제2장 원자력발전소 운영

제1절 설비용량 현황

2001년 말 현재 우리 나라의 원자력발전소는 총 16기가 상업 운전중에 있으며, 원자력발전설비 용량은 1,371만6천kW이다.

1999년 월성 4호기 및 울진 4호기 상업운전 이후 추가 준공된 원전이 없어 2000년도에 이어 2001년도의 원전 설비용량에는 변화가 없었던 반면, 2000년과 2001년에 대용량 화력발전소 및 양수발전소의 준공으로 국내 전체 설비용량은 꾸준히 증가 했다. 따라서 2001년말 기준 원자력발전 설비용량은 전체 발전설비용량 5,085만 9천kW 대비 점유율 27.0%로 2000년보다 1.3%감소되어 2000년에 이어 연속 감소 추세를 보이고 있다. 그럼에도 불구하고 원자력발전은 우리 나라 전력계통의 기저부하를 담당하는 경제적이고 안정적인 전력공급원으로서 그 역할을 다하고 있다. 현재 상업운전중인 100만kW급의 영광 5호기와 6호기가 각각 2002년5월과 12월에 상업운전을 시작하게 되면 200만kW 설비용량이 증가하게 되어 원전의 설비용량 점유율이 다소 증가할 것으로 전망된다.

국내 가동원전을 원자로 형식에 따라 분류하면 가압경수로형이 12기(1,093만7천kW), 가압중수로형은 4기(277만 9천kW)가 운전중이며, 국내 원자력발전소 현황과 발전원별 발전설비 증가 추이를 살펴보면 각각 〈표 2-3〉, 〈표 2-4〉와 같다.



〈그림 2-3〉 영광 1, 2, 3, 4, 5, 6호기 전경

〈표 2-3〉 국내 원전 현황

구 분 / 호 기	설비용량 (만kW)	원자로형	위 치	상업운전
고리 #1	58.7	가압경수로	부산광역시 기장군	'78. 4.29
고리 #2	65	가압경수로	부산광역시 기장군	'83. 7.25
고리 #3	95	가압경수로	부산광역시 기장군	'85. 9.30
고리 #4	95	가압경수로	부산광역시 기장군	'86. 4.29
월성 #1	67.9	가압중수로	경북 경주시	'83. 4.22
월성 #2	70	가압중수로	경북 경주시	'97. 7. 1
월성 #3	70	가압중수로	경북 경주시	'98. 7. 1
월성 #4	70	가압중수로	경북 경주시	'99.10. 1
영광 #1	95	가압경수로	전남 영광군	'86. 8.25
영광 #2	95	가압경수로	전남 영광군	'87. 6.10
영광 #3	100	가압경수로	전남 영광군	'95. 3.31
영광 #4	100	가압경수로	전남 영광군	'96. 1. 1
울진 #1	95	가압경수로	경북 울진군	'88. 9.10
울진 #2	95	가압경수로	경북 울진군	'89. 9.30
울진 #3	100	가압경수로	경북 울진군	'98. 8.11
울진 #4	100	가압경수로	경북 울진군	'99.12.31
계	1,371.6	-	-	-

[2001년 원자력발전연보]

〈표 2-4〉 발전원별 발전설비 증가추이

(단위 : 천kW, %)

연도 / 설비별	'88	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01
원자력	6,666 (33.4)	8,616 (26.8)	9,616 (26.9)	10,316 (25.1)	12,016 (27.7)	13,716 (29.2)	13,716 (28.3)	13,716 (27.0)
기력	9,912 (49.7)	14,032 (43.6)	14,022 (39.3)	16,077 (39.2)	17,208 (39.6)	18,908 (40.2)	20,059 (41.4)	21,559 (42.4)
복합화력	895 (4.5)	6,184 (19.2)	8,719 (24.4)	11,268 (27.5)	10,785 (24.8)	10,935 (23.2)	11,257 (23.2)	11,436 (22.5)
내연력	235 (1.2)	259 (0.8)	264 (0.7)	265 (0.6)	265 (0.6)	270 (0.6)	271 (0.6)	273 (0.5)
수력	2,236 (11.2)	3,093 (9.6)	3,094 (8.7)	3,114 (7.6)	3,131 (7.2)	3,147 (6.7)	3,149 (6.5)	3,876 (7.6)
합계	19,944 (100)	32,184 (100)	35,715 (100)	41,042 (100)	43,405 (100)	46,977 (100)	48,451 (100)	50,859 (100)

[2002년도 한국전력통계]

제 2 절 발전량 현황

원자력발전량 점유율은 1989년에 50.1%로 전체 발전량의 절반 이상을 차지한 이래 1990년대 초반부터 시작된 삼천포, 보령 등 신규 화력발전소 건설로 인해 계속 줄어들어 1994년에 35.5%까지 감소하였다. 그 이후 1998년과 1999년에 월성 3,4호기 및 울진 3,4호기가 상업운전에 들어감에 따라 일시 증가한 이후 2001년 말까지 변화가 없었던 반면, 2000년 당진 3호기와 하동 5호기 그리고 2001년 당진 4호기와 하동 6호기 및 태안 5호기 등 설비용량 50만kW급의 대용량 화력발전소와 양수발전소의 신규가동이 계속되었다.

이에 따라 2000년 원자력발전량 점유율이 40.9%로 전년 대비 2.2% 감소한데 이어, 2001년도에도 영광 5호기의 시운전 전력량 8천만kWh를 포함하여 전년도보다 약 32억kWh(2.9%)가 증가되었음에도 불구하고 전체 발전량에 대한 점유율은 2000년도 보다 1.6% 감소한 39.3%를 기록하였다. 영광 5, 6호기가 준공되는 2002년에는 다시 다소 증가될 것으로 예상된다.

