



PIN 포토다이오드를 활용한 지하수내 라돈 베타입자 측정장치의 적용성 평가

김규범^{1,*} · 임우석²

¹대전대학교 건설안전방재공학과

²(주)아이자랩

요 약

라돈(Rn^{222})은 자연상태에서 대기나 물에 존재하는데, 폐에 침투하여 암의 원인으로 작용한다. 공기 중의 라돈 농도 측정은 주로 알파선의 방출 에너지를 측정하여 이루어지나 본 연구에서는 지하수내에서 베타 입자를 카운트하는 방식을 적용한 PIN-포토다이오드를 활용한 계측기를 개발하였다. 현장 테스트 결과, 약 30분 정도의 연속 계측시 라돈 베타 입자의 방출량은 일정한 값을 유지하여 신뢰도를 확보하고 있으며, 실내 분석 결과와 계측 결과는 상관 관계($R^2 = 0.736$)를 보이는 것으로 나타났다. 향후 추가적인 현장 테스트를 통하여 계측기의 신뢰도 및 적용성을 제고하여 다양한 분야의 연구에 기여하고자 한다.

주요어: 지하수, 라돈, PIN 포토다이오드, 베타입자

Gyoo-Bum Kim and Woo-Seok Lim, 2017, Application of radon-beta particle measurement instrument in groundwater by using PIN photodiode. Journal of the Geological Society of Korea. v. 53, no. 6, p. 797-804

ABSTRACT: Radon (Rn^{222}) exists in the atmosphere and water in the natural world, and this element inflows into the lung to carry the risk of cancer. Radon concentration in the air is generally measured by the energy of alpha emission, but the method of beta particle counting, which is applicable in groundwater, is introduced in this study and PIN photodiode is used as a detector. As a result of field test, amount of beta particle counts is maintained constantly if a continuous measurement of 30 minutes is kept and also the relationship ($R^2 = 0.736$) exists between automatic measurement data and laboratory analysis result of radon concentration. In the future, more field tests will be conducted in order to increase the reliability and applicability of this equipment and it will be a contribution to diverse researches.

Key words: groundwater, radon, PIN-photodiode, beta particle

(Gyoo-Bum Kim, Daejeon University, Daejeon 34520, Republic of Korea; Woo-Seok Lim, IssaLab Co. Ltd., Daejeon 34016, Republic of Korea)

1. 서 언

라돈(Rn^{222})은 발생원에서부터 원거리를 이동하는 능력을 갖고 있고 낮은 농도의 값에서도 쉽게 인지될 수 있는 특성이 있어 지질, 지하수, 대기 등의 연구 분야에서 다양하게 활용되어 왔다. 또한, 라돈은 비수용성 불활성 기체로서 지하수내 라돈의 농도는 환경 추적자로서 이용되며, 라돈과 자핵종의 변화는 일반적으로 지열 지역, 활성 단층, 토양, 화산 활동, 지구조적 환경에서 나타난다. 라돈의 일반적인 측정 방

법은 전리작용을 이용하는 방법, 방전 효과를 이용하는 방법, 발광 효과를 이용하는 방법, 알파 입자의 스펙트럼 분석 방법, 감마선 분광법 등이 있다. 지하수내 라돈 측정 방법은 채수 후 밀폐된 용기에서 탈기한 상태에서의 방사성 붕괴시 발생하는 알파 입자를 검출하여 측정하는 방식이 주로 활용되고 있다.

라돈(Rn^{222})은 호흡을 통하여 폐에 침투하여 폐암의 주요 발생 원인으로 알려져 있으며, 국내의 지하수내 라돈에 대한 연구는 2000년대 이후 건강에 대한 관심 증대로 라돈 농도 분포 특성 및 발생 원인 파

* Corresponding author: +82-42-280-4804, E-mail: geowater@dju.kr

악 측면에서 주로 이루어졌다. 국내 지하수내 평균 라돈 함량은 우라늄 광물을 포함하는 화강암 지역이 가장 높고 옥천 변성암 지역이 그 다음으로 알려져 있으며(Cho *et al.*, 2007), 라돈 농도의 평가를 위해서는 짧은 반감기(3.825일), 관정의 심도 등을 고려해야 한다는 점을 제시한 바 있다(Jeong *et al.*, 2010). 이외에도 지하수를 수원으로 사용하는 간이상수도에서의 라돈 농도 분포 및 저감 기술 개발 등에 대한 연구가 수행된 바 있다(Cho *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2013). 이들 연구에서 지하수내 라돈 분석은 시료채취 후 실내 분석 또는 현장 수동 측정을 통하여 수행되었으며, 실시간 지하수내 라돈 농도의 직접 측정이 요구되는 실정이다. 이와 같이 지하수내 실시간 라돈 농도의 측정 불가능은 마을상수도과 같이 지하수를 직접 음용하는 지역에서의 발암물질인 지하수내 라돈을 인지, 관리하는데 한계점으로 작용하고 있다.

