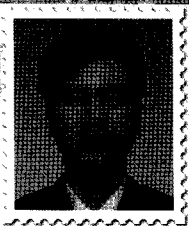


원자력발전 및 방사선 기본 지식



최 상 현
한국철도대학
철도시설토목과 부교수
schoi86@nate.com

적인 지식들을 정리하였다.

1. 서언

정부의 친환경 성장 정책과 UAE 원전 프로젝트 수주로 상승세에 있던 우리 원자력산업이 얼마 전 일본에서 발생한 원전사고로 인한 전세계적인 불안감 고조로 주춤하고 있는 상황이다. 설계값을 훨씬 상회하는 규모 9의 강진에 의해 발생한 사고이니 만큼 일부 언론에서 지적하는 원자력 발전 자체에 대한 회의론에는 동의하기 어렵지만, 방사성물질 누출 시 발생할 수 있는 피해를 생각할 때 보다 안전한 원자력발전소(이하 '원전')을 만들기 위한 기술인들의 노력이 더욱 필요할 때라고 생각된다. 사고의 여파로 우리 기술인들도 선뜻 이해하기 쉽지 않은 원자력 관련 전문 용어나 정보들이 언론에 자주 다뤄지고 있다. 이 소고를 통해 원자력과 관련하여 우리 방재기술인들이 알아두어야 할 원자력 발전의 원리와 방사선 관련 상식 등 기본

2. 원자력 발전의 원리

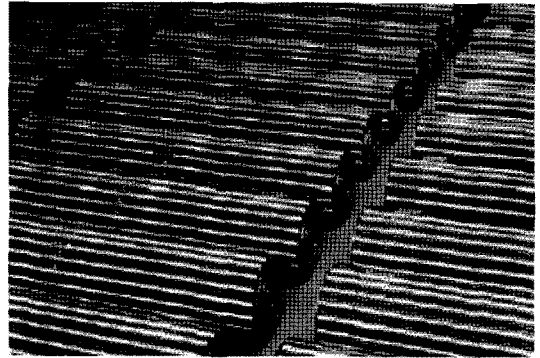
발전소는 전기를 생산하는 발전기와 연결된 터빈을 돌리는 동력원에 따라 수력, 원자력, 또는 화력으로 구분된다. 수력은 댐에서 떨어지는 물의 힘으로 터빈을 돌리나 화력과 원자력은 증기의 힘으로 터빈을 돌리므로 증기를 만드는 시스템만 다를 뿐 그 이후 과정은 동일하다. 화력은 석유, 석탄 등의 연료를 태워 증기를 만드나 원자력은 우라늄이 핵분열할 때 나오는 열로 증기를 만드는 차이가 있다.

원자력발전에서 사용되는 우라늄은 천연상태에서 99.3% 정도가 우라늄 238로 여기서 238은 중성자와 양성자의 수를 합한 수를 의미한다. 실제 원자력발전에서 이용되는 우라늄 235는 0.7% 정도밖에 되지 않으므로 인위적으로 우

라늄 235의 비율을 약 3% 정도까지 높인 농축우라늄을 경수로형 원전의 연료로 사용한다. 핵분열시 우라늄 1그램이 생산하는 열에너지는 석유 9드럼, 석탄 3톤에 해당하는 양으로 100만 kW급 발전소를 1년 운영하는 데 필요한 연료는 석유 150만톤, 석탄 220만톤이 소요되는데 비해 원자력연료는 30톤 정도에 불과할 정도로 효율이 높다. 원전에 사용되는 연료와 핵폭탄의 차이는 바로 이 우라늄 235의 비율이며, 원자폭탄의 경우 우라늄 235의 비율이 약 95% 이상이다.

이 우라늄을 펠렛(Pellet)라고 부르는 5g 정도 무게를 가진 새끼 손톱만한 크기의 세라믹 형태(그림 2 참조)로 만든 다음에 펠렛 300여개를 특수한 금속튜브에 넣고 밀봉하여 연료봉(그림 3 참조)을 만든다. 다시 연료봉 200여개를 튼튼한 금속 구조물에 고정시켜 완제품 형태의 원자력연료집합체 한 다발(그림 4 참조)이 된다. 원자력발전소의 원자로 안에는 이 원자력연료집합체 150여다발이 핵분열 연쇄반응을 하여 열을 낸다. 참고로 한국표준형 경수로용 원자력연료 집합체 1다발이 생산할 수 있는 전력량은 약 1억7천만kWh로 약 6만 가구가 1년간 쓸 수 있는 양에 해당된다.

