美國 原電 20年 運轉延長

증대하는 전력수요와 현재 전세계적으로 난관에 부딛히고 있는 발전소 입지문제를 다소 해결하려는 미국의 원자력발전소 장수명화 계획이 구체화되고 있다. 다음은 일본 "원자력 공업 9월호"에서 발췌한 내용이다.

최장 60년까지의 운전인가

NRC는 지난 6월 28일 원자력발전의 운전기간을 최장 60년으로 연장하는 기준을 4명의 위원 전원의 찬성으로 결의했다. 현행의 40년을 20년 더 연장함으로써 증대하는 전력수요에 대응하고 시설도 효과적으로 이용하겠다는 생각이다. 또한 현재 난관에 부딛히고 있는 발전소 입지문제도 이번 조치로 다소 해소될 것으로 보인다. 세계 최대의 원자력발전국인 미국의 이 새로운 규제는 각국의 원자력정책에 적지 않게 영향을 미칠 것이 틀림없다.

문제는 압력용기

지난 7월 1일 Carv NRC 위원장이 Selin 위원장으로 바뀌었다. 따라서 신임위원장의 뜻을 살려 운전기간 20년간 연장문제를 재검토하기로 했지만 기본적으로 앞서의 결정을 그대로 답습할 것으로 보인다.

원전면허를 연장하는데 있어서의 최대의 난점은 원자로 압력용기다. 증기발생기나 펌프등, 원자력발전소의 거의 모든 것은 교환함으로써 연장이 가능하지만 이 압력용기만은 심장부이니 만큼 교환이 불가능하고 몽땅 바꾼다 해도 막대한 비용이 든다.

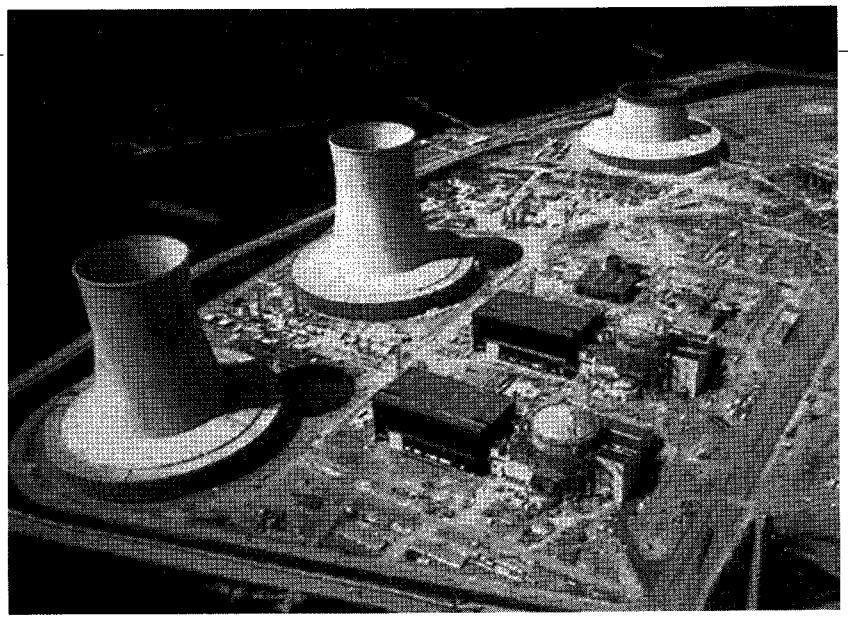
이 때문에 관계자들은 수명연장의 열쇠를 쥐고 있는 것이 이 압력용기라고 지적하고 있다. 압력용기만 건전하다면 NRC는 쉽게 운전연장 면허를 발급할 수 있다는 것이다.

압력용기는 두꺼운 강철로 되어 있지만 장기간 중성자를 맞고 있으면 압력용기의 내벽이 취약해진다. 이 때문에 많은 원자력발전소에서는 원자로 내에 압력용기와 같은 재질을 넣어 정기검사때마다 끄집어 내어 그 劣化상태를 조사하고 있다. 「어느 정도 사용하면 어느 정도 열화하는지, 경험으로 많이 알게 되었다」고 하는 것은 이 때문이다.

