

# EDF原電의 現在와 未來

프랑스는 2000년까지 電力生産量中 80%까지 原子力으로 공급할 계획으로 기술개발에 박차를 가하고 있는데 本稿에서는 이를 위해 프랑스 국내의 현황을 살펴보고 앞으로 프랑스에서 풀어나가야 할 문제들에 대해 언급 하고 있다.

## I. 佛 原子力發電 現況

프랑스의 원자력발전소는 거의 대부분이 加壓輕水爐型이다. 1990년에는 電力生産量の 75%를 공급하게 될 것이며 서기 2000년에는 이 비율이 80%까지 올라갈 것이다. 나머지는 水力과 火力이 담당할 것이다.

오늘날과 같은 원자력형태가 당분간은 계속 될 것이다. 서기 2000년에는 다음과 같은 형태로 발전소가 가동할 것이다.

- PWR 900MWe급 34기
- PWR 1,300MWe급 20기
- PWR 1,400MWe급은 10기 以下.

1,400MWe급 발전소의 수는 1990년대 初期의 에너지消費에 좌우될 것이다. 電源의 최적화를 위해 火力發電所도 일부 건설될 것인데 첨두부하담당을 위해 가스터빈이 주가 될 것이다. 그러나 크게 보면 프랑스의 21世紀는 원자력이 主宗을 이룬 상태에서 시작될 것이다. 이러한 상황아래서 우리는 원자력의 장래에 대해 몇가지 질문을 할 수 있을 것이다. 질문을 PWR에만 국한시킨다면 다음 두가지가 중요하다.

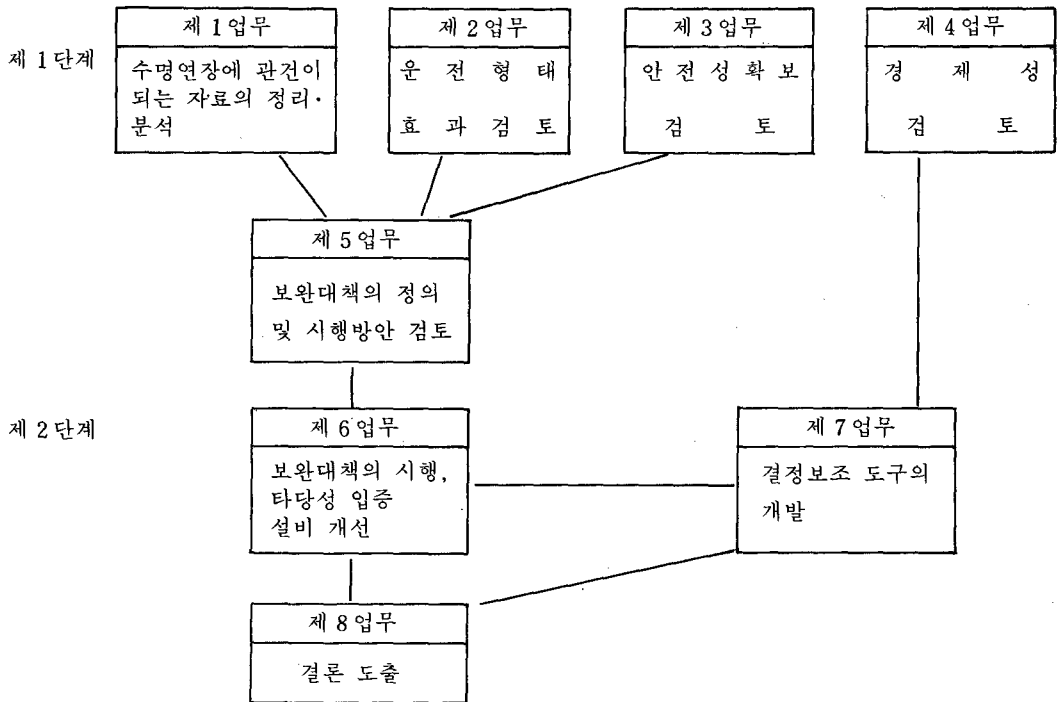
- PWR의 수명이 과연 얼마나 될 것인가?
- 신규전력수요 및 노후발전소를 대체하기 위해 1,400MWe급 N4계열 원자로이후에 어떤 원자로가 등장해야 하는가?

