

중국의 에너지 사정과 원자력 발전의 역할

이 익 환
한국원자력기술(주) 회장



필자는 중국의 신규 원전 건설에 대한 설계, 제조, 건설, 운전 등에 대한 기술 자문(IAEA Workshop on Operating Experience Feedback from Design, Manufacturing, Construction and Commissioning)을 목적으로 IAEA의 전문가 참여 요청을 받고 각국의 전문가 4명(한국 1, 영국 1,

핀란드 1, 남아공 1)이 한 팀이 되어 지난 2007년 12월 2일~8일간, 중국 우한(武漢)을 다녀왔다.

이번 기술 자문에는 중국의 원전 사업 추진 기관인 중국핵공업집단공사(CNNC)는 물론, 광동원전유한공사, 친산 원전, 산먼 원전, 홍안허 원전 등 원자력발전소 사업자와 운전 지원 조직인 RINPO(핵동력운행연구소)의 전문가 30여명이 참석하였다.

1주일 간 워크숍 형태로 진행된 회의에서 주요 사항이 요약되었지만, 이와는 별도로 본고는 현지에서 수집한 중국의 원전에 대한 최신 정보를 요약하여 정리한 것인데, 중국의 원전 개발 사업이 매우 거대하고 조직적이기 때문에 현재

의 중국 자력으로는 어렵다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 우리나라 관련 업체의 역할이 분명히 있을 것이라 판단된다.

필자 역시 우리나라의 원자력 기술 자립에 대한 긍지를 가지고 경험담을 중국에 전한 바 있지만 중국은 한국의 전례를 매우 관심 있게 받아들였다. 본고의 내용이 관심이 있는 기관 또는 개인에게 도움이 되었으면 한다.

중국의 에너지 사정 요약

중국이 보유한 에너지 자원은 크게 석탄 자원과 석유 자원을 들 수 있으며 우라늄 자원도 자급할 정도는 보유한 것으로 알려져 있다. 중

* 한양대학교 원자력공학과 학사, 석사 / 과학기술부 원자력기사(1971~1973) / 한국원자력연구소 선임연구원(1973~1979) / 현대건설(주) 원자력부장(1979~1986) / 한국원자력연구소 본부장(1986~1996) / 한국전력공사 및 한수원 처장(1997~2003) / 한국과학기술정보연구원 전문연구위원(2003~2006) / 한국원자력기술(주)회장(2003~) / BNF 테크놀로지 고문, IAEA 자문위원(2005~) - 루마니아 원전 기술 지원, 중국 기술 지원(계획), 민주평통자문위원(2005~)

국은 전 세계 석탄 매장량의 12%를, 그리고 석유는 약 3%가 매장된 것으로 보도되고 있다.

중국의 전력은 주로 화석 연료에 의한 전력 생산(석탄화력 발전이 전체 발전의 약 80%)이며 수력 발전은 18%를 차지하고 있다. 현재 두 곳의 대용량 수력 발전이 건설되고 있는데 한곳은 장강(長江三峽大壩)의 18.2GWe이며 다른 한곳은 황하강(黃河 公伯峽 등)의 15.8GWe이다.

지난 수년간의 급격한 경제 성장률은 전력 부족을 초래하게 하였고 전력 부족분은 석탄 발전소의 건설을 촉진하여 심각한 공기 오염을 초래하는 원인이 되게 하였던 것이다. 공해로 인한 경제적 손실은 GDP의 3~7%에 해당될 것이라는 보고가 있다.

2005년 말, 총발전 시설 용량은 508GWe(경제 성장률은 15%)이었고 발전전력량은 2조4750억 kWh이었다. 2006년의 경우 2005년 대비 20%의 증가인 102GWe의 시설 규모가 더 증설되었으며 더욱이 2007년 6월까지 총 20.8%가 더 증가하였다. 이 중 3/4의 전력이 산업용이라고 보도하고 있다.

석탄은 중국의 주에너지원인데 매장 지역은 북방과 동북부이다. 향후 2020년에는 시설 용량 852GWe에서 약 3조 8100억kWh의 전력을 생산한다는 계획을 수립하고 있다. 또한 장기적으로는 2020년에는 1,330GWe의 발전 시설 용량을 계획하고 있다.

우리나라와 비교하여 볼 때 시설 용량으로 보면 약 9배, 발전량으로 보면 약 7배가 많은 양이다.

중국은 1970년에 원자력 발전을 건설하려는 움직임을 보이기 시작하여 현재는 안정적 개발 단계로 진입하였다고 할 수 있다.

원전 기술은 프랑스 기술을 배경으로 국내 기술 개발 노력이 가미되었지만 기본 기술은 프랑스 및 러시아로부터 도입하였다고 할 수 있다.

SPGC(the State Power Grid Corporation)에 따르면 2010년 이후의 전력증가는 현재의 증가율에서 다소 둔화될 것으로 보고 있다.

어떻든 중국은 경제 성장에 따른 전력 에너지를 충족해야 하고 그로 인한 온실 가스 문제를 해결해야 하는 두 마리 토끼를 잡아야 하는 입장에 놓이게 되었다.

이러한 사유로 원자력 발전은 매우 중요한 역할을 하게 될 것으로 보고 있다. 주로 해안을 끼고 있는 곳을 중심으로 설비가 이루어지고 있는데 이곳은 석탄 매장 지역과 거리가 멀고 또한 경제가 급성장하는 바로 그곳이기 때문이다.

2006년 말, 원자력 시설 용량 8.6GWe로서 중국 총전력 공급의 1.9%에 해당하는 518억kWh의 전력을 원자력에 의존하고 있다.

앞서 언급하였지만 중국은 석탄 화력에 거의 의존하고 있음으로 심각한 대기 오염을 시키는 주원인이 되어 원자력 발전의 시설 증대의 필요성이 강하게 대두되게 되었다.

중국은 미국에 이어 세계에서 CO2를 두 번째 많이 발생하는 나라가 되었다. 국제에너지기구(IEA, 2004) 보고에 따르면 CO2 방출 주범은 발전 부분으로서 2020년의 14%에서 2030년에는 19%로 증가할 것으로 보고 있다.

이렇게 중국은 온실 가스 발생에 따른 문제를 근본적으로 해결할 유일한 방법은 원자력 에너지 개발이라고 판단하였기 때문에 이의 개발을 서두르고 있는 것이다.

중국의 원자력 에너지

1. 중국의 원자력 관련 주요 조직

국가회의(the National Council) 하에 중국원자력청(CAEA, the China Atomic Energy Agency)이 소속되어 있는데 원자력의 평화적 이용과 국제협력을 담당하고 있다.

원자력청은 옛 CNNC 조직에서 1988년에 분리된 조직으로 그 주요 기능은 원전 등 원자력의 평화적 이용에 대한 기획, 관리와 신규 발전소의 타당성 조사 등을 검토 승인하는 것이다.

CAEA는 또한 국가회의하에 있는 「Commission for Science, Technology & Industry for National Defence(CSTIND)」하에 소속되어 있다.

국가발전개혁위원회(國家發展改革委員會, NDRC, National Development & Reform Com-

mission)는 경제 개발을 위한 경제 기획 기구로서 프로젝트를 최종 승인하는 기구이다. 이 NDRC 역시 CSTIND에 보고해 오고 있다.

국가원자력기술단공사(SNPTC, the State Nuclear Power Technology Corporation)는 2004년에 설립되었으며 해외의 응찰서에 대해 기술적인 평가 및 확인을 하고 선정하는 기능을 갖는 기관이다. 이 기구는 CGNPC, SNPTC 등 발전소 사업자의 전문가들로 구성될 수 있는데 국가회의 직속 하에 있다.

