



라돈침대의 문제 및 대책

서론

SBS는 OO침대에서 발암물질이 검출됐다는 사실을 5월 3일 오후 뉴스를 통해 보도했다.¹⁾ OO침대 측은 처음에는 4개 모델 7,000여 개에 발암물질이 검출됐다고 밝혔으나 이후에 9개 모델로 늘었다고 한다.²⁾ 음이온이 발산되는 ‘음이온 파우더’가 라돈이 검출되는 주이유로 꼽혔다.

주부 이 모 씨도 7년 전 음이온이 건강에 좋다는 생각에 이 제품을 사서 아이 방에 놔다. 그런데 지난 1월 휴대용 라돈 측정기로 침대를 잤더니 이상할 정도로 많은 양의 라돈이 나왔다. 전문 측정기관에서 측정한 결과 발코니와 안방에서는 기준치 이하의 라돈이 검출됐는데 침대 위에서 2,000 Bq이 넘는 라돈이 나왔다. 매트리스 천을 가로, 세로, 30 cm 크기로 잘라 정밀 검사한 결과 평균 620 Bq의 라돈이 검출됐다.



성균관대 강북삼성병원
직업환경의학과 교수
김수근

이러한 결과는 바로 그 침대 위에서 측정한 것으로 공간에 퍼지면 금방 확산이 돼서 농도는 줄게 돼있는데, 공간 전체의 농도를 얼마만큼 상승시켰는지는 추가로 조사가 필요하다. 한국표준과학연구원의 정밀 검사 결과, 주로 광물에 함유된 우라늄과 토륨 등 라돈을 생성하는 방사능 물질이 다량 함유된 것으로 조사됐다.³⁾ 음이온 파우더는 희토류 원석을 갈아 만든다. 그 과정에서 토륨이나 우라늄을 감지하거나 처리하지 못한 것으로 드러났다. 파우더를 납품한 업체는 몸에 좋다는 칠보석 가루라고 생각하고 사용했다고 한다. ‘산업 기자재에도 들어가고 중방식 도료에 들어가는 가루다. 하지만 어디에 쓰는지는 몰랐다’고 해명했다. OO침대는 2010년 출시한 침대에 해당 소재가 들어간 것으로 파악하였다고 하였다.⁴⁾

이러한 사건에서 침대에서 라돈이 발생한 문제와 대책에 대해서 살펴보고자 한다.

원자력안전위원회의 1, 2차 조사 결과

원자력안전위원회(이하 원안위)는 사건이 알려진 일주일 후인 지난 5월 10일에 1차 조사 결과를 발표하였다.⁵⁾ 해당 매트리스는 걸커버(원단-솜-부직포) 안에 있는 속커버(원단-솜-부직포) 원단 안쪽에 음이온 파우더가 도포된 것으로, 해당 음이온 파우더의 원료가 천연방사성핵종인 토륨이 높게 함유된 ‘모나자이트(Monazite)’임을 확인하였다. 모나자이트는 토륨광의 일종으로 희토류로 분류된다. 조성은 (Ce, La, Th)PO₄이며, ThO₂ 함유량 1~15%(이 가운데 약 88%가 Th), U₃O₈ 함유량 0.01%이다. 화강암 및 pegmatite 중에서 산출된다.⁶⁾

매트리스 속커버의 시료 표면에서 라돈 58.5 Bq/m³, 토론 624 Bq/m³임을 확인하고, 매트리스 속커버를 신체에 밀착시킨 상태로 매일 10시간 동안 생활할 경우, 연간 피폭 방사선량은 0.06 mSv이며, 최대 24시간을 침대에서 생활할 경우, 최대 연간 외부피폭 선량은 0.15 mSv로 평가하였다. 이는 「생활주변 방사선 안전관리법」 제15조에 따른 가 공제품 안전기준(연간 1 mSv 초과 금지) 범위 내였다.

모나자이트로 인한 라돈 및 토론의 내부피폭 위험성이 존재할 수도 있어, 매트리스 (완제품)의 라돈 농도를 측정하고 내부피폭선량을 평가하였다. 해당 매트리스 표면 위 2 cm(사용자가 엎드려 호흡할 경우를 가정), 10 cm(사용자가 바로 누워 호흡할 경우를 가정), 50 cm 지점(사용자가 앉아 호흡하는 것을 가정)에서 라돈·토론의 농도를 연속 측정하고, 이에 따른 연간 내부피폭선량을 평가하여, 내부피폭의 영향이 있음을 확인 하였다<표 1>.

