

Eu³⁺ 및 Ce⁴⁺로 오염된 알루미늄 시편에 대한 파장별 광용발 제염특성

정선희, 원휘준, 최병선, 문제권, 정종현, 이근우
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 nhjwon@kaeri.re.kr

1. 서론

광용발 제염 공정은 고 방사능 시설 내부의 개 보수 및 해체에 필요한 고 효율 제염기술이다. 본 기술은 미국, 일본, 프랑스, 독일, 러시아 등의 국가에서도 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있으며 국내고유 제염기술 실용화에 이바지 할 것으로 기대하고 있다. 본 연구의 목적은 Eu³⁺와 Ce⁴⁺으로 오염된 알루미늄 시편을 대상으로 레이저의 자외선 영역(355 nm), 가시광선 영역(532 nm) 파장의외선 영역(1064 nm)인 파장에 따른 제염특성을 파악하는데 있다.

2. 본론

2.1 실험

알루미늄 시편 (0.7 mm × 0.7 mm)을 에탄올로 세척한 뒤 건조시킨다. 30분 동안 초음파세척기에 넣고 다시 건조시킨 후 Eu₂O₃와 CeO₂ 용액을 이용하여 오염시킨다. 그 후 SEM (scanning electron microscopy JSM6300) 과 EMPA (Electron probe micro analyzer) 를 이용하여 시편표면을 분석하였다. 오염시킨 알루미늄 시편표면의 화학적조성은 Table 1에 수록하였다.

Table 1. 제염 전 알루미늄 시편 화학적 조성 (mole %)

	O	Al	Ag	Eu	Ce
Eu ₂ O ₃	14.0	80.8	0.1	5.1	-
CeO ₂	21.1	73.4	0.3	-	5.2

2.2 광용발 제염장치 개요

본 연구에서 사용한 광용발 제염장치는 프랑스 Quantel사에서 제작된 Brilliant b 모델로서 레이저 발생 장치, 파장 변경 장치 (harmonic generation) 레이저 전송장치 및 광용발 노즐로

구성된다. 파장 변경 장치는 fundamental (1064 nm), second harmonic (532 nm) 및 third harmonic (355 nm)로 구성되어 있어 파장변화가 가능하다. 본 장치의 반복율은 10Hz (1064, 532 and 355 nm), 펄스폭 6ns (1064 nm), 5ns (532, 355 nm)이며 원형렌즈 및 선형렌즈를 사용하였다. 레이저 노즐의 위치를 원격으로 조정하기 위해 XY방향 이송장치와 제염대상과 레이저의 거리를 조절하기 위한 Z축 방향 이송장치를 자체 제작하였다. 레이저 제염장치의 개요도를 그림 1에 나타내었다.

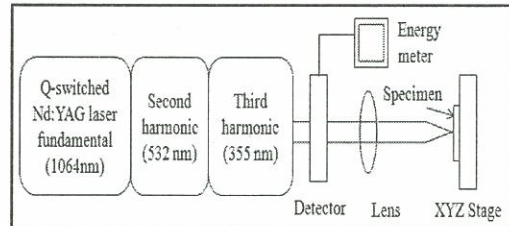


Fig. 1. 광용발 실험장치 개요도

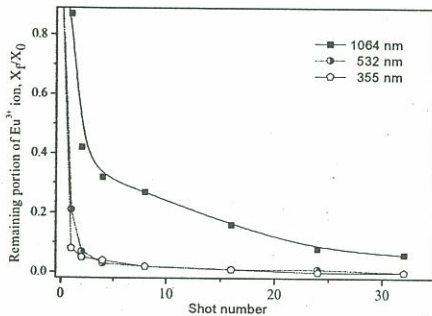
2.3 실험결과

오염된 알루미늄 시편을 각 레이저 파장에 따라 fluence를 고정시켜 조사시키면 레이저 접촉부분에 용융에 의한 crater가 형성되며, crater 내부를 EPMA로 분석하였다. Rafique 등이 2007년에 보고한 논문에서 따르면 레이저의 제염효과는 레이저 접촉 부분에서 용융, 비등, 열확산 및 상 폭발 (phase explosion) 등에 기인한 것으로 설명하였다[1]. Table 2는 각 파장의 최적 제염조건 하에서 알루미늄 시편의 제거도를 수록한 것이다. 1064 nm에서 최적 fluence는 57.3 J/cm², 532 nm에서는 13.3 J/cm² 이며 355 nm에서는 8.3 J/cm² 이다.