안전규제청(NNSA, the National Nuclear Safety Administration)은 CAEA소속하에 1984년에 설립되었다. 그러나 지금은 안전 규제에 대해서는 국가회의에 직접 보고 한다.

2007년 5월, NNSA는 미국규제위원회(USNRC)와 웨스팅하우스의 AP1000 원자로 설계에 관련하여 상호 이해각서에 서명한 바 있다. AP1000은 USNRC로부터 설계 인증서를 2005년에 받은 바 있다.

국가환경관리청(SEPA, the State Environment Protection Administration)은 방사선 측정 및 감시와 방사성폐기물 관리에 대한 책임 기구이다. 발전 사업자가 신규 원전을 건설하기 위해서는 타당성 조사를 CAEA에 제출할 때 부지에 대한 제안서는 NNSA에, 환경에 대한 조사는 SEPA에 제출한다.

중국핵공업집단공사(中國核工業集團公司, CNNC, China Na-

tional Nuclear Corporation)는 원자력 사업을 총괄하는 사업 기구이다. 해당 업무는 연구 개발을 포함하여 엔지니어링 설계, 우라늄 탐사 및 광구 개발, 농축, 핵연료가공, 재처리 및 폐기물 처분에 관한 것이다. 또한 중국 내의 투자자일 수도 있다. 경제적 자립을 목표로 1988년에 설립된 이 기구는 많은 자회사를 두고 있다.

중국발전투자공사(CPI, China Power Investment Corporation)는 발전 회사이면서 중국 원전에 가장 많이 투자하는 국가 조직이다. 2004년 말 현재, 이 조직의 자산은 128억불에 해당한다.

중국광동핵공업집단유한공사(中國廣東核電集團有限公司, CGNPC, China Guangdong Nuclear Power Corporation)는 광동원자력그룹으로 발돋움하여 지금은 여러 곳, 약 20개 회사에 투자를 하고 있고 회사 자산은 중국 위안화(RMB)로 약 600억원(元) 규모에 이른다. 다야베이, 링아오, 양지잉, 홍안허, 닝더 원전뿐 아니라 광둥 이외 지역의 원전에도 투자를 하고 있다. CGNPC는 광둥 주 정부에서 45%를 투자하고 CNNC가 45%, 그리고 CPI에서 10%를 투자하여 설립한 회사이다. 다야베이 발전소의 경우 홍콩이 25%의 지분을 갖고 있다.

2. 중국의 원자력 발전 현황

중국 정부는 원자력 발전 시설

용량을 2020년까지 40GWe로 증대하여 총 1,000GWe의 전력 시설 용량을 운영한다는 계획을 수립하였다.

현재 건설 중인 원전이 18GWe이므로 향후 매년 2백만 kWe(백만kWed의 원전 2기)가 완공된다는 것으로 해석된다.

2007년 5월에 개최된 바 있는 NDRC는 2030년까지 160GWe의 원전을 개발한다는 계획을 확정 발표하였다. 확정된 원전 계획의 주요 기조를 요약하면 다음과 같다.

- 중국 전력 증가는 매우 급격히 증가하고 있음.

- 운전 중인 원전은 11기이고 5기가 건설 중이며 더 많은 원전 건설이 준비 중에 있음.

- 추가 원전 계획은 2020년까지는 40 GWe를 건설하여 5배로 늘림. 또한 2030년까지는 120~160GWe로 늘림.

- 국가 계획은 원자력 기술 자립을 핵연료는 물론이고 원자로 설계, 건설까지 포함함.

우리가 알고 있듯이 최초 2기의 원전은 1980년대 중반에 건설에 착수한 홍콩에 가까운 다이야 베이(大亞灣) 원전과 상하이 남쪽의 친산(秦山) 원전이다.

다이야 베이 원전은 Framatom에서 도입한 3루프의 PWR로서 1987에 착공되었고, 터빈은 GEC가, 건설 관리 등은 프랑스전력회사(EDF)가 중국 국내기술자와 함께 수행하였다.

2기의 원전은 1994년에 상업



<그림 1> 중국의 원자력 발전 위치도 현황

운전에 들어갔다. 1994년부터 2년간 주요 부품 교체를 이유로 장기간 운전이 중지되었다. 그리고 원자로 상부는 2004년에 교체되었다.

이 원전에서 발전하는 전력은 매년 130억kWh정도이며 이중 70%는 홍콩에, 나머지가 Guangdong(廣東省)에 공급된다.

Lingao 1단계 발전소는 다아야 베이의 일부 설계가 변경된 복제 원전이다. 1997년에 착수하여 2002년에 1호기가 운전에 돌입하였고 2호기는 2003년 초에 운전을 개시하였다.

원자로의 기술은 Framatom ANP인데 국산화율은 약 30%였다. 중국은 이를 바탕으로 CPR-1000을 설계하였다. 발표에 의하면 건설 단가는 1,800 US\$/kWh로 추정하고 있다.

다이야 베이와 Lingao 원전은 둘 다 DNMC(Daya Bay Nuclear Power Operations & Management Co)와 중국광동핵공업집단유한공사의 공동 지분으로 이루어져 있다.

친산-1호기는 상하이에서 약 100km 남쪽에 위치하고 있는데 중국 독자 기술에 의해 건설된 첫

번째 원전이다(원자로 기기는 미쓰비시 공급). 이 발전소의 설계는 상하이원자력기술연구소(中核集團上海核工程研究設計院, SNERDI, Shanghai Nuclear Engineering Research & Design Institute)에 의해 수행되었으며 건설은 1985부터 1991년 말까지 약 6.5년이 소요되었다.

동 발전소는 1998년 발전소 보수를 위해 약 14개월을 정지한 바 있다. 그리고 2007년 10월에 약 2개월의 운전 정지가 있었는데 원자로 상부와 관련 계측 제어 계통의 교체가 이루어졌다. Areva NP에

<표 1> 운전 중인 중국 원자력발전소 현황

	지역	원자로형	시설 용량 (MWe/호기)	상업 운전	운전 사업자
DayaBay (大亚湾-1&2)	Guangdong(广东省)	PWR	944	1994	CGNPC
Qinshan(秦山)-1	Zhejiang(浙江省)	PWR	279	1994	CNNC
Qinshan-2 & 3	Zhejiang(浙江省)	PWR	610	2002,2004	CNNC
Lingao(岭澳)-1&2	Guangdong(广东省)	PWR	935	2002,2003	CGNPC
Qinshan-4 & 5	Zhejiang(浙江省)	PHWR	665	2002,2003	CNNC
Tianwan(田湾)-1&2	Jiangsu(江苏省)	PWR : VVER	1,000	2007	CNNC
운전 원전(11)			8,587		

서 당초 30년의 발전소 수명에 대한 것과 함께 기술 지원을 하였다.

친산 2단계 발전소(2, 3호기 원전)는 물론 중국 고유 기술에 의해 설계된 2루프 원자로로서 친산 1호기 원전 300MWe를 600MWe로 규모를 증대시킨 모델(CNP-600)이다. 2호기는 2002년에, 3호기는 2004년에 각각 준공되었다.

친산 3단계 발전소(4, 5호기)는 캐나다원자력공사(AECL, Atomic Energy of Canada Ltd)에서 공급한 기당 665MWe 규모의 중수형 원자력발전소로서 1997년에 착공하여 2002년, 그리고 2003년에 각각 준공하였다.

Tianwan(田湾) 1단계 2기(기당 1,060MWe 규모)는 러시아 PWR인 VVER 형이다. 총경비가 32억불이 소요되었는데 이중 중국이 제공한 금액은 약 18억불이었다.

