

1989年度 世界の 原電負荷率 傾向分析

1989년에는 PWR, BWR, AGR의 평균실적이 전년에 비해 향상되었고, 특히 AGR의 평균부하율은 전년의 하강경향에서 급상승세를 보였으며, PWR의 연간부하율도 최선의 상태로 회복되었다. 다음은 Nuclear Engineering International誌 4月號에 발표된 세계 원전의 부하율 분석내용이다.

年間負荷率과稼働率

각국의 평균부하율을 비교하는데는 각별한 주의가 필요하다. 높은 자본비와 비교적 낮은 연료비가 소요되는 원자력발전소는 보통 기저부하용으로 사용되고 있다. 그러나 수력발전시설을 갖추고 수자원이 풍부한 나라에서는 수력발전이 원자력을 포함한 다른 형식의 발전소보다 우선적으로 사용되었다. 이와 마찬가지로 발전소구성비에서 원자력이 우세한 나라에서는 원자력발전소가 일일부하추종운전을 하게 됨에 따라 하루의 특정시간에는 전출력 발전을 할 수 없게 되어있다. 프랑스와 스웨덴이 그러한 경우이다.

프랑스에서는 발전설비의 대부분이 원자력으로 되어있기 때문에 원자로들이 일일부하추종운전을 하게 되어있다. 이 때문에 기저부하운전이 통제로 되어있는 다른 나라들에 비해 부하율이 떨어진다.

프랑스의 900MW 및 1,300MW급 PWR는 작년에 약 90%의 시간기준 평균가동률을 기록했다. 이것은 이 유니트들이 연료재장전, 보수작업 등을 위해 평균 10%의 시간동안 정지

상태에 있었음을 의미한다. 그러나 같은 기간 중 프랑스의 PWR는 73%의 평균부하율을 기록했다. 부하율과 가동률간의 17%의 차이는 발전용량은 있었지만 일일부하추종운전 또는 전력계통의 필요에 의해 전력이 필요하지 않았던 정도를 나타내는 것이다.

에너지기준 평균가동률(이 지표는 원자로가 계통에 들어가 있는 시간뿐 아니라 발전용량도 고려한 IAEA에서 제정한 성능지표)은 실질적으로 시간기준 가동률과 같다. EDF사의 경우 시간기준 가동률이 90%인데 비해 평균에너지기준 가동률은 89.5%였다.

스웨덴의 경우는 수력발전 비율이 높아 수량이 풍부할 때는 원자력발전소를 풀가동시킬 필요가 없기 때문에 이 나라의 평균부하율은 다른 나라들에 비해 낮은 양상을 보였다.

스웨덴 원자력발전소들은 작년에 연료재장전, 보수작업 등에 의해 69~94%의 시간기준 가동률을 보였고, 평균치는 87%였다. 같은 기간중 원자로들은 시간기준 가동률 보다 2~23% 낮은 부하율을 기록함으로써 계통의 전력수요를 충당함에 있어 원자력발전소의 사용을 의도적으로 억제한 양상을 보였다. 평균적

으로 부하율은 시간기준 가동률 보다 13% 낮았다. 스웨덴국가전력위원회 산하 유니트들의 작년도 에너지기준 가동률은 86.6%였다. 프랑스의 경우에는 이 값이 시간기준 가동률과 상당히 가까웠다.

그외의 나라들에서는 부하율과 가동률의 차이가 극히 적었는데, 예를 들어 핀란드의 경우 작년도 부하율이 89.9%, 시간기준 가동률이 91.3%로 1.4%의 차이를 보였는데 프랑스의 경우는 이 차이가 17%였다.

負荷率 分析

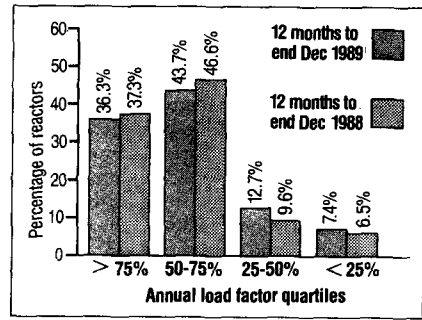
세계 원전의 1989년도 1년 동안의 연간부하율과 각 유니트의 발전개시(상업운전개시가 아님)부터 가산한 누적부하율 및 1989년말 현재 가동기간이 1년미만인 원자로의 부하율을 조사하였다.