〈표 2-5〉 원전 호기별 발전량 실적

호기 \ 실적		'01 발전량 실적(천kWh)	총누계발전량(천kWh)
고 리	#1	4,886,837	89,274,596
	#2	5,092,254	88,976,874
	#3	7,884,898	115,376,587
	#4	7,912,836	113,638,130
월 성	#1	4,939,123	95,024,843
	#2	5,957,343	25,911,384
	#3	5,272,454	20,368,435
	#4	5,858,615	14,729,289
영 광	#1	8,684,625	112,965,972
	#2	7,477,500	102,910,104
	#3	9,076,326	55,025,938
	#4	7,633,394	48,792,098
	#5	80,869	80,869
울 진	#1	7,279,036	96,399,204
	#2	7,621,740	91,531,972
	#3	8,316,442	28,704,034
	#4	8,158,740	22,987,533
계		112,133,032	1,122,697,862

[2001년 원자력발전연보]

〈표 2-6〉 에너지원별 발전량 구성비 추이

(단위 : GWh, %)

연도 / 설비별		'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01
원 자 력		58,651 (35.5)	67,029 (36.3)	73,924 (36.0)	77,086 (34.3)	89,689 (41.7)	103,064 (43.1)	108,964 (40.9)	112,133 (39.3)
화 력	석탄	41,838 (25.4)	48,813 (26.4)	56,881 (27.6)	67,190 (29.9)	75,500 (35.1)	81,544 (34.1)	97,538 (36.6)	110,333 (38.7)
	유류	40,377 (24.5)	42,045 (22.8)	42,436 (20.7)	42,937 (19.1)	17,712 (8.2)	18,527 (7.7)	26,142 (9.8)	28,156 (9.9)
	가스	20,030 (12.1)	21,296 (11.5)	27,050 (13.2)	31,822 (14.2)	26,302 (12.2)	30,124 (12.6)	28,146 (10.6)	30,451 (10.7)
수 력		4,098 (2.5)	5,478 (3.0)	5,201 (2.5)	5,404 (2.4)	6,099 (2.8)	6,066 (2.5)	5,610 (2.1)	4,151 (1.5)
합 계		164,994 (100)	184,661 (100)	205,494 (100)	224,439 (100)	215,302 (100)	239,325 (100)	266,400 (100)	285,224 (100)

[2002년도 한국전력통계]

제 3 절 이용률 및 가동률 현황

1. 이용률 현황

발전소 이용률은 발전설비 운영의 효율성과 활용도를 나타내는 지표이다. 건설단가가 비싼 대신 연료비가 매우 싼 원전에서의 이용률은 경제성에 직결되는 운영지표이며, 설비의 건전성 및 운영 인력의 우수성 등 발전소 운영기술 수준을 평가하는 직접적인 자료가 된다. 국내 원전의 이용률 추세는 1978년 국내 최초로 고리 1호기가 상업운전을 시작한 이래 1990년도까지는 70%대 수준이었으나, 원전운영 기술과 경험이 부족하였던 초창기의 어려움을 슬

기롭게 극복하고 지속적으로 운영기술을 향상시켜 1991년부터 80%대로 진입하였으며 1993년 이후 87% 이상의 높은 이용률 수준을 유지하고 있다.

특히, 2001년도에는 원전 이용률에서 괄목할 만한 실적을 달성하였다. 2000년의 원전 평균이용률 90.4%를 약 2.8% 초과한 국내 원전사상 최고인 93.2%를 기록하였다. 이 기록은 같은 기간 세계 평균이용률 78.9%를 14% 이상 상회하는 실적으로 2000년도에 기록한 국내 원자력발전량 누계 1조kWh 달성에 이은 대기록이다.

또한 미국 Nucleonics Week('02. 2)의 2001년도 국가별 평균 이용률에 따르면, 우리 나라는 네덜란드(94.4%), 핀란드(93.4%)에 이어 세계3위를 기록하여 지난해 달성한 세계 5위를 뛰어넘는 우수한 실적을 보여 주었으며, 이와 함께 호기별 기록에서는 세계원전 427기 중 영광 1호기와 영광 3호기가 이용률 104.4%와 103.6%로 나란히 세계 1,2위를 차지하였다.

앞에서 언급한 바와 같이 국내 원전이 해를 거듭할수록 우수한 이용률을 기록할 수 있었던 주요 요인들을 살펴보면 대략 다음과 같다.

우선 장주기 원전연료의 사용을 들 수 있는데, 현재 국내원전의 대부분(총 16기중 12기)을 차지하는 경수로 원전은 주로 약 16.5개월마다 교체하는 장주기 연료를 채택하고 있으므로 종전 10~12개월 주기의 연료를 사용할 경우보다 연료교체를 위한 발전소 정지기간이 운전기간에 비해 단축될 수 있었다. 최근에 상업운전을 개시한 울진 3호기는 2001년부터 장주기 연료를 사용하기 시작했으며 울진 4호기는 2002년부터 사용할 예정이다.

다음은 고장정지 감소에 의한 효과를 들 수 있는데, 이는 2000년도에 이어서 2001년에도 고장 정지가 총 8회, 호기당 0.5건으로 1년에 2개호기에서 1회의 비율로 고장정지 발생이 적었을 뿐 아니라 고장 발생시에는 잘 훈련되고 능숙한 운전원과 정비원의 신

속한 판단과 정확한 원인규명으로 고장 부위를 정비하고 단시간 내에 발전을 재개할 수 있었기 때문이다. 또한 동·하절기 등 열악한 환경에서 발전설비에 대한 현장 감시 강화, 국내·외 원전 운영경험의 적극적인 적용과 인적실수 방지를 위한 노력 등이 복합적으로 고장정지 감소에 기여했다.

