

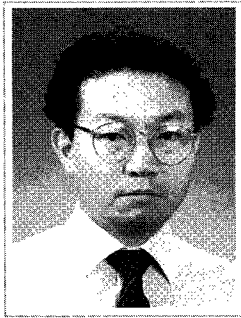


## 원자력발전소의 구조 안전성

- 어떻게, 어디까지 보장할 수 있나? -

서 균 렬

서울대학교 원자핵공학과 교수



### 원자력발전소의 심층 방어

이 문제에 대해서 결론적으로 이야기한다면, 만약에 원전을 공격한다면 그것은 바로 그 나라에 대한 선전 포고나 마찬가지로 일 것이므로 원전 사고의 차원에서가 아니라 전쟁의 차원에서 다루어야 할 성질의 사건이 될 것이다.

미국 수도 워싱턴 교통 신호등의 「STAY ALERT」 표지는 현재 미국의 대테러 비상 상황을 단적으로 보여주고 있다. 미 정부는 미국 전역에 최고도의 테러 대비 경보를 내린 상태이다.

미국에 대한 테러는 결코 미국만의 일이 아니다. 세계 어느 나라도 테러로부터 자유로울 수는 없을 것이며, 우리 나라도 예외는 아니다. 특히 내년엔 월드컵과 아시안게임을 치러야 하는 우리로서는 더욱 그렇다.

미국에 대한 테러 사건과 이번 반테러 전쟁은 원자력산업을 훨씬 뛰어넘어 세계 경제와 우리 경제에도 커다란 영향을 주게 될 것이다.

1950년대 원자력산업의 기초를 마련했던 과학기술자들은 태초부터 숨겨 있던 새로운 에너지원이 인류에게 안겨 줄 혜택에 대해 가능하였다. 동시에 이들은 기타 산업 발전을 동반하였던 대형 사고 등으로 원자력산업이 점철되지 않을까 하는 우려도 동시에 갖고 있었다.

사고를 예견하기 위한 적절한 조치를 구상하는 데 있어서, 먼저 사고에 이를 수 있는 여러 가지 발생 가능한 고장에 대해 살펴 볼 필요가 있다.

이러한 고장은 재료 및 기기의 결합에서 올 수도 있고, 운전원의 오작동에서도 찾아 볼 수 있다. 또한 사고의 원인은 외부에서도 찾아 볼 수 있는데, 홍수나 지진과 같은 자연 재해와 비행기 추락, 공습 폭격, 테러 행위 등 인공 재해를 들 수 있다.

원자력발전소는 이러한 공격에 대해 방어 능력을 갖추기 위해 여러 보호 장치를 설치하게 된다. 예를

**지**난 9월 11일, 미국 뉴욕의 세계무역센터(World Trade Center), 워싱턴의 국방부(Pentagon) 등 미국의 심장부가 항공기를 이용한 사상 최대의 공격을 받았다. 부시 미국 대통령은 즉각 이 사건을 테러로 규정하면서 '21세기의 첫 전쟁'을 선포했다.

이렇듯 미국에서 발생한 테러와 관련하여, 비행기 충돌에도 견딜 수 있을 만큼 안전하게 설계·건설된 원자력발전소의 안전성에 대한 국민들의 의구심과 우려가 증폭되고 있다.

들면 방사선 누출을 막기 위한 차폐체, 원전 설계에 도입되는 안전 여유도, 자동 제어에 의한 안전 장치, 또는 운전원이 취하게 되는 여러 안전 절차 등을 들 수 있다.

원자력발전소는 내부적 고장과 외부적 공격에 대해서 이러한 방어 장치를 이용해 대응한다면 안전을 유지할 수 있다. 그러나 이러한 안전 장치들은 제 때에 제 기능을 발휘하지 못할 수도 있다. 이 때문에 항상 대체 설비가 필요하게 된다.

방어망 구축 원리 또한 마찬가지로이다. 각각의 방어선이 사고의 위험을 줄이는 데 기여를 하지만, 일반적으로 우리들이 수용할 수 있을 만큼 위험도를 낮추기 위해서는 이러한 방어망이 심층적·총체적으로 작동해야만 한다. 원자력 안전은 이와 같은 심층 방어 개념을 기본으로 하고 있다.

