



중국 원자력의 성장

Ian Hore-Lacy, Stephen Tarlton
세계원자력협회 (WNA)



중국에서는 향후 2년 내에 많은 신규 원자력발전소가 가동을 시작하여 현재 원자력 발전량의 2배를 기록할 것이다. 중국의 신규 원자력발전소 건설 계획이 세계 어느 국가보다도 대규모로 유지되고 있지만, 원자력 발전 용량의 증가는 2020년대에 점차 둔화될 것으로 예측된다.

2014년 1월 Ningde 2호기의 가동을 시작으로 중국 내에는 17GWe에 달하는 전력을 생산하는 총 20개의 원자력발전소가 가동되고 있다(〈표 1〉 참조). 2014년 말에는 중국 내 가동 중인 원자력발전소가 30개로 증가함에 따라 전체 원자력 발전량이 27GWe 수준으로 늘어날 것으로 예측된다.

2015년에는 추가적으로 8개의 원자로가 가동을 시작하면서 발전 용량이 36GWe에 달할 것이다. 2011년 3월에 일어난 일본 후쿠시마에서의 사고에 따른 원자력발전소 건설 추세의 부진에도 불구하고 이러한 괄목할만한 성장을 거듭하였다.

중국 국무원은 후쿠시마 사고에 대응하여 안전 계획이 수립되고 기존 발전소 예정지에 대한 부지, 디자인, 방호, 관리에 대한 검증을 거칠 때까지 신규 원자로에 대한 승인이나 허가를 중지하기로 결정하였다.

Fuqing 4~6호기와 Yangjiang 4호기 등 이미 승인을 통과하여 2011년에 건설이 시작될 예정이

었던 4개 원자력발전소에 대한 작업 또한 중지되었다. 산둥성 시다오완의 고온원자로 (HTR-PM, High Temperature Reactor - Pebblebed Modules) 실험 프로젝트는 기초 공사가 시작되었음에도 불구하고 역시 연기되었다.

하지만 사고 당시에도 가동중이었던 원자력발전소에서는 지속적으로 전력생산을 하고 있었고, 이미 작업이 시작된 25개의 승인된 발전소에 대한 건설이 계속되었다.

2012년 10월, 중국 정부는 원자력발전소 건설에 대한 수정된 정책의 개요를 설명하였고, 신규 발전소에 대한 승인을 재개하였다. 국무원은 국가 에너지 정책 백서에서 “중국은 원자력 발전 기술 혁신, 진보된 기술의 적용 촉진, 기기 수준의 향상을 위해 더 많은 투자를 할 것이고, 교육 훈련의 중요성에 가치를 둘 것”이라고 언급하기도 하였다.

제12차 경제개발계획(2011~2015) 종료 이전에 해안 지역에만 승인을 하고자 하는 정부의 결



〈표 1〉 운영중인 원자력발전소

Unit	Province	Net capacity (MWe)	Type	Operator	First power (m/y)
Daya bay 1 & 2	Guangdong	2X944	PWR(M310)	CGN	08/93, 02/94
Hongyanhe 1 & 2	Liaoning	2X1000	PWR (CPR-1000)	CGN-CPI	02/13, 11/13
Ling Ao Phase I, 1 & 2	Guangdong	2X938	PWR(M310)	CGN	02/02, 09/02
Ling Ao Phase II, 1 & 2	Guangdong	2X1020	PWR (CPR-1000)	CGN	07/10, 05/11
Ningde 1 & 2	Fujian	2X1018	PWR (CPR-1000)	CGN	12/12, 01/14
Qinshan Phase I	Zhejiang	298	PWR (CPR-300)	CNNC	12/91
Qinshan Phase II, 1-4	Zhejiang	4X610	PWR (CPR-600)	CNNC	02/02, 03/04 08/10, 11/11
Qinshan Phase III, 1 & 2	Zhejiang	2X650	PHWR (Candu 6)	CNNC	11/02, 06/03
Tianwan 1 & 2	Jiangsu	2X990	WER-1000/V-428	CNNC	05/06, 05/07
Yangjiang 1	Guangdong	1000	PWR (CPR-1000)	CGN	12/13
Total : 20		16,858			

Source : International Atomic Energy Agency
Sometimes included in lists of nuclear power reactors is the China Experimental Fast Reactor(CEFR), which is rated at 20MWe capacity.