## II. 발전소의 수명관리

PWR 발전소는 그 수명기간 동안 다음과 같은 장점을 갖고 있다. kWh생산단가는 초기의 자본투자가 대부분을 차지하고(이 점은 수력과 비슷하다), 연료비가 상대적으로 적다; 초기설계가 고도·정밀한 기술을 바탕으로 하되 기술적으로 여유가 있게끔 되어있다(예를 들면, 低溫運轉으로 재질의 변화 문제를 어느 정도는 피할 수 있다).

초기 투자결점을 위해 일반적으로 기준하는 수명기간 25년보다 더 오랫동안 PWR을 운전할 수만 있다면 경제적으로 當然히 이익이다.

따라서 아직 발전소 운전년수가 일천한 지극이지만, 프랑스전력공사(EdF)는 1985년에 수명연장프로젝트를 착수하여 발전소수명기간 연장에 필요한 因子들을 導出하고 있다.



〈 표 1 〉수명연장 프로젝트 업무추진 흐름도

## II-1 수명연장 프로젝트의 體系

이 프로젝트는 표1에 나타나 있듯이 8개 분야로 나누어져 있다. 처음 4개분야가 1단계프로젝트를 이루는데 1988년초에 완료토록 되어 있었다.

1단계프로젝트는 기존 자료를 收集·檢討하여 向後計劃을 수립하는 것이다. 2단계프로젝트는 이 프로젝트의 목표를 성공적으로 수행하는데 필요한 수단을 開發하는 것이다.

### 가. 주안점

표2는 발전소 수명과 관련하여 가장 중요한 18개 부품을 나타낸 것이다. 이 부품을 교체하거나 수리하고자하는 결정은 매우 중요하여 발전소수명 종료시 이 발전소를 永久히 운전정지시켜야 하는가를 결정짓는 主因子가 된다.

여기에는 증기발생기부품이 물론 포함되며 2차계통 기기도 포함된다.

18개 部品이 받는 應力을 자세히 검토하여 어떤 위험한 현상이 일어날 수 있는가를 알아야 한다. 또한 이를 통제하고 감시하며 보수하는 方案도 검토되어야 한다. 이러한 검토의 결과로 更年變化를 改善하기 위한 研究必要點을 도출하였다.

### 나. 운전형식의 변화

여러가지 운전형식(부하추종운전 등)과 핵연료관리형태(1/4 노심교체, 플루토늄 재순환) 등이 수명기간에 미치는 영향을 평가하여 발전소를 가장 경제적으로 利用하는 방안을 찾고자 하였다. 또한 이를 위해 필요한 改善案도 도출하고자 하였다.

### 다. 安全의 確保

안전에 어떤 문제가 있을 수 있으며 安全水準을 확보하기 위해 필요한 대책이 무엇인가를 결정하고자 하였다.

〈표2〉수명연장프로젝트의 제1업무에서 선정된  
부품 목록

<p>보일러 부문</p> <p>1. 주 순환계통(MPC)</p> <p>1.1 원자로 압력용기</p> <p>1.2 대구경 MPC 배관</p> <p>1.3 기타 MPC 배관</p> <p>1.4 증기 발생기</p> <p>1.5 냉각재 펌프 케이싱</p> <p>1.6 가압기</p> <p>2. 기타 보일러 부품</p> <p>2.1 2, 3 등급 배관</p> <p>2.2 제어봉 뭉치 제어기구</p> <p>2.3 압력용기 내부구조물</p>
<p>보일러 이외의 부문</p> <p>3. 격납용기 및 토목부문</p> <p>3.1 격납용기 및 배관 관통부</p> <p>3.2 격납용기 벽체</p> <p>3.3 앵커</p> <p>4. 터빈·발전기</p> <p>4.1 터빈</p> <p>4.2 발전기</p> <p>5. 계측·제어 부문</p> <p>6. 전기 부문</p> <p>6.1 전선</p> <p>7. 냉각탑</p> <p>8. 기타</p>

#### 라. 經濟性分析

이는 수명연장에 관련하여 부품의 교체 혹은 보수 또는 시설해체의 경제성을 평가하는 것이었다.

