개도국의 기술개발 환경에 대한 국제 정치적 영향 요인 분석

이태준* · 이광석**

〈 목 차 〉

1. 문제 제기
2. 기술학습 개념 및 주요 외부 환경요인
3. 원자력기술의 국제 정치 환경 및 제도 변화
4. 원자력기술 개발의 국제 정치적 요인
5. 한국의 후행핵주기 기술학습에 대한 국제 정치적 요인의 영향
6. 결론

Summary: This paper explores how international political factors influence the role of conventional external factors in the course of technological learning. The research goes on to investigate whether the role of the techno-economic factors has changed due to the involvement of international political factors in the technological learning mechanism. To this end, this paper examines how US political intervention affected Korean technological learning in the back-end of the nuclear fuel cycle. The export policy, prior consent policy and international political influence of the US are employed as international political factors. The empirical findings show that international political factors are very likely to restrain the impact of the techno-economic factors on technological learning process. Accordingly, this paper hypothesizes that the role of techno-economic factors in the technological learning mechanism is weaker when international political intervention is involved.

키워드 : 후행핵주기, 기술학습정책, 기술-경제적 환경요인, 국제 정치적 요인, 원자력정책

* 한국원자력연구소 정책연구팀 선임연구원 (e-mail: tjlee@kaeri.re.kr)
** 한국원자력연구소 대외정책연구실장 (e-mail: leeks@kaeri.re.kr)

1. 문제 제기

개도국의 기술능력 발전이 산업 및 경제 성장에 결정적인 요인으로 인정되면서 기술학습 성과를 증진시킬 수 있는 방안을 모색하기 위하여 기술학습의 관련 요소들과 이들간의 상호 관계에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 이들 문헌들에서, 기술학습메커니즘은 내부과정과 외부 환경요소들의 상호작용에 의해서 구성된다. 기술학습의 내부과정은 기술학습 노력과 기술능력 발전 경로로 설명되고 있으며, 외부 환경요소들은 기술적 특성과 경제적 환경요소들이 주목을 받아왔다 (Fransman, 1984; Dahlman and Fonseca, 1987; OECD, 1992; Lall, 1998; Kim, 1999).

그러나 개발도상국의 기술발전 성과에 영향을 미치는 요인으로서 현존하는 국제관계와 그에 따른 제약조건이 매우 중요하게 고려될 수 있다. 대부분의 개발도상국들이 2차 대전 이후에 독립하면서 그들의 미약한 경제능력과 불안한 국가 안보 때문에 개도국의 정치·경제·사회발전은 강대국으로부터 많은 영향을 받아 왔다. 따라서 국제관계에서 개도국의 취약한 교섭능력은 국가의 사회경제적 발전과정에서, 특히 국제적으로 민감한 주제에 대하여, 개도국의 자율적 활동을 제한해 왔다 (Patel, 1995; Sharif, 1988a).

그럼에도 불구하고, 기술학습에 관한 기존연구들은 기술학습성과에 대한 국제 정치적 영향을 경시해 왔다. 극히 소수의 개도국의 기술학습과 관련된 연구에서 국제 정치적 상황이 기술변화에 미치는 영향의 중요성이 암시된 바는 있다. 예를 들면, 국제기술이전 제한 및 국제기구를 통한 간섭 등을 통하여 개도국의 기술개발 활동은 국제 정치적 요인의 영향을 받을 수 있음이 지적된 바 있다 (Sharif, 1988; Patel, 1995). 그러나 이들 연구들도 국제 정치적 요인과 기술학습과정이나 기술-경제적 환경 요인들간의 상호관계를 구체적으로 설명하지 않고 있다.

따라서 본 논문은 개발도상국의 기술개발 환경을 기술-경제적 외부환경 요소로 제한된 기술학습에 대한 기존연구의 한계를 지적하고 이를 보완하기 방안의 하나로서 국제 정치적 요인의 도입을 강조하고자 한다. 본 논문은 기술학습의 성과에 영향을 미치는 요인으로서 기존의 기술-경제적 요인들 외에 국제 정치적 요인을 외부환경요소에 포함시키고 이들 국제 정치적 요인들이 기존의 기술학습에 대한 기존의 기술-경제적 요인들의 역할에 어떻게 영향을 미치는 지를 분석하는 것을 그 목적으로 한다.

국제정치적 요인과 기술경제적 요인과의 관계를 분석하기 위해서는 기술 및 기술개발 활동의 특성이 이 두 가지 요인과 동시에 밀접하게 관련되는 사례가 필요하다. 이러한 기술로

서 보다 넓게 보면, 군사용과 민간용으로 동시에 사용이 가능한 그러나, 특히 약소 개도국에서 군사적 이용은 국제적으로 규제를 받고 있는 이중사용 기술 (Dual-use technology)이 있다. 후행핵주기 부문은 이중사용 기술 중에서도 국제정치적으로 가장 민감한 기술로 인정된다. 기술경제적으로 후행핵주기는 우라늄자원의 효용을 60배까지 증대시킬 수 있다. 또한 에너지의 생산에 있어서 에너지 연료가 차지하는 비중이 전체 비용의 약 10 %에 불과하며 나머지 90 %는 기술능력에 의존한다. 따라서, 특히 자원의 해외의존도가 높은 우리나라의 경우 기술개발을 통한 에너지 안보를 증진시킬 수 있는 매우 매력적인 기술부문이다. 그러나 아직 민간용과 군사용을 명확히 구별할 수 있는 기술이 개발되지 않은 상황에서, 후행핵주기 부문은 플루토늄을 생산하는데 직접적으로 활용될 수 있다는 데 문제가 있다. 1000 MWe의 경수로의 사용후핵연료로부터는 약 200 내지 250 kg의 플루토늄이 생산 가능하다 (Holdren, 1989). 따라서 후행핵주기 기술능력 확보자체가 국제관계의 안정에 위협요인이 된다. 다시 말해서 후행핵주기 기술은 민간용과 군사용으로 동시에 활용가능 하기 때문에, 기술개발과정에 기술경제적 요인뿐만 아니라 국제정치적 요인이 직접적으로 연루된다. 이러한 이유로 본 논문에서는 한국의 후행핵주기 부문을 실증연구대상으로 선정하였다.

다음 장에서는 분석 틀을 마련하기 위해서 사례연구대상인 원자력 기술의 국제 정치적 환경 및 제도를 조사한다. 3장에서는 개도국의 기술발전과 관련된 기술학습 개념과 주요 환경요인에 대한 기존의 연구를 검토하고 기술학습과 국제정치적 요인의 관계의 중요성을 고찰한다. 4장에서는 기술학습메커니즘을 내부 기술발전단계와 외부 환경요인으로 구분하고 기존의 기술-경제적 요인들과 사례연구대상인 원자력 기술의 국제 정치적 요인을 접목하여 연구의 개념적 분석 틀을 제시한다. 5장에서는 한국의 후행핵주기 기술발전과정을 대상으로 이들 국제 정치적 요인들이 기존의 기술-경제적 요인들에 미친 영향을 분석하고 6장에서는 결론을 제시한다.