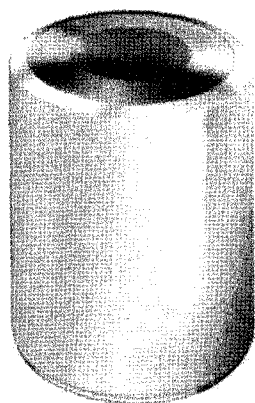
원자력연료집합체는 발전을 위해 원자로 내부에 장착된다. 두께 25cm의 강철로 만들어진 원자로(그림 4 참조)는 우라늄 원료가 핵분열을 일으키는 곳으로 핵분열 연쇄



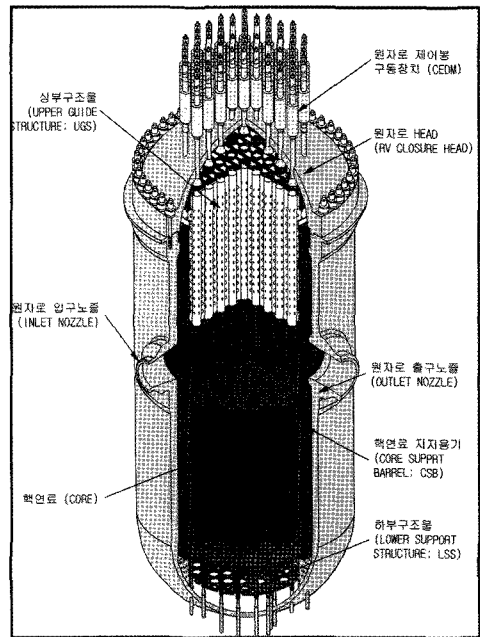
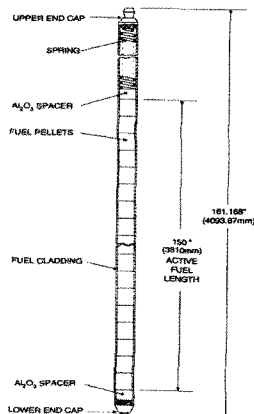
〈그림 3〉 원자력연료 다발 (한국원자력문화재단)

반응을 도와주는 감속재, 열을 전달하는 냉각재, 연쇄반응 속도를 조절하는 제어봉 등이 들어있다. 원자로는 흑연경수로, 가스냉각로, 가압경수로, 비등경수로, 가압중수로가 있으며, 한국표준형 원전은 가압경수로이다. 참고로 가압중수로는 캐나다에서 개발하여 CANDU라고도 불리며 원자로 냉각재와 감속재로 중수를 연료는 천연우라늄을 사용한다. 우리나라에는 월성 1,2,3,4호기가 가압중수로이다.

가압중수로는 세계 원전의 60% 정도를 차지하고 있으



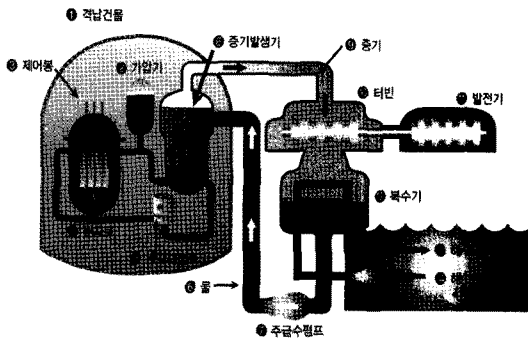
〈그림 1〉 원전 연료봉에 삽입되는 〈그림 2〉 한국표준형원전 표준형연료의 연료봉 구조



〈그림 4〉 원자로



며, 냉각재와 감속재로 일반적인 물인 경수를 사용한다. 그림 4는 가압경수로형 원전의 개념도이다. 먼저 핵연료에서 핵분열을 통해 발생한 열로 냉각재를 약 320℃의 고온으로 만든다. 이때 가압기를 통해 약 150기압의 고압상태를 유지시켜 냉각재가 끓지 않도록하며, 고온의 냉각재는 증기발생기에서 열교환을 통해 터빈에 공급할 증기를 생성한다. 생성된 증기는 터빈을 돌리는데 이용되며 발전기를 통해 전기가 생산된다. 복수기는 전기를 만들고 난 증기를 바닷물 또는 강물과 열교환을 통해 냉각시켜 다시 증기발생기로 보낸다. 그림 4에서 분홍색으로 표시된 부분을 1차계통, 파란색으로 표시된 부분을 2차계통이라 부른다.



