

日本の 原子力에너지産業



白石晶一

九州電力(株) 副社長

서론

일본의 에너지수요(특히 전력)는 1979년의 석유위기이후 꾸준히 증가해왔다. 1987년부터는 개인소비와 국내수요의 증가에 따른 경제팽창으로 연간에너지수요의 증가율이 5%를 넘었고 1990년에는 7.5%로 뛰어올랐다(그림 1).

통산성내의 에너지자문위원회는 1990년 6월에 발표한 보고서를 통해 현재 에너지수요의 증가추세로 보아 화석연료에의 의존도를 낮춰야 한다고 지적했다. 각종 석유대체에너지 중에서도 원자력이 가장 유망한 에너지로 장차 에너지 생산에서의 그 비율이 점점 높아질 것으로 예상된다. 원자력에너지는 또 최근 들어 그 중요성이 널리 인식되고 있는 지구환경보호의 차원에서 다른 에너지자원에 비해 월등히 뛰어난 것으로 밝혀지고 있다. 일본내각에서 설정한 非석유 에너지자원의 공급목표는 2010년까지 72,500MW의 원자력발전설비를 달성하는 것으로 되어 있다.

최근에 일어나고 있는 반핵운동의 강도로 보아 이 목표를 달성하기 위해서는 국민여론을 찬

핵쪽으로 돌리려는 노력이 절대 필요하다. 일본 원자력위원회는 현재 여러가지 요건을 감안해 동위원회의 장기원자력개발계획을 수정중에 있으며 이 작업을 1993년 6월까지 끝낼 예정이다.

원자력발전의 현황

일본의 원자력발전은 1966년에 시작되었는데 당시 도카이(東海)발전소(영국형가스냉각로)가 상업운전을 시작한 것이 그 효시이다. 1970년 쓰루가(敦賀)원전 1호기(BWR爐)와 미하마(美浜)원전 1호기(PWR爐)가 미국형경수로기술의 도움을 받아 계통에 투입되었고 그 이후로 경수로에 대한 기술개발이 이루어졌다.

외국기술도입으로 생긴 문제들은 그후 완전히 해소되어 국내기술로 대체되었다. 1975~85년 사이에 1, 2, 3차에 걸쳐 경수로개선 및 표준화계획이 실시되었다.

1, 2차계획은 원자로의 신뢰성과 운전성을 높이고 정기점검기간중의 방사선피폭선량을 줄이는 것이 그 목적으로 되어 있었다. 3차계획은 신뢰성, 안전성, 수익성을 더 높이기 위한 것으로

여기에는 1,300MW급의 개량형원자로인 ABWR爐와 APWR爐의 개발도 포함되어 있었다.

이 계획에서 얻은 발전된 기술을 이용해 가시와자끼·가리와(柏岐·刈羽)원전 6, 7호기에 ABWR爐개념이 도입되어 현재 건설공사준비작업이 진행중이다.

1. 원자로운전·건설 현황

1990년 현재 가동중인 발전로는 39기로 그 총설비용량은 31,500MW(전체발전설비용량의 18.0% 상당)였다. 1990년의 원자력발전량은 전체발전량의 26.3%를 차지했다(그림 2).

원전이용률은 1983년부터 계속 70% 이상을 기록하고 있다(그림 3).

爐·年當 평균불시정지회수는 1984년의 1회에서 1990년에는 0.4회로 감소되었다(그림 4).

또한 정기검사기간중의 피폭선량은 水化學處理기술, 작업용로보트, 원격조종설비, 耐蝕재료 등의 발전으로 꾸준히 감소되어 왔다(그림 5).

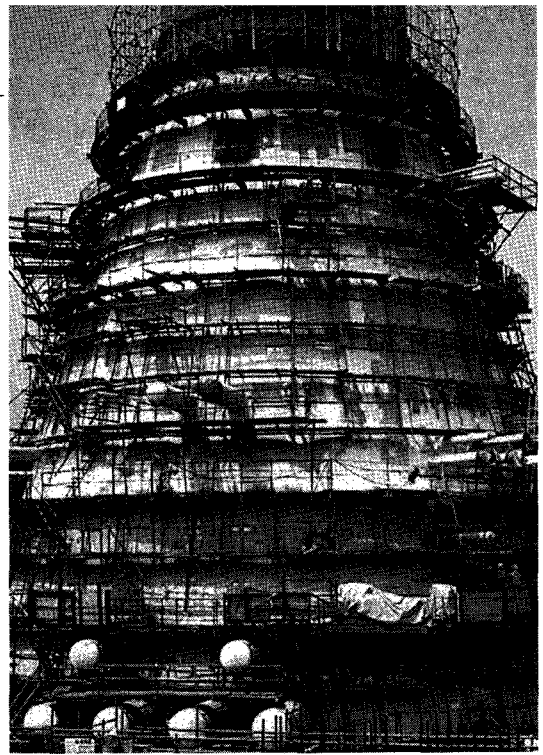
현재 10기(총용량 10,310MW)가 건설중에 있고 3기(총용량 3,540MW)가 추가로 건설공사준비작업중에 있다. 2000년까지 57기, 총용량 45,910MW에 달할 것으로 예상된다.

