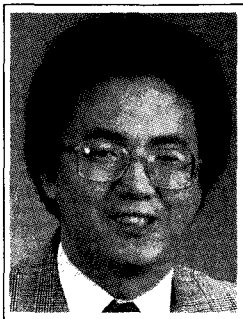


# 원자력 안전성을 위한 국제적 노력

장 순 흥

한국과학기술원 원자력공학과 교수



비해 활발했던 것이 사실이지만, 기본적으로는 개별 국가 고유의 책임이라는 원칙을 바탕으로 진행되어 왔다. 지금도 이러한 원칙에는 변함이 없으나, TMI 및 체르노빌 사고를 통해 원자력 안전은 개별 국가 차원만의 문제가 아니라 범세계적인 문제임이 확실히 확인되었고, 이에 따라 원자력 안전 문제의 국제화와 국제 협력이 보다 본격적으로 이루어지고 있는 것이다.

이 글에서는 주요 국제 기구의 원자력 안전성 관련 활동을 우선 살펴보고, 원자력 안전성 향상을 위해 전 세계적으로 이루어지고 있는 규제 동향 및 연구 개발 동향을 살펴보고자 한다.

## 국제 협력 체계

### 가. 국제원자력기구

국제원자력기구(IAEA)는 원자력의 평화적 이용 촉진을 통해 전세계의 평화·보건 및 번영을 증진시키고, 아울러 평화적인 원자력 활동이 군사적으로 전용되는 것을 방지하기 위한 목적으로 57년 UN 산하 전문기관으로 발족되었다.

97년 6월 말 현재 125개국이 회원으로 가입되어 있는 IAEA는 원자력의 평화적 이용 분야의 과학 기술 협력에 있어서 가장 중심적인 국가간 협력 기구라고 할 수 있다.

IAEA의 의결 기구는 이사회와 총회이며, 실무를 집행하는 사무 조직은 사무총장의 지휘를 받는 2,200 여

## 원

자력은 핵분열 과정에서 다량의 방사성 물질을 생성하는 특성이 있기 때문에, 원자로 개발 초기부터 안전성 확보 문제가 매우 중요한 과제로 인식되어 왔다. 따라서 원자로 공급자와 전력회사 등 관련 사업자들이 광범위한 안전성 확보 노력을 기울임과 동시에, 국가 기관에서도 국민의 생명과 재산 및 국토 환경을 원자력 재해로부터 보호하기 위한 안전 규제를 시행하고 있다.

원자력 안전 확보 활동에 있어서는 처음부터 국제적인 협력이 타분야에

원자력 안전성을 위한 국제적 노력은 국제원자력기구(IAEA)나 OECD 원자력기구(NEA)와 같은 범세계적인 기구나 지역적 협력 기구 등을 통해 이루어지기도 하고, 양국간 협력을 통해 이루어지기도 한다.

협력 내용으로는 국제적으로 통용되는 안전성 목표, 원칙과 확보 방법의 확립, 중대 사고 등 주요 안전 현안에 대한 공동 연구, 신형 원자로 개발 관련 정보 교류 및 공동 연구, 안전 목표에 미달되는 원전에 대한 안전성 향상 조치를 위한 국제적 지원 등 매우 다양하게 나타나고 있다.

명의 직원으로 구성되어 있다.

IAEA는 원자력의 평화적 이용 촉진과 관련하여, 연구 개발 및 이용에 관한 지원 사업, 원자력 과학 기술 정보 교류 촉진, 안전 기준 작성 및 관련 기술 개발 지원 사업 등을 광범위하게 수행해왔으며, 원자력 발전 도입 초기에 관련된 제도적·기술적 기반이 부족했던 우리 나라는 그 동안 큰 도움을 받아 왔다.

구체적인 안전성 관련 프로그램들의 예로서, 원전의 안전 관련 사항들을 조사·평가·진단하고 조치 사항을 회원국들에게 권고하는 OSART(Operational Safety Review Team) 및 ASSET (Assessment of Safety Significant Event Teams) 서비스, 후발 원자력 이용국의 규제 체계 정립을 지원하는 IRRT(International Regulatory Review Team) 서비스 등을 들 수 있다.

