



21세기 원자력 안전의 과제

Laurence G. Williams*

원자력의 미래를 논의하기에 앞서 이제까지의 역사를 간단히 반추해 보는 게 필요할 것이다. 일부 국가에서는 다소 짧지만 원자력산업은 약 50년의 역사를 가지고 있다. 1950년대 초 영국의 원자력산업은 우선적으로 핵무기 개발에 집중되었으나, 일부 사람들은 상업적 전기 생산을 위한 원자력의 잠재력을 이해하기 시작했다.

콜더 홀(Calder Hall: 1956년에 가동을 시작하여 현재도 운전중임)과 채플크로스(Chapelcross)를 포함한 8기의 가스냉각형 원자로는 주로 군사용 플루토늄을 생산하였으나, 전력 생산용으로도 사용되어 전기를 공급할 수 있었다.

상업용 원자로의 출현과 더불어 영국원자력위원회(원자력 개발 진흥을 위한 연구 개발 기구) 소속 일부 사람들이 원자력 안전을 감독하기 위한 독립 원자력 규제 기관의

필요성을 생각하게 되었다.

1957년 윈드스케일(Windscale)에서 발생한 사고는 정부의 이러한 입장을 더욱 강화시켰으며, 영국 정부는 1959년에 허가 및 보증 고시 성격의 '독립 원자력 시설 검사' 규정을 신설하였다.

나는 현재 원자력시설검사국(NII: Nuclear Installations Inspectorate)의 대표이며, 이 기관은 신설된 보건 및 안전 집행부 소속이 되기 전인 1975년까지 완전한 독립 기관은 아니었다.

NII가 설립된 후의 지난 40년 동안 원자력산업은 많은 변화가 있었으며, 안전성 향상을 지속적으로 하기 위한 규제 정책에도 많은 변화가 있었다. 영국은 원자력 안전 연구의 확장 및 쇠퇴기를 겪으면서 폐쇄가 필요한 다수의 오래된 원자력 연구부지 처리 문제를 안고 있었다. 이러한 부지들은 허가 및 독립적인 규제 대상에서 제외되어 있었으며,

1990년에야 비로소 NII의 안전 규제를 받게 되었다.

원자력산업 또한 변화를 겪고 있다. 초창기 많은 설계 및 건설 회사가 있었으며 원자력발전소들은 2개의 대형 국영 전력 회사, 즉 잉글랜드 및 웨일즈 지역 중앙전력생산위원회와 스코틀랜드 지역 남부 스코틀랜드 전기위원회에 의해 소유·운영되고 있다. 이 두 전력 회사는 소유하고 있는 원자력발전소의 설계·건설 및 운전을 감독할 많은 과학 기술 능력을 가졌다.

현재 제1세대 Magnox 원자력발전소들은 BNFL 소유이며, 제2, 3세대의 원자력발전소들은 민영 British Energy사에 의해 운영되고 있다. BNFL과 British Energy사는 영국 국내 총전력 수요의 약 30%를 공급하고 있으며, 규제가 완화된 경쟁적인 전력 시장에 참여하고 있다.

원자력 프로그램의 기초가 되는

* 영국 왕립 원자력시설검사국장 · 최고검사관, 원자력안전위원회 이사

방대한 기술 인력 자원은 현저히 감소하고 직원들은 노후한 발전소와 함께 고령화되고 있으며, 아울러 계약사들과 원자력 발전 운영 허가를 책임지고 있는 NII 또한 마찬가지이다. 원자력산업 엔지니어와 인력을 공급해 왔던 각 대학들은 학부 과정을 중단하기에 이르렀으며, 대학원 과정 또한 급격히 감소하고 있는 실정이다.

제1세대 전력 생산용 원자로 일부는 고속증식로 및 연료 주기 시설을 포함한 다양한 연구 설비와 함께 해체중에 있다. 수 년 동안 쌓이고 있는 방사성 폐기물은 현재로서는 영구 처분을 연기하는 소극적인 방법으로 안전하게 저장 관리되어야 한다.

원자력 이용에 대한 반대 의견이 계속 증대되고 있다. 국민의 대다수가 직면하고 있는 열 가지 걱정거리에서 원자력 안전성은 포함되지 않았지만, 원자력의 확장과 심지어는 기존의 원자력 이용, 특히 사용후 연료 재처리에 반대하는 단체들이 증가하고 있다.

