

국제 우라늄 수급 동향과 전망

이 종 희* | 한국원자력연구원 원자력정책연구센터 연구원



우라늄 수급 동향과 전망

1. 우라늄 매장량

‘NEA/IAEA Red Book 2005’로 알려진 「Uranium 2005 : Resources, Production and Demand」에 의하면 우라늄 자원은 세계 56개국에 분포하고 있는 것으로 알려져 있으며 추정량은 1480만 톤으로 예측되고 있다.

여기서 130 US\$/kg-U 이하로 생산이 가능한 추정량은 1,182만톤으로, 2004년 세계 우라늄 수요량

6만 7천톤 기준으로 170년 정도의 분량으로 추정되고 있다.

추정량 중 생산이 가능한 확인된 양은 추정량의 32%에 해당되는 474만 3천톤으로 호주(23.1%), 카자흐스탄(18.5%), 캐나다(9.6%), 남아공(8.6%), 미국(7.5%)이 전체의 67%를 차지하고 있다.

이외에 인산염 광에 포함된 우라늄 자원(2,200만 톤)과 토륨(Thorium) 등을 원자력 발전에 사용할 수 있으며 향후 우라늄 가격 상승으로 자원 탐사가 확대 되면 자원량은 보다 더 증가할 것으로 전망되고 있다.

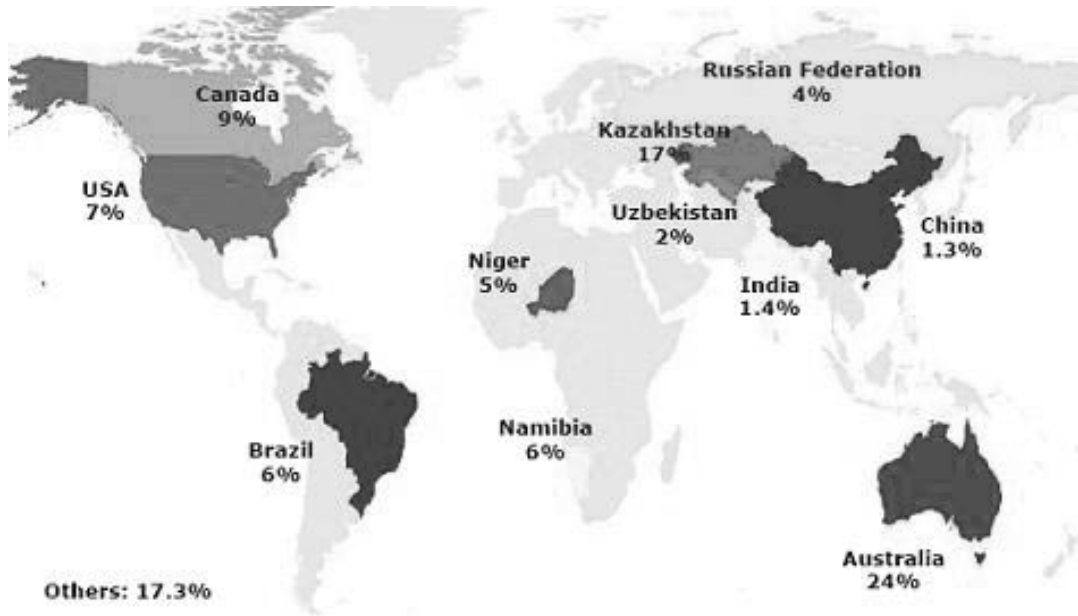
2. 우라늄 생산량

1945년부터 2003년까지 세계 총 우라늄 생산량은 약 220만톤으로 추정되고 있으며 러시아(17.1%), 캐나다(17.0%), 미국(16.6%), 독일(9.9%), 남아공(7.1%)이 전체 생산량의 67% 이상을 생산하였다.

이러한 우라늄 생산량의 추이를 살펴보면 1980년에 최고치인 7만여 톤 생산 이후 그 양이 감소하여 현재 수준¹⁾으로 감소하였다.

