

IT 바탕으로 한 '기술수렴'(Technological Convergence) 과 기술추격의 장애: 기계 제어 컴퓨터 사례

그리스도 신학대학교 경영정보학부 임 채성

(논문전공 분야: 기술경영, 기계, 산업용 컴퓨터)

<요약문>

This paper analyses characteristics of the numerical controller industry in market formation and the flow of information between users and producers and the characteristic of knowledge base of the industry and discusses the difficulties derived, from the characteristics, in accumulation of technological capability

In market formation between users and producers, the multi-layered market is not favorable to domestic producers in that lower end market is not large enough to provide cradle market to them which produce inferior quality and lower price than imported products. The credibility of the performance of a product is difficult to prove until a critical mass of products are sold. Therefore gaining market share is deterred by unproven credibility of the performance of the product. The flow of information between users and producers is limited. The flow of information on users environment through mass market to producers is essential for improving credibility of a product.

The nature of knowledge base is tacit and the means of knowledge transmission is limited. Technological licensing and reverse engineering, which have been conventional means of knowledge transmission, are not useful in the numerical controller industry.

These characteristics provide conditions of vicious circle in accumulation of technological capability of the numerical controller industry. It is conjectured that these characteristics are derived from the fact that the numerical controller is the result of IT based technological convergence in controlling machining process. This paper argues that these characteristics of the industry challenges existing approach to R&D management and framework of science and technology policy.

I. 서론

한국은 대기업을 중심으로 한 산업화에 성공하였다. 산업화 초기에는 저임을 바탕으로 수입된 원자재와 부품으로 규모의 경제형 완제품을 생산하였으므로 관련 산업이 취약함에도 경쟁력 있는 상품을 생산하는 것이 가능하였다. 이는 대기업을 중심으로 공정설비를 수입하고, 주요 원자재와 부품을 수입하여 생산하는 것으로 가능해졌다. 그러나 산업화가 진전됨에 따라 관련 산업이 조금씩 발전되게 되었고 임금의 상승은 부품 등 관련 산업의 발전이 없이는 완제품을 경쟁력 있는 가격에 생산하는 것이 불가능하게 하였다.

부품 산업의 발전 역시 대기업을 중심으로 1980,90년대에 걸쳐 규모의 경제형 부품을 중심으로 이루어졌다. 대표적인 경우가 자동차 엔진 등의 자동차 부품과 비디오 헤드 드럼, 반도체 D-Ram, 노트북용 TFT LCD 화면 등을 들 수 있겠다.

일반 기계산업의 경우도 예외가 아니어서 규모의 경제형 산업의 성격을 띤 기계 산업을 중심으로 발전되어 왔다. 그 대표적인 경우가 공작기계이다. 공작기계 산업의 경우 대기업을 중심으로 규모의 경제형 산업화 된 범용 공작기계를 중심으로 생산이 이루어졌다¹. 범용공작기계의 생산이 늘어남에 따라 범용 공작계의 주요 부품인 척, 스펀들, 베드 등의 국내 생산이 이루어졌다. 국내의 범용 공작기계는 1970년대부터 IT화가 진전되어 자동화 기계로 변신하게 되었다. 기계 제어 컴퓨터(numerical controller: 수치제어장치)는 범용공작기계의 핵심 부품이라고 할 수 있다. 기계 제어 컴퓨터는 IT 산업의 특징을 띄고 있어 규모의 경제형의 규모가 커 대기업에 적합한 산업이라고 할 수 있다. 우리나라는 대기업을 중심으로 1980년대부터 기계 제어 컴퓨터의 개발에 도전해 왔으나 성과가 미미한 실정에 있다.

이는 대기업 중심의 혁신 체제를 이루는 한국에 있어 의문점을 제기한다. '대기업에 적합한 IT 부품 산업임에도 한국에서의 기술능력 축적의 부진한 성과는 무엇 때문인가?' 라고 하는 문제이다.

본 문제에 답하는데 있어서는 기술의 특성, 한국기업의 전략, 기업의 기술능력, 국가혁신 체제, 국제적인 연계관계 등의 여러 요인을 검토하는 것이 필요할 것이다. 본 논문은 공작기계 제어 컴퓨터 산업의 특성으로 인해 기술축적에 불리한 여건이 조성되는 측면을 규명하고자 한다. 우선 공급측과 관련된 기술의 특성과 수요측과 관련된 시장의 특성을 살펴보고 이로 인해 야기되는 공작기계 제어 컴퓨터 기술능력을 축적하는데 있어서의 부정적인 조건이 무엇인지를 살펴보고자 한다.

좀더 기술하기에 앞서 공작기계와 공작기계 제어 컴퓨터에 대한 설명을 덧붙이기로 한다. 공작기계는 금속을 깎아내고 자르고 갈아내는 등의 공정을 수행하는 기계로써 다른 기계를 만들어내는 어머니 기계라는 별명이 붙어있는 기계이며 자동차 등의 자동 생산 공정의 핵심을 담당하는 기계이다. 공작기계는 여러 산업에 공통적으로 존재하는 기계의 철삭, 가공 공정을 처리하는 기계로서 1800년대에 분산화 된 동력원의 활용을 통한 기술 수렴(technological convergence)의 결과로 출현한 기계이다 (Rosenberg 1976, 16). 이 공작

1 대우중공업의 경우 1988년에 800대를 생산 일본을 제외한 다른 나라에서의 가장 큰 공작기계 제조기업의 생산 규모와 같다 [Jacobsson, 1993 #269]

기계제어 컴퓨터 (numerical controller: 수치제어장치)는 기계가공물의 공정, 형상, 치수를 장치에 입력하면 기계가 자동적으로 가공공정을 수행하도록 지시하고 감독하는 컴퓨터²이다. 이는 공작기계의 편리성, 정밀성, 신뢰성을 좌우하는 핵심부품이며 유연 생산체제 (FMS) 등을 구성하는데 있어 핵심 기술의 위치를 갖고 있다.

II. 문헌 연구 및 연구의 틀

본 논문의 기술특성은 기술변화와 관련된 광의의 기술의 특성을 의미한다. 기술의 특성은 단순히 산업 현장에서 쓰이는 way of doing things를 넘어서서 기술혁신의 동기를 부여하고 기회를 제공하는 특성, 기술혁신과정에서 혁신주체의 연계 형태를 나타내는 특성, 혁신 결과를 활용하는 과정과 관련된 특성, 생산과정에서의 기술의 특성, 기술을 창출하고 활용하는 주체의 특성 등을 포함 할 수도 있다.

