



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년08월12일

(11) 등록번호 10-2289623

(24) 등록일자 2021년08월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01T 1/167 (2006.01) G01T 7/00 (2006.01)(52) CPC특허분류
G01T 1/167 (2013.01)
G01T 7/00 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0134520

(22) 출원일자 2019년10월28일

심사청구일자 2019년10월28일

(65) 공개번호 10-2021-0050190

(43) 공개일자 2021년05월07일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020170090728 A*

KR102030929 B1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 원주산학협력단

강원도 원주시 흥업면 연세대길 1

(72) 발명자

강대용

강원도 원주시 원일로 115-16

이철민

서울특별시 성북구 서경로 124

박지현

경기도 수원시 영통구 월드컵로 206

(74) 대리인

김보정

전체 청구항 수 : 총 4 항

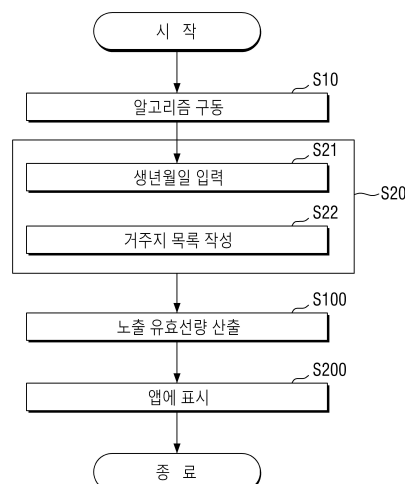
심사관 : 이해춘

(54) 발명의 명칭 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법

(57) 요약

생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법이 개시된다. 본 발명의 거주자가 거주하는 거주지정보를 이용하여 거주지별 연평균 실내 라돈 농도를 추정하고 추정값과 거주 시간 정보를 이용하여 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법은, 단말기에 저장된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시와 관련된 알고리즘을 웹 화면에 표시하는 단계와, 표시된 웹 화면에 개인별 식별정보와 현재까지 거주한 적이 있는 거주지 정보를 입력하는 단계, 상기 단계에서 입력받은 거주지정보를 이용하여 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량을 산출하는 단계, 및 산출된 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량을 기초로 산출된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 웹 화면에 표시하는 단계로 이루어지며, 간단한 거주지 정보 및 거주시간 입력으로 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2015001350002
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	환경기술개발사업
연구과제명	실내라돈 개인기반 노출평가 및 통합 위해관리 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 원주산학협력단
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

거주자가 거주하는 거주지정보를 이용하여 거주지별 연평균 실내 라돈 농도를 추정하고 추정값과 거주 시간 정보를 이용하여 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법에 있어서,

- (a)단말기에 저장된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시와 관련된 알고리즘을 웹 화면에 표시하는 단계;
- (b)표시된 웹화면에 개인별 식별정보와 현재까지 거주한 적이 있는 거주지 정보를 입력하는 단계;
- (c)상기 (b)단계에서 입력받은 거주지정보 및 거주시간을 이용하여 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량을 산출하는 단계;및
- (d)상기 (c)단계에서 산출된 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량을 연령대별로 합산하여 개인 생애 실내 라돈 노출 유효선량을 산출하고, 산입한 연령으로 나누어 산출된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 웹 화면에 표시하는 단계;

를 포함하고,

상기 (c)단계는

(c-1)거주지정보를 이용하여 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)를 추정하는 단계;및

(c-2)상기 (c-1)단계에서 추정된 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)에 거주지별 거주시간을 입력하여 다음의 수학적 식으로 표시되는 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량(E_{ij})을 산출하는 단계;

를 포함하는 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법.

$$E_{ij} = C_i * (T_{ij} * 365 \text{ day} * Y_{ij}(\text{단위: year})) * 0.4 * 9 * 10^{-6}$$

$$E = \frac{\sum_{i=1, \dots, I} \sum_{j=1, \dots, J} E_{ij}}{\sum_{i=1, \dots, I} \sum_{j=1, \dots, J} Y_{ij}}$$

여기서 E_{ij} 는 거주지별(i) 거주연령대별(j)로 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량, C_i 는거주지별 실내 라돈 농도, ($T_{ij} * 365 \text{ day} * Y_{ij}(\text{단위: year})$)는 연령대별 거주시간을 의미한다.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 (b)단계의 거주지 정보를 입력하는 단계에서는

양옥과 한옥을 포함하는 단독주택 및 아파트 또는 다세대주택 그리고 연립을 포함하는 비단독주택인지, 지하수를 사용하는 지 유무에 따라 4가지 타입으로 구분하는 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 (b)단계의 거주지 정보를 입력하는 단계에서

층수와 실내균열의 유무, 규칙적인 실내환기 유무를 더 포함하는 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량의 표시는

산출된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 화면의 일측에 표시하고, 타측에는 일반적인 상황에서의 피폭량을 참고자료로 표시하는 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법.

청구항 6

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 실내 라돈 농도 노출 유효선량에 관한 것으로, 보다 상세하게는 거주지 정보 및 거주시간 입력으로 개인 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 산출하여 표시할 수 있는 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 라돈은 자연 방사선의 주요 성분으로 알려진 방사성, 무색, 무취, 무미의 고귀한 가스이다.
- [0003] 폐에 축적되어 폐암을 유발할 수 있으며 흡연 후 폐암의 두 번째 주요 원인으로, 사람들이 거주지와 같이 많은 시간을 보내는 실내 환경에서 장기간 라돈에 노출되면 건강에 위험이 따른다.
- [0004] UNSCEAR 보고서(2000)에 따르면, 실내 라돈의 56%는 토양, 21%는 건축자재, 20%는 외부 공기, 2%는 상수도, 나머지 1%는 천연가스로부터 유입된다고 보고되어 있다.
- [0005] 고농도 라돈에 장기간 노출될 경우 호흡기능이 변화하고, 폐암 발병률이 증가하게 된다. 실내 라돈에 대한 노출과 관련된 건강 위험은 라돈 농도, 노출 기간에 기인한다. 실내 라돈의 건강 위험도 평가 및 실내 라돈의 장기간 노출은 실내 라돈 노출과 폐암 간의 관계를 확인하기 위해 고려되어야 한다.
- [0006] 장기간의 실내 라돈 농도를 측정하는 것은 시간과 비용이 많이 소요되고, 거주지 이동에 따른 변동성을 고려해야 하므로, 장기 실내 라돈 노출과 관련된 유해한 건강 영향에 대한 연구가 제한적일 수 밖에 없다.
- [0007] 일년 동안 사계절의 변화가 뚜렷한 국가의 경우에 실외환경과 마찬가지로 실내환경도 역시 사계절의 날씨 변동에 따라 변화하게 된다.
- [0008] 또한, 주거 유형에 따라, 예컨대 단독주택 및 비단독주택에 따라 계절별 라돈 농도의 변화가 크게 나타난다. 예를 들어, 단독주택 및 비단독주택 간 겨울과 여름의 라돈 농도 비율의 유의적인 차이가 있다.
- [0009] 이것은 라돈 농도의 측정시기 및 주거 형태에 따라 라돈 농도의 변화가 크다는 것을 의미하며, 이러한 변화는 라돈 노출에 의한 유효선량 및 폐암 발생 위험도를 평가하는 데에 있어서 불확실성을 야기한다고 할 수 있다.
- [0010] 한편, 라돈방출 침대나 생리대 등 라돈에 피폭된 제품들이 시중에 판매되고 문제가 되고 있는 시점에서 간단한 장치나 방법을 이용하여 개인별 라돈 피폭량에 대한 관심이 높아지고 있는 것도 사실이다.
- [0011] 따라서 거주지별 실내 라돈 농도 추정식을 이용하여 개인별 연간 평균 노출량을 계산하고 이를 웹상에서 구현한 다음, 사용자는 간단한 거주지 정보 및 거주시간 입력으로 개인별 생애 연간 평균 노출량을 쉽게 추정할 수 있

는 모델을 필요로 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) KR 등록특허공보 제10-1528780호(2015.06.09)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 이러한 과제를 해결하기 위한 본 발명은 실내 라돈 추정식을 바탕으로 산출한 실내 라돈 농도를 이용하여 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 표시할 수 있는 표시 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0014] 그리고 본 발명은 거주지 정보 및 거주시간의 입력으로 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 표시할 수 있는 표시 방법을 제공하는 것을 다른 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 이러한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 거주자가 거주하는 거주지정보를 이용하여 거주지별 연평균 실내 라돈 농도를 추정하고 추정값과 거주 시간 정보를 이용하여 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법은, (a) 단말기에 저장된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시와 관련된 알고리즘을 웹 화면에 표시하는 단계와, (b)표시된 웹화면에 개인별 식별정보와 현재까지 거주한 적이 있는 거주지 정보를 입력하는 단계, (c)상기 (b) 단계에서 입력받은 거주지정보 및 거주시간을 이용하여 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량을 산출하는 단계, 및 (d)상기 (c)단계에서 산출된 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량을 기초로 산출된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 웹 화면에 표시하는 단계를 포함하여 이루어지게 할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 (b)단계의 거주지 정보를 입력하는 단계에서는 양옥과 한옥을 포함하는 단독주택 및 아파트 또는 다세대주택 그리고 연립을 포함하는 비단독주택인지, 지하수를 사용하는 지 유무에 따라 4가지 타입으로 구분하여 입력할 수 있으며, 추가로 층수와 실내균열의 유무, 규칙적인 실내환기 유무를 더 포함하게 입력할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 (c)단계는 c-1)거주지정보를 이용하여 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)를 추정하는 단계, 및 (c-2)상기 (c-1)단계에서 추정된 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)에 거주지별 거주시간을 입력하여 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량(E_{ij})을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량의 표시는 산출된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 화면의 일측에 표시하고, 타측에는 일반적인 상황에서의 피폭량을 참고자료로 표시한다.

