

한국 생명공학산업의 기술혁신 패턴에 관한 연구

A Comparative Study on the Patterns of Technological Innovation of Bio - Industry in Korea

박 정 민*

〈目 次〉

- | | |
|------------------------|------------------|
| I. 서 설 | IV. 한국에서의 기술혁신패턴 |
| II. 이론적 검토 | V. 결 론 |
| III. 생명공학산업 일반의 기술혁신패턴 | |

<Abstracts>

This paper is an inquiry into the patterns of technological innovation of bio - industry in Korea in comparison with the worldwide patterns. In another words, this study wants to check whether the patterns of technological innovation of bio - industry in Korea differ from those in advanced countries or not. The comparison is based on the theory of science - based industry asserted by Seol (2001) and Cho (2001).

There are no specific difference in the patterns of technological innovation such as science - based innovation, capitalization of science, industries leading by scientific fields, the importance of venture firms for commercialization, high level of R&D expense to sales. Also the order of fields by size is similar to worldwide patterns. But the size of microbiology is bigger than that of worldwide patterns. The strength in microbiology may be the country specific features of Korea, like platform technology of Germany.

Key words: patterns of technological innovation, bio - industry

* 한남대 경제학과 대학원, duemin@nownuri.net

I. 서 설

최근 Genomics의 등장과 확산에 따라 생명공학기술이나 산업에 대한 관심이 고조되고 있다. 이를 반영하듯 한국에서도 1990년대 중반 이후 생명공학산업 자체나 이 산업에서의 기술혁신에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.

생명공학산업¹⁾에 대한 연구로 현병환·조성복(1998), 김주환외(1999) 등이 있고 생명공학 벤처기업에 대한 연구는 안두현외(1998), 현병환외(1999), 박정민·설성수(2000), 박호용(2000) 등이 있다. 생명공학산업에 대한 혁신체제론적 접근 혹은 기술혁신패턴에 대한 연구로는 정선양(1997)의 생명공학정책, 안두현·정교민(1999)의 한국에서의 특허를 통한 기술혁신 패턴, 송위진외(2001)의 선진국 혁신체제 변화 등이 있다. 한편 설성수(2001), 조황희·박수동(2001가, 나)은 생명공학산업을 과학기반산업의 범주에서 검토한다.

그런데 이상의 연구들은 선진국에서의 생명공학산업을 논하거나 기술혁신을 논한다는 공통점이 있다. 선진국의 생명공학산업이나 기술혁신 패턴은 이러한데 한국의 현실은 이렇게 다르다라는 지적보다 선진국의 일반적인 생명공학산업이나 기술에 대해서만 언급하고 있는 것이다. 물론 부분적으로는 선진국에 대비한 한국의 생명공학산업을 논하지만 종합적이지는 않다.

따라서 본 연구는 생명공학산업의 기술과 산업을 총괄하여 한국 현실을 선진국에 비추어 보고자 한다.

구체적으로는 한국의 생명공학기술과 산업이, 특히 산업적인 시각을 바탕으로 한 기술혁신 패턴이 선진국의 그것과 비교 분석하였다.

논의는 일단 산업별 기술혁신 패턴에 관한 기존의 연구를 검토하면서 본 연구의 기본시각을 정리할 것이다. 이어서 생명산업 분야에서 한국의 기술과 산업 특성을 검토하여 선진국과의 차이점을 밝힌다. 최근의 연구들은 대부분 산업별 기술혁신 패턴을 연구하며 기술적인 측면과 산업적인 측면을 동시에 감안하여 검토하고 있다. 또한 생명공학산업을 과학기반산업으로 보는 시각들이 등장하고 있다. 이에 따라 본 연구도 과학기반산업론의 입장에서, 기술적인 측면과 산업적인 측면을 동시에 감안하는 시각을 유지한다.

II. 이론적 검토

1. 기존의 산업별 기술혁신 패턴 연구

Nelson & Winter(1982)의 기술레짐이나 Dosi(1984)의 기술패러다임에 관한 지적은 기술속성에 따라 기술변화의 패턴이 달라질 수 있음을 이론적인 측면에서 파악한 것이다. 이는 특정기술과 그를 활용하는 기술들은 독특한 문제풀이 방식을 갖기 때문에 다른 기술그룹과 구분된다는 것이다. 한편 Perez(1983)는 특정기술군과 경제가 어우러지는 기술경제패러다임이 존재해 특정시기의 기술혁신 패턴이나 경제 전체의 구조를 좌우한다고 주장한다. 이 주장은 산업 단위로 보자면 특정기술과 그에 따른 산업적인 활용이 다른 산업들과 구분되는 패턴이 있음을 보인다할 것

1) 생명산업, 생물산업 등 명칭이 있으나 생명공학산업이 일반적이므로 이를 사용한다. 영문명 또한 bio-industry, biotechnology industry, biology industry 등의 명칭이 혼용되고 있으나 마찬가지로 이유로 bio-industry로 통칭한다.

이다.

반면 Pavitt(1984)은 가설적인 주장을 하는 이들과는 반대로 기술혁신에 대한 실제 조사를 통해 기술혁신의 패턴에 따라 산업이 구분될 수 있음을 보인다. 1950-60년대 영국에서 이루어진 기술혁신 패턴에 대한 조사는 산업이 공급자주도형, 규모집약형, 특화된 공급자형 및 과학기반형으로 구분될 수 있다는 점을 보였다. 공급자주도형 산업이란 특정산업에 기계장치 혹은 소재를 공급하는 산업의 기술혁신에 의해 해당산업의 기술혁신이 결정되는 산업이다. 규모집약형 산업은 항공, 자동차 등과 같은 대규모 장치산업으로 이 산업에서는 주로 기업 내적인 혁신에 의해 기술혁신이 이루어진다. 특화된 공급자형 산업이란 다른 산업에 설비나 기자재를 공급하는 산업으로 주요산업의 동향에 따라 기술혁신이 이루어지는 산업을 말한다. 한편 과학기반산업이란 과학적인 연구활동이 기술혁신을 결정하는 산업으로 전자나 화학산업이 이에 해당한다.

한편 이 분석은 상품혁신인가 혹은 공정혁신인가라는 혁신의 내용, 공급자 수요자 해당산업 내부와 같은 혁신의 주체, 규모요인이나 수요측 요인 혹은 과학활동과 같은 혁신의 원천을 통해 산업별 기술혁신 패턴을 분석하고 있다.

Robson et al.(1988)은 Pavitt(1984)의 데이터를 이용해, 산업을 기술의 생산과 다른 부문에서의 활용이라는 측면으로 구분하였다. 기술을 창출하는 산업은 대부분 제조업에 해당하고, 기술을 활용하는 산업은 비제조업으로 창출되는 기술혁신의 3%를 차지하지만 전체의 50% 이상을 활용하고 있는 것으로 나타났다. 제조업은 다시 두 개의 그룹으로 나뉘어진다. 그 하나는 화학, 기계장비, 기계공학, 전자, 과학기기 산업으로 이 부문은 전체 기술혁신의 65% 정도를 창출하

고 있고 제품혁신과 공정혁신의 비율이 4 대 1로 제품혁신이 주류를 이루고 있다. 또한 이 분야에서 창출된 기술혁신은 동시에 다른 여러 산업에서 활용되고 있어 기술혁신의 중요 생산자 그룹이다. 다음 그룹은 금속, 전기, 조선, 자동차, 건축자재 산업으로 전체 기술혁신의 25% 정도를 담당하고 있고 제품혁신과 공정혁신의 비율이 1.4 대 1로 나타나고 있다.

