

Correlation of $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ Activity Ratio in Radwaste with Primary Coolant

원자로 냉각재와 방사성폐기물 내 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종비

Kwang Yong Jee, Yeong Jae Park, Hyung Yeol Pyo, Hong Joo Ahn and Won Ho Kim
Korean Atomic Energy Research Institute, 150 Deokjin-dong, Yuseong-gu, Daejeon

[nkvyjee@kaeri.re.kr](mailto:nkvjee@kaeri.re.kr)

지광용, 박영재, 표형열, 안홍주, 김원호
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

(Received August 8, 2006 / Approved January 18, 2007)

Abstract

In order to compare the correlation of radioactivity ratio between the radwaste streams and the primary coolant of PWR NPPs, A RCS sampling kit was installed to primary coolant system for the collection of the radionuclides during the normal operation of NPPs. RCS samples were collected from PWR type of domestic NPPs through 2004 to 2005, and pretreated with acid microwave digestion or leaching method to assay quantitatively of several interesting radionuclides. The radioactivity ratios of ^{137}Cs to ^{60}Co in a filter cartridge and a resin cartridge were $2.3\text{E}-2$ and $7.3\text{E}-1$, respectively. At a same period of the reactor operating cycle, the radioactivity ratios of ^{137}Cs to ^{60}Co were $6.3\text{E}-1$ for a evaporator bottom, $6.7\text{E}-1$ for a spent resin, and $5.6\text{E}-2$ for a dry active waste, so that these radwaste streams were identified as having similar characteristics with the corresponding RCS samples.

Key words : RCS Coolant, ^{60}Co , ^{137}Cs , Radionuclide Assay

요 약

국내 경수로원전 1차 냉각재와 중저준위 방사성폐기물 내 핵종방사능비에 대한 유관성을 검토하고자 특수하게 제작된 RCS sampling kit를 이용하여 원전 정상운전기간 동안 핵종을 포집하였다. 시료채취는 경수로형 전 원자력 발전소를 대상으로 2004년과 2005년에 걸쳐 시료를 채취하였고, 방사화학적 방법인 시료 전처리 및 핵종분리를 통하여 핵종 방사능을 분석하였다. RCS

sampling kit 내 필터와 수지에서 분석된 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비는 각각 2.3E-2와 7.3E-1을 보였으며, 동일주기 내 발생된 중·저준위 방사성폐기물인 농축폐액, 폐수지, 잠고체시료 내 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비는 각각 6.3E-1, 6.7E-1 및 5.6E-2로 시료유형에 따라 1차 냉각재와 유사성을 갖는 것으로 확인하였다.

중심단어 : 1차 냉각재, ^{60}Co , ^{137}Cs , 핵종분석

I. 서론

최근 80만 드럼 규모의 방사성폐기물 처분시설 부지의 확정과 2009년 12월말 1단계 10만 드럼 처분규모의 중저준위 방사성폐기물 처분시설 완공을 목표로 처분장 건설이 추진 중에 있다[1]. 이와 함께 과기부 고시(제2005-18호) “중저준위 방사성폐기물 인도규정”을 제정하여 모든 중저준위 방사성폐기물 드럼 내 방사성 핵종 재고량을 제시하도록 함에 따라 지난 2002년부터 국내 경수로 및 중수로형 원전전을 대상으로 대상폐기물로부터 분석시료를 채취하고 방사화학적 파괴방식을 적용하여 드럼핵종분석용 개별핵종의 척도인자(Scaling Factor)를 도출하고 있다[2,15]. 현재 각 원전의 임시저장고에 보관중인 중저준위 방사성폐기물 드럼은 2005년 9월 시점으로 65,730여 드럼에 이르고 있으며, 2008년 울진 원전을 시작으로 임시저장고가 이들 방사성폐기물 드럼으로 포화상태에 이를 것으로 예상되고 있기 때문에 척도인자 적용을 통해 드럼핵종 방사능 재고량 평가는 국가적으로 시급한 현안 문제이다[1,3,4].

중저준위 방사성폐기물 내 핵종방사능 재고량 측정은 이미 1982년 12월 미국 NRC(Nuclear Regulatory Commission)에서 방사성폐기물드럼 내 핵종규제에 관한 10CFR61 규정을 제정하였고, 이에 따라 간접 측정 방식인 드럼핵종분석용 척도인자를 도출하여 활용하고 있다[5,6]. 그러나 초기 NRC는 드럼핵종분석을 위해 척도인자 방법 이외에 일반적 척도인자(Generic Scaling Factor) 적용도 제시한바 있다[5,7]. 즉, 일반적 척도인자는 노심주기별로 냉각재 내 요오드 동위원소들의 핵종 방사능과 그 외 규제대상 핵종 방사능을 측정하여 핵종 방사능비를 구

하였으며, 이를 바탕으로 동일 주기 내 발생된 중저준위 방사성폐기물 드럼 내 규제 대상핵종 방사능 재고량을 간접적으로 산출하기도 하였다. 실제 중저준위 방사성폐기물은 원전 1차 계통 내 냉각재가 오염원으로 작용하여 발생되기 때문에 1차 냉각재 관리 과정에서 발생하는 이온교환수지와 폐필터, 냉각재 펌프와 밸브 등의 기기로부터 발생된 누설액의 농축폐액, 작업복 및 공구와 같은 잠고체 등의 방사성폐기물이 발생되고 있다.

