

자연 방사선량 중 ^{222}Rn 기여 성분 정량 해석*

전재식 · 오희필 · 채하석 · 이병영
충남대학교 물리학과

김도성
대구대학교 물리교육과

요 약

육의 라돈이 호흡기관에 주는 선량을 측정·평가할 목적으로 CR-39 비적검출기를 내장한 라돈검을 사용하여 대기중 라돈농도를 측정하였다. 직접형 검출기 및 개방 컵과 필터 컵의 구조를 갖는 CR-39 비적검출기에 대한 라돈검출인자는 공기중의 농도가 잘 알려진 표준라돈 조사시설에서 이들 검출기와 라돈검을 일정기간 조사하여 결정하였다. CR-39를 70°C, 30% NaOH 용액으로 220 분간 화학부식하였을 때 직접형 검출기와 개방 컵, 필터 컵에 대한 라돈검출인자는 각각 0.273, 0.0813, 0.0371 $\text{tr mm}^{-2} / (37 \text{ Bqm}^{-3} \cdot \text{d})$ 였다.

또한 1988년 5월에서 1989년 3월까지 대전(충남대학교)에서 측정된 대기중의 라돈농도는 개방 컵에 의한 결과는 27.4 - 135.8 Bq/m^3 (0.74 - 3.67 pCi/l)로서 연평균 73.3 Bq/m^3 (1.98 pCi/l)이었으며, 필터 컵에 의한 결과는 16.7 - 143.9 Bq/m^3 (0.45 - 3.89 pCi/l)로 연평균 68.5 Bq/m^3 (1.85 pCi/l)이었다. 측정된 육의 대기중의 라돈농도와 부위별 폐선량모형으로 부터 산출한 ICRP 표준인의 호흡기관에 대한 실효 선량당량률은 약 520 nSv/h 로 평가되었다.

I. 서 론

불활성 기체상태의 방사성동위원소인 라돈은 자연 방사성붕괴계열의 붕괴생성물로서 지표로부터 대기중으로 방출되어 자연 환경방사능의 일부를 이룬다. 천연에 존재하는 라돈의 동위원소는 ^{222}Rn ($T_{1/2} = 3.824 \text{ d}$), ^{220}Rn ($T_{1/2} = 55.6 \text{ s}$) 및 ^{219}Rn ($T = 3.96 \text{ s}$)이 있으나 ^{219}Rn 은 반감기가 상고 상대적인 존재비가 적기 때문에 ^{222}Rn 과 ^{220}Rn 이 환경방사능의 주된 측정대상이 된다.

라돈과 그 붕괴생성물은 선질인자가 큰 알파입

자를 방출하므로 라돈농도의 준위가 높은 지역에서는 라돈의 흡입이 폐암의 원인이 된다는 것이 알려짐으로써 [1, 2] 실내 및 육의 대기중의 라돈농도의 측정과 그 선량평가에 관해 많은 연구가 [3, 4] 이루어 지고 있다. 또한 우라늄탐광, 지진예보, 지각내에서의 라돈의 확산기구등의 연구를 위해 토양기체중의 라돈농도 측정에 관한 연구도 [5, 6] 활발히 진행되고 있다.

현재까지 라돈농도를 측정하기 위한 여러가지 방법이 [7-9] 개발되고 있으나 대기중의 라돈농도

* 본 연구는 1987-88년도 문교부 기초과학 특성화연구구조성비에 의한 "방사선량 측정 및 해석연구(IV)"의 일부임

는 시간, 계절, 기상조건, 위치등의 환경요인에 따라 그 변화가 매우 심하므로 환경중의 라돈에 의한 방사선량평가를 위해서는 장기간의 평균 라돈 농도를 측정해야 한다. 고체비적검출기를 이용한 라돈측정법은 [10, 11] 비적검출기 자체 또는 일정한 크기의 컵내에 비적검출기를 부착한 라돈컵으로서 공기중의 라돈으로부터 방출되는 알파입자를 검출하여 라돈농도를 측정하는 것으로서 취급방법이 비교적 간단하며 외부전력의 공급없이 적분형 검출기로 사용이 가능하므로 장기간의 평균 라돈농도를 측정하는데 이상적인 검출방법이다. 특히 CR-39(allyl diglycol carbonate)는 [12] 현재까지 알려진 고체비적검출기 중에서 가장 높은 감도와 분해능을 가지고 있으며 측정가능한 알파입자의 에너지영역이 넓고 광학적 투명도와 균질·등방성이 좋으므로 비적의 관측이 용이하여 저준위 라돈농도의 측정에 매우 적합하다.

