

# ★ 우라늄 資源經濟와 重水爐의 位置 ★

開發部

## 1. 序言

重水爐는, 爐內의 中性子 經濟가 좋고 그로 인 해 연료 경제가 좋다는 일반적인 개념은 잘 알려져 있는 사실이다. 따라서, 한편으로는 高價인 重水가 대량으로 필요하다는 것(重水 inventory와 補給重水費가 原價에 加해진다), 원자로 壓力容器가 壓力管型으로 복잡한 구조로 되어 있다는 것, 원자로 補給系統(重水冷却系 등)이 追加되기 때문에, 건설 코스트가 비교적 비싸진다는 경제 상의 penalty가 있다.

이와같은 경제상의 penalty는 캐나다 정부 및 일본 등에서의 개발 노력에 의해서 상당히 경감 되고 있으며, 일본에서도 重水爐가 實用化 되는 시기에는 충분히 輕水爐와 경쟁할 수 있다는 見解도 있다.

重水爐의 개발을 세계적으로 보면 일찌기 計劃되었고 농축 우라늄의 自由化의 앞날이 어두웠던 원자력 개발 초기에 평화이용을 主体로 원자력 개발을 추진하려던 각국은 농축이 필요 없다는 등으로서 모두가 重水爐에 대해서 본격적으로 그 개발을 추진시켰던 것이다. 한편, 미국은 농축 우라늄의 自由化, 원자력의 大型化에 의해서 경제성을 높혀 輕水爐에 의한 원자력 발전의 實用化에 성공하였다. 원자력 개발 선진국의 대부분은 그 기술을 도입해서 輕水爐 路線은 그 나라의 원자력 이용의 主流로 하기에 이르렀다.

일반적으로 어떤 나라에서의 기술개발의 문제는 기초연구로부터 쌓아올리는 것이 중요하다는 論과, 선진국이 이미 쌓아올린 것을 도입해서 빨리 흡수해 버리는 것이 合理的이라는 相反되는 선택이 케이스·바이·케이스로서 행해져 왔다.

이와 같은 현실에서 重水爐 선택에는 어떠한 문제가 있으며 어떻게 行해져야 하는가를 생각해 보기로 한다.

## 2. 重水爐의 開發

우리나라는 이미 重水爐를 도입해서 건설 도중에 있으며, 그 기기류에 대한 국산화 문제가 진지하게 진행되고 있다. 그러나 일본에서는 비교적 오래 전부터 重水爐의 개발에 힘써 왔는데, 여기에 일본에서의 重水爐 開發의 經緯를 살펴 보기로 한다.

일본의 重水動力爐의 연구 개발은 1963년에 일본 원자력 연구소에 國產動力爐開發室이 설치됨으로써 시작되어 이미 16년이 경과하고 있다. 그 당시 考察의 對象이 된 冷却方式으로서는 加壓 重水 냉각(CANDU-PHW型), 沸騰輕水冷却(ATR, CANDU-BLW型 및 영국의 SGHWR型), 有機材冷却 및 炭酸가스 冷却型이었으나, 早期 實用化가 가능하며 또한 天然 우라늄을 사용함은 물론 輕水爐의 기술과 經驗의 活用이 가능하여 資本費低減의 가능성이 있다는 점에서 최종적으로 沸騰輕水 冷却方式의 채용이 決定되었다.

일본 원자력 위원회는 1966년 3월에 沸騰水 冷却型 重水爐의 개발을 결정하였다. 同年 6월에 일본 원자력 연구소내에 動力爐 개발 임시 추진본부가 설치되어 新型轉換爐에 의한 장래의 핵연료 사이클에 대한 영향이 검토되었다. 이 時点에서 신형 전환로의 연료 사이클에 요구되었던 것은,

① 천연 우라늄을 사용할 수 있다는 것.

② 高速增殖爐(FBR)가 본격적으로 도입되는 시기에 필요한 플루토늄을 좋은 효율로 생산, 공급할 수 있다는 것 등이었다.

그후, 反應度가 천연 우라늄만의 爐心에서는 正이 되어 원자로 制御가 곤란할 때가 있기 때문에 천연 우라늄에 플루토늄을 負荷시킨 플루토늄 自給 사이클이 신형 전환로의 연료 사이클로서 제안되었다.

1967년 10월에 일본의 新型動力爐를 개발하는 母體로서 動力爐·核燃料 開發事業團이 발족하여 前述한 日原研에서의 개발연구는 모두 이 새로운 조직에 인계되고 1970년 12월에 新型轉換爐 FUGEN 定格出力(165 MWe)은 1970년 12월 TSURUGA를 site로 해서 건설착공이 이루어졌던 것이다.

### 3. 重水爐의 概要

중수로의 分類는 냉각방식에 따라, 크게 둘로 나누어진다. 그 하나는 沸騰輕水冷却型 = PHW이고, 또 하나는 加壓重水冷却型 = BLW이다.

重水爐에서의 BLW와 PHW와의 對比는 냉각계통에서 보면 輕水爐에서의 BWR와 PWR의 對比와 같은 位置이다

그러나, 重水爐의 경우에는 輕水爐와는 달라서 BLW와 PHW에서는 爐心の 核特性(正의 void 反應度·係數)上 사용할 수 있는 연료가 달라서(BLW : Pu 負荷연료 또는 微농축 우라늄 연료, PHW : BLW의 케이스에 천연 우라늄 연료가 加해진다) 핵연료 사이클에 큰 차이가 생기고 있다. BLW의 경우는 천연 우라늄의 사용의 경우는 void 반응도 계수를 正의 쪽으로 하기 위해서 핵연

료에 상당한 플루토늄을 加하거나 또는 微농축 우라늄을 사용할 필요가 있다.

