

地表空氣中の α 放射能測定 및 解析

田 載 植 · 明 東 範

忠南大學校 理科大學 物理學科

= 要 約 =

CA 80-15 및 LR 115-1 cellulose nitrate 비적검출기를 사용하여 지표공기중의 α 방사능을 측정 해석하였는바 이 검출기의 검출효율은 0.1 μ Ci의 ^{241}Am α 선을 사용하여 결정하였다. 지표에서 방출되는 라돈과 그 자핵종들에 의한 α 방사능을 검출하기 위하여 두가지의 라돈컵을 사용하였으며 이 들을 각각 지름이 15 cm, 깊이가 45 cm 인 이웃한 두개의 땅구덩이를 만들어 그 안에 설치하여 일정 기간 α 방사능에 노출하였다. 두 라돈컵중 하나는 구덩이 지표면에 거꾸로 밀착시켜 밀폐공간이 되 게 하고 다른 하나는 바닥에서 일정한 거리를 띄우고 컵 윗면에 구멍을 뚫어 공기의 소통이 가능하 도록 하여 그 검출결과를 비교 검토하였다.

α 입자에 피폭된 비적검출기는 부식처리한 후 현미경으로 판독하고 통계분석 하였으며 그 결과를 지표공기 단위부피당 α 방사능농도로 환산 평가하였다.

1. 서 론

주로 우라늄 광산의 광부들에 의한 라돈 및 그 자핵 종들이 포함된 갱내 공기의 흡입이 폐조직에의 α 입자 피폭을 유발하고 이것이 폐암 발생을 증가의 한 요인 이 될 수 있다는 우려에서 출발한 대기중 라돈 측정 및 해석에 관한 연구는 그후 옥내외를 막론하고 인간 이 호흡하는 모든 환경에 대한 라돈 측정 해석 연구로 그 범위가 넓게 확산되고 있다. 이와 더불어 라돈 발생의 근원지가 되고 있는 지표 및 지표면 내부에서의 라돈 발생과 이행등에 관한 연구도 여러 곳에서 수행 된 바 있다[1].

본 연구에서는 상품화된 cellulose nitrate(CN) 필름 인 CA 80-15 및 LR 115-1 고체비적검출기를 사용하여 충남대학교 대덕 캠퍼스내 지표면 내부 25 cm 및 45 cm 깊이에서 발생하는 라돈 기체와 그 자핵종들에 의 한 α 방사능의 농도를 측정 해석하였다.

2. 비적검출 및 해석이론

비적형성에 관한 정확한 이론은 아직 확립되지 않은 형편이나 중합체 보다는 비교적 간단한 무기고체물질 에서 비교적 널리 쓰이고 있는 모델로 Ion Explosion

Spike Model이 있다[2, 3]. 이 모델은 1965년 Fleischer 등에 의해 고안된 것인데 이 모델에 의하면 처음에 하 전입자가 검출기내로 입사할 때 하전입자의 경로에 따 라 각각의 원자들이 이온화되어 양으로 대전되고 이온 화된 원자들사이에 작용하는 정전기적 반발력이 검출 기 내의 원자들의 결합력보다 클 때 이 양으로 대전된 원자들은 서로 반대 방향의 격자들 사이로 들어간다. 따라서 양이온이 있었던 자리가 비워지므로 하전입자 가 통과한 주위의 원자배열은 불균형을 이루게 되며 이러한 불균형 때문에 변형력을 받은 원자들은 다시 안정한 상태로 재배열이 이루어지지만, 초기 하전입자 를 따라서 생긴 변형부분은 변형을 받지 않은 부분에 비해 불안정하므로 화학적 용제에 의한 부식율이 빠르 고, 그 결과로 비적을 형성하게 된다는 것이다.

한편, 원판형의 방사선 선원에서 일정한 거리에 있 는 원형의 검출기에 들어가는 입자의 수에 대한 기하 학적 효율은 Tsoufanidis[4]에 따라 분율 입체각 Ω 로 정의한다.

즉, 분율 입체각(Ω)은 등방성 선원의 경우

$$\Omega = \frac{\text{선원에서 검출기를 바라보는 입체각 내로 단위시간당 방출하는 입자의 수}}{\text{단위 시간에 방사선원에서 방출하는 입자의 수}}$$

로 쓸 수 있으며 Fig. 1에서와 같이 R_s 를 방사선원의 반지름, R_d 를 원판형검출기의 반지름, d 를 방사선과 검

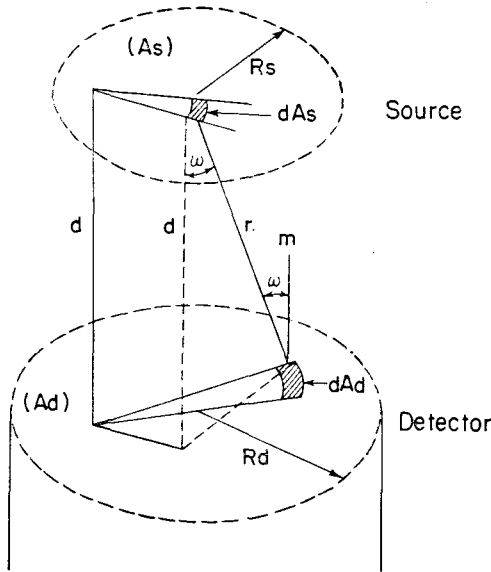


Fig. 1. Definition of the solid angle for a plane source and a plane detector parallel to the source[4].

