

개발도상국기업의 기술창출단계 기술혁신: 프로세스 기술개발 사례연구

Developing Country Firm's Technological Innovation in the Technology Generation
Stage: Process Technology Development Case Study

정기대(Kidae Chung)*

목 차

- | | |
|---------------|--------|
| I. 서론 | IV. 논의 |
| II. 이론적 배경 | V. 결론 |
| III. FINEX 사례 | |

국 문 요 약

선도적으로 기술창출단계의 기술혁신에 성공하여 최초경로로 기술리더가 된 국내기업에 대한 혁신 연구는 새롭게 도전하려는 국내기업과 개발도상국기업에게 시행착오를 줄일 수 있는 시사점을 제공할 수 있다. 그러나 개발도상국기업의 기술창출단계 혁신에 대한 연구가 부족하며, 특히 프로세스혁신에 대한 연구는 제품혁신연구에 비해 더욱 부족한 상황이다. 본 연구는 기술창출단계의 프로세스 기술혁신 프로젝트를 대상으로 하는 탐색적 연구이다. 최초경로로 기술리더가 된 POSCO의 FINEX(파이넥스) 사례에서는 기술창출단계 혁신은 기술내재화단계 고도화의 연장선이라기보다는 높은 위험을 감수하는 최고경영층의 결단에 의해 시도되는 불연속적인 특성이 있으며, 기술창출단계 혁신을 시작하는 개발도상국기업이 일반적으로 초기에 직면하는 원천기술을 개발을 위한 기술역량의 부족은 원천기술을 개발 중인 선발자와의 보완적 기술협력을 통해 극복하였다. 그리고 선진국 경쟁자보다 뒤늦게 기술개발을 시작하였지만 가장 먼저 상용화단계에 도달할 수 있었던 것은 기술개발 가속화(Speed-up)로 기술개발속도에 영향을 주는 세부요인을 파악하였다.

핵심어 : 개발도상국기업, 기술발전단계, 프로세스혁신, POSCO, FINEX

※ 논문접수일: 2009.1.30, 1차수정일: 2009.3.12, 2차수정일: 2009.3.18, 게재확정일: 2009.3.20

* POSRI(포스코경영연구소) 수석연구위원, kdchung@posri.re.kr, 02-3457-8175

ABSTRACT

Many Korean companies wanted to improve technological competitiveness and business performance radically through technology leadership initiatives. In-depth case studies about successful Korean technological innovation in the technology generation stage have potential to minimize Korea and developing country firms' trial and error when they are pursuing new technological innovation in the technology generation stage. There are few studies about developing country firms' technological innovations in the technology generation stage and especially process innovation studies are far less performed compared to product innovation studies. This is an exploratory study of POSCO's FINEX process technology innovation in the technology generation stage. These are my findings from this study. Firstly, leadership innovation in the technology generation stage is not a continuous development of catch-up innovation in the technology internalization stage and only top managements can initiate highly risky leadership innovation. Secondly, developing country firms which lacked in technological capability overcomes difficulties in the early stage through complementary technological collaboration with R&D first-movers. Thirdly, this company become a technology leader in spite of late entry in technology development race with developed country firms through rapid scale-ups.

Key Words : Developing Country Firms, Technology Development Process, Process Innovation, POSCO, FINEX

I. 서 론

기술추격을 통해 성장해온 국내기업들은 보다 높은 기술경쟁력을 확보하고 획기적으로 성과를 향상시키기 위하여 기술선도에 관심을 기울이고 있다. 이러한 관심의 직접적 계기는 기술발전단계측면에서 기술추격전략 위주의 기술내재화단계의 혁신에 주력하던 국내기업들이 일부 기업을 중심으로 기술선도전략으로 기술창출단계의 혁신에 뛰어들어 가시적 성과를 내고 있기 때문이다. 정부도 국내기업의 획기적 기술혁신을 장려하기 위하여 1990년대 중반부터 매년 국내에서 개발된 세계최고기술이거나 세계최초기술 중에서 “대한민국 10대 신기술”을 선정하고 있다. 정부가 이런 기술혁신을 장려하는 프로그램을 운영할 수 있는 배경 중 하나는 일부 선도적 국내기업이 개발한 특정 신기술이나 신제품이 기술리더가 되었기 때문이다.

기술리더(Technology Leader)는 대상에 따라 기술을 선도하는 국가, 산업, 기업, 그룹, 개인 등으로 기술선도자(Technology Frontier)와 유사한 개념이다. 기술리더가 되는 방법은 대표적으로 최고경로와 최초경로로 구분할 수 있다. 최고경로는 주도적 디자인(Dominant Design) 하에서 개발된 기술이나 신제품·신프로세스가 기술적 성능, 경제적 성과 등에서 경쟁자보다 탁월할 때 기술리더라 할 수 있으며, 국내기업은 도입된 원천기술을 고도화하여 세계적 경쟁력을 갖추는 기술내재화단계 혁신에 성공적이었다. 따라서 기존의 기술혁신연구와 성공사례는 대부분 기술내재화단계 혁신이 대상이었다(배종태, 1987; 길영준, 2002; 송위진 등, 2004; 임채성, 2006). 최초경로는 주도적 디자인이 정립되지 않았거나 기존의 주도적 디자인을 따르지 않는 새로운 기술혁신에 성공하여 혁신적인 신제품이나 신프로세스에 성공하였을 때 기술리더라 할 수 있으며 일부 선도적 국내기업은 이러한 기술창출단계의 기술혁신에 성공하고 있다(정기대, 2009).

선도적으로 기술창출단계 기술혁신에 성공하여 최초경로로 기술리더가 된 국내기업의 사례는 새롭게 도전하려는 국내기업이나 개발도상국기업에게 시행착오를 줄일 수 있는 시사점을 제공할 수 있으나 기술창출단계의 기술혁신에 대한 심층연구의 부족으로 적절한 도움을 받지 못하고 있다. 특히 프로세스혁신에 대한 연구는 제품혁신연구에 비해 더욱 부족한 상황이다(Lager, 2002; Lager and Hörte, 2002; Chung, 2009; Chung et al, 2008, 2009; Barnett and Clark, 1996).

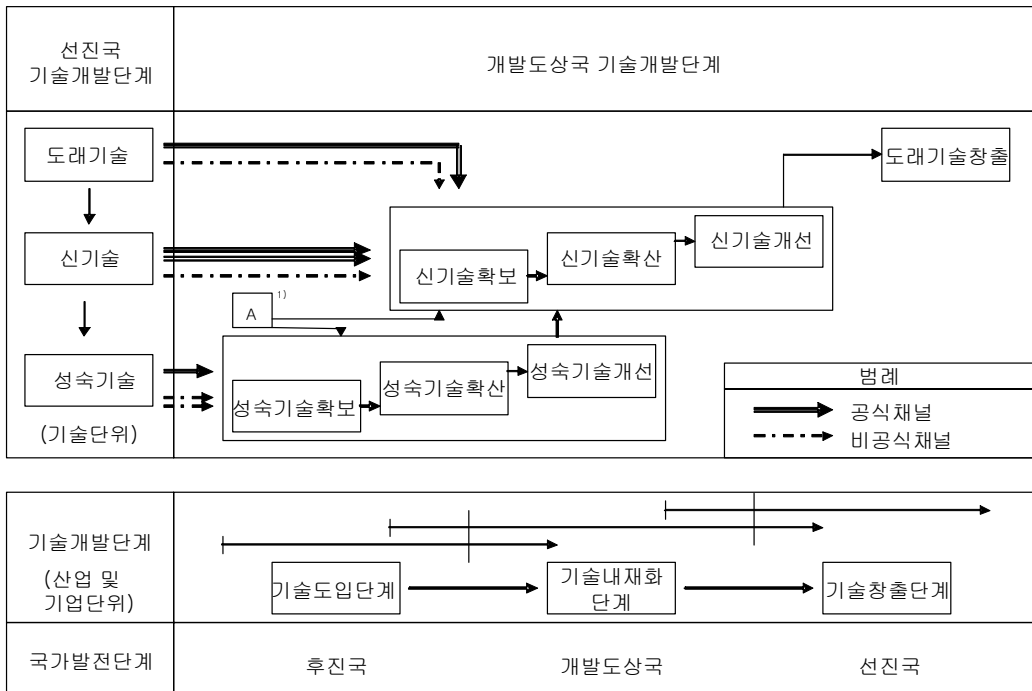
본 연구는 2004년 “대한민국 10대 신기술”로 선정되었고 최초경로로 기술리더(세계최초)가 된 FINEX(파이넥스) 프로세스기술 사례를 대상으로 하는 탐색적 연구이다. 개발도상국기업 입장에서 기술내재화단계 혁신프로젝트와 기술창출단계 혁신프로젝트는 어떻게 다른지, 기술창출단계 혁신을 시작하는 시점에 원천기술을 개발할 수 있는 기술역량의 부족을 어떻게 극복

하였는지, 그리고 선진국 경쟁자보다 뒤늦게 시작하였지만 어떻게 먼저 기술리더가 되었는지가 연구문제이다. 본 연구의 자료수집은 핵심인력에 대한 인터뷰, 프로젝트 진행상황 관찰, 2차 자료 등을 종합적으로 활용하였다. 수집된 자료를 바탕으로 전체 프로젝트의 개요를 파악하고 다양한 관점에서 정성적으로 분석하였다. 본 연구의 이론적 배경은 기술발전단계론이다.

II. 이론적 배경

기술혁신의 과정을 설명하는 이론이 기술발전단계론으로 초기에는 기술혁신은 모든 기술변화를 포괄하고 제품혁신과 프로세스혁신으로 구분하여 고려되지 않는 불분명한 용어였다(이공래, 2000). 기술발전단계에 대해서는 많은 연구가 있었으며(Kim 1980, 1997; Lee et al., 1988; Utterback, 1994; 이진주, 1978; 배종태(1987)) 대표적인 연구는 기술발전단계를 기술수명주기와 결합시킨 Utterback과 Abernathy(1975)의 혁신수명주기모델로 제품혁신과 프로세스혁신과의 관계를 명확하게 설명하고 있다. 혁신수명주기론은 국가정책과 기업전략수립의 기본이 되는 제품기술과 프로세스기술의 발전과정에 대한 개념을 제공하고 있으나, 대부분의 기술혁신이론이 그러하듯이 선진국 기술혁신을 설명하는데 유용하지만 개발도상국 기술혁신을 설명하는데 한계를 보이는 부분이 있다.

