

# 原子爐理論

## — 原子力基礎 ② —



趙 滿

〈韓國에너지研·新型爐研究室長〉

本 原子力講座의 原子爐理論은 작년 10월 23일과 24일 兩日間 當 會議가 實施한 第6回 原子力管理者教育에서 趙滿博士가 강의한 내용을 收錄한 것으로서 지난 2月號에 이어 4月號까지 3회에 걸쳐 連載한다.

### 3. 輕水爐와 重水爐

그러나 이와 같이 重水を 減速材로 使用하고 지르코늄금속을 原子爐 構造材로 使用한다고 하는 것을 다시 한번 생각해 보자. 그 이유는 實驗室規模의 裝置라든가, 人工衛星에 실는 特殊機械의 경우 비싸고 稀貴한 金屬을 使用할 수도 있겠으나 原子力發電所는 電氣를 만드는 工場이기 때문에 規模가 커져서, 工業的인 規模 즉 工業的으로 生産될 수 있는 比較的 흔하며, 우리 人類가 이미 그 技術을 習得하고 있는 材料들을 使用하여 原子力發電所를 만드는 것이 바람직한 方法이 될 것이다.

따라서 우리는 人類가 經驗한 것을 使用하는 것이 좋겠다는 판단아래, 물과 鐵을 使用하여 原子力發電所를 만들 수 없을까 하는 것을 생각하기 시작하였다. 그러면 重水와 지르코늄대

신에 물과 鐵을 使用할 경우 어떤 差異가 생기는 것일까?

高에너지의 核分裂中性子が 減速過程 중에 또는 熱中性子로 있는 동안에 原子爐 構造材가 된 鐵과 減速材가 된 輕水에 吸收되는 中性子の 數가 지르코늄과 重水에서 보다 크다는 사실에 단점이 나타나게 된다. 그러면 輕水나 原子爐構造材에 吸收되는 中性子を 어떻게 하면 補償할 수 있는가를 생각하여 보자.

여러분은 앞에서 본 巨視的斷面積의 그림에서 아이디어를 얻을 수 있을 것이다. 즉,  $^{235}\text{U}$ 의 量을 天然우라늄속에 들어있는 0.7%보다 높여주면(약3% 정도까지) 상대적으로 天然우라늄속에 들어있는  $^{238}\text{U}$ 의 量은 99.3%에서부터 97%로 줄어들게 된다.

前回에서 설명한 바를 例로 들면, 重水爐에서 감속과정이나 原子爐 밖으로 새어나가는 中性子が 7個이던 것이 輕水爐에서는 9個나 된다는 것이다. 그러니 우라늄에 흡수되는 熱中性子は 16個가 남게 되나 10個는 核分裂시켜야 25個, 中性子が 생겨 연쇄반응을 계속할 수 있게 된다. 그러려면 우라늄238의 數를 줄여, 즉 농축시켜

이것의 흡수가 6個가 되도록 하여야 한다.

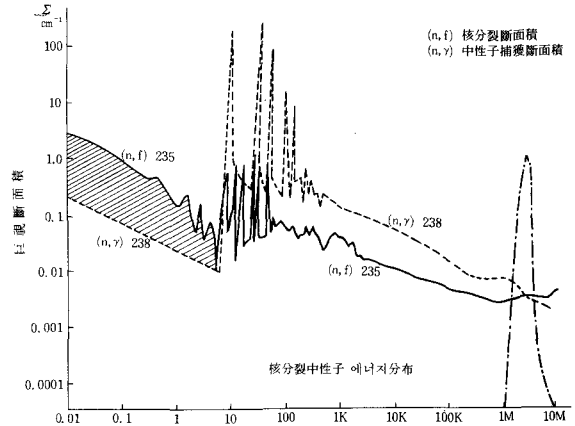
이에 對應하는 核分裂斷面積과 中性子捕獲斷面積을 다시 그려보면 그림 4 와 같이 빗금부분, 즉 核分裂斷面積이 中性子捕獲斷面積보다 큰 領域이 에너지적으로 넓어질 뿐만아니라, 面積도 앞에 나왔던 그림 3 보다 넓어져서 넓어진 面積만큼 中性子が 더 없어진 것을 補償하도록 할 수 있게 된다. 즉, 減速材로서 물, 構造材로서 鐵을 使用하여도 되게 된다. 이렇게만 되면 火力發電所의 技術을 그대로 原子力發電所에도 使用할 수 있게 된다.