이에 대해 PHW의 경우는 void 계수가 正이라도 문제는 없으며 천연 우라늄을 사용할 수 있다. ATR 등 BLW型은 FBR의 개발·實用化가 늦어진 경우에 플루토늄 연료를 사용함으로써, 천연 우라늄 資源의 절약을 도모한다는 것이다.

한편, PHW型은 농축이 必要치 않은 천연 우라늄만을 사용하는 것을 목표로 개발되어 왔기 때문에, 이 이외의 微농축 연료, 플루토늄 연료의 개발은 이루어지지 않고 있다. 플루토늄 연료의 이용은 核特性上으로서는 그다지 문제가 없는 것 같으나, 연료교환 계획의 具體化, 연료集 合體의 개발시험, 原子爐 시스템의 實証 시험이 과제로서 남아 있다.

이와 같이 PHW는 천연 우라늄 專燒의 路線을 一貫해서 걸어온데 대해 ATR로서 대표되는 BLW는 천연 우라늄 專燒가 核特性上 실현성이 없음이 判明되어 플루토늄 富化 또는 微농축 우라늄 爐心을 채용하기로 하였다.

다음에, BLW型, PHW型을 대표하는 ATR, CANDU에 그 焦點을 맞추어서 각각의 長短을 비교해 본다.

### 4. ATR에 대해서

#### (1) ATR의 長点

##### ① 核연료 資源의 효율적 이용

새로 新設하는 輕水爐의 약 30%를 ATR로 대체하면 일본의 예를 보면 천연 우라늄 所要量 약 15%, 우라늄 縮縮量 약 30% 절약이 되고 輕水爐 1·8基에서의 既使用 연료로부터 나오는 減損 우라늄과 플루토늄으로서 ATR 1基의 운전이 가능하며 천연우라늄 所要량이 약 30%, 우라늄 농축량 약 35% 절약이 된다.

##### ② 核燃料의 多樣化

ATR의 設計는 천연 우라늄 또는 劣化 우라늄에 플루토늄을 富化하고 輕水爐와 같은 정도의 燃燒度가 얻어지는 플루토늄 버너로 되어 있다. 重水減水爐는 플루토늄의 연소에 적합하며 ATR

는 플루토늄 버너로서 이용하는 것이 가장 경제적이다.

일본의 原型爐「FUGEN」은 熱中性子爐로서 本格的으로 플루토늄 사이클을 實証한 세계 최초의 發電爐이다. 장차, 플루토늄 不足의 情勢로 되었을 때에는 ATR은 同一爐로서 微濃축 우라늄을 사용해서 플루토늄 生産爐로서 운전함이 가능하며 核연료의 多樣化가 가능하다.

또, 토륨연료의 이용 기술이 발전하면 토륨 버너로서도 충분히 활용할 수 있다(그러나 실제의 사용에서는 토륨연료의 再處理 기술의 확립, 경제성의 검토 등이 필요하다).

③ 短期間으로 연료교환 가능

ATR은 壓力管型이므로 輕水爐에서와 같이 壓力 調整을 開閉하는 작업이 없으며 단시간으로 연료를 교환할 수 있다. 이와 같은 長점을 살려서 定檢期間의 短縮에 의한 稼動率의 向上, 파손 연료의 早期交換에 의한 클린·플랜트(clean plant)의 實現이 용이하게 된다.

④ 負荷追從性

ATR은 下記와 같은 이유로서 出力의 急速變化가 가능하므로 負荷追從性이 좋으며 負荷追從性을 가진 원자력 發電 플랜트가 기대된다.

⑤ 自主技術

일본의 경우를 볼 때, ATR은 세계에서 몇 안되는 自主 개발국의 하나이며 「FUGEN」으로서 플루토늄 리사이클을 實証하여 국제적인 주목을 끌고 있다. 일본에서의 自主開發의 효과는 다음과 같은 것이라고 생각된다.

㉠ 基本計劃부터 시스템設計, 구성기기의 詳細에 이르기까지 일본국내 기술자의 두뇌를 사용하였으며 重要부분에 대해서는 스스로 자기손을 더럽히면서 實驗始作을 行하여 개발을 추진하고 있으므로, 그 경험은 노하우(know-how)로서 확실하게 일본 국내에 축적되고 있다.

따라서, トラブル時의 대책은 물론 安全指針의 개선이나 기술의 진보에 대해서도 적절, 신속하게 対応할 수 있으며 將來의 안전성의 改善, 성능向上이 용이하다.

단, 安全設計 思想에 輕水爐와의 思考 方式에 대해 差異가 보이며, 이 点에서의 輕水爐와의 整合性에 대해서는 充分히 검토할 필요가 있을 것이다.

㉡ 自主개발된 기술은 輕水爐, 高速爐 등의 일반 원자력 기술로서의 活用, 다른 分野의 기술 개발으로도 큰 波及효과가 기대된다.

㉢ 미국의 核확산 방지에서는 輕水爐에 대해서도 라이선싱 技術에 있어서는 事前同意등의 規制대상은 되지 않는다고 하고 있다. 기술 공급국의 核不拡散 정책에 직접적으로 영향을 받지 않는다는 ATR의 長점은 지금으로서는 그다지 큰 것으로는 되지 않은 것으로 보인다. 그러나, ATR을 巴아제인닝·파워로서 核資源國과의 협력을 強化시키고 ATR의 輸出力을 높여서 산업기반을 견고히 하는데 도움이 될 것이다.

또, ATR을 自主기술로서 확립하고 이것을 완벽한 것으로 하기 위해서는 원자로의 主要部分(트리거 리스트)을 완전하게 국산화할 필요가 있다.

