

## 원자력 안전·환경 연구개발 추진 현황 및 전망

양준언

한국원자력연구원 원자력안전·환경연구소장



· 한양대 원자력공학 학사  
· KAIST 원자력공학 석사, 박사

· 한국원자력연구원 입소('90)  
· 종합안전평가부장 역임

· 한국원자력연구원 원자력안전·  
환경연구소장  
· IAPSAM 의장  
· OECD/NEA CSNI 위원

원전만이 아니라 비행기, 자동차나 화학공장 등 여러 공학 설비는 사회에 편리함과 이익을 제공하지만, 또한 다양한 사건, 사고도 유발한다. 따라서 사회는 이런 설비들이 사회에 도입될 때 이들 설비에 대해 사회가 수용 가능할 정도의 안전 수준을 확보하기를 요구한다.

이때 우리는 “과연 어떤 설비가 어느 수준까지 안전성을 확보할 때 사회가 그 시설을 안전하다고 받아들이는가(How safe is safe enough)?”라는 질문에 대한 답이 필요하다.

### 국내 원전의 안전 수준

원자력산업은 이와 같은 질문에 대해 가장 깊이 고민을 해온 산업 분야이다. 이 질문에 대하여 미국 원자력규제위원회가 제시한 답이 0.1% 규칙이라고 불리는 안전 목표(Safety Goal) 개념이다.

0.1% 규칙은 하나의 원전을 사회에 새로 도입할 때 이로 인해 그 사회에 추가되는 위험도(Risk)가 다른 산업 설비에 의한 모든 위험도의 1,000분의 1 이하가 되도록 원전의 안전 수준을 확보할 것을 요구한다.

이는 원전에 대하여 타산업 대비 훨씬 높은 안전 수준을 요구하는 것으로 2016년도에 개정된 우리나라의 원자력안전법에도 동일한 안전 목표가 도입되어 있다. 또한 개정된 국내 원자력안전법에서는 원전으로부터 Cs-137의 방출량이 100TBq을 넘는 사고의 빈도가 1,000,000만년에 1회 이하일 것을 요구하고 있다.

타산업 대비 위험도를 0.1% 이하로 원전의 안전 수준을 유지한다는 것

은 기술의 발전에 따라 사회의 전체적인 안전 수준이 지속적으로 향상된다는 점을 고려할 때, 원전의 안전성도 이에 상응하여 지속적으로 향상되어야 한다는 것을 의미한다.

Cs-137 방출량 100TBq과 관련된 안전 목표는 핀란드, 일본 등에서 후쿠시마 원전 사고 이후 원전 사고로부터 환경을 보호하기 위해 도입된 안전 목표로, 100TBq은 원래는 스웨덴의 600MWe 규모의 원전 노심에 있는 Cs-137 총량의 1%에 해당되는 양을 기준으로 설정된 값이다.

그러나 국내 대부분 원전의 용량은 600MWe보다 훨씬 큰 상황이다. 따라서 2016년도에 국내에 도입된 0.1% 규칙과 Cs-137 관련 안전 목표는 국내 원전에 대하여 타산업, 타국가 대비 훨씬 높은 수준의 안전성을 요구하고 있다고 볼 수 있다.

그럼에도 불구하고 국내 원전의 안전 수준에 대해서는 아직도 사회적 논란이 있는 것이 현실이다. 원전과 같은 설비에 대한 일반인들의 불안감은 공학적인 측면보다는 주로 해당 설비에서 발생할 수 있는 사고의 크기, 관련 사고에 대한 지식 수준, 사고가 발생하였을 때 이에 대응하는 조직에 대한 신뢰 정도, 그리고 언론의 보도 등 여러 요인에 의해서 영향을 받는다.

이와 같은 측면에서 볼 때 지난 몇 년간에 걸쳐 발생한 후쿠시마 원전 사고, 원전 부품 비리 사건, 고리 정전 은폐 사건과 경주, 포항 지진, 그리고 이와 관련된 여러 언론 보도 등을 통해 국민이 국내 원전의 안전성에 대한 불안감을 갖게 된 것은 일정 부분 불가피한 결과라고도 볼 수 있다.

### 원자력 안전 · 환경 연구 방향

앞으로도 장기간 원전의 가동이 불가피한 우리나라



원자력 안전 · 환경 관련 연구는 기술적 측면과 사회적 측면 모두에 대한 고려가 필요하다. 이런 측면에서 앞으로의 원자력 안전 · 환경 연구는 '방사성 물질 누출 사고의 실질적 배제수준의 안전성을 구현하는 노력을 통하여 국민의 원자력에 대한 불안감을 해소하고, 나아가 원전의 안전 수준에 대한 이해를 높이는 데 도움이 되는 방향으로 진행할 필요가 있다.

