

# 원자력의 기술혁신 기반 구축에 관한 연구

(기술혁신학회, 2000년 추계학술대회, 2000. 11. 24, 한국표준과학연구원)

양맹호\*, 윤성원\*\*

## 1. 서언

20세기에 들어와 과학기술은 비약적인 발전을 이룩하여 인류사회와 생활환경에 커다란 변화를 가져왔으며 이로 인하여 산업의 발달, 생산기술의 혁신, 교통수단 및 정보통신의 발달 등과 같은 기술의 비약적 진보는 오늘날과 같은 물질적 풍요와 번영을 실현하는 문명을 발전시키며 유지하여 오고 있다. 또한 과학기술과 사회와의 관계 등 여러 가지 문제를 해결하기 위해 과학기술의 효과적 이용과 더 나아가 미개척영역에 대한 새로운 가능성을 개척하기 위해서도 과학기술의 발전이 필요하다.

과학기술의 혁신은 비약적으로 증가된 생산활동을 가져오게 되었으며 인구의 폭발적 증가와 자원고갈, 생태계 파괴, 지구온난화 문제, 폐기물처분 문제 등이 야기되고 있다. 또한 21세기에는 개발도상국의 급격한 인구증가와 경제발전으로 인한 에너지, 자원 및 식량수급의 어려움이 전망되고 있으며, 수자원 부족, 열대 우림 감소 등이 예상되고 있으며 국제적 관점에서의 대처를 필요로 하고 있다.

또한 과학기술의 발전은 그 이용에 따라 개인적, 지역적, 사회적 그리고 나아가 전지구 규모 차원에서 편리성이나 경제성 등 이익을 가져다주면서 동시에 이용에 따른 위험성을 부과하고 있다. 이러한 측면에서 기술의 산업적 이용은 지역주민들의 재산권이나 위협에 따른 사회적 안전문제, 환경오염 유발 등 기술이용의 사회성을 크게 부각되고 있으며, 대규모 산업의 시설이나 연구시설 등이 지역주민들로부터 기피되거나 반대에 부딪히는 상황이 나타나고 있다.

따라서 지금까지의 기술혁신은 기술자체의 성능 향상이나, 편리성 제고, 경제성제

---

\* 한국원자력연구소

\*\* 한국원자력연구소

고 또는 기술대체 등 소비형태의 변화나 경쟁력 강화 측면에서 중점을 두고 진행되어 왔다고 볼 수 있으나 앞으로는 기술혁신에 있어서 수요측면에서 요구조건을 충족시키는 개발이용조건을 제시하고 추진되어야 할 것이다.

본 논문에서는 원자력 개발이용에서의 기술혁신의 기반 구축에 대하여 간략히 검토해보고자 한다.

## 2. 원자력기술의 이용과 관련문제

원자력의 이용은 약 100년전 방사선의 발견으로부터 시작이 되었다. 또한 약 60년 전에는 핵분열 연쇄반응의 발견으로 군사적 이용이라는 불행한 역사도 있다. 이와 같이 20세기가 낳은 과학기술인 원자력은 방사선이 갖는 여러 가지 성질을 활용한 의료, 공업, 농업의 분야에서의 이용과 핵분열에 의한 막대한 에너지를 이용하는 원자력발전의 분야에서 연구개발 및 이용이 동시에 추진되고 있다.

또한 핵비확산에 대한 국제적 노력으로 핵무기 비확산에 관한 조약(NPT), 포괄적 핵실험 금지조약(CTBT) 등 핵군축이나 핵비확산에 대한 시스템 구축이 진척되고 있으나 핵무기해체 플루토늄 취급문제나 인도, 파키스탄의 핵실험, 이라크, 북한 등의 핵개발 의혹 등으로 핵확산에 대한 우려가 아직 남아있다.

원자력의 평화적 이용은 1953년 미국 아이젠하워 대통령의 "Atoms for Peace"을 계기로 활발하게 추진되어 현재 전세계적으로 400기 이상의 원자로가 가동되고 있고 총발전전력량의 약 16%(1998년)을 공급하고 있다. 미국에서는 전력공급의 약 20%, 유럽에서는 약 30%, 한국에서는 약 40% 이상을 원자력이 담당하고 있다.

