



2006 원자력 기술 분석

- Nuclear Technology Review 2006 -

이 익환
한국과학기술정보연구원 전문연구위원

이 보고서는 국제원자력기구(IAEA, International Atomic Energy Agency) 회원국의 요청에 의해 매2년마다 발간되는 <원자력 기술 분석(Nuclear Technology Review)>을 요약한 것이며, 2005년 말을 기준으로 발간된 것이다. 원 보고서에 포함된 내용은 원자력 발전, 핵융합, 핵연료, 방사성 동위원소 및 방사선, 관련 연구 개발 등에 대한 오늘과 향후 발전상을 검토한 것이나 여기서는 원자력 발전을 중심으로 요약했다.

보다 더 궁금한 사항은 IAEA 연례보고서인 2006년 Annual Report에서도 볼 수 있으며 홈페이지인 www.iaea.org를 방문하여 영어로 된 보고서를 접할 수 있다. 이 보고서를 요약한 것은 IAEA에서 보는 각국 및 세계 원자력의 현황과 전망을 소개함으로써 국내의 많은 원자력 기관 및 원자력산업에 조금이라도 도움이 되었으면 하는 데 있다.

원자력 발전

1. 세계의 원자력 발전 현황
전 세계적으로 2005년 말 기준 운전중인 원자력발전소는 441기이며 이의 총 시설 용량은 368GWe 규모이다.

전 세계 전력의 16%를 원자력 발전으로 공급하고 있으며 이 추세는

지난 1986년 이후 비슷한 율을 보이고 있다.

2005년 4기의 원자력발전소가 상업 운전을 시작하였고(일본 2기, 인도 1기, 한국 1기), 장기 운전 정지를 하고 있던 1기의 원전이 캐나다에서 재개하였다.

참고로 지난 2004년에는 5기가 운전을 개시하였는데 이중 1기는 운

전을 재개한 것이며, 2003년은 2기의 운전 개시에 이중 1기는 재가동 한 것이다. 어떻든 2005년에 증가한 시설 용량은 3,259MWe이다.

2005년 건설에 착수한 원자력발전소는 3기로서 1000MWe의 Lingao-3(중국), 1600MWe의 Olkiluoto(핀란드), 그리고 300MWe의 Chasnupp-2(파키스

<표> 세계 원자력발전소 현황(운전 및 건설중)

국가별	운전 중 원전		건설 중 원전		2005년 전력 공급 실적	
	원전 기수	MWe	원전 기수	MWe	TWh	% 점유율
미국	103	98,145			780.5	19.3
프랑스	59	63,363			430.9	78.5
일본	55	47,593	1	866	280.7	29.3
독일	17	20,339			154.6	31.0
한국	20	16,810			139.3	44.7
러시아	31	21,743	4	3,775	137.3	15.8
캐나다	18	12,599			86.3	14.6
우크라이나	15	13,107	2	1,900	83.3	48.5
영국	23	11,852			75.2	19.9
스웨덴	10	8,910			69.5	44.9
스페인	9	7,588			54.7	19.6
중국	9	6,572	3	3,000	50.3	2.0
벨기에	7	5,824			45.3	55.6
대만	6	4,904	2	2,600	38.4	20.3
체코	6	3,368			23.3	30.5
핀란드	4	2,676	1	1,600	22.3	32.9
스위스	5	3,220			22.1	32.1
불가리아	4	2,722	2	1,906	17.3	44.1
슬로바키아	6	2,442			16.3	56.1
인도	15	3,040	8	3,602	15.7	2.8
헝가리	4	1,755			13.0	37.2
멕시코 등 9개국	13	7,892	3	1,647	51.7	
합계	441	368,264	27	21,811	2,625.9	16%

* 2005. 12. 말 기준

단)이다.

추가로 건설재개가 된 불가리아 2기의 원자력발전소를 들 수 있는데 이는 건설 중단이 되어 오던 것이다.

참고로 2004년에는 2기의 원전이 그리고 2003년에는 3기의 원전이 각각 착공하였다.

착공의 의미는 원자력발전소 건설 허가를 받아 최초 콘크리트 타설을 한 발전소를 말한다.

<표>에서도 보듯이 현재 건설중인 발전소는 27기이며 이중 16기가 아시아에 있다. 그리고 지난 34기의 원전이 가동되었는데 이중 24기가

아시아에 지역에 있다.

아시아에서 가장 큰 원자력 발전 시장을 갖고 있는 나라는 일본이다. 일본은 2005년 Hingashi Dori-1호기, Shika-2 호기가 운전에 들어가 총 55기의 원전을 보유한 국가가 되었고 전력의 29.3%를 원자력 발전



에서 공급한다.

