

붕소농도측정에서 온도보상에 대한 연구

문충남, 량봉만

가압경수원자력발전소의 원자로출력조종은 조종봉과 1차회로의 붕소농도조종을 통하여 실현된다. 특히 가압경수로의 장기적인 운영과정에 랭각재속의 붕소농도를 정확히 측정하는것은 원자로의 느린 반응도조종에서 필수적인 문제로 나선다.

분리식붕소농도계와 일체식붕소농도계를 리용할 때 눈금새김장치에서 랭각재의 온도변화가 붕소농도측정에 큰 영향을 준다는 선행연구[2]자료는 밝혀져있으나 온도보상실험 결과들은 밝혀진것이 없다.

론문에서는 붕소농도측정에서 온도보상을 위한 실험을 진행하고 그 계산 및 실험결과들을 고찰하였다.

1. 붕소농도측정에 미치는 온도영향

1차랭각계통에서 붕소온도를 직접 재는 일체식붕소농도측정에서 온도변화가 붕소농도측정에 어떤 영향을 주는가를 고찰하기 위하여 15MPa상태에서 온도에 따르는 랭각재(물)의 밀도변화를 계산하였다. 열력학적계산에 의하면 물의 밀도는 다음의 공식으로부터 구할수 있다.[1]

$$v(\pi, \tau) = \pi \gamma_{\pi} \frac{RT}{p}$$

여기서 $\gamma_{\pi} = \sum_{i=1}^{34} -n_i I_i (7.1 - \pi)^{I_i - 1} (\tau - 1.222)^{J_i}$ 이며 $\pi = p / p^*$, $\tau = T^* / T$, $p^* = 16.53 \text{MPa}$, $T^* = 1\,386 \text{K}$, $R = 0.461 \cdot 526 \text{kJ}/(\text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ 이다. 방정식의 결수 n_i , I_i , J_i 는 선행연구[1]의 자료를 참고하였다.

웃식을 리용하여 계산된 15MPa압력에서 물의 온도에 따르는 밀도변화는 그림 1과 같다.

그림 1로부터 압력 15MPa에서 물의 밀도는 온도가 증가함에 따라 감소하며 원자로 열매의 출구온도(약 300°C)에서 랭각재(물)의 밀도와 단위체적속의 붕소알갱이수는 상온에서보다 약 1/3정도로 감소된다는것을 알수 있다. 이에 따라 계산된 붕소알갱이수도 1/3로 감소된다. 이 온도변화는 일체식붕소농도측정에서 계수속도에 비교적 큰 영향을 미친다. 즉 온도가 높아지면 계수속도는 증가하고 온도가 낮아지면 계수속도가 감소한다.

붕소농도측정에 미치는 온도의 영향은 붕소농도측정의 기본원리에 의한 붕소농도계 산공식 $aP^2 + bP + c = 1/N$ 에서 결수 a , b , c 에 관계된다. 여기서 P 는 붕소농도(%), N 은 붕소농도가 P 일 때 중성자계수률이다.

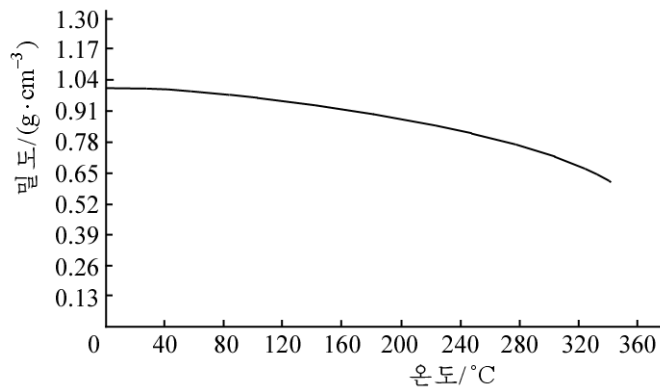


그림 1. 15MPa에서 온도에 따르는 물의 밀도변화

2. 실험장치구성 및 실험결과

붕소농도측정에서 온도보상을 위한 실험장치는 그림 2와 같다.