이론적 맥락에서 기술의 특성에 따라 기술변화의 패턴이 달라진다고 하는 발상은 Nelson과 Winter(1982) (Nelson and Winter 1982)의 technological regime (기술 집단)의 논의로 거슬러 올라간다. 그들의 기술집단(technological regime) 개념은 Hayami and Ruttan (1971)의 meta production function과 비슷한 개념이다. 즉 meta production function이란 광범위하게 정의된 way of doing things (일하는 방법)가 정의되어 있을 때 물리적, 생물학적 및 기타 제약 조건에 의해 제한된 성취 가능한 능력의 frontier (관련된 경제적 차원으로 정리된)를 의미한다. Nelson과 Winter(1982) 이들의 기술집단(technological regime)의 개념이 meta production function과 구분되는 점은 이 개념은 가능한 것 혹은 적어도 시도해 볼 만한 가치가 있는 것들에 대한 기술자들의 믿음과 관련된 믿음과 같은 보다 인지적인 측면을 포함하고 있는 점이다 (Nelson and Winter 1982) p 258.

Pavitt(1984)의 연구는 산업별로 다른 기술에 의존함에 따른 다른 특성을 가짐에 주목하고 기술혁신의 원천, 기업의 규모 및 기술혁신 형태, 기술혁신을 창출하고 활용하는 부문에 대한 사항을 정리하였다.

Cohen and Levin (1989) 과 Levin, Klevoric et al. (1985)의 연구는 기술리짐(technological regime)의 기회와 전유성 조건의 유사치(proxies)의 도입이 시장구조와 혁신 패턴을 이해함에 있어 유용함을 입증하였다. 또한 산업별 진입 및 퇴출의 차이는 관련 기술의 특성 즉 기술지식에의 접근성으로 설명될 수 있음을 주장한다.

² 이는 CPU (microprocessor), ASIC (Application Specific Integrated Circuits), ROM (Read Only Memory) 혹은 RAM (Random Access Memory), 시스템 소프트웨어를 저장하기 위한 버블 메모리, 모니터, 키보, 드PLC (programmable logic controller), 시스템 소프트웨어, 플로피 드라이버 등으로 구성된다.

Malerba and Orsenigo (1990)는 Shumpeter mark I산업은 기술리짐의 높은 기회, 낮은 전 유성 낮은 축적성 조건을 갖춘 산업이고 Shumpeter mark II산업은 높은 기회, 높은 전 유성, 높은 축적성을 특징으로 한 산업임을 Italy 산업의 사례로 보인바 있다. Malerba and Orsenigo (1996), Malerba and Orsenenigo (1994) 의 연구는 특정기술의 기술혁신 패턴이 유럽, 일본, 미국에 걸쳐 유의한 수준의 유사성이 있음을 보인바 있다.

이상의 연구는 선진국에서의 기술의 특성에 대한 연구이다. 선진국에서의 기술의 특성이 산업별 혁신 패턴에 영향을 미친다고 하면 후진국에서도 공히 산업별 혁신 패턴에 영향을 미친다고 할 수 있다. 동일한 종류의 기술은 선후진국모두 동일한 성격을 띄고 있을 것이기 때문이다. 본 논문은 이러한 맥락에서 기술의 특성이 기계제어 산업의 기술축적과정에 지우는 조건이 무엇인지를 살펴보기로 한다..

본 논문은 산업의 특성을 보는데 있어서는 산업의 특성에 영향을 미치는 기술리짐 (Technological regime)(Nelson and Winter 1982; Malerba and Breschi 1995)의 특질로서의 지식기반 (knowledge base) 을 중심으로 보고자 한다. 지식기반은 지식의 특수성 (specificity), 암묵성 (tacitness), 복잡성 (complexity), 상호의존성의 정도와 지식 이전의 수단을 포함한다 (Malerba and Breschi 1995). 지식기반의 특성을 중심으로 보는 이유는 시장의 특성의 하나인 사용자-생산자간의 관계에 있어서의 정보흐름과도 관련될 뿐 아니라 기술축적과정에서 불가결한 외국 기술에의 접근 가능성을 결정짓는 주요 특성이기 때문이다. 논문은 지식기반의 제 측면 가운데 지식 이전의 수단에 있어서의 특성을 집중적으로 조명한다.

시장의 특성을 기술혁신과 관련한 연구의 원조는 Adam Smith로 거슬러 올라간다. Smith는 시장(Extent of Market)의 확대는 노동 분업의 발전을 통해 생산의 속련의 축적, 기계의 발명 등을 야기함을 논하고 있다 (Smith 1776). 시장을 수요로 이해하고 시장의 수요의 성격과 기술혁신과의 관계에 대한 논의를 도입한 것으로 Mowery and Rosenberg (1982)를 들 수 있고 이외에 시장의 규모 시장의 성장속도와 기술혁신에 대한 연구의 예로 Amsden (1983)의 연구를 들 수 있다. 또한 Schmookler (1966)의 연구는 수요산업의 성장이 공급 산업의 기술혁신에 긍정적 영향을 미침을 보여주고 있다. Lundvall(1985; Lundvall 1992)은 시장을 조직된 시장(organized market)으로 보고 시장은 사용자-생산자 관계를 형성함으로써 이루어지고 조직된 시장은 기술혁신과정에서 질적 정보, 협력, 계층 및 상호 신뢰를 교환을 하는 것으로 보고 있다. 본 논문은 시장의 특성을 파악함에 있어 Lundvall의 organized market으로서의 시장의 특성을 이해하는 접근을 취하고자 한다. 본 논문은 시장을 이해하는데 있어 전체 시장의 규모나 수요의 측면을

이해하는 데소 레벨의 분석보다는 신제품을 개발 능력을 축적하는데 있어서의 미시적인 시장의 특성에 보다 초점을 맞추고자 하기 때문이다. 사용자-생산자 관계를 이해하는데 있어서는 질적 정보의 흐름과 상호 협력을 중심으로 논하고자 한다.

Lundvall(1985, 1992)의 틀은 개도국의 시장의 특성을 이해하는 관점을 결여하고 있다. 개도국의 기술 추격과 관련하여 시장을 이해하는데 있어서는 개도국 기업이 신제품을 개발 하였을 때 이미 수입품에 의해 지배되고 있는 기존의 시장을 어떻게 확보할 것이냐가 주요한 문제가 된다. 이는 시장을 계층적으로 이해하는 접근이 유효한 접근이라고 보여진다. 사와이, 히로타 (Hirota 1990; Sawai 1987) 등의 연구는 기술 추격국에서 만들어지는 제품들이 열악함에도 시장을 확보해야 생산을 통한 기술축적이 가능하게 되는데 이는 계층화된 시장 구조를 통해 가능하다는 관점을 취한다. 기술 추격국에서는 고가제품은 수입 제품이 증가 혹은 저가 제품은 국산이 차지하는 방식의 계층화된 시장이 형성되어 있어 국내 기업들은 저가 혹은 중가의 시장에 열악한 제품들을 판매해가면서 기술을 축적해 간다는 것이다. 이는 기술 추격국에서 시장 형성과정을 잘 설명해 주는 틀이라 보여진다. 따라서 시장 형성을 이해하는데 있어 시장의 계층성을 중심으로 보고자 한다.

