

美國의 SAFR型 小型增殖爐 開發現況

美國의 Rockwell International社는 美國에너지省의 改良型 液體金屬燃料原子爐 開發計劃의 一環으로 特性上 安全한 容量 350MWe의 나트륨 改良型 高速爐 (SAFR)를 開發中이다.

Clinch River 增殖爐 開發計劃이 中斷되고 美國에서 增殖爐가 必要하게 될 時期가 延期된 反面에 美國에너지省은 自體의 液體金屬原子爐(L-MR) 開發計劃을 價格競爭力이 있고 特性上 安全하며 信賴性이 높은 進步的이고 剛期的인 設計가 되도록 計劃을 再調整하였다.

이러한 플랜트는 美國에서 中盤期에 놓여 있는 輕水爐에 대한 發展可能性이 있는 代替플랜트가 될수 있을 것이며 將次 必要하게될 高速增殖爐에 대한 技術的인 橋梁役割을 할수 있을 것이다.

그러나 이러한 플랜트의 概念이 商業的인 成功을 거두려면 美國 電力會社의 關心을 끌지 않으면 안된다. 따라서 Rockwell社는 自社의 나트륨改良型 高速爐(SAFR)에 대해서 몇가지 開發目標을 세웠는데 여기서는 發電原價를 50mills/KWh以下로 現場建設工事 工期를 4年以內로, 利用率을 80%以上으로, 플랜트壽命을 60年以上으로, 職業的인 被曝線量準位를 輕水爐의 경우의 1/10以下로 줄이는것 등이 包含돼 있다. 豫備檢討結果 이러한 開發目標들은 SAFR에서 達成되고 있는 것으로 나타났다.

이 SAFR플랜트의 概念은 基本的인 모듈로서 350MWe 푸울型液體金屬原子爐인 "Power Pak"를 使用하는 것이다. 이 Power Pak는 標準化된 工場加工유니트로서 設置現場에 舢舨으로 運搬이 可能하다. 工場加工을 하므로써 原

子力級 現場加工作業(ASME Section III)을 最少로 줄일수 있어 플랜트建設工期를 短縮시킬수 있다. Power Pak모듈은 한 現場에서 個別的으로 또는 複合的으로 使用이 可能하다.

典型的인 SAFR發電所는 使用後核燃料를 再處理하고 新核燃料/블랭킷 集合體를 加工하기 위한 같은 場所에 位置한 核燃料사이클設備를 갖춘 4個의 個別的인 SAFR의 "Power Pak"로 構成되어 있다. 이 基本的인 플랜트構成方式은 現場外部에서의 再處理와 核燃料加工에 適合하며 한 現場에서 必要한대로 Power Pak모듈의 個數를 任意로 定할수 있다.

여러個의 플랜트建物들(例를 들면 原子爐서비스室, 機械加工室, 制御室, 플랜트 管理事務所)와 補助系統은 플랜트의 運轉性을 向上시키고 費用을 節減하기 위해 모듈들이 共有하게 된다.

플랜트規模選擇을 위한 細部的인 研究(모듈規模로는 110~1,350MWe, 플랜트規模로는 330~1,350MWe範圍內的 것들을 對象으로)結果, 小型과 大型플랜트의 長點을 살린 가장 均衡을 이루는 모듈의 크기로 350MWe級이 選定되었다.

이보다 더 큰 유니트의 送電端電力原價가 若干 낮기는 하지만 350MWe유니트는 舢舨에 의한 輸送面에서 有利하고 崩壞熱을 除去하기 위한 完全히 吸熱할 수 있는 原子爐冷却시스템을 갖출수 있는 利點을 갖고 있다.

Power Pak의 概要

Power Pak는 各各 1台的 原子爐 組立體와 在來式 火力發電所의 터빈蒸氣條件(過熱蒸氣)에서 運轉되는 1台的 터빈發電機유니트로 構成되어 있다.

이것의 骨格構造는 建設工期와 工事費를 最少로 줄이면서 補修作業이 容易하도록 構成하고 原子爐格納建物の 鉄筋콘크리트造 天井에 ھ치를 두어 갠트리起重機를 使用해서 機器의 垂直運搬을 可能하게 하므로써 建物 높이를 最少로 줄일수 있게 하였다. 갠트리起重機 1台로 모든 모듈과 機械加工室의 作業을 커버한다.

