



# 原子炉의 安全性

## -特性과 反應度 -

### 1. 原子爐의 特性과 安全性

#### 1.1 反應度에 影響을 주는 要因

原子爐의 反應度라 함은 1回의 核分裂에서 부터 다음 核分裂로 가는 1世代間(또는 1週期)에 中性子數의 變化率, 即 實效增倍因子  $k_{eff}$ 의 1 을 超過한 部分을 말한다(嚴密하게 말하면 超過反應度이며 이 超過反應度는 反應度와 거의 같다고 보아도 무방하다).

反應度의 크기는 核燃料, 減速材, 其他 爐心材料, 爐心構造와 形狀 등으로 決定되며 그 原子爐의 運轉條件 등을 考慮하여 一定한 反應度를 決定하여 設計하여 이 反應度를 制御棒에 依해서 抑制해 두는 것이다. 이 狀態가 cold·clean 狀態이며 爐를 運轉하기 시작하면 다음과 같은 理由로 그 反應度가 變化한다.

反應度의 變化를 일으키는 原因은 몇가지 있으나 이중 重要한 것은 温度의 效果와 核燃料의 燃燒와 이에 따른 核分裂生成物의 蓄積이다. 이 중에서 첫째 것은 爐內의 温度가 變化하면 즉시 그 影響이 나타나며 温度가 原狀으로 復歸하면 反應度도 原狀으로 되돌아 온다. 둘째와 세째 것은 長期間에 걸쳐 서서히 變化되는 原因이며 原狀으로 復歸할 수 없는 것이다.

#### (1) 温度의 影響과 温度係數

爐內의 温度, 특히 減速材의 温度가 變化되면 热中性子의 speed, 即 에너지가 變化하게 된다. 热中性子의 平均速度가 2,200m/秒라는 것은 常溫(20°C)의 경우이며 温度가 높아지면 이에 따라 speed도 빨라진다. 즉, 에너지도 커지게 된다.

原子爐의 反應度의 計算에 必要한 諸般特性 파라메타는 거의 全部 中性子의 speed에 따라서 變化하기 때문에 温度의 變化는 反應度에 큰 影響을 준다. U-235가 中性子를 吸收하는 比率은 温度가 높아지면 急速히 低下한다. 增倍因子에 影響을 주는 몇가지 條件중에는 温度가 上昇하면 增倍因子를 增加시키는 方向으로 變化하는 것도 있으나 綜合的으로는 增倍因子 即, 反應度는 温度가 上昇하면 크게 減少한다.

溫度가 1°C 上昇할 때 反應度가 어느 程度 變化하는가를 表示하는 值을 反應度의 温度係數라고 부르며 항상 負의 值이 되어야 한다. 温度係數의 附號가 正(+)의 值으로 되는가, 負(-)의 值으로 되는가 하는 것은 原子爐 運轉上의 安全性에 지대한 影響을 준다.

原子爐를 一定出力으로 運轉하고 있는 狀態에서는 制御棒을 適當한 位置까지 引出하여 增倍因子가 正確히 1.00, 即 反應度가 0이 되도록 한다. 이때 어떤 理由든간에 不知中에 原子爐의 出力이 增加하였다고 하면 冷却의 條件은 變하지 않으므로 爐內의 温度는 上昇한다.

反應度의 温度係數가 負의 值이라면 温度가 上昇할 때 反應度가 減少하므로 反應度가 0에서 負의 值, 即 增倍因子가 1.00以下로 되어 出力은 減少하게 된다. 出力이 먼저 상태로 되돌아 오면 温度도 먼저 상태로 減少하게 되어 增倍因子는 1.00以下의 值에서 다시 1.00으로 增加하게 되어 一定出力으로 된다.

即, 原子爐의 出力은 自動的으로 原狀復歸하

게 된다. 反對로 不知中에 出力이豫定值보다減少하는 경우는 이와反對의現象으로原狀의出力으로自動的으로복귀하게된다. 이러한것을原子爐의自己制御性이라고부른다.

만일反應度의溫度係數가正(+)값이되는原子爐가있다면적은出力의變動이점점擴大되어極히運轉하기어렵고危險한事態로發展될可能性이있게된다. 이와같은爐는普通의條件에서는만들지않는다.