2. 원자력기술의 국제정치 환경 및 제도 변화

국제 정치적 요인들이 기술변화에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 먼저 해당기술과 관련된 국제 정치 환경 및 제도를 분석하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 기술학습성과와 국제 정치적 요인과의 관계를 분석하기 위하여 한국의 후행핵주기 기술개발 사례를 택하였다. 핵연료주기란 우라늄의 원자핵핵분열 반응시 발생하는 에너지를 이용하여 전기를 생산하고 사용된 핵연료를 처리·처분하는 화학적, 물리적 과정의 집합이다 (Albright *et al.*, 1997). 핵연료주기는 크게 선행핵연료주기, 원자력 발전 그리고 후행핵연료주기로 구분된다. 선행핵

연료주기는 원자력발전소의 연료를 준비하는 단계로서, 우라늄광물의 채광, 정련, 농축을 거쳐 핵연료 집합체를 제작·생산하기까지의 과정이다. 원자력발전단계는 핵연료집합체가 원자로에 장전되어 핵분열 반응을 일으키면서 발생하는 에너지를 이용가능한 전기적 에너지로 변환한다. 후행핵연료주기 (이하 후행핵주기라고 함)는 원자로에서 인출된 사용후핵연료를 폐기물로 직접 처분하거나, 사용후핵연료에 포함된 감손우라늄 또는 플루토늄과 같은 유용한 핵종을 이용하기 위한 재처리과정을 포함한다. 사용후핵연료를 재처리 할 경우 직접처분의 경우와 비교하여 우라늄자원의 이용을 이론상으로는 60배까지 증가시킬 수 있기 때문에 한국과 같은 자원빈국의 경우에는 사용후핵연료를 재활용에 상당한 관심을 가지고 있다. 그러나 원자력 발전기술의 개발은 그 과정에서 얻어질 수 있는 핵무기급 물질, 즉 고농축 우라늄 또는 플루토늄의 다음과 같은 군사적 전용가능성 때문에 국제적으로 매우 민감한 현안이 된다. 즉, 원자력 발전을 포함한 상업용 핵연료주기, 특히 경수로 핵연료주기의 상업용 운전과정의 농축과 재처리 공정을 통하여 핵무기급 물질인 고농축 우라늄 (U-235)와[1] 플루토늄 (Pu-239) 추출이 가능하다. 이상과 같은 핵무기 확산성 때문에, 원자력기술의 군사적 전용을 방지하기 위한 노력은 원자력기술의 개막과 함께 시작되어 왔다.

1945년 일본의 히로시마와 나카사키에 핵무기를 투하됨으로써 원자력 기술의 위력을 확인한 미국은 소련 및 영국의 핵무기 개발을 저지·지연시키기 위하여 원자력 기술정보를 비밀화하는 핵기술 독점정책을 전개하였다. 미국의 독점정책은 소위 '맥마흔 법안'을 기초로 1946년 제정된 미국 '원자력법' (AEA: Atomic Energy Act of 1946)에 의해서 법적 체제가 구축되기 시작하였다. 그 주요 내용 다음과 같다. 첫째는 핵물질 관리에 관한 것으로, U-235, Pu-239와 같은 핵분열성 물질은 엄격한 규제하에 원자력위원회 (AEC: Atomic Energy Commission)의 독점 소유로 하고, 그 생산시설은 물론 수출입도 모두 AEC 독점으로 하였다. 둘째로 원자력 과학기술 정보는 군사 또는 평화목적에 관계없이 모두 AEC의 관리하에 두도록 하였다. 셋째, 원자력 기술의 개발, 소유, 수출에는 AEC의 인허가를 받도록 하였다. 이렇게 1946년의 원자력법은 우방국을 포함한 모든 국가들과의 어떠한 정보 교환도 금지함에 따라 영국 및 프랑스와의 원자력 협력도 이루어지지 않았다 (Lonnroth and Walker, 1979; Poneman, 1982).

그러나 구소련 (1949), 영국 (1952)이 자력으로 핵무기 개발에 성공하게 되자 미국의 독점정책이 실패하면서 미국은 원자력 정책을 변경하게 되었고 이에 따라 국제 원자력 정치의 전기가 이루어지게 되었다. 1953년 12월 미국의 아이젠하워 대통령은 제8차 유엔총회 연설에서 '원자력의 평화적 이용' (atoms for peace)을 선언하였다. 아이젠하워 선언의 핵심은

---

1) U-235의 농도가 90% 이상이면 핵무기급 물질로 분류됨.

평화적 목적의 원자력 기술에 대한 다른 나라들의 접근을 허용한 대신 핵무기의 원료가 되는 물질의 국제적 관리를 제안한 것이다. 1954년 미국은 아이젠하워의 선언을 뒷받침하기 위해서 원자력법을 개정하였다. 1946년 원자력법과 1954년 원자력법의 주요 차이는 외국과 국내 기업에 대한 평화적 목적의 원자력 과학기술 정보 교류를 용이하게 하고 정부에 의한 원자력 연구개발 촉진과 민간의 참여를 허용하였으며 자국 내에서의 원자력을 이용한 발전 및 원자력 수출이 가능토록 한 것이다 (Mozely, 1998). 국제적으로는 아이젠하워 선언의 결과로 국제원자력기구 (International Atomic Energy Agency, IAEA)가 1957년 7월에 창설되었다. IAEA의 설립으로 평화 목적의 원자력 기술의 국제적 확산이 이루어지기 시작하였으며, 동시에 원자력 기술의 핵무기로의 확산을 방지하기 위한 안전조치를 당사국의 원자력 시설 및 물질에 대해 적용하기 시작하였다 (Walker and Berkhout, 1999). IAEA의 설립 목적에 따른 최초의 안전조치가 1962년 노르웨이의 영출력 (zero power)연구용 원자로에 적용되었으며 1965년 IAEA 이사회는 100MWt 이하의 연구용 원자로에만 적용하여 오던 안전조치의 범위를 확대시켜 모든 원자로 및 시설에 적용하기로 합의하였다.