그러나 미국의 TMI(Three Mile island) 원자력발전소 사고와 구소련의 체르노빌 원자력발전소의 사고를 계기로 원자력의 안전성에 대한 우려와 전력과 천연가스의 광역 공급망 정비, 에너지절약과 재생가능 에너지 도입 움직임, 원자력발전 철폐를 내세운 정당의 정권 참여 등으로 인해 선진국을 중심으로 원자력발전소의 신규 건설은 정체 경향을 나타내고 있다. 스웨덴, 독일은 원자력발전소를 점차적으로 폐쇄

하는 정책을 추진하고 있으며, 프랑스에서도 고속증식로인 슈퍼피닉스의 폐쇄 등이 현재 결정된 상태에 있다. 미국에서는 원자력발전소보다 건설이 쉽고 단기적 경제성이 유리한 석탄, 천연가스를 이용한 발전이 전력회사에서 채택됨에 따라 원자력발전소의 신규 건설이 20년 이상 이루어지지 않고 있다.

한편 중장기적으로 높은 경제성장과 이에 따른 에너지 수요증가가 예상되는 아시아 지역에서는 원자력발전의 도입과 원자력발전 규모의 확대에 대한 움직임이 활발하다.

원자력은 원자력발전뿐만 아니라 방사선의 기초·응용 연구에서 실용화에 이르기까지 폭 넓은 분야에서의 이용이 추진되고 있다. 여러 가지 종류의 방사선은 원자·분자, 원자핵과 같은 미시적 세계의 관찰, 계측, 미세가공 등 첨단연구개발에 필수적인 수단을 제공하며 물질의 본질에 대한 새로운 지식을 가져다줌으로써 과학기술발전의 원동력이 되고 있다. 더 나아가 의료분야에서 X선 진단, 암치료, 산업분야에서의 고무, 플라스틱 등의 품질개량, 의료기기의 멸균, 방사선 육종, 식품조사 등 방사선이용 기술은 전세계적으로 확대되고 있다.

20세기말에 지구 곳곳에서의 이상기후에 대한 논의가 국제적으로 대두되게 되었으며 그 원인의 하나로서 CO<sub>2</sub> 등 온실가스가 거론되고 있다. 이러한 온실가스에 대한 배출을 억제하기 위한 배출제한이 1998년 교토회의(COP3)에서 제안되어 21세기에는 이들에 대한 본격적인 대응이 요구되고 있는 실정이다. 현재는 선진국 몇 개국이 이들 배출제한을 받고 있으나 조만간 국내에도 온실가스 배출제한이 요구될 것이다. 또한 지구온난화 문제에 대한 대응의 필요성이 점차 증대되고 있다는 것이다. 지구온난화는 한 국가의 문제가 아닌 지구차원에서의 문제로 대두되고 있으므로 이를 위해 국내에서도 이에 대한 대응의 필요성이 다른 국가들로부터 요구되고 있다.

국제적인 에너지정세를 둘러싼 국제환경변화에 따라 우리나라는 에너지수급에 있어서 민감하게 영향을 받아오고 있으며 적극적이고 효율적인 대응을 필요로 하고 있다. 이러한 측면에서 볼 때 에너지 안전보장 확보에 대한 필요성이 증대되고 있

다. 그 이유로는 아시아지역의 경제성장에 따른 에너지소비가 급격하게 증대되고 있으며, 중동 석유의존도가 높기 때문에 중동국가 등의 동향에 따라 국내 경제가 크게 좌우되고 있다. 따라서 국내의 에너지의 안정적 확보를 위해서는 이와 같은 국제적 상황에 충분히 대처할 수 있는 능력의 확보가 무엇보다 필요하다.

이와 같은 상황에서 현시점에서 앞으로 가장 유력하고 강력하게 추진해 나가야 할 온실가스 배출억제 기술로서 신에너지 이용이 각광을 받고 있으며, 현재의 기술로서는 원자력발전이 유력한 수단으로 거론되고 있다.

또한 자원제약과 환경부하가 적은 신에너지의 개발 및 도입을 위해서 주요 선진국에서는 활발하게 진행되고 있다. 신에너지를 선호하는 것은 다음 세 가지의 이유라고 말할 수 있다.

첫째로는 지구환경보전이라는 것이다. 태양광발전, 풍력발전은 지구온난화의 주요 원인으로 거론되는 CO<sub>2</sub>의 배출량이 적기 때문에 환경에 주는 영향이 거의 없다는 것이다. 폐기물발전은 소각열을 효과적으로 이용하므로 기존의 열을 버리는 것보다 그것을 이용함으로써 환경부하를 줄일 수 있다는 것이다.

