

국제원자력학회 평의회(INSC) 보고서 요약

원자력 차기 50년의 전망과 실현전략

홍 주 보

한국전력공사 원자력발전처 처장



한국원자력학회(KNS)를 비롯하여 전세계 38개국의 원자력학회가 가입하여 구성된 국제원자력학회평의회(INSC)는 페르미 원자로에서 인류 최초의 핵분열이 일어난지 50년이 지난 시점(92년)에서 향후 50년간 원자력 에너지가 감당할 역할에 대한 연구를 수행하여 지난 95년 5월 「원자력 차기 50년의 전망(a vision for the second fifty years of nuclear energy)」이라는 보고서를 발표한 바 있다.

인류의 삶의 질을 높이기 위한 미래에 있어서의 원자력의 역할을 확인하고 그러한 역할을 수행할 수 있는 전략 수립을 위해 국제원자력학회평의회에서 지명한 회원들로 구성된 「50년 전망위원회」 주관하에 전세계 약 5만명의 원자력 전문가들이 참여하여 작성한 이 보고서는 장기 에너지 수요 전망, 원자력 에너지 활용 전망과 실현 전략, 현안 문제 등 여러 주제를 폭넓게 다루고 있다.

이 자료는 우리 나라의 원자력 발전 사업이 에너지 자원 부족을 효율적으로 해결하고 경제 발전에 지대한 공헌을 해 왔음에도 불구하고 신규 원전 부지 확보난 등 여러 가지 어려움을 겪고 있는 시점에서 발표되었는데, 향후 세계의 원자력 산업 전망에 대한 객관적인 자료로서 활용 가치가 매우 높을 것으로 생각되어 그 내용을 간략히 소개한다.

21 세기 중반에 세계 인구는 100억명에 달하게 될 것이며 그에 비례하여 삶의 질을 향상시키기 위한 에너지 소비량도 증가할 것이다.

특히 개발 도상국의 에너지 소비는 현재는 선진국의 10%에 불과하나,

향후 폭발적으로 증가할 것이다.

지난 200년간 세계 에너지 소비량은 매년 2.3%씩 증가해 왔으며, 21세기 중반이 되면 세계 연간 에너지 소비량은 현재의 3배 수준이 될 것이다.

차기 50년의 전망

1. 에너지 수요

현재 전세계 에너지 생산의 80%를 화석 연료가 담당하고 있다.

화석 연료는 매장량으로 볼 때 21세기 중반까지는 공급에 문제가 없을

것이나 환경적인 이유로 사용이 제한될 수 있을 것이다.

21세기 중반에는 원자력과 천연가스가 주요 에너지원이 될 것이며, 가까운 장래에 재생 에너지의 광범위한 활용을 기대하기는 어려울 것이다.

2. 원자력발전

전세계 에너지 소비량의 3분의 1이 전기 에너지이며, 그 편의성으로 인해 전기 사용량은 지속적으로 증가할 것이다.

원자력은 전세계 1차 에너지 소비량의 약 8%를 차지하고 있으며, 대

부분의 원자력 에너지는 전력 생산에 이용되고 있다.

94년도 세계 전력 생산량 중 원자력에 의한 발전량은 약 18%를 차지하고 있다(화력 64%, 수력 18%).

94년말 현재 전세계 원자력 발전 시설 용량은 358GWe이고, 30개국에서 432기의 원전이 운영중에 있으며, 48기가 건설중에 있고, 59기가 계획중에 있다.

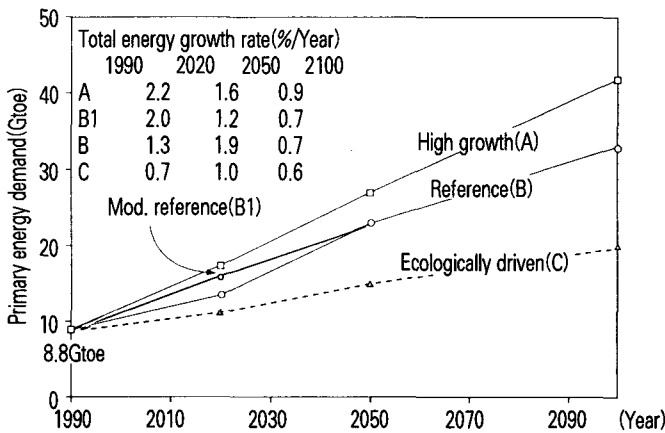
세계 연간 에너지 수요는 2050년에 현재의 2.6배(20Gtoe), 2100년에 3.8~4.4배(29~34Gtoe)로 증가할 것이다.

2050년에는 원자력이 세계 1차 에너지 공급량의 15%를, 2100년에는 28%를 담당할 것으로 예측되고 있다.

