

지하연구시설 환기에 따른 공기중 라돈 방사능 평가

김희령, 이완로, 정근호, 강문자, 조영현, 최근식, 이창우
 한국원자력연구원
 kimhr@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력시설 운영으로부터 발생하는 고준위 방사성폐기물의 처분 연구 또는 환경 중의 극저준위 방사능의 신속 정확한 계측 등 다양한 목적으로 원자력 운영 국가들은 지하연구시설을 구축하여 여러 가지 실증 실험을 하고 있다. 실제로 한국원자력연구원에서는 매우 낮은 준위의 미량의 환경방사능을 별도의 시료 전처리 과정 없이도 측정할 수 있도록 우주선이 차폐될 수 있는 지하 동굴 시설(KURT; KAERI Underground Research Tunnel)에 극저준위 감마 계측 시스템을 설치 운영하는 방안을 고려하고 있다. 지하 동굴이라는 지질학적 특성상 공기 중 라돈 방사성 핵종 농도가 일반 자연 환경에 비하여 상대적으로 높아 실험자의 방사선 방호를 위한 환기 시스템이 시간에 따라 적절하게 가동되고 있다. 특히, 라돈은 알파 붕괴하는 불활성기체로서 주로 단반감기 자손 핵종들의 호흡에 의한 내부피폭을 유발하며 고농도의 라돈 환경에 장기간 노출될 경우 인체에 폐암을 야기할 수 있는 것으로 알려져 있다.^{1) 3)} 본 연구에서는 지하 약 100 m 깊이의 동굴 시설 내부의 시간의 변화에 대한 라돈 방사능을 측정하여 환기 시스템 가동에 따른 농도 차이를 비교하고 인체에 피폭되는 유효선량을 평가하고자 한다.

2. 실험 및 결과

시간에 따른 라돈 농도의 변화를 알기 위하여 이온 챔버 방식의 Alpha Guard (Genitron사) 장비를 사용하여 2008년 2월 22일부터 2008년 3월 18일까지 약 1개월 동안 라돈 농도를 연속으로 측정하였다 (Fig. 1). Fig. 1에서 보이듯이 시간에 따른 라돈 농도는 지하 시설 내 환기 시스템을 가동한 시간대와 그렇지 않은 경우에 대하여 주기적으로 변화하고 있음을 알 수 있었다. 실제로 환기 시스템이 가동된 일과 시간 (오전 9시 ~ 오후 6시) 동안의 라돈 농도는 그렇지 않은 휴일과 일과외 시간 동안의 라돈농도보다 상대적으로 낮게 나타남을 알 수 있었다. 특히, 휴일 동안은 환기가 거의 이루어지지 않았음을 반영하듯이 농도 분포가 상대적으로 높게 나타났다. Fig. 2에서는 평일(2008년 3월 5일 기준) 하루 동안의 라돈 농도의 시간에 따른 변화를 나타내었는데 환기 시스템이 가동되는 오전 9시경부터 낮아지기 시작하여 환기 시스템이 정지되는 오후 6시경부터 다시 높아짐을 알 수 있었다. 한편, 측정 기간 동안 라돈 농도는 $13 \text{ Bq/m}^3 \sim 832 \text{ Bq/m}^3$ 로서 평균은 299 Bq/m^3 이었다. 환기시스템이 가동된 시간과 정지된 시간 동안 평균은 각각 108 Bq/m^3 ($13 \text{ Bq/m}^3 \sim 588 \text{ Bq/m}^3$)와 348 Bq/m^3 ($14 \text{ Bq/m}^3 \sim 832 \text{ Bq/m}^3$)이었다. 이는 우리나라 옥내 라돈 연평균 농도인¹³⁾ 53.4 Bq/m^3 보다 높은 값으로 나타났으며, 환기시스템이 가동된 동안의 라돈 평균 농도는 일반가옥과 작업장에 대한 조치준위인^{12, 3)} $200 \text{ Bq/m}^3 \sim 600 \text{ Bq/m}^3$ 와 $500 \text{ Bq/m}^3 \sim 1,500 \text{ Bq/m}^3$ 보다 낮게 나타났다. 이때 환기시스템이 가동된 동안의 라돈 농도가 조치준위 하한값인 200 Bq/m^3 및 500 Bq/m^3 보다 높게 나타난 비율은 각각 2.9 % 및 0.34 % 이었다. 한편, 라돈 방사능으로 인한 유효선량은 UNSCAER 93에서 제시하는 식 (1)을 사용하여 계산되었다.