정이 있었기 때문에 신규 승인은 줄어들 것으로 예측된다. 이전에는 2015년이 지나기 전에 내륙에 많은 공사가 시작될 것으로 예측하기도 하였다(〈표 3〉 참조). 게다가 중국은 3세대 원자력발전소 기술에 집중하고 있기 때문에 이러한 기술이 정착될 때까지는 신규 원자력발전소 건설 승인이 상대적으로 줄어들 가능성이 높다.

중국은 2020년까지 원자력 발전 용량을 58GWe, 공사중인 발전소의 발전량을 30GWe 수준으로 목표를 하고 있다. 이는 세계적으로 계획 중인 신규 원자력발전소의 발전 용량에 있어서 막대한 비율을 차지한다. 하지만 중국에 있어 원자력 발전은 국가 에너지 믹스

에서 상대적으로 중요한 역할을 하고 있지는 않다.

전력 생산의 주역은 석탄

중국에서 전력 생산에 가장 중요한 역할을 하는 것은 석탄이다. 국제에너지기구(International Energy Agency)의 자료에 따르면, 중국에서 2011년 생산한 4,755TWh 가운데 79%(3,751 TWh)가 석탄을 이용해 생산되었으며, 15%(699TWh)가 수력 발전을 통해 생산되었다. 2011년의 원자력 발전량은 전체의 1.8% 수준인 86TWh에 머물렀다.

지난 2년 동안 19%씩의 증가 추세에 따라 2012년이

〈표 2〉 건설중인 원자력발전소(2014년 1월 기준)

Unit(s)	Province	Gross capacity (MWe)	Reactor model	Project control	Construction start (m/y)	Operation expected (y or m/y)
Changjiang 1 & 2	Hainan	2X650	CNP-600	CNNC&Huaneng	4/10, 11/10	2015, 2015
Fangchenggang 1 & 2	Guangxi	2X1080	CPR-1000	CGN	7/10, 12/10	2015, 2016
Fangjiashan* 1 & 2	Zhejiang	2X1080	CPR-1000	CNNC	12/08, 7/09	12/13, 10/14
Fuqing 1-4	Fujian	4X1080	CPR-1000	CNNC	11/08, 6/09 12/10, 11/12	11/13, 9/14 7/15, 5/16
Haiyang 1 & 2	Shandong	2X1250	AP-1000	CPI	9/09, 6/10	12/14, 3/16
Hongyanhe 3 & 4	Liaoning	2X1080	CPR-1000	CGN, with CPI	3/09, 8/09	2014, 2015
Ningde 3 & 4	Fujian	2X1080	CPR-1000	CGN, with Datang	1/10, 9/10	2014, 2015
Sanmen 1 & 2	Zhejiang	2X1250	AP-1000	CNNC	4/09, 12/09	12/14, 9/15
Shandong Shidaowan	Shandong	210	HTR-PM	Huaneng	12/12	2017
Taishan 1 & 2	Guangdong	2X1750	EPR	CGN	11/09, 4/10	2014, 2015
Tianwan units 3 & 4	Jiangsu	2X1060	WER-1000	CNNC	12/12, 9/13	2018, 2018
Yangjiang 2-4	Guangdong	3X1080	CPR-1000	CGN	6/09, 11/10 11/12	2014, 2015, 2017
Yangjiang 5 & 6	Guangdong	2X1087	ACPR1000	CGN	9/13, 12/13	2017, 2018
Total (28)		approx. 30,500				

Source : International Atomic Energy Agency

* Fangjiashan is very near to Qinshan 1 and is sometimes referred to as an extension of Qinshan 1, or a new phase of Qinshan

끝날 무렵 중국에 건설된 전력 생산 설비는 1,145GWe에 달하게 되었다. 2012년에도 석탄을 활용한 화력 발전이 신규 전력 생산 용량의 59%를 차지하였다.

중국핵에너지협회(China Nuclear Energy Association, CNEA)에 따르면, 2012년 중국의 원자력 발전은 전체 발전량 가운데 2%(98TWh)를 차지하였다. 발전 용량의 증가는 점차 느려질 것으로 예측됨에 따라 2020년에 1,600GWe에 도달하고, 2025년에는 2,000GWe에 도달할 것으로 예상된다.

