

과학기술산업과 한국의 과학자본화

The Capitalization on Science and Science-based Industry in Korea

조황희*(Hwang-Hee Cho), 박수동**(Su-Dong Park)

< 目 次 >

- | | |
|--------------|-----------------|
| I. 서론 | IV. 우리나라의 과학자본화 |
| II. 과학기반산업 | V. 결론 |
| III. 과학의 자본화 | |

<Abstract>

The 21st century is characterized by knowledge-based economy or society. The most important features of this knowledge society are the close relationship between science and technology, and the birth of science-based technologies or industries. Bioindustry which is the core area in this era is a representative science-based industry(SBI). In SBIs including BT(biotechnology) and ICT(information and communication technology), the creation of scientific knowledge and the ability to capitalize on that are very important. The United States' leadership in research across the spectrum of science and technology is the result of the success in both achieving high level of research and capitalizing on that enabled them to grow. Capitalization is the process that transforms the results of research into practical concrete national benefits. It is such a dynamic process that can't be clearly modeled. In this study, we propose the dynamic capitalization process for innovation of SBIs in terms of the fuel and engine and analyse our potential.

Key Word: Science-based industry, SBI, Innovation, Capitalization, Biotechnology

* 과학기술정책연구원 산업혁신연구부장 hhcho@stepi.re.kr

** 성균관대학교 시스템경영공학부 박사과정 psd1004@hanmail.net

1. 서론

미래의 경제사회는 지식기반경제(knowledge-based economy) 또는 지식기반사회(knowledge-based society)로 일컬어지고 있다. 이는 지식이 경제성장과 사회발전의 주요한 원동력임을 의미한다. 이러한 지식사회의 중요한 특징은 과학과 기술 그리고 산업이 밀접하게 연계된 과학기반기술(science-based technology) 또는 과학기반산업(science-based industry)의 등장이다(Freeman, 1974; Gibbons et al., 1994). 최근 영국과 미국에서는 산업보다 낮은 차원에서 제품에 대한 분석을 수행하고 있고, 또한 어떤 분야가 과학기반산업 또는 과학기반제품에 해당되는지를 분류하기 위한 척도의 개발이나 분석도 이루어지고 있다. 그리고 NRC(1999)는 90년대 미국의 혁신적인 성공은 과학기반산업군¹⁾과 신기술을 의료분야²⁾에 활용한 기술의 복합화에 있었다고 분석하였다.

NRC의 분석과 같이 미국은 모든 주요 분야에서 매우 높은 수준의 연구성과를 달성하는데 성공했을 뿐만 아니라 그러한 연구성과를 국가의 이익으로 전환하는데도 성공하였다. 특히 냉전이 종식되면서 그 동안 국방부문에 의존하던 미국 대학의 연구들이 줄어들게 되어 대학은 새로운 활로를 모색한 결과 산학협력의 길을 개척하였고, 대학의 연구자들이 직접 기업을 창업하기도 하였다. 특히 정보통신분야에서의 이러한 사회적 분위기가 형성된 결과 80년대 일본에 뒤졌던 경쟁력을 90년대 중반부터 회복하였다. 미국은 대학에서의 우수한 연구결과가 무역제품에 나타나지만, 우리나라의 경우는 제품혁신, 불연속적 혁신, 급진적 혁신보다 공정혁신과 점진적 혁신에 치중하고 있어 경쟁력이 기술우위보다는 환율의 변동이나 원자재 값의 변동에 좌우되는 경향이 있다.

최근 우리나라에서도 바이오산업과 정보통신산업이 미래의 성장산업으로 인식되어 많은 투자와 정책들이 발굴되고 있다. 이들 산업군의 혁신을 위한 핵심요인은 새로운 지식창출 메커니즘과 그것을 국가의 이익으로 전환하는 과정이다. 물론 이러한 요인들은 모든 산업에서의 핵심요인이지만, 과학기반산업의 경우 신물질 발견과 같은 기초지식 그 자체가 경쟁력이 되기 때문에 더욱 중요하다. 따라서 과학기반산업에서는 제조능력보다 지식의 창출과 그것을 바탕으로 한 혁신 능력이 경쟁력을 결정한다.

본 연구에서는 과학기술의 창출과 그것을 국가의 이익으로 전환하는 과학기술의

1) 반도체, 컴퓨터, 소프트웨어, 통신장비 등의 정보기술과 정보기술서비스

2) 바이오테크놀로지(BT), 제약, 의료장비를 포함한 의료분야

자본화 과정을 연료와 엔진의 관점에서 제시하고, 과학기반산업에서의 자본화를 위한 우리의 잠재력을 분석하여 바이오산업과 같은 과학기반산업의 혁신을 위한 방안을 모색하고자 한다.

II. 과학기반산업

1. 과학기반산업의 등장

과학이 산업의 기반이라는 것은 이미 오래 전부터 인식되어 왔고, 과학기반산업이라는 용어의 원래 의미는 그 산업의 등장 배경이 과학발전에 의한 것이라는 것이었다. 19세기 후반 유럽에서 과학의 새로운 발견에 기초해서 화학, 전기, 광학, 냉동 산업이라는 기존에는 없던 새로운 산업이 등장하였는데, 이들을 기존의 전통적인 산업과 구분하기 위해서 과학기반산업이라고 통칭하였다(최영탁 외, 1999).

Price(1965), Freeman(1982), Rosenberg et al.(1990) 등 많은 학자들이 과학과 기술의 관계가 점점 더 밀접해지면서 경제성장에 많은 기여를 한다고 분석하였고, 최근 들어 과학기반산업이 미국의 경제성장에 크게 기여함에 따라 삶의 질을 향상시키는데 있어 과학기술의 역할은 더욱 확실해지고 있다. BT(바이오산업)과 IT(정보산업)과 같은 과학기반산업의 경우에 이러한 현상은 더욱 뚜렷하다. 지금까지 과학이 경제·사회에 어떠한 형태로 기여했는지에 관한 많은 연구들(Carter et al., 1957; Langrish et al., 1972; Mowery, 1994; Faulkner et al., 1995; Martin et al., 1996)이 있었는데, 그 중에서 Martin et al.(1996)은 기초연구에 대한 공공자금(public fund)의 투자가 가져다주는 혜택으로 유용한 지식 스톡의 증가, 숙련훈련, 새로운 과학실험기와 방법론 개발, 네트워크 형성과 사회적 상호작용의 자극, 기술적 문제해결 역량 증대, 새로운 기업의 창출이라는 여섯 가지로 요약하였다.

