

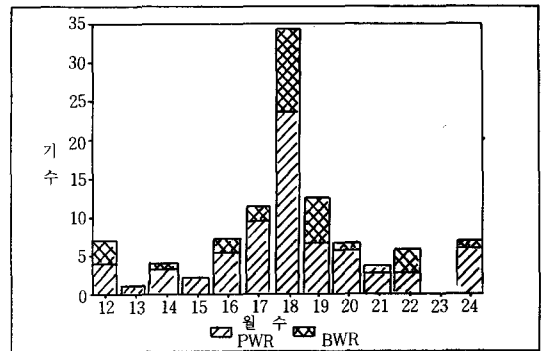
# 美國輕水爐, 18個月週期로 運轉實績 向上

美國의 대부분의 輕水爐에서는 18개월 운전주기를 계획하고 있으나, 아직 몇몇 原電은 1년 주기로 운전되고 있으며, 또한 몇기의 原電은 2년 주기를 목표로 하고 있다. 그러나 이러한 長週期는 유망한 것으로 보이나, 18개월 주기와 비교하여 비용 절감면에서 유리함이 명확하지 않아 설득력이 부족하다. 다음은 Stoller Power社의 Eric Olson部長이 Nuclear Engineering International誌 9月號에 발표한 내용이다.

대부분의 미국 경수로들은 전력회사들의 운전 실적 향상의 기대로 인해 1980년대에 들어와 보다 긴 핵연료주기를 채택하였다. 그러나 실제에 있어서는 주기당 계획된 전체 운전정지기간(핵연료재장전기간+주기중 발전소 운전정지기간)이 증가하거나, 또는 계획된 운전정지 사이 동안의 주기운전실적이 감소하면 실질적인 향상은 기대 보다 줄어들 것이다.

처음에 미국 산업계는 운전주기를 1년 주기에서 부터 약 18개월 주기로 연장시켰으며, 최근들어 많은 발전소들이 2년의 핵연료주기를 고려중이거나 시행중에 있다. 미국 경수로의 다음 주기로서 예측되는 기간을 그림1에 나타내었다. 이 그림의 주기는 핵연료재장전후 운전재개에서 부터 다음 핵연료재장전후 운전개시까지의 기간(핵연료재장전에 의한 발전소 정지기간 포함)으로서 월단위로 측정되었다. 자료는 이미 발표된 정보와 전력회사의 핵연료주기 입안자들에게서 수집된 것이다.

이 예측된 주기들은 18개월주기를 중심으로 거의 대칭으로 분포되어 있다. 따라서 대부분의 발전소들이 약 18개월 주기를 계획하고 있으



〈그림 1〉 미국 경수로의 다음 운전주기

나, 아직 몇몇의 발전소들은 1년 주기로 가동되고 있고, 또한 거의 같은 기수의 원전들은 2년 주기를 계획하고 있음을 알 수 있다.

## 과거의 運轉實績

1980년대에 들어 많은 미국의 원자력발전소들이 핵연료주기를 장주기로 변환하면서 발전소의 운전실적이 개선되었는가? 대부분의 발전소에서는 그렇지 않았는데, 이는 광범위한 판단으

로 볼때 장주기운전과 연관된 결과는 아니다.

원자력발전소에서 장주기를 채택하고 있을 무렵 미국 원자력발전소의 평운한 시기는 끝나가고 있었다. Three Mile Island 사고는 1980년대에 미국의 거의 모든 발전소에서 핵연료재장전기간의 연장, 혹은 다른 이유로 발전소 운전정지를 유발시킨 많은 문제중의 첫번째 것이었다. 여러가지 관리상의 문제로 미국원자력규제위원회(NRC)측의 요구에 의한 BWR 원자로의 배관 교체, PWR 원자로의 증기발생기 교체, 환경에 대한 방사선방어문제, 주요 지진설계의 변경 및 운전정지 등은 운전정지기간을 더욱 연장시키거나 빈번한 발전소 운전정지를 야기시켰다.

