

원자력발전은 안전한가?

이은철

산업화 사회가 발전하기 위해서는 무엇보다 동력원이 필요하다. 아직도 많은 분야에서 석탄, 석유, LNG 등과 같은 화석연료를 사용하고 있으나, 화석연료가 배출하는 이산화탄소가 지구온난화의 주범으로 인식되면서 전 세계적으로 이산화탄소의 배출을 억제하기 위해 화력발전량을 점차 줄이려 하고 있다. 그러나 문제는 산업화를 지속하기 위해서는 에너지 즉 동력원이 필요한데, 마땅하게 화석연료를 대체할 수단이 없다는 데 있다.

우리나라는 일찍이 원자력이라는 ‘제3의 불’을 도입하여 경제발전을 위한 주 동력원의 역할을 맡겼다. 부존자원이 전혀 없는 우리나라는 1970년대 초, 원자력발전을 도입하여 지금과 같은 경제성장의 길을 열 수 있었고, 아직도 성장해야 하는 우리로서는 당분간은 주 동력원인 원자력에 의존할 수밖에 없다고 보인다. 원자력에너지는 많은 장점이 있다. 우선 경제성이 뛰어나고, 수송이 용이하며, 환경에 전혀 영향을 주지 않는 깨끗한 에너지라는 점 등이다. 누구나 원자력의 이런 장점을 인정하고 있으나, 한 번 사고가 나

면 수많은 인명과 환경에 피해를 줄 수 있을 것이라는 우려가 모든 장점을 흐려지게 하고도 남는다. 원자력을 두려워하는 사람들은 그 안전성에 근본적인 의문을 제기하기도 한다. 필자는 일반인들이 가지고 있는 우려와 공포를 이 글을 통해 조금이나마 해소할 수 있었으면 하는 기대가 있다.

1. 원자력발전소도 핵폭탄처럼 폭발할 수 있지 않는가?

원자력발전을 들여다보면, 수증기를 만드는 과정만 제외하고는 그 원리가 다른 화력발전과 동일하다. 화력발전에서는 보일러에 물을 넣고, 석탄이나 석유를 태워 물을 끓이면 수증기가 발생한다. 그리고 이 수증기를 이용하여 터빈과 발전기를 돌려 전기를 만든다. 원자력발전도 수증기를 만들어 터빈과 발전기를 돌려 전기를 생산하는 것은 동일하다. 다만, 수증기를 만드는 과정이 다를 뿐이다. 원자로라는 보일러에서 석탄이나 석유를 태워 열을 얻어내는 것이 아니라 핵분열을 일으켜 발생하는 열을 이용하여 물을 끓인다는 점이 다르다. 핵분열이란 자연에 존재하는 가장 무거운 원소인 우라늄이 중성자를 흡수하여 둘 또는 셋으로 조각나는 현상을 말한다. 핵분열이 일어나면 우라늄은 간데없고 다른 원소들이 생성되는데, 이 과정에서 잉여중성자가 나와 반응을 지속시킬 수 있어 끊임없이 핵분열반응이 지속되는 것을 핵분열 연쇄반응이라 일컫는다. 사실 하나의 핵분열이 일어날 때 발생하는 열량은 아주 적은 양에 불과하다. 그러나 연쇄적으로 이런 반응이 계속되면서 엄청난 에너지가 발생되고, 그 에너지가 발전에 이용되는 셈이다. 만일 연쇄반응이 지속적으로 일어난다면 발생하는 에너지가 너무 커서 인간이 제어할 수준을 넘게 될 수 있으며, 아무 조절하지 않고 가만 두면 그것이 바로 핵폭탄이 된다. 그 에너지는 너무 엄청나서 자연과 인간을 파멸로

이끌 수 있을 정도이다. 그러나 현명한 인간들은 그 에너지를 생활에 이용할 수 있는 길을 찾아내었다. 바로 원자력발전이다. 원리는 간단하다. 한 번의 핵분열이 일어나면 두 개 이상의 잉여중성자가 나오는데 이 중성자로 인해 새롭게 두 번 이상의 핵분열반응이 일어날 수 있다. 그렇게 되면 다음 단계에서는 4번 이상의 반응, 그다음에는 8번 이상으로 핵분열반응이 기하급수적으로 증가하며, 에너지는 핵분열 수에 비례한다고 보면, 발생하는 에너지 양도 기하급수적으로 늘어나는 것이다. 이런 핵분열 연쇄반응 속도는 1초에 1억 번 이상 일어날 정도로 빠르기 때문에 그 에너지를 활용할 수 없게 된다. 그러나 만일 연쇄반응을 지속하면서, 잉여중성자를 하나만 남겨놓고 나머지를 없애버린다면 다음 단계에서 핵분열을 하나만 일으키게 되며, 이런 조절을 매 연쇄반응마다 할 수 있다면 기하급수로 에너지가 증가하여 에너지를 활용하지 못하거나 제어할 수 없는 일은 없게 된다. 이 정도의 에너지는 충분히 활용할 수 있으며, 이렇게 만든 것이 원자력발전이다.

