

Study on Concentration Variation of ^{222}Rn for Various Scintillators Using Low-Level Liquid Scintillation Counter

JaeWan Jeon,¹ Deuk-Hee Lee,² Jin-Seop Kim^{3,*}

¹Department of Radiation Oncology, Haeundae Paik Hospital of Inje University, Korea

²Department of Radiation Oncology, Busan Paik Hospital of Inje University, Korea

³Department of Geological Sciences, Pusan National University, Korea

Received: October 06, 2019. Revised: November 25, 2019. Accepted: November 30, 2019

ABSTRACT

The various environmental issues arose with the development of today's economy. naturally, people were increased interest in environment and the importance of research on drinking water and contamination are emerging especially. A number of country areas, uranium and ^{222}Rn in ground water have been detected to people using as drinking water. So this study evaluated the way for more accurate measurements than when measuring ^{222}Rn concentrations in the ground water containing. the experiment was performed using the low-level liquid scintillation counter with an alpha, beta analysis easy PSA function of pulse. the scintillator as the preparation of the ground water samples are mixed, the measure value detection is lowered over prepare period and expiration date. Energy spectrum was also moved to a lower side channel. As a long time to buy the scintillator and over time after opening, it was confirmed that detection is lowered. if the purpose is to use a different scintillator can see the energy through the channel change.

Keywords: ^{222}Rn , Scintillator, Groundwater, Liquid Scintillation Counter

I. INTRODUCTION

최근 경제발전과 함께 환경문제가 대두되었으며, 사람들은 환경문제에 대한 관심이 점점 더 커져 가고 있다. 그 중 사람이 살아가는데 필수적인 물에 대한 중요성이 특히 부각되고 있다. 또한 개인의 물 사용량 증가로 인하여 물 부족 현상이 발생하였으며, 사람들은 지표수나 수돗물 보다는 지하수 사용을 선호하는 경향이 나타났다. 국토해양부의 지하수 관리 기본 계획에 의하면 지하수 개발 및 이용시설이 1994년부터 2010년까지 연평균 5.1%씩 증가하였으며, 지하수 이용량은 연평균 2.6% 증가하고 있는 추세이다.^[1] 그리고 다른 선행연구에서 우리나라 여러 지역의 지하수에서 ^{238}U (Uranium), ^{222}Rn (Radon) 이 검출된 결과를 연이어 보도되면서

국민들의 방사성물질에 대한 불안감이 점점 커져 가고 있다.^[2]

미국국립연구소(National Research Council : NRC)의 ^{222}Rn 이 인체에 미치는 영향에 대한 보고서에 의하면, 폐암으로 인한 사망자 중에서 흡연과 ^{222}Rn 을 동시에 흡입했을 때의 사망자가 전체의 12%를 차지하는 것으로 나타났다.^[3] 미국 환경청(United States Environmental Protection Agency : U.S.EPA)의 보고서에서는 ^{222}Rn 은 발암 물질로서 일반인들이 접하는 방사선의 대부분을 차지하며 폐암발생의 주원인 중 하나로 보고 있으며, 이로 인하여 매년 약 2만 명의 사망자가 발생한다고 보고하였다.^[4] 또한 공기 중 ^{222}Rn 을 흡입 시 직접적 영향으로 폐에 안 좋은 영향을 미치며, 음용 시는 딸 핵종에 의해 위에 악영향을 줄 수 있다.^[5]

* Corresponding Author: Jin-seop Kim

E-mail: jsekim@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-2253

이러한 ^{222}Rn 의 고유한 성질은 자연에 천연적으로 존재하고 있는 방사성 기체이며 색깔과 맛이 없고 냄새가 나지 않은 불활성기체이다. ^{222}Rn 은 토양이나 암반 내에 존재하고,^[6] 자연방사성원소의 3계열 중에 ^{238}U 을 시조핵종으로 하여 $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th}$ (Thorium) $\rightarrow ^{234}\text{U} \rightarrow ^{230}\text{Th} \rightarrow ^{226}\text{Ra}$ (Radium) $\rightarrow ^{222}\text{Rn}$ 의 순서로 붕괴하고 최종적으로 ^{206}Pb (Lead) 이 되면서 안정된다.^[7] ^{222}Rn 에 노출이나 흡입이 위험한 이유는 ^{222}Rn 기체 자체가 가진 성질보다는 ^{222}Rn 이 딸 핵종으로 붕괴되면서 인체에 악영향을 미치기 때문이다. ^{222}Rn 의 붕괴산물로는 반감기 3.1분의 ^{218}Po (Polonium), 반감기 10.4 초의 ^{214}Po , 반감기 27분의 ^{214}Pb , 반감기 20분의 ^{214}Bi (Bismuth)으로 대부분 짧은 반감기를 가지고 있으나, 대부분 전하를 띄고 있어 인체에 흡착되기 때문에 위험하다. 그리고 ^{222}Rn 은 99 % 이상 붕괴되어 22년의 반감기를 가지는 ^{206}Pb 으로 변하게 되고 인체에 축적되면 치명적인 문제를 발생시킬 우려가 있다.^[7,8]

본 연구목적은 인체의 심각한 악영향을 미치는 지하수 내 ^{222}Rn 의 측정을 위해 사용되는 섬광체 (Scintillator)의 이용 시, 조제에 대한 성분비율과 유효기간에 따른 검출효율을 높일 수 있는 방안을 분석을 목표로 같은 시료를 측정함에 있어도 섬광체에 따라 변화되는 결과 값을 확인하여 보다 정확하고 신뢰성 있는 측정결과를 얻기 위한 기반을 마련하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 시료채취 및 측정

