한국에너지공학회(1996년도)
추계 학술발표회 논문집 p. 59-65

중국의 원자력개발 계획과 한국 원전기술 수출의 효율적 추진 방안에 관한 연구

김현민*, 황정기, 김 민, 정희종, 조충희
한국원자력연구소

A Study on the Chinese NPP Development Plan and the Efficient Overseas Marketing System for Nuclear Power Plant Technology

H.M. Kim, J.K. Hwang, M. Kim, H.J. Chung, C.H. Jo
Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

중국은 향후 2020년까지 1000MW급 경수로를 중점적으로 35기이상을 건설할 것으로 예상되는 최대 잠재시장이다. 따라서 현재 1000MW급 원전기술자립을 95% 확보한 한국은 중국 및 인근 아시아지역 원전건설 시장에서 외국과의 경쟁력 확보를 위하여 주도적인 참여방안을 모색해야 한다. 이러한 관점에서 원자력기반기술이 우수한 중국과 한국은 한국형표준원전(KSNP)을 기본모델로하여 중국 및 아시아의 원전건설에 적용할 표준원전(CSNP, ASNP)을 공동개발 하기위한 협력체제 구성방안을 제안하였다. 또한 한국이 원자력기술 수출국으로 위치를 확고히 하고, WTO 출범에 따른 원자력시장 개방화에 경쟁력을 갖추기 위해서는, 원자력 선진기술을 보유하고, 건설자금조달 및 사업관리 능력과함께 폭넓은 해외협력 관계를 갖춘 세계적인 원전공급자(Nuclear Vendor)를 육성해야 한다.

1. 서 론

현재 아시아는 21세기 세계경제의 중심지로 성장하고 있으며, 이에따른 에너지 수요 또한 증가하고 있으나 그 생산량은 매우 부족한 실정에 있다. 특히 중국은 1979년 개방화정책 이후 1995년 현재 GNP가 1980년의 4배이상 증가(연평균 10.3%)하는등 급속한 경제성장을 하고 있으나, 이에따른 전력수급은 20%이상의 절대부족 상태에 있다. 또한 중국은 75%이상을 화력발전에 의존하고 있어서 이로인한 환경오염과, 총 전력의 95%이상을 생산하는 수·화력발전이 서북부지역에 위치하여 주요 수요지인 동부연안 산업도시간의 지리적인 수송문제가 전력수급의 불균형을 더욱 심화시키고 있다. 이에따라 중국은 장기전원개발계획을 수립하고(Table 2. 참조) 현재의 1%정도의 원자력발전 비율을 2020년에는 7-8%(40 - 50GWe)까지 증가시킬 계획이며, 자력으로 건설한 300MW급 원전기술을 바탕으로 대용량 원전기술자립도 병행하여 추진할 전망이다. 한편 중국은 자국에 건설할 원전은 부지활용, 기술성 및 경제성을 고려해 1300MW급 보다는 1000MW급을 희망하고 있으며, 인도네시아, 베트남, 태국등 인근 아시아국가들도 경제성장에 따른 부족한 전력확충을 위해 1000MW급 원전건설을 적극 추진하고있어, 1000MW급 한국형표준원전을 개발한 한국은 중국등 아시아지역으로의 원전기술수출은 물론 기술적우위 위치를 확고히 할 수 있는 유리한 입장에 있다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 중국에대한 원자력개발 계획 및 보유기술을 분석하였으며, 한국형표준원전이 대 중국 및 아시아지역에서 주력로형이 되기위하여, 아시아형 표준원전(ASNP)으로 발전시킬 방안을 제시하고자 한다. 또한 세계 원자력선진국들의 원자력수출 추진체제를 분석하여, 한국이 원자력기술 수출국으로서 이들 선진국과의 경쟁적 우위를 확보하고, WTO 출범으로 인한 세계 원자력시장의 개방화에 대비할 수 있는 효율적인 원자력기술수출 추진방안을 제시하고자 한다.

