

과학기반산업의 속성과 논점

A Theory of Science-Based Industry

설성수*

< 目 次 >

- | | |
|---------------------|---------------------|
| I. 문제제기 | IV. 과학기반산업의 기술혁신 속성 |
| II. 기존 연구를 통한 현황 파악 | V. 산업론에서의 논점 |
| III. 대표적인 과학기반산업 | VI. 결어 |

<Abstract>

This paper aims at setting up a theory of science-based industry, discussing the patterns of technological innovation and the issues of industrial change. The paradigms of technological change are changing rapidly from engineering-based to science-based innovation and industry. New paradigms are clearly distinctive from old paradigms, and hence raises several issues of the theory of industry.

Key words : 과학기반혁신, 과학기반산업, 과학기반산업론, 지식기반산업론

* 한남대 경제과/하이테크비즈니스학과 교수, s.s.seol@mail.hannam.ac.kr

과학기술산업의 속성과 논점

I. 문제제기

과학이 기반이 되는 혁신과 산업이 관찰되기 시작한 것은 1980년대 중반 이후이지만 최근 생명과학의 산업화와 관계되어 과학기반혁신과 과학기반산업에 대한 관심이 고조되고 있다. 일부 기술에 있어서는 기술이 바로 상품이자 산업이기 때문에 경우에 따라서는 과학이 상품이자 산업이 되는 현상에 대한 관심이 고조되고 있는 것이다. 이러한 현상은 과학과 기술조차도 별개로 인식되던 것과 비교하면 대단히 큰 변화이다. 그간 기술은 산업과 직결되는 것으로 여겨졌지만, 과학은 산업과 무관하거나 관계가 있다해도 간접적이라 여기던 것이 이제는 과학이 산업 자체가 되는 현상이 발생하고 있는 것이다.

과학이 기반이 되는 혁신이나 산업에 대한 인식이 구체적으로 지적된 것은 1980년대 초반이다. Carpenter et al.(1980, 1983)은 특히에 나타나는 과학문헌, 즉 과학집약도를 통해 과학기반혁신에 관심을 갖기 시작한다. 한편 Pavitt(1984)은 영국의 기술혁신을 분석하면서 과학이 기반이 되는 산업을 지적한다. 국내에서는 최영락, 장영배, 황영순(1999)의 지적 이후 조황희, 박수동(2000), 설성수(2000, 2001), 설성수 외(2001) 등에서 과학기반산업에 대한 분석이 이루어진다.

그런데 국내에서의 논의는 대부분 과학기반혁신(science-based innovation)과 과학기반산업(science-based industry)을 엄밀히 구분하지 않고 언급한다는 특색이 있다. 그렇지만 과학기반혁신과 과학기반산업은 다르다. 기술과 산업은 경우에 따라 동일시될 수도 있겠지만 동일시 할 수 없는 것과 마찬가지로이다. 일례로 전자기술은 전자산업에서 많이 활용되지만 전자산업 이외에서도 활용된다. 또한 전자산업에서는 전자기술이 핵심이지만 다른 종류의 기술도 필요하다. 따라서 전자기술과 전자산업이 동일한 것이 아니다. 이러한 차이는 과학기반혁신과 과학기반산업에도 그대로 적용된다.

한편 과학기반산업에 관한 이론적인 인식도 매우 제한적이다. 과학기반산업에 관한 논의가 거의 기술혁신적인 관점에서만 언급되고 있다. 과학기반혁신은 기술혁신론적인 관점에서 언급되는 것이 당연하겠지만, 과학기반산업은 과학기반혁신이 바탕이 됨에도 기술혁신론적인 관점과 함께 산업론적인 관점이 동시에 필요하다. 과학이 기반이 된다는 점에서 기술혁신적인 관점이 필요하고, 과학기반산업도 분명

산업인지라 산업론에서의 일반적인 논거를 바탕으로 분석되고 다른 산업들과 비교될 필요가 있다. 그럼에도 과학기반산업 논의에서는 해외든 국내이든 산업론적인 논의가 없이 기술혁신적인 관점만 나타나고 있다.

따라서 본 연구는 과학기반산업이 나타나고 있는 패턴과 속성 및 이론적인 논점을 기술혁신론적인 관점과 산업론적인 관점을 혼합하여 점검하고자 한다. 논의는 먼저 기존 연구에 대한 검토를 통해 과학기반혁신이나 과학기반산업의 구체적인 현황과 패턴을 분석하고, 나아가 과학기반산업의 세가지 대표적인 산업인 정보통신(IT), 생명공학(BT) 산업과 나노기술(NT)을 살펴본다. 이후 기술혁신론적인 관점에서 과학기반산업의 기술혁신 속성은 무엇인가를 분석하고, 과학기반산업이 산업론에서 어떠한 위치로 논해질 수 있는지를 검토한다.

