



次世代 原電을 위한 新技術 開發計劃

李 宗 勳

韓國電力技術株式會社 社長

1. 次世代 原電開發의 動機

최근 걸프 戰爭에 따른 中東사태는 지난 70年代와 80年代의 石油波動을 經驗한 바 있는 세계 각국에 깊은 憂慮를 낳고 있다.

전쟁상태의 早期終熄이 실패하고 長期化될 경우 예상되는 原油價格의 상승은 世界經濟를 沈滯의 늪에 빠뜨릴 것으로 예상된다. 특히 經濟發展과 産業化에 석유 資源 依存度가 매우 높은 우리나라로서는 석유물량은 確保된다 하더라도 價格上昇이 미치는 經濟的 여파가 甚大할 것으로 判斷된다. 現在 國內 에너지 需給, 특히 經濟發展의 핵심적 要素인 電力供給의 상당량을 석유에 依存하고 있던 우리의 실정을 감안하면 그동안 꾸준히 推進하여 온 脫석유 및 에너지 多邊化정책이 더욱 돋보이는 時期이기도 하다.

또한 최근들어 국민생활 수준의 향상으로 인한 年間 15% 이상의 電力消費 증가율을 勘案한 長期的인 전력 에너지의 安定的 確保는 2000年

代 先進國 跳躍의 關鍵이다.

이러한 國內 전력 에너지 確保의 重要性을 考慮할 때 資源貧困인 우리나라로서는 經濟的인 전력원으로서 에너지의 해외 依存度를 最少化할 수 있는 원자력 발전설비의 擴充은 不可避한 선택이었다. 70년대부터 성공적으로 推進하여 온 원자력사업 經驗을 바탕으로 보다 安全하고 經濟的인 원자력 發電事業을 적극적으로 進行시켜야 할 것이다.

그러나 원자력에 대한 국민의 理解度는 아직 未洽하고 특히 현재 운영중인 原電의 安全性에 대한 疑懼心은 수그러지지 않고 있는 형편이어서 原電의 원활한 건설은 그 필요성 만큼 쉽게 推進되지 못하고 있다.

이런 脈絡에서 최근 미국을 중심으로 先進各國에서는 安全度가 월선 증대되어 最惡의 事故가 전혀 일어날 수 없는 安정한 新型原電 또는 次世代 原電의 개발이 활발히 進行되고 있으며 우리나라도 이에 同參함으로써 2000年代 原子力

先進國 進入을 위한 토대의 기틀을 마련하고자 하는 努力이 시도되고 있다.

2. 次世代 原電概念과 開發現況

가. 基本概念

TMI 및 체르노빌 原電事故 이후 原電의 安全性에 대한 漸增하는 大衆의 우려와 規制要件의 強化 때문에 既存原電의 經濟性이 下落되는 등 계속 건설하기에는 어려운 問題點이 提起되고 있다. 이를 解決하기 위한 노력으로서 새로운 爐型의 原電開發로 돌파구를 찾으려 하는 것이 지금의 원자력계의 動向이다.

새로운 爐型의 原電이라 하면 크게 두가지의 開發方向을 생각할 수 있는데, 그 하나는 既存原電의 技術과 經驗을 근거로 하여 보다 개량된 설계로서 安全性을 훨씬 증대시킨 原電을 개발하려는 의지에서 출발한 新型原電이 있고 다른 하나는 現在의 原電 개념보다는 상당히 진일보된 개념을 도입한 次世代의 原電이 있다. 本稿

에서는 편의상 이 두 원전 형태를 包括적으로 次世代 原電이라 指稱하기로 한다.

次世代 原電은 開發國家에 따라 다양한 형태가 제시되고 있으나 開發目的과 基本概念상에는 큰 차이가 없다. 次世代 原電은 既存原電의 安全性 設計概念과는 달리 器機의 고장, 人間 실수 등에 의해 誘發되는 사고 가능성을 최소화하기 위해 機械的 裝置보다는 自然의 物理的現象에 基礎한 安全性을 設計에 도입하고 설계의 單純化와 標準化를 이루어 建設工期를 단축하여 經濟性이 훨씬 좋은 발전소를 건설함으로써 原電에 대한 一般大衆의 信賴를 획득할 수 있을 것으로 기대된다.