출기 간의 거리, S_0 을 방사선원의 면적 $A(=\pi R_s^2)$ 에서 방출되는 단위면적당 단위시간당 입자의 수, r 을 미소 방사선원 dA_s 와 입자의 미소면적 dA_d 사이의 직선 거리라 하고, n 을 방사선원에서 검출기로 향하는 수직 벡터라 하면, 기하학적 효율은 방사선원에서 방출된 입자의 총수에 대하여 검출기로 입사한 입자의 총수의 비로 나타낼 수 있으므로[5,6]

$$\Omega = \frac{\int_{A_s} \int_{A_d} (S_0 dA_s / 4\pi r^2) dA_d (\mathbf{n} \cdot \mathbf{r} / r)}{S_0 A_s} \quad (1)$$

이다. 여기서 $\mathbf{n} \cdot \mathbf{r} / r = \cos \omega$ 이므로

$$\Omega = \frac{1}{4\pi} A_s \left(\int_{A_s} dA_s \int_{A_d} dA_d \cos \omega / r^2 \right) \quad (2)$$

이 된다. 제 1종 Bessel 함수를 이용하여 (2)식을 전개하면

$$\Omega = S \int_0^\infty dx e^{-xz} J_1(x) / x J_1(xS) \quad (3)$$

이다. 여기서 $S = R_d / R_s$, $Z = d / R_s$, $J_1(x)$ 는 제 1종 Bessel 함수로서

$$J_1(x) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i (x/2)^{2i+1}}{i!(1+i)!} \quad (4)$$

이다. 입체각 Ω 를 구하기 위해서 (2)식을 전개하면

$$\Omega = \int_0^\infty \sum_{m,n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{m+n} S^{2n+2} e^{-XZ} X^{(2m+2n+1)}}{2^{2(m+n+1)} m!(m+1)! n!(n+1)!}$$

Table 1. Calculated geometrical efficiency under the condition of the source-detector arrangement shown in Fig. 1, and the solid angle given by Eq.(5)

Distance	Efficiency(%)
10 mm	7.60453381 E-03
12 mm	5.68247707 E-03
14 mm	4.37956408 E-03
16 mm	3.46485645 E-03
18 mm	2.8023259 E-03
20 mm	2.30918145 E-03
22 mm	1.93331606 E-03
24 mm	1.64087703 E-03
26 mm	1.40922196 E-03
28 mm	1.22280317 E-03
30 mm	1.07068945 E-03
32 mm	9.45030644 E-04
34 mm	8.40080793 E-04
36 mm	7.5156131 E-04
38 mm	6.76236461 E-04
40 mm	6.11624553 E-04
42 mm	5.55797726 E-04

$$= \sum_{m,n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{m+n} S^{2n+2} (2m+2n+1)!}{2^{2(m+n+1)} m!(m+1)! n!(n+1)! Z^{2(m+n+1)}} \quad (5)$$

가 된다. 이 계산을 personal computer를 사용하여 수행한 결과 m, n 의 계산 가능한 항은 8항까지로, 동일한 조건에서 몬테칼로법에 의하여 계산한 값과 거의 일치하고 있다[7]. 기하학적 인자가 적용된 거리는 방사선원의 반경보다 모두 큰 거리인 경우였었는데 본 실험에서는 선원의 반경이 6.325 mm였던데 비하여 선원-검출기 거리가 10~40 mm까지였으므로 별 문제는 없었다. 이와같이 계산된 기하학적 효율은 Table 1과 같다.

3. 실험

1) 예비실험

본 연구에서 사용한 검출기는 Kodak Pathe of France에서 제작한 무기물질의 일종인 CA 80-15와 LR 115-1이다.

이 검출기들은 무기 ester인 cellulose nitrate로 구

성되어 있는데 CA는 두께 100 μm 인 CN으로 구성되어 있고, LR은 polyester기판에 6 μm의 CN이 도포되어 있다. 특히 이들 검출기는 4 MeV 이하의 α 입자에 대하여 민감하며 광자나 전자에 영향을 받지 않으므로 α 입자의 비적검출기로서 가장 적당한 것으로 알려져 있다[8].

본 실험에서는 이들 검출기에 대한 검출조건과 검출효율을 결정하기 위하여 5.486 MeV의 α 입자 방출체인 ²⁴¹Am을 사용하였다.

