

新技術 研究開發 現況과 展望

(發電分野)

The R&D Status and Prospect of New Technologies in Power Generation Fields

金 榮 澤

韓電 技術研究院 發電研究室長

電氣 100주년을 맞으며 發電技術의 發達過程을 돌아볼 때 發電技術은 綜合科學技術로서 여러 분야의 科學技術이 發展됨에 따라 新技術을 開發, 適用해 나감으로써 새로운 社會環境과 요구에 對應해 왔다. 電氣는 오늘날의 現代社會에서 거의 모든 분야에 利用되고 있고 工業化 및 生活水準의 向上등으로 그 需要는 계속 增加할 것이다. 여기에서 주로 火力發電技術과 新發電技術의 研究開發 現況에 대해 언급하고 앞으로의 전망에 대해 檢討해 보고자 한다.

우리나라도 有煙炭 火力은 500MW級이 運轉중이고 原子力은 950MW級이 運轉중에 있다.

設備의 大型화와 더불어 火力에서는 高溫, 高壓, 高効率化를 추구하고 있고 金屬材質의 급속한 發達로 超超임계압 설비가 運用될 展望이다 (표 1 참조).

또한 制御技術의 급속한 發達로 自動化 범위의 擴大 및 制御系統의 디지털(Digital)化가 이

〈표 1〉 火力設備 開發推移

구분 항목	亞 臨界壓		超 臨界壓		
	169 (2500 PSI)	246 (3500 PSI)	316 (4500 PSI)		352 (5000 PSI)
온도 (SH/ RH1/ RH2)	538/538	538/ 538	538/ 566	566/ 593/ 566	621/ 593/ 593
효율%	37→ 41				

1. 發電技術의 開發現況

가. 設備技術의 開發方向

안정적인 經濟成長으로 電力需要가 계속 增大됨에 따라 發電設備가 증가하면서 立地問題와 規模의 경계성 때문에 發電設備는 大型化해 가는 추세이다.

(표 2)

제어계통	Pneumatic Analog	Electronic Analog	Digital
제어기능	Automatic Boiler Control	·Data Logger ·Automatic Power Plant Control	·Total Computer System ·Advanced Control

루어지고 있고 디지털 제어기술 개발로 完全自動化 시스템 개발을 연구하고 있으며 Man /Machine, Interface 改善研究가 進行되고 있다.

나. 設備運用 技術開發 方向

原子力設備 비중이 커지면서 有煙炭 火力의 中間負荷 담당에 따라 有煙炭 設備의 負荷追從性 改善을 위한 負荷變動率 增大, 最低負荷低減, 部分負荷時 高効率 運轉技術等과 週末停止, 毎日起動 停止 運轉에 對備한 設備技術 研究開發이 進行되고 있다. 具體的인 新技術 開發 現況을 簡략하게 기술코자 한다.

(1) 새로운 기동정지 제어기술 개발

基底負荷用 600MW 管輻 보일러에서 熱間起動時 點火에서부터 全負荷出力을 내는데 300分 걸리던 것을 150分대 까지 短縮이 가능하도록 기술을 開發하고 있으며 또한 起動停止時 損失을 줄이기 위해 大容量 蒸氣貯藏技術을 研究開發하고 있다. 이러한 기동정지시의 조작성 향상과 信賴度 向上, 最適運轉 등을 위해 최저 승온률과 승압률을 추적 운전하는 新制御기법을 研究하고 있다.

(2) 壽命評價 診斷技術 開發

작은 기동정지에 따라 보일러 후육부나 증기 터빈에 熱應力(열피로)이 발생하여 器機壽命에 영향을 미치게 된다.

최근에는 기기의 수명을 豫測하는 열응력 감시기술과 評價기술이 개발되고 있으며 터빈로타 수명소비율을 제어할 수 있다.