본 논문은 1994년에 이루어진 인터뷰(4개 업체)와 설문조사(4개 업체), 1999년 및 2000년에 이루어진 인터뷰를 바탕으로 준비되었으며 연구방법론은 사례 분석방법이다. 본 연구는 가설을 설정하고 분석하는 연구가 아니라는 면에서 탐색적인 연구의 성격을 띤다.

III. 실증연구

1. 도입: 외국 및 국내생산자

국내 공작기계 제어컴퓨터 시장의 규모는 현재 약 3000억원 수준에 이르는 것으로 추산되고 있다. 주로 많이 팔리고 있는 공작기계 제어 컴퓨터는 공작기계생산의 대부분을 차지하고 있는 중소형 선반 및 머시닝센터용 개방 보급형 공작기계 제어 컴퓨터이다. 이 기계 제어 컴퓨터³는 공작기계 가격의 약 30-50%의 가격을 점유한다.

공작기계 제어 컴퓨터는 세계적으로 보았을 때 일본의 Fanuc사가 세계수요의 50%, 독일의 Siemens가 15%, 일본의 미쓰비시가 15% 점유하고 있고 국내 시장점유율은 Fanuc사가 60%, 독일의 Siemens가 10%, 일본의 미쓰비시가 10% 점유하고 있다 (Yoon 1999). 국내 메이커들은 1985년부터 통일중공업을 필두로 생산하기 시작하여 1994년 현재 금성산전, 한국산전 등을 통틀어 26%까지 이른 것으로 추산되기도 하였다.⁴ 그러나 이 회사들

³ 같이 패키지로 팔리는 모터 및 모터 드라이버 부품 포함

은 모두 1990년대 말에 이르러 생산을 포기하였다. 현재는 삼성전자, 한국와콤전자⁵, 한국터보테크가 생산을 하고 있으며 시장 점유율은 약 10% 내외로 추산되고 있다.⁶ 따라서 공작기계 제어 컴퓨터는 국내 시장을 장악하는데 있어 1990년대를 돌아볼 때 중반에 비해 퇴보 상태에 있다고 볼 수 있다.

<표1> 공작기계 제어 컴퓨터 관련 특허 20년간 출원 동향 (IPC 분류 G05B 중심)

	81 - 90	91 - 95	1996	1997	1998	1999	2000
삼성전자	2	9	11	30	4	6	3
LG산전	5	22	18	24	20	7	1
기타	4	19	20	36	24	32	21
계	11	50	49	90	48	45	25

자료: 특허청

2. 사용자-생산자관계 : 간단한 추측

우선 국산 공작기계 제어 컴퓨터의 시장에서의 저조한 성과에 대해 간단한 추측을 해 보자. 사용자-생산자간의 시장형성과 정보흐름 측면에서의 추측은 다음과 같이 해볼 수 있다.

먼저 시장형성 측면에 대해 생각해 보자. 초기에 개발되는 제품은 만족스러울 리가 없다. 기술이 축적될 수 있기 위해서는 제품이 초기에 불안하더라도 사용자가 일부러 써주고 그 결과를 피드백 해 주어야 제품의 품질을 높일 수 있다. (Nakaoka 1987). 따라서 아래와 같은 가설을 세울 수 있다.

가설 1: 사용자들의 적극적인 구매 협력이 있다면 생산자의 기술축적이 가능했었을 텐데 사용자들의 적극적인 사용노력이 없었다.

즉 만약 사용자들이 적극적으로 시장을 제공하면 생산자기업(공작기계 제어 컴퓨터 메이커)들은 learning by doing의 과정을 거쳐 기술력 축적이 가능할 것이라는 것이다.

이 가설은 맞지 않다. 국내 업체들은 국산 사용을 위해 가장 적극적으로 노력할 수밖에 없는 상황에서 국내 공작기계 제어 컴퓨터들은 제작되고 판매되었다. 1988년에 설립된

4 전자신문 94. 11.2, 12.28 일자

5 통일중공업으로부터 파생된 업체

6 NC 공작기계 조합 관계자 인터뷰 (2000. 6. 20)

한국산전의 경우 사용자가 주주로 참여하였기 때문에 여러 측면에서 적극적으로 쓰려 하였다⁷. 그러나 주주들 기업조차 제품의 성능이 만족스럽지 않아 점점 사용을 회피하게 되었다. 통일 중공업의 경우에는 그 자체가 공작기계 업체이기 때문에 자사 공작기계에 부착하여 판매를 시도하였다. 그러나 통일 중공업에 있어서조차 자사에서 만들어진 제품을 부착하려 하지 않는 면이 드러났다. 왜냐하면 국산 제품을 부착할 경우 공작기계 성능의 안정성이 떨어져 팔리지 않게 되기 때문이다. 즉 신뢰할 만한 제품이 개발되지 못했기 때문에 사용에 적극적인 사용자들도 회피하게 된 것이다.

가설 2: 사용자-생산자의 정보흐름이 원활했다면 기술 축적이 가능했을 것이다.

이와 같은 가설은 선진국에서 가능한 가설이다. 사용자-생산자간의 정보흐름을 통해 생산자의 기술 경쟁력이 증대되는 면은 Lundvall (1985), von Hippel (1977; von Hippel 1978)의 연구에서 볼 수 있다. 그러나 본 조사 결과에 의하면 사용자(공작기계 생산)-생산자(공작기계제어컴퓨터)간의 디자인, 프로토타입, 기술정보 등의 정보흐름 측면에서 볼 때 미미했다. 본 연구에 의하면 기술지원(디자인, 프로타입, 인적자원 파견)의 원천으로 사용자(공작기계메이커)가 중요하다고 응답한 기업은 없다 (1994년 현재 4개 공작기계 제어 컴퓨터 메이커). 기술정보측면에서는 1개 기업만이 사용자(공작기계메이커)로부터의 기술정보가 중요한 것으로 응답했다.

생산자들이 사용자 기업들의 정보가 중요한 것으로 간주할 수 있게 되려면 사용자 기업(공작기계)들이 공작기계 제어 컴퓨터 개발과 관련된 지식을 축적하고 있어야 가능하다. 그러나 공작기계제어장치는 기본적으로 소프트웨어와 전자장치이기 때문에 기존의 공작기계 생산업자들의 생산의 결과로 축적될 수 없다. 국내 공작기계 생산업자들은 수입 기계제어 컴퓨터를 부착하여 NC 공작기계를 조립하는데 필요한 인력들을 갖고 있다. 이들은 공작 기계제어 컴퓨터와 기계부품과의 interface에 종사하는 인력들로서 이 분야 종사자들이 소프트웨어, PLC, ASIC관련 기술을 축적하기에는 기술격차가 크다.

