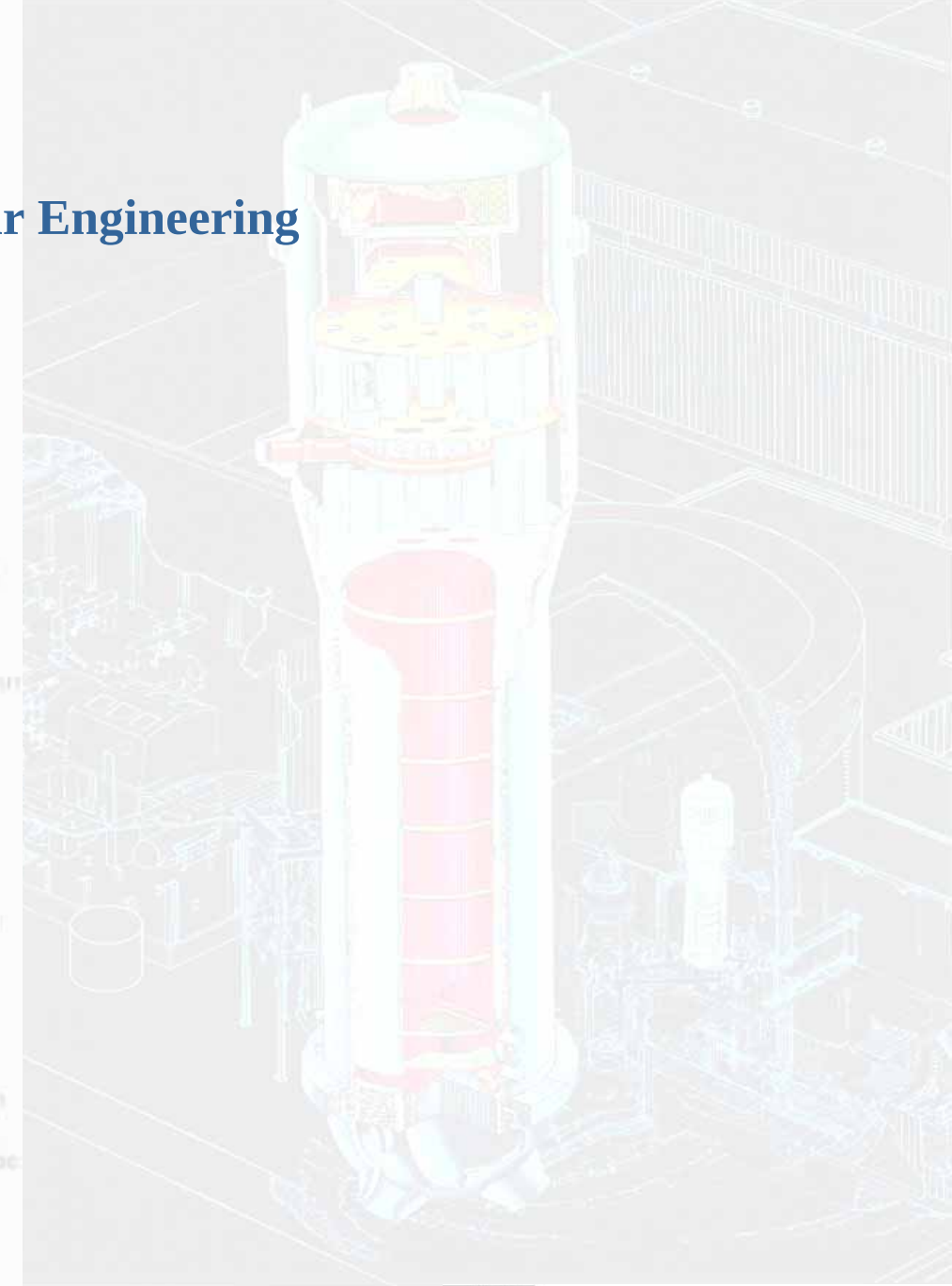
CHAPTER 1

U.C.Lee

Seoul National University
Department of Nuclear Engineering

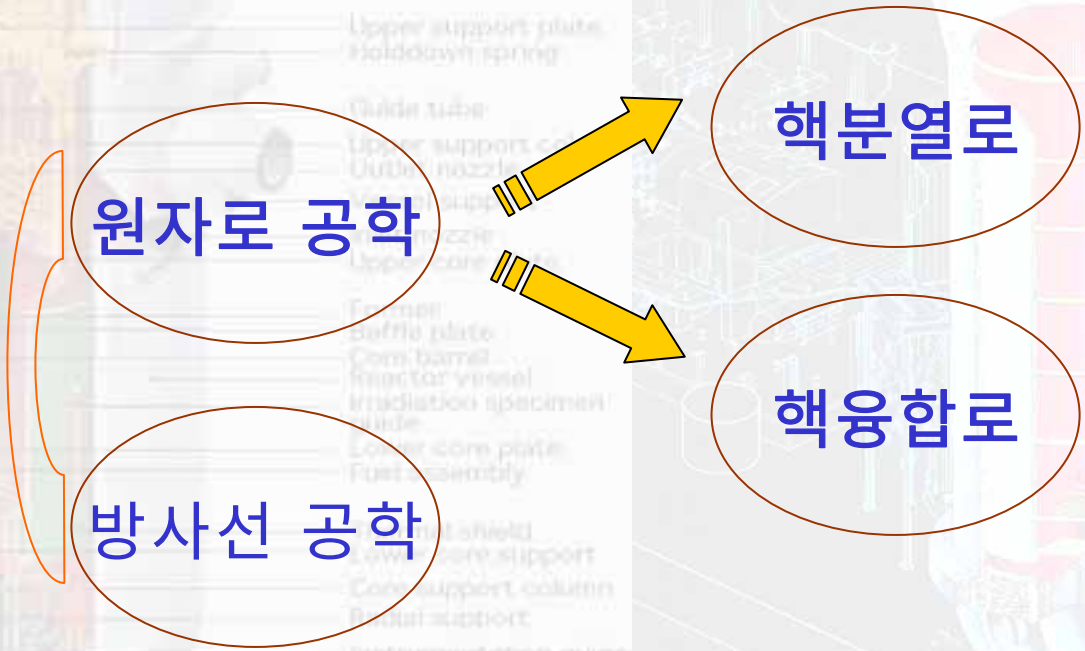
목 차



Introduction

- 핵공학이란?
  - 원자핵을 근원으로 하여 발생하는 핵에너지의 방출,제어,이용과 이에 관련된 제 공정 및 장치,시설의 설계,제조,건설,운전 및 핵에너지의 이용이 환경에 미치는 영향을 다루는 공학분야

- 핵공학의 분류



핵분열이란?

- 질량과 에너지
  - $E=MC^2$ (1905, 아인슈타인) : 질량-에너지 보존법칙
  - '질량은 얼어붙은 에너지의 덩어리'
    - 원자력발전은 핵의 질량에서 막대한 에너지를 얻어내는 것
- 핵분열 반응
  - 우라늄 원자핵 = 92개의 양자 + 143/146개의 중성자 (U235/U238)
  - 핵분열 반응?

    → 핵분열 파편(Fission Fragments)은 매우 불안전한 원자핵. 베타붕괴를 하면서 안정핵종으로 천이

    → 2~3개의 가벼운 핵으로 '핵분열'

