

天然石材에서 發生하는 라돈(Radon)에 대한 研究

(주)데코스톤 대표이사

경영학석사 김영호

(주)데코스톤 전략사업팀

팀장 이수준

(주)데코스톤 영국사무소

경영학석사 김도경

목 차

제 1 장 서론.....	1
제 1 절 연구의 목적	1
제 2 장 라돈의(라돈가스) 정의	1
제 1 절 라돈이란	1
제 2 절 라돈이 발생하는 물질.....	3
제 3 절 라돈 기체가 인체에 미치는 영향.....	4
제 4 절 라돈의 지형적 특성 및 국가별 연구자료	5
1. 지형적 특성.....	5
2. 이탈리아의 라돈.....	5
3. 미국의 라돈.....	8
4. 영국의 라돈.....	9
5. 대한민국의 라돈.....	11
제 5 절 라돈의 측정방법 및 유의사항.....	13
1. 라돈의 측정방법.....	13
2. 라돈의 기준 허용치.....	13
3. 라돈 측정 시 유의사항	14
제 3 장 석재의 라돈 발생량.....	15
제 1 절 석재의 라돈	15
1. 미국석재의 라돈 조사	16
2. 미국석산의 방사선 조사.....	16
3. 미국석재협회의 라돈에 대한 입장	17
제 2 절 라돈과 관련한 소비자 질의와 관련기관의 응답 (아래 표 참조).17	
1. 한국원자력안전기술원 질의 및 응답.....	18
2. 한국원자력의학원 질의 및 응답.....	19

3. 미국석재협회 질의 및 응답	19
4. 전문기관 시험의뢰 결과와 라돈아이 측정결과 차이.....	24
제 4 장 라돈에 대한 정부대응 문제점 및 대책	25
제 1 절 정부대응 문제점	25
1. 정부의 라돈 관리체계 문제	25
2. 건축자재 라돈방출량 측정방법 및 품질관리기준 문제	25
제 2 절 대책	26
제 5 장 결론.....	27
참 고 문 헌	28
1. 국내문헌.....	28
2. 국외문헌.....	28
참고(1) 전문기관 시험의뢰 결과 사본	32

표 목 차

<표 1> 라돈의 근원 -----	3
<표 2> 자연방사선에 의한 평균 피폭선량의 성분별 비율 -----	3
<표 3> Piemonte의 주거 지역 라돈 평균수치 -----	6
<표 4> 라돈이 비교적 많이 검출된 이태리 지역 -----	7
<표 5> 국내·외 주택 라돈 농도 기준 -----	14
<표 6> 5가지 석종의 전문기관과 ‘라돈아이’ 라돈수치 비교표 -----	24
<표 7> 세계 주요국 라돈등 생활방사선 통합관리 실태 -----	25

그림 목 차

<그림 1> 라돈의 생성 과정	2
<그림 2 > 이태리 북부 Piemonte지역의 라돈 지도	5
<그림 3> 미국의 라돈 지도, US EPA 2017	8
<그림 4> 영국 웨일즈의라돈지도, 2018	10
<그림 5> 영국의 라돈지도 확대버전	10
<그림 6> 대한민국 라돈 지도, 2003	11
<그림 7> 세스코공식블로그에서 제공한 대한민국 방사능 지도, 2018	12

제1장 서론

제1절 연구의 목적

최근 침대 매트리스에서 방사선 물질인 라돈이 검출되어 인체에 매우 치명적인 요인으로 부각됨에 따라 사회적으로 큰 물의를 일으키고 있다.

또한 건축자재인 천연 화강석에서도 라돈이 검출됨으로써 이에 대한 유해성이 사회적으로 논란의 대상이 되고 있어 석재와 라돈과의 관련성과 라돈의 정확한 정의, 과학적으로 입증된 연구 및 이와 유사한 해외사례를 토대로 석재에서 발생하는 라돈가스가 인체에 미치는 영향에 대하여 조사 하였다.

제2장 라돈의(라돈가스) 정의

제1절 라돈이란

라돈(Rn)은 우라늄(U), 토륨(Th), 라듐(Ra), 폴로늄(Po)에 이어 5번째로 발견된 방사성 원소로서 방사성 원소는 방사능을 가진 원소를 의미한다. 원자핵은 α 선 β 선 γ 선등의 방사선을 방출하고 붕괴하면서 안정해진다.

방사선 핵물질의 붕괴 메커니즘을 보면 우라늄에서 반감기(방사성물질의 초당 붕괴수가 반으로 줄어드는 데 필요한 시간을 가르킴. 즉 방사선 물질이 공기 중에 흩어지는 시간을 말한다) 3.8일의 라돈(Rn222)이 생성되고 토륨 붕괴 시 반감기 55.7초의 토륨(Rn220)이 생성된다. 그럼 라돈을 논할 때 토륨과 토륨을 함께 언급하는 이유는 무엇일까?

라돈과 토륨은 쌍둥이 같은 존재이다.

라돈에는 화학적 성질은 같지만 질량이 조금 다른 동위원소가 존재한다. 자연계의 모든 원소는 동위원소를 가지고 있고 라돈의 동위원소는 총 27개가 있으며

토론은 그 중 하나이다.

일반적으로 라돈이라고 부르는 원소는 질량수가 222인 Rn-222이며 토론은 질량수가 220 Rn-220이다. 동위원소에 서로 다른 이름을 붙이지는 않지만 토론이 발견된 1901년에는 아직 동위원소에 대한 개념이 확립되어 있지 않았다. 라돈과 토론을 다른 원소라고 여긴 과학자들은 서로 다른 이름을 붙이게 되었다. 때문에 아직까지 라돈과 토론을 구분해서 부르기도하고 라돈과 토론을 총칭해서 라돈이라 부르기도 한다.

한편 토륨과 토론은 부모와 자식과 같은 관계이다. 토륨은 자연계에서 가장 흔하게 발견되는 원소 중 하나로 바닷가의 토양에서 많이 발견되고 토륨 역시 방사선을 내뿜으며 붕괴하는 방사성 원소인데 토륨이 붕괴하는 과정에서 토론이 만들어진다(Dongascience.donga.com, 2018).¹ 이런 이유로 토륨을 토론의 모핵종, 토론을 토륨의 딸핵종이라고 부르기도 한다.

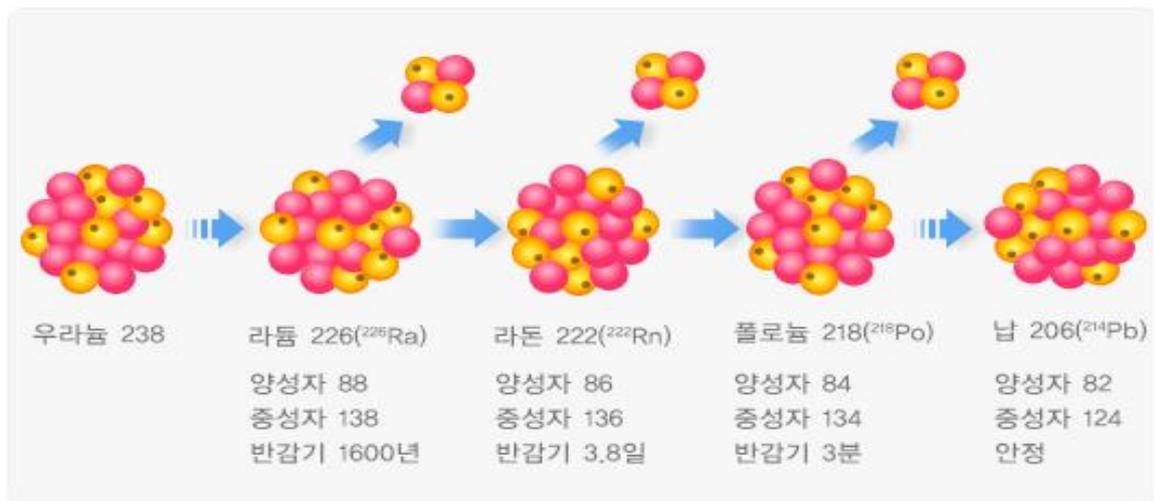


그림 1. <라돈 생성 과정>

¹동아사이언스 (2018) ‘정말 건강위협? 라돈침대, 그것이 궁금하다’ - Dongascience.donga.com 발췌

제2절 라돈이 발생하는 물질

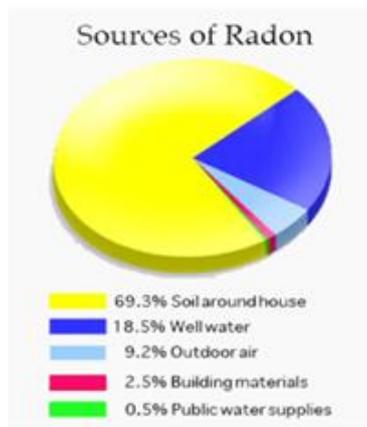


표 1. <라돈의 근원>



라돈은 방사성 비활성기체로 화강석뿐만 아니라 지구상에 존재하는 암석, 토양, 건축자재, 콘크리트, 진흙, 벽돌, 비 플라스틱 접시, 숯 등 소량의 우라늄, 토륨과 포타슘(칼륨)을 포함하고 있는 자재와 제품, 농작용 비료, 실리카로 만들어진 유리(안경, 와인잔, 거울, 창문 등)등에서도 모두 라돈가스를 배출하며 이는 무색, 무취의 방사성 기체로 자연적으로 발생하는 방사성 물질이다.²

자연 방사선원	전세계	미국	일본	한국
라돈흡입	1.26	2.28	0.4	1.41
섭취 (음식물, 용수)	0.29	0.28	0.4	0.38
지각방사선 (토양, 암석, 건축자재)	0.48	0.21	0.4	1.04
우주방사선 (고도영향, 항공기이용)	0.39	0.33	0.3	0.26
자연방사선 소계	2.4	3.1	1.5	3.08

출처:원자력안전위원회

표2. <자연방사선에 의한 평균 피폭선량의 성분별 비율>

² Check, A. (2018) '화강석과 라돈' - Radon.com 발췌

김은영 과학 칼럼니스트(2018) '신문은 선생님, 재미있는 과학 "라돈"' - 조선일보 발췌

제3절 라돈 기체가 인체에 미치는 영향

라돈이 위험한 이유는 붕괴하면서 발생하는 또 다른 방사성 붕괴산물 때문이다. 라돈가스 자체는 다른 원소와 거의 반응하지 않는 비활성기체로 혹시 라돈을 마시게 된다고 하더라도 숨을 뱉을 때 대부분 다시 밖으로 나가게 된다. 하지만 라돈이 붕괴하면서 내놓는 붕괴산물은 다르다.