Cohen & Levin(1989)은 모방과 보상, 즉 기술보유자의 배타적인 기술소유를 지칭하는 전유성과 보상에 대한 연구를 통해 산업별로 기술혁신의 패턴이 다르다는 것을 지적한다. 산업에 따라 전유성 수단이 약하면, 즉 모방이 쉬우면 보상이 적으므로 특허 등에 의한 보호가 필요하고, 모방이 어려우면 그만큼 보상이 큰 구조를 갖는다는 것이다.

Malerba(1992)는 특정산업의 지식기반, 수요조건, 경쟁유형이 기술혁신을 추진하는 조직의 구조와 기술혁신 전략에 중요한 영향을 미친다는 점을 실증연구를 통해 입증한다. 1980년대 유럽의 컴퓨터 산업과 반도체 산업은 1) 기본부품 및 기본시스템 산업군(basic component and basic system)과 2) 시스템응용 산업군(system application)으로 구분된다. 전자는 연구개발비용이 크고, 제품의 표준화가 달성되어 전세계적 차원에서 경쟁을 하기 때문에 규모의 경제를 이룩하는 것이 기술혁신의 주요 목표가 된다. 후자는 다양한 수요자의 요구에 어떻게 부응하느냐가 신제품의 성공에 핵심적인 요소이므로 기업 내부에서만 개발을 수행하는 것이 아니라 전문업체를 활용하여 기술혁신을 수행한다.

국내의 연구로 박용태·이공래(1994)는 산업별 기술혁신패턴은 기술속성, 혁신주체, 혁신유발의 세 측면에서 구분된다는 전제하에 기계산업, 정보산업, 화학산업을 비교 분석했다. 기술속성에는 기술요소, 해

당산업 기술의 독립성, 수명주기와 발전단계, 창출 및 확산과정과 같은 세부요인들을 제시한다. 혁신주체 측면에서는 혁신주체의 구성요소, 각 주체의 기능과 역할, 각 주체의 관계, 산업조직적 특성이 감안되었다. 한편 혁신유발 측면에서는 기술과 산업의 연관성, 시장규모와 경제성, 산업수명주기와 성장 잠재성, 경쟁요소, 필요기술의 사유성과 공공성 등의 항목이 사용되었다.²⁾

한편 송성수(2000)는 박용태·이공래(1994)의 분석틀에 기반을 두고 기술속성 측면을 기술추세로 대체하여 철강산업을 분석한다. 이는 철강산업이 1990년대 분리 공정을 생략하고 생산공정을 직결할 수 있는 혁신적인 공정기술의 출현으로 세부공정의 통합이라는 기술시스템의 변모를 겪고 있고, 생산방식에 있어서도 '최대 생산과 최대 판매'라는 성장전략이 적정생산을 통한 최대이익의 확보라는 개념으로 전환되고 있기 때문이라는 것이다.

2. 과학기반산업론의 기술혁신 패턴 인식

생명공학산업이나 이 산업의 기술혁신에 관한 최근의 연구들은 과거와 같은 분석요인의 나열보다는 특정산업의 기술혁신 패턴은 과학기반혁신, 과학주도혁신 혹은 과학기반산업적인 혁신이라는 점을 강조하며, 그러한 용어가 어떠한 세부적인 요인을 갖는가를 분석한다.

과학에 기반한 혁신과 산업은 19세기 후반 독일에서 관찰되다가 1980년대부터 다시 부각되기 시작한

다(조황희·박수동, 2001가). 한편 과학기반혁신은 특허문서에 기재되는 비특허, 즉 과학문헌의 수로 파악되는 과학집약도를 통해 측정되기 시작했고(Carpenter et al., 1980, 1983; Grupp & Schmoch, 1992; Narin et al., 1997; Albert et al., 1999; McMillan et al., 2000) 최근에는 과학기반산업으로까지 확대되고 있다(설성수의, 2001).

高橋琢磨(1999)는 생명공학산업의 기술혁신 패턴을 분석하며 공학주도혁신과 과학주도혁신이라는 개념을 도입한다. 그리고 이 두 기술혁신의 패턴을 혁신의 근원, 혁신형태, 혁신수단, 경쟁우위의 원천, 특허정책, 혁신주체, 자금제공자라는 일곱 요인으로 분석한다. 그리고 과학주도혁신의 대표산업은 생명공학 혁신이고, 공학주도혁신의 대표산업은 전자산업이라 지칭한다. 이에 대해 설성수(2001)는 과학주도혁신과 공학주도혁신은 지나치게 이분법적인 분석이며, 생명공학도 공학의 성격을 갖는데 이를 과학주도라 하므로 용어의 통일성이 부족하며, 과학적인 활동이 없으면 존재할 수 없는 반도체산업도 공학주도혁신으로 구분한다는 것은 지나치게 생명공학 중심적 생각이라는 점이라고 비판한다. 그럼에도 과학기반혁신 혹은 과학주도혁신의 중요성은 상실되지 않는다는 점을 강조한다.

설성수(2001)는 과학기반산업은 '기초연구나 과학적 활동이 기술혁신의 기반이자 산업 자체를 형성하는 산업'으로 정의한다.³⁾ 즉 생명공학산업에서는 기술혁신의 패턴 자체가 산업속성이라는 것이다. 그리고 이에 입각하여 과학기반산업의 기술혁신 패턴을 혁신의 원천, 혁신의 유발, 혁신의 투입, 혁신장소, 혁

2) 이공래(1995)도 기술혁신, 혁신주체, 혁신유발이라는 세 측면으로 기계산업을 분석한다.

3) 정보산업(IT), 생명공학산업(BT), 나노기술(NT)을 3대 과학기반산업으로 분류한다.

신형태, 혁신주체, 혁신의 이전 및 연계의 정도라는 측면에서 검토한다.

조황희·박수동(2001가)은 과학기반산업에서 대학에서 산업계까지가 연결되는 과정을 과학의 자본화(capitalization)라는 개념을 이용하여 분석한다. 이들은 COSEPUP(1999)이 제시한 R&D투자, 환경, 인적자본, 파트너십이라는 네 요인들을 이용해 독자적인 모델을 만들어 한국에서의 과학기반산업이 가지는 조건을 분석한 것이다.

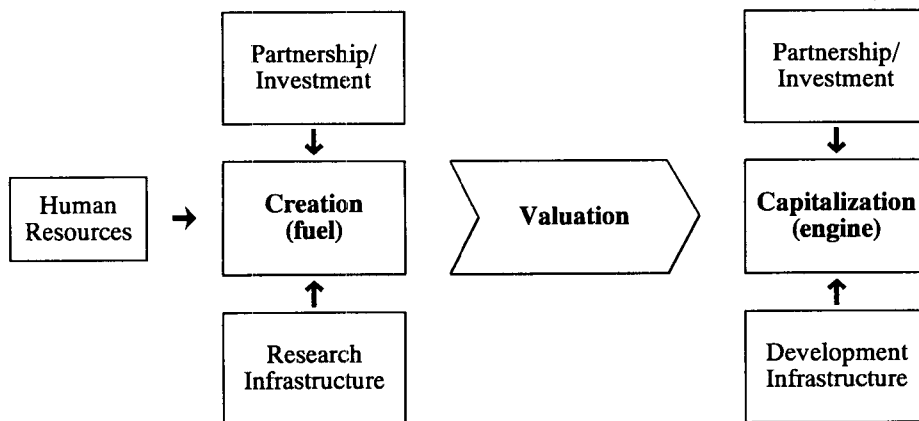
특정산업의 기술혁신 패턴에 대한 연구는 산업과 기술혁신패턴을 연계시키고자 하는 노력이지만 과거의 연구들과 과학기반산업론적인 연구들은 분명 차이를 보인다. 이들은 과학주도라는 기술혁신패턴을 상징적으로 제시하며 기술혁신패턴의 세부적인 요인을 분석하는 것이며, 한 걸음 더 나아가 그 과정의 분석과 산업적인 활용에 필요한 요소까지를 분석한다. 또한 이들은 기술혁신의 패턴과 산업을 동일시하는