1960년과 1964년에 프랑스와 중국이 각각 핵무기 실험에 성공하면서, 더 이상의 핵무기확산을 방지하기 위한 국제 정치적 노력이 더욱 활발히 이루어 졌다. 그 결과 1970년 핵무기비확산조약 (The Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapon, NPT)이 발효되었다. 핵무기비확산조약 (이하 핵비확산조약이라고 함)은 당사국의 핵비확산 의지를 국제적으로 약속하는 동시에 이를 이행하기 위한 두 개의 수단을 명시하고 있는데 하나가 안전조치의 강화이며, 또 다른 하나가 국제적인 수출통제체제의 구축이었다 핵비확산조약이 발효되자 당사국의 모든 원자력활동에 대해 안전조치를 적용하기 위한 "전면안전조치"가 1972년부터 시행되기 시작했으며, 수출통제에 대해서 핵비확산조약 제3조 2항은 "핵무기 비보유국으로 이전되는 핵물질 및 장비에 대해서는 IAEA 안전조치를 적용한다"고 명시하고 있다. 이에 따른 원자력 기술 및 물질의 수출에 대한 지침과 수출통제 품목 (trigger list)이 1974년에 작성되었다 (한원(연), 1997; Muller *et al.*, 1994).

이와 같이 IAEA 중심의 핵비확산체제 강화 노력이 진행중인 가운데 1974년 5월 인도가 평화적이라는 명목으로 라자스탄 사막에서 핵실험에 성공하였다. 이 핵실험에 사용된 플루토늄이 캐나다가 제공한 사이러스 (Cirus) 원자로에서 생산되었다는 사실이 밝혀지자 캐나다는 자국의 수출통제 정책을 강화하였다 또한 미국, 영국, 구소련 등 원자력선진국들은 수출통제 강화 방안을 논의하고 1978년 1월에 7개국이 공동으로 원자력공급국그룹 (NSG) 수출통제지침을 발표하였다. '런던가이드라인' (London Guideline)이라고도 불리는 이 지침은 수입국에 대해 수입품목을 이용한 핵폭발 금지 보증, IAEA 전면 안전조치 적용, 재이전 통제 등을 요구하는 내용을 포함하고 있다. 특히 이전된 기술의 재활용을 통제하는 사전동의

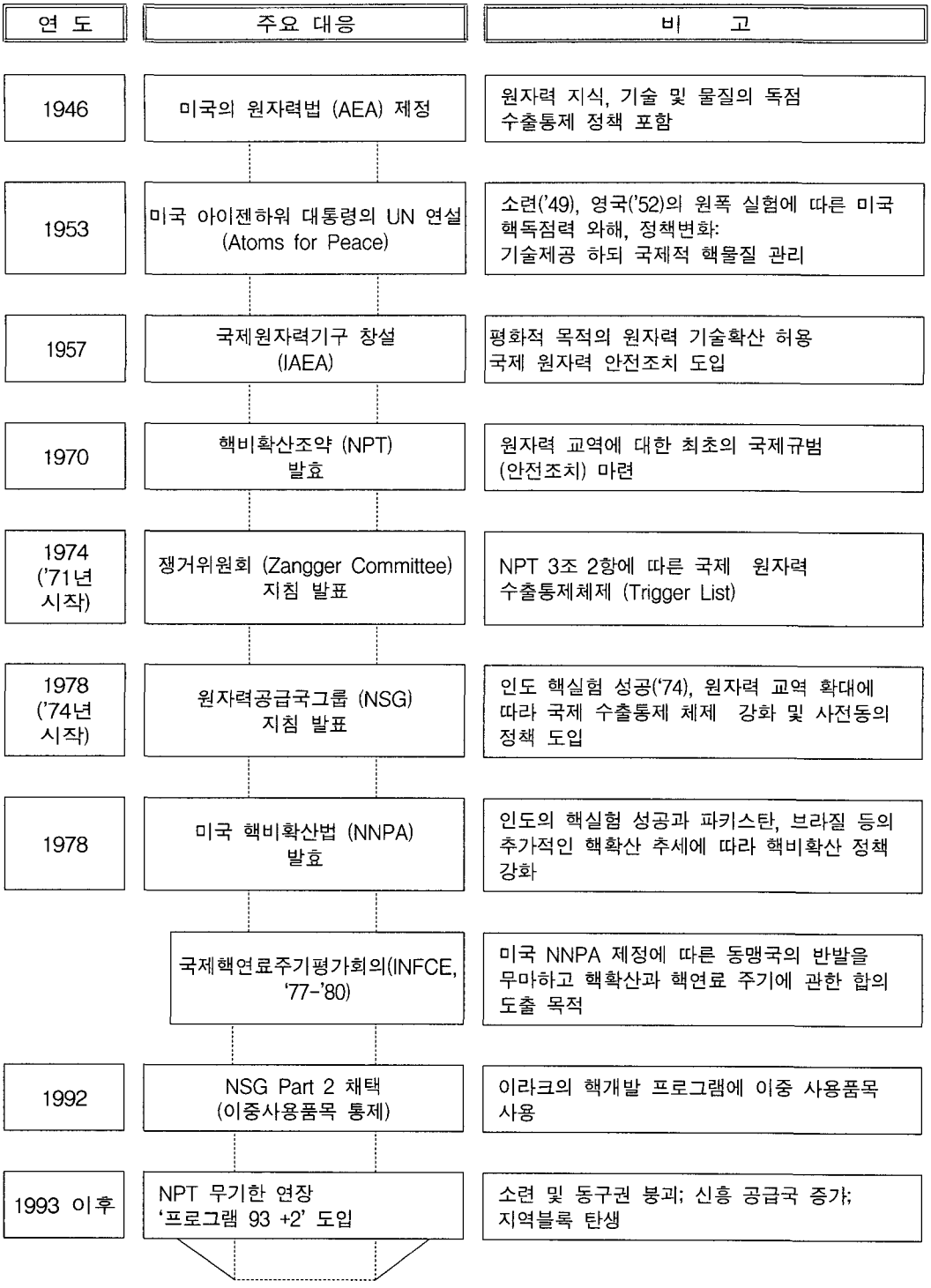
정책이 도입되면서 기술도입국가는 기술공여국의 동의 없이는 이전된 기술의 물리적 화학적 변형이나 다른 국가로의 재이전이 금지되었다 (Berkhout, 1991; Ham, 1993)

인도의 핵실험은 특히 미국의 핵비확산 정책에 큰 영향을 미쳤다. 이를 계기로 미국의 핵비확산 정책은 더욱 엄격해졌으며, 결과적으로 핵비확산법 (NNPA: Nuclear Non-Proliferation Act)이 탄생하였다. 당시 대통령에 출마한 카터는 1976년 9월 원자력정책 강령을 발표하였다. 주요 내용은 ①원자력 수출조건을 더욱 엄격하게 하며, ②미국내에서의 상업적 재처리를 일시 정지한다는 것으로 되어 있었다. 카터는 대통령으로 당선된 뒤 상기의 신원자력정책을 입법화하여 1978년 3월 핵비확산법을 발효시켜 미국의 핵비확산 정책은 다시 엄격해 졌다 (Potter, 1982; Poneman, 1982; Gummett, 1984).