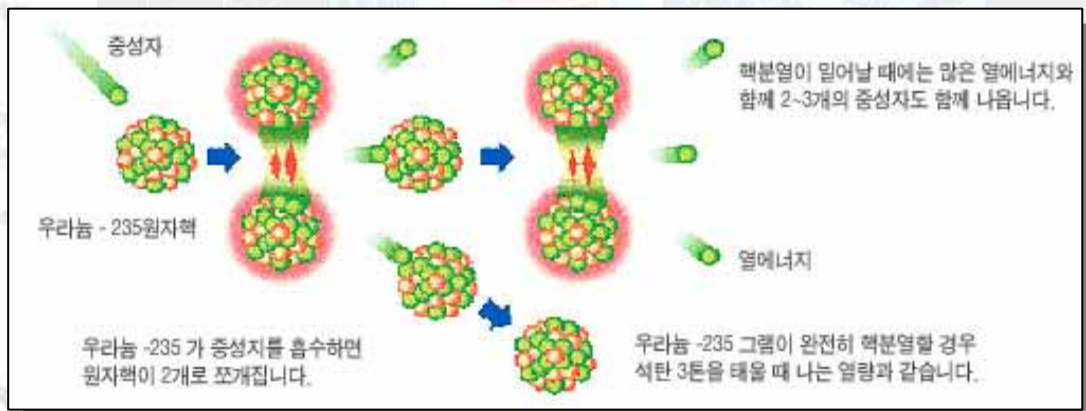
    → 2~3개의 중성자도 같이 생겨남

    → 이들이 또 다른 핵분열을 일으킴

    → '핵분열 연쇄반응'
  - 핵분열시 발생하는 에너지
    - 우라늄1Kg 당

      = 석탄 3000톤

      = 석유 55만 갤론



우라늄과 플루토늄

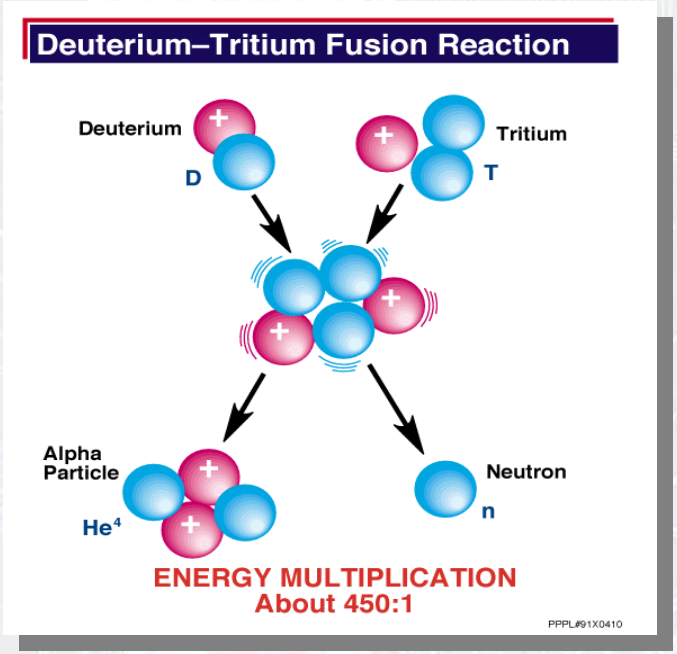
- **U235와 U238**
  - U235 : 핵분열성 물질
    - 저속의 중성자와 핵분열 반응 일으킴
  - U238 : 핵원료성 물질
    - 고속의 중성자와 반응, 핵분열성 물질인 플루토늄 생성

- **Pu**
  - 원자번호 94, 질량수 239~242
  - 자연계에 존재하지 않는 인공원소
  - Pu239, Pu241 : 핵분열 능력 우수, 핵폭탄의 원료로 사용가능
  - 원자로 내부에서 생성되는 플루토늄은 재처리과정을 통해 분리가능
  - 핵 확산을 막기 위해 세계적으로 협약을 맺어 규제하고 있음

핵융합이란?

- 핵융합 반응

$$
\begin{aligned}
D + D \rightarrow & \rightarrow T(1.01) + p(3.03) \\
& \rightarrow He^3(0.82) + n(2.45) \\
D + T & \rightarrow He^4(3.52) + n(14.06) \\
D + He^3 & \rightarrow He^4(3.67) + n(14.67)
\end{aligned}
$$



- 위 핵융합 반응은 Man-Made Fusion Reaction 의 유형
- D는 해수중의 수소의 0.0153 atm% 함유되어 있음. 년 15Q/yr의 에너지 소모를 가정하면 109년까지 에너지공급

원자로

- 원자로란?
  - 핵분열 또는 핵융합 반응을 일으키고 에너지를 발생시키는 장치. 단, 원자로는 제어할 수 있어야 하며 또한 핵반응을 지속적으로 일으킬 수 있는 장치여야 함

- 원자로 응용
  - 전력 전환(원자력발전소)
  - 공정 Steam 및 공정열 생산
  - 핵잠수함, 우주선, Rocket의 추진력
  - 방사성 동위원소 생산(연구로)
  - 중성자 이용(연구, 개발, 재료실험)

