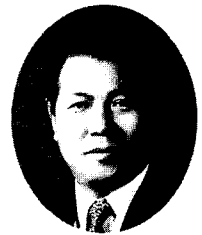


# 특집

원자력발전소 설계 및 기술 동향

## 원자력발전소 건설의 당위성 및 오늘의 현실

- Necessities for Nuclear Power Construction and Challenges for Today -



이중재\*

### 1. 원자력 발전과 키에누 리브스의 “체인리액션”

“스피드”, “매트릭스” 등의 할리우드 블록버스터 영화의 주인공으로 우리에게 잘 알려진 배우 키에누 리브스가 나온 영화에 “체인 리액션”이란 작품이 있다. 이 영화의 무대는 세계 최초로 핵분열 연쇄 반응을 성공시켜 원자력의 평화적 이용(발전)의 신기원을 이룩한 페르미 박사가 재직하던 시카고대학교이다. 기계공학도인 주인공이 수소 핵융합 연쇄 반응(chain reaction) 프로세스의 메커니즘을 끝내 규명하게 되고 이를 통해 에너지 생산 기술의 혁신을 이룩하게 됨으로써 사건은 전개된다. 신기술을 무상으로 전세계에 알리려는 노력을 하는 과정에서 불순 세력이 개입하는데 이런 파행적 음모를 극복하는 과정을 감독은 속도감있는 화면, 거대한 스케일의 액션으로 그려내고 있다. 이와 같이 영화의 소재가 될 정도로 꿈의 에너지 원을 향한 인류의 노력은 끝없이 계속되고 있다.

타임지가 20세기를 마감하며 우리 시대에 가장 큰

영향을 끼친 세기의 인물(person of the century)로 알버트 아인슈타인 박사(1879 ~ 1955)를 선정했다. 원자력 발전은 그의 일반 상대성이론(General Relativity)의 핵심인  $E=MC^2$  이라는 과학의 새 패러다임에서 시작된 것이다. 이후 응용 기술이 발전에 발전을 거듭해 이룩해 낸 원자력 발전 기술은 인류가 이전에는 전혀 경험해보지 못한 20세기의 독특한 에너지 생산 방식으로 확고히 자리잡게 되었으며 현재로서는 안전성이 검증된 기술(proven technology)로서 인류 문명의 주축이 되고 있다. 새 밀레니엄에는 20세기의 지배적 발전 방식이 수소 융합 발전등의 기술에 밀려 뒤떨어진 기술로 전락할 수도 있으나 현재로서는 원자력 발전이야말로 포기할 수 없는 ‘졸렌(sollen, 당위성)’ 과 ‘자인(sein, 존재 현실)’ 이 있다고 할 수 있다. 이에 원자력발전소(이하 ‘원전’) 건설에 오랫동안 종사해온 건설 전문가의 한 사람으로 필자는 원자력 발전은 왜 필요하며, 원전 건설 중단시에는 어떠한 문제점이 있는지, 그리고 그 경제 및 환경 측면의 영향은 어떠한지 국가 발전을 위한 에너지 전략 차원에서 간략히 살펴보고자 한다.

\* 한국전력공사 대외사업단 단장

## 2. 우리나라의 에너지 사정

전기에너지를 생산해내기 위해서는 연료가 필요한데 발전 연료 자립 측면에서 보면 우리나라는 부존량이 극히 빈약한 부존 자원 빈국 중의 빈국이다. 정보화 시대에는 과거와 같이 원료에 가해진 노동과 자본의 투입량에서 가치가 결정되기보다는 지식과 정보, 창의성, 기술 혁신 등이 가치를 창출하는 새로운 시대가 되었다. 그러나, 발전 사업에서는 아직도 여전히 연료가 에너지원으로 뗄래야 뗄 수 없는 가치 창출 요소가 되고 있다. 우리나라의 에너지 수입 의존도는 무려 97%에 달하고 있다. 이는 에너지원의 거의 전량을 수입에 의존한다는 의미이다. 1970년대 초반 석유 공급 위기가 전세계를 강타한 뒤 각국 정부는 탈(脫)유전원 정책과 공급 안정성 확보 전략의 일환으로 원자력, 석탄, LNG 등으로 전력 에너지원(이하 '전원')을 다변화하여 대처하고 있다.

현재 우리나라의 1인당 전력 소비량은 연간 4,366 kwh로 미국 1만 2,309 kwh, 캐나다 1만 6,461 kwh, 일본 6,273 kwh에 견주어보아 약 25~70% 정도이며 장기 전원 개발 계획에 의하면 2015년까지 발전 설비는 현재(4,432만 kw)보다 약 1.8배 증가(7,906만 kw)할 것으로 예측되고 있다.