전력 수요의 급격한 증가는 전력 부족을 야기하였을 뿐만 아니라 화석연료에 대한 의존을 심화시켜 심각한 대기 오염을 발생시켰다. 실제로 중국 동부의 만성적인 광역 스모그 현상은 화석연료 연소에 기인한다.

2005년 중국은 미국을 추월하여 세계 최대 탄소 배출국이 되었고, 2012년에는 96억 4,000톤의 탄소를 배출하기도 하였다. 당시 중국은 세계 탄소 배출량 증가분의 70%를 차지했다.

대부분의 석탄이 북부와 서북부에 매장되어 있기 때문에 이를 운송하기 위해 엄청난 물류 문제가 발생하고 있다. 실제로 중국의 철도 운송 가운데 절반 정도는 석탄 운송을 위해 이용되고 있다.

석탄 생산지로부터 멀리 떨어져 있지만, 급격한 경제 성장을 보이고 있는 해안 지역에 있어서 원자력 발전은 비록 총발전 용량 중 2%만을 구성함에도 불구하고 매우 중요한 역할을 맡고 있다. 전력 수요지로부터 멀리 떨어져있는 풍력발전소나 수력발전소와는 다르게



〈표 3〉 내륙 지역에 계획되었으나 지연중인 원자력발전소

Unit(s)	Province	Gross capacity (MWe)	Reactor model*	Project control	Construction Planned
Wuhu 1 & 2	Anhui	2X1250	AP 1000	CGN	2015
Xianning 1 & 2	Hubei	2X1250	AP 1000	CGN	2015 - 17
Taohuaijiang 1 - 4	Hunan	4X1250	AP 1000	CNNC	2015 - 17
Pengze 1 & 2	Jiangxi	2X1250	AP 1000	CPI	2015 - 17
Hengfeng 1 & 2	Jiangxi	2X100	ACP 100	CNNC & Guodian	2015
Ningdu 1 & 2	Jiangxi	2X100	ACP 100	CNNC & Guodian	2015
Xiaomoshan 1 & 2	Hunan	2X1250	AP 1000	CPI	2015
Longyou 1 & 2	Zhejiang	2X1250	AP 1000	CNNC	2015
Yanjiaoshan 1 & 2	Jiangxi	2X1250	AP 1000	CNNC	2015
Shaoguan 1 - 4	Guangdong (inland)	4X1250	AP 1000	CGN	2015
Total (24)		25,400			

Source : World Nuclear Association

* The AP 1000 reactors listed are sometimes referred to as CAP 1000 reactors to indicate the much larger degree of localization compared with the first four AP 1000 units under construction at Sanmen and Haiyang.

원자력발전소는 대체로 수요지 가까운 곳에 건설될 수 있기 때문이다.

원자력 발전

중국 본토에 처음으로 건설된 두 곳의 원자력발전소는 홍콩 인근의 Daya Bay와 저장성 상하이 남부의 Qinshan에 위치하고 있다. 최초 원전 건설은 1980년대 중반에 시작되었다. Daya Bay 발전소에 설치된 프라마툼(Framatome)의 M310식 원자로는 중국에서 현재 건설중인 원자력발전소에서 가장 많이 채택한 CPR-1000 설계의 전신(前身)이다.

Qinshan의 300MWe급 단일 루프 원자로는 삼단 루프의 CNP-1000설계로 발전되었지만, 2007년에 이에 대한 개발을 중단하기로 결정하였다. 이후 이단 루프 방식의 CNP-600이 지속적으로 배치되고 있다.

중국의 집중적인 원자력 발전 확장은 국가발전 개혁위원회(National Development and Reform

Commission)의 10차 경제개발계획(2001~2005)에 따라 시작되었다(중국의 첫 경제 계획 수립은 1953년으로 이는 마오쩌둥에 의한 중국의 중앙 계획 산업화로 시작되었다). 2004년 9월, 국무원은 기존 2개의 원전을 건설하고 있던 광둥성 Yangjiang의 4개 발전소와 기존 저장성 Sanmen의 2개 발전소에 대한 3세대 원자력발전소 건설 계획을 승인하였다.