<표 1> 내부피폭 위험평가 결과(1차)

측정 위치	이격 거리 (cm)	농도 측정(A) (Bq/m ³)		배경 준위(B) (Bq/m ³)		매트리스 기여분(A-B)					
		라돈 Rn ²²²	토론 Rn ²²⁰	라돈 Rn ²²²	토론 Rn ²²⁰	라돈 Rn ²²²			토론 Rn ²²⁰		
						농도 (Bq/m ³)	선량1 (mSv/년)	선량2 (mSv/년)	농도 (Bq/m ³)	선량1 (mSv/년)	선량2 (mSv/년)
매트리스 표면 위	2	24.2	91.6	15.0	13.5	9.20	0.16	0.39	78.10	0.34	0.82
	10	14.0	29.9	8.83	13.8	5.17	0.09	0.22	16.10	0.07	0.17
	50	16.0	3.3	17.7	13.8	-	-	-	-	-	-

선량1: 하루에 10시간을 침대의 해당 거리에서 호흡한다고 가정
 선량2: 하루에 24시간을 침대의 해당 거리에서 호흡한다고 가정

이 결과 중 가장 높은 농도값은 매트리스 상단 2 cm 지점에서 측정한 값으로, 라돈 (0.16 mSv)과 토론(0.34 mSv)에 의한 내부피폭선량은 연간 총 0.5 mSv로 평가되었다. 또한 매트리스에서 거리가 멀어짐에 따라 라돈·토론의 농도 값과 내부피폭선량이 거리에 따라 라돈(43.8%), 토론(79.4%) 감소율을 보였다. 그리고 매트리스 상단 50 cm 지점에서는 라돈과 토론의 영향이 미미하여 실내공기질에는 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다.

일반적인 경우 매트리스 사용 시 시트와 패드를 사용하는 경우가 있으므로, 이를 반영한 내부피폭선량을 평가한 경우는 다음과 같았다<표 2>. 이때에 표면 위 2 cm 지점 측정, 하루 10시간 사용할 경우로 하였다.

〈표 2〉 매트리스 이외 추가 침대용품 적용에 따른 측정 결과

측정 위치	이격 거리 (cm)	농도 측정(A)		배경 준위(B)		매트리스 기여분(A-B)					
		(Bq/m ³)		(Bq/m ³)		라돈 Rn ²²²			토론 Rn ²²⁰		
		라돈 Rn ²²²	토론 Rn ²²⁰	라돈 Rn ²²²	토론 Rn ²²⁰	농도 (Bq/m ³)	선량1 (mSv/년)	선량2 (mSv/년)	농도 (Bq/m ³)	선량1 (mSv/년)	선량2 (mSv/년)
매트리스 표면 위	2	24.2	91.6	15.0	13.5	9.20	0.16	0.39	78.10	0.34	0.82
	10	14.0	29.9	8.83	13.8	5.17	0.09	0.22	16.10	0.07	0.17
	50	16.0	3.3	17.7	13.8	-	-	-	-	-	-
매트리스+ 시트	2	12.0	64.7	6.9	3.9	5.1	0.09	0.21	60.8	0.27	0.64
매트리스+ 시트+패드	2	3.0	46.6	3.0	15.8	0.06	0.00	0.00	30.7	0.13	0.32

선량1: 하루에 10시간을 침대의 해당 거리에서 호흡한다고 가정
 선량2: 하루에 24시간을 침대의 해당 거리에서 호흡한다고 가정

- 매트리스만 사용한 경우 : 라돈 0.16 mSv, 토론 0.34 mSv로 연간 총 내부피폭선량은 0.5 mSv로 평가
- 매트리스에 시트를 사용한 경우 : 라돈 0.09 mSv, 토론 0.27 mSv로 연간 총 내부피폭선량은 0.36 mSv로 평가되며, 이는 매트리스만 사용한 경우에 비해 내부피폭선량 28% 감소
- 매트리스에 시트와 패드를 함께 사용한 경우 : 라돈 0.00 mSv, 토론 0.13 mSv로 연간 총 내부피폭선량은 0.13 mSv로 평가되며, 이는 매트리스만 사용한 경우에 비해 내부피폭선량 74% 감소

1차 조사 결과 이후 지난 5월 15일에 2차 조사 결과를 발표했다. 2010년 이후 OO침대가 판매한 총 26종의 매트리스 중, 프레쉬드림, 수퍼프레쉬드림을 제외한 24종에 모나사이트 사용하였다고 한다. 조사가 된 것 중에서 7개 모델에서 연간 피폭선량 1 mSv를 초과하는 것으로 확인되었다고 한다⁹. 이 중에서는 9.35 mSv가 측정된 모델도 있었다. 이 모델의 라돈(Rn²²²)와 토론(Rn²²⁰)의 방사능 농도는 각각 35.13 Bq/m³, 1,364.45 Bq/m³이었다(표 3).

〈표 3〉 침대 모델별 라돈 농도 및 피폭선량 평가 결과(2차 조사 결과)

모델명	측정 농도(Bq/m ³) ※ 배경준위제외		피폭선량(mSv/년)			제조년도	생산량 (개)
	라돈 Rn ²²²	토론 Rn ²²⁰	라돈 Rn ²²²	토론 Rn ²²⁰	라돈+토론		
그린헬스2	35.13	1,364.45	0.39	8.96	9.35	2010~2014	1,102
네오그린헬스	61.54	1,218.18	0.69	8.00	8.69	2010~2015	7,049
뉴웨스턴슬리퍼	68.08	1,041.01	0.76	6.84	7.60	2010~2018	14,231
모텔	-	677.69	-	4.45	4.45	2015~2018	1,903
벨라루체	12.18	220.32	0.14	1.45	1.59	2015~2018	396
웨스턴슬리퍼	1.08	294.52	0.01	1.93	1.94	2010~2018	36,416
네오그린슬리퍼	14.18	308.16	0.16	2.02	2.18	2014~2015	309

