기술축적과정에서의 사용자-생산자 관계: 우리나라 기계제어컴퓨터 사례

임채성*

〈 목 차 〉

1. 서 론
2. 기술추격과정에서의 클러스터와 시장
3. 사용자-생산자관계에 대한 가설
4. 사용자-생산자관계와 지식기반
5. 결 론

Summary: 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. This paper argues that these characteristics of the industry challenge existing approach to R&D management and framework of science and technology policy.

* 그리스도신학대학교 경영정보학부 조교수 (e-mail : footkorea@yahoo.com)

1. 서 론

한국은 산업화 초기에 저임을 바탕으로 하여 수입된 원자재, 설비와 부품으로 완제품을 생산하였으므로 관련 산업이 취약함에도 경쟁력 있는 상품을 생산하였다. 그러나 산업화가 진전됨에 따른 임금 및 지가의 상승은 관련 산업의 발전이 없이는 완제품을 경쟁력 있는 가격에 생산하는 것이 불가능하게 되었다. 경쟁력을 갖추기 위해서는 수입에 의존하던 설비, 부품 및 원자재를 국내에서 생산해내는 관련 산업으로 이루어지는 산업 클러스터[1] 형성이 중요해지게 된 것이다.

본 연구는 공작기계 관련 클러스터 형성과정에서의 공작기계의 핵심 IT 부품인 공작기계 제어 컴퓨터 (numerical controller: 수치제어장치)의 사례를 보고자 한다. 한국에 있어 이 산업은 1985년 첫 생산이 개시된 이래 1990년대 중반 다소 시장을 확보하는 듯 하였으나 이후 저조한 성과를 보여 왔다. 본 논문은 사용자-생산자관계, 지식기반 측면에서 공작기계 제어 컴퓨터 기술축적을 제약하는 요소를 확인하고 시사점을 구해보고자 한다.

공작기계는 금속을 깎아내고 자르고 갈아내는 등의 공정을 수행하는 기계로써 다른 기계를 만들어내는 "어머니 기계"라는 별명이 붙어있는 기계이며 자동차 등의 자동 생산 공정의 핵심을 담당하는 기계이다. 기계제어 컴퓨터 (numerical controller: 수치제어장치)는 기계가공물의 공정, 형상, 치수를 장치에 입력하면 기계가 자동적으로 가공공정을 수행하도록 지시하고 감독하는 컴퓨터이다.[2] 공작기계의 편리성, 정밀성, 신뢰성을 좌우하는 핵심부품이며 유연생산체제 (FMS) 등을 구성하는데 있어 핵심기술의 위치를 차지하고 있다.

2. 기술 추격과정에서의 클러스터와 시장

본 연구는 선진국에서 수행된 클러스터 연구 (Porter, 1997; OECD, 1999)의 전통을 따르고자 한다. 클러스터에 대한 연구는 혁신시스템논의 (Lundvall 1992; Nelson, 1992; Edquist 1997; Carlsson, 1992)와 궤를 같이 한다. 혁신시스템은 국가 혹은 산업차원의 기

---

1) 본 논문에서의 산업클러스터는 포터 (Porter, 1990)의 개념을 따른다.

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, 키보드 PLC (programmable logic controller), 시스템 소프트웨어, 플로피 드라이버 등으로 구성된다.

술혁신성과가 단일한 요인에 의해 결정되기 보다 기업조직, 기업과 관련된 주체, 제도 등 다양한 요소가 영향을 미친다는 종합적 접근 (holistic approach)이라고 할 수 있다.

클러스터 접근은 혁신시스템 접근의 전통을 따르되 산업차원, 지역차원에서의 기업활동과 연계에 대해 더 자세히 분석하는 접근이다. 클러스터 연구는 경쟁력 확보차원에서 클러스터 형성을 강조한 연구 (Porter, 1990; 1998)외에 새로운 기술의 출현에 따른 클러스터 형성과정 혹은 선진국의 경쟁력 있는 산업 클러스터 분포 패턴 (Lundgren, 1991; Carlsson, 1992; Carlsson and Jacobsson, 1992; Debresson 1997; 1999) 등에 대한 연구가 있다. 최근의 클러스터 논의는 기업 및 기타 기관의 지리적 분포와 상호작용, 혁신활동에 대한 논의 (Morgan, 1995; Lagendijk, 1999)를 발전시키고 있다.

기술추격 국가의 경우 기술능력이 없는 기업들이 기술능력을 축적하면서 관련 산업의 제품을 만들어 내게 되고 산업 클러스터를 형성하게 된다. 기술추격국가에서의 산업 클러스터 형성의 구체적인 과정에 대해서는 별로 알려져 있지 않다. 클러스터 형성과정에 대한 대한 연구가 빈약한 실정이기 때문이다. 선진국에서의 연구 (Dahmn, 1988; Dalum, Holmen et al., 1999; OECD, 1999)는 주로 신산업 출현에 따른 클러스터 형성 혹은 국제적으로 앞선 경쟁력 있는 산업의 클러스터 형성에 대한 연구를 주로 다루고 있어 개도국 혹은 신흥공업국형 기술추격 국가의 클러스터 형성 과정에 주는 시사점은 떨어진다. 한편, 기존의 개도국에 대한 연구 (McCormick, 1999; Rabellotti, 1999; Schmitz, 1995)는 저부가가치형 산업에 대한 연구에 머무르고 있어 선진국형 산업구조로 이행하는데 있어서의 클러스터 형성과정을 조명하지 못한다.

