

수용성액체섬광체의 특성

안 재 석

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 대담하게 목표를 높이 세우고 최신과학기술을 연구도입하는데 적극 달라붙어 최단기간에 중요분야의 과학기술을 세계적수준에 올려세워야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제22권 23페이지)

지금까지 년대측정을 비롯하여 에네르기와 세기가 약한 방사능측정에 m-크실로액체 섬광체가 많이 리용되고있지만 유용성시료측정에만 제한되어있다.[1] 수용성액체섬광체에 의한 약한방사능측정에서 어떤 종류의 용질과 용매를 어떤 비율로 리용하는가 하는것은 수용성액체섬광체의 특성을 높이는데서 기본문제이다.[2-5]

우리는 수용성액체섬광체의 기본구성성분으로 리용되는 톨루올용매와 1차 및 2차용질의 흡수 및 발광특성으로부터 최대감도를 나타내는 섬광체의 조성비율을 확정하였다.

1. 수용성액체섬광체의 흡수스펙트르

수용성액체섬광체는 용매와 1차 및 2차용질로 구성되어있다.

용매는 용질을 용해시키는 작용과 함께 방사선의 에네르기를 용질에 전달하는 작용을 한다. 이로부터 용매는 일정한 특성을 가지고있어야 한다.

용매는 다음의 조건을 고려하여 선택한다.

첫째로, 섬광과정에 에네르기전달효율이 좋아야 하며 둘째로, 용매의 흡수스펙트르가 용질의 발광스펙트르영역에 놓이지 말아야 한다. 셋째로, 용매는 용질과 측정하려는 방사성 물질을 용해할수 있어야 하며 넷째로, 용매의 순도가 높아야 한다.

① 용매로 쓰이는 톨루올의 파장에 따르는 흡수스펙트르를 고찰하였다.

흡수스펙트르는 자외-가시선분광광도계 《UV-2201》를 리용하여 측정하였다.

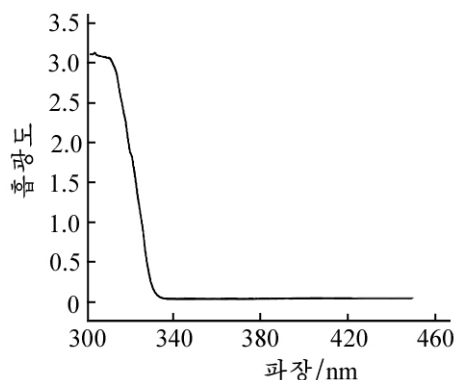


그림 1. 톨루올용매의 흡광도

파장을 200~400nm까지 변화시키면서 파장에 따르는 톨루올용매의 흡광도를 측정하였다.(그림 1)

톨루올의 흡수스펙트르로부터 파장이 334nm보다 긴 단색빛에 대한 흡광도는 작고 315~334nm인 단색빛에 대한 톨루올의 흡광도는 파장이 증가함에 따라 급격히 감소한다. 파장이 315nm이하인 단색빛의 경우에는 흡광도가 크다는것 즉 흡수율이 높다는것을 알수 있다.

② 1차용질의 량에 따르는 흡수특성을 고찰하였다.

섬광체의 특성은 용질의 영향을 크게 받으므로 용질은 방사선을 측정하는데 유리한 특성을 가지고있어야 한다.

1차용질의 흡수특성을 고찰하기 위하여 톨루올에 1차용질 PPO(2, 5-페닐옥사졸)가 각각 0.1~0.7%씩 포함되도록 시료를 만들고 그것들의 흡수스펙트르를 측정하였다.

그림 2로부터 톨루올에 각이한 함량의 PPO를 첨가하였을 때 수용성액체섬광체의 흡수범위는 톨루올의 흡수범위보다 더 넓다는것을 알수 있다.

파장이 345~365nm인 단색빛의 경우에 매 시료의 흡광도는 파장이 증가함에 따라 감소하며 파장이 같아도 PPO의 농도가 증가할수록 증가한다.