따라서 본 연구에서는 중저준위 방사성폐기물의 선원항(Source Term)인 1차 냉각재 내 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비를 이용하여 방사성폐기물 유형별로 유관성을 검토하고자 하였다. 이에 따라 특수하게 제작된 냉각재 내 핵종포집 장치를 이용하여 시료채취 및 방사화학적 방법으로 부식생성물인 ^{60}Co 및 ^{55}Fe 핵종과 핵분열생성물인 ^{137}Cs 및 ^{129}I 핵종 방사능을 측정하였고, 동일 주기내 발생된 국내 경수로형 원전 중저준위 방사성폐기물 내 ^{60}Co 와 ^{137}Cs 핵종을 기본으로 몇몇 관련 핵종들의 방사능비를 1차 냉각재 내 핵종방사능비와 비교하였다.

II. 실험

가. RCS 시료채취 장치 구성

냉각재 내 핵종포집은 특수하게 제작된 RCS sampling kit 장치를 이용하였으며, Figure 1과 같다 [8]. Figure 1에서 냉각재 내 이온 또는 미세입자의 핵종을 포집하기 위하여 상단의 혼합이온교환수지(a, NRW-367/4583, Purolite) 카트리지와 하단의 RCS 필터(b, Glass Fiber Plus, Pall Trinity Micro Corp.)를 1 set으로 구성하였다. 또한 핵종을 포집하는 동안 일

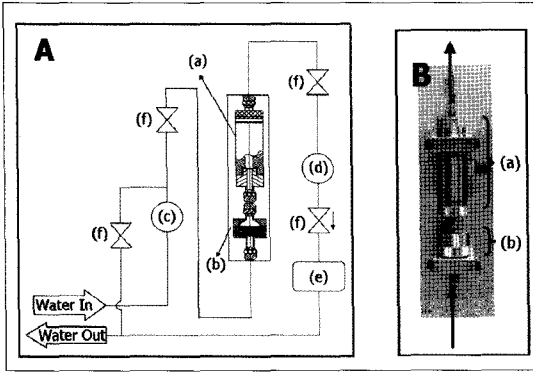


Figure 1. Sampling apparatus for collecting the radionuclides in coolant of a PWR NPP

- A. Flow diagram of coolant in RCS sampling Kit
- B. Collector of the radionuclides using a filter & ion exchange resin cartridge
 - (a) Mixed ion exchange resin,
 - (b) RCS filter (Glass Fiber Plus, Pall Trinity Micro Corp., USA)
 - (c) Inlet pressure
 - (d) Outlet pressure
 - (e) Flow meter
 - (f) Valves

정한 유속으로 핵종포집이 이루어지도록 배출구 전에 유속계(e)를 설치하였으며, RCS sampling kit의 안전성을 확인하기 위해 핵종포집 카트리지 입구와 출구에 각각 수압계(c,d)를 설치하였다. 수압계(c,d) 전후에는 밸브(f)를 각각 설치하여 핵종포집 장치의 이상 수압으로 발생될 수 있는 누수를 미연에 방지하고자 하였다. 핵종포집 장치는 부식억제를 위해 sus304 재질로 제작되었고, 카트리지에 장착된 필터 및 이온교환수지 카트리지는 원전 현장에서 사용하고 있는 것과 동일한 것을 사용하였다.

나. RCS 장치 현장 조건 모사를 통한 안전성 확인

RCS sampling kit를 이용하여 핵종포집 동안 장치의 이상으로 발생될 수 있는 1차 냉각재의 누수 현상을 미연에 방지하고자 3회에 걸친 안전성 시험이 이루어졌다. 가상의 RCS 냉각재 채취 조건을 만든 후, 기기 허용치 이내의 내압을 걸어 냉각재 채취기 관로의 누수 및 작동 시 문제점을 확인할 필요가 있었다. 이를 위하여 1차 가압시험으로서 RCS 포집장치를 실험실내 수도라인에 연결하고 유출부를 밀폐한 후 일정 수압(65 psi)하에서 1시간 동안 누수 유무, 그리고 포집장치 관로의 모든 밸브를 잠근 후, 24시

간 동안 65 psi의 수압이 유지되는 지를 확인하였다. 2차 가압시험으로서 RCS 포집장치를 고온, 고압 loop system pump에 연결하고 유출부를 밀봉한 후 일정 수압(150 psi)하에서 1시간 동안 누수 유무를 확인하였다. 포집장치 관로의 모든 밸브를 잠근 후, 24시간 동안 150 psi 수압의 유지 여부를 확인하였다. 3차 가압시험으로서 RCS 포집장치를 고온, 고압 loop system pump에 연결하고 유출부를 밀봉한 후 일정 수압(250 psi)하에서 1시간 동안 누수 유무를 확인하였다. 포집장치 관로의 모든 밸브를 잠근 후, 24시간 동안 250 psi 수압의 유지 여부를 확인하였다. 일반적으로 발전 현장 시료 채취구의 통상 압력이 보통 57 ~ 86 psi(4~6 kgf/cm²)이므로 RCS 포집장치의 가혹 조건 실험 결과는 최대 300 psi 수압하에서 안전한 시료채취가 가능할 것으로 여겨졌다.