또한 계획예방 정비기간의 단축을 들 수 있다. 호기당 평균 계획예방 정비기간은 지난 6년간(1995~2000년) 평균 60일에서 2001년에 42일로 크게 단축되었다. 이러한 계획예방정비기간의 단축은 단위 공정별 정비기간을 세부 분석하여 최적화시키고, 아울러 정비실명제 실시, 기기별 전문정비원 양성을 통한 정비품질 향상과 정비편의 시설 확대, 운전 중 정비가 가능하도록 주요설비의 다중화 등 설비 개선을 통한 정비의 내실화 및 공정관리 전산화 등에 의해 가능했다.

〈표 2-7〉 국내 원전의 이용률 세계 1위 달성실적

발전소명	운전기간	이용률(%)	발 표 지
월성 #1	'85. 4~'86. 3	98.4	NEI
월성 #1	'91.10~'92. 9	92.9	NEI
월성 #1	'93. 1~'93.12	100.8	Nucleonics Week
고리 #4	'93.10~'94. 9	102.0	NEI
영광 #1	'94. 1~'94.12	103.0	Nucleonics Week
고리 #4	'95. 4~'96. 3	101.2	NEI
고리 #4	'96. 7~'97. 6	102.0	NEI
영광 #1	'97. 1~'97.12	103.1	Nucleonics Week
월성 #1	'97. 1~'97.12	101.2	NEI
영광 #3	'97. 4~'98. 3	102.7	NEI
고리 #4	'98. 1~'98.12	103.6	NEI
고리 #4	'98. 1~'98.12	105.3	Nucleonics Week
월성 #3	'98. 7~'99. 6	100.7	NEI
월성 #3	'98.10~'99. 9	99.7	NEI
고리 #4	'99. 4~'00. 3	104.2	NEI
고리 #4	'99. 7~'00. 6	104.4	NEI
월성 #4	'99.10~'00. 9	102.9	NEI
영광 #4	'00. 4~'01. 3	102.6	NEI
영광 #1	'01. 1~'01.12	104.4	Nucleonics Week

〈표 2-8〉 국내 및 세계원전 이용률 비교

(단위 : %)

구분 \ 연도	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01
국내평균	84.5	87.2	87.4	87.3	87.5	87.6	90.2	88.2	90.4	93.2
세계평균	67.3	69.6	70.2	71.6	72.9	72.2	73.9	75.6	76.4	78.9

[2001년 원자력발전연보]

〈표 2-9〉 국내 원전 이용률 현황

(단위 : %)

호기	고 리				월 성				영 광				울 진				평
연도	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	균
'78	46.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46.3
'79	61.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61.3
'80	67.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67.4
'81	56.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56.3
'82	73.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73.5
'83	63.6	80.4	-	-	61.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66.6
'84	66.3	76.9	-	-	66.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70.1
'85	65.5	70.1	89.7	-	94.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78.7
'86	67.9	73.7	71.7	94.2	79.7	-	-	-	88.2	-	-	-	-	-	-	-	78.1
'87	94.0	79.7	73.0	73.7	92.9	-	-	-	75.2	95.9	-	-	-	-	-	-	81.5
'88	45.8	83.6	76.7	74.1	79.4	-	-	-	77.6	78.6	-	-	40.8	-	-	-	73.0
'89	56.5	94.4	82.6	77.3	91.0	-	-	-	81.0	71.6	-	-	65.2	45.8	-	-	76.2
'90	72.1	81.0	85.9	78.1	85.9	-	-	-	86.5	74.9	-	-	78.5	70.3	-	-	79.3
'91	89.9	84.9	74.2	79.6	91.1	-	-	-	84.0	84.2	-	-	91.7	84.2	-	-	84.4
'92	74.8	84.0	84.3	83.1	86.8	-	-	-	86.8	80.6	-	-	88.1	88.9	-	-	84.5
'93	78.7	78.1	89.1	85.5	100.0	-	-	-	84.5	86.9	-	-	87.6	90.9	-	-	87.2
'94	66.5	87.5	82.1	93.2	82.6	-	-	-	100.0	89.4	-	-	86.2	86.8	-	-	87.4
'95	82.2	95.3	76.1	91.4	83.7	-	-	-	78.6	77.1	100.0	-	90.4	98.2	-	-	87.3
'96	77.0	87.0	99.1	83.5	81.0	-	-	-	84.6	95.6	76.6	86.5	89.8	96.6	-	-	87.5
'97	78.9	86.1	75.8	87.8	102.1	97.1	-	-	103.9	83.5	87.0	81.7	85.9	88.8	-	-	87.6
'98	77.6	87.5	86.5	105.3	78.5	83.6	98.5	-	89.1	75.5	89.0	101.2	96.0	92.8	103.7	-	90.2
'99	85.2	87.1	90.5	89.0	82.8	90.8	82.0	103.0	84.5	84.3	89.1	91.8	89.4	97.9	83.5	-	88.2
'00	92.3	91.3	100.9	91.3	80.9	92.7	103.1	94.2	90.3	89.4	87.3	87.3	90.0	85.2	90.1	84.7	90.4
'01	95.0	89.4	94.7	95.1	83.1	97.2	86.0	95.5	104.4	89.9	103.6	87.1	87.5	91.6	94.9	93.1	93.2

[2001년 원자력발전연보]

2. 가동률 현황

원자력발전소의 가동률이란 연간시간(Calender hour)에 대한 발전소의 연간 실제 가동시간(Operation hour)의 비율로서 이용률과 더불어 원전의 안전성, 경제성을 나타내는 중요한 지표 중의 하나이다. 국내 원전의 가동률 또한 이용률과 함께 꾸준히 향상되어 왔으며, 1990년 이후 평균 80%이상의 높은 가동률 실적을 보이고 있다.

