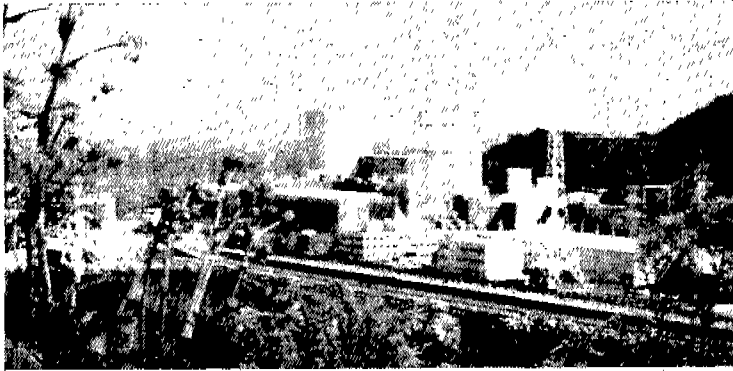


원자력발전 어느정도 안전한가

How Safety is Nuclear Power Generation ?



③

한국전력공사 원자력안전실 제공

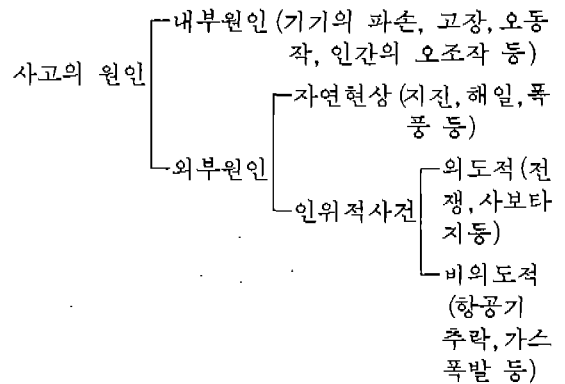
Ⅲ. 원자력발전소의 사고와 안전성 평가

1. 외부 원인에 의한 사고

외부에서 생기는 사고에는 자연현상과 인위적 사건이 있지만, 자연현상중 대표적인 것은 지진, 해일, 홍수, 태풍, 산사태 등이 있다. 이와 같은 자연현상이 원자로의 이상이나 사고의 원인으로 될 수 있는 것은 설명한 필요조차 없다. 따라서 예상되는 자연현상에 대해서는 미리 만전의 대책을 강구하는 것이 당연하다.

▣ 사고 원인별 분류

사고 대책의 첫째는 이미 부지선정에 관한 부분에서 설명한 바와 같이 우선 바람직하지 못한 자연현상이 자주 생기지 않는 지점을 선택한다는 것이다. 그러나 자연현상이 전무한 지점은



있을 수 없기 때문에 부지지점에 따라서 정도의 차이는 있어도 어떤 대책이 필요하다는 점에는 이론이 있을 수 없다.

가. 지진과 내진설계

우리나라는 환태평양 지진대에서 벗어나 있어 지진의 문제가 심각하지는 않으나 원자로 시설 중에도 안전상 중요한 기기 또는 설비는 다른보

통의 산업시설이나 건물 등과는 비교가 되지 않을 정도로 지진에 대한 엄격한 기준에 의한 내진 설계가 되고 건설된다.

내진 설계 기준은 역사상 가장 심각한 강도를 능가하는 지진이 발전소 인근에서 발생하였을 때에도 발전소가 안전하게 정지하고 유지될 수 있도록 하고 있다.

나. 해 일

원자력발전소가 해안에 건설되는 것이 보통이므로 당연히 해일에 대해서도 충분한 대책을 취하고 있다. 호안공사를 엄중하게 하는 것은 당연하며 역사기록이나 지형등에 따라 판단하여 예상되는 최고의 해일에 대해서도 원자로시설이 물을 뒤집어 쓰지 않도록 충분히 높은 곳에 시설을 배치한다. 특히 주의할 것은 냉각용 해수의 취수시설이 해일에 의하여 파괴되거나 냉각용 해수가 상실되지 않도록 설계하고 있다.

