

하나로의 액체 폐기물 발생 현황 및 저감 대책

A study on decreasing the liquid waste and the liquid waste production status in HANARO

강태진, 황승렬, 최호영
한국원자력연구소

요 약

1996년부터 2002년까지 하나로의 출력 운전 중 발생한 액체 폐기물의 양을 조사, 정리하고 원자로 출력량과의 상관 관계를 비교하였다. 이 기간동안 발생한 폐기물량 및 처리비용은 각각 263,530 ℓ, 8,169만원이었으며 출력량 대비 폐기물 발생량 및 처리 비용은 각각 11.38 ℓ/MWD, 157 원/MWD이다. 폐기물 저감 대책은 원자로 홀 내에서 수행되는 보수 작업 및 실험 공정을 개선하여 저감하였다.

Abstract

The quantity of liquid waste produced during HANARO operation for the years from 1996 to 2002 has been investigated and the interrelation with the reactor power output has been analysed. The waste amount produced during this period was 263,530 ℓ and the processing expense was 81,690,000 won. The waste amount and processing expense per reactor power output are 11.38 ℓ/MWD and 157 won/MWD, respectively. The waste has been reduced by improving repair work procedure and experiment process in the reactor hall.

1. 서 론

방사성 폐기물이란 방사성 물질과 방사성 물질에 의하여 오염된 물질 중 폐기의 대상이 되는 물질로 경제적인 가치가 없는 것을 말하며, 방사능이 높고 낮음에 따라 고준위, 중준위 및 저준위 폐기물로 분류한다. 하나로 시설에서 발생하는 액체 폐기물은 원자로와 원자로 보호계통, 부속 실험 시설의 운영 과정에서 발생되며 대부분 저준위 또는 극저준위 폐기물에 해당된다. 액체 폐기물은 원자로실 출입자가 출입 후 오염 또는 오염 발생 가능부분의 세척 시 발생하는 Hot shower sump 폐기물과 수조상부의 배수구, 세척실, 기계실 등의 배수구를 통해 모여지는 Reactor sump 폐기물로 분류된다.

본 논문에서는 1995년 원자로 임계 이후 2002년까지의 출력 운전 기간 동안 하나로 원자로실에서 발생한 액체 폐기물의 발생량과 처리비용을 산출하여 원자로 출력량과의 관계를 비교하고 폐기물 발생 저감을 위하여 취한 대책을 기술하였다.

2. 액체 폐기물 발생원

하나로 원자로실에는 원자로와 보조계통, 원자로를 이용하는 이용시설이 있다. 이용 시설에는 빔 포트를 이용하는 중성자 실험시설, 시료의 중성자 조사를 위한 수직 조사공, 공기 이송 장치 및 수력 이송 장치 등이 있는데, 이 장치들의 운영 및 이용 과정에서 방사성 액체 폐기물이 발생한다.

하나로에서 발생하는 모든 방사성 액체 폐기물은 23톤 용량의 원자로실 배수조(Reactor sump) 와 10톤 용량의 핫샤워 배수조(Hot shower sump)로 분리 수집된다. 위치별 폐기물 발생원은 다음과 같다.

2.1 원자로실 배수조에 수집되는 폐기물

1차 계통 기계실에 있는 열교환기, 냉각펌프, 밸브류 등의 누수와 보수작업 시에 다량의 액체 폐기물이 발생한다. 그리고 1차 냉각수 정화계통과 사용후 핵연료 저장조 냉각계통의 수지 및 필터 교체 작업을 위해 이온교환기와 필터 하우징을 계통으로부터 격리시켜 내부의 물을 배수시킬 때 많은 양의 액체 폐기물이 생긴다. 그외 새 핵연료의 세척, 원자로 수조에 들어가는 실험 장비 및 구조물의 세척, 조사된 NTD(Neutron Transmutation Doping) 인고트의 제염, 실험 후 반출되는 장치들의 제염 작업이나 원자로실 청소 시에도 폐기물이 발생된다.

2.2 Hot shower sump에 수집되는 폐기물

주로 원자로실 작업자 또는 출입자의 신체 오염 부위를 제염할 때 발생한다.

