

#####

既存火力發電所

設備의 壽命延長

#####



金善俊

(韓國電力技術(株) 責任技術員)

1. 序言

大容量 原子力發電所의 基底負荷 담당과 晝夜間의 電力需要 차이가 점차 커짐에 따라 基底負荷用으로 설계된 장기사용 火力發電所의 일부를 DSS(Daily Start up and Shut down) 또는 Cyclic용으로 전환할 필요성이 대두되고 있다.

이 경우 빈번한 起動·静止와 負荷增·減發에 의한 設備의 수명단축은 물론 性能 및 有用성이 저하되기 때문에 부분적인 設備交替와 改善을 통한 信賴度 向上과 수명연장이 불가피하다.

또한, 新規發電所 건설에는 많은 費用과 장기간의 建設工期가 소요되므로 앞으로 수명이 만료되는 장기사용 火力 및 熱併合發電所의 일부를 단기간에 적은 비용을 投資하여 수명을 연장 시킴으로서 新規發電所 건설시기를 연기시킬 수 있다.

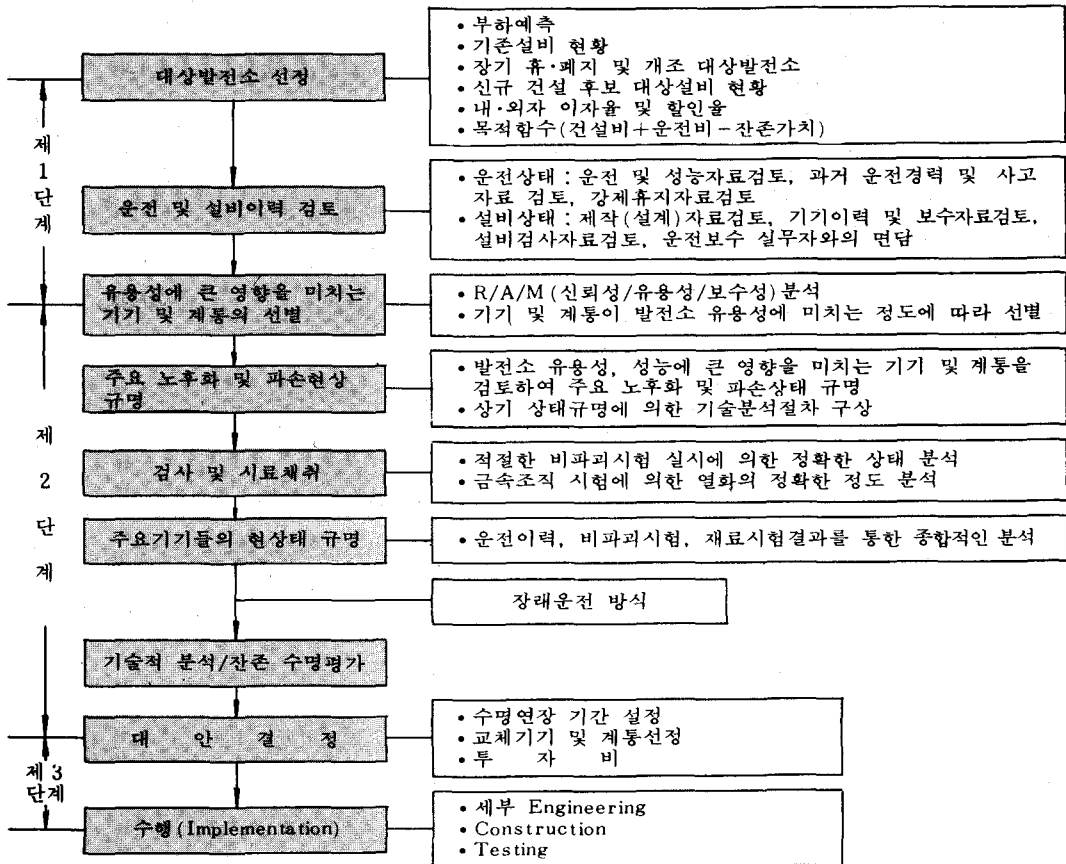
火力 및 熱併合發電所의 수명연장은 發電所 建設時 요구되는 부지확보의 어려움과 關係規定(환경 및 안전)의 강화, 특히 투자비 상승과 需要豫測의 불확실 등으로 新規發電所 건설이

어려워짐에 따라 착안되었으며, 또한 새로운 技術開發로 기기의 性能과 信賴度가 向上되어 수명연장을 위한 設備의 改造 또는 부분적인 교체로 plant의 性能을 改善할 수 있기 때문에 歐美에서는 이미 다수의 發電所들이 이 개념에 의한 적절한 補修와 設備交替로 설계수명을 훨씬 초과한 40년 이상 운전되고 있다.

