar | 24 | 24 |
| 증기사용량/coal | Kg/Kg | 0.11 | 0.11 |
| (Co+H ₂)/coal | m ³ /Kg | 2.13 | 2.08 |
| 증기생산량(46bar, 305)/coal | Kg/Kg | 2.09 | 2.24 |
| 탄소 전환율 | % | 99.4 | 99.0 |

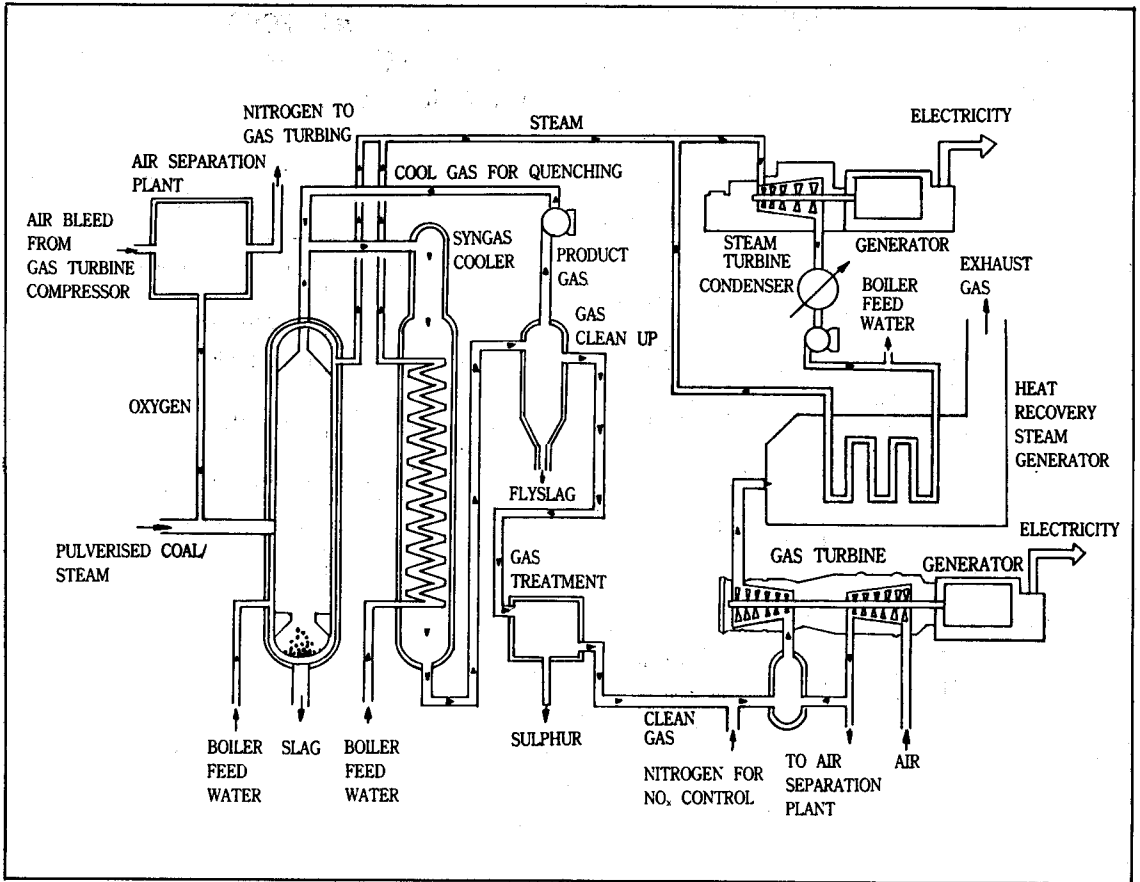


그림 4) Shell 분류층 석탄가스화 공정도

표 9. Buggenum IGCC Plant의 설계 사양

| 설계 항목 | 설계치 | 설계 항목 | 설계치 | 설계 항목 | 설계치 |
|----------------|--------------|---------------------------|---|---------------------|------------|
| General | | Gasification Plant | | 전력생산량 | |
| 건설시작년도 | 1990 | 석탄사용량 | 2000T/D | Gas Turbine | 156 MWe |
| 초기투자액 | \$ 4.5억 | 반응압력 | 28 Bar | Steam Turbine | 128 MWe |
| Net 효율 | 약 43% | 생성물의 조성 | CO 25% H ₂ 12% | 총 전력 생산량 | 284 MWe |
| NOx emission | 95g/GJ | | N ₂ 42% N ₂ O 19% | Net 전력 생산량 | 253 MWe |
| | | | other 2% | | |
| 완공년도 | 1993 | 석탄투입방법 | 건식 | IN-Plant 소비량 | 31 MWe |
| net 발전용량 | 253 MWe | 반응온도 | 1500°C | Steam 압력 | 125 bar, |
| 탈황 비율 | 85~97% | 생성물의 발열량 | 4.3 MJ/Kg | | 40 bar and |
| 부산물 | Slag, flyash | | (=4.4 MJ/nm ³) | | 8 bar |
| | Sulfur, Salt | 황 생성량 | 5,000 t/yr | | |