2. 반핵운동

체르노빌사고후로 일본에서는 반핵운동이 더욱 활발해졌고 이 운동의 중심은 정당과 노조에서 가정주부와 젊은이들이 주도하는 민중운동으로 변모했다. 체르노빌사고후의 식료품의 방사능오염에 대한 우려가 원자력에 반대하는 부녀자의 수를 증가시키는 큰 요인이 되었다. 그러나 원자력에 관해 최근에 실시한 여론조사결과에 의하면 체르노빌사고직후에 비해 원자력발전설비용량의 현상유지 내지 증설에 찬성하는 사람들이 늘어났고 이들은 원자력이 환경보호와 그외의 에너지문제와 직접적인 연관을 갖고 있는 것으로 보고 있다.

3. 미하마원전 2호기 사고

1991년 2월 미하마원전의 증기발생기傳熱管 중 1개에서 파열사고가 일어났다. 비상노심냉각



시스템이 당초 설계한 대로 동작해 환경에의 방사능방출이 최소량으로 그쳤지만 이 사고는 원자력에 대한 국민들의 우려를 가중시켰다. 사고원인은 진동방지용bar에 있었던 것으로 밝혀졌는데 이 bar는 원래 증기발생기튜브의 진동방지를 위해 설계된 것으로 이것이 설계대로 삽입되어 있지 않았던 것이다. 이 bar에 의한 적절한 지지가 결여되어 높은 사이클의 진동이 일어났고 마침내 튜브의 圓周방향파열을 가져왔다.

이 사고로 전력회사들은 품질보증과 보수를 전담할 독립적인 부서를 신설하고 정부측의 사고조사결과를 반영하는 등의 대책을 강구하기로 결정했다.

4. 증기발생기 교체

일련의 PWR爐 증기발생기튜브손상사고(關西電力의 大飯 1호기와 高浜 2호기, 九州電力의 玄海 1호기에서 발생)는 원자력안전성이나 發電면에서는 그렇게 심각한 문제는 아니다. 그러나 원자로가동률과 비용효율성을 높이고 피폭선량을 줄이기 위해 1994년까지 이들 증기발생기를 교체하기 위한 준비작업이 현재 진행중이다. 또한 증기발생기튜브파열사고가 났던 미하마(美浜) 1호기에 대해서도 이를 시행하기로 결정했다.

원자력산업의 동향

1. 핵연료주기의 완전자립화<표 2>

천연에너지자원이 빈약한 일본은 대부분의 에너지공급을 수입에 의존하지 않을 수 없었다. 또한 우라늄의 재순환은 에너지안보차원에서 매우 중요하다. 그래서 靑森縣 六個所村에 우라늄농축시설과 저준위폐기물저장소의 건설공사를 시작했던 것이다.

우라늄농축시설(연간생산용량 150t SWU)의 첫단계공사는 현재 끝난 상태이고 1992년초에 조업을 시작할 예정이다. 그후 이 시설은 목표인 1,500t SWU의 연간생산용량이 달성될 때까지 매년 150t SWU 정도 확장해 나갈 계획이다. 현재 일본은 성형가공을 제외하고는 우라늄의 농축, 전환 등 거의 모든 것을 외국수입에 의존하고 있다. 지금까지 일본에서는 우라늄의 수요·공급이 모두 불안정해 항상 변동하고 있기 때문에 지금과 같이 외국에 우라늄농축을 의뢰하고 있는 동안이라도 일정수준의 우라늄농축을 자체적으로 실시하는 것이 유리할 뿐만 아니라 이렇게 함으로써 외국과의 우라늄농축용역계약상의 여러가지 제약을 줄일 수 있는 것이다.

