

Research Paper

환경영향평가 단계에서의 라돈 관리에 대한 연구

김임순* · 오홍석*** · 이관형* · 김충곤***

광운대학교 환경공학과*, (주)경호엔지니어링**, 고등기술연구원***

Study of Radon Management in the Environmental Impact Assessment Stage

Im-Soon Kim* · Hong-Sok Oh** · Kwan-Hyung Lee* · Choong-Gon Kim***

Dept. of Environmental Engineering, Kwangwoon University*

Kyong-Ho Engineering**

Institute for advanced Engineering***

요약 : 최근 유해한 환경요인에 의한 질병발생 등 사람의 건강에 부정적인 영향이 중요하게 다루어지고 있다. 특히, 방사성 물질이며 폐암 1급 발암물질로 알려진 라돈 노출 영향에 관한 연구가 활발해지고 있다. 한국에서도 2018년 1월 1일 이후, 공동주택을 신축할 때 라돈측정이 의무화되었다. 라돈농도를 측정해 지 자체에 제출하여야 하며 주민이 볼 수 있는 곳에 공고해야 한다. 라돈은 다중이용시설에 관한 권고 기준만 있었으나 이제는 주택에도 권고기준을 설정하기로 했다. 따라서 이제는 환경영향평가 단계는 물론 사후환경조사에서도 라돈을 관리할 수 있도록 해야 한다. 라돈농도 등의 환경정보와 라돈의 위해성 등 건강정보도 공유할 수 있어야 하며, 이를 위해 환경영향평가 단계에서 보건전문가의 참여가 필요하다. 환경영향평가 과정에서 라돈이 인체 건강에 미치는 영향을 고려할 수 있도록 토양, 대기질, 위생·공중항목 등을 개선하여야 한다. 라돈의 농도가 권고기준치 이상이면 대안을 마련하고 저감방안을 마련하여야 한다.

주요어 : 라돈, 발암물질, 건강영향평가, 환경영향평가

Abstract : Recently, negative effects on human health such as disease caused by harmful environment have been dealt with seriously. In particular, studies on the effect of radon exposure, which is known as a primary carcinogen in lung cancer due to radioactive materials, have been actively studied. In Korea, since January 1, 2018, radon measurement is mandatory when building a new apartment, so it is necessary to measure the radon concentration and submit it to the local government and it should be posted where residents can see it. Radon has only recommended

First Author: Im-Soon Kim, Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897, KOREA, Tel: +82-2-940-5088, E-mail: imsoon99@hanmail.net

Corresponding Author: Hong-Sok Oh, Kyong-Ho Engineering, Seoul, 05702, KOREA, Tel: +82-2-2224-6165, E-mail: khbnr@daum.net

Co-Authors: Kwan-Hyung Lee, Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897, KOREA, Tel: +82-32-590-0000, E-mail: stayi@daum.net

Choong-Gon Kim, Institute for Advanced Engineering, Gyeonggi-do, 17180, KOREA, E-mail: choonggon@iae.re.kr

Received: 20 September, 2017. Revised: 14 February, 2018. Accepted: 20 February, 2018.

standards for multi-use facilities, but now it has decided to set recommendation standards for private homes. Therefore, it should now be possible to manage the radon in the environmental impact assessment phase as well as in the Post-environmental Impact Assessment. It should be possible to share health information such as the radon concentration and the risk of radon, and participation of health experts in the environmental impact assessment stage is required. Soil, air quality, hygiene and aerial items should be improved to take into account the effects of radon on human health during the environmental impact assessment process. If the level value of concentration of radon shows above the recommended level, then alternative measures should be prepared and mitigation measures should be prepared as well.

Keywords : Radon (^{222}Rn), carcinogen, HIA (Health Impact Assessment), EIA (Environmental Impact Assessment)

I. 서론

2013년 1월부터 3월까지 환경부에서 전국을 대상으로 라돈을 측정하고, 실내 라돈농도 최고치는 전북으로 다중이용시설 권고기준의 약 6배(909.4 Bq/m³)로 나타났다. 라돈노출 취약주택은 고농도 주택의 산술평균에 비해 1.5배 낮았다. 산술평균이 가장 높은 지역은 전북이며, 가장 낮은 지역은 울산으로 나타났으며 전국 주택의 22% 정도가 라돈의 권고기준을 초과하는 것으로 나타났다(MOE 2013). 이에 따라 환경부는 주택건설사업계획을 승인받은 공동주택은 라돈측정을 의무화하는 ‘건축자재 사전 적합확인제’를 도입하는 등 라돈의 노출을 최소화하기 위하여 ‘실내공기질관리법’ 개정안을 발표하였다(MOE 2016).

라돈(Radon)은 토양이나 암석, 수중에서 라듐(Radium)이 핵분열 할 때 발생하는 무색·무취의 가스로, 지속적으로 노출될 경우 암을 발생하는 것으로 알려져 있다(Park 2014).