특정 기술이나 산업을 어떻게 과학기반기술 또는 과학기반산업으로 분류할 수 있을까? Meyer-Krahmer(1998)는 특정 기술을 과학기반기술로 분류하는 것은 어떠한 명확한 정의가 없는 상식차원의 문제이라고 하였지만, Pavitt(1984)은 1950~60년대에 이루어진 영국에서의 기술혁신을 조사하면서 기술혁신이 이루어지는 유형에 따라 제조업을 공급자주도형(supplier dominated), 규모집약형(production intensive), 과학기반형(science based) 산업으로 구분하였다. 그는 이러한 산업군의 분류틀 내에서 전자산업, 유기화학산업, 제약 및 바이오산업, 항공우주, 군사기술 등을 과학기반산업이라고 분류하였다. Narin et al.(1985)은 대안적인 접근법으로 특허가 인용한

과학문헌을 이용하여 분석하였는데, 그는 과학문헌을 자주 인용한 분야를 과학기반 기술로 정의하였다. 이러한 정량적인 지표를 이용하여 과학이 기술에 미치는 영향을 분석한 많은 연구들이 있다(Collins et al., 1988; Coward et al., 1989; Van Vianen et al., 1990; Narin et al., 1992, 1997, 1998, 1999; Grupp et al., 1992; Grupp, 2000; Schmoch, 1993; 1997; Noyons et al., 1994; Meyer-Krahmer et al., 1998; Malo et al., 1999; Meyer, 1998; McMillan et al., 2000). 이들의 연구결과를 종합해보면 바이오테크놀로지, 레이저, 제약 등이 과학에 의존하는 정도가 높고, 특히 바이오 분야가 다른 분야보다 공공과학에 더 많이 의존한다고 하였다. 따라서 과학기반산업을 생명과학이나 물리학과 같은 기초과학적 지식을 기반으로 새로운 제품이 창출되어 진입·성장단계에 있는 산업으로 정의할 수 있다.

2. 과학기반산업의 특징

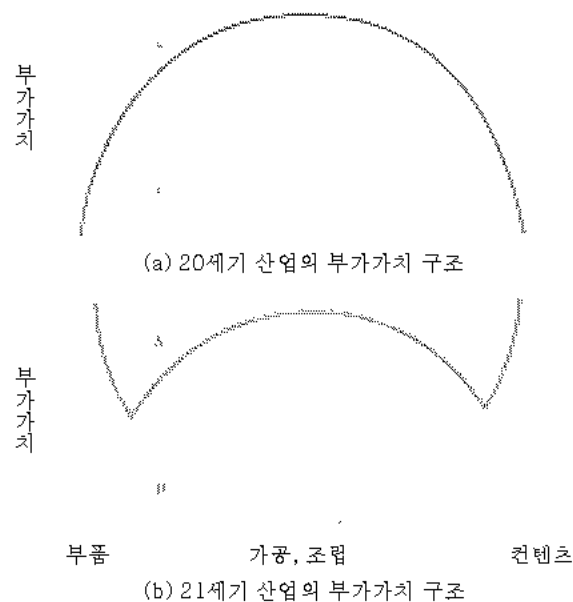
21세기에 들어오면서 기술을 바탕으로 한 경쟁의 본질이 바뀌고 있다. 한국과 일본이 경쟁력을 갖춘 가공과 조립으로부터 부품과 서브시스템의 개발, 아키텍처, 디자인, 소프트웨어, 계산표준 등의 콘텐츠가 더욱 중요해지고 있다. Sohatsu(2000)는 20세기의 시장이 전형적인 깊은 실린더형 구조³⁾였다면, 21세기의 시장은 얇은 디스크형 구조⁴⁾라고 하였다. 디스크형 시장은 다양한 사용자의 요구들을 반영하기 때문에 매우 광범위하여 실린더형 시장을 특징지어온 대량생산과 대량소비의 패러다임이 더 이상 적합하지 않을 수도 있다. 디스크형 시장은 새로운 파괴적 기술(disruptive technology)에 의해 새로운 제품과 시장이 형성되지만, 그 시장은 매우 세분화되어 있어 시장의 깊이가 얇고, 경쟁이 치열하다. 이러한 특징을 갖는 디스크형 시장 구조는 바이오, 소프트웨어, 제약 등으로 대표되는 과학기반산업에 해당된다.

우리나라의 지난 경제를 실린더형 시장에서의 조립형 공업화를 통한 성장이라고 볼 수 있다. <그림 1-a> 실선 A는 지금까지 우리나라 산업의 부가가치 구조를 보여주고 있는 것으로서 가공과 조립이 우위를 점하고 있다. 그러나 이와 같은 부가가치 구조는 21세기 디스크형 시장에는 적합하지 않다. 21세기 디스크형 시장에 진

-
- 3) 실린더 구조란 자동차와 같이 시장영역이 정해져있고, 신규 진입자는 시장에서 기존 점유자들과 경쟁을 통해 시장을 점점 점유해나가는 형태를 말한다.
 - 4) 디스크형 구조란 CD(Compact Disk)와 같이 시장의 폭이 얇고, 시장 영역이 정해져 있지 않음을 의미한다. 따라서 신규 진입자는 파괴적 기술(disruptive technology)로 새로운 시장을 개척하거나 기존 시장을 대체하지만 그 시장의 폭은 매우 얇고, 언제 누구에 의해 서 시장에서 사라질지 모른다. 이의 대표적 분야가 소프트웨어와 바이오 기술 분야이다.