두 번째로는 에너지의 안정보장이다. 신에너지는 자원제약이 없는 국산에너지라고도 할 수 있으므로 국가차원에서는 연료를 절약할 수 있다는 이점이 있다. 또한 전원을 분산시킬 수 있으므로 석유와 같이 외부요인에 의해 크게 영향을 받지 않으므로 국가차원에서의 전원에 대한 영향을 줄일 수 있다.

세 번째로는 새로운 산업으로 인해 시장확대에 대한 기대가 크므로 국가 경제성장에 공헌할 수 있다는 점을 들 수 있다. 이와 같은 이유로 하여 일부 선진국에서는 신에너지의 개발 및 도입을 추진하고 있다.

그러나 신에너지 이용에 대한 문제점으로 풍력발전의 경우 경우, 전자파장해, 경관 등의 환경문제, 바람에 의존하므로 출력이 불안정하여 이용률 향상을 위한 풍차 개량 등의 문제가 있다. 태양광발전의 경우 일몰 후와 악천후 시에는 출력이 저하

되기 때문에 이용률에 대한 한계가 있다.

표 1은 원자력발전과 자연에너지를 원자력발전 1기를 태양광발전, 풍력발전의 자연에너지로 대체한 경우에 대하여 일본의 에너지원별 비교연구 사례를 나타낸 것이다.

표 1 원자력발전과 자연에너지  
(원자력발전소 1기를 자연에너지로 대체한 경우)

	원자력발전	태양광발전		풍력발전
		업무용	주택용	
1기당 또는 1 지점 당 설비용량	138만 kW	250kW	3.5kW	1000kW
설비이용률	80%	12%	12%	25%
연간발전전력량	97억 kWh	26만 kWh	0.37만 kWh	219만 kWh
설비투자액	3600억엔	3억엔	300만엔	2.5억엔
대체에 필요한 기수	1기	37,308기	262만	4429기
필요 투자액	3600억엔	11조엔	8조엔	1.1조엔
필요 면적*	약 0.53 km <sup>2</sup>	약 92km <sup>2</sup>	약 262만세대	약700km <sup>2</sup>

\* 소요면적에서 자연에너지는 토지취득비용을 계산에 포함하지 않음

한편 온실가스 배출량 억제에 대한 또 다른 새로운 정책대안으로 거론되고 있는 환경세(탄소세)와 배출권 거래는 온난화에 관한 대책조치로서 에너지절약 관련 판단 기준 설정 등의 직접적 규제와는 달리 간접적인 경제적 정책조치로서 유럽과 일본을 중심으로 도입이 결정되거나 검토하고 있다. 목표치 달성과 관련해서는 목표삭감량 확보, 삭감비용 최소화, 국제제도와의 연계 등의 측면에서 배출권 거래가 환경세보다 유리한 것으로 나타나고 있다. 그러나 환경세는 기존의 에너지관련 세금의 경험을 통하여 제도설계가 비교적 쉽다는 제도측면에서의 장점을 가지고 있으므로 이들에 대한 충분한 검토 등을 통하여 결정할 필요가 있다.

### 3. 원자력 기술혁신과 기반구축

앞서 기술혁신에 대한 의미를 언급한바 있으나 원자력의 평화적 이용의 경우 원자력발전이 있어도 경제성 향상이나 안전성 향상 등 일반적인 기술혁신에 초점을 두고 이루어져 왔다고 볼 수 있다.

원자력기술의 평화적 이용에서 기술 혁신은 초창기부터 요구되어 왔으며 이로 인한 다양한 제약이 가해져 왔다. 이러한 현상으로 핵무기개발에 반대하는 초창기의 반핵운동을 들 수 있다. 이와 함께 원자력발전 도입이 증가되면서 반핵운동과 연계된 반원전 운동이 일어났으며, 이와 같은 반원전 움직임은 산업개발에 따른 환경운동과 연계되어 시스템 종합기술이며 산업체제의 정립이 요구되는 원자력이용개발에서의 큰 부담으로 제기되고 있다.

또한 에너지자원 고갈 우려와 이에 따른 에너지의 안정공급, 대규모 에너지 소비에 따른 국제적 환경규제에 대한 적절한 대응, 환경오염의 심화에 환경규제의 강화, 자원의 효율적 이용을 위한 자원재활용 사회의 구현, 시장의 개방에 따른 경쟁력 강화와 신수요 시장의 창출 등 경제적, 사회적, 정치적, 환경문제 등 다양한 측면에서 기술혁신을 요구하고 있다. 따라서 원자력이용의 장기적인 정책과 전략추진에서 기술혁신의 필요성은 더욱 요구되고 있다.