라돈 측정기는 Alpha track detector, Charcoal canister, Electret ion chamber, Thermoluminescence dosimeter, Pulsed ionization chamber, Scintillation cell 및 Silicon detector 등으로 구분되는데, 전자 4개는 외부 전원이 필요 없는 passive type이며 후자 3개는 외부 전원을 필요로 하는 active type에 해당한다. 국내에서는 passive type 계측기가 일부 개발되어 있으나 검출 기간이 장기간이 소요되어 현장 직접 평가 및 농도 변화 파악에는 한계점을 갖고 있으며, active type 계측기의 국내 기술 수준도 선진국 대비 30% 미만으로 평가되고 있는 실정이다(Ministry of Environment, 2010).

PIN-포토다이오드의 활용에 대한 연구로서, PIN-포토다이오드가 가격이 저렴하고 값의 편향성이 작으며 소형이라는 장점이 있어 라돈 계측기에 적용되는데, PIN-포토다이오드를 활용한 알파입자 카운트 방식의 라돈 계측기에 대한 72시간 실내 실험에서 Siren Pro 3과 PIN-포토다이오드의 라돈 카운트의 선형 상관성에 대한 분석을 통하여 관측 기간이 길어질수록 측정값의 정확도가 증가된다고 연구된 바 있다(Kim *et al.*, 2017).

본 연구에서는, 지하수내에서 라돈 농도를 측정하기 위하여 PIN-포토다이오드를 활용한 반도체 방식의 계측기를 개발하고, 이 계측기의 현장 시범 설치 운영을 통하여 적용성을 파악하는데 목적을 두었다. 이를 통하여 향후 본 계측기의 활용에 필요한 기준을

제시함으로써 추가적인 연구 및 지하수 관리에 도움을 제공하고자 하였다.

2. 라돈 측정기의 원리 및 구성

방사성 물질이 반감기가 되어 붕괴할 때 원자핵으로부터 알파입자와 베타입자가 방출되는데 방출 시 알파입자와 베타입자가 갖는 에너지는 서로 다르다. 알파입자와 베타입자의 방출 에너지원은 붕괴 전후의 질량 감소 뒀에 해당하는 질량에너지로서, 알파입자는 에너지가 선 스펙트럼의 형태를 보이는데 반하여, 베타입자는 연속 스펙트럼을 보인다. 알파입자는 두 개의 양성자와 두 개의 중성자로 구성되어 있으며 He^{2+} 를 의미한다. 붕괴된 알파입자의 에너지는 대체로 일정하며 전하가 커서(+2e) 물질내에서 에너지의 상실률이 상대적으로 크다. 반면에, 베타입자는 중성자 또는 핵 내에 존재하는 양성자가 약한 힘을 통한 상호작용에 의하여 방출되는 빠른 전자 또는 양전자를 일컫는다. 베타입자도 전하(-e)를 갖고 있으므로 물질내에서 상대적으로 에너지의 상실이 발생하게 된다. 라돈 농도의 산정은 일반적으로 방출하는 알파선의 에너지(5.49 MeV, 6.00 MeV, 7.69 MeV)를 측정하여 라돈 농도로 환산하는 방식을 사용하는데, 방출되는 베타선의 최대 에너지는 약 0.2 MeV 정도에서 2.26 MeV 사이에 분포하고 있다(표 1).

지하수내에서의 라돈은 물의 pH, 온도, 압력, 산화-환원 전위차 및 물의 흐름 속도 등에 의하여 녹는 양이 달라진다고 알려져 있으며, 이 중에서 압력에 의한 변화가 가장 크며 지하 깊은 곳에서 높은 압력하에 있던 지하수가 밖으로 분출될 때 많은 양의 라돈(Rn^{222})이 나오게 된다(Cho, 2001).

