

長週期 核燃料의 開發現況

현재 美國에서는 核燃料交替의 長週期化와 高燃燒度를 추구하는 경향이 있다. WH社は 이러한 추세에 부응하여 被覆材質의 改良과 함께 새로운 형식의 核燃料를 設計하고 있다.

美國에서는 各州의 公共電力委員會(PUC)와 聯邦 原子力規制委員會(NRC)가 電力會社에게 큰 영향력을 행사하고 있다. 原子力發電所에 대한 最近의 경향은 높은 發電所 稼働率을 달성하기 위한 계획을 장려하고 있고, 많은 電力會社들이 核燃料 交替의 長週期化를 채택하여 核燃料 交替를 위한 운전정지의 빈도를 줄임으로써 稼働率의 向上을 도모하고 있다. 또한 核燃料 交替의 週期가 길어지므로 발전소의 보수유지에 대한 노력을 集中시킬 수 있으며, 발전소 종사자의 방사선 피폭선량도 低減시킬 수 있다.

WH社가 供給하는 PWR核燃料로 原子力發電所를 運轉하고 있는 美國 電力會社들의 核燃料 交替 週期는 현재 대부분 1년을 약간 상회하고 있는 반면 1980年代 初에 WH社가 조사한 바에 의하면 BWR運轉者들은 18~24個月의 週期를 선호하고 있었다.

대부분의 美國 電力會社들은 原子力發電所를 基底負荷用으로 운영하고 있으나, 경우에 따라 제한된 負荷사이클링도 하고 있다. 그결과 核燃料 交替週期를 연장시키는데 負荷追從運轉이 약간 기여하고 있으며, 長週期에 要求되는 性能을 충족시키기 위한 炉心管理 및 核燃料工學이 개발되고 있다.

PWR의 경우 각 核燃料週期 初期에 裝填되는

에너지의 量을 증가시키고, 高燃燒度로 核燃料의 有效利用에 초점을 맞추어 개발노력을 하고 있다. 燃燒도가 높아지면 所要되는 核燃料集合體의 數가 줄어들기 때문에 長週期로 인해서 추가되는 富濃縮費가 보상된다.

BWR에 대해서는 Westinghouse QUAD+와 같은 새로운 核燃料集合體 設計가 中性子 經濟와 效率의 단계적 向上을 위해서 도입되고 있다.

펠릿트, 그리드와 스페이서, 被覆管 및 노즐 등 核燃料集合體와 그 部品들이 고안되어 試驗을 거쳤다. 이러한 改良으로 照射時間과 核分裂生成物 發生量의 증가에 견딜 수 있는 材質의 발전과 性能向上에 기여하게 되었다.

또한 長週期의 확립을 위한 새로운 炉心管理와 核燃料裝填패턴技術이 개발되고 있는데, 中性子 漏洩을 줄이는 새로운 패턴은 炉心 밖으로 中性子が 유출되는 量을 減少시키며, 또 이미 燃燒된 核燃料는 低濃縮單位의 餘분구역으로 옮기고 새 核燃料를 사용함으로써 中性子經濟를 크게 向上시킨다.

核燃料設計의 改良

1970년대에 WH社가 도입한 最適化된 核燃料集合體(OFA)는 燃燒度 性能이 30,000MWD

/tU 정도로 향상된 것이었으며, 1980년대 초에 도입된 VANTAGE 5 핵연료는 OFA의 경험을 기반으로 하여 더한층 중성자經濟 向上을 도모하고 40,000+MWd/tU 범위의 연소도를 갖는 長週期用的 새로운 특성을 추가시킨 것이었다.

이 새로 도입된 VANTAGE + 핵연료는 1990年代에는 50,000+MWd/tU 정도의 燃燒도를 갖도록 계속 개발되고 있다. 이 핵연료製品은 長週期 동안 性能과 健全性を 유지한 채 성공적으로 運轉될 수 있는 要素를 갖추고 있다.

