

電力技術의 現在와 未來

新發電方式

趙 京 海

韓電 技術研究院 發電研究室長

1. 序 論

우리나라는 대부분의 1次 에너지源을 海外輸入에 의존하므로 에너지를 效率的으로 이용해야 하며 에너지의 使用量 增加와 더불어 深化되는 環境汚染을 극소화 할 수 있는 新發電方式의 개발을 필요로 한다.

또한 1970년대의 石油波動 이후 石油消費의 억제는 人類의 과제이며, 經濟發展의 지속적인 安定을 위하여 에너지源 多邊化와 代替 에너지開發이 불가피한 실정이다.

이와 같은 요구를 만족시키기 위하여 우리나라에서도 代替 에너지 開發事業으로 太陽光發電 등의 自然 에너지 利用技術과 燃料를 效率的으로 公害없이 轉換할 수 있는 燃料電池 發電技術 및 石炭의 새로운 利用技術 등이 개발되고 있다.

太陽光 및 風力 등의 自然 에너지는 賦存量은 많으나 에너지 密度가 낮아 이들을 이용한 發電量은 全体所要量의 3% 充當을 목표로 研究開發이 進行되고 있다.

火力發電用으로 이용되고 있는 石炭은 세계에

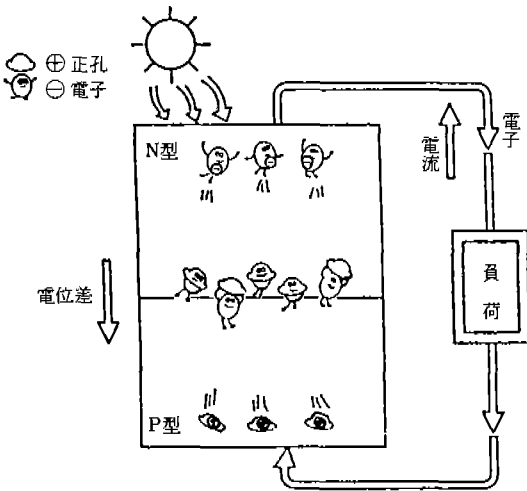
서 가장 풍부한 化石燃料로, 전세계 에너지 사용량의 28%를 점유하고 있으며 현재 生産 및 使用推移로 보아 앞으로 200년 이상 사용이 가능하다. 그러나 石炭의 使用은 SO_x 및 NO_x의 발생과 CO₂ 발생에 의한 地球溫室效果 등 環境의 인 문제점을 가지고 있어 이들 문제점 해결이 未來의 石炭利用 發電技術 適用의 열쇠가 되고 있다.

본고에서는 環境汚染 없이 에너지를 效率的으로 이용하기 위하여 개발되고 있는 太陽光發電, 燃料電池發電, 石炭가스化 複合發電, 流動層燃燒發電, MHD 發電 등의 新發電技術에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

2. 發電方式別 概要 및 技術開發現況

가. 太陽光發電

太陽光發電은 빛을 받으면 직접 電氣를 발생하는 半導體 素子, 즉 태양전지 (Solar Cell)를 이용하는 새로운 發電方式으로, 그림 1에 보이는 것처럼 PN접합의 구조로 되어 있는 太陽電



〈그림 1〉 태양광發電原理

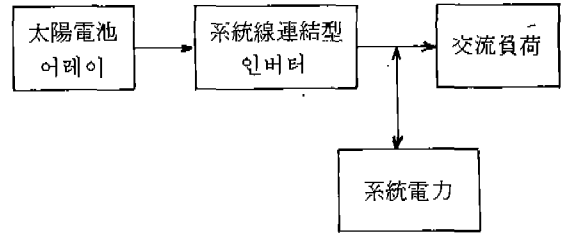
池에 太陽光이 입사되면 電位差가 발생하여 외부에 부하를 접속하면 전류가 흐르게 되는 원리를 이용한 것이다.