일본은 우라늄재처리도 외국에 의존하고 있는 실정이기 때문에 핵연료주기의 모든 과정의 기술을 자체개발하는 것도 국가안보차원에서 절대 필요하기 때문에 이 일을 적극 추진해 나가야 한다. 현재 일본은 상업용재처리시설을 건설중이며 이 시설은 1999년에 조업에 들어갈 예정이다. 또한 일본은 제2의 재처리공장건설에 대한 타당성조사에 착수하기로 결정했는데 이것이 완성되면 일본에서 발생하는 모든 사용후연료를 자체적으로 재처리할 수 있게 될 것이다.

저준위폐기물저장시설의 건설도 1990년 11월에 시작되었는데 이 시설도 1992년에 조업에 들어갈 예정이다. 이 시설의 최초의 수용용량은 200,000m³(수용량 100만드럼)가 될 것이고 확장계획에 따라 최종적으로 600,000m³(수용량 300만드럼)의 규모가 될 것이다.

고준위폐기물처분에 대한 기본정책은 우선

안정된 상태로 固化시키고 나서 30~50년간 냉각을 위해 임시저장하고 최종적으로 수백m 이 상되는 지하에 매장하는 것이다. 이 시설의 구성과 비용 등에 관한 상세한 내용은 현재 계획중인데 이 작업은 1992년 봄까지 끝낼 예정이다.

2. 플루토늄 사용

경수로로는 현재 원자력발전의 주종을 이루고 있는데 만약 현재와 같은 우라늄의 사용효율이 지속된다면 경수로에서만 전적으로 우라늄을 사용한다 해도 가까운 장래에 전세계의 우라늄 자원은 고갈될 것이다. 따라서 현재 고속증식로가 개발되고 있는데 이 원자로로는 핵연료를 소비하면서 이를 생산할 수 있게 되어 있어 미래의 원자력발전의 주종을 이룰 것으로 보인다.

일본에서도 실험용고속증식로인 「조오요오(常陽)」가 1977년에 운전을 시작했는데 그후 순조롭게 운전을 계속하고 있다. 원형로인 「문주(文珠)」의 설치공사는 이미 끝나 1992년에 있을 초임계를 목표로 현재 각종 시험이 진행되고 있다. 또한 실증용원자로 1기가 2030년의 실용화를 목표로 현재 개발되고 있는데 1990년대 후반에 건설을 시작할 예정이다. 이 top-entry loop형 원자로의 개념설계에 대한 연구가 현재 진행되고 있다.

플루토늄과 회수된 열화우라늄을 사용할 수 있는 우수한 성능을 가진 신형 전환로 「후겐(普賢)」은 1979년부터 가동되고 있다. 2000년 준공을 목표로 실증로건설준비작업이 현재 진행되고 있다.

이외에 경수로에 플루토늄을 본격적으로 사용하는 계획도 90년대 중반에 시작할 예정으로 현재 준비단계에 있다.

3. 기존경수로개선과 차세대경수로개발

최초의 상업용경수로가 운전을 시작한 지도 벌써 20년이 지났다. 최근에는 많은 설계·제작상의 문제가 해결되고 안전성보장이 최우선과제가 되어 있다. 또한 신뢰성과 경제성도 계속 개선되고 있다. 설비개선과 표준화계획을

실시하고 축적된 운전·보수경험을 활용함으로써 경수로기술은 현재 거의 완숙단계에 이른 것으로 보인다. 한편 고속증식로도 앞서도 말한 바와 같이 2030년경에 실용화될 것으로 예상되며 결국에는 21세기 후반에 경수로를 대치할 것으로 보인다.

경수로는 당분간 계속해서 원자력발전의 주도적인 역할을 할 것으로 보이므로 기존 경수로의 신뢰성과 경제성을 높이도록 노력하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 설비개선, 고연소도의 연료개발을 통한 장기적인 운전기간연장, 설비의 노후화방지를 위한 점검기술의 개발 등이 이루어져야 한다.

또한 설비개선과 표준화계획을 통해 ABWR爐와 APWR爐의 안전성 뿐만 아니라 운전성, 보수성, 경제성을 높이기 위한 작업이 이루어지고 있다.

이외에 운전·보수상의 부담을 줄이기 위해 수동적안전성을 지닌 간소화된 원자로에 대한 연구를 시작했다. 이 형식의 대형원자로의 설계와 경제성검토가 현재 진행되고 있다.

4. 국제협력

세계의 에너지수급변동에 대한 대응책을 마련하는 것이 일본에게는 중요하다. 원자력은 세계적인 환경오염과 이산화탄소의 방출로 야기되는 지구온난화현상을 막을 수 있는 최후수단으로 여겨지고 있다.