기존 선진국 중심 기술발전단계론의 장점을 활용하고 한계를 보완하기 위한 개발도상국 기술발전단계에 대한 연구로 Lee et al.(1988)은 Global Perspective Model을 통해 선진국과 개발도상국의 기술개발단계 간의 연계성을 설명하였다(그림 1). 이 모델의 특징은 개발도상국 기술개발단계에 비공식적인 기술이전(모방)을(Mansfield et al., 1981) 포함시켜 모델의 설명력을 높였으며, 개발도상국 기술개발단계의 동태적 특성을 발견하였다. 국가, 산업·기업, 단위기술 수준 등 다차원적인 시각을 제공하였고, 개발도상국의 기술발전단계가 선진국의 기술발전단계의 역순서임을 밝혔다. 그리고 Kim(1980)의 개발도상국 기술발전 3단계모델인 확보(도입)-확산-개선을 확장시켜 기술발전단계를 기술도입단계, 기술내재화단계, 기술창출단계로 구분하였다. 이제까지 국내기업은 주로 원천기술을 도입하여 소화하고 성능이나 특성을 향상시키는 기술내재화단계의 혁신에 주력하여 국내의 기술혁신연구도 기술내재화단계에 대한 연구가 주류를 이루었다. 그러나 1990년대부터 일부 국내기업들은 기술창출단계의 기술혁신에 도전하여 획기적인 신제품과 신프로세스로 특정 기술의 리더가 되는 사례가 발생되었다.



자료 : Lee et al.(1988) 수정 p. 241.

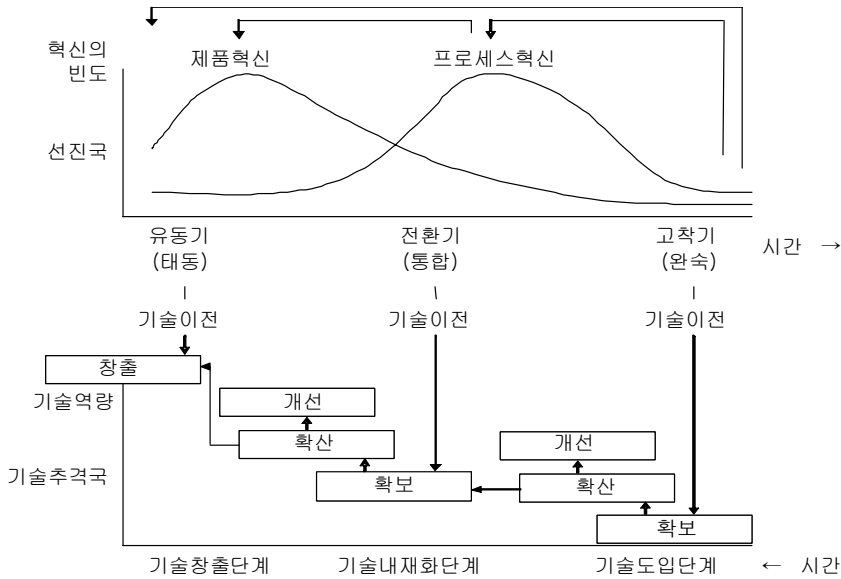
(그림 1) Global-Perspective Model

Kim(1997)은 Utterback과 Abernathy의 혁신수명주기론과 Kim(1980)의 개발도상국의 산업기술발전, Lee et al.(1988)의 Global Perspective Model 등을 결합하여 선진국과 기술추격국의 기술발전궤적을 직관적으로 이해할 수 있는 기술발전단계모델을 제시하였다(그림 2).

개발도상국은 초기단계에서 기술역량이 부족하여 선진국으로부터 원천기술이 포함된 Package 형 기술을 전수받고 생산에 주력하다가 점차적으로 도입된 기술을 이해하고 확산시키고 일부 개선활동을 하게 된다. 다음 단계는 어느 정도 기술역량이 확보된 상황에서 전체기술보다는 핵심기술중심으로 기술을 확보하고 확산시키고 개선활동을 하게 되는데 이러한 활동의 고도화를 위해서는 내부적인 R&D 역량이 필요하고 일부에서는 개선활동의 고도화를 통해 기술제 공처인 선진국보다 높은 수준의 성과를 만들어내기도 하였다.

기술내재화단계의 기술추격에 대한 연구는(김윤지, 2006; 류중익과 홍형득, 2003; 이재근과 김한주, 2003; Chung and Lee, 1999; Steinmueller, 2001; Forbes and Wield, 2000; Lee, 2005; Choung et al., 2000; Chung and Bae, 2009; Dutrénit, 2000, 2004) 활발하게 진행되었다. Lee and Lim(2001)은 개발도상국의 기술추격을 유형화하여 기존 선도자의 단계를 모

두 거치지만 빠르게 따르는 단계추종형 기술추격(Path-Following Catch-up), 일부 단계를 생략하는 단계생략형 기술추격(Path-Skipping Catch-up), 일부 단계부터 다른 혁신을 추구하는 단계창출형 기술추격(Path-Creating Catch-up)으로 구분하고 한국의 6개 산업을 대상으로 실증분석을 하였다.



자료 : Kim, Linsu(1997), p. 89.

(그림 2) 추격형혁신의 수명주기

아시아 기술혁신에 주목한 Hobday는(Hobday, 1994, 1995) Hobday et al.(2004)에서 한국기업과 아시아기업 중 일부는 이미 기술리더가 되었지만 기술추격자에서 기술리더로의 전환에 대한 연구가 거의 없다고 지적하였다. 그는 개발도상국이 기술리더가 되는 것이 장점만 있는 것인가에 대한 의문을 제기하였고 개발도상국기업이 기술리더로 전환시 어려운 전략적 딜레마¹⁾에 직면한다는 가설을 세우고 한국기업사례로 검정을 하였다. 연구결과는 한국기업은 대기업이라도 제품차원에서는 기술선도제품과 기술추격제품을 모두 취급하는 등 동일기업 내에서도 기술전략측면에서는 리더십전략과 Catch-up전략이 공존하며, 산업별 차이도 크다는 것이다. 따라서 기술리더로 전환하려는 기업은 새로운 제품설계, R&D, 유통, 브랜드개발 등

1) 전략적 딜레마는 기술추격자인 개발도상국기업이 주로 선진국 기업과 기존의 관계를 가지고 있는데 이러한 기존의 관계에서 벗어나 기술리더가 되려고 하면 선진국 기업의 저항에 직면한다는 점과 기술리더가 되면서 기존에 기술과 생산측면에 치중하였던 기업이 마케팅과 해외진출 등을 독자적으로 해야 하는 등 부담이 커지는 점이다.

을 모두 할 것인지 일부만 할 것인지 깊이와 폭을 결정하고 혼자 할 것과 협력해서 할 것을 구분할 필요가 있다고 주장하였다.

Dutrénit(2000)는 멕시코 Vitro-Glass Containers에 대한 심층사례연구에서 운영역량에서 혁신역량 더 가아가 전략역량 확보까지의 전환과정을 다루었다. 기존의 선진국 중심의 전략연구는 이미 기술리더인 선진국의 전략역량확대 측면을 그리고 개발도상국연구는 어떻게 개발도상국이 혁신역량을 고도화시키는 가에 초점을 두었기에 전환과정은 거의 탐색되지 않은 영역이었다고 주장하였다. 그녀는 전환과정을 지식경영측면에서 접근하여 장기간의 기술역량축적과정의 특징과 과정 속의 세부단계별로 지식경영의 핵심이슈는 무엇인가, 무엇이 전환과정의 문제인가, 왜 개발도상국기업은 핵심역량을 확보하지만 전략적 역량을 확보하지 못하는가, 전환과정에서 영향을 주는 핵심요소는 무엇인가라는 측면에서 연구하였다. 사례기업에서는 개인별 학습을 조직학습으로 전환하는 노력이 미흡하였고, 학습전략의 혼선과 학습간의 연계가 미흡하였고, 지식을 통합하려는 노력이 부족하였고, 지식창출과정의 일관성을 유지하지 못했던 점을 전환실패의 대표적 원인으로 지적하였다.

기존의 많은 기술발전단계연구에서 다루었던 개발도상국기업의 기술추격자에서 기술리더로의 변화는 주로 기존 기술의 고도화 즉 최고경로를 통한 기술내재화단계 혁신을 다루고 있다. 기술창출단계 기술혁신의 성공으로 최초경로를 통해 기술리더가 되는 연구는 매우 부족한 상황으로 추가적 연구와 이론정립이 필요한 분야이다.

III. FINEX 사례

본 장에서는 연구문제가 다루는 이슈에 대해 실제 기술개발단계를 따라 사실을 파악한다. 그리고 다음 장인 논의에서는 어떻게(How)와 왜(Why)를 종합적으로 검토하여 결론을 내린다. 본 사례는 기술창출단계 기술혁신 운영체제가 기존 기술내재화단계 기술혁신과 어떻게 다른지, 원천기술의 부족을 어떤 과정을 거쳐 극복하였으며, 어떻게 기술추격에서 기술선도로 전환하였는지 그리고 기술적으로 우위에 있던 경쟁철강사보다 어떻게 빠르게 기술을 개발하여 기술리더가 되었는지를 일차적으로 파악하고자 한다. 체계적 분석을 위해 외부환경측면에서 신제선기술을 개발하게 된 동기를 제공한 용광로기술의 한계와 용광로기술을 한계를 극복하기위한 다양한 기술개발 동향을 파악한 후, 내부환경측면에서 POSCO의 기술창출단계 기술혁신 도전배경과 더불어 POSCO의 FINEX 개발과정을 3단계로 구분하여 이벤트를 중심으로 기술하였다.

FINEX는 이제까지 일관제철소 제선프로세스의 주도적 디자인인 용광로 프로세스의 한계를 극복할 수 있는 신제선기술 중의 하나이다(나형용, 1997). 1970년대부터 개발되기 시작한 다양한 신제선기술 중 용광로 기술을 대체할 수 있는 수준의 상용화단계(Commercial Stage)에 최초로 성공한 기술이 FINEX이다. FINEX 개발을 위해 준공시점까지 연구개발비 5,541억원, 설비비 1조6백억원을 투자하여 FINEX 기술을 상용화하였다.

