



# 전력 부족 시대의 에너지 절감을 위한 효율적인 원전 운영 방안

김 풍 식

한전 국제원자력대학원대학교 학생선발팀장

## 개 요

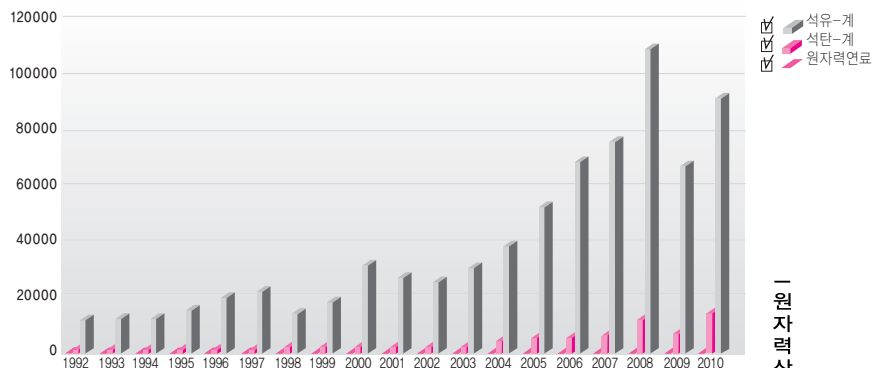


인하대 졸업

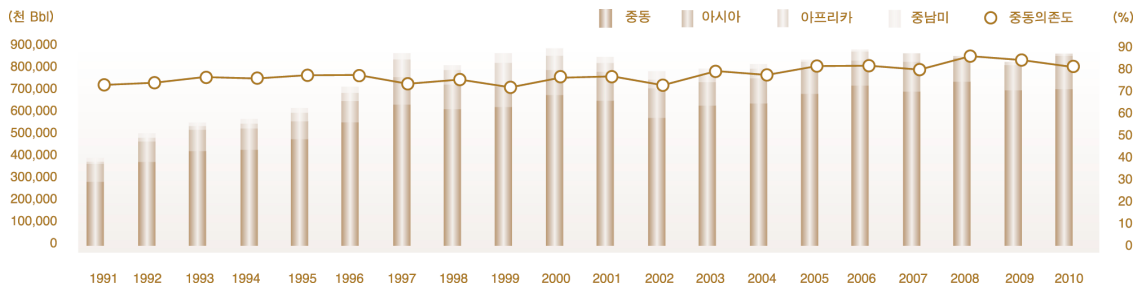
한국전력공사 입사  
WH 해외 훈련, 일본 정부 초청  
JAERI 근무, 한수원(주) 중앙연구원  
PSR운영팀장.  
(현) 한전 국제원자력대학원대학교  
파견 근무

지난 9월 15일에 발생한 사상 초유의 정전 사태는 국가의 중요 시설을 마비시켰을 뿐만 아니라 일반 국민의 일상 생활에 불편과 손해를 끼친 바 있다. 그 동안 관행적으로 수급 조절을 해오던 전력 관리 시스템 역시 많은 문제점이 노출되었고 돈만 내면 당연히 사용할 줄 알았던 전기의 중요성이 다시 한번 인식되는 계기가 되었다.

이번 단전 사태는 이상 고온 현상이 지속되면서 전력 수요 예측을 잘못하여 초래한 인재로서 하계 전력 피크 기간 동안 발전소 정비를 최대한 억제하고 피크가 지난 후 한꺼번에 25기의 발전소가 몰려서 정비를 시작하는 관행에서 비롯되었다고 할 수 있다. 앞으로 하계 전력 피크는



〈그림 1〉 연도별 에너지 수입액(단위 : 백만불)



〈그림 2〉 지역별 석유 수입 의존도

매년 반복될 것이고 우리가 예측하기 어려운 이상 기온은 언제든지 발생할 수 있어 하계나 동계 기간 중 예상하지 못한 이상 기온에 현명하게 대처하기 위해서는 상시 에너지를 절감하는 노력이 절실히 요구되고 있다.

