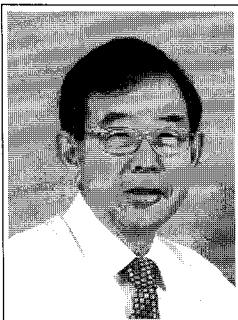




# 세계 원자력산업 현황으로 살펴본 ‘원자력 르네상스’의 현실과 방향

이 익환

전 한전원자력연료(주) 사장



**보** 고는 독일 정부(환경부)의 용역으로 세계적인 에너지 및 원자력 컨설턴트 4명(Mycle Schneider, Steve Thomas, Antony Froggatt, Doug Koplow)에 의해 수행된 「The World Nuclear Industry Status Report 2009」 보고서를 중심으로 관심 사항을 요약한 것이다. 이 보고서는 원전 재건, 즉 원자력 르네상스 도래에 관한 내용을 검토하여 사전에 준비해야 할 것이 무엇인지 문제점을 확인해 보는 데 목적이 있는 듯하다.

“원자력의 르네상스는 정말로 오는 것인가?” 하는 의문을 여기저기에서 제기하고 있다. 원자력산업에서 현재의 체감으로 볼 때 ‘원자력 르네상스’라고 널리 인식된 것과는 차이가 크다는 것이다.

2008년 9월 국제원자력기구(IAEA)는 2030년까지 원자력의 증가 추세를 나름대로 확신을 가지고 발표한 바 있다. 2015년까지 건설, 운전 될 원자로가 94기에 이를 것이고 이 이후 10년까지 192기의 원전이 더 계획되고 있다는 내용이다.

같은 시기에 세계 전력 공급에서의 원자력 점유율은 오히려 14%로 떨어지고 있다는 내용이 발표되었다. IAEA의 발표 자료가 아직 제 궤도에 들어오지 않고 있다는 것과 확실한 것은 세계 에너지 균형에서의 원자력의 상대적인 의미가 퇴색하고 있는 것으로 평가하고 있다. 이 보고서는 앞서 언급한 대로 원전 재건에 대한 문제점과 르네상스의 도래에 대한 의문을 제기하면서 현재의 인프라 구축과 관련하여 상당한 부정적인 시각이 있어 이를 소개하고자 한다.

실제 최근에 미 플로리다 주의 Turkey Point 6, 7호기의 건설 추진이 마무리 단계에서 건설 비용 자금 조달을 위해 신청한 전기 요금 인상이 문제가 되어 이 사업을 포기한 사태가 하나의 예이다. 혹시 이 내용의 요약이 우리나라의 정책 방향이나 견해와 차이가 난다고 해서 오해를 가질 필요는 없을 것으로 보며, 오히려 이에 대한 대응 방안을 사전에 준비해 두는 것이 옳을 것으로 판단된다.

한양대 원자력공학과 학사, 석사  
현대건설(주) 원자력부장  
한국원자력연구소 본부장  
한전, 한수원(주) 총괄  
한국원자력기술(주) 회장  
한전원자력연료(주) 사장 역임  
IAEA 자문위원  
민주평통자문위원



## 서론

향후 세계 원자력산업은 언론의 중심에 서게 될 것이 확실하며 정치 현안이 될 가능성이 높다. 원자력 르네상스의 도래는 인식과는 차이가 있고 에너지 균형에서의 원자력의 역할이 일부 퇴색하고 있다는 우려의 소리가 있다.

이러한 현상이 단지 단기적인 것인지는 여부와 또 이를 극복하면서 현실화시키기 위해서는 어떻게 해야 할 것인지를 검토해 보는 것이 중요하다.

신규 원전이 건설되고 있지만 “그 프로젝트가 계획 공정 내에, 조달된 사업비 내에서 마무리 할 수 있을까?”하는 것이 가장 큰 현안이다. 또한 많은 원자로가 쇄신 작업을 추구하여 수명을 연장하고 있는데 이는 충분한지의 검토도 필요하다.

경제성 분석은 투명성과 시장의 신뢰성에 대한 근본적인 문제로서 작금의 세계 경제 위기에서 초기 투자가 크고 재정적인 위험이 높은 원자력산업의 특성을 이해할 필요가 있다. 그만큼 향후 경제성은 자금 조달을 어떻게 하는가에 달려있다고 할 수 있다.

## 원전 운전 현황 및 수명 연장

1950년 중반 원전이 최초로 발전을 시작한 이래 그 동안 2번의 피크 곡선을 이루었는데 첫 번째는 26기가 운전되던 1974년이고 두 번째는 1984~1985년에 있었다. 그리고 1986년에 바로 체르노

빌 원전 사고가 일어났는데 그 해에도 33기의 원전이 전력 계통에 병입되었다. 이어 1980년대 말에는 계통 병입이 거의 없었으며 1990년에는 많은 발전소가 퇴역을 하게 되었다.

2009년 8월 말 현재 운전 중인 세계 원전 수는 세계 31개국의 435기로 2002년에 비해 9기가 줄어든 숫자이며 총 시설 용량은 370GW이다. 2008년은 1기의 원전도 계통에 병입되지 않은 해로 기록되었다.

2008년의 경우 시설 용량이 약간 증가하였는데 신규 원전의 준공에 따른 것이 아니고 주요인은 발전소의 출력 증강 노력에 따른 것이다. 세계 원자력 협의회(WNA)의 통계에 따르면 미 원자력규제위원회(NRC)는 미국 내 원전 중 124기 원전에 출력 증강을 승인하였는데 어떤 원전은 약 20%의 출력 증강이 이루어졌다. 이로 인해 미국 내에서만 약 5,600MW의 시설 용량이 증가하였고 이는 대형 원전 5기가 신규 설치된 것과 같은 효과를 갖는다.

출력 증강 노력은 벨기에, 독일, 스위스 등 유럽에서도 이어졌다. 프랑스의 경우, 2008년~2015년 기간 900MW급 5기에 대해 각 3%와 1,300MW 급의 20기에 대해 각 7%의 출력증강 계획을 추진하고 있다. 비슷한 계획이 핀란드, 스페인, 스웨덴에서도 진행되고 있다. 스웨덴의 공청 용량의 Oskarshamn 3호기는 21%의 출력 증강으로 1450MW의 용량 증대가 이루어질 전망이다.

세계 전체로 볼 때, 지난 2000~2004년 동안 출력 증강 노력이 지속되어 왔는데 매년 평균 3,000MW 정도 용량 증가를 가져왔다. 전체적으로는 발전소 폐쇄에 따른 용량도 고려되어야 함으로 이를 고려하면 2008년의 경우 총 원전 용량은 1,600MW가 감소하였다.

원전 시장은 세계의 전력 시장과 상호 비교되어야 한다. 2007년 건설중인 전체 발전 용량은 총 600GW인데 이중 대부분은 석탄과 수력이고 원자력은 약 4.4%에 불과하다. 원전을 운영하는 나라는 총 31개국으로 UN 192 회원국의 16%에 해당된다. 그리고 원전 소유국의 반은 EU 국가이고 원전에서의 전기 생산 과반을 차지한다.

원자력 점유율을 살펴보면, 2007년에 이어 2008년은 원전의 생산 전력량이 2,600TWh로서 전체 전력량의 14%였다. 이는 2005년의 16%, 2006년의 15%에 비교하면 떨어진 비율이다. 2008년의 원전 생산 전력량은 1차 에너지(상용)의 5.5%에 해당하고 수요자 입장인 최종 소비 에너지의 2%에 불과하다. 13개 원전을 소유한 체코, 리투아니아, 루마니아, 슬로바키아는 원자력 점유율이 높아졌고 나머지 23개 국가는 현상 유지 또는 점유율이 낮아졌다. 특히 4개 국가(미국, 일본, 스웨덴, 영국)는 용량이 낮아졌다.

원전 경쟁력과 관련된 하나의 항목이 바로 계획 운전 정지에 따

른 보수 정비에 대한 것이다. 발전소의 계획 정지는 발전소를 계통에서 차단하고 핵연료의 교체, 필요한 시설 및 기기의 정비를 하게 하는 것을 말한다. 따라서 발전소의 운전을 정지하기 전에 지역 및 국가 전력 공급에 차질이 빚어지지 않도록 하여야 함은 물론이다.

과거의 경험에서 볼 때 잘 기획된 계획 정지 관리는 발전소의 안전성과 경쟁력을 향상시킨 결과를 가져왔음을 알 수 있는데 이는 적절한 절차와 기준, 그리고 효율적인 조직에 의해 수행되었음을 뜻한다.

계획 정지 기간을 설정하는 것은 발전소 원전 수명 기간 중 발전소의 설계와 배치에 크게 영향을 미칠 수 있는데, 즉 핵연료 주기 기간, 운전모드, 기기의 정비 주기, 전력 공급 시장의 여건 등과 밀접한 관계가 있다. 원전의 주기는 발전소 운전기간 동안 수명을 같이 한다 하더라도 어떤 기기는 60년 동안에 교체해야 하는 경우도 있다. 장기적으로는 기기 및 시스템 교체 계획을 수립하여 안전성, 신뢰성을 확립하면서 경쟁력도 갖추어야 하는 것이다.

### 세계 원자력 확충 시나리오

ANL 연구소의 Robert Rosner 소장의 말을 새겨볼 필요가 있다. “우리는 희망하는 원자력 르네상스를 논의하는 시점에 와 있을 뿐, 미국 내에서 르네상스 징조는 아직 오지 않고 있는 것 같다.”(2009. 4)

그러나 WNA 등 국제 원자력

단체는 긍정적인 면과 르네상스에 대한 확신을 가지고 있는 것 같다. WNA는 세계 에너지 수요 증가는 물론이고 기후 변화와 연관된 탈화석연료의 탈피 방안으로 원자력을 선호하는 요인을 찾을 수 있으며 특히 북미와 유럽에서는 가스 가격 상승이 더욱 더 신규 원전 건설을 결심하게 한 결과라고 말하고 있다.

지난 몇 년 전부터 국제 평가단이 꾸준히 검토해 온 바에 의하면 2030년까지 원자력의 향후 전망에 대해 보다 최적의 방안을 찾아가고 있는 것 같지만 아직 원자력의 르네상스를 선언할 수 있는 상태만은 아닌 것 같다.

OECD(NEA)에서 발간하는 「세계에너지전망(WEO)」에서는 세계 에너지 시장과 전망을 추정하고 있다. 발표 자료를 보면 상당히 보수적인 가정을 하고 있다. ‘2007년의 보고서’에는 표준치(reference), 대안(alternative policy). 그리고 안정 치(450 stabilization case)로 구분하였는데 2030년의 총 전력 시설 용량은 각각 415GW, 525GW, 833GW로 각각 추정하고 있다. 2008년 분석에서는 표준치를 433GW로 추정하고 있다.

그러나 원자력의 경우는 2007년의 점유율 14%가 2015년에는 13%로, 2030년에는 10%로 떨어진다고 분석하고 있다. 그리고 1차 에너지 공급 면에서 원자력 에너지의 점유율은 6%에서 5%로 떨어지는 것으로 분석하고 있다.

EU 내의 향후 원전에 대해서도

분석하고 있는데 EU 시설 용량은 현재의 131GW에서 2030년에는 89GW로 떨어지며 발전량에서도 795TWh에서 667TWh로 감소하는 것으로 보여 EU의 원자력 점유율은 현재 30%에서 2030년에는 16%로 축소될 것으로 보고하고 있다.

또 ‘2008 세계에너지전망’의 자료에 따르면 2030년의 전력 수요량은 표준 추정치보다 20% 높은 4,166TWh를 대안으로 제시하고 있는데 비해 새롭게 발표되는 보고서는 2008년 표준 추정치보다 약 2배에 가까운 5,200TWh의 발전량을 공급 할 수 있도록 680GW의 시설 용량을 추정하고 있어 총수요 전력량의 원전 점유율은 18%에 달하게 된다.

