

## Diurnal Variations of Equilibrium Factor and Unattached fraction of Radon Progeny in Some Houses and Laboratories

Seung-Chan Lee\*, Chang-Kyu Kim, Dong-Myung Lee, Hee-Dong Kang\*

\*Department of Physics, Kyungpook National University, Korea Institute of Nuclear Safety

### 가옥 및 실험실내 라돈평형인자, 비 흡착 라돈자손 비율의 일일 변동 특성

이 승 찬\* · 김 창 규 · 이 동 명 · 강 희 동\*

\*경북대학교 물리학과, 한국원자력안전기술원

(2001년 6월 20일 접수, 2001년 12월 11일 채택)

**Abstract** - The variation characteristics of radon concentration, equilibrium equivalent concentration and equilibrium factor in some houses and laboratory buildings have been studied. The variation of equilibrium factor and the unattached fraction of radon progeny with ventilation condition have been also estimated. The averages of radon concentration, equilibrium equivalent concentration and equilibrium factor were  $30 \text{ Bq m}^{-3}$ ,  $19.6 \text{ Bq m}^{-3}$  and 0.65 in seven houses, while  $55.0 \text{ Bq m}^{-3}$ ,  $31.9 \text{ Bq m}^{-3}$  and 0.58 in three laboratory buildings, respectively. The diurnal variation of radon concentration, equilibrium equivalent concentration and equilibrium factor in indoor showed a typical pattern that the radon concentration, equilibrium equivalent concentration and equilibrium factor increased at dawn and morning, while decreased at midday and evening. While the equilibrium factor rate decreased in the indoor environment which was well ventilated, the unattached fraction of radon progeny increased. The equilibrium factor was in proportion to air pressure and humidity of indoor, whereas in inverse proportion to temperature.

**Key words** : indoor radon concentration, equilibrium equivalent concentration, equilibrium factor, unattached fraction of radon progeny

**요약** - 일반가옥 및 실험실에서 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자의 농도 변화를 검토하였으며, 환기조건에 따른 평형인자, 비흡착 라돈자손 비율의 변동 특성을 검토하였다. 가옥 7개 지점에서의 평균 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자는 각각  $30 \text{ Bq m}^{-3}$ ,  $19.6 \text{ Bq m}^{-3}$ , 0.65였다. 한편, 실험실 3개 지점에서의 평균 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자는 각각  $55.0 \text{ Bq m}^{-3}$ ,  $31.9 \text{ Bq m}^{-3}$ , 0.58였다. 실내에서의 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자는 새벽 및 아침시간에 높고 오후 4시부터 밤 10시 사이에 낮아지는 주기적인 특성을 나타내었다. 환기상태가 좋은 경우가 환기상태가 나쁜 경우에 비해 평형인자는 낮아지는 반면, 비 흡착 라돈자손 비율이 증가하는 경향을 나타내었으며, 평형인자는 기압, 습도에 비례하는 반면, 온도에는 반비례하는 관계를 나타내었다.

중심어 : 실내 라돈농도, 평형등가농도, 평형인자, 비흡착 라돈자손 비율

### 서 론

라돈은 자연방사선에 의한 총 선량의 약 50%를 차지하는 것으로서 자연 방사선에 의한 선량

평가시 가장 중요하게 기여하는 인자이다[1-3]. 또한, 지하 광부에 대한 역학조사에서는 라돈이 호흡기계통의 암을 유발하는 것으로 알려져 있으며[4] 동물을 통한 실험에서도 라돈이 폐암 및 비

강제통의 암을 유발하는 것으로 알려져 있다[3]. 라돈에 의한 내부피폭은 주로 라돈 자체보다 라돈딸핵종인  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  및  $^{214}\text{Bi}$ 에 기인한다.

라돈에 의한 선량평가지 라돈과 라돈딸핵종간의 관계를 나타내는 평형인자(Equilibrium factor)는 필수 불가결한 파라메타이다. 그러나, 평형인자에 대한 연구는 그다지 많지 않다. 그 이유는 라돈농도 측정과 같이 간단하게 평형인자를 측정할 수 있는 간이형 평형인자 측정기가 개발되어 있지 않기 때문에 절차가 복잡하고 가격이 비싼 측정장비를 이용할 수밖에 없기 때문이다. 따라서, 여러 가지 다양한 환경조건하에서 장기간에 걸쳐 신뢰할 만한 평형인자 측정자료가 전 세계적으로 매우 적다.

평형인자 값은 공기 중에 존재하는 부유물에 의한 라돈딸핵종의 제거과정 및 운반과정에 따라 변화한다.[5] 라돈은 불활성기체로서 라돈농도변화는 반감기, 공기회석률에 의해 좌우되며, 옥외의 경우는 상하방향으로의 대기확산에 따라 크게 좌우된다. 한편, 공기중의 라돈딸핵종은 에어로졸 입자형태로 존재하며 지표면이나, 옥내의 벽면, 바닥표면으로의 침착 과정에 따라 공기로부터 제거된다. 더욱 복잡한 것은 공기중에 존재하는 라돈딸핵종은 일부는 에어로졸 입자에 부착된 흡착 라돈자손(Attached radon progeny)으로 일부는 흡착되지 않은 상태의 비흡착 라돈자손(Unattached

radon progeny)으로 존재하게 되며 공기중에서 거동이 서로 다르다는 점이다. 이들 두 가지 형태의 라돈딸핵종의 가장 큰 차이점은 공기중에서의 이들의 이동속도로서 표면에 침착되는 속도가 크게 다르다. 일반적으로 비흡착 라돈자손의 침착속도는 흡착 라돈자손에 비해 수백 배 빠르다[6].

