



세계의 一次 에너지 事情과 우리나라가

택해야 할 發電方式

The Primary Energy Situation in the World and
the Generating System to be Chosen in Korea

工學博士 李 承 院

서울대학교 名譽教授·學術院 會員

1. 世界의 에너지 埋藏量

地球上의 모든 에너지 埋藏量은 調查方法이나 調查經費의 制約 때문에 正確하게 推定하기는 대단히 어렵다. 그러나 우리 地球家族 全体에 대해서 絶對적으로 필요한 資源이기 때문에 可能한 最善의 方法을 動員하여 主要 에너지 資源만이라도 그 埋藏量을 大略的이라도 推定해야 한다.

지금 여기에 世界 各專門家들이 推定한 結果를 綜合해 보면 다음과 같다.

(가) 石油의 경우, 그 究極의 埋藏量은 約 2兆 배럴로 推定되고 있다. 이중 現在까지 生産한 量은 約 5,800억 배럴이기 때문에 向後 石油 需要가 전혀 增加하지 않을 경우 現在까지의 消費 實績을 감안할 때 21世紀 中半以後부터는 그 供給能力이 急速하게 떨어질 것으로 豫想된다. 만일 年 2%씩 消費가 增加한다고 한다면 21世紀 初부터 生産量이 피크에 到達될 것으로 豫想된다. 이 현상은 韓國, 臺灣等 開發 中途國들의 石油 消費量이 急増함을 감안할 때 現實로 나타날 可能性이 크다. 특히 石油은 OPEC 地域 및 政治적으로 不安定한 中東地域에 偏在되

어 있기 때문에 消費增加에 따른 圓滑한 供給이 어려워질 可能性이 높다. 여기서 지역별 石油 埋藏量을 表示하면 표1과 같다.

(나) 다음에 石炭의 경우는 石油와는 比較할 수 없을 정도로 많다. 즉, 高品位炭만 하더라도 全世界의 埋藏量이 約 5,200億톤으로 推定되며 그 可採年數도 約 180年 程度로서 이것이 消盡될 때까지는 核融合 에너지와 같은 無限定한 에너지源이 開發될 것으로 豫想된다. 世界的 石炭 地域別 埋藏量을 表示한 것이 표2이다.

(다) 다음에 天然 가스에 대해서 考察해 보면 世界 全体의 埋藏量이 約 100兆 m³로서 可採年數도 約 60年으로 豫想되고 있다. 그 뿐 아니라 앞으로 더 많은 埋藏量이 發見될 可能性이 있어 天然 가스는 世界的 需要에 充分히 對應해 갈 수 있을 것으로 豫想된다. 그런데 이것은 표3에서 보는 바와 같이 地域적으로 偏在되어 있어 世界的인 平和가 維持되어야만 需要量을 充足시킬 수 있을 것으로 생각된다. 天然 가스의 地域別 埋藏量은 표3과 같다.

(라) 우리나라의 世界的 確認埋藏量은 約 230만 톤으로서, 約 60年分에 해당된다. 우리나라는 探鑛歷史가 日淺해서 確認埋藏量이 늘어날지는 모

〈표 1〉 地域別 石油埋藏量

地 域	中東	中南美	蘇聯	아프리카	아시아	北美
埋藏量(%)	58	13	9	8	5	5

〈표 2〉 地域別 石炭埋藏量

地 域	美國	蘇聯	中國	남아프리카	東歐
埋藏量(%)	26	21	19	11	11

〈표 3〉 天然 가스의 地域別 埋藏量

地 域	蘇 聯	中 東	其 他
埋藏量(%)	43	26	31

르나 이의 世界的 利用量은 化石燃料 利用의 環境에 미치는 영향과 高效率 原子力發電方式의 開發, 其他 經濟的 問題에 따라 그 可採年數에 是 많은 變化가 豫想된다. 그리고 우리나라의 賦存地域은 오스트레일리아, 캐나다 등 政治的으로 安定된 地域에 分布되어 있기는 하나 만일에 世界 各國이 앞으로 原子力發電을 主軸으로 그 電力政策을 바꿀 경우 이의 可用年數는 極히 短縮될 우려가 있다.

