

## 原電 壽命延長計劃에 對한 決定

美國의 電力會社들은 기존 발전소의 수명을 연장할 것인가, 아니면 新規 발전소를 건설할 것인가를 빠른 시일내에 결정하여 투자해야 할 것이다. 그렇다면 어떤 방법으로 결정을 내릴 것인가? 다음은 美國 電力研究所(EPRI)의 M. E. Lapidès氏가 Nuclear Engineering International 誌 89年 8月號에 발표한 內容이다.

1970년대까지 미국의 전력회사들에서는 기술 향상이라는 용어는 과거의 기술에 의한 것 보다 낮은 비용으로 전력생산을 증가시킬 수 있는 새로운 발전설비를 건설할 수 있는나는 의미로 사용되었다. 전력회사들은 전력수요의 급격한 성장이 예측되었고, 한편으로는 신규 발전소의 부지선정과 건설이 용이했기 때문에 주로 이 방법을, 즉 신규 설비를 건설하는 방법을 선택하였다. 이처럼 신규로 대용량의 발전소를 건설하는 전략은 전력계통의 용량 증가 요구를 충족시키기 위한 것이기도 했다. 그 결과 기저부하를 담당하고 있던 대부분의 발전소의 경우 15~20년의 가동기간동안이나, 혹은 그 전에도 일상적인 발전업무와 유지보수업무의 양이 감소되었다.

1970년대 초반에 들어서면서 에너지 위기의식과 환경에 대한 일반대중의 인식이 대두되면서 전력회사들은 기존의 전략을 수정해야만 했다. 현재 고려되고 있는 거의 모든 전망의 기초는 현재 기저부하를 담당하고 있는 발전소가 종전보다 더 긴 기간동안 發電을 계속해야 한다는 것이다. 발전소수명연장(PLEX)은 이러한 기대

를 경영상의 결정으로 전환하는 것과 연관된 모든 활동을 포함한다.

경영상의 결정은 명목상 신규 발전소 건설에 배정된 재원을 어떤 조건으로 언제 기존 발전소의 유지 및 보수에 사용하는가를 확정한다.

경수로형 원자력발전소가 수명연장의 최우선 대상이다. 왜냐 하면, 낮게 책정된 핵연료비와 항상 새로운 최상의 상태로 유지되어야 한다는 기본적인 규제요건의 뒷받침을 받기 때문이다.

### 壽命延長에 영향을 주는 要素

발전소에는 여러 측면의 “수명”이 있다. 즉, 감가상각, 설계, 경제성, 기술 및 규제 등의 입장에서 본 수명이 있으며, 이러한 수명이 모두 조화를 이루면서 연장되어야 한다.

여러 측면의 수명을 균등하게 조화를 이루면서 연장시키는 과정(평형과정)은 선행기간(Lead Time Intervals)에 상당하는 계획기간동안 발전소의 용량을 유지할 경우의 상대적 비용과 위험도 및 이득 등을 정의하고 비교한다. 미국에서의 선행기간(LTI)은 8~20년이다(즉, 대형 발전소



의 부지선정과 건설에 소요되는 시간).

대부분의 원전의 경우, 수명연장은 이러한 기준을 이용해서 발전소의 여러가지 수명을 반복적으로 시험하는 것인데, 미국에서 발전소 수명연장을 위한 노력은 이미 어떤 진로를 제시해 놓았다.

#### 經濟的 壽命

발전소의 경제적 수명은 신규 발전소의 건설을 가상할 때 요구되는 이익이 기존의 발전소를 선행기간의 1~2배 더 가동할 때의 이익과 같아지는 시점을 결정함으로써 산출된다. 이런 방법의 타당성 조사가 1979년부터 1987년 사이에 이루어졌는데, 10~20년 정도 가동된 대부분의 경수로 원전은 50~60년 이상의 경제적 수명이 있는 것으로 나타났다.

발전소의 주요 부품, 즉 증기발생기와 발전소의 주요배관 및 압력용기 등의 개보수나 교체를 위한 준비도 발전소의 수명연장 결정에 포함된다. 그런데 미국의 발전소 인가수명은 40년이기 때문에 50~60년이라는 수명은 인가갱신이라는

문제를 수반한다.

#### 技術的인 壽命

미국의 원전 인가수명은 임의로 정해졌다. 그런데 발전소의 개조는 일반대중의 안전을 확보하려는 규제기관이나 인허가기관의 조치변경을 야기하지 않으므로 인가갱신은 우선적으로 미국원자력규제위원회의 정책적인 문제로 검토된다. 이러한 노력을 지원하고 안정된 규제절차를 확립하기 위해 미국의 전력회사들은 부품평가절차서에서 제안된 양식과 기준에 입각해서 발전소의 기술적 수명을 정의하는데 노력을 경주하고 있다.