(3) 비파괴 검사

물체에 손상을 주지 않고 物体가 가지고 있는 物理的인 性質을 利用하여 設備의 安全狀態를 檢査하는 方法으로서 檢査방법의 분류에 따라 자분탐상, 방사선 투과시험, 초음파탐상, 자기 탐상, 음향방출시험, 진동 측정방법, 레이저 이용기술 등이 있다. 그러나 이러한 비파괴 檢査방법은 産業의 發達에 따라 設備의 大型化와 品質의 高級化로 높은 신뢰성이 要求되고 있어 새로운 非破壞 檢査方法의 開發과 기존의 비파괴 檢査방법의 信賴性 向上研究는 계속되어야 할 것으로 생각된다. 다음에 새로운 비파괴 檢査방법중 몇가지를 소개하고자 한다.

(가) 음향방출 시험

대부분의 비파괴 檢査는 결함 발생상태를 檢査하는 방법이었으나 이것은 缺陷의 進行狀態를 檢査하는 方法으로서 設備 가동중연속감시가 가능하고 檢査속도가 빠르며 感度가 높아 여러 분야에 적용될 것으로 예상된다. 현재 미국, 日本 등에서는 Tank, 배관 베어링 등의 診斷에 적용하고 있는 실정이다.

(나) 레이저 이용기술

레이저의 이용기술은 설비진단에 이용되고 있으며 많은 정밀진단부에 적용이 예상된다. 현재 이용되는 주요분야는 ① 산란광법 및 광음향분석에 의한 결함 檢査 ② Holograph에 의한 진동이나 변위특정 ③ 모아레법에 의한 변위분포 ④ 표면조도 檢査 등이다.

(다) 진동측정 및 교정기술

回轉器機의 大型化로 진동에 의한 사고發生이 예상되어 精確한 진동치의 측정, 감시 해석 및 교정에 관한 연구가 많이 이루어지고 있고 특히

컴퓨터 이용 진동신호 해석용 소프트웨어 개발과 회전체 밸런싱(Balancing)기법 연구가 많이 이루어지고 있다.

2. 新發電方式

原子力과 石炭火力設備가 發電設備의 주종을 이루겠지만 立地 環境上의 制約으로 電源의 偏在化가 예상되고 있다.

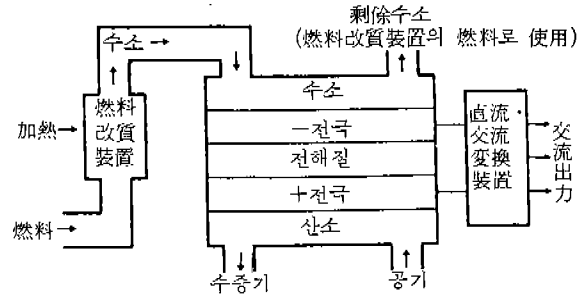
電源의 원격화 및 편재화는 送電 코스트의 增大와 供給信賴度의 低下 및 계통운용의 유연성을 잃게 되므로 電源을 需要地 근처에 설치하든가 分散配置해서 지역마다 需給의 적절한 균형을 유지할 수 있는 新發電方式을 開發, 導入하는 것이 필요하다. 다음에 환경보전성이 우수하고 장차 기존발전방식과 경제적으로도 경쟁이 예상되는 연료전지 발전, 태양광 발전 및 MHD(電磁流体)에 대하여 기술하고자 한다.

가. 燃料電池 發電

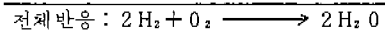
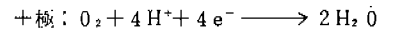
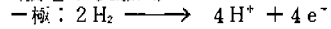
연료전지는 水素와 酸素를 電氣化學的으로 反應시켜 直接 電氣를 發生시키는 靜止型 發電裝置이다

發電原理은 물의 電氣分解의 逆으로 構造는 그림 1에서와 같이 이온이 통과하기 쉬운 電解質을 사이에 두고 2個의 炭素電極板이 있으며 兩極 外部로 수소가스와 공기(산소)를 공급하게 되어 있다.

