

CR-39를 사용한 제주도지역 토양중의 라돈측정

강동우·김현구
조선대학교

요 약

CR-39 검출기를 부착한 두 종류의 라돈컵을 사용하여 토양중의 라돈 농도를 제주도 일원의 4개지역(제주시, 서귀포시, 대정읍, 성산읍)에서 측정하였다. 본 실험에서는 CR-39 검출기의 최적 부식조건을 70°C, 6.25N NaOH, 5.5시간으로 결정하였으며, 두 종류의 라돈컵을 지름 15cm, 깊이 50cm인 두개의 땅구덩이에 각각 설치하였는데 이중 밀폐된 라돈컵은 구덩이 바닥의 토양 위에, 개방된 라돈컵은 지지대를 이용하여 바닥에서 45cm 높이에 설치하였다. CR-39의 부식조건으로는 70°C의 6.25N NaOH 용액에서 5.5시간 동안 처리하였으며 환산인자로 $1 \text{ track/mm}^2 \cdot 30 \text{ day} = 0.059 \text{ Bq/l}$ 을 얻었다. 1987년 5월 1일부터 1988년 4월 23일까지 측정한 결과 30일간의 평균 라돈 농도의 연평균치는 개방된 라돈컵과 밀폐된 라돈컵에서 각각 $3.1 \pm 0.3 \text{ Bq/l}$ 와 $1.7 \pm 0.2 \text{ Bq/l}$ 였다.

I. 서 론

고체비적검출기(Solid State Nuclear Track Detector)는 하전입자가 유전체를 통과할 때 방사선손상이 비적으로 형성되며, 이 비적을 적절한 화학용액으로 부식시키면 광학현미경으로 관측된다[1]. 하전입자의 검출방법은 1958년 Young[2]에 의해 lithium fluoride에서 핵분열파편의 검출 결과가 처음 발표된 후, 1960년대에 Fleischer, Price, Walker[3-5]등에 의해서 여러 물질에 대한 비적특성이 연구되었다. 현재는 고체비적검출기의 재료개발 및 비적특성 그리고 비적계수 방법등의 연구와 핵공학, 천체물리학, 보건물리학, 우라늄 탐사등의 광범위한 분야에서 응용 연구가 진행되고 있다[6].

기체상태인 라돈은 ^{238}U 의 붕괴 계열에서 생기고 토론은 ^{232}Th 의 자핵종으로 지표하에서 확산되어 대기중으로 방출된다. 지표하에서 확산되어 올라오는 라돈의 농도를 측정함으로써 우라늄이나 토륨의 탐사가 가능하며, 지하수 속에 들어있는 라돈 함유량의

변화를 주기적으로 관측함으로써 지진예측이 가능하다는 사실이 밝혀졌다[7,8].

본 연구에서는 CR-39 검출기와 두 종류의 라돈컵을 사용하여 제주도 일원에서의 지표하에서 확산된 라돈 농도를 주기적으로 측정하여 타지역과 비교·검토하였다.

II. 라돈컵의 기하학적 구조와 비적 생성물

지표하에서 확산되어 올라오는 라돈을 측정하기 위한 라돈컵의 기하학적 구조는 그림 1과 같다.

부착된 SSNTD의 특성과 라돈에서 방출된 알파 입자의 에너지에 따라 비적형성이 가능한 최대거리 R_o 와 최소거리 R_i 가 존재하며, R_o 와 R_i 사이의 공간을 유효체적(Sensitive Volume)이라 한다. 이때 R_o 는 비적형성이 가능한 최소 에너지의 알파입자에 대한 공기중에서의 비정(range)과 같고, 최소거리 R_i 는 알파입자의 에너지가 클수록 비적반경이 감소하므로[9] 화학부식 후 관측이 불가능해지는 임계에너지를 가진

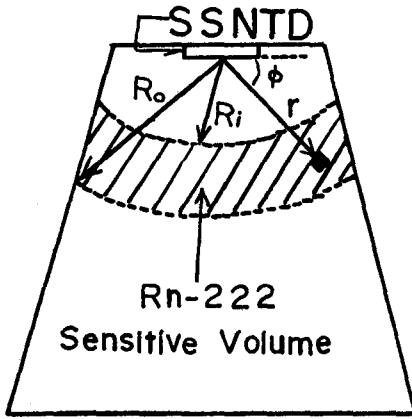


Fig. 1. Radon cup geometry.

$$\dot{\rho} = N\lambda\Delta R\cos^2\phi_{\min}/4 \dots\dots\dots(3)$$

가 되며, 여기서 $\Delta R = R_o - R_i$ 이다.

따라서 비적 생성율과 SSNTD의 알파입자의 검출 효율을 결정하면 라돈컵의 라돈검출 환산인자를 얻을 수 있다.