시각을 갖는다.⁴⁾

이러한 점에 따라 본고도 과학기반산업론적인 관점에서 생명공학산업의 기술혁신패턴을 검토하고자 한다. 그러기에 본고의 구체적인 내용은 과학기반산업론적인 관점에서, 다시 말해 기술혁신론과 산업론이 결합된 입장에서, 선진국에 비추어 본 한국의 생명공학기술혁신패턴이라 할 것이다. 세부적인 분석 내용은 과학기반산업의 기술혁신 속성으로 지적되는 혁신의 원천, 혁신의 유발, 혁신의 투입, 혁신의 장소, 혁신의 형태, 혁신의 주체, 기술의 이전형태 및 기술에서 산업화까지의 연계의 정도 측면 등이다.

Ⅲ. 생명공학산업 일반의 기술혁신패턴

1. 기술동향



자료: 조황희·박수동(2001가), p. 70.

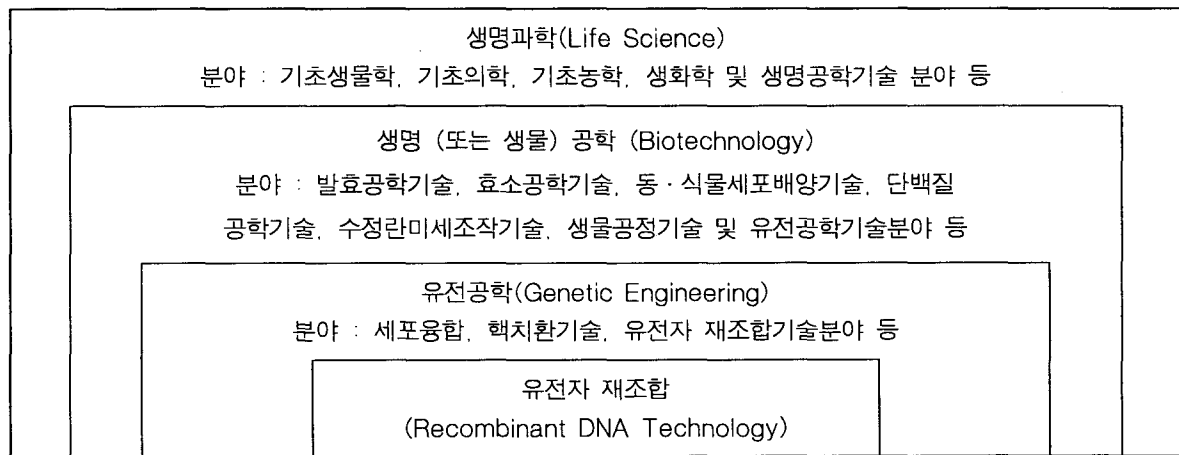
〔그림 1〕 과학기반산업의 역동적 자본화 과정

4) 설성수(2001)는 과학과 산업의 관계를 보는 시각이 크게 기술혁신적인 관점과 기술혁신론과 산업론을 결합한 관점으로 구분된다고 한다. 또한 전자는 과학기반혁신론과 혁신체계론적인 입장으로 다시 구분된다고 한다.

생명공학산업은 생명공학기술⁵⁾을 바탕으로 생물체의 기능과 정보를 활용하여 유용한 물질을 생산하는 산업으로 정의할 수 있다. 이는 생명공학산업이 제품이나 서비스에 의해 정의되기보다는 공통적으로 사용되는 기술에 의해 정의되는 산업이라는 것을 의미한다(송위진외, 2001). [그림 2]에서 보는 바와 같이 생명공학기술은 유전자재조합기술을 바탕으로 하여 유전공학(Genetic Engineering), 생명공학(Biotechnology), 생명과학(Life Science)의 범주까지 광범위하고 다양한 기술적 바탕을 가진다. 이러한 기술적 다양함으로 인해 기술의 응용범주가 생명공학 뿐만 아니라 보건의료, 농수산, 식품, 환경 등에 이르기까지 다양한 산업분야에서 활용될 가능성이 존재한다.

1990년부터 시작된 휴먼게놈프로젝트의 완성이 생명공학기술은 커다란 변화를 겪고 있다. 2001년 2월의 게놈 해석 결과를 보면, 인간의 유전자는 총 30억개의 염기쌍 중에서 생명정보를 담고 있는 염기쌍이 4만여개로 휴먼게놈프로젝트의 시작 당시 예상했던 10만여개보다 훨씬 적다. 이에 따라 유전자의 완전한 지도가 작성되기까지 걸리는 시간은 더욱 짧아질 것이고, 또한 1개의 염기쌍이 여러 개의 유전정보를 담고 있을 것으로 예상되어 유전체의 기능을 연구하는 것이 더욱 중요해질 것으로 예측된다.

<표 1>은 시대별로 바탕이 되는 기술의 변화를 보이고 있다. 최근 들어서는 DNA정보에 기반한 생물정보학(bioinformatics)의 등장 및 뇌형컴퓨터 등 정보기술과 생명공학기술이 융합되고 있다. 실제 미국 특허



자료: 과학기술처(1998), p. 29.

[그림 2] 생명공학기술의 범위

5) OECD(1982)에서는 생명공학기술은 '제품과 서비스를 생산하기 위해 생물학적 매개물을 사용하여 물질의 처리과정에 과학적, 공학적 원리를 응용하는 것'으로 정의하였다. 또한 현병환·조성복(1998)은 '산업적으로 유용한 제품을 생산하거나 공정을 개선하기 위하여 생체나 생체 유래물질 또는 생물학적 시스템을 활용하는 기술을 총칭하는 것'으로 정의하며, 생명공학기술을 전통적, 신생명공학기술로 구분한다. 이는 OECD(1982)의 정의와 동일선상에 있다. 한편 안두현·정교민(1999)은 OECD(1982)의 정의에 기초하지만 최근의 급속한 진보에 따라 생명공학기술이 '사회적·경제적 수요에 맞도록 생물의 유전 암호를 다시 프로그래밍하는 것'으로 변화하고 있음을 지적한다. 본고는 OECD(1982)의 정의에 기초하지만 최근의 변화를 반영하여 생명공학기술을 고찰할 것이다. 생명공학기술을 정의함에 있어 최근의 변화된 부분만으로 한정하지 않는 이유는 한국의 생명공학산업은 최근의 기술변화에 따른 영역만으로 보기에 무리가 따르며, 또한 기술의 범주에 대한 논의는 아직 하나로 모아지지 않았기 때문이다.

〈표 1〉 시대별 기술의 변화

연 대	주 요 기 술
1900년대	미생물순수배양기술
1940년대	항생물질 탐색기술
1950년대	발효기술
1960년대	세포대량배양기술, 바이오효터기술, 동·식물형질전환기술
1990년대	단백질공학기술, 환경생명공학기술, 바이오센서/바이오칩기술
2000년대	DNA정보, 뇌형컴퓨터, 생체에너지기술, 바이오마이크로머신, 효소전지

자료: 현병환·조성복(1998), p. 138에서 제작성

청 관계자들은 '지난 2000년 한해동안 약 3만 건의 새로운 유기화학 및 생명공학 관련 특허가 신청됐으며 이중 대다수는 유전자 관련 특허였다'고 밝혔다(한국경제신문, 2001. 2. 26). 또한 세계적인 의약품체들과 벤처기업들이 유전자 지도를 활용하는 프로젝트에 착수한 상태다. 그 외에도 유전자에 의해 발현되는 단백질을 규명하는 프로테오믹스 연구, 질병을 유발하는 유전자를 진단하는 DNA칩 개발 등이 광범위하게 진행되고 있다.