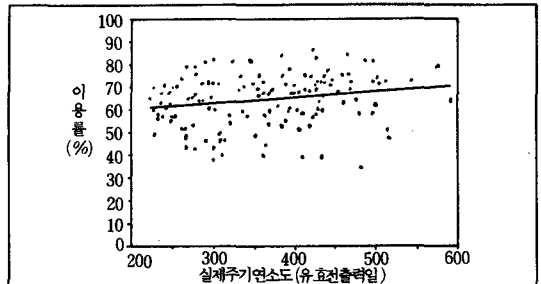
긴 핵연료주기의 채택으로 인해 달성되는 운전실적의 향상은 이런 요인들의 영향을 받아 크게 상쇄되었다. 그러나 가장 심각한 영향을 주는 요인의 경험을 배제시키고 조정한다면, 장주기에 의한 운전실적의 향상이 나타날 수 있다. 이러한 자료의 조사가 미국전력연구소(EPRI)를 위해 수행되어져 NP-5042와 NP-6333보고서에 수록되었는데, NP-6333보고서에는 1년에서 18개월로 주기를 연장시킴으로써 일반적으로 발전소에서는 약 3~7% 정도의 동가가동률(이용률)의 향상이 있었다고 결론지었다. 이러한 향상은 매년 핵연료재장전을 위해 정지하는 기간과 계획의 불시운전정지를(EUOR)이 감소한 결과이다.

일반적으로 볼때 운전실적은 상당히 향상되었지만, 아주 우수한 성능으로 가동되는 발전소에서의 향상은 그리 크지 않았다. 우수한 성능으로 가동되는 발전소는 핵연료재장전기간을 가능한 짧게 단축하는 경향이 있기 때문에 3년에 한번 핵연료재장전을 하지 않는 것은 운전실적 향상에 그리 큰 영향을 주지 못하였다. 또한 핵연료재장전기간이 짧기 때문에 핵연료재장전 작업은 과중한 업무가 될 것이다. 결과적으로

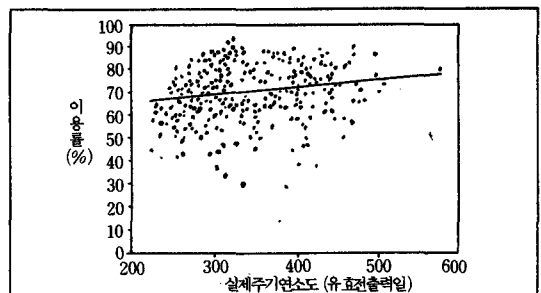
핵연료재장전의 빈도가 줄어들 경우 작업량이 더 오랜 기간 누적되어 증가하게 되며, 더우기 우수한 운전실적을 보이는 발전소는 계획의 불시운전정지율을 개선하기 위해 최대의 노력을 기울이는 경향이 있기 때문에 향상의 여지는 더 줄어들게 된다.

### 評價方法

주기의 길이와 발전소 운전실적의 상관관계를 조사하는 하나의 방법은 최소자승법이다. 그림 2와 3에 최소자승법으로 자료를 도식화시켜 나타냈다. 이 그림에서 첫번째 주기의 경험은 너무 불규칙하므로 고려하지 않았으며, 또한 유효전출력운전일(EFPD)이 220EFPD보다 적은 주기와 매우 긴 발전소 운전정지기간(즉, 1년)을 갖은 주기는 제외시켰다.



