

蘇聯의 SG交替技術開發 狀況

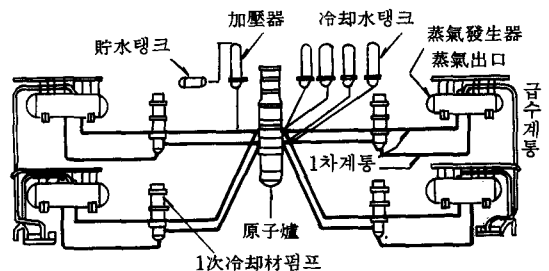
미국과 소련의 PWR 원전은 모두 군사용 원자력잠수함의 시스템을 발전시킨 것이다. 설치공간이 한정돼있는 잠수함의 원자로는 놀라울 정도로 콤팩트하게 만들어져 있어 원자로의 압력용기는 상당량의 고속중성자束에 조사되고 있다. 그래서 중성자脆性化가 문제되지만 잠수함에서는 그렇게 오랫동안 사용하는 것이 아니기 때문에 대체로 「한번 쓰고 버린다는 생각」이 지배적인 것 같다. 지금의 상업용 PWR 원전도 사정은 마찬가지다. 원자로 압력용기부의 고속중성자속(1MeV 이상)은 지금 보다 한 자리 정도 낮춰야 했을 것이다. 엔지니어들은 이러한 경험을 살려 신형 PWR(APWR) 원전 설계에 반영했다.

이 원자로로는 baffle판 안쪽에 스테인레스 스틸의 棒을 케이스에 넣은 것을 배치해서 고속중성자속을 여기서 散亂시켜 원자로 압력용기로 누출되는 고속중성자속을 중전의 절반으로 줄이고 있다. 이것은 하지 않은 것 보다는 낫겠지만 아직 그 효과는 분명치 않다. 잠수함속은 특히 수직방향의 스페이스가 좁아 증기발생기는 수평형으로 하지 않을 수 없었다.

미국에서는 최초의 상업용 원전(Shippingport 원전)의 증기발생기는 잠수함과 같이 수평형이었지만 그 다음에 건설된 원전(Yankee Rowe 원전)서 부터는 수직형으로 변경했다. 사고시의 시스템 안전성이라는 관점에서 보면 역시 수직형 쪽이 안전성이 높다. 그런데 소련에서는 처음부터 지금까지 줄곧 수평형만을 사용하고 있다. 그러나 양자 모두 증기발생기에

는 그 원인은 다르지만 치명적인 결함을 갖고 있어 현재 대대적인 교체작업이 진행되고 있다. 미국 초기의 증기발생기에는 구조적인 결함과 재료의 「응력부식균열」이나 「입자간 부식균열」 문제가 있다. 한편 소련의 개량형 PWR 원전에도 설계, 제조상의 결함으로 증기발생기의 중간부분이 이상하게 크게 부풀어 그 응력으로 인해 튜브의 절단파열이 일어날 수도 있는 심각한 문제에 직면하고 있다. 드디어 86~89년 사이에 cold header에 균열이 발견되었다. 이 문제는 부분적인 개선만으로는 해결이 어렵기 때문에 신품으로 교체하는 근본적인 안전대책이 강구되고 있다.

〈그림 1〉에 문제의 VVER-1000(1000MW PWR)의 계통도를 나타냈는데 이것은 세계의 대부분의 PWR 원전과는 달리 수평형의 증기발생기를 갖추고 있는 것이 특징이다. 이 원전에는 〈표 1〉에 표시한 4대의 PGV-1000형의 증기발생기가 갖추어져 있다. 수직형 증기발생기의 tube plate(逆U자형의 가는 튜브가 용접돼 있는 곳)는 수평으로 돼있는데 이 수평형



〈그림 1〉 VVER-1000의 계통도

〈表 1〉 PGV-1000의 사양

項 目	數 值
熱 出 力	750MW
發 生 蒸 氣 量	140t/h
1 次 系 統 壓 力	158 氣 壓
2 次 系 統 壓 力	63 氣 壓
SG 入 口 溫 度	320℃
SG 出 口 溫 度	290℃
給 水 溫 度	164~220℃
SG 胴 體 的 材 料	10GN2MFA
SG 헷 더 材 料	10GN2MFN
SG 튜브 材 料	08X18N10T
SG 튜브 數	11,000
總 重 量	340t