### (2) 氣泡의影響과 보이드係數

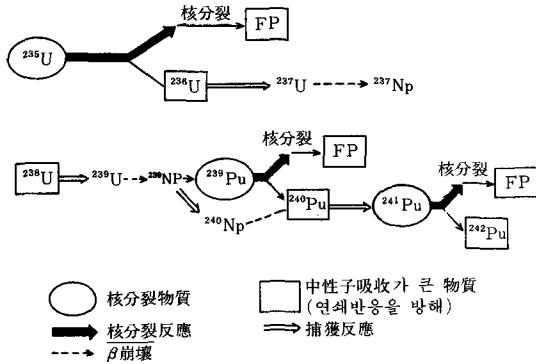
輕水動力爐중에서沸騰水型(BWR)에서는爐心內에서減速材兼冷却材인輕水가沸騰하여直接蒸氣를發生시킨다. 이런경우에는減速材중에多數의蒸氣泡가發生한다.

氣泡가생긴다는것은그部分에減速材가없어진것이되며한편輕水에의한中性子의吸收도減少하게된다. 이때문에反應度에變化를招來하게된다. 氣泡의單位부피當의反應度의變化量을보이드係數라고한다.

보이드係數는爐의條件에따라正(+)의값이나負(-)의값으로도되며大量의沸騰을許容하는原子爐에서는반드시負(-)의값이되도록設計한다. 이것은溫度係數와같이爐出力의自己制御性을成立시켜安全運轉을期하기위한것이다.

### (3) 核燃料의核燒와轉換에의한反應度의變化

〈그림1〉原子爐내에서의 우라늄의 변화



原子爐核燃料중에는U-235와U-238이있으며中性子를吸收하여차례로變化하여가는狀態를보면그림1과같다.

처음에는U-235와U-238뿐이었던것이長時間의運轉後에는이외에U-236,Pu-239,-240,-241,-242및核分裂生成物이생긴다. 이중에서Pu-239와-241은核分裂性物質로서새核燃料가생겨난것이되지만,Pu-240과核分裂生成物은鎖鎖反應에妨害가되어爐의反應度를低下시키는役割을한다.

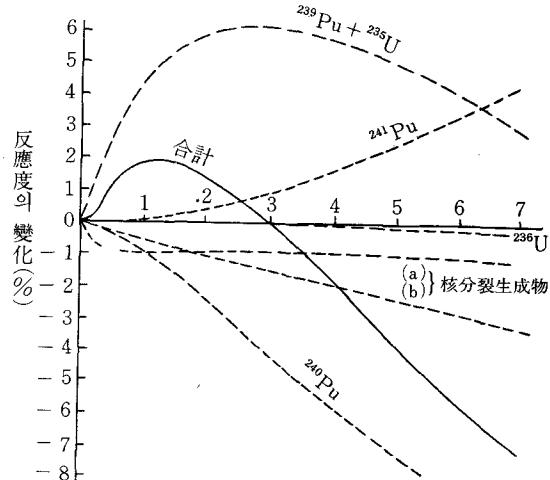
그림2는各各의生成물이反應度에影響을주는比率과이들을合計한全體의反應度變化를表示한것이다. 그림의橫軸에使用된MWd/t(mega watt day per tonne)는核燃料1屯當1MW·日의熱出力を發生하였다는것을意味하며核燃料의燃燒度의單位로使用된다.

例로서7,000MWd/t라면核燃料1屯당1億6,800万kWh의熱을냈다는것을뜻한다. 60万KW의古里原子力發電所는48屯의核燃料를裝填하고있으며熱効率이約32%이므로1年에270日間運轉했다면核燃料의燃燒度는다음과같다.

$$\frac{600\text{MW} \times 270\text{d}}{0.32 \times 48\text{t}} = \frac{162,000}{15.36} = 10,550\text{MWd/t}$$

〈그림2〉天然우라늄黑鉛爐의反應度變化

橫軸의單位는1,000MWd/t



PWR核燃料의壽命이約33,000MWD/t라면  
屯當33,000MWD의熱出力を낼수있다는뜻  
이므로3年間을쓸수있다는것을意味한다.

運轉開始直後에는U-235가消耗되기는하지  
만Pu-239가蓄積되기때문에오히려核燃料가  
增加한것이되어처음에는反應度는上昇한다.  
그러나運轉을繼續하면Pu-240의生成과F.P.  
의蓄積에의하여反應度의損失이커져서全體  
의反應度는減少한다.