다. 태 풍

우리나라의 태풍은 연중행사이다. 태풍에 동반하는 호우로 인한 홍수, 산사태 등에 대한 방지 대책을 엄중히 하고 있다. 강풍에 대하여는 원자로시설자체가 견고하고 무거운 구조물이므로 특별히 이에 대한 배려를 하지 아니하여도 강풍에 도파하는 등의 사고는 있을 수 없겠지만, 배기통 등에 대한 강도설계에는 강풍이 중요한 인자로 되어 있다.

라. 전쟁, 사보타지, 비행기 추락

1981년 이스라엘공군은 운전개시 직전의 이라크 연구용 원자로를 폭격하여 세계에 충격을 주었다. 적국 국민의 생명, 건강에 손해를 준다는 것을 목적으로 하는 것이라면 원자로를 폭격하는 것보다 직접 대도시에 폭탄을 투하하는 편이 효과가 크고 확실하였을 것이다.

항공기 추락에 대해서는 부근의 비행장, 항공

로, 비행횡수 등을 조사하고 지금까지의 사고통계 등을 바탕으로 해서 항공기가 부지내에 추락하는 확률을 계산하여 항로 변경 등에 대한 조치를 취하고 있다.

또한 1981년 건설중이었던 프랑스의 고속증식로 슈퍼피닉스에 원자력을 반대하는 과격파가 로켓탄을 쏘았다. 피해는 크지 않았지만 세계에 충격을 준 사건이다. 의도적 파괴활동에 대한 대책으로 원자력발전소의 격납용기등 주요한 안전성 구조물은 외부의 파괴행위에 대하여 적절한 강도를 유지할 수 있도록 하고 있다.

이와 같이 인위적인 사건은 설사 이것이 발생하는 경우에도 시설에 미치는 피해의 정도를 예상하는 것이 매우 어렵다는 점이 특징이다. 이 점이 자연현상인 경우와 다소 다른 점이며 앞서서도 설명한 바와 같이 자연현상에 대해서는 그 현상을 예상하여 대책을 수립함으로써 사고를 방지하는 것이지만 인위적인 사건인 경우에는 그것이 그렇게 쉽지는 않다. 그 대신 인위적 사건은 인위적 노력으로서 확률을 낮추는 것도 일반적으로 가능한 것으로 본다. 그래서 인위적 사건은 먼저 그 발생확률에 주목하고 어느 특정사건이 일어날 확률을 무시할 수 없을 경우 그 사건이 일어날 확률을 낮추는 조치를 취하거나 또는 어떤 대책을 수립하는 것으로 정하고 있다.

2. 내부 원인에 의한 사고

원자력발전소 안전설계에 있어서 무엇보다도 중시하여야 하는 것은 시설내부에 어떠한 이상 발생원인이 존재하고 있으며 또 그것이 어떻게 확대할 가능성이 있는가 또 그들에 대하여 어떠한 대책을 강구해 놓아야 할 것인가라는 것이다.

원자력발전소는 매우 거대하고 복잡한 설비이고 매우 많은 요소로서 구성되어 있다. 이와 같은 시스템에 생길 수 있는 내부사건의 종류는 틀림없이 천차만별인 동시에 극히 다종다양하다.

이와 같이 다종다양한 이상이나 사고의 발단이 되는 것은 기기 또는 계통의 고장, 파손, 오동작 또는 인간에 의한 오조작 등이 있다.

이상이나 사고를 고려하는데 「하인리히의 법칙」이라 하는 중요한 법칙이 있다. 이 법칙에 의하면, 〈하나의 큰 사고의 배후에는 동일한 큰 사고로 될 가능성이 있었던 경우가 평균 29건이 더 있고, 또 그 배후에는 표면에 나타나지 않은 매우 사소한 사건일지라도 동일한 큰 사고가 될 원인을 내포하고 있는 경우가 평균 300건 있다〉고 하는 것이다.

이 법칙은 일반산업의 사고통계에서 도출된 것이며 이것으로부터 사고나 안전대책상 중요한 교훈 몇가지를 찾아낼 수 있다.

그것은 어떤 큰 사고일지라도 그 원인을 더듬어 살펴보면 매우 사소한 사건에 도달한다는 것이다. 거꾸로 말하면 매우 사소한 사건을 빠뜨리고 못 보았거나 처치를 잘못하였거나 한 결과 점점 파급이 확대되어 결국 큰 사고가 된다는 것이다.