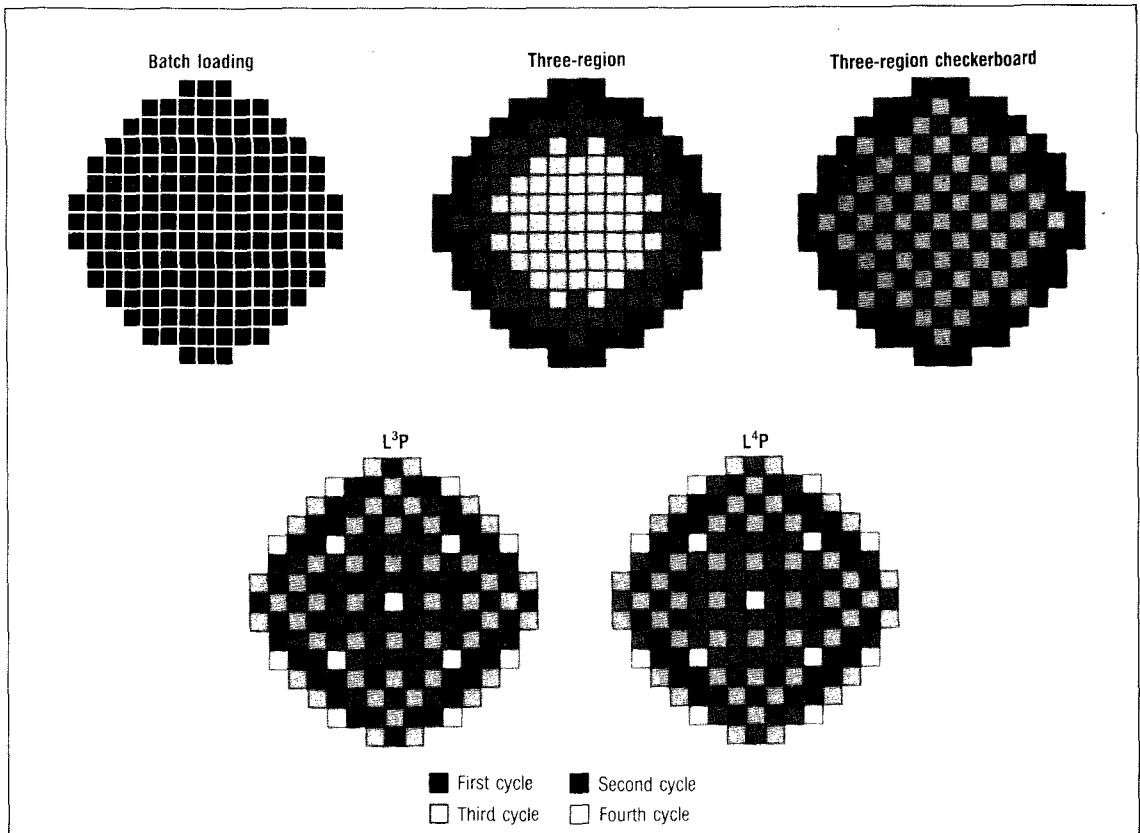
核燃料棒 上部와 下部에 軸方向으로 天然우라늄 블랭킷을 배치한 것이 VANTAGE 5 핵연료의 특징이다. 軸方向 블랭킷은 炉心의 上下로 漏洩되는 中性子の 數를 감소시키므로 中性子を 더욱 効率的으로 利用할 수 있게 하며, 이 向上된 効率は 더 많은 中性子が 길어진 運轉

週期 동안 利用됨을 의미한다.

WH社 PWR核燃料의 또 다른 특징은 2硼화 지르코늄 Integral Fuel Burnable Absorber (ZrB_2 IFBA)라는 것이다. 可燃性웁서버는 長週期的 PWR核燃料交替에서 出力피킹과 감속재 온도계수 제어를 위해서 필수적이다.

核燃料펠렛트 表面에 ZrB_2 를 얇게 씌운 이 可燃性웁소버는 反應度와 出力피킹을 制御한다. 즉, 새로 裝填된 농축도가 높은 핵연료의 과잉 반응도를 직접 제어한다. 붕소웁소버의 2次(딸)生成物은 熱中性子を 통과시키므로 第1週期 동안 일어나는 붕소의 번·아웃은 反應度에 나쁜 영향을 거의 주지 않으며, 可燃性웁서버에 의해서 週期末의 反應度나 週期的 길이가 제한을 받지 않는다.