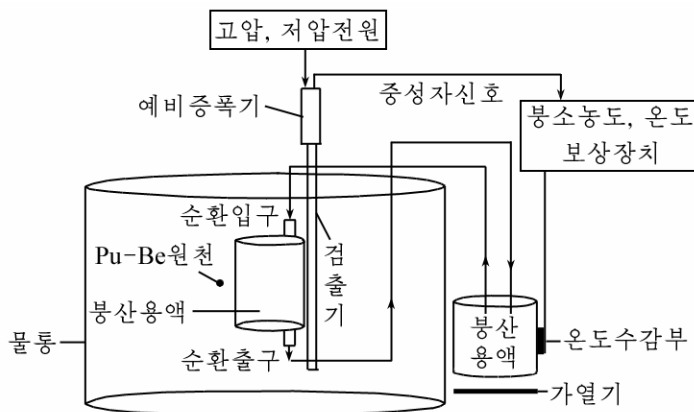


그림 2. 붕소농도측정에서 온도보상을 위한 실험장치

붕소농도측정에 리용한 검출기는 느린중성자측정에 리용되고있는 BF_3 비례계수관 《CHM-11》이다. 측정을 위한 시료통과 비례계수관, 중성자원천은 직경이 1m이고 높이가 80cm인 물통속에 있으며 Pu-Be 원천의 중성자세기 $1.18 \cdot 10^6$ 개/s이다. 붕산시료통은 빠른중성자의 감속거리와 확산길이(2.755cm)를 고려하여 10cm되게 보장하였으며 시료의 질량은 전자분석천평 《FA2004N》으로 측정하였다. 붕산의 시료는 순도가 99.5%인것을 리용하였으며 물속에서 붕산용액의 온도변화를 막기 위하여 용액을 800mL/s로 순환시키는 펌프를 리용하였다. 이때 붕소농도는 0.1%로 하였으며 붕산용액은 선행연구결과[1]들과 비교하기 위하여 4L로 제조하였다. 이 경우 붕산질량은 22.994g이다. 측정에서 예비증폭기고압의 경사도는 0.18%이며 동작전압은 600V이다.

실험에서는 붕소농도측정에 미치는 온도의 영향을 고찰하기 위하여 농도가 일정한 조건에서 붕산용액의 온도를 증가하면서 온도에 따르는 중성자의 계수속도를 측정하였다.(표 1) 온도수감부는 다른 온도계들에 비하여 많은 우점을 가지고있는 온도수감부 DS18B20을 리용하였다.

표 1. 붕소농도가 0.1%일 때 온도에 따르는 측정값

온도/°C	계수시간/s	기록수/개	계수속도/s ⁻¹	붕소농도/%
25	120	49 800	415	0.096 6
32	120	50 400	420	0.091 8
50	120	50 880	424	0.088 0

표 1에서 붕소농도는 온도가 일정한 조건에서 이미 알고있는 표준붕산용액들을 리용하여 구해진 식과 온도에 따르는 측정값으로부터 계산된 값이다.[1]

T_r 를 교정온도라고 하면 온도가 T 일 때 붕산용액의 농도는 다음의 식으로부터 얻을 수 있다.[2]

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

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

여기서 $P(T_r)$ 는 붕산용액의 농도측정값, E 는 온도로 인한 붕산용액의 농도측정오차, K_1 과 K_2 는 붕소흡수체와 측정방법에 관계되는 상수이다.[1]

그러므로 측정결과와 옷식으로부터 다음의 방정식들을 얻을 수 있다.

$$0.088\ 0 = 0.1 + K_1 \cdot 0.1(50 - 18) + K_2(50 - 18)$$

$$0.091\ 8 = 0.1 + K_1 \cdot 0.1(32 - 18) + K_2(32 - 18)$$

$$0.096\ 6 = 0.1 + K_1 \cdot 0.1(25 - 18) + K_2(25 - 18)$$

최소두제곱법으로 얻은 K_1 과 K_2 값이 각각 $K_1 = -0.004\ 116$, $K_2 = 0$ 이므로 붕소농도가 0.1%일 때 온도에 따르는 교정값은 다음의 식에 의하여 계산할 수 있다.(표 2)

$$E = -0.004\ 116 \cdot 0.1(T - T_r)$$

표 2. 붕소농도가 0.1%일 때 온도에 따르는 교정값

온도/°C	10	20	30	40	50	60	70	80
교정값/%	0.003 3	-0.000 8	-0.004 9	-0.009 1	-0.013 2	-0.017 3	-0.021 4	-0.025 5

표 2로부터 온도가 증가하는데 따라 붕산용액의 붕소농도측정값의 변화를 보상할 수 있다는것을 알 수 있다.

맺 는 말

1) 압력 15MPa에서 물의 밀도가 온도가 증가함에 따라 원자로열매의 출구온도(약 300°C)에서 펴각재(물)의 밀도와 단위체적속의 붕소알갱이수는 상온에서보다 약 1/3정도로 감소된다.

2) 붕산용액의 온도에 따라 붕소농도의 측정값이 변하므로 중성자흡수법으로 붕소농도를 측정할 때 온도교정표로부터 임의의 온도에서의 붕소농도측정결과를 보정할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Wolfgang Wagner et al.; International Steam Tables, Springer, 7~63, 2008.

[2] 张文杰 等; 硼浓度测量技术研究, 核电子学与探测技术, 5, 34, 2007.

Study of the Temperature Compensation in the Measurement of Boron Concentration

Mun Chung Nam, Ryang Pong Man

In this paper we made clear that we can revise the result of boron concentration measurement at any temperature when we measured the boron concentration by means of neutron absorption method, as the measurement value of boron concentration varies according to the temperature of boric acid solution.

Key words: boron concentration measurement, temperature compensation