에너지 절감의 필요성은 정전 사태와 별개로 에너지 자원 측면을 살펴보면 명확히 알 수 있다. 에너지 수요의 95% 이상을 수입하는 우리나라는 에너지 과소비국으로 국제 유가에 민감하게 반응하고 있다. 초유가 상황이 지속되어 유가가 1배럴당 150달러를 위협하는 수준까지 치솟았던 2008년도에는 고유가가 우리 경제에 상당한 부담 요인으로 작용한 바 있다. 현재도 유가는 계속 등락을 반복하고 있고 언제 다시 우리 경제에 심각한 위협 요인으로 작용할지 모른다.

〈그림 1〉의 연도별 에너지 수입액에서 보이듯이 석탄과 석유의 에너지 수입액은 원자력에 비해 상당한 비중을 차지하고 있다. 〈그림 2〉의 석유 수입 의존도도 대부분 중동 국가에 집중되어 있어 정치적으로 복잡한 상황에 놓여있는 중동 국가에 문제가 발생할 때 심각한 영향을 받을 가능성도 배제할 수 없다.

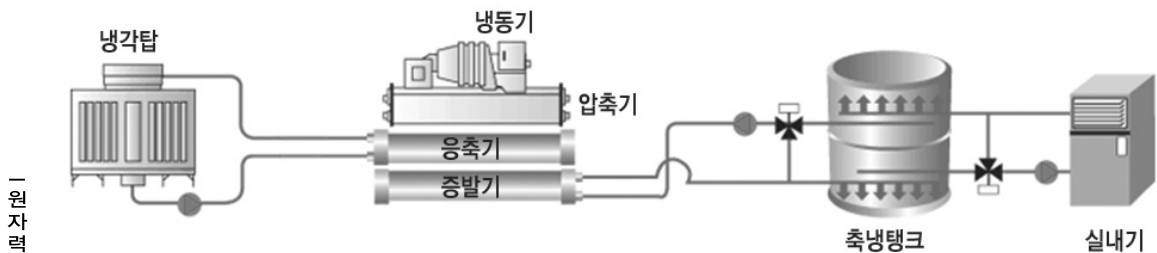
따라서 우리 정부는 자원 외교에 총력을 기울여 해

외 자원을 확보하고 개발하는 데 많은 노력을 기울여 왔으며 현재도 자원 다변화를 위해 사투를 벌이고 있다. 이러한 정부 및 관계 부처의 노력에 조금이나마 기여하고자 국내 원전에서 추진중이거나 계획중인 에너지 절감 노력과 효율적 운영 방안을 소개하고자 한다.

### 국내 원전의 에너지 절약 현황 및 실태

에너지 자원의 대부분을 해외에서 충당하여야 하는 우리의 현실에서 에너지 절약을 생활화 하기 위해 정부는 많은 노력을 기울여 왔으며 앞으로 예상되는 전력 부족 사태에 대비하기 위하여 14,000곳의 산업체와 대형 공공 건물의 전기절약 10%를 의무화할 예정으로 있다. 국내 원전도 이러한 정부 정책에 적극적으로 부응하기 위하여 운영 관리 전반에 에너지를 절감하기 위한 노력을 경주해 오고 있다. (〈그림 3, 4〉 참조)

원전의 에너지 절약 방안은 크게 4가지로, 첫째는 성능을 개선하는 방안, 둘째는 공기를 단축하는 방안, 셋째는 운영을 개선하는 방안, 그리고 마지막으



〈그림 3〉 축냉식 냉방기 사용 절감 사례



〈그림 4〉 방사선 구역 내 전등(백열등→LED) 교체 사례

로 이용률을 향상시키는 방안 등이 중심이 되고 있다.

성능을 개선한 경우는 고압 급수 가열기의 설비 개선을 통해 가열기의 열성능을 향상시켜 전기 출력을 증대시킨 사례가 있다. 공기 단축은 원자로 냉각수 냉각률을 최적화하여 연차 정비 기간을 단축시키는 방안도 제시된 바 있다.

운영 개선 사례로는 방사선 구역 내 백열등을 LED 등으로 교체하여 전등 수명을 50배 이상 증가시키는 한편 교체 비용도 감소시킨 바 있다. 이용률 개선 사례로는 발전 정지에 영향을 주는 중요 설비의 운전 방법을 개선하거나 설비 오동작 사례를 개선하여 불시 정지나 출력 감발을 사전에 예방토록 조치하고 있다.

