

# Alpha 粒子飛跡法에 의한 Radon 測定\*

姜榮浩 · 朴章植 · 金道聖\*\*

慶北大學校 物理學科

## 초 목

지표하에서 방출되는 토양기체중의 라돈농도 측정은 환경방사능, 우라늄탐색, 지진예지 등에 관한 연구에 널리 이용되고 있다.

본 연구에서는 초산 셀룰로오즈(LR115-Type 2와 CA80-15, Kodak Pathé)와 CR-39의 플라스틱 비적 검출기를 부착한 라돈컵을 제작하여 경북일원에서 토양기체중 라돈농도를 측정하였다. 제작한 라돈컵내에는 일정량의 CaSO<sub>4</sub>를 건조제로 사용하여 플라스틱 검출기에 미치는 습기의 영향을 감소시켰으며, 라돈컵의 라돈검출 환산인자는  $1\text{tr}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{days} = 1.2 \times 10^{-2} \text{pCi}/\text{l}$ 였다.

1981년 1월부터 1982년 2월 사이의 대구에서의 평균 라돈농도는 39.1pCi/l였다. 한편 1981년 8월부터 1982년 2월 사이의 대구, 안강, 경주, 포항, 청하, 안동에서의 평균 라돈농도는 각각 31.8pCi/l, 124.5 pCi/l, 127.0pCi/l, 79.1pCi/l, 144.4pCi/l, 70.9pCi/l였으며, 이 결과를 TLD에 의한 환경방사능 측정치와 비교하였다.

## 1. 序 論

氣體狀態인 radon 은 自然放射能 崩壞系列의 崩壞生成物으로써 土壤氣體와 함께 地表로 부터 大氣中으로 放出되어 自然環境放射能의 一部를 이룬다. Radon과 그 崩壞生成物은 線質因子(人體에 障害을 주는 한 尺度)가 相對的으로 큰 alpha 粒子를 放出함으로써 이들에 의한 影響을 評價하기 위하여 radon 濃度의 測定이 필요하다. 또한 地表下에서 擴散되어 나오는 土壤氣體中의 radon 濃度를 測定함으로써 土壤 探광이 가능하며<sup>1),2)</sup>, 土壤氣體 및 地下水中の radon 濃度變化를 週期的으로 觀測함으로써 地震예보가 가능한 것으로 알려져 있다.<sup>3),4)</sup>

大氣와 土壤氣體中의 radon 濃度는 時間, 季節, 氣象條件, 位置等의 環境要因에 따라 그 變化가 심하므로<sup>5)</sup>, 長期間의 平均 radon 濃度를 測定하여야 한다. 플라스틱 飛跡檢出器를 사용한 알파입자 비적법은 alpha 粒子의 檢出에 매우 效果的이며, 外部電力의 공급없이 직접적인 飛跡檢出이 가능하므로<sup>6),7)</sup>, 長期間에 걸쳐 radon 의 平均濃度를 測定코자 할 경우에 理想的인 檢出方法이다.

本 研究에서는 플라스틱 飛跡檢出器인 LR115-Type 2, CA80-15, CR-39로써 radon에서 放出되는 alpha 粒子를 檢出하였으며, 土壤氣體中의 radon 濃度를 測定하기 위하여 radon cup을 제작·사용하고, 그 換算 因子를 決定하였다.

제작한 radon cup을 使用하여 경북일원(대구, 안강, 경주, 포항, 청하, 안동)에서의 土壤氣體中의 radon 濃度를 週期的으로 測定하여 그 結果를 보고한다.

## 2. 測定裝置 및 方法

### 가. 測定地點

本 研究에서 radon 濃度를 測定한 地點은 다음과 같다: 대구(경북대학교), 안강(안강중학), 경주(근화여고), 포항(동지여상), 청하(청하중학), 안동(안동대학).

土壤氣體中의 radon 濃度는 측정지역의 기압, 온도, 습도등의 氣象要因 및 여러 環境要因에 의하여 日中變化가 심하므로 7日 以上の 平均 radon 濃度를 測定하였다.