α 입자에 조사시킨 CN 검출기를 60±1°C의 항온조속에서 NaOH 용액으로 부식하여 얻어진 비적을 세척하고 건조한 후 합당한 배율(100~400)의 광물현미경으로 비적의 크기와 수를 측정하였는데 여기서 얻어진 비적의 크기와 수로 CN 검출기의 검출효율과 검출조건을 결정하였고[9], 그 조건아래서 지표면내에서 방출되는 라돈 기체와 그 자핵종의 α 입자를 측정하였다. 여기서 얻은 검출효율은 LR은 71.8±5.6%, CA는 74.5±7.3%이었다.

Fig. 2는 비적검출의 최적조건을 결정하기 위한 α 선원과 검출기의 배치모습인데 시료의 지지대 위에서 α 선원의 조사를 받는 검출기의 반경을 약 2.5 mm로 한정하여 조사시킨 후 검출기를 부식시켰을 경우 α 선원에 조사된 부분과 조사되지 않은 부분이 명확하게 구분되어 외부 방사선에 대한 자연계수의 영향을 쉽게 검토할 수 있게 하였다. 또 α 입자를 조사시킬 때 필요한 조사시간을 결정하기 위하여 선원과 검출기 사이

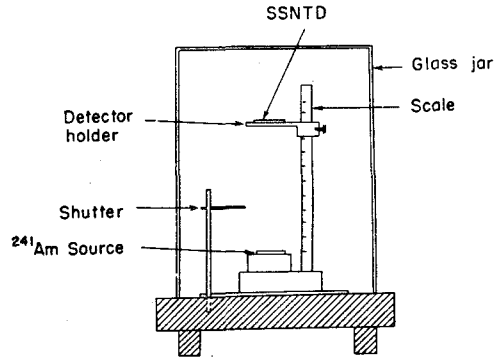


Fig. 2. Source-detector arrangement for alpha particle irradiation experiment.

에 shutter를 사용하였으며, 검출기에 α 입자 조사시행하여지는 일련의 외적 영향을 배제하고 동일한 조건에서 조사하기 위해 유리수조를 사용하였다[10]. 이때 검출기에 입사하는 입자의 입사각은 90°로 간주하였으며, 조사된 CN 검출기는 60±1°C를 유지하는 항온조안에 밀폐된 20 cc의 용기(plastic vial)안에서 NaOH 용액으로 부식시켰다[9].

이렇게 부식된 검출기는 상온에서 충분한 양의 1차 증류수로 세척하여 3시간이상[11] 용기안에 담가 두었다가 건조하여 광물현미경으로 관측하였으며 가급적 검출기의 중심 근방(±2 mm)에서 관측함으로써 비적의 검출효율 계산에 미치는 오차를 줄이려고 노력하였다.

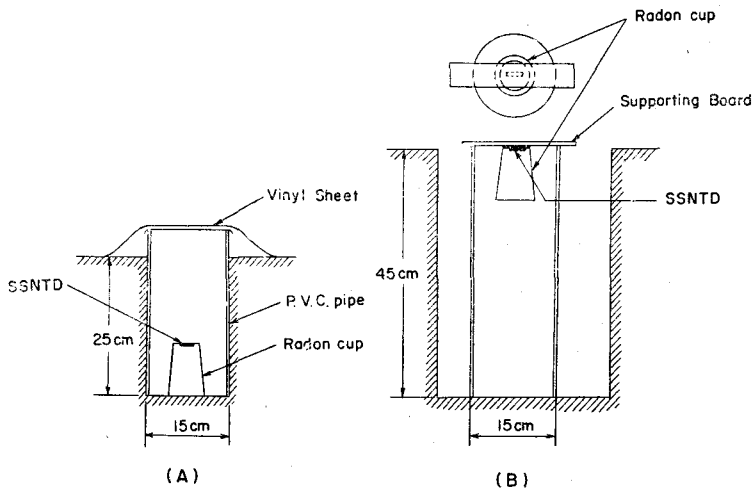


Fig. 3. Arrangement of radon cup and SSNTD for the detection of alpha particles from radon and its progeny in ground air.

2) 라돈 컵 설치

앞에서 언급한 CN 검출기를 이용하여 지표에서 올라오는 라돈 및 그 자핵종의 붕괴에 의한 α 방사능을 측정하였는데 이와 같은 측정을 수행하기 위해 사용된 라돈 컵의 구조는 Fleischer[12], 강영호[13] 등이 사용하였던 구조와 동일한 구조로 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 이러한 라돈 컵을 사용하는 경우 지면과 밀폐된 공간을 형성하게 되어 지면으로부터 올라오는 수증기 때문에 검출기에 습기가 닿아 수포가 형성되어 α 입자의 검출에 많은 영향을 줄 것이 예상되므로 Fig. 3(A)와 같은 기존의 라돈 컵 설치방법과 동시에 습기형성을 배제하기 위하여 고안된 Fig. 3(B)와 같은 설치방법으로도 α 입자의 방사능을 측정하여 그 결과를 비교하였다.