III. 측정방법

제주도는 제3기말 플라이오세(pliocene)에 화산 활동이 시작된 이후 제4기에 들어와서 완성된 대륙봉 위의 화산도이기 때문에 화산 지형적 특징을 잘 나타내고 있으며, 기단유동을 차단 하는 한라산(1,950m)과 대륙과 대양을 향한 사면지형의 특성에 의하여 표1에 나타난 바와 같이 지역적 기후요소의 편

Table 1. Regional weather factors

Factor	Temperature (C)			Rainfall (mm)	Humidity (%)			Atmospheric Pressure (&sb) m
	Average	Jan.	Aug.		Average	Jan.	Aug.	
Cheju	14.7	5.2	26.4	1,416	73	68	82	1,016.1
Seoguiipo	15.7	6.0	26.6	1,718.2	70	64	79	1,015.7
Taejeong	15.3	5.2	26.5	1,237	74	68	82	1,016.4
Seongsan	15.1	4.8	26.3	1,769.5	78	71	86	1,017.9

입자의 공기중에서의 비적과 같다.

유효체적 내에서 붕괴한 라돈에서 방출된 알파입자에 의하여 SSNTD의 단위면적당 단위시간당 형성되는 비적의 수, 즉 비적생성율 $\dot{\rho}$ 는[8]

$$\dot{\rho} = \int \frac{N \cdot \lambda}{4\pi r^2} \sin\phi \, dV \dots\dots\dots(1)$$

으로 주어지며, 여기서 $N \cdot \lambda/4\pi r^2$ 은 선원으로부터 거리 r만큼 떨어진 단위면적당 단위시간당 수직으로 도달하는 알파입자의 수이다. 여기서 N은 단위체적내의 라돈 원자수, λ 는 라돈의 붕괴상수이다.

원통대칭인 경우 $dV = 2\pi r^2 dr \cos\phi \, d\phi$ 이므로

$$\dot{\rho} = 2\pi \int_{\phi_{\min}}^{\pi/2} \int_{R_i}^{R_o} N\lambda \frac{r^2 \cos\phi \sin\phi}{4\pi r^2} \, dr \, d\phi \dots\dots(2)$$

으로 주어지는데, ϕ_{\min} 은 비적형성이 가능한 최소 각이다.

식(2)를 계산 정리하면

차가 비교적 큰 편이다.

본 연구에서 라돈 농도를 측정할 지점은 그림 2에서 보인 바와 같이 제주시(제주일고), 서귀포시(서귀포), 대정읍(무릉중학), 성산읍(성산수교)의 네 곳이었다.

지표하에서 확산된 라돈농도를 측정하기 위하여 그림 3과 같은 장치를 사용하였는데, 이는 참고문헌8 및 10에서 사용한 것과 같은 것이다.

구덩이는 지표에 약 50cm 깊이로 파고 PVC관(내경 15cm)을 수직으로 세우고, PVC관의 윗구멍은 외기의 간섭을 방지하기 위하여 뚜껑을 덮고 그 위에 다시 비닐을 덮었다.

그림 3(a)는 지표로부터 50cm의 깊이에서 밀폐된 라돈컵내의 CR-39 검출기의 배치 모습이며, 그림 3(b)는 지지대를 사용하여 구멍바닥의 토양에서 45cm의 위치에 설치한 개방된 라돈컵내의 CR-39 검출기의 배치 모습이다.

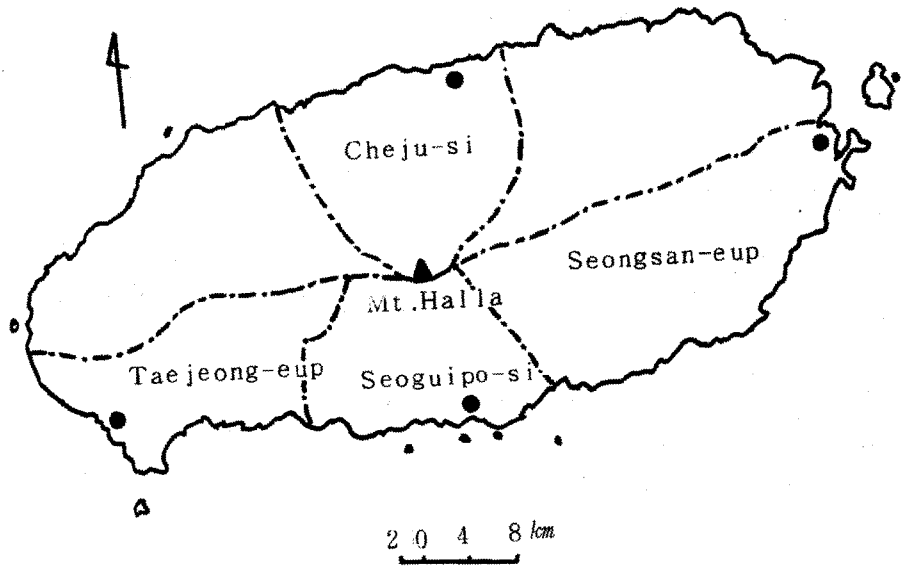


Fig. 2. Points of radon concentration measurement.