2. 國際 에너지 需要展望

1990년대에 들어서서는 우리나라와 같은 發展途上國들의 石油消費의 增加와 非 OPEC 國家의 生産能力 低下로 말미암아 石油의 OPEC 依存度의 上昇이 豫想되며 石油供給의 不安定化와 더불어 價格上昇이 豫想된다. 石油危機 以後 OECD (經濟協力 開發機構) 諸國의 石油消費 增加率은 大幅 낮아졌으나 우리나라를 포함한 NICS와 ASEAN 諸國의 石油需要는 現在도 크게 增加하고 있어 '90년대에 들어서서는 더욱 增加할 것으로 豫想되어 石油需要는 크게 增加할 것이 틀림없다. 거기다가 非 OPEC 國家의 產油量의 減少가 豫想되므로 OPEC에의 依存度가 높아질 것이다.

따라서 石油價의 上昇을 豫想할 것이므로 世界 各國은 石炭, 天然 가스 原子力等に 더욱 依存하게 될 것이다. 이로 因하여 OPEC 石油 依存度가 그렇게 크게 增加하지는 않을 것이나 약 40% 정도까지 상승될 것으로 豫想되며, 따라서 價格도 상승할 것이다. 그러나 石油價만이 上昇하는 것이 아니라 20~30년 정도가 되면 世界 一次 에너지 수요가 현재의 2~3배로 增加할 것이므로 모든 에너지 價格이 上昇할 것이다. 따라서 各國은 一次 에너지를 잘 選別해서 에너지 價格의 上昇을 抑制하도록 해야 한다.

3. 에너지와 環境汚染

에너지 사용에 있어 문제가 되는 것의 하나로서 石油·石炭이 燃燒될 때 發生하는 硫黃酸化合物과 窒素酸化合物에 의한 大氣汚染을 들 수 있다. 硫黃酸化合物은 燃料에 함유되어 있는 硫黃分이 燃燒에 의해 發生하는 것으로서 現在에도 우리나라 뿐 아니라 世界 各國이 이에 대한 對策 마련에 많은 힘을 기울이고 있다.

한편, 窒素酸化合物은 燃料中の 窒素分과 空氣中の 窒素分이 燃燒中 酸化되어 發生하는 것으로서, 주로 自動車 排氣 가스 中에 많이 包含되어 있어 이의 減少를 위해서 先進國에서는 燃燒方法의 改善, 排煙脫硝裝置等의 設置等에 依해서 解決하고 있다. 우리나라도 앞으로는 이와 같은 措置를 取해야 할 것이다.

또 現在 全世界의 酸性비가 큰 問題가 되고 있는데, 前記 2種의 有害物質이 눈이나 비에 녹아 들어가 酸性도가 높아진 것으로서, 이것은 發生地로부터 1,000km 以上 떨어진 곳까지도 영향을 미치므로 이의 규제에 대한 國際間的 協議가 곧 이루어질 것으로 豫想된다.

酸性비의 被害는 河川이나 湖水를 酸化시켜 魚類의 減少를 초래하고 森林의 成長을 鈍化시키며, 土地를 酸化시킴으로써 재배농작물에 피해를 주고 아름다운 建物들을 부식시키는 등, 여러가지 문제를 야기시킨다.

다음에는 化石燃料의 燃燒時에 發生하는 CO₂는 大氣中 그 농도가 높아짐에 따라 所謂 溫室效果가 發生, 地球의 溫度가 上昇, 冰山을 녹여 海岸의 水位를 上昇시키는 結果를 초래할 것으로 豫상되어 이것도 멀지않아 國際間的 協議에 따라 各國이 지켜야 할 規則이 制定될 것으로 생각된다.

4. 우리나라가 擇해야 할 에너지 政策

이상 논의한 世界的 에너지 埋藏量, 世界的 에너지 需要의 增加 추세, 에너지 사용에 따른 環境問題 등에서 表出된 諸問題와 經濟性 및 國家安全保障(에너지 自立性) 등을 고려해서 현명한 에너지 政策이 樹立되어야 한다.

우리는 이미 1970년~1980년 간의 石油 消費率의 增加가 一次 에너지 全體의 伸長率보다 높았고 또한 二次에 걸친 石油危機로 因한 價格暴騰이 우리나라 經濟에 미친 곤역스러운 經驗에 비추어 보더라도 一次 에너지에 대한 對策을 注意 깊게 수립할 필요가 있다.