다. RCS 시료채취 장치 현장 설치 및 운영

특수하게 제작된 RCS sampling kit는 3회에 걸쳐 안전성을 확인한 후, Figure 2와 같이 국내 경수로 전 발전소 화학 및 체적 제어계통 내 화학분석용 냉각재 시료 채취구에 RCS sampling kit를 별도로 연결하여 핵종을 포집하였다. 유입된 냉각재는 수압계를 거쳐 입자 및 이온으로 구성된 핵종포집을 위해 각각 필터와 수지 카트리지를 통과하였고, 마지막으로 배출구 쪽 수압계와 유량계를 거쳐 최종적으로 현장의 drain line에 연결시켜 배출되었다. 핵종 포집은 원전 정상 운전 중 냉각재 내 핵종농도가 가장 안정화 되었을 것으로 판단되는 발전중기 택하여 경수로 전 원전을 대상으로 이들 핵종을 포집하였다. 핵종포집은 보통

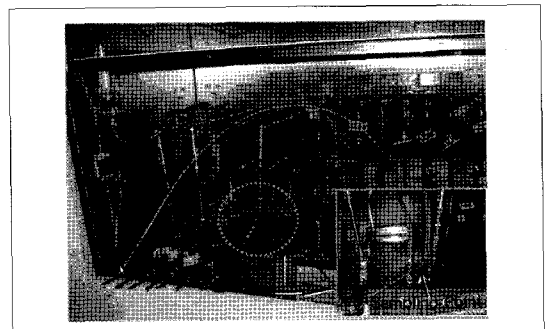


Figure 2. Sampling point for collecting the radionuclides in a NPP

화학기술부의 냉각재 분석용 시료채취 구에 연결한 후, 유량속도를 200~400 mL/min으로 설정하여 90 분 동안 총 20 Liter를 흘려서 핵종을 포집하였다.

라. 방사화학적 핵종분석

RCS sampling kit을 이용하여 냉각재의 핵종을 포집한 카트리지는 현장에서 1주일 이상 보관하고 방사능 감쇄 후 방사화학적 방법으로 시료 전처리와 개별핵종의 방사능을 계측하기 위하여 원전현장의 RMSR 행정절차를 거친 후 한국원자력연구소 방사화학실로 이송되었다. 시료를 일정량 채취 후 극초단파 산분해법 및 침출법을 적용하여 시료 용액화를 유도하였고, 이로부터 ⁶⁰Co 및 ¹³⁷Cs 핵종은 Gamma Spectrometer(ADCAM100, EG&G, ORTEC Co.)을 이용하여 핵종 방사능을 계측하였다[2,9,11,15]. ⁵⁹Fe 핵종은 용액화된 시료로부터 음이온교환수지의 방사화학적 흡착 및 용리를 통해 핵종을 분리하였고, 이를 LEPS(Low Energy Photon Spectrometer, Radiation Analyzer, Nucleus Inc.)를 이용하여 방사능을 계측하였다[11,12]. ¹²⁹I 핵종은 CCl₄ 용매추출법으로 AgI 칩전을 통해 GPC(Gas Proportional Counter, LG5100, TENNELEC Co.) 방법으로 방사능을 계측하였다[13,14] 모든 핵종분석은 ISO/IEC 가이드 17025에서 제시하고 있는 기준에 따르는 맞는합한 KOLAS 국제공인인증 표준절차서에 따라 시험되었다.

III. 결 과

가. 냉각재 내 핵종포집

1차 냉각재 내 핵종 포집을 위한 RCS sampling kit는 핵종을 포집하는 동안 작업자의 안전을 위하여 RCS sampling kit 장치의 통상 압력과 필터 및 혼합이온교환수지 카트리지의 표면선량율을 주의 깊게 관찰하여 이를 핵종포집 시간에 따라 Figure 3에 나타내었다. Figure 3(a)에서 NPP #1의 경우는 채취장치 입구 최대압력이 8.6 kgf/cm²로서, 원전 현장의 냉각재 분석용 채취라인의 통상 압력인 4~6 kgf/cm² 범위보다 2배정도 높았으나, 본 채취장치의 최대 허용

압력인 21 kgf/cm² (300 psi) 보다 60% 낮은 압력이었으므로 압력에 의한 누수현상 없이 핵종을 포집할 수 있었다. 핵종포집 동안 평균 유량속도는 0.33 L/min이었으며, 65분 동안 총 20.1 L를 흘려 핵종을 포집하였다. 핵종포집 후 필터와 레진을 함유한 시료채취 카트리지의 표면선량율은 최대 430 mR/hr이었지만, 20일 경과 후 표면선량율은 초기 값보다 99% 감소되어 0.5 mR/hr이었다.