앞으로 더욱 環境基準, 安全基準이 엄하게 課해질 하드웨어 뿐만 아니라 安全評價등, 특히 소프트웨어에 대해서도 어떻게 外國에 의지하지 않고 이것을 계속할 수가 있느냐 라는 점이 ATR의 과제일 것이다.

(2) ATR의 短点

① 輕水爐와 비교해서 重水를 사용한다는 点.

이것은 建設코스트를 높이는 원인이 된다.

② 實証까지 時間이 소요된다.

③ 天然 우라늄의 使用不可

즉, 원자로의 安全制御(負의 void 係數를 유지)를 위해 微濃축 또는 플루토늄의 富化가 필요하다.

(3) 輕水爐와의 綜合比較

① 輕水爐는 이미 全世界에서 發電設備로서 定着하고 있다. 重水爐에 대해서는 原型爐가 出力운전을 시작한 단계이므로, 實証爐 이후에 대해서는 설계단계에서, 實用爐로서의 경제성, 신뢰

성을 實証할 수 있는 단계까지 이루어지지 못하고 있다.

② ATR의 핵연료 사이클상의 역할은 輕水爐 - 高速增殖爐 路線은 보충하는 것으로서

㉠ FBR가 실용화될 때까지의 단계에서는 輕水爐의 운전에 의해서 생기는 플루토늄을 사용함으로써 천연 우라늄 소요량은 절약하여 省資源정책에 協力할 수가 있을 것이다.

㉡ FBR가 導入된 이후의 단계에서는 플루토늄의 過不足에 대해서 연료관리만으로서 柔軟하게 対応하며, 入手한 核資源을 유효하게 이용하여 省資源에 공헌하는 효과가 있으며 長期에 걸쳐 그 有用성이 기대된다.

③ 플루토늄 버너로서의 ATR는 輕水爐의 플루토늄 리사이클에 비해서 플루토늄 소비량이 많아 燃焼度를 크게 잡을 수 있다.

④ ATR는 輕水爐에 비해 負荷 追從性이 좋은 것이 기대되며 電力系統의 運用의 彈力性을 도모할 수 있는 설계로 되어 있다. 그 實証에는 時間이 조금 걸릴 것 같다.

⑤ ATR의 경제성은 現時点에서는 아직 評價할 수 있는 단계는 아니나 일본의 경우, 原型爐「FUGEN」의 개발경험을 살려서 설계의 合理化를 기하면 충분히 輕水爐와 競合할 수 있는 전망이 있다. 특히, 壓力管型 重水減速爐의 특징을 살려 實証爐의 構想으로서는 다음의 것들이 생각되고 있다.

㉠ 클린 플랜트의 完成

연료가 파손하여도 채널(channel)마다 설치되어 있는 破損燃料 檢出장치에 의해서 운전중에 이것을 검출할 수 있으며, 곧 원자로를 정지시켜 短時日에 새로운 연료와 교환시킬 수 있다.

㉡ 負荷 追從性의 確立

㉢ 사고시에 필요한 기능을 常用設備를 가지게 하여 輕水爐가 가지는 사고시에만 필요한 非常用설비(아마 원자로의 사용기간중 사용될 기회는 없다)를 폐지하는 이 구상은 종합적으로 보아서 안전성, 신뢰성을 손상시키지 않고 또한 경제적인 플랜트의 실천을 가능하게 하는 것이다. 다만, 이 설계는 輕水爐와 설계사상이 크게 다

른 것으로서 重水爐로서의 安全哲學을 확립시킨 다음에 행하여야 할 것이다.

### 5. CANDU爐에 對해서(輕水爐와의 비교)

#### (1) CANDU爐의 長点

① 우라늄 농축이 不要하다.

● 따라서, 농축 공장의 건설이 不要하며 우라늄 농축에 따르는 미국 및 우라늄 수출국에 의한 規制를 回避할 수 있다.

② 우라늄 사용량의 절약(CANDU爐, 輕水爐의 双方 다같이 再處理하지 않을 경우).

● 같은 出力의 輕水爐에 비해 CANDU爐의 소요 우라늄은 20%이상 적다(但, 輕水爐의 既使用 연료만 再處理하며, 농축 우라늄의 테일 아세이(tail assay)를 20%로 하면 CANDU爐 once-through)와 같은 정도의 우라늄 사용량이 된다).

③ 우라늄 연료의 確保를 도모할 수 있다.

● 캐나다는 CANDU爐의 수출이 실현하면 그 爐에서 사용하는 우라늄의 공급을 보장하는 의향을 명백히 하고 있다.

④ 定檢期間이 짧다는 点

● 운전중에 연료를 교환하기 때문에 定檢기간이 짧으며 高利用率이 기대된다.

⑤ 플루토늄 轉換效率이 높다는 点

● 장래의 FBR 실용화에 대비해서 和裝荷用 플루토늄의 확보를 도모할 수 있다(再處理를 행하는 것을 前提).

⑥ 토륨 연료사용의 가능성이 있다는 点

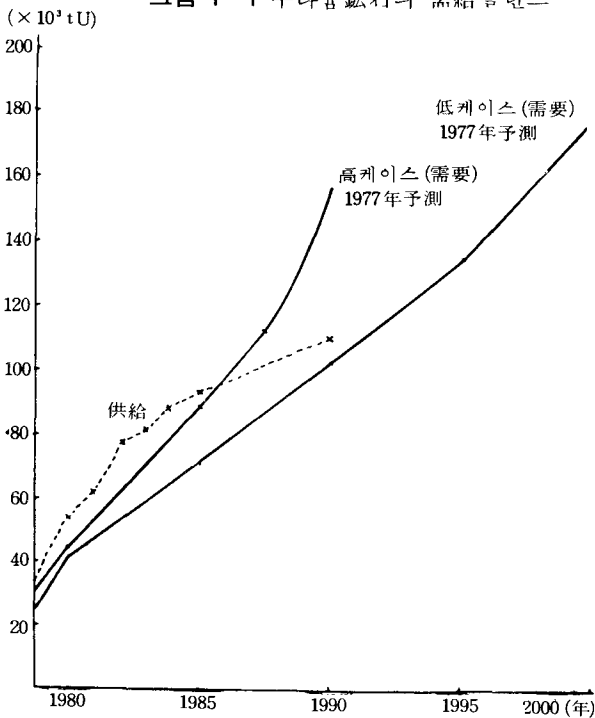
● 아직 實現하고 있지는 않으나 기술적인 검토는 행해지고 있다. 但, 그 개발은 토륨-우라늄 233이라는 새로운 핵연료 사이클이기 때문에, 상당한 기술개발 노력과 자금을 각오할 필요가 있다.