본 논문의 사례분석은 규모의 경제형 조립 산업에서의 클러스터 형성을 이해하는 관점에서 연구틀을 구성하였다. 선진국 경제를 주도하고 있는 규모의 경제형 조립 산업은 자동차 및 그 부품, 전자 및 통신 산업들을 포함하는 산업으로서 불균형 산업화로 성공한 신흥공업국에서 경제발전의 견인차 역할을 한 산업이다. 신흥공업국의 경우 규모의 경제형 조립 산업은 수입품을 조립하여 완제품을 생산하는 데서 시작하여 점차 그 부품을 국산화해가면서 관련 산업 클러스터를 형성해 왔다. 완제품의 생산규모가 성장함에 따라 부품에 대한 수요도 늘어나게 된다. 그리고 국내 기업은 국내에서 커지는 부품시장을 점유하고자 부품 생산에 도전하게 된다. 그 생산 방식은 국내 기술력으로 생산이 불가능한 핵심 부품은 수입해 오되 나머지 주변 부품가운데 상대적으로 중요한 부품은 자사가 제작하고 나머지 저급 부품은 주변의 기업에 외주를 주어 제작하는 것이다 (中岡哲郎, 1990). 이러한 규모의 경제형 조립 산업에 필요한 설비는 선진국에서 구입하고 제품 혹은 생산방법에 대한 지식은 외국으로부터 도입하게 된다. 이러한 규모의 경제형 조립산업은 일정 규모 이상의 사용자 시장을 겨냥하기 때문에 범용성을 가지는 것이 특징이다.

클러스터 접근을 기계제어컴퓨터 사례에 적용하는데 있어 기본적인 기초단위는 혁신시스템을 이루는 사용자-생산자 관계를 이루는 기업들이다. 이들은 사용자-생산자 관계를 통해 시장을 형성한다. 이들은 거래관계를 통해 또한 정보를 교환한다 (Lundvall, 1985, 1992; Drejer, 1999). 기계 제어 컴퓨터 산업의 기술축적 과정에서 사용자-생산자간의 시장과 정보흐름은 중요한 의미를 갖는다. 시장형성을 이해하기 위해서는 시장의 계층성을 이해하여야 한다. 사와이 (Sawai, 1987), 히로따 (Hirota, 1990)의 연구에서 설명되듯이 기술추격국에서 만들어지는 제품이 열악함에도 시장을 확보해야 생산을 통한 기술축적이 가능하게 되는데, 이는 계층화된 시장구조를 통해 가능하다. 기술추격국에서 고가제품은 수입제품이, 중가 혹은 저가제품은 국산이 차지하는 방식의 계층화된 시장이 형성되어 있기 때문에 국내 기업들은 저가 혹은 중가의 시장에서 열악한 제품들을 판매해가면서 기술을 축적해 간다는 것이다. 이는 기술추격국에서 시장 형성과정을 설명해 주는 좋은 틀이라고 보여진다.

클러스터 형성은 산업별로 다른 패턴을 보일 수 밖에 없다. 산업의 특성을 보는데 있어서 산업의 특성에 영향을 미치는 기술 정체 (technological regime) (Nelson and Winter, 1982; Malerba and Breschi, 1995)의 특성으로서의 지식기반를 중심으로 보기로 한다. 지식기반은 지식의 특수성 (specificity), 암묵성 (tacitness), 복잡성 (complexity), 상호의존성의 정도와 지식이전의 수단을 포함한다 (Malerba and Breschi, 1995). 지식기반이 중요하게 부각되는 이유는 그것이 사용자-생산자간의 정보흐름과 관련될 뿐 아니라 기술축적 과정에서 불가결한 외국기술에의 접근 가능성과 관련되기 때문이다. 지식기반의 제 측면 가운데 지식 이전의 수단을 집중적으로 조명하고 1999년 및 2000년에 수행한 인터뷰, 설문조사를 바탕으로 4개 업체에 대한 사례 분석을 시도하고자 한다.

3. 사용자-생산자관계에 대한 가설

3.1 기계 제어 컴퓨터 시장의 개요

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 컴퓨터[3]는 공작기계 가격의 약 30~50%의 가격을 점유한다. 기계 제어 컴퓨터는 세계적으로

3) 같이 패키지로 팔리는 모터 및 모터 드라이버 부품 포함

보았을 때 일본의 파낙사가 세계수요의 50%, 독일의 지멘스가 15%, 일본의 미쓰비시가 15% 점유하고 있다. 국내 시장에서의 국내 메이커 시장 점유율에 대한 공식적인 통계는 집계되고 있지 않다. 외국 메이커의 국내 시장점유율은 파낙사가 60%, 독일의 지멘스가 10%, 일본의 미쓰비시가 10% 점유하고 있는 것으로 추정되고 있다 (윤종섭, 1999).