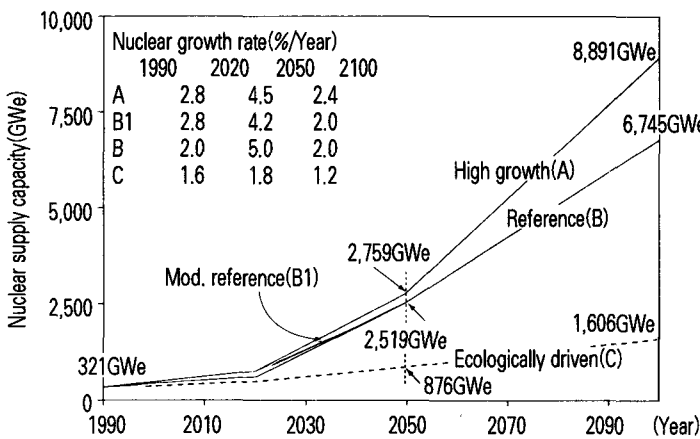
만약 화석 연료의 사용이 제한된다면 원자력의 비중은 확대될 것이며, 이러한 수요를 감당하기 위해서 21세기 초에는 매년 1,000MWe급 원전 30~50기가, 21세기 중반에는 100기가 건설되어야 할 것이다.

원전 건설에 있어서 재원 조달이 가장 어려운 문제가 될 것이나, 선진국의 경우 군사비에 지출하는 금액에 비하면 큰 부담은 되지 않을 것이다.

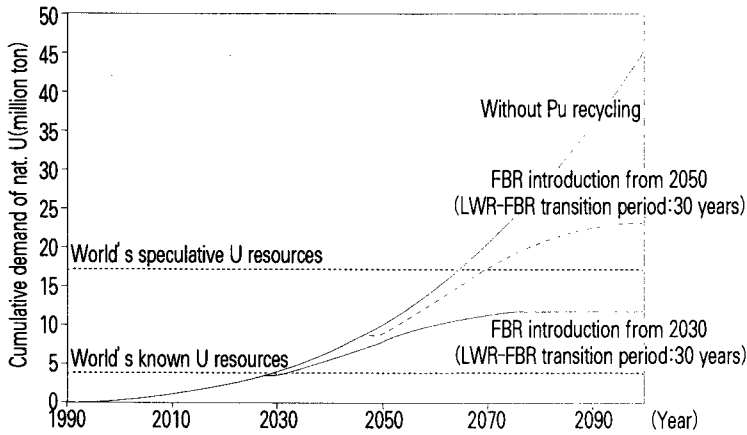
그러나 개도국의 경우는 재원 조달이 어려울 것이므로 건설 비용이 크게 감소되지 않는 한 원자력 산업은 선진국에서 그 활로를 찾지 않으면 안될 것이다.



(그림 1) 세계 에너지 수요 장기 전망



(그림 2) 세계 원자력 에너지 공급 능력 장기 전망



(그림 3) 세계 천연 우라늄 수요(누적치) 장기 전망

3. 우라늄 수급

OECD/NEA에 따르면 확인된 우라늄의 매장량은 370만톤이며, 추정 매장량은 1,700만톤이다.

만약 플루토늄이 재처리되지 않는다면 우라늄의 수요는 2030년경에 확인 매장량을 초과할 것이며, 2070년경에는 추정 매장량도 초과할 것이다.

따라서 고속 증식로의 실용화가 필수적이며, 이 경우 실용화 시기가 향후 우라늄 수급 상황을 결정하는 주요 인자가 될 것이다.

우라늄의 활용을 극대화하기 위한 고속 증식로의 기술은 대규모의 시범 단계에 접어들고 있다.

고속 증식로의 활용은 기술 개발과 우라늄의 매장량에 달려 있다고 할 수 있다.

만약 고속 증식로의 기술이 비경제적인 것으로 확인된다면 핵연료 물질

의 대체 생산 방안이 강구될 것이며, 이 경우 입자 가속기에 의해서 구동되는 파쇄 원자로(accelerator driven spallation reactor)가 활용될 수 있을 것이다.

아무튼 향후 상당 기간 동안에는 고속 증식로가 원자력 시장을 주도하지는 못할 것이다.

한편, 기술적인 어려움과 경제적인 문제로 선진국에서 핵융합로에 대해 연구 규모를 축소하고 있는데, 향후 50년 이내에 실용화되기는 어려울 것이다.

4. 원자력 에너지의 활용 범위

21세기 중반의 세계는 환경 친화적이고 경제성 있는 다량의 에너지 공급을 필요로 할 것이다.