NPP #2의 경우는 냉각재를 0.26 L/min의 유속으로 약 78분 동안 총 20 Liter의 유량을 흘려서 핵종을 포집하였다. 장치의 입구압력은 4~5 kgf/cm²으로서 현장의 냉각수 시료채취구의 통상압력인 4~6 kgf/cm²와 유사하였다. 핵종포집 후 이동식 표면선량계로써 측정된 장치(시료 카트리지)의 최대 표면선량은 51 mR/hr였으며, 이때 작업 공간 선량율은 해당 작업장소의 바탕값 수준인 0.4~0.5 mR/hr이었다. RCS 시료 채취 시 채취시간 또는 흘려준 냉각재 부피에 따라 핵종포집 카트리지 표면 선량율은 비례적으로 증가하였으며, Figure 3(b)에 나타내었다. 그러나 핵

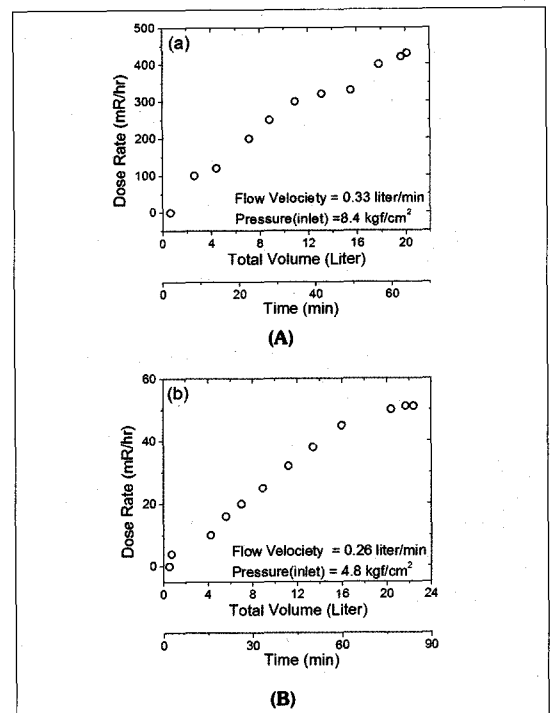


Figure 3. Dose Rate(mR/hr) of filter and resin cartridges according to the total volume or time (a) NPP #1, (b) NPP #2

종포집 시작 약 1시간 10분경과 이후부터는 유량이 증가하여도 표면선량율이 51 mR/hr로 거의 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었고, 이는 반감기가 짧은 핵종이 상당수 포집되어 높아진 표면 선량율은 시간이 경과하면서 많은 부분 방사능 감쇄되었기 때문이며, 16시간 경과 후 측정된 표면선량율은 10 mR/hr로서 1/5로 감소하였다. Figure 3에서 NPP #1과 NPP #2의 RCS 시료 채취 시 총 유량은 모두 약 20 L였지만, 카트리지 표면 선량율은 NPP #1의 경우가 NPP #2보다 약 10배가량 높은 것으로 보아 단 반감기 핵종이 NPP #1의 냉각재 내에 상대적으로 많이 존재함을 알 수 있었다.

나. 냉각재 내 핵종 방사능 분포

RCS sampling kit의 필터와 수지 카트리지에서 방사화학적으로 분석된 ^{60}Co 및 ^{137}Cs 핵종은 방사능 준위에 따라 히스토그램으로 개체수를 구분하고, 이를 가우시안 분포로 Figure 4에 나타내었다. Figure 4에서 RCS 수지 및 필터에 포집된 ^{60}Co 핵종 방사능 분포는 각각 $120 \text{ Bq/g} \pm 19.1\%$ 와 $407 \text{ Bq/g} \pm 21.5\%$ 로 분석되어 수지보다는 필터의 경우에서 약 3.4배

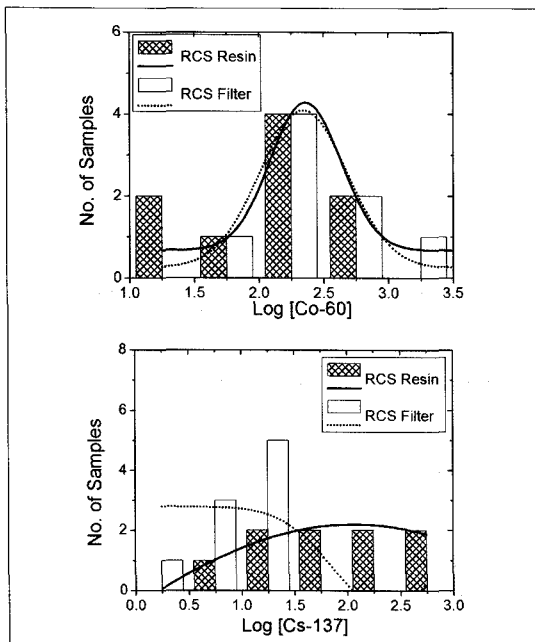


Figure 4. Radioactivity distribution of ^{60}Co and ^{137}Cs in RCS resin and filter cartridge