FINEX를 용광로와 비교하면 용광로 프로세스에서 필요한 소결 프로세스와 코크스 프로세스가 생략되어 용광로 프로세스에 필요한 소결공장과 코크스공장이 필요 없어 설비비가 감소되고, 용광로에서는 사용이 어려운 전 세계 매장량의 50-60%되는 저가의 저품위 철광석과 비점결탄(Non Coking-coal)을 사용할 수 있어 저렴하게 용선을 생산할 수 있다. 그리고 용광로 대비 SOx 3%, NOx 1%, 비산먼지는 28% 밖에 발생하지 않는 뛰어난 환경친화적 공법이다. 용선의 품질은 실리콘이 다소 많지만 전반적으로는 용광로의 용선품질과 비슷하여 이를 원료로 다양한 고급제품을 만들 수 있다. 그리고 용광로에서 발생하는 배출가스는 환원프로세스나 에너지 생산 등에 다양하게 쓰일 수 있다. 용광로는 중단비용이 막대하여 대수리나 설비교체 외에는 가동을 중단할 수 없어서 생산량의 조절이 어렵지만 FINEX는 중단비용이 낮아 유연한 조업이 가능하다(표 1).

〈표 1〉 용광로 프로세스와 FINEX 프로세스 특성 비교

	용광로 프로세스	FINEX 프로세스
설비	소결공장, 코크스공장, 용광로공장	FINEX공장
구조	용광로 내에서 환원과 용융반응	환원부와 용융부 분리
원료 (세계매장량 중 %)	고품위 철광석(10-15)	일반 분철광석(50-60)
연료 (세계매장량 중 %)	강점결탄(10-15)	일반탄(비점결탄)(50-60)
생산비(%)	100	85
투자비(%)	100	80
환경(%)	황산화물 SOx(100), 질소산화물 NOx(100), 비산먼지(100)	SOx(3), NOx(1), 비산먼지(28)
유연성	아주 낮음(조업 중단어려움)	높음(단속조업 가능)
대표규모(만톤/연)	300	150

자료 : 관련 자료 종합

1. 신제선 기술개발 동향

철강제품을 만들어내는 철강회사의 유형에는 일관제철소(Integrated Mill), 미니밀, 단압밀(Rolling Mill) 등이 있다. 일관제철소는 자연 상태의 철광석을 사용하여 철강제품을 만드는 모든 프로세스를 가지고 있는데 철광석과 석탄으로 용선을 만드는 제선(Iron Making), 용선을 정련하여 용강(Liquid Steel)을 만드는 제강(Steel Making), 용강을 연속주조기를 통해 슬래브를 만드는 연주(Continuous Casting), 슬래브를 압연하여 열연(Hot Rolling), 냉연(Cold Rolling)제품을 만드는 압연(Rolling) 프로세스 등이다. 미니밀은 고철을 주원료로 전기로(Electric Arc Furnace, EAF)에서 고철을 녹이고 정련하는 제강, 그 이후는 연주, 압연 프로세스를 가지고 있지만 대규모 용광로와 후속 프로세스 설비가 필요한 일관제철소에 비해 소규모 설비로 제품을 생산할 수 있다. 단압밀은 슬래브나 열연코일 등을 재료로 압연 프로세스만으로 제품을 만든다.

철광석에서 선철(Iron)을 만드는 제선 프로세스는 용광로 프로세스, 용융환원 프로세스, DRI(Direct Reduced Iron, 직접환원철) 프로세스 등이 있다. 20세기 중반까지 일관제철소에서 용광로를 사용하여 액체상태의 선철을 만들어 다음 프로세스로 공급하는 것이 유일한 방법이었지만, 용광로 프로세스의 한계를 극복하기 위하여 용융환원 프로세스가 개발되었다. 한편 미니밀에서는 높아지는 고철의 가격 상승과 순수한 선철(Virgin Iron)과의 품질의 차로 인하여 고급제품 생산의 한계를 극복하기 위하여 고철을 대신할 철원이 필요하였고, 광산업체도 부가가치를 높이기 위해 가공되지 않은 연료 원료를 판매하기보다는 직접 가공하는 DRI 프로세스가 개발되었다. DRI 프로세스는 철광석을 원료로 가스나 석탄을 환원제로 사용한다. DRI의 세계생산규모는 1972년 100만톤, 1985년 천만톤, 2005년 5천6백만톤 규모로 증가하였다.²⁾

유럽, 일본, 미국 등 선진 각국은 신제선기술의 실용화를 위해 다양한 노력을 기울였다. 일본은 DIOS³⁾, 미국은 AISI(Direct Steelmaking)⁴⁾, 오스트리아는 COREX, 호주는 HIsmelt를 개발하는 등 다양한 신제선기술이 개발되었지만 현재는 FINEX와 COREX 만이 용광로와 경쟁할 수 있는 규모의 상용화단계에 도달하였다. 오스트리아 Voest Alpine(이하 VAI)사에서 개발한 COREX 프로세스는 남아공 ISCOR에 연산 30만톤, POSCO에 연산 60만톤, 남아공

2) 2000년대 중반 용광로 프로세스를 통한 생산량은 연간 6억톤 수준으로 DRI 프로세스 생산량의 10배 이상이다.

3) 일본은 1980년대 초반부터 고로사들이 각각 용융환원법을 개발하였는데 1988년 일본철강연맹주도로 8개 철강사와 석탄기술연구소가 참여하여 '용융환원 공동연구개발위원회'를 발족하고 용융환원기술인 DIOS(Direct Iron Ore Smelting Reduction) 개발을 위한 공동연구를 시작하여 1996년까지 Pilot단계까지 개발하였다. 이후 상용화단계로 진입을 위해 일본강관(NKK) 단독으로 추진하였지만 뚜렷한 진전을 보지 못하고 1990년대 후반부터는 중단된 상태이다.

4) 미국은 미국철강협회를 중심으로 제선프로세스와 제강프로세스를 통합하는 직접제강(Direct Steelmaking)기술을 대확중심으로 시도하였지만 Scale-up 과정에서 기술적 어려움으로 개발이 중단되었다.

Saldanha에 연산 65만톤, 인도의 Jindal Vijayanagar에 연산 80만톤 2기가 건설되었다. 2007년 11월 보산강철에 연산 150만톤 설비가 준공되었다. 한편 POSCO는 연산 60만톤 FINEX Demo Plant를 거쳐 연산 150만톤 FINEX 상용화공장을 2007년 5월 준공하였다.

2. FINEX 개발과정

FINEX는 POSCO 최초의 기술창출단계 기술혁신사례이다. POSCO는 1970년대 포항제철소, 1980년대 광양제철소 건립에 전념하다가 1992년 광양제철소 준공으로 규모면에서 세계 3위가 되었다. 대형철강사가 되면서 경쟁사의 견제로 핵심기술을 도입하기가 점점 더 힘들어졌다. 당시 경영진은 규모에 의한 경쟁력은 기술경쟁력의 뒷받침 없이는 사상누각이라는 생각에서 기술창출단계 기술혁신을 시도하였다. 그 결과로 POSCO는 약 15년 후 FINEX 프로세스를 채택한 연산 150만톤 규모의 상용화 제선(iron Making)공장을 2007년 5월 30일 POSCO 포항제철소 내에 준공하였다.

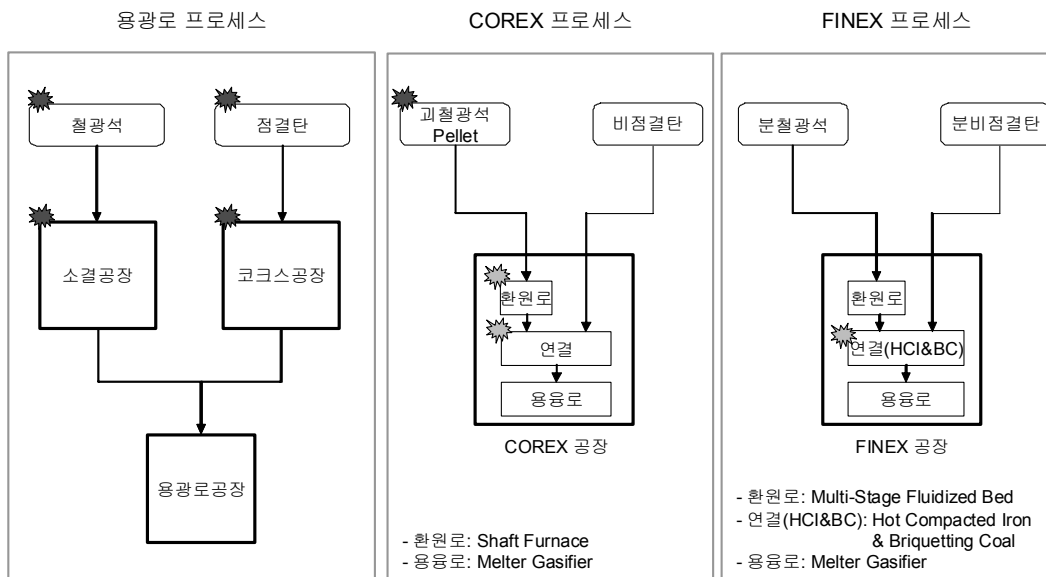
신제선기술이 경제적 기술적 환경적 측면에서의 장점에도 불구하고 일관제철소에 100년 이상 활용되면서 대형화, 효율화된 용광로 프로세스를 대체할 수 있는 상용화 프로세스를 개발하는 것이 어려워, 1970년대부터 많은 국가, 기업이 기술개발에 뛰어들었지만 대형용광로를 대체할 경쟁력을 갖춘 기술을 개발하지 못하였다. 1990년대 초 신제선기술 중 비록 소형이기는 하였지만 상용화된 기술은 세계적으로 COREX가 유일하였다. COREX가 용광로와 다른 점은 용광로에서 사용하는 고가의 점결탄이 아닌 저가이면서 매장량이 풍부한 일반탄을 환원제와 연료원으로 사용하고 덩어리 형태의 철광석이나 펠릿을 원료로 사용하는 점이다. COREX는 코크스공장이 필요 없어 투자비가 절감되고, 고로보다 저가 석탄을 사용하여 용선제조비가 절감되며, 다양한 철광석과 석탄을 사용할 수 있다. 조업의 유연성이 높아 생산량 조절과 원료 변경 등이 용이하며, 결과물인 용선의 품질은 용광로와 비슷하여 고급제품을 만들 수 있으며, 환경저해물질의 배출도 적은 환경친화적 공법이다.

용환원법에 대한 초기연구를 통해 새로운 제선기술에 관심을 가진 POSCO는 COREX 설비를 도입하여 운영하면서 장점과 단점을 파악하였다. POSCO는 COREX의 단점을 근본적으로 극복하는 새로운 기술개발을 통해 일관제철소 제선 프로세스의 주도적 디자인인 용광로 프로세스를 대체할 수 있는 기술개발이 가능하다는 판단을 하게 되었다.

