

변환 시장의 확장

향후 수년에 걸쳐 늘어나는 산업체 요구에 부응하기 위하여
우라늄 변환 시장은 확장될 것이다

Julian Steyn

President, ERI(Energy Resource International)

Sergey Danilov

President, IBR(International Business Relations Corporation)

지난 2007년 한 해 동안 육불화 우라늄(UF₆) 변환 서비스 시장에 많은 변화가 있었다.

2007년 5월 아레바(Areva)는 현존하는 낡은 용량을 대신하고 그 용량 확장을 위한 대형 신규 변환 공장 건설 계획들을 발표했다.

카메코는 2007년 7월의 토양 오염 때문에 포트호프 공장의 UF₆ 작업을 중지했다. 같은 해 2월, 미국과 러시아는 2011과 2020년 사이에 변환 서비스를 포함하는 농축 우라늄 생산물(EUP)의 미국으로 수입을 허용하는 '보류 협정'의 개

정에 합의하였다.

2008년 6월 3일에 카메코(Cameco)와 카자토프롬(Kazatomprom)은 카자흐스탄의 변환 공장 건설의 타당성 평가 연구를 시작할 목적으로 울바 컨버전(Ulba Conversion)을 설립한다고 발표했다.

카메코 공장의 운전 정지에도 불구하고 증가하는 수요를 만족하기 위해서는 공급의 확장이 전망된다.

2007년 변환 서비스 시장 가격은 우라늄 공급 시장과는 달리 상대적으로 안정적으로 유지되어 왔다.

북미 지역의 변환 시장 현물 가격은 UF₆ 형태로 kgU 당 2005년, 2006년, 2007년 중 대부분 11불~12불이었다.

트레이드테크(TradeTech)가 보고한 대로 그 가격은 2007년 11월 kgU당 9불까지 하락하였고 이후 그 수준을 유지하고 있다.

유럽의 변환 서비스 현물 시장 가격은 2005년과 2006년 대부분에 걸쳐 11불~12불이었으나 그 이후 10불까지 하락하였다.

유럽의 장기 가격은 북미의 장기 가격보다 대략 1불이 높았으며 현

※ 본고는 <NEI> Vol. 53 No.650에 실린 '핵연료 리뷰(Fuel Review)' 특집 번역본으로, 본지 2008년 10월호에 게재된 '우라늄의 수요 증가와 공급 확대'에 이은 후속편이다. 3월호에는 본 특집의 마무리로 '농축 현황'을 게재할 예정이다. (편집자)



Natural uranium to UF₄ conversion plant, Comurhex Malvesi, France

재 KgU당 13불이다.

지난해에 변환 서비스 산업은 사업자의 공급에 대한 우려에 대응해 왔다. 세계의 U₃O₈으로부터 UF₆로의 변환 서비스의 시장 공급 용량은, 현재 전망되는 원자력 르네상스를 반영한 성장의 예측에 대응하기 위해 필요한 확장이 이루어지고 있다.

2007년 5월 일리노이의 하니웰 메트로폴리스(Honeywell's Metropolitan) 공장의 용량은 크게 확장되었다.

같은 달에 아래바는 프랑스 남부에 위치한 새로운 공장이 2012년 운전전에 들어가게 되며 현재의 시설

용량보다 50% 큰 용량을 갖게 될 것이라고 발표하였다.

로사톰(Rosatom)의 용량도 현재부터 2015년까지 대규모로 재정비되고 근대화되고 증가할 것이라고 보고되고 있다.

컨버다인(ConverDyn)은 서유럽에 공장을 건설할 것을 고려하고 있다고 밝혔다.

현재의 공급 용량이 ERI(Energy Resources International)의 참조 원자력성장 예측 요건을 충족시키기에는 적절하지만 그것은 단지 특히 러시아의 고농축 우라늄(HEU)인 저장량(inventory)형태의 대단히 많은 우라늄 공급이 2013년까지

이루어질 것이기 때문이다.

고성장에 대한 예측이 현실화한다면 새로운 공장들이 많이 필요해질 것이다.