그後에는U-235의消耗에따라繼續的으로  
減少하여더以上連鎖反應을할수없을程度  
까지減少하면核燃料를交換하지않으면안된다.  
그림2는天然우라늄爐에대한것이나輕水  
爐와같이濃縮우라늄을使用하는原子爐에서는  
는Pu의生成에의한反應度變化는그리크지  
않으며U-235의消耗와F.P.의蓄積이反應度  
變化의主要原因이된다.

#### (4)核分裂生成物에의한反應度變化

그림2에서核分裂生成物에의한反應度變化  
는(a)와(b)의2個의曲線으로表示되고있다.  
(a)는核分裂生成物중에서특히中性子를잘  
吸收하는F.P.의蓄積에의한것이며,(b)는比  
較的吸收가적은것에의한것이다.

(a)에는Xe-135와Sm-1492種이包含된다.  
爐運轉에특히important한影響을주는F.P.는Xe-  
135이다.이Xe-135가蓄積되면이의中性子吸收  
로인하여f의값이減少하며增倍因子가減少  
한다.이Xe-135에의한反應度의減少量을  
Xe의毒作用(Xenon Poisoning)이라고부른다.

Xe-135는運轉開始直後에急速히增大하며그  
後에는平衡狀態에到達하여그以上으로는增  
加하지않는다.그理由로서는Xe-135의半減  
期는約9時間으로서自然崩壊되며또한中性子  
吸收에의하여他核種이되어單位時間에[崩壊  
+中性子吸收]되는量이生成되는量과같아지  
면量의增減이없는平衡을이루게되며어느  
時點에서飽和值에到達하게된다.

이飽和值의크기는運轉出力에따라다르며  
出力이크면클수록反應度損失의飽和值은커  
진다(嚴密하게말하면어느限界值以上으로는  
커지지않는다).그러다가原子爐를停止하면  
Xe毒作用은急激히增加하며어느時點에서다  
시減少한다.

反應度損失即,毒作用이最大值로되는時間  
은出力에따라다르다.爐停止後대략7~11  
時間이다.原子爐가갖고있는反應度의크기  
가爐停止後Xe에의한反應度損失보다적을때  
는爐를再起動시킬수없게된다.이때에는  
Xe毒作用에反應度損失量이原子爐가갖고있  
는反應度의크기below될때까지기다려야한다.  
이것은原子爐가갖고있는反應度의크기  
가적은天然우라늄-重水減速爐인Candu-PHW  
에서특히問題된다.

Sm-149는安定同位體이며崩壊하여減少하  
지않고中性子吸收에의하여他核種으로된다.  
爐를長期間運轉하면Sm-149는生成과中性  
子吸收로인한消滅이平衡을이루게된다.그  
러나이Sm-149로인한毒作用은Xe-135보다  
훨씬적기때문에爐運轉에큰影響이없다고  
보아도무방하다.

(b)는其他의많은F.P.에의한것이며이  
들은中性子吸收는크지않으나半減期가긴것  
이많으며平衡狀態에到達하지않기때문에점  
점蓄積되어결국(a)에屬하는F.P.보다毒作用  
이커진다.

原子爐의運轉에있어서는항상反應度의變  
化를評價하여이에대한適切한對策을講究  
해두어야한다.天然우라늄爐에서는運轉開始  
後反應度의增加가있으므로制御棒의反應度  
吸收量도이를考慮하여定해놓을必要가있다.

#### 1.2原子爐內의中性子分布

原子爐內에는多數의中性子가있는것은當  
然한일이나이들이均質하게分布하고있는것  
은아니다.分布의概略的樣相을表示하면그

림3과 같다.

高速中性子는 中心部에 가장 많이 分布하며 周辺部에는 적다. 熱中性子도 비슷한 모양으로 分布되고 있으나 反射體에서는 核燃料에 의한 吸收가 적기 때문에 急激하게 많은 場所가 생긴다.

