

LSC를 이용한 전알파 분석법 연구

주병규 · 김문수 · 김현구 · 김동수 · 김영록 · 정도환 · 양재하 · 박선화 · 김태승*

국립환경과학원 토양지하수연구과

Study on The Gross Alpha Analysis Method with LSC

Byoung Kyu Ju¹ · Moon Su Kim¹ · Hyun Koo Kim¹ · Dong Su Kim¹ · Young Rok Kim¹
Do Hwan Jeong² · Jae Ha Yang¹ · Sun Hwa Park¹ · Tae Seung Kim^{1*}

¹Soil and Groundwater Division, National Institute of Environmental Research

²Monitoring and Analysis Division, Wonju Regional Environmental Office

ABSTRACT

In order to study gross alpha analysis method using LSC, the efficiency tests with uranium standard materials were performed and then compared with the GPC method (US EPA 900.0 method) using 15 groundwater samples. For 15 groundwater samples, the average efficiencies of the GPC and LSC method were 7~11% and 90%, respectively. The average precisions of the GPC and LSC method were 16.16% and 6.00%, respectively. Also, The average standard deviations for 15 samples were 7.38 pCi/L and 2.95 pCi/L, respectively. The determination coefficient of the tested results by two methods was 0.9948. As a result, the LSC method tested in this study was applicable for the screening of the gross alpha and showed the advantages in the gross alpha measurement due to the simple measurement procedures.

Key words : Gross alpha, Total alpha, Groundwater, GPC, LSC

1. 서 론

음용수 중 전알파는 우라늄과 라돈을 제외한 모든 알파 입자를 합한 값을 말하며 미국 환경청의 기준치는 15 pCi/L이다(US EPA, 2000). 우라늄과 라돈은 알파입자를 방출하는 핵종이지만 미국 환경청 전알파 기준에서 제외된 이유는 우라늄 기준치를 30 µg/L, 라돈은 4,000 pCi/L의 제안치로 각각 관리하고 있기 때문이다(Shin et al., 2002; US EPA, 1999). 방사성 핵종이 알파붕괴를 하면 질량수 4와 원자번호 2가 감소하면서 딸핵종과 알파입자가 발생되는데 이때 알파입자는 속도가 매우 느리고 투과력이 약해 체내로 들어오기 어렵다. 하지만, 호흡이나 음용을 통해 체내로 유입될 경우 위험을 줄 수 있다(US EPA, 2000; WHO, 2011). 미국 환경청은 일정 농도를 초과하는 전알파가 함유된 물을 지속적으로 수년간 음용할 경우 발암의 가능성을 언급하고 있다(US EPA, 2000). 또한, 전알파는 우라늄과 라돈을 제외한 다른 방사성물질

의 존재여부를 스크리닝 하는 잣대로도 중요하다(US EPA, 2000; WHO, 2011). 세계보건기구에서는 음용수 중 전알파를 guideline이 아닌 screening level(0.5 Bq/L)로 관리하고 있으며, 0.5 Bq/L를 초과할 경우 각각의 방사성 물질을 분석하도록 규정하고 있다(WHO, 2011).

미국 환경청이 공인하는 음용수 중 전알파 분석법은 증발법과 공침법으로 나눌 수 있다. 증발법은 EPA 900.0, EPA 00-01, Standard Methods 7110B, USGS R-1120-76이 있으며, 실험방법은 일정량의 시료를 증발농축시킨 다음 잔여물을 planchet(스테인리스 스틸 재질의 원형 접시)에 정량적으로 옮긴 후 Gas-flow Proportional Counter (GPC, 기체흐름비례계수기)로 측정하는 방법이다(US EPA, 2000). 공침법은 EPA 00-02, Standard Methods 7110C가 있으며, 실험방법은 시료 중의 알파입자를 방출하는 방사성물질과 결합할 수 있는 물질(carrier)을 주입하여 공침시킨 후 여과지에 걸러 Liquid Scintillation Counter (LSC, 액체섬광계수기) 혹은 GPC로 측정하는 방법이다

*Corresponding author : tskim99@korea.kr

Received : 2014. 4. 15 Reviewed : 2014. 5. 28 Accepted : 2014. 5. 28

Discussion until : 2014. 8. 31

(US EPA, 2000). 전알파 시험방법에 대해 미국 환경청이 요구하는 전알파의 검출한계(Detection Limit)는 3 pCi/L 이다(US EPA, 2000).