1차 공급

일차적인 변환 공급자들의 지속 가능한 공급 용량이 플루토늄과 우라늄 재순환 비축분을 포함하여 모든 형태의 정부 및 상업용 보유 재고량과 결합하면 세계의 UF₆ 요구량을 충족시키기에 필요한 양을 공급한다.

현재 세계적으로 4개의 주요 상업용 1차 공급자들이 있는데 그중

1개 혹은 그 이상의 공급 회사가 우라늄광을 UF₆나 세라믹 등급의 UO₂나 우라늄메탈로 변환시킬 수 있는 능력을 갖고 있다.

현재 우라늄 농축물을 UF₆로 변환시킬 수 있는 4개 주요 회사는 카메코(Cameco), 아레바(Areva NC), 컨버다인(ConverDyn), 그리고 로사툼(Rosatom)이다.

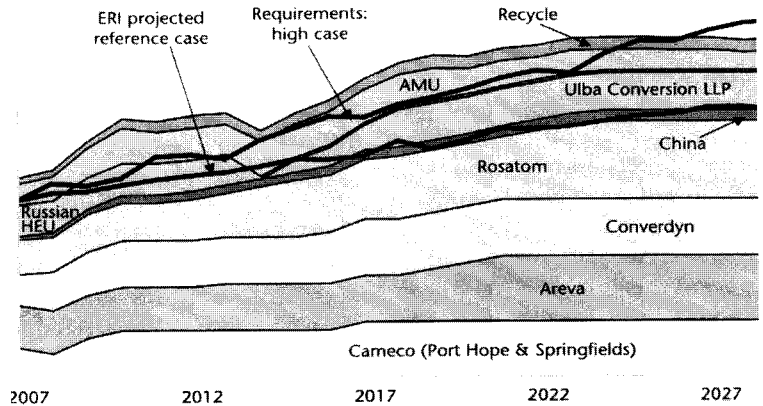
그 외에 최근 설립된 올바 컨버전(Ulba Conversion) 회사가 향후 10년에 걸쳐 대규모 공장을 지어 생산에 투입하려고 계획하고 있다.

총 예측 공급량은 ERI(Energy Resources International)가 예측한 참조 요구량과 고예측 요구량과 비교될 수 있다.

카메코(Cameco)는 온타리오의 블라인드 리버(Blind River)의 연간 18,000tU UO₂ 생산 공장을 운영하고 역시 온타리오의 포트호프(Port Hope)의 연간 12,500tU 처리 용량의 UF₆ 공장에서 UO₃를 그리고 2800t의 UO₂를 처리한다.

카메코는 블라인드 리버(Blind River)의 UO₃ 공장의 처리 용량을 18,000tU에서 24,000tU로 확장하는 인허가 신청을 하였고 금년 하반기에 그 승인이 날 것으로 기대하고 있다.

2007년에 포트 호프(Port Hope)의 UF₆ 생산은 통상적인 처리 용량의 약 절반에 해당하는 약 5,000tU로 줄어들었는데, 이는 이 공장 내



의 UF₆ 공정 구역의 토양이 생산과 관련된 우라늄과 화학 물질에 의해 오염되었음이 발견되어 2007년 7월 그 공장이 운전 정지된 것에 기인한다.

카메코는 복구 작업이 진행됨에 따라 그리고 규제 당국인 캐나다원자력안전위원회(the Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC)의 승인에 따라서, 빠르면 2008년 3분기에 생산을 재개할 것을 기대하고 있다.

2006년 중반에, 2016년까지 연장 적용하는 것을 내용으로 하는 변환 계약에 따라 카메코는 캐나다의 블라인드 리버(Blind River)로부터 영국 스프링필드(Springfields)에 있는 종전의 BNFL 공장에 이르기까지 연간 약 5,000tU의 UO₃ 선박 운송을 시작했다.