원전 안전의 특이성을 살펴본다면, 사고 발생 확률을 극도로 낮추기 위해 이중 삼중의 방호벽을 쌓는 데 있다. 이렇게 하여 사고 발생 가능성에 대한 우려를 원천적으로 봉쇄하고, 설령 사고가 일어난다 해도 마지막 방호벽인 격납 건물을 이용하여 내부에서 종결시키는 것이다.

그리하여 우리는 안전한 원전을 설계하게 되었다. 초창기의 이론에 여러 가지 개선사항을 도입하여 안전 조치를 강화하고, 이에 따라 사고를 유발할 수 있는 여러 고장과

위험에 대해 효과적으로 대처할 수 있게 되었다. 이러한 안전 조치는 독립적이고 다중적인 방호벽을 구축하고 있다.

전세계적으로 수 십년 동안 운영되고 있는 수백 개의 원자로의 운전 경험이 이러한 안전 장치의 효용성을 입증하였고, 미비점이 발견되면 정확하게 고칠 수 있는 능력을 갖게 되었다.

### IAEA 회원국의 원전 보안 촉구

한편 국제원자력기구(IAEA) 132개 회원국 대표들은 지난 9월 17일 연차 총회에서 일제히 원자력발전소에 대한 보안 조치 강화를 촉구했다.

특히 미국 대표인 스펜서 에이브러햄 에너지부 장관은 뉴욕과 워싱턴에서 발생한 사상 최악의 테러와 관련해 테러 분자들이 핵물질을 수중에 넣지 못하도록 조치를 취해줄 것을 강력히 요청했다.

에이브러햄 장관은 “핵에 대한 안전 장치가 마련돼야 하며 핵물질 도난 가능성이 있는 국가에 대해서는 수출 금지 조치가 내려져야 한다.”고 주장하고 “전세계는 핵물질이 테러 무기로 결코 이용되지 않도록 해야만 한다.”고 강조했다. 그는 또 “지난번 발생한 테러는 핵물질에 대해 최고 수준의 보안 조치를 유지하는 것이 얼마나 중요한지 아

주 극명하게 보여주었다.”면서 “IAEA가 주도적으로 핵물질이 테러 무기로 이용되지 않도록 하기 위한 조치를 논의해주시기 바란다.”고 촉구했다.

코피 아난 유엔 사무총장도 이번 에 발생한 가공할 미국 테러 공격 여파로 IAEA의 노력이 어느 때보다 더 중요해졌다고 지적했다.

데이비드 키드 IAEA 대변인도 이날 기자회견에서 서방 국가에 있는 대부분의 원자력발전소는 여객기나 군용기와 관련된 사고에 대한 대책은 마련되어 있으나, 지난번 테러와 같은 고의적인 공격에 대한 적절한 보호 방안은 미약하다고 경고했다. 키드 대변인은 그러나 원자력발전소는 세계무역센터나 미국 국방부 청사보다는 규모가 훨씬 작기 때문에 테러범들의 공격이 성공을 거둘 가능성은 매우 작다고 덧붙였다.

한편 IAEA는 이날 국제경찰과 다른 경찰 기구들이 긴밀히 협력해 핵물질이 테러 분자들의 수중에 들어가는 위험을 최소화할 것이라고 다짐했다.

### 원전의 테러 방어 시스템

이렇듯 우리는 폭력의 세계에 살고 있으며, 폭력은 인간 심성의 한 가운데 자리잡고 있다.

원자력 시설에서 사고의 위험에



대해 우려할 때 우리가 빠뜨릴 수 없는 것은 이번 테러와 같은 불온한 행위이다. 여기에서 우리가 이야기 하고 있는 테러는 공개적으로 접근 하기에는 어려운 문제이다.

보복적인 행위에 대한 방어를 위해 원전에서는 두 가지 필수적인 대책을 강구하고 있다.

첫째는 핵분열 반응에서 나오는 방사능과 연결되어 있다.