● 핵연료의 多樣化를 도모할 수 있다.

⑦ 爐型의 多樣化를 도모할 수 있다는 点.

● BWR, PWR, CANDU爐 등으로 원자로의 型을 다양화함으로써 고장, 사고에 관한 위험 分散이 도모된다.

그림 1-1 우라늄 鈳石의 需給밸런스



出典 : OECD-NEA / IAEA「Uranium」

(2) CANDU 爐의 短点

① 耐震性的 確保에 申중을 기해야 한다.

- 出力密度가 낮기 때문에 장치의 重量이 커진다.

- 운전중의 燃料교환이 가능하므로 교환중에 지진이 발생했을 경우의 不安이 있다.

② 熱効率が 낮다는 点

- CANDU 爐는 약 28%, 輕水爐는 약 33%이다.

③ 重水를 사용한다는 点

- 건설 코스트를 높게 하는 要因

④ 負荷追從 運轉에 制約이 있다는 点

- 크세논 (Xenon) 진동이 크다.

⑤ tritium에 의한 作業員의 被曝의 위험이 크다는 点

- tritium의 발생량은 輕水爐의 약 20배.

- 燃料 교환중에 tritium을 포함하는 重水가 누

실하기 쉽다 (但, 輕水爐와의 比較에서는 종합적인 피폭선량으로서 比較할 필요가 있다).

⑥ 大容量의 既使用 燃料저장 풀이 필요하다는 点.

- 가령, 캐나다에서와 같이 既使用 燃料의 재처리하지 않는다는 方針을 취한다고 하면 大型의 저장풀을 保有할 필요가 있다.

⑦ 재처리량이 輕水爐에 비해 많아진다는 点.

- 既使用 燃料의 取出量이 輕水爐의 약 4 배나 된다. (但, 核分裂 生成物은 적다)

⑧ 許認可 指針策定の 필요가 있다는 点.

- 이는 아직 CANDU 爐에 관한 許認可의 기준이 없는 나라에 해당될 것이다.

(3) 輕水爐와의 종합적인 比較

① 건설 코스트는 CANDU 爐가 輕水爐를 약간 上回하나, 설비 이용률은 CANDU 爐가 운전중에서도 燃料 교환을 行하기 때문에, CANDU 爐 쪽이 약간 有利하다. 이 결과, 發電 코스트는 거의 같은 水準이다.

6. 綜合的인 檢討 - 重水爐 導入時의 判斷 斷点

(1) 判斷의 포인트

① 核燃料 需給전망

② 輕水爐 - FBR 路線속에서의 位置 정립 (경제성을 고려해서)

③ 미국 및 우라늄 수출국의 원자력 정책과의 관계

④ 개발할 경우의 개발자금, 기술자의 効率性.

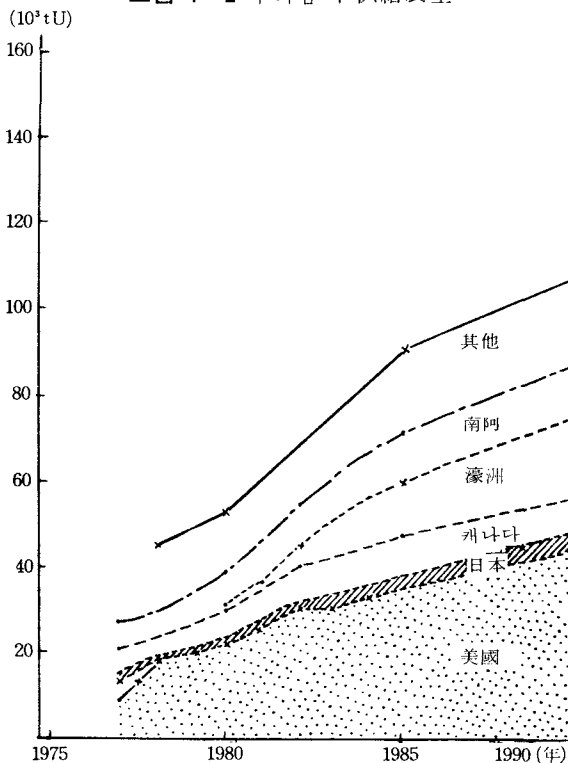
(2) 核燃料 需給의 展望

① 1977年의 OECD-NEA / IAEA 資料에 의하면 우라늄 수급의 밸런스는 圖 1-1과 같이 되어 있으며, 우라늄 資源의 推定을 포함한 매장량에 대해 최근 OECD의 1,400~2,600萬톤이 있다, 라고 하는 (작년까지는 약 400萬噸強) 예측과 같은 낙관적인 전망도 나오고 있다.

