

美國 PWR의 中性子減少計劃

櫻井 淳

技術評論家

美원자력규제위원회(NRC)의 내부자료 SEC Y-82-465에는 매우 충격적인 내용이 실려있다.

운전개시후 20년도 채안된 많은 PWR이 설계상의 脆性轉移溫度 $RT_{NDT} = 93^{\circ}\text{C}$ 를 초과하고 있기 때문에 이에 대한 대책으로 안전기준을 완화해서 132°C (이것은 축방향의 용접부분에 대한 것이고 원주방향에 대해서는 149°C)로 하게 된 경위가 자세히 기재되어 있다. $RT_{NDT} = 132^{\circ}\text{C}$ 의 경우는 원자로의 파괴확률이 연간 평균 20만분의 1이고 $RT_{NDT} = 149^{\circ}\text{C}$ 의 경우에는 3만분의 1이 된다는 것도 명시되어 있다. Marshall Report에 의하면 대형보일러가 소규

모파괴를 일으키는 확률은 연간 평균 1만분의 1, 대규모파괴를 일으키는 확률은 연간 평균 20만분의 1로 되어 있다. 이것을 보면 미국에서는 원자로와 보일러를 동렬에 놓고 논의하고 있다는 것을 알 수 있다.

NRC 자료인 SECY-83-443을 보면 미국에서도 특히 脆化가 진전되고 있다고 보여지는 8기의 원전이 표기되어 있는데 여기에는 1983년 1월 1일 현재의 RT_{NDT} 와 완화된 RT_{PTS} 안전기준 및 그대로 운전하면 완화된 안전기준을 초과하는 해(年)와 철저한 「중성자감소대책」을 강구하면 완화된 안전기준에 달할 수 있는 해(年)도 명시되어 있다. 이것을 <표 1>에 표시했

원 전 명	$RT_{NDT}(^{\circ}\text{C})$	$RT_{PTS}(^{\circ}\text{C})$	설계수명	안전기준한도내 (年)	
				구노심	신노심
Robinson-2	137	149	2007	1987	2007
Turkey Point-3	128	149	2007	1989	2007
Turkey Point-4	129	149	2007	1989	2007
Maine Yankee	105	132	2008	1994	2002
Fort Calhoun	117	132	2008	1987	1999
Oconee	112	149	2007	1997	2007
TMI-1	94	132	2008	1990	2004

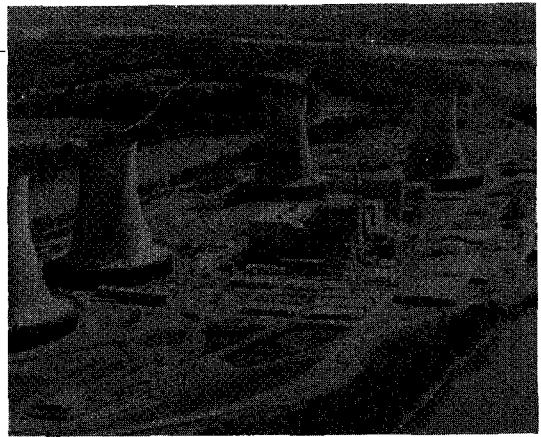
<표 1> RT_{NDT} 가 RT_{PTS} 를 초과하는 해(年)(NRC자료 SECY-83-443에서 인용)

주 1) Rancho Seco 원전은 폐쇄되었기 때문에 표에서 제외했다, 주 2) RT_{NDT} 치는 1988년 1월 1일 현재의 것, 주 3) $RT_{PTS} = 149^{\circ}\text{C}$ 는 압력용기의 원주방향용접부, $RT_{PTS} = 132^{\circ}\text{C}$ 는 축방향용접부에 적용되고 있는 안전기준, 주 4) 구노심이란 통상적인 노심배치, 주 5) 신노심이란 중성자감소대책노심, 주 6) Yankee Rowe 원전의 RT_{NDT} 는 현재 132°C 를 초과하고 있지만 이 자료에는 표기되어 있지 않았다

다. 단 Rancho Seco 원전은 이미 폐쇄되었기 때문에 이 표에서는 제외했다.