특히 최근에 들어 원자력이용에 따른 세계적인 핵확산금지조약의 체제강화에 따른 정책적인 투명성 확보 문제가 중요해지고 있으며, 지역주민과 환경단체의 요구를 수용할 수 있는 기술의 개발도 요구되고 있다. 이외에도 기존의 대체기술과의 경쟁력강화를 위한 기술혁신과 새로운 시장수요 창출형 기술혁신 경쟁도 치열해지고 있다.

여기에서는 원자력분야에서 기술적 요소 외에 정치적, 사회적, 경제적인 기술혁신 기반구축 방향을 제시하고자 한다.

첫째로는 원자력의 평화적 이용분야의 기술과 산업시설 등 군사적으로 전용될 수

있는 가능성으로 많은 제약이 있다는 점이다. 이에 따라 국제적인 핵무기확산방지(또는 금지)조약과 국제원자력기구의 핵사찰이 원자력의 평화적 이용에서의 조약 당사국의 활동 전반에 대하여 이루어지고 있다. 따라서 원자력기술의 이용에서는 이러한 측면에서 기술의 전용 방지측면에서의 확인이 전제되어야 하며 동시에 검증이 요구되고 있다. 이러한 측면의 기술의 확보와 혁신은 원자력분야의 정치·외교 군사적인 측면에서도 중요한 요소로 인식되고 있으며 국가정책과 관련활동의 대외적인 제약해소와 투명성의 확보측면에서 아주 중요한 요소로 평가되고 있다. 따라서 원자력개발이용 특히 기술혁신에서 볼 때 국가정책의 투명성 측면에서 볼 때 핵사찰관련 핵물질 계량기술과 검증기술의 확보가 동시에 요구된다.

둘째로 원자력기술의 안전성확보 측면을 들 수 있다. 원자력이용은 원자폭탄의 개발과 이용 등 초창기부터 핵무기개발과 이용에서 출발한 관계로 일반 국민들의 의식에는 원자력이용에 대한 불안감이 선입감으로 항상 표출되어 왔으며, 미국의 TMI 원자력발전소와 구소련의 체르노빌 원자력발전소 사고 등으로 이러한 불안심리는 원자력이용에서의 안전에 대한 전제로 요구되어 왔다. 평화적인 원자력기술의 개발이용은 당연히 안전 문제를 우선적으로 설정하고 관련기술의 개발이용을 추진해오고 있으나 여전히 이에 대한 논쟁이 조금도 줄어들지 않고 있다. 이러한 측면에서 볼 때 원자력기술의 개발이용에 대한 안전성 확보를 위한 기술혁신은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 이와 함께 안전기술의 혁신은 안전규제의 법적 제도적 측면에서 기술혁신을 뒷받침할 수 있는 규제분야의 기술혁신도 동시에 병행되어야 할 필요가 있다.

셋째로 방사성폐기물관리에서의 안전문제이다. 방사성폐기물 관리의 안전문제는 일반적으로 원자력시설의 안전문제와 함께 같은 문제로 인식이 되어 왔으나 성격적으로 보나 기술적 측면에서 보면 별개의 문제이다. 방사성폐기물은 크게 원자로의 핵연료가 사용된 후 발생하는 사용후핵연료와 원자력 이용시설에서 발생하는 방사능 방출량이 크지 않는 중·저준위 방사성폐기물로 구분될 수 있다. 방사성폐기물의 안전관리는 원자력이용 초기부터 기술개발이 진행되어 왔으며 산업적으로는 기술적으로 검증이 되어 있다. 그러나 일반 국민들의 입장에서 볼 때 생태계 보호 등 환경보전과 보호 측면에서 다양한 기술적 요건을 제시하거나 요구하고 있다.

특히 원자력발전소 이용국가들은 이용증가에 따른 사용후핵연료 관리와 재활용, 방사성폐기물관리 측면에서 원자로와 핵연료주기 및 방사성폐기물관리에서 다양한 요구조건을 수용하기 위한 기술혁신에 대해 적극 노력하고 있다.

넷째로 새로운 시장 수요측면에서 기술혁신 필요성을 들 수 있다. 현재까지 원자력기술은 전력생산에 중점을 두고 산업육성과 기술개발이 진행되어왔으나 다양한 기초·기반의 과학기술 투자의 성과가 나타남에 따라 원자력 분야는 물론 타분야와의 기술연계와 접목으로 기술혁신의 가능성이 높아지고 있다. 현재의 전자와 원자, 그리고 광의 과학기술시대에서 앞으로는 방사선 과학기술시대의 도래가 전망되고 있다. 따라서 앞으로는 방사선의 과학기술개발 투자와 이와 관련된 기술혁신이 증가될 것으로 예상된다.