International Organization for Standardization(ISO)는 음용수 중 전알파 분석법으로 증발법을 제시하고 있다. ISO 9696(KS I ISO 96965)은 미국 환경청에서 제시하는 증발법과 같은 방법이며, ISO 11704는 시료를 일정량 까지 증발시킨 후 농축된 시료를 카테일용액(방사성물질을 포집할 수 있는 용매; 다양한 제품이 있음)과 혼합한 후 LSC로 측정하는 방법이다.

이외에 물 중 전알파 분석방법에 대한 다양한 문헌이 보고되고 있다. 국외에서는 Troja et al.(1995)가 알파입자를 측정하는데 GPC를 이용하였고 정확도를 높이기 위해 기기전압을 다양하게 설정하여 최적의 조건을 비교하였다. Al-Masri and Blaxkbun(1994)은 GPC, LSC, Gamma Ray Spectrometry(GRS)를 이용한 분석방법을 비교하여 각각의 장단점을 제시하였다. Happel et al.(2004)은 알파입자뿐만 아니라 악티나이드 계열에 강한 친화력이 있는 resin을 이용하여 높은 효율 및 정밀도를 달성하였다. Semkow et al.(2004)는 EPA 900.0의 시험방법에 대해 효율과 정확도를 향상시키기 위해 planchet의 표면변형 및 증발과정을 두 단계로 설정하여 분석하였다. Kleinschmidt (2004)는 증발과정의 간섭을 줄이기 위해 시료가 담긴 vial을 block heater에 넣은 채 건조한 후 잔여물을 인산(H_3PO_4)으로 회수하여 LSC로 분석하였다. Wisser et al.(2006)은 시료를 동결건조하여 섬광용액과 혼합 후 LSC로 측정하는 혁신적인 방법을 개발하였다. 또한 Palomo et al.(2011)은 LSC를 이용하여 측정결과에 영향을 주는 여러 인자들에 대해 연구하였다.

국내에서는 GPC를 이용한 증발법으로 전알파를 측정하여 보고한 사례가 있으나(Jeong et al., 2011), LSC 방법으로 연구한 사례는 찾기 힘들다. 국외에서는 위에서 언급한바와 같이 다양한 연구가 진행되었으나 두 기기를 이용하여 결과를 비교한 연구가 부족하다. 또한 LSC는 일반적으로 미국 환경청 및 국내외에서 라돈을 측정하는데 이용되기 때문에 전알파를 효율적으로 분석할 수 있다면 하나의 장비로 두 항목을 분석하는 경제적인 방법이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 표준물질을 이용하여 두 기기별 실험방법의 효율을 측정하고, 총알파 값(라돈값만을 제외하고 모든 알파입자를 합한 값)의 농도가 저농도, 중간농도, 고농도로 분포하는 15개 지하수 시료에 대한 분석결과를 비교평가하였다. 또한, 분석 결과를 토대로 미국 환경청의 공인 시험법인 GPC를 이용한 증발법(US

EPA, 1980)과 본 연구에서 적용한 LSC 증발법을 비교·평가하였다.

2. 지점선정 및 시료채취

2007~2009년 까지 마을상수도를 대상으로 분석된 730 개 지하수의 전알파 농도 중앙값은 1.16 pCi/L이며, 지질별로는 화강암지질대에서 가장 높은 값을 나타냈다(Jeong et al., 2011). 따라서 고농도 및 중간농도 조사지역으로 화강암 지질대에 위치하면서 시료채취가 가능한 대전, 인천, 인천 지역의 지하수를, 저농도 조사지역으로 편암 지질대에 위치한 청원지역의 지하수를 대상으로 각각 5개씩 선정하기 위해 사전조사를 수행하였다. 사전조사에서는 미국 환경청 공식분석법인 GPC를 이용한 증발법으로 총알파를 분석하여 분류하였다. 농도 분류를 총알파값으로 한 이유는 총알파값에서 우라늄값을 제외했을 경우 전알파 값이 음의 값이 나올 경우가 있는데, 이는 우라늄 동위원소 중 ^{234}U 의 영향으로 물 중 $^{234}U/^{238}U$ 비를 1:1로 가정했기 때문이다(US EPA, 2000). 사전조사 결과에서 총알파값이 저농도(10 pCi/L 미만), 중간농도(10 pCi/L 이상~50 pCi/L 미만), 고농도(50 pCi/L 이상)인 지점을 각각 5개씩 선정하였다. 시료채취방법은 지하수의 수질이 충분히 안정화 된 상태에서 1 L를 채수병(poly ethylene)에 담은 후 질산(HNO_3)을 첨가하여 pH를 약 2이하로 유지하면서 실험실로 가져왔다(US EPA, 1980).