미국의 경우 폐암 사망자 중에 라돈이 원인인 경우가 10% 이상인 것으로 나타나고 있다. 이 중에서 실내 공기 중 라돈에 의한 폐암사망자는 90%(약 19,000명)로 주로 실내에 존재하는 라돈이 인체의 폐에 영향을 미친다고 볼 수 있다(KECO 2016).

본 연구는 라돈의 발생원과 위해성 및 국내 라돈관리현황에 대하여 살펴보고, 라돈을 저감하기 위한 기

준의 방법들과 환경영향평가 단계에서 라돈의 관리 및 영향저감 방안을 제시하는데 목적이 있다.

II. 연구방법

라돈은 폐암의 중요한 원인으로 지목되고 있으나, 현재는 관리가 제대로 되지 않는 상황이다. 본 연구에서는 환경영향평가를 중심으로 라돈의 부정적인 영향을 최소화할 수 있는 방안을 모색하였다. 우선 라돈의 건강위해성과 라돈 발생원에 대하여 분석하였다. 또한 현재 우리나라 및 국외의 라돈의 관리 현황을 파악하고 환경영향평가제도에서 건강영향평가 등을 통하여 평가 단계별로 라돈의 영향을 저감할 수 있는 방안과 기술적으로 라돈을 저감할 수 있는 방안을 제안하였다.

서울시는 건축물에 대한 환경영향평가를 선도적으로 시행하고 있다. 따라서, 재건축으로 인해 대규모로 건설되는 주택공간에 라돈의 부정적인 영향을 최소화 할 수 있는 방안이 중요하다. 본 연구에서는 환경영향평가 단계에서 라돈의 유해성을 줄일 수 있는 방안을 제시하였다.

III. 연구결과

서울시는 재건축에 의한 건축물에 환경영향평가를 시행하고 있다. 건축재료 중에 콘크리트, 시멘트 블록, 석고판, 벽돌 등에서 라듐의 농도가 기준치 이상으로

보고되고 있기 때문이다. 방사성을 띠는 것은 골재가 가장 큰 원인이다. 화강암, 이관암을 골재로 하는 콘크리트는 라돈발산률이 가장 높은 것으로 보고되고 있다. 주택에서 건축용 재료가 라돈농도에 미치는 단위시간당 방사능은 0.01~0.1Bq/s이다(KECO 2016).

세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 Espoo협약(Espoo Convention)에서 2001년 11월 건강영향평가(Health Impact Assessment, HIA)에 관한 “Health Impact Assessment as part of Strategic Environmental Assessment” 보고서를 발간하였다(WHO EUROPE 2001). 또한 2001년 12월 국제영향평가학회(International Association for Impact Assessment, IAIA)와 WHO는 개발과 건강을 중심으로 양해각서를 체결하였다. 동 각서에는 모든 정책·계획·프로그램·프로젝트 수준에서 건강을 보호하고 증진하기 위한 권고사항이 포함되어있다(WHO 2002).

환경영향평가(Environmental Impact Assessment, EIA)는 잠재적인 환경 영향을 파악하고 저감하는 과정을 포함한다. 동시에 건강에 대한 관심이 적극적으로 도입되어 단순히 질병 없는 상태뿐 아니라 심리적 안정과 사회적 대응 능력까지 포함하게 되었다.

한국에서는 환경영향평가(EIA)에서 건강과 관련한 부분이 위생·공중보건 항목으로 설정되어 있다. 근무자와 주변 지역의 주민 보건위생 대책 및 전염병 등 질병요인의 검토, 공중위생 시설의 관리 계획 등이 주요내용이다. 위생·공중보건 항목에서 건강영향을 다루고 있는 것이다. 라돈은 건강의 위해성이 확인되었음에도 최소화 할 수 있는 대안이 다루어지지 못하고 있다. 환경영향평가 초기단계부터 사후영향조사까지 검토되어야 하며 정기적인 측정도 필요하다.

1. 라돈의 건강 위해성

라돈은(^{222}Rn)은 불활성인 방사성 기체로 반감기가 3.825일이다. 라돈 원자핵은 대부분 약 8일 이내에 붕괴하게 되고 알파입자, 베타입자 및 감마선을 방출하며 폴로늄(^{218}Po), 납(^{214}Pb), 비스무스(^{214}Bi) 등 자손핵종으로 변형된다. 붕괴산물은 (+)전하를 띠며 수 nm에서 수십 nm의 클러스터를 형성하거나, 실내공

기의 미세분진 입자에 부착되어, 호흡 과정을 통해 폐에 흡입되어 상피세포에 부착된다. 폐에 흡착 또는 흡수된 라돈과 붕괴산물들은 다시 지속적으로 알파, 베타, 감마선을 방출하면서 변형하게 되는데 주로 알파선이 폐세포의 DNA를 파괴하여 폐암을 일으키게 된다(KECO 2016).