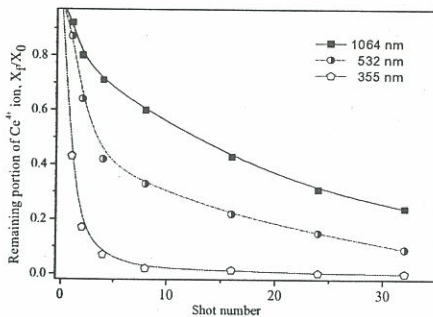
Table 2. 각 파장의 최적제염조건에서의 제거율

	1064nm (900mJ/pulse) Fluence:57.3J/cm ² Shot number : 40	532nm (450mJ/pulse) Fluence:13.3J/cm ² Shot number : 20	355nm (200mJ/pulse) Fluence:8.3J/cm ² Shot number : 10
Eu ³⁺	98.5 %	92.1 %	92.9 %
Ce ⁴⁺	91.4 %	84.3 %	94.7 %

Table 2에서 보는 바와 같이 1064 nm, 532 nm 및 355 nm 파장에서 실험해본 결과 Ce⁴⁺는 앞서 실험한 Cs²⁺, Co²⁺ 경우와 마찬가지로 355 nm 파장에서 제거율이 높아지지만, Eu³⁺은 1064 nm 에서 제거율이 높아지는 것을 파악하였다. Eu³⁺는 Rafique 등이 주장했듯이, 긴 파장에서 열적증발 효과가 크기 때문에 제거율이 높아졌을 것으로 사료된다.



(a)



(b)

Fig. 2. 세 파장에서 레이저 조사횟수에 따른 오염된 알루미늄 시편의 제거도(fluence :12 J/cm²)
(a) Eu³⁺ and (b) Ce⁴⁺ ions

그림 3은 오염시킨 알루미늄 시편을 fluence (12 J/cm²) 와 레이저 조사 횟수를 같은 조건으로

하여 각 파장별로 Eu³⁺과 Ce⁴⁺의 제거정도를 나타낸 것이다. Eu³⁺가 오염된 시편에서는 532 nm와 355 nm에서 조사 횟수 10 shot 이내에서 높은 제염정도를 보였고, 1064 nm에서는 잘 되지 않았으며, Ce⁴⁺는 355 nm에서 제염도가 높을 것을 알 수 있다. 즉 fluence 가 12 J/cm²이며 조사 횟수가 동일한 조건에서 제염도가 높은 파장은 355 nm > 532 nm > 1064 nm 순으로 나타났다. Dieter Bauerle는 nanosecond 레이저 용발은 thermal, mechanical 및 photochemical 효과에 의해 설명이 가능하다고 하였다[2]. 그러므로 일정조건에서는 자외선 영역인 355 nm 파장에서 photochemical 반응이 제염효과를 높인다고 예측할 수 있다.

3. 결론

Q-switched Nd:YAG 레이저 제염 실험은 인위적으로 Eu³⁺와 Ce⁴⁺를 알루미늄 시편에 오염시켜 수행하였다. 1064nm, 532nm, 355 nm 파장에서 실험한 결과 일정한 조건이라면 355 nm에서 Eu³⁺와 Ce⁴⁺에 대한 높은 제염효과가 높은 것으로 나타났다. 현재 알루미늄 시편뿐만 아니라 스테인리스 강 type 304나 콘크리트 시편에도 적용시켜 실험을 수행중이다. 향후 레이저 광용발 제염장치를 사용한 제염기술 실증 연구를 계획하고 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] M. S. Rafique, R. M. Khaleeq-ur, T. Firdos, XRD and SEM Analysis of a Laser Irradiated Cadmium, Laser Physics, Vol. 17, No. 9, p.1138, 2007.
[2] Dieter Bauerle, Laser processing and Chemistry (Third edition), Springer, p. 226, 2000.