본 실험에서 CR-39를 사용한 라돈컵을 제작하여 대기중의 라돈농도를 측정하고자 표준라돈실에서 조사한 라돈컵을 이용하여 CR-39의 라돈검출인자를 실험적으로 결정하고 이를 사용하여 대기중의 라돈농도를 측정함으로써 환경방사능중에서 라돈에 의한 방사선량평가를 위한 기초자료를 얻고자 한다.

II. 실험장치 및 방법

1. CR-39의 화학부식

CR-39는 $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_7$ (allyl diglycol carbonate)의 화학조성을 갖는 광학적 투명도와 균질·등방성이 높은 열경화성 플라스틱이며, 본 실험에서는 Pershore Moulding Co.에서 제작한 1mm 두께의 CR-39를 사용하였다.

CR-39를 사용하여 라돈농도를 측정하기 위해서는 라돈측정에 적합한 CR-39의 화학부식조건을 조사하여야 한다. 알파입자가 조사된 CR-39는 부식용액을 $(70 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 의 30% NaOH용액으로 고정하고 부식시간을 변화하면서 부식하였으며 부식용액의 온도는 온도조절기가 내장된 Hot Plate를 이용하여 조절하였다. 부식이 끝난 검출기는

$25\text{--}30^\circ\text{C}$ 의 증류수로 30분이상 세척하여 건조한 후, 200 - 600 배의 광학현미경으로 비적밀도를 측정하였다.

부식시간이 증가함에 따라 비적직경은 거의 선형적으로 증가하였으나 비적밀도의 변화는 부식시간이 120분에서 300분까지 거의 일정하였다. 라돈검출기에서는 계수면적을 크게 할수록 계측오차를 줄일 수 있으므로 비적직경을 크게하여 계측시 현미경의 배율을 낮게 하는 것이 좋으나 부식시간이 너무 길면 비적과 bubble과의 구별이 어려우며, 부식시간의 증가에 따른 비적밀도의 변화를 고려할 때 부식시간은 220분이 적당한 것으로 판단되었다. 따라서 라돈검출을 위한 CR-39의 최적 부식조건을 70°C , 30% NaOH용액에서 220분으로 정하였다.

2. 라돈컵과 라돈검출인자의 고정

고체비적검출기를 이용하여 공기중의 라돈농도를 측정하기 위해서는 비적검출기 자체를 공기중에 노출시키거나 적당한 크기의 컵(또는 chamber)을 선택하여 컵의 내부에 비적검출기를 부착한 라돈컵을 제작하여야 한다. 또한 ^{222}Rn 만을 분리하여 검출하고자 할 때에는 라돈컵의 입구에 적절한 필터를 설치함으로 [3, 14] 라돈이 필터를 통해 컵내로 확산되는 동안에 ^{222}Rn 과 ^{220}Rn 의 반감기의 차이에 의해 ^{220}Rn 을 붕괴시키고 ^{222}Rn 만을 선택적으로 검출할 수 있다.

그림 1은 본 실험에서 사용한 직접형 검출기와 라돈컵의 개요이다. 직접형검출기(bare detector)는 사각형 플라스틱 지지판에 CR-39를 부착한 것이며, 라돈컵은 높이 7cm, 직경 4cm의 원통형 플라스틱 컵으로서 컵의 입구를 열어 놓은 개방 컵(open cup)과 불활성기체인 ^{222}Rn 과 기타 라돈 붕괴생성물들을 분리하기 위하여 membrane filter(Whatman Ltd., WCN type, pore size $0.45\ \mu\text{m}$)를 설치한 필터 컵(filter cup)을 제작하여 사용하였다. 컵내에는 1mm 두께의 CR-39를 $1\text{cm} \times 2\text{cm}$ 크기로 부착하여 검출기의 반은 라돈검출에 사용하고 나머지 반은 알루미늄 박막을 테이프로 막아 background 비적 평가에 사용하였다.

