



원자력발전소 壽命延長에 대한 각국의 동향

草薙秀雄

日本電力中央研究所

머리말

세계 최대의 석유수출국 사우디아라비아의 산유량(日産 약 400만배럴)의 약 2배, 이것은 세계의 원자력발전량을 석유화력발전으로 대체할 경우에 필요한 석유량으로 원자력발전이 맡고 있는 역할이 얼마나 큰 것인지를 단적으로 나타내고 있다.

원자력발전이 시작된지도 이미 30년이 넘어서 세계에서 운전중인 유니트수는 1990년말 현재 426기(약 3억4400만kW)에 달하고 있어 세계발전전력량의 약 17%가 원자력에 의해 발전되고 있는 상황이다. 원자력발전의 역할은 지구온난화 등의 지구환경문제, 발전도상국을 위시한 세계에너지수요증가 등으로 앞으로 더욱 증가할 것으로 예상된다. 예를 들어 미국에서는 최근 전력수요신장률이 크게 높아지고 있어 앞으로 10년간 1억 5,000~2억kW 정도의 신규발전설비가 필요한 것으로 예상되고 있는데 이 중의 상당량이 원자력으로 충당될 것으로 보인다. 또 일본에서도 「總合에너지調査會」가 중간보고에서 1990년말에 3,200만kW 원자력발전설비를 2000년대에 5,050만kW, 2010년에 7,250만kW로 증가시킨다는 목표를 제시하고 있다.

한편 나라에 따라 약간 사정이 다르겠지만 신규원자력발전소건설이 체르노빌사고로 인한

반대운동확산으로 순조롭게 진행되지 않고 있는 것이 사실이다. 이 때문에 기존의 원자력발전소를 가급적 장기간 운전하는 문제를 각국에서 검토하고 있다. 다음에 수명연장에 관한 연구개발이 가장 진전돼있는 미국을 중심으로 프랑스, 영국의 연구개발동향과 국제원자력기구(IAEA)의 움직임 등을 살펴보기로 한다.

미국에서의 연구개발동향

1. 연구개발현황

미국에서는 1954년에 제정된 원자력법(Atomic Energy Act)에 의해 발전소운전 인가기간을 건설허가로부터 40년으로 규정했다. 그후 건설기간이 장기화되는 경향이 있어 1981년 이후로는 40년의 기산점을 건설허가에서 운전인가로 수정했다. 원자력법에서는 경우에 따라 인가갱신이 가능한 것으로 돼있어 처음부터 수명연장(인허가갱신)의 가능성을 인정했던 것으로 보인다. 이와 같이 미국에서는 원자력발전소의 인가기간이 법률로 규정돼있다는 것과 비교적 노후한 발전소가 많다는 것 등이 인허가갱신을 위한 연구개발이 다른 나라에 앞서서 이루어지고 있는 배경이라고 볼 수 있다. 이 40년이란 기간의 근거는 기술적 및 경제적인 면에서 명확한 것은 아니고 자금회수에 적합한

기간으로 정해진 것 같다.

미국에서는 현재 운전중인 원자력발전소가 112기(약 1억1,000만kW), 건설중인 것이 9기(약 1,100만kW)다. 40년 이상의 운영이 인전되지 않는다면 Yankee Rowe 발전소가 2000년에 인가기간이 만료되는 것을 비롯해 2010년까지 12기, 2030년에는 거의 모든 발전소의 운전인가가 만료되게 된다. 1970년대후반부터의 경제성장의 둔화, 건설비의 증가 등으로 신규원자력발전소의 발주가 없는 상황이어서 현재 운전중인 발전소를 가급적 장기간 운전하는 것이 요망되고 있는 실정이다.

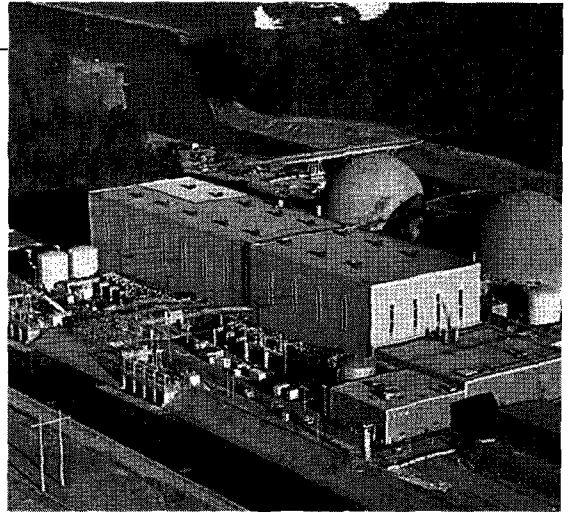
미국전력연구소(EPRI)가 1978~1979년에 실시한 경수로수명연장에 관한 타당성연구에서도 수명연장이 기술적으로 충분히 가능하고 경제적으로도 매력적인 선택인 것으로 나타났다. 이 연구를 계기로 1985년부터 EPRI, 美에너지성(DOE)을 중심으로 2기의 발전소를 대상으로 한 Pilot Plant 연구가 실시돼 EPRI의 타당성연구결과가 확인되었다. 이 결과에 따라 실제의 인허가갱신절차를 지원하게 될 Lead Plant에 대한 연구가 현재 진행중이다. 다음에 이들 연구의 개요를 소개하기로 한다.