그 다음은 蒸氣터빈을 돌리는데 필요로 하는 蒸氣를 原子爐가 만들어 주면 된다. 이때 壓力과 溫度, 水蒸氣의 質을 맞추어 原子爐를 보일러 즉, 기름이나 석탄을 태워서 蒸氣를 만드는 보일러의 기능을 갖도록 하면 그 나머지는 一般火力發電所과 같은 施設을 使用할 수 있게 된다.

이와 같은 생각으로 開發된 것이 美國 General Electric社가 開發한 沸騰水型原子爐(BWR)이다. 그러나 여기에는 문제가 있을 수 있다. 原子爐에서 물을 蒸發시키고 高溫으로 만들어 高溫高壓의 水蒸氣를 蒸氣터빈에 보낸다는 것이 되는데, 이 蒸氣는 原子爐를 지나온 물이 蒸氣가 된 것이어서 결국은 放射能을 띤 蒸氣가 된다. 그래서 종래의 火力發電所에 비해 放射能 이 새어나오지 않도록 하는 補完措置가 必要하게 된다.

이는 技術적으로 어려움이 많다. 在來式火力發電所에서는 蒸氣는 必要에 따라 放出하도록 되어 있다. 이들을 모두 막아야 하고 蒸氣가 있는 곳은 放射線이 나오게 되므로 방사선 차폐시설을 갖추어, 從來의 蒸氣터빈裝置와는 전혀 다른 모습의 육중한 것이 되어 버리고 만다. 이와 같은 번잡을 피하기 위하여서는 放射能을 갖지 않는 蒸氣를 만들어야 한다. 즉, 原子爐에 들어가지 않는 물이 蒸氣가 되어야 한다. 이것은 어렵지가 않다. 蒸氣터빈과 原子爐 사이에 蒸氣發生

〈그림 4〉 3%低濃縮우라늄의 巨視的斷面積



器를 놓아, 原子爐에서 덩허진 물로 튜브밖을 흐르는 깨끗한 물을 蒸氣로 만들어 주면 된다.

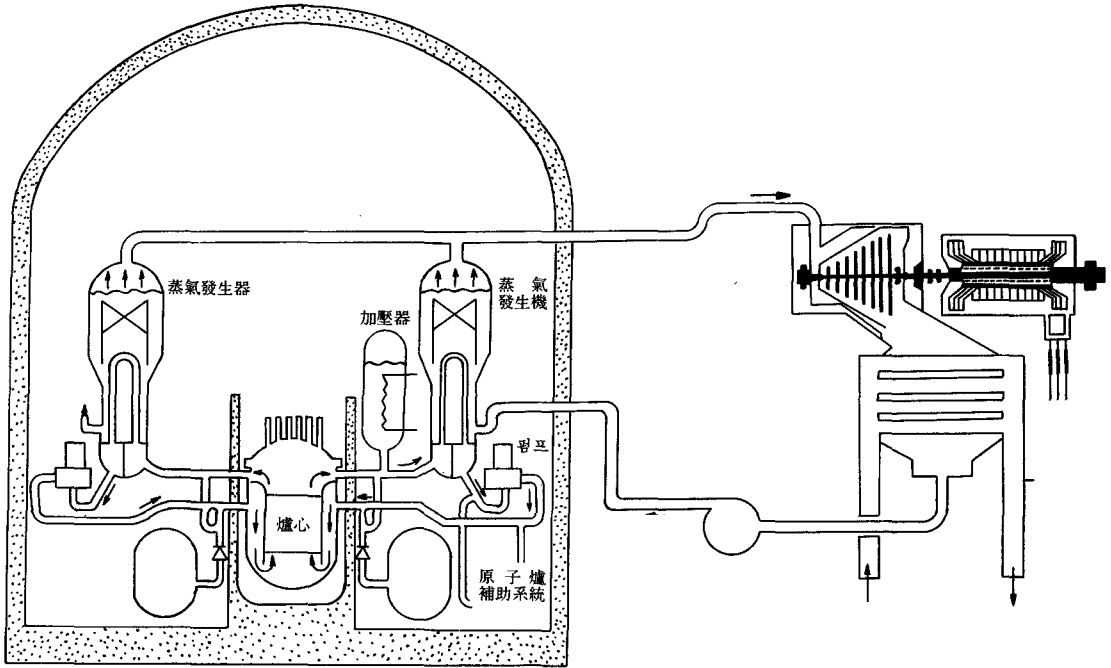
그러면 이 蒸氣發生器의 뒤는 火力發電所에서 使用했던 施設을 그대로 使用할 수 있게 된다. 이와 같은 생각으로 開發된 것이 美國의 웨스팅 하우스, 콤버손엔지니어, 바브콕 앤드 윌콕스 會社의 加壓水型原子力爐(그림 5) (PWR)이다. 國內에서는 古里에서 2基의 PWR이 稼動中에 있다.

