

# 국내 일부 화강암 및 편마암 지역에서 라돈포텐셜 평가방법에 관한 연구

제현국<sup>1)</sup> · 전효택<sup>2)</sup>

## 1. 서론

토양환경에서의 라돈포텐셜이란 토양의 공극에 존재하여 실내환경으로 유입될 수 있는 가능성을 가진 라돈의 농도 개념으로 해당지반을 대표하는 라돈방사능 수준을 의미한다(제현국, 2002). 해당 지반에서 라돈포텐셜을 정량화 할 수 있으면 타 지반과의 상대적인 비교를 통하여 라돈방사능의 수준을 알 수 있으나 토양환경에서 변화양상이 심한 라돈의 특성으로 인해 정확한 라돈포텐셜을 예측한다는 것은 사실상 불가능하다. 본 연구에서는 현장과 실험실에서 측정된 자료를 바탕으로 연구지역의 라돈포텐셜을 평가하는 방법을 제안하고자 한다.

## 2. 연구방법

1995년 미국지질조사소(USGS)에 의해 "Radon Index Matrix"와 "Confidence Index Matrix"가 개발되었다. "Radon Index Matrix"는 실내라돈농도와 토양 또는 지반환경과 관련된 항공탐사에 의한 지표방사능 값, 지질조건, 토양의 유체투과율, 건물 형식 등이 평가항목으로 구성되어 있으며 Table 1에 의해 계산된 수치가 12점 이상일 경우, 해당되는 지반환경에 존재하는 실내공간의 라돈농도가 EPA 기준치인 4 pCi/L를 초과할 확률이 높다는 것을 의미한다. 현재 미국의 대부분 주에서 조사가 완료된 실내 라돈함량도는 이러한 원리를 바탕으로 제작된 것이다. 라돈방사능 위험지수(RRI; Radon Risk Index)는 Wilson(1987) 및 Reimer(1991)가 제시한 토양가스중 라돈농도의 기준치가 1,350 pCi/L라는 점에 착안하여 이 값을 6등분하여 각각의 해당범위에 1~6점을 부여한 후 측정된 토양가스중 라돈농도를 점수화하여 한 지역(구획)에서 측정된 시료수 만큼 점수를 합산한 후 계산될 수 있는 최대값으로 나눈 것으로 정의되며(제현국, 1998) 라돈방사능 위험지수가 1인 경우, 해당지반의 건물에서는 실내공간의 라돈농도가 4 pCi/L를 초과할 확률이 매우 높다. 계산된 라돈방사능 위험지수는 지역별 토양가스중 라돈농도에 따른 라돈방사능의 위험정도를 다른 지역 또는 구획과 상대적으로 비교하는데 있어 용이하다고 판단된다.

토양환경에서 라돈농도를 직접 측정하여 평균값을 이용하여 지역별로 비교하는 경우, 또는 라돈방사능 위험지수(RRI)를 계산하여 이용하는 경우 모두, 측정시점의 계절적, 기후 조건에 의해 결정되기 때문에 상대적인 함량비교와 라돈이상지역의 잠정적인 선정만 가능하고, 한 지역의 토양환경을 대표하는 라돈포텐셜을 결정하기에는 단점이 있다. 계절적인 변화양상을 배제하기 위해서 실험실규모의 연구결과로 얻은 라돈의 발산율과 기본적으로 측정된 토양시료의 우라늄함량을 이용하여 이론적인 계산(Eqn. 1)을 통해 생성가능한 라돈농도를 계산하는 것이 라돈포텐셜을 평가하는데 있어 라돈농도의 시간적·공간적 불규칙성을 최소화할 수 있는 방법이라고 판단된다.