입하기 위해서는 새로운 부가가치가 어디서 창출되는지를 알아야 한다. 콘텐츠를 생산하는 지식기반산업과 부품을 생산하는 자본재산업으로부터 더 많은 부가가치를 창출할 필요가 있다. 이것은 소위 미소곡선(smile line)이라고 불리는 점선 B를 의미한다. 우리나라의 산업은 경쟁력을 갖춘 가공과 조립산업과 더불어 지식기반산업, 자본재산업과 병행하여 발전해야 한다. 이것은 <그림 1-a>의 부가가치 구조가 <그림 1-b>와 같이 바뀌어야 하고, 부품과 콘텐츠가 부가가치의 중요한 원천일 뿐만 아니라 가공과 조립 또한 다시 중요한 원천이 될 것이다라는 의미이다. 이는 엔지니어링 주도 산업만이 아니라 디스크형 시장에 적합한 과학기반산업이 함께 육성될 때 미래의 경쟁력이 확보될 수 있으므로 우리나라의 산업 구조도 그렇게 변해나가야 함을 의미한다.

<그림 1> 산업의 부가가치 구조 변화



자료: Tamada(2000)

지식경제의 핵심으로서 가장 빠르게 성장하고 있는 과학기반산업은 그 특징 또한 다양하다. Pavitt(1984)은 과학기반산업의 경우 기술혁신의 주요 원천이 회사의 R&D 활동에 기인하고, 이러한 R&D는 대학과 정부출연연구소의 과학 발전을 기반으로 하기 때문에 그들과 긴밀한 협력관계를 맺는다고 했다. 지난 25년 동안 생명과학분야에서 일어난 혁명은 제약산업에 많은 영향을 끼쳐왔다. 이러한 영향들은

산업의 혁신유형에 대한 의문과 함께 과학적, 조직적, 제도적 변화의 상호작용에 대한 수많은 의문들을 불러일으켰다. 바이오테크놀로지와 같은 과학기반산업의 혁신은 스페터의 영향을 받은 것을 포함한 기존의 많은 모델들에 의해서 쉽게 설명할 수 없다. 이것은 동 산업이 전혀 다른 기술변화유형과 경제적 역동성을 보여주기 때문이다(Niosi, 2000). Niosi(2000)는 주요한 몇 가지 과학기반산업을 대상으로 그들의 특징을 <표1>과 같이 정리하였다. 주목할 점은 바이오테크놀로지와 소프트웨어산업의 경우 참여 기업의 수가 매우 많고, 시장의 특성이 분산된 디스크형 시장을 형성하고 있고, 산업의 연령이 30년 미만으로 낮아 앞으로 성장 가능성이 높다. 그리고 이들 산업들은 매출액 대비 연구개발비 비율이 10%를 넘는 연구집약적 분야들이다.

<표 1> 주요 산업의 시장형태와 참여기업 수

산 업	Number of years industry established	Number of firms as of 1998	Type of market	R&D/Sales(%)
Aircraft(commercial)	80	10 20	Oligopoly	4
Biotechnology	22	>2,500	Dispersed	54
Office, computer and accounting machines	50	>100	Niche oligopolies	9.7
Memory chips(DRAMs)	50	>100	Oligopoly	ND
Mircoprocessors and digital signal processors	27	<10	Oligopoly	9.4
Medicines and drugs	120	>1,000	Oligopoly	12.1
Missiles and aircraft	60	<10	Oligopoly	5.2
Software	30	>10,000	Dispersed	16.5
Communication equipment	100	>1,000	Oligopoly	9.3

자료 : Niosi(2000)

과학기반산업에 있어 지식생산의 주체인 대학의 역할이 점점 더 중요해지고 있다. Niebeskind et al.(1995)은 성공한 두 개의 신생 바이오테크놀로지 회사들을 대상으로 그들의 가장 중요한 인풋인 과학지식을 어떻게 조달하는 지를 분석한 결과 그들은 다른 조직, 특히 대학과 수많은 공동연구를 수행했다는 것을 발견했고, 이와 같은 경계를 뛰어넘는 사회 네트워크가 그들의 학습과 유연성을 증가시켰다고 결론 내렸다. 바이오테크놀로지와 관련된 기초지식은 대부분 대학과 정부연구소에서 생산된다. 전통적으로 제약산업의 최신 정보는 기업과의 전문 컨설팅이나 학생들의 채용을 통해 대학으로부터 간접적으로 확산되었다. 그러나 바이오테크놀로지와 관

련된 지식이 대학 주도로 창출되면서 기업과 대학간의 직접적인 공동연구나 위탁연구 그리고 대학의 연구자에 의해 창출된 벤처기업과 제약기업과의 협력이 지식확산과 신제품 창출의 경로가 되고 있다. 미국이나 유럽에서는 벤처기업들이 대학의 기초연구와 대기업의 응용연구 사이에서 기초적 응용연구를 담당하면서 자본화로의 가교역할을 하고 있다.

Handerson et al.(1999)은 기존의 전통적 모형과 다른 분자생물학의 혁신에서 나타나는 특징중의 하나로서 전통적 모형이 주로 공학지식의 급진적 변화에 대한 연구로부터 기인한 반면에, 분자생물학의 혁신은 산업의 과학적 지식기반의 변화에 기인한다고 했다. <표 2>는 과학주도혁신과 공학주도혁신간의 차이를 요약한 것으로 과학주도혁신은 개인의 창의성에 의존하고 있고 그 결과는 제품혁신이다.

<표 2> 과학주도혁신과 공학주도혁신의 차이

	과학주도혁신	공학주도혁신
혁신의 근원	개인의 창조성	조직의 창조성
혁신의 형태	돌파형(breakthrough) 혁신	개량형 혁신
혁신의 수단	과학적 연구	기본기술, 엔지니어링기술
경쟁우위의 원천	특허를 취득한 발견물	사실상의 표준 확립
특허정책	특허의 배제	cross licensing
혁신 주체	벤처기업, 대기업	대기업, 벤처기업
자금제공자	NIH, 벤처 캐피탈, 자본시장	벤처 캐피탈, 자본시장
대표적 산업	바이오산업	전자장치산업