그러나 체르노빌사고후에 보았듯이 일단 원자로사고가 나면 그 영향은 세계적인 규모로 확산된다. 따라서 원자력안전성을 확보하기 하기 위해 원자력발전국들은 현재 원자력발전을 계획중인 나라들과 함께 노력해야 할 것이다. 현재 원자력을 사용하고 있는 선진공업국들은 원자로의 운전·보수와 원자력기술에 관해서 서로 정보를 교환함으로써 안전성과 경제성을 높이도록 노력해야 할 것이다. 이같은 목적을 달성하기 위해 세계원전사업자협회(WANO)가 세계의 원자력발전업체 상호간의 정보교환을 위한 기구로 설립되었다. 일본에서도 1989년에 WANO 도쿄센터가 개설되어 아시아지역의 원



자력정보교환을 돕고 있다.또한 IAEA를 비롯한 국제기구와의 유대를 강화하는 것도 중요하다.

결론

지구온난화와 산성비 같은 환경문제가 가까운 장래에 더욱 악화될 것으로 예상되어 원자력에너지의 이점이 인식되기 시작하고 있다. 원자력이용의 중요성은 최근의 런던정상회담에서도 강조된바 있다.

일본에서는 경제성장에 따른 수요증가로 전력수요가 급격히 증가하고 있지만 발전소부지 확보의 어려움을 겪고 있다. 이같은 어려움은 체르노빌사고후에 반핵운동이 강화되고 지구온난화의 요인이 되고 있는 이산화탄소의 방출량 감소의 필요성이 강조되고 있기 때문이다.

일본은 천연자원이 빈약해 대부분의 에너지를 외국에 의존하고 있기 때문에 국가안보차원에서 원자력에너지를 적극개발하고 있어 앞으로 원자력에 대한 국민적합의를 얻기 위해서는 일본에서의 원자력의 역할을 설득시키고 반핵운동의 동기가 되었던 원자력에 대한 불신을 불식시켜야 한다. 원자력에 대한 국민의 신뢰를 얻기 위해서는 안전운전의 실적을 올리는데 그치지 않고 보다 적극적인 홍보활동을 벌여야 할 것이다.

우리는 원자력도입을 계획하고 있는 국가들에 기술지원을 하고 현재 원자력을 이용하고 있는 선진국들과 정보를 교환하고 상호협조함으로써 원자력의 신뢰성과 안전성을 더욱 개선해나가야 할 것이다. 특히 인접국인 한국과 일본이 지금의 유대관계를 강화해 나가는 것이 특히 중요하다. 이것은 두나라에 이익이 될 뿐 아니라 전아시아의 에너지개발에 큰 도움이 될 것이다.

〈표 1〉 장기에너지 수급전망(석유대체에너지 공급목표)

회계년도	F.Y.1989(실 적)		F.Y.2000		F.Y.2010	
항 목	499백만 kℓ		594백만 kℓ		657백만 kℓ	
구 분	실 적	구 성 비(%)	실 적	구 성 비(%)	실 적	구 성 비(%)
1차에너지 공급	499백만 kℓ		594백만 kℓ		657백만 kℓ	
에너지 종류	실 적	구 성 비(%)	실 적	구 성 비(%)	실 적	구 성 비(%)
신에너지원	6.5백만 kℓ	1.3	17.4백만 kℓ	3.0	34.6백만 kℓ	5.3
수 력	880억 kWh (20.5백만 kW)	4.6	910억 kWh (22.7백만 kW)	3.7	1,050억 kWh (26.2백만 kW)	3.7
지 열	0.4백만 kℓ	0.1	1.8백만 kℓ	0.3	6백만 kℓ	0.9
원 자 력	1,830억 kℓ (29.4백만 kℓ)	8.9	3,300억 kℓ (50.5백만 kℓ)	13.3	4,740억 kℓ (72.5백만 kℓ)	16.9
L N G	49.9백만 kℓ	10.0	65백만 kℓ	10.9	80백만 kℓ	12.2
석 탄	113.6백만 t	17.2	142백만 t	17.5	142백만 t	15.7
석 유	289백만 kℓ	57.9	305백만 kℓ	51.3	298백만 kℓ	45.3
합 계	499백만 kℓ	100.0	594백만 kℓ	100.0	657백만 kℓ	100.0

