

신축공동주택의 라돈농도 특성에 관한 연구

A study on the Characteristics of Radon Concentration
in Newly-Constructed Apartment Houses

○ 박진철*, 이상형**, 이언구***

ABSTRACT

The study aims to investigate the concentration of radon - a gas form of radioactive substance emitted from soil, cement, concrete, etc, and may cause cancer to building occupants - in newly-constructed apartment buildings. Both the field measurement and the laboratory experiment were conducted.

The measurement from 14 new houses indicates that a RC house produces the most radon emission(4.75 pCi/l max.), followed by a PC house and a wood-structured model house. The laboratory experiment reveals that, among the various building materials, a Gypsum board partition has the highest radon concentration of 68.1 pCi/l, followed by a RC wall of 34.0 pCi/l. A PC wall shows, as in the field measurement, negligible radon concentration.

1. 서론

1-1. 연구의 목적

최근 주택 건설부문에서 실내공기환경은 그동안의 에너지 절약설계 및 시공에 따른 건물의 기밀화와 단열강화에 따라 날로 악화되어 가고 있다. 또한, 공동주택의 대량공급은 건축활동의 변칙을 초래하게 되어 각종의 기능을 구비한 새로운 재료의 등장을 촉진시켜, 재료 그 자체의 성질 뿐만 아니라, 실내공기환경과의 상호작용을 검토하지 않으면 안되었다.

특히, 신축공동주택의 경우 사용되는 재료의 다양화에 따라 각종 건축자재로부터 새로운 오염물질의 배출은, 날로 정도가 심각해져 입주자들의 건강을 위협하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 최근 시공 후, 입주 유예기간을 갖는 신축공동주택에서 발생하는 오염물질 중 특히, 흙, 시멘트, 콘크리트 등과 같은 건축자재에서

발생되는 라돈가스를 대상으로, 실측조사와 실험실 측정을 실시함으로써, 신축공동주택의 실내공기환경의 향상을 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

1-2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서 수행한 연구의 내용 및 방법은 다음과 같다.

1) 라돈의 특성 및 기준치 조사

국내외의 각종 참고문헌 및 연구자료를 정리하여 실내공기환경의 오염물질 중 특히, 라돈의 성질 및 특성을 조사하고, 발생원 및 인체에 미치는 영향을 고찰하였으며, 최근 미국 등을 비롯한 선진 외국에서의 연구활동 및 기준치를 분석하였다.

2) 신축공동주택에서의 라돈 농도분포 조사

최근 시공 후, 입주 유예기간을 갖는 신축공동주택을 대상으로 라돈의 농도분포를 조사하였다. 측정은 '94년 2월 3일부터 '94년 7월 25일 까지 서울 및 수도권지역을 포함하여 전국 6개 지역(서울, 경기 분당, 평촌 및 강화, 인천, 경북 영주와 안동, 경남 울

* 정희원, 경민전문대 건축설비과 전임강사

** 중앙대학교 건축공학과 대학원 석사과정

*** 정희원, 중앙대학교 건축학과 교수

그러나, 우리나라에서는 라돈발생지역인 원자력시설에서의 작업환경 허용농도만 제시되어 있을 뿐, 주거환경에 대한 기준치의 설정은 전혀 되어 있지 않은 상태이며, 최근에 일부 지하철 역사 및 지하 가정내 라돈농도를 측정된 결과가 있을 뿐이다<Table 2-2>.