#### 마. 향후 추진계획

1988년 중반에 착수한 제 2단계프로젝트는 수년간 계속되는데 각 발전소별로 내려야 할 결정판단의 자료를 확보하기 위해 更年變化등 연구필요점을 검토 선정하는 것이다.

## II-2 1단계 프로젝트의 결론

일반적으로 볼 때, 부품은 대략 다음 3가지로

구분될 수 있다.

- 교체되어야 할 것으로 이미 우리가 인지하고 있는 부품; 여기에는 부하추중운전시에 그 수명이 특히 制限되는 제어봉 驅動장치, 특성상 20~25년이 수명연한인 제어 및 계측기기가 포함된다. 이 부품들을 교체하기 위해서는 폐장기간의 보수기간을 필요로 한다.

- 교체 혹은 보수해야만 될 부품: 여기에는 부식에 약한 것으로 알려진 열처리 안된 Inconel 600細管을 가진 증기발생기, 熱에 의한 경년현상 및 부하추중운전등에 따른 금속피로가 예상되는 보일러部品등이 포함된다.

- 운전 및 유지보수의 質에 수명이 좌우되는 기타 部品: 여기에는 발전소안전에 매우 重要한 원자로 압력용기가 포함된다. 放射線照射下의 압력용기재질의 경년변화를 해석한 결과에 의하면 압력용기의 수명은 40년을 넘을 것으로 나타났다. 이와 관련하여 압력용기에 대한 방사선조사량을 증가시킬 우려가 있는 핵연료관리계획은 신중히 검토되어야함이 밝혀졌다.

이러한 1단계 분석이 완료된 현재로서는 PWR의 수명을 연장하는데 그 어떤 장애물도 없는 것으로 보인다. 그러나, 발전소수명연장은 발전소운전開始初期부터 염두에 두어야 한다.

발전소 수명연장은 다음 2가지 측면을 감안하여 추진된다.

- 하나는 巨視的인 것으로 모든 原子力發電所의 更年變化를 감시하고 豫測하는 것이다.

- 또 다른 각 발전소별로 추진되어야 하는데 수명기간을 통해 각종 부품을 언제 교체, 보수할 것인가 하는 결정을 내리는 것이다.

모든 발전소의 상태는 보수비용의증가 여부로부터 확실히 알 수 있다.

각 발전소에 대한 결정을 내리는 방법은 이미 세워져 있는데 EDF는 화력 및 가스冷却爐의 해체연구에 이를 적용한 바 있다.

동일한 型의 발전소라 하더라도 수명기간을 통해보면 각기 다른 문제점을 保有하고 있다.

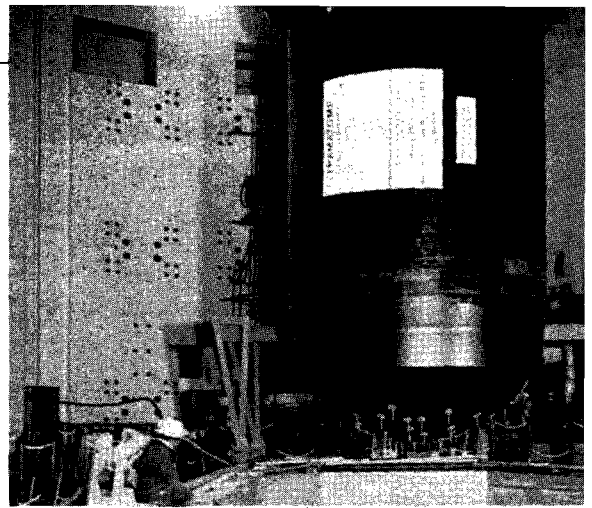
건설단계에서부터 기기의 제작, 설치상의 개선·수정등이 있기 때문에 이미 차이가 시작된 것이며, 수명기간 동안 지나온 경과로 반드시 같을 수가 없다.

