

## 미국의 원자력정책과 산업계의 동향 \* - 원자력 발전의 대규모 신규 건설 계획 -

미국은 100기를 넘는 원자력발전소를 보유하고 있어 총발전 전력량의 20%를 공급하고 있다. 최근 설비 이용률의 향상과 운전 인가 기간의 연장으로 인해 경쟁력이 점차 늘고 있으며 전력의 규제 완화에 따른 원자력발전소의 매각 및 원자력 발전 사업자의 합병이 진행되고 있는 상황이다.

부시 행정부는 신규 원자력발전소의 건설에 대한 재정 지원 조치를 결정하는 등 원자력 발전의 추진 정책을 세워놓고 있어 산업계는 대규모 신규 원자력발전소의 건설을 계획하고 있다.

### 원자력발전소의 가동 현황

미국에서는 2007년 5월 현재 전 세계 원자력발전소(430기)의 약 4분의 1에 달하는 104기(PWR; 69

기, BWR; 35기), 설비 용량 약 1억 kW의 원자력발전소가 가동 중에 있어 세계 최대의 원자력 발전 대국이다.

한편 브라운즈 페리 1호기(BWR, 112만kW)는 1985년 3월부터 운전을 정지하고 있는 중이었으나 2007년 5월에 22년 만에 운전을 재개한 상태이다.

미국의 원자력발전소의 발전 전력량(송전단, 이하 동일)은 2005년에 7,820억kWh를 기록해 총발전 전력량인 4억 547억kWh의 19%를 차지, 석탄화력(50%)에 이어 두 번째로 비중 있는 전원으로서 전력의 규제 완화가 진행되고 있는 요즘 높은 설비 이용률과 저코스트를 달성한 기초 전원으로서 재평가되고 있다.

미국 원자력발전소의 가동 수는 1990년의 111기를 정점으로 점차

감소되어 1999년 이후에는 103기를 기록했는데 기존 발전소가 출력을 증가하는 등의 영향으로 1990년 이후의 설비 용량에는 큰 변화가 없다.

설비 이용률은 장기 운전 사이클(18-24개월)의 채용, 연료 교환 정지 기간의 단축, 운전 관리의 합리화로 인해 1990년의 66%에서 2000년에는 88.1%로 상승했으며 2002년에는 과거 최고치인 90.3%를 기록했다.

발전 전력량은 1990년의 5,769억kWh에서 2006년의 7,872억kWh로 16년 사이에 2,103억kWh 정도가 증가했는데 이는 100만kW의 원자력발전소 27기가 새로이 추가된 것에 해당하는 수치이다.

설비 이용률의 향상으로 인해 생산성이 높아져 전력의 생산 코스트(자본 비용을 제외한 발전 코스트:

\* 기무라 요시아스(木村 康)/일본 해외전력조사회, 출처: <전기평론> 2007.07., 번역 게재: 전력정보센터(EPIC) 해외저널

운전 보수 비용 + 연료비)는 1987년을 정점으로 점차 감소되어 1999년에는 1987년 이후 처음으로 석탄 화력발전소의 생산 코스트를 밑돌아 2005년에는 1.72센트/kWh를 기록했다.

**출력 증강과 운전 인가 기간의 연장**

**1. 출력 증강**

미국에서는 정격 열출력을 증가해 전기 출력을 증가시키고 있다. 1977년 이후 2007년 4월 현재 전기 출력은 490만kW 증가했으며 더욱이 합계 100만kW가 심사 중에 있어 2011년까지 138만kW의 신청이 예정되어 있다.

**2. 운전 인가 기간의 연장**

미국 원자력발전소의 운전 인가 기간은 원자력법에 의해 운전 인가 발급으로부터 최대 40년이며 단 갱신은 가능하다고 규정되어 있는데 갱신을 위한 수속은 정해져 있지 않은 상태이다.

