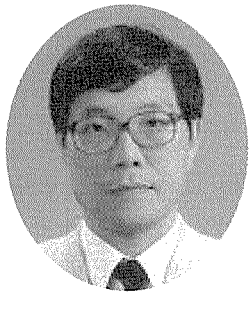
동 향

Depleted Uranium의 방사능



최 희 동
서울대학교 원자핵공학과 교수

I. 서 론

Depleted Uranium(DU)은 우라늄의 동위원소인 U235의 존재비가 천연의 존재비인 0.720% 이하로 줄어든 우라늄을 일컫는다. 우리 용어로는 열화(劣化)우라늄이라 부르며[1,2], 핵연료로 사용되는 자연우라늄 또는 농축우라늄이 핵분열에 의해 연소되어 연소 전보다 U^{235}의 존재비가 낮아진 우라늄을 감손(減損)우라늄으로서 열화우라늄과 구분하여 부르기도 하나[1] 둘 다 Depleted Uranium에 해당된다. 열화우라늄은 주로 핵연료물질 관련기관 또는 우라늄 농축 및 재처리 산업체에서의 취급과 관심 영역에 속하던 것이었으나, 열화우라늄 무기(Depleted Uranium Munition)로서 걸프전에서 탱크나 장갑차를 파괴하는 우수한 성능을 보인 이후 점차 일반 대중의 관심 영역으로 들어 오게 되었다. 국내에서도 2000년 5월을 전후하여 경기도 화성군 우정면 매향리의 쿠니 사격장에서 미 공군이 열화우라늄 포탄을 연습사격에 사용했다는 의혹이 그 지역 주민들에 의해 제기되면서 일반 국민의 관심과 뉴스[3]가 되었던 적이 있다. 더구나 걸프전에의 참전용사 중 일부가 귀환 후 수 년이 지나 불면증, 신장질환, 백혈병, 폐암이나 자식에의 유전적 이상 등 소위 "걸프전 증후군(Gulf War Syndrome)"을 호소하였고, 1999년 발칸반도의 Kosovo 전쟁으로부터도 유사한 "발칸 증후군"이 우려되는 상황에 있다. 이러한 증세들은 열화우라늄에 대한 병사들의 노출, 전장의 우라늄 오염 및 확산 등에 기인하여 상해 효과로서 나타났다는 주장이 제기되었고, 또한 미국과 영국에서는 이러한 문제에 대해 법적 소송절차가 진행되는 상황에 이르게 됨으로서 어떤 형태이든 그 원인에 대한 명확한 해답과 대책이 예상되는 시점에 있다. 본 원고에

서는 우리의 상황이 걸프전이나 Kosovo전의 직접적인 이해 당사자가 아님에도 불구하고 매향리에서의 의혹과 같은 형태로서 향후에도 지속적으로 제기될 수 있을 것인 점을 감안하여, 열화우라늄의 특성을 살펴보고 방사능에 관련된 문제들에 있어 잘 알려진 부분과 여전히 불확실한 점들을 정리해 보고자 하였다.

