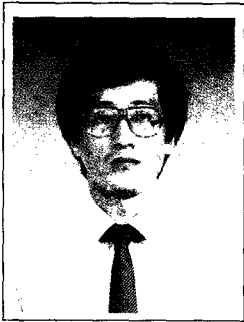


새로운 환경 복원 개념 · 기준 수집

원 휘 준

한국원자력연구소

제염해체 및 환경복원기술개발분야 책임연구원



미 국기계학회(ASME)의 원자력 공학 및 환경 공학 분과(The nuclear engineering and the environmental engineering divisions)에서는 방사성 폐기물 관리와 환경 복원의 주요 분야에 있어서 기술, 가동 경험, 방사성 폐기물 관리를 위한 접근법, 경제성과 공공 정책 등에 관한 정보를 국제적으로 폭넓게 교환하기 위해 본 국제 학회를 설립하였다.

본 학회는 격년제로 개최되며 87

년 홍콩에서의 첫 번째 회의 이래 교토 · 서울 · 프라하 · 베를린 등에서 개최되었다.

제6차 학회가 개최된 싱가포르는 전체 면적이 약 600km²인 도시 국가이며 말레이시아 반도 남단의 섬이다.

이번 학회는 싱가포르 중심가에 위치한 Westin Stamford 호텔에서 97년 10월 개최되었는데, 시 외곽에 위치한 창이국제공항으로부터 택시로 약 20분 거리에 있다.

인도네시아에서 발생한 화재로 인해 대기 중에 연기가 약간 포함되어 있었으나 활동하는 데에는 아무 지장이 없었다.

6일간의 학회 참석이었기 때문에 정확히 파악하기는 힘들었지만 싱가포르 국민들(70%가 화교)의 성격은 우리나라와 비슷함을 느꼈으며 자연적이기보다는 인공적으로 국가를 아름답게 꾸몄다는 느낌을 받았다.

이번 학회에서는 국가적 환경 관리 계획 및 기술, 사용후 핵연료와 고준

위 방사성 폐기물(HLW)의 처리 · 이동 · 저장 및 품질 보증, 방사성 폐기물 처분장 인근 지역에서의 핵종 이동, 중저준위 폐기물 처리, 제염 해체 기술과 경험 등과 관련하여 250여편의 논문이 발표되었다.

우리 나라에서는 한국원자력연구소에서 2명, 한국과학기술원에서 1명이 참가하여 방사능 오염 환경 복원 기술, DUPIC 연료 제조, 원전 방사성 폐기물 드럼 중 방사능량 산정과 관련된 논문을 발표하였다.

주요 주제는 「환경 관리」로서 방사능 오염 환경에 대한 새로운 청정화 개념과 기준이 제시되었으며 이와 관련한 토론이 있었다.

특히 환경 복원 기술 개발을 담당하고 있는 연구 기관 관계자들과 환경 규제 및 감시 기관 실무자들 사이의 진솔한 의견 교환을 통해 서로의 입장을 이해하고 합리적인 환경 청정화 기준을 도출하려고 노력하는 모습이 인상적이었다.

원자력 선진국에서는 현재 원자력 시설 및 핵시설에 대한 해체 작업을 추진 혹은 계획중에 있으며, 우리 나라도 21세기에는 노후화된 시설에 대한 해체를 본격적으로 추진해야 할 것으로 판단된다.

원자력 산업을 우리보다 일찍 시작한 원자력 선진국의 시설 해체 및 가동시 발생 가능한 환경 오염과 복원 대책과 관련하여 본 학회에서 발표된 내용을 소개한다.