2. 산업동향

세계시장에서 생명공학산업이 차지하는 비중은 아직 미비하다. 2000년 현재 정보통신 산업이 9,210억 불인데 반해 생명공학산업은 540억불로, 정보통신산업의 5.9% 정도를 차지하고 있다(산업자원부, 2000). 그러나 생명공학산업은 수익성과 성장성이 다른 첨단산업보다 매우 높다는 특성을 보인다. 항암제인 인터페론은 1g당 5천 달러로서 금의 360배, 256DRAM 반도체의 14배이며 부가가치 비중이 60%에 달한다. 또한 세계 시장규모는 1990-97년에 연평균 32%의 높은 성장률을 보이고 있으며, 1995-2005년 기간동

안 생물산업의 연평균 증가율을 22.1%로 전망되어 반도체 9.4%, 자동차 3.5%에 비하면 매우 큰 수치이다(산업연구원, 1994).

〈표 2〉는 생명공학산업의 시장 현황을 응용분야별로 살펴본 것이다. 생물의약 분야가 생명공학산업 전체 시장규모의 60%에 이르고 있고 이 비율은 가까운 시일 내에 크게 변하리라 예상되지 않고 있다. 다음으로 생물공정 및 측정시스템이 15%를 차지하고 있다.

또한 Oliver(2000)는 향후 최소한 10년 동안은 대부분의 생명공학 제품이 제약분야에서 나올 것이라 예견한다. 〈표 3〉은 1996년의 미국시장에서의 생명공학 제품별 매출현황을 조사한 것이다. 역시 의료제품 분야의 매출액이 94억불로 전체 생명공학산업의 매출액의 92%를 차지하는 것으로 조사됐다.

한편 생명공학산업은 그렇게 큰 기업으로 구성되어 있지 않다. Nature Biotech의 세계 생명공학 상장기업 조사(1999)에서는 다음과 같은 사실을 보인다. 세계 생명공학 상장기업의 50%는 총수입 500-5000만불 규모이며, 총수입 5,000만불 이상인 기업은 전체의 13%에 불과하다. 둘째, 세계 생명공학 상장기업 중 87%가 순손실 단계이며 총수입 5,000만불 이

〈표 2〉 세계 생명공학 주요 응용분야별 시장 현황과 전망 (%)

	1997	2000	2003	2008	2013
생물의약	60.1	60.0	60.0	55.0	55.0
생물화학	7.0	7.0	7.0	8.0	8.0
생물환경	5.8	5.9	5.9	7.0	7.0
바이오품	5.1	5.0	5.0	6.0	6.0
바이오 에너지 및 자원	1.9	2.0	2.8	3.0	3.0
생물농업 및 해양	8.3	5.0	6.9	6.0	6.0
생물공정 및 측정시스템	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
총계 (억달러)	313(100)	540(100)	740(100)	1250(100)	2100(100)

자료 : 산업연구원 (1999), p. 17.에서 재인용

〈표 3〉 생명공학 제품별 매출 현황

(단위: 억\$)

	1996년(실제)	2006(추정치)
의료 제품	94	286
치료약품	76	245
진단시약	18	41
비의료 제품	8	38
농업	3	17
특수목적의 화학 물질	3	16
비의료용 진단시약	2	5
총 계	102	324

자료: Oliver(2000), p. 114.에서 재인용

상의 기업에서 이윤이 발생하고 있다(과학기술부, 2000).

Senker(1998) 역시 미국 내 생명공학의 산업화가 대학의 연구자와 벤처자본가들이 설립한 신생 벤처 기업들에 의해 주도되고 있다는 것을 보인다. McMillan et al.(2000)도 대학과 연계된 소기업들에 의해 기술의 발전이 주도된다는 점을 보여준다. 이는 기술의 상업화를 대기업이 주도한 반도체 산업 및 전자산업과는 상당한 차이를 보이는 것이다.

생명공학 분야의 기술혁신이 소규모의 창업기업에 의해 주도되는 이유로 다음과 같은 내용이 지적된다. 첫째는 일반적인 산업발전의 과정으로, 지배적인 디자인이 결정되기 이전까지인 초기에는 제품 자체에 대한 혁신이 활발하게 일어난다. 따라서 초보단계에 있는 생명공학산업은 제품혁신이 주를 이루고 창업 기업이 기술혁신을 주도하게 된다. 지배적 디자인이 결정되고, 대량생산 시기에는 생산공정에 대한 혁신이 주로 일어나고 이에 따라 혁신은 대기업으로 이동

하게 된다(조황희 · 박수동, 2001나).

둘째는 생명공학 자체의 특성으로부터 기인한다 할 수 있다. 한 생물체에서의 성공이 바로 다른 생물체에서의 성공을 의미하지는 않으므로 응용되는 대상만큼이나 많은 산업이 존재할 수 있다는 것이다. 따라서 작은 시장을 담당하는 벤처기업에게 유리한 환경이 조성되는 것이다(안두현외, 1998).

3. 기술혁신 패턴

앞서 살펴본 생명공학기술과 산업의 흐름을 바탕으로 이제는 생명공학산업의 특성을 검토하여 보자. 생명공학산업의 기술혁신 패턴은 과학주도혁신이고, 그에 따라 산업적 특성의 가장 큰 특징은 과학기반산업이라는 점이다. 사실 과학기반산업이라는 개념 자체가 생명공학기술과 산업에 기인한 바가 크다. 과학기반산업의 기술혁신 속성은 <표 4>와 같이 8개 요인으로 요약되며 생명공학산업의 기술혁신 패턴은 이의 연장선상에서 논의된다.

세부적인 요인들을 요약한다면 생명공학산업에서의 기술혁신은 과학적인 활동에서, 그러기 때문에 대

학이나 연구실에서 이루어지며, 연구개발투입이 많을 수밖에 없다는 것이다. 한편 대학의 연구실과 같이 분산된 혁신체제를 가지므로 상업화 시기에는 벤처기업이 주된 역할을 수행하고, 산업화가 본격적으로 진행될 때는 대기업의 역할이 커진다. 그렇기 때문에 대학의 연구실에서 산업화까지가 한꺼번에 연계되는 활용체제가 이루어진다.

이 밖에도 기술적인 측면에서 생명공학기술은 농·수산 분야, 의료·보건 분야, 생물과학분야 등 생명체와 관련된 전 분야에 걸쳐 다양하게 응용된다는 특징이 있다. 또한 제도적인 측면에서는 생명공학기술 혁신의 패턴을 결정짓는 중요한 요인 중 하나가 안전성과 윤리적인 문제이다. 기술 자체가 생명체와 직결되어 있어 사회적인 규제가 강하다는 특징이 있다. 따라서 사회적 규제를 극복하지 못하면 대표적인 산업으로 등장하지 못한다. 산업적인 측면에서는 아직 세계 시장에서 차지하는 규모는 작지만 수익성과 성장성이 높다는 특징이 있다.