라돈은 α 선을 방출하며 붕괴하는데 이 결과 나타난 물질은 (±)전하를 띤다. 이것은 공기 중에 떠다니는 작은 먼지에 달라붙어 사람의 폐 속에 들어간다. 이는 폐와 연결된 혈관이나 폐의 상피세포에 달라붙어 쉽사리 밖으로 나가지 않는다. 문제는 폐에 붙은 방사성 붕괴산물이 다시 α 선을 방출하며 또 다른 원소로 바뀐다는 사실이다. α 선은 폐 세포의 DNA를 망가뜨리고 폐암을 일으키는 주원인이 된다.³ 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구센터(IARC)는 2009년 발표한 연구결과를 통해 라돈이 세계 폐암발병 원인의 최대 14%를 차지한다고 밝혔다. 같은 해 영국 공중보건국(PHE)은 주거지 안에서 발생하는 사망 원인 중 라돈이 흡연에 의한 폐암, 도로사고에 이어 3위를 차지했다고 발표했다. 이런 이유로 IARC는 라돈을 1급 발암물질로 규정하고 있다.

³동아사이언스 (2018) ‘정말 건강위협? 라돈침대, 그것이 궁금하다’ - Dongascience.donga.com
발췌

제4절 라돈의 지형적 특성 및 국가별 연구자료

1. 지형적 특성

라돈은 자연발생적이며 토양에 속해있는 우라늄과 토륨에서 방출되는 기체이며 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 모든 것, 심지어 대기 중에도 희석되어 있다. 라돈의 검출은 지리적, 지질적, 기후 등 자연적 요인이 크게 작용할 수 있다. 또한 라돈은 주거지의 형태, 설계방식, 건축자재, 건설방식과 같은 다양한 요인들이 실내 라돈의 검출에 종합적으로 영향을 끼칠 수 있다.⁴

2. 이탈리아의 라돈

이탈리아 환경보호국은 이태리 북서지방 Piemonte를 대상으로 1990-1991년도에 라돈가스를 연구했고 이 연구를 토대로 2012년도에 더 많은 주거지역을 선정하여 라돈을 연구 하였다. 또한 환경연구소의 설문을 토대로 Piemonte 1,206개 지역의 라돈 평균 수치를 측정할 수 있었다. 그 결과 몇몇 구역은 기준치 200Bq/m³를 초과 했지만 라돈가스 수치의 평균은 71Bq/m³로 기준치 이하로 나타났다.⁵

⁴Check, A. (2018) ‘화강석과 라돈’ - Radon.com 발췌

김은영 과학 칼럼니스트(2018) ‘신문은 선생님, 재미있는 과학 "라돈"' - 조선일보 발췌

⁵Chiaberto E et al (2012) ‘이태리 피에몬테지역 잠재적 라돈 조사’ -EPJ Web of Conferences발췌

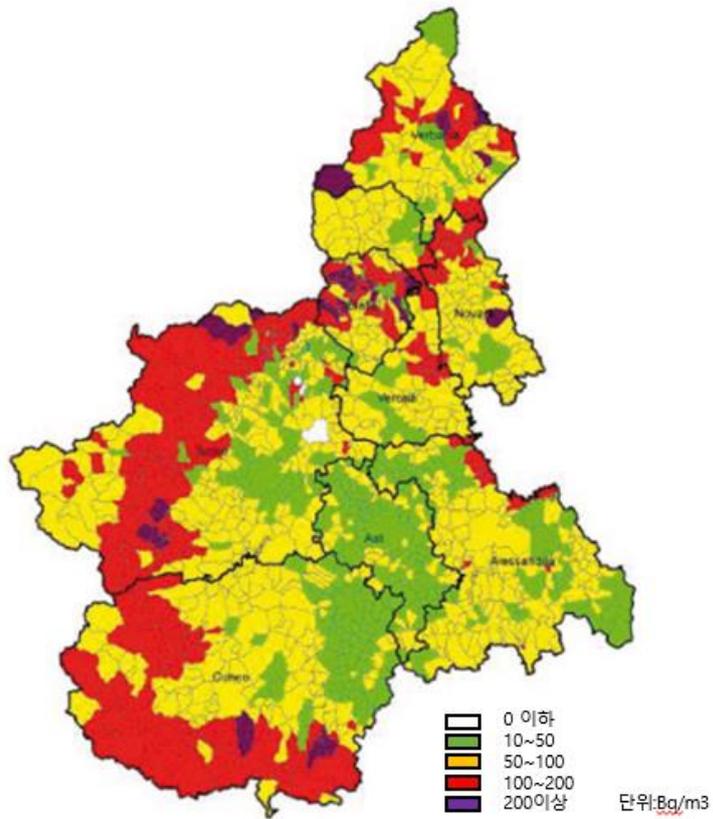


그림2. <이탈리 북부 Piemonte 지역의 라돈 지도>

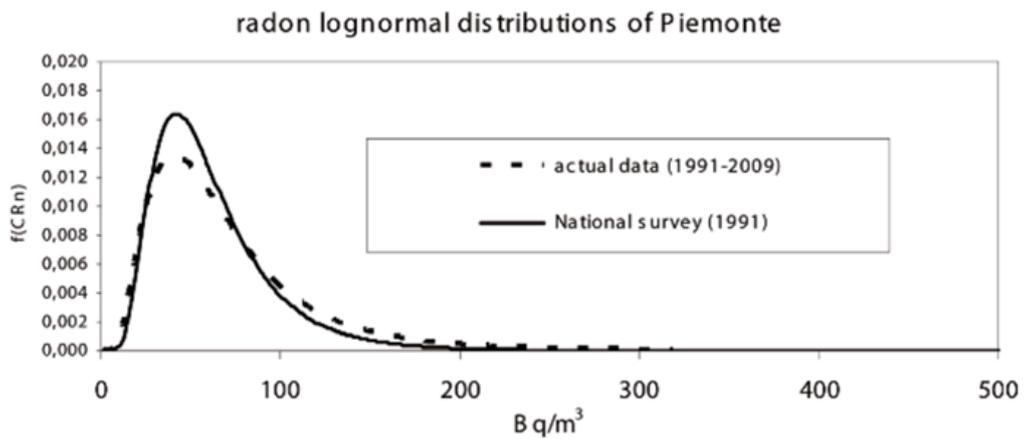


표 3. <Piemonte의 주거 지역라돈 평균수치>

1989년부터 1997년까지 이탈리아에서는 토양과 방사선의 연관성이 높다는 가

정하에, 토질연구자료(Soil maps)를 토대로 지형적 라돈 수치를 전국적으로 조사하였다(232개의 읍의 5,361개의 주거지역) 하지만 기존의 조사에서 제한적인 샘플의 대상과 수가 측정되었고 기후, 건축물의 설계방식, 건축자재, 건설방법 등 라돈의 수치에 영향을 끼치는 다양한 요인들이 배제되어 있었다. 그러므로 기존의 라돈측정 결과와 그 방법은 제한적 이었다고 많은 관련 전문가에 의해 지적되었다.⁶ 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해 1999년 이탈리아 보건국(Italian National Institute of Health)은 연평균 200-400Bq/m³ 이상 라돈가스가 검출된 주거지역을 집중적으로 연구하였다(표3).

Region	Area (N. of towns)	Exposure	N. of dwellings	Average (Bq/m ³)	Max (Bq/m ³)	%> 200 Bq/m ³	%> 400 Bq/m ³
Piemonte	Valle del Cervo (4)	a few months	35	525	2429		
	Peveragno (3)	3 months	335	160	2468		11%
Lombardia	Angera (1)	a few months	51	174	985	17%	6%
Alto Adige Province	Val Pusteria (6)	9 to 12 months	162	186	1632	27%	10%
	Val Venosta (6)	9 to 12 months	227	298	2657	40%	18%
	All regional data (58)	3 to 12 months	1036	231	2787	31%	13%
Trentino Province	All regional data (36)	1 year	616	145	1423	23%	7%
	East part (11)	1 year	204	196	1212	40%	13%
Friuli	North plain (8)	1 year	256	144	1777	15%	9%
Venezia Giulia	North plain (1)	6 months in winter	501	142	1047	20%	7%
	Hills and mountains (23)	1 year	91	164	1089	42%	6%
Toscana	Monte Amiata (7)	1 year	79	202	1240	38%	11%
	Colline Metallifere (1)	1 year	5	245	553	20%	10%
Umbria	Orvieto (1)	1 year	30	128	299	20%	0%
	S. Venanzo (1)	1 year	68	120	293	20%	0%
Lazio	Viterbo province (16)	1 year	111	216	737	39%	7%
Sicilia	Isola di Vulcano (1)	1 year	15	138		20%	

표 4. <라돈이 비교적 많이 검출된 이태리 지역>

⁶Gundersen LCS & Schumann RR. (1996) '미국의 잠재적 라돈 측정 아팔래치아 산을 예로' - 국제 환경 학술지 발췌, Hulka J et al (1997) '체코 공화국 라돈 위험성 조사' - 체코 국가 방사능 보호 기구 학술회의 발표자료 발췌, Miles J (1998) '데이터 함수를 통한 라돈 발생이 빈번한 주거지역 통계' - Health Physics 학술지 발췌

연구결과 73개의 지역에서 연평균 200Bq/m³이 넘는 라돈가스가 측정되었고 71개의 지역에서 400Bq/m³가 측정되었다. 이 연구는 어느 지역에 라돈이 가장 많이 응축 되어있는지 측정하고 학교 등 공공기관 설립에 필요한 정보를 얻기 위해 실시되었고 건축자재와 라돈가스의 연관성에 대한 연구가 필요하다고 주장하였다.