2.3 수집 탱크 및 이송 계통

Rx sump 및 Hot shower sump 수위가 높아져 1.0m, 1.6m에 도달하면 시료를 채취해 수질 분석을 하고 방사능 농도를 확인한다. Sump 수위가 더욱 높아져 1.1m, 1.7m에 도달하면 자동으로 동위원소 건물의 액체 폐기물 저장조로 이송된다. 동위원소 건물의 액체 폐기물 탱크 용량은 극저준위 탱크 50톤(25톤 용량 탱크 2개)과 저준위 탱크 50톤(25톤 용량 탱크 2개)으로 구성되어 있으며, 그림 1은 액체폐기물 이송 계통도를 개략적으로 보여 주고 있다.

3. 연도별 폐기물 발생 현황

표1은 1996년부터 2002년까지 하나로의 연도별 액체폐기물 발생량 현황과 출력량별 발생량 및 처리 비용이다. 총 발생량은 263,530 ℓ, 총 처리비용은 8,169만원 이었으며, 원자로 출력 1 MWD당 발생량과 처리 비용은 각각 11.38 ℓ, 157원이다. 그림 2는 연도별 액체 폐기물 발생량을 보여 주고 있다. 1997년도에 Rx Sump 액체 폐기물이 증가한 이유는 1차 열교환기 분해 청소 및 원자로실 천정 석고 보드가 사용후 저장조로 떨어져 사용 후 수조수 일부를 폐기물로 처리하였기 때문이며, 이후 발생량은 정상적인 운영 상태에서 발생한 것으로 매년 감소하는 추세이다. 그림 3은 수집된 액체 폐기물의 수집원 별 구성 비율을 보여 주고 있다. 운전 시작 후 4년이 경과된 1999년부터는 Hot sump에서 발생하는 액체 폐기물이 급감하고 있다. 이는 원자로실에서의 작업 절차가 확립되어 작업자의 오염이 줄었기 때문이다. 그림 4는 발생된 액체 폐기물의 총구성비로, Rx Sump가 88%, Hot sump가 12%로 Rx Sump 폐기물이 대부분을 차지하고 있다. 그림 5는 연도별 발생 추이를 보여 주고 있는데 액체 폐기물은 매년 감소하는 추세이다. Rx Sump 폐기물 발생량이 2001년에 증가한 이유는 수조 덮개의 신규 제작, 설치에 따른 설비의 세척, 열교환기 전 열판 제염 작업 등 비정기적인 작업의 증가에 따라 액체 폐기물량도 증가하였기 때문이다.

4. 출력량 대비 폐기물 발생량

그림 6은 1995년 2월 이후 하나로에서 발생한 폐기물량과 출력량의 상관 관계를 보여주고 있다. 출력 1 MWD당 발생한 폐기물량은 11.38 ℓ 이다. 1997년도 출력량별 폐기물 발생량이 30.24 ℓ 로 높은 것은 원자로 정기검사와 정기적인 핵연료 검사로 출력량이 전년도에 비해 약 80%로 감소한 반면, 계획되지 않은 1차 열교환기의 분해, 청소작업으로 인하여 액체 폐기물 양이 증가하였기 때문이다. 이후 폐기물량은 전체적으로 매년 감소하고 있다. 2001년도 액체 폐기물량이 증가한 이유는 원자로 수조 덮개 교체 작업으로 인한 설비 세척 및 정기검사로 인한 물 사용량이 늘어났기 때문이다. 이를 제외한 1997년 이후 매년 운전 일수 및 출력량은 증가하고 있지만 폐기물 발생량은 점차 감소하고 있음을 그림을 통해서 볼 수 있다.

5. 폐기물 저감 대책

지난 7년간의 운전 경험을 토대로 원자로실 내에서 폐기물 저감을 위해 개선된 작업 또는 실험 공정(세척 및 배수)등은 다음과 같다.