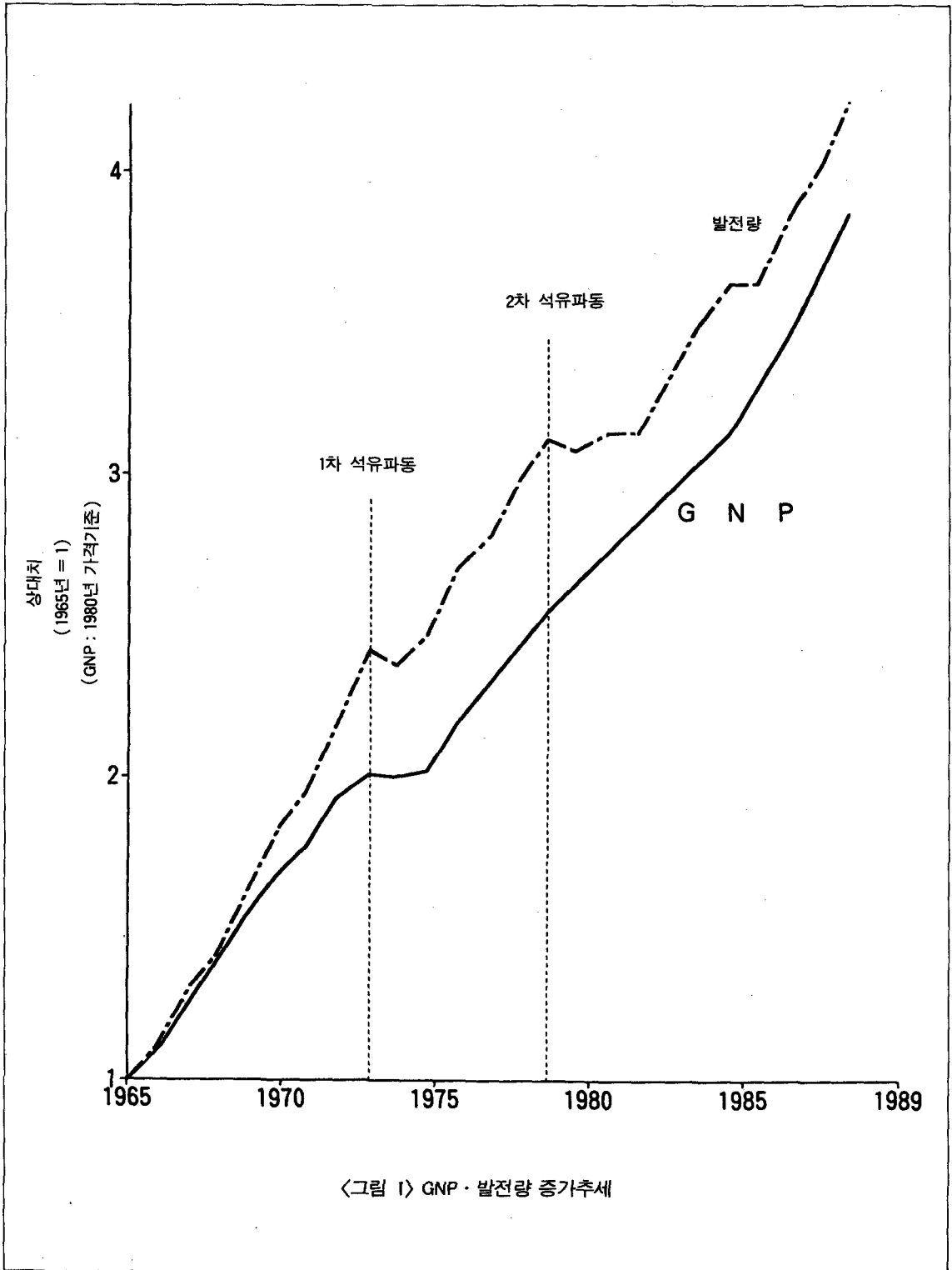
- 주) 1. 석유환산기준 9,250kcal / ℓ, 6,29배럴 / kℓ
 2. 신에너지에는 태양에너지, 알콜연료, 중유, 나무 등이 포함된다
 3. 수력발전에는 재래식만 포함시켰다
 4. LNG 환산기준 0.712 t / kℓ
 5. 석유에는 oil sand도 포함시켰다
 6. 구성비합계가 100%가 안되는 것은 사사오입 때문이다