[0019] 그리고 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량(E_{ij})은 다음의 수학식으로 표현되는 것을 특징으로 한다.

$$E_{ij} = C_i * (T_{ij} * 365 \text{ day} * Y_{ij}(\text{단위: year})) * 0.4 * 9 * 10^{-6}$$

$$E = \frac{\sum_{i=1, \dots, I} E_{ij}}{\sum_{i=1, \dots, I} Y_{ij}}$$

[0020]

[0021] 여기서 E_{ij} 는 거주지별(i) 거주연령대별(j)로 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량, C_i 는 거주지별 실내 라돈 농도, ($T_{ij} * 365 \text{ day} * Y_{ij}(\text{단위: year})$)는 연령대별 거주시간을 의미한다.

발명의 효과

[0022] 따라서 본 발명의 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법에 의하면, 실제 거주지에 대한 라돈 농도 측정 없이 간단한 거주지 정보 및 거주 시간 입력으로 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 계산할 수 있는 효

과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 산출을 위한 장치의 구성도,
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법을 설명하기 위한 흐름도,
 도 3은 거주지별 실내 라돈 농도를 추정하기 위한 방법을 설명하기 위한 흐름도,
 도 4는 주거 유형 및 지하수 사용량에 따른 연평균 라돈 농도 요약표,
 도 5는 거주시간 특성에 따른 침투 계수 모델의 계수 추정표,
 도 6은 주택 타입에 따른 침투계수 S의 계산값과 추정값의 비교표,
 도 7은 주택 타입에 따른 실내 라돈 계산값과 측정값의 비교표,
 도 8은 본 발명의 일 실시예에 의한 웹 화면에 표시된 알고리즘의 초기화면을 예시한 도면,
 도 9는 거주지 정보를 입력할 수 있는 웹 화면을 예시한 도면,
 도 10은 작성한 거주지 목록을 표시한 웹 화면,
 그리고
 도 11은 본 발명의 일 실시예에 의한 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시와 라돈의 평균 피폭량에 따른 상황을 표시하는 화면을 예시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정 해석되지 아니하며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0025] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "장치" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 및/또는 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0026] 명세서 전체에서 "및/또는"의 용어는 하나 이상의 관련 항목으로부터 제시 가능한 모든 조합을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 예를 들어, "제1 항목, 제2 항목 및/또는 제3 항목"의 의미는 제1, 제2 또는 제3 항목뿐만 아니라 제1, 제2 또는 제3 항목들 중 2개 이상으로부터 제시될 수 있는 모든 항목의 조합을 의미한다.
- [0027] 명세서 전체에서 각 단계들에 있어 식별부호(예를 들어, a, b, c, ...)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 한정하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0028] 이하, 도면을 참고하여 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명한다.
- [0029] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법을 설명하기 위한 흐름도로서, 먼저 표시된 웹 화면의 초기화면에 거주지 정보를 입력하는 단계(S10)를 설명하기 전에 주택의 실내 라돈 농도를 추정하고 이를 이용하여 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 산출하는 방법에 대하여 설명한다.
- [0030] 먼저, 도 1의 본 발명의 일 실시예에 따른 주택의 실내 라돈 농도 추정 방법을 이용한 연간 라돈 노출 유효선량 산출을 위한 장치의 구성도를 참고하면, 라돈의 연간노출선량 예측을 위한 장치는 라돈센서(10), 제어기(20) 및 출력기(30)로 구성되고, 거주지의 내부에 설치될 수 있다.
- [0031] 또한, 라돈의 연간노출선량 예측을 위한 장치는 제어기(20)와 출력기(30) 그리고 스토리지(23)를 포함하여 단말기로 구성할 수도 있음은 물론이다.
- [0032] 물론 이때의 출력기(30)는 단말기에 구성된 표시부로 구성할 수 있음은 물론이다.

- [0033] 라돈 센서(10)는 실내 공기에 포함된 라돈의 농도를 검출한다. 제어기(20)는 아래에 설명된 방법에 따라 라돈의 연간노출선량을 예측하여 출력기(30)로 출력하면 본 발명의 웹 화면에 생애 연평균 실내 라돈 "노출 유효선량"으로 표시하는 것이다.
- [0034] 제어기(20)는 데이터 수신부(21), 프로세서(22), 스토리지(23), 사용자 인터페이스(24)로 구성된다.
- [0035] 스토리지(23)에는 어떤 거주지에서 설정된 일정 개월 동안에 측정된 라돈의 평균농도 및 기상 요인을 반영한 거주지별 연평균 라돈 농도 추정값과 그 거주지의 라돈 노출 유효선량을 추정하는 프로그램이 저장되어 있으며, 또한 본 발명의 거주지 정보를 입력하여 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 표시할 수 있는 알고리즘을 저장한다.
- [0036] 프로세서(22)가 스토리지(23)에 저장된 추정 프로그램을 실행함으로써 제어기(20)는 이러한 추정 프로그램에 따라 생애 누적 라돈 노출량을 추정하여 출력기(30)로 전송한다.
- [0037] 사용자 인터페이스(24)는 사용자로부터 그 거주지의 형태, 보다 구체적으로 단독주택 및 비단독주택 여부를 입력받고, 그 거주지에서의 거주시간 및 설정된 일정 개월 동안 측정된 라돈의 평균농도를 입력받아 프로세서(22)로 전송한다.
- [0038] 데이터 수신부(21)는 라돈측정 기관으로부터 축적된 계절별 거주지 지역의 실내 라돈 평균농도 데이터를 전송받고, 기상청으로부터 매월 실외 월별 평년 온도 및 월별 평년 풍속 데이터를 전송받아 스토리지(23)에 DB로 저장한다. 이때 상기 계절별 거주지 지역의 실내 라돈 평균농도 데이터는 거주지 형태에 따라 구분되고, 보다 구체적으로 단독주택 및 비단독주택으로 구분된다.
- [0039] 따라서, 프로세서(22)가 스토리지(23)에 저장된 추정 프로그램을 실행함에 있어서 프로세서(22)로 전송된 거주지 형태에 따라 거주지 지역의 실내 라돈 평균농도 데이터를 구분하여 대입할 수 있다.
- [0040] 출력기(30)는 표시부 또는 전송부로 구성하여 프로세서(22)에서 산출된 라돈 노출 유효선량을 전송받아 웹 화면에 표시하거나 또는 전송부를 통하여 외부로 출력할 수 있도록 동작한다.
- [0041] 라돈의 연간유효선량의 산출에 사용되는 수학적 예측모델을 구체적으로 어떻게 구축하고 기상 요인을 반영한 월별 보정계수를 구체적으로 어떻게 결정하는가에 대해서 상세히 살펴보기로 한다.
- [0042] 일반적으로 실내에서의 라돈 측정의 공정시험방법으로 장기간 측정방법인 3개월간의 라돈 누적농도를 산출하는 방법이 권장되고 있다. 그러나 실내공기 중 라돈 농도는 계절적으로 차이를 보이고 있어 계절별 3개월간의 라돈 누적농도가 일 년간의 평균 라돈농도를 대표하기는 역부족이다. 따라서, 계절별 3개월간의 라돈의 평균농도 측정값을 기반으로 하는 라돈의 연간노출선량 예측은 계절의 영향을 크게 받으며, 이에 따라 라돈 노출에 의한 폐암발생 위험도의 평가의 신뢰성이 떨어질 수 있다.
- [0043] 본 실시예에 따르면, 임의의 일정 개월 동안 측정된 라돈의 평균농도, 예컨대 권장되는 임의의 3개월간 측정된 라돈의 평균농도를 기반으로 라돈의 연간노출선량을 추정할 수 있는 식을 구축함으로써, 계절에 상관없이 라돈의 연간노출선량을 산출할 수 있다. 또한, 기상 요인, 구체적으로 실외 월별 평년 온도 및 월별 평년 풍속을 반영한 월별 보정계수를 함께 고려하여 라돈의 연간노출선량을 예측하기 때문에 보다 현실적인 연간노출선량을 산출할 수 있다. 이에, 라돈 노출에 의한 폐암발생 위험도의 산출에 상기 라돈의 연간노출선량을 적용할 수 있어 신뢰성 있는 폐암 발생 위험도의 산출이 가능할 뿐만 아니라 라돈의 연간노출선량을 고려하여 라돈 저감 대책을 수립할 수 있다.
- [0044] 이하에서는 주택의 연평균 실내 라돈 농도를 추정하는 방법에 대하여 도면을 참고하여 설명한다.
- [0045] 주택의 연평균 실내 라돈 농도를 추정하기 위하여 먼저 실내 라돈 농도와 설문지를 실시하였다.
- [0046] 2015년 10월에서 2018년 12월까지 최소 90일 동안 수동식 알파 트랙 탐지기(Raduet Model RSV-8, Radosys Ltd., 헝가리 부다페스트)를 사용하여 1,437 개의 주거지에서 실내 라돈 농도를 수집하였다.
- [0047] 라돈 농도는 각 거주지의 2개 지점에서 측정되었으며, 측정 지점은 거실과 침실과 같이 주로 대부분의 시간을 소비하는 공간에서 선택되었다. 주거지 내의 두 지점으로부터의 라돈 농도의 기하 평균은 라돈 농도 모델을 개발하는데 사용되었음을 밝혀둔다.
- [0048] 라돈 농도의 로그 정규 분포 때문에, 로그 변환값이 적용되고, 또한, 주소 (도시 /도 및 시 / 군 / 지구), 주택 유형, 건축 자재, 건물의 균열 위치 및 수, 지하수 사용, 환기습관, 벽 건축 자재, 층수 및 거주자의 정보를 총

1,390 개의 거주자에게 설문지를 통하여 수집하였다.