수명연장 실시 시기는 대체로 유용성이 크게 저하되는 建設後 20년 전후가 적절하며, 그 이후에는 보다 많은 投資費가 소요되는 것으로 알려지고 있다.

2. 壽命延長 遂行過程

發電所의 壽命延長 program은 3段階로 나누어진다. 제 1 단계에서는 電力系統 및 設備運用 자료들을 기준으로 검토하여 對象發電所를 선정하며, 第2段階에서는 선정된 發電所의 세부진단 및 시험을 통하여 壽命延長 目標設定을 위한 수명연장 期間, 性能개선 정도, 運轉方式 등을 결정한다. 第3段階에서는 세부 Engineering과 Construction등이 수행된다. 發電所 수명연장을 위한 각 단계별 기본 프로그램은 다음과 같다.



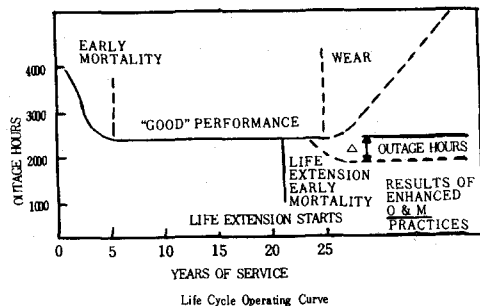
發電所 壽命延長 基本 Program

3. 壽命延長 檢討時期

發電所 壽命은 性能·有用性 및 經濟性을 적절히 유지함과 동시에 信賴性있게 運用할 수 있는 期間을 기준으로 할 때 대체로 25~30년 정도로 보고 있다.

美國의 NERC(North Electric Reliability Council)에서 發表한 다음의 Life Cycle Operating Curve에 의하면 發電所 新規建設 초기 5年間은 잠재된 결함이나 設備상호간의 유기적인 Unbalance로 인하여 사고정지가 다소 많이 發生하며 그 후에는 系統 및 設備의 安定性 회복으로 事業回數 및 時間이 급격히 減少·安定되다가 25년이 경과한 이후부터는 사고정지 시

간이 급증하는 것으로 나타난다. 따라서 發電所의 수명연장 사업은 20년 정도 使用後 착수하는 것이 설비의 유용성과 經濟性 확보를 위한 적절한 時期로 보고되고 있다.



4. 壽命延長時의 考慮事項

壽命延長을 效果의으로 수행하기 위해서 各技能分野別로 진밀히 협조하여 設備利用을 最大化하도록 종합적이고 단계적인 計劃을 추진하며, 그 效果를 極大化하기 위하여 運轉形態의 變化, 關係法規, 標準規格 및 관련 Code 등의 적용이 적절히 반영되어야 한다.

(1) 運轉形態

系統負荷 수요변화에 대응하기 위해 基底負荷 發電所를 중간부하로 운전할 경우 各系統과 設備에 Cyclic Stress가 증가하므로 設備破損을 방지하기 위하여 계통변경이나 設備改善을 행하여 다음 사항을 만족시킨다.

- 적절한 蒸氣溫度 유지
- 적당한 溫度變化率 유지
- 간편한 運轉節次

(2) 關係法規

기존 火力發電所는 대부분 향후 환경규제치 에는 적합하지 않을 것으로 예상되기 때문에 다음 規程을 고려하여 設備를 改善하여야 한다.

- 大氣汚染物 배출규정
- 固體廢棄物 규정
- 廢水處理 규정

기타 수명연장을 위한 별도의 規定은 국내에 는 없으나 美國에 Environmental Impact Statement(EIS), Fuel Use Act 등이 있다.

(3) 標準規格 및 關聯 Code

수명연장 타당성 검토시 安定性에 대한 기술적 평가는 수명연장 사업의 결정요인이 되며 특히 다음 사항에 대한 검토가 필요하다.