운전 인가를 20년까지 갱신할 수 있는 프로세스를 규정한 운전 인가 갱신 규제(10CFR Part 45)는 1991년에 제정되어 1995년에 개정되었다.

미국 원자력발전소 104기 중 41기는 2015년까지 최초의 운전 인가 기간인 40년에 이르게 된다. 때문에 2000년 3월의 콜버트 클리프 발전소를 시작으로 운전 인가의 갱

신이 이루어지고 있다.

2007년 5월 현재 운전인가 갱신이 인정된 원자력발전소는 합계 48기로 현재 10기가 신청이 완료된 상태이며 27기가 2013년까지 신청할 예정이다.

**원자력발전소 매각과 원자력 발전 사업자의 합병**

설비 이용률의 향상과 운전 인가 기간의 연장 등에 의해 원자력발전소의 자산 가치가 늘어나 매각 가격은 상승하고 있는 추세인데 전력 규제 완화의 진전으로 인해 1998년 이후 원자력발전소의 매각 및 원자력발전사업자의 합병이 급속하게 이루어지고 있다.

2000년 10월에는 커먼웰스 에디슨과 PECO 에너지가 합병해 원자력발전소 17기를 소유한 발전사업자인 엑셀론이 탄생했으며 같은 해 11월에는 캐롤라이나 파워 & 라이트와 플로리다 프로그레스가 합병해 프로그레스 에너지가 탄생되었다.

원자력발전소의 매각도 다수 진행 중에 있어 2006년 말 현재 원자력발전소를 운영하는 상위 10개사가 전체 원자력 발전 설비 용량에서 차지하는 비율은 70%에 달하고 있다.

**신규 원자력발전소 건설 동향**

**1. 필요성**

1979년에 발생한 스리마일 아일랜드

랜드 원자력발전소 사고 등에 의해 미국에서는 1978년을 마지막으로 새로이 발주된 원자력발전소는 없으나(건설된 원자력발전소는 1973년의 발주가 마지막) 다음과 같은 이유로 인해 신규 원자력 발전소의 건설에 대한 움직임이 거세지고 있는 추세이다.

① 에너지성 에너지정보국(DOE/EIA)의 ‘2007년판 에너지 전망’에 따르면 전력 수요는 2030년까지 연 1.5%로 늘어나 대체분을 포함해 약 3억kW의 추가 전원이 필요할 것으로 예상되고 있다.

또한 전력중앙연구소(EPRI)가 2007년 2월에 발표한 보고서에 따르면 발전에 의한 이산화탄소 배출량을 2030년까지 현재보다 30% 정도 삭감하기 위한 수단 중 하나로서 6,400만kW의 원자력 발전 설비용량의 증가(2030년 총발전 전력량의 25.5%)가 필요한 실정이라고 되어 있다.

② 석탄 화력발전소나 가스 화력발전소는 이산화탄소와 환경 오염 물질의 배출, 천연 가스 가격의 불안정성 등의 문제가 있어 에너지원의 다양화를 꾀할 필요가 있다.

③ 2000년 이후 원자력발전소의 설비 이용률은 90%에 달하고 있어 높은 안정성, 신뢰성을 유지하고 있으므로 기존 플랜트의 경제성이 더욱 향상되었다.

**2. 국가 에너지 정책**

부시 행정부가 2001년 5월에 발

표한 ‘국가 에너지 정책’에서는 원자력은 온실 효과가스를 발생하지 않는 대규모 에너지원으로 평가하고 있어 국가 에너지 정책의 중요한 기둥으로서 원자력 발전을 확대함과 동시에 방사성폐기물을 감소시킬 수 있으며 핵비확성이 뛰어난(플루토늄을 단독으로 분리하지

않은)사용후연료의 재처리, 수명이 긴 방사성폐기물의 소멸 처리의 연구, 개발, 도입을 인정해 국제적인 협력을 바탕으로 개발에 박차를 가하고 있다.