정부에서 추진중인 에너지 절약 캠페인도 자발적으로 실천하여 승용차 요일제 운행, 한도 끄기 운동 전개, 냉난방 적정 온도 유지 및 중식 시간 컴퓨터 전원 절체 등 정부의 에너지 절약 노력에도 적극적으로 동참하고 있다.

이러한 부단한 노력에도 불구하고 우리가 체감할 수 있는 에너지 절약 효과는 사실상 크다고 할 수 없다. 티끌모아 태산이라는 속담도 있지만 많은 사람들이 이러한 정부의 시책에 능동적으로 참여한다고 볼 수 없으며 나만 편하면 된다는 편의주의적 발상이 에너지 낭비를 부추기는 경우가 종종 있기 때문이다.

#### 에너지 절감을 위한 국내 원전의 효율적 운영 방안

원전과 같이 안전성을 최우선으로 하는 대형 기간 설비는 에너지 절약이 쉽지 않고 우리가 일상에서 추

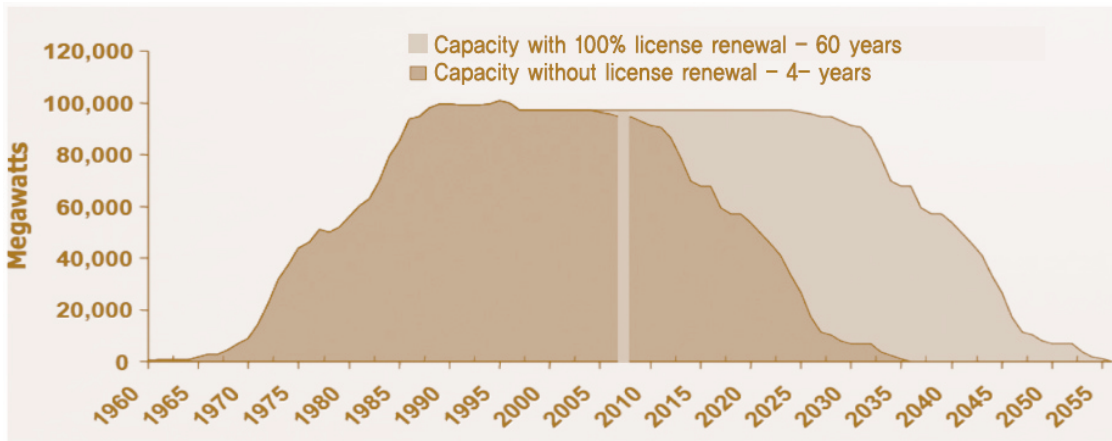
진하고 있는 절약 방식으로는 정전 사태와 같은 전력 대란을 예방하는 데 역부족일 수밖에 없다. 범국민 차원에서 일상적으로 전개하고 있는 절약 운동은 절약 정신을 고취시키는 데는 효과가 있을지 모르나 절감 효과를 피부로 느끼기에는 한계가 있다.

원전을 통한 에너지 절감 효과를 우리가 실감할 수 있게 하기 위해서는 실질적인 효과가 분명하게 드러나는 현실성 있는 방안이나 방법이 제시되어야 한다. 국내 원전에서 내세울 수 있는 중요한 대책으로 첫째는 안전하게 원전 설비를 장기간 운전하는 방안이 있을 수 있고, 둘째로는 원전 설비의 이용률을 높여서 전력 생산을 증진시키는 방안이 있다. 세 번째는 출력을 증강시키는 방안으로 국내 원전이 효과적으로 에너지 절감에 기여할 수 있는 실현 가능한 방법이라고 말할 수 있다.