II. 열화우라늄의 특성

우라늄은 지표상에 1 ~ 4 gram/metric-ton 수준으로 자연적으로 존재하며, 지구만큼이나 오래전에 생성된 원소로서 자연적 원소 중에서는 가장 큰 원자번호(92)와 원자량(238.029)를 가진다. 우라늄은 피치블렌드(pitchblende)라는 광석에 포함되어 있으며 채광과 정련 등의 과정을 거쳐 UO_2, UF_6 등의 변환된 형태로 얻어진다. 순수 우라늄은 은회색의 금속형태이며 비중이 18.9 g/cm^{3}로서 납(11.35 g/cm^3)보다 크고, 텅스텐(19.3 g/cm^3)에 버금간다. 화학적으로 불안정하여 반응성이 매우 높으며 공기 중에 노출되면 표면이 바로 산화하여 흑색으로 변화된다. 특히 미세분말의 우라늄 금속은 자발적으로 발화하는 특성(pyrophoricity)을 지닌다. 천연우라늄은 U^{234}(0.0053%), U^{235}(0.71%), U^{238}(99.285%)의 동위원소로 이루어져 있다. 이중에서 U^{235}는 핵분열성 물질(fissile material)이나 이를 원자력 발전 또는 연구용 원자로의 핵연료에 사용하기 위해서는 자연 존재비가 낮으므로 이를 3.0% 정도 또는 그 이상으로 농축하여 사용하게 되며, 원자폭탄에의 응용에는 90% 이상으로의 고농축이 요구된다. 농축의 방법은 여러 가지가 있으나 대량 생산에는 기체확산법 또는 원심분리법이 주로 응용되고, 상온에서 고체이나 57℃ 이상에서 기체 상태인 UF_6를 이용한다. 이 과정의 한쪽 편에서는 농축된 UF_6, 다른 편에서는 열화(劣化)된 UF_6가 얻어진다. 농축/열화과정에서는 비용상의 이유로 U^{235}의 열화(劣化)를 0%까지 진행시키지 않는다. 따라서 천연우라늄의 농축으로부터 얻어지는 열화우라늄(Depleted Natural Uranium 열화 천연우라늄:DNU)에서 U^{235}의 존재비를 열화도(tails assay)라 하며 0.2 ~ 0.3% 수준이다. DNU는 U^{238}이 99.7~ 99.8%로서 대부분을 차지하나, 또한 0.2 ~ 0.3% 수준의 U^{235}와 0.001% 수준의 U^{234}를 포함한다. 열화우라늄이 얻어지는 또다른 방법은 천연우라늄을 농축하는 대신 원자로에서 연소가 진행된 핵연료를 재처리하여 얻어진 우라늄을 농축 사용함으로서 얻는 것(Depleted Recycled Uranium 열화 재처리우라늄: DRU)이다. 재처리 우라늄에서 얻어진 열화우라늄은 핵연료의 연소 과정에서 중성자 흡수로 만들어지는 U^{236}을 반드시 포함하며 그 함량 수준은 사용된 핵연료의 초기 농축도와 연소도에 따라 달라진다.

III. 열화우라늄의 방사능

우라늄의 동위원소 U^{238}, U^{235}는 모두 (-붕괴를 거쳐 우라늄, 악티늄 계열의 무거운 방사성 핵종들로 각각 붕괴해 간다. U^{234}는 U^{238}의 (-붕괴 산물이며 그 자신 또한 (-붕괴를 한다. U^{234}, U^{235}, U^{238}의 반감기는 각각 2.46(10^5년, 7.04(10^8년, 4.47(10^9 년이다. DNU의 경우 U^{238}의 방사능은 전체 방사능의 약 85%를 차지하며, 농축/열화의 과정에서 U^{238}의 붕괴 산물인 딸핵종들이 모두 제거되고 새로이 방사평형 과정이 시작된다고 볼 수 있다. 표 1, 표 2, 표 3은 각각 천연우라늄, DNU, DRU의 성분과 비

표 1. 천연우라늄(NU)의 우라늄 동위원소 성분과 비방사능

	U-234	U-235	U-238	합계
존재비 %	0.0053 %	0.71 %	99.285 %	100 %
방사능 %	48.9 %	2.2 %	48.9 %	100 %
1g NU 방사능	12,356 Bq	568 Bq	12,356 Bq	25,280 Bq

표 2. 열화 천연우라늄(DNU)의 우라늄 동위원소 성분과 비방사능
(3.5% 농축 부산물, 열화도 0.2%)

	U-234	U-235	U-238	합계
존재비 %	0.0009 %	0.2 %	99.799 %	100 %
방사능 %	14.2 %	1.1 %	84.7 %	100 %
1g DNU 방사능	2,076 Bq	160 Bq	12,420 Bq	14,656 Bq

표 3. 열화 재처리우라늄(DRU)의 우라늄 동위원소 성분과 비방사능
(초기 핵연료 3.5% 농축, 연소도 39 GWd/tHM, 인출후 5년 저장,열화도 0.2%)

	U-232	U-233	U-234	U-235	U-236	U-237	U-238	합계
존재비 %	-	-	0.002 %	0.2 %	0.227 %	-	99.571 %	100 %
방사능 %	-	-	20 %	0.71 %	24.1 %	-	55.2 %	100 %
1g DRU 방사능	-	-	4,485 Bq	160 Bq	5,429 Bq	-	12,396 Bq	22,470 Bq

방사능을 보인 것이다.[4]

DU가 만들어진 후 약 10,000여년 기간동안 가장 주요한 방사능은 U^{238}계열의 딸핵종들인 Th^{234}, Pa^{234m}, U^{234}로서 붕괴 양식은

$$U^{238} \xrightarrow{\alpha} Th^{234} \xrightarrow{\beta^-} Pa^{234m}(70keV) \xrightarrow{\beta^-} U^{234} \xrightarrow{\alpha}$$

와 같다. 표 4에는 이들 핵종의 반감기와 주요 방출 방사선의 에너지, 붕괴당 방출율(%)을 표시하였다[5].