4.3 Shell : (건식, 가압산소분류층)

Shell사는 1972년부터 석탄가스화 기술에 본격적으로 개발을 착수하여, 암스테르담의 Royal Dutch/Shell연구소에서 6T/D공정개발장치(PDU)를 제작하여 계속 R&D를 하고 있다.

1978년 독일 함부르크 Shell정유 공장 부근에 150T/D규모 석탄가스화 Pilot Plant를 건설하여 수년간 시험가동에 성공한 바 있으며, EPRI의 연구자금으로 1985년 미국 Houston Deer Park에 250-400T/D 규모의 실증 Plant를 건설하여 1987년부터 시험가동하고 있다. 또한 네덜란드의 Buggenum에 2000T/D (250MW) IGCC 상업화 Plant를 1990년 9월부터 건설을 시작, 1993년에 완료하여 1994년 이후부터 정상적으로 전력을 생산할 예정이다.

4.4 전력중앙연구소(CRIEPI), MHI & ABB CE : (건식, 가압공기분류층)

분류층 방식의 석탄가스화로를 개발하기 위하여 일본은 '82년부터 전력중앙연구소(CRIEPI)와 미

쓰비시 중공업이 공동연구로 전중(연) 요코스카 연구소 구내에 24T/D 건식, 가압 공기 분류층 실험장치를 건설하여 계속 실험연구 중이다.

특기할 사항은 기존 상업화 기술이 대부분 건식 및 습식 산소 분류층인데 비해, 일본은 CE의 건식 상업, 공기분류층 방식을 기초로 해서 자체적으로 건식, 가압 공기 분류층 공정을 개발하였다.

일본에서는 NEDO의 주관하에 Nakoso발전소에 200T/D 규모 Pilot Plant를 건설하여 시험가동중이며, 주된 연구방향은 석탄의 건식공급, 산화제로 공기의 사용, 건식 가스정제(탈황, 탈진)기술개발, 1,300°C급 Ceramic 가스터빈을 사용하여 2000년대 상용화 목표로 개발을 서두르고 있다.

이 Nakoso 200T/D Pilot Plant는 일본의 10개 전력회사와 전중(연)이 연구조합을 구성하여 사업을 추진중이며 MHI, KHI, IHI, Toshiba등이 참여하고 있다.

CE는 미국 Springfield에 DOE의 Clean Coal Tech. II 자금으로 1996년 시험가동을 목표로 Repowering (65MW)에 참여하고 있으며, 기존의 상업, 건식 공기분류층 대신 가압, 건식 공기분류층 기술을 적용할 계획이다.