(1) Pilot Plant 연구

1985년 EPRI와 DOE는 공동으로 Surry 1호기(PWR, 82만kW)를 대상으로 Pilot Plant 연구를 시작했다. 여기에서는 수명연장에 따른 경제성평가 외에 40년 이상의 운영을 제한할 가능성이 있는 수명연장과 관련이 있는 중요기기를 선정해 기술적인 문제점을 보다 구체적으로 검토했다. Surry 1호기를 대상으로 한 연구에서는 수명연장과 관련된 잠재적인 Critical 기기에 대해 老朽化의 영향이 평가돼 대처 불가능한 기술적인 장애요인은 없다는 결론을 얻었다. 이들 기기의 예를 <그림 1>에 표시했다.

또한 앞으로 인허가갱신을 효율적으로 진행시키기 위한 방안이 검토되어 ① 중요기기재료의 노후화에 관한 검사, 모니터링의 강화 ② 기록의 보존, 검색방법의 개선 등의 중요성이 지적되었다.

Monticello 발전소에 대한 연구에서는 Surry



1호기의 경우와 같이 잠재적인 Critical 기기가 선정돼 기술적인 검토가 실시되었다. 검토대상 기기의 예를 <그림 2>에 표시했다.

검토결과 ① 70년의 운전이 기술적으로 가능하다는 것 ② 인허가갱신의 이익과 소요비용의 비율이 약 4대1이라는 것 등의 결론을 얻었다.

<그림 1> Pilot Plant 연구(PWR)에서 검토된 주요기기

- (1) 원자로용기
- (2) 격납용기(Base Mat 포함)
- (3) 원자로용기지지물 및 중성자차폐탱크
- (4) 1차냉각계통배관
- (5) 증기발생기
- (6) 비상용 디젤발전기
- (7) 노내구조물
- (8) 1차냉각재펌프
- (9) 가압기
- (10) 제어봉구동장치

<그림 2> Pilot Plant 연구(BWR)에서 검토된 주요기기

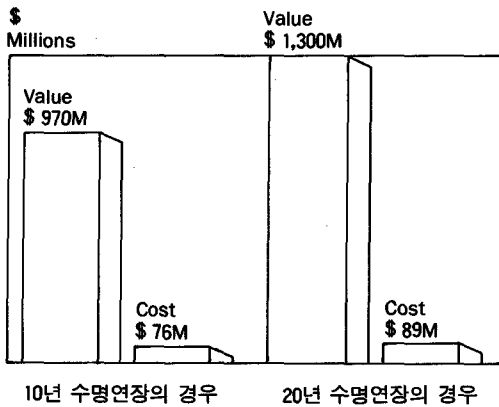
- (1) 압력 Boundary
- (2) Pedestal, 生體차폐, Base Mat 등의 콘크리트구조물
- (3) Drywell
- (4) Suppression Chamber
- (5) 원자로압력용기지지구조물
- (6) 노내구조물
- (7) 비상용 디젤발전기
- (8) 원자로재순환펌프

경제성평가에 대해서는 이와는 별도로 GE사에서 실시하고 있다. <그림 3>은 100만 kW급의 BWR에 대한 GE사의 평가결과로 10년 연장하는 경우 이익이 약 9억7천만달러, 비용이 약 7천6백만달러가 될 것으로 예측하고 있다.

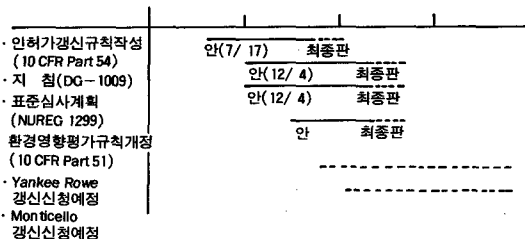
이외에 인허가갱신에는 ① 예방보수강화, 검사, 시험에 의한 노후화상태파악 ② 운전기록의 보존 ③ 장기적인 유지, 관리계획수립 등이 중요한 것으로 밝혀졌다.

(2) Lead Plant 연구

Lead Plant 연구는 미국에서의 인허가갱신 절차를 확립하기 위한 것으로 <그림 4>에 표시한 대로 미국원자력규제위원회(NRC)의 규칙 정비계획과 병행해서 진행되고 있다. 이 연구를 통해 NRC가 인허가갱신을 승인하는 기술, 환경면의 필요사항을 명확히 할 예정이다. 이



<그림 3> 100만kW급 BWR 1기당 수명연장에 의한 이익과 비용의 시산에



<그림 4> 미국에서의 인허가갱신규칙정비일정과 Lead Plant의 갱신신청예정

연구에서는 2000년에 인가가 완료되는 운전중인 상업용 원자력발전소 중에서 가장 오래된 Yankee Rowe 발전소(PWR 18.5만kW)와 2010년에 인가가 완료되는 Monticello 발전소(BWR, 56.9만kW)가 대상 원자로로 선정되었다.

Lead Plant 연구의 구체적인 목적은,

① NRC에 의해 심사되는 인허가갱신상의 중요기기의 선정방법이 타당하다는 것을 증명한다.