이제 이러한 사실들에 대한 구체적인 연구결과를 검토해 보자. 세계 500대 기업에 속한 생명공학분야 기업의 매출액 대비 연구개발비 비중은 1998년 현재

<표 4> 과학기반산업의 기술혁신 속성

혁신의 원천	과학적인 탐구활동 자체
혁신의 유발	과학의 발전
혁신의 투입	연구개발비의 투입이 큼
혁신의 장소	대학, 연구실
혁신의 형태	제품혁신이 주 (특히 생명공학산업)
혁신의 주체	소규모 벤처기업, 부분적으로 대기업
기술의 이전	지식의존적이어서 확산이 용이
연계의 정도	창출에서 산업화까지 연계

자료: 설성수(2001), pp. 57-58.을 참고하여 재작성

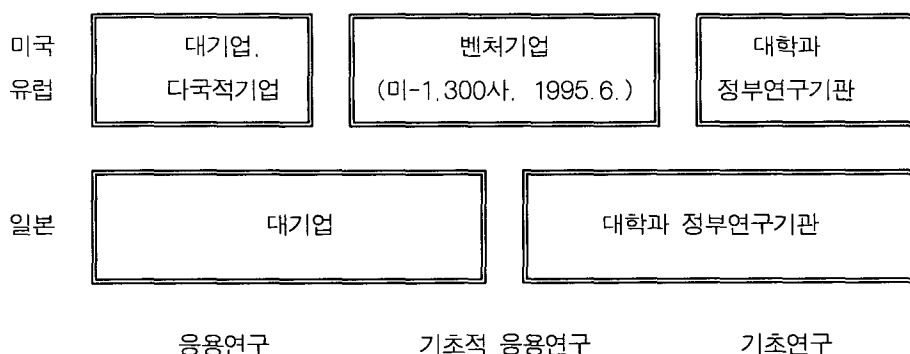
생명공학산업이 평균 46%, 제약업이 12.6%이고 3위인 소프트웨어기업들은 12.1% 수준이다(Bowonder et al., 2000). 한편 생명공학산업의 1인당 연구비는 1997년에 69,000달러로 전체기업 평균 7,651달러의 10배에 달하는 수준이다(Oliver, 2000). 생명공학기술의 과학화는 1995년 현재 선진 5개국 평균으로 의학이 8.66, 화학 3.18, 전문도구 1.27로 가장 높다(Narin et al., 1997).

생명공학기술의 원천과 이전에 대한 Fontes(2001)의 포르투갈 연구 역시 생명공학산업의 기술혁신패턴으로 지적되고 있는 일반 사항들을 지원한다. 포르투갈에서도 생명공학기술의 원천은 대학 혹은 공공연구기관에서 제공된다. 하지만 기술이 상업화를 단계를 거치거나 산업으로 이전될 때는 세 형태로 진행된다. 첫 유형은 직접 기술이전으로 신기술의 창출과 응용은 연구조직에서 담당한다. 이 유형은 연구조직에서 상업화까지 수행하는 경우와 응용단계까지의 연구를 외부에 이전하는 형태가 있다. 두 번째 유형은 벤처기업 내부에서 R&D가 활발하게 일어나는 경우로 공공연구조직과의 연결고리는 존재하지 않는 것처럼 보인다. 그러나 이때도 비공식적인 연결고리

는 있는 것으로 파악된다. 마지막은 연구조직과 벤처기업이 긴밀한 연결고리를 가진 형태로서 이 경우에는 대부분 박사과정 이상의 젊은 사람들에 의해 기술이전이 행해진다. 포르투갈의 벤처기업의 창업형태는 세 번째 유형이 가장 많이 나타난다. 이는 상대적으로 대학 내에서의 지위가 안정되어 있어 창업을 통한 위험을 감수하기에는 부담이 너무 크기 때문으로 풀이된다.

생명공학기술과 산업은 선진국에서 모두 동일한 것은 아니다. 국가별 혁신체제에서 차이가 있을 수 있고, 분야별 특성이 있을 수 있다. 선진국에서의 혁신체제간 차이는 [그림 3]과 같다. 미국과 유럽에서는 벤처기업이 기초적 응용연구를 담당하여 대학과 대기업을 연결시키는 역할을 수행하지만 상대적으로 일본은 벤처기업이 존재하지 않아 기초연구를 수행하는 대학 및 연구기관과 응용연구를 수행하는 대기업이 어느 정도 담당하고 있는 것으로 나타난다.

하지만 일본의 경우에도 최근 제약기업을 중심으로 미국의 게놈벤처들과 제휴를 모색하고 있어 기초연구와 응용연구의 가교역할을 수행하는 벤처의 존재가 꼭 필요함을 알 수 있다. 1994년부터 18개사의



자료: 조황희 · 박수동(2001나), p. 67 에서 재인용

[그림 3] 생명공학산업에서의 연구개발 영역과 주체

일본 제약기업이 해외 벤처기업과의 전략적 제휴를 체결한 것으로 나타난다. <표 5>는 미국내의 생명공학 벤처기업과 제약 대기업의 제휴 사례를 보여준다. 1978년도 Eli Lilly와 Genentech의 제휴는 유전공학 기술에 의해 개발된 인슐린을 생산하기 위한 계약이 그 첫 번째이고 이는 또한 생명공학과 관련된 첫 번째 상업적 시도였다(Oliver, 2000).

결국 혁신체제에서는 공공연구기관의 역할은 변화가 없고, 산업화에서 일본의 경우 벤처기업 의존도가 낮으나 비교적 유사한 패턴을 보인다. 둘째, 벤처기업과 대기업의 연계는 일반적으로 나타나는 것으로 판단된다. 그렇지만 각국에서 특화된 산업의 영역은 차이가 있는 것으로 지적되고 있다. Casper(2000)는 독일의 생명공학산업에 대한 연구에서 미국은 의약 및 질병치료 등 보건의료 분야에 특화되어 있고, 독일은 실험도구나 장비와 같은 기반기술 분야가 발달되어 있다는 것을 보인다. 이러한 차이의 원인은 우선 독일은 전통적으로 장비 및 자본재산업에 경쟁우위를 가지고 있었고 이러한 특성이 생명공학산업에 반영

되고 있기 때문인 것으로 보인다. 한편 미국이 치료제 분야에 집중되어 있는 것은 첫째, 벤처캐피탈의 생리로부터 도출된다. 보건의료 분야는 투자 위험은 크나 성공 시 수익이 막대하고, 연구개발의 과정에서 중간결과들이 특허와 논문으로 산출되기 때문에 중간과정에 대한 모니터가 쉬워 투자에 대한 결정이 용이하기 때문으로 풀이된다. 둘째, 미국 연방정부의 생명공학 분야 연구개발예산은 40.6%가 보건의료분야에 집중되어 있고, 38.9% 기초연구 분야에서 집행되어 보건의료 관련 기술개발이 활발하다는 것을 반영하는 것이다(송위진외, 2001).

이상을 요약한다면 선진국들의 생명공학산업의 기술혁신패턴은 혁신체제에서의 약간의 차이와 분야별 차이가 존재하지만 일반적인 속성에서는 변화가 없는 것이라 판단된다.⁶⁾ 사실 과학기반산업 논의에서도 차이 요인은 공통 속성으로 지적되지 않았다. 따라서 한국의 생명공학산업에서의 기술혁신패턴이 선진국과 차이가 있는지의 여부는 공통적인 속성부분에서 검토되어야 할 것이다.