옥내의 경우 평형인자에 영향을 미치는 주요 인자는 실내 공기중의 에어로졸의 농도이다. 즉 실내 에어로졸의 농도가 높아지면 비흡착 라돈자손의 비율이 작아지게 되고 결국 평형인자는 증가하게 된다. 이와 같이 실내 공기중에 존재하는 비흡착 라돈자손과 흡착 라돈자손의 비율에 따라 평형인자는 달라지며, 비흡착 라돈자손 비율은 실내 공기중의 에어로졸의 농도에 따라 달라진다.

따라서, 본 연구에서는 국내의 실내 환경조건하에서의 평형인자를 측정하였으며, 비흡착 라돈자손 비율을 측정하고 환기율에 따른 이들의 변화경향을 검토하였다.

### 재료 및 실험방법

실내 평형인자, 평형등가농도, 비흡착 라돈자손 비율은 2000년 5월부터 9월 사이에 한국원자력안전기술원에 설치되어 있는 모니터링 포스트, 3개 실험실 및 7개의 일반 가옥에서 이루어졌다. 평형

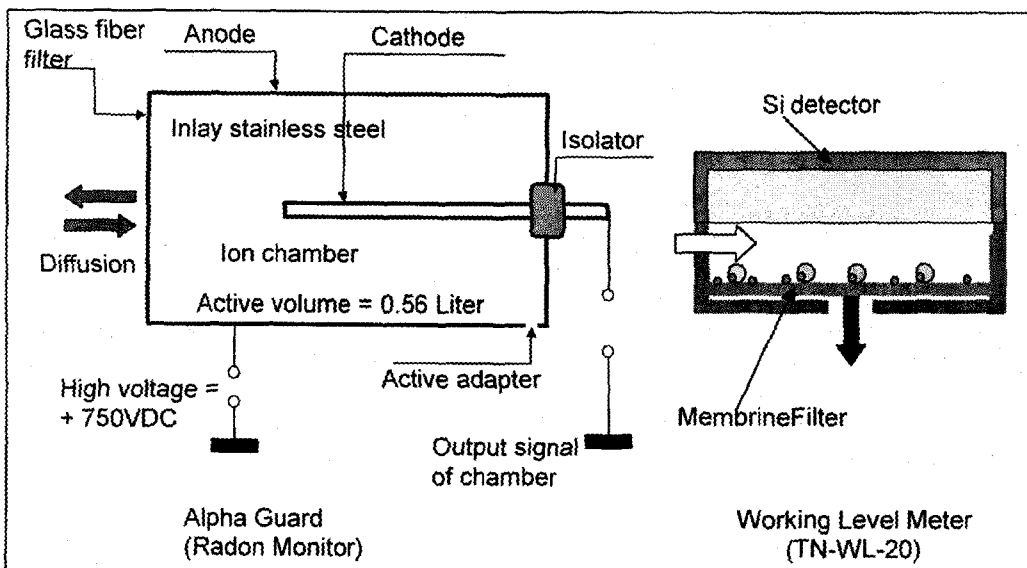


Fig. 1. Alpha Guard 라돈 연속 모니터와 working level meter 개략도

인자 및 평형등가농도는 Alpha Guard continuous radon monitor(Genitron, Instruments, Germany) 및 Working level meter(TN-WL-20, Thomson and Nielson Electronics Ltd., Germany)을 이용하여 측정하였다. 흡착 및 비흡착 라돈자손은 EQF3120(SARAD, Int. Germany)을 이용하여 측정하였으며, 각각의 측정장비 특성을 표 1에 나타내었다. 한편, 실내 환기조건에 따른 흡착/비흡착 라돈자손 농도의 변화를 관찰하기 위하여 창문을 완전히 개방한 경우와 창문을 완전히 폐쇄한 경우로 구분하여 실내에서의 환기조건에 따른 비흡착 라돈자손 비율을 관찰하였다.

그림 1에서 보여지는 것처럼 Alpha Guard는 이온전리함 형태의 라돈검출기로서 필터를 통하여 고전압이 걸린 이온전리함내에 들어온 라돈가스가 붕괴되면서 라돈딸핵종이 생성되게 되며 양전하를 띤 라돈딸핵종은 음극에 수집되면서 전기신호를 발생하게 되는데 이 전기적 신호를 측정함으로써 라돈농도를 연속적으로 측정하게 된다. 한편, Working level meter는 펌프를 이용하여 1L min<sup>-1</sup> 유속으로 외부공기를 유입하여 0.8 μm의 membrane filter를 통과시킨 다음 필터위에 붙잡힌 라돈딸핵종을 Si(Au) 검출기로 1시간 간격으로 연속 측정하는 장치이다.