- [0049] 최종적으로, 모델의 안정성을 위해 로그 변환된 라돈 데이터에서 47 개의 선택된 특이점을 제거하고 1,343 개의 거주지를 사용하여 모델을 개발하였다.
- [0050] 실내 라돈 농도는 계절에 상관없이 측정되었으므로 라돈 조사에서 얻은 데이터의 계절 주기성을 보정하기 위하여 실내 라돈 농도는 Park et al.에 의해 기술된 계절 보정 계수를 사용하여 가정에서의 연 평균 라돈 농도로 변환하였다.
- [0051] 도 4는 주택 유형 및 지하수 사용량에 따른 연평균 라돈 농도를 요약한 것이다.
- [0052] 전국 라돈 조사 자료
- [0053] 모델 개발을 위해 한국의 국립 환경 연구원 (National Institute of Environmental Research)의 전국 라돈 조사 자료를 사용하여 2011년부터 2016년까지 겨울철에 3회 (<https://iaqinfo.nier.go.kr>) 조사를 실시하였습
니다.
- [0054] 2011-2012 년, 2013-2014 년 및 2015-2016 년 조사는 각각 약 11,000개, 8,000개 및 12,000개 거주지에 대해 수행되었습니다.
- [0055] 조사 대상 주택은 단독 주택, 아파트 및 다가구 주택과 같은 주거 구조 유형을 고려하여 선정되었습니다. 아파트 및 다층 건물에서는 3층 이하의 거주지만 선택되었다. 분리된 집에서 측정된 약 14,152 개의 라돈값이 추출되었고, ($AM = 116.71 \pm 103.43 \text{ Bq m}^{-3}$), ($GM = 86.52 \pm 2.14 \text{ Bq m}^{-3}$) 로그변환 후에 특이값을 제거한 후에 13,975개 거주지의 라돈 농도 값이 사용되었다.
- [0056] 지리정보 및 기상데이터
- [0057] 구조 방정식 모델을 사용하여, Lee et al. [6] 높은 녹지 비율을 나타내는 지역에서 실내 라돈 농도가 높다는 것을 보여 주었다.
- [0058] 환경부가 주관하는 환경 지리 정보 서비스 (Environmental Geographic Information Service)는 시/군/구(<https://eais.me.go>)에 따라 관리 지역에 비해 녹지 면적을 반영한 녹지 비율 데이터에 대한 액세스를 제공한다. 녹색 지역은 산림과 초원 지대로 구성되며 논과 같은 농경지는 포함하지 않는다.
- [0059] 환기는 실내 라돈 농도에 영향을 주는 주요 인자로 잘 알려져 있으며 환기율은 실내 및 실외 온도차와 풍속과 같은 기상 요인의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 월 평균 기상 요인의 연간 편차를 원활하게 하기 위해 국가 기후 데이터 서비스 시스템 (<https://sts.kma.go.kr>)에서 30년 평균(1981-2010)을 사용했습니다.
- [0060] 실내 라돈의 물질수지 방정식
- [0061] 실내 라돈은 여러 매개 변수의 영향을 받기 때문에 모델을 개발하기 위해서는 많은 매개 변수가 필요하다. 그러나 우리는 토양, 건축 자재, 실외 공기 및 환기와 같은 이전 연구에서 실내 라돈 농도에 영향을 미치는 것으로 나타난 요인에만 초점을 맞추었다.
- [0062] 물질수지방정식(Mass balance equation)은 프로세스의 일부분 또는 전체에 대해서 질량 보존의 법칙을 적용하여 유도되는 물질의 질량 수지관계. 계에 들어오는 질량과 계에서 나가는 질량의 차는 계 내에 축적되거나 혹은 계 내의 화학 반응에 의해 생성·소멸하는 질량과 같다. 실내 라돈 농도의 경우에는 다음의 식을 적용할 수 있다.
- [0063] 누적 실내 라돈 = 유입±환기에 의한 이동-방사선붕괴에 의한 분해
- [0064] Park et al. 에서 RAGENA(Font, 1997) 모형을 수정하여 한국형 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)를 추정하기 위한 미분 방정식 시스템은 다음 수학식 1과 같다.
- [0065] 실제의 (C_i)는 거주지별 연평균 실내 라돈 농도를 의미하나 이하에서는 "거주지별 실내 라돈 농도"로 설명한다.

수학식 1

$$\begin{aligned}\frac{dC_i}{dt} &= \{k_{d,s}(C_s - C_i) + k_a \Delta P_{s-i} C_s\} \frac{S_g}{V} + k_{d,bm}(C_{bm} - C_i) \frac{S_{bm}}{V} - \lambda_v(C_i - C_o) - \lambda C_i \\ \frac{dC_s}{dt} &= E_s \frac{S_g}{V} - \{k_{d,s}(C_s - C_i) + k_a \Delta P_{s-i} C_s\} \frac{S_g}{V} - \lambda C_s \\ \frac{dC_{bm}}{dt} &= E_{bm} \frac{S_{bm}}{V} - k_{d,bm}(C_{bm} - C_i) \frac{S_{bm}}{V} - \lambda C_{bm} \\ \lambda_v &= (f_t |T_i - T_o| + f_w u^2) N^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

[0066]

[0067]

여기서 C_{bm} = 건축 자재의 라돈 농도 (Bqm^{-3}), C_i = 거주지별 실내 라돈 농도 (Bqm^{-3}), C_s = 라돈 농도 (Bqm^{-3}), C_o 는 실외 공기 중 라돈 농도 (Bqm^{-3}), E_{bm} 은 건축 자재의 유효 라돈 방출률($\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$), E_s 는 라돈의 유효 토양 방출률, f_t 와 f_w 는 fitting 계수, k_a 는 토양의 이류 전이 계수 ($\text{mPa}^{-1}\text{h}^{-1}$), $k_{d,s}$ = 토양의 확산 전달 계수 (mh^{-1}), N 은 통풍 횟수, S_{bm} 은 건축 자재를 함유 한 라돈의 실내 표면적 (m^2), S_g 는 지면을 향한 건물 면적 (m^2), T_i 와 T_o 는 실내 및 실외 온도($^{\circ}\text{C}$), u 는 풍속 (m s^{-1}), V = 실내 체적 (m^3), λ 는 라돈 감쇠 상수 (h^{-1}), λ_v 는 환기율 (h^{-1}), ΔP_{s-i} 는 토양과 실내의 차압 (Pa)이다.

[0068]

수학식 1에서 평형상태를 가정하면, 다음 수학식 2와 같은 방정식을 구할 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned}C_i &= \frac{E_s \frac{S_g}{V} + E_{bm} \frac{S_{bm}}{V} + \lambda_v C_o - \lambda(C_s + C_{bm})}{\lambda + \lambda_v} \\ \lambda_v &= (f_t |T_i - T_o| + f_w u^2) N^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

[0069]

[0070]

여기서 C_{bm} = 건축 자재의 라돈 농도 (Bqm^{-3}), C_i = 거주지별 실내 라돈 농도 (Bqm^{-3}), C_s = 라돈 농도 (Bqm^{-3}), C_o 는 실외 공기 중 라돈 농도 (Bqm^{-3}), E_{bm} 은 건축 자재의 유효 라돈 방출률($\text{Bqm}^{-2}\text{h}^{-1}$), E_s 는 라돈의 유효 토양 방출률, f_t 와 f_w 는 fitting 계수, N 은 통풍 횟수, S_{bm} 은 건축 자재를 함유 한 라돈의 실내 표면적 (m^2), S_g 는 지면을 향한 건물 면적 (m^2), T_i 와 T_o 는 실내 및 실외 온도($^{\circ}\text{C}$), u 는 풍속 (m s^{-1}), λ 는 라돈 감쇠 상수 (h^{-1}), λ_v 는 환기율 (h^{-1})을 의미한다.

[0071]

수학식 2가 실내 라돈 농도를 계산하기 위한 최종 수학식이지만. 위의 식을 그대로 적용하는 것은 비현실적이다. 예를 들면 " $E_s * (S_g/V) + E_{bm} * (S_{bm}/V)$ "의 계산을 위해서는 토양 및 건축 자재로부터의 라돈 방출물 정보가 필요하다. 입력값들의 가능한 정보가 제한적이기 때문에, " $E_s * (S_g/V) + E_{bm} * (S_{bm}/V)$ "를 추정할 수 있는 회귀 모델을 제시하기 위하여 다음과 같이 침투 계수 모델(infiltration factor model)을 정의한다.