그림 Fig. 3(A)는 지표로부터 25 cm의 깊이에서 밀폐된 컵 체적내의 CN 검출기(이하 밀폐된 컵이라함)의 배치 모습이며, Fig. 3(B)는 45 cm의 깊이를 갖는 지표위의 개방된 컵 체적 내의 CN 검출기(이하 개방된 컵이라함)의 배치 모습이다. 라돈의 농도 측정을 위하여 위의 두 방법으로 설치한 검출기중 밀폐된 장치의 것은 1985년 9월 20일에 설치하여 1985년 11월 20일까지 10일 간격으로 하나씩 수거하여 충분한 시간동안 건조시킨 후 참고문헌 9에 주어진 부식조건으로 처리하여 100~400배율의 현미경으로 비적의 수를 계측하였다. 이때 비적 계측의 표준편차는 높은 배율의 계측일수록 커지므로 모든 비적의 계수치는 100배의 동일한 조건으로 환산 적용하였다.

4. 결과 및 고찰

1) 비적생성 효율과 α 방사능농도 산출

토양기체중에서 라돈과 그 자핵종에 의한 α 입자의 방사능을 측정하기 위해서는 검출기를 설치한 공간내에서 비적이 검출될 수 있는 라돈의 유효체적을 설정하여야 한다[12~14]. 이를 위하여 본 연구에서 사용한 라돈 컵을 Fig. 4에 다시 나타내었는데, 라돈 기체에서 붕괴한 α 입자의 비적형성 최대거리로서 비적형성이 가능한 최소 에너지를 갖는 입자에 대한 공기중에서의 비적을 택하여 이를 R_e 라 하고, 최소거리 R_i 는 입자의 에너지가 클수록 비적 반경이 감소하므로[9, 13] 화학 부식후 관측이 불가능해지는 임계 에너지에 대한 공기중에서의 비적과 같이 잡았다. 그러므로 부식에 의해 입자의 비적을 생성하는 유효체적으로는 라돈 컵내에서

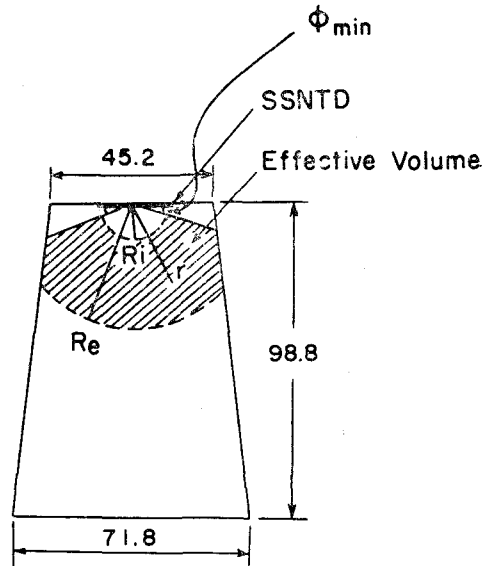


Fig. 4. Effective volume for detecting alpha particles from radon and its progeny in a radon cup.

비적 형성이 가능한 최대 거리 R_e 와 최소거리 R_i 사이의 공간으로 설정할 수 있다. 즉, 이 체적내에서 붕괴한 라돈의 α 입자만이 검출기에 관측 가능한 비적을 형성한다.

본 연구에서 사용된 라돈 컵에 대하여 R_e 와 R_i 는 각각 CA에 대해서 40 mm와 2.6 mm, LR에 대해서 40 mm와 16 mm였고 비적을 형성할 수 있는 최소임계각은 $\phi=15^\circ$ 였다[13].

한편, Fig. 4에 표시된 유효체적내 라돈의 α 방사능에 의하여 비적검출기의 단위면적 및 단위시간당 형성되는 비적의 수, 즉 비적생성을 $\dot{\rho}$ 는

$$\dot{\rho} = 2\pi \int_{\phi_{\min}}^{\frac{\pi}{2}} \int_{R_i}^{R_e} N\lambda \frac{r^2 \cos\phi \sin\phi}{4\pi r^2} dr d\phi \quad (6)$$

으로 주어지는데[14] 여기서 N 과 λ 는 각각 단위체적내의 라돈 입자의 수 및 α 붕괴 상수 이고 ϕ_{\min} 은 비적 형성이 가능한 최소각이다. (6)식을 계산 정리하면

$$\dot{\rho} = N\lambda \Delta R \cos^2 \phi_{\min} / 4 \quad (7)$$

되며 $\Delta R = R_e - R_i$ 이다. 이 (7)식과 검출기의 α 입자 검출효율을 감안하여 비적수의 공기중 α 방사능농도 환산인자를 계산하였는데(부록 참조) 그 값은 CA 및 LR에 대하여 각각 1 tr/mm²·10day당 4.81 pCi/l(0.13 Bq/l)와 7.78 pCi/l(0.21 Bq/l)였다.