국내 메이커들은 1985년부터 통일중공업을 필두로 생산하기 시작하여 1994년 현재 금성산전, 한국산전 등을 통틀어 26%까지 이른 것으로 추산되기도 하였다.[4] 현재는 삼성전자, 한국와콤전자[5], 한국터보테크, 대우중공업이 생산을 하고 있으며 시장 점유율은 약 10% 내외로 추산되고 있다.[6] 시장 점유율이 축소된 측면은 국내 메이커들의 현황이 잘 설명해 주고 있다. 국내 메이커들 가운데 금성산전의 경우 기계제어 컴퓨터 사업을 포기하였고 한국산전은 경영악화로 대우중공업에 흡수되었고 통일 중공업의 경우 IMF 이후 통일 중공업의 경영악화로 통일중공업에서 분리 독립되는 과정을 거치면서 사업의 조정기를 거쳤다. 신규로 진입한 삼성전자와 한국 터보테크는 기계 제어 컴퓨터를 생산하고 있기는 하나 타 업체에 비해 두드러진 성과를 보이고 있지 못한 실정이다.

3. 2 사용자-생산자관계에 대한 가설

우선 국산 기계 제어 컴퓨터 시장에서 사용자-생산자간의 시장형성과 정보흐름과 관련한 간단한 추측을 다음과 같이 해 볼 수 있다. 초기에 개발되는 제품은 만족스럽지 못하다. 기술이 축적될 수 있기 위해서는 제품이 초기에 불안하더라도 사용자가 선택하여 사용하고 그 결과 나타낸 문제점을 제작자에게 피드백 해 주어야 제품의 품질을 높일 수 있다 (Nakaoka 1987). 따라서 국산 기계 제어 컴퓨터 산업의 부진한 성과에 대해 아래와 같은 가설을 세울 수 있다.

가설 1: 사용자들의 적극적인 구매 협력이 있다면 생산자의 기술축적이 가능했었을텐데, 사용자들의 적극적인 사용노력이 없었다.

만약 사용자들이 적극적으로 시장을 제공하면 생산자기업 (기계제어컴퓨터 메이커)들은 실행에 의한 학습 (learning by doing)의 과정을 거쳐 기술력 축적이 가능할 것이라는 것이다. 이 가설은 맞지 않다. 국내 주요 업체들은 국산 사용을 위해 가장 적극적으로 노력할 수

4) 전자신문 1994. 11.2, 12. 28 일자

5) 통일중공업으로부터 파생된 업체

6) NC 공작기계 조합 관계자 인터뷰 (2000. 6. 20)

밖에 없는 상황에서 기계 제어 컴퓨터가 제작되고 판매되었다. 1988년에 설립된 한국산전의 경우 사용자가 주주로 참여하였기 때문에 여러 측면에서 적극적으로 쓰려 하였다. 그러나 주주 기업조차 제품의 성능이 만족스럽지 않아 점점 사용을 회피하게 되었다.[7] 통일중공업의 경우에는 그 자체가 공작기계업체이기 때문에 자사 공작기계에 부착하여 판매를 시도하였다. 그러나 통일중공업도 자사에서 만들어진 제품을 부착하려 하지 않으려고 하였다. 왜냐하면 국산제품을 부착할 경우 공작기계 성능의 안정성이 떨어져 팔리지 않게 되기 때문이다. 1980년대 후반에는 판매된 기계 제어 컴퓨터의 문제가 빈번히 발생하여 A/S 담당 직원들이 폭주하는 고장 수리 업무를 처리하는데 역부족인 상황에 직면하게 되었다 (Lim, 1997, p. 221). 신뢰할만한 제품이 개발되지 못했기 때문에 국산 기계 제어 컴퓨터에 호의적인 사용자들도 회피하게 된 것이다.

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

이 가설은 선진국에서 가능한 가설이다. 사용자-생산자간의 정보흐름을 통해 생산자의 기술 경쟁력이 증대되는 면은 Lundvall (1985, 1992), von Hippel (1977, 1978)의 연구에서 볼 수 있다. 그러나 본 조사 결과에 의하면 사용자 (공작기계 생산기업)-생산자(기계제어컴퓨터 생산기업)간의 디자인, 프로토타입, 기술정보 등 정보흐름이 미미했다. 본 연구에 의하면 기술지원(디자인, 프로토타입, 인적자원 파견)의 원천으로 사용자(공작기계메이커)가 중요하다고 응답한 기업은 없었다. 기술정보측면에서는 1개 기업만이 사용자(기계메이커)로부터의 기술정보가 중요한 것으로 응답했다.

〈표 1〉 사용자로부터의 기술 정보 중요성

항 목	기업수
중요하다	1
중요하지 않다	3
계	4

자료: Lim (1997, p. 200).

생산자들이 사용자 기업의 정보가 중요한 것으로 간주할 수 있게 되려면 사용자 기업들이 기계 제어 컴퓨터 개발과 관련된 지식을 축적하고 있어야 가능하다. 그러나 기계제어장치는

7) 주주회사 K, D 기업 인터뷰. 산업자원부 토론회 자료

기본적으로 소프트웨어와 전자장치로 이루어지기 때문에 기존의 기계 생산업자들의 생산의 결과로 축적될 수 없다. 국내 기계 메이커들은 수입 기계제어 컴퓨터를 부착하여 NC 공작기계를 조립하는데 필요한 인력을 확보하고 있다. 이들은 기계제어 컴퓨터와 기계부품을 연결하는 일에 종사하는 인력들로서 소프트웨어, PLC, ASIC관련 기술을 축적하기에는 부족한 수준이다.

