

原子爐의 制御 (II)

張 基 鎮

39. 요술의 씨앗을 넣어두는 方法

原子爐의 出力, 即 爐心으로 부터의 發熱은 燃料棒 속의 우라늄 연료가 차례 차례로 타므로서 생기게 되는 것이다. 이렇게 해서 原子爐를 움직이게 하기 위해서는 制御棒을 빼내어서 爐를 臨界超過, 即, 어떻게 하면 K_{ess} 를 1보다 크게 할수 있도록, 연료를 넣어 두어야 한다. 이것이 原子爐라는 요술장이의 씨앗이다. 그러나 사람의 요술장이는 모자 속에서 열마든지 달걀을 꺼집어 낼수는 없다. 씨앗인 진짜달걀이 다 떨어지며는 곧 다음의 요술로 옮겨버린다. 그러나 원자로의 요술장이는 그렇지 않다. 계속해서 에너지를 낸다. 만약 요술의 씨앗이 떨어지며는 爐는 中止시키지 아니하며는 아니된다.

지금 원자로를 一定出力으로서 運転하고 있다고 하자. 制御棒을 적당한 깊이에 꽂아둔 상태에서 爐의 實效增倍率 K_{ess} 는 꼭 1이다. 爐心에서는 燃料棒이라는 연료棒은 그 속의 모든 곳에서 끊임없이 核反應이 일어나고 热의 發生이 계속한다. 이렇게 하며는 확실히 요술의 씨앗인 우라늄235는 減少해 간다. 연료中의 우라늄235의 수가 감소해가며는 중성자를 생기게 하는 爐心으로서의 體質

이 그만큼 약해진다. 그 결과는 중성자의 增倍率, K_{ess} 는 1보다 적어져서 브레이크가 걸리게 된다. 爐의 出力은 순간적으로 내려가기始作한다. 이렇게 되어서는 곤란하다. 브레이크가 걸려서는 아니되는 것이다. 라고 해서 制御棒을 조금만 빼내며는 이 制御棒이 잡아먹고 있던 亂性子가 그만큼 적어져서 K_{ess} 는 1을 유지하게 된다. 따라서 연소가 진행함에 따라서 조금씩 빼내어서 항상 keff 가 1이 되게 하여 出力이 떨어지지 않도록 한다.

이렇게 해서 制御棒을 조금씩 빼내서 마지막에 이 制御棒을 限度까지 빼내었을 때가 이 原子爐의 요술장이의 씨앗이 떨어질 때이다. 이 以上 연소시키더라도 이번에는 K_{ess} 가 1 以下로 떨어져 버려서 求할 길이 없게 되는 것이다. 돈 떨어지는 날이 밭길로 걷어차이는 날이 된다. 이 때가 爐를 中止시킬 때이다. 그래서 몇年동안이나 계속해서 태울려며는, 그만큼 많은 연료를 爐心속에 넣어둔다. 물론 이때는 그 만큼 制御棒을 깊게 꽂아서 餘分의 K_{ess} 를 죽여 버리는 것이다. 이렇게 하며는 制御棒을 전부 빼내는 것이 끝 마칠때까지 계속태울수가 있게 되는 것이다.

그런데 원자爐가 타고 있는 동안에 이燃

■ 연재 : 알기쉬운 원자력 이야기

料棒 속에는 여러 가지 타고남은 찌꺼기인 많은 종류의 核分裂生成物이 모이게 된다.

이와 같은 타고 남은 찌꺼기가 모이는 것은 運転時間이나, 热中性子의 크기에 따라서도 대단히 달라진다. 또 爐가 中止하였을 때에는 이것들은 없어지는 것이 아니고 放射線崩壞, 即 베타線이나 갑마선을 내면서 變身하면서도 그대로 주저 앉아 있다. 그런데 이들 찌꺼기 속에는 열중성자의 大食漢이 섞여있다.

예를 들면 키세논 135같은 놈이다. 타고 남은 찌꺼기 속에서 생긴 주제에 先住比과 같은, 날아오는 热中性子를 낙치는데로 잡아 먹어 버린다. 이외에도 사마륨이라는 元來의 大食漢도 생긴다. 이와 같은 無爲從食家가 생기게 되며는 모처럼 공들이고 精選하여서 만들어진 爐心의 體質이나, 中性子를 조금이라도 더 많이 만들려하는 體質을 한꺼번에 不良品으로 만들어 버리며, 결과로서는 K_{ess} 가 적어져 버리고 만다. 이렇게 되며는 原子爐는 中止해 버리고 말게 되므로 하는수 없이 制御棒을 빼내야 한다. 이것은 연료체가 타서 생기는 찌꺼기로 인한 것이므로不得已한 것이다. 따라서 爐心을 만들 시, 미리 타고 남은 찌꺼기들에 의해서 잡아 먹히게 되는 中性子의 수까지 계산에 넣어 여유있게 K_{ess} 를, 即 餘分의 연료를 爐心속에 넣지 아니하여는 아니된다.