열 교환기, 펌프 점검 및 보수, 체크 밸브의 상태 점검 시에 배출되는 1차 냉각수는 임시 펌프와 호스를 설치하여 작업수조로 되돌려 보낼 수 있도록 조치 후 작업을 수행하였다. 또한 정화계통 수지 및 필터 교체 시 배수되는 물을 최소화하기 위해서 격리 밸브의 누수를 차단하였으며, 조사 후 NTD 인고트를 제염하는 공정을 개선하여 행군 물은 Rx sump로 배수하지 않고 작업수조 또는 사용 후 수조의 보충수로 사용하였다. 그리고 핵연료 이동용 캐스크 제염작업은 작업수조에서 실시하여 액체 폐기물 발생이 저감되도록 조치하였으며, 원자로실 퇴실자 중 오염되지 않은 사람은 청정구역에서 손을 닦도록 절차를 개선하였다.

표 1. 연도별 액체 폐기물 발생 현황

| 연도 | Rx Sump(ℓ) | Hot Sump(ℓ) | 계(ℓ) | 처리비용(원) | 출력량(MWD) | 발생량/출력량(ℓ/MWD) | 처리비용/출력량(원/MWD) |
|------|------------|-------------|---------|------------|----------|----------------|-----------------|
| 1996 | 24,570 | 9,913 | 34,483 | 10,689,686 | 2,688 | 12.83 | 425 |
| 1997 | 55,530 | 6,048 | 61,578 | 19,089,326 | 2,036 | 30.24 | 452 |
| 1998 | 37,890 | 8,102 | 45,992 | 14,257,530 | 3,062 | 15.02 | 268 |
| 1999 | 30,560 | 3,355 | 33,915 | 10,513,699 | 3,042 | 11.15 | 112 |
| 2000 | 25,480 | 3,040 | 28,520 | 8,841,135 | 3,699 | 7.71 | 69 |
| 2001 | 37,940 | 986 | 38,926 | 12,067,027 | 3,771 | 10.32 | 21 |
| 2002 | 19,130 | 986 | 20,116 | 6,235,927 | 4,853 | 4.15 | 13 |
| 계 | 231,100 | 32,430 | 263,530 | 81,694,330 | 23,151 | 11.38 | 157 |