모든 1次系統 나트륨冷却材는 지름 41피드, 높이 48피드의 스테인레스鋼 容器內에 들어 있으며 이 原子爐容器 周圍의 格納容器는 頂上部로 부터의 接近可能區域의 下部에서 格納空間의 境界를 이룬다. 이 格納容器의 外面은 恒常稼動中인 自然循環 原子爐 空氣冷却式 崩壞熱除去系統(RACS)에 의해 冷却되며 原子爐容器나 格納容器 어느것과도 疎通되는 部分이 없다.

1次系統 펌프와 中間 熱交換器는 円形 原子爐 렉크의 固定部를 통해서 넣거나 除去한다.

熱傳達시스템에는 Rockwell社에서 開發한 廉價의 誘導펌프, Rockwell社의 “부우스터·튜브”를 使用한 학키·스틱크 모양의 蒸氣發生器, 單一平面內의 配管등이 包含되어 있다. 플랜트 設計上에 伸縮性을 주어 必要하다면 2段펌프나 2重壁의 蒸氣發生器와 같은 代替設計를 할수 있도록 되어있다. 約40,000gpm 容量의 同種의 펌프가 1次 및 中間 熱傳達系統에서 다같이 使用된다.

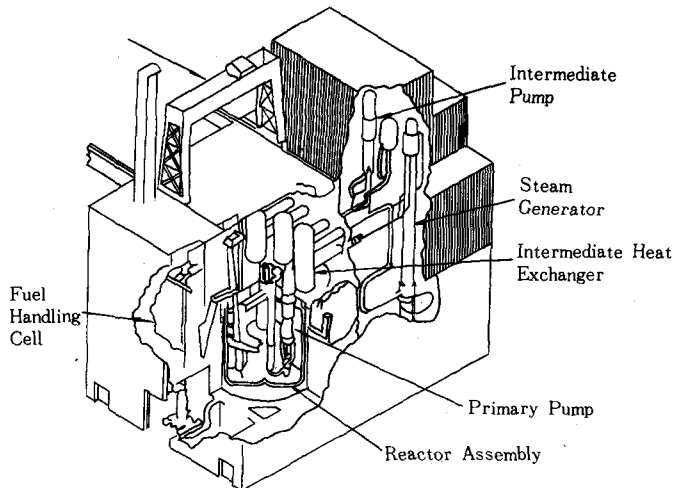
爐心設計

原子爐 爐心에는 우라늄/플루토늄 混合金屬燃料 또는 酸化물燃料가 使用된다. 酸化物核燃料에 대해서는 많은 經驗을 쌓았지만 金屬合金燃料(實驗增殖爐 EBR-II型에서 使用되었다)가

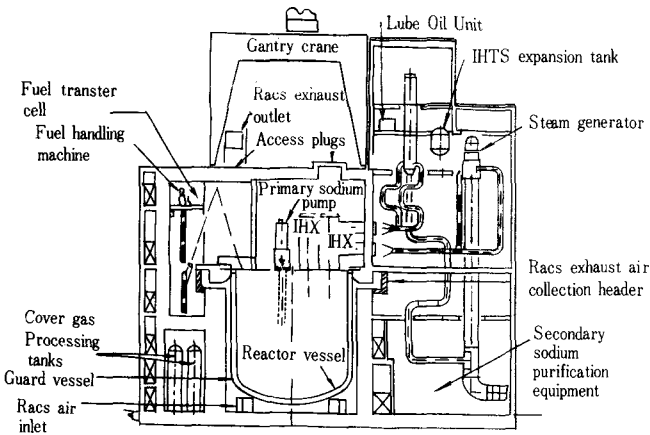
設計基準爐心으로 選定되었으며 이것은 價格, 安全性, 安全防禦面에서 많은 利點을 갖고 있다. 金屬合金은 初期의 金屬燃料의 壽命을 短縮시키는 燃料의 팽창을 防止할 수 있으며 燃料의 壽命은 4年이며 增殖率은 燃料사이클 損失을 補償하기 위해 1보다도 若干 크다. 爐心設計는 送電端電力原價를 基準하여 適正原價를 算出하지만 플랜트壽命期間 後期에 있어 爐心燃料을 增殖시키는 能力은 交替되지 않는 原子爐 部品에 의해 주어진다. 半徑方向으로 質이 均一한 爐心은 96個의 驅動燃料集合體, 48個의 半徑方向의 블랭킷集合體와 9個의 制御集合體를 包含하고 있으며 燃料集合體는 지름 約0.29인치의 271個의 핀을 가지고 있다. 消盡된 우라늄은 内部 및 半徑方向 블랭킷 集合體로 使用되며 한편 炭化硼素는 1次 및 2次制御集合體에 使用된다.