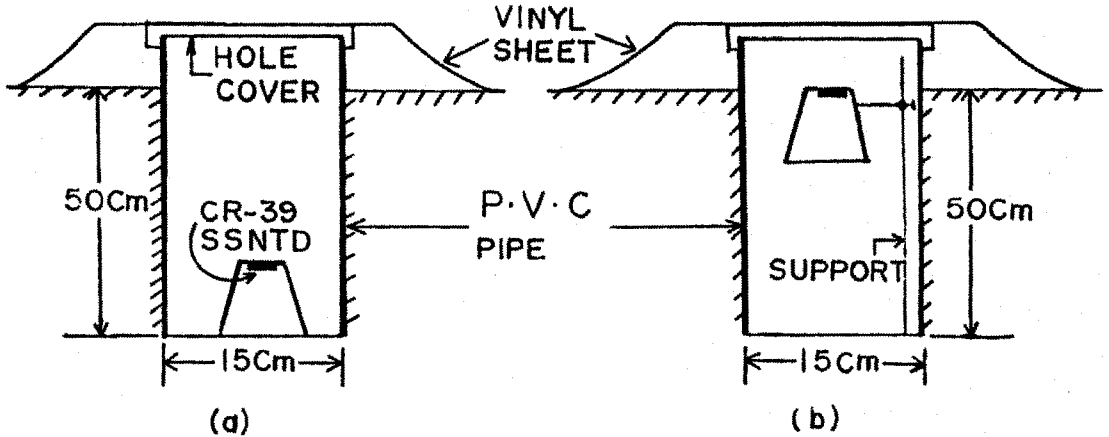


Fig. 3. Situation of radon cups for measuring subsurface radon concentration.
(a) closed radon cup (b) open radon cup

그림 3(a)는 라돈컵을 지면에 밀착시켜 라돈컵으로
어온 토양기체가 컵밖으로 나가지 못한다. 이러한
돈컵을 사용하는 경우 지면과 밀폐된 공간을 형성
되어 검출기 표면에 형성되는 수포가 알파입자
출에 많은 영향을 미치기 때문에 습기형성을 배
기 위하여 그림 3(b)와 같은 설치방법으로도 측
그 결과를 서로 비교하였다.

라돈과 라돈 자핵종의 붕괴에서 생기는 알파입자
들에 노출된 CR-39 검출기를 30일 간격으로 수거하여
충분히 건조시킨 후 최적부식조건으로 화학부식시켜
200배의 광학현미경으로 비적밀도를 관측하였다.

본 연구에 사용된 SSNTD는 250 μ m의 ally diglycol
carbonate (CR-39, USA)로 그 특성은 표 2와 같다.
CR-39 검출기는 최근에 개발된 비적검출재료[11]로

Table 2. Characteristics of CR-39 detector.

Chemical Composition	$C_{12}H_{16}O_7$
Structure	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} \begin{array}{l} \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2 \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \end{array}$
Density	1.32g/cm^3
Thickness	$250\mu\text{m}$

서 광학적 투명도와 균질·등방성이 높은 열경화성(thermoset)플라스틱으로서 현재까지 알려진 SSNTD 중에서 가장 높은 감도와 분해능[9]을 가지고 있다.

CR-39 검출기의 알파입자에 대한 감도와 부식특성을 조사하기 위하여 알파선원으로 $0.12\mu\text{Ci}$ 의 에너지 교정용의 ^{241}Am ($E_\alpha=5.486\text{MeV}$)을 사용하였다.

조사된 CR-39 검출기는 NaOH용액의 온도를 70°C 로 고정시켜 NaOH용액의 농도와 부식시간을 변화시키면서 검출효율과 최적부식조건을 구하였다. 부식온도를 일정하게 유지하기 위하여 Data Plate가 부착된 Hot Plate(Whatman, Model 440, England)를 사용하였으며 장시간 부식시키는 동안 온도의 안정도는 $\pm 1^\circ\text{C}$ 였다. 조사된 CR-39 검출기는 NaOH용액이 들어있는 용기에 넣고 밀폐시킨 후 자력교반기(magnetic stirrer)를 이용하여 400rpm 의 속도로 NaOH용액을 교반하면서 화학부식시켰다. 이와같이 NaOH용액을 밀폐시켜 교반한 이유는 장시간 부식시키는 동안 NaOH용액의 증발로 인하여 생기는 NaOH용액의 농도변화가 CR-39 검출기에 미치는 영향을 방지하며 60°C 이상에서 장시간 부식시킬 경우 대기중의 CO_2 와의 작용으로 CR-39 검출기의 탄산화작용(carbonation)으로 인한 영향[9]를 막기 위해서였다.