3. 실험방법 및 결과

3.1. GPC를 이용한 증발법

본 연구에서 사용한 GPC 기종은 TennelecTM Series 5(CANBERRA)로 Background값이 낮고 알파·베타입자를 분석할 수 있다. 전알파 분석에 앞서 기기를 보정하기 위해 표준선원인 Am-241(29,370 dpm)을 이용하여 Alpha Plateau 과정을 수행하는데 곡선의 기울기가 2.5%이하인 지점을 적절한 알파 동작전압을 설정(660 Voltage)하였다. Background는 빈 planchet을 30분씩 3회 측정된 결과 평균값이 0.01 CPM으로 매우 낮게 나타났다. 효율값은 Eckert & Ziegler사에서 생산한 고형표준선원인 Am-241을 30분씩 3회 측정된 결과 평균값이 29.03%로 나타났다. 위 결과를 이용하여 시료량 150~200 mL를 기준으로 Minimum Detectable Activity(MDA)를 산정한 결과 1.36~1.81 pCi/L로 나타나 미국 환경청에서 요구하는 3 pCi/L를 만족하였다(US EPA, 2000).

GPC를 이용한 증발법은 planchet의 고형물을 직접 측정하는 방법으로 알파입자가 고형물을 투과하기 어렵기 때문에 총 용존 고형물 Total Dissolved Solid(TDS)의 양에 의해 제한을 받는다. 만일 TDS가 매우 높을 경우 효율은 크게 감소하게 된다. 일반적으로 2-inch 직경인 planchet의 경우 TDS가 100 mg을 초과하지 않도록 해야 한다(US EPA, 1980). 이러한 이유로 미지의 시료들을 같은 부피로 증발건조 하더라도 각각의 TDS가 다르기 때문에 TDS 효율곡선(TDS efficiency curve)식을 만들어 농도를 계산해야한다. TDS 효율곡선식을 구하기 위해서는 알파입자를 방출하는 표준물질을 이용하는데 반감기가 긴 물질을 이용해야 시간에 따른 농도값의 변화가 크지 않다. 본 연구에서는 The National Institute of Standards and Technology(NIST) Standard Reference Materials(SRM) 4321C(486.2 Bq/g) 우라늄 표준물질을 이용하였다. 우라늄 표준물질을 10배 희석하여 1 g씩을 7개의 planchet에 각각 넣은 후 수돗물을 주입하면서 hot plate에서 증발건조한다. 여기에서 사용한 수돗물은 지표수를 원수로 정수처리 과정을 거쳤기 때문에 주입한 우라늄 농도에 영향을 주지 않는다고 판단된다. TDS의 범위를 각각 다르게 하기 위해 수돗물을 주입하는 양은 다르게 하였고 건조과정 중간에 전자저울로 TDS의 무게를 측정하여 주입량을 조절하였다. 본 연구에서는 수돗물 주입량을 조절하여 7개 planchet의 TDS를 10.8 mg, 23.8 mg, 46.7 mg, 53.4 mg, 70.1 mg, 88.6 mg, 96.9 mg로 만들었다. 7개의 제작된 planchet을 오븐(2 hr, 105°C)에서 건조시키고 데시케이터에서 3일간 안정화를 시킨 후 GPC로 30분간 3회씩 효율을 측정하여 곡선식을 구하였다(Fig. 1).

효율곡선식을 보면 7개 planchet에 주입한 우라늄 농도는 같으나 TDS에 알파입자가 투과하기 어려워 측정된 효율이 다르다는 것을 알 수 있다. 시료의 최종적인 농도계산은 TDS 범위 내에서 산정된다.

GPC를 이용한 전알파 시험법은 Fig. 2에 나타냈다. 이 방법은 미국 환경청 method 900.0을 따른 것이다. 먼저 pH 2이하로 전처리된 일정량의 시료를 비커에 넣고 hot plate위에서 15~30 mL가 될 때까지 증발 건조시킨다. 미리 무게를 측정한 planchet에 농축된 시료 전량을 옮긴다. 시료가 담긴 planchet을 hot plate 위에 정치시킨 후 시료가 튀지 않도록 온도를 끓는점 이하인 약 90°C 이하로 유지하며 증발건조시킨다. 고형물이 planchet 바닥에 평평하고 균질하게 형성이 되어야 효율이 증가할 수 있으므로 주의한다. 고형물을 균질하게 형성시키는 방법은 건조시 planchet을 서서히 움직여주면서 시료가 골고루 퍼지도록

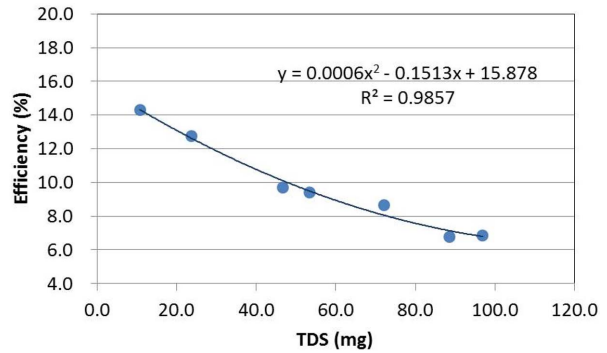


Fig. 1. TDS efficiency curve.

