

### III. 原子力發電所 壽命延長 運轉

姜 昌 淳

서울대학교 原子核工學科

#### 1. 序 論

1985年 6月 30日 現在 全世界의 原子力發電所 容量은 運轉, 建設 그리고 計劃中인 것을 總網羅하여 537機에 4億KW를 넘고있다. 우리나라도 1978年 4月 古里의 原子力發電所 1號機가 商業運轉에 들어간 後 現在 建設中인 모든 原子力 發電所가 完成되는 1989년에는 總 發電容量이 760萬KW에 到達하게 되어 全體 發電設備容量의 36%를 占有하게 된다.

1960年代와 1970年代에 걸쳐 繼續된 原子力發電所의 建設 增加에 따라 安全性 問題가 끊임없이 擡頭되어 이 에 대한 研究와 補強政策이 꾸준히 進行되어 왔다. 이로 인하여 近來 美國등 一部 國家에서는 安全規制가 強化되고 安全設備의 補強과 建設中 設計變更이 不可 避하였고 이에 따른 建設工期의 遲延등은 莫大한 建設費의 上昇을 招來하게 되어 原電建設計劃을 取消 또는 縮小調整하지 않을 수 없게 되었다.

우리나라에서도 最近 經濟成長의 低下와 外債節減政策등으로 原電 11,12號機의 建設을 當初 計劃보다 5年 遲延된 1995年 및 1996년에 各各 竣工토록 調整하고 相對的으로 經濟性이 向上된 有煙炭 發電所 建設을 增加配定한 새로운 電源計劃을 마련하게 되었다.

이러한 狀況下에서 昨今 世界 各國은 原子力發電의 經濟性 提高 研究를 通하여 原電의 活性化 方案을 摸索하는 데 많은 努力을 기울이고 있다. 에너지 賦存 資源이 不足한 우리나라에서는 長期的으로 原電의 建設이 必須인 바, 좀더 積極인 姿勢로 原電 經濟性 提高에 努力을 競走해야 할 것이다. 이의 일환으로 本稿에서는 原電의 壽命延長을 通해 原電의 發電單價를 節減하는 方案을 檢討해 보고자한다.

原子力發電所의 壽命延長 運轉은 전혀 새로운 概念이 아니다. 이미 많은 非原子力發電所들이 初期 設計壽命 以上으로 運轉되고 있다. 火力의 경우 50~60年 運轉되고 있고, 水力의 경우도 40年은 훨씬 넘는 것으로 알려져 있다. 滿期가 된 發電所를 廢棄할 것인가 혹

은 壽命을 延長하여 運轉할 것인가 하는 결정은 經濟的 및 技術的 檢討를 거쳐서, 運轉許可와 관련된 諸般 認許可事項을 어떻게 滿足시키는가에 따라 研究 檢討 되어야 한다. 壽命이 다한 發電所를 繼續 運轉하기 위하여는 設備의 改善 및 修理, 交替가 要求되므로 이에 따른 投資費用과 作業의 規模 및 難易性을 確認함으로써 그 選擇 與否를 決定하여야 한다. 따라서 設備改善에 따른 運轉停止期間 및 그 結果로 얻어지는 延長 壽命期間을 經濟的인 面에서 最適化하는 設備改善費用을 設定하여야 한다. 結局 設備改善에 許容되는 費用의 限界와 技術能力의 限界를 벗어날 수 없는 것이다.