기술적인 수명, 즉 발전소를 구성하고 있는 부품이 어느 기간만큼 요구되는 안전성 및 성능 기준을 만족하는지 여부는 단순한 문제가 아닌 품질저하관리과정을 포함하며, 특히 이 과정은 개보수 결정의 내용과 시기를 결정하기 위한 복합적인 검사와 감시 혹은 표본추출계획도 포함한다. 운전의 적합성 평가나 잔여수명평가 등으로 지칭되는 이 평가절차는 압력경계부품에

대한 적절한 형식절차이다. 즉, 품질시험이나 추이에 의해서 한정되는 부품의 수명에는 각각 상이점이 존재한다.

그동안 축적된 운전경험을 기초로 하여 현재 분석적 방법과 설계 당시의 가정에 중요성을 둔 기술적 수명의 안전성 평가에 대하여 실질적인 개선을 이룰 수가 있다. 각 발전소 구성요소에 대한 명확한 데이터의 현존과 결부하여 고찰하면 수명평가방법은 부품교체형식이며, 이 방법들은 미국원자력규제위원회(NRC)의 검토를 위해 미국에너지성(DOE)과 전력회사의 재정지원을 받아 주로 미국전력연구소(EPRI)에 의해서 개발되고 있는데, 2기의 시범발전소 인가갱신에 활용할 예정이다. 이 시범발전소는 Northern States Power사의 Monticello 원전(BWR)과 Yankee Atomic Electric社의 Rowe 원전(PWR)이며, 이 두 발전소에 관한 계획은 원자력관리 및 자원심의회(Numarc)에 의해 통합조정된다.

## 새로운 考察

그동안 발전소 수명연장에 관한 연구 결과 현재 전세계적으로 가장 많이 운전되고 있는 경수로 원전의 연구, 설계 및 건설기간 동안 적용되고 있는 많은 지식에는 상당한 한계점이 있음이 밝혀졌다. 흔히 사용하는 설계수명이라는 용어는 하나의 시사적 실례이다. 현행 경수로의 설계에 시간이라는 변수가 구체적으로 사용되었다고는 볼 수 없으므로 설계수명은 설계과정에서 만들어진 공학적 판단의 지침으로서의 의미를 제외하면 비교적 제한된 양적(量的) 의미만을 갖는다. 오히려 “운전기간중에 입증된 수명”(Demonstrated Life in Service)이라는 용어가 보다 의미가 있다.

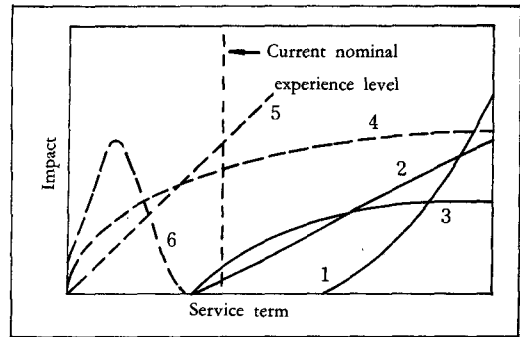
이와 같은 맥락에서 본 견해는 다음과 같다.

○그동안 축적된 실질적인 운전경험이 발전설비의 설계에 반영되어야 한다. 그러나 현재 가동

중인 모든 발전소의 70% 이상과 경수로 원전의 평균운전기간은 거의 10년을 넘지 않으며, 또한 오래된 발전소로부터 수집된 경험의 활용도는 주로 1970년대 이전의 유지보수비 조달부담 때문에 논란의 여지가 있다.

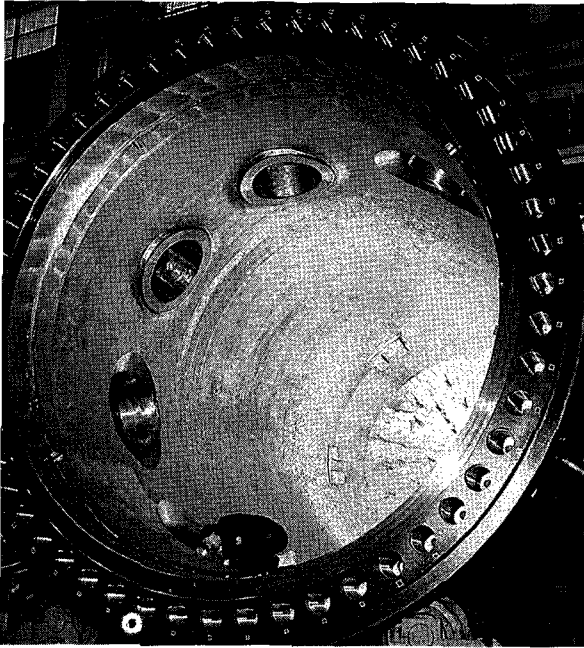
○안전성에 대한 위험도는 운전기간에 비례하여 증가한다는 직관적인 가정은 현재까지의 경험으로 입증되지 않았다. 따라서 인가기간 개정과 안전규제 요구사항의 상관관계에는 의문의 소지가 있다. 그런데 경수로의 인가기간은 세계적으로 다양한 반면(5년에서 무제한), 안전규제절차와 설계는 기본적으로 일치한다.