<표 5> 미국내 벤처기업과 대기업의 제휴 사례

연 도	벤처 기업	대 기 업
1978	Genentech (California Univ.)	Eli Lilly
1984	Amgen	Kirin
1990	BioChem Pharma Inc.	Glaxo
1993	HGS(NIH)	SmithKline Beecham
1994	Chiron (California Univ.)	Ciba - Geigy
1997	Millennium	Monsanto
1998	Millennium	Bayer

자료: 조황희 · 박수동(2001나), p. 68에서 재인용

6) 국가별 기술수준 차이도 무시할 수 없는 요인일 것이다.

IV. 한국에서의 기술혁신패턴

1. 분야특성과 기술수준의 문제

1990-94년 동안 미국에 등록된 세계 주요 6개국의 유전자공학 특허는 총 3,411건이다. 국가별로는 미국이 2,165건 63.5%로 압도적으로 많고 일본이 441건 12.9%, 영국이 344건 10.1%, 독일이 244건 7.2%, 프랑스가 196건 5.7%, 한국은 21건으로 전체에서 0.6%를 차지한다. 한국은 비교대상으로 선택되기는 하였지만 미국의 1/100에 불과하여 선진국과 비교할 수 있는 수준이 아니라는 것을 보여준다(Rausch, 1999). 이는 국내 특허에 대한 분석에서 보듯이 양적인 성장은 이룩하였으나, 주로 외국의 기술을 개량하는 수준에 머물고 있음을 반영하는 것으로 파악된다.

안두현, 정교민(1999)은 1975년부터 1998년 초까지 한국에 출원된 생명공학 분야 특허 4,259건을 분석하여, 특허의 양적 성장은 이룩하였으나 그 내용적인 면에서는 기대에 미치지 못함을 밝혔다. 우리나라의 특허는 주로 외국에서 개발된 기술을 개량하는 수준에 머물고 있다는 것이다. <표 6>에서 기술분야별 특허의 현황을 보면, 유전자공학과 관련된 분야(015)가 55%를 차지하여 가장 많고 미생물 관련 분야(001)가 20%를 차지했다.⁷⁾ 국가별 출원으로 분야별 특성을 살펴보면 미국은 유전자공학 분야의 출원이 가장 많고 한국은 미생물 분야 및 유전자 공학 분야가 비슷한 수의 출원현황을 보인다. 한국은 미생물 분야가 강한 것이다.

각 세부기술별로 보면 현재 주목받고 있는 분야는 Human Genome, 치료제, 유전자변형 생물체, 식품화학 등이 있다. 특허출원 현황으로 보면 Human

<표 6> 한국에 출원된 생명공학특허의 기술분야별 현황

기술 분야	기술의 내용	국 가			전 체(%)
		한 국(%)	미 국(%)	일 본(%)	
001	미생물	608(39)	98(8)	74(13)	853(20)
005	동·식물 세포/배양	83(5)	143(12)	53(9)	339(8)
007	바이러스	38(2)	36(3)	7(1)	103(2)
009	효소/전구체	154(10)	99(8)	89(15)	487(11)
011	담채결합/고정화미생물	47(3)	21(2)	11(2)	101(2)
015	유전자공학	607(39)	803(66)	337(59)	2,347(55)
기타	기타	7(1)	12(1)	5(1)	29(1)
계		1,544(100)	1,212(100)	576(100)	4,259(100)

자료: 안두현, 정교민(1999), p.46.

7) 다른 식의 분석도 비슷한 결과이다. 생명공학 특허 출원현황은 1995년이래 연평균 11% 증가하여 1998년 1,512건에 달하고 있다. 분야별로는 의약분야가 65%로 가장 많고, 환경 11%, 농·식품 8%, 기타 16%이다(과학기술부, 2000, p.9).

Genome 분야에서 내국인의 출원은 효과가 이미 입증되었거나 가능성이 있는 물질의 모방·개량이 주를 차지하고, 경쟁적으로 출원하여 비효율적이다. 또한 대부분 수년에서 10년 이상 뒤져있다. 치료제는 선도적으로 물질을 개량하지는 못하나 모방이나 개량에서는 상당한 수준이다. 유전자변형생물체에 있어서도 세계적으로 종자산업이 부상하고 있는 경향과는 달리 품종의 개량보다는 Bioreactor에 치중하고 있다. 미생물과 효소 등에 해당하는 식품화학 분야는 상대적으로 경쟁력이 있는 것으로 판단된다(안두현, 정교민, 1999).

분야별 특징에 있어서는 벤처기업의 경우도 예외가 아니다. 생물산업협회의 2000년 3월 조사에서는 생물의학 분야가 42개로 가장 높았으며, 생물화학 23개, 생물농업 22개, 바이오식품 21개 순으로 총 133개의 기업이 존재하였다. 한편 생명공학연구소 바이오벤처센터는 2000년 8월 현재의 생명공학 벤처기업의 수를 조사해 436개로 발표하였다. 이 조사에서는 생물의학 분야가 94개 업체로 가장 많아 21.2%를 차지하고, 바이오식품이 67개 업체로 15.1%, 환경과 생물화학분야가 각각 61개(13.8%) 업체로 다음 순서이다.

2000년 상반기 불과 몇 달 동안 벤처기업 붐, 그것도 특히 생명공학 벤처기업 붐에 따라 생명공학 벤처기업이 폭증했다. 그리고 분야별로는 가장 큰 규모인 생물의학 분야에서 52개 업체가 증가하였다.⁸⁾ 그러나 특허에서의 동향과 마찬가지로 생물의학 분야의 비중이 그렇게 크지 않은 것이 한국의 특징이다.

2. 혁신원천과 주체별 관계

생명공학산업의 기술혁신은 대학이나 연구실에서 출발한다. 그리고 연구결과는 벤처를 통해 산업화되는 비중이 크다. 이를 차례로 점검하여 보자. 1975-1998년 기간 국내거주자에 의한 특허출원 1,544건은 10대 주요기관이 53.4%를 차지하고 있다. 10대 기관에는 민간기업 연구소의 비중이 569건, 36.9%로 크다. 이들에게는 LG화학연구원(232건), 제일제당(168건), 미원(43건), 목암(38건), 두산(36건), 녹십자(29건), 태평양(23건)이 속한다. 공공연구기관은 생명공학연구소(197건), 농진청(33건), 과학기술원(27건)으로 이들의 비중은 257건, 16.6%에 달한다(안두현, 정교민, 1999). 한국은 대학이나 공공연구기관보다 대기업의 비중이 크다는 특징이 있는 것이다.

한국바이오벤처협회에 따르면 생명공학 벤처기업의 최고경영자 현황을 보면 대학교수와 연구원 출신이 전체의 70%로 다른 업종에 비해 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다(전자신문, 2001. 5. 14). 이 비율은 전체 벤처기업의 비율과 대비된다. 전체 업종에서는 중소기업 출신이 37.39%로 가장 많고 대기업 31.33%, 연구원 9.82%, 대학교수 6.39%로 구성되어 있다(중소기업청 홈페이지, 2001. 5. 7. 현재). 이는 연구기관 중심으로 생명공학 관련 연구개발이 이루어졌고, 1999년부터 교수 및 연구원의 겸직을 허용한 데 따른 것으로 풀이된다.

생명공학 벤처기업이 서울과 대전에 집중되어 있다는 점도 대학과 공공연구소가 중요한 역할을 한다

8) 이는 2000년 6월 미국에서 게놈의 1차 해석이 발표되면서 생물의학 분야에 관심이 집중된 것을 반영하는 것으로 판단된다. 또한 기술적 측면에서도 한국의 유전자 재조합 기술이 선진국과 대비하여 85% 수준으로 부분적으로는 세계 시장에서 경쟁력을 갖추고 있다고 판단하는 데에도 원인이 있다.

