



원전수거물의 안전성 및 환경 영향

이 건 재

한국과학기술원 원자력·양자공학과 교수

원전 수거물 관리 시설과 관련하여 알려지고 있는 안전성에 관한 내용들이 혼란스럽고, 국민의 마음을 아프게 하고 있다. 이런 환경 속에서 여러분들의 혼란스러움을 조금은 덜어드릴수 있지 않을까 하는 마음에 이 자리에 섰다.

앞으로 제가 드릴 원전 수거물의 안전성과 환경 영향에 대한 말씀이 일반 국민들의 원전 수거물에 대한 이해와 원전 수거물 관리 시설의 부지 확보와 관련한 의견을 정리하시는 데 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

방사성 폐기물

방사성 폐기물이란 방사성 물질과 방사성 물질에 의하여 오염된 물질로서 폐기의 대상이 되는 물질을 말하는데, 원자력발전소 또는 방사성동위원소를 이용하는 병원·연구기관·산업체 등에서 원자력을 이

용하는 과정에서 발생한다.

방사성 폐기물은 방사능의 높고 낮음에 따라 고준위·중준위 및 저준위 폐기물로 분류하고, 성상에 따라 기체·액체·고체 폐기물로 분류한다.

중·저준위 폐기물의 구성 물질은 작업자가 사용했던 작업복·휴지·땀신·장갑·폐부품 등이 주류를 이루며, 방사성 동위원소를 사용하는 연구 기관이나 병원에서 발생하는 폐기물은 시험관·주사기·튜브 등이 포함된다

고준위 폐기물은 사용후핵연료 및 이를 재처리 하는 과정에서 발생하는 일부의 부산물을 말하는데 현재 재처리를 하지 않는 국내에서는 발생되는 방사성 폐기물 중 사용후핵연료가 주로 고준위 폐기물에 포함된다.

원자력의 이용 과정에서 발생하는 모든 방사성 폐기물은 인체나 환경에 영향을 주지 않는 상태가 될 때까지 철저히 관리한다.

기체 폐기물은 공기 중으로 새어나가지 않도록 탱크에 모아두고 방사능의 농도가 인체나 환경에 해를 끼치지 않을 정도로 떨어질 때까지 일정 기간 관리한 후 안전할 때 공기 중으로 배출된다.

원자력 관계 시설에서 외부로 통하는 배기 시설에는 공기 중의 방사성 물질을 걸러 주는 필터와 감시장비가 설치되어 있어 일정 농도 이상의 방사성 기체 폐기물은 공기 중으로 배출될 수 없도록 되어 있다.

액체 폐기물은 작업자의 작업복 세탁 폐액, 샤워 폐액, 계통에서 발생하는 폐액 등이 있으며 이는 액체 폐기물이 갖고 있는 특성별로 별도의 탱크에 모아 일정 기간 관리 후 방출하거나, 여과·증발·농축 등의 처리 과정을 거쳐 방사성 폐기물만 별도로 추출 후 시멘트나 아스팔트에 섞어 안정한 고화체로 만든다.

병원 및 연구 기관에서 발생하는 액체 폐기물은 설파트 계측 폐액 및 기타 유기 용매가 대부분이며, 별도

의 용기에 보관되어 있다.

이들에 대한 처리는 방사능 농도가 충분히 낮아질 때까지 일정 기간 관리 후 소각을 하거나, 유기 폐액을 물과 이산화탄소로 분해하는 산분해법, 흡수재를 이용하여 고체화하는 흡수법 등이 있다.

원자력발전소에서는 주로 작업자가 사용한 작업복·형겔·덧신·장갑 및 장비 교체에 따른 폐부품 등이 발생하고, 병원·연구 기관·산업체 등 방사성 동위원소 이용 기관에서는 시험관·주사기·비닐류·플라스틱류 철제류 등이 추가로 발생된다.

방사성 폐기물의 처분 및 사용후핵연료 중간 저장

이들 폐기물은 특성별로 가연성·비가연성·압축성·비압축성으로 구분되며, 압축성 폐기물은 고압력으로 압축 처리하고, 비압축성 폐기물은 파쇄 처리하여 그 발생 부피를 줄이고 있다. 그밖에 가연성 폐기물은 소각을 할 수도 있으나 우리나라에서는 아직 소각 처리는 하지 않고 있다.

