

## 톨루올액체섬광체의 특성과 그 응용

안재석, 안정도

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《환경오염을 미리막는것은 사람들의 생활에 유리한 자연환경을 유지보존하고 인민들의 건강을 보호증진시키기 위한 중요한 방도로 됩니다.》(《김일성전집》 제83권 291페이지)

최근 온천물을 비롯한 광천수속에서 비교적 높은 준위의 방사능이 발견되고 온천물의 라돈함량이 지진과 관련되며 라돈의 쏠림이 폐암의 중요한 원인이라는 자료[1]가 발표되면서 광천수를 비롯한 물속에서의 방사능측정이 중요한 문제로 제기되고있다.

현재 세계적으로 액체섬광체를 개발하여 온천물을 비롯한 수용성시료를 방사능을 직접 측정하는 방향으로 나가고있다.[3-5]

본문에서는 톨루올액체섬광체를 개발하고 그 특성과 합리적인 측정파라미터들을 밝혀 온천물의 총방사능을 직접 측정하는데서 나서는 몇가지 문제들에 대하여 고찰하였다.

### 1. 톨루올액체섬광체의 제조

액체섬광체를 리용하여 온천물을 비롯한 수용성시료를 측정하는 경우에 어떤 종류의 용매와 용질 및 가용화제를 얼마만한 비율로 혼합하는가 하는것은 측정의 정확도를 높이는데서 매우 중요한 문제로 나선다.

용매로 벤졸과 톨루올, 크실로를 선택하고 분자형광분광감도계를 리용하여 그것들의 흡수 및 복사스펙트르를 고찰하였다.(그림 1)

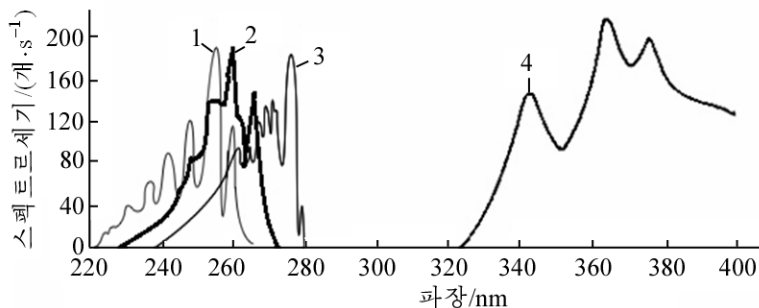


그림 1. 파장에 따르는 흡수 및 복사스펙트르세기  
1-3은 벤졸, 크실롤, 톨루올의 흡수스펙트르, 4-PPO의 발광스펙트르

그림 1에서 보는바와 같이 벤졸의 흡수스펙트르는 220~265nm, 톨루올의 흡수스펙트르는 240~280nm, 크실롤의 흡수스펙트르는 230~270nm에 놓이며 PPO의 발광스펙트르는 325~400nm이상에 놓이므로 벤졸, 크실롤, 톨루올의 흡수스펙트르와 PPO의 발광스펙트르는 서로 겹치지 않았다. 그러므로 톨루올, 크실롤, 벤졸은 섬광체용매로서의 좋은 특성을 가진다는것을 알수 있다.

1차용질을 선택하기 위하여 1차용질로서 PPO와 부틸-PBD를 택하고 1차용질의 종류

에 따르는 계수특성을 고찰하였다.(그림 2) 그림 2에서 보는바와 같이 PPO는 4g/L에서, 부틸-PBD는 12g/L에서 최대값에 이르며 부틸-PBD는 최대값을 주는 용질의 양이 PPO보다 많고 스펙트르세기기도 작으므로 PPO가 더 우월하다는것을 알수 있다.

다음으로 PPO의 흡수 및 발광스펙트르를 고찰하였다.(그림 3) 그림 3에서 보는바와 같이 PPO의 흡수스펙트르는 340nm보다 작은 범위에 놓이며 발광스펙트르는 325~480nm에 놓이므로 서로 겹치지 않는다. 따라서 PPO는 섬광체로서 좋은 특성을 가진다.