구소련의 붕괴로 핵무기 보유국이 늘어나고 걸프전의 결과로 핵비확산조약에 따른 전면안전조치를 받고 있던 이라크의 핵무기 개발이 드러나면서 국제핵비확산 제도는 1990년대 들어서 더욱 강화되었다 (Schlesinger, 1995; NAS, 1944; Mozely, 1988). NSG는 1992년 4월 원자력품목에 한정하고 있던 수출통제 품목에 65개의 이중사용품목(dual-use item)을 포함시키고 해당품목의 수입국에 대해서는 IAEA의 전면안전조치를 요구하게 되었다 (한원(연), 1997; Ham. 1993). IAEA는 안전조치의 효과성 강화와 효율성 증진을 위한 '프로그램 93+2'를 추진하였으며 1997년 5월 IAEA 특별이사회에서 '모델 추가 의정서'가 채택됨에 따라 법적 근거를 마련하였다. 이 프로그램의 주요 내용은 당사국 핵연료주기의 모든 활동 및 핵물질이 존재하는 장소에 관한 정보제공과 사찰관의 접근을 허용케 함으로써, IAEA가 보다 폭넓은 정보를 종합적으로 수집·분석할 수 있게 되었고 핵물질을 다루지 않는 핵연료주기 연구개발 계획도 신고하게끔 하였다 (Albright *et al.*, 1997; Walker and Berhout, 1999). 한편 1995년 뉴욕의 유엔본부에서는 1970년 발효된 핵비확산조약의 무기한 연장이 의결되었고 이에 따라 항구적인 핵비확산 체제가 구축되게 되었다 (한원(연), 1997; Albright *et al.*, 1997; Mozely, 1998). 이상과 같은 원자력 기술과 관련된 국제 정치적 환경과 제도의 변화를 요약하면 <그림 1>과 같다.

3. 기술학습의 기존 연구와 국제 정치적 요인과의 관계

기술학습 개념은 1970년 후반에 있는 개발도상국의 기술발전과 경제성장과의 관계에 대한 연구에서 도입되었다. 특히 20세기 후반 한국을 비롯한 신흥공업국의 경제성장에 관한 연구에서, 이들 기술학습 학파는 개도국의 기술능력의 발전이 선진국의 외생적 기술을 흡수하고 내생적 기술변화를 통해서 경제성장을 달성하는 핵심동력으로 밝혀내고 있다. Amsden



<그림 1> 원자력 기술의 국제정치 환경 및 제도 변화

(1989)은 한국의 산업화의 성공을 기술자립을 위한 기술능력의 발전에 기인함을, Lall (1998)은 개도국이 지속적인 경제성장과 기술발전을 이루기 위해서는 고유기술능력 발전이 필수적임을 밝힌바 있다.

이들 기술학습 학파에 따른면, 개도국은 선진국의 성숙기 단계에 있는 기술을 도입해서 흡수 및 적응 과정을 거치면서 고유 기술을 축적하고 이를 바탕으로 신 기술을 창출하는 기술혁신을 이루게 된다. 또한 이 과정에서 근본적 기술혁신 (radical innovation) 보다는 점진적 기술혁신 (incremental innovation)이 실질적인 기술적 노력에 의해서 달성된다. 이러한 개도국의 기술학습은 일반적으로 선진국 제품수명주기 모형을 거슬러 올라가는 소위 'Reverse-Product Life Cycle (R-PLC)'을 따르는 것으로 인정되고 있다. 즉 개도국의 기술학습은 국제기술확산에 의해서 촉발되어, 점진적인 기술능력 획득 및 축적 과정으로 이루어진다. 또한 이러한 과정에서 기술의 비기호화 (tacitness of technology) 때문에서 기술학습의 성과는 기술적 노력의 몰입정도에 크게 의존한다는 것이다.

이러한 개념하에서 기술능력 (technological capabilities)은 '외부기술을 흡수, 적응하고 신 기술을 창출할 때 해당기술을 효과적으로 사용하는 조직의 능력'으로 정의된다 (Fransman, 1984; Dahlman and Fonseca, 1987; OECD, 1992; Lall, 1998; Kim, 1999). 특히 기술학습 (technological learning)이 '변화하는 환경에 시기 적절하게 대응하면서 개발도상국의 기술능력을 발전시키는 내생적 과정'으로 정의되면서 이러한 개도국의 기술학습은 선진국의 기술혁신과정과 대비되었다. 그리고 이들 기술학습 과정의 기술-경제적 환경요인들이 강조되면서, 외부환경요소로서 주로 기술의 복잡성과 혁신성 등의 기술적 특성과 정부정책, 국내외 시장특성 및 국내외 경쟁특성 등 경제적 요인들에 초점이 두어져 왔다 (Bell, 1984; Dahlman and Fonseca, 1987; Hobday, 1997; Kim, 1999).

그러나 기술학습에 관한 기존연구들은 기술학습성과에 대한 국제 정치적 영향을 경시해 왔다. 극히 소수의 개도국의 기술학습과 관련된 연구에서 국제 정치적 상황이 기술변화에 미치는 영향의 중요성이 암시된 바는 있다. 예를 들면, 국제기술이전 제한 및 국제기구를 통한 간섭 등을 통하여 개도국의 기술개발 활동은 국제 정치적 요인의 영향을 받을 수 있음이 지적된 바 있다 (Sharif, 1988; Patel, 1995). Sharif (1988)는 국제 관계가 국제 기술이전을 구속함으로써 개도국의 기술활동에 미치는 영향을 지적하였으며, Patel (1995)은 지적재산권에 대한 국제법이 기술변화에 미치는 영향을 암시하였다. 그러나 이들 연구들도 국제 정치적 요인과 기술학습과정이나 기술-경제적 환경 요인들간의 상호관계를 구체적으로 설명하지 않고 있다.

개도국의 기술개발 활동에 영향을 미치는 국제 정치적 요인들에 연구의 필요성은 국제관계 상에서 개도국의 약한 교섭능력 (bargaining power)에서 찾을 수 있다 (Patel, 1995).

이들의 관점에 따르면, 강대국과 약소국간의 국제관계는 기본적으로 강대국에 의해서 주도된다. 즉 강대 선진국의 국제 기술 및 경제 활동의 '게임 규칙'을 제도화한다. 이 때 강대국들의 강한 교섭능력은 이들 규칙들은 대부분 강대국에 호의적으로 설정되도록 한다. 이러한 규칙이나 제도를 설정할 때 거의 영향력을 행사하지 못하면서, 대부분의 약소 개도국은 강대국이 주도한 이들 국제적인 규범을 따르게 된다 (Sharif, 1988; Patel, 1995). 이렇게 국제적인 규칙이나 제도가 강대국의 경제적, 전략적 이해가 반영되면서, 강대 선진국과 약소 개도국간의 불균형의 국제관계가 형성되고 이러한 국제관계의 불균형이, 특히 기술, 자본, 제품과 서비스의 남북 교역을 규제하면서 개도국의 경제활동을 규제해 왔다. 따라서 국제관계에서 개도국의 취약한 교섭능력은 국가의 사회경제적 발전과정에서, 특히 국제적으로 민감한 주제에 대하여, 개도국의 자율적 활동을 제한해 왔다 (Patel, 1995; Sharif, 1988).