라돈은 일반적으로 옥외환경보다 환기의 정도가 낮은 주택 및 건물 내에서 문제가 발생한다. 라돈은 가스이므로 호흡을 통해 폐에 침투하고, 붕괴생성물은 기관지나 폐포에서 알파선을 계속 방출한다. 지속적으로 노출되면 폐암이 발생한다(Park 2014). 2009년 세계보건기구에서 여러 국가를 대상으로 한 라돈의 질병유발에 관한 연구에서는 전 세계 폐암의 3~14%를 차지한다고 라돈이 발표하였다. 라돈이 반감기를 거치면서 생성되는 라돈자손의 경우 대부분이 양전하를 띠고 있어 먼지에 쉽게 달라붙는다. 이 먼지가 호흡기를 통하여 폐로 들어가게 되면 폐기도에 부착하여 변이를 일으켜 폐암을 유발하게 된다(MOE 2011).

라돈의 건강위해성은 라돈의 농도에 따른 독성평가와 노출경로를 고려한 노출평가로 구분할 수 있다. 농도가 높고 노출기간이 길어지면 위해성도 높아진다. 영국암센터와 유럽연합집행위원회(European Commission)의 지원으로 수행된 연구에서는 라돈에 의한 폐암으로 사망을 보고하고 있다. 주거지 내 라돈에 의한 폐암은 흡연에 의한 폐암과 사고에 의한 사망 다음으로 높은 비중을 차지하고 있다(KECO 2016).

노출평가측면에서는 노출의 경로에 따라 변화되는 것보다는 노출농도에 의해 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 과거 광산에서 일하는 광부들의 경우 라돈 노출에 대해 뚜렷한 위험이 보고하고 있으며, 동물실험 연구 등에서도 확인되었다. 외국의 라돈과 폐암에 대한 역학 연구 중에서 이전에 광부들을 대상으로 한 코호트 연구에서는 폐암에 대한 사망률이 높은 것으로 나타났다. 누적 노출량과 폐암 사망과의 관계는 통계적으로 의미 있는 관련성을 보여 주고 있다(Darby SC & Hill DC 2003). 생활환경의 일부분으로 사람이 연간 노출되는 방사선량의 85%는 자연방

사선이며 그 중에서도 50%는 라돈과 그 자손핵종의 호흡 노출에 의한다. 자연방사선은 원자력발전 등에서 방출되는 인공방사선보다 평균 노출선량보다 10배에서 100배까지 더 높다(KECO 2016).

2. 라돈의 발생원

라돈은 암석이나 토양 중의 우라늄과 토륨이 자연 붕괴되는 과정에서 라듐이 생성되고, 이 라듐에 의해 생성된다. 일반적으로 라돈(^{222}Rn)은 우라늄(^{238}U)의 붕괴로 생성된 라듐(^{226}Ra)의 산물이다. 라돈 발생원의 90% 정도는 주택하부의 토양이며, 그 외에는 콘크리트, 석고보드, 석면 슬레이트 등 건축자재 중에 존재하기도 한다(MOE 2015). 라돈의 발생원은 토양, 지하수, 건축자재로 나눈다. 환경영향평가에서 다룰 수 있는 것은 지하와 연결한 토양과 지하수를 사용하는 경우와 건축자재 등이다. 토양을 통해 유입되는 라돈이 지하수를 통해 유입되는 경우보다 더 위험하다. 물로 인해 발생하는 위암보다 공기 중의 라돈으로 인한 폐암발생이 더 위험한 것으로 알려져 있다(KECO 2016). 화강암, 경석(pumice), 이판암인 경우 라돈발산율이 높은 것으로 알려져 있으며 토양을 이동하는 라돈은 토양 투과성의 영향을 많이 받으며, 토양이 건조할 때 가장 크고 하부 슬래브 구역에 비해 건물 토대의 되메운 구역에서 크다. 라돈은 토양 내의 균열을 통해 쉽게 이동하므로 건조한 점토의 균열로 쉽게 건물 내로 들어온다.

1) 토양

토양에서의 라돈의 이동은 두 가지다. 첫째는 토양 입자크기에 따른 이동이다. 점토 미사 모래의 분류에서 점토는 투과성이 낮고 모래가 가장 투과성이 크다. 두 번째는 토양입자의 빈 공간으로 다공성부분에 의한 이동이다. 라듐은 암반과 토양에 존재하므로 토양 입자 표면에서 빈 공간으로 배출한다. 높은 수준의 라돈배출은 기반암과 굳지 않은 매립층이다. 우라늄이 풍부한 일부화강암, 인 회질 암석, 유기물질이 풍부한 이판암 등에서 이동한다(MOE 2015).