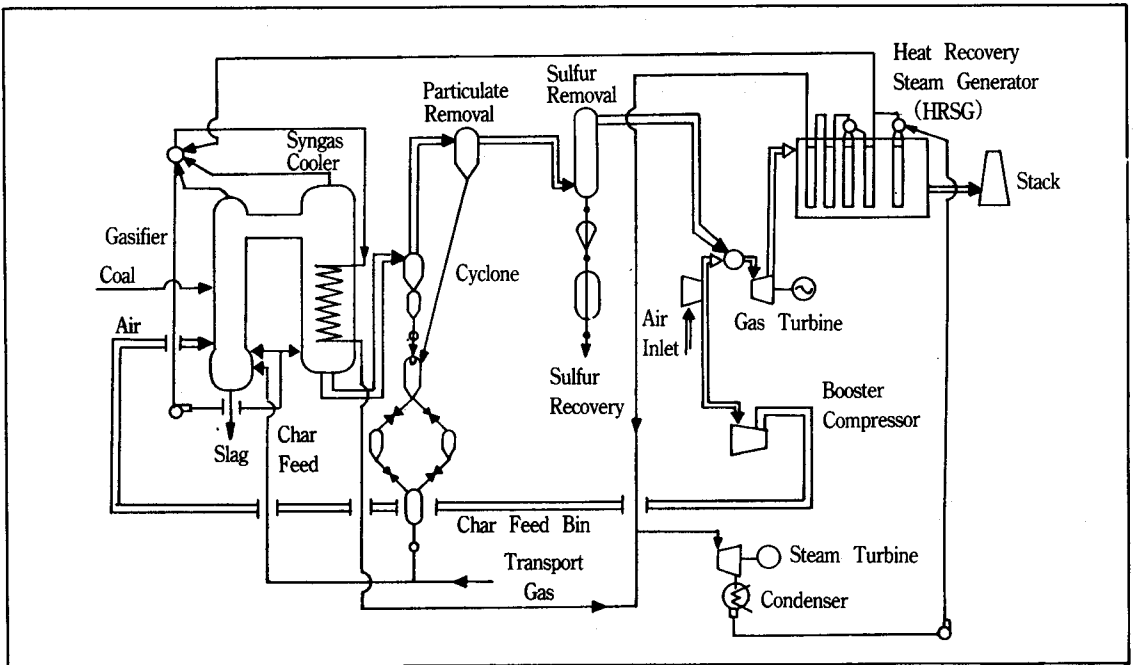


그림 5. CE 분류층 석탄가스화 공정도

5. 가스정제 시스템의 종류와 특징

석탄가스화 복합발전이 있어서 가스정제 설비는 탈황장치와 탈진장치이고, 앞에서 언급한 것처럼 연료가스 상태에서 처리하는 것이다. 이러한 장치는 습식(Wet)과 건식(Dry)으로 구분되고, 다음과 같은 특징이 있다.

5.1 탈황장치

습식탈황방식의 중요한 것으로는 선택흡(SELCSOL)법이 있으며, 탈황제로서 유기용매를 사용해서 저온, 고압하에서 H_2S 를 선택적으로 흡수하게 한다. 흡수된 H_2S 는 크라우스(CLAUS)법으로 분리되는 이온회수법에 의해 단체 이온으로서 분리된다.

이방식은 이미 Cool Water Plant에서 운전실적이 있고 신뢰성에 대해서도 확인되었다. 그러나, 저온에서의 가스정제 때문에, Plant 열효율이 고온 건식 탈황법에 비해 2~3%정도 낮다.

고온건식탈황장치는 400°C~500°C의 고온가스상태에서 탈황하는 것으로, 고정층 탈황장치는 H_2S 흡수제로 산화철등을 사용해서 황화철 FeS 의 형태로 흡수하는 것이 일반적이고, 공기에 의해 FeS 을 산화철로 되돌리는 것과 동시에 SO_2 를 발생시켜서, 이 가스를 탄소와 연료가스 중의 H_2 등에 의해 환원해서 단체이온을 포집하는 것이다. 일본전력중앙(연)의 24 T/D 시험설비에서 각종 연구가 진행되고 있지만, 현재까지 실증시험 규모의 것은 없다.

유동층탈황장치는 일본 석탄기술연구소를 중심으로 200T/D가스화로에 적용한 산화철(Fe_2O_3)계 탈황제를 사용한 연구가 진행되고 있다.

5.2 탈진장치

습식탈진방식은 카본 그라파이트(Carbon-Graphite)로 불리워지는 방식이 일반적인데, 이 원리는 가스화로서 생성된 가스를 물로서 세정하는 간단한 방식이다.

Cool Water Plant 등 실증시험에서도 사용되는

등 충분한 실적을 갖고 있지만, 저온 처리이기 때문에 Plant 열 효율면에서 불리하다. 이것과 비교하여, 고온건식 탈진장치는 건식 탈황장치와 조합되어, 고온의 상태 그대로 처리하는 것을 목표로 건식 탈황장치와 같은 실용규모의 것을 개발하는 것이 과제로 되고 있다.

일본 전력중앙(연)의 200T/D Pilot Plant에서는 건식의 Grannular Bed방식을 사용하고 있는데, 이것은 규소 등의 여과제에 가스를 통과시켜, 탈진하는 것으로서, 여과제는 일정속도로 이동시킨다.

먼지를 포함한 여과제는 분리기에서 분리해서 재생하여 사용한다. 이외에 고온건식 탈진방식은 Porous Ceramic Filter와 Bag Filter 등이 있다.

6. G7프로젝트 석탄가스화 복합발전 기술개발

1) 사업개요 및 목표

정부의 2000년대초 기술선진국 진입의지에 따라 추진중인 G7프로젝트에 석탄가스화 복합발전 기술이 선정되었으며, 주관연구기관으로는 한국전력이 지정되었다. 92년말 부터 개시되는 이 프로젝트의 총 사업기간은 10년으로 1단계('92-'97) 및 2단계('97-'2002)로 구분 추진하며 각 단계의 사업목표는 다음과 같다.

