

원자력 발전소의 안전성

전 재 근

(한전 원자력 건설처 공사운영 1부 과장)

1. 원자력의 원리

원자핵중에는 외부에서 중성자가 부딪치면 두 개 이상의 파편으로 쪼개지기 쉬운 성질을 갖고 있는 것이 있다. 이처럼 원자핵이 중성자에 의해 깨지는 것을 핵분열이라고 하며, 이때 질량의 결손이 생기고, 그 결손에 해당하는 막대한 에너지가 발생하게 된다.

핵분열의 성질을 갖고 있는 원자핵의 종류는 우라늄 233(U-233), 우라늄 235(U-235), 플루토늄 239(Pu-239)등이 있으며 일반적으로 U-235가 원자력 발전소의 핵 연료로 사용된다.

이들 물질의 핵분열시 막대한 열 에너지와 함께 중성자가 튀어나오는데 이 중성자는 에너지가 매우 큰 고속 중성자로서 속도가 약 20,000Km/s 정도로 너무 빠르기 때문에 물이나 흑연같은 물질을 사용하여 인위적으로 에너지를 빼앗아 3~5Km/s 정도까지 속도를 떨어트리게 된다. 속도가

떨어져 에너지가 줄어든 중성자는 열중성자 혹은 저속 중성자라고 부르며, U-235와 결합하여 핵분열을 일으키며, 다시 2~3개의 고속 중성자가 생기게 됨으로 연쇄적인 핵분열 즉, 연쇄 반응을 계속하게 되는 것이다. 이때 사용된 물이나 흑연같은 물질을 감속재라고 한다.

원자력 발전은 이와 같이 연쇄적인 핵분열 연속과정에서 발생하는 열에너지를 적절한 제어 장치를 두어, 잉여 중성자를 흡수하여 중성자 수를 일정하게 유지하도록 기계적인 에너지 시스템을 거쳐 전기적 에너지를 얻어내는 것이다.

이때 사용되는 핵물질은 핵무기가 겨우 100%로 농축도니 반면, 원자로로는 2~4% 정도의 순도를 갖는 U-235를 이용한다.

2. 국내 원자력 현황

지난 78년 4월 29일 경남 양산의 고리 원자력발전 1호기의 가

동을 시작으로 고리 2~4호기, 경북 월성 1호기, 경북 울진 1·2호기, 경남 영광 1·2호기 등 모두 9기의 원전이 가동중에 있으며, 공사 진행중인 5기를 포함하여 2006년까지 모두 18기가 건설될 예정이다.

현재 가동중인 9기의 원전은 발전 설비 용량 7백 16만 6천kW로서 국내 총발전 설비 용량 2천 1백 11만 1천kW의 36.1%를 차지하고 있으나 실제 발전량은 총 발전량의 약 50%를 차지하고 있다.

원전은 초기 건설 투자비가 막대한 반면에 다른 발전 시설에 비해 월등히 저렴한 연료비가 들어간다고 한다. 전기 1kWh를 생산하는데 소요되는 평균 비용은 원전이 22원 62전인데 비해, 유연탄 발전소는 25원 10전, 무연탄 발전소는 50원 82전, 벙커C유 발전소는 27원 84전, 액화 천연가스(LNG) 발전소는 37원 44전이 소요된다.

3. 원자력 발전의 안전성

원자력 발전소는 경제성보다 안전성을 중요시하기 때문에 발전소의 설계에서부터 건설, 운전, 보수, 해체에 이르는 모든 단계가 안전과 관련된 엄격한 규제를 받고 있다.

원자로는 그 자체가 자연법칙에 의한 고유의 안전성을 갖고 있으며, 이에 더하여 연동(Interlock) 시스템을 설치하여 원자로가 항상 안전 범위내에 있도록 자동적으로 제어한다. 또 운전원이 실수로 어떤 기계를 가동하려고 할 때 만약

기계의 모든 준비가 갖추어져 있지 않을 경우, 즉 예비 조작을 하지 않았을 경우에는 동작이 되지 않도록 되어있다.

원자로의 안전성에 영향을 줄 수 있을 만큼의 이상 상태가 진행되려는 징후가 나타나면 원자로 밖으로 나와있던 모든 제어봉이 자동적으로 원자로 속으로 들어가서 핵분열을 중지시킨다. 만약 제어봉만으로 충분하지 않을 경우에는 중성자를 잘 흡수하는 붕산수가 원자로 내에 주입되어 원자로를 긴급 정지시킨다. 긴급 정지 신호는 온도·압력·출력·전원·유량·수위 등 15종 이상의 변수중 어느 하나라도 정해진 값을 넘어설 경우 발생하게 되며, 각각의 변수를 감지하거나 발생시키는 장치 역시 2~4중 설비로 되어있다.