물론 사용자는 제품 사용상에서 발견된 문제점이나 개선 요망 사항에 대해 기업에 제공하는 역할을 할 수 있다 (IV에서 논의). 이는 기술혁신과정에 있어 '사용에 의한 학습' (learning by using) (Rosenberg, 1982)과 관련된 역할이기도 하다. 이러한 기능은 제품의 전용성이 강하고 제품생산자가 제품개발능력을 이미 갖추어 있는 상태에서 의미를 가질 수 있다. 본 사례는 제품이 범용 제품이고[8] 제품생산자가 제품 개발 능력을 갖추지 못한 상태에서의 사례이다. 이 경우 사용자-생산자가 긴밀한 협력을 통해 제품의 문제점이나 개선요망 사항에 대해 정보를 제공한다 하더라고 생산자의 기술능력을 끌어 올리는데 긍정적인 역할을 하기가 어렵다 (자세한 내용은 IV의 내용 참조 바람).

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 측면으로 받아들여 질 수도 있을 것이다.

4. 사용자 생산자관계와 지식기반

사용자-생산자가 이루는 계층화된 시장의 성격, 정보의 흐름을 분석하고 기계제어컴퓨터의 지식기반 특성이 측면이 기술축적에 제약조건으로 작용할 수 도 있는 면을 논하고자 한다.

4.1 계층화된 시장

국내 시장의 계층성과 관련한 국내 제품의 위치는 다음과 같다. 국내 기업들이 생산에 도전한 제품은 범용 CNC 선반 혹은 밀링 머신에 쓰이는 기계 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.

---

8) 선반, 머시닝센타와 같은 범용 공작기계에 쓰이는 부품

국내의 기계 제어 컴퓨터 사용 업체 즉 공작기계 메이커들이 이 기계 제어 컴퓨터의 성능이 만족스럽지는 않지만 가격 우위성 때문에 구입할 수 있다고 한다면 국산 기계 제어 컴퓨터에 대한 시장이 형성될 것이라고 생각해 볼 수 있다. 불행히도 기계 제어 컴퓨터 시장은 이러한 저가형 시장의 형성이 매우 제한된 범위 내에서 형성되었다. 완제품의 경우와 비교하여 설명을 해보자. 공작기계 완제품의 기술축적이 가능했던 것은 중저가의 기계가 수입기계에 비해 성능이 떨어지나 가격이 싼 국산기계에 대한 시장이 형성되었기 때문이다. 그러나 기계제어컴퓨터의 경우 국산 중저가의 기계제어컴퓨터에 대한 시장이 얇게 형성되었다. 그 이유는 구매기업들의 기계제어 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 기계제어 컴퓨터의 경우 고장이 나면 자체적 인력으로 수리하는 것이 불가능하다.[9] 따라서 고장발생에 따른 작업 중단의 기회비용 부담이 더욱 큰 것이다.[10] 공작기계 구입자들 가운데는 공작기계 메이커에게 아예 외국 회사의 기계제어 컴퓨터를 부착하기를 요구하는 경우가 빈번하다. 공작기계 성능이 안정적이기를 원하기 때문이다. 따라서 기계메이커가 국산 기계제어컴퓨터를 부착하는 것이 어렵게 된다.

기계제어 컴퓨터 생산자가 시장을 확보하는 길은 수입되는 기계제어 컴퓨터와 비슷한 성능에 싼 가격의 제품을 내어 놓은 길이라고 생각할 수도 있다. 낮은 가격에 중저가 시장이라도 확보하려면 제품의 성능이 입증되어야 한다. 그러나 기계제어 컴퓨터의 경우 제품의 성능이 미리 평가되기 어렵다. 보통 기계제품의 경우 제품이 생산되면 테스트 기간을 지나고 초도 생산에 들어가게 된다. 초도 생산시 5~10 단위의 제품을 시험적으로 만들어 보고 팔아보기도 하여 제품을 안정화 하여 본격적으로 생산을 하게 된다. 통상 이 기간에 걸리는 시간은 6개월내지 1년이다. 그러나 기계제어 컴퓨터의 경우 테스트 기간을 지나고 초도 생산이 시작되었을 때 5~10대의 판매수량으로 신뢰성을 확보하기에는 너무나 부족하다. 판매 규모가 수백대 수준에 이르러야 비로소 제품 성능을 안정화 할 수 있다. 통상 이 기간에 걸리는 시간은 1년 혹은 2년이다 (Lim, 1997). 통일중공업의 노데 부장은 '기계제어컴퓨터의 개발은 성공했지만 이는 오직 반쪽의 목표 달성일 뿐이었다. 기계제어컴퓨터의 성공적 개발까지에는 먼 길이 남아 있다. 신뢰성을 확보하는 것이 개발하는 것보다 더 어렵기 때문이다' 라고 술회하고 있다 (노데 료이치, 1994). 이는 기계 제어 컴퓨터 개발에 진입한 기업의 신제품이

---

9) 공작기계의 경우 약 3~5년의 경력이면 약간의 수리가 가능하다. 기계 제어컴퓨터의 경우 10년이 지나도 전혀 수리 불가능하다 (공작기계 사용업체 전화 조사 결과) (Lim, 1997, p. 192)

10) NC공작기계의 경우 1달에 5000만원어치의 작업을 해야 손익분기점에 다다르는데 기계고장으로 1주일 정도 서게 되면 목표치 달성에 차질이 있게 된다 (Lim, 1997, p. 212)

시장을 확보하는 조건이 불리한 여건임을 보여 주는 것이다.