분광과 분탄으로 용선을 만든다는 이상적인 방식에 비해 COREX는 분광을 사용할 수 없다는 한계를 가지고 있었으나, POSCO는 이 문제는 COREX의 Shaft Furnace를 유동환원로로

대체할 경우 100% 분광을 사용하여 용선을 만들어 낼 수 있다는 아이디어를 생각해내었고, 이 아이디어를 기반으로 분광과 분탄으로 용선을 만드는 새로운 프로세스를 개발한 것이 FINEX이다. FINEX 프로세스는 분광을 유동환원로에서 Fine DRI로 환원시킨 후, HCI(Hot Compacted Iron, 성형철)설비에서 덩어리 형태(Pellet)로 만들고, 일반분탄인 비점결탄을 성형탄설비(Briguetting Machine)에서 덩어리 형태로 만들어 용융로에서 녹여 용선을 생산하는 프로세스이다.

(그림 3)은 대표적 제선 프로세스의 문제점을 파악한 것으로 용광로프로세스는 연 원료측면에서 매장량이 제한적인 고가의 철광석과 점결탄을 사용하는 것과 용선을 만들기 위해 소결공장, 코크스공장과 용광로 등 3개 공장이 필요하여 설비투자비용이 높아지며 소결공장과 코크스공장에서 환경저해가스가 많이 발생하는 환경측면의 단점이 있다. COREX 프로세스는 원료측면에서 고가의 괴광석이나 Pellet을 사용하는 Shaft Furnace 환원로를 채택하고 있는 것이 대표적인 단점이다. FINEX 프로세스는 저가의 풍부한 연료와 원료를 사용하지만 바로 용융로로 투입하지 않고 용융로조업의 안정성을 위해 중간가공단계를 거치는 과정이 향후 해결해야 할 점이다.



(그림 3) 대표적 제선 프로세스 비교

철강업계의 후발주자였던 POSCO가 1970년대와 1980년의 기술내재화 과정을 거치면서 축적된 기술역량을 바탕으로 FINEX를 개발하여 기술창출단계에 도달한 것은 철강산업에서 후발자가 대형프로세스기술을 창출한 사례가 된다(송성수, 2002; 이동현, 2005). 대형프로세스 기술개

받은 새로운 프로세스에 대한 이론적 연구와 실험실 규모에서 테스트가 이루어지며 실험실에서 나온 결과를 현장에 적용하기 위해서는 단계적인 Scale-up 과정이 필요하다. Rosenberg(1994, p. 198.)는 프로세스산업에서는 실험실연구가 상용화생산에 필요한 정보를 모두 제공하지 못한다고 하였다. 즉 Scale-up 과정에서 다양한 문제점이 발견되며 이러한 문제점을 하나하나 극복하여야 비로소 상용화단계로 발전시킬 수 있다.

POSCO의 FINEX 개발도 초기연구와 단계별 Scale-up 과정을 거쳤다. 구분하면 개념단계(Concept Stage)에는 이론연구와 용융환원 프로세스인 COREX 조업을 통해 신제선기술인 FINEX 아이디어가 구체화되었다. 파일럿단계(Pilot Stage)에는 하루 15톤 규모의 Pilot Plant 1기, 하루 150톤 규모의 Pilot Plant 2기로 유동환원로 실험을 수행하였다. 그리고 상용화단계(Commercial Stage)에서 기존의 연산 60만톤 COREX 설비의 용융부분과 새로 개발한 환원 부분으로 구성된 연산 60만톤 규모의 Demo Plant를 거쳐 연산 150만톤 규모의 상용화설비 개발로 이어졌다(표 3). POSCO는 일련의 Scale-up 과정을 빠르게 진행하여 뒤늦게 신제선 기술개발에 합류하였지만 대규모 상용화설비를 가장 먼저 개발하였다.

〈표 3〉 FINEX Scale-up단계

단계	개념단계	파일럿단계		상용화단계	
	연구	Pilot Plant 1	Pilot Plant 2	Demo Plant	Commercial Plant
세부단계	연구	Pilot Plant 1	Pilot Plant 2	Demo Plant	Commercial Plant
시기	1990-1995	1995-1998	1998-2001	2001-	2004-
특징	초기기술개발 COREX기술 습득	초기기술개발 유동환원로 최초설비시험	초기기술개발 유동환원로 기술적 가능성 검증	프로세스정립 상용화기술 (설비/ 조업/ 정비)	상용화
규모	(60만톤/연)	15톤/일	150톤/일	60만톤/년	150만톤/년
조직	신제선기술팀	연구팀, COREX팀		FINEX 연구개발추진반	

자료 : 정기대(2009) 수정 pp. 56-57.

1) 개념단계(1990 - 1995)

Pilot 설비 이전단계는 용융환원기술에 대한 초기연구의 착수와 용융환원 프로세스인 COREX 설비를 도입하고, FINEX 개발 아이디어를 구체화하였으며, 혁신프로세스기술개발을 주도한 신제선기술팀이 결성되었다. 초기연구는 정부프로젝트 수행과 VAI와 공동개발이 추진되었다. 석탄계 용융환원체철기술개발이 신철강기술연구조합과제로 1990년 11월 선정되었으며 2000년 12월까지 진행되었다(표 4). 사업추진 기간이 만료된 후 타 참여사들은 2002년 2월 사업화

를 포기하여 일체의 지적재산권 및 노하우를 POSCO에 귀속하고 POSCO는 정부참여금을 상환하였다.

〈표 4〉 FINEX 기초연구

구분	신철강연구조합	POSCO 단독 연구
연구기간	1990.11-2000.12	2001.1-2004.6
연구내용	분광석 유동환원 기초연구 등	요소기술개발, Demo Plant 시험, 조업 및 설비기술개발 등
참여자	정부, POSCO, INI, 동국제강, 동부제강	POSCO
연구개발비	582억원(정부 222억원)	3,594억원

자료 : 신철강연구조합, POSCO.

용융환원기술의 가능성을 확인하기 위하여 1992년 8월 POSCO·RIST·VAI는 용융환원 프로세스 공동개발에 착수하였고, 1992년 말 VAI와 세계에서 2번째 COREX 설비도입계약을 체결하였고, 1993년 말 COREX 공장을 착공하였다. 1995년 11월 28일 연산 60만톤인 COREX 설비를 가동하여 1년 만에 정상조업을 달성하였지만 정상조업까지의 과정은 문제해결의 연속적 과정이었다.

COREX 프로세스에서 가장 큰 문제는 환원로 안에서 철광석이 굳어지는 일이었다. 환원로에서 철광석이 굳어져서 용융로로 가지 않으면 용융로작업을 중단해야 하는데, 이 경우 용융로 재가동을 위해 많은 비용과 시간이 걸리기 때문에 심각한 사고였다. 환원로는 가동 일주일부터 문제가 발행하기 시작하였는데, 이 문제가 발생하면 용융로가 중단되지 않도록 직원들이 뜨거운 환원로에 들어가 굳어진 덩어리를 제거하여야 하였다. 제거작업에는 많은 작업자가 24시간 작업으로 2-4일 정도 걸렸는데 초기조업 3개월간 6번이나 발생하였다. 예상 외로 문제가 심각해지면서 회사 내에서는 프로젝트에 대한 회의론도 대두되기도 하였으나 많은 회의를 거쳐 해결가능성이 보이자 경영진은 계속 추진하기로 결정하였다.

신제선프로젝트를 주관하는 조직은 경영진의 자력기술개발에 대한 의지에 따라 1992년 ‘뉴 프로젝트 추진본부 - 신제선기술팀’이 결성되었다. 처음에는 소결공장과 코크스공장이 필요 없는 새로운 제선프로세스를 만들어 보겠다는 단순한 생각에서 시작하였지만 나중에는 FINEX 개발의 핵심조직으로 성장하였다.

2) 파일럿단계(1995 - 2001)

Pilot Plant 1단계에서는 하루 15톤 규모의 소형설비를 1996년 5월에 준공하여 3년간 시험

조업하면서 이론연구를 실험에 적용하였다. FINEX 기술개발을 위해 RIST(포항산업과학연구원) 주도로 하루 15톤 설비개발과정을 거쳐 초기기술에 대한 탐색적 연구를 진행하였다. 한편 뛰어난 제선조업기술을 바탕으로 1996년말 COREX 정상조업을 달성하였으며, COREX 조업 기술을 1998년 초 남아프리카공화국 Saldanha와 인도 JVSL에 판매하였다.

Pilot Plant 2단계에서는 하루 150톤 규모의 설비를 1998년 초에 착공하였고 1999년 8월 27일 준공하였다. 이 설비는 FINEX 전체 프로세스 중 분광석을 환원시키는 유동환원부분의 기술적 가능성 검증을 목표로 하였다. 이 단계에서 유동환원로는 3개로 구성돼 있으며, 광석을 예열하는 예열로, 예열된 광석을 50% 예비환원하는 예비환원로, 예비환원된 광석을 90% 이상 환원하는 최종환원로로 구성되었다. 준공 후 약 1년간 시험 조업을 통해 기술적 가능성을 검증하였다. 이 과정에서 확보된 기술자료와 경험은 다음 단계인 FINEX Demo 플랜트 개발의 원천 기술자료로 활용되었다(Mathews and Cho, 1999).

3) 상용화단계(2001-)

Demo Plant 단계에서는 연산 60만톤 규모의 설비를 2001년 1월 착공하여 2003년 5월 29일 준공하였다. Pilot Plant에서 FINEX 프로세스의 기술적 가능성을 확인하였지만 소형규모이어서 상용화 측면에서는 시작에 불과하였다. 그러나 연산 60만톤 FINEX Demo Plant는 기존 COREX 설비의 환원설비와 용융설비 중 환원설비를 FINEX 유동환원로로 대체하였으며 Pilot Plant 용량의 20배 정도로 이 단계가 본격적인 상용화 검증의 시작이라고 볼 수 있다.

이 단계에서 가장 큰 문제를 일으킨 설비는 HCl로 유동환원로에서 환원된 Fine DRI를 용융로 작업이 용이하도록 덩어리를 만드는 과정인데 도입된 설비가 문제를 일으켰다. 처음 프랑스 HCl설비가 고열을 견디지 못해 가동 초기에 핵심부분인 Roll이 부서지는 고장이 생기기 시작하여 수없이 설비를 분해하고 조립하고 조정 작업을 하였으나 정상조업이 불가능하였다. 고가인 Roll의 가격보다 더 큰 문제는 제작에 3개월이 걸린다는 점이 큰 부담이 되었다. 문제가 계속 해결되지 않자 독일업체에 의뢰하였으나 역시 문제를 완전히 해결하지는 못하였다. 2003년 Demo Plant는 준공되었지만 HCl설비가 계속 문제를 일으켜 전체 프로세스의 병목현상이 발생하고 되고 급기야는 전체 FINEX 개발의 성패를 좌우하는 현안이 되었다. 회사는 전문기술진을 총동원하여 HCl설비개발에 전력을 기울여 6개월 만에 회사가 필요로 하는 HCl설비를 자체 개발하였다.