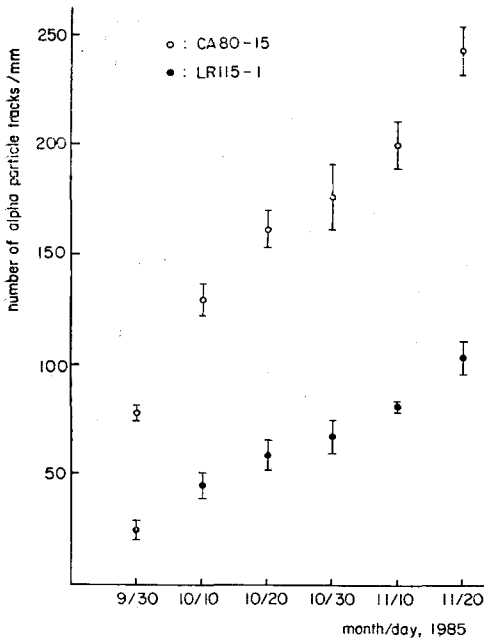


Fig. 5. Accumulated alpha particle track density detected in a closed cup situation.

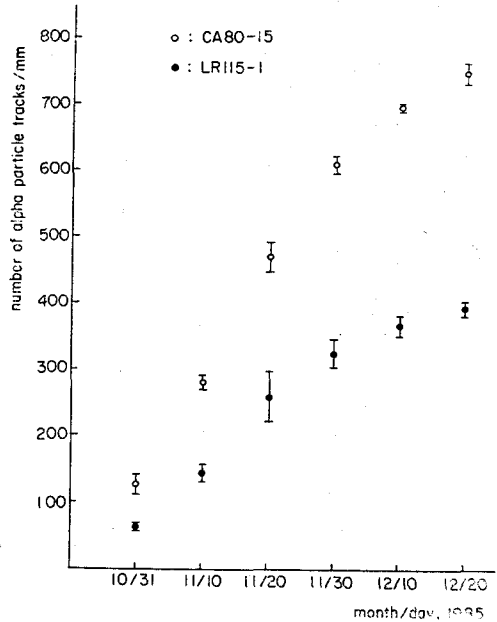


Fig. 6. Accumulated alpha particle track densities detected in an open cup situation.

2) 측정치 평가 및 고찰

Fig. 5와 6은 밀폐된 컵과 개방된 컵에서 측정된 지표면으로부터 올라오는 라돈 기체의 α입자 비적수인 데 표기된 error bar는 100~400배율의 현미경 관측 하에서 10~15회 계수로 얻어진 ±1σ의 범위이다.

이 두 그림에서 CA 검출기와 LR 검출기의 검출율이 크게 다른 까닭은 CA와 LR을 설치한 라돈 컵내의 유효체적이 다르며, CA 검출기의 CN부분이 LR 검출기의 CN부분보다 더욱 두꺼워 LR 검출기보다 부식 조건에 제한을 덜 받기 때문으로 생각되며, 거리별 검출효율을 살펴볼 때[9] LR 검출기가 α입자를 검출할 수 있는 에너지 구간이 좁다는데에서도 그 원인을 찾을 수 있다. 이러한 이유 때문에 실제로 CA 검출기가 LR 검출기보다 대략 2배의 비적검출효율을 나타내고 있었으며 따라서 측정된 α방사능의 대표값으로는 CA 검출기에서 검출된 α방사능 값을 채택하였다.

Table 2와 3에서 보는 바와 같이 측정기간중 10월 21일부터 11월 20일까지의 한달동안 개방된 컵과 밀폐된 컵에서 검출한 10일간의 평균 α방사능은 CA 검출기에서 각각 600.9±234.3 pCi/l(16.2±6.3 Bq/l) 및 195.1±108.5 pCi/l(5.3±2.9 Bq/l)로 산출되어 비교적 습기가 없는 상태(개방된 컵)의 검출기가 습기가

있는 상태(밀폐된 컵)의 검출기보다 α검출율이 높은 것으로 나타났다. 같은 조건하에서 LR 검출기로 측정된 값은 각각 510.1±241.3 pCi/l(13.8±6.5 Bq/l) 및 134.3±49.6 pCi/l(3.6±1.3 Bq/l)였다. 밀폐된 컵과 개방된 컵에서의 이러한 α방사능 검출의 차이는 지표면에서 올라오는 라돈 기체가 밀폐된 상태에서보다 개방된 상태에서 더욱 원활하게 소통되고 또 밀폐되었을 경우에 검출기표면의 습기나 수포에 의하여 검출기 표면에 형성된 물방울이 입사하는 α입자를 많이 정지시켰다고 생각할 수 있는데 이에 대한 Fleischer[12]의 연구에 따르면 습기가 있는 상태의 검출기와 습기가 없는 상태의 검출기 사이에 측정된 라돈의 농도는 습기가 없는 상태의 검출기가 습기가 있는 경우보다 약 2배가량 검출율이 높음을 보이고 있어 본 연구에서 나타난 경향과 좋은 일치를 보이고 있다. 본 실험지역에서 두 방법에 의해 측정된 α방사능은 밀폐된 컵과 개방된 컵에서 얻은 두 값중 개방된 컵에서 얻은 방사능을 대표값으로 택하였다. 밀폐와 개방 상태에서의 이와같은 측정치의 차이에 대한 연구는 앞으로 기상학적 요인등과 함께 더욱 깊이있게 수행되어야 할 분야라고 생각된다.