공기중 라돈 농도의 측정 기준은 1 m³의 공간을 기준으로 1초당 1개의 알파 입자 방출시 1 Bq/m³이라 하며, 실제 계측장치에서는 100 cc의 포집기 용량을 토대로 10,000초당 1개의 알파입자가 검출될 경우 해당 공간에서의 라돈 농도는 1 Bq/m³로 평가하게 된다. 이 때 포집기에서 입자의 검출 오차를 줄이기 위하여 포집 시간을 늘리는 방법을 적용하고 있는데 24 ~ 48시간 측정 후 1시간 간격의 누적 평균을 활용하기도 한다.

본 연구에서는, 지하수내 라돈 측정을 위하여 반도체 방식을 적용하였는데, 방사능 핵종의 반도체

검출기에는 PIN 포토다이오드를 이용하여 붕괴 시 발생된 입자가 PIN 포토다이오드에 입사했을 때 발생하는 반응을 카운트하는 원리를 이용하였다. 반도체 구조는 P-N 두 영역 사이에 검출 감도를 높이기 위한 목적으로 저항성을 높이기 위해 샌드위치된 진성 반도체 영역을 추가한 P-I-N 구조의 포토다이오드로써 역 바이어스 전압을 인가하여 작동하게 된다. 본 계측기에 적용된 PIN 포토다이오드는 Direct type silicon detector를 적용하였다(그림 1).

소형의 라돈 측정기를 개발하기 위해서는 적절한 크기의 포집 공간을 설정하고 포집 공간내 측정된 입자로부터 표준 공간과의 비교를 통하여 최종적인 농도를 환산하게 된다. PIN-포토다이오드에 검출되는 베타입자의 포집을 위하여 라돈 선원내에서 일정 시간 동안 발생된 라돈 가스는 포집기로 유입된다는 가정 하에 센서 하부에 가상의 포집 공간을 설정하였으며, 이 포집기의 체적을 고려하여 일정시간 동안 포집되는 베타입자의 수를 산정하도록 하였다(그림 2).

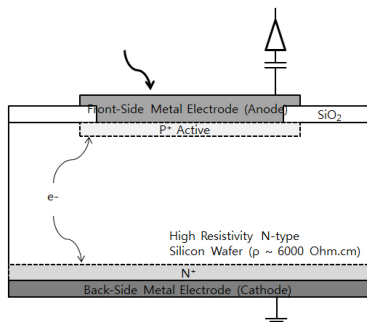
본 연구에서 개발된 지하수내 라돈(Rn^{222}) 측정 센

서는 센서부와 통신부로 크게 분류된다. 라돈의 베타입자를 검출하는 RD-2014는 방수기능을 갖는 PIN 포토다이오드로서 낮은 수압의 지하수내에 설치 가능하며 저전력(3.0 ~ 5.0 V, 400 μ A)을 사용하며, 민감도는 5.8 cpm/ μ Sv/h, 사용 온도는 -30 ~ 50 $^{\circ}$ C의 범위를 갖는다. RD-2014의 원리는 Window를 통하여 입사된 방사성 입자 및 방사선이 내부의 PIN Photo Diode Array에 검출되어 에너지가 생성 되면 Low Noise Amplifier에서 잡음을 제거하고 Comparator로 해당 신호를 전달한다. Comparator는 미리 설정된 Threshold reference 와 비교하여 더 작은 에너지에 해당되는 입력에 대해서만 카운트 출력을 생성하여 출력으로 제공 한다(그림 3a).

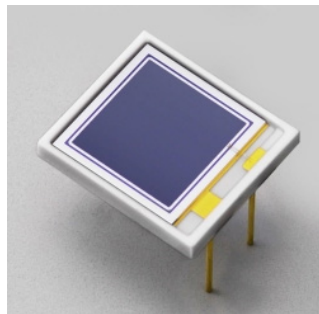
PIN 포토다이오드에서 측정된 입자는 에너지 크기를 보다 정확히 구분하기 위하여 에너지제한회로(Limit circuit)에서 재측정이 이루어지며, 이 후 count circuit에서 검출된 입자의 갯수를 최종적으로 계산하게 되는데 최근 1분간 누적된 검출 갯수를 더하여 계산하는 방식이 적용된다. 통신접속회로(Communication

Table 1. Characteristics of major radiations.