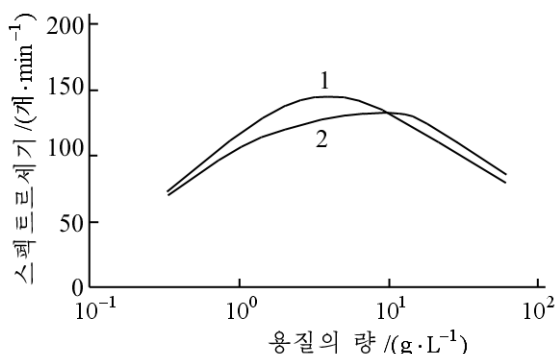


그림 2. 1차용질의 종류에 따르는 계수특성  
1-PPO, 2-부틸-PBD

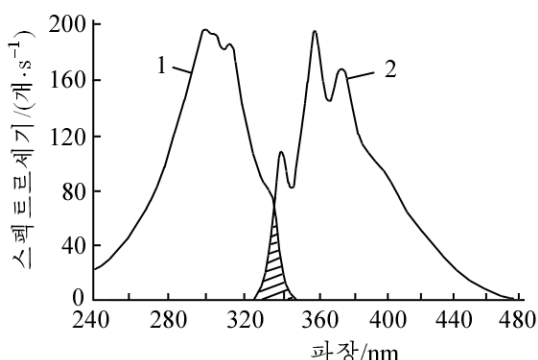


그림 3. PPO의 흡수(1) 및 발광(2)스펙트르

다음으로 1차용질로 PPO를 택하고 용매의 종류에 따르는 계수특성을 고찰하였다.(그림 4) 그림 4에서 보는바와 같이 톨루올이 크실롤이나 벤졸보다 계수특성이 더 좋았다. 여기로부터 수용성액체섬광체의 용매로서 톨루올을 택하였다.

2차용질이 액체섬광체의 섬광특성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 1차용질로서 PPO를 4g/L로 고정한 조건에서 2차용질 POPOP, DMPOPOP, bis-MSB, PBBO,  $\alpha$ -NPO의량을 변화시키면서 계수속도를 측정하였다.(그림 5)

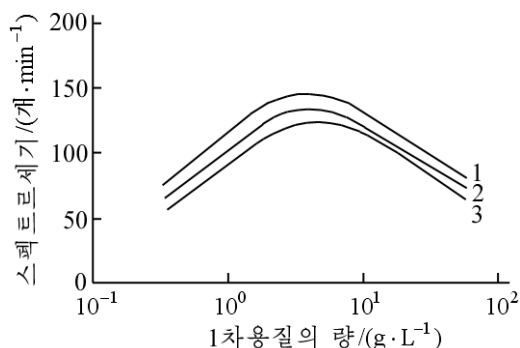


그림 4. 1차용질의 량과 용매의 종류에  
따르는 계수특성  
1-톨루올, 2-크실롤, 3-벤졸

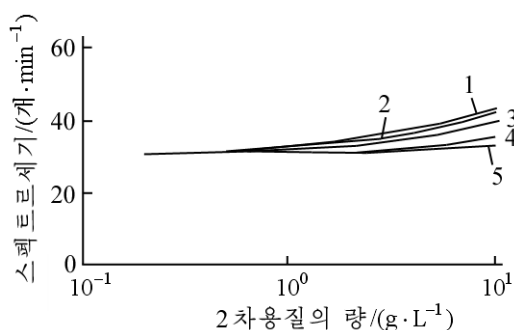


그림 5. 2차용질의 량과 스펙트르세기와의 관계  
1-DMPOPOP, 2-POPOP, 3-bis-MSB,  
4-PBBO, 5- $\alpha$ -NPO

그림 5에서 보는바와 같이 PPO를 4g/L, POPOP는 0.1g/L, DMPOPOP는 0.25g/L, bis-MSB는 0.5g/L 넣는것이 좋다는것을 알수 있다. 한편 PBBO와  $\alpha$ -NPO의 계수특성은 상대적으로 좋지 못하였으며 물이 존재할 때는 용해도가 매우 낮아진다.

1차용질과 2차용질의 발광스펙트르를 고찰하기 위하여 1차용질로서 PPO, 2차용질로서 POPOP를 리용하였다.(그림 6)

2차용질 POPOP의 최대발광스펙트르는 414.9nm이므로 1차용질에서 발생한 빛을 흡수하여 빛전자증배관의 최대감도구역으로 변위시킨다.

온천물을 비롯한 수용성시료를 측정하는데 쓰이는 톨루올액체섬광체는 물과 잘 혼합되어야 측정의 정확도를 높일수 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 계면활성제로 OP-10, NP-10, 유화제, 디옥산을 리용하였는데 디옥산의 투명도가 용액 1L당 38mL를 넣을 때 제일 좋았다.

계면활성제로 디옥산을 넣을 때 계수효율의 감소를 막기 위하여 나프탈린을 0.01g씩 증가시키면서 계수값을 고찰한 결과 용매 1L당 나프탈린을 8g을 넣을 때 가 계수특성이 제일 좋았다.

이에 기초하여 온천물을 측정할수 있는 톨루올액체섬광체는 톨루올 962mL에 1차용질 PPO를 23g, 2차용질 POPOP를 5.7g, 나프탈린 8g, 1,4디옥산 38mL를 넣어 만들었다.

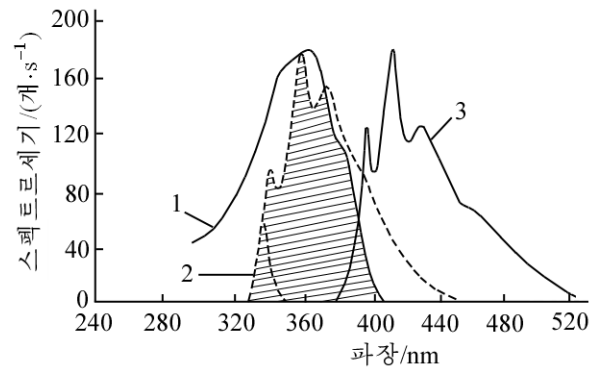


그림 6. 1차용질과 2차용질의 스펙트르  
1-PPO발광스펙트르, 2-POPOP흡수스펙트르,  
3-POPOP발광스펙트르

## 2. 톨루올액체섬광체의 계수효율결정 및 안정성평가

### 1) 톨루올액체섬광체의 계수효율결정

톨루올액체섬광체의 계수효율을 결정하기 위하여 테플론시료병에 톨루올액체섬광체 10.5mL, 비방사능이 14.227 5Bq/g인 염화칼리움원천 0.58g을 넣어 측정시료를 만들고 30min씩 측정하여 계수속도를 구하였다.(표 1)

표 1. 염화칼리움원천의 계수속도

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$n / (\text{개} \cdot \text{min}^{-1})$	490.95	485.05	485.75	485.35	480.65	481.25	481.25	484.25	480.15	481.25	480.15	478.15

표 1로부터 표준원천의 순수계수속도를 계산하면  $(482.85 \pm 1.02) \text{개/min}$ , 표준원천의 비계수속도는  $13.908 6 \text{개}/(\text{s} \cdot \text{g})$ , 톨루올액체섬광체의 계수효율을 결정하면 97.8%이다.

### 2) 톨루올액체섬광체의 안정성평가

일반적으로 약한방사능측정에서는 측정의 정확도를 높이기 위하여 시료를 오랜 시간 동안 측정하여야 하며 이 시간동안 섬광체의 계수특성이 변하지 말아야 한다.

톨루올액체섬광체의 안정성을 평가하기 위하여 테플론시료병에 톨루올액체섬광체 10mL, 염화칼리움표준원천 0.58g을 넣고 매일 30min씩 12d동안 계수속도를 측정하였다. 이때 방사성붕괴의 통계오차는  $\sigma = 126$ 이며 상대오차는  $\delta = 0.793\%$ 이다.(그림 7)

그림 7에서 보는바와 같이 모든 계수값이  $\pm 2\sigma$  안에 들어가므로 톨루올액체섬광체의 시간에 따르는 계수특성변화는 무시할수 있다. 따라서 제조된 톨루올액체섬광체를 온천물을 비롯한 수용성시료의 방사능측정에 리용할수 있다.

### 3. 합리적인 측정파라미터의 결정

#### 1) 시료와 톨루올액체섬광체의 합리적인 혼합비결정

시료(온천물)의 방사능을 측정하기 위하여 시료를 제조된 톨루올액체섬광체와 혼합하여 측정시료로 만든다. 이때 시료와 톨루올액체섬광체를 어떤 비율로 혼합하는가에 따라 측정의 질지표가 결정된다.

테플론시료병에 톨루올액체섬광체를 1mL씩 증가시키면서 폰을 측정하였다.(그림 8)

그림 8에서 보는바와 같이 톨루올액체섬광체의 체적이 증가하는데 따라 폰의 계수속도는 선형적으로 변하였는데 그 직선의 방정식은 다음과 같다.[2]

$$n_{\text{폰}} = 23.133 + 2.121V$$

여기서  $V$ 는 섬광체의 체적이고  $n_{\text{폰}}$ 은 폰의 계수속도이다.

시료에 대한 톨루올액체섬광체의 계수특성을 고찰하기 위하여 테플론시료병에 시료 7mL를 넣고 섬광체를 1mL씩 증가시키면서 순수계수속도변화를 고찰하였다.(그림 9)

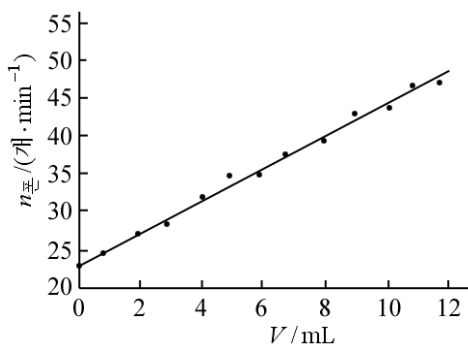


그림 8. 톨루올액체섬광체의 체적에 따른 폰의 계수속도변화

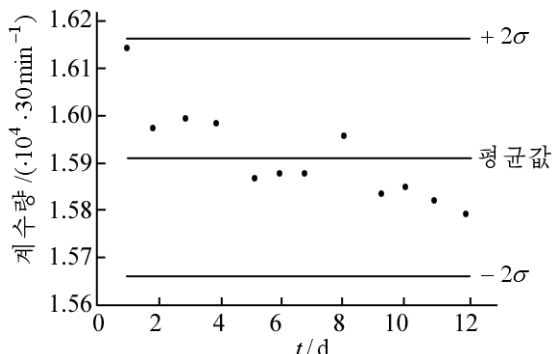


그림 7. 톨루올액체섬광체의 안정성평가

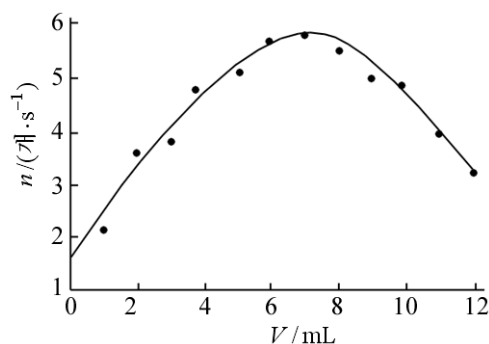


그림 9. 톨루올액체섬광체의 체적에 따른 순수계수속도변화

그림 9에서 보는바와 같이 시료의 체적이 일정한 조건에서 톨루올액체섬광체의 체적이 커지는데 따라 순수계수속도는 점차 증가하다가 7mL에서 최대값에 이르며 그다음부터는 다시 점차적으로 감소하였다.