높은 ^{60}Co 핵종 방사능을 보였다. 반면, ^{137}Cs 핵종의 경우는 RCS 수지 시료에서 $87 \text{ Bq/g} \pm 23.8\%$ 이었지만, RCS 필터에서는 RCS 수지의 경우보다 90% 감소된 $9 \text{ Bq/g} \pm 26.5\%$ 의 방사능 분포를 보였다. 이러한 결과는 부식생성물의 지표핵종인 ^{60}Co 핵종이 이온 형태보다는 주로 배관 표면 부식 등에 의한 입자형태의 CRUD 생성량이 냉각재에서 상당량 발생하는 것으로 예측할 수 있었고, 핵분열생성물의 지표핵종인 ^{137}Cs 핵종은 입자형태보다는 냉각재에서 이온 형태로 대부분 존재하는 것으로 확인할 수 있었다.

분석의 정밀도를 측정하고자 RCS 시료 내 ^{60}Co 및 ^{137}Cs 핵종은 시료전처리 등의 방사화학적 방법을 3회 수행하여 각 시료에 대해 감마방사능을 측정하였으며, 이때 ^{60}Co 및 ^{137}Cs 핵종분석은 평균 5% 이하의 상대표준오차를 보였다.

다. 원전 1차 냉각재에 대한 방사성폐기물 유형별 핵종 방사능비 분포특성

① 냉각재 및 방사성폐기물 내 ^{60}Co 핵종에 대한 ^{137}Cs 핵종 방사능비 경향성

냉각재와 중저준위 방사성폐기물 내 핵종 방사능비 분포를 비교하고자 2003 ~ 2004년 동안 국내 전체 경수로형 원전에서 발생된 농축폐액, 폐수지 및 잡고체(면, 비닐, 종이류) 시료를 채취하였고, 방사화학적 방법으로 시료전처리 및 개별핵종 분리하여 방사능을 계측하였다[2,15]. 폐필터 시료의 경우는 동기간동안 발생된 방사성폐기물의 방사능 준위가 상당히 높아 일정기간 경과되어 방사능 감쇄된 시료를 채

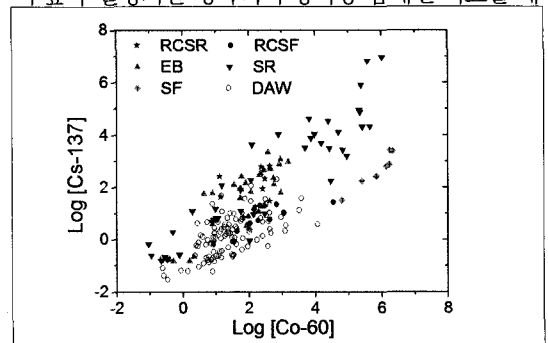


Figure 5. Radioactivity distribution of $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ in low & intermediate level of the radwaste and RCS samples < RCS-R : RCS-Resin, RCS-F : RCS-Filter, EB : Evaporator Bottom SR : Spent Resin, DAW : Dry Active Waste, SF : Spent Filter >

취하여 개별핵종 방사능을 계측하였으며[2,15], 냉각재 시료로부터 핵종분석 결과와 함께 Figure 5에 ^{60}Co 핵종 방사능에 대한 ^{137}Cs 핵종 방사능의 산점도를 표시하였다. 일반적으로 냉각재 내 알파 또는 베타 방출핵종은 주로 1차측 구조물 중 배관 부식으로부터 생성되는 ^{55}Fe , $^{59/63}\text{Ni}$, ^{94}Nb 등의 부식생성핵종, 핵연료로부터 생성되는 ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{129}I 등의 핵분열생성핵종 그리고 TRU 핵종의 3가지 핵종유형으로 구분되어진다. 이들 부식생성핵종, 핵분열생성핵종 및 TRU 핵종의 지표핵종은 각각 ^{60}Co , ^{137}Cs 와 ^{144}Ce 으로 각 대상핵종과 연관성이 뛰어나 개별핵종별 척도인자의 기준핵종으로 알려져 있다. 특히 미국 EPRI에서는 이들 부식생성물 및 핵분열생성물의 지표핵종인 ^{60}Co 와 ^{137}Cs 의 핵종 방사능 비를 이용하여 원전 가동의 이상여부를 판단하고 있기 때문에 본 연구의 대상시료인 RCS 시료와 동일주기 내 발생된 중저준위 방사성폐기물 내 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비 비교를 통하여 냉각재의 영향을 평가할 수 있었다. 중저준위 방사성폐기물과 냉각재 시료로부터 분석된 ^{60}Co 와 ^{137}Cs 핵종 산점도를 통해 핵종 방사능비 분포의 경향성을 나타낸 Figure 5에서는 중저준위 방사성폐기물인 농축폐액과 폐수지가 RCS 수지 내 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 의 핵종 방사능비와 유사성을 보여 이들 시료유형들은 서로 연관성을 갖는 것으로 확인할 수 있었다. 또한 동일한 방법으로 RCS 필터는 중저준위 방사성폐기물의 잠고체와 폐필터 시료와 연관성을 갖는 것으로 판단되었다.

