

회분화 실험을 통한 목재 폐기물 소각 시 질량감량계수 산출

윤기훈, 박현균, 신진성, 송정호, 박승현, 이상미, 이영배*, 설증균*, 류재봉*
 케이엔디티엔아이, 서울특별시 구로구 구로동 197-5번지 삼성 IT밸리 806호
 한전원자력연료*, 대전광역시 유성구 대덕대로 1047번지
kihoon98@kndt.co.kr

1. 서론

원자력시설의 운영 또는 재건축이나 용도변경 등이 이루어짐에 따라 방사성 물질로 오염이 되어있는 목재 폐기물이 다량으로 발생되며, 이들을 규제해제 하는 경우, 경제적 측면 때문에 목재 폐기물을 재활용하기보다는 소각 후 매립처분하는 것이 선호된다. 폐기물 소각 처분에 따른 방사학적인 영향 평가를 위해서는 소각 이전 방사능 농도는 물론 소각재의 단위 질량 당 방사능(Bq/g) 산출 또한 필요하며, 특히 비휘발성 방사성핵종이 함유되어있는 방사성 폐기물이 소각되는 경우, 폐기물의 질량은 감량되나 방사성핵종은 소각재에 대부분이 잔류하게 되므로 소각재의 단위 질량 당 방사능(Bq/g)은 소각 전 폐기물의 단위 질량 당 방사능에 비하여 크게 증가한다. 따라서, 소각재의 단위 질량 당 방사능을 계산하기 위해서는 목재 폐기물이 소각되면서 어느 정도까지 질량감량이 이루어지는지, 질량감량계수(MRF)를 파악하는 것이 매우 중요하다.

국내의 몇몇 문헌들에서 폐기물 소각 시 질량감량계수에 대하여 기술하고는 있으나 정량적인 값을 제시하지 못하고 있다. 폐기물의 종별과 소각운전조건에 따라 질량감량계수가 상이해지는 특성 때문에 폐기물종별에 따른 구체적인 질량감량계수를 제시하는 것이 어렵기 때문이다. 특히 목재 소각에 따른 질량감량자료는 매우 부족한 실정이다.

본 연구에서는 목재 소각시의 질량감량계수를 산출하기 위해 인위적으로 우라늄 물질에 의하여 오염된 목재시료를 회분화하여 회분 전후의 질량을 비교하였으며, 목재시료와 회분재의 우라늄 농도를 ICP-MS로 분석/비교하여 회분 시 질량감량에 따른 방사성물질의 농축효과를 알아보았다.

2. 본론

2.1 회분화 대상 목재 시료의 선정

일반 건설현장 등에서 산업폐기물로 발생하는 목재 폐기물은 원목과 합판, MDF 등이 주를 이루며, 원자력시설에서 발생하는 목재 폐기물 또한 이와 유사하다. 따라서, 본 연구에 사용할 시료로 원목과 합판, MDF의 혼합물을 선정하였다.

2.2 목재 시료의 오염원 및 오염 특성

시료로 사용된 목재는 인위적으로 우라늄에 의하여 오염되어 있는 상태이며, 오염원인 우라늄 화합물은 휘발성 물질이 아닌 입자상으로 존재하기 때문에 소각 시 기체와 함께 대기 중으로 확산될 가능성이 희박하다. 목재폐기물 소각 시 우라늄은 대부분이 소각재와 함께 잔류되며, 이로 인해 소각 후 소각재의 질량 당 방사능 농도(Bq/g)는 소각 전 목재와 비교하여 증가하는 경향을 보인다.

2.3 목재시료의 회분화 실험 및 결과

회분화실험은 산림청고시 2009-2호 “목재펠릿 품질규격”에 기술되어 있는 목재 펠릿의 회분화 방법에 따라 수행되었다. 목재 폐기물을 전기대패를 사용하여 그림 1과 같이 톱밥으로 잘게 분쇄한 후 150ml용량의 도가니에 그림 2와 같이 담아 목재의 무게를 측정한 뒤, 이를 550℃ 이상의 회화로에서 150분 이상 회분화 시킨다. 회분화가 완료된 시료는 도가니 상태로 5~10분간 대기중에서 방치한 후, 흡습제가 없는 데시케이터에서 상온까지 냉각한 뒤 무게를 측정하였다.