미국 에너지부(DOE)의 「국제 2007 에너지전망보고서(IEO, International Energy Outlook)」에서 2030년까지의 세계 원자력 전망을 438GW로 추정하고 있는데 이 또한 종전 추정치보다 감소한 수치이다. 그러나 2008년 보고서는 498GW로 증가한 수치로 추정하였는데 이는 OECD 보고서보다 약 10% 높은 수치이다. 이 보고서는 몇 가지 불확실성을 강조하고 있는데 앞서 언급한 사항과 비슷한 내용이며 이러한 이유로 원전의 발전 전망은 매우 천천히 증가할 것임을 강조하고 있다.

IAEA는 몇 차례 원전 개발 전망을 수정, 보완하여 발표하고 있는데 최저 수요와 최고 수요를 구분, 2030년까지 최저 473GW에서 최고 747GW의 범위를 두고



발표하고 있다. 2020년에서 2030년간의 원전 증가율 측면을 보면 2001년 추정치보다 2008년의 추정치는 약 2배가 증가한 것으로 나타나 있다.

유엔기후변화협약(UNFCCC)에 따르면 2030년에의 원전 시설 용량 추정치는 현재 시설 용량인 370GW를 기준으로 약 13%에서 120%까지 증가한 415GW 내지 833GW까지 증가할 것으로 예측하고 있다.

### 건설 중인 원자력발전소 현황

원전의 향후 전망에 대해 ANL의 Robert Ronsner 소장은 “원자력이 세기 중반까지 이산화탄소를 감축하는 가장 확실한 역할을 할 것임에도 불구하고 원전의 건설 계획은 실질적으로 나타나지 않고 있다.”라고 말한 바 있다(2009. 4).

IAEA의 보고에 의하면 2009년 8월 현재, 건설중인 원전은 52개 발전소이며 추가로 18개가 추진되고 있다. 이와 관련된 과거의 경험을 보면 1987년에는 120기가 건설 중이었고 피크 시기는 1979년으로 233기가 건설 중이었는데 당시 시설 용량은 200GW였다.

IAEA의 발표 자료에 나타난 원전 현황에 이해가 부족한 점이 있다. 13기의 원전은 아직도 건설 중으로 표기되어 있지만 사실과 다르다. 예를 들면 1972년에 시작한 미국의 Watts Bar 2호기, 1975년에 착공한 이란의 Bushehr 원전, 러시아의 4호기, 불가리아의 Belene 원전 2기, 슬로바키아의

Mochovce 원전 2기, 우크라이나의 Khmelnitski 원전 2기, 타이완의 Lungmen 원전 2기 등으로 최소 10년 이상 ‘건설중’으로 이름이 올라 있다.

또 다른 24기는 착공과 준공 목표가 분명하지 않은데, 러시아의 9기 중 5기가 그렇고 불가리아 2기, 중국의 16기 중 13기 등이다. 러시아의 Bulgarian 원전은 1987년에 건설된 것으로 알려졌는데 사실과 다르며 2010년에 준공한

다는 것도 신규 원전인 Novovoronezh 2-1에 대체되어 2012년에 준공될 것으로 조사되었다.

지역적으로는 아시아와 유럽에 집중되고 있다고 할 수 있다. 2004~2007년 간 14기의 원전 준공이 이 두 지역에서 이루어졌으며 52기의 원전이 건설중인 곳도 이곳이다. 공기는 평균 5년 내에 완공되는 국가는 중국, 인도, 그리고 한국이다.

미국의 경우 2009년 8월 현재 NRC에 ‘건설 및 운전 통합 승인(COL)’ 인허가를 신청된 사업자는 17개 회사이며 원전 기수는 26기이다. 그러나 DOE 측의 얘기는 조금 다르다. 즉 사업을 신청한다고 반드시 원전을 건설한다는 뜻은 아니라는 것이다. 최근에 사업이 중단된 Turkey Point 6, 7호기가 그 예이다.

현재로는 2015년 이전에 건설이 완공될 원전은 1기로 예측되는데 South Texas에 위치한 원전으로서 NRC의 COL 심사가 진행중이다. 이 원전은 같은 조건으로 영국에 건설될 공산이 큰데, 규제 측

면에서 절차가 미국과 달라 오히려 방해가 될는지 모른다.

과거의 경험에서 보면 계획대로 완공이 된다는 보장이 없고 이를 보증한다는 것도 쉽지 않다. 프랑스원자력위원회(CEA)의 통계를 보면 원전 건설 취소는 무려 31개국에서 253기에 해당한다. 이 중 미국이 사업을 취소한 원전의 수가 138기였다. 대부분 전력회사가 자금 조달에 어려움을 겪는 경우이다.

원자로 수명은 평균 40~60년으로 관찰되고 있다. OECD의 2008 보고서에 의하면 평균 예상 수명을 45년으로 추정하고 있다. 미국의 경우 건설 허가 당시 인허가 수명으로 40년을 승인하였지만 추가 20년을 예측하고 있다. 2009년 8월 현재, 미국 내 54기 원전이 추가 20년 수명 연장 승인을 취득하였다.

이와 같이 다른 나라에서도 운전 허가에 시간적 제한이 없는 상황이 되었다. 프랑스의 예를 들면 매 10년마다 세부 검사와 시험을 시행해 나가면 된다. 1977년에 첫 호기를 운전한 프랑스의 첫 경수로는 ‘30년 규제 검사’ 제도가 적용되게 되었다. 프랑스 규제 기관인 ASN(Nuclear Safety Authority)은 사업자가 관련 서류를 제시하게 되면 ASN은 매 원자로마다 30년 이상을 운전할 수 있는지에 대해 안전성 확인을 하게 될 것임을 분명히 하였다. 또한 전력회사인 EDF는 수명을 연장함으로써 대규모의 신규 원전 건설 대체 효과를 갖게 될 것이라 하였다.

향후 대부분의 원전이 60년의 원전 수명을 갖게 될 것으로 추정된다. 수명을 배로 늘리고 발전량을 늘리는 노력이 진행중인 곳도 있다. 독일의 경우인데 17기의 원전이 그 실례이다. 즉 평균 연료 장전 기준 32년으로 수명을 늘리는 노력이다. 그리고 몇 기는 공식적으로 원전 폐쇄 계획에 포함된 원전도 있으나 향후 거취가 주목된다. 얼마 전 독일은 우파 정부가 집권하면서 원전 폐쇄에 대한 정책에 탄력성을 갖고 있기 때문이다.

원전 수명 연장은 결과적으로 다음 10년 이후까지 계속하여 운전이 가능하고 2009년 8월 현재 추가로 52기의 원전이 건설 중에 있고 42기의 원전이 계획되어 2015년 이전에 준공하게 되어 있다.

이상의 통계에 따르면 세계 전체를 볼 때 신규 원전 1기가 매 1.5개월마다 준공되며 향후 10년 뒤에는 19일 만에 매 1기씩 준공 된다는 통계이다. 2015년 내에 준공될 원전이 모두 목표 공정을 달성할 수 있을까에 대한 검토가 필요하다. 한마디로 어렵다는 결론에 쉽게 도달하게 된다.

가장 큰 이슈가 현재의 주요 기기 제조 능력이 불가능하다는 것이다. 계획된 신규 원전 건설 일정에 대해서는 가능성 있다고 하더라도 수명 연장에 따른 주요 기자재 공급 일정까지 달성할 수 있을지 현재로는 거의 불가능하다는 것이다.

원전 사업자들의 용역을 받아 수행된 'Keystone Center 보고서'에 의하면 700GW 신규 원전

건설을 소화하기 위해서는 특별한 기동력이 필요한데 과거 1981~1990년에 수행한 경험을 되살려야 한다는 것이다.

WNA가 언급하고 있는 과거의 1890년대의 경험이란 218기를 차질 없이 준공해 나가는 일정인데 매 17일마다 1기의 원전이 시운전에 들어가야 한다는 것을 강조하고 있다. 중국과 인도의 야심찬 계획이 이를 뒷받침하고 있다. 과연 이러한 계산이 현실적으로 가능한 것일까? 이런 일이 21세기 20년 후에 일어나게 되는 것이니 1980년대에 있었던 일과 비교해 볼 때 극히 어려운 일이 될 수밖에 없을 것이다.

그 당시를 정리하면 원자력의 초기 단계에서는 원자력의 투자와 기술성에 대해서 덜 알려진 때였고 산업체도 상당의 여지를 가지고 있던 때였다. 원전 발전 사업자는 지방 세 납부자에 투자 위험을 전가하여 이익을 챙길 수 있었고 비원전 발전 사업자와 경쟁할 필요도 없었으며 방사성 폐기물이나 폐로 및 전력 생산 시장에서도 어려움이나 경쟁 없이 여유를 가질 수 있었던 때였다.

시장 자유화와 최근의 세계 경제의 어려움이 새롭게 부각되는 것도 장애 요인이다. 전력의 규제 완화, 기타 시장 및 정치적 불안정의 결과는 원전을 소유하지 않고 있는 전력 회사로서는 신규 원전을 건설하기를 희망하지만 재정적 위험을 해결하기란 쉽지 않을 것이라는 것이다. 건설 공기의 지연으로 초래되는 투자비의 엄청난

증가는 여러 곳에서 볼 수 있기 때문이다.

## 1. 중국

중국의 원전 개발은 기본적으로 바뀌지 않고 있다. 중국의 일간지 <China Daily>에 따르면 최근의 중국 원자력 발전은 매우 빠른 속도로 발전하고 있어 2007년의 9,000MW의 용량이 2020년에는 40,000MW로 증가하는 내용으로 국가 장기 원전 산업 계획을 수립한 바 있으나 이 내용을 대폭 수정, 60,000MW로 대폭 증가하는 내용으로 수정하였다.

자체적으로 개발한 소형 원전 1기를 제외하고 운전중인 10기의 평균 공기는 6.3년이었는데 이를 감안할 때 2020년까지 이 목표를 달성하기 위해서는 모두 적어도 원전 착공이 2015년 이전에 이루어져야 한다는 뜻이다.

지금 현재 31,000MW의 약 반에 해당되는 15,200MW에 해당하는 16기에 대해서는 지난 4년 간 건설이 진행 중에 있으나, 중국의 야심찬 목표를 달성하기 위해서는 현재 건설 분량의 2배를 소화해 나가야 한다는 것인데, 최근의 돌관 작업을 고려하더라도 현실적으로 불가능한 것으로 분석되고 있다.

중국의 운전중 원전 시설 용량은 8,438MW로서 전력의 2.8%를 담당하고 있으며 전체 1차 에너지 소비량의 0.8%를 차지한다. 중국의 에너지 증가율은 연 5~10%를 기록할 것으로 예측되고 있는



데 현재의 에너지 주축은 화석연료, 특히 석탄 의존도가 70%이다.

기후변화협약에 의한 환경 문제가 심각한 실정을 감안하여 클린에너지, 즉 원자력과 풍력에너지의 사용을 주축으로 한 에너지 정책을 추구하고 있다. 2020년까지 40GW의 원전 시설 확장 계획을 세운 바 있고 2030년까지는 160GW의 목표를 수립하였다.

중국은 운전중인 원전은 자체 개발한 소형 원전과 프랑스 기술, 캐나다 기술, 러시아 기술로 이루어지고 있는데, 최근 건설되고 있는 제3 세대 원전은 남쪽 방면의 프랑스의 EPR과 북쪽의 웨스팅하우스의 AP1000이 추진되고 있다.

## 2. 인도

인도는 3,779MW에 해당하는 17기 원전이 운전중이며 전력의 약 2%를 원전에서 공급하고 있다. 인도의 총 전력 시설 용량은 130GW이다. 현재 6기가 건설 중에 있는데 이들의 시설 용량은 2.9GW이다. 이는 인도의 원전이 소형원자로로 구성되어 적게는 90MW에서 200MW이다.