비교적 최근까지 영국에서는 없었던 원자력 관련 정보의 공개와 투명성에 대한 논쟁이 일어났으며, 이는 산업계와 규제 기관 양측 모두에게 당면 과제로 대두되고 있다. NII는 사전에 정책 결정 배경을 설명하고 공문서로 주요 결정 사항을 설명함으로써 이러한 변화를 수용하고 있다.

이는 영국뿐만 아니라 원자력 프로그램을 수행하는 많은 국가들이 직면하고 있는 유사한 상황이다. 우리가 20세기에 보고 겪었던 이러한 변화들은 21세기에 원자력이 해결해야 할 당면 과제를 제시하는 것이다.

향후 과제는 무엇인가?

21세기 원자력산업의 전망이 밝은지 여부는 논쟁의 여지가 있다. 내 지식으로는 원자력이 미래에도 계속 사용되고 개발되려면 안전성이 먼저 선행되어야 할 것이다. 만일 안정성을 입증할 수 없다면 원자력의 미래는 존재하지 않을 것이다.

효율적인 원자력 안전성을 수행하기 위해선 다음과 같은 주요 이슈들을 언급할 필요가 있다. 이는 4개의 영역(사회 경제·환경·인간·기술 영역)으로 그룹화될 수 있으며, 규제 측면에서 이러한 문제들을 다룰 것이다.

사회 경제적 문제

21세기에는 차세대를 위하여 기존의 원자로를 폐쇄하고 원자력 부지를 안전하게 관리함으로써 원자력산업을 쇠퇴시킬 것인가, 또는 증가하는 전력 수요를 충족시키고 이산화탄소 방출을 낮추기 위해 새로운 원자로 설계로 원자력산업을 발전시킬 것인가는 정치가들이 결정

할 문제이다. 두 가지 모두 원자력 산업계와 규제 기관의 새로운 당면 과제가 될 것이다.

현재 나의 첫 번째 해결 과제는 수립된 원자력 프로그램을 가진 국가와 개발중인 국가 모두 원자력의 안전한 이용을 보증하는 것이다. 서방 세계의 핵연료 주기 개발과 이용에 있어서 안전하고 신뢰할 수 있는 전기 공급이 제공되고 있으나 윈드스케일(Windscale)과 체르노빌(Chernobyl) 사고에서 보았듯이 방사능은 국제적인 국경선과 무관함을 알 수 있다.

현재의 국제 조약하에서 원자력 안전성은 각 국가의 책임이며 우리는 원자력 시설이 각 국가의 유사한 안전성 기준에 따라 설계·건설·운전 및 해체되고 있음을 신뢰해야 한다.

원자력 산업계와 규제 기관 모두 해결해야 할 과제는 어떻게 통일되고 전형적인 기준을 마련하느냐에 있다고 할 수 있다. 최근 수년간 많은 진척이 있었으며 머지않아 이러한 목표에 도달할 수 있으리라 믿는다.

현대인들은 지식과 경험을 공유하고 접촉할 수 있는 기회가 점점 많아지고 있다. 원자력 안전성에 관한 지식을 공유하는 것은 서로의 경쟁력에 영향을 미치지 않으며, 우리 모두에게 필연적이라는 것을 이해하려는 인식이 산업계에서 확산되고 있다.



규제 기관 측면에서는 대규모 원자력 프로그램을 가지고 있는 8개 주요 국가가 국제원자력규제협회(International Nuclear Regulators Association)를 구성하였다. 국제원자력규제협회는 원자력 안전성 개발 협의 및 규제 경험을 공유하기 위하여 매년 2회씩 회의를 개최하고 있다.

서유럽에서도 유럽연합(European Union)에 참여를 원하는 국가의 원자력 안전성에 관한 규제 기준이 조화될 수 있는 방법을 강구하고 권위 있는 자문을 제공하기 위해 이와 유사한 규제협회(WENRA)를 발족시켰으며, 다른 규제 기관들 역시 지식과 경험을 나누기 위한 별도의 그룹을 만들기 위해 모임을 진행 중에 있다.

유엔 산하 국제 원자력 기구(IAEA)가 국제 원자력 안전 기준 개발에 지대한 공헌을 하고 있다. 최초 원자력 이용을 촉진하기 위해 발족되었으며 체르노빌 사고 이후 원자력 안전성 증대를 위한 역할을 수행해 왔다.

