

개도국의 기술학습에 대한 국제 관계의 영향
The Impact of International Relations
on Technological Learning of Developing Countries

이태준¹⁾

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

개발도상국의 기술학습 성과에 영향을 미치는 요인으로서 기존의 기술경제적 요인들 외에 국제정치적 요인을 외부환경요소에 포함시키고 이들 국제정치적 요인들이 기술학습내부 성과에 어떻게 영향을 미치는 지를 분석하였다. 개도국의 기술학습이 국제정치적으로 영향을 받을 때 기술능력의 진화경로는 점진적으로 축적되지 않았으며 기술적 노력의 과정보다 자율적으로 추진될 수 없었다. 강대국의 국제정치적 간섭을 줄이기 위하여, 개도국은 기술 능력 획득을 위한 지속적 노력과 함께 기술학습의 산업적 타당성을 높이는 것이 중요하게 제시되었다.

Abstract

This paper is to illuminate the dynamic relationship between the technological learning mechanism and international political intervention. Besides conventional techno-economic factors, international political factors are emphasized as external factors in the technological learning mechanism. Being influenced by international political intervention, the evolutionary path of technological capabilities is not incrementally cumulated and organizational process is not autonomously performed, either. In order to mitigate the impact of the international political intervention, DCs make efforts to develop technological capabilities step-by-step in line with current and future civilian industrial demand.

키워드: 기술학습, 국제정치적 간섭, 원자력 정책

1) 전화) 042-868-2149; e-mail) tjlee@kaeri.re.kr

1. 서론

개도국의 기술능력 발전이 산업 및 경제 성장에 결정적인 요인으로 인정되면서 기술학습 성과를 증진시킬 수 있는 방안을 모색하기 위하여 기술학습 메커니즘의 관련 요소들과 이들간의 상호관계에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 이들 문헌들에서, 기술학습은 '변화하는 환경에 시기적절하게 대응하면서 개발도상국의 기술능력을 발전시키는 내생적 과정'으로 정의되며, 기술능력은 이러한 기술학습과정에서 '외부기술을 흡수, 적응하고 신 기술을 창출할 때 해당기술을 효과적으로 사용하는 조직의 능력'으로 정의된다. 이러한 기술학습메커니즘은 내부요소들과 외부 환경요소들의 상호작용에 의해서 구성된다. 기술학습의 내부요소로서는 기술학습노력의 과정과 기술능력의 발전경로로 이루어지며, 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 인자로서 현존하는 국제관계와 그에 따른 제약조건이 매우 중요하게 고려될 수 있다. 대부분의 개발도상국들이 2차대전 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 국제정치적 영향을 경시해 왔다. 기술학습과정의 기술경제적 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).

극히 소수의 개도국의 기술학습과 일반적인 기술변화에 관한 연구에서 국제정치적 상황이 기술변화에 미치는 영향의 중요성이 암시된 바는 있다. 예를 들면, 국제기술이전 제한 및 국제기구를 통한 간접 등을 통하여 개도국의 기술변화 성과는 국제정치적 요인의 영향을 받을 수 있음이 지적된 다 있다 (Sharif, 1988; Patel, 1995; Teece and Pisano, 1994). 그러나 이들 연구들도 국제정치적 요인과 기술학습과정 및 성과간의 상호관계를 구체적으로 설명하지 않고 있다.

따라서 본 논문은 개발도상국의 기술학습 성과에 영향을 미치는 요인으로서 기존의 기술경제적 요인들 외에 국제정치적 요인을 외부환경요소에 포함시키고 이들 국제정치적 요인들이 기술학습내부 성과에 어떻게 영향을 미치는 지를 분석하는 것을 그 목적으로 한다. 다음 장에서는 사례연구대상인 원자력기술의 국제정치적 민감도를 설명한다. 3장에서는 원자력 기술학습과 관련된 국제정치적 인자들을 도

출한다. 4장에서는 원자력기술학습성과에 대한 이들 국제 정치적 인사들의 영향을 분석하고 5장에서는 개도국 기술학습에 대한 시사점을 바탕으로 결론을 제시한다.