- 燃料의 安定性
- 보일러 제어
- 火災탐지 및 예방
- 터빈 감시장치

5. 壽命延長 技術檢討

(1) 壽命延長 대상설비

火力發電所는 高溫·高壓下에서 연속운전 이 가능하고 高効率 운전이 바람직하지만 使用年數가

경과함에 따라 設備가 老朽化되어 效率低下는 물론 信賴度가 떨어진다. 이러한 설비의 열화 현상은 Pressure Part나 高速회전기에서 많이 발생하고, 效率低下는 복수기, 급수가열기 및 공기에열기에서 많이 發生하며, 主要設備별 수명연장 대상기기를 보면 다음과 같다.

System	Equipment
Boiler	Each Header & Tube Duct & Expansion Coal & Ash Handling
Turbine-Generator	Rotor & Casing Major Valve Oil Pipe & Pump Stator & Excitor
Electric & Control	Transformer Main Breaker Switch Yard Major Motor Main Control
BOP	Heater & Condenser Major Piping & Hanger Major Pump. etc.

(2) 설비 실태조사

發電設備의 수명연장시에는 既存設備의 實態를 정밀조사하여 기계적인 열화정도를 각종 시험 및 運轉資料의 분석에 의하여 현 狀態를 진단하여야 하며, 이를 基準으로 각 부품 및 기기의 잔존수명을 확인함으로써 設備의 交替 또는 개조 범위를 설정할 수 있다.

1) 停止前 수행사항

Unit전체 실태를 파악하기 위한 豫備點檢단 계로 運轉 및 補修履歷을 調査한다. 이 過程에서는 事故停止 내용, 補修내역, 運轉현황(운전 시간, 과압·과온, 기동·정지 상태 및 회수, 부하변동율)등을 調査, 分析하고 發電所 실무 담당자(운전, 보수, 공무)와의 面談을 통해 設備의 問題點을 도출하여 정밀진단을 위한 基礎資料를 조사한다.

부위별 열화 Mechanism 및 원인

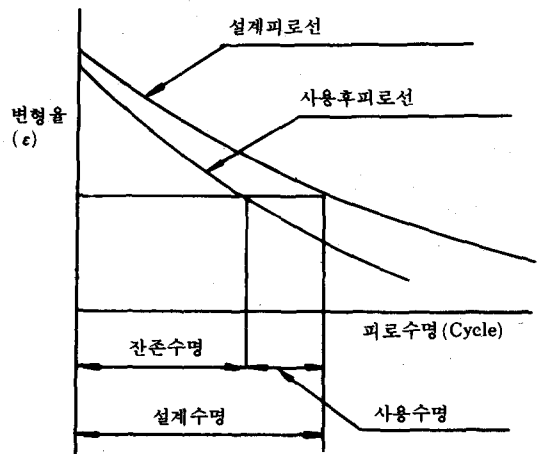
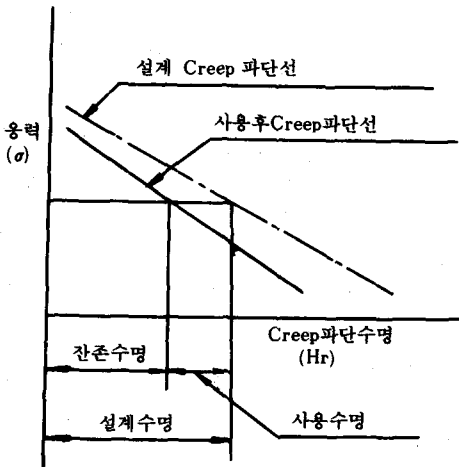
열화 Mechanism	대상 Component	원인
Creep	<ul style="list-style-type: none"> S,H&R, H Tube 및 Outlet HDR TBN Rotor 및 Shell Main Steam Line 	<ul style="list-style-type: none"> 고온, 고압증기
Fatigue	<ul style="list-style-type: none"> TBN Blade & Shaft BLR Drum, HDR & Tube Pump & Fan Generator Winding 	<ul style="list-style-type: none"> Thermally Induced Stress Periodic Steam Force Electrical Force
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> TBN Blade & Nozzle BLR Tube Fan Blade, Pump Impeller 	<ul style="list-style-type: none"> Hard Particle Erosion Fly Ash Erosion Cavitation
Corrosion	<ul style="list-style-type: none"> BLR Tube TBN Blade & Diaphragm A/H, Precipitator 	<ul style="list-style-type: none"> Water & Steam Impurity Coal Ash Constituents Ash Deposit

잔존수명은 현재까지 소모된 Creep Life 와 Cyclic Life를 豫測하여 向後 使用할 수 있는 수명을 평가한다. 잔존수명 평가방법으로는 기기류의 Component에 따라서