국제원자력기구는 다른 국제 기구들과 공동으로 동구권 원전의 안전성 문제 평가 및 해결을 위한 프로그램을 광범위하게 진행한 바 있다.

또한 다양한 주제의 공동 연구 프로그램을 주관하고 있기도 하다.

원자력 안전성 향상을 위한 국제 협력의 중요성이 더욱 증대됨에 따라 IAEA는 96년 초에 원자력안전부를 독립하여 신설하였다.

그리고 국제원자력안전자문단(INSAG : International Nuclear Safety Advisory Group)과 안전기

준자문위원회(ACSS : Advisory Commission of Safety Standards)를 축으로 한 자문위원회들이 구성되어 활동하고 있는데, INSAG은 중요한 안전 목표·원칙·확보 방법 등의 체계화와 주요 안전 현안에 대한 심층 검토에 중요한 역할을 수행하고 있으며, ACSS는 국제적으로 통용될 수 있는 체계적인 안전 기준 문서들의 확립을 위해 활동하고 있다.

국제원자력기구에서는 또한 여러 국제 협약 및 조약을 주관하여 왔다. 이 중에서 원자력안전협약과 방사성 폐기물관리안전협약은 뒤에 다시 설명한다.

## 2. OECD 원자력기구(NEA)

경제협력기구(OECD) 산하의 원자력기구(NEA, Nuclear Energy Agency)는 선진국 중심 기구로서 27개국이 가입되어 있으며, 어떤 면에서는 IAEA보다 더 실제적이고 심도 있는 활동이 이루어지고 있다.

NEA는 IAEA에 비해 매우 작은 규모의 사무국(직인 수: 약 80명)을 두는 대신, 제반 업무는 각종 위원회를 중심으로 이루어지고 있다.

NEA의 최고 정책 기구는 OECD 원자력운영위원회이며, 그 산하에 7개의 기술상설위원회가 있으며, 각 기술상설위원회 산하에는 여러 개의 Working Group과 Task Group을 두어 전문적인 주제에 대해 심층적인 협의를 해나가고 있다.

원자력 안전과 직접적으로 관련되는 기술상설위원회에는 원자력안전위원회(Committee on the Safety of Nuclear Installations : CSNI), 원자력규제위원회(Committee on Nuclear Regulatory Activities : CNRA), 방사선방호 및 공중보건위원회(Committee on Radiation Protection and Public Health : CRPPH) 등이 있다.

NEA는 주요 안전성 현안과 관련한 여러 공동 연구 프로젝트들을 주관하고 있는데, 각 프로젝트는 참여하는 국가들이 공동으로 연구비 분담을 하되, 어느 한 국가가 책임을 맡아 관련 연구 시설을 제공하고 예산의 많은 부분을 부담하여 수행한다.

주요 OECD 공동연구 프로젝트로서는 경수로 내 핵연료 거동과 인간-기계 연계(MMI) 등 두 분야의 연구를 수행하는 OECD Halden Reactor Project, 노심 용융물 거동과 경수로형 원자로 하부 헤드 건전성 확인·실증 실험을 수행하는 RASPLAV 등이 있다.

한편 주요 안전성 현안에 대해 OECD에서 발행하는 여러 문서들은 최신 정보들을 잘 담고 있어서, 회원국들에 큰 도움이 되고 있다.

## 3. 기타 협력 기구

28년에 설립된 이래 방사선 방호와 관련된 기준들을 개발하여 권고해 오고 있는 국제방사선방호위원회

(International Commission on Radiological Protection : ICRP)도 중요한 국제 기구이다.

ICRP의 권고가 각국에 강제적인 효력을 갖는 것은 아니지만, 방사선 장애와 관련한 최신의 이해를 근거로 하여 개발되어 왔고, 또한 대부분의 국가에서 이를 수용하여 왔다.

국제방사선방호위원회에서는 최근 ICRP Publication 60으로 발표된 90년 권고안(1990 Recommendations of the ICRP)을 내놓았는데, 이는 종전에 사용되던 77년 권고안에 비해 선량 한도를 더욱 낮춘 것이어서 많은 국가들이 이를 수용하기 위해 노력하고 있다.

