

## 파키스탄의 原子力事業

2000년까지 원자력발전용량을 2,000MWe로 늘리려는 파키스탄의 전원개발계획은 동국의 늘어나는 전력수요를 충족시키고 에너지輸入을 절감시키기 위한 가장 경제적인 방법으로 보인다. 중국은 파키스탄에 대해 1996년까지 계통에 넣을 수 있도록 300MWe급 PWR 1기를 공급할 것을 이미 약속했다. 그러나 프랑스와의 900MWe급 PWR 1기 공급교섭은 현재 교착상태에 있는 것으로 알려졌다. 파키스탄의 유일한 원자력발전소(CANDU 1기)는 1972년에 운전을 개시했다. 그러나 이 원전의 가동은 그동안 주요공급국가들의 금수조치로 큰 어려움을 겪어왔는데 이는 IAEA의 보장조치가 돼있지 않은 동국의 연료주기활동에 대한 우려와 NPT 가입을 거부하고 있기 때문이었다.

파키스탄의 국토면적은 796,000km<sup>2</sup>로 히말라야산맥과 아라비아해 사이의 인더스강 유역에 펼쳐져 있으며 아프가니스탄, 중국, 인도와 국경을 접하고 있다. 인구(1990년 현재 1억1천만)의 약 75%와 농공업은 Punjab과 Sind의 두 주에 밀집해 있으며 Baluchistan과 서북부접경지대의 나머지 주들은 인구가 희박하다. 파키스탄은 세계에서 가장 빈곤한 나라중의 하나다.綿과 綿제품이 주요수출품이다.

광물자원개발은 아직 요원하다. 석탄과 철광석 자원은 풍부하나 품질이 낮다. 소량의 석유와 대량의 천연가스도 보유하고 있다. 약 27,000MWe의 추정 수력발전용량중 10%밖에 개발되지 않았으나 지리적인 어려움때문에 앞으로 10년간 5,000~6,000MWe밖에 개발할 수 없을 것 같다. 우라늄자원은 100,000톤으로 추정되고 있는데 파키스탄 원자력위원회(PAEC)는 Bannau분지와 Sulaiman지역에 상당량의 우라늄자원이 있다고 밝혔다.

파키스탄은 1947년 인도로 부터 독립한 후로 몇번의 정변을 겪었으나 지금은 이슬람 민주공화국으로 되어있다. 의회는 상하 양원제로 수도 이슬라마바드에 있다. 파키스탄은 영

연방국이다.

1인당 전력소비량은 350kWh로 개발도상국 평균치의 절반 수준이다. 지속적인 경제개발과 급증하는 인구의 수요를 충족시키기 위해 다량의 에너지가 필요하다. 국내자원개발로 수입에너지에의 의존도는 1950년의 80%에서 현재 30%로 줄어들었다. 그러나 수입에너지 비용은 이 나라의 빈약한 외환보유고에 큰 부담이 되고 있다.

에너지정책은 국내 화석연료의 증산과 대체에너지자원 개발 및 에너지절약을 통해 에너지 자립도를 높이는 방향으로 움직이고 있다. 에너지정책은 7차 5개년계획(1988~1993년)과 장기계획(1988~2003년)에 잘 반영돼있다. 국민과 언론계로부터 강력한 지지를 받고 있는 원자력발전의 확장은 발전용 수입화석연료에의 의존도를 줄일 수 있는 최선의 방법으로 보인다. 파키스탄국

민들이 원자력발전에 대해 호의적인 반응을 보이고 있는 것은 그동안 농업과 의료분야에서 원자력이 성공적으로 이용되었기 때문이다.