<Table 2-2> 라돈 기준치

| 환 경 기 준(pCi/liter) | | | 국 내 |
|--------------------------------|--|------------|------------------------------|
| 외 국 | | | |
| 스웨덴 | 신축주택 | 1.9 pCi/L | 원자력시설에서의 공기중 최대허용농도: 30pCi/L |
| | 개축주택 | 5.4 pCi/L | |
| | 기존주택 | 10.8 pCi/L | |
| 미국 | 환경청(EPA) | 4.0 pCi/L | |
| | ASHRAE | 1.0 pCi/L | |
| 영국 | 신축주택 | 3.0 pCi/L | -자연방사선에 대한 허용농도: 全無 |
| | 기존주택 | 22.0 pCi/L | |
| 미국을 포함한 독일, 영국 등의 주택 라돈농도 조사자료 | 주택 등 건물: 1 pCi/L, 지하실: 2~4 pCi/L, 음료수: 10~100 pCi/L, 지하수: 100~10,000 pCi/L 이하. | | |

| 신 축 공 동 주 택 | 벽 체 구 조 | 입 주 일 | 측 정 일 | 평 형 | 측 정 기 기 |
|-------------|-----------------------|----------|------------|-----|---|
| 서울홍제 | R.C 습식 현장 타설 | 1994-4월초 | 1994-2/3-4 | 32평 | Radon WL Meter, Thomson & Nielsen Electronics, LTD |
| 안양평촌 | | 2.20 | 2/24-25 | 32평 | |
| 경기분당 | | 3월초 | 3/19-20 | 48평 | |
| 서울중계 | | 5.10 | 5/7-8 | 36평 | |
| 경북영주 | | 5.15 | 5/24-25 | 30평 | |
| 경북안동 | | 6월초 | 5/25-26 | 30평 | |
| 경남울산 | | 6월초 | 5/26-27 | 32평 | |
| 인천옥련 | | 6.30 | 7/12-13 | 32평 | |
| 강화갑곶 | | 6.30 | 7/13-14 | 32평 | |
| 제주서호 | | 5월말 | 7/24-25 | 30평 | |
| 경기분당 | P.C | 7월말 | 7/20-21 | 8평 | |
| 서울역삼 | 모델 목조 | '93 9 | 2/22-23 | 49평 | |
| 경남울산 | | 3월말 | 5/26-27 | 30평 | |
| 경기여주 | | 3.31 | 7/19-20 | 36평 | |

3-2. 측정결과 및 고찰

<Table 3-2>. 신축공동주택의 Radon 측정결과

| 신축공동주택 | 벽체 구조 | 라돈 농도(pCi/liter) | |
|--------|-----------------------|------------------|------|
| | | 실 내 | 실 외 |
| 서울 홍제 | R.C 습식 현장 타설 | 3.25 | N.E |
| 안양 평촌 | | 0.84 | N.E |
| 경기 분당 | | 2.84 | N.E |
| 서울 중계 | | 2.0 | 0.35 |
| 경북 영주 | | 0.7 | 0.06 |
| 경북 안동 | | 1.36 | 0.04 |
| 경남 울산 | | 0.63 | 0.02 |
| 인천 옥련 | | 2.35 | 0.16 |
| 강화 갑곶 | | 4.57 | 0.03 |
| 제주 서호 | | 1.21 | 0.18 |
| 경기 분당 | P.C | 0.33 | 0.24 |
| 서울 역삼 | 모델하우스 (목조) | N.E | N.E |
| 경남 울산 | | 0.01 | 0.02 |
| 경기 여주 | | 0.04 | N.E |

*N.E: Not Examined

3. 신축공동주택에서의 라돈 농도 실측

3-1. 측정 개요

본 연구에서는 최근 시공후 입주하기 직전의 신축 공동주택을 대상으로 공기환경을 측정하였는데, 그 측정시기는 '94년 2월 3일부터 '94년 7월 25일까지 실시하였고, 측정장소와 그 대상은 우리나라의 6개 지역(서울, 인천, 경기, 경북, 경남, 제주 등)에 소재한 H사의 신축공동주택 14개소를 선정하여 측정하였다.