이러한 차이는 그 발전소가 속한 원자로 형(出力等級)의 평균수명을 기준으로 어느 정도 있는 것이 당연하다.

### Ⅲ. PWR 2000

21세기가 시작될 무렵 1,400MWe급 N4계열 발전소의 설계는 약 20년정도 전에 수행될 것이므로 주위의 지난 경험에 볼 때 이 설계는 바뀌어야만 한다. 설계개선의 이유는 많지만 기술의 進歩, 안전성 확보 방식의 變化 등이 그 主宗을 이룬다. 발전설비의 정기적 改善은 발전사업자가 피할 수 없는 일반법칙이다. 원자력발전경우에 있어서도 설계 및 건설에 상당한 시간이 걸리기 때문에 표준화된 한 계열 발전소의 설계는 약 20년정도 적용하여야만 한다.

위와 같은 이유에서 또 기존 PWR의 수명을 40년으로 잡을 때, 그림3에 있는 시간표에 의하면 새로운 형의 발전소를 서기 2000~2015년 사이에 가동되어야 한다. 따라서 1986년 1월에 EDF가 핵증기공급계통 제작자와合同으로 소위 PWR 2000이 어떤 형태로 설계되어야 할지 검토를 시작한 것은 매우 자연스런 일이다.



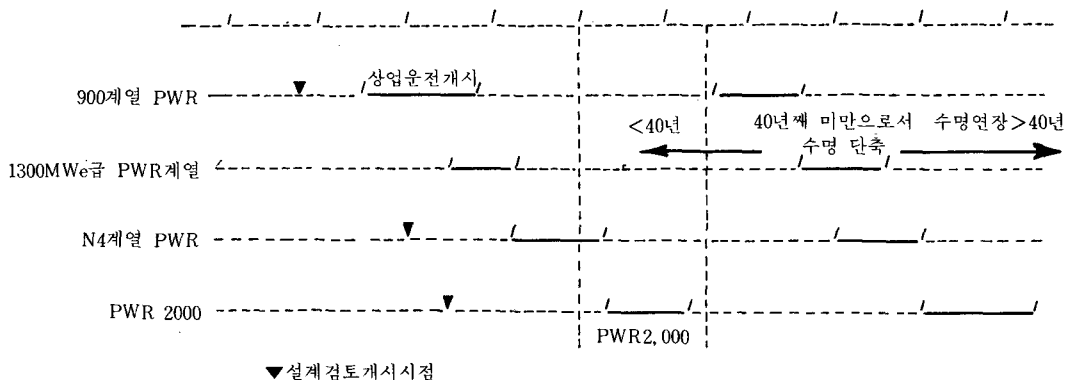
다음세대 爐型이름을 이렇게 붙인 것은 상업가동목표시기를 감안한 것이며 爐型이 PWR일 것을 나타내고자 함이다. 크게 보아서 PWR의 기본개념은 그대로 살아있을 것이며 다음에 언급되겠지만 다른 점도 있을 것이다. 프랑스가 수행한 이러한 분석 결과를 原子力개발을 추구하는 다른 나라들과 公有할 수도 있을 것이다.