그러나 이러한 加壓水型原子爐에도 문제가 있다. 熱은 溫度가 높은데서 낮은 곳으로만 흐르지, 낮은데서 높은데로 흐르지 않는다. 따라서, 蒸氣터빈에 보내고자 하는 蒸氣의 溫度가 일단 결정이 되면 熱源인 原子爐에서 나오는 물의 溫度는 그 蒸氣의 溫度보다 높아야 한다.

그런데 증기를 만들기 위하여서는 100°C 이상이어야 하는데, 물을 감속재로 사용하기 때문에 액체상태이어야 한다. 100°C보다 높은 온도에서 液体狀態인 물이어야 한다는 말은 原子爐內的 壓力을 높여서 높은 온도에서라도 증기가 되지 않도록 하여야 한다는 것을 의미한다. 이것이 바로 加壓水型輕水爐라는 이름이 붙여진 이유이고 실제로 그렇게 開發이 되었다.

그러나 溫度를 높이는 데에는 限界가 있다. 減速材로 물을 사용하는 限 아무리 壓力을 가하

〈그림5〉 加壓輕水爐



더라도 물의 臨界點인 374°C보다는 물의 溫度를 높일 수가 없다. 이 이상의 溫度에서는 蒸氣가 되어 버리고 만다. 이것이 熱效率을 30% 内外로 묶는 역할을 하게 된다(그림 6).

濃縮우라늄을 使用함으로써 輕水와 鐵을 使用할 수 있는 原子力發電所를 만들 수가 있었다. 또 하나의 중요한 特徵이 濃縮을 利用함으로써 얻어졌다.

$^{235}\text{U}$ 만을 생각하면 天然우라늄 單位體積當 들어있는  $^{235}\text{U}$ 의 數가 濃縮우라늄 單位體積當 들어있는  $^{235}\text{U}$ 의 數에 비해 상대적으로 작다는 말이 된다. 이것을 바꾸어 말하면 中性子數라든가 하는 다른 조건들이 같은 경우에는 單位體積當 일어나는 核分裂의 數가 天然 우라늄일 경우에는 濃縮우라늄보다 작다는 말이 된다. 單位體積當 發生하는 出力이 작아진다. 따라서 같은 出力의 原子力發電所를 만들고자 할 때, 天然우라늄을 核燃料로 使用하는 原子爐의 全體

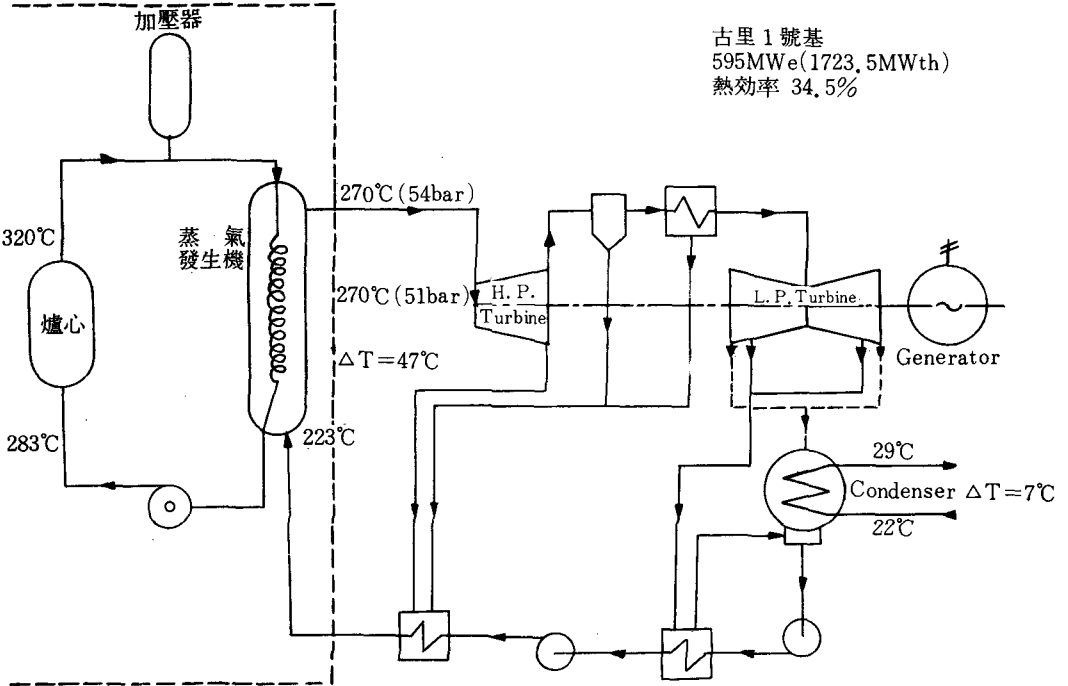
體積은 濃縮우라늄을 使用하는 原子爐에 비해 커지게 된다.