섬광체의 조제비율과 유효기간 변화에 따른 ^{222}Rn 과 그 딸핵종의 측정값을 비교하기 위하여 부산소재 P 대학교 내의 지하수를 시료로 선정하였다. 장소 선정은 실험 장소와 가까운 곳에 위치하며, 시간 별로 ^{222}Rn 농도가 일정한 범위에서 변동이 없기 때문이다.^[9,10] 시료는 매일 같은 시간 17:30-19:00시 사이에 채취하여 기온, 기압과 같은 주변 환경적인 요인을 최대한 동일하게 하였다. 또한 급수시설의 사용량이 많아 지하수가 흐르는 상태에서 심도에서부터 지표로 올라오는 시료 채취

가 용이하기 때문이다. 시료채취는 채취 전 지하수를 5분 이상 흘려보내어 관정 속에 있는 지하수를 최대한 배제하고 시료를 채취하였다. 시료채취 후 ^{222}Rn 기체의 손실을 최소화하기 위해 즉시 섬광체를 시료와 혼합하였으며, 시료채취 시간 및 섬광체와 혼합된 시간과 실제 저 준위 액체섬광계수기 (Liquid Scintillation Counter, LSC)에서 측정되는 시간을 기록하였다. 그리고 ^{222}Rn 의 반감기를 고려하여 시료채취 시간부터 24시간 이내에 모든 측정을 하였으며, ^{222}Rn 과 딸핵종의 방사평형을 위하여 시료 혼합 후 4시간 30분 후에 모든 측정을 시작하였다. 위의 방법대로 본 연구자는 실험환경에서 최대한 Systematical Error를 줄이고자 하였다.

2. 액체섬광계수기

방사선 검출기관 방사선을 계측하기 위한 장치로서, 직접 관측이나 전통적인 계량방법으로는 측정이 어려운 전리방사선을 방사선과 물질의 상호작용을 이용하여 측정 가능한 신호로 변환해 주는 역할을 하는 장치를 말한다.^[11,12]

그 중 저 준위 액체섬광계수기는 방사선의 들뜸 작용에 바탕을 둔 발광작용을 이용한 방사선 검출기이다. 섬광체는 방사선 에너지를 흡수하여 광자를 생성하고 전치증폭기를 포함한 광전자증배관에 의해 증폭시킨 후, 계수기를 통해 발생하는 빛을 계수하여 방사선이 가진 물질의 에너지 크기와 양을 측정하고 분석하는 장치이다.^[13-15]

저 준위 액체섬광계수기를 이용한 방사선 계측의 특징은 계측할 시료를 액체섬광물질과 혼합하여 측정용기에 담아 계측하므로 시료와 검출기 사이의 공기에 의한 감쇠 효과를 감소시킬 수 있다. 또한 마주 보는 두 개의 광전자증배관에 의한 동시 계수법을 사용함으로써 백그라운드의 영향을 줄일 수 있어 낮은 에너지의 베타입자나 알파입자의 계수에 유리한 특징을 가지고 있다.^[16] 그리고 시료의 전처리가 간단하고 펄스의 형태 차이를 이용하여 효과적으로 분리측정이 가능한 펄스파형분석(Pulse Shape Analyzer : PSA)기능이 가장 큰 특징이다. PSA 준위가 높아질수록 더 많은 펄스들이 짧은 펄스들의 범주 속으로 들어가서 알파 스펙트럼이 배

타 스펙트럼에 흡수되므로 적절한 준위설정이 반드시 필요하다. PSA 방법의 원리는 알파입자의 경우는 일반적으로 유기 용매를 높은 에너지 준위의 여기상태에서 바닥상태로 천천히 전이되는 삼중항 상태를 만들고 베타입자의 경우는 빠르게 바닥상태로 전이되는 단일항 상태를 만들어 알파입자와 베타입자 사이에는 서로 구분된 펄스붕괴시간 (Pulse decay time)과 펄스길이(Pulse length)가 발생하게 된다. 이 차이점을 이용하여 순수한 알파입자와 베타입자를 각각 동시에 측정하는 것이 가능하고 액체섬광계수기 내부에 설치된 적분회로에서 펄스의 길이를 구별할 수 있을 정도의 충분한 시간 동안 펄스를 적분하게 조절한다면 여기 되는 시간의 차이로 인하여 알파입자와 베타입자의 구분이 가능하다. Fig. 1에 액체섬광계수기의 펄스 분석 회로도를 나타내었다.

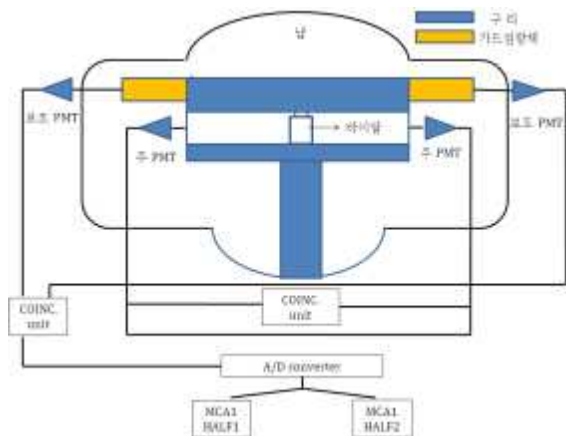


Fig. 1. Pulse analysis circuit diagram of liquid scintillation counter

PSA 준위를 결정하기 위해 ^{226}Ra 표준선원 ($1.393 \pm 0.012 \text{ kBq/5 ml}$)과 3단계를 거친 증류수를 이용하여 12개의 표준물질을 조제하였다. 이렇게 조제한 표준물질 12개(3000~5500 Bq/L 중 높은 방사능 표준물질 6개와 1000 Bq/L 이하의 낮은 방사능 표준물질 6개)를 각각 10 ml 씩 바이알에 담고 섬광액(Mineral oil scintillator : 6NE9571, PerkinElmer) 12 ml 를 혼합하여 ^{222}Rn 생성물질을 조제하였다. 이것은 표준선원의 알파선 영역에서 구한 측정효율과 바탕시료의 계측을 통한 백그라운드 계수율을 통해 FM(Figure of Merit)값을 계산하여 최대가 되는 준위를 결정하는 방법이며, 계측기기의 효율

