

고방사성환경용 원격클린업시스템

김기호, 박장진, 송기찬, 박병석
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150
khkim5@kaeri.re.kr

1. 서론

경수로 사용후핵연료를 재활용하고자 하는 기술이 한국원자력연구소에서 개발 중에 있다. 사용후핵연료는 고방사성물질로서 작업자의 직접 취급이 불가능하기 때문에 사용후핵연료의 모든 제조·공정 작업은 한국원자력연구소 조사재시험시설의 특수시험시설 핫셀에서 원격으로 수행 된다. 사용후핵연료와 같은 고방사성물질을 취급 및 처리하는 제조·공정 과정에서는 사용후핵연료 분진 및 미세입자의 방사성 폐기물 등이 필연적으로 발생하며, 이들은 핫셀 바닥에 날리 퍼져서 핫셀 시설물 또는 제조·공정장비를 오염시켜 결과적으로 장비를 손상시키고 가동물을 단축시키며 시설물의 건전성을 저감시킨다. 일반적으로 이러한 고방사성 미세분진폐기물들은 핫셀 내에 설치된 진공청소기 또는 진공흡입식 청소로봇 등을 사용하여 제거하거나, 핫셀 가동정지 중에 특수방호복을 착용한 작업자가 투입되어 정해진 시간 내에 조금씩 순차적으로 제거한다. 진공흡입식 청소 장치 또는 청소로봇 등은 블로워를 통한 흡입력에 의존하여 바닥에 있는 오염분진폐기물을 제거하는 방식으로 바닥에 면에 있는 얼룩 또는 고착되어 있는 오염분진폐기물들은 제거할 수 없다. 또한, 제염용액을 적신 제염지, 걸레, 스펀지와 같은 도구를 사용하는 마루 닦기 장치는 일회 사용으로 오염되므로 오염된 도구로 연속적으로 바닥 닦기 작업을 수행하는 것은 오염면적을 더욱 더 확산시키며, 제염 작업 효율이 떨어지며, 폐기물 양을 증대시키고 이를 처리하는 데 여러 가지 문제점이 있다.

본 연구에서는 고방사능으로 오염된 지역에 작업자를 직접 투입하지 않고 오염된 핫셀 바닥을 원격으로 닦아서 청소할 수 있는 원격클린업시스템을 개발한다. 개발된 원격클린업시스템의 기계적 특징과 시스템 구성, 운용 등에 대하여 고찰하고, 또한 모사 환경에서 모사 오염물질에 대한 닦기 시험을 실시하여 원격클린업시스템의 성능을 평가하고 원격 제염작업의 효율성을 검증한다.

2. 원격클린업시스템

원격클린업시스템은 물걸레와 유사한 기능을 가진 특수공구를 사용하여 핫셀 바닥을 주행하면서 바닥면에 산재·고착해 있는 미세한 오염물질을 원격으로 닦아서 제거하는 시스템이다. 원격클린업시스템은 크게 닦기 매스터, 닦기 슬레이브(핫셀 내측에 설치), 통합 제어반(핫셀 외측에 설치)등으로 구성되며 닦기 매스터는 통합제어반 상부에 설치되어 있다(그림 1). 조작자는 안전지역(핫셀 외측)에서 닦기 매스터를 통하여 오염지역에 위치한 닦기 슬레이브를 제어하면서 동시에 닦기 슬레이브가 핫셀 바닥을 닦을 때 발생하는 닦기 힘(mopping force)을 손으로 느끼면서 원격으로 핫셀 바닥의 제염작업을 수행한다.

