

경수로 폐기물처리시스템의 ^{14}C 거동 및 Inventory 평가

강덕원, 양양희, 채경선*, 전상환*

한전전력연구원, 대전광역시 유성구 문지로 65

*세안기술(주), 서울시 금천구 가산동 481-10

dwkang@kepri.re.kr

1. 서론

액체폐기물 처리시스템을 통한 ^{14}C 의 방출 특성을 파악하기 위해 주요 폐기물 탱크수 및 방출단에서 폐수 중에 함유된 방사성탄소의 화학형과 조성을 분석하였다. 분석대상 발전소인 W형, CE형 및 Framatome형에 대하여 봉산회수계통(BRS), 액체폐기물처리계통(LRS), 화학 및 체적제어계통(CVCS)의 액상시료에 대해 화학형별 ^{14}C 농도를 분석하였으며 핵연료교체 시에 사용했던 RWST와 원자로 회석 운전시 생성되는 봉쇄회석수 저장탱크인 Hold-up 탱크수중의 ^{14}C Inventory도 함께 분석하였다(표1.참조). Hold-up 탱크수는 발전소 여건 상 W형만을 대상으로 분석하였으며 분석결과, 원자로냉각재의 ^{14}C 화학형과 유사하게 유기형태가 주종을 이루고 있었다. 핵연료 교체 저장조수(RWST/RWT)는 발전소 정기 보수를 위한 정지화학 처리시 H_2O_2 에 의해 전량 산화, 처리하는 원자로계통수와는 달리 핵연료 교체 및 증성자 제어 목적으로만 사용하기 때문에 핵연료 교체 기간 동안에 일부는 원자로 계통수와 섞이나 ^{14}C 의 조성변화에 큰 영향을 받지 않아 발전소별 RWST의 ^{14}C 조성을 파악하기 위해 주기적인 분석을 수행하였다. 총 ^{14}C 방사능량은 Fra.형이 제일 높게 나타났으며 CE형은 RWST의 방사능농도가 가장 낮게 나타났는데 주된 이유는, 시료 채취 기간 동안에 핵연료 결합으로 인한 gas stripper의 운전으로 원자로 냉각계통의 ^{14}C 농도가 낮아진데 기인된 것으로 여겨진다.

2. 방사성폐기물 계통 내에서 ^{14}C 거동 분석

W형의 경우 전체적으로 유기물형태의 방사성탄소가 무기물형태보다 우세하게 분포하고 있는 것을 알 수 있었다. 원자로의 회석 운전에 따라 발생하는 봉산계통수는 봉쇄회석을 위해 Hold-up 탱크에 모여지며 탱크수중의 농도와 분율은 원자로냉각재의 조성분과 유사한 유기형태의 ^{14}C 가 주종을 이루고 있었다. 증발 운전과정에 발생한 농축 봉산용액 중에도 유기화학형이 지배적이었으며 일부는 증발기 운전 과정에서 유기/무기형태로 기체상태로 방출되고 약 1/2 정도는 농축봉산과 응축수중에 남아있었다. 폐기물 처리시스템을 통해 바다로 방출되거나 계통으로 회수하여 사용하게 되는 응축수중에는 유기형태가 주를 이루었다. 핵연료 교체시 사용되었던 RWST 저장수의 경우는 발전소 Overhaul이 완료된 시점에서 채취한 RWST 시료중의 ^{14}C 방사능 농도는 약간 높게 나타났으나 시간이 경과되면서 RWST 저장수의 주기적인 정화운전으로 인해 점점 농도는 낮게 나타났다. 화학체적제어계통(CVCS)의 경우에는 Overhaul을 전·후하여 전단과 후단의 시료를 집중적으로 분석하였으며 시료 채취일별로 다소 차이는 있지만 전체적인 평균 방사능농도는 후단이 전단보다 약 20 % 정도 낮게 나타나 이온형태로 존재하는 방사성탄소에 대한 제염능력은 유지하고 있음을 확인할 수 있었다. CE형 노형의 액체폐기물처리계통(LRS)의 경우에는 증발기 대신 이온교환수지 처리공정을 사용하고 있으며, 핵연료제장전수탱크(RWST)와 같이 유기물형태가 우세하게 나타났다. 폐기물 처리시스템의 경우 폐액증발기를 사용하는 W형 노형은 증발 농축으로 인해 약 20배 이상으로 봉산폐액과 함께 농축되기 때문에 발전소 배수구를 통해 해양 환경으로 방출되는 응축수중의 ^{14}C 량은 매우 적은 양만이 방출되어진다. CE형 노형은 증발기 대신 이온교환수지 처리공정만을 사용하기 때문에 대부분의 탄산이온들은 수지정화탑의 이온교환수지에서 제거된다. 분석결과에 의하면, 두 호기 공히 최종 방출단에서의 ^{14}C 농도는 유사한 것으로 나타났다. 프라마름 노형의 경우는, 액체폐기물처리계통(LRS)을 공용으로 사용하고 있으며 분석결과, 다른 발전소와 비슷하게 유기화학형이 우세한 특성을 보였으나, 핵연료제장전수탱크(RWST)의 경우에는 다른 발전소와 달리 두 호기 모두 무기물이 우세한 특성을 보였으며 타 발전소 보다는 다소 높은 방사능농도를 나타내고 있었다.