이 발전소의 안전 등급은 핀란드

안전 특성을 준용하고 계측 제어 부분은 Areva-Siemens 제품이 시설되었다. 준공 시점이 당초보다 약간 지연되었는데 증기발생기의 세관에 대한 막힘 현상에 따른 효율 문제였다. 출력의 약 2% 감소에 대해 상호 합의, 준공되었다.

1호기 준공은 2006년에 병입, 2007년 6월에 그리고 2호기는 8월에 상업 운전이 들어갔다. 설계 수명 기간은 40년이다.

3. 제10차 경제개발계획 -제3세대 기술로의 진입

제 10차 5개년계획에서 총 8기의 원전 건설이 확정되었다. 4기는 CNNC에서 다른 4기는 CGNPC가 건설하도록 한다는 계획이다.

LingAo 2단계는 1단계와 마찬가지로 광둥에 위치한 곳으로 Framatom 기술의 CPR-1000을 복제한 것으로 각각 1000MWe 규모이다.

친산 2단계(Qinshan) 발전소는 CNP-600을 보완한 것으로 각각 650MWe이다. 물론 중국 자체 기술로 설계 건설되는 것이다.

Zhejiang(浙江省)의 Sanmen(三门) 원전 단지는 6기를 수용하는 단지이나 2호기씩 건설하기로 하고 지난 2007년 7월 24일 인민대회당에서 웨스팅하우스의 AP1000 1,250MWe 2기를 도입하기로 계약하였다. 그리고 2개월 후인 9월에 주기기 공급 계약을 체결하였다. 발전소 설계 수명은 60년이다.

이 부지는 상하이에서 약 290km 남쪽에 위치한 곳에 있지만 바다 연육교 계획에 의해 이것이 2009년에 완성되면 170km 거리로 줄어진다.

광둥(廣東省)의 Yangjiang(阳江) 발전소는 홍콩에서 약 500km 서쪽에 위치한 곳으로 6기를 수용하는 부지이다. 이곳 역시 2기를 Sanmen과 같은 방식으로 추진 중

이었다.

조금 거슬러 올라가 보면 2004년 9월 국가위원회(the State Council)는 2기의 Sanmen 원전의 사업 승인을 하면서 6기의 Zhejiang 원전 중 2기를 우선 착수하도록 하는 결정도 같이 하게 된다. 즉 Sanmen과 Zhejiang 두 곳의 4기에 대해서 공개 입찰이 준비되었는데 대상은 제3세대 원전으로서 1000~1500MWe 규모로서 설계 수명 60년을 대상으로 2006년 중순까지 계약을 목표로 하였다.

입찰 결과 웨스팅하우스의 AP1000, Areva의 유럽형경수로(EPR), 그리고 러시아의 Atomstroyexport의 VVER-1000의 최신형인 V-392가 응찰되었다. 중국 국가회의 하에 있는 SNPTC가 응찰서 기술 검토의 책임을 맡게 되었다.

미국, 프랑스, 러시아 정부는 빠른 행보로 이들 원자로 공급자에게 행정적 및 사업 재원에 대한 적극적인 지원을 했다.

웨스팅하우스의 경우 미국 수출입은행을 통한 차관 5억불을 확인해왔으며, 프랑스의 Coface 역시 비슷한 절차를 밟았다. 미국의 규제위원회(USNRC)는 초기 핵연료는 물론 4기의 교체 핵연료까지의 공급과 주요 원자력 기기의 수출에 대한 승인을 해왔다.

이 응찰서 원본은 중국 정부에 제출되었다. 응찰서는 기술적 입증여부에 대한 평가와 가격, 국산화

율 그리고 기술 전수에 초점이 맞추어졌다.

Areva와 웨스팅하우스를 비교 분석하는 단계로 들어갔다. 그러나 최종적으로 원자로형의 결정이 어려워지면서 당초 목표보다 결정이 늦어졌다. 고위층의 정치적인 면과 맞물리게 된 것도 지연의 이유가 되었다. 여기에도 각 부지 특성, 즉 두 부지에 제2세대의 고유 모델에 대한 것도 고려되어야 한다는 CNNC의 주장도 최종 발표가 늦는데 일조를 하였다.

제3세대 원전의 외국 공급자는 2006년 12월에 응찰서를 제출하였는데 그로부터 몇 번의 수정이 있었고 당초 계획보다 지연되었지만 결과적으로 웨스팅하우스의 AP1000 모델이 산면 원전과 Yangjiang(陽江)원전의 최종 낙찰자로 선정되었다.

그러나 사정에 의해 Yangjiang 원전 대신에 산둥 반도의 Haiyang(海陽)원전으로 변경되었다. 이는 중국의 야심찬 기술 개발, 즉 제3세대의 보완 기술을 확보하려는 목표와 향후 원전 기술의 개발을 위한 초석을 다지려는 것으로 풀이된다.

즉 동북부 영역과 남부 지방의 효율적인 운영을 고려한 것으로도 보이는데 중국은 향후 AP1000의 보완로로, 광둥을 포함한 중남부는 EPR형의 보완로로 갈 가능성에 대한 대책을 세운 것으로 보인다. 이의 조정과 책임은 SNPTC가 된다는 것도 분명히 하였다.

또한 AP1000에 대한 인허가 문체도 SNPTC가 수행하게 된다. 산면 발전소는 2013년에 완공 목표를 세우고 있다. 한편 Haiyang 원전에 대한 사업 관리는 CNNC가 수행한다.

2007년 2월, 웨스팅하우스와 SNPTC는 Haiyang 원전 2기 공급에 대한 합의서에 서명하였다. 그리고 웨스팅하우스는 2007년 4월, AP1000 2기의 원자로 및 증기발생기 공급을 한국의 두산중공업과 3억 5천불에 계약을 완료한 바 있다.

그러나 나머지 2기에 대한 증기공급은 중국이 국산화할 것으로 알려지고 있다. 즉 원자로와 증기발생기는 할빈 보일러, First Heavy Machinery Works 또는 상하이 전기(上海電氣, SEC) 등이 대상이다.

그리고 한국의 설계 회사인 KOPEC과 상하이 원자력연구설계조직(中核集團上海核工程研究設計院, SNERDI)이 설계 및 엔지니어링에 주된 역할을 수행하게 될 것이다.

웨스팅하우스는 컨소시엄인 Shaw와 함께 2007년 7월 24일 AP1000에 대한 공식적인 계약을 SNPTC와 체결하였다.

산면 원전의 설계 시설 용량은 1,250MWe이다. 현재 부지 정지작업이 진행되고 있으며, 본사를 현지에서 건설 완공하였고 작업자 수용 시설이 완성된 상태이다. 2009년 3월 말에 최초 콘크리트 타설을

계획하고 있다.

AP1000 모델은 수동형 안전 등급을 가진 원자로이다. 자연의 힘, 즉 가압 가스, 중력, 자연 대류 등의 법칙을 이용하여 수동 안전 등급을 설계한 것으로, 그동안 전력 등을 이용한 펌프, 팬, 디젤 발전기 등은 사용되지 않으며 안전 등급 지원 계통도 없이 설계된 원자로이다.

수동형 안전 계통의 예를 들면 노심 냉각 계통(PXS), 격납 용기 냉각 계통(PCS), 주제어실 비상 체제 계통(VES) 등이 있다.

한편 CGNPC는 Lingao 원전 2 단계 발전소 CPR-1000에 대해 1 단계를 기준으로 중국 내 설계자와 제작자와 계약에 서명하게 되었다.

2005년에 착공하여 2010년 및 2011년에 준공한다는 내용이다. 국산화율은 1호기의 경우 50%, 2호기는 70%를 목표로 책정하였다.

사업 관리는 CGNPC의 투자로 이루어진 새로운 사업자인 CNPEC(China Nuclear Power Engineering Corporation)이 수행하도록 하였다. 터빈 발전기는 Alstom이 공급하기로 결정되었다.

