

원안위, 라돈 검출 침대 조사 중간결과 보고

<2018.05.10., 생활주변방사선안전과>

0. 개요

- 5월 3일 언론에 보도된 '라돈 검출 침대'에 대한 조사 중간결과를 아래와 같이 보고함
 - 원안위는 5월 3일 '라돈 검출 침대'에 대한 언론의 최초 보도 직후 한국원자력안전기술원(이하 KINS), 한국원자력안전재단(이하 안전재단) 등 관련기관과 함께 침대 판매사 2회, 매트리스 제조사 4회, 음이온파우더 공급사 1회 등 총 7회 현장조사를 실시하고, 완제품 매트리스 1개를 포함한 9개 시료를 확보하여 관련 측정·분석·평가를 실시함
 - 안전재단은 「생활주변방사선 안전관리법」에 따른 가공제품 안전 기준 적합성을 평가하기 위해 확보된 시료의 방사능 농도 분석과 외부피폭선량 평가를 실시하였으며,
 - KINS는 제품에서 발생하는 라돈으로 인한 내부피폭을 평가하기 위해 라돈측정기(RAD7*)를 활용하여 라돈 농도측정을 실시함
- * 금번 KINS에서 활용한 RAD7과 라돈아이의 차이점은 (붙임3)을 참고

1. 원인 물질 및 해당 물질 적용 제품

- 해당 매트리스는 걸커버(원단-솜-부직포) 안에 있는 속커버(원단-솜-부직포) 원단 안쪽에 음이온파우더가 도포된 것으로,
 - 업체의 음이온파우더 구입현황* 및 시료의 방사능농도 분석 결과**를 토대로, 해당 음이온파우더의 원료가 천연방사성핵종인 토륨이 높게 함유된 모나자이트***임을 확인
 - * 모나자이트 취급 업체에서 구매
 - ** 방사능 농도 분석결과 우라늄과 토륨의 비율이 1:10으로 확인되었으며, 이는 모나자이트의 고유 특성
 - *** 토륨광의 일종으로 토륨이 4~8% 정도 포함

- 원안위는 D사에서 2010년 이후 생산된 제품 중 해당 속커버를 적용한 모델은 9개(네오그린헬스, 뉴웨스턴, 모젤, 벨라루체, 그린헬스1, 그린헬스2, 파워플러스포켓, 파워트윈포켓, 파워그린슬리퍼)로 총 24,552개를 생산한 것으로 조사되었으며,
 - 이 외의 모델 및 2010년 이전에 제작된 제품에도 일부 모나자이트가 사용된 것으로 추정되어 이에 대한 조사를 진행 중

- 또한, 라돈의 동위원소 구분 측정이 가능한 RAD7 측정기로 매트리스 속커버의 시료 표면에서 측정값이 라돈 58.5 Bq/m³, 토륨 624 Bq/m³임을 확인하고,
 - 정밀 조사를 위해 속커버 시료와 완제품(뉴웨스턴, '16년 제조 속커버 적용)을 확보하여 상세조사를 실시함

2. 방사능 농도 분석 및 외부피폭선량 평가

□ 안전재단은 매트리스 공급업체에서 생산한 속커버 2개 제품을 확보하고 이에 대한 방사능 농도를 분석하여, 외부피폭선량 평가*를 실시

* ①시료의 핵종별 방사능 농도 분석 → ②핵종별 방사선 에너지·방출율 적용 → ③제품 사용 시나리오 구성(형태·사용부위·사용시간 등) → ④인체의 방사선 영향 계산

□ 안전재단은 매트리스 속커버를 신체에 밀착시킨 상태로 매일 10시간* 동안 생활할 경우, 연간 피폭방사선량은 0.06 mSv이며, 최대 24시간을 침대에서 생활할 경우, 최대 연간 외부피폭선량은 0.15 mSv로 평가

* '14년 통계청, 생활시간조사결과(평균 수면시간, 7시간 59분) 에 2시간 추가

연번	시료	방사능 농도 (Bq/g)		사용시간(h)	연간 외부피폭선량 (mSv/y)
		U-238	Th-232		
1	'15년	0.76	7.63	3650(10시간/일)	0.05
				8760(24시간/일)	0.13
2	'16년	0.90	8.48	3650(10시간/일)	0.06
				8760(24시간/일)	0.15