〈그림 2〉 운전주기 연장에 따른 BWR운전성능 향상추이



〈그림 3〉 운전주기 연장에 따른 PWR운전성능 향상추이

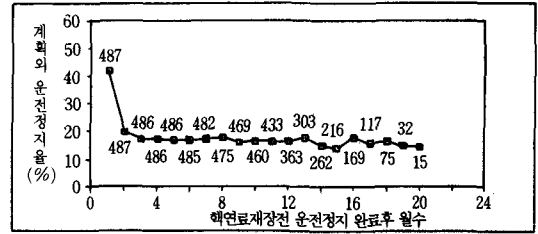
그림과 그후에 이어진 조사의 자료는 Stoller Power사의 OPEC원자력발전소 운전실적자료를 기초로 하여 1988년 12월 말까지 상업운전에 들어간 400MWe 이상의 미국의 모든 발전소의 경험을 포함시켜 구해졌다.

그림2와 3에 나타난 자료는 광범하게 분포하고 있으므로 발전소의 운전실적에 영향을 미치는 요인이 주기의 길이 외에도 많이 있음이 명백하다(예를 들면, 규모, 제작연도, 핵증기공급계통의 설계, 전력회사 자체의 능력 등). 그러나 높은 주기연소도(유효전출력운전일로 측정)를 갖는 높은 이용률의 일반적인 경향은 일관되게 나타나고 있다.

### 核燃料再裝填期間

운전실적 향상에 기여하는 두가지의 일반적인 요소중 핵연료재장전기간이 더 중요할 것이다. 대부분의 미국 발전소가 세계의 다른 발전소들 만큼 우수한 운전실적을 달성하지 못하는 중요한 요인은 긴 핵연료재장전기간이다. 따라서 미국의 발전소들이 장주기운전을 추구하는 것은 장주기운전방식을 채택하더라도 핵연료재장전기간이 크게 증가되는 것으로 보지 않기 때문이다. 이러한 사실은 Stoller Power사에 의해 수행된 비공식적인 조사결과로 결정되었으며, 대부분의 전력회사들의 발전소 운전정지계획 입안자들의 예상에 의해서도 확인되었다.

그러므로 긴 운전주기가 일반적으로 핵연료재장전으로 인한 발전소의 운전정지기간을 크게 연장시키지 않는다는 것은 고무적이다. 그러나 긴 운전주기 중간에 운전정지가 필요하게 되면, 장주기 운전실적의 향상은 크게 줄어들 수 있다. 그럼에도 불구하고 2년 운전주기를 검토하고 있는 발전소에서는 1년이 넘으면 유지보수작업과 검증시험 및 계장의 교정을 위해서 운전주기 도중에 발전소의 운전정지가



〈그림 4〉 계획의 운전정지율 추이

바람직한 것으로 믿어진다.

### 計劃外 不時運轉停止의 배제

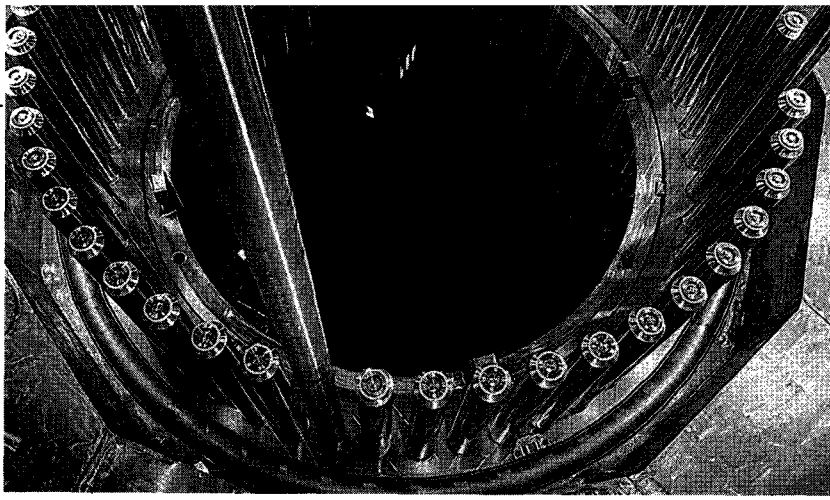
조사결과에서 괄목할만한 것중의 하나는 전반적인 운전실적 향상에 기여하는 다른 중요한 요소, 즉 계획의 불시운전정지율이 장주기에서 개선되었다는 것이다. 이와 같은 이유가 그림4에 나타나 있다. 이 그림에는 계획의 불시운전정지율이 마지막 핵연료재장전 운전정지 이후 월 단위로 나타내져 있다.