2006년~2010년 사이의 제11차 경제계획은 더욱 야심이 넘치는 목표를 설정하였고 제3세대 원자력발전소에 대한 중국의 헌신을 보여주었다. 2006년 12월, 비록 Yangjiang현장이 조금 더 북부로 올라간 산둥 지역의 Haiyang으로 변경되기도 했지만, Sanmen과 Yangjiang의 원자력발전소에 각각 2기의 웨스팅하우스 AP-1000식 원자로의 설치가 선정되었다. 또한 기존에 Yangjiang에 설치될 것으로 고려했던 2기의 AREVA 원자로(EPR)도 차후에 Taishan과 다른 광둥성의 현장에 선정되었다.

2007년, 중국 국가핵안전국은 중국핵공업집단공

〈표 4〉 해안 지역에 계획된 원자력발전소

Unit(s)	Province	Gross capacity [MWe]	Reactor model*	Project control	Construction Planned
Fuqing 5 & 6	Fujian	2X1100	ACP 1000	CNNC	2014, 2015
Hongyanhe 5 & 6	Liaoning	2X1100	ACPR 1000 or AP 1000	CGN, with CPI	2014 - 16
Fangchenggang 3 & 4	Guangxi	2X1250	ACPR 1000 or AP 1000	CGN	2014 - 15
Nindge 5 & 6	Fujian	2X1100	ACPR 1000	CGN	2015 - 17
Xudabao 1 & 2	Liaoning	2X1250	AP 1000	CPI & Datang	2013 - 15
Sanmen 3 & 4	Zhejiang	2X1250	AP 1000	CNNC	2014 - 16
Haiyang 3 & 4	Shandong	2X1250	AP 1000	CPI	2014 -
Lufeng 1 & 2	Guangdong	2X1250	AP 1000	CGN	2014 - 17
Fangchenggang 5 & 6	Guangxi	2X1080	AP 1000	CGN	2015 - 17
Bailong 1 & 2	Guangxi	2X1250	AP 1000	CPI	2015 - 17
Huizhou 1 & 2	Guangdong	2X1250	AP 1000	CGN	2015 - 18
Shidaowan 1 & 2	Shandong	2X1400	CAP 1400	Huaneng	2014 - 2016
Putain 1 & 2	Fujian	2X100	ACP 1000	CNNC & Guodian	2014 -
Tainwan 5 & 6	Jiangsu	2X1080	WER-1000/-1200	CNNC	2015 - 17
Taishan 3 & 4	Guangdong	2X1750	EPR	CGN	2015 - 18
Changjiang 3 & 4	Hainan	2X650	CNP - 600	CNNC & Huaneng	2015 - 18
Sanming 1 & 2	Fujian	2X880	BN - 800	CNNC	-
Total (34)		approx. 38,000			

Source : World Nuclear Association

* The AP 1000 reactors listed are sometimes referred to as CAP 1000 reactors to indicate the much larger degree of localization compared with the first four AP 1000 units under construction at Sanmen and Haiyang.

사(China National Nuclear Corporation, CNNC), 중국광둥핵공업공사(China Guangdong Nuclear Power Corporation, CGNPC / 현재는 China General Nuclear), 중국전력투자집단(China Power Investment Corporation, CPI) 등 3개의 국영기업에 원자력발전소를 소유하고 운영하도록 승인하였다.

다른 국영 기업 및 사기업들은 신규 원자력발전소 건설 프로젝트의 기득권을 가질 수 없도록 제한되었기 때문에 원자력 관련 사회사를 설립하거나 원자력발전

소 프로젝트에 참여를 고려하고 있던 주요 전력회사(Huaneng, Huadian, Datang, Guodian)에게는 심각한 제약이 되고 있다.

2011년 3월에 정부를 통과한 제12차 5개년 계획(2011~2015)은 설치된 원자력 발전 용량이 40GWe에 도달하고 해안 지역의 원자력 발전이 가속화될 것이라 예상하고 있다. 하지만 이러한 계획들은 제12차 5개년 계획이 완성될 즈음 발생한 후쿠시마 사고에 대한 대응을 위해 연기되었다. 건설의 둔화에도 불구하고,



2012년 10월 국무원의 에너지 정책 백서에서는 2015년까지 원자력 발전 용량이 40GWe에 도달해야 한다고 언급하였다.