〈표 2-10〉 원자력발전소 가동률 현황

(단위 : %)

호기 / 연도	고 리				월 성				영 광				울 진				평균
	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	
'78	65.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65.1
'79	74.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74.8
'80	79.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	79.5
'81	69.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69.6
'82	78.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78.8
'83	70.1	84.7	-	-	77.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75.4
'84	72.0	78.0	-	-	70.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73.5
'85	72.6	75.8	94.8	-	94.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82.1
'86	73.1	74.8	74.5	95.9	80.8	-	-	-	94.8	-	-	-	-	-	-	-	79.8
'87	98.8	82.8	76.1	76.6	93.4	-	-	-	78.4	98.1	-	-	-	-	-	-	85.8
'88	50.6	82.8	79.7	79.8	80.1	-	-	-	77.9	80.7	-	-	45.1	-	-	-	74.6
'89	60.0	95.7	82.3	77.2	91.7	-	-	-	81.5	73.6	-	-	66.5	45.9	-	-	77.6
'90	74.6	84.3	90.4	81.5	86.0	-	-	-	85.7	77.1	-	-	81.7	73.0	-	-	81.6
'91	93.3	85.8	75.1	80.0	90.5	-	-	-	84.3	84.9	-	-	91.0	86.8	-	-	85.7
'92	76.9	85.0	83.7	82.7	85.5	-	-	-	86.5	82.6	-	-	87.4	87.5	-	-	84.2
'93	81.4	80.5	88.1	85.1	99.0	-	-	-	86.8	85.7	-	-	87.3	87.8	-	-	86.9
'94	68.2	87.7	81.4	93.2	81.6	-	-	-	99.9	87.8	-	-	83.3	83.5	-	-	85.2
'95	99.4	95.5	78.4	89.3	82.6	-	-	-	77.4	76.4	99.6	-	87.9	93.9	-	-	87.7
'96	79.0	87.3	96.2	81.4	80.0	-	-	-	82.6	93.2	75.0	86.1	86.9	92.8	-	-	85.5
'97	80.8	87.2	74.2	85.0	99.7	95.1	-	-	99.8	85.1	85.0	81.3	83.6	86.0	-	-	86.5
'98	76.5	86.1	83.6	100.0	76.8	81.6	96.4	-	86.7	75.1	86.4	98.1	94.3	90.7	100.0	-	87.1
'99	84.7	85.3	86.9	85.0	80.9	88.5	80.0	100.0	82.7	83.3	87.6	90.0	87.2	99.9	81.6	-	86.2
'00	90.6	88.9	95.6	86.3	79.6	89.3	100.0	91.5	87.6	88.3	86.2	85.3	88.1	83.5	88.0	82.3	88.2
'01	93.0	87.3	90.0	90.5	81.7	93.5	83.5	92.6	100.0	88.2	100.0	84.8	85.5	89.6	91.6	90.0	90.1

[2001년 원자력발전연보]

제 4 절 정비 및 운영관리 현황

원자력발전소에서는 설비를 고장 없이 안정적으로 운영하기 위하여 건설 단계부터 각종 기기 및 설비를 철저한 기준과 규정에 따라 설계, 제작 및 설치하고 있으며, 기기와 계통의 성능이 저하되지 않도록 철저한 유지, 보수를 하고 있으며 설비를 조작하는 운전 및 정비요원들의 인적실수가 없도록 교육훈련을 강화하고 있다.

1. 정비능력의 강화

발전설비에 대한 점검 및 정비는 설비를 안전하고 효율적으로 운영하기 위하여 수행하여야 할 필수적인 사항이다. 특히 원자력발전소는 화력발전소와는 달리 원자로 내에 핵분열 물질인 우라늄이 장전되어 운전되고 있으므로 전기사업법에 의한 발전기 및 터빈 등 발전설비에 대한 정기검사 뿐 아니라 원자로 및 부속설비, 안전설비 등에 대하여 원자력법에 의거 운전연수 경과에 따라 이들 설비의 성능이 저하되지 않고 초기 상업운전 때와 동일한 성능으로 유지되는지의 여부를 확인하기 위하여 규제기관으로부터 정기적으로 검사 받고 있으며, 이를 통하여 설비의 신뢰성과 안전성을 확인하고 있다. 또한 이 기간중 계획예방정비를 실시하여 다음 주기에도 발전소가 안전하게 운전되도록 준비에 만전을 기하고 있다.

정상운전중에는 경상 예방정비 및 수리 정비 프로그램에 의해 운전중 정비가 가능한 기기를 정비하고 있으며, 발전소 내 각종 설비를 주기적으로 점검, 기기 성능과 운전 상태변화 등을 지속적으로 추적·관리하여 설비의 신뢰도를 확보하고 있음은 물론, 정비기술 향상을 위한 종사자 반복교육을 실시하여 정비 품질 향상을 도모하고 있다.

