

중성자후방산란과 투과를 리용한 붕산용액에서의 붕소농도결정

량봉만, 박기철

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 원자력기술을 개발하고 원자력발전소를 건설하기 위한 문제를 자체의 기술, 자체의 힘으로 자력갱생하여 완성하여야 합니다.》(《김일성전집》 제62권 459페이지)

원자력공업에서 붕소는 중성자독물질로서 감속재와 혼합하여 리용하고있다.[2] 최근 가압경수원자로들의 붕소농도측정에서 중성자흡수분석법이 널리 리용되고있는데 기본방식은 시편을 지나는 동안 흡수되지 않은 열중성자를 측정하는것이다.[1] 이 방식을 리용할 때 측정시료가 비교적 크고 Pu-Be중성자원천을 리용하며 붕산용액속의 붕소농도가 작은 경우(100mg/L이하)에 원천자체의 중성자방출의 통계적요동에 의한 영향으로 하여 분석정확도가 심히 낮아지는 결함이 있다.

론문에서는 붕산용액에서 붕소농도가 0.01%이하일 때 Pu-Be중성자원천을 리용한 붕산용액에서의 효율적인 붕소농도검출을 위하여 중성자후방산란과 투과를 비교한 실험결과를 주었다.

1. 실험장치구성과 측정

실험에 리용된 장치의 구성도는 그림 1과 같다.

실험장치는 강철판으로 만든 바른6면체모양의 용기로 되어있고 중성자차폐를 위하여 파라핀으로 채워져있으며 Pu-Be중성자원천

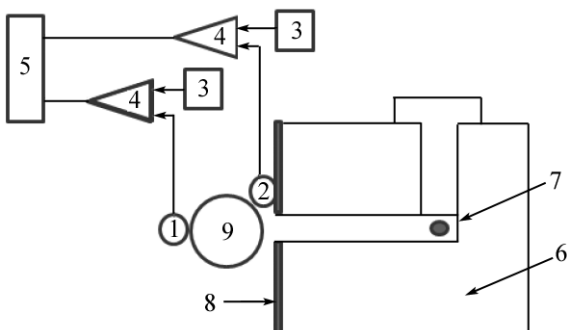


그림 1. 실험에 리용된 장치의 구성도

- 1, 2—중성자검출기, 3—고압전원, 4—예비증폭기,
5—2통로붕소농도측정장치, 6—파라핀, 7—중성자원천,
8—Pb차폐, 9—시편이 들어있는 통

(중성자거듭률 $1.18 \cdot 10^6$ 개/s)은 시준기가 있는 용기에 있다. 실험에서 리용된 중성자묵음에 대한 시준기의 길이는 20cm이며 직경은 3cm이다. 장치안에서 산란되어 검출기에 들어오는 열중성자들을 차폐하기 위하여 중성자검출기의 중성자입사면을 제외한 부분들은 Cd판으로 하였으며 이때 검출기들은 중성자의 투과방향과 후방산란방향에 놓았다. 시편이 들어있는 통의 직경은 10cm이며 Pb판은 원천으로부터 나오는 γ 선을 차폐하기 위하여 리용되였다.

실험에서는 Pu-Be중성자원천, BF₃중성자검출기 《CHM-11》이 리용되었으며 붕소

의 농도가 알려진 붕산용액이 리용되였다. 붕소농도는 100mg/L로 하였으며 증류수로 희석하는 방법으로 농도를 낮추었다. 이때 시료의 질량(순도 99.5%)은 전자분석천평 《FA2004N》으로 측정하였으며 10L의 표준붕산용액을 만들기 위하여 증류수에 첨가되는

봉산(H_3BO_3)의 질량 m 을 다음식으로 계산하였다.

$$m = V \cdot a \cdot 10^{-6} \cdot \frac{61.83}{10.81} \cdot \frac{1}{\text{봉산의 순도}}$$

여기서 V 는 용액의 체적, a 는 얻으려는 봉소농도이다. 계산된 봉산의 질량은 5.748g이다. 측정에서 리용된 예비증폭기고압의 경사도는 0.18%이며 고압안정전원의 동작전압은 610V이다.

실험에서는 물순환펌프를 돌려 전체 회로체계의 봉산용액을 균일하게 하고 검출장치의 계수률이 안정된 다음 10min동안의 계수값(10개 조)들을 기록하고 그 평균값을 취하여 계수속도를 얻었다.

봉소농도가 0.01, 0.005, 0.002 5%일 때 봉소농도에 따르는 계수속도는 그림 2와 같다.

그림 2에서 중성자계수속도 n 은 다음과 같이 정의하였다.

$$n = I - I_0$$

여기서 I_0 은 봉산이 첨가되지 않은 순수한 물에서의 계수속도이고 I 는 봉소농도가 알려진 용액에서의 계수속도이다.

중성자투과와 후방산란에 의하여 얻어진 측정값들의 상대오차는 각각 2.1, 1.2%이다. 이로부터 후방산란에 의한 측정정확도는 1.7배 더 높다는것을 알수 있다.

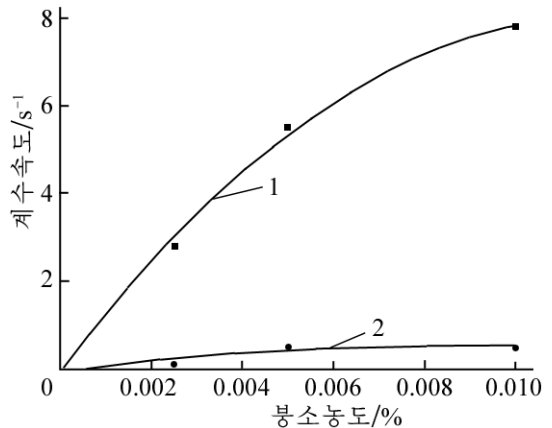


그림 2. 봉소농도가 0.01, 0.005, 0.002 5%일 때 봉소농도에 따르는 계수속도
1-중성자산란결과, 2-중성자투과결과

2. 실험결과분석

Pu-Be중성자원천으로부터 방출되는 중성자뭉침은 열중성자, 초열중성자, 빠른중성자로 이루어져있다. 물에서 감속된 초열중성자와 빠른중성자들은 물론 이미 존재하던 열중성자들도 물에 풀려있는 봉소에 포획된다. 따라서 봉소농도가 증가할 때 시편에서 중성자포획속도는 증가한다.

물에 있는 수소는 중성자산란자름면적이 큰 산란물질이므로 측정시편의 투과방향과 뒤방향에서 검출하는 검출기들은 둘 다 산란된 열중성자를 기록한다. 그러나 원천의 세기가 작은 중성자원천으로부터 방출되는 중성자들을 투과방향에서 검출하는 검출기는 시편의 두께가 10cm이므로 뒤방향에 있는 검출기보다 적은 산란중성자를 기록한다. 위의 실험에서 투과된 중성자에 대한 후방산란된 중성자의 비는 0.005%의 봉소농도에 대하여 1.82이다. 즉 그림 2로부터 투과에 비한 산란측정정확도가 더 높다는것을 알수 있다.

측정결과로부터 중성자후방산란측정은 높은 열중성자흡수자름면적에 의하여 특징지어지는 봉소농도측정에서 봉산용액에서의 봉소농도(100mg/L이하)가 작고 중성자세기가 작은 원천을 리용하는 경우의 중성자투과측정보다 훨씬 감도가 높은 측정방법이라는것을 알수 있다.

맺 는 말

다른 중성자원천들에 비하여 비교적 낮은 세기를 가지는 Pu-Be 중성자원천을 리용하여 붕소농도가 작은 경우(100mg/L 이하) 붕산용액에서의 붕소농도를 중성자투과와 후방산란을 리용하여 결정하였다. 중성자후방산란에 의한 붕소농도측정은 원천의 세기가 작고 시료가 비교적 큰 경우에 중성자투과에 의한 측정보다 감도가 높다.(우의 측정장치에서 상대오차는 1.7배)

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 물리학, 64, 2, 48, 주체107(2018).
[2] A. El Abd; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B 337, 62, 2014.

주체108(2019)년 12월 5일 원고접수

The Boron Concentration Determination in Boric acid Solution Using Neutron Back-Scattering and Transmission

Ryang Pong Man, Pak Ki Chol

In this paper, we have compared the neutron transmission experimental results with the neutron back-scattering results for the boron concentration determination in boric acid solution using low-intensity neutron sources.

In this measurement, boron concentration between 0.002 5% and 0.01% was distinguished easily when we used neutron back-scattering method.

Keywords: neutron transmission, neutron scattering