

시계열분석에 의한 토양가스 라돈농도의 변화 특성 고찰

제현국 · 전효택¹⁾

1. 서론

실내라돈유입의 주근원은 토양가스로 알려져 있어 미국을 비롯한 선진국가에서는 토양가스의 라돈농도를 측정하여 해당지반의 라돈위해도 등급을 작성하고 있는 실정이나 국내의 경우 전무한 실정이다. 그러나 토양가스 중의 라돈함량은 측정당시의 지반조건 및 기상조건(온도, 습도, 강수량, 풍속 등)에 의해 일변동 및 계절적 변동의 양상이 존재하여 해당지역의 라돈위해도를 평가하는 값으로 대표성을 갖기에는 단점을 가진다. 토양가스 중의 라돈함량의 일변화 및 계절적 변화양상을 연구한 미국의 사례를 보면, 펜실베니아주의 토양의 경우, 연간 최저 토양가스 라돈농도와 최대 토양가스 라돈농도의 비는 10배 이상으로 보고되었으며(Washington, 1991), 또한 미국 덴버주에서의 토양가스 라돈농도 모니터링 결과, 강우와 지표의 동결-융해 작용으로 인하여 토양가스의 라돈농도는 매우 불규칙한 일변화 양상을 나타내었다(Gundersen and Wanty, 1991). 그러나 이들 연구들은 국내의 지반 및 토양층 그리고 기상조건과는 상이하여 국내 토양에 적용하여 토양가스 라돈농도의 일변화 및 계절적 변화양상을 파악하기에는 무리가 있어, 국내 최초로 토양가스 라돈농도의 모니터링을 실시하여 연중 변화양상을 파악하고, 부수적인 시계열자료를 획득하여 통계학적인 접근(ARIMA 모형식별, 분해법적용)을 시도, 라돈농도의 시계열특성을 파악하고자 하였다.

2. 연구방법 및 결과

토양가스 ²²²Rn농도는 Morse(1976)의 3분측정방법을 3회 반복한 평균값으로 나타냈으며 매 측정마다 측정셀의 방사능 배경값을 측정하였고 표준셀을 이용하여 측정된 라돈농도(cpm)값을 오차±10%로 보정하여 계산하였다. 본 연구에서는 2000년 11월 14일부터 2001년 4월 21일 서울특별시 관악구 신림동에 위치한 서울대학교 공과대학 XX연구동 근처의 토양층(जू라기 화강암기반의 잔류토양)에 모니터링 지점을 설치하고 각각 3개의 홀(hole)에서, 토양가스의 라돈농도를 측정, 평균값을 일 대표값으로 나타내었다.

ACF, PACF, 잔차도표 등을 이용하여 모형식별, 모수추정 그리고 모형진단의 과정을 수행한 결과, 설정된 시계열모형은 ARIMA(2,1,1)모형이었다. 2001년 4월21일 이후 7일간 예측을 실시한 결과 토양가스 라돈농도는 일정한 수준을 유지하거나 미약하게나마 감소하는 경향을 보여주고 있으며 실측치와 매우 유사한 경향을 보이고 있다(Fig.1). 그리고, 분석된 ARIMA(2,1,1)모형은 측정값을 기본으로 얻어진 원시계열과 유사한 패턴을 보이고 있어 라돈시계열의 특징은 자기회귀와 이동평균의 요소를 동시에 가지고 있다고 할 수 있다. 특히 자기회귀부분의 차수 2는 라돈의 붕괴속도 즉, 반감기가 3.8일이라는 점을 고려해 볼 때 매우 의미있는 것으로 판단되는데 이는 실제로 4일전 측정값에도 영향을 받는다는 의미이다.

주요어: 토양가스, 라돈, 시계열

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

위에서 설정된 ARIMA 모형에 대해 통계적분해법을 적용시킨 결과, 추세변동은 3차함수의 곡선으로 추정되었으며 추정된 회귀식과 통계량은 아래와 같으며 회귀식과 회귀계수는 통계적으로 유의하였다($p < 0.05$, $R^2 = 0.716$).

$$Y = 133.79X - 2.92X^2 + 0.01X^3 + 451.56 \quad (Y: \text{라돈농도}(pCi/L), X: \text{시간}(일))$$