국내 원자력발전소의 정비업무는 운영자인 한국수력원자력(주)가 주축이 되어 수행하고 있으며 정비를 전담하는 한전기공(주) 등 기기 정비 전문업체와 주요 기기 제작사의 전문인력, 정밀 기기인 경우 국내·외 전문 연구기관이 함께 참여하여 설비의 안전성과 신뢰성 확보에 최선을 다하고 있으며, 각종 지침서, 국내외 정비 및 운전 경험사례, 해외정보, 규제기관의 지적 및 권고사항 등을 반영한 정비 세부계획을 수립·운영하여 정비업무의 내실을 기하고 있다. 또한 정비품질 확보 및 종사자 방사선 안전관리를 위해 장비의 현대화 및 자동화, 설비개선, 공정개선, 그리고 정비요원의 국내·외 교육 및 훈련강화 등에 중점을 두고 지속적으로 추진하고 있다. 또한 다수기 원전가동, 운전연수 경과 및 정비 전담업체인 한전기공(주)의 민영화 등 원전정비환경 변화에 능동적으로 대처하기 위하여 경상공사 경쟁체제 전환에 대한 준비에 만전을 기하고 있으며, 계획예방정비공사 또한 경쟁범위 확대계획을 수립하여 운영중에 있다.

계획예방정비 작업은 안전성을 최우선으로 하며 신형장비의 도입, 정비방법의 개선과 공정개선 등을 통하여 공기를 단축하는데 주안점을 두고 추진하고 있다. 특히 해외 선진원전에 대한 벤치마킹을 통한 계획예방정비 표준공기를 수립하여 운영하고, 계획예방정비 기간 중에는 공정관리 회의체를 운영하여 유기적인 협조체제를 구축함으로써 공기지연 요인을 사전에 파악하여 제거하고, 세부 정비공정을 전산화하여 철저한 공정관리가 되도록 하고 있다. 또한 운전중 정비가능 기기의 범위를 확대하는 등의 작업관리 개선을 통해 계획예방정비 작업물량을 가능한 최적화하고 있으며, 정비 시에는 고장부품 수리 방식을 지양하고 기기 일체정비 방식을 적극 추진함으로써 계획예방정비 기간 단축 및 정비품질 향상에 힘쓰고 있다.

발전정지를 감소시키기 위하여 국내외의 고장사례를 검토·분

석하고 경험 사례 전파 프로그램을 활성화하여 정비요원의 기술력 향상을 도모하고 있으며, 유사한 고장발생에 대한 사전 예방책을 강구하여 설비 고장을 미연에 방지함으로써 설비의 안전성과 신뢰성 확보에 최선을 다하고 있다. 이러한 다각적인 노력으로 국내 원자력발전소는 안정적인 전력 공급능력을 유지하고 있으며, 발전소 운영실적이 세계 정상에 우뚝 설 수 있게 된 것이다.

〈표 2-11〉 2001년 계획예방정비 실적

구분 / 호기	정 비 기 간	주 요 작 업 내 용	비 고
고리 #1	'01.11.16~'01.12.12	원자로 정지불능 완화계통 신설	
고리 #2	'01. 5.27~'01. 7.12	격납용기 폴라 크레인 정비	
고리 #3	'01. 3.19~'01. 4.24	연료 상단 고정체 교체	
고리 #4	'01.11.20~'01.12.24	연료 상단 고정체 교체	
월성 #1	'01. 9. 5~'01.11.10	압력관 가터 스프링 위치 교정작업	
월성 #2	-	-	시행안함
월성 #3	'01. 3. 1~'01. 4.13	핵연료 교환기 정비	
월성 #4	'00.12. 1~'01. 1.28	고압/저압터빈 및 주발전기 분해점검	
영광 #1	-	-	시행안함
영광 #2	'01. 9. 3~'01.10.17	원자로냉각재계통 저항온도측정기 우회배관 제거	
영광 #3	-	-	시행안함
영광 #4	'01. 5. 3~'01. 6.28	증기발생기 전열관 정비	
울진 #1	'01.10. 3~'01.10.31	원자로냉각재펌프 모터 1대 교체	
울진 #2	'01. 5.15~'01. 6.17	터빈 진동감시설비 설치	
울진 #3	'01. 6.30~'01. 7.30	격납용기 폴라 크레인 정비	
울진 #4	'01. 2.10~'01. 3.18	원자로 스터드 홀 정비	

[2001년 원자력발전연보]

2. 교육훈련 강화

국내 원자력발전소의 효율적인 운영과 안전성 확보, 원자력사업의 지속적인 발전을 위해서는 유능한 기술인력의 확보가 필수 불가결한 과제임을 일찍부터 인식한 원전사업자인 한수원(주)는 전

문인력 양성과 이를 통한 안전문화 정착에 중점을 두고 많은 노력과 투자를 해왔다.

원자력에 대한 기초에서부터 고급수준에 이르는 교육과정을 통해 전문인력을 양성하기 위해 원자력교육원을 설립하였고 이후 각 사업소에는 사업소별 특성 부문의 훈련을 위한 훈련센타를 설립하여 교육체계 및 과정을 현장 중심으로 세분화 및 전문화 하였다. 또한 교육시설의 현대화, 전산화를 통해 과거 양적 위주의 교육에서 질적 위주의 교육으로 개선하였고, 인적실수 방지 및 운전기술 고도화를 위한 중장기 교육 프로그램도 수립, 시행중에 있다.

가. 교육체계

원자력분야의 교육체계를 살펴보면, 신입사원의 경우 입사 후 원자력 전문교육 기관인 원자력 교육원에서 2주간의 신입사원 입문교육을 실시한후 11~13주간의 원자로 기초이론 및 원자력 발전소 계통기초에 대한 전반적인 교육을 이수하게 되며, 이어서 사업소에서 12~16주간의 현장적응훈련과 7주간의 해당 노형별 계통교육을 마친 후 보직을 받고 업무에 임하게 된다.

운전·정비 등 기술분야의 기술능력을 향상시키기 위하여 보직 후에도 업무 수행중 각 보직에 필요한 실무과정, 전문과정, 간부과정을 이수하도록 교육체계가 마련되어 있다.

