

The Status of Radioactive Waste Generation in HANARO

하나로의 방사성 폐기물 발생 현황

Tai-Jin Kang, In-Cheol Lim, Ho-Young Choi and Yong-Seob Lee

Korea Atomic Energy Research Institute, 150 Duck-Jin Dong, Yusung-Ku, Daejeon

강태진, 임인철, 최호영, 이용섭

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150 번지

Abstract

The quantity of radioactive waste generated from HANARO operation for the years of 1996 to 2003 has been analysed. It was found that the solid waste of 72,999 ℓ and liquid waste of 263,576 ℓ have been generated for the past 8 years. The amounts of Ar-41, I-131 and H-3 exhausted to the environment were 1,225.6 Ci, 1.612E-2 Ci and 210 Ci, respectively.

Key words : Radioactive waste, HANARO, Solid waste, Liquid waste, Ar-41, I-131, H-3

요약

하나로의 출력운전이 시작된 이후 1996 년부터 2003 년까지 하나로에서 발생한 방사성 폐기물의 양을 성상별로 정리하였다. 이 기간 동안 고체 폐기물과 액체 폐기물은 각각 72,999ℓ, 263,576ℓ가 발생하였으며 원자로실 및 RCI 굴뚝을 통해 환경으로 방출된 기체 방사성 폐기물은 Ar-41 이 1,225.6 Ci, I-131 이 1.612E-2 Ci, H-3 이 210 Ci 인 것으로 나타났다.

중심단어 : 방사성폐기물, 하나로, 고체폐기물, 액체폐기물, Ar-41, I-131, H-3

1. 서론

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. 또한 성상에 따라 기체, 액체, 고체 폐기물로 분류되는데 하나로에서 발생하는 방사성 폐기물은 대부분 저준위 또는 극저준위 폐기물 이다. 고체 폐기물은 작업자와

방문자가 사용했던 작업복, 휴지, 덧신, 장갑, 폐부품 등의 가연성과 수조수 정화 계통에서 배출되는 폐수지, 폐필터 및 계통 또는 기기의 작업 후 발생하는 철제류 등의 비가연성으로 분류된다. 액체 폐기물은 원자로실 출입자가 출입 후 오염 또는 오염 발생 가능부분의 세척 시 발생하는 hot shower sump 폐기물과 수조상부 세척실에서 수조에 들어가는 실험 장비 및 구조물 등을 세척하고 발생하는 reactor sump 폐기물로 분류된다. 기체 폐기물은 원자로실, RCI(Reactor Concreate Island)의 관리시설에서 발생하는 입자, 옥소, 불활성 기체로서 허용농도 제한치 이내에서 배기설비를 통해 환경으로 방출된다.

본 논문에서는 1996 년부터 2003 년까지 하나로 원자로 구역에서 발생된 고체, 액체 및 기체폐기물의 발생량을 기술하였다.

2. 본론

2.1 폐기물 발생원

하나로 원자로실에는 하나로 본체와 이용시설이 있다. 원자로실 내에 있는 이용시설로는 빔 포트를 이용하는 중성자 실험시설, 시료의 중성자 조사를 위한 수직조사공, 공기이송 장치 및 수력이송장치가 있다. 이를 운영 및 이용하는 과정에서 방사성 폐기물이 발생되며 성상에 따라 고체, 액체 및 기체 폐기물로 분류된다. 고체 폐기물은 방문자 및 종사자들이 원자로실에 출입하여 업무 수행 과정에서 발생하며, 액체 폐기물은 계통의 누설, 보수 작업, 실험 장비 등의 세척으로 발생한다. 또한 기체 폐기물은 하나로 운전 시 실험 시설에서의 공기 방사화로 인하여 발생되거나 1 차 냉각재 내의 방사화된 물질, 원자로 노심 구조물로부터 유리되어 발생된다.

2.1.1 고체 폐기물

하나로의 운전 및 보수, 실험시설 이용자들의 원자로실 작업, 실험 등의 업무 수행 과 정에서 발생하는 것으로서 다음과 같이 분류할 수 있다.

1) 가연성 폐기물

작업자 및 실험자의 작업복, 신발, 덧신과 작업 후 부산물로 발생하는 비닐, 휴지, 호스, 장갑, 고무장갑, 실끈, 플라스틱류 등이 있다.