나. 海外 開發現況 및 技術的 特性

(1) 開發現況 및 展望

(가) 미 국

TMI 이후 沈滯상태에 있는 미국내 원전산업 活性化를 위해 1980年代 중반부터 電力事業者

〈표 1〉 既存 原電과 次世代 原電 特性 비교

區 分	既 存 原 電	次 世 代 原 電
安全性	○能動的 안전성 개념 - 기기작동에 의한 안전성 확보 - 점증하는 대중의 안전성 우려에 대한 설득력 감소	○被動的 / 固有 안전성 개념 - 중력, 자연열전달 현상으로 고유안전성 확보 - 안전성에 대한 대중의 신뢰 획득 가능 기대
運轉性	○운전원이 많은 기기조작 必要 ○계통의 複雜性 - 多重的 안전장치 - 계통간의 複合連繫	○운전원조작 最少化 ○운전의 單純性 - 계통의 단순화 - Man-Machine Interface 향상 - 자동화
經濟性	○막대한 建設費用 必要 - 건설공기의 장기 - 수요예측의 不一致 ○운전, 보수비용 증가	○建設費用 節減 - 건설공기 短縮 (Module식 제작, 건설) ○운전 및 보수성 향상 ○小型, 地域暖房등으로 사용가능, 열효율 증대

를 중심으로 새로운 원전개발을 위한 努力이 진행되어 왔다. 電力事業者들이 支援하고 있는 전력중앙연구소(EPRI)는 改良型輕水爐 개발계획(ALWR Program)의 一環으로 被動型 原子爐의 설계요건을 定立하였으며 미국 에너지部는 웨스팅하우스사의 爐型인 AP-600과 GE사의 爐型인 SBWR을 선정하고 이 爐型의 상세설계를 위해 자금 支援을 하여 1990年代末경에는 이들 爐型이 商用化되도록 지원하고 있다.

또한 가스냉각로협회(GCRA)를 중심으로 고온 가스로인 General Atomics사의 MHTGR (Modular High Temperature Gas Cooled Reactor) 개발도 추진되고 있는데, 그 商用化는 2000年代 이후에나 가능할 것으로 판단된다.

(나) 독 일

독일의 次世代 원전개발은 高温가스로를 對象으로 진행되고 있으며, 代表的 爐型으로서 HTR-500이 있다. HTR-500의 원형로(Demonstration Plant)인 THTR-300은 이미 建設되어 運轉에 들어갔으나 最近 技術的, 經濟的 문제로 閉鎖기로 결정되었으며, 계속적인 개발은 불투명하다.

最近에는 HTR-500형의 高温가스로 대신에 미국의 MHTGR과 類似한 형태의 高温가스로인 HTR-Module 개발이 시도되고 있다.

(다) 영 국

가스냉각로를 기본으로 출발한 영국의 原子力 産業은 원전체제를 加壓輕水爐로 轉換함과 동시에 次世代 원전으로서 SIR(Safe Integral Reactor)를 개발하고 있다.

SIR 개발에는 미국의 ABB-CE 및 S&W, 영국의 RRA, AEA Technology가 共同으로 참여하고 있으며 2000년 이전에 商用化를 목표로 하고 있다.

현재 最初 商用爐 건설을 위한 敷地가 선정되어 있으며 概念設計가 완료된 상태이다.

(라) 스웨덴

스웨덴의 ABB는 최초의 次世代 原電으로서 被動/固有 안전로인 PIUS(Process Inherent Ultimate Safety)를 개발하고 있다. 地域暖房 爐인 SECURE-H 개념에서 출발한 PIUS는 根源的인 安全性까지도 고려한 固有 安全性개념을 채택하고 있으며, 概念설계가 완료된 상태이다. 현재 몇몇 電力事業者의 관심을 끌고 있는 노형이나 가까운 장래의 商用化는 불투명하며, 특히 스웨덴의 원전 廢止정책에 따라 국내에서의 건설은 어려운 상태이다.

