



이 책은 핵연료물질취급자일반면허 및 핵연료물질취급감독자면허 취득을 위한 핵물질 관계법령 수험서입니다.

본 교재에는 “핵물질관계법령” 뿐만 아니라 핵연료물질 취급면허에 응시하는 수험생들에게 조금이나마 도움을 주고자 엮은이가 핵연료물질 취급면허에 응시하면서 학습 하였던 주요내용을 정리하여 + α 파트에 “핵연료물질의 물리·화학적 성질 Summary”, “핵연료물질의 취급기술 Summary”, “주요 계산문제 및 풀이”를 수록하였으니 참고 하시기 바라며, 아울러 “방사선측정 및 방사선장해방어에 관한 기술”은 RISRI 길라잡이 제4장, 제6장, 제8장, 제9장~12장, 제18장~제20장을 학습하시기 바랍니다.

본 교재에서는 “과징금”과 “벌칙”부분은 현장 실무에서 매우 중요하다고 판단되어 법 원문을 가능한 한 그대로 해설하여 기술하였습니다. 꼼꼼히 읽어보시면 핵물질 관계법령을 전반적으로 이해하시는데 도움이 될 것이라고 확신하며, 각 내용의 마지막 부분에는 면허시험에 도움을 드리고자 한눈에 볼 수 있도록 **과징금 및 벌칙**을 각각 **요약정리**하였으니 참고하시기 바랍니다.

이 책이 핵연료물질 취급면허 시험에 응시하고자 하는 분들의 실력향상에 조금이나마 도움이 되기를 바라며, 책의 다소 부족한 부분에 대해서는 독자 여러분들의 조언을 들어, 차후 개정 및 보완할 것을 약속드립니다.

마지막으로 이 책의 출판을 위하여 세심한 교정과 여러 가지로 많은 도움을 주신 안현희선생님, 그리고 보이지 않는 곳에서 이 책의 출판을 위해 애써주신 모든 분과 노현미사장님께 진심으로 감사의 마음을 전합니다.

2019년 12월 6일 엮은이



- 원자력안전법
- 원자력안전법시행령
- 원자력안전법시행규칙
- 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙
- 방사선안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙
- 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법
- 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법시행령
- 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법시행규칙
- 원자력안전위원회고시
- 방사선취급기술, 한국원자력연구원, 2005
- 방사선방호원론, 이재기, 한국방사선진흥협회, 2016
- 원자로이론, 한국전력공사 원자력연수원, 1995
- 원자력공학개론, 박종운 외, 한티미디어, 2015
- 핵연료물질취급기술, 한국원자력연구원, 2008
- 핵연료물질의 취급 및 관리, 한국수력원자력(주), 2011
- 방사선장해와 방호, 한국원자력연구원, 2009
- 뉴크리어아카데미 핵연료물질 취급면허시험 대비 특강교재, 2018

엮은이 : 강은보·김서용·김쌍태·박철서^{주저자}

법령은 지속적으로 개정되고 있으므로 개정사항은 www.nuclearacademy.com의 공지사항에 공지 하오니 시험에 응시하기 전에는 반드시 확인하시기 바라며, 자세한 법령정보는 한국원자력안전 기술원에서 운영하는 홈페이지 <http://www.kins.re.kr> 에서 원문을 다운 받아 보시기 바랍니다.



핵물질관계법령

제1장 원자력관계법령의 체계	003
제2장 용어의 정의	005
제3장 허가에서 폐지까지	031
제4장 시설 및 취급기준	091
제5장 운반	112
제6장 기타 중요한 규정들	131

+ α

I. 핵연료물질의 물리·화학적 성질 Summary	151
II. 핵연료물질의 취급기술 Summary	176
III. 주요 계산문제 및 풀이	190







핵물질관계법령





제1장 원자력관계법령의 체계

○ 원자력법의 태동

1958년 : 법률 제483호 원자력법 제정

1982년 : 법률 제3549호 통합원자력법 제정

○ 원자력안전법 제정

2011년 7월 25일 : 원자력안전법 제정(시행 2011년 10월 26일)

○ 법의 성격

원자력안전관리 및 안전규제법

○ 원자력안전법 제1조의 목적

원자력의 연구·개발·생산·이용 등에 따른 안전관리에 관한 사항을 규정하여 방사선에 의한 재해의 방지와 공공의 안전을 도모함을 목적으로 한다.

