

# 국내 원자력 Power Plant 운영 현황

하수영 · 한국수력원자력(주), 실장

\_e-mail : hasuy@khnp.co.kr

이 글에서는 우리나라 전기 생산량의 대부분을 담당하고 있는 원자력발전에 대한 설비현황, 발전량, 이용률, 가동률 등 국내 원자력 Power Plant 운영 현황을 소개한다.

## 원자력발전설비 현황

국내에는 총 20기의 원자력발전소가 상업운전 중에 있으며, 원자력발전설비 용량은 1,771만 6,000kW이다. 이는 전체 발전설비 용량 대비 약 27% 점유율에 해당된다. 2005년도에 올린 6호기가 상업운전을 시작한 이래 원자력발전설비의 증가가 없어 전체 발전설비 대비 원자력발전설비비율은 후속기 건설완료시점까지 당분간 감소할 것으로 예상된다.

국내 가동원전을 원자로형에 따라 분류하면, 가압경수로형 16기(1,493만 7,000kW)와 가압중수로형 4기(277만 9,000kW)이며 국내 원자력발전소 현황과 발

전원별 발전설비증가 추이는 각각 표 1, 2와 같다.

1978년 4월부터 국내 최초로 상업운전을 개시한 이래 설계수명(30년) 동안 가동 후 계속운전 인허가 심사 중에 있는 고리 1호기를 포함하여 총 설비 용량은 1,771만 6,000kW로서 우리나라는 설비용량 면에서 세계 6위의 원자력 발전국으로 성장하였다.

## 원자력발전량

원자력발전량 점유율은 1989년에 50.1%로 전체 발전량의 절반 이상을 차지한 이래 1990년대 초반부터 시작된 삼천포, 보령 등 대용량 화력발전소 건설로 인해 1997년에 34.3%까지 감소하

다가 신규 원전 가동으로 1998년 이후 40%대의 원자력 발전량 점유율을 나타내었으며, 다소 증감은 있었지만 원자력발전은 꾸준히 우리나라의 주력 발전원으로서 안정적 전력공급에 크게 기여하여 왔다.

2006년도 원자력발전량은 전년 대비 1.4% 증가한 1,487억 5,000만 kWh로 국내에서 생산된 전체 발전량의 39.0%를 차지했다.

2007년도의 경우 고리1호기 계속운전 대비 설비개선 공사, 계획예방정비 대상 호기 증가 등으로 인한 이용률 감소로 약 3.8% 감소한 1,430억 kWh 정도의 발전량이 예상된다.

표 1 국내 원자력발전소 현황

발전소 구분	설비용량(만kW)	원자력형	위치	가동률(%)
고리 #1(주)	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
영광 #5	100	가압경수로	전남 영광군	'02. 5.21
영광 #6	100	가압경수로	전남 영광군	'02.12.24
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
울진 #5	100	가압경수로	경북 울진군	'04. 7.29
울진 #6	100	가압경수로	경북 울진군	'05. 4.22
계	1,771.6	-	-	-

(주) 고리1호기는 2007년 6월 9일을 기해 설계수명(30년) 동안 가동 후 계속운전 인허가심사 중임.

표 2 발전원별 발전설비 추이

(단위 : 1,000kW, %)

발전원	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06
원자력	10,316 (25.1)	12,016 (27.7)	13,716 (29.2)	13,716 (28.3)	13,716 (27.0)	15,716 (29.2)	15,716 (28.0)	16,716 (27.9)	17,716 (28.5)	17,716 (27.0)
유류	8,860 (21.6)	7,410 (17.1)	4,716 (10.0)	4,866 (10.0)	4,868 (9.6)	4,660 (8.7)	4,632 (8.3)	4,665 (7.8)	4,605 (7.4)	4,790 (7.3)
석탄	10,200 (24.9)	11,331 (26.1)	13,031 (27.7)	14,031 (29.0)	15,531 (30.5)	15,931 (29.6)	15,931 (28.4)	17,465 (29.1)	17,965 (28.9)	18,465 (28.2)
LNG	8,551 (20.8)	9,518 (21.9)	12,368 (26.3)	12,689 (26.2)	12,868 (25.3)	13,618 (25.3)	14,518 (25.9)	15,746 (26.3)	16,552 (26.6)	17,436 (26.6)
수력	3,114 (7.6)	3,131 (7.2)	3,148 (6.7)	3,149 (6.5)	3,875 (7.6)	3,876 (7.2)	3,877 (6.9)	3,829 (6.4)	3,885 (6.2)	5,485 (8.4)
기타	-	-	-	-	-	-	1,380 (2.5)	1,540 (2.6)	1,537 (2.5)	1,622 (2.5)
합계	41,041 (100)	43,406 (100)	46,978 (100)	48,451 (100)	50,858 (100)	53,801 (100)	56,053 (100)	59,961 (100)	62,260 (100)	65,514 (100)