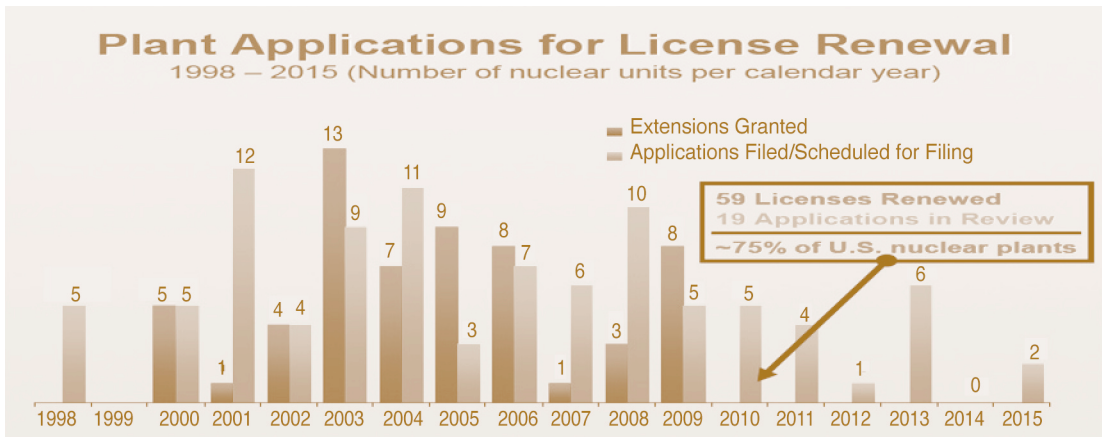
미국은 1979년 발생한 TMI-2 원전 사고 이후 신규 원전을 건설하지 못하는 상황에 놓이자 이러한 방법을 통해 설비의 이용률과 성능을 향상시켜 궁극적으로 에너지 절감을 촉진한 대표적인 모범 국가라 할 수 있다. 우리나라의 전력 수요는 꾸준히 증가하고 반대로 원전의 신규 부지 확보는 점점 어려워지는 현실에서 미국의 사례를 벤치마킹하여 원전 설비의 이용률 및 성능 향상을 모색하는 것이 에너지를 절약하는 최선의 방법이 될 수 있다.

#### 1. 계속운전을 통한 원전 연장 운전

원전의 계속운전은 설계 수명이나 법적 수명이 종



〈그림 5〉 미국 원전의 운영 허가 갱신 효과



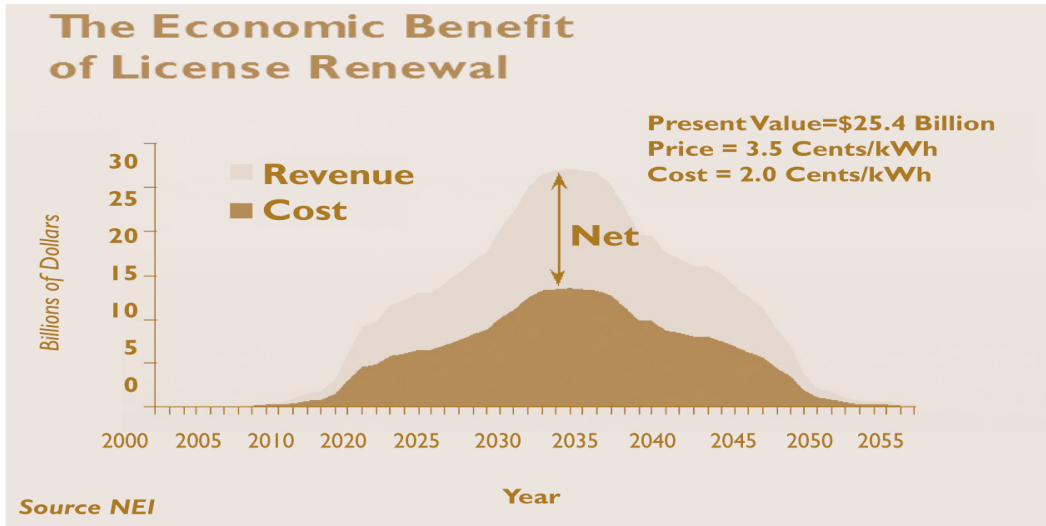
〈그림 6〉 미국 원전의 운영 허가 갱신 신청 현황

료된 원전을 계속하여 일정 기간 운전을 허용하는 제도로써 이미 미국에서는 보편화된 제도이다. 〈그림 5〉에서 보여지듯이 104기의 원전을 가동하는 미국은 2009년부터 원전의 설계 수명이 종료되기 시작하여 2035년경에 모든 원전이 폐쇄될 예정이었으나 운영 허가 갱신 제도(LR : License Renewal)를 제정하고 원전을 계속 운전토록 하여 에너지 절감에 막대한 기여를 할 수 있게 되었다.