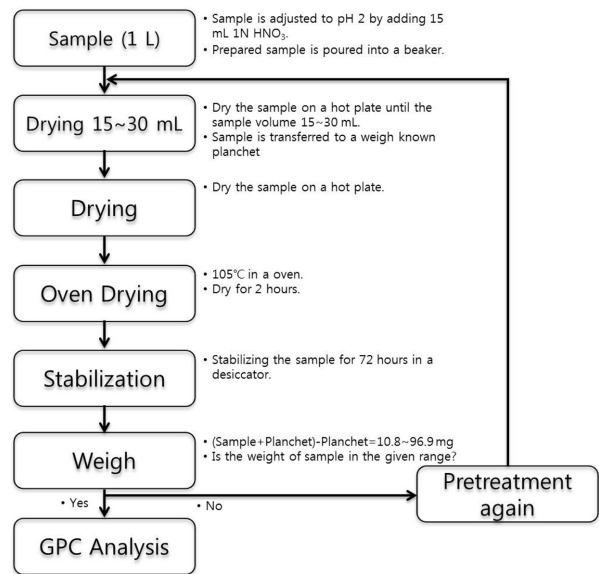


Fig. 2. Schematic diagram of evaporation method using GPC.

하는 방법이 있다. 또한 모래나 알루미늄과 같은 단단한 결정을 미끌미끌한 planchet 바닥면에 충격하여 표면을 다소 거칠게 만들어서 건조시키게 되면 고형물을 균질한 형태로 만들 수 있다(Semkow et al., 2004). 완전히 건조된 시료는 오븐에서 105°C로 2시간 동안 건조한 후 데시케이터에서 72시간 이상 안정화시키면서 시료 내 수분을 완전히 제거한다. 위의 증발 및 안정화 과정으로 물 중 존재하는 기체인 라돈이 제거된다.안정화된 planchet은 무게를 측정한 후 초기에 측정한 무게를 제외하여 TDS의 양을 확인한다. TDS의 양이 효율곡선식의 무게 범위에 포함되면 GPC로 측정하고 그렇지 않다면 시료량을 줄여 전처리 과정을 다시 수행한 후 무게를 측정한다. GPC로 측정된 측정시간에 따른 계수값은 Counts Per Minute (CPM)으로 표현된다. CPM값은 농도계산식 식 (1)에 대입하여 최종농도를 산정한다.

$$A(pCi/L) = \frac{C_s - C_b}{2.22 \times E \times V} \quad (1)$$

2.22 : dpm/pCi으로 구한 변환상수

t_s : 시료측정시간(min)

t_b : blank 측정시간(min)

C_s : 시료 측정 계수값(counts)

C_b : blank 측정 계수값(counts)

E : 측정효율

V : 시료량(L)

3.2. LSC를 이용한 증발법

LSC를 이용한 전알과 시험법은 Fig. 3에 나타났다. 먼저 pH 2이하로 전처리된 일정량의 시료를 테플론 비커에 넣고 시료가 튀지 않을 정도로 온도를 조절하여 hot plate위에서 고형물이 될 때까지 완전히 증발 건조시킨다. 이 과정으로 시료 중 라돈이 제거된다. 건조된 고형물은 1 N HCl 1 mL를 첨가하면 쉽게 녹는다. 고형물이 녹은 1 mL 용액을 12 mL 카테일 용액(optiphase highsaf 3, perkin elmer)을 미리 넣어둔 22 mL poly ethylene vial에 정량적으로 옮긴다. 테플론 비커에 회수되지 않고 남아있을 수 있는 고형물을 증류수 7 mL를 이용하여 2회에 걸쳐 최대한 회수한 후 vial에 정량적으로 옮긴다. 이 때 시료와 카테일 용액의 부피비는 8:12이다. vial을 30회 이상 세 개 흔들어 시료와 카테일 용액을 혼합시킨다. 72 시간 동안 안정화시킨 후 PSA 100에서 LSC (Quantulus 1220, perkin elmer)로 30분간 3회 측정한다. 측정된 CPM 값은 식 (1)에 대입하여 전알과 농도를 산정한다.