1985년의 인도의 원전 계획은 2000년까지 10GW였으나 실제 2.2GW의 확충에 그쳤다. 2006년 인도원자력공사는 2025년까지의 원자력 확충 계획을 발표하였는데 목표는 40GW였다. 이는 매년

1,850MW의 시설을 건설해야 준공 목표를 달성할 수 있다는 것인데 가능한 일인지 두고 볼 일이다.

인도는 1974년에 핵무기 실험

을 한 국가이다. 이는 곧 이웃인 파키스탄의 핵무기 실험으로 발전하게 되었다. 인도가 핵비확산조약(NPT)에 서명하지 않은 상태로 미국의 부시 정부가 인도와의 관계를 개선하는 목적으로 원자력 협정에 서명하였고 이를 계기로 다른 국가들도 원자력협약을 체결하고 있다.

결국 인도는 원자력공급자그룹(NSG, Nuclear Supplier Group)에 들어서게 되었다. 2009년 3월 AREVA는 인도의 원자력공사와 Jaiapur 부지에 2기의 EPR을 건설하는 내용의 양해각서에 서명한 바 있다. 각기 다른 부지에 미국의 GE-Hitachi, 캐나다의 AECL 그리고 러시아에서 각각 위치하는 것으로 서명을 한 바 있다.

## 3. 일본

일본은 53기의 원자로를 운전하고 있으며 전력의 24.9%를 공급하고 있다. 과거 2002년에 전력의 35%까지 원전에서 공급한 바 있으나 점차 점유율이 줄었다. 2008년 12월 Hamaoka 원전 2기에 대해 공식적으로 운전 정지 결정을 하였고 지난 5년간 1기의 원전도 추가 준공을 하지 않았다. 그런데도 IAEA에서 조사한 원전 운전 현황에는 이러한 사항이 제대로 반영되지 않고 있다.

2002년에 동경전력은 17기의 원전에 대해 운전 정지를 한 사건이 있었는데 이는 그동안 일본에 연이어 계속된 사고들과 무관하지 않다. 1995년 12월 고속로 ‘몬

주’에서의 방사능 누출 사고, 1997년 3월의 도카이 재처리시설의 아스팔트 드럼 폭발 사고, 1999년 9월의 JCO 임계사고 등을 들 수 있으며, 2002년 8월 동경전력의 허위 검사보고서 사건에 따른 규제 기관인 원자력산업안전청(NISA)에 의해 취해진 원전 운전 정지 사건이다. 이 건으로 그 당시 원전 점유율의 약 25%가 축소된 적이 있다.

한편 일본의 원전 가동률은 약 60%로서 이는 보고서의 허위 조작과 2009년 4월 열처리 용접 배관에 대한 품질 관리 서류의 조작이 도마 위에 오른 것과도 무관하지 않다. 또한 2007년 7월 리히터 규모 6.8의 강진으로 인해 Kashiwasaki 단지의 7기 원전이 운전 정지된 것도 영향을 주었다.

이들은 지금도 보수 중에 있으며, 7호기의 예를 들면 압력 용기를 검사하기 위해 이를 옮겼으며 손상된 제어봉은 원자로심에서 빼내야 하는데 어려움을 겪어야 했다. 우선 7호기의 재가동을 서두르고 있고 나머지 호기의 재가동은 아직 결정되지 않고 있다.

웨스팅하우스를 편입한 Toshiba는 2008년 36억불의 채무를 가지고 있으나 2009년에는 투자비를 42% 축소하는 계획을 세운 바 있다. 재처리공장의 플루토늄 분리는 2006년 3월 실제 시험에 들어갔으며 연산 800톤 규모의 시운전이 될 전망이지만 이미 설명한 바와 같이 일련의 허위 보고서 사건으로 재처리시설의 준공도 지연되고 있는 것 같다.

MOx 연료를 준비하고 있으나 아직 사용한 원전은 없다. 프랑스와 영국에서 위탁 재처리한 38톤을 포함하여 약 47톤의 플루토늄을 보관하고 있다. 이 중 1.7톤은 MOx 연료를 가공하여 운반하였다. MOx 연료 가공 공장은 2009년 3월 건설이 시작되었으며 이는 내진 설계가 반영되어 약 20억불의 예산이 소요될 전망이다.

#### 4. 미국

미국은 2005년에 신규 원전 투자 촉진을 위한 법을 입법화한 바 있다. 신규 원전 약 6백만kW의 전력 규모를 건설할 때, 부채의 80% 한도 내 해당하는 비용을 연방정부가 전액 자금지원을 보증하는 조건에서 사업비를 계산하면 세금 공제를 고려하고도 약 205억불이 필요한 것으로 추정되었다.

2008 말 현재 미국 전력 회사가 원전을 건설하겠다고 신청한 금액은 122억불에 이른다. DOE는 이를 검토하고 4개의 전력 회사의 7기 원전에 1차로 배정하였다. 또한 정부의 대출규정도 수정하여 부채의 80%의 상한선을 총 건설비의 80% 한도로 변경한 바 있다.

NRC는 2009년 7월 현재 건설 계획 중인 총 26기 중 17건에 대한 인허가 제의서를 받아 검토 중에 있다. 5개의 각각 다른 원자로 형인데 GE-Hitachi의 ABWR과 ESBWR 노형, Mitsubishi의 APWR, AREVA의 EPR(Evolutionary PWR), 웨스팅하우스의 AP1000 등이다. 현재로선

ABWR에 대한 2기의 원전 South Texas 3, 4호기만이 승인이 완료되었다.

#### 5. 캐나다

캐나다는 1944년에 중수형 원자로인 CANDU를 개발한 국가로 자국은 물론 한국, 인도, 중국, 파키스탄, 아르헨티나 등에 수출한 바 있다. 특히 새로운 개념의 기술인 ACR1000을 개발, 이를 자국은 물론 외국에 수출하고자 하고 있다.

자국의 신규 원전에 ACR1000을 건설하기 위해 2008년 국제 입찰을 실시하였는데 개발 기관인 AECL을 포함, 웨스팅하우스, AREVA가 경쟁한 바 있다. 그러나 실제 입찰 요건에 맞춘 공급사는 AECL 한 곳으로 알려졌으며, 가격이 너무 비싸고 건설하고자 하는 온타리오주 정부와의 의견 차이로 일단 연기된 상태이다.

한편 캐나다는 중국에서 ACR 개발에 적극 협력하기로 한 바 있다. ACR은 종전에 비해 핵연료 설계에서 차이점을 보이고 있는데 저농축 우라늄을 사용하며 열적 여유도를 높이기 위해 43개 연료봉 다발을 사용하고 있다. 현재 37개 연료봉 다발로 운전중인 중수로는 약 20년이 되면 압력관 휩현상이 일어나 발전을 감별하는 어려움을 겪고 있다.

현재 캐나다는 18기의 원전이 운전중이며 14.8%의 전력을 공급하고 있다. 캐나다는 총 5,000MW 원전 시설 용량 중에 1/3이 현재

장기 운전 정지 상태에 있다. 1997년 8월 전력 회사인 Ontario Hydro는 Pickering A 4기를 포함하여 7기의 원전을 장기 운전 정지를 발표한 바 있다.

1997~1998년 사이에 이 조치가 취해졌으며 기술적인 문제로 대대적인 수선에 들어간 것이다. 이중 4기는 재운전에 들어간 상태이고 2기도 곧 운전이 재개될 예정에 있다. 캐나다는 2009년 3월 Alberta 주에 4,000MW 규모의 신규 원전 건설 계획을 발표한 바 있다.

#### 6. 프랑스

프랑스는 원자력 분야에서 세계적으로 독특한 배경을 가진 국가이다. 첫 번째 석유 파동이 왔던 1973년 이후 원자력 개발에 적극적으로 대처한 국가이다. 당시 프랑스는 석유 의존도가 12% 정도로서 독일, 이탈리아, 영국보다도 높았다.

2008년 말 현재 프랑스는 59기의 원전으로 76.2%의 전력을 원전에서 공급하고 있다. 계통에 연결된 시설 용량은 120GW이며 피크시의 가동 시설 용량은 92GW으로서 약 20%의 예비율을 갖고 있다. 이 중 약 10GW는 이웃 나라에 전력을 수출한다.

약 40기의 원전에 부하 추종이 가능하며 여름의 가장 적게 소요되는 전력과 겨울의 가장 큰 전력 수요의 차는 약 60GW로 알려지고 있다. 1인당 전력 소비량은 EU 27개국의 평균보다 15%, 이웃인



이탈리아보다 25% 높다.

프랑스의 원자력 구조는 전력회사인 EDF와 AREVA가 주축이다. 그러나 EDF는 핀란드의 Olkiluoto 프로젝트에 대해 매우 비판적인 견지를 유지하고 있어 자국에 2007년 건설에 착수한 Flamanville은 이를 답습하지 않겠다는 의지가 강하다. 따라서 모든 관리 업무는 EDF 스스로 하며 1차 계통에 한해서만 AREVA에 책임을 주고 있다. 그러나 현재 원자로 건물 콘크리트 타설과 압력용기 용접과 관련된 품질 보증으로 공기가 1년 이상 지연되고 있는데 대해 AREVA를 대상으로 소송을 진행하고 있다.

프랑스는 EPR 설계에서 원자로의 주기기 생산은 물론 완벽한 핵연료주기(우라늄 변환, 농축, 재처리 등)를 구성하고 있어 어느 나라 또는 공급자보다도 완벽한 원자력 기술을 체계화하고 있다. La Hague 재처리 시설은 연산 1,700 톤을 처리할 수 있으나 팔목할 만한 해외 고객이 없는 상태이고 국내 EDF의 소요량을 소화하고 있는 정도이다.

#### 신규 원전 건설 희망 국가

IAEA 보고에 의하면 12개 국가가 매우 강력하게 원자력 발전 도입을 준비하고 있고 38개 국가가 원전 도입 가능성을 열어두고 있다. 51개 국가 중 17개 국가는 중동과 극동이며, 13개 국가는 아프리카, 11개 국가는 유럽, 9개 국가는 남미의 국가들이다.

IAEA는 지난 2006~2008년 사이에 43개 회원 국가로부터 원자력에 관한 기술 협력을 희망한다는 요청을 받았다. 이들 국가 중 이란은 벌써 원전 건설이 추진되고 있다. 프랑스는 이 대상 국가들과 원자력 무역을 협상하거나 협력협정을 체결하는 등 발빠른 대응을 하고 있다.

최근 ANFC(Agence France Nucleaire International)의 Philippe Pallier 국장은 “외국의 많은 국가들이 원자력의 평화적 이용 프로그램에 도움을 요청하고 있다.”라고 언급한 바 있다.

협력에 서명하였거나 또는 협상 중에 있는 국가를 예시하면, 알제리와, 요르단, 리비아, 모르코, 튀니지, UAE를 포함하여 북아프리카와 중동 지방이다. 이외에도 이집트, 이스라엘, 요르단, 쿠웨이트, 카타르, 시리아, 예멘이 있다. 미국 정부도 UAE와는 원자력협력협정을, 그리고 사우디아라비아와 바레인과는 MOU를 체결한 바 있다.

요르단은 이미 원자력전략위원회를 구성하였고 한국의 한국전력, 프랑스의 AREVA, 러시아의 Atomstroyexport, 캐나다의 AECL로부터 1단계 제안서를 받은 바 있고 2012년 초에 건설을 착공한다는 계획이다.

아시아에서 프랑스와의 협력을 하고 있는 국가로 태국, 베트남이 있다. 중국, 러시아 및 한국이 방글라데시의 원전 건설 계획에 지원계획을 제시하고 있는 것으로 알려졌다.

유럽의 알바니아 및 크로아티아

는 공동으로 원전 건설을 협의중에 있으며 몬테네그로(Montenegro)와 보스니아가 공동 프로젝트에 관심을 가지고 있다. 또한 이탈리아의 전력회사(ENEL)는 원전 프로젝트의 타당성 조사를 진행한 바 있다.