국제적 안전 기준은 원자력발전소와 연구용 원자로를 위해 개발되어 왔으며 핵연료 제조 공장, 농축 공장, 재처리 공장, 방사성 폐기물 처리 및 저장 시설 등 원자력 시설을 위한 국제 기준을 개발할 계획이다.

국제적으로 허용된 기준의 개발 및 이용은 미래의 원자력 이용에 절

대적 조건이다. 또한 원자력 안전 협약 도입 및 사용후 연료와 방사성 폐기물 관리에 대한 안전 협약은 공동 기준 달성에 지대한 공헌을 할 것이다.

경제성은 지속적인 원자력 안전성과 더불어 해결해야 할 또 다른 과제로 대두되고 있다. 장기적으로 대체 연료 공급 가능성은 원자력 경쟁력에 영향을 미칠 것이나 단기적으로는 전력 시장의 규제 완화와 전기 요금 하락을 부추긴 가스 발전으로 인한 원자력에 대한 도전을 이미 보아 왔다.

이는 원자력 발전이 비용 절감 압력을 받고 있음을 의미하며 원자력 발전 소유권의 민영화는 또 다른 도전이다. 과거 많은 국가의 전력 회사는 대형화·독점적이고 국영 기관이었으나 여러 회사로 분할되고 민영화되고 있다.

이러한 변화는 또 다른 조직을 낳고 기술 자원 부족, 다른 운영 체제, 통합된 원자력 지식의 상실과 원자력 안전성 연구 중단 등의 결과를 낳고 있다.

환경 문제

환경 문제에 대한 인식이 증대되고 있으며, 일부 사람들은 원자력의 이용이 환경에 상당한 이익을 가져다 줄 것으로 생각하고 있으나, 이는 대다수의 공감을 얻지 못하고 있

다. 특히 방사성 폐기물을 어떻게 운영 관리할 것인가라는 문제와도 연관되고 있는 실정이며 폐기물 문제는 복잡하다. 모든 원자력 시설은 폐기물을 수반하며 그 중 일부는 정기적으로 액체 혹은 기체 상태로 환경에 방출하고 있다.

과거의 정책은 '희석 및 확산' 개념으로 통제하는 것이었으며, 이러한 방출은 일반 대중에 대한 연간 방사선량의 미미한 부분을 차지하고 공공의 건강을 해치는 수준 이하이라고 해도 희석 및 확산 방식은 특히 재처리 공장에서의 방출에 대한 우려가 증대되고 있다.

유럽에서 해양 환경 오염 관련 오슬로/파리(OSPAR) 협정은 방사성 물질 방출을 2020년까지 제로 수준으로 감소시키도록 요구하고 있다. 폐기물 방출로부터 방사성 핵종을 제거하는 기술 개발이 해결해야 할 중요한 이슈가 되고 있으며, 추출 및 농축 폐기물의 처리 및 저장 설비 개발을 요구하고 있다.

또한 희석 방출에서 농축 저장 개념으로 점진적으로 바뀔 것이다. 폐기물 농축은 방출 사고시의 잠재적 위험이 높기 때문에 고도의 기술적인 봉인이 필요하다.

사용후 연료 문제는 다가오는 21세기에는 해결해야 할 필요가 있다. 일부 국가에서는 이 사용후 연료에서 향후 재사용 가능 플루토늄과 우라늄을 폐기 핵분열 생성물로부터

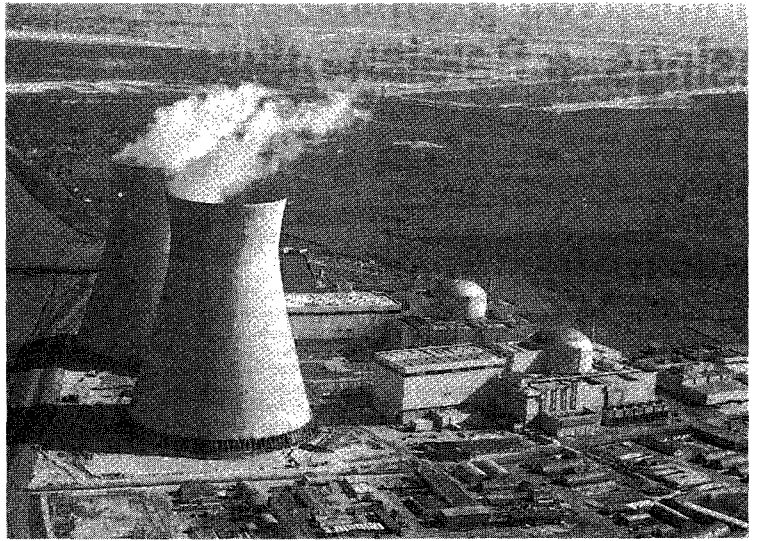
분리하기 위해 재처리를 하고 있으며, 기타 일부 국가에서는 직접 처분을 유보하고 저장하고 있다.

