

# 실험실시험을 통한 현장수중라돈농도의 예측기법

정성필<sup>1)</sup>, 제현국<sup>2)</sup>, 전효택<sup>1)</sup>

## 1. 서론

현대인들이 실내에서 지내는 시간이 많아짐에 따라 실내공기질에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 지하건물내부나 내부 공기를 순환시키는 건물에서는 실내공기에 대한 관리가 필수적이며, 특히 토양가스에서 나오는 라돈에 대한 대책이 필요하다. 이것은 라돈이 인체에 전달되는 자연 방사능의 54%(주승환, 1995)에 달하는 방사능의 근원이며 라돈이 흡입되는 경우 라돈의 딸핵종인 폴로늄(218Po, 214Po)의  $\alpha$ 입자 붕괴로 발생한 에너지로 인해 폐암이 발생(Bowie, 1983)하는 것으로 알려져 있기 때문이다. 그리고 최근 2004년 5월 30일에 시행된 실내공기질관리법에서 규정하는 10가지 관리 물질 중의 하나로 라돈이 포함되면서 라돈 재해에 대한 법적 근거도 마련되었다.

실내공기에 영향을 미치는 것은 토양가스가 주 근원이지만(Wilkening, 1990), 수도관이나 지하수관로 등 실내 공기와 접한 물에서 라돈이 탈출하는 것도 실내공기 중에 라돈의 근원으로 작용한다. 일반적으로 물속의 라돈의 경우 물속 라돈 함량의 1/10000이 공기 중에 더해지는 것으로 알려져 있으며, 미국 Environmental Health Center에서 제시한 물의 라돈 기준을 보면 실내 라돈의 감소에 대한 추가적인 기준이 있는 곳에서는 4,000pCi/L가 기준이며, 단지 실내 공기 중에 4pCi/L이하여야 된다는 기준만 있으면 300pCi/L가 그 기준이 된다 ([http://www.nsc.org/ehc/radon/rad\\_faqs.htm](http://www.nsc.org/ehc/radon/rad_faqs.htm)).

물속의 라돈 함량을 측정하는 것은 토양 속의 라돈 함량을 측정하는 것과 근본적인 차이가 있다. 토양 시료를 칼럼에서 분석하는 경우는 토양이 지속적인 라돈의 근원으로 작용해서 secular equilibrium이 된 이후에 칼럼 속의 공기 중 라돈 함량은 거의 일정하게 유지된다. 하지만 물의 경우 물속에 라돈의 근원이 되는 물질의 함량이 적으므로, 시간이 지날수록 라돈 함량이 감소하게 된다. 따라서 물속의 라돈 함량을 측정할 때에는 현장에서 바로 측정하는 것이 가장 바람직하다고 하겠다. 하지만 시료의 수가 많거나 분석기기의 수가 제한적인 경우에는 한 번에 모두 분석할 수 없게 되므로, 시간이 변수인 물시료의 라돈 분석에서 오차를 발생시킨다. 따라서 이 시간적 오차를 보정하기 위해 보정계수를 결정하여 측정 당시의 라돈 함량을 예측하는 것이 이 연구의 목적이다.

---

**주요어:** 라돈, 실험실시험, 라돈보정계수, 수중라돈, RAD7

<sup>1)</sup>서울대학교 지구환경시스템공학부 (E-mail: sagedrnl@snu.ac.kr, chon@snu.ac.kr)

<sup>2)</sup>서울대학교 공학연구소 (E-mail: cedric@snu.ac.kr)

## 2. 연구방법

### 2.1 연구지역

연구 지역은 서울시 금천구 시흥 2동에 위치한 금천약수로 관정의 깊이는 250m이다. 연구 지역의 주변의 기반암은 제 4기의 충적토(Gravel, sand and clay)와, 관입된 쥐라기의 대보 화강암(Biotite Granite & granite porphyry), 그리고 선캄브리아기의 흑운모 호상 편마암(alternating bands of biotite part and quartz feldspathic part)과 흑운모 편암(Graphite rich part)으로 구성되어 있으며, GPS 장치를 이용하여 연구 지역의 위치(126° 55' E, 37° 26' N)를 지질도에서 찾아본 결과, 금천약수가 있는 곳은 흑운모 호상 편마암(biotite banded gneiss)지대 인 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 지하수 중 라돈 함량이 높은 곳으로 알려진<sup>5)</sup> 충주시와 괴산군 주변지역 중에서 충주시 이류면 두정리와 괴산군 감물면 오성리에서 지하수를 채취하여 분석하였다.

### 2.2 측정기기

측정 기기는 Durrige company의 RAD7으로, 대기나 수중 라돈 함량을 측정하는데 사용되고 있다. 측정 과정은 5분 동안 air bubble을 발생시켜 물속의 라돈을 기기 내부의 공기 중으로 뽑아내며, 이후 5분간 equilibrium을 위한 지연시간이 있고, 다음 5분간이 실제 1회의 측정을 하는 시간이다. 여기서 하나의 실험값은 1회 이후 5분 간격으로 3번의 측정을 더 한 다음, 4개의 측정값의 평균으로 결정하였다. 또한 제작사에서 aeration을 하면 수중 라돈의 95%이상이 공기 중으로 빠져 나온다고 제시하고 있어서, 이 부분에 대해서는 라돈 함량을 보정하지 않았다.

## 3. 본론

### 3.1 실험과정

실험 과정은 시료를 채취한 시점에서 바로 측정(initial)하고 이후 3일간 같은 시간에 연속해서 측정(bottle1, 2, 3)하는 것이며, 한 번 측정에는 5개의 set를 사용하였다. 하나의 set당 1개의 실험값을 얻을 수 있으며, 이것은 동일 시료를 4번 측정한 것의 평균값이다.