적인 채널 설정과 성능을 나타내는 지표로 사용된다.^[13]

본 실험에 사용된 방사선 검출기는 Wallac사의 저 준위 액체섬광계수기 Quantulus 1220이다. 이 방사선 검출기는 백그라운드를 줄이는데 최적의 디자인으로 설계되었으며 잡음제거에 유용한 여러 장치들로 인해 정확한 계수가 가능한 것이 특징이다. 열전자 제거를 위한 Cooling unit장치가 있어 측정을 위한 최적의 온도를 유지시켜준다. 그리고 AC HV ionizer는 시료조제나 트레이의 이동 중에서 발생하는 전하를 중화시켜 주는 역할을 하며, 이 모든 장치들이 정확한 계수율 측정이 가능하도록 그 역할들을 수행한다. 또한 Wallac사의 저 준위 액체섬광계수기 Quantulus 1220는 앞서 언급한 PSA 원리에 따른 측정방법을 이용한 알파, 베타입자의 펄스를 매우 효과적으로 분석할 수 있는 액체섬광계수기이다. 4π 형 기하학적 구조를 지니므로써 시료 자체의 자기흡수가 없는 100 % 계수율을 가지는 것이 특징이다.

3. 섬광체 종류 및 실험방법

실험에 사용된 섬광체는 조제하여 사용하는 섬광체와 상용화된 섬광체 5종류로 분류했다. 그 종류는 조제하여 사용하는 섬광체 Xylene과 상용화된 섬광체 Mineral Oil, High Efficiency Mineral Oil, Ultima Gold LLT, Optiphase HISAFE 3이다. 특이 사항은 Table 1에서처럼 구분하여 실험하였다.

각 섬광체 별로 조제날짜 및 유효기간으로 구분하고 Xylene 섬광체의 경우는 제 1용질의 조제비율을 달리하여 ^{222}Rn 의 counts를 측정하였다. 나머지 상용화되어 판매되는 여러 가지 섬광체는 2그룹으로 나눈 후 위에서 말한 시료채취 방법을 동일하게 하여 측정하였다.

Xylene 섬광체에 방사선의 운동에너지가 여기 에너지로 전환하고 여기 에너지를 빛으로 전환시키는데 사용되는 제 1용질로 PPO를 사용하였다. PPO는 유기용매에 잘 용해되고 섬광효율이 높다는 장점을 가지고 있으며 수용성 시료에 매우 효과적이다.^[4] 그리고 발생된 빛을 광전자증배관(Photo-Multiplier Tube:PMT)에 받아들이는 파장의 영역으로

Table 1. Effective period, Remark, Counts, non- radioactive concentration of scintillator.

	Effective period	Product & Remark				Counts
		Xylene	PPO	POPOP	Naphthalene	
A-1	2010. 10. 26	1 L	5 g	0.005 g	0.5 g	2668 ± 52
A-2	2011. 5. 17	1 L	5 g	0.005 g	0.5 g	2753 ± 52
A-3	2011. 7. 15	1 L	5 g	0.005 g	0.5 g	2746 ± 52
A-4	2011. 7. 5	1 L	5 g	0.005 g	0.5 g	2880 ± 54
B-1	2014. 4. 19	1 L	5 g	0.005 g	0.5 g	2931 ± 54
B-2	2014. 4. 19	1 L				0
C-1	2014. 4. 19	1 L	3 g	0.005 g	0.5 g	2014 ± 52
C-2	2014. 4. 19	1 L	5 g	0.005 g	0.5 g	3070 ± 55
C-3	2014. 4. 19	1 L	7 g	0.005 g	0.5 g	3061 ± 54
D-1	2014. 3	Mineral oil scintillator				2987 ± 51
D-2	2015. 1	Mineral oil scintillator				3169 ± 55
D-3	2015. 1	Mineral oil scintillator (Exposure)				3058 ± 56
E-1	2008. 5. 1	High Efficiency Mineral oil				2892 ± 55
E-2	2010. 2. 1	OPTIPHASE "HISAFE" 3				3012 ± 52
E-3	2009. 11. 1	ULTIMA GOLD LLT				2980 ± 52

최적화시키기 위해 제 2용질로 POPOP를 사용하였다. 그리고 시료에 서 방사되는 알파, 베타 펄스의 효과적인 분리를 위해 나프탈렌을 추가하였으며, PPO, POPOP, 나프탈렌의 용량은 Table 1에 나타내었다. 본 연구자는 발광량의 변화는 제 1용질에 의해 주로 작용할 것이라 판단하여 제 2용질인 POPOP의 양은 고정하여 실험하였다.

대부분의 용매는 방사선에너지를 흡수해 용매자체로 발광을 하지만 이 발광량이 용질의 발광 양에 비해 매우 작으므로 용매에 제 1용질과 제 2용질을 첨가한다. 그리고 실험에 사용한 측정용기는 폴리에틸렌 바이알을 이용하였다. 폴리에틸렌 바이알은 벽면을 통한 라돈 기체의 손실을 최소화시킬 수 있고 가격이 저렴한 이점을 가지고 있다.^[14,15] 각 시료의 측정오류를 고려하여 2개의 바이알을 준비하여 실험하였으며, 측정용기에 지하수 10 ml를 넣은 후 섬광체 12 ml를 신속히 혼합하였다. 측정용기 내의 상부 공기층을 최소화하기 위해 총 시료의 양은 22 ml로 혼합하였으며 측정용기에 정확한 양의 시료를 담기 위해 2 ml, 4 ml의 피펫을 매번 실험 전에 교정하여 사용하였다. 한 개의 시료를 만드는데 소요되는 시간은 3분 정도 소요 되었으며 ^{222}Rn 의 시간에 따른 붕괴를 교정하기 위해 매일 시료를 만드는 시간을 기록하였다. 측정용기 외부오염으로 인한 불필요한 오차를 줄이기 위해 매번 한 개의 시

료를 만들 때 마다 폴리글러브를 교체하면서 혼합하였고 혼합된 측정용기를 저 준위 액체섬광계수에 운반 시에도 폴리글러브를 착용하고 운반하였다. 한 개의 혼합시료를 5분씩 4번 총 20분을 측정하였다.