친산 4단계 발전(또는 Phase II-2라고 명하기도 함)은 2006년 4월에 공식화하였지만 6호기의 실제 최초 콘크리트 타설은 한 달 전에 이미 한 바 있다. 모두 650 MWe로서 국산화율은 70%를 목표로 잡고 있으며 공기는 60개월이다.

한편 2007년 2월, 프랑스의 EdF는 SGNPC와 2기의 EPR을 공



<그림 2> 산면 원전 배치도

급함에 협력하기로 합의한 것을 발표하였다.

당시 EPR 협력 합의서에는 웨스팅하우스의 AP1000 공급 내용과 달리 기술전수가 포함되지 않았다고 하였다. 왜냐하면 EPR은 AP1000에 비해 안전성 수동 특성이 보다 탄력적이고 복잡하며 발전소의 가격도 높다는 특성에 기인한다고 하였다.

그러나 중국 당국은 Areva와 EdF와의 쉽지 않는 협상을 계속하여 2007년 8월 적정한 합의를 도출하였는데 EPR은 Taishan(泰山)에 건설하기로 하고 CPR-1000을 Yangjiang(陽江)에 건설하기로 한 것이다.

CPR-1000은 프랑스 기본 기술의 제2세대 원자로로서 중국이 스스로 건설하고 운영하는 데 프랑스가 양해하는 것으로 합의가 된 것 같다. 이 Taishan 원전은 2008년 말에 착공하여 2014년 및 2015년에 각각 준공 예정이다.

Yangjiang 원전은 CGNPC에 의

해 프랑스 기술이 접목되는 두 번째의 대규모 원전 단지가 될 것이다. 이 원전 단지는 정부로부터 2004년에 승인되어 현재 정치 작업이 한창 진행 중에 있다.

우선 2기 또는 4기가 2008년 중반에 착수될 것으로 추정되어 2013년에 완공 목표를 두고 있다.

Lingao, 다야베이 등을 포함하여 향후 14기의 원전 관리는 이곳 지역 사업자인 DNMC가 맡게 될 것이다.

AP1000 모델에 대한 터빈 발전기는 원자로 측에 대한 결정을 SNPTC가 하는 것과는 달리 CNNC와 CPI에 의해 결정된다. 2007년 9월, 산면 원전의 터빈 발전기는 미쓰비시중공업에 낙찰된 바 있다.

4. 제11차 경제 개발 계획 (2006-2010)

제11차 계획은 중전의 계획과는 다른 환경적인 면이 고려되었다.

<표 2> 중국 원자력발전소의 건설 중 또는 착수 단계의 원자력 발전 사업 현황

	지역	시설 용량 (MWe)	원자로 형	사업자	착수	운전
Lingao(岭澳)-2 (3, 4호기)	Guangdong(广东省)	2X1,080	CPR-1000	CGNPC	12/2005 5/2006	2010, 2011
Qinshan(秦山)-4 (6, 7호기)	Zhejiang(浙江省)	2X650	CNP-600	CNNC	4/2006 1/2007	2011,2012
Hongyanhe(红沿河) 1 (1-4호기)	Liaoning(辽宁省)	4X1,080	CPR-1000	CGNPC	8/07,4/08 3/09,7/10	2012~2014
Yangjiang(阳江) 1 (1-4호기)	Gaungdong(广东省)	4X1,080	CPR-1000	CGNPC	5/08,2/09 9/09,7/10	2013~2015
Ningde(宁德) 1 (1-4호기)	Fujian(福建省)	4X1,080	CPR-1000	CGNPC	11/07,9/08 7/09,3/10	2012~2015
Sanmen(三门) 1 (1, 2호기)	Zhejiang(浙江省)	2X1,250	AP1000	CNNC	2/2009	2013~2014
Haiyang(海阳) (1, 2호기)	Shandong(山东省)	2X1,100	AP1000	CPI	9/2009	2014, 2015
Taishan(泰山) 1	Guangdong(广东省)	2X1,600	EPR	CGNPC	12/2008, 1/2010	2014, 2015
건설 및 계획 원전 계(22기)		24,000				

즉 GDP에 따라 소요되는 에너지량을 20%(연간 4%) 감축한다는 계획이 포함되었다. 5년간의 주요 계획은 다음과 같다.

- Liaoning(遼寧省)의 Hongyanhe(紅沿河)부지에 4기의 CPR-1000원전 건설

- Shandong(山東省)의 Haiyang(海陽)에 2기의 1000MWe 원전 건설

- Fujian(福建省)의 Huian(惠安)에 2기의 1000MWe 원전 건설

- Shandong(山東省)의 다른 부지에 2기의 원전 건설

- 광둥의 다른 부지에 2기의 원전(Tianwei, Shanwei Lufeng) 건

설 및 Taishan(泰山)의 추가 원전 건설

2007년에 정부 소유의 3개 기관을 공식 발표하였는데 CNNC, CGNPC, 그리고 CPI이다. 신규 사업에는 민간 기업이 들어 있지만 참여 폭이 미미하다. CPI는 제 3세대 원전의 건설에 참여할 수 있는 길이 열렸다.

Liaoning(遼寧省)의 Hongyanhe(紅沿河)부지에 제1호기 원전 건설이 2007년 8월에 착수되었고 2012년에서 2014년간 매년 1기씩 가동 예정이다.

이곳의 위치는 Dalian(大連)에서 북쪽으로 약 100km 떨어진 곳

이다. 부지 정지 작업은 2006년 7월 이후 계속 이어왔다.

1단계 사업에 들어가는 CPR-1000(1,080 MWe) 4기의 원전에 투입되는 사업비는 500억원(元, 약 66억불)으로 추정되고 있다. CGNPC의 하부 조직인 CNPEC가 사업 관리를 맡고 있다.

중국 내 업체로는 상하이전기(上海電氣)가 약 2.6억불을 계약한 바 있고 Alstom은 4기의 터빈 발전기 공급 계약을 1.8억불에 체결하였다.

산둥성에 위치한 Haiyang(海陽) 원전은 CPI가 관리하게 되는데 앞서 언급하였지만 중국의 제3세



Haiyang(海陽) 원전 부지 정지 공사

대 원전을 리드하게 될 것 같다. 광둥성에 유럽 기술의 EPR이 먼저 착수하게 될 경우 웨스팅하우스의 두 번째 AP1000 모델이 이곳에 건설되게 된다.

2004년에 이미 CPI의 자회사로 산동원자력발전기술회사를 만들었고, 이 회사가 32.5억불의 Haiyang 원전을 관리하게 될 것이다. 부지 정지 공사가 진행 중이다.

2006년 9월, 국가발전개혁위원회(NDRC)는 Fujian(福建省)의 Ningde 원전을 CPR-1000 모델 2호기(1000MWe)로 사업 승인을 하였지만 실제 4기의 원전이 추진되고 있다.

CGNPC는 2008년에 건설 착수, 그리고 준공은 2013년부터 매년 1기씩 준공할 예정이다.

광둥성의 타이산(泰山) 원전은 CGNPC에 의해 6기의 원전이 추진되고 있는데 Areva 제품인 EPR 1600 용량을 수용할 예정이다.

그 중 2기의 원전은 2007년 11

월에 Areva와 이미 계약이 체결되었는데 계약 내용에는 핵연료 공급이 포함되어 있다. 그러나 터빈 발전기는 별도로 구매할 예정이다.

또한 CGNPC와 Areva는 50:50의 엔지니어링 합작 회사를 설립하기로 합의하였다. 설계 경험을 통해 EPR 기술을 습득하겠다는 계획이다. 과거 우리나라가 기술을 습득한 경험과 유사한 절차를 밟고 있는 것이다.