② Pilot Plant 연구결과에 따라 뒤에 언급하게 될 Industry Report 등을 사용해 앞서 말한 중요기기선정방법에 의해 선정된 기기에 대해 발전소 고유의 조건을 감안한 평가를 한다.

③ 인허가갱신차원에서 발전소의 운전방법, 예방보수계획, 데이터수집방법 등을 조사한다.

④ 1991년중에 Yankee Rowe 및 Monticello 발전소의 인허가갱신신청서를 NRC에 제출한다.

⑤ 인허가갱신과정의 기록을 다른 전력회사에 참고가 되도록 남겨둔다 등이다.

Lead Plant에 대한 검토상황은 다음과 같다.

① Monticello 발전소

중요기기를 선정해본 결과 발전소시스템과 구조물의 3분의 2가 인허가갱신을 위한 검토가 필요한 것으로 밝혀졌다. 현재 시스템과 기기의 기술적 평가가 계속되고 있다.

② Yankee Rowe 발전소

중요기기선정을 끝내고 중요기기평가가 이루어지고 있다. Yankee Rowe 발전소는 ㉞ 압력용기감시시험데이터가 불충분하기 때문에 정확한脆性轉移溫度를 파악할 수 없다는 것과 ㉟ 보수적인 평가결과에 따라 加壓熱衝擊에 관한 규제치에 저촉될 가능성이 지적되었다는 것 때문에 NRC와 설치자인 Yankee Atomic Electric사 사이에 논의가 계속되었으나 1991년 10월1일에 Yankee Atomic Electric사의 자체판단에 따라 정지되었다. 앞으로 Lead Plant로서의 역할을 계속하게 될지 여부는 아직 불투명하다.

(3) Industry Report

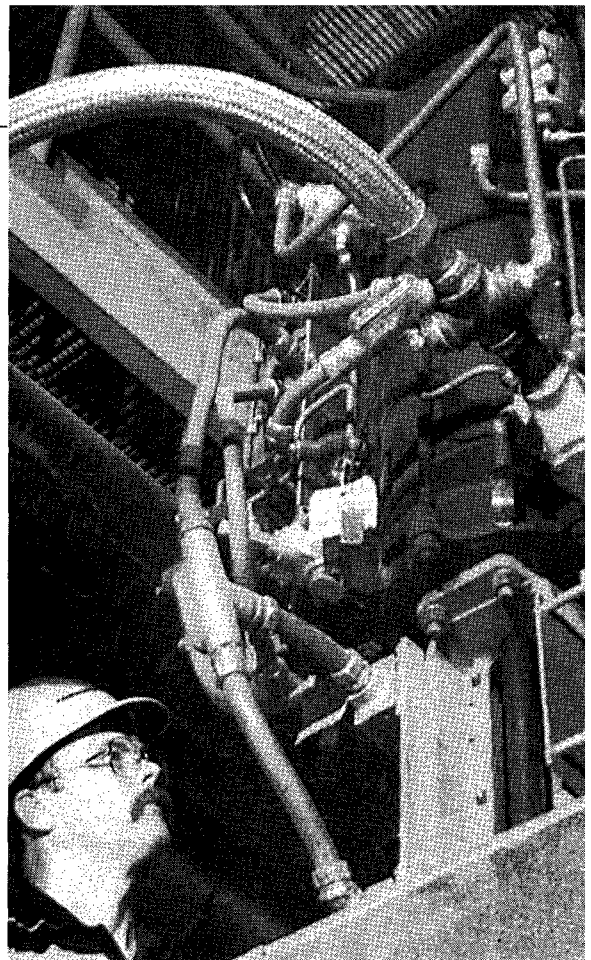
전기사업자측의 연구결과는 11가지의 Industry Report 로 종합되었다. 원자력발전사업자관리·인재협의회(NUMARC, Nuclear Utility Management and Resources Committee)를 통해 1990년 10월까지 차례로 NRC에 제출되었다. Industry Report 에는 주로 노후화 기기에 미치는 영향과 중요기기의 검토 방법이 기술되어 있다. Industry Report 는,

- ① PWR 압력용기
- ② PWR 노내구조물
- ③ PWR 격납용기
- ④ PWR 원자로냉각계통
- ⑤ BWR 압력용기
- ⑥ BWR 노내구조물
- ⑦ BWR 격납용기
- ⑧ BWR 냉각계통
- ⑨ Class 1 구조물
- ⑩ 격납용기내 케이블
- ⑪ 인허가갱신을 위한 중요기기의 검토방법 등이다.

PWR 압력용기에 관한 Industry Report 의 개요는 다음과 같다.

- ① 압력용기를 구성하는 15가지 기기에 대해 8가지의 노후화메커니즘을 검토했다.
- ② 각 기기가 크게 노후되었는지의 여부를 각 기기의 설계조건, 운전경험, 사용한 재료의 노후화에 대한 감수성 등으로 결정했다.
- ③ 중요한 노후화에 대해서는 그것이 허용가능한 것인지 여부에 대해 지금까지 확립된 기준(예를 들어 疲勞의 Usage Factor가 1 미만, 운전온도가 Creep 손상의 한계치보다 낮다는 등)에 따라 평가했다.
- ④ 기기가 노후화요인과 관련이 없던가 그 정도가 매우 작을 때에는 그 노후화요인은 중요하지 않은 것으로 판단했다.
- ⑤ 중요한 노후화메커니즘이라도 현재의 기술로 충분히 노후화를 예방 또는 완화할 수 있는 것이라면 그 노후화요인에 대해서는 해결된 것으로 간주했다.

