

## 특집 2

한일원자력산업세미나

1993년 11월 2일~3일

한국전력공사 별관 소강당

# 日本の 에너지需要와 電力業體의 對應

白石晶一

九州電力(株) 技術崔高顧問

1980년대 후반 일본의 에너지 수요는 경제성장에 따라 현저히 증가하였다. 1987년부터 1990년까지 에너지수요의 연평균증가율은 4.4%이었으며 이러한 추세는 <그림 1>과 <표 1>에서 보여주는 것처럼 높은 수준이다.

전력수요도 현저히 증가하였다. 일본에서 총 일차에너지 중에서 전력생산에 투입된 에너지자원의 소비는 <그림 2>에서 보여주는 것처럼 매년 증가하고 있으며 주거부문에서 전력소비의 급격한 증가 때문이다.

## 일본의 에너지 현황

그러나 최근의 경기침체로 인하여 에너지와 전력수요의 증가는 둔화되고 있다. 1992년도의 경우 에너지수요의 증가율은 0.5%이었고 전력수요 증가율은 1.3%이었다. 그러나 예상되는 경제회복으로 에너지와 전력수요는 증가할 것으로 예상되며 특히 주거부문에서 두드러질 것으로 보인다.

일본의 에너지소비여건은 취약

한 에너지공급구조로서 특징지어진다. 일차에너지의 80%이상을 외국으로부터의 수입에 의존하고 있다. 특히 석유의 경우 99.7%를 수입하고 있으며 이중 약 70%정도는 정치적으로 불안정한 중동에서 수입되고 있다.

## 장기 에너지수급 전망

1990년도에 에너지자문위원회는 통산성장관에게 「장기 에너지수요와 공급의 전망」이라는 보고서를 제출하였다. 국가에너지정책에 대한 지침으로 이보고서는 에너지의 안정공급을 위한 석유의 대체연료와 에너지보전기술을 연구개발을 강조하고 있다. 또한 보고서에 따르면 석유대체에너지 공급의 현실화를 위한 지침 즉, 「석유대체에너지공급 목표」의 제목으로 되었으며 <그림 3>에서 보는 바와 같이 2010년까지 정부에 의해 결정되었다.

이러한 지침에 의하면 1989년의 일차에너지공급은 약 499GI(석유환산)이었고 2000년과 2010년에는 각각 594GI, 657GI로 추정하고 있다. 처음의 10년 동안 연평균 공급증가율은 1.6%이며 다음 10년 동안 연평균 공급증가율은 1.1%로 추정되고 있다.

이러한 일차에너지공급 증가율을 유지하기 위해서는 1차석유과 동이후 15년 동안 수행되어 왔던 효율화 수준의 에너지보전 노력이 유지되어야 할 것으로 보인다.