닦기 매스터는 조작자와 닦기 슬레이브 간에 실시간 상호작용을 가능케 하는 인터페이스 장치, 즉 입력장치이다. 닦기 매스터는 핫셀 내측에서 바닥 닦기 작업을 수행하는 닦기 슬레이브를 조종하는 장치로서 닦기 매스터에서 생성된 지령명령은 닦기 슬레이브에 전달되며, 또한 지령명령에 반응한 닦기 슬레이브의 모션은 피드백되어 닦기 매스터의 핸드그립을 쥐고 있는 조작자에게 전달된다. 닦기 슬레이브는 핫셀 내부에서 오염된 핫셀 바닥의 닦기 청소작업을 직접 수행하는 수단으로, 무한궤도 방식의 주행부와 오염물질을 닦아낼 천을 감고 있는 롤러형태의 닦기천, 닦기천을 지지하고 실제로 닦기 청소작업을 실행하는 닦기부 등으로 구성되며, 이들은 고장 또는 손상시 수리 및 교체 등 유지보수가 원격으로 용이하도록 모듈식으로 설계·제작되었다. 통합제어반은 원격클린업시스템의 제어 위치를 제공하며, 닦기 매스터와 닦기 슬레이브 간의 양방향 제어를 실시간으로 구현하기 위하여 구성되었다. 통합제어반은 크게 닦기 슬레이브를 제어하기 위한 닦기 매스

터, 실시간 제어 상황을 보여주는 디스플레이 패널, 비상시 닦기 슬레이브를 제어하기 위한 조이스틱 등으로 구성되었다. 또한 산업용 PC, 데이터 입·출력보드, 제어보드, 서보앰프, 회로, 전원 공급장치, 그리고 실시간 제어를 지원하는 소프트웨어 등으로 통합제어반을 구성하였다. 실시간 제어시스템의 운용에 필요한 프로그램 개발은 MATLAB/Simulink 기반의 xPC-Target/Embedded Option 개발환경을 이용하였다.

개발된 원격클린업시스템의 오염물질 제거 능력을 알아보기 위하여 인위적으로 구성된 모사 환경에서 모사 오염물질 제거 실험을 실시하였다. 오염물질을 제거하는 제염작업의 정량적 평가를 위하여 본 연구에서는 화상처리 기법을 이용하였다. 오염물질이 제거되기 전의 바닥면 영상과 원격클린업시스템의 닦기 슬레이브가 바닥을 한 번 닦고 지나간 후의 영상을 비교하여 검은 점으로 표현되는 오염지역 면적을 비교하는 것으로 제염의 정도를 정량적으로 평가하였다. 이를 위하여 먼저 닦기 작업 전과 후의 바닥면 영상을 촬영하고 화상처리의 정확성 향상을 위하여 영상에 존재하는 조명에 의한 그라데이션(gradation) 효과를 제거한 후 그 영상을 이진화 하였다. 바닥에 표시된 15cm 폭의 띠 모양의 오염구역을 12cm 폭의 롤러가 닦고 지나간 4각형 영역에 대하여, 이진화 영상에서 검은색 반점으로 표현되는 오염지역 면적이 닦기 작업 후에 얼마만큼 제거되었는지 측정하여 그 제거율로서 닦기 성능을 추정하여 보았다(그림 2). 실험결과 닦기 슬레이브에서 롤러에 감기는 천의 속도가 닦기 슬레이브의 이동속도와 같은 경우에는 오염면적 중 99.9% 이상이 제거됨을 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 작업자의 접근이 극히 제한되거나 불가능한 고방사성지역에서 원격으로 바닥표면을 닦아서 제염할 수 있는 원격클린업시스템을 개발하였다. 개발된 원격클린업시스템을 사용하여 고방사성지역에서 제염작업을 수행하는 것은 작업자의 안전성을 증대하고, 시설의 건전성을 제고하고, 또한 작업자의 개인피폭선량을 줄이는 효과가 있다. 개발된 원격클린업시스템은 모의시험 시설에서 원격운용을 통하여 성능을 입증하였으며, 현재 시스템의 안정화를 위해 반복 시험 중에 있다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.



그림 1. 원격클린업시스템의 구성

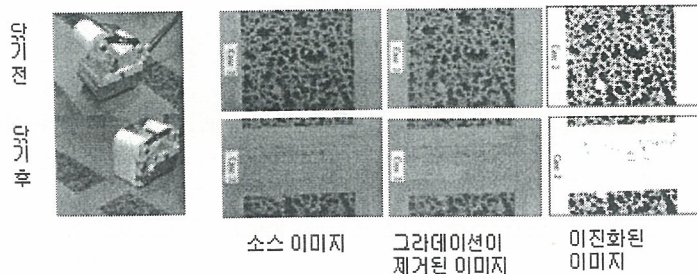


그림2. 화상처리기법에 의한 오염제거율 시험