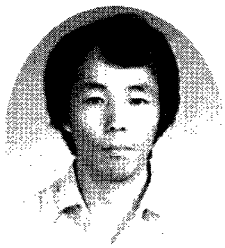
체르노빌事故後 옛 蘇聯의 原電産業動向



양 맹 호
한국원자력연구소 원자력정보정책분석실장

1991년 12월 알마아타정상회의에서 소연방은 사실상 소멸되고 15개국으로 구성된 새로운 독립국가연합(CIS)이 〈표 1〉과 같이 결성되었다. 이에 따라 옛 소련의 원전은 각각 러시아 31기, 우크라이나 15기, 리투아니아 2기, 카자흐 1기 등으로 분할됐다.

1991년에 옛 소련에서는 15개 지역에서 45기의 원전이 운전중이었고 설비용량은 36.56GWe이었다. 이를 노형별로 보면 가압형 경수로 24기(19.422GWe), 흑연감속경수로 16기(16.5GWe), 고속증식로 1기(60만kWe), 기타 4기(4.8kWe)이다. 이를 독립국가연합의 국가별로 보면 〈표 2〉와 같은데 옛 소련의 1991년도 총발전량은 2,121억kWh였고 평균 설비이용률은 66%이었다.

독립국가연합의 모든 국가들은 현재 자유경제의 어려움을 절실히 경험하고 있는데 러시아를 제외한 국가들은 특히 에너지분야에서 어려움을 겪고 있다. 이들 국가들은 과거 중앙통제와 높은 에너지공급을 보조받고 있어 별다른 어려움이 없었으나 보조가 끊어진 현재는 어려움 타개를 위한 하나의 방편으로 원자력에 대한 관심을 높이고 있다.

이런 현상은 심지어 체르노빌사고로 인하여 큰 어려움을 겪었던 국가에서도 적용되고 있는데 이는 체르노빌사고가 민족주의자들에게 민족독립운동과 연계된 반핵활동의 강력한 동기를 제공했지만 시간이 지남에 따라 민족주의자들이 반핵을 포기하는 경향을 보인 것으로 어느 정도 설명될 수 있다. 이러한 변화는 리투아니아에서 가장 현저하게 나타났는데 옛 소련 정부가 경제봉쇄를 시작하자 리투아니아 전력공급의 절반을 담당하고 있던 Ignalina 원전을 껴안았던 것이다.

오늘날 이러한 변화들이 아르메니아, 카자흐 및 우크라이나에서도 뚜렷하게 나타나고 있는데 우크라이나는 전력부족에 대한 대책으로서 건설중지중이었던 원전 3기를 조기에 완성하고자 하는 계획을 추진하고 있고(우크라이나 원자력방사선안전국가위원회는 최근 에너지 안정공급 확보를 위해 현재 건설중지인 6기의 원전 가운데 3기를 조기완성, 즉 Zaporozhye 3호기는 1994년 초반, Rovno 4호기와 Khmel'nitskiy 4호기는 1995년에 완성하여 운전하겠다고 발표한 바 있음), 에너지자원이 빈약한 아르메니아도 에너지자급률을 높이기 위해 1989년에 지진문제로 폐쇄된 원자로(VV

〈표 1〉 신생 독립국가연합(CIS)

발트3국(리투아니아, 라트비아, 에스토니아), 그루지야, 러시아, 우크라이나, 벨로루시, 카자흐, 모르도바, 아르메니아, 아제르바이잔, 우즈베크, 타지흐, 투르크메니스탄, 키르키스

〈표 2〉 독립국가연합의 원자력발전시설 현황

러 시 아	9개 지역 28기 20,242GWe(VVER 12기, RBMK 15기, FBR 1기)
우크라이나	5개 지역 15기 13,818GWe
리투아니아	2개 지역 1기 2.5GWe

ER-440/V-270 × 2기)를 91년 12월에 운전재개할 것을 결정한 바 있다.

러시아에서는 7개 지역의 지방의회가 91년 9월에 신규원전 건설을 요구하였고 또한 에너지가격 상승과 에너지부족이 심각한 북부와 극동지역에서도 원전건설에 대한 관심이 높아지고 있는데 현재 러시아에서 추진중인 프로젝트는 200만 kW급의 극동원자력발전소, 하바로프스크 열공급로, 빌리빈스크원자력발전소 2기 건설계획 등으로 21세기 초에 운전개시할 것을 목표하고 있다.

원자력발전행정체제의 개편

연방붕괴 이후 옛 소련의 원자력발전산업부의 기능과 업무는 러시아 원자력부로 이관되었으며 원전과 핵연료주기사업 등은 기업콘체른으로 분리되어 독립하는 형태가 되었다. 원자력규제체제로서 러시아는 원자력안전규제위원회를 설치하였고 우크라이나는 원자력안전위원회를 설치하는 등 독자적인 운영체제로 전환되었다. 그러나 규제관련 인력의 부족 등으로 이들 규제기관들이 제기능을 발휘하기에는 상당한 시일이 요할 것으로 보인다.

러시아에서는 초기에 구상되었던 원자력체제와는 달리 옛 소련의 원자력발전산업부가 분할되어 발전, 우라늄채광, 정련 등을 포함하는 상업적 활동들을 정부 소유의 회사조직으로 인계되었고 연구개발, 국방, 정책 및 계획입안, 국제교류업무 등은 러시아 원자력국가위원회로 인계되었는데 앞으로도 원자력발전계획과 민수화 추진 정도 등의 여건변화에 따라 원자력체제의 변화가 예측되고 있다. 원자력발전분야의 경우 러시아 원자력부가 관장하는 것으로 되어 있으나 실제로 운전은 원자력부 산하의 기업연합이 담당하고 있다.