TMI 사고 이후 미국은 원전의 효과적인 활용 및 이용을 극대화하기 위하여 운영 허가 갱신 제도(10CFR51, 54)를 통해 모든 가동중 원전을 대상으로 설계 수명 종료 20년 전부터 운영 허가 갱신을 신청할 수 있도록 하였다. 미국 원자력규제위원회(NRC : Nuclear Regulatory Commission)는 신청

원전을 대상으로 안전에 문제가 없는지 엄격하게 심사하고 확인하여 추가로 20년 동안 2회에 걸쳐서 연장 운전할 수 있는 기회를 제공하여 귀중한 국가 자원을 효율적이고 효과적으로 활용하는 등 국가 경제 발전에 기여하고 있다.

〈그림 6〉에서 보이듯이 미국은 104기의 원전 중 약 70기가 운영 갱신 허가를 받은바 있다. 현재 14기가 심사중에 있고 18기는 연장 운전을 준비중에 있어 거의 모든 원전이 연장 운전을 추진하고 있다. 미국은 현재 2055년까지 원전을 가동할 수 있게 되어 미국 전체 전력량의 20%에 달하는 막대한 전력을 신규 원전 건설 없이 생산할 수 있게 되어 2030년경에는 수십조에 달하는 경제적 이득을 얻게 된다(〈그림 7〉 참조). 이중 상당수 원전은 장기 운전 계획(LTO :



〈그림 7〉 운영 허가 갱신 제도의 경제적 이득

Long-Term Operation)을 준비하여 2075년까지 원전을 연장 가동하기 위한 노력을 추진중에 있다.

미국의 사례로 비추어 볼 때 계속운전은 원전의 에너지 절감 측면에서 효과가 가장 큰 대책이라고 할 수 있다. 우리나라도 고리 1호기가 30년간 가동을 하고 국내 최초로 2017년 12월까지 10년 동안 계속운전 허가를 받은 바 있으며 현재 2차 계속운전을 준비중에 있다. 고리 1호기는 계속운전을 한 이후 원전의 운전 성능이 계속운전 전보다 월등히 향상된 실적을 보여주고 있는데, 이는 계속운전을 장기간 완벽하게 준비한 결과로 계속운전으로 안전성과 성능이 크게 향상되었음을 말해주고 있다. 월성 1호기도 2012년 11월 설계 수명이 종료됨에 따라 2009년 1월 계속운전을 신청하고 현재 심사가 진행중에 있다.

계속운전은 원전의 핵심 설비와 중요 설비, 그리고 부속 설비의 상당 부분을 교체하거나 안전하게 유지 관리하는 노력을 통하여 이루어낼 수 있는 가장 효과적인 에너지 절감 방안으로, 안전한 설비 유지 관리가 핵심이 되고 있다.

## 2. 가동중 정비를 통한 계획예방정비 기간 단축

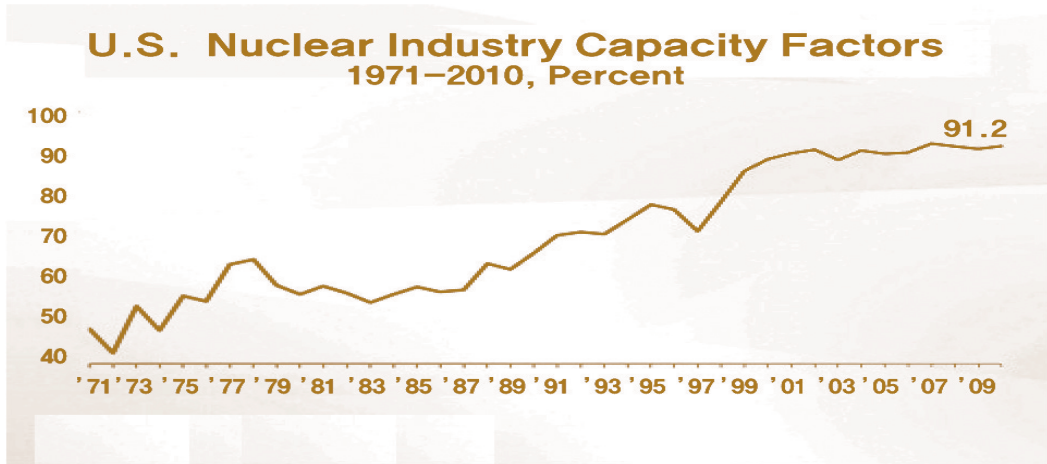
가동중 정비는 계획예방정비 기간중에 수행하여야 할 정비 물량을 가동중에 분산 시켜 정비하는 방법으로 계획예방정비 물량을 줄여 정비 기간을 단축시켜