포르투갈은 스페인과 협력하여 원전 건설을 검토하였으나 지난 정부가 이 제안을 철회한 바 있고 스페인 또한 현재 원전 계획을 장기적으로 단계적으로 폐쇄하겠다는 계획을 가지고 있는 상태이다.

리투아니아는 EU 국가로 새로운 규제 요건을 2009년까지 따라야 하며 이와 관련하여 운전 중인 Ignalina 원전을 폐쇄해야 하는 입장인데 이 발전소와 대체하면서 발틱 지역의 국가가 서로 원전 계획을 공유하기 위해 폴란드, 에스토니아, 라트비아 등에게 원자력 프로젝트에 참여할 것을 요청하였으나 대용량의 원전 건설에 따른 문제, 특히 재원 확보에 어려움을 겪고 있다.

1986년 체르노빌 원전 사고를 경험한 벨로루시는 신규 원전에 대해 러시아, 프랑스의 AREVA, 그리고 웨스팅하우스의 제안서를 받은 바 있다.

원자력 희망 국가 23개국은 상용 원전을 도입하기 위해 필요한 최소한의 요건에 해당하는 1기 이상의 연구용 원자로를 운전하고 있다. 또한 11개 국가는 원전 1~2기를 보유하고 있는 원전 규모가 적은 국가들이다.

2기를 가진 국가는 남아공, 브라질, 루마니아, 파키스탄, 멕시코,

아르헨티나, 불가리아 등이며 1기를 가진 국가는 네덜란드, 아르메니아, 슬로바키아, 리투아니아 등이다.

IAEA는 전체 전력망 중 대용량 1기의 원자력 점유율이 10% 이하를 권고하고 있다. 이는 전력망의 연계 문제가 발생하기 때문이다. 그런데 슬로베니아와 리투아니아는 각각 원전 1기를 보유하고 있으나 원자력 점유율이 21.5%, 31.2%를 차지하고 있다.

WNA 보고서에 의하면, 원전을 희망하는 국가 중에 5개 국가는 연구로의 경험도 전무한 국가이고, 20개 국가는 전력망이 10,000MW 용량에 도달하지 못한 국가들이다. 17개 국가는 연구로의 운전 경험을 가지고 있으며, 시설 용량이 10,000MW를 넘는 국가이다. 오스트레일리아, 칠레, 이집트, 인도네시아, 이스라엘, 이태리, 쿠웨이트, 말레이시아, 노르웨이, 필리핀, 폴란드, 포르투갈, 태국, 터키, UAE, 베네수엘라, 베트남 등이다.

이들 국가의 향후 원전 도입 계획은 어떠한지 확인해 보도록 한다.

### ▲ 오스트레일리아

오스트레일리아는 언제든지 원전 건설을 할 수 있는 국가 중 하나로 핵연료인 우라늄 대량 생산국이다. 2006년 12월에 발간된 Switkowski 보고서는 총리에게 보내는 보고서로서 원전의 조속한 도입을 권고하고 있다. 그러나 국제 전문가 패널은 이와 상치되는 보고를 하고 있고 Swikowski 보

고서는 왜곡되고 현실성이 결여되어 있다고 보고하고 있다. 새로이 선출된 현 총리는 장래에 원전 도입 가능성을 열어 놓고 있지만 적어도 15년이란 세월이 필요하다.

### ▲ 이집트

이집트는 원전 첫 호기의 제안을 낸 시점에서 벌써 35년이 흘렀다. 최근에 이집트는 러시아와 중국과 원자력협력협정을 맺은 바 있다. 2009년 12월 이집트 정부는 미국의 벡텔과 1,000MW급의 원자로형 선정과 전문가 훈련에 관한 협정을 체결하였다고 발표한 바 있다. 이 원자로는 2017년에 준공 목표이다.

### ▲ 인도네시아

인도네시아의 원자력 역사는 약 20년으로 거슬러 간다. 1989년 BATAN(National Atomic Energy Agency)은 1차 타당성 연구를 수행한 바 있다. 2007년 한국전력에 의해 수행된 타당성 조사는 1,000MW급 2기를 공급하는 것이었다. 이와 별도로 일본, 러시아와도 협력협정을 체결하였다.

인도네시아의 연구개발장관은 2008년 3월, 자국은 2025년까지 1,200MW급 4기를 완공하게 될 것이며 이중 1호기는 2016년에 준공될 것으로 발표한 바 있지만, 이럴 경우 2008년에는 착공되어야 되는데 일정이 늦어지고 있다고 언급한 적이 있다. 아직도 제안서 요청서를 보낸다는 소식이 없다. 대상이 자바 지역의 중심이니 현재의 어려운 점과 그곳의 지진

으로 인한 피해가 원전 건설 계획을 지연시키고 있는 주요인인 것으로 보인다. 대안으로 중소형 원자로의 도입을 우선하고 차후에 대용량의 원전을 택하는 방안이 있을 수 있을 것이다.

### ▲ 이스라엘

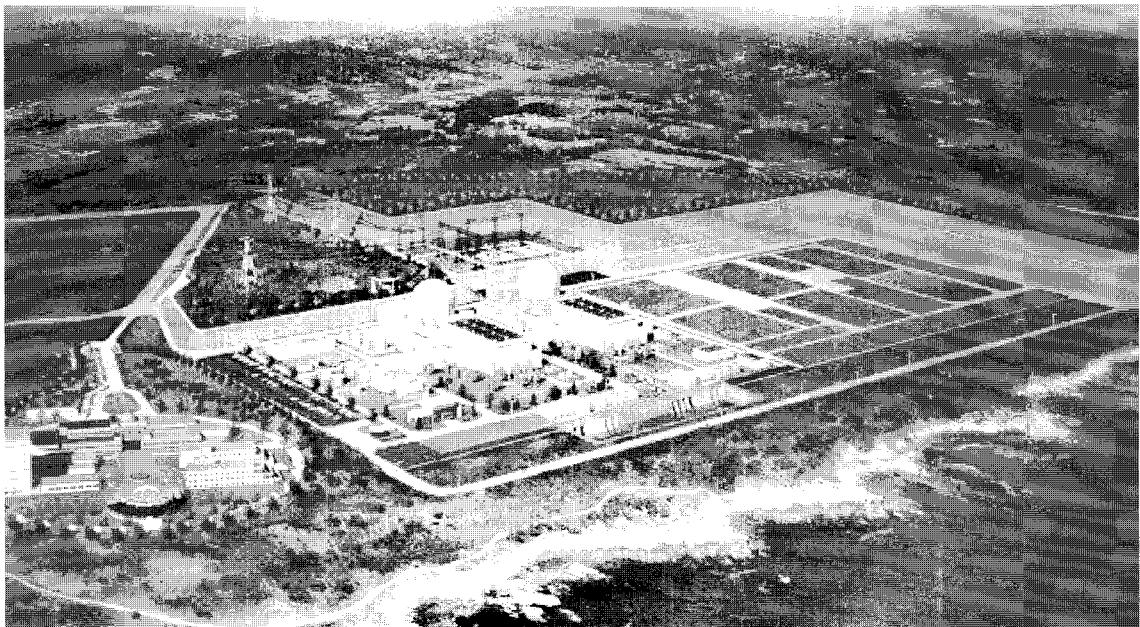
이스라엘은 대용량의 핵무기를 개발한 국가로서 핵기술 강대국이라 할 수 있다. 언제 원전을 도입할 것인지에 대해 내부적으로 논쟁이 많았다. 기당 1,000MW 용량이 계통에 대용량의 원전은 부담스러울 수 있다. 이스라엘은 핵비화산협정에 서명하지 않고 있는 국가임으로 기술적으로 접근이 제한되어 있다.

### ▲ 이탈리아

이탈리아의 Berlusconi 정부는 원자력을 재도입하는 내용의 법률을 추진 중이다. 원자로형은 유럽형경수로(EPR)가 될 공산이 큰데 2013년을 준공 목표를 두고 있다. 이를 위해 프랑스의 EDF와 이태리의 최대 전력 회사인 ENEL이 이를 추진하고 있다.

그러나 이태리는 체로노빌 원전 사고 이후 원전을 폐쇄한 첫 번째 국가로 1987년에 이를 시행한 바 있는데 당시 4기가 운전중이었고 4기가 건설중이었으나 모두 폐쇄해 버린 것이다.

폐쇄 후 20년 이상 지난 현재 이 발전소의 폐기와 방사성폐기물 처리의 코스트가 현안이며 최종 처분장 부지도 확정하지 않았다. 신규 원전 추진을 위한 준비를 착



IAEA 보고에 의하면 12개 국가가 매우 강력하게 원자력 발전 도입을 준비하고 있고 38개 국가가 원전 도입 가능성을 열어두고 있다. 51개 국가 중 17개 국가는 중동과 극동이며, 13개 국가는 아프리카, 11개 국가는 유럽, 9개 국가는 남미의 국가들이다.

실히 해오고 있고 홍보 활동도 적극적이어서 원전에 대한 주민의 수용성이 좋은 편이다. 자금 면에서는 국외, 예를 들면 슬로바키아의 Mochovce 원전과 EPR 노형인 프랑스의 Flamanville 3의 재원 지원에 나서고 있다.

#### ▲ 쿠웨이트

쿠웨이트는 2009년 3월 원자력 위원회를 설치하고 원전개발에 대한 법률안을 공표하였다. 현재 원전 정책을 계획하는 단계이며 전체 전력망이 1천1백만kW에 불과하다. 실제 단기 또는 가까운 시점에 원전을 도입하기는 어려울 것으로 판단된다.

#### ▲ 말레이시아

말레이시아의 원전 계획은 인도의 지원을 받고 있다고 할 수 있다. 보다 장기적인 관점에서 검토 중이다.

#### ▲ 노르웨이

노르웨이 정부는 2008년 2월에 원자력의 역할이 에너지의 지속 가능성에 기여할 것임을 인식하는 내용을 지적한 바 있다. 그러나 OECD의 NEA 파일에는 노르웨이가 원자력 프로그램을 현재로는 갖고 있지 않다고 보고하고 있다.

#### ▲ 필리핀

필리핀은 원자력을 추진하다 무기 연기한 국가이다. 6십만kW의 Bataan1호기는 웨스팅하우스 원자로형으로 1974년에 발주하여 1976년에 착공한 바 있다. 체르노빌 원전 사고가 일어난 1986년, 아키노 대통령이 정권을 이어 받는 시점에 연기되면서 오늘에 이른 것이다. 건설비 상환은 2007년 까지 계속되었다.

2008년 2월 IAEA 전문가가 필리핀 정부의 요청으로 건설 부지를 방문한 적이 있다. 정부와 의회 공히 Bataan 원전의 재건을 희망하고

새로운 입법화를 추진하고자 하는데 현실적으로는 20년이 된 구식 원전을 현재의 규제 요건을 어떻게 맞출 수 있는지가 문제이다.

IAEA는 발전소를 폐쇄할 것인지 재건할 것인지에 대한 사안은 IAEA의 역할에 해당되는 것이 아니고 현실화시키려면 얼마나 자금이 투입될 것인지 정부의 결정이 필요한 것이라 하였다. 특히 이 부지는 지진이 일어날 확률이 높은 지역에 있고 막대한 초기 투자비의 어려움을 경험하면서 그 동안 원전 계획 없이 오늘에 이르러 법의 정비가 미비할 뿐 아니라 안전 규제 등이 적절하지 못하며 더욱 이 국민 수용성에서 문제가 있다 보여 당분간 이의 추진은 쉽지 않을 것이다.

#### ▲ 폴란드

폴란드는 1974년~1982년 동안에 5기의 원전을 소련에 발주하였고 Zarnowiec에 2기의 원전을

착공하였지만 1990년에 공식적으로 모두 취소한 적이 있는 국가이다. 정부는 최근 원전 정책을 재검토하고 첫 호기를 2020년까지 완공하겠다는 것을 발표하였다. 2009년 1월 전력 회사인 PGE는 2기의 3,000MW의 원전을 건설하겠다고 발표하였다.