성형탄설비는 분탄을 덩어리로 만드는 부분으로 1998년부터 개발하였으나 많은 실패 후에 2000년 말 잘 부서지지 않도록 하는 첨가물(Binder)을 개발하였다. 그러나 대량 생산을 위해 많은 양을 배합하는 Scale-up 과정에서 또다시 문제가 발생하였으나 반복실험으로 2003년 4

월에 문제를 해결하였다. Demo Plant로 용융환원기술을 검증하고 연산 60만톤 조업정상화를 달성하였으며 이 설비로 다양한 테스트를 하였다. 가동 1년 반 만에(2004년 11월) FINEX 용융로에 미분탄 취입을 개시하였고, 조업을 안정시켜 2007년 초에는 유동로 연속조업 200일을 달성하였다.

상용화단계에서는 연산 150만톤 FINEX 상용화 설비를 2004년 8월 17일 착공하여 2007년 4월 FINEX 상용화 설비에 첫 번째 화입으로 용융로를 시험 가동하여 첫 출선을 하였으며 차례로 유동로와 HCI설비를 가동하여 준비한 후 2007년 5월 30일 세계 최초로 FINEX 상용화 설비를 33개월 만에 준공하였다. FINEX 상용화 가능성이 커지면서 산업자원부는 FINEX를 2004년 10대 신기술 중 하나로 선정하였다.

IV. 논 의

본 논의는 이론적 배경에서 검토한 기술발전단계론과 관련하여 사례를 통해 확인한 새로운 사실과 세 가지 연구문제에 대한 검토를 다룬다.

기술발전단계이론에서 기술창출단계에 대한 구체적 특성은 Lee et al.(1988)의 Global Perspective Model에서 14개의 세부특성으로 상세하게 기술되어있다.⁵⁾ 본 사례를 접목시키면 8개 항목은 일치하며, 5개 항목은 부분적으로 일치하거나 일치하지 않으며, 한 항목은 특성상 비교가 불가능한 항목이다.⁶⁾ 이는 기존 이론이 기술창출단계에 도전하는 개발도상국의 특성을 적절하게 설명한다고 보기 어렵다. 따라서 세부구분이 없었던 기술창출단계도 기술도입단계(초기기술도입단계와 후기기술도입단계)와 기술내재화단계(초기기술도입단계와 후기기술도입단계)와 동일하게 초기기술창출단계와 후기기술창출단계로 구분하여 새롭게 기술창출단계에 도전하는 개발도상국기업의 기술창출활동을 초기기술창출단계로 구분하는 것이 이론의 설명력을 높일 것으로 기대된다.

다음은 기술추격에서 기술선도로의 전환을 가능하게 하는 기회의 창에 대해 본 논문은 기술창출단계 기술혁신을 진행 중인 선발자와의 보완적 기술협력을 제시하고 있다. 그러나 일부

5) 기술창출단계의 14가지 특성은 주요활동(완전히 새로운 기술개발), 기술수준(유동기 도래기술), 기술획득경로(내부 R&D), 획득기술(R&D/혁신역량), 기술의 주요원천(내부), 내부의존도(매우 높음), 설계기술수준(높은 수준), 집중분야(R&D), 국가발전단계(선진국), 핵심기술개발인력(연구원, 과학자, 엔지니어), 최고경영자역할(지원), 프로세스 효율성(매우 효율적), 시장주도(혁신적 구매자), 경쟁정도(높음)이다.

6) 부분적으로라도 일치하지 않는 5개 항목은 기술획득경로(선발기술협력자와 내부 R&D), 기술의 주요원천(외부와 내부), 내부의존도(외부도 의존함으로 중간 정도), 국가발전단계(개발도상국과 선진국), 최고경영자역할(아이디어 제안, 실행결정, 지원)이다. 시장주도 항목은 본 사례로 검토가 곤란한 항목이다.

개발도상국기업은 선진국기업의 기술창출단계 혁신에 파트너로 참여하지만 원천기술개발에는 참여하지 못하는 경우 개발도상국기업이 기술창출단계 혁신을 수행하였다고 보기 어렵다. 일반적으로 10년 이상 기간이 걸린 프로세스산업의 기술창출단계 기술혁신은 제품혁신보다 기술협력기간 동안 협력관계의 변화가 뚜렷하다. 본 사례에서 처음 원천기술을 협력파트너로부터 전수받았지만 빠른 기술학습을 통해 기술추격을 하였으며, 기존 두 가지 원천기술 중 한 가지를 처음부터 새로 개발하는 기술적 위험이 높은 도전으로 협력파트너의 원천기술에 의존하지 않고 기술선도혁신을 전개하였다. 따라서 개발도상국 기업은 보완적 자산으로 원천기술을 확보할 수 있는 기술협력 기회의 창을 포착하고, 위험을 감수하고 원천기술개발까지 참여하여야 기술선도자가 될 수 있다.

기술내재화단계 기술혁신 이외에 새롭게 기술창출단계 기술혁신을 시도하려는 개발도상국 기업에게 본 사례가 어떤 시사점을 줄 수 있는가의 관점에서 다음과 같이 세 가지 이슈를 다루고자 한다. 첫째, 기술내재화단계의 혁신과 기술창출단계의 혁신의 차이와 기업 내에서 운영체계 상의 차이점을 다룬다. 둘째, 기술창출단계 혁신을 시작하려는 개발도상국기업이 공통적으로 직면하는 문제인 부족한 자체기술역량을 극복하면서 원천기술을 개발하는 방안을 모색한다. 셋째, 대부분 개발도상국기업은 기술창출단계 기술혁신을 늦게 시작하지만 그럼에도 불구하고 먼저 시작한 선진국 기업보다 앞서 기술리더가 되는 방법을 파악한다.

1. 개발도상국기업의 초기 기술창출단계 혁신을 위한 준비

개발도상국기업이 기술창출단계 혁신을 시작하기 위해서는 선진국기업보다는 비슷한 여건을 가진 개발도상국기업의 경험이 더욱 유효할 수 있다. POSCO에서 많이 수행하는 기술내재화단계 혁신과 처음 시작하는 기술창출단계 혁신인 FINEX 프로젝트의 운영에는 상당한 차이점이 있었다.

기술추격, Catch-up 혁신으로 알려진 기술내재화단계 혁신은 기존 주도적 디자인 하에서 현재 제품이나 프로세스의 성능을 향상시키는데 비해 기술선도, 기술리더십 혁신으로 알려진 기술창출단계 혁신은 기존 주도적 디자인에 도전하면서 새로운 제품이나 프로세스를 개발한다. 기술내재화단계의 혁신은 개발도상국기업도 상당 수준에 도달한 분야이기 때문에 기술창출단계 혁신에 비해 상당히 낮은 수준의 기술적 경제적 위험을 감수한다. 기술내재화단계의 혁신은 R&D 차원에서는 원천기술을 직접 개발하는 것보다는 원천기술을 응용하여 성능과 효율을 향상시키는 차원의 개선연구가 중심인 반면 기술창출단계의 혁신은 원천기술을 직접 개

발하거나 원천기술과 연계된 보완기술을 개발하여야 하기에 기술내재화단계보다는 연구중심이며 연구개발의 진입시점으로 보면 기술내재화단계보다 앞선 시점에 R&D를 시작하게 된다.

기술내재화단계 혁신은 회사 내에서는 주로 R&D 프로젝트형태로 다수의 기술개발 프로젝트가 진행되고 있으며 이러한 프로젝트 관리는 일상적인 R&D 운영관리시스템에서 관리한다. 반면에 기술창출단계의 혁신인 FINEX는 준공시점에 연구개발비 5천억원 이상, 설비투자비 1조원 이상, 15년 이상의 개발기간이 소요된 대형 프로젝트였다. 계획대로 기술개발이 될 것인지 개발된 설비가 용광로 대비 확실한 우위를 보일지 결과가 실현되기 전까지는 불확실성이 높은 투자였으며 프로젝트성패의 영향이 POSCO에 주는 영향이 지대하여 FINEX 프로젝트 지원을 위해 전사적 운영체계를 갖추었다.

POSCO는 최초의 대형 기술혁신인 FINEX 프로젝트의 성공을 위해 최고경영진은 프로젝트 시작결정을 내리고 지속적으로 지대한 관심을 기울이고 프로젝트가 상용화단계에 진입하자 이례적으로 프로젝트책임임원을 임명하였다. 임명된 프로젝트책임임원은 프로젝트 기간 중 사장승진에도 불구하고 프로젝트임원역할을 위임하지 않고 계속 수행하여 프로젝트의 연속성을 유지하였다. 프로젝트에 필요한 우수인력의 최우선 배치와 프로젝트의 효율을 높이기 위한 통합조직의 운영 등 전사차원의 전폭적 지원이 운영측면에서 기술창출단계의 FINEX 프로젝트와 기존 R&D 프로젝트와 분명하게 대비되는 특징이었다(표 5).

〈표 5〉 철강산업 Catch-up 혁신(용광로개선)과 리더십 혁신(FINEX 개발) 비교

구분		Catch-up 혁신(기술추격)	리더십 혁신(기술선도)
기회	배경	주도적 디자인인 용광로 프로세스 안에서의 고도화	기존 주도적 디자인인 용광로 프로세스에 도전
	목표	- 미분탄취입률 향상 - 용광로 장수명화 등	FINEX 프로세스 개발
특성	지향점	비용 절감, 성능 향상	획기적 성과 창출
	시간	1-5년(대부분 1년 단위)	장기(15년 이상)
	위험 감수	저(투자, 위험, 수익)	고(투자, 위험, 수익)
	기술발전단계	기술내재화단계	기술창출단계
전략	R&D 중점	개발 중심	연구 중심
	R&D 대상	요소기술개발	원천기술개발
운영체계	대응차원	일부 관련조직	전사적 대처
	경영층참여	거의 없음	최고경영층 관심사
	프로젝트임원	없음	상용화단계에 임명
	인력	관련 연구원, 엔지니어	전사 최고 인력
	조직	기능별 세분화	다기능 통합조직

새롭게 기술창출단계 기술혁신에 도전하는 개발도상국기업에게 본 사례는 기술내재화단계 혁신과는 달리 매우 복잡한 기술개발 프로젝트에 대응하기 위하여 전사적 대응체계가 필요하다는 점을 제시한다(Söderlund, 2002). 최고경영진의 시작결정과 지속적인 지원, 연구단체에서는 연구진에게 자율권을 주며 후방에서 기술역량이 확보되기를 기다리면서 지원하다가 상용화단계에서는 프로젝트책임임을 보임하여 실행력을 강화시키는 운영방안, 핵심인력의 집중배치, 연구-개발-엔지니어링-조업을 모두 포함하는 통합조직운영 등 기술창출단계 혁신을 전사차원의 프로젝트로 운영하는 방법에 대한 시사점을 제공한다.