본 연구에서 수행한 방법은 ISO 11704와 유사하지만, ISO 11704 방법은 시료를 일정량까지 증발건조시킨 후 액체인 상태로 카테일 용액과 혼합하여 LSC로 측정한다. 하지만 본 실험방법은 시료를 비커에서 완전히 건조시킨 후 약산으로 회수한 다음 카테일 용액과 혼합하여 LSC로 측정하였다(Fons et al., 2013; Fig. 3). ISO 방법은 증발 건조과정에서 시료가 완전히 건조되면 실험을 다시 수행해야하는 단점이 있지만 본 실험방법은 완전 건조 후 실험을 진행하기 때문에 실험자가 증발건조되는 과정을 계속 지켜보지 않아도 된다. 또한, 본 연구에서 사용한 poly tetra fluoro ethylene(PTFE) 비커는 바닥에 붙어있는 잔여물에 소량의 산을 첨가하여 회수 후 측정할 경우 높은 효율을 보였다. PTFE 재질은 산과 염기에 안정하고 다른 물질과 붙지 않는 성질이 있어 고형물을 회수시 유리하기

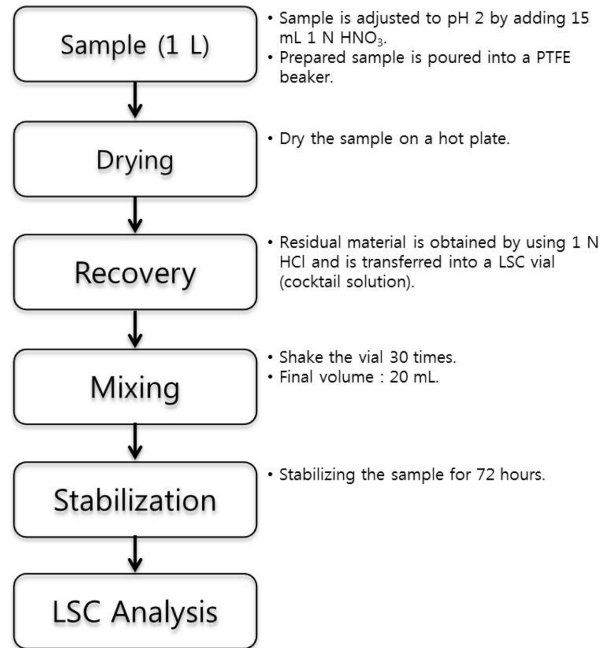


Fig. 3. Schematic diagram of evaporation method using LSC.

때문에 본 연구에서 사용하였다. 하지만 회수 시 주입되는 산의 농도가 높거나 양이 많을 경우 측정효율을 저해시킬 수 있어 주의해야한다(Palomo et al., 2011).

방사성 세기를 알고 있는 NIST 우라늄 표준용액을 구하지 못해 ICP용 우라늄 표준용액(SCP Science)의 CPM 값을 측정 후 효율을 구하였다. 조제한 10 µg/L 우라늄 표준용액 1 mL를 카테일용액 12 mL가 담긴 vial에 넣고 증류수 7 mL를 첨가 후 전처리과정을 거치지 않고 LSC로 3회 측정된 결과 평균값이 9.41 ± 0.27 CPM이었다. 이후 2개 증류수 200 mL에 우라늄 표준용액 1 mL를 첨가한 후 시료분석과정과 같은 방법을 수행하였다. 이후 30분에 3회 측정하여 평균 CPM값을 구하고 전처리과정을 거치지 않은 초기 CPM값과 실험과정을 거친 나중의 CPM값을 나누어 효율값을 산정한 결과 $90.26 \pm 0.94\%$ 로 나타났다(Table 1). Background 값은 3차 증류수를 이용하여 측정된 결과 0.085 CPM으로 나타났다. 위의 결과를 이용하여 산정한 MDA는 0.11 pCi/L이다.