따라서 원자로의 사고를 생각할 경우에도 발단은 사소한 사건이며, 이것을 방지하는 동시에 사소한 사고가 큰 사고로까지 확대하지 않도록 방지한다는 것이 중요하다는 것으로 된다.

예를 들면 냉각재상실사고(LOCA)의 원인은 배관의 파단이다. 그러나 배관의 파단도 원인을 거슬러 올라가 보면 미세한 구조물의 결함이 성장해서 마침내 파단에 이르는 것이다. 따라서 결함이 성장하기 전에 또는 그 성장과정중에 이것을 발견하여 보수하는 것이 중요하다.

가. 사고는 항상 「예측할 수 없는 것」

한가지 원인에 대하여 사고 진전경로는 얼마든지 있을 수 있다. 그러나, 현실적으로 발생하는 무수히 많은 사고의 원인과 사고진전 경로중 어떤 하나가 일어날 것인가를 사전에 알길은 없다. 사고 발생전에 이것 저것 사고의 진전 과정

을 고찰해 보더라도 현실적으로 사고가 일어났을 때에 그것을 적중하는 경우란 있을 수 없는 일이다. 만약 큰 사고가 일어나면 당사자는 거의 약속이나 한 것 처럼 「생각하지 못한 일이 생겼다」 하거나 「여러가지로 주의해 왔지만 이것만은 예상하지 못하였다」라고 한다. 그러나 이것은 당연한 말을 하고 있는 것이다. 즉 사고라는 것은 그것이 현실적으로 발생할 때는 항상 「예상치 못한 사고」이다.

나. 예상하지 못하는 사고에 어떻게 대처할 것인가?

현실적으로 발생하는 사고는 거의 「예상치 못한 사고」라면 어떠한 대책을 수립할 수 있는 것일까. 아니면 전적으로 속수무책인 것일까?

어떤 특정한 사고에 대하여 사고의 진행경로에 딱 들어맞는 대책을 수립할 수도 없지만 이러한 대책이 장래 일어날지 모를 사고에 요긴한 것이 될 수 있다고 장담할 수 없으며 오히려 유해할지도 모른다.

따라서 사고가 예측키 어려운 것이기 때문에 우리들의 사고대책은 보다 일반적인 고찰에 바탕을 두고 유효범위가 넓은 유연한 것이 되지 않으면 안된다. 이와 같은 대책을 설계의 입장에서 체계적으로 준비하는 방법으로 아마 몇가지를 생각할 수 있다. 그 하나로서 경수로를 비롯한 다른 노형에서도 널리 채용되고 있는 방법이 「설계기준 사고」라는 개념이다.

어떤 특정의 사고진행경로에 대한 사고대책만으로는 실제 사고에 직면하였을 때에는 소용이 없지만 실제로 계통이나 기기를 설계하기 위하여서는 구체적인 조건이 명확하게 제시되어 있지 않으면 아니된다.

설계기준사고는 일종의 사고 시나리오로 현실적으로 발생할지도 모를 무수한 사고나 이상중 중요한 것에 대하여 넓고 유효한 대책을 준비할 수 있도록 인공적으로 도출해 낸 사고이다.

3. 종합적 안전성 평가

종합적인 안전성 목표는 부지선정에서 운전까지의 각단계에서의 여러가지 취해진 대책의 결과로서 주변의 공중이 어느 정도로 보호되겠는가에 있다. 물론 각 단계의 대책도 궁극적으로는 주변공중의 보호를 목표로 함은 당연한 일이지만 이들 부분적인 노력의 집대성으로서 원자로시설이 전체로서 어느정도 완전한 것으로 되었는가를 고려하여 평가하는 일이 필요하게 되는 것이다.

원자로시설 또는 이것을 이용한 원자력발전소는 거대하고 복잡한 시스템이다.

이와 같은 시스템에 대한 안전성을 판단하기에는 우리들이 소규모 시스템에서의 체험에 의한 직감에만 의지하는 것은 문제가 있다.