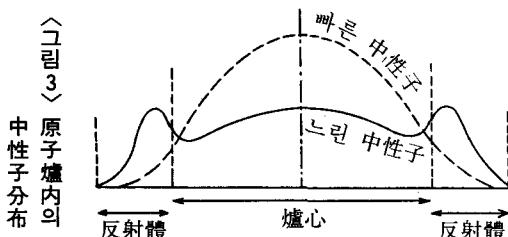
熱中性子가 많은 곳에서는 當然히 核分裂도 많아진다. 그때문에 爐의 中心部와 周辺部에서는 核燃料의 燃燒度에 차이가 생긴다. 다시 말하면 同時에 裝填한 核燃料라도 中心附近에 있는 것은 더 빨리 燃燒하여 더 빨리 交換할 必要가 있다.

이와 같이 交換時期가 틀리게 되면 核燃料管理上 불편하기 때문에 여러가지 對策을 講究한다. 하나의 方法은 制御棒에 의한 것으로서 中性子가 많은 곳에는 制御棒을 插入하여 中性子를吸收하게 하고 周邊部의 制御棒은 全部引出하여 中性子分布가 可及的 平坦化하게끔 하는 것이다. 輕水發電爐에서는 核燃料의 濃縮度를 領域에 따라 달리하여 中性子分布의 平坦化를 피하고 있다(外側일수록 濃縮度를 높인다).

### 1.3 出力變化의 速度와 爐週期

原子爐가 一定出力으로 運轉하는 狀態에서는 增倍因子  $k_{eff}$ 를 1.00, 即 反應度를 0으로 維持한다. 이때 약간의 反應度를 주면 爐의 出力은 上昇하기 시작한다. 付加한 反應度의 크기가 클 수록 出力의 上昇速度는 더 크게 된다. 이러한 狀態의 一例를 나타낸 것이 그림4이다.

이 그림은 付加한 反應度의 크기에 따라 出力이 어떤 速度로 上昇하는 가를 보여 주고 있다. 出力은 指數函數의 으로 變動하며 그림에서

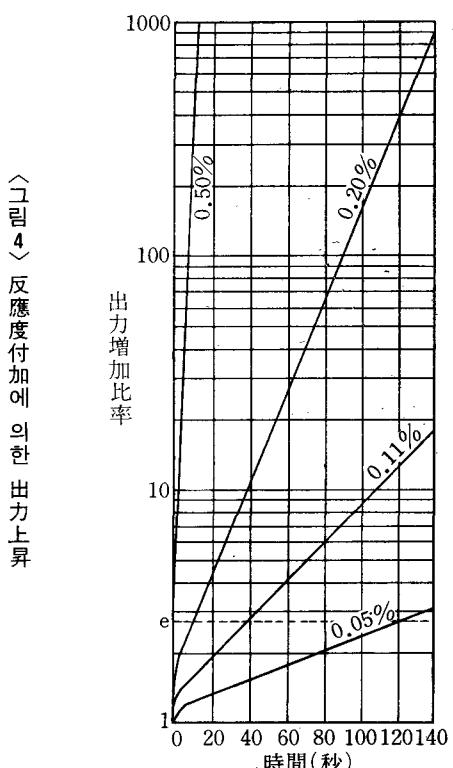


는 縱軸이 對數 눈금으로 되어 있어 直線으로 表示되고 있다. 付加된 反應度가 0.0005(=0.05%) 일 때는 20秒後에 1.3倍, 1分後에 1.8倍, 2分後에 2.7倍로 되는 느린 速度로 上昇한다. 이것은 充분히 制御할 수 있는 上昇速度이다. 反應度가 0.0011(=0.11%) 또는 0.002(=0.2%) 일 때에도 制御하는데 困難하지 않다. 그러나 0.005(=0.5%)로 되면 10秒後에 出力이 1,000倍로 增加하여 制御하기 어려운 狀態가 된다. 그림에는 表示되어 있지 않으나 反應度가 0.015(=1.5%) 일 때에는 約0.6秒에 1,000倍로 되어 制御가 不可能한 原子爐의 暴走 狀態로 된다(以上의 說明에서는 温度變化에 의한 反應度의 抑制效果는 考慮되지 않았다).

### 1.4 原子爐의 計測系와 制御

#### (1) 原子爐計測

原子爐를 運轉하기 위해서는 爐의 狀態를 恒常 正確히 把握하고 있지 않으면 안된다. 이를



위하여 여러가지 测定系統이 設置되어 이를 制御盤에 表示한다. 이중 重要한 것을 열거하면 다음과 같다.