한일원산세미나

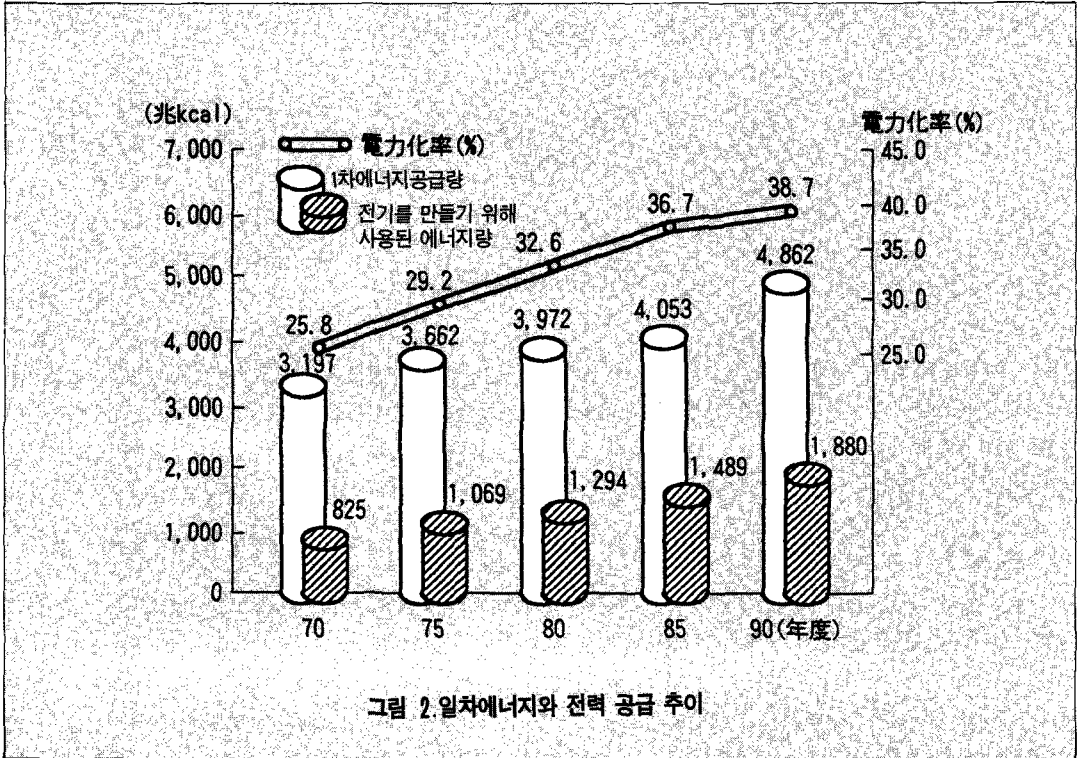
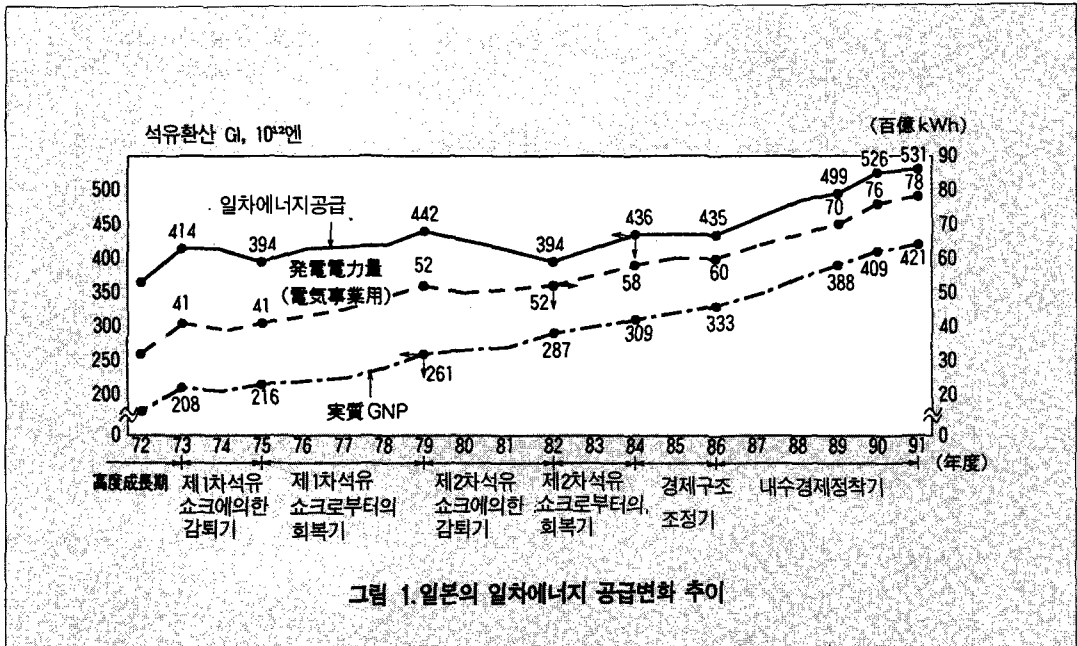


그림 3. 일본의 장기 에너지 수요와 공급 전망(1990년 발표자료중)

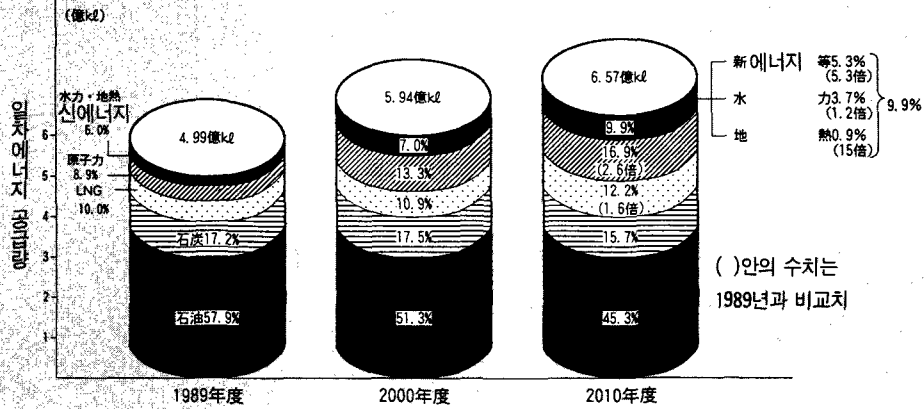


표 1. 일본의 에너지수요 증가율 추이

FY	(annual rate: %)										
	1969~1973	1973~1979	1979~1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993*	1994*
Energy demand	9.2	0.9	▲0.4	4.8	5.6	3.5	3.8	2.7	0.5	0.7	1.9
Industrial	8.6	▲0.8	▲1.9	4.8	5.9	2.7	3.2	0.7	▲2.1	▲0.1	1.0
Public welfare	11.5	3.3	1.9	5.2	5.4	2.2	4.5	4.8	3.9	2.6	3.5
Transportation	9.2	4.2	1.3	4.1	5.1	6.8	4.4	4.9	2.3	1.8	2.3
Total energy demand	10.8	3.9	1.9	6.0	5.4	6.2	7.2	3.2	1.3*2	-	-