어쨌든 운전연장은 NRC의 신기준에 합격하지 않으면 안된다. 60년대의 구형 원자로에는 지금은 상식으로 되어 있는 ECCS(긴급노심냉각장치)가 없는 것도 있다. 따라서 운전연장을 위해서는 이들의 개량조치가 당연히 요구된다.

30%가 21세기에 기간이 만료된다.

미국에서 운전중인 원자력발전소는 작년 말 현재 112기로 전체전력의 20% 이상을 공급하



고 있다. 석탄화력 다음가는 제2의 전원이 되어 있다.

2000년에 들어서면 우선 8기가 2009년까지 현행 운전허가기간인 40년을 맞이한다. 또 그 5년 후인 2014년이 되면 40기나 되는 원자력발전소가 운전면허를 상실하게 된다.

전세계에 앞장 서서 원자력발전의 실용화를 도모했던 미국은 원자로의 수명을 현행의 40년으로 하면 2009년 이후 국내의 원자력발전소는 계속 줄어들어 2029년 이후에는 원자력발전소의 거의 다 없어지게 된다.

그래서 미국에서는 DOE(에너지성)와 EPRI(전력회사들의 연구기관인 전력연구소), 여기에 BWR 메이커인 General Electric社(GE)와 PWR 메이커인 Westinghouse社(WH) 등이 중심이 되어 원자력발전소 장수명화 연구개발위원회(NUPLEX)를 설치해 운전연장과 관련된 연구개발을 추진해 왔다.

그 연구대상이 되었던 것은 BWR에서는 Monticello 원자력발전소(56만9천kW, 1971년 운전개시), PWR에서는 Yankee Rowe 원자력발전소(18만5천kW, 1961년 운전개시)였다.

2010년에 운전허가기간이 끝나는 미네소타州에 있는 Monticello 원자력발전소에서의 조사에 의하면 5,000개에 달하는 검토항목 중에서 운전을 계속하는데 필요한 것은 27개 항목에 불과하다는 것이 이미 밝혀져 있다.

10배 이상의 경제적인 효과

NUPLEX는 다음과 같은 내용의 결론을 내고 사회적 및 법적인 검토를 지금까지 해왔다.

「원자력발전소의 장수명화는 투자효과의 10배 이상의 경제적인 효과를 가져온다. 시산해 본 바에 의하면 10년간의 수명연장화에 따르는 비용은 7,600만달러인데 비해 경제효과는 10배 이상 되는 9억7천만달러가 되는 것으로 밝혀졌다. 이 경제효과는 수명을 연장할수록 높아져 20년 연장하면 8,900만달러의 연장비용에 대해 경제효과는 그 15배인 13억달러에 달한다」

GE社와 WH社는 지금까지의 화력발전소의 운전실적과 원자로 재료의 피로시험결과로 미루어 보아 「설계때부터 장수명화를 감안한다면 인간의 수명 정도의 70년 운전은 가능하다」고 전망하고 있어 이번에 NRC의 20년간의 연장결정은 당연하다고 환영하고 있다.

이번 가을에 Yankee Rowe 원전도 신청 예정

Monticello 원자력발전소와 Yankee Rowe 원자력발전소가 금년중에 연장신청을 하게 된다. 빠르면 9월에 Yankee Rowe 원자력발전소가 신청 제1호가 될 것으로 보인다. NRC의 Selin 신임위원장이 취임 1주일 후인 7월 8일

Yankee Rowe 원자력발전소를 시찰한 것으로 보아도 관계자 사이에서 이것이 당연시 되고 있다.

이 Yankee Rowe 원자로의 약점은 역시 압력용기다. 오래된 구형로이기 때문에 劣化상태를 조사할 수 있는 試驗片이 없어 용기의 건전성을 뒷받침할 만한 수단이 없기 때문이다. 이 때문에 운전자인 Yankee Atomic社는 벨기에에 있는 동형로에서 샘플을 입수해 분석을 서두르고 있는 형편이다.

한편 원자력발전소의 연장운전에 반대하고 있는 시민단체들은 「압력용기의 위험성」을 지적하면서 운전면허 연장에 반대할 것을 시민들에게 호소하고 있다.

국제적으로도 수명연장 움직임

이 원자력발전소의 장수명화는 세계적으로도 큰 관심을 끌고 있다.