(a) 中性子關係

○熱中性子密度

○原子爐週期

一般的으로 研究爐에서는 热中性子密度가 爐의 热出力으로 表示된다. 起動時의 出力 0의 狀態에서 數万KW까지의 範囲를 한種類의 测定器로 测定하는 것은 어려우므로 2~3種의 测定器로 各個의 测定器가 测定範囲를 分担하여 测定하되 测定範囲의 上下限은 어느程度 重複이 되도록 한다. 大型의 爐에서는 1個所뿐만 아니라 數個所에서 测定한다.

热中性子密度 测定器의 對數指示值를 時間의 으로 微分하는 回路를 使用하면 爐週期計를 위한 信號를 얻을 수 있다. 이 메터의 눈금은 秒로 表示되며 出力上昇時는 正(+), 出力減少時는 負(-)로 되며 一定出力일 때에는 無限大의 눈금을 指示하게끔 되어 있다.

(b) 温度・壓力關係

○減速材溫度

○核燃料溫度

○冷却材入口溫度, 出口溫度, 入口-出口  
溫度差

○爐內壓力・蒸氣壓力・流量

動力爐인 경우에는 이들은 重要的 파라메타이다. 研究爐의 경우는 이들의 値과 爐出力과의 檢查方法으로 된다. 冷却材의 入口-出口 溫度差를 읽고 이에 冷却材의 流量을 곱하면 爐內의 發生熱量 即, 热出力を 얻을 수 있다. 그러나 이 경우에는 冷却材以外에 漏洩되는 热量(遮蔽體 등으로)의 補正이 必要하다.

(c) 放射線 監視關係

○原子爐에서 부터의 漏洩放射線強度

○原子爐室, 制御室內 空氣中의 放射性物質의 濃度

○原子爐建物에서 부터의 排氣・排水中의 放射性物質의 濃度

이들은 다 原子爐의 周邊에서 作業하는 人員이나 周邊住民의 安全上 重要的 値이며 同時に 原子爐 또는 附帶施設의 异常, 故障 등을 早期에 發見하기 위해서도 重要하다.

(d) 其 他

爐型이나 規模에 따라 다르지만 冷却系統의 펌프 등의 動作狀態, 各部分의 流量, 温度, 壓力, 減速材 또는 冷却材中の 不純物의 濃度 등을 連續的으로 監視한다. 核燃料被覆管의 破損을 가급적 早期에 檢出하기 위하여 여러가지 方法으로 测定된다.

發電爐에서는 이 外에 蒸氣系統, 터빈關係, 發電機關係에도 많은 测定項目이 있으며 이들은 全部 制御盤에 集中連結되어 大規模로 된다. 이러한 制御室은 原子爐의 建物과는 조금 떨어진 別途의 建物내에 收容되는 경우가 많다.

어떤 種類의 計測에 있어서도 重要的 것, 특히 安全上 重要的 测定回路는 數組식 獨立된 系統으로 設置하여 運轉中에 그중 1系統에 故障이 發生하더라도 支障이 없게 한다. 例를 들면 爐의 出力測定系統은 적어도 完全히 獨立된 3組를 設置하여 항상 이들이 同一한 値을 指示하고 있는 가를 確認한다.

그러다가 만일 3組中의 2組가 同一한 値을 가르키고 있고 1組가 相異한 値을 가르키고 있을 때에는 이 1組가 故障이라고 判斷할 수 있다. 만일 3個組가 全部 各各 相異한 値을 指示하고 있을 때에는 즉시 原子爐를 停止하여 原因을 究明하게끔 한다.

(2) 制御棒

制御棒의 役割은 다음 두가지이다. 첫째, 出力を 上昇시키거나 下降시키기 위하여 原子爐의 臨界度, 即 反應度를 正負로 調整하며 둘째, 原子爐運轉中 温度, 核燃料의 燃燒, F. P. (특히 Xe)의 毒作用 등에 의한 反應度變化를 補償함

으로서 原子爐를 臨界狀態로 維持하는 것이다.

制御棒은 中性子를 잘 吸收하는 材料로 만들 어지며 모터와 齒車등으로 構成되는 驅動裝置에 의하여 上下運動으로 驅動된다. 驅動裝置는 制御室의 操作스위치의 操作에 의한 手動 또는 計測系統에 의한 自動으로 驅動된다.