※ 하루에 10시간을 침대 매트리스 2cm 높이에서 옆드려 호흡한다고 가정
공기 중 라돈 농도에 의한 연간 피폭선량 평가는 다음과 같은 방식으로 이루어졌다.

$$\text{연간 피폭선량}(E) = C_{Rn} \times F \times T \times DCF$$

- 라돈 농도(C_{Rn}) : 공기 중 라돈 농도(Bq/m³)
- 평형인자(F) : 라돈과 단수명 자손핵종의 공기 중 유효 존재비
 - 라돈 : 0.4(라돈 자손핵종이 공기 에어로졸 입자에 부착비율)
 - 토론 : 0.04(토론 자손핵종이 공기 에어로졸 입자에 부착비율)
- 노출시간(T) : 해당 라돈 농도에 노출되는 시간
- 선량환산인자(DCF) : 가벼운 활동 시(1.2 m³/h) 호흡률 기준으로 농도를 피폭선량으로 환산에 필요한 인자
 - 라돈 : 20.4 × 10⁻⁶ mSv/(Bq · h/m³)
- 1 (WLM) = 6.37 × 10⁵ Bq · h/m³(평형등가 라돈 농도)
- 선량계수 = 13 mSv/WLM
 - 토론 : 120 × 10⁻⁶ mSv/(Bq · h/m³)
- 1 (WLM) = 4.68 × 10⁴ Bq · h/m³(평형등가 토론 농도)
- 선량계수 = 5.6 mSv/WLM

라돈과 토론을 구분해서 측정하는 이유는 물리적인 성질과 인체에 미치는 영향이 다르기 때문이다. 라돈과 토론이 같은 농도인 경우 라돈에 대한 인체의 영향이 더 크며, 토론의 경우, 반감기가 짧아 발생원(침대 등)에서 조금만 떨어져도 영향이 급격하게 줄어든다.

음이온(anion)과 건강효과

해당 침대 업체인 OO침대의 판매 매장에서는 ‘음이온이 나온다’며 건강에 좋다고 홍보해온 것으로 알려졌다. 라돈침대 문제는 건강을 위해서 추가한 음이온 파우더가 원인이었다. 건강에 도움이 되는 제품은 소비자의 관심을 끌 수 있기 때문에 이러한 제품을 만들고 있다고 생각된다. 따라서 제품 생산과 구매의 동기가 된 음이온의 건강효과에 대해서 먼저 살펴보았다.

침대뿐만 아니라 안마의자, 팔찌, 헤어드라이어 심지어 공기청정기에서도 음이온이 나와서 건강에 좋다고 홍보하는 제품들이 있다. 따라서 이런 제품에서도 라돈이 발생하는지를 확인해야 할 것인지 판단하기 위해서도 음이온에 대한 이해가 있어야 한다. 음이온은 모호한 말이다. 어떤 특징을 가진 음이온인지를 알아보고 라돈 발생 가능성을 고려하여 관련 제품들에 대한 정밀조사 여부를 결정할 필요도 있을 것이다. 음이온을 발생하는 물질이 모두 라돈을 발생하는 것은 아니기 때문이다.

이온이란 전기를 띤 미립자를 말하는데, 음이온의 경우 마이너스 전하를 띤 상태로 가볍기 때문에 대기 속의 양이온과 혼재하여 분포하고 있다. 음이온은 중성의 입자가 전자를 얻어 만들어지는 음전하를 띤 물질이며 반대는 양이온이다.

음이온이 되기 쉬운 원소들은 주기율표상에서 비활성기체를 제외한 오른쪽 위에 치우쳐 있는 원소들이 음이온이 되기 쉽다. 즉, 최외각전자껍질에 전자가 많고, 원자 전체의 크기가 작은 원소들이 음이온이 되기 쉽다. 16, 17족의 2, 3주기 원소인 산소, 플루오린, 황, 염소와 같이 전자친화도가 큰 원소들은 전자를 얻으면서 전자친화도⁶⁾ 만큼의 에너지를 방출하고 음이온을 만들게 된다.

최근 음이온이 공기를 정화한다거나 인체의 자율신경계를 조절한다는 등 음이온에 대한 긍정적인 이야기가 퍼지면서 음이온을 방출하는 제품들이 많이 만들어지고 있기도 하다. 한편, 음이온이 만들어져 방출된다 해도 상온의 공기 중에서 안정하게 존재하는 것은 매우 어렵다. 중성원자가 전자를 얻어 음이온이 만들어지는 반응은 매우 높은 온도에서 진행되는 것이며 상온에서의 이온은 매우 불안정하기 때문이다.⁷⁾

사람들이 음이온에 의한 영향을 쉽게 느낄 수 있는 곳으로는 폭포 근처나 숲이 있다. 음이온은 특정 환경, 복사열, 햇빛 및 움직이는 물에서 공기가 순환되어 자연적으로 생성된다. 폭포는 중력에 의해 물이 높은 곳에서부터 낮은 곳으로 떨어지면서 위치 에너지 변화만큼의 전기에너지가 발생하며, 이러한 전기 에너지가 원자에 작용하여 공기 중으로 음이온으로 방출된다. 물살이 빠른 계곡이나 파도치는 해변 역시 마찬가지로

이유로 음이온 분포가 높다. 음이온은 물이 증발 할 때 자연적으로 생성되며, 특정 미네랄[예: 전기석(tourmaline)]⁸⁾에서는 자연적으로 발견된다. 물 분자가 충돌하면 물은 양으로 대전되지만 주변 공기는 음으로 대전된다. 물방울이 방출되면 작은 물방울이 공기와 상호 작용하고 공기 분자가 음으로 대전된다. 음이온은 물방울이 될 때와 방사선에 의한 전기 방전으로 생성된다.⁸⁾ 숲에서는 나무가 이산화탄소를 흡수하여 산소를 만드는 과정에서 많은 음이온이 방출되는데 특히 활엽수림보다는 소나무와 같은 침엽수림 숲에서 음이온 발생이 더 높다.