原子爐燃料再裝填은 年1回 6日間 實施하여 爐心の 1/4程度를 交替하게 計劃되어 있다. 原子爐렉크에 偏心位置에 있는 1回轉 플러그에 設置한, Arm이 달린 容器內 轉換機는 爐心과 容器內 貯藏場所사이의 集合體 移動에 使用된다. 使用燃料은 A-形 프레임이 燃料運搬機械

〈그림 1〉 SAFR原子爐플랜트의 切斷圖



〈그림 2〉 SAFR型 Power Pak(1臺)의 斷面圖



室을 통해서 受動的인 自然對流가스冷却式 爐外貯藏場所로 運搬되기 前에 1年間 崩壞하도록 되어 있다.

現在 進行中인 設計에 關한 研究로는 1回專用 濃縮우라늄使用法(이 方法에서는 使用後 燃料가 結果的으로 再處理를 爲해 貯藏된다) 과 現場 및 現場外部에서의 中央再處理方法 등이 있다.

原子爐區域은 直四角形의 同一水平面의 콘크리트·매트위에 位置하며 原子爐와 補助機器 建物은 콘크리트造이지만 蒸氣發生器 建物은 鉄骨構造에 側壁은 組立型 콘크리트板으로 되어 있다. 原子爐의 格納은 原子爐容器를 둘러싼 格納容器와 原子爐容器上部의 콘크리트 박스 構造物로 지지되는 原子爐 헤드로 이루어진다. 4基의 Power Pak 플랜트의 建物全體의 크기는 길이 140피트, 폭 90피트, 높이 140피트가 된다.

安全設計

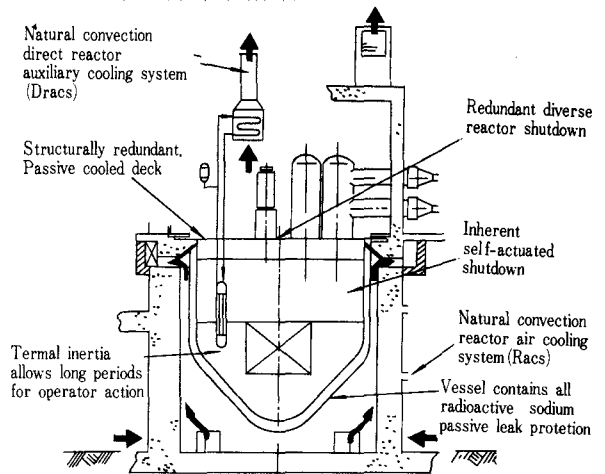
플랜트의 原子力安全性和 直結되는 系統이나 機器의 數는 最少限으로 줄였고 BOP와 中間熱 交換系統을 安全시스템으로 부터 分離시켰다. 이렇게 하므로써 첫째 BOP機器에 異常이 있어 도 原子力安全性에 影響을 주지 않으며 原子爐를

트립시킬 必要가 없으며 둘째 이러한 BOP機器나 中間熱交換系統은 市販되고 있는 規格品을 使用해서 建設할수 있는 利點이 있다. 大體的으로 原子力級 現場組立을 制限하고(安全 시스템을 最少로 하고 工場加工 및 組立을 最大로 하므로써) 또한 플랜트의 다른 分野에서 使用하고 있는 在來式 構造物들과 物理的으로 分離시키게 되어 있다.

두種類의 信賴性이 있으며 獨立의이며 多重的이고 多樣한 原子爐 停止시스템이 갖추어져 있는데 1次시스템은 Clinch River의 1次制御棒設計와 같은 것이며 2次시스템은 溫度感應型 電磁式 Latch自動操作 停止시스템이다. 이 外에 原子爐 아셈블리全體가 原來 熱的 및 反應度의 反應特性을 갖고 있으므로 스크램失敗로 1次流量喪失과 같은 極限狀況에서도 낮고 安定된 原子爐出力의 安全한 自動調整을 할수 있게 된다.

原子爐崩壞熱 除去는 信賴性이 있고 獨立의이며 多重的이고 多樣한 受動的인 시스템에 의해 確實하게 이루어지며 이 시스템은 中間熱交換 및 蒸氣시스템을 통한 正常的인 熱除去經路에

〈그림 3〉 SAFR의 수동적이고 局部的인 안전대책은 投資에 대한 보호와 일반사회 的安全性이 보장 되도록 設計되어 있다.