그림1에서 보여지는 Alpha Guard/TN-WL-20 시스템은 TN-WL-20의 워킹레벨 산출과정에서 라돈평형인자로서의 변환이 가능하다. 따라서 워킹레벨은 다음과 같은 관계식에 의하여 산출된다.

$$mWL = \frac{ALPHA\ Counts}{[(T_s - 0.5) \times CF]} \quad (1)$$

여기서 Ts는 시간단위의 측정시간이고 CF(교정인자 : Calibration Factor)는 4.7 cph · mWL<sup>-1</sup>이다. 또한 워킹레벨(WL)을 라돈평형등가농도로 산출할 때 1WL은 라돈평형등가농도(EEC: Radon equilibrium equivalent concentration)로 환산하면 100 pCi · L<sup>-1</sup>(3700 Bq · m<sup>-3</sup>)의 양에 해당하는 값이기 때문에 식(2), 식(3), 식(4)의 관계로부터 식(5)와 같은 모양으로 평형등가농도의 산출이 가능해진다. 또한 평형등가농도와 평형인자와는 식(6)과 같은 관계가 있으므로 평형인자는 식(6)으로 쉽게 구하여진다.

$$1WL \equiv EEC ( 100\ pCi \cdot L^{-1} ) \equiv EEC ( 3700\ Bq \cdot m^{-3} ) \quad (2)$$

$$EEC(1\ Bq \cdot m^{-3}) \equiv 1/3700\ WL \equiv 2.7 \times 10^{-4}\ WL \quad (3)$$

$$1/3700WL \equiv 2.7 \times 10^{-4}\ WL \equiv 0.27\ mWL \quad (4)$$

$$EEC( Bq \cdot m^{-3} ) = \frac{ALPHA\ Counts}{[(T_s - 0.5) \times CF]} \div 0.27 \quad (5)$$

$$Equilibrium\ factor = \frac{EEC}{^{222}Rn\ concentration} \quad (6)$$

특히 그림 1에서 TN-WL-20과 Alpha Guard는 서로 인터페이스가 가능하여 앞서 보인 워킹레벨과 평형등가농도의 산출과정이 Alpha Guard의 데이터 처리과정중에서 자동으로 처리가 가능하게끔 되어있다.

한편, SARAD EQF3120 시스템은 그림 2에 나타난 것처럼 Wire screen과 필터를 통하여 0.3 L min<sup>-1</sup> 유속으로 외부공기를 6분간 포집하도록 되어 있다. 이때 비흡착 라돈자손은 Wire screen에 포집되는 반면, 흡착 라돈자손은 필터에 포집된다. 외부공기 포집 후 Wire screen 및 필터위의 라돈자손은 Si(Au) 검출기로 각각 114분간 측정하도록 되어 있다. 이때 SARAD장비는 114분 동안 라돈자손을 측정하는데 전체적인 붕괴곡선을 해석하게 되며 시간에 따라서 나타나는 붕괴곡선의 기울기로부터 각각의 라돈자손을 분리 해석할 수 있는 특징을 가지고 있다. 따라서 라돈 자손의 비흡착 분배율은 식(7)과 같은 관계로 구하여졌다.

$$비흡착\ 분배율 = 비흡착\ EEC \div Total\ EEC \quad (7)$$

Alpha Guard는 영국 NRPB(National Radiological Protection Board)의 표준라돈챔버에서 교정하였으며, TN-WL-20은 캐나다 Ontario, K2H 8S1에서 교정하였으며, 자체 교정용 알파선원(<sup>230</sup>Th; 5 nCi)을 사용하여 자체교정도 실시하였다. 자체교정결과 캐나다 Ontario, K2H 8S1에서의 교정결과와 ±5% 이내의 편차를 나타내었다.

### 결과 및 논의

가옥 및 실험실내 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자

Table 1. 라돈, 평형등가농도 및 평형인자 측정장비별 특성

기능	측정장비		
	SARAD EQF3120	Alpha Guard	TN-WL-20
검출기 형태	반도체 실리콘검출기	이온전리함	반도체 실리콘검출기
측정가능항목	라돈농도 평형등가농도(EEC) 흡착라돈딸핵중농도 비흡착라돈딸핵중농도	라돈	평형등가농도(EEC) 워킹레벨(WL)
측정형태	유사 연속모니터	실시간 연속모니터	실시간 연속모니터
해석방법	6분간 포집후 2시간동안붕괴곡선 해석	직접측정	연속포집 및 연속측정

Table 2. 가옥과 실험실에서의 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자

측정장소	지점수	측정기간	라돈농도 ( $Bq \cdot m^{-3}$ )	평형등가농도 ( $Bq \cdot m^{-3}$ )	평형인자
가옥	7	3일	$30 \pm 19$ (10~61)	$19.6 \pm 12.8$ (6.8~37.5)	$0.65 \pm 0.09$ (0.48~0.77)
실험실	3	3일	$55 \pm 48$ (20~109)	$31.9 \pm 26.4$ (12.2~61.9)	$0.58 \pm 0.03$ (0.57~0.62)
모니터링 포스트	1	35	$46 \pm 15$ (17~84)	$26.3 \pm 11$ (8~63)	$0.57 \pm 0.21$ (0.28~0.96)