〈표 3〉 옛 소련 국가들의 주요 핵관련시설

국 가 명	핵배치	발전로	연구로	핵무기 설계 능력	우라늄 채광 정련	우라늄 농축 능력	핵연료 제조 시설	Pu 생산처리	핵연구센터	핵 실험장
러 시 아	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
에스토니아					○					
라 트 비 아			○						○	
리투아니아		○								
벨 로 루 시	○								○	
우 크 라 이 나	○	○	○		○				○	
카 자 흐	○	○	○		○				○	○
그 루 지 아									○	
아 르 메 니 아									○	
우 즈 베 크			○		○				○	
키 르 키 스					○					
타 지 흐					○					

자료 : 日本 朝日新聞 93年 4月1日

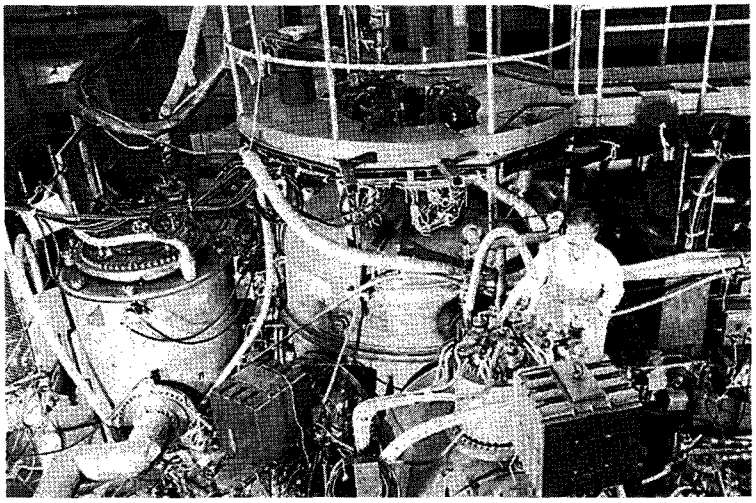
우크라이나에서는 Atomenergo (원자력발전콘체른)가 1992년에 설치되어 원자력발전을 담당하고 있고 리투아니아는 에너지부가 관할하고 있다.

핵연료주기부문은 옛 소련 해체 후 러시아, 우크라이나, 중앙아시아 제국의 소유로 분리되었다. 이 중 우라늄채광, 정련공장은 카자흐, 우즈베크, 타지흐 등에 위치하고 있으며 농축시설은 현재까지 러시아 외는 없는 것으로 알려지고 있으나 최근 타지흐는 농축우라늄 수출계획을 시도하고 있는 것으로 알려지고 있고 이에 더하여 키르키스도 농축우라늄 수출계획을 대통령이 직접 언급하고 있는 등에 따라 이들 공화국 내에 농축시설이 있는지의 여부가 관심의 대상이 되고 있다.

최근에는 핵무기 해체로 발생되는 플루토늄 관리가 문제가 되고 있고 이에 더하여 옛 소련 시대에 핵무기관련 군수시설의 인력이 민수화 추진으로 실업문제가 발생하여 핵관련 인력의 해외유출문제가 제기되고 있는 상태이다. 이에 따라 서방국가들은 핵확산방지 차원에서 모스크바 근교에 국제과학기술센터를 설립하여 재정적, 기술적인 지원을 추진하고 있다.

CIS의 원전 안전문제

최근 독립국가연합 내의 일부 국



가들은 에너지와 전력의 심각한 부족에 직면하고 있고 이로 인하여 원자력발전의 확장 혹은 도입에 매우 열성적이나 재정상의 어려움과 빈약한 안전문화 유산으로 인하여 곤란을 겪고 있어 이를 어떻게 극복하느냐가 주요 과제로 등장하고 있다. 국제사회가 옛 소련의 핵무기확산 위험에 대해 많이 우려하고 있지만 실질적인 위험은 오히려 카자흐, 리투아니아, 러시아 및 우크라이나에서 운전중인 민간 원자력발전소의 안전문제라 할 수 있다. 이러한 안전문제의 대두는 경제적, 정치적 및 사회적인 복합요인에 의하여 발생하였다고 볼 수 있는데 현재 독립국가연합 내에서 원자력에 대한 지지가 뚜렷한 회복을 보이는 시기라는 점에서 독립국가연합의 원자력 미래가 이로 인하여 위협받고 있다고 할 수 있다.

그리고 현재 독립국가연합에는 경제분야의 침체와 더불어 에너지 생산도 감소추세를 보여주고 있다. 예를 들면 1991년도 석유생산량은 1976년 수준으로 감소되었고 화석연료도 생산이 감소되고 있다. 이에 대하여 유럽국가들은 원조계획, 에너지헌장 등 여러 조치를 취하여 독립국가연합의 에너지문제 해결에 대해 지원하고 있다. 유럽원조계획은 4억ECU(5억달러 규모)의 기술원조를 실시하는 것인데 이중 1억 1,500만ECU가 에너지분야에 할당되어 있고 이에는 원자력안전, 에너지 Conservation, 석유, 가스 및 관련 법제와 행정체제 정비 등이 포함되어 있다.

특히 이 중 원자력안전분야가 절반 정도를 차지하고 있는데 V-230과 RBMK의 품질향상이 계획되고 있다. 유럽의 에너지헌장은 옛 소련과 동유럽국가를 포함해 45개국이 조인한 것으로 옛 소련과 동유럽국가들과의 에너지협력을 위해 만들어진 것이다. 이후 3가지 개별의정서의 채택이 예정되어 있지만 합의까지는 아직 불투명하다.

서방유럽국가들은 체르노빌사고와 유사한 사고의 방지를 위해 체르노빌형 원전의 폐쇄를 요구하고 있으나 독립국가연합 내의 좋지 못한 전력사정으로 인하여 원전을 계속 운전할 것으로 보인다. 한편 최근 사고가 발생한 레닌그라드부지에서는 1호기만 운전중이고 우크라이나는 체르노빌부지에서 운전중인 원전 3기를 93년에 폐쇄할 것이라고 결의한 바 있다. 그러나 우크라이나의 원전폐쇄결정은 의회의 결정에 의하게 되어 있는데 대체전원의 확보여부가 그 결정에 큰 영향을 미칠 것으로 보인다.

CIS의 원전산업 동향

1. 아르메니아

아르메니아에서는 일반대중의 원전 안전성에 대한 우려가 점증하게 되자 지난 1989년에 유일하게 소유하고 있던 원자력발전소를 정지시킨 바 있는데 최근에 극적인 반전이 일어나고 있다. 아르메니아가 소유하고 있는 원전은 예레반 서쪽 20마일 지점인 Metsamor에 위치하고 있는 제1세대 V-230형의 VVER-440 2기이다. 이 2기의 원자로는 각각 1976, 1979년에 운전을 시작하였으나 비상노심냉각장치와 격납구조가 빈약한 것으로 알려지고 있어 1988년 인접지역에서 지진이 발생한 후 정지되었다. 비록 발전소에는 피해가 없었으나 일반대중은 계속 가동을 강력히 반대하였다. 이에 따라 이 발전소를 화석연료발전소로 전환시킬 계획을 추진하게 되었는데 이 계획은 아제르바이잔과의 충돌격화로 아르메니아에 대한 부분봉쇄가 실시되자 화석

연료의 구입이 어려워짐에 따라 비현실적인 것으로 입증되었다. 이와 함께 천연가스와 같은 대체연료는 값이 비싸 충분한 공급이 어려운 형편이고 이로 인하여 공장가동이 중지되는 등의 고통을 받고 있기도 하다.