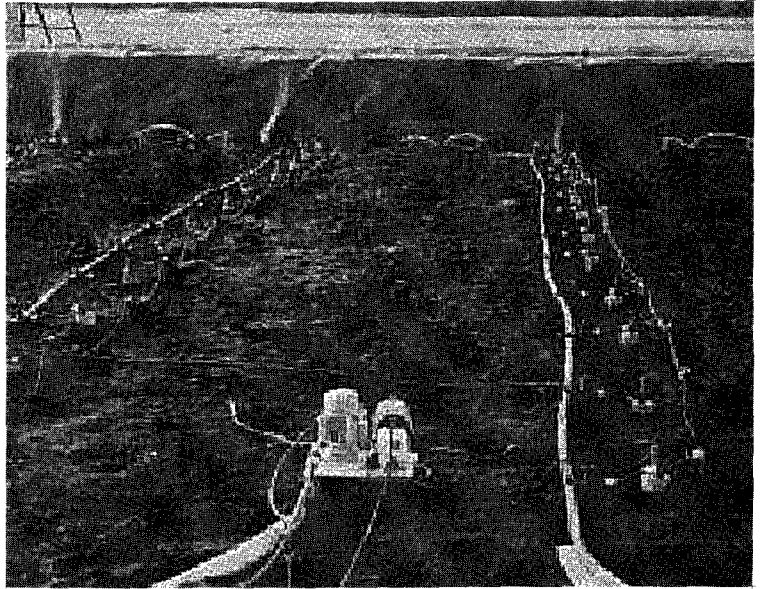
미 국

제2차 세계 대전(1940년대) 및 냉전 기간중(1950~1980년대)의 50년 동안 핵무기 개발·제조 및 성능 실험 결과로 대규모 오염 지역이 발생되었으며, 냉전의 종식과 함께 80년대말 대부분의 핵시설은 가동 중지되었다.

핵무기 개발과 관련하여 오염된 토양의 부피는 대략 5천만 m^3 로 추정되며, 오염원 자체가 복잡적이고 다양하므로 오염된 토양을 복원하는 데에는 추정하기 힘들 정도로 많은 비용이 소요될 것으로 알려져 있다.

미국 에너지성(DOE)은 이러한 오염된 환경의 복원과 폐기물의 안전 관리라는 심각한 문제에 직면하고 있다.

환경을 보전해야 한다는 측면에서, 미국에서는 방사능과 유기 화합물로 오염된 지역의 복원에 중점을 두어 토양을 안전하면서도 경제적으로 제



〈그림 1〉 전기 가열법에 의한 오염 토양 정정화

염하기 위한 기술을 개발중에 있다. 〈그림 1〉은 전기적 방법으로 오염된 토양을 제염하는 사진이다. 이 기술의 특징은 전극을 토양 내에 설치한 후 전압을 걸어주어 오염물을 제거하는 것인데 방사성 핵종뿐만 아니라 유기물의 제거에도 효과적인 것으로 알려져 있다.

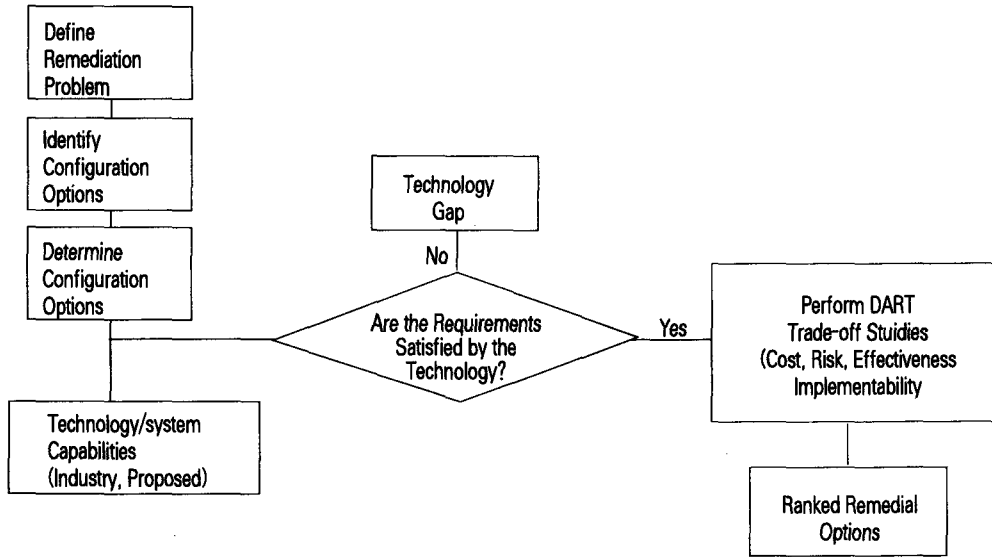
혁신적인 환경 복원 기술들은 경비와 위험을 크게 절감할 뿐만 아니라 작업 효율을 높여주기 때문에 미국의 각 연구소는 이러한 기술의 개발·실증 및 적용을 강력하게 추진하고 있다.

그러므로 국립 연구소의 주요 목표 중 하나는 새로 개발된 기술들을 평가한 후 조합하여 환경에 적용시킴으로써 환경 복원 비용과 위험을 감소

시키는 것이다. 대표적인 예로서, INEEL(Idaho National Engineering and Environmental Laboratory)은 DOE로 하여금 기술 개발과 적용성을 평가하는 데 도움을 주기 위해 DART(Decision Analysis and Remediation Technology System)를 사용하고 있다.