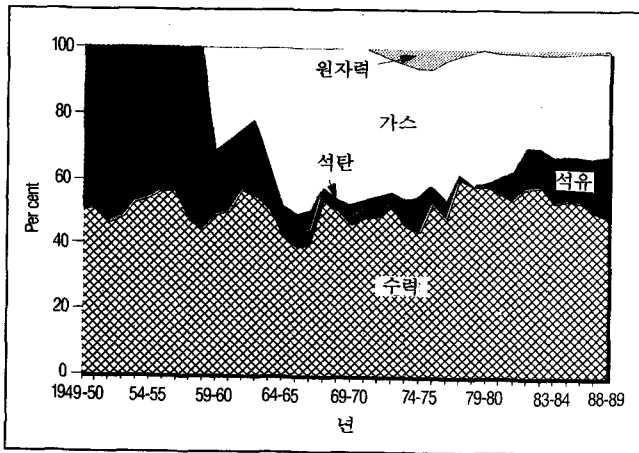
## 전력공급

발전·송배전사업은 두 전력회사에서 분할 운영하고 있는데 하나는 정부소유의 수자원·전력개발공사(WAPDA)와 또 하나는 정부가 대주주로 있는 민간회사인 karachi전력회사(KESC)다. KESC사는 karachi수도권지역을 담당하고 WAPDA사는 그외의 지역을 모두 맡고 있다. 파키스탄 원자력위원회 소유로 돼있는 이 나라 유일의 원자력발전소인 kanupp원전(137MWe급 CANDU)의 전력은 KESC사에 판매된다.

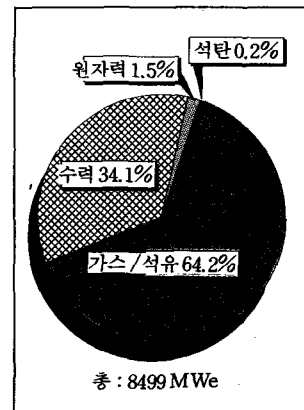
WAPDA와 KESC의 두 전력회사는 수자원·발전성 산하에 있으며 PAEC위원회는

국무총리실에서 관장하고 있다. 전력요금은 정부에서 책정하는데 전국을 통해 단일요금이 적용된다. 그러나 이 요금제도는 경제력을 강화하고 피크시간에 부하가 집중되는 것을 방지하도록 조정돼야 한다는 의견도 나와있다. 수화력발전소의 신규건설계획은 두 전력회사에서 맡고 원자발전소는 PAEC에서 맡고 있다. 발전소건설 프로젝트는 계획위원회 심의를 거쳐 내각의 승인을 맡게 돼있다. 승인이 나면 국제입찰을 통해 발주된다.

지난 30년간 發電源에 대해 많은 변화가 있었다. 1950년대 초에는 수력과 석유화력의 비율이 거의 같았다. 그후 다량의 천연가스자원이 발견됨에 따라 발전용 석유가 천연가스로 급속히 대체되었다. 그러나 최근에 와서 석유사용량이 다시 늘기 시작했는데 이는 천연가스공급을 늘리는데 있어서의 어려움과 귀중한 천연가스의 공급량을 절약하기 위해서다. 이외에 석탄화력과 원자력



자원별 발전량



이 수요부를 맡고 있다.

총시설용량(1990년1월 현재)은 8,499MWe로 수력 2,900MWe, 가스·석유화력 5,457MWe, 석탄화력 17MWe, 원자력 125MWe다. 강우량이 적은 계절에는 수력의 유효용량이 절반 이하로 줄며 다른 용도의 가스수요가 많은 겨울에는 가스화력발전소의 일부는 석유를 사용한다.

공익사업 자금의 대부분이 에너지에 투입되고 있는데도 전력공급산업이 수요를 쫓지 못하고 있다. 1984~1989년 5년간 전력수요는 연간 11.1% 증가했는데 발전량은 9.8% 증가했다. 이 차이는 송변전손실의 감소로 일부 보충되었지만 그중 4년간은 제한송전량이 1,200MW에 달해 국가경제에 큰 영향을 주었다. 7차 5개년 계획(1988~1993년)에는 부하관리와 절전대책에 의해 연간 전력수요가 9.8%, 발전량이 8.5% 증가할 것으로 예상된다.