이 태양광發電의 특징으로는 깨끗하고 無限한 에너지源으로서 회전부분이 없어 조용하고 수명이 길뿐 아니라 보수가 용이하고 自動化, 無人化가 가능하다는 장점이 있는 반면에, 에너지密度가 낮아 설치에 大面積을 필요로 하고 초기설비 투자비가 높다는 단점이 있다.

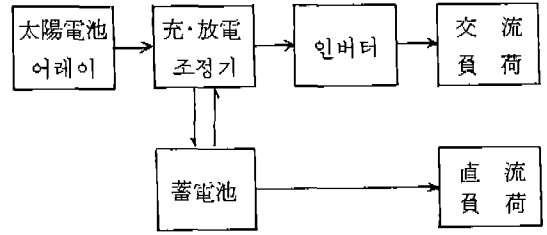
太陽光發電 시스템에는 여러가지 이용 형태가 있지만, 電力系統과의 연결 有無에 따라 그림 2에 보이는 것처럼 系統連系型 시스템과 獨立分散型 시스템의 두가지로 크게 나눌 수 있다.

따라서 系統連系型 시스템은 일반주택의 지붕, 또는 빈터를 이용한 小規模 주택용 電源이나 大規模分散型 電源으로 이용되고 있으며, 獨立分散型 시스템은 系統線 配電을 받지 못하는 島嶼, 山間僻地 등 末電化지역의 電源으로 이용되고 있다.

그밖에 이용분야로서는 遠隔地의 통신이나 관측용 電源, 有無人 등대 및 해상시설물 電源으로부터 우주공간의 人工衛星電源에 이르기까지 그 범위는 상당히 넓다고 할 수 있다.



〈系統連系型 시스템〉



〈獨立分散型 시스템〉

〈그림 2〉 태양광發電 시스템의 구성방식

太陽光發電 기술은 미국, 일본을 비롯한 선진 각국에서 일찌기 특수분야의 電源으로 이용되어 왔지만 본격적인 代替電源으로 개발하기 시작한 것은 최근의 일이다.

미국에서는 1975년 에너지省 (DOE) 주도하에 태양광발전 프로그램 (National Photovoltaic Program)이 시작된 이래, 產·官 협력에 의한 태양光發電 연구개발이 적극적으로 진행되고 있고, 유럽에서는 基礎技術研究와 상업화가 기대되는 특수용도 및 離島, 산간벽지 등 고립된 지역의 태양광발전 시스템 적용 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 일본에서는 NEDO (新에너지 산업기술 총합개발기구)를 중심으로 태양光發電 시스템의 조기 실용화를 위한 종합적인 연구를 수행하여 이미 상당한 수준에 도달한 것으로 발표되고 있다.

한편 국내에서는 '89년 정부에서 효율적인 사업추진을 위하여 태양光發電 분야를 凡國家事業으로 지정하여 產·學·研을 망라한 기술개발체제

를 수립하였다. 이에 따라 현재 연구소, 대학 및 기업에서 太陽電池, 蓄電池, 周辺裝置 등의 기술개발을 위한 연구가 진행되고 있으며 韓電技術研究院에서는 범국가사업(태양광분야)의 종합 기관으로서 獨立電源供給用 시스템 및 系統連系型 시스템의 실용화를 위한 연구를 수행하고 있다.

현재 태양광발전의 기본적인 기술은 확립된 상태이다. 그러나 太陽光發電 시스템은 太陽電池 蓄電池 및 주변장치 가격이 높기 때문에 그 이용실적은 아직 미미한 실정이다. 따라서 太陽光發電 시스템의 실용화를 앞당기기 위해서는 높은 효율과 신뢰성을 갖는 시스템 개발과 병행하여 전체 시스템 가격의 Cost down을 위한 기술 개발이 이루어져야 할 것이다.