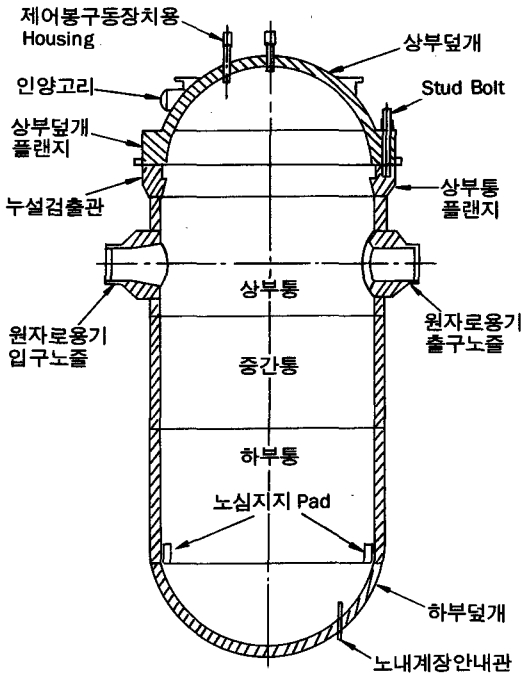
이들 검토결과를 <표 1>에 표시했다(기기에



대해서는 <그림 5> 참조). 이 표 중에서 공란은

<표 1> PWR 압력용기 각 기기의 노후화요인

압력용기부재	노 후 화 메 커 니 즘							
	중성자 조 사 脆 化	피 사 로	응력 부식 균열	熱 脆 化	크 리 프	부 식	침 식	마 모
상부덮개						○		
상부덮개플랜지						○	○	○
스타트볼트		○	○			○		○
상부통플랜지						○	○	○
상부통								
중간 및 하부통	○							
노심지지패드								○
하부덮개								
원자로용기노즐		○						
제어봉구동장치용하우징		○				○		
노내계장안내관		○						
누설검출관								
인양고리								



〈그림 5〉 전형적인 PWR 압력용기

그 노후화요인이 그 기기에 대해서는 중요하지 않다는 것을 나타내고 ○표시는 중요한 노후화 요인이지만 인허가갱신기간중 충분히 노후화를 관리할 수 있다는 것을 나타내고 있다.

앞서 말한 Industry Report는 현재 NRC의 검토를 거쳐 많은 코멘트와 함께 NUMARC에 반송되었다. 특히 疲勞損傷이나 모니터링에 대해 많은 코멘트가 첨부되었다. 1991년 말에 Industry Report의 개정판이 제출될 예정이다. 이 Industry Report가 승인되면 앞으로의 인허가갱신신청때 참고자료로 인용해도 좋은 것으로 돼있어 인허가갱신수속을 밟는데 중요한 역할을 할 것으로 보인다.

2. 인허가갱신규칙 제정동향

미국에서는 현재 NRC에 의해 인허가갱신에 관한 규칙의 재정비가 다음의 2가지 면에서 진행되고 있다.

(1) 인허가갱신을 위한 수속 및 기술적인 필

요조건을 다루게 될 신규의 규칙(10 CFR Part 54)

(2) 인허가갱신에 의한 환경영향을 평가하기 위한 규칙의 개정(10 CFR Part 51)

이외에 이들 규칙을 실제로 적용하기 위한 지침(Regulatory Guide), 표준심사계획이 마련되었다.

(1) 10 CFR Part 54의 정비상황

1990년 7월17일 NRC는 인허가갱신을 위한 규칙(10 CFR Part 54)안을 공표하고 일반여론을 수집했다(그림 4). 이 규칙안은 다음의 2가지 원칙을 기본으로 작성되었다.

① 노후화와 관련된 예외를 제외하고 각 발전소와의 현행 인허가기준(CLB, Current Licensing Base)은 인허가갱신기간중의 발전소의 안전운전을 유지하는데 필요한 충분한 내용을 담고 있어야 한다.

② 각 발전소와의 현행 인허가기준은 발전소의 시스템, 구조물, 기기(SSC, Systems, Structures and Components)의 노후화관리프로그램 등에 의해 인허가갱신기간중 유지되지 않으면 안된다.

이 인허가갱신을 위한 규칙안에서는 다음 사항이 요구되고 있다.