나. 원자력교육원 교육

1977년 7월, 원자력 전문기술인력 양성이라는 중요한 역할을 수행키 위해 설립된 한수원(주) 「원자력교육원」의 교육과정은 기본과정, 실무과정, 전문과정, 간부과정으로 분류된다. 이를 세분화하여 설명하면, 기본과정은 신입직원을 대상으로 한 원자력이론 및 계통기초 과정을 말하며, 실무과정은 운전 정비요원을 대상으로



〈그림 2-4〉 원자력교육원 전경

기술·정비등 기술분야 능력향상을 위한 과정이고 분야별 전문가를 양성하기 위해 전문과정 교육이 시행된다. 그리고 간부과정은 관리자를 대상으로한 교육과정이다.

각 사업소 훈련센타(고리, 영광, 울진, 월성)에서는 원자력교육원 교육과정을 위임받아 운영중이며, 또한 사업소 특성에 맞는 특수교육 과정을 운영하고 있다. 특히 각 사업소에는 해당원전과 동일한 원자로 모의제어반을 도입하여 그 동안 해외에서 양성되던 원전 운전원을 국내에서 모두 양성하고 있으며, 일반적인 해외교육 추진에서 탈피하여 핵심기술만 습득하는 체제로 전환하여 교육훈련의 강도를 높이고 있다. 그 외 원자력발전소 정비업무를 전담하고 있는 한전기공(주)의 정비요원을 대상으로 총 55개의 교육과정이 설치되어 있으며 국내 타사 및 해외원전 개발국 기술자 양성을 위해 다수의 수탁 교육과정을 운영 중에 있다.

다. 국내 위탁교육 및 해외훈련

원자력발전소 운영요원들의 자질향상을 위하여 원자력교육원을 통한 자체교육은 물론 한국원자력연구소와 산업기술협회 등 국내 전문교육기관을 이용한 실무개발 교육과 두산중공업, 한국전력기술(주) 등 국내 전문 제작 및 설계회사에 위탁하여 교육을 시행중에 있다.

또한 전문 기술 향상, 선진기술의 습득, 신규원전의 운영요원 및 특수분야 전문인력 양성을 위하여 원자로 제작사 등 해외 전문기관 위탁 해외훈련을 지속적으로 실시하고 있으며, 해외 우수원전의 운영기술을 벤치마킹하여 국내원전에 반영함으로써 국내원전의 안전성과 신뢰성을 더욱 확고히 하고 있다.

〈표 2-12〉 교 육 훈 련 실 적

(단위 : 명, 2001.12.31 현재)

구분 \ 연도		~'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	계
사내교육(원자력교육원)	기본과정	4,276	463	865	921	765	1,054	201	128	43	575	9,291
	개발과정	9,475	1,736	1,718	1,571	1,603	2,058	2,987	2,666	3,106	3,108	30,028
	특수과정	4,283	566	621	703	793	703	424	779	895	821	10,588
	수탁과정	930	297	88	94	197	258	281	237	269	273	2,924
	소 계	18,964	3,062	3,292	3,289	3,358	4,073	3,893	3,810	4,313	4,777	52,831
국내위탁교육		2,917	328	316	329	286	313	454	377	422	664	6,406
해 외 훈 련		875	14	43	119	108	16	0	9	23	24	1,231
계		22,756	3,404	3,651	3,737	3,752	4,402	4,347	4,196	4,758	5,465	60,468

[2001년 원자력발전연보]

〈표 2-13〉 원전 모의제어반 현황

구분 \ 제어반	모의제어반Ⅰ	모의제어반Ⅱ	모의제어반Ⅲ	모의제어반Ⅳ	모의제어반Ⅴ	모의제어반Ⅵ
대상발전소	고리 #1,2	고리 #3,4 영광 #1,2	울진 #1,2	영광 #3,4 울진 #3,4	월성 #1,2,3,4	울진 #3,4,5,6 (KEDO원전)
제 작 사	삼성, 현대	웨스팅하우스	프랑스 톰슨사	삼성, 현대	CAE사	삼성, KOPEC
기준발전소	고리 #2 PWR 2 Loop 650MW	영광 #1,2 PWR 3 Loop 950MW	울진 #1,2 PWR 3 Loop 950MW	영광 #3,4 PWR 2 Loop 1000MW	월성 #2 PHWR 2 Loop 713MW	울진 #3,4 PWR 2 Loop 1000MW
준 공 일 자	98년 7월	86년 12월	90년 2월	97년 4월	96년 12월	01년 10월
설 치 장 소	원자력교육원	원자력교육원	울진원자력	영광원자력	월성원자력	울진원자력

[2001년 원자력발전연보]

라. 원자로 조종면허

원자력발전소를 운영하기 위해서는 원자력법상 일정 인원수의 원자로 조종면허 소지자를 확보하여 안전운전에 만전을 기하도록 규정되어 있다. 2001년말 현재 한수원(주)은 법정요구 수준인 호기당 원자로조종사 및 원자로조종감독자 각각 6명씩 총 216명보다도 훨씬 많은 인원인 원자로조종사 516명, 원자로조종감독자 728명을 확보하고 있어, 법적 요건을 만족시킬 뿐만 아니라 운영요원의 자질향상과 인력운영의 효율성을 높이고 있다.

