광용발 제염 시 Type 304 스테인리스강 표면의 Cs^+ 이온에 대한 첨가제 영향 평가 연구

바이갈마, 원휘준, 정종헌, 문제권, 이근우
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
nhjwon@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성 시설 내부를 청정화하기 위해 오염 물질을 제거하는 제염공정을 적용 시킨다. 화학적 제염, 물리적 제염, 전기적 제염, 포말 제염, 초음파 제염 등 다양한 제염공정이 개발되어 사용 중에 있다. 최근에는 2차 방사성 폐기물의 발생량을 최소화 시키며 오염부위만을 선택적, 효과적으로 제거하는 건식제염 공정이 개발 중에 있다. 다양한 건식 제염 공정 중에서 레이저 광을 사용하는 광용발 제염공정 연구가 한국원자력 연구원에서 수행 중에 있다. 광용발 제염공정의 특징은 제염 효과가 우수하고, 원격적용, 2차 방사성 폐기물 발생량이 거의 없다는 점이다. 본 연구의 목적은 Cs^+ 이온으로 오염된 시편에 광용발 제염공정을 적용시키는데 있어서 KOH 및 KNO_3 를 첨가제로서 사용하였을 때 제염효과 및 첨가제 영향을 파악하는 것이다.

2. 실험 및 결과

제작된 광용발 제염 장치는 Q-switch Nd:YAG 레이저로서 광원의 파장은 1064 nm, 밴드폭 10 ns, 반복율 20 Hz, 펄스에너지는 450 mJ 이다. 제작된 Q-switched pulse type Nd:YAG laser 를 포함한 광용발 제염시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 광용발 제염시스템은 레이저 광 발생 모듈, 원격 광전송을 위한 다 관절 반사경 모듈, 오염 시편 표면 부위를 원격으로 이동시키는 Two Channel apt TM Stepper Motor Controller과 100mm Travel, Light-Duty, Motorized Linear Stage, 이송기체 주입 모듈 및 제염에 의해 발생된 미세 분말을 HEPA 필터로 제거하는 제염생성물 포집 모듈로 구성되어 있다. Cs^+ 이온으로 오염시킨 스테인리스강 시편 표면을 각각 KNO_3 및 KOH 용액으로 처리, 건조시킨 후 표면에 존재하는 원자들의 상대 몰분율을 EPMA로 분석하였다. 조사 횟수, 반복율, fluence를 변화시켜가며 제염공정을 적용시켰으며 제염된 표면을 SEM, EPMA를 통해 분석하였다.

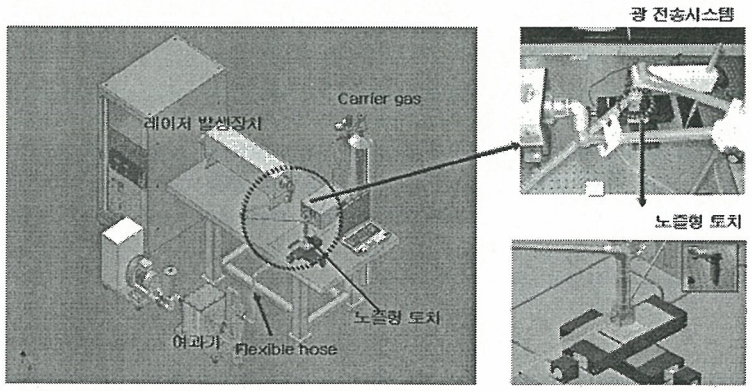
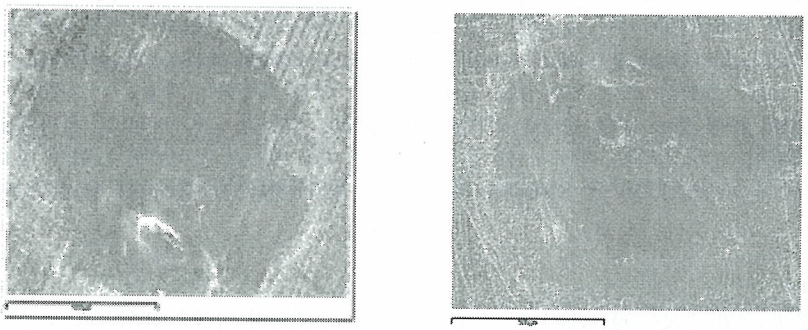


Fig.1. Experimental apparatus for the laser decontamination test.

제염 전 KOH 및 KNO_3로 처리하였던 시편 표면의 원자 몰 백분율을 Table 1 에 수록하였으며 KOH 및 KNO_3로 처리하였던 두 종류 시편 표면에 대한 제염 후 전자현미경 사진을 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1. Relative atomic molar percent of specimen surface contaminated with (a) $CsCl+KNO_3$, (b) CsCl +KOH solution before laser decontamination.

	O	N	Si	Cl	K	Cr	Fe	Ce	Ni	Cs	Total
$CsCl + KNO_3$	4.18	1.87	1.03	0.58	2.16	17.44	60.09	0.00	6.84	5.81	100.00
CsCl + KOH	12.38	0.00	1.37	1.04	2.89	16.94	58.11	0.00	6.36	0.91	100.00



(a) (b)

Fig.2. SEM photographs of specimen contaminated with (a) $CsCl+KNO_3$, (b) CsCl + KOH solution after laser decontamination.

실험에 사용된 시편 모두에 대해 레이저 광을 42회(14회/초) 조사시킴에 의해 표면에 존재하는 Cs^{+} 이온이 95 % 이상 제거되는 것으로 나타났다. KOH 용액에 비해 KNO_3 로 처리한 시편에 대한 광용발 제염공정의 효율이 우세하였다. KOH 용액으로 처리한 시편 표면에서 약간의 용발 잔여물이 발견되었다. 화학제의 물성 평가로부터 KNO_3 로 처리한 시편의 경우 nitrate이온이 비교적 낮은 온도에서 분해된 후 이로부터 발생된 산소가 스테인리스강의 철, 크롬 및 니켈 성분과 결합하여 산화물을 형성하고 Cs^{+} 이온은 증발되어 제거되는 것으로 판단되었다.

3. 결론

제염 조건을 동일하게 적용시킨 후 KOH 용액 처리 시편과 KNO_3 용액 처리시편의 Cs^{+} 이온을 분석한 결과, KNO_3 용액 처리 시편 표면에는 Cs^{+} 이온이 검출되지 않은 반면 KOH 용액 처리 시편에서는 Cs^{+} 이온이 잔존함을 발견하였다. 두 조건 모두 3초 이내에 시편 표면으로부터 Cs^{+} 이온이 만족하게 제거되었다. 레이저 광을 시편에 조사시켰을 때 표면에서는 다양한 종류의 반응이 진행하게 되는데 이들 반응의 메카니즘을 규명하는 연구가 수행 중에 있다.

사사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획 사업의 일환으로 수행되었습니다.