* 서울대학교 공과대학원 공학석사 / 한국원자력연구원 원자력정책연구센터 연구원(2005~)

1) 2004년 수준인 4만여 톤



<그림 1> 세계 우라늄 자원 분포

‘NEA/IAEA Red Book 2005’에 의하면 2004년의 경우 전 세계 19개국에서 40,263톤을 생산하였으며 캐나다(29%)와 호주(22%)가 전체 생산량의 51%를 차지하였다. 이외에 카자흐스탄(9%), 러시아, 니제르, 나미비아가 각각 8%, 우즈베키스탄이 5%를 차지하였다.

최근 5년간 주요 우라늄 광산의 예상치 못한 사건으로 우라늄 생산에 있어 차질이 있어 왔는데 그 주요 사건으로는, 2001년 호주의 Olympic Dam 화재로 인한 생산량의 감소, 2003년 캐나다 Rabbit Lake's Eagle Point 광산, McArthur River의 자연 재해로 인한 생산량 감소 및 나미비아 Rossing 광산의 개조/수리로 인한 생산량 감소, 2006년 캐나다 Cigar Lake 광산 폭약 폭발에 의한 생산 중단 및 사이클론으로 인한 호주의 Ranger 광산의 생산량 감소 등이 있다.

3. 우라늄 수급 전망

가. 우라늄 수요 전망

WNA(World Nuclear Association)은 WNA Market Report 2005에서 2030년까지 세계 원자력 발전 용량 및 이에 따른 우라늄 수요량을 예측하였다.

WNA는 2030년까지의 세계 원자력 발전 용량을 예측함에 있어 두 가지 가정을 설정하였는데, 2003년부터 2020년까지는 국가별 용량을 고려하여 현재 운영 중인 상용로가 계속운전을 한다는 가정과 동시에 운전 용량 상승 및 신규 원자로²⁾를 고려하여 용량을 산출하였으며 2020년부터 2030년까지는 세계를 지역별 용량(9개 지역)으로 구분하여 각 지역에 해당하는 국가들의 전력 수요 예측치, 원전 개발 프로그램 등 정치·경제적 요인들을 고려하여 용량을 산정하였다.

2) 현재 건설중이거나 계획 및 승인이 완료된 원자로

<표 1> 2005년 세계 주요 우라늄 광산의 생산량

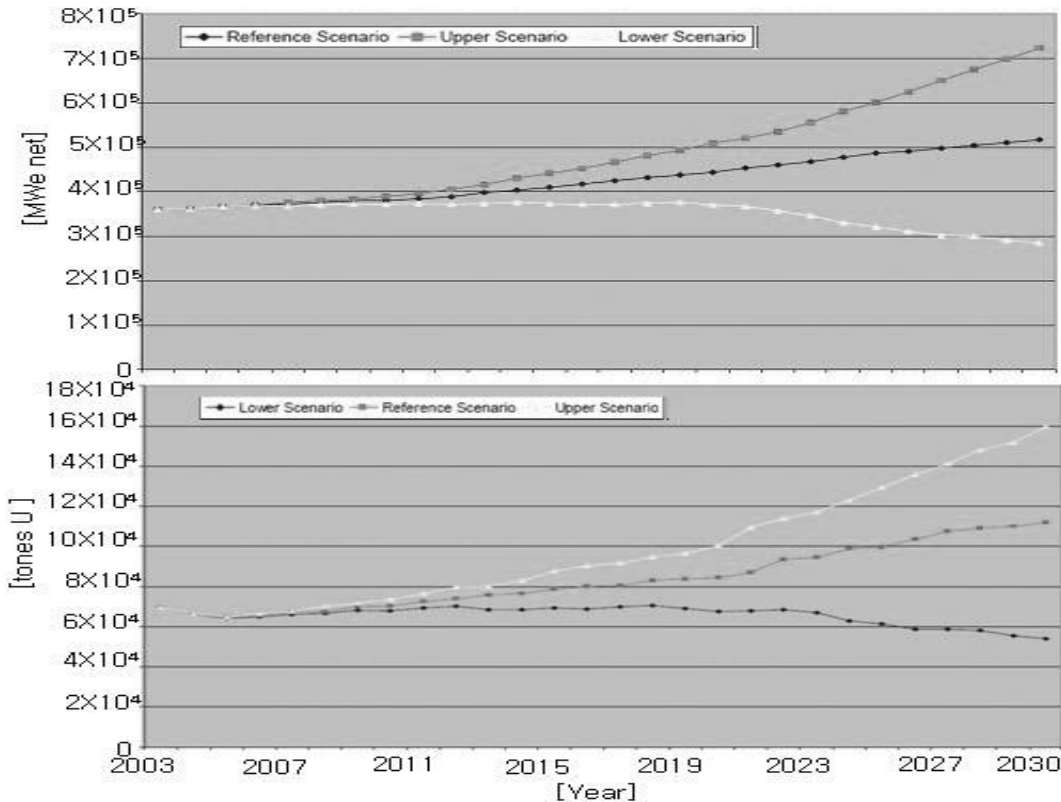
우라늄 광산	광산 위치 국가명	생산량 (tU)
McArthur River	캐나다	7200
Ranger	호 주	5006
Olympic Dam	호 주	3688
Krasnokamensk	러시아	3300
Rossing	나미비아	3147
Rabbit Lake	캐나다	2316
McClellan Lake	캐나다	2112
Akouta	니제르	1778
Arlit	니제르	1315