표 1. 노형 별 폐기물처리계통의 화학형별 ¹⁴C 농도 분석

노형별	계통		방사능농도 (Bq/kg)		분율(%)		합계 (Bq/kg)	비고	
			무기물	유기물	무기물	유기물			
W형	BRS	Hold-up Tank	865.2	19415.9	4.3	95.7	20281		
		봉산농축액	179.2	15317.0	1.2	98.8	15496		
		봉산응축수	37.2	371.9	9.1	90.9	409		
	LRS	Hold-up Tank	191.0	1760.2	9.8	90.2	1951		
		봉산농축액	1939.0	19292.8	9.1	90.9	21232		
		증발기 응축수	39.3	25.6	60.6	39.4	65		
		Monitor.Tank	77.6	77.6	50.0	50.0	155		
	CVCS	전단	2845.9	4709.6	37.7	62.3	7556		
		후단	2074.9	3765.3	35.5	64.5	5840		
		평균	2460.4	4237.5	36.7	63.3	6698		
RWST		108.2	143.1	43.1	56.9	251			
CE형	LRS	RWB.Monitor.Tank	74.5	53.2	58.4	41.6	127.7		
		RWB.TDS.Tank	71.7	79.6	47.4	52.6	151		
	RWST		45.1	88.0	33.9	66.1	133		
Fra.형	UI Unit#1 (LRS/공통)	Hold-up Tank	357.3	472.6	43.1	56.9	830		
		증발기 응축수	66.7	129.3	34.0	66.0	196		
		봉산농축액	651.1	18858.5	3.3	96.7	19510		
	UI-1	RWST		160.9	94.0	63.1	36.9	255	
	UI-2	RWST		275.6	61.3	81.8	18.2	337	

표 2. 액체폐기물 처리계통(LRS)의 연간 ¹⁴C 방출량 및 화학형 조성

구분	총방출량 (m ³ /년)	기상 (Bq/kg)		액상 (Bq/kg)		방사능농도 (Bq/kg)		분율(%)		총농도 (Fg/k)	총방출량 (GBq)	
		무기물	유기물	무기물	유기물	무기물	유기물	무기물	유기물			
CE형	Monitor Tank	21,061	52.9	11.5	21.7	41.7	74.5	53.2	58.4	41.6	128	2.7 (72mCi)
W형	응축수 탱크	7,948	9.7	25.8	21.9	51.9	31.6	7.6	8.9	71.1	109	0.87 (23mCi)
Fra.형	응축수 탱크	7,839	49.3	26.4	17.4	102.9	66.7	129.3	34.0	66.0	196	1.5 (42mCi)

결 론

W형, CE형 및 Framatome형 노형을 대상으로 2006년~2007년 동안 액체폐기물 방출 계통을 통해 바다로 방출된 폐수중의 ¹⁴C 농도를 분석한 후 년 평균 총 방출 방사능량으로 산정해 본 결과, 폐액증발기를 사용하는 발전소가 사용하지 않는 발전소에 비해 매우 낮게 나타났다. 주된 이유로는 증발기의 사용으로 인해 상당량의 ¹⁴C가 바다로 빠져나가지 않고 농축봉산 폐액 내에 잔류해 있기 때문이다. 증발기를 사용하는 Fra.형의 ¹⁴C 방출량이 W 노형에 비해 높은 이유는, 응축수를 희석 방류하는 W형과는 달리 계통으로 전량 회수하여 재순환 사용하기 때문에 처리수중의 ¹⁴C 농도 축적으로 인해 농도가 높아진 상태에서 운전되고 있기 때문이다. 증발기를 사용하는 W형과CE형의 방출수중에서 유기화학형의 분율이 높은 이유는 봉산수의 증발 농축운전으로 인한 낮아진 pH로 인해 ¹⁴CO₂ 분율이 바뀌어진 상태에서 응축분리 처리단계에서 배기구를 통해 무기형태로 상당량이 빠져나갔기 때문인 것으로 여겨진다.