## 원자력발전 이용률 및 가동률 현황

### 이용률

발전소 이용률은 발전설비 운영의 효율성과 활용도를 나타내는 지표로서 설비의 건전성 및 운영인력의 우수성 등 발전소 운영기술 수준을 평가하는 직접적인 척도가 된다. 2006년의 원전 이용률은 92.3%로 2001년 이후 연속해서 90% 이상의 높은 기록을 달성하였다. 2006년의 우리나라 원전 이용률을 세계 원전의 이용률 평균인 79.5%와 비교하면 12.8%나 높아 우리나라 원전 운영기술이 선진국보다도 우수함을 나타내고 있다. 2007년도에는 약 90.4%의 이용률 달성이 예상된다.

### 가동률

원자력발전소의 가동률이란 연간시간(calendar 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.

## 정비 및 운영관리 현황

### 정비능력의 강화

#### 1) 예방정비의 최적화

2007년도 계획예방정비는 총 764일 동안 18개 호기에서 수행 예정이며, 호기별 평균공기는 33.5 일이고 지난 3년간의 평균실적과 비교 시 5일을 단축이 예상된다.

그 동안 계획예방정비 공기 최적화 노력의 일환으로 2003년부터 시행 중인 전사적 자원관리 시스템(ERP)의 동시 사용자 수를 최대한 통합 Upgrade 공정관리 프로그램과 연계 운영하여 공정관리 인력을 절감시켰으며 아울러 공정의 정확도를 향상시켰다. 또한 원자로 및 터빈 발전기 등 주공정을 최적화하기 위한 24시간 작업 체계를 유지하여 야간에도 주간과 동일한 작업효율을 유지함과 동시에 주공정 작업과 병행할 수 있는 공정기법을 개발하였고 정비작업 단계를 분단위로 세분화하여 시간의 손실을 최소화하였다.

최근 세계의 우수 원전 사업자들은 치열한 시장경쟁 체제하에서 원자력의 경쟁력 향상을 위해 계획예방정비 기간을 계속적으로 줄여나가고 있으며 일부 우수 원전의 경우 지속적인 기술개발, 규제 및 제도개선 노력으로 15~17 일대 정비를 시행하기에 이르렀다. 이와 관련 한수원(주)도 해외 원전의 우수 운영사례 및 공정관리 신기법에 대한 벤치마킹을 지속적으로 시행하고 있다.

20기의 원전 계획예방정비 공기를 2010년부터 평균 10일대로 단축하는 '2010 프로젝트'를 수립하여 공정·작업관리 기량 향상, 설비 개선, 발전소 기동·정지 절차 및 화학·노심관리분야 공정개선, 정비기법 선진화, 조직·제도 개선 등을 추진하고 있다. 최근에는 해외 전문기관을 이용하여 영광4호기를 대상으로 계획예방정비 준비 및 시행단계의 정비, 운영분야 등 전반에 대한 체제진단을 수행하였다.

2007년에 시행한 주요설비개선 사항을 살펴보면, 영광1·2호기 주발전기 및 일차기 냉각수 열교환기 교체, 울진1호기 습분분리재열기, 고압급수가열기 및 주변압기 교체, 월성1호기 연료관 이동 정비 등을 수행하여 설비 신뢰성과 안전성 향상을 도모하였다.

또한 취약 및 노후설비에 대한 개선·보강 사업을 체계적으로 수행하고 있으며, 공기 최적화를 위한 설비개선작업의 일환으로 울진2호기 연료 취급설비를 성능 개선하여 연료 취급 속도를 시간당 2다발에서 6다발로 향상 하였고 울진1호기 등 타원전도 지속적으로 설비개선을 추진 중에 있다.

#### 2) 정비체제의 선진화

선진국형 정비체제 확립과 효율성 제고를 통한 설비의 최적운영을 도모하기 위하여 발전소별로 우수 인력을 선발하여 엔지니어링 조직을 확대 구성하였고, 해외 우수원

전 및 제작사에 장기 파견하여 핵심 시스템 엔지니어로 육성해 나가는 등 글로벌 핵심 전문 기술인력을 지속적으로 양성하고 있다.