1단계('92-'97)

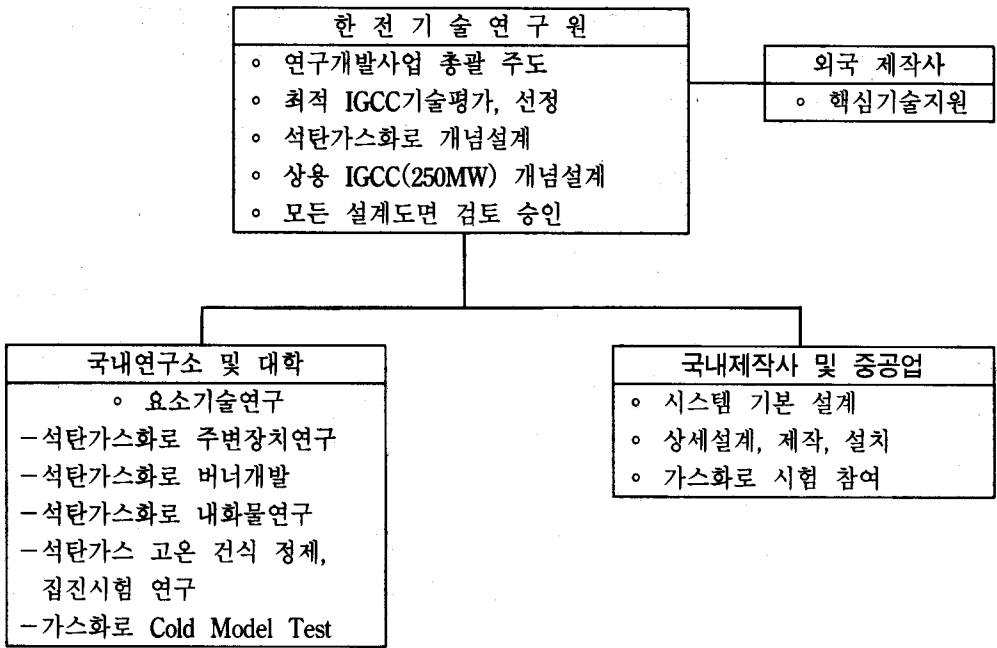
- 5톤/일급 석탄가스화로 및 정제시스템 설계, 제작, 시험운전(PDU급)

2단계('97-'2002)

- 50톤/일급 Pilot Plant 설치시험운전
- 250MW급 IGCC 설계기술확보

2) 추진전략

한전은 IGCC의 최종 사용자로서 석탄가스화 기술개발을 주도하여 발전용으로 가장 적합한 IGCC 시스템 기술을 조기에 개발 및 확보코자 한다. 현재 선진국과 국내의 기술수준격차를 신



속히 좁히기 위해서 핵심기술일부를 외국에서 도입하고, 요소기술별로 국내의 산업체, 연구소 및 대학 등을 참여시켜 다음과 같이 연구팀을 구성, 추진중이다.

7. 결 론

석탄가스화 복합발전소의 국내 도입은 전력수요 증가, 투자재원 및 상용화시기 등을 감안하여 신규 IGCC를 건설하거나 기존 복합발전설비나 석탄화력에 석탄가스화로를 추가 설치하는 설비 개체(Repowering)의 방법도 있다.

IGCC의 핵심기술은 외국의 기술도입 또는 공동연구가 바람직하며, 국내기술로 가능한 분야는 산·학·연의 긴밀한 협조속에서 수행되어야 할 것으로 생각된다.

석탄가스화 복합발전(IGCC)의 향후, 실용화 시기는 2000년 이후로 전망되며, 환경규제치가 강화될수록 IGCC의 필요성은 증가할 것으로 예상된다.

전력사업에 있어서 중점연구사업의 하나인 석탄가스화 복합발전기술의 개발이 장래의 주요

전원설비로서 중요한 역할이 기대가 되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 신에너지 기술개발연구기획 G7프로젝트 연구보고서, 한전기술연구원, 1992.
- [2] 석탄가스화복합발전기술연구, 87G-T04, 한국전력, 1988.
- [3] 복합발전용 석탄가스화 장치 및 정제시스템 연구, KRC 90G-J07, 한전기술연구원, 에너지기술(연) 연구보고서, 1992.
- [4] 장기전력 공급계획(안), 한국전력, 1990.
- [5] 석탄가스화복합발전기술 현황조사 및 연구협력, KIER 보고서, 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
Conference on Coal Gasification

[11] 석탄가스화 복합발전기술동향 岩間直也, 일본
전기학회, 110권 4호, 1991.