---

주요어: 라돈포텐셜, 라돈발산율

1) 서울대학교 공학연구소 (cedric@snu.ac.kr)

2) 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 (chon@snu.ac.kr)

[Eqn. 1] Radon (pCi/L)

$$= (\text{soil density}(\text{g}/\text{cm}^3) \times 1000 \times \text{Ra}(\text{pCi}/\text{g}) \times \text{emanation coeff.}) / \text{porosity}$$

본 연구에서는 토양가스중 라돈의 농도분포 조사를 위해 화강암기반의 서울시 관악구 봉천동 일대, 그리고 택지개발 및 건설공사가 진행중인 편마암기반의 경기도 성남시-용인시 일대(Fig.1)를 선정하여 2001년부터 2002년까지 봄철, 가을철, 겨울철에 걸쳐 현장측정을 수행하였으며, 각 연구지역 토양의 함수율과 입도에 따른 라돈발산의 경향과 최대라돈발산율을 분석하였다. 라돈의 측정에 사용된 검출기는 캐나다 SCINTREX사의 RDA-200이며 방사능붕괴시 생성된 알파입자가 황화아연(ZnS)으로 내부벽면이 도포된 광전자증폭기(photomultiplier tube)인 섬광셀(scintillation cell)에서 측정되는 방식이다(Durrance, 1986). 토양가스의 채취는 핸드오거를 이용하여 50cm 정도 토양을 판 후 속이 빈 강철 probe(길이: 40cm, 외경: 9mm, 내경: 4mm)를 이용하여 토양에 삽입한 후 160ml의 토양가스를 추출하여 실시하였다. 라돈농도의 계산은 Morse(1976)의 3분 측정방법을 이용하였는데 이는 섬광셀에 토양가스가 흡입된 후 1분씩 3회 측정된 cpm 값을 환산식에 넣어 계산하는 방식이다. 라돈발산율 실험에 사용된 토양은 각 실험세트마다 5-10 kg의 건조토양을 사용했으며, 직경 4.2 cm, 높이 50 cm의 아크릴재질의 실린더형 칼럼에 토양시료를 넣어 공극속의 토양가스를 채취, 라돈농도를 측정하였다. 사전실험을 통해 방사능보정계수를 도출하였으며, 토양의 입도와 함수율에 따른 라돈농도의 변화양상을 측정하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 Radon Index Matrix의 적용

연구지역에 Radon Index Matrix가 적용된 조건을 살펴보면, 실내라돈농도의 경우 봉천동지역은 33개의 측정값을, 성남-용인 지역은 1~3개 정도의 실내 측정치를 이용하였으며, 항공탐사에 의한 지표방사능 값은 각 연구지역에서 측정된 토양에서의 평균 우라늄함량을 이용하였다. 지질조건의 경우 봉천동지역의 기반암이 화강암인 관계로 라돈생성에 유리한 조건으로 분류되었으며 타지역은 중간 수준의 조건으로 분류되었다. 토양의 유체투과율의 경우 연구지역의 토양이 대부분 사질토에 가까워 중간 수준으로 분류되었고 건물의 형태는 봉천동지역의 경우 대부분 지하실을 포함한 구조였다.

연구지역별로 Radon Index Matrix를 적용한 결과, 봉천동(13) > 수지(11) > 하산운동(10), 죽전(10), 분당(10) 순으로 나타났으며 이 중 봉천동지역이 높은 수준의 라돈방사능(실내 > 4 pCi/L)을 가진 지역으로 분류되었고 기타지역은 중간 수준(실내 2-4 pCi/L)으로 분류되었다 신뢰성지수(C Confidence Index)는 봉천동(10)지역만 높은 신뢰성수준을 보였을 뿐 타지역의 경우 7점으로 중간정도의 신뢰성 수준을 나타냈다.

Radon Index Matrix를 적용한 결과 연구지역별 점수의 차이는 우라늄함량에 기인한 것으로 판명되었는데, USGS에서 제안한 이 방법은 토양가스중 라돈농도에 대한 부분이 없고 또 각각의 분류조건을 단순화하였기 때문에 광역적인 지역에만 적용 효용성이 있을 뿐, 본 연구지역들처럼 규모가 작은 경우는 큰 효과를 얻기가 힘들다고 판단된다.