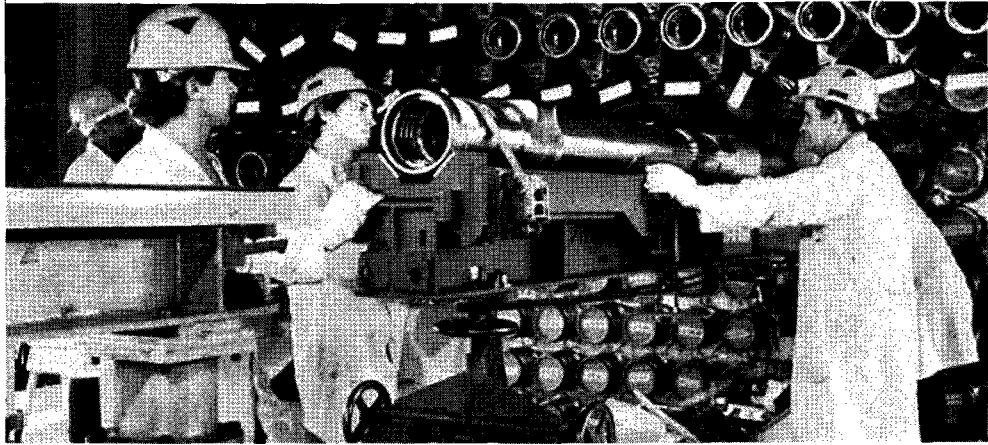
① 인허가갱신대상이 되는 발전소의 현행 인허가기준의 정리

② 인허가갱신에 중요한 SSC를 분류하는 방법론

③ 중요한 노후화를 밝히기 위한 발전소의 종합평가(IPA, Integrated Plant Assessment) 실시

④ 노후화를 평가, 관리하기 위해 현행 프로그램이 유효한지 여부에 대한 판단

10 CFR Part 54의 최종판은 NRC의 前위원장 Carr씨 재직시 1991년 6월28일 투표에 의해 가결됐으나 임기가 만료됨에 따라 7월에 교대한 NRC의 신임위원장 Selin씨에 의해 최종규칙의 재검토가 결정되었다. 그 이유는 수명연장계획의 Lead Plant의 하나인 Yankee Rowe 발전소의 압력용기脆化문제로 추정되고 있다. 현재는 최종규칙의 공표는 아직 불투명



한 상황이다.

(2) 지침정비상황

인허가갱신신청의 구체적인 절차 등을 제시한 지침안(DG 1009)과 표준심사계획안(NUR EG 1299)이 일반의 코멘트를 구하기 위해 1990년 12월4일에 공표되었다 <그림 4>.

이 지침에 따라 신청서류의 질과 균일성이 유지돼 NRC 심사에 도움이 될 것으로 기대된다. 이 지침안에는 다음사항이 포함돼있다.

- ① 인허가갱신신청에 필요한 기술정보
- ② 노후화평가를 받게 될 인허가갱신상 중요한 SSC의 선택기준
- ③ 노후화에 영향을 미치는 설계, 운전, 환경요인평가를 위한 지침
- ④ 노후화메커니즘과 관련되는 위치의 명확화
- ⑤ 노후화를 평가, 관리하기 위한 계획과 대책

표준심사계획은 NRC 간부들이 다음 사항에 대해 판단할 수 있는 기준을 마련하게 된다.

- ① 신청서류가 충분한가
- ② 대상 발전소에서 인허가갱신상 중요한 SSC가 명확히 돼있는가
- ③ 중요한 노후화가 명확히 밝혀지고 그 영향이 평가되었는가
- ④ 노후화관리계획이 대상 발전소의 인허가갱신기간중 CLB를 유지할 수 있도록 실시되었는가

이 표준심사계획은 앞으로 노후화에 대한 이해가 높아짐에 따라 개선돼야 할 것으로 보고 있다.

(3) 10 CFR Part 51 개정상황

10 CFR Part 51은 원래 신규발전소 인허가를 위해 작성된 것으로 인허가갱신에는 적합하지 않은 점도 있다. 따라서 이 규칙의 개정작업이 현재 진행되고 있는데 최종규칙은 1992년 4월 이후에 결정될 전망이다.

유럽에서의 연구개발동향

1. 프랑스

프랑스에서는 현재 PWR 51기, 가스냉각로 2기, FBR 1기 등 총 54기가 운전중으로 전체 전력의 75%를 원자력발전에 의존하고 있다. 프랑스에서는 미국의 경우와는 달리 법률상의 수명은 규정돼있지 않다.

1986년에 「Lifetime Project」라고 하는 연구계획이 시작되었다. 이 계획은 프랑스전력공사(EDF)를 중심으로 발전소운전자, 발전소설계회사가 협력해서 실시하고 있다. 이 계획의 목적은 설계단계에서 상정된 수명(일반적으로 40년)을 큰 말썹없이 달성하려는 것으로 이를 위해 각 발전소의 기술적, 경제적 수명을 가급적 정확히 평가해 적절한 개선책을 실시하기 위해 다음과 같은 연구가 실시되고 있다.

- (1) 재료의 노후화평가

- (2) 운전조건변경이 미치는 영향평가
- (3) 안전성평가
- (4) 경제성평가

이들 평가항목의 특징과 앞으로의 계획은 다음과 같다.

(1) 재료의 노후화평가

기술적, 경제적인 관점에서 선택한 18가지의 기기가 대상이 돼있다. 이들 기기의 교체, 보수는 통상적인 보수계획으로는 불가능해 발전소의 장기간정지가 필요하게 될 가능성이 있다.

설계, 제작, 운전경험, 모니터링 및 가동중점사의 차원에서 검토한 결과 설계단계에서 상정한 40년간의 운전이 충분히 달성될 수 있다는 것이 확인되었지만 검토해야 할 많은 과제들도 판명되었다. 이 검토결과에서 46가지의 검토과제를 선정해 이들에 관한 연구가 2,000만달러 이상의 예산으로 1989년부터 시작되었다. 주요한 연구과제를 <그림 6>에 표시했다. 이들 연구의 대부분은 1991~1992년에 끝날 예정이다.