표 4. U^{238}, Th^{234}, Pa^{234m} 핵종의 반감기와 주요 방출 방사선(방출율 > 1% 및 sf 고려)

핵종	반감기	주요 방출 방사선, 에너지, 붕괴 당 방출율
U-238	4.47×10^{9}년	α 4.27 MeV (79 %), 4.22 MeV (21 %) γ 50 keV (21 %) sf (5.5×10^{-5} %)
Th-234	24.10 일	β max. 199 keV (70 %), max. 107 keV (19 %), max. 106 keV (8 %), max. 86 keV (3 %) γ 63 keV (4.8 %), 92 keV (2.8 %), 93 keV (2.8 %) sf none
Pa-234m (70 keV)	1.17 분	β max. 2.20 MeV (98 %), max. 1.15 MeV (1 %) γ 1.00 MeV (1 %), 44 keV (1 %) sf ($<1\times10^{-9}$ %)

Pa^{234m}에 이르기까지 각 모핵종의 반감기는 그 딸핵종의 반감기보다 훨씬 더 긴 이유로 인해서 약 4달이 경과하면 위의 세 핵종의 방사능은 평형에 이르게 되어 U^{238}의 방사능과 같게 된다. Pa^{234m}의 붕괴로서 생성되는 U^{234}의 방사능은 평형에 이르지 못하며 처음 수만 년 동안은 매해 U^{238}의 방사능의 4×10^{-4} % 비율로 증가한다. 따라서 U^{234}의 방사능은 농축/열화 과정에서 잔존한 U^{234}의 방사능이 대부분으로 수만 년 동안 일정하다고 보아도 무방하며 U^{234} 이후의 방사붕괴 딸핵종의 방사능은 미소하다.

IV. 열화우라늄의 독성

열화우라늄을 포함하여 우라늄의 독성은 화학적 독성과 방사선 장해의 두 가지가 고려된다. 이중에서 화학적 독성에 대해서는 특히 우라늄 섭취로 인한 만성효과에 관해서 인체자료가 존재하지 않으며 동물실험에 의한 자료만이 일부 존재한다. 또한 화학적 독성효과와 방사선 장해의 효과를 상호 비교하는 표준 또한 상호 일치되게 마련되어 있지 않다. 우라늄에 의한 인체상의 상해는 그 발생하는 경로에 따라 방사선에 의한 외부 피폭 효과와 체내로의 흡입에 의한 내부 효과가 존재한다. 내부 효과는 화학적 독성효과와 방사선 피폭효과가 모두 존재하며 흡입 경로는 미세한 입자로서 공기 중에 포함되어 폐로 들어오는 경로(호흡 inhalation), 물과 음식에 포함되어 소화기계통으로 들어오는 경로(음식·음용수 섭취 ingestion), 상처 부위로의 침투 경로(접촉 inoculation)가 있다. 이중 호흡과 음식·음용수 섭취가 가장 중요한 내부 효과의 경로이며, 특히 호흡을 통해 체내로 들어온 우라늄의 거동과 체류기간 등은 화학적 가용성(soluble) 및 불용성(insoluble) 형태에 결정적으로 좌우되므로 이를 구분하여 상세히 고려하고 있다.

1. 화학적 독성

우라늄의 화학적 독성에 궁극적인 피해가 되는

인체 기관은 신장(kidney)으로 알려져 있다. 가용성의 우라늄은 혈관과 신장을 통해 대부분이 수일 내로 배설되며, 8 mg 정도의 가용성 우라늄 섭취는 신장 기능의 일시적 장애를 가져오고, 40 mg 수준이면 신장의 영구적인 훼손을 야기하는 것으로 알려져 있다[6]. 그러나 우라늄의 화학적 독성에 대한 자료는 동물실험에 의존한 것으로서 빈약하며 허용 수준의 설정도 명확히 정의되지 못하고 있는 것으로 보인다. 따라서 문헌에 따라 다소의 차이를 보이고 있다. 화학 독성이 없는 것으로 판단되는 최소한의 우라늄 수준으로서 공기 중 허용농도(Tolerable Air Concentration : TAC)는 0.07 ~ 1.0μg/m^3-air, 일일 섭취 한계(Tolerable daily Intake : TDI)는 0.6 ~ 1μg/day·kg(body weight)이며, 이를 70 kg 몸무게의 사람에 대해 환산한 연간 섭취 한계(Annual Limit on Intake : ALI)는 15.3 ~ 25.6 mg/year이고 연간 500 liter를 음용하는 경우로 환산한 음용수 내의 허용농도(Derived Drinking Water Concentration : DDWC)는 31 ~ 51μg/liter로 보고되고 있다[7].