이용률을 향상시키는 제도이다. 작업 관리와 리스크 관리 방법을 개선하여 정비 품질 또한 지속적으로 향상시킬 수 있고 인적 및 물적 자원도 효율적으로 활용하여 O&M비용을 절감시킬 수 있는 장점이 있다.

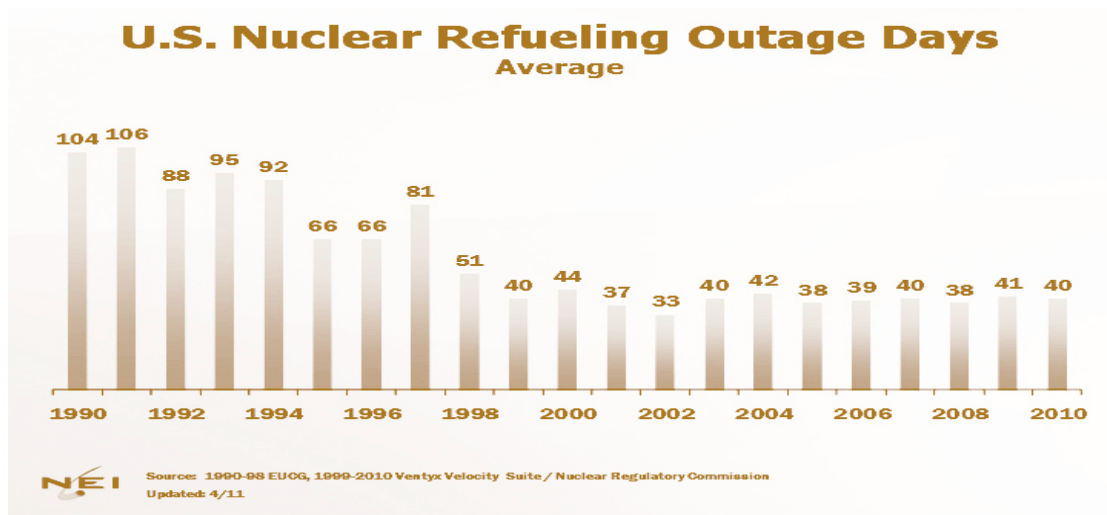
미국 원전은 1990년부터 적용하여 발전소 기기 신뢰도를 향상시켜 왔으며 이를 통해 발전소 안전 운전에 영향을 주는 기기 및 계통의 고장을 줄여 안전성과 신뢰성을 높인 바 있다. 이에 대한 구체적인 사례로 미국 원전은 1990년 초에 평균 100일대 수준이던 계획예방정비 기간을 1990년대 후반부터 40일대로 감소시켰고 이용률도 70% 수준에서 90% 정도로 향상시키는 획기적인 성능 향상을 이룬 바 있다.(〈그림 8, 9〉 참조) 이러한 성능 향상은 궁극적으로 안전성 향상에 기여하였으며 이의 배경에 가동중정비가 큰 기여를 하고 있다는 사실은 국제 원자력계에 널리 알려져 있다.

국내 원전도 2003년부터 리스크 정보 규제와 연계하여 가동중 정비를 도입하기 위한 노력을 기울여왔다. 이러한 노력의 결과로 2010년 초에 규제 기관과 협의를 거쳐 현행 규제 범위 안에서 가동중 정비 시범 적용을 용인받게 되었다.