음이온이 인간에게 긍정적인 생화학 반응을 일으키는 능력에 대해 연구되어 왔다. 공기 중 음이온의 농도가 높으면 30분 안에 항우울제 효과를 나타낼 수 있음을 발견했다는 보고가 있다.⁹⁾ 음이온은 생물학적 활성 물질이기 때문에 신체의 24시간 리듬에 영향을 줄 수도 있다고 한다.¹⁰⁾ 그러나 기존에 발표된 음이온의 정신건강영역에 대한 연구 결과의 체계적 고찰에서는 불안, 기분, 이완, 수면 및 개인 위안에 대한 긍정적이거나 부정적인 공기 중 이온의 일관된 영향은 관찰되지 않았다. 다만, 음이온의 최고 노출 수준에서 우울 점수가 낮아졌다고 하며, 이 연관성의 생물학적 타당성을 평가하기 위한 연구가 필요하다고 하였다.¹¹⁾

실내를 이온화하면 대기 중 먼지가 52% 감소하고 박테리아는 95%까지 감소하였다는 보고가 있다.¹²⁾ 알레르기 질환을 앓고 있다면 음이온이 공기 중 세균과 미립자로부터 당신을 보호할 수 있으며, 이 효과는 호흡 곤란을 줄일 수 있다고 한다.¹³⁾ 그러나 음이온 노출과 호흡기에 영향에 대한 체계적인 평가에서 실내공기를 이온화시키는 기구를 천식환자의 증상 완화를 위해서 권고하지 않는다고 하였다.¹⁴⁾ 이후에 수행된 체계적 고찰에서도 음이온이 호흡 기능 또는 천식 증상 완화에 대한 유의한 역할을 하는지는 분명하지 않다고 하였다.¹⁵⁾

결론적으로 음이온이 인간의 건강에 긍정적인 영향을 미치는 지에 대한 정확하게 말할 수 없다고 보아야 한다.

라돈과 건강영향

라돈침대 사건으로 라돈이 무엇이며, 라돈 노출의 특성 그리고 라돈의 건강영향, 특히, 폐암과의 관련성에 대해서 알아볼 필요가 있다.

1. 라돈이란?

라돈은 우라늄(uranium)과 토리움(thorium)의 핵붕괴를 통하여 자연적으로 형성되는 방사성 동위원소이다. 우라늄과 토리움은 자연적으로 바위, 토양, 공기 그리고 물에 존재하고 있으며, 이는 처음에 라듐(radium)으로 붕괴되었다가 라듐은 라돈으로 변환된다. 라돈은 가스상태이며, 분진에 붙어서 공기 중으로 이동할 수 있고, 사람의 일상 생활 환경 즉, 공기, 물, 땅 등에 어느 곳이나 존재하는 물질이 된다. 라돈은 암석이나 토양 건축자재 등에 존재하는 우라늄이 몇 차례 붕괴를 거치는 과정에서 생성되는 무색·무취·무미의 기체로 지구상 어디에나 존재하는 자연방사능 물질이다. 공기 중 라돈의 농도는 Bq/m³이나 pCi/ℓ 로 표시하며, 1 pCi/ℓ 는 37 Bq/m³에 해당한다.

라돈의 동위원소는 27개로 알려져 있으며, 이 중 ²¹⁹Rn, ²²⁰Rn, ²²²Rn이 자연 방사성 붕괴사슬에서 생성되는 것들로 ²¹⁹Rn(반감기 3.96초)과 ²²⁰Rn(반감기 55.6초)은 1분 이내의 반감기를 가지므로 일반적으로 라돈이라 하면 ²²²Rn(반감기는 3.8일)을 의미한다. 2009년 전국 실내 라돈 농도 조사에서 연평균 실내 라돈의 전체 산술평균은 79.3 Bq/m³(±1.1 Bq/m³)로 조사되었다. 계절적으로는 4계절 중 여름에 평균 48.3 Bq/m³로 가장 낮은 농도로 조사되었고 겨울에는 107 Bq/m³이었다.¹⁶⁾

²²²Rn 원자핵은 대부분 약 8일(반감기의 2배) 이내에 붕괴하게 되고 5.49 MeV의 에너지를 가진 α입자를 방출하며 폴로늄(²¹⁸Po)으로 변형하는 붕괴사슬로 이어진다. 라돈 자손 또는 라돈의 딸이라고 불리는 붕괴산물은 (+)전하를 띄게 되어 실내공기 속의 미세분진 입자에 부착하고 이런 입자는 호흡을 통하여 폐에 흡입되어 폐의 상피세포에 부착한다. 폐에 축적된 원자와 그 붕괴산물은 다시 α선을 방출하면서 다른 물질로 변형하게 되는데 이 α선이 폐 세포의 DNA를 파괴하여 폐암을 일으키는 주원인이 된다.