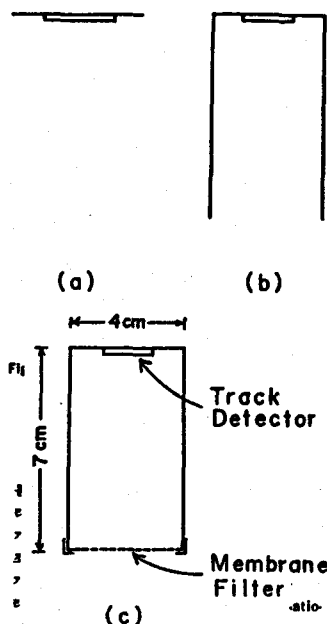


Fig. 1. Schematic representation of (a) the bare detector, (b) the detector in an open cup and (c) the detector in a filtered cup.

CR-39 와 같은 비적검출기를 이용하여 라돈농도를 측정하고자 할 때 가장 중요한 것은 검출기의 라돈검출인자의 교정이다. 이를 위하여서는 검출기를 라돈농도가 일정한 표준라돈실에서 일정기간 조사하고 검출기의 비적밀도를 측정하여 라돈검출기인자를 교정하여야 한다. 본 실험에서는 제작한 라돈컵을 스웨덴의 국립 방사선방어연구소(National Institute of Radiation Protection, Sweden) 표준 라돈실에서 조사하였다. 표 1은 본 실험에서 사용한 표준 라돈실의 라돈농도와 조사시간인데 라돈농도의 오차는 $\pm 15\%$ (1 S.D.)이며 조사시 표준 라돈실의 온도와 습도는 각각 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$, $(30 \pm 5)\% \text{RH}$ 였다. 표준 라돈실에서 조사한 검출기는 화학부식후 비적밀도를 측정하여 라돈검출인자의 교정에 사용하였다.

3. 대기중 라돈농도의 측정

대기중의 라돈농도 측정에서 직접형 검출기는 라돈컵에 비해 사용은 간편한 반면에 측정결과 신뢰도가 낮으므로 본 실험에서는 필터를 부착하지 않은 개방 컵과 필터를 부착한 필터 컵만을 사

Table 1. Standard radon exposure conditions for determination of radon detection factors of CR-39.

Exposure Condition		
Level	Radon Concentration (Bq/m ³)	Exposure Time(days)
Low	6,240	1.750
Medium	6,220	9.083
High	13,100	14.000

용하여 대전지역(충남대학교)에서의 옥외 대기중의 라돈 농도를 측정하였는데 라돈컵의 설치장소는 건물로부터 최소한 20 m 이상 떨어진 개활평지 잔디밭 이었다.

그림 2는 옥외 대기중의 라돈 농도를 측정하기 위한 장치로서 개방 컵과 필터 컵을 1 조로 하여 지표로부터 각각 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm, 의 높이에 지지대를 이용하여 설치하고 1 개월간 방치한 후 CR-39 비적검출기를 회수하여 화학부식하고 측정된 비적밀도로 부터 대기중의 월평균 라돈 농도를 결정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. CR-39 의 라돈 검출인자

그림 3은 완전히 방사평형상태가 조절된 표준 라돈실에서 조사한 CR-를 70°C , 30%NaOH용액으로 220 분간 화학부식하였을 때 라돈실의 라돈농도(Bq/m³)x조사시간(d)으로 나타낸 라돈조사량에 대한 CR-39의 비적밀도의 변화로써 직접형 검출기, 개방 컵 및 필터 컵에 대해 모두 좋은 선형성을 나타내었다.

한편, 실험적으로 결정되는 검출기의 라돈검출인자[DF(tr·mm⁻²/Bq·m⁻³d)는 X_{Rn}(Bq/m³)의 라돈농도에서 T(d)시간동안 조사하였을 때 검출기의 계수면적을 A(mm²), 총비적의 수를 N(tr), background 비적 평가를 위한 계수면적을 A_b(mm²), background 비적의 수를 N_b(tr)라 할때

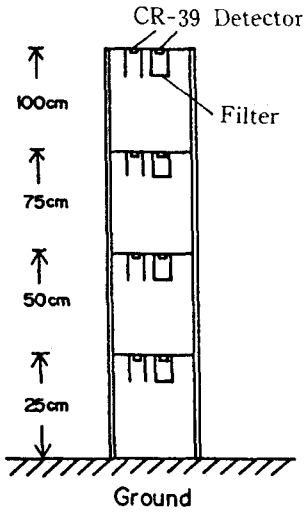


fig. 2. Outdoor radon monitoring system using radon cups.