2. 원자력기술의 국제정치적 민감도

개발도상국의 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. 첫째, 원자력 발전을 포함한 상업용 핵연료주기, 특히 경수로 핵연료주기의 상업용 운전과정의 농축과 재처리 공정을 통하여 핵무기급 물질인 고농축 우라늄 (U-235)와 플루토늄 (Pu-239)이 가능하다.²⁾ 경수로에 사용하는 핵연료는 천연우라늄³⁾에 포함된 U-235의 농도를 3-4%로 농축시켜서 사용하며, 원자로에서 방출된 사용후핵연료를 재처리하여 얻어지는 Pu-239는 경수로 또는 고속증식로의 연료로 사용될 때 매우 중요한 에너지원이 될 수 있다. 그러나 저농축 우라늄을 생산하기 위한 상업용 농축기술은 비용과 기술적 난이도를 줄이면서 핵무기급 고농축우라늄을 생산하는 데 사용될 수 있다. Pu-239는 U-238이 원자로에서 연소되면서 발생하는데 화학적 재처리 공정을 통해서 추출될 수 있으며 추출된 Pu-235는 핵무기 생산에 직접적으로 사용될 수 있다. 따라서 비록 그 기술이 평화적 목적에만 한정하고 있다고 해도, 개도국의 핵연료 주기 기술개발은 국제적으로 핵무기 확산가능성에 대한 주의를 받게 된다.

둘째, 핵연료주기 기술의 군사적 전용가능성에 대한 국제적 관심은 핵무기의 가공할 파괴력에 근거한다. 이 때문에 국가의 핵개발능력은 국제관계에서 지역과 세계 질서에 커다란 위협이 되면서 군사전략상 가장 중요한 자산의 하나로 인정되고 있다. 특히 기존의 세계질서를 유지하거나 자신들의 정치경제적 이해에 도움이 되는 방향으로 개편하고자 하는 강대국들에게 개도국에서의 핵무기 확산은 그 보유만으로도 지역과 세계 질서를 위협하며, 핵전쟁의 가능성을 높이고 핵테러의 위협을 증가시키는 요인이 될 수 있다.

결론적으로 평화적 목적의 원자력기술과 군사적 수단으로 이용되는 것을 방지할 수 있는 기술적 수단이 개발되지 않는 상황에서, 농축과 재처리 등 상업용 핵연료 주기기술의 군사적 전용가능성은 개도국의 핵연료주기 기술개발에 대한 대한 국제 정치적 논쟁의 핵심이 되고 있다 (Poneman, 1982; Holdren, 1989; Thomas, 1988; Arthur *et al.*, 1998).

3. 원자력 기술학습의 국제정치적 요인

원자력기술의 군사적 전용을 방지하기 위한 노력은 원자력기술의 태동과 더불어

2) U-235의 농도가 90% 이상이면 핵무기급 물질로 분류됨.

3) 천연우라늄은 약 99.3%의 U-238과 약 0.7 %의 U-235로 구성됨.

어 시작되어 왔다. 1957년 국제원자력기구 (International Atomic Energy Agency, IAEA)가 출범하면서, 핵확산을 방지하고자 하는 국제적 노력이 조직화·제도화 되기 시작했다. 특히 1970년 국제핵비확산조약(Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapons, NPT)이 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 내용 이외의 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 미친다. 미국은 세계최초로 원자력 기술의 군사적 이용을 실현한 유일한 국가로서 원자력의 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 국제정치적 영향력을 행사해 오고 있다. 이렇게 미국의 핵비확산 정책을 다른 국가에 적용할 때, 미국은 자국의 전략적, 정치적 그리고 경제적 이해를 기준으로 하기 때문에 해당국에서 이의 미국의 국제정치적 영향을 관리하는 것이 매우 어렵다.

따라서 본 논문에서는 기술학습에 미치는 국제정치적 요인으로서 미국의 핵비확산정책을 바탕으로 한 수출통제 정책, 사전동의 정책 그리고 국제정치적 영향력 등 세 가지 인자들을 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 받아야 한다. 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 국제정치적 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 국제정치적 영향력은 개도국의 핵연료주기 기술학습의 성과에 가장 강력한 결정인자가 될 수 있다.

4. 원자력기술학습성과에 대한 국제 정치적 영향

본 논문에서는 기술학습성과와 국제정치적 요인과의 관계를 분석하기 위하여 한국의 후행핵연료주기 기술개발 사례를 택하였다. 핵연료주기란 우라늄의 원자핵 핵분열 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. 선행핵연료주기는 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 앞에서 설명한 것처럼 이러한 재처리 기술은 핵확산성 위험이 매우 높기 때문에 미국의 입장에서는 한국의 재처리 기술개발을 가능한 한 억제해 오고 있다. 따라서 한국의 후행핵주기 기술개발은 미국의 국제정치적 간섭을 받아왔으며 본 장에서는 그러한 과정에서 한국의 후행핵주기 기술경로가 어떻게 영향을 받았는지를 분석한다.