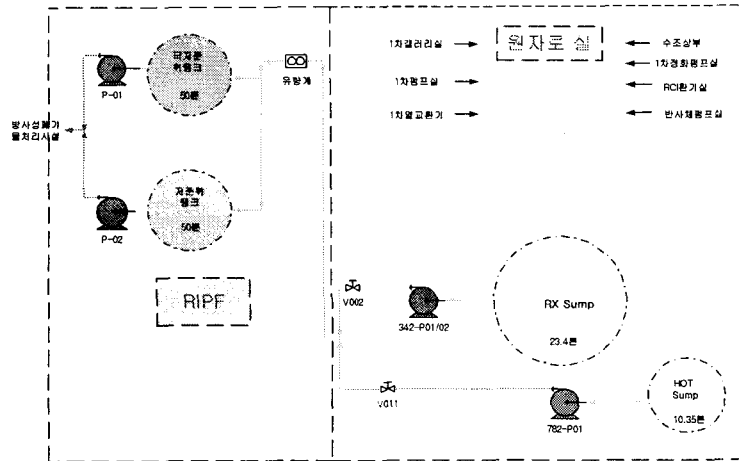


그림 1. 액체 폐기물 수집 탱크 및 이송 계통도

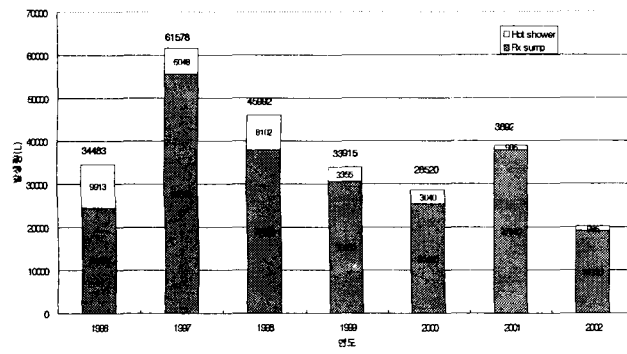


그림 2. 액체 폐기물 발생량

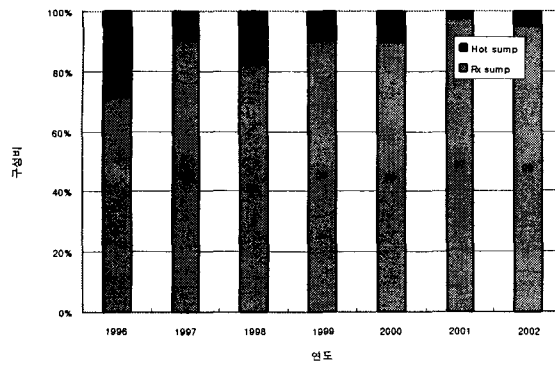


그림 3. 액체 폐기물 구성 비율

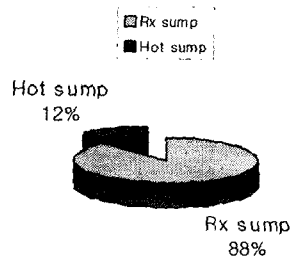


그림 4. 발생 구성비

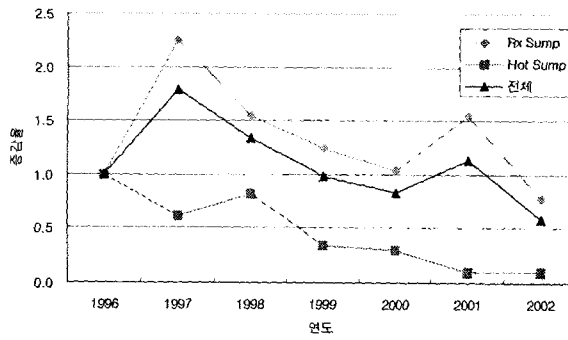


그림 5. 발생 증감율

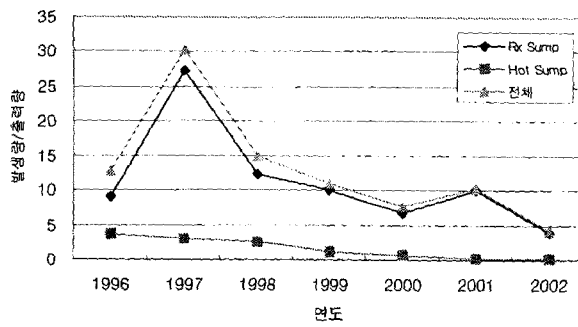


그림 6. 출력량 대비 발생량

6. 결 론

하나로의 출력운전이 시작된 이후 1996년부터 2002까지 하나로에서 발생한 폐기물 총량 및 총 처리 비용은 각각 263,530 ℓ, 8,169만원이다. 원자로 출력 1 MWD 당 발생량 과 처리 비용은 11.38 ℓ, 157원이다. 운전 일수 및 출력량은 매년 증가하고 있지만 전반적으로 액체 폐기물 발생 추이는 1997년을 제외하고 점차 감소하는 경향을 나타내고 있다. 지난 7년간의 운전 경험을 토대로 원자로실 내에서 폐기물 저감을 위해 개선된 작업 과 실험 공정(세척 및 배수)은 첫째, 정화계 통 수지 및 필터 교체 시 배수되는 물을 최소화하기 위해서 격리 밸브의 누수를 차단하였으며, 조사 후 NTD 인고트를 제염하는 공정을 개선하여 행군 물은 Rx sump로 보내지 않고 작업수조 또는 사용 후 수조의 보충수로 활용하였다. 둘째, 열 교환기 보수 또는 펌프 점검 및 보수, 체크 밸브의 상태 점검 시에 배출되는 1차 냉각수는 임시 펌프와 호스를 설치하여 작업수조로 되돌려 보낼 수 있도록 조치 후 작업을 수행하였다. 셋째, 핵연료 이동용 캐스크 제염작업을 작업수조에서 실시하여 액체 폐기물 발생이 저감되도록 조치하였으며, 원자로실 퇴실자 중 오염되지 않은 사람은 청정구역에서 손을 닦을 수 있도록 절차를 개선하였다.

감사의 글

본 연구는 정부의 출연금에 의한 기관 고유 사업으로 수행되었기에 감사의 뜻을 표한다.

참 고 문 헌

- [1] 하나로 운영기술지침서, KAERI/TR-708/96, 한국원자력연구소
- [2] 하나로 안전성 분석보고서, KAERI/TR-710/96, 한국원자력연구소
- [3] “2002년 하나로 운영”, 한국원자력연구소, KAERI/MR-395/2002