이에 따라 아르메니아 정부는 1991년 11월에 1993년초까지 Metsamor 원전을 새롭게 재가동한다는 목표하에 원자력프로그램을 재생할 의도를 표명하였으나 이 재생계획 또한 비현실적인 것으로 나타났다. 즉 아르메니아 정부는 Metsamor 원전의 재가동을 위해 100~150만달러가 소요될 것으로 예측하였다. 그러나 실질적으로 그 정도의 투자로는 제1세대 원자로들의 안전성을 의미있게 향상시킬 수는 없을 것으로 예상되고 있을 뿐 아니라 Metsamor 원전을 정지시킨 후 그곳을 떠난 러시아계 운전원을 대체할 우수한 인력확보가 불가능하다는 어려움이 있기 때문이다.

이러한 어려움과 더불어 빈번한 지진 발생지역이라는 요소가 있기는 하지만 1992년 가을 모스크바의 Minatom 관리는 아르메니아와 아제르바이잔간의 군사적 충돌이 끝난다는 전제하에 Metsamor 원전의 재가동 제안서를 발부하였다. 이에 따라 아르메니아 정부는 1992년 12월초 원전의 재가동을 위하여 국회에 가동허가를 공식적으로 요청하였다. 만약 국회가 가동을 허가한다면 이 문제는 국민투표에 부쳐질 것이다. Steve Tashjain 아르메니아 에너지장관은 원자력발전이 1994년 1월까지 재가동될 것이라는 기대를 나타냈다. EC와 계약에 의해 그 문제를 검토하고 있는 프라마톰社는 다소 비관적인 견해를 나타냈으며 발전소가 재가동되기 위해서는 최소한 2년이 필요할 것으로 예측하였다.

2. 벨로루시

1986년 체르노빌사고로 인하여 방사능오염이 심각하였던 벨로루시는 옛 소련 어느 지역보다 원자력에 대한 반대가 심한 국가였다. 이러한 반대로 1990년대 말까지 가동할 예정이던 2기의 1,000MWe VVER(Minsk 1, 2)이 취소되었다.

벨로루시도 아르메니아와 같이 에너지를 수입에 크게 의존하고 있는데 옛 소련의 에너지공급체계 붕괴로 러시아로부터의 연료공급에 문제가 발생함에 따라 원자력발전 취소결정을 재검토하기 시작했다. 벨로루시의 국회의원이며 생태학회의 부회장인 Leonid Tarasenko氏에 따르면 벨로루시내에 5~10기의 원자력발전소 건설 가능성에 대한 논의가 1991년말에 시작되었는데 이는 환경운동과 원자력에 대한 반대운동이 경제적 어려움으로 인하여 약화되었기 때문이라고 전하였다.

1992년 11월 중에 러시아로부터 천연가스공급이 중단됨에 따라 벨로루시는 국내 에너지수요에 대처하기 위해 신규원전을 건설하기로 했다고 12월에 발표했다. 보도에 의하면 신규원전 건설후보지로서 2곳이 선정되었으며(아직 국회의 반대를 겪고 있음) 2005년까지는 첫 번째 원전을 완공할 계획이라고 하고 있다.

3. 카자흐

카자흐의 원자력계획은 서방세계에 별다른 주목을 끌지 못해 왔다. Aktau에 소재한 LMFBR형 BN-350은 옛 소련의 원자력발전에 대한 조사에서 번번히 간과되었던 것이다. 그러나 최근 카자흐는 원자력발전의 확대를 위한 야심적인 계획을 제시하였고 세계의 주목을 받기 시작하였다.

카스피해 동쪽 해안에 위치한 Aktau에 소재한 BN-350은 2중 목적의 시설로서 1973년에 상업운전을 시작한 것이며 200MWe에 해당하는 담수와 135MWe의 전기를 생산하고 있다. 이 원자로는 통상적으로는 20~25% 농축우라늄 연료를 사용하도록 되어 있는데 MOX 연료도 사용할 수 있도록 설계되어 있다. 1990년초에 일련의 실험이 핵무기에서 추출한 핵연료물질로 제작된 핵연료집합체를 이 원자로에 장전하여 수행되었다. 이 R&D 프로그램은 최근 해체된 핵탄두에서 추출한 플루토늄을 민간 핵연료주기에 사용하기 위한 것이다.

그리고 이 원자로는 비록 다른 옛 소련내 원전들과 설계가 매우 다르기는 하나 1970년 중반 이후 안전성에 대한 문제를 가지고 있었는데 주로 증기발생기에서의 누출, 연료집합체 Seal의 파열 그리고 나트륨화재 등이었다. 이로 인하여 옛 소련의 관리들은 이 시설의 폐지를 고려하게 되었는데 카자흐가

독립한 이후 심각하게 대두되지 않았고 대신 새로이 설립된 카자흐 원자력위원회는 BN-350을 2003년까지 운전하도록 허가하였다.

카자흐는 비록 화석연료가 부족하지는 않으나 최근에 심각한 에너지 부족현상을 겪게 되었고 또한 다른 공화국에서 전기를 수입한 경험을 가지고 있다. 이러한 상황으로 인하여 카자흐는 러시아에서 또는 서유럽에서 경수로를 구입하고 플루토늄을 재순환하며 재처리시설을 건설한다는 것을 포함한 증식로 프로그램을 고려하게 되었다. 현재 카자흐에서는 BN-350에서 매년 약 200kg의 플루토늄이 생성되고 있다고 한다. 보도에 따르면 카자흐가 NPT에 서명한다면 러시아는 재처리기술을 제공할 수 있다고 러시아의 Minatom 관리가 말했다고 한다. 카자흐의 Nazarbaev 대통령은 1992년 10월 유럽 방문기간 동안 원자력분야에 대한 카자흐와 프랑스의 협력을 논의한 바 있다. 여기에서 과거 핵무기 시험장이었던 Semipalatinsk와 대규모 연료제조시설이 있는 Ust-Kamenogorsk를 포함하여 최소한 5곳의 원전 입지후보지가 카자흐 관리에 의해 언급되었다.