원자력 안전 협력은 또한 양국간 또는 다국간 협력에 의해서도 활발하게 추진되고 있다. 과거에는 원자력 발전 설비 공급국과 이를 수입한 국가들간의 기술 지원 차원의 협력이 많았으나, 최근에 이르러서는 많은 국가들이 동시에 참여하여 공통의 현안을 해결하고자 하는 노력들이 활발하게 이루어지고 있다.

신형 원자로 개발, 중대 사고 연구, 안전 해석 코드 개발, 주요 안전 현안 연구 등에서 국제 협력이 활발하게 진행되고 있다.

우리 나라의 경우 96년말 현재 13개국과 원자력협력협정을 체결하였으며, 이 가운데 미국·캐나다·호주·프랑스·일본·러시아·영국 등 7개국과는 정부 차원에서 정례적으

로 원자력협력회의를 갖고 있다.

또한 여러 개의 국제 공동 연구 프로그램에 참여하고 있다.

한편 원자력 이용이 활발하게 추진되고 있는 아시아 지역 내 국가간의 원자력 안전 협력의 중요성이 인식되어 96년 11월 「아시아 원자력안전회의」가 일본 동경에서 개최되었으며, 금년에는 서울에서 개최될 예정이다.

한편 한반도에너지개발기구(KEDO)에서는 북한에 제공될 원자력발전소의 안전성 평가를 주관하게 되는데, 이를 통해 한국 표준형 경수로의 국제적 평가가 이루어지게 될 것이므로 이에 대한 대비가 필요하다. 그리고 원전 사업자들의 모임인 세계 원전사업자협회(World Association of Nuclear Operators : WANO), 미국원자력발전협회(Institute of Nuclear Power Operations : INFO) 등 여러 민간 기구들도 원자력 안전 정보 교류 및 협력의 창구가 되고 있다.

**원자력안전협약 및 방사성 폐기물관리 안전협약**

국제원자력안전협약(Convention on Nuclear Safety)은 운전 중인 상업용 원자력발전소 및 동일 부지 내의 폐기물 관련 시설에 적용되며, 체약국들이 준수해야 할 국제적인 기준을 확립함으로써 높은 수준의 안전성을 유지할 수 있도록 하기 위한 것이다.

이 협약은 91년 제 35차 IAEA 정

기 총회에서 그 필요성이 결의안으로 채택된 후, 수 차례의 전문가 회의를 거쳐 94년 6월 외교 회의에서 문안이 확정되었으며, 같은 해 9월 제 38차 IAEA 정기총회에서 회원국이 서명하도록 개방이 되었다.

96년 10월 24일 발효된 이 협약에는 97년 7월 현재 65개국이 서명하였고, 이 중에서 39개국이 비준 절차를 마쳤다. 협약에서는 부지 선정, 설계, 건설, 운전, 적절한 재원 및 인력의 확보, 안전성 평가 및 검증, 품질보증, 비상 계획 등을 포함하여 체약국들이 지켜야 할 의무 사항들을 정하고 있다.

체약국들은 3년 이내의 주기로 개최되는 체약국 회의에 의무 사항들에 대한 이행 보고서를 제출하여 검토(Peer Review)를 받아야 한다.

각 체약국은 본 협약의 이행에 필요한 법적·규정적·행정적 조치들을 취해야 한다.

운전 중인 시설의 경우 가능한 한 빠른 기일 안에 안전성을 검토하여 필요할 경우 안전성 증진 조치를 취하고, 요구되는 안전성 증진 조치가 불가능할 경우에는 현실적으로 가능한 최단 시일 내에 가동을 중지할 것을 요구하고 있다.

법률 및 규제 체계 측면에서는 국가적 안전 요건 및 규정을 정하고, 원자력 시설에 대한 인허가 체계와 가동 중인 시설이 정해진 규정 등을 준수하고 있는지를 점검 평가하는 체계

를 갖추고, 필요시 인허가 효력 중지, 변경 또는 취소를 할 수 있어야 한다고 정하고 있다.

이 협약은 또한 체약국간의 원자력 안전 기술 이전을 강조하고 있다.