부식이 끝난 CR-39 검출기는 흐르는 물로 3시간 이상 세척하고 다시 증류수로 세척하여 충분히 건조시킨 후 비적을 광학현미경(Nikon, Model EPI, Japan)으로 관측하였다.

그림 4는 조사된 CR-39 검출기를 70°C , 6.25N NaOH용액으로 부식시켰을 때 부식시간에 따른 비적 직경의 변화를 나타낸 것인데, 알파입자의 비적은 부

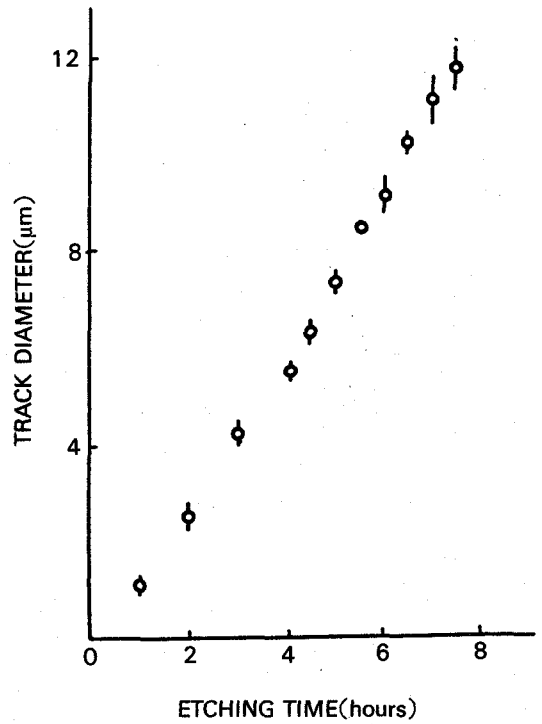


Fig. 4. Alpha track diameter as a function of etching time for CR-39 detector etched in 70°C , 6.25N NaOH.

식시간에 따라 선형적으로 증가했으며 부식시간이 5.5시간일때 알파입자의 비적이 가장 균일하고 뚜렷했다. 그러나 부식시간이 5.5시간을 지남에 따라 비적의 모양이 타원형으로 되어 판별이 어렵게 되었다.

그리고 본 실험에 사용된 NaOH용액의 규정농도를 결정하기 위하여 조사된 CR-39 검출기를 1N에서 10N까지 0.5N간격으로 변화시키면서 70°C 에서 5.5시간 동안 화학부식시켰는데, 그림 5는 NaOH용액의 규정농도에 따른 비적직경의 변화를 나타낸 것이다. 그림 5에 나타난 바와 같이 높은 농도로 갈수록 비적직경이 급격히 증가하여 6N과 6.5N 사이에서 Plateau가 형성되어 가는 것을 볼 수 있었으며, 특히 6.25N에서 가장 균일하고 뚜렷한 알파입자의 비적을 관측할 수 있었다.

그러므로 본 실험에서 알파입자를 검출하기 위한 최적부식조건은 70°C , 6.25N NaOH, 5.5시간으로 결정

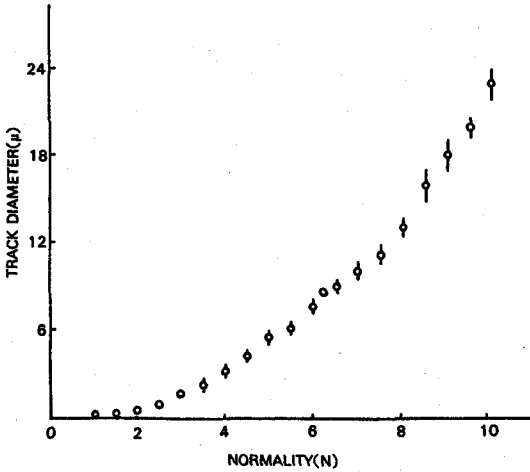


Fig. 5. Alpha track diamer as a function of NaOH normality for CR-39 detector etched in 70°C for 5.5hours.

하였다. 그리고 본 실험에 사용된 CR-39 검출기는 공기중에서 알파입자의 평균 검출효율이 80.1±1.2%이었다.

본 연구에 실제로 사용된 라돈컵의 구조는 그림 6과 같고, 라돈컵의 재료는 플라스틱으로 Fleischer

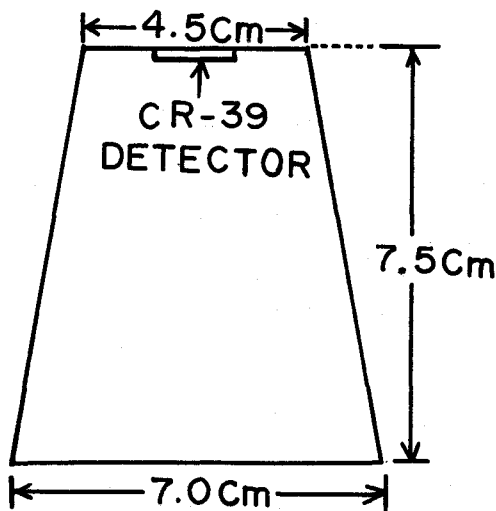


Fig. 6. Radon cup geometry used for measurement of radon concentration.