2) 비가연성 폐기물

하나로 시설과 계통의 수리 및 보수 작업 후 발생하는 파이프 조각 등 철제류와 이용 부서에서 실험 설비 및 기기들의 설치 후 발생하는 쓰레기 중 오염된 전선, 석면, 편사호스 등 각종 작업 부산물과 시료의 중성자 조사 후 발생하는 와이어 등이 있다.

3) 폐수지 및 폐필터

1 차 냉각수 및 사용후 저장조 냉각수의 수지 및 필터 교체 작업 후 발생하는 폐수지와 폐필터, 환기계통에서 배출되는 HEPA, medium, charcoal 필터 등이 있다.

4) 수집 위치

원자로 실 3 층과 지하층에 가연성 및 비가연성 폐기물 임시 수집용기가 있으며, 작업자가 작업 후 분류하여 수거한다.

2.1.2 액체 폐기물

하나로에서 발생하는 모든 방사성 액체 폐기물은 23 톤 용량의 원자로실 배수조 (reactor sump)와 10 톤 용량의 핫샤워 배수조(hot shower sump)로 분리 수집된다. 위치별 폐기물 발생원은 다음과 같다[1].

1) 원자로실 배수조에 수집되는 폐기물

- 가. 1 차 계통 기계실에 있는 열교환기, 냉각펌프, 밸브류 등의 누수와 보수작업 시에 다량 발생한다.
- 나. 1 차 냉각수 정화계통의 수지 및 필터 교체 시 계통과 격리된 이온교환기 와 필터 하우스 내부의 물을 배수시킬 때 발생한다.
- 다. 새 핵연료의 세척, 원자로 수조에 들어가는 실험 장비 및 구조물의 세척, 조사된 NTD(Neutron Transmutation Doping) 인코트의 제염, 실험 후 반출되는 장치 들의 제염 작업이나 원자로실 청소 시에 발생한다.

2) Hot shower sump 에 수집되는 폐기물

원자로실 출입자가 출입 후 오염 부위를 제염할 때 발생한다.

2.1.3 기체 폐기물

하나로 원자로 건물은 준 격납용기(confinement)로서 평상시에 외부 공기의 유입과 유출이 있다. 기체 폐기물은 하나로 운전 시 원자로 노심 구조물 등에서 유리되거나 1 차 냉각재 내의 방사화된 물질 등이 수조를 통해서 원자로실 공기 중으로 방출된다. 그러나 대부분의 기체 폐기물은 공압이송장치와 같은 실험 장치에서 발생하고 있다. 이들 장치와 냉각수에서 방출된 방사성 입자, 가스, 삼중 수소 등은 RCI 내에 존재하는 방사성 물질과 함께 배기설비를 통하여 공기여과장치를 거친 후 최종적으로 굴뚝을 통해서 환경으로 방출된다.

그림 1 은 원자로실과 RCI 에서 발생한 기체 폐기물의 배출 경로를 보여 주고 있다. 원자로실과 RCI 굴뚝의 방출량은 각각 51,200 CMH, 6,660 CMH 이다[2].

