

## 제1교시

\* 다음 13 문제중 10 문제를 선택하여 설명하십시오. (각 10 점)

1. 핵연료 물질 취급공정의 핵임계 제어방법을 열거하시오.
  2. 핵연료 물질 사용 시설에서 의무적으로 수검하여야 하는 계량 관리 검사의 종류를 열거하고, 그 각각에 대한 통상적 검사 빈도를 제시하시오.
  3. 경수로 핵연료의 핵분열기체 방출기구를 온도 의존성으로 구분하여 열거하시오.
  4. 현재 사용하고 있는 원자로 냉각재 재료를 5개이상 열거하고 각각에 대한 원자로형과 핵연료 재료 물질을 예로 드시오.
  5. 금속 결정에서 발생하는 결함(defect)의 종류를 형태별로 구분하여 열거하시오.
  6. 우라늄 농축법을 5 가지 이상 열거하시오.
  7. 다음 3 문중 2 문을 선택하여 간단히 설명하시오.
    - 가. PKA(Primary Knock-on Atom)
    - 나. 핵분열성 물질(Fissile Material)
    - 다. 입계부식(Infergranular Corrosion)
  8. 핵연료봉에 대한 비파괴 조사후 시험(Post-irradiation examination) 항목을 5 가지 이상 열거하고 각 시험의 목적을 간단히 기술하시오.
  9. 핵연료 피복관 재료로는 Zircaloy-2 와 Zircaloy-4 가 가장 많이 사용되고 있다. 이 두 재료의 근본적인 차이와 그 이유에 대해 설명하시오.
  10. 원자로 운전에 따른 계속적인 핵분열로 인해 핵연료 소결체내에는 핵분열 생성물이 누적되게 된다. 이산화우라늄 소결체내에서의 핵분열 생성물 거동에 대해 화학적 형태별로 구분하여 간략히 설명하시오.
  11. 원자로 금속재료는 중성자 조사에 의해 조사조립과 조사성장(irradiation growth)이 발생할 수 있다. 조사 크립과 조사성장에 대한 차이를 간략하게 설명하시오.
  12. 핵연료 소결체내의 열전달은 다음의 Thermal Conductivity Integral로 설명할 수 있다. 이 적분 관계식의 의미를 간략히 설명하시오.
- $$\int_{T_s}^{T_o} K(T) \, dT = \frac{P}{4\pi}, \text{ 단 } P \text{ 는 선출력임.}$$
13. 이산화우라늄의 결정구조를 도시하고 간단히 설명하시오.

## 제 2 교시

※ 다음 6 문제중 4 문제를 선택하여 설명하십시오. (각 25 점)

1. 다음의 핵연료 펠렛 내부의 정상 상태 열전달(열전도) 방정식으로부터 그 내부의 온도 분포가 포물선(Parabolic) 형태를 따르고 있음을 보이시오.  
열전달 방정식 :  $\nabla^2 T + H = 0$ .  
이때  $\nabla^2$ 는 2 차 미분연산자이며  $H$ 는 단위 부피당 핵연료 펠렛내부에서 발생되는 열생성량이다. 참고로 펠렛 표면에서의 온도는  $T_s$ 로 놓고 푼다.
2. 최근 국내외의 장주기 고연소 핵연료 집합체에서 AOA(Axial Power Off-set Anomaly) 현상이 자주 보고 되고 있다. 이 현상에 대해 아는대로 상세히 기술하시오.
3.  $14 \times 14$  형태의 집합체에서 시작한 PWR 용 핵연료 집합체는  $15 \times 15$ ,  $16 \times 16$ 을 거쳐  $17 \times 17$  혹은  $18 \times 18$  형태로 발전해 왔다. 이와 같은 설계개선에 따른 장점은 무엇인가 ? 아는대로 상세히 설명하시오.
4. 가압 경수로 핵연료 소결체 제조시 소결체에 대한 세부검사 항목과 이들 검사 기준을 위반했을 때 핵연료의 성능에 미칠 수 있는 영향을 설명하시오.
5. 우리나라의 원자력법에서 정하고 있는 핵연료 물질의 정의와 사용허가를 요하지 않는 핵연료 물질의 양을 함께 기술하시오.
6. 가압 경수로 핵연료 가공 공장에서 핵연료를 성형 가공하는데 4.2w/o의 농축 우라늄 800kg 이 필요하다. 이 농축 우라늄을 기체 확산 공장에서 생산할 때 필요한 천연 우라늄의 양은 얼마인까 계산하시오. 단, 이 농축공장의 Feed Material 0.711w/o의 천연 우라늄이고 Waste(tail)은 0.2w/o로 가정하시오.