\* 1 prospective

\* 2 estimated achievement

또한 에너지소비자원의 비화석 연료의 비율을 보면 1989년에 14.9%이었고 2000년과 2010년에는 각각 낙관적으로 전망된 20.3%와 26.8%로 나타나고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 수력, 지열 그리고 풍력발전을 포함 원자력발전의 개발이 촉진되어야 할 것이다.

지구환경에 대한 문제에서 1992년 6월 환경과 개발에 관한 유엔회의(지구정상회의)가 브라질의 리오데 자네이로에서 개최되었으며 지구환경문제에 대한 세계적인 관심증가를 보여주었다. 일본정부는 「지구온난화에 대한 행동계획」의 제목이 붙여진 보고서를 1990년 10월 발표하였으며

이 보고서에서는 일본은 2000년 이후 일인당 이산화탄소방출량을 1990년수준으로 안정화한다는 것을 선언하였다.

지구온난화에 대한 대응행동계획을 수행하기 위해서는 정부의 석유대체에너지 공급목표가 달성되어야 할 것이다. 그러나 최근의 에너지소비추세에서 보면 석유의

한일원산세미나

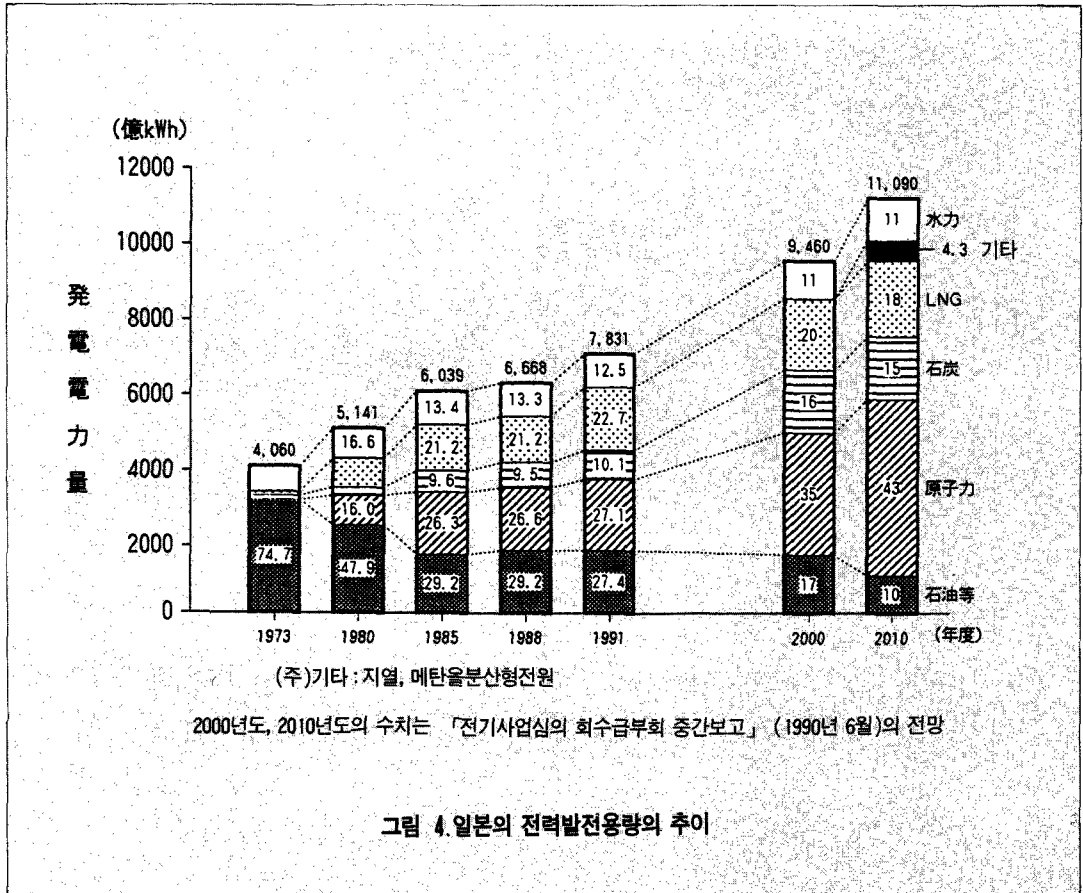


그림 4. 일본의 전력발전용량의 추이

안정된 공급은 국제시장구조 때문에 이루어지고 있으며 또한 일본화폐(엔)의 환율상승으로 석유의 실제값은 하락되었다. 이 외에 헤이세이기간 중 경기침체로 산업부문에서의 에너지보전에 대한 투자가, GNP에 비해 에너지소비증가율은 증가하고 있음에도 불구하고, 점차로 둔화되고 있다. 이러한 상황에서 에너지이용에 대한 효율 극대화가 크게 요구되고 있다.

화석연료의 주요한 대체에너지로서의 원자력발전 도입에 관하여 국민들은 안전성에 대해 심히 우려하고 있으며 원자력발전소 건설을 반대하고 있다. 원자력발전소 건설이 계획대로 완성되는 것이 어렵다는 것은 사실이다.

위와 같은 개발계획에서 보면 정부 보고서 「장기에너지수요와 공급의 전망」에서 설정된 정책목표를 달성하기가 어렵다는 것은 확실해진다. 또한 동시에 보고서

가 발표된 1989년 이후 3년 동안 일본과 외국의 에너지소비 변화를 고려하면 정책의 내용은 현실적으로 적용하기에도 어려울 것으로 보인다.

현재 다음과 같은 주제에 대해 에너지자문위원회는 개정 검토를 하고 있다.

- (1) 에너지공급의 안정성 검토.
- (2) 전력과 가스, 석유 등의 에너지자원의 공급구조의 탄력성.