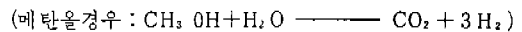
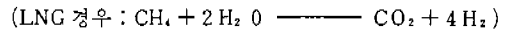
연료전지 발전은 연소과정 및 기계적인 변환과정 없이 直接 電氣를 얻으므로 發電效率이 높고(45% 정도) 大氣汚染이나 騒音이 거의 없으며 小規模 또는 部分負荷에서도 效率이 높다. 또 설비 전체가 모듈(Module)化되어 現場에서의 設置施工이 용이하고 규모의 增設도 쉬우므로 電力需要增加에 유연하게 對處할 수 있을 뿐 아니라 數秒내에 出力增加가 가능하므로 電力負荷



(發電의 反應式)



※ 燃料改質裝置: 燃料를 分解시켜 水素가 많이 포함된 氣로 만드는 裝置



〈그림 1〉 燃料電池發電의 原理圖

의 급격한 변화에서도 적용할 수 있다. 그 외에 發電過程에서 生産되는 물을 水로 이용할 수 있고 需要地 부근에 설치할 경우 送電損失이 減少되고 排熱을 利用하기 쉬우므로 에너지 효율을 더욱 높일 수 있다.

電解質의 種類에 따라 알칼리형 인산형 용융 炭酸염형 고체전해질형으로 區分할 수 있으며 重要 개발현황은 표 3과 같다.

우리나라의 경우 韓電(기술연구원)과 動力資源研究所 共同으로 1985년부터 1988년까지 3년 間에 걸쳐 연료전지 발전에 관한 1단계 연구를 遂行中에 있으며 이어 그 규모도 점차 확대시켜 장래 發電源으로서의 實用化를 추진할 계획이다 한편 과학기술원, 한양대학교 등에서도 연료전지용 전극, 改質反應 등에 관한 기초연구가 과거의 지원으로 수행되고 있으며 또한 動資研에서는 연료전지 본체의 국산화 개발추진을 준비중 에 있다.

나. 太陽光 發電

太陽 에너지는 그 양이 無限하고 枯渴되지 않

〈표 3〉 燃料電池 發電開發 現況

研究開發主体	目 的	規 模	場 所	試驗期間
美國 GE社 UT社	宇宙開發計劃(제미니, 아폴로)의 宇宙船用	小 規 模	宇宙船에 搭載	1965~1972
美國 UT社	實用規模의 開發	1000kW	UT社 工場內	1977~1978
美國 UT社	가스利用 擴大	12.5kW	31地點 65機試驗	1971~1976
日本가스會社		40 kW	31個社 49機供給	1977~現在
美國 UT社 Con. Edison社 日本 東京電力	分散型 電源用	4800kW	뉴욕 發電所內	1982~1984
			五井 發電所內	1982~1985
日本 NEDO	分散型 및 火力 發電代替用	1000kW	中部電力 및 關西 電力 發電所內	1984~1988
日本 東京電力	需要地密着型開發	200kW	빌딩熱併合 發電用	1986~1989
日本 關西電力 大阪가스	需要地密着型開發	200kW	빌딩의 熱併合 發電用	1986~1980

으며 깨끗하고 어느 지역에서나 利用할 수 있는 長點을 갖고 있기 때문에 給湯, 冷暖房 및 發電 分野에서 技術開發이 進行되고 있다. 發電分野에서는 太陽熱 發電과 太陽光 發電이 있으나 太陽熱發電은 特定地域을 제외하고는 그 實用化 妥當성이 희박한 것으로 判斷되었다.

太陽光發電 시스템은 半導체로된 太陽電池의 光電變換기능을 利用해서 發電하는 것으로 太陽電池 Panel에 蓄電池, 直交變換器 등의 周邊器 機로 構成되어 있다.

太陽光 發電 시스템의 特徵으로서는 에너지 密度가 낮기 때문에 大電力을 얻기 위해서는 넓은 면적이 필요하고 氣候條件에 따라 出力變動이 發生하며, 가동部分이 없어 조용하고 보수가 용이하다.

앞으로 태양전지의 변환효율 향상, 제조 가격의 저하 및 주변기기의 가격인하를 포함함으로써 1990년 경에 디젤 발전과 경쟁할 수 있는 수준이 될 것으로 기대된다. 태양광 발전 시스템의 이용범위는 현재 무인등대, 무선중계소 등의 특수용도에서 1990년경에는 落島用 電力 등의 獨

立 分散型 電源으로 확대되고 1995년 이후에는 공공시설용 전원(학교 도서관 등), 일반주택용 전원에도 점차 확대될 것으로 展望된다.