따라서 사용자와 생산자간의 정보흐름은 미미하다고 볼 수 있다. 그러나 이는 사용자-생산자 모두 기계 제어 컴퓨터 관련 기술력이 낮고 선진국으로부터 기술을 흡수하는 단계에 있는 점을 감안한다면 이는 당연한 면으로 보여 진다.

7 주주회사 K 기업 인터뷰 (1994. 11. 21). 주주회사 D 기업 인터뷰 (1994. 9. 24)

3. 산업의 특성: 시장, 기술

이하의 부분에서는 사용자-생산자가 이루는 계층화된 시장의 성격, 정보의 흐름을 분석하고 공작기계제어컴퓨터의 지식기반 특성을 살펴보고 이들 제반 측면이 기술축적에 제약조건으로 작용하는 면을 논하고자 한다

1) 시장의 특성: 계층화된 시장

본 논문은 국내 생산자 산업이 사용자 산업의 수요증가에 부응하여 성장하는 것은 사용자-생산자간의 계층화된 시장이 존재함으로써 가능하다는 입장을 앞서 밝힌바 있다.

국내 기업들이 생산에 도전한 제품은 범용 CNC 선반 혹은 밀링 머신에 쓰이는 제어 컴퓨터로서 공작기계 제어 컴퓨터 중에서 저가형이다. 현재 국내에서 생산하는 것은 교육용 기계제어 컴퓨터로 약 600만원대, 선반 및 밀링용 컨트롤러가 약 1천만원 정도 수준인 반면 수입 기계제어컴퓨터의 경우 1천만원대에서 3000만원대까지의 기계제어 컴퓨터가 주로 팔리고 있다.

국내의 공작기계 제어 컴퓨터 사용 업체 즉 공작기계 메이커들이 이 제어 컴퓨터의 성능이 만족스럽지는 않지만 가격 우위성 때문에 구입할 수 있다고 한다면 국산 공작기계 제어 컴퓨터에 대한 시장이 형성될 것이라고 생각해 볼 수 있다. 불행히도 공작기계 제어 컴퓨터 시장은 이러한 저가형 시장의 형성이 매우 제한된 범위 내에서 형성이 되었다. 공작기계 완제품의 경우와 비교하여 설명을 해보자. 공작기계 완제품의 기술축적이 가능했던 것은 중저가의 기계가 수입기계에 비해 성능이 떨어지나 가격이 싼 국산기계에 대한 시장이 형성되었기 때문이다. 그러나 공작 기계제어컴퓨터의 경우 국산 중저가의 공작기계제어컴퓨터에 대한 시장이 얇게 형성되었다. 그 이유는 구매기업들의 공작기계제어 컴퓨터의 성능민감도가 높기 때문이다. 성능민감도는 구입품이 고장났을 때의 위험이 크기에 의해 좌우된다고 할 수 있다. 공작기계의 경우 기계적 결함이 발생하면 자체적 인력으로 수리하는 것이 가능하다. 그러나 공작기계제어 컴퓨터의 경우 고장이 나면 자체적 인력으로 수리하는 것이 불가능하다. 8 따라서 고장발생에 따른 작업 중단의 기회비용 부담이 더욱 큰 것이다. 9

공작 기계 구입자들 가운데는 공작기계 메이커에게 아예 외국 회사의 공작기계제어 컴퓨

8 공작기계의 경우 약 3-5년의 경력이면 약간의 수리 가능. 공작기계 제어컴퓨터의 경우 10년이 지나도 전혀 수리 불가능 (1995.4.1 공작기계 사용업체 전화 조사 결과) (Lim, 1997, 192)

9 NC공작기계의 경우 1달에 5000만원어치의 작업을 해야 손익분기점에 다다르는데 기계고장으로 1주일정도 서게 되면 목표치 달성에 차질이 있게 된다 (1995. 1월 19일 사용자 기업 전화 인터뷰)

터를 부착하기를 요구하는 경우가 빈번하다. 공작기계 성능이 안정적이기를 원하기 때문이다. 따라서 공작기계메이커가 국산 공작기계제어컴퓨터를 부착하는 것이 어렵게 된다.

공작 기계제어 컴퓨터 생산자가 시장을 확보하는 길은 수입되는 기계제어 컴퓨터와 비슷한 성능에 싼 가격의 제품을 내어놓은 길이다. 낮은 가격에 중저가 시장이라도 확보하려면 제품의 성능의 입증되어야 한다. 그러나 공작 기계제어 컴퓨터의 경우 제품의 성능이 미리 평가되기 어렵다. 보통 기계제품의 경우 제품이 생산되면 테스트 기간을 지나고 초도 생산에 들어가게 된다. 초도 생산 시 5-10 단위의 제품을 시험적으로 만들어 보고 팔아보기도 하여 제품을 안정화하여 본격적으로 생산을 하게 된다. 통상 이 기간에 걸리는 시간은 6개월 내지 1년이 소요된다. 그러나 기계제어 컴퓨터의 경우 테스트 기간(적어도 1년 소요)을 지나고 초도 생산이 시작되었을 때 5-10 판매로는 신뢰성을 확보하기에는 너무나 부족한 단위이다. 또한 소요되는 기간도 1년 혹은 2년이 소요된다.¹⁰ (Lim, 1997). 통일 중공업의 N부장은 '공작기계제어컴퓨터의 개발은 성공했지만 이는 오직 반쪽의 목표달성일 뿐이었다. 국산 공작기계제어컴퓨터의 성공적 개발까지는 먼 길이 남아 있었다. 신뢰성을 확보하는 것이 개발하는 것보다 더 어렵기 때문이다' 라고 술회하고 있다 (노데료이치1994).

이는 즉 공작기계 제어 컴퓨터 개발에 진입한 기업의 신제품이 시장을 확보하는 조건이 불리한 여건임을 보여 주는 것이다.

2) 시장의 특성: 사용자-생산자간 정보의 흐름

본 조사결과에 의하면 사용자-생산자간의 정보흐름 가운데 광범위한 사용자의 사용경험의 피드백이 제품의 신뢰성을 확보하는데 중요한데 이러한 정보는 기술적인 정보라기보다는 사용자 환경에 대한 정보이다.

공작기계 제어 컴퓨터는 여러 가지 작업을 담당하는 선반, 머시닝센터에 부착되는 컴퓨터이므로 다양한 기종의 선반, 머시닝센터에 부착되어도 문제없이 가동될 수 있어야 하는데 이를 위해서는 안정적인 성능을 확보하는 것이 중요하다. 이는 공장 내에서의 실험과 테스트로서는 한계가 있고 일정 수준 이상의 판매가 이루어져야 한다. ¹¹ 그 이유는 다음과 같다.

사용자들은 여러 가지 예측하지 못하는 방법으로 키보드를 조작함으로써 에러가 발생하

¹⁰ 인터뷰 1994. 9.27- 11.11

¹¹ NC 공작기계조합 인터뷰 2000.6.20.