○ 원자력안전법 제2조의2의 원자력안전관리의 기본원칙

원자력안전관리는 아래 원칙에 따라 추진 할 것

- 1) 원자력안전협약 등 국제규범에 따른 원칙을 준수할 것
- 2) 방사선장해로부터 국민안전과 환경을 보호하는 데에 기여할 것
- 3) 과학기술의 발전수준을 반영하여 안전기준을 설정할 것

○ 법령의 목차

장(章) → 절(節) → 관(寬) → 조(條) → 항(項) → 호(號) → 목(目)

○ 법령의 구성

- 1) 원자력안전법 : 국회 심의 및 의결 - 원자력안전관리 및 안전규제의 기본사항
- 2) 원자력안전법 시행령 : 대통령령(국무회의 심의 및 의결) - 원자력안전법에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항
- 3) 원자력안전법 시행규칙 : 총리령 - 원자력안전법 및 같은 법 시행령에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항

- 4) 방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙¹⁾ : 원자력안전위원회
- 5) 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 : 원자력안전위원회
- 6) 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법²⁾ : 국회 심의 및 의결
- 7) 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법 시행령 : 대통령령(국무회의 심의 및 의결)
- 8) 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법 시행규칙 : 총리령
- 9) 고시 : 원자력안전위원회

1) 일명 “방사선안전규칙”

2) 일명 “방사능방재법”

제2장 용어의 정의

1. 핵물질 관련 용어

○ 원자력 : 원자핵 변화의 과정에 있어서 원자핵으로부터 방출되는 모든 종류의 에너지

○ 핵물질³⁾ : 핵연료물질 및 핵원료물질

☞ 핵연료물질 : 우라늄·토륨 등 원자력을 발생할 수 있는 물질로서 대통령령으로 정하는 다음의 것을 말한다.

- 1) U-238에 대한 U-235의 비율이 천연혼합률과 같은 우라늄 및 그 화합물
- 2) U-238에 대한 U-235의 비율이 천연혼합률에 미달하는 우라늄 및 그 화합물
- 3) 토륨(Th) 및 그 화합물
- 4) 1)부터 3)까지의 규정에 해당하는 물질이 하나 이상 함유된 물질로서 원자로의 연료로 사용할 수 있는 물질
- 5) U-238에 대한 U-235의 비율이 천연혼합률을 초과하는 우라늄 및 그 화합물
- 6) 플루토늄(Pu) 및 그 화합물
- 7) U-233 및 그 화합물
- 8) 5)부터 7)까지의 규정에 해당하는 물질이 하나 이상 함유된 물질

☞ 핵원료물질 : 우라늄광·토륨광과 그 밖의 핵연료물질의 원료가 되는 물질로서 대통령령으로 정하는 것을 말한다. 이때 대통령령으로 정하는 것은 우라늄 및 그 화합물 또는 토륨 및 그 화합물을 함유한 물질로서 핵연료물질 외의 물질을 말한다.

○ 특정핵물질 : 계량관리대상인 핵물질

- 1) U-238에 대한 U-235의 비율이 천연혼합률과 같은 우라늄 및 그 화합물
- 2) U-238에 대한 U-235의 비율이 천연혼합률에 미달하는 우라늄 및 그 화합물
- 3) U-238에 대한 U-235의 비율이 천연혼합률을 초과하는 우라늄 및 그 화합물
- 4) U-233 및 그 화합물

3) 원자력안전법 상 방사성동위원소로 분류되지 않는다.

- 5) 토륨(Th) 및 그 화합물
- 6) 플루토늄(Pu) 및 그 화합물
- 7) 1)부터 6)까지의 물질이 1 이상 함유된 물질

○ IAEA의 안전조치 및 물리적방호의 대상이 되는 핵물질 : 국제규제물자에 해당하며, 잠재적 위험의 정도를 고려하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 등급 I, 등급 II, 등급 III으로 분류⁴⁾한다.