다음과 같이 표현된다.

$$(N - N_b) = DF \cdot X_{Rn} \cdot T (A - A_b) \quad (1)$$

따라서 그림 3의 결과를 최소자승법에 의하여 직선으로 fitting하고 그 기울기로 부터 라돈검출인자를 결정하였으며, 표 2는 그 결과를 37 Bq/m^3 (1 pCi/l)의 라돈농도에서 1일간 조사한 경우로 환산하여 나타낸 라돈검출인자의 측정결과이다. 직접형 검출기에 비해 개방 컵의 라돈 검출인자가 적게 나타난 것은 CR-39의 라돈검출에 대한 유효 체적의 [15] 차이에 의한 것으로 생각된다. 또한 필터 컵의 라돈검출인자가 개방 컵에 비해 약 1/2 정도로 적게 나타난 것은 필터를 통해 ^{222}Rn 이 확산되면서 붕괴되는 한편 그 자핵종들이 필터에 부착, 제거되었기 때문이며 ^{222}Rn 의 붕괴율로 볼때 사용한 필터로써 ^{220}Rn 은 완전히 제거할 수 있을 것으로 [14] 판단된다.

2. 대기중의 라돈농도

그림 4는 1988년 5월부터 1989년 3월까지 대전(충남대학교) 지방에서, 1개월간 라돈컵을 설치하여 측정한 CR-39의 비적밀도와 표 2의 라돈검출인자를 사용하여 구한 월평균 라돈농도로서

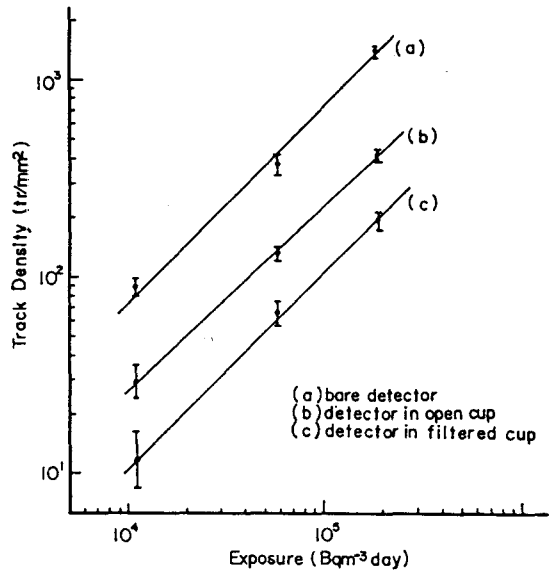


Fig. 3. Calibration curves of radon detection factors of CR-39 plastic detectors in (a) bare, (b) the open cup and (c) the filter cup.

Table 2. Radon detection factors of CR-39 plastic track detector.

Detector	Detection Factor ($\text{tr mm}^{-2}/37 \text{ Bqm}^{-3} \cdot \text{d}$)
Bare	0.273
Open Cup	0.0813
Filter Cup	0.0317

측정월별에 대해 지표로부터의 높이에 따른 변화를 나타낸 것이다(그림에서 점선으로 표시한 부분은 라돈컵의 훼손 또는 분실로 측정결과가 없거나 측정된 비적밀도가 background 비적밀도 보다 적은 경우이다). 지표로부터의 높이에 따른 라돈농도의 변화는 특별한 경향성을 갖지 않는 것으로 생각되며, 그 변화의 양상은 몇곳의 예외를 제외하면 개방 컵과 필터컵에서 거의 동일하게 나타났으므로 본 실험에서는 각 높이에서의 라돈농도의 평

균치를 측정월을 대표하는 월평균 라돈농도로 정하였다.