② 그러나, 이 전망에는 몇가지의 不安要因이

内在하고 있다. 즉, 圖 1-2에서 보는 것처럼, 최대의 生産國인 미국의 우라늄 생산량이 조금 과대하게 잡고 있는 것이라든지 1980년대 이후의 생산량의 急増이 기대되고 있는 濠洲가 우라늄의 개발·수출정책에 관하는 与野黨의 의견대립 및 勞動組合의 수출 반대운동에 의해 안정된 우라늄 공급국으로서의 신뢰성에 대한 문제점등을 고려하면 경우에 따라서는 장래의 우라늄 수급이

그림 1-2 우라늄의 供給展望



出典 : OECD-NEA / IAEA 'URANIUM'

반드시 낙관만을 할 수는 없다는 것도 고려된다.

③ FBR의 실용화가 대폭적으로 지연하는 경우를 想定하면 우리나라도 우라늄의 필요량은 증가하지 아니할 수 없을 것이다.

④ 따라서, 우리나라가 다시 CANDU 爐의 導入의 可否를 판단함에 있어서는 국제적인 우라늄 수급의 앞날에도 주목할 필요가 있다.

그리고, CANDU 爐의 특징을 이와 같은 視点에서 보면 다음과 같다.

●우라늄 所要量이 적다는 点.

●캐나다製 CANDU 爐에 대해서는 캐나다의 우라늄 공급보장을 얻을 수 있다는 点

⑤ 농축에 대해서는 세계적인 원자력 개발규모의 대폭적인 다운(down)에 의해 농축 不要라고 하는 CANDU 爐의 특징은 현재로서는 반드시 輕水 爐에 대한 큰 利点이 되지는 않는다.

(3) 輕水 爐 - FBR 路線에서의 位置

① 原子力 開發은 輕水 爐 - FBR가 대체로의 基本路線이다. FBR의 導入시기가 되도록 빠르며, 또한 그 개발규모를 가능한 限 크게 하는 것이 우라늄의 소요량 절약으로 연결되는 것은 당연한 것이므로 FBR는 최선의 선택이기는 하나 현시점에서 아직 기술 개발의 途上에 있으며 기술적, 경제적인 기대에 応할 수 있을까 하는 것은 확실치 않다고 한다.

② 이로 인해, 만약 FBR의 실용화 시기가 늦어지는 경우, 우리나라로서도 우라늄 資源절약의 관점에서 아래와 같은 선택 문제를 고려해야 할 것으로 생각한다.

① FBR의 늦어지는 分을 輕水 爐로서 보충하기 위해 우라늄의 増量手段을 강구한다.

② 우라늄의 増量을 가능한 限 피하기 위해 重水 爐(예를 들면, ATR 또는 CANDU 爐)를 계속 도입한다.

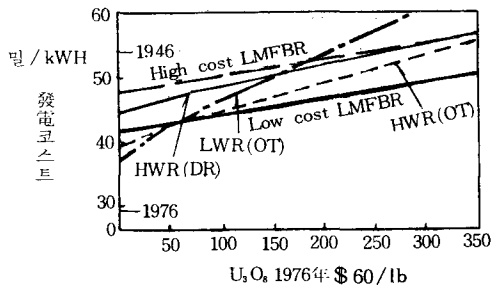
③ 원자력 개발 규모를 다운시킨다.

④ 剩餘 플루토늄을 풀·터어멀로 한다(ATR 또는 CANDU 爐) 따라서, ATR 및 CANDU 爐의 계속 도입 문제는 위에서와 같은 選擇肢의 속에서 고려해야 할 필요가 있다.

③ 또, 위에서의 케이스와는 逆으로 FBR의 개발이 극히 순조롭게 진행했을 경우에는 FBR의 初裝荷 플루토늄 確保라는 관점에서 플루토늄 轉換 效率이 높은 CANDU 爐 既使用 연료의 再處理등, 적극적인 평가도 있을 수 있다.

또, 현재로서는 플루토늄 연료를 전제로 계획을 진행시키고 있는 ATR와 같이 CANDU 爐가 플루토늄 연료로 實証되면 그 使用목적은 확대되어 ATR에서 기대하고 있는 부분을 포탈시키는

그림 1-3 各種爐型의 經濟性 比較



(註) OT : Once-through  
 DR : 우라늄 사이클  
 High cost LMFBR  
 輕水爐의 75%增加의 建設코스트  
 Low cost LMFBR  
 輕水爐의 25%增加의 建設코스트

것도 가능하다. 그러나, 플루토늄의 사용에는 後述하는 바와 같은 制約을 고려할 필요가 있다.

④ 그리고, 경제성의 관점에서 重水爐를 보면 (圖 1-3 参照) 輕水爐와 FBR의 中間에 위치하고 있다. 前에, 미국의 원자력 위원회 (AEC) 및 에너지 研究 開發廳 (ERDA) 등에서는 우라늄 가격이 상승하지 않더라도 高速增殖爐 (LMFBR)의 建設 코스트는 15年 以內에 輕水爐의 建設 코스트와 함께 내릴 수 있다고 1975년경까지 고려되고 있다.

그러나, 최근의 에너지省 (DOE)의 建設 코스트의 記錄에서는 LMFBR의 建設 코스트는 경수로의 25~75%增으로 되어 있다.

여기에 따르면, 低코스트 LMFBR의 경우는 우라늄 가격이 60달러/파운드  $U_3O_8$  (현재는 약 42~43달러/파운드)로부터 LMFBR가 경제적으로 有利하게 되며, 高코스트 LMFBR에서 180달러/파운드  $U_3O_8$ 을 넣으면 LMFBR가 有利하게 되어 있다.

한편, 重水爐의 建設 코스트는 輕水爐의 20%增이라고 하여 發電 코스트는 약간 비싸게 되어 있다. 그러나 우라늄 價格이 60달러/파운드를 넘어서면 once-through의 重水爐는 경제적으로 輕水爐에 競合할 수 있으나, 연료를 리사이클한 重水爐의 경우는 低코스트 LMFBR와 高코스트 LMFBR의 中間의인 값으로 된다.