[0072]

침투 계수 모델

[0073]

수학식 2의 " $E_s * (S_g/V) + E_{bm} * (S_{bm}/V)$ "를 토양 및 건축 자재로부터의 침투 계수(infiltration factor)를 나타내며, S 로 표시했다. 또한, 위에서 설명한 물질수지 방정식과 입력 변수를 기반으로 다음 수학식 3을 사용하여 침투계수 S 를 직접 계산할 수 있다.

수학식 3

$$S = E_s \frac{S_g}{V} + E_{bm} \frac{S_{bm}}{V} = C_i(\lambda + \lambda_v) + \lambda(C_s + C_{bm}) - \lambda_v C_o,$$

$$\lambda_v = (f_t |T_i - T_o| + f_w u^2) \sqrt{N}.$$

[0074]

[0075] 한편, 토양 및 건축 자재로부터의 침투계수는 지리적 특성 및 건축 특성에 의해 영향을 받는다. 녹지 비율은 지표에서 라돈의 토양 방출률과 관련있는 인자로 간주될 수 있다. 건물 및 바닥의 균열이 요인이 될 수도 있기 때문에 거주지 i의 토양 및 건축 자재로부터의 침투 계수를 추정하기 위한 다음 수학식 4의 통계 모델을 고려할 수 있다.

수학식 4

$$S_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 Y_{1i} + \beta_4 Y_{2i} + \beta_5 Y_{3i} + \epsilon_i.$$

[0076]

[0077] 여기서, S_i 는 각 거주지 i에 대한 토양 및 건축 자재로부터의 침투계수, X_{1i} 는 거주지 i가 속하는 행정 구역의 녹지 비율, X_{2i} 는 거주지 i가 속한 행정 구역의 실내 라돈 수준의 기하 평균, Y_{1i} 는 거주 건물 i의 건축 자재 유형, Y_{2i} 는 거주건물 i의 균열 정도, Y_{3i} 는 거주 층 i, ϵ_i 는 거주지 i의 측정값 오류이다.

[0078] 수학식 3의 S는 실제 데이터에 근거하여 계산한 값으로, S를 계산하기 위해서는 라돈 농도 실측값 등 여러 정보가 필요한데, 추후 라돈 농도를 모를 경우 S를 계산하기 위해 수학식 4의 S_i 식을 구축(회귀 모델)한 것이며, S_i 는 실측값이 없어도 i번째 주택의 정보들을 가지고 S를 추정할 수 있는 식으로, 이 추정된 S_i 를 S로 간주하여 수학식 2 또는 수학식 3에 대입하여 C_i 를 추정할 수 있는 것이다.

[0079] 수학식 4에서 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ 는 수학식 3에서 계산된 S와 거주지 정보($X_1 \sim Y_3$)의 데이터에 근거하여 추정된 계수 값으로, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ 값과 거주지 정보($X_1 \sim Y_3$)를 바탕으로 실제 라돈농도 측정값이 없더라도 S를 추정할 수 있는 것이다.

[0080] 모형적용

[0081] 연구 자료를 수학식 3과 4에 적용하여, 모형의 모수를 추정할 수 있도록 모형의 모수는 아래 표 1의 네 가지 유형 별로 분리하여 추정한다.

[0082] 즉 주택유형과 지하수 사용 유무에 따라 거주 타입을 결정하는 것이다.

표 1

[0083]

거주 TYPE결정		주택유형	
		단독(양옥)주택 단독(한옥)주택	아파트 다세대주택 연립
지하수 사용	예 (설거지, 빨래, 샤워 중에 하나라도 체크)	TYPE1	TYPE3
	아니오 (그외)	TYPE2	TYPE4

- [0084] 연구 자료로는 실내 라돈 농도값과 겨울철 실내 라돈 농도와 기상 자료 및 녹지율 자료 등을 이용한다.
- [0085] 먼저 실내 라돈 농도를 측정하기 위한 자료는 표 2와 같다.
- [0086] 본 발명에서 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)라고 설명은 하고 있으나, 수치로 표현되는 농도값을 의미함을 밝혀둔다.

표 2

연구자료	
<ul style="list-style-type: none"> 본 연구의 1-4차년도 조사 주택 1,400여 지점 계절 상관 없이, 3-5개월 동안 측정 계절보정보형 적용하여 연간평균 실내라돈 값으로 환산 이상치 및 설문조사 결측 자료 제외 → 1,300여 지점 	설문조사 항목
	주택특성
	거주지역, 주택종류, 지면과 접해있는 유형, 건축년도, 지하공간 사용 유무 및 용도, 석고보드 사용 유무 및 위치, 바닥 및 벽면의 건축자재 종류
	측정기 주변환경
생활양식	측정기 설치된 장소 및 위치, 주변 창문유무, 주변 균열 유무 및 위치
	거주민원, 환기습관, 난방기간, 지하수 사용 유무 및 용도

- [0087]
- [0088] 또한, 겨울철 실내 라돈 농도는 다음 표 3과 조건을 설정하여 측정한다.
- [0089] 이 자료는 공개자료로 시/군/구와 주택 유형 외에 다른 거주지 정보는 없는 상태이다.

표 3

<ul style="list-style-type: none"> 전국주택라돈조사 (국립환경과학원) 2011-2012년, 2013-2014년, 2015-2016년 단독주택 14,000여 지점 이상치 제외

- [0090]
- [0091] 공개된 기상 자료 및 녹지율 자료는 표 4를 이용하였다.

표 4

<ul style="list-style-type: none"> 기상 자료 (기상자료개방포털) 및 녹지율 자료 지역별 평균기온 및 풍속 광주광역시의 경우 평년값 관측 지점에 포함되어 있지 않아, 전라남도 평년값으로 대체
--

- [0092]
- [0093] 모형을 적용한 결과 주택 타입별 침투계수모델(Infiltration factor model)의 추정된 계수는 표 5와 같다.

표 5

• 환기율 λ_v 과 Type에 따른 infiltration factor S 계산

λ_v		$\lambda_v = (f_t T_i - T_o + f_w u^2)N^{\frac{1}{2}}$	식(2)
S	TYPE1	$S = -15.888 + 0.179X_1 + 2.727X_2 + Y_1 + Y_2 + Y_3$	식(3)
	TYPE2	$S = -8.897 + 0.124X_1 + 2.718X_2 + Y_1 + Y_2 + Y_3$	
	TYPE3	$S = 4.490 - 0.096X_1 + 2.593X_2 + Y_1$	
	TYPE4	$S = 11.094 + 0.080X_1 + 2.484X_2 + Y_1 + Y_2 + Y_3$	
주어진 값 (엑셀 파일 참조) 대입하여 계산			

[0094]

[0095] 각 거주 TYPE별 S 의 각 계수는 연구자료 data로부터 추출된 계수이다.

[0096] 즉 기술된 공개자료를 바탕으로 1,343 개의 거주지의 연구자료 및 그외 Data를 입력하여 추출된 계수이다.

[0097] 침투 계수 S 의 계산값과 추정값의 비교는 도 5에 도시되어 있다.

[0098] 본 발명의 모델은 침투율에 달려 있기 때문에 개별 주택에 대한 토양 및 건축 자재로부터의 침투 계수에 대한 값을 얻어야 한다.

[0099] 따라서, 수학적 3을 사용하여 S 를 계산하고 그것을 사용하여 수학적 4의 매개 변수를 추정한다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 단독 주택의 실내 라돈 농도가 비단독 주택의 실내 라돈 농도보다 높기 때문에 주택 유형에 따라 다르게 추정되어야 한다.

[0100] 지하수의 라돈은 실내 라돈 농도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있지만, 한국에서는 지하수에서의 라돈에 대한 정보가 부족하다. 주택 유형과 지하수가 실내 라돈 농도에 미치는 영향을 고려하기 위해 주택 유형과 지하수 사용량에 따라 모델을 4 가지로 나누어 침투 계수 S 를 추정했다. 따라서 우리는 거주지별 실내 라돈 농도 C_i 를 예측하기 위해 수학적 3과 수학적 4를 통합했다. 마지막으로 4 가지 거주 유형별로 예측 능력을 평가하였다.

[0101] 수학적 3에서 S 를 계산하기 위한 입력 변수와 수학적 4에서 S 를 추정하기 위한 파라미터의 가정은 다음과 같다.

[0102] 1) 위에서 언급한 바와 같이, 실내 라돈 농도는 Park et al.의 보정 계수를 사용하여 거주지의 연 평균 라돈 농도로 변환되었다.

[0103] 2) 건축 자재로부터의 라돈 유입은 토양에 비해 상대적으로 작기 때문에 " $C_s + C_{bm} \approx C_s$ "라고 가정했다. 또한, 한국의 토양 중 라돈 농도에 대한 정보가 부족하고 토양의 라돈 농도가 같은 조건에서 측정되지 않기 때문에 C_s 의 대표값으로 사용하기에 적합하지 않다.

[0104] 본 발명에서 사용된 라돈 측정된 라돈에 대한 전국의 라돈 조사 자료는 겨울철에만 얻어졌으며 환기와 같은 요인들의 영향을 줄였다. 따라서 전국의 라돈 조사에서 얻은 자료를 이용하여 우리는 233 행정 구역 (시 / 군 / 구)의 토양 중 라돈 농도를 가중치로 결정했다. 가중치는 총 기하 평균에 대한 지역 기하 평균의 비율로 계산되었다. 실외 공기 중 라돈 농도 C_o 의 경우, 위와 같은 방법으로 17개 행정 구역 (시/도)의 실외 공기 중 라돈 농도를 추정했다.