원자로

➢ 원자로의 유형

❑ 감속재를 통한 구분 : 경수로(LWR), 중수로(HWR), 흑연로 등

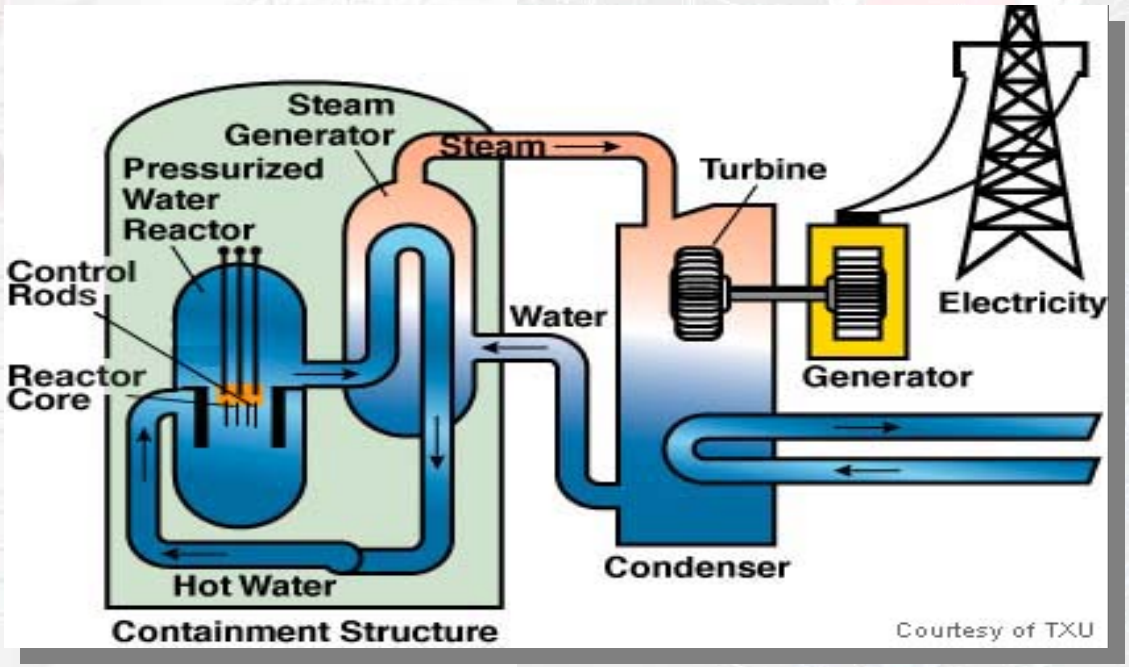
- 중수로 : 원료비가 저렴하고 가동율 높음
- 경수로 : 감속재/건설비용 측면에서 경제적

❑ 증기발생 방식에 따른 구분

- 비등경수로 : 노심에서 물을 끓여 그 증기로 직접 터빈을 돌림
  - 열 효율이 높고 경제적이며 냉각재 펌프 불필요
  - 터빈을 통한 방사능누출 가능성이 존재하며, 물의 이상유동으로 인해 컨트롤이 어려움
- 가압경수로 : 물이 끓지 못하는 높은 압력 하에서 가열된 1차 계통 고온의 물이 2차 계통의 물을 끓여 터빈으로 보냄
  - 핵연료가 파손되더라도 격납용기 외부로 누출될 수 없어 안전성이 뛰어남
  - 냉각재의 온도분포가 출력에 주는 영향이 적어 제어계통이 단순함