이와 같이, 重水爐 및 LMFBR가 경제적으로 輕水爐와 競合할 때는 우라늄 가격의 上昇이 前提가 되어 있으며, LMFBR의 경우의 經濟성에 비해서 重水爐의 경우는 빠른 시기에 달성될 것이 예상된다.

(4) 美國 및 우리나라 輸出國의 原子力 政策과의 關係

① 미국이나 기타의 우라늄 수출국이 수입국에 대한 압박은 극히 엄해지는 경향이 있다.

② 따라서, 농축 工程이 不要한 CANDU 爐의 導入은 이들 나라들의 規制를 부분적이라도 完 化시키게 될 것이다. 그러나 캐나다產 우라늄의 사용에 따라, 현재 가장 엄한 원자력 협정국인 캐나다에 의한 規制는 남게 된다.

③ 再處理에 대해서는 FBR의 도입규모가 순조로운 경우는 물론, 늦어진 경우에도 플루토늄의 核的價値의 유지와 경수로에서 生成된 플루토늄은 輕水爐 플·터어머로 가게 되는 것이다.

따라서, 再處理는 어느 쪽에서나 필요하게 되며 核擴散上的 配慮에서도 적어도 當面 技術개발을 계속하는 것은 양보할 수 없는 線이다. 미국으로서는 當面의 대규모인 플·터어머에 대해서는 강한 저항을 나타내는 것으로부터 once-through 方式의 CANDU 爐는 문제 없으나 플루토늄 연료에 대해서는 技術개발만이 許容된다는 결과에 도달할 것이라고도 생각된다.

(5) 開發資金·技術者의 效率性

① 先進國의 원자력 개발상황을 보면 미국은 輕水爐中心, 영국은 가스爐로부터 PWR, 불란서는 PWR 中心, 서독은 PWR 中心의 輕水爐로 나라의 總력을 기울여서 하나의 爐型의 完成을 목표로 하고 있다.

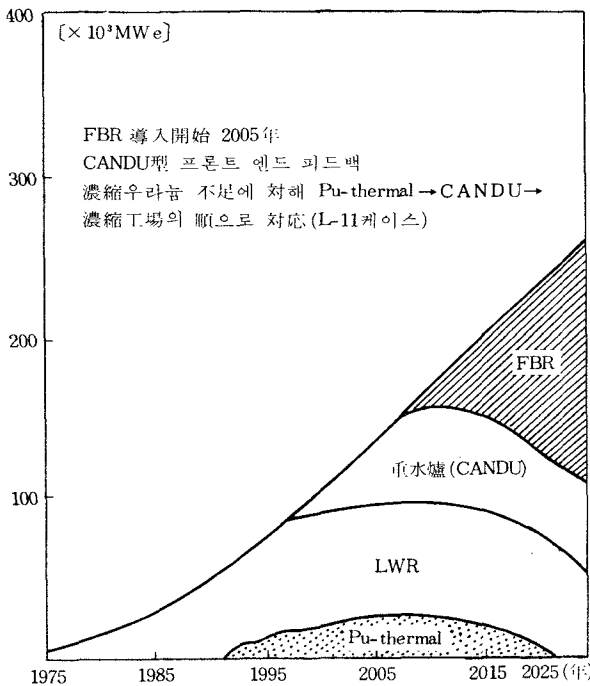
따라서, 우리나라의 重水爐 계속 도입의 可否의 판단에 있어서도 複數型 선택에 따르는 자금 및 技術자의 分散이 가져오는 효율성의 변화에 관한 評價와 原子爐 産業體의 対応體制의 판단이 重要할 것이다.

② CANDU爐의 도입은 같은 重水爐인 ATR의 개발계획 및 FBR 개발계획에도 영향을 안 줄 수 없는 것이다.

### 7. 重水爐 導入을 假定했을 경우의 視点

重水爐의 계속도입에 대해서는 다음의 2 가지

그림 1-4 濃縮需要 抑制을 위해 CANDU爐를 導入했을 경우의 爐型構成  
FBR 導入 開始2005年 CANDU型 프론트 엔드 피드백 濃縮우라늄 不足에 對해 Pu-thermal-CANDU→濃縮工場의 順으로 対応(L-11케이스)



出典:政策科學研究所 1977. 3「核燃料사이클의 시스템分析」

케이스를 假定하고 각각의 問題點을 概觀 하기로 한다.

#### (1) 可能한 限 大幅의인 導入을 行하는 케이스

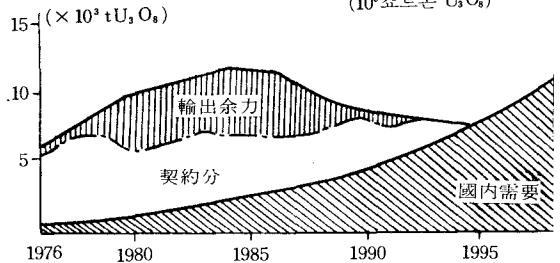
圖 1-4에서와 같이 1995年 以後의 新設分에 대해서는 거의 全面的으로 重水爐로 轉換하며 次代의 FBR의 初裝荷 연료확보를 指向하는 路線을 선택하는 케이스를 假定한 경우, 다음의 點에 검토할 必要가 있다.

① 캐나다의 우라늄 공급보장  
캐나다產 우라늄의 이용 可能性을 고려할 경우 다음의 點을 고려할 必要가 있다.

- ㉠ 수출 可能량
- ㉡ 수출에 따르는 條件

첫번째의 수출 可能량에 대해서는 현재 운전중(10基) 및 건설중(14基)인 CANDU爐의 우라늄 所有量은 年間 3,000t임에 對해 캐나다에서 의 우라늄 生産은 6,000~12,000t이며 圖 1-5에서와 같이 1995년 까지는 수출 余力이 있다고 말할 수 있다.