[0105] 실내 및 실외 온도차, 풍속 등의 기상 요인에 의해 환기율이 영향을 받기 때문에 월 평균 풍속과 실외 온도가 환기율을 계산하는데 사용되었다. 평균 월간 기상 요인의 연간 편차를 원활하게 하기 위해 30 년 평균 (1981 ~ 2010)을 사용했습니다. 또한, 환기율 λ_v 를 계산하기 위해, 피팅 파라미터 f_t 및 f_w 의 값은 Park et al.등의 값과 동일하다고 가정되었다. 또한 거주자의 환기 습관에 따라 N 값이 다르게 할당되었다.

[0106] 매개변수 추정결과

[0107] 도 4는 침투 계수 모델의 계수 추정치를 보여준다(R 버전 3.5.1). 여기서 녹지 비율과 행정 구역의 실내 라돈 수준의 기하 평균과 같은 지리적 매개 변수의 영향은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($P < 0.05$).

[0108] 그러나 건축자재의 영향은 통계적으로 유의하거나 유의하지 않았다. 균열의 수가 증가함에 따라, 침투 인자 값도 증가했지만, 통계적으로 유의하지는 않았다($P > 0.05$). 또한 층수가 많을수록 침투율이 높았지만, 이 값의 차

이는 단독 주택에서만 통계적으로 유의했다 ($P < 0.05$). 한편, 계산된 환기율은 0.24 에서 0.73 h^{-1} ($AM = 0.34 \pm 0.08 \text{ h}^{-1}$)에 모델의 적합성을 평가하기 위해 수학적 3을 사용하여 S의 계산 된 값과 수학적 4를 사용하여 S의 추정된 값을 비교했다(도 5참조).

[0109] 도 6은 거주 타입에 따른 침투 계수 S의 계산 값과 추정 값의 비교표로, 모델은 단독 주택보다 비단독주택에서 더 좋은 성과를 보였으나 전반적으로 비슷한 추세를 따랐다.

[0110] 수학적 4에서 추정된 침투 계수 S를 이용하여, 우리는 수학적 2를 사용하여 실내 라돈 농도를 예측했다.

[0111] 도 7은 거주 타입에 따른 실내 라돈 농도의 측정값과 추정 값의 비교표로서, 측정된 실내 라돈 농도와 추정된 실내 라돈 농도 간의 일치도이다. 결과는 침투 계수 모델에서 단독 주택보다 비단독 주택에 대한 결과가 좋았기 때문에 실내 라돈 농도를 추정할 때 단독 주택보다 비단독 주택에 대한 일치도가 더 좋았다. 타입 3의 경우 대상 샘플 수가 적지만 분산이 적어서 일치도가 가장 좋았다. 우리의 모델은 라돈 농도가 매우 높은 몇몇 주택을 제외하고는 이전 모델보다 우수한 성능을 보였다.

[0112] 개인별 연평균 노출량(E)는 아래 수학적 5에 의하여 계산된다.

수학적 5

$$E_{ij} = C_i * (T_{ij} * 365 \text{ day} * Y_{ij}(\text{단위: year})) * 0.4 * 9 * 10^{-6}$$

$$E = \frac{\sum_{i=1, \dots, I} E_{ij}}{\sum_{i=1, \dots, I} Y_{ij}}$$

[0113]

[0114] 지금까지의 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 계산과정을 요약 정리하면 다음 표 6과 같다.

[0115] " $0.4 \times 9 \times 10^{-6}$ "은 노출량 E를 계산할 때 필요한 상수로 선량환산계수(dose conversion coefficient)와 라돈 및 라돈자손간의 평형인자(equilibrium factor)를 곱한 값이다.

표 6

	거주역*	1	2	3			
	거주 연령	10-19세	20-24세	25-34세	35-44세	45-54세	55-64세
실내 라돈 농도	주소지	강원도 원주시	서울특별시 관악구	대전광역시 중구			
	주택 특성	단독주택/지하수 사용함	다세대주택/지하수 사용안함	아파트			
주요 변수	환기습관	콘크리트/1층	콘크리트/4층	콘크리트/8층			
	단기간 라돈 농도 측정값	거의 알아볼지 않는다	하루에 1번	하루에 2-3번			
실내라돈 농도 추정 모델 적용							
노출 평가	연평균 라돈 농도 추정값	291.13 Bq/m ³	61.48 Bq/m ³	48.43 Bq/m ³			
주요 계수	연간 거주시간 ^b	5000.5	5146.5	4672	4854.5	4927.5	
	연령대별 거주시간	50005	25732.5	46720	48545	49275	
개인 생애 실내라돈 노출 유효선량		$E_{1.1} = 291.13 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 50005\text{h} \times 0.4 \times 9 \times 10^{-6} \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^3}{\text{Bq} \cdot \text{h}} = 52.41 \text{ mSv}$				$E(\text{누적}) = \sum_{i:\text{living history}} \sum_{j:\text{age group}} E_{ij} = 92.66 \text{ mSv}$ 연간 평균 실내라돈 노출량 = 92.66mSv/55y = 1.68mSv/y = 191.78nSv/h	
		$E_{2.2} = 61.48 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 25732.5\text{h} \times 0.4 \times 9 \times 10^{-6} \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^3}{\text{Bq} \cdot \text{h}} = 5.70 \text{ mSv}$					
		$E_{3.3} = 48.43 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 46720\text{h} \times 0.4 \times 9 \times 10^{-6} \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^3}{\text{Bq} \cdot \text{h}} = 8.15 \text{ mSv}$					
		$E_{3.4} = 48.43 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 46720\text{h} \times 0.4 \times 9 \times 10^{-6} \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^3}{\text{Bq} \cdot \text{h}} = 8.46 \text{ mSv}$					
		$E_{3.5} = 48.43 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 46720\text{h} \times 0.4 \times 9 \times 10^{-6} \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^3}{\text{Bq} \cdot \text{h}} = 8.59 \text{ mSv}$					
		$E_{3.6} = 48.43 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 46720\text{h} \times 0.4 \times 9 \times 10^{-6} \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^3}{\text{Bq} \cdot \text{h}} = 9.35 \text{ mSv}$					

[0116]

[0117] 여기서 E_{ij} 는 거주지별(i) 거주연령대별(j)로 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량, ($T_{ij} \times 365 \text{ day} \times Y_{ij}$ (단위: year))는 연령대별 거주시간을 의미한다.

- [0118] 표 6을 참고하여 예를 들면, $E_{3,4}$ 는 3번째 거주지인 대전광역시 중구에서 35세~44세까지의 실내 라돈 노출 유효선량을 의미한다.
- [0119] 다시 말하면, 개인 생애 실내 라돈 노출 유효선량은 거주지별 주택의 실내 라돈 농도를 추정하고, 추정된 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)에 연령대별 거주시간을 입력하고 그 합산값으로 개인 생애 실내 라돈 노출 유효선량을 산출하는 것이다.
- [0120] 다시 도 2를 참고하여 본 발명의 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법에 대하여 설명한다.
- [0121] 도면을 참고하면, 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 산출을 위한 장치는 저장부(23)에 저장된 본 발명의 간단한 주거지 정보 입력만으로 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 표시할 수 있는 알고리즘을 웹화면에 구동한다(S10).
- [0122] 단계 S10에서 알고리즘이 구동되면, 표시부로 구성된 출력기(30)가 도 8과 같은 초기 화면을 표시할 수 있다.
- [0123] 도 8은 본 발명의 일실시예에 의한 웹화면에 표시된 알고리즘의 초기화면을 예시한 도면으로, 상단에는 개인생애 누적라돈 노출량 추정시스템을 단계별로 선택하는 단계별 선택화면이 "STEP1, STEP2, STEP3"로 표시되고, 초기 화면은 "STEP1"화면이 표시된다.
- [0124] "STEP1"화면에서는 상부 일측에 기본적인 추정 시스템에 대한 소개와 간단한 입력방법에 대한 설명과 연구자료를 바탕으로 하는 대표값이므로 실제와 상이할 수 있다는 가능성에 대하여 언급하고, 그 하부에 "STEP1.거주지 생성"이라는 설명과 함께 사용자의 식별번호와 함께 거주지를 생성할 수 있는 "거주지 생성 키(K1)"이 표시된다.
- [0125] 통상 사용자 식별번호는 주민등록번호나 핸드폰 번호 등 사용자별로 식별이 가능한 코드를 사용할 수 있으나, 본 발명에서는 편의상 생년월일을 입력할 수 있도록 마련되어 있다.
- [0126] 단계 S10에서 초기 화면이 표시되면 거주지 정보를 포함한 식별정보를 입력하는 거주지정보 입력단계를 수행한다(S20)
- [0127] 4자리의 연도와 2자리의 월을 입력하고(K21), 거주지생성키(K1)를 클릭하면, 도 9와 같은 거주지 정보를 입력할 수 있는 웹 화면이 거주지 목록화면으로 표시되고 관련 데이터를 입력하는 거주지 목록 작성단계를 수행한다(S22).
- [0128] 도 9는 거주지 목록을 작성하는 화면으로 거주지 이동에 따라 거주력을 순서대로 입력하는 화면이다.
- [0129] "거주지 목록" 화면은 상부에 거주시기와 거주연령 그리고 일평균 거주시간을 입력할 수 있는 필드(Field)가 마련된다.
- [0130] 거주시기는 거주지순서별로 거주지1, 거주지2, 등으로 순차적으로 입력한다.
- [0131] 구체적으로 거주지1에 거주시기를 일레로 "10~19세"로 입력하고, 확인키(Confirmed)(K2)를 클릭하면 우측화면에 입력된 거주연령이 표시되고 일평균 거주시간 입력필드에 일평균 거주시간을 일레로 "13.7"시간으로 입력하고 확인키(K3)를 클릭하면 해당 데이터가 입력 완료된다.
- [0132] 상부 데이터가 입력되면 화면의 하부에 표시되는 거주지 정보를 입력한다.
- [0133] 거주지 정보 입력란에는 주소지, 주택유형, 가옥벽체자재, 층수, 실내균열, 지하수 사용유무 그리고 실내환기 등을 입력할 수 있는 화면이 표시된다.
- [0134] 주택유형에서는 단독(한옥)주택인지, 단독(양옥)주택인지, 아파트, 다세대주택 그리고 연립인지를 선택할 수 있도록 표시하고, 가옥벽체자는 콘크리트, 시멘트블럭, 적벽돌, 흙(황토), 목재 기타 등으로 선택할 수 있도록 한다.
- [0135] 또한 실내 균열항목에서는 균열이 있는 경우 벽, 바닥, 천장, 이음새 등에서 선택할 수 있도록 하고, 지하수 사용의 경우에는 식수, 설거지, 빨래, 샤워, 세차, 기타 항목으로 선택할 수 있도록 구성하는 것이 바람직하다.
- [0136] 상기한 항목에 대한 데이터가 입력되면 화면의 하단부에 입력한 정보로 "현재 거주지 정보 저장"키(K4)를 눌러 데이터를 저장하도록 한다.
- [0137] 물론 미입력데이터가 있으면 저장시에 다시 한번 데이터를 입력할 수 있도록 화면을 구성할 있음은 물론이다.