III. RESULT

1. 라듐-226을 이용한 PSA 준위 결정

^{222}Rn 의 생성물질은 그의 어미핵종인 ^{226}Ra 을 사용하는데, 그 양을 한번 정해놓으면 일정한 비율의 ^{222}Rn 이 생성되므로 이를 사용한다. 이번 실험에서는 미국 표준과학연구원에서 ^{226}Ra 을 산성용액으로 녹여 운반체에 넣어 조제한 표준선원을 사용하였다.^[8,9] ^{222}Rn 과 그의 딸핵종에 대한 평균 측정효율을 결정하기 위해 ^{226}Ra 을 표준선원으로 5416 Bq/L, 4438 Bq/L, 3974 Bq/L, 3831 Bq/L, 3688 Bq/L, 3412 Bq/L, 974.9 Bq/L, 487.5 Bq/L, 216.7 Bq/L, 133.4 Bq/L, 72.76 Bq/L, 49.29 Bq/L의 12 종류 표준물질을 조제하였다. 임의의 12 종류 표준물질은 각각의 방사능에 맞게 계산한 방사화학 분석법에 따라 증류수로 희석시키고 측정용기에 10 ml를 취한 후, 미리 조제한 Xylene 계열의 섬광용액 12 ml 혼합하여 제작하였다. 백그라운드 결정을 위한 바탕시료는 10 ml 증류수와 역시 미리 조제한 Xylene

계열의 섬광용액 12 ml를 혼합하여 조제하였다. 측정용기 내의 상층에 존재하는 공기층을 최소화하기 위해 시료 및 표준용액과 바탕시료 모두 22 ml를 사용하였다.

2. PSA 준위 결정

Fig. 2에서는 PSA 준위변화에 따라 얻어진 알파선의 총 피크영역에서 FM값, 측정효율, 알파입자의 분당 계수율 CPM(Counts Per Minutes), 백그라운드의 변화를 보여준다. 액체섬광계수기는 PSA 준위

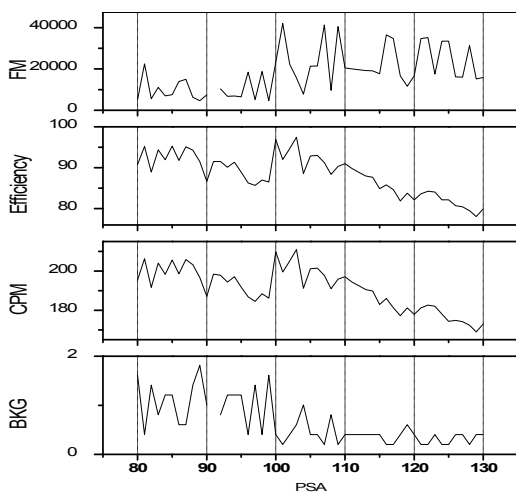


Fig. 2. Optimal method of Radon analysis.

를 1 단위로 변경하며 측정할 수 있기 때문에 ^{226}Ra 표준선원으로 만든 12개의 표준물질 중 비방사능 216.7 Bq/L을 가지고 PSA 준위를 80에서 130범위까지 1씩 바꾸면서 측정하였다. 알파 스펙트럼과 베타 스펙트럼의 효과적인 분리를 위한 척도로서의 FM값은 알파입자의 계수효율이 클수록, 또 그에 대한 백그라운드의 계수가 낮을수록 큰 값을 나타낸다. 이에 백그라운드의 계수율이 낮아지는 경향을 보이는 100에서 120범위 사이와 측정효율이 높게 나타나는 100에서 110범위 사이에서 FM값이 최대가 됨으로 이 구간에서 알파 스펙트럼과 베타 스펙트럼이 가장 잘 분리된다고 할 수 있다.

앞에서 설명한 것처럼 PSA 준위가 높아질수록 더 많은 펄스들이 짧은 펄스들의 범주 속으로 들어가게 되어 알파 스펙트럼이 베타 스펙트럼에 흡수되므로 적절한 준위설정이 필요한 것이다. 이때

CPM 또한 100에서 110범위 사이에서 높은 값을 보이므로, 액체섬광계수기의 측정 최적화를 위한 값은 PSA 준위 100에서 110범위로 결정할 수 있다.

이 범위에서의 측정효율 차이는 9%이다. 다른 표준물질과의 비교에서도 비슷한 경향을 보이므로 위의 결과를 최적화된 PSA 준위로 설정하는데 문제가 없는 것으로 확인했다.

3. 섬광체의 시간에 따른 channel 변화 및 측정결과

액체섬광체의 경우에는 어떤 종류의 용매를 선택하고 사용함에 있어 모든 부분에서 이상적인 특징을 가져야 하지만 실제적으로는 시료와 섬광체를 혼합하는 과정에서 발생하는 오류와 여기 분자가 전이될 때 받은 에너지만큼의 섬광을 동반하지 않은 경우가 발생한다. 이 문제로 인하여 정확한 양의 섬광이 방출되지 않고 열이나 진동의 형태로 섬광이 소실되는 현상을 소광현상(Quenching)이라 한다.¹⁶⁾ 따라서 액체섬광계수기에 사용되는 대부분의 용매는 시료에서 방출되는 방사선에너지를 흡수하여 자체 발광을 일으키지만 그 발광양이 충분하지 않기 때문에 용매에 발광량의 변화와 계수효율의 증가를 위한 목적으로 제 1용질과 제 2용질을 첨가하여 사용하며 본 연구에서는 제 1용질로 PPO를 제 2용질로 POPOP와 나프탈렌을 첨가하여 사용하였다.

