

## 아크 용융에 의한 방사성 금속 폐기물의 제염 특성

민병연\*, 송평섭, 최왕규, 정종현, 오원진, 강용\*

\*충남대학교, 대전광역시 유성구 궁동 220번지

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

[bymin@kaeri.re.kr](mailto:bymin@kaeri.re.kr)

### Abstract

원자력 시설 유지보수 및 해체 시 발생하는 금속성 폐기물을 용융제염 기술 확립을 위한 연구 목적으로 실험실 규모의 흑연 아크로를 이용하여 금속성 방사성 폐기물의 물리·화학적 조성을 모의한 비방사성 금속 폐기물의 용융 실험(Surrogate test)을 통해 방사성 핵종들의 특성 및 거동에 대한 기초 자료를 확보하였다. 이를 토대로 방사성 동위원소로 오염된 금속시편과 연구로 원자로에서 인출한 오염 시편을 이용한 금속용융 실험을 수행하였다. 알루미늄에서는 플럭스 NaCl-KCl-Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>, NaCl-NaF-KF, CaF<sub>2</sub>, LiF-KCl-BaCl<sub>2</sub>을 스테인레스강과 탄소강에서는 SiO<sub>2</sub>-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 기본 슬래그로 하여 슬래그 농도, 용융온도, 시간, 염기도를 변수로 하여 코발트, 세슘의 방사성 핵종들의 분배특성에 대해 고찰하였다. 알루미늄의 경우 용융온도와 플럭스의 종류에 따라 다소 차이는 있지만 40% 이상으로 상당량의 Cs이 슬래그에 포집되었으며, Co의 경우 약 50%정도가 슬래그로 분배됨을 알 수 있었다. 스테인레스강과 탄소강에서의 Co은 90% 이상이 주피에 잔류함을 보여주었고, Cs은 일부 Slag에 포집됨을 보였으나 대부분 배기체로 분배됨을 알 수 있었다.

### 개 요

원자력 연구시설의 해체 시 발생하는 금속성 폐기물은 대부분 방사능 오염도가 낮기 때문에 적절한 처리 공정을 통해 감용 및 재활용이 가능한데, 이러한 금속 폐기물의 감용 기술 중 가장 적절한 기술로서 금속 용융 기술이 대두되고 있다. 금속 용융 기술은 폐기물량의 감소로 인한 처분 비용의 절감 및 처분 안전성의 증대뿐만 아니라 자원의 재활용성을 증대시킨다는 점에서 매우 긍정적인 측면을 가지고 있으며 다른 처분 방법에 비해 부피 감용비가 가장 높고, Cs 및 Sr과 같은 휘발성 핵종이나 U과 같이 모재 금속과 반응성이 적은 핵종을 슬래그 상에 포집하여 제염하거나, Co와 같은 방사성 핵종들을 주피 내에 균일하게 분포시켜 방사능을 희석시킴으로써 비방사능을 낮출 뿐만 아니라 슬래그 결정격자 내에 방사성 핵종을 고정화시킬 수 있기 때문에 보다 안정화시킬 수 있다는 장점들을 가지고 있다. 방사성 핵종들의 분배특성은 물질 전달, 화학반응, 열전달 등 다양한 운전조건에 의해 좌우되는데 본 실험에서는 플럭스 종류와 조성, 운전시간을 운전변수로 채택하였다. 흑연 도가니에 코발트와 세슘의 방사성 핵종으로 오염된 시편을 사용하여 알루미늄 용융실험은 200g을 스테인레스강은 500g의 시편을 사용하였고 탄소강은 연구로 원자로에서 인출한 시편중 500g을 사용하여 용융 실험을 수행하였다. 용융된 용융체는 주형에 부어 일정한 규격의 실린더 형태의 주피를 생성하였으며 MCA를 통해 비방사능을 측정하여 방사성 핵종들의 분배 특성을 고찰하였다.