는 것을 반영한다. 지역별로 생명공학 벤처기업의 수를 살펴보면 서울지역이 151개로 34.0%, 다음으로 대전 및 충청 지역이 27.8%를 차지해, 전체 생명공학 벤처기업의 60% 정도가 서울과 대전지역에 집중⁹⁾되어 있다. 이는 서울의 유명대학에, 또한 생명공학연구소나 LG화학 등의 연구기관이 대덕연구단지에 있기 때문이다.

생명공학산업의 경우 대학 및 연구소와 산업계의 연계가 많아지고 있다. '2001년 들어 국내 대학과 연구소들이 수탁한 연구과제가 20~30% 씩 격감하고 있어 산·학협동 기반이 흔들리고 있으나 생명공학 분야는 오히려 늘고 있다. 대덕연구단지에 있는 생명공학연구원의 경우 2000년에는 20건(16억원), 2001년에도 5월 현재 5건의 수탁과제 계약을 체결하였다. 수탁과제의 내역을 보면 5건의 수탁과제 중 4건의 과제가 생명공학 벤처기업이 의뢰한 것이어서 연구실과 벤처기업의 연계가 활발하다는 것을 보이고 있다'¹⁰⁾ (매일경제신문, 2001. 4. 3).

대기업과 바이오 벤처간 제휴의 예는 다음과 같다. 남해화학은 인섹트바이오텍과 협력해 솔잎혹파리 살충제 등 미생물 농약을 상용화할 계획이다. 삼성엔지니어링은 환경 관련 사업 경험에다 인바이오넷의 미생물 환경복원기술을 접목하기로 했다. 동부한농화학은 배제대 바이오의약연구센터와 제휴해 환경친화 생물농약 시장 진출을 서두르고 있다. LG화학은 CTC바이오, 대덕바이오 등과 제휴했다(중앙일보, 2000. 11. 28).

벤처간 제휴와 인수·합병도 활발하다. 마크로젠

과 씨트리는 신약개발을 위한 전략적 제휴를 체결했다. 마크로젠은 게놈정보 해석을 통해 새로운 질병모델을 규명하고 씨트리는 이를 이용해 해당 질병의 치료제를 개발하기로 한 것이다. 이처럼 비슷한 성격의 기업이 공동연구개발을 수행하는 경우는 바이오스펙트럼과 티지바이오텍이 피부노화 방지용 화장품 공동개발기로 한 것이나, 미생물 분야에서 바이오알앤즈와 프라임바이오가 합병한 것 등이다. 한편 성격이 전혀 다른 기업간에 투자와 상대 제품에 대한 독점판매권을 취득하는 협력 모델도 제시되었다. 유전자소재를 개발한 바이오니아는 바이오맥스가 생산하는 심장순환기 및 간질환 예방치료제의 국내 독점 판매권을 취득했다.

이와는 달리 벤처기업들이 하나의 공동체를 형성해 생존의 길을 모색하는 경우도 발견된다. 대덕연구단지에 입주해 있는 대덕커뮤니티는 10여 개 업체로 구성되어 기술은 있으나 산업화할 연결고리가 부족한 벤처기업들이 네트워크를 통해 연구·생산·마케팅 인프라를 구축하고 있다. 용인에 있는 바이오메드파크는 4개 업체가 입주해 있는데, 입주업체들이 자체 사업 외에 공동 프로젝트 수행을 통해 상승효과를 높일 수 있도록 했다(매일경제, 2000. 11. 8). 벤처기업간 공동체를 구성 운영한다는 점은 다른 나라에서 쉽게 찾아지지 않는 형태이다.

3. 종 합

이상의 논의를 요약할 때 한국 생명공학산업의 기

9) 생명공학 벤처기업의 서울 집중현상은 서울 인근의 자원과 인력을 활용하기 위한 것으로도 파악할 수 있다. 그러나 벤처기업 전체의 지역별 현황은 서울지역에 49%가, 경기지역에 18%가 집중되어 있는 데 비해 대전지역은 7%를 차지하고 있어 생명공학산업과 다른 양상을 보이고 있다.

10) 수탁과제의 양적인 증가만으로 산·연 연계가 늘고 있다고 단정할 수만은 없어, 이후 과제의 질적인 부분에 대한 연구가 필요하다.

술혁신 패턴은 다음과 같이 요약된다. 첫째, 특허를 통해 볼 때, 한국은 세계적으로는 6위권의 생명공학 강국에 속하지만 다른 선진국에 비교할 때 아주 미미한 수준이다. 특히 미국에 비해서는 1/100 수준에 불과하다. 둘째, 분야별로 볼 때 생물약 분야가 강하기는 하나 다른 나라와 같이 절대적이지 않고, 미생물 분야의 비중이 상대적으로 크다는 특징이 있다. 이는 특허뿐 아니라 벤처기업에 있어서도 그대로 나타나고 있어 분야에 있어서의 특징이 다른 나라와 크게 차이가 있는 부분이라 할 것이다.

셋째, 특허를 기준으로 볼 때, 대학이나 연구실의 비중이 작지는 않지만 대기업 연구실의 비중이 크다는 특징이 나타났다. 넷째로, 대학이나 연구실에서의 기술이전 및 벤처기업의 상대적 중요성, 나아가 연구소, 벤처 및 대기업의 연계 역시 충분히 확인되었다. 또한 선진국과 비교되는 특성이라 할 수는 없지만 2000년을 전후하여 벤처기업의 활동이 크게 강화되었다는 특징이 있다.

결국, 한국에서의 생명공학기술혁신의 패턴은 기술수준과 분야 특성을 제외한다면, 이들은 다른 나라에서도 국가별 특수성으로 발견되는 것이라 무시하고 볼 때, 선진국의 그것과 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 과학기반산업론적인 관점에서, 다시 말해 기술혁신론과 산업론이 결합된 입장에서 생명공학산업의 기술혁신 패턴을 검토한 것이다. 특히 산업별 차이 외에 국가별 차이가 존재하는지, 선진국의 기술혁신 패턴에 비추어 한국에서의 패턴이 동일 선

상에서 이루어지고 있는지를 검토한 것이다.

생명공학산업은 대표적으로 과학기반산업의 기술혁신 패턴을 반영한다. 이를 세부적으로 살펴보면 혁신의 원천은 과학적인 활동에서 나오고, 그 혁신은 대학이나 연구실에서 이루어지며, 연구개발 투입이 많을 수밖에 없다. 한편 대학의 연구실과 같이 분산된 혁신체제를 가지므로 상업화에는 벤처기업이 주된 역할을 담당하고 본격적인 산업화가 진행될 때는 대기업의 역할이 커진다. 이외에 아직 산업의 규모가 그리 크지 않다는 것, 기술의 활용도가 다양하다는 것과 안전성과 윤리적인 문제 등 제도적인 측면 또한 중요한 요인이다.