○ 이는 「생활주변방사선 안전관리법」 제15조에 따른 가공제품 안전 기준(연간 1 mSv 초과 금지) 범위 내

3. 라돈 측정 및 내부피폭선량 평가

□ 원안위는 해당 매트리스가 현행 생활주변방사선 안전관리법에 따른 가공제품 안전기준 범위 내로 평가됨에도 불구하고,

○ 침대가 얼굴을 포함하여 우리 신체와 많은 시간 접촉하는 내구성 제품임을 고려할 때, 모나자이트로 인한 라돈 및 토론의 내부피폭 위험성이 존재할 수도 있어, 매트리스(완제품)의 라돈 농도를 측정하고 내부피폭선량을 평가 추진

□ KINS는 해당 매트리스 표면 위 2cm, 10cm, 50cm 지점*에서 라돈 측정기(RAD7)로 라돈·토론의 농도를 연속 측정하고, 이에 따른 연간 내부피폭선량을 평가

* (표면 위 2cm 지점) 사용자가 엎드려 호흡할 경우를 가정

* (표면 위 10cm 지점) 사용자가 바로 누워 호흡할 경우를 가정

* (표면 위 50cm 지점) 사용자가 앉아 호흡하는 것을 가정

□ 라돈에 의한 내부피폭선량 평가를 위해 국제원자력기구(IAEA) 산하 국제방사선방호위원회(ICRP)와 UN산하 방사선영향과학위원회(UNSCEAR)에서 제시한 라돈 농도에 따른 내부피폭선량 환산 방법(붙임2)을 활용하였으며,

○ 매트리스가 직접적 요인으로 기여한 피폭선량을 계산하기 위해 배경준위를 제외

□ 각 지점에서의 라돈·토론의 농도와 선량은 아래와 같으며 매트리스와 가까운 지점에서는 내부피폭의 영향이 있음을 확인

측정 위치	이 격 거 리 (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)
매트 리스 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

- 위 결과 중, 가장 높은 농도값은 매트리스 상단 2cm 지점에서 측정된 값으로, 라돈(0.16 mSv)과 토론(0.34 mSv)에 의한 내부피폭선량은 연간 총 0.5 mSv 로 평가

※ IAEA(국제원자력기구), ICRP(국제방사선방호위원회)에서는 라돈 방호 최적화의 기준점으로 10 mSv를 권고

- 또한 매트리스에서 거리가 멀어짐에 따라 라돈·토론의 농도값과 내부피폭선량이 급격히 감소*됨을 확인할 수 있었고,
* 거리에 따라 라돈(43.8%), 토론(79.4%) 감소율 보임
- 매트리스 상단 50cm 지점에서는 라돈과 토론의 영향이 미미하여 실내공기질에는 영향을 미치지 않는 것으로 평가

4. 향후 계획

- 원안위는 금번 침대와 같이 '호흡 밀착형' 제품의 경우에는 모나자이트 사용에 따른 토론의 영향을 무시할 수 없으므로,
 - 현재 국내 모나자이트 유통 현황 조사를 추진 중에 있으며, 침대 및 침구류 등 생활밀착형 제품에 활용되는 것이 발견될 경우 추가 조사를 추진할 예정
 - 또한, D사의 해당 속커버 적용 모델 외에 모나자이트를 사용하여 제조한 매트리스에 대한 추가 조사를 진행 중으로, 관련 안전기준 적합 여부 등을 평가할 예정
 - 향후, 원안위는 신체 밀착하여 사용하는 일상 생활용품에 모나자이트 사용을 제한하거나 천연방사성물질 성분 함유 표시를 의무화하는 등 관계부처와 긴밀히 협조하여 제도를 개선해 나갈 계획

