

FTL 및 하나로 배수조의 액체 방사성폐기물 핵종 분석

최호영, 이문, 한재삼, 조성환, 김민수, 허순옥, 안국훈

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045, 305-353

choihy@kaeri.re.kr

1. 서론

핵연료조사시험설비(Fuel Test Loop, FTL)는 2007년 3월에 설치하였으며, 2009년 9월에는 시험핵연료 장전후 출력상승시험을 마침으로써 시운전을 정상적으로 종료하였다. 현재 FTL은 저온운전대기 2(Cold Stand-by2, CSB2)로 운전하고 있다. FTL은 현재 가동중인 원자력발전소의 노심 조건과 유사한 환경을 만들어 시험핵연료 조사 시험, 핵연료 연소도 및 건전성 입증, 새로운 핵연료 개발 및 핵연료봉 검증 조사 시험 등을 수행한다. FTL 계통의 정상운전, 계통 유지보수, 기타 작업 및 실험 시 계통 외부로 나오는 액체 방사성폐기물은 제 2기기에 있는 배수조(sump)에 수집되어 저장된다. 하지만 1차 파이프 갤러리에서 발생하는 FTL 계통의 액체 방사성폐기물은 하나로 배수조로 유입된다. 그리고 하나로 1995년 2월에 첫 임계(criticality)에 도달한 이후 단계별로 원자로 출력을 상승하여 2004년 9월에는 설계 최대 출력인 30 MW에 도달하였다. 현재 원자로 출력은 30 MW로 28일 운전, 7일 정지 주기로 운전하고 있다. 하나로 1995년 핵연료 및 재료의 조사 시험, 동위원소 생산, 중성자 빔을 이용한 연구, 중성자 방사화 분석, 중성자핵변환도평 등에 활용되고 있다. 하나로 1995년 정상운전중, 계통 유지보수, 기타 작업 및 실험시 발생한 액체 방사성폐기물은 원자로건물 배수조에 수집되어 저장된다.

이 논문에서는 2010년도 FTL과 하나로 1의 운영과정에서 발생한 액체 방사성폐기물의 발생 원인과 배수조에 모인 액체 방사성폐기물의 핵종을 분석 비교하였다.

2. 본론

2.1 FTL 액체 방사성폐기물

2.1.1 방사선원

FTL을 운전하면서 발생하는 액체 방사성폐기물의 방사선원으로는 시험핵연료에서 나오는 핵분열생성물과 시험 핵연료봉, 주냉각수계통에서 발생하는 부식 및 방사화생성물이다. 모든 핵분열

생성물은 시험핵연료봉 안에 갇혀 있으나, 미세한 양이 주냉각수계통에 유입될 수 있다. 그리고 주냉각수 펌프 베어링 마모에 따른 안티몬(Sb-122, Sb-124)과 주냉각수 배관(stainless steel)에서 나온 코발트(Co-60)이 유입될 수 있다. 하지만 취출보충정화계통의 여과기를 사용하여 주냉각수계통의 방사능 물질을 지속적으로 제거하여 제한치 이내로 유지한다. FTL 정상 운영중 계통 외부로 나오는 액체 방사성폐기물은 제 2기기에 위치한 배수조에 저장된다.

2.1.2 액체 방사성폐기물 발생 원인

FTL의 정상 운전중 액체 방사성폐기물의 발생 요인은 방사성 액체를 포함하고 있는 계통의 경계인 펌프, 밸브, 열교환기 등의 기기와 배관의 연결부위, 기기의 연결 부위 등에서 비롯된다. FTL 운영중 액체 방사성폐기물은 제 1기기에 있는 스트레이너 탈부착시, 주냉각기 전단 배기, 주냉각수 펌프 전단 배기, 열교환기 배기 등의 각 계통의 배기 작업과 주냉각수 펌프 후단 배수, 4인치 배관 배수 작업시에 발생하였다. 그리고 제 2기기에 있는 액체 방사성폐기물은 취출보충정화계통 펌프 실에서의 누수, 이온교환기 및 여과기 배기 작업시에 발생하였다. 또한 2010년도에는 1월부터 주냉각수계통의 방사선량 증가에 따른 주냉각수계통 내부 세척시에 액체 방사성폐기물이 발생하였다.

2.2 하나로 액체 방사성폐기물

2.2.1 방사선원

하나로의 노심은 저온, 저압 조건에서 운전되며, 정상운전시 고려되는 방사성 핵종은 방사화에 의해 생성되는 N-16, N-17, O-19, Ar-41, 삼중수소 및 부식생성물 등이다. 부식 생성물은 핵연료 지지 구조물 및 중수 탱크에 사용하는 지르칼로이, 핵연료 피보재, 침니 등 노심 구조물에 사용하는 알루미늄계 합금, 그리고 유입 공동, 열교환기 및 각종 배관 등의 스테인레스틸계 합금에서 발생한다. 하나로에서 발생하는 모든 액체 방사성폐기물은 원자로건물 지하에 위치한 배수조에 저장된다.

2.2.2 액체 방사성폐기물 발생 원인

하나로의 정상 운전중 발생하는 액체 방사성폐기물은 방사성 액체를 함유하고 있는 계통의 경계인 펌프, 밸브, 열교환기 등의 계통기와 배관의 연결 부위, 기기의 연결 부위 등에서 발생한다. 하나로 정상 운영중 발생하는 액체 방사성폐기물은 1차냉각계통 기기실의 펌프, 열교환기, 밸브 등의 유지보수 작업, 1차정화계통과 사용후핵연료냉각정화계통 기기실의 펌프, 밸브, 여과기, 이온수지 등의 유지 보수 작업 및 수조고온층계통의 이온수지 교체 작업 과정 등에서 발생한다. 그리고 원자로 수조에 들어가는 새핵연료, 기기 및 장비 등의 세척시에도 발생한다.