3. 미국의 라돈

미국환경보호국(United States Environmental Protection Agency, US EPA)은 라돈닷컴(Radon.com)에서 제공한 자료를 근거로⁷ 지형적 위치에 따라 라돈가스의 수치가 다르게 나오며 실외의 라돈수치가 실내보다 0.75pCi/L가 높다고 주장하는 것을 토대로 미국 라돈지도를 지역별 라돈가스의 평균 수치를 색상으로 표기하여 지도로 표시하였다.⁸

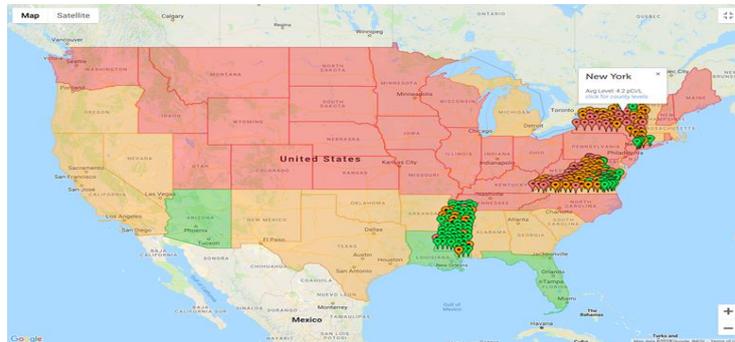


그림3. <미국의 라돈 지도, US EPA 2017>

붉은색 (구역1에 해당): 4pCi/L 초과 (허용 기준치 4pCi/L)

주황색 (구역2): 2 - 4pCi/L

녹색 (구역3): 2pCi/L 이하

⁷<Air Chek, Inc Radon.com> 1985년에 B.V Alvarez씨가 설립한 미국 북서캘리포니아에 위치한 라돈연구소로 20년이 넘는 경력을 쌓은 Eric Kuzniar, Alex Kowald와 함께라돈에 대한 연구를 해왔다. 현재까지400만개가 넘는라돈 테스트 키트를판매, 분석한 연구소로라돈에대한 다양한 정보를 얻을 수 있는 곳이다 (Radon.com 2018).

⁸ US EPA (2017) ‘미국의 라돈 지도’ - 미국 환경 보호국 발취

라돈닷컴은 1985년에 B. V Alvarez씨가 설립한 미국 북서 캘리포니아에 위치한 라돈연구소로 20년이 넘는 경력을 쌓은 Eric Kuzniar, Alex Kowald와 함께 라돈에 대한 연구를 해왔다. 현재까지 400만개가 넘는 라돈 테스트 키트를 판매, 분석한 연구소로 라돈에 대한 다양한 정보를 얻을 수 있는 곳이다(Radon.com 2018).

미국 콜롬비아대학의 방사능 연구소 대표인 David J. Brenner는 주택 실내의 화강석 주방 상판에서 나오는 라돈가스로 폐암에 걸릴 확률은 100만분의 1로 극히 희박하다고 한다. 미국석재협회 대표 Jim Hogan 은 대부분의 실내에 쓰이는 화강석은 인체에 해롭지 않지만 미국석재협회는 연구 결과가 충분하지 않은 미국 외 수입산 화강석(라돈가스 수치가 권고 기준치를 넘는)에 대한 과학적인 연구에 집중하고 있다고 설명하고 있다.⁹

4. 영국의 라돈

영국 환경보호국(Public Health England Formerly Health Protection Agency) 또한 미국과 같이 라돈가스 수치의 지역별 평균값을 지도에 표기하여 제공하고 있는데 그림과 같이 어두울 수록 높은 수치가 검출 됐음을 보여주고 있다.¹⁰ 아래의 그림 4.는 높은 라돈 레벨이 측정 될 확률을 색으로 보여주며 0-1은 낮음, 1-10까지는 중간, 10-30이상은 높음을 표시한다.

⁹ Murphy K (2008) ‘주방 상판에서 방출되는 물질’ - 뉴욕 타임즈 발췌

¹⁰ Miles J (2007) ‘영국 웨일즈라돈 지도’ - 영국 환경 보호국 발췌



그림 4. <영국 웨일즈의 라돈지도, 2018>

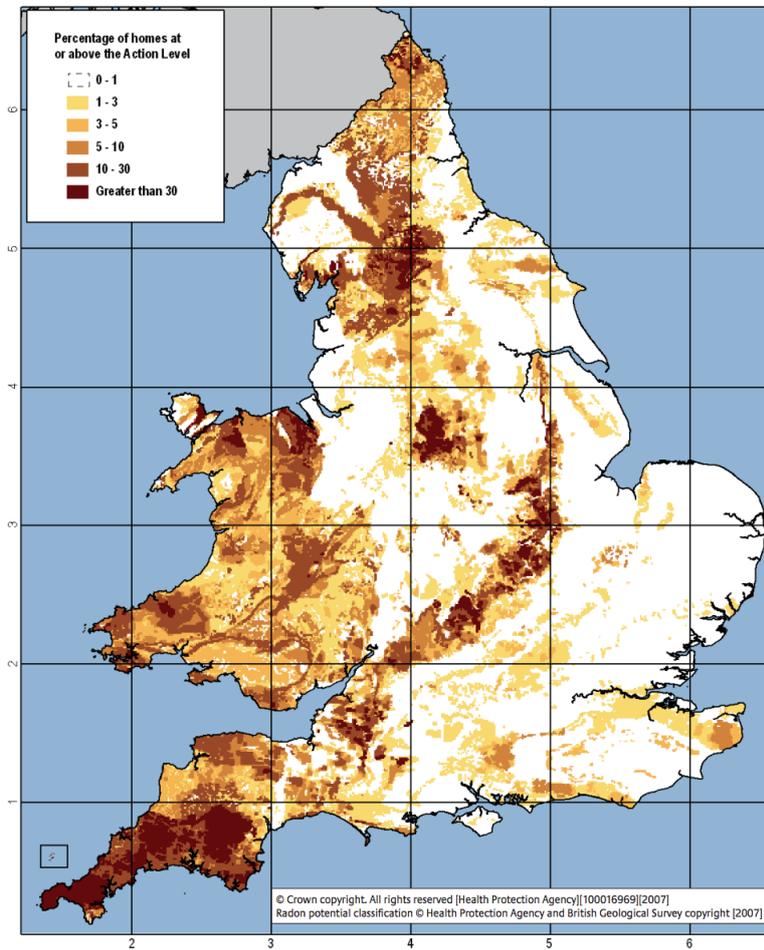


FIGURE 2 Overall map of radon Affected Areas in England and Wales (axis numbers are the 100-km coordinates of the national grid)

그림 5. <영국의 라돈 지도 확대버전, 2007>

5. 대한민국의 라돈

제19대 국회의원 장하나에 따르면 대한민국은 7,885개의 주거지를 임의로 선정하여 라돈가스를 측정 한 결과 평균 124.9Bq/m³ 이 나왔으며 세계에서 라돈가스 수치가 제일 높은 체코(140Bq/m³) 다음으로 높은 국가라고 주장했다. 세계보건기구의 대기 질 관련지침에 따르면 체코는 대기 중 단위 부피당 라돈가스의 밀도가 가장 높은 국가이며 핀란드(120Bq/m³), 룩셈부르크(115Bq/m³), 그리고 스웨덴(108Bq/m³)이 뒤를 잇는다.

비교대상 아시아 국가 중 일본은 16Bq/m³, 중국은 44Bq/m³이다.¹¹

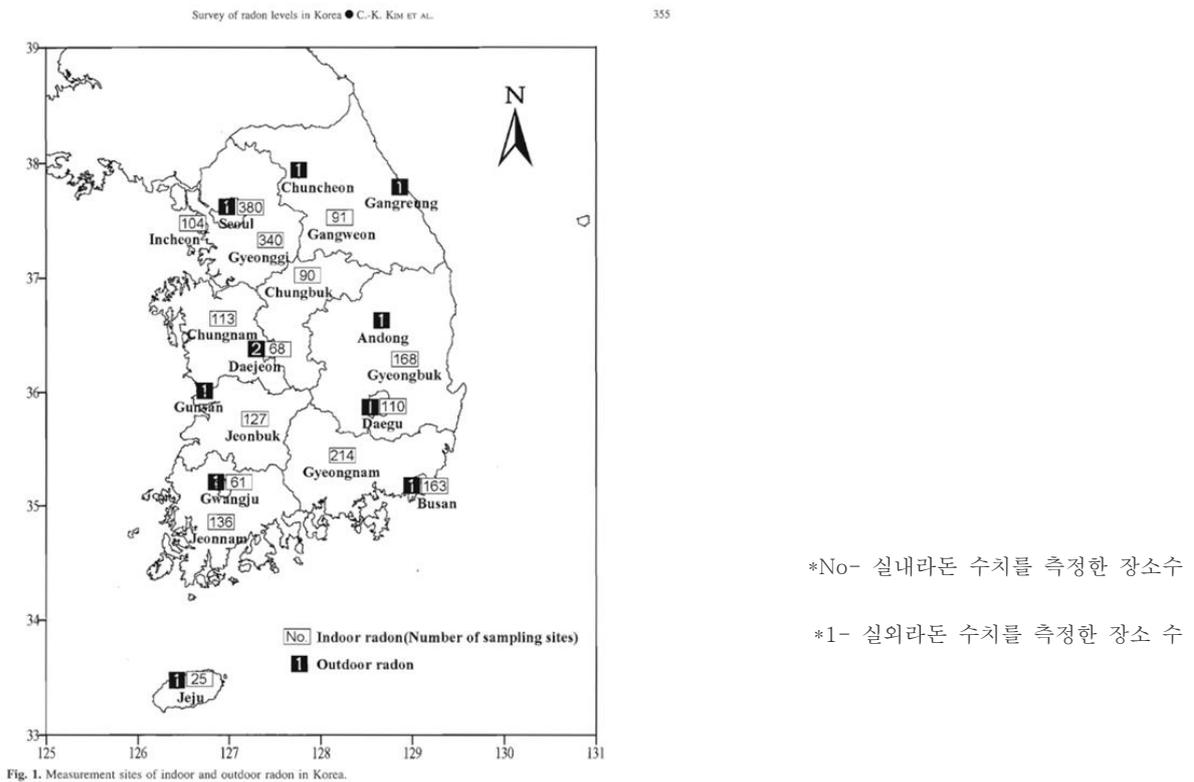


그림6. <대한민국 라돈지도, 2003>

¹¹연합뉴스 (2013) '세계에서 두번째로 주거 라돈 수치가 높은 한국' - 연합뉴스 발취

국제원자력협회에 종사하는 한 논문저자는 대한민국의 10개의 구역에서 실외 라돈가스측정, 6개의 큰 도시와 9개 지방을 선정하여 실내 라돈가스를 측정하였다. 기와집, 서양식주거, 아파트, 연립주택, 반 지하 집으로 주거의 종류가 분류되었고 준공 년도, 건축자재 종류 및 계절별로 측정하였다.