(2) 운전조건변경이 미치는 영향평가

프랑스의 PWR에는 대규모의 부하추중운전 등 설계시에 상정되지 않았던 운전방법도 도입되고 있다. 그 영향에 대해서는 疲勞損傷차원에서 검토돼 피로손상을 보다 정밀하게 예측하기 위해 기기, 배관류 등의 피로를 자동적으로 감시하는 장치를 개발하는 등 피로손상관리의 정밀도개선을 도모하고 있다.

(3) 안전성평가

운전기간이 장기화되면 안전성과 관련된 비용이 증가하게 된다. 예를 들면,

① 기기의 성능유지에 따르는 비용(시험 및 검사비용, 교체비용 등)

② 안전성평가기준변경에 따르는 각유니트의 안전성재평가비용(지진발생시, 비행기추락시의 영향재평가) 등을 들 수 있다.

운전기간의 장기화에 따른 안전수준유지문제는 기본적으로 비용문제로 간주되고 있다.

(4) 경제성평가

예비적인 경제성평가에 의하면 90만kW PWR의 수명은 10년간 연장하는 경우 약 8억달러의 비용을 사용해도 좋다는 결과가 나왔

<그림 6> 프랑스의 「Lifetime Project」의 과제

- | | |
|--------------|--|
| 1. 압력용기 | <ul style="list-style-type: none"> • 조사에 기인되는 유해한 메커니즘의 이해 • 중성자 Fluence의 감소방안검토 • 압력용기 Closure의 피로손상평가 |
| 2. 배관계통 | <ul style="list-style-type: none"> • 鑄鋼의 熱時効(Aging) 연구 • 진동, 침식, 부식, Cavitation 검토 |
| 3. 증기발생기 | <ul style="list-style-type: none"> • 증기발생기수명평가 • 인코넬 600 합금의 응력부식균열검토 |
| 4. 주펌프 | <ul style="list-style-type: none"> • 鑄鋼의 熱時効(Aging)연구 |
| 5. 가압기 | <ul style="list-style-type: none"> • 가동중점사검토 |
| 6. 제어봉구동기구 | <ul style="list-style-type: none"> • 실적에 의한 수명예측 |
| 7. 노내구조물 | <ul style="list-style-type: none"> • 조사중의 재료상태 • 마모의 영향평가 |
| 8. 압력용기지지구조물 | <ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 중의 철근에 미치는 조사의 영향평가 |

다. 이것은 <그림 3>에 표시된 GE의 평가결과와 거의 같은 결과다.

1988~1989년에 실시된 기술적인 분석결과에 따라 앞으로의 발전소유지비가 예측되고 있다. 이 예측에는 주요기에 앞으로 발생할지도 모를 손상의 발생확률과 보수, 교체에 드는 비용이 포함돼있다. 여기에는 상당히 불확정한 요인이 작용하지만 대략적으로 말해 현상황에서 건설비의 약 2%의 유지비가 필요한데 비해 운전개시후 20~30년 된 발전소에서는 건설비의 약 3%의 유지비가 필요하다는 결과가 나왔다.

(5) 앞으로의 계획

1991년에 「Lifetime Project」가 아래와 같이 대폭 확장되었다.

- ① 평가대상에 130만kW PWR을 추가한다.
- ② 평가대상기기에 약 40가지의 기기를 추가한다.
- ③ 안전규칙차원에서의 노후화대책을 규제측과의 연락을 유지하면서 더욱 발전시킨다. 즉,
- ④ 노후화를 고려한 시험, 검사 및 유지계획

의 재검토

㉔ 안전기능의 신뢰성개선

㉕ 노후화메커니즘의 연구결과에 따른 노후화문제의 예측

㉖ 말뚝을 일으킬 수 있는 재료에 관한 평가, 분석 계속

④ 60년의 운전기간을 상정해 Pilot Plant를 선정하기 위한 90만kW 발전소의 순위결정

2. 영 국

영국에서는 22기의 가스냉각로와 14기의 개량형 가스냉각로(AGR)가 운전중이고 1기의 PWR이 건설중이다. 가스냉각로와 AGR은 이미 35년과 15년의 운전실적을 가지고 있다. 영국의 원자력발전소수명은 법적으로는 규제돼있지 않다. 설계단계에서 얻은 酸化, Creep, 照射脆化 등의 기술적인 판단에 의해 가스냉각로의 수명이 적어도 20~25년이 될 것으로 보고 있다. 지금까지의 운전경험에서 더 장기적인 운전이 가능한 것으로 판단되고 있다.

영국에서는 안전성을 종합적으로 재평가하기 위한 장기안전성심사(LTSR, Long Term Safety Reviews)계획을 실시중이다. 또 30년 이상의 운전을 지원하기 위한 수명연장심사(Life Extension Reviews)계획도 시작했다.

(1) 장기안전성심사계획

전력회사가 가스냉각로의 20~25년 이상의 운전을 희망하는 경우 LTSR을 받을 필요가 있다. 영국에서는 이미 가스냉각로의 5개 발전소에 대한 LTSR의 경험이 있다.