대구에서는 1981年 1月부터 7日間과 30日間, 기타지역에서는 1981年 8月부터 30日間 測定하여 平均 濃度

\* 이 論文은 1981年度 韓國科學財團 研究費에 의하여 遂行되었음.

\*\* 大邱大學校 物理學科

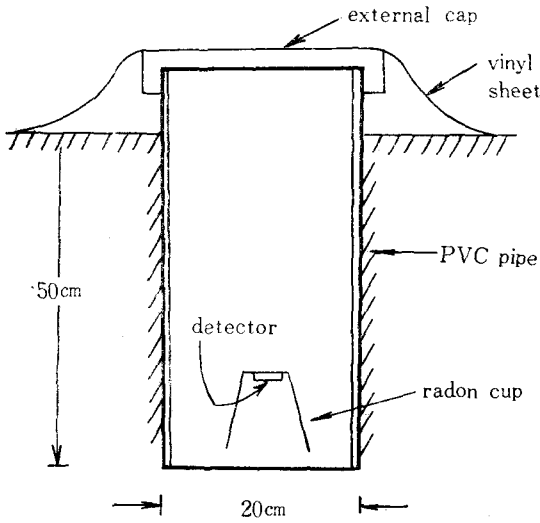


Fig. 1. Experimental arrangement for underground radon measurement

를算出한 후 서로 비교하였다.

나) 測定裝置

地表下에서 擴散되어 나오는 土壤氣體中の radon 濃度を 測定하기 위하여 Fig. 1과 같은 裝置를 使用하였다.<sup>8)</sup>

地表로부터 약 50cm 깊이에 PVC 파이프를 설치하고 플라스틱 飛跡檢出器가 부착된 radon cup을 設置하였다. 地表下の 깊이에 따른 radon 濃度の 變化를 고려하여 同一한 깊이에서의 radon 濃度を 測定하였다. radon cup 內의 습기는 플라스틱 飛跡檢出器의 檢出感度を 크게 低下시킴으로 最大 檢出感度を 얻기 위하여

진조제로써 CaSO<sub>4</sub>를 7日間の 測定時에는 10g, 30日間の 測定時에는 30g을 radon cup內에 부착하였다.<sup>9)</sup>

一定期間 설치한 radon cup에서 수거한 플라스틱 飛跡檢出器를 最適腐蝕條件에서 化學腐蝕한 後, 飛跡密度를 求하고 radon cup의 換算因子로부터 平均 radon 濃度を 決定하였다.

다) 플라스틱 飛跡檢出器의 特性和 化學腐蝕

本 實驗에서 使用한 alpha 粒子 飛跡檢出器는 플라스틱인 cellulose nitrate(CN, LR115-Type 2와 CA80-15, Kodak Pathé)와 CR-39(Solar Optical Japan Co.)이다. LR115-Type 2는 100μm 두께의 polyester 기판 위에 coating된 12μm의 CN으로 구성된 것이며, CA80-15는 100μm두께의 CN으로 구성되어 있다. CR-39는 最近에 개발된 飛跡檢出材料로써<sup>10)</sup> 광학적 투명도와 等方·均質性이 높으며 現在까지 알려진 飛跡檢出材料들 가운데서 가장 높은 感도와 分解能을 갖고 있다.<sup>11)</sup> 본 實驗에서 使用된 CR-39의 두께는 1.7mm이다.

CN 및 CR-39등에 記錄된 alpha 粒子의 飛跡은 化學腐蝕을 통하여 擴大됨으로써 광학현미경으로 관측이 가능해진다.

CN과 CR-39는 腐蝕溶液인 NaOH를 10%(2.5N), 60°C로 고정하여 腐蝕時間을 變化시키면서 最適腐蝕條件을 求하였다. 60°C의 高溫이 되면 檢出器와 大氣中の CO<sub>2</sub>의 作用으로 炭酸化作用(carbonation)이 일어날 수 있으며, 長時間의 腐蝕이 必要한 경우에는 腐蝕溶液의 濃度變化가 일어나게 되므로 항온기를 使用하여 溫度를 一定하게 維持하고 腐蝕液을 密閉된 용기속에 넣어 檢出器의 炭酸化和 溶液의 濃度變化를 줄였다.