게 할 수도 있다. 또한 공작기계가 설치되어 있는 다양한 상황 예를 들면 공장내의 다른 기계의 진동에 따른 공작기계에의 영향, 기계안팎의 전선이나 스위치에 따른 전자기적 방해, 기타 노이즈 등의 상황에서 공작기계의 구동장치, 공작기계 제어컴퓨터의 하드웨어 부품이 영향을 받을 수 있고 이에 대해 공작기계 컴퓨터가 문제없이 작동하도록 제품을 개선하는 과정을 거쳐야 한다.¹² 이러한 제반 측면을 판매 전 단계에서 모두 테스트를 통해 개선하기는 불가능하다.

따라서 판매량이 커질수록 더욱 성능 신뢰성이 커지게 되는 것이다. 문제는 수입 제어컴퓨터의 경우는 수만 대의 생산 및 판매의 경험을 바탕으로 신뢰성이 확보된 상태에 있기 때문에 외국 제품과 같은 수준의 신뢰성을 획득하기란 거의 불가능하다는데 문제가 있다.

한국 기업의 경우 신뢰성 확보단계에서 많은 어려움을 겪어야 했다. 예를 들면 통일중공업의 경우 1985년에 자체적으로 시험해서 성공했다고 판단한 제품이 89년까지 1500대가 판매되었는데 이들 제품이 여러 공작기계 사용자 환경에서 문제를 발생하여 결국 1990년에는 판매를 중단해야만 했다. 그래서 약 1년 간 제품의 안정성을 위해 공작기계 사용자 환경에서 문제 발생한 원인에 대한 정보를 수집하고 자체 시험장치를 보강함으로써 문제를 개선해 나갈 수 있게 되었다 (노데 료이치, 1994). LG산전; 한국산전의 경우도 만들어진 제품을 시장확보를 통해 충분히 사용자환경에 대한 정보를 수집하고 개선하는 과정을 거치지 못했고 결국 상용화에 실패하게 되었다. 지난 1995-99년까지 총 325억의 개발비 투입하여 국가 산학연 공동 프로젝트로 99년 말 개발이 완료된바 있다. 시험 평가 결과 정도시험, 가공시험, 성능시험 등에서 기존 수입 공작기계 제어 컴퓨터와 동일한 성능인 것(김일규, 1999)으로 나타났으나 여전히 사용자 환경에서 약 200대 넘는 공작기계에서 시험을 해 보아야만 신뢰성을 입증할 수 있는 것으로 알려져 있다.¹³

이러한 면은 공작기계 제어 컴퓨터가 소프트웨어와 같은 산업 특징을 갖고 있기 때문이라고 해석될 수 있다. 공작기계제어 컴퓨터의 핵심지식은 기계작동과정을 제어하는 소프트웨어에 체화되어 있다는데 있기 때문이다. 소프트웨어 산업은 사용자환경에서의 지속적 시험을 해보아야 한다 (Boehm 1988; Quintas 1993). 그러나 공작기계 제어 컴퓨터의 문제는 일반적 소프트웨어 산업의 경우 호환성 있는 컴퓨터 환경에서 소프트웨어만 판매하면 되지만 이 경우에는 컴퓨터 소프트웨어와 지원 하드웨어가 결합되어 있기 때문에 하드웨어 (컴퓨터, 서보모터&모터드라이브, 스피들모터&모터드라이브)를 같이 판매해야 한다는 면에서 사용자환경에서의 시험기회가 다른 일반소프트웨어의 경우보다 더욱 제한되

12 인터뷰 1995. 4. 11

13 NC 공작기계조합 인터뷰 2000. 6. 20.

어 있다 하겠다.

3) 기술의 특성: 지식기반

우선 공작기계 제어 컴퓨터의 핵심은 제어장치를 움직이는 시스템 메인 소프트웨어와, 구동장치 제어 소프트웨어, 회로기판 디자인 능력, ASIC 개발하거나 관련 사양을 주고 점검할 수 있는 능력 등을 포함한다. 이러한 능력을 이전 받을 수 있는 매체가 한정되어 있다. 일반적으로 조립 및 가공형 제품들은 디자인을 통해 지식이 이전되는 것이 가능하다.¹⁴ 이들 제품의 경우 분해하고 눈으로 봄으로써 디자인과 구조를 확인할 수 있다. 공작기계 컴퓨터의 경우는 ASIC, ROM(Read Only Memory), PLC(Programmable Logic Controller)로 구성된 소프트웨어와 회로로 구성되는데 소프트웨어의 경우는 역 엔지니어링이 불가능하고 일부회로들 역시 역 엔지니어링 하는 것이 불가능하다. 따라서 외국 기계 제어 컴퓨터를 뜯어보고 분석함으로써 학습하는 것이 차단되어 있다.

기술 라이선싱을 학습 채널로 생각해 볼 수 있다. 그러나 기술licensing역시 기술학습의 적절한 도구가 되지 못한다. 1994년 조사에 의하면 4개 공작기계 제어컴퓨터 메이커 가운데 3개 기업이 기술능력 축적하기 위한 주요 방법으로 간주하고 있지 않았다 (Lim, 1997, 205). 이들 3개 기업은 기술 라이선싱이 공작기계 제어 컴퓨터 개발능력 습득 위한 방법으로서의 유용성이 없는 것으로 답했다 (Lim, 1997, 205). 기술 라이선싱의 경우 소스코드,¹⁵ 생산방법제공을 포함하는 바 국내업체들은 소스코드의 디자인과 구조를 해석할 수가 없었다. 기계의 경우 기술을 라이선싱하면 설계 도면을 제공받는다. 기술 라이선싱 받은 기종을 생산해나가다 이 기종의 설제도면을 약간씩 수정해 가면서 자체적으로 기계 개발 기술을 습득해 나간다. 그러나 공작기계제어컴퓨터의 경우 소스코드의 변경을 통한 타 기종을 개발하기가 어렵다. 소스코드의 디자인과 구조를 해석할 능력이 없는 상태에서 이는 불가능하기 때문이다. 소스코드를 변경하여 제품을 개발할 수 있다는 것은 공작기계 제어 컴퓨터 소프트웨어를 개발할 수 있는 능력을 갖추고 있는 것과 같다.¹⁶ 따라서 외국으로부터 기술을 구입하는 것을 통한 기술축적이 어려운 것이다.