라돈은 불활성이므로 흡입한 양 거의 전부가 날숨으로 나온다. 그러나 ²²²Rn은 단수명 방사성핵종 시리즈로 붕괴하는데 이들 자손을 흡입하면 호흡기 내에 침적된다. 이들 자손의 짧은 반감기(30분 미만)로 인해 주로 폐에서 제거되기 전에 붕괴한다. 단수명 자손 중 ²¹⁸Po과 ²¹⁴Po는 알파입자를 방출하는데 이것이 폐 선량과 이로 인한 폐암위험을 지배한다.

2. 라돈과 폐암

라돈은 오래전부터 폐암 원인으로 알려져 왔다. 과거 광산에서 일하는 광부들을 대상으로 한 코호트연구에서 흡연자이든 비흡연자이든 일관되고 뚜렷한 위험의 증가를 보고하였고, 동물실험연구 등에서도 확인되었다. 1988년 국제암연구소(IARC)에서는

라돈을 명확한 발암물질(group I)로 분류하였다.¹⁷⁾

라돈유발 폐암위험에 관한 주된 정보원인 지하광부에 대한 역학연구에서 낮은 농도 피폭에서 위험에 대한 유용한 결과가 보고되었고^{18~22)}, 주거 공간 라돈피폭과 폐암 증례대조연구의 통합분석도 위험 증가를 입증하고 있다.^{23~26)}

국제방사선방호위원회(ICRP)에서는 2011년 4월에 라돈과 그 자손핵종 노출과 폐암 사이의 인과에 대한 최근 역학연구들을 검토한 결과를 발표하였다.²⁷⁾ 주거공간과 광산 역학연구 모두 일관성 있는 폐암 위험 평가치를 제시하는데 연평균 농도 약 200 Bq/m³ 및 누적직무피폭 50 WLM 수준에서는 유의한 상관성을 보인다. 최근의 광부에 대한 역학연구 통합분석에 근거하여 라돈과 자손핵종 노출로 유발되는 폐암 명목위험으로 생애 초과 절대위험(LEAR)^{9, 6)} 5×10^{-4} WLM(또는 mJh/m³당 14×10^{-5})을 사용하기로 하였다. WLM 당 5×10^{-4} (Jh/m³당 0.14)라는 이 값은 성인기 피폭을 고려한 것이다. 유럽²⁴⁾, 북미^{25, 26)} 및 중국²³⁾의 주거 증례대조연구의 통합분석에서 30년 이상 피폭을 고려했을 때 주택 라돈농도가 증가함에 따라 폐암위험의 증가를 보였다. 단위농도당 폐암 증가 평가치는 유럽, 북미, 중국에서 얻은 값은 100 Bq/m³당 각각 1.08, 1.10, 1.13이었다. 이 세 지역 연구에 대해 계산한 결합 평가치는 100 Bq/m³당 1.09였다.²⁸⁾ 이들 모든 결과는 흡연습관에 대한 조정 후에 얻은 것이다. 누적 개인 피폭량에 대해 보다 완전한 평가가 있는 증례와 대조에 한정하여 분석하면 선형피폭-반응 관계의 기울기는 약간 증가하여 100 Bq/m³당 1.11로 된다.²⁸⁾ 한편, 유럽 주거 증례-대조 통합연구로부터 장기적 평균 농도가 200 Bq/m³ 미만인 수준에서도 폐암위험이 있다는 증거가 있다.²⁴⁾

결론적으로 주거 라돈피폭으로부터 폐암위험의 통합분석은 피폭기간을 폐암 진단 전 5년 내지 30~35년으로 고려할 때 100 Bq/m³당 적어도 8% 증가하는 것을 보인다. 피폭측정이 보다 정확할 것으로 보이는 연구로 분석을 제한하면 각 통합분석에서 관찰되는 위험이 더 증가하였다. 유럽 통합분석은 측정된 라돈 방사능 농도의 불확도를 고려할 때 100 Bq/m³당 16%의 ERR⁶⁾ 증가를 보고했다. 이 값을 25~30년 기간에 걸쳐 가정에서 비교적 낮은 피폭을 장기간 받음에 따르는 위험의 합리적인 평가치로 간주할 수 있다.²⁷⁾

한편, 미국 환경보호청(EPA)은 미국에서 연간 폐암 사망자의 10% 이상인 약 20,000명 정도가 라돈에 의한 것이며, 폐암을 유발시키는 제2의 원인으로 지목하고 있다. EPA가 국민을 대상으로 라돈 문제를 홍보하기 위해 발간한 자료 '라돈에 대한 시민안내서(A Citizen's Guide to Radon)'에서 규제기준인 4 pCi/l의 라돈 농도가 유지되는 실내공간에서 평생 생활하면 흡연자인 경우 1,000명 중 약 62명(6.2%)이 폐암

의 위험이 있다고 한다(비흡연자는 이의 1/10)〈표 4〉.