원전 설비를 자체적으로 검사할 수 있도록 장비 확보 및 교육을 시행하여 영광 3호기 및 울진6호기 등의 원자로헤드 관통관 검사를 자체 수행함으로써 검사 신뢰도 및 기술력을 향상시켰으며 원전 가동 중 검사에서 수행되는 비파괴검사 중, 안전관련 설비에 대한 초음파 탐상검사와 증기발생기 세관에 대한 와전류탐상검사에 대한 기량검증 제도가 과학기술부 고시에 따라 시행됨에 따라 검사자, 검사절차서, 검사장비에 대한 강화된 검증을 통해 검사 신뢰도를 더욱 향상시키게 되었다.

또한 원전 설비 기술력 향상을 위한 연구개발을 지속적으로 추진하고 있으며 증기발생기 통합성능관리기술, 공기구동밸브 설계기준 성능평가기술, 감육배관 관리기술 등의 연구개발을 추진 중에 있다.

국제 유가의 상승과 기후변화협약의 발효로 원자력발전의 필요성이 증대되고 있는 가운데 정비체제의 선진화를 통해 원전의 안전성과 정비 신뢰도를 향상시켜 발전소 고장정지를 최소화하고 우수한 운영실적을 달성함으로써 대국민 신뢰도 향상 및 안전한 원전 운영에 크게 기여하였다.

#### 교육훈련 강화

국내 원자력발전소의 효율적인

운영과 안전성 확보, 원자력사업의 지속적인 발전을 위해서는 유능한 기술인력의 확보가 필수 불가결한 과제임을 인식하여 전문인력 양성과 이를 통한 안전문화 정착에 중점을 두고 많은 노력과 투자를 하여 왔다.

원자력에 대한 기초에서부터 고급분야에 이르는 교육과정을 통해 전문인력을 양성하기 위한 원자력교육원을 설립하였고 이후 각 사업소에는 사업소별 특정 부문의 훈련을 위한 교육훈련센터를 설립하여 교육체계 및 과정을 현장중심으로 세분화 및 전문화하였으며, 교육시설의 현대화·전산화를 추구함으로써 과거 양적 위주의 교육에서 질적 위주의 교육으로 개선하였고, 인적실수 방지 및 운전기술 고도화를 위한 중장기 교육 프로그램도 수립, 시행중에 있다.

### 1) 교육체계

원자력분야의 교육체계를 살펴보면, 신입사원의 경우 입사 후 원자력교육원에서 2~3주간의 신입사원입문교육을 실시한 후 10~12주간의 원자로 기초이론 및 원자력발전소 계통기초에 대한 전반적인 교육을 이수하게 되며, 이어서 사업소에서 13~16주간의 현장적응훈련과 7주간의 해당 노형별 계통교육 등 총 35~40주 교육을 마친 후 보직을 받고 업무에 임하게 된다.

운전·정비 등 기술 분야의 기술능력을 향상시키기 위하여 보직

후에도 업무 수행중 각 보직에 필요한 실무과정, 전문과정, 간부과정 등을 단계적으로 이수하도록 사내교육을 시행하고, 핵심 및 취약분야 기술 습득을 위해 국내 및 해외전문교육기관과, 우수원전에 파견, 위탁교육을 시행하고 있다.

### 2) 원자력교육원 교육

1977년 7월, 원자력 전문기술인력 양성이라는 중요한 역할을 수행하기 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 기술·정비 등 기술분야 능력향상을 위한 과정이고 분야별 전문가를 양성하기 위해 전문과정 교육이 시행된다. 그리고 간부과정은 관리자를 대상으로 한 교육과정이다.

각 사업소 교육훈련센터(영광, 울진, 월성)에서는 원자력교육원 교육과정을 위임받아 운영 중이며, 또한 사업소 특성에 맞는 특수교육과정을 운영하고 있다. 특히 각 사업소에는 해당원전과 동일한 원자로 모의제어반을 도입하여 그동안 해외에서 양성되던 원전 운전원을 국내에서 모두 양성하고 있으며, 일반적인 해외교육계약에서 탈피하여 핵심기술만을 중점적으로 습득하는 체제로 전환

하여 교육훈련의 강도를 높이고 있다. 그 외 원자력발전소 정비업무를 전담하고 있는 한전기공(주)의 정비요원을 대상으로 총 70여 교육과정이 설치되어 있으며 국내 원전 관련 업체 및 해외 원전 개발국 기술자 양성을 위해 다수의 수탁 교육과정을 운영 중에 있다.