LTRS에는 다음과 같은 내용이 포함된다.

① 발전소의 계속운전이 충분히 안전한 것인지의 확인 (여기서는 당초의 안전기준 외에 안전성을 개선하기 위해 나중에 실시된 개선책과 많은 안전성평가도 고려된다)

② 가까운 장래에 발전소의 안전운전을 방해할 가능성이 있는 요인의 파악과 평가(여기서는 노후화가 일어날 가능성이 있는 모든 기기구조물을 조사해 파손현상을 명확히 해둘 필요가 있다. 특히 발전소의 안전성과 관련된 현상에 중점을 둔다)

③ 발전소의 안전기준과 실시요령에 관한 평가와 합리적으로 실시가능한 개선(여기서는 최근의 기준과 실시요령에 비추어 발전소의 안전성 수준을 검토해 큰 결함이 있는지를 명확히 해둘 필요가 있다. 그 결과에 따라 필요한 개선책이 검토된다)

이 LTSR에는 설계, 운전상의 안전성에 관련된 모든 것이 포함돼 최근의 분석 Code나 확률론적 안전평가(PSA)가 이용된다. 기술이 발전됨에 따라 LTSR에 포함되는 가정이나 분석방법이 재검토될 것이다. LTSR의 대상이 되는 주요사항은 다음과 같다.

- ① 압력용기
- ② 흑연노심과 관련된 노내구조물
- ③ 외부로부터의 재해(바람, 홍수, 비행기추락, 지진 등)
- ④ 화재 및 고온가스와 증기의 누설
- ⑤ Human Factor(인적요인)
- ⑥ 원자로냉각계통
- ⑦ 연료취급설비와 크레인 등
- ⑧ 방사성폐기물저장시설
- ⑨ 피폭기록
- ⑩ 운전규칙
- ⑪ 유지, 검사 및 시험절차

LTSR을 실시하는데는 많은 인력이 필요하다. 전력회사측은 약 4~5년간 延 50~100人 · 時の 인력을 필요로 하고 규제측은 약 1~2년간 7~10人 · 年の 인력을 필요로 한다.

(2) 수명연장심사

영국에서는 30년까지의 운전기간을 승인한 LTSR의 경험을 살려 노후화문제에 중점을 두었다. 40년까지의 운전기간을 승인하는 수명연장심사(Life Extension Reviews)계획을 시작했다. 이 계획의 목적은 다음과 같다.

① 현행 LTSR의 적용을 40년 수명까지 확대해 그 중에 효과적인 개선책을 포함시킨다.

② 필요한 개선 및 꼭 필요하지는 않지만 바람직하고 실제적인 개선은 실시한다.

③ 수명연장과정과 이것이 안전시스템에 미치는 영향을 계통적으로 검토해 수명연장중의 노후화를 효율적으로 관리하는 방안을 확립한다

다.

④ 운전, 관리, 시험, 검사기록과 모니터링 / 검사계획에서 수집한 발전소데이터에 따라 그 경향분석방안을 확립한다.

위에서 ③과 ④는 발전소운전기간이 길어질 수록 노후화문제가 중요해진다는 점을 감안해 추가한 사항이다.

IAEA의 활동

IAEA는 원자력발전소의 노후화에 관한 활동을 1985년부터 실시해왔다. 1988년에 나온 「원자력발전소의 노후화와 수명연장의 안전성에 관한 자문그룹(Advisory Group on Safety Aspects of Nuclear Power Plant Ageing and Life Extension)」의 권고에 따라 1989년에는 포괄적인 계획을 시작했다. 이 계획의 전체적인 목적은 노후화과정의 인식과 이해를 높이고, 원자력발전소의 안전과 신뢰할 수 있는 운전을 위해 노후화를 관리하는 방법과 가이드라인을 개발하기 위한 국제협력을 추진하는데 있다.

1. 1989~1990년에 얻은 성과

1989~1990년에는 노후화문제에 대한 인식을 높인다는 것과 발전소의 노후화평가 및 관리방법을 개발한다는 것에 중점이 두어졌다. 그 결과 다음의 5가지 보고서가 작성되었다.

(1) 「원자력발전소 노후화의 안전면」(이미 발행)

이 보고서는 노후화가 발전소안전성에 미칠 가능성이 있는 영향, 금속 및 콘크리트구조, 폴리머, 전자장치 등의 비금속에서 지금까지 경험했던 노후화과정 및 효율적으로 노후화를 관리하기 위한 방법에 관해 그 인식과 이해를 높이는데 그 목적이 있다.

(2) 「원자력발전소 수명연장에 대한 확률론적 안전평가적용」(이미 발행)

(3) 「원자력발전소 노후화관리를 위한 데이터수집과 기록보관」(곧 발행)

(4) 「원자력발전소 안전관련기기의 노후화관

리방법」(곧 발행)

(5) 「원자력발전소 안전상 중요한 4가지 기기의 노후화에 대한 이해와 현황, 모니터링 및 방지에 관한 기술보고서 (초안)」(금년 가을에 열릴 예정인 기술위원회에서 검토된 후 최종판이 작성된다)

이들 기술보고서는 노후화관리에 관한 국제적인 가이드라인을 제시할 뿐 아니라 앞으로의 IAEA 활동의 기본이 되는 것이다.