4.2 정보의 흐름

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

기계 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 공장내에서의 실험과 테스트로서는 한계가 있고 일정 수준 이상의 판매가 이루어져야 한다.[11] 그 이유는 다음과 같다.

사용자들은 여러 가지 예측하지 못하는 방법으로 키보드를 조작함으로써 에러가 발생하게 할 수도 있다. 또한 공작기계가 설치되어 있는 다양한 상황을 예로 들면 공장내의 다른 기계의 진동에 따른 공작기계에의 영향, 기계 안팎의 전선이나 스위치에 따른 전자기적 방해, 기타 노이즈 등의 상황에서 공작기계의 구동장치, 공작기계 제어컴퓨터의 하드웨어 부품이 영향을 받을 수 있고 이에 대해 기계 컴퓨터가 문제없이 작동하도록 제품을 개선하는 과정을 거쳐야 한다.[12] 이러한 제반 측면을 판매전 단계에서 모두 테스트를 통해 개선하기는 불가능하다.

따라서 판매량이 일정 규모 이상을 넘어야 제품의 성능을 안정화 시킬 수 있는 것이다. 이러한 특성은 기존의 혁신연구문헌에서 보이는 '사용에 의한 학습' 패턴과 다른 것이다. 즉 항공기의 경우 일부 한정된 사용자와의 상호 작용 속에서 생산자가 제품의 성능을 안정화 시켜 나간다 (Rosenberg, 1982). 기계 조립 제품의 경우 연구개발을 담당하는 부서에서 내부 성능 시험에 의해 제품 개발이 성공적으로 이루어졌다고 판단되면 개발된 제품은 생산 부서로 넘겨지게 된다. 생산 부서는 개발된 제품의 생산체제를 갖추고 초기 생산을 한다. 초기 생산 제품은 초기 사용자에 시험적인 판매를 하고 사용자들의 제품사용상의 문제에 대한 의견을 수집하여 성능을 안정화 시키게 된다. 이 과정이 끝나면 본격적인 판매에 나서게 된다. 제품의 본격적인 판매 후 사용자들로부터의 사용상의 문제에 대한 의견을 수집하여 그 다음 신제품 생산에 반영하게 된다.

그러나 기계제어컴퓨터의 경우 신규 진입 기업이 내부 시험에 의해서 판매 가능한 수준의

---

11) 1000대 이상의 생산이 이루어져야 신뢰성과 가격 면에서 경쟁력 있는 기계 제어 컴퓨터 생산이 가능하다 (공작기계공업협회, 1991, p. 451).

12) Lim (1997, p. 222)

성능을 확보하기 어려운 특성이 있다 (<그림 1> 참조). 따라서 진입 기업의 연구개발 부서에서 신제품을 개발하고 내부 시험 결과가 성공적이었다 하더라도 연구개발 부서의 일이 끝나지 않게 된다. 수백대 수준에 이르는 제품의 판매를 통해 제품의 사용상의 문제를 수집하여 분석하고 제품 성능의 안정화를 위한 연구활동을 계속해야 한다. 이러한 문제 때문에 국내 진입 기업이 초기에 외국 제품과 같은 수준의 성능 신뢰성을 획득하기가 어렵다.

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 사용자 환경에서 문제를 발생하여 결국 1990년에는 판매를 중단해야만 했다. 그래서 약 1년간 제품의 안정성을 위해 공작기계 사용자환경에서 문제 발생한 원인에 대한 정보를 수집하고 자체 시험장비를 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 산학연 프로젝트로 1999년말 기계 제어 컴퓨터 신제품 개발이 완료된바 있다. 시험 평가 결과 정도시험, 가공시험, 성능시험 등에서 기존 수입 기계 제어 컴퓨터와 동일한 성능인 것(김일규, 1999)이었고 2001년 4월 현재 8대의 기계의 시험평가를 완료한 상태에 있다.[13] 향후 사용자 환경에서 약 200대 넘는 공작기계에서 시험을 해 보아야만 신뢰성을 입증할 수 있는 것으로 알려져 있다.[14]

이러한 면은 기계 제어 컴퓨터가 소프트웨어와 같은 산업 특징을 갖고 있기 때문이라고 해석될 수 있다. 기계제어 컴퓨터의 핵심지식은 기계 작동과정을 제어하는 소프트웨어에 체화되어 있다는데 있다. 소프트웨어 산업은 사용자환경에서의 지속적 시험을 해보아야 한다 (Boehm, 1988; Quintas, 1993). 그러나 기계 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, 스핀들모터&모터드라이브)를 같이 판매해야 한다는 면에서 사용자환경에서의 시험기회가 다른 일반소프트웨어의 경우보다 더욱 제한되어 있다.

4.3 지식기반

우선 기계 제어 컴퓨터의 제품 개발 능력은 제어장치를 움직이는 시스템 메인 소프트웨어

13) 국산 기계 제어 컴퓨터 개발 프로젝트 참가회사 대표 인터뷰 (2001. 4. 23.)

14) NC 공작기계조합 인터뷰 (2000. 6 .20.)