다. 電磁流体(MHD) 發電

導電性 流体가 磁界를 지나게 되면 Faraday의 電磁誘導法則에 따라 電極間에 電圧이 發生하고 負荷를 접속시키면 電流(直流)가 흐르게 된다.

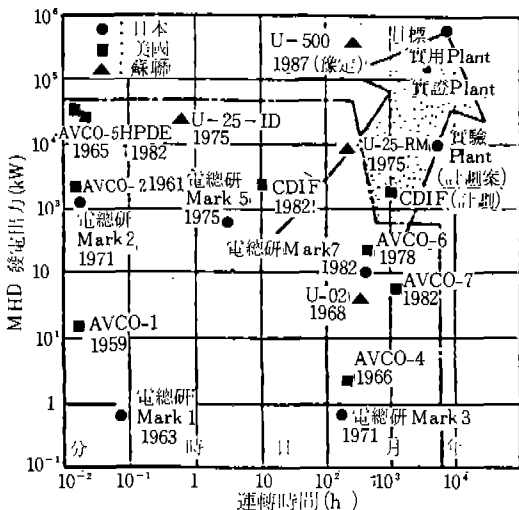
MHD(Magneto-Hydro Dynamics) 發電이란 이러한 原理를 利用한 것인데 기존의 回轉 發電機와는 달리 회전부분이 없으며 熱 에너지에서 직접 電氣 에너지로 變換시킬 수 있는 直接發電方式의 하나이다.

導電性 流体는 연소기에서 重油, 천연 가스, 石炭 등의 化石燃料를 태워 가열하고 그속에 電離되기 쉬운 少量의 알칼리 금속(Kalium Cesium 등)을 첨가한 연소 가스 플라즈마(Plasma 2700℃)를 약 1000m/s로 加速시킨 다음 強力한 磁石 사이에 설치한 발전 Channel을 通過시켜 發電한다. 이때 MHD發電 단독 熱효율은 20%

정도 밖에 되지 않지만 發電 Channel을 통과한 高溫 배기 가스로 蒸氣를 發生시켜 在來式의 火力發電을 하게 되며 結局 MHD發電과 再來式火力發電의 複合 Plant에 의해 總熱效率을 50% 이상으로 높일 수 있게 된다. MHD發電은 脫硫 작용을 할 수 있고 熱公害 및 NOX 減少도 가능하며 石炭을 비롯한 低級 연료도 使用할 수 있고 MHD部는 기계적 회전부가 없으므로 高溫化에 적당하다.

그림 2는 지금까지 개발된 MHD發電機의 發電出力과 運轉時間을 나타낸 것이다. MHD發電은 美國, 소련, 일본 외에 중국, 인도, 오스트레일리아, 폴란드 등에서도 연구 개발되고 있고 각국은 MHD 發電의 實用化에 강한 確信을 갖고 있다.

현재 소련은 Moscow 近郊의 "Ryazan"에 1987년 준공 목표로 천연가스燃焼 實證 Plant U-500 (MHD 出力:265MW 증기 發電出力:300 MW)를 건설하고 있다. 그러나 石炭연소 MHD 發電의 실용화까지는 상당한 시간이 소요될 것으로 전망된다.



(그림 2) HMD 發電機의 現狀

3. 石炭利用技術

石炭은 既存 利用 에너지中에서 그 賦存量이 가장 豊富하고 全世界的으로 고루 分布되어 있기 때문에 供給의 安定性이 우수하고 다른 化石燃料에 比하여 經濟性도 우수하다. 그러나 固体燃料로서 產地에 따라 規格이 多樣할 뿐만 아니라 輸送上의 不便性, 燃焼制御의 困難性, 環境에의 影響等으로 使用上 制約이 많이 따른다.