Table 3. 환기 조건에 따른 평형인자 및 비흡착 라돈자손 비율 변화

측정장소	환기조건	평형인자	비흡착분배율
Lab. 1	open	$0.46 \pm 0.14$ (0.23~0.77)	$0.12 \pm 0.04$ (0.03~0.22)
Lab. 2	open	$0.48 \pm 0.18$ (0.11~0.84)	$0.11 \pm 0.06$ (0.05~0.24)
Lab. 1	close	$0.54 \pm 0.19$ (0.24~0.97)	$0.08 \pm 0.04$ (0.04~0.17)
Lab. 2	close	$0.60 \pm 0.21$ (0.26~0.99)	$0.08 \pm 0.06$ (0.02~0.20)
Out door		$0.43 \pm 0.16$ (0.19~0.78)	$0.16 \pm 0.07$ (0.07~0.25)

표 2는 2000년 6월부터 7월 사이에 7개 가옥 및 3개 실험실에서 3일 동안 라돈농도, 평형등가농도 및 라돈평형인자를 측정 한 결과이며, 모니터링 포스트에서는 약 1개월 간 측정 한 결과이다. 가옥내 라돈농도 범위는 10 ~ 61 Bq m<sup>-3</sup>(평균 : 30 Bq m<sup>-3</sup>)였으며, 평형등가농도(Equilibrium equivalent concentration: EEC)는 6.8 ~ 37.5 Bq m<sup>-3</sup>(평균 : 19.6 Bq m<sup>-3</sup>), 평형인자는 0.48 ~ 0.77(평균: 0.65)였다. 한편, 실험실의 경우 라돈농도범위는 20 ~ 109 Bq m<sup>-3</sup>(평균 : 55.0 Bq m<sup>-3</sup>), 평형등가농도는 12.2 ~ 61.9 Bq m<sup>-3</sup>(평균 : 31.9 Bq m<sup>-3</sup>), 평형인자는 0.57 ~ 0.62(평균: 0.58)였다. 실험실의 경우 최대농도를 나타낸 곳은 사면이 콘크리트로 밀폐된 실험실로서 창문이 있는 다른 두 개의 실험실내 라돈농도보다 3~4배 높은 값을 나타내었다. 한편, 평형인자는 가옥과 실험실에서 모두 전세계 가옥내 평형인자의 평균값인 0.4 보다 높은 값을 나타내었으며, 이러한 결과는 측정 당시 측정장소내의 에어로졸 농도가 비교적 높았다는 것을 의미한다. 실험실에서의 평형인자가 가옥내에서의 평형인자에 비해 다소 낮은 값을 나타내는 이유는 실험실의 경우 실험실내 후드 및 환기 공조시설의 지속적인 가동으로 공기중의 에어로졸의 농도가 인위적인 환기 공조 시설이 없는 가옥에 비해 낮기 때문으로 판단된다.

한편, 한국원자력안전기술원 모니터링 포스트에

서 2000년 8월에서 9월에 걸쳐 약 35일간 연속적으로 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자를 측정 한 결과 각각 17 ~ 84 Bq m<sup>-3</sup>(평균 : 46 Bq m<sup>-3</sup>)였으며, 평형등가농도는 8.0 ~ 63 Bq m<sup>-3</sup>(평균 : 26.3 Bq m<sup>-3</sup>), 평형인자는 0.28 ~ 0.96(평균: 0.57)였다. Yu-Ming Lin 일행은 1989년에서 1991년 사이에 대만의 250개 가옥내 라돈농도와 평형인자를 측정하였으며, 측정결과는 10±4 Bq·m<sup>-3</sup>, 0.49±0.12 인 것으로 보고하였다. 한편, K.N. Yu 일행은 홍콩의 가옥내 라돈농도 및 평형인자 값이 각각 29.2±7.8 Bq·m<sup>-3</sup>, 0.46±0.16 이라고 보고하였다[7]. 본 연구에서 조사된 가옥의 수가 너무 적기 때문에 앞서 언급한 다른 나라의 라돈농도 및 평형인자와 상호 비교하기가 어렵지만, 본 연구에서 얻어진 라돈농도와 평형인자는 홍콩이나 대만에 비해 다소 높은 경향을 나타내었다. 1993년도 UNSCEAR 보고서에서는 라돈에 의한 선량평가시 평형인자 값으로 0.4를 사용하고 있는데[8] 최근 2000년도 UNSCEAR 보고서에서는 세계각국에서 조사된 평형인자 분포가 0.1~0.9 까지 다양한 분포를 보인다고 보고하고 있다[9]. 이러한 결과는 평형인자 역시 라돈농도와 마찬가지로 측정장소의 여러 가지 환경조건에 따라 다양하게 변화된다는 것을 시사하고 있다. 일반적으로 평형인자는 공기중 에어로졸의 농도가 증가하면 비흡착 라돈자손의 비율이 감소하게 됨에 따라 평형인자는 증가하게 되는 경향이 있다[5].