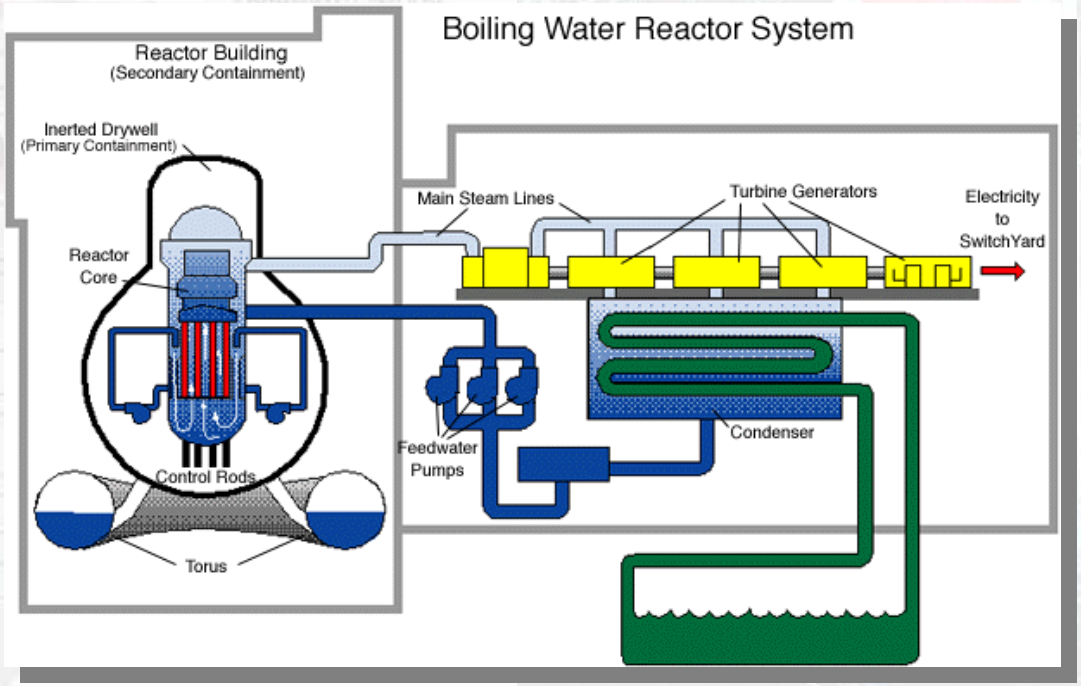
원자로

- 가압경수로 (PWR: Pressurized Water Reactor)
  - 세계적으로 가장 많은 형태의 원자로
  - 1953년 미 해군이 원자력잠수함용으로 최초개발
  - 최초의 상업로 : Yankee 발전소 (1961.6, 180MWe, 웨스팅하우스)
  - 국내 20기 운전 (6기 건설중 :신고리 4기, 신월성 2기)



원자로

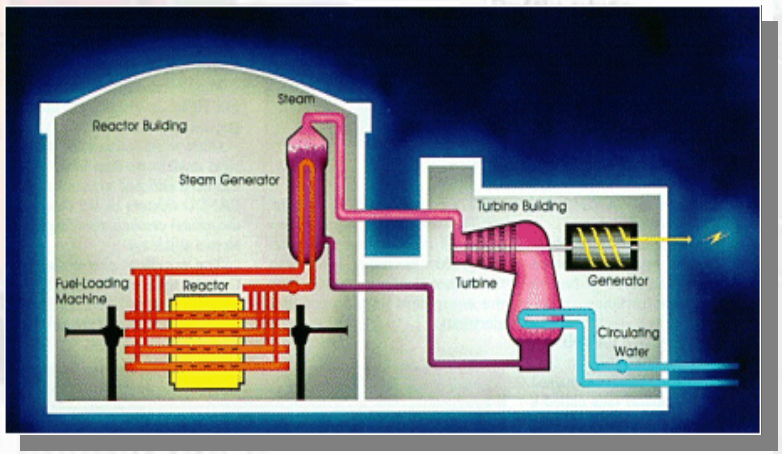
- 비등경수로
  - 일차계통에서 직접 증기 생산
  - 높은 열효율, 낮은 운전 압력
  - 별도의 증기발생기 불필요
  - 미국 Dresden 1호기(1960) 이후 세계적으로 90여기 이상이 가동
  - 우리 나라에는 없음

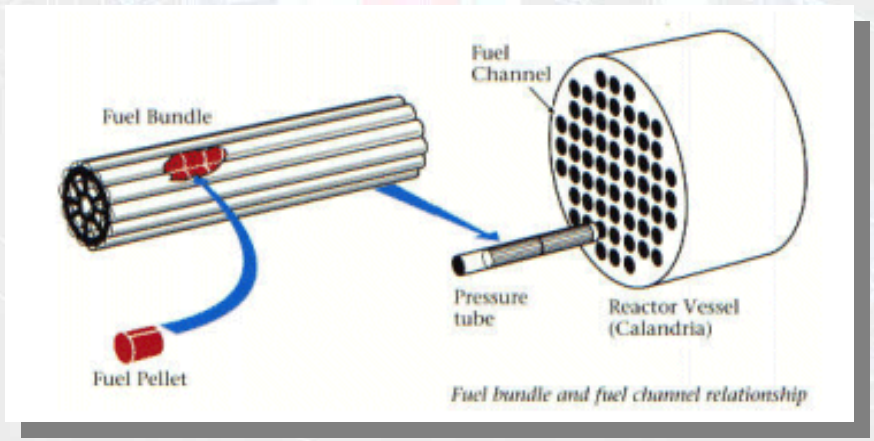


원자로

- 가압중수로 (PHWR: Pressurized Heavy Water Reactor)
  - 최초 캐나다에서 상업적 운전, 이후 CANDU형 중수로 개발
  - 우리나라는 월성에서 4기 운전