와, 구동장치 제어 소프트웨어, 회로기판 디자인 능력, ASIC 개발하거나 관련 사양을 주고 점검할 수 있는 능력 등을 포함한다. 이러한 능력을 습득하기 위해 지식의 원천에 접근하여야 하는데 기계 제어 컴퓨터의 경우는 지식의 원천에의 접근이 제한되어 있다. 일반적으로 조립 및 가공형 제품들은 디자인을 통해 지식을 습득하는 것이 가능하다.[15] 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 일부 회로들 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 기술 라이선싱 역시 기술학습의 적절한 도구가 되지 못한다. 1994년 조사에 의하면 4개 공작기계 제어컴퓨터 메이커 가운데 3개 기업이 기술능력을 축적하기 위한 주요 방법으로 간주하고 있지 않았다 (Lim, 1997, 205). 이들 3개 기업은 기술 라이선싱이 기계 제어 컴퓨터 개발능력 습득하기 위한 방법으로서의 유용성이 없는 것으로 답했다 (Lim, 1997, p. 205).

〈표 2〉 기술이전 도구로서의 기술라이선싱에 대한 의견

기업	기술라이선싱 경험?	소스코드의 수정을 통한 제품개발 학습 가능성
기업 1		어렵다
기업 2	X	--
기업 3		기업이 전에 제품 개발 경험이 있느냐 여부에 달려 있음
기업 4	X	기업이 외국 제품개발능력과 동일한 능력 가졌을 경우에만 가능

자료: Lim (1997, p. 206)

기술라이선싱의 경우 소스코드의 제공[16] 또는 생산방법제공을 포함한다. 국내업체들은 소스코드를 제공받는다고 하더라도 이를 바탕으로한 기술능력 축적의 기반을 확보하기가 어렵다. 기계의 경우 기술을 라이선싱하면 설계 도면을 제공받는다. 기술 라이선싱 받은 기종을 생산해나가다 이 기종의 설계도면을 약간씩 수정해 가면서 자체적으로 기계개발 기술을 습득해 나간다. 그러나 공작기계제어컴퓨터의 경우 소스코드의 변경을 통한 타 기종을 개발하기가 어렵다. 공작기계 제어 컴퓨터 개발 경험이 없는 국내 기업은 제공받은 소스코드의 디

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

16) 기계의 경우 청사진 도면 (blue print)에 해당함

자인과 구조를 해석할 수가 없다. 소스코드의 디자인과 구조를 해석할 능력이 없는 상태에서는 소스 코드의 부분 수정을 통한 제품 개발이 불가능하다. 소스코드를 변경하여 제품을 개발할 수 있다는 것은 공작기계 제어 컴퓨터 소프트웨어를 개발할 수 있는 능력을 갖추고 있는 것과 같다. 따라서 외국으로부터 기술 구입을 바탕으로 한 기술축적이 어려운 것이다 (<표 2> 참조).

즉 소프트웨어 디자인 지식은 소프트웨어 개발 및 회로기판 설계, ASIC사양 제공하는 암묵적 능력을 필요로 한다. 소프트웨어 개발 관련 암묵적 지식은 자체적인 연구개발을 통해서 개발되어야 하고 외국 기업과의 협조는 연구개발 과정을 통해서 문제가 된 부분에 대해 협조를 구하는 형태가 되어야 하는 것이다.

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 아래 표와 같다.

〈표 3〉 공작기계와 기계제어컴퓨터산업의 차이

특 징	공작기계산업	기계제어컴퓨터산업
지식기반: 지식의 본질과 지식 이전의 수단	• 지식의 본질은 암묵적이고 지역적. 지식 이전의 수단은 역 엔지니어링, 기술라이선싱. 제품을 개발하는 지식은 이 수단을 통해 이전하는 것이 가능하다.	• 소프트웨어 디자인 지식은 소프트웨어 개발 및 회로기판 설계, ASIC사양 제공하는 암묵적 능력을 필요. 지식의 본질 암묵적. 지식이전 수단으로 역 엔지니어링, 기술라이선싱은 불가능하거나 유용성이 떨어짐. • 기술라이선싱으로 소스코드가 제공된다 하더라도 라이선싱 제공자와 같은 기술적인 능력을 갖고 있지 않는 한 디자인 변경을 하는 것이 불가능
시장형성	• 계층화된 시장구조: 국내 기계 메이커에 중저가 시장 제공 • 제품 성능 신뢰성 규모의 경제에 의존하지 않음	• 계층화된 시장구조: 국내 기계 제어 컴퓨터 메이커에 중저가 시장 제공 폭 좁음 • 제품 성능 신뢰성 규모의 경제에 의존
사용자-생산자간 정보 흐름	• 제한된 흐름 .	• 제한된 흐름