본 연구에서 1985년 10월 20일부터 12월 20일까지 약 2개월동안에 측정된 10일간 평균의 α방사능농도는

Table 2. Alpha activity concentration in ground air of CNU Taedok campus measured in closed cup situation

Duration(1985)	Detector Activity	LR 115-1		CA 80-15	
		tr/mm ² ·10 day	pCi/l	r/mm ² ·10 day	pCi/l
9.20~ 9.30		25.2±6.3	196.2±49.1	77.9±4.7	374.8±22.6
9.30~10.11		19.8±6.1	154.2±47.5	51.6±5.0	248.3±24.1
10.11~10.21		14.4±3.5	112.1±27.3	32.2±3.6	154.9±17.3
10.21~10.31		8.1±1.8	63.1±14.0	14.9±5.9	71.7±28.4
10.31~11.10		13.5±2.2	105.1±17.1	23.5±9.3	113.1±44.7
11.10~11.20		22.5±2.5	175.2±19.5	43.2±4.1	207.9±19.2
Average			134.3±49.6		95.1±108.5
Alpha Activity Conversion Factor		1 tr/mm ² ·10 day=7.78pCi/l (0.21 Bq/l)		1 tr/mm ² ·10 day=4.81pCi/l (0.13 Bq/l)	

Table 3. Alpha activity concentration in ground air of CNU Taedok campus measured in open cup situation

Duration(1985)	Detector Activity	LR 115-1		CA 80-15	
		tr/mm ² ·10 day	pCi/l	tr/mm ² ·10 day	pCi/l
10.21~10.31		62.9± 7.3	489.7± 56.8	126.1±19.7	606.7± 94.8
10.31~11.10		81.8±14.3	636.9±111.3	154.1±35.4	741.4±170.8
11.10~11.20		114.8±27.4	893.8±213.3	189.7±34.3	912.7±165.0
11.20~11.30		65.5±14.4	510.0±112.1	139.4±10.0	670.7± 48.1
11.30~12.10		41.9± 4.6	326.2± 35.8	87.0± 2.8	418.6± 13.5
12.10~12.20		26.2± 1.9	204.2± 14.8	53.1± 2.0	255.5± 9.6
Average			510.1±241.3		600.9±234.3
Alpha Activity Conversion Factor		1 tr/mm ² ·10 day=7.78 pCi/l (0.21Bq/l)		1 tr/mm ² ·10 day=4.81 pCi/l (0.13 Bq/l)	

600.9±234.3 pCi/l(16.2±6.3 Bq/l)라고 할 수 있는데 이것은 1981년 8월부터 1982년 2월까지 사이에 대구에서 측정된 α 입자 방사능농도(최고 평균치 : 144.4±1.3 pCi/l, 최저 평균치 : 31.8±0.6 pCi/l, 농도분포범위 : 11.7~354.5 pCi/l)와 비교하면 매우 높은 값을 나타내고 있으나 대구 지역에서 측정된 것이 본 연구에서 비교 사용했던 밀폐 상태에서 측정된 값에 대응되므로 같은 조건에서 우리가 얻은 값, 195.1±108.5 pCi/l (5.3±2.9 Bq/l)와 비교하면 대차없다고 할 수 있다. 그러나 라돈에 의한 지표토에서의 α 방사능농도는 지표로부터의 깊이에 의존하는 것으로 알려져 있는데 지표에서 10 cm, 40 cm 및 90 cm 깊이에서의 ²²²Rn α 방사능농도는 최소 520 pCi/l에서 최고 1,810 pCi/l를

보이고 있는 Israelsson의 연구[15]와 비교하면 본 연구에서 얻은 측정치는 매우 타당한 값으로 보인다.

Fig. 7에는 본 연구 기간동안 관측된 공기중 α 방사능농도의 변화를 나타내었다. α 입자는 지표면으로부터 방출되는 까닭에 온도, 상대습도, 대기압, 풍속등의 국지적인 기상조건과 밀접한 관계가 있음을 추측케 하는데 Mochizuki[16]의 연구에 의하면 토양에서의 모세관 작용과 토양 공기중의 라돈농도에 큰 영향을 미치는 인자로 기상학적 요인과 라돈의 증발현상등의 밀접한 연관성이 있으며, 또한 대기압과의 관련성을 정적인 상태에서 연구한 Jonassen[17]등의 결과와 Money 등[18]의 상대습도에 대한 라돈의 영향에 관한 연구등은 이러한 라돈농도 변화의 원인을 여러 각도에서 설명하

