

# 各國大學의 原子爐實驗 現況



金 德 仁

〈韓國에너지研·原子力研修院 前任研究員〉

## 1. 序 論

原子力産業이나 原子力計劃을 성공적으로 遂行하기 위한 有資格要員을 확보하기 위해서는 教育이 先行되어야 한다.

이러한 필요성에 의해 1958년과 1959년에 漢陽工大와 서울工大에 原子力工學科가 開設되었고 최근의 原子力發電事業 및 關聯事業의 擴張으로 原子力專攻者의 需要가 증가하여 1979년에 慶熙大, 1982년에 韓國科學技術院, 1985년에는 朝鮮大에 原子力(核)工學科가 開設되어 原子力分野의 教育에 큰 역할을 담당하고 있다.

이들 大學 原子力工學科의 教科目中 가장 實務教育이라 할 수 있는 原子爐實驗은 대부분의 大學이 自體의 原子爐가 없어 研究·教育用 原子爐(TRIGA reactor)를 保有한 한국에너지연구소에 委託教育하고 있는 實情이다.

實驗이란 理論教科目을 理解하기 위함이 그 目的이므로, 原子爐實驗도 이 目的에 적합하게 內容과 方法이 효과적이며 적절한 것인지를 點檢해 볼 필요가 있다. 따라서 國內外 大學의 원자로실험의 現況을 比較하여 國內 원자로실험에 관한 앞으로의 研究·檢討事項을 提示하고자 한다. 資料募集의 畧으로 美國, 英國, 日本 等

6 個國의 11 個 大學과 2 個 研究所의 자료만 수집되었고, 그나마도 一部 資料는 內容이 빈약하여 比較·判斷에는 무리가 없지 않았다.

## 2. 國內의 現況

현재 原子力(核)工學科가 設置된 大學은 앞의 4 個 大學과 科學技術院의 蔚山工業專門 大學이 있다. 其中 과학기술원은 大學院課程만 있고 4 개 大學교는 學士課程과 大學院課程이 있다. 蔚山工業專門大學은 2 年제로 앞의 大學과는 그 類型이 다르다.

이들 大學 모두 原子爐實驗을 다루고 있다. 서울大 漢陽大는 學士課程에서만 必須로 다루고 있고 慶熙大는 學士課程에서는 必須로, 大學院課程에서는 研究課題로 다루고 있다. 科學技術院은 學士課程에서 原子力을 전공하지 않은 학생에게 만 이 실험을 必修케 하고 있다.

서울大, 漢陽大 및 科學技術院은 自體原子爐가 없어 原子爐를 保有한 한국에너지연구소에 委託教育시키고 있고 慶熙大는 自體保有 原子爐(A GN-201, 最大出力 0.1W)를 이용하고 있다 (表 1 參照).

實習方法은 3 個 大學이 平常學期에 매주 1

〈表 1〉 國內 原子爐實驗 教育時期 및 期間

大 學	教育時期	教育期間	비 고
서울대	학사과정 4년	1 개학기	선택 필수
한양대	학사과정 4년	2 개학기	선택 필수
경희대	학사과정 4년	2 개학기	선택 필수
과학기술원	석사과정 1년	2 주	非原子力專攻者에 필수

개 實驗項目을 一定時間동안 組別 實習을 하고 있고(組別 實習人員 9~13名), 科學技術院은 겨울학기에 集中的으로(2 週間) 實習하고 있다. 實驗項目은 學士課程이나 碩士課程이 크게 다르지 않고 學校間도 거의 비슷하다(附錄 參照).

### 3. 外國의 現況

全世界에는 原子力(核)工學科가 設置된 대학은 상당수에 이르고 있으며 또한 여러나라에 分布되어 있다. 이中 原子力分野에서 우리보다 앞서 있거나 우리와 비슷한 水準의 국가로 約 10 餘個國을, 그리고 한 국가에 原子力工學科가 설치된 대학이 많은 경우에는 몇개의 대학을 任意로 선택하여 資料를 수집하였다.

#### 가. 美 國

美國에는 原子力工學科가 설치된 대학은 約 20 餘를 헤아린다. 이中 4個 大學의 자료만 수집되었다. 이들 대학은 모두 原子爐實驗을 1개 학기, 선택으로 수강하게 하고 있다.