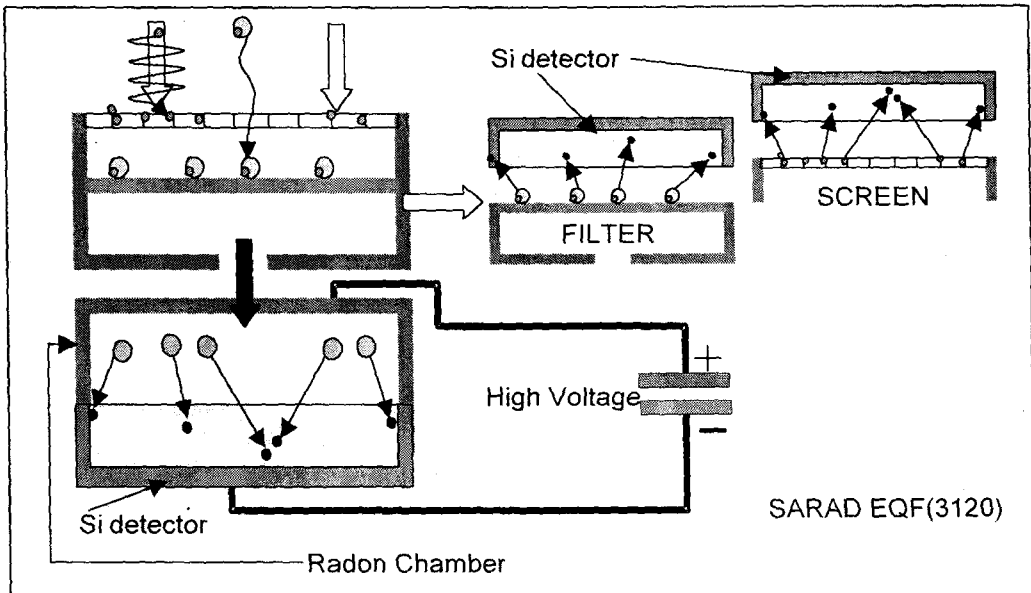


Fig. 2. SARAD EQF(3120) 측정 시스템 개략도

실험실에서의 평형인자가 가옥내에서의 평형인자에 비해 다소 낮은 값을 나타내는 이유는 실험실의 경우 실험실내 후드 및 환기 공조시설의 지속적인 가동으로 공기중의 에어로졸의 농도가 인위적인 환기 공조시설이 없는 가옥에 비해 낮기 때문으로 판단된다.

**가옥 및 실험실내 평형인자의 일일변동 특성**

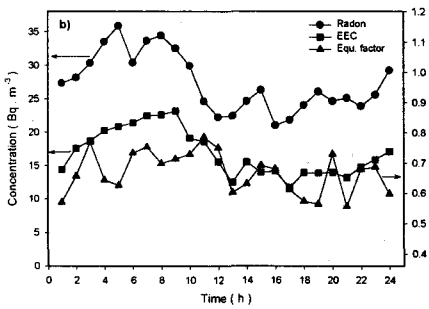
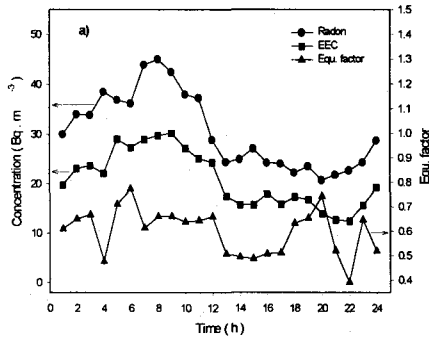


Fig. 3. 가옥과 실험실내 평형인자의 일일변동 특성  
a) 가옥 b) 실험실

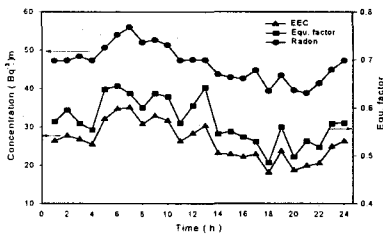


Fig. 4. 모니터링 포스트내에서의 라돈, 평형등가농도 및 평형인자의 일일 변동

그림 3은 7개 가옥과 2개의 실험실에서 3일간

측정된 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자의 평균값을 시간대별로 나타낸 것이며, 그림 4는 원자력안전기술원 모니터링 포스트에서 35일 동안 측정된 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자의 평균값을 시간대별로 나타낸 것이다. 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자는 새벽 및 아침시간에 높고 오후 4시부터 밤 10시 사이에 낮아지는 주기적인 특성을 나타내었다. 이러한 현상은 대기에서 나타나는 현상과 유사하였으며[10], 새벽과 아침 시간에는 대기 역전층이 하강하면서 대기층 밀도가 높아진 정적인 상태로서 공기중 에어로졸 농도가 높아지며 비흡착 라돈자손 비율이 감소하기 때문에 평형인자가 증가하는 반면, 오후 시간에는 태양열에 의해 지각온도가 높아짐에 따라 대기확산이 활발하여 공기중의 에어로졸의 농도가 낮아지며 비흡착 라돈자손 비율이 증가하면서 평형인자 값도 감소하는 경향을 나타내는 것으로 판단된다. 평형인자 변동에 가장 큰 영향을 주는 것은 실내 공기중 비흡착 라돈자손 비율과 환기율이다. 따라서, 실내에서 평형인자와 비흡착 라돈자손 비율간의 상관관계를 비교 분석하여 그 결과를 그림 5에 나타내었으며 평형인자와 비흡착 라돈자손 비율간에는 지수 함수적으로 반비례 관계에 있음을 알 수 있었다.