Xylene 용매에 제 1, 2용질과 나프탈렌을 첨가하여 조제된 섬광체를 ^{222}Rn 농도가 일정한 시료를 대상으로 방치시간을 다르게 하여 변화된 값을 비교하였다. 시료에 혼합된 섬광체는 검출값을 측정하기 위해 사용된 날까지의 시간경과에 따라 5개로 구분하였고, 기준으로 사용하기 위해 1개를 측정하는 날 조제하였다. A그룹은 Xylene 용매에 같은 용량으로 제 1, 2용질과 나프탈렌을 첨가하여 희석하였으며 A-1에서 A-4까지 조제한 날짜에 따라 나누었다. A-1은 2010년 10월 26일에 조제하였고, A-2는 2011년 5월 17일에 조제하였다. A-3와 A-4는 2011년 7월 5,15일 날짜에 조제하였다.

B-1과 B-2는 기준으로 사용하기 위해 실험을 시작하는 2014년 4월 19일에 조제하였다. 5개 Xylene 섬광체는 모두 제 1, 2용질과 나프탈렌의 조제

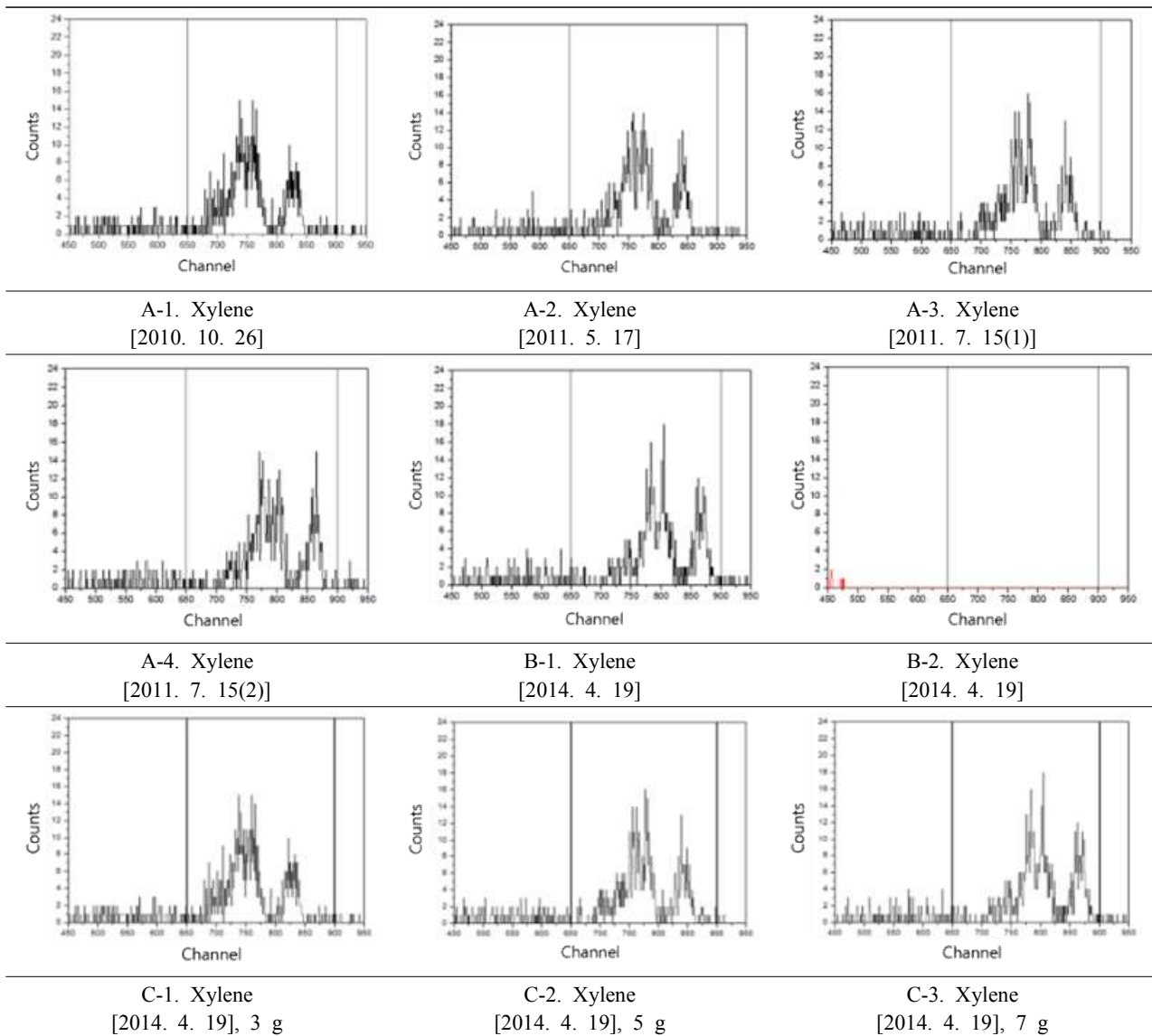


Fig. 3. Spectrum distribution of Xylene scintillator.

비율을 같이하고 조제날짜만 다르게 했고, 1개의 Xylene 섬광체는 B-1과 같은 날짜에 용질은 없이 용매만으로 조제하였다.