타이산(泰山) 발전소 건설, 운전에 프랑스의 전력 회사인 EdF가 CGNPC와 협력하여 별도의 자회사를 설립하는 데 30%를 부담하기로 합의하였다. 즉 프랑스는 중국 전원 개발의 한 축인 CGNPC에 깊숙이 참여하는 결과가 되었다.

핵연료 공급을 포함한 총사업 금액은 80억 유로달러로 추정되고 있다. 이 중 원자로 계통에 해당되는 부분은 약 35억 유로로 추정된다.

EdF는 프랑스에 건설하고 있는

Flamanville-3의 사업 관리 및 종합 설계를 맡고 있는 연유로 중국 뿐 아니라 미국 북부의 전력 회사와 미국 내 EPR 시장을 개척하고 협력하는 위치가 된 것이다.

2006년 2월, CNNC는 Haiyang 원전 2기에 대한 계약을 체결하였다. 이에 따라 2006년 5월에 사업을 추진할 Fujian(福建省) 원전 회사를 설립하였으며 사업비는 약 28억불이 소요될 것으로 추정하고 있다.

2006년 7월, 중국 남부의 광서성(廣西省) 자치 지구인 Fangchenggang 시의 근교에 원전 단지 6기의 원전 중, 1단계로 2기의 원전을 우선 건설하기로 결정하였다.

CGNPC가 사업을 추진할 것이며 소요 사업비는 약 28억불로 추정된다. 착공은 2010년 말로 잡고 있다.

2006년 10월, Jiangsu(江蘇省)의 Tianwan(일명 Lianyungang 원전) 부지에 건설될 1,060MWe급 AES-91모델 원전 2기의 도입 의사 상호 협정에 대한 서명이 러시아 Atomstroyexport와 있었다. 전제 조건은 1단계가 건설되고 있는 원전의 시운전이 정상적으로 될 경우 착수한다는 것인데 이에 따라 향후 추가 계약이 필요하게 되었다.

2006년 11월, 산둥성의 Hongshiding 원전의 추진 계획에 대한 협정 서명이 있었다. 약 32억불의 사업비가 소요될 것이며 2009년 착공 예정으로 첫 호기가 2015년

<표 3> 사업이 확정, 준비 중인 중국 원자력발전소 현황

	지역	시설 용량 (MWe)	원자로형	사업자	착수	운전
Shidawan	Shandong(山东省)	200	HTR-PM	China	2009	2013
Fangjishan	Zhejiang(浙江省)	2X650	CNP-600	CNNC	6/2009	2013
Bailong	Gaundong(广东省)	4X1,080	CPR-1000	CGNPC	2010	2016
Tianwan 2	Jiangsu(江苏省)	4X1,080	CPR-1000	CNNC	2008?	
Wuhu 1	Anhui(安徽省)	4X1,080	CPR-1000	CGNPC	2011	2017
Lianyungang 2	Jiangsu(江苏省)	2X1,250	AP1000	CGNPC	2010	2016
Honshiding 1	Shandong(山东省)	2X1,100	AP1000	CNEC CNNC	2009	2015
Fuqing 1/Hui'an 1	Fujian(福建省)	2X1,000		CNNC	2010?	
	Gaundong(广东省)	2X1,080	CPR-1000	CGNPC	2012	2018
건설 및 계획 원전 계(22기)		17,000				

* 숫자는 단계를 표시하는 것임

에 완공 목표이다. CNNC가 사업 책임자이다.

Anhui(安徽省)의 Wuhu(蕪湖) 원전 단계에 1000MWe급 6기의 원전 건설이 계획되고 있다. CGNPC는 1단계로 우선 2기의 원전을 추진하고자 계획을 제출하고 사업을 추진하고 있다.

Jiangsu(江蘇省)에서의 원전 추진은 CGNPC가 추진하는 제2단계 Lianyungang(連雲港) 원전이 계획대로 추진되고 있는데 CNNC가 추진하는 Tianwan 원전 바로 옆이다. CGNPC는 사업 계획을 NDRC에 제출해 놓았으며 사업은 추진 중에 있다.

CGNPC가 Lingao 2단계 사업과 Yangjiang 사업 및 Taishan 원전

사업 등 2010년까지 약 6000 MWe의 원전을 건설하기 위해서는 약 95억불의 사업비가 소요될 것으로 추정하고 있다.

이러한 사업이 차질 없이 진행되고 있는데 Ningde 원전 등 후속 사업이 뒤따르고 있다. 뿐만 아니라 Lufeng, Wuhu 원전도 계속될 것이다.

2020년까지 약 34,000MWe의 원전 발전이 제공되어 이 지역(省)의 원자력점유율은 약 20%에 이르는 결과를 낳게 될 것이다.

고온가스로의 시현 원자로인 200MWe의 HTR-PM이 지난 2005년 11월에 정부로부터 승인된 바 있다.

이 시현 원자로는 산둥 지역의

Rongcheng 근교에 건설될 예정인데 2007년에는 주로 인허가 및 주요 부품 구매 업무가 추진되었다. 착공은 2009년이며 준공은 2013년 목표이다.

이 시현 발전소는 향후 모듈화하여 18기를 추가로 건설하여 총 3,800MWe 규모로 확장시킬 예정이다.

한편 이와는 별도로 CGNPC는 현지 사업자인 Huaneng 원자력 회사와 대용량 규모(CPR-1000) 4기 추진에 대한 계약을 체결한 바 있다. 사업비는 약 80억불에 달한다. 이에 대한 정부의 승인이 뒤따를 것으로 보인다. 건설 착수는 2012년을 목표로 잡고 있다.

한편 2006년 12월에 있었던

<표 4> 확정 또는 기획 중인 장기 건설 예정의 중국 원전 현황

발전소 명	지역(省)	용량(MWe)	예상 원자로형	예상 사업자
Heyuan	Guangdong(广东省)	4 X 1,000		CNNC?
Tianwan-3	Jiangsu(江苏省)	4 X 1,060	AES-91	CNNC
Hongyanhe-2	Liaoning(辽宁省)	2 X 1,000	CPR-1000	CGNPC
Shidaowan	Shandong(山东省)	4 X 1,000	CPR-1000	CGNPC(Huaneng NPDC)
Shidaowan	Shandong(山东省)	18 X 200		China Huaneng
Haiyang-2	Shandong(山东省)	4 X 1,000	AP1000	
Tianwei-2, Lufeng	Guangdong(广东省)	4 X 1,000		CGNPC
Bailing-2	Guangxi(广西省)	4 X 1,000		CGNPC
Haijia	Guangdong(广东省)			
소계(50기)		36,000MWe		
Sanmen-2	Zhejiang(浙江省)	4 X 1,100	AP1000	CNNC
Haijia	Guangdong(广东省)	2 X 1,000?		CGNPC
Jinzhouwan	Liaoning(辽宁省)	2 X 1,000		
	Jiangsu(江苏省)	2 X 300		
	Hainan(海南省)	2 X 300		
Tahuajiang, nrYueyang	Hunan(湖南省)	4 X 600		CPI/CNNC
Taohua, Lishanhe nr Yiyang	Hunan(湖南省)	4 X 1,000		CNNC
Fuling	Chongqing(重慶市)	2 X 900		
Bamaoshan, Wuha	Anhui(安徽省)	4 X 1,000	CPR-1000	CGNPC
Baishan	Jilin(吉林省)	4 X 1,000		CPI
Gaokeng	Hubei(湖北省)	4 X 1,000		CPI
Guidong	Guangxi(广西省)	4 X 1,000		CPI
합계(86기)		68,000MWe		

* 숫자는 단계를 표시하는 것임

CNNC의 발표를 언급하면, 광둥성 내륙 지역인 Heyuan에 4기의 원전을 건설한다는 것이다. 여기에 소요되는 사업비는 약 64억불로 추정된다.