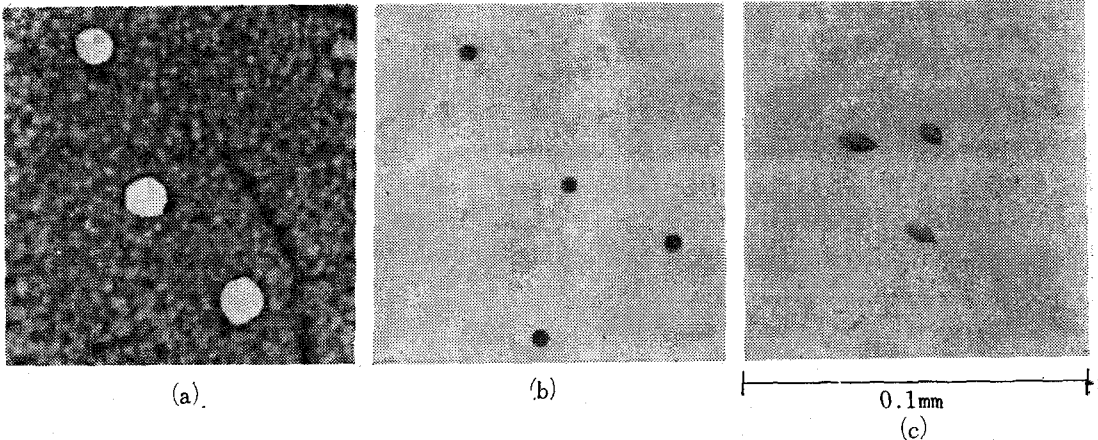


Photo. 1. Alpha tracks in (a) LR115-Type 2 (b) CA80-15 and (c)CR-39 Etched by 60°C, 10% NaOH for 150min, 70min and 25hrs, respectively

腐蝕이 끝난 檢出器는 25~30°C의 증류수로 30分 以上 세척한 後, 광학현미경(배율×200)으로 飛跡像을 觀測·計數하였다.

Photo. 1은 CN (LR115-Type 2, CA80-15)과 CR-39에 檢出된 alpha 粒子의 飛跡像이다.

Table 1. Optimum etching conditions for plastic track detectors

detector	atomic composition	etching condition
LR115-Type2	12μm CN (C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>9</sub> N <sub>2</sub> )	60°C, 10% NaOH, 150min
CA80-15	100μm CN	60°C, 10% NaOH, 70min
CR-39	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	60°C, 10% NaOH, 25hours

alpha 粒子의 에너지에 따라 LET(linear energy transfer)가 달라지므로 腐蝕時間의 增加에 따라 飛跡密度와 飛跡반경이 증가하며, 特定時間의 腐蝕에서 一定한 飛跡密度를 얻을 수 있었다. 본 실험에서는 광학현미경에 의한 비적계수의 편이성과 飛跡密度와 飛跡반경의 증가를 고려하여 最適腐蝕條件을 구했으며, 檢出器의 化學組成과 最適腐蝕條件은 Table 1과 같았다.

라) Radon Cup의 檢出效率

제작한 radon cup은 幾何學의 구조와 부착된 검출기의 特性에 따른 檢出效率를 決定하였다. 使用된 radon cup의 구조는 Fig. 2와 같다.