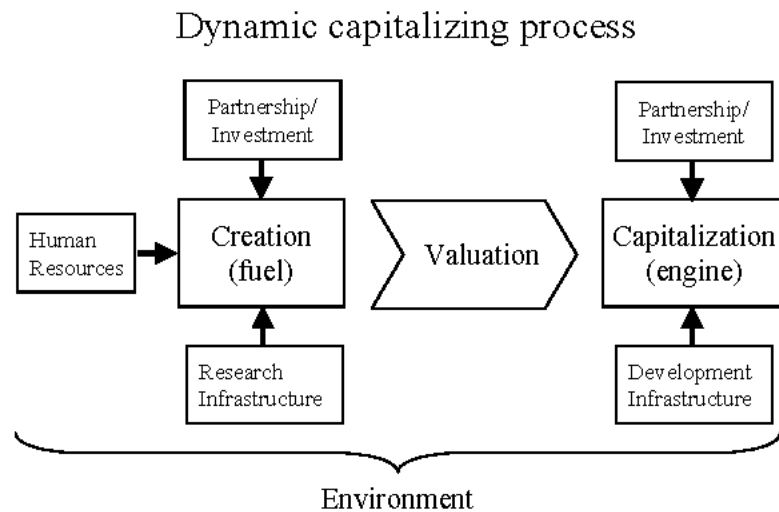
자료: 高橋琢磨(1999)

III. 과학의 자본화

과학의 자본화(capitalization)란 연구의 결과를 실질적인 국가의 이득으로 전환하는 과정으로서, 그 과정은 매우 다양하고 역동적이다. 20세기의 대표적 제품들을 보면, 프론티어 정신이 충만한 미국에서 대부분의 발명과 신제품이 등장하였고, 일본은 단지 상품화에서 우위를 보이고 있다. 우리나라의 경우는 독자적인 아이디어로부터 출발하여 상품화로 이어진 사례도 없고, 일본과 같이 상품화에 성공한 것도 없다. 일본이 성공한 모델인 공정혁신과 점진적 혁신은 제품혁신을 위주로 하는 과학기반산업에는 적용되기 어렵다.

COSEPUP(1999)는 자본화 과정의 구성요소로 R&D 투자, 환경, 인적자본, 파트

너십의 네 가지를 제시하였고, 미국의 과학기술 자본화능력이 국가의 경쟁력이라고 하였다. 과학기반산업에서 자본화가 되기 위해서는 먼저 과학지식이 창출되어야 하고, 그 후에 그 가치를 평가하여 자본화 과정으로 진입해야 한다. 과학기반산업에서의 경쟁력은 과학지식의 창출역량에 달려 있으므로, 지식을 외부에서 구입하기가 어려울 뿐만 아니라 구입했다고 하더라도 채산성을 맞추기가 어렵다. 지식창출은 전적으로 인적자원에 의존하지만, 그러한 인적자원이 창의적 연구를 수행할 수 있는 환경과 하부구조 또한 매우 중요하다. 이러한 과학지식의 창출과정과 그것의 자본화과정은 명확하게 정형화될 수 없을 뿐만 아니라 나라마다 또는 산업마다 다르기 때문에 매우 역동적이다. 따라서 지식창출 그 자체는 자본화를 위한 연료일 뿐이므로 연료가 엔진으로 공급되는 파이프라인과 밸브가 필요하다. 이상을 <그림 2>와 같은 역동적 자본화 과정(dynamic capitalizing process)으로 나타낸다.



<그림 2> 역동적 자본화 과정

<그림 2>에서 가장 중요한 요인은 인적자원이라고 볼 수 있다. 바이오산업과 같은 과학기반산업에 있어 이들이 창출한 지식, 즉 논문과 특허는 곧바로 제품으로 연계되어 국가의 경쟁력으로 이어진다. 따라서 창의적인 과학자, 소위 스타과학자(star scientist)를 많이 보유하면 할수록 동 산업의 혁신을 위한 연료가 우수하다고 볼 수 있다. 스타과학자란 특정 분야에서 영향력이 매우 높은 논문을 발표한 사람을 의미하는데, 그들이 많으면 많을 수록, 그 국가의 잠재력은 크다고 볼 수 있다. Zucker et al.(1998)은 일본의 바이오산업을 대상으로 스타과학자가 동 산업에 어떠

한 기여를 했는지를 분석한 결과, 특정 대학의 스타과학자와 기업 간의 공동연구가 기업의 연구생산성에 매우 큰 영향을 주었을 뿐만 아니라, 1989년부터 1990년 사이에 기업의 바이오관련 특허가 평균 34%, 개발제품은 27%, 시장출시제품은 8%나 증가했다는 것을 발견했다. 그리고 그것과 관련된 암묵지(tacit knowledge)를 보유한 스타과학자들은 상당한 경제적 가치를 지니고 있으므로 그들이 기술이전에 관심을 갖도록 하는 인센티브 제공이 필요하다.

미국 대학의 연구 환경은 다른 조직에서는 찾아볼 수 없는 과학자들의 창조성과 독립성을 촉진할 뿐만 아니라 나이에 상관없이 재능을 개발하도록 하고 인정해준다. 또한 대학과 산업계간의 자유로운 이동과, 연구자금의 확보를 위한 격렬한 경쟁등도 자본화를 위한 매우 호의적인 환경이라고 볼 수 있다. 과학기반산업에 있어 매우 중요한 자본재인 과학실험기기(scientific instrument)는 창의적 연구를 위한 중요한 하부구조라고 할 수 있다. 일반적으로 특정 분야의 자연현상을 관찰하고 측정하는 능력을 증대하기 위해서는 연구 수행에 앞서 과학실험기기에 대한 투자가 선행되어야 한다. 미국과 유럽의 경우 연구수행에 필요한 과학실험기기를 대학 스스로 개발할 뿐만 아니라, 그것을 고부가가치 제품으로 상품화하여 수출하고 있다. 과학실험기기를 해외에서 수입한다는 것은 그것을 활용하는 분야의 연구가 그만큼 늦었다는 것을 간접적으로 알려준다.

