

토양가스 라돈분포를 결정하는 토양물성들의 효과

강치구 · 전효택¹⁾

1. 서론

라돈(²²²Rn)은 암석과 풍화잔류 토양의 광물 안에 있는 우라늄(²³⁸U)의 핵붕괴 과정 중에 발생하며 토양 가스와 함께 또는 확산에 의해 이동하여 실내 거주 환경으로 유입된다. 호흡기를 통해 인간의 폐로 흡입된 라돈은 ²¹⁸Po 과 ²¹⁴Po 으로 핵붕괴되며, 방출된 알파 방사선에 의해 폐조직이 손상되어 폐암으로 발전하게 되고 흡연 다음으로 폐암의 주요 병인이 된다. 따라서 라돈 발생이 심한 위험지역을 선정한 후 이런 지역의 주거지는 라돈 대책이 필요하게 되며 이를 위해 라돈의 거동에 영향을 미치는 주요 요인들의 연구와 중요성에 대한 평가가 수행되어야 한다. 라돈은 주로 자연환경에서 토양 입자 안의 우라늄으로부터 핵붕괴하여 생성되므로 라돈의 발산을 조절하는 요소 즉, 토양입자 크기, 함수율 등과 이동에 영향을 주는 요인, 예를 들면 투수도, 함수율, 단층 활동에 의한 수송통로 등에 대한 연구를 통해 라돈 위험 지역의 평가가 이루어진다.

2. 연구방법 및 결과

충북 영동에서 수행된 예비조사에서는 여러 기반암 별 라돈 농집의 경향을 조사하였고, 복운모 화강암>흑운모 화강암> 화강 편마암> 화강 섬록암> 사암의 순서로 라돈 농집이 이루어지는 양상을 보여주었다. 이런 순서는 각 기반암과 이들의 풍화 잔류 토양의 함우라늄 농도와 일반적으로 일치하나, 동일한 기반암의 토양 사이에서도 여러 가지 토양 물성의 차이로 인해 라돈 농도는 매우 큰 변화의 폭을 갖는 것으로 나타났고, 따라서 함우라늄 농도 뿐만 아니라 여러 가지 요인들의 복합적인 효과에 의한 것으로 판명되었다.

정밀 연구는 경기도 가평과 경북 경주-경남 가천에서 수행되었다. 이 정밀연구 단계에서는 토양시료의 라돈과 지표 방사능의 현장 측정, 채취한 토양시료의 우라늄 농도, 함수율, 토양입도 분포 조사에 의한 투수도 계산 등이 실험실에서 이루어졌다. 현장에서 가이거-물러 카운터로 측정된 지표 방사능 세기와 해당 지점의 라돈 농도는 뚜렷한 양의 상관관계를 보였고, 특히 단층 지대의 경우 상관성이 더욱 분명하여 라돈 이상대 탐사에 효과적인 수단이 될 수 있음이 판명되었다. 또한 단층 지대에서는 라돈 수송이 비 단층 지대에 비해 유리했었기 때문으로 결론지을 수 있었다.

토양 시료의 우라늄 농도와 라돈 농도의 상관관계는 절대적인 선형 관계를 형성하지 않음이 관찰되는데 토양 입자로부터의 라돈 발산과 이동이 우라늄 함량보다는 다른 여러 가지 토양 물성과 지질 조건에 더 지배를 받기 때문으로 판단된다. 다만 경주 지역에서처럼 단층 지대에서의 상관성이 비 단층지대에 비해 약간 상관성이 높아 (R=0.43 vs. 0.36) 단층 구조에 의한 라돈 이동을 돕는 역할이 있었음을 추정할 수 있다.

주요어: 라돈, 우라늄, 함수율

1) 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부(E-mail: chon@snu.ac.kr)

토양 수분은 라돈의 발산과 이동에 중요한 효과를 미치는 요인이 되는데 적당한 함수율은 라돈 원자가 리코일하여 토양 공극으로 탈출할 때 정역학적 에너지를 흡수하여 또 다른 토양입자 안으로 묻히는 것을 막아 발산을 도우나 과도한 토양 수분은 공극 자체를 막아 라돈의 이동을 방해하게 된다. 이번 연구에서는 대략 10 wt.% 내외의 함수율에서 최고 라돈 측정치가 기록되었다.

토양 광물 입자의 크기는 비표면적에 반비례하므로 입경이 작은 광물로부터의 라돈 발산이 쉽게 된다. 따라서 토양 광물의 입도 분석을 통해 계산된 투수도는 라돈 발산과 수송의 효율 평가에 중요한 수단이 된다. 그러나 투수도 (Hazen K) 역시 라돈 농도와 뚜렷한 상관관계를 항상 보이지는 않아 라돈 발산과 이동은 여러 가지 요인들의 복합적인 결과임을 판명할 수 있다. 다만 연구 지역들에서 최고 라돈 측정값이 기록된 시료들 (HC3, MY6, WJ6)은 우라늄 함량이 낮음에도 불구하고 투수도가 공통적으로 높은 결과로 생각되어 투수도의 중요성이 강조된다(Table 1).

단층 주변은 단층 활동으로 인해 발생한 지질 구조가 라돈 이동을 원활하게 하여 라돈 농집의 경향을 예상할 수 있는데 가천과 경주의 월산리를 제외하고는 단층과 라돈 농집 사이에 뚜렷한 경향이 관측되지 않았다. 단층선으로 접근할수록 토양 우라늄 농도, 함수율, 특히 투수도의 변화 양상이 불규칙하고 라돈 농도의 변화도 일정한 상관성이 없으므로 어떤 특정한 요인이 라돈 분포에 지배적이지 않는다고 판단된다. 이번 연구에 이용된 Hazen method는 토양시료의 입도 분포로부터 투수도를 계산하는 것이어서 단층 활동의 영향으로 발생할 것으로 예상되는 균열이나 cracks 등에 의한 2차 투수율의 증가가 투수도에 반영되지 않았기 때문으로 볼 수 있다.

3. 결 론

위의 연구결과를 종합하여, 토양 우라늄 함량, 토양 함수율, 투수도의 세 독립변수들에 대한 다중회귀 분석 결과 연구지역의 라돈 농도 분포를 설명할 수 있는 의미있는 요인들임이 판명되었다. 그러나 상대적 중요성의 차이는 파악할 수 없었고 따라서 세 요소들은 단층 활동에 의해 형성된 라돈 수송 구조의 존재 여부와 함께 복합적으로 어느 지역의 라돈 분포를 결정하는 요인이 된다고 판단한다. 또한 라돈 발산과 이동에 영향을 주는 요인은 토양 함수율과 투수도가 토양 우라늄 농도보다 그 중요성이 더 크다고 결론지어 진다.

Table 1. Comparison of higher radon values with other properties in the study a

Sites	Bedrock	Rn-222(pCi/L)	U-238(mg/kg)	water content(wt.%)	Hazen K (cm/s)
H1	granite gneiss	1525	5.4	11.3	0.071
H4	granite gneiss	1100	4.6	14.2	0.024
HC3	metasediments	2536	2.2	10.0	0.184
MY6	metasediments	1619	1.6	10.8	0.189
WJ6	andesite	1991	1.8	12.3	0.128
YD3	granite	1082	3.8	10.8	0.033
YD4	granite	1506	4.5	9.2	0.055