이렇게 해서 다되었다고 방심하기는 아직 이르다. 여유있게 爐心에 넣어두어야 할 K_{ess} 가 또 있다. 「反應度의 温度効界」라고 称하는 놈이다. 「負의 温度係數」라고도 한다. 이것은 爐心의 온도가 상승하여는 K_{ess} 를 잡아 먹어버린다라고 하는 原子爐固有의 性質이다. 이것은 또한 原子爐의 安全性이라는 點에서 대단히 중요한 성질인 바, 이는 뒤에서의 原子爐의 안전성이라는 곳에서 상세히 설명하기로 하겠다. 어떻든 원자로에는 이와 같은 고유의 성질이 있다고 하기 보다는 安全性上 꼭 있어야 하는 성질인 것이다.

水爐의 경우, 최초 爐心에 燃料集合體를 넣었을 때의 爐心의 온도는 爐心이 잠겨 있는 금의 온도 즉, 室溫程度이다. 그런데 爐가 運転을 시작하여는, 그 온도는 점점 올라가서 爐의 종류에 따라서는 300도 가량이 된다. 燃料棒속은 이것 보다 훨씬 더 뜨겁다.

이와같이 해서 爐가 運転을 시작해서 爐心의 온도가 차츰 차츰 올라가게 됨에 따라 爐心 속에서는 K_{ess} 가 차츰 차츰 잡아 먹히게 된다. 그대로 두여는 K_{ess} 는 1보다 작아져 버린다. 그래서 制御棒을 조금씩 빼내게 한다.

이상에서와 같이, 爐心속에 연료를 넣을 때는, 연료의 연소에 의한 自然減少, 爐心의 温度効果, 타고 남은 찌꺼기(核分裂生成物)들의 無爲從食, 여기에 加해서 長期間에 걸친 타고 남은 채, 이와 같은 것을 모두勘案해서 餘分의 K_{ess} , 即 餘分의 燃料集合體를 들판 넣어두지 아니하면 아니된다. 그리고 이것들을 全部, 制御棒을 끊어 죽여둔 후에, 조금씩 制御棒을 빼내므로서 잡아 먹힌 分을 보충하여 K_{ess} 를 항상 1로 유지시켜 계속 運転을 할수 있게 한다.

出力이 작은 研究爐에서는 爐心의 온도도 낮고 핵분열생성물의 발생도 적고, 해서 타고 남은 찌꺼기도 많지 않다. 故로 餘分으로 집어 넣는 燃料集合體도 적다. 그리고 1本의 制御棒으로도 足하다. 그러나 出力이 크고 또한 장기간에 걸쳐서 運転을 하는 原子爐에서는 죽여두어야 할 K_{ess} 의 値도 커지므로 制御棒은 하나로서는 不足해서 몇개의 制御棒을 필요로 하게 된다.

이와같은 경우에는, 制御棒의 역할을 2개로 나누어서 하는 수가 많다. 그 하나는 앞에서 말한 악셀파 브레이크의 역할을 하게 하는것, 즉 爐의 出力を 올렸다가 내렸다가 하는 것이다. 이것은 1本만 있으면 충분하다. 이를 微調整棒이라 하고 있다. 若干의 K_{ess} 를 微調整한다. 이에 對해서 큼직하게 制御시킬때 사용하는 것, 大量處理用, 이것

을 粗調整棒 또는 씨임棒(shimrod)이라고 부른다. 이것은 K_{ess} 의 補足能力인데, 결국은 죽이게 하는 양도 커서, 온도상승, 핵분열생성물, 타고 남은 씨꺼기의 從食分의 大部分을 보충한다. 이것은 1本에 限하는 것은 아니다. 2本이거나 3本이라도 필요한 만큼 끊어둔다. 그리고 이 끊는 방법에 따라서 爐心의 實効增加率의 K_{ess} 를 대체로 1에 가깝도록 할수 있다. 물론 1을 넘어서는 아니다. 그리고서는 뒤를 微調整棒에 맡긴다. 發車, 오우라잇은 전적으로 이 微調整棒 이하는 일이다.

爐心 속에는 이 외에도 安全棒, 다만 爐를 中止시키는 것만을 목적으로 하는 安全棒이 몇個나 들어 있다.

40. 어떤일이 생기면 , 곧 손을 떼라고, 安全棒

이와 같은 爐心속에는 餘分의 燃料가 상당량 들어 있다. 그래서는 制御棒이 이것들을 죽이고 있다. 따라서 이 制御棒을 急速하게, 또는 한꺼번에 빼낸다는 것은 극히 위험한 일이다. 爐心 속에서의 中性子의 增倍率, K_{ess} 는 곧 1보다 커며 미친듯이 出力上昇을 하게되어 예기할수 없는 사고가 생기게 될 것이다. 그래서 원자로에서는 어떠한 일이 있더라도 이와같은 일이 발생하지 못하도록 되어있다. 即, 이 制御棒을 빼내는 方法에는 嚴重한 制限이 加해져 있다. 빨리 빼낼려하여도 빼낼수 없게 되어 있다. 구체적으로 설명하여는, 모우터가 減速機를 通해서만 制御棒을 빼 낼수 있도록 되어 있다. 이 모우터에 供給되는 電力의 周波数는 60㎐ 쓰라든가 50㎐ 쓰라든가 一定하므로 모우터의 회전속도는 一定하다. 또 減速機는 이의 충실한 下人이라 모우터의 회전속도를 충실히 떨어뜨려서 制御棒의 駆動軸에 전달한다. 따라서 制御棒은 천천히 一定한 속도로

