使用後核燃料管理 및 再處理開發

-動向과 앞으로의 課題-

Ⅰ. 世界의 動向

(1) 西 獨

서독에서는 1979年 가을에 연방정부와 各州政府의 장관이 연방정부의 백엔드(Back-End) 구상에 同意하였으며 1983年 8月 연방정부의 백엔드報告書에서는 「原子力發電의 확충은 使用後核燃料의 處理·處分에서의 실질적인 진전에 의해 보증된다」고 하면서 「使用後核燃料의 중간저장, 再處理施設과 방사성폐기물의 최종저장시설의 建設을 수반하는 西獨의 백엔드構造는 확증되었으며 個個의 백엔드시설의 期間計劃은 지켜졌고 再處理施設프로젝트의 인허가 수속은 순조롭게 진행되고 있다」고 하고 있어 西獨에서의 백엔드對策은 착실한 진전을 보이고 있다.

再處理에 대해서는 西獨에서는 原子力發電을 시작한 이후 지금까지 약1,400톤의 사용후핵연료가 발생하였으며 이중 상당량은 海外에 재처리를 위탁하고 있는데 國內에서는 Karlsruhe 재처리실험플랜트 WAK工場(GWK所有, 농축우라늄使用後核燃料 35톤/年, 175㎏/日)이 1971년부터 1980년까지 약50톤을 재처리하였으며 그후 溶解槽의 부식리크로 인해 정지하였다가 이것을 교환하여 1982년 10월부터 再稼動하여 1983年末까지 약20톤의 처리실적을 보이고 있다.

또한 主要 電力會社 12個社가 설립한 西獨核燃料再處理會社(DWK)는 농축우라늄使用後核燃料 350~500톤/年(2톤/日)의 재처리공장건설계획을 신청하고 있는데 1984~1985년에 착공하여 1992년경 조업개시를 목표로 계획을 추진하고 있다. 이 계획에서는 當初에 500~1,500톤 규모의 저장시설을 건설하기로 되어 있었었다.

DWK는 이와같은 再處理工場의 건설계획과 병행하여 고아레벤에 低레벨방사성폐기물저장시설과 함께 고아레벤輸送容器저장시설의 건설을 추진하였으며 1983년 9월에 연방정부로 부터 운전허가를 받았다(兩施設의 실제의 運轉實施者는 DWK의 子會社인 고아레벤使用後核燃料貯藏會社(BLG社)이다).

이것은 輸送容器 (그림1 참조)를 사용하는 Cask저장방식으로 使用後核燃料를 중간저장하는 시설로서 期間은 2023년까지 40년동안 1,500톤의 使用後核燃料를 저장하는 것이다. 고아레벤의 사용후핵연료중간저장시설은 1984년도 여름에 運開될 예정이며 이어서 두번째 중간저장계획이 진행되고 있다.

한편 현재 聯邦研究技術省의 지도下에 Karlsruhe 原子力研究所가 使用後核燃料의 직접 處分 및 再處理를 하였을 경우의 廢棄物管理에 대해 技術上의 가능성, 安全性 등을 비교, 검토하고 있는데 연방정부는 이것을 기초로하여 1985년에 使用後核燃料의 處理·處分에 대한 방침을 결정하려고 한다.

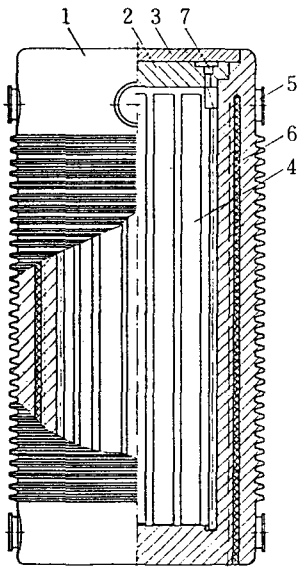
西獨에서는 이상과 같이 使用後核燃料對策에 대해서는 再處理를 중심으로 하여 중간저장시설의 추진, 직접저장의 연구 등 다각적으로 추진되고 있으며 백엔드對策도 착실한 진전을 보

이고 있다.

(2) 프랑스

프랑스는 國內의 使用後核燃料는 再處理하는 것을 기본방침으로 하고 있을 뿐만아니라 海外에서의 사용후핵연료 再處理 受託을 한층 더 安定擴大하려고 한다(그림 2).