[12], 강영호[9]등이 사용했던 구조와 동일한 것으로 컵의 상단부 직경은 7cm, 하단부 직경은 4.5cm, 높이는 7.5cm이다.

본 연구에 사용된 라돈컵에 대하여 라돈컵내에서 비적형성에 가능한 최대거리 R_o 와 최소거리 R_i 는 각각 40mm와 5mm 였고, 또 비적검출이 가능한 최소 입계각은 $\phi_{min}=15^\circ$ [9]로 설정하였다.

따라서 (3)식 $\rho=N\lambda\Delta R \cos^2\phi_{min}/4$ 로부터 얻어지는 라돈컵의 라돈 검출 환산인자는 1 track/mm·30day=0.059 Bq/l 이다.

IV. 결과 및 고찰

표 3은 제주도 일원의 4개 지역에서 측정된 30일간의 라돈농도를 나타낸 것인데, 개방된 라돈컵(oc)과 밀폐된 라돈컵(cc)을 사용하여 측정된 30일간의 라돈농도는 제주시에서 최고 10.3±0.5 Bq/l(oc)와 5.1±0.3 Bq/l(cc), 성산읍에서 최저 0.9±0.1 Bq/l(oc)와 0.4±0.1 Bq/l(cc)이고 년평균 라돈농도는 3.1±0.3 Bq/l(oc)와 1.7±0.2 Bq/l(cc)였다.

제주도 일원의 4개 지역에서 측정된 30일간의 라돈농도는 충남대학교 대덕 캠퍼스내의 10일간 평균 α 방사능 농도[13] (최고 33.6±4.5 Bq/l, 최저 9.4±2.7 Bq/l : 1985. 10/20~12/20)와 비교해 보면 매우 낮지만, 밀폐된 라돈컵만을 사용하여 측정한 경북 일원의 월평균 라돈농도[9] (최고 5.3±0.004 Bq/l, 최저 1.2±0.02 Bq/l : 1981. 8~1982.2)와는 거의 비슷한 값을 나타내고 있다. 그리고 그림 7과 8은 개방된 라돈컵과 밀폐된 라돈컵을 사용하여 측정된 30일간의 라돈농도의 변화를 나타낸 것이다.

그림 7과 8에 의하면 지표하에서 확산된 토양기체 중의 라돈농도는 측정지역과 계절에 따라 큰 차이를 보이고 있는데, 년 평균기온이 가장 낮고 년 평균 강우량이 적은 제주시 지역에서 가장 높은 반면에 년 평균강우량이 가장 많고 년 평균기온이 높은 성산읍 지역이 가장 낮게 나타나고 있어 그 차이는 약 4배 정도이다. 또 계절에 따라 30일간의 라돈농도는 평균기온이 가장 높은 8~9월에서 최고치를 보이다가 평균기온이 하강하면서 라돈농도가 감소하여 11~12월

Table 3. (a) Every 30days average of radon concentration for open radon cup in Cheju Island.

Area Radon Concentration (±S·D) Duration	Cheju		Seoguipo		Taejeong		Seongsan	
	track mm ² ·30day	Bq l	track mm ² ·30day	Bq l	track mm ² ·30day	Bq l	track mm ² ·30day	Bq l
1987								
5. 1 ~5. 30	137.2±6.5	8.1±0.4	47.3±4.8	2.8±0.3	52.4±4.3	3.1±0.3	41.1±2.0	2.4±0.1
5. 31~6. 29	134.7±6.2	7.9±0.4	44.0±3.6	2.6±0.2	53.8±4.9	3.2±0.3	27.0±3.9	1.6±0.2
6. 30~7. 29	124.9±7.3	7.4±0.4	47.4±4.6	2.8±0.3	50.0±6.8	3.0±0.4	29.3±2.7	1.7±0.2
7. 30~8. 28	140.3±8.1	8.3±0.5	38.3±5.2	2.3±0.3	59.7±5.9	3.5±0.3	47.8±6.0	2.8±0.4
8. 29~9. 26	174.4±8.5	10.3±0.5	61.2±6.4	3.6±0.4	69.7±5.8	4.1±0.3	50.0±4.6	3.0±0.3
9. 27~10.26	62.2±4.1	3.7±0.2	26.3±2.3	1.6±0.1	30.3±3.7	1.8±0.2	28.2±3.4	1.7±0.2
10.27~11.25	53.5±7.7	3.2±0.5	24.4±3.1	1.4±0.2	28.2±3.0	1.7±0.2	21.6±2.9	1.3±0.2
11.26~12.26	32.2±3.0	1.9±0.2	23.1±2.8	1.4±0.2	29.3±3.0	1.7±0.2	14.9±2.3	0.9±0.1
12.27~1. 24	36.1±3.2	2.1±0.2	40.1±3.5	2.4±0.2	29.6±2.8	1.7±0.2	19.6±2.0	1.2±0.1
1. 25~2. 23	45.8±4.2	2.7±0.2	47.0±4.5	2.8±0.3	32.7±3.5	1.9±0.2	22.5±2.5	1.3±0.1
2. 24~3. 24	78.5±6.5	4.6±0.4	68.0±6.4	4.0±0.4	53.2±3.8	3.1±0.2	35.4±4.5	2.0±0.3
3. 25~4. 23	98.6±5.0	5.8±0.3	40.5±4.0	2.4±0.2	54.1±4.0	3.0±0.2	36.4±3.0	2.1±0.2
Average	93.2±5.9	5.5±0.4	42.3±4.3	2.5±0.3	45.0±4.3	2.7±0.3	31.1±3.3	1.8±0.2