4. 리투아니아

체르노빌원전과 같은 RBMK형인 Ignalina 원전에 대한 반대는 리투아니아의 독립운동과 밀접하게 연관되어 있었다. 이 발전소는 주로 러시아 운전자들에 의해 운전되었으며 리투아니아에 대한 모스크바 지배의 상징처럼 여겨졌다. 그러나 1991년 가을 리투아니아가 독립을 선언한 이후 이러한 견해는 갑자기 변했다.

이 원전은 그 당시 세계에서 가장 큰 규모의 RBMK형 원자로 2기로 되어 있었는데 리투아니아 전력공급의 60% 이상을 담당했다. 다른 연료자원이 부족한 상황하에서 리투아니아는 Ignalina 원전을 선택했다. 리투아니아는 Ignalina 원전의 중요성을 감안하여 원전 운전자들에게 리투아니아 시민권을 부여하였고 운영책임자들을 자국 출신으로 교체하였다.

그러나 이들 원전들은 현재 안전문제로 정격출력보다 적은 출력으로(1,500MW에서 1,250MW) 운전하고 있고 또한 재정문제와 안전문제로 3억달러가 투자된 3호기의 건설착수를 지연시켰다. 특히 1983년과 1986년에 운전된 1호기와 2호기의 냉각계통 문제들은 인접 유럽국가들에게 안전에 대한 우려를 낳고 있다. 이러한 현상들에는 인력과 안전문화, 사용후연료 저장 그리고 안전성 향상을 위한 재정문제 등 본질적인 문제들이 내포되어 있다.

현재 리투아니아는 재정수입을 위하여 위와 같은 문제들에도 불구하고 벨로루시에 전력을 수출하고 있으며 앞으로 수출확대를 추진하고 있다.

5. 우크라이나

체르노빌사고 이전에 우크라이나에서도 러시아와 같이 거대한 원자력계획을 가지고 있었는데 원자력발전의 점유율을 금세기 말까지 60%로 증대시킨다는 것이었다. 그러나 1986년의 체르노빌사고로 Crimea와 Chigirin에 계획되었던 신규원전 건설이 포기되었고 대신 남부 우크라이나 Rovno, Zaporozhye, Khmel'nitskiy에 신규원전들이 건설되었다. 또한 원자력발전소와 Odessa, Kharkhov, Kiev의 근처에 건설 예정이던 열공급로를 포함한 프로젝트들도 보류되었다. 우크라이나에서는 현재 5기의 원자로가 총 전력공급의 거의 25%를 차지하고 있다.

또한 우크라이나의 원자력안전문제로서 Khmel'nitskiy 1호기와 Zaporozhye 3호기 및 남우크라이나의 3개 원자로가 1992년 봄에 재난발생이 예상된 바 있고 일지정지된 Sosnovyy Bor(Leningrad) 원전에 있는 체르노빌 1호기와 3호기는 1992년 3월에 24개의 고장을 일으켜 우크라이나 원자력발전소계획의 안전성에 대한 대중들의 불신이 깊어지게 되었다.

그러나 우크라이나의 최근 원자력법은 가까운 미래에 원자력에 대한 개혁을 암시하고 있는데 GANU(State Committee for Nuclear & Radiation Safety)가 반대한 체르노빌 1, 3호기의 재가동을 정부가 결정한 것이 이러한 상황의 진전을 예시한다. 그리고 전력부족에 대한 대책으로서 건설중지중인 원자력발전소 3기를 조기에 완성한다는 계획을 추진하고 있는데 GANU에서 최근 에너지 안정공급 확보를 위해 현재 건설동결중인 6기의 원자력발전소 가운데 3기(Zaporozhye 3호기를 1994년 초반, Rovno 4호기와 Khmel'nitskiy 4호기를 1995년)를

조기완성하여 운전하겠다고 발표한 것이다.

우크라이나의 1992년도의 총 발전량은 1991년보다 257억kWh가 증가한 2,529억kWh였으며 원자력 발전량은 1991년보다 14억kWh가 감소한 737억kWh로 점유율은 29.7%이었다. 그러나 체르노빌지역 원전 3기(300만kW)를 1993년말까지 폐쇄하기로 예정되어 있고 러시아에서 공급되는 석유, 가스의 공급가격이 높아지면서 공급량 감소가 예상되고 있어 전력과 에너지수급 문제가 심각해지고 있다. 이에 따라 건설중인 원전 6기 중 건설이 상당히 진척되었던 Khmel'nitskiy 2호기, Zaporozhye 6호기, Rovno 4호기 등의 건설완공은 우크라이나 경제의 사활이 걸린 문제라고 강조하고 있다. 건설중지중인 나머지 3기는 Khmel'nitskiy 3, 4호기, South Ukraine 4호기이다. 이러한 건설중지중인 원전의 해체에는 우크라이나의 원전의 안전성과 안전기준이 국제기준으로 되어야 한다는 것이 전제되고 있다.

우크라이나의 GANU 산하에는 원자력방사선안전감독국가검사국, 과학기술센터, 원자력시설공급품질관리국가센터가 새로 설립되었고 이외에 사용후연료 및 모든 형태의 방사성폐기물의 수집, 매설을 수행하기 위한 조직의 설치를 추진중이다.

러시아의 원전이용 현황과 전망

체르노빌사고 이후 러시아 내에서 원자력발전은 진전이 별로 이루어지지 못하였다. 이에 따라 건설중이던 원전들은 중앙과 지방정부의 결정에 따라 건설이 중지되기도 하였으며 건설 초기단계에 있던 것들은 건설이 포기되기도 하였다. 그러나 러시아의 원자력산업은 옛 소련의 국방부문과 연계되어 핵복합체를 바탕으로 과학생산종합체로 발전되어 왔으며 여기에 핵연료주기산업, 방사화학, 기계, 건설분야 등이 포함되어 있다. 이러한 면에서 볼 때 잠재력면에서는 서방국가들보다도 큰 것으로 평가되며 러시아가 옛 소련내 우라늄 생산의 30%를 보유하고 있고 또한 원자력산업의 80%, 과학기술잠재력의 90%를 가지고 있다.