한국의 후행핵주기 기술개발을 위한 국가적 차원의 최초의 계획은 1969년에 확정되었다 (이하 1969년 계획이라고 함). 한국 최초의 원자력발전소 도입을 위한 국제적 협상이 마무리 되어 가면서, 한국정부는 미래 에너지의 안정적 공급을 증대시키면서 에너지 안보를 강화하기 위하여 재처리와 혼합산화물연료(Mixed OXide fuel, MOX) 가공 기술을 국가 사업으로 개발하기로 결정하였다. 처음에 한국은 민간기업 주도로 1989년까지 연산 900톤규모의 상업용재처리 공장을 건설하기로 결정하고 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 한원(연)은 1978년까지 실험실 규모의 재처리 공장을 건설하는 계획을 추진하고 미국으로부터 해외 기술도입선을 모색하였다. 그러나 상업용의 경우처럼 미국정부의 수출통제 정책에 의하여 미국으로부터의 기술도입이 실패하자 한원(연)은 프랑스의 원자력공사와 재처리시설 건설을 위한 기술도입계약을 1974년 3월에 체결한다. 프랑스의 도움으로 재처리 시설에 대한 개념설계가 완료되고 한국의 재처리 시설에 대한 설계와 건설계약이 한국과 프랑스간에 체결되자, 미국 정부는 한국의 재처리 사업이 핵확산성 위험을 내포한다고 판단하고 그 사업을 중단시키기로 결정한다. 그 결과 한·불간의 국제기술협력사업으로

추진되었던 한원(연)재처리 사업은 1976년 1월에 중단되었다. 한편 재처리사업과 병행하여 한원(연)은 벨기에의 핵연료주기회사의 MOX 시설 건설사업을 추진하고 있었다. 1976년까지 MOX 시설을 위한 개념설계를 완료하고 시설의 상세설계와 시설 건설을 위한 양국간의 협상이 구체적으로 진행되는 가운데, 미국의 핵비확산정책에 영향을 받은 벨기에 정부는 MOX 기술의 대 한국 수출을 허가하지 않기로 결정하였고, 그 결과 1977년 11월까지 한국의 MOX 기술능력 획득사업은 중단되었다.

1982년 한국은 두 번째로 후행핵주기 연구개발사업인 탄뎀핵연료주기사업 (이하 탄뎀사업이라고 함)을 추진한다. 탄뎀사업은 당시에 건설중이던 국내 원자력발전소인 가압경수로 (PWR)형과 가압중수로 (CANDU)형 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 캐나다의 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 보유하고 있다고 판단하고 한국과 캐나다의 국제공동연구를 중단하기 위한 정치적 영향력을 발휘하였다. 그 결과 한원(연)의 두 번째 후행핵주기 사업은 1984년 8월에 중단되었다.

1991년 한원(연)은 세 번째의 후행핵주기 사업(이하 DUPIC사업이라고 함)을 착수하였다. 1980년후반에 한국정부는 원전확대 및 에너지다변화정책을 추진하면서 PWR형 원전과 더불어 CANDU형 원전의 공급확대를 계획하였다. 동시에 1980년 후반부터 원자력에 대한 국민수용성이 떨어 지면서 방사성폐기물을 효과적으로 처리하기 위한 수단이 매우 시급하게 요청되었다. 이에 따라 PWR과 CANDU형 원전을 효과적으로 연계하는 핵연료주기 기술 개발을 다시 추진하기로 결정하였다. 그러나 과거 탄뎀사업의 교훈으로 한원(연)의 기술개발 초점은 우선적으로 DUPIC 사업의 핵비확산성에 모아졌다. 사용후 핵연료를 분리하지 않는 공정기술을 발견해냄으로써 한국은 최초로 미국의 동의를 얻어서 DUPIC 사업을 착수하였다. DUPIC은 사용후핵연료를 화학적으로 분리하지 않기 때문에 모든 공정이 높은 방사성 환경에서 수행되므로 핵확산의 위험이 그 만큼 줄어든다. 이러한 기술궤적의 변화를 바탕으로 한원(연)은 1999년 DUPIC 연료 제작을 위한 PWR 사용후핵연료의 이용에 대한 미국정부의 사전승인을 받고 2001년 현재 PWR 사용후연료를 이용한 DUPIC연료개발을 진행하고 있다.