특히 폴란드는 Visaginas라는 발틱 프로젝트에 라트비아, 에스토니아, 리투아니아 등과 함께 공동으로 추진할 계획을 가지고 있는데, 이는 당초 2009년 폐쇄되는 리투아니아의 원전 Ignalina를 대체하는 것에서 출발하여 공동 출자하여 2015년 초에 준공하겠다는 프로젝트였지만 아직 발주 서류도 준비되지 않은 것을 볼 때 기간 내 준공은 현실적으로 불가능하다.

#### ▲ 포르투갈

포르투갈은 2004년 원자력 제안서를 철회하였지만 최근에 재검토에 들어갔음을 WNA에 통보한 바 있다. 그러나 포르투갈은 국민의 수용성에서 반원전이 너무 강해 어려움을 주고 있으며 OECD 국가 프로파일에도 원자력 계획이 없다.

#### ▲ 태국

태국은 1970년대 이후 원자력 계획을 가지고 있다. 지난 정권의 에너지 장관이 2020~2012 사이에 4기의 4백만kW 원전을 검토한 바 있다. 그러나 현 정권은 이에 대한 언급이 없다.

#### ▲ 터키

터키는 IAEA가 언급한 것과 같이 원전을 수용할 수 있는 나라 중의 하나라고 할 수 있다. 이미 구매 서류를 6개 회사 국제 공급자(Vendor)에게 보낸 바 있고 이 결과 입찰에 응찰한 회사인 러시아의 Atomstroyexport와 협상을 진행해 왔다.

터키의 법규에 따르면 단독 입찰의 경우 이를 허용하지 않도록 되어 있어 절차상으로는 유찰을 해야 맞는 일이다. 그러나 터키는 러시아의 컨소시엄(ASE, Inter RAO, UES 및 터키 회사인 Park Teknik)과 협상을 진행해왔다. 아쿠유(Akkuyu) 지역에 건설될 1,200MW급의 VVER형으로 BOO(Build-Own-Operate) 모델이다.

이 프로젝트는 2009년 2월 러시아와 터기 양국 대통령의 협의가 있었는데 자금 조달 조건이 주현안으로 부상되었다. 알려진 바에 의하면 1차 입찰서에는 터키 전력 판매 가격의 3배에 이르는 가격을 제의한 건설-판매 방식이었으나 협상을 통해 수정 입찰을 내도록 했는데 수정 입찰 역시 2배 이상 높은 가격인 것으로 알려지고 있다.

어떻든 터키는 100%의 자금 조달 예비 사업 계획이 실패한 결과가 되었고 또한 열악한 국내 인프라 및 치열한 주민들의 반대 등에 직면해 있어 사실상 계약이 성사되기까지는 난관이 예상된다.

#### ▲ UAE

UAE는 IAEA의 권고에 따라 원자력추진기구(NEPIO)의 구성과 1억불의 자본금으로 구성된 에미레트원자력공사(ENEC)를 설립하였다. 다음 단계로 법령을 정비하는 절차를 밟고 있다. 정부는 '평화적 원자력의 평가 및 잠재력 개발'에 대한 의견서를 마련하고 있다. 2020년까지 1,500MW급 3기를 운전한다는 계획을 갖고 있는 것으로 보고되었지만 실제 한국의 제 3세대 원자로 형인 APR1400 4기를 도입하기로 계약이 체결된 상태이다.

UAE는 미국의 전 정권 말기에 2009년 1월 원자력협력협정에서 명한 바 있고 프랑스와도 비슷한 협력협정을 체결하였는데 미 의회에서는 강력한 반대 의견이 나온 적이 있다. 이는 UAE가 이란의 핵시설 및 미사일 개발에 필요한 자재들의 주요 수송지로 의심을 받고 있기 때문인데 앞으로 미 의회의 외국문제위원회에서의 결론이 남아 있다. UAE가 기당 1,500MW급의 원전을 도입하면 전체 계통에 약 10%에 해당하는 시설 용량이 된다.

#### ▲ 베네수엘라

베네수엘라는 1975년에 원자력 개발에 대한 법규를 통과시킨 바 있다지만 원자력을 개발하지는 않았다. 2008년 9월 차베스 대통령은 원자력 개발에 관심이 있으며 이는 원자력의 평화적 이용, 즉 의료 및 전력 생산에 국한할 것임을 밝혔다. 현재 러시아와 프랑스



가 이에 대해 제의서를 제출하였지만 공식적으로 정해진 계획이 아직 없다.

#### ▲ 베트남

베트남은 1996년 한국과 원자력의 평화적 이용에 대한 연구 협력에 서명한 바 있다. 이 이후 다른 국가, 즉 캐나다, 중국, 프랑스, 일본, 러시아 등과도 협력에 서명하였다.

2008년 중반, 2014년 착공 2018년 운전 목표로 2기의 각 1백만kW급의 원전을 도입하는 데 대한 원자력법을 통과시킨 바 있다. 베트남은 원자력의 국내 인프라가 취약하며 2기의 원전이 도입되면 현재의 시설 용량의 약 20%를 차지하게 되어 전력 계통의 확장이 뒤따라야 할 형편이다.

#### ▲ 남아프리카공화국

남아프리카공화국은 프랑스 원자로형인 2기의 원전이 운전 중에 있고 전력의 5~6%를 공급하고 있다. 운전 중인 원전으로서는 아프리카 대륙에서는 유일하다. 정부 소유의 전력 회사인 Eskom은 당초 독일이 개발한 바 있는 PBMR 개발에 착수하였는데 이는 헬륨냉각 흑연감속로 원자로이다. 2000년 PBMR 전담 회사를 세워 각국의 투자자들이 참여하고 있는데 현재는 타당성 조사를 하고 있다.

#### ▲ 아르헨티나

아르헨티나는 2기의 중수형 원전을 소유하고 있고 전력의 6.2%를 공급하고 있다. 1호기는 독일

의 Siemens에서, 그리고 2호기는 캐나다의 CANDU형 원자로이다. 현재 CANDU 2호기가 건설 중인데 당초 시운전 일정보다 3년이 지연되고 있고 2010년 10월을 수정 목표로 추진 중이다.

2007년 7월 캐나다와 또 다른 CANDU 원자로 도입에 서명하였지만 아직까지 부지를 확정하지 않았을 뿐 아니라 진전 사항이 없다. 2008년 2월 브라질과 함께 양국 정상이 원자력의 평화적 이용에 합의한 바 있다.

#### ▲ 브라질

브라질은 Angra 1, 2호기의 2기 원전을 운전중인데 전력의 3~4%를 공급하고 있다. 1975년 브라질은 독일과 1,300MW급의 8기 원자로 도입에 서명하였지만 군부의 핵무기 개발의 의심과 국가 경제의 부채와 맞물려 추진되지 못했다.

1991년 6월 건설중인 Angra 3호기를 포기하였지만 원전 전력 회사인 Electrônuclear는 계속되기를 희망하고 있다. 그러나 규제의 환경청은 60개의 인허가 조건을 내걸고 있고 고준위 방사성폐기물과 관련된 사항이 걸림돌로 되고 있어 이의 추진은 어려울 것으로 보인다.

#### ▲ 멕시코

멕시코는 1960년대에 원자력 개발을 시작한 국가로서 GE의 기술로 1976년에 650MW 규모인 Laguna Verde 원전의 건설에 착수하여 1990년에 1호기를 1995

년에 2호기를 각각 준공하였다. 원전에서 약 4~5%의 전력을 생산하고 있다. 특히 출력 증가를 추진하고 있는데 목표는 약 20%이다. 신규 원전 계획이 확정된 것은 현재로는 없다.

#### 원자력 제조 능력

“원자력 브네상스가 열매를 맺을 수 있느냐 여부는 발전소 건설 핵심 장치 및 주기기 제조 산업의 인프라 성공 여부에 좌우하게 된다.”라고 미 원자력규제위원회(NRC) 위원이 언급한 바 있다.(Kristine L. Svinicki, NRC 위원, 2009. 5.)

1980년을 전후해서 원전 건설이 최고조에 달하고 이 이후 산업은 급진하게 변모해 왔다. 당시 원전 산업에 선도적 위치에 있었던 여러 회사들이 원자력산업에서 완전히 사라지기도 했고 어떤 회사는 원자력 회사끼리 통폐합하기도 하였으며 어떤 회사는 방향을 달리하여 방사성폐기물 사업으로 전업하기도 하였다.

미국기계협회(ASME)에 따르면 1980년 당시 약 600여개의 회사들이 2007년에 약 200여개의 회사로 그 수가 크게 줄었다는 것이다. 이의 가장 큰 이유는 미국에서 주관하던 인증 업무가 줄어들고 대신에 세계 각국으로 확산되어 나갔기 때문인데 최근 2007년 이후에는 ASME 인증서 발급이 약간 증가하였다.

미 정부(DOE) 자료에 의하면 제3세대 원전에 공급되는 주요 기

기(원자로 용기, 증기발생기, 습분분리기 등) 생산 시설은 미국 내에는 없다. 원자로 압력 용기(RPV) 제조는 현재로는 일본의 시설(JSW, Japan Steel Works, Ltd.)만을 이용할 수 있기 때문에 공기 지연의 요인이 될 수 있다는 평가를 내린 바 있다. 규제 기관의 입장도 마찬가지로 외국에서 공급하게 되는 주요 기기에 대한 규제 심사로 시간이 더 필요하게 되어 공기 지연의 요인이 될 수 있음을 경고하고 나섰다.

JSW는 현재 잉곳(Ingots) 450톤 분량의 기기를 제조할 수 있다. 원자로 압력 용기 및 증기발생기를 2007년에 4set를 2008년에는 5.5set를 제조하였으며, 2010년 목표는 8.5set를 생산할 계획이다. AREVA는 JSW와 2016년 전후에 대한 사업 상호 협력에 서명하였고 대용량 시장을 서로 공유하며 협력한다는 내용이다. 문제점은 계획된 신규 원전에 대한 주조 능력을 얼마나 조달할 수 있을 것인가 하는 것이다. JSW는 연간 화력 발전을 포함 약 100개의 주조능력을 갖고 있다.

AREVA의 최고 능력은 연간 약 250톤 규모이다. Chalon 주조 공장은 연산 250톤 규모이며 12개의 증기발생기, 압력 용기 헤드 정도를 생산할 수 있다. 이 공장은 발전소 수명 연장에 따른 증기발생기 및 압력용기 헤드 교체 등으로 이미 예약이 끝난 상태이다.

2007년 AREVA는 미국의 EPR 주기기 제조 계약을 JSW에 수주하였음을 발표한 적이 있다.

Chalon 공장은 1973년 이래 76기의 원자로 압력 용기, 63개의 원자로 헤드, 292개의 증기발생기를 포함한 약 600여 개의 주기기를 생산한 실적을 가지고 있다.

AREVA는 2008년 7월 새로운 공장인 Le Creusot을 소개한 바 있는데 잉곳 능력이 연산 35,000톤에서 50,000톤으로 늘리겠다는 내용이다. 현재의 EPR 제조 능력이 80%에서 향후 100%까지 확대하겠다는 것이다. 그리고 Chalon 시설의 확장 계획도 발표하였는데 현재의 연산 EPR 원전 1.7기 생산 능력을 EPR 2.7기까지 늘리겠다는 것이다. 그리고 AREVA는 Chalon 공장과 동일한 공장을 미국 버지니아에 설립할 계획을 발표한 바 있는데 여기에는 3.6억불이 투자될 것이다. 그러나 최근 AREVA는 심각한 자금 난을 겪고 있어 야심찬 투자가 이루어질지 두고 볼 일이다.