〈표 4〉 흡연자의 경우 라돈에 의한 인체적 영향

라돈 농도	흡연자의 폐암 발생률(1,000명당)	비 흡연자의 폐암 발생률(1,000명당)
20 pCi/ℓ	260명	36명
10 pCi/ℓ	150명	18명
8 pCi/ℓ	120명	15명
4 pCi/ℓ	62명	7명
2 pCi/ℓ	32명	4명
1.3 pCi/ℓ	20명	2명
0.4 pCi/ℓ	3명	-

자료 출처 : EPA Assessment of Risk from Radon in Homes(EPA 402-R-03-003)

문제와 대책

이상의 검토를 바탕으로 라돈침대의 문제와 대책을 건강영향 예측과 향후 공산품의 라돈 관리에 대하여 논하고자 한다.

ICRP 103(2007)에서는 모든 유형의 피폭상황의 관리는 개인선량 제한(선량제약치)과 참조준위를 사용해 이행되는 최적화 원칙을 적용하도록 하고 있다.³⁰⁾ 최적화는 초기 피폭수준과 무관하게 제약치나 참조준위보다 훨씬 낮은 수준까지 달성할 수 있는 한 선량을 감축하기 위해 노력하는 것을 의미한다. 이러한 원칙에서 라돈침대는 모두 리콜하는 것이 타당하다.³¹⁾ 리콜하기 이전까지는 제품 사용을 중단하고, 별도의 장소 또는 비닐커버 등을 씌워서 보관해두면 될 것이다. 이번 평가는 아무것도 깔리지 않은 매트리스 위 2 cm에서의 라돈 및 토론 농도로 10시간 동안 호흡한 것을 가정한 것이며, 한편, 향후 라돈 방호전략을 수립하기 위하여 제품의 라돈 발생에 대한 책임을 구체화하는 것이 필요하다.

천연방사성 핵종이 함유된 원료물질, 공정부산물, 가공제품은 방사선이 나올 수 있다. 따라서 이러한 원료물질을 취급하려는 사업자는 원안위에 등록을 해야 한다. 그리고 원료물질의 사용방법과 시설, 보관과 관리방법 전반에 대하여 안전관리를 받게 된다. 천연방사성 핵종 함유물질은 모나자이트, 인광석, 금홍석 등의 원료물질, 그리고 원료물질을 처리하는 과정에서 발생하는 공정부산물로 구분하며, 이들을 활용한 가공

제품 모두가 안전관리 대상에 해당한다(생활주변방사선 안전관리법, 제15조). 이에 따라서 원안위고시(제2017-54호) 제4조에 가공제품에 의한 일반인의 피폭방사선량은 연간 1 mSv를 초과하지 아니하여야 한다고 규정하고 있다. 그러나 앞으로 원료물질의 포타슘을 제외한 기타 천연방사성 핵종은 g당 0.1 Bq, 공정부산물의 천연방사성 핵종은 g당 0.5 Bq로 규정하고 있듯이 가공제품의 방사능 농도 또는 제품 표면의 방사선량에 대한 기준이 필요하다.

한편, 2014년에 ICRP에서 발표한 ‘라돈 방사선 피폭으로부터 방호(ICRP 간행물 126)’ 보고서²⁷⁾를 살펴보는 것이 필요하다. 이 보고서에서는 10 mSv 정도 값이 라돈(²²²Rn)피폭에 대한 참조준위의 기준점이 되어야 한다고 하였다. 애매하게 표현하였지만, 이것은 실내 ²²²Rn의 농도로 300 Bq m³에 해당 하는 것이다. 아울러, 국가 유도참조준위를 100~300 Bq m³ 범위에서 합리적으로 낮게 설정하기를 촉구하고 있다. 다만, 이 보고서는 ²²²Rn에 초점을 맞추고 있고, 라돈침대의 다른 동위원소인 토론(²²⁰Rn)에 대한 것은 구체적이지 않다. ²²⁰Rn은 토륨-232의 붕괴생성물인데 토륨도 지하에 다양한 농도로 분포한다. ²²⁰Rn은 반감기(55.6초)가 ²²²Rn보다 훨씬 짧아 그 생성 위치로부터 많이 이동하기 어렵다. 환경에서 ²²⁰Rn 거동은 ²²²Rn과 매우 다르다. 원안위는 라돈침대의 표면으로부터 2 cm 위치에서 7개 모델 중에서 가장 높은 ²²⁰Rn과 ²²²Rn의 방사능 농도는 각각의 35.13 Bq/m³, 1,364.45 Bq/m³이었고, 연간 총 피폭선량을 9.35 mSv로 산출하였다. ²²⁰Rn은 짧은 반감기(55.6초)를 가지며 붕괴하기 때문에 생성된 지점으로부터 탈출이 용이하지 않다. 따라서 실내의 라돈 농도에 미치는 영향은 미미할 것이다.

그러나 엷드려 자면 침대 위 2 cm 아래의 공기를 흡입할 가능성은 높을 것이다. ICRP는 방사선방호 목적에서 자손 핵과 평형에 있는 ²²²Rn 노출에 대해 성인의 위해조정 폐암 명목위험계수로 Bqhm⁻³당 8×10⁻¹⁰ [위킹레벨월(WLM)당 5×10⁻⁴]을 권고했다. 이러한 위험계수를 전체 방사능 농도 측정결과에 적용하면 약 1.1×10⁻⁶이 된다(토론에 대한 위험계수는 없으므로 ²²²Rn로 합하여 산출함)²⁸⁾. 다만 이러한 산출은 위험계수가 18세에서 64세까지 노출되는 경우를 고려한 것이므로 라돈침대의 경우에는 2010년도부터 사용하였다는 점을 고려하면 과대평가된 것이라고 할 수 있다. 다행히 폐암 발생 위험은 크지 않을 것으로 예측할 수 있다.