부착된 檢出器의 特性과 alpha 粒子의 에너지에 따라 飛跡形成이 가능한 최대거리 R<sub>0</sub>와 최소거리 R<sub>t</sub>이 존재하며, R<sub>0</sub>와 R<sub>t</sub>사이의 體積을 有效體積(sensitive volume)

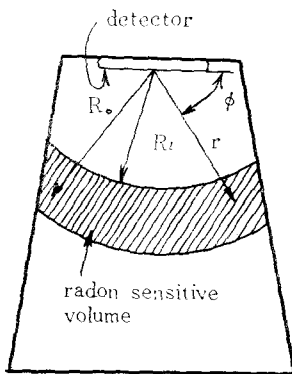


Fig. 2. Radon cup geometry

이라 한다(Fig. 2). 最大距離 R<sub>0</sub>는 飛跡形成이 가능한 최소에너지의 알파입자에 대한 空氣中에서의 飛程(range)과 같다. 또한 最小距離 R<sub>t</sub>은 알파입자의 에너지가 클수록 飛跡半徑이 減少하므로 化學부식후 觀測이 불가능해지는 임계에너지에 대한 공기중에서의 飛程과 같다. 有效體積內에서 붕괴한 radon에서 放出된 alpha 粒子만이 檢出器에 觀測可能한 飛跡을 形成한다. Fig. 2로부터 주어진 radon의 activity에 대해 단위면적당 단위시간당 形成되는 飛跡의 數 즉 飛跡生成率 ρ는<sup>12)</sup>

$$\rho = 2\pi \int_{\phi_{min}}^{\pi/2} \int_{R_t}^{R_0} N \lambda \frac{r^2 \cos \phi \sin \phi dr d\phi}{4\pi r^2} \dots\dots\dots (1)$$

으로 주어지며 φ<sub>min</sub>은 飛跡形成이 可能한 최소각이다. 그러므로

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

가 되며 ΔR=R<sub>0</sub>-R<sub>t</sub>로 주어진다. N은 단위체적내의 radon 原子의 數, λ는 radon의 崩壞常數이다.

本 實驗에서 제작한 radon cup의 재료는 플라스틱이며 컵의 하단부 직경은 4.5cm, 상단부 지름은 7cm, 높이는 7.5cm이다. radon에서 放出된 alpha 粒子의 에너지는 5.486MeV(Rn-222)로 alpha 입자의 에너지와 공기중에서의 비경과의 관계 및 에너지감소를 고려하여 ΔR=3.5cm로 또 비적검출이 가능한 입계각을 취하여 cos<sup>2</sup>φ<sub>min</sub>=cos<sup>2</sup>15°=0.933이었다. 따라서 (2)식으로 부터

Table 2. Monthly average underground radon concentrations in Daegu

Month	Radon Concentration(±S.D.)	
	tr/cm <sup>3</sup> ·30days	pCi/l
'81. Jan.	1285±36	15.4±0.4
Feb.	1452±38	17.4±0.5
Mar.	3960±63	46.1±0.8
Apr.	4936±70	59.0±0.8
May	3227±57	38.6±0.7
Jun.	4742±69	56.7±0.8
Jul.	2884±54	34.5±0.7
Aug.	4481±67	53.6±0.8
Sep.	5585±75	66.7±0.9
Oct.	2064±45	24.7±0.5
Nov.	966±31	11.5±0.4
Dec.	880±30	10.5±0.4
'82. Jan.	864±29	10.3±0.4
Feb.	2813±53	33.6±0.6
average	2867±54	34.2±0.6