2. 중국의 원자력발전 타당성 및 원전개발 전략

2-1. GNP증가와 전력수급

1980년 이후 중국은 급속한 경제성장으로 GNP는 매년 10.3%씩 증가하여 1990년대 들어서는 경제성장에 따라 GNP, GDP가 평균 12.5%, 소비는 10.5%가 높아지는등, GNP와 전력소비가 비례하여 증가하고 있으나, 전체 발전량 증가는 10%정도로 수요증가에 미치지 못하고 있다. 1994년을 기준으로 중국의 전체 발전량은 9,050억KWh이며, 사용 전력량은 9,046억KWh로 민생용 9.7%, 농촌용 16.3%, 공업용 75.5%, 운수용 1.8%로 산업용 소비가 2/3를 차지하고 있으며, 1인당 발전설비 용량은 0.165KW로서 세계평균의 1/3수준으로 20%이상 전력부족 현상을 보이고있다. 또한 1994년 현재 중국의 전체 발전설비용량은 1.99억kW로서 미국, 러시아, 일본에 이어서 세계 4위의 전력생산국으로 매년 10%씩 증가했는데, 이중 화력은 1.4905억KW(74.9%), 수력은 4,776만KW(24%)이며, 중국 최초로 광동 1, 2호기, 진산 1호기 원자력 발전을 통해 210만KW(1.1%)를 생산하고 있다(Table 1. 참조). 중국은 그동안 매년 1,500만kW 이상의 전력설비 신설을 목표로 하고 있으나, 자금부족등의 요인으로 실제 건설은 이에 훨씬 미치지 못하고 있으며, 절전을 위한 여러가지 노력도 있으나 여전히 전력부족 사태는 만성화되고 있는 실정이다. 또한 중국의 주요 에너지 소비지역인 황해 및 남동연안 경제발전 구역과 발전소 및 석탄등 자원 소재지와의 격리현상도 전력수급 불균형을 가중시키고 있다.

2-2. 중국의 원자력발전과 석탄화력발전의 경제성 비교

현재 중국의 에너지 수급의 75%를 공급하는 석탄의 생산량은 세계 최대이며, 우라늄 매장량도 중국의 원자력발전증가에 따른 수요를 충분히 충족시킬 수 있을 만큼 풍부하다. 따라서 원자력발전과 석탄화력 발전의 경제성은 에너지의 효율적인 개발측면에서 주요고려 대상이 될 수 있다. 일반적으로 원자력과 석탄화력의 경제성 분석은 앞으로 건설될 발전소의 기술적 특징 및 경제적 상황을 고려한 OECD/IAEA의 평준화비용법을 사용하여 기준할인율로는 보통 5%와 10%를 적용하고 있다. 할인율은 각국의 경제상황에 따라 다르며, 상대적으로 자본이 풍부하여 투자에 대한 수익률이 낮은 선진국이 개도국에 비해 낮은 것이 일반적이다. 원전의 총 발전비용은 자본투자비, 운전유지비, 연료비등으로 구분되는데, 원자력발전의 경우 할인율 10%에서는 자본투자비가 총 발전비용의 55-75% 수준이나, 석탄화력발전인 경우 10-20% 수준이다. 운전 유지비는 원자력과 화력이 10%정도의 차이로 비슷한 정도나, 연료비 면에서는 원자력발전이 총발전의 10-30%미만 수준이나, 화력발전에서는 35-55%정도로 산정 가정에 따라 총 발전비용에 큰 영향을 미친다. Fig 1. 에서 본바와 같이 할인율을 10% 적용하면, 중국과 미국서부등 석탄을 싸게 공급받을 수 있는 국가는 석탄발전이 원자력보다 유리한 것으로 평가되고 있다. 그러나 중국의 경우 총 발전의 75%나 되는 석탄화력발전은 SOx, NOx, CO_2의 발생으로 인한 환경오염의 심각성과 주요 에너지 소비지로 자원수송능력이 한계에 직면한 반면, 원자력은 동일부지에 다수기의 원자로를 건설할 수 있고, 반복건설 및 기술개발로 인한 비용절감 효과등이 예상되어, 장기적으로는 경제성이 있다 할 수 있다.