더욱이 우리나라는 지정학적으로 고립되어 있어 인접 국가와 전력 계통 연계 및 유럽과 같은 파이프라인을 통한 천연가스 이용 대안 등도 채택이 불가능해 자족(自足)적인 발전 전략이 요구되고 있는 냉혹한 현실에 처해 있다.

## 3. 원자력 발전의 필요성

### 3.1 전력 공급의 안정성 측면

#### (1) 공급 안정성

앞서 언급했듯이 부존 자원이 없는 우리나라는 석유 공급 위기, IMF 등 외환 위기로 인한 환율 상승이나 화석 연료의 공급 불안정시 등을 대비하여 일정 비율의 원자력 에너지 구성비 유지가 아주 중요하다. 에너지를 다변화시키고 구성비를 최적화해야 하는 것이다. 다시말해 에너지 공급의 항상성(constancy)을 유지하기 위해서 대안의 대안까지 강구해 두어야 제대로 대비할 수 있는 상황이다.

#### (2) 가격 안정성

1998년도 실적을 기준으로 할 때 발전 원가 중 연료비가 차지하는 비중을 보면 LNG 67%, 중유 64%, 석탄 50%, 원자력 11%로 원자력이 가장 낮다. 더구나 원자력은 환율 상승, 원료의 국제 가격 증감 등과 같은 외부 요인의 변화에 크게 좌지우지(左之右之)되지 않는 가격 안정성이 높은 발전 시스템이다.

#### (3) 비축성

원자력 발전은 한번 장전하면 평균 1.5년이 지나서 연료를 교체하므로 에너지 비축 효과가 매우 크다.

### 3.2 에너지 자립 측면

에너지원별 발전 원가 중 외화 의존도를 살펴보면 원자력은 약 8원/kwh, 석탄은 약 15원/kwh, 중유는 약 20원/kwh, LNG는 약 30원/kwh로 원자력이 가장 낮다. 또한 원전 기술 자립 및 기자재 국산화를 지속적으로 추진한 결과 올린 3, 4호기부터 한국표준형 원전(KSNP : Korean Standard Nuclear Power Plant)이란 국산 독자 모델을 개발하였으며 이 과정에서 축적한 기술 능력은 해외 수출경쟁력 확보 수준에 도달해 있다. 현재 북한에 KEDO의 주 계약자로 한전이 선정되어 표준형 모델이 금호지구에 건설되고 있으며 앞으로 본 공사가 착공되어 본격적으로 공사가 진행될 예정이다. 현재 중국의 원전 사업(진산 원전)에도 참여 중이며 한국표준형 경수로' 모델을 중국 등지로 수출하기 위해 별도의 대외사업단을 구성하여 다각도로 노력 중이다.

### 3.3 거시 경제 측면

원자력은 기술 집약적 산업으로 GDP 유발 효과, 물가 하락 효과, 고용 증가 효과, 산업 부가가치 유발 효과 등에 있어 석탄이나 LNG 등에 비해 매우 유리하다.

### 3.4 경제성 측면

발전 원가는 1kwh의 전기를 생산하는 데 소요되는 비용을 일컫는데 1998년도 실적 기준으로 원자력은 약 34원, 석탄은 38원, 중유는 약 60원, LNG는 약

114원으로 다른 전원보다 원자력이 비교 우위에 있다. 원자력 발전 원가에는 절거미나 폐기를 처리비와 같은 사후 처리비 약 4.2원/kwh도 포함되어 계상되어 있다. 향후 원전의 수명을 연장하고 지구 온난화 방지 국제기후변화협약에 따라 탄소세 부과가 이루어질 경우에는 원전의 경제성은 상대적으로 더욱 유리해질 전망이다.

### 3.5 환경성 측면

오존층의 파괴, 지구 온난화, 지구촌의 산소 공장인 아마존의 열대우림 보존 등의 생태계에 대한 관심이 온 인류의 화두가 되고 있다. 발전원으로 가장 광범위하게 사용되는 화석 연료는 기후 온난화의 주범인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 주요 배출원으로 지목되고 있다. 화석 연료별 CO<sub>2</sub> 배출량을 살펴보면 석탄이 0.25 kg-C/kwh, 석유는 0.19 kg-C/kwh, LNG는 0.11 kg-C/kwh이다. 국제간 기후변화협약에 따라 총 배출량의 규제를 강화하는 추세이며 선진국은 1990년도 배출량 기준으로 향후 2008~2012년까지 약 5% 감축하기로 합의하였다. OECD 가입국 중에는 우리나라와 멕시코만이 규제 적용에서 유예되어 있다. 그러나, 향후 우리나라에 대한 규제 압력이 증증될 것으로 예상되고 세계 각국은 향후 화석 연료 사용을 제한하기 위해 탄소세 도입과 같은 관련 규제를 강화할 전망이다.