물론 원자력 발전소는 모든 기상 조건과 과거의 태풍·지진·해일 등 어떤 가상적인 천재지변에도 안전하도록 견고한 방벽과 안전 시설을 설치하고 있다.

원자력 발전소의 안전 설계 개념의 대표적인 것이 중심 방어 개념(Defense in Depth)이다. 이것은 여러 겹의 방어선을 설치하여 사고를 각 방어선에서 막되 하나가 실패하면 그 다음 방어선이 막는다.

원자력 발전소의 일반적인 이상 상태는 원자로 긴급 정지로서 충분히 방어할 수 있다. 원자로 냉각수 상실 사고(Loss of Coolant Accident : LOCA)의 경우는 문제가 심각하나 이 사고가 발생하더라도 원자로 바깥에 있는 별도

의 탱크에서 비상 냉각재를 공급, 핵분열을 정지시키고 핵연료를 냉각시켜 핵 연료봉이 손상되는 것을 막아준다.

비상 노심 냉각 계통은 제어봉의 고장 혹은 제어봉에 의한 원자로 긴급 정지로는 사고를 진압할 수 없을 경우 작동되는데 사고의 크기에 따라 고압 안전 주입 계통, 축압기, 잔열 제어 계통(저압 안전 주입 계통)이 차례로 작동된다. 또한 원자로 냉각재 상실 사고시에는 고온·고압의 냉각재가 원자로 계통 바깥으로 나오면서 증발되어 원자로 격납 용기에 큰 압력을 미치게 된다. 이를 방지하기 위해 원자로 격납용기 천정에 찬물을 분사시킬 수 있는 격납용기 살수 장치를 두어 격납용기 내의 압력이 올라갈 경우 찬물을 분사시켜 수증기를 응축시키고, 수증기 속에 섞여있는 폭발성 기체인 수소와 인체에 해로운 요오드 등은 별도의 방법으로 제거시킨다. 원자로의 안전에 관계되는 설비들은 정상적으로 필요한 량의 200% 이상을 확보, 어느 한 쪽이 고장나더라도 다른 한 쪽으로 충분히 비상 노심 냉각 능력을 확보할 수 있도록 되어있다.

원자로의 방호벽 역시 중심 방어 개념으로 시설, 방사선이 발생하는 핵연료와 방사선 방호의 최종 목표인 지역 주민 및 환경 사이에 여러 겹의 방사선 장벽(Multi Barrier)을 설치함으로써 방사선의 누출을 효과적으로 막을 수 있도록 되어있다. 보통 5겹의 방벽으로 되어 있는데 다음과 같다.

- 제1방벽(피복관, Cladding): 핵연료 펠릿을 둘러싸고 있는 핵연료봉으로서 지르칼로이(Zircaloy)라는 특수 합금으로 되어있다.

- 제2방벽(원자로 용기, Reactor Vessel): 핵연료 집합체들과 원자로 냉각재를 담고 있는 두께 20Cm 이상의 강철로 된 용기이다.

- 제3방벽(차폐 콘크리트, Shield Concrete): 원자로 주위를 둘러싸고 있는 두꺼운 콘크리트 벽으로서 원자로에서 빠져나오는 방사선을 효과적으로 차폐하도록 되어 있다.

- 제4방벽(격납용기, Containment Vessel): 원자로, 원자로 냉각재 계통, 안전 계통 및 그 보조 계통들이 모여있는 공간 전체를 포용하는 두꺼운 강철 구조로서, 일반적으로 돔(Dome)형식이다.

- 제5방벽(생물학적 차폐벽, Biological Shield): 강철 격납용기 바깥에 70~100Cm의 두꺼운 철근 콘크리트 건물로서 최종적인 방벽 역할을 한다.

이렇게 안전에 안전을 강조하여 건설된 원자력 발전소의 안전 운전을 위해 원자로의 안전에 관계되는 모든 행위는 반드시 보고한 후 감독요원의 입회하에 이루어지며, 중요 변수들은 모두 자동적으로 기록되고, 전산기에 의해 분석되어 원자로의 변화 여부를 판단하기 때문에 어느 시설보다도 안전하다 하겠다. ☺