원전 작업자들을 보호하기 위해 이들이 원자로에 접근하는 것을 제한하고 있다. 안전의 관점에서 가장 민감한 기기에는 정상 가동시 접근이 아예 불가능하게 되어 있다. 특히 악의의 행동을 취하려는 자들에게는 접근이 더욱더 어렵게 되어 있다.

이러한 절차는 물론 다중 방호, 전자식 통제, 경비원, 모니터 감시 등 통상적인 보안 장치를 통해 강화된다.

혹자는 발전소 요원들은 상시적·주기적인 점검을 위해 언제든지 원전 안전과 직결된 기기에 접근할 수 있을 것이라고 반론할 수 있다. 만약 그들 중 누군가가 악의를 품거나 이성을 잃은 행동을 취하게 되면 안전에 중요한 기기에 대해 위협을 가할 수 있을 것이다. 물론 있을 수 있는 일이다.

그러나 이러한 안전 설비에 접근하기 위해서는 엄격한 작업 절차를 밟게 되는데, 이는 일반적으로 두

사람이 한 작업조가 되어 움직이게 된다. 따라서 동반자가 한 사람 필요하게 되며, 혼자서 위해 행위를 하기에는 어려움이 뒤따른다.

그러나 최종 방호는 다른 곳에 있다. 이것이 바로 테러를 막기 위한 두 번째 수단이다. 테러로 인해 안전 설비가 무용지물이 되거나 파손되었다 하더라도 다중 조치, 이중 기기, 분산 배치, 계통 격리 등을 통해 테러가 원전 사고로 이어지는 것을 자동적으로 방지할 수 있다.

이번 세계무역센터 건물 비행기 충돌과 같이 테러가 결성되고, 특히 불온 국가의 사주를 받는 경우에는 단순히 원전 기술자들의 선을 넘어 국가 차원의 대응책을 요구하게 된다.

주지하다시피 이러한 단체는 외부에 거의 알려지지 않는 상태에서 활동을 하고 있다. 이는 전세계적으로 이러한 행위가 물증이 잡히지 않는 것을 보면 알 수 있다. 이는 분명 우연이 아니고, 이러한 도발 행위의 성공률이 지극히 낮다는 것을 입증하는 것이다.

이러한 도발 행위를 하고자 하는 경우에는 발전소 부지에 접근하는 것이 얼마나 어렵다는 것을 실감하게 될 것이다.

항공기 충돌이나 폭격 등 외적인 공격은 1m가 넘는 두터운 콘크리트 격납 건물 벽에 부딪치게 될 것이고, 설령 콘크리트 벽이 뚫린다손

치더라도 주요 기기를 명중시킬 수 있는 확률은 지극히 낮다.

이러한 공격은 전기 공급선과 같은 주변 장비에 대해 일어날 수도 있지만, 이는 원전이 외부와 완전히 격리된 상태에서도 아무런 피해 없이 운영될 수 있다는 것을 모르고 하는 말이다.

### APR 1400의 구조 안전성

그렇다면 현재 우리 나라 차세대 원전 APR 1400의 구조 안전성에 대해 잠시 살펴보자.

차세대 원전 공동 기초는 건설 주 공정으로써 48개월 건설 공기 목표를 달성하기 위한 방안으로 철근 모듈화를 추진하고 있다.

차세대 원전에서는 표준 원전과 달리 공동 기초 하부 철근을 격자형으로 배치하였으며, 발전소 배치 검토 과정에서 설계 개선 사항의 하나로 공동 기초 하부 콘크리트 물량 감소 방안을 마련하였다.

격납 건물에서는 원환 방향의 포스트텐돈을 고정하는 부벽을 3개에서 2개로 변경함으로써 유효 긴장력을 크게 하여 건설 공기를 단축하고 경제성을 향상시키는 방안이 검토되었다.

또한 격납 건물 내 재장전 수조 주위에 핵연료 임시 저장 랙을 설치하여 핵연료 인출/장전 공정을 단축하는 방안이 검토되었다.