한국수력원자력(주) 산하의 원자력환경기술원에서는 중·저준위 폐기물 유리화 기술을 개발하여 고체 폐기물의 유리화도 계획하고 있다. 연구기관, 병원, 산업체에서는 생체 실험 후 동물 사체도 발생하고

있으며 이들은 소각 처리될 예정이다.

원자력 시설 폐쇄 후 철재나 콘크리트 구조물 등의 해체 폐기물이 발생하는데 방사선에 조사되거나 오염된 부분만 분리하거나 제염 처리하고 오염이 안된 철근이나 콘크리트 잔해 등은 건축자원으로 재사용하는 방안도 고려하고 있다.

이들을 안전하게 처분 혹은 저장하기 위해 현재 우리나라에서 추진 중인 원전 수거물 관리 시설은 중·저준위 폐기물 처분 시설과 사용후핵연료 중간 저장 시설로 크게 구분된다.

중·저준위 폐기물 처분 시설은 미국의 반웰·리치랜드 등 운영 중인 3곳을 비롯하여 프랑스의 로브, 일본의 로카쇼무라, 스웨덴의 포스마크, 영국의 드릭 등 세계의 수많은 국가에서 운영중에 있거나 예정중에 있다. 이미 그 용량을 다 채워서 운영을 종료하고 또 제 2의 부지를 운영하고 있는 국가도 있다.

특히 호주에서는 상업용 원자력 발전소가 한 군데도 없음에도 불구하고 중·저준위 폐기물 처분 부지를 2001년 이미 선정하여 향후 50년간 발생할 산업계나 의학계의 방사성 폐기물들을 처분할 예정이다. 이렇듯 방사성 폐기물은 원자력 발전의 결과물만은 아닌 것이다.

사용후핵연료 중간 저장은 원자력발전소에서 사용하고 난 사용후

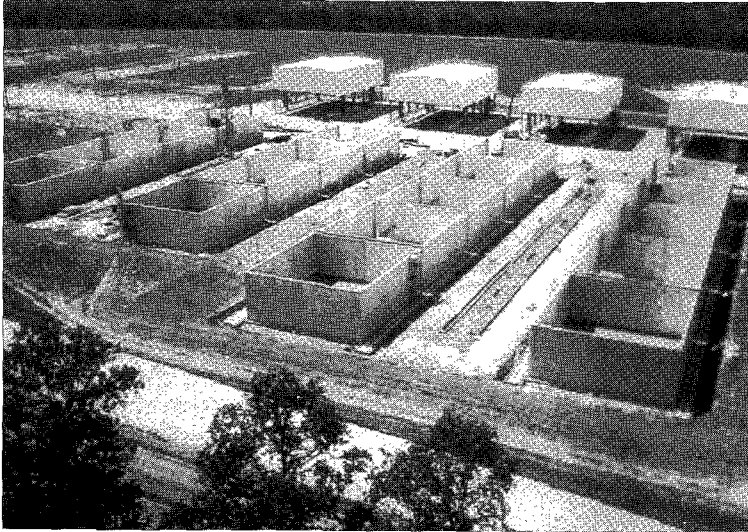
핵연료를 최종 관리 전략에 관한 정책의 결정과 영구 처분 부지의 선정 등이 이루어 질때까지 안전성과 보안성 그리고 유연성과 단기간의 비용 절감등을 고려하여 임시로 저장해 두는 것이다.

사용후핵연료 중간 저장 시설은 현재 원전을 운영중인 미국·일본 등 모든 국가에서 운영되고 있으며, 각 국가의 상황과 최종 정책에 따라 적절한 방식이 채택되어 운영되고 있다.

중·저준위 방사성 폐기물은 앞으로 지속적으로 발생되어질 것이다. 앞서 말한 바와 같이 원자력 발전뿐만이 아니라 의료계와 연구계·산업계 등 다양한 방사선 이용 분야로부터도 발생되어 질 것이기 때문이다.

중·저준위 폐기물의 처분 방식으로는 천층 처분(지표 처분) 방식과 동굴 처분 방식이 전세계적으로 이용되고 있다.

천층 처분은 약 10미터 높이의 역사다리꼴 또는 직사각형의 상자모양 콘크리트 구조물을 만들어 처분하는 방식이며, 동굴 처분은 지하에 인위적으로 동굴을 만들고 동굴 속에 콘크리트 구조물을 설치하여 폐기물을 처분하는 방식이다. 두 방법 중 어느 것이 선택되어지는가는 각 나라의 자연 조건과 인문사회적 특성을 고려하여 정책적으로 결정되고 있다.