빼내어진다. 運轉하는 사람中에 성급한 분이 있어 아무리 빨리 빼져 나오라고 制御棒을 빼내는 버턴을 미친듯이 누질러 봐도 制御棒은 마이 베이스로서 천천히 빼져 나오게 된다. 1本이 빼져나오면 그 다음의 것이 빼져 나오기 시작한다. 어떤 일이 있더라도 한꺼번에 빼져 나오지 못하게 되어 있다. 原子爐는 한번 만들어 버리면 아무리 사람들이 이를 속이려하거나 뇌물을 줄려하더라도 원자로는 끄떡도 하지 않는다. 어디거나 경솔한 머저리들은 있는 법, 帽子를 쓰고 목욕탕에 들어간다든가, 짹째기 양말을 신고 出勤한다든가 하는 사람들이 있다. 만약 이와 같은 사람이 원자로를 運轉하게 되어 악셀과 브레이크를 잘못 밟는다든가 또는 일시 부주의해서 어떤 일을 하더라도 이 制御棒은 어디까지나 온마이 웨이로서 미리 定해둔 것 같이 천천히 빼져나와 아무런 일도 생기지 않게 한다.

이렇게 하더라도 아직, 異常信號, 例를 들면는 爐의 出力의 올라감이 빠르다. 또는 定해져 있는 値보다 크다. 等의 通知가 있게되며는 制御棒은 곧 자동적으로 급속히 爐心속으로 끊어진다. 이렇쿵 저링쿵 말할 사이도 없다. 우선 爐를 中止시켜 버린다. 자동차에서도 무슨 일이 있을때는 우선 자동차를 세우는 것이 가장 안전한 것이다. 원자로도 마찬가지로 一端 有事時에는 우선 세워 버리는 것이다.

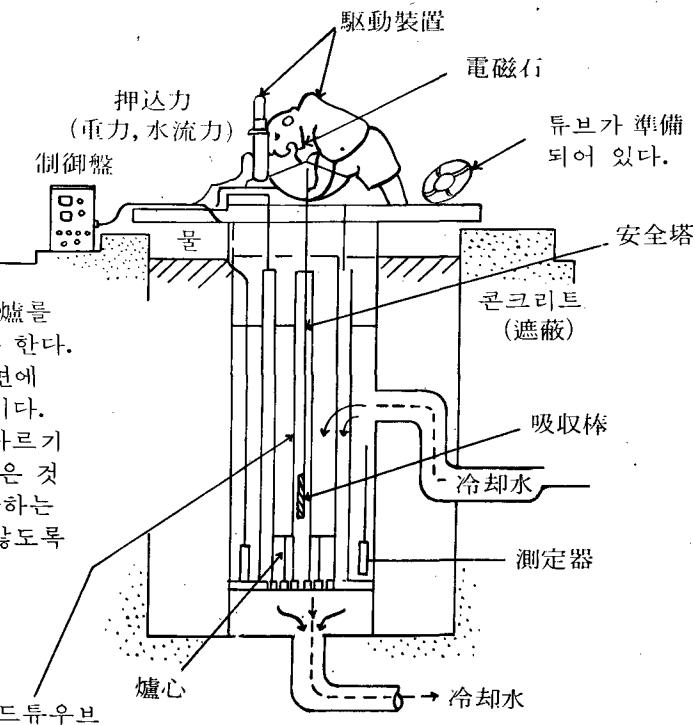
그래서 爐心에는 이때까지 이야기한 運轉用의 制御棒 以外에도 停止專門用의 制御棒이 몇개나 준비되어 있다. 安全棒이라는 것이다. 人體로 粗調整棒과 形도 같으며, 이도 K_{ess} 의 大食漢, 다만 다른 點은 爐의 運轉中에는 爐心으로 부터 빼져 나와서 우두커니 서서 있다는 點이다. 아무일도 하지 않고 졸고 있는 것 같이 보이나 實은 개구리를 겨누고 있는 뱀 모양으로 일단 信號만 떨어지면 번갯불 같이 등을 일으켜서 爐心 속으로 뛰어 들어간다. 그 빠르기는 100分의 5秒도

■ 연재 : 알기쉬운 원자력 이야기

안되는 사이에 爐心을 向해서 달린다. 이와 같은 재빠른 속도로 粗調整棒들과 함께 모든 安全棒은 일제히 爐心 속으로 끊어진다. 이렇게 되면 이때까지 잘 들어나고 있던 중

성자는 그 增倍率이 약 1/10 사이에 0.8 가량으로 되어 버린다. 爐心속의 中性子束은 당장 氣가 죽어 버린다. 爐의 出力은 떨어지고 發狂하려는 爐心도 당장 얌전해져 버린다. 이

安全性의 요점은
활을 쏘려하는
것과 유사하다.