2. 방사선 피폭

우라늄 방사능에 의한 외부 피폭 효과는 매우 낮은 것으로 되어 있다. 열화우라늄 1 kg으로부터 1 m 떨어진 지점에서의 연간 피폭량은 1 mSv 미만으로서 자연방사능의 수준인 2 mSv/y보다 낮다[6]. 이런 이유로써 핵물질을 취급하는 기관에서 천연우라늄은 통상 저방사능의 물질로 간주된다. 이는 우라늄의 γ선 방출율이 낮고, α선과 β선의 경우도 그 비정(range)이 길지 않다는데 연유하는 것이다. 가령 U^{238}에서 방출되는 4.2 ~ 4.3 MeV의 α선은 우라늄 내에서의 비정은 7μm, 공기(STP) 중에서의 비정은 2.7 cm이며[8], Pa^{234m}에서 방출되는 최대에너지 2.2 MeV의 β-선은 우라늄 내에서 0.95 mm, 공기 중에서 950 cm의 비정을 가진다[9]. 또한 광범위한 영역의 토양이 우라늄 입자들에 오염된 경우일지라도 γ선 외부 피폭의 수치는 가령 10 kg의 열화우라늄이 1000 m^{2}에 퍼져 있을 경우 연간 4 μSv 수준이다[10].

우라늄 방사능에 의한 보다 중대한 방사능 피폭 효과는 체내로의 흡수에 의한 내부피폭 효과이다. 국제방사선방호위원회(ICRP : International Commission on Radiological Protection)에서는 우라늄 계열의 핵종에 대해 내부피폭에 영향을 주는 섭식과 호흡의 피폭 경로 각각의 경우에 대해 방사능으로부터 유효선량(effective dose)으로 변환하는 환산인자를 제시하고 있다[11]. 특히 호흡에 의한 피폭 경로에는 우라늄의 용해속도에 따라 혈관계 및 소화계통에서의 흡수 및 배설시간이 달라지므로 이를 화합물 형태에 따라 구분(F, M, S)하여 제시하고 있다. 보다 보수적으로 산정된 것으로 알려져 있는 ICRP68/72[12]에 근거한 인자로써 산출된 선량인자, ALI 및 유도 공기 중 농도(Derived Air Concentration : DAC) 값들을 표 1 ~ 3에 주어진 우라늄에 대해 일반 대중 및 직업상 방사선작업 종사자의 경우 각각으로 구분하여 표 5, 6에 수록하였다[7]. 표 7에는 음식, 음료수 등의 섭취에 의한 일반 대중의 선량인자, ALI 및 DDWC 값들을 보이고 있다[7].

일반 대중에 대한 표에서 보인 바와 같이 열화우라늄의 호흡에 따른 방사선 선량인자가 섭취에 따른 선량인자의 100 배 ~ 1000 배의 수준으로서 방사선 피폭의 중요한 부분을 차지하고 있다.

표 5. 일반 대중의 우라늄 호흡에 따른 선량, 호흡 흡입의 연간 제한치(ALI) 및 DAC.
(선량인자는 ICRP72 기준, ALI는 연간 방사선 선량 제한치 1 mSv/y, DAC는
1 mSv/y 및 0.9 m^3/hr의 공기 호흡율 기준)

	불용성			가용성		
	선량인자 (mSv/mg)	ALI (mg)	DAC ($\mu g/m^3$)	선량인자 (mSv/mg)	ALI (mg)	DAC ($\mu g/m^3$)
천연우라늄(방사평형)	0.70	1.42	0.18	1.6	0.63	0.08
순수 천연우라늄	0.22	4.5	0.58	0.013	74.5	9.4
DNU (0.2 %)	0.12	8.3	1.05	0.0075	134	17
DRU (0.2 %)	0.19	5.27	0.67	0.012	85.1	11