* Source : WNA Market Report 2005

<그림 2>에 의하면 세계 원자력 발전 용량의 경우 2025년까지 현재의 369 GWe(2004년 기준)에서 488 GWe(Reference Scenario)까지 증가가 예상되며, 우라늄 수요는 6만 7천톤(2004년 기준) 수준에서 2025년에는 10만톤(Reference Scenario)까지 증가할 것으로 전망되고 있다.

또 다른 관련 보고서인 NEA/IAEA Red Book 2005는 세계 원자력 발전 용량의 경우 2025년에 449 GWe ~ 533 GWe로, 이에 따른 우라늄 수요는 8만 2천톤 ~ 10만톤으로 예측하였다.

* Source : WNA Market Report 2005



<그림 2> 2030년까지 원자력 발전 용량 및 이에 따른 우라늄 수요량 예측치

나. 우라늄 공급 전망

최근 우라늄 수요의 증가와 향후 기대치 증가에 의한 우라늄 자원에 대한 활발한 탐사가 전개되고 있으며 이러한 활발한 우라늄 자원 탐사로 인해 기존 우라늄 광산의 생산량 증대 및 신규 광산 개발이 기대되고 있다.

운전 중인 우라늄 광산의 생산 시설 용량 확장과 신규 광산 개발을 추진 중인 국가로는 기존의 주요 우라늄 생산국 이외에 중국·인도·브라질·이란 등이 있는 것으로 알려지고 있다.

NEA/IAEA Red Book 2005에 의하면 기존의 우라늄 광산과 향후 개발이 계획/예상되는 우라늄 광산에 의한 총 우라늄 생산량은 2010년까지는 8만 3천 톤으로 급격하게 증가할 것으로, 2010년부터 2025년까지는 8만 7천 톤으로 점진적으로 증가할 것으로 예측되고 있다.

4. 2차 공급원

2004년의 경우 우라늄 생산량은 약 4만여 톤으로 전체 수요량의 60%를 충당하고 있으며 나머지 40%는 2차 공급원에서 충당되고 있다. 이러한 2차 공급원은 크게 민간 또는 군사용에서 유래된 천연 또는 농축 우라늄 재고량, 잉여 플루토늄 또는 재처리에 의한 핵연료, 감손 우라늄 재농축을 통해 생산된 연료용 우라늄으로 분류할 수 있다.

민간 또는 군사용에서 유래된 천연 또는 농축 우라늄 재고량은 2004년까지 약 66만 톤이 형성된 것으로 추정되고 있으나 각국의 정보 공개 부족으로 현재의 정확한 보유량은 알 수 없는 상황이다.