핵물질		등급		
물질	형태	등급 I	등급 II	등급 III
플루토늄	미조사	2kg이상	500g초과 2kg미만	15g초과 500g이하
U-233	미조사	2kg이상	500g초과 2kg미만	15g초과 500g이하
U-235	U-235의 농축도가 20%이상인 미조사 우라늄	5kg이상	1kg초과 5kg미만	15g초과 1kg이하
	U-235의 농축도가 10%이상 20%미만인 미조사 우라늄	-	10kg이상	1kg초과 10kg미만
	U-235의 농축도가 0.7%초과 10%미만인 미조사 우라늄	-	-	10kg이상
조사된 연료	-	-	핵분열성물질 10% 미만의 감손우라늄, 천연우라늄, 토륨 또는 저농축연료	-

○ 유효킬로그램⁵⁾ : 특정핵물질의 계량관리에 사용되는 특별단위를 말하며, 유효킬로그램량은 다음과 같이 산출한다.

- 1) 플루토늄의 경우 : 그 킬로그램 단위의 중량
- 2) 농축도가 1% 이상인 우라늄의 경우 : 그 킬로그램 단위의 중량에 농축도의 제곱을 곱한 값

4) 분류표

- ① 이 표에서 “플루토늄”이라 함은 Pu-238의 농축도가 80%를 초과한 것을 제외한 플루토늄을 말한다.
- ② 이 표에서 “미조사”라 함은 원자로 내에서 조사되지 아니한 물질 또는 1m 떨어진 지점에서 차폐없이 시간당 1Gy미만의 방사선준위를 가진 원자로 안에서 조사된 물질을 말한다.
- ③ 당초 핵분열성물질을 함유함에 따라 조사 전에 등급 I 또는 등급 II로 분류된 조사된 연료는 1m 떨어진 지점에서 차폐없이 시간당 1Gy를 초과하는 방사선준위를 가지는 경우 1등급을 감할 수 있다.
- 5) 유효kg = 정량kg = Effective kg = EKG

3) 농축도가 0.5% 초과되고 1% 미만인 우라늄의 경우 : 그 킬로그램 단위의 중량에 0.0001을 곱한 값

4) 농축도가 0.5% 이하인 감손우라늄 또는 토륨의 경우 : 그 킬로그램 단위의 중량에 0.00005를 곱한 값

○ 국제규제물자 : 원자력의 연구·개발 및 이용에 관한 조약과 그 밖의 국제약속에 따라 보장조치의 적용대상이 되는 물자로서 총리령으로 정하는 다음의 것을 말한다.

- 1) IAEA의 안전조치 및 물리적 방호의 대상이 되는 핵물질
- 2) 원자로 및 그 부속장비
- 3) 원자로에 사용되는 비핵물질
- 4) 조사용 핵연료의 재처리공장 및 이를 위하여 설계 또는 제작된 장비
- 5) 핵연료의 가공시설⁶⁾(변환시설 포함)
- 6) 우라늄농축시설 및 이를 위하여 설계 또는 제작된 장비
- 7) 중수, 중수소 또는 중수소화합물의 생산시설 및 이를 위하여 설계 또는 제작된 장비
- 8) 그 밖에 원자력 관련 조약과 국제약속에 따라 관리되는 원자력 관련 물자 또는 시설

○ 물질수지구역 : IAEA의 보장조치 목적상 물질수지가 결정될 수 있는 시설의 내부 또는 외부의 다음과 같은 지역을 의미한다.

- 1) 일정구역 안 또는 밖으로의 이전에 있어서 핵물질의 양이 확정될 수 있는 지역
- 2) 규정된 절차에 따라 필요한 경우 각 일정구역에서 핵물질의 재고가 확정될 수 있는 지역

○ 방사성물질 : 핵연료물질·사용후핵연료·방사성동위원소·원자핵분열생성물

○ 특수형방사성물질 : 견고한 고체형 방사성물질 또는 캡슐에 넣고 봉한 방사성 물질로서 위원회가 정하는 운반기준에 적합한 것

○ 핵분열성물질 : U-233, U-235, Pu-239, Pu-241 또는 이들의 혼합물을 말한다. 다만, 조사되지 아니한 천연우라늄 및 감손우라늄과 열중성자로부터 조사된 천연우라늄 및 감손우라늄은 제외한다.

6) 원자력안전법 상 가공시설에는 일반적으로 변환시설이 포함된다.

