

## 가압경수형원자로1차랭각재의 붕소농도측정을 위한 눈금새김에 대한 연구

문충남, 량봉만

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학연구기관들과 과학자, 기술자들은 우리 나라의 실정에 맞고 나라의 경제발전에 이바지할수 있는 과학기술적문제를 더 많이 풀어야 하겠습니까.》(《김정일선집》 증보판 제13권 173페이지)

가압경수형원자로에서 반응도조종, 출력운전과 정지, 연료교체때 로심의 붕산(붕소)용액의 농도변화를 정확히 감시, 조종하는것은 원자로운영에서 중요한 문제로 나선다.

가압경수형원자로의 화학 및 체적보상계통(CVCS)에서 중성자흡수법으로 붕소농도를 측정할 때 중성자기록수는 1차랭각재의 붕소농도와 온도, 중성자검출기의 감도 등에 밀접히 관계되며 여기서 중성자검출기의 감도는 사용기간이 증가하는데 따라 감소한다. 그러므로 정확한 측정을 위하여서는 반드시 측정전에 중성자검출기의 계수속도와  $^{10}\text{B}$  농도사이관계를 눈금새김하여야 한다. 특히 3세대원자력발전소에서 붕소측정의 중요한 발전방향으로 되고있는 일체식붕소농도감시체계에서 검출장치는 1차랭각관로상에 놓이므로 표준붕소용액을 이 측정관로에 주입하고 직접 눈금새김할수 없다.[3]

론문에서는 일체식붕소농도감시체계의 정확도제고를 위한 눈금새김에 리용할수 있는 붕소농도측정눈금새김체계와 눈금새김방법을 밝히고 그 실험결과를 고찰하였다.

### 1. 붕소농도눈금새김체계구성도

원자력발전소1차랭각재의 붕소농도눈금새김체계는 눈금새김장치, 중성자원천, 중성자계수관, 붕소농도측정장치 등으로 구성되어있다.(그림)

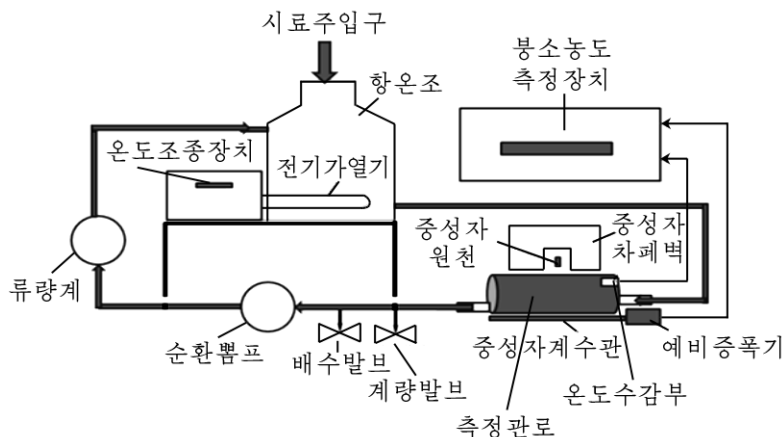


그림. 붕소농도눈금새김체계구성도

눈금새김장치에는 온도조종장치, 온도수감부, 전기가열기, 표준붕산액을 넣는 항온조로 된 표준용기, 뿔프 등이 있으며 중성자원천으로서는  $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ ,  $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ ,  $^{252}\text{Cf}$  원천을 리용할수 있다. 중성자검출장치로는  $\text{BF}_3$ -비례계수관 《CHM-11》을, 측정장치로는 예비증폭기, 주증폭기, 고압안정전원, 중성자계수관을 리용하였다.

## 2. 붕소농도눈금새김방법

붕소농도눈금새김체계에서는 일반적으로 붕산을 첨가하는 방법보다 그 우월성이 확증된 용액을 희석시키는 방법으로 실험조작을 한다.

희석전 붕소농도를  $P_0$  이라고 하면 희석후 붕소농도  $P_x$  는 다음과 같이 계산된다.[3]

$$P_x = \frac{P_0(V_0 - V_d)}{V_0} \quad (1)$$

여기서  $V_d$  는 희석체적,  $V_0$  은 전체 용액의 체적이다. ( $V_0$  은 실험전기간 일정)

실험초기 해당한 농도의 붕산용액에 첨가되는 붕산( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )량  $m$  은 다음과 같이 계산된다.

$$m = V'_0 \cdot P_0 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{61.83}{10.81} \cdot \frac{1}{99.5} \quad (2)$$

여기서  $V'_0$  는 초기에 주입되는 순수한 물의 체적이며 99.5는 리용하는 붕산의 순도를 의미한다.