2) 지하수

주택 실내공기중의 라돈은 토양과 실내에서 사용하는 지하수를 통하여 유입된다. 토양을 통해 유입되는 라돈이 지하수 유입보다 더 위험하다. 일상생활을 통해 노출되며, 실내공기와 물을 측정하여 저감방안을 결정할 수 있다. 물로 인해 발생하는 위암보다 공기 중의 라돈으로 인한 폐암발생이 더 위험한 것으로 알려져 있다(MOE 2015).

3) 건축자재

건축재료 중에는 우라늄이나 라듐의 농도가 보통 이상으로 높은 경우가 많다. 대표적인 재료는 시멘트 블록, 콘크리트, 벽돌, 석고판 등이다 이들이 방사성을 띠는 이유는 골재가 원인이다. 벽돌과 콘크리트의 ^{226}Ra 의 농도는 7~100 Bq/kg(0.2~3 pCi/g)로 토양의 농도와 비슷하다. 화강암, 경석(pumice), 이판암(Shale)을 골재로 하는 콘크리트는 라돈 발산율이 가장 높은 것으로 조사되었다(KECO 2016).

산업폐기물 안에 라듐이 고농도로 함유된 경우, 건축 재료로 사용하면 라돈농도를 높인다. 배연탈황석고와 인산부산물석고는 인산 비료공정의 부산물이다. 인산칼슘에서 인산염을 만드는 과정에서 황산칼슘 폐기물에 ^{226}Ra 이 포함되어 있다. 인산석고의 ^{226}Ra 함량은 0.5~1kBq/kg(13~27 pCi/g) 정도로 다른 자재에 비해 상당히 높게 나타난다. 인산석고는 별체, 블록 및 시멘트를 만들기 위해 일본과 유럽에서 많이 사용되었다. 인산비료의 부산물인 인산염 슬래그(Phosphate Slag)도 콘크리트나 건축 재료로 사용되었다. 현재는 한국과 대부분의 국가에서 인광 부산물은 법으로 제한하고 있다. 벽돌, 콘크리트 및 탈황 석고보드의 발산율은 낮은 편이다. 벽면 페인트나 벽판 미장용 마감 패널 같은 재료로 차단막을 설치하면 라돈을 감소시킬 수 있다(MOE 2015).

3. 라돈의 관리현황

라듐은 토양, 석면슬레이트, 석고보드, 콘크리트 등 건축자재에 존재한다. 환기율이 낮은 겨울이나 실내와 토양의 온도차가 크면 실내의 라돈 농도가 높아

진다. 국립환경과학원과 환경부는 전국의 주택 7,800여 세대를 대상으로 2011년부터 시작하여 2년 동안 겨울철에 ‘전국 주택 라돈 조사’를 실시하였다. 조사대상중 22.2%의 주택이 라돈에 권고기준치(148 Bq/m³)를 초과한 것으로 확인되었다.

건축재료 중에 콘크리트, 시멘트, 블록, 석고판, 벽돌 등에서 라돈의 농도가 기준치 이상으로 보고되고 있기 때문에 서울시는 재건축에 의한 건축물에 대하여 환경영향평가를 시행하고 있다(KECO 2016). 이는 환경영향평가 단계에서 검토가 이루어져야 한다는 것을 의미한다. 1급 발암물질인 라돈은 토양, 암석 등에 자연적으로 존재해 벽이나 건물 바닥의 갈라진 틈을 통해 유입된다. 그러므로 신축주택에는 라돈 측정과 라돈노출을 최소화하는 공법이 반드시 도입되어야 한다.

라돈 측정 결과를 확인하는 방안에는 라돈측정기를 이용하는 방법이 있다. 라돈은 무색, 무취, 무미의

특성을 가지고 있어서 인간의 감각기관으로는 인지할 수가 없으므로 라돈의 농도를 알려주는 기기의 도움이 필요하다. 프랑스, 러시아, 한국, 미국 등에서 라돈측정기가 개발되어 있다. 측정기는 라돈농도를 실시간으로 반영하여 농도 변화를 보여주는 것과 누적 평균농도를 산정하여 알려주는 것이 있다. 자연환경을 통해 관리하려면 실시간으로 라돈농도를 반영해주는 것이 효율적이다.

1) 국내

국내에서 라돈의 실내공기질 권고기준은 다중이용 시설에 대하여 148Bq/m³로 설정되어 있으며, 2018년부터 연립·다세대주택도 200Bq/m³로 설정하였다.