4. 결과 및 고찰

15개 시료를 고농도, 중간농도, 저농도 별로 각각 5개씩 두 시험법으로 분석한 결과를 Table 2에 제시하였다. 시료의 양은 GPC 분석법의 TDS 효율곡선범위를 고려하여 조절하였다. 두 시험법의 효율을 비교해보면 LSC법의 평

Table 1. Efficiencies using LSC method

Number	Measuring time (min.)	*Standard material value (DPM)	Analysed value (CPM)	Efficiency (%)
1	30	9.41	9.13	96.95
	30		8.51	90.44
	30		7.66	81.40
2	30		9.03	95.87
	30		7.70	81.76
	30		8.96	95.15

*uranium : 9.41 DPM

Table 2. Total alpha activity values and standard deviation, precision, and efficiency values of 15 groundwater samples

Sample	Activity (pCi/L) by GPC	Activity (pCi/L) by LSC	S.D. (pCi/L) by GPC	S.D. (pCi/L) by LSC	Volume (ml)	TDS (mg)	Precision (%) by GPC	Precision (%) by LSC	eff. (%) by GPC	eff. (%) by LSC
1	6.21	4.81	1.90	0.96	200	96.7	30.56	19.93	6.86	
2	6.21	5.35	2.04	1.23	200	81.7	32.80	22.97	7.52	
3	9.42	4.73	2.47	0.15	200	84.8	26.25	3.11	7.36	
4	6.22	4.22	2.04	0.55	200	81.8	32.80	13.09	7.52	
5	5.88	4.36	2.18	0.13	200	83.2	37.10	2.95	7.44	
6	22.62	23.38	4.00	1.79	250	76.7	17.68	7.66	7.80	
7	20.69	25.96	1.09	0.68	200	43.9	5.27	2.60	10.39	
8	25.15	19.64	2.29	0.13	200	34.8	9.11	0.66	11.34	*90.26
9	26.71	22.70	2.22	0.48	200	43.7	8.31	2.12	10.41	
10	29.94	24.68	5.32	1.44	200	44.9	17.78	5.82	10.29	
11	372.56	405.62	16.01	5.84	150	50.5	4.30	1.44	9.77	
12	353.32	413.90	30.87	6.78	150	47.3	8.74	1.64	10.06	
13	309.85	386.17	10.78	9.69	150	53.7	3.48	2.51	9.48	
14	320.78	407.16	15.13	8.76	150	49.5	4.72	2.15	9.86	
15	349.06	407.21	12.32	5.35	150	50.3	3.53	1.31	9.79	

*The average efficiency of two standard materials

균 효율은 $90.26 \pm 0.94\%$ 로 나타난 반면 GPC법의 효율은 TDS의 영향을 받아 6.86~11.34%로 나타났다. 산정된 효율값은 식 (1)의 분모에 반영되어 농도산정 시 보정이 되지만 효율값이 낮을 경우 적은 측정결과의 편차에도 결과값이 크게 보정될 수 있는 단점이 있다. 또한 효율값은 TDS에 직접적인 관계가 있기 때문에 무게측정 시 적은 편차에도 최종 농도값에 큰 영향을 줄 수 있다. LSC법의 평균 효율값은 표준용액을 사용하여 구한 값을 모든 시료 분석 시 효율값으로 추정하여 사용하기 때문에 표준시료를 다수 측정하여 평균값을 사용해야 한다. 또한 시료를 액상이 아닌 고상에서 녹인 후 회수하기 때문에 실험자에 따른 편차가 발생할 수 있어 주의가 필요하다. 결과적으로 GPC법의 낮은 효율값은 검출한계를 만족시키기 위해 시료량과 측정시간을 증가시켜야 할 수 있는 단점이 있으

나 LSC법은 검출한계에 보다 유연한 장점을 보였다.

두 시험법으로 15개의 시료를 측정된 결과 저농도인 1~5번 시료의 경우 GPC법이 LSC법에 비해 다소 높은 농도를 보였다. 저농도의 경우 GPC법이 LSC법에 비해 유리한 것으로 보일 수 있으나 GPC법의 효율이 낮고 편차가 큰 것을 감안하면 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 중간농도인 6~10번 시료는 두 시험법의 결과가 다소 유사하게 나타났으며, 고농도인 11~15번 시료의 경우 LSC법이 GPC법에 비해 다소 높은 농도를 보였다. 이 결과는 고농도 시료의 경우 LSC법이 GPC법에 비해 시료 중 알파입자를 보다 잘 검출하는 것으로 판단된다. 두 시험법의 결과가 다소 차이를 보이는 원인은 TDS에 영향을 받는 GPC법의 효율특성에 따른 것으로 예상된다. 이는 향후 표준물질을 이용한 농도별 반복실험을 통해 확인되어

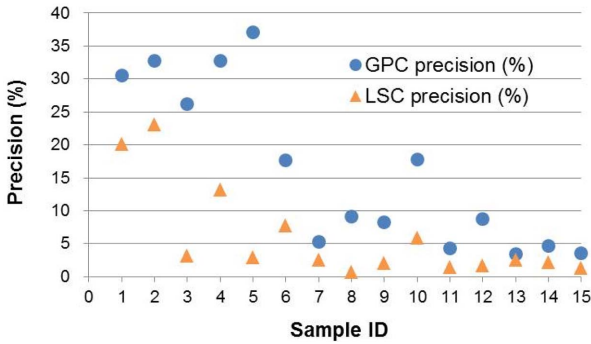


Fig. 4. Precision for two methods.