※ 이와 같은 타입의 爐를
스위밍 푸울형이라 한다.
爐心이 물의 바닥면에
보이는 것이 특징이다.
動力爐와는 型이 다르기
는 하나 원리는 같은 것
이다. 헤엄치지 못하는
사람은 떨어지지 않도록
要注意

와같이 해서 爐를 停止시키는 것을 스크램(s scram)이라고 한다. 이와 같은 安全棒스크램에 對해서 좀 더 설명하기로 한다

이 스크램까지는 마치 활에다 살을 끼워서全力으로 잡아 당기고 있는 상태와 비슷하다. 이렇게 비유하여는 安全棒은 爐心을 향하고 있는 화살인 것이다. 安全棒은 爐心에 있어서는 무서운 毒화살이다. 화살끝에 빌라둔 毒이 吸收棒(板)이다. 화살이 시위를 떠나자 마자 毒화살은 爐心 깊게 박혀서 연쇄반응의 숨을 끊어버리는 것이다. 그런데 활 같

으며는 활의 시위에 화살의 뒤쪽 흠이 걸려서 이를 손가락으로서 꽂고 잡아 당겨서 되나, 安全棒의 경우에는 손가락 대신에 電磁石으로서 잡아당겨져 있다. 또 잡아 당겨진 활의 彈力代身에 용수철이라든가, 重力, 물의 흐름이나 壓力에 의한 押込力 또는 壓縮空氣의 힘 等을 사용한다.

이들중에 어느것을 사용하는가는 爐의 型에 따라 달라진다. 이렇게 어떻한 힘을 빌리든지 安全棒은 항상 吸收棒을 爐心쪽으로 끊을려고 하고 있으나, 電磁石은 “그렇게 할수

는 없다!”라고 하면서 꽈 잡은채 놓지 않는다. 이렇게 해서 安全棒은 끔찍 못하고 꼭 잡고 있다. 그러므로 여기서 만약 「中性子束이 너무 크다, 놓아라」라는 信號가 들어 왔다고 하자, 곧 電磁石의 電流는 끊어진다. 그런데 電流가 끊어진 電磁石같이 불쌍한 것은 없다. 머리카락을 짤린 삼순이다. 그 순간 순 혀 無力, 잡아 당기고 있던 모든 힘을 잃어 버리고 한낱 쇠덩어리로 변해 버린다. 이렇게 해서 시위를 떠난 화살은 날아가게 된다. 爐는 스크럼되는 것이다.

「손을 떼어라」라는 信號는 「中性子束이 너무 크다」, 「中性子의 增加가 너무 빠르다」라는 것에만 그치는 것이 아니다. 爐에 있어서 危險에 관계되는 異常이 있으며는 아무때나 손을 떼어라 라고 한다. 「爐속의 壓力이 내려갔다.」, 「壓力이 올라갔다.」「爐心의出入口의 壓力差가 너무 크다.」, 「너무 낮다.」, 「冷却材의 流量이 줄어 들었다.」「爐心出口의 温度가 너무 높다.」, 「電源의 電圧이 내려갔다.」「電源의 周波數가 異常한 것 같다.」「어디 어디의 水面의 레벨이 내려갔다.」「어디 어디의 計器가 異常한 것 같다.」「어느어느쪽의 펌프가 異常하다.」「停電이다」「地震이다」…… 아무튼 어떠한 때에는 곧 손을 떼라고 信號를 보내게 된다.

물론, 1년 내내 손을 떼어서 爐가 스크럼되다가는 營業이 되지 않으므로 어느 정도에서 손을 떼게 하느냐는 충분한 安全餘裕를 가지고 일정한 規準을決定해 둔다.

41. 그 뒤에 또 도사리고 있는 것은 백업 스크럼裝置 “사람을 보며는 도둑이라 생각하라!”라는 속담이 있다.

“사람을 보며는 도둑이라 생각하라!”라는 속담이 있다. 젊잔치는 못하다. 原子爐의 設計쪽에서는 사람을 보며는 바보라고 생각

하라 라는 根本思想이 있다. 후울 프루프(fool proof)라 한다. 直譯하여는 「바보가 되더라도 安全」, 即 어떤 바보나 머저리가 어떠한 실수를 하더라도 異常이 일어나서는 않되도록 만들어져야 한다는 것이다. 原子爐의 設計時 무엇이라 하면 곧 이 후울 프루프라고 對句한다.

돈이 들더라도 상관없다. 安全第一이다. 예를 들여는 制御棒의 뽑아 냄도 그 一例이다. 制御棒은 定해진 스피이드와 순서로서만 뽑혀 나오도록 되어 있다. 이를 變更시키는 電氣의 配線을 全部 새롭게 한다든지 (이렇게 하더라도 잘될지 保證할수 없다), 또는 驅動裝置를 모두 除去해 버리고 손으로서 빼내는 방법 밖에 없다. 그러나 이와같은 경우까지 생기리라고는 생각되지 않는다.