중국은 할빈 보일러, 동팡보일러, 상하이 중전기(SEC) 등의 대규모 주조 회사들이 있고 할빈과 동팡은 약 350톤, SEC는 500톤 까지 잉곳을 제조할 수 있다. 중국 중공업계는 2008년 원전 주기기 생산 계획을 발표하였는데 2015년까지 주요 기기를 연산 20기 정도를 생산하겠다는 것이다. 유럽과 미국의 퇴역 CEO 사장들을 초청하여 이곳의 기술 자립과 목표 달성을 이를 수 있도록 도움을 받기 위해 중국 회사에 근무하게 하고 있다.

최근에 China Erzhong 회사가 ASME 인증서를 획득하게 되었는

데 600MW급에 국한하고 있다. Shangdong 원자력기기제조회사는 AP1000 압력 용기 제조의 ASME 인증서를 받겠다고 선언하였다. 중국의 첫 번째 AP1000 원자로 압력 용기는 한국의 두산중공업에서 수주 한 바 있다. 1,000MW급의 원전 주기기 제조에는 시간이 걸리게 될 것이며 EPR 1,600MW의 경우는 더욱 시간이 필요할 것이다.

러시아 주기기 제조업체인 ZiO-Podolsk은 2015년까지 6천5백만 유로달러를 투자하여 원자력주요 기기 제조업을 성장시키겠다고 발표한 바 있다.

2009 초 스페인의 ENSA는 GE-Hitachi와 협력협정을 체결하여 ABWR와 처음 추진되는 ESBWR의 주기기를 개발하기로 하였다. 그러나 2009년 2월 JSW는 SBWR 6기에 대한 주기기 수주 계약을 마친 바 있어 ENSA는 2012년까지는 생산 계획이 없다.

미국의 웨스팅하우스는 4기의 AP1000의 주기기 계약을 CB&I(Chicago Bridge & Iron)와 체결하였고 또한 운전중인 원전의 주기기 교체용 제조도 추진할 계획이다.

영국은 가스냉각로를 개발한 종주국이며 최초의 상용로를 운전하던 나라이지만 원전 산업이 침체하여 막다른 골목에 처해있다. 특히 핀란드의 EPR에의 참여는 영국의 원전 산업 침체를 더욱 부추긴 결과가 되었다. 이 프로젝트에 참여한 2,183개 중 1%에 불과한 경우지만 영향을 크게 받고 있다.



AREVA가 영국을 도와줄 수 있다는 의사를 표시한 상태에 있으며 2009년 5월 영국 브라운총리가 셀라필드에 있는 주기기 생산업체인 Forgemasters를 방문한 적도 있지만 회사 측면에서는 15,000톤의 프레스 시설 구축 자금을 주 정부의 보조금으로 요청할 것인지 여부가 아직까지 결정되지 못하고 있다.

전반적으로 볼 때 원전 산업의 확충으로 제조 설비의 증축은 필요할 것이다. 이와 관련하여 원자력 제조 설비는 몇 백억 불의 막대한 초기 투자비가 들기 때문에 장기간을 바라본 사업에 투자를 결정하기란 쉽지 않을 것이다.

또 다른 어려움은 세계 전력 수요 증가율이 둔화되고 있다는 점, 정부의 지원이 점점 줄어들고 있다는 점, 신재생에너지의 영역이 확충되고 있다는 점 등이 걸림돌이 되고 있다. 그리고 남아공, 캐나다, 미국 등 최근에 신규 프로젝트를 취소하는 사례들이 투자 결정을 어렵게 하는 또 다른 요인이 되고 있다.

### 주요국의 원자력 인력

1890년대의 투자 건설 비율이 30년이 지난 지금에 반복될 수 없다. 원자력산업과 전력 회사들은 산업 환경의 변화에 따라 큰 곤경에 직면해 있다고 할 수 있다. 원전에서 발생한 방사성폐기물 관리와 폐로에 따른 경비 모두를 걱정해야 하는 입장이 되었다.

가스와 석탄 이용의 현대화, 신

재생에너지의 개발 등에 많은 변화가 있었다. 원전 산업에서는 건설 및 운전 분야에서 기술이 절대적으로 부족한 것이 문제라 할 수 있다.

OECD NEA가 16개 국가를 대상으로 조사한 결과에 의하면, 불과 몇 개 국가만 적절한 품질을 유지할 수 있는 원자력 기술을 가지고 있을 뿐이라 보고하고 있다. 대학 졸업 후 산업체에 고용될 수 있거나 연구 기관에 연구 개발 업무에 종사할 수 있는 최고의 능력을 가르치는 대학교를 평가하였는데 교과 과목과 그 내용을 볼 때 실망스럽다는 의견을 제시하였다. 이는 그 동안 원자력산업의 축소, 투자 축소, 학생의 사회 진출에 대한 지향 등 나쁜 방향으로의 영향에 따른 것으로 평가되었다.

IAEA는 원자력 지식 관리(Nuclear Knowledge Management)라는 이슈로 이러한 문제를 제기하였고 2004년 회원국 간에 국제 회의를 개최한 바 있는데 회원국에게 이러한 문제점에 대해 도움을 줄 수 있도록 취해진 조치였다. 이 회의의 발표 내용이 기대 이하로 일반적인 사항들만 다루어졌기 때문에 보다 현실적인 문제를 재논의하도록 2007년 ‘경쟁력 있는 실전에 신뢰성 있는 공급(Reliable supply of competent workforce)’이란 주제로 재토의 한 바 있다. 원자력에 종사하는 젊은이들에 대한 대우의 문제도 토의 대상이었다.

2007년 NEA 운영위원회 보고에 따르면 원자력산업에 종사하는

인력 자원의 심각성이 언급되었다. 즉 급여 부분을 줄이기 위해 조직을 축소하고 이로 인해 전문성이 결여되며 운영비를 줄이기 위해 연구 시설의 손실을 가져오고 간접비를 줄이기 위해 대학교의 지원을 축소하는 악순환이 지속되고 있다는 내용이다.

WANO(세계원자력운전자협의체)의 회장으로 선출된 Shreyans Jain은 2007년 9월 다음과 같은 말을 하였다. “세계적으로 주목해야 하는 가장 주요 사항은 발전소의 노후화에 따른 대처 방안이다. 원전이 노후화되고 있는 것은 세계적인 추세이며 이 숫자는 점점 늘고 있고 이에 대해 대처 방안은 기술적인 문제인데 대학을 졸업한 젊은이들이 기술의 전수 없이 이러한 일을 할 수 없다. 대학에서 적절한 교육을 받아야 함은 물론이지만 입사한 후에는 기술 보유자로부터 충분한 기간을 가지고 교육을 받아야 하는데 현실은 그렇지 않다는 데 심각성이 있다.”

### 1. 미국

향후 10년에 걸쳐 현재 원전과 시설 운영을 위해 약 26,000여명의 신규 인력이 필요할 것으로 추정된다. 새롭게 건설되는 원전 및 시설에 대한 수요는 제외된 인력이다.

향후 30년 안에 신규 원전 인허가 사항을 검토해야 할 것이나 현재의 인력의 약 30%는 퇴직을하게 된다. 특히 5년 내에는 15%의 종사자가 퇴직이 도래할 것이다.

종전 인허가 업무를 수행하던 직원의 퇴직으로 공백이 발생할 수 있어 이는 심각한 문제로 발전할 수 있다.

2007년 미국원자력학회 발표에서 원자력 르네상스는 사실과 달리 동떨어져 있다고 발표되기도 했다. 한 전력 회사의 CEO는 원자력 르네상스는 신규 원전을 건설하는 데 야기되는 각종 현실적인 사항들과 어려움의 이유 때문에 점점 식어가고 있다고 발표한 바 있으며, 가장 큰 어려움은 바로 적절히 훈련된 인력을 찾지 못하고 있다고 강조하였다.

현재의 기술 인력 40%가 5년 내에 퇴직을 하게 되며 8%는 32 세 이하의 인력이라는 것이다. 기술자 및 엔지니어의 대학 졸업생이 증가하고 있지만 중요한 것은 경쟁력을 갖출 수 있어야 한다는 것이다.

르네상스 시대로 알려진 1980년대에는 원자력공학과가 있던 대학이 65개였으나 2008년에는 31개 대학으로 줄었다. 웨스팅하우스는 대학을 졸업하기 전이라도 적절하게 교육된 3, 4학년의 대학생을 대상으로 인턴 사원 고용 광고를 신문과 인터넷으로 공모한 적이 있다. 그러나 전 세계 25개 학교에서 적절한 인력을 찾는데 매우 어려움이 있음을 호소하고 있으며 이는 NRC 도 마찬가지이다.

미국의 경우 원자력공학과 학생 수는 2008년 현재 약 1,300명이다. 이 중 841명이 졸업하였는데 학사 454명, 석사 260명, 박사 127명이다. 이 숫자는 2003년 이

후 계속 증가하고 있는 통계이며 2003년 기준 약 배 이상 증가한 졸업생 숫자이다. 이렇게 배 이상의 증가 이유는 전력 회사의 수요에 그 의미가 있으며 학생의 교과 과목에 전력 회사의 관심이 집중된 것에 기인되어 2008년에는 대학 졸업자의 수요가 2000년에 비해 3 배가 증가한 결과를 가져왔다.

## 2. 프랑스

인력의 문제는 다른 나라와 비슷하다. 전력 회사인 EDF의 경우 2015년까지 현 인력의 약 40%가 퇴직하게 된다. 다른 보고서에 의하면 2008년~2015년 사이에 운전 및 보수 유지 인력의 약 50%가 퇴직하게 된다. 연령별 구조의 불합리로 인해 전 인력의 65%가 40 세 이상이어서 젊은 자격을 갖춘 인력의 확보가 선결 문제로 남는다는 보고이다.

EDF는 젊은 층의 인력을 채용하면서 적절한 훈련을 하는 노력을 경주하고 있으나 원만히 기술의 이양이 제대로 될지는 확인할 수 없다는 것이다. 2008년 초 500명의 인력을 채용하였고 2009년 5월에 50명의 운전원 훈련 강사체를 도입하였다. 원전 건설자인 AREVA는 건설기술자를 2006년에 400명, 그리고 2007년에 750명을 추가 채용한 바 있다.

AREVA의 인력 계획은 학교와의 유대를 강화하고 있다는 것을 예로 들 수 있다. '내일의 자원 족을 위한 특성화 대학 교육'이라는 슬로건으로 중·고등학교까지

연대하고 있다.

확실한 통계는 아니지만 프랑스에서 졸업하는 원자력공학과 졸업생은 년 약 300명으로 추산되고 있다. 프랑스의 국가원자력과학기술연구원(INSTN)과 연계하고 있는 CEA는 매우 잘 훈련된 인력을 매년 70명을 배출하고 있다.

EDF는 INSTN에 학생 수를 배가해줄 것을 요청하였으며 이것이 현실화되고 있다. INATN은 향후 30년의 장기 계획을 수립하여 과거 2003년에 41명의 최하 졸업생을 배출하던 것에서 2009년에는 최대 108명을 졸업시키게 되었는데 전체 원자력공학과 졸업생의 1/3을 점하게 되었다. 그러나 프랑스의 매년 인력 수요는 년 1,200~1,500명이 될 것으로 추정된다.

프랑스의 안전 규제 기구인 ASN (French Nuclear Safety Authority)의 경우 2003년의 312명에서 2008년 말 현재 40%가 증가한 436명으로 증원되었다. 특히 이 기간에 원전 등 민간 업무에 종사하는 직원이 전체 직원의 78%로 2/3가 증가하고 나머지는 CEA 등 업무와 계약 업무에 종사한다.

## 3. 영국

2002년 이후 영국은 원자력공학과가 단독 학과로 있는 대학이 없다. 영국에는 무역산업성의 보고에 의하면 원전, 핵연료, 국방 및 제염 등 원자력산업에 필요한 기술 인력은 2017년까지 약 1,000명이 필요할 것으로 보고하



고 있다.