원자력기술의 경우, 원자력 기술의 확산을 방지하고자 하는 국제 정치적 요인들은 원자력 기술의 태동과 더불어 조직화·제도화되기 시작했다. 특히 1970년 핵비확산조약이 발효되면서 핵무기비보유국은 평화적 목적의 원자력 기술을 개발하기 위한 선진국의 도움을 받는 대가로 핵무기의 보유와 개발을 포기하는데 동의한다. 그리고 상업용 원자력시설이 군사적으로 전용되지 않음을 증명하기 위한 IAEA의 핵사찰을 수용하게 된다. 또한 선진 원자력 기술공급국들은 개도국으로 이전되는 기술과 물질의 군사적 이용을 방지하기 위하여, 농축과 재처리에 관련이 높은 기술과 물질에 대한 수출을 제한하고 있으며 동시에 이전된 기술과 물질에 대해서 공급국과 합의된 내용이외의 재활용에 대해서는 수령국 정부로 하여금 공급국의 승인을 받도록 규정하고 있다.

이러한 핵비확산과 관련된 국제적인 노력 중에서도 미국의 핵비확산 정책은 개도국의 핵연료주기 기술개발에 더욱 큰 영향을 미칠 수 있다. 미국은 세계 최초로 원자력 기술의 군사적 이용을 실현한 국가로서 동시에 원자력 기술의 군사적 확산 방지를 위한 국제적 노력을 주도하여 왔다. 세계 초강대국의 하나로서 미국의 핵비확산 정책은 IAEA 설립, NPT 발효, 'London Guidelines'제정 등 국제 핵비확산 제도의 설립과 변화에 결정적인 영향을 미쳐 왔다. 또한 국제핵비확산제도에서 다루어지지 않지만 핵확산의 가능성이 있는 핵무기 비보유국의 원자력 기술활동에 대해서 미국은 독자적으로 국제 정치적 영향력을 행사해 오고 있다.

4. 후행핵주기 부문의 국제정치적 환경하의 기술학습 분석틀

기술학습에 관한 기존연구를 보면 기술학습 메커니즘은 내부의 기술학습 노력과 기술능력 발전경로 그리고 외부의 기술경제적 환경으로 구분될 수 있다. 우선 기술학습 노력은 기술학

습과정상에서 조직의 경영적 활동과 관련된다. 조직의 학습방법과 조직구조 등이 주로 포함된다. 기술능력 발전경로는 기술학습과정에서 기술능력의 진보 경로를 나타내며 일반적으로 단계모델로서 설명된다. 단계 모델은 해당시점에서 기술학습의 외부환경하에서 기술능력의 발전 궤적상에서의 위치(position)를 규명한다.[2)]

기술학습의 외부환경요인들서는 흔히 기술적 요인과 경제적 요인이 포함된다. 우선 기술적 요인들로서는 기술의 복잡성과 기술의 혁신성이 대표적으로 언급되고 있다. 기술의 복잡성 (technology complexity)은 얼마나 상이한 그리고 얼마나 많은 지식, 부품, 장비와 하위 시스템 등이 합쳐져서 하나의 기술을 구성하는가에 관한 것이다. 기술의 혁신성 (technology novelty)은 해당시점에서 세계적인 기술혁신의 진행 상황, 즉 기술수명주기상의 위치를 말한다. 경제적 요인으로서는 해당국가 정부의 정책, 국내 시장 및 해외 시장의 규모 및 성장률, 그리고 국내외 기술 및 상품 공급의 경쟁도 등과 더불어 해당 기술과 관련된 국내외 경제적 환경이 중요하게 고려되고 있다. 원자력 기술과 관련된 경제적 요인으로서는 국내 에너지 공급능력, 에너지 수요 그리고 세계 에너지 공급 현황이 포함될 수 있다.

본 논문에서는 기술학습에 미치는 국제 정치적 요인으로서 미국의 핵비확산정책을 바탕으로 한 수출통제 정책, 사전동의 정책 그리고 국제 정치적 영향력 등 세 가지 요인들을 도출하였다. 수출통제정책은 미국 기관이나 기업이 원자력 기술과 물질을 타국에 수출에 대한 미국 정부의 개입에 관한 정책이다. 어떠한 조직이건 상관없이, 미국산 기술과 물질의 수출을 위해서는 미국정부의 승인을 받아야한다. 이러한 수출통제 정책을 통하여 미국정부는 원자력 기술과 물질의 국제적 확산을 사전에 제한한다.

사전동의 정책에 의해서 미국정부는 미국산 기술과 물질을 수입한 국가의 사후적 기술활동을 제한한다. 즉 수령국 정부는 수입한 미국산 기술과 물질의 어떠한 변경과 개선에 대해서 사전에 미국정부의 승인을 받아야 한다. 마지막으로 국제 정치적 영향력은 미국정부가 강대국의 지위를 이용하여 국제관계상에서 개발도상국에 대한 정치적 영향력을 행사하는 것을 의미한다. 특히 개도국이 경제 및 군사 안보 측면에서 미국에 강한 의존도를 보일수록 이러한 미국의 국제 정치적 영향력은 개도국의 핵연료주기 기술학습의 성과에 강력한 결정요인이 될 수 있다.

---

2) 단계모델이 개도국의 기술학습과 산업화과정을 단순화시키는 장점이 있지만, 단계간의 순차적 발전을 우회하는 경우나 또는 단계들이 중복되는 경우를 설명하지 못하는 단점이 있다 (Lee *et al.*, 1988).

5. 한국의 후행핵주기 기술학습에 대한 국제 정치적 요인의 영향

한국의 후행핵주기 기술개발을 위한 국가적 차원의 최초의 계획은 1969년에 확정되었다. 한국 최초의 원자력발전소 (가압경수로, PWR형) 도입을 위한 국제적 협상이 마무리되어 가면서, 한국정부는 미래 에너지의 안정적 공급을 증대시키면서 에너지 안보를 강화하기 위하여 후행핵주기 기술을 국가 사업으로 개발하기로 결정하였다.[3)]

재처리 사업을 추진하기로 한 정부의 이러한 결정은 기본적으로 취약한 에너지 공급구조와 증가하는 에너지 수요 때문이었다. 제2차 (1967-71) 경제개발5개년 계획이 성공적으로 추진되면서 국내 총 에너지 수요는 1966년의 2,500만 TCE (tons of coal equivalent)에서 10년 후에는 4800만 TCE까지 증가할 것으로 예측되었다. 특히 전기 수요는 10년 간 약 6배나 증가할 것으로 전망되었다. 이 같은 에너지 수요 증가에 비하여, 국내 에너지 자원의 부존량은 매우 빈약하였다. 유일한 화석에너지인 무연탄 매장량은 25년 이내에 고갈될 것으로 분석되었다. 총 3,000 MWe 규모의 수력은 미래에너지 수요에 대처하기는 턱없이 부족하였다 (Ha, 1982).