민간 재고량의 종류에는 전략적 보유량, 우라늄 생산자 재고량, 우라늄 변환 업자 및 농축 업자 재고량, 거래상, 브로커 보유량, 최근 일부 금융 기관에서 투

<표 2> 우라늄 수요 예측치

Year	Low(tU)	High(tU)
2004	67,320	67,320
2005	66,840	66,840
2010	69,910	74,130
2015	74,685	83,375
2020	74,485	87,340
2025	82,275	100,760

* Source : NEA/IAEA Red Book 2005

자용으로 보유한 우라늄 등이 있으며 군사용 재고량으로는 핵탄두의 해체에 의해 추출된 고농축 우라늄을 희석하여 민수용 핵연료로 공급되는 것이 있다.

잉여 플루토늄 또는 재처리에 의한 핵연료는 군사용 플루토늄을 MOX(Mixed Oxide fuel)로 제조하여 사용하고 있으며 현재 프랑스·영국 등 일부 유럽 국가(EU 15개국)에서 사용하고 있는 것으로 알려져 있다³⁾.

ESA(Euratom Supply Agency)에 의하면, 1996년부터 2004년까지 약 77.2 톤의 Pu(MOX)로 EU 15개국의 원자료를 가공한 결과 9280 톤의 우라늄 절감 효과를 가져왔다고 보고되고 있다.

일본은 1990년대부터 3,000톤 이상을 재처리하여 얻은 플루토늄을 BNFL, COGEMA(구 AREVA-NC) 등에서 MOX로 가공하여 장전한 경험을 가지고 있으며, 현재 MOX 가공 시설을 건설중으로 2010년경부터 MOX 연료를 상업적으로 활용할 계획이다.

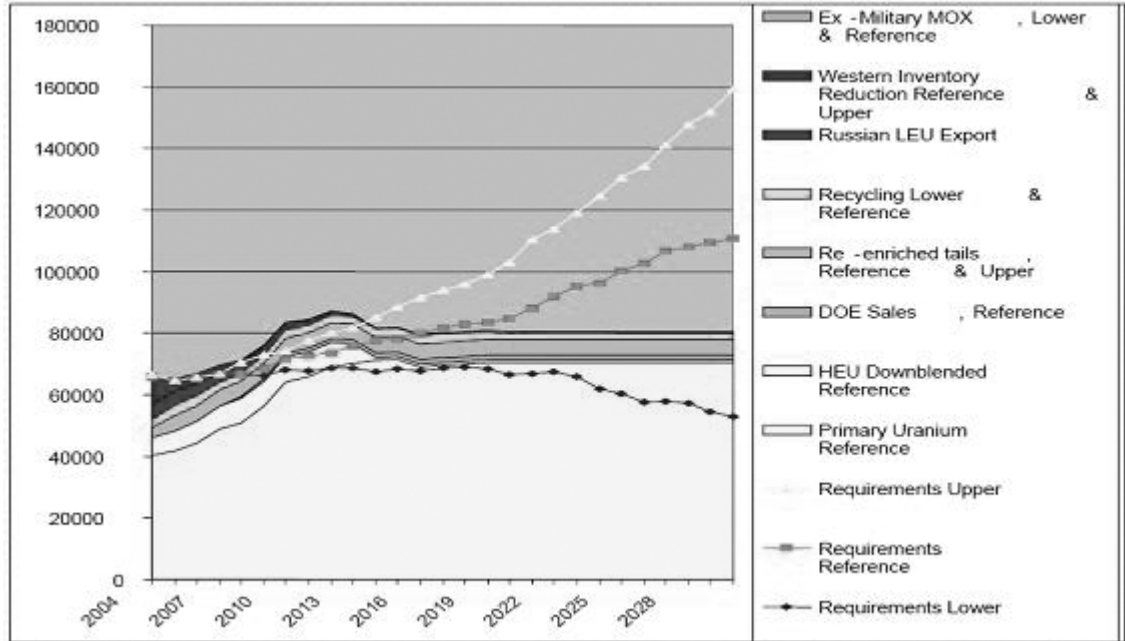
감손 우라늄 재농축을 통해 핵연료로 활용하는 것은 현재 농축 시설의 용량 및 운영을 고려할 때 비경제적인 것으로 알려져 있으나 차츰 경제성을 가질 것으로 예상되고 있다.