(그림 5) 가압경수로형 원전의 개념도

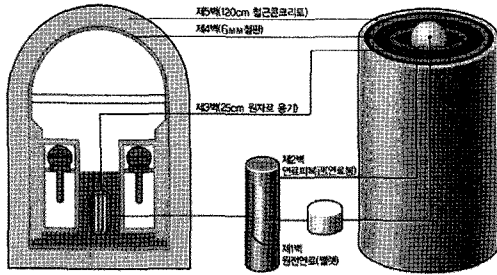
원자로에 장전된 원전연료는 발전연료로서의 역할을 수행한 뒤 원자로에서 제거하는데, 이것을 사용후 연료라고 한다. 이 사용후 연료에는 연료로 다시 사용할 수 있는 우라늄 235와 플루토늄239가 남아 있다. 사용후 연료에 남아 있는 유효성분을 다시 활용하기 위하여 분리하는 작업을 재처리라고 한다. 이와 같이 땅속에 묻혀 있던 우라늄을 원전연료로 만들어 전기를 만드는데 사용하고, 사용하고 난 후의 원전연료를 재처리하여 다시 원전연료로 활용하는 우라늄의 일생을 원전연료주기라고 한다.

3. 원자력의 안전 개념

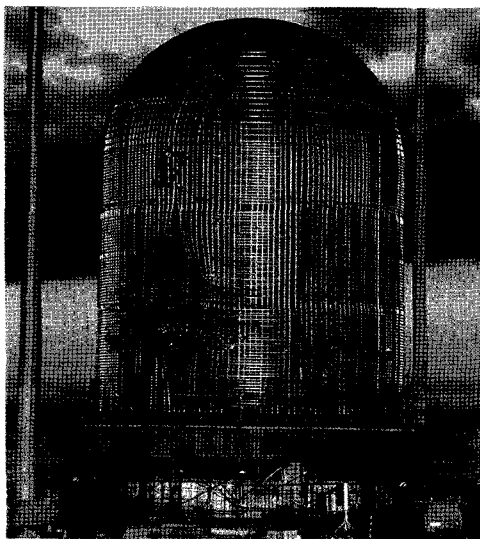
원자력 시설물의 설계시 기본적으로 고려되는 안전 개념은 다중성(Redundancy), 다양성(Diversity), 독립성

(Independency) 등이다. 다중성이란 하나의 시스템의 기능이 상실되더라도 다른 시스템이 그 역할을 수행하여 설계시 의도된 기능을 발휘하도록 동일한 기능을 수행할 수 있는 시스템을 복수로 구성하는 개념이다. 다양성이란 동일한 기능을 수행하는 시스템 설치 시 서로 다른 시스템을 설치하여 안전성을 증대하는 개념이며, 독립성은 한 시스템의 사고가 다른 시스템에 영향을 미치지 않도록 물리적, 전기적으로 분리하여 각 시스템이 독립성을 유지하도록 하는 것이다. 이밖에 어떤 시스템이 고유의 기능을 상실하였을 경우, 그 시스템의 상태가 발전소가 안전한 방향으로 최종 동작이 이뤄지도록 설계하는 고장시 안전작동(Fail Safe), 설비 또는 기기의 오동작 등에 의한 손상 및 사고를 방지하기 위해 정해진 조건이 만족되지 않으면 기기가 작동되지 못하도록 설계하는 연동기능, 출력연전 중 안전 시스템의 불필요한 동작 또는 기능 상실 없이 시험이 가능하도록 하는 시험성(Testability)이 있다.

우리나라의 원전은 방사선의 누출을 막기 위하여 5중 방호벽으로 이루어져 있다. 그림 5는 이러한 방호벽의 개념도이다. 1차 방호벽은 펠렛이며 핵분열로 발생하는 방사성물질의 대부분을 밀폐시킨다. 2차 방호벽은 연료봉으로 펠렛에서 누출된 소량의 기체 방사성물질을 밀폐시킨다. 3차 방호벽은 25mm 두께의 원자로용기와 배관이며, 4차 방호벽은 원자로건물 내벽에 설치된 6mm 두께의 강철판이다. 마지막 5차 방호벽은 1,200mm 두께의 철근콘크리트 격납건물이다. 원전하면 우리가 흔히 떠올리는 돔형 천장을 가진 원통형 건물인 격납건물은 콘크리트의 인장능력을 보완하고 잔균열을 방지하기 위하여 보통 프리스트레싱 시스템(Prestressing System)을 도입하고 있다. 그림 6은 한국표준형원전에 강선 텐돈을 배치하는 사진이다. 그림에서와 같이 강선 텐돈은 수평과 수직 방향으로 설치되며 수평텐돈은 격납건물의 격벽에 수직텐돈은 격납건물 하부 텐돈갤러리에 정착한다. 이밖에도 방호벽의 건전성을 유지하기 위하여 여러 가지 안전설비가 설치되어 있다.