H.B. Robinson 2호기(WH社제 74만kW, 71년 3월 운전개시)의 압력용기에서는 0.20%(중량)의 동불순물이 확인되었다. 이것은 미하마(美浜) 1호기의 동불순물과 같은 양이었다. 이 원전은 82년 9월부터 제9사이클운전을 시작했는데 이때부터 중성자감소대책을 강구해 고속중성자속(10MeV 이상)을 종전의 절반으로 줄였다. 또 84년초부터 시작된 제10사이클에서도 PLSA(Part Length Shield Assembly)를 사용, 고속중성자속을 종전의 7분의 1로 줄였다.

Turkey Point 3호기(WH社제, 70만kW, 72년 12월 운전개시)와 4호기(WH社제, 74만kW, 73년 9월 운전개시)의 동불순물도 0.26%(중량)이다. 전자는 제4~8사이클까지는 低leak 노심으로, 83년 12월부터 시작된 제9사이클부터는 노심을 변경하여 고속중성자속을 종전의 3분의 1로 줄였다. 후자는 제4~8사이클까지는 低leak 노심으로, 제9사이클부터는 노심을 변경, 고속중성자속을 종전의 2분의 1로, 또 84년 5월부터 시작된 제10사이클에서는 종전의 3분의 1로 줄였다. Maine Yankee 원전(CE社제, 85만kW, 72년 12월 운전개시)은 제7사이클부터 低leak 노심으로, 제8사이클부터는 종전의 고속중성자속을 1.5분의 1로 줄였다. 이렇게 함으로써 2002년까지 기준내에 유지할 수 있게 된다. Fort Calhoun 원전(CE社제, 50만kW, 73년 9월 운전개시)에서는 제7사이클부터는 2분의 1로, 제9사이클부터는 3분의 1로 줄였다. 이렇게 함으로써 99년까지 기준내에 유지할 수 있게 된다. Oconee 원전 1호기(B&W社제, 89만kW, 73년 7월 운전개시)의 동불순물량은 상당히 많아 0.28%(중량)나 된다. 이 원전에서는 80년부터 低leak 노심으로 변경되어 고속중성자속을 종전의 1.17분의 1로 줄였다. TMI 원전 1호기(B&W社제, 82만kW, 74년 9월 운전개시)에서는 제6사이클부터 低leak 노심으로 변경해 고속중성자속을 종전의 1.4분의 1로 줄였다. 중성자감소대책으로 어떻게든 설계수명까지는 운전할 수 있을 것 같은데 그 이상의 수명연장은



좀 의심스럽다. 세계적으로 원전의 수명연장이 검토되고 있지만 어떤 자료를 보아도 현재 미국이 당면하고 있는 치명적인 문제를 회피하면서 논의하고 있고 일본도 그 예외는 아니다.

일본의 초기의 PWR은 수명말기에 가서도 RTNDT를 설계치인 93°C 이내로 유지할 수 있다고 하지만 여기에도 의문점이 많다. 미하마 원전 1호기의 압력용기는 완제품을 미국으로부터 수입한 것으로 미국의 당면하고 있는 문제와 똑같은 문제를 안고 있을 것이다. 통산성에서 적용한 일본 PWR脆化豫測式은 실측치를 20°C나 과소평가하는 경향이 있었다(통산성자료, 원자로압력용기 가압열충격시험, 1988년).

그러나 미하마 1호기를 포함해 70년대 전반에 운전을 개시한 몇기는 수명말기에는 PTNDT=93°C의 설계치를 크게 초과하는 것으로 계산상 나타난다. 일본의 예측식은 마하마 1호기에서의 두번에 걸친 감시시험편시험결과(fluence는 $1\sim 3 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$ 정도)와 JMTR에서의 가속시험결과(fluence는 $1\sim 3 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$ 정도)를 아무런 補正없이 그대로 적용하고 있기 때문에 특히 fluence가 높은 영역에서는 JMTR의 데이터로 예측식의 傾斜가 정해지고 만다.

실제의 爐와 JMTR의 데이터를 일률적으로 해석하면 큰 과오를 범하게 된다. 실제의 노에서는 감시시험편이 $6 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 의 고속중성자속에 조사되고 있지만 JMTR에서는 이보다 100배 가까운 照射孔으로 시험편을 조사하고 있어 당연히 가속효과가 영향을 미친다. 이같은 영향을 정량적으로 평가해서 補正 해주지 않으면 안된다(日本原子力工業 12月號).