〈표 4〉 러시아의 전력공급구조(91. 1. 1)

구 분	화력발전	수력발전	원자력발전	계
시설용량(GWe)	132	41	20	195
발전량(10억kWh)	730	167	120	1,017
발전점유율(%)	71.8	16.4	11.8	100

〈표 5〉 러시아 원전현황

위 치	노 형	기수	용량(MWe)	폐로예정
Novovoronezhskiy	VVER-440/1000	3	1,834	2001~2010
Kola	VVER-440	4	1,760	2003~2014
Kalinin	VVER-1000	2	2,000	2014~2016
Balakovo	VVER-1000	3	3,000	2015~2018
	소 계	12	8,594	
Leningrad	RBMK-1000	4	4,000	2003~2011
Kursk	RBMK-1000	4	4,000	2007~2015
Smolensk	RBMK-1000	3	3,000	2003~2014
	소 계	11	11,000	
Beloyarskiy	FBR-600	1	600	2010
Biblinsk	EGP-6	4	48	2004~2006
	소 계	5	648	
총 계		28	20,242	

(주) 1991년 기준

1. 에너지수급 현황

러시아의 에너지자원은 주로 동부지역에 매장되어 있으나 소비지역은 서부에 위치하고 있다. 따라서 전력의 70% 정도가 서부지역에서 생산, 소비되고 있어 에너지자원 수송을 위한 에너지자원 손실이 20%에 달하고 있다.

러시아는 화석연료 이용이 전체 에너지 이용의 50%를 차지하는 수급구조를 가지고 있는데 화석연료 소비는 연간 11억6천만톤으로 이중 30% 정도인 3억5천만톤 정도가 전력생산에 이용되고 있다. 화력발전은 주로 천연가스를 이용하여 이루어지고 있는데 전체 천연가스 사용량의 41% 정도인 2억1,100만톤이 전력부문에 사용되고 있고 총

전력의 60%를 공급하고 있다.

향후의 에너지정책에서는 화력발전이 환경오염물질을 방출하며 기존 화력발전소들의 11% 정도가 수명이 지났거나 현대화가 요구된다는 점에 따라 앞으로 15GWe 규모로 축소될 것으로 전망되고 있다. 또한 석유와 석탄의 생산량도 계속 감소되어 연료공급에 차질이 우려되고 있다. 따라서 러시아는 전력공급면에서 구조적으로 천연가스 생산을 늘여가야 하는데 화력발전의 경제성과 연료공급의 불안정성 등과 같은 문제를 안고 있다. 즉 시장경제로 전환함에 따라 에너지가격의 상승이 유발되고 있고 또한 국제경쟁이 불가피해지고 있다는 점이다.

1989년을 기준으로 발전원별 발전원가를 비교해 보면 원자력을 100으로 볼 때 석탄화력이 110~120, 가스화력이 140~150 수준이다. 반면에 핵연료는 러시아는 물론 옛 소련 전체와 동유럽국가 원전 수요를 충족하기에 충분하며 현재 생산하고 있는 천연우라늄 생산량은 100GWe 정도의 설비에 공급하기에도 충분하다. 또한 원전의 경우 성숙한 산업 하부구조가 있고 핵연료생산시설에 별도의 투자가 필요없으며 핵연료 운송체계도 잘 구비되어 가장 바람직한 발전원으로 평가되고 있다. 따라서 러시아 에너지정책 골자는 환경문제를 해결하면서 화석연료 특히 석탄의 생산감소에 대비하여 10년안에 화력발전소를 원전으로 전환하는 것이 주 목표가 되고 있다.

결국 러시아는 핵연료주기기술과 시설, 원자로기술과 시장, 에너지정책면에서의 정책구조(화석연료 소비로 인한 환경문제 해결 등), 원전의 안전문제 해결능력 보유, 원전의 안전한 운영과 폐지, 방사성폐기물의 최종처분문제를 해결할 수 있는 과학기술과 산업기반을 가지고 있다는 것과 더불어 인력확보와 에너지 경쟁력을 세계수준으로 끌어 올릴 수 있는 국제적인 과학기술과 협력관계도 가지고 있으므로 러시아 원자력발전의 장래는 밝게 평가되고 있다.

2. 원자력발전 현황

1986년의 체르노빌사고로 인해 러시아의 원전확대는 주춤하여 1986년의 35기에서 24기로 감소되었다. 1980년에 계획되었던 원전 설비규모의 4배 확대계획도 무산되었고 또한 최소한 16기의 원전건설계획이 중지되었다. 그러나 1992년 3월에 들어 이러한 원전확대 중지에 새로운 변화가 나타났다. 즉 건설중지된 Balakovo, Tver(Kalinin), Kostroma, Kursk 등을 완결할 것을 추진하고 체르노빌사고 이전에 추진되었던 Kola 반도의 원전 5, 6호기와 극동지역 원전에 대한 설계작업도 재추진할 것을 계획하고 있다.

결국 러시아는 현재 운전중인 원자력발전소를 계속 유지할 것으로 전망되고 있다. 현재 9개 지역에 28기 원전이 운전(VVER 12기, RBMK 15기 FBR 1기)중에 있다. 이중 수요에 따라 전력 및 열부하를 조정하는 Biblinsk(EGP-6)를 제외하고는 기저부하로 이용되고 있다. 현재 가동중인 원자로는 1977년부터 1990년 사이에 건설한 것이며, 이외에 설계수명이 지난 4기(Beloyarskiy 1, 2호기, Novovoronezhskiy 1, 2호기) 및 건설중인 것이 4기(Balakovo 4호기, Kurrk 5호기, Valininsk 3호기, Vornezhsk AST)가 있다.

원자력발전에 의한 전력공급 현황을 보면 1991년에 1,200억kWh를 생산, 공급하였으며 발전점유율은 11.3%에 달하고 원전이용률은 67.7%였다. 특히 러시아 북서지역과 중부지역 그리고 볼가강 중류지역의 경우 각각 원자력발전 점유율은 32%, 21.3%, 13.8%에 달하였다.

현재 러시아내의 원자력산업 종사자는 40,589명 정도이며 이 중 원전분야에 38,641명이 종사하고 있고 생산분야 종사자는 27,023명으로 알려지고 있다.

3. 향후 원전정책

러시아는 현재의 어려운 경제여건과 원자로에 요구되는 엄격한 안전조치에도 불구하고 원자력발전사업을 확장하는 정책을 견지할 것으로 전망되고 있다. 이에 러시아 원자력부는 30~50년간의 전망을 토대로 2000년과 2010년으로 구분하여 원자력의 새로운 방향과 과학기술의 진전 가능성을 고려함으로써 앞으로 원전사업을 추진할 것으로 전망된다.

