

Study on the Method of Estimating the Accumulation of Co-60 in Consideration of the Operating History of a NPP

원전 운전환경을 고려한 방사성폐기물 내 Co-60 재고량 평가 방안 연구

Tae-man Kim and Joo-ho Whang

Dep. of Nuclear Eng. College of Advanced Technology, KyungHee Univ., Kiheung, Yongin, Kyunggi-Do.

김태만, 황주호

경희대학교 원자력공학과, 경기도 용인기 기흥읍 서천리 경희대학교 수원캠퍼스

Abstract

To dispose of radwaste in a repository, the safety of disposal must be ensured. This study developed a program for estimating radionuclide accumulation of radwaste, based on the material balance method, one of the indirect methods, and performed application evaluation during the 9th preventive maintenance period of Gori Plant 4, one of the commercial power plants in Korea. First of all, to ensure the technique developed in this study is assessed accurately, this study utilized the data regarding the radionuclide removal in the purification system during the shutdown water chemistry control, and a related estimation technique called SCALP. The target nuclide was Co-60, and it turned out that the relative error was less than 1%. The estimation result was compared with the result of direct measurement of the radwaste during the corresponding period as presented by commercial power plants. The result showed that the quantity of Co-60 measured by the direct method was about 50% less than that calculated by the technique developed in this study.

Key Word : Accumulation of radwaste, DF, SF, Operation History, Conditions of Water-chemical

요 약 문

방사성 폐기물을 처분장에 처분하기 위해서는 처분 안전성을 확보하여야 한다. 본 연구는 간접 측정 방법 중 하나인 물질수지 기법을 이용하여 방사성폐기물의 핵종재고량 평가 프로그램을 개발하였다. 개발 기법의 현장 적용평가를 위하여 고리4호기(9차계획예방정비)를 대상으로 선정하였다. 개발한 평가방법의 검증에 위해 정지수화학적처리시 정화계통 내 핵종 제거량 평가자료를 바탕으로 비교평가를 수행하였다. 평가대상 핵종은 Co-60이며, 평가결과 상대오차 1%미만으로 나타났다. 이와 같은 평가결과를 바탕으로 상용원전에서 제시하고 있는 해당기간 발생된 폐기물의 직접 측정 결과와 비교하였고, 그 결과 직접측정 방법에 의한 Co-60의 함유량은 본 연구의 개발기법에서 산출한 값보다 약 50% 작은 것으로 평가 하였다.

중심단어 : 폐기물 핵종재고량, 순간제염계수, 척도인자, 운전이력, 수화학환경

1. 서론

방사성 폐기물을 처분하기 위해서는 처분 안전성을 확보하여야 한다, 이를 위해 방사성폐기물내의 선원항 및 재고량을 평가해야 하며, 이에 우리나라는 관련 법, 법령 및 고시등을 제시 및 재/개정을 통하여 규제하고 있다. 특히 개정중인 과기부 고시 제 01-32호 “중·저준위 방사성폐기물 인도규정”에서 핵종재고량 평가방법으로 그 타당성이 검증된 직/간접적 평가방법을 제시하고 있다. 현재 국내 원전의 경우 2004년부터 직접측정방법으로 감마핵종 분석장치(HPGe)를 도입하여 주요 핵종량을 평가하고, 간접측정방법인 척도인자(Scaling Factor, SF)를 활용하여 그 외 핵종을 평가하고 있다. 그러나 이 핵종 분석장치는 200ℓ 드럼 이외에 기발생된 다양한 형태의 드럼에 적용은 불가능하다.[1,2,3] 이에 본 연구는 먼저 일차냉각계통의 방사성 물질의 거동에 대하여 이론적 배경을 확립하고, 계통 내에서 방사성 물질의 이동 경로에 따른 정화/제염 데이터와 이력을 분석하였다. 그리고 방사성 핵종별로 그 농도의 변화를 이용하여, 계통내 정화장치에 누적된 방사능 재고량과 발생량을 평가하였다. 이와 같은 평가 결과에 대한 검증을 위하여 유사 기존 기법과의 비교평가를 통한 검증을 수행하고, 원전의 기존 자료를 근거로 폐기물재고량을 산출하고 ‘계측값’ 산출하여 비교평가를 수행한다. 최종적으로 현재 발생된 방사성폐기물 재고량 평가 위한 적용 방안을 제시하고, 향후 발생될 방사성폐기물 발생량 예측 방안을 모색한다.