(마) 일 본

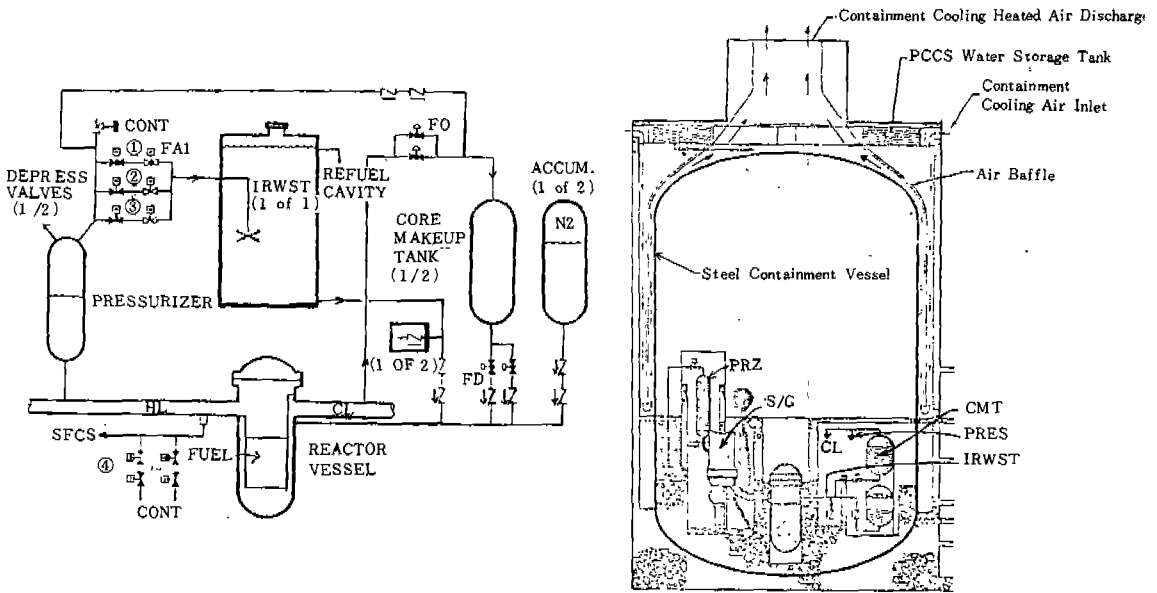
일본의 次世代 原電에 대한 관심은 매우 높으며 그 대상 노형에 있어서도 多様하다. 被動型 原電인 AP-600, SBWR과 PIUS 개념의 ISER(Intrinsically Safe and Economical Reactor), 또한 실험로인 HTTR(High Temperature Test Reactor)등 거의 모든 개념의 次世代 原電에 대한 관심을 가지고 있으나 次世代 原電으로서 개발노력은 AP-600 및 SBWR에 집중되어 있다. 현재 각 노형에 대한 妥當性 검토가 진행되고 있으며, 특히 AP-600의 용량 大型化(900MWe)를 위한 연구개발에 주력하고 있다. 또한 미국의 EPRI의 被動型原電 개발 프로그램에도 참여하고 있다.

(2) 技術的 特性

위에 例舉한 바와 같이 各國에서는 자기나라 實情에 맞는 여러가지 爐型의 개발이 진행되고 있으나 次世代 原電 개발의 진행정도를 고려할 때 설계 개념 특성상 우리나라에서 관심을 갖고 있는 대표적인 爐型인 세가지 爐型들에 대해 그 技術的特性을 간략히 살펴 보기로 한다.

(가) AP-600

AP-600 설계는 既存의 輕水爐技術 및 立證



〈그림 1〉 AP 600

된 기술을 바탕으로 被動 安全性 개념을 채택하고 설계의 대폭적 單純化와 Module 식 제작 및 건설로 특징지을 수 있다.

기존 加壓輕水爐에 있어서 사고시 사고 완화 기능을 담당하는 工學的 安全設備의 작동이 밸브, 펌프 등의 工學的으로 設計된 기기의 작동에 의해 수행되는 반면, AP-600 원자로는 기기의 작동에 의하지 않고 重力, 加壓氣體, 自然對流의 自然的 힘에 의해 原子爐心이 冷却되고 또 格納容器的 冷却도 이루어짐으로써 被動的으로 安全性이 확보되는 것이다. 이러한 被動安全性 概念의 채택에 따라 불필요한 냉각 계통 등의 관련 배관이 제거되고 안전성 관련계통(Safety Related System)설비의 필요성이 감소되어 설계가 대폭 단순화된다. 또한 각 계통의 Module 화 및 건설방식의 Module화 개념을 채택하게 되므로 建設工期도 매우 短縮될 수 있다.