**경수로 기술의 개선**

일본의 향후 원자력발전정책의 기본 원칙은 우라늄자원의 효율적인 이용 측면에서 경수로에서 고속중수로로 옮겨가는 것이다. 그러나 고속중수로의 실질적인 이용이 2020년에서 2030년까지는 시작될 것으로 보이지 않기 때문에 경수로는 당분간 원자력발전의 주도적인 역할을 맡게 될 것으로 보인다. 그러므로 경수로기

술의 다양한 측면에서 개선이 이루어져야 할 것이다. 즉 발전소 수명연장을 위한 연구개발, 핵연료의 고연소도화, 방사성폐기물 발생량과 방사선피폭량의 감소가 기술개발분야 중점분야가 될 것이고 경수로에서의 플루토늄의 사용도 고속로에서의 플루토늄의 사용을 대비하여 촉진되어야 할 것이다.

**전력업체들의 계획**

일본의 전력업체들은 석유대체 전력공급원의 개발을 적극적으로 수행해왔으며 공급다양화에도 많은 노력을 해 오고 있다. 가장 효율적인 에너지공급은 공급의 안정성, 지구환경문제, 비용절감 그리고 기술적인 타당성 등을 고려하여 확보되어야 할 것이다. 구체적으로 본다면 원자력발전소의 도입은 기저전력공급원으로서 촉진되어야 되고 석탄화력발전의 효율과 LNG화력발전도 <그림 4>에서 보는 바와 같이 조화와 균형된 전력공급구조를 유지하기 위해 개선되어야 할 것이다.

나아가 하절기의 에어컨 가동

으로 인한 전력수요의 증가로 인해 계절별로는 물론 밤과 낮의 전력수요의 큰차이가 나타나고 있다. 이러한 상황에 대처를 위해 전력공급시설의 공급 특성의 개선이 중요하며 이렇게하여 에너지사용은 효율적이고 비용절감이 가능할 것이다.

**원자력발전의 촉진**

현재 원자력발전은 총전력공급의 1/4이상으로 일상생활에서 원자력에너지가 필수적인 에너지라고 말해도 지나치지 않을 것으로 보인다. 원자력발전의 경제와 국산에너지로서 원자력발전은 미래 에너지공급의 핵심으로서 개발되어야 할 것이다. 그러나 일본과

외국에서의 사고들을 고려해보면 대부분의 시민들은 원자력발전의 필요성에 대해서는 인정은 하지만 안전성에 대해서는 우려를 하고 있다. 이에 따라 신규 부지에서의 원자력발전소와 관련시설의 건설에서 많은 곤란을 받고 있다.

원자력발전에 대한 현재의 상황을 고려하여 일본 원자력위원회는 5년여 만에 처음으로 원자력발전 개발을 위한 장기이용계획을 검토하였다. 검토작업은 4부문으로 진행되었다, 즉 경수로 이용, 핵연료 재순환, 핵비확산을 통한 국제공헌, 그리고 기술개발 등이다.