다음은 한국으로서 울진 6호기가 운전을 개시하였고, 고리 5호기 및 6호기가 부지 정지 작업을 하고 있다. 전력의 약 45%를 원전에서 공급 한다.

이 외에도 중국과 인도가 야심찬 발전 계획을 가지고 있다.

중국은 전력의 2%를 원전에서 공급하는 정도이기는 하지만 2기의 원전이 건설 중이고 향후 2020년까지 40GWe까지 확대하여 전력의 4%까지 원전으로 할 계획이다.

인도는 Tarapur-4호기가 운전 개시되어 총 15기의 원전이 운전중이며 2.8%의 전력을 원전에서 충당 한다. 인도는 2020년에는 10%, 그리고 2052년에는 25%의 전력을 원전에서 충당할 계획을 갖고 있다.

파키스탄은 2기의 운전중인 원전으로 전력의 2.8%를 충당하고 있고, 1기의 원전을 건설하고 있으며, 2030년까지 8,000MWe의 원전을 더 건설할 계획이다.

이외에도 이란에서 1기의 원전이 건설중인데 2005년 공급국인 러시아와 사용후핵연료를 되돌려 준다는 조건의 협약을 체결하였다.

유럽에는 135기의 원전이 운전중이며 1기의 원전(핀란드 Olkiluoto-3)이 건설 중이다.

단계적 폐쇄를 결정한 독일과 스웨덴에서 2기의 원전이 문을 닫았다 (독일 Obrigheim, 스웨덴 Barseback -2).

반 원전 정서의 네덜란드 정부는

1기(Borssele)를 보유하고 있는 원전에 대하여 수명 연장을 승인하여 2033년까지 운전할 수 있게 되었다.

영국은 Dungeness -B1 및 B2의 10년 수명이 확정되었다.

스웨덴은 Ringhals 원전 2기에 대해 각각 15MW의 출력 증강을 승인하였으며, Oskarshamn-3호기의 250MW 출력 증강에 대한 접수를 받은 바 있는데 이에 앞서 Forsmark -1,2,3호기에 대해서 이미 신청을 받은 바 있고 검토 중이다.

러시아는 31기의 원전을 운전 중에 있고 4기의 원전이 건설 중에 있다. 러시아 Billibino-2호기는 5년간 수명 연장 승인을 받았다.

또한 동유럽은 39기의 원전이 운전중이고 5기가 건설중이다.

미국은 9기의 원전에 대해 향후 20년간 더 운전할 수 있는 수명 연장을 규제위원회(NRC)로부터 받게 되어 2005년 말 현재 수명 연장을 받은 원전은 39기에 달한다.

인허가상의 일정 지연으로 프로젝트 가격의 상승 요인을 해결하기 위하여 종전에 건설 및 운영 허가를 두 번에 걸쳐하던 허가 절차를 사전에 한 번 하는 규제 절차로 바꾸어 신기술 원전부터 적용을 받게 되는데, NRC는 현재 3기의 원전에 대한 심사를 진행중이며 2007년 말이면 허가될 것으로 보며, 추가 몇 기에 대해서는 2008년에 가능하게 될 것이다.

캐나다는 그동안 쉬고 있던 Pickering A1을 재가동하도록 하였

으며, 향후 4년에 걸쳐 Bruce A1과 A2도 재가동하게 될 것이다.

국가별, 원전의 운전 및 건설에 대한 세계 원자력 발전의 현황을 <표>에서 요약하였다.

2. 원자력 발전 향후 전망

가. 향후 증가 전망

2005년은 원자력이 예상대로 증가한 해였다. 2005. 3월, 74개 국가의 고위 대표(25개국은 장관급)가 파리에서 모여 원자력 발전의 장래에 대해 협의하였다.

이 모임에서 원자력 발전이야말로 21세기에 선진국 및 개발 도상 국가들에 에너지를 안정적으로 공급하고 세계 개발을 뒷받침하는 역할을 하게 될 것임에 공감하였다.

여기에는 원자력 발전 시설이 없는 이집트, 인도네시아, 모로코, 폴란드, 터키 및 월남도 참여하였다.

예상한대로의 증가로 원자력 발전은 에너지 증가와 지구 온난화에 기여하였고 특히 에너지의 안정적 공급에 기여하여 인도, 중국, 일본, 한국, 러시아와 같은 나라에서 원자력 발전 확대 계획을 가지게 하였다.

원자력 발전은 그동안 운전한 역사가 오래됨에 따라 전 세계는 11,991 원자로-년의 실적을 갖게 되었고 가동률도 높아졌다.

1986년의 Chernobyl 사고가 있어 여러 분야에 영향을 주었지만 안전 문화를 변화시키고 좋은 경험을 서로 교환하는 등 긍정적인 면도 많았다.