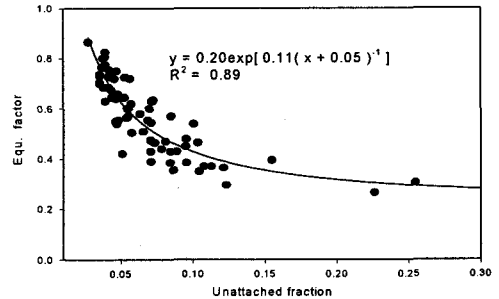


Fig. 5. 비 흡착 라돈자손 비율과 평형인자의 상관관계

**환기조건에 따른 평형인자, 비흡착/흡착 라돈말핵종 분배율 변화**

환기상태는 라돈농도 및 평형인자 뿐만 아니라 비흡착 라돈자손 비율에 영향을 미친다. 표 3은 환기조건에 따른 평형인자와 비흡착 라돈자손 비율을 나타낸 것이다. 실험실의 창문이 열린 상태에서의 평형인자의 평균값은 0.46 ~ 0.48 범위인데 반해 창문이 닫힌 상태에서 평형인자의 평균값의 범위는 0.54 ~ 0.60로써 창문이 열린 상태

에 비해 닫힌 상태에서 평형인자 값이 증가하는 경향을 나타내었으며, 흡착 라돈자손의 분배율도 창문이 열린 상태에 비해 닫힌 상태에서 높아지는 경향을 나타내었다. 이러한 경향을 그림으로 나타낸 것이 그림 6이다.

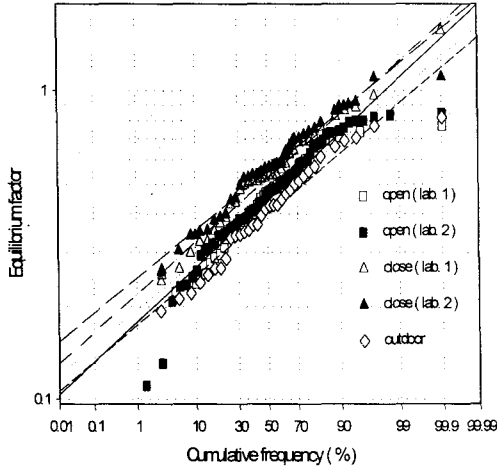


Fig. 6. 환기조건에 따른 평형인자의 누적 빈도 분포 특성

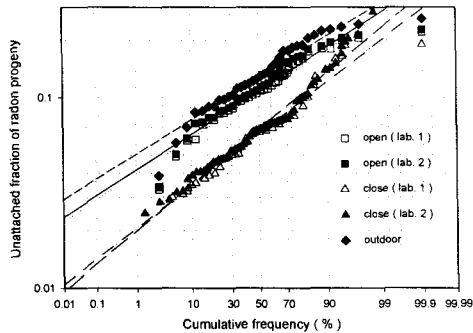


Fig. 7. 환기조건에 따른 비흡착 라돈자손 비의 누적 빈도 분포

그림 6는 환기조건에 따른 평형인자의 누적빈도 분포를 나타낸 것인데 실험실 창문이 닫힌 상태가 열린 상태에 비해 평형인자가 높은 경향을 나타내고 있는 것을 나타내고 있다. 이러한 경향은 앞서 설명한 바와 같이 창문을 연 상태에서는 실내 공기중 에어로졸의 농도가 감소하고 비흡착 라돈자손 비율이 증가하게 됨에 따라 평형인자가

감소하게 되기 때문이다. 그림 7은 실험실 환기조건에 따른 비흡착 라돈자손 비율의 누적 빈도 분포를 나타낸 것이다. 실험실 창문을 열어 환기율이 좋아짐에 따라 비흡착 라돈자손 비율이 증가하는 것을 알 수 있으며, 실외의 경우가 실내에 비해 비흡착 라돈자손 비율이 높은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 결국 환기율이 좋으면, 실내 공기중 에어로졸의 농도가 낮아지기 때문에 비흡착 라돈자손 비율이 증가하게 되며 이에 따라 평형인자는 감소한다는 것을 의미한다.

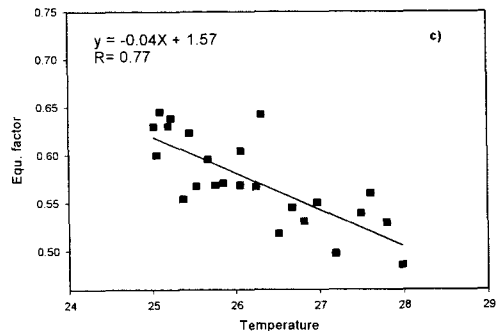
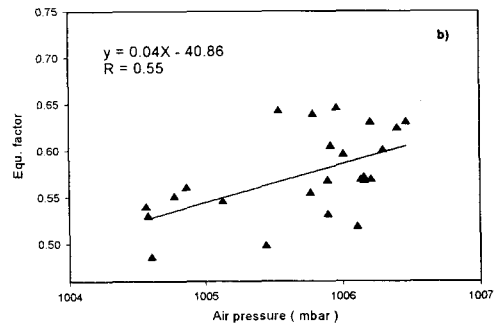
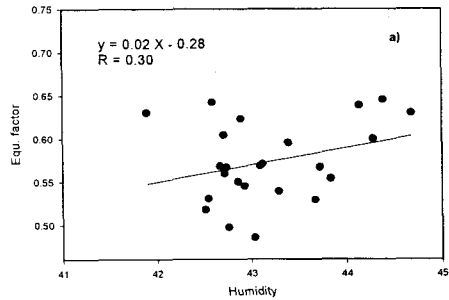