그 반면에 일부 PWR에서 使用되고있는 Py-



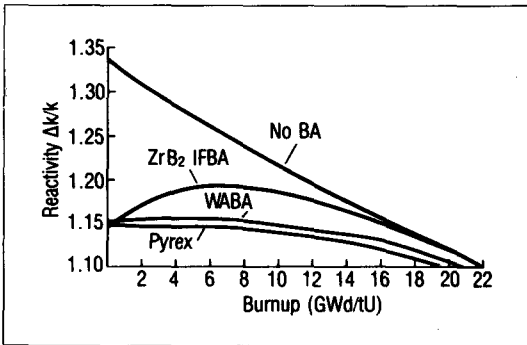
爐心裝填 패턴

rex와 Wet Annular 흡수체는 週期的 길리와 經濟性에 惡影響을 준다. 高燃燒度와 長週期化를 추진하는 과정에서 電力會社들은 ZrB₂ IFBA를 대폭적으로 받아들이고 있다.

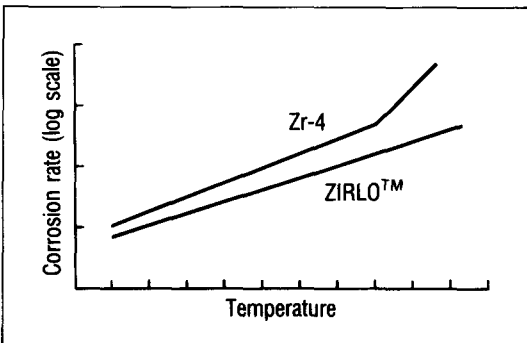
VANTAGE 5 核燃料集合體 上部에 추가로 부착한 Intermediate Flow Mixer (IFM) 그리드는 熱傳達效率을 대폭 향상시키므로 피킹제한팩터에 대한 여유도를 증가시킨다. 피킹제한팩터의 증가는 새로운 炉心裝填패턴을 施行하는데 필요한 融通성을 제공하며, 週期的 길리에 대한 유연성을 가져온다.

VANTAGE +

WH社는 高燃燒度の 신뢰성 있는 核燃料로 VANTAGE + PWR 核燃料를 선정하고 研究開發에 박차를 가하고 있는데 核燃料被覆材, 核燃料棒, 核燃料集合體의 골격 등 핵연료집합체의 세가



PWR 可燃性 흡수체 反應度 특성



ZIRLO™과 기존 피복재의 耐부식성 비교

지 기본요소에 대한 改良에 의해서 성취되고 있다.

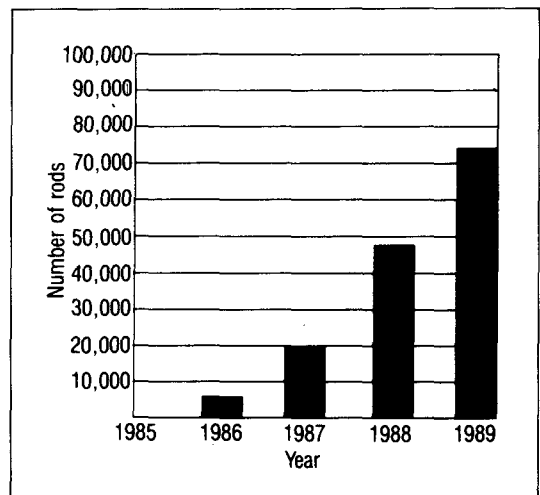
WH社는 VANTAGE + 核燃料의 平均 燃燒度가 50,000MWd/tU를 넘을 것으로 예측하고 있으며, 동시에 낮은 核燃料費와 週期的 길이가 18~24個月 또는 年間週期的 경우에는 引出 核燃料集合體의 수가 적어질 것으로 전망하고 있다.