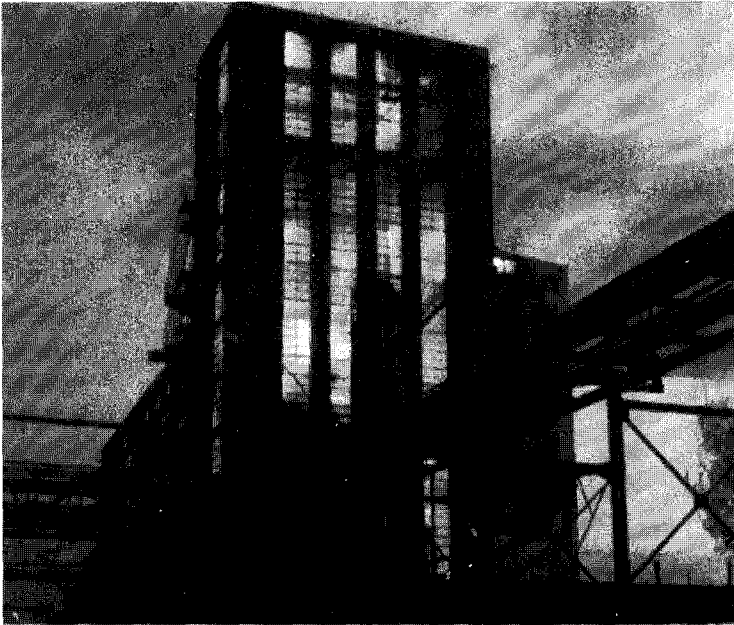
이 협정은 카메코의 UF₆ 처리 능력을 전반적으로 그리고 지속 가능

하게 연간 약 15,500tU로 증가시키고 있다.

카메코는 지난 해 동안 스프링필드(Springfields)로부터 공급에 의하여 그리고 고객이 자발적으로 배송 요구를 연기하는 방식으로 그리고 UF₆ 변환 서비스 구매를 통하여 그 의무 사항을 충족시켜왔다.

아레바(Areva NC)는 나르본(Narbonne)의 말베시(Malvesi) UF₄ 공장을 가동하고 있는데 그 생산물은 트리카스틴 부지의 피엘라테(Pierrelatte) 공장에서 UF₆로 변환되며, 현재의 복합 생산 단지는 근래에는 커뮤렉스(Comurhex) I으로 불리어진다.

2007년의 UF₆ 생산량은 13,700tU로 보고되었다. 2007년 5월에 아레바는 낡은 말베시(Malvesi)와 피엘라테(Pierrelatte) 시설을 그 동일 부지에 신규시설을 건설하여 교체하기로 결정하였다고 발표하



Flame reactor for conversion of UF₄ to UF₆, Comurhex pierrelatte plant, Tricastin, France

였다.

15,000tU 용량의 커뮤렉스 II 시설을 위한 현장 작업과 엔지니어링 작업 및 허가 업무가 2007년 여름에 시작되었고, 토목 작업은 2009년 초에 시작 예정이며, 최초의 산업적 생산은 2012년으로 예정되어 있다.

공장의 설계는 시장에서 요구하는 바대로 그 생산량을 21,000tU 까지 확장할 수 있도록 할 것이다.

하니웰(Honeywell)과 제너럴아토믹(General Atomics)의 공통적인 협력사인 컨버다인(ConverDyn)은 일리노이주의 메트로폴리스 워크(Metropolis Works) 공장

이 제공하는 변환 서비스의 독점적 대리인이다.

메트로폴리스 공장은 연간 처리 용량을 15,000tU로 증가시키기 위해 필요한 새로운 설비의 시운전을 위해서 2007년 5월의 대부분 기간 동안 가동을 중지하였다.

대략 2013년까지 공장 처리 용량을 18,000tU까지 확장할 계획을 갖고 있다.

컨버다인(ConverDyn)은 또한 서유럽에서 새로운 공장 건설을 고려하고 있음을 시사하였으나 그것이 어디가 될 것인지는 말하지 않았다.

울바 컨버전(Ulba Conversion)

은 카메코와 나크카자토프롬(NAC Kazatomprom)에 의해 카자흐스탄의 우스트카메노고르(Ust-Kamenogors)에 있는 울바 메탈리 지칼(Ulba Metallurgical) 공장에 12,000t UF₆ 변환 공장을 건설하는 데 대한 평가를 수행할 목적으로 2008년 3월 3일 설립되었다.

그 공장은 51%는 카자토프롬(Kazatomprom)에 의해 49%는 카메코에 의해 소유될 것인데 카메코가 필요한 기술을 공급할 예정이다.