원자력 발전의 확대에 대해서는 신형로의 인허가 촉진, 기존 원자력 플랜트의 출력 증강과 운전 인가 기간의 연장을 들 수 있다.

### 3. '원자력 발전 2010' (Nuclear Power 2010)' 계획

‘국가 에너지 정책’을 바탕으로 DOE는 2002년 2월에 ‘원자력 발전 2010’ 계획을 발표했다. 이 계획은 정부와 산업계가 서로 비용을 분담해 ① 신규 원자력발전소의 건설 사이트 확정 ② 신형 원자력발전 플랜트의 개발 ③ 원자력발전 플랜트의 신규 인허가 프로세스의 실증을 실시해 2005년까지 발주를 결정한 뒤 2010년까지 신형 원자력발전소의 운전 개시를 지향한다는 계획이다.

현재 상태는 4년 정도 지연된 상태이나 DOE는 순조롭게 진행이 되면 2009년까지 발주가 이루어져 2014년까지 운전을 개시할 수 있

을 것으로 내다보고 있다.

#### 가. 신규 인가 프로세스

신규 원자력발전소의 건설에 있어 코스트 절감 정책의 하나로써 인가 프로세스의 간소화를 꼽을 수 있다.

전력 회사들이 원자력발전소를 건설해 운전하고자 하는 경우 종전에는 연방 규제인 10CFR Part50에 의해 다음과 같은 단계를 거쳐야만 했다.

- ① 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission: NRC)로부터 설계와 사이트를 특정지은 이후에 건설인가를 취득
- ② 플랜트의 조달과 건설
- ③ NRC로부터 운전을 위한 인가를 취득

이에 대해 NRC는 1989년에 10CFR Part50를 발효해 3번째 단계를 생략시켜 건설 전에 인가를 종료시키는 ‘건설과 운전의 일괄 인가(combined Construction permit and Operating License: COL)로 불리는 다음과 같은 인가 프로세스를 도입했다.

- ① 전력 회사는 인증된 표준 설계(Standard Design) 플랜트를 조기 입지 허가(Early Site Permit: ESP)가 완료된 사이트에 건설할 것을 NRC에 신청한다.
- ② NRC는 건설에 앞서 전력 회사에 건설과 운전의 일괄 인가를 부여한다.
- ③ 원자력발전 플랜트가 인증된 설계에 따라 건설, 운전되는 것을

보증하기 위해 미리 정한 검사, 시험, 해석을 실시해 합격 기준을 충족하는 것을 연료 장착 전에 확인한다. 건설과 운전의 일괄 인가 신청에서는 표준 설계 인증과 조기 입지 허가를 사전에 취득하는 것이 의무화되어 있는데 취득을 못 할 경우에는 동등한 레벨의 정보를 제공할 필요가 있다.

#### 나. ‘원자력발전 2010’ 계획의 상황

##### ① 표준 설계 인증

1990년대 말에 3 플랜트(GE의 ABWR, WH의System80+, AP600)가 표준 설계 인증을 취득했는데 새로이 웨스팅하우스(WH)의 AP1000이 2006년 3월에 자격을 취득했다.

현재 GE의 ESBWR(Economic Simplified BWR)이 심사 중에 있다.

2008년부터는 아레바 NP의 EPR(Evolutionary Power Reactor)와 미츠비시 중공업의 US-APWR의 인증이 시작된다.

##### ② ‘조기 입지 허가(ESP)의 실증 프로젝트’

DOE는 2002년 3월, 신규 원자력발전소 건설의 입지 지점을 규정하기 위해 ‘조기 입지 허가 실증 프로젝트’에 참가하는 전력 회사를 공모해 같은 해 6월에 드미니온(노스 앤너 사이트), 엑셀론(클린턴 사이트), 엔터지(그랜드 걸프 사이트)의 3개사를 선정했다.