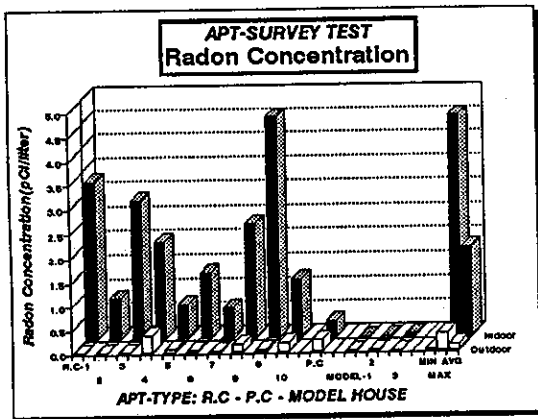
한편, Radon Gas의 농도측정은 Radon-222 붕괴 기간동안에 alpha 방사를 감지함으로써 Radon가스를 측정하는 Radon Detector를 사용하였다.

그 세부적 내용은 <Table 3-1>과 같다.

<Table 3-1>신축공동주택 공기환경의 측정 개요

| Type | 측정 수 | Concentration of Radon(pCi/liter) | | | | | | |
|-------------|------|-----------------------------------|------|------|---------|------|------|------|
| | | Indoor | | | Outdoor | | | |
| | | Min | Max | Avg | Min | Max | Avg | |
| R.C | 10 | 0.7 | 4.57 | 1.98 | 0.02 | 0.35 | 0.12 | 16.5 |
| P.C | 1 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 1.4 |
| Model House | 3 | 0.01 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 1.5 |

<Table 3-2>에서 알 수 있듯이 신축공동주택의 라돈 측정결과는 벽체의 구조별로 살펴 볼 때, R.C 벽체가 최소 0.7pCi/liter(영주)에서 최고 4.57pCi/liter(강화)까지 평균 1.98pCi/liter, P.C 벽체는 평균 0.33pCi/liter의 분포를 보였고, 벽체구조가 대부분 목재로 구성된 모델하우스에서는 평균 0.03pCi/liter의 분포를 나타냈다. 또한 실내/실외의 평균 농도비로 살펴 볼 때, R.C 구조가 1.98/0.12 pCi/liter(16.5배), P.C 구조가 0.33/0.24 pCi/liter(1.4 배), 모델하우스 0.03/0.02 pCi/liter(1.5배)로 각각 나타났다(Fig. 3-1).



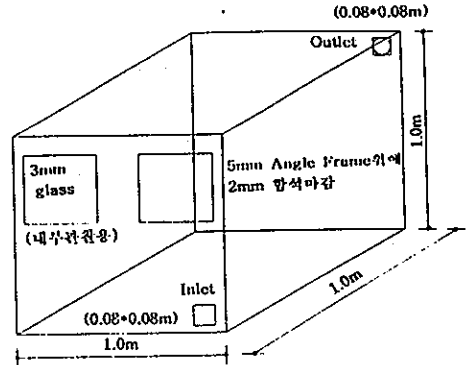
(Fig. 3-1) 신축공동주택의 라돈 분포도

따라서, 신축공동주택에서의 라돈의 방출은 벽체의 구조에 따라, 즉 목재 구조로 된 모델하우스와 Conc.벽체 중 건식공법인 P.C 및 습식공법인 R.C 등의 세가지 구조체를 비교 측정한 결과 특히, 골재, 모래 및 시멘트 등을 원료로 현장에서 타설한 R.C 구조체가 가장 높은 라돈의 방사량을 나타냈다. 즉, 신축공동주택 실내의 라돈농도는 최고 4.57pCi/liter, 평균 1.98pCi/liter의 분포로써, 이는 실외의 농도분포보다 16.5배(1.98/0.12 pCi/liter)나 높은 값을 나타내고 있었다. 이와같은 결과는 외국의 기준치(스웨덴: 1.9 pCi/liter)나 조사자료에 비하여 그 값을 초과하거나, 상응하는 비교적 높은 값을 알 수 있었다.