2. 개발도상국기업의 원천기술확보방안

선진국기업은 과학적 원리를 규명하는 기초연구에서부터 시작하여 원천기술연구와 상용화 개발까지 장기간에 걸쳐 기술개발을 수행한다. 전략적 다양성 측면에서 개발도상국기업이 채택 가능한 전략은 기초연구부터 독자적으로 개발하는 독자전략이나 선진기업과 협력하는 협력전략이 있다. 과학적 기반과 기술개발역량이 상대적으로 열세인 개발도상기업의 입장에서(서규원과 이창양, 2004) 선진국의 기술개발과정을 그대로 따르는 것은 많은 시간이 필요하여 현실적으로 독자전략의 채택은 쉽지 않다. 물론 예외적으로 국방연구나 선진국도 새롭게 시작하는 일부부문에서는 개발도상국기업도 독자전략채택이 있기는 하지만 일반적으로는 개발도상국기업은 기술창출단계 기술혁신의 경험이 부족한 초기에는 시간을 단축하는 혁신이 필요하다. POSCO도 부족한 원천기술을 보완적 기술협력으로 확보하였다.

철강산업에서 이루어지는 기술창출전략의 특이성은 산업특성에 기인한다. Pavitt(1984)이 여러 산업의 특성을 연구하면서 철강산업의 기술원천을 공급자와 철강사라고 하였는데 여기에서 공급자는 철강설비를 공급하는 엔지니어링사가 이에 해당한다. 철강산업시장은 일반재시장과 고급재시장으로 구분되어있다(임채성, 2001). 철강사가 엔지니어링사로부터 일반재를 생산할 수 있는 설비는 쉽게 공급받을 수 있지만 고급재를 생산할 수 있는 설비나 기술은 쉽게 공급받을 수 없다. 그리고 철강사는 일반적으로 기술판매보다는 기술활용에 주력하기에 철강사가 필요로 하는 기술을 엔지니어링사로부터 확보할 수 없다면 철강사는 스스로 새로운 기술에 도전할 수도 있다. 그러나 철강산업에서 새로운 프로세스기술개발은 기술역량뿐만 아니라 대규모 기술개발투자비, 장시간의 기술개발기간, 높은 기술개발실패위험 등으로 대형철강사들도 쉽게 기술창출단계 혁신에 착수하지 못한다. 따라서 기술경쟁력에서 앞서기 위하여 기술창출단계 혁신을 시도한 POSCO의 전략은 철강산업의 특성을 고려해보면 상당히 도전적인

선택으로 보여 진다.

POSCO와 VAI가 기술협력을 시작한 1990년대 초반 상황은 POSCO는 포항제철소를 1983년에 완공하였고, 광양제철소를 1992년에 완공하여 양적 성장을 일단락하고 질적 성장으로 선회하면서 획기적 기술혁신인 신제선프로세스를 개발대상으로 선정하였으나 원천기술을 처음부터 연구개발하기에는 너무 시간이 많이 걸리기에 빠른 성과를 위해 협력파트너를 원하였다. 그러나 당시 신제선 프로세스는 개별 철강사보다는 국가차원으로 협회나 정부기관이 주관하여 개발하였기에 협력대상이 되는 철강사를 찾지 못하였다.

철강사에 설비를 제공하는 엔지니어링사 중 유일하게 VAI가 용융환원법을 채택한 COREX 상용화 설비기술을 보유하고 있었다. 당시 경쟁력 있는 대형용광로가 연간 300만톤 생산규모인데 반하여 VAI의 용융환원 COREX 설비는 연간 30만톤 생산규모로 대형용광로의 10분의 1 규모였다. 프로세스산업에서는 규모의 경제효과가 크기에 당시 VAI 설비는 용광로와 경쟁을 할 수 있는 상황이 아니었다. VAI는 설비를 대형화하기 위하여 많은 투자가 필요하지만 자체 투자여력이 부족하고 당시에는 가능성은 크지만 용광로에 비해 경쟁력이 취약한 COREX 판매도 어려운 상황이었다⁷⁾. POSCO 입장에서 VAI가 유일하게 완성되지는 않았지만 개발 중인 원천기술을 제공받을 수 있는 업체였으며, VAI 입장에서 POSCO가 미래성장가능성이 높은 COREX에 관심을 가진 유일한 대형 철강사였다. 따라서 VAI와 POSCO는 보완적 협력을 시작하였고 POSCO는 VAI COREX 설비를 두 번째로 도입하였다.

이러한 배경을 가지고 시작된 기술협력은 단계를 거치며 발전하였다. 초기에 용융환원기술을 VAI로부터 전수받은 POSCO는 용융환원기술에 대한 이해를 COREX 설비를 직접 운영하면서 고도화하였다. 그리고 COREX 설비를 운영하면서 COREX 기술의 장단점을 파악하고 단점을 개선하기보다는 처음부터 새로운 방법으로 개발하자고 VAI에 제안하였다. 용융환원기술인 COREX는 용융로와 환원로로 구성되는데 POSCO의 제안은 환원로를 처음부터 다시 개발하지는 제안이었고 VAI의 동의하에 POSCO가 독자 개발하였다. POSCO의 환원로개발이 가시적 성과를 보이며 상용화 가능성이 커지면서 대등한 기술협력관계로 발전하였으며 더 나아가 사업협력으로 관계가 진화하였다(Tidd et al., 2005, p. 329.). FINEX 개발에서 POSCO는 유동환원로개발, 용융로와 환원로 조업기술 그리고 HCl, 성형탄 등 용융로와 환원로의 연결 기술을 담당하고, VAI는 용융로와 Basic Engineering을 담당하여 서로의 장점을 살리고 부족한 부분을 보충하는 형태의 협력으로 연산 150만톤 FINEX 상용화를 완성하였다.

7) 철강사들은 프로세스 기술도입에 매우 신중하다. 신제선 프로세스가 대체하려고 하는 용광로 프로세스는 100년 이상 주도적 디자인으로 사용되어 왔으며, 개별 용광로의 수명은 30년 이상이며, 막대한 자본투자가 필요하고, 이 설비의 성능이 전체 공정에 지대한 영향을 주기에 철강사는 생산현장에서 충분히 입증되지 않은 새로운 프로세스를 쉽게 선택하려하지 않는다.

원천기술이 부족한 개발도상국기업의 기술창출단계 기술혁신방법의 일반화에는 별도의 추가연구가 필요하겠지만(Malerba and Orsenigo, 1997; Pavitt, 1984) 국내에서도 이미 CDMA 개발, 연료전지개발, 자동차엔진개발 등에서는 국내기업과 선진기업간의 보완적 기술협력이 이루어졌다.

선진국기업이라도 기술창출단계 혁신을 독자적으로 수행하기에 어려운 기업이 있으며 개발도상국기업이 선진국기업의 부족한 점을 보완해줄 수 있으며 그에 대한 반대급부로 개발도상국기업은 원천기술개발에 참여할 수 있다는 점이다. 그리고 선진국기업과의 보완적 기술협력 기간동안 개발도상국기업이 적극적으로 기회를 활용할 경우 기술역량을 도약시켜 기술개발 측면에서 선진국과의 관계를 대등한 관계로 만들 수 있다는 점이다. 단 선진기업이 필요로 하는 보완적 자산을 이미 확보하고 있는 개발도상국기업만이 기회를 잡을 수 있으며, 공동연구개발에는 많은 위험요인이 내포되어 있어 성공을 위해서는 많은 사전 조사와 준비가 필요하다(전재욱과 문형구, 2003).

3. 개발도상국기업의 후발자에서(Latecomer) 기술리더로의 전환

개발도상국기업이 최초로 기술창출단계 혁신을 시작하는 경우 일반적으로 기술역량이 뛰어난 선진국보다 뒤늦게 기술개발에 착수하게 되는데, 그럼에도 불구하고 개발도상국기업은 기술창출단계 혁신을 선진국기업보다 빠르게 성공시켜 기술리더가 되고자한다.⁸⁾

철강산업에서 용광로 프로세스를 대체할 신제선 프로세스는 von Hippel(1978)에 따르면 '알고 있지만 충족되지 않는 니즈'로 철강사가 원하지만 기술적인 어려움 때문에 개발을 완성하지 못하고 있는 기술이다. 철강사는 서로 경쟁자에 앞서 개발하려고 하는 경쟁을 벌이는 상황이어서 이 신제선 프로세스를 먼저 상용화시키는 기업이 기술리더가 되는 상황이었다.

신제선 기술개발에 뒤늦게 뛰어든 기술리더가 아니었던 POSCO가 일관제철소의 상징적인 용광로 기술을 대체할 수 있는 대형기술인 FINEX를 주도적으로 개발하여 다른 신제선기술들보다 빠른 Scale-up으로 상용화에 성공하여 기술리더가 되었다. 산업혁신성패요인을 중심으

8) 선발자우위에 대한 대표적 연구는 Lieberman and Montgomery(1988)가 진입시차에 따른 선발자우위와 후발자우위를 밝혔다. 선발자우위는 기술의 리더십, 관련자원의 선점, 소비자의 전환비용이 그리고 후발자우위는 무임승차효과, 불확실성의 감소, 기술/소비자의 변화가 대표적이라고 하였다. 그들은 선발자우위가 발생하는 다양한 시점에 대해 시장진입시점, 기술개발시점 등이 있다고 하였다. 일반적으로 소비재의 경우 시장진입을 선발자우위가 발생하는 시점으로 볼 수 있지만 프로세스기술혁신과 같이 10년 이상의 장시간이 필요한 경우는 기술개발 시점이 선발자우위의 발생시점이라고 볼 수 있을 것이다. 그리고 선발자우위와 후발자우위는 상황에 따라 상이한 결과의 연구가 많지만 대체적으로 선발자우위가 크다고 알려져 있다.

로(Rothwell, 1977, 1992; Rothwell et al., 1974; von Hippel, 1978; Freeman and Soete, 1997, pp. 197-226.; Chandler, 1990; Shenhar et al., 2002) 기술개발 가속화의 주요성공요인을 파악하면 최고경영층의 적극적 역할, 과감한 투자를 통한 기술역량 확보, 과감한 일정계획으로 내적위기 조성, 기술원천 확보, 투자역량 보유, 전사역량을 집결한 통합 Task Force팀 운영 등이다.