파장이 345nm이하인 단색빛의 경우에는 각이한 농도의 시료에 대한 수용성액체섬광체의 흡광도가 모두

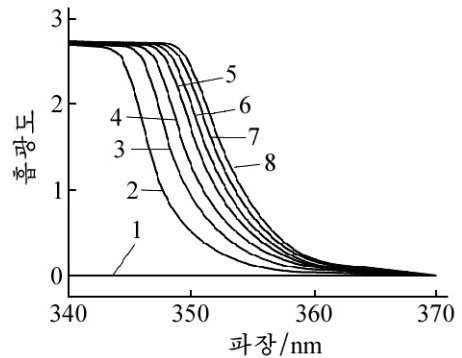


그림 2. 1차용질의 함량에 따르는 톨루올의 흡수스펙트르

1- 톨루올, 2-톨루올+0.1% PPO, 3-톨루올+0.2% PPO, 4-톨루올+0.3% PPO, 5-톨루올+0.4% PPO, 6-톨루올+0.5% PPO, 7-톨루올+0.6% PPO, 8-톨루올+0.7% PPO

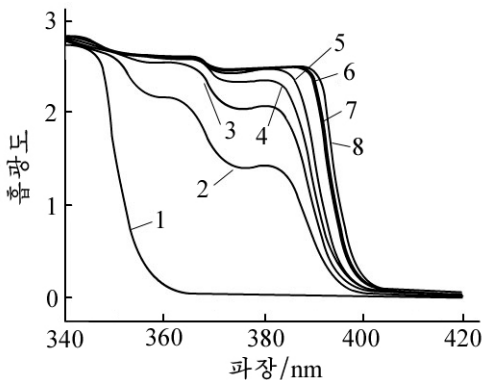


그림 3. 2차용질의 함량에 따르는 톨루올+1차용질의 흡수스펙트르

1-톨루올+0.4% PPO,
2-톨루올+0.4% PPO+ $5 \cdot 10^{-4}$ % POPOP,
3-톨루올+0.4% PPO+ 10^{-3} % POPOP,
4-톨루올+0.4% PPO+ $2.5 \cdot 10^{-3}$ % POPOP,
5-톨루올+0.4% PPO+ $5 \cdot 10^{-3}$ % POPOP,
6-톨루올+0.4% PPO+ $7.5 \cdot 10^{-3}$ % POPOP,
7-톨루올+0.4% PPO+ 10^{-2} % POPOP,
8-톨루올+0.4% PPO+ $1.25 \cdot 10^{-2}$ % POPOP

크다.

③ 톨루올+1차용질의 량을 고정시키고 2차용질 POPOP(1, 4-비스-(5-페닐옥사졸)-벤졸)의 량에 따르는 흡수스펙트르를 고찰하였다.

톨루올에 PPO를 최적함량 0.4% 되게 고정하고 POPOP의 함량을 각각 $5 \cdot 10^{-4}$ ~ $1.25 \cdot 10^{-2}$ % 씩 포함되도록 시료를 만든 다음 그것들의 흡수스펙트르를 측정하였다.(그림 3)

그림 3으로부터 톨루올에 각이한 함량의 POPOP를 첨가하였을 때 수용성액체섬광체의 흡수범위는 톨루올+PPO의 흡수범위보다 훨씬 더 넓다는것을 알수 있다.

파장이 350nm이하인 단색빛에 대하여서는 시료의 흡광도가 크며 350~410nm인 단색빛의 경우에는 POPOP함량이 증가함에 따라 수용성액체섬광체의 흡광도가 증가한다. 즉 흡수률이 증가한다.

2. 수용성액체섬광체의 발광스펙트르

① 1차용질의 발광특성을 고찰하였다.

분자형광분광광도계 《RF-5000》를 리용하여 파장이 300nm인 단색빛으로 수용성액체섬광체를 여기시킨 다음 수용성액체섬광체의 발광스펙트르를 고찰하였다. 이때 수용성액체섬광체속에 들어가는 1차용질PPO의 량을 각각 0.1~0.7%로 변화시키면서 각이한 조성을 가진 수용성액체섬광체의 발광스펙트르를 고찰하였다.(그림 4)

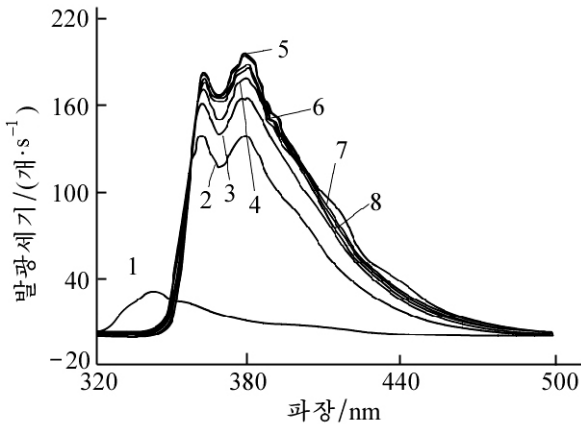


그림 4. PPO의 함량에 따르는 발광세기변화
1-톨루올, 2-톨루올+0.1% PPO, 3-톨루올+0.2% PPO,
4-톨루올+0.3% PPO, 5-톨루올+0.4% PPO,
6-톨루올+0.5% PPO, 7-톨루올+0.6% PPO,
8-톨루올+0.7% PPO