-운전중: 45기(37,200 MWe)

\* 4기(4,000 MWe)는 금년에 가동됐음

-건설중: 7기(7,900 MWe)

-계획중: 11기(12,100 MWe), (1993년 전력시설계획에 따라 1993/94회계년도에 수정될 것이다).

석유대체에너지공급 목표에서 2010년까지 72,500MWe를 목표로 하고 있으나 건설지연 등으로 인해 목표달성은 어려울 것으로 보인다.

지방의 산업구조 개선과 전력요금의 할인이 원자력발전소 부지지역을 지원하기 위해 단행되었다. 그러나 이러한 지원조처들이 단기적인 것들이고 부지 주변 지역과의 지속적인 좋은 관계를 위한 기반을 조성하기에는 부족하다는 견해들이 지적되어 왔다.

한일원산세미나

이와 같은 문제들을 극복하고 원자력발전소의 새로운 부지확보를 촉진하기 위해서는 향후 지역 개발에서 자금원으로 원자력발전소에 의존하여 지역과의 공존관계의 생성과 지원을 위한 대책 개발이 중요하다.

핵연료주기

일본은 장기적으로 사용후핵연료는 재처리되어야 하고, 회수된 우라늄과 플루토늄은 재순환되어야 한다는 기본방향을 유지해야 한다. 고속증식로 몬주의 핵연료로 사용될 플루토늄이 해상수송을 통해 반입되었을 때 세계적인 비판이 제기되었다. 플루토늄의 이용에 대한 일본과 해외에서 이해를 구하기 위한 노력이 더한층 요구된다.

JNFI(Japan Nuclear Fuel Industries Co. Inc.)과 JNFS(Japan Nuclear Fuel Service Co. Ltd.)는 우라늄농축과 사용후핵연료재처리 그리고 저준위방사성폐기물처분의 서비스를 맡고 있다.

1992년 7월 두회사는 JNFL(Japan Nuclear Fuel Ltd.)로 합병되었다. 이 회사는 <표 2>에서는 보는 바와 같이 이미 우라늄농축과 방사성폐기물 처분을 위한 시설 운영을 시작하였다.

고속증식로

고속증식로는 우라늄자원을 높은 효율로 사용한다. 동력로핵연료개발사업단(PNC: Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)은 고속증식로 원형로 몬주를 건설하고 있으며 1994년 봄에 운전을 목표로 하고있다. 전력업체들과 협력으로 일본원자력발전(주)(JAPCO: Japan Atomic Power Co.)는 현재 계획단계에 있는 FNR실증로 건설을 추진하고 있다.

국제협력

일본은 옛 소련과 동구국가들의 원자력발전소의 안전성을 향상시키기 위해 독립국가연합과 동구국가들과의 기술자 교환을

이미 하고 있다. 이러한 국제협력은 축적된 인적 기술적 자원을 효율적으로 이용하면서 지속적으로 적극적으로 추진해야 할 것이다.

화력발전 기술의 개발

전력공급에 있어서 화력발전의 점유율은 원자력발전의 적극 도입으로 감소하고 있다. 그러나 2010년에 전체 전력공급의 약 43%를 화력발전으로 공급이 예상되기 때문에 화력발전은 앞으로 전력 전력공급에 있어서 중요한 역할을 계속 맡게 될 것이다.

화력발전의 이용과 개발을 촉진하기 위해서 지구환경문제가 고려되어야 한다. 화력발전소에서 방출되는 이산화탄소의 전부 또는 부분적인 안정화나 회수를 위한 경제적이고 효율적인 기술이 아직도 연구단계에 있다. 현재 이산화탄소의 방출은 화력발전소의 발전효율 증가로 감소해야 할 것이다.

표 2. 핵연료주기시설의 개요

	재처리공장	우라늄농축공장	저준위 방사성폐기물처리센터
회 사	일본원전연료(주)		
시설규모	재처리용량: 800톤U/년	농축용량 -1단계: 150톤 SWU/년 -최 종: 1,500톤 SWU/년	저준위폐기물처분용량 -1단계: 200,000m <sup>3</sup> -최 종: 600,000m <sup>3</sup>
부지면적	약 380만m <sup>2</sup>	약 360만m <sup>2</sup>	
운전년도	2000(예정)	1992. 3	1992. 12

표 3. LNG병합발전의 효율

	Conventional type	LNG Combinde		
		1085°C rank	1260°C rank	1400°C rank
Gross thermal efficiency(%)	40.2	43.0	46.6	Approx. 50
Auxiliary power(%)	2.4	1.9	1.8	Approx. 1.6
Transmission thermal efficiency(%)	39.2	41.9	45.4	Approx. 49
Startup time(min.)(stop for 8hr.)	100	50	60	Approx. 60