건설·가동중 원자력발전소

현재 중국 내에서는 20기의 원자력발전소가 가동중이며 28기가 건설중이다. 향후 2년 내에 18기의 신규 원자력발전소가 가동되어 원자력 발전 용량을 현재 (16.9GWe)의 두 배가 넘는 40GWe수준으로 끌어올릴 것으로 예측되고 있다. 중국의 원전에 대한 요약 정보는 아래와 같다.

- ▶ **Changjiang** : 해남도의 창장리자치구에 처음으로 세워지는 원자력발전소로 친산 2 발전소에 쓰였던 CNP-600 4기로 구성될 예정이다.
- ▶ **Daya Bay** : 정규 삼단 루프 방식의 프랑스식 가압 경수로는 프라마툼(Framatome, 현재의 AREVA)으로부터 공급되었다.
- ▶ **Fangchenggang** : 광청강의 첫 2기에 들어가는 부품의 87%는 중국에서 제작되었다. 3, 4호기는 ACPR1000+식 원자로의 설치가 예정되어 있다.
- ▶ **Fangjiashan** : 중국핵공업집단공사의 원자력발전소로 저장성 Qinshan 원전 인근에 위치하고, 근본적으로 Qinshan 원전의 확장이라 볼 수 있다. 건설은 중국핵전력기능공사(China Nuclear Power Engineering Co.)에서 시행한다.
- ▶ **Fuqing** : 푸젠푸징핵공사는 2006년 5월 중국 화디언 전력회사의 지분 투자 49%로 탄생하였다. 중국핵공업진흥공사는 1~4호기 현장에 대해 책임을 진다. 5, 6호기와 마찬가지로 첫 2기의 ACP1000식 원자로의 설치를 위한 작업이 진행 중이다.
- ▶ **Haiyang** : 중국전력투자집단의 자회사인 상동핵 전력집단은, 2007년 웨스팅하우스, 더쇼그룹(The Shaw Group)과의 계약으로 2기의 AP1000식 원자로를 도입하기로 하였다.
- ▶ **Hongyanhe** : 랴오닝 다렌의 이 현장은 제11차 5개년 계획의 첫 원자력발전소 프로젝트 현장이다. 중국광동핵공업공사의 자회사인 중국핵전력기능공

사가 현장을 담당하고 있고, 10,080m³/일 급의 해수담수화 시설도 보유하고 있다.

- ▶ **Ling Ao** : 다야만 현장에 연결되어 있는 1기 원자력 발전소로, 30%의 국산화가 진행되었다.
- ▶ **Ningde** : 가장 최근인 2014년 1월초에 가동을 시작한 중국 최신의 원자력발전소이다.
- ▶ **Qinshan** : 중국 최초의 국산화 원자력발전소(압력용기 제외)이다. Qinshan의 2세대 원자로 1, 2기는 국산화된 이단 루프 가압경수로서, Qinshan 1호기보다 규모가 커졌다. 친산 3세대 원자로 1, 2기는 CANDU 6 가압형중수로 기술을 이용한다.
- ▶ **Sanmen** : 중국핵기능건설공사(China Nuclear Engineering & Construction Group)가 세계 최초의 AP1000식 원자로를 Sanmen 1호기에 설치하는 것이 2013년 8월에 예정되었고, 1년 후 2호기까지 설치하고자 하였으나 공사 스케줄이 각각 2014년 12월, 2015년 8월로 연기되었다.
- ▶ **Shidaowan** : 중국 최초의 고온원자로(HTR-PM)로, 고온가스냉각식 원자로이다.
- ▶ **Taishan** : 2007년 11월 AREVA와 광동핵전력그룹(GGN)의 계약에 80억 유로 규모의 계약에 의하여 2026년까지의 연료 공급과 기타 자재 및 서비스를 포함한 유럽식 가압경수로(EPR) 2기가 설치될 예정이다.
- ▶ **Tianwan** : 러시아의 1,000MWe급 VVER 식 원자로 2개로 구성된 AES-91 발전소가 들어서는 Tianwan의 1세대 원자로로는 현존 최대 규모의 프로젝트로 중국과 러시아 사이의 협력협약을 통해 건설되고 있다.
- ▶ **Yangjiang** : Yangjiang 발전소는 과거 중국광동핵 전력그룹(현재 CGN)의 두 번째 원자력 발전소이다. 5, 6호기는 건설될 예정인 첫 ACPR1000식 원자로이다. 

· 〈Nuclear Engineering International〉 Vol.59, No.717