4. 실험실 측정

4-1. 실험실 측정 개요

실험실 측정은 기존의 아파트 평형 중 일반적 규모인 약 30평(전용면적 25평정도: 천장고2.4M기준 10.0m*10.0m*2.4m=240m³)인 아파트의 실전체 체적을 1/240로 축소한, 즉 1.0m*1.0m*1.0m=1.0m³ 크기(50mm angle frame에 합석마감)의 밀폐된 실험모델 내에 R.C P.C 및 Gypsum-board 등의 건축구조체를 설치하여 시편 단위체적당(m³) 발산되는 오염농도를 측정하였다(Fig. 4-1)<Table 4-1>.



(Fig. 4-1) 실험모델의 투시도

<Table 4-1> 실험실 측정방법 및 항목

| | | 실험체 제작 및 측정 방법 |
|------|------|--|
| 실험체 | R.C | 강도:240kg/cm ² 를 거푸짐에 현장타설한 후, 21일내지 28일 강도로 양생 크기:0.3m*0.3m*0.1m=0.09m ³ |
| | P.C | 강도:240kg/cm ² 를 공장에서 증기양생 시킨 후, 21일내지 28일 강도로 양생 크기:0.3m*0.3m*0.1m=0.09m ³ |
| 종류 | 석고보드 | 공장양생시켜 15일-20일 경과한 9mm 두께의 것을 반입하여 재단 크기:1.0m*1.0m*0.009m=0.009m ³ |
| 실험조건 | 온도 | 측정기간이 비교적 외기온이 높은 계절인 점을 감안하여 조정범위를 20℃에서 40℃까지로 함 |
| 실험방법 | 실험 | 초기조건: 합석과 앵글로 마감된 실험모델내의 실험체 설치하기 전의 조건을 측정 |
| | 방법 | 밀폐된 실험실내에서 단위체적당(m ³) 발생되는 농도측정 실내 온도변화에 따른 라돈농도의 발산정도 파악 |

4-2. 실험실 측정결과

5. 결론

<Table 4-2> 실험실 측정 결과

| | | 온도평균 (°C) | 습도평균 (%) | 라돈농도 pCi/liter m ³ |
|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|----------------------------------|
| 초기조건 | | 29.1 | 72.3 | 0.016 |
| 실험체 설치 했을 경우 | R.C | 23.0 | 53.6 | 34.0 |
| | | 32.2 | 52.3 | 11.43 |
| | | 39.7 | 46.7 | 6.23 |
| | P.C | 20.3 | 45.4 | 16.4 |
| | | 31.0 | 65.0 | 5.45 |
| | | 39.6 | 57.3 | 2.08 |
| | Gypsum Board | 22.0 | 60.8 | 68.1 |
| | | 34.3 | 51.2 | 27.0 |
| | | 41.8 | 36.7 | 23.4 |

본 연구는 최근 시공 후, 입주 유예기간을 갖는 신축공동주택을 대상으로 실내공기환경(IAQ)의 오염물질 중 특히, 흙, 시멘트, 콘크리트 등과 같은 건축자재에서 발생하는 라돈가스를 실측조사 및 실험실 측정 등을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

밀폐된 실험실에서 측정된 콘크리트시편 단위 체적당(m³) 발생하는 Radon Gas 농도는 각각의 시편 재료에 대하여 상온에서 R.C 34.0pCi/liter*m³, P.C 16.4pCi/liter*m³, Gypsum Board 68.1pCi/liter*m³로, Gypsum Board가 가장 높게 나타났다. 특히, 농도비율로 살펴보면 Gypsum Board의 Radon 방사율은 R.C의 2배, P.C의 4배가량 높게 나타났다.

첫째, 신축공동주택에서 라돈농도의 실측결과는 벽체의 구조체 중 특히, 골재, 모래 및 시멘트 등을 원료로 현장에서 타설한 R.C 구조체가 가장 높은 라돈의 방사량을 나타냈다. 즉, 신축공동주택 실내의 라돈농도는 최고 4.57pCi/liter, 평균 1.98pCi/liter의 분포로써, 이는 실외의 농도분포보다 16.5배(1.98/0.12 pCi/liter)나 높은 값을 나타내고 있었다.