과학기반산업의 시장은 매우 세분화되어 많은 진입자가 발생하면 경쟁이 치열해지고 선발자의 지식과 노하우를 이용한 후발주자의 진입이 매우 쉬워지므로 선발자가 투자하여 창출한 지식의 가치를 일정 기간 인정해주는 지적재산권이 매우 중요하다. 미국은 1980년 대학과 연구소에서 국가예산을 활용하여 수행한 발명에 대한 지적재산권이 그들에게 귀속될 수 있도록 특허법을 개정(Bayh-Dole Act)하였다. 그 결과 그러한 발명들은 특허권으로 보호되어 민간에 이전됨으로써 상품화 초기 단계에서 독점적으로 시장을 보호할 수 있게 되어, 결과적으로 민간으로의 기술이전이 촉진되고, 기술이전에 따른 로열티의 일부를 발명자들에게 직접 보상금으로 지급함으로써 발명의욕이 더욱 고취되었다. 또한 이로 인하여 수많은 벤처기업들이 설립되어 일본에 뒤져있던 산업경쟁력을 회생시키는 계기가 되었다.

어떤 지식, 기술을 자본화해야 하는가? 이를 위해서는 최신 과학기술의 발전 동향을 모니터링하고, 그것의 잠재력을 인식할 수 있는 가치평가능력이 요구된다. 연구결과가 발표되면, 그 지식은 공공재가 되어 모든 사람이 이용할 수 있게 된다. 그렇다고 해서 모두가 공공의 정보를 유용하게 이용할 수 있는 능력을 갖고 있다라는 보장은 없다. 연구결과를 자본화하기 위해서는 그것을 이해하고 그것이 가져올 헤

택을 포착할 수 있는 기술적 능력이 필요하다. Rosenberg(1990)는 기업 스스로 기초연구를 수행하지 않는다면 외부의 기초연구의 성과를 자본화하기가 쉽지 않다는 것을 발견했다. 예를 들어 1975년 Kohler와 Milstein이 영국에서 단일세포항체(MAb)에 대한 연구를 수행했지만, 면역학에 대한 미국의 강력한 연구기반은 그들로 하여금 그러한 과학적 발견의 의미를 빠르게 이해하여, 응용제품을 개발할 수 있게 했다. 과학기반산업에서는 외국의 기초연구에 무임승차하기가 점점 더 어려워진다. 과거에 외국기술을 자본화하는데 성공해왔던 우리나라와 일본도 최근에 기초연구의 중요성을 강조하고, 그들의 과학기술역량을 강화하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 현상은 제조와 마케팅 능력만으로는 최첨단 과학기술을 자본화하는데 충분하지 못하다는 사실을 반영한다.

바이오산업의 경우 연구결과를 자본화하기 위해서는 기초, 응용, 개발연구를 포괄하는 다양한 분야의 전문성을 필요로 한다. 이러한 전문성은 공공, 민간, 교육기관과의 파트너십을 통하여 달성할 수 있다. 자본화의 중요한 요소 중의 하나는 인적자원과 아이디어가 비교적 자유롭게 이동할 수 있도록 하는 대학과 산업계간의 산학협력이다. 여기에는 크게 두 가지 장점이 있다. 산업 측에서는 숙련된 연구원과 새로운 아이디어에 접근할 수 있다는 것이고, 대학 측에서는 연구와 교육을 위한 재정지원뿐만 아니라 흥미로운 실세계 문제를 접할 수 있고, 특히 학생들의 경우 인턴십과 고용기회를 가질 수 있다는 것이다. 의료·바이오 분야와 같은 과학기반 분야의 산학협력은 일반적인 공학분야와는 다른 특징을 보이고 있다. 의료·바이오 분야에서 연구협력은 1개의 대학과 1개의 기업 간에 이루어지는 경우가 많다. 라이선싱의 대부분이 1대 1로 이루어지고, 대학에서 창출된 기업이 많이 설립되어 대기업과 벤처기업이 연대하고 있다. 한편, 공학분야는 복수의 기업이 대학의 공동이용 연구센터나 컨소시엄에 참가하는 경우가 많고, 라이선싱이 적고, 벤처기업 설립은 정보기술을 제외하고는 적다.

과학기반산업에서 자본화에 성공하기 위해서는 연료와 엔진이 동시에 개선되어야 한다. 국내에서 창출되는 연료는 더욱 좋아지고 있지만 아직 엔진의 성능이 떨어져 있는 상황이다. 하나의 예가 출연연구소나 기업에서 창출된 지식을 국내가 아닌 국외에서 자본화되도록 파는 것이다. 따라서 엔진을 가동할 주체인 기업의 도전적인 자세와 이를 뒷받침 해줄 직·간접적인 제도들의 보강이 필요하다. 연료는 해외에서 비싼 값을 주고 구입할 수 있지만 엔진은 수입이 불가능하다.

IV. 우리나라의 과학자본화

국내에서 과학기반산업이 성장할 수 있는 잠재력을 살펴보기 위해 연료로서 바이오 분야의 논문과 특허, 연구기자재를 분석하였다.

1999년도 우리나라의 SCI 논문 수는 전세계 발표논문 732,193편의 1.5%인 11,010편으로 세계 16위를 차지했지만, 논문의 평균 피인용도는 0.17회로 세계 61위에 머물렀다. 즉, 양적으로는 급격히 성장했다고 볼 수 있지만, 질적인 수준은 매우 낮다고 볼 수 있다. <표 3>은 1986년부터 1997년까지 각국의 전체 SCI 논문에서 바이오관련 논문이 차지하는 비율을 나타낸 것이다. 우리나라를 제외한 나라의 바이오관련 논문이 차지하는 비율이 50% 정도인 반면에 우리나라는 그들의 50% 수준에도 미치지 못하고 있다.

<표 3> 각국의 바이오관련 SCI 논문 비율(%)

국가	1986 88	1989 1991	1992 94	1995 97
한국	18.2	19.8	22.0	23.9
미국	54.1	54.1	54.3	54.9
일본	49.3	50.5	51.0	50.1
독일	50.4	49.9	48.1	47.9
영국	59.8	60.1	58.4	56.0
스위스	58.9	57.9	57.1	55.9

자료: OECD(2000).