라돈농도 조사는 1988년에 한국원자력안전기술원에서 수행하였다. 서울, 대전, 춘천, 부산 대구, 광주, 제주 등을 대상으로 방사능 측정소가 협조하였다. 2001년에는 한국원자력안전기술원에서 “국민 방사선

Table 1. Indoor radon concentration of the nation

Area	Indoor radon(Bq/m ³)							Excess rate (%) 148Bq/m ³	
	Number of houses	Highest concentration	Lowest concentration	Arithmetic mean	Geometric mean	Median	Indoor average	Per measurement point	
Nationwide	400	909.4	7.2	129.8	103.0	94.2	29.0	37.5	
Seoul	114	540.7	38.1	125.2	103.5	94.8	26.3	34.2	
Busan	13	470.5	75.2	170.8	139.8	108.9	38.5	38.5	
Daegu	13	483.2	28.6	164.9	128.2	120.5	46.2	61.5	
Incheon	10	352.1	43.6	145.1	114.9	127.8	50.0	50.0	
Gwangju	8	195.0	29.4	99.8	82.5	75.0	37.5	37.5	
Daejeon	13	271.3	82.7	151.9	141.7	152.6	53.8	61.5	
Ulsan	2	57.8	21.2	39.5	34.9	39.5	-	-	
Gyeonggi-do	80	774.0	37.4	130.4	106.9	94.0	26.3	35.0	
Gangwon-do	25	429.8	2.98	101.5	81.2	75.4	16.0	24.0	
Chungcheongbuk-do	20	275.2	65.2	148.8	134.3	138.5	45.0	60.0	
Chungcheongnam-do	23	516.8	28.3	140.9	105.2	89.9	34.8	43.5	
Jeollabuk do	15	909.4	22.0	211.6	134.2	138.8	46.7	53.3	
Jeollanam-do	7	399.8	61.4	181.6	153.4	126.2	42.9	57.1	
Gyeongsangbuk-do	27	267.7	7.2	87.4	71.2	66.9	11.1	18.5	
Gyeongsangnam-do	28	272.3	27.1	91.7	74.9	71.7	14.3	28.6	
Jeju Island	2	370.2	53.5	211.9	140.7	211.9	50.0	50.0	

위해도 평가와 전국 실내라돈 방사능 조사”를 하며, 전국의 실내라돈농도를 1년간 지속적으로 조사하였다. 2007년 환경부에서는 ‘라돈으로부터 안전한 실내환경’ 조성을 위하여 라돈방출량을 측정하였다. 측정결과를 기초로 실태조사지침을 마련하고, 인력양성구축 중심으로 사업을 추진하였다. 2012년에는 라돈과 폐암의 관련성을 중심으로 라돈측정의 기반을 마련하게 되었다. 라돈노출 현황을 파악하고 고농도 노출 경로를 관리하는 등 종합적인 대책을 추진하였다. 전국 라돈지도 작성과 분야별 관리방안도 마련하여 법령 정비 등의 라돈저감 대책을 제시하였다(MOE 2016). 라돈의 방사선 피폭량을 평가하고 주택과 공공건물 등의 실내공기질을 측정하였다. 토양 중 라돈 모핵종인 우라늄, 토륨, 라듐 등도 조사하여 매체별 라돈농도도 조사하였다.

국립환경과학원의 자료에 의하면 2012년 겨울 7,885개소에서 측정한 국내 실내 라돈 농도는 전국 평균이 124.9 Bq/m^3 이었으며, 강원도가 213.3 Bq/m^3 으로 가장 높았고 울산이 75.2 Bq/m^3 로 가장 낮게 나타났다. 2년 후 2014년 겨울 6,648개소에서 측정한 국내 실내 라돈농도는 전국 평균이 102.0 Bq/m^3 이었으며, 전라북도와 강원도가 각각 138.8 Bq/m^3 , 138.2 Bq/m^3 로 가장 높았고, 부산이 60.9 Bq/m^3 로 가장 낮게 나타났다(NIER 2014).

국립환경과학원은 실내 라돈 관리방안을 마련하기 위해 2011년부터 2년 주기로 전국 주택 실내 라돈조사를 추진하였으며, 그 결과 단독 주택의 경우 131.2 Bq/m^3 , 연립·다세대주택은 81.6 Bq/m^3 로 나타났으며, 아파트는 65.5 Bq/m^3 로 나타났다(MOE 2017). 또한 2011년부터 조사한 ‘전국 주택 라돈 조사’ 결과를 토대로 라돈분포지도를 작성해 생활환경정보센터 누리집(iaqinfo.nier.go.kr)에 공개하고 있다.

2) 국외

외국에서도 주택 내의 라돈농도 기준을 마련하여 관리하고 있다. 미국은 건물보수에 필요한 기준을 4 pCi/L 로 정하고 있다. EPA는 1989년에서 1991년 사이에 전국적으로 실내 라돈조사를 하고 라돈지도를 작성하였다. 라돈측정과 저감기술을 가지고 있는 업

체 및 기술인력은 프로그램으로 관리하고 있다. 또한 검사에 합격한 서비스 제공업체의 목록을 공개한다(KECO 2016).