$$H = Q \cdot F \cdot T \cdot K \text{ [Sv]} \quad (1)$$

이 때 Q는 ^{222}Rn 의 농도 [Bq/m^3], F는 평형인자, T는 거주시간 (=거주계수(0~1)*8,760 [h]), K는 선량환산계수(= $9 \cdot 10^{-9} \text{ [Sv/(Bq \cdot h \cdot m}^3\text{)]}$)이다. 평형인자는 환기가 있을 경우 실내 공기 중 에어로졸 농도가 감소에 따른 비흡착라돈자손 비율의 증가로 인하여 낮아지는 경향을 보이는 것으로 알려져 있다.^{12, 3)} 환기시스템이 가동된 일과 시간 동안의 경우 환기 상태가 자연순환에 의한 일반적 인 가옥보다 더 양호하여 평형인자 값이 옥내 평형인자인 0.4¹¹⁾ 보다 작게 나타날 것으로 예상되

나 보수적인 관점에서 0.4를 사용하였다. 그러나 일과 시간 동안 온도, 습도 및 기압의 급격한 변동은 일어나지 않아 이러한 변수들에 대한 평형인자 변화는 고려하지 않았다. 또한 환기시스템이 가동되지 않은 동안은 지하시설 입구로부터의 자연순환밖에 없어 지하시설 내부에서의 환기조건은 창문이 닫힌 상태와 유사하다고 판단하면 평형인자는 0.4보다 크게 나타날 것으로 생각된다. 한편, 거주계수는 일과 시간 (9시~18시)만을 고려하여 0.267을 사용하였다. 지하시설에서 받는 추가 피폭선량을 알기 위하여 측정값에서 전국 평균값을 뺀 라돈 농도를 사용하여 유효선량을 계산하였는데 환기시스템이 가동된 동안의 경우 0.45 mSv/y로써 추가적인 피폭선량은 일반인에 대한 연간피폭선량한도인 1 mSv/y의 45%인 것으로 나타났다. 환기시스템이 가동되지 않은 동안의 유효선량은 이 때의 평균값인 348 Bq/m³를 사용하여 일과시간과 동일한 작업시간을 가정하여 계산하였을 때 추가적인 피폭선량은 2.48 mSv/y로 나타났다. 사실, Fig. 1에서 보면 환기시스템이 가동되지 않은 휴일의 경우에는 라돈 농도가 최고 900 Bq/m³까지 올라가고 있다. 따라서 지하시설내에 환기시스템이 전혀 없다면 라돈농도는 지속적으로 올라가다가 어떠한 값으로 수렴될 것이다. 본 연구에서는 환기시스템 가동을 장기간 중지할 수 없어 그 때의 라돈 농도를 알 수는 없으나 자연 상태의 제주 동굴이나 영국 로빈훅 동굴에서의 라돈농도가 각각 607 Bq/m³ 및 3,187 Bq/m³까지 이른다는 것을 감안하면^[4] 작업자에 대한 연간피폭선량한도 (연간 50 mSv를 넘지 않는 범위 내에서 5년간 100 mSv/y)를 초과할 수도 있을 것으로 파악되었다.