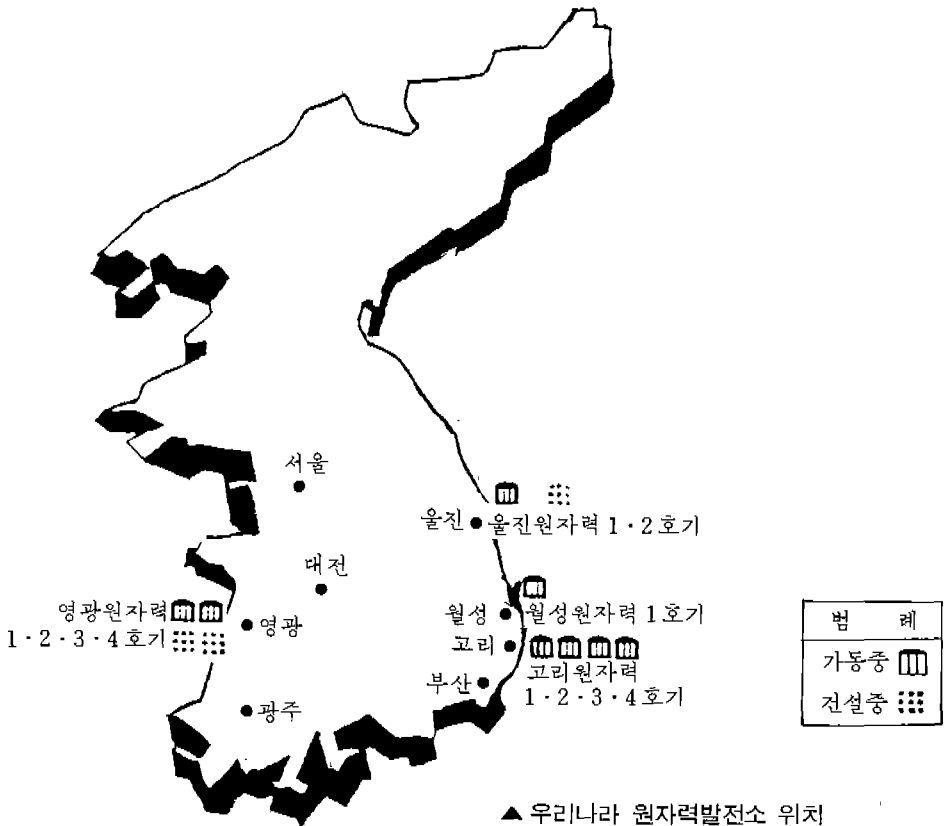
우리들의 사고과정을 체계적으로 정리하고 한

걸음 한걸음 잘못된 점이 없음을 확인하면서 결론에 이르도록 하여야 한다. 이때 우리들이 잊어서는 안되는 것은 부분적 또는 국지적인 안전성 목표를 평가한 것을 단순히 집적하는 것 만으로는 전체에 대한 안전성 평가가 되지 않는다.

시스템 공학의 최적화 이론에 의하면 「국부적 최적화를 집적시켜도 반드시 전체로서의 최적이 된다고는 할 수 없다」는 법칙이 있다.

간단히 말해서 매일 매일 최선을 다하여 후회 없이 살아가는 결과가 그 사람의 전생애가 정말로 최선의 것으로 된다고 보장할 수가 없다. 이것을 원자로의 안전성이라는 문제에 적용하면 다음과 같이 된다.

부지선정에서 운전까지의 관계에서 각각 다른 단계에서의 역할이나 목표를 고려함에 있어 제각기 목표를 설정하여 각각 최고수준을 달성하여도 그것만으로 원자로 안전이 반드시 최고가



된다고는 할 수 없다. 각 단계의 목표가 주변공중의 보호라는 궁극적 목표에 대하여, 유기적으로 연결되어 각 단계의 특징에 맞게 가장 합리적으로 배치하여야 비로소 「국부적 최적화」가 「전체적 최적화」와 일치하는 것이다.

예컨대 안전성의 제 3의 레벨을 너무 중요시한 나머지 공학적 안전체통의 시설을 한없이 추가하여 원자로시설을 너무 지나치게 복잡화시키면 오히려 제 1이나 제 2의 레벨의 목표달성도를 낮추게 되는 결과를 초래할지도 모른다.