制御棒을 爐心에서 引出하는 것은 反爐度를 付加하는 것이 되며 出力上昇을 招來하기 때문에 너무 急速하게 驅動하는 것은 危險하다. 2個以上의 制御棒을 同時에 引出하는 것은 反應度의 印加速度를 急速하게 하는 結果를 招來하기 때문에 1個의 制御棒을 驅動하는 동안에는 다른 制御棒의 驅動裝置는 動作하지 못하도록 인터 롤裝置가 되어 있다.

制御棒이 많이 設置되어 있는 發電爐에서는 몇개 또는 몇십개씩 制御棒을 1組로 묶어 驅動하는데 1組씩만 驅動되도록 하고 있다. 그러나 制御棒을 插入하는 경우에는 安全方向이므로 全部의 制御棒을 同時に 插入할 수 있게 되어 있다.

### (3) 原子爐의 緊急停止

原子爐의 運轉中에 어떤 異狀이 發生하여 安全上 問題가 있을 때에는 制御棒을 잡고 있는 電磁石의 電流를 斷切하여 모든 制御棒을 重力으로 自然落下시켜 急速하게 爐를 停止시킨다. 이를 緊急停止 또는 急停止(스크램)라고 부르며 運轉員에 의한 手動操作 또는 自動的으로 違行된다. 自動的으로 스크램을 일으키는 要因으로서는 다음과 같은 것이 있다.

- 出力이 定해진 基準值以上으로 上昇할 때  
普通 定格最大出力의 120%程度를 超過하면 自動的으로 停止시킨다.
- 爐週期가 定해진 基準值보다 적게 되었을 때(正일때만 該當)
- 爐內의 温度, 壓力 등이 基準值를 超過할 때
- 冷却系의 主泵프 등 重要한 機器가 故障일 때

○ 放射線漏洩值 또는 空氣中 放射性物質濃度가 基準值를 超過할 때

○ 重要한 測定系統의 電源에 異常이 있을 때

○ 大地震이 發生할 때  
大型發電爐의 경우에는 大出力運動中에 急作하게 爐를 停止시키면 蒸氣系나 터빈에 無理를 주며 大規模의 停電을 일으키는 結果로 되기 때문에 特別한 경우를 除外하고는 스크램시키지 않고 自動的 出力 低下시켜 經過를 보아 必要한 경우에 限하여 스크램시킨다.

## 2. 研究用 原子爐

現在 우리나라가 갖고 있는 研究爐에는 韓國에너지研究所에 設置되어 있는 TRIGA MARK-II와 TRIGA MARK-III가 있다. TRIGA MARK-II는 1962年 3月에 臨界에 到達하였으며 그當時에는 热出力이 100KW였으나 1967年 250 KW로 增強하였다. 热出力 2MW의 TRIGA MARK-III는 1972年 5月에 竣工되었다.

### 2.1 研究用 原子爐에 있어서의 實驗設備

研究爐는 爐內에서 發生한 中性子를 各種의 實驗이나 照射에 利用하는 것이 目的이므로 여러가지 實驗設備를 갖추고 있다. 代表的인 것인 中性子實驗孔이며 遮蔽體를 貫通하여 여의 가지 크기의 實驗孔이 設置되어 있다.

爐心部는 直徑 2.0m, 높이 6.6m인 圓筒形의 물탱크에 設置되어 있다. 이 물은 減速材兼冷卻材의 役割을 하고 있으며 또한 垂直方向의 放射線遮蔽의 役割을 하고 있다.

核燃料는 20%濃縮度의 우라늄을 使用하고 있으며 1개의 核燃料棒에는 U量으로 190g, U-235量은 38g含有하고 있다. 原子爐稼動當時의 臨界實驗에서는 57개의 核燃料棒의 裝填으로 臨界到達하였으며 따라서 U-235量은 약 2.2kg였다.

制御棒은 3개 設置되어 있으며 그중 1개는 安全棒(Safety Rod)이라고 하여 運轉時 항상 全引出位置에 놓아 緊急時 插入할 準備를 시킨다.

또 1개는 粗制御棒(Shim Rod)이라고 하며 큰反應度變化를 調節하는 것이며 1개의 微細調節棒(Fine Rod 또는 Regulating Rod)의 位置가 中間引出位置에 오도록 한다.