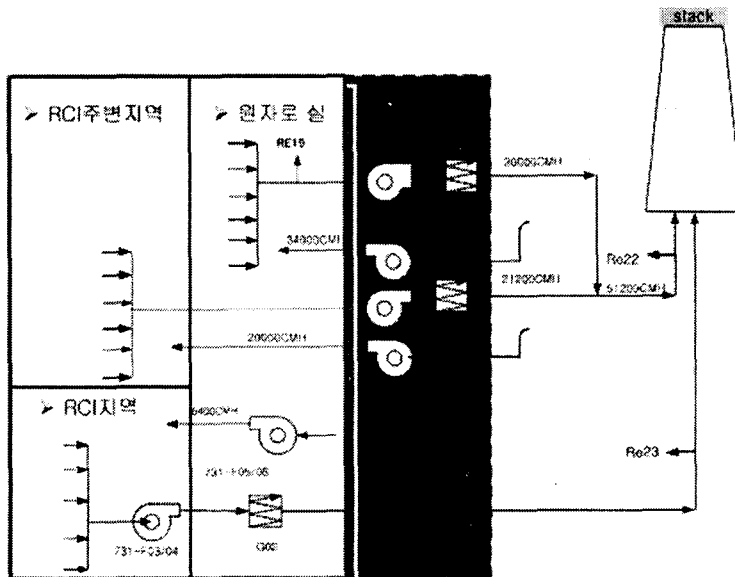


그림 1. 원자로 건물의 환기 계통

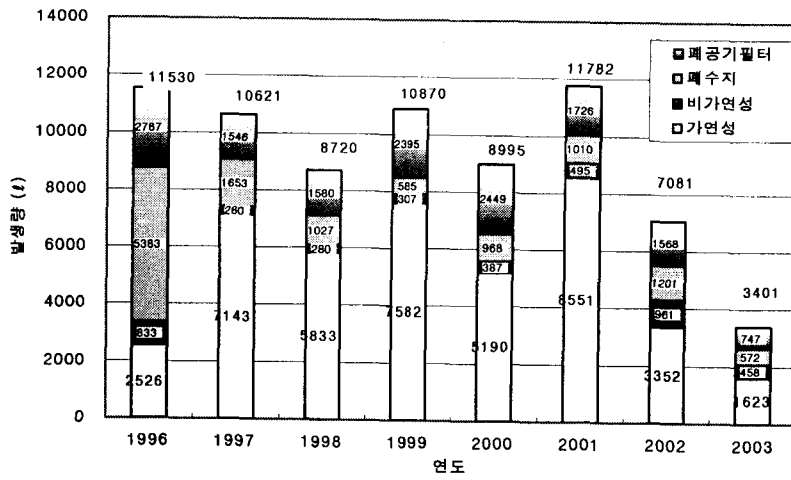
2.2 연도별 폐기물 발생 현황

2.2.1 고체 폐기물

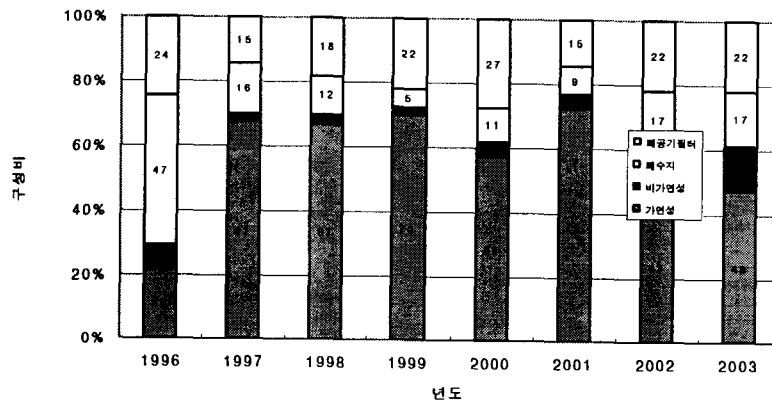
표 1 은 1996 년부터 2003 까지 하나로에서 발생한 고체 폐기물 발생량이며 발생한 총 폐기물량은 72,999ℓ 이다. 그림 2 는 연도별 고체 폐기물의 발생량 및 구성 비율을 나타낸 그림이다. 1996 년도 폐수지 증가는 원자로 시운전 과정에서 수조 및 1 차 계통의 이물질 흡착 등으로 수지 교체가 많았기 때문이다. 1999 년도에 가연성 폐기물이 증가한 이유는 BNCT(boron neutroncapture therapy) 조사시설 설치와 원자로실 바닥 확장 공사, 열 교환기 전열판 교체 작업과 하나로 시설 정기 검사로 시설 및 계통의 점검이 있었고 또한 원자로실 방문객이 늘어 뎃신 사용량이 많았기 때문이다. 2001 년도는 BNCT 차폐체, 원자로 수조 덮개 등의 설치 작업 등으로 가연성 폐기물이 증가하였다. 또한 2002 년도 폐수지 발생량이 증가한 이유는 원자로 출력 일수 증가 및 출력 상승 등 수지 교체 주기가 짧아진 것이 원인이다. 이외에 가연성 폐기물이 급감한 것은 9.11 테러 이후 이의 영향으로 방문객의 원자로실 입실이 금지됨에 따라 뎃신의 사용이 급감하였기 때문이다. 폐기물 발생 총 구성비는 가연성 폐기물이 69%, 비가연성이 8%, 폐공기 필터가 19%, 폐수지가 4%를 차지하고 있다. 가연성 및 비가연성은 추가로 설치되는 이용 시설의 수가 줄고 작업 종사자의 저감 노력으로 점차 감소 되고 있다. 그러나 폐수지의 배출량은 원자로 운전 일수 및 출력량의 증가에 따라 점진적으로 증가하고 있는 추세이다[3].

