

하나로 1 차 열교환기의 스케일 제거

Yong-Chul Park,^a Kyoung-Ruen Kim,^b Jong-Sup Wu,^b Yang-Gon Kim,^b
 HANARO Center, Korea Atomic Energy Research Institute 150 Deokjin-dong Yuseong-gu Daejeon, 305-353,
 R.O.KOREA Tel : 82-42-868-8474, E-mail : ycpark@kaeri.re.kr

1. 서론

연구용 원자로인 하나로는 1995 년 2 월에 초임계에 도달한 이후 현재까지 정상운전을 하고 있다. 하나로 1 차 냉각계통은 50% 용량의 펌프와 열교환기가 각각 두 대씩 병렬로 설치되어 있으며 이 열교환기의 냉수는 1 차 냉각계통을 통해 노심에서 발생한 핵반응 열을 흡수하여 냉각탑에서 잔열을 제거한다. 2004 년 초부터 전 출력운전을 준비하는 과정에 두 대의 1 차 열교환기 중 2 번 열교환기의 냉수량이 감소되었다⁽¹⁾.

주요원인은 판형인 1 차 열교환기의 전열판 간격이 약 4.2 mm 이므로 장시간 사용으로 파울링에 의해 유량이 감소되었다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위해 판형 열교환기를 해체하지 않고 화공약품을 사용하여 스케일을 제거한 방법과 스케일 제거후의 효과를 기술하였다.

2. 스케일 제거

2.1 스케일 제거방식

하나로 1 차 열교환기 전열판의 파울링은 원자로 정지기간 중에 냉수의 잔류물이 침적되어 발생한다. 이 스케일을 제거하기 위해 열교환기를 해체하는 경우 온수측이 원자로 냉각수에 오염되어 있기 때문에 2 차 오염 등이 발생할 수 있다.

따라서 열교환기가 조립된 상태에서 스케일을 제거방식을 검토하였다. 고려된 방식은 정전기, 초음파 및 화공약품 등에 의한 방식이며 정전기 및 초음파 방식은 설비 초기단계에 스케일이 생성되는 억제효과가 우수하나 기존의 스케일을 제거하기 위한 처리기간과 초기 시설투자 등이 요구되었다. 화공약품에 의한 방식이 상기의 어려움을 해소할 수 있었고, 1 차 열교환기 외에 다른 열교환기에도 전용할 수 있어 이 방식을 적용하였다⁽²⁾.

1 차 열교환기의 스케일 주성분은 유기물과 탄산칼슘으로 조사되었다⁽²⁾. 유기물질은 고압세척, 탄산칼슘은 60 °C 이하의 물에 4 % 인산을 희석하여 제거할 수 있다⁽³⁾. 이에 적합한 상용화된 제품으로는 RS II 를 사용하고 있으며 이는 인산 농도가 30 % 이고, 10 % 농도로 희석하여 사용하므로 인산농도가 약 3 %이다⁽⁴⁾.

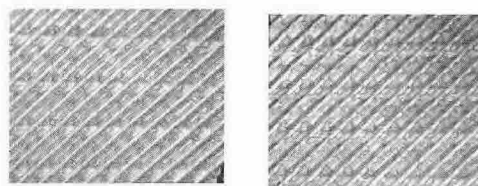
2.2 스케일 제거능력시험

1 차 열교환기의 전열판은 스테인리스 강으로 제작되어 NBR (nitrile-butadiene rubber) 개스킷을 끼워 전열판을 압착하고, 냉수관은 탄소강으로 제작되었다.

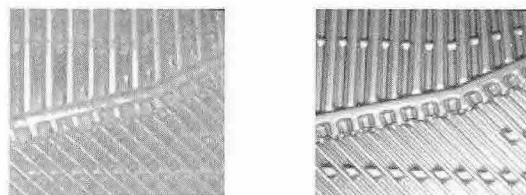
두 용액의 부식시험을 하였을 때, 탄소강은 부식되었으나 스테인리스 강은 55 °C 로 72 시간 용액에 침적하여도 부식되지 않았다⁽⁵⁾. NAR 개스킷은 각각의 용액에 침적하여 외관검사를 하였으며 두 용액에 대해 변형을 발견할 수 없었다.

스케일 제거능력의 표본검사는 추천되는 두 용액에 대해 정비를 위해 보관중인 1 차 열교환기 전열판을 부분적으로 나누어 시험하였다. 각 부분의 스케일 용액이 마르지 않도록 계속적으로 분사하여 6 시간이 경과하였을 때, 스케일 제거 상태를 비교하여 그림 1 에 나타내었다.

그림에서와 같이 6 시간이 지나 행금 하였을 때, 10 % 의 RS II 는 스케일을 깨끗이 제거하였으나 인산 4 %는 많은 양의 스케일을 제거하지 못하였다. 인산 4 %는 용액온도를 55 °C 로 유지하면 활성화되어 스케일 제거능력이 우수할 것으로 예상된다. 그러나 스케일 제거는 상온에서 실시 하여도 충분히 제거될 수 있어 4 % 인산의 55 °C에서의 시험은 제외하였다.