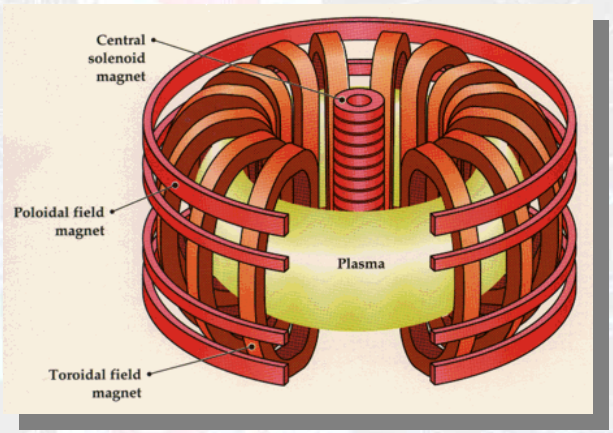
구 분	가압경수로 (PWR)	가압중수로 (PHWR)
사용연료	저농축우라늄 (U^{235} 2~5%)	천연우라늄 (U^{235} 0.7%)
냉 각 재	경 수	중 수
감 속 재	경 수	중 수
연료교체	정지 후 1/3씩 교체	운전 중 교체
운전기수	고리4기, 영광6기, 울진6기	월성4기





원자로

- 핵융합 원자로
  - 수소, 중수소 및 삼중 수소의 핵융합 반응을 통한 에너지 생산
  - 고온 고압의 플라즈마 속에 하전 입자를 가두어 핵융합 반응을 일으킴
  - 수소를 연료로 사용, 무한한 무공해 에너지원으로서 꿈의 에너지로 불림
  - 향후 수십 년 내에 상용화가 가능할 것으로 예측됨
- 핵융합발전의 구조



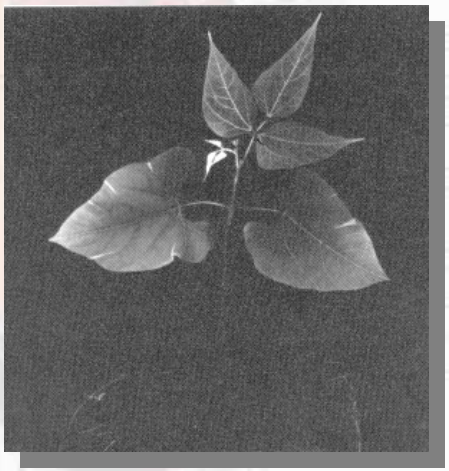
방사선 공학

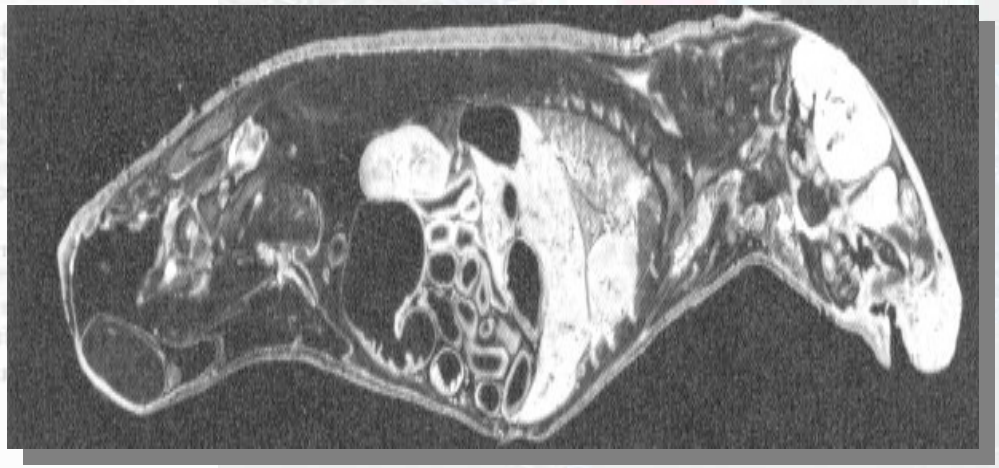
- 방사선 공학의 종류
  - 방사성 동위원소의 제조 및 취급
  - 방사선 측정 및 차폐
  - 방사선 관리(감시 및 환경보호)
  - 방사선의 산업적 이용
    - 방사선 Gauge
    - 추적자 이용
    - 감마선 Radiography
    - 공업적 이용