제12차 경제 개발 5개년 계획(2011-2015)에 따르면 16지역(省) 이상이 원자력발전소를 가지게 될 것이다. 여기에는 Henan(河

南省), Sichuan(四川省), Jilin(吉林省), Hunan(湖南省), Hubei(湖北省)도 포함된다.

각 지역(省)은 2008년까지 중앙 정부(國家發展改革委)에 원자로 공급자와 함께 작성한 사업 계획서(Proposal)를 작성 제출하도록 되어 있다. 이를 근거로 중앙 정부는 2010년까지 이 각 사업을 승

인할 계획이다.

CNNC는 2006년에 Hunan(湖南省)과 협약을 체결하였다. 그 동안 바닷가 해안 지방을 중심으로 원전 부지를 확정하였다.

그 동안 2020년까지 30여기의 원전이 해안선을 중심으로 건설되는 계획이 수립되었지만 여건만 허락한다면 내륙에 원전을 건설하는

계획을 수립한다는 방침을 가지고 있다.

2007년 10월, CNNC는 <표 4>에 언급된 원전 건설 계획 외에도 Jiangsu(江蘇省)의 Chuan-shan, Anhui(安徽省)의 Jiyang, Guangdong(廣東省)의 Hebao, Chongqing(重慶市)의 Shizu, Liaoning(遼寧省)의 Xudabao, Hebei(河北省)의 Qiaofushan 등이 있다.

중국의 원자로 기술 수준

중국 원자력 정책의 기본은 다음과 같다고 할 수 있다.

- PWR 원자로형이 기본 원자로형이지만 절대적인 것은 아님.
- 핵연료는 국산화로 자급자족함.
- 설계 및 사업 관리를 자립하여 국내 제 조플랜트를 최대한 활용, 국산화율을 최대화함.
- 국제 협력 강화.

중국은 자력의 원전 설계 건설 운영에 대한 노력으로 CNNC의 국가원자력기술공사(SNPTC)의 운영을 나름대로 짜임새 있게 관리하여왔지만 결과적으로는 제3세대의 원전은 미국의 웨스팅하우스(AP1000)와 유럽(EPR)에 허락하는 결과가 되었다.

앞서 언급되었지만 AP1000 모델의 제3세대 원전이 Sanmen과 Haiyang에 건설하게 되었고, 유럽의 기술인 EPR이 Taishan(泰山) 등 남쪽 지방에 진출하게 된 것이다.

이를 뒷받침하는 중국원자력청

장의 언급이 이를 뒷받침해 준다. 즉 중국의 제3세대 원전 기술은 외국 기술을 받아 접목하는 방향으로 가게 될 것이라는 것이다.

AP1000 기술 등 외국 기술은 부스트의 역할을 하게 될 것이고, 이를 바탕으로 상하이설계연구소(SNERDI)가 1,400MWe 규모로 새로운 모델을 개발한다는 것이다. 물론 웨스팅하우스와 사업 파트너로서 역할을 하게 된다는 전제이다.

따라서 웨스팅하우스와는 4호기까지 도입하고 그 다음부터는 스스로 설계할 수 있도록 한다는 것이다. 그러나 원칙적으로 SNERI가 자력으로 설계를 변경하지 않는 한 해외 수출 기회는 어려울 것으로 보인다.

사실 그 동안 CNNC의 조직인 SNERI는 1990년대부터 웨스팅하우스뿐 아니라 프랑스의 Areva 전신인 Framatom과 긴밀하게 중국의 차세대 원자로 CNP-1000 개발에 공동 참여해 왔다.

개발 내용에는 고연소도(60GWd/t)와 장주기 연료 교체(18개월) 등이 포함되어 있다. 결과적으로 CNNC는 제2세대를 업그레이드시키는 데에 기여해 온 것이다.

CNP-1000을 이제 AP1000의 기술과 접목하여 개발할 계획을 세우고 있다. 이 계획은 2007년 초에 있었던 제11차 경제 개발 5개년 계획에서 확인해 준 바 있다.

이런 경우 중국 내 원전 건설에

는 문제가 없지만 해외 프로젝트인 파키스탄 수출 CNP-1000에 문제점이 야기될 소지가 발생할 수 있다.

광동원자력그룹은 사정이 다르다. 그들은 철저하게 프랑스 3루프 순환 기술에 익숙해져 있다. Lingao 원전을 기본으로 하는 설계를 중국개량원전 CPR-1000이라 부른다. 그러나 Areva는 중국 생각과 괴리가 있어 그들의 자산권임을 주장하고 있는 것이다.

그렇지만 CGNPC의 사업 관리 능력에 따라 이 원자로의 재빠른 배치가 각 지역에 이루어질 것이다. 왜냐하면 중국과 지속적인 사업적 이해 관계를 갖고 있는 프랑스로서는 무리한 수를 두지 않을 것이기 때문이다.

2005년 9월, 캐나다의 AECL은 진산 3단계에 해당하는 CANDU 600 형의 중국 내 향후 공급에 대한 협약서에 서명하였다. 내용을 요약하면 진산 3단계 원전 2기의 목표 공기 내 운전이 가능하며 예산 내에서 사업을 마무리 짓는다는 조건 하에, 향후 동일 노형을 건설할 경우 25%의 사업비를 절감하여 공급한다는 내용이다.

또한 중국 내의 국산화 가능성에 대해서도 최대한 참여할 수 있도록 하며 그 예를 한국의 월성 원전 건설 시의 국산화율이 75%였음을 상기시켰다.

그러나 중국은 현재로서는 향후 AP1000과 같은 제 3세대 원전 기술에 관심이 있어 CNNC는 AECL

의 AGR에 대해서 차후 검토한다는 자세에 그치고 있다.

최근에 GE는 2기의 ABWR를 CNNC에 제의하였다고 한다. 참조 발전소는 일본에서 운전되고 있는 ABWR이나 최근에 NRC에 인허가 승인을 받은 ESBWR이다.

GE는 일본을 사업 파트너로 하여 CNNC와 협의 중에 있다. 물론 ESBWR(1,520MWe)은 미국의 3개 전력 회사에서 이미 사업화되고 있는 보틀 방식의 제3세대 원자로형이다.

2006년 2월 중국 국가회의는 향후 대용량의 PWR의 개발과 소용량의 고온가스원자로(HTR)을 발표하였다.

특히 HTR은 향후 15년간 우선 순위로 개발한다는 것이다. 물론 대용량의 PWR은 제3세대 원전의 개발을 의미한다.

200MWe급의 HTR은 남아연방의 PBMR과 같은 pebble bed 연료를 사용하는 원자로 개발로 결정하였다.

중국은 300MWe급의 원자로 2기를 파키스탄에 수출하여 2000년에 운전에 들어갔다. 향후 1000MWe 2기를 수출한다는 데 원칙적 합의가 이루어졌다.

또 다른 소규모 원자로 개발은 열출력 200MWt의 PWR인데 이는 열의 이용과 해수 담수화를 위한 개발에 목적을 두고 있다. 이미 설계와 엔지니어링 검토가 2006년 중반에 끝난 상태이다.

장기적으로는 고속증식로의 기

술 개발이다. 열출력 6MW급의 고속로 실험 시설이 베이징의 근교에 건설 중에 있다. 현재의 공정으로 보면 2008년에 임계에 도달할 수 있을 것으로 본다.

CNNC는 이 기술의 실용화는 2050년 정도로 잡고 있다. 이 계획은 미국이 주도하는 지속 가능한 제 4세대 원자로형인 GENP-IV 개발 일정과 비슷하다.