〈표 2-14〉 원자로 조종면허 소지자 현황

(단위 : 명, 2001년말 현재)

노형,용량별 / 자격별	경수로			중수로	계
	60만kW급	90만kW급	100만kW급	60만kW급	
원자로조종사	68	226	124	98	516
원자로조종감독자	110	342	169	107	728
계	178	568	293	205	1,244

[2001년 원자력발전연보]

3. 운전원 교대근무제도

원자력발전소의 안전성확보에 있어서 다중화된 안전설비는 하드웨어적인 요소인 반면, 이를 운영하는 운전원의 능력은 소프트웨어적인 요소라 할 수 있다. 따라서 원자력발전소의 안전성 및 안정적인 전력공급 능력의 확보를 위해서는 설비의 건전성 못지 않게 현장에서 24시간 직접 설비를 다루는 운전원들의 역할이 매우 중요하며 특히 발전소 이상상태 발생시 이들 운전원들이 조치능력을 충분히 발휘하기 위해서 근무형태가 무엇보다 중요하다.

원자력발전소의 운전원 교대근무 형태는 1997년 IMF 한파 이후 우리 사회 각 분야에 몰아닥친 구조조정의 영향으로 6조 3교대 근무형태에서 5조 3교대 근무형태로 변경되었다가, 다시 1999년에 6조 3교대 근무형태로 환원되었다. 6조 3교대 근무형태는 3개조가 1일 3교대 근무를 하고 1개조는 원자력법 요건 충족 및 이를 통한 안전성 확보 목적으로 발전소 이상상태 발생에 대비한 조치능력 유지 및 향상을 위해 반복적인 모의제어반 훈련과 관련 실무교육을 받고 있으며, 1개조는 각종 정기시험을 수행하기 위해 일상근무를 하며, 나머지 1개조는 다음 근무에 투입되기 전까지 충분한 휴식을 취한다.

제 5 절 발전정지 현황

1. 고장정지

국내원전의 운전중 고장정지는 본격적인 원자력발전 시대라고 할 수 있는 1986년에는 호기당 평균 5.5회의 고장정지를 기록하였지만 이후 지속적인 감소 추세를 보여 지난 2001년에는 호기당

평균 0.5회의 기록을 달성하였다.

2001년도의 총 고장정지 건수 8회, 호기당 평균 0.5회의 기록은 현재 국내원전에서 가장 우수한 실적인 1998년도의 평균 0.4회에는 미치지 못하나 표2-17 에 나타난 바와 같이 1998년 이후 연간 호기당 1회에도 미치지 않는 우수한 실적을 보이고 있다. 2001년도 호기별 정지현황을 살펴보면, 월성 2,3호기가 1회씩, 울진 1호기 2회, 울진 2호기 3회 그리고 울진 4호기가 1회를 기록하였다.

2001년도에 발생한 고장정지를 원인별로 살펴보면, 8건 모두가 기기결함으로 나타났는데 그중 3건이 자연열화에 의한 정지로 나타났고 시공불완전, 정비불완전, 설계불완전, 오동작 및 기타 기기고장이 각각 1건씩 있었다. 설비별로 구분하면 원자로와 관련된 일차계통 설비고장은 없었고 모두 이차계통과 전기계통 등 원자로와는 무관한 계통의 고장이었다.

이와 같이 국내 원전의 발전 정지율이 우수한 수준을 유지하고 있는 이유는 우선, 인적실수 제로화를 목표로 작은 일에도 항상 최선을 다하는 발전소 종사자들의 노력을 가장 먼저 꼽을 수 있



〈그림 2-5〉 울진 1, 2, 3, 4호기 전경

다. 발전정지를 감소시키기 위하여 각 원전에서 국내·외 인적요소 관련 정지사례를 집중분석하여 국내원전의 운전 및 정비업무에 적용하는 등 유사사례의 재발방지에 심혈을 기울이고 있어 최근 수년간 인적실수가 감소하고 있는 추세에 있으며 2001년에는 인적실수로 인한 발전정지는 단 1건도 발생하지 않았다.

다음으로는, 발전정지와 관련된 취약설비 개선과 설비 신뢰도 향상에 있다고 할 수 있다. 발전정지 관련 주요 기기와 고장 빈발 가능 기기에 대한 체계적인 관리와 주요회로의 다중화, 주요 전자회로 패널의 운전환경 개선 그리고 비정상 신호를 유발할 가능성이 있는 부품에 대해서는 일정기간 사용후 교체 수행 등 설비의 안전성과 신뢰성 확보에 많은 노력을 기울여 왔으며, 그 외에 발전소 각 분야별로 교차기술지원을 시행하고 각 계절에 따라 발생하는 해양생물 유입, 태풍, 호우, 혹한, 혹서 등 자연재해에 대비한 체계적인 설비 안전점검 등 발전정지 예방을 위해 최선을 다한 결과라고 할 것이다.

〈표 2-15〉 2001년 국내 원전 고장정지 내역

발전소	정지일시	재개일시	정지내용(정지원인)
울진 #2	1.16 13:48	1.17 05:16	주증기차단밸브 부분동작시험중 오동작으로 비정상 닫힘
울진 #1	1.30 12:09	2. 3 03:16	주변압기 B상 고압부싱과 가스절연모선간 도체연결부 소손
월성 #2	3.24 02:53	3.25 01:27	주발전기 PT 고압측 접촉불량으로 접지계전기 동작
울진 #4	3.27 11:03	3.28 03:08	주발전기 B상 PT 권선 단선으로 접지계전기 동작
월성 #3	5.17 16:57	6. 3 19:07	터빈보조계통 제어기 공급전원 접촉불량으로 터빈정지
울진 #2	8.15 21:55	8.16 13:48	주급수펌프 #2 터빈 배기구 신축이음부 소손되어 복수기 진공상실
울진 #2	10.29 00:50	10.29 23:57	소내전원 보조변압기 저전압계전기 입력신호선접촉불량
울진 #1	12.13 10:13	1.22 03:58	발전기 고정자권선 절연저하로 접지계전기 동작

[2001년 원자력발전연보]