그 결과 B-2는 Xylene만으로 측정했으므로 Fig. 3와 같이 NULL의 값을 나타내었고 나머지 5개의 섬광체는 조제한 날짜가 오래된 것 일수록 낮은 Counts를 보여주었다. 시료로 사용된 지하수의 농도변화 오차가 10%로 나타났을 때를 고려하면 방치시간이 길어질수록 선형적 관계는 아니지만 점차적으로 Counts가 낮아진다고 판단된다. C그룹에서는 섬광과정에 있어 발광량의 변화에 영향을 주

는 제 1용질인 PPO의 용량만 변화시키고 Xylene 용매와 제 2용질은 같은 양으로 조제하였다. C-1은 PPO를 3 g, C-2는 5 g, C-3는 7 g을 조제하였다. 측정결과에서 보듯이 PPO를 3 g만 조제한 섬광체에 비해 5 g과 7 g을 첨가한 C-2와 C-3는 비슷한 Counts를 보여주고 있다. C-2와 C-3는 측정값 차이가 크게 나지 않았다. 이 결과에 대한 해석은 제 1용질인 PPO를 5g 이상으로는 그 발광양에 차이를 줄 수 없다고 사료되고 제 1용질인 PPO를 5 g 정도의 양을 첨가하면 시료 속의 ^{222}Rn 을 검출하는 섬광과정에서 충분한 발광을 낼 수 있다고 생각된다.

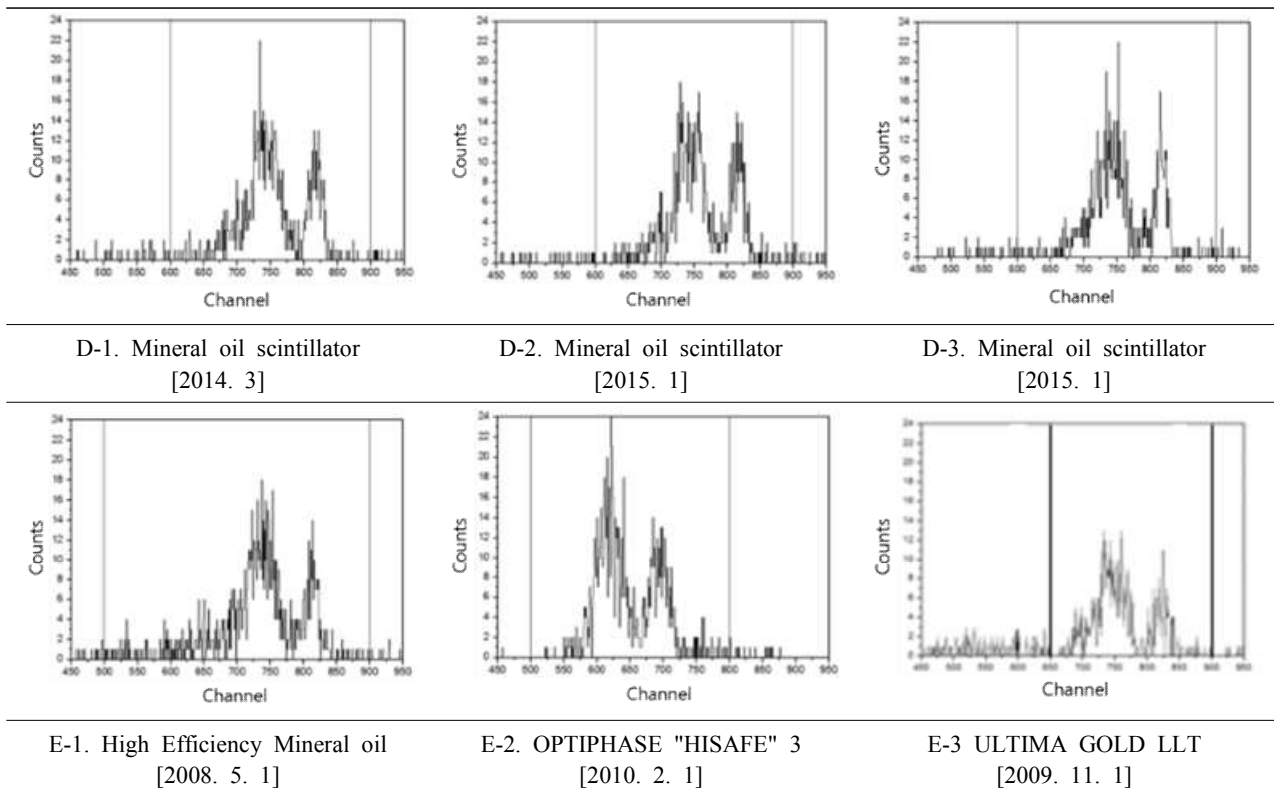


Fig. 4. Spectrum distribution of commercialized scintillator

그러나 C-1의 결과에서 보듯이 5 g이하의 양을 첨가하면 시료 안에 실제로 포함된 ^{222}Rn 보다 더 적은 측정결과를 보인다는 것을 알 수 있다. D그룹은 ^{222}Rn 검출을 위해 많이 사용하는 Mineral oil scintillator이며 유효기간에 따라 구분하였다. D-1은 2014년 3월까지, D-2는 2015년 1월까지, D-3는 D-2와 같은 날에 구입한 제품인데, 개봉하여 반 정도 사용한 후 방치한 검광체이다. 3개의 검광체 중 방치기간이 짧고 개봉하지 않은 검광체가 가장 높은 Counts를 나타냈다. 이로써 검광체의 구입과 방치 시간에 대해 측정값의 보정이 필요하며, 구입 후 개봉하고 나면 적어도 6개월에서 1년이 넘지 않는 기간 내에 사용해야 된다고 판단된다. 마지막으로 E그룹은 시중에 나와 있는 여러 가지 검광체를 이용하여 ^{222}Rn 을 측정하는 것이다. 측정 방사능의 에너지에 따라 사용하는 검광체가 달라지는데, E-1과 E-3은 알파입자 측정용으로 사용되는 검광체이다. 스펙트럼의 변화도 조제한 검광체와 유사한 channel에서 피크가 나타나고 있다. E-2는 저 에너지 베타입자 측정용으로 사용되는 검광체인데 낮

은 channel쪽으로 스펙트럼이 이동되는 것을 볼 수 있다.