그러나 일반인들이 보기에는 연쇄반응 자체가 위험하다고 인식하는 듯하다. 항상, 만일 중간에라도 충분한 제어가 되지 않는다면 원전이 핵폭탄처럼 폭발하는 것이 아니냐¹는 우려를 한다. 간단하게 설명하기는 어렵지만, 요약하면 <그림 1>과 같이 비교할 수 있다. 자연에 존재하는 우라늄 원소는 대부분이 직접은 핵분열을 일으키기 어려운 우라늄-238로 구성되어 있으며, 실제 핵분열을 일으킬 수 있는 우라늄-235는 자연에 1/140 정도로 극히 적은 양만이 존재한다. 이런 이유로 자연 상태에서는 핵분열이 일어나기가 어렵다. 핵분열반응을 일으키려면 반드시 그런 반응이 일어날 수 있는 조건을 만들어야 한다. 그것이 원자로이며, 원자로 안에서도 아주 잘 조절하여

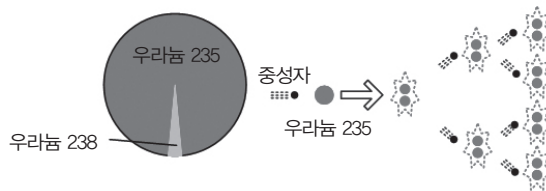
1 후쿠시마 원자력발전소에서 폭발이 일어난 것은 수소가 발생되어 외부 건물이 수소 폭발을 일으켜 내려앉은 것이고, 체르노빌 사고에서는 감속재로 사용된 그래파이트(graphite)에 화재가 발생하여 건물 지붕이 주저앉은 것이다. 핵폭발과는 형태가 다른 폭발이다.

야 핵반응이 일어날 수 있다. 실제로 원자로 안에서도 핵분열반응을 일으키려면 용이하지 않기 때문에 확률을 높이기 위해 중성자의 속도를 낮춘다거나 핵분열물질의 농축도를 높여줌으로 가능하게 만들고 있다. 핵폭탄의 경우는 조금 다르다. 자연 우라늄을 그대로 가용해서는 전혀 위력을 낼 수 없어서 순수하게 우라늄-235로만 구성하고, 연쇄반응을 제어하지 않으며, 가장 큰 폭발력을 낼 수 있도록 반응이 중단되는 모든 요소(불순물)를 제거하여야 한다. 결론적으로 원전은 결코 폭발할 수 없고, 일부 출력이 갑자기 증가한다고 하더라도 충분히 대처할 수 있을 정도라고 보면 된다. 하나의 예로 우라늄 원광이 있는 지역에서 핵분열 연쇄반응이 일어나 폭발하는 경우는 아직 한 번도 없었고, 아마 앞으로도 발생하기 어려울 것이다.

〈그림 1〉 원자폭탄과 원자로의 차이

◆ 원자폭탄

- 고농축 핵분열성 물질의 핵연료 사용
- 기하급수적으로 증가하는 핵분열 연쇄 반응: 제어 불가



◆ 원자로

- 저농축 핵분열성 물질의 핵연료 및 잉여 중성자 흡수
- 제어 가능한 속도의 핵분열성 연쇄반응



2. 방사선에 대한 공포심

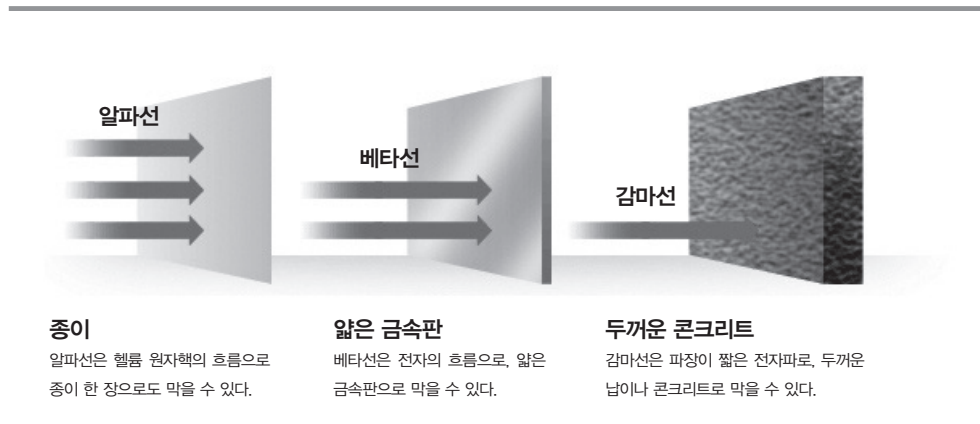
대부분의 사람들은 방사선에 대해 과도할 정도로 공포심을 느끼고 있다. 일단 방사선에 노출되면 중요 체세포가 파괴되고 심하면 생명까지 잃을 수도 있다고 생각하는 이들도 있다. 아주 틀린 말은 아니지만, 이것은 분명 방사선에 대한 이해가 부족하여 막연한 두려움을 가지고 있는 데서 기인한다. 이는 또한 원자력발전소의 안전에 대한 두려움의 근원이기도 하다. 그럼 과연 방사선이란 무엇인가? 그리고 위험할 수밖에 없을까?

예를 하나 들어보자. 사람들이 어떤 자극을 받아 흥분하게 되면 화를 내는 등의 감정적 반응을 한다. 심한 경우에는 욕설과 주먹이 나오기도 한다. 일반적으로 사람들이 화가 난 상태를 오래 지속한다면 건강에 지장을 주게 된다. 그래서 사람들은 어떤 수단을 통해서라도 화를 풀고 다시 평상심을 회복해야 한다. 화가 난 상태를 가라앉히려면 정상 상태에서 자극으로 입력된 에너지를 다시 내보내야 한다. 사람은 흥분된 상태를 만든 원인을 제거함으로써 다시 정상상태로 돌아갈 수 있게 된다. 원자도 이와 마찬가지로이다. 어떤 원자에 외부의 에너지가 들어오면 흥분된 상태가 되며, 이러한 상태로는 오래 지속될 수 없다. 따라서 원자는 받아들인 에너지를 뱉어내고, 다시 정상상태로 돌아가려 한다. 이때 발산되는 에너지의 형태는 전자, 양성자, 또는 중성자와 같은 입자일 수도 있고, 감마선이나 엑스선 같은 그냥 에너지 형태일 수도 있으나, 이렇게 방출되는 입자나 에너지 형태를 모두 일컬어 바로 방사선이라 부른다. 어떤 사람은 외부의 자극에 즉각적으로 반응하기도 하고, 침착한 사람들은 전혀 반응을 보이지 않고 자체적으로 삭이기도 한다. 성격이 급한 사람에게는 화를 참지 못하고 바로 주먹이 나오는 경우도 흔히 볼 수 있다. 이처럼 방사선도 입력된 에너지를 내부에서 흡수하여 처리하는 침착한 원자가 있는가 하면, 즉각 반응하여 투과력이 강한 주