중국의 우라늄 자원

중국에 매장된 우라늄 자원량은 70,000톤U 정도로 이 양은 중국이 당분간 원전 원료로 사용하기는 충분한 양으로 평가되고 있다. Xinjiang(新疆省) 지역 등 현재의 생산량인 연간 840톤 규모는 중국 내 수요의 반을 충당하는 정도이다. 나머지는 인접 국가인 카자흐스탄, 러시아 등에서 수입하여 충당하고 있다.

생산 우라늄 광산은 5곳인데 Fuzhou 광산은 화산대로 형성된 곳이며 Xinjiang 지역의 Yining 광산은 카자흐스탄에 있는 Ili 우라늄 광산과 광맥을 같이 하고 있는 곳이라 두 곳의 광산은 질적으로 다르다.

그리고 다른 세 곳은 화강암의 우라늄 광산이다. 중국우라늄공사는 Fuzhou광산을 새롭게 200톤U 시설을 증설할 계획이고 Yining ISL 광산은 연산 300톤U 규모로 확장할 계획으로 있다.

CNNC의 지질국과 베이징우라

늄지질연구소는 중국의 우라늄 관련 중요한 조직이다. 이 조직은 2000년 이후, 지속적으로 우라늄 광량을 확대하기 위한 노력을 경주하고 있는데 그 실례가 Xinjiang 및 내몽고 지역에 대한 사암퇴적물에 대한 채광 기술인 ISL 기법을 사용해 오고 있다.

우라늄 수입에 대해서 CNNC는 중국 핵연료국제사업단인 SinoU를 설립하여 대응에 나서고 있다.

우선 나이지리아 광산에 대해 조직화하고 양국 간의 협정에 의거 카자흐스탄, 몽고, 알제리 등과 광산 조사를 공동 수행하고 있다.

호주와는 60%를 투자한 공동 회사(Joint Venture)를 설립하여 남호주의 우라늄 광산 채광을 조사 확인하고 있다.

이들 나라와는 비핵화협정에 따라 우라늄을 수입하는 데 장애물이 없도록 조치하고 있다.

중국 내의 원전 사업자인 CNNC 및 CGNPC 양 기관은 공동으로 우라늄 확보에 노력하고 있다.

2007년 11월, CGNPC는 Areva와 협정을 체결하였는데 계열 회사인 UraMin의 24.5%의 지분 참여에 합의한 내용이다. 즉 UraMin가 관리하는 광산인 나미비아, 남아연방, 중앙아프리카에 대한 지분이다.

<표 5> 중국의 우라늄 생산 시설 현황

우라늄 광산	지역(성)	우라늄 자원 형태	생산 능력 (톤U/년)	운전 연도
Fuzhou	Giangxi(新疆省)	Underground & open pit	300	1966
Chongyi	Giangxi(青海省)	Underground & open pit	120	1979
Yining	Xinjiang(新疆省)	In-situ leach(ISL)	200	1993
Lantian	Shaanxi(陕西省)	Underground	100	1993
Benxi	Liaoning(辽宁省)	Underground	120	1996

중국의 핵연료주기 정책

1. 핵연료 공급

운영 중인 우라늄 변환 시설은 Lanzhou 시설에서의 연간 1,500톤 생산 규모이며 Gansu(甘肅省) 지역의 Diwopu 시설의 500톤 규모이다.

한편 농축 우라늄 수요는 2010년에 3,600톤U 및 250만 SWU 농축 우라늄이 필요할 것이며 2020년에는 10,000톤U 및 7백만 SWU가 필요하게 될 것이다.

우라늄 농축 시설은 Shanxi(山西省) 지역의 Hanzhun에 러시아 기술로 건설되었다. 시설은 연산 150만 SWU 규모이다. 이 우라늄 생산 시설은 초기 단계에는 50만 SWU였으나 점진적으로 확장되었다.

이 시설에는 IAEA의 안전 보장 차원의 규제가 이행되고 있으며 또 다른 러시아 기술의 원심 분리식 시설이 2008년 준공 계획으로 추진되고 있다.

이와는 별도로 군사용으로 설치된 Lanshou 시설은 1964년에 착

수하여 1980~1997년 간 상업 운전이 되었다. 이 기술은 원심 분리식이 아닌 확산기술이었다. 이곳에 러시아 제품의 50만톤 SWU 시설이 2001년부터 대체 가동되고 있다.

Urenco는 다이야베이 원전에 소요되는 농축 우라늄 약 30%를 공급하고 있고 Tenex는 계약에 의해 2010~2021년 간 저농축 우라늄으로의 SWU를 공급하기로 하였다.

핵연료 생산은 Sichuan(四川省)의 Yibin 시설에서 친산 원전 및 다이야베이 원전에 핵연료를 공급하고 있다. Lingao 원전에는 핵연료 농축도가 3.2%에서 4.45%로 높아져 이 시설의 확장이 불가피하다.

캐나다 중수형 원자로에는 초기 노심의 핵연료는 캐나다에서 제공하였다. 교체 연료는 1999년에 자체 생산하고 있는 Baotou 공장에서 공급하고 있다.

중국은 자국의 기술 자립 우선에 따라 농축 및 가공 시설 등 국내 공급을 위해 추가 시설을 서두르고 있지만 현재 추정으로는 Taishan

원전의 경우 상당량 프랑스에 의탁할 수밖에 없을 것으로 보인다.

2. 사용후핵연료 및 재처리

중국의 당초 사용후핵연료 처리는 재처리 후 처분 방식인 'Closed Cycle' 정책이었고 이를 1987년 IAEA에 발표한 바 있다.

CNNC는 장기적인 측면에서 원전에서 발생하는 사용후핵연료 처리 정책을 국내 법안에 따라 입안해 나가고 있다.

2010년에서의 20GWe, 그리고 2020년에서의 40GWe의 시설 용량을 운전하게 될 경우 사용후핵연료는 2010년에 연간 약 600톤, 2020년에는 연간 1,000톤이 발생하게 된다.

사용후핵연료의 누계는 3,800톤에서 12,300톤으로 각각 증가하게 된다. PWR과 별도로 CANDU의 사용후핵연료는 매년 176톤이 발생한다.

중국은 1994년 사용후핵연료를 중앙 집중 방식에 의해 관리하기 위해 Gansu(甘肅省)의 Lanzhou 핵연료 관련 복합 단지를 정하고

수용 능력의 반에 해당하는 550톤을 이미 저장하고 있다.

같은 지역(省) 내의 Diwopu에 2006년 연산 50톤 규모의 재처리 시설이 운전에 들어갔다. 이 시설은 100톤까지 확장이 가능하여 2008년에 운전에 들어갈 것이다. 국내 기술에 의해 대규모시설의 건설을 추진 중인데 2020년까지 완성한다는 계획이다. 이 시설 역시 IAEA의 사찰 대상이다.

2007년 11월, CNNC와 Areva는 중국 원전예의 MOX 핵연료 사용 타당성 검토를하기로 합의하였다. 즉 중국 내에 MOX 핵연료 가공 시설을 설치하는 것을 전제로 소요 경비는 약 150억 유로가 소요될 것이다.

고준위 폐기물은 유리화하여 지하 500m 심지층에 처분하게 될 것으로 6개 후보 부지가 현재 거론되고 있는데 2020년까지 결론을 낸다는 계획이다. 지하 연구소를 약 20년간 운전할 계획으로 있어 실제 심지층 처분은 2050년경으로 보고 있다.

중·저준위 폐기물 처분을 위한 처분장은 북동쪽 지방의 한 곳과 자치구인 Guangxi의 Bailong에 있다.