따라서 石炭을 使用하기 편리하게 하여 石油代 替燃料로서 補給을 확대코자 하는 것이 石炭利用技術의 主眼點으로서 現在 世界 各國에서 가장 활발히 研究되고 있는 技術은 石炭 가스화 복합발전, 流動層燃焼 및 石炭流體化 (Coal Slurry) 等이다.

가. 石炭 가스化 複合發電

石炭 가스化 複合發電은 氣化器에서 發生한 石炭 가스를 燃料로 해서 가스터빈을 驅動하여 發電함과 同時에 가스터빈에서 나온 排氣 가스를 排熱回收 보일러에 導入하여 蒸氣를 만들어 蒸氣 터빈을 驅動하여 發電하는 複合 사이클 發電方式이다. 이 發電方式은 在來式 微粉炭燃焼 發電에 比해 起動停止時間이 짧고 負荷追從性이 良好하며 高效率(43~44%) 運轉이 可能하다. 또 燃料 가스 精製設備과 排熱回收 보일러를 갖추고 있기 때문에 灰分, 硫黃化物等이 除去되고 排氣 가스 溫度가 낮아 環境公害가 거의 없다.

따라서 石炭 가스化 複合發電은 向後 石炭火力의 中樞로서 微粉炭火力을 대신할 電力源이 될 것으로 期待되고 있다. 主要 開發現況을 보면 美國 캘리포니아 에디슨 電力의 Cool Water Project (12만kW)가 1984년부터 實證試驗中에 있고, 西獨에서도 1972년 17萬kW級의 가스化 Plant가 준공된 바 있으며 現在 1995년 준공 목표로 50萬kW 實證 플랜트 技術開發이 進行中이

다. 日本은 1980년에 石炭供給量 40Ton/日 規模의 가스화 파일릿 플랜트를 設置 完了하였으며 1984年 준공목표로 200T/日 規模의 石炭 가스화 複合發電 플랜트를 建設中에 있다.

나. 流動層 燃燒技術

流動層 燃燒는 燃燒爐 内部에 設置된 空氣分散板 위에 石灰石, 모래, 石炭灰等 流動物質을 充塡시켜 形成된 固体層에 空氣分散板 밑에서 空氣를 最低流動化 速度로 連續的으로 供給하면 空氣가 떠받치는 힘과 固体의 무게가 平衡을 이루어 流動物質이 뜨게 되어 流動層을 形成하게 된다. 流動層 内部에서는 氣體와 固体가 混合層을 이루며 外部로 부터 供給되는 燃料과 混合하여 마치 液体가 끓는 것과 같은 상태에서 燃燒가 進行된다. 流動層 燃燒는 燃燒層内 傳熱管의 配列로 單位面積當 熱吸收率이 높아 보일러 設備가 작아지며 建設費가 低廉하고 燃燒性이 나쁜 低級炭도 完全연소가 可能하여 多樣한 燃料을 使用할 수 있으며 硫黃分이 많은 燃料도 別途의 脫黃設備없이 연소과정에서 除去할 수 있으며 爐内溫度가 낮아(800~900℃) 크링커 生成을 防止할 수 있고 燃料을 微粉化하지 않으므로 粉碎費를 節減시킬 수 있다. 그러나 負荷調節의 신속성이 缺如되고 加壓式의 경우 高温 가스 淨化 技術이 미흡한 실정이다. 美國에서는 Colorado UTE Electric Ass.의 Nucla發電所에 110MW 循環式, Northern State Power의 Black Dog Unit에 125MW常壓式 보일러가 운전중이며 現在 TVA에 160MW의 發電所를 建設중에 있다. 英國에서는 90MWt 보일러가 가동중에 있으며 13個의 常壓式과 9個의 加壓式이 産業 및 發電 用으로 研究開發中이다. 日本에서는 1977年부터 研究를 시작하여 20톤/時 試驗 플랜트를 설치하였으며 1985年末부터 既存發電所 보일러를 200톤/時 常壓式 流動層 보일러로 改造하여 運轉中

에 있으며 西獨에서는 1989年까지 約40基의 總出力 3,747MW를 가동 또는 稼動豫定으로 있으며 中型인 常壓循環型이 增加 추세이다.