표 1. 연도별 고체 폐기물 발생 현황

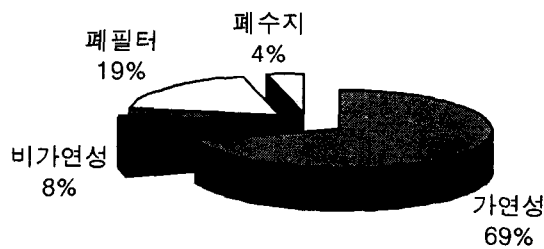
| 연도 | 가연성 (ℓ) | 비가연성 (ℓ) | 폐공기필터 (ℓ) | 폐수지 (ℓ) | 계 (ℓ) |
|------|------------|-------------|--------------|------------|----------|
| 1996 | 2,526 | 833 | 2,787 | 5,383 | 11,530 |
| 1997 | 7,143 | 280 | 1,546 | 1,653 | 10,621 |
| 1998 | 5,833 | 280 | 1,580 | 1,027 | 8,720 |
| 1999 | 7,582 | 307 | 2,395 | 585 | 10,870 |
| 2000 | 5,190 | 387 | 2,449 | 968 | 8,995 |
| 2001 | 8,551 | 495 | 1,726 | 1,010 | 11,782 |
| 2002 | 3,352 | 961 | 1,568 | 1,201 | 7,081 |
| 2003 | 1,623 | 458 | 748 | 547 | 3,401 |
| 계 | 41,800 | 4,000 | 14,801 | 12,399 | 72,999 |