또 經濟의 進展에 따라 國民生活도 向上될 것이므로 最終 에너지 消費量中 國民生活에 直接的으로 利用되는 率이 높아져 갈 것으로 사료된다. 그뿐 아니라 國民生活의 多樣化, 經濟活動의 向上에 따라 그에 알맞는 에너지 供給策을 강구해야 할 것이다.

이상을 要約하면 金후의 에너지 政策은 安全性과 經濟性에 重點을 두고 추진되어야 함은 당연하다 하겠으나 國際社會의 一員으로서 環境문제 등에 대한 責任을 分擔할 수 있도록 해야 할 것이다.

5. 電氣 에너지의 主力은 原子力으로

이상 世界的 에너지 資源의 種類別 埋藏量, 世界的 需要의 增加추세, 에너지 使用으로 因한 環境汚染問題 등에 대해서 考察해 보았고, 이에 따라 우리나라가 에너지 政策上 考慮해야 할 條

件에 대해서 言及한 바 있는데 필자가 本稿에서 取扱하고자 하는 主要 課題는 앞으로 우리나라의 電力은 原子力發電을 主軸으로 하는 것이 가장 타당하다는 主張을 하기 위해서이다.

우리나라는 해방후 이북으로부터의 斷電, 6·25動亂으로 因한 電力施設의 파괴, 두 차례에 걸친 油일 쇼크 등에 因한 電力不足으로 겪은 고초는 이루 말할 수 없다. 이의 根本的原因은 1차 에너지의 國內賦存이 全無狀態인데 基因한 것이다. 따라서 우리가 또 다시 과거에 있었던 것과 같은 電力難을 겪지 않기 위해서는 準國產 電力化할 수 있는 原子力發電을 主軸으로 하는 것이 最先策이라고 생각된다.

물론 原子力發電의 燃料인 우라늄도 국내에는 거의 賦存되고 있지 않지만 우라늄은 化石燃料에 比해 單位重量當 에너지의 발생량이 크기 때문에 輸送과 貯藏이 容易하다. 그리고 原子爐에 한번 充塡하면 약 3년간 사용할 수 있을 뿐 아니라 燃料의 加工을 위하여 보유하게 되는 기간까지 고려하면 化石燃料과 같은 貯藏施設 없이 국내에 5년간이나 사용할 수 있는 燃料을 보유할 수 있어 일단 有事時에도 發電을 계속할 수 있는 特徵이 있다. 그뿐 아니라 우라늄은 美國, 캐나다, 오스트렐리아 등의 先進國에 大量 賦存되고 있어 소위 컨트리 리스크가 거의 없다. 그리고 또 쓰고 난 후 再處理에 의해 回收되는 프로토늄 및 回收 우라늄을 核燃料 사이클을 確立할 경우 그의 再使用에 의해 利用率이 크게 증가하므로 우라늄은 中斷없이 供給되는 國產 1차 燃料이라고 보아도 무관하다.

經濟的 側面에서 보더라도 全運轉期間의 內容發電原價를 比較할 것 같으면 他電源에 比해 가장 低廉하며 發電原價中 燃料費의 비율이 낮기 때문에 燃料費의 비율이 높은 石油火力에 比해 燃料費 價格變動이 發電原價에 미치는 변동이 극히 작다.

또 發電施設 自体도 國產化하기 위해 이미 設計擔當社로 電力技術會社가 설립되어 있고 그의 제작을 위하여 韓國重工業이 건립되어 있으며

또 총 760萬kW의 原子力發電所 건설에 의해 建設技術도 국내에 축적되어 있는 실정이므로 原子力發電은 멀지않아 거의 完全 國產電力이 될 것이다.

6. 原子力發電의 安全性

化石燃料에 의한 發電은 前記한 바와 같이 環境汚染問題가 수반되는데 比해 原子力發電은 通常運轉時에는 環境汚染이 전혀 없는 完全 크린 에너지이다. 그러나 과거에 美國의 드리마일 아일랜드, 소련의 체르노빌 등에서 있었던 것과 같은 事故時에는 크게 피해를 입게 된다. 그러므로 原子力發電所는 設計, 機械製作, 建設, 運轉, 廢棄物處理 등에서 萬全을 期해야 한다.