FINEX 기술개발은 필요한 기술을 주로 기술도입으로 확보하였던 기존의 기술수준으로는 세계적인 회사가 될 수 없다는 경영진의 생각에서 새로운 혁신기술개발이 시작되었다. 혁신기술개발은 기술도입이나 도입된 기술의 개량과는 달리 장기적으로 지나치게 큰 불확실성이 존재하여 사내에 회의론이 팽배한 적이 많았지만 그때마다 회의론을 극복하고 기술진이 새롭게 도전할 수 있도록 배려한 경영진의 지원이 FINEX 기술개발을 빠르게 성공한 힘이 되었다. FINEX 프로젝트는 1995년에는 COREX 환원로 문제로, 1998년 국내경제가 외환위기로 어려움을 겪을 때 800여억원의 개발비가 이미 투입되었고 연구소 실험결과를 현장에 적용하기 위한 연구비로 1,000억원이 필요하고 상용화단계까지는 더욱더 많은 투자가 필요하다는 점에서 경영부담문제로, 2003년 HCI설비문제 등으로 몇 차례 위기론에 직면하였다. 이에 대해 경영진은 그때마다 문제 상황이 지속되도록 방치하지 않고 회사의 역량과 자원을 즉각적으로 투입하는 결정으로 빠른 문제해결과 상용화를 적극 지원하였다.

신제선기술을 개발하는 과정에서 POSCO는 탐색적 연구와 VAI와의 공동연구를 통해 기술기반을 조기에 확보하였고, 신제선기술인 용융환원프로세스를 채용한 COREX 설비에 과감하게 투자하여 용융환원 초기 상용화기술을 습득하고 특징과 장단점을 파악하여 새로운 프로세스에 대한 아이디어를 확보할 수 있었다. FINEX는 상용화된 COREX 프로세스의 단점을 획기적으로 해결하여 분광, 분탄으로 높은 품질의 용선을 얻을 수 있는 새로운 용융환원 프로세스 기술로 경제성을 더욱 강화하여 상용화 가능성에 중점을 둔 기술이지만 과감한 COREX 투자 없이는 FINEX 기술의 개념이 정립되기 힘들었을 것이다.

세계 두 번째 60만톤 COREX 설비의 1년 내 조업안정화, Pilot Plant의 20배 규모의 연산 60만톤 Demo Plant 투자와 1년 내 조업안정화, Demo Plant 준공 뒤 4년 만에 2.5배 확대한 150만톤 상용화 설비준공 등 달성하기 어려운 Scale-up 목표를 설정하고 과감하게 투자를 결정함으로써 프로젝트 참여자들에게 극도의 내적 위기를 조성하여 관련 인력의 노력을 최대한 이끌어 내었다(Kim, 1998; 송위진, 1999). 2003년 5월 60만톤의 Demo Plant를 준공하고 2004년 8월 1조원이 넘는 150만톤의 상용화 공장 착공하는 등 과감한 일정계획으로 FINEX Demo Plant 준공에서부터 4년 만에 FINEX 상용화공장을 준공하였다.

POSCO는 기술도입단계와 기술내재화단계를 통해 기술역량을 향상시켰고 1977년 기술연

구소, 1986년 포항공대, 1987년 RIST를 설립하여 제철소-포항공대-RIST·기술연구소 등으로 POSCO 산학연시스템을 구축하여 FINEX에 필요한 원천기술의 상당부분을 자체 개발할 수 있었던 성숙한 내부기술역량을 보유하였기에 기술개발기간을 단축할 수 있었다.

15년간 5,000억원 이상의 기술개발비, Demo Plant와 1조6백억원이 투자된 상용화공장 등 대형혁신기술개발에는 장기적으로 막대한 금액이 투자된다. 투자액이 크고 결과의 불확실성이 커서 기술력이 뛰어난 선진제철소도 대형혁신기술개발에 과감하게 투자하기 쉽지 않은 상황임에도 불구하고 1973년 생산 개시 후 항상 흑자경영을 해온 POSCO는 기술개발과 관련해서 과감한 투자를 실행할 수 있는 내적 자원이 풍부하여 즉각적으로 투자가 가능하였다. 경쟁사의 HIsmelt 프로젝트의 경우 투자컨소시엄을 구성하여 투자자금을 확보하는 방식이어서 새로운 Scale-up을 위한 준비기간이 많이 소요되었다.

마지막으로 기술개발 초기인 1992년 상용화를 위한 ‘뉴 프로젝트 추진본부-신제선기술팀’에 현장인력, 연구인력, 건설인력 등 전문가 40명의 조직을 구성하였다. 상용화주체는 제철소에서 담당하고 필요한 기술적인 부분을 연구소에서 담당하는 체제를 구축하였으며, 본격적인 투자가 된 Demo Plant, Commercial Plant는 FINEX 추진반이 담당하였다. 일반적으로 POSCO 현장조직은 안정된 조업으로 인하여 공장에서 소수의 기술인력만 있으며 조업과 정비는 다른 조직으로 구성되어 있으나, 추진반은 예외적으로 우수한 기술개발, 조업, 정비, 엔지니어링, 건설전문인력이 모두 모여 있는 400명 규모의 대형통합조직으로 집중적이고 신속한 업무가 가능하여 과감한 목표를 달성할 수 있었다.

기술개발 가속화를 위해 고비마다 최고경영층의 지원, 개발시간을 단축하기위한 과감한 투자, 과감한 목표로 내적위기 조성, 직접 설립하여 구축한 산학연협력체계, 풍부한 내부유보자금을 기반으로 한 투자역량, 변화하는 환경에 적절하게 대응할 수 있도록 대규모 Cross Functional Team 운영 등이 개발도상국기업의 기술창출단계 혁신 프로젝트의 가속화에 참조가 될 것으로 생각된다(김진한과 김성홍, 2006; 김인수와 권행민, 1985).

V. 결 론

기술내재화단계 혁신과 기술창출단계 혁신을 순수한 기술추격과 기술창출로 보는 이분법적 시각은 현실과는 상당한 괴리가 있다. 기술추격전략 내에서도 경로창출형 기술추격 같은 경우는 제한된 범위가기는 하지만 기술도약요소가 포함되어 있으며, 개발도상국이 특히 처음으로 기술창출단계 혁신에 도전할 때에도 상당한 기술추격요소가 포함되어 있기 때문이다. 그러나

기술내재화단계 고도화의 연장선상에 기술창출단계가 있기보다는 기술내재화단계에서 기술역량을 확보한 기업 중 일부 기업만이 기술창출단계 혁신에 도전하는 불연속적인 측면이 있다.

POSCO는 외부에서 도입된 용광로기술을 지속적으로 개선하여 용광로조업기술에서 세계수준이 되었다(예: POSCO는 원가절감을 위한 미분탄활용율에서 세계수준인데 미분탄은 가격은 저렴하지만 조업에 부하를 주어 조업부하를 극복하는 기술이 필요함). 즉 용광로기술에 대한 기술내재화단계를 다른 철강사보다 더욱 고도화하였지만 이는 용광로기술이라는 주도적 디자인 안에서 성능을 연속적으로 개선한 것으로 이러한 성능의 고도화가 새로운 주도적 디자인을 창출하지는 않는다. 반면에 POSCO는 용광로기술의 한계를 극복할 가능성은 크지만 실패위험도 높은 신제선기술개발에 착수하여 새로운 주도적 디자인에 도전하였는데 이는 기존에 제선분야의 용광로기술의 연속적 개선과는 기술궤적이 다른 새로운 기술개발이라는 측면에서 용광로기술과 FINEX기술은 각기 다른 기술 S곡선이며 FINEX기술은 새로 등장한 불연속적인 제선기술이다.

한편 불연속기술에도 정도의 차이가 있다. 불연속정도가 아주 높은 기술은 기존 기술을 아는 것이 새로운 기술개발에 장애가 되어 기술 망각(Unlearning)이 필요하다.⁹⁾ FINEX 기술은 기존 용광로기술전문가가 많은 기여를 하여 기술 불연속의 정도가 기존 기술의 망각까지 필요한 아주 높은 수준은 아니었다. 따라서 용광로기술의 전문가를 많이 보유한 POSCO는 기존 전문인력을 FINEX기술개발로 전환에 큰 어려움을 겪지 않았으며, 용광로기술내재화단계에서 확보한 기술역량과 기업역량이 FINEX기술창출단계 혁신을 수행하는데 도움이 되었다.

철강산업에서 새로운 프로세스기술혁신은 많은 시간, 대규모 투자가 필요하고 기술적 위험도 커서 대형회사라도 시작하기 어렵다. 즉 용광로기술의 개선과 같은 짧은 시간, 소규모 투자와 기술적 난이도가 상대적으로 높지 않고 기술개발의 효과가 잘 알려진 기술내재화단계의 혁신은 대부분 회사가 지속적으로 수행하지만, FINEX와 같은 기술창출단계 기술혁신은 장기간, 대형투자자와 높은 위험이 수반되어 최고경영층의 결단이 필요하기에 대형철강사 중에도 시도하는 회사와 시도하지 않는 회사가 있다. 철강사업장에서는 기술개발선택측면에서 기술내재화단계 혁신의 실행은 관리자의 정기적 결정이지만 기술창출단계 혁신은 최고경영층의 비정기적인 결단이 필요하기에 불연속적인 속성이 있다.

산업계에서 활용되는 원천기술의 뿌리는 기초기술이며 이를 처음부터 개발하여 산업화할 수 있는 역량은 주로 선진국에 있지만 개발도상국도 기술창출단계 원천기술에 도전하여 상업적으로 성공을 거둘 수 있는 기회가 있다. 이동통신의 기반기술은 AT&T에서 1940년대 개발

9) 예를 들면 객체 중심 프로그래밍은 기존 프로그래밍 전문가보다 새롭게 배우는 사람의 학습속도가 높다. 이와 같이 불연속적인 정도가 높은 기술 망각이 필요한 기술을 개발하는 경우 기존의 기술팀은 독립된 조직을 만들어 운영하는 것이 효과적인데, 대형컴퓨터 중심의 IBM이 새롭게 PC개발을 할 때 기존의 조직과 단절된 개발팀을 활용하였다.

되었지만 이동통신 기반기술을 응용한 CDMA 원천기술은 1980년대 Qualcomm이 개발하고 이러한 원천기술을 기반으로 하는 상용화단계에 국내연구기관과 기업이 참여하여 개발자로서의 한 축을 담당하고 일부 개발성과를 공유한 바가 있다.