- 방사선 게이지
  - 방사선과 물질과의 상호작용(흡수,산란,감속)을 이용하여 물질의 두께, 밀도, 수분함유량, 진공도 등을 측정
  - Thickness (Level, Density, Moisture) Gauge
  - 비접촉, 비파괴, 연속측정가능(생산공정의 자동화)

방사선 공학

- 추적자
  - 공정유체에 방사성 동위원소를 투입. 투입 후 경과시간에 따른 방사능의 세기를 측정함으로써 공정유체의 유동모형(Flow Pattern), 체제시간, 유체 성분 분포 등을 알아냄
- **Radiography**
  - 물체 속에 방사선 투과
  - 투과된 방사선에 의해 사진 감광
  - 사용방사선 : X선, gamma 선 등
  - 금속성 기계의 비파괴 검사 : 금속 재료 속의 결함 검출





방사선 공학

- 방사선에 의한 의료기구 멸균
  - 미국 등지의 여러 나라에서는 의료기구의 멸균이 법률로 의무화
  - 방사선 멸균 대상 의료기구
    - 주사기통, 수술용 봉합사, 메스, 수술용 장갑, 인공 장기, 거즈, 일회용 주사기 등
  - 의약품의 방사선 멸균도 곧 실용화 가능
  - 농업 분야의 이용
  - 농작물 품종 개량
    - 방사선 육종을 이용한 농작물의 품종개량
    - 방사성 트레이서(Tracer)를 이용한 비료의 효과 연구
    - 트레이서에 의한 지하수 연구
    - 방사선 조사를 이용한 불임화 처리로 해충 박멸
- 방사성 식품 조사