미국의 미네소타 주에서는 2014년 1월 1일부터 주택을 판매할 때 계약전에 라돈 관련 정보를 의무적으로 제공하도록 법으로 정하였다. 라돈농도와 시공 정보 등에 대한 라돈정보를 공개하도록 한 것이다. 미네소타주보건국(Minnesota Department of Health)은 주택 거래자의 편의를 위해 Table 1 “Radon disclosure real property form”을 홈페이지에서 제공한다. 주택 구매자는 라돈정보를 제공하지 않아서 발생하는 피해에 대해서는 민사소송에 의해 보상을 받을 수 있다. 또한 2009년 1월부터 주택을 신축할 때는 의무적으로 라돈방지시공(Radon-Resistant New Construction)을 해야 한다. 공법은 능동형 시스템(Active system)과 수동형 시스템(Passive System)이 있다. 공법의 원리는 토양층에 음압을 형성시키는 SD(Soil Depressurization)공법이다. 라돈방지시공을 한 주택은 2년~5년 주기로 정기적인 라돈측정 관리를 권고하고 있다. 안전한 주택을 건설할 수 있는 시공 능력을 인정받은 경우 지정해주는 제도를 운영한다. 지정된 건축업자는 홈페이지에 게재된다.

WHO는 라돈을 폐암 발병 원인으로 정하고 기준치를 10배 강화하였다. 최근의 과학적인 연구 결과를 중심으로 라돈으로 인한 건강에 부정적인 최소화하기 위한 허용기준치를 100 Bq/m^3 로 낮출 것을 권고하고 있다. 1996년 WHO보고서에는 제시한 기준치는 $1,000 \text{ Bq/m}^3$ 이었다. 건물설계단계와 건축시공 단계에서 저감방안을 도입하면 라돈농도를 줄일 수 있다. 실내라돈 수치가 높은 겨울에는 자주 환기하는 것이 중요하다.

4. 환경영향평가제도에서 단계별 라돈 도입방안

세계보건기구(WHO)는 “건강(Health)이란 단지 질병이 없는 것뿐만 아니라 신체적, 정신적, 그리고 사회적으로 완전한 상태”라고 정의하고 있다. 또한 공중보건은 인간의 건강을 보호하고 증진시키며 회

복하기 위한 노력으로서 정의하기도 한다(Kim et al. 2005).

건강영향의 분류는 원인과 결과로 나눈다. 공장 등 으로부터 발생하는 화학적 원인, 병원균 등의 생물학적 원인, 건설소음 등의 물리적 발생원으로 나눌 수 있다. 결과는 박테리아 감염 등의 전염성 질병, 대기 오염에 의해 촉발된 라돈오염 등 비 전염성 질병, 화학적 노출로부터 발생된 질병, 사고, 심리적인 스트레스를 들 수 있다(BMA 1998).

국제적으로 “건강영향평가(Health Impact Assessment)는 인체 건강에 미치는 영향과 그 분포를 파악하는 도구이며 절차와 방법 또는 이를 포함한 조합”이라고 정의하고 있다. 한국의 경우는 건강영향평가의 대상이 환경영향평가대상사업 중 일부로 결정되어 있어 정책, 계획, 프로그램은 포함되지 않는다(MOE 2014).

우리나라에서는 1)산업입지 및 산업단지의 조성, 2)에너지개발 3)폐기물처리시설, 분뇨처리시설 및 축산폐수 공공처리시설의 설치 등에 건강영향이 고려되고 있다. 그러나 서울시를 중심으로 대단지 주택이나 산업단지 등에 건강문제는 산재되어 있다. 라돈의 폐암 발생이나 층간소음, 빛공해 등은 건강의 악영향으로 나타나고 있으므로 이제는 환경영향평가단계에서 다루어져야 한다.

따라서, 전략환경영향평가 단계에서는 사업의 특성, 지역현황 및 국립환경과학원에서 제공하는 라돈지도 등을 고려하여 환경영향평가협의회를 통하여 라돈을 중점검토향목으로 선정하고 생활환경의 안정성 분야에서 라돈을 평가해야할 항목과 평가범위를 정하도록 하여야 한다.

환경영향평가 단계에서는 주민설명회 등을 통하여 주민의견을 수렴하여야 하며, 대기환경분야의 대기질 항목, 토지환경분야의 토양 항목, 수환경분야의 지하수 항목 및 위생·공중보건 분야에서 라돈을 측정하고 사업으로 인한 영향을 예측하여야 하며 권고기준을 초과할 경우 입지 등에 대한 대안을 포함한 저감방안을 마련하여야 한다.

사후관리 단계에서는 환경영향평가에서 라돈항목

을 평가항목으로 선정한 사업에 대하여는공사시 및 운영시 토양, 지하수 뿐만 아니라 실내공기질도 정기적인 측정을 통하여 모니터링을 실시하고 권고기준 초과시 승인기관과 협의기관에 보고하고 지체없이 조치를 취하여야 한다.