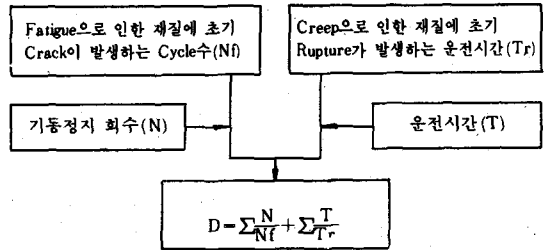
- 시료시험 : 피로시험 (Fatigue Test) 및 크리프 파단시험 (Creep-Rupture Test)에 의한 방법

- 비파괴 (NDT : Non-Distructive Test)에 의한 방법

- 운전이력에 의한 Fatigue 및 Creep 발생에 대하여 數值的인 計算方法을 使用할 수 있으며, 응력 및 변형율에 따른 수명의 변화는 다음 그림과 같다.



發電所의 Critical Component인 Drum, Header 및 터빈 Rotor, Casing 등 고온·고압하에서 運轉되는 設備에는 Fatigue와 Creep이 수명결정의 主要 Factor이며, 특히 설계범위를 超過한 고온·고압운전과 급격한 起動·停止로 인하여 재질에 발생하는 피로와 크리프는 설비 수명 減少에 결정적인 要因이 된다. Fatigue와 Creep 발생은 運轉條件, 運轉時間, 起動·停止 回數와 函數關係로서 ASME Code에 의한 Component의 손상식은 다음과 같다.



$$D = \sum_{i=1}^n \frac{N}{N_f} + \sum_{j=1}^m \frac{T}{T_r}$$

여기서 D : Total Failure(100%)

N : i의 하중이 작용한 Cycle수

N_f : i의 하중에 대한 판단시까지의 Cycle수

T : j의 하중하에서의 운전시간

T_r : j의 하중하에서 응력·온도에 대한 크리프 파단시까지의 시간

計算에 의한 전체損傷率이 100%에 도달할 때 Component에 초기 Crack이 發生할 可能性이 있는 것으로 보고있다. 따라서 安全率을 감안하여 Total Failure가 50%이상이면 設備의 精密診斷이 要求된다.

(4) 壽命延長 方案 및 經濟性

發電所 壽命延長은 향후 使用期間과 運轉形態등에 따라 여러가지로 分類할 수 있으나, 주로 단순한 壽命延長, 효율 및 性能計算을 고려한 壽命延長과 운전방식 전환을 고려한 壽命延長으로 분류되며, 壽命延長방안의 결정은 요청되는 壽命延長 목표와 각 방안에 따른 구체적인 經濟性 檢討를 통하여 計劃을 樹立·施行한다.

6. 結 言

長期使用 發電所는 豫想 廢止計劃 年度 5年前에 壽命延長 可能性을 評價하여 再投資 與否

를 결정해야 한다. 또한 發電所 壽命延長이 결정되면 設備의 精確한 實態調査와 정밀진단 및 계통 기여도를 감안한 性能改善과 운전방식을 전환하여 壽命延長을 실시하는 것이 效果的이며, 다음과 같은 장점이 있다.

- 장기 사용한 發電所를 壽命延長함으로써 외자 부담율이 높은 新規發電所의 建設을 연기시켜 많은 外債부담을 軽減시킬 수 있다.

- 기존 발전설비를 壽命延長하여 신규투자를 억제할 수 있으므로 전력수요 변화의 불확실에 따른 투자위험에 효과적으로 대처할 수 있다.

- 계통 전력변화에 응답성이 양호한 중간설비를 확보할 수 있으므로 주파수와 電壓을 일정하게 維持하여 良質의 電力供給은 물론 系統負荷가 적은 深夜에도 燃料原價가 낮은 原子力등을 많이 발전할 수 있다.

참고문헌

1. P. L. Culetl, "Economic Decision Making for Life Extension Program, 1984
2. Mitsubishi Heavy Industries Ltd., "Prediction of Creep Fatigue Damage in Major Steam Generator Component", 1976
3. T. C. Elliott, "Modernizing Controls to Promote Plant Life Extension", Power, Feb. 1986
4. R. D. Magnacca, "Electrical Considerations Life Extension Program", Stone Webster.
5. "A Methodology for Plant Life Extension," 84-JPGC-PWR-38, ASME