방사선 공학

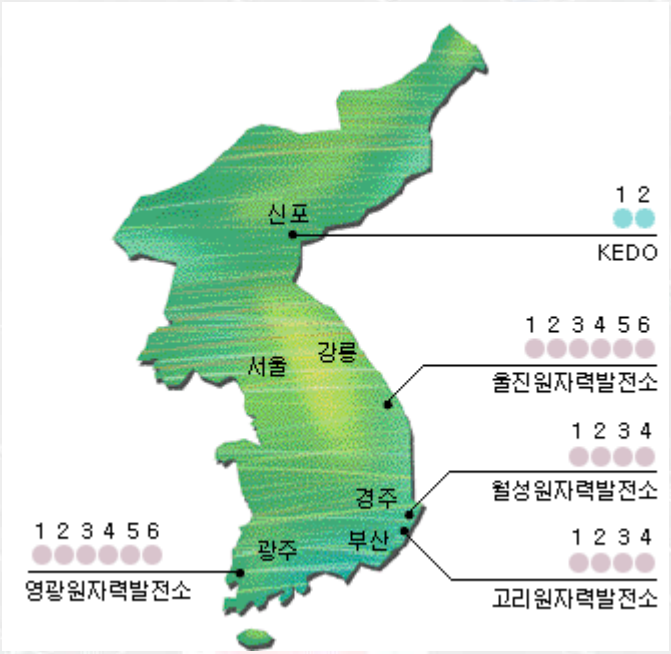
- 식품의 적절한 보존 및 저장을 통해 식품 손실을 최대한 억제

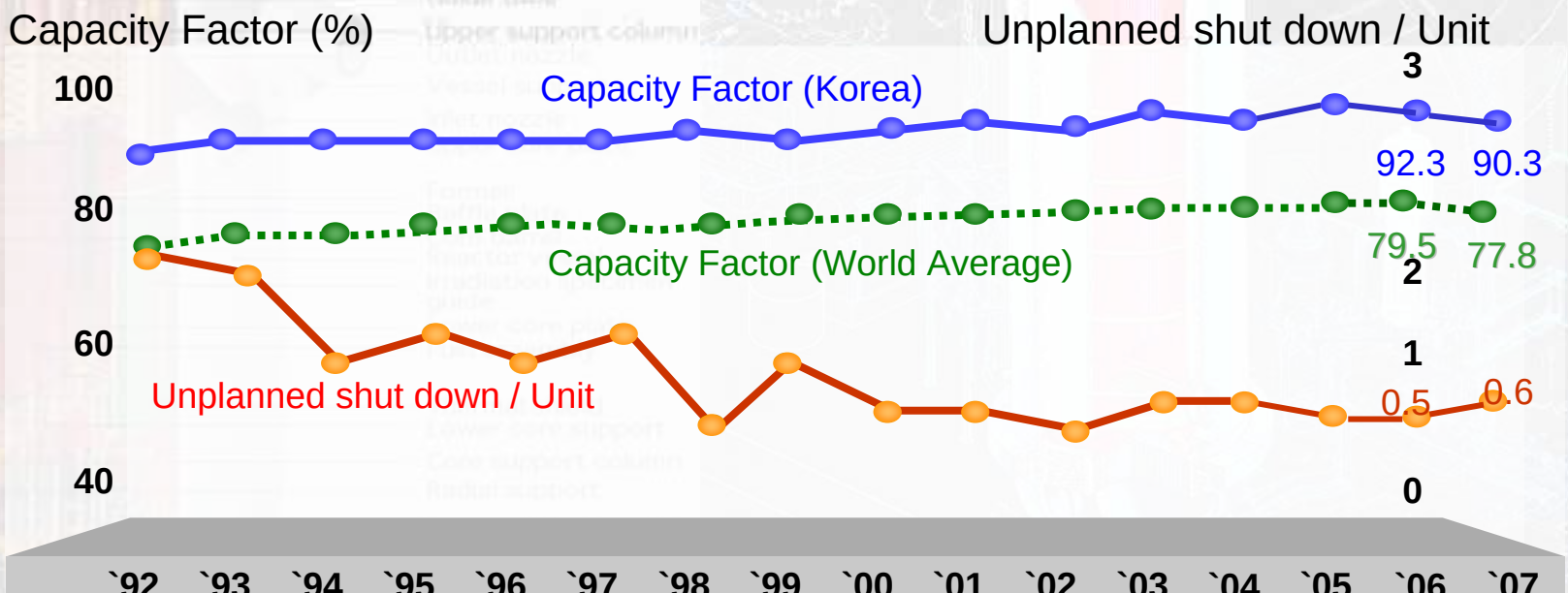
  - UN 식량농업기구, 국제 원자력기구(IAEA), 세계보건 기구(WHO) 등에서는 식품조사에 문제가 없다는 결론

  - 식품 조사의 효과
    - 발아 및 근경류 성장억제 : 감자, 양파, 당근 등에 이용
    - 숙도 조절 : 버섯, 바나나, 파파야 등
    - 저장 중의 해충 구제 : 곡류, 과일 등
    - 미생물 멸균 : 생선 제품, 육류 제품, 향료 등

국내 원자력발전소 현황

- 원자력 이용 역사
  - 1958년 2월 원자력법 공표
  - 1978년 4월 고리1호기 가동
  - 현재 20기 운전중
    - 세계 평균을 훨씬 웃도는 우수한 원전 운영능력 보유





	`92	`93	`94	`95	`96	`97	`98	`99	`00	`01	`02	`03	`04	`05	`06	`07
C.F.(%)	84.5	87.2	87.4	87.3	87.5	87.6	90.3	88.3	90.4	93.2	92.7	94.2	91.4	95.5	92.3	90.3
shutdown	1.7	1.6	0.9	1.1	0.9	1.1	0.4	0.9	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6

국내 원자력발전소 현황

➢ 발전소별 개요

호기	위치	용량(만kW)	원자로형	상업운전일
고리#1	부산시 기장군	58.7	가압 경수로	'78. 4. 29
고리#2		65		'83. 7. 25
고리#3		95		'85. 9. 30
고리#4		95		'86. 4. 29
월성#1	경북 경주시	67.9	가압 중수로	'83. 4. 22
월성#2		70		'97. 7. 1
월성#3		70		'98. 7. 14
월성#4		70		'99. 10. 1
영광#1	전남 영광군	95	가압 경수로	'86. 8. 25
영광#2		95		'87. 6. 10
영광#3		100		'95. 3. 31
영광#4		100		'96. 1. 1
영광#5		100		'02. 5. 21
영광#6		100		2003. 1
울진#1	경북 울진군	95	가압 경수로	'88. 9. 10
울진#2		95		'89. 9. 30
울진#3		100		'98. 8. 11
울진#4		100		'99. 12. 31
울진#5		100		04. 7. 29
울진#6		100		05. 4. 22