2-3. 원전기술현황 및 원자로개발 전략

중국은 핵무기개발에서 원자력의 평화적 이용으로 정책을 전환하면서, 열병합원자로를 포함한 신형원자로, 고속증식로, 핵융합 및 방사성 동위원소 응용분야에서 우수한 원자력 기술을 보유하고 있다. 원자력발전 분야는 1990년초에 이르러 중국 최초로 300MW급 진산 1호기 원전을 독자적으로 설계·건설하여 성공적인 운전을 하였으며, 파키스탄에 동급 원전을 수출하는 단계에 있다. 이어 진산 1호기를 개량하여 발전용량이 600MW로 증가된 진산 2, 3호기를 70%이상 자력으로 설계·건설을 추진하면서 600MW급 경수로를 중

국의 표준원전을 목표로 완전한 기술자립을 추진하고 있으며, 아직 자국의 기술이 부족한 원자로등 핵심부분의 설계·기기 제작기술은 프라마톰, 미쯔비시, 한중등 해외업체와 기술제휴를 통해 도입하고 있다(Table 3. 참조). 또한 중국이 향후 주력노형으로 건설할 1000MW급 경수로는 설계 및 제작기술 수준은 아직 미미하나, 광동 III단계 및 산동성 건설을 통한 외국 기술이전을 통해 대용량의 원전기술확보를 추진하고 있다. 한편 중국은 원전 및 새로운 핵주기사업과 연계한 863계획(하이테크계획)의 일환으로 신형로 개발전략을 수립하고, 사용후핵연료를 재처리하여 얻은 플루토늄을 이용하는 핵연료재순환 방식을 적용하는 고속증식로 및 핵융합로를 개발하고, 안전성, 경제성 및 연료사이클의 효율성이 높은 모듈형 고온가스로의 개발을 추진하고 있다.

2-4. 원전건설 현황 및 향후 계획

현재 중국에는 중국 최초의 자체개발 경수로인 300MWe급 진산 1호기와 프라마톰사의 900MWe급 경수로인 광동 1, 2호기등 총 3기가 운전중에 있으며, 600MW급 진산 2, 3호기와, 프라마톰사의 950MWe급 경수로인 광동 3, 4호기가 현재 건설중에 있다. 또한 중국은 장기 전원개발계획을 수립하여 광동성 양장, 산동성 해양, 절강성 삼문, 요녕성, 강소성, 복건성, 해남도등 지역에 2020년까지 300MW, 600MW, 1000MWe급 원전을 35기이상 건설하여(Fig 2., Table 4. 참조), 1995년 현재 1.16%에 불과한 원자력발전 설비용량을 2020년에 7-8% (40-50 GWe)까지 증설할 계획이다(Table 2 참조). 그러나 중국은 이러한 원전건설에 따르는 자금부족이 가장큰 걸림돌로 작용하고 있으며, 자국에 유리한 건설비용 및 융자조건에따라 경수로가 아닌 노형 건설 검토도 예상된다.

3. 주요 원자력기술 수출국의 수출추진 체제

1995년말 현재 전세계 33개국에서 435개의 원전이 가동중이며, 주요 원자력발전 국가들인 미국, 프랑스, 독일, 소련, 카나다, 일본등이 세계 원자력기술 및 원전시장을 주도하여 왔다. 이들국가의 원전수출 실적을 보면(1994년 기준으로 원전의 핵심인 원자로수출 중심), 미국 140기, 소련 45기, 카나다 13기, 프랑스 10기, 독일은 10기이며 일본은 아직 수출실적이 없다. 여기서 중요한 점은 원전기술 수출을 주도하는 이들 국가들의 원전사업체제의 가장 큰 특징은, 핵심기술인 핵증기공급계통(NSSS)의 설계 및 기기제작기술을 보유한 핵증기공급계통 공급자(vendor)가 원전건설의 주 계약자로서 해외 원전기술 수출을 주도한다는 것이다(Table 5. 참조). 특히 프랑스, 카나다등은 국가주도의 국영 핵증기공급계통 설계기관이 원전수출을 주도하고 있다. 또한 원전건설 계약방식으로는 1차계통 및 2차계통을 분리하여 발주하는 Nuclear Island와 Conventional Island계약방식과, 발주자가 A/E의 자문을 받아 NSSS, T/G, BOP 등을 분리하여 계약하는 Component Base 방식, 일괄발주인 Turnkey방식이 있으며, 선진 원자력 수출국들은 자국의 실익을 추구하는 원전건설 발주국가의 다양한 계약방식에 유연하게 대처하고 있다.