그래서 設計面에 있어서는 核分裂이 증가하면 原子爐내의 冷却水溫度가 증가해 核分裂이 抑制되어 安全性이 保障되는 輕水爐를 擇하고 있으며 原子爐內에서 發生蓄積되고 있는 放射性 物質을 확실하게 封入해 버리고 事故가 생기더라도 放射能이 누설되지 않게 多重 保護設計 概念에 立却, 設計하고 있다. 動作에 있어서도 機器가 一部 故障이 날 경우 自動적으로 安全이 확보되는 Fail Safe 시스템이 採擇되고 있으며, 또 誤動作의 防止를 위해서는 인터록 시스템이 採擇되고 있는 등 어떤 異常狀態도 발생하지 못하도록 하고 있고, 또 異常이 발생하면 自動적으로 原子爐가 停止되는 原子爐 緊急停止裝置가 설치되어 있고 그리고 非常用 爐心冷却裝置, 原子爐 外部에 格納容器가 설치되어 있어 放射性物質이 절대로 누설되지 못하도록 하고 있다.

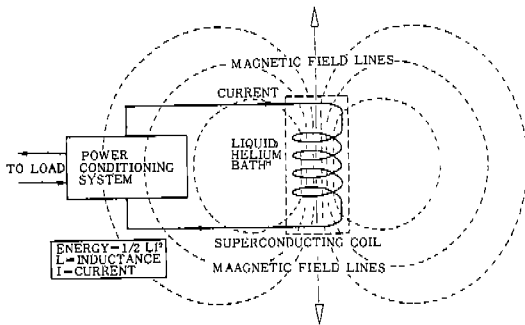
設備와 運轉管理面에서도 完全한 安全 對策을 세워 실시하고 있다. 電氣事業者와 製作者는 安全確保를 위해 關係規程에 따라 安全性 確保를 위해 充分한 檢討를 加한 후 實施에 옮기고 있다. 그리고 國家에서도 安全 點檢을 위한 規程을 制定, 이에 따라 原子爐의 設置許可, 工事計劃의 認可, 使用前 檢査, 保安規程의 認可등 發電所의 設計, 製作, 施工, 運轉 등 모든 단계에

이르기까지 엄중한 安全規制를 加하고 있다.

또 장래에 있어서의 安全性 向上을 위하여 政府는 安全規程의 保安에 留意하고 있으며 安全性 向上을 위해서 研究開發을 추진, 緊急對策의 充實화, 國際協力の 추진 등을 위하여 萬全을 期하고 있다. 이상과 같은 努力下에 原子力發電所의 無事故運轉을 期하여 國產, 無汚染, 低廉한 電力生產을 위해 앞으로 우리나라 電力은 原子力發電을 主軸으로 공급되어야 할 것이다.

7. 原子力發電 시스템을 補完할 새로운 電力貯藏裝置의 出現

어느 나라건 發電事業은 그 나라에서 가장 큰 사업인데 이 사업에 있어서 가장 重要한 문제는 需要에 매칭시켜 電力을 供給하는 문제이다. 그런데 이 需要가 時時刻刻으로 變化한다. 즉, 밤과 낮, 겨울과 여름에 따라 크기는 50%씩 변화하는 게 보통이다. 그런데 經濟的 側面에서 볼 때는 發電所는 항상 一定出力으로 運轉되어야 한다. 따라서 晝間負荷에 맞추어 건설된 發電施設은 밤에는 約半을 運轉停止시켜야 하게 된다. 한편, 原子力發電所를 稼動시키고 있을 경우는 24時間 계속 運轉을 해야 가장 效率的 運轉이 된다. 故로 原子力發電을 主軸으로 할 경우 그 容量은 베이스 로드 이상이 될 것이므로 深夜에 發電되는 電力을 貯藏해야 할 必要가 생긴다. 물론 다른 發電所만 가지고 電力을 供給할 경우도 피크 所要電力보다 發電能力을 어느 정도 작게 하고 需要가 減少했을 때 貯藏했다가 주간 피크 시에 發電에 加勢시키는 것이 常例인데 현재 用途로 쓰이는 것이 揚水發電所이다. 그런데 이 揚水發電所는 效率이 60~70%에 不過할 뿐 아니라 그 立地에도 限界가 있어 制限을 받게 되고 대개는 山間에 설치되기 때문에 電力主需要地인 都市까지 送電線이 필요하게 되어 이의 建設費와 送電損失이 발생하게 된다. 그래서 揚水發電所에 代替되는 새로운 貯藏裝置가 많이 고려되고 있다. 그 예를 들면 蓄電池, 판성저장,



〈그림 1〉 Conceptual Diagram of a SMES Unit

壓縮공기로의貯藏, 水素變換貯藏 등이 있으나 이들 역시 效率이 그리 높지 않은 데다가 스케일 메리트가 없어 거의 分散型으로나 이용될 수 있을 정도이다.