再處理工場의 상황을 보면 마르쿨의 UP-1 工場(CEA所有, 1,000톤/年)은 天然우라늄 사용후핵연료의 再處理를 1958年부터 시작하여 현재까지 조업중이며 라아그의 UP-2工場(Cogema 所有)은 1967年에 天然우라늄 사용후핵연료용으로 800톤/年(4톤/日)의 능력으로 처음에 조업을 시작했으나 1976년에 농축우라늄前處理工程을 加해서 농축우라늄 400톤/年(2톤/日) 능력을 보유하였으며 현재는 UP-2工場을 농축우라늄 사용후핵연료 전용으로 하고 그 능력도 두배가 되는 800톤/년(4톤/일)으로 하기 위한 工事가 추진중인데 1990년경에 전면조업을 시작할 예정이다. 또한 농축우라늄 800톤/年(4톤/日)의 UP-3工場을 라아그에 建設中에 있는데 運轉開始는 1987年을 목표로 하고 있다.



〈그림-1〉 西独의 使用後核燃料中間貯蔵用 輸送容器 (CAS TOR-V型)

1. Cask本體 2. 1次덮개 3. 2次덮개 4. Basket
5. 트라니온 6. 中性子흡수재 7. 排水孔

이와같은 再處理能力의 증강계획과 병행하여 使用後核燃料 저장풀의 증설계획도 추진되고 있는데 UP-2工場과 UP-3工場을 위한 2,000톤 容量의 저장풀이 1981年에 運轉을 시작한 외에 앞으로 같은 容量의 풀을 3基 더 증설하여 1987年에는 8,000톤의 저장용량으로 할 計劃이다.

1983年 1月과 3月에 제출된 카스텐報告書에서는 프랑스에서의 使用後核燃料管理 추진방법으로,

① 라아그의 新再處理工場計劃(UP-2/800 및 UP-3)을 예정대로 推進한다.

② 長期的인 관점에서 再處理工程에서의 α 폐기물 분리를 하는 高度化再處理技術의 연구개발을 추진한다.

③ 使用後核燃料處理에 관해 장래에 선택의 폭을 넓힌다는 관점에서 使用後核燃料를 再處理하지 않고 그대로 저장하는 방법에 대해서도 연구할 것을 권고하나 앞으로의 새로운 재처리 확대계획에 대해서는 高레벨폐기물의 처리문제가 해결될때 까지는 추진해서는 안된다고 조건을 붙이고 있다.

카스텐報告書에 제시되어 있는 高度化再處理技術이나 使用後核燃料의 최종저장기술에 대해서는 기본적으로 연구개발수준의 권고이며 그 내용이 어떻게 政策에 반영되는가에 대해서는 앞으로의 CEA나 CSSN 등의 검토를 기다려야 한다.

(3) 英 國

國內에서 발생하는 使用後核燃料는 再處理하는 것을 기본정책으로 하고 있으며 지금까지 윈즈케일의 B-205工場(BNFL所有, 推定 2,000톤/年, 1964年 조업개시)은 海外에서 부터의 受託分까지 포함해서 약25,000톤의 使用後核燃料를 재처리하였고 현재도 조업중이다.

1969年 濃縮우라늄用으로 조업을 시작한 윈즈케일의 B-204工場(BNFL所有, 400톤/年(4

톤/日))은 累積으로 약100톤을 再處理하였을 뿐이며 제염설비 등의 문제로 1973年에 폐쇄되었다.

BNFL은 海外에서 부터의 受託用으로 윈즈케일에 THORP工場(1,200톤/年(5톤/日), 1990年 조업개시예정)의 運轉計劃을 추진하고 있으며 현재 受入저장물(1,500톤)의 건설에 착수하고 있는데 主工程의 건설은 금년도에 착수할 예정이다. 또한 THORP工場에서는 윈즈케일의 旣設 저장물(약1,000톤)과 1982年에 건설된 저장물(약1,300톤)도 활용할 계획으로서 이들 풀에 의해 1987年까지 英國에 인도되는 모든 使用後核燃料를 받아 들이는 것이 가능하다.