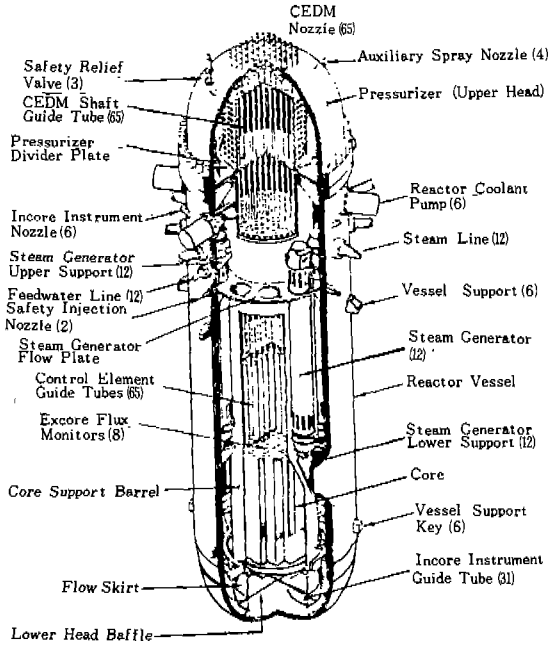
상기 특성을 제외한 原子爐心을 포함한 核蒸氣 공급계통과 기타 발전소 계통들의 근본기능

과 설계개념은 기존의 加壓輕水爐와 같다(그림1 參照).

(나) SIR

SIR은 加壓輕水爐의 被動安全爐로서 安全性 확보개념은 AP-600의 경우와 같이 被動的 방식을 채택하고 있다. 사고시 노심냉각은 냉각수의 自然循環에 의해 이루어지며 고압의 격납용기 내기는 減壓 탱크 내 냉각수에 凝縮되어 감압된다. SIR 설계의 가장 큰 특징은 증기가 발생하는 여러개의 소형 증기발생기가 대형의 원자로 용기내에 내장되어 一體化(Integral)된다는 데 있다. 따라서, 기존 경수로에서의 사고로 爐心の 溶融을 일으키는 원인이 되는 冷却材喪失(LOCA: Loss of Coolant Accident)의 가능성이 매우 적고 열적餘裕度가 크다.

또한 12대의 소형증기 발생기들이 원자로용기 내벽에 環型으로 설치되어 있어 고장시 교체가 용이하다(그림2 參照).



〈그림 2〉 SIR

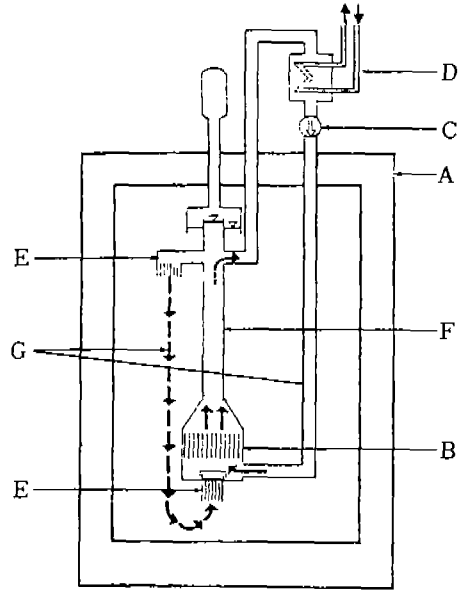
(다) PIUS

PIUS는 가장 먼저 개발이 시작된 被動安全爐이며 다른 被動安全爐들에 비해 안전성측면이 강조된 노형으로서 固有安全爐로 분류되기도 한다. PIUS의 안전성개념은 통상적인 원전사고 외에 원전운전원들의 사보타지나 외부로부터의 테러에도 원자로가 자체적으로 運轉停止되고 爐心冷却이 이루어진다는 데 있다.

PIUS의 원자로 설계는 타 원전에 비해 매우 독특한데, 원자로와 1차냉각 계통이 붕산수로 차 있는 水槽內에 收藏되고 水槽와 爐心 사이의 온도차에 따른 密度 界面의 膜의 作用(Density Lock)을 하게 되어 1차냉각재 계통의 냉각재와 구조의 물이 격리되는 원리를 이용한 것이다.

사고시 이 密度 界面은 熱水力學的 특성에 따라 구조내의 찬 붕산수가 노심내로 유입되어 자동으로 운전정지와 노심냉각기능이 수행된다.

붕산수조는 대형 프리스트레스 콘크리트 용기



- A Concrete Pressure Vessel (PCPV)
- B Reactor Core
- C Main Circulation Pump
- D Steam Generator
- E Density Lock
- F Wet Thermal Insulation
- G Dynamic Behavior

〈그림 3〉 PIUS

로 格納되어 있다(그림 3 參照).