#### 가. 主된 傾向

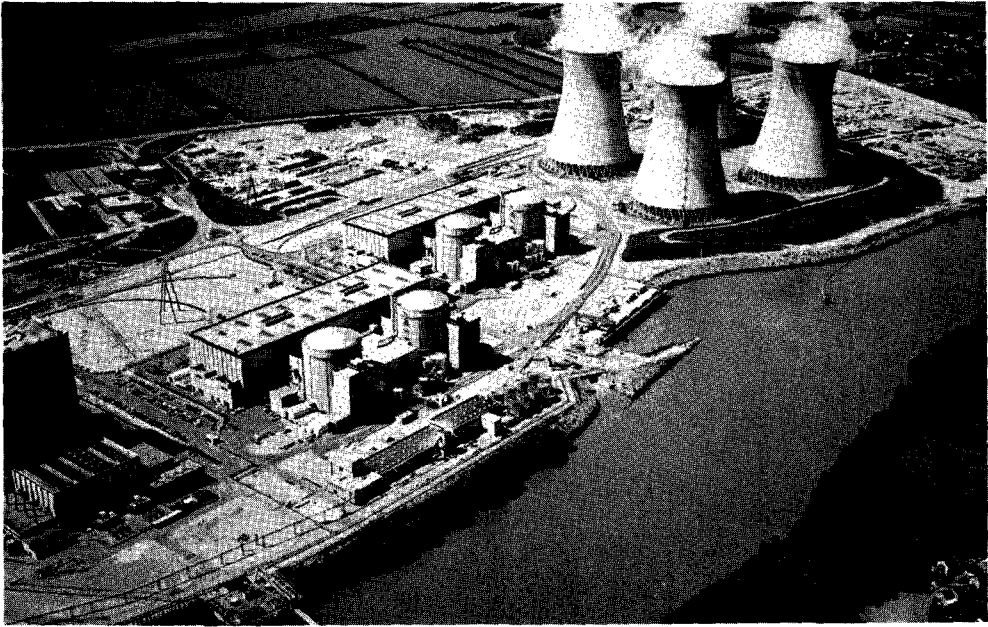
PWR 2000의 경우 다음의 그 문제가 주로 논의되고 있다.

- 電力系統網에의 適應
- 核燃料週期費의 감소

첫째는 21세기초의 전력 계통망이 요구하는 바와 運轉用易性에 관한한 기존 발전소가 노후됨에 따라 운전에 여러가지 제약이 가해짐으로 새로운 형의 발전소가 어떻게 전력계통의 요구



〈표 3〉원자력개발계획에 비추어 본 PWR 2000의 시간적 위치



를 만족시키는가가 예상되는 문제라 할 수 있다.

두번째 문제는 핵연료주기비용의 감소에 관련된 것이다. PWR 핵연료를 재처리하고 고속 증식로의 개발함에 따라 상당량의 플루토늄이 생산되게 될 것이다. 문제는 이 핵분열성 물질을 어떻게 하면 잘 활용하는가 하는 것이다. 경수로에 단순하게 재활용하는 방안과 후일 고속 증식로에 사용하는 방안의 가운데에서 택할 수 있는 한 가지 방법은 PWR형 轉換爐를 이용하여 핵연료 소비를 경제적으로 하는 것인데 플루토늄을 중성자 스펙트럼 調整 혹은 過小減速 조건하에 연소시키는 것이다.

새로운 원자로형 개발착수는 기존 발전소에 적용된 모든 방안을 再檢討할 수 있는 아주 좋은 기회이다. 기술의 진보 및 경험의 축적으로 설계에 상당한 개선이 이루어지며 총소요비용도 대폭 줄어들 수 있기 때문이다.

새로운 설계를 시작해야 하는 이런 內的 理由 이외에 다음과 같은 外的 理由로 감안하여야 한다.

— 유럽 및 국제적 관계

— 전세계의 원자력 개발

이 두가지 사항은 현실적인 分析이 어렵다고 하여 무시해도 좋을 사항이 결코 아니다.

#### 나. 전력계통망의 요구충족

기존 PWR 발전소의 운전용이성 및 성능을 기초로 한 분석결과에 의하면 이 발전소들은 단기적으로나(1988~1989) 장기적으로나(서기 2000년까지) 전력계통망이 요구하는 바를 충분히 만족시킬 수 있다. 그리고 PWR 1,300MWe 급 발전소의 부하추종성도 어느 정도 있다고 해도 좋다.

PWR 2000형 발전소들의 상업운전시기가 가까와지게 다면 부하추종 필요성은 기존발전소들이 물론 그들의 경년변화를 감안하더라도 충분히 감당해 줄 수 있을 것이다.

따라서, 기존 PWR에 요구하는 바와 같은 부하추종성은 새로운 발전소에서는 필요하지 않다고 생각된다. 그러나 부하의 순간변화에 따른 적응성은 확인되어야만 할 것이다.