나. 燃料電池發電(Fuel Cell Power Generation)

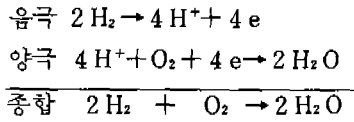
燃料電池는 천연가스, 메탄올, 石炭 등 연료가 가지고 있는 化學 에너지를 직접 연소과정을 거치지 않고 電氣 에너지로 변환시키는 발전방식이다. 즉 연료가 가지고 있는 화학 에너지인 水素(H₂)와 空氣中の 酸素(O₂)를 電氣化學反應에 의해 결합시켜 이때 발생하는 전기 에너지와 열을 이용하는 발전 시스템 기술이다.

이러한 燃料電池 發電 시스템의 특징은 첫째 燃燒課程이나 機械的인 일이 필요없는 直接變換方式이기 때문에 高效率를 얻을 수 있으며(Carnot Cycle의 제약이 없음) 전기의 효율은 單位電池別로 제약을 받고 있어 출력규모에 관계없이 일정한 효율을 갖는다.

둘째로 연소에 의한 發電方式이 아니기 때문에 SO_x, NO_x 등과 같은 대기오염물질의 발생이 거의 없고 대형 회전기가 필요없어 소음 및 진동도 거의 없는 환경보전성능이 우수하다.

셋째, 需要地近方 및 都心設置가 가능하여 送配電 투자비의 절감 및 송전 손실을 저감할 수 있고 도시 가스 배관망에 의한 연료공급도 가능하다.

넷째, 모든 구성품이 Module 형태로 생산이 가능하여 건설기간의 단축 및 容量의 증가가 용이하며 입지의 제약도 적다.

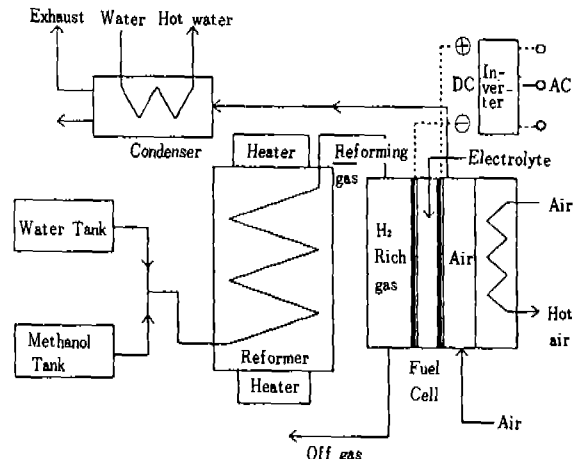


燃料電池는 사용되고 있는 전해질의 종류에 따라 표 1과 같이 분류할 수 있다.

燃料電池 研究開發은 宇宙電源으로서 기술을 가지고 있던 미국이 實用化를 위한 연구개발에 제일 먼저 착수하였다. 미국의 경우 실용화가 가장 앞서 있는 磷酸型에 있어서 電氣事業用 및 가스 事業用으로 나누어 개발되고 있는데, 전기 사업용의 경우 1971년부터 개발을 시작, 현재 7.5~11MW급의 개발을 진행시키고 있다. 일본의 경우에도 1984년에 동경전력이 4.5MW를 도입 시험하였고 이어 미국의 11MW를 도입 건설하여 성능시험을 진행하고 있다.

현재 세계 각국에서는 다음세대 燃料電池인 溶融炭酸鹽型에 보다 많은 관심을 쓰고 있는데, 미국의 경우 2000년대 실용화를 목표로 장기적인 계획으로 추진중이며 일본의 경우도 1995년까지 1000kW급의 운전계획을 추진중에 있다.

燃料電池開發이 적극적으로 추진되고 있으나



〈그림 3〉 인산형 연료전지 시스템

〈표 1〉 연료전지의 종류

항 목	알칼리형	인 산 형	용융탄산염형	고체 전해질형
전 해 질	수산화칼륨	인산수용액	알칼리탄산염	안정화질코니아
작 동 온 도	상온~240℃	170~220℃	650~700℃	800~1,000℃
담 체 이 온	수산이온	수산이온	탄산이온	산소이온
촉 매	(니켈, 백금)	백 금	不 要	不 要
연료(반응물질)	순 수 소	수 소	수소, 일산화탄소	
원 연 료	부 생 수 소	천연가스, 남사, 메탄올	천연가스, 남사~중유, 석탄가스 메탄올	
발전시스템 열 효 율	50% 전지 (전지본체만)	40% 전지 (전지본체만)	45% (쇄열포함시 55%)	50% (쇄열포함시 60%)