최근 파키스탄정부는 민간 회사에서 화력발전소를 건설·소유·운영하는 것을 허용하기로 결정을 내렸다. 이러한 발전소의 전력은 상호 합의한 전력요금에 따라 WAPDA사에서 구입하게 된다. 현행 5개년계획하에서는 1993년까지 민간기업에서 1,300~2,000MWe의 신규건설이 있을 것으로 전망하고 있다.

발전설비용량 소요량은 2000년까지 20,000~22,000MWe, 2010년까지 40,000~43,000MW

e가 될 것으로 추정된다. 현행 전력회사계획이 완수된다면 수력과화력(국내연료사용)발전소의 총용량은 2000년에 13,000MWe (수력 9,000MWe, 석탄화력 1,500MWe, 가스화력 2,500MWe), 2010년에는 23,000MWe (수력 18,000MWe, 석탄화력 2,500MWe, 가스화력 2,500MWe)로 증가할 것이다. 시설용량 부족분은 수입화력연료 사용 화력발전과 원자력발전으로 충당할 것이다.

지금까지 수입석탄은 발전용으로는 사용되지 않았지만 WAPDA사는 수입석탄사용 발전소를 2000년까지 1,000MWe, 2010년까지 3,500MWe 건설할 것을 제안하고 있다. 이와 함께 동사에서는 원자력발전소 증설도 고려중이다.

개발도상국이면서도 파키스탄은 이례적으로 약 7,500MW용량의 잘 개발된 고압송전망을 가지고 있다. 남북으로 뻗친 500KV의 1회선은 현재 2회선으로 증설중이며 220KV의 支線도 건설중이다. 900MWe급 원자력발전소를 수용하는데 아무런 어려움이 없다.

1958년 이후 전력의 수출입은 없었다.

## 원자력사업

### (1) 연혁

파키스탄은 원자력발전소를 갖게 된 최초의 개발도상국중의 하나다. 파키스탄 원자력위원회(PAEC)는 1955년에 설립되었고 1965년에는 새로 설립된 파키스탄 원자력과학·기술연구소 (PINSTECH)에서

미국에서 공급한 5MW급 플렉서블 연구로(PARR)가 가동되기 시작했다. 같은 해에 PAEC는 Canadian General Electric사에 대해 137MWe급 CANDU 발전소 1기를 텅키로 발주했다. 이 건설자금은 캐나다와 일본 차관으로 충당되었다. Kanupp(Karachi nuclear power plant)로 알려진 이 발전소는 Karachi 서쪽 30km 지점의 해안에 위치하고 있다. 이 발전소는 1972년에 운전을 시작했는데 그후 여러 가지 이유로 장기적인 정지가 여러번 일어나 지금까지 평균 25%의 부하율을 기록하고 있다.

년 도	발 전 설 비 용 량 (MWe)			
	수 력	화 력	원자력	합 계
1950	11	76	-	87
1960	240	253	-	493
1970	667	1058	-	1725
1980	1567	1814	125	3506
1990	2897	5152	125	8174
1991년 1월 현재	2900	5474	125	8499

전 원 별 발 전 량(GWh)						
년 도	총발전량	전원별 점유율(%)				
		수 력	석 탄	석 유	가 스	원자력
1949-50	222	50.2	-	49.8	-	-
1959-60	1047	48.4	-	19.6	32.0	-
1969-70	6380	45.7	3.1	3.0	48.2	-
1974-75	9941	43.8	0.7	9.9	39.5	0.1
1979-80	14975	58.2	0.2	1.1	40.5	-
1983-84	21873	58.6	0.2	11.7	28.0	1.5
1988-89	34880	48.7	0.1	18.9	31.5	0.8

## (2) 공급정지조치

Kanupp 원전의 실적부진은 최소한 부분적으로는 1970년대 중반부터의 외국의 원자력 부품 공급 및 기술지원 중단에서 온 것이다. 1974년 인도가 모종의 핵장치를 폭발시킨 후로 파키스탄은 핵비확산조약(NPT)가입과 자국의 모든 원자력활동에 대한 전면적인 안전조치를 계속 거부해왔다. 이 기간중에 몇개의 안전조치가 안돼있는 핵연료주기시설을 건설했다.