<그림 6> 원전의 방호벽 개념도 (원자력문화재단)



<그림 7> 프리스트레싱 텐톤의 설치

4. 방사선 기본 상식

원자를 구성하는 양성자, 중성자, 전자가 균형을 이루지 못할 때 방사선을 낼 수 있는 능력(방사능)을 갖게 되는데, 이러한 물질을 방사성물질이라고 하며, 방사성물질에서 나오는 에너지를 방사선이라고 한다. 자연계에 존재하는 방사성물질로는 우라늄, 라돈, 라듐 등이 있으며 이러한 물질들은 방사선을 방출하면서 붕괴하여 안정된 상태가 되려는 성질이 있다. 반감기는 방사성물질에서 방출되는 방사선량이 초기값에서 반으로 줄어드는데 소요되는 시간을 말하며, 우라늄 238의 경우 반감기가 45억년에 이르나 라돈의 경우는 3.82일에 불과하다. 표 1은 주요 방사성물질의 반감기이다.

[표-1] 주요 방사성물질의 반감기 (한국수력원자력)

방사성물질	우라늄 (U-238)	코발트 (Co-60)	크립톤 (Kr-85)	삼중수소 (H-3)	스트론튬 (Sr-90)	세슘 (Cs-137)
방사선종류	베타, 감마	베타, 감마	베타, 감마	베타	베타	베타, 감마
반감기	8일	5년	11년	12년	28년	30년

물리적으로 보면 방사선은 물질을 투과할 수 있는 힘을 가진 광선과 같은 것이며, 엑스선, 알파선, 베타선, 감마선, 중성자선 등이 있고 종류에 따라 투과력이 다르다. 알파선은 입자이기 때문에 알파입자라고도 하며 베타선 보다 수천 배나 무겁고 크기도 훨씬 작아 종이 한장으로도 막을 수 있다. 공기 중에서도 몇cm 정도 밖에 날아가지 못한다. 베타선은 전자의 흐름으로 속도가 매우 빨라서 빛의 속도에 가까운 것까지 있으나 투과력은 그다지 강하지 않다. 감마선은 엑스선이나 빛과 같은 전자기파이며, 물질을 투과하는 능력이 보통 엑스선보다 훨씬 강하다는 것이 특징이다. 중성자선은 알파선이나 베타선 또는 양성자선과 같이 입자선이지만 전기를 띠고 있지 않으므로 물질 속을 비교적 멀리까지 지나갈 수 있어 두꺼운 콘크리트 등으로 차폐물을 설치해야 한다.

표 2는 방사선 및 방사능의 단위이다. rem(렘)이라는 단위는 방사선이 인체에 미치는 영향을 측정할 때 사용하는데 보통 1g의 라듐으로부터 1m 떨어진 거리에서 1시간 동안 받은 방사선의 영향이 약 1rem에 해당한다. 국제단위는 Sv(시버트)를 사용하며 1Sv는 100rem이다. 시버트는 방사선의 종류와는 관계없이 어떠한 방사선이든지 그 방사선으로 인한 일정한 생물학적 효과만을 나타내는 단위이다. 흡수선량은 어떤 장소에서 어떤 물질에 흡수된 방사선에너지량을 조사선량은 방사선의 통과에 의해 발생한 전하량을 기준으로 산출한 방사선에너지량을 말한다. 방사능은 어떤 물질 중의 방사성물질이 단위시간 내에 몇 번 붕괴를 일으키는가를 나타내는 것이며, 함유된 방사성물질의 양과 반감기에 의해 결정된다. 방사능량의 단위로 예전에는 Ci(퀴리)가 사용돼 왔으나 국제도량형총회의 결의에 따라 Bq(베크렐)을 사용한다. 국제단위인 Bq은 방사능의 발견자로 알려진 베크렐의 이름을 딴 것이며 매초 1

개의 붕괴수를 1Bq로 한다.