영국과 프랑스에서는 재처리가 수 년 동안 안전하게 수행되고 있으며, 고준위 방사성 폐기물을 안전하게 임시 저장하기 위해 유리화시키고 있고, 재처리된 우라늄과 플루토늄은 미래에 사용 여부 결정을 유보한 채 안전하게 저장될 수 있다.

플루토늄이 폐기물인가 아니면 가치 있는 미래 발전원인가를 결정해야 할 것이다. 만일 폐기물로 정의되면 당면 과제는 긴 반감기와 독성 폐기물을 안전하게 처분할 방법이 될 것이다. 이제까지 운전 후 발생한 방사성 폐기물 유산은 금세기 초 취급되어야 할 중요한 이슈로 남게 될 것이다. 그 중 일부 폐기물은 매우 위험하며 수십 년 전에 설계되고 건설된 시설에 저장되고 있다. 현재 안전하게 유지되고 있지만 좀 더 심도 있는 이해와 기술적 지식으로 취급되어야 한다.

고체 방사성 폐기물 관리는 21세기에 해결해야 할 또 다른 과제다. 영국에서는 개량 원자력/핵무기 프로그램을 가진 다수 국가와 같이 다양한 출처에 의해 누적된 많은 양의 방사성 폐기물이 있으며, 앞으로 노후 설비가 해체됨에 따라 이러한 폐기물은 더욱 증가될 것이다.

이러한 상황은 폐기물 취급 방법과 관련하여 실제 현안이 되고 있



벨기에의 Doel 원전. 전기 생산을 위한 앞으로의 원자력 에너지의 미래는 끊임 없이 증가하는 세계 인구 및 지속 가능한 개발과 더불어 전기의 필요성, 화석 연료의 가용성 및 재생 에너지의 경제성 등에 달려 있다.

다. 전체적인 차원의 처분 시설의 부재는 이 문제를 복잡하게 할뿐만 아니라 폐기물을 수동적인 안전 상태에서 분리·취급 및 저장할 필요가 대두되고 있다.

반감기에 따라 폐기물을 분리하여 이러한 문제를 어느 정도 해결할 수 있다. 단기 5년 이내의 반감기 폐기물은 약 60년 동안 안전하게 저장되어 재활용되거나 정상적으로 매장될 수 있다. 중기 반감기(약 30년) 폐기물은 약 300년 동안 유지하기 위해 우수한 엔지니어링 기술로 지표면 처분 시설에 처분될 수 있다. 소량의 장기 반감기 방사성 핵종은 심층 지하 처분이 최선책인가를 결정할 다음 세대를 위해 지금 상태로 저장될 수 있다.

잉여 동력로의 해체는 원자력 산업계 및 규제 기관에 현실적 문제를 제기한다. 이는 시기 적절성에 관한 문제이며, 일부에서는 발전소 주변 기기의 제거, 기후에 영향을 받지 않는 건물 내 원자로의 밀폐, 미래 세대가 처리할 수 있게 100년 이상

보존 등과 같은 최소한의 조치가 취해져야 한다는 주장이 있는 반면에 한편에서는 가능하면 조속히 현재의 기술로 우리의 후손들과 손자 세대의 부담을 경감하기 위해 처리되어야 한다고 주장하기도 한다.

제1세대 원자로가 수명을 다함에 따라 폐로 여부에 대한 결정이 조속히 이루어져야 하지만, 이는 방사성 폐기물 처분 및 경제성과도 밀접한 관계가 있다. 또한 폐로에는 유지 보수 비용이 소요되므로 이에 대한 대책을 수립하는 것이 중요하다.

인력 문제

과거 수십 년간 원자력산업은 새롭고 흥미롭고 현대적이며 기술적으로 도전할 만한 분야였으며, 60년대 기술 분야의 핵심으로서 우수 인력 채용이 문제가 될 수 없었다. 그러나 시대는 변했고, 원자력은 더 이상 매력적인 분야가 아니다.