- 라돈(Rn)은 무색·무미·무취의 자연방사성 기체 물질로서 동위원소는 수십종이며 이중 관련 주요 핵종은 Rn-222와 Rn-220이 있음
 - **Rn-222**은 U-238이 붕괴되어 생성, 반감기 3.8일이며 통상 라돈을 지칭할 때 Rn-222를 의미
 - **Rn-220**은 Th-232가 붕괴되어 생성, 반감기는 55.6초로 매우 짧으며 토륨에서 유래되어 **토론**이라 지칭
- ※ **IAEA ICRP**에서는 **Rn-220의 짧은 반감기** 때문에 실내 공기 환경에서 Rn-220에 의한 피폭이 낮아 **주로 Rn-222에 대한 방호를 중점으로 설명**
 - 토론이 라돈에 비해 피폭량이 적고, 토론 방호가 상대적으로 쉽기 때문(페인트 도포 등으로 차폐 가능)에 현재 **토론을 규제하는 나라는 없음**
- 라돈은 암석, 토양 중에 높게 존재하여 주로 건물 바닥이나 벽의 갈라진 틈을 통해 실내로 유입되며(90%이상), 그 외 건축자재, 지하수 등에서도 일부 발생할 수 있는 것으로 알려져 있음
- 라돈은 폐암의 주요 원인으로 알려져 있으며(흡연 다음으로), WHO 산하 국제암연구센터(IARC)는 **라돈을 1급 발암물질**로 정하고 있음
 - 라돈과 폐암 사이의 관련성 연구는 외국에서 주로 직업적으로 노출이 많은 집단(지하 광부)에 대한 역학 연구를 중심으로 이루어져 왔음
 - 국내의 경우, 직업적인 노출로 인한 폐암이 산재로 인정된 사례(2015년, 서울지하철 근로자)가 있으나, 일상생활에서 라돈이 주요 노출 요인이 되어 폐암 발생이 확인된 사례는 아직 없음
 - 비흡연자에 비해, 흡연자가 라돈에 노출되었을 때 폐암에 걸릴 위험이 높아지는 것으로 보고되고 있음

붙임 2

라돈농도에 따른 연간 피폭선량 환산

□ 통상 공기 중 라돈 농도에 의한 연간 피폭선량 평가 방법

$$\text{연간 피폭선량} = \frac{\text{농도}(Bq/m^3) \times \text{평형인자} \times 24(h) \times 365 \times \text{거주인자} \times \text{선량환산인자}}{1,000,000}$$

○ 평형인자 : 라돈과 라돈 딸핵종(먼지에 부착된 것)간의 비율

- 라돈 : 0.4 (약 40%의 딸핵종이 먼지에 부착되어 부유)¹⁾
- 토론 : 0.03 (약 3%의 딸핵종이 먼지에 부착되어 부유)

○ 거주인자 : 실내에서 머무는 비율

○ 선량환산인자 : 농도를 피폭선량으로 환산에 필요한 인자

- 라돈 : UNSCEAR²⁾ 선량환산인자 : 9 nSv/(Bq·h·m⁻³)
ICRP³⁾ 선량환산인자 : 12 nSv/(Bq·h·m⁻³)
- 토론 : UNSCEAR 선량환산인자 : 40 nSv/(Bq·h·m⁻³)

□ 라돈(Rn-222)에 의한 연간 피폭선량 계산 (농도 : 9.2 Bq/m³)

○ 침대 위에서 머무는 시간을 하루에 10시간으로 가정

$$\frac{9.20(Bq/m^3) \times 0.4 \times 24(h) \times 365 \times (10/24) \times 12(nSv/(Bq \cdot h \cdot m^{-3}))}{1,000,000} = 0.16(mSv)$$

□ 토론(Rn-220)에 의한 연간 피폭선량 계산 (농도 : 78.1 Bq/m³)

○ 침대 위에서 머무는 시간을 하루에 10시간으로 가정

$$\frac{78.10(Bq/m^3) \times 0.03 \times 24(h) \times 365 \times (10/24) \times 40(nSv/(Bq \cdot h \cdot m^{-3}))}{1,000,000} = 0.34(mSv)$$

1) 나머지 60%는 벽, 바닥에 침적 (피폭에 기여하지 않음), 일부 비부착성 딸핵종

2) UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UN산하 방사선영향 과학위원회)

3) ICRP (International Committee on Radiological Protection, 국제방사선방호위원회)

붙임 3

라돈 측정기 비교

□ RAD7과 라돈 아이 비교

항목	RAD7	라돈아이
분류	능동형 연속감시기	수동형 연속감시기
검출방식	알파선 분광분석법 - 라돈 및 토론의 딸핵종을 분광분석하여 두 핵종을 정밀분석	펄스형 이온화 챔버 방식 - 라돈 및 토론의 딸핵종에서 나오는 알파선을 펄스로 변환하여 수치
핵종구분	라돈과 토론 구분하여 측정	라돈과 토론의 구별 불가
라돈 유입 방식	본체에 내장된 공기 펌프에 의해 강제 유입 - 능동형 (active) 방식 - 공기 중 라돈변화에 빠르게 반응	단순 확산 (펌프 없음) - 수동형 (passive) 방식 - 라돈이 검출기 내부로 천천히 유입되므로 공기중 라돈 농도를 빠르게 반영하지 못함 - 고농도 라돈 조건에서 측정 후 내부의 고농도 라돈의 배출이 느림
검출기 내부의 라돈 잔류 효과	펌프에 의해 강제로 라돈이 배출되므로 라돈 잔류 효과 매우 적음 - 딸핵종 잔류시, 알파선 분광분석법에 의해 잔류 딸핵종의 영향 배제	라돈이 느리게 배출되므로 라돈 잔류 효과 큼 - 딸핵종 잔류시, 라돈으로 측정 오인 측정
측정주기	2분 ~ 수 시간 (사용자 임의 조정 가능)	10분 간격으로 측정하여 60 분 이동 평균 방식 (완만한 반응속도를 보임)
용도	전문가용 - 라돈전문기관에서 표준 장비로 사용	일반인용
사용시 주의사항	-	(실내 공기 라돈 측정 시) - 라돈이 유입되는 벽, 바닥, 천장으로부터 50 cm 띄워서 측정 (토론 간섭으로 과대평가 방지) - 정확한 측정을 위해서 1시간 이상 측정