研究用 原子爐의 重要한 用途의 하나인 放射性同位元蒸의 生產은 爐心周圍를 둘러 쌓 黑鉛反射體속에 있는 回轉式 照射裝置에서 行한다.

## 2.2 研究爐의 利用例

研究用 原子爐를 利用하는 實驗은 수많이 있으나 이중 重要한 例를 들면 다음과 같다.

原子爐物理實驗

中性子物理實驗

中性子線에 의한 結晶構造解析

中性子 Radiography

放射線損傷

中性子照射에 의한 放射化

放射線化學

生物學, 醫學, 農學分野에 있어서의 中性子照射效果 등이다.

中性子物理의 實驗에서는 에너지가 均一한 中性子線을 必要로 하기 때문에 實驗孔에서 나오는 中性子線을 모노크로메타(Monochrometer)나 또는 초파(Chopper)라는 裝置로 特定한 에너지의 中性子만을 選別한다. 이러한 單色中性子線을 結晶에 쪼여 回折시키며 結晶內의 原子配列에 관한 資料를 얻을 수 있다. 이것은 X線回折과 同一한 原理이지만 X線으로 觀測不可能한 原子番號가 낮은 原子에 대해서 有効하다.

中性子 Radiography는 X線 또는  $\gamma$ 線을 使用하여 不透明物體의 内部를 透視檢查하는 것과 비슷한 原理이나 中性子를 使用하면 中性子의 吸收의 大小에 따라 映像을 얻을 수 있으며 應用對象은 X線이나  $\gamma$ 線을 使用하는 것과는 좀 相異하다. 中性子 Radiography는 通常 热中性子密度(即, 热中性子束)가 높은 热中性子柱(Theermal Column)에서 行한다. 이곳은 爐心周邊의 反射體에서부터 그대로 遮蔽體를 貫通하여 黑

鉛을 쌓아서 만든 黑鉛柱이다.

中性子에 의한 材料의 損傷研究는 中性子密度가 높은 材料試驗爐에서 遂行되는 것이 普通이다. 原子爐에서 使用되는 모든 材料는 事前에 嚴密한 照射試驗을 거쳐 그의 信賴性이 實証되어야 한다. 計測系統의 絶緣材料 등은 比較的照射量이 적지만, 적은 劣化도 큰 故障의 原因이 될 수 있기 때문에 充分한 試驗을 해야 한다.

放射化目的의 中性子照射로서는 放射性同位元素(Radioisotope)의 生產과 放射化分析(Activation Analysis)이 있다. 放射性同位元素는 醫學의 診斷用으로 또한 工業用으로 많이 利用하고 있으며 우리나라에서도 그 活用이 增加되고 있다. 放射化分析은 다른 分析方法으로는 檢出이 不可能한 微量의 元素를 分析하는데 많이 利用되고 있다. 中性子照射에 의하여 檢出하고자 하는 元素를 放射性同位體로 만들면 放射能의 測定에 의하여 容易하게 檢出, 定量할 수 있을 때 利用한다. 그러나 이 方法은 모든 경우에 適用될 수 있는 것은 아니며 使用範圍가 限定期이 있다.

中性子의 生物學的 効果를 研究하는 目的으로 原子爐를 利用하는 경우도 있다. 原子爐에서 中性子뿐만 아니라 強力한  $\gamma$ 線을 放出하므로 이를 分離하는 것이 問題된다. 이 分野에서 特記한 例로서는 腦腫瘍의 治療이다. 이 方法은 다른 方法으로는 治療不可能한 患者에 適用되고 있는 것으로서 미리 特定의 硼素化合物를 注射한 後 原子爐의 中性子를 患部에 照射한다.

이 化合物은 腫瘍의 組織에 集中하여 健康한 he部分에는 거의 存在하지 않는 性質을 갖는 것이다. 硼素는 中性子를 吸收하면  $\alpha$ 粒子를 放出하는데 이  $\alpha$ 粒子는 生體組織內에서 0.1 mm程度 밖에 透過하지 못함으로서 그 範圍에서는 큰 生理効果가 있게 되며 腫瘍組織은 完全히 破壞되어 그 範圍外에 있는 組織에는 전혀 影響을 주지 않는다.