<표 4>의 미국에 출원되는 특허 중 우리나라 기업들이 출원하는 15대 기술(또는 제품)분야를 살펴보면, 기록을 위한 텔레비전 신호처리, 텔레비전, 반도체 제조공정, 정보저장 및 재생 등이 상위에 있다. 이것을 미국이나 일본과 비교해 보면 미국은 의료와 관련된 부문이 상위를 차지하고 있고, 컴퓨터와 디지털 처리 및 데이터 처리, 통신이 그 뒤를 잇고 있다. 일본은 광과 정보저장과 재생 분야가 상위 및 많은 영역을 차지하고 있고, 사무용 기기가 그 뒤를 잇고 있다. 우리나라의 특허 출원은 과학과 기술집약도가 떨어지는 가전분야가 상위에 있는 반면, 미국과 일본은 과학을 기반으로 한 분야의 특허가 상위에 있음을 알 수 있다.

<표 5>는 각국의 전체 미국특허 중에서 바이오관련 특허가 차지하는 비율을 나타낸 것이다. 양적인 측면에서는 우리나라의 바이오관련 미국특허가 차지하는 비율

이 낮지만, 연평균 성장률은 가장 높다.

바이오 분야의 논문과 특허는 정부의 연구개발지원의 확대로 양적인 성장을 지속하고 있지만 아직 그 양이 충분하지 않고 또한 해당 분야에서의 탁월한 연구자층이 없어 자본화로 가기 위한 잠재력이 낮은 수준에 있음을 알 수 있다. 하지만 이 분야의 시장은 디스크형으로 신규 진입자의 장벽이 낮아 우리에게도 기회가 창이 있는 분야이다.

<표 4> 각국의 미국특허 상위 15개 분야(1997년)

순위	일 본	한 국	미 국
1	Photography	Television signal processing for recoding	Surgical instruments
2	Information storage and retrieval	Television	Biology of multicellular organism
3	Electrophotography	Static information storage and retrieval	Surgery: light, thermal, electrical applications
4	Liquid crystal cells	Semiconductor manufacturing process	Surgery: application, storage and collection
5	Facsimile	Electric lamp and discharge devices	Prosthesis
6	Typewriting machines	Dynamic information storage or retrieval	Computers and digital processing
7	Television signal processing	Dynamic magnetic information storage or retrieval	Data processing
8	Printing of symbolic information	Coded data generation or conversion	Special receptacle or package
9	Optics: systems and element	Electric heating	Telephone communications
10	Active solid state devices	Refrigeration	Communications: directive radio wave systems
11	Radiation imagery chemistry	Electric lamp and discharge device	Chemistry: molecular biology and microbiology
12	Storage or retrieval of magnetic information	Miscellaneous active electrical nonlinear devices	Chemistry: natural resins or derivatives
13	Internal combustion engines	Liquid crystal cells, elements and systems	Information processing system organization
14	Television	Winding, tensioning, or guiding	Cryptography
15	Electrical generator or motors	Electrical power supply or regulation systems	Chemistry: analytical and immunological testing

자료: USPTO, Office of Information Systems

<표 5> 각국의 바이오 관련 미국특허 비율(%)

국가	바이오관련 특허 비율(%)		연평균성장율 (1992-99)
	1992	1999	
한국	3.8	4.2	32.8
미국	10.9	13.0	9.8
일본	7.1	5.7	2.0
독일	11.0	11.9	4.9
영국	15.2	20.7	10.7
스위스	11.5	15.0	5.0

Source: OECD(2000).

과학분야에서의 산학협력을 살펴보기 위한 지표로 대학과 산업계의 공동연구논문을 조사하였다. 조사대상은 물리, 생물관련 9개 학회⁵⁾에서 발간하는 13개 저널이었고, 조사결과 응용 쪽으로 갈수록 협력의 정도가 높고 기초과학에 가까울수록 협력의 정도가 낮았다. 구체적으로 1990년 이후 발간된 총 논문에서 대학과 산업계의 공동연구 논문이 차지하는 비율은 응용에 가까운 한국광학회지, 응용물리, 한국산업미생물학회지, 전기전자재료학회지는 약 20%, 기초에 가까운 Journal of Microbiology, Molecules and Cells, The Journal of Biochemistry and Molecular Biology는 10% 미만이었다. 지식창출 면에서는 산학협력이 이루어져 가고 있지만 자본화를 위한 파트너쉽은 활성화되어있지 못하다. 미국의 경우 투자기관들이 대학과 연대하여 대학에서 창출된 지식을 자본화하고, 대학에서 취득한 과학적 지식으로 창업을 한 벤처기업과 대기업이 연대를 하여 자본화를 하고 있지만 우리는 대학과 대기업을 연계할 벤처기업이 취약한 실정이다.

국내의 생명과학분야 벤처기업은 대학 및 대기업과 연계를 위한 유전자 기능해석기술과 같은 분석기술이 중심이라기 보다는 대기업과 경쟁 혹은 독립적인 관계의 제품위주여서 대학이나 대기업과의 관계가 약하고 연구개발도 1-2년의 단기에 집중하고 있다⁶⁾. 더욱 구체적으로 살펴보면, 생물벤처기업의 사업영역은 생물의약, 기기 및 시약, 바이오 식품이 높은 비중을 차지하고 그 중에서도 생물의약이 가장 높은 점유율을 보이고 있다. 생물의약분야 기업은 항생제, 진단시약 등을 주요 사업품목으로 정하고 있어 대기업과 경쟁관계에 있다고 볼 수 있다. 이는 미국이나 유럽

5) 순수기초과학에 가깝다고 판단되는 국내 9개 학회를 선정하였고, 그 중에서 6개 학회는 바이오산업과 관련이 높은 한국미생물학회, 한국분자생물학회, 한국산업미생물학회, 한국생명과학회, 한국생화학회, 한국유전학회이다. 그리고 기초과학과 연계가 높은 한국광학회지, 한국물리학회, 전지전자재료학회이다.