2010년 11월 고리 제2발전소 필수 냉각 계통을 대상으로 국내 최초로 시범 적용한 결과 가동중 정비를 정착시키기 위해서는 기술적 개선 사항이 일부 필요하고 규제기관과 충분한 컨센서스가 필요하다는



〈그림 8〉 미국 원전의 이용률 변화 추이



〈그림 9〉 미국 원전의 연도별 계획예방정비 기간

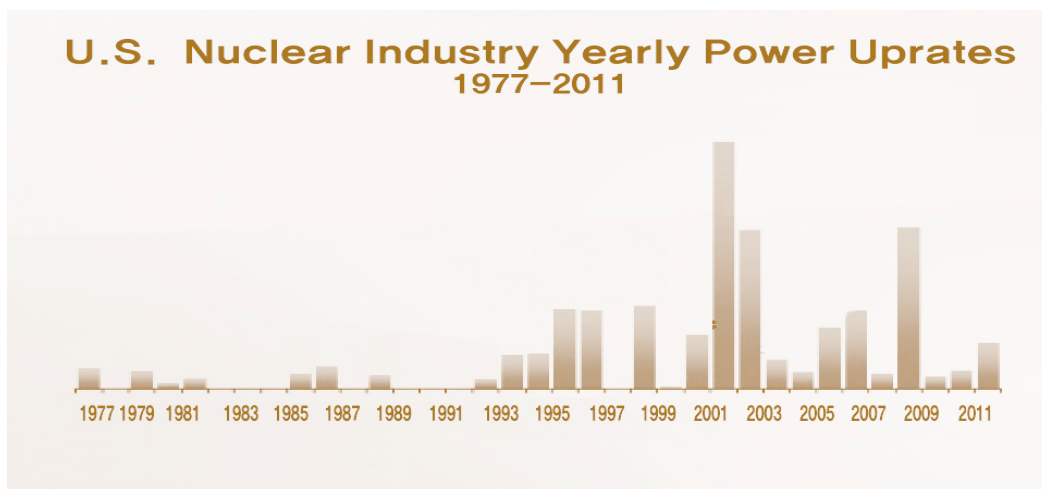
사실도 알게 되었다. 국내 원전의 계획예방정비 기간은 통상 30일 정도이나 미국의 최상위급 원전은 15일 수준을 유지하고 있어 최소 10일 정도는 단축이 가능하다고 생각된다.

국내 모든 원전이 가동중 정비를 통해 계획예방정비 기간을 단축한다면 1년 동안 약 1기의 원전이 추가되는 효과를 가질 수 있다. 이는 9.15 정전 사태와 같은 정전 대란을 사전에 예방할 수 있는 예비율을 확보하게 될 뿐만 아니라 계획예방정비 기간도 전력 피크 시점을 피해 잡을 수 있어 전력 수급에도 유연성을 가지게 될 수 있다.

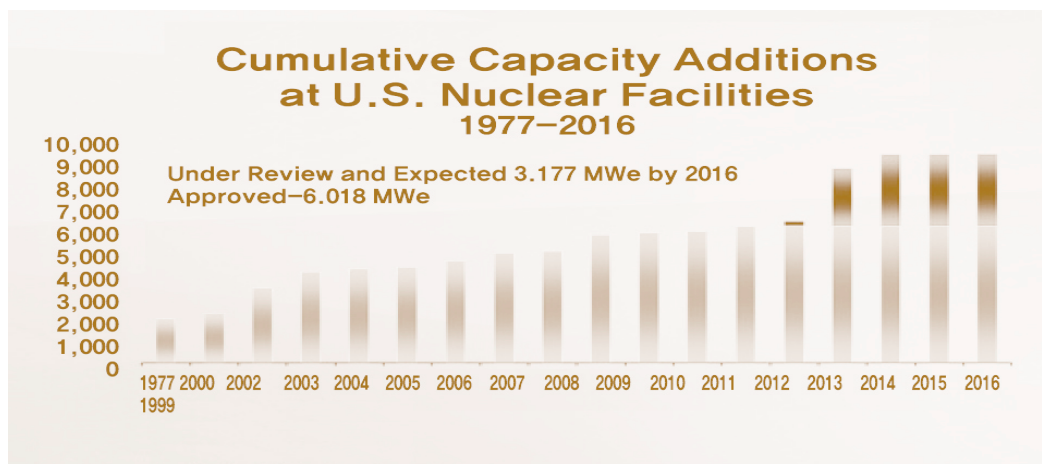
### 3. 출력 증강을 통한 이용률 향상

1970년대에 개발된 출력 증강 기술은 〈그림 10〉에서 보여주듯이 1980년대부터 미국을 중심으로 활발하게 적용되고 있는 기술로서 현재 139회에 걸친 미국 NRC 심사 과정에서 이미 안전성이 입증된 상용화된 기술이다.