○발전소 수명연장과 설계경험의 제한성에 관하여 심도있는 연구가 필요하며, 또한 바람직하다. 발전소의 열화특성을 도식화해 보면(그림 참조) 보다 집중적인 평가가 필요함을 알 수 있다.



- 과거의 경험에 의해서 관리가 불가능한 열화기구
  1. 방사선조사에 의한 용력부식, 저온에민화(잠복특성)
  2. 일반적인 부식현상(선형, 저비율)
  3. 저온중성자 취화현상(포화, 저수준)
- 현재 이해가 가능한 열화기구
  4. 조사취화, 원자로압력용기(포화, 고수준)
  5. 잔류용력이 제거되지 않은 입자간 용력부식(선형, 고비율)
  6. 기타(설계오차)

〈그림 1〉 발전소의 수명연장을 위한 열화특성



운전기간의 연장문제는 지금까지 운전경험보다도 더 긴 잠복기를 갖는 열화기구에서 비롯된다. 경수로 원전의 경우, 가능성 있는 실례로서 저온에민화현상과 방사선조사에 의한 강철의 응력부식을 들 수 있다. 그러나 압력용기의 방사선조사에 의한 취화특성은 시간과 비례하여 포화상태에 도달하는 진행과정을 갖고 있으므로 운전기간을 연장하더라도 비교적 큰 문제를 야기하지는 않는다.

○발전소의 수명연장 비용문제에서 가장 중요한 것은 운전정지기간의 관리이다. 증기발생기의 교체 등과 같은 주요한 보수작업기간에 어떻게 다른 보수작업을 병행하여 수행할 수 있느냐 하는 것이 중요하다. 이것은 고도로 정확한 기술적 수명예측이 아닌 다른 요인에 의해서 많은 경수로 부품의 실질적 개보수나 교체가 결정된다는 것을 의미한다.

또한 운전정지기간의 관리의 수명예측의 불확실성 해결을 위한 기술적인 방법을 보수적인 개보수일정으로 대체도록 선택할 수 있다. 따라

서 많은 부품에 대하여 수명예측능력의 최소기준이 필요하다. 그러나 이 기준을 개선하려는 더 이상의 연구를 합리화시키기는 어려운 것이다.

○발전소의 수명연장은 동일한 설계에 의한 어떤 부품을 실제로 설치하고 관리하며 운전할 때 발생하는 차이의 인식을 요구한다. 반면에 ASME와 같은 안전규제를 참조한 코드는 포괄적인 설계특성과 관리 및 기술상의 일반적인 요구사항을 반영하고 있기 때문에 가끔은 좋은 결과를 가져온다.

따라서 잔여수명평가와 같은 새로운 절차의 법규화가 바람직하며, 이것이 운전기간의 연장을 위한 설계기준접근을 계속하는 것 보다 더 가치가 있는 것으로 평가될 수 있다.

○발전소의 수명연장은 검사시기와 적용 범위 및 수용할 수 있는 기준의 개발 등에 관한 검토와 개정에 중점을 두고 있으며, 이것은 비파괴검사장비의 정밀도 향상에 대한 요구를 수반하는 것이 된다. 그러나 연속적인 감시, 비파괴검사 대신 시료채취 및 표적검사 요구 등과 같은 적용범위의 확대는 높은 발전소 수명연장비용을 초래한다.

한편, 비파괴검사의 정밀도 향상에 대해서는 적절한 정밀도의 기준이 없기 때문에 논란의 소지가 있다.

미국의 경수로들은 현재 높은 운전 및 유지보수비용이 소요되는 것으로 인식되고 있다. 그러나 이 비용중에서 많은 부분이, 특히 "as good as new"라는 안전규제요건에 의해서 요구되는 비용이므로 다른 형태의 발전소에서는 수명연장을 위한 비용으로 분류할 수 있음은 명백하다. 발전소의 수명연장을 위한 노력이 장래에 이같은 비용을 감축시키는 이득을 위한 것이라면, 발전소의 재정규제와 관련된 사람들은 이 사실을 반드시 알아야 한다.