Table 3. (b) Every 30days average of radon concentration for closed radon cup in Cheju Island.

Area Radon Concentration (±S·D) Duration	Cheju		Seoguipo		Taejeong		Seongsan	
	track mm ² ·30day	Bq l	track mm ² ·30day	Bq l	track mm ² ·30day	Bq l	track mm ² ·30day	Bq l
1987								
5. 1 ~5. 30	71.2±5.1	4.2±0.3	26.5±2.7	1.6±0.2	24.2±3.4	1.4±0.2	24.0±2.7	1.4±0.2
5. 31~6. 29	68.4±6.2	4.0±0.4	24.1±2.6	1.4±0.2	30.0±2.7	1.8±0.2	14.0±2.4	0.8±0.1
6. 30~7. 29	67.7±4.2	4.0±0.2	23.3±2.3	1.4±0.1	27.0±2.9	1.6±0.2	14.7±2.6	0.9±0.2
7. 30~8. 28	72.8±4.9	4.3±0.3	20.6±2.3	1.2±0.1	30.0±3.2	1.8±0.2	23.9±3.1	1.4±0.2
8. 29~9. 26	86.3±5.4	5.1±0.3	30.8±4.4	1.8±0.3	37.0±4.5	2.2±0.3	24.9±2.3	1.5±0.1
9. 27~10.26	30.0±5.0	1.8±0.3	14.3±2.7	0.8±0.2	14.9±2.2	0.9±0.1	12.8±1.9	0.8±0.1
10.27~11.25	28.1±5.0	1.7±0.3	12.8±3.4	0.8±0.2	15.6±1.4	0.9±0.1	9.5±1.7	0.6±0.1
11.26~12.26	18.8±1.8	1.1±0.1	13.0±1.4	0.8±0.1	14.2±1.5	0.8±0.1	7.0±2.0	0.4±0.1
12.27~1. 24	21.7±2.6	1.3±0.2	22.1±2.7	1.3±0.2	17.0±1.4	1.0±0.1	10.0±2.0	0.6±0.1
1. 25~2. 23	26.7±2.9	1.6±0.2	29.0±3.1	1.7±0.2	18.6±2.6	1.1±0.1	11.9±2.3	0.7±0.1
2. 24~3. 24	44.9±3.8	2.6±0.2	38.7±4.2	2.3±0.2	31.8±3.6	1.9±0.2	19.6±3.2	1.2±0.2
3. 25~4. 23	52.2±5.0	3.1±0.3	22.1±3.1	1.3±0.2	33.2±2.9	2.0±0.2	20.0±3.0	1.2±0.2
Average	49.1±4.3	3.1±0.3	23.1±2.9	1.4±0.2	24.4±2.7	1.4±0.2	16.0±2.4	0.9±0.1

에서 최소치를 보여 계절변화에 따라 라돈농도가 크게 변하고 있음을 알 수 있다. 이와같은 현상으로 미루어 보아 기온, 강우량, 대기압, 풍속등의 국지적인 기상인자들과 라돈농도는 밀접한 상호 관련성이 있

음을 짐작케 한다.

따라서 제주도 일원의 4개 지역에서 측정된 30일간의 라돈농도의 변화는 측정지역에 따라 큰 차이를 보이고 있지만 계절적 변화는 유사하게 나타나고 있다.

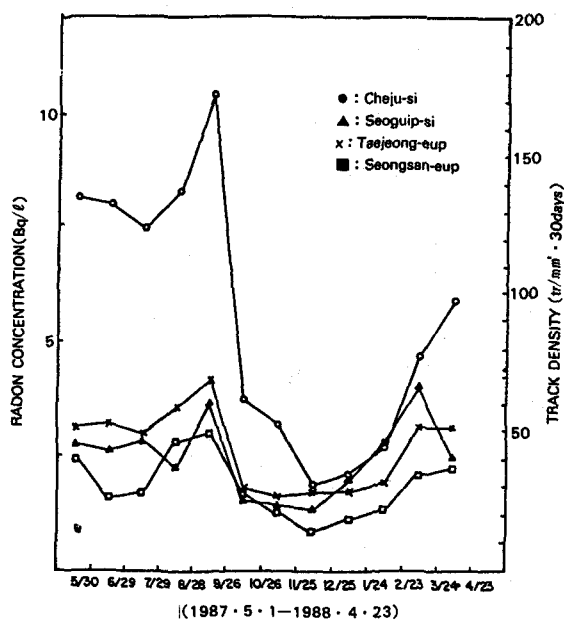


Fig. 7. Variation of subsurface radon concentration for open radon cup in Cheju Island.