5. 라돈 저감 방안

외국의 건축물 구조는 실내 바닥 아래 crawl space 라고 하는 약 50cm 높이의 공간을 두고 있으며, 배관을 위한 공간으로 활용 하는데 이 공간을 활용하여 바닥 공기 배기장치를 주로 시공하고 있다. 국내의 경우는 건축 시 지반 토양 위에 콘크리트 층을 조성하고 그 위에 바닥재를 입혀 바로 건축을 하는 구조이다. 그러므로 바닥 공간이 없는 경우가 많다. 이런 경우는 공기 배기 장치 외에 외부 공기 급기 장치, 토양 가스 배출장치 등을 시공하는 것이 좋다.

환경영향평가지 라돈농도가 권고기준 이상으로 측정 또는 예측되었을 경우 다음의 한 개 또는 여러 가지 방법을 조합하여 권고기준 이하로 될 수 있도록 모델링 등을 통하여 저감방안을 마련하여야 한다.

1) 자연 환기

가장 효과적인 방법으로 주기적인 환기를 통해 라돈의 위험에서 벗어날 수 있다. 라돈농도는 낮출수록 좋으므로 환기가 중요하다(NIER 2012). 주기적인 환기는 실내 라돈농도를 낮추는 가장 쉬운 방법이다(KECO 2016). 창문을 최대화하거나 바람의 방향을 고려하는 것도 좋은 방법이다.

2) 외부공기 유입법

실외의 공기를 유입하여 실내의 미세한 양압을 만들어 바닥 아래에서 라돈가스가 올라오는 것을 막아준다. 건물 내부에 외부공기를 유입할 수 있는 장치로 실내 상층부로부터 하부로 공기를 유입함으로써 실내외 압력차에 의해 균열된 틈을 통해 라돈이 유입되는 것을 차단하는 방법이다(MOE 2013).

3) 유입경로를 차단하는 방법

토양에서 배출된 라돈가스는 갈라진 틈을 통해 실내로 유입되므로 보강재 등을 이용해 틈새를 막는 방법이다. 라돈 저감 분야에서 효과적인 방법이다(KECO 2016).

4) 토양 라돈 배출 장치 설치

건물 및 토양에 라돈 배출관을 설치하는 방법이다. 배출관을 설치하면 토양의 라돈가스를 바로 건물 외부로 배출시킬 수 있다. 배출관 중간에 환기팬을 설치하는 것으로 효과를 더욱 높일 수 있다(KECO 2016).

5) 토양가스 자연배출법

(Passive Soil Depressurization)

수동적 라돈 저감 기술로 주로 신축 건물에 사용된다. 바닥에 자갈 등을 깔아 공간을 만들고 배관을 깔고 흡입관을 설치하여 실내의 압력차에 의해 라돈가스를 자연적으로 배출한다. 라돈 연구조사에 따르면 실내 유해물질 농도의 50%를 감소시킨다고 한다. 운영비용이 적으며, 교체해야 하는 팬이 없다. 적절하게 디자인될 경우 팬을 추가할 수도 있다. 기온, 바람 및 기압의 압력 변화에 의해 영향을 받으며, 간단한 압력 측정기로는 모니터링할 수 없다는 단점이 있다(KECO 2016).

6) 토양가스 강제배출법

(Active Soil Depressurization)

강제배출법은 적극적인 라돈 저감 기술이다. 바닥 아래 콘크리트 층을 토양층까지 뚫어 배출 파이프를 삽입하고 라돈가스를 유입되기 전에 배출하는 방법이다. 신축주택과 기존주택에 모두 적용 가능하다. ASD시스템의 종류는 건물 토대에 따라 선택할 수 있다. 지하수 통제 시스템이 있거나 지하실이 있는 경우 배수토관 감압(DTD), 블록 벽 감압, baseboard 감압이 가능하다. 어떤 토대에도 해당이 안 되는 경우에는 하부 슬래브(sub-slab) 감압(SSD)을 사용한다. 크롤 스페이스가 건물 토대인 경우 하부 멤브레인 감압(SMD)방법을 사용한다. 지면 슬래브(slab-on-

ground)인 경우에는 스템 벽(stem wall) 감압과 하부 슬래브(sub-slab) 감압(SSD)을 사용한다(KECO 2016).

신축주택에서는 압력장을 확장하고, 가스 증기 배리어와 분기층(ventiong layer)을 조합하여 사용한다. 이는 팬사이즈와 흡입 지점(suction point)의 수를 최소화하기 위한 것이다. 건물 신축 시에는 자갈 등을 깔아 바닥에 공간을 만들어 배관을 설치하고 흡입관과 팬을 설치하여 토양 라돈가스를 강제 배기하는 방법을 사용한다. 기존 주택의 경우에는 바닥아래 공간을 만들어 주는 것이 좋다. 강제배출법은 효과가 확실하고 시공할 때 비용이 적게 든다. 주택과 학교 내에서는 90~99%정도의 감소효과가 나타나며 조건과 건물 종류가 다양하다. 기압의 압력, 기온, 바람, 등의 영향을 극복할 수 있고, 단순한 음압 측정으로 모니터링도 가능하다. 한계점은 수동적 접근에 비해 유지관리비용이 높다는 점과 주기적인 유지관리가 필요하다는 점이다. 투과성이 낮은 경우에는 넓은 지역을 감압하기 어렵고, 젖어 있는 경우는 작동이 어렵다.