의 상황에서 원자력에 대한 신뢰를 회복하고, 국민의 원전에 대한 불안감을 불식시키는 것은 원자력계만의 문제가 아니라 국민 안심과 관련하여 사회적으로도 매우 중요한 문제이다.

따라서 가동 원전과 관련된 앞으로의 원자력 안전 · 환경 연구는 이와 같은 측면도 고려하여 수행이 되어야만 할 것으로 생각된다. 비록 국내에서 그 동안의 원자력 안전 · 환경 연구를 통하여 몇몇 분야에서는 세계적인 수준의 좋은 성과를 거두어 왔지만, 현 시점에서 향후 원자력 안전 · 환경 연구개발 방향을 새로 설정함에 있어서는 국민이 쉽게 이해할 수 있는 안전 목표의 제시와 그를 달성하기 위한 연구가 무엇인가가 필수적으로 고려되어야만 할 것으로 생각이 된다.

#### 1. '방사성 물질 누출 사고의 실질적 배제'

필자의 생각으로는 먼저, 가동원전 관련 안전 연구의 최종 목표를 국제원자력기구(IAEA)가 비엔나 선언

을 통하여 신규 원전에 대해 요구하고 있는 ‘방사성 물질 누출 사고의 실질적 배제’와 같이 국민이 쉽게 이해하고 안심할 수 있는 수준과 방향으로 설정할 필요가 있다.

‘방사성 물질 누출 사고의 실질적 배제’란 원자로에서 핵연료가 녹는 사고가 발생하여도 원전 외부로는 방사성 물질이 누출되지 않도록 하라는 것으로, 이 경우 원전 사고가 발생하여도 공학적으로는 주변 주민이 다른 곳으로 대피할 필요가 없는 정도의 안전 수준을 의미한다.

이를 위하여서는 기존에 수행되고 있는 사고 예방 능력과 중대사고 완화 능력의 강화, 원전 안전성의 종합적 평가와 같은 기존 연구는 더욱 강화되어야만 할 것이다.

그러나 특히 지진과 같이 국민의 우려가 큰 분야와 관련하여서는 실증 실험을 확대할 필요가 있다. 예를 들어 대규모 지진에 대한 원전 설비의 건전성을 직접 확인할 수 있는 실증 실험이 추가적으로 필요하다. 이런 실증 실험은 기술적인 측면의 발전만이 아니라 지진 안전성 등에 대한 국민들의 우려를 불식하는 데 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

## 2. 방사선 방호·방재 기술의 고도화

다음은 방사선 방호·방재 기술의 고도화이다. 비록 ‘방사성 물질 누출 사고의 실질적 배제’를 안전 목표로 설정하였다 하여도 이 목표를 달성할 때까지 발생할 수 있는 최악의 상황에서 국민과 환경을 보호할 수 있는 방안에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.

특히 원전 주변의 인구 밀도가 높은 우리나라 상황에 가장 적합한 효율적이고, 효과적인 방호·방재 기술의 확보가 필요하다.

## 3. 최신 기술을 활용한 첨단 안전·환경 기술의 개발

아울러 최신 기술을 활용한 첨단 안전·환경 기술의 개발도 중요하다. 인공지능, 3D 프린터와 로봇 등 다양한 첨단 기술은 이미 여러 연구를 통하여 기존 원자력 안전 기술의 수준을 한 단계 높일 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

또한 실증 실험의 확대가 필요하다고 하여도 모든 사안에 대해 실험을 할 수 없는 현실에서 고성능 컴퓨터를 이용하여 복잡한 대규모 실험을 대체하고자 하는 미국의 CASL(Consortium for Advanced Simulation of LWRs) 프로그램과 유사한 가상원자로(Virtual Reactor)의 개발도 앞으로 매우 유용할 것이다.

## 4. 가상 원전(Virtual NPP) 연구

마지막으로 원전의 안전과 관련하여 국민은 물론 원자력 분야에 종사하는 사람도 궁극적으로 가장 알고 싶은 것은 무엇인가를 생각해 본다면, 개인적으로는 “원전에서 어떤 고장, 사건이 발생하였을 때 그 고장, 사건이 원전의 안전성과 주변 주민에 미치는 영향이 무엇인가를 그 일이 발생한 즉시 아는 것”일 것으로 생각된다.