처음에 한국은 민간기업 주도로 1989년까지 상업용재처리 공장을 건설하기로 결정하였다. 비록 재처리기술이 원자력 시대가 열릴 때부터 개발된 당시로서는 성숙된 기술이었으나 재처리 기술은 해당부분의 기술능력이 거의 없었던 한국으로서는 매우 복잡한 기술이었다. 따라서 우선 재처리 기술에서 세계를 선도하고 있는 미국으로부터 기술과 자본의 도입을 추진하였으나 미국측 파트너가 미국정부의 재처리 기술의 수출에 대한 허가를 받지 못함으로써 무산되었다. 그 후 한국정부는 상업용 기술능력 획득을 포기하고 국가 R&D에 의해서 실험실 규모의 기술능력 개발 계획으로 축소한다. 이에 따라 한국원자력연구소 (이하 한원(연)이라고 함)는 1978년까지 실험실 규모의 재처리 공장을 건설하는 계획을 수립하고 미국으로부터 해외 기술도입선을 모색하였다. 그러나 상업용의 경우처럼 미국정부의 수출통제 정책에 의하여 미국으로부터의 기술도입이 실패하였다.

이런 가운데 1973년에 욤키퍼 전쟁의 결과로 제 1차 석유위기가 발생하면서 국제 유가는 급작스럽게 증가하였다. 전쟁전의 배럴당 2.83 달러하던 기름 값이 1974년에는 10.41 달러에

---

3) 원자력은 에너지 강도가 높아서 수입된 우라늄 연료의 관리가 용이하며 또한 재처리를 해서 증식하여 사용할 경우 우라늄 효율을 수십 배 증가시킬 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 에너지 자원이 부족한 국가에서 에너지 안보를 강화시키기 위해 선택되어 왔음. 100만 kWh의 전기를 생산하는 데 우라늄은 150톤이 필요하며 석탄은 230만톤, 석유는 1000만 배럴이 소비됨 (Blumenthal and Lindeman, 1995).

달하면서 가격이 약 4배나 치솟았다. 에너지 부존자원이 거의 없는 한국으로서는 재처리 사업에 박차를 가하게 되었고 한원(연)은 프랑스의 원자력공사와 재처리 시설 건설을 위한 기술도입계약을 1974년에 체결한다. 재처리 시설에 대한 개념설계가 완료되고 상세 설계와 건설계약이 한국과 프랑스간에 체결되면서 한국의 후행핵주기 기술 개발 계획은 국제적으로 알려지게 되었다. 그러나 이 과정에서 한국의 재처리 기술개발 사업이 내포한 핵확산성 위험 때문에 미국의 반대에 부딪히게 되었고 결국 한원(연)과 불란서의 원자력공사간의 국제 기술이전을 중단되었으며, 1976년에 한원(연)의 재처리 기술개발 사업 역시 중단되었다.

1982년 한국은 두 번째로 후행핵주기 연구개발사업인 탄뎀핵연료주기사업 (이하 탄뎀사업이라고 함)을 추진한다. 탄뎀사업의 태동은 1970년 후반의 국제적인 기술-경제적 환경과 국내 에너지 정책 변화에 기인하였다. 탄뎀핵주기 개념은 1970년대 후반에 국제핵연료주기평가회의 (International Nuclear Fuel Cycle Evaluation, INFCE)에서 처음으로 소개되었다. INFCE는 핵확산을 방지하면서 원자력의 평화적 이용을 증진시키기 위한 대안들을 찾는 것이 주목적이었다. INFCE회의에서 탄뎀핵주기는 핵연료의 효용을 증가시키면서도 사용후 핵연료에서 플루토늄을 분리하지 않기 때문에 핵확산의 위험은 재처리 중심의 핵주기 기술보다 적은 것으로 평가되었다. 한편 1979년 이란에서 팔레비 왕정이 무너지고 호메이니 정권이 등장하면서 세계는 다시 한번 석유공급의 위기를 맞게 되었다. 배럴당 13.03 달러에 거래되던 석유 가격이 1980년에는 35.69 달러까지 급등하였다. 1973년 일차 석유위기 전에 2.83달러이었던 기름 값이 불과 10년 만에 12.6배나 증가한 것이다. 또한 1970년대 초 세계 우라늄 농축서비스는 미국에 의해서 독점되고 있었고 미국은 수출통제 정책에 입각해서 우라늄 농축기술의 국제적 확산을 금지하고 있었다. 당시에 국내 최초로 건설중이던 경수로는 미국의 농축우라늄 공급에 전적으로 의존해야 하는 에너지원 공급의 취약성을 가지고 있었다. 따라서 1970년대 중반 정부는 에너지 다변화 정책의 하나로 카나다로부터 천연우라늄을 사용하는 가압중수로 (CANDU)형 원자로를 도입하였고, 1976년부터 건설이 진행중에 있었다.

탄뎀사업은 당시에 건설중이던 국내 원자력발전소인 가압경수로형과 가압중수로형 발전소를 연계하는 핵연료를 개발하는 것이 그 목적이었다. 즉 탄뎀기술은 PWR형 원전에서 발생한 사용후핵연료를 화학적으로 처리하여 CANDU형에서 사용할 수 있는 핵연료다발을 제작하기 위한 기술이었다. 이를 위하여 한원(연)은 카나다의 원자력공사와 공동연구를 추진하였다. 비록 탄뎀기술이 플루토늄을 직접적으로 추출하지 않는 기술이라고 하여도 탄뎀기술은 추가적인 공정을 진행할 경우 플루토늄 추출이 가능한 기술이었다. 따라서 미국은 한국의 탄뎀사업이 여전히 핵확산의 위험을 보유한 것으로 인식하였고, 그 결과 한국과 캐나다의 국제공동연구는 미국의 정치적 영향력에 직면하면서 1984년에 중단되었다.