겨울철(12월-2월) 토양가스 라돈의 증가추세는 지표부근에 형성된 결빙층 등에 의한 덮개효과(capping effect)에 의한 라돈의 토양가스내 농집에 의한 영향이며, 기온의 상승에 의해 결빙층이 녹아 덮개효과가 약해지는데 2월 이후에는 농집되었던 라돈의 지표방출로 인한 감소추세현상을 보여주고 있다. 불규칙변동은 단기간(1일 이내)에 의한 기상요소의 급격한 변화에 기인하며 변동현상으로는 다음과 같은 요인을 들 수 있다. 첫째, 강우에 의한 영향이 있는데 이는 서로 상반되는 변동양상을 가질 수 있다. 겨울철의 경우 강우 후, 지표면의 결빙시 덮개효과가 발생하여 지표근처의 토양층 내에서 라돈가스가 농집될 수 있으며, 영상의 기온을 보이는 계절의 경우는 라돈농도의 증가 또는 감소현상이 모두 가능하다. 라돈농도가 증가할 수 있는 원인은 지표근처에서 강우에 의한 수막형성으로 일시적인 덮개효과가 나타나는 경우이며(Gundersen and Wanty, 1991), 또한 토양층으로 침투한 강우에 의해 토양입자에서의 라돈의 발산율이 증가할 경우이다(Tompkins, 1982). 이와는 반대로 라돈농도가 감소할 수 있는 원인은 강우량이 상대적으로 많아서 토양공극속에 충분히 침투하여, 토양층에서의 라돈의 확산길이나 발산율을 감소시키는 경우이다(제현국, 1998). Table 1에서 보면, 11월 16일, 11월 19일 그리고 4월 12일에 발생한 강우현상에 의해 불규칙성분의 변동량이 급감한 것을 알 수 있으며, 이로 인해 라돈농도도 이전 시점에 비해 현저히 감소하였음을 알 수 있다. 둘째, 폭설에 의한 영향으로 이는 지표층에 덮개효과를 제공한다. 즉, 폭설에 의해 순간적으로 라돈의 지표방출이 급감하는 경우로 이 경우 토양가스 라돈농도는 농집되어 높은 수치를 보일 수 있다. Table 1에서 보면 1월8일, 1월9일, 1월27일 그리고 2월2일에 발생한 폭설에 의해 불규칙성분의 변동량이 전일에 비해 급증한 것을 알 수 있으며 원시계열도표에서의 라돈농도도 급증하였다. 세 번째의 요인은 지표근처의 온도변화이다. 영상의 온도에서 영하의 온도로 기온이 급강할 경우 지표가 결빙되어 덮개효과에 의한 토양가스 라돈의 농집이 가능하다고 판단되며 이와는 반대로 기온의 급상승에 따라 결빙되었던 토양이 융해하는 과정에서 지표로의 라돈방출이 급증하게 되어 토양가스 라돈농도는 감소하는 경우도 가능하다고 판단된다(Table 1)

3. 결론 및 제언

토양가스 라돈농도는 연중 변화양상이 매우 심각함을 알 수 있으며, 기상요인에 크게 지배를 받는 것으로 나타났다. 그러나 기상조건이 안정한 시기에 라돈농도는 토양자체의 라돈 생성량과 비슷한 수준을 보이는 것으로 나타났다. 그러므로 모니터링이 어려운 현장에서의 라돈측정은 적절한 시기에 수행되어야 하며, 통계적으로 구축한 시계열모형이 적용되고 라돈의 변화양상을 예측하고 보정해야만 한다.

참고문헌

1. 제현국, 1998, 지질환경 및 실내환경에서의 라돈방사능에 관한 기초 연구, 석사학위논문,

서울대학교, 서울.

2. Gundersen, L.C.S. and Wanty, R.B., 1991, *Field studies of Radon in Rocks, Soils and Water, U.S. Geological Survey Bulletin 1971*, Washington D.C., USA, p. 334.
3. Morse, R.H., 1976, "Radon Counters In Uranium Exprolation," International Symposium on the Exploration of Uranium Ore Deposits, IAEA, Vienna, Austria, Pub. No. IAEA-SM-208/55.
4. Thompkins, R.W., 1982, "Radiation in uranium mines", *CIM Bulletin*, September, 1982, pp. 149-156.
5. Washington, J.W., 1991, Radon generation and transport in soils, Ph.D. Thesis, Pennsylvania State University, USA.

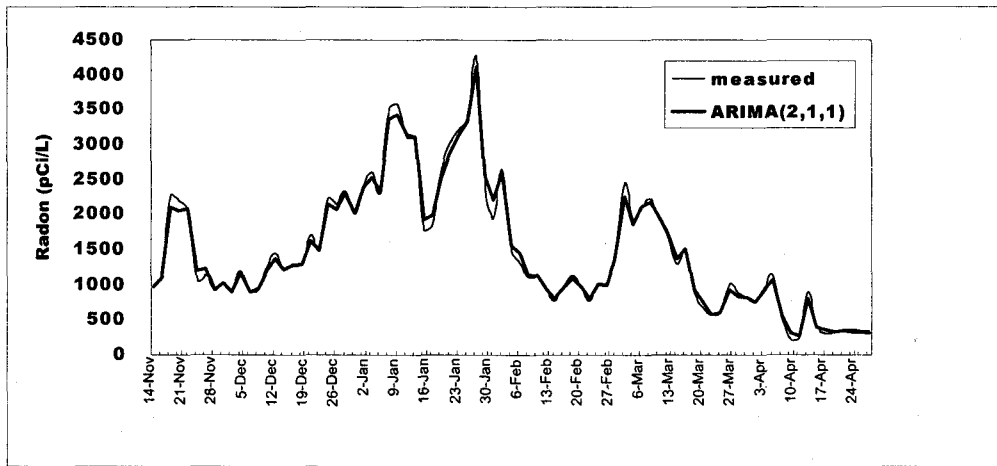


Fig.1 Comparison of ARIMA(2,1,1) model with measured values

Table 1. Variation of irregular composition with meteorological event.

Factor	Time sequence	Month/Date	event	amount of variation
Rainfall	3	11/16	8.2 mm	-449
	4	11/19	10.9 mm	-315
	76	4/12	5.0 mm	-474
Snowfall	28	1/8	160 mm	+463
	29	1/9	70 mm	+342
	38	1/27	250 mm	+1075
	41	2/2	60 mm	+629
Temperature change	15	12/12	5°C to -5°C	+151
	27	1/6	-5°C to 5°C	-586
	33	1/17	-10°C to 1°C	-489
	41	2/1	2°C to -5°C	+629