이 중 700명은 은퇴 직원의 교체로 필요하며 나머지 300명은 원전 사업의 확장과 원자력산업의 제염에 필요한 인력이다. 원전 검사와 관련된 인력의 수요가 약 153명으로 추정되는데 이를 위해 20명의 숙련된 인력이 추가 필요하다.

영국의 원전 사업의 인력 문제는 2015년~2025년 사이에 가장 문제인데 이때는 덜 숙련된 인력에 고임금의 이중고에 시달릴 것으로 보고 있다. 2009년 2월 현재 영국에 필요 한 인력 수요는 590~970명인데 대학을 졸업하는 숫자는 270~450명으로 절대적으로 자격을 갖춘 인력의 수가 부족한 상태이다.

#### 4. 독일

2004년 분석에 의하면 원자력 산업의 교육과 인력 개발은 급격히 침식되는 것으로 나타났다. 원전 건설 및 보수 분야에의 인력의 일거리가 2010년에 약 10%가 주는 것으로 나타났다. 1993년에는 43명의 원자력공학과 졸업생이 배출되고 1998년에는 한 명의 졸업생이 없는 상태이다. 그래도 현재 총 50명의 학생이 원자력공학의 강의를 듣고 있는 실정이다.

정부에서도 원자력에 대해 2004년 이후의 교육 계획을 보완하지 않고 있으나 AREVA가 Karlsruhe에 원자력전문학교를 설립할 계획을 2009년 발표한 바 있다. 비용은 AREVA가 부담하며

성공적인 교육 과정이 이수된 자는 이를 확인한 후 취업도 AREVA에서 보장한다는 것이다.

### 경제성

#### 1. 서론

원자력이 경제성에서 월등한 것으로 알려져 왔으나 실제 막대한 투자비가 소요되고 방사성폐기물의 관리와 사용후핵연료의 처리, 폐로에 따른 비용 등을 고려할 때 쉽게 경제적이라 말할 수 있는 여건이 아니라는 반대 의견도 만만찮다. 1970년대의 경제성에 큰 항목으로 작용한 것은 사용후핵연료의 재활용이란 전제 여부가 크게 좌우하기도 하였다고 본다.

미국의 경우 공기 지연에 따른 경제성 발표가 몇 차례 수정되기도 되었고 이로 인해 경제성이 의문시 된다는 이유에서 공사에 착수, 진행되던 발전소 건설 계획이 취소되기도 하였는데 무려 약 100여기에 이른다.

1980년 말 영국의 경우는 국영 원자력의 민간 자본화에 따른 경제적 논리가 크게 오도된 경우이다. 민영화에서 어려운 점이 부각되었는데 이는 원전 시설의 자산을 살려고 하지 않았기 때문이다. 당시 운전 경비가 시장 가격의 두 배에 해당되었다. 그래서 민간화되지 못한 자산을 정부가 보유할 수밖에 없었다. 나중에 운전 여건이 개선되어 결국은 1996년에야 민간에 이양한 바 있다. 같은 시점에 미국의 경우, 원자력보다 가스

발전소가 경제성이 좋다는 분석에서 몇 기의 원전 운전을 포기한 적이 있었다.

이러한 과거의 경험에서 볼 때 최근 신규 기술에 의한 차세대 원전의 설계가 관심을 끈다. 첫째는 보다 신뢰성을 높여 경제성을 향상시킬 수 있으며 둘째, 기후 변화에 따른 저탄소 배출 에너지로서의 역할과셋째, 전력 효율을 높이기 위해 기저 부하 목적으로 운전 할 수 있다는 이유이다.

그러나 현실적인 경제성 분석은 무엇보다도 시장성에 좌우된다고 해도 과언이 아닐 것이다. 원전 프로젝트는 막대한 초기 투자비가 들기 때문에 자금 조달을 어떤 조건에 하느냐에 따라 경제성이 크게 달라진다.

건설비의 주력인 초기 투자비는 발표하기에 매우 민감한 항목이고, 이렇다 보니 일부 현실성이 결여된 경우가 있는 것이다. 심지어 4~5년 전에 사용하던 건설비 가격을 현재에도 그대로 사용되는 것을 볼 수 있다.

그러나 현실은 그렇지 않음을 알 수 있는데 그 대표적인 예가 핀란드의 원전 Olkiluoto-3이다. 2004년에 발표한 EPR 건설비는 30억 유로달러였으나 공기 지연으로 공사비는 계속 수정되어 최근에는 36억 유로 내지 40억 유로가 될 것이라지만 이 역시 확실한 가격이 아니라는 것이다. 아직도 발전소의 준공 일정이 확인되지 않고 공급자와 발전회사 간에 소송이 진행되고 있기 때문이다.

경제성이 가장 영향을 많이 주

는 요인 중 하나는 통화 팽창에 따른 증가와 환율이다. 일반적으로 통화 팽창은 년 3%를 고려하면 34%가 상승하게 된다. 환율의 변동을 예로 들면 미국 달러와 유로의 환율의 변동은 너무 가변적이어서 경제성 분석에 신뢰성을 잃게 하는 요인이 된다. 환율의 변동으로 2005년의 855유로/kW의 건설비가 637유로/kW와 같아진 결과가 바로 환율 때문이다.

## 2. 고정비

발전소가 운전되는데 필요한 전반적인 가격을 고정비라 하는데 이는 발전 원가의 약 2/3를 차지한다. 일반적으로 건설비와 폐로 비용이 여기에 속하는 것으로 건설비와 판매 생산 전력비, 그리고 자본비로 나눌 수 있다.

고정비는 앞서 언급되었지만 매우 민감한 항목이라 회사가 발표하기를 꺼려한다. 제3세대 원전이 논의된 2003년, 경제성 분석에서의 건설비가 약 10억불로 추정되어 건설 단가로 1000불/kW를 발표한 바 있다. 웨스팅하우스는 1000~1200불로, 그리고 AREVA는 EPR의 경우 1400불/kW로 발표하기도 하였다. 그러나 현실은 그렇지 못함이 펜란드의 Olkiluoto에서 나타났다. 가장 최근에 발표된 가격이 2,250~2,475 \$/kW이지만 이 역시 최종 고정비는 아닌 것이다.

EPR은 AREVA가 58기의 PWR을 설계 건설한 가장 최근의 차세대 설계로서 EDF나 독일 전

력 회사 중에서 건설하여 목표 건설비인 1000불/kW를 달성하여 차기 신규 건설 원전의 참조 발전소로 활용할 계획을 세운 바 있었다.

그러나 첫 번째 신규 원전은 펜란드의 Olkiluoto-3 프로젝트로 결정되었고 2009년 3월 현재 당초 목표와는 달리 약 3년 이상의 공기 지연을 가져오면서 건설비도 천정부지로 상승하고 있다.

AREVA와 펜란드 전력 회사인 TVO 간에 소송이 진행되고 있는데 AREVA는 약 10억 유로의 배상을 요구하고 있고 TVO는 오히려 계약 위반에 관한 사항으로 24 억 유로의 역배상을 요구하고 있다. 어떻게 보면 세계에서 가장 비싼 원전이 될 가능성이 높다.

프랑스 전력 회사인 EDF는 2007년 EPR 원전을 구매하기로 하고 부지를 Flamanville로 결정하였다. 1,600MW의 시설 용량의 EPR 가격은 2006년 가격으로 33 억 유로로 추정(약 2,590유로/kW)한 바 있다. 이 가격에는 초기 핵연료와 자금 조달 비용이 포함되지 않았으니 어떻든 건설비는 더욱 높아진다고 보아야 한다.

EDF는 모든 책임을 AREVA에 맡기던 터키 방식을 택하지 않고 직접 관리하는 방식을 택하고 있다. 예를 들면 터빈 발전기 계약이나 발전소 설계도 직접 계약 관리를 하게 된다. 중국에 수출되는 EPR 역시 비슷한 계약으로 AREVA는 1차 계통의 업무를 담당하게 되고 EDF가 계약 관리의 책임을 진다.

프랑스의 규제 기관이 2008년

5월 Flamanville의 콘크리트 최초 타설과 관련 품질에 제공을 건 바가 있고, 최근에는 가압기의 품질에 제동을 걸어 이 발전소의 공기 역시 당초 목표보다 지연되어 목표 공기 52개월을 지키기 어렵게 되어 2013년 이전에 완공될 수 없는 지경이다. 이에 대해 EDF는 이미 AREVA에 배상 책임을 제기하고 있다. Flamanville 원전의 건설비는 당초 33억 유로에서 40억 유로로 추정되고 있다.

AREVA가 제시한 향후의 EPR 가격을 보면 2008년 9월 환율을 적용, 약 65억불(3800불/kW)로 추정하였고 E.ON은 2008.5월 가격으로 영국에 건설 할 경우 50~60억 유로를 추정하고 있다.

미국의 경우 10개 이상의 전력 회사가 원전을 건설하고자 한다. 그러나 미국은 제3세대원전을 건설해 본 경험은 없다. 2003년 MIT의 경제성 보고서가 있었고 2007년 Keystone Center 보고서가 있다.

MIT는 kW당 약 2000불을, 그리고 Keystone Center의 경우는 2,950불을 제시하고 있으며 자금 조달 비용 등을 포함할 경우 3,600불로, 그리고 높은 가격대로는 11% 높은 약 4,000불까지 제시하고 있다. 특히 2,950불/kW의 근거는 MIT 보고서와 한국(2005년)과 일본(1994년) 보고서를 참고한 것으로 알려지고 있다. MIT의 2009년 5월 수정 가격은 그들이 2003년에 작성한 가격과 대비하여 2배가 많은 4,000불/kW를 제시하고 있다.



한편 원전 공급자와 전력 회사 입장에서 경제성을 분석한 결과가 있다.

Levy는 AP1000(1105MW급)의 원전 가격을 직접비, 간접비를 모두 합하여 2008년 말 기준 약 76.5억불로 추정하였다. 또 전력 회사 별로는 원전 노형과 규모가 다르기는 하지만 다양하게 추정하고 있다.

### 3. 가격에 영향을 크게 주는 인자

원전의 초기 단계의 건설비는 kW당 약 1,000불 수준이었으나 지금은 약 5,000불선이다. 이렇게 크게 증가하고 있는 이유는 여러 가지 사안이 있으나 몇 가지를 다음과 같이 요약한다.

우선 원전에 적용되는 규격의 개선과 이의 적용을 들 수 있다. 다음은 통화 팽창의 이유 인데 약 3배 이상이 상승했지만 실질 상승을 고려하면 4배의 상승으로 볼 수 있다.

그리고 물품 가격의 증가가 한몫을 한 것으로 나타나 있다.

2003~2007 동안 철은 약 10% 상승에 그쳤지만 니켈과 구리 가격은 무려 매년 60% 상승하여 건설비에 영향을 준 것으로 보고 있다.

또한 과거 20년간 원자력 발주의 침체로 원전 제조 생산 시설이 문을 닫게 되는데 이는 제한된 회사가 주 기기를 공급하게 됨으로 경쟁력을 잃게 되어 이의 결과가 건설비 단가를 올리는 요인이다 된다.

그리고 공급 분량도 절대적으로 부족한 것도 어려움을 주게 되는

데, 예를 들면 AREVA의 경우 연간 EPR 건설 1.7기에 불과하여 이 시설의 확장을 추진중이지만 확장될 시설 목표는 2.7기 수준이다. 이 시설은 모두 ASME와 프랑스의 RCCM 규격을 동시에 만족해야 한다. 이 역시 가격 증가 요인이 된다.

다음은 기술 인력의 부족으로 오는 문제인데 이는 어느 국가이건 거의 마찬가지이다. 신규원전의 건설은 물론, 운전 중인 발전소의 수명 연장과 발전소 쇄신 작업에 필요한 기술자의 부족은 심각한 문제이며 전력 회사, 규제 기관의 검사 인력, 생산 인력 등도 모두 해당한다.