제5장 운반

○ 방사성물질 등의 포장 및 운반의 안전관리

☞ 운반물의 종류

방사성물질 등의 종류와 그 한도량에 따라 다음과 같이 분류한다.

- L형 운반물
- IP형 운반물(IP-1형, IP-2형, IP-3형)
- A형 운반물
- B형 운반물(B(U)형, B(M)형)
- C형 운반물
- 핵분열성물질운반물

☞ 운반용기의 종류

운반하고자 하는 운반물의 종류에 따라 구분한다.

- L형 운반용기
- IP형 운반용기(구분 : IP-1형, IP-2형, IP-3형)
- A형 운반용기
- B형 운반용기(구분 : B(U)형, B(M)형)
- C형 운반용기
- 핵분열성물질운반용기

☞ 운반용기의 정상운반조건에 대한 입증시험¹¹²⁾

정상운반조건에 대한 건전성 입증시험은 다음 각 호에서 정하는 살수시험·자유낙하시험·압축시험·관통시험으로 구성되며 살수시험을 실시한 후에 시험물이 최대의 손상을 받는 방법으로 실시하여야 한다.

1. **살수시험** : 시험물에 5cm/h의 강우량에 상당하는 물을 1시간 이상 살수할 것

112) 살수시험, 낙하시험(자유낙하시험), 적층시험(압축시험), 관통시험, 추가시험



+ α

- I. 핵연료물질의 물리·화학적 성질 Summary
- II. 핵연료물질의 취급기술 Summary
- III. 주요 계산문제 및 풀이



+α II. 핵연료물질의 취급기술 Summary

[Summary 01] 핵연료주기

핵연료주기는 핵연료가 원자로를 중심으로 순환하는 것을 말한다.

1. 핵연료주기 : 우라늄원광을 채광, 정련, 변환, 농축, 성형가공, 연소, 사용후핵연료저장, 재처리 및 처분하는 과정

1) 선행핵연료주기 : 채광, 정련, 변환, 농축, 성형가공

2) 후행핵연료주기 : 사용후핵연료저장, 재처리 및 처분

2. 핵연료주기 개요

1) 채광 ①광산개발 ②채굴(노천채굴법, 갱내채굴법, In-Place Leaching(침출채굴법)

2) 정련 ①침출 ②정제 ③침전 ④여과/건조

3) 변환 ①건식변환 ②습식변환

4) 농축 ①기체확산법 ②원심분리법⁵⁰⁾ ③노즐법⁵¹⁾ ④화학교환법 ⑤레이저법

5) 성형가공 ①재변환공정⁵²⁾(습식 : AUC공정, ADU공정, 건식 : IDR공정, GECO공정, DCFB공정) ②소결체제조공정⁵³⁾ ③핵연료봉⁵⁴⁾제조공정 ④지지격자제조공정⁵⁵⁾ ⑤집합체제조공정

6) 연소

7) 사용후핵연료저장⁵⁶⁾(건식저장, 습식저장)

8) 재처리(용매추출법) 및 처분

50) 분리계수가 가장 높고 전력소비량이 가장 낮다.

51) 가동부가 적으며 비교적 건설이 간단하고 조작도 용이하지만 전력소비량이 가장 높다.

52) 재변환 공정은 농축된 UF₆로부터 UO₂분말을 제조하는 화학공정으로 제조공정 중 액체상의 물이 우라늄과 접촉하는 습식법과 기체상인 수증기만이 우라늄과 접촉하는 건식법이 있다. AUC공정은 육불화 우라늄을 기화, 침전, 여과, 배소·환원, 안정화의 5단계 과정을 거쳐 UO₂으로 제조된다. 건식공정은 기화된 육불화 우라늄을 습식공정에서와 같이 침전시키지 않고 열가수분해하여 UO₂를 제조하는 공정으로 습식공정에 비하여 폐기물이 적게 발생하는 장점이 있다.