#### 3.2 현장 측정치의 평균값 이용

연구지역별 전체 토양가스 라돈농도의 평균값(산술평균)을 비교한 결과, 수지 (813 pCi/L) > 죽전 (757 pCi/L) > 분당(691 pCi/L) > 하산운동 (643 pCi/L) > 봉천동 (513

pCi/L) 순으로 나타났으며, 수리지역의 라돈방사능 수준이 가장 높았다. 그러나 각 지역별-계절별 평균값으로 나열하면 분당-겨울철(986 pCi/L) > 수지-겨울철(963 pCi/L) > 죽전-겨울철 (927 pCi/L)> 하산운동-겨울철 (919 pCi/L) 등의 순으로 나타나 겨울철에 라돈방사능의 수준이 상대적으로 높았다. 일반적으로 환경지구화학과 관련된 연구에서는 조사지역의 평균함량을 이용하여 오염수준과 타지역과의 비교가 가능하나 토양가스중 라돈농도의 경우, 평균함량은 여러 제약을 받게 된다. 라돈농도분포의 공간적, 시간적 변화성 때문에 해당지역에서의 평균 라돈농도는 측정당시의 값을 의미할 뿐 연중 평균함량으로서의 대표성을 갖기에는 무리가 있다. 그러나 본 조사결과처럼 유사한 시기와 동일한 측정방법을 적용할 경우, 각 연구지역의 상대적 라돈방사능의 수준 비교는 가능하다고 판단된다.

### 3.3 RRI(Radon Risk Index) 적용

라돈방사능 위험지수를 도출한 결과 전체지역별로는 수지(0.57) > 죽전(0.55) > 분당(0.50), 하산운동(0.50) > 봉천동(0.39) 순서로 토양에서 라돈방사능의 위험성이 높은 것으로 나타났으며, 각각의 지역별-계절별 결과를 이용하였을 경우, 분당-겨울철(0.67), 하산운동-겨울철(0.67) > 수지-겨울철, 죽전-겨울철(0.64) > 수지-가을철(0.57) 등의 순으로 겨울철의 값이 상대적으로 높음을 알 수 있다.

### 3.4. 최대발산율의 적용

최대라돈발산율(Table 2)을 이용하여 생성가능한 최대라돈농도를 계산하여 비교한 결과, 봉천동(950 pCi/L) > 죽전 (524 pCi/L) > 하산운동 (437 pCi/L) > 분당 (259 pCi/L) > 수지 (230 pCi/L) 순으로 나타나 평균값, 라돈방사능 위험지수를 도출한 결과와는 상이한 결과를 보여주고 있다. 최대라돈발산율을 이용한 수치는 해당지반의 토양층내에서 생성가능한 최대라돈농도, 즉 최대라돈포텐셜을 의미하기 때문에, 라돈농도의 시간적 변화양상에 지배받지 않고 또한 측정시기가 다른 타지반과도 상대적인 비교에 있어 기존의 방법보다는 용이하다.

## 4. 참고문헌

- Durrance, E.M., 1986, Radioactivity in Geology, John Wiley and Sons, 441p.
- Morse, R.H., 1976, Radon Counters In Uranium Exprolation, I.A.E.A.-N.E.A. International Symposium on the Exploration of Uranium Ore Deposits, Vienna, I.A.E.A. pub. no. IAEA-SM-208/55.
- Reimer, G.M., 1991, Simpe techniques for soil-gas and water sampling for radon alaysis, U.S. Geological Survey, p.19-22.
- Wilson, C., 1987, Radon-Geological aspects of environmental problem, The Amateur Geologist, Vol.11, No.2, p.17-33.
- 제현국, 1998, 지질환경 및 실내환경에서의 라돈방사능에 관한 기초 연구, 석사학위논문, 서울대학교, 107p.
- 제현국, 전효택, 2002, 시계열분석에 의한 토양가스 라돈농도의 변화특성 고찰, 한국자원공학 회지, 39권 6호, p.423-433.