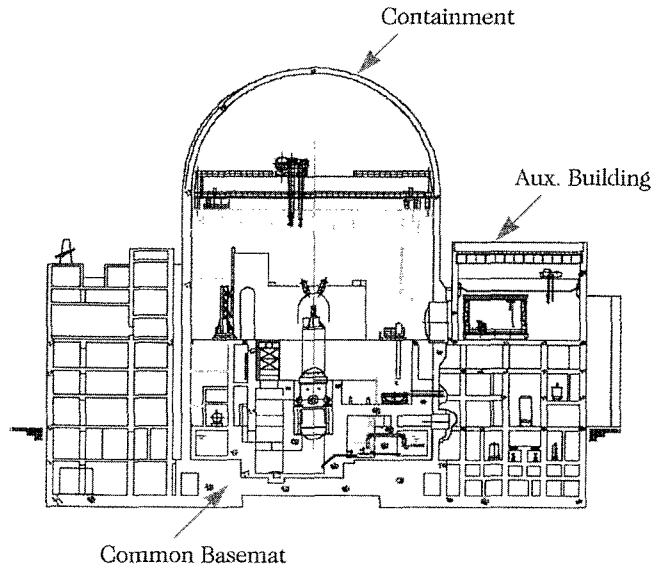
차세대 원전은 격납 건물 내로 인원 및 기기 반출입 수단을 제공하기 위하여 기존 원전과 동일한 반입 및 출입구를 반영하여 설계하였으나, 보수성 향상 및 운전층의 복잡성 해소 등을 고려하여 격납 건물 지상층에 Maintenance Hatch 설치 필요성을 검토하였다.

차세대 원전의 콘크리트 물량은 표준 원전 실적 물량과 비교시 내진 설계 요건 강화 등으로 증가되었다. 보조 건물의 전단벽 두께는 초기 설계 단계에서 일반론적인 개념을 적용하여 대부분 4ft 두께로 설계하였다.

차세대 원전은 내진 설계 하중 0.3g와 보조 건물 상부층의 하중 증가 등으로 인해 기존 원전과 달리 다수의 전단벽이 배치되므로, 보조 건물 전단벽의 설계 여유도를 일정한 크기로 조정하여 최적 설계를 수행하고 있다.

또한 사용후 연료 저장을 발전소 전설계 수명 기간(60년) 동안 소내 별도 저장을 전제로 각 저장 방식에 대한 경제성과 기술성을 비교·검토하였다.

위에서 살펴본 바와 같이 차세대 원전은 설계 최적화의 일환으로 건설 현장, 발전소 운전원 의견 등을 수렴하여 기존 원전에 비해 안전성을 증진시키면서 동시에 건설성·운전성·경제성을 향상시키는 데 진력하고 있다.



APR1400 원자로 격납 건물과 보조 건물

이번 항공기 테러 사건을 계기로 이러한 원전 구조 설계는 경제성과 건설성 측면 외에 안전성 측면에서도 만에 하나 발생할 수 있는 문제점에 대해서 깊고 넘어갈 필요가 있을 것이다.

**결 어**

결론적으로 항공기 충돌이나 핵물질 포함 폭탄 공격과 같은 테러로 말할 것 같으면, 이는 전혀 새로운 차원, 즉 작게는 분쟁이나 크게는 전쟁으로부터 한 나라를 어떻게 방호할 것인가의 문제로 확대된다.

거두절미하고, 우리가 사는 지구촌을 돌아볼 때, 원자력발전소는 분명 다른 산업 설비와 마찬가지로 국

가 주요 시설로서 전기·물·통신 수단의 상실에 버금가는 사회적으로 대단히 큰 기능 장애를 야기하리라 하는 것을 알 수 있다.

그러나 이러한 위기 상황에 효과적으로 대응하기 위해 앞서 언급한 여러 가지 방도가 강구되어 있다. 물론 완벽한 장치는 아니다. 대형 사고의 사후 대책에는 분명한 한계가 있다.

인간이 건설한 원자력발전소의 안전성을 어떻게, 어디까지 보장할 수 있는가하는 문제는 결국 또한 인간의 손에 달려 있다.

이성으로 감성을 극복하고, 선을 통해 20세기 인류가 발견한 원자력을 악의로부터 보호하여 소중한 유산으로 물려주어야 한다. ☯