1960년대 이후 원자력 발전의 급격한 개발이 이어지지만 1979년의 TMI 사고의 여파와 1986년에 있었던 Chernobyl 사고는 각국의 원자력 발전 개발에 큰 영향을 주어 약 20여년 이상, 원자력 침체 국면을 보여 주었다.

2005년의 원전 총 시설 용량 368GWe를 기준으로 이후 예상되는 향후 추정도 관심 사항이다. 낮게 예상한 것과 높게 예상한 것과의 차가 무려 222GWe로 나타났다.

이 차이 중 유럽에서 전체의 30%인 66GWe이고 극동에서 전체의 23%인 52GWe로 나타났다.

원자력 발전 증가에 대한 예상에도 불구하고 IAEA는 지속적인 확산 관점에서 18개국 18,000명을 대상으로 여론 조사를 실시하였는데 모든 나라에서 지속적인 증가를 뒷받침하고 있음을 확인하였다.

다수인 62%가 원전 운전의 계속을 원했고 59%는 원전 건설을 반대하였다.

중요한 것은 이어지는 다음 질문에서 원자력 발전은 그린 가스 방출이 거의 없다는 내용의 설명이 있은 후의 설문은 매우 다르게 나타나는데, 원전의 확대를 선호한 사람은 28%에서 38%로 늘어났고 반대하는 율도 59%에서 47%로 떨어졌다.

나. 원자력의 지속적인 발달과 기후변화협약

UN의 지속적 개발 가능 원자력(CSD)는 2001년 9차 회의에서 에너지에 관한 주제를 토론하였는데

제목은 '원자력 에너지와 지속 가능한 개발과의 관련성'이었다.

결과는 확연히 두 갈래로 나누어 졌는데, 하나는 원자력이 중요하게 기여하고 있다고 주장하는 편과 그렇지 않다고 서로 반대하는 편이고, 또 하나는 원자력의 선택은 그 나라마다 사정이 다름으로 그 나라에 맡겨야 한다는 데 동의한 나라들이다.

결국 CSD위원회는 다음 회의가 열리는 2006년과 2007년에 이를 안전으로 상정, 협의하기로 되었다.

교토의정서가 2005년 2월에 효력을 발하게 되고 해당되는 국가들은 2008 ~ 2012까지 그린 가스 감축을 이행하도록 되어 있다.

또 다른 나라들은 교토의정서 요건을 맞추기 위해 또 다른 정책을 채택할 수 있다.

원자력의 장점인 낮은 그린하우스 방출뿐 아니라 장기적인 관점에서 그린 하우스 방출은 결국은 원자력 발전을 점점 매력적으로 만들 수 밖에 없을 것이다.

기후 변화 협약을 다루기 위한 UN 당사국회의(CoP-11)가 2005년 12월 몬트리올에서 개최되었다.

이 회의는 기후변화협약의 교토의정서가 실질적으로 이행되고 난 뒤 첫 번째 회의였다.

따라서 매우 현실적인 토의가 되었는데 실무 임시 작업반 운영에 관한 건, 실무 일을 완료하기 위한 시작 시점, 회합의 간격 등과 같은 구체적으로 협의하기 시작하였다.

이 토의에서 원자력 발전에 관한

중요한 이슈는 그린 가스 의무 방안에서 원자력 발전이 현재 제외되어 있는데 대해 제1차 집행 기간 동안 '클린 개발 메커니즘(CDM)'이나 '공동 이행 메커니즘'으로 다루어질 것이라는 것이다.

3. 주요 현안 사항

가. 경제성

원자력발전소는 초기에 많은 투자를 하고 그 대신에 운전시에는 매우 값싼 것이 특징이다.