Table 1. Radon Index matrix

Factor	Point Value		
	1	2	3
Indoor Radon	< 2 pCi/L	2 - 4 pCi/L	> 4 pCi/L
Aerial Radioactivity	< 1.5 ppm eU	1.5 - 2.5 ppm eU	> 2.5 ppm eU
Geology	negative	variable	positive
Soil Permeability	low	moderate	high
Architecture Type	mostly slab	mixed	mostly basement

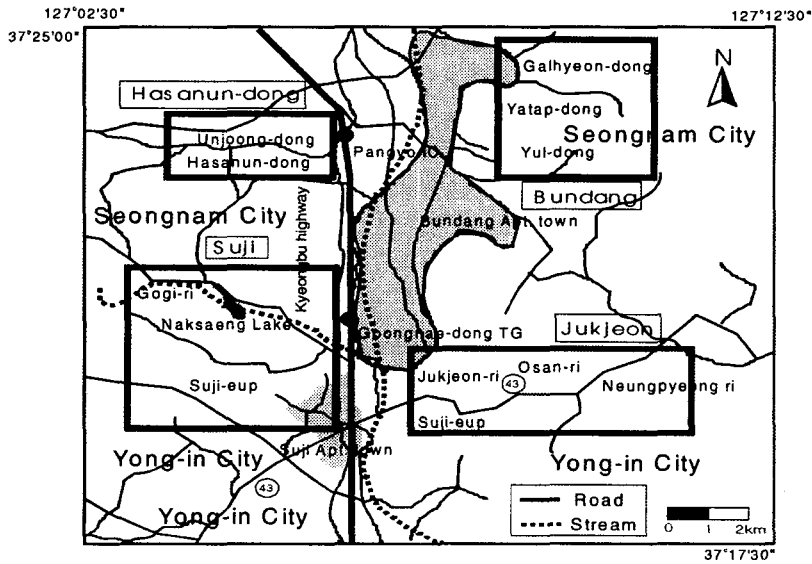


Fig.1 Scope of soil-gas sampling in Seongnam and Yong-in area.

Table 2. Summary of radon emanation tests from the study areas.

Study area	Sub-area	Location	Soil grain size					
			0.85-2.00mm		0.425-0.85mm		0.16-0.425mm	
			Max	Mean	Max	Mean	Max	Mean
Seongnam-Yongin	Hasanun-dong	WJ	6.3%	4.2%	6.7%	3.7%	10.9%	5.5%
		HS	8.5%	4.4%	14.4%	6.9%	24.3%	10.5%
		(sub-total)	8.5%	4.3%	14.4%	5.3%	24.3%	8.0%
	Jukjeon	NP	27.1%	11.4%	7.5%	5.7%	12.1%	5.7%
		WJJ	7.4%	3.9%	12.1%	5.8%	8.1%	3.9%
		EJJ	10.0%	4.8%	14.6%	7.7%	8.4%	3.5%
		OS	3.9%	2.3%	3.6%	2.3%	11.6%	6.2%
		(sub-total)	27.1%	5.6%	14.6%	5.4%	12.1%	4.8%
	Suji	NNL	3.9%	2.2%	8.2%	4.1%	9.4%	5.2%
		KK	7.4%	4.1%	7.4%	3.6%	7.2%	2.8%
		SJ	7.8%	4.2%	7.6%	4.1%	4.1%	2.3%
		SNL	13.3%	4.8%	6.9%	4.2%	13.5%	5.0%
	(sub-total)	13.3%	3.8%	8.2%	4.0%	13.5%	3.8%	
Bundang	YD	9.9%	4.8%	11.0%	5.9%	11.2%	5.6%	
(sub-total)		27.1%	4.6%	14.6%	4.9%	24.3%	5.1%	
Bongcheon-dong	Bongcheon-dong	BC	34.6%	13.0%	18.8%	13.0%	40.6%	17.7%
(Total: 12 location)			27.1%	5.4%	18.8%	5.6%	40.6%	6.1%