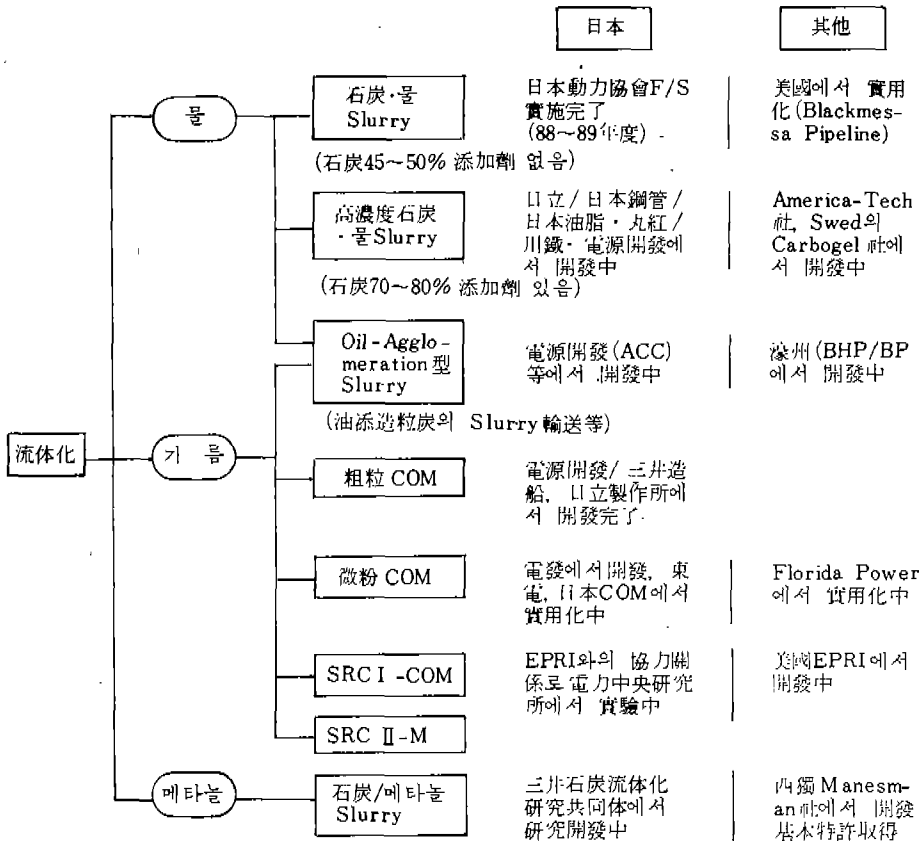
우리나라에서는 1982년에 韓國動力資源研究所에서 試驗 플랜트를 設置, 研究試驗中에 있고 1985年 東洋化學(株)에 120톤/時, 1987年 대구 염색공단에 130톤/時×3基의 流動層 보일러를 設置하여 運轉中이며 그 외에 産業體 熱併合發電 用으로 建設中인 것도 상당수에 達한다. 流動層 燃燒는 使用燃料의 多樣性, 環境問題解決 및 높은 熱效率로 商用化展望이 밝은 燃燒技術이라 하겠다.

다. Coal Slurry

石炭 流体化 技術은 石炭과 流体의 混合燃料로서 石炭 가스화나 液化와는 根本的으로 다르다. Coal Slurry技術에는 Coal Oil Mixture(COM), Coal Water Mixture(CWM), Coal Methanol Mixture 등이 있으나 現在 先進外國에서 가장 활발히 연구개발되고 있는 것은 CWM이다.

CWM은 石炭을 200Mesh 80% 程度로 粉碎하여 물과 약간의 添加劑를 혼합한 石炭濃度 70% 程度의 液体燃料로서 取扱이 簡便하고 輸送, 貯藏時 自然發火, 粉塵飛散等이 없어 立地, 環境面에서 有利하며 石炭에 비해 燃料系統의 速應性이 改善되어 中間負荷 運用이 期待된다. 그러나 燃料중의 水分增加로 인한 보일러 效率 및 出力低下와 燃料價格 上昇等이 문제점이라 할 수 있다. 現在 外國에서의 各種 石炭 流体化 技術 現況을 그림 3에 나타낸다.