이 조사에는 서방세계의 150MW 이상의 모든 원자로가 포함돼 있으나 유감스럽게도 Comecon 국가들의 원자로는 헝가리의 Paks 원전의 유니트를 제외하고는 자료부족으로 이 조사에서 제외되었다.

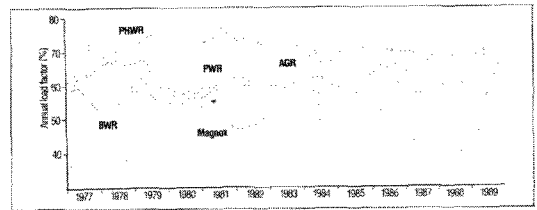
작년에 연료재장전을 위한 계획정지작업을 하지 않았던 원자로들은 이러한 정지작업을 했던 원자로 보다 부하율면에서는 유리했다. 실제적으로 부하율 상위 20위권내에 들은 경우로는 모두 작년에 연료재장전 정지작업을 하지 않았던 유니트들이다. 그러나 Takahama-4호기, TVO-2호기 및 Oskarshamn-3호기만은 예외여서 이들 유니트의 실적은 특히 주목할만 하다. 상위 20위권내에 들은 나머지 유니트들은 부하운전중 연료장전이 가능한 이점을 갖고 있는 PHWR이었다.

흥미로운 것은 TMI 원전 1호기가 100%의 부하율을 기록함으로써 세계최상위의 실적을 보였다는 것이다. 이는 1979년의 2호기사고후에 개선이 이루어졌다는 증거이다.

그림 1은 이번에 조사된 원자로의 1989년 부하율을 4등분 백분률로 구분해 표시한 것이다. 약 90%의 연간부하율을 보인 원자로수는



〈그림 1〉 서방세계 원자로의 연간부하율별 기수 비율



〈그림 2〉 산술평균 연간부하율 경향

1988년의 23기에서 1989년에는 33기로 늘어났다.

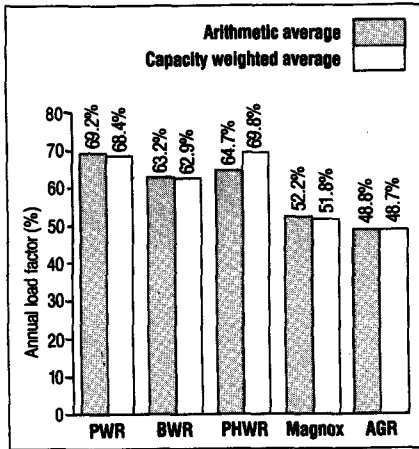
爐型別 實績比較

그림 2는 5가지 주요노형의 과거 10년간의 연평균부하율을 나타낸 것이다.

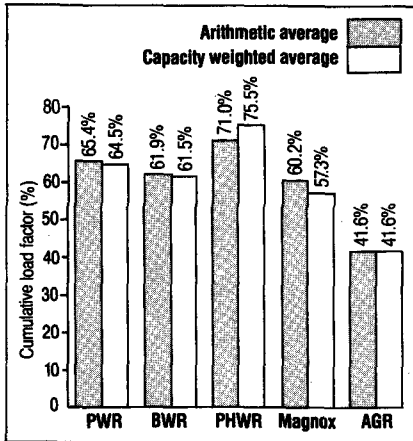
작년도 노형별 연평균부하율은 PWR 69.2%, BWR 63.2%, PHWR 64.7%, Magnox 52.2%, AGR 48.8%였다.

그림 3과 4는 5가지 주요노형의 연간 및 누적(수명기간중) 평균부하율을 산술 및 용량(출력)기준의 2가지 형식으로 나타낸 것이다. 이 2가지 평균치를 비교해보면 대용량의 PHWR은 소용량의 PHWR보다 높은 실적을 올리고 있으나 다른 노형에서는 용량의 영향이 비교적 적어 반대로 되는 경향도 있었다.