생명공학기술과 산업에 국가별 특성이 존재하기는 하나 산업별 특성을 뛰어넘는 뚜렷한 차이점은 발견되지 않았다. 즉 국가별 혁신체제에서의 약간의 차이와 분야별 차이가 존재하지만 일반적인 속성에서는 차이가 없는 것으로 판단된다. 마찬가지로 한국에서의 기술혁신 패턴은 기술수준과 분야 특성을 제외한다면 선진국과 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

본 연구는 생명공학 분야의 특성과 사례의 비교연구라는 수행 방법으로 한계가 있다. 이는 기본적으로 문헌연구로 출발했지만 논지의 전개에 있어서 완벽하게 자료가 제공되지 못하고 있다. 또한 다른 연구의 실증자료도 관찰기간이 짧다는 문제가 있다. 국내에서 생명공학 연구에 대한 관심이 고조되고 생명공학 벤처기업의 활성화가 이루어진 것이 2000년 이후부터이므로 관찰의 시간이 짧다는 것이다. 따라서 이후 시간을 가지고 관찰하며 보다 세부적인 사항을 비교·분석하는 등 추가적인 연구가 있어야 할 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

- 과학기술부 (2000), 「2000년도 생명공학육성시행계획」, 2.
- 과학기술부 (1998), 「생명공학육성 제2단계 기본계획 및 1998년도 시행계획」, 5.
- 김주환외 (1999), 「생물·의약산업의 발전전략」, KIET 정책자료 제105호, 산업연구원, 4.
- 박용태, 이공래 (1994), 「산업별 기술혁신패턴 비교분석」, 과학기술정책연구원.
- 박정민, 설성수 (2000), 「생명공학 기술혁신과 벤처의 특징」, 기술혁신학회 2000년 가을 학술대회 발표논문, 10.24, 표준과학연구원.
- 박호용 (2000), 「한국 바이오벤처의 현황과 성립조건」, 생명공학분야 벤처창업 활성화를 위한 세미나 발표논문, 생명공학연구소, 4.7.
- 산업연구원 (1994), 「2000년대 첨단기술산업의 비전과 발전과제(생물산업)」.
- 산업연구원 (1999), 「생물·의약산업의 발전전략」, 신산업 정책자료 99-10, 4.
- 산업자원부 (2000), 「대통령 주재 바이오산업 발전방안보고 회의자료」, 10.6.
- 설성수 (2001), 「과학기술산업의 속성과 논점」, 「기술혁신학회지」, Vol.4 No.1, 3. 49-63.
- 설성수의 (2001), 「과학을 기반으로 한 산업의 현황과 발전 가능성 모색」, 한국과학재단, 정책 2000-05, 3.
- 송성수 (2000), 「철강산업의 기술혁신 패턴과 발전과제」, 「기술혁신학회지」, Vol.3 No.2, 7. 94-110.
- 송위진, 김석관, 박범순 (2001), 「선진국 생물산업 혁신체제의 구조변화에 관한 연구」, 정책연구 2000-19, 과학기술정책연구원.
- 안두현, 정교민 (1999), 「생명공학산업의 기술혁신패턴 및 전개 방향-한국특허를 중심으로」, 과학기술정책연구원, 12.
- 안두현외 (1998), 「생명공학산업 벤처기업 동향조사」, 과학기술부, 9.30.
- 이공래 (1995), 「기계설비산업의 기술혁신전략」, 과학기술정책관리연구소.
- 정선양 (1997), 「생명공학 진흥정책의 새로운 방향: 혁신체제론적 접근」, 「생명공학동향」, 제5권, 제3호, 11.
- 조황희, 박수동 (2001가), 「과학기술산업과 한국의 과학자본화」, 「기술혁신학회지」, Vol. 4 No. 1, 3. 64-79.
- 조황희, 박수동 (2001나), 「연구결과의 창출과 자본화: 과학기반산업의 혁신」, 과학기술정책연구원.
- 현병환외 (1999), 「생명공학벤처기업 창업 활성화 방안 연구」, 과학기술부, 12.
- 현병환, 조성복 (1998), 「한국의 생명공학 기술과 산업」, 「기술혁신학회지」, Vol. 2. No. 1, 5, 135-151.
- 高橋琢磨 (1999), 「バイオテクノロジーの本格的産業化へ向けて」, 知的資産創造.
- Albert, Michael B., et al. (1999), "The New Innovations: Global Patenting Trends in Five Sectors", U. S. Department of Commerce, Office of Technology Policy, Sep.(<http://www.ta.doc.gov/reports.htm>)
- Bowonder, B., S. Yadav and B. Sunil Kumar (2000), "R&D Spendieg Patterns of Global Firms", *Research · Technology Management*, Vol. 43 No. 5, Sep. - Oct., 40-56.
- Capenter, M., R. Narin, P. Woolf (1983), "Validation Study: Patent Citations as Indications of Science

- and Foreign Dependence”, *World Patent Information*, 3, 4, 60 – 163.
- Carpenter, M., P. Cooper, R. Narin (1980), “Linkage Between Basic Research Literature and Patents”, *Research Management*, 13, 30 – 35.
- Casper, S. (2000), “Institutional Adaptiveness, Technology Policy, and the Diffusion of New Business Models: The Case of German Biotechnology”, *Organization Studies*, Vol. 21, Issues 5.
- Cohen, W. M., R. Levin (1989), Chap. 18 “Empirical Studies of Innovation and Market Structure”, *Handbook of Industrial Organization*, R. Schmalensee and R. D. Willing, Amsterdam, Elsevier Science Publisher, B.V. 2: 1060 – 1093.
- COSEPUP (1999), *Capitalizing on Investment in Science and Technology*, National Academy Press.
- Dosi, G. (1984), *Technological Change and Industrial Transformation*, Macmillan, London.
- Fontes, Margarida (2001), “Biotechnology Entrepreneurs and Technology Transfer in an Intermediate Economy”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 66, No. 1, Jan., 59 – 74.
- Godin B., Yves Gingras (2000), “Impact of Collaborative Research on Academic Science”, *Science and Public Policy*, 27 – 1, February, 65 – 73.
- Grupp, Hariolf, Ulrich Schmoch (1992), “Perception of Scientification of Innovation as Measured by Referencing Between Patents and Papers : Dynamics in Scienced – based Fields of Technology”, Grupp, Hariolf(ed.), *Dynamics of Science – Based Innovation*, Springer – Verlag, Berlin, ch. 4., 73 – 129.
- Malerba, F. (1992), “Learning by Firms and Incremental Technical Change”, *Economic Journal*, 102, July, 845 – 859.
- McMillan, G. Steven, Francis Narin and David L. Deeds (2000), “An analysis of the critical role of public science in innovation: the case of biotechnology”, *Research Policy*, Vol. 29 No. 1, Jan, 1 – 8.
- Narin, F., Hamilton, Limberly S., and Olivastro, D. (1997), “The Increasing Linkage between U. S. Technology and Public Science”, *Research Policy*, Vol. 26, 317 – 330.
- Nelson, R., S. G. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Challenge*, Cambridge, Mass, Belknap Press.
- Oliver, Richard W. (2000), *The Coming Biotech Age*, McGraw – Hill, N.Y. (국역: 류현권 역, 「바이오테크 혁명」, 청림출판, 2000.)
- OECD (1982), *Biotechnology: International Trends and Perspective*.
- Pavitt, K. (1984), “Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory”, *Research Policy*, Vol. 13, 343 – 373.
- Perez, C. (1983), “Structural Change and the Assimilation of New Technologies in the Economic and Social System”, *Futures*, Vol. 15, No. 5, 357 – 375.
- Robson, M., J. Townsend, K. Pavitt (1988), “Sectoral Patterns of Production and Use of Innovations in the UK: 1942 – 1983”, *Research Policy*, Vol. 17, 1 – 14.
- Rausch, L. M. (1999), “International Patenting Trends in Biotechnology: Genetic Engineering”, NSF 99 – 351, June 18.

Senker, J. (1998), "Rationale for Partnerships : Building National Innovation Systems", *STI Review* 23, *Special Issues on Public/Private Partnerships in Science and Technology*, OECD, Paris, 23 - 37.

Stephan, Paula E., Grant Black (1999),

"Bioinformatics: does the US system lead to missed opportunities in emerging fields? A case study", *Science and Public Policy*, Vol.26, No.6, Dec., 382 - 392.