파키스탄은 정치적인 이유로 NPT 가입을 거부하고 있지만 인도도 가입한다면 가입할 용의가 있다는 입장이다. 핵무기개발에 대한 파키스탄의 태도는 불투명하다. PAEC의 Kahn위원장도 파키스탄은 너무 빈곤해 핵군비경쟁을 할 수 없다고 하면서도 또한편으로는 인도도 같이 그렇게 하지 않는다면 파키스탄도 원자력의 선택을 영원히 포기할 수는 없다고 말하고 있다. 「파키스탄은 핵무기를 만들 생각이 없다」고 부토대통령이 1989년 6월에 부시대통령에게 준 언질

은 2년의 후임자에 의해 재확인되지 않고 있다. 파키스탄이 핵무기개발에서 진전을 보이고 있다는 혐의사실 때문에 미국은 작년 10월 파키스탄에 대한 모든 군사 및 재정원조를 보류했다. 이 문제를 논의하기 위해 양국간에 회담이 열리고 있다.

금년초에 파키스탄과 인도는 상호간에 원자력시설을 공격하지 않기로 합의를 보았다. 그러나 인도는 파키스탄이 제의한 지역적인 핵비무장안이나 NPT에의 동시가입안을 계속 거부하고 있다.

Kanupp원전은 IAEA의 안전조치하에 놓여 있으나 이 발전소에 안전조치가 돼있지 않는 국산 핵연료를 사용하게 됨에 따라 IAEA에서 이를 감시하기 위해 추가장비를 설치하려고 했을 때 PAEC가 이에 동의하지 않아 IAEA와 한때 어려운 관계에 있었다. 2기의 연구로 역시 안전조치하에 놓여있으나 PAEC가 자체적으로 건설한 시설에 대한 국제사찰을 파키스탄정부가 거부하고 있다.

주요원자력공급자들의 금수조치로 Kanupp원전 운영자들은 자립체제를 강구하지 않을 수 없게 되었다. 특히 여기에는 연료와 예비품의 국산화가 포함되었다. 국산연료가 1980년에 처음으로 Kanupp원자로의 바깥쪽 채널에 장전되고 그 후 점차 안쪽 채널로 확대해갔다. Kanupp원전은 1985년과 1989년에 IAEA의 OSART팀의 사찰을 받았지만 IAEA의 운전기준에 맞는 것으로 판명되었다고 PAEC 관계자는 말했다. 현재 이 발전소에서는 I&C 시스템의 현대화하고 가동중 검사(ISI)를 개선하기 위한 작업이 진행중이다. 비교적 높은 피폭이 일어난 일도 있었지만 종사원의 연간 피폭선량은 4.5mSv 미만이다.

## (3) 신규도입

중국은 1986년 파키스탄과 협력협정을 체결한데 이어 1989년11월 IAEA 안전조치하에 파키스탄에 300MWe급 PWR 1기를 판매하기로 합의했다고 발표했다. 이 원자로는 秦山-1호기의 개량형이 될

것인데 당초 1990년12월에 착공하기로 예정돼 있었으나 자금문제로 지연되고 있다. 건설현장은 인더스강과 연결된 운하변에 있는 Kundian과 Piplan 양시 사이의 Chasma 지구에 있는데 이곳은 이슬라마바드시에서 서남쪽으로 약 200km되는 지점이다. 작년에 프랑스가 약속한 900MWe PWR 공급문제도 자금문제로 난관에 봉착하고 있다. 이 PWR 역시 Chasma 지구가 건설예정지로 돼있는데 PAEC 관계자 말에 의하면 이 지구는 원자력발전소를 5,000MWe 용량까지 수용할 수 있다고 한다. 소련도 원자력발전소 공급을 제의한바 있다.