이에 대비해 우리나라 정부는 CO<sub>2</sub> 배출 관리 목표를 LNG 수준인 0.11 kg-C/kwh 이하로 잡고 있고 이를 충족하기 위해 원전, 천연가스 등의 저탄소형 발전소 건설을 확대하고자 정책을 수립하고 있다. 이에 발맞추어 원전 설비의 점유율은 현재의 29%대에서 35% 이상으로 유지될 계획이다.

화석 연료는 CO<sub>2</sub> 배출뿐만 아니라 황산화물, 질산화물, 분진 등의 공해 물질도 다량 발생시킨다. 이에 비해 원자력은 일반 산업체에 비해서도 미미한 수준의 배출에 불과하며 다만 발전의 부산물로 방사능 방출과 폐기물이 발생한다.

원전 안전성의 궁극적 문제는 방사능 누출 관리이다. 일반 대중의 방사능 영향은 규제 기준의 약 1%를 목표로 운영하고 있는데 이는 원전 종사자(20 mSv/년)의 1/20 수준(1 mSv/년)으로 관리한다는 의미이다. 국내 원전은 격납 용기 방식(Concrete Reactor Containment)을 채택하여 사고시에도 방사능의 외부

유출은 없게끔 원천 봉쇄되게 설계되어 있다. 소련의 체르노빌 원전은 격납 용기가 없어 사고 후 다량의 방사능이 외부로 누출된 반면 미국의 드리마일원전(TMI)의 경우는 우리나라와 같이 격납 용기로 건설되어 사고 후 방사능 외부 누출량이 극소화되었으며 인접 호기는 현재도 상업 운전을 계속하고 있다.

사용 후 연료는 원전 1기에서 연간 약 20톤이 발생하고 현재 2006~2008년까지 저장이 가능하나 발전소 내 저장 시설은 일부 증설이 필요해 준비하고 있는 실정이다. 중저준위 폐기물량은 호기당 연간 약 180드럼이 발생하는데 현재 시설로 2008~2014년까지 저장이 가능하다. 한편 정부에서는 방사성 폐기물 처리 시설의 적기 건설을 추진하고 있는데 방사성 폐기물 처분 시설은 2008년까지, 사용 후 연료 중간 저장 시설은 2016년까지 건설 완료를 목표로 하고 있다.

### 3.6 입지 측면

한동안 혐오 시설의 입지난과 관련해서 님비(NIMBY : Not In My BackYard)라는 말이 유행하였으나 이제는 어떤 지역에서는 바나나(BANANA: Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anything)라는 말까지 생겨나고 있다. 원자력은 입지 측면에서 전술한 바와 같이 환경 측면의 장점이 있을 뿐만 아니라 국토의 효율적 이용을 위해서도 반드시 추진해야 한다. 원자력은 에너지 밀도가 높아 다른 전원 에 비해 상대적으로 적은 입지 면적이 소요된다.

## 4. 각국의 원자력 정책 비교

### 4.1 우리나라

우리나라는 에너지원을 다변화하여 공급 안정성을 꾀하여야 하는 처지이며, 경제성, 환경에 미치는 영향, 계통 운영상 수용 능력 등을 종합적으로 고려하여 기저부하 전원으로 원자력을 근간으로 하고 있다. 원전 설비 구성비가 현재는 29%이나 향후 적정 설비 구성비인 35%까지 격상될 예정이다. 원자로형은 100만 kw급 한국표준형경수로(PWR)를 주종으로 하고 140만 kw급 차세대 원자력발전소 모델을 개발 중이다. 원전의 노형 정책에 대해서는 <그림 2> 및 <그림 3>을 참조하기 바란다.