〈表 2〉 10GN 2MFA

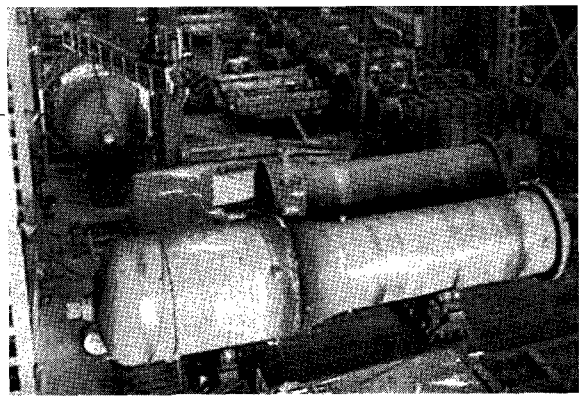
(單位: 重量%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Cu	S	P
0.08	0.17	0.80	0.30	1.8	0.40	0.03	0.30	0.2	0.02
0.12	0.37	1.10	0.30	2.3	0.70	0.07	0.03	0.02	0.02

증기발생기의 tube plate는 당연히 수직으로 돼있고 여기에 튜브가 용접돼있다.

원자로의 냉각수가 들어가는 부분을 일반적으로 hot header라고 하는데 여기서 부터 냉각수는 튜브로 分流되고 다시 合流해서 cold header를 거쳐 원자로로 되돌아간다. 이 2개의 header는 구조적으로 똑같지만 온도는 보통 hot header가 320℃이고 cold header가 290℃다. 이 온도조건은 웨스팅하우스사의 증기발생기와 똑같다. PGV-1000형 증기발생기의 header에 사용되고 있는 재료는 〈표 2〉와 같은 성분의 pearlite steel로 이것은 소련의 규격표시로는 10GN2MFA로 돼있다. 또 이들 header는 부식방지를 위해 austenite steel로 피복돼있다.

89~89년 사이에 이 PGV-1000형 증기발생기의 cold header의 구멍부분과 그 주위부분 사이에 균열이 계속 발견되었다. 균열이 발생할 때까지의 운전시간은 1000~6000시간이었



다. 이것은 42~250일에 해당해 상당히 짧은 기간이다. 균열의 깊이는 여러가지였는데 그중에는 피폭부분을 관통하고 있는 것도 있었다. 이같은 균열의 발생은 증기발생기 설계 당시에는 예측하지 못했던 일이다. 또한 이같은 균열은 hot header에서는 발생하지 않는다는 것이 확인되었다. 이러한 균열이 최초로 발견된 것은 86년말에 증기발생기 2차측의 방사능이 정상시 보다 높아진 南우크라이나 원전에서였다. 당시 방사능농도가 리터당 정상시의 10⁸Ci에서 10⁷Ci로 높아져 있었다. 그후 다른 발전소에서도 정기점검시에 차례로 같은 부분에서 균열이 발견되었다. 문제의 헷더에서 시험편이 채취되었다. 금속학적인 관점에서 원인규명이 이루어졌다. 그 결과 튜브 바깥쪽에 발생한 응력이 헷더에 전해져 그 상태에서 입자간 부식균열로 발전한 것으로 확인되었다. 이것은 용접시의 잔류응력에 의한 것이 아니고 어디까지나 운전시에 발생한 응력에 의한 것이라는 점에 유의하기 바란다. 헷더 재료의 降伏응력 보다 큰 응력이 가해졌을 때 국부적인 塑性 strain이 발생한다.

이 현상을 더 상세하게 밝히고 증기발생기의 신뢰성을 높이기 위해 다음과 같은 연구가 이루어지고 있다. ① 냉각수의 화학적 조건이 어떻게 균열의 발생과 진전에 영향을 미치는가를 해석, ② 헷더에 걸리는 응력을 최소화하기 위한 제조기술을 개발, ③ 헷더의 건전성을 쉽게 점검할 수 있는 장치를 개발, ④ 손상된 증기발생기의 보수방법을 모색, ⑤ 발생한 응력을 경감시킬 수 있는 기술의 개발, ⑥ 증기발생기의 구조변경을 포함한 설계변경을 위한 기술개발 등. 또 이러한 연구와 병행해서 증기발생기를 교체하기 위한 기술개발도 이루어지고 있다.