- University of Cincinnati -

이 대학의 工科大学 學士課程은 5年制이며, 原子爐實驗을 色含하여 모든 實驗은 大學院課程에 편성되어 있으며 學士課程 學生도 수강할 수 있는 dual course로 되어 있다. 原子爐가 없는 대신 Subcritical Assembly(water-moderated natural uranium fueled)가 施設되어 있어 原子爐實驗의 大部分을 이것으로 실습하고 原子爐運轉實習만(2 個 項目) Ohio State University Research Cen-

ter로 가서 하고 있다. 實驗報告書는 group report 制를 채택하고 있고 原子爐實驗內容은 위의 原子爐運轉實習 項目外에 爐物理系統實驗이 4개, 放射線測定이 1개 項目이며, BWR power reactor simulator를 이용한 實習도 포함되어 있다.

- University of Illinois -

이 대학은 大學院 中心制로 운영된다고 할 수 있으며, 모든 教科目的 수강은 學士課程과 大學院課程의 구분없이 할 수 있다. 原子爐實驗은 대학원과정에 편성되어 있으며 自體 原子爐(tank type, 3 MWt)와 3개의 Subcritical Assembly를 이용하여 原子爐運轉實驗 3개 항목과 爐物理實驗 4개 항목을 실시하고 있다.

- Pennsylvania state University -

學士課程에는 原子爐運轉實驗이 4年次에 편성되어 있으며 大學院課程에 原子爐實驗과 PWR simulator 실습이 있다. 原子爐運轉實驗(學士課程)에서는 原子爐運轉을 통하여 爐物理와 爐理論의 상호관계를 실험하고 大學院課程의 實驗은 原子爐運轉系統 1개 항목, 爐物理系統 3개 항목 그리고 放射線關聯實驗 1개 항목으로 되어 있다. TRIGA reactor(Max. flux  $2.7 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ , peak power 1100KWt)와 Subcritical Reactor를 이용하고 있다.

- Satate University of New York at Buffalo -

原子爐實驗은 學士課程에만 있고 大學院課程에는 없다. 自體保有한 原子爐(swimming pool type)를 이용 原子爐運轉系統實驗과 爐物理 系統實驗 各 2개 항목을 실습하고 있다.

#### 나. 英 國

原子力工學科가 설치된 대학은 2~3개 대학이고 機械工學科나 化學工學科 등에서 原子力工學을 가르치는 대학도 있다.

- University of London Queen Mary College -

學士課程과 碩士課程에서 原子爐實驗을 선택 과목으로 1개 학기동안 最大出力 100KWt의 原

子爐를 이용하여 교육하고 있다. 學士課程實驗은 原子爐運轉實驗이라고 할 수 있으며 大學院課程實驗은 간단한 運轉系統實驗과 爐物理實驗으로 구성되어 있다.

— University of Manchester —

大學院課程에는 原子爐實驗이 없고 學士課程에만 있다. 自體原子爐는 없고 大學들이 共同으로 設立한 研究用 原子爐(최대출력 300KWt)를 이용하여 原子爐運轉系統 3, 爐物理系統 7, 放射線關聯實驗 3個 項目을 必須로 10일 동안 集中的으로 실험한다.

다. 日 本

原子力工學科가 있는 大學은 10個 大學이 있으나 其中 4個 大學의 자료가 수집되었다. 原子爐가 없는 대학은 原子爐實驗을 課外(extra)로 하던가 또는 短期間에 集中的으로 實施하고 있다.

— 東京大學 —

學士課程에서만 原子爐實驗을 다루고 있으며 한 學期 科目(필수)으로 되어 있다. 自體 原子爐를 이용하여 原子爐運轉系統實驗 2個 項目, 爐物理系統實驗 3個 項目을 實驗하고 있다.

— 京者大學 —

卒業論文만 필수이고 다른 모든 科目은 선택이며, 原子爐實驗은 학사과정과 대학원과정에 모두 편성되어 있다. 學士課程에서는 기본적인 것을 大學院課程에서는 高級實驗을 하고 있다.