Note: Startup time.....conventional type: boiler ignition~ full load combined plant: turbine startup~ full load(per laxis)

표 4. 석탄화력발전의 효율

		Conventional type	USC		PFBC
			High temp.	High pressure	
Stema condition	Pressure(atg)	246	246	316	246
	Temperature(°C)	566/566	593/593	566/566/566	566/566
Gross thermal efficiency(%)		42.1	42.8	43.3	42.6
Auxiliary power(%)		5.9	5.9	5.9	2.9
Transmission thermal efficiency(%)		39.6	40.3	40.7	41.3

나아가 또한 주간과 야간의 전력소비의 차이로 인한 증가되는 負荷差異에 대책과 전력공급구조에서 원자력발전의 점유율증가에 대응하기 위하여 부하변동율, DSS(Daily start and stop, 밤에는 전력생산을 중단하고 아침에 전력생산을 시작), 다양한 출력운전 기간동안의 부분적인 負荷에서의 효율성 증가를 개선하는 것이 필요하다.

**LNG병합발전의 도입과 개발**

LNG병합발전은 앞으로 상당 기간 안정된 공급을 보여줄 것

로 보이는 액화된 천연가스를 사용하여 가스와 스팀터빈으로 전력을 생산한다. 최근의 LNG병합발전기술의 개발은 가스터빈의 입력가스의 온도를 높이는 등 괄목할 만하다. LNG병합발전의 열효율은 절대값으로 보면 기존의 화력발전에 비해 3내지 10%정도 높다.

나아가 기동성있는 가동과 정지 즉 높은 부하변동율은 LNG병합발전의 장점이다. 일본의 많은 전력업체들이 이와같은 발전을 이용하고 있으며 <표 3>에서 보는 바와 같이 현재 6기(5,040

MWe)가 운전중이며 8기(9,010 MWe)가 건설 또는 계획단계에 있다.

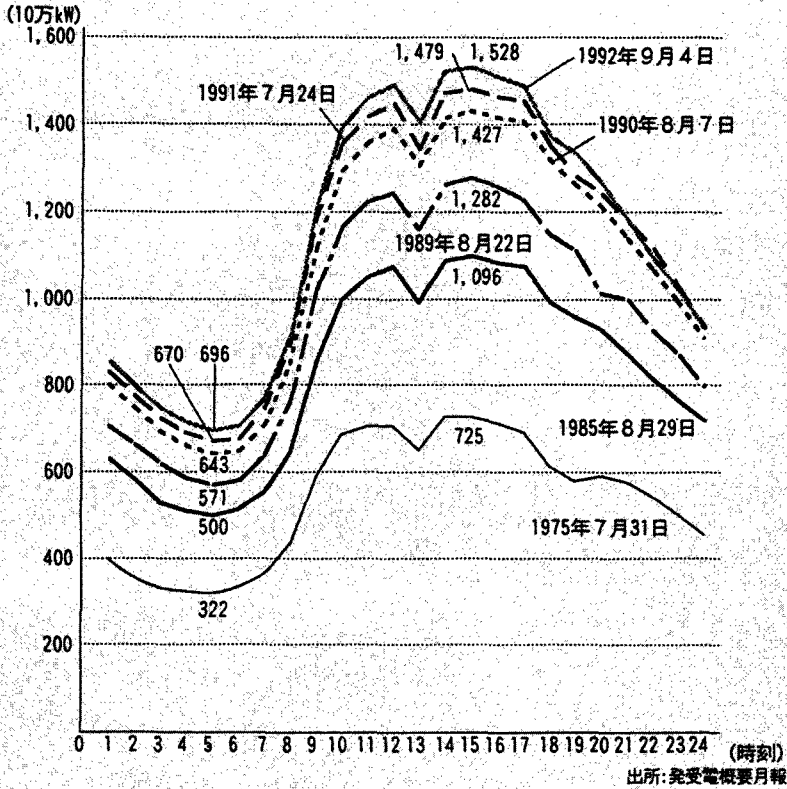
지난 수년간의 전력수급 증가율을 고려할 때 일부의 전력업체들은 발전효율을 높이기 위해 기존 시설에 가스터빈을 설치하는 기존 화력발전소의 강화(Re-Powering)하고 있다. 1994년부터 1996년까지 수요증가에 대비하여 7기(1,050MWe)발전소의 Re-Powering이 계획되고 있다.