NEA/IAEA Red Book 2005에 의하면 2005년 상반기 기준으로 감손 우라늄은 약 1.5백만 톤에 이르는 것으로 추정되고 있으며⁴⁾ 세계 연간 우라늄 수요

3) 현재 세계 원자력발전소 중 8%가 MOX 연료를 활용하고 있음.

4) 천연 우라늄의 57만 톤에 해당되는 양

* Source : WNA Market Report 2005



<그림 3> 우라늄 수요 공급 예측(1, 2차 공급원 포함)

량을 기준으로 매년 5만 7천 톤씩 증가하는 것으로 추정되고 있다.

<그림 3>에서는 1(천원 우라늄), 2차 우라늄 공급원과 세계 우라늄 수요량을 2030년까지 예측하였다.

WNA의 기준 수요(Requirements Reference) 시나리오에 의하면 2015년을 전후로 우라늄 수급에 있어 불균형이(공급 부족) 발생할 것으로 전망되고 있다.

우라늄 가격 동향 및 전망

우라늄 가격의 추이를 연대별로 살펴보면 1970년대에는 1, 2차 오일 쇼크로 인해 40 US\$/lb U₃O₈대 수준까지 상승하였다가 1980년대에는 원전 산업의

급랭⁵⁾에 기인하여 20 US\$/lb U₃O₈로 급락하였다.

이후 1990년대에는 우라늄 덤핑 및 구조된 고농축 우라늄의 국제 우라늄 시장으로의 유입 등으로 10 US\$/lb U₃O₈로 하락하였다가 2000년대 들어 우라늄 가격이 지속적으로 상승하였으며 최근 125 US\$/lb U₃O₈⁶⁾까지 급등하였다.

최근의 우라늄 가격 급등 이유에는 여러 가지 요인이 복합적으로 작용하고 있는 것으로 추정되고 있다.

우선 상업용 재고량의 감소와 우라늄 탐사 활동과 신규 광산 개발 침체⁷⁾로 인한 국제 우라늄 시장으로의 추가 공급의 부재를 들 수 있으며, 원자력 발전의 증가 전망에 따른 우라늄 투기 수요 발생도 중요한 요인으로 작용하고 있다.