IAEA에서도 장수명화에 관한 국제회의를 여는 등 본격적인 검토를 하고 있다.

전세계적으로 26개국에서 원자력발전소가 운전되고 있는데 그 중 430기가 넘는 원자력발전소는 운전개시시기상의 시간차는 있지만 모두 수명을 맞이하게 된다. 관심이 높아지는 것은 당연하지만 그 한편으로는 기술적인 문제도 많이 남아있다. 뭐니해도 이 문제는 경험이 말해주는 것이기 때문에 많은 원자력발전소를 갖고 있는 원자력 선진국의 동향에 따라 크게 좌우될 것이다.

전세계에서 운전되고 있는 경수로의 3분의 1 이상을 차지하고 있는 미국의 이번 결정은 그 의미로 봐서도 주목을 받게 되어 있다.

미국 다음으로 원자력발전 대국인 프랑스도 그러한 나라 중의 하나다.

「프랑스의 원자로는 40년이 지나기 전에 어떠한 기기도 劣化되는 일이 없을 것이다. 지금까지의 고장은 검사결과 열화가 아니고 제조상의 결함에서 생긴 것이다」고 IAEA 국제회의석상에서 한 프랑스 대표의 발언은 설계때부터 장수명화의 개념을 도입하고 있다는 것을 시사하는 것으로 이것 또한 그 귀추가 주목된다.

Yankee Rowe 原電의 壓力容器

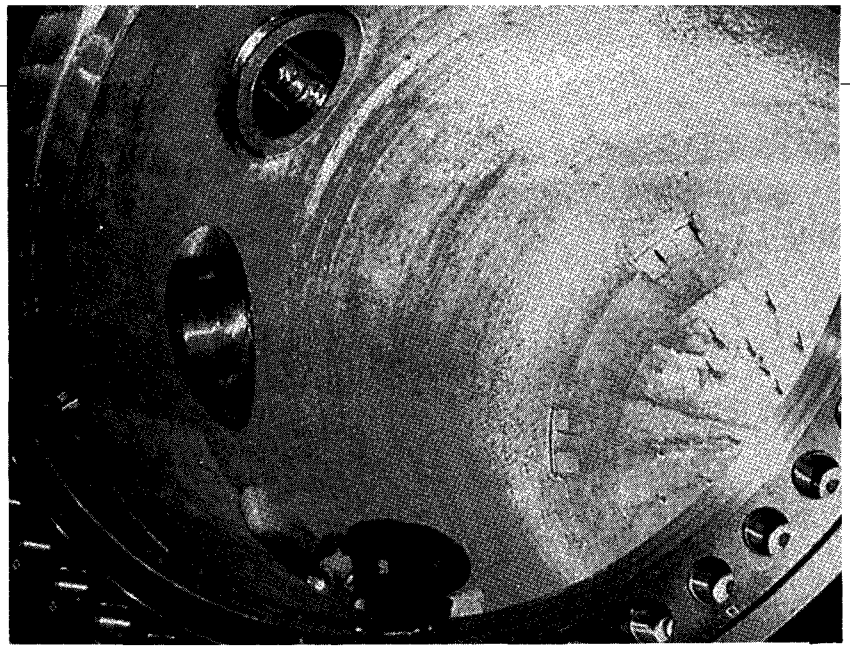
—NRC와 UCS의 논쟁—

미국의 Yankee Rowe 원전은 56년에 발주되어 61년 운전을 개시한 18.5만kW의 PWR 원전이다. Shippingport 원전이 완전히 해체·철거됨에 따라 현재 미국에서 가장 오래된 원전으로 되어 있다. 이 원전의 주계약자는 WH社지만 압력용기만은 B&W社의 것이 사용되고 있다. 초기의 원전은 지금과는 달리 설계수명이 30년으로 되어 있어 Yankee Rowe 원전은 그 시기를 맞고 있지만 수명연장을 시도하고 있다.

여기서 문제되는 것은 압력용기의 「중성자 脆化」다. 이 압력용기는 A302B로 되어 있고 그 외경은 323cm, 두께는 20cm다. 압력용기와 같은 것과 ASTM 표준재료가 감시시험편으로 압력용기의 내외벽부의 가속위치에 장전되어 있다.