研究用 原子爐(KUR)와 Critical Assembly(KUCA)를 保有하여 自體의 原子爐實驗뿐만 아니라 他大學(大阪大, 北海道大)의 실험에도 이용하고 있다. 學士課程의 實驗은 原子爐運轉系統 4個, 爐物理系統 2個 項目이며 大學院實驗은 모두 爐物理系統 5개, 放射線系統 1개로 6個 項目이며 其中 2개 항목만 선택하면 된다.

— 大阪大學 —

原子爐實驗은 學士課程의 核工學實驗(필수)의

課外(extra)로 선택이며 大學院課程에는 실험이 없다. 이외에 卒業生 對象의 1週 과정의 原子爐實驗(爐物理實驗)이 있다. 原子爐가 없어 京都大學의 KUR 와 KUCA를 이용하고 있다.

— 北海道大學 —

原子爐實驗은 學士課程에는 없고 大學院課程에 선택과목으로 편성되어 있으며 京都大學의 KUR과 KUCA를 이용하여 原子爐運轉系統과 爐物理系統 各 3個 項目을 실험하고 있다.

라. 스페인

大學에는 原子力工學科가 없고 原子力委員會(Junta de Energia Nuclear)傘下 原子力研究所(Instituto Estudios Nucleares)에 碩士課程이 있다. 여기서의 모든 實驗은 獨立된 教科目이 아니라 理論科目의 附屬實驗으로 행해지고 있다. 原子爐實驗은 JEN의 2個의 研究用 原子爐(pool type)를 이용하여 原子爐運轉系統實驗 6개 항목과 爐物理系統實驗 1개 항목을 다루고 있다.

마. 自由中國

原子力工學科가 있는 大學은 國立清華大學 하나 뿐이며 原子爐實驗은 學士課程에서 필수이고 大學院課程에서는 다루지 않고 있다. 그러나 非 原子力工學科生 對象의 原子爐實驗을 마련하고 있는 것은 特異하다. Pool type 原子爐와 移動式教育用 原子爐를 보유하고 있다.

實驗內容은 原子力專攻者에게는 原子爐運轉系統과 爐物理系統의 實驗 各 4個의 項目이고 非 原子力專攻者에게는 거의 모두 原子爐運轉系統의 實驗이다(8개 항목 중 7개 항목).

바. 파키스탄

Pakistan Institute of Nuclear Science and Technology(PINST)에 碩士課程의 核工學科가 있으며 여기의 實驗科目으로 遮蔽 및 爐物現實驗과 '原子爐實驗' 그리고 '動力爐 Simulator 實驗'이

있다. 遮蔽 및 爐物理實驗은 차폐실험만 제외하면 原子爐實驗(爐物理系統)이라 할 수 있다.

5 MWt 級의 pool type 原子爐(90% 농축우라늄 연료 사용)와 Reactor Simulator 를 保有하고 있다. 原子爐實驗에 포함시킬 수 있는 것을 합치면 原子爐實驗內容은 총 10개 항목(原子爐 運轉系統과 爐物理系統 各 5個 項目)이다.

#### 4. 國內外 現況 比較

原子爐實驗은 原子力(核)工學科가 있는 대학은(調査한 大學) 모두 學士課程이나 大學院課程中 어느 한 과정에 편성되었거나 兩課程에 편성되어 있다.

우리나라는 이 실험을 學士課程에서만 다루어 오다 '83년부터는 한국과학기술원 석사과정에서도 교육하고 있다. 외국은 研究所를 제외한 11개 대학 중 7개교가 學士課程에, 5개교가 大學院課程에 이 실험을 편성하고 있다(表2 參照). 이 중 미국의 2개 대학은 大學院課程의 교과목이지만 學士課程의 학생도 受講할 수 있는 dual course 를 채택하고 있다. 우리나라와 自由中國은 이 실험을 필수로 하고 있으나 다른나라는 대부분 선택과목으로 하고 있다.

原子爐를 이용 또는 사용하는 실험만을 原子爐實驗이라 할 때 이 실험의 種類(內容)는, 실험 내용이 같은 것은 類似 題目에 포함하여 한 종류로 보면, 調査된 것만 총 25 종류로서 이중학

사과정에서 21종, 대학원과정에서 18종을 다루고 있다. 한 대학에서 다루고 있는 실험 종류를 보면 學士課程은 國內 大學이 12개, 外國 大學이 平均 6개로 우리가 비교적 많고, 大學院課程은 國內가 9개, 外國이 平均 6개를 취급하고 있다(表3 參照).