Fig. 8. 평형인자와 라돈농도, 습도, 온도 및 기압과의 상관관계

(a) 습도, (b) 기압, (c) 온도

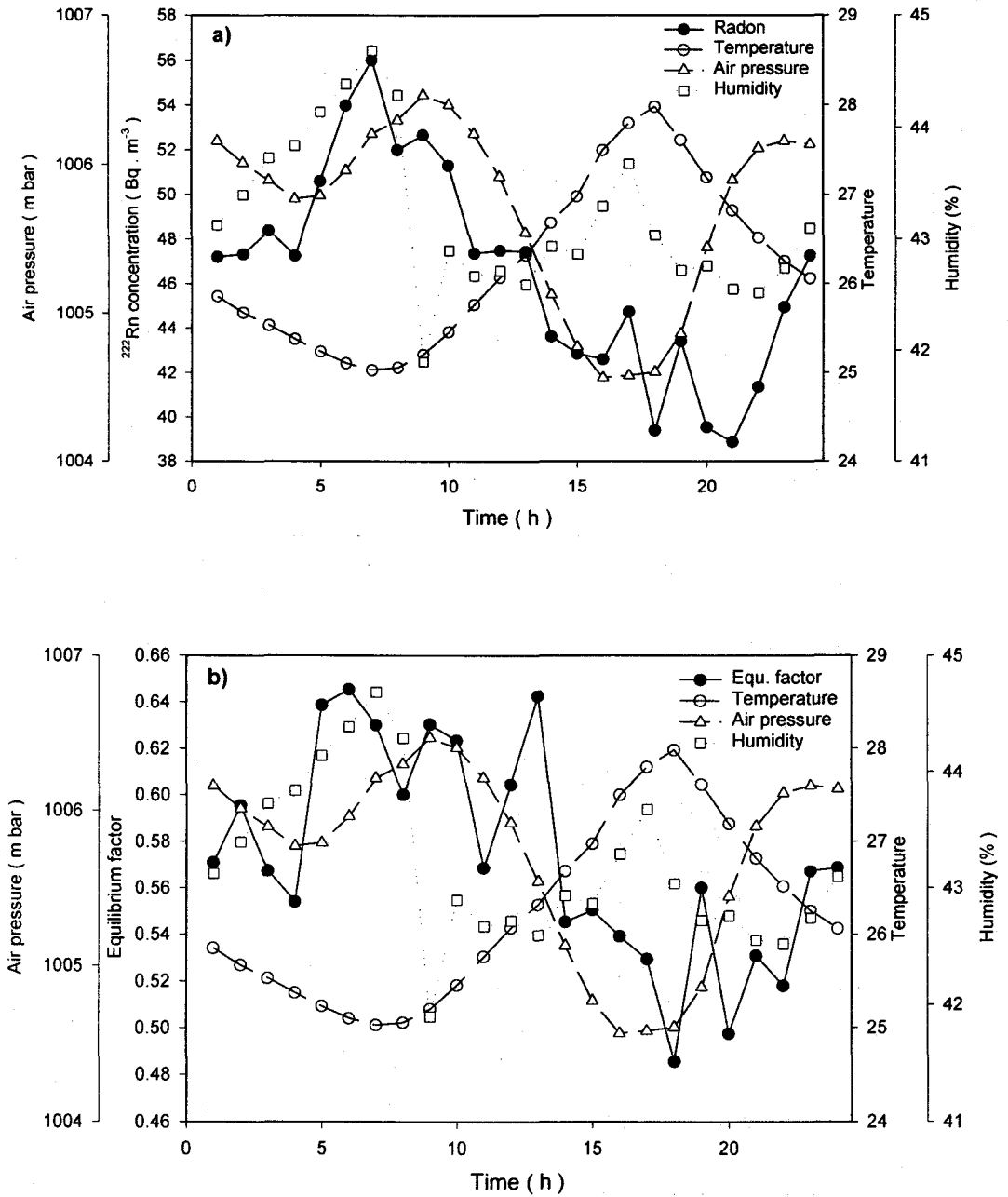


Fig. 9. 라돈농도와 평형인자의 습도, 온도 및 기압에 따른 일일변동 특성

a) 라돈농도의 일일변동 특성

b) 평형인자의 일일변동 특성



**실내 온도, 습도, 기압 및 라돈농도와 평형인자의 상관관계 및 일일변동 특성**

앞서 언급한 바와 같이 평형인자는 여러 가지 환경조건에 따라 다양하게 변화됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 평형인자가 환기조건 이외에 실내 온도, 습도, 기압 등과의 상호관계를 검토하였다. 2000년 8월18일에서 9월23일까지 약 1달간 원자력안전기술원 모니터링 포스트에서 측정된 자료를 바탕으로 라돈농도, 온도, 습도, 기압과 평형인자간의 상관성을 그림 8에 나타내었다. 그림 8 a)와 그림 8 b)에 나타난 것처럼 평형인자는 습도와 기압에 비례관계를 나타내고 있는 반면에 온도에는 반비례하는 관계를 나타내었다. 한편 그림 8 c)와 같이 온도 상승에 따라 평형인자가 감소하는 경향은 온도가 상승하면 대기순환이 활발해짐에 따라 흡착속도가 빠른 비흡착 라돈자손 비율이 증가하면서 평형인자가 감소하였으며 기압이 증가하면 대기층 밀도가 높아진 정적인 상태로서 실내 공기중 에어로졸 농도가 높아지며 비흡착 라돈자손 비율이 감소하기 때문에 평형인자가 증가하는 것으로 해석된다. 또한, 습도가 높아지면 실내 공기중에 존재하는 수증기 표면에 라돈자손이 흡착될 수 있는 표면적의 증가하면서 평형인자가 증가하게 되는 것으로 판단된다. 이와 같은 특성을 시간대별로 보기 위하여 그림 9에서는 라돈농도와 평형인자에 대하여 습도, 온도, 기압과 함께 그래프를 작성하였다. 앞서 설명된 그림 8에서 특성들이 시간대별로 확연히 나타남을 알 수 있다.

**결 론**

가옥내 라돈농도 범위는 10 ~ 61 Bq m<sup>3</sup>(평균 : 30 Bq m<sup>3</sup>)였으며, 평형등가농도는 6.8 ~ 37.5 Bq m<sup>3</sup>(평균 : 19.6 Bq m<sup>3</sup>), 평형인자는 0.48 ~ 0.77(평균: 0.65)였다. 한편, 실험실의 경우 라돈농도범위는 20 ~ 109 Bq m<sup>3</sup>(평균 : 55.0 Bq m<sup>3</sup>), 평형등가농도는 12.2 ~ 61.9 Bq m<sup>3</sup>(평균 : 31.9 Bq m<sup>3</sup>), 평형인자는 0.57 ~ 0.62(평균: 0.58)였다. 실내에서의 라돈농도, 평형등가농도 및 평형인자는 새벽 및 아침시간에 높고 오후 4시부터 밤 10시 사이에 낮아지는 주기적인 특성을 나타내었으며, 이러한 현상은 대기에서 나타나는 현상과 유사하다. 이러한 경향은 새벽과 아침시간에는 대기 역전층이 하강하면서 대기층 밀도가 높아진 정적인 상태로서 공기중 에어로졸 농도가 높아지면 비흡착 라돈자손 비율 감소하기 때문에 평형

인자가 증가하는 반면, 오후 시간에는 태양열에 의해 지각온도가 높아짐에 따라 대기확산이 활발하여 공기중의 에어로졸의 농도가 낮아지며 비흡착 라돈자손 비율이 증가하면서 평형인자 값도 증가하는 경향을 나타내는 것으로 판단된다. 또한, 환기조건에 따른 평형인자의 변동특성을 검토한 결과 환기상태가 좋은 경우가 환기상태가 나쁜 경우에 비해 평형인자와 흡착 라돈자손 비율이 낮아지는 반면, 비흡착 라돈자손 비율이 증가하는 경향을 나타내었으며, 평형인자는 기압, 습도에 비례하는 반면, 온도에는 반비례하는 관계를 나타내었다.