이 협약을 제대로 이행하기 위해서는 적어도 3년 이내의 주기로 운전 중인 원전의 안전성에 대한 재평가가 이루어져서 보고되어야 한다.

원전 운영 허가 후 별도의 안전성 재평가 제도를 시행하고 있지 않는 국가들로서는 이에 대비한 새로운 안전성 재평가 제도의 확립이 요구되는데, 그 구체적 내용은 아직 확실하지 않다.

방사성 폐기물 관리 안전협약(Convention on the Safety of Radioactive Waste Management)은 방사성 폐기물의 안전한 관리와 처분이 세계 원자력 사업 추진에 중요한 요소라고 판단됨에 따라 93년부터 추진되어, 94년 제 38차 IAEA 총회에서 동 협약의 준비를 촉구하는 결의안이 채택되었고, 95년 2월 준비 회의 이후 수 차례의 전문가 회의 끝에 협약안이 마련되었다.

97년 가을 외교 회의가 예정되어 있으며, 향후 1~2년 내에 발효될 것으로 예상된다.

## 원자력 안전 규제 및 연구의 국제 동향

### 1. 안전 규제의 국제 동향

각국의 원자력발전소 안전 규제는

안전성 현안에 대한 기술적 이해의 진전과 원자력 시설에서 발생하는 각종 사건과 사고, 그리고 원자력에 대한 국민적 인식의 변화에 따라 점차적으로 변경, 발전되어 가고 있다.

특히 안전 문제의 국제화와 국가간 규제의 균일화 추세가 최근 들어 두드러지게 나타나고 있는데, 주요 안전 현안 및 규제 문제에 대한 국제 공동 연구가 활발하게 진행되고, 규제 제도 및 원칙 등에서도 국가간의 차이가 점차적으로 줄어들고 있다.

기술적인 관점에서 최근의 원전 안전 규제는 다음과 같은 측면에서 변화가 중점적으로 일어나고 있다.

#### 가. 발전소 노후화와 안전성 재평가 및 인허가 갱신

현재 운전 중인 가장 오래된 원전은 54년 운전을 개시한 소련의 5 MWe급 Obninsk APS(흑연감속, 비등 경수 냉각, 튜브형 원자로)로서, 금년으로 42년의 운전 경력을 갖고 있으며, 이 밖에도 20년 이상 운전된 원전들의 수가 매우 많다.

따라서 발전소 노후화 문제, 인허가 기준의 상이(운전허가 당시와 현재간), 새로운 안전 현안의 등장 등에 따른 안전성 재평가 문제와 인허가 기간이 만료되는 원전에 대한 인허가 갱신(수명 연장) 문제가 중요하게 다루어지고 있다.

#### 나. 원자력발전소 운전과 인간-기계 연계

지금까지 발생한 원자력 발전소 사

건/사고의 많은 부분이 운전원에 대한 정보 전달 체계의 부적합 또는 운전원 의사 결정 지원 체계의 미흡에 의해 크게 악화된 것으로 평가되고 있다. 따라서 인간-기계 연계(MMI, Man-Machine Interface)의 최적화에 대한 규제 측면의 관심이 높아지고 있고, 동시에 운전 및 유지 보수에 적합성도 중요하게 취급된다.

#### 다. 성능 및 위험도 기반 규제

위험도 기반 규제 또는 성능 기반 규제는 두 가지 측면에서 이루어지고 있다.

첫째는 규제 과정에서의 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment : PSA)의 사용 확대로서, 대부분의 국가에서 신규 원전 인허가시 결정론적 안전 해석과 병행하여 Level-1 PSA는 수행하도록 요구하고 있으며, Level-2 PSA까지 요구하는 경향이 현저하다.

이는 가동중인 원전에 대해서도 적용되어 개별 원전 평가(Individual Plant Examination : IPE)가 광범위하게 이루어지고 있다.

둘째는 보다 현실적인 안전 해석, 즉 설계 기준 사고에 대한 최적 계산 방법의 사용으로 설계 여유도를 보다 현실적으로 평가하는 것으로서, PSA의 사용과 함께 운전 제한값의 완화 및 기술지침서의 최적화를 꾀하고 있다.