實驗內容을 分野面에서 볼 때, 우리는 原子爐 運轉系統에 치우친 반면 外國은 原子爐運轉系統과 爐物理系統의 實驗이 약 50%씩이다. 實習期間도 우리는 2개 學期(서울大: 1개 기)이나 外國은 1개 學期이며, 우리나라 대학은 自體 原子爐가 없으면서도(경희대 제외) 正常學期內에 매주 실습하고 있으나 外國의 경우 自體 原子爐가 없는 大學(13개 대학 중 3개 대학)은 이 실험을 短期間(7~10일간)에 集中的으로 실시하고 있다. 영국의 Manchester 대학이 그렇고 일본의 北海道大學이 그렇다. 일본 大阪大는 아예 正規實驗이 果外(extra)로 편성하고 있다.

이 외에 미국의 2개 대학과 파키스탄(PINST)에서는 原子爐實驗의 一部 또는 別個의 교과목으로 Power reactor simulator 를 교육하고 있

#### 5. 結 論

이상에서 考察한 바와 같이 原子力工學科과 있는 大學은 모두 原子爐實驗을 다루고 있다. 이것은 原子爐實驗이, 미래의 原子力 및 關聯産業이 主役이 될 原子力工學徒들에게 필요한 實驗實習이라는 증거라 할 수 있다.

그러므로 原子爐實驗은, 內容面에서는 他教科目(爐理論, 爐物理 等)과 聯關되면서 그 교과목을 理解할 수 있어야 하며, 運營面에서는 實習方法, 教育時期 및 期間 等이 실험실습의 效果를 최대한 높일 수 있도록 效率的이고도 適切하여야 한다. 이와 같이 하기 위하여 우리는 國內 原子爐實驗에 대하여 다음과 같은 事項들을 研究·檢討하여 개선하여야 할 것이다.

〈表2〉 各國 原子爐實驗 大學校 數

區分 國名	學士課程	大學院課程	비 고
한 국	3	1	
미 국	2	3	4개대학교
영 국	2	1	2개대학교
일 본	3	2	4개대학교
자유중국	1		
스 페 인		1	研究所
파키스탄		1	研究所

1. 爐物理系統實驗의 開發
2. 現實驗內容의 再評價

3. 現實驗方法의 改善方案
4. 適正教育時期 및 期間의 策定

〈表 3〉 各國 大學의 原子爐實驗 種類

國名 大學 實驗 分野	한 국				미 국				영국		일 본			자유중국	스페인	파키스탄		
	서울 大	한양 大	경희 大	과학기술원	*Cincinnati 大	*Illinois 大	New York 大	Pennsylvania 大	London 大	Manchester 大	東京 大	京都 大	大阪 大	北海道	清華大	JEN	PINST	
學士課程	原子爐運轉	7	7	9			2		4	3	2	4	2		4			
	爐物理	2	3	6			2		1	7	3	2	1		4			
	計	9	10	15			4		5	10	5	6	3		8			
大學院課程	原子爐運轉				6	2	3		1	2			5		3	6	5	
	爐物理				2	4	4		3	2				3		1	5	
	計				8	6	7		4	4			5	6		7	10	
原子爐保有		×	×	○	×	△	×	○	○	○	×	○	○	×	×	○	○	○

\* : 學士課程 學生도 수강 가능  
 + : 原子爐 Subcritical Assembly 保有

### 〈附錄〉 原子爐實驗內容

#### 서울대학교

- Reactor Instrumentation
- Start-up Procedure and Daily Check
- Reactor Operation
- Relation between Period and Reactivity
- Control Rod Calibration
- Measurement of Temperature Coefficient
- Thermal Neutron Flux Measurement
- Compensation Effect of Compensated Ion Chamber
- Thermal Neutron Total Cross-section

#### 한양대학교

- Start-up Procedure

- Reactor Instrumentation
- Reactor Operation
- Relation between Period and Reactivity
- Measurement of Temperature Coefficient
- Measurement of Thermal Neutron Flux Distribution in
- TRIGA Reactor Core
- Control Rod Calibration
- Cadmium Ratio and Activation Analysis
- Compensation Effect of Compensated Ion Chamber
- Thermal Neutron Total Cross-section
- Health Physics Experiments
- Radwaste Disposal