그래서 揚水發電所를 비롯한 以上の 모든貯藏裝置의 缺點을 補完할 수 있는 에너지貯藏裝置가 모색되던 중 導體의 超電導性에 注目하게 되어貯藏장치라는 것의 開發에 착수하게 되었다. 이것은 絶對溫度 0°(0K.) 가까이에서 導體의 抵抗이 完全히 소멸되어 버려 이에 일단 電流를 흘려 놓으면 기전력 없이 영원히 電流가 흐르는 超電導체로 솔레노이드를 만들어 이에 電氣 에너지를 磁氣 에너지 ($1/2LI^2$)로 저장하는 장치이다. 이것의 개념도가 그림1이며 헬륨容器內에 超電導 솔레노이드를 장치, 이에 電力 入出裝置를 연결해 놓은 것으로 이에 의해 에너지를貯藏 또는 放출케 한다.

8. 超電導 에너지貯藏裝置(SMES)

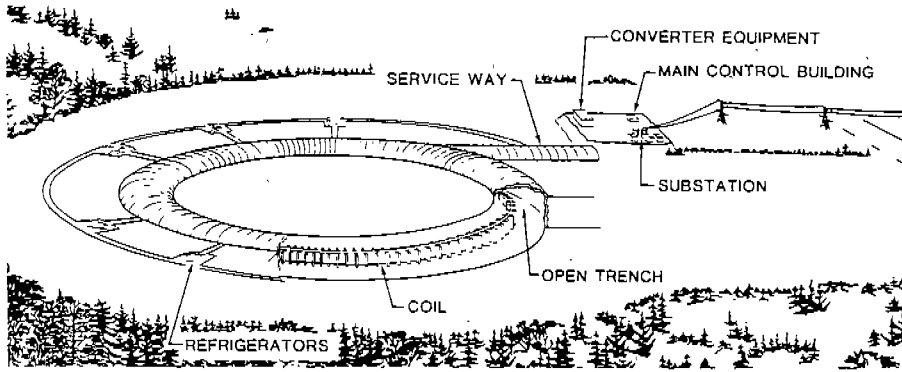
前記한 바와 같이 SMES는 超電導체로 만들어진 솔레노이드로서 抵抗이 없으므로 이에 에너지를貯藏하기 위해 電流를 흘리더라도 電力損失이 全然 없다. 또 이는 立地에 制限이 없어 需要地에 設置할 수 있어 送電線이 불필요하다. 또 揚水發電所는 電力의 充放電時間이 數10分帶인데 SMES는 充放電時間이 1秒 이내에도 이루어진다. 이 特性은 上記 損失 全無특성과 비

견되는 중요한 특성으로서, 系統에 이 SMES가 연결되어 있을 경우 大都市, 例를 들어 美國의 L.A에서 事故에 의해 大電力이 차단될 경우 보통은 워싱턴市에 있는 發電所의 回轉子軸이 비틀려 나가 버릴텐데 이 경우는 短時間內에 SMES가 이 에너지를 吸收해 버리기 때문에 아무런 動搖없이 事故가 수습된다. 또 日前에 月溪洞 變電所 事故時에도 SMES가 연결되어 있었더라면 그것이 지체없이 電力을 방출하여 停電騷動없이 사태가 수습되었을 것이며, 뉴욕을 暗黒街가 되게 했던 事故時에도 만일 SMES가 연결되어 있었다면 當장 電力을 방출함으로써 暗黒狀態를 면할 수 있었을 것이다. SMES는 이러한 놀라운 特性도 갖추고 있다.

