

국내의 레이저 제염 기술의 현황

임유경, 김병태, 김대환, 홍지식

선광원자력안전(주), 대전광역시 서구 둔산동 1094번지 스카이빌 202호

limyk80@hanmail.net

1. 서론

원자력 에너지 산업이 계속적으로 성장함에 따라 사용 후 발생되는 방사성 폐기물의 처리기술에 관한 관심도 지속적으로 고조되고 있다. 폐기물의 물리 화학적 형태나 성질에 따라 각각 다양한 처리방법이 연구되고 있으며, 각 방법에 따라 이미 산업화되어 사용되어지는 것들도 있다. 방사성 폐기물 처분에 관하여 각 원자력 선진국들은 다양한 연구와 사업을 진행하고 있으며, 우리나라에서도 독자적인 기술 자립을 위하여 노력하고 있다. 그중에서도 방사성 폐기물을 최종 처분하기에 앞서 폐기물의 양 및 부피와 방사능을 감소시키기 위하여 방사성 오염물질을 제거하는 기술에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 위와 같은 방사성 오염물질의 제거에 있어서 기존 기술에 비하여 2차 폐기물의 발생량이 적고, 작업자가 방사능에 직접 노출되는 위험성이 적으며 제염효과가 우수한 레이저 제염 기술에 관하여 조사해 보았다.

2. 본론

가. 레이저 제염 기술의 필요성

기존 제염방법들은 방사성 오염물질 제거시 2차 폐기물의 발생량이 많고, 물리적으로 제거하기 어려운 화학적 결합형태의 오염물질을 제거하기 위해서는 화학적 방법을 적용하여야 했으며, 작업자의 방사능으로부터의 위험 노출정도가 높았다. 반면, 본 연구에서 살펴볼 레이저 제염을 적용할 경우 기존 방법에 비해 2차 폐기물의 발생량이 감소하게 되고 제염효과가 우수하며 원격제어도 가능할 뿐 아니라 작업자의 방사능으로부터의 위험 노출정도도 낮아질 수 있다. 이 기술은 국내뿐만 아니라 국외에서도 아직 실용화되어 있지 않은 실정이고, 다만 연구가 활발히 이루어지고 있을 뿐이다. 따라서 국내의 독자적인 원천기술 확보 시 국내의 시장뿐만 아니라 국외의 시장으로도 진출이 기대되는 기술이라 할 수 있다.

나. 레이저 제염 기술 원리

레이저 제염은 방사성 오염물질에 레이저 빔을 쬐여주어 증발시킴으로써 방사성 폐기물로부터 방사성 오염물질을 제거하는 방법이다. 다시 말해 오염물질에 레이저빔이 쬐여지면 오염물질이 녹아서 증발되고 이것을 펌프로 빼내거나, 필름 등에 묻어나게 하여 방사성 폐기물로부터 방사성 오염물질을 제거하는 것이다. 예를 들어, 그림 1과 그림 2에 나와 있듯이 방사성 금속 폐기물의 표면 산화막 층에 방사성 핵종이 녹아있는 것을 레이저를 이용하여 제거함을 볼 수 있다.

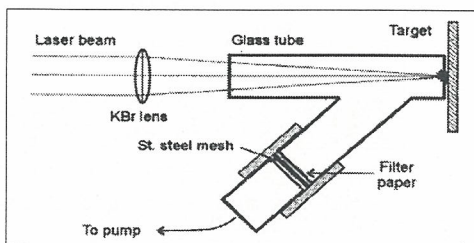


그림1. 금속 표면 레이저 제염에 사용되는 실험장치 개략도

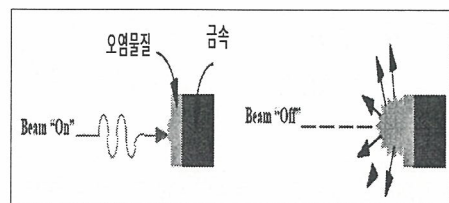


그림2. 펄스레이저를 이용하여 방사성 오염물질 제거

다. 레이저 제염 기술의 장점 및 단점

레이저 제염 기술은 여러가지 장점과 단점을 동반한다. 우선 장점으로서는 기존의 제염방법들은 2차 폐기물의 발생량이 많았고 또한 제염하는데 오랜 시간이 걸렸으며, 작업자의 손길이 많이 필요했으나, 레

이저를 이용한 제염방법은 2차 폐기물의 발생량이 적고 자동제어 기술이 가능할 뿐 아니라 그로 인해 작업자의 필요도 적어지고, 원격제어로 인해 작업자의 방사능 위험도도 감소하게 되고 제염효과가 우수한 장점이 있다. 또한 표면의 미세구멍까지 제염이 가능하고 오염된 방사성 폐기물의 표면을 실시간으로 균일하게 제염 가능한 것이 특징이다. 그러나, 소음발생이 심하고 레이저 빛이 발생하며 고전압이 사용된다는 단점이 있으며, 레이저 장치의 비용이 고가이고 장치구성이 복잡하고 무거우며, 레이저 제염의 면적범위 또한 아직은 협소하다는데 그 단점이 있다.

