

## 가압경수로랭각재에서 붕소농도측정의 정확도를 높이기 위한 측정체계개선

리계룡, 량봉만

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 자체의 힘으로 원자력발전소도 건설하여야 할것입니다.》(《김일성전집》 제54권 49페이지)

선행연구[1-3]에서는 원자력발전소의 붕소농도측정체계에서 중성자원천과 검출기, 붕소시료통의 기하학적배치가 측정정확도에 큰 영향을 준다는것을 언급하였으나 구체적인 실험자료들은 밝혀져있지 않다.

논문에서는 붕산용액을 가로방향이 아니라 수직방향으로 순환시키고 중성자검출기는 CHM-18을 리용하였으며 온도의 영향을 받지 않도록 붕소농도측정체계를 구성하여 붕소농도측정의 정확도를 높일수 있게 하였다.

### 실험 방법

#### 1) 붕소농도측정체계의 개선

새로운 붕소농도측정체계는 중성자원천(Pu-Be), 랭각재시료통, 중성자검출기(CHM-18), 파라핀방어벽, 랭각재순환계통, 랭각재온도조종계통, 중성자기록장치 등으로 구성되였다.(그림 1)

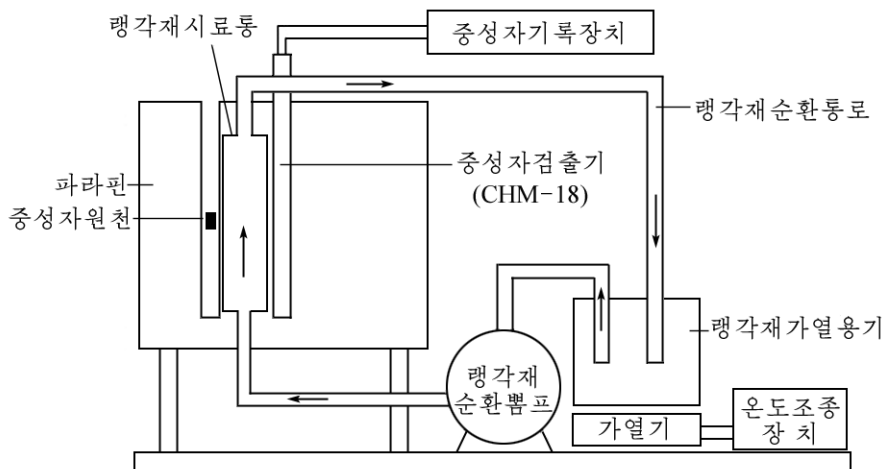


그림 1. 수직방향순환방식의 붕소농도측정체계구성도

그림 1에서 중성자와 검출기사이의 거리는 12cm, 파라핀으로 구성한 방어벽의 두께는 최소 10cm로 되도록 구성하였다. 용액의 순환속도는 1L/min이며 붕소용액의 전체 체적은 5L이다. 온도조종장치에서 랭각재의 온도는 순환 전과정에  $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 로 보장하였다.

붕소시료통은 수직으로 세우고 빠른중성자의 감속거리(5.7cm)와 확산길이(2.76cm)를 고려하여 직경을 10cm로 하였다. 중성자원천이송장치를 리용하여 중성자원천을 자유롭게 삽입하거나 뺄수 있게 직경이 3cm이고 길이가 30cm인 홈을 만들었으며 계수관은 중심축에 놓이도록 설계하였다.

## 2) 중성자검출기(CHM-18)의 평탄부곡선

측정설비를 0.5h 예열한 다음 기타 인자들이 변하지 않는 조건에서 편의전압에 따르는 계수속도관계곡선을 작성하였다.

실험은 앞에서 보여준 측정체제로 1 400~1 650V에서 10V간격으로 5번씩 측정하였으며 한번 측정할 때의 시간은 5min으로 하였다.

검출기편의전압에 따르는 계수속도의 변화는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 수평구역은 1 550~1 600V라는것을 알수 있다.

측정결과로부터 계수관 CHM-18의 동작전압은 1 575V, 수평구역의 너비는 50V, 수평구역의 경사도는 0.03%이다.

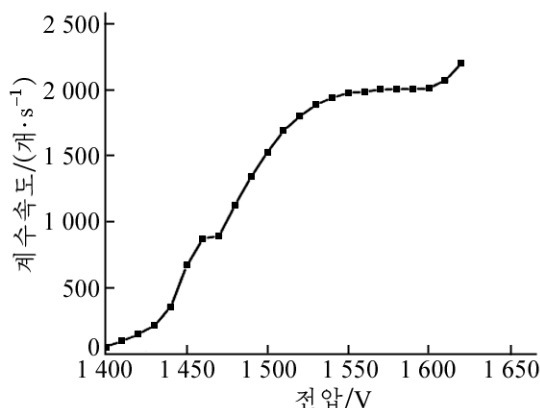


그림 2. 검출기편의전압에 따르는 계수속도의 변화

## 3) 개선된 붕소농도측정체계의 붕소농도평가

개선된 붕소농도측정체계의 붕소농도평가특성을 확인하기 위하여 붕소시료의 온도를 20℃로 고정시키고 붕소농도를 0, 20, 30, 50, 100, 300, 600, 1 000, 1 400ppm으로 변화시키면서 중성자계수속도의 변화실험을 진행하였다. 매 농도에서 측정은 10번씩 반복측정하였으며 매 농도에 따르는 중성자계수속도의 실험표준편차와 감도결수를 평가하였다.