○ R. I. Production and Application

경희대학교

- Reactor Instrumentation
- Start-up Procedure and Daily Check
- Reactor
- Relation between Period and Reactivity
- Control Rod Calibration
- Power Measurement and power Level Instrument Calibration
- Critical Mass Measurement
- Measurement of Temperature Coefficient
- Thermal Neutron Flux Measurement
- Measurement of Core Buckling
- Cadmium Ratio and Activation Analysis
- Fast Neutron Flux Measurement
- Effect of Delayed Neutrons
- Neutron Energy Distribution
- Neutron scattering and Moderation Importance Function

한국과학기술원

- Reactor Instrumentation
- Start-up Procedure and Critical Approach
- Relation between Period and Reactivity
- Control Rod Calibration
- Measurement of Temperature Coefficient
- Thermal Neutron Flux Distribution in TRIGA Reactor Core
- Linearity between Compensated Ion Chamber and Uncompensated
- Ion Chamber
- Thermal Neutron Total Cross-section

美 國

**University of Cincinnati**

- Approach to critical experiment\*
- Control rod Calibration by rod drop and positive period method\*
- Flux distribution in subcritical reactor

- Measurement of material buckling in subcritical reactor
- Diffusion length in water by pulsed neutron technique
- Diffusion length and Fermi Age in graphite
- Measurement of  $BF_3$  counter efficiency and emission
- rate of Pu-Be neutron source
- Experiments with BWR power plant simulator
  - \* Field trip to the Ohio State University Research Center

**University of Illinois**

- Reactor operation
- Reactor instrumentation
- Subcritical assemblies
- Flux measurement in core and thermal column
- Control rod worth measurement
- Effects of changes in fuel configuration
- Activation and neutron beam experiments

**Pennsylvania State University**

- Measurement of thermal neutron diffusion length in
- Graphite pile
- Age measurement in graphite
- Measurement of the material buckling and critical size of a subcritical reactor
- Critical and subcritical experiments using TRIGA reactor
- Measurement of exposure rate from a Co-60 pencil in water

英 國

**University of London**

- A. Undergraduate Course
- Approach to criticality
- Control rod calibration
- Determination of critical mass
- Measurement of neutron age and slowing down

length

○Measurement of shut down capacity

B. Graduate Course

○Approach to criticality

○Control rod calibration

○Neutron flux measurement

○Neutron cross-section measurement

## 日 本

### 1) 東京大學

○Reactor operation

○Control rod calibration

○measurement of reactor transport function

○Characteristics of neutron detector and neutron shielding

○Neutron spacial distribution measurement by foil activation

### 2) 京都大學

A. Fundamental(undergraduate course)

○Control rod worth measurement

○Approach to criticality

○Critical mass measurement

○Measurement of temperature Coefficient

○Measurement of neutron flux distribution

○Measurement of Xenon build-up

B. Advanced(graduate course)

○Neutron diffraction

○Neutron fission

○Neutron time of flight

○Effect of slow neutron

○Neutron kinetics

○Radiation damage and dosimetry

### 3) 大阪大學

A. 在學生 對象(Extra, optional)

○Critical approach and reactor operation

○Control rod calibration

○Neutron flux distribution

○Radiation monitoring in reactor room

B. 卒業生 對象(optional)

○Safe guide and related regulation laws(lecture)

○Critical approach

○Rod calibration with period method and drop method

○Statistical method(Rossi a method) or pulsed neutron

○method to measure the large negative reactivity

○Neutron flux distribution measurement

### 4) 北海道大學

○Critical mass measurement

○Control rod calibration

○Measurement of reactivity

○Thermal neutron flux measurement

○Decision of material buckling

○Neutron interaction experiment(Feynman a method)

## JEN(스페인)

○Reactor instruments

○Reactor operation and approach to criticality

○Control rod calibration

○Measurement of fuel temperature coefficient

○Power calibration

○Critical mass determination

○Measurement of neutron flux

## 清華大學(自由中國)

○Approach to criticality

○Control rod calibration

○Power calibration

○Measurement of danger coefficient

○Measurement of reactor transfer function

○Measurement of Fermi Age and diffusion length

○Thermal neutron total cross-section

○Resonance cross-section