표 6. 직업상 방사선작업 종사자의 우라늄 호흡에 따른 선량, 호흡 흡입의 연간 제한치(ALI) 및 DAC.
(선량인자는 ICRP68 기준, ALI는 연간 방사선 선량 제한치 20 mSv/y, DAC는 20 mSv/y,
1.6 m^3/hr의 공기 호흡율 및 연간 작업 1800시간 기준)

	불용성			가용성		
	선량인자 (mSv/mg)	ALI (mg)	DAC ($\mu g/m^3$)	선량인자 (mSv/mg)	ALI (mg)	DAC ($\mu g/m^3$)
천연우라늄(방사평형)	0.42	47.6	16.5	0.34	59	21
순수 천연우라늄	0.2	100	34.7	0.013	1520	530
DNU (0.2 %)	0.11	183	63.4	0.0073	2740	950
DRU (0.2 %)	0.173	116	40	0.011	1750	610

표 7. 일반 대중의 우라늄 섭취에 따른 선량, 섭취량의 연간 제한치(ALI) 및 유도 음료수 농도(DDWC).
(선량인자는 ICRP72 기준, ALI는 연간 방사선 선량 제한치 1 mSv/y,
DDWC는 1 mSv/y 및 500 liter/y의 섭취량 기준)

	선량인자(μSv/mg)	ALI(mg)	DDWC (μg/liter)
천연우라늄(방사평형)	31.7	31.5	63
순수 천연우라늄	1.23	813	1630
DNU (0.2 %)	0.71	1410	2820
DRU (0.2 %)	1.08	923	1850

3. 법적 규제치의 경향

앞에서와 같은 우라늄의 호흡에 따른 방사선 피폭 효과에 추가하여 화학적 독성의 효과가 가중되는 점이 법적 규제치에 이미 반영되어 있다[7]. 미국 NRC(Nuclear Regulatory Commission)에서 정한 직업상 호흡 흡입의 연간 제한치(ALI)는 가용성 천연우라늄 1.5 g/y, 불용성 천연우라늄 74 mg/y로서 이는 예탁 유효선량 50 mSv에 기준한 것이다. 유도 공기 중 농도(DAC)에 대해서는 가용성 천연우라늄 농도 740μg/m^3, 불용성 천연우라늄 농도 29.5μg/m^{3}의 규제치를 두나, 가용성 우라늄과 방사평형에 있는 천연우라늄의 경우는 화학적 독성을 고려하여 더 엄격한 값을 적용한다. 이에 따라 가용성 우라늄의 공기 중 농도는 200μg/m^3, 방사평형에 있는 천연우라늄의 공기 중 농도는 45μg/m^{3}이다.

우라늄의 섭취에 따른 유해에 있어서도 방사선 위해의 부분보다는 화학적 독성에 의한 신장 기능 장해와 손상을 고려하고 있다. 보다 장기적인 효과가 발생될 수 있는 음용수에 관해 각국의 우라늄 함유 허용 기준은 방사선 위해보다는 화학적 독성에 근거한 기준이라고 할 수 있다. 예를 들면 음용수에 대한 세계보건기구(WHO)의 권고치는 2μg/liter, 미국은 30μg/liter, 캐나다는 10μg/liter로서 표 7에 주어진 방사평형에 있는 천연우라늄의 DDWC 63μg/liter보다 낮은 훨씬 엄격한 수준임을 보이고 있다.