**화력발전효율의 증대**

증기발전의 효율을 개선시키기

한일원산세미나

그림 5 1975년 이후의 발전기 전력 소비 양상



위해 터빈입구의 증기의 압력과 온도는 증가되어야 한다. 현재 터빈입구 압력이 246 Atg, 온도가 섭씨 566도인 보일러는 만족할 만한 결과를 보여주고 있으며 신뢰도도 증명되고 있다.

이 수준을 넘어 발전효율을 개선하기 위해 터빈입구의 압력이 316Atg, 온도가 566도 또는 압력이 216Atg, 온도가 섭씨 593도 그리고 신소재를 채용한 초고성능보일러(Ultra Super Critical Boiler)가 최근에 실용화 되고 있

다. 이러한 보일러들의 열효율은 <표 4>에서 보여주는 것과 같이 절대값으로 기존의 고성능(Super Critical)보일러보다 0.5%정도가 높다.

PFBC 병합발전

PFBC병합발전의 발전효율은 가스터빈의 사용으로 기존의 화력발전의 효율보다 절대값으로 5%정도 높다. 더구나 이 발전방식은 자체적으로 탈황연소를 하기 때문에 탈황설비를 설치할 필

요가 없으며 건설비도 감소될 수 있다.

PFBC병합발전은 위와같은 특성 때문에 세계적으로 관심을 받고 있다. 일본 업체들도 기술 실용화를 목표로 실증시설 건설 등을 통해 PFBC병합발전설비를 적극적으로 개발하고 있다.

더나아가 IGCC(Integrated Coal Gasification Combined Cycle)발전시스템에 대한 연구가 현재 화력발전의 효율개선을 위해 장기적인 조치로서 수행중에 있



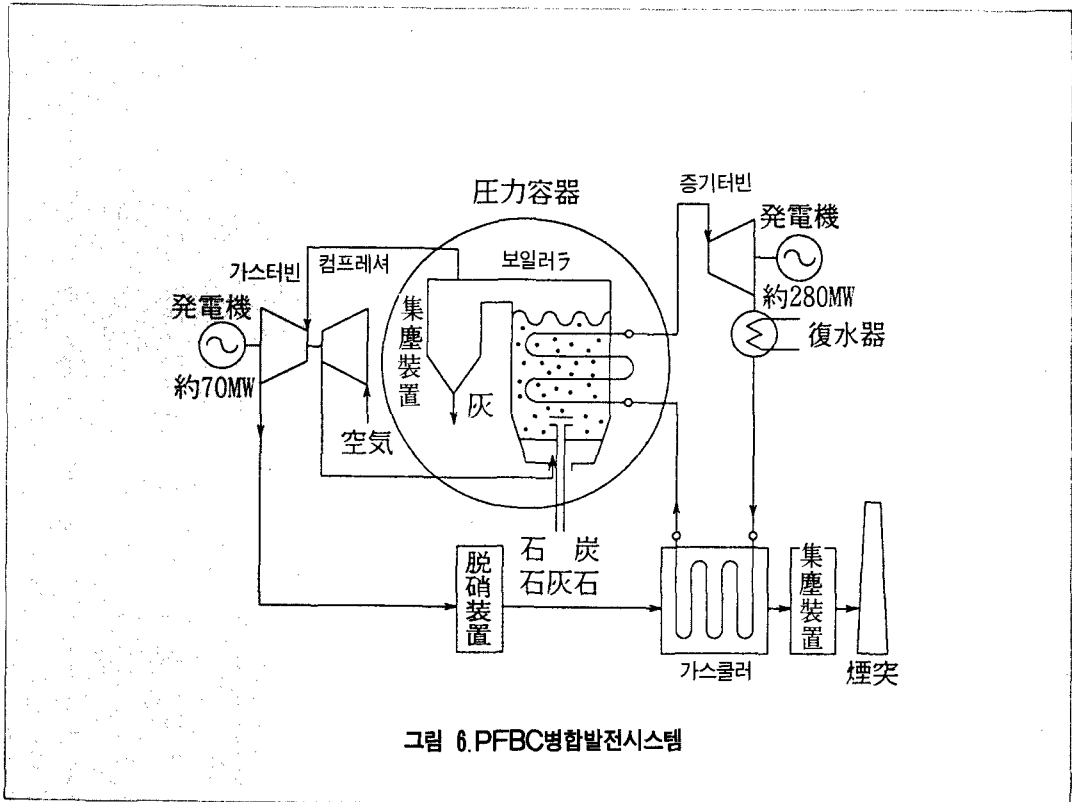


그림 6. PFBC병합발전시스템

다. 1986년 일본 전력업체들로 구성된 협회가 파이로트공장을 건설하여 실증시험에 들어갔다.