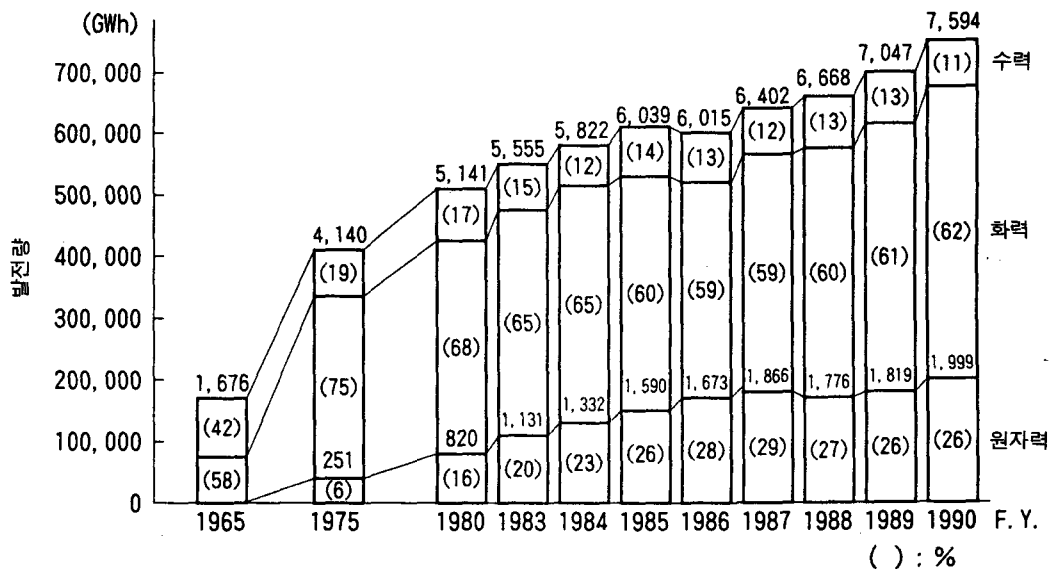
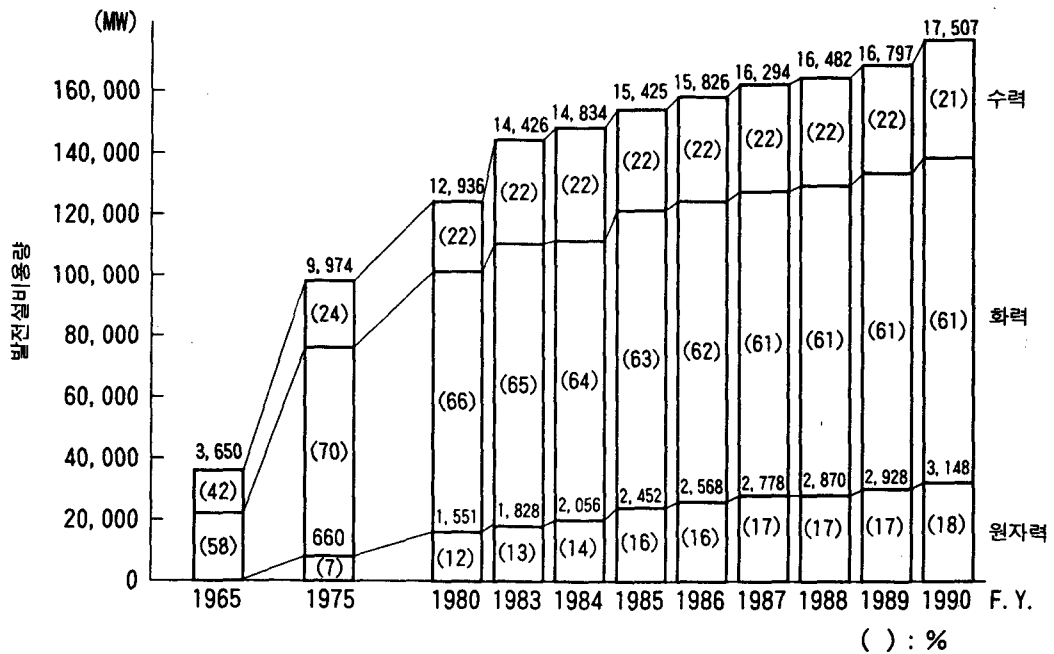
〈표 2〉 핵연료 주기시설