먹을 내는 경우도 있다. 흥분된 사람처럼 침을 튀기며 화를 내는 원자는 비록 방사선이 나오기는 하지만 그 정도가 약하기 때문에 위험하지는 않다. 그러나 주먹을 휘두른다거나 가까이 있는 물건을 들어 폭력을 가하는 경우는 남에게 큰 피해를 주게 된다. 심하면 상대방을 다치게 한다. 방사선의 종류는 다양하지만, 앞의 예에서와 같이 위험한 방사선이 있는가 하면 침을 튀기는 정도의 약한 방사선도 있다.

사실 자연에 존재하는 모든 원소들은 항상 외부로부터 자극을 받는다. 온도가 올라가면 그에 따라 열적 운동이 일어나고, 심하면 상태가 변한다. 자연에는 외부 자극으로 인한 흥분을 가라앉히기 위해 방사선을 내놓는 수많은 원자가 존재하며, 태양광, 공기 속의 라돈, 토양 및 모든 육류와 채소류에서도 방사선이 방출되고 있다. 자연에 있는 원자들은 매우 다양한 경험을 하고 있어서 많은 원소들이 외부 자극에 의해 흥분된 상태를 만들게 될 수 있다. 그러나 이런 흥분된 상태는 일시적이어야 하며, 정상상태로 돌아가려고 자극에 해당되는 에너지를 내뿜는다. 이렇게 흥분되었다가 돌아가고 하는 반응이 수시로 일어나기 때문에, 우리는 주변에서 방사선과 거의 같이 살고 있다고 보면 된다. 국제기구에서 조사한 자연환경방사능 수준은 나라

〈그림 2〉 방사선의 종류와 투과정도



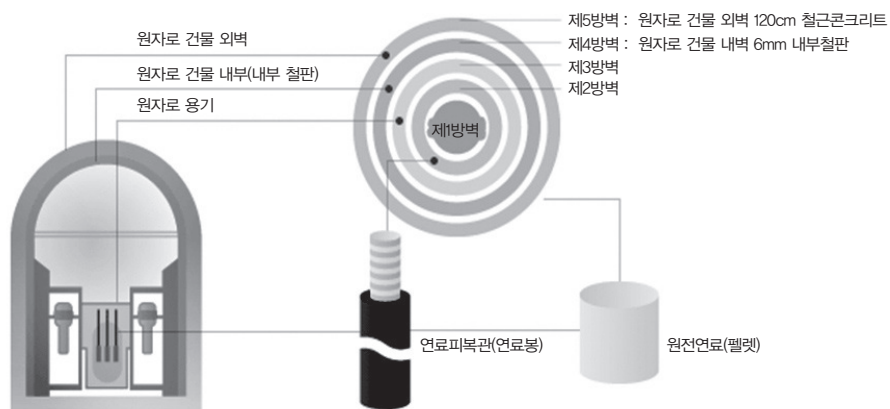
마다 약간의 차이는 있지만, 우리나라는 연간 2.4밀리시버트(mSv) 정도이다. 브라질의 구아라파리(Guarapari)라는 지역은 우리보다 4배 정도 높은 방사선에 노출되어 있다. 지구상에 살고 있는 모든 생명체는 이 정도의 방사선에는 항상 노출되어 있으며, 또 이 정도의 방사선은 지금까지 수억 년을 살아 오면서 생명체의 존재를 위협하지 않았다고 보인다.

그러나 문제는 얼마나 많은 방사선에 노출되면 인체에 악영향을 주는가 하는 점이다. 분명 많은 양의 방사선에 피폭되면, 인체의 세포가 파괴된다. 특히 조혈세포나 생식세포들은 방사선에 취약한 것으로 알려져 있다. 세포가 방사선에 영향을 받게 되는 정도는 어느 정도일까? 정량적으로 그 기준을 명백하게 할 수는 없는가? 많은 실험을 통해 세포에 영향을 주는 방사선량을 측정하려고 했지만, 그것이 매우 어렵다는 결론이다. 가장 큰 이유는 인체와 유사한 것은 많지만, 인체 세포 자체를 가지고 직접 실험하기는 어렵기 때문이다. 따라서 실험실에서는 주로 토끼나 쥐를 대상으로 실험을 수행하며, 그 결과를 간접적으로 인체에 적용하기 위해서는 상당히 보수적인 가중치를 적용할 수밖에 없다. 그래서 국제기구에서 정한 수치들이 지나치게 보수적이며 현실과는 크게 다를 수밖에 없다. 분명한 것은 과다한 양의 방사선 피폭은 인체 세포에 영향을 직간접적으로 줄 수 있다는 점이다.