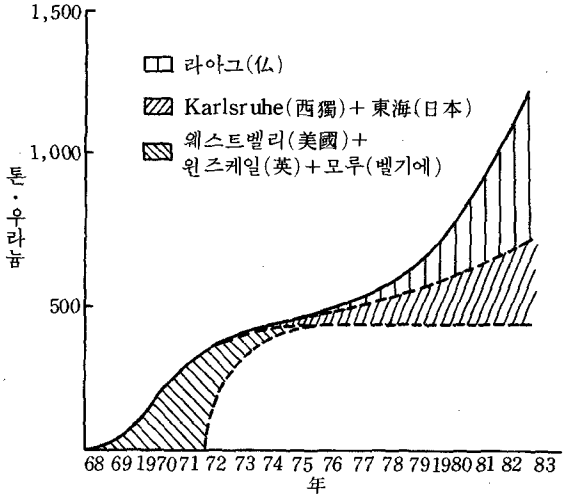
(4) 美 國

1977年 4月 카터前大統領은 核非擴散政策의 일환으로 민간재처리사업의 무기한 연기를 결정했는데 그후 레이건政權은 1981年 10月에 발표한 「國內 原子力政策声明」에서 상업재처리무기연기의 해제를 결정했다.

바안웰再處理工場(1,500톤/年(5톤/日))은 1974年 준공을 목표로 건설이 진행되고 있었는데 카터정부의 再處理금지정책으로 부득이 건설이 중단되었으며 그후 에너지省(DOE)으로 부터 매년 1,000만달러 전후의 資金을 받아 이 工場에서는 主로 보장조치 및 사용후핵연료저장에 관련된 短期的 연구활동을 실시해 왔는데 이 工場의 건설을 위해 1970年부터 1978年까지 약2억달러(현재가격으로는 약5억달러)의 자금이 投入되었었다. 그러나 再處理工程後의 轉換工程, 高레벨폐기물固化施設 등의 건설에 다시 약7~8억달러의 자금이 必要한데 이 자금의 조달 전망이 불확실하고 정부로 부터의 지원 가능성도 없어서 이 工場은 1983年 4月 凍結되으며 또한 DOE는 1983年 7月 1日 정부예산을 중단하였다.

이와같은 상황을 배경으로 1983年 1月에 「1982年 放射性廢棄物政策法」이 성립되었으나 이 法律은 使用後核燃料의 관리에 대해서는 사이트 外잠정저장(AFR), 監視附회수가능저장(MRS) 및 최종처분에 대한 마스터플랜을 제시하는 것으로 되어 있다. 이중 MRS의 구체적 검토가 가장 많이 진행되고 있는데 이 法律은 DOE가 使用後核燃料 및 高레벨방사성폐기물을 위한 MRS에 관해서 그 必要性과 가능성을 세밀히 조사한 다음 1個所 또는 그 이상의 MRS시설건설계획을 1985年 6月 1日까지 의회에 제출할 것을 규정하고 있으며 DOE는 1984年 1월에 MRS施設에 바람직한 방식으로 密封貯藏(Sealed Storage) Cask를 선정하였다고 발표했다.

〈그림 2〉 世界의 軽水炉核燃料再処理実績



MRS는 50年에서 부터 100년까지 동안 사용후핵연료 및 高레벨방사성폐기물을 地上 또는 半地上(Tunnel)에 잠정저장하는 것을 목적으로 하고 있는데 永久處分場이 1998년 1月 31日에 運開되면 반드시 건설하지 않아도 무방하나 技術的, 政治的 상황으로 보아 永久處分場(地下深層)의 건설이 대폭 늦어질 가능성이 있으므로 DOE는 MRS와 處分場의 건설계획을 동시에 병행해서 추진하여 DOE가 민간에서 부터 使用後核燃料 및 高레벨폐기물의 인수를 시작하여야 하는 1998년까지는 최소한 기술적으로나 정치적

으로 處分場에 비해 건설이 훨씬 용이한 MRS의 조업을 시작할 수 있도록 한다는 것을 목표로 하고 있는 것같다.