평가의 첫 번째 단계는 두 회사의 공동 자금 지원으로 이루어질 것이며 내년엔 완료될 것으로 예상된다.

계획된 일정이 공식 발표되지 않고 있으나 언론은 2014년에 공장 가동을 시작하여 2018년까지는 전체 생산 용량으로 확장하는 것을 고려하고 있다고 보도한 바 있다.

울바(Ulba)의 연료 가공 공장 앙 가르스크(Angarsk)와 아크타우(Aktau)의 원전에서의 농축 용량을 위해 우선적으로 많은 투자가 이루어질 경우에는 그것이 새로운 변환 공장의 도입을 해당 업무 리스트의 아래쪽으로 밀어 내게 되고 이는 분명히 새 변환 공장의 도입을 지연시킬 것이라는 것이 필자의 의견이다.

그러나 카메코와 카자토프롬(Kazatomprom)이 약 2012년을

World conversion services supply and requirements (10³tU as UF₆)

	2007	2010	2015	2020	2025	2030
Cameco (Canada & UK)	10.0	15.5	15.5	18.0	18.0	18.0
Areva	13.7	14.0	15.0	19.0	21.0	21.0
ConverDyn	10.0	15.0	15.0	18.0	18.0	18.0
Rosatom	11.0	11.0	18.0	20.0	25.0	25.0
China	1.0	2.5	25.5	3.0	3.5	3.5
Ulba Conversion	0.0	0.0	4.0	12.0	12.0	12.0
AMU (inventory, tails, recycle, HEU)	18.7	24.5	15.2	12.9	11.4	10.0
Total supply	64.4	82.5	85.2	102.9	108.9	107.5
Reference & high requirements	57	62-64	70-80	76-92	83-107	89-113

시작으로 그들이 소유한 잉카이(Inkai) 우라늄광 프로젝트의 생산 능력을 연간 5천 2백만 파운드에서 일억 4백만 파운드로 증가시키기로 합의하였다는 사실은, 변환 용량을 보다 더 빨리 증가시킬 유인이 존재한다는 것을 보여주고 있다.

러시아는 정부의 원자력 회사인 로자툼(Rosatom)을 통해 공동 지주 회사인(JSC) 앙가르스크 전기분해화학회사(Angarsk Electrolysis Chemical Complex, AECC)와 시베리안 케미컬 컴바인(Siberian Chemical Combine, SCC) 농축 회사에 의해 운전되는 UF₆ 생산 변환 공장을 보유하고 있다.

이 2개의 회사는 4불화우라늄(uranium tetrafluoride, UF₄) 공급 원료(feedstock)를 공동 지주 회사인 체페츠크 기계니칼(Chepetsk Mechanical) 공장으로부터, 그리고 농축물(concentrates)은 국내

Installed and actually used Russian conversion services capacity: Rosatom current status and plans (10³tU as UF₆)

Plant	2007		2015	
	Installed	Used	Installed	Used
AECC	17.0	7.5 - 8.0	17.0	17.0
SCC	8.0	6.5 - 7.0	10.0	10.0
Total	25.0	14.0 - 15.0	27.0	27.0

및 국외의 우라늄 채광 회사로부터 받고 있다.

시베리안 케미컬 컴바인(SCC)은 또한 공동 지주 회사인 노보시비르스크(Novosibirsk)에서 공정 처리되고 체페츠크(Chepetsk)에 의해 생산되는 금속 우라늄으로부터 질산 우라닐(uranyl nitrate)을 공급받는다.

체페츠크 공장은 국내 및 국외 그리고 국가가 보유한 재고분 우라늄 농축물을 UF₆와 우라늄 금속으

로 변환한다.

시베리안 케미컬 컴바인(SCC)은 또한 프랑스가 공급하는 재가공 우라늄(RepU)을 공급받고 있다.

앙가르스크 전기분해화학회사(Angarsk Electrolysis Chemical Complex, AECC)는 러시아의 체페츠크(Chepetsk) 공장과 카자흐스탄의 공동 지주 회사 울바 메탈러지칼 공장을 공급 체인으로부터 배제시키기 위하여 대략 2010년부터 시작하여 농축물(concentrates)

을 바로 UF₆로 바꿀 수 있는 정련 설비용량을 양가르스크에 구축할 것을 계획하고 있다.