출력 증강을 위해서는 신연료 혹은 농축도가 약간 상향된 연료를 장전하여 열에너지를 더 많이 생산함으로써 전기 출력을 높일 수 있다. 출력 증강을 위해서는 배관, 밸브, 펌프, 열교환기, 변압기, 그리고 발



〈그림 10〉 미국 원전의 연도별 출력 증강 현황



〈그림 11〉 미국 원전의 누적 출력 증강 용량

전기 등과 같은 기기들을 필요시 변경하거나 교체할 필요가 있는데 이는 희망하는 출력 증강이나 발전소 기기 상태에 따라 달라지게 된다.

출력 증강은 통상 3가지 방식으로 수행되고 있다. 첫번째가 열출력 측정 방법의 개선을 통한 출력 증강(Measurement Uncertainty Recapture Power Upgrading)으로서 통상 2% 내외로 출력을 증강한다. 두번째는 안전 여유도를 활용한 출력 증강(Stretch Power Upgrading)으로 충분한 안전 여유도를 활용하여 대규모 설계 변경 없이 7% 내외의 출력을 증강하는 방식이다. 마지막으로 대규모 출력 증강(Exten-

ded Power Upgrading)인데 최신 기술을 활용하여 큰 폭의 출력을 증가시키는 방식으로 대규모 설계 변경이 수반되며 약 20%까지 출력을 증가시킬 수 있다.

미국에서는 〈그림 11〉에서 보는 바와 같이 1977년부터 현재까지 출력 증강이 계속 이루어지고 있어 상당한 용량의 출력 상승을 도모한 바 있다. 현재까지 6,000MWe의 출력 증강이 승인되었는데 이는 고리 1호기 10기에 해당되는 원전이 추가로 얻어지는 효과를 갖는 것이다. 2016년까지 1,550MWe 이상의 출력이 더 증가할 것으로 기대되고 있어 앞으로 2기~3기 정도를 더 추가하는 효과를 얻게 된다.




국내 원전은 고리 3,4호기와 영광 1,2호기가 4.5%의 출력 증강 허가를 얻어서 가동중에 있다. 고리 3,4호기, 영광 1,2호기와 동형의 WH형 원전인 미국의 Surry 1,2호기와 V.C. Summer 원전도 4.5%대의 출력을 증가한 바 있다.

CE형 원전의 경우 미국의 Palo Verde 1,2,3호기가 각각 2%의 출력 증강을 적용한 바 있어 국내의 프라마툼형과 OPR형, 그리고 APR형 원전도 차후 적용을 위해 필요성을 검토할 필요가 있다.

## 결 언

지난 9월15일에 발생한 대규모 정전 사태는 국내에서 처음 발생한 전력 대란이기도 하지만 이제 우리도 이상 기후로 인하여 4계절 상시 전력 대란에 대비한 예비 전력을 충분히 확보하지 않으면 언제 어느때건 예상하지 못한 전력대란에 놓일 수 있다는 것을 알게 되었다.

이러한 심각한 상황에서 우리 원자력계가 취할 수 있는 조치는 안전성 확보 기반에서 원전의 성능과 효율을 향상시켜 전력 생산을 극대화하는 방법으로 에너지를 절감할 수 있도록 하는 것이다.

따라서 본고에서 제시된 계속운전을 통한 원전 연장 운전, 가동중 정비를 통한 계획예방정비 기간 단축, 그리고 출력 증강을 통한 이용률 향상과 같이 에너지 절감을 위한 효율적 운영 방안들을 국내 원전에 적극적으로 추진하여 지난 정전 사태와 같은 전력대란을 효과적으로 대응하는 데 기여할 필요가 있으며 이를 위해 원자력계가 한마음이 되어 노력해 나가야 할 것이다. 

(본고는 필자 개인의 의견으로 한수원(주)의 공식 의견이 아닙니다.)