그림 1-5 캐나다의 우라늄 需給(1976~2000)  
(10^3 쇼트톤 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)



出典: R. M. Williams, Uranium Supply to 2000: Canada and the World (Ottawa: Energy, Mines and Resources Canada, 1976), P. 16.

(註) 生産量은 1975年의 埋藏量을 基礎로 한정.

1995年 이후에 전혀 새로운 우라늄 매장이 발견되지 않는다면 수출 余力은 없어질 뿐만 아니라 國內수요 조차 충족시키지 못할 것이다.

그러나, 캐나다에서 의 현재의 우라늄 탐광 노력은 미국 등에 比해서 적은 것으로 고려해 보면 1985년 을 피크(peak)로 해서 生産이 감퇴된다는 假定은 비현실적이며, 캐나다의 원자력 규모가 圖 1-5에서와 같은 이상한 變化率으로 伸張하지 않는다면 1995年 이후에도 수출 능력은 있다고 예상된다.

두번째의 우라늄 수출에 관하는 조건에 대해서는 캐나다 정부의 우라늄 정책에 합치된 형태로 생각할 必要가 있으며, 그 정책 骨字는 국내 수요를 優先해서 캐나다產 우라늄의 공급을 하기로 되어 있다. 또, 캐나다產 우라늄에 對한 保障 措置를 수입국에 요구하고 있으며 이에 대해서는 이미 숙意한바 있다.



이와 같은 캐나다의 정책은 우리나라 消費國에 불안을 주고 있으나 당분간은 이 정책이 變更되지 아니할 것이며 앞으로도 계속할 것이라고 생각된다.

또, 캐나다는 CANDU 爐의 세일즈 포인트의 하나로서 CANDU 爐國 우리나라의 공급보장을 할 의향을 가지고 있다고도 傳해지고 있으나, 이 供給保障의 범위는 캐나다製 CANDU 爐에 한정된 것이라고 생각된다.

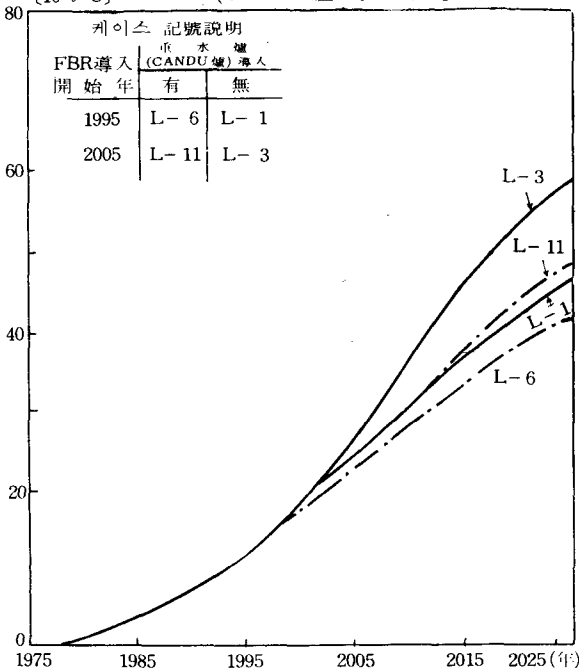
② ATR와 의 競合性

CANDU 爐의 대규모 도입은, 기술 實証性, 핵연료 사이클상 결과적으로 ATR의 개발 中止 要因이 될 것이 예상되며 자주개발한 ATR와의 競合성은 어떻게 생각하는 가는 어려운 문제이다.

③ 原子力産業이 対応体制가 정비될 것일가.

重水 爐의 대규모 導入에는 現行의 輕水 爐 対応 原子力 産業体制의 大幅的인 再構築이 前提條件이 되나, 이를 위해서는 韓電 및 政府의 確信을 가진 誘導가 필요하게 된다.

그림 1-6 累積天然우라늄 所要量 (CANDU 爐 導入의 경우)



出典：政策科學研究所 1977. 3 「核燃料사이클의 시스템分析」

또, CANDU 爐의 대규모 導入이 실현된다면 CANDU 爐 開發体制가 새로운 要素로 加해지게 되어 現 PWR 体制에 새로운 波紋을 던지게 되나 원자력 산업체제를 총력으로 쌓아올리는 것을 현재 한국의 최대 과제의 하나라고 할 때, 이 기대에 応할 수가 있다면 확실히 이것은 하나의 Merit 일 것이다.

(2) 小規模的인 導入 케이스

소규모(몇개의 유니트로 한정할 때)의 導入을 행하는 케이스를 가정했을 경우의 문제점은 다음과 같다.

① 爐型 多樣化에 의한 위험分散 効果는 적다.

重水 爐의 導入규모를 몇개로 그칠 때는 導入 메리트의 중요한 하나로 들고 있는 爐型 多樣化에 의한 위험분산 効果는 극히 한정된 것이 된다.

② 한편, FBR의 실용화가 늦어질 경우의 발전규모의 확보, FBR의 실용화가 시작했을 경우의 플루토늄 確保策으로서의 의의도 생각할 필요가 있으며, 지금부터 기술개발에 따르는 스텝으로 해서 아무리 한정된 것이라 할지라도 효과는 효과로서 평가해야 한다는 주장도 할 수 있다.

③ 國內의 산업체가 어떻게 対応할 것인가.

산업체로서는 採算의으로 매력에 있는 규모(유니트 수)의 受注전망이 없는 限 重水 爐 対応의 受注体制는 取하기 어려우며 장래의 擴大규모의 비전이 제시되지 않으면 필요한 연구 개발부의 연구는 기대한 것처럼 진전하지 않을 우려가 있다.