2.3 액체 방사성폐기물 핵종 분석

Table 1. Result of Nuclide Analysis

단위 Bq/ml.	FTL Sump	FTL Sump	FTL Sump	FTL Sump	하나로 sump
핵종	2008-12-10	2010-06-25	2010-07-28	2010-10-20	2010-05-14
Ar-41	74.6	5.52	18.5	3.52	25.3
Ba-140	2.85	17.8	57.7	9.02	71.6
Ce-141	81	3.71	22.2	1.4	20.2
Ce-144	6.58	19.3	88.4	11.5	240
Co-58	1.06	4.09	10	2.33	256
Co-60	1.25	58.2	156	59.8	6830
Cr-51	6.49	48.4	151	8.85	39.4
Cs-134	97.8	110	204	580	123
Cs-137	2.08	3.02	12.3	4.56	45.6
Fe-59	1.21	7.39	22	5.75	55.7
I-131	77	5.01	25.2	3.41	19.6
I-132		7.44	15	2.58	19.1
I-133	75.5	1.99	24.8	4.52	43
La-140	1.02	7.82	14.7	3.17	18.3
Mn-54	28.6	3.75	11.7	2.65	122
Mn-56	28.6	1.35	11.3	2.1	23.9
Na-24	75.1	37.3	905	154	460
Nb-95	24.2	5.3	12.8	2.81	75.9
Np-239	5.22	3.8	65.8	14.2	142
Tc-99M	64.8	1.46	8.28	1.41	6.71
W-187	1.09	9.95	44.8	6.28	66.2
Ru-103	1.22	5.68	19.2	2.18	24.7
Mo-99	62.1	2.74	8.15	1.39	13.5
Te-132	52	4.67	11.3	1.36	14.3
Sb-122		6.25	1920	3.54	241
Sb-124	63.2	1470	34300	6880	18900
Xe-133	1.47	5.42	25.1	5.96	24.8
Xe-135	72	3.58	10	2.12	17.5
Zn-65	1.51	16.8	32.6	5.69	146
Zr-95	90.6	5.07	24.5	3.57	42.9
H-3	2270	4410	5690	1390	292000
Gross- α	40	16	16	16	40
Gross- β	80	1520	33300	6790	5190

2.3.1 액체 방사성폐기물 핵종 분석

Table 1은 FTL과 하나로의 운영과정에서 발생한 액체 방사성폐기물의 핵종을 분석한 것이다. Table 1에서 보면 바륨(Ba), 세륨(Ce), 요오드(I), 루테튬(Ru), 몰리브덴(Mo), 테크네튬(Te) 및 크세논(Xe) 등은 핵분열생성물로서 이는 핵연료 제작시 핵연료 피복관의 표면에 붙은 우라늄(U) 가루

의 핵분열로 생성된 것이다. 하나로 배수조에서 방사능이 높게 나온 핵종은 세슘(Cs), 철(Fe), 망간(Mn), 니오브(Nb), 텅스텐(W), 안티몬(Sb), 아연(Zn), 지르코늄(Zr) 및 삼중수소(H-3) 등이다. 하나로 배수조에서 코발트(Co-60) 방사능이 크게 나타났는데, 이는 스테인레스스틸(SUS 316)에 포함된 니켈(Ni-58)의 불순물로 함유된 코발트(Co-59)의 중성자 포획반응 때문이며, 지르코늄은 노심 구조물이나 핵연료 집합체 구조물로 사용된 재료에서 부식생성물이 발행하여 방사화되었기 때문이다. 하나로 배수조에서 코발트(Co-60)과 안티몬(Sb-124)가 높게 나타난 것은 FTL 계통에서 누수 및 배수된 냉각수 일부가 유입되어 계측된 것으로 추정된다. 그리고 FTL 배수조에서도 하나로 배수조에서 검출된 핵종과 같지만 방사능은 적은 것으로 나타났다. 특히 안티몬(Sb-124)의 방사능이 높게 나타난 것은 FTL 주냉각수 펌프 베어링 마모에 따른 베어링에 포함된 안티몬이 방사화되어 나타난 것이다. 그리고 주냉각수계통의 방사선은 계통에 과산화수소(H₂O₂) 주입하여 코발트(Co-60) 핵종을 제거하여 방사선량을 감소시킬 예정이다.

3. 결론

FTL 배수조와 하나로 배수조의 액체 방사성폐기물의 핵종을 분석하였다. 하나로 배수조에서는 주로 핵연료 표면에 묻은 우라늄 가루의 핵분열에 의한 핵분열 생성물이 많았고, 노심 구조물과 핵연료 구조물에 의한 반응에 의한 핵종이 많았다. FTL 배수조에서는 주냉각수 펌프 베어링 마모와 주냉각수 배관의 스테인레스스틸(SUS316)의 불순물 방사화로 인한 핵종이 특히 높게 나타났다.

4. 참고문헌

- [1] 한국원자력연구원, "하나로 안전성분석보고서 (KAERI/TR-710/1996)", 1996.
- [2] 한국원자력연구원, "하나로 안전성분석보고서 11.7핵연료시험설비(KAERI/TR-3898/2009)", 2009.
- [3] 임인철 외, "2009년 하나로 및 활용시설 운영 (KAERI/MR-501/2009)", 2009.
- [4] 하나로심포지움, 2009년 학술발표회 초록집, pp.35, 157, 164, 2009.