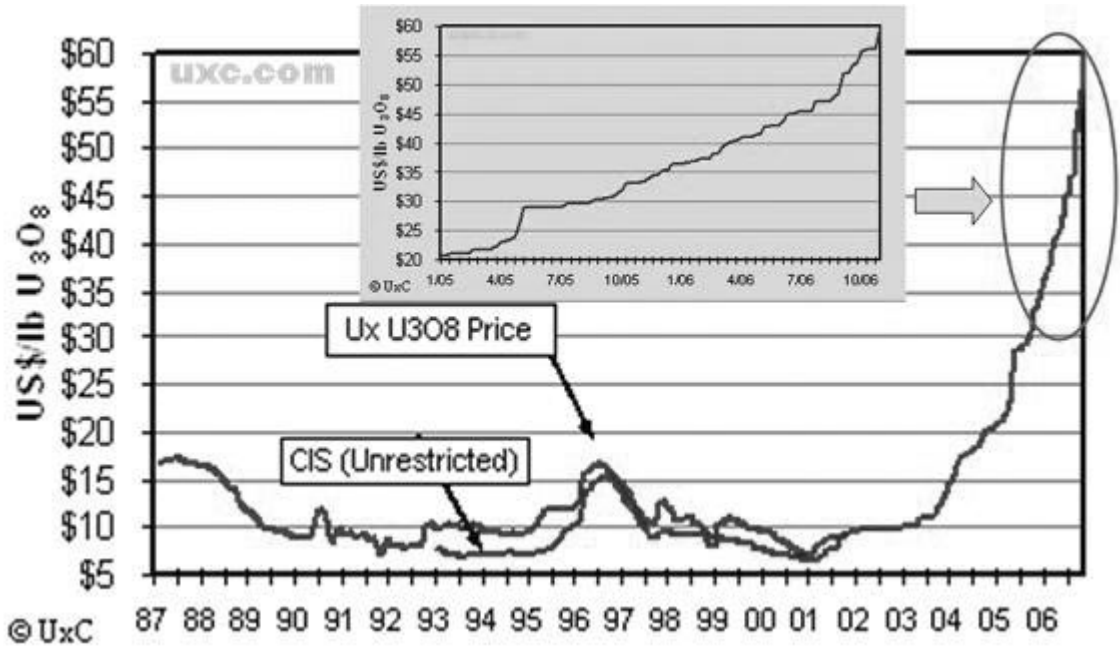
이외에도 러시아 정부와 미 전기 사업자 간의 우라

5) 1979년 미국 TMI 원전 사고 및 1986년 체르노빌 원전 사고 이후 원전 산업이 급랭하였음.

6) 2007년 5월 기준. (출처 : www.uxc.com)

7) 과거 국제 우라늄 가격 악화에 따른 채산성 악화에 기인함.

* Source : www.uxc.com



<그림> 4 우라늄 현물 시장 가격 동향(1987~2006)

급 공급 계약 종료와 우라늄 시장에서의 러시아 정부의 전략 변화, 2차 공급원 비축량의 급격한 소비와 2013년 이후 러시아 군사용 고농축 우라늄의 국제 우라늄 시장으로의 유입에 대한 불확실성 증가, 최근 5년간의 주요 우라늄 광산의 예상치 못한 사건으로 인한 생산량의 차질 등이 있다.

현재 우라늄 가격은 생산자에게 추가 생산에 있어 충분한 자극이 될 정도로 오른 상태이어서 우라늄 자원 탐사 증가 및 신규 광산 개발에 따라 생산량의 확대를 가져올 것으로 전망되고 있다.

그러나 새로운 광산을 개발하여 우라늄을 생산하기까지는 적지 않은 시간적 여유가 필요하므로 당분간의 가격 상승 압박은 지속될 전망이다.

따라서 단기간 동안의 우라늄 현물 시장은 가격 변동이 심할 것으로 예측되고 있으며 우라늄 계약 시장은 현물 거래보다는 장기 계약 방향으로 진행될 것으로 추정되고 있다.

우라늄 수급 불균형에 대한 대응 현황

1. 외교 및 경영적 측면

최근 공급 안보 측면에서 주요 원자력 발전국은 국가 지도자가 앞장서서 우라늄 자원 확보를 위한 자원 외교를 전개하고 있다.

일본의 고이즈미 전 총리는 2006년 8월 카자흐스탄 나자르바예프 대통령과 정상 회담에서 양국 간 원자력 분야 협력을 강화하기로 합의하고 정부 간에 「원자력 평화적 이용 분야에 있어서의 협력 촉진에 관한 각서」를 체결하였다. 이에 따라 양국은 앞으로 우라늄 자원의 재전환, 연료 가공, 원자력 발전 도입 등에 있어 광범위한 협력 관계를 유지하게 될 것으로 보인다.

또한 중국의 후진타오 주석은 2005년 7월 카자흐스탄을 방문하여 우라늄 공급에 관련한 카자흐스탄

의 협조를 요청하였다.

정부 간의 협력도 활발히 진행중인데 러시아와 남아공은 양국 간 신규 원자력협력협정의 조건하에, 남아공에서 지층 탐사 및 우라늄광 채광을 실시할 예정이다.

호주와 중국은 핵물질양도협정과 원자력협력협정을 2007년 1월에 비준하여 발표하였는데 이로써 호주의 우라늄 생산 업체의 중국 수출의 법적 틀이 마련되었으며 중국은 세계 최대 우라늄 보유국인 호주라는 안정적인 우라늄 공급원을 확보하게 되었다.

우라늄 자원 개발 시장 참여 현황을 살펴보면, 일본 간사이 전력과 스미토모상사는 카자흐스탄에서 우라늄 광산 개발에 참여하고 있으며, 미쓰이 물산은 러시아의 국영 우라늄 판매 회사인 TENEX와 공동으로 러시아 극동 지역 사하공화국 일단 지구에 있는 미개발 우라늄 광산의 사업화 조사를 실시하고 있다.