燃料電池가 電源으로서 충분한 역할을 담당하기 위하여는 아직도 해결해야 할 많은 문제점을 지니고 있다. 우선 경제적인 면에서 低코스트化가 가장 중요하며 기술적으로 信賴性, 設置條件 등의 시장에서 요구되는 규격을 만족하여야만 한다. 이를 위하여 Cell의 성능 및 내구성 향상 등에 관한 연구가 현재 진행되고 있고 아울러 온 전기기술의 확립 등도 중요한 요소로 여겨지고 있다.

다. 流動層發電(Fluidized Bed Combustion Power Generation)

流動層發電所는 기존 微粉炭發電所의 보일러를 流動層 보일러로 代替한 發電所로, 環境保全性이 우수하여 미국, 일본 등 선진국에서 技術開發이 활발히 진행되고 있다. 流動層 燃燒 보일러는 微粉炭 燃燒 보일러와 스토커 연소 보일러의 중간 형태로 노하부층에 모래 등을 장입하고 모래층 밑에 공기를 주입하여 固体粒자를 액체와 같은 상태로 부유시켜 燃燒시키는 방식이다.

流動層 燃燒技術의 장점은 爐內에서 石灰石으로 脫黃하므로 별도의 脫黃設備가 필요 없으며 연소온도가 850℃ 정도로 낮아 NO_x의 발생이 적어 環境保全이 우수하다. 또한 노내 체류시간이 길어 다양한 종류의 연료를 연소시킬 수

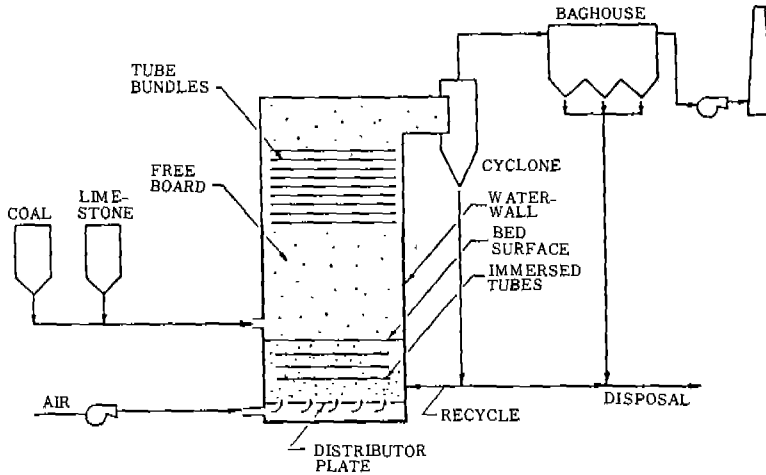
있어서 그 이용이 점차로 확대되어 가고 있다.

유동층 연소방식은 氣泡式과 循環式이 있으며, 조업압력에 따라 常壓式과 加壓式으로 분류된다. 기포식은 공기의 속도가 1~2m/s 정도로 노내에 기포가 생성되어 石炭粒자를 混合시키면서 燃燒시키는 방식이며, 循環式은 空氣의 속도가 4~8m/s 정도로 固体粒자를 飛散시켜 高溫 사이클론에서 回收하여 爐內로 再注入하여 연소시키는 방식이다. 한편 加壓式은 爐內의 壓力을 5~12 기압으로하여 石炭을 燃燒시키며, 燃燒時 생산되는 蒸氣와 燃燒排出 가스로; 複合發電이 가능한 방식이다(그림 4).

현재 流動層燃燒는 熱併合發電에 주로 이용되고 있으며, 세계적으로 증기 생산량이 10t/h 이상인 流動層 보일러가 약 350여기가 설치되어 운전중에 있다.