④ 重水 爐를 도입하는 의의가 不明確하게 된다.

將來의 개발구상을 가지지 않은 實証 爐 건설은 그 意義가 不明確하게 되며 長期的 계획성이 欠하였다라는 비판이 많았던 존재의 원자력 개발의 진행방식을 되풀이 하게 된다.

원자력의 연구개발에는 膨大한 자금을 필요로 하며 또한 高度의 기술개발을 필요로 함으로써 1개 국가를 초월한 국제적인 공동연구 또는 分業이라는 형태를 취해가고 있다. 따라서 우리나라로서도 무엇을 自主개발하며 무엇부터 國產化에 착수하며 어떠한 것을 共同 연구해 나아가야

하는가를 差別하는 것을 검토하는 것이 중요하며, 또한 국내적인 연구개발 體制가 한 일이 現 體制에서 충분했는가를 다시 한번 되새겨 보아야 할 것이다. 重水爐의 필요성은 전에는 미국으로 농축 서비스로부터 脫却이라는 뜻에서, 최근에는 FBR의 未來가 반드시 확실치 않다는 不信으로부터 出發해서 保險으로서의 위치로 그쳐왔다. 또, 重水爐의 기술적 困難性, 核연료 사이클상의 메리트, 경제성은 앞에서 말한 것처럼 輕水爐와 FBR의 中間에 위치하게 정말로 中間爐라고 말할 수 있다.

경제성의 관점에서 가령, FBR가 장래적으로 輕水爐에 競合한다면 그 이전의 단계에서는 資本費가 輕水爐와 FBR의 中間으로 되어 있는 重水爐가 경제적으로 어필될 것이라고 생각되며, 이와 같은 뜻에서는 FBR의 動向은 重水爐의 열쇠를 쥐고 있다고 말할 수 있다.

重水爐의 ATR CANDU-PHW는 앞에서 말한 것처럼 그 목적과 기능도 따르따로의 選擇문제기 있으며 그 導入 効果도, 도입에 따르는 문제점도 전혀 다르다. 다시 CANDU爐 導入에 관해서는 우리나라와 캐나다의 정치·경제관계(무역 밸런스) 등 기술 이외의 요소도 고려해야 할 것이다.

爐型선택이런 不確定性을 가진 판단에 결정하지 아니하면 아니되는 것이다. 이와 같은 性格에 발을 딛고 장래의 원자력 개발은 보다 바람직한 방향으로 추진할 필요가 있다. 만약, 확실한 것이 있다면 과거의 검토 經緯이기도 하며 또한 정책판단의 근거이기도 하다. 끊임없는 기술개발이 필요한 원자력 개발에서는 과거의 경험 위에서 현재의 기술평가를 행해야 하는 것은 必須的이며, 重水爐의 장래도 이점은 충분한 발판으로 해서 진행시킴이 필요할 것이다.

8. 끝으로

2~3년 전의 원자력 대규모 개발예측이 최근 立地上, 환경상의 制約에 의해 不得已 縮少하고 있다. 우리나라는 원자력 산업계가 PWR와 함께 한 발자욱 더 앞서서 CANDU爐, ATR爐 까지도

그 건설에 參與해야 하겠다고 할 때, 우리나라 全体 產業체에 미치는 영향은 어떠한 것이며, 이에 대한 여러가지의 의견은 구구하나, 우리나라의 장래 에너지 규모를 고려하면 이것을 가능하게 해야 한다는 의견과, 또한 선진국에서와 같이 하나의 爐型을 선정 集中的으로 개발 투자하며 輕水爐를 아직도 完全에 가까운 國產化를 하지 못하고 있는 현시점에서 重水爐의 도입은 문제가 있다는 의견들도 있다.

ATR와 CANDU爐의 保存에 대해서도 그것이 적당할 것이라는 의견도 있으나 核연료 사이클上 相補할 수 있는 점이 있다 하더라도 기술 革新의 余地가 큰 원자력의 特性上으로 부터 고려하면 어느 쪽으로 기울어야 할지 아직도 검토가 필요할 것이다. ATR와 CANDU爐를 비교하면, CANDU爐는 이미 實証 단계를 겪었다는 뜻에서 ATR에 한걸음 앞서고 있으나, 우리나라로서는 CANDU爐에 대한 우리나라 기술 기준이 아직도 서있지 않아, 더구나 檢証은 全無하며, ATR은 아직 검토의 단계에도 이르지 못하고 있다.

이웃나라 일본에서 ATR의 原型爐가 100% 出力을 達成한 實証爐로 들어갈 단계에 있는 것을 살펴보면 거의 兩者는 같은 레벨에 있는 것 같다.

또, ATR에서의 Pu연소가 輕水爐의 풀·터어 멀과 경합한다는 뜻에서는 ATR의 매력은 적어지는 것 같이 생각되기도 한다. 한편, 輕水爐의 역사에서 이것이 턴키方式에 따르는 導入이였기 때문에 많은 곤란을 겪어온 경험에서 앞으로의 원자력 개발에서는 쌓아올린 기초연구를 밑바탕으로 해서 경우에 따라서는 導入技術을 완전히 소화한 형태로서의 自主기술까지 발전시킴이 필요할 것이다. 이와 같은 점에서 ATR도 고려해야 할 것이며, 가령 CANDU爐를 전적으로 도입하는 경우에서도 前에 西獨 사람들이 輕水爐를 導入할 때 先進技術을 충분히 이를 吸收하고 이를 바탕으로 바로 實用爐를 건설한것 같이 우리도 CANDU爐에 대한 完全히 理解된 技術로서 이루어진 自主技術을 바탕으로 해서 建設에 臨하는 것이 必要할 것이다.