이러한 예로 방사선과 방사성동위원소의 핵의학적 이용을 대표적으로 들 수 있다. 핵의학분야의 경우 질병의 진단과 치료에서 다양한 기술개발이 상용화되고 있으며, 선진국 시장에서의 매출액은 급신장 추세를 보이고 있다. 이외에도 신약품 개발과 개량, 농산물 보관과 검역, 농수산물에서의 멸균 등 식량자원 확보, 해수담수화 기술개발 등 수자원 확보, 해충박멸, 유전공학과 생명공학에서의 응용, 원격조종 에너지생산과 이용, 선박과 우주선 등에서의 추진동력 이용 등 새로운 기술 수요와 이에 따른 시장수요 창출을 위한 기술혁신도 앞으로는 중요하게 대두될 것으로 전망된다.

다섯째로 기술혁신을 위한 법적 체제와 제도의 합리화가 요구된다. 원자력분야의 경우 대규모 연구개발투자와 투자에 따른 위험성, 안전규제의 적절한 수행과 안전문화의 정착, 사회와 지역주민에 대한 수용성의 확보, 연구개발투자와 인력개발의 적절한 관리 등 법적 제도적 측면에서 효율적인 대응이 필요하기 때문이다. 특히 원자력이용에서의 다양한 측면에서의 정책개발과 법과 제도가 필요하며 기술혁신을 위한 산업체의 육성과 국제협력이 증가되고 있는 추세에 있다. 이와 동시에 원자력이용개발에서의 국제적인 규범이 일반화 되가는 추세에 적절한 국가적 대응이 중요해지고 있기 때문이다. 선진국들은 이러한 측면에서 표준화를 추진하고 있으며 기술혁신기반구축에 필수적인 요소로 전망되고 있다.



#### 4. 결론

지금까지의 기술혁신은 기술자체의 성능 향상이나 편리성 제고, 경제성 제고 또는 기술대체 등 소비형태의 변화나 경쟁력 강화 측면에서 중점을 두고 진행되어 왔다.

그러나 앞으로는 과학기술의 발전에 따른 복지증진과 생활수준 향상, 산업의 개발 가속과 산업시설의 사고에 대한 방재기술, 환경에 대한 관심의 증가, 지역개발과 지역주민의 의사 결정과정의 합리화 등 기술혁신에 있어서 다양한 사회적 수요측면에서 요구가 강화되고 있으며 따라서 지금까지의 기술자체의 성능 향상이나 편리성 및 경제성 제고 또는 기술대체 등 소비형태의 변화나 경쟁력 강화 측면에서 앞으로는 기술혁신에 있어서 다양한 수요측면에서 요구조건을 충족시키는 방향으로 추진되어야 할 것이다.

원자력의 경우 핵무기확산금지조약의 국제적 체제강화와 원자력시설의 안정성 확보 및 방사성폐기물의 안전관리, 시장개발과 국제협력증가에 따른 기술경쟁력 강화, 새로운 시장요구를 충족시키는 신기술 개발 등 다양한 측면에서의 기술혁신을 종합적으로 추진되어야 할 것으로 판단된다.

이를 위해서 원자력 기술혁신을 위한 국가 차원의 기반구축을 위한 표준화 작업도 추진되어야 할 것으로 생각되며 이를 통해서 환경운동, 반핵, 반원전, 지역이기주의에 대한 적절한 대응과 건전한 과학기술의 교육과 안전문화가 정착이 기대되며 결과적으로 원자력의 이용은 국가발전에 기여할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. Nucler Energy Research Initiatives, Research Abstracts, US DOE, July 2000
2. Strategy of Nuclear Power Development in Russia in the first half of the 21st century, Ministry of the Russian Federation for Atomic Energy, Moscow, May 2000
3. 일본의 원자력연구개발 이용 장기계획의 예비 검토를 위한 조사 보고서, 일본원자력산업회의, 1999년 3월, KAERI/TS-107/99, 한국원자력연구소, 1999년 10월
4. 후지이에 요이치, 21세기 사회와 원자력 -리사이클문명을 향하여-, 한국원자력 문화재단
5. 원자력진흥종합계획, 과학기술부, 1997
6. 표준(규격)을 둘러싼 세계 동향, 일본원자력학회지, Vol.42, No.10(2000), pp18-23
7. 中村 政雄, 신에너지와 원자력발전의 비교, エネルギー レビュー, 2000.6