중저준위 방사성폐기물 내 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비에 대한 RCS 수지 및 필터와의 연관성을 더욱 면밀히 검토하고자 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비의 분포도를

히스토그램으로 Figure 6에 나타내었고, 산술평균과 기하평균으로 구한 핵종방사능비는 Table 1에 표시하였다. 중저준위 방사성폐기물에서 핵종 방사능비에 대한 산술평균 및 기하평균의 적용은 세계 각국에서 장단점을 제시하고 있지만, 최근 원자력 선진국들은 통계적으로 방사성핵종에 대한 정확한 값의 유추는 기하평균 적용이 타당성 있다고 주장하고 있으며,

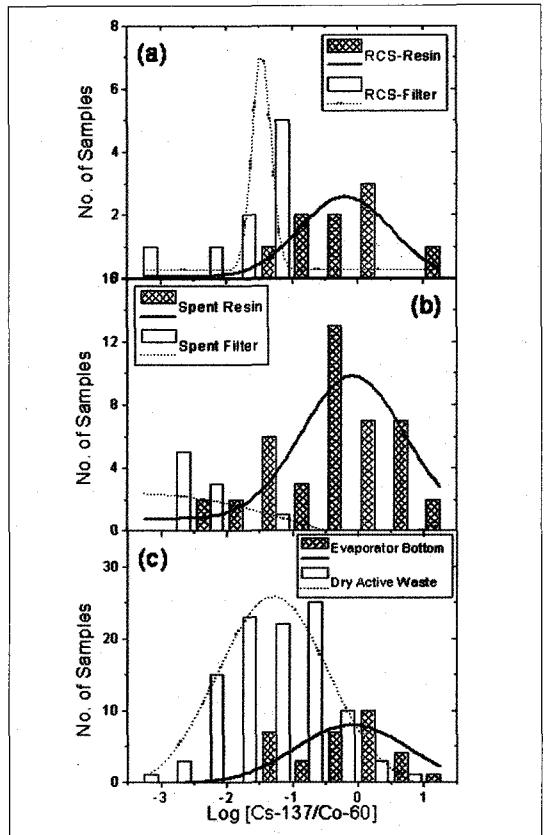


Figure 6. Comparison of $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ in low & intermediate level of the radwastes and RCS samples

Table 1. Comparison of Cs-137/Co-60 in Low & intermediate level of the radwastes and RCS samples

	Sample	No. of Sample	[Cs-137/Co-60] Ratio		LMD*
			Arithmetic Mean	Geometric Mean	
RCS	RCS-Resin	9	3.3E+0	7.3E-1	1.89
	RCS-Filter	9	4.0E-2	2.3E-2	1.47
Radioactive waste	Evaporator Bottom	32	1.7E+0	6.3E-1	1.57
	Spent Resin	30	3.5E+0	6.7E-1	1.86
	Dry Active Waste	103	2.0E-1	5.6E-2	1.63
	Spent Filter	9	1.2E-2	8.1E-3	1.57

* LMD (Log Mean Dispersion) : One-sigma dispersion in the ratio distribution of the radionuclides

본 연구에서도 핵종 방사능비에 대한 기하평균 값을 중심으로 설명하였다. Figure 6과 Table 1에서 RCS 수지의 경우는 $7.3\text{E}-1$ 의 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비를 보여주었으며, 폐수지 방사성폐기물의 경우는 $6.7\text{E}-1$ 로 RCS 수지 내 방사능비 분포와 95% 신뢰도 범위에서 유사한 특성을 가진 시료로 판단할 수 있었다. 또한 농축폐액의 경우는 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비가 $6.3\text{E}-1$ 로 RCS 수지의 경우보다 다소 낮은 방사능비 값을 보였지만, 통계적으로 동일 그룹으로 판단되기 때문에 냉각재 내 방사성 이온들이 함유된 RCS 수지는 폐수지 및 농축폐액과 폐기물스트림이 유사한 것으로 확인되었다. RCS 필터는 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비가 $2.3\text{E}-2$ 로 RCS 수지의 경우보다 97% 낮게 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비를 보였고, 이러한 결과는 앞서 설명된 내용과 같이 부식생성물이 냉각재 내에서 이온보다는 입자 형태로 존재하는 비율이 높기 때문으로 사료되었다. RCS 필터와 유사한 폐기물스트림으로 간주될 수 있는 중저준위 방사성폐기물 중 폐필터 경우는 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종방사능비가 $8.1\text{E}-3$ 로 RCS 필터 결과와 3배의 차이를 보여주었다. 이러한 차이의 원인은 중저준위 방사성폐기물의 폐필터 분석시료가 현재까지 많지 않고, 또한 냉각재 내 핵분열생성물보다 부식생성물의 개별핵종별 방사능 준위가 높아 단시간 포집된 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 의 방사능비와 장시간 포집된 방사능비는 상당한 차이를 보일 수밖에 없는 것으로 판단되었다. 잡고체의 경우는 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종방사능비가 $5.6\text{E}-2$ 로 RCS 수지의 경우와 10배