결과 및 고찰

◇ Aluminum 분배 특성

농도	구분	초기비방 (Bq/g)		초기총방 (Bq)		NaCl(45wt%)-KCl(40%)-Cryolite(15wt%)						NaCl(45wt%)-NaF(40%)-KF(15wt%)					
						비방사능 (Bq/g)		총방사능		partitioning (%)		비방사능 (Bq/g)		총방사능		partitioning (%)	
		Co	Cs	Co	Cs	Co	Cs	Co	Cs	Co	Cs	Co	Cs	Co	Cs	Co	Cs
5wt%	I	26	30	5210	5948	8.8		1713		33		11.0		2153		41	
						101	77	3062	2090	59	35	324	295	2838	2584	54	43
	S	50	58	9960	11574	17.1		3335		33		19.9		3875		39	
						163	127	5763	4222	58	36	698	640	5570	5107	56	44
	I	124	97	24740	19440	36.1		7001		28		45.9		8811		36	
						2539	1187	15287	8451	62	43	1425	835	14521	8509	59	44
S	163	127	32620	25340	61	2	11978	335	37	1	47	1	9097	116	28		
					1490	960	20261	13055	62	52	1573	976	21236	13182	65	52	
7wt%	I	50	58	9960	11574	13.4		2586		26		18.8		3626		36	
						453	388	6842	5870	69	51	402	420	5979	6250	60	54
	S	124	97	24740	19446	28.2		5409		22		46.5		8975		36	
						1240	776	17930	11221	72	58	1124	702	15763	9846	64	51

◇ Stainless steel 분배특성

구분	염기도	주입량 (wt%)	비방사능 (Bq/g)		총방사능 (Bq)		분배율(%)			
			Co	Cs	Co	Cs	Co	Cs		
I	0.823	5	57.6	0.1	28686	45	93	0.2		
			35.5	368	887	9201	2.9	39		
		7.5	55.3	0.2	27539	111	89	0.5		
			7.1	265	259	9716	0.8	42		
		10	57.9	0.0	28813	0	93	0.0		
			2.9	243	138	11805	0.4	51		
		12.5	58.1	0.2	28947	90	94	0.4		
			15.1	198	877	11495	2.8	49		
S	1.493	5	55.9	0.3	27848	144	90	0.6		
			3.1	172	68	3788	0.2	16		
		7.5	55.5	0.5	27631	226	90	1.0		
			2.9	123	99	4310	0.3	19		
		10	57.8	0.2	28794	111	93	0.5		
			6.3	195	279	8625	0.9	37		
		12.5	53.6	0.4	27689	209	90	0.9		
			2.5	256	146	14743	0.5	63		
		Standard			60.7	1.1	30205	546	98	2.3
		초기 비방사능(Bq/g)			62	47				
초기 총 방사능(Bq)			30860	23340						

◇ Carbon steel 분배특성

구분	염기도	비방사능 (Bq/g)		방사능(Bq)		분배율(%)	
		Co	Cs	Co	Cs	Co	Cs
I	0.52	51.5	0.0	24463	0	90	
		22.1	72.3	1074	3513	4	18
I	0.82	49.0	0.0	24059	0	89	
		23.9	22.5	1264	1190	5	6
I	1.28	49.2	0.0	24354	0	90	
		25.6	31.1	1227	1491	5	8
I	1.42	50.1	0.0	24399	0	90	
		16.6	25.2	875	1328	3	7
I	표준	53.1	0.0	26391	0	97	
		-	-	-	-	-	-
Particulate		90.7	2730	3521	105979	11.4	454.1
초기 방사능		27160	19560				

결론

각 실험마다 2-3개의 주피 샘플을 채취하여 Co의 균질화 정도를 분석한 결과 주피 내에 균질하게 분포됨을 확인할 수 있었다. 다양한 플릭스를 사용하여 알루미늄 용융실험을 수행한 결과 NaCl-KCl-Cryolite, NaCl-NaF-KF 플릭스에서 Co, Cs이 슬래그 상으로 상당량이 분배됨을 알 수 있었으며 NaCl-NaF-KF 플릭스가 더 우수한 것으로 평가되었다. 스테인레스강과 탄소강의 Co 분배특성은 유사한 결과를 보였으며, Cs의 경우 심하게 산화된 탄소강 시편에서 슬래그상으로 분배되는 경향을 더 큼을 알 수 있었다. 이는 산화물질인 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 강한 산화 특성에 기인한 것으로 보인다. 실험결과 TRIGA 연구로 1, 2호기와 한국원자력연구소 내에 있는 우리늄 변환시설등 원자력 연구시설의 해체 시에 발생 발생된 β,γ로 오염된 알루미늄, 탄소강, 스테인레스강을 비롯한 기타 소금속폐기물은 용융기술로서 효과적으로 처리할 수 있을 것으로 보인다.