IV. 결 론

본 연구에서는 1급 발암물질인 라돈이 주택에서의 실내농도가 권고기준치를 전국평균 29%초과(2014년 기준)하고 있음에도 환경영향평가제도에서 관리되지 못하고 있어 전략환경영향평가, 환경영향평가 및 사후환경영향조사 단계에서 라돈 관리 방안을 제안하였으며 라돈의 기술적 저감방안도 제시하였다.

먼저, 전략환경영향평가 단계에서는 사업의 특성, 지역현황 및 라돈지도 등을 고려하여 환경영향평가 협의회를 통해 필요시 라돈을 중점검토항목으로 선정하고 생활환경의 안정성 분야에서 라돈을 평가해야 할 항목과 평가범위를 정하도록 하여야 한다.

환경영향평가 단계에서는 주민설명회 등을 통하여 주민의견을 수렴하여야 하며, 대기환경분야의 대기질 항목, 토지환경분야의 토양 항목, 수환경분야의 지하수 항목 및 위생·공중보건 분야에서 라돈을 측정하고 사업으로 인한 영향을 예측하여야 하며 권고기

준을 초과할 경우 입지 등에 대한 대안을 포함한 저감방안을 마련하여야 한다.

사후관리 단계에서는 환경영향평가에서 라돈항목을 평가항목으로 선정된 사업에 대하여 공사 시 및 운영 시에 토양, 지하수뿐만 아니라 실내공기질도 정기적인 측정을 통하여 모니터링을 실시하고 권고기준 초과시 승인기관과 협의기관 등에 지체 없이 보고하고 라돈 저감방안을 취하여야 한다.

라돈 저감방안은 자연환기, 외부공기 유입법, 유입 경로를 차단하는 방법, 토양 라돈 배출 장치 설치, 토양가스 자연배출법, 토양가스 강제배출법 등이 있다.

환경영향평가지 라돈농도가 권고기준 이상으로 측정 또는 예측되었을 경우 한 개 또는 여러 가지 방법을 조합하여 권고기준 이하로 될 수 있도록 모델링 등을 통하여 저감방안을 마련하여야 한다. 환경영향평가 초기단계에서 검토하면 더욱 효율적인 관리가 가능하다.

또한 라돈 측정 및 관리업체가 활성화 될 수 있는 조치가 필요하며, 라돈관련 기술인력 관리를 위한 프로그램을 도입하여 전문가로 관리 될 수 있도록 하고 전문업의 신설도 고려해야 할 것이다. 실내 라돈저감을 위해서는 실내유입 및 방출차단에 대한 예측 및 평가방법에 대한 지속적인 연구와 기술개발이 이루어져야 할 것이다.

사 사

“이 논문은 2018년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음”

References

BMA. 1998. Board of Science and Education. Health and Environmental Impact.
 Darby SC, Hill DC. 2003. European Collaborative Group on Residential Radon and Lung Cancer. Health effects of residential radon; a European perspective at the end of

2002. Radiat. Prot. Dosimetry.
 EPA. 2001. Building Radon Out.
 Korea environment corporation(KECO). 2016. Indoor Radon Management. [Korean Literature]
 Ministry of environment Korea(MOE). 2011. Final report of radon reduction pilot project. [Korean Literature]
 Ministry of environment Korea(MOE). 2013. Development of radon reduction methods for radon reduction methods by building types. [Korean Literature]
 Ministry of environment Korea(MOE). 2013. Report on the final report of Radon free Measure and Reducing Consulting Services. [Korean Literature]
 Ministry of environment Korea(MOE). 2014. Health impact assessment Information System. [Korean Literature]
 Ministry of environment Korea(MOE). 2015. Standard Business Manual. Vol.2. [Korean Literature]
 Ministry of environment Korea(MOE). 2016. Enforcement Rule of Indoor Air Quality Management Act Notice of some amendments (draft) legislation
 Ministry of environment Korea(MOE). 2016. Press Releases(Indoor Air Quality Management Act. Strengthen indoor pollution management).
 Ministry of environment Korea(MOE). 2017. Press Releases(10,000 households nationwide, survey on actual condition of radon)
 National institute of environmental research(NIER). Guide Book for Safe Living Environment from Radon. 2012.
 National institute of environmental research(NIER). Nationwide radon map. 2014.

Park Sh. 2014. Climate change and environment.
[Korean Literature]

WHO EUROPE. 2001. Health Impact Assessment as
Part of Strategic Environmental Assessment.

WHO EUROPE. 2002. Technical Briefing Health
Impact Assessment. Regional Committee
for Europe. Fifty-Second Session.
Copenhagen. pp.1-9.