92년 7월 러시아 원자력부 산하의 과학기술자문회의에서 심의되고 조정위원회에서 결정된 2010년까지의 러시아 원자력발전계획의 주

〈표 6〉 러시아 원전건설 신20년계획

노 형	발전소명	운전개시년도
VVER-1000	Balakovo 4 Kalinin	1993 1995
RBMK-1000(개선)	Kursk 5	1995
GLWR-32MW	Bilibino 5 Bilibino 6 Bilibino 7	2001~2005 2001~2005 2006~2010
VVER-1000(안전성 향상)	Novovoronezhskiy 6 Novovoronezhskiy 7	2001~2005 2001~2005
VVER-630(안전성 향상)	Kola 5 Kola 6 Kola 7	2001~2005 2001~2005 2006~2010
VVER-1000(개선)	Balakovo 5 Balakovo 6	2000년까지 2000년까지
ACT-500(열출력 500MW) 지역난방	Voronezh 1 Voronezh 2	2000년경 2000년경
BN-800(고속로)	South Urals 1 South Urals 2 South Urals 3 Beloyarskiy 4	2000년경 2000년경 2000년경 이후 2000년경 이후
VVER-600(피동안전)	Far East 1 Far East 2 Primorskaya 1 Primorskaya 2	2010년경 2010년경 2010년경 2010년경
ACT-500	Khabarovsk 1 Khabarovsk 2	2010년경 2010년경
Pilot V630(안전성 향상)	Sosnovyy Bor 5 Sosnovyy Bor 6	2010년경 2010년경

요내용을 보면

(1) 2010년까지 원전건설은 그동안 중지된 원전시설과 수명이 종료된 화력발전시설을 보충하는 수준의 규모로 추진

(2) 원자로형은 경수로형에 바탕을 둔 차세대원자로와 Channel형 원자로를 병행하여 개발

(3) 핵무기폐기에 따라 발생되는 고농축우라늄과 플루토늄을 핵연료로 사용하며 2000년까지 핵연료의 안전성과 경제적인 에너지원 도입 가능성을 모색

(4) 방사성폐기물과 사용후연료 관리대책을 구체화

(5) 원자력의 경제사회적 역할을 인정하고 국제적인 여론과 안전성 문제에 대한 국제적인 노력을 반영하여 국제적 평가와 국제협력을 강화 등이다.

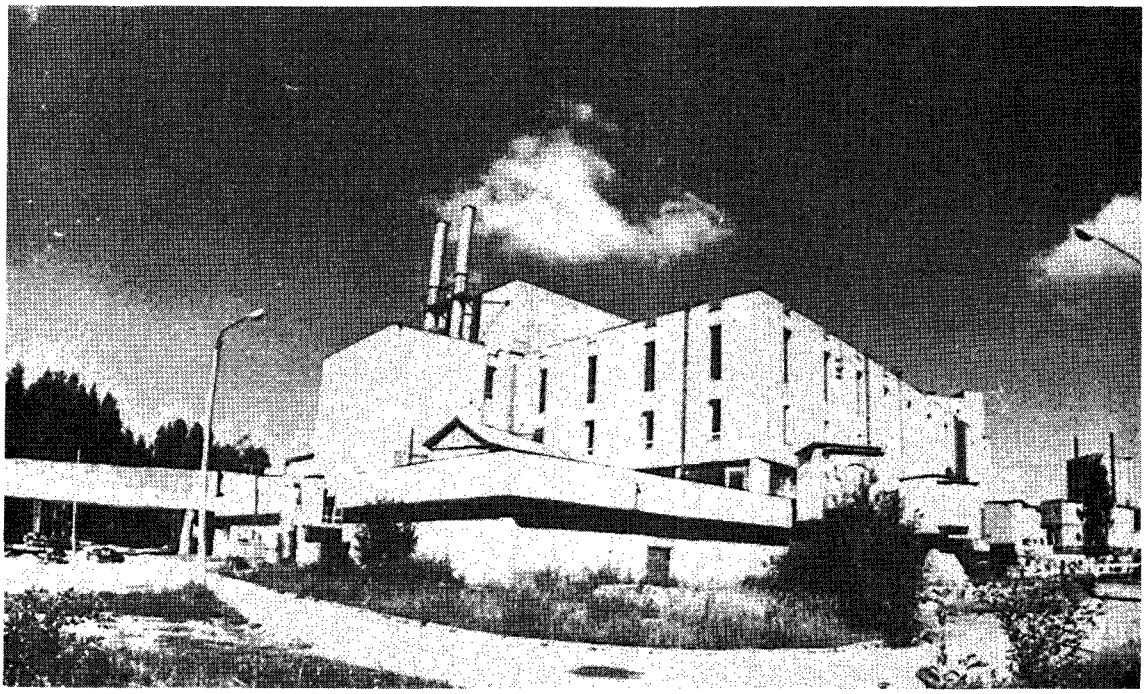
이와 관련 투자규모를 보면 91년 가격으로 95년까지 과학연구실험설계에 40억루블, 인력양성체제 개선에 9억루블이 투자될 것으로 추정되며 또한 2000년까지 연구개발사업에 추가로 35억루블을 더 투자할 예정으로 되어 있다.

현재 상황으로 보아 러시아의 전력확보 및 노형전략은 크게 3단계로 나누어 추진될 것으로 보인다. 제1단계는 2000년까지로서 재혁신기간이라고 볼 수 있는 것으로 기존 원전의 안전성 향상과 설비의 현대화를 추진하고 건설이 착수된 원전을 통하여 출력을 약간 높이며 개발된 기술을 통해 차세대원전을 개발, 건설하여 안전수준과 경제성 측면에서 전력공급의 기반으로 추진하는 것이 중점적으로 이루어질 전망이고 이와 함께 제1세대 원전의 폐지가 추진될 것으로 보인다.

제2단계는 2000년부터 2010년까지로서 미래 원자력산업의 안정적 발전을 보증할 수 있도록 안전수준과 경제적 요인이 반영된 차세대원전 건설에 중점을 둘 것으로 보인다. 또한 신기술에 입각한 원전의 개발과 건설이 시작되고 수명이 다한 원전의 계획적인 폐지가 추진될 것으로 보인다.

제3단계는 전력공급과 환경문제가 해결되는 2010년 이후로 기존기술의 완성과 신기술의 발전을 기대하고 있다.

고려되고 있는 차세대 경수로로서는 1,000MWe급과 630MWe급의 2가지 노형의 개발이 검토되고 있는데 VVER-440과 VVER-1000의 경험이 토대가 될 것으로 보인다. 그리고 열공급용 원자로로서는 AST-500의 개발이 추진될 것으로 전망되고 소형원자로와 핵무기급 Pu 연료에 기초를 둔 경쟁력 있는 고속증식로 개발도 제2기 기간중에 건설할 것을 계획하고 있다.