Content	Alpha particle	Beta particle	Gamma ray
Rest mass	6.6×10^{-24} g	1.085×10^{-28} g	electromagnetic radiation
Charge	+2e	-e or +e	0
Energy	5~8 MeV	0.2~2.26 MeV	3 MeV
Penetration effect	small	intermediate	big
Ionization effect	big	intermediate	small
Photographic effect	big	small	intermediate
Photo luminescence effect	big	intermediate	small



(a) Direct type silicon detector



(b) PIN-photodiode



(c) Radon-beta emission monitoring sensor and data logger

Fig. 1. Composition of silicon detector, PIN-photodiode and radon-beta emission monitoring system.

interface)에서는 계측기의 출력신호를 생성하는 것으로서 외부와의 통신을 위한 커넥터로 연결되어 데이터를 송출하게 된다. 이후 게이트웨이를 통하여 사무실의 서버로 송신된 데이터를 사용자의 PC에서 확

인하게 된다(그림 3b).

3. 현장 테스트 및 적응성 평가

이상 개발된 라돈(Rn^{222}) 농도(베타입자 카운트) 측정기를 실제 현장에 설치하여 계측 장비의 신뢰성과 데이터의 활용성에 대하여 검토하였다. 현장에서 연속 측정된 데이터의 신뢰성을 확보할 수 있는 최소한의 측정 기간 등에 대하여 평가하였다. 현장 자동 측정은 단기 측정과 장기 측정으로 구분하여 실시하였는데, 단기 측정을 위하여 충청남도 분포하는 지하수 관측정 36개소에서 2분 간격으로 약 30분간 베타 입자수를 연속 측정하였으며, 장기 측정을 위하여 부여군 3개 지하수 관측정에서 약 3일간 연속 측정을 수행하였다(표 2, 3).

36개 관측정의 지하수내 라돈(Rn^{222}) 베타 입자 방출의 약 30분간의 측정 데이터로부터 일정 시간 간격의 이동 평균을 계산한 후 이동 평균 시간에 따른

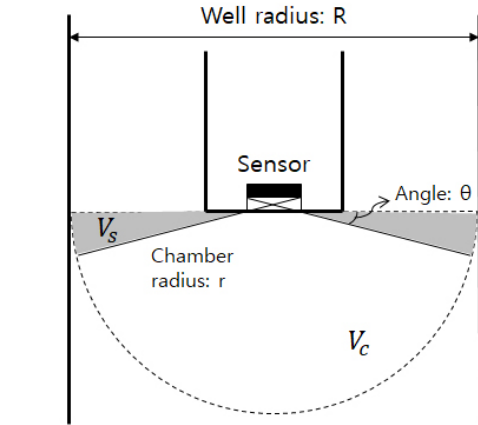


Fig. 2. Virtual chamber of radon sensor.