追加해서 作用한다. 冷却材는 두가지의 受動的인 시스템中 어느 하나에 의해 沸騰點以下 적어도 400℃로 維持되며 두가지 시스템중 하나는 RACS로서 原子爐格納容器 外部에서의 空氣의 自然對流에 의해 熱을 除去하며 다른 하나는 直接的인 原子爐補助冷却시스템 (DRACS)로서 自然通風에 의한 나트륨에서 空氣로의 熱交換을 통해 熱을 除去하는 것이다. 모든 冷却系統의 運轉失敗와 같은 設計基準事故를 超越하는 運轉員의 措置에 대해서는 아주 긴 猶豫期間(1日以上)이 주어진다.

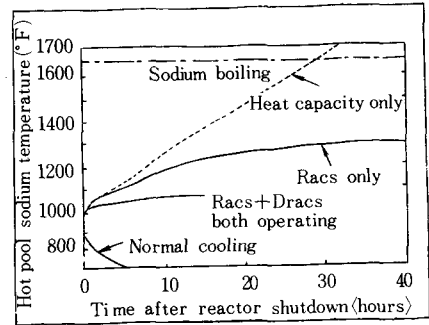
SAFR에 대해 現在進行中인 可能性 있는 危險에 대한 豫備評價 結果 一般社會에 대한 危險度는 美國原子力規制委員會(NRC)의 安全目標值以下인 것으로 나타났으며 이러한 結果에 따라 SAFR는 廣範圍한 撤收에 대한 計劃, 訓練과 機構가 必要하지 않을 程度로 極히 낮은 危險度の 플랜트로 나타나 매우 鼓舞的인 것이다.

SAFR의 高度의 受動的인 安全特性은 有望한 所有主에게 플랜트損傷에 대한 適切한 防禦를 保證할 뿐아니라 許可手續을 容易하게 하고 安定시키는 큰 도움이 될 것이다. 美國 에너지省(DOE)이 主管한 討議에서 SAFR의 設計特性이 NRC側과 論議되었는데 지금까지의 NRC의 反應은 매우 好意的이었으며 몇가지 分野에 대해서는 追加討論이 必要한 것으로 나타났다.

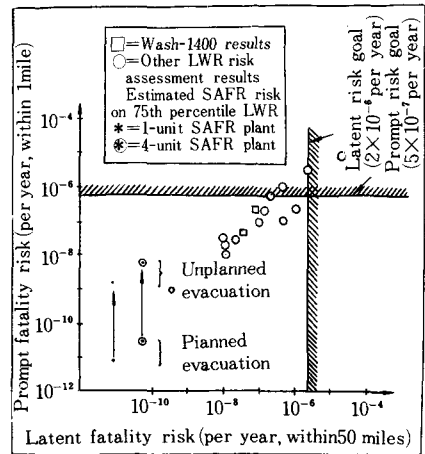
SAFR의 商品化

SAFR의 設計概念은 美國과 그外 國家에서 大型의 既存 液體金屬高速增殖爐(LMFBR) 技術의 副期的인 利用이 基本으로 되어 있으며 다만 適切한 追加的인 開發이 廉價의 設計仕樣을 誇示하고 許可取得을 支援하며 出資者, 使用者와 一般社會의 同意를 얻기 위해서 必要하다.

美國에너지省에서 支援하고 있는 現行의 39個月 프로그램은 SAFR플랜트의 概念設計를 남겨 될 것이며 이와 함께 美國內에서의 改良型 液



〈그림 4〉 AFR의 本性的인 反應은 實質的인 崩壞 熱收容 마진을 마련한다.



〈그림 5〉 SAFR는 現行 美國原子力規制委員會의 安全目標值를 充足시키고도 남음이 있다.

體金屬核燃料原子爐의 許可取得에 必要한 設計基準 및 節次와 商品化시키기 위한 制度上의 措置를 記述한 運營/資金調達/市場開拓에 대한 計劃을 마련하게 될 것이다.

이러한 計劃이 標準플랜트設計의 許可取得을 위한 根據로서 1990年代 後盤에 單一 모듈 플랜트의 稼動을 暫定的으로 提議하게 될 것이다. 商業的인 次元에서 標準化되고 大部分 事前許可된 SAFR플랜트의 發注와 建設은 最初의 플이 試驗은 決定的으로 이것의 本來的인 安全性과, 充分한 期間동안 運轉된 다음 이것의 經濟性과 信賴性을 證明하게 될 것이다. 賴性이 證明될 것이다.