53) UO₂분말 → 혼합 → 압분 → 소결 → 연삭 → UO₂소결체

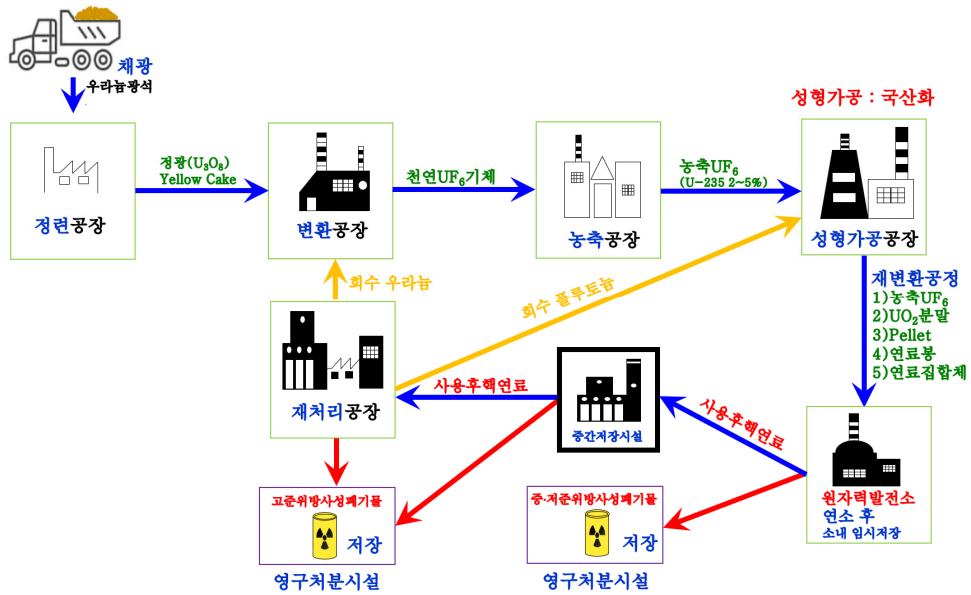
54) 연료봉 제작순서 : 지르칼로이피복관 → 1차 봉단마개용접 → 소결체장입 → 2차 봉단마개용접 (He충전, 스프링 장입) → 연료봉탐상검사 → 연료봉

봉단마개용접 : 압력저항용접(RPW : TIG용접에 비해 용접부오염과 결함가능성이 낮고 짧은 용접시간으로 열영향이 낮다)

55) 인코넬지지격자 : 경납땜(Brazing), 지르칼로이지지격자 : TIG용접

56) 사용후핵연료의 저장장소 : AR-RS, AFR-RS, AFR-OS

[Summary 02] 핵연료주기 개요도



[Summary 03] 핵연료주기의 구분

핵연료 구성물질에 따라	우라늄주기 토륨주기 ⁵⁷⁾
재처리유무에 따라	비순환주기 ⁵⁸⁾ 순환주기
혼합물에 따라	혼합산화물핵연료주기 ⁵⁹⁾ 경수로/중수로연계핵연료주기 ⁶⁰⁾

57) U-233으로 변환하여 사용하기 위해서는 외부중성자선원이 필요하다. U-233은 핵분열단면적이 크고 흡수당 중성자방출수가 속중성자에너지영역을 제외한 모든 영역에서 가장 크다.

58) 우라늄정광가격이 낮고 재처리비용이 비쌀 경우 유리하다.

59) 사용후핵연료를 습식재처리공정(PUREX)으로 핵분열생성물을 제거, Pu를 회수하여 감손/천연/농축 UO₂와 혼합하여 혼합핵연료(MOX)를 제조하여 경수로뿐만 아니라 고속증식로와 중수로에 재사용한다.

① MOX(혼합산화물)연료 : Mixed Oxide Fuel의 약어. 산화우라늄(UO₂)과 산화플루토늄(PuO₂)의 혼합물을 주체로한 핵연료의 총칭

② Pu Aging : Pu-241은 반감기(14.29년)가 짧아 Am-241로 붕괴하는데 이때 Am-241은 감마선을 방출하므로 취급이 곤란해진다. 따라서 2~3년내에 혼합핵연료로 가공해야 하며 장기간 보관후에는 Am-241과 그 외 붕괴물을 제거하는 정제공정이 필요하다.

60) OREX공정을 사용하여 DUPIC을 중수로에 사용한다.

+α III. 주요 계산문제 및 풀이

[01] 핵물질 안전조치 상의 척도로서 [정량kg]의 단위를 도입한다.