### 3) 국내 위탁교육 및 해외훈련

원자력발전소 운영요원들의 자질향상을 위하여 원자력교육원을 통한 자체교육은 물론 한국원자력연구소와 산업기술협회 등 국내 전문교육기관을 이용한 실무개발교육과 한전원전연료, 두산중공업 등 국내 전문 제작 및 설계회사에 위탁하여 교육을 시행 중에 있다.

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

## 고장정지 및 한주기 무고장 안전운전 현황

### 고장정지

고장정지는 1년 동안 정상 운전 중 기기고장 또는 인적요인에 의해 발전소가 불시 정지한 건수를 의미한 건수를 의미하는데, 안전성과 전기품질 확보 측면에서 원전의 운

표 3 건설 중 및 건설준비 중인 원전 준공 일정

건설 중				건설 준비 중			
신고리 1	신고리 2	신월성 1	신월성 2	신고리 3	신고리 4	신울진 1	신울진 2
2010.12	2011.12	2011.10	2012.10	2013.9	2014.9	2015.12	2016.12

영관리 수준을 나타내는 지표이다.

2007년도에 가동원전 20기에서 현재까지 모두 9건의 고장정지가 발생하였으며 목표치인 10.6건(호기당 연평균 고장정지율은 0.53건)은 무난히 달성할 수 있을 것으로 전망된다.

원자력 발전의 초기단계인 1980년대 중반까지는 호기당 연평균 5건 이상의 높은 고장 정지율을 보였으나, 1990년대 들어서 부터는 운영경험과 관련 기술의 축적으로 호기 당 1건 내외로 안정되었으며 1998년 이후 연간 호기당 1회에도 미치지 않는 실적을 보이고 있다.

이와 같이 원자력발전소의 안전운전을 위해서는 설비의 신뢰성과 함께 그 설비를 운영하는 운영인력의 우수성 또한 절대적으로 중요하다. 따라서 인적실수 제로화를 목표로 작은 일에도 항상 최선을 다하는 원전 종사자의 근무자세는 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 고장정지를 감소시키고 운영실적 향상을 위하여 국내 각 원전에서는 국·내외 인적요소와 관련된 고장 및 정지사례를 집중 분석한 후 국내 원전의 운전 및 정비 업무에 적용하고, 인적실수(Human Error) 및 아차사례(Near Miss) 경험 발표

회를 통해 유사사례의 재발방지를 위해서도 적극 노력하고 있다. 또한, 국내 원전간 교차기술지원(Peer Review)을 통해 취약분야의 도출 및 개선, 우수사례를 상호 전파하는 등 유사사례의 재발방지에 심혈을 기울이고 있다.

다음으로는, 고장정지와 관련된 취약설비 개선과 설비 신뢰도 향상에 있다고 할 수 있다. 고장정지 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 사용 후 교체 등 설비의 안전성과 신뢰성 확보에 많은 노력을 기울여 왔으며, 그 외에 발전소 각 분야별로 교차기술지원을 시행하고 각 계절에 따라 발생하는 해양생물 유입, 태풍, 호우, 흑한, 흑서 등 자연재해에 대비한 체계적인 설비 안전점검 등 발전정지 예방을 위해 최선을 다 한 결과라고 할 것이다.

#### 한주기 무고장 안전운전

한주기 무고장 안전운전이란 연료교체 후 다음 연료교체 시기까지 발전정지 없이 연속운전 하는 것을 의미하며 OCTF(One

Cycle Trouble Free)라고 부르는데 원전의 운전·정비·관리 등 모든 분야에서 우수한 능력을 직접적으로 보여주는 지표이다.

2007년도에는 현재까지 20기의 가동원전 중 고리1·2, 영광 4·6, 울진1·6 및 월성4호기 등 7기 원전에서 한주기 무고장 안전운전을 달성하였다. 이로써 현재까지 국내 원전이 달성한 한주기 무고장 안전운전은 1988년 고리 3호기를 시작으로 총 67회에 이르고 있다.

### 원전 건설 현황

현재 우리나라는 6기의 원전을 건설 중에 그리고 2기의 원전을 건설준비 중에 있다. 건설 중인 원전으로는 한국표준형원전(OPR1000)의 건설 및 운영을 통하여 미비점을 개선하고 운영 경험을 반영한 개선형 한국표준원전으로 건설되는 신고리 1·2호기 및 신월성 1·2호기와 기존 원전대비 안전성과 경제성을 확보하기 위하여 개발한 신형경수로(APR1400)로 건설되는 신고리 3·4호기가 있다. 건설 준비 중인 신울진 1·2호기는 신고리 3·4호기와 동일 노형인 APR 1400이 건설될 예정이다.