1) 발생량



2) 구성 비율

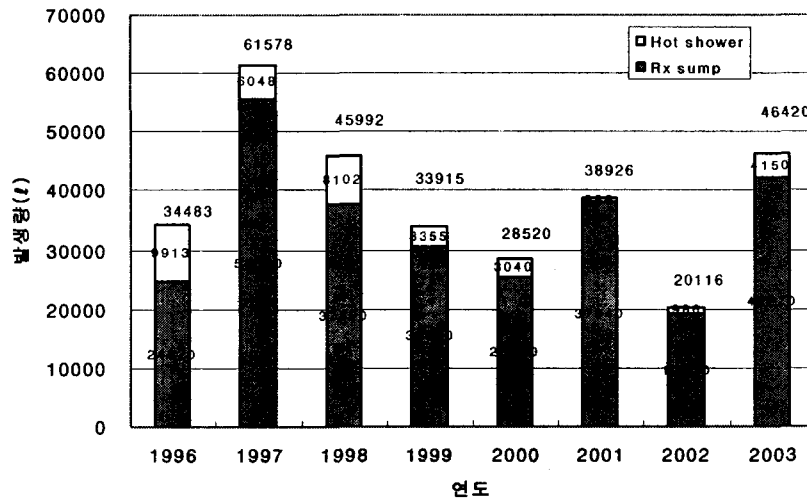


3) 발생비

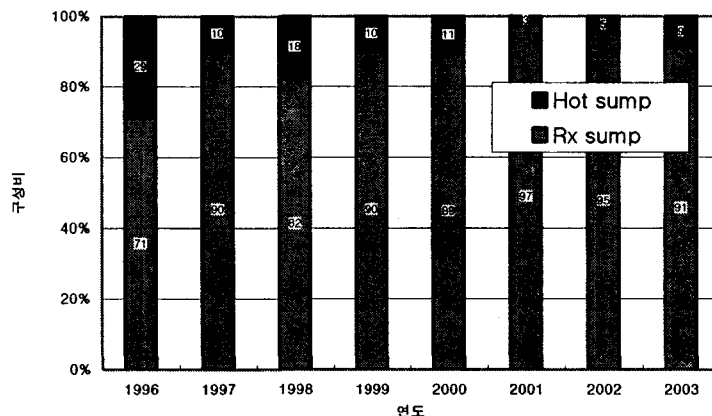
그림 2. 고체폐기물 발생량

2.2.2 액체 폐기물

표 2 는 1996 년부터 2003 년까지 하나로에서 발생한 액체 폐기물 발생량 및 처리 비용이다. 발생된 양은 263,576ℓ이다. 그림 3 은 연도별 액체 폐기물의 발생량과 수집된 액체 폐기물의 수집원 별 구성 비율을 보여 주고 있다. 운전 시작 후 2 년이 경과된 1999 년부터는 hot sump 에서 발생하는 액체 폐기물이 급감하고 있다. 이는 원자로실의 작업 절차가 확립되어 발생량이 줄었기 때문이다. 1997 년도에 원자로실 액체 폐기물 발생량이 급증한 이유는 1 차 열교환기의 분해, 청소가 있었기 때문이다. 2001 년 Rx sump 발생량 증가는 수조 덮개 설치 작업시 설비의 세척, 열교환기 전열판 제염 작업 등으로 배수량이 증가하였기 때문이다. 2003 년 발생량 증가는 NTD 상업 서비스 실시에 따른 제염 작업의 증가와 비상보충수 주입 실험을 여러 차례 실시하였기 때문이었다[3].



1) 발생량



2) 구성 비율

그림 3. 액체폐기물 발생량

2.2.3 기체 폐기물

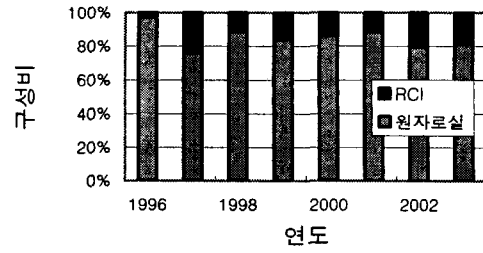
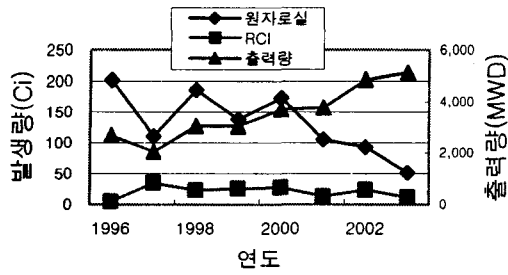
하나로에서 발생하는 기체 폐기물의 주 핵종은 Ar-41, I-131, H-3 이다. 발생된 방사성물질은 배기에 대한 허용농도 제한치 이내에서 원자로실 굴뚝과 RCI 굴뚝을 통해 환경으로 방출된다. 표 3 은 1996 년부터 2003 년까지 하나로에서 발생한 기체 폐기물 현황이며, 총 발생량은 Ar-41 이 1,225.6 Ci, I-131 이 1.612E-2 Ci, H-3 이 210 Ci 이다. 그림 4 는 원자로실, RCI 시설에서 발생한 기체 폐기물의 연도별 발생량을 나타낸 그림이다. 2000 년 원자로실의 Ar-41 배출량이 증가한 것은 방사화 분석을 위한 공압 이송 장치에서 누설이 있었기 때문이며, 누설 부위를 봉합하고 질소가스를 공급하기 시작한 2001 년 이후 Ar-41 은 매년 감소하고 있다.

표 2. 연도별 액체 폐기물 발생 현황

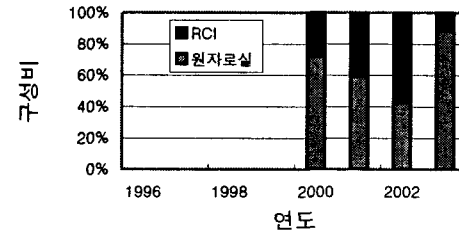
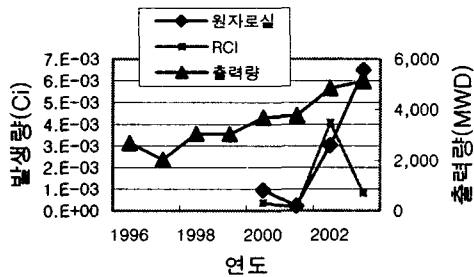
| 연도 | Rx Sump(ℓ) | Hot Sump(ℓ) | 계(ℓ) |
|------|------------|-------------|---------|
| 1996 | 24,570 | 9,913 | 34,483 |
| 1997 | 55,530 | 6,048 | 61,578 |
| 1998 | 37,890 | 8,102 | 45,992 |
| 1999 | 30,560 | 3,355 | 33,915 |
| 2000 | 25,480 | 3,040 | 28,520 |
| 2001 | 37,940 | 986 | 38,926 |
| 2002 | 19,130 | 986 | 20,116 |
| 2003 | 42,270 | 4,150 | 46,420 |
| 계 | 273,370 | 36,580 | 309,950 |