- [0138] 이어 도 10의 작성한 거주지 목록을 표시한 웹 화면을 보면, "거주지2" 입력화면이 표시되고, "거주지1"입력화면과 동일한 방식으로 거주한 연령을 입력하고 관련 데이터를 입력하면 된다.
- [0139] 따라서 도 9와 도 10에 표시된 웹 화면에 거주지별로 데이터를 입력하여 거주지 정보를 완성할 수 있다.
- [0140] 예를 들어 거주지2에서 20세부터 64세까지 거주하였다면 우측화면과 같이 연령별로 평균 거주시간을 입력한다.
- [0141] 거주지1화면에서 10~19세까지 거주하였으므로, 거주지2입력화면에서는 연령을 "20~24", "25~34", "35~44", "45~54", "55~64"로 구분하여 일평균 거주시간을 구분하여 입력하는 것이 바람직하다.
- [0142] 프로세서(22)는 거주지 정보가 모두 입력되면, 노출 유효 선량을 산출한다(S100).
- [0143] 노출 유효 선량을 산출하는 구체적 방법에 대해서는 상술한 내용을 참고하여 설명하기로 한다.
- [0144] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 생애 연평균 라돈 노출 유효선량의 산출 방법을 설명하기 위한 흐름도로서, 도시된 바와 같이, 생애 연평균 라돈 노출 유효선량 예측 방법은 다음과 같이 제어기(20)에 의해 수행되는 단계들로 구성된다. 도 1에 도시된 바와 같이, 스토리지(23)에는 상술한 조사를 통하여 추정된 생애 연평균 라돈 노출 유효선량을 예측하는 프로그램이 저장되어 있다. 도 3에 도시된 생애 연평균 라돈 노출 유효선량 예측 방법은 제어기(20)의 프로세서(22)가 스토리지(23)에 저장된 추정 프로그램을 실행함으로써 수행될 수 있다.
- [0145] 단계 S100의 생애 연평균 라돈 노출 유효선량 산출은 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)를 추정하는 과정(S110~S120)과 추출된 C_i 에 연령대별 거주시간을 입력하여 개인 생애 실내 라돈 노출 유효선량을 산출하는 과정(S130~S140)과 그리고 생애 연평균 라돈 노출 유효선량을 산출하는 과정(S150)으로 이루어질 수 있다.
- [0146] 먼저 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)를 추정하는 과정(S110~S120)은 먼저 S110에서 제어기(20)는 사용자 인터페이스(24)를 통하여 사용자로부터 거주하는 거주지에 대한 데이터를 입력받는다.
- [0147] 거주지에 대한 데이터로는 거주지역, 주택유형, 지하수 사용유무, 그리고 환기습관에 대한 데이터를 입력한다.
- [0148] 주택유형은 단독인지 아파트/다세대/연립인지를 입력하게 한다.
- [0149] 단계 S110에서 거주지에 대한 Data입력이 완료되면 제어기(20)는 스토리지(23)에 저장된 해당 거주지에서 거주지별 실내 라돈 농도(C_i) 추정값을 산출한다(S120).
- [0150] 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)를 산출하기 위하여 먼저 제어기(20)는 상술한 바와 같이 환기율(λ_v)과 침투계수(S)를 계산한다(S121~S122).
- [0151] 환기율(λ_v)과 침투계수(S)가 계산되면, 이를 이용하여 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)를 계산한다(S123).
- [0152] 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)는 수학적 2에 의하여 산출된다.
- [0153] 제어기(20)는 스토리지(23)에 저장된 추정 모델에 따라 거주지별 연간 실내 라돈 농도를 산출하는 것이다.
- [0154] 단계 S120에서 거주지별 실내 라돈 농도(C_i)가 산출되면 연령대별 거주시간을 수학적 5의 연평균 실내 라돈 노출 유효선량(E_{ij})에 산입하여 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량을 산출한다(S130).
- [0155] 구체적으로 단계 S130에서는 거주지별 일평균 거주시간을 입력받는다(S131).
- [0156] 단계 S110에서는 거주지 주소를 입력할 때 해당 거주지의 거주 연령을 함께 입력받도록 한다. 거주기간이 긴 경우에는 대략 10년 단위로 구별하여 연령대를 형성하는 것이 바람직하다.
- [0157] 이는 해당 거주지에 일평균 거주시간이 예측되더라도 연령별로 실제 거주시간이 다를 수 있기 때문에 본 발명에서는 약 10년 단위로 구별하여 연령대별 거주시간을 기준으로 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량을 산출한다.
- [0158] 다시 말하면 단계 S131에서 거주지별 일평균 거주 시간이 입력되면 입력된 연령대별로 거주시간을 산출한다(S132).
- [0159] 단계 S132에서 연령대별 거주시간이 산출되면 프로세서(22)는 수학적 5의 연평균 실내 라돈 노출 유효선량(E_{ij})에 산입하여 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량을 산출한다(S133).
- [0160] 결국 단계 S130에서 연령대별 실내 라돈 노출 유효선량이 산출되면 이를 연령대별로 합산하여 개인 생애 실내

라돈 노출 유효선량을 산출하면 되는 것이다(S140).

[0161] 이후, 단계 S140에서 생애 실내 라돈 노출 유효선량 산출값을 산입한 연령으로 나누면 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량이 산출되는 것이다(S150).

[0162] 표 6을 참고하면, 거주지 1에서 10~19세까지 10년, 거주지 2에서 20~24세까지 5년, 그리고 거주지 3에서 25~34세까지 10년과, 35~44세까지 10년, 45~54세까지 10년 그리고 55~64세까지 10년이므로 거주지 3에서 모두 40년이 되므로, 산업현 연령은 모두 55년이 되므로 단계 S140에서 산출된 개인 생애 실내 라돈 노출 유효선량을 55년으로 나누면 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량이 산출되는 것이다.

[0163] 단계 S100에서 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량이 산출되면, 웹 화면에 노출 유효선량을 표시하면 된다 (S200).

[0164] 도 11의 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시와 라돈의 평균 피폭량에 따른 상황을 표시하는 화면을 예시한 도면을 참고하면, 산출된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 화면의 일측에 표시하고, 타측에는 일반적인 상황에서의 피폭량을 참고자료로 표시하도록 한다.

[0165] 구체적으로 화면의 상부에는 산출된 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 "노출유효선량"이라는 항목에 표시한다.

[0166] 도면에서는 "노출유효선량"이 "mSv/yr" 단위로 표시되고, 그 하부에는 첫번째로 흉부 엑스레이 촬영시의 라돈 피폭량이 "0.025~0.1mSv"가 표시되고 두번째 줄에 서울과 뉴욕간 북극항로를 항공기로 왕복할 경우의 라돈 피폭량이 "0.15 mSv"로 표시하여 일반적인 상황에서의 피폭량을 참고자료로 표시하고 있다.

[0167]

[0168] 상술한 바와 같이 본 발명의 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량 표시 방법에 의하면 단말기와 같은 장치를 이용하여 간단한 거주지 정보를 입력하면 개인 생애 연평균 실내 라돈 노출 유효선량을 모의계산할 수 있기 때문에, 근거없는 공포심으로부터 탈출할 수가 있고, 건강에 위협요소로 판단된 경우에는 적절한 대처를 할 수 있는 것이다.