〈그림 2〉는 DART의 기본 요소를 보여주는 공정 흐름도이다.

DART는 DOE 산하 핵시설 단지들에 대한 오염 특성 정량화, 핵시설 부지에 대한 분류, 이들 부지의 요구 사항에 대한 평가, 유용하고 적용 가능한 기술 선택, 선택된 기술들에 대한 복원 성능, 위험도 평가 및 경제성



(그림 2) 복원 기술에 대한 Decision Analysis 흐름도

분석을 가능하게 하므로 이로부터 부지 특성에 적합한 복원 기술들을 도출할 수 있다.

DOE가 오염된 환경을 계획대로 복원하기 위해서는 혁신적인 제염 기술의 개발뿐 아니라 개발된 기술의 조합이 필요한 것으로 나타났다.

영국

정부의 핵개발 계획과 관련하여 영국 원자력공사(UKAEA)는 지난 50년 이상 다수의 연구 개발 시설을 Dounreay, Harwell, Winfrith 및 Windscale 지역에 건설·운영하였다.

현재는 수명이 완료된 핵시설의 관리 비용을 최소화하기 위해 이들을 해체중 혹은 해체할 계획으로 있다.

이 시설들은 그동안 안전하게 운영되었지만 Dounreay의 경우 배수 계통의 노후화에 따른 방사능 누출에 의해 일부 한정된 지역이 오염되었다.

그래서 UKAEA에서는 Dounreay의 오염된 지역에 대해 오염 특성의 정확한 평가 및 환경 중에 존재하는 오염물이 잘 관리되고 있음을 보증하며, 청정화가 필요한 장소에 대해 가장 적절한 시기에 청정화시키기 위한 계획을 제시하였다.

차후 계획에 대해서는 UKAEA, 영국 정부(Department of Trade and Industry), 정부 감시인들 및 Dounreay 의회가 협동하여 수립하고 있다.

건물 구조, 지하 시설 및 물 흐름

등의 부지 특성과 관련하여 지리학적 위치 및 오염 범위를 정확히 정의하는 것이 오염 지역을 청정화하기 위한 전략을 결정하는 데 필수적이었다.

부지 안팎에 대한 정밀한 방사능 측정을 통해 작업자로 하여금 방사능이 인근 지역으로 확산되지 않는다는 확신을 심어 주었다.

현재 오염물은 주의 깊게 취급되고 있으며 국부 오염물은 제거·처분되었다.

그러나 보다 넓게 존재하는 오염 토양에 대해서는 확실한 복원 계획이 수립된 후에 처리되도록 조치가 취해졌다.

환경 문제와 관련이 있는 모든 사람과 기관은 UKAEA의 정책에 영향을 미칠 수 있다.

그리고 '투명성과 정직(open and honesty)'의 정책이 환경 복원 계획을 수립하는 데 가장 주요한 인자로 나타났다.

우크라이나

86년 4월의 체르노빌 원전 사고에 의해 대규모 지역이 오염되었으며, 발전소를 중심으로 30km 이내 지역에 대한 자유로운 출입은 통제되고 있다.

출입 통제 지역 내에 있는 삼림은 사고 후 방사능의 확산을 효과적으로 억제하는 자연 방벽 역할을 하였다.

그러나 92년에는 이 지역 내 Opachichi 마을에서 산불이 발생하여 방사능이 확산되는 결과를 초래하였다.

출입 통제 지역에 대한 방사학적 상황을 호전시키기 위해 나무 베기, 그루터기 뽑기 및 나무 심기와 같은 작업이 시급히 필요하게 되었다.

또한 방사능이 낮은 삼림 지역의 나무를 경제적인 목적으로 사용하고 자 하는 요구도 커지고 있다.

삼림 지역이 광범위하게 오염되어 있는 관계로 모든 작업은 작업자의 방사능 피폭이라는 위험성을 동반한다.

그러므로 출입 통제 지역을 오염도에 따라 3구역으로 나누었으며, 각 구역에 대한 작업 조건과 활동을 엄격히 규제하는 상태에서 작업이 수행되어야 한다.



방사능 오염 물질을 처리하는 모습(미국 헨퍼드)

그러나 이러한 작업이 인체에 미치는 영향은 아직까지 정확히 규명되지 않았다.

현재 출입 통제 지역에 대한 우크라이나 과학위생센터(Ukrainian Scientific Hygienic Center)의 주요 연구 목표는 삼림 지역 작업자들에 대한 방사선 피폭량 평가뿐만 아니라 오염된 삼림을 되살리기 위해 작업을 수행하고자 하는 장소들에 대한 방사능 현황을 정확히 관찰하는 것이다.