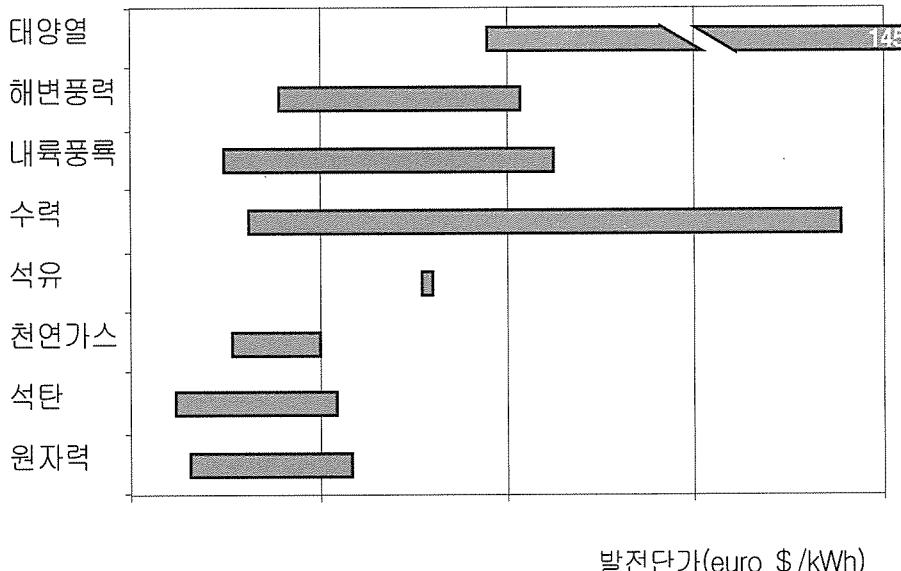
현재 운전 실적이 좋은 원자력발전소는 그 만큼 경쟁력을 가지고 있다.

그러나 신규 원전 건설시에는 몇 가지 인자에 따라 달라진다. 경쟁력에 대안이 있느냐는 것인데, 즉 충분한 에너지원이 있는 나라와 그렇지 않는 나라는 사정이 다르다.

다음은 전력의 수요에 대한 것으로 얼마나 빠르게 많은 전력 수요가 필요하게 되느냐에 따라 달라질 수 있다.

다음은 시장 구조와 투자 환경을 들 수 있다. 특히 투자 환경이 자유 시장으로서 단기간에 투자 회수를 기대하는 개인이 투자자일 경우는 정부가 투자자일 경우보다 원자력 발전은 덜 매력적일 것이다.

더욱이 개인이 투자자일 경우는 에너지의 외부 환경으로 인한 코스트 관련 사항, 예를 들면 그린 하우스 배출 억제 및 방사성 폐기물 및 에너지의 안정적 공급 등에도 어려움이 있다.



〈그림〉 7기관 연구 결과 건설비 추정(현가 화 코스트)

그러나 정부가 투자가일 경우는 관련 사항과 잘 조화를 이루어 연계 시켜 나감으로써 효과를 거둘 수 있다.

원자력 프로젝트의 추진에는 정권의 변경도 함수가 될 수 있다. 프로젝트의 지역이나 원자력 정책 등이 변경될 수 있어 이로 인해 코스트에 직접 영향을 주게 된다.

또한 나라마다 다른 인허가 절차로 또한 코스트 리스크 중의 하나이다.

〈그림〉은 7군데의 연구 결과를 요약한 것인데 여건에 따라 연구 결과가 다 달라 각 코스트 레인지의 높은 단이 적어도 낮은 단보다 100% 이상 높다(석유 화력 발전을 제외하고). 다시 말하면 각 연구가 기술적 인자와 가정을 달리함으로 오는 결과이다.

원자력 발전은 일반적으로 낮은 레인지에 들어 있지만 나라마다 다른 여건에 의해 결정되어야 할 사안이다.

나. 안전성

원전 운영에 관한 국제 교류, 특히 교훈을 널리 전파한다는 것은 원전 안전 운전을 유지하고 경쟁력을 키우는 기본 부분이 될 수 있다.

운영 경험을 수집하고 서로 나누고 분석하는 것은 아주 중요한 관리 포인트이다.

국제적인 정보 교류 메커니즘으로는 세계원자력발전 운전사업자회의(WANO)와 IAEA를 들 수 있는데 IAEA와 NEA가 공동으로 사건 보고 체계(Joint Incident Reporting System)를 운영하는 것도 또 다른 정보 교류 과정이라 말할 수 있다.

WANO에 의해 발간된 안전성 지

침은 1990년대의 운전 예측 각본과 같이 많은 사항들이 개선되었다고 할 수 있지만 어떤 분야에는 개선될 사항도 있다.

1986년 이래 원전 개선을 위한 안전 특성은 향상되었지만 시설은 아직도 개선할 점이 남아 있다.

보다 구체적인 관련 정보는 IAEA 발간물인 Nuclear Safety Review(GC50/INF/2)를 참고하면 된다.

다. 사용후핵연료, 재처리, 방사성 폐기물 및 폐로

세계의 441기 원자력발전소에서 발생하는 사용후핵연료는 매년 10,000톤(tHM)이다.

이 중 1/3은 재활용 연료(MOX, Mixed Oxide Fuel)를 가공하기 위해 재처리 공정을 거친다. 나머지는 임시 저장소에 저장되는데 현재 약

190,000tHM의 사용후핵연료가 저장 중에 있다.

많은 양이 물속 풀에 저장되어 있지만 새로운 방식인 건식 저장 방식이 개발되어 이를 활용하고 있다.