이상의 상당한 차이를 보인 반면, RCS 필터와는 비교적 동일 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종방사능 범위 내에 분포하는 경향을 보여주었다. 먼, 종이, 비닐류 등의 가연성 잡고체 폐기물은 원전 현장의 계통오염에 대한 제염지와 방사선 작업종사들이 사용했던 작업복, 비닐 및 휴지 등으로 대부분 다양한 용도로 폭넓게 활용되었기 때문에 Figure 6과 같이 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종방사능비는 폭넓은 분포를 보여주었다. 따라서 잡고체 방사성 폐기물은 RCS 수지 및 필터와 폐기물스트림에서 특별한 관련성이 있다고 표현하기는 어렵지만, 잡고체 내 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종방사능비는 비교적 RCS 수지보다는 RCS 필터의 경우와 핵종비 경향성에서 유관성을 보이는 것으로 확인할 수 있었다.

② ^{55}Fe 및 ^{129}I 핵종에 대한 1차 냉각재 및 폐기물 유형별 유관성

1차 냉각재 내 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종방사능비를 통하여 폐기물 유형과의 유관성을 조사하였지만, 이를 보다 면밀하게 검토하고자 부식생성물 중 방사화학적으로 핵종 검출율이 높은 ^{55}Fe 핵종과 규제대상핵종이면서 냉각재 내 핵연료의 결함에 의해 직접적으로 방사능 준위에 영향을 주는 ^{129}I 핵종에 대해 [핵분열생성물/부식생성물]의 방사능비를 조사하였다. Figure 7은 RCS 시료 및 중저준위 방사성폐기물 중 폐수지와 폐필터 내 $^{129}\text{I}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비를 비교하였다. RCS 수지에 대한 핵종방사능비는 $1.3\text{E}-3$ 로 폐수지 내 $1.7\text{E}-3$ 의 핵종방사능비와 비교하여 30% 낮은 방사능비를 보였지만, 95% 허용오차범위 내에서 유사성이

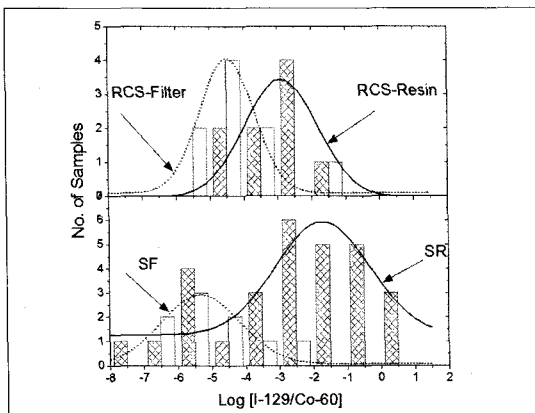


Figure 7. Effect of the primary coolant on the radwastes through the ratio of I-129 to Co-60

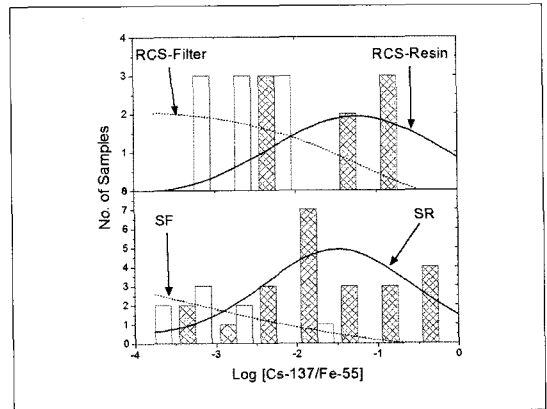


Figure 8. Effect of the primary coolant on the radwastes through the ratio of Cs-137 to Fe-55

있는 것으로 확인되었다. RCS 필터의 경우는 RCS 수지의 $^{129}\text{I}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능 대비 95% 낮은 $8.6\text{E}-5$ 의 핵종 방사능비를 보였고, $7.0\text{E}-6$ 의 핵종 방사능비를 보이는 폐필터는 RCS 필터와 비교하여 다소 낮은 결과를 나타내었다. Figure 8에서는 $^{137}\text{Cs}/^{55}\text{Fe}$ 핵종 방사능비를 시료유형별로 비교하였으며, RCS 수지와 폐수지의 경우 핵종방사능비는 각각 $5.6\text{E}-2$ 와 $4.3\text{E}-2$ 으로 유사성을 보인 반면, RCS 필터와 폐필터의 경우는 각각 $1.6\text{E}-3$ 과 $6.3\text{E}-4$ 로 핵종 방사능비가 다소 차이가 있는 것으로 확인되었고, 이것은 폐필터의 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능 결과와 유사한 경향성을 보였다.