그렇다면 인체에 크게 영향을 주는 방사선의 종류에는 어떤 것이 있고, 그런 방사선에 노출되는 것을 어떻게 통제할 수 있을까? 사람들은 원자력 발전소로부터 엄청난 양의 방사선이 방출될 수 있어서 원자력발전소가 위험하다고 한다. 맞는 말이다. 발전소에서 사고가 발생하면 핵분열을 통해 생성되어 갇혀 있던 방사성물질이 한꺼번에 쏟아져 나오게 될 것이고, 이러한 막대한 양의 방사선이 환경으로 곧바로 누출된다면 통제가 불가능하다. 그러나 원자력발전소에서는 이런 우려를 해소하기 위해 적어도 방호벽을 5~6겹 설치하여 방사선이 나오는 경로를 막고 있다. 이 중 가장 바깥쪽의 두께

1m 이상의 격납 건물은 전투기와 충돌하더라도 안전성이 보장될 정도로 매우 견고하다. 지금까지 과학자들은 보다 완벽한 방호벽을 설계하기 위해 노력하고 있으며, 현재의 기술로도 충분히 방호벽을 방어할 수 있다고 확신하고 있다. 대표적인 예가 1979년 미국에서 발생한 스리마일 섬(TMI: Three Miles Island) 발전소에서 발생한 노심용융사고이다. 반 이상의 핵연료가 용융되어 엄청난 양의 방사선이 내부에서 몇 개의 방호벽을 뚫고 나왔지만, 환경에는 전혀 방출되지 않았다. 혹자는 구소련에서 발생한 체르노빌 원전 사고에서 막대한 방사선이 쏟아져 나온 것을 보고 의문을 지우지 못하고 있으나, 그 발전소는 가장 중요한 방호벽인 격납 건물이 설치되어 있지 않았다. 현재 국내 모든 원전에는 법으로 격납 건물을 비롯한 각종 안전설비를 의무화하고 있으며, 이는 외국에서도 마찬가지이다. 또한 최근의 원전일수록 보다 향상된 안전성을 갖추고 있다. 의심의 여지없이 안전이 최우선이기 때문이다. 원전의 안전 목표에는 원전으로 인한 인명 피해가 다른 어떤 시설에 의한 피해보다도 적어야 한다는 원칙이 내재되어 있다. 이로 인해 과도할 정

〈그림 3〉 원자력발전소의 다중 방어벽



도로 많은 안전장치들이 마련된 것도 사실이다. 원전 종사자들 또한 우선 자신들을 위해서라도 안전을 결코 소홀히 하지 않고 있다.

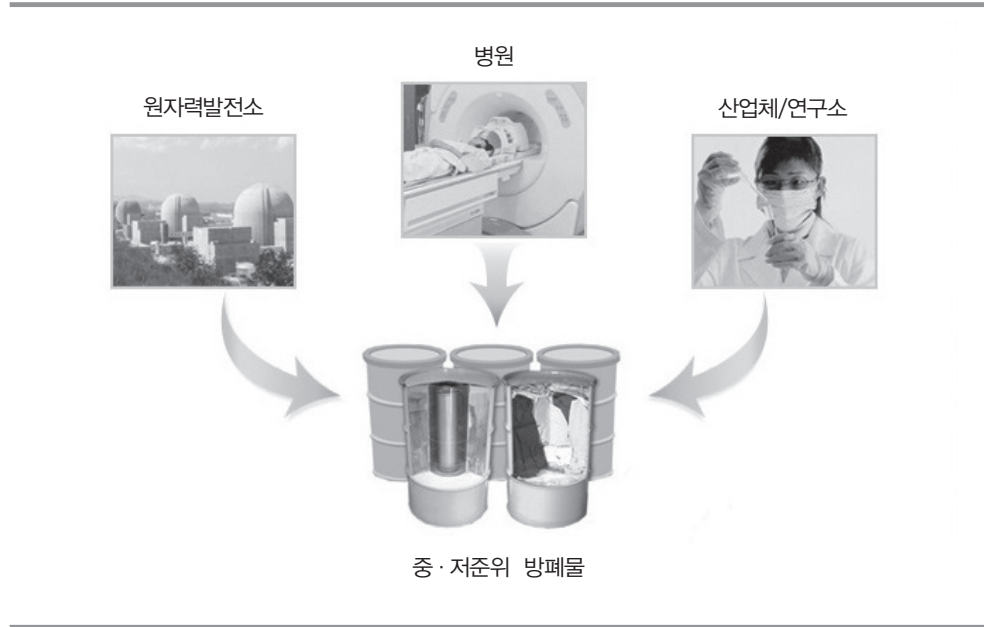
3. 방사성폐기물이란?

원자력발전소에서 나오는 방사성폐기물이란 무엇이며, 왜 이것의 처리가 필요한가? 우리 생활에 원자력을 평화적으로 이용한 지는 이미 30여 년에 이르며 원자력은 막대한 양의 전기를 생산하여 산업발전에 크게 기여하였다. 그러나 원자력의 사용으로 얻은 혜택은 그에 상응하는 대가를 요구받고 있다. 고대 원시인들은 자신들이 먹고 남은 동물의 뼈조각이 동굴 구석에 쌓여가는 것을 보며 이 쓰레기를 어디에 버려야할지를 고민하였고, 이러한 고민은 현대에 이르기까지 계속되고 있다. 지금은 단순한 쓰레기가 아닌 방사성폐기물 문제로 국가가 고민하고 있다. 방사성폐기물은 원자력발전, 핵연료 주기 및 기타 방사성 동위원소의 산업체 이용, 연구기관 및 병원 등에서 불가피하게 발생된다. 발생한 방사성폐기물은 방사능 준위에 따라 일반적으로 중·저준위와 고준위로 분류되며, 전자는 그 잠재 위험성이 짧게는 몇 년, 길게는 500년간 지속되며, 고준위는 10만 년 이상까지 지속적으로 위험이 존재한다. 따라서 방사성폐기물은 장기간 인류에게 피해를 주지 않도록 안전하게 격리되어 관리해야 하며, 이를 위해서는 방사성폐기물 자체가 고형화된 상태로 안정되어야 하고 포장용기는 물론 처분장 및 처분 부지가 총체적으로 안전하여야 한다. 방사성폐기물 처분장은 한 곳에 건설하려고 했으나, 부지를 선정하기 어려운 문제에 부딪치면서, 지금은 중·저준위 폐기물 처분과 고준위 폐기물 처분을 분리하는 것으로 결정하였다. 중·저준위 폐기물은 방사선에 오염된 정도가 아주 약하거나 충분히 제거할 수 있을 정