즉 소프트웨어 디자인 지식은 소프트웨어 개발 및 회로기판 설계, ASIC사양 제공하는 묵시적 능력을 필요로 한다. 소프트웨어 개발 관련 암묵적 지식은 자체적인 연구개발을 통해서 개발되어야 하고 외국 기업과의 협조는 연구개발과정을 통해서 문제가 된 부분에 대해 협조

14 '만약 공개된 시장의 모든 이들이 제품을 구입(그리고 관찰)하게 되면, 제품의 디자인은 지키기 어려운 비밀이다' (Winter, 1987: 172)

15 기계의 경우 청사진 도면(blue print)에 해당함

16 인터뷰(94.11.21): Lim(1997, 205) 출전

를 구하는 형태가 되어야 하는 것이다.¹⁷

이러한 지식기반의 특징 때문에 기존의 기술도입, 역 엔지니어링 또는 도입된 자본재 등을 통한 제품, 생산공정에 대한 지식을 습득하기가 어렵다. 따라서 선진국으로부터 구입된 지식을 바탕으로 빠른 시일내의 지식 습득이 어렵고 연구개발을 통한 습득 과정이 중요하다.

이상의 논의를 공작기계산업과 대조하여 정리해 보면 다음과 같다.

<표2> 공작기계와 공작기계제어컴퓨터산업 특징의 비교

특징	공작기계산업	공작기계제어 컴퓨터 산업
기술특성: 지식기반	-지식의 본질은 암묵적이고 지역적. -지식 이전의 수단은 역 엔지니어링, 기술라이센싱. -제품을 개발하는 지식은 이 수단을 통해 이전하는 것이 가능.	-소프트웨어 디자인 지식은 소프트웨어 개발 및 회로기관 설계, ASIC사양 제공하는 목시적 능력을 필요로 한다는 면에서 지식의 본질은 암묵적. -지식이전 수단으로 역엔지니어링, 기술라이센싱은 불가능. -기술 라이선싱으로 소스코드가 제공된다 하더라도 라이선싱 제공자만한 기술적인 능력을 갖고 있지 않는 한 디자인 변경을 하는 것이 불가능
시장특성: 계층화된 시장구조	국내 기계 메이커에 중저가 시장 제공 제품 신뢰성 규모의 경제에 의존하지 않음	-국내 공작기계 제어 컴퓨터 메이커에 중저가 시장 제공 폭 좁음 -제품 신뢰성 규모의 경제에 의존
시장특성: 사용자-생산자 정보흐름	제한된 흐름	제한된 흐름

자료: Lim (1997, 242)

4. IT 바탕 기술 수렴(Technological convergence)과 기술축적의 장애

지금까지 검토한 공작기계 제어 컴퓨터 산업의 특징은 공작기계 제어 컴퓨터가 IT 기술을 바탕으로 한 기술 수렴(technological convergence)의 결과로 출현한 제품이라는데 기인

17 인터뷰(94.11.21): (Lim, 1997, 205) 출전

한 것으로 해석된다. 로젠버그(1976,15)는 1800년대 미국의 공작기계 산업을 분석하면서 다음과 같은 논의를 펼치고 있다. 이전에는 금속 절삭 가공 기구들이 중앙의 원동기와 연결되어 공장내의 통합된 공정장비로 존재하던 것이었다. 그러나 소형 원동기가 출현하자 서로 관련 없는 산업에 공통적으로 존재하던 금속 절삭 가공 공정이 단위 기계의 소형원동기를 이용하여 동력을 전달하여 공구를 움직이고 기계에 부착한 금속을 깎고 자르는 등의 하나의 기계로 처리할 수 있는 비슷한 공정의 형태로 기술수렴이 이루어지게 되었다는 것이다. 기술 수렴을 체화하고 있는 제품이 공작기계이다.

1960년대부터 상용화된 공작기계제어컴퓨터(수치제어장치)는 기존의 공작기계를 자동화시켰다는 의미 외에도 추가적인 의미를 갖고 있다. 즉 공작기계 제어컴퓨터가 범용화 장비화 되면서 다양한 종류의 범용기계 및 전용기계를 다루는데 있어 인간에 의해 이루어지던 다양한 형태의 제어 공정이 비슷한 공정의 형태로 기술수렴이 이루어지게 되었다. 이를 체화하고 있는 제품이 기계 제어 컴퓨터이다.

즉 한국 기업들이 새로이 제작한 공작기계 제어 컴퓨터의 성능이 자체 내부 시험을 거쳤음에도 실제 판매가 이루어졌을 때 제품의 신뢰성이 떨어지는 이유는 범용 기계 제어 컴퓨터가 여러 구매자 기업 (공작기계 메이커)의 기계의 크기, 구조, 주요 고객 층에 맞는 범용화 된 기계를 개발하지 못하였기 때문이다. 즉 다양한 방식으로 움직이는 공작기계를 제어하는 방법을 체화하고 있지 못하기 때문인 것이다. 범용 공작기계 제어 컴퓨터가 판매가 이루어질 때 표준 부분과 옵션 부분으로 나누어 판매가 이루어진다. 옵션 부분은 공작기계 업체가 부착하려고 하는 공작기계가 전용성이 가까워 추가적인 기능이 필요할 때 추가적으로 공급하는 것이다. 기계 제어 컴퓨터를 부착한 범용 공작기계의 강점은 과거에 전용 장비만 가능한 공정을 기계 제어 컴퓨터를 활용해 전용 장비와 같이 이용할 수 있다는 점에 있다¹⁸. 그러나 외국 선발업체들은 지속적으로 이 옵션 부분을 풀어 범용 부분에 포함시킨다¹⁹. 이는 즉 외국 기업들이 지속적으로 이전에는 특수한 전용 기계에서만 쓰였던 자동 통제 기능들을 범용 기능으로 수렴시키고 있음을 의미한다. 이러한 지식이 역 엔지니어링이 불가능한 IT 기술을 바탕으로 체화하고 있기에 기술학습에 장애가 발생하는 것이다.

이러한 측면은 시장의 특성가운데 사용자-생산자간의 정보 흐름이 약한 것을 설명하는 한 요인이 될 수 있다. 사용자-생산자간의 질적인 정보흐름이 중요한 경우는 전용화 장

18 이 때문에 일본은 1980년대 유럽시장에서 NC 공작기계를 바탕으로 기존의 전용화 장비 시장을 잠식해 갈 수 있었다. (Herrigel 1987, 7) [Herrigel, 1987 #666]

19 2001. 4. 23. 국산 기계 제어 컴퓨터 개발 프로젝트 참가회사 대표 인터뷰

비의 경우에 높을 가능성이 높다. 그러나 본 범용 공작기계 제어컴퓨터는 범용 장비이고 또한 광범위한 사용자 기계의 환경에서 공작기계 제어 컴퓨터를 운영해 봄으로써 다양한 기계의 자동 제어에 대한 지식을 축적하는 것이 특정 사용자와의 밀접한 상호작용 속에서 제품을 개발해 나가는 것보다 더 중요하기 때문이다.