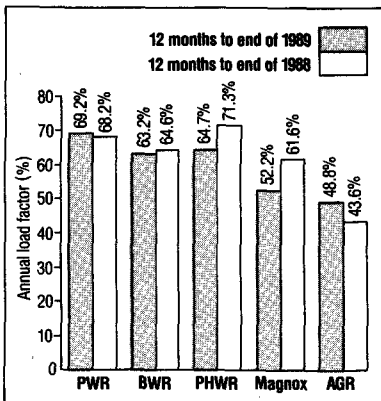
그림 5는 주요노형의 1989년의 연평균부하율을 1988년의 것과 비교한 것으로 앞서 말한 대로 PWR, BWR, AGR 에서는 높아지고



〈그림3〉 1989년도 연간부하율(산술 및 용량기준 평균치)



〈그림4〉 1989년도 누적부하율(산술 및 용량기준 평균치)



〈그림5〉 1988/ 1989년도 연평균부하율(산술평균치) 비교

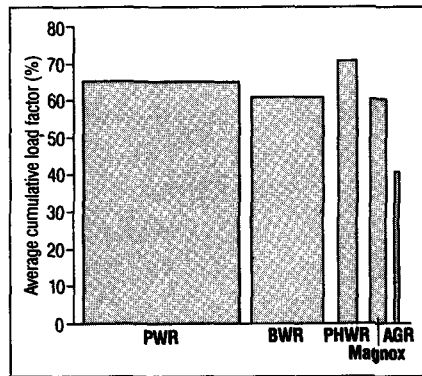
Magnox, PHWR에서는 낮아졌음을 보여주고 있다.

표1과 그림6은 5가지 주요노형의 누적평균 부하율과 전체발전량을 보여주고 있다(기령 1년미만의 유닛은 제외). 그림6에서 Bar그래프의 폭은 각 노형의 전체누적발전량을 나타내고 있다.

표2, 3은 1989년에 가장 높은 누적부하율과 가장 많은 발전량을 기록한 10개 유닛의 실적을 나타낸 것이다.

〈표1〉 노형별 누적부하율 및 발전량

Reactor type	Average cumulative load factor to end 1989(%)	Cumulative electricity generated to end 1989(TWh)
PWR	65.4	8438.6
BWR	61.9	3954.3
PHWR	71.0	906.0
Magnox	60.2	851.3
AGR	41.6	233.3



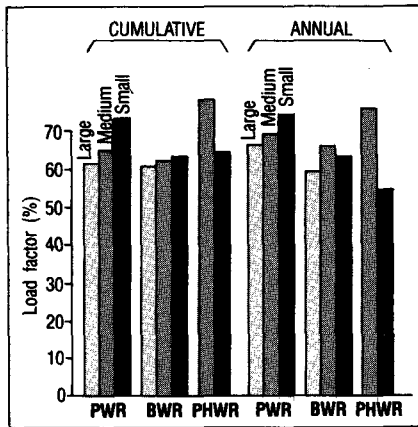
〈그림6〉 노형별 누적부하율. Bar그래프의 폭은 누적발전량을 표시

原子爐容量規模別 負荷率

원자로용량규모별 부하율은 그림7과 표4와 같다. 용량규모는 대형 1,000MW 이상, 중형 600~1,000MW, 소형150~600MW의 3등급으로 구분했다. 누적부하율은 PWR와 일부 BWR에서는 소형 유닛이 대형 유닛보다

〈표2〉 누적부하율기준 상위 10위권내 원자로

Reactor name	Country	Cumulative load factor (%)	Type
Emsland	D	91.0	P
PtLepreau	C	89.6	H
Pickering 7	C	88.2	H
Pickering 8	C	88.0	H
Bruce 5	C	87.1	H
Paks 1	HU	86.9	P
Grohnde	D	86.8	P
Philippsburg 2	D	86.5	P
Loviisa 2	SF	85.3	P
Paks 2	HU	86.2	P



〈그림7〉 노형 및 용량규모별 연평균 및 누적부하율

〈표3〉 누적발전량기준 상위 10위권내 원자로

Reactor name	Cumulative generation (TWh)	MWe gross	Vendor
Biblis A	108.8	1204	KWU
Unterweser	103.9	1300	KWU
Biblis B	95.1	1300	KWU
Zion 1	89.9	1085	WES
Zion 2	92.3	1085	WES
Tihange 1	91.1	920	WES
Cook 1	89.6	1089	WES
Conn Yankee	86.1	616	WES
Oconee 1	89.1	926	B&W
Stade	86.9	672	KWU