DOE는 Cask, Dry Well, Vault 등 여덟가지 방식에 대해 검토를 한 결과 밀봉저장Cask를 개발하는 것이 바람직한 방식이라고 하였으며 野外式 Dry Well을 대체방식으로 선정했다. 이 方式의 선정은 안정성이 우수하고 또한 Module방식이기 때문에 처음에는 소규모로 시작하여 必要에 따라 最短의 리드타임과 최소의 코스트부담으로 확장이 가능하다는 Flexibility가 있음이 평가되었기 때문이다.

美國政府가 상업용재처리의 추진을 단념한 것은 아니나「1982年 방사성폐기물정책법」은 産業界의 요청도 받아들인 현실적인 대응책으로서 사용후 핵연료의 저장 및 처분의 길을 개척한 것으로 보여진다. 또한 이 法律에 의해서 1980年의 低레벨폐기물법과 맞추어서 美國에서의 방사성폐기물대책의 전도를 넓게 나타냄으로서 앞으로의 原子力利用推進에 대해 진일보하게 되었다.

(5) 스웨덴

스웨덴에서는 1980년의 국민투표에서 原子力發電의 開發은 12基까지로 하고 2021年 이후에는 모두 폐쇄하도록 결정되어 있는데 이 기간동안에 발생하는 使用後核燃料는 약 7,000톤이 될 것으로 예측하고 있으며 또한 原子力發電事業者는 방사성폐기물의 처분에 관해 모든 책임을 지게 되어 있어 使用後核燃料를 再處理할 것인가, 직접 처분할 것인가를 결정한 다음에 再處理後의 고레벨방사성폐기물 또는 使用後核燃料를 어떤 방법으로, 어디에, 안전하게 처분할 것인가를 제시하는 것이 原子炉의 운전허가의 전제조건이 된다는 것이 法制化되어 있다.

현재 原子力事業者 共同出資會社인 SKBF가 폐기물처분의 전체 업무를 담당하고 있으며 최근 새로운 2基의 原子力發電所 운전허가신청과 관련하여 정부에 제출된 KBS－3라는 사용후핵연료의 직접 처분에 대한 보고서는 다음과 같은 계획으로 되어 있다.

● 原子爐에서 꺼낸 使用後核燃料는 SKBF가 所有하는 集中잠정저장시설(CLAB, 현재 건설중)에서 40年동안 냉각시킨다.

● 그후 최종처분장으로 수송하여 100㎜ 두께의 銅製容器(캐니스터)에 넣는다.

● 포장된 캐니스터를 地下 500 m의 화강암층에 파놓은 側抗內의 저장孔에 넣고 Bentonite(火山性粘土) Block으로 封入한다.

● 최종적으로 캐니스터로 다 채워진 처분장은 側抗, 立抗 모두를 Bentonite와 모래로 매운다.

CLAB는 3,000톤의 사용후연료를 저장할 수 있는 地下式풀로서 Oskarshamn 原子力發電所의 부지에 건설되고 있으며 1985年에 운전예정이다.

(6) 國際機構에서의 檢討

IAEA에서의 使用後核燃料 管理 및 再處理에 관한 검토는 地域核燃料사이클센터(RFCC), 國際核燃料사이클評價(INFCE), 國際使用後核燃料管理(ISFM) 등에서 기술적, 정책적인 면의 검토가 이루어지고 있다.

1984年 3月 IAEA의「使用後核燃料管理諮問會合」에서는 原子力開發을 추진하고 있는 各國에 있어서 使用後核燃料對策이 당면의 최대 문제임이 제시되었는데 이 會合에서 발표된 各國의 對策을 요약하면 다음과 같다.

서독에서는 1990年, 2000年까지의 原電 伸長과 사용후핵연료 축적량을 각각 24～25 GWe, 3,700～3,900톤, 30～35GWe, 10,900～11,700톤으로 보고 있으나 2000年까지의 對應으로는 爐사이트內저장 5,200톤(이중 4,700톤은 이미 허가), 爐사이트外저장 3,240톤으로 예정하고 있어 중간저장에 크게 의존할 전망이다.

프랑스의 再處理開發計劃에서는 UP－2/800과 UP－3의 技術은 기본적으로 변하지 않으나 UP—2/800에서는 MOX연료도 처리가 가능하

도록 검토를 추진하고 있으며 英國에서는 CEGB가 현재 AGR의 사용후핵연료 건식저장시설 설계의 검토를 추진하고 있고 PWR爐에 대해서는 약18年分의 사용후핵연료를 저장가능케하는 풀을 附置할 계획이다.