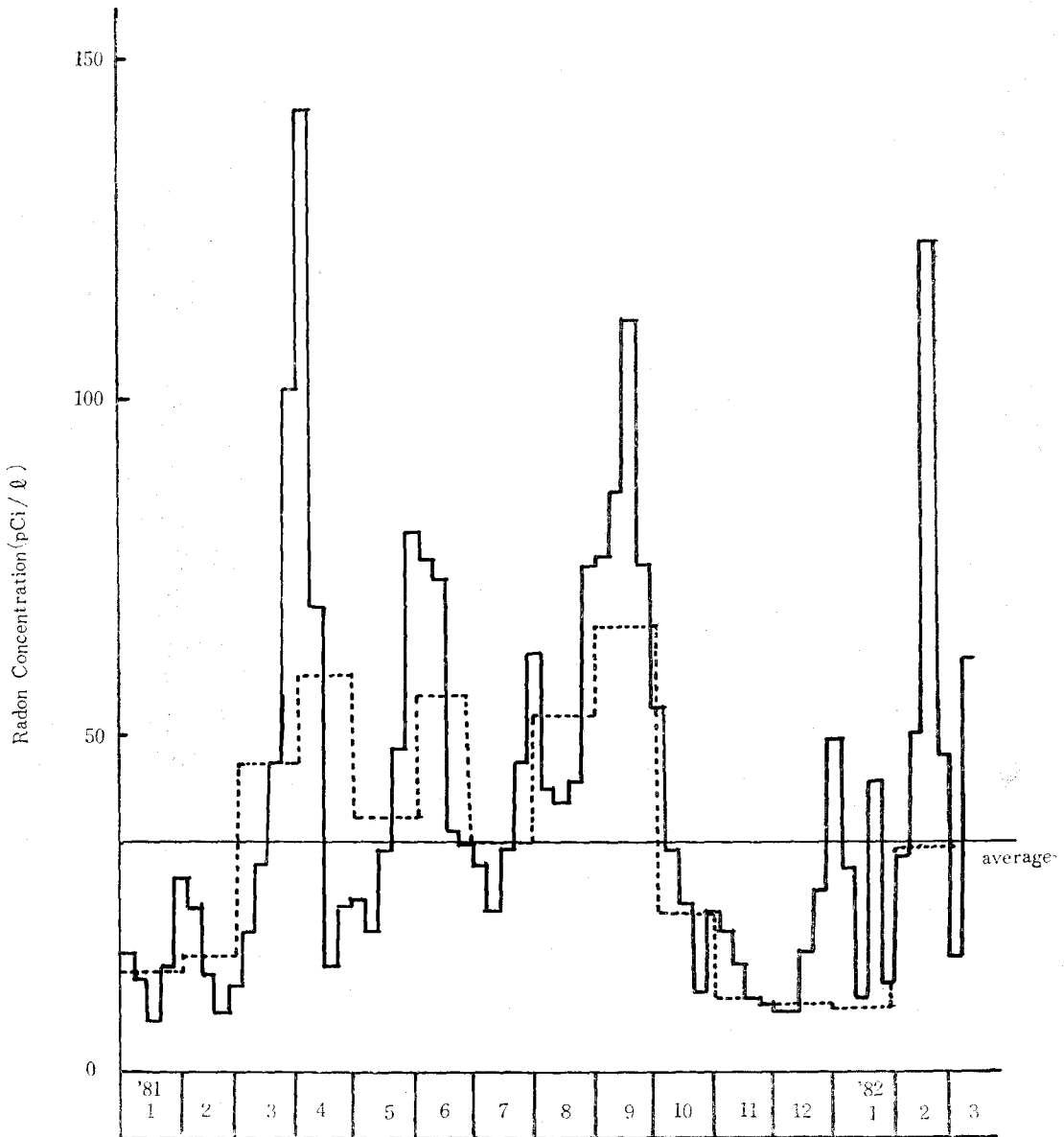


Fig. 3. Weekly and monthly variation of underground radon concentration in Daegu(1981.1~1982.2)

1 track/cm<sup>2</sup>·30days=1.2×10<sup>-2</sup>pCi/l .....(3)  
 의 radon 換算因子를 얻었다.