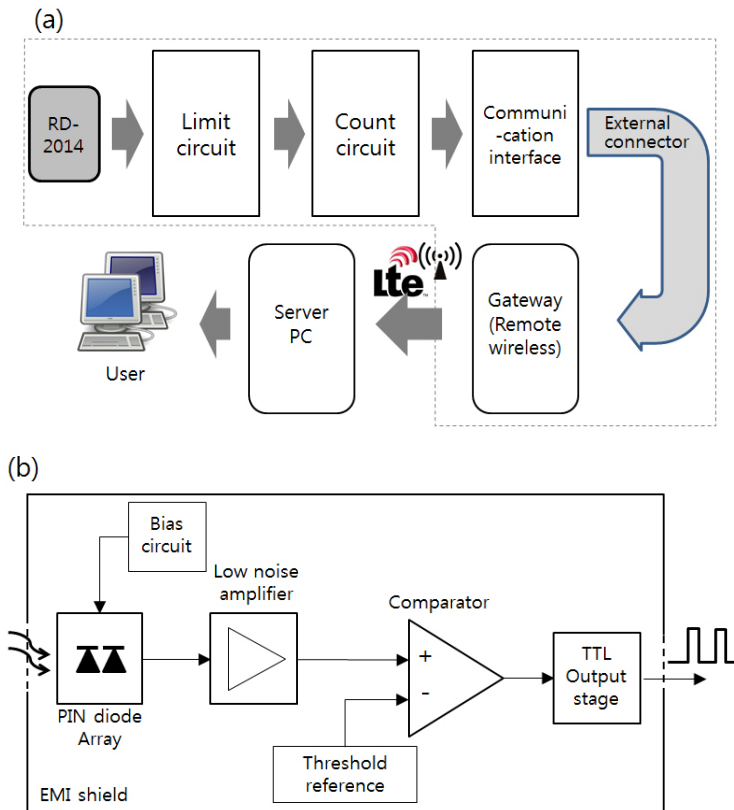


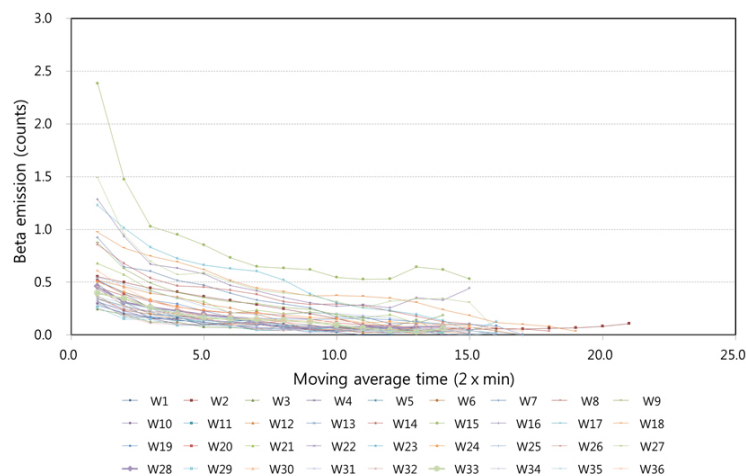
Fig. 3. (a) Block diagram of radon monitoring instrument and (b) circuit block diagram of RD-2014.

Table 2. Lists of groundwater monitoring wells for short-term automatic radon measurements.

Wells	Period	Average counts (count/30 min)	Wells	Period	Average counts (count/30 min)
W1	7/4. 11:32~11:58	12.17	W19	7/12. 08:54~09:30	14.67
W2	7/4. 14:28~15:02	13.10	W20	7/12. 10:00~10:32	14.70
W3	7/4. 15:50~16:18	11.52	W21	7/12. 11:08~11:38	26.25
W4	7/4. 17:06~17:34	11.68	W22	7/12. 12:14~12:46	8.57
W5	7/10. 09:08~09:42	9.90	W23	7/12. 14:06~14:40	29.04
W6	7/10. 10:38~11:14	10.08	W24	7/12. 15:06~15:38	19.85
W7	7/10. 12:12~12:42	34.62	W25	7/12. 16:14~16:50	8.76
W8	7/10. 13:54~14:22	9.57	W26	7/12. 17:24~17:56	11.10
W9	7/10. 14:52~15:22	29.13	W27	7/12. 18:38~19:12	22.12
W10	7/10. 16:14~16:44	6.94	W28	7/13. 09:26~09:56	10.59
W11	7/10. 17:26~17:56	9.01	W29	7/13. 10:42~11:12	7.18
W12	7/10. 19:32~20:04	13.34	W30	7/13. 12:24~12:54	13.51
W13	7/10. 11:58~12:26	8.60	W31	7/13. 15:30~16:04	11.11
W14	7/11. 13:10~13:48	26.83	W32	7/13. 16:44~17:14	15.58
W15	7/11. 15:34~16:06	27.23	W33	7/13. 17:44~18:14	6.57
W16	7/11. 16:46~17:18	18.69	W34	7/13. 18:44~19:14	9.74
W17	7/11. 18:10~18:40	11.93	W35	7/14. 09:38~10:12	9.82
W18	7/11. 19:24~20:04	31.41	W36	7/14. 11:52~12:28	15.44