이 3개 회사들은 약 1년간의 신

청 전 심사를 거쳐 ESP 신청서를 NRC에 제출했다. 클린턴 사이트와 그랜드 걸프 사이트는 2007년 3월과 4월에 각각 허가를 얻었으며 노스 앤너 사이트도 2007년 내에 허가를 받을 예정이다.

③ ‘신규 원자력 발전 플랜트 허가 실증 프로젝트’

DOE는 2003년 11월, 건설과 운전의 일괄 인가(COL)를 진행시키기 위해 ‘신규 원자력 플랜트 인가 실증 프로젝트’에 참가하는 기업을 공모했다.

이는 제3세대 또는 제3+ 차세대 원자력 발전 플랜트(1990년 이후에 개발된 또는 현재 개발 중으로 10년 정도 이내에 실용화 가능성이 있는 신형 플랜트)를 대상으로 한 COL의 실증을 목적으로 신형 로 건설의 완성과 COL의 신청 준비, 신청, NRC의 심사에 대한 협력 등을 민간이 서로 비용을 분담해 실시하는 프로젝트이다.

드미니온을 중심으로 한 컨소시엄과 엑셀론, 엔터지를 포함한 민간 전력 회사 9개사로 구성된 NuStart를 중심으로 한 컨소시엄이 2004년 11월부터 본 프로젝트를 실시하고 있다.

드미니온은 노스 앤너 사이트에 ESBWR을 선정했으며 NuStart는 벨몬테 사이트에 AP1000 및 그랜드 걸프 사이트에 ESBWR을 선정했다.

2008년도(2007년 10월~2008년 9월)에 COL의 신청을 NRC에 신청해 2014~2015년까지 운전을

<표 1> 미국의 원자력 발전소 신설 계획(2007년 5월 현재)

회사(컨소시엄)명	예정사이트	로형	기수	조기입지허가(ESP)	건설운전일괄인가(COL)
알터네이트 에너지 홀딩스	브루노(아이다호주)	미정	미정	-	미정
아마리코 파워	아마리코 주변(텍사스)	EPR	1	-	2008년 신청예정
아메랜 UE	캘러웨이(미주리)	EPR	1	-	2008년 신청예정
컨스텔레이션(UniStar)	캘버트 클립스(매릴랜드) 및 2개 지점	EPR	3	사이트정보를 조기에 제출, COL 신청예정	2008년 최초 신청예정
디트로이트 에디슨	페르미(미시건)	미정	미정	-	2009년 신청예정
드미니온	노스 앤너(버지니아)	ESBWR	1	심사중, 2007년 인가에정	2008년 신청예정
듀크	윌리엄 스테이크 리(사우스캐롤라이나)	AO1000	2	-	2008년 신청예정
듀크	노스캐롤라이나 더비 군	미정	미정	검토 중	미정
듀크	사우스캐롤라이나 오크니군	미정	미정	검토 중	미정
엔터지	리버 밴드(루이지애나)	ESBWR	1	-	2008년 신청예정
엔터지(NuStart)	그랜드걸프(미시시피)	ESBWR	1	2007년 4월허가	2008년 신청예정
엑셀론	클린턴(일리노이)	미정	미정	2007년 3월 허가	미정
엑셀론	사이트 미정(텍사스)	미정	미정	-	2009년 신청예정

개시한다는 목표를 세워놓은 상태이다.

<표 1>에 2007년 5월 현재 표명된 원자력발전소의 신설 계획이 나와 있다.

NRC의 스케줄에 따르면 2008년도에 17건의 COL 신청이 예정되어 있어 그 중 12건이 심사를 개시한 상태이다.

4. 에너지 정책법에 있어서의 재정 지원 조치

2005년 에너지 정책법이 2005

년 8월 8일에 부시 대통령의 서명으로 성립되어 신형 원자력발전 플랜트 건설에 대한 재정 지원 조치로써 다음과 같이 규정되었다.