2. 물질수지 기법을 이용한 프로그램의 개발

원자로에서 생성된 방사성 물질들은 원자로냉각재와 함께 각 계통을 순환하고 정화계통 및 각 방사성폐기물 처리계통 내에서 제염 등의 처리과정을 거친 후 수집된다. 이를 바탕으로 핵종 I의 입/출력농도와 그 비율인 제염인자(DF_t)를 알고 있다면 식 (1)과 같이 표현되며,

$$A_i(t) = \frac{C_i}{\lambda_i} \times \left(1 - \frac{1}{DF_{t_i}}\right) \times FI \times (1 - e^{-\lambda_i t}) \tag{식(1)}$$

여기서, A_i(t) : 단위시간당 누적된 방사능핵종i의 농도 (Ci)

C_i : 계통내 유입되는 핵종농도 (Ci/ℓ)

λ_i : 핵종 I의 반감기(s⁻¹)

DF_t : 해당 정화장치의 제염계수

FI : 해당 계통의 유입유량 (ℓ/s)

방사능 누적량 계산 방법인 식(1)은 평균제염계수(DF_t) 기법을 이용한 것으로 정화장치별로 제염계수가 시간에 따라 지속적으로 변화하는 실제 발전소에 적용하기에는 오차가 크다. 그러므로 단기간동안의 정화장치별, 핵종누적량 별로 그 누적량을 계산하는 순간제염계수를 이용한 기존 개발기법을 개선하여 방사성핵종 누적량 평가프로그램을 개발하였다.[4,5,6]

3. 유사기법을 활용한 적용평가

개발 프로그램의 평가결과에 대한 검증을 위하여 국내 고리4호기의 정지수화학적처리 기간의 데이터를 바탕으로 입력데이터를 구성하고 핵종제거량 평가기법과의 비교분석을 수행하였다. 대상원전의 자료와 평가는 기존 연구에서 수행된 정지수화학적처리시 정화계통내 핵종제거량 평가자료와

평가기법(SCALP)을 활용하였다.[7] 핵종제거량 평가기법을 기준으로 한 상대평가 결과는 그림 1에서 나타내는 바와 같이 핵종제거량 평가기법의 결과와 본 개발기법의 평가결과는 각각 45.9Ci와 45.5Ci이며, 상대오차 1%미만으로 나타났다.

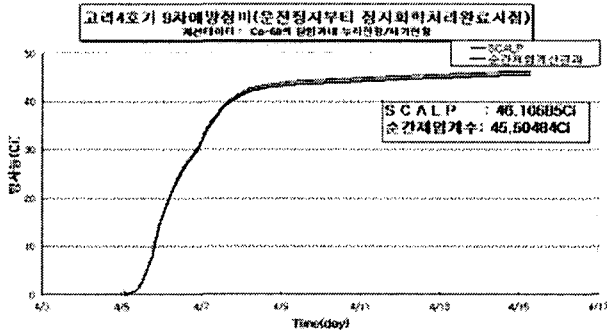


그림 1. 고리4호기 폐수지내 핵종제거량 및 누적량

4. 상용원전의 실측값을 활용한 평가

상용원전의 폐기물 핵종제거량 산출

상용 원전에서 발생하는 연간 방사성폐기물의 발생량을 Cline의 가정을 통하여 도출한 기존 연구의 산출값을 바탕으로 고리 2발의 폐기물 Stream 별 점유율을 산출하였다.[8] 그 결과 표 1에서 보는 바와 같이 폐수지 Steam중 일차계통에서 발생한 폐수지의 점유율은 약 80%가 된다.

표 1. 방사성폐기물 드럼의 연간 발생 방사능량 및 계통별 점유율
※ KAERI-NEMAC/RR-116/94

	발생계통	함유량 (mCi/드럼)	폐수지내 점유율 (%)
폐수지	primary	1641.832	79.65%
	secondary	12.511	0.61%
	RWTS	269.97	13.1%
	Spend Feul	137	6.65%
	total	2061.31	100%

고리4호기의 평가기간(96.4.5 ~ 4.17)인 '96년의 폐수지의 발생량은 65드럼(190.158Ci)이다. 그러나 고리 4호기의 계획예방정비기간은 4월~6월중에 수행되었으며, 이에 4월 이후의 폐수지 발생량을 대상으로 하였다. 그 결과 평가대상 폐수지 발생량은 24드럼(83.976Ci)이 산출된다.[9] 고리 4호기의 계획예방 정비이후 발생한 폐수지의 총량 24드럼(84.057Ci)중 약 80%를 일차계통에서 발생한 폐수지 Stream으로 설정할 수 있다. 그 결과 해당 원전의 평가기간 동안 일차계통에서 발생한 폐수지의 방사성핵종 총 누적량은 67.24Ci가 된다.