사용한 15개 검광체의 에너지 스펙트럼(X축) 분포를 Fig. 3과 4에 나타내었다. 검광체 종류 별로 ^{222}Rn 과 그 딸핵종 ^{214}Po , ^{210}Po 이 방사평형을 이루고 난 후 스펙트럼이 채널 별로 잘 분리 되어 나타난 것을 볼 수 있다. 각 검광체 별로 Xylene은 650-900 channel에서 ^{222}Rn 과 딸핵종의 피크가 나타남을 볼 수 있고, H-3 검출에 사용되는 E-2 검광체는 낮은 에너지 쪽으로 이동하여 550-725 channel에서 피크가 나타남을 볼 수 있다. Fig. 3의 A그룹의 스펙트럼을 보면 같은 Xylene에 제 1용질, 제 2용질, 나프탈렌을 혼합한 조제날짜에 따라 나타난 스펙트럼 분포가 조제날짜가 오래될수록 더 낮은 channel에서 스펙트럼 분포가 형성되어 나타나는 것을 알 수 있다. B그룹의 B-1는 실험 시작 일에 조제한 Xylene으로 가장 이상적인 스펙트럼 분포를 보이고 있으며 B-2는 제 1용질, 제 2용질, 나프탈렌이 전혀 없는 순수 Xylene으로 어떠한 스펙트럼도

나타나지 않았다. C그룹의 Mineral oil의 스펙트럼에서도 역시 유효기간이 오래된 것일수록 작은 차이지만 스펙트럼의 분포가 좀 더 낮은 channel에서 형성되는 것을 알 수 있었으며 C2와 C3에서 섬광체의 햇빛에 노출여부에 따른 스펙트럼의 분포 차이는 크게 보이지 않는다는 것을 알 수 있다. Fig. 4의 D 그룹의 High Efficiency Mineral Oil에서는 앞의 Mineral oil보다 더 선명한 스펙트럼 분포를 보였으며, H-3측정에 이용되는 섬광체는 ^{222}Rn 과 딸핵종 폴로늄-214, 폴로늄-210의 스펙트럼 분포가 잘 구분이 되지 않으며 전체적으로 더 낮은 channel에서 스펙트럼 분포가 시작된다는 것을 알 수 있었다. 모든 섬광체 종류의 측정결과와 정량적인 결과값을 Table 1에 나타내었고 Counts값과 표준편차를 제시하였고 Fig 3,4는 LSC에서 측정한 결과값들을 데이터 분석프로그램인 Origin 6.1을 이용하여 나타내었다.

IV. DISCUSSION

천연 방사성핵종인 ^{222}Rn 이 물이나 공기를 통해 인체에 흡수되었을 때 인체에 유해하다는 결과는 이미 여러 단체에서 보고되고 있다.^[17,18] 이에 지속적인 관찰과 주의가 요구되고 국민들의 불안감을 해소하고 보다 정확한 측정이 필요하다.

본 연구에서는 한 종류의 섬광체를 이용하여 ^{222}Rn 을 측정한 다른 선행연구에 비해 많은 섬광체를 이용하여 측정한 결과값들을 비교함으로써 본 연구의 의미를 두었다.^[19] 부산대학교 내에 위치한 민간급수시설의 동일한 지하수 시료를 대상으로 실험하였으며, ^{222}Rn 농도를 측정하는데 일반적으로 사용되는 Wallac의 액체섬광계수기 Quantulus 1220만을 사용하였다. 하지만 추후 연구에서는 ^{222}Rn 농도를 측정을 위한 다른 장비와의 비교를 통해 같은 지점에서 채취한 시료에서 검출된 ^{222}Rn 농도의 정확성을 평가할 필요가 있으며 본 실험에서는 기존에 희석이 된 섬광체를 이용하여 그 제조시간의 구분에 있어 한계가 있었으며 추가 실험을 통해 제조된 시간에 따른 ^{222}Rn 농도 검출 비교 뿐 아니라 제 1용질 및 제 2용질의 희석용량에 따른 더 많은 결과값 분석을 통해 합리적인 섬광체의 제조

용량을 밝히는 연구가 필요하다고 사료된다.

V. CONCLUSION

이번 실험은 ^{222}Rn 에서 방출되는 알파, 베타선의 효과적인 분리 측정이 가능한 극저준위 액체섬광계수기에 사용되는 여러 섬광체를 조제날짜와 유효기간, 방치시간에 따른 ^{222}Rn 과 그 딸핵종의 검출값을 섬광체 별로 비교 분석하였다. 본 연구 결과에서 당연한 결과로 제조시기가 오래된 섬광체에서는 확인한 성능이 떨어짐을 확인하였다. 하지만 본 연구결과를 통해서 동일한 시료를 측정하였지만 섬광체의 종류, 특히 제조하여 사용하는 자일렌 계열의 섬광체는 제조비율에 따라 그 결과의 차이가 있음을 확인하였다. 이 연구결과를 바탕으로 한 종류의 섬광체를 이용한 측정결과도 신뢰성이 있지만 측정결과에서 보듯이 크고 작은 차이는 발생한다. 따라서 액체섬광계수기에서 사용되는 섬광체는 사용목적에 따라 구분해서 사용해야 하며, 섬광체 구입시점과 측정시점을 짧게 하고 상용화된 섬광체를 구입해 사용할 경우 스펙트럼 피크에 대한 channel 선택을 올바르게 함으로써 보다 더 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다고 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 부산대학교 2019년 기본연구지원사업(2년)의 지원을 받아 수행되었다.