결과적으로 2,190가구의 라돈가스 평균 방출량은 $53.4 \pm 57.5 \text{Bq/m}^3$ 이었고 그 중 1.7% 정도가 200Bq/m^3 이 넘는 것으로 나왔다.

실내의 라돈가스 수치는 43.3Bq/m^3 에서 1.8Bq/m^3 사이로 측정되었다.

실내의 라돈가스 수치는 기온차가 높을 때 더 많이 측정되는데 여름보다는 겨울에 더 높게 측정되었다. 서양식 주거보다 전통기와집에서 2배이상 높은 라돈가스가 검출되었고 조립식 주택보다 진흙으로 만들어진 주거에서 더 높은 수치를 보였다.¹²

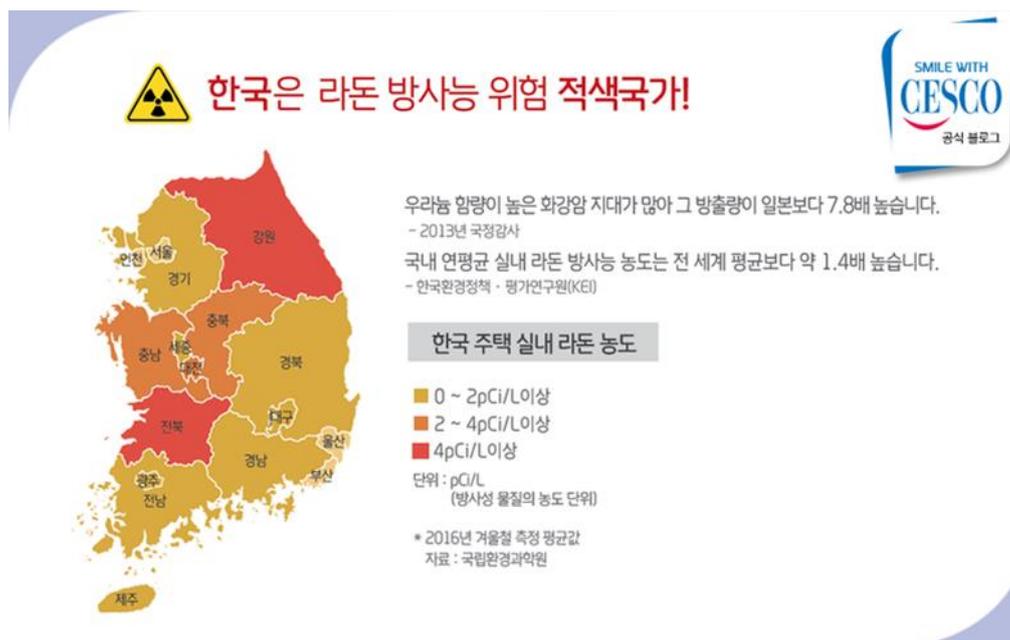


그림7. <세스코 공식 블로그에서 제공한 대한민국 방사능 지도, 2018>

그림5는 세스코(SMILE WITH CESCO)에서 제공한 자료로 대한민국은 기본적으로

¹²김창식 외 (2003) ‘대한민국의 라돈 수치 측정’ - Heath Physics 학술지 발췌

로 우라늄 함량이 높은 화강암지대가 많은 땅임을 보여준다. 이는 지형적인 요인으로 비교적 높은 라돈가스 검출은 불가피함을 보여준다.

제5절 라돈의 측정방법 및 유의사항

1. 라돈의 측정방법

국립환경과학원의 실내공기질 공정시험기준에 의하면 측정장비는 거실중앙 벽에서 약30Cm 떨어뜨리고 바닥면으로부터 1.2-1.5m 높이에서 실시하며 48시간 밀폐(공동주택)/90일 환기 가동상태(다중이용시설)된 상태를 측정해야 한다고 되어 있다. 이는 환경부령 제681호 실내공기 질 관리법 시행규칙으로 규정되어있다.

2. 라돈의 기준 허용치

국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection)의 국가별 라돈 기준허용치 기준에 의하면, 세계보건기구(WHO)의 주택을 대상으로 한 라돈기준허용치는 100Bq/m³, 미국환경보호청의 주택 및 학교의 기준허용치는 148Bq/m³, 대한민국의 환경부 권고 기준의 다중이용시설 기준허용치는 148Bq/m³, 주택을 대상으로 한 기준치는 200Bq/m³이다.

< (참고) 국내·외 주택 라돈농도기준 >

1. 세계보건기구(WHO) : 100 Bq/M3 (베크렐)
2. 미국환경보호청 : 148 Bq/M3 (베크렐)
3. 한국(다중이용시설) : 148 Bq/M3 (베크렐)
4. 한국(주택시설) : 200 Bq/M3 (베크렐)

국가	기준(Bq/m ³)	대상	국가	기준(Bq/m ³)	대상
WHO	100	주택	영국	200	기존주택
ICRP'	300	주택		100	신축주택
한국	148	다중이용시설	스웨덴	200	기존주택
	200	공동주택		200	신규주택
미국	148	주택, 학교	핀란드	400	기존주택
독일	100	주택	체코	200	신규주택

* 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection)

표 5. <국내·외 주택 라돈 농도기준>

3. 라돈 측정 시 유의사항

AirChek. Inc. 라돈닷컴(Radon.com)은 라돈 측정 시 몇 가지 주의해야 할 사항을 경고했다. 많은 소비자들이 라돈측정기를 바로 석재 위에 올려놓고 측정을 하거나 밀폐된 용기 내부에 기계를 위치 한 채로 측정을 하는데 이런 측정 방법은 과도한 수치가 측정될 수 있으며 정확하지 않은 결과를 초래 할 수 있다고 주장한다.¹³

석재가 라돈가스 검출에 영향을 끼치는지 여부를 확인하려면 집안 여러 곳의 석재가 시공된 장소와 그곳으로부터 6m 이상 떨어진 곳에 석재가 사용되지 않은 장소를 선정하여 동시다발적으로 일정시간 동안 측정을 하여 검출된 수치에 차이 유무를 확인해야 한다. 만약 석재가 있는 곳의 수치가 더 높게 나온다면 석재로부터 라돈가스가 나오는 것으로 의심해 볼 수 있다고 언급하였다.¹⁴

WHO 실내 라돈핸드북에 의하면 라돈 측정 시 토론의 영향을 반드시 제외 시키도록 하였고 측정장비를 자재로부터 20cm이상 띄워 측정토록 권고하였다. 국내에서 개발한 라돈측정기인 라돈아이 사용설명서에 의하면 벽, 창문, 바닥으로부터

¹³Marszalek, D. (2014) '화강석과 라돈의 신화' -National Stone institute 발췌

¹⁴ Check, A. (2018) '화강석과 라돈' - Radon.com 발췌

50cm이상 띄워 측정토록 하였다. 라돈아이는 라돈과 토론을 구별하지 못하는 점도 고려해야 한다고 하였다.

환경부 공인 측정장비인 라드세븐(RAD-7)은 라돈과 토론을 분리하여 측정할 수 있는 장비로서 같은 재료를 대상으로 라돈아이 측정치와 라드세븐(RAD-7) 측정치를 비교할 때 10배 이상의 차이도 발생한다.

이런 차이가 발생하는 이유는 두 측정기는 검출방식부터 라돈의 유입방식, 측정주기 등 많은 부분부터 다르기 때문이다. 특히 라돈아이는 라돈과 토론을 구분하지 않는 반면 라드세븐은 이를 구분하여 측정한다.

제3장 석재의 라돈 발생량

제1절 석재의 라돈

석재의 경우 라돈보다는 토론의 방출량이 대부분이다. 토론은 라돈과 달리 반감기가 55초로 짧아 이동거리가 수 센티미터로 흡입으로 인한 인체에 끼치는 영향이 적다는 것이 관련기관의 연구결과이다.

세계보건기구(WHO)의 실내라돈 핸드북을 보면 측정 시 반드시 토론의 영향을 제외 시키도록 하고 있으며 측정장비를 자재로부터 20cm이상 띄워서 측정토록 하고 있고, 국내장비인 라돈아이 역시 우측하단 사용설명서에 50cm이상 띄워서 측정토록 하고 있다. 이는 라돈농도를 측정하기 위해 토론의 영향을 배제하기 위한 최소한의 방법이기 때문이다.

라돈과 토론이 분리 가능한 라드세븐(RAD7)이라는 장비를 이용하여 측정한 결과와 라돈아이의 측정결과를 비교해보면 석재와 접촉하여 측정한 측정치를 100이라 한다면 토론이 95.4% 라돈이 4.6%로 나타났고 10cm이상 이격하여 측정 시 토론+라돈의 총량수치는 10% 수준으로 떨어지고 라돈의 농도도 전체 농도의 1.3%에 불과하다는 시험결과가 나왔다.

1. 미국석재의 라돈 조사

2009년 미국석재협회에서는 주방용 석재의 화강석 라돈방출에 대하여 소비자들의 불안감을 해소하기 위하여 Home Approved Stone Program 이라는 대책 안으로 미국시장으로 반입되는 모든 석자재를 검사 후 기준치 이하로 합격한 석제품만 납품할 수 있도록 계획하였다 (Stoneworld, 2009). 미국 석재회사에서 단독으로 라돈수치 검사를 시행한 곳은 있었지만 미국환경건강공학연구소 (Environmental Health & Engineering, Inc.)에서 조사한 결과 천연석재는 실내라돈 수치에 크게 영향을 끼치지 않는다는 결론으로 이 대책 안은 효과적으로 이행되지 않았다.¹⁵

2. 미국석산의 방사선 조사

미국의 지질학회 2012년 통계에 따르면 미국의 석재 채취업 종사자는 약 1,500명으로 추산된다. 메사추세츠주의 캠브리지대학 환경건강 및 엔지니어링과 에서는 미국 화강암 석산의 라돈수치 노출위험성과 관련하여 미국의 석산 6곳에서 15일동안 라돈가스 수치를 검사한 결과, 한곳(Vermont)을 제외한 모든 곳에서 기준치 이하인 0.3pCi/L로 측정되었다. (미국의 라돈 기준치: 실외 0.4pCi/L, 실내 4.0pCi/L) 이 연구 결과는 대부분의 방사선 기체들은 환기가 잘되어 있는 환경에서 대부분의 방사선 가스가 공기 중으로 모두 희석된다는 것을 보여주고 있다.¹⁶

¹⁵미국석재협회 (2009) 'Home Approved Stone Programme 발표' - Stone World 사이트 발췌

¹⁶환경 건강 공학 연구소 '화강석광산에서의 라돈 노출' - National Stone Institute 사이트 발췌

3. 미국석재협회의 라돈에 대한 입장

당사에서 2018년 10월 22일 미국석재협회에 라돈과 관련하여 이메일로 질의하였다. 미국석재협회(Natural Stone Institute, Formerly Marble Institution of America) 소속인 스톤월드잡지사(Stone World Magazine)의 편집장 Jason Kamery와 협회산업연구와 정보관련부서 담당자인 Mike Lofin의 회신 내용이다. (p20, 미국석재 질의응답 참조).

미국에서는 라돈가스와 관련하여 미국석재인증프로그램(Home Approved Stone Program)을 계획하였는데, 이는 미국환경보호국(United States Environmental Protection Agency, US EPA)에서 화강석과 실내 라돈가스 수치는 직접적으로 큰 연관성이 없다는 결론을 내리면서 실행되지 않았다고 답변하였다. 또한 실내 라돈의 수치는 석재뿐 아니라 다양하고 복잡한 요인들에 의하여 영향을 받기 때문에 그 요인들에 대한 복합적인 고려가 필요하다고 언급하였다.

결론적으로 환기가 되는 일반가정의 실내환경 라돈검출은 인체에 무해하다고 결론지었다.

제2절 라돈과 관련한 소비자 질의와 관련기관의 응답 (아래 표 참조)

최근 TV, 신문 및 인터넷 등에서 라돈의 심각성을 보도하여 소비자의 불안감이 높아짐에 따라 소비자가 정부관련기관에 라돈과 방사능에 대해 직접 질의하여 회신 받은 내용을 요약한 표이다. 대부분의 질의내용은 방송매체에서 보도한 화강석에서 방출한 라돈과 방사능에 대한 위험성이었으나, 관련 기관은 언론에서 보도된 실측 방법은 위험성을 과대평가 하였으며, 인체에 영향을 미칠 정도로 우려할 수준이 아니라고 회신하였다.

1. 한국원자력안전기술원 질의 및 응답

Q1) 소비자 질의	한국원자력안전기술원 응답
<p>집안 방사능(선) 치수와 관련해서 질의 드립니다. 요즘 언론에서 나오는 화강석 라돈과 방사선 수치를 보고 저희 집도 걱정이 되어 외부업체를 통해 방사능(선) 수치 측정을 했습니다.</p> <p>화강석이 있는 욕실과 현관에서 감마선이라고 하는 방사선이 0.6~1.2 마이크로 시버트/hr 정도로 측정됩니다만 이정도 수치면 인체에 어느 정도 유해한 건지요. 아이가 있어서 더 걱정입니다.</p> <p>욕실과 현관 석재를 교체해야 하나요? 연간 허용선량 1밀리시버트를 넘지 않으니 기준치 안에 들어온다고 판단해도 될까요?</p>	<p>욕실 표면에서 측정 시, 실제 욕실 사용위치에서 측정한 값보다 높게 측정됩니다.</p> <p>언론 보도된 방사선 계측기는 알파선, 베타선이 동시에 검출되므로 높게 측정됩니다. 우리나라 자연 방사선양도 평균3.1mSV정도이며, 자연 방사선양이 더 높은 해외의 경우에도 암 발병률은 별 차이가 없습니다.</p> <p>방사선 측정 시 사용시간과, 사용거리를 함께 고려해야 합니다.</p> <p>JTBC방송에서 얘기한 0.11μsv/hr는 24시간 365일 체류를 가정해서 만든 수치로, 극히 무리한 가정입니다.</p>

Q2) 소비자 질의	한국원자력안전기술원 응답
<p>얼마 전 jtbc 방송에 나온 라돈과 방사능 방출에 대해 얼마나 위험한가요? 저희 집 욕실에는 두께 4cm, 길이 1.5m, 폭 30~40cm의 석재에서도 1000~1200베크렐이 검출되는데 이 또한 폐질환을 걱정할 만큼 위험한 수치인가요? 라돈가스가 정말 위험하다면 저희 집뿐만 아니라 석재가 설치된 모든 아파트가 다 그럴텐데 24시간 상주하는 공간도 아닌데 방송처럼 석재를 철거하는 것이 맞는건가요? 또한 석재에 유리막 코팅을 같은 걸 하고 라돈아이로 측정 해 봤더니 수치가 현저하게 줄어들텐데 믿을 만한 건지도 궁금합니다.</p>	<p>라돈, 토론 반감기, 거동특성, 측정방법을 고려하면 장비의 수치는 거의 토론에 의한 영향입니다.</p> <p>토론은 비닐 한 장으로도 99% 차단됩니다.</p> <p>방송상의 측정값은 알파, 베타, 감마선이 모두 측정되어 위험성이 과대 평가되었습니다. 일상생활에서 방사선 측정 시 통상적으로 1m이상에서 측정하여야 합니다.</p> <p>국제적으로 방사선량률 기준은 없으며, 체류시간/거리를 함께 고려했을 때 우려할 수준은 아닙니다. 방사선피폭은 문제가 되는 지점에서의 체류 시간과 거리를 함께 고려하여야 하며, 이를 감안하면 실 생활을 할 수 없을 정도의 우려할 수준은 아니라고 판단됩니다. 폐질환 등의 인체 영향에 대한 사항은 한국원자력의학원에 문의하여 주시기 바랍니다.</p>

2. 한국원자력의학원 질의 및 응답

Q3) 소비자 질의	한국원자력의학원 응답
<p>요즘 언론에서 나오는 화강석 라돈과 방사선 수치를 보고 저희 집도 걱정이 되어 외부업체를 통해 방사능(선) 수치를 측정했습니다. 욕실은 하루 1~2시간, 현관은 스쳐지나가는 곳이기에 연간 허용선량 1밀리 시버트를 넘지 않으니 기준치 안에 들어온다고 판단해도 되는 건지 문제가 없는지 궁금합니다.</p>	<p>질문자 분께서 말씀하신대로 욕실은 24시간 머무는 공간이 아니기에 연간 1mSv 권고기준이 적용되지 않으며, 인체에 영향을 미칠 정도가 아닐 것으로 판단됩니다.</p> <p>환경방사선 관련 내용은 원자력안전기술원에 문의해 보십시오.</p>

3. 미국석재협회 질의 및 응답

아래의 표는 미국 석재협회 (Natural Stone Institute)에 라돈가스와 관련하여 질의 한 내용으로 미국 내 유사한 사례와 그에 따른 대처 방안에 대해 질문하여 응답을 받은 내용이다.

<p>2018.10.22 김도경 발송</p>	<p>Dear Mr. David,</p> <p>Hi my name is Kim working in stone industry in Korea. Recently Radon gas is kind of issue in Korea, I was researching about it and I read one article from your magazine Stone world. It was about Home Approved Stone programme in 2009 Jan. (https://www.stoneworld.com/articles/85404-mia-launches-home-approved-stone-program)</p> <p>I am writing this email to know more about this programme, it said Marble Institute of America(MIA) president Guido Gliori announced this programme would carry out from 2009. However I could not find any information after this announcement. So I would like to know whether this scheme actually carried out in the USA or not.</p> <p>I am looking forward your reply.</p> <p>Best regards , Kim</p>	<p>간단한 자기소개와 함께, 현재 한국에서 라돈가스에 대한 이슈로 인해 미국석재협회에 기고된 *Home Approved Stone 프로그램 기사를 보고 이에 대한 더 많은 내용을 얻기 위해 이메일을 발송함</p> <p>*Home Approved Stone 프로그램이란?</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2008년 미국에서 화강석 주방상판에서 라돈가스 검출이 보고된 이후, 미국석재협회에서 계획한 프로그램으로 실내 내부에 납품하는 모든 석재판재를 라돈가스 실험 후 기준치 합격을 받은 제품만 소비자들에게 납품하겠다는 방침
------------------------------	---	---

<p>2018.10.22 Jason Kamery 회신</p>	<p>Hello Kim,</p> <p>My name is Jason, I am the managing editor of Stone World magazine. They did the program for a while out here in the USA along with some other informational pieces about radon and granite. Here are some examples of the MIA's (now the Natural Stone Institute) pieces on radon and granite: https://www.naturalstoneinstitute.org/about/news/press-releases/2014/032714/ https://www.naturalstoneinstitute.org/consumers/radon/</p> <p>For any other general questions you may have about them, they have a general info email address of: info@naturalstoneinstitute.org</p> <p>Out of curiosity, what is the issue Korea is facing with radon gas?</p> <p>Thanks, Jason</p>	<p>스톤월드라는 잡지사의 편집장 Jason Kamery씨의 회신</p> <p>미국에서 문의한 프로그램을 초반에 시행하였다고 대답하며 라돈가스와 화강석에 관한 글이 실려있는 웹사이트를 보내줌.</p> <p>더 많은 정보를 얻을수 있는 미국석재협회의 다른 이메일을 알려주며 대한민국의 라돈가스 이슈에 대해 물어봄.</p>
---	--	--

<p>2018.10.22 김도경 발송</p>	<p>Dear Jason</p> <p>Thank you for your prompt reply. I will ask to information center of natural stone institute that you gave me. thanks</p> <p>Recently we have " Radon Mattress Scandal ", so everybody was panic. (http://nwww.koreaherald.com/view.php?ud=20180517000732)</p> <p>And now there is an one tenant use Radon Eye detector at his house and he found out in his bathroom cover with granite, it shows around 3000 becquerels. This figure is too high so he reported to construction company and mass com. when the construction company checked it almost whole building has same problem like his flat.</p> <p>Now few construction company decided not to use stone in indoor. So I am wondering if there is any similar issues in the USA or when this kind of problem appeared how would you guys solved this. If you have any information about this , please let me know. It would be highly appreciate it !!</p> <p>Best regards Kim</p>	<p>감사인사와 함께 현재 대한민국에서 일어난 라돈침대 파문과 화강석 욕실상판에 대해 설명해주며 비슷한 사례가 미국에도 있었는지 질문함</p>
------------------------------	---	---

<p>2018.10.23 Jason Kamery회신</p>	<p>Kim,</p> <p>No problem. The Natural Stone Institute will definitely help you out they have a lot of information about it.</p> <p>We had a radon scare out here for a little while because if you try to test granite with a radon tester, yes it will come back that it emits radon. The thing is, if you test radon on certain foods, like a banana, it has radon. And that's something you eat. In the USA in our soil around our house, there is radon, more so than what is in your granite countertop.</p> <p>The way it was generally solved was through education to the consumer. Saying, yes there is radon in things but there is radon is all things, including the atmosphere. But the Natural Stone Institute has a lot of information about radon and information about how much stone admits radon and it should really help you out.</p> <p>If you ever need anything else, don't hesitate to reach out,</p> <p>Jason</p>	<p>라돈과 관련하여 앞서 문의한 질문에 대해 미국석재협회에서는 적극적으로 도와줄 것일 이야기함. 미국 내에서도 짧은 기간동안 석재 주방상판에서 라돈가스 배출에 대한 우려의 목소리가 있었으나, 라돈은 모든 식품에서도 배출되며 자연방사선 물질인 것으로 증명하여 논란을 해결하였다.</p> <p>이에 미국에서는 소비자들에게 정확한 정보전달과 교육을 함으로써 문제를 해결하는 것이 중요하다고 설명하였다. 더 많은 정보는 "Natural Stone Institute" 사이트에서 볼 수 있다고 얘기하면서 끝맺음.</p>
--	--	--

<p>2018.10.22 김도경 발송</p>	<p>From: DoKyung Kim [mailto:kimdo1207@gmail.com] Sent: Monday, October 22, 2018 3:00 PM/To: Mike Loflin <Mike@naturalstoneinstitute.org>Subject: Inquiring about article</p> <p>Hi my name is Kim working in stone industry in Korea. Recently Radon gas is kind of issue in Korea, I was researching about it and I read one article from your magazine Stone world.</p> <p>It was about Home Approved Stone programme in 2009 Jan. (https://www.stoneworld.com/articles/85404-mia-launches-home-approved-stone-program)</p> <p>I am writing this email to know more about this programme, it said Marble Institute of America(MIA) president Guido Gliori announced this programme would carry out from 2009.</p> <p>However I could not find any information after this announcement.</p> <p>So I would like to know whether this scheme actually carried out in the USA or not.</p> <p>I am looking forward your reply.</p> <p>Best regards</p>	<p>Jason Kamery 씨가 소개해준 석재협회 이메일을 같은 내용으로 질의함</p>
------------------------------	---	---

<p>2018.10.22 Mike Loflin 회신</p>	<p>Kim,</p> <p>The Home Approved Stone program was never launched and formally ended in late 2009, due to studies and models completed by EH&E in 2008 showing that the contribution to indoor radon levels by natural stone products were negligible. There are, however, some companies that have pursued this on their own, and do measure at least a sample population of their slab material. The protocol by which they do this is self-developed, and will differ between specific companies.</p> <p>All our radon and radiation information and test results are available to you and posted on https://www.naturalstoneinstitute.org/radon/.</p> <p>Thank you for your inquiry.</p> <p>Mike Loflin <i>Industry Research & Information Manager</i> Natural Stone Institute 380 East Lorain Street · Oberlin, OH · 44074 440-250-9222/FAX:440-774-9222 www.naturalstoneinstitute.org / www.usenaturalstone.com / #usenaturalstone</p>	<p>석재협회 산업연구와 정보관련 부서 매니저인 Mike Loflin에게 질의한 프로그램은 미국환경보호국에서 화강석과 실내의 라돈가스 수치는 큰 연관성이 없다고 결론내리면서 실행되지 않고 2009년도 종결처리하였다고 설명함. 몇 미국회사에서 단독으로 석재 슬랩을 가지고 라돈가스 검출을 한 곳도 있다고 함.</p> <p>라돈에 대한 더 많은 정보가 있는 웹사이트를 알려줌.</p>
--	---	--

<p>2018.10.22 김도경 발송</p>	<p>Dear Mike</p> <p>Thank you for your kind reply. It was very helpful.</p> <p>The reason why ask about this scheme Recently we have " Radon Mattress Scandal ", so everybody was panic. (http://nwww.koreaherald.com/view.php?ud=20180517000732) And now there is an one tenant use Radon Eye detector at his house and he found out in his bathroom cover with granite, it shows around 3000 becquerels. This figure is too high so he reported to construction company and mass com. when the construction company checked it almost whole building has same problem like his flat.</p> <p>Now few construction company decided not to use stone in indoor. So I am wondering if there is any similar issues in the USA or when this kind of problem appeared how would you guys solved this. If you have any information about this , please let me know. It would be highly appreciate it !!</p> <p>Best regards Kim</p>	<p>감사인사와 함께 현재 대한민국에서 일어난 라돈침대 파문과 화강석 욕실상판에 대해 설명해주며 비슷한 사례가 미국에도 있었는지 질문함</p>
------------------------------	--	---

<p>2018.10.22 Mike Loflin 회신</p>	<p>High levels of radon in condos is a common problem. Many studies have been published about the 'stack effect' found in high rise buildings. I've attached one study. There are many others.</p> <p>As stated previously, EH&E's studies showed that stone's contribution to indoor radon levels were negligible. Many construction materials off-gas adding to radon levels in the home. For more information, please see: https://www.cdc.gov/nceh/radiation/building.html.</p> <p>The major source of radon is the soil beneath one's house. Radon typically moves up through the ground to the air above and into the home through cracks and other holes in the foundation. This information is presented for consumers by the U.S. EPA. See: https://www.epa.gov/radon.</p> <p>Mike Loflin Natural Stone Institute</p>	<p>실내에서의 높은 라돈가스 검출은 흔히 보이는 문제중 하나이며 고층빌딩의 굴뚝효과에 대해 많은 연구가 있다고 설명함 (굴뚝 효과(Stack effect)란, 고층 건축물이나 굴뚝, 가스관 등에서 부력에 의해 공기가 흐르는 현상이다. 부력은 온도와 습도 차이에서 발생하는 실내와 실외의 공기 밀도 차에서 발생하며, 이것은 양 또는 음의 방향을 가지는 힘으로 나타난다).</p> <p>또한 이미 미국환경국에서 결론지은 내용을 다시 언급하면서 많은 건축자재들이 라돈가스의 수치를 올릴수 있다고 설명.</p> <p>라돈의 주요 근원지는 주거지 땅속 토양이며 라돈가스 자체는 땅아래에서 위로 상승해 건물의 틈새사이나 구멍으로 스며들어온다고 설명함. 이에 대한 자세한 내용은 미국환경보호국 사이트에서 얻을수 있다고 함.</p>
--	---	--

4. 전문기관 시험의뢰 결과와 라돈아이 측정결과 차이

아래의 표는 5가지 석종을 데코스톤에서 라돈아이로 측정한 것과 전문기관에 의뢰하여 RAD7으로 측정한 수치를 비교한 표이다. 결과적으로 라돈아이와 전문기관의 측정 수치는 5가지 석종 모두 크게 차이가 나며, 이는 라돈아이가 라돈만 단독으로 측정하는 것이 아니라 다른 방사선까지 측정하는 기계임을 나타낸다 (참고1. 시험결과 사본 참조).

구분	석종명	전문 기관			라돈아이 (Bq/m ³)	차이 (Bq/m ³)
	원산지	라돈 (Bq/m ³)	토론 (Bq/m ³)	합 계		
1	임페리얼브라운	15.9	17	32.9	188	155.1
	브라질					
2	오이스터펄	18.2	371	389.2	510	120.8
	인도					
3	산타세실리아	17.7	11	28.7	146	117.3
	브라질					
4	비작그레이	26.7	44	70.7	203	132.3
	중국					
5	델리카토 브라운	18.4	4.9	23.3	125	101.7
	오만					

표 6. <5가지 석종의 전문기관과 ‘라돈아이’ 라돈수치 비교표>

제4장 라돈에 대한 정부대응 문제점 및 대책

제1절 정부대응 문제점

1. 정부의 라돈 관리체계 문제

선진국은 생활방사선을 통합관리하지만 우리나라는 방출 처에 따라 담당부처가 달라 관리체계가 확립되어 있지 않다. (아래 도표 참조)

	라돈 등 생활방사선 안전관리 체계
미 국	* 연방 정부가 1990년대부터, 전국 가정에 라돈 측정 권고 * 통합적 '연방라돈 실행계획(Federal Radon Action Plan)' 수립(2011)
독 일	* '방사선방호령(Strahlenschutzverordnung, StrlSchV)' 실시(2004~) * 연방환경부(BMU)가 수송을 제외한 모든 사항 통합 관리
스위스	* '국가 라돈 관리 대책(National Action Plan concerning Radon 2012-2020)' 수립 관리
영 국	* 방사선방호위원회(National Radiological Protection Board)로 생활방사선 측정 및 분석, 교육 등 통합 관리
프랑스	* 지방정부 환경보호규제부국에서 관리
대한민국	* 방사선 원료물질의 라돈 관리 - 원자력 안전위원회 '생활방사선법' * 실내 라돈 공기질 관리 - 환경부 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법' * 주택 건축물의 라돈 관리 - 국토교통부 '주택건설기준 등에 관한 규정' '건강친화형 주택 건설기준' * 학교 교실 내 라돈 관리 - 교육부 '학교보건법'

출처: 국회 입법조사처

표 7. <세계 주요국 라돈 등 생활방사선 통합관리 실태>

2. 건축자재 라돈방출량 측정방법 및 품질관리기준 문제

현재 우리나라 법규는 실내공기 중 라돈측정 기준만 제시하고 있고 건축자재 라돈방출량 평가방법은 없다.

환경부에서 건축자재 라돈 방출량 시험방법을 만들고 국토교통부에서 건설자재 품질관리기준 제정이 필요한 상황이나 정부 부처간 협조미흡으로 법제화에 난항을 겪고 있다.

제2절 대책

결론적으로 국민의 건강증진을 위해 선진국의 사례를 참조하여 생활방사선을 통합관리 할 수 있는 체계를 마련해야 한다.

제5장 결 론

본 보고서는 현재 사회적으로 문제가 되고 있는 석재에서의 라돈 방출과 관련한 내용들을 조사하기 위한 것이며, 방사성 기체의 일종인 라돈과 우리 생활과의 밀접한 관계에 대하여 알아보았다.

또한 라돈 관련 문제에 대하여 정확한 이해와 정보 전달을 위하여 국내외의 연구, 현재 문제가 되고 있는 라돈 사태와 비슷한 해외사례가 있는지 조사하였다. 해외에서는 상당히 오래 전부터 수행된 라돈의 자연 발생적 특성과 함께 허용기준, 일상생활과의 밀접, 연관성에 대한 여러 연구사례가 있기 때문에 이 보고서는 아래와 같은 결론에 도달할 수 있었다.

첫째, 라돈은 자연발생적이다. 토양에 속해 있는 우라늄과 토륨에서 방출되는 기체이며 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 모든 것, 심지어 대기 중에도 희석되어 있다.

둘째, 라돈의 검출은 지리적, 지질적, 기후 등 자연적 요인이 크게 작용할 수 있다.

셋째, 주거지의 형태, 설계방식, 건축자재, 건설방식과 같은 다양한 요인들이 실내 라돈의 검출에 종합적으로 영향을 미칠 수 있다.

넷째, 정확하고 올바른 표준화를 통해 라돈의 측정과 석재의 사용 등 라돈의 실내 검출을 충분히 해소하고 문제를 해결 할 수 있다.

상기 사항들을 바탕으로 국내의 자연적, 비자연적 요인과 표준에 근거한 적절하고 정확한 연구가 선행되어야 한다. 일부 대중 매체에서 보여준 부정확하고 일관성이 없는 라돈 측정방법과 그릇된 정보들은 소비자들의 불안만 가중 시킬 뿐 근본적 해결방안을 제시하지 못하고 있다. 후속 연구 시 보다 양적이고 정확한 정보들의 축적과 명확하고 일관된 기준의 설정이 요구된다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

연합뉴스. (2013). 세계에서 2 번째로 라돈 수치가 높은 대한민국. [online]
Available at: <https://en.yna.co.kr/view/AEN20131014003000315> [Accessed 22 Oct. 2018].

동아사이언스. (2018). 정말 건강위협? 라돈 침대, 그것이 궁금하다.. [online]
Available at: <http://dongascience.donga.com/print.php?idx=22414>
[Accessed 19 Nov. 2018].

김창규., 이승찬., 이동명. 창병역. (2003). 대한민국 라돈 수치 조사. [online]
Health Physics, pp.354-360. Available at:
https://www.researchgate.net/publication/7890596_Nationwide_survey_of_radon_levels_in_Korea [Accessed 4 Oct. 2018].

김은영, (2018). 신문은 선생님, 재미있는 과학 "라돈".[online]
Srchdb1.chosun.com. Available at:
http://srchdb1.chosun.com/pdf/i_service/pdf_ReadBody.jsp?Y=2018&M=10&D=31&ID=2018103100068 [Accessed 5 Nov. 2018].

네이버 세스코 공식블로그, (2018). [라돈측정기] 세스코라돈안전센터가 7 일
라돈측정 서비스를 제공합니다.[online] Available at:
<https://m.blog.naver.com/cescomembers/221294333835> [Accessed 5 Nov. 2018].

2. 국외문헌

Alvarez, J. (2018). *Radon Analysis - Radon.com*. [online] Radon.com.
Available at: https://www.radon.com/radon_analysis/ [Accessed 24 Oct. 2018].

Bochicchio F, Campos Venuti G, Nuccetelli C, Piermattei S, Risica S,
Tommasino L, Torri G.(1997) Results of the representative Italian national
survey on radon indoors. Health Phys 1997; 71(5): 741-748.

Bochicchio F, Campos Venuti G, Piermattei S, Torri G, Nuccetelli C, Risica S,
Tommasino L.(1999) Results of the National Survey on Radon Indoors in
all the 21 Italian Regions. Proceedings of Radon in the Living Environment
Workshop, Athens, April 1999

- Bochicchio, F., Bucci, S., Bonomi, M., Cherubini, G., Giovani, C., Magnoni, M., Minach, L. and Sabatini, P. (1999). Areas with high radon levels in Italy. [online] Pdfs.semanticscholar.org. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/60b7/f443b67790f9a205424660108e3a9a78ca29.pdf> [Accessed 5 Nov. 2018].
- Cameron, V. (2012). *Study finds radon link to geology*. [online] BBC News. Available at: <https://www.bbc.co.uk/news/world-europe-jersey-19686157> [Accessed 24 Oct. 2018].
- Check, A. (2018). *Granite and Radon – Radon.com*. [online] Radon.com. Available at: <https://www.radon.com/granite/> [Accessed 2 Oct. 2018].
- Chiaberto, E., Magnoni, M., Serena, E., Procopio, S., Prandstatter, A. and Righino, F. (2012). Radon potential mapping in Piemonte (North-West Italy): An experimental approach. EPJ Web of Conferences, 24, p.06003.
- El-Dine, N., El-Shershaby, A., Ahmed, F. and Abdel-Haleem, A. (2001). Measurement of radioactivity and radon exhalation rate in different kinds of marbles and granites. Applied Radiation and Isotopes, 55(6), pp.853–860.
- Gundersen LCS, Schumann RR. Mapping the radon potential of the United States: examples from the Appalachians. Environ Int 1996, 22: S829–S837.
- Hulka J, Fojtikova I, Borecky Z, Tomasek L, Burian I, Thomas J.(1997) Indoor radon risk mapping in the Czech Republic. Presented at the European Conference on Protection Against Radon at Home and at Work. Praha 10: National Radiation Protection Institute; Czech Republic, 1997.
- Hunt, B. (2010). *Ask the expert: Radon gas in granite*. [online] Stone Specialist. Available at: <https://www.stonespecialist.com/news/health-safety-ethical-environmental/ask-expert-radon-gas-granite> [Accessed 22 Oct. 2018].
- Inspections, P. (2018). *Radon Levels in South Korean Homes are 2nd Highest in the World / Pristine Inspections & Testing*. [online] Pristinehomeinspections.com. Available at: <https://www.pristinehomeinspections.com/radon-levels-in-south-korean-homes-are-2nd-highest-in-the-world/> [Accessed 22 Oct. 2018].
- Marszalek, D. (2014). *Granite and Radon Myths*. [online] Natural Stone Institute. Available at:

- <https://www.naturalstoneinstitute.org/consumers/radon/> [Accessed 20 Oct. 2018].
- Miles J.(1998) Mapping radon-prone areas by lognormal modelling of house radon data. *Health Phys* 1998; 74(3): 370-378.
- Miles, J. (2007). *Indicative atlas of radon in England and Wales*. Didcot: Health Protection Agency, Radiation Protection Division.
- Murphy, K. (2008). *What's Lurking in Your Countertop?* [online] *Nytimes.com*. Available at: <https://www.nytimes.com/2008/07/24/garden/24granite.html> [Accessed 12 Oct. 2018].
- Natural Stone Institute. (2014). *MIA Releases Two New Radon/Radiation Studies*. [online] Available at: <https://www.naturalstoneinstitute.org/about/news/press-releases/2014/032714/> [Accessed 3 Oct. 2018].
- Radon Exposures in a Granite Quarry. (n.d.). 1st ed. [ebook] ENVIRONMENTAL HEALTH & ENGINEERING, INC. Available at: https://www.naturalstoneinstitute.org/default/assets/File/consumers/Radon_Exposures_in_Granite_Quarry.pdf [Accessed 26 Oct. 2018].
- Radon.com. (2018).Who We Are – Radon.com. [online] Available at: https://www.radon.com/corp_info/ [Accessed 6 Nov. 2018].
- Stone World. (2009). *MIA launches Home Approved Stone programme*. [online] Available at: <https://www.stoneworld.com/articles/85404-mia-launches-home-approved-stone-program> [Accessed 17 Oct. 2018].
- Snyder, O. (2006). A STUDY OF THE CLEANABILITY OF MARBLE AND GRANITE COUNTERTOP MATERIALS.Hospitality Institute of Technology and Management.
- The Mercury News. (2009). *Worries about granite countertops*. [online] Available at: <https://www.mercurynews.com/2009/04/03/worries-about-granite-countertops/> [Accessed 8 Oct. 2018].
- Ukradon.org. (2018). *UKradon – UK maps of radon*. [online] Available at: <https://www.ukradon.org/information/ukmaps> [Accessed 24 Oct. 2018].

US EPA.(2018). *Radon-Resistant Construction Basics and Techniques / US EPA*. [online] Available at: <https://www.epa.gov/radon/radon-resistant-construction-basics-and-techniques> [Accessed 24 Oct. 2018].

US EPA.(2017). EPA Map of Radon Zones | US EPA. [online] Available at: <https://www.epa.gov/radon/epa-map-radon-zones> [Accessed 8 Oct. 2018].

참고(1) 전문기관 시험의뢰 결과 사본

*좌(Rn222 라돈)/ 우(Rn220 토론) 수치표기

www.haninuclear.co.kr

한일원자력(주)
HANIL NUCLEAR CO.,LTD.

시험결과

라돈
TEST RESULT

생략시번호 : HN/T-18-701N
(Report No.)

페이지 (2) / 총 (6)

5.1. 기기사항

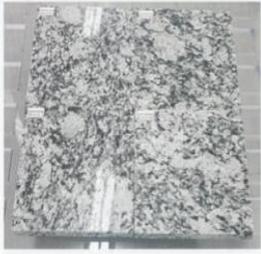
기기제조사/모델	제조일	고유(일련)번호	교정일자	기기점검사항
Duridge(USA), RAD7	2018. 06. 01.	4787	2018. 07. 21.	이상없음

5.2. 측정결과

시험항목 (Test Item)	결수번호 (Report No.)	시료구분번호 (Classification No.)	시료명 (Sample name)	시험결과 값 (Test result value)	단 위 (Unit)
²²² Rn	HN/T-18-701N	001	오이스터 껍	18.2	Bq/m ³

*의견 : 의뢰한 시험에 대해 토론 (²²⁰Rn)의 함유가 의심됨
과

시료구분번호 001



시료정보 : (15 × 15 × 2) cm × 4 EA

HNQP-22-03 Rev.1 한일원자력(주) A4 (210mm×297mm)

www.haninuclear.co.kr

한일원자력(주)
HANIL NUCLEAR CO.,LTD.

시험결과

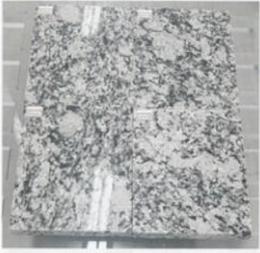
토론
TEST RESULT

생략시번호 : HN/T-18-R199
(Report No.)

페이지 (2) / 총 (6)

시험항목 (Test Item)	결수번호 (Report No.)	시료구분번호 (Classification No.)	시료명 (Sample name)	시험결과 값 (Test result value)	단 위 (Unit)
²²² Rn	HN/T-18-R199	001	오이스터 껍	371.0	Bq/m ³

시료구분번호 001



시료정보 : (15 × 15 × 2) cm × 4 EA

HNQP-22-03 Rev.1 한일원자력(주) A4 (210mm×297mm)

1) 오이스터 껍 시험결과

www.haninuclear.co.kr

한일원자력(주)
HANIL NUCLEAR CO., LTD.

시험결과
TEST RESULT

상위서번호 : HN/T-18-701N
(Report No.)

페이지 (4) / 총 (6)

5.1. 기기사항

기기제조사/모델	제조일	고유(일련)번호	교정일자	기기유효사항
Duridge(USA) RAD7	2018. 06. 01.	4787	2018. 07. 21.	이상없음

5.2. 측정결과

시험항목 (Test Item)	접수번호 (Report No.)	시료구분번호 (Classification No.)	시료명 (Sample name)	시험결과 값 (Test result value)	단 위 (Unit)
²²² Rn	HN/T-18-701N	003	산타 세실리아 라이트	17.7	Bq/m ³

시료구분번호 003



시료정보 : (15 × 15 × 2) cm × 4 EA

HNQP-22-03 Rev.1 한일원자력(주) A4 (210mm×297mm)

www.haninuclear.co.kr

한일원자력(주)
HANIL NUCLEAR CO., LTD.

시험결과
TEST RESULT

상위서번호 : HN/T-18-R199
(Report No.)

페이지 (4) / 총 (6)

시험항목 (Test Item)	접수번호 (Report No.)	시료구분번호 (Classification No.)	시료명 (Sample name)	시험결과 값 (Test result value)	단 위 (Unit)
²²² Rn	HN/T-18-R199	003	산타 세실리아 라이트	11.0	Bq/m ³

시료구분번호 003



시료정보 : (15 × 15 × 2) cm × 4 EA

HNQP-22-03 Rev.1 한일원자력(주) A4 (210mm×297mm)

2) 산타세실리아 라이트 시험결과

www.hanlunuclear.co.kr

한일원자력(주)
HANIL NUCLEAR CO., LTD.

시험결과
TEST RESULT

상차서번호 : HN/T-18-701N
(Report No.)

페이지 (5) / 총 (6)

5.1. 기기사항

기기제조사/모델	제조일	고유(일련)번호	교정일자	기기점검사항
Durridge(USA), RAD7	2018. 06. 01.	4787	2018. 07. 21.	이상없음

5.2. 측정결과

시험항목 (Test Item)	합수번호 (Report No.)	시료구분번호 (Classification No.)	시료명 (Sample name)	시험결과 값 (Test result value)	단 위 (Unit)
²²² Rn	HN/T-18-701N	004	비작 그레이	26.7	Bq/m ³

*의견 : 의뢰한 시험에 대해 표준 (²²²Rn)의 함유가 의심됨

시료구분번호 004



시료정보 : (15 × 15 × 2) cm × 4 EA

HNQP-22-03 Rev.1 한일원자력(주) A4 (210mm×297mm)

www.hanlunuclear.co.kr

한일원자력(주)
HANIL NUCLEAR CO., LTD.

시험결과
TEST RESULT

상차서번호 : HN/T-18-R199
(Report No.)

페이지 (5) / 총 (6)

시험항목 (Test Item)	합수번호 (Report No.)	시료구분번호 (Classification No.)	시료명 (Sample name)	시험결과 값 (Test result value)	단 위 (Unit)
²²² Rn	HN/T-18-R199	004	비작 그레이	44.0	Bq/m ³

시료구분번호 004



시료정보 : (15 × 15 × 2) cm × 4 EA

HNQP-22-03 Rev.1 한일원자력(주) A4 (210mm×297mm)

3) 비작 그레이 시험결과

www.hanulnuclear.co.kr

한일원자력(주)
HANUL NUCLEAR CO., LTD.

시험결과
TEST RESULT

상기시험번호 : HN/T-18-701N
(Report No.)

페이지 (6) / 총 (6)

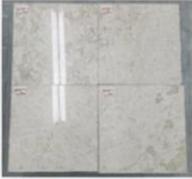
5.1. 기기사항

기기제조사/모델	제조일	교유(일련)번호	교정일자	기기유효사항
Duridgel(USA), RAD7	2018. 06. 01.	4787	2018. 07. 21.	이상없음

5.2. 측정결과

시험항목 (Test Item)	접수번호 (Report No.)	시료구분번호 (Classification No.)	시료명 (Sample name)	시험결과 값 (Test result value)	단 위 (Unit)
²²² Rn	HN/T-18-701N	005	델리카토 브라운	18.4	Bq/m ³

시료구분번호 005



시료정보 : (15 × 15 × 2) cm × 4 EA

HNQP-22-03 Rev.1 한일원자력(주) A4 (210mm×297mm)

www.hanulnuclear.co.kr

한일원자력(주)
HANUL NUCLEAR CO., LTD.

시험결과
TEST RESULT

상기시험번호 : HN/T-18-R199
(Report No.)

페이지 (6) / 총 (6)

시험항목 (Test Item)	접수번호 (Report No.)	시료구분번호 (Classification No.)	시료명 (Sample name)	시험결과 값 (Test result value)	단 위 (Unit)
²²² Rn	HN/T-18-R199	005	델리카토 브라운	4.9	Bq/m ³

시료구분번호 005



시료정보 : (15 × 15 × 2) cm × 4 EA

HNQP-22-03 Rev.1 한일원자력(주) A4 (210mm×297mm)

4) 델리카토 브라운 시험결과



시험성적서

1. 성적서 번호 : CT18-088798
2. 의뢰자
 - 업체명 : (주)일신석재
 - 주소 : 서울특별시 강동구 성내로19(성내동, 서경빌딩6층)
3. 시험기간 : 2018년 08월 13일 ~ 2018년 08월 22일
4. 시험성적서의 용도 : 거래처 제출용(제출처 : 포스코건설)
5. 시료명 : 대리석(엔텍브라운)
6. 시험방법
 - (1) 의뢰자제시 (비교참조)

재발급(R1)
일자 : 2018.08.30

119 8월 22일

7. 시험결과
 - 1) 대리석(엔텍브라운)

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비고
챔버내의 라돈 농도 (최대값)	Bq/m ³	(1)	29.4	(25.0 ± 1.5) °C 제습조건 (10 % R.H. 이하)
챔버내의 라돈 농도 (7일차 평균값)	Bq/m ³	(1)	16.5	(25.0 ± 1.5) °C 제습조건 (10 % R.H. 이하)
단위 질량당 라돈 방출량	Bq/kg·h	(1)	0.001	(25.0 ± 1.5) °C 제습조건 (10 % R.H. 이하)
단위 면적당 라돈 방출량	Bq/(m ² ·h)	(1)	0.020	(25.0 ± 1.5) °C 제습조건 (10 % R.H. 이하)

비고) 의뢰자제시 시험방법 : 석고보드에서 방출되는 라돈 시험방법(안)
 - 미국제 실내공기 오염물질 관리방안 연구(II) 연구보고서 pp 11-17 (국립환경과학원, 2010)
 - 시험챔버 : 20 L, SUS [취타트레이딩이엔지]
 - 측정장비 : RAD7 (DurrIDGE Co., S/N 4050)
 - 측정기간 : 168 h, 방출량 결과는 7일차(145 h ~ 168 h) 측정결과와 평균값을 적용하여 산출함(2018.08.14 ~ 08.21)
 - 시편정보 : (160 mm × 160 mm × 20 mm, 2매)
 참고) 4 pCi/L = 148 Bq/m³

확인	작성자 성명	이현열	이현열	기술책임자 성명	서영민	서영민
비고 :	1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다. 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다. 3. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.					

2018년 08월 22일

한국건설생활환경시험연구원



군포시험실 : 15845 경기도 군포시 공단로 149 1' VALLEY군포 805호 (031)389-9100
 결과문의 : 건축유해성평가센터 ☎ (031)389-9123

총 2페이지 중 1페이지

양식QP-20-01-05(6)





시험성적서

1. 성적서 번호 : CT18-111314_M1

수정발급(M1)

2. 의뢰자

일자 : 2018.11.07

○ 업체명 : (주)이안석건

○ 주소 : 서울특별시 송파구 총민로 52 (문정동, 가든파이브웍스) 6층 비617호

3. 시험기간 : 2018년 10월 22일 ~ 2018년 11월 05일

4. 시험성적서의 용도 : 거래처 제출용(제출처 : 포스코건설)

5. 시료명 : 화강석(뉴칼레도니아)

6. 시험방법

(1) 의뢰자제시 (비고참조)

7. 시험결과

1) 화강석(뉴칼레도니아)

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비고
챔버내의 라돈 농도 (최대값)	Bq/m ³	(1)	64.8	(25.0 ± 1.5) °C 제습조건 (10 % R.H. 이하)
챔버내의 라돈 농도 (7일차 평균값)	Bq/m ³	(1)	44.0	(25.0 ± 1.5) °C 제습조건 (10 % R.H. 이하)
단위 질량당 라돈 방출량	Bq/kg · h	(1)	0.001	(25.0 ± 1.5) °C 제습조건 (10 % R.H. 이하)
단위 면적당 라돈 방출량	Bq/(m ² · h)	(1)	0.047	(25.0 ± 1.5) °C 제습조건 (10 % R.H. 이하)

비고) 의뢰자제시 시험방법 : 석고보드에서 방출되는 라돈 시험방법(안)

- 미규제 실내공기 오염물질 관리방안 연구(II) 연구보고서 pp 11~17 (국립환경과학원, 2010)

- 측정장비 : RAD7 (Durrige Co., S/N 4050)

- 측정기간 : 168 h, 방출량 결과는 7일차(145 h ~ 168 h) 측정결과와 평균값을 적용하여 산출함

- 시편정보 : (150 mm × 156 mm × 36 mm, 2 매)

확인	작성자 성명	이현열	이현열	기술책임자 성명	강병철
비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다. 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다. 3. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.					

2018년 11월 05일

한국건설생활환경시험연구원장



군포시험실 : 15845 경기도 군포시 공단로 149 1' VALLEY군포 805호 (031)389-9100

결과문의 : 건축유해성평가센터 ☎ (031)389-9123

총 2페이지 중 1페이지

양식QP-20-01-05(6)