1990年代의 PWR 核燃料에서는 長週期, 高燃燒度, 高溫條件에 견딜 수 있는 被覆材料가 요구된다. 17年間의 研究開發 결과, WH社는 核燃料集合體 被覆材 開發의 이정표라고 할 수 있는 새로운 지르칼로이합금에서 이와 같은 性質을 확인하였다. 니오브를 함유하고 있는 改良된 지르칼로이 被覆材인 ZIRLO™ 被覆材는 高燃燒度 달성의 관건이 되는 부식, 크리프, 照射에 대한 耐性이 크게 향상되어 있다.

최근 ZIRLO™ 被覆材를 使用한 實證用 核燃料集合體가 運轉중인 상업용 PWR에 裝填됐다.

核燃料 製作

1987年 中반까지 25,000個 以上の 核燃料集合體가 South Carolina에 있는 핵연료제작공장



ZrB₂ IFBA 사용증가 추세

인 Westinghouse Columbia에서 成型加工되었으며, WH社は 앞으로의 需要 増加에 대비하여 1987년에 Columbia 플랜트를 확장하였다. 이 확장공사에는 IFBA를 비롯한 핵연료봉의 조립 및 제작시설의 증설과 새로운 部門인 QUAD+ 核燃料의 성형가공 및 조립시설이 포함되었다.

또한 原電의 高度化가 추진됨에 따라 5%濃縮의 高燃燒核燃料가 필요할 것으로 예견되

WH社 供給 核燃料를 사용하는 美國 PWR의 核燃料交替週期の 길이

Cycle length (months)	Number of plants
12	8
12 << 18	8
18 or greater	34

로 이 要求에 부응한 高濃縮 核燃料를 위하여 設備의 개조와 安全性 研究를 수행하고 있다.

Vantage 5 및 Vantage + 설계의 특징

Vantag 5 Axial blankets ZrB ₂ Integral Fuel Burnable Absorbers (IFBAS) Intermediate Flow Mixer (IFM) Grids Extended burnup fuel assembly features Removable top nozzles Discharge burnups: 40,000 +MWd/tU range
Vantage + ZIRLO™ cladding Debris filter bottom nozzle Assembly/manufacturing uniformity enhancements Short chamfered fuel pellets Spring clip fuel stack retention Discharge burnups: 50,000 +MWd/tU range

토막상식

海上原子力發電所

원자력발전소는 地震을 고려하여 암반위 건설되고 있지만, 이와 같은 地點은 한정되어 있고 또한 지역적으로 편중되어 있다. 이 때문에 새로운 立地技術으로써 비교적 軟質의 地반이나 海상에 원자력발전소를 건설하는 방식의 기술적인 가능성에 대한 연구를 해왔다. 이 중 海상에 건설하는 海上浮揚式은 예를 들면, 100만kW級 원자력발전소를 약 150㎡의 鋼鉄製浮島에 올려 놓고, 설치해야 할 沿岸場所에 係留하여 발전소로써 사용하는 방식이다.

이 방식에서는 浮島를 방파제로 둘러싸 설치하기 때문에 종래 원자력발전소와 같은 取水·排水방식을 채용할 수 있지만, 한편으로 지진이나 파도의 영향이 적정된다. 模型을

사용한 실험에 의해 지진에 따른 좌우요동이 물에 의해 흡수되어 거의 흔들리지 않는 점, 더욱 바다의 波高 15m, 風速每秒 70m에 대해서도 발전소의 係留地點에서 1m 이하의 波高가 되도록 방파제를 설치하면 발전소는 거의 흔들리지 않음이 확인되었다.

이와 같이 海上浮揚式에서는 耐震設計를 대폭 간소화할 수 있으므로 총 중량이 상당히 감소하고 또 육상에 건설할 경우에 비해 地質이나 地形에 의한 설계조건차이가 없기 때문에 설계의 표준화가 용이하다. 더욱 건설을 造船所에서 하고, 設置場所까지 배로 曳船하게 되며, 공사기간이 짧아지는 장점이 있다.

이 방식에 의해 敷地의 제약은 적어지며, 건설비도 岩盤立地의 경우에 비해 같은 정도 이하가 될 가능성이 있다. 아직 연구중이지만 장래의 立地方式으로 기대되고 있다. 그러나 실제 입지에 임해서는 기술적인 조건뿐 아니라 사회적인 조건도 만족스러워야 하겠다.