이러한 계획에 따라 원전설비용량은 2015년까지 16,500MWe로 증가될 것으로 계획되어 흑연감속 경수냉각형 3기, 고속로 4기, 지역난방로 4기, 가압경수로 15기가 건설될 예정이다. 이 중 Balakovo 4호기, Kalinin 3호기, Kursk 5호기는 1995년 이전에 가동하고, 볼가강 중류의 Balakovo 4호기는 금년 중에 가동될 것으로 전망된다. 또한 앞으로 폐지될 제1세대 원전(Kola, Novovoronezhskiy)은 대체될 계획이다.

또한 러시아는 1992년 6월 극동 및 동시베리아에서의 에너지 안정공급 확보에 관한 결정이 있었는데 원자력에 대한 여론을 고려하여 지방정부와의 합의를 통해 최종 결정될 것으로 보인다. 이를 위하여 1995년까지 연해주에 설치될 지하원자력발전소에 대한 타당성조사를 추진하는 것 등을 포함한 프로젝트 추진을 총괄하기 위한 극동원자력 프로젝트통합관리기관을 설립하였다. 현재의 계획에 의하면 극동원자력발전소 1, 2호기 및 하바로프스크 열공급로 1, 2호기는 각각 2010년에 운전개시될 계획이다.

4. 원전의 안전확보문제

1986년의 체르노빌사고 이후 옛 소련형 원전에 대한 서방측의 우려가 팽배해졌고 국제원자력계에 많은 영향을 주었다. 러시아도 원자력에 대한 국민합의를 얻지 못하고는 원전이용 확대를 추진할 수 없다는 점을 인식하고 원전자료의 공개와 객관성을 지닌 홍보, 사회적인 감시기능을 강화하는 등을 통하여 원자력발전에 대한 신뢰회복을 추진할 것으로 보인다.

이를 위해 기존 원전을 설계시기에 따라 1, 2세대로 구분하여 체르노빌사고 이후 러시아 원전에 대한 상태를 진단하고 조치한 이래 안전성이 크게 향상되었는데 주로 원자로 구조와 운영상의 위험요인들이 제거되었으며 또한 운전원의 자질향상 및 운영규정의 강화가 이루어졌다. 이와 함께 모든 원전에 대해 화재방지작업을 추진하였고 시설과 배관의 감시체계의 보강, 운전원 지원시스템 및 진단시스템을 도입하였다. 이러한 노력의 결과 원자로 정지건수가 해마다 줄어들었으며 서방국가 수준에 도달하고 있는 것으로 보인다.

또한 향후 추진될 원자력발전 프로그램에서는 원자로의 안전성 향상을 위하여 구형 원자로인 제1세

대 원자로를 대체할 수 있는 신형 원자로 개발에 중점을 둘 것으로 보이는데 차세대원자로로서는 노심용융사고 발생확률이 10^{-5}/원자로·년 그리고 노심용융사고 발생시 방사능물질의 방출확률이 10^{-7}/원자로·년인 제3세대 원전이 추진될 것으로 보인다. 그리고 제4세대 원자로로서는 자연원리에 입각한 원자로를 채택하여 개발할 것으로 보인다.

5. 핵연료주기 정책방향

우라늄 농축과 플루토늄 재처리 공장은 1940년대 말에 개발에 착수되었는데 군사적 목적을 지닌 것이었다. 그후 1950년대 중반 Obninsk의 저출력 원자로를 가동개시한 이후 민수용 원자력산업이 개발되기 시작하였고 민수용 원자로에 핵연료를 공급하게 되었다. 최근의 소연방의 붕괴 및 핵군축 진전 등에 따라 러시아 내에서는 우라늄농축이 중단된 상태인데 전체적인 핵연료주기서비스의 용량은 국내 수요분을 초과하고 있으며 핵군축계획이 실질적으로 추진되어 가면 고농축우라늄과 플루토늄의 재고량이 많아질 것으로 보여 2010년까지의 선행핵연료주기 서비스는 충분한 공급능력을 가질 것으로 예상되고 있기도 하다. 이러한 상황과 함께 국가의 재정적인 수입을 목표로 1988년부터 잉여 농축우라늄을 서방세계에 판매하기 시작하였고 1990년에 들어서는 천연우라늄도 판매하기 시작하였다.

이외에 러시아 핵연료주기정책은 핵무기감축에 따른 고농축우라늄과 플루토늄의 이용 및 VVER형 원자로에서 발생하는 사용후연료의 재처리를 통하여 차세대원자로에 활용할 수 있도록 하는 것 즉 재순환정책의 추진이라고 할 수 있다. 현재 러시아의 재처리시설은 Chelyabinsk에 1개소가 있으며 여기서 VVER-440, BN-350, BN-600 원전에서 발생한 사용후연료를 중심으로 CIS와 동유럽국가 및 러시아가 공급한 핵연료를 사용하는 핀란드 원전에서 발생한 사용후연료도 재처리하고 회수되는 플루토늄은 RBMK 핵연료생산에 이용되고 있다.

재순환핵연료주기정책의 추진은 앞으로의 노형전략과 부합시키고 고준위 방사성폐기물 관리문제를 해결해야 하는 점을 고려하여 2010년까지로 되어 있는 제1, 2단계의 계획에서 재순환핵연료주기를 완성할 기초를 마련하는 것으로 될 것인데 제1단계로서 2002년까지 Krasnoyarsk 소재 광산화학공장에서 사용후연료 재처리공장(RT-2)을 건설하여 2005년 이후 러시아 및 인접국가에서 발생한 사용후연료를 재처리 추진하고 제2단계에서는 Chelyabinsk 소재 Mayak 공장에서 핵무기급 Pu 연료 이용을 포함한 고속증식로용 및 경수로용 혼합핵연료 제조시설을 건설하는 것으로 미국과의 협력을 통해서 추진될 전망이다. 전문가들은 이 프로젝트에 소용될 재원으로 95년까지 40억루블, 2000년까지 추가로 30억루블(91년 가격)이 소요될 것으로 전망하고 있고 러시아는 재원조달을 위하여 서방측과 협력을 추진하고 있는 중이다.