캐나다

저준위 방사성 폐기물에 의한 환경 오염 문제는 33년부터 Ontario주의 Port Hope에서 시작된 라듐 정련과 42년부터 시작된 우라늄 정련 작업 시기로 거슬러 올라간다.

이 지역에서 건물과 토양이 오염된 시기는 주로 정련 작업 초기의 수년간이었다.

70년대 중반에 탄광 외부 지역이 오염된 사실을 발견하였는데, 발견 즉시 Port Hope에 대한 방사선장 감소 계획이 수립되었고 다른 우라늄 탄광 지역까지 이 계획이 확장되었다.

캐나다에서 저준위 방사성 폐기물(LLRW : low level radioactive waste)에 대한 정의는 핵연료와 우라늄 선광 찌꺼기를 제외한 모든 방사성 폐기물을 의미한다.

캐나다 연방 정부는 77년부터 현재까지 LLRW로 오염된 탄광 지역을 완전히 청정화하기 위해 신중한 접근 자세를 취하고 있다.

우라늄 및 라듐광으로부터의 이송, 정련 및 이와 관련된 모든 활동을 참



중·저준위 방사성 폐기물 저장고

고한 오염 지역의 상세한 확인, 오염 특성 파악과 부지 청정화 작업 등이 현재까지도 진행 중이다.

82년에는 연방 정부로부터 환경 청정화 작업을 위임받은 저준위 방사성 폐기물 관리국(LLRWMO : LLRW Management Office)이 설립되어 환경 복원과 관련된 문제를 전담하고 있다.

LLRWMO에서는 오염 토양과 기타 오염 폐기물들을 제거하여 이들을 임시 저장중에 있는데, 방사성 폐기물 관리와 관련되어 발생하는 문제들을 지역 특성에 맞게 해결하기 위해 제거 및 저장과 관련된 모든 작업을 지역 사회 및 규제 기관들과 공동으로 수행중에 있다.

76년에 환경 청정화 기준이 설정되었으며, 86년의 개정 후 80년대말

부터 적용되는 기준치는 라듐에 대해 0.2~0.3 Bq/g, 비소와 우라늄에 대해 각각 40~50 및 35 ppm 이다.

현재 임시 저장중인 폐기물의 영구 보존을 위해 방사성 폐기물 처분장을 선정중에 있다.

소 감

원자력 선진국의 방사능에 의한 토양 오염은 주로 국민들이 환경에 큰 관심을 갖지 않았던 1940~1980년 대초까지의 기간에 핵무기 개발과 관련한 핵시설의 가동 결과로 발생되었음을 알 수 있었다.

냉전 시대의 종말과 핵시설의 노후화로 인해 일부 시설들은 해체중에 있으며, 가동 정지중인 시설들에 대한 해체 철거 방안이 검토되고 있었다.

미국의 경우, 방사능 혹은 유기 화합물로 오염된 지역에 대한 제염 기술 개발, 실증 및 환경 정화 작업이 대규모로 진행중인 것을 알 수 있었다.

언론 매체의 발달과 함께 국민들의 환경에 대한 관심이 높으므로, 원자력 선진국에서는 오염된 환경의 청정화와 관련된 모든 정책에 대한 투명성을 유지하고 있다.

이와 함께 환경 청정화 업무를 맡고 있는 기관과 이를 규제하는 기관과의 충분한 의견 교환을 통해 적절한 환경 복원 기준이 설정되어 있는 것을 알 수 있었다.

환경 청정화 작업과 이로부터 발생하는 방사성 폐기물의 관리와 관련된 사항은 지역 주민들의 동의를 구한 후에 이루어지는 것으로 파악되었다.

우리 나라는 원자력 산업의 역사가 짧아서 외국과 같은 환경 오염 문제가 발생되지 않았지만, 방사능의 위해성을 고려할 때 환경 오염에 대비한 청정화 기술 개발 연구가 꾸준히 추진되어야 할 것으로 판단된다.

학회는 10월에 개최되었지만 싱가포르가 적도 근처에 위치하는 관계로 낮에는 수온주가 30°C를 넘었고 밤에는 열대야 현상을 느낄 수 있었다.

특히 엘니뇨 현상의 여파로 학회 개시 2주일 전부터 계속된 소나기(스콜) 없는 가뭄과 인도네시아로부터 넘어온 연기는 필자에게 환경 보존의 귀중함을 새삼 느끼게 하였다.