또한 일본의 도쿄전력과 이데미쓰코산은 캐나다 카메코, 프랑스 아레바와 공동으로 캐나다의 서스캐처원주에 있는 '시가레이크 우라늄광산 프로젝트' 개발을 추진하고 있다. 캐나다의 카메코는 우라늄 탐사, 개발, 생산에서 합작 투자를 도모하기 위해 러시아의 국영 핵연료 사이클 회사인 TENEX와 양해각서를 체결하였다.

2. 신기술 개발 측면

기술 개발 측면에서는 우선 우라늄 자원 이용을 극대화할 수 있는 고성능 초고연소도 핵연료가 세계 주요 원자력 선진국 및 Major Vendor를 중심으로 개발되고 있다.

미국 DOE R&D 계획에 따르면 향후 경수로 핵연료의 경우 80~100 MWD/kgU⁸⁾까지 연소 가능한 핵연료 개발을 목표로 NEA/NSC 전문가 그룹회의에서 Very High Burn-up program의 구체적인 계획이 공식적으로 발표되었다.

향후 핵연료 연소도 상승에 따른 핵연료 농축도는

5%까지 증가할 것으로 전망되며 제4세대 원자로 개발과 맞물려 장기간 동안 높은 연소도까지 연소가 가능한 토륨 핵연료 개발이 진행되고 있다.

기존 경수로가 열중성자를 사용하여 핵분열을 일으키는데 반해 소듐냉각고속로는 고속중성자를 이용함으로써 에너지 생산과 동시에 소비된 핵연료 물질인 플루토늄(Pu-239)보다 더 많은 양의 새로운 핵연료 물질 생산이 가능하므로 한정된 우라늄 자원의 이용률을 기존 경수로에 비해 약 60배 이상으로 향상시킬 수 있을 것으로 예측되고 있다.

소듐냉각고속로의 경우, 원자력 기술 선진국인 프랑스, 미국, 일본에서는 이미 원형로, 실증로 모두가 건설되어 운영된 경험이 있으며, 국내에서는 1990년 후반부터 지금까지 KALIMER 원자로 개발과 함께 이미 상당한 기술 개발 수준에 도달해 있다.

<그림 5>를 보면, 현재의 once-through 방식으로 연료를 사용할 경우 우라늄 자원 채광법에서 혁신적 기술 진전이 이루어지지 않으면 우라늄 자원이 고갈 위기에 처할 수 있으나 고속중성로를 본격 도입하면 우라늄 자원의 이용이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