결론

건강을 위한 다양한 제품들이 개발되고 생산되어 공급되고 있다. 이번의 경우는 음이온이 발생하는 침대로 음이온에 대한 건강의 긍정적인 효과를 과대 지지하는 것이 라돈침대 사건으로 비화된 것으로 볼 수 있다. 가슴기 살균제 사건도 건강을 위한 제품이 빚은 참화였다. 건강에 도움이 된다는 제품을 선택하는 데에 소비자들의 지혜가 필요하다.

라돈침대 사건에서 다행인 것은 호흡기를 통한 방사선의 내부피폭을 유발할 수 있는 최대 방사능 농도가 높지 않았으며, 내부피폭선량이 0.5 mSv로 산출되어 폐암을 일으킬 가능성이 미미한 것으로 예측된 점이다. 그렇다고 하더라도 건강 피해를 우려하는 소비자들의 요구와 저항은 클 수 있다.

세계적으로 아직 라돈에 대한 완전한 방호체계를 수립하지 못하고 있다. 따라서 국가에서는 천연 방사성물질이 제품에 함유될 수 있는 경로와 공산품의 유통경로에 따른 방사능 농도 또는 제품 표면의 방사선량을 관리하는 것이 필요하다. 이번 사건의 경우에 방사성 물질을 침대 회사에 납품한다는 사실이 원안위에 보고됐지만 아무 조치도 취하지 않은 것으로 확인됐다. 현행 규정상 보고 및 등록 절차만 있을 뿐 방사성 물질을 어디에, 얼마나 쓰는지는 규제가 없었다. 또 등록된 취급업자가 방사성 물질을 외부에 처음 판매할 때는 보고하게 돼 있지만, 그 이후 누구에게 얼마만큼 팔았는지는 보고

할 의무가 없다. 방사성 물질이 사용되는 제품에 따라서는 내부피폭 등의 심각한 문제가 발생할 수 있으므로 국가가 관심을 갖고 감시를 해야 할 것이다.

개발 및 생산자는 소비자의 건강과 안전에 피해를 줄 위험이 있는 방사성 물질이 함유되거나 오염되지 않도록 주의를 다해야 하겠다. 🙏

각주

- ① 생활주변방사선 안전관리에 관한 규정 제4조 제1항에 가공제품에 의한 일반인의 피폭방사선량 기준은 연간 1 mSv를 초과하지 않도록 되어 있다.
- ② 중성의 원자는 전자를 얻으면서 에너지를 방출하는데, 이러한 에너지를 전자친화도라 한다.
- ③ 수정과 같은 결정구조를 가지는 육방정계에 속하는 광물로 토르말린이라고도 한다. 마찰에 의해 전기가 생기며, 가열하면 양끝이 양·음으로 대전하기 때문에 이 이름이 붙여졌다.
- ④ 초과절대위험(EAR) : 방사선피폭으로 인한 초과위험이 선량에 의존하지만 기저의 자연적 또는 백그라운드 위험과는 독립적인 증분으로 기저위험에 더해진다는 가정에 근거한 위험 표현법. 이 보고서에서는 폐암의 생애초과절대위험이 계산된다.
- ⑤ 생애위험(lifetime risk) : 한 개인에게 주어진 연령까지 누적 위험. 이 보고서에서 사용하는 생애위험 평가치는 만성피폭 시나리오와 연계하여 WLM당 1만 인-년당 사망자 수로 표현되는 생애초과절대위험이다(때로는 방사선기인초과사망으로 불린다). 이 보고서는 따로 설명하지 않으면 생애기간은 다른 ICRP 간행물에서처럼 90년으로 하며, (직무피폭에 대한 시나리오는 ICRP 65(1993)에 제안된 것처럼 18세부터 64세까지 연간 2 WLM로 일정하게 낮은 준위 피폭이다.
- ⑥ 초과상대위험(ERR) : 피폭집단에서 질병률을 비피폭집단의 질병률로 나눈 값에서 1을 뺀 값. 선량-반응관계연구에서 이는 (상대위험-1)/단위피폭의 형태로 Gy 혹은 Sv당 ERR로도 표현된다.
- ⑦ 짧은 반감기 때문에 실내 공기 환경에서 ²²⁰Rn에 의한 피폭은 일반적으로 낮다. 따라서 ICRP에서는 보건 우려가 낮은 ²²⁰Rn 피폭에 관련된 지침은 주로 건축재에 관한 대책에만 집중하고 있다.