1970년대와 1980년대에 국가의 경제성장과 더불어 에너지 수요가 크게 증가하였다. 더욱이 산업화가 진행되면서 원자력기술의 시장인 전기수요는 급격히 증가하였다. 1965년부터 에너지 수요는 연평균 8%씩 성장하여 1985년에는 56,296 TOE (Tons of oil equivalent) 달하였다. 같은 기간에 전기 소비는 18배가 증가하여 최종에너지에서 차지하는 전기의 비중이 1965년에 1.9 퍼센트에서 1985년에는 9.3 퍼센트가 되었다. 이러한 전기수요의 증가에 대처하면서 정부는 꾸준히 원자력 발전규모를 증대시켰다. 1989년까지 8개의 경수로와 1기의 중수로가 운전되면서 국내 발전량의 50 퍼센트 이상을 생산하였다. 한편 CANDU형 핵연료의 국산화가 성공하고 1983년에 가동을 개시한 CANDU로가 뛰어난 운전 성능을 보이면서 정부는 원전 확장을 기본으로 하는 에너지 정책을 수립하면서 경수로와 더불어 중수로 원전의 공급확대를 계획하였다. 1991년 정부는 2006년까지 추가로 18기의 경수로와 5기의 CANDU로를 추가 건설을 결정하였다. 이에 따라 PWR과 CANDU형 원전을 효과적으로 연계하는 핵연료주기 기술 개발을 다시 추진하기로 결정하였다.

이러한 기술-경제적 환경에 영향을 받으면서 1991년 한원(연)은 세 번째의 후행핵주기 사업 (이하 DUPIC사업이라고 함)을 착수하였다. 그러나 과거 탄뎀사업의 교훈으로 한원(연)의 기술개발 초점은 우선적으로 DUPIC 사업의 핵비확산성에 모아졌다. 사용후 핵연료를 분리하지 않는 공정기술을 발견해 냄으로써 한국은 최초로 미국의 동의를 얻어서 DUPIC 사업을 착수하였다. 1999년에 한원(연)은 DUPIC 연료 제작을 위한 PWR 사용후핵연료의 이용에 대한 미국정부의 사전승인을 받고 2001년 현재 PWR 사용후연료를 이용한 DUPIC 핵연료의 시제품 개발에 성공하였다. 이상의 내용을 포함하여 한국의 후행핵주기 기술학습과정에 포함된 기술경제적 요인과 국제정치적 요인을 정리하면 <표 1>과 같다.

6. 결 론

본 논문은 개도국의 기술발전에서 국제 정치적 요인들의 중요성을 제기한 것이다. 기술학습의 외부 환경요인으로서 국제 정치적 요인들이 고려될 때 기존의 논문에서 주로 다루어졌던 기술-경제적 요인들의 역할이 어떻게 달라질 수 있는 지를 분석하고자 하였다.

실증연구는 우리나라의 핵주기 기술능력개발 사례를 통해서 이루어 졌다. 우리나라는 1969년부터 핵주기 기술능력을 개발하고자 하였다. 이러한 국가의 기술개발 계획은 기본적으로 기술-경제적요인의 영향을 받아서 수립되었다. 즉 핵주기 기술능력 개발 사업의 기본 목적은 국내 산업을 육성하여 국가의 성장과 발전에 필요한 에너지를 장기적 관점에서 안정적으로 공급하자는 데 있었다. 이들 사업들은 정부의 지원을 받는 국가연구개발사업으로 추

<표 1> 한국의 후행핵주기 기술학습과정에서의 외부환경 요인

	재처리 사업	탄뎀 사업	DUPIC 사업
기술적 요인			
기술 복잡성	복잡함	제품과 공정기술 모두 재처리보다 덜 복잡	복잡 제품: 탄뎀과 비슷 공정: 매우 복잡
기술 혁신성	성숙기 (specific)	태동기(fluid)	태동기 (fluid)
핵비확산성	본질적으로 매우 높음	재처리 보다는 낮지만 잠재성이 있음	본질적으로 매우 낮음
경제적 요인			
정부정책	에너지 다각화 원전도입 및 핵연료 주기 개발	CANDU 도입 경수로 위주원전 확대	CANDU와 경수로 둘 다 확대
국내 에너지 공급 능력	매우 약함	원전덕택에 개선중 여전히 약함	원전덕택에 개선중 여전히 약함
국내 에너지 수요	증가	매우 증가	지속 증가
국제 에너지 공급 현황	1차 석유위기 결과 석유시장과 우라늄시장 매우 불안	2차 석유위기 결과 일시적으로 석유시장과 우라늄시장 불안	상대적으로 안정
국제 기술 경쟁현황	미국과 그 외 선진국간의 국제 시장 경쟁	미국중심의 경수로와 카나다의 CANDU로간의 시장 경쟁	경수로와 CANDU로간의 시장경쟁 계속
국제 정치적 요인			
미국 핵비확산 정책	강함 -인도의 핵실험 결과	더욱 강해짐 카터 정책 (1978)	냉전종식과 걸프전을 겪으면서 강화 NPT 무기한 연장
사전동의 정책	영향 없음	영향 없음	사업추진의 효율성에 영향을 줌
수출통제 정책	국제기술 경쟁요인 약화: 미국에서 프랑스로 기술도입선 변경	영향 없음	중대한 영향이 없었음
국제 정치적 영향력	최종적으로 사업중단	최종적으로 사업중단	2001년 현재 중대한 영향 없었음

진되었으며 정부의 에너지 다변화 정책과 원전도입 정책은 이들 기술개발의 시장을 개척해 주었다. 국제 에너지 공급 불안전성은 재처리 사업과 탄뎀사업의 핵심 영향요인 이었다. 제1차 석유 위기는 석유 가격을 상승시키면서 재처리 사업의 추진을 촉진하였으며 제2차 석유 위기는 탄뎀사업을 탄생시키는 모태가 되었다. 1980년대 말에 CANDU 원전의 뛰어난 운전 실적과 정부의 원전확대 정책은 DUPIC 사업을 착수하는 발판이 되었다.

그러나 이러한 기술-경제적 요인들의 영향은 국제 정치적 요인들이 개입되면서 그 역할이 제한되었다. 미국의 수출통제 정책의 결과로 재처리사업의 기술도입선이 미국에서 프랑스로

변경되면서 국제 기술경쟁 요인의 역할이 줄어들었다. 특히 국제정치적 요인 중에서 기술경제적 요인에 영향을 미친 것은 미국의 사전동의 정책보다는 미국의 국제 정치적 영향력이었다. 한국 정부의 원전도입과 핵연료주기 정책과 함께 국제 에너지 공급의 불안전성 요인은 재처리 사업과 탄뎀 사업을 착수시키는 데 결정적 요인이었지만 미국의 정치적 영향력을 받으면서 역할이 축소되었다. 국제 정치적요인의 핵심 논거인 핵무기 확산성을 줄일 수 있는 방법을 기술적으로 발굴하고 이를 정부의 CANDU 확대정책의 지원을 받으면서 DUPIC 사업은 미국 정부의 승인하에 추진되고 있다.