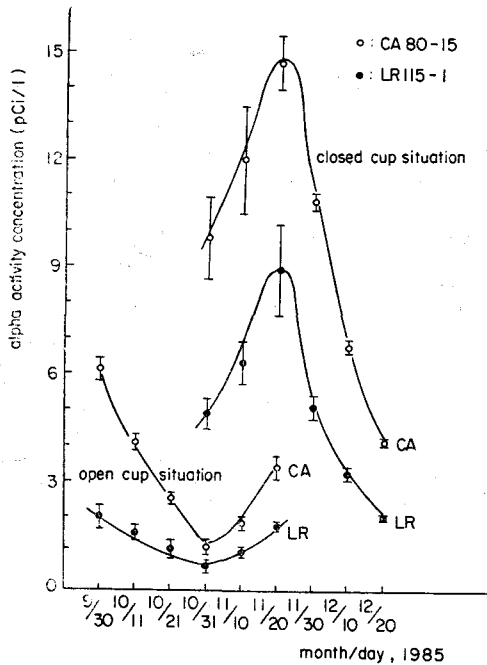


Fig. 7. Ten-day-interval variation of alpha activity concentration in ground air of CNU Taedok campus.

고 있다. 특히 본 연구 수행기간동안은 평균 기온이 내려가는 추세에 있었고 이때의 전반적인 라돈농도의 변화는 감소하고 있었는데 이는 우리나라 경북지방 일대에서 강영호 등에 의하여 측정된 라돈농도의 변화율[13]이나, Yarborough 등에 의해 측정된 변화율과의 유사성을 보이고 있어 일반적인 라돈농도의 변화가 지역에 따라 심한 변화를 보이지만 계절적으로 그 변화 경향이 유사함을 나타내고 있다.

5. 결 론

CA 80-15와 LR 115-1 cellulose nitrate 고체비적검출기를 사용하여 충남대학교 대덕 캠퍼스의 한 지점에서 지표면으로부터 방출되는 라돈기체에 의한 공기 중 α 방사능농도를 측정하였는 바 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 1985년 10월 21일부터 1985년 12월 21일까지 2개월간 충남대학교 대덕 캠퍼스내의 측정 지점에서 지표면에서 방출하는 10일간격의 평균 α 방사능농도는 최고 912.7±165.0 pCi/l(24.7±4.5 Bq/l), 최저 255.5±9.6 pCi/l(6.9 ± 0.3 Bq/l)로 Israelsson[15]의 측정치

(520~1,020 pCi/l@ 깊이 0.1 m)보다는 적은 값이나 그 수준(order of magnitude)은 잘 일치하고 있다.

2) 연구기간중 약 1개월기간동안 밀폐된 컵내의 CN 검출기와 개방된 컵내의 CN 검출기로 α 방사능을 비교 측정하였는 바 개방된 컵에서 측정된 α 방사능이 밀폐된 컵에서의 방사능보다 2배내지 3배가 컸다. 그 원인은 개방된 상태에서 라돈기체의 소용이 보다 원활하고 검출기에 형성되는 습기의 영향이 적기 때문으로 생각된다.

3) 본 연구에서와 같이 지표면에서 방출되는 α 입자의 측정엔 심한 라돈기체변화를 때문에 제반 환경요인과 라돈기체에 의한 α 방사능 변화율과의 연관성을 동시에 검토하여야 하며 따라서 α 방사능을 측정할 때 측정장소에서의 환경요인을 면밀하게 관측하는 것이 필요하다.

부록 : α 방사능농도 환산인자

비적검출기의 α 입자검출효율 ε를 감안한 비적생성율 $\dot{\rho}_e$ 는 (7)식으로부터

$$\dot{\rho}_e = \epsilon N \lambda \Delta R \cos^2 \phi_{min} / 4 \text{ (tr/mm}^2 \cdot \text{sec)}$$

된다. 여기서

	CA 80-15	LR 115-1
$\Delta R(\text{mm})$	37.4	24.0
ϵ	0.745	0.718

$$N \lambda = 1 \text{ pCi/mm}^3 = 3.7 \times 10^{-2} \alpha / \text{mm}^3 \cdot \text{sec}$$

$$\phi_{min} = 15^\circ$$

등의 parameter를 사용하여 1 pCi/mm³의 α 방사능이 1초당, 비적검출기 1 mm²에 만드는 비적형성율은 각각

$$0.241 \text{ tr/mm}^2 \cdot \text{sec/pCi/mm}^3 \text{ for CA 80-15}$$

$$0.149 \text{ tr/mm}^2 \cdot \text{sec/pCi/mm}^3 \text{ for LR 115-1}$$

되며 이것은 또한

$$1 \text{ tr/mm}^2 \cdot \text{sec} = 4.159 \text{ pCi/mm}^3 \text{ for CA 80-15}$$

$$1 \text{ tr/mm}^2 \cdot \text{sec} = 6.724 \text{ pCi/mm}^3 \text{ for LR 115-1}$$

로 환산된다.