그림 5는 월평균 라돈농도의 변화로써 개방 컵에 의한 라돈농도와 필터 컵에 의한 라돈 농도의 측정결과가 오차범위내에서 거의 일치하며 월별 변화양상이 동일함을 알 수 있었다. 11월-2월사이의 월평균 라돈농도가 특히 높게 나타난 것은 라돈농도변화의 계절적 요인에 의한 것으로 생각되며 이러한 경향은 일본에서의 측정결과와 [16] 거의 동일하였다. 개방 컵에 의한 대기중 라돈농도의 측정결과는 $27.4 - 135.8 \text{ Bq/m}^3 (0.74 - 3.67 \text{ pCi/l})$ 로서 연평균 $73.3 \text{ Bq/m}^3 (1.98 \text{ pCi/l})$ 이었으며, 필터 컵에 의한 대기중 라돈농도의 측정결과는 $16.7 - 143.9 \text{ Bq/m}^3 (0.45 - 3.89 \text{ pCi/l})$ 로 연평균 $68.5 \text{ Bq/m}^3 (1.85 \text{ pCi/l})$ 이었다. 이러한 연평균 라돈농도는 일본에서의 육의 라돈농도의 측정결과 ($2.0 - 5.5 \text{ Bq/m}^3$) [16], 미국 뉴저지 지역

의 측정치 ($4-12 \text{ Bq/m}^3$ [2])와 비교할 때 매우 높은 수준이다. 그러나 1988년 11월 부터 1989년 3월 사이에 원자력 안전센터에서 Radtrack 검출기를 사용하는 Terradex 회사에 의뢰하여 수원 ($59.2 - 81.4 \text{ Bq/m}^3$), 대구 ($37.0 - 51.8 \text{ Bq/m}^3$) 및 용인 ($111.0 - 159.1 \text{ Bq/m}^3$) 지역에 대하여 수행한 조사 결과 [17]와는 매우 근사한 값을 나타내고 있다.

3. 선량해석

불활성기체인 라돈이 포함된 공기를 호흡할 경우 폐에 대한 선량률을 평가하여야 하며, 이것은 라돈 자체에 의한 선량률과 그 붕괴생성물에 의한 선량률로서 고찰할 수 있다.

공기중의 라돈을 흡입하게 되면 라돈은 공기중에서와 같은 농도로 폐의 공기부피내에 존재한다. 이때 연조직에 용해된 일부의 라돈이 폐이외의 연조직에 주는 선량률 \dot{D}_T 와, 용해된 라돈과 폐내 공기중의 라돈 자체가 폐에 주는 선량률 \dot{D}_L 은 각각 다음과 같다. [1, 2]

$$\dot{D}_T (\text{nGy/h}) = 0.005 \cdot C_{\text{Rn,air}} (\text{Bq/m}^3)$$

$$\dot{D}_L (\text{nGy/h}) = 0.04 \cdot C_{\text{Rn,air}} (\text{Bq/m}^3)$$

이것은 연조직에 대한 용해도를 0.4, ICRP 모형

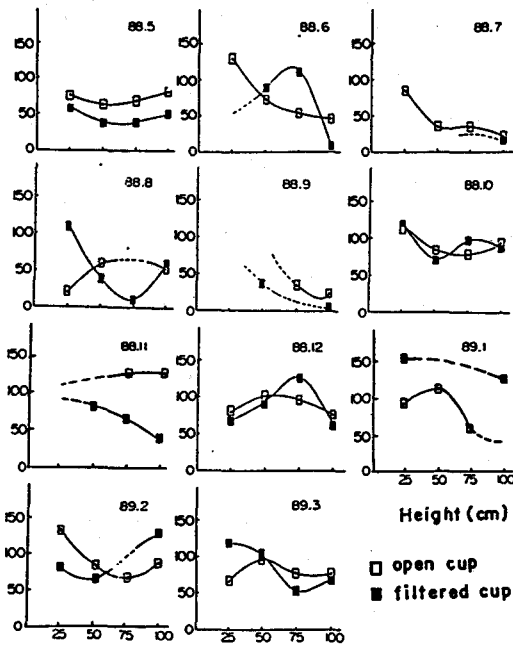


Fig. 4. Variations of the monthly averaged outdoor radon concentrations at different monitoring heights from ground.