■ 우리나라의 원자력발전소 위치  
Locations of Nuclear Power Plants

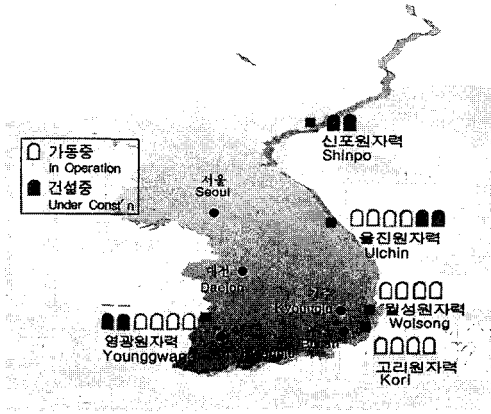


그림 1. 우리나라 원자력발전소의 운영 및 건설 현황

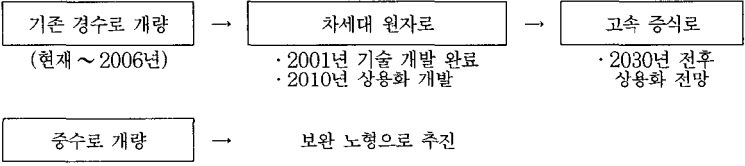


그림 2. 한전의 원전 노형 전략

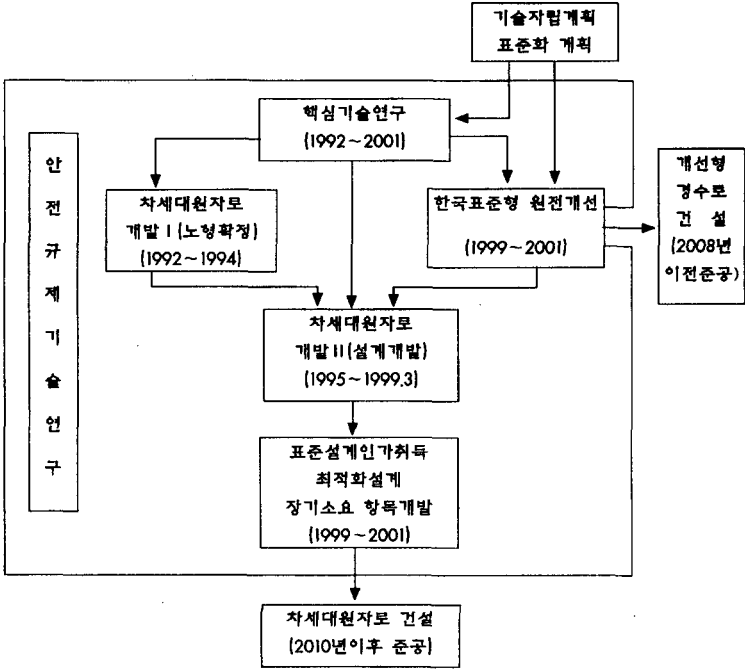


그림 3. 차세대 원전 기술 개발 일정

4.2 해외 각국

1998년 말을 기준으로 하여 세계 원전 기수는 운전 중인 발전소 422기, 건설 중인 원전이 46기이다. 기종은 전세계적으로 안전성과 경제성이 우수한 가압경수로형 (PWR : Pressurized Light Water Reactor, 미국에서 개발) 이 주 원자로형으로서의 위치를 점하고 있다. 선진국의 원자력 발전 점유율을 살펴보면 미국이 20%, 프랑스 78%, 스웨덴 46%, 일본 35%, 독일 32%, 대만 26%로 우리나라의 29%에 비해 높은 실정이다. 선진국은 전력 수요 포화와 국민반대로 신규 원전 건설을 전면 중단하고 있으나 우리나라와는 처지가 다르며 오히려 풍부한 천연가스 자원을 활용할 수 있어 에너지 선택의 대안 문제에 있어 유리하다. 스웨덴과 독일은 한 걸음 더 나아가 가동 중인 원전의 중단을 결정한 바 있으나 현실적 대안 부재로 계속 가동 중이다. 오히려 에너지 전문가들은 기후변화협약에 따른 화석 연료 규제 강화로 원자력 및 가스 사용 증가가 불가피함을 강조하고 있다. 많은 환경운동가들이 주장하는 풍력, 태양광 등의 대체에너지는 에너지 밀도가 낮고 경제성이 불리하여 아직 적용하기에는 한계가 있으며 효율성과 경제성을 높이기 위한 연구가 다각도로 진행 중이다. 우리나라와 같이 부존 자원이 절대적으로 부족한 프랑스, 일본, 대만 등은 에너지 안보, 경제성, 환경성 등을 고려, 원전 건설을 지속적으로 추진하는 국가에너지 정책을 채택·집행하고 있다.

### 5. 원전 건설 중단시 문제점 및 영향

원자력 대신 석탄, 가스 등으로 대체하여 전원 개발 시 화석 연료의 비중이 급격히 상승하게 된다. 그 결과 에너지 다변화에 취약한 구조가 되어 석유 파동과 같은 외부 충격시 영향을 심하게 받게 된다. 또한 연료비가 더 비싼 대체 전원 건설로 외화 지출이 증가하고(약 10~15%) 전기요금 인상이 불가피하게 되어 국민 부담이 가중되고 산업 경쟁력이 약화될 것으로 우려된다.