4. 결론 및 제안

앞으로 중국 및 아시아국가들은 에너지소비 증가에 따른 전력부족과 화석연료에 따른 환경오염 해소를 위해서 원자력발전 건설을 추진하고 있으며, 부지활용, 기술성 및 경제성을 고려해 주로 1000MW급 경수로를 희망하고 있다. 2000년대 초에는 이들 원전시장을 놓고 원자력 선진국들의 치열한 수주경쟁이 예상되며, WTO 체제에 따른 원자력시장 개방를 앞두고, 1000MW급 한국형 표준경수로(KSNP)를 개발한 한국은, 외국과 경쟁력 확보를 위하여 능동적으로 대처해야 한다. 이러한 관점에서 이느때 보다 중국등 아시아 원자력 개발도상국가들과 상호 실질적이고 지역적인 원자력협력 강화가 필요하다.

- 원전건설은 국가 정책적 차원에서 추진되므로, 한국형표준경수로(KSNP)를 중국 및 아시아형 표준경수로(CSNP, ASNP)로 발전시킬 수 있는 국가차원의 한·중 원자력개발기

구(KCNDO, Korean & Chinese Nuclear Development Organization)를 구성하고, 점차적으로 인근 개발도상국을 포함한 아시아지역 원자력 공동협력체제로 구축해 나간다.

- 단기·장기로 구분하여 추진(1300MWe급 차세대 원전등은 국내 자체개발 병행)
  . 단기 : 중국 표준원전 공동개발후 중국내 건설, 장기 : 아시아형 표준원전 공동개발
- JSG(Joint Study Group), OJT(On-the-Jop-Training), JD(Joint Design), Joint seminar & conference를 통한 상호 기술교류 및 정보교환, 기술요원 훈련등 수행
- 대 개도국 원전 공동수출 추진 (선진국과 경쟁력확보, 우선 중국내 건설, 이익지분 보장)
- 공동협력 국가간에 상호 원전건설자금 지원(BOT방식 도입도 추진)
- 아시아지역에 표준화된 원전건설에 따른 경제성향상 기대(반복건설로 인한 건설 및 운전유지 비용절감, 안전성 확보, 관련 산업계 파급효과에 따른 국가경제 기여)

- 국제경쟁력을 갖춘 선진국형 원전공급자(Nuclear Vendor) 육성
  - 원전시장의 다양한 방식의 발주가 예상됨에따라, 선진국의 경우를 참고로 원전수출국으로서 갖추어야될 원자로계통설계 및 기기제작능력 중심으로 국내 원전산업체제를 개편하고, 자금조달능력 및 종합 마케팅능력을 갖춘 원전산업체제를 구축해야 된다.
- 대 개도국 기술지원사업 및 원자력 홍보활동 강화
  - 원자력 개도국에대한 기술지원사업을 통해 교육훈련, 기술자문, 기반기술 및 원전관련 분야의 지속적인 인력교류를통해 현지 원자력기술자를 친한(親韓)인사로 육성해야 한다.
  - 장기적인 원전기술수출 기반조성 차원에서 중국등 개도국에 대한 한국의 원자력발전 기술능력과 한국형표준원전에 대한 홍보물 배포 및 원자력 전시회등의 홍보활동도 강화해 나간다.