5. 결론 및 시사점

후행핵주기 기술과 물질의 군사적 이용가능성 때문에 미국은 가능한 한 한국이 후행핵주기 기술능력을 획득하지 못하도록 한국의 후행핵주기 기술활동을 간섭해 왔다. 이 과정에서 기술능력은 점진적으로 축적되지 않았으며 기술적 노력도 자

을적으로 추진될 수 없었다.

미국의 수출통제 정책과 사전동의 정책의 기술적 노력과 연관되면서 기술학습의 효율성에 영향을 미쳤다. 재처리 사업을 추진할 때, 미국의 수출통제정책으로 한국은 국제 기술도입선을 미국에서 유럽으로 변경하였다. DUPIC 사업을 추진할 때는 사용후 핵연료의 사전동의를 받기 위하여 한원(연)은 미국정부를 설득하는 데 추가적인 노력을 기울여야 했다. 미국의 국제정치적 영향력은 기술능력 발전 경로에 결정적인 장애요인이 되었다. 한국의 후행핵주기 기술학습은 미국의 국제정치적 간섭을 받을 때, 재처리사업과 탄뎀사업은 개념설계를 끝으로 중단되었고 DUPIC 사업은 고유한 핵비확산성에 대한 미국의 인정을 바탕으로 2001년 현재 추진되고 있다.

이 과정에서 후행핵주기 기술학습은 외부 환경 요인과 내부요소들간의 상호작용과정에서 기술경제적 효과를 증진시키는 쪽으로 진행되지 않고 국제정치적 간섭을 완화시키는 방향으로 진화되었다. 즉 재처리 사업에서 탄뎀사업으로 그후에 DUPIC 사업을 거치면서, 후행핵주기 기술은 가능한 한 핵비확산이 강화되는 방향으로 추진되었다.

한국의 후행핵주기 기술학습사례로부터, 개도국은 기술 능력 획득을 위한 지속적 노력과 함께 기술학습의 산업적 타당성을 높임으로서 강대국의 국제정치적 간섭을 줄일 수 있을 것으로 분석되었다. 비록 재처리사업과 탄뎀사업이 상세설계완건을 이루지 못하고 중단되었지만, 한원(연)은 이 과정에서 후행핵연료주기의 제반기술에 대한 개념적 이해를 완료하였고, 국내·외의 수집가능한 기술정보를 지속적으로 흡수하여 국제정치적 간섭을 줄일 수 있는 DUPIC의 비분리기술개념을 발굴하였다. 또한 방사성폐기물의 처리와 경제적 규모의 PWR형과 CANDU형 원전의 조합은 DUPIC의 산업경제적 타당성을 증진시켰다.

참고문헌

- 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 University Press.
- Arthur, E. D., Cunningham, P. T. and Wagner, R. L. Jr. (1998) An Architecture for Nuclear Energy in the 21st Century, *International Youth Forum: Youth and the Plutonium Challenge*, Obninsk, Russia, July 4-10.
- 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: MacMillan Press, 187-209.
- Dahlman, C. and Fonseca, F. V. (1987) From Technological dependence to Technological Development: the Case of the Usiminas Steel plant in Brazil, in

- J. M. Katz (eds) *Technology Generation in Latin American Manufacturing Industries*, Hong Kong: MacMillan Press, 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: Macmillan Press, 3-30.
- 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, Chapter 10 in C. Schaerf, B. H. Reid and D. Carlton (eds), *New Technologies and Arms Race*, MacMillan Press.
- Kim, L. (1999) Building Technological Capability for Industrialization: Analytical Frameworks and Korea's Experience, *Industrial and Corporate Change*, 8(1), 111-136.
- Lall, S. (1998) Technological Capabilities in Emerging Asia, *Oxford Development Studies*, 26(2), 213- 243.
- 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*, United Nations University, Avebury.
- Poneman, D. (1982), *Nuclear Power in the Developing World*, London, Boston & Sydney: George Allen & Unwin.
- Sharif, M. N. (1988) S&T Policy: Problems, issues and strategies for S&T policy analysis, *Science and Public Policy*, 15 (4), 195-216.
- Teece, D. and Pisano, G (1994) The Dynamic Capabilities of Firms: an Introduction, *Industrial and Corporate Change*, 3(3), 537-555.
- Thomas, S. (1988) The Development and Appraisal of Nuclear Power. Part I. Regulatory and Institutional Aspects, *Technovation*, 7(4), 281-304.