참고문헌

1. SBS 뉴스, 2018.5.3. http://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1004743057&oaid=N1004743079&plink=TEXT&cooper=SBSNEWS&END
2. 김정원 기자. 대진 라돈침대 모델 5개 더 늘었다... "음이온? 효능 검증 안됐다". 한국영농신문. 2018. 5. 12. <http://www.youngnong.co.kr/news/articleView.html?idxno=10069#rs>
3. 서수진 기자. '1급 발암물질' 대진침대, 사과는 언제쯤? "전량 리콜조치 안하나", 스페셜경제. 2018. 5. 3. <http://www.speconomy.com/news/articleView.html?idxno=112194>
4. 백민경 기자. "궁금해서 재봤는데"...침대서 음이온 대신 발암물질 나와. 중앙일보. 2018. 5. 3. <http://news.joins.com/article/22594335>
5. 원자력안전위원회 '라돈 침대' 중간조사 결과 발표 보도자료. 2018. 5. 10. http://www.nssc.go.kr/nssc/notice/report.jsp?mode=view&article_no=44238&pager.offset=0&board_no=2
6. 모나자이트(monazite). 원자력용어사전. 2011. 한국원자력산업회의
7. 두산백과. 음이온. <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1250045&cid=40942&categoryId=32251>

8. Bailey WH, Johnson GB, Bishop J, Hetrick T, Su S: Measurements of charged aerosols near \pm kV DC transmission lines and in other environments. *Ieee T Power Deliver* 2012, 27:371–379.
9. J Laskoski. Is bright light therapy effective for improving depressive symptoms in adults with Seasonal Affective Disorder (SAD)?, *The Internet Journal of Academic Physician Assistants*. 2009 Volume 7 Number 2.
10. Reilly T, Stevenson IC. An investigation of the effects of negative air ions on responses to submaximal exercise at different times of day. *J Hum Ergol (Tokyo)*. 1993 Jun;22(1):1–9.
11. Perez et al. Air ions and mood outcomes: a review and meta-analysis *BMC Psychiatry* 2013, 13:29 <http://www.biomedcentral.com/1471-244X/13/29>
12. Tyagi AK1, Malik A. Antimicrobial action of essential oil vapours and negative air ions against *Pseudomonas fluorescens*. *Int J Food Microbiol*. 2010 Oct 15;143(3):205–10.
13. Olimpia Pino, Francesco La Ragione. There's Something in the Air: Empirical Evidence for the Effects of Negative Air Ions (NAI) on Psychophysiological State and Performance. *Research in Psychology and Behavioral Sciences*. 2013. Vol. 1, No. 4, 48–53.
14. Blackhall K, Appleton S, Cates CJ: Ionisers for chronic asthma. *Cochrane Db Syst Rev* 2003. CD002986.
15. Tyagi AK1, Malik A. Antimicrobial action of essential oil vapours and negative air ions against *Pseudomonas fluorescens*. *Int J Food Microbiol*. 2010 Oct 15;143(3):205–10.
16. Alexander et al. Air ions and respiratory function outcomes: a comprehensive review *Journal of Negative Results in BioMedicine* 2013, 12:14 <http://www.jnrbm.com/content/12/1/14>
17. National Institute of Environmental Research. National radon survey in Korea. Incheon: National Institute of Environmental Research; 2009.
18. International Agency for Research on Cancer. Man-made mineral fibres and radon: summary of data reported and evaluation. *IARC monographs*. Vol. 43.
19. EPA, 1999. Proposed Methodology for Assessing Risks from Indoor Radon Based on BEIR VI. Office of Radiation and Indoor Air, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
20. EPA, 2003. Assessment of Risks from Radon in Homes. Publication EPA 402-R-03-003. Office of Air and Radiation, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
21. Lubin, J.H., Tomášek, L., Edling, C., et al., 1997. Estimating lung cancer mortality from residential radon using data for low exposures of miners. *Radiat. Res.* 147, 126–134.
22. NRC, 1999. Health Effects of Exposure to Radon. BEIR VI Report. National Academy Press, Washington, DC.
23. Tomášek, L., Rogel, A., Tirmarche, M., et al., 2008. Lung cancer in French and Czech uranium miners – risk at low exposure rates and modifying effects of time since exposure and age at exposure. *Radiat. Res.* 169, 125–137.
24. Lubin, J.H., Wang, Z.Y., Boice Jr., J.D., et al., 2004. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. *Int. J. Cancer* 109, 132–137.
25. Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., et al., 2005. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *Br. Med. J.* 330, 223–227.
26. Darby, S., Hill, D., Deo, H., et al., 2006. Residential radon and lung cancer – detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiological studies in Europe. *Scand. J. Work Environ. Health* 32 (Suppl. 1), 1–84.
27. Krewski, D., Lubin, J.H., Zielinski, J.M., et al., 2006. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. *J. Toxicol. Environ. Health Part A* 69, 533–597.
28. 이재기 역. 라돈과 자손핵종에 의한 폐암 위험. *ICRP 간행물* 115. 2010.
29. UNSCEAR, 2009. UNSCEAR 2006 Report. Annex E. Sources-to-Effects Assessment for Radon in Homes and Workplaces. United Nations, New York.
30. EPA Assessment of Risk from Radon in Homes (EPA 402-R-03-003).
31. 이재기 역. 2007년 국제방사선방호위원회 권고 *ICRP 간행물* 103. 2007.
32. 윤선희 기자. 대전침대 "라돈 검출 침대 리콜 실시", *연합뉴스*. 2018. 5. 7. <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=101&oid=001&aid=0010070642>