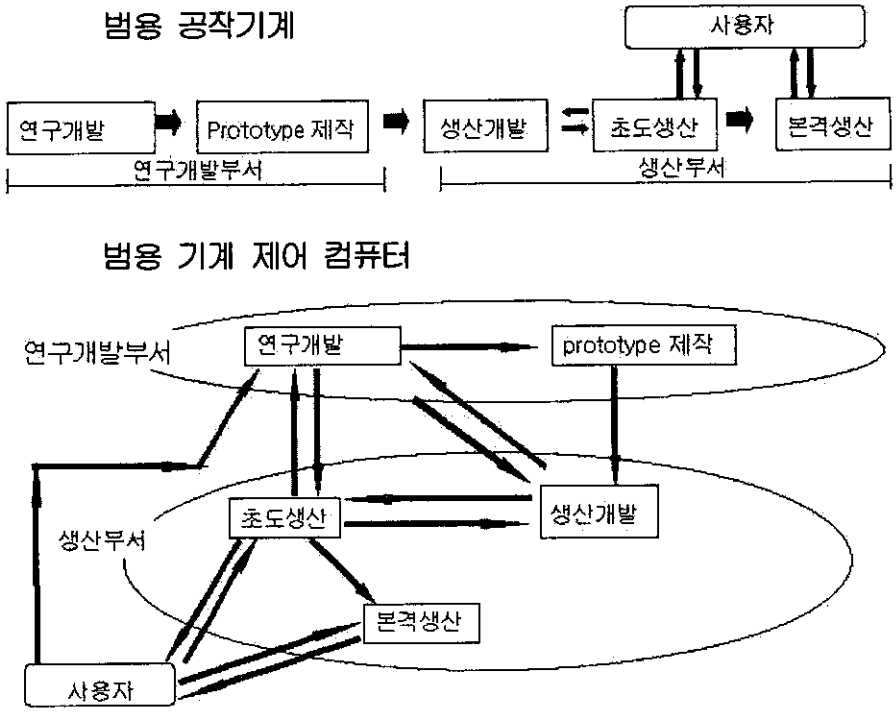
자료: Lim (1997, p. 242)

5. 결론

이상 살펴본 바와 같이 기계 제어 컴퓨터의 경우의 사용자-생산자간의 시장형성, 정보흐름, 지식기반의 특징은 국내 공작기계용 컴퓨터 메이커들이 기술을 축적하는데 제약조건을 제시하고 있음을 알 수 있다.

이러한 제약조건들은 기업의 연구개발전략 및 연구개발 정책측면에서 새로운 도전이 아닐 수 없다. 기업차원에서 기계 제어 컴퓨터 개발에 진입할 때 연구개발 프로젝트의 기간이 길기 때문에 기계제어 컴퓨터 개발 프로젝트 수행 부서에서 연구개발 성과를 가시화하여 긍정적인 평가를 받기가 어렵다. 국내 기업들의 연구개발 프로젝트가 1년 남짓한 것이 대부분이기 때문이다. 더구나 전자부품은 연구개발 제품을 시험 테스트 받아 그 성능의 성패를 평가할 수 있는데 비해 기계 제어 컴퓨터의 경우 연구개발 제품의 성능 테스트만으로 연구개발 제품의 성능의 성패를 알 수 없고 시장에서 판매해 나가면서 제품의 성능 신뢰성을 확보해야 하는 불리함을 안고 있다.

이 사례는 모방적 연구개발 과정을 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 프로토타입이 제작되면 자체시험을 거쳐 생산부서에 넘겨진다. 생산부서는 생산 (양산) 체제를 위한 개발을 담당하고 연구개발팀은 생산부서가 생산 체제 갖추기 위한 개발 과정을 지원한다. 그러나 기계제어 컴퓨터의 경우는 생산과 판매과정이 여전히 연구개발팀을 중심으로 이루어져야 함을 보여 주고 있다. 개발된 제품이 자체 시험을 거치고 생산 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 기계 제어 컴퓨터는 연구개발 프로젝트의 성공 여부의 판단은 시장에서의 판매를 통한 성능 안정화 과정까지를 포함하여 평가해야 하는 것이다.



<그림 1> 기계제어컴퓨터 제품 개발과정

기계제어 컴퓨터기술은 자동차, 전자 등의 제조업 전진기지로서의 한국의 자동화된 생산공정의 핵심을 담당하는 기술이라는 면에서 국가적으로 그 중요성이 날로 커지는 분야이다. 생산 자동화 관련 소프트웨어 기술은 미국 등의 선진국에서도 국가 중요기술로 규정해 놓는 기술이기도 하다 (일본 과학기술청, 1999). 그런 면에서 향후 보다 심층적인 분석이 있어야 겠지만 단순히 현재의 만족스럽지 못한 성과를 보고 정책적인 지원을 포기하는 것이 당연하다고 논하는 것은 바람직하지 않다. 하지만 이 산업의 연구개발 과정의 특수성과 불리한 기술축적의 조건을 감안할 때 정책적인 자금 지원의 합리적 근거에 대해서는 보다 심층적인 분석이 필요한 것으로 사료된다.

기계 제어 컴퓨터는 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 기술도입에 의존하는 전략을 추진하면서 성공적인 기계제어컴퓨터 생산 업체로 자리 매김하는데 실패하고 말았다. 1999년말 NC 조합을 구심점으로한 약 4년에 걸친 연구개발 프로젝트가 완료되었다. 그러나 여전히

시장에서의 판매를 통해 제품의 성능 신뢰성을 높여나가는 정책 및 전략 방안은 명확하지 않은 상태이다.

본 기계 제어 컴퓨터 사례는 새로운 질문을 던진다. 기계 제어 컴퓨터는 자동화와 관련된 범용성 있는 기술 집약적 IT 부품이되 전기, 전자, 기계, 소프트웨어를 융합하여 통합하는 복합적 시스템 부품이라고 할 수 있다. 정보화가 진전되면서 이와 같은 범용성 있는 기술 집약적 IT 부품으로서 소프트웨어와 ASIC 및 여러 부품을 통합하는 복합적 시스템 부품은 더욱 많이 출현할 것이고 이 분야에 있어서의 기술추격을 위한 기술개발, 기술의 소화흡수 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.