참고문헌

1. "Nuclear Engineering International" A Reed Business Publication, pp. 4-5, 1996. 3
2. Zhang Qinghua, "Nuclear Power Strategy and Planning of China" IAEA RCA Workshop, Taejon, Korea 12-16, 1995
3. 한국원자력연구소, "원자력동향", pp. 3-7, 1995. 4
4. "95 International Conference on Nuclear Power Industry Development and Cooperation" China, Beijing, 1995. 3
5. 한국원자력연구소, "동남아시아 국가들의 원자력개발 계획", 1996
6. Nuclear Engineering International, World Nuclear Industry Handbook 1994 A Reed Business Publication, 1994.
7. "Nuclear Europe Worldscan" pp. 36-37, 1994. 11
8. IAEA, "Nuclear Power Reactors in the World", Vienna, 1994. 4

Table. 1. The Status of Chinese Electric Power(1994)

(unit : a billion)

Capacity / Areas	Capacity(KW)	Annual Capacity (KWh)
Coal-fired Power	1.4905 (74.9%)	7,230 (79.9%)
Hydropower	0.4776 (24%)	1,685 (18.6%)
Nuclear Power	0.021 (1.1%)	135 (1.5%)
Total(%)	1.99 (100%)	9,050 (100%)

Table 2. A GNP growth and long-term NPP development plan in China (by 2020)

Year	GNP (a billion US $)	Annual Capacity (a billion KWh)	Total Capacity (GWe)	Nuclear Power (GWe)
2000	12,000	140,00	330	3.3(1.3%)
2010	25,000	275,00	590	20-25(4-5%)
2020	37,000	-	800	40-50(7-8%)

Table 3. Current Achievement of Technology Self-reliance

Unit(Operating Start) / Area		300MW PWR	600MW PWR	1000MW PWR
		Qinsan 1 ('94. 4)	Qinsan 2, 3 (2001, 2002)	Guangdong 1, 2 ('94. 2, '94. 5)
Design	NSSS	○	◆	×
	A/E	○	◆	×
	Fuel	◆	▲	×
Equipment Manufacturing	NSSS	◆	▲	×
	TG	◆	▲	×
Fuel Manufacturing		◆	▲	▲
Construction		○	▲	×

※ ○ : Completely Localized
◆ : Partially Localized (over 60%)
▲ : Partially Localized (Low 60%)
× : Imported

Table 4. Status of Chinese Nuclear Power and future plan

Items	Sites	Reactor type	Capacity (MWe)	Project status
Operating	Zhejian Quinsan 1	PWR	300	- Self-design & Construction - COD : '94. 4
	Guangdong DayaBay 1&2	PWR	900 × 2	- Supplier : Framatome - COD : 1994. 2, 5
Under Construction	Zhejian-II Quinsan 2&3	PWR	600 × 2	- 자체설계 및 건설 원칙 - COD : 2000, 2001
	Guangdong-II Lingao 3&4	PWR	950 × 2	- Supplier : Framatome - COD : 2000, 2001
Being Planed (by 2010)	Guangdong-III Yangjing	PWR	1000 × 6	- 외국기술 도입으로 추진
	Zhejian-III Quinsan 4&5	PHWR	700 × 6	- AECL & CNNC간 건설합의 - 한중이 증기발생기등 공급예정
	Shandong Haiyang 1&2	PWR	1000 × 2	- KEPCO & CNNC간 FS Report MOU체결('95. 3)
	Zhejian Sanmen 1&2	PWR	1000 × 2	- FS 검토완료 예정 ('96)
	Liaoning WaFangDian1&2	VVER	1000 × 2	- 중국·러시아간 FSR 작업중
	Fujian	PWR	600 (or 1000) × 2	
Being Planed (by 2020)	Guangdong	PWR	1000 × 4	
	Jiangxi	PWR	3000 × 2	
	Hainan	PWR	3000 × 2	
	Jiangsu	PWR	1000 × 2	
	Hiann	PWR	3000 × 2	
	Jilin	PWR	1000 × 2	

Table 5. Nuclear vendor type of major NPP exporting country

Country	Main Contractor NSSS Supplier(Vendor)	Main Scope
U.S	- ABB-CE - Westinghouse	- NSSS Design - Equipment Manufacturing
France	- Framatome	- NSSS Design - Equipment Manufacturing
Germen	- KWU	- NSSS Design - Equipment Manufacturing
Canada	- AECL	- NSSS Design, R&D