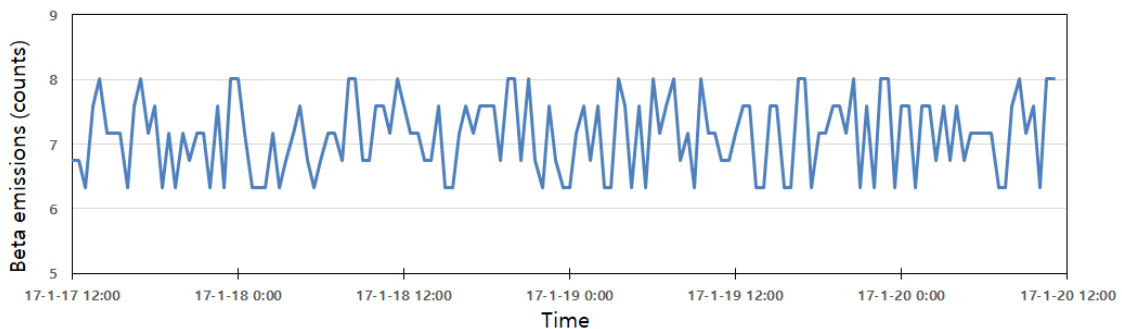
Table 3. Lists of groundwater monitoring wells for long-term automatic radon measurements.

Wells	Depth (m)	Inner diameter of casing (mm)	Monitoring periods
BW1	90	150	2017.1.17.12:00 ~ 2017.1.20.11:00
BW2	74	150	2017.1.20.15:12 ~ 2017.1.23.11:00
BW3	70	150	2017.1.23.11:27 ~ 2017.1.26.11:00

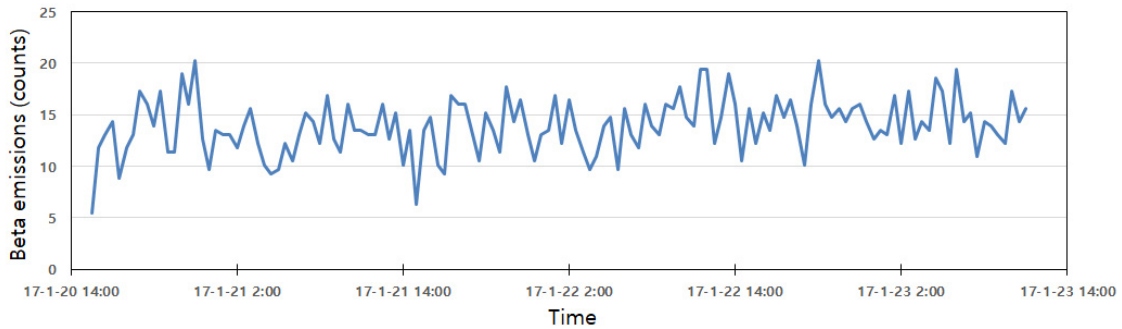
**Fig. 4.** Changes in standard deviation of moving average values for beta emissions

측정 데이터의 편차를 도식화하였다(그림 4). 이 자료에 의하면, 이동 평균의 시간이 길어지면서 데이터의 표준편차는 거의 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있다. 예를 들어, 매 2회 측정 값의 이동 평균인 4분간의 이동 평균 값을 갖고 산정한 표준편차는 거의 모든 관측점에서 큰 값(0.2 ~ 2.5)을 보여 짧은 기간 동안의 측정된 베타입자 방출수는 편차가 큼을 알 수 있으며, 이는 관측점의 2분당 평균적인 베타입자 방출수인 약 0.5 ~ 3인 점을 고려할 때 매우 큰 값에 해당하는

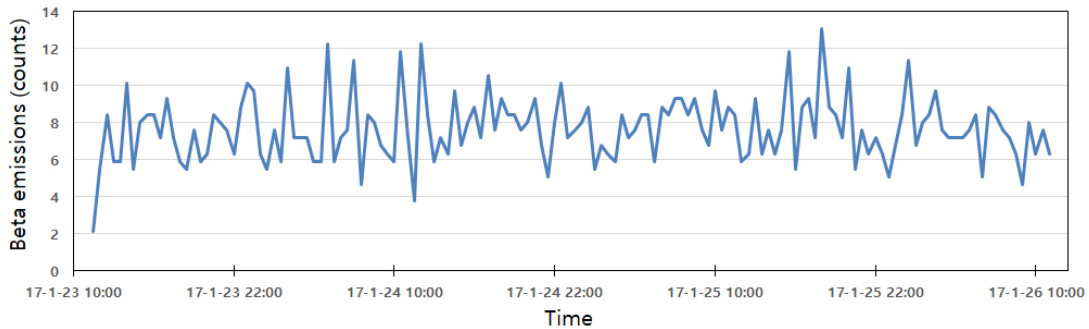
다. 그러나, 이동 평균의 산정 시간이 길어지면서(예: 2×10 분=20분 정도) 표준편차는 일정해지기 시작하며 이동 평균 시간이 좀 더 길어지면서(예: 2×12 분=24분 정도) 일부는 거의 0에 근접하는 낮은 값으로 수렴함을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 본 계측기를 활용하여 베타입자 방출수를 측정할 경우 20여 분 이상이 경과할 때까지는 측정값의 편차가 불규칙하게 나타나나 그 이후에는 측정값의 편차가 거의 없어짐을 의미한다. 이는 본 관측 지점의 라돈 베타입자 방출 수의