V. 현실적인 문제들

인터넷 상에서 "Depleted Uranium"에 관한 정보 검색을 실시하면 수천 가지 이상의 정보에 접하게 되며, 상당수가 걸프전이나 발칸 반도에서의 열화우라늄 무기 사용에 따른 여러 측면을 논의한 것이다. 그 많은 수의 정보들 중에서 신뢰할 수 있는 형태로 작성된 정보들을 찾는 일 조차 그리 간단한 일은 아니나, 성급한 결론을 내려놓고 이를 보강할 수 있는 종류의 인용 정보를 구하는 일은 훨씬 쉬울 것이다. 그러나 열화우라늄 무기의 사용에 따른 방사선 피폭 효과가 연간 허용기준을 초과하는지 또는 피폭량의 추정이 얼마만큼인지에 관해서는 대개 두 종류가 우선 눈에 띈다. 한 종류는 열화우라늄 무기 사용에 따른 보다 구체적인 값들 - 외부피폭량, DU 분진의 흡입량 및 그에 따른 유효선량, 섭취 등 - 에 의한 흡입량과 그 선량들을 제시하며 사용된 선량으로의 환산 인자들을 명확히 제시하고 있다[6, 10]. 이러한 보고서 또는 정보들은 열화우라늄 무기 사용에 따른 방사선 피폭은 걸프전 증후군이나 발칸 증후군을 일으킬만큼 과다하지 않으나, 화학적 독성에 의한 영향을 우려하고 있다. 또다른 종류의 정보들은 선량값을 제시하지 않고 결론을 이끄는 경우[13], 또는 선량 산출에 필수적인 여러 구체적 값들을 제시하지 않고 단순히 결과 선량값만을 제시하는 경우[14], 또는 다른 정보로부터의 인용에 의하여 유효선량을 제시하고 있는 경우[15]와 같이 다양하나 그 결론은 대개 열화우라늄 무기 사용에 따른 방사선 피폭이 연간 허용선량을 훨씬 초과한다는 것이다. 따라서 두 종류의 정보그룹 간에 존재하는 불일치점의 근원을 파악하는 일은 용이하지 않으며 또한 본 원고에서 다루기에는 지면과 준비 시간이 충분하지 못하다. 그럼에도 불구하고 보다 상세한 수치들에 근거한 정보는 그 자체로서 결과값들이 투명하게 제시되어 있으므로 신뢰성에서 앞선다고 보아야 할 것이다. 이런 관점에서

UNEP/UNCHS Balkans Task Force(BTF)의 이론적인 추정값[10]은 주목할 만하다. 이에 따르면, 열화우라늄무기를 사용하는 전장에서 공격 순간의 DU 분진 호흡에 의해 최대 100 mg의 흡입을 가정할 경우 급성의 화학적 독성이 나타나며, 흡입에 의한 방사선 유효선량은 10 mSv 미만이다. 무기의 사용 이후 전장에 떠있는 DU 분진에 대해서는 분진 농도 0.3$\mu g/m^3$ (보통 분진 상태) 또는 30$\mu g/m^3$ (심한 분진 상태)를 가정하여 각각의 경우 호흡에 의한 유효선량은 연간 0.3 ~ 30 mSv로 추정하였다. DU 분진에 의해 오염된 야채류의 섭취의 경우에는 100 mg 수준의 섭취량에 도달할 수 있으며 이는 화학적으로 심각한 독성을 야기하나, 방사선 선량은 0.1 mSv 수준이라고 보고 있다. DU 분진에 의해 오염된 지하수의 음용의 경우에는 오염도가 1 mg/liter에 도달할 수 있고 이를 음용할 경우 화학적 독성 효과는 배제할 수 없으나 방사선 선량은 연간 약 1 mSv이라고 산출하고 있다. 열화우라늄 무기의 사용에 따른 피해와 그 원인에 관해서는 미국과 영국에서 법정 공방으로 비화된 상태이므로 향후 보다 명확한 결론이 뒤따르리라 기대된다.

국내에서의 관심으로서는 매향리 쿠니사격장에서 미 공군에 의해 열화우라늄 실탄이 연습 사용되었는지의 여부와 DU의 환경오염 여부였으나, 연습 사용은 공식적으로 부인되었으며 환경단체에 의한 DU오염조사 또한 DU가 직접 검출되지 않아 정밀검사에 들어간 것으로 알려져 있다[16]. 그러나 이러한 시사적인 관심을 넘어서서, 현재로서는 자연적으로 존재하는 우라늄에 관련하여 보다 기초적인 자료의 수집과 검출, 분석 능력의 확보가 우선적으로 선행되어야 할 것이다. 가령 음용수로 광범위하게 이용되는 지하수에 관해 그 우라늄 함유량에 관한 기본 자료들의 조사와 축적, 공기 중에 포함되는 분진 형태의 천연우라늄을 탐색하는 기술의 확보와 실시 등이 고려되어야 할 것이다. 또한 우라늄의 독성이라면 흔히 방사능의 폐해를 생각하는 일반인의 통념이 원자력 분야 전체에 대한 그릇된 인식의 확산에 기여하지 않고, 문제를 보다 정확히 파악할 수 있도록 하기 위해 그 중금속으로서의 폐해가 보다 더 우선되어야 하는 점을 명확히 인식하는 일이 필요하다. KRIA