따라서 안전성의 각 단계마다의 안전성 목표가 유기적으로 적절하게 연계되고 발전소 각 계통과 기기가 최적의 성능이 실현될 수 있도록 종합적 안전성이 확보되도록 하고 있다.

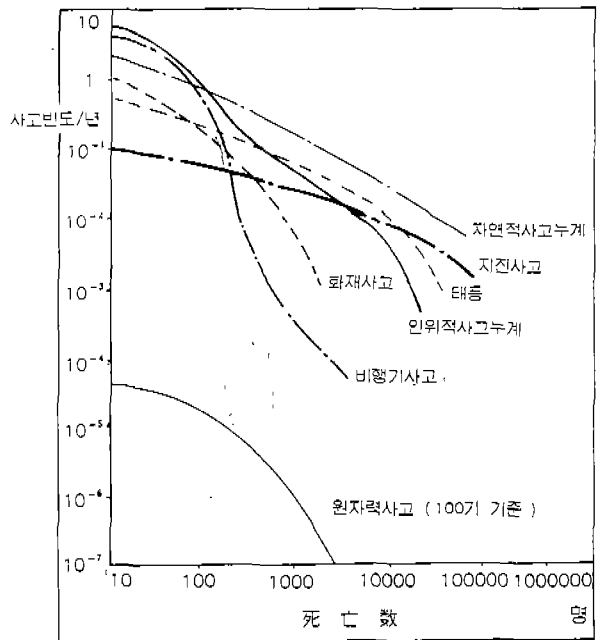
종합적 안전성을 구체적으로는 어떤 것으로서 파악하고 어떤 방법으로 평가하며 확보할 수 있을까?

종합적 안전성을 평가하는 기준은 보통 위험도를 사용하는 것이 일반적이다. 위험도 평가방법으로 확률론적 위험도 평가방법을 사용하는 것이 일반적이다.

확률론적 위험도 평가의 기본적 개념은 「만약 이러한 대책이 실패하면 어떻게 되는가」 하는 Failure Path Approach 방법과 「이것을 만족시키기 위하여 최소한 무엇과 무엇이 필요한가」라는 Success Path Approach 방법이 있다. 이 2가지 개념은 발상은 정반대이지만 종합적 안전성을 고려하기 위해서는 2가지 모두 없어서는 아니된다.

원래 위험도라고 하는 것은 잠재적 위험에 대해서 위험의 정도와 발생할 가능성을 표시하는 지표이다. 이 가운데에서 발생할 가능성을 숫자로서 엄밀하게 정격화된 확률로서 표현하여 정량화한 위험의 정도를 나타낸 것이 확률론적 위험도 평가이다.

확률론적 위험도 평가의 이점은 무엇보다도 확률이라는 것이 수학의 한 분야로서 충분히 성



〈그림 1〉 원자력발전소의 상대적 위험도

숙된 이론이며 개념이 명확하고 더욱 연역성이 우수하다는 점이다. 따라서 원자로의 사고와 같이 복잡한 사건에서도 정확하게 적용만 하면 명확한 정량화를 기할 수가 있다. 이 정량성으로 확률론적 위험도 평가가 종합적 안전평가에 많이 이용되는 이유이다.

안전설계에서 안전성의 3가지 레벨에 의한 심층방호 개념은 설계만이 아니라 원자력 발전소의 건설, 운영등의 각 단계에서도 마찬가지로 적용하는 것이다. 원자로의 안전성을 향상시키는 노력은 3가지 레벨에서 병행하여 실시하며 이들 모두를 일관성 있는 방법으로 평가하며 종합적 안전성 평가를 이룩한다. 3가지 레벨을 통한 종합적 안전성평가는 결국 「사고를 어디까지 방지할 수 있는가」라는 것과 「사고가 나더라도 피해를 어디까지 한정할 수 있는가」라는 것이며 이 두가지 모두 평가하는 때에는 확률론적 위험도 평가방법이 가장 우수한 방법으로 사용되고 있다.

〈다음호 계속〉