환경생태계에 미치는 영향에 있어서도 매우 불리하다. 즉, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>의 배출이 약 30~50% 증가하게 되며 동일 대체 전원 건설시 최소 2배 이상의 부지가 필요하게 되어 부지 확보난이 가중된다. 또한 그동안 국가 정책으로 추진하여온 원전 기술 자립 효과를 상실하게 되고 정부 G-7 과제의 하나로 개발 중인 차세대 원전의 원활한 추진에도 장애가 발생하게 될 것이다. 또한 그동안 공들여 양성한 기술인력이 분산되어 추후 여건 변화로 원전 재추진시는 기술 역량 상실로 해외 의존이 불가피해질 전망이다. 또한 해외 원전 수출을 추진할 때에 자국에서도 추진하지 않는

원전 수출에 대한 논리성이 궁색해지고 북한에 건설 중인 금호원전 건설에도 악영향을 끼치게 될 것이다. 원전은 고도의 기술 집약적 산업으로서 설계, 대규모 사업 관리, 기자재 제작, 정밀도 제고 등의 국내 기술 파급 효과가 매우 크므로 원전 건설 중단시는 국가 경쟁력 차원에서도 마이너스 요인이 많다.

### 6. 결 론

따라서, 에너지 공급 안정성, 전기요금 안정성, 기후변화협약 및 공해 배출 물질에 따른 환경성, 전력계통상 수용 능력 등을 종합적으로 고려할 때 기저부하 전원으로서 적정 수준의 원전 추진은 필수적이라 할 수 있다. 장기 전원 개발 계획에 의하면 전원별 설비 비중 기준으로는 원자력이 약 35%, 발전량 기준으로는 약 45~50% 수준이 적절한 것으로 되어 있으며 이에 맞추어 차질없이 추진되고 있다. 현재 한반도에너지개발기구(KEDO)가 한전을 주 계약자로 선정하여 한전은 북한 금호지구에 한국표준형원전을 건설 중이다. 이렇게 북한에 지어지는 한국표준형원전(1,000 MW × 2기)의 원활한 추진을 위해서나 향후

국산 원전의 해외 수출 촉진을 위하여 국내 원전 기술의 지속적 유지 및 개발은 반드시 필요하다 하겠다. 요즘 자주 회자되는 지속 가능한 발전(sustainable development)을 위해서도 원전 건설의 지속적 추진은 불가피하다. 이는 한 개인으로서도 타율의 강제에 의해 억지로 사는 삶보다는 자율 프로그램으로 살아가는 것이 바람직하듯 국가 에너지 자립의 측면에서도 원전과 같은 기술 자립을 달성한 국외 의존도가 낮은 에너지원의 개발이 절실하기 때문이다.



표 2 한전의 발전소 건설 현황

구 분	발전소명	설비용량 (MW)	건설 공기	누계 공정률(%)	
원자력	북한경수로 1,2	1,000 × 2	1996. 9 ~ 2002. 11	0.00	
	영광 #5,6	1,000 × 2	2000. 2 ~ 2009. 1	62.77	
	울진 #5,6	1,000 × 2	1999. 1 ~ 2005. 9	26.51	
기력	유연탄	당진 #3,4	500 × 2	1996. 9 ~ 2001. 6	89.36
		하동 #5,6	500 × 2	1996. 12 ~ 2001. 9	73.39
		태안 #5,6	500 × 2	1997. 11 ~ 2002. 9	33.59
	중유	영흥 #1,2	800 × 2	1999. 9 ~ 2004. 12	28.02
		북제주 #2,3	75 × 2	1997. 1 ~ 2000. 12	85.18
		보령복합	180	1996. 4 ~ 1998. 12	97.94
복합	* G/T <sup>1)</sup> : #1~8 * S/T : #1~4	(150 × 8) (150 × 4)	1996. 4 ~ 2000. 6		
	부산복합 * 1단계 * 2단P	1,800 - -	2000. 2 ~ 2002. 7 2001. 1 ~ 2003. 6	16.27	
수력	양수	산청양수 #1,2	350 × 2	1995. 2 ~ 2001. 12	86.56
		광양양수 #1~4	250 × 4	1996. 9 ~ 2006. 6	44.15
		청송양수 #1,2	300 × 2	2000. 9 ~ 2006. 12	8.65

주 : 1) \* G/T : 1998. 12. 준공  
2) 1999. 12. 31 현재 자료임.  
자료 : 「전력통계연보」, 1999년 12월호.