장기적으로는 표준화된(600MWe가 될 가능성이 많음)원자력발전소의 설계·건설 및

Kanupp원전인원 피폭선량

년 도	전체 피폭량 (man·Sv)	1인·년당 평균피폭량 (mSv)
1971	0.26	1.00
1972	0.626	2.09
1973	1.62	5.09
1974	1.432	4.53
1975	2.51	7.84
1976	2.431	5.46
1977	1.258	2.88
1978	1.353	3.20
1979	3.269	7.04
1980	1.707	4.23
1981	1.264	2.66
1982	1.768	3.62
1983	1.368	3.22
1984	2.082	4.84
1985	4.04	7.77
1986	1.591	3.05
1987	1.724	3.25
1988	1.094	2.37
1989	3.56	7.13
1990	1.754	3.51

기기·연료의 제작에 대한 자체능력을 기르는데 힘쓸 것이다. PAEC에서는 원전설비용량을 2000년까지 2,000MWe, 2010년까지 8,000MWe로 증가시킬 수 있을 것으로 전망하면서 파키스탄에서는 원자력이 석탄·석유화력 보다 경제적으로 유리하다고 주장하고 있다.

#### (4) 교육훈련

1979년 Kanupp 원전 구내에 설치된 “카라치”원전훈련소에서는 엔지니어와 기능사들에 대한 이론 및 실기교육을 실시하고 있다. 여기에는 현장실습도 포함된다. PAEC는 WANO(세계원전사업자협회)와 CANDU 소유주단체의 회원이다. 후자를 통해 PAEC는 공개된 일반적인 정보에만 접할 뿐 현재의 제한조치하에서는 신기술이나 기자재 도입은 못하고 있다.

#### (5) 원자력규제

PAEC는 파키스탄의 원자력안전·방사선방어법에 따라 방사성물질 취급 및 원자력설비 설치에 관한 허가규정을 마련한다. 규제활동은 원자력안전·방사선방어국(DNSRP)에서 하고 있는데 동국은 PAEC 위원장에게 활동상황을 보고해야 한다. 10명의 전문가들로 구성된 DNSRP 검사팀은 원전의 안전성/운전, 방사선방어, 방사선의학 등의 문제를 다룬다. 이들은 피검시설의 모든 구역과 기록에 접할 수 있

게 되어있다. 원자력 발전소의 허가과정은 입지승인과 등록, 건설허가, 운전허가의 3단계로 나뉘어진다. 각 허가과정에서 신청자는 연방, 주, 지방행정당국의 관련부서에서 발급한 완전한 증명서를 제출해야 한다. 설계와 안전에 관한 기준은 IAEA의 안전규정과 기준에 따라 설정돼있다. 운전허가를 받기 전에 신청자는 허가사항을 명시한 서류를 제출해야 한다.

- 운전지침과 원칙
- 방사선방어절차
- 비상대책
- 시운전 및 저출력시험, 출력 상승시험, 전출력시험 등에 관한 기록자료

#### (6) 원자력 R&D

원자력 R&D 자금은 전액 정부가 부담하는데 연구활동은 PINSTECH(이슬라마바드 근처)와 농업·생물학 원자력 연구소(1972년 Faisalabad에 설립)의 두 PAEC 산하 연구소에서 집중적으로 이루어지고 있다. PAEC는 이외에 Tandojam과 Tarnab에 농업 연구소와 Lahore에 원자력광물연구소를 갖고 있다.