압력용기 내벽부의 고속중성자 fluence는 7×10^{18}에 달해 脆性轉移溫度가 이미 120°C까지 높아져 있을 것으로 추정된다.

미원자력규제위원회(NRC)는 6월 28일 법적인 운전기간이 만료되는 노후한 원자력발전소의 운전기간을 연장하는 장수명화 조치를 4명의 위원 전원이 찬성으로 최종적으로 승인했다. NRC는 작년 7월 20년 한도내에서 운전의 연장을 인정하기로 결정하고 신청방법 및 안전

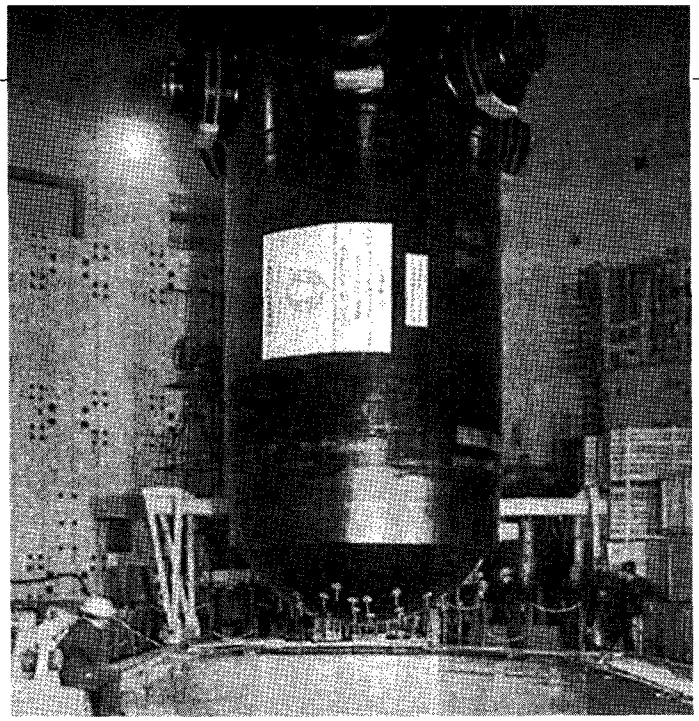


관리 기준을 제시했다. 그러나 反원전단체에서는 운전연장에 따른 안전확보가 불가능하다는 이유로 이를 반박했고 의회내에서도 이를 의문시하는 소리가 높아져 NRC에서는 검사방법 등을 재검토해 왔다 NRC는 위원들의 최종승인이 남에 따라 연내에 수명연장절차를 밝힐 예정으로 있어 내년초에 노후 원자로를 가지고 있는 발전회사로부터 신청이 있을 것으로 예상된다.

이같은 신청을 하게 될 최초의 발전소가 Yankee Rowe 원전인 것이다. 그러나 장수명화에는 매우 까다로운 문제가 많아 단순히 안전하다던가, 불가능하다던가라고는 말할 수 없는 상황이다.

미국의 "우려하는 과학자연맹"(Union of Concerned Scientists, 약칭 UCS)는 6월 4일 NRC에 대해 Yankee Rowe 원전의 즉각적인 운전중지를 요구했다. UCS는 「압력용기는 너무나 취약해져 사고의 시나리오에 따라서는 파괴될 지도 모른다」고 경고했다. 또 UCS는 「Yankee Rowe 원전은 NRC의 안전기준을 무시한 채 운전되고 있는데 NRC는 이같은 사실을 이미 1년 전부터 알고 있으면서도 아무런 대책을 강구하지 않고 있다」고 지적하고 있다. 「Yankee Rowe 원전은 이미 30년이나 운전되고 있어 중성자 취화에 의해 압력용기가 상당히 취약해져 있는 것은 사실이다. 또한 여기서 주목해야 할 점은 Yankee Rowe 원전이 설계되었을 당시에는 예상할 수 있는 모든 과도적인 현상을 감안한 설계가 되어있지 않고 또 압력용기의 재료나 용접기술 또는 제조기술도 아직 충분히 성숙되지 않은 상태에서 이루어졌다는 것이다」