3. 次世代 原電開發을 위한 우리의 對備策

위에서 살펴 본 바와 같이 次世代 원전개발을 위한 원자력 선진 각국의 노력은 80年代부터 꾸준히 진행되어 빠르면 앞으로 수년내에 개발이 완료되어 商用化가 이루어질 가능성이 있다.

향후 세계 원자력시장은 次世代 원전들에 의해 主導될 것으로 예상되며, 이에 따라 2000年代 원자력 先進國 및 原電 輸出國을 지향하는 우리나라로서도 지금까지의 既存 原電 기술자립과 건설경험을 토대로 次世代 원전개발 노력을 傾注하여야 한다.

〈표 2〉 爐型別 주요 設計內容 比較

區分	爐型	AP 600	SIR	PIUS
原子爐型		Loop-type	Loop-type	Pool-type
電氣出力(MWe)		600	320	640
燃料		UO ₂	UO ₂	UO ₂
1次系統冷却材		H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O
冷却펌프 臺數		4	6	4
蒸氣發生器 臺數		2	12	4
原子爐停止(正常/非正常)		제어봉 / 봉산수 수동주입	제어봉	봉산수 수동주입
崩壞熱除去		자연순환	자연순환	자연순환
爐型別概略圖		그림 1	그림 1	그림 3

次世代 원전의 개발은 그동안 우리나라가 추진해 온 원전기술 도입정책과는 달리 계획수립 단계에서부터 綜合的이고 一貫性있는 접근방식이 채택되어야 하며 이를 위해 정부, 원자력 산업계, 학계 등의 긴밀한 협조하에 개발계획추진을 위한 제반여건의 정비가 필요할 것이다.

(가) 技術投資

次世代 원전개발은 기술도입 단계에서의 技術自立정책과는 달리 기초실험 등을 포함한 연구개발에 막대한 자금과 숙련된 기술인력이 소요된다. 따라서 資金과 人力의 조달은 어느 한 기관에서 담당하는 것이 불가능하여 국내 원자력 산업계 공동의 노력이 필요하며, 원자력 政策當局을 중심으로 산업계, 학계, 연구소 등이 참여하는 汎國家的 事業으로서 추진되는 것이 바람직하다. 또한 기술 투자비용의 최소화와 기술습득 및 개발의 효율화를 촉진시키기 위해서는 國際協力이 중요하며 海外研究 개발사업에 적극적으로 참여하는 것이 바람직하다.

특히 國際共同 연구결과와 공유 및 자체 기술개발을 조합한 국제적인 모델 개발을 추진하여 향후 원전 수출국으로서의 基盤을 구축하는 것도 고려되어야 할 것이다.

(나) 認許可 對策

현재 次世代 原電의 개발은 認許可安定化에 基盤을 두고 있으며, 이를 통한 건설공기 단축 등의 경제성 확보가 전제되어 있다. 현재 미국 NRC에서도 인허가 安定化對策을 마련하여 추진중에 있으며 원자력산업계도 이의 실행을 위한 共同努力을 진행중이다. 따라서 우리나라에서도 次世代 원전의 인허가 정책에 대한 검토가 시작되어 국내 次世代 원전개발의 基盤造成이 필요하며, 또한 인허가 安定化를 위해서는 規制次元의 安全性 평가기술의 확보와 이를 통한 次世代 원전 인허가기준의 制定이 이루어져야 할 것이다. 이와 함께 기존 원전기술 개발과도 밀접한 관계가 있는 기본요소로서 技術基準의 확립도 次世代 원전개발 및 추진을 위한 투자위험도를 최소화할 수 있는 주요사항으로서 고려되어야 한다.

(다) 開發推進體制 確立

次世代 원전개발은 汎國家的 사업임을 감안할 때 국내 원자력 산업계의 긴밀한 협력체제가 요망되며 사업초기부터 이 사업을 總括할 기관과 각 관련 연구기관의 역할분담이 중요하다. 특히 연구개발에 있어서는 참여기관과의 技術情報 및 資料交換, 技術經驗의 교류 등 협조체제가 필수적이다. 이러한 기술개발 체제는 既存 原電기술 자립추진을 통해 蓄積된 기술을 최대한 활용할 수 있는 방향으로 定立되어야 하며 필요한 기술 항목에 따라서는 共同開發陣의 구성도 고려할 필요성이 있다.