핵연료재장전후 처음 몇 개월 동안의 낮은 운전실적은 명백히 재기동의 실패에 의해 발생한 반면, 20개월까지의 후속기간에는 설비의 고장에 기인하는 계획의 불시운전정지율의 증가가 보이지 않는다. 긴 운전주기는 핵연료재장전의 빈도와 후속되는 재기동기간을 감소시키므로 결과적으로 운전주기중 계획의 불시운전정지율을 감소시키는 경향이 있다.

### 長週期 經驗

지금까지의 자료는 장주기운전으로 운전실적이 향상됨을 뒷받침한다. 핵연료재장전을 위한 발전소의 운전정지와 핵연료재장전 사이의 향상된 운전실적 모두 장주기가 유리하다.

그러나 이런 장주기 경험의 대부분은 18개월 주기에 대한 것이다. 주기를 2년으로 증가시킬 경우 운전실적에 대한 효과는 자료가 부족하기



때문에 확실하지 않다. 그림2에 나타난 경향을 기초로 하여 250EFPD(보통 1년 주기)의 주기에서 부터 500EFPD(보통 2년 주기)로 변경하였을 경우에 달성되는 이용률의 향상은 BWR 원자로의 경우 6.3%, PWR 원자로의 경우 6.8%이다.

그러나 만약 운전주기 중간에 운전정지가 필요한 경우 실제적인 이용률 개선은 적을 수도 있다. BWR 원자로가 이런 점에서 분명한 이점이 있다는 점은 주목할만 하다. BWR 원자로는 Under-Vessel 작업을 핵연료재장전기간 대신에 운전주기중 발전소 정시시에 수행할 수 있기 때문에 결과적으로 핵연료재장전기간이 짧아진다. 대부분의 PWR 원자로에서는 이런 작업은 불가능하다.

비록 운전주기중 발전소 정지가 있지만, 이미 몇몇 발전소들은 2년 주기를 달성하여 좋은 결과를 보이고 있다. Nine Mile Point 1은 이미 오래 전에 2년 핵연료주기를 채택한 BWR 원자로이다. 이 발전소는 1977년부터 5번의 2년 주기를 달성했는데, 이중 3번의 주기는 72%에서 75%의 이용률을 기록했다. 다른 2번의

주기에서는 긴 운전정지기간이 필요했는데, 이는 일반적으로 일어나지 않는 독특한 문제 때문이었다(즉, 재순환배관 교체와 현 NRC에서 요구하는 발전소 운전정지).

Clavert Cliff 2는 이제 첫번째 2년 주기를 달성한 PWR 원자로이다. 운전주기중 발전소 운전정지기간이 기대치 보다 약간 길었지만(3주 대신에 5주), 만약 핵연료재장전이 계획대로 달성됐다면(거의 10주) 운전주기중 이용률은 77.4%이었을 것이다. 그러나 전력회사는 가압기 히터의 문제점을 해결하여 운전성능을 개선하기 위하여 발전소 운전정지기간을 늘리기로 결정하였었다.

따라서 대부분의 발전소에 있어서는 1년 주기에서 18개월 주기로 변경함으로써 운전실적이 향상될 것이라는 충분한 확증이 있다. 반면 2년 주기에 대한 향상 증거는 명백하지 않아 설득력이 부족하다. 그러나 이러한 장주기는 바람직한 것으로 보이며, 이러한 장주기를 선구적으로 연구해 온 전력회사들에 의해 강력히 주장되어 왔다.

## 자원부족 공해걱정 원지력이 해결한다