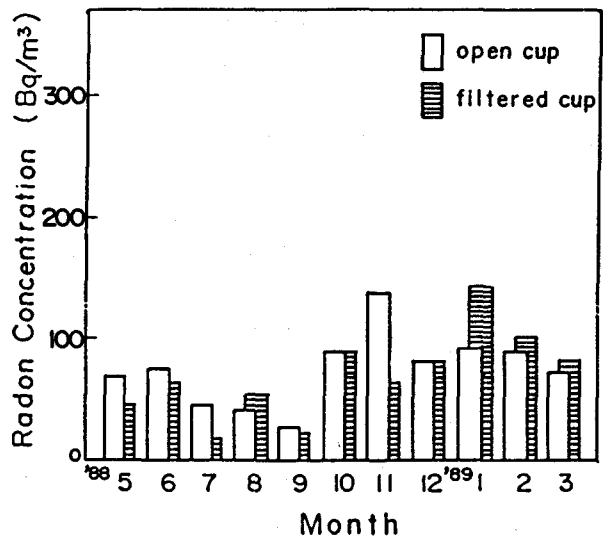


Fig. 5. Variations of average outdoor radon concentrations in Taejeon, Korea.

에 의한 표준성인의 폐의 부피를 $3.2 \times 10^{-3} \text{m}^3$ 으로 두고 단수명의 붕괴생성물이 폐에 머무른다는 가정하에 계산된 것이며 [1, 2], $C_{\text{Rn,air}}$ 는 공기중의 ^{222}Rn 의 농도이다. 또한 알파입자에 대한 선질인자를 20, 폐이외의 연조직과 폐에 대한 위해가중치를 각각 0.88, 0.12로 택하면 공기중의 라돈에 의해 폐 피폭으로 전신이 받는 실효선량 당량률은 다음과 같다.

$$H_{\text{eff}(1)} (\text{nSv/h}) = 0.18 \cdot C_{\text{Rn,air}} (\text{Bq/m}^3) \quad (2)$$

한편 라돈의 붕괴생성물에 의한 폐선량해석에는 두가지 표적조직 즉, 기도-기관지(trachea bronchial, T-B)사이의 기저세포층과 폐포부위와 무섬모 중단기관지를 포함한 폐(pulmonary, P)의 상피세포를 고려하여야 한다. 그런데 라돈 붕괴생성물을 포함한 혼합기체의 호흡에 기인하는 잠재알파에너지(potential alpha-energy)와 T-B 기저세포층과 P 상피세포에 주는 선량당량과의 환산인자는 붕괴생성물 혼합물의 전 잠재에너지중 비접착분률(unattachable fraction, f_p)에 거의 일차적으로 비례하게 되며, 접착분률(attachable fraction)에 대한 환산인자는 운반체 에어로졸의 방사능 중간직경(activity median diameter, AMD)에 의존한다. 이때 $f_p = 0.025$, $\text{AMD} = 0.2 \mu\text{m}$ 로 취하고 실내 및 옥외에서의 호흡율을 각각 0.8 및 1.0 m^3/h 라고 가정하며 [2] 폐의 두부위에 대한 위해가중치를 모두 0.06(부위별 폐선량모형, Regional Lung Dose Modle)으로 하면 T-B 및 P의 선량률은 각각

$$\dot{D}_{\text{T-B}} (\text{nGy/h}) = 7 \cdot C_{\text{eq,Rn}} (\text{Bq/m}^3)$$

$$\dot{D}_{\text{P}} (\text{nGy/h}) = 0.9 \cdot C_{\text{eq,Rn}} (\text{Bq/m}^3)$$

으로 주어지며, 이에 대응되는 유효선량당량률은 다음과 같다. [2]

$$H_{\text{eff}(2)} (\text{nSv/h}) = 9 \cdot C_{\text{eq,Rn}} (\text{Bq/m}^3) \quad (3)$$

여기서 $C_{\text{eq,Rn}}$ 은 라돈 자핵종들의 평형등가농도(equilibrium equivalent concentration, EEC)로서 공기중 라돈농도와는

$$C_{\text{eq,Rn}} = F \cdot C_{\text{Rn, air}}$$

의 관계를 갖는다. 평형인자 F는 옥외에서 0.77 - 0.85로서 측정자에 따라 그 값이 다르나 [18-20], 지상 1m에서의 평균 F 인자로서 0.8을 대표치로

사용하고 있다 [2].