또한 英國에서는 MOX연료의 再處理에서 회수되는 우라늄을 AGR연료에 리사이클하고 있는데 AGR연료의 약80%는 회수우라늄이 使用되고 있다. 그리고 회수된 플루토늄은 Pluthermal연료로서 현재 英國內 2基, 다른 유럽의 여러나라 4基의 爐에서 照射되고 있으며 나머지는 高速爐用으로 저장되고 있다.

美國에서는 1983年末 현재 약10,000톤의 사용후핵연료가 爐사이트에 저장되어 있으며 2000年에는 累計 약50,000톤에 달할 것으로 예측되고 1998年에는 爐사이트의 저장능력을 상회할 것으로 보여진다.

그외의 나라에 대해서는 아르헨티나가 5톤/年 규모의 再處理工場(산화물핵연료 및 高농축우라늄연료 재처리용)을 建設中이며 1987년에 Hot 운전을 시작할 예정이다. 벨기에는 Eurochemic Plant에 의한 自國內 再處理를 할것인가 여부에 대해 금년중에 결정할 전망이다. 카나다는 현재의 爐사이트內 사용후핵연료저장으로 對應이 가능하며 1990年代 初까지는 사용후핵연료의 직접폐기처분 또는 리사이클의 옵션을 결정할 예정이다.

또한 IAEA에서는 사용후 핵연료관리기술의 연구개발면에서 「使用後核燃料集合體의 장기저장에 관한 研究協力計劃(BEFAST計劃)」이 추진되고 있는데 오스트리아, 카나다, 日本, 핀란드, 스웨덴, 美國 및 소련과 체코 등 13個國의 참가에 의해 輕水型動力爐의 사용후연료를 50~100年間 저장하는 동안에 생기는 기술적문제를 國際協力研究로 해결하기 위한 國際協力프로젝트이다.

OECD/NEA에서도 사용후핵연료의 現況, 장래의 전망, 기술적 옵션에 대해 검토하기 위해서 1983년 12월부터 사용후핵연료관리의 워킹그룹을 설치하여 검토를 추진하고 있다.

2. 日本의 再處理開發 現況

(1) 東海再處理工場

東海재처리공장은 1977년 9월에 Hot시험을 시작한 이후 1983년 3월까지 172톤의 使用後核燃料를 處理했다. 이 運轉을 통해서

① 輕水爐核燃料再處理의 플로우시트로서 기계적前處理(剪斷－溶解)＋溶媒抽出(Purex方式)의 組合은 기본적으로 실용이 있다,

② 믹서－세틀러를 사용해서 연소도 3,500 MWD/T(평균 약2,800MWD/T)의 核燃料를 처리할 수 있다,

③ 製品(우라늄, 플루토늄)內의 불순물을 충분히 낮게 억제할 수 있다,

④ 핵연료물질로의 收支가 확증되며 그 核物質不明量을 충분히 낮게 관리할 수 있다,

⑤ 환경으로의 방사능량을 충분히 낮게 관리할 수 있다 등에 대해 確証이 얻어졌으며 또한 工場의 건설, 시운전 및 운전을 통해서 많은 技術的 經驗이 얻어졌고 要員을 양성할 수 있었으나 각종 고장·트러블도 있었다.

東海재처리공장은 1982年 4月 이 工場에 2基 설치되어 있는 溶解槽中 1基에 고장이 발생하여 그후 나머지 1基로 조업을 계속하였는데 1983年 2月 이 溶解槽도 고장이 나서 조업을 중단하였다. 고장난 용해조에 대해서는 원격보수의 기술개발을 진행시켜서 1983년 가을에 보수를 끝내고 1983년 12월에 보수의 有效性을 확인하기 위해 사용후핵연료 약2톤을 使用하여 용해조에 대한 시험조업을 하였다.

한편 지금까지의 용해조에 있어서 트러블경위를 기초로 하여 용접하는 곳이 적은 新型溶解槽를 開發하고 있으며 機器의 제작 및 현장설치준비 작업을 하고 있는데 계획에 의하면 1984

年 12月까지 이 신형용해조의 설치를 끝마칠 예정이나 1985年 1月이후에 보수가 완료된 용해조 및 신형용해조에 의한 조업이 가능하게 될 전망이며 점점 再處理量이 증가할 것이다.