본 실험에서는, 150ml용량의 도가니를 기준으로 총 38개의 도가니, 총 718.74g의 목재 시료에 대하여 회분화 실험을 수행하였으며, 그 결과 159.32g의 회분재를 얻었다. 회분율은 각각의 도가니에 따라 최소 14.30%에서 최대 33.44%이고, 회분화 실험에 따른 평균 회분율은 22.17%이며, 평균회분율에서 유도된 목재의 질량감량계수는 4.51이다.

이처럼 목재의 소각 시 소각재의 무게는 소각 전 목재 무게의 1/4.51로 감량되며, 이에 따른 소각재의 단위질량 당 방사능(Bq/g)은 소각 전 목재에 비하여 4.51배 증가하게 된다.

2.4 목재시료 및 회분재의 ICP-MS 우라늄 분석

목재의 소각 시 질량감량에 따른 방사능 농축현상을 확인하기 위해 회분화 이전 목재 내의 우라늄(U-238)의 함량과 회분화 후 얻어진 회분재 내에 함유되어 있는 우라늄(U-238)의 함량을 ICP-MS를 사용하여 각각 분석한 후 그 결과를 비교하였다.

ICP-MS를 이용하여 목재 폐기물과 회분재의 우라늄 농도를 분석한 결과는 표 2와 같다. 회분화 후 회분재의 U-238함량은 100ppm으로, 회분화 이전 목재 시료의 U-238함량인 20~60ppm에 비하여 2~5배 정도 높은 결과를 보였으며, 이 결과는 회분화 실험에서 구한 질량감량계수를 통해 추정된 방사능 농축효과(4.51배)의 범위를 포함한다. 이러한 현상은 회분화로 인하여 목재의 질량감량이 이루어진 반면 목재에 함유되어있던 우라늄은 회분재에 그대로 잔류하기 때문이다.

3. 결 론

본 연구에서는 인위적으로 우라늄에 의하여 오염되어있는 목재 폐기물의 회분화 실증 실험을 통하여 목재 소각 시 질량감량계수를 산출하였다. 또한, ICP-MS를 이용하여 목재와 회분재에 함유되어 있는 우라늄(U-238)의 함량을 분석/비교하여, 회분화 시 매질의 질량감량으로 인한 방사능 농축현상을 확인하였다.

본 회분화 실험을 통해 구해진 질량감량계수의 적용으로 인하여, 방사성물질로 오염된 목재 폐기물의 규제해제에 따른 소각처분 수행 시 인간 및 환경이 받는 방사학적인 영향을 보다 정확하게 평가할 수 있을 것으로 기대된다.



그림 1. 목재 분쇄물 시료 그림 2. 도가니 장입 모습 그림 3. 회화로 가동 모습 그림 4. 회분화 후 모습

표 1. 회분화 실험 결과

회분화 전 목재 무게	회분화 후 회분재의 무게	회분율	비고
718.74g	159.32g	22.17%	(질량감량비 4.51)

표 2. 목재 분쇄물 및 회분재의 U-238의 함량 비교 (ICP-MS 측정)

	목재 분쇄물 #1	목재 분쇄물 #2	목재 분쇄물 #3	회분재	비고
U-238 함량	20ppm	60ppm	40ppm	100ppm	

참고문헌

1. 산림청고시 2009-2호 “목재펠릿 품질규격”
2. 한국원자력안전기술원, “방사성폐기물 규제해제 요건 개발“, KINS/RR-144, 2002
3. US-NRC “Radiological Assessments for clearance of materials from nuclear facilities”, NUREG-1640, 2003
4. US-NRC “IMPACTS-BRC, Version 2.0; Program user’s manual.”, NUREG/CR-5517, 1990
5. IAEA, “Exemption of Radiation Sources and Practices form Regulatory Control.”, TECDOC-401, 1987