이와 같이 Figure 7과 8의 $^{129}\text{I}/^{60}\text{Co}$ 와 $^{137}\text{Cs}/^{55}\text{Fe}$ 의 핵종방사능비에 대한 폐기물스트립의 경향성은 Figure 6의 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종방사능비를 이용한 경우와 유사성을 보였고, 이러한 결과로부터 냉각재 내 핵종분포가 중저준위 방사성폐기물의 핵종방사능과 상당한 유관성을 갖는 것으로 확인할 수 있었다.

IV. 결론

국내 경수로형 원전을 대상으로 특수하게 제작된 RCS sampling kit를 이용하여 냉각재로부터 핵종포집을 실시하였다. 중저준위 방사성폐기물에 대한 1차 냉각재와의 유관성을 검토하기 위하여 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비를 비교하였고, $7.3\text{E}-1$ 의 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비를 보이는 RCS 수지의 경우는 중저준위 방사성폐기물 중 폐수지 및 농축폐액과 유관성을 보였으며, $2.3\text{E}-2$ 의 $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ 핵종 방사능비를 보이는 RCS 필터는 동일 주기내 발생된 잡고체 시료의 경우와 유관성을 가지는 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 한국수력원자력(주)의 지원으로 "전원 방사성폐기물 핵종분석용 척도인자 및 주기적 검증방법 개발" 사업의 일환으로 수행되었으며, RCS sampling kit와 관련하여 전력연구원 강덕원 부처장님의 도움에 감사드리고, RCS 시료채취를 위해 힘써

주신 원전 현장의 방사선안전부 및 화학기술부의 관계자 여러분께 감사드립니다.

Reference

- [1] 조갑주, "중저준위 방사성폐기물 처분시설 사업추진 현황 및 당면과제", 제11회 원자력 안전기술 정보회의, KINS/PR-020, Vol.6 (2006)
- [2] K. Y. Jee, K. S. Choi, B. S. Han, and W. H. Kim, "Estimation of Hard-to-Measurement Radionuclides in Low & Medium Level Radwastes from Korean NPPs", ICEM Conference (2005)
- [3] 전병기, "중저준위폐기물 및 사용후연료 관리현황 및 방향", 제4회 방사선안전 심포지엄, KINS/PR-047, Vol.4 (2005)
- [4] 전병기, "국내 원자력발전소의 사용후핵연료 관리 현황 및 계획", 제5회 방사선안전 심포지엄, KINS/PR-047, Vol.5 (2006)
- [5] EPRI Report, "Assessing the Impact of NRC Regulation 10CFR61 on the Nuclear Industry", NP-5983 (1983)
- [6] EPRI Report, "Low Level Waste Characterization Guidelines", TR-107201 (1996)
- [7] K. H. Hwang and K. J. Lee, "Modeling the activity and scaling factor of ^{129}I in the primary coolant and CVCS resin of operating PWR", Annals of Nuclear Energy, 32, 1898-1917 (2005)
- [8] 전력연구원 보고서, "방사성폐기물 핵종분석 장치 개발", KEPRI-92N-J03, 1996
- [9] J. J. Lee, H. Y. Pyo, J. S. Jeon, C. H. Lee, K. Y. Jee, and P. K. Ji, "Determination of major and minor elements in low and medium level radioactive wastes using closed-vessel microwave acid digestion", Journal of the Korean Radioactive Waste Society, 2(4), 231-238(2004)
- [10] H. Y. Pyo, J. S. Jeon, J. J. Lee, Y. J. Park, and

- K. Y. Jee, "Sample preparation of Dry Radioactive Waste discharged from Nuclear Power Plants using a Closed-vessel Microwave Acid Digestion System", ICEM Conference (2005)
- [11] C. H. Lee, B. C. Song, K. C. Jung, and K. Y. Jee, "Separation of ^{99}Tc , ^{94}Nb , ^{55}Fe , ^{90}Sr , and ^{59}Ni in the Radioactive Wastes from Nuclear Power Plants in Korea", ICEM Conference (2005)
- [12] C. H. Lee, K. C. Jung, K. S. Choi, K. Y. Jee, and W. H. Kim, "Separation for the Determination of $^{59/63}\text{Ni}$ in Radioactive Wastes", Journal of the Korean Radioactive Waste Society, 3(4), 309-317(2005)
- [13] K. C. Choi, S. K. Park, S. H. Han, K. S. Choi, and K. Y. Jee, "Determination of ^{129}I in Radioactive Wastes from Korean NPPs", ICEM Conference (2005)
- [14] K. C. Choi, S. H. Han, K. Y. Jee, and K. S. Choi, "Sample pre-treatment for measurement of ^{129}I in radwastes", Journal of the Korean Radioactive Waste Society, 3(1), 49-56 (2005)
- [15] K. Y. Jee, K. S. Choi, B. S. Han, and W. H. Kim, "Scaling Factors for the estimation of DTM Radionuclides in Radioactive Wastes", 11-16, ISRSM (2005)