定해진 빼내는 속도로서 빼고 있을 때에도 때로는 中性子束의 增加의 方法이 規定보다 다소 빨라지는 수가 생길지도 모른다. 이렇게 되여는 곧 爐心 주위의 測定器로부터 「中性子의 增加가 빠르다. 손을 떼어라」라는 信號를 보내게 된다. 이렇게 되여는 否도 應도 없다. 安全棒은 일제히 發射되고 粗 調整棒이나 安全棒도 다 같이 사이좋게 爐心 속으로 끊어져 버린다. 모처럼 上昇하고 있던 爐의 出力도 꽁 내려가서 原隊復歸, 다시 제로로부터 영금 영금 하면서 새로始作한다. 運轉班長은 「무엇하는 거냐」라고 높은 사람에게 큰 꾸지람을 듣기는 하나 被害는 全無하다.

그러면은, 中性子束이 커진다든가, 增加가 너무 빨라지는 것을 爐心의 주위에 있는 測定器가 失手를 해서 보지 못하는 일은 없을까? 아무리 공들여서 만든 計測器라도 故障날 때가 없을까? 옳은 말씀이다. 確實히 計測器도 맞지 아니할 때가 있을 것이다, 라고 하는 것 보다 元來 原子爐의 設計時에는 모든 裝置나 計測器는 대개 부숴지기 쉬운 것으로서 設計되어 있다. 그래서 부숴져서 위험성을 내포하고 있는 것들은 꼭 2臺를 둔다. 필요하다여는 3臺를 둔다. 이를 리던단

■ 연재 : 알기쉬운 원자력 이야기

시이 (redundancy) 라 한다. 말이야 어떻튼 간에 辞典을 보며는 “重復” “過多” “不必要한 것” 等으로 되어 있다. 四発비행기와 같다. 單發은 한개의 엔진이 정지하면 나무아미타 불이지만 四發에서는 두개쯤 총 맞드라도 한쪽 肺로서의 날아 갈수는 있다.

원자로의 설계에서도 중요한 곳은 언제나 이와같은 精神으로서 設計한다. 例를 들여는 爐心을 둘러싸고 쉴사이 없이 中性子를 测定하고 있는 中性子의 测定器는 1個만 하여도 充分함에도 불구하고 3個나 두고 있다. 이것은 中性子束의 크기를 测定하는데에 一郡, 그리고서도 이들은 서로 补充하고 있는 面이 있다. 따라서 三重으로 카아버하고 있겠금 정성에 정성을 기우려서 붙여둔다. 또 각각의 3個의 测定器의 测定值中에서 2個의 测定值가 異常을 表示하며는 「손을 떼어라」라는 信号를 發한다. 이로서 测定值의 信賴性과 確實性을 아울러 準備하고 있다. 그리고서도 부족한지 計測器의 컨디션이 조금만 異常해도 이도 끈, 「손을 떼어라!」라는 信号를 보내어 爐를 停止시켜 버린다. 이들 以外의 것들도 重要한 곳의 것은 대체로 이와 비슷하다.

이들은 그렇다하더라도 信号를 받고 달리기 始作한 安全棒이 만약 도중에서 무엇에 걸려서 무사하게 爐心속에 操入되지 않게 되며는 어떻게 될까? 라고 묻는분이 있을지 모른다. 安全棒의 화살의 構造는 극히 간단하여 發射된 以上 途中에서 걸리기 어려운 構造로 되어 있다. 誘導하려는 管속을 불과 1미터 부터 길어도 3미터 정도를 막힌 끝까지 달릴 뿐이다. 그러나 원자로의 設計者는 그렇지 않다. 當然히 途中에서 걸리다고 생각한다. 이를 위해서는 安全棒의 数를 餘裕 있게 장만해 둔다. 規則으로서는 “1本棒의 걸리기”라 稱하여 어떠한 경우에서도 적어도 1本의 安全棒이 들어가지 않더라도 停止하지 않으면 아니되도록 되어 있다. 그러나 이는 當然한 最低條件으로서 研究爐 等에서는

倍가량의 安全餘裕를 보고서 더 많은 安全棒을 準備해 둔다. 例를 들여는 MTR의 研究爐의 경우 安全直後에서 또한 性能試驗에서 1.8位 이상의 安全餘裕가 있게 된다. 여기는 7本의 安全棒이 준비되는데, 이들중 半보다 조금 더 制御棒을 넣더라도 充分한 것이다. 動力爐에서는 最低 1本은 물론 通常의 運轉狀態에서도 몇本이나 餘裕가 있게 된다. 그리고서도 이들은 相互間에 全히 無關係하며, 獨立하고 있다. 安全性에 對한 追求는 의심많고 귀찮을 정도로 따져든다. 이렇게 되며는, 또 저렇게 되며는 하면서 끝없이 따져든다. 1本뿐만 아니라 2本이나 3本째도 安全棒이 걸려서 들어가지 않으면은, 더욱이 이들이 同時에 겹쳐서 일어나며는, 하는 等의 도저히 생각할 수 없는 것 까지도 따져든다. 생각할 수 있든 없든, 安全棒이 스크럼에 失敗하며는 어떻게 하나? 라고 따져든다. 이와 같이 끈질기게 따지는 사람들을 위해서 原子爐에는 백·엎의 停止裝置가 붙어 있다.

爐의 停止, 即 核分裂連鎖反應을 못하게 하는 것이므로 停止裝置로서는 역시 中性子를 잡아먹는 것이라야 할 것이다. 이렇게 되며는 역시 硼素라든가 카드뮴이라든가 하는 中性子의 大食家가 이와 같은 일을 맡아 주어야 할 것이다. 어떤 形態로서나 상관은 없을 것이며, 알맹이라도 좋고 덩어리라도 좋을 것이다. 이런 것들을 대량 爐心속에 부어 넣으면 될 것이다. 그래서 이를 위해서 여러가지 장치들이 考案되어 왔는데, 例를 들여는, 硼素를 섞은 조그만 구슬을 대량 爐心 속에 부어 넣는 것도 있다. 「安全棒이 말을 듣지 않는다! 出力의 자꾸 올라간다!」 이때 이들은 왈칵 쏟아져 나오게 된다. 빠찡꼬가 맞았을때 와장창 쏟아져 나오는 式이다.

水爐에서 잘 사용되고 있는 方式은 硼酸水를 쏟아 넣는 방법이다. 結膜炎일때 눈을 씻는 그 봉산이다. 사람들에게는 이 硼酸水를 별것이 아니다. 목에 넣고 “와잘 와잘”한

후 뺏아내는 수도 있다. 그러나 여기에서의 硼酸水는 中性子에게는 자우의 염라大王보다 더 무서운 것이다. 이 진한 硼酸소오다의 液을 탱크 속에 넣어두고 壓力を 걸어두고 爐心이 들어있는 容器에 파이프로서 연결하고 벨브로서 닫아 놓는다. 「安全栓이 들어가지 않는다! 出力이 내려가지 않는다!」라고 되며는 이 벨브는 열리고 壓力이 걸려있는 硼酸液은 한꺼번에 爐心 속으로 왈칵하면서 들어가게 된다. 땀의 제방이 터진 光景이다.一瞬间에 이 봉산수 속에 잠겨 버린다. 노아의 大洪水路이다. 이렇게 되며는 이때까지 爐心 속에서 減速材로서 作業을 하고 있던 물도 봉산수가 되어 毒水가 되어 버린다. 어떻게 견디랴, 爐는 即時로 停止해 버리고 만다.

그런데, 硼酸水 파이프의 벨브가 열리지 아니하면 어떻게 하나?라고 묻는 사람이 있을지 모르겠다. 爐에 따라서는 이 백·엎이 붙여 있는 것도 있다. 이것이 作動하지 아니하며는이라고 걱정하는 사람도 있을 것이다. 이와 같은 議論은 끝이 없다. 이와 같은 偶發事故가 자꾸 몇 겹으로 겹친다는 可能性은 그야말로 극히 적다.

땅이 깨질까봐 걸음을 걸지 못하는 분이나 머리 위에서 별똥이 떨어지는 것을 걱정하는 것이 차라리 나을지 모르겠다. 그러나 하느님이 아닌 以上(또는 政治家가 아닌 以上) “그런 일은 絶對 없읍니다”라고 짤라 말할 수 수 없는 것이다. 그래서 原子爐는 最後의 最後까지도 그와 같은 경우에 爐가 어떻게 될까라는 것까지 생각하고 있다. 그런데 결국은 그렇게 어렵게 생각하지 아니하여도 된다는 것을 알게 되었다. 이에 對해서는 固有의 安全性이라는 곳에서 이야기 하기로 한다.

42. 原子爐의 성냥·爐心에 불을 당기는 方法

한마리의 쥐가 두마리, 두마리가 네마리, 네마리가 여덟마리……라 하며는 끝이 없다 핵분열연쇄반응도 이와 같다. 그러나 처음의 한마리가 쥐가 있어야하는것 같이 最初의 核分裂의 中性子가 필요한 것이다. 그러며는 이것을 어디서 가져오느냐가 문제이다.

이 世上에는 宇宙의 어디인가에서 宇宙線으로서 날아오는 自然中性子가 있다. 그러나 이를 믿을수 없다. 그래서 핵분열의 開始를 확실히 하기 위해서는 爐心속에 中性子源이

는 것을 넣는다. 이것이 原子爐의 불을 당겨주는 성냥이다. 성냥이라하더라도 껌질에 알맹이를 마찰시켜 불을 붙인 다음 부채질을 하는 것은 아니다. 이는 말하자며는 조그마한 中性子發生具로서 大體로 부지깽이만 하다. 여기서는 1秒間에 1000萬個 정도의 中性子를 발생시켜 爐속에 이를 뿌린다. 1000萬個라지만은, 原子爐에서는 아무것도 아니다. 연쇄반응을 계속하고 있는 爐心 속의 中性子의 数에 比하며는 九牛의 一毛에도 不足하다. 그러나 爐心을 둘러싸고 놓여있는 中性子의 測定器, 이 中에서도 스타아트 用으로 準備된 敏感한 測定器는 이를 感知한다. 조금이라도 날아다니는 中性子는 이를 헤아리고 있다. 이것은 이제부터의 爐心에 불을 붙이려하는 原子爐에서는 대단히 必要한 것이다. 왜 그러냐 하며는, 일이 시작할때 부터 中性子가 들어 나가는 狀況을 계속해서 흘로우(follow, 追蹟)할 수 있기 때문이다. 爐心이 組立되어 감에 따라 爐心에 점점 불이 당겨가는 과정을 계속해서 감시하는 것 중요하기 때문이다. 만약 이와 같은 일을 하지 않는다면 爐心이 거의 組立되어 갔을 때, 우연히 宇宙의 어디선가에서 날아온 방랑자인 中性子에 依해서 갑작스럽게 불이 활활 불게 되며는 감당 못하게 될 것이다.

中性子源에서는 여러가지의 型이 있다.例를 들며는 라듐-벨리움 소오스(源), 라듐의 原子核은 自然붕괴에서 알파粒子를 내놓는다. 이것이 벨리움 原子核에 맞으면은 中

■ 연재 : 알기 쉬운 원자력 이야기

性子를 放出하는 것이다, 그래서 벨리륨으로서 容器를 만들고 그 속에 라듐의 덩어리를 넣는다. 이렇게 되여는 이 容器에서 中性子가 튀어 나오는 것이다. 이것이 라듐-벨리튬-소오스이다. 또 안티몬-벨리튬 소오스라는 것도 있다. 이것은 原子爐 속에서 中性子를 죄어서 만든 放射線 안티몬을 위에서와 같이 벨리튬의 용기속에 넣어둔다. 이 때는 방사선 안티몬에서 나오는 감마線이 벨리튬에 부딪쳐서 中性子가 튀어 나오게 된다. 이들은 어느 것이나 容器끝에 손잡이를 붙여 놓아서 긴막대에 걸어둘 수 있게 한다. 그래서 原子爐에 불을 불일때는 이 容器를 막대에 걸어서 爐心內의 홀더 속에 넣는다.

지금 燃料集合體를 一體 또 一體씩 感速材 속에 넣으면서 爐心을 組立해 갈때 即 爐心이 臨界近接일 時 「조금만 기달려!」하고서는 이 中性子原을 爐心의 주위에 넣어 두고서는 起動用의 中性子 測定器로서 感知시켜둔다. 最初 燃料體가 아무 것도 들어 있지 아니하였을 時에는 測定器가 헤아리는 中性子의 수는 中性子源에서 날아 오는 것 뿐일 것이다. 이것이 燃料體가 조금이라도 들어 가게 되여는 中性子源에서 나오는 中性子中의 어느것이 燃料體 中의 우라늄235 原子核에 부딪쳐서 核分裂数하여 餘分의 中性子를 내게 된다. 即 中性子의 数가 늘어나는 것이다. 爐心 속에 組立되어 가는 燃料棒의 수가 점점 많아질수록 中性子의 늘어 남도 이에 따라 자꾸 增加해 간다. 臨界近接에서는 爐의 運転員들은 爐 밖에서 이들 中性子의 增加되는 것을 계속 감시하고 있다.

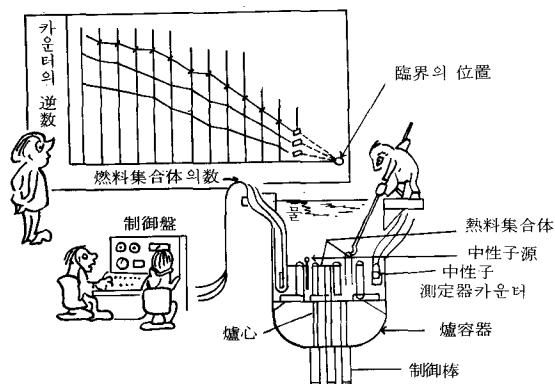
물론 이때, 앞에서 말한 安全棒들은 全部가 개구리를 노리는 뱀처럼 爐心을 向해 차거운 눈알을 굴리고 있다. 만약 이때 잘못 넣어서 中性子束의 增加가 이상하게 커지기만 하여는 즉시로 爐 속으로 튀어 들어가게 된다.

그래서, 이와 같이 해서 燃料集合體가 組立되어 가서 爐心이 점점 커지며는 中性子測

定裝置의 心臟이 성급하게 뛰게 된다.

처음에는 발딱 발딱하던 것이 파닥파닥하고 나중에는 뻥뻥 둘 지경이다. 이렇게 되여는 爐는 臨界에 가까워지는 것이다. 보통 爐心의 周圍에는 3個 내지 4個의 起動用의 敏感한 測定器를 넣어둔다. 앞에서 말한 리던단시이 라는 놈이다. 爐 밖에 놓여 있는 計數器는 이를 정직하게 計算하고 있다. 1秒間 몇 카운트라는 式이다. 爐의 運転員들은 이 計數를 사용해서 그레프用紙에다 折線 그래프를 그린다. 그레프의 橫軸에는 爐心에 裝置한 逆數를 取한다. 이렇게 해서 決定되는 點을 プロット하여 이어간다. 燃料體를 一體 더 넣을 때마다 카운트 수는 늘어나므로, 逆으로 折線그래프는 一體 넣을 때마다 세로를 向해서 下降해 간다. 이와 같이 하여는 3個의 計測器의 경우에는 3個의 折線그래프가 된다. 一體 또 一體, 燃料體를 넣을 때마다 下降해 가는 3個의 折線 그래프가 생기게 되는데, 이때 중요한 점은 이 3個의 折線그래프가 모두 어느 한 點, 제로點을 向하여 뻗쳐 나가고 있다는 點이다. 마치 이折線그래프는 그 先端에 눈이나 있듯이 제로點을 正確히 向하고 있다. 即 이 點이야말로 爐가 臨界가 되는 點인 것이다. 緊張이 감돈다. 運転室은 물을 뿐인듯 조용하다. 간단히 爐의 運転員들의 속삭임이 들릴 뿐이다. 「으음, 이제 3體만 더 넣으면 臨界가 되겠구나」「이제 2體가 남았다」라면서 마치 손바닥 위의 콩을 헤아리다시피 爐心의 狀態를 把握하면서 일을進行시키고 있다. 그리고서는 곧 臨界가 될을 알게 되여는 요번에는 위에서 말한 調整用의 制御棒을 爐 속으로 꽂아두고 다시 燃料集合體를 한体 넣는다. 그리고서 計數를 세어가며 천천히 이 制御棒을 빼내본다. 다 빼내어도 아직 臨界가 되지 않았을 時에는 도로 이 制御棒을 꽂아두고 다시 새로 한体의 燃料集合體를 插入한다……, 이를 몇번 되풀이 하여는 어느 個數의

燃料集合体, 어느 정도의 制御棒의 빼내는條件下에서 計數器의 心臟은 鐘이 깨어지듯이 亂打한다. 3個의 折線그래프는 이때야縱線, 세로의 곳에서一點에 만나게 된다. 이때 爐心의 實效增加率 R_{eff} 를 정확히 1, 爐는臨界가 되는 것이다.



드디어 爐心에는 불이 붙었다. 爐心 속의 中性子는 이제는 中性子源의 도움을 받지 않더라도 自己生產한 핵분열중성자 만으로서 늘지도 않고 줄지도 않는 中性子의 子孫維持, 연쇄반응이 이러나게 된다. 이렇게 되면 中性子源은 불필요하게 된다. 中性子源은 빼어버려도 爐心中의 中性子의 數는 핵분열에 의해서 지속하게 된다.

이렇게 되면, 다시 여기에 장기간의 떨깜이 될 연료, 爐心의 温度效果分, 타고 남은 찌꺼기 核分裂生成物의 無爲從食分에相當하는 分의 热料集合体를 裝填한다. 넣는 방법은 이때까지와 大体로 비슷한 것으로서 制御棒(粗調整棒)을 꽂아 두고서 K_{eff} 을 죽이면서 천천히 주의깊게 넣는다.

이렇게 하여 겨우 爐心이 完成된다.

爐心이라는 舞台에는 燃料集合体에 減速材, 徵調整棒, 粗調整棒, 여기에 安全棒, 中性子源에 中性子의 測定器, 水爐인 경우에는 減速材인 물이 冷却材의 역할을 겸하여 一人

二役, 이로서 이 爐心劇團의 配優들은 갖추어졌다. 이제 무대의 막을 올릴 시간이 가까워졌다……라고 마음놓고 있을 때 뒤돌아보니 爐心의 한쪽 구석에서 아니꼬운듯이 축치고 앉아 있는놈이 있다. 보니까 反射体要素이다. 대체로 外形, 形狀은 다같이 燃料集合体와 꼭 같으나 다만 안에 있는 알맹이가 벨리륨이나 黑鉛의 덩어리이다. 이것이 燃料集合体의 둘레를 한겹, 두겹으로 둘러싸서 爐心에 裝填되어 이들이 꽉차면서 만원버스 속에서 잡지 않더라도 끄떡없듯이 단단하게 서로 의지하여 몸을 유지하고 있다. 이 벨리륨이나 黑鉛은 燃料爐心으로부터 밖으로 中性子를 두들겨서 되돌려 보내는데는 가로 튀어나오는 中性子를 두들려서 되돌려 보내는데는 가장 적절한 材料이다. 即, 이 反射体要素은 爐心으로부터 튀어 나가려는 中性子, 即 漏出中性子를 되도록 적게 하는것이 이들의 하나 일이다. 따라서 中性子의 經濟에 대단히 도움이 된다. 따라서 爐心을 臨界로 하기위한 연료체의 數를 이로서相當히 節約시킬 수도 있다. 「反射体에 依한 節約」이라는 말들도 이리하여 생긴 것이다. 그러나 爐型의 形便上, 일부러 이 反射体要素를 넣지않는 爐도 있다. 이 경우에는 물이라든가, 重水의 層이 역시 外層를 둘러싸개해서 이것이 反射体의 役割을 하게 하는 경우가 많다. ■

다음호에 계속