도로 오염된 것들을 말하는데, 다만 점차 그 양이 증가함으로 보관할 마땅한 장소를 발전소 내부에서도 구하기 어렵기 때문에 부피를 줄이는 작업이 필요하다. 소각을 시켜 부피를 줄이거나 압축하여 체적을 줄여 장기 저장하는 것이 바람직하다. 경주에 건설 중인 폐기물 처분장은 주로 이런 중·저준위 폐기물에 대한 것이며, 이 부분은 일반인들이 생각하는 것처럼 위험하지 않다.

이에 비해 고준위 폐기물은 주로 타고 남은 핵연료를 말한다. 이런 고준위 폐기물에 대한 처분은 국가가 아직 정책을 결정하지 못하고 있다. 그 이유는 비록 이미 사용한 핵연료라도 그 속에는 상당히 유용한 물질들이 많이 포함되어 있기 때문이다. 예를 들어 핵연료 속에는 자연 우라늄보다 높은 농축도의 우라늄이 많이 남아 있으며, 부산물로 생성된 플루토늄도 활용 가치가 매우 크다. 정부가 정책을 아직까지 결정하지 못하는 것은 단순히 이런 가치가 있는 사용후핵연료를 다시는 사용할 수 없도록 하는 것이 너무 아깝기 때문이며, 그래서 일부는 재처리 과정을 통해 회수하고 나머지만을 영구 처분하는 것을 고려하고 있다. 혹자는 방사성폐기물 처분장이 필요하다면 발전소 내부에 건설하면 되지, 굳이 외부에 별도의 부지를 얻어야 하는가 하고 의문을 제기한다. 일리가 있는 말이다. 그러나 소각 시설은 면적을 제법 많이 차지하고, 한 발전소에서 나오는 중·저준위 폐기물만을 대상으로 시설을 만들기에는 그 양이 충분하지 않을 뿐더러 경제적으로 상당히 비효율적이다. 지금 우리나라는 원자력발전소가 21기 운전 중에 있어서 1개의 처리시설만으로 충분하다. 이러한 이유로 방사성폐기물 처분장의 건설을 추진하는 것이다. 또한 선진국의 예를 보아도 중·저준위 처분장은 그 나라에 1곳 정도 보유하고 있으며, 그로 인해 환경에 전혀 영향을 주지 않음이 이미 알려져 있다.

〈그림 4〉 중·저준위 방사성폐기물



4. 과거 원자력발전소 사고

이런 다중의 방어 시스템을 갖추고도 왜 대중에게 큰 영향을 미치는 사고가 발생하는가라는 의문이 생길 수 있다. 따라서 필자는 최근 후쿠시마 원전 사고까지 원자력 역사상 발생한 3개 사고에 대해 간단히 살펴보고자 한다. 우선 결론부터 말하자면, 역사상 발생한 원자력발전소 사고는 앞서 설명한 원자력발전소 다중 방어벽의 안전성을 입증하기도 하였지만, 인간이 예측할 수 없는 자연재해로 인한 사고의 발생에 대해서는 아직도 개선해야 할 점이 많다는 점을 깨우쳐주기도 하였다.

원자력발전 역사상 세 번의 큰 사고가 발생하였다. 2011년 발생한 후쿠시마 사고를 비롯하여, 1979년 4월 미국 스리마일 섬 사고, 그리고 1986년 4월 소련의 체르노빌에서 사고가 있었다. 우선 미국 스리마일 섬의 경우는 사고 자체는 훨씬 더 심각했으면서도 인명이나 환경에 전혀 영향이 없었다. 물론

엄청난 재산피해와 복구비는 들었지만, 서방 세계의 원자력발전소에 대한 안전성 설계가 과히 잘못되지 않았음을 입증한 결과라고도 볼 수 있다.

그러나 소련에서 발생한 체르노빌 사고는 190여 명의 인명 피해를 가져왔고, 주변 40km 지역의 방사선 오염이 있었다. 이렇게 큰 피해를 준 것은 다름 아닌 소련의 발전소에 설계상의 문제가 있었기 때문이다. 즉, 당시 소련의 발전소에는 몇 개의 방어벽들이 갖추어져 있지 않았고, 사고를 중간 중간 차단하는 방어 설계 또한 제대로 이루어져 있지 않았다. 다른 문제는 제쳐놓더라도 만일 최종 방어벽인 철근 콘크리트 격납용기만 있었다더라면, 방사선 피해는 외부로 노출되지 않았을 것이다. 이는 방어벽 설계의 중요성을 다시 한 번 입증한 결과로서 안전을 위한 지킴 사항에 경종을 울리고 있다.