6) 유효상 외 4인, 생물산업발전기반 조성을 위한 5개년 계획수립연구: 생물벤처기업의 실태조사 및 정책과제 도출, 과학기술정책연구원, 2000

의 바이오분야 벤처기업이 해석기술을 중심으로 하고 관련 기초기술을 지속적으로 대학으로부터 지원받고, 해석기술로 제약관련 대기업이 갖고 있는 유전자 라이브러리의 기능을 해석하여 신약의 시즈를 발견하고, 치료약의 공동개발을 지향하는 것과는 대조적이다. 따라서 국내에서 창업한 생명과학분야 벤처기업의 외국 기업과의 제휴도 없는 실정이다. 또한 국내 대기업들은 국내에서 창출된 지식으로부터 자본화를 해본 경험이 일천하여 벤처기업이나 대학에서 창출된 지식의 활용에 소극적이다. 예를 들어 미국의 다국적기업들은 국내 벤처기업에서 창출된 연구논문을 보고서도 자본 제공을 통한 협력을 시도하고 있지만, 국내 대기업들은 개발된 기술이 시장에서 인정을 받은 이후에야 관심을 갖는다.

질 좋은 논문과 특허가 창출되기 위해서는 하부구조가 튼튼해야 하는데 우리의 현실은 그렇지 못하다. <표 6>은 우리나라와 미국의 대학이 보유한 연구기자재를 비교한 것이다. 미국의 경우 1993년 자료임에도 불구하고, 우리나라에 비하여 대학당 평균 장비종수가 4배 가량 많고, 장비당 평균금액도 2배 가량 높은 것으로 나타났다. 또한 산업기술정책연구소(1998)에 의하면 우리나라의 연구기자재 국산화율은 12.8%로 매우 낮은 상황이다.

<표 6> 한국과 미국 대학의 연구기자재 보유현황

	대학수	장비종수	보유금액	대학당 평균 장비종수	대학당 평균금액	장비당 평균금액
한국 (1999)	181	9,803	6,285억원	54	35억원	6,400만원
미국 (1993)	318	61,684	6조2550억원	194	196억원	1억원

자료: NSF, Survey of Academia Research Instruments and Instrumentation Needs: 1993, 환율: 1\$ 1,000원 적용, 기초과학지원연구소(2000).

또한 이러한 연구기자재들을 운영할 수 있는 기능인력 또한 중요한 하부구조의 역할을 한다. 아무리 고가의 기능이 강력한 장비라고 할지라도 그것을 효과적으로 이용할 수 있는 사람이 없다면, 그러한 장비는 하부구조로서의 역할을 제대로 수행할 수 없다. 이러한 관점에서 연구개발 인력당 그들의 연구를 지원할 수 있는 연구보조 및 기능인력 수는 중요한 과학기술하부구조 역할을 수행한다. 연구보조 및 기능인력이 많을수록 연구원들은 자신의 연구에 집중할 수 있으므로, 연구 생산성이 높아지게 된다. 한국과 일본의 연구개발 인력당 연구보조 및 기능인력 수를 비교해 보면, 일본은 한국보다 약 50%이상 높은 수준을 보이고 있다.

창출된 과학적 지식이 자본화되기 위해서는 그 지식의 사업적 가치를 평가할 수 있는 능력이 있어야 한다. 하지만 우리는 남이 닦아놓거나 걸어간 길을 가다보니 자체적인 가치평가 능력을 충분히 체화시키지 못하고 있다. 과거 수년 전에 불어닥친 벤처열풍은 “묻지마 투자”를 낳을 정도로 가치평가가 취약하다. 가치평가의 능력은 새로운 과학적 지식들이 창출되고 이를 자본화로 연계하려는 많은 시도 속에서 경험으로 축적되어 체계화되어 간다.

V. 결론

과학적 기반이 강한 제품의 자본화 유형은 공학적 기반이 강한 제품의 자본화 유형과는 다른 특성을 지니고 있으므로, 이러한 특성을 반영한 자본화 과정이 필요하다. 그러나 자본화 과정은 명확히 정형화할 수 없는 동태적 과정으로서, 그 나라의 사회·문화적 요소가 크게 반영된다.

과학기반산업에서의 자본화를 위한 우리의 잠재력은 양과 질 모든 면에서 뒤져 있지만 이 산업의 발전은 개인의 창의성에 의존하기 때문에 인력양성과 산학협력이 매우 중요하다. 과학기반산업에서는 인력이 창출한 지식과 지적재산권이 바로 경쟁력으로 이어진다. 그 이유는 과학기반 제품의 시장은 실린더형이 아닌 세분화된 디스크형이므로 지적재산권을 확보한 기업만이 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있기 때문이다. 그래서 지식창출 능력을 확보하고 있으면 시장에의 진입은 가능한 분야가 과학기반산업분야이다. 이와 같이 세분화된 디스크형 시장 여건으로 인하여 한 기업이 모든 분야의 연구를 할 수 없으므로, 기업은 오히려 자체연구보다는 대학이나 해외의 연구들을 모니터링하고, 그 중에서 잠재력이 큰 것을 선택하는 능력의 확보 또한 중요해지고 있다.

창의적 연구를 수행하기 위해서는 연구를 위한 새로운 실험 및 연구장비들이 필요하다. 그러나 국내에서 이를 지원하는 과학장비산업은 기술수준이 매우 낮아서, 첨단고가의 장비일수록 대부분을 해외에서 수입하고 있는 상황이다. 과학장비산업의 발전은 과학의 발전과 병행하므로 이들을 분리하여 추진하는 정책은 좋은 성과가 나올 수 없다.

연료의 창출은 제도적 장치에 의해 양적으로 어느 단계까지는 도달할 수가 있지만 지속적인 창출과 질적인 창출을 위해서는 연구자의 능력이 정당하게 평가되고 인정받는 풍토가 마련되어야 하고, 연구자를 신뢰하는 문화가 정착되어야 한다. 연

료가 창출되었다해서 자본화를 위한 엔진이 자동적으로 가동되는 것이 아니라 자본화에는 연료의 창출보다 막대한 자금과 시간이 필요하고, 또한 자본화의 주체인 기업의 모니터링능력과 혁신능력에 의해 이루어진다. 과거 우리의 기술혁신 패턴은 연료와 장비를 구입하여 공정혁신을 하는 모방으로부터 창조이었지만 바이오산업과 같은 과학기반산업에서는 지식 그 자체가 경쟁력이므로 모방이 불가능하여 지식을 창출하는 대학과 창출된 지식을 자본화로 연계하기 위한 산학협력이 핵심이다.