업 체	재처리시설	우라늄농축시설	저준위폐기물저장시설
	일본핵연료서비스주식회사	일본핵연료 주식회사	
계 획·용 량	(재처리공장 주요설비) 1999년 조업개시 용량 약 800 tU /년 (사용후연료 저장시설) 1995년 조업개시 용량 약 3,000 tU	1991년 조업개시 (150t SWU /년) 최종용량 약 1,500t SWU /년	1992년 조업개시 저장용량 약 200,000m ³ (약 100만드럼 /200ℓ 상당) 최종용량 약 600,000m ³ (약 300만드럼 /200ℓ 상당)
건 설 비	약 8,400억엔	약 1,800억엔	약 1,600억엔
종 업 원	건설기간 6,000~7,000명 조업중 약 2,000명	건설기간 약 1,000명 조업중 약 300명	건설기간 약 700명 조업중 약 200명

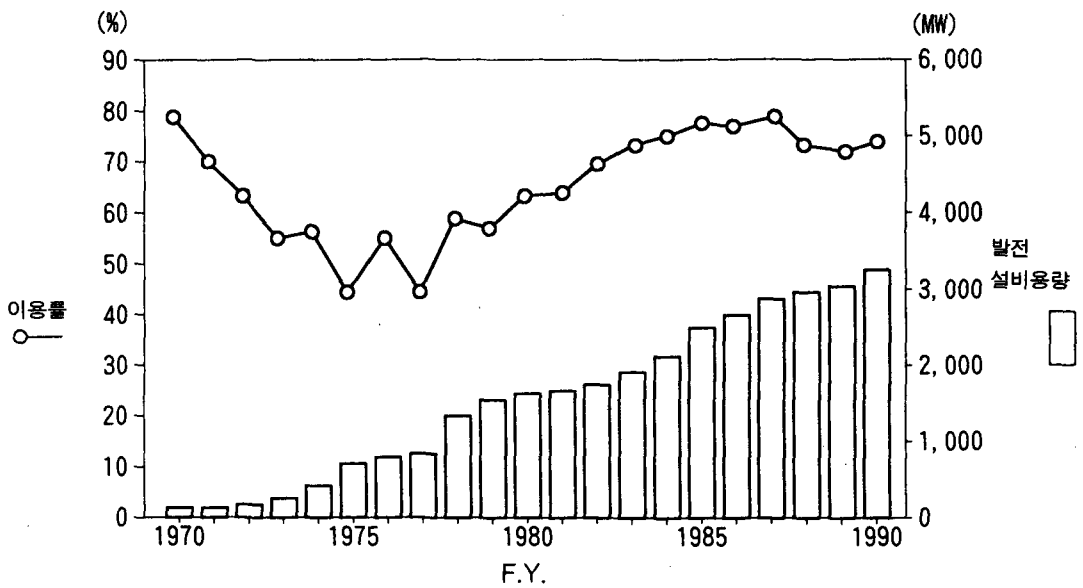
〈표 3〉 Pu사용 원자로

구 분	실 험 용 고 속 로	원 형 고 속 로	원 형 시 험 전 환 로
명 칭	Joyo	Monju	Fugen
열 출 력	100 MWt	714 MWt	557 MWt
전 기 출 력	-	약 280 MWe	165 MWe
냉 각 회 로 수	2	3	2
노 심 장 전 량(U)			약 0.1t
노 심 장 전 량(Pu)	U ²³⁵ 약 100 kg	약 4.5t(초장전)	U(1.5wt%농축) 약 19.4t U(천연우라늄) 약 14.9t
격 납 용 기 형 식	반 2 중 구조	2 중 구조	반 2 중 구조
격 납 용 기 높이 × 내경	54.3m × 28m	79m × 49.5m	64m × 36m