Fig 1. Average Electricity Generating Cost Comparision between Nuclear Power and Coal Power

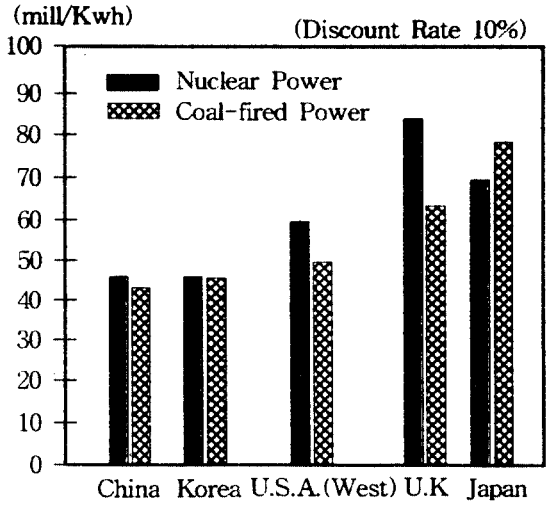
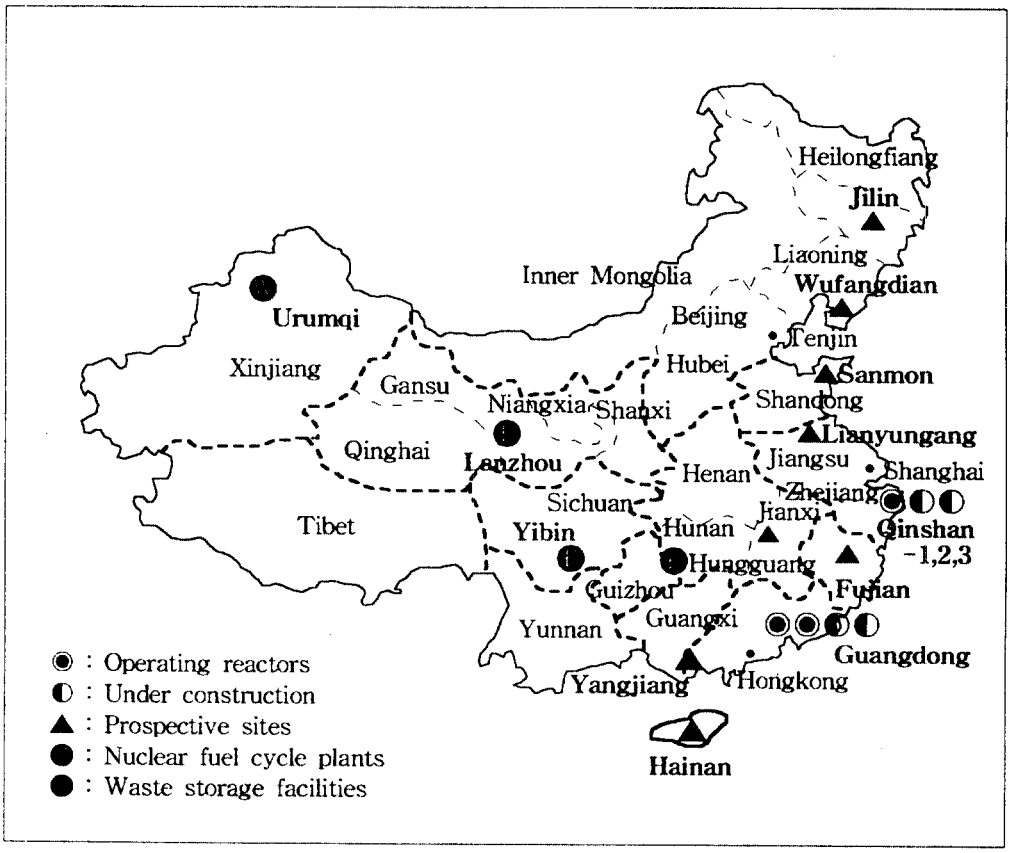
Fig 2. Status of chinese nuclear power plants and nuclear cycle facilities