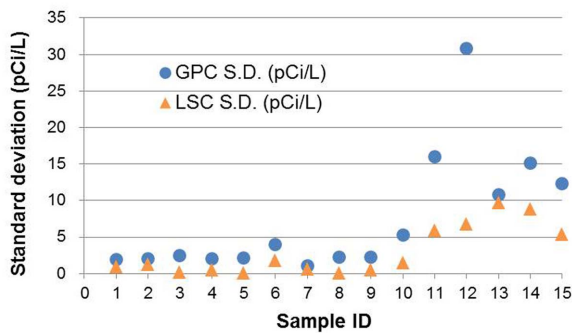


Fig. 5. Standard deviation for two methods.

야 할 부분으로 판단된다.

두 시험법의 정밀도 결과를 Fig. 4에 나타냈다. 정밀도 산정은 일반적인 공정시험법의 정도보증/정도관리에 제시되어 있는 식을 사용하였다(정밀도 = 표준편차 / 표준농도 * 100). GPC법의 정밀도는 3.48~37.10% 범위이며 LSC법의 경우 0.66~22.97% 범위를 가진다. GPC법은 저농도 시료의 경우 정밀도값이 26.25~37.10%로 나타났다.

두 시험법의 표준편차 그래프는 각 시료를 3회 반복 측정된 결과로 산정하여 Fig. 5에 나타냈다. LSC를 이용한 시험법의 표준편차가 모든 시료에 대해 낮았다. GPC법의 경우 저농도 시료의 표준편차가 중간농도 시료의 표준편차만큼 컸다. 또한 고농도 시료의 표준편차는 GPC법이 LSC법에 비해 큰 폭으로 높았다. GPC법으로 분석한 5개 저농도의 표준편차값은 원농도에 대비하여 약 31.32%를 나타냈다.

두 시험법의 상관관계 그래프는 Fig. 6에 제시하였다. 두 시험법의 결정계수 R^2 값은 0.9948로 LSC법의 적용 가능성을 보여주었다. 더 많은 시료를 추가적으로 분석한다면 보다 의미있는 추세를 확인할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 LSC로 라돈을 측정한다고 가정했을 때 전알파도 LSC로 분석한다면 비용경제적인 면에서 장점을 보

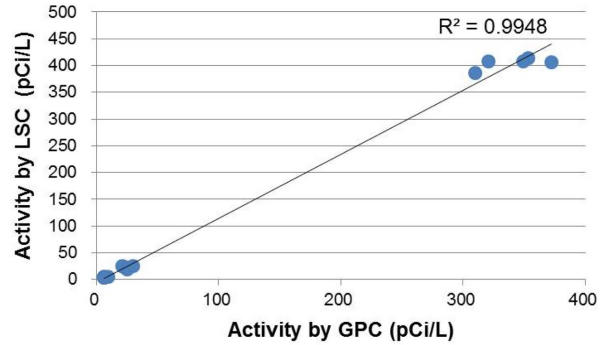


Fig. 6. The determination coefficient of total alpha between two methods.

일 것으로 판단된다.

4. 결 론

두 가지 전알파 시험법을 비교하기 위해 미국 환경청 공식 시험법인 GPC를 이용한 방법과 본 연구에서 적용한 LSC를 이용한 방법으로 효율측정 및 시료분석을 수행하였다. 스크리닝의 목적에 있어서 두 시험법 모두 간편하고 다수의 시료를 전처리하는데 문제가 없을 것으로 판단된다. GPC법의 경우 알파입자가 TDS에 영향을 받기 때문에 효율을 측정하는데 번거로움이 있었다. 또한 TDS의 양에 따라 시료량의 제한을 받기 때문에 저농위 시료를 분석할 경우 검출한계를 만족시키기 위해 측정시간을 늘려야하는 제한점이 있다. LSC법은 표준용액을 사용한 실험방법에 대한 효율이 약 90%로 높으나, 개별 시료 분석시 실제 효율값이 아닌 추정값을 사용하는 한계를 가질 수 있기 때문에 표준시료를 다수 측정하여 평균값을 사용해야 한다. 또한 시료를 액상이 아닌 고상에서 녹인 후 회수하기 때문에 실험자에 따른 편차가 발생할 수 있어 주의가 필요하다. 정밀도와 정확도는 모두 LSC의 방법이 높은편으로 나타나 안정된 결과를 보여주었다. 특히 일반적인 공정시험방법의 정밀도가 20% 이내, 정확도가 80~120% 범위 인 것을 감안하면 LSC법이 장점이 큰 것으로 판단된다. 두 시험법으로 분석한 15개 시료에 대한 총알파 값은 전반적으로 유사하게 나타났다. 두 시험법의 상관관계는 0.9948로 유사하게 나타나 미국 환경청 공식 시험법인 GPC법에 대해 LSC법의 적용가능성을 보여주었다. LSC법의 검출한계는 0.11 pCi/L로 우리나라의 배경농도가 높지 않을 것을 감안하면 장점이 될 것으로 판단된다. 또한, 국·내외에서 라돈은 일반적으로 LSC로 분석하기 때문에 전알파 항목을 분석한다면 한 기계로 두 항