프랑스의 L'Aube 방사성 폐기물 처분 시설. 중·저준위 폐기물 처분 시설은 미국 로의 반웰·리치랜드 등 운영중인 3곳을 비롯하여 프랑스의 로브, 일본의 롯카쇼무라, 스웨덴의 포르스마르크, 영국의 드릭 등 세계의 수많은 국가에서 운영중에 있거나 예정중에 있다. 이미 그 용량을 다 채워서 운영을 종료하고 또 제 2의 부지를 운영하고 있는 국가도 있다.

천층 처분을 채택하고 있는 국가는 미국·영국·프랑스·스페인·일본 등이 있고, 동굴 처분을 채택하고 있는 국가는 스웨덴·독일·핀란드 등이 있다.

사용후핵연료 중간 저장의 방식은 크게 습식과 건식의 두 가지로 나눌 수 있다. 습식은 사용후핵연료를 수조에 저장함으로써 냉각과 차폐 효과를 얻는 방식이며, 건식은 핵연료의 붕괴열 제거를 위하여 자연 냉각(Passive Cooling) 기능의 개념을 이용하는 방식으로 1990년대 들어서서 많은 나라에서 채택하여 운영하고 있는 중간 저장 방식의 하나이고 세계적인 추세이다.

이러한 방사성 폐기물의 처분 혹은 중간 저장과 관련한 각 방법들에 대해서는 세계 각국의 다양한 처분장 개발 프로그램들과 다자간 프로젝트, 국제적 프로젝트의 틀 안에서 수행된 광범위한 연구 개발을 통해 가공할만한 양의 경험 자료들이 축적되어 왔다.

특히 국제방사선방호위원회(ICRP)와 국제원자력기구(IAEA) 등에서 이러한 노력들로부터 얻어진 자료들을 평가하여 국제적으로 인정된 지침으로 변환시켜 왔으며, 이러한 지침들은 오늘날 각국의 처분 사업 프로젝트나 절차에 적용되어 질 수 있는 것이다.

이러한 대부분의 규제 요건들은 작업자 또는 일반 대중에 대한 방사선학적 영향의 정량적 평가 등을 통한 안전성의 정량적인 입증을 강조하고 있으며, 이와 같이 함으로써 설계시부터 충분한 안전 여유도를 확보하는 것이 가능해지는 것이다.

중·저준위 폐기물 처분 시설의 설계는 안전성 실증을 위해 사용되는 '기본 안전 규칙'에 따르는 규제 원칙을 가지고 있으며, 이들은 현대의 인간 및 환경으로의 영향뿐만 아니라 미래 세대로의 시간적·기술적·사회적 경제적 부담과 수용 위험도의 최소화 등도 고려하고 있다.

세부적으로 처분 안전성을 확보하기 위해 방사성 물질이 외부 환경으로 유출되지 않도록 여러 겹의 차단벽을 설치한다.

특히 지하수는 방사성 물질의 주요 이동 수단이 될 가능성이 있으므로 폐기물과 물의 접촉을 차단하는데 중점을 두게 됩니다.

이에 따라 처분 시설은 장기적인 처분 안전성을 확보하기 위해 다중방벽 개념으로 설계·운영되는데, 제1방벽은 고화 혹은 압축시킨 고체 폐기물 자체와 포장 용기로서, 제2방벽은 처분 시설의 콘크리트 구조물 및 폐기물 용기 사이의 되메움 물질, 제3방벽은 토양이나 암반 등의 지질 특성 등으로 이루어진다.

특히 지질 조건은 부지 선정 과정

에서 가장 중요한 역할을 하게 되는 것으로 어느 곳이나 처분 시설이 건설되어 질 수 없는 이유가 바로 여기에 있는 것이다.

더욱이 처분장 운영시 발생 가능한 인간 침입 등의 모든 피폭 가능 경로에 관하여 시나리오를 구성하고 이들을 고려할 뿐만 아니라 지진·홍수·산사태 등 천재지변이 발생해도 안전 기능이 손상되지 않도록 설계된다.

원자력 시설의 규제법인 원자력법에도 이러한 안전 요건 사항을 반영하여 처분 시설 건설 운영 허가 신청시에 방사선 환경 영향 평가서, 안전성 분석 보고서 등의 제출을 규정하고 있다.