환경 운동가들은 원자력을 반사회적으로 묘사했으며, 젊은 세대들



은 원자력과 조금이라도 관련이 있는 직업은 생각조차 꺼리게 되었다.

이것이야말로 우리가 풀어야 할 숙제인 것이다. 원자력 산업계는 하룻밤 사이에 사라지는 것이 아니다. 즉 향후 원자력발전소를 건설하지 않더라도 원자력은 수십 년간 우리와 운명을 함께 할 것이다.

기존 원자력발전소는 운전 및 정비가 필요하고, 노후 발전소의 해체 조치는 물론, 발전소 부지에는 안전 조치가 마련되어야 하며 이는 수십 년이 걸릴 것이다.

방사성 폐기물은 안전하게 저장되거나 처리되어야 할 것이며 여기에 수반되는 행위는 공중의 안전을 위해 효과적으로 관리되어야 되겠다. 앞에서 원자력의 군사적 이용에 대하여는 언급하지는 않았지만, 핵무기이건 핵잠수함이건 똑같이 적용된다는 것은 말할 나위가 없다.

그렇다면 원자력발전소의 이런 일련의 지속적 안전 운전과 운영은 어디서 시작되는가하는 의문이 제기될 수 있다. 영국에서는 규제 기관이 진행중이거나 완료된 연구에 새 활력을 불어일으킬 목적으로 신기술과 이에 필요한 훈련 항목을 구체화하기 위해 학계와 산업계가 협력하고 있다.

새로운 인력 확보와 훈련의 필요성과 더불어 현재의 기술 유지도 필요하다. 지금껏 보아온 대로 사업 축소와 구조 조정이 제대로 되지 않

을 경우, 지식 있고 경험 있는 인력을 잃게 될 것이다. 미래의 원자력 안전을 확고히 하기 위해선 지식 경영을 수용하고 지식경영이 원자력 안전에 얼마나 중요한가를 반드시 인지하여야 할 것이다.

원자력 관련 종사자는 안전 문화의 중요성을 절대 간과하여서는 안 될 것이다. 원자력의 향후 과제는 현재의 안정 추이를 유지하는 것뿐만 아니라 원자력 관련 종사자들이 공공의 안전을 위해 각자의 업무에 최선을 다하는 분위기 조성이라 하겠다.

기술적 문제

원자력 산업계는 미래의 설계 요건을 충족시킬 수 있는 새로운 원자로 설계를 개발중에 있다. 안전 여유도가 증가된 개량형 경수로와 개발 도상 국가에 적합한 소규모의 고온 가스 냉각 Pebble Bed 원자로가 개발중에 있으며, 고속중식로는 현재로서는 경제적 요구 조건을 만족시키지 못하고 있다.

규제 관점에서 본다면, 원자력 산업계의 운명을 바꾸는 전망 자체가 문제점을 가지고 있다. 지난 15년간 NII는 원자력발전소 설계를 평가한 적이 없으며, 많은 인력들이 원자력 분야에서 이적하거나 은퇴하였다.

그러므로 지속적으로 새로운 기

술 개발을 피할 수 있는 능력을 유지하는 것이 중요하다. 이를 위해선 기술 개발, 효율적인 지식 경영의 이용은 물론 인력 채용과 규제 기관의 전문가 보유가 요구된다.

원자력 발전에 미래가 있다면 경제성 또한 국제 기준에 부합되는 설계 개념으로부터 생길 것이다. 즉 규제 기관은 IAEA의 국제 기준이나 다국간 협력을 통한 신개념 발전소 개발을 촉구하게 될 것이다.

결 어

전기 생산을 위한 앞으로의 원자력 에너지의 미래는 끊임없이 증가하는 세계 인구 및 지속 가능한 개발과 더불어 전기의 필요성, 화석 연료의 가용성 및 재생 에너지의 경제성 등에 달려 있다. 만약 원자력이 안전하게 운영된다면 21세기에 원자력이 직면하게 될 몇 가지 중요한 과제에 대하여 설명하였다.

지난 50년간의 원자력 개발에 있어서 원자력은 안전 문화, 적절한 기술 기준 및 엄격한 규제 인프라 구축으로 원자력 에너지는 안전하게 관리되어 왔다. 원자력이 미래에 당면한 과제를 성공적으로 해결하기 위해서는 원자력 안전 대책을 훌륭하게 수행하고 널리 전파할 수 있는 국제 협력을 통해서 가능하다고 확신한다. ☞