参 考 文 献

- 산업기술정책연구소 (1998), 「정부기술지원자금의 지역별 최종분포에 관한 연구」.
- 이준식 (2000), “대학연구성과의 지적재산권 취득 및 기술이전의 문제점,” 대학연구성과 확산에 관한 세미나 발표자료, pp. 1-18.
- 최영락, 장영배, 황영순 (1999), 「과학기술기반산업의 의의와 추진방향」, STEPI.
- 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.
- Carter, C.F. et al. (1957), *Industry and Technical Progress*, Oxford University Press.
- Collins, P. et al. (1988), “Citations in Patents to the Basic Research Literature,” *Research Policy* 17, pp. 65-74.
- COSEPUP (1999), *Capitalizing on Investments in Science and Technology*, National Academy Press.
- Coward, H.R. et al. (1989), “Identifying the Science-Technology Interface: matching Patent Data to a Bibliometric Model”, *Science, Technology & Human Values* 14, pp. 50-77.
- de Solla Price, D. (1965) “Is Technology Historically Dependent of Science? A Study in Statistical Historiography,” *Technology Culture* 6, pp. 553-568.
- Faulkner, W. et al. (1995), *Knowledge Frontiers - Public Sector Research and Industrial Innovation in Biotechnology, Engineering Ceramics, and Parallel Computing*, Clarendon Press, Oxford.
- Freeman, C. (1974), *The Economics of Industrial Innovation*, Hermondsworth, Penguin.

- Freeman, C. (1982), *The Economics of Industrial Innovation*, 2nd edition, Pinter Publishers, London.
- Gibbons, M. et al. (1994), *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, SAGE Publications.
- Grupp, H. (2000), "Learning in a Science-driven Market: The Case of Lasers," *Industrial and Corporate Change* 9(1), pp. 143-172.
- _____ et al. (1992), "Perception of Scientification as Measured by Referencing between Patents and Papers," In: Grupp, H. (ed.), *Dynamics of Science-based Innovation*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 73-128.
- Handerson, R. et al. (1999), "The Pharmaceutical Industry and the Revolution in Molecular Biology: Interactions Among Scientific, Institutional, and Organizational Change," In: Mowery, D.D. et al.(ed.), *Sources of Industrial Leadership*, Cambridge University Press, pp. 267-311.
- Langrish, J. et al. (1972), *Wealth from Knowledge - A Study of Innovation in Industry*, MacMillan, London.
- ISI, Hot Papers Diskette, Sep-Oct 2000.
- Malo, S. et al. (1999), "Science-Technology Linkage in an Emerging Research Platform: The Case of Combinatorial Chemistry and Biology," Electronic Working Papers Series, Paper No. 37, SPRU, University of Sussex.
- Martin, B.R. et al. (1996), *The Relationship with Between Publicly Funded Basic Research and Economic Performance: A SPRU Review*, HM Treasury, London.
- McMillan, G.S. et al. (2000), "An Analysis of the Critical Role of Public Science in Innovation: the Case or Biotechnology," *Research Policy* 29, 1-8
- Meyer, M. (1998), "Does Science Push Technology? Patents Citing Scientific Literature," Electronic Working Papers Series, Paper No. 30, SPRU, University of Sussex.
- Meyer-Krahmer, F. et al. (1998), "Science-based Technologies: University-Industry Interactions in Four Fields," *Research Policy* 27, pp. 835-851.
- Mowery, D. (1994), *Science and Technology Policy in Interdependent Economics*, Kluwer Academic Publishers, London.
- Narin, F. et al. (1985), "Is Technology Becoming Science?," *Scientometrics* 7, pp.

369-381.

- _____ (1992), "Status Report: Linkage between Technology and Science," *Research Policy* 21, pp. 237-249.
- _____ (1997), "The Increasing linkage between US Technology and Public Science," *Research Policy* 26, pp. 317-330.
- _____ (1998), "Linkage between Patents and Papers: An Interim EPO/US Comparison," *Scientometrics* 41, pp. 51-59.
- _____ (1999), "Linkage between Agency-supported Research and Patented Industrial Technology," *Research Evaluation* 5(3), pp. 183-187.
- Niebeskind, J.P. et al, 1995, "Social Networks, Learning and Flexibility: Sourcing Scientific Knowledge in New Biotechnology Firms," NBER.
- Niosi, J. (2000), "Science-based Industries: A New Schumpeterian Taxonomy," *Technology in Society* 22, pp. 429-444.
- Noyons, E.C.M. et al. (1994), "Exploring the Science and Technology Interface: Inventor-Author Relations in Laser Medicine Research," *Research Policy* 23, pp. 443-457.
- NRC (1999), *Harnessing Science and Technology for America's Economic Future: National and Regional Priorities*, National Academy Press.
- OECD (2000), *Main science and technology indicators*.
- Pavitt, K. (1984), "Sectoral Patterns of Technical Change: Toward a Taxonomy and a Theory," *Research Policy* 13, pp. 343-373.
- Rosenberg, N. (1990), "Why do Firms do Basic Research (with their own money)?" , *Research Policy* 19, pp. 165-174.
- _____ et al. (1990), "Science, Technology and the Western Miracle," *Scientific American* 263(5), pp. 42-54.
- _____ et al. (1994), "American Universities and Technical Advance in Industry," *Research Policy* 23, pp. 323-348.
- Schmoch, U. (1993), "Tracing the Knowledge Transfer from Science to Technology as Reflected in Patent Indicators," *Scientometrics* 26(1), pp. 193-211.
- _____ (1997), "Indicators and the Relations between Science and Technology," *Scientometrics* 38(1), pp. 103-116.

- Sohatsu, S. (2000), "Emergent Evolution of New Industries: Priorities for Japan 2000," Nomura Research Institute.
- Tamada, T. (2000), "The Challenge of Creating Petaloid Industries: In Search of New Sources of Added Value," Nomura Research Institute.
- Van Vianen, B.G. et al. (1990), "An Exploration of the Science Base of Recent Technology," *Research Policy* 19, pp. 61-81.
- Zucker, L.G. et al. (1998), "Capturing Technological Opportunity via Japan's Star Scientists: Evidence from Japanese Firms' Biotech Patents and Products," NBER.