3. 測定結果 및 檢討

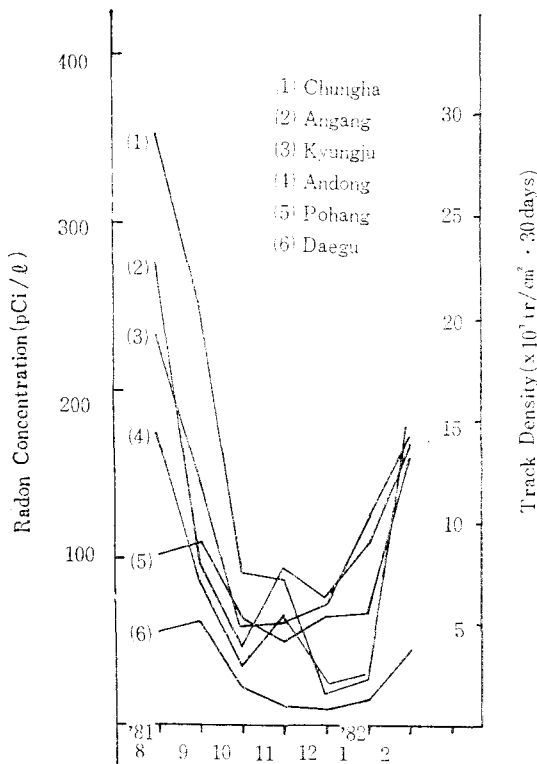
Table 2와 Fig. 3은 대구지방에서 測定된 7日間の

평균 radon 濃度變化와 30日間の 月平均 radon 濃度變化이다. 1981年 1月에서 1982年 2月사이에서 7日間の 平均 radon 濃度は 最高 142.2pCi/l에서 最低 8.0pCi/l 이며 年平均은 39.7pCi/l였다. 季節變化에 따라 radon 濃도가 크게 변화하였으며, 本 研究期間中에서는 9月の radon 濃도가 最大로 이것은 radon 濃도와 氣象學的 條件과의 相關性으로 나타났다.

**Table 3.** Average radon concentration in Kyungpook area(1981.8~1982.2), and gamma survey by TLD\*

Site	radon concentration (pCi/l)		ratio to average	gamma survey ( $\mu R/hr$ )	ratio to average
	range	average( $\pm$ S.D.)			
Daegu	11.7-63.1	31.8 $\pm$ 0.6	0.33	23.7	0.82
Angang	48.8-277.6	124.5 $\pm$ 1.2	1.29	54.3	1.88
Kyungju	59.5-233.8	127.0 $\pm$ 1.2	1.32	31.7	1.10
Pohang	27.9-159.5	79.1 $\pm$ 1.0	0.82	34.7	1.20
Chungha	18.0-354.5	144.4 $\pm$ 1.3	1.50	—	—
Andong	24.2-174.8	70.9 $\pm$ 0.9	0.74	—	—
average	31.7 $\pm$ 210.6	96.3 $\pm$ 1.1	1.00	28.9	1.00

\* Rho and Lee, Radiation Protection, Vol. 5, No. 1, December 1980.



**Fig. 4.** Variation of underground radon concentration in kyungpook area

Table 3과 Fig. 4는 1981년 8월부터 1982년 2월까지 대구, 안강, 경주, 포항, 청하, 안동지역에서測定된 月平均 radon 濃度이다. 지역에 따라 radon 濃도가 큰 차이를 보이고 있으나 季節的 變化는 類似하게 나타났다.

한편 각 지역에서의 radon 濃도와 TLD에 의한 環境放射線量率의 測定結果<sup>13)</sup>는 높은 有關性을 보였다.

#### 4. 結 論

플라스틱 飛跡檢出器를 使用하여 地表下 50cm의 土壤氣體中의 radon 濃도를 測定하였다. 플라스틱 飛跡檢出器는 직접 alpha 粒子의 飛跡을 檢出함으로써 長期間의 平均 radon 濃度 測定에 적합하다. LR115-Type 2, CA80-15 및 CR-39 플라스틱 飛跡檢出器의 radon 測定을 위한 最適腐蝕條件은 60°C, 10% NaOH에서 각각 150分, 70分, 25時間이었다. Radon Cup에서의 비적성성률은  $f(tr/cm^2 \cdot 30days) = N\lambda\Delta Rcos^2\phi_{min}/4\theta$  주어져서 제작한 radon cup은

$$1tr/cm^2 \cdot 30days = 1.2 \times 10^{-2} pCi/l$$

의 radon 換算因子를 갖는다.