목을 분석하는 경제적인 방법이 될 것이다. 두 방법 모두 증발법을 이용하기 때문에 시료를 농축시키는 시간을 줄이는 방법 및 LSC법의 효율값 적용관련 추가 연구를 진행할 예정이다.

사 사

본 연구는 국립환경과학원 지하수환경영향평가 중 '지하수 중 자연방사성물질 함유실태 조사' 연구사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Al-Masri, M.S. and Blackburn, R., 1994, Radioanalytical methods for determination of alpha emitters in the environment, *Radiat. Phys. Chem.*, **47**, 171-175.
- Fons, J., Zapata-Garcia, D., Tent, J., and Llaurodo, M., 2013, Simultaneous determination of gross alpha, gross beta and ^{226}Ra in natural water by liquid scintillation counting, *J. Environ. Radioact.*, **125**, 56-60.
- Happel, S., Letessier, P., Ensinger, W., Eikenberg, J.H., Thakkar, A.H., and Horwitz, E.P., 2004, Gross alpha determination in drinking water using a highly specific resin and LSC, *Appl. Radiat. Isot.*, **61**, 339-344.
- ISO 9696, 1992, Water quality-Measurement of gross alpha activity in non-saline water-Thick source method.
- ISO 11704, 2010, Water quality-Measurement of gross alpha and beta activity concentration in non-saline water-Liquid scintillation counting method.
- Jeong, D.H., Lee, Y.J., Ju, B.K., Noh, H.J., Yu, S.J., and Kim, M.S., 2011, Study on Gross-alpha Characteristics of Groundwater for Drinking in Korea, *J. Soil Groundw. Environ.*, **16**, 67-73.
- Kleinschmidt, R.I., 2004, Gross alpha and beta activity analysis in water-a routine laboratory method using liquid scintillation analysis, *Appl. Radiat. Isot.*, **61**, 333-338.
- KS I ISO 9696, 2007, Water quality-Measurement of gross alpha activity in non-saline water-Thick source method.
- Palomo, M., Villa, M., Casacuberta, N., Penalver, A., Borrull, F., and Aguilar, C., 2011, Evaluation of different parameters affecting the liquid scintillation spectrometry measurement of gross alpha and beta index in water samples, *Appl. Radiat. Isot.*, **69**, 1274-1281.
- Semkow, T.M., Bari, A., Parekh, P.P., Haines, D.K., Gao, H., Bolden, A.N., Dahms, K.S., Scarpitta, S.C., Thern, R.E., and Velazquez, S., 2004, Experimental investigation of mass efficiency curve for alpha radioactivity counting using a gas-proportional detector, *Appl. Radiat. Isot.*, **60**, 879-886.
- Shin, D.C., Kim, Y.S., Moon, J.Y., Park, H.S., Kim, J.Y., and Park, S.K., 2002, International Trends in Risk Management of Groundwater Radionuclides, *J. Environ. Toxicol.*, **17**, 273-284.
- Troja, S.O., Cro, A., and Picouet, P., 1995, Alpha and Beta dose-rate determination using a gs proportional counter, *Radiat. Meas.*, **24**, 297-308.
- US. EPA. Method 900.0, 1980, Gross Alpha and Gross Beta Radioactivity in Drinking Water.
- US. EPA. NPDWRs, 1999; Radon-222; Proposed Rule. Federal Register, **64**, 211.
- US. EPA. NPDWRs, 2000; Radionuclides; Final Rule. Federal Register, **65**, 236.
- Wisser, S., Frenzel, E., and Dittmer, M., 2006, Innovative procedure for the determination of gross-alpha/gross-beta activities in drinking water, *Appl. Radiat. Isot.*, **64**, 368-372.
- WHO, 2011, Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition.