

4통로붕소농도측정에 대한 연구

문충남, 량봉만, 조인형

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《...원자력부문의 과학자들이 원자력에 대한 연구사업을 더 적극적으로 하도록 하여야 합니다.》(《김일성전집》 제60권 352페이지)

가압경수형원자력발전소들에서 반응도의 변화에 영향을 주는 원자로의 온도효과에 의한 붕소농도변화를 정확히 아는것은 원자로조종에서 중요한 문제로 나선다. 선행연구에서는 원자로의 온도변화가 유효증식계수의 변화 즉 반응도변화에 영향을 주며 붕소농도측정에서 예비증폭기고압설정과 온도변화가 붕소농도측정에 큰 영향을 준다는데 대하여 밝혔으나 이 실험자료들은 단통로로 측정하였으므로 정확도가 높지 못한 결함이 있다.[2]

우리는 4통로붕소농도측정장치를 4개의 검출기 《CHM-11》과 결합한 측정체계를 리용할 때 단통로붕소농도측정장치에 비하여 측정정확도가 훨씬 높아진다는것을 밝혔다.

1. 장 치 구 성

중성자흡수법을 리용한 4통로붕소농도측정체계는 그림 1과 같다.

그림 1과 같은 4통로붕소농도측정체계에 사용한 검출기들은 느린중성자측정에 리용되고있는 BF_3 비례계수관 《CHM-11》이다. 측정을 위한 시료통과 비례계수관, 중성자원천은 직경이 1m이고 높이가 80cm인 물통속에 있으며 Pu-Be 원천의 중성자세기는 $1.18 \cdot 10^6$ 개/s이다. 빠른중성자들의 감속거리는 3cm 되게 보장하였으며 시료의 질량은 전자분석천평 《FA2004N》으로 측정하였다.

시료로는 99.5%인 붕산을 리용하였으며 물속에서 붕산용액의 온도변화를 막기 위하여 용액을 30mL/s로 순환시키는 장치를 리용하였다. 붕소농도는 0.35%로 하였으며 붕산용액은 선행연구결과[2]들과 비교하기 위하여 4L로 제조하였다. 이 경우 붕산질량은 80.479g이다.

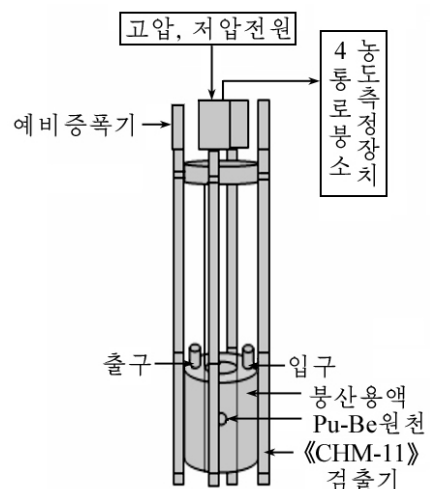


그림 1. 4통로붕소농도측정체계

2. 실험방법 및 결과

중성자검출기의 임펄스개수는 중성자밀도에 따라 변할뿐아니라 설정된 예비증폭기에 걸여주는 전압에도 관계되므로 실험전에 전압에 따르는 계수속도관계곡선들을 작성하여 계수속도의 안정구역을 확증하였다.(그림 2) 그림 2에서 4개 통로들의 평탄부길이를 100V로 하

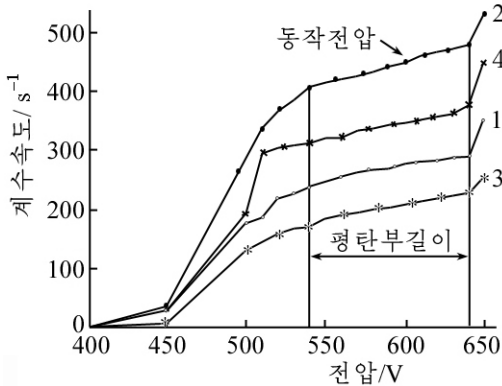


그림 2. 전압에 따르는 계수속도
1-4는 통로

고 평탄부길이의 1/2~2/3사이에서 동작전압을 설정하였다. 이때 매 통로들의 경사도는 0.18, 0.17, 0.23, 0.18%이며 동작전압은 600V이다.