세계적으로 사용후핵연료의 재처리 규모는 연간 5,000tHM이다.

신규 재처리 시설인 일본의 로카쇼무라에 년 800tHM 규모가 추가될 예정이다. 이 시설은 우라늄 연료로 2004년 시운전하였지만 재처리 할 사용후핵연료로 2006년에 시운전하고 2007년에 조업에 들어갈 예정이다.

MOX 연료 가공 규모는 세계적으로 200tHM이며, 2010년경에는 230tHM 규모로 증가될 것으로 추정된다.

재처리 핵연료 사용으로 가장 효율이 높은 발전소는 고속증식로이다. 몇 개국에서 이 고속증식로를 개발하여 운전중인데 프랑스, 독일, 인도, 일본, 러시아, 영국과 미국이다.

1970년 이후 한때 원자력의 개발 속도가 둔화되면서 고속증식로의 경제성에 대한 인센티브가 없는 것으로 나타나 개발이 주춤하였던 것이 사실이다.

현재 상용의 고속증식로는 러시아의 BN-600이 운전중인데 여기에는 핵연료로 고농축 우라늄을 사용하고 있다. 인도는 2004년에 500MWe급 고속증식로 건설에 착수하였다.

고준위 폐기물의 영구 처분은 세 나라를 제외하고 어느 나라도 2020

년 전에는 영구 처분장을 완성하지 못할 것으로 예상된다.

핀란드, 스웨덴 및 미국은 고준위 처분장을 확보하였고 이를 추진중에 있다.

핀란드는 한 곳의 처분장을 확보하였고, 미국은 유카마운틴의 승인을 2004년 신청하려했지만 지연되고 있으며, 스웨덴은 2곳의 가능성 부지를 두고 선정 작업 중에 있다.

중·저준위 방사성 폐기물 처분부지 확보와 관련, 2005년에는 팔목 할만한 성과를 거두었다.

벨기에, 헝가리 및 한국에서 부지를 확보하였다. 벨기에와 헝가리는 투표에 의해 결정되었으며, 한국은 경주로 조건부하에 결정되었는데 주민 투표에서 90%의 찬성으로 다른 세 곳보다 월등한 차로 결정되었다. 조건은 부지의 지질 조사와 평가에서 이상이 없어야 한다는 것이다.

페로와 관련, 2005년에는 미국의 Trojan 및 Yankee 원전의 폐로 작업이 완료되어 두 부지 모두 자유롭게 주민이 사용할 수 있도록 공개되었다.

그동안 세계적으로 총 8기의 원자력발전소의 폐로가 완료되어 조건 없이 부지를 공개할 수 있게 되었다.

17기가 폐로 절차의 하나로서 부분적으로 분해된 상태로 안전하게 봉해졌고, 31기가 부지 공개 전에 분해 작업이 진행중이며, 30기는 장기적 봉합을 위해 최소한의 분해 작

업이 진행중에 있다.

4. 핵연료 자원

그동안 확인된 우라늄 자원은 현재의 가용 가격 kg당 80\$선 이하의 가격선에서 총매장량은 약 3.8백만 톤(MtU)으로 추정된다.

또한 130불 이하 가격으로 추정하면 4.7MtU으로 추정된다. 참고로 2006년 5월 현재 현물 시장 가격은 112불이다.

지난 2년간 새로이 발견된 광맥으로 매장량이 증가하였는데 앞으로도 계속될 것으로 추정된다. 미확인 매장량은 130불 선으로 약 7.1MtU으로 추정된다.

기타 우라늄 자원과 토륨 자원을 고려하면 자원의 범위가 넓어진다. 인산 광물과 함께 있는 우라늄의 양은 22MtU 정도가 될 것이며, 바닷물에 포함된 우라늄 자원은 4000 MtU으로서 무궁무진하다.

인광석에서 분리하는 비용은 60~100불로 추정되며, 바닷물에 있는 우라늄 자원을 추출하는 기술은 실험실 규모이며, 현재 기술로의 추출비는 kg 당 300불선으로 추정된다.

그리고 토륨 자원은 풍부하여 일부 발견된 것만 4.5Mt으로 추정되는데 앞으로 토륨을 핵연료로 사용하는 경우에는 달라질 것이다.

국가별로는 호주, 카자흐스탄, 호주, 미국 등에 다량 분포되어 있으며 2004년 생산 실적을 보면, 캐나다, 호주, 카자흐스탄에서 60% 이상



을 생산하였고, 그 다음에 러시아, 나이지리아 순이다.

2004년 우라늄 총 생산은 40,263tU이며 이 양은 세계 원자력 발전소의 수요의 60%에 해당된다.