(라) 一貫性 있는 長期 政策樹立

原電의 개발은 많은 자금과 고급인력의 長期的 投資를 의미하며 이의 효율성을 최대한 제고하기 위해서는 적어도 30년 이상의 장기적이고 체계적이며 확고한 原電정책이 필요하다. 따라서 次世代 원전개발계획의 立案, 爐型의 선정, 설계 및 건설에 이르기까지 국민대중이 수용할

수 있는 汎國家次元에서의 의지가 담긴 一貫性 있는 政策樹立이 시급히 요망되고 있는 時點이다.

4. 國內技術開發推進現況

次世代 原電개발과 관련한 국내 원자력산업계의 움직임은 1980年代 중반 한전을 중심으로 한 스웨덴의 PIUS 도입 타당성조사에서 비롯된다. 그후 세계적인 次世代 원전개발 추세, 특히 미국 DOE와 EPRI의 改良型輕水爐 개발추진 등에 따라 국내에서도 次世代 原電에 대한 관심이 고조되어 왔다. 1988年~1989年에 걸쳐 韓電의 용역으로 수행한 “2000年代 원자력전망 및 대처 방안 수립에 대한 연구”는 원자력 에너지에 관련된 모든 분야에 대한 기술정책적 종합보고서로서 앞으로 국내 원자력 발전정책의 기본방향을 제시하고 있다. 그 내용중 장기 爐型戰略에 대한 논의에서 次世代 原電 도입의 시나리오가 제시되고 있다. 또한 같은 시기에 韓電을 중심으로 韓國原子力研究所와 韓國電力技術(株)가 참여한 次世代 原電 타당성 검토를 위한 “新型安全爐 개발상황 및 전망기초조사” 연구용역이 수행되어, 세계 각국의 次世代 原電개발 상황을 조사하고 기술적 특성을 비교 검토한 후 국내실정에 맞는 노형에 대한 연구개발계획(안)을 제시한 바 있다.

상기 연구용역 수행 이후 지금까지 次世代 원전과 관련한 국내 원자력산업계 공동의 노력은 아직 구체화되지 않았으나 개별기관 별로는 나름대로의 次世代 원전개발계획 추진 움직임이 꾸준히 진행되어 왔는 바, 科學技術處와 動力資源部를 포함한 정책 당국내에서의 次世代 원전 개발계획 수립 논의, 韓電 기술실무진들의 제반 준비작업, 학계의 연구개발 움직임(科學財團의 공학연구센터 지원을 통한 韓國科學技術院내 “新型爐연구센터” 설립), 韓國電力技術(株)에서 자체 수행한 “新型安全爐개발 상황 조사 연구”, 韓

國原子力研究所를 중심으로 한 “新型安全爐 개발 사전타당성조사” 연구용역 착수 등 모든 국내 원자력 산업계내 관련기관들의 활발한 움직임이 이어져 오고 있다.

현재까지의 次世代 원전관련 개발노력은 주로 정책적인 측면의 사업추진 방향에 대한 것이고 기술적 측면으로는 각 노형들에 대한 개념적 검토 정도에 머물러 있다.

그러나 그 동안의 原電技術自立 추진에 따른 기술경험들은 대부분 차세대 원전기술에 전용될 수 있는 것으로서 기술개발 추진시 유용하게 활용될 것이다.

5. 結語

次世代 原電개발의 세계적 동향과 국내 원자력 산업환경 및 제반여건을 고려할 때 차세대 원전의 국내도입은 불가피한 것으로 판단되며, 원자력 先進國을 지향하는 우리의 입장에 있어 이를 위한 해외 次世代 원전개발 추이를 예의주시 하면서 既存原電 설계, 건설 경험을 바탕으로 汎國家的 차원에서의 기술개발 노력이 추진되어야 한다.

現在 국내에서는 관계 研究所, 原電 엔지니어링회사, 각 大學의 附設研究所 등에서 제각기 연구에 심혈을 기울이고 있으나 研究分野에 대한 조정기능이 없어 重復研究에 따른 努力의 낭비가 우려되는가 하면, 누락되는 技術部分이 放置될 우려도 있다. 따라서 事業의 綜合調整 담당 기관 選定 및 각 기관별 業務分擔을 철저히 함으로써 事業의 效率性을 기할 수 있다.

이러한 原電산업의 추진방향을 기초로 次世代 原電개발을 위한 종합적 추진계획 하에 기술 및 자료체계의 정비와 기술개발을 위한 기본능력배양이 선결되어야 하며 이의 실행을 통해 次世代 原電설계 기술의 自立뿐만 아니라 2000年代 원자력 선진국으로 발돋움하기 위한 기틀을 마련해야 할 것이다.