(2) 商業用再処理工場

재처리사업의 民營化에 대해서는 1972年 6月 原子力委員會가 개정한 原子力開發利用長期計劃에서 「再處理는 國內에서 실시한다는 원칙하에서 민간기업에서의 建設, 運轉을 기대한다」는 방침을 제시하였고 또 1980年 10月에는 原子力委員會의 核燃料사이클문제간담회가 민간주체에 의한 상업용재처리공장의 건설에 대해 명확한 방침을 제시하였다.

法制面에서는 1981年 6月 국회의 결의를 거쳐 再處理事業의 民營化를 위한 「核原料物質, 核燃料物質 및 原子爐의 규제에 관한 法律」의 개정이 이루어져서 민간재처리공장의 설치를 위해서는 내각총리대신의 지정을 받아야 한다고 되었다. 이를 위해 1980年 3月에 민간재처리會社인 日本原料서비스(株)가 설립되었는데 이 會社는 현재 立地地點의 선정작업, 설계의 준비 등을 하고 있다.

(3) 再処理技術開発

日本의 현재까지의 再處理技術開發은 주로 日本動燃事業團에 의한 東海재처리공장의 설계, 건설, 운전을 통해서 수행되었으며 환경으로의 放出放射能量을 극력 억제한다는 관점에서 中·低레벨폐액처리용 증발드럼에서의 응축액을 다시 증발처리하는것과 發生源에서 극저레벨로 구분하였던 폐액을 증발처리함으로써 방출량을 저감시키는 시설(E施設, 1975年 7月 完成, Z施設, 1979年 1月 完成) 및 發生源에서 극저레벨로 구분하던 폐액을 증발처리하는 시설(Z施設, 1979年 1月 完成)을 日本이 독자로 설계, 건설했다.

그외에 현재 剪斷, 溶解 Off Gas中의 크립톤을 液化하여 회수하는 기술개발시설을 완성시켜서 시운전을 하고 있어 東海재처리공장에서의 방사능저감화에 노력하고 있다. 또한 앞으로 再處理工場에서 발생하는 廢溶媒의 보다 효과적인 처리기술을 개발하기 위한 폐용매처리기술개발시설을 1984년 4월에 완성시켜서 우라늄脫窒工程에 운전여유도를 갖게 하였으며 보다 均質의 삼산화우라늄을 얻기 위한 새로운 脫窒施設을 1984年 12月 完成 目標로 건설을 추진하고 있다.

再處理工場에서 발생하는 방사성폐액을 아스팔트固化하는 기술의 개발은 1982年 10月 부터 실제의 廢液을 使用하여 추진하고 있다. 日本動燃事業團에서는 트러블時 對應의 신속화, 保安등의 기술개량, 기기의 신뢰성향상개발 등을 도모함과 동시에 東海재처리공장의 안전운전을 위한 Mock-Up시험시설의 건설준비를 추진하고 있다.

3. 앞으로의 課題

使用後核燃料의 관리 및 再處理에 관한 國際的議論은 1977年부터 1980年까지 국제핵연료사이클평가(INFCE)에서 核非擴散과 原子力의 平和利用 兩立性의 관점에서 이상론적인 검토가 있었으나 최근 各國에서의 政策檢討는 오히려 절실한 현실적 문제로서 백엔드를 확보하려고 한다.

또한 이와같은 정책검토중에는 각국의 原子力開發規模, 장래의 고속증식로 등의 플로토늄이용계획, 재처리기술의 수준, 사용후핵연료관리나 방사성폐기물처리·처분기술개발의 진척도, 핵비확산정책 등이 각각 다르므로 검토의 내용에 차이가 있음은 당연하나 사용후핵연료에 대해서는 재처리할 것인가, 장기저장·직접처분할 것인가 하는 선택적인 議論이 아니라 使用後核燃料의 관라, 재처리, 직접처분, 고레벨폐기물의 처리·처분 등을 백엔드 전체로 종합적이면서 多重的인 對策을 수립하려는 시도가 행하여지고 있다.