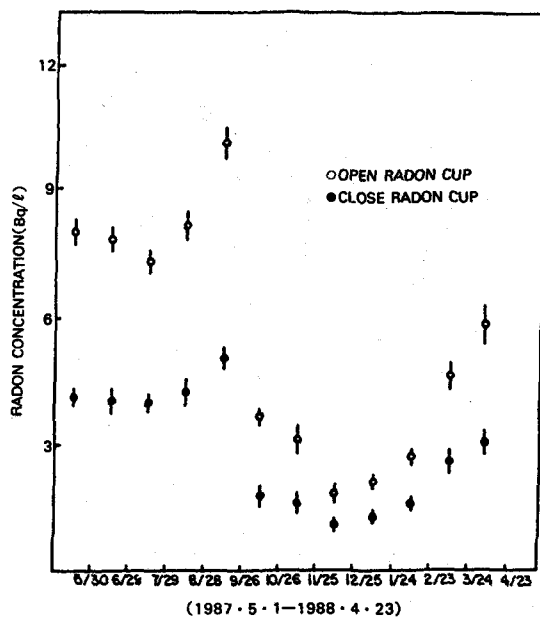


Fig. 9. Comparison of subsurface radon concentration for open radon cup and closed radon cup in Cheju-si.

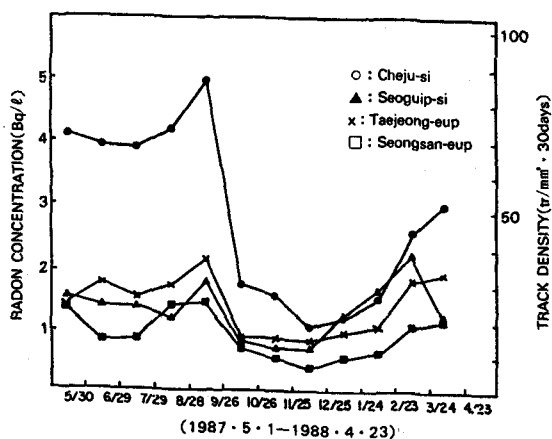


Fig. 8. Variation of subsurface radon concentration for closed radon cup in Cheju Island.

그림 9는 기상학적으로 제주도를 대표할 수 있는 제주시에서 측정된 30일간의 라돈농도의 변화를 나타낸 것인데, 개방된 라돈컵(습기가 비교적 적은 상태)의 CR-39 검출기가 밀폐된 라돈컵(습기가 비교적 많은 상태)의 검출기보다 알파입자의 검출율이 약 두 배 가량 높게 나타났다. 이러한 현상은 토양기체가

밀폐된 상태보다 개방된 상태에서 활발히 소통되고 밀폐상태의 경우는 개방상태보다 CR-39 검출기 표면에 형성된 수포가 많아서 검출기로 입사하는 알파입자들을 많이 정지시켰기 때문이라고 생각되며, 이에 대한 Fleischer[14], 명동범[13]의 연구에서도 본 연구의 결과와 같은 현상을 보이고 있다.

사진 1은 제주도 일원에서 CR-39 검출기에 감지된 알파입자의 비적상이다.

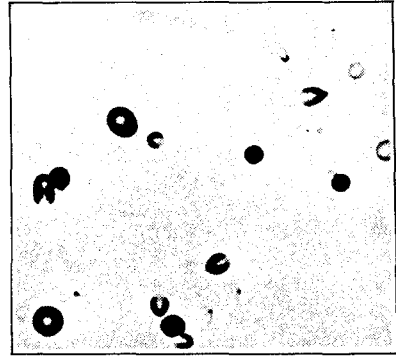
V. 결 론

CR-39 검출기를 사용하여 제주도 일원의 4개 지역(제주시, 서귀포시, 대정읍, 성산읍)에서 1987년 5월 1일부터 1988년 4월 23일 까지 30일 간격으로 토양기체중의 라돈농도를 측정하 바 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 개방된 라돈컵과 밀폐된 라돈컵을 사용하여 측정된 30일간의 라돈농도는 8~9월에서 최고 10.3 ± 0.5 Bq/l(oc)와 5.1 ± 0.3 Bq/l(cc), 11~12월에서 최저 0.9



(Cheju-si)



(Seongsan-eup)

50 μ m

Photo. 1. Alpha tracks, measured in Cheju Island, etched in 70°C, 6.25N NaOH for 5.5hours.