처분 시설 운영중에는 물론 폐쇄 후에도 제도적 관리 기간으로써 시설 주변 지역에 대한 지속적인 환경 선량 감시 및 특정 행위 금지 등을 통해 환경에 어떠한 영향도 미치지 않도록 규정하고 있다. 이 제도적 관리 기간은 일반 토지로 재활용 가능 시점까지 계속된다.

처분 시설은 각 나라마다 허용 방사선 선량으로서 성능 목표치를 정하고 있는데, 현재 과학기술부 등에서 제시한 우리나라의 설계 목표치는 미국·프랑스에 비해서는 2.5배, 독일에 비해서는 3배 이상 낮게 설정되어 더 많은 안전 여유도를 가지고 있다.

사용후핵연료에는 고준위 폐기물

이 포함되어 있어 높은 열과 방사능 그리고 상당 기간의 격리를 필요로 하므로 장기간 동안 안정이 확실시 되는 지하 깊은 곳의 암반층에 가두는 것이 현재까지 정립된 처분 개념이다.

국내의 경우 재처리를 통한 재활용은 경제성 및 핵확산 등의 문제로 시설과 기술 확보가 현실적으로 어렵다. 이러한 최종 관리 방안의 중간 단계로 최종 처분시까지 임시로 저장하는 것을 중간 저장이라 한다.

현재 원자력발전소에서 타고 나온 모든 사용후 핵연료는 우선 원자력 발전소 내에 있는 습식 저장조에서 냉각 및 저장되고 있으며, 월성 원자력발전소에서 나오는 사용후연료의 일부는 일정 기간 냉각 후 발전소 내에 있는 건식 저장 시설로 이송하여 저장되고 있다.

사용후핵연료의 중간 저장시 높은 열과 방사능은 중·저준위 방사성 폐기물 처분시 보다 한층 더 세밀한 안전성을 요구한다. 중간 저장의 특성상 처분시 이송 등을 원활히 하기 위해 암반이나 토양으로의 차폐는 이루어지지 않으나 이에 적합한 규제 원칙이 선진국을 중심으로 개발되어 왔으며, 이를 만족하는 중간 저장용 설비들이 이미 개발되어 세계 각국에서 운영중에 있다.

이들 각각의 설비들은 정상 조건, 비정상 조건의 경우뿐만 아니라, 외부로부터의 사고까지 고려된

세부적이고 정량화된 열적·방사선적 설계 목표치를 가지고 있다. 또한 최대한 각각의 냉각 차폐 시스템을 간소화 하고 이를 다중화 다양화함으로써 안전성을 실현하고 있다.

따라서 일부에서 제기되고 있는 사용후핵연료 중간 저장 시설의 냉각 시스템 고장으로 인한 내부 용융은 현재 시스템상에서는 결코 발생할 수 없는 사고이다.

방사선의 영향

나는 이 자리에서 방사성 폐기물 자체가 안전하다고는 말씀드리지 않는다. 위험할 수 있다. 그러나 중요한 것은 위험할 수 있다는 그 사실을 이미 원자력 관련 종사자뿐만 아니라 전 세계의 주민 모두 충분히 인식하고 있다.

지금까지 방사성 폐기물을 안전하게 처리·처분하고자 하는 노력을 꾸준히 경주해 왔고, 그 결과 이미 방사성 폐기물 처분 시설의 안전성에 대해 충분히 만족할만한 결과들을 이루어냈다.

그 예로 폐기물 처분 시설에 의한 공식적인 환경 영향 피해는 아직 보고되어지지 않고 있다. 일본 뚝카쇼 무라 처분장의 보건 영향에 관한 보고서에 따르면, 방사성 폐기물 처분 시설로 인한 주민들의 추가적인 방사선 피폭은 없었다고 명시되어 있으며, 그 외 일본의 아오모리 현과