라. 국내외 연구개발 현황

1) 국외의 연구개발 현황

1994년 미국 아이다호에서는 CO₂ 레이저, Nd-YAG 레이저, Excimer 레이저(UV)를 비교하여 연구하였는데, CO₂ 레이저는 상업화되어 있어 비용이 적게 드는 반면 제염효과가 낮고, 그 외 두 개의 레이저는 제염효과는 높으나 비용이 비싸다는 단점이 있다고 보고하였다. 그 외 Nd-YAG 레이저는 광 파이버 연결로써 고 방사능 오염영역에까지 작동 가능한 장점이 있었고, Excimer 레이저(UV)는 강도 높은 출력 펄스로 높은 제염효율을 가지지만 아직 상용화되어 있지 않아 Nd-YAG 레이저에 비해 상대적으로 비싸다는 단점이 있었다. 1996년 미국 버지니아에서도 유사한 연구가 이루어졌고 작은 오염 부분은 글로브 박스에서 제염 가능하며, 큰 오염 물질은 종류를 구분하여 절단 후 제염할 수 있다고 보고하였다. 1996년 유고슬라비아에서 펄스 CO₂ 레이저를 이용한 제염 연구를 하였고, 2000년에도 펄스 TEA CO₂ 레이저를 이용한 제염을 시행한 결과 스테인리스, 구리, 알루미늄 순으로 제염이 잘 되었음을 보고하였다. 이 레이저는 Excimer 또는 Nd-YAG 레이저보다 비용이 저렴한 반면 에너지가 낮은 단점이 있었다. 1999년 프랑스 아르곤에서 레이저 제염을 이용한 폐기물 부피 감소에 관한 연구를 하였으며, 2003년에는 WCH chen이 LADIL(액체 속에서의 레이저 제염)에 관한 연구를 보고하였다. 2004년 미국 오크리지에서는 각 레이저 제염에 의해 발생하는 입자의 특성을 분석하였는데, 266nm 레이저(UV)를 사용했을 때가 가장 제염이 잘 되었고, 시멘트, 스테인리스, 알루미늄 순으로 제염이 잘 되었음을 보고하였다. 같은 해에 남 아프리카 공화국 프레토리야에서 Eximer, YAG, TEA CO₂ 레이저의 제염효율을 비교한 연구를 보고하였고, JAERI에서는 Acid-Bearing Sodium Silicate Gel을 이용한 금속 표면 제염에 관한 연구를 보고하였는데, 위 실험결과 제염이 더욱 용이해졌다고 보고하고 있다.

2) 국내의 연구개발 현황

KAERI에서 2003년, 2004년에 경수로 사용 후 핵연료 폐피복관의 방사능 저감방법, 펄스 레이저를 이용한 사용 후 핵연료 폐피복관의 건식제염을 통한 방사능 저감방법이라는 특허를 출원하였으며, 2007년 동일 연구소에서 금속 표면에 대한 광 용발 제염의 타당성 비교 연구가 이루어졌다. 그리고 같은 해 같은 연구소에서 LIFT (laser-induced film transfer)에 의한 레이저 제염에 관한 연구를 보고하였다. 아래 그림 3과 4는 상기 연구논문에서 인용하였다.

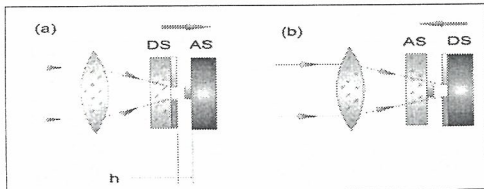


그림 3. LIFT에 의한 레이저 제염방법

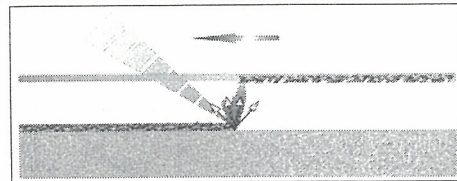


그림 4. 표면위에 레이저 빔이 비스듬히 입사했을 때의 레이저 제염 개략도

3. 결론

이와 같이 본 연구에서는 레이저 제염 기술의 원리 및 필요성, 그리고 그 기술 현황에 관하여 조사해 보았다. 앞에서도 살펴보았듯이 국외에서는 이미 많은 연구가 이루어져 있으며 특허도 많이 출원되어 있다. 따라서 국내에서도 레이저 제염 기술 개발에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이며, 레이저 제염 기술의 단점을 보완하고 실용화할 수 있는 방법을 모색해야 할 것이다.