그리고 마지막으로 최근에 발생한 후쿠시마 사고는 이전 사고와는 달리 자연재해로 인해 일어난 것이다. 즉 일본 센다이 지역에서 여상을 뛰어넘는 강한 지진이 발생하여 주변에 있던 후쿠시마 원자력발전소에서 제2격납건물이 방출된 수소기체 압력의 급속한 상승으로 폭발하는 사고가 발생하였다. 이 결과 방사성물질이 대기 중으로 방출되어 주민들이 대피하는 위급한 상황이 일어났다. 후쿠시마 원자력발전소는 우리 원자로와는 다른 형태인 비등경수로이다. 즉, 원자로 내에 있는 물을 직접 끓여 수증기를 만들고 그 수증기가 터빈을 돌려 전기를 생산한다. 이번 사고의 경위를 보면 지진이 크게 났고, 운전 중이던 원자로는 정상적으로 정지가 이루어져 열·출력을 충분히 줄일 수 있었다. 그러나 핵연료는 상당히 높은 온도로 운전이 되고 있어 비록 원자로가 정지되더라도 계속해서 남은 열을 제거하여야 한다. 이런 잔열을 제거하기 위해서는 냉각재가 충분히 공급되어야 하며, 또한 장시간 순환하여야 잔열을 제거할 수 있다. 또 냉각재를 순환시키기 위해서는 냉각재 펌프가 정상적으로 작동이 되어야 하는데, 이 펌프는 전기로 구동한다. 그러나 불행하게도 이번 사고에서는 쓰나미가 20m 이상의 파고로 원자

력발전소를 덮치면서 비상 전원으로 준비되어 있던 디젤발전기들을 못 쓰게 해버렸다. 비상 전원인 디젤발전기는 통상 2~4개가 준비되어 있으며, 그중 하나만 가동되어도 원자로의 기기들이 정상적으로 작동할 수 있을 정도로 여유가 있다. 그런데 쓰나미라는 엄청난 파괴력을 가진 파도가 발전소 외부에 설치되어 있던 모든 디젤발전기들을 기동하지 못하게 만들어버렸다. 본래 원자력발전소에서는 이런 경우까지도 대비하고 있다. 비상 전원이 전부 동작하지 않는 경우에 대비해서 다른 발전소들과 연결하여 필요한 전기를 공급받을 수 있도록 하고 있으나, 사고 당시 주변 지역의 발전소들조차 유사한 문제로 차단되었던 것이다. 결국 원자로 내부의 기기들은 강한 지진에도 아무 이상이 없었으나, 필요한 전력을 공급받지 못해 작동이 될 수 없는 상태가 되었고, 잔열 처리가 되지 못해 핵연료가 일부 녹기 시작하여 사고에 이르게 된 것이다.

후쿠시마 원전 사고를 접하면서 우리나라에서도 일본과 같은 지진과 쓰나미가 온다면 유사한 사고가 발생할 수 있을지 우려가 높아지고 있다. 국내에 건설되어 운전 중인 원자력발전소에는 비상 전원이 모두 상실되는 경우에 대비하여 추가로 대체교류전원(AAC)라는 설비를 하나 더 갖추고 있다. 이 설비는 발전기의 일종이지만 비상전원이 모두 상실될 경우라도 수동으로 가동시킬 수 있는 장치로, 모든 전력이 차단된 상태에서도 기동이 가능하여 원자로 냉각계통을 원활하게 움직일 수 있다. 일본에서 일어난 극한 사고의 대비를 국내에서 이미 예상하고 있었고 그 대비를 한 셈이다. 그러나 인간이 예상치 못한 자연재해로 인한 사고는 항상 발생할 가능성이 있으며, 그때 자연의 힘은 인간의 상상을 초월할 수도 있다. 원자력발전소에서 일어나는 사고는 방사성물질의 방출이라는 위험성이 따르며, 심하면 인명을 상하게 할 수 있고, 환경을 오염시킬 수 있어 무엇보다 사고를 예방하는 것이 최선이다. 따라서 예상하지 못했던 사고에도 환경과 인체에 큰 영향을 주지

않을 수 있도록 끊임없이 보완하는 지혜가 절실히 필요하다.

5. 원자력발전소는 과연 안전한가?

원자력에너지는 평화적으로 사용하였을 때는 인류에 많은 도움을 주지만, 잘못된 사용 그리고 부적절한 관리는 인류에 큰 재앙을 가져올 수 있다. 따라서 원자력의 평화적 이용과 안전한 관리는 무엇보다 중요한 과제이다. 그러나 무턱대고 원자력에 대해 두려움을 갖는 것은 금물이다. 왜냐하면 현재 원자력 시설은 3단계의 안전성 철학을 기본으로 여러 방호 시스템을 갖추어 안전하게 관리되고 있기 때문이다. 원자력발전소는 항상 방호 시스템의 실패나 인간의 실수 그리고 후쿠시마 사고와 같은 자연현상에 의해 발생하

〈그림 5〉 후쿠시마 원전 사고



는 재해를 예방하기 위해 안전성의 3단계라는 철학을 기본으로 방어 시스템을 갖추고 있다.