일본에서는 다케하라의 유전소 보일러를 氣泡式 유동층 연소 보일러(350MWe)로 개조하여 1995년에 시운전할 계획이며, 미국에서는 Colorado의 Nucla 발전소(110MWe)에 순환식 유동층 보일러가 설치되어 운전중에 있다. 한편 加壓式은 스웨덴(130MWe + 210MWt), 스페인(79MWe), 미국(70MWe)에서 1990년부터 시운전중에 있다.

國內에서는 동양화학(증기량: 120T/H)을 비롯하여 15개 업체에서 유동층 보일러를 설치하



〈그림 4〉 氣泡流動層 보일러 概念圖

여 유연탄 및 석유 코크스를 연료로 하여 熱併
 合發電을 하고 있다. 유동층 보일러의 적용은
 저유황 석탄에 적합하며 유동층 보일러의 실용
 화는 세계적인 개발추세를 감안할때 국외의 경
 우 '90년대 후반, 국내에서는 2000년경 실용화
 가 예상된다.

-經濟的 측면에서도 競爭 可能性이 있는 점,
 이 때문에 이 發電 시스템은 次世代 石炭利用
 技術로서 기대되며, 各國에서 技術開發이 進척
 되고 있다.

各國의 研究開發 現況을 살펴보면, 美國에서

라. 石炭 가스化 複合發電 (Integrated
 Gasification Combined Cycle)

石炭 가스化 複合發電은 石炭을 가스化하여
 精製한 가스 연료로 가스터빈을 구동, 발전하고
 그 排熱을 이용하여 증기 터빈 發電하는 複合發
 電 시스템이다. 가스化 反應爐는 固定層, 流動
 層, 噴流層 등으로 分類하며, 가스화 反應시 水
 素, 一酸化炭素, 메탄 등이 주성분인 石炭 가스
 와 高溫高壓의 蒸氣를 함께 발생하므로 가스터
 빈 複合發電에 적용할 때 매우 효과적이다.

石炭가스化 複合發電은 微粉炭 火力發電에 비
 하여 다음과 같은 長點을 가지고 있다.

- 發電效率이 약 3~5% 높은 점 (1,300℃ 級
 가스터빈 適用時)
- 粉塵, SOx 및 NOx의 排出量이 적고 濕排
 水量도 약 30% 감소하는 등 環境保全面에
 서 우수한 점.

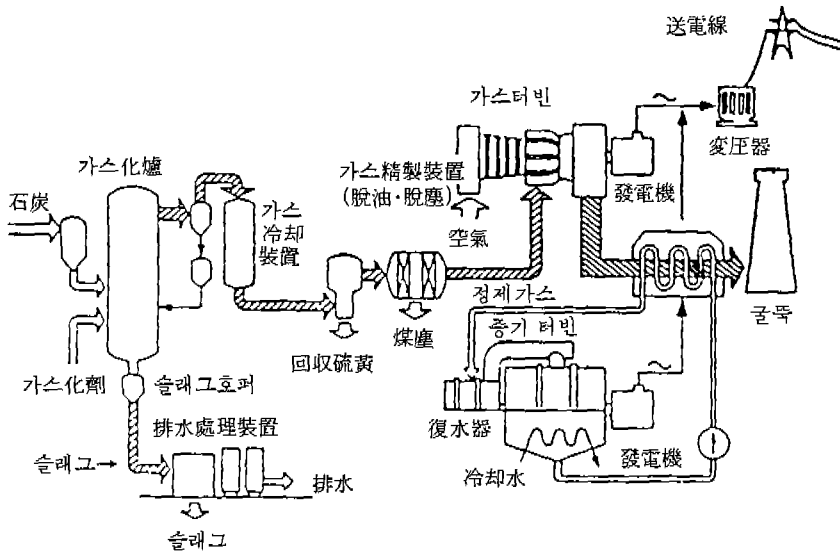
〈표 2〉 發電形態別 熱效率豫測

燃料	발전방식	熱效率	實用化時期	備 考
石炭	微粉炭火力	약39%	1980년대후기	FGD附着熱效率 35~37%
	石炭가스化 複合發電	약41%	1990년대초기	1,300℃조업 공냉 가스터빈 습식가스정제
		약46%	1990년대후기	1,400℃조업 건식가스정제