〈표4〉 운전중인 원자로 현황

Reactor type	No in operation all types, as of end December 1989	No with more than one year's operation at end December 1989, five main types
PWR	194(183 575.5MWe)	191(180 100.5MWe)
BWR	85(75 072MWe)	83(72 822MWe)
PHWR	26(15 662.9MWe)	26(15 662.9MWe)
Magnox	22(7744.4MWe)	22(7744.4MWe)
AGR	14(9284MWe)	13(8602)@MWe)
Misc	5(2412MWe)	
Total	345(293 408.8MWe)	335(284 931.8MWe)

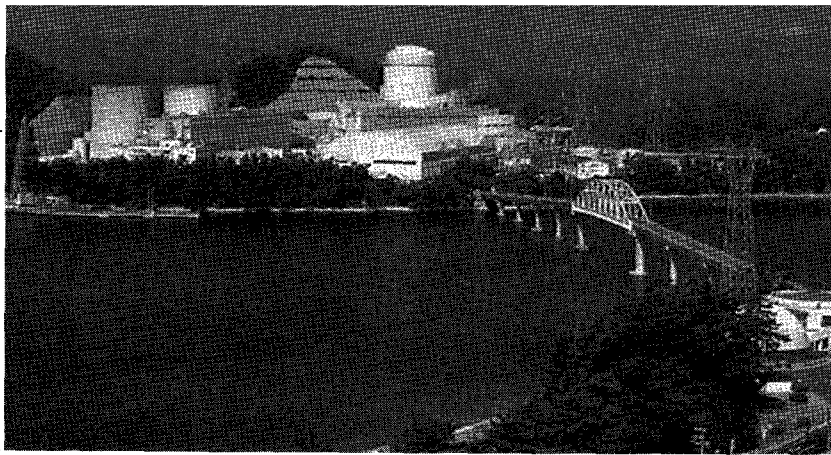
Excludes units of less than 150MWe and reactors in Comecon countries, except Hungary.

높은 값을 기록했으나 PHWR의 경우에는 이와 반대의 양상을 보였다.

표5는 용량별로 상위 10위권내의 원자로를 나타낸 것으로 대형 유니트에서 일본의 Ohi-2호기가 톱을 차지한 것을 비롯해 일본, 미국, 캐나다 3개국 이 영광을 나누었다. 중형에서는 TMI-1 호기가, 소형에서는 Pickering-8호기가 톱을 차지했다.

〈표5〉 용량규모별 1989년도 연간부하율기준 상위 10위권내 원자로

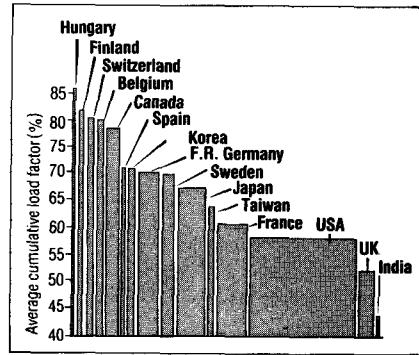
Reactor name	1989 load factor %	Type (country)
Above 1000MWe		
Ohi 2	99.2	P(J)
Fukushima II 4	98.4	B(J)
Wolf Creek	96.8	P(US)
Sequoyah 1	95.5	P(US)
Oskarshamn 3	94.3	B(S)
Hamaoka 3	92.7	B(J)
Grohnde	91.6	P(US)
Byron 1	90.8	P(D)
Tokai 2	90.8	B(J)
Emsland	90.3	P(D)
Over 600MWe and up to 1000MWe		
Three Mille Island 1	100.0	P(US)
Fukushima I 2	98.7	B(J)



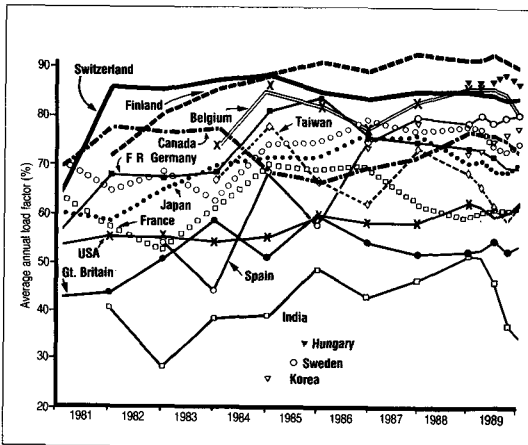
Sendai 1	98.6	P(J)
Bruce 7	96.9	H(C)
Bruce 5	94.9	H(C)
Pt. Lepreau	94.8	H(C)
Main Yankee	94.8	P(US)
Hatch 1	94.5	B(US)
Kori 2	94.4	P(K)
TVO 2	93.9	B(SF)