미래의 발전소가 가져야 할 특성은 발전소와

계통망사이의 인터페이스를 더욱 개선하는 것이다.(발전소와 계통망의 연결구조, 주변압기 및 발전기의 전기적 특성 및 성능 등) 이를 위해 몇 가지 새로운 방법들이 약 10장 정도의 자료표로 정리되었다. 여기에서도 미래의 발전소에서 일어날 수 있는 정상 혹은 비정상적인 상황을 가정한 후, 안전운전과 생산·송전계통간의 원활한 作用에 필요한 기술적 해결방안을 도출하고자 하였다.

#### 다. 핵연료주기비용의 節減

원자로의 핵설계 부문에서 이루어져야 할 2가지 주요 내용은 다음과 같다.

- 기존 원자로의 改善
- 중성자스펙트럼 遷移가능 轉換爐(SVCR)의 개발

SVCR은 프라마툼이 프랑스 원자력위원회(CEA)의 지원을 받아 연구하고 있는데 중성자스펙트럼천이 및 過小減速이라고 하는 2가지 핵연료 경제 개선노심의 장점을 취합한 것이다.

중성자스펙트럼천이 원자로개념의 경우, 기존 PWR보다 낮은 농축도의 핵연료를 사용하며 爐心初期에 생산한 플루토늄을 爐心末期에 소비하는 방식이다. 이렇게 하면 천연우라늄 소비량을 줄일 수 있으므로 핵연료비가 대폭 줄어들 수 있다.

“플루토늄 과소냉각” 원자로 개념에서는 핵분열성 핵연료집합체에는 천연우라늄과 플루토늄을 混合시켜 사용하고 핵분열가능성 핵연료집합체에는 減損우라늄을 사용함으로써 천연우라늄 소비량을 줄이는 것이다. 이렇게 하면 핵연료의 제조 및 재처리비용을 상계시키고도 핵연료주기비를 낮출 수 있다.

#### 라. 기술발전과 경험축적

기본적인 논의사항을 검토하기 위한 실제방법은 EDF 協力業體의 전문가에게 일반적인 助言을 구하는 것이었다. 검토계획서는 새로운

발전소의 타당성을 예비검토하는데 필요한 자료를 항목별로 구분정리한 것이다.이 모든 논의결과는 巨視的으로 검토되고 도출된 의견은 PWR 2000발전소의 기술사양을 정립하는데 사용될 것이다.

약 75장의 자료표가 현재 만들어졌다. 이 중의 상당수는 기술개발내용에 관한 것이다(즉 可變速모터, 발전소소내 電源, 각종 支援系統의 단순화, 물처리 기기의 단순화등이다).

안전성관련 항목은 관계당국과의 예비협의를 위해 이미 제출된 바 있다. 프로젝트기간 내내 공개적 자문 및 조언이 가능하게끔 할 계획이다.

발전소의 출력은 아직 결정된 바 없으나 가장 그럴듯한 가정은 N4계열 발전소의 출력수준이 되지 않을까 하는 것이다.

## IV. 結 論

EDF가 앞으로 電源을 개발함에 있어서 PWR에 상당히 많은 관심을 계속 기울여야 할 것이다. 가동중이던, 건설중이던 혹은 2000년대 이후에 가동시킬 예정이던 이제부터 설계되어야 할 노형에 이르기 까지 관심이 계속되어야 할 것이다.

현재 가동중 있거나 건설중에 있어서 서기 2000년에는 프랑스 전력소요량의 75% 공급할 발전소를 대상으로 수명연장프로젝트가 이미 착수되었는데 이 발전소들을 가능한한 오래 쓰기 위함이 그 目的이다.

N4계열 PWR을 代身할 새로운 PWR에 대한 論議가 1986년이래 시작되었다. 이 논리의 초점은 전력계통망의 요구조건 만족여부, 안전성 향상, 발전원가절감, 핵분열성물질의 소비절약 문제등에 있다. 이 연구결과는 PWR 2000 발전소 프로젝트의 기초자료로 사용될 것이며 PWR 2000 1호기는 아마도 다음 世期初에는 상업운전을 개시하게 될 것이다.