이와 관련하여 장기적으로는 가상 원자로를 특정 고장, 사건이 발생 시 실시간으로 핵연료 온도, 원자로 계통 영향, 격납건물 건전성, 중대사고로의 발전 가능성 및 중대사고 시 환경 영향 평가까지도 할 수 있는 가상 원전(Virtual NPP) 수준까지 확대하는 연구도 고려할 필요가 있다.

이 가상 원전은 신기술의 개발 및 검증에도 활용이 가능할 것으로 예상된다. 나아가 가상 원전을 가상 현실과 같은 첨단 기술과 결합하여 일반인이 간접적으로나마 원전의 안전 수준에 대한 종합적 체험을 할 수 있도록 한다면 국민의 원자력 수용성 향상에 크게 기

가동 원전 안전·환경연구 로드맵

원자력 안전 강화	1단계			2단계		차기 단계
	2017	2018	2019	2020	2021	2022-2026
방사성 물질 누출 사고의 실질적 배제	부지고유 지진동 기반 지진리스크평가 기반기술	사고저할성 핵연료 제조 기술및 노내외성능자료	중대사고 방지비상냉각안전성 강화기술	중대사고 방지비상냉각 안전성평가 검증	중대사고 방지비상냉각 안전성평가 검증	자연재해 발생후 격납용기 성능 평가기술 핵연료분리재포 사용료 검증 및 극한환경 누출 저감핵연료 발전 기술
원전 사고 예방 능력 강화	성능기반 화재보호용 PSA 요소 기술	장기가동 원전재료 잠재열화 예측 기술	중수로 안전성 증진 선도기술	최신화재위험도 분석기술/기동원전(MO) 평가기술	열화 대응 원천기술	실시간 화재 리스크 평가 열화 대응기술 표준화 및 현장 적용 중수로 안전성 향상기술 현장 적용
방사선 방호/방재 기술 고도화	사고 후 방사성물질 환경내 중장기 거동평가 기술	방사선 사고대응 위해도 저감 기술		종합 방사선 환경감시 체계 구축	방사선피폭자 및 대기/토양/지표수 통합 환경방호 체계	사고 후 환경 저염 및 복원 기술 개발 국가 방사능 재난 대응체계 연계 및 원전해체 환경영향 평가
4차 산업 혁명 활용 첨단 안전 기술 개발	다중스케일 통합 다물리 융합 안전해석 기술/ 가상원자로 시스템 개발 관련 개발 연구	원자력 극한환경 대응 신소재 및 제조 혁신기술	극한 환경용 (고융점) 소재 3D 레이저 프린팅 적용 신기술	원전 안전여유도 정밀평가 및 개선 신소재 성능평가 체계구축 및 성능검증	3D 레이저 프린팅 적용 극한환경 소재 부품 제조 기술 AI 기반 운전자동화시스템 구축	다물리 융합 가상원자로 개발 장기 성능검증 및 실험상 부품제조 기술 극한환경 소재 부품 제조 및 성능 검증 AI 기반 운전자동화시스템 적용 원자력사고 신속대응 로봇
	리스크 안전목표 및 다수기 리스크 최적평가	물리전반출 시스템 설계 및 원전시설 광역피해 평가기술		국내고유 3단계 PSA 코드 광역피해 평가기술 검증		중대사고 결말평가기술 고도화 대형 방사성 물질 방출 배제기술 동적 리스크 평가/ Near-Zero 리스크 지향 기술 물리전반출 시스템 고도화 및 원자력시설 사이버보안 역량 강화

〈그림〉 가동 원전 안전·환경 연구 로드맵

여할 수 있을 것으로 생각된다.

필자가 개인적으로 생각하는 향후 원자력안전·환경 기술 개발 방향은 〈표〉와 같다.

결어

앞서 이야기하였듯이 현 시점에서 원자력 안전·환경 관련 연구는 기술적 측면과 사회적 측면 모두에 대한 고려가 필요하다. 이런 측면에서 앞으로의 원자력

안전·환경 연구는 ‘방사성 물질 누출 사고의 실질적 배제’수준의 안전성을 구현하는 노력을 통하여 국민의 원자력에 대한 불안감을 해소하고, 나아가 원전의 안전 수준에 대한 이해를 높이는 데 도움이 되는 방향으로 진행할 필요가 있다.

향후 이를 통하여 원자력 분야가 우리 사회에 기여하는 편익과 이와 관련하여 유발되는 실제 위험 수준에 대한 국민의 정확한 이해가 이루어지기를 기대해 본다. 🌟