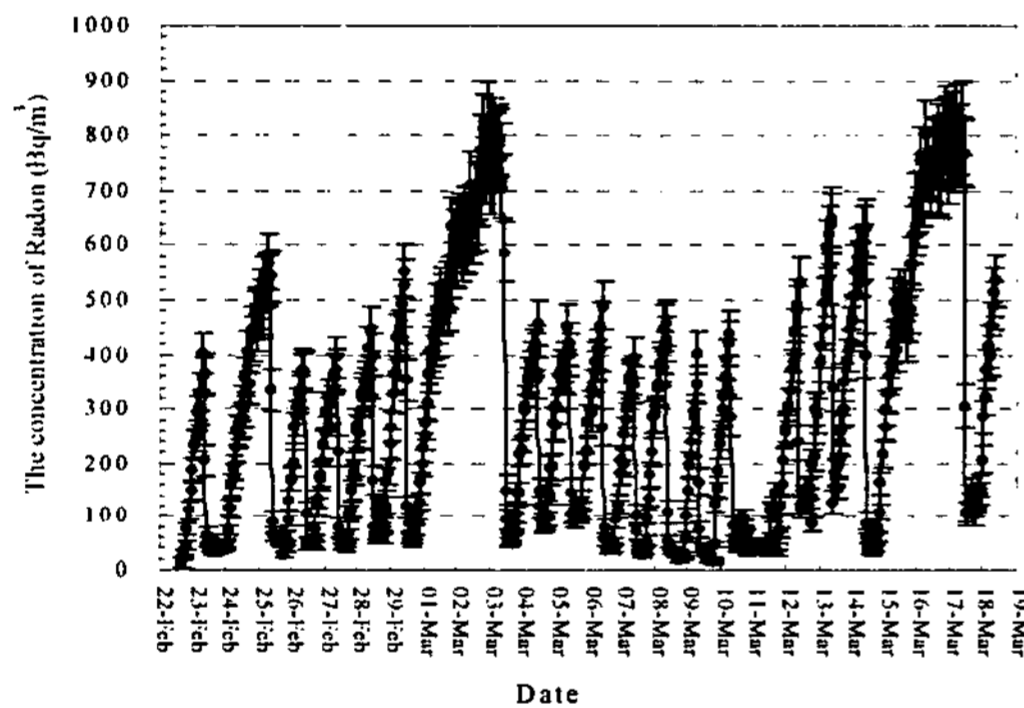


Fig 1. The Radon Concentration of the KURT

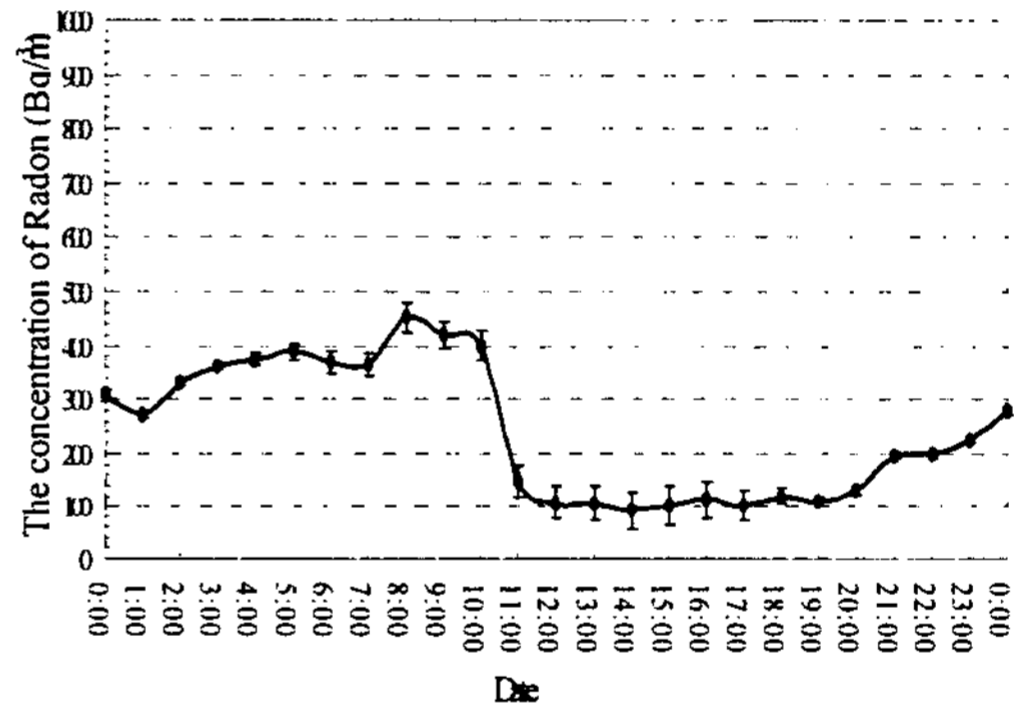


Fig 2. The Radon Concentration of the KURT for the day with a ventilation

3. 결론

지하시설 내부에 대한 라돈 농도는 환기시스템의 가동에 따라 최소 13 Bq/m³부터 최고 832 Bq/m³까지 주기적으로 증감함을 살펴보았다. 라돈 농도는 환기시스템에 의한 환기가 이루어진 경우 전국 평균보다는 높았으나 환기가 이루어지지 않은 경우와는 달리 일반가옥 및 작업장에 대한 조치준위보다 낮게 나타났으며 유효선량 또한 일반인 및 작업자에 대한 연간한도보다 작게 나타남을 알 수 있었다. 궁극적으로 지하시설과 같은 환경에서는 조치 준위와 유효선량 등을 고려할 때 환기시스템을 주기적으로 가동 운영함으로써 작업 활동으로 인한 인체에 대한 피폭선량을 연간피폭선량한도 이하로 유지할 수 있는 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] United nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCAER 2000 Report to the General Assembly, Vol. 1, 2000.
- [2] A Report of a Task Group of the International Commission on Radiological Protection, "Protection against radon-222 at home and at work", Annals of the ICRP, 1993.
- [3] KINS, 국민 방사선위해도 평가 및 전국 실내 라돈 방사능 조사, KINS/GR-246, 2002.
- [4] 고상혁 외, "제주 동굴의 라돈 농도 측정", 연구보고, Vol. 17, pp. 25, 제주대학교방사능 연구소, 2003.