(a) BW1



(b) BW2



(c) BW3

Fig. 5. Time series of radon beta emissions at three groundwater monitoring wells.

범위와 방출 패턴을 고려할 때, 계측 결과의 신뢰성 확보를 위해서는 최소 측정 단위를 30분 정도로 설정하여 30분간 누적된 입자수를 카운트 하는 것이 타당함을 보여준다.

한편, 3개 지하수 관측정에서 30분 간격으로 연속 측정된 자료를 보면, 초기 1 ~ 2시간의 안정화 기간을 거친 이후에는 평균 값을 중심으로 상하 일정한 진폭을 갖고 유지됨을 알 수 있다(그림 5). 이들 3개 지하수 관측정에서 장기 측정한 값으로부터 30분간의 누적 베타입자 방출수와 1 ~ 6시간 동안 누적된 베타입자 방출수의 30분 단위로 환산한 값은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다(표 4). 이는 상기 36개 관측정에서 얻은 결론과 유사하게 30분 정도의 측정으로 신뢰성 있는 데이터 취득이 가능함을 보여주고 있다. 한편, 해당 관측정의 지하수의 평균 베타 입자

방출수는 특정 관측 기간(분석하고자 하는 관측 기간) 동안 측정된 값의 평균을 구하여 산정함으로써 활용이 가능할 것이다.

자동 계측 자료와 실내 분석 결과의 비교를 위하여, 충청권 8개 관측정, 경상권 1개 관측정을 대상으로 지하수 시료를 채취하였다. 천부 심도에서 채취된 지하수(심도 2 ~ 5 m) 시료는 액체섬광계수기인 Quantulus를 활용하여 실내에서 라돈(Rn^{222}) 함량을 분석하였다. 이들 9개의 데이터의 현장 계측에 의한 베타 입자수와 실내 분석에 의한 라돈 농도를 비교한 결과, 상관성이 존재하고 있으며 일정 수준의 설명력($R^2 = 0.736$)을 갖는 것으로 분석되었다(그림 6). 낮은 농도의 경우에 일부 상관 관계에서 벗어난 것이 존재하는데, 이는 자동 계측 장치의 가상의 포집기내에서 베타 입자 카운트시 누락이 발생하였을

Table 4. Average beta emissions per 30 minutes according to measuring time steps at three groundwater monitoring wells.

Measuring time step	BW1	BW2	BW3
30 min	7.14	14.00	7.71
1 hour	7.15	13.99	7.71
2 hour	7.13	13.96	7.72
3 hour	7.15	13.96	7.70
4 hour	7.13	13.98	7.76
5 hour	7.13	13.98	7.72
6 hour	7.14	13.96	7.76

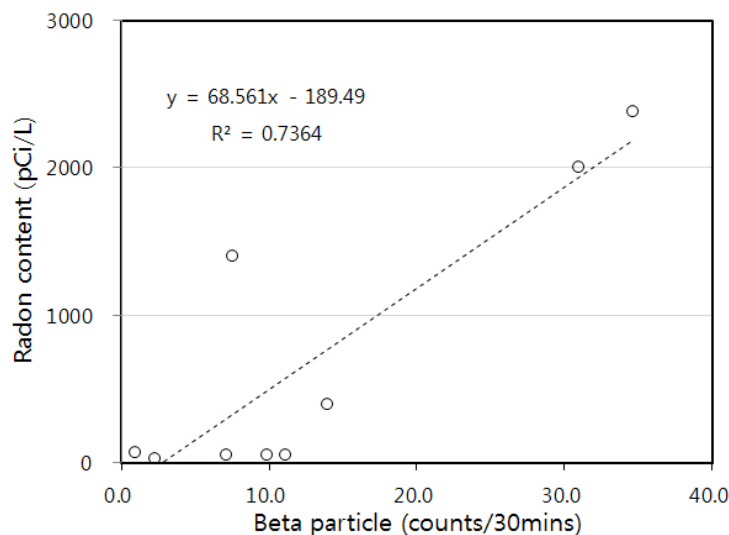


Fig. 6. Comparisons of automatic measurements to 2017's lab data.