내는 파장과는 다른 파장의 형광을 방출한다. 이 그림으로부터 PPO의 농도가 증가할 때 단위시간당 발광세기는 모든 파장에 대해 점차 증가한다는것을 알수 있다. 그 원인은 PPO를 첨가한 수용성액체섬광체의 흡수스펙트르와 발광스펙트르사이에서 중첩된 파장범위가 비교적 좁기때문이다. PPO농도가 증가하면 액체섬광의 빛효율이 증가한다.

② 2차용질의 발광특성을 고찰하였다.

수용성액체섬광체의 발광특성은 또한 2차용질의 량에 관계된다. 2차용질이 수용성액체섬광체의 발광특성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 PPO의 함량을 0.4%로 고정하고 2차용질 POPOP의 함량을 $5 \cdot 10^{-4}\%$ 로부터 $1.25 \cdot 10^{-2}\%$ 까지 증가시키면서 발광세기를 측정하였다.(그림 5)

시료의 형광파장들인 394, 418, 440nm는 모두 380~500nm구간에 놓인다. 그 원인은 PPO분자가 여기되어 내보내는 형광이 POPOP분자에 흡수되어 그것의 값전자여기준위로 이행시키는데 POPOP분자와 PPO분자의 에너지준위분포가 다르기때문에 여기상태의 전자가 떨어질 때 파장이 훨씬 긴 형광이 발생하는데 있다.

그밖에 POPOP함량이 감소하는데 따라 단위시간당 발광세기가 감소한다.

이상의 실험으로부터 수용성액체섬광체는 톨루올속에 0.4%의 PPO와 $5 \cdot 10^{-4}\%$ 의

세로축은 각이한 조성을 가진 수용성 액체섬광체의 단위시간당 발광세기를 표시한다. 그림 4에서 보는바와 같이 톨루올이 방출하는 형광은 320~370nm에 집중되어있고 발광봉우리는 343nm임을 알수 있다. PPO를 첨가한 후에는 섬광체가 내는 형광이 350~480nm구간에 집중되며 발광봉우리는 362nm와 378nm에 나타난다. 이것은 톨루올 값전자가 여기빛에너지를 흡수하여 보다 높은 에너지준위로 여기되고 여기된 값전자의 빛복사선을 PPO분자가 흡수하여 그것의 값전자를 여기시키기때문이다.

여기된 전자는 바닥상태로부터 여기준위로 이행하고 다시 바닥상태로 떨어질 때 용매분자가 여기되었다가 떨어질 때 내보

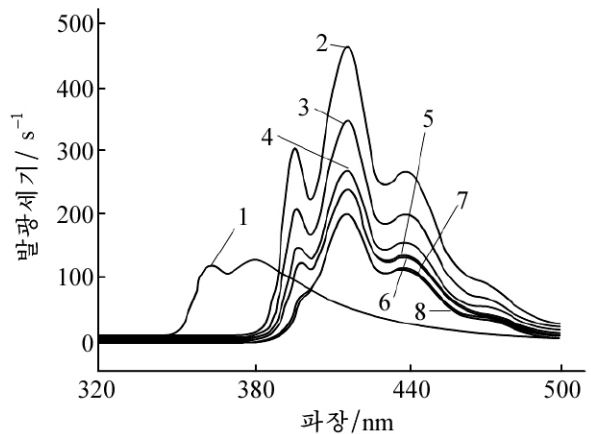


그림 5. POPOP의 함량에 따르는 발광세기변화

- 1-톨루올+0.4% PPO,
2-톨루올+0.4% PPO+ $5 \cdot 10^{-4}\%$ POPOP,
3-톨루올+0.4% PPO+ $10^{-3}\%$ POPOP,
4-톨루올+0.4% PPO+ $2.5 \cdot 10^{-3}\%$ POPOP,
5-톨루올+0.4% PPO+ $5 \cdot 10^{-3}\%$ POPOP,
6-톨루올+0.4% PPO+ $7.5 \cdot 10^{-3}\%$ POPOP,
7-톨루올+0.4% PPO+ $10^{-2}\%$ POPOP,
8-톨루올+0.4% PPO+ $1.25 \cdot 10^{-2}\%$ POPOP

POPOP를 첨가할 때 좋은 빛효율을 얻을수 있다는것을 알수 있다.