以上 言及한 바와 같이 超電導 에너지貯藏裝置는 같은 스케일 메리트 있는 揚水發電所와 比較할 때 揚水發電은 그 效率이 65~70%인데 比較해 SMES는 95%(converter 손실 3%, 冷却損失 2%) 이상이며, 需要地에 설치할 수 있어 送電線이 필요 없고 또 上記한 바와 같은 系統의 安全에 크게 공헌할 수 있는 特性이 있어 현재 世界各國에서 이의 實用化 研究에 拍車를 加하고 있다. 우리나라에서도 1984년부터 韓國電力의 支援下에 SMES에 대한 研究가 서울대학교에서 筆者 主導下에 持續되고 있다. 어쨌든 原子力發電을 主軸으로 Enetopia를 이룩하려는 우리나라로서는 그 剩餘 에너지貯藏裝置로서 SMES가 가장 적합한 施設임을 確信하고 있다. 그림2는 이 SMES 系統의 개략도이다.

9. 超電導체와 SMES

超電導体는 완전한 無抵抗性 抵抗, 永久電流性, 반자성성 등 여러가지 특징이 있어 표1과 같이 여러 分野에 利用되어 가까운 장래에 우리 人類에 크게 貢獻할 것으로 생각되지만 그 量的으로 가장 크게 利用되는 分野는 SMES 分野가 될 것이라고 筆者는 믿고 있다. 前記한 바와 같이 電力 系統에서 過不足 電力을 充放電



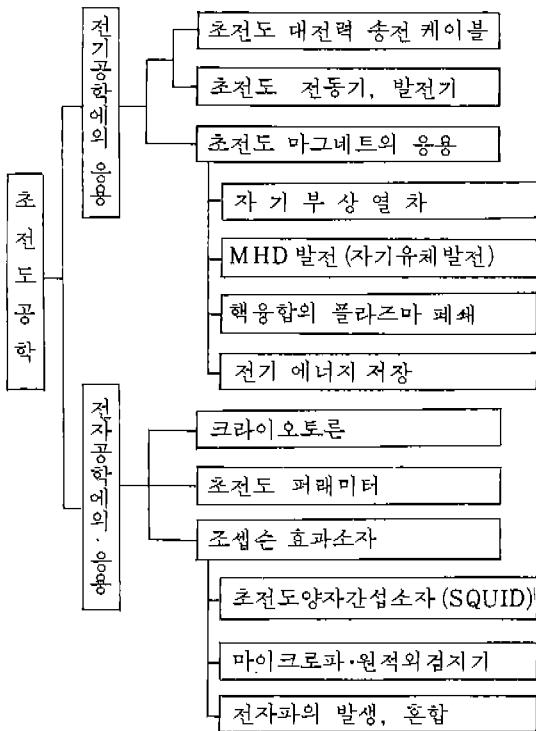
〈그림 2〉 Bird's-Eye View of a Small SMES System

하는데 가장 理想的인 것이 SMES이다. 특히 原子力發電과의 병용에 있어 그러하다. 지금 美國의 경우를 例로 들어 만일 SMES를 電力 시스템의 電力貯藏裝置로 사용한다고 할 경우 美國은 1990年代에 New England를 始發로 많은 새로운 發電所를 建設하게 되는데, 發電機

容量을 80%, 나머지 20%를 SMES로 충당(SMES의 건설비가 저렴하다)한다고 하면 앞으로 30년간의 SMES의 연평균 수요는 50억불에 달한다. 이런 식으로 世界各國이 실천할 경우 그 需要는 可히 天文學的 數值가 될 것을 짐작할 수 있을 것이다.

10. 結 論

〈표 1〉 초전도의 공학적 응용



1次 에너지 源의 世界的 埋藏量, 世界的 에너지 需要增加 추세, 化石燃料의 環境汚染 등에 대해서 考慮해 보고 이들을 감안한 우리나라의 에너지 政策에 대해서 言及하였으며 結論적으로 우리나라는 原子力發電을 主軸으로 해서 에너지 自給化를 이룩해야 한다는 結論을 얻었으며 이 경우 새롭게 開發된 尖端技術인 超傳導體의 利用에 의한 超電導 에너지 貯藏裝置의 活用이 크게 도움이 될 것임을 力說하였는데, 本稿를 끝맺으면서 關係當局에 간절히 부탁하고 싶은 것은 SMES의 國內研究를 그의 實用化장치를 처음부터 國產化하기 위해서라는 立場이 아니라 우선 SMES를 다룰 수 있는 학자 및 기술자를 養成하고 다음에는 그 結果로 SMES의 導入을 앞당겨 우리 국민이 남보다 그 惠澤을 받는 시기를 앞당긴다는 데 2次的 意義를 두고 國內關聯技術이 무르익은 후 自体建設을 期待해야 할 것이라는 것이다.