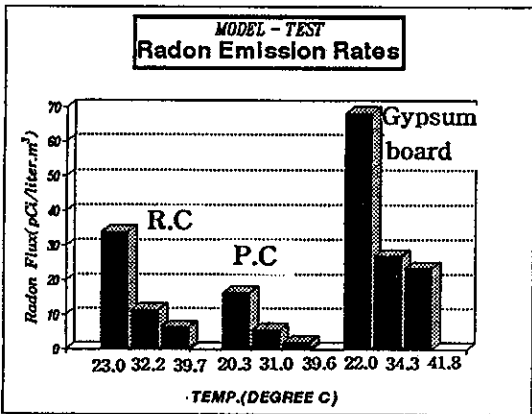
한편, 온도변화에 따른 실험에서는 실험실내의 온도를 20°C에서 40°C까지 몇단계로 조절해가며 측정된 결과, 모두 온도상승에 따라 Radon의 방사량은 점차 줄어들고 있음을 알 수 있었다(Fig 4-2).

이와같은 결과는 외국의 기준치(ASHRAE: 1.0pCi/L, 스웨덴: 1.9 pCi/L)나 조사자료에 비하여 그 값을 초과하거나 상응하는 비교적 높은 값으로 이에 대한 대책이 뒤따라야 할 것이다.

둘째, 실험실 측정결과를 요약하면, 라돈의 방사량은 R.C 벽체가 34.0pCi/liter*m³, P.C 벽체 5.45pCi/liter*m³, Gypsum Board 68.1pCi/liter*m³로, Gypsum Board가 Radon의 방사율이 가장 높은 것으로 나타났고(R.C의 2배, P.C의 4배) 또한, Radon의 방사량은 실험실내 온도가 상승함에 따라 점차 줄어들고 있었다.

따라서, 라돈의 높은 방사량이 인체에 암을 유발한다는 점을 감안할 때, 최근 신축공동주택의 미장대체용품으로 각광받고 있는 Gypsum Board 재료의 사용은 신중히 고려되어야 할 것이다.

그러나, 라돈의 방사율이 건물내외의 압력차와 깊은 관련을 가지고 있다는 연구보고를 살펴 볼 때, 본 실험의 조건이 밀폐된 곳이었고, 주변의 압력차와 습도의 변화량을 전반적으로 고려하지 않은 상태임을 감안한다면, 추후 연구에서는 온도뿐만 아니라 습도 및 건물내외의 압력차에 대한 보다 더 정밀하고 종합적인 실험이 뒤따라야 할 것이다.



(Fig 4-2) R.C 벽체, P.C 벽체 및 Gypsum Board의 Radon Gas 발생농도

■ 참고문헌

- 1) 김신도 외, 대기오염 개론, 동화기술, 1993.8
- 2) 김신도, 실내공기환경의 오염과 대책, 한국전력공사 기술연구원, 건축환경세미나 발표집, 1992. 2
- 3) 김운신, 우리나라 일부 주택내 라돈농도에 관한 조사 연구, 한국환경위생학회지, Vol.16. No.1. pp1-7, 1990
- 4) 대한건축학회, "건축설계자료집: 환경계획편", 1994. 8
- 5) 이언구 외, 건축환경 계획론, 태림문화사, 1994
- 6) Anthony L.hines., [et al.], "Indoor Air: Quality and Control", pp164-203, PTR Prentice-Hall, 1993
- 7) ASTM STANDARDIZATION NEWS, Environmental Concerns in Buildings, 1993.12
- 8) David W. Bearg, P.E., Indoor air Quality and HVAC systems, Lewis publishers, 1993
- 9) Jonathan M. Samet and Jone D. Spengler, Indoor air pollution: a health perspective, The Jones Hopkins University Press, 1991
- 10) Edling, C., Kling, H., & Ayelson, O., "Radon in Homes: A possible cause of lung cancer", Scand.J.Work Environ. Health, 10, 25-34, 1984