실험에서는 먼저 방온온도에서 모든 측정장치들을 안정시키기 위하여 30min동안 예열한 다음 단통로측정장치와 4통로측정장치의 측정결과를 비교하여 측정정확도를 평가하였다.(표 1)

표 1로부터 단통로(2)를 리용하였을 때 낮은 봉소농도에서는 구분할수 없었던 차이가 4통로를 리용하면 명백히 갈라진다는것을 알수 있다.

다음으로 봉소농도가 0.35%로 일정한 조건에서 봉산용액의 온도를 증가시키면서 온도에 따

르는 중성자의 계수속도를 측정하고 봉소농도의 측정값을 평가하였다.(표 2)

표 1. 단통로측정장치와 4통로측정장치에 의한 측정결과

봉소농도 /%	계산한 봉산질량 /g	분석천평으로 측정한 봉산질량/g	단통로로 측정한 계수속도/s ⁻¹	4통로로 측정한 계수속도/s ⁻¹
0.350 0	80.476	80.479	428 ± 7	1 412 ± 11
0.087 5	20.117	20.120	514 ± 7	1 458 ± 10
0.021 9	5.029	5.033	607 ± 8	1 476 ± 8
0.005 5	1.257	1.260	709 ± 10	2 060 ± 11
0.002 7	0.632	0.639	725 ± 11	2 144 ± 9
0	0	0	742 ± 8	2 350 ± 12

표 2. 온도에 따르는 봉소농도의 측정값

온도/°C	계수시간/s	기록수/개	계수속도/s ⁻¹	측정값/%
17.5	60	84 600	1 410	0.356 5
25.0	60	86 556	1 443	0.324 5
40.0	60	89 975	1 500	0.312 4
60.0	60	90 723	1 512	0.290 8

표 2에서 봉소농도는 점근실험법에 의하여 계산된 농도값이다.[2]

T_r 를 교정온도라고 하면 온도가 T 일 때 봉산용액의 농도는 다음의 식으로부터 얻을 수 있다.[1]

$$P(T) = P(T_r) + E$$

$$P(T) = P(T_r) + K_1 P(T_r)(T - T_r) + K_2 (T - T_r)$$

여기서 $P(T_r)$ 는 봉산용액의 농도측정값, E 는 온도로 인한 오차, K_1 , K_2 는 봉소흡수체와 측정방법에 관계되는 상수이다.

최소두제곱법으로 얻은 K_1 과 K_2 의 값이 $K_1 = -0.0037$, $K_2 = 0$ 이므로 봉소농도가 0.35%일 때 온도에 따르는 교정값은 다음의 식에 의하여 계산할수 있다.(표 3)

$$E = -0.0037 \cdot P \cdot (T - T_r) + 0 \cdot (T - T_r)$$

표 3. 붕소농도가 0.35%일 때 온도에 따르는 교정값

온도/°C	10	20	30	40	50	60	70	80
교정 값/%	0.088.1	-0.003 7	-0.016 3	-0.028 9	-0.041 5	-0.054 1	-0.066 7	-0.079 3

표 3으로부터 온도가 증가함에 따라 붕산용액의 붕소농도측정값이 크게 변하므로 반드시 온도보상을 하여야 한다는것을 알수 있다.

맺 는 말

1) 검출기 《CHM-11》과 결합한 4통로붕소농도측정체계를 리용하여 단통로붕소농도측정장치와 대비실험을 진행함으로써 여러 통로의 검출기들을 리용하면 정확도가 훨씬 높아진다는것을 밝혔다.

2) 붕산용액의 온도에 따라 붕소농도의 측정값이 변하며 붕소농도에 대한 온도교정표로부터 온도보상을 할수 있다는것을 실험적으로 밝혔다.

참 고 문 헌

- [1] A. Bolewski et al.; Nukleonika, **57**, 4, 537, 2012.
- [2] 张文杰 等; 核电子学与探测技术, **5**, 34, 2007.

주체106(2017)년 5월 5일 원고접수

Investigation on the 4-Channel Boron Concentration Measurement

Mun Chung Nam, Ryang Pong Man and Jo In Hyong

We found the measurement accuracy got much higher as compared with single channel boron concentration measurement equipment if 4-channel boron concentration measurement equipment was used. Also boron concentration measurement value changed with temperature of boric acid solution and it was found that temperature compensation was experimentally possible from calibration table of the temperature on the boron concentration.

Key words: boron concentration measurement, temperature compensation