**감사의 글**

본 연구는 과학기술부의 원자력중장기 연구개발 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

**참고문헌**

1. Y.M. Lin, C.J. Chen and P.H. Lin, "Natural Background Radiation Dose Assessment in Taiwan", Environ. Int., 22, 45-48(1996).
2. C.J. Chen, C.C. Liu and Y.M. Lin, "Measurement of Equilibrium Factor and Unattached Fraction of Radon Progeny in Kaohsiung, Taiwan", Appl. Radiat. Isot., 49(12), 1613-1618 (1998).
3. F.T. Cross, R.F. Palmer, G. E. Dagle, R.H. Busch and Bushbom, "Influence of radon daughter exposure rate, unattachment fraction and disequilibrium on occurrence of lung tumors", Radiat. Prot. Dosimet., 7, 318-384(1984).
4. NAS, Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha Emitters, BEIR IV, National Research Council, Academy Press, Washington. DC(1988).
5. J. Porstendorfer, and A. Reineking, "Indoor Behaviour and Characteristics of Radon Progeny", Radiat. Prot. Dosimet., 45(1/4), 303-311(1992).
6. J. Porstendorfer, "Radon: Measurements

- related to dose". Environ. Int. 22, 563-583 (1996).
7. K.N. Yu, E.C.M. Young, M.J. Stokes and C.H. Lo, "A Survey of Radon Properties in Underground Shopping Centers in Hong Kong", Appl. Radiat. Isot., 48(6), 863-866(1997).
  8. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, Source Effects and Risk of Ionizing Radiation. UNSCEAR, United Nations, New York(1993).
  9. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, Source Effects and Risk of Ionizing Radiation. UNSCEAR, United Nations, New York(2000).
  10. 이동명, 김창규, 노병환, 이승찬, 강희동, "대기중 라돈자핵종 농도의 일일 및 계절적 변화와 기상인자가 미치는 영향", 대한방사선방어학회지, 25(4), 207-216(2000).