10day=8.64×10⁵sec 이고, 1 l=10⁶mm³이므로 이것을 환산 적용하면 10일동안에 검출기 1 mm²당 검출된 1개의 비적에 대응되는 방사능농도는

$$\text{CA의 경우 } 1 \text{ tr/mm}^2 \cdot 10 \text{ d} = 4.814 \text{ pCi/l}$$

$$(0.13 \text{ Bq/l})$$

$$\text{LR의 경우 } 1 \text{ tr/mm}^2 \cdot 10 \text{ d} = 7.782 \text{ pCi/l}$$

$$(0.21 \text{ Bq/l})$$

로 환산된다.

참 고 문 헌

- 1) T.F. Gesell and W.M. Lowder eds., *Natural Radiation Environment* III, Vol. 1, pp.5~136, USDOE(1980).
- 2) R.L. Fleischer, *Nuclear Tracks in Solids*, pp. 56~72, Univ. of Calif. Press, Berkeley(1985).
- 3) E.V. Benton, *A Study of Charged Particle Track in Cellulose Nitrate*, U.S. Naval Radiological Defense Laboratory Report USNRDL-TR-68-14(1968).
- 4) N. Tsoulfanidis, *Measurement and Detection of Radiation*, pp.247-258, Hemisphere Publ. Corp.(1983).
- 5) M.P. Ruffle, "The geometrical efficiency of a parallel-disc source and detector system," *Nucl. Instr. Methods* 52, 354-356(1967).
- 6) L. Ruby and J.B. Rechen, "A simpler approach to the geometrical efficiency of a parallel-disc source and detector system," *Nucl. Instr. Methods* 58, 345-346(1968).
- 7) I.R. Williams, "Monte Carlo calculation of source-to-detector geometry," *Nucl. Instr. Methods* 44, 160-162(1966).
- 8) Kodak Pathé of France, "Instructions for use of KODAK CA 80-15 and LR 115-1 films" (1975).
- 9) 명동범, 전재식 : "Cellulose Nitrate 고체비적 검출기의 부식조건", 대한방사선방어학회지 12(1) 투고예정(1987).
- 10) 도진열, 전재식, 황선태 : "Cellulose Nitrate 의 알파입자비적 특성", 대한방사선방어학회지 9(2), 61-66(1984).
- 11) 육종철, 노성기 : "고체비적검출기를 이용한 중성자 선량측정", 대한방사선방어학회지 2(1), 1-8 (1977).
- 12) R.L. Fleischer and A. Mogro-Campero, "Technique and principles for mapping of integrated radon emanation within the earth," in *Natural Radiation Environment* III, T.F. Gesell and W.M. Lowder eds., pp.57-71, USDOE (1980).
- 13) 강영호, 박장식, 김도성 : Alpha 입자비적법에 의한 Radon 측정", 대한방사선방어학회지 7(1), 17-22(1982).
- 14) R.L. Fleischer and A. Mogro-Campero, "Mapping of integrated radon emanation for detection of long-distance migration of gases within the earth: Techniques and principles," *J. Geophys. Res.*, 83(B7), 3539-3549(1978).
- 15) S. Israelsson, "Meteorological influences on atmospheric radioactivity and its effect on the electrical environment," in *Natural Radiation Environment* III, T.F. Gesell and W.M. Lowder eds., pp.210-225, USDOE(1980).
- 16) S. Mochizuki and T. Sekikawa, "Radon-222 exhalation and its variation in soil air," in *Natural Radiation Environment* III, T.F. Gesell and W.M. Lowder eds., pp.105-116, USDOE(1980).
- 17) N. Jonassen, "On the effects of atmospheric pressure variations on the radon-222 concentration in unventilated rooms," *Health Phys.* 29, 216-220(1975).
- 18) M. Money and B. Heaton, "The effect of humidity on the detection of radon," *Health Phys.* 31, 456-457(1986).
- 19) K.A. Yarborough, "Radon-and thoron-produced radiation in national park service caves" in *Natural Radiation Environment* III, T.F. Gesell and W.M. Lowder eds., pp.1371-1395, USDOE (1980).

Measurement and Assessment of Alpha Activity in Ground Air

Jae-Shik Jun and Dong-Bum Myung

Department of Physics, Chungnam National University, Taejeon, Korea

=Abstract=

A study on the measurement of alpha activity in ground air has been carried out using CA 80-15 and LR 115-1 cellulose nitrate nuclear track detectors. The detection efficiency of the detectors were determined by making use of an ^{241}Am alpha source of $0.1 \mu\text{Ci}$ in activity under a known geometrical arrangement.

For the field measurement of alpha activity of emanated radon and its progeny in ground air two different radon cups were installed for a certain period of time in two neighbouring ground holes of about 15 cm in diameter and 45 cm in depth. Of the two radon cups one kept closed space during the detecting period, while the other kept open space with a hole enabling the air to ventilate.

The etched tracks were read out by a microscope and the results obtained through statistical analysis were evaluated in terms of alpha activity per unit volume of air.