그리고 측정한 실험값의 해석을 위하여 다음과 같은 세 가지 값을 결정하였다.

ECR, Estimated Concentration of Radon

EDCR, Experimental Decay Constant of Radon

Estimation Rate (예측율)

ECR은 bottle1, 2, 3의 농도 값을 시간 경과(Time)와 함께 plot하여, 지수함수로 회귀분석했을 때, 나오는 식에서 초기 시간(t=0)에서의 농도 값이며, EDCR은 ECR을 구할 때 사용된 함수의 λ값에 를 취한 값이다. 그리고 예측율은 다음의 식으로 구한다.

$$\text{예측율}(\%) = \left(1 - \frac{|\text{예측값} - \text{실험값}|}{\text{실험값}}\right) \times 100$$

### 3.2 측정 결과

EDCR은 각 set의 평균값을 이용하여 구한 경우에만 표시하였다.

연구 지역 중 금천약수는 polyethylene sample bags을 이용하여 물을 보관했기 때문에 leakage가 발생하여 라돈의 농도가 급격히 감소하는 것을 보여준다. 이것은 leakage가 발생하지 않는 BOD Bottle을 이용한 Table 3의 EDCR과 비교했을 때 큰 차이가 나는 것으로 확인할 수 있다. 그리고 Table 2의 결과에서 보면 같은 시료를 나누어서 반복 측정된 결과가 2배 정도 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이것으로 수중 라돈의 함량도 측정치의 변동이 매우 크다는 것을 확인할 수있으며, 따라서 고농도의 라돈을 예측하는 데는 더 많은 측정을 수행해야 함을 알 수 있다. 또는 시간의 간격을 두고 측정을 하여 농도를 예측하는 것이 실제 측정값의 정확도를 높일 수 있는 방법이 될 것이다.

Table 1. Concentrations of radon measured using polyethylene sample bags (pCi/L)

Measuring	Day	Time	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Average
Initial	May 4, 2004	0	203	220	229	239	292	236.6
Bottle 1	May 5, 2004	1	150	126	153	153	152	146.8
Bottle 2	May 6, 2004	2	115	95.8	80.6	97	76.7	93.02
Bottle 3	May 7, 2004	3	39.1	47.4	63.9	52	58.4	52.16
ECR			336.4	220.7	221.2	269.9	229.0	251.3
Estimation rate			34.27	99.69	96.58	87.08	78.41	93.77
EDCR								0.5174

Table 1. Continued

Measuring	Day	Time	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Average
Initial	August 6, 2004	0	561	595	628	669	614	613.4
Bottle 1	August 7, 2004	1.011	466	290	231	348	238	314.6
Bottle 2	August 8, 2004	1.938	294	193	176	176	177	203.2
Bottle 3	August 9, 2004	2.965	94.1	121	109	99.2	94.4	103.54
ECR			1161	453.5	348.1	640.1	399.4	570.5
Estimation rate			-6.952	76.21	55.43	95.68	65.05	93.00
EDCR								0.5557

Table 2. Concentrations of radon measured using BOD bottles (pCi/L) of Dujeongri

Measuring	Day	Time	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Average
Initial	March 8, 2005	0	1490	2990	1650	1710	-	1960
Bottle 1	March 9, 2005	0.9375	1650	2880	3200	3150	3030	2782
Bottle 2	March 10, 2005	1.935	1130	1310	1270	1290	1180	1236
Bottle 3	March 11, 2005	2.944	1090	1450	1460	977	923	1180
ECR			1889.6	3414.1	3856.8	4901.8	-	3647.9
Estimation rate			73.18	85.82	-33.75	-86.65	-	13.88
EDCR								0.4266

Table 3. Concentrations of radon measured using BOD bottles (pCi/L) of Oseongri

Measuring	Day	Time	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Average
Initial	March 8, 2005	0	2590	3410	3050	3760	3590	3280
Bottle 1	March 9, 2005	1.017	2370	2450	2630	2330	3120	2580
Bottle 2	March 10, 2005	1.993	2000	2080	2190	2820	1990	2216
Bottle 3	March 11, 2005	2.967	1750	2310	1800	2210	2560	2126
ECR			2759.3	2416.0	3211.9	2574.6	3078.1	2801.9
Estimation rate			93.46	70.85	94.69	68.47	85.74	85.42
EDCR								0.0992

#### 4. 결론

세 연구지역의 라돈 보정 계수(EDCR)는 0.0992~0.5577의 큰 변화폭을 보였으며, 이것은 leakage와 초기값의 측정 오차에 의한 것이었다. 측정 오차가 발생한 Table2의 결과를 제외하고는 85.42~93.77%의 높은 예측율을 보였다. 그리고 오히려 예측율이 매우 떨어지는 경우 (13.88%)는 초기 값의 측정값이 잘못되었을 수 있다는 단서를 제공해 주었다. 고농도의 라돈 농도를 측정할 때는 오차가 크게 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 현장 측정 값의 정확성을 높이기 위해서는 시간 간격을 두고 측정한 값으로 확인하는 과정이 필요할 것이다.

#### 5. 참고문헌

- 주승환, 제원목, 1995, 라돈 방사능과 생활환경, 계축문화사, p. 86
- 제현국, 정성필, 이진수, 전효택, 2004, 지구시스템공학회 추계학술발표회 논문집, pp.3-6, 서울대학교
- Bowie, SH.U. and Plant, J.A., 1983, Natural radioactivity in the environment. In: Applied Environmental Geochemistry, Academic Press, London, pp. 481-494
- [http://www.nsc.org/ehc/radon/rad\\_faqs.htm](http://www.nsc.org/ehc/radon/rad_faqs.htm)
- Wilkening, M., 1990, Radon in the environment, Elsevier, p. 137