눈금새김방법은 다음과 같다.

우선 측정장치들을 토출수관로에서 해체하여 전문설제한 눈금새김장치에 설치한다. 이때 측정관로의 크기는 토출수관로의 직경과 같게 하여야 한다.

붕소농도온도측정요소(실험로 항온조와 온도조종장치)는 표준붕소용액의 온도를 변화시키는데 리용된다. 온도는 붕소농도측정에 큰 영향을 미치므로 온도보상을 위하여 표준용기의 온도를 일정하게(례를 들어  $30^\circ\text{C}$ ) 하여야 한다.

순환뿔프는 붕산의 용해도가 온도에 따라 크게(물  $20^\circ\text{C}$ 에서 4.87g,  $100^\circ\text{C}$ 에서 38.00g) 차이 나서 침전물로 가라앉는것을 막고 또 붕소용액의 측정온도를 빨리 균일하게 하기 위하여 눈금새김용액을 류동시키는 역할을 한다. 이때 뿔프는 용액을 측정관로를 거쳐 항온조으로 순환시킨다.

눈금새김의 정확도를 높이기 위하여 측정관로를 물세척하여 관벽에 침적되어있는 붕소결정들을 제거하여야 한다. 눈금새김작업을 시작하기에 앞서 붕소농도측정의 정확도에 미치는 인자들인 고압안정전원과 측정장치터전압설정, 검출기와 원천의 합리적인 배치 등을 고려하여야 한다. 또한 표준용기속의 붕산용액에 대하여 희석을 진행할 때 붕산이 결정화되는것을 피하기 위하여 반드시 온도가 지나치게 낮은 물을 리용하지 말아야 한다. 실험이 끝난 후 배수밸브로 붕산용액을 뿔는다.

붕소농도측정에서 눈금새김은 다음과 같은 식을 리용한다.[3]

$$aP^2 + bP + c = 1/N \quad (3)$$

여기서  $N$  은 계수속도,  $a, b, c$  는 눈금새김실험으로부터 결정되는 상수,  $P$  는 붕소농도이다.

눈금새김에서 붕소농도계수값은 온도에 심히 의존하므로 온도보정을 해야 한다.[2]

### 3. 붕소농도눈금새김실험결과

실험에서는 중성자원천세기가  $1.18 \cdot 10^6$  개/s 인  $^{239}\text{Pu} - \text{Be}$  원천을 리용하였으며 평탄부 곡선, 턱전압곡선, 그밖의 측정조건들과 구체적인 실험방법들은 선행연구[1, 2]에서와 같다. 실험에서 온도측정은 3선식방식 Pt100온도수감부를 리용하였다. 원천과 검출기사이거리를 10cm로 하였을 때 붕소농도에 따르는 중성자계수속도는 표와 같다.

표. 붕소농도에 따르는 중성자계수속도

붕소농도/%	0.1	0.08	0.06	0.04	0.02	0.01	0.008	0.006	0
$N/(\text{개} \cdot \text{s}^{-1})$	420	432	456	488	524	539	545	552	563

표에서 보는바와 같이 붕소농도가 감소함에 따라 중성자계수속도는 선형적으로 증가한다는것을 알수 있다.

### 맺 는 말

가압경수원자로의 붕소농도감시측정에 리용할수 있는 눈금새김체계와 눈금새김방법에 대하여 연구하였다. 0~0.1%에서 붕소농도를 눈금새김체계를 리용하여 측정한 결과 붕소농도가 감소함에 따라 중성자계수율은 선형적으로 증가하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 물리학, 64, 2, 48, 주체107(2018).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 63, 9, 93, 주체106(2017).
- [3] 黄平儿 等; 核电子学与探测技术, 32, 6, 741, 2012.

주체108(2019)년 3월 5일 원고접수

### Calibration for Measurement of Boron Concentration of Primary Coolant in Pressurized Water Reactor

*Mun Chung Nam, Ryang Pong Man*

We have studied the system and the method for the calibration that can be used for the measurement of the boron concentration of the primary coolant in pressurized water reactors.

The measurement of the boron concentration between 0 and 0.1% by using the boron concentration calibration system shows that the neutron counting rate of increases linearly as the boron concentration decreases.

Key words: boron concentration, calibration