분야 : 에 너 지

자격종목 : 핵 연 료

### 제 3 교시

※ 다음 6 문제중 4 문제를 선택하여 설명하십시오. (각 25 점)

1. 핵연료 물질을 운반시 핵임계 안전을 우선적으로 확보하기 위하여 운반물을 제 1 종, 제 2 종 및 제 3 종 핵분열성 운반물로 구분하고 있는데 그 차이가 무엇인지 설명하시오.
2. 핵연료 물질의 선정시 일반적 요구 조건을 설명하고 우라늄 금속 핵연료와 이산화 우라늄 핵연료의 특성을 이 요구조건과 관련하여 특성을 비교하시오.
3. 가압경수로 핵연료 재변환 공정중 AUC(Ammonium Uranyl Carbonate) 공정을 핵연료 물질의 흐름과 함께 도시하고 설명하시오.
4. 이산화우라늄 핵연료의 고밀화(Densification) 및 팽윤(Swelling)의 발생원인 및 특성에 대하여 설명하고 고밀화 및 팽윤에 의한 이산화우라늄의 부피 변화를 연소도의 함수로 도시하시오.
5. 핵연료 피복관 재료의 선정시 요구되는 조건을 설명하고 이 요구조건에 따라 지르칼로이 피복관과 스텐레스강 피복관 재료의 적합성을 평가하시오.
6. 이산화우라늄이 고온에서 연소하게 되면 조직의 재편성(Restructuring)이 일어나게 되는데 이를 4 개의 구역으로 나누어 설명하시오.

### 제 4 교시

※ 다음 6 문제중 4 문제를 선택하여 설명하십시오. (각 25 점)

1. 원자로 운전중 어떤 이유로 핵연료 피복관에 과도한 Creep-down의 발생하였다고 가정하자. 이때 이 과도 Creep-down으로 인해 야기되는 핵연료봉의 열적 기계적 성능 변화 과정을 설명하고 궁극적으로 발생할 수 있는 핵연료 손상 기구에 대해 논하시오.
2. 가압경수로 핵연료봉 설계기준에 대해 상세히 설명하시오. (5 가지이상)
3. 원자로내에는 다양한 금속재료들이 사용되고 있다. 이 금속원자로 재료들에 대한 중성자 조사 효과와 조사영향에 대해 상세히 논하시오.

분야 : 에 너 지

자격종목 : 핵 연 료

4. 고연소 핵연료봉의 성능에 있어 핵분열 생성기체 방출은 매우 중요하게 인식되고 있다. 핵분열 생성기체에는 어떤 종류가 있으며 그 방출비를 정의하고 가장 기본적인 평가 모델인 ANSS.4(Booth) 모델에 대해 논하시오.
5. 핵연료 피복관 재료인 지르카로이 합금의 부식 거동은 고성능 핵연료의 장주기 고연소 달성을 한계요소(Limiting factor)로 등장하였다. 따라서 이 한계 요소제거 및 극복을 위해 국제적으로 새로운 피복관 재료 개발을 위한 노력이 한창 진행되고 있다. 이 지르카로이 합금 재료의 부식에 대한 동역학(Kinetics) 거동에 대해 논하시오.
6. 현재 경수로 사용후 핵연료의 경우 이미 상용화된 중수로 사용후 핵연료의 Silo 저장 방식과 같은 건식저장 기술 개발을 위한 연구가 본격적으로 수행되고 있다. 이와 같이 경수로 사용후 핵연료를 건식저장할 경우 발생할 수 있는 사용후 핵연료 피복관 손상기구에 대해 논하시오.