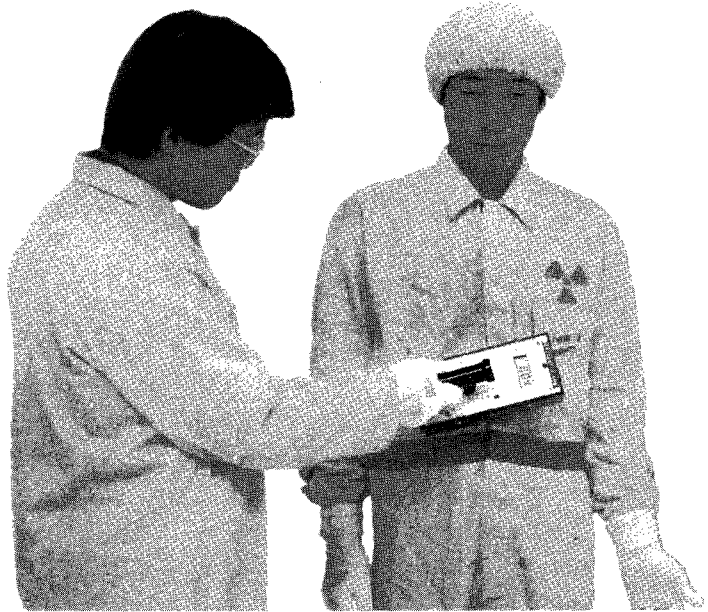


히로사키대학의 연구 결과에서도 이런 사실을 뒷받침하고 있다. 그 외 영국 등 세계 여러 나라에서의 보고를 살펴보다도 이 사실은 충분히 증명되고 있다.

산업계나 의료계에서 사용하고 있는 광범위한 영역의 방사선 선원으로 인한 직업상 피폭을 역사적으로 고찰해 보면, 부주의한 선량 관리가 세포 사멸이나 세포 손상 등과 관련된 보건 영향에 심각한 영향을 미쳤는지를 보여주는 사례들이 있다.

그러나 현재 이용 가능한 대부분의 역학 조사 결과들에 따르면 적절하게 통제되고 선량 한도와 최적화 등 국제방사선방호위원회(ICRP) 등의 규제치 등을 준수하게 되면 방사선 작업이 안전한 작업으로 분류되어질 수 있다는 것을 보여주고 있다. 마찬가지로 환경으로의 영향도, 방사선 방호 원리 등의 기본적인 원리를 준수한다면 안전하다는 것을 보여주고 있다.

원전 수거물 관리 시설로 인해 예상되어지는 피폭은 연간 1밀리렘이다. 이 양은 현재 연간 개인에게 순수 자연 환경으로부터 예상되어지는 피폭량 240밀리렘과 비교해 보았을때 극히 미약한 양이다. 뿐만 아니라, X-ray를 이용한 가슴 촬영시 3~5밀리렘, 비행기를 이용한 유럽 여행시 7밀리렘 등과 비교하여도 매우 작은 양이라는 것을 알



원전 수거물 관리 시설로 인해 예상되어지는 피폭은 연간 1밀리렘이다. 이 양은 현재 연간 개인에게 순수 자연 환경으로부터 예상되어지는 피폭량 240밀리렘과 비교해 보았을때 극히 미약한 양이다. 뿐만 아니라, X-ray를 이용한 가슴 촬영시 3~5밀리렘, 비행기를 이용한 유럽 여행시 7밀리렘 등과 비교하여도 매우 작은 양이라는 것을 알 수 있다.

수 있다.

영국 국가보건청 자문 의사인 크 리스토퍼 존 칼만 박사의 '주민들이 실제적이거나 잠재적인 방사선의 피폭원보다는 방사성 폐기물 자체에 더 공포를 느끼고 있다'는 보고에서도 보여지듯이 나는 더 이상 원전 수거물 관리 시설이 위험 시설이 아니라 단지 혐오 시설일 뿐이라고 말씀드리고 싶다.

방사선의 영향에 대해서는 방사성 폐기물에 대한 대중의 인식이 중요하다고 보여진다. 작업자가 매일 매일 받는 선량과 환경으로의 영향을 살펴볼 때, 이미 연구되어져 있는 기준치 등이 준수되면 방사성 폐기물의 처분을 포함한 방사능의 사용을 안전한 산업으로 볼 수 있음을

입증해 주는 많은 증거들이 있다.

방사성 폐기물은 위험할 수 있다. 그러나 방사성 폐기물 처분 시설에 수용되어지고 나면 더 이상 위험하지 않다.

지금까지 간략하나마 현재 폐기물 처분 시설의 안전성 등에 관한 몇 가지 내용을 언급해 보았다. 원전 수거물 시설의 원만한 확보를 위해서는 다양한 방안이 있을 수 있으며, 따라서 논쟁의 여지가 있는 주제에 대하여 합의를 이끌어내는 절차가 반드시 필요하다.

이는 주요한 현안에 대하여 정책, 연구, 국민적 합의 등 다양한 의견 교환과 수렴을 통해 해당 사안들을 합리적으로 수립하기 위한 것이다. ☺