(a) Before removing scale of 4% PO₄
 (b) After removing scale of PO₄



(c) Before removing scale for 10% of RS II
 (d) After removing scale for 10% of RS II

Figure 1 Results of sample test for removing scale

2.3 스케일 제거

스케일을 제거하기 전에 1 차 열교환기의 냉수 시료를 채취하여 방사선을 분석을 하였다. 냉수가 방사선에 오염되지 않아 폐액은 일반 화학폐수로 처리할 수 있었다.

용액을 순환할 펌프와 용액탱크를 열교환기의 냉수 입출구에 각각 연결하여 용액이 순환되도록 하였다. 용액펌프 가동 후 3 시간은 1 시간 단위로, 그 후는 30 분 간격으로 시료를 채취하여 pH 와 탁도를 측정하고 일정 값에 수렴하여 스케일이 제거된 것으로 판단하였다.

스케일 제거가 끝난 후, 용액은 가성소다로 희석하여 중성화 (pH 7-8)하여 전량 배출하였다. 행금은 용액탱크에 새물을 채우고 동일한 방식으로 pH 와 탁도 값이 일정 값에 수렴하여 행금이 완료된 것으로 처리하였다.

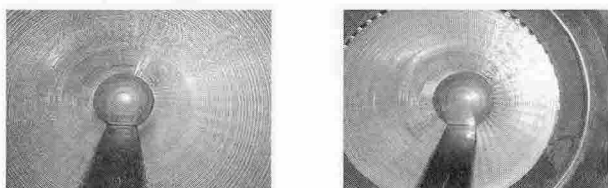
그 결과는 열교환기 전열판의 스케일 제거 전과 후를 비교하여 그림 2 에 나타내었다. 그림 2-(a) 와 (b)는 열교환기 입구에서 본 스케일 제거 상태이다. 대부분의 스케일이 제거되었으며 아래 부분에 검게 보이는 것은 잔류냉수 이다.

그림 2-(c)와 (d)는 열교환기 출구에서 본 스케일 제거상태이며 그림 (d)의 상부에 보이는 검은 부분은 유속이 0 에 가까운 곳이므로 스케일이 잔류해 있음을 보여 주고 있다.

2.4 1 차 열교환기의 냉수량

스케일 제거 후 하나로의 1 차 열교환기 두 대와 반사체 열교환기 한 대의 냉수량은 세 개의 열교환기 공통 냉수관에서 계통상의 유량계로 측정하였을 때 약 935 kg/s 를 지시하였다.

그리고 각 열교환기의 유량은 초음파 유량계로 측정하여 표 1 과 같이 스케일 제거 전과 비교 하였다.



(a) Before removing scale of the inlet

(b) After removing scale of the inlet



(c) Before removing scale of the outlet

(d) After removing scale of the outlet

Figure 3 Status of removing scale for heat exchanger

1 차 열교환기 2 번의 스케일 제거 후의 냉수량은 제거 전과 비교하여 약 18.6% 증가하였고 나머지는 5% 이내의 변동을 보였다. 이는 1 차 열교환기 2 번의 스케일 제거로 인하여 냉수량이 증가하였으며 2 번 열교환기 보다 더 많은 유량을 보이는 것은 1 번 열교환기는 심한 상태는 아니지만 스케일이 끼어 있음을 보여 준다.

결과적으로 열교환기의 냉수량이 증가함으로써 하나로를 안전하게 전출력으로 운전 할 수 있었다.

Table 1 Comparing flow variations after removing scale of primary heat exchanger NO. 2

Description	Flow rate, kg/s		Difference rate
	Before removing scale	After removing scale	
Primary NO.1 heat exchanger	450	425	-5.6%
Primary NO.2 heat exchanger	370	439	18.6%
Reflector heat exchanger	70	73	4.3%
Total	890	937	5.3%

3. 결론

하나로는 전출력 운전시험을 준비하는 과정에서 1 차 열교환기 2 번에서 냉수량이 감소함에 따라 냉각능력이 저하하였다. 주요원인은 장기간 사용함에 따라 스케일에 의한 파울링 효과에 의해 유로면적이 좁아 냉수량이 저하되었기 때문이다.

판형 열교환기의 전열판을 해체하지 않고 화공약품으로 스케일을 제거하였을 때 실험에서 보여준 바와 같이 깨끗하게 스케일을 제거할 수 있었다. 스케일에 제거된 후에는 냉수량이 증가하여 하나로를 안전하게 전출력으로 운전할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 김영기, "2 차 냉각계통 유량 측정", KAERI, Technical memo, HAN-RS-CR-04-711-001, 2004.
- [2] 박용철, "1 차 열교환기 전열판 스케일 제거방안", KAERI, Technical memo, HAN-RS-CR-331-04-006, 2004.
- [3] ALFA-LAVAL, "Instruction Manual - Plate Heat Exchanger," IM70512-E1.
- [4] HANSU LTD, "SSAKCLEAN RS II, Product report, CA-OT206-01-0401.
- [5] 박용철, "화공약품에 의한 1 차 열교환기 전열판 스케일 제거방안", Technical memo, HAN-RS-CR-331-04-011, 2004.