References

- [1] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Groundwater management plan*, pp. 18-25, 2012.
- [2] J. Y. Lee, "A review on occurrence, health risk and mitigation measure of uranium, radium and radon in groundwater," *The Geological Society of Korea*, Vol. 44, No. 3, pp. 341-352, 2008.
- [3] National Research Council, *Risk Assessment of Radon In Drinking Water*, The National Academies Press, Washington D. C., pp. 5-8, 1999.
- [4] Office of Radiation and Indoor Air, *EPA Assessment of Risks from Radon in Homes*, United States Environmental Protection Agency, Washington D. C.,

- pp. 14-15, 2008.
- [5] G. M. Kendall, T. J. Smith, "Dose to organs and tissues from radon and its decay products," *Journal of Radiological protection*, Vol. 22, No. 4, pp. 389-406, 2002.
- [6] S. Y. Cho, J. Y. Lee, D. H. Kim, S. H. Kim, J. P. Park, Establishment of Radon High Exposure Path Management System, Ministry of Environment, pp. 1-2, 2010.
- [7] J. Y. Lee, "A review on occurrence, health risk and mitigation measure of uranium, radium and radon in groundwater," *The Geological Society of Korea*, Vol. 44, No. 3, pp. 341-352, 2008.
- [8] J. S. Cho, H. M. Lee, S. W. Kim, J. S. Kim, "A Study on the Variation of Rn-222 Concentration in Groundwater at Busan-Geumjeong area," *The Korean Association for Radiation Protection*, Vol. 37, No. 3, pp. 149-158, 2012.
- [9] J. S. Cho, J. K. Ahn, H. C. Kim, D. W. Lee, "Radon concentrations in groundwater in Busan measured with a liquid scintillation counter method," *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 75, No. 1, pp. 105-112, 2004.
- [10] Korean Association for Radiation Application, Radiation handling technology, Korean Association for Radiation Application, Seoul, 2016.
- [11] T. S. Park, P. J. O, J. M. Lee, H. Y. Hwang, M. K. Lee, Development of Liquid Scintillation Counting System, Ministry of Science and ICT, 1996.
- [12] J. E. Noakes, F. Schonhofer, H. A. Polach. *Liquid Scintillation Spectrometry*, Radiocarbon, Vienna, 1992.
- [13] G. F. Knoll, Radiation detection and measurement, 4th Ed., Jogn Wiley & Sons, New Jersey, 2010.
- [14] D. Horrocks, Application of liquid scintillation counting, Academic press, Massachusetts, pp. 19-32, 1974.
- [15] S. Chalupnik, O. Meisenberg, L. Bi, J. Wang, K. Skubacz, J. Tschiersch, "Measurements of radon and thoron decay product in air an application. An application of LSC and TLD methods," *Romanian Journal of Physics*, Vol. 58, pp. S62-S72, 2012.
- [16] D. L. Horrocks, *Application of Liquid Scintillation Counting*, New York and London Academic Press, pp. 35-67, 1974.
- [17] M. Orabi, "Radon Release and its Simulated Effect on Radiation Dose," *Health Physics*, Vol. 112, No. 3, pp. 294-299, 2017.
- [18] Kim Yong-Je, Lee kil-Young, "Optimal Method of Radon Analysis in Groundwater using Ultra Low-Level Liquid Scintillation Counter," *Journal of Soil and Groundwater Environment*, Vol. 11, No. 5, pp. 59-66, 2006.
- [19] R. Bohm, A. Dedlak, M. Bulko, K. Holy, "Radon as a Tracer of Lung Change Induced by Smoking," *Risk Analysis*, Vol. 9, pp. 378-391, 2019.

저 준위 액체섬광계수기를 이용한 섬광체 종류에 따른 ^{222}Rn 농도 변화 연구

전재완,¹ 이득희,² 김진섭^{3,*}

¹인제대학교 해운대백병원 방사선종양학과

²인제대학교 부산백병원 방사선종양학과

³부산대학교 지질환경과학과

요약

오늘날 경제의 발전과 함께 여러 가지 환경 문제가 발생했다. 자연스레 사람들은 환경에 대한 관심이 높아졌으며 특히 식수에 대한 안전성과 오염도 조사에 대한 중요성이 부각되고 있다. 우리나라 국민들이 식수로 이용하는 지하수에서 우라늄 및 ^{222}Rn 이 다수 지역에서 검출되고 있다. 따라서 이 연구는 지하수 내 포함된 ^{222}Rn 농도를 측정하는데 보다 정확한 측정을 위한 방법을 알아보려고 한다. 실험은 알파, 베타 펄스의 분석이 용이한 펄스파형분석 기능을 가진 저 준위 액체섬광계수기를 이용하여 실험하였다. 지하수 시료와 혼합하는 섬광체의 조제, 유효기간은 시간이 지날수록 검출값은 낮아지고, 에너지 스펙트럼도 낮은 쪽으로 channel 이동이 있었다. 섬광체의 구입시기가 오래 될수록, 개봉한 후 방치시간이 지날수록 검출값이 낮아짐을 확인했다. 사용목적이 다른 섬광체를 사용했을 경우 channel 이동으로 에너지를 확인할 수 있다.

중심단어: ^{222}Rn , 섬광체, 지하수, 액체섬광검출기

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	전재완	해운대백병원 방사선종양학과	진료지원교수
(공동저자)	이득희	부산백병원 방사선종양학과	방사선사
(교신저자)	김진섭	부산대학교 지질환경과학과	교수