나머지 공급과 수요의 차이는 우라늄 비축량, 재처리 연료 사용, MOX 연료 사용, 일부 재농축 연료 등으로 충당하고 있다.

대체 방안 중 가장 크게 기여하고 있는 것은 비축량인데, 그 동안 원자력 발전의 침체에 의해 이루어졌지만 1990년 이후 사정이 점점 달라지고 있고 최근 미국, 서구를 포함 신규 원자력 발전을 지향하고 있어 향후 우라늄 가격이 상승하게 될지 변수로 남아 있다.

사용후핵연료의 재활용으로 추진 중인 MOX 연료는 극히 제한되고 있다.

당장 사용후핵연료를 재처리할 수 있는 곳은 프랑스와 러시아 두 곳으로서 전체 핵연료 사용량의 1% 미만으로 미미한 실정이다. 향후 영국과 일본의 재처리 시설이 가동하면 조금 달라질 것으로 보인다.

우라늄을 농축하고 남은 감순 우라늄의 재고가 늘어나고 있는데 이를 재 농축하여 사용하고 있다. 2005년 기준 1.5MtU 정도이며 이 재고를 재 농축하여 사용하는데, 그 양은 EU 원자력 발전 핵연료량의 총6%에 해당되는 양이다.

이상 핵연료의 매장량을 분석해보았는데 현재의 기술에 의한 경우로를 기준, 현재의 원전에 사용한다

면 확인된 매장량으로 85년을 사용할 수 있으며, 추정 매장량까지 고려하면 약 270년간 사용할 수 있다.

사용후연료를 재활용하여 고속증식로에 사용할 경우 5,000년 ~ 6,000년까지 사용할 수 있다.

첨단 핵분열 기술 및 융합 기술

1. 첨단 핵분열 기술

(원자력 발전의 신기술)

단기적으로는 현재의 원자력 발전 설계 기술을 발전적으로 개발해 나가겠지만, 보다 장기적으로는 원전 설계를 혁신적 기술로 변경하여 규모가 작고 짧은 공기 내에 건설될 수 있어 건설비를 대폭 줄일 수 있는 원전을 개발한다는 것이다.

몇 개의 혁신적인 설계가 진행되고 있는데 소 규모 (300MWe ~ 700MWe)로서 개발 도상국에 적절 할 것이다. 이 발전소의 특성은 가격이 저렴하고, 우수한 안전성과 핵확산 저항성을 개선하는 것을 추구하고 있다.

가격 절감을 목적으로 대형 원전의 경제성과 경쟁할 수 있도록 건설 공기를 단축하며, 인허가 이슈들을 사전에 해결하도록 설계 표준화를 이루고 건설을 차례로 추진하며, 대호기 건설을 통해 건설비를 줄이며 현지 산업체 참여를 최대화하여 지역 경제를 개발하고, 피동 안전성을 채택하여 확률적 안전성을 제고할 뿐 아니라 이로 인한 발전소 기기를 줄여 단순화시켜 발전소 규모를 줄

이고 경제성에 기여하게 한다는 것이다.

핵확산 저항성에 신뢰를 줄 수 있도록, 여러 가지 첨단 설계 장비로 구성된 내부 측정으로 핵물질의 학적 성분을 확인하도록 되어 있는데 핵물질의 질량, 총량, 방사선장, 열 생산 및 중성자 발생률 등으로 신뢰를 가질 수 있게 한다.

대형 첨단 원전 기술로의 ALWR 개발이 추진되고 있는 나라는 아르헨티나, 중국, EU, 프랑스, 독일, 일본, 한국, 러시아 및 미국이다.

캐나다와 인도는 대형 중수로 개발에 공동 노력을 하고 있고 가스냉각로 개발 국가는 중국, 프랑스, 일본, 한국 러시아 남아연방, 미국이다.

액체금속고속로 개발 국가는 중국, 인도, 일본, 한국, 그리고 러시아이다.

국제 공동으로 추진중인 두 개의 대형 과제는 Generation IV 과제 (GIF)와 혁신 원자로 및 핵연료 초기 과제(INPRO)이다.

GIF 과제는 현 원전 기술에 비교하여 혁신적인 기술로 2020년을 목표로 6개 형(型)의 원자로에서 채택될 것이다.

후보군으로 선택된 원자로형은 가스냉각고속증식로, 납합금고속증식로, 용해염원자로, 나트륨액체금속냉각증식로, 초임계원자로 그리고 고온가스로이다.

GIF 과제의 공동 추진 국제 협력 서명이 5개국인 미국, 영국, 프랑스,

캐나다 및 일본에서 2005년 2월에 있었다. 서명의 내용은 공동 연구 내용과 국제 협력 사항 그리고 이에 소요되는 예산에 관한 사항이었다.