화석 연료의 사용에 의한 환경 오염과 대기 온도의 상승은 국내 총생산의 감소를 가져올 것이므로, 원자

력 에너지의 이용 확대는 불가피하며 이는 세계 경제 및 환경에 긍정적 영향을 미칠 것이다.

일부 국가에서는 이미 원자력을 산업, 주거 및 상업용 열에너지의 생산에 광범위하게 활용하고 있으며 점차 그 범위를 확대하고 있다.

원자력을 이용한 열에너지의 활용 범위는 온도에 따라 구분될 수 있다.

300°C 이하의 저온 에너지는 지역 난방, 담수화 공정 등에 이용될 수 있다.

특히 온배수를 이용한 어류 양식, 수경 재배 등 농업이 활성화될 것이다.

300~600°C의 증기는 정유 공장 등의 산업 생산 공정에, 600°C 이상의 고온 에너지는 석탄 액화, 수소 생산 등에 이용될 수 있다.

특히 경부하 시간대에 생산되는 원자력에 의한 잉여 전력을, 산업 생산 과정에서 광범위한 활용도를 갖는 수소 생산에 활용할 수 있을 것이다.

방사선은 의료·농업·기초 과학·응용 과학 등 모든 분야에 활용되고 있으며, 생명 공학 및 물질 합성 등의 분야에서 새로운 역할이 기대되고 있다.

원자력의 이용에 따른 방사선의 영향은 자연 방사선 및 의료 방사선에 비해 극히 미미하며, 핵연료 재처리가 보편화 되더라도 그로 인한 방사선량은 크게 상승하지 않을 것이다.

실현 전략

1. 원자로 및 연료 주기 전략

고속 증식로가 2030년경에 상용화 되더라도 2050년까지는 원자력 발전량의 90% 이상을 열중성자로가 담당하게 될 것이므로 기존 원자로의 개량은 지속되어야 한다.

개량형 원자로의 개발 목표는 발전 원가 절감, 부지 사용 최적화, 신뢰도 향상, 정비의 단순화, 피동형 안전 특성 및 핵 비확산 설계 등이다.

고속 증식로의 안전성과 신뢰성은 원형로 단계에서 평가되며, 경제성은 시범로 단계에서 결정된다.

현재 프랑스·영국·독일 등에 의해서 EFR(European Fast Reactor)에 대한 평가가 수행중에 있으며, 일본에 의해서 DFR(Demonstration Fast Reactor)에 대한 평가가 수행중에 있다.

EFR의 건설 비용은 발전소가 위치하는 국가에 따라서 경수로보다

10~40% 높은 것으로 평가되며, 발전단가는 프랑스의 경우 경수로에 비해 10% 정도 높다.

DFR의 경우, 최초로 건설되는 발전소는 경수로보다 40% 정도 높고, 다수기 건설시 10% 정도 높게 된다.

EFR과 DFR에 대한 연구 결과가 고속 증식로의 설계에 적용된다면 건설 단가 및 발전 단가는 경수로의 경우보다 저렴하게 될 것이다.

일본 및 유럽에서 설계되고 있는 차기 고속 증식로 발전소의 건설은 2000년대 초에 시작될 것이고, 다수기의 건설은 2010년대에 가능해질 것이며, 범지구적 활용은 2030년 이후에 가능해질 것이다.

반감기가 긴 핵종을 방사성 폐기물로부터 제거할 수 있다면 방사성 폐기물 저장고에 부과되는 환경적 부담을 줄일 수 있기 때문에, 고준위 방사성 폐기물에 포함되어 있는 반감기가 긴 핵종을 원자로나 입자 가속기 등에서 반감기가 짧은 핵종으로 변환시키는 연구가 진행되고 있다.

방사선 활용 분야의 확대에 따른 방사성 폐기물 발생도 주요 문제로 대두될 것이다.

방사성 폐기물의 효율적인 처분도 중요하지만 근본적으로 방사성 폐기물의 발생을 최소화할 수 있는 기술적·제도적 장치가 강구되어야 한다.

2. 방사선 이용 전략

향후 방사선 이용에 영향을 미칠 수 있는 가장 중요한 기술적 요인은 입자 가속기 및 주변 기술의 개발이다.

현재까지는 방사성동위원소 및 전자빔 가속기가 주된 방사선원으로 상업적으로 활용되어 왔으나, 향후에는 전자 이외의 입자를 방출하는 입자 가속기가 방사선 이용의 진보에 중요한 역할을 수행하게 될 것이다.

입자 가속기의 개발은 다음과 같은 방향으로 이루어질 것이다.