〈표 3〉 發電形態別 環境保全性 比較

項 目	IGCC	石炭火力	重油火力
SOx (ppm)	30	100	60
NOx (ppm)	30	300	60
粉塵 (mg/Nm ³)	5	50	10
備 考	濕式脫黃鹼煙	최신기술의 목표치	최신기술의 목표치

(주)ppm은 過剩酸素 6% 換算值



〈그림 5〉 石炭가스화 複合發電 概念圖

는 실증설비로서 Edison 전력의 Cool Water Plant (120MW), Dow Project (160MW)가 운전중에 있으며, 최근 Shell사는 네덜란드에 250 MW 규모의 시범 플랜트를 1995년까지 건설할 예정이다.

日本에서는 전력중앙연구소(CRIEPI)가 2.4 t/d 규모의 가스화기를 미쓰비시 중공업과 공동으로 '83년부터 개발하여 실험연구중이며 후속 사업으로 '86년에 200t/d 규모의 Pilot Plant 개발에 착수하여 '91년부터 시험운전중이며 1993년에 완료 예정이다.

國內에서는 대학 및 국책연구소에서 대체 에너지 개발사업으로 石炭 가스화 基礎實驗研究를 遂行중에 있으며 韓電 技術研究院에서는 0.5t/d 급 석탄 가스화 기초실험연구를 동력자원연구소와 공동으로 IGCC 국내도입을 위한 연구를 遂行중에 있다.

石炭 가스화 複合發電의 實用化시기는 外國의 技術開發現況 및 展望으로 보아 2000年初가 될 것으로 豫想된다.

즉, 美國의 경우는 2005年頃 IGCC의 경제성이 예상되며, 우리나라의 경우는 LNG 가격이 美國보다 월등히 높아 천연 가스를 이용하는 기

존의 복합발전에서 石炭 가스화 설비의 導入展望이 매우 밝은 것으로 사료된다.

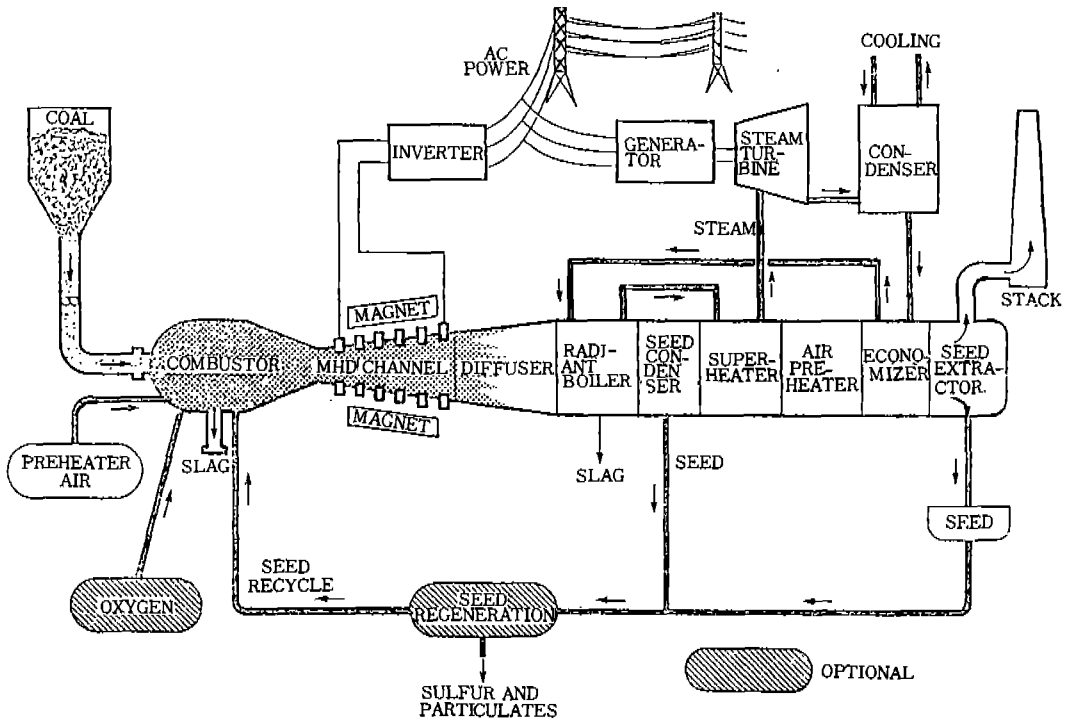
다. MHD 發電 (Magneto Hydro Dynamics Power Generation)