Radon 濃度變化는 氣象學的 要因과의 相關性을 보였으며 대구지방의 年平均 radon 濃도는 39.7pCi/l였다. 1981년 8월부터 1982년 2日사이의 경북지역의 月平均 radon 濃도는 대구 31.8pCi/l, 안강 124.5pCi/l, 경주 127.0pCi/l, 포항 79.1pCi/l, 청하 144.4pCi/l, 안동 70.9pCi/l였으며 경북지역의 月平均 radon 濃도는 93.6 pCi/l였다.

本 研究를 통해 얻은 結果는 우리나라 環境放射能 평가의 기초자료가 될 것이며, 土壤氣體中의 radon 濃度變化는 地震現象과 밀접한 關係를 갖으므로 최근의 우리나라 地震발생빈도등을 고려할 때 계속적인 測定·研究와 測定지역의 확대가 절실히 요망된다.

本 研究를 위해 研究費를 支援해 준 韓國科學財團에게 感謝를 드리며, 研究遂行에 있어 적극 협조하여 주신 여러분들께 심심한 謝意를 表합니다.

參 考 文 獻

1) R.L. Fleischer et al., Science **178**, 255 (1972)  
 2) J.E. Gingrich, Trans AIME **258**, 61(1975)  
 3) A. Mogro-Campero and R.L. Fleischer, Earth Planet Sci. Lett. **34**, 321(1977)  
 4) C. Y King, Nature **271**, 516(1978)  
 5) N. Jonassen and E.I. Hayes, Health Phys. **26**, 104(1974)  
 6) R.L. Fleischer, P.B. Price, and R.M. Walker, Nuclear Tracks in Solids, Univ. of Claifornia Press, California(1975)  
 7) R.L. Fleischer and P.B. Price, J. Appl. Phys. **34**, 2903(1963)  
 8) H.W. Alter and P.B. Price, US Patent No. 3, 665, 194(1972)  
 9) R.S. Likes, A. Mogro-Campero, and R.L. Fleischer, Nucl. Instr. Methods, **159**, 395(1979)  
 10) B.G. Cartwright, E.K. Shirk, and P.B. Price, Nucl. Instr. Methods, **153**, 457(1978)  
 11) K. Konoshita and P.B. Price, Rev. Sci. Instr. **51**(1), 32(1930)  
 12) R.L. Fleischer and A. Mogro-Campero, J. Geophys. Research, **83**, 3539(1978)  
 13) Chai-Shik Rho and Hyun-Duk Lee, Radiation Protection, **5**, 1(1980)

Radon Measurement by Alpha Particle Track Method

Yung-Ho Kang, Jang-Sick Park, Do-Sung Kim

Dept. of Physics, Kyungpook Nat'l University, Daegu, Korea

Abstract

Measurement of the radon concentration close to the ground surface can be used in search of environmental radiation for human safety, exploration for uranium, premonitory signals from earthquakes.

We can detect radons in soil gas by alpha particle track method using the plastic track detectors, cellulose nitrate (LR115-Type 2 and CA80-15, Kodak Pathé) and CR-39. For present works, radon cups having these detectors were made in our laboratory and their conversion factor was determined. A typical conversion factor was  $1\text{tr}/\text{cm}^2 \cdot 30\text{days} = 1.2 \times 10^{-2} \text{pCi}/l$ . In the radon cups, some of  $\text{CaSO}_4$  were used as desiccant for reducing the moisture effects on plastic track detectors. With these radon cups, underground radon concentrations of Kyungpook area were measured.

Average radon concentration in Daegu from Jan. 1981 to Feb. 1982 was  $39.7\text{pCi}/l$ . From Aug. 1981 to Feb. 1982, average radon concentrations of Daegu, Angang, Kyungju, Pohang, Chungha, and Andong were  $31.8\text{pCi}/l$ ,  $124.5\text{pCi}/l$ ,  $127.0\text{pCi}/l$ ,  $79.1\text{pCi}/l$ ,  $144.4\text{pCi}/l$ , and  $70.9\text{pCi}/l$ , respectively. The results were compared with the environmental radiation measured by TLD method.