중국의 원자력 연구 개발

열출력 10MW의 고온가스로(HTR-10)인 Pebble bed 핵연료 및 흑연 감속의 연구용 원자로가 2000년, 베이징 근교의 칭후아대학에서 운전에 들어갔다.

이 원자로는 2003년, 출구 온도가 700~950℃에 도달하여 향후 중유 복귀기술 및 석탄 가스화의 열원으로 이용될 것이다. 이 원자로 원리는 남아연방의 원전인 PBMR과 비슷한 기술이다.

지난 2004년에는 냉각 조건 없이 원자로의 운전 정지가 가능한지에 대한 내인 안전성 시험을 성공적으로 완료한 바 있다. 핵연료 온도는 1600℃ 이하로 견지되었거 어떤 예러도 발생하지 않았다.

당초 계획은 HTR-10에 증기 터빈 발전기를 부착하려 했으나 이 부분은 2단계로 추진할 계획이다. 2단계 시험은 950℃에서 열원 응용 기술은 물론이고 가스 터빈을 부착하는 것이다.

이 연구는 연구 파트너로서 한국 원자력연구원(KAERI)과 공동 수행하여 수소 생산에 초점을 맞출 계획으로 있다.

핵심 연구 과제는 Shandong(山東省)의 Shidaowan의 실증 시설인 HTR-PM(250MWe·2기)의 건설이다. 이 발전소는 증기 터빈 원리를 이용하여 실제 열효율을 40%로 높인다는 것이다.

이 프로젝트 관리는 중국의 발전기 회사인 China Huanneng Group이 중심기관으로 리드하며 컨소시엄 회사로 China Nuclear Engineering & Construction Group과 칭후아대학의 INET연구소가 공동으로 추진하고 있다.

원자로 계통의 주계약자는 Chinergy이고 프로젝트 전체 코스

트는 3억 8500만 불인데 향후 건설비를 kWe당 1,500불선을 목표로 잡고 있다.

인허가는 규제 기관인 NNSA와 협의 중에 있는데 2013년까지 운전을 목표로 하고 있다.

HTR-PM은 향후 18기를 같은 부지나 또는 Weihai에 시설할 계획으로 있으며 이럴 경우 총 3,800MWe의 설비를 갖게 된다.

중국은 이와 관련하여 남아연방의 PBMR과 협정을 체결하였다. 다른 한편의 기술적 지원은 칭후아대학의 INET연구소에서도 받게 될 것이다.

Chinergy는 CNNC와 INET가 50:50로 공동 투자하여 설립한 Joint Venture 회사이다.

고속로인 CEFR(65MWt)은 현재 건설 중에 있으며 2008년에 임계에 도달하게 될 것이다. 이 원자로의 러시아의 기술 지원을 받고 있다고 할 수 있다.

중국의 고속로 연구 개발은 1964년부터이며 원형로에 해당하는 고속로 건설은 2020년을 목표로 두고 있다.

경수로 실험로인 열출력 200MW가 INET에 의해 개발되었는데 이는 지역 난방과 해수 담수화에 목적을 두고 있다. 이외에도 NHR-5가 있고 15MW급, 125MW급(HFETR) 등이 있다.

결언

중국은 거대한 전력 시장이다.

현재까지는 석탄 화력 위주로 발전 시장이 운영되어 왔다고 볼 수 있다. 11기의 원전이 운전된다 하더라도 원전 점유율은 불과 1.9%에 불과하다.

현재 건설 공사가 진행되고 있는 곳이 원전 10기 정도, 그리고 부지 정지 작업이 진행되고 있는 곳과 원자로 노형이 정해져 착수 준비 단계까지 합하면 원전 건설 계획은 22기가 된다.

더욱이 제11차 경제 개발 계획에 의해 2020년까지 건설될 원자력발전소는 여기에 22기가 추가된다. 이럴 경우 원전 점유율은 40GWe 이상 되어 전체 전력의 원자력 점유율은 4%대로 제고된다.

그리고 제12차 경제 개발 계획에 확정된 원전은 무려 86기가 추가된다. 이럴 경우 단연 세계 제1위의 원전 국가로 부상하게 될 것이다. 총원전 시설 용량은 총 110 GWe 가 될 것으로 추정된다.

최근의 비공식 정보에 의하면, 중국 전역의 소규모 낡은 석탄 화력 약 1000만kWe를 퇴역시킨다는 계획을 갖고 있다 한다. 이는 원자력 발전의 점유율을 더욱 조기 증대시키는 결과로 연결될 것으로 보인다.

원자력발전소 건설과 관련하여 중국은 핵연료 자립을 포함하여 기술 자립을 조기에 확보한다는 기본 계획을 가지고 있다. 조직적으로는 CNNC, 광동의 CGNPC 및 CPI 3대 축으로 관리 운영될 것이다.

특히 국가회의의 관심과 국가발

전 개혁위원회(國家發展改革委, NDRC)의 역할은 원자력 에너지를 일사분란하게 이끌고 가는 원동력이 될 것임이 분명하다. 그리고 서구 사회의 걸림돌이 되고 있는 반원전 운동의 움직임도 없다.

그러나 조직적인 면에서 단위 사업 조직이 산만하게 나열되어 있어서 서로 간의 기술 교류와 경험이 충분하게 유기적으로 이루어지지 못할 수 있는 단점도 있다. 예를 들면 발전소 하나가 확정되면 하나의 지역 회사가 설립되어 독립 채산을 맞추기 때문에 상호간의 교류가 여의치 못하다는 것이다.

또 주요한 사안이라 할 수 있는 기술 인력의 활용도와 발전소에 근무하는 인력의 생산성 역시 경쟁력을 갖추는 데 어려움이 있을 것으로 보인다. 상대적으로 많은 행정 지원 인력 역시 경쟁력을 감소시킬 수 있는 요인이 될 수 있다.

연구 개발 분야는 그 동안 매우 체계적으로 정책 결정이 뒷받침되고 있어 시차적인 면은 있지만 좋은 결과로 귀결될 것으로 보인다.


고온가스로(HTR) 및 고속중식로의 개발 등은 우리나라 연구 개발 기관 및 정책 수립 기관에서 좋은 참고가 될 것으로 판단된다.

우리나라의 유일한 연구로인 「하나로」가 있을 뿐인데 우리도 연구 목적에 따라 다양한 연구로의 시설 설치에 보다 적극적으로 대처해야 하지 않을까 판단된다.

또한 중국은 에너지 자원이 충분하지는 않지만 중국이 자립할 수

있는 기본여건은 된다는 관점에서 좋은 여건을 가지고 있다고 판단된다.

자원을 가진 국내 여건임에도 불구하고 중국은 외국의 자원 확보를 위해 아프리카를 포함한 자원 국가와 적극적으로 사업 관계를 맺어 나가고 있다.

핵연료의 기술 자립 입장에서 보면 핵연료가 채광 능력만 갖춘다면 농축 및 재처리 등 관련 기술이 일정에 맞추어 지원될 때 자립 사이클이 이루어질 것으로 판단된다. 그러나 당분간은 프랑스 등에서 핵연료를 공급받게 될 것이 분명하다. 

<참고 문헌>

1. Nuclear power in China, World Nuclear Association, 2007. 11
2. 2006 Status and plan for nuclear power in China, World Nuclear Fuel Cycle Conf. Apr. 2006
3. 2007年中國核電行業分析及投資者順報告, 2007. 4
4. Nuclear Power in China (power Point), 2006. 7
5. IAEA經驗反軌研討_Zhu-xiaofeng_Hongyahe (Power Point), 2007. 12
6. 在建項目經驗交流會, 2007. 12
7. SMNPC(Samen NPP) Introduction, 2007. 12
8. National OEF programme, 2007. 12