가. 생산 세액의 공제

2021년 이전에 운전을 개시하는 600만kW까지의 신형 원자력 발전 플랜트에 대해 발전 전력량 1kWh 당 1.8센트의 세액 공제를 8년간 적용한다는 내용이다. 단 100만 kWh 발전소인 경우에는 연간 1억 2,500만 달러가 상한선이다.

국세청이 제정할 방침에 따르면

2008년 말 또는 600만kWh에 달하기까지 COL을 신청한 사업자 또는 컨소시엄에 600만kWh의 용량을 배분한다.

나. 지연시 비용의 보상

3로형, 6기까지의 신형 원자력 발전 플랜트에 대해 에너지성 장관은 NRC의 인가나 소송에 의한 건설 또는 운전개시 지연에 따른 비용을 일체 부담한다.

최초 2기에 대해서는 1기당 5억 달러를 상향으로 지연 비용의 100%를 나머지 4기에 대해서는 1기당 2억 5000만 달러를 상향으로 하는 지연 비용의 50%를 지불한다.

다. 채무 보증

에너지성 장관은 신형 원자력 발전 시설을 포함한 대기 오염 가스 또는 온실 효과 가스의 배출을 억제하는 혁신적인 기술에 대해 프로젝트 비용의 80%까지 채무 보증을 한다.

**핵연료 사이클 정책과 핵불확산 정책**

1. 지금까지의 경위

미국에서는 예전 상업용 재처리 공장이 건설된 적도 있었는데 카터 대통령은 1977년에 핵불확산 정책을 기초로 상업용 재처리를 금지했다.

1980년대에 들어와 레이건 대통령은 재처리 금지를 철회하였는데

경제적인 요인으로 인해 재처리 기술에 새로운 투자가 이루어지는 일은 없었다.

전술한 '국가 에너지 정책'을 근거로 미국 에너지성(DOE)은 2003년부터 '첨단적인 연료 사이클 이니셔티브(Advanced Fuel Cycle Initiative; AFCI)를 개시했다.

본 연구 개발은 사용 완료된 연료를 핵 불확산성이 뛰어난 첨단적인 기술로 재처리해 우라늄 연료의 유효이용과 높은 레벨의 방사성폐기물을 삭감한다는 목적으로 핵 불확산성이 뛰어난 연료 재처리 기술, 경수로나 고속로의 초 우라늄 원소(플루토늄 및 아메리시움, 퀴리움 등)의 연소에 적합한 연료(핵 변환 연료)의 개발 등을 실시했다.

미국에서는 2002년에 사용완료 연료의 최종 처분장은 네바다 주의 유카 마운틴에 건설할 계획을 발표했는데 개발 시기는 당초 예정된 1998년보다 훨씬 지연되어 2006년 7월에 발표된 DOE의 계획에서는 2017년 3월로 예정되어 있다.

또한 2005년 12월 현재 전미 64곳의 발전 사이트에 계53,000톤의 사용 완료 연료가 축적되며 매년 2,100톤의 사용 완료 연료가 새로이 발생되고 있어 2010년에는 유카 마운틴 처분장의 상업용 사용 완료 연료의 법정 처분 용량인 63,000톤(군사용, 연구용 등 정부 소유의 사용완료 연료와 높은 레벨의 방사성폐기물을 포함한 처분 용량은 70,000톤)에 달할 전망이다.

DOE 장관은 제2처분장의 필요

성에 대해 2007년 1월 1일부터 2010년 1월 1일까지 대통령 및 회의 보고하지 않으면 안 되도록 되어 있다.

2. '국제 원자력 에너지 파트너십(GNEP)' 구상

DOE는 2006년 2월, '국제 원자력 에너지 파트너십(GNEP)'구상을 발표했다.

GNEP는 확대되는 세계 원자력 발전에 대응하기 위해 핵불확산에 관한 국제적인 기틀을 구축함과 동시에 미국 핵연료 사이클 정책의 전환을 도모하기 위한 구상이다.