개발도상국의 선도 기업이 처음 기술창출단계에 도전하는 경우 원천기술이 부족하여 선진국의 원천기술을 개발한 기업과 보완적 기술협력을 하는 형태는 개발의 부담을 나누는 대신 성과도 나누게 된다. 따라서 기술창출단계의 기술혁신에 도전하는 개발도상국의 기업은 자신들의 기술역량을 판단하여 단독으로 개발할 것인지 협력을 할 것인지를 결정하여야 할 것이다. FINEX 기술혁신은 원천기술역량은 부족하지만 보완적 역량이 충분히 확보된 개발도상국 기업이 보완적 기술협력을 통해 빠른 기술역량 향상으로 기술창출단계 기술혁신에 성공하고 기술리더가 될 수 있음을 보여주는 사례이다.

참고문헌

- 길영준 (2002), “기술학습관점에서 본 기술개발 내재화 메커니즘에 관한 사례연구”, KAIST 박사논문.
- 김윤지 (2006), “기계산업에서의 중진국 함정과 기술추격: 한국 기계산업의 사례”, 「기술혁신연구」, 14(1): 147-175.
- 김인수, 권행민 (1985), “기술혁신적 기업과 비혁신적 기업의 비교연구”, 「경영학연구」, 14(2): 1-25.
- 김진한, 김성홍 (2006), “기술전략 실행역량 평가 모델과 적용”, 「경영과학」, 23(2): 109-135.
- 나형용 (1997), “산업구조 고도화를 위한 소재산업 경쟁력 강화전략: 철강산업을 중심으로”, 「구조」, 17(2): 107-117.
- 류중익, 홍형득 (2003), “국가연구개발사업을 통한 기술추격과정(Technology Catching-Up)에서의 성공요인에 관한 사례연구 - CDMA 기술개발사업을 중심으로”, 「한국행정논집」, 15(3): 687-708.
- 배종태 (1987), “개발도상국의 기술내재화과정 : 기술선택요인 및 학습성과 분석”, KAIST 박사논문.
- 서규원, 이창양 (2004), “한국 기업의 기술혁신 애로요인과 그 중요도 분석”, 「기술혁신연구」, 12(1): 115-134.
- 송성수 (2002), “기술능력 발전의 시기별 특성: 포항제철 사례연구”, 「기술혁신연구」, 10(1)

- : 174-200.
- 송위진, 이근, 임채성 (2004), “디지털 전환기의 후발국 기술추격 패턴 분석: 디지털 TV 사례”, 「기술혁신연구」, 12(3): 205-227.
- 송위진 (1999), “기술혁신에서의 위기의 역할과 과정: CDMA기술개발 사례연구”, 「기술혁신연구」, 7(1): 78-97.
- 이공래 (2000), “기술혁신이론 개관”, 과학기술정책연구원 (STEPI).
- 이동현 (2005), “글로벌 철강 산업에서 후발 기업의 전략에 관한 연구”, 「국제지역연구」, 9(2): 346-370.
- 이재근, 김한주 (2003), “경험 있는 기술추격국의 기술역량 축적과정: 한국의 이동통신산업”, 「기술혁신연구」, 11(1): 215-236.
- 이진주 (1978), “기업에 있어서 기술혁신의 동태적 모형”, 「한국 OR 학회지」, 3(1): 57-67.
- 임채성 (2006), “왜 기술추격은 어려운가? - 한국 기계제어컴퓨터 사례”, 「Journal of Business Research」, 21(4): 61-96.
- 임채성 (2001), “기술축적과정에서의 사용자-생산자 관계: 우리나라 기계제어컴퓨터 사례”, 「기술혁신연구」, 9(1): 149-165.
- 전재욱, 문형구 (2003), “기업간 공동연구개발의 성공과 위험요인: 기존 연구의 분석 및 모형의 제안”, 「기술혁신연구」, 11(2): 91-121.
- 정기대 (2009), “기술발전단계와 혁신성패 측면에서 본 프로세스혁신연구”, KAIST 박사논문.
- Barnett, B.D and Clark, K.B. (1996), “Technological Newness: An Empirical Study in the Process Industries”, *Journal of Engineering and Technology Management*, 13: 263-282.
- Chandler, A.D (1990), “The Enduring Logic of Industrial Success”, *Harvard Business Review*, March-April: 130-140.
- Choung, Jae-Yong, Hwang, Hye-ran, Choi, Jin-ho and Rim, Myung-hwan (2000), “Transition of Latecomer Firms from Technology Users to Technology Generators: Korean Semiconductor Firms”, *World Development*, 28(5): 969-982.
- Chung, Kidae and Bae, Zong-Tae (2009), “Latecomers’ Transition Strategy to Technology Leaders: Evidence from Innovations in Korea”, AOM Annual Meeting Submission.
- Chung, Kidae, Tidd, J. and Twigg, D. (2008), “Evolution of Technology Management Approaches in Industrial Process Innovation: Exploring the Initiation Decisions and the Developments During the Stages of a New Iron Making Process”, *R&D*

- Management*, Submission.
- Chung, Kidae, Tidd, J. and Twigg, D. (2009), "Research Project Leadership in Large Scale Process Innovation", Working Paper.
- Chung KunMo and Lee, KongRae (1999), "Mid-entry Technology Strategy: The Korean Experience with CDMA", *R&D Management*, 29(4): 353-363.
- Dutrénit, G. (2000), "Learning and Knowledge Management in the Firm", *Edward Elgar*, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA.
- Dutrénit, G. (2004), "Building Technological Capabilities in Latecomer Firms: A Review Essay", *Science, Technology & Society*, 9(2): 209-241.
- Forbes, N. and Wield, D. (2000), "Managing R&D in Technology-followers", *Research Policy*, 29: 1095-1109.
- Freeman, C. and Soete, L. (1997), "The Economics of Industrial Innovation", 3rd Edition, London and New York: *Continuum*.
- Hobday, M. (1994), "Technological Learning in Singapore: A Test Case of Leapfrogging", *The Journal of Development Studies*, 30(3): 831-858.
- Hobday, M. (1995), "East Asian Latecomer Firms: Learning the Technology of Electronics", *World Development*, 23(7): 1171-1193.
- Hobday M., Rush, H. and Bessant, J. (2004), "Approaching the Innovation Frontier in Korea: The Transition Phase to Leadership", *Research Policy*, 33: 1433-1457.
- Kim, Linsu (1980), "Stages of Development of Industrial Technology in a LDC: A model", *Research Policy*, 9(3): 254-277.
- Kim, Linsu (1997), "Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning", *Harvard Business School Press*, Boston, MA.
- Kim, Linsu (1998), "Crisis Construction and Organizational Learning: Capability Building in Catching-up at Hyundai Motor", *Organization Science*, 9(4): 506-521.
- Lager, T. (2002), "A Structural Analysis of Process Development in Process Industry", *R&D Management*, 32(1): 87-95.
- Lager, T. and Hörte, S.Å. (2002), "Success Factors for Improvement and Innovation of Process Technology in Process Industry", *Integrated Manufacturing Systems*, 13(3): 158-164.
- Lee, Jinjoo, Bae, Zong-Tae and Choi, Dong-kyu (1988), "Technology Development

- Processes: A Model for a Developing Country with a Global Perspective”, *R&D Management*, 18(3): 235-250.
- Lee, Keun (2005), “Making a Technological Catch-up: Barriers and Opportunities”, *Asian Journal of Technology Innovation*, 13(2): 97-131.
- Lee, Keun and Lim, Chaisung (2001), “Technological Regimes, Catching-up and Leapfrogging: Finds from the Korean Industries”, *Research Policy*, 30: 459-483.
- Lieberman, M.B. and Montgomery, D.B. (1988), “First-mover Advantages”, *Strategic Management Journal*, 9 (Summer): 41-58.
- Malerba, F. and Orsenigo, L. (1997), “Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities”, *Industrial and Corporate Change*, 6(1): 83-117.
- Mansfield, E., Schwartz, M. and Wagner, S. (1981), “Imitation Costs and Patents: An Empirical Study”, *The Economic Journal*, 91(364): 907-918.
- Mathews, J.A. and Cho, Dong-Sung (1999), “Combinative Capabilities and Organizational Learning in Latecomer Firms: The Case of the Korean Semiconductor Industry”, *Journal of World Business*, 34(2): 139-156.
- Pavitt, K. (1984), “Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory”, *Research Policy*, 13: 343-373.
- Rosenberg, N. (1994), “Exploring the Black Box”, Cambridge: *Cambridge University Press*.
- Rothwell, R. (1977), “The Characteristics of Successful Innovators and Technically Progressive Firms”, *R&D Management*, 7(3): 191-206.
- Rothwell, R. (1992), “Successful Industrial Innovation: Critical Factors for 1990s”, *R&D Management*, 22(3): 221-239.
- Rothwell, R., Freeman, C., Horlsey, A., Jervis, V.T.P., Robertson, A.B. and Townsend, J. (1974), “SAPPHO Updated-Project SAPPHO Phase II”, *Research Policy*, 3, 258-291.
- Shenhar, A.J., Tishler, A., Dvir, D., Lipovetsky, S. and Lechler, T. (2002), “Refining the Search for Project Success Factors: A Multivariate, Typological Approach”, *R&D Management*, 32(2): 111-126.
- Söderlund, J. (2002), “Managing Complex Development Projects: Arenas, Knowledge Processes and Time”, *R&D Management*, 32(5): 419-430.
- Steinmueller, W.E. (2001), “ICTs and the Possibilities for Leapfrogging by Developing

- Countries”, *International Labour Review*, 140(2): 193-210.
- Tidd, J, Bessant, J. and Pavitt, K. (2005), “Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change”, 3rd Edition, Chichester, West Sussex: *John Wiley & Sons*.
- Utterback, J.M. (1994), “Mastering the Dynamics of Innovation”, *Harvard Business School Press*, MA.
- Utterback, J.M. and Abernathy, W.J. (1975), “A Dynamic Model of Process and Product Innovation”, *Omega: The International Journal of Management Science*, 3(6): 639-656.
- von Hippel, E. (1978), “Successful Industrial Products from Customer Ideas”, *Journal of Marketing*, 42(1): 39-49.

장기대

KAIST에서 경영공학 박사학위를 취득하였으며 현재 POSRI(포스코경영연구소) 수석연구위원으로 재직 중이다. 관심분야는 기술전략, R&D관리, 프로세스혁신, 대기업의 기술혁신, 기술의 사회적 영향 등이다.