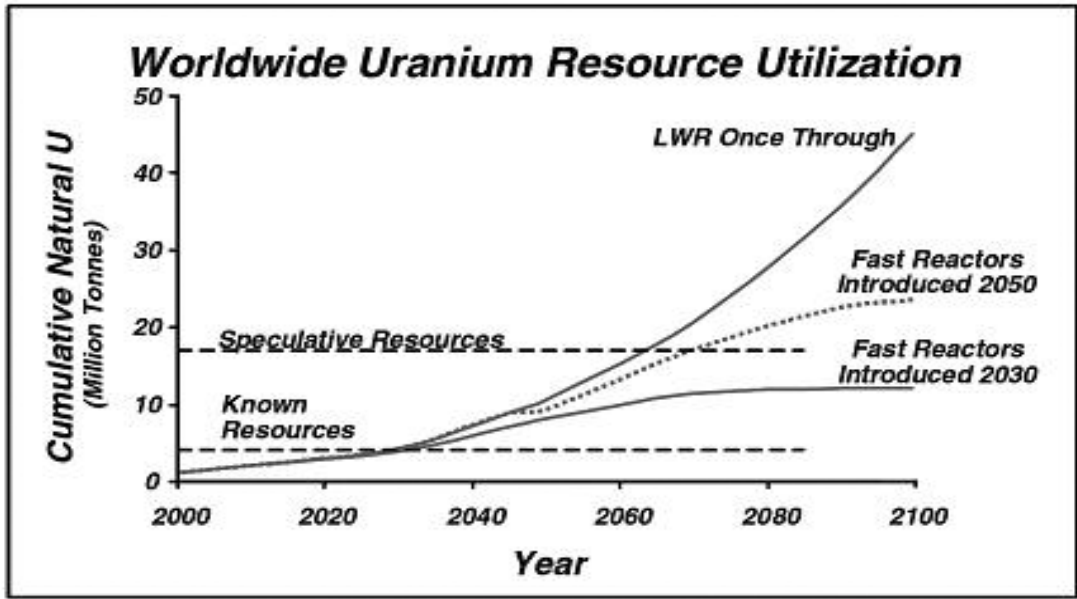
결론 및 건의 사항

최근 식량과 석유에 이어 3대 전략 물자로 등장한 우라늄은 가격의 폭등세를 보이고 있다. 우라늄 수요는 원자력 발전 용량이 2025년까지 현재의 369 GWe에서 488GWe까지 증가가 전망됨에 따라 현재 6만 7천톤 수준에서 최대 10만톤까지 증가할 것으로 예측되고 있다.

향후 우라늄 수급은 추정 우라늄 자원과 우라늄 생산 증대를 위한 투자 및 생산 확대, 새로운 타입의 원자로 및 핵연료 사용 효율성 증대 등 다양한 여건을 고려할 때 충분한 것으로 평가되고 있다.

그러나 최근의 우라늄 가격의 급등과 우라늄의 안정적인 공급을 위해서는 공급원의 다변화는 필수적

8) 현재는 50 MWD/kgU 수준임.



〈그림 5〉 소듐냉각고속로와 우라늄 자원의 추이

이며, 우라늄 자원의 권익 보호와 탐광 경영을 위한 민/관 합동의 우라늄 탐광 사업 참여 및 주요 우라늄 생산 회사로의 투자에 의한 경영 참여가 필요하다.

향후 채산성이 높은 우라늄 광산에 대한 투자가 늘어날 전망이다. 전력 회사와 무역 상사 사이에는 우라늄 권익 획득을 위한 움직임이 확산되고 있으므로 이들에 대한 정보 수집과 대책 마련을 위한 범정부적인 협조와 대처 또한 필요하며, 우라늄 공급에 있어 캐나다·호주·카자흐스탄·나미비아 등 소수 국가 및 주요 생산 회사에 의한 영향력이 증대될 것이 분명하므로 이들 국가와의 외교적 친분 또한 중요하다.

최근 일본의 경제산업성 자원에너지청은 우라늄 광산 개발과 생산 단계에서도 국제협력은행과 일본 무역보험 등의 기능을 강화시켜 우라늄 탐광 기업을 지원하기로 결정하였다. 이는 민간기업이 우라늄 탐광 개발에 있어서 리스크를 경감시키는 동시에 우라늄의 장기적 확보를 위해서이다.

우리 정부도 일본 정부와 같이 민간 기업이 해외에서 우라늄 탐광 개발을 시행할 때 지원을 할 수 있는 제도적 방침을 마련하는 것이 필요하다고 생각된다.

또한 원자력 기술 개발 측면에서 우라늄 자원의 효율적인 활용을 위해 연소도를 향상시킨 초고연소도

핵연료와 소듐냉각고속로 연구 개발을 지속적으로 추진해야 할 것이다. ☼

〈참고 문헌〉

- [1] OECD/NEA and IAEA, 「Uranium 2005 : Resources, Production and Demand」, 2006.
- [2] WNA, 「The global nuclear fuel market」, WNA Market Report 2005, 2006.
- [3] UXC, 「The Uranium Market Outlook」, Quarterly Market Report, 2006.
- [4] NEI, 「Nuclear Engineering International」, Vol. 51, 2006.
- [5] Madeline Anne Feltus, 「U.S. DOE R&D for very high Burn-up Fuel Cycles in LWRS」, Paris NEA/NSC Export Group Meeting on Very High Burn-up Fuel Cycles, 2004
- [6] U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, 「A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy System」, 03-GA50034, 2002
- [7] 한국원자력산업회의, 「해외원자력동향」.