그 첫째는 예방이 최선이라는 원칙에서 설계하고 건설한다. 즉, 어떠한 사고도 발생되지 않도록 철저하게 사고의 원인이 될 수 있는 가능성을 배제해 나가는 것이다. 이를 위해 대표적으로 설계에 반영되어 있는 것이 음의 온도 계수와 음의 기포계수이다. 이것은 원자로가 비정상적인 요인으로 핵분열 연쇄반응이 급격히 증가할 때 스스로 핵분열을 억제하여 사고를 저지하는 고유 안전성을 보유하도록 하는 것이다. 그러나 아무리 철저하게 사고의 예방을 위해 노력하더라도 사고는 일어날 수 있다. 따라서 두 번째 철학은 만일 사고를 가정했을 때, 원자로 내부의 가장 중요한 문제는 발생하는 열보다 발생한 열을 제거하는 기능이 우선해야 한다. 따라서 어떤 경우라도 그 사고 결과를 최소화하기 위한 냉각을 충분히 공급할 수 있는 여러 안전 시스템을 갖추는 것이다. 이를 위해 원자로에는 내부의 냉각재가 상실되었을 경우에 핵연료가 녹아내리는 것을 방지하고 핵분열 생성물의 방출을 줄이기 위해 긴급 노심냉각장치가 설치되어 있다. 또 원자로를 정지시킬 수 있는 다양한 경로의 정지 시스템을 갖추어서 어느 한 장치가 고장 났을 때에도 반드시 원자로를 안전하게 정지시킬 수 있도록 하고 있다. 이외에도 원자력발전소는 어떤 경우에도 발전소 안전 시스템의 동작을 위한 비상 동력원을 갖추도록 설계되었다. 즉 2개의 독립된 소외 전력과 신속하게 동작할 수 있는 디젤발전기가 여러 개 장치되어 안전 시스템을 작동할 수 있도록 하는 것이다. 이렇게 대비하였음에도 인간이 만든 기계가 완벽하다고 보기는 어렵다. 그래서 세 번째 철학은 예상하기 어려운 가상 사고가 발생하고, 여러 방어 계통이 동시에 다 실패한다고 가정하였을 때에도 환경 영향을 최소화하고 인명을 최우선할 수 있도록 추가의 안전 계통을 설치하는 것이다. 즉 극도의 낮은 확률에 대한 사고에 대해서도 인명 및 환경에 대한 피해영향을 최소

화할 수 있도록 추가의 안전 계통을 설치하는 것인데, 대표적인 것이 1m 두께의 철근 콘크리트 건물로 원자로를 둘러싸고 있는 격납 건물을 설치하는 것이다.

방어벽을 여러 겹 설치하여 외부 노출을 막을 수 있다고 하더라도 가장 좋은 방어수단은 역시 핵연료의 파손을 미연에 막는 길일 것이다. 특히 방사성물질 대부분이 핵연료 내에 포함되어 있어서 원천적으로 핵연료의 건전성을 유지하는 것이 최선의 방어이다. 핵연료의 파손이 일어날 가능성은 크게 두 가지로 요약될 수 있다. 즉, 핵연료의 온도가 너무 높게 올라가 파손이 일어나는 경우와, 핵연료를 냉각시켜주는 냉각 기능의 상실로 충분한 냉각이 되지 않아 핵연료가 녹는 경우이다. 원자로 내의 출력이 과도하게 생성되지 않게 하기 위해서는 원자로 최대 허용 출력을 규정 출력의 10% 초과 범위 내에서 운전되도록 설계하여, 만일에 출력이 이 범위를 초과하여 상승하면 곧바로 원자로를 정지시킬 수 있도록 많은 방어 장치를 갖추고 있다. 그러나 냉각 기능의 상실은 그 원인이 너무 다양하기 때문에 많은 가능성을 검토하여 설계에 반영하고는 있지만 불충분하다. 발전소 설계자들이 미처 생각하지 못하였던 극단적인 경우까지도 대비해야 한다. 예를 들어 발전소에는 전기가 있어야 작동되는 능동 시스템이 많다. 만일 전기 계통이 마비되어 이로 인해 냉각 계통이 작동되지 않는다고 가정해보자. 실제 냉각 계통은 잘못이 없더라도 이 경우에 냉각 기능은 현저하게 떨어지고 핵연료의 파손 가능성은 커질 것이다. 지금까지는 전원이 차단되는 경우에 대비하여 외부에서 비상전원을 공급할 수 있도록 보조 설계가 되어 있으며, 냉각수의 부족을 보충하기 위하여 긴급 노심냉각장치들이 여러 면에서 고려되어 설치되어 있다. 그러나 만일 이런 긴급 전원이거나 긴급 냉각장치마저 그 작동이 늦거나 작동되지 않는다면 어떻게 방어할 것인가? 이런 경우까지도 대비하여 이미 원자로에서 쏟아져 나온 냉각수를 내부에서 다시 냉각하여 재활용하

는 방안이 고려되어 장기간 냉각수의 공급이 중단되지 않도록 3중의 대비책이 마련되어 있다.

경제적인 이득도 중요하지만, 주변에 기거하는 사람들의 건강이 더욱 중요한 만큼 이와 같이 엄격한 통제와 안전장치를 갖추고 원자로를 안전하게 운영하는 것이다.