INPRO 과제에 관해서는 2004년 혁신적인 원자력 에너지 시스템(INSs)을 분석 평가하기 위한 지침과 방법이 발간되었다.

현재 진행되는 활동 내용은 INPRO에 관한 사용자 매뉴얼의 완성이 포함되어 있다. 2005년 현재 INPRO 회원은 미국과 우크라이나를 포함, 24명으로 늘어났다.

2. 핵융합 원자력 발전

2005년 6월, 국제원자핵융합반응실험로(ITER)의 국제 공동 과제에 관한 협상이 완료되어 관계국의 서명식이 있었다. 실험로의 장소가 프랑스의 Cadarache 연구소 부지로 확정되었다.

이는 핵융합을 이용하여 전력을 생산하는 핵융합발전소를 현실화시키려는 첫 시도로서 과학기술적 측면에서 매우 뜻깊은 일이 아닐 수 없다. 2005년 12월 인도가 7번째 회원국이 되었다.

핵융합 에너지를 이용하려 하는 것은 원자력에 대한 신뢰도를 높이고 원자나 분자의 정보에 대한 필요성을 포함, 도전해 볼 만한 일이 아닐 수 없다.

ITER의 건설 과정에서 원자 및 분자에 관한 것들, 플라스마-표면의 상호 작용들이 중요한 사안으로 인식될 것이며, 삼중수소의 저장과

이송 건, 언저리 플라스마 물리 현상, 중원소 불순물 등 현안이 국제핵융합연구위원회(IFRC)에 의해 확인될 수 있을 것이다.

2006년에 첫 시도로 핵융합로의 원자로 격납 용기 부식 특성을 연구, 이를 제시되게 될 것이다.

관성 밀폐 플라스마(Confined Plasma)의 물리적 특성을 보다 이해하게 되면 핵융합발전소의 최적 운전을 위한 개선된 파라메타를 이끌어내게 될 수 있다.

관성 핵융합 연구에서 물리적 특성을 이해하려는 과정은 핵융합 점화 실험 시설을 위한 두 개의 메가줄레이저 시설인 미국의 국립점화시설(Livermore 소재)과 프랑스의 이저 메가줄시설(Vordeaux 소재)에서 이끌어 왔다.

주요 사항 요약

1. 2005년의 원자력의 현주소는 매우 밝았으며 원자력 발전의 증가 예상을 뒷받침하는 한 해였다고 볼 수 있다.

2005년 3월, 74개 국가의 주요 인사(25개국은 장관급)가 파리에서 모여 원자력 에너지의 미래에 대한 협의를 한 바 있다. 이 모임에서 원자력 에너지야말로 21세기를 이끌 에너지로서 안정적 공급과 세계 개발을 뒷받침하는 역할을 하게 될 것을 공감하였다.

2. 2005년 말, 전 세계에 운전중인 원자력발전소는 441기이며 총

시설 용량은 368GWe 규모이다. 이 발전 시설에서 발전한 전력은 세계 전력의 16%를 차지하는 양이며 이 추세는 지난 1986년 이후 비슷한 비율을 보이고 있다.

2005년 4기의 원자력발전소가 상업 운전을 시작하였고(일본 2기, 인도 1기, 한국 1기), 장기 운전 정지를 하고 있던 1기의 원전이 캐나다에서 재개하였다. 현재 건설중인 발전소는 27기이며, 이중 16기가 아시아에 위치해 있다.

3. 그 동안 확인된 우라늄 자원은 현재의 가용 가격 kg당 80\$선 이하에서 약 3.8백만톤(MtU)의 매장량으로 추정된다. 또한 130불 이하를 추정하면 4.7MtU로 추정된다. 현물 시장 가격(2006. 5 현재)은 112불이며, 참고로 2002년 가격은 25불 선이었다.

지난 2년간 새로이 발견된 광맥으로 매장량이 증가하였는데 앞으로도 계속될 것으로 추정된다.

4. 폐로와 관련, 2005년에는 미국의 Trojan 및 Yankee 원전이 폐로 작업이 완료되어 두 부지 공히 자유롭게 주민이 사용할 수 있도록 공개되었다. 그 동안 세계적으로 총 8기의 원자력발전소의 폐로가 완료되어 조건 없이 부지가 공개되었다.

5. 고준위 폐기물의 영구 처분을 세 나라를 제외하고 어느 나라도 2020년 전에는 완성하지 못할 것으로 예상된다. 핀란드, 스웨덴 및 미국은 고준위 처분장을 확보하고 추진중에 있다.