본 실험에서 측정된 옥외 대기중의 ^{222}Rn 의 연평균 농도를 개방점과 필터점에 의한 평균치로서 70.9Bq/m^3 을 택할때 (2)식으로부터 라돈 자체에 의한 실효선량당량률은 12.8nSv/h 이며, (3)식으로 구한 라돈 붕괴생성물에 의한 유효선량당량률은 510nSv/h 이다. 따라서 라돈과 그 붕괴 생성물에 의한 전체 실효선량당량률은 약 520nSv/h 로서 된다. 여기에 옥외체재시간률(occupancy factor), 0.2 [21]를 적용하면 옥외에서의 라돈과 그 자핵종의 흡입에 의하여 폐와 전신이 받게되는 연간 실효선량 당량률은 약 0.86mSv/y 로 평가된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 CR-39 비직접검출기를 이용하여 대기중의 라돈농도를 측정하기 위하여 직접형검출기 및 개방 점과 필터 점의 구조를 갖는 검출기에 대해 라돈검출 인자를 실험적으로 결정하였다. CR-39를 70°C , 30% NaOH 용액으로 220 분간 화학부식하였을 때 직접형 검출기와 개방 점, 필터 점에 대한 라돈검출인자는 각각 0.273, 0.0813, 0.0371 $\text{tr mm}^{-2}/(37 \text{Bqm}^{-3} \cdot \text{d})$ 였다.

또한 1988년 5월에서 1989년 3월까지 대전(충남대학교)에서 측정된 대기중의 라돈농도는 개방점에 의한 결과는 $27.4 - 135.8 \text{Bq/m}^3$ ($0.74 - 3.67 \text{pCi/l}$)로서 연평균 73.3Bq/m^3 (1.98pCi/l)이었으며 필터 점에 의한 결과는 $16.7 - 143.9 \text{Bq/m}^3$ ($0.45 - 3.89 \text{pCi/l}$)로 연평균 68.5Bq/m^3 (2.2pCi/l)이었다. 그리고 측정된 옥외 대기중의 라돈농도와 부위별 폐선량모형으로 부터 산출된 표준성인의 호흡기관에 대한 유효선량당량률은 520nSv/h 로 평가된다.

대기중 라돈농도의 정량적 측정은 환경방사능 및 라돈의 흡입으로 인한 내부피폭선량의 평가에 중요한 자료가 되므로 넓은 영역에서 장기간에 걸쳐 지역, 계절등의 환경요인에 의한 변화를 고찰하여야 한다. 따라서 본 연구의 방법을 확립시키고 측정지점을 확대하며, 장기간의 연속적인 측정이 필요하다고 생각된다.

사 사

본 연구는 1987년도 문교부 학술진흥연구비에 의해 이루어 졌으며, 연구비를 지원해 준 문교부에 심심한 사의를 표하며, 표준 라돈실에서 라돈조사에 많은 협조를 해 주신 스웨덴 국립방사선 방어연구소의 Nils Hagberg 박사께 감사드립니다.