MHD 發電이란 패러데이의 電子誘導法則을 이용한 直接發電方式으로 강한 磁場 속을 高速의 誘導性 가스 흐름(플라즈마 流)이 통과할 때 起電力이 발생하는 방식이다.

導電性 流体는 重油, 天然가스, 石炭 등의 化石燃料을 燃焼하여 가스 溫度를 약 3,000℃의 高温으로 만드는 동시에 그 속에 電離되기 쉬운 알칼리 金屬 (Kalium, Cesium 등)을 첨가한 것이다.

MHD 發電 단독의 熱效率은 약 20% 정도에 불과하므로 재래식 발전방식과의 複合發電으로 운용하며 이때 總熱效率은 50%를 상회할 수 있다.

MHD 發電의 長點은 (1)石炭을 연소하여 精製 과정없이 發電 채널에 이용할 수 있고 (2) 蒸氣 터빈 발전과의 複合으로 효율이 높으며 (3)가스 중의 알칼리 금속 회수시 環境汚染物質을 함께 제거할 수 있으며 (4)움직이는 機械部分이 없어



〈그림 6〉 MHD 複合發電 概念圖

구조가 간단하며 빠른 負荷追從性을 갖는다.

소련은 天然 가스 연소에 의한 MHD發電方式을 개발하여 1971년에 MHD (20MW) 및 汽力 (50MW)를 제동에 연결하였으며, 1985년부터 MHD (200MW) 및 汽力 (300MW)의 世界最初의 상업용 MHD 발전장치를 건설중에 있다.

미국은 석탄연소 MHD 발전에 주력하고 있으며 DOE 주관하에 국가사업으로 商業運轉實證用 기술자료를 얻기 위한 MHD 發電技術 開發 Program을 수행중이다.

MHD 發電 實用化의 열쇠는 傳導性이 좋은 플라즈마 흐름을 어떻게 만드는가에 달려 있으며, 電極材料, 高温空氣加熱器 開發, Gas Cleaning, Seed Reprocessing 등 해결해야 할 문제점이 많으나, 1990年代末에는 석탄연소 MHD 實證 Plant가 건설될 수 있을 것으로 예상되며, 2025年경에는 실용화되어 재래식 미분탄화력의 일부를 代替할 것으로 예상된다.

3. 결 론

2000年代의 발전방식은 환경오염을 극소화하면서 에너지를 효율적으로 전환하는 방향으로 開發될 것이다. 특히 풍부히 부존되어 있어 太陽 에너지를 이용하기 위하여 太陽光發電을 적용한 島嶼地域 電化事業이 활발히 전개될 것이며, 都市近郊의 분산형전원으로서 무공해 고효율 燃料電池發電소가 운용되고, 石炭 新利用技術을 적용한 석탄 가스화 복합발전, 流動層 燃燒發電 등이 기존의 微粉炭 火力發電을 代替하여 運用될 것이다.

에너지의 사용량과 지구환경은 매우 밀접한 관계에 있으므로 환경오염이 적은 값싼 에너지源의 개발은 인류의 숙제이다. 값싼 無公害 에너지源이 開發되기까지 우리 인류는 신기술개발과 더불어 에너지 使用合理化를 통하여 에너지 사용증가를 억제해야 할 것이다.