#### 2. 經濟性 檢討

1979年 9月의 EPRI研究<sup>(1)</sup>에 依하면 設備改善費用이 美貨 5億弗 미만이고, 改善期間이 數年間に 이루어질 수 있다면 壽命延長은 經濟的인 것으로 나타나고 있다. 1982年 6월에 發刊된 EPRI NP-2418<sup>(2)</sup>에서도 設備改善을 위한 break-even 비용이 3億弗에서 10億弗까지 높게 計算되고 있다. 勿論 이 費用은 設備改善에 必要한 運轉停止期間, 停止期間 동안의 代替電氣價 그리고 願하는 壽命延長期間에 따라서 달라진다. 그림 1은 EPRI에서 計算한 break-even 費用을 보여주고 있다. 그림 1은 設備改善期間의 變化에 따른 break-even 費用을 延長期間 10年 및 20年의 경우에 보여주고 있다. 現在로는 이러한 費用이면 充分히 設備改善을 할 수 있어서 壽命延長의 經濟性을 立證할 수 있는 것으로 判斷하고 있다.

그렇다면 設備改善費用은 어떠한 것이 있을까 하는 質問을 갖게 된다. 20~30年後에 있을 費用을 產出하는데 많은 不正確한 因子들이 있다. 그렇지만 現在까지 있었던 여러 實例에 依하여 그리고 EPRI에서 檢討한 原子爐壓力容器 交替費用 產出을 根據로 改善費用을 개략적으로 推定할 수 있다고 본다. 表 1은 現在까지 있었던 實例를 보여주고 있고, 表 2는 EPRI에서

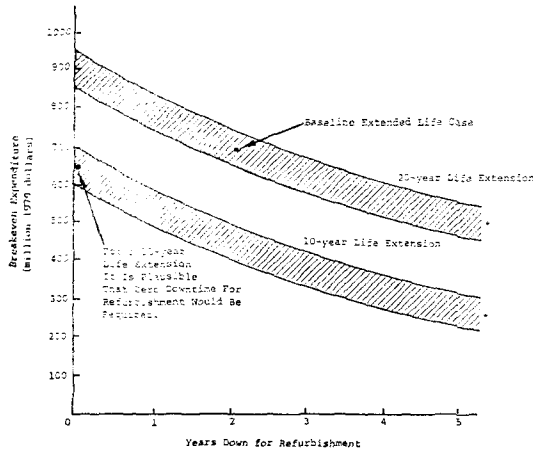


그림 1. Sensitivity of Breakeven Expenditure to Years of Life Extension

\* Band represents authors' qualitative assessment of uncertainty.

표 1. 交 替 費 用

	직접비용 (\$)	교체기간 (년)
Surry 증기발생기	80×10 <sup>6</sup>	0.75
Duane Arnold Safe ends	20×10 <sup>6</sup>	0.50
Dresden 2 급수Spargers	—	0.25
Browns Ferry Cables	—	1.50

표 2. 原子爐壓力容器 交替費用 (1979~1980 추정)

Direct Costs	
Material	\$ 34,300,000
Labor	17,300,000
Indirect Costs (excluding financing, escalation, and replacement power)	
Occupational Exposure	13,000,000
Project Supervision, Owner Representatives, Consultants	16,900,000
Total (approximate)	\$ 82,000,000
Uncertainty and Contingency (+50%)	41,000,000
	\$ 123,000,000

推定한 壓力容器 交替費用을 보여주고 있다.

현재의 檢討에 依하면 原子爐壓力容器 交替가 가장 費用이 많이 드는 것으로 알려져 있다. 그러므로 單一品目の 完全交替로는 1億弗를 넘지 않는 것으로 結論을 낼 수 있는 것이다. 實際적으로 壓力容器交替는 必要하지 않을 것으로 보지만, 蒸氣發生器의 交替는 거

의 必須적인 것으로 알려져 있어서 개략적인 費用 추산이 가능한 것이다.

### 3. 技術的 檢討

設備改善에 따르는 높은 投資가 經濟적으로 그 妥當性を 認定받았다 하더라도, 과연 그 設備改善이 技術적으로 가능한지 檢討되어야 한다. 發電所 運轉壽命延長을 檢討하기 위하여 部品를 다음과 같이 分類하여 體系적으로 살펴볼 수 있다.