- 고에너지로부터 대전류로의 변환
- 전자로부터 이온으로의 변환
- 이온 종류의 다양화
- 입자빔의 질 향상
- 양전자·중간자 등과 같은 2차빔의 방출 및 그 활용

현안 과제

원자력이 미래의 역할을 수행하기 위해서는 핵확산 방지, 안전성 제고, 공중의 신뢰도 제고와 개발 도상국에 대한 선진국의 지원 활성화 등이 전제되어야 할 것이다.

1. 핵확산 방지

국제 사회에서 화학 무기의 보유가 도덕적으로 용인되지 않고 있는 것처럼 향후 50년 이내에 핵무기의 보유를 금지하는 핵비확산 분야의 진보가 이루어질 것이다.

핵비확산을 위한 장치는 NPT와

(표) 운전중인 고속 증식로 현황

Reactor	Power(MWe)	Criticality	Country
Superphenix	1,240	1985	France
BN-600	600	1979	Russia
MONJU	280	1994	Japan
Phenix	250	1973	France
BN-350	150	1972	Kazakhstan
JOYO	100	1977	Japan
FBTR	13	1985	India
BOR-60	12	1969	Russia
BR-10	10	1972	Russia



한국전력공사 원자력연수원에서 열린 IAEA 지역간 워크숍(95. 4. 10~4. 14)

같은 국제 조약과 IAEA와 같은 국제적으로 승인된 기구의 활동 등이 될 것이며, 이러한 국제적인 활동을 보완하기 위한 지역간 활동도 강화되어야 한다.

2. 안전성 제고

세계 에너지 시장에서 원자력의 역할이 확대되기 위해서는 제도적·기술적인 안전성 증진 조치를 취해야 한다.

제도적 조치의 일환으로 세계원전사업자협회(WANO)와 같은 조직에서는 발전소 운영에 중요한 운전 및 안전 관련 정보를 교환해 오고 있다.

또한 회원사간 상호 방문(peer review) 및 긴급 지원(emergency support) 등 활동 영역을 확대할 예정이며, 원자력 안전성 확보를 위한 지침을 포함하는 원자력안전협약이 97년경에는 발효될 것이다.

또한 발전소 설계 및 운영에 관련된 인적 행위 개선, 기기 신뢰도 제고, 그리고 확률론적 안전성 평가(PSA)의 광범위한 활용 등이 기술적

조치 내용이 될 것이다.

3. 공중의 신뢰도 제고

원자력에 대한 신뢰도를 제고하기 위해서는 정확하고 신속한 관련 정보의 공개와 공중의 의사를 반영하는 정책 결정 과정이 중요하다.

정보의 제공은 그 수요층(일반 공중·여론 주도층·지역 주민 등)에 따라 각기 상이한 접근 방식을 취해야 한다.

4. 개발 도상국 지원 체계 구축

급속한 경제 발전이 이루어지고 있는 동아시아 지역에서 원자력을 주요 에너지원으로 개발하고 있다.

원자력 선진국에서는 이에 대한 장기적인 지원 방안을 모색하여야 하며, 여기에는 재원 조달, 인적 자원 개발, 지역간 협력 기반 조성 및 다국간 합작 사업 등이 포함될 것이다.

원전 건설을 위한 재원 조달을 쉽게 하기 위해서는 설계를 단순화·표준화하고 과거의 경험을 활용하여 불확실성을 최소한으로 줄임으로써 민

간의 투자를 유도해야 한다.

원자력 선진국은 원자력 개발국이 기술 인력을 양성할 수 있도록 지원해야 하며, 원자력 개발국은 원자력 사업 추진시 기술 인력 훈련 체계를 갖추는 것이 필요하다.

유럽 연합 회원국간의 원자력 협력을 위한 유럽원자력공동체(EURATOM)가 운영되고 있는 것과 같이 아시아 지역에서도 보다 효율적인 협력 체계가 필요하다.

지역간 또는 보다 확대된 협력 체계하에서 수행되는 다국간 합작 사업은 원전 연료의 안정적 공급, 플루토늄의 통제 및 핵확산 방지를 위한 중요한 수단이 될 것이다.

결론

향후 50년간 전력 및 에너지 수요는 지속적으로 증가할 것이며 원자력의 역할 또한 증대될 것이다.

원자력 발전에 있어서 더 이상의 기술적인 장애는 없으며, 다만 안전성 확보, 방사성 폐기물 처분, 국제 협력, 핵비확산 및 원자력에 대한 신뢰도 제고 등과 같이 제도적으로 해결해야만 하는 어려움이 있을 따름이다.

원자력은 에너지 분야는 물론, 모든 과학 기술과 산업 분야에서 인류의 삶의 질을 높이는 데 기여할 것이며, 모든 인류를 위한 희망으로 남게 될 것이다. ☼