From 150MWe to
600MWe

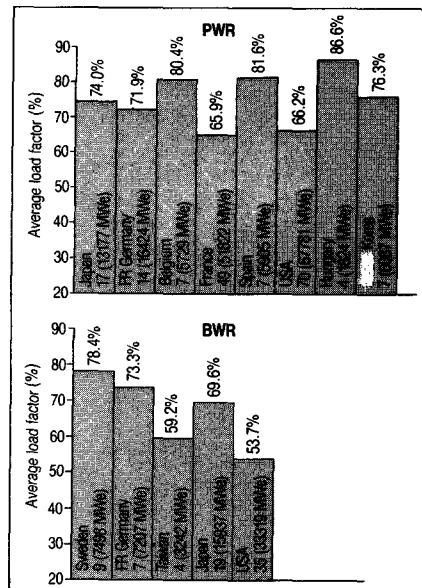
Pickering 8	95.9	H(C)
Prairie Island 1	93.5	P(US)
Loviisa 1	92.4	P(SF)
Loviisa 2	91.7	P(SF)
Garona	91.6	B(E)
Paks 4	91.0	P(HU)
Ikata 2	88.5	P(J)
Pickering 6	88.2	H(C)
Paks 2	87.8	P(HU)
Beznau 2	86.5	P(CH)



〈그림9〉 나라별 산출평균 누적부하율. bar 그래프의 폭은 나라 전체의 누적원자력발전량을 표시



〈그림8〉 나라별 산출평균 연간부하율



〈그림10〉 나라별 PWR/ BWR의 1989년도 연평균부하율

〈표6〉 나라별 연간평균 및 누적 부하율(4기 이상 보유국가에 한함)

Country	No of units	Total MWe	Average load factor	Cumulative (lifetime) load factor	Cumulative TWh generated	Operating experience y/m
Finland	4	2400	89.9	82.2	181.5	43/0
Hungary	4	1824	86.6	86.0	58.4	17/2
Belgium	7	5729	80.4	80.2	345.5	68/3
Switzerland	5	3079	83.7	80.7	258.3	72/8
Spain	10	7859	80.4	70.6	329.0	91/7
Sweden	12	10318	74.7	69.0	623.6	136/5
Canada	18	12894	72.5	78.5	778.4	173/6
FR Germany	22	23939	69.1	69.9	1170.1	197/5
Korea	8	6766	78.1	70.2	206.1	43/5
Japan	38	29445	70.5	67.7	1629.6	407/0
Taiwan	6	5144	61.9	64.0	232.3	49/7
US	105	101100	62.0	58.7	5354.4	1217/2
France	55	55404	61.8	60.8	2080.4	443/1
UK	30	13860	53.5	52.1	843.2	322/4
India	6	1330	34.5	44.0	64.3	76/9

〈표6b〉 나라별 연간평균 및 누적부하율(3기 이하 보유국가에 한함)

Argentina	2	1015	38.8	64.8	57.5	22/2
Brazil	1	657	31.8	20.1	8.8	7/8
Italy	2	1164	0.0	36.8	54.0	36/9
Yugoslavia	1	664	80.6	67.8	32.5	8/2
Netherlands	1	481	60.9	77.6	54.0	16/5
S. Africa	2	1930	67.9	53.4	51.6	10/1

Note: reactors which had operated for less than one year as of the end of 1989 are excluded from this table.

國家別 實績比較

운전실적이 1년 이상 된 150MW 이상의 원자로를 4기 이상 보유하고 있는 나라들의 연평균부하율을 비교해 보았다. 그림8은 이러한 나라들의 산술평균 연간 부하율을 나타낸 것이다.

그림9는 1989년말 현재 운전중인 원자로를 4기 이상 보유하고 있는 나라들의 누적(수명기간중) 실적치를 나타낸 것이다. Bar 그래프

의 폭은 누적발전량을, 높이는 누적평균부하율을 나타낸 것이다.

2가지의 대표적인 노형인 PWR와 BWR의 실적치는 나라마다 어떻게 다른가? 그림10은 이 물음에 대한 회답으로 1989년말 현재 운전중인 이 두 노형의 원자로를 각각 4기 이상 보유하고 있는 나라들의 연평균 부하율을 나타내고 있다.

마지막으로 표6은 각국의 부하율을 나타낸 것이다.