국내 상용원전에서는 한 주기(약 1년)동안 사용한 일차계통 정화장치(이온교환수지)를 교체 후, 발생한 폐수지는 저장탱크로 이송되어 저장된다. 이후 폐수지 건조설비(SRDS)에서 건조 후, 고화

공정을 거쳐 드럼포장물화 된다.[10,11,12] 이 공정과정 중 폐수지는 각 드럼 내 분포비 또한 균일하다면 그림 2와 같이 핵종별 함유율을 산정할 수 있다. 이에 상용원전 일차계통에서 발생된 폐수지내 Co-60핵종의 폐기물 드럼 또는 일차계통 폐수지내 함유율은 34.27%로 산출된다.[8]

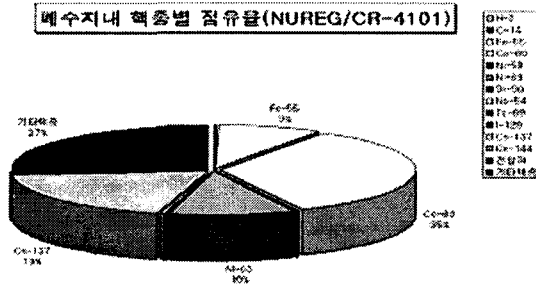


그림 2. 폐수지 드럼내 핵종별 점유율

- ※ NUREG/CR-4101에 의해 측정된 폐수지의 핵종별 방사능도와 이에 근거한 드럼내의 핵종별 함유량
- 대상 : 일차계통 폐수지(Primary Coolant System), 연간 발생량기준
- 선정핵종 : 폐기물인도규정(개정안)에서 제시된 핵종(13종+전알파)

이와 같은 폐기물 Stream내 핵종 함유율을 값을 적용하여, 그림 3과 같이 계측값을 근거로 한 폐수지내 각 핵종별 함유량을 산출하였다.

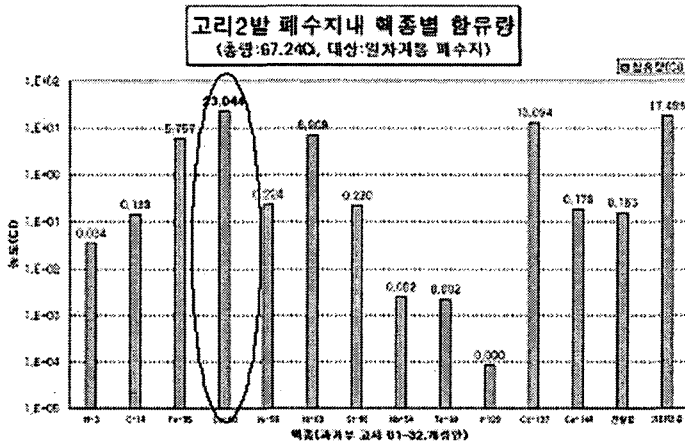


그림 3 고리2발 폐수지Stream내 핵종별 함유량

평가결과 그림 3에서 Co-60의 함유량은 23.04Ci이며, 이를 상용원전에서 활용하는 선량-농도 환산계산법에 근거한 '계측값'으로 설정한다.

계측값을 활용한 평가 결과

본 연구에서 개발한 프로그램의 고리4호기 계획예방 정비기간중 수화학 처리기간에 대한 평가

결과 Co-60의 누적량은 45.5Ci이다. 이에 대한 검증을 위하여 해당 원전의 '계측값'과의 비교평가를 수행하였다. 연구의 개발기법에서 산출한 값은 45.5Ci 이며, 이를 '계산값'으로 설정할 경우 각 값은 약 49%의 차이가 발생하였다.(표 2).

표 2. 고리2발에서 발생한 폐수지내 Co-60의 계산값과 계측값
대상 : 1996년 발생 일차계통 폐수지

핵종	계측값(Ci)	계산값(Ci)	상대오차(%)
Co-60	23.04393	45.5	49.3

이와 같이 산출한 결과값을 '중·저준위 방사성폐기물 인도규정(개정안)'에서 제안하고 있는 천층처분 농도제한치와 비교하였으며, 유의미한 결과값을 갖는다.(표3)

표 3. 원전 일차계통 발생 폐수지내 핵종 함유량 및 농도 제한치 비교
단위 : uCi/cc*

핵종	계측값	계산값	중/저준위폐기물인도규정(개정안) 제한농도**
Co-60	18.5221	36.5717	1036

※ : 단위 함유량(uCi/cc)의 산출근거는 200L드럼을 기준으로 폐수지 고화 공정비(폐수지/물 /시멘트/첨가제 = 71 ℓ /71 ℓ /140kg/14kg)를 적용하였다.[8,10] 1개 드럼내 71 ℓ의 폐수지가 함유되고, 총 폐수지의 함유량은 1,562 ℓ를 산출하였다. 그 중 일차계통 발생 폐수지의 양은 79.65%이므로 총 1,244.133 ℓ가 된다.

※※ : 개정안 제시단위인(Bq/g)에 폐수지밀도(1.0524g/cc)를 적용하여 산출값

5. 결론

본 연구는, '중·저준위 방사성폐기물 인도규정(개정안)'에서 제시하고 있는 직접측정 방법과 간접측정 방법을 활용하여 방사성폐기물의 핵종재고량 평가방안을 확립하였다. 본 연구 결론은 첫째, 간접측정 방법중 '물질수지기법'을 활용하여 특정기간동안 발생된 폐기물의 핵종재고량을 평가하였다. 본 평가의 검증을 위하여 기존 개발된 유사기법과의 비교를 수행하였으며, 그 결과 상대오차 1%미만으로 적용 가능함을 확인하였다. 둘째, 상용원전에서 제시하고 있는 특정기간 발생된 폐기물의 직접측정 결과('계측값')와 비교하였고, 평가결과 직접측정 방법에 의한 Co-60의 함유량은 본 연구의 개발기법에서 산출한 값보다 약 50% 작은 것으로 확인하였다. 이에 본 연구의 '계산값'이 '중·저준위 방사성폐기물 인도규정'의 제시안을 만족함을 알 수 있으며, 직/간접측정을 활용한 방사성폐기물 핵종재고량 평가 방안을 제할 수 있음을 확인하였다. 그러나, 본 연구에서 활용한 '계측값/실측농도'의 근거 자료가 과거 선량-농도 환산 방법에 의해 산출된 값을 고려하여야 한다. 또한 아직 국내 척도인자(SF)에 대한 연구가 진행중인 단계이므로 향후 국내 상용원전별

고유의 SF의 설정과 적용방안이 확정된다면, 이를 바탕으로 주요 DTM핵종에 대한 평가의 수행이 가능할 것이다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축지원 사업으로 수행된 논문입니다

참고문헌

1. 이병일, ERP를 이용한 원전 방사성폐기물 관리 최적 모델링 연구, 한양대학교 석사학위논문, 2004
2. 이강무 외, 방사성폐기물 핵종분석 기술 및 장치 - 소내 방사성폐기물 핵종분석방안, 한국원자력연구소, KAERI/TR-2879, 2004
3. 방사성폐기물 처분을 위한 핵종 재고량 평가방법에 관한 연구, 한국원자력안전기술원, 2004
4. 이재민, 원자력발전소 냉각수 정화장치의 방사능량 예측기법, 경희대학교 석사학위논문, 1997
5. 윤선홍, 폐수지, 폐필터에서의 방사능량 예측 기법, 경희대학교, 석사학위논문, 1995
6. 권준현, 액체폐기물 처리계통에서 발생하는 중저준위 방사성폐기물의 방사능량 예측, 서울대학교 석사학위논문, 1991
7. 성기방 외, 원자로 정지시 일차측 화학처리 공정개발, 전력연구원, 1997
8. 한필수 외, 처분안전성연구, 제3권 선원항 평가 및 검증, 과학기술부, 1994
9. 원자력발전소 방사선관리 연보, 한국전력공사, 1996
10. 방사선기술부 절차서 - 영광, 고리, 울진, 한국수력원자력(주)
11. 화학기술부 절차서-영광, 고리, 울진, 한국수력원자력(주)
12. 영광 1&2호기, 영광 3&4호기, 영광5&6호기 최종안전성 분석보고서
13. U. S. NRC, "Licensing Requirement for Land Disposal of Radioactive Waste", 10.CFR.61.
14. Alain Lemmens, Radwaste cheacterization, Belgatom, Belgium, 2000
15. 차세대 원자로 기술개발(II), 폐기물 처리건물 최적화 및 동선분석(Vol.11), 과학기술부, 1998