모스크바의 컨설팅 회사인 IBR (International Business Relations) 는 2007년과 2015년의 예측된 설비 및 실제 사용 용량에 대해 보고하였다. (표 참조).

2015년의 총 사용 용량은 표에서 나타난 것보다 더 낮을 것으로 보이는데 아마도 20,000tU으로까지 낮아질 것이다.

이것은 다양한 국내의 공급자로부터 그리고 외국으로부터의 수입에 의해 농축물이 공급되는 현실 때문에 그러하며 또 다른 이유는 러시아의 원자력 성장이 예상보다 낮기 때문이다.

시베리안 케미컬 컴바인(SCC)과 관련한 표에 나타난 2007년의 용량은 재가공 우라늄 형태의 약 3,300tU으로부터 생산된 UF₆를 포함하고 있다. 2015년의 양은 재가공 우라늄 약 2,000tU의 변환을 포함하고 있다.

2차 공급

향후 몇 십년간 다량의 상업용 등급의 UF₆의 2차 공급이 예상된다. 이러한 공급은 2013년까지는 연간 20,000~25,000tU의 범위를 유지하다가 그 이후 2030년까지 약 10,000tU까지 감소하는 것으로 되어있다.

플루토늄과 소량의 우라늄의 재

순환에 의한 2차 공급량은 대략 2012년까지 4,000tU로 증가하고 그리고 그 이후 2030년까지는 대략 그 수준으로 유지될 것으로 예측된다.

미국 에너지성(DOE)이 보유하고 있는 여러 종류의 소량의 재고량들과 러시아에서 품위가 향상된 잔여물(tails)은 대략적으로 2010년과 2020년 사이에 연간 총 약 10,000tU를 공급할 수 있으며 그 후 2020년대에는 약 7,000tU 수준으로 감소할 것으로 예상된다.

수요

이번 분석에 사용된 ERI(Energy Resources International) 원자력 예측 전망은 공장별, 국가별 기준으로 이루어졌다.

이 예측은 현재 원자력을 선택한 국가들에 대하여 그 사회적, 정치적 그리고 경제적 조건을 고려한 것이다.

원자력 전망, 핵연료 설계 그리고 원자로형에 대한 경영 변수들이 2030년까지 변환 서비스 수요 예측에 사용되었다.

지금 운전중인 또는 건설중인 미국 원자력발전소들의 각각의 수요량은 원전 방출 연소도, 재장전 농축도, 핵연료 주기의 기간, 초기 노심 및 재장전 리드 시간(reload lead times)과 가동률(capacity factors)을 고려하고 있다. 공통 노형과 국가별 운전 및 핵주기 특성은 미국 밖의 원자력발전소에 대해

고려되었으며 재순환 특성은 서유럽과 일본의 몇몇 나라들의 경우에 포함되었다.

세계의 기준 사례(world reference case)를 근거로 할 때 UF₆ 수요량은 2007년의 57,000tU로부터 2025년의 89,300tU에 이르기까지 점차적으로 증가할 것으로 예측되었다.

세계적인 최고 예측 수요(world high case requirements)에 의하면 2030년까지 113,800tU으로 점차적으로 증가하는 것으로 되어 있다.

그림은 2030년까지의 공급 능력의 팽창 예측과 ERI 기준 및 최고 예측값을 보여준다.

이에 의하면 발표된 기존 설비 및 2차 공급의 확장이 2030년까지 기준 수요량을 충족시키기에 적합한 공급량을 제공할 것이라고 볼 수 있다.

계획 중인 울바 공장(Ulba facility)을 포함하여 예측 공급량은 약 2022년까지 최고 기준(high case)의 수요를 충족시킬 것으로 기대된다.

2030년 이후, 현재 예측되는 참조 기준 수요를 충족하기 위해 그때 존재하는 시설들의 확장이나 새로운 시설의 건설 중 어느 것이든 필요하게 될 것이다.

최고 기준을 적용할 경우에는 약 8년 정도 빨리 새 공장의 건설이나 공장의 확장이 필요해질 것이다. ☉