□ 라돈 측정기별 측정값 비교

※ (단위 : Bq/m³)

장비	RAD7		라돈아이
	라돈	토론	라돈
시험전	18.0	-	81
시료 표면	18.0~72.0 (평균 : 58.5)	536~805 (평균 : 624)	404~1,054 (평균 : 839)

붙임 4

실생활 환경을 고려한 내부피폭선량 평가

□ 일반적인 경우 매트리스 사용 시 시트와 패드를 사용하는 경우가 있으므로, 이를 반영한 내부피폭선량*을 평가할 경우

* 표면 위 2cm 지점 측정, 하루 10시간 사용할 경우 등 나머지 조건 동일

- (매트리스) 라돈 0.16 mSv, 토론 0.34 mSv로 연간 총 내부피폭선량은 0.5mSv로 평가
- (매트리스+시트) 라돈 0.09 mSv, 토론 0.27 mSv로 연간 총 내부피폭선량은 0.36 mSv로 평가되며, 이는 매트리스만 사용한 경우에 비해 내부피폭선량 28% 감소
- (매트리스+시트+패드) 라돈 0.00 mSv, 토론 0.13 mSv로 연간 총 내부피폭선량은 0.13 mSv로 평가되며, 이는 매트리스만 사용한 경우에 비해 내부피폭선량 74% 감소

<매트리스 이외 추가 침대용품 적용에 따른 측정결과>

측정 위치	이 격 거 리 (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)
매트 리스 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	-	-	-	-	-	-
매트 리스+ 시트	2	12.0	64.7	6.9	3.9	5.1	0.09	0.21	60.8	0.27	0.64
매트 리스+ 시트+ 패드	2	3.0	46.6	3.0	15.8	0	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

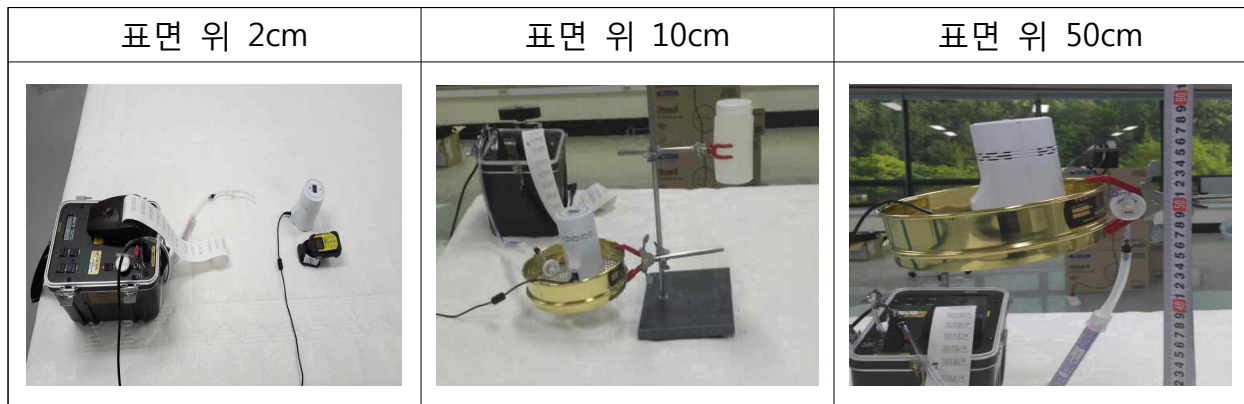
붙임 5

라돈 농도 측정 사진

□ 취득한 완제품 시료



□ 매트리스 표면의 높이에 따른 라돈 측정 모습



□ 실제 사용환경을 고려한 라돈 측정 모습