#### 라. 중대 사고 예방 및 완화

발전소 운전 및 설계에 있어서의 중대 사고 고려의 증대는 최근의 확



OECD/NEA의 방사선 방호 관련 연구 활동 모습. 최근 주요 안전 현안 및 규제 문제에 대한 국제 공동 연구가 활발하게 진행되고, 규제 제도 및 원칙 등에서도 국가간의 차이가 점차적으로 줄어들고 있다.

실한 경향이다.

중대 사고와 관련된 여러 가지 현안들을 해결하기 위한 연구들이 규제 기관 주도로 세계적으로 이루어지고 있고, 그 결과에 따라 규제 지침들이 마련되어가고 있다. 여기서는 중대 사고 예방 및 완화를 위한 설계 개선 뿐만 아니라 중대 사고 관리 문제도 중요하게 고려되고 있다.

## 2. 안전 연구의 국제 동향

다양한 주제의 안전 현안을 해결하기 위한 연구들이 국제 공동 연구 또는 국가간 협력 하에서 이루어지고 있다. 특히 국가간 중복 투자와 개개 국가의 과도한 부담을 최소화하면서 중요한 안전 연구를 지속시키기 위해서는 대형 필수 연구 시설의 공동 운영이 바람직하며, 세계 각국은 이러

한 방향으로 나아가고 있다.

현재 중점적으로 연구되고 있는 분야는 다음과 같다.

### 가. 재료 및 부품의 노후화 영향

노후화의 영향을 보다 잘 이해할 경우 안전 여유도 평가에 큰 도움이 되며, 모든 성능 저하를 직접적으로 측정할 수만 있다면 신뢰도를 크게 향상시킬 수 있다.

가장 중요한 것은 압력 경계를 형성하는 핵심 기기의 강도와 건전성을 전 운전 기간에 걸쳐 감시하는 것으로서, 비파괴 검사 방법의 개선을 위한 연구 개발이 진행되고 있다.

이 밖에도 제어 및 안전 계통에 사용된 케이블 등 다른 기기 및 부품들의 성능 감시를 위한 혁신적인 기술들의 개발도 추진되고 있다.

### 나. 인간 요소

원자로 안전과 연관되는 다양한 범위의 활동에 있어서 인간의 성능에 대해 보다 잘 이해해야 한다는 점은 매우 중요하다. 인간과 기계의 상호작용을 보다 잘 이해하여 주제어실 등의 설계에 반영해야 하고, 사고 진단이나 관리를 지원하는 시스템 개발이 계속 추진중이다.

### 다. 컴퓨터를 이용한 제어 및 안전 계통

기존의 아날로그 시스템 대신 디지털 컴퓨터를 제어 및 안전 계통에 확대 이용하는 것은 거스를 수 없을 뿐만 아니라 바람직한 추세이다.

이는 사용된 소프트웨어의 검증·완전성·신뢰성이라는 새로운 문제를 제기하는데, 이를 위한 기준 마련이 중요하다.

### 라. 원자로 운전 경험 및 사건·사고의 평가

전세계적으로 축적된 원자로 운전 경험이 막대하고, 이를 수집·평가·분석할 수 있는 데이터 취급 기술도 급속하게 발달하고 있다.

현재의 원자로 운전 정보 시스템들은 활용의 효율성 측면에서 상당한 문제점을 노출하고 있으므로, 이를 종합적으로 재검토하여 개선하려는 노력이 추구하고 있다.

### 마. 열수력 실험 자료 및 코드 개발

지난 10여년간 복잡한 원자로 시스템에서의 2상 유동을 모의하는 대형 전산 코드들이 개발되어 원자로 안전 연구에 큰 기여를 해왔다.

최근 이러한 코드들은 개발 당시 깊이가 고려되지 않았던 새로운 운전 조건(과동형 경수로, 저출력 과도 현상, 중대 사고시의 자연 순환)에 대해서도 확대 이용되는 경향이 있으므로, 적절한 실험 데이터를 사용한 검증과 개선이 추가로 이루어지고 있다.

이와 관련하여 신형 핵연료 또는 신형 원자로 운전 조건에 대한 임계 열유속 등 열수력 현상에 대한 연구가 필요하게 되었으며, 운전원 훈련을 위한 실시간 시뮬레이터용으로서의 새로운 코드의 개발 등이 진행되고 있다.