〈참 고 문 헌〉

김일규 (1999), 「수치제어장치 개발」, 비공개자료.

노데 료이치 (1994), "신뢰성에 목숨을 걸고" 「세일」 (여름호).

윤종섭 (1999), "CNC공작기계의 기술동향", 「지적재산 21」, 제55권.

中岡哲郎 (1990), 『技術形成 の國際比較』, 東京.

科學技術廳 (1999), 『科學技術白書』, 東京.

Boehm, B. W. (1988), "A Spiral Model of Software Development and Enhancement." *IEEE computer,* May, pp. 61-72.

Carlsson, B. (1992), Technological Systems and Economic Development Potential: Four Swedish Case Studies, Mimeo.

Carlsson, B. and S. Jacobsson (1992), 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.

Dalum, B., M. Holmen, et al. (1999), *The Formation of Knowledge based Clusters in North Jutland and Western Sweden,* DRUID Conference on National Innovation Systems, Industrial Dynamics, Rebild Denmark.

Debresson, C. (1997), *Economic Interdependence and Innovative Activity: an Input-output Analysis*, Edward Elgar Publishers.

Debresson, C. (1999), *Interindustry and Interfirm Linkages within National*

Innovation Systems, DRUID Summer Conference on National Innovation Systems and Industrial Dynamics, Rebild Denmark.

Drejer, I. (1999), *Comparing Patterns of Industrial Interdependence in National Systems of Innovation*, DRUID Summer Conference on National Innovation Systems and Industrial Dynamics, Rebild.

Edquist, C. and B. Johnson (1997), Institutions and Organizations in Systems of Innovation in, C. Edquist. *Systems of Innovation*. London: Pinter.

Hirota, Y. (1990), Machine Tool Manufacturing Industry in the Developing Period in Japan and Taiwan. in T. Nakaoka Tokyo, Chikuma Shobo, *International Comparison of Technological Formation-social Capability of Industrialization*, pp. 140-175.

Jacobsson, S. (1993), "The Length of The Infant Industry Period-evidence from the Engineering Industry in South-Korea," *World Development*, Vol. 21, No. 3, pp. 407-419.

Lagendijk, A. and D. Charles (1999), "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*, Paris: OECD.

Lundgren, A. (1991), *Technological Innovation and Industrial Evolution*, Stockholm School of Economics.

Lundvall, B. (1985), *Product Innovation and User-producer Interaction*, Aalborg: Aalborg University Press.

Lundvall, B. (1992), *National Systems of Innovation*, London: Pinter publisher.

Malerba, F. and S. Breschi (1995), Sectoral Innovation Systems : Technological Regimes, Schumpeterian Dynamics and Spatial Boundaries, mimeo.

McCormick, D. (1999), "African Enterprise Clusters and Industrialization: Theory and Reality," *World Development*, Vol. 27, No. 9.

Ministry of Science and Technology (1999), White Paper on Science and Technology, Tokyo: Ministry of Science and Technology.

Morgan, K. (1995), "The Learning Region: Institutions, Innovation and Regional Renewal," *Regional Studies*, 315, pp. 491-503.

Nakaoka, T. (1987), "On Technological Leaps of Japan as a Developing Country,"

Osaka City University Economic Journal, No. 22, pp. 1-25.

Nakaoka, T. (1990), *International Comparison of Technological Formation-Social Capability of Industrialization.* Tokyo: Chikuma shobo (in Japanese).

Nelson, R. (1992), "National Innovation Systems : a Retrospective on a Study," *Industrial and Corportate Change,* Vol. 1, No. 2, pp. 347-374.

OECD (1999), *Boosting Innovation : The Cluster Approach,* Paris: OECD.

Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations,* New York: The Free Press.

Porter, M. E. (1997), Knowledge-based Clusters and National Competitive Advantage, Presentation to Technopolis 97, 12 September, Ottawa.

Quintas, P. (1993), *A Product-process Model of Innovation in Software Development,* Mimeo.

Rabellotti, R. (1999), "Recovery of a Mexican Cluster: Devaluation Bonanza or Collective Efficiency?", *World Development,* Vol. 27, No. 9.

Rosenberg, N. (1982). *Inside the Black Box,* Cambridge: Cambridge University Press.

Sawai, M. (1987), "Multi-layered Development of Machine Tool Industry: with a Focus on the 1920s," in R. Minami and Y. Kiyokawa, *Japanese Industrialisation and Technological Progress,* Tokyo: Toyo Keizai Shinpo-sa.

Schmitz, H., (1995), "Small Shoemakers and Fordist Giants: Tales of a Supercluster," *World Development,* Vol. 23, No. 1, pp. 9-28.

von Hippel, E. (1977), "The Dominant Role of the User in Semiconductor and Electronic Subassembly Process Innovation, *IEEE Transactions on Engineering Managemen,* Vol. 24, No. 2, pp. 60-71.

von Hippel, E. (1978), "A Customer-active Paradigm for Industrial Product Idea Generation", *Research Policy,* 7, pp. 240-266.