물을 비롯한 수용성시료의 측정효율을 높이기 위하여 나프탈린과 디옥산을 첨가한다.

수용성액체섬광체는 톨루올 615mL속에 PPO는 12.5g, POPOP는 15.5mg, 나프탈린 80g, 1,4디옥산 385mL를 넣어 만들었다.

3. 수용성액체섬광체의 안정성평가

제조한 수용성액체섬광체가 오랜 시간동안 보관 및 방사능측정에 리용할수 있는가를 알아보기 위하여 그것의 시간에 따르는 안정성을 평가하였다.

수용성액체섬광체의 안정성을 평가하기 위하여 수용성액체섬광체 10.5mL속에 방사능이 14.227 5Bq/g인 염화칼리움표준원천 0.58g을 넣어 측정시료를 만들고 테플론시료병에 넣어 측정하였다. 방사능을 매일 30min씩 12일동안 측정하였다. 이때 방사능붕괴의 통계오차는 $\sigma=126$ 이며 상대오차는 $\delta=0.793\%$ 이다.

수용성액체섬광체의 시간에 따르는 계수특성 변화는 그림 6과 같다.

그림 6에서 보는바와 같이 모든 계수값이 $\pm 2\sigma$ 안에 들어가므로 수용성액체섬광체의 날자에 따르는 계수특성변화는 무시할수 있으며 제조된 수용성액체섬광체를 수용성시료의 방사능측정에 리용할수 있다.

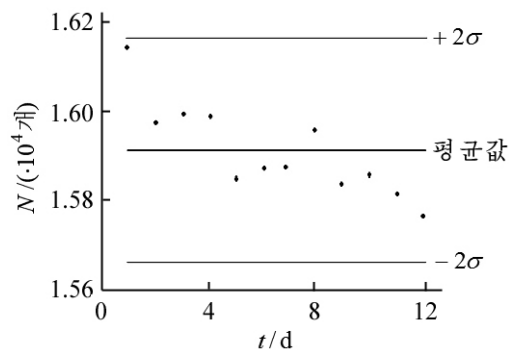


그림 6. 수용성액체섬광체의 시간에 따르는 계수특성변화

4. 수용성액체섬광체의 계수효율결정

수용성액체섬광체의 계수효율을 결정하기 위하여 테플론시료병에 섬광체 10.5mL에 염화칼리움표준원천을 0.58g 넣고 30min씩 측정하여 계수속도를 구하였다.

표. 염화칼리움표준원천의 계수속도

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

표의 실험자료들로부터 표준원천의 순수계수속도는 $(482.85 \pm 1.02)\text{min}^{-1}$ 이다.

이 값으로부터 표준원천의 계수속도를 구하면 $13.908 \text{ } 6(\text{min} \cdot \text{g})^{-1}$ 이다. 염화칼리움표준원천의 방사능이 14.227 5Bq/g이므로 수용성액체섬광체의 계수효율을 결정하면 97.8%이다.

맺 는 말

1) 수용성액체섬광체의 좋은 빛효율은 톨루올속에 0.4%의 PPO와 $5 \cdot 10^{-4}\%$ 의 POPOP를 첨가할 때 얻을수 있다.

2) 제조된 수용성액체섬광체의 날자에 따르는 계수특성변화는 무시할수 있으며 얻어진 수용성액체섬광체의 계수효율은 97.8%이다.

참 고 문 헌

- [1] 안재석 등; 원자력, 4, 21, 주체97(2008).
- [2] S. Antoniou et al.; Radiation Measurements, 43, 1294, 2008.
- [3] M. Malomo et al.; Applied Radiation and Isotopes, 65, 1048, 2007.
- [4] I. K. Bronic et al.; Applied Radiation and Isotopes, 67, 800, 2009.
- [5] Paola Cappellaro; Introduction to Applied Nuclear Physics, Springer, 84~117, 2012.

주체107(2018)년 3월 5일 원고접수

Characteristics of Aqueous Liquid Scintillator

An Jae Sok

We considered the rational proportion of the first and second solute and then made an aqueous liquid scintillator.

The variation of count property with the date of the aqueous liquid scintillator can be neglected and its count efficiency is 97.8 percent.

Key words: aqueous liquid scintillator, LSC