## 측정결과 및 분석

### 1) 붕소농도측정체계의 눈금새김

붕소농도에 따르는 중성자계수속도는 표 1과 같다.

측정결과는 편리상 매 붕소농도에 첨수  $i$ 를, 측정회수에 첨수  $j$ 를 붙여 측정자료를 구분하였다. 즉 실험자료는  $y_{ij}(i=1, 2, \dots, 9, j=1, 2, \dots, 11)$ 이며 여기서  $i=1, 2, \dots, 9$ 는 붕소농도 0, 20, 30, 50, 100, 300, 600, 1 000, 1 400ppm을 의미한다.

### 2) 반복측정에 의한 실험표준편차와 감도결수

매 붕소농도에 따르는( $i$ =일정) 측정자료의 불확정도는 A형측정불확정도평가방법으로 진행하였다.

반복측정에 의한 측정불확정도와 감도결수평가결과는 표 2와 같다.

표 2에서 보는바와 같이 개별적인 붕소농도에서 반복측정에 의한 실험표준편차는 1.11~2.73개/s이며 농도가 증가할수록 작아진다는것을 알수 있다. 이것은 붕소농도가 증가할수록 열중성자의 통계적요동이 붕소의 열중성자흡수에 의하여 작아진다는것으로 해석할수 있다.

표 1. 붕소농도에 따르는 중성자계수속도

붕소 농도/ ppm	중성자계수속도/(개·s <sup>-1</sup> )										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1 947	1 945	1 947	1 947	1 942	1 943	1 939	1 943	1 948	1 944	1 943
20	1 936	1 936	1 937	1 940	1 941	1 939	1 935	1 937	1 936	1 938	1 936
30	1 926	1 927	1 927	1 925	1 929	1 925	1 928	1 925	1 928	1 928	1 928
50	1 915	1 918	1 916	1 919	1 916	1 913	1 913	1 914	1 913	1 918	1 917
100	1 889	1 888	1 886	1 887	1 888	1 891	1 890	1 890	1 891	1 887	1 887
300	1 774	1 773	1 775	1 773	1 774	1 772	1 774	1 771	1 772	1 773	1 772
600	1 639	1 638	1 640	1 639	1 642	1 640	1 638	1 639	1 642	1 641	1 640
1 000	1 507	1 509	1 511	1 508	1 509	1 507	1 510	1 509	1 508	1 509	1 510
1 400	1 408	1 409	1 406	1 409	1 407	1 406	1 407	1 408	1 409	1 409	1 410

표 2. 반복측정에 의한 측정불확정도와 감도결수평가결과

No	붕소농도/ ppm	중성자계수속도/(개·s <sup>-1</sup> )			
		평균값	y <sub>i</sub> 의 실험 표준편차	평균값의 실험 표준편차	감도결수
1	0	1 944.50	2.73	0.82	
2	20	1 937.36	1.91	0.44	0.36
3	30	1 926.91	1.45	0.44	1.05
4	50	1 915.64	2.20	0.66	0.56
5	100	1 888.55	1.75	0.53	0.54
6	300	1 773.00	1.18	0.36	0.58
7	600	1 639.82	1.41	0.43	0.44
8	1 000	1 508.82	1.11	0.33	0.33
9	1 400	1 408.00	1.34	0.40	0.25

붕소농도당 계수속도차(감도결수)는 0.25~1.05로서 붕소농도증가에 따라 낮아지는 경향성을 띠는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

붕소농도측정정확도를 충분히 보장할수 있도록 붕소농도측정체계에서 팽각재의 순환을 수직방향으로 새롭게 구성하고 중성자검출기로는 CHM-18을 리용하였다.

새로 구성한 체계에서 붕소농도에 따르는 중성자계수속도의 실험표준편차는 1.11~2.73개/s이며 붕소농도가 0~1 400ppm으로 변할 때 계수속도는 1 944개/s로부터 1 408개/s로서 감도결수가 0.25~1.05이므로 새로 구성한 붕소농도측정체계에서는 20ppm의 정확도로 붕소농도를 충분히 갈라낼수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성 종합대학학보 물리학, 64, 2, 140, 주체107(2018).
- [2] A. V. Morozov et al.; J. Phys.: Conf. Ser., 012103, 1128, 2018.
- [3] Jun Li et al.; Nuclear Technology, 195, 79, 2016.

주체109(2020)년 9월 5일 원고접수

### **Improvement of Measurement System to Increase the Accuracy of Boronic Concentration Measurement in Coolant of PWR**

*Ri Kye Ryong, Ryang Pong Man*

We have newly constructed the cycle of the coolant in a system for boronic concentration measurement in a vertical direction and replaced the neutron detector with CHM-18 so that the measurement accuracy of boron concentration is sufficient.

In the system, the measurement uncertainty of neutron counting rates with boronic concentration is between 1.11/s and 2.73/s. When boronic concentration varies from 0 to 1,400ppm, the counting rate ranges from 1,944/s to 1,408/s, so that the sensitivity coefficient is between 0.25 and 1.05, and the boronic concentration of 20ppm in the system can be sufficiently separated.

**Keywords:** neutron absorption, boron concentration