이러한 방사선은 농업, 공업, 환경, 의료 등의 분야에 유용하게 사용되기도 하나, 일정량을 이상의 양을 인체에 받으면 큰 해가 될 수 있다. 지구상의 물질은 극히 미량이라도 방사성물질을 포함하고 있으므로 우리 모두는 지금 이 순간에도 자연적인 방사선을 받고 있다. 이러한 방사선을 인위적인 행위에 의해 발생한 인공방사선과 구분하여 자연방사선이라고 하는데, 자연방사선으로 인해 누구나 1년간 평균적으로 2.4mSv(밀리시버트) 정도의 방사선을 받게 된다. 자연방사선량의 1천배 정도를 받으면 구토, 탈모와 같은 이상 증세가 나타나며, 7,000배 정도를 전신에 받으면 사망할 수도 있다.

【표-2】 방사능 및 방사선의 단위 (한국수력원자력)

구분	표준단위	과거단위	환산
방사능 단위	베크렐(Bq)	큐리(Ci)	1Ci = 3.7 × 10 ¹⁰ Bq
방사선 단위	조사선량	쿨롱/킬로그램(C/kg)	1R = 2.58 × 10 ⁻⁴ C/kg
	흡수선량	그레이(Gy)	1rad = 0.01Gy
	등가선량	시버트(Sv)	1rem = 0.01Sv

방사선에 대한 내성을 방사선감수성(Radio Sensitivity)이라고 하는데 세포나 장기, 조직별로 차이가 있다. 일반적으로 방사선 감수성은 세포분열 속도가 높을수록 분열을 적게 한 세포일수록 높아 태어나 유아의 경우 방사선에 의한 영향이 더 크며, 세포 내에서는 핵(nucleus)이 가장 민감하여 핵부피가 큰 정자가 난자에 비해 보다 민감하다. 같은 양의 방사선을 받았을 때 상대적으로 피해가 큰 장기를 결정장기라고 하는데 표 3과 같이 방사성물질의 종류에 따라 다르다. 방사성물질은 체내에 흡수되었을 때 신진대사나 배설작용에 의해 자연 상태와 반감기가 다른데 이를 생물학적 반감기라고 하며, 자연 상태에서의 반감기를 물리적 반감기라고 한다. 생물학적 반감기(T_b) 및 물리적 반감기(T_p)를 고려해 방사성물질이 체내에서 실제로 감소해가는 비율을 유효반감기(T_{eff})라고 하며 다음 식으로 계산한다.

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_b} + \frac{1}{T_p}$$

참고로 세슘과 스트론튬의 물리적반감기는 각각 30년과 28년이나, 유효반감기는 108일과 16년으로 상당한 차이가 있다.

【표-3】 주요 방사성물질의 결정 장기

방사성	물질결정장기	방사성물질	결정장기
H-3	신체조직, 피부	Xe-133	전신
C-14	지방, 전신	Cs-137	근육, 간장
Fe-59	대장 하부, 비장	Ir-192	대장 하부, 신장, 비장
Co-60	대장 하부, 전신	Rn-222	폐
Sr-90	뼈	Pa-226	뼈
Tc-99m	대장 하부	U-238	신장
I-131	갑상선	Pu-239	뼈

5. 결론

1978년 4월 29일 고리 1호기의 상업운전과 함께 시작한 우리나라의 원자력 발전은 그동안 국내전력수요의 약 40% 정도를 담당하며 경제 성장의 동력원으로 큰 역할을 담당해 왔다. 석유, 석탄 등의 가격 불안정과 온난화로 인한 탄소배출 억제 등의 전 세계적 분위기를 감안할 때 앞으로도 원자력은 한동안 우리 경제를 지탱해 줄 전력원으로 역할을 해주어야 할 것이다. 금번 일본에서의 원전사고를 교훈삼아 기술인들은 보다 안전한 원자력을 만드는데 심혈을 기울여야 할 것이다. 특히 원자력은 방재와 불가분의 관계인만큼, 우리 방재기술인들이 더욱 관심을 가져야 할 분야라고 생각된다.

참고문헌

1. 한국수력원자력 원자력발전기술원 홈페이지 <http://www.khnp.co.kr/tech/>
2. 한국원자력문화재단 홈페이지 <http://www.konepa.or.kr/>
3. 한국원자력연료주식회사 브로셔