또 하나의 상승 요인은 미국 달러의 약세를 들 수 있다. 2005년의 미국 달러 약세는 세계 경제에도 큰 영향을 주었지만 원전 건설비 상승에도 크게 기여하였다. 2005년 11월 1유로는 1.17불이었는데 2008년 7월에는 1.57불의 가치로 변하였다. 이 가격은 같은 해 11월에 다시 1.27불로 변화한 바 있다.

원전 사업은 막대한 프로젝트로 부채와 자산(순가)로 구성된 자금 조달에 의해 추진된다. 일반적으로 부채는 자산보다는 비싸지 않는데 MIT 경제성 비교에 사용된 이율을 보면 자산의 순가는 12%인데 비해 부채는 5%로 적용되었다. 그런데 Keystone의 경우는 다르다.

이렇게 자금 조달 방식 및 이자율은 발전소 자금 조달에 가장 중요한 인자가 되며 또한 경제성 분

석에도 입력 정보를 어떻게 사용하느냐에 따라 그 결과가 매우 다르게 도출된다.

그리고 발전소의 운전 신뢰성은 경제성에서 크게 좌우되는 항목이다. 그러나 신규 원전 건설의 경제성 분석에서 일괄적으로 적용하고 있어 분석 자체에 큰 의미를 크게 두지 않는 경향이 있다.

1980년대까지 미국의 경우 가동률은 60~70%에 그치고 있었다. 그러나 발전소의 쇄신 노력과 운전 경험에 힘입어 지금은 90%에 접근하여 전력 회사의 경영 개선에 크게 기여하고 있는 것이다. 이러한 개선이 신규 원전을 건설하고자 하는 원인 제공을 하고 있다고 볼 수 있다.

세계 414기의 원전 가운데 1년 이상 운전한 원전으로서 90% 이상 가동률을 지속적으로 계속 유지하는 원전은 7기에 불과하며 80% 이상을 기록하고 있는 원전은 100기로 기록되고 있다. 또한 가동률의 기록이 최고로 좋은 13기를 국가별로 분류하면 한국이 6기, 독일 5기, 핀란드가 1기로 알려졌다.

### 주요 내용 요약

2009년 8월 현재, 세계의 원전은 2002년보다 9기가 적은 435기가 운전 중이며 IAEA 자료에 따르면 52기가 건설 중에 있다. 르네상스의 원전 건설 퍼크 시에는 233기가 건설 중이었으며 1987년에도 120기가 건설이 지속되었다.

1950년대에 원전이 처음으로

도입된 이래 원전 건설은 지속되어 왔다. 그러나 루마니아 체나보다 2호기가 상업 운전이 시작된 2007년 8월 이후 2년간은 하나의 원전도 완공되지 않았다.

유럽의 경우도 1989년 현재의 EU 국가 27개국에서 177기의 원전이 운전되었으나 지금은 144기에 불과하다. 세계의 원전 총 시설 용량은 현재 3.7억kW로서 1년 전에 비하면 160만kW가 줄어든 용량이다.

발전량을 보면, 2조 6천만kWh로서 세계 전기 공급량의 14%를 점유하고 있다. 2007년에 전력 수요가 2%가 감소하였고 원전 전력 생산량은 0.5% 감소하였다. 원전에서의 전기 생산은 상용 1차 에너지 생산에 5.5%를 공급하고 있다. 원전 운전 세계 31개국에서 27기의 원전이 보수(23기) 중이거나 출력을 감발(4기)하고 있다.

세계 원전 운전 평균 수명은 25년이었다. 어떤 전력 회사는 수명을 40년 이상으로 상향 조정하는 것으로 평가되고 있다. 이미 운전을 정지한 123기가 평균 수명이 22년임을 고려하면서 운전 수명을 배로 늘리는 것이 적절한 것으로 평가되고 있다. 향후 10년 후면 건설 운전 신규 원전의 수와 보수해야 하는 원전 기수가 거의 같게 될 것이다.

2015년까지 건설, 운전될 원자로가 94기(건설 중 52기 및 계획 확정 42기)에 이를 것이다. 이는 1.5개월마다 원전 1기가 준공된다는 뜻이고 이 이후 10년까지 192기의 원전이 계획되고 있으니

이는 19일에 1기의 원전이 준공 된다는 뜻이다. 그렇다 하더라도 2002년에 444기가 운전되던 피크시점이 다시 도래하기는 어려울 것이다.

2015년까지는 시설 용량은 9,600MW가 증가되지만 운전 기수는 오히려 10기 줄어들게 된다. 그 이후 약 10년간에 174기의 신규 원전(시설용량 152GW)이 대체될 것이다.

핀란드와 프랑스가 1기 내지 2기의 원전을 추가 건설하게 되고 중국이 추가로 20기를, 일본과 한국 또는 동구에서 몇 기를 추가 건설한다 하더라도 세계 전반적으로는 향후 20년 내에는 소폭 줄어드는 추세가 될 것이다. 원전이 설치되기까지의 선도 기간이 약 10년이 걸리므로 향후 20년 이후에야 상승 무드로 바뀌게 될 것으로 보인다.

원전을 도입하고자 하는 나라에 적용규제체계, 독립적인 규제기관, 국내 정비능력, 숙련된 기술 인력 등을 평가해 볼 때 도입 능력을 가진 국가는 당장 없는 것으로 평가되었다. 적어도 도입하겠다는 결심을 하고서 규제 체계를 갖추는 데는 약 15년이 소요된다는 분석이다.

어떤 국가는 전력 수요량에는 대용량의 원전을 도입할 수 있으나 경제적인 입장에 있지 못한 국가가 있으며 어떤 국가는 전력망 인프라가 적어 대용량 원전을 도입하는 데 장애 요인을 주고 있다.

정부가 부정적인 태도를 견지하고 있는 호주, 노르웨이, 말레이시

아, 태국이 있고, 국민 수용성이 좋지 않은 터키와 이탈리아가 있으며, 국제 핵비확산조약과 관련된 이집트와 이스라엘, 경제적인 면에 고민하는 폴란드, 지진으로 인해 고민하는 인도네시아, 국내 산업 인프라가 취약한 베네수엘라 등이 있다.

숙련된 기술력의 취약성과 경쟁력을 잃는 요인이 원전을 확산하는 데 가장 장애 요인으로 꼽을 수 있다. 원전 경쟁력에서 강력한 기반을 구축하였다는 프랑스만 하더라도 숙련된 인력 부족에 고민하고 있다.

가장 큰 요인은 '베이비 블에 태어난 사람(baby-boomer)'들이 퇴직하게 되는 것인데 세계에서 가장 큰 전력 회사인 EDF의 원자력 인력 약 40%가 여기에 속한다. 현재에도 1,200명 내지 1,500명이 공석이어서 이 자리에 대학을 졸업한 인력 300명이 당장 채워질 수 있다.

또 다른 어려움은 원자력 전공 졸업생들이 원자력산업의 신규 고용자 수와 일치하지 않는다는 것이다. 미국의 경우, 2008년 원자력 졸업생의 1/4만이 원자력 산업체에 취업을 희망하고 나머지는 대학원으로 진학하거나 또는 공무원 등 다른 분야로 진출하기를 바라는 것으로 알려졌다.

이러한 현상은 비록 미국뿐만의 일이 아니라 다른 국가도 비슷하다. 적어도 단기간의 문제이기는 하지만 원자력산업의 제조업의 병목 현상도 어려운 실정이다.

경제성 분석에서 기술적인 개발



이 전제되는 것이 다른 산업도 마찬가지이지만 원자력산업도 현재의 건설 비용, 향후 추정 코스트가 점진적으로 상승하고 있다.

MIT가 2003년에 이어 재 추정된 경제성 분석에 의하면, 과거 설치된 원전의 건설비 kW당 2,000불에서 2009년 5월 가격 4,000불로 2배로 상승한다는 것이다.

실제 AREVA의 설계, 관리하에 세계에서 제일 대형인 원전인 핀란드의 Olkiluoto 원전 건설은 약 3년의 공기 지연을 초래하여 건설비가 4,400불/kW(약 3,100유로)로 계산되어 전체 건설비가 70억 불에 달한다.

최근의 세계적인 경제 위기는 원전 도입을 하고자 하는 국가에 더 큰 어려움을 줄 것으로 판단된다. 그러나 현 시점에서 국제 원자력 사업은 적어도 미래의 약속에 대한 특별한 장해를 받을 확실한 신호가 없다는 것이다.

전 세계는 제한된 에너지 자원의 효율적인 활용과 석유, 석탄 등 화석연료의 이용에 따른 이산화탄소 발생으로 지구 환경의 변화에 적극적으로 대처해 나가는 것이 현안으로 되어 있다.

이에 대한 대안의 하나로 원자력 발전의 개발이 대두되고 있는데 원자력 발전은 이산화탄소를 배출하지 않는 깨끗한 에너지일 뿐 아니라 높은 경제성을 함께 가지고 있다.

## 결론

1979년에 233기의 원자력발전소가 건설되고 있었던 그 때와 같은 원자력 브네상스가 다시 찾아오고 있는 것인지에 대해 말만 요란하고 실제적인 정후는 아직 나타나지 않고 있다는 소리도 일부 설득력을 갖는 것 같다.

원전을 건설해 본 경험이 없는 국가로서 원전을 건설하고자 하는 나라들은 몇 개국을 제외하고 거의 인프라가 구축되어 있지 않다는 것이다.

인프라 구축에 연관되는 사항들, 예를 들면 전력 계통이 10,000MW에 미달하는 국가, 안전 규제 등 법령과 법규 미비, 그리고 원자력을 추진할 수 있는 조직과 기술 인력이 결여된 국가, 전문 인력이 부족하고 연구로의 시설 등 원자력 시설이 없는 국가 등이 여기에 속한다 할 수 있다.

철저한 안전성을 전제로 절차에 의해 추진되며 막대한 초기 투자비가 조달되어야 하고 건설에 약 10년이 소요되는 장기 프로젝트인 원전 사업은 최소한의 준비 기간이 필요한데, 전문가들은 이들 국가가 원전을 도입하기까지는 약 15년이 필요할 것으로 견의하고 있다.

이 보고서에서 분석된 내용에서 한국과 관련된 사항, 즉 탁월한 원전의 운전 신뢰성, 기술성 및 경제성, 원전 건설 공정 관리, 제3세대 원전의 표준 모델, 주기기 생산 제조 능력 등에 대한 분석이 부족하다는 느낌을 받았다.

우리는 지난 연말 UAE에 원전 4기를 수출하는 계약을 성공하여 세계 속의 한국의 원자력 이정표가 본궤도에 진입하는 단계이고 세계에서 핵연료 설계 및 제조 등을 포함, 가장 원전 운영을 잘하고 있으며, 또 지난해에는 원전 가동률에서 세계 1위를 달성한 국가이다.

그러나 이 보고서는 원전 사업을 추진하는 과정에 적어도 판단해야 할 사안들을 전문가의 입장에서 기술적인 문제점을 잘 다루고 있다고 판단된다.

원전 사업의 해외 진출은 각 원전 공급자들의 판매 전략이 보다 적극적이고 역동적으로 추진될 것이 분명할 것으로 판단된다.

판매 전략의 기본은 무엇보다도 신뢰성 있고 경제적인 원전 상품이 최고의 가치를 가질 것임이 분명하다.

바로 우리나라는 제 3세대의 원자로인 APR 1400과 OPR1000 원전 상품을 가지고 있다.

그러나 한편으로 1%가 모자라는 원천 기술을 계획대로 2012년 까지 반드시 완결하도록 해야 할 것이다. ☺

### <참고 자료>

Mycle Schneider, "The World Nuclear Industry Status Report 2009", commissioned by German Federal Ministry of Environment, Nature Conservation and Reactor Safety, Aug. 2009