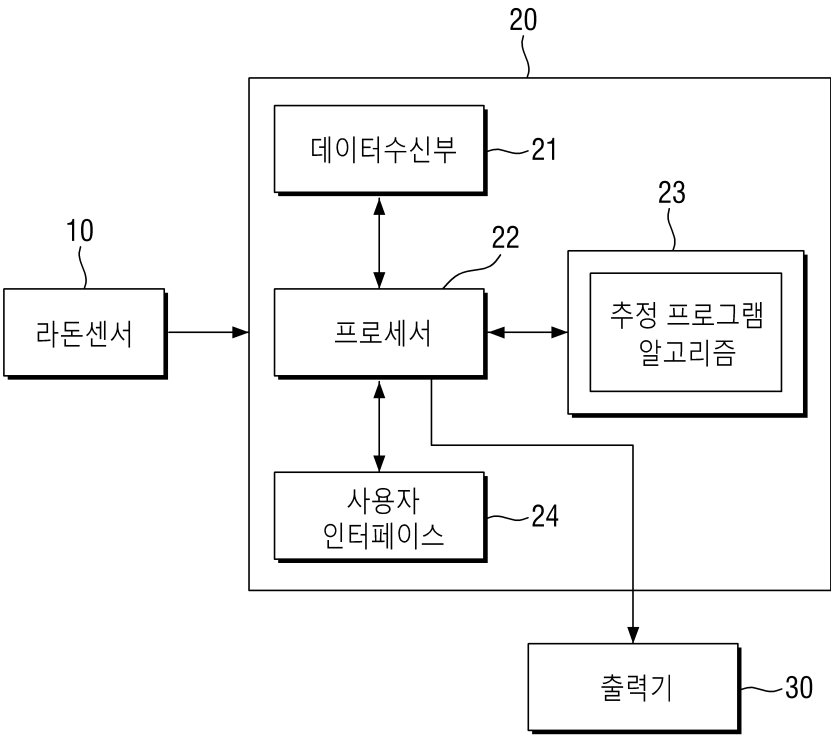
[0169] 이상에서 본 발명은 기재된 구체예에 대하여 상세히 설명되었지만 본 발명의 기술사상 범위 내에서 다양한 변형 및 수정이 가능함은 당업자에게 있어서 명백한 것이며, 이러한 변형 및 수정이 첨부된 특허 청구범위에 속함은 당연한 것이다.

부호의 설명

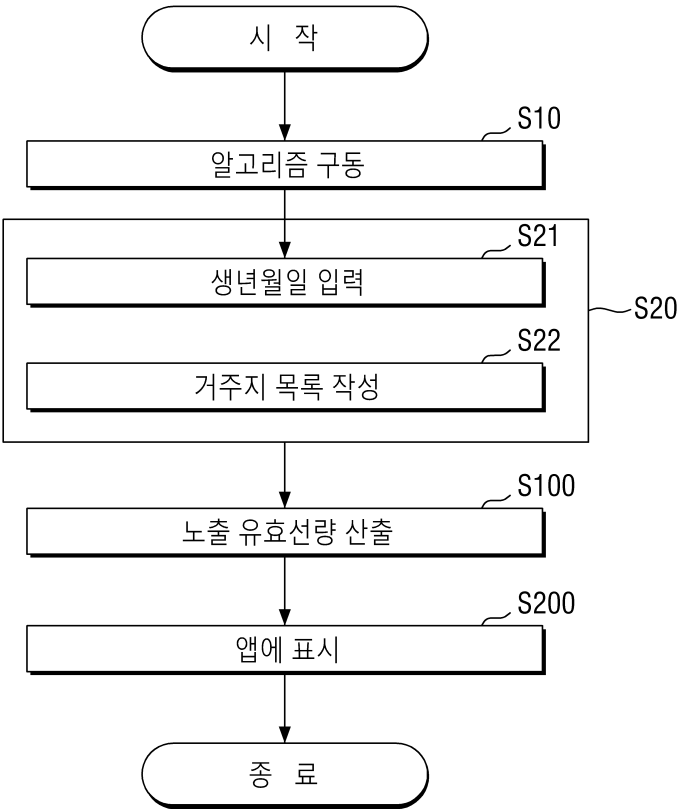
[0170] 10 ... 라돈 센서 20 ... 제어기
 22 : 프로세서 23 : 스토리지
 24 : 사용자 인터페이스 30 ... 출력기

도면

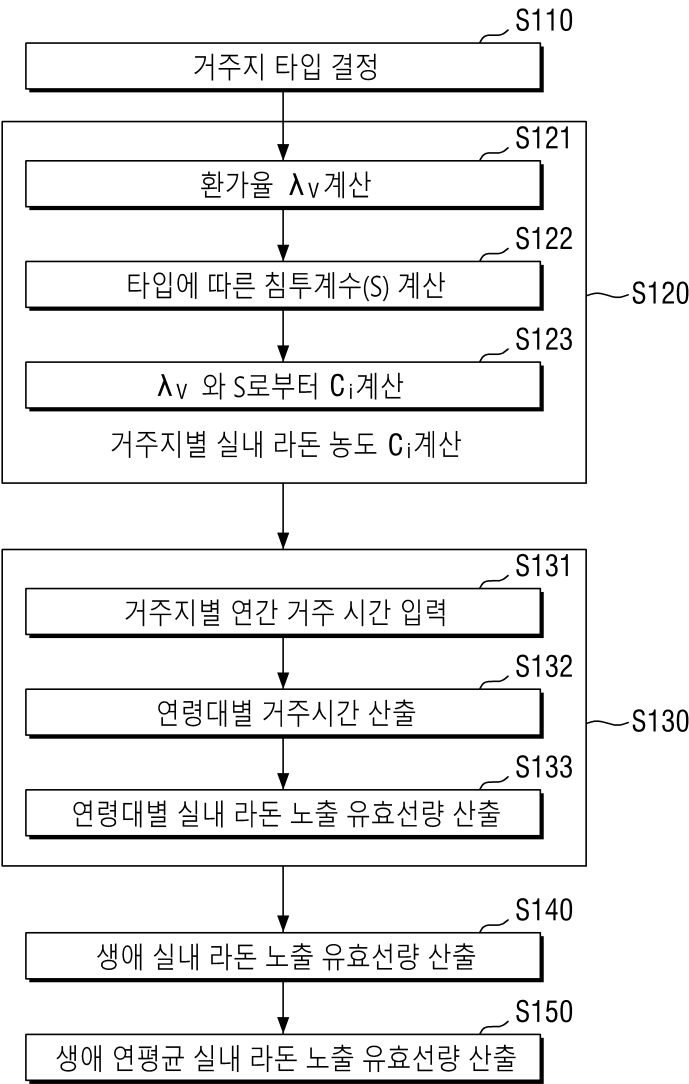
도면1



도면2



도면3



도면4

				AM±SD	GM±GSD
				(Bq m ⁻³)	(Bq m ⁻³)
Detached house	Groundwater usage	yes	Type 1	71.07±38.05	62.19±1.68
		no	Type 2	58.98±37.27	49.71±1.78
Other residences	Groundwater usage	yes	Type 3	34.98±7.76	34.26±1.25
		no	Type 4	48.73±22.05	44.48±1.53
Total				57.62±33.75	49.86±1.70

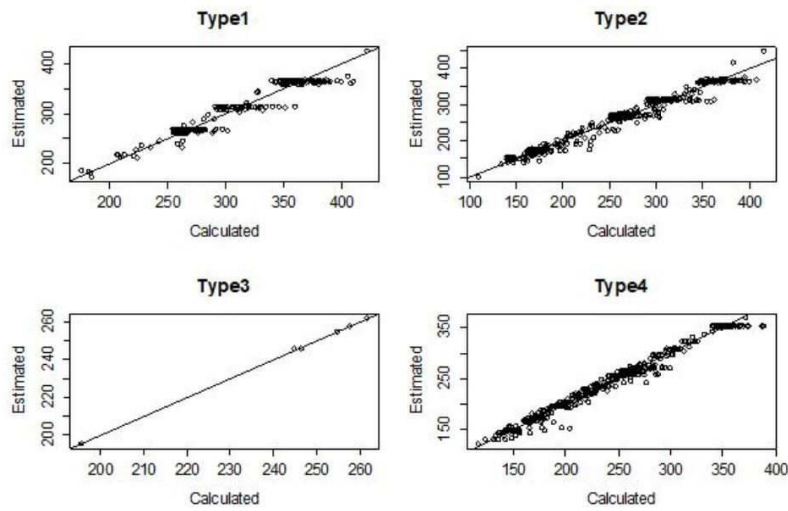
Abbreviations: AM, arithmetic mean; SD, standard deviation; GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation.