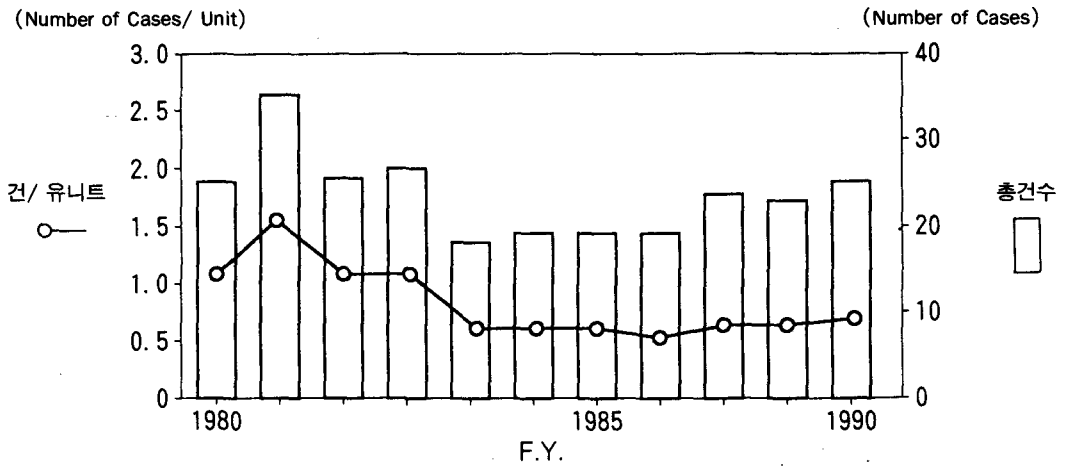




〈그림 2〉 발전설비용량 · 발전량 추이

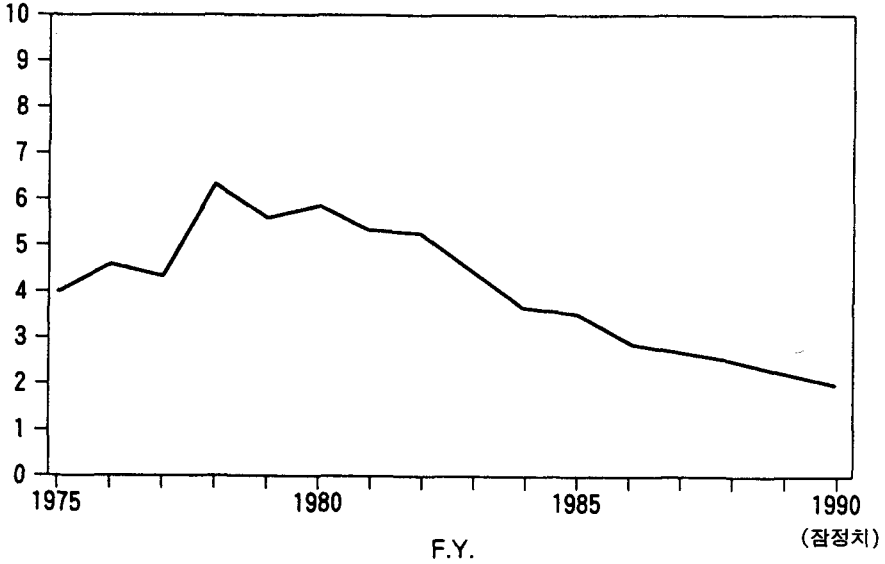


〈그림 3〉 PWR이용률 추이

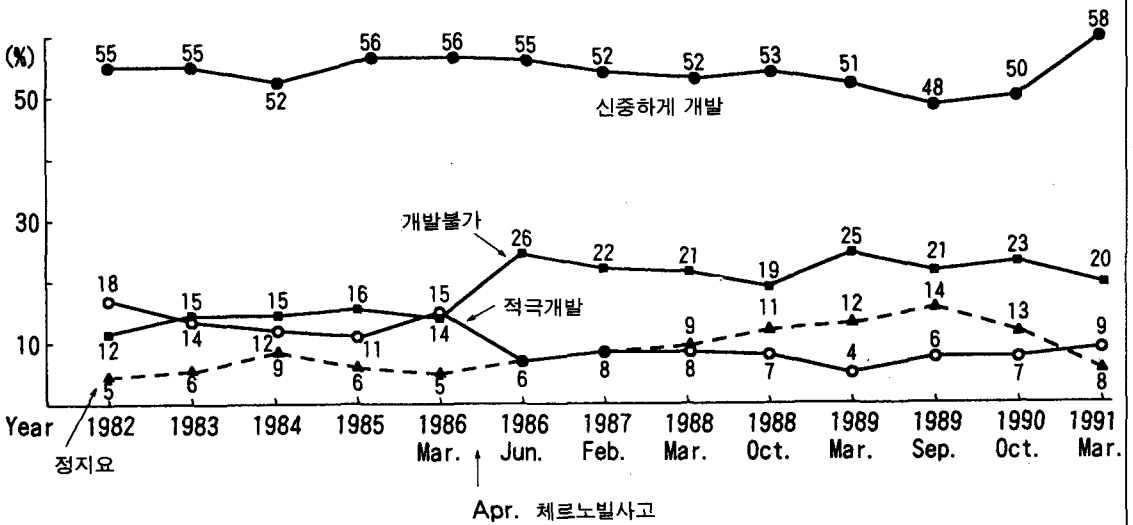


〈그림 4〉 PWR사고·고장 집계

(Man·Sv/Reactor)



<그림 5> 직업적 피폭선량(PWR)



<그림 6> 원자력발전에 대한 장래전망(NHK 여론조사)