6. 결언

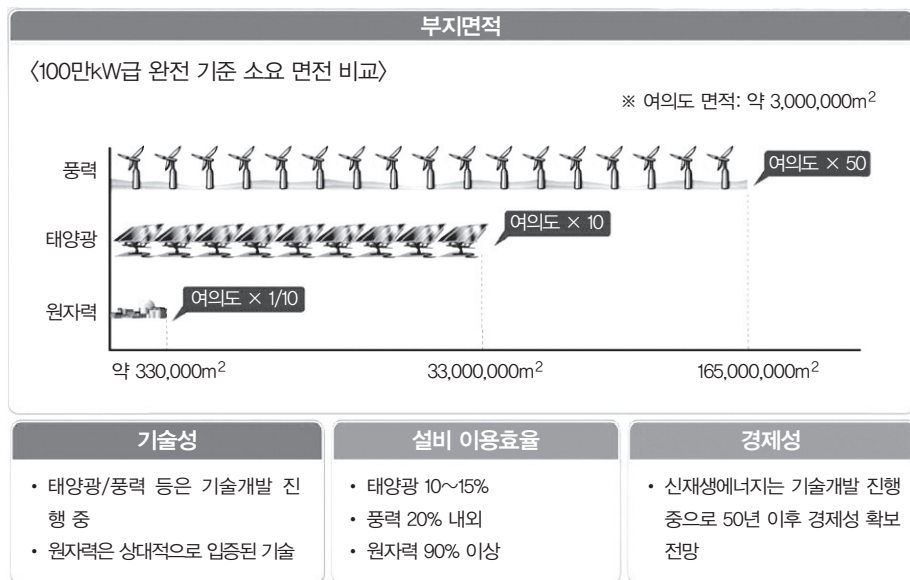
우리나라는 천연자원이 부족한 나라다. 1980년대 초부터 급속한 경제성장을 거듭해 중진국으로 도약한 것은 국민들이 열심히 일하고 허리띠를 졸라매어 절약한 덕분이다. 그러나 이러한 성장은 우수한 인력과 노력만으로는 한계에 부딪치게 된다. 더 큰 도약을 위해서는 역시 풍부한 자원에 바탕을 둔 에너지의 안정적 공급이 보장되어야 한다.

과거 에너지의 공급은 재래식 천연자원, 즉 석탄과 석유를 태워 얻는 전기에너지로 이루어졌다. 우리나라는 양질의 석탄은 어느 정도 확보하고 있으나 석유는 한 방울도 나지 않는다. 그런 만큼 석유는 수입에 의존할 수밖에 없으며, 또한 석유의 무기화가 거론될 때마다 불안정한 공급에 에너지 절약을 외칠 수밖에 없다. 원유 값의 상승은 우리 가계에 직접적인 주름을 가져오고, 수출 경쟁력을 떨어뜨린다. 또한 안정적인 에너지 공급에 대한 근본 대책을 세우지 않는다면 국제 경쟁에서 뒤질 수밖에 없으며, 수출 부진이 지속될 수밖에 없다. 석유를 대체할 수 있는 방안들이 과학자들 사이에서 논의되고 있지만 지금으로서는 크게 기대하기 어렵다. <그림 6>과 같이 태양열은 빛을 모아 에너지를 활용하는 데 막대한 경비가 요구되는 큰 규모의 집열판이 필요하며, 조력발전과 풍력발전도 안정적이지 못하고 소규모이며 이

용할 수 있는 지역에 제한이 있다. 우리 생활 속에서 쓰고 버려진 폐기물을 태워 에너지를 얻는 방법 역시 처리 방법, 악취 문제 등 여러 문제점들이 제기되고 있어, 이 시점에서 석유를 대체할 수 있는 유일한 에너지원은 '원자력'뿐이라고 단언할 수 있다. 또한 지구온난화 문제로 인한 화석연료 사용 억제 후 대책에도 역시 마땅한 대체에너지의 개발이 이루어지지 않는다면 해답은 원자력이 될 수밖에 없다.

일찍이 우리나라는 안정된 에너지의 공급을 위해 원자력을 선택하였다. 1970년대 초 원자력발전소를 건설하는 계획을 세웠으며, 지금은 우리나라 전체 전력의 반 이상을 공급하고 있다. 원자력발전은 석탄이나 석유 발전에 비해 단가도 훨씬 싸며, 공해도 없고 연료 공급도 비교적 안정적인 만큼 당분간 우리와 같이 자원이 없는 나라들은 우선 원자력에 의존할 수밖에 없다. 그렇다면 현재로서는 대안이 원자력밖에 없다면, 이제 원전에 대한 소모적 논쟁에서 벗어나 원자력에너지를 효율적으로 활용할 방안을 모색할 때라

〈그림 6〉 신재생 에너지의 한계



고 생각된다.

앞서 살펴본 대로 현 우리나라 원자력발전소의 안전성은 신뢰할 만한 수준이며, 인간이 예측할 수 있는 모든 사고에 대해 안전성을 확보할 수 있게 설계되어 있다. 하지만 후쿠시마 사고에서 알 수 있듯이 자연의 힘은 인간의 상상을 뛰어넘으며 인간은 신이 아니기에 부족한 부분이 반드시 존재한다. 따라서 원자력발전소의 안전성에 대한 맹신은 금물이며, 후쿠시마 원전 사고를 교훈 삼아 발생할 수 있는 사고의 가능성을 최소화하려는 노력 또한 병행하여 한 치의 소홀함도 없어야 할 것이다.

참고문헌

- 김종신, 「원자력발전 현황과 미래」, 제26회 원자력관리자 하계강좌, 2011.
김창호 외, 『핵공학개론』, 한국원자력학회, 1989.
윤철호, 「후쿠시마 사태 이후 원자력 안전규제 방안」, 제26회 원자력관리자 하계강좌, 2011.
이은철, 『그린에너지 생생원자력』, 상수리, 2009.

이은철 현재 원자력안전위원회의 전문위원회 위원장 및 서울대학교 원자핵공학과 교수. 서울대학교 원자력공학과에서 학사 및 석사 학위를 받았고 미국 메릴랜드대학교에서 핵공학으로 박사학위를 받았다. 원자력발전소의 안전 해석 분야의 전문가로서 이 분야의 다양한 연구와 원전의 안전성 향상을 위한 정책 제언 등 원자력 분야의 다방면에서 활동 중에 있다. 주요 저서로는 『북한 핵과 경수로 지원』(1996), 『그린 에너지 생생원자력』(2009) 등이 있다.