참고문헌

1. ICRP, *Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers*, ICRP Publ.32(1981).
2. UNSCEAR, *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations*, UNSCEAR 1988 Rep., UN New York(1988).
3. C.T.Hess, R.L.Fleischer and L.G. Turner, "Field and laboratory tests of etched track detectors for ^{222}Rn : summer -vs.-winter variations and tightness effects in maine houses," *Health Phys.*, **49**, 65-79(1985).
4. R.L.Fleischer, W.R.Giard, A.Mogro-Campero, L.G.Turner, H.W.Alter and J.E.Gingrich, "Dosimetry of an environmental Radon: methods and theory for low-dose integrated measurement", *Health Phys.*, **39**, 957-962(1980).
5. 강영호, 박장식, 김도성, "Alpha 입자비적법에 의한 Radon 측정", 방사선방어학회지, **7**(1), 17-22(1982).
6. H.A.Khan, R.A.Akber, K.M.Bukhari and A.Saddarudin, "Radon and Thoron dosimetry by plastic solid state nuclear track detectors", *Nucl.Instru. Meth.*, **147**, 125-131(1977).
7. J.B.Wadach and C.T.Hess, "Radon-222 concentration measurements in soil using liquid scintillation and track etch", *Health Phys.*, **48**, 805-808(1985).
8. J.D.Melvin, M.H.Shapiro and N.A. Copping, "An automated Radon-Thoron monitor for earthquake prediction research", *Nucl. Instru. Meth.*, **153**, 239-251(1978).
9. J.Bigu, "A method for measuring Thoron and Radon gas concentrations using solid-state alpha-particle detectors", *Appl. Radiat. Isotopes*, **37**, 567-573(1986).
10. J.C.Miles and J.Sinnaeve, "The performance of different types of etched-track Radon dosimeters in two international comparisons", *Nucl. Tracks* **12**, 735-738(1986).
11. R.L.Fleischer and A.Mogro-Campero, "Mapping of integrated Radon emanation for detection of long distance migration of gas within earth: technique and principles", *J.Geophys.Res.*, **83**, 3539-3549(1978).
12. B.G.Cartwright, E.K.Shirk and P.B. Price, "A nuclear-track recording polymer of unique sensitivity and resolution", *Nucl. Instru. Meth.*, **153**, 457-460(1978).
13. W.J.Ward, III, R.L.Fleischer and A.Mogro-Campero, "Barrier techniques for separate measurement of radon isotopes", *Rev.Sci.Instru.*, **48**, 1440-1441(1977).
14. T.V.Ramachandran, B.Y.Lalit and U.C. Mishra, "Measurement of Radon permeability through some membranes", *Nucl.Tracks Radiat.Meas.*, **13**(1), 81-84(1987).
15. G.Somogyi, B.Paripas and Zs.Varga, "Measurement of Radon, Radon daughters and Thron concentrations by multi-detector devices", *Nucl.Tracks Radiat.Meas.*, **8**(1-4), 423-427(1984).
16. M.Shimo and Y.Ikebe, *J.Health Phys. Soc.*, **14**, 251-259(1979).
17. M.S.Lee, Private Communication (1989).
18. W.Jaccobi, "Activity and potential alpha-energy of Radon-222 and Radon-220 daughters in different air atmosphere",

- Health Phys.*, 22, 441-450(1972).
19. A.C.George, *Environmental Radon and Radon Daughters*, EML-383, 61-71(1980).
20. W.M.Cox, R.L.Blanchard and B.Kahn, "Relaxation of Radon concentration in the atmosphere to total moisture retention in soil and atmospheric stability," in : *Radionuclides in the Environment*(Advances in Chemistry Series 93), 436-446(1970).
21. UNSECAR, *Ionizing Radiation : Sources and Biological Effects*, UNSCEAR 1982 Rept., UN New York(1982).

Dosimetry of ^{222}Rn Component in Outdoor Natural Background Radiation *

Jae-Shik Jun, Hi-Peel Oh, Ha-Suk Chae, Byung-Young Lee

Department of Physics, Chungnam National University

and

Do-Sung Kim

Department of Physics Education, Taegu University

ABSTRACT

A study for the assessment of dose given by outdoor radon to respiratory system has been carried out by making use of radon-cups containing CR-39 plastic track detectors.

Detection efficiencies were determined by irradiation of the radon-cups in a standard radon chamber of known concentration. Thus determined detection factors of CR-39 plastic track detector in bare, open cup and filtered cup geometry are found to be 0.273, 0.0813 and 0.0371 $\text{trmm}^{-2}/(37 \text{ Bqm}^{-3} \cdot \text{d})$, respectively, which are chemically etched in 30% NaOH solution of 70°C for 220 minutes.

The outdoor radon concentrations measured at Taejeon(Chungnam National University) from May 1988 to March 1989 are in the range of 27.4 - 135.8 Bq/m^3 (0.74 - 3.67 pCi/l) by open cup and 16.7 - 143.9 Bq/m^3 (0.45 - 3.89 pCi/l) by filtered cup, which yield overall annual average value of outdoor radon concentration of 70.8 Bq/m^3 (1.91 pCi/l). Corresponding effective dose equivalent rate to respiratory system of ICRP standard man is assessed to be 520 nSv/h.

* Research sponsored by the Ministry of Education as a program for the promotion and specialization of basic science in 1987-1988.