UCS는 「압력용기가 파괴되면 틀림없이 melt-down으로 이어져 제어불가능한 방사능방출로 발전한다」고 경고하고 있다. 확실히 Yankee Rowe 원전에서는 문제시되는 안전관리를 하고 있다. 중성자 脆化를 촉진하는 압력용기 중의 불순물(Cu, Ni, P, S) 등의 정보가 결여되어 있고 또 안전성 평가에 필요한 transient (과도적인 현상)의 이력이 명확히 밝혀져 있지 않다. UCS가 지적하고 있는 안전기준으로부터의 이탈은 가압 열충격현상(Pressurized Thermal Shock, 약칭 PTS)에 대한 마진에 대한 것이다. PTS란 소규모의 냉각재 상실사고가 났을 때 찬 냉각수가 원자로에 주입되던가 대규모의 주증기관 파열사고에 의해 원자로 1차계통이 急冷되었을 때 일어난다. NRC는 82년에 PTS를 감안한 새로운 脆性轉移溫度의 안전기준을 93℃에서 132℃ 완화했지만 Yankee Rowe 원전의 것은 이 완화된 안전기준에 가까워 마진이 부족한 것으로 추정된다. 그러나 UCS의 주장은 「새로운 안전기준을 무시하고 운전하고 있다」는 것이다. 이것은



「132℃를 초과하고 있다」고 해석할 수 있어 이것이 사실이라면 큰 문제다.

이에 대해 UCS는 「압력용기의 상부 및 하부 plate, 그리고 원주방향 용접부의 취성전이온도는 모두 새로운 안전기준을 초과하고 있어 PTS가 일어나면 압력용기의 파괴확률은 NRC에서 정한 정도보다 훨씬 높아진다」고 밝히고 「구조상의 제약 때문에 Yankee Rowe 원전에서는 압력용기를 초음파탐사법으로 검사한 일이 없고 균열의 유무에 관한 확정적인 정보가 없다」고 했다. 여러가지 의혹이 증폭되고 있는 가운데 UCS는 NRC에 대해 공청회를 개최할 것을 요구하고 있다.

이에 대해 NRC는 UCS의 주장을 반박하고 나섰다. 그러나 압력용기가 안전하다는 근거를 전혀 제시하지 못하고 있다. 놀랍게도 NRC는 Yankee Rowe 원전의 취성전이온도가 새로운 안전기준도 초과하고 있다는 UCS가 지적한 사실을 인정하고 있다. 그 뿐 아니라 NRC는 「케이스 바이 케이스로 Yankee Rowe 원전의 운전을 허가한다」고 까지 단언하고 있는 것이다. 미국에서는 80년 시점에서 30기의 PWR의 취성전이온도가 설계치인 93℃를 초과할 위험성이 있기 때문에 NRC는 과거에 미국에서 발생한 32건의 PTS를 분석, 새로운 안전기준을 작성했다. 32건 중 8건을 특히 심한 PTS로 판정했지만 그 중 4건은 발생빈도가 낮은 것으로 보고 제외해 여기서 냉각된 下限温度를 320℉로 하고 여기에 50℉의 안전여유도를 고려해 320－50＝270℉＝132℃로 했다. 이때 원자로의 파괴확률은 종전의 연간 평균 1,000만분의 1에서 20만분의 1로 뛰어오르게 된다(이같은 내용은 NRC의 내부자료 SECY－82－465에 나타나 있다).

이같은 과정을 밟아 아무리 안전기준을 완화한다 해도 미국의 압력용기에는 중성자 취화를 촉진하는 銅같은 불순물이 많이 포함되어 있어 새로운 안전기준도 초과할 것으로 예상된다. Yankee Rowe 원전에는 NRC의 생각이 포함되어 있어 특히 흥미롭다. NRC는 장수명화를 구상했을 때 취성전이온도가 새로운 안전기준을 초과한다는 것을 충분히 알고 있어 기술적으로 취성전이온도를 낮추려고 노력하기 보다는 그대로 방치하고 더 안전기준을 완화하려고 하고 있다는 것을 알 수 있다.

더 안전기준을 완화하면 원자로의 파괴확률은 더욱 더 커진다. 확정적이라고는 할 수 없지만 SECY－82－465에 의하면 파괴확률은 연간 평균 1,000분의 1 정도로 뛰어오르게 될 것이다. 이래서는 지정한 기술이라고는 할 수 없다.