PINSTECH에 있는 PARR-1 연구로(IAEA 안전조치하에 있다)는 10MWt로 용량을 늘리고 사용연료도 90% 농축연료에서 20% 농축연료를 사용할 수 있도록 개조되었다. 중국이 연료가공을 지원하고 있다. 고농축우라늄연료를 사용하는 27KWe급 풀형 연구로

**Kanupp원전 부하율 및 정지 시간**

년 도	부하율 (%)	정지시간 (시간)
1973	38.17	2563.7
1974	48.67	2012.97
1975	45.58	2389.50
1976	40.40	2757.90
1977	28.28	3390.80
1978	19.10	4283.70
1979	2.93	7957.00
1980	7.13	6356.30
1981	19.17	3377.90
1982	6.98	6959.10
1983	19.03	4005.80
1984	24.15	3189.60
1985	21.83	4865.10
1986	43.94	1539.40
1987	25.69	4219.10
1988	16.19	5821.10
1989	5.86	7614.70
1990	34.97	3404.40

1기가 중국 지원하에 PINS-TECH 연구소에 설치되었다. PINSTECH 연구소는 교육훈련도 대규모로 실시하고 있다.

**(7) 연료주기**

**①우라늄**

Baghalchar에 우라늄광산이 있다. 우라늄채련소는 Dera Ghaza Khan에 있는데 생산용량은 연산 30tU, 1985년부터 조업하고 있다. PAEC는 최근에 새로운 채광기술을 개발했는데 이 방법은 지하갱을 낼 수 없는 곳의 저품질 우라늄광을 채굴하는데 사용된다. 서북부 국경지대에 있는 원자력광물연구소 옆에 시험공장이 건립되었다. 우라늄 정제 및 우라늄 산화물/불화물 생산시설도 갖추고 있다.

Rawalpindi 근처의 Kahuta에 있는 우라늄 가스원심분리 농축시설은 1972년에 착공해 1984년에 조업을 시작한 공장



▲ PINSTECH 연구소의 연구로는 10MWt로 용량을 늘리고 20% 농축연료를 사용할 수 있도록 개조되었다.

이다. 의도적인 공급업자들의 방해공작을 따돌리고 유럽의 몇개국으로부터 부품과 민감한 Urenco사 기술을 입수했다. 현재 이 공장의 생산용량은 5,000SWU/년인데 앞으로 15,000SWU/년까지 용량을 늘릴 예정이다.

1970년대초에 프랑스의 Société Général pour Techniques Nouvelles사(SGN)와 Kahuta에 건설될 재처리공장의 공급계약을 맺었었다. 1979년에 프랑스정부가 이 계약이행을 중단시켰지만 그 전에 이미 일부 정보는 전달되었다. 프랑스는 계약취소에 대한 보상을 약속하고 있다. 정통한 소식통들은 파키스탄이 2기의 재처리 시험공장을 건설할 수 있는 능력을 이미 갖추고 있는 것으로 보고 있다. 파키스탄의 주도적인 과학자중의 한사람인 A.Q. Kahn씨도 최근 「Kahuta 재처리공장을 완성시키기 위한 노력이 계속되고 있다」고 말한바 있다.

Kundian에 있는 연료가공 공장은 1979년에 조업을 시작했다. 생산용량은 연간 1,500개 연료다발(천연우라늄 24톤)이다. 국산광석으로부터 원자로급 산화질코늄과 Zircaloy-4의 ingot를 생산하기 위한 소형공장도 하나 있다. 사용후 연료 시험소가 Rawalpindi에 설립됐다. Kanupp원전 구내에 중수재처리공장이 있는데 Multan에도 이같은 공장이 있는 것으로 알려져 있다.

**②폐기물관리**

Kanupp원전의 사용후연료는 현장에 보관된다. 연구소나 생산업체에서 발생하는 소량의 저준위폐기물도 어려움없이 잘보고 있다고 한다. 폐기물관리에 관한 국가정책을 수립하고 폐기물관리기술을 세계수준으로 높이기 위해 한 위원회가 설치되었다. DNSRP는 현재 IAEA안전기준에 따른 폐기물관리 규제에 관한 지침서를 마련중이다.