가능성이 존재하였거나, 포집기 공간의 크기를 실제 관정내에 설치할 수 있는 규모로 축소하면서 포집기의 소형화로 인한 오차의 가능성 등이 영향을 미친 것으로 보인다. 한편, 3개 관측정의 3일간의 연속 측정 자료에서 보듯이 본 계측기에서 취득된 데이터는 그 범위가 비교적 일정하게 나타나고 있으며, 2~3 시간의 평균값을 적용한다면 대표 라돈 베타입자수를 결정할 수 있으므로 본 계측기의 적용을 통한 라돈 농도의 변화 상태를 관측하는 것은 유용한 것으로 평가된다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 지하수내에서 라돈(Rn^{222})의 붕괴 시 방출되는 베타 입자를 카운팅하여 라돈 방출 농도를 측정할 수 있는 방안을 고안하였다. 지하수내의 라돈을 활용한 연구는 매우 다양하게 이루어지는데, 지하수를 수원으로 하는 마을상수도에서의 라돈 농도 관리, 지표수-지하수의 상호작용 연구, 해안 유출 연구 및 지진의 예측 평가 등이 있다. 이들 연구 수행시 지하수내 라돈 측정은 자동화되지 못하고 실내 분석이나 현장 시료채취에 의한 분석 방법을 활용하여 이루어져 왔다. 특히, 마을상수도 등 공공 지하수 공급 시설의 경우 고농도의 라돈 함유량으로 인한 피해가 우려되므로 본 장치를 활용한 자동 측정 시스템을 도입하고 지하수내 라돈 저감 장치를 연계한다면 보다 안전한 물 공급이 가능할 것이다.

본 계측기는 현장 실험 결과 분단위의 연속 측정이 가능한 장치로 평가되며, 라돈 베타입자의 갯수를 결정하기 위해서는 약 30분 정도의 연속 측정에 의한 누적값을 활용하는 것이 결과의 신뢰도 확보를 위하여 필요한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 기존의 공기 중의 라돈 계측기가 장기간의 누적값 사용을 권장하는 것과 비교하여 훨씬 짧은 데이터를 활용한 신뢰도 확보가 가능함을 보여주었다. 라돈의 베타입자 카운팅과 라돈의 농도 분포와의 관계를 검토한 결과 일정 수준의 상관성이 존재하는 것으로 나타났다. 추후 포집기의 규모 및 측정 시간 등을 고려한 바크렐 단위의 환산식을 도출하고 추가적인 현장 데이터에 의한 검증을 통하여 본 계측기의 적용

성을 제고하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁 시행한 2017년 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(과제번호 17CTAP-C129727-01)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Cho, B.W., Sung, I.H., Cho, S.H. and Park, S.K., 2007, A preliminary investigation of radon concentrations in groundwater of South Korea. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 12(5), 98-104 (in Korean with English abstract).
- Cho, B.W., Yun, U. and Choo, C.O., 2010, Natural radon removal efficiency of small-scale water supply system. *Economic and Environmental Geology*, 43(1), 33-42 (in Korean with English abstract).
- Cho, J.S., 2001, Investigation on the Ra-222 concentrations in groundwater, Pusan area. Master's thesis in Pusan National University, Pusan.
- Jeong, D.H., Eom, I.C., Yoon, J.K., Kim, M.S., Kim, Y.K. and Kim, T.S., 2010, Characteristics of groundwater environment in highly enriched areas of natural radionuclides. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 15(6), 9-16 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.G., Choi, J.S., Joo, H.J. and Kim, S.C., 2013, A study of radon removal efficiencies in drinking water according to the variations of water temperature and aeration rate in small waterwork facility. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 18(3), 52-57 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., Yun, S.H. and Kim, G.S., 2017, Accuracy improvement of a PIN photodiode radon counter. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*, 4(2), 129-133.
- Ministry of Environment, 2010, Research on the management of high radon content emission route. Seoul, 166 p.

Received : November 15, 2017

Revised : December 7, 2017

Accepted : December 8, 2017