가. 無限壽命을 갖는 部品

나. 修理 및 交替를 要하는 部品

1) 現在 알고 있는 改善方法이나 交替能力에 基礎를 두어 壽命延長 可能性이 큰 品目.

2) 狀態 파악이 되어야만 延長運轉을 위하여 修理나 交替가 가능한 品目.

3) 40年の 設計壽命期間中에 적어도 한번의 交替를 要하는 品目.

4) 40年の 設計壽命期間中에 여러번의 交替를 要하는 品目.

原子力發電所는 예를 들어서 콘크리트 구조물 같이 壽命에 制限이 있는 것은 아니지만, 時間이 가면서 계속 品質이 저하되는 品目들로 構成되어 있다. 그러므로 첫번째 단계로 品質低下가 조금되어도 지속적인 사용이 가능한 품목을 결정하고, 그 다음으로 품질저하가 되면 발전소의 安全性이나 利用率에 영향을 주는 品目を 알아서 修理·交替·改善이 가능하여야 한다. 특별히 主要部品の 交替는 經濟적으로 매우 큰 負擔을 안고 있으므로, 그 確認作業이 매우 重要하게 되는 것이다. 經驗에 依하면 上記 나항의 1)과 2)에 속하는 部品는 여러 發電所에서 運轉 初期부터 設備改善이 되었음을 알 수 있다. 이러한 현상의 主된 이유는 部品自體의 壽命보다는 不適切한 設計에 있었다 그러나 한 가지 確實한 것은 어떠한 部品도 設備改善이나 交替가 不可能한 것은 없고 다만 그 費用에 따라 實行與否가 決定되어야 한다. 참고로, 交替의 어려움, 安全性 및 상업적 측면에서의 위험도 등의 복합적 요인으로 관심을 要하는 몇 개의 部品를 소개한다면 다음과 같다.

가. 核反應기내의 1차 냉각계통

(특히 원자로 압력용기)

원자로 압력용기 자체를 제외하고는 蒸氣發生器를 포함하여 交替의 先例가 많이 있다. 結局 원자로 압력용기 交替가 가장 重要한 문제가 된다.

나. 1차 차폐 콘크리트

80年 가량 사용이 가능한지 검사가 되어야 하며, 점

근이 용이하지 않으므로 많은 문제점이 있다.

#### 4. 認許可 檢討

##### 가. 運轉 許容壽命에 관한 規定

10 CFR 50.51에 依하면 原子力發電所의 認許可期間을 最大로 許可發行日로부터 40年으로 하고 있다. 여기에서 40年이라는 期間을 建設許可日로부터 計算하느냐 혹은 運轉許可日로부터 計算하는가 하는 것은 아직도 確實하지 않다. 그렇다면 40年의 期間 設定의 根據는 어디에 있는가? 40年의 發電許容期間은 1954年의 Atomic Energy Act에 근거하는데, 이 任意로 설정한 기간은 어떠한 기술적인 근거가 있는 것이 아니었다. 이 근거는 오히려 당시의 技術 基準에 맞추어서 Breeder와 核融合 發電所가 今世紀末에는 可能하다는 判斷이나 혹은 債務상환이란 觀點에서 定하여진 것이라 믿어진다.

1970년대 중반 이후에 建設된 많은 原子力發電所가 運轉許可期間보다 훨씬 오래 運轉될 수 있다고 認識되고 있는 中이다. 美規制指針(U.S. Regulatory Guide) 1.86도 核蒸氣供給系統의 交替를 示唆하고 있는 것이다. 그러나 本 指針에서는 核蒸氣系統의 完全交替를 의미하고 있으나, 原子力產業界에서는 適切한 補修를 하여온 系統이라면 充分히 再活用이 可能하다고 믿고 있다.

##### 나. 廢爐規定

현재까지 廢爐에 관하여 많은 政策 수립을 위한 檢討가 되어 오고 있다. 그렇지만 廢爐라는 面에서 壽命延長을 하여서는 아니된다는 規定은 發見된 바가 하나도 없다.

廢爐와 關係하여 EPRI보고서<sup>(2)</sup>는 두가지 事實을 提示하고 있다. 하나는 廢爐를 위한 備蓄資金을 運轉壽命延長을 위한 設備改善資金으로 轉用<sup>(3,4)</sup>하고 그 동안에 再備蓄하는 것이고, 또 하나는 發電所設計 당시부터 廢爐를 對備한다면 設備改善의 容易성과 廢爐의 容易성을 함께 考慮할 價値가 있다고 보고 있다.

##### 다. 品質의 再保證

原子爐의 壓力容器, 1차계통의 배관 및 부품들의 持續的인 品質保證은 原電의 安全性을 유지하는데 가장 重要한 課題이다. 壽命延長運轉은 安全性을 最優先으로 하기 때문에 部品の 改善, 補修 및 交替는 品質保證을 絕對的인 前提로 하여야 한다. 現在의 規定이나 標準規格은 直接的으로 再保證 關係를 言及하지는 않고 있다. 그러나 이에 대한 指針의 개발이 絶실히 要求된다. 現規定은 規制指針의 改正, 壽命滿期 혹은 非正常狀態 發生에 對備한 것이 아니다. EPRI에서는 이에 對應하여

새로운 標準規格의 必要性<sup>(5)</sup>을 強調하고 있다. 이 보고서는 새 規格의 必要性을 說明하고, 새 規格 作成을 위한 指針을 提示하고 있다.

#### 5. 推進 方向

經濟性 提高라는 側面에서(技術적으로 可能하다고 할 때) 原子力發展所의 壽命延長 運轉은 必須的이라고 하면, 어떻게 이 問題를 받아 들여야 할 것인가? 推進方向으로 특히 4가지 事項에 關하여 檢討하여 보기로 하겠다.

—具體的인 壽命延長 프로그램 作成

—發電所 設計時 考慮하여야 할 事項

—發電所 運轉·補修時 考慮하여야 할 事項

—壽命延長을 위한 研究가 되어야 할 事項

理想的으로는 壽命延長運轉의 概念은 發電所 設計 당시에 생각되어야 한다. 그러나 대부분의 발전소는 이미 설계가 완료되었거나, 40年의 수명에 맞추어서 운전되고 있는 것이 現實이다. 이러한 경우에 運轉 및 補修 때에 充實한 業務는 自然的인 壽命延長을 達成하게 하여 주는 것이다.

##### 가. 壽命延長運轉을 위한 프로그램

壽命延長運轉을 위한 段階的인 프로그램은 다음과 같다.

—壽命이 制限되어 있는 部品 確認.

—部品の 壽命延長 算出.

—部品에 對한 具體的인 壽命延長計劃 作成.

—基礎 資料 및 監視計劃 樹立.

—確實하지 않은 分野의 研究計劃 展開.

—部品, 運轉 및 補修 改善.

發電所 建設 당시의 설계, 분석 및 기기와 물질의 상세한 정보자료를 수집하여 조사하여야 할 品目을 決定하여야 한다. 조사된 품목은 그 壽命과 交替의 必要性에 따라 分類된다. 技術檢討에서도 言及한 바와 같이 거의 대부분이 交替可能하다고 判斷되므로 經濟的인 면에서 交替의 必要性이 分類의 基準이 되는 것이다.

일단 모든 部品이 分類되면 各 部品은 壽命延長의 잠재성을 評價하여야 한다. 壽命延長의 妥當性을 보는 데는 품질보증에서 요구하는 추적이 가능한 모든 서류들이 필요한 것이다. 評價하는 데는 다음과 같은 具體的인 事項을 例로서 들 수 있다.

—部品の 原來 設計基準, 技術 사양, 적용규격, 試驗方法 등 檢討.

—運轉記錄(環境—放射線, 溫度, 壓力, 水質 등, 運

轉 時間), 補修 및 交替記錄, 事故記錄 등 檢討

一部品 退化 過程 檢討.

—監視 혹은 資料 수집을 해야 할 部品 選別.

—部品の 設計壽命 및 再品質保證의 要件 檢討.

—部品 改善 및 交替作業 檢討.

—不確實하여 繼續 研究 및 檢討가 必要한 分野 確認.

壽命延長을 위하여 詳細한 監視나 資料 수집이 必要한 部品은 될 수 있는 限 빨리 그 計劃이 수립되어야 하며, 좀 더 研究 및 檢討가 必要한 分野도 確定되어 計劃이 수립되어야 한다. 또한 運轉 및 補修 作業도 改善되어 利用率 向上의 側面으로서 뿐만 아니라 壽命延長의 觀點에서 再整備되어야 할 것이다.

#### 나, 設計時 考慮事項

經濟性 提高라는 側面에서 앞으로 壽命延長을 必然의인 것으로 받아 들인다면, 앞으로의 發電所 設計는 이 點을 考慮하여 設計되어야 할 것이다. 그러므로 設計는 現 段階의 經濟性만 따질 것이 아니라 壽命延長이라는 觀點에서 수행되어야 한다. 例를 들어서 退化防止, 補修 및 交替를 極少化하여야 하며, 運轉中에 얻은 資料를 效率의로 利用하여 이에 대처하여야 한다. 設計값에 充分한 餘裕를 갖게 하여 壽命延長에 對應하여야 한다.

壽命延長 運轉에 도움이 되는 系統(例를 들어서 2차 축 복수탈염기 혹은 脫氣器 등)의 設置는 좋은 方法中의 하나이고, 運轉中에 발생이 많았던 部品은 될 수 있는 限 새 設計에서 排除하도록 하여야 한다. 勿論 主機器 供給者들은 電力會社와 긴밀한 關係를 유지하여 材質이나 部品 選定에 協力을 게을리 하지 말아야 하는 것이다.

機器 배치에서도 補修 및 交替를 充分히 考慮하여, 空間을 넓히고 交替가 容易하도록 設計하여야 한다. 特히 蒸氣發生器의 交替能力을 미리 생각하여 두는 것이 適切하다고 보며, 심지어는 壓力容器 交替도 可能하도록 積납용기의 機器出入口를 定하는 것도 생각할 수 있다. 標準 및 規格도 壽命延長이라는 側面에서 보면 最少限으로 맞춘다는 것 보다는 餘裕를 갖는 것이 좋다고 본다.

#### 다. 運轉·補修時 考慮事項

運轉 및 補修에서 가장 優先하는 것은 運轉員 및 補修要員의 徹底한 教育 및 訓練이다. 繼續의로 現實에 맞추어 改善 및 研究되어야 한다. 機器 供給者들로부터의 最新 資料를 消化하여 恒常 最上의 能力을 유지하도록 教育 및 訓練이 되어야 하는 것이다. 또한 運轉 및 補修指針에 徹底히 따르도록 하여서 部品の 退化를 작게 하여야 한다. 例를 들어서 加壓輕水爐의

경우 증기발생기의 水質條件을 잘 맞추어서 증기발생기 튜브의 손상 및 퇴화를 줄이는 것을 들 수 있다.

繼續해서 새로운 機器 및 系統의 發明을 注視하여, 改善에 努力하여야 한다. 또한 監視 및 檢査를 強化하여 豫防補修를 늘림으로써 部品の 壽命延長을 達成하여야 한다. 다시 말해서 이미 運轉中인 發電所의 경우 運轉 및 補修의 強化, 그리고 部品 및 系統의 繼續의인 改善이 가장 重要한 인자가 되는 것이다.

#### 라. 研究

1985년 4월 EPRI<sup>(6)</sup>의 發表에 依하면 原子力發電所 壽命延長運轉과 關聯된 研究는 必須의이며, 이 報告書에는 具體的인 研究 狀態와 方向이 提示되고 있다. 美國에서는 Yankee-Rowe를 처음으로 하여 1997년부터 現在의 運轉許可가 滿期에 들어가고, 2010년 까지는 무려 65機의 原子力發電所의 運轉許可가 滿期 된다. 따라서 이에 따른 具體的인 프로그램이 確定되어 이에 따른 標準 및 規格의 變更, 確認을 위한 研究 그리고 認許可檢査가 順次的으로 이루어져야 할 것이다. 따라서 壽命延長과 關聯된 研究는 이미 進行되고 있고, 어떤 分野는 計劃中에 있다. EPRI, 電力會社 그리고 DOE는 共同으로 體系的인 研究를 進行하기로 하였다. 이 研究는 우선 Surry-1과 Monticello를 대상으로 하여 完全한 政策을 開發하는데 있다. 技術的인 方法 뿐만 아니라 예산, 공정, 사업관리 등을 포함하여, 具體的인 프로그램으로 運轉, 補修, 監視, 記錄 및 分析의 基準을 세우게 되어 있다. 그러므로써 앞으로 다른 發電所의 모델로 利用될 것이다.

## 6. 結 論

지금까지 檢討한 것을 根據로 原子力發電所의 壽命延長運轉이라는 면에서 다음과 같은 結論을 낼 수 있다.

가. 壽命延長의 價値는 數 億弗에 해당되며, 따라서 經濟性 提高라는 側面에서 必須的이다.

나. 技術 檢討에서는 별로 문제가 없는 것으로 判斷되며 20年 以上の 延長이 가능한 것으로 본다. 積납용기 외의 부품의 개선은 현재로서 전혀 문제가 없고, 積납용기 자체 및 내부시설은 좀 더 구체적인 연구가 필요하지만 기술적인 문제는 없는 것으로 판단되며, 壓力容器의 交替도 그 正當性을 認定하고 있다.

다. 수명연장에 관한 事項은 현재 어떠한 規定이나 標準 및 規格에도 具體的으로 示唆된 바가 없다. 이 方面의 研究는 좀 더 必要하지만 認許可上에는 別 問題가 없으리라 판단된다.

라, 앞으로의 새 발전소 설계에는 수명연장이 고려되어 설계되어야 한다. 특히 우리의 標準化 設計에서도 증기발생기 교체 등과 같은 능력을 포함하여야 한다. 당장 눈에 보이는 利益보다는 장래를 고려하여 전체적인 경제성을 고려하면서 설계되어야 한다.

마. 現 運轉中의 發電所의 運轉 및 補修를 強化하여 수명연장 운전을 최대화해야 한다. 이를 위한 部品の 감시계획 및 자료수집 프로그램을 빨리 시작하여야 한다. 이에 따른 체계적인 연구도 시행되어야 한다.

끝으로 本 글을 위하여 조사하고 도와준 4學年 金은 회양에게 감사를 표한다.

### 參 考 文 獻

1. Planning Study and Economic Feasibility for Extended Life Operation of LWR's-TPS78-788, Electric Power Research Institute, September 1979.
2. Extended Life Operation of LWR's: Economic and Technological Review-NP-2418, EPRI, June 1982.
3. Draft Generic Environmental Impact Statements on Decommissioning of Nuclear Facilities-NUREG-0586.
4. Design, Costs, and Acceptability of an Electric Utility Self-Insurance Pool for Assuring the Adequacy of Funds for Nuclear Power Plant Decommissioning Expenses, NUREG/CR-2370, December 1981.
5. Rationale for a Standard on the Requalification of Nuclear Class 1 Pressure Boundary Components, EPRI NP-1921.
6. EPRI Nuclear Power Plant Life Extension Research, John J. Carey, April 1985.