도면5

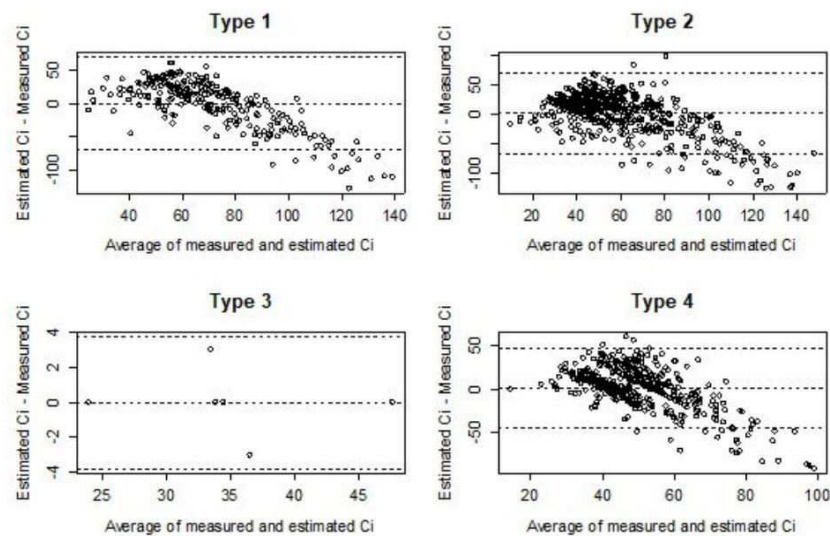
Predictor variables	Multiple linear regression model							
	Type 1		Type 2		Type 3		Type 4	
	β (SE)	p-value	β (SE)	p-value	β (SE)	p-value	β (SE)	p-value
(Intercept)	-15.89 (6.05)	0.009	-8.90 (2.58)	0.001	4.49 (5.77)	0.579	11.09 (2.11)	<0.001
Greenery ratio	0.18 (0.07)	0.015	0.12 (0.03)	<0.001	-0.10 (0.04)	0.242	0.08 (0.03)	0.002
GM of indoor radon levels of the administrative district	2.73 (0.07)	<0.001	2.72 (0.02)	<0.001	2.59 (0.07)	0.018	2.48 (0.02)	<0.001
Building materials								
Concrete	reference		reference		reference		reference	
Red brick	-1.52 (3.00)	0.613	-2.62 (1.37)	0.055	-4.00 (1.68)	0.253	1.29 (1.71)	0.449
Cement block	-0.41 (2.96)	0.890	-4.76 (1.43)	0.001	-6.88 (1.68)	0.152	-2.81 (3.29)	0.394
Soil	-2.54 (3.98)	0.524	-0.22 (2.81)	0.938				
Wood	-8.01 (5.48)	0.145	-5.32 (2.75)	0.054				
Others	-3.22 (3.52)	0.361	-7.16 (2.06)	0.001			-14.19 (9.13)	0.121
Number of crack locations								
0-1	reference		reference				reference	
≥ 2	1.17 (2.44)	0.632	2.43 (1.64)	0.139			2.24 (2.58)	0.384
Floors								
≤ 1	reference		reference				reference	
≥ 2	-4.94 (2.34)	0.036	-5.56 (1.35)	<0.001			-0.58 (1.49)	0.697

Type 1, detached house and groundwater use; Type 2, detached house and no groundwater use; Type 3, other residences and groundwater use; Type 4, other residences and no groundwater use; SE, standard error; GM, geometric mean; NA, not applicable.

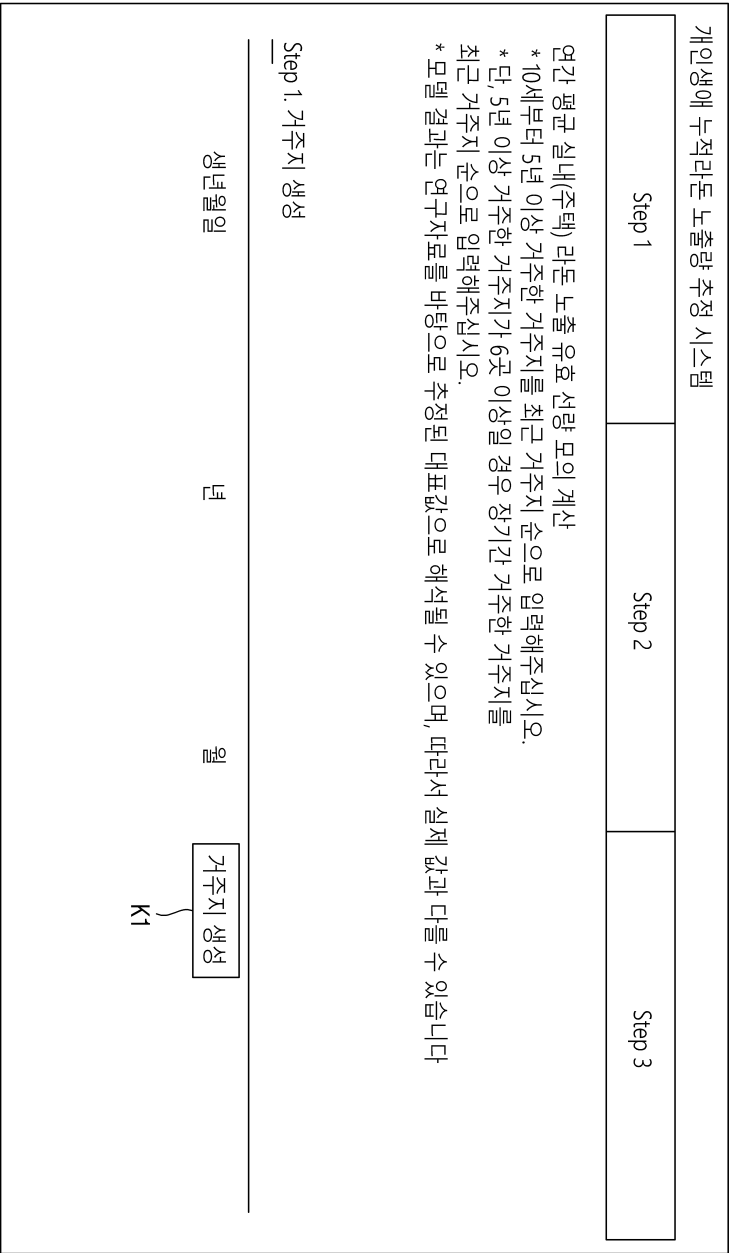
도면6



도면7



도면8



거주지 목록

구분	거주시기	거주연령	일평균거주시간
	K2		K3
거주지1	10세 ~ 19세 Confined	10 ~ 19세	13.7
	확인		
주소지	강원도	원주시	
주택유형	○단독(한옥)주택 ●단독(양옥)주택 ○아파트 ○다세대주택 ○연립		
가옥벽체소재	●콘크리트 ○시멘트블록 ○적벽돌 ○흙(황토) ○목재 ○기타		
층수	●1층 또는 지하 ○2층 이상		
실내균열	●있다 (<input checked="" type="checkbox"/> 벽 <input checked="" type="checkbox"/> 바닥 <input type="checkbox"/> 천장 <input type="checkbox"/> 이음새) ○ 없다		
지하수 사용	●있다 (<input checked="" type="checkbox"/> 식수 <input checked="" type="checkbox"/> 설거지 <input checked="" type="checkbox"/> 빨래 <input type="checkbox"/> 샤워 <input type="checkbox"/> 세차 <input type="checkbox"/> 기타) ○ 없다		
규칙적인 실내환기	●예 ○아니오		

현재 거주지 정보 저장

K4

도면10

거주지2	20 세 ~ 64 세	Confined	20 ~ 24세	14.1	확인	
			25 ~ 34세	12.8	확인	
			35 ~ 44세	13.3	확인	
			45 ~ 54세	13.5	확인	
			55 ~ 64세	14.7	확인	
주소지	대전광역시		중구			
주택유형	○단독(한옥)주택 ○단독(양옥)주택 ●아파트 ○다세대주택 ○연립					
거육벽체지제	●콘크리트 ○시멘트블록 ○적벽돌 ○흙(항토) ○목재 ○기타					
층수	○1층 또는 지하 ●2층 이상					
실내균열	○있다 ● 없다					
지하수 사용	○있다 ● 없다					
규격적인 실내환기	●예 ○아니오					
K6			현재 거주지 정보 저장			K5
노출량 확인						거주지 추가

연간 평균 실내(주택) 라돈 노출 유효 선량 모의 계산 결과는 아래와 같습니다.

노출 유효 선량 **1.089 mSv/yr**

* 모의 결과는 연구자원을 바탕으로 추정된 대략값으로 해석될 수 있으며, 따라서 실제 값과 다를 수 있습니다.

※ 일반적 상황에서의 피폭량

피폭량	상 황	비 고
0.025-0.1 mSv	일반 엑스레이(X-Ray) 촬영	
0.15 mSv	시술(인진)→누각 간 복규형로 촬영기 장비	
0.6 mSv	복단 엑스레이(X-Ray) 촬영	
0.8 mSv	저선량 가슴부위 CT	
0.8-5 mSv	뇌 CT	
1 mSv/yr	일반상황 에서의 일반인의 연간 노출 한도	국제 방사선 방호 위원회(ICRP) 권고치 장시적 안전법 시행령 제114에 규정된 일반인의 연간 선 량한도
2.4 mSv/yr	전세계 평균 자연 방사선량	
3.08 mSv/yr	대한민국 평균 자연 방사선량	식품의약품안전처 정보
20 mSv/yr	원전 근무자 등 방사선작업종사자 및 방사선관계종사자의 최대 피폭치 제한 (선연적 피폭과 방사선 검사 등으로 인해 받는 피폭은 제외)	