國內에서는 1980年부터 動力資源研究所에서 파일릿 플랜트를 設置하여 CWM製造 및 燃燒 技術을 繼續 研究開發中에 있고 (株)유공이 美國의 ARC社와 기술계후로 1987年 4만톤/年 規模의 CWM生産工場을 建設하였고 蔚山精油工場의 68톤/時 油專燒 보일러를 改造하여 CWM



〈그림 3〉

연료를 使用중에 있다. 앞으로 實證試驗을 통해 經濟性이 확인될 경우 50~100만톤/年 規模의 生産設備 擴張을 計劃하고 있다.

CWM은 油價下 落으로 實用化가 지연되고 있는 實情이나 早期에 石油代 替가 可能한 技術로 서 美國, 캐나다, 스웨덴, 日本等에서 生産과 輸送, 貯藏 및 연소기술 등의 기술개발을 추진 하고 있다.

4. 맺음 말

우리나라는 다른 先進國에 比하여 國內 賦存 資源이 빈약하고 에너지의 輸入 依存度가 높아

취약한 에너지 供給構造를 갖고 있기 때문에 良 質의 電力 에너지를 安定的으로 供給하기 위해 서는 연료 供給源의 多樣化, 發電原價의 低減, 發電效率의 向上, 環境對策의 高度化, 設備運用 의 効率化에 최대한의 努力을 기울이지 않으면 안된다. 이를 위하여 發電設備의 豫防診斷技術, 性能改善 및 效率的인 運營技術은 물론 高效率 新發電方式의 研究開發 및 導入과 電力 에너지 의 效率的인 使用 및 貯藏方法等에 대해서도 積極的인 研究開發이 필요하다. 이와 같은 종합적 인 發電技術의 균형있는 開發을 위하여는 과감 한 투자와 계획적이고 持續的인 研究開發의 推 進이 뒷받침되어야 할 것으로 생각된다.

〈표 1〉 과제와 방향

과 제	내 용	방 향
1. 공급력 확보	고전압화 전류용량증대화	22.9kV → 34.5kV 승압 전선규격의 증대
2. 고신뢰도화	정전감소 사고정전감소 작업정전감소	제동연계강화 설비자동화 설비열화에지관리 사고신속복구 네트워크배전방식 적용 공사용개폐기 바이패스공법 하트스틱공법 루프 절체 네트워크배전방식 적용
3. 환경조화	사회안전확보 빌딩화재소방 건축지장해소 환경쾌적화 장주간소화 가로수대책 좁은 도로 지중화	가공 케이블화 방호관사용 가로등공용화, 기기 콤팩트화 가공 케이블화 細徑전주 케이블, 기기의 지중화
4. 전체적인 경제성 추구	설비비용절감 전력손실감소	기기수명확대 저손실변압기
5. 작업환경의 개선	고소, 활선, 지하작업의 안전	고소작업화 사다리

配電技術의 당면과제

設備와 관련한 최근의 課題와 그 方向性 해 보면 표1과 같다.

給力 確保

의 供給力 確保는 고전압화, 전류용량을 풀어나갈 수 있는 바 우리나라 배전용 변전소의 증설, 신설과 함께 장차 단위회선의 電壓이 연구개발 적용되어 22.9kV 전압의 상위전

압으로의 승압도 먼 장래에는 고려되어야 할 것이다.

都心地의 배전용 변전소 신증설과 병행, 위문제에 대한 연구검토가 요구된다 하겠다. 美國의 뉴욕 Manhattan 등 중요 도시 도심지역의 경우 Spot Network 배전, Regular Network 배전 방식의 적용으로 선로의 이용률 증대 등으로 신규 또는 증설수용에 신속히 대처하고 있다.

우리나라도 都心 빌딩 밀집지역 등에 대한 신 배전방식 적용에 대한 연구가 꾸준히 추진되고 있다.

라. 高信賴度