기술발전 단계와 과정측면에서 볼 때, 후행핵주기 기술과 물질의 군사적 이용가능성 때문에 국제 정치적 환경요인들은 한국의 후행핵주기 기술능력의 발전을 크게 간섭해 왔다. 이 과정에서 기술능력은 점진적으로 축적되지 않았으며 기술적 노력도 자율적으로 추진될 수 없었다. 미국의 정치적 영향력을 받으면서, 지난 30년 이상의 노력에도 불구하고 한국의 후행핵주기 기술능력은 기술학습의 단계측면에서 실험실 수준에서 시제품을 만드는 수준에 머물러 있다. 1970년대 재처리 사업은 성숙된 기술의 기본 설계능력을 흡수한 후에 중단되었다. 1980년대 초에 수행되었던 탄뎀사업에서도 한국의 기본 설계능력을 흡수하는 데 만족해야만 했다. 1990년대에는 한국이 국내 기술경제적 요인에 근거를 두면서도 국제정치적 요인과 대처하기 위한 기술개발 방향을 발굴하였다. 그 결과 한국의 세 번째 후행핵주기 사업인 DUPIC 사업은 미국의 승인하에 10년 동안 지속되고 있으며 2001년 현재 비록 실험실 수준이긴 하지만 시제품을 개발하는 수준에 도달하였다. 미국의 사전동의 정책은 기술적 노력과 연관되면서 기술학습의 효율성에 영향을 미쳤다. DUPIC 사업을 추진할 때 사용후 핵연료의 사전동의를 받기 위하여 한원(연)은 미국정부를 설득하는 데 추가적인 노력을 기울여야 했다.

한국의 후행핵주기 기술학습사례로부터, 개도국은 기술 학습, 특히 국제 정치적으로 민감한 기술개발에서는 기존의 문헌에서 제기한 기술-경제적 환경외에 국제 정치적 요인 매우 중요하게 고려되어야 함이 발견되었다. 이러한 연구를 바탕으로 본 논문에서는 '개도국의 기술학습에 국제 정치적 요인이 포함되면 기존의 기술-경제적 요인들의 영향력이 상대적으로 줄어들 수 있다'는 가설이 제시되었다.

〈참 고 문 헌〉

한국원자력연구소 (1997), 「핵비확산 핸드북」, 대전: 한국원자력연구소.

Albright, D., Berkhout, F. and Walker, W. (1997), *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996: World Inventories, Capabilities and Policies*, Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), Oxford: Oxford University Press.

Amsden, A. H. (1989), *Asias Next Giant: South Korea and Late Industrialization*, Oxford: Oxford University Press.

Bell, M. (1984), "Learning and the Accumulation of Industrial Technological Capacity in Developing Countries," in M. Fransman and K. King (eds.), *Technological Capability in the Third World*, London: MacMilllan Press, pp. 187-209.

Berkhout, F. (1991), *Controls on Nuclear Trade in the 1990s*, the SPRU 25th Anniversary Conference, 3-4 July, Brighton: University of Sussex, UK.

Blumenthal, A. and E. Lindeman (1995), *Handbook: The International Nuclear Fuel Cycle*, New York: Nuclear Corporation, USA.

Dahlman, C. and F. V. Fonsec (1987), "From Technological Dependence to Technological Development: the Case of the Usiminas Steel Plant in Brazil," in J. M. Katz (ed.), *Technology Generation in Latin American Manufacturing Industries*, Hong Kong: MacMillan Press, pp. 154-182.

Fransman, M. (1984), "Technological capability in the Third World: An Overview and Introduction to Some of the Issues Raised in This Book," in M. Fransman and K. King (eds.), *Technological Capability in the Third World*, London: Macmilllan Press, pp. 3-30.

Gummett, P. (1984), "Academic Perspectives on the Non-Proliferation Proplem," in J. Simpson and A. G. McGrew, *The International Nuclear Non-Proliferation System*, MacMillan Press, pp. 69-87.

Ha, Y. S. (1982), "Republic of (South) Korea," in J. E. Katz and O. S. Marwah

(eds.), *Nuclear Power in Developing Countries: An Analysis of Decision Making*, Lexington, USA: Lexington Books, pp. 221-244.

Ham, P. V. (1993), *Managing Non-proliferation Regimes in the 1990s: Power, Politics and Policies*, The Royal Institute of International Affairs at Chatham House, London: Pinter Publisher.

Hobday, M. (1997), *Innovation in East Asia: The Challenge to Japan*, Cheltenham & Lyme: Edward Elgar.

Holdren, J. P. (1989), "Civilian Nuclear Technologies and Nuclear Weapons Proliferation," in C. Schaerf, B. H. Reid and D. Carlton (eds.), *New Technologies and Arms Race*, MacMillan Press, pp. 161-198.

Kim, L. (1999), "Building Technological Capability for Industrialization: Analytical Frameworks and Koreas Experience," *Industrial and Corporate Change*, Vol. 8, No. 1, pp. 111-136.

Lall, S. (1998) "Technological Capabilities in Emerging Asia," *Oxford Development Studies*, Vol. 26, No. 2, pp. 213- 243.

Lee, J., Bae, Z. and Choi, D. (1988), "Technology Development Process: A Model for Developing Country with a Global Perspective," *R&D Management*, Vol. 18, No. 3, pp. 235-249.

Lonnroth, M. and W. Walker (1979), *The Viability of the Civil Nuclear Industry, Report Prepared for the International Consultative Group on Nuclear Energy*, New York: The Rockefeller Foundation and The Royal Institute of International Affairs.

Mozely, R. F. (1998), *The Politics and Technology of Nuclear Proliferation*, Seattle and London: University of Washington Press.

Muller, H., Fisher, D. and Kötter, W. (1994), *Nuclear Proliferation and Global Order*, Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), Oxford: Oxford University Press.

NAS (National Academy of Science) (1994), *Executive Summary: Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium*, Committee on International Security and Arms Control, National Academy of Science, Washington, D. C.: National Academy Press.

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (1992),

Technology and The Economy: The Key Relationships, Paris: OECD.

Patel, S. J. (1995), *Technological Transformation - Volume V: The Historic Process*, Avebury: United Nations University.

Poneman, D. (1982), *Nuclear Power in the Developing World*, London, Boston & Sydney: George Allen & Unwin.

Potter, W. C. (1982), *Nuclear Power and Nonproliferation: An Interdisciplinary Perspective*, Massachusetts: Oelgeschlager, Gunn & Hain.

Sharif, M. N. (1988), "S&T Policy: Problems, Issues and Strategies for S&T Policy Analysis," *Science and Public Policy*, Vol. 15, No. 4, pp. 195-216.

Schlesinger, J. R. (1995), "Nonproliferation and U. S. Nuclear Policy," *The Washington Quarterly*, Vol. 20, No. 3, pp. 103-106.

Walker, W. and F. Berkhout (1999), *Fissile Material Stocks: Characteristics, Measures and Policy Options*, United Nations Institute for Disarmament Research (UNDIR), New York and Geneva: United Nations.