중·저준위 방사성 폐기물 처분부지 확보와 관련, 2005년에는 괄목할만한 성과를 거두었다. 벨기에, 헝가리 및 한국에서 부지를 확보하였다.

벨기에와 헝가리는 투표에 의해 결정되었으며 한국은 경주를 조건부하에 결정되었는데 주민 투표에서 90%의 찬성으로 다른 세 곳보다 월등한 차로 결정하였다. 조건은 부지의 지질 조사와 평가에서 이상이 없어야 한다는 것이었다.

6. 향후 혁신적인 원전 기술을 개발하기 위해 국제 공동으로 추진중인 두 개의 대형 과제는 Generation IV 과제(GIF)와 혁신 원자로 및 핵연료 주기(INPRO) 과제이다.

GIF 과제는 현 원전 기술에 비교하여 혁신적인 기술로 2020년을 목표로 6개 형 중의 원자로에서 채택될 것이다.

후보군의 원자로는 가스냉각고속증식로, 납 합금고속증식로, 용해염원자로, 나트륨액체금속냉각증식로, 초임계원자로 그리고 고온가스로이다.

GIF에 관한 국제 협력 서명이 5개국인 미국, 영국, 프랑스, 캐나다 및 일본에서 2005년 2월에 있었다.

현재 진행되는 INPRO 활동 내용은 사용자 매뉴얼의 완성이 포함되어 있다. 2005년 현재 INPRO 회원은 미국과 우크라이나를 포함, 24명으로 늘어났다.

7. 2005년 6월, 국제원자핵융합반응실험로(ITER)의 국제 공동 과제의 협상이 완료되어 관계국의 서

명이 체결되었다. 이 시설의 장소가 프랑스의 Cadarache 연구소 부지로 확정되었다.

이는 핵융합을 이용하여 전력을 생산하는 핵융합발전소를 현실화시키려는 첫 시도로서 과학기술적 측면에서 매우 뜻깊은 일이 아닐 수 없다. 2005년 12월 인도가 7번째 회원국이 되었다.

결언

지난 약 25년간 TMI 사고 및 Chernobyl 원전 사고로 인하여 원자력 발전의 개발이 지연 또는 침체되었지만 2000년대 들어서면서 다시 활기를 띠기 시작하고 있다.

원자력 발전의 대국인 미국이 다시 원전 개발을 선언, 건설에 착수하여 제2의 르네상스 슬로건을 내걸고 사전 인허가 제도를 정착, 차세대 원전의 신규 건설을 시작하였고, 서구의 핀란드와 프랑스가 서구형(型) 차세대 원전인 EPR(1,600MWe) 건설을 확정하고 건설에 착수하였다.

현재 원자력 발전의 개발은 두 가지 방향으로 가고 있다고 판단된다.

하나는 기존 운전중인 발전소를 혼선, 가동률을 높이고, 출력 증강을 시도, 발전량을 늘리며, 원전 수명을 늘리는 노력을 경주하여 발전 코스트를 줄여 나간다는 것이며, 다른 하나는 미래의 신규 원전의 기술 향상에 초점을 맞추어 안전성을 제고하는 일차적인 목표를 달성하고 수동적 안전성을 도입하여 불필요한 기

기와 계통을 제거, 발전소 규모를 줄여 궁극적으로는 경제성을 높인다는 것이다.

핵연료의 수급에서 현재 확인된 매장량으로 기존 운전중인 원전에 한번 사용하고 폐기물로 처리한다는 핵연료 주기를 가정하면, 향후 85년 운전에 불과하지만 사용후핵연료의 재활용(Recycle)을 가정하면 60여배를 더 늘려 사용할 수 있다. 더욱이 고속증식로 원전을 사용하면 이론적으로 6,000년 이상 사용할 수 있다.

그러나 현 단계에서 보면 단기적으로 원전의 빠른 개발 가능성으로 핵연료 수급에 영향을 주게 되어 핵연료 가격 상승이 있을 수 있음을 명심하여야 할 것이다.

차세대 원전 기술 개발을 목표로 GEN IV 프로젝트에 원자력 선진국 5개국(미국, 영국, 프랑스, 일본, 캐나다)이 이미 공동 연구 개발에 서명하였는데 우리나라도 조속히 참여해야 할 것으로 본다. 기술을 가진 자와 가지려 하는 자의 현실적인 차는 너무나 크다는 것을 우리는 경수로 기술을 자립하면서 이미 배운 바 있다.

또 하나의 국제 공동 연구인 ITER이 관련국의 합의 서명으로 추진중이다. 우리나라도 핵융합의 국제적 연구에 뒤지지 않도록 이 프로젝트에 참여할 수 있는 방안을 강구하기를 권고한다. 최근에 인도가 7번째로 회원국이 되었다. ☺