### 천연 및 신에너지자원의 개발

지구환경문제에 대비하여 지역, 풍력 그리고 태양발전등을 포함한 재생에너지자원의 개발과 연료전지 같은 고효율 신에너지 자원의 개발이 촉진되고 있다. 이러한 에너지는 2010년에 전체 에너지공급의 약 15%를 공급할 것으로 예상된다.

### 수력발전

일반적인 수력발전은 총전력공급의 10%정도를 담당하고 있으며 국내에너지로서 공급안정성과 환경측면에서 다른 전력공급원에 비해 유리하다. 그러나 건설계획 중인 대부분의 발전소는 소형이다. 그러나 수력발전의 경제성의 장점이 현재 검토되고 있다. 양수발전 부하관리면에서 우수하며 부하추종운전 능력도 좋다. 그리고 최대수요기에 전력공급 수단으로 이러한 발전방식의 개발이 촉진되고 있다.

일본정부는 「수력발전 새시대

계획위원회」를 설치하였으며 향후 수력발전의 개발과 도입을 위한 구체적인 촉진책들이 적극적으로 고려되고 있다.

### 非利用에너지의 사용

도시지역에서는 비교적 낮은 온도와 저질의 비이용에너지가 많이 있다. 즉 폐자원소각로와 지하도에서 발생하는 폐열, 강이나 바다등 물의 온도차와 산업폐기물 등이다.

반면에 空調나 온급수등 주거분야에서의 열수요는 급격히 증가하고 있다. 주거부문의 대부분

한일원산세미나

천연 및 신에너지 개발

풍력과 태양광발전

풍력과 태양광발전의 잠재적인 발전 용량은 대단히 큼에도 불구하고 이와같은 시스템의 에너지 밀도는 수력이나 지열발전보다도 낮다. 이외에도 이들의 전력공급은 자연조건과 지역특성에 따라 달라지기 때문에 주전력공급원으로서 역할을 기대하기는 어렵다. 또한 이발전방식은 건설비가 엄청나게 비싸다.

1992년말 현재 풍력과 태양광발전의 설치된 용량은 각각 약 2MW와 0.4 MW이며 2000년까지 10MW의 풍력발전과 50MW 태양광발전이 추가될 계획이다.

연료전지

연료전지의 발전효율은 폐열을 이용하여 개선될 수있다. 화력발전의 대체에너지로서 그리고 미래 분산형 전력공급원으로 연료

전지가 적극적으로 개발되고 있다.

현재 인산염연료전지의 실용화가 촉진되고 있으나 발전방식의 신뢰도와 전지수명문제는 아직도 더 많은 개발노력을 요구하고 있다.

1992년말 설치된 연료전지는 12MW이며 2000년까지 1,000MW용량이 추가 될 것으로 예상된다.

열수효는 위와같은 이용되지 않은 저온, 저질의 에너지로써 충족될 수있다. 히트펌프와 같은 저질 에너지의 이용에 효과적인 기술들이 최근에 현저하게 개발되고 있다. 이 기술들은 도시개발에서의 열공급체계에 이용되고 있다. 이와 함께 야간과 주간의 부하조정도 지역난방체계와의 연계사용을 통하여 가능할 것으로 보인다.

지열발전

화산국가인 일본에서 지열발전과 같은 잠재에너지자원은 적어도 70GW정도로 추정된다. 또한 지열발전은 환경적으로 청정한 에너지이고 기술이 충분히 개발되기만 한다면 지열발전은 상당

히 낙관적이라고 보여진다.

그러나 이와 같은 자원을 이용하는 데에는 약간의 문제가 있다. 하나는 석유탐사와 같은 위험부담이고 또 다른문제는 이용이 적합한 부지들 대부분이 국립공원들과 같은 개발이 제한되어 있는 점이다.

현재 10기(전체 약 270MWe)의 지열발전이 규슈와 토호쿠지역에서 운전중이며 9기(280MWe)가 구체적으로 계획되고 있다.

결론

일본은 1차 석유파동 이후 환경문제와 에너지보전 및 대체에너지개발을 위한 기술개발을 적

극적으로 추진해오고 있다. 원자력발전도 우라늄자원의 재순환과 환경영향이 극히 적기 때문에 주요 석유대체에너지원으로서 적극적으로 개발되어 오고있다.

원자력발전을 더 안전하게 운전하는 노력외에도, 지역과 공존할 수있고 지역개발에 중요한 원자력발전소 건설을 촉진하도록 우리가 노력할 때이며, 국내외에서 확보한 합의를 토대로 핵연료주기시설도 굳게 정립해야 될 것으로 보인다.

우리는 관련된 국가들과 국제협력의 증진과 함께 대체에너지원과 에너지보전을 위한 기술의 개발과 실용화를 가속시켜야 될 것이다.