표 3. 연도별 기체 폐기물 발생 현황

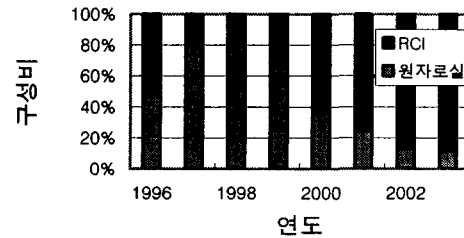
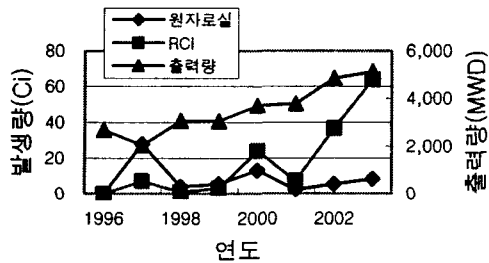
| 항목 년도 | 원자로실 굴뚝(Ci) | | | RCI 굴뚝(Ci) | | |
|----------|-------------|---------|------|------------|---------|-------|
| | Ar-41 | I-131 | H-3 | Ar-41 | I-131 | H-3 |
| 1996 | 201.6 | * | 0 | 5.2 | * | 0 |
| 1997 | 110.8 | * | 27.8 | 35.1 | * | 7.2 |
| 1998 | 185.9 | * | 4.1 | 23.4 | * | 1.1 |
| 1999 | 137.6 | * | 5.6 | 25.9 | * | 3.0 |
| 2000 | 172.7 | 9.52E-4 | 13.1 | 27.8 | 3.7E-4 | 24 |
| 2001 | 105.5 | 2.24E-4 | 2.3 | 13.7 | 1.53E-4 | 7.2 |
| 2002 | 92.7 | 3.03E-3 | 5.6 | 23.9 | 4.07E-3 | 36.7 |
| 2003 | 51.6 | 6.5E-3 | 8.38 | 12.1 | 8.27E-4 | 63.9 |
| 계 | 1058.5 | 1.07E-2 | 66.9 | 167.1 | 5.42E-3 | 143.1 |



1) Ar-41 발생량 및 비율



2) I-131 발생량 및 비율



3) H-3 발생량 및 비율

그림 4. 원자로실, RCI 시설의 기체방사성폐기물

3. 결론

하나로의 출력운전이 시작된 이후 1996년부터 2003년까지 하나로에서 발생한 고체 폐기물과 액체 폐기물은 각각 72,999ℓ, 263,576ℓ 이다. 이 기간 동안 원자로실 및 RCI 굴뚝을 통해 환경으로 방출된 기체방사성폐기물은 Ar-4 이 1,225.6 Ci, I-131 이 1.612E-2 Ci, H-3 이 210 Ci 인 것으로 나타났다. 하나로의 운전일수 및 출력량 증가에 비례하여 기체방사성폐기물은 매년 증가하고 있지만 고체폐기물은 추가로 설치되는 이용 시설의 수가 줄고, 방문객 및 작업자의 덧신 사용량 감소로 점차 감소하는 추이를 보이고 있다. 그러나 액체 폐기물은 NTD

상업 서비스 실시에 따른 제염 작업 때문에 증가하였으며 향후 상업 서비스가 많아지면 이에 비례하여 매년 증가할 것이다.

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] “2003 년 하나로 운영”, 한국원자력연구소, KAERI/MR-411/2003
- [4] 대덕 원자력관련시설의 운영중 방사선환경영향평가, KAERI/CR-169/2003,
한국원자력연구소