그림 8과 9로부터 톨루올액체섬광체의 체적에 따르는 질지표의 변화는 다음과 같다.(표 2)

표 2. 톨루올액체섬광체의 체적에 따르는 질지표의 변화

V/mL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F	0.292	0.371	0.386	0.515	0.666	0.708	0.710	0.675	0.552	0.490

표 2로부터 시료의 체적이 7mL인 경우 톨루올액체섬광체의 체적이 7mL일 때 질지표가 최대로 된다는것을 알수 있다.

## 2) 합리적인 측정시간에 대한 고찰

측정하려는 시료(온천물)속에서는 방사성원천으로 주로  $^{222}\text{Rn}$ 가 기본적인 역할을 한다.  $^{14}\text{C}$ 년대측정방법과 같이  $^{14}\text{C}$ 의 반감기가 5730y로서 비교적 길고 방사능이 약한 경우에는 30min씩 10번 측정하여 계수속도를 측정한다. 이 측정은 대략 7h정도 걸린다. 그러나  $^{222}\text{Rn}$ 와 같이 반감기가 3.825d로 짧은 방사성원천을 측정하는 경우에는 사정이 달라진다. 실제로 시료의 계수속도가 대략 370개/min인 경우에 7h후에는 계수속도가 353.06개/min만큼 작아진다.(그림 10) 이로부터 반감기가 짧은 경우에는 그에 맞게 측정시간을 합리적으로 정하여야 한다.

측정시간에 따르는 계수속도의 변화를 고찰하였다.(그림 11) 그림 11에서 보는바와 같이 30min동안에 1min씩 시간을 변화시키면서 계수속도의 변화를 고찰하였는데 측정시간을 10min정도로 하여도 측정값이 평균값구간에 들어간다는것을 알수 있다. 이로부터 10min씩 10번이상 측정하여 짧은 반감기로 하여 발생하는 오차를 줄이였다.

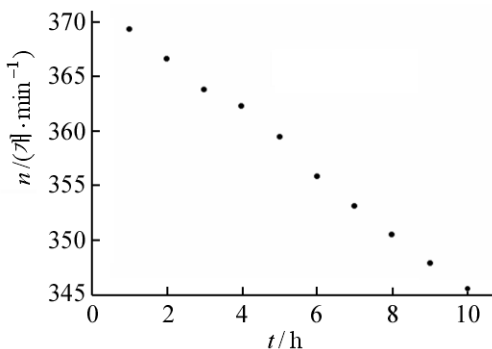


그림 10. 30min씩 측정할 때 시간에 따르는 계수속도의 변화

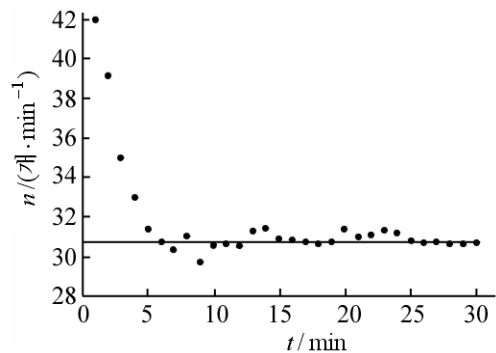


그림 11. 측정시간에 따르는 계수속도의 변화

## 4. 몇가지 온천물의 방사능결정

○온천물의 방사능결정 20mL 테플론시료병에 ○온천물시료 7mL를 넣고 여기에 제조한 수용성액체섬광체 7mL를 함께 넣고 혼합한다. 매 시료를 10min씩 10번 측정하였다.(표 3)

표 3. ○온천물의 계수속도

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n /(\text{개} \cdot \text{min}^{-1})$	63.1	61.1	60.9	61.2	59.2	54.6	56.2	57.9	56.7	55.9

측정결과 ○온천물의 계수속도는

$$(58.68 \pm 0.55) \text{ 개/min}$$

이다. 여기로부터 ○온천물의 방사능은

$$(72.62 \pm 1.33) \text{ Bq/L}$$

이다.

라돈온천은 방사능이 150Bq/L이상이어야 하므로 ○온천은 라돈온천이 아니라는것을 알수 있다.

△온천물의 방사능결정 측정은 우와 같은 방법으로 진행하였다.

측정결과 스온천물의 계수속도는

$$(255.82 \pm 0.81) \text{개/min}$$

으로서 매우 컸다. 이로부터 스온천물의 방사능을 계산하면

$$(767.10 \pm 1.98) \text{Bq/L}$$

이다.

측정결과는 스온천물의 방사능이 매우 높다는것을 보여준다. 어떤 방사성핵종의 작용으로 방사능이 높아졌는가 하는 원인을 밝히기 위하여 날자에 따르는 스온천물의 계수속도변화를 고찰하였다.(그림 12)

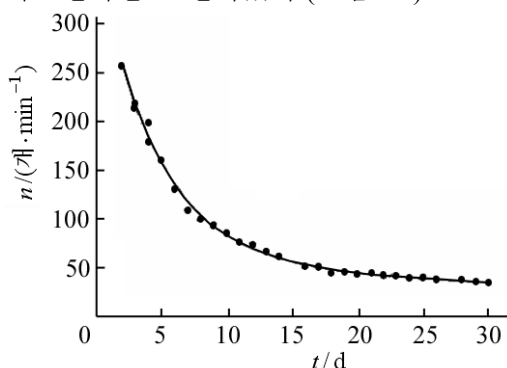


그림 12. 날자에 따르는 스온천물의 계수속도변화

그림 12에서 보는바와 같이 날자에 따르는 스온천물의 계수속도변화는 반감기가 3.825d인  $^{222}\text{Rn}$ 의 붕괴곡선과 거의 일치한다. 라돈의 함량은 97.9%이다.

이로부터 스온천은 라돈온천이라는것을 알 수 있다.

스온천물의 방사능결정 우와 같은 방법으로 스온천물의 방사능을 계산하면 다음과 같다.

$$(523.74 \pm 2.04) \text{Bq/L}$$

스온천물의 방사능결정 우와 같은 방법으로 스온천물의 방사능을 계산하면 다음과 같다.

$$(63.56 \pm 0.51) \text{Bq/L}$$

## 맺 는 말

1) 톨루올액체섬광체는 톨루올 962mL에 1차용질 PPO를 23g, 2차용질 POPOP를 5.7g, 나프탈린 8g, 1,4디옥산 38mL 넣어 만들었다.

2) 온천물의 방사능을 측정할수 있는 톨루올액체섬광체의 계수효율은 97.8%이며 날자에 따르는 계수값들이 모두  $\pm 2\sigma$  내에 있으므로 톨루올액체섬광체의 시간에 따르는 계수값의 변화는 무시할수 있다.

3) 예비적처리없이 온천물의 방사능을 높은 정확도로 측정할수 있는 방법을 확립하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Nikolov et al.; Journal of Environmental Radioactivity, 144, 41, 2015.
- [2] E. E. Saleh et al.; J. Radioanal Nucl. Chem., 304, 1235, 2015.
- [3] V. Jobbagy et al.; J. Radioanal Nucl. Chem., 306, 325, 2015.
- [4] M. H. Baik et al.; J. Radioanal Nucl. Chem., 304, 9, 2015.
- [5] 汤彬; 核辐射测量原理, 哈尔滨工程大学出版社, 190~195, 2011.

주체109(2020)년 9월 5일 원고접수

## **On the Property of Toluene Liquid Scintillator and Its Application**

*An Jae Sok, An Jong Do*

We manufactured a toluene liquid scintillator and estimated its property, and established the method capable of measuring the radioactivity without preliminary treatment of the water of spa.

Keywords: liquid scintillator, water of spa