핵불확산에 관한 국제적인 기틀로서는 핵연료사이클국(핵연료 공급국으로 불리는 미국, 일본, 프랑스, 영국, 러시아, 중국 등)은 핵불확산성이 뛰어난 첨단적인 재처리와 분리된 초우라늄 원소를 연소시키는 첨단 리사이클로(고속로)를 공동으로 개발해 농축과 재처리를 방치한 개발도상국 등의 원자력 발전 이용국(핵연료 이용국)에 대해 적절한 규모의 발전로를 건설해 핵연료를 적정 가격으로 공급하며 사용 완료 연료는 핵연료 사이클 국에 반환한다. - 미국의 핵연료 사이클 정책에 대해서는 사용 완료 연료의 직접 처분 정책을 전환해 핵불확산성이 뛰어난 첨단적인 재처리 기술을 이용해 우라늄과 초우라늄 원소를 추출해 이를 첨단 리사이클로를 이용해 연소시키면서 높은 레벨의 폐기물을 대폭으로 줄

이는 정책이다.

이 정책이 실현되면 높은 레벨의 방사성폐기물은 대폭으로 줄어 금세기 안에는 유카 마운틴 최종 처분장만으로 충분해질 것이다.

DOE가 2006년 8월에 국내외로부터 기술 제안을 공모할 때에 제시한 개발계획(단기와 장기의 2트랙 방식) 및 2007년 1월에 제시한 'GNEP 전략 계획'에 따르면 재처리 시설 및 첨단 리사이클로는 개발을 서두르기 위한 당초의 계획을 변경해 공학 규모 시설 또는 실험로를 이용해 상업 규모의 시설 또는 원형로를 건설할 계획을 밝혔다.

이들 개발은 현재 또는 가까운 장래에 이용 가능한 기술에 의해 제1트랙과 핵변환 연료기술에 관해 보다 나은 연구가 필요한 제2트랙으로 나뉘지는데 이 모두는 평행적으로 진행되어 나갈 것이다.

가. 핵연료 리사이클 센터

(‘종합핵연료센터’라고도 함)

단기적으로는 경수로 연료의 재처리에 의해 우라늄과 플루토늄을 일체로 추출해 첨단 리사이클로 용의 연료를 제조한다.

장기적으로는 첨단 리사이클로의 연료도 재처리해 마이너 악티나이드도 추출한다.

사용 완료 연료의 처리 용량은 연간 2,000-3,000톤으로 증가 가능한 정도로 한다.

나. 첨단 리사이클로

(‘첨단 연소로’라고도 함.)



부시 행정부는 신규 원자력발전소의 건설에 대한 재정 지원 조치를 결정하는 등 원자력 발전의 추진 정책을 세워놓고 있어 산업계는 대규모 신규 원자력발전소의 건설을 계획하고 있다.

전기 출력 20만~80만kW의 나트륨 냉각 고속로가 후보로서 당초에는 우라늄과 플루토늄을 연료로 하는데 최종적으로는 전 노심을 마이너 악티나이드를 포함한 핵변환 연료로 한다.

핵연료 사이클 센터와 첨단 리사이클로는 제1트랙으로서 2020년 경에 운전을 개시할 예정이다. 건설의 진행 여부는 2008년 6월까지 판단한다.

다. 첨단적인 연료 사이클 연구 시설

첨단적인 연료 사이클 연구 시설은 DOE의 국립 연구소의 주도로 설계, 운영되고 있으며 재처리 기술

(흡식 및 건식), 핵변환 연료의 격리 제조 기술, 폐기물의 처분 형태 등의 제2트랙에 관한 연구 개발도 진행 중에 있다.

GNEP의 예산은 AFCI의 항목에 계상되어 있는데 2007년도에는 1억 6,750만 달러로 전년(7,840만 달러)에 비해 2배 가량이 증액되었다. 2008년도에는 3억 9,500만 달러를 책정해 놓고 있는 상태이다. 