<표 3> 기술수렴과 디자인: 공작기계와 공작기계 제어 컴퓨터 비교

	범용공작기계	범용 공작기계제어 컴퓨터
기술수렴	여러 산업에서 공통적으로 존재하는 금속의 절삭 가공 공정	여러 종류의 범용 공작기계 및 전용기에 공통적으로 존재하는 절삭 가공의 자동화를 통제하는 공정
디자인	-기술 수렴된 금속의 절삭 가공 공정의 효과적 수행과 관련된 지식 체화 -기계 디자인 형태 -역 엔지니어링 가능	-기술수렴된 금속 절삭 가공의 자동화를 통제하는 공정의 효과적 수행과 관련된 지식 체화 -IT 부품 및 소프트웨어 형태 -역 엔지니어링 불가능

IV. 결론

이상 살펴본 공작기계용 컴퓨터의 경우의 기술의 특성, 시장의 특성은 국내 공작기계용 컴퓨터 메이커들이 기술을 축적하는데 제약조건을 제시하고 있음을 알 수 있다. 기술의 특성 및 시장의 특성은 공작기계 제어 컴퓨터가 기계제어 공정을 수렴한 기술수렴 (technological convergence)기능을 체화하고 있기 때문인 것으로 해석된다.

기계제어 컴퓨터가 직면한 제약조건들은 기업의 연구개발전략 및 연구개발 정책측면에서 새로운 도전이 아닐 수 없다. 기업차원에서 이러한 공작기계 컴퓨터 개발에 진입할 때 연구개발 프로젝트의 기간이 길기 때문에 관리의 어려움이 예상된다. 국내 기업들은 대부분의 연구개발 프로젝트가 1년 남짓한 프로젝트가 대부분이기에 프로젝트 수행 부서에서 연구개발 성과를 가시화하여 긍정적인 평가를 받기가 어렵다. 더구나 전자부품 류 들은 연구개발 제품을 시험 테스트 받아 그 성능의 성패를 평가할 수 있는데 비해 공작기계 컴퓨터의 경우 연구개발 제품의 성능 테스트만으로 연구개발 제품의 성능의 성패를 알 수 없고 시장에서 판매해 나가면서 제품의 성능 신뢰성을 확보해야 하는 어려움을 제기

하고 있다.

이 사례는 모방적 연구개발과정을 이해하는 기존 개념에 새로운 도전적인 질문을 제기한다. 우리나라의 연구개발활동은 이미 선진국에 존재하는 제품을 모방하여 개발하는 활동이다. 기계를 포함한 조립산업의 신제품의 모방적 연구 개발활동은 다음과 같은 과정으로 이해될 수 있다. 연구개발 과정은 연구개발팀을 중심으로 이루어지는 것이고 prototype가 제작되면 자체 시험을 거쳐 생산 부서에 넘겨진다. 생산 부서에 의해 양산 체제를 위한 개발을 담당하고 연구개발팀은 생산 부서의 양산 개발과정을 지원한다 (Lim 1997). 그러나 기계 제어 컴퓨터의 경우는 생산과 판매과정이 여전히 연구개발팀을 중심으로 이루어져야 함을 보여 주고 있다. 개발된 제품이 자체 시험을 거치고 양산 개발이 되었다 하더라도 시장에서의 상당수의 일정 규모 이상 판매가 성공적으로 이루어지지 않으면 개발 프로젝트 자체가 완료되었다고 보기 어렵다. 판매과정 자체가 제품의 성능을 완성해 가는 과정이기 때문이다. 이것이 시사하는 점은 기업 및 국가 차원의 공작기계 제어 컴퓨터 연구개발 프로젝트를 평가하는 방식이 기존의 기계를 포함한 조립제품의 연구개발 프로젝트 평가 방식과 달라야 함을 의미한다. 기존의 조립제품 관련 연구프로젝트의 성공 여부를 평가함에 있어 성능 시험결과 외국 경쟁사 제품과 비교하여 성능이 비슷하게 나오거나 우월하게 나오면 성공적인 것으로 평가할 수 있었다. 그러나 본 공작기계 제어 컴퓨터는 연구개발 프로젝트의 성공 여부의 판단은 시장에서의 판매를 통한 성능 안정화 과정까지를 포함하여 평가해야 하는 것이다.

기계제어 컴퓨터 영역의 경우 자동차, 전자 등의 제조업 전진기지로서의 한국의 위치를 보면 자동화 과정의 핵심을 담당하는 기술이라는 면에서 국가적으로 파급효과가 크고 그 중요성이 날로 커지는 기술이기 때문에 주요한 영역일 수밖에 없다. 생산 자동화 관련 소프트웨어 기술은 미국 등의 선진국에서도 국가 중요기술로 규정해 놓는 기술이기도 하다 (일본 과학 기술청, 1999). 그런 면에서 향후 보다 심층적인 분석이 있어야겠지만 단순히 현재의 만족스럽지 못한 성과를 보고 정책적인 지원을 포기하는 것이 당연하다고 논하는 것은 바람직하지 않다고 보인다. 하지만 이 산업의 연구개발 과정의 특수성과 불리한 기술축적의 조건을 감안할 때 정책적인 자금 지원의 합리적 근거에 대해서는 보다 심층적인 분석이 필요한 것으로 사료된다.

본 공작기계 제어 컴퓨터의 경우는 국가적으로 파급효과가 큰 기술인 반면 개별 기업이 연구개발을 수행하기에는 위험이 크고 장기적인 투자를 요한다는 면에서 공공부문과의 공동 연구가 필요한 영역이다. 우리나라에서는 1987년부터 NC조합을 결성하여 연구개발 프로젝트를 추진해 왔다. 그러나 이 조합을 중심으로 세워진 한국 산전의 경우 기술도입

에 의존하는 전략을 추진하면서 성공적인 기계 제어 컴퓨터 생산 업체로 자리 매김 하는데 실패하고 말았다. NC 조합을 중심으로 1995년부터 99년까지 약 4년에 걸친 연구개발 프로젝트가 완료되었다. 이 조합은 2001년 4월 현재 8대의 기계의 시험평가를 완료한 상태에 있다.²⁰ 그러나 여전히 시장에서의 판매를 통해 제품의 성능 신뢰성을 높여나가는 정책 및 전략 방안은 아직 명확하지 않은 상태이다.

본 공작기계 제어 컴퓨터 사례는 새로운 질문을 던진다. 공작기계 제어 컴퓨터는 자동화와 관련된 범용성 있는 기술 집약적 IT 부품이다. 정보화가 진전되면서 이와 같은 범용성 있는 기술 집약적 IT 부품으로서 소프트웨어와 ASIC등의 하드웨어가 결합되어 있는 제품은 더욱 많이 출현할 것이고 이 분야에 있어서의 기술추격을 위한 기술개발, 기술소화흡수 프로젝트는 이와 비슷한 문제에 직면할 것이다. 이들 범용성 기술 집약적 IT 부품에 있어서의 기술추격 모델, 기술추격을 위한 전략 및 정책 방향 모델에 대한 연구가 요망된다.