工業施設로서 이러한 점을 생각할 때 規模가 커진다는 것은 결정적인 결함을 낳을 수가 있다. 하물며 高價의 重水라든가 지르코늄이란 特殊合金을 使用하는 경우에는 그 費用이 커진다는 것은 쉽게 상상해 볼 수가 있다. 이점이 輕水型發電所가 일단은 현재 稼動중인 原子力發電所의 大宗을 이루게 된 이유가 될 수 있다.

더욱 더 濃縮이 고마운 것은 우리는 燃燒度(초기에 裝填된 核燃料 單位質量當 뽑아 낼 수 있는 에너지量)에서 찾아볼 수 있다. 원자력잠수함의 경우를 생각해 보자. 原子爐內에 核燃料를 裝填한 후 1年을 계속해서 核燃料의 補給없이 運航하려면 한번 裝填할 때 1年間 쓰일  $^{235}\text{U}$ 를 미리 넣어야 한다.

이것을 만약에 天然우라늄으로 裝填한다고 하면 容積은 莫大한 것이 되겠지만, 濃縮우라늄을

〈그림 6〉  
加壓輕水爐



古里 1 號基  
595MWe(1723, 5MWth)  
熱效率 34.5%

사용할 때에는 濃縮度만을 높이면 되므로 原子爐의 容積을 크게 하지 않아도 된다.

즉, 原子爐는 小型으로 만들면서도 1年동안 충분히 稼動할 수 있는 核燃料를 보유할 수가 있다. 加壓容器속에 核燃料를 裝填하고자 하는 경우에는 이 加壓容器를 자주 열어본다는 것은 바람직하지 못하다. 따라서 1年에 한번이나, 2年에 한번, 또는 6個月에 한번 裝填한다는 交換方法을 생각해야 하고, 따라서 1年에 한번 裝填해야 한다면 미리 1年분을 裝填해야 한다.

여기에 비해서 重水型爐는 天然우라늄 1年분을 미리 裝填한다는 생각은 一次的으로 못하게 된다. 그 이유는 容積이 莫大해지기 때문이다. 따라서 重水型爐는 매일매일 燃燒된 정도 만큼을 補充해서, 새로운 核燃料를 넣는 核燃料裝填方法을 사용해야 하며 原子爐도 이를 충족시킬 수 있도록 開發되었다.

이것은 原子爐의 크기에 대한 설명이었다. 核燃料의 裝填方式으로서 原子力發電所의 稼動

率이라는 측면에서 볼때 重水型爐가 原子爐를 정지시키지 않고 核燃料를 갈기 때문에 有利하여 진다.

### 이달의 到着資料

- ◇ Nuclear News(ANS) 2月號
- ◇ Nuclear Europe(ENS) 2月號
- ◇ Nuclear Engineering Int'l(NEI) 3月號
- ◇ ANS News(ANS) 1月, 2月號
- ◇ INFO(AIF) 1月, 2月號
- ◇ ATOM(UKAEA) 1月號
- ◇ Atoms in Japan(日本原産) 1月號
- ◇ 原子力産業新聞(日本原産) 1268號, 1269號, 1270號, 1271號, 1272號
- ◇ 原子力工業(日本日刊工業新聞社) 3月號
- ◇ 原子力文化(日本原子力文化振興財團) 2月號