2. 1991~1992년 활동계획

발전소의 노후화 및 수명연장평가에 확률론적 안전평가를 적용하기 위한 활동이 계속되고 있다. 그 외에 다음의 2가지 계획이 1991년에 시작되었다.

(1) 원자력발전소의 안전성평가와 관리에 관한 Pilot Plant 연구

이 Pilot Plant 연구는 안전확보상 문제가 되는 노후화현상이 서로 다르다는 판단 아래 다음의 4가지 기기를 대상으로 하고 있다.

- ① 압력용기노즐
- ② 모터구동격리밸브
- ③ 콘크리트건물
- ④ 격납용기내의 계장, 제어케이블

이들 기기를 대상으로,

- ① 주요한 노후화메커니즘을 명확히 한다.
- ② 노후화의 영향을 관리하기 위한 효율적방법을 명확히하고 개발한다 등을 목적으로 한 검토를 한다.

지금까지 1990년 11월 IAEA에서 개최된 기술위원회에서 사전검토가 이루어졌다. 1991년 가을에 기술위원회에서 빈에서 개최될 예정인 기술 위원회에서 Pilot Plant 연구계획에 관한 구체적인 내용이 논의될 예정이고 1992년에는 이를 실시할 계획이다.

(2) 운전기간이 긴 원자력발전소를 대상으로 한 안전에 관한 실시요령의 개발

이 계획은 2가지 실시요령에 관한 자료를 작성하는데 그 목적이 있다.

① 발전소의 노후화평가와 그 관리계획의 유효성평가

〈표 2〉 각국의 수명연장검토현황

	爐 型	법적수명	지금까지의검토결과, 경위	앞으로의 계획	비 고
미 국	• PWR 75기 BWR 36기 FBR 1기	• 원자력법에 의해 40년으로 규정돼있다.	• 수명연장은 기술적으로 충분히 가능 • BWR에 대한 경제성의 개략적인 평가결과 : 수명연장의 이익과 비용의 비는 약 4대1(GE 평가에서는 100만 kW급 발전소의 10년 수명연장의 경우의 이익이 8,900만 달러로 나타났다) • 수명연장을 위해서는 노후화대책이 중요	• 관련규칙을 1991~92년 중에 정비 • Lead Plant(Yankee Rowe, Monticello)의 인허가갱신신청을 1991년 중에 실시	• 가장 오래된 爐는 PWR에서는 Yankee Rowe(18.5만kW, 1961년 운전개시), BWR에서는 Big Rock Point(7.5만kW, 1962년 운전개시)
프랑스	• PWR 51기 GCR 2기 FBR 1기	• 법적규정은 없다(설계시의 상정수명은 40년).	• 수명연장은 기술적으로 충분히 가능 • 예비적인 평가에서는 90만kW PWR의 수명연장에는 약 8,900만달러의 비용을 써도 좋다는 결과가 나와있다.	• 지금까지의 계획을 확장, 추진	• 가장 오래된 爐는 GCR에서는 St. Laurent-Des-Eaux-A2(46.5만kW, 1971년 운전개시), PWR에서는 Fessenheim-1(92만kW, 1977년 운전개시)
영 국	• GCR 22기 AGR 14기	• 법적규정은 없다(설계시에 상정된 수명은 최소한 20~25년).	• GCR을 20~25년 이상 운전하는 경우 장기안전성심사(LTSR)를 받는다(이미 5개 발전소에서 LTSR이 끝났다).	• 40년까지의 운전기간을 승인하는 수명연장심사 계획을 추진중	• GCR와 AGR은 각각 35년(Calder Hall-1, 6만kW, 1956년 운전개시)과 15년(Hinkley Point B1, 66만kW, 1976년 운전개시)의 운전실적이 있다.

② 발전소설계 후에 진전된 안전에 대한 개념과 기술을 감안한 주기적인 발전소안전성의 재평가

맺음말

원자력발전소 수명연장에 관해서는 〈그림 2〉에 표시한 대로 노형, 운전기간에 대한 법적규제의 有無 등의 면에서 각국의 상황이 다른 면도 있지만 지금까지 실시된 원자력발전소 수명연장검토에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기술적인 면에서 극복할 수 없는 장애요인은 없다.
2. 수명연장은 경제적으로 큰 이점이 있다.
이 때문에 각 국은 모두 수명연장을 원자력

정책상의 중요하고 유력한 선택으로 보고 노후화대책을 중심으로 한 기술개발과 제도정비를 정력적으로 추진하고 있다.

최근에는 원자력발전소 수명연장을 주제로 한 국제회의도 열리고 있는데 1991년 6월에 美 원자력학회 주최로 발전소인허가갱신에 관한 Topical Meeting이 美플로리다주 「오랜드」서 열렸고 1991년 12월에는 베를린에서 수명연장에 관한 국제회의가 개최되었다. 수명연장을 실현하기 위해서는 기술면, 제도면을 착실하게 정비해나갈 필요가 있지만 이와 함께 수명연장에 대한 사회적인 합의를 얻는 것이 불가결하므로 앞으로 이에 대한 노력이 더욱 필요하다고 생각된다(原子力工業 2月號).