± 0.1 Bq/l(oc)와 0.4 ± 0.1 Bq/l(cc)였으며, 제주도 일원의 년평균 라돈농도는 3.1 ± 0.3 Bq/l(oc)와 1.7 ± 0.2 Bq/l(cc)로 나타났다.

2) 30일간의 라돈농도를 측정된 결과 개방된 라돈컵의 CR-39 검출기가 밀폐된 라돈컵의 검출기보다 알파입자의 검출율이 약 두배 가량 높게 나타났다.

3) 제주시, 서귀포시, 대정읍, 성산읍에서 측정된 년평균 라돈농도는 5.5 ± 0.4 Bq/l(oc)와 2.9 ± 0.3 Bq/l(cc), 2.5 ± 0.3 Bq/l(oc)와 1.4 ± 0.2 Bq/l(cc), 2.7 ± 0.3 Bq/l(oc)와 1.4 ± 0.2 Bq/l(cc), 1.8 ± 0.2 Bq/l(oc)와 0.9 ± 0.1 Bq/l(cc)였으며, 측정지역에 따라 라돈농도가 큰 차이를 보이고 있으나 계절적 변화양상은 유사하게 나타나고 있다.

4) 앞으로 라돈농도를 측정할 때에는, 라돈농도가 국지적인 환경요인(기온, 상대습도, 대기압, 풍속, 지질구조 등)과 밀접한 상관관계가 있기 때문에, 측정지역의 제반 환경요인을 면밀히 관측하는 것이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. R.L.Fleischer and P.B.Price, "Tracks of charged particle in high polymers." *Science*, **140**, 1221(1963).
2. D.A.Young, "Etching of radiation damage in Lithium Fluoride." *Nature*, **182**, 375(1958).
3. R.L.Fleischer and P.B.Price, "Charged particle tracks in glass." *J. Appl. Phys.*, **34**, 2903(1963).
4. R.L.Fleischer, P.B.Price and R.M.Walker, "Track registration in various solid-state nuclear track detectors." *Phys. Rev.*, **133**, A1443 (1964).
5. R.L.Fleischer, P.B.Price and R.M.Walker, "Tracks of charged particle in solids." *Science*, **149**, 383(1965).
6. R.L.Fleischer, P.B.Price and R.M.Walker, *Nuclear Tracks in Solids*, 563, Univ. of Calif. Press, Berkely (1975).
7. C.Y.Young, "Radon emanation on San Andreas fault." *Nature*, **271**, 516(1978).
8. 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. Reseach.*, **83**, 3539 (1978).
9. 강영호, 박장식, 김도성, "Alpha비적법에 의한 Radon측정," 대한방사선방어학회지, **7**(1), 17~22 (1982).
10. R.L.Fleischer, H.W.Alter, S.C.Furman, and R.M.Wal-

- ker, "Particle track etching." *Science*, **178**, 255(1972).
11. B.G.Cartwright, E.K.Shirk, and P.B.Price, "A nuclear track-recording polymer of unique sensitivity and resolution." *Nucl. Instr. Meth.*, **153**, 457(1978).
 12. R.L.Likes, A Mogro-Campero, and R.L.Fleischer, "Moisture in sensitive monitoring of radon." *Nucl. Instr. Meth.*, **159**, 395(1979).
 13. 명동범, 전재식, "지표공기중의 α 방사능 측정 및 해석," 대한방사선방어학회지, **11**(2), 134~135(1986).
 14. R.L.Fleischer and A Mogro-Campero, "Techniques and principles for mapping of integrated radon emanation within the earth." *Natural Radiation Environment -III*, USDOE, pp57~71(1980).

Measurement of Radon Concentration in the near-surface Soil Gas by CR-39 Detectors

D. W. Kang, H. G. Kim

Department of Physics,

Chosun University, Kwangju, Korea

〈Abstract〉

A series of experiments is performed to measure radon concentration in the near-surface soil gas at the four locations (Cheju-Si, Seoguipo-Si, Taejeong-eup, Seongsan-eup) in Cheju Island, using CR-39 detectors placed inside radon cups. Two types of radon cups are installed in shallow holes of about 15 cm in diameter and 50cm in depth.

The optimum etching conditions, i.e., the concentration of NaOH solution, etchant temperature and etching time, are found to be 6.25N, 70°C and 5.5 hours for CR-39 detectors.

A typical conversion factor of radon cup is calculated as
 $1 \text{ track/mm}^2 \cdot 30\text{day} = 0.059 \text{ Bq/l}$.

Average radon concentrations over 30 days measured in Cheju Island from May 1, 1987 to April 23, 1988 are $3.1 \pm 0.3 \text{ Bq/l}$ for open radon cups and $1.7 \pm 0.2 \text{ Bq/l}$ for closed radon cups.