20 2001. 4. 23 국산 기계 제어 컴퓨터 개발 프로젝트 참가회사 대표 인터뷰

참고문헌

- 김일규(1999) .수치제어 장치개발 토론자료
- 윤종섭(1999). CNC공작기계의 기술동향[지적재산21](55).
- 노데 료이치(1994). 신뢰성에 목숨을 걸고 [세일] (여름호).
- Amsden, A. The rate of growth of demand and technical change. *Cambridge Journal of Economics*. Mimeo, 1983.
- Amsden, A. H. The division of labor is limited by the rate of growth of the market:(why innovation is faster when the rate of growth output is faster) the Taiwan machine tool industry revisited.,mimeo, 1983.
- Boehm, B. W. A spiral model of software development and enhancement. *IEEE computer* May: 1988, pp. 61-72.
- Carlsson, B. Technological systems and economic development potential:four Swedish case studies. 1992
- Carlsson, B. and S. Jacobsson Technological systems and economic policy: the diffusion of factory automation in Sweden. Paper presented at the International Joseph A.Schumpeter Society Conference,Kyoto,Japan,August 19-22,1992
- Cohen, W. M. and R. Levin. Chapter 18, Empirical studies of innovation and market structure. *Handbook of Industrial Organization*. R. Schmalensee and R. D. Willig. Amsterdam, Elsevier Science Publishers,1989, B.V. 2: 1060-1093.
- Dalum, B., M. Holmen, et al. *The formation of knowledge based clusters in North Jutland and Western Sweden* DRUID conference on national innovation systems, industrial dynamics 1999.
- Debresson, C. *Economic Interdependence and Innovative Activity: an input-output analysis*, Edward Elgar Publishers. 1997.
- Debresson, C. *Interindustry and Interfirm Linkages within National Innovation Systems*. DRUID summer conference on National Innovation Systems and Industrial Dynamics, Rebild Denmark. 1999
- Drejer, I. *Comparing Patterns of Industrial Interdependence in national systems of innovation*. DRUID summer conference on National Innovation Systems and Industrial Dynamics, Rebild. 1999
- Edquist, C. and B. Johnson. Institutions and organizations in systems of

- innovation. in *Systems of Innovation*. C. Edquist. London, Pinter 1997.
- Hayami, Y. and V. Ruttan *Agricultural Development: an international perspective*. Baltimore, Johns Hopkins Press, 1971.
- Hirota, Y.. Machine tool manufacturing industry in the developing period in Japan and Taiwan. in *International comparison of technological formation-social capability of industrialization*. T. Nakaoka. Tokyo, Chikuma shobo, 1990, pp. 140-175.
- Jacobsson, S. The length of the infant industry period—evidence from the engineering industry in South-Korea. *World Development* 21(3),1993, pp. 407-419.
- Legendijk, A. and D. Charles. Clustering as a new growth strategy for regional economies? a discussion of new forms of regional industrial policy in the United Kingdom. *Boosting Innovation: the cluster approach*, 1999, OECD.
- Levin, R., A. Klevoric, et al. R&D, Appropriability, Opportunity and Market Structure: New Evidence on the Schumpeterian Hypothesis. *American Economic Review* 75:, 1985, pp.20-24.
- Lundgren, A.. *Technological Innovation and Industrial Evolution*, Stockholm School of Economics, 1991.
- Lundvall, B. *Product innovation and user-producer interaction*. Aalborg, Aalborg University Press., 1985.
- Lundvall, B., *National Systems of Innovation*. London and New York, Pinter publisher, 1992.
- Lundvall, B.3 User-producer relationships, national systems of innovation and internationalisation. *National Systems of Innovation*. B. Lundvall. London and New York, Pinter Publishers, 1992, pp. 45-67.
- Malerba, F. and L. Orsenigo Technological regimes and patterns of innovation: a theoretical and empirical investigation of the Italian case. *Evolving Technologies and Market Structure*. A. Heertje and M. Perlman. Ann Arbor, Michigan University Press, 1990.
- Malerba, F. and L. Orsenenigo, Are Schumpeterian pattern of innovation country specific, technology specific or both?, mimeo, 1994.
- Malerba, F. and S. Breschi Sectoral Innovation Systems : technological

- regimes, Schumpeterian dynamics and spatial boundaries mimeo, 1995.
- Malerba, F. and L. Orsenigo, *The Dynamics and Evolution of Industries*, 1996.
- McCormick, D. African enterprise clusters and industrialization : theory and reality. *World Development* 27(9). , 1999.
- Ministry of Science and Technology, White Paper on Science and Technology, Ministry of Science and Technology, Tokyo ,1999.
- Morgan, K., The learning region: institutions, innovation and regional renewal. *Regional Studies* 315, 1995, pp. 491-503.
- Mowery, C. D. and N. Rosenberg The influence of market demand upon innovation: a critical review of some recent empirical studies *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge, Cambridge University Press, 1982, pp.192-241.
- Nakaoka, T. On technological leaps of Japan as a developing country. *Osaka city_university economic journal*(22), 1987, pp. 1-25.
- Nelson, R. and S. G. Winter, *An Evolutionary Theory of Economic Challenge*. Cambridge, Mass, Belknap Press, 1982.
- Nelson, R. National innovation systems : a retrospective on a study. *Industrial and Corporate Change* 1(2), 1992, pp. 347-374.
- OECD, *Boosting innovation : the cluster approach*, Paris:OECD, 1999.
- Porter, M. E. Knowledge-based Clusters and National Competitive Advantage Presentation to Technopolis 97, 12 September, Ottawa 1997.
- Quintas, P. A product-process model of innovation in software development. Mimeo, 1993.
- Rabellotti, R. Recovery of a Mexican cluster: devaluation bonanza or collective efficiency? *World Development* 27(9), 1999.
- Rosenberg, N. ,Perspectives on Technology. Cambridge University Press, 1976.
- Sawai, M., Chapter 9, Multi-layered development of machine tool industry: with a focus on the 1920s. *Japanese Industrialisation and Technological Progress*. R. Minami and Y. Kiyokawa. Tokyo, Toyo Keizai Shinpo-sa, 1987.
- Schmitz, H., Small Shoemakers and Fordist Giants:Tales of a Supercluster. *World Development* 23(1) ,1995, pp. 9-28.
- Schmookler, J., *Invention and Economic Growth*. Boston, Harvard University

Press. 1966.

Smith, A., Chapter 14 Division of Labour and Manufacture. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. E. repr. Cannan. London, Methuen., 1776.

von Hippel, E., The dominant role of the user in semiconductor and electronic subassembly process innovation. *IEEE Transactions on Engineering Management* EM-24(2), 1977, pp. 60-71.

von Hippel, E., A customer-active paradigm for industrial product idea generation. *Research Policy* 7,1978, pp. 240-266.