〈표 2-16〉 국내 원전 고장정지 현황

(단위 : 건)

호기 / 연도	고리				월성				영광				울진				계	평균
	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4		
'78	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	17
'79	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	13
'80	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8
'81	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7
'82	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4
'83	9	5	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	6
'84	7	5	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	5.3
'85	8	15	4	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	7.5
'86	4	4	9	4	5	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	33	5.5
'87	3	5	5	4	1	-	-	-	5	3	-	-	-	-	-	-	26	3.7
'88	1	0	1	3	2	-	-	-	2	2	-	-	2	-	-	-	13	1.6
'89	3	3	0	1	2	-	-	-	1	2	-	-	0	1	-	-	13	1.4
'90	2	0	3	3	1	-	-	-	2	1	-	-	3	3	-	-	18	2.0
'91	11	1	0	2	3	-	-	-	1	2	-	-	3	1	-	-	24	2.7
'92	4	1	0	4	1	-	-	-	1	3	-	-	1	0	-	-	15	1.7
'93	1	2	3	3	1	-	-	-	0	2	-	-	1	1	-	-	14	1.6
'94	1	1	0	1	3	-	-	-	1	0	-	-	0	1	-	-	8	0.9
'95	1	2	1	0	0	-	-	-	1	1	3	-	1	1	-	-	11	1.1
'96	0	1	0	0	0	-	-	-	1	0	1	4	2	1	-	-	10	0.9
'97	0	0	0	0	1	4	-	-	1	1	1	3	1	1	-	-	13	1.1
'98	0	2	1	0	0	0	3	-	0	0	0	0	0	0	0	-	6	0.4
'99	1	0	1	0	0	1	0	0	1	3	3	1	1	0	1	-	13	0.9
'00	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	8	0.5
'01	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	3	0	1	8	0.5
계	105	47	29	26	31	6	4	1	24	21	9	9	17	13	2	1	346	2.2

[2001년 원자력발전연보]

2. 한주기 무고장 운전

한주기 무고장운전이란 연료교체 후 다음 연료교체 시기까지 발전정지 없이 연속운전 하는 것을 의미하며 OCTF(One Cycle Trouble Free)라고 부르기도 한다. 이 한주기 무고장운전은 수 백만개의 부품과 기기로 구성된 원자력발전소가 약 16개월 이상 고장없이 연속운전을 해야 가능하므로 운전·정비·운영기술지원 등 모든 분야에서 기술력과 운영관리 능력을 인정받는 것이라고 할 수 있다.

2001년도 한주기 무고장운전을 달성한 원전은 전체 16기의 가동원전 중 7기로 2000년도의 월성 3호기의 1기에 비교하면 엄청난 실적이라 할 수 있다. 2001년에 달성한 원전은 고리 1,2,4호기와 영광 4호기, 월성 1,3호기 그리고 울진 3호기이다. 이 중 고리 1호기와 4호기는 각각 4회를 달성하여 이미 1999년도에 4회를 달성한 울진 2호기와 함께 국내 최다 기록을 달성하였고, 월성1호기는 3주기 연속(1998.3~2001.9) 달성으로 고리 1,4호기의 뒤를 이었으며 월성 3호기는 국내원전 최초로 가동 2주기만에 달성하였다. 2001년 말까지 국내 원전이 달성한 한주기 무고장운전은 1988년 고리 3호기를 시작으로 총 29회에 이르고 있다.

〈표 2-17〉 국내 원전 연도별『한주기 무고장운전』현황

연도 / 구분	'88	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01
가동 원전	8	9	9	9	9	9	10	11	12	14	16	16	16
한주기 무고장운전	1	0	1	2	3	0	1	1	2	6	4	1	7

[2001년 원자력발전연보]

〈표 2-18〉 국내 원전『한주기 무고장운전』달성 현황

호기 \ 구분	달성횟수	연속운전일	연속운전기간
고리 #1	4	365 377 365 364	'96. 3.31 ~ '97. 3.30 '97. 6. 8 ~ '98. 6.19 '98. 9. 6 ~ '99. 9. 5 '00.11.18 ~ '01.11.16
고리 #2	3	387 303 339	'90. 3.24 ~ '91. 4.14 '97. 4. 6 ~ '98. 2. 2 '00. 6.23 ~ '01. 5.27
고리 #3	3	304 307 407	'87.12.10 ~ '88.10. 9 '92. 2. 18 ~ '92.12.21 '97. 4. 5 ~ '98. 5.16
고리 #4	4	423 460 446 445	'95. 2. 8 ~ '96. 4. 5 '96. 6.12 ~ '97. 9.14 '97.11. 7 ~ '99. 1.26 '00. 9. 2 ~ '01.11.20
월성 #1	3	332 331 455	'98. 3.26 ~ '99. 2.20 '99. 5. 1 ~ '00. 3.26 '00. 6. 8 ~ '01. 9. 5
월성 #3	1	454	'99.12. 4 ~ '01. 3. 1
영광 #1	1	395	'92.10. 8 ~ '93.11. 5
영광 #3	1	366	'97. 3.31 ~ '98. 3.31
영광 #4	2	387 396	'97.12. 3 ~ '98.12.24 '00. 4. 3 ~ '01. 5. 3
울진 #1	2	310 382	'92. 4. 8 ~ '93. 2.11 '94. 3. 7 ~ '95. 3.23
울진 #2	4	333 296 441 463	'91.12. 5 ~ '92.11. 1 '92.12.16 ~ '93.10. 7 '97. 6. 9 ~ '98. 8.23 '98. 9.25 ~ '99.12.31
월성 #3	1	358	'00. 7. 8 ~ '01. 6.30
계	29	-	-

[2001년 원자력발전연보]