#### 바. 확률론적 안전성 평가

PSA 방법의 확대 이용은 여러 측면에서 매우 바람직하지만, 그 유용성을 증대시키기 위해서는 개선해야 될 점들이 많이 있다.

이와 관련하여 잘 조직된 훈련 체계의 확립과 계산 결과의 상호 비교 작업이 필요한 것으로 판단된다.

신뢰할만한 데이터 베이스의 구축, Living PSA, 한편 전출력 운전이 아닌 발전소 상태(정지 상태, 핵연료 교환 시기 및 기동시 등)에 대한 PSA 등이 최근의 중점 과제이다.

#### 사. 중대 사고

보다 실제적인 안전성 평가를 가능하게 하고, 적합한 사고 관리 절차 확립에 도움을 주고, 또한 원자로 설계 개선에 반영하기 위한 중대 사고 연구가 활발한 국제 협력 하에 진행되고 있다.

중대 사고 연구는 고압 원자로 용기 파손 가능성은 배제시키고, 저압 파손에 대비해서는 격납 용기 건전성을 유지할 수 있도록 하는 데 초점을 맞추어 진행되고 있다.

여러 현상에 대한 대규모 실험들과 해석 코드의 개발, 그리고 사고 관리에의 적용 등이 주요 과제이다.

#### 아. 신형 원자로 개발

중력에 의한 비상 노심 냉각수 주입이나 자연 순환에 의한 붕괴열 제거 등 새로운 안전 개념을 채택하는 신형 경수로들이 국제 협력 하에서 개발되고 있다.

신형 원자로에서 추구하고 있는 피동 계통들은 교류 전원을 필요로 하는 능동적 기기를 사용하지 않으므로 계통의 신뢰도를 크게 높이고, 또한 운전원 실수 가능성도 크게 줄일 수 있어서 미래형 원전의 바람직한 설계 특성으로 생각되고 있다.

반면에 이들은 대규모로 이용되어 본 실제 경험이 없는 경우가 많고, 기존 안전 해석 코드의 적용 타당성이 충분히 입증되어 있지 않으며, 단일 계통에 대한 의존도가 보다 높아지고, 계통 간의 상호 작용이 보다 중요해지는 등의 특징도 지니고 있다.

따라서 과동형 또는 고유 안전형 경수로 개발 과정에서는 새로운 안전 연구 과제들이 제기되는데, 기존 경수로에 사용되지 않았거나 적용 범위가 크게 다른 새로운 계통의 거동에 대한 이해 및 입증, 그리고 이를 모의

예측하기 위한 컴퓨터 코드의 개발 등이 필요하다.

### 맺는말

지금까지 원자력 안전성 확보를 위한 국제 협력 체계와 안전 규제 및 안전 연구의 국제 동향을 살펴보았다.

현재는 주요 안전 문제에 대한 국제적인 컨센서스가 모아지고, 인력이나 재원의 부족 등으로 한 국가에서 모든 안전 문제를 독립적으로 연구하고 해결하기 어려워짐에 따라 국제적인 공동 노력이 그 어느 때보다도 활발하게 이루어지고 있다.

그런데 원자력 안전 기술은 국제적으로 공유해야 할 가치이면서도 상업적인 원전 설계 기술의 핵심적인 기반을 제공하므로 국가간 첨예한 이해 관계가 얽히기도 한다.

따라서 우리 나라도 국제 협력에 능동적으로 참여하여 국내의 부족한 기술력 및 재원 문제를 보완하면서, 중요 기술에 대해서는 국내 주도 개발을 수행해야만 국내 원자력 안전 기술 및 규제 체계가 국제적 수준에 도달할 수 있다.

앞으로 원자력 안전성과 관련한 기술 협력 및 기술 전수에 보다 주도적인 역할을 함으로써 원자력의 평화적 이용에 있어서의 모범적인 선진 국가의 위상을 확고히 하고, 이를 바탕으로 원자력 산업의 본격적인 수출도 꾀할 수 있을 것으로 생각한다. ☞