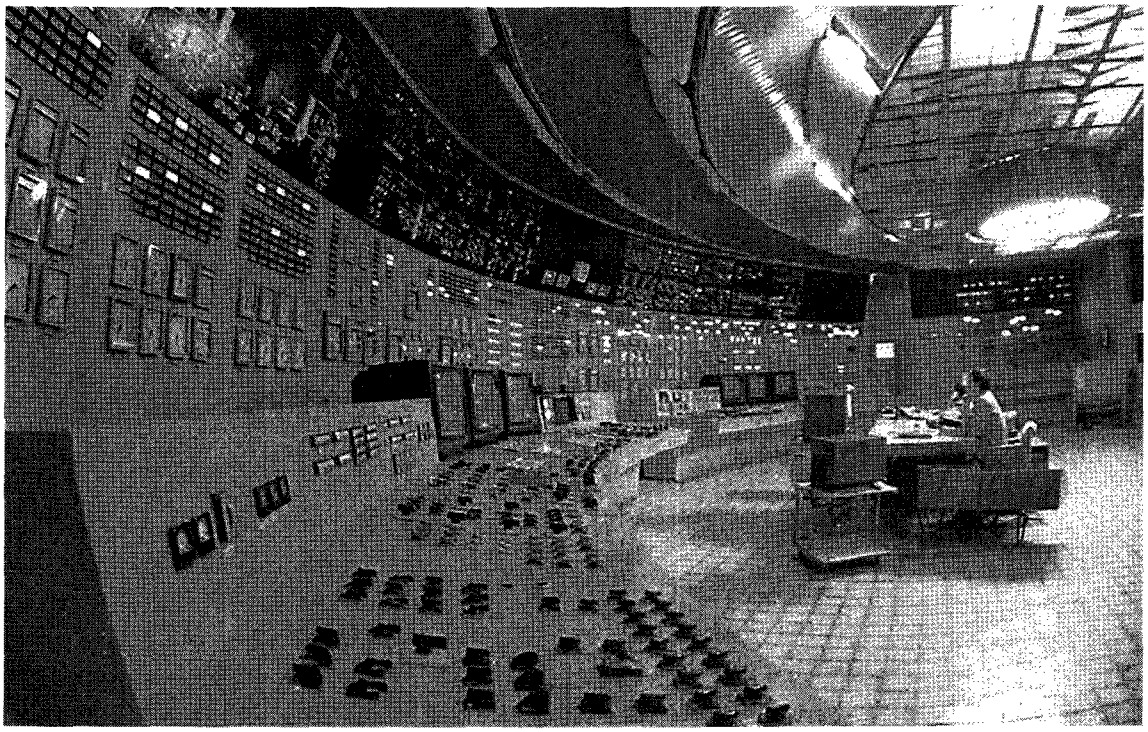
한편 RBMK 원자로에서 발생되는 사용후연료는 경제성이 없어서 저장보관하고 있으며 VVER-1000에서 발생되는 사용후연료도 Krasnoyarsk 소재 광산화학공장에서 저장하고 있는데 저장용량이 6,000톤으로 2005년경에 포화상태에 도달할 것으로 예상되고 있어 사용후연료의 처분을 위해 2010~2020년까지 건설을 추진해야 할 것으로 보인다.

6. 방사성폐기물 처리처분 및 폐지

고준위 폐기물의 처리처분을 위하여 2000년까지로 되어 있는 제1단계에서 Mayak 재처리공장에서 액체폐기물의 고화처리를 위한 산업종합체를 조성해가는 것으로 하고 있는데 먼저 장반감기 핵종의 분리추출공장을 1995년까지 건설하며 처분연구수행을 위해 지하실험장소를 건설할 것으로 보인다. 제2단계에서는 처리된 폐기물처분을 지질학적으로 처분저장할 수 있도록 장소선정과 처분 추진할 것으로 보인다.

중저준위 방사성폐기물 처리, 처분은 아스팔트 고화, 시멘트 고화, 플라스틱 고화방법을 통해 처리하고 있으며 고체폐기물은 감용압축화방법을 사용하여 특수콘크리트시설에 보관하고 있다.

그리고 2010년까지 원전에서 발생될 폐기물량은 액체폐기물 70만 m^3, 고체폐기물 50만m^3으로 추정되며 안전한 처리처분을 위한 별도의 지침작성과 계획수립이 추진될



예정이다.

러시아에서는 2010년까지 약 14기 정도의 원전이 30년 수명에 도달할 것으로 전망되고 있는데 시설의 부분적 해체나(정지후 2~3년) 완전해체 또는 원자로 매몰(정지후 5~10년) 등을 결정하도록 하고 있다.

7. 국제협력

러시아는 원자력분야에 대한 국제협력을 한층 강화해 나갈 것으로 보인다. 우선 운전중인 원전의 안전성 향상과 원자력의 해외수출에 중점을 둘 것으로 전망된다. 이미 中國과 VVER-1000형의 원전수출을 합의한 바 있고 우라늄수출과 핵연료주기기술 수출을 미국을 비롯 선진국에 대해 적극 추진중이다.

또한 핵무기폐기에 따른 고농축우라늄과 플루토늄을 원전연료로 이용하기 위하여 미국 및 日本과 국제협력을 강력하게 추진하고 있으며 고농축플루토늄의 이용을 위한 신형로 개발을 러시아 원자력부과 미국 GA社간에 합의한 바 있고 고농축우라늄의 민수용화 및 대미국 수출을 위한 구체적인 협력도 추진되고 있다.

결 론

독립국가연합 내의 일부 국가들은 원자력발전의 확장 혹은 도입에 매우 열성적이다. 그러나 이들은 막대한 재정소요에 따른 어려움과 빈약한 안전문화 유산을 극복해야 할 것이다. 이러한 제반 문제를 극복하기 위해서는 독립국가연합 내에서 원자력체제의 정비와 인력양성, 규제기준의 정립 등이 우선적으로 요구되며 문제해결을 위해서 자국 스스로의 노력도 중요하지만 서방국가들의 재정지원은 물론 기술지원도 중요하게 부각되고 있다. 그러나 러시아는 핵무기 생산 및 원자력발전에 필요한 제반 핵연료 주기시설과 인력, 기술을 보유하고 있으며 일부 분야는 서방측보다 우수한 것으로 추정되고 있다. 단 상기의 제반 여건을 효율적으로 조성하여 러시아를 비롯한 옛 소련 국가들의 원자력발전산업이 순조롭게 진전되기 위해서 당분간은 서방측의 기술과 재정지원에 의존할 것으로 전망된다.▣