- 1) 농축도가 3%인 U-235 1kg은 몇 EKG인지 계산하시오.
- 2) 천연우라늄 1kg을 정량kg으로 나타내시오.

[sol]

$$\text{Pu-239 } 1\text{kg} = 1\text{EKG}$$

$$\text{U-235 농축도 } 1\% \text{ 이상 : 질량}[\text{kg}] \times (\text{농축도})^2$$

$$\text{U-235 농축도 } 0.5\% \text{ 초과 } 1\% \text{ 미만 : 질량}[\text{kg}] \times (0.01)^2$$

$$\text{U-235 농축도 } 0.5\% \text{ 이하 및 Th : 질량}[\text{kg}] \times 0.00005$$

- 1) U-235 농축도 1%이상이므로 $1\text{kg} \times (0.04)^2 = 1.6 \times 10^{-3} \text{EKG}$ 이다.
- 2) $1\text{kg} \times (0.01)^2 = 10^{-4} \text{EKG}$

[02] 1MeV의 중성자가 C-14원자핵과 충돌하여 0.025eV의 열중성자로 감속하기 위한 평균충돌수를 계산하시오.

[sol]

$$\xi \doteq \frac{2}{12 + \frac{2}{3}} = 0.158 \rightarrow n_c = \frac{\ln\left(\frac{1 \times 10^6}{0.025}\right)}{0.158} = 110.8$$

[03] 다음과 같은 조건의 중성자사이클에서 6인자와 유효증배계수를 계산하시오.

- 1) 첫세대에 1000개의 열중성자가 핵연료에 흡수된다.
- 2) 열분열에 의해 2000개의 속중성자가 생성된다.
- 3) 30개의 속중성자가 U-238에 흡수된다.
- 4) 75개의 중성자가 속분열로 생성된다.
- 5) 60개의 속중성자가 누설된다.
- 6) 485개의 열외중성자가 U-238에 공명흡수된다.
- 7) 100개의 열중성자가 누설된다.

- 8) 300개의 열중성자가 비핵연료물질(흡수체, 구조체)에 흡수된다.
 9) 다음세대에 1100개의 열중성자가 핵연료에 흡수된다.

[sol]

1) 6인자

$$\textcircled{1} \text{ 재생계수}(\eta) = \frac{2000}{1000} = 2$$

$$\textcircled{2} \text{ 속분열계수}(\varepsilon) = \frac{2000 + 75 - 30}{2000} = 1.0225$$

$$\textcircled{3} \text{ 속중성자비누설확률}(p_f) = \frac{2045 - 60}{2045} = 0.971$$

$$\textcircled{4} \text{ 공명이탈확률}(p) = \frac{1985 - 485}{1985} = 0.756$$

$$\textcircled{5} \text{ 열중성자비누설확률}(p_{th}) = \frac{1500 - 100}{1500} = 0.933$$

$$\textcircled{6} \text{ 열중성자이용률}(f) = \frac{1100}{1100 + 300} = 0.786$$

$$2) \text{ 유효증배계수}(K_{eff}) = 2 \times 1.0225 \times 0.971 \times 0.756 \times 0.933 \times 0.786 = 1.1^{82)}$$

[04] UO_2 핵연료의 밀도는 10.5 g/cm^3 이다. U-235의 농축도가 30%일 경우 U-235의 원자밀도를 계산하시오. U-235의 원자량은 235.0439 g/mol , U-238의 원자량은 238.0508 g/mol , O-16의 원자량은 15.9990 g/mol 이다.

[sol]

$$\text{우라늄의 원자량}[\text{g/mol}] = 235.0439 \times 0.3 + 238.0508 \times 0.7 = 237.15$$

UO_2 전체분자량이 269.139 g/mol 일 때 10.5 g/cm^3 이므로 우라늄만의 밀도는 다음과 같다.

$$\rho_U = \frac{237.15}{269.139} \times 10.5 \text{ g/cm}^3 = 9.25 \text{ g/cm}^3$$

$$n_{235} = \frac{9.25 \times 0.3}{235.0439} \times 6.02 \times 10^{23} = 7.11 \times 10^{21} \text{ U-235 atoms/cm}^3$$

82) 유효증배계수는 1)과 9)의 조건을 이용해도 계산이 가능하다. $K_{eff} = \frac{1100}{1000} = 1.1$