II. 기존 연구를 통한 현황 파악

과학과 산업의 연계에 대한 논의는 과학기반혁신에 대한 논의와 이러한 사항을 강화시키려는 혁신체제론적인 접근으로 구분된다. 기초연구나 과학이 기반이 되는 혁신이나 기술에 대한 논의는 Carpenter et al.(1980, 1983) 이후 Grupp(1992), Grupp & Schmoch(1992), Narin(1992), Narin et al.(1997), Wolfgang(1997), Albert et al.(1998), Macmillan et al.(2000)에서 언급된다. 혁신체제론적인 접근은 Senker(1998), OECD(1998, 1999b, 1999c) 및 국내의 최영락 외(1999), 조황희, 박수동(2000) 등이라 할 수 있다. 과학기반혁신이나 이를 강화하려는 혁신체제론적인 접근은 모두 기술혁신론적인 관점이라 할 수 있다. 반면 설성수 외(2001)와 같이 과학과 산업의 연계를 기술혁신론과 산업론의 통합적인 관점에서 보려는 시도도 있다.

이들 연구는 대부분 두 현상을 지적한다. 하나는 과학기반혁신이 강화되고 있다는 과학화(scientification)의 심화이고, 다른 하나는 과학기반산업의 확대이다.

1. 과학화 심화

과학화는 과학집약도의 증가 현상을 말한다. Carpenter et al.(1980, 1983)에서 제시된 특허문서에 기록된 과학문헌의 수, 즉 과학집약도 개념은 Grupp(1992)에 이르러 과학기반혁신 전반에 대한 분석으로 이어진다. Grupp & Schmoch(1992)은 과학집약도가 높은 특허분야를 과학기반 기술영역 혹은 산업으로 구분하여 분석한다.

이들의 연구는 과학집약도는 기술별로, 국가별로 다르며, 1980년대 들어 분명한 과학화 현상이 존재하고, 과학의존도가 큰 기술영역일수록 1980년대에 성장이 컸다는 점을 지적한다.

이들은 1979-86년 기간의 과학집약도 변화를 계산한 바 미국에 등록된 특허에서는 금속, 센서, 유전학, 의학, 광학, 코팅, 영양 등이 평균 이상의 성장률을 보였고, 서독에서는 전자만이 평균 이상의 성장률을 보였다. 한편 미국에서는 도구, 기계, 레이진, 인쇄, 교통, 엔진 등이 평균 이하이었고, 서독에서는 도구, 레이진, 엔진 등이 평균 이하이었다.

Narin et al.(1997)은 1985, 1990, 1995년 세 시점에서, 의학 화학 전문도구 및 전기부품 분야에서 미국, 영국, 일본, 프랑스, 독일 5개국의 과학집약도를 분석하였다. 이들은 전 분야에서 각국의 과학집약도는 급격히 그리고 지속적으로 증가하고 있음을 보인다. 국가별로는 미국의 과학집약도가 가장 높고 다음으로 영국 순이라는 점을 보인다. 분야별로는 1995년의 5개국 평균치로 볼 때 의학이 8.66으로 가장 높고, 화학이 3.18, 전문도구 1.27, 전기부품 1.00의 순이었다. 한편 각국의 특허문서에는 해당국가의 과학문헌이 평균치보다 2-4배 높게 인용되고 있고, 인용되는 과학문헌은 대부분 관련 분야의 상위권에 있는 주류의 과학저널이라는 것을 지적한다.

Albert et al.(1998)은 1982-96년 기간 미국에 등록된 특허의 평균 성장을 이상을 보인 신소재, IT, 보건, 고속물류, 자동차 5개 분야의 특허를 분석했다. 그 결과 모든 기술에서 과학집약도가 1 이하에서 2정도로 증가하며, 미국이 가장 높다. 또한 모든 기술에서 기술사이클시간(인용된 특허의 등록년수)이 8년 정도로 단축되고 있으며, 일본이 가장 빠르다. 한편 모든 기술분야에서 미국이 주도하고 있으며, 일본 한국 대만은 IT분야에서, 이스라엘 아일랜드 등은 보건분야에 강하다.

OECD(1999)에서는 회원국 전체에 대한 기술사이클시간과 과학집약도를 동시에 분석한다. 과학집약도를 통해 본 과학연계에 있어서는 덴마크, 미국이 4.0 이상, 아일랜드 멕시코 캐나다 헝가리 스위스 영국 호주 등이 3.0 이상이며, 2 이하에는 독일 이태리 일본 포르투갈 노르웨이 오스트리아가 속했고, 한국은 1.0을 약간 상회하여 최하위 수준이었다. 한편 기술사이클시간에 있어서는 5년 정도가 평균이나 한국과 일본은 3년을 약간 상회하며 가장 짧았다. 이는 한국과 일본이 최근의 기술을 빠른 속도로 활용하고 있다는 것을 보여준다. 그런데 과학집약도가 낮으면서 빠른 속도로 기술진보가 이루어진다는 것은 아직도 기술진보의 핵심이 다른 기술의 빠른 모방에 있다는 점을 보여주는 것이다.

Macmillan et al.(2000)은 생명공학분야에서의 특허분석을 통해 다음과 같은 결

과를 도출한다. 특히에 기재된 과학문헌은 71.6%가 공공기관에 의해 발행된 과학저널이고, 기초연구와 응용연구의 간격을 4단계로 본다면 가장 기초연구적인 저널에서 64.3%가 인용되고 다음 단계로 기초연구 지향적인 저널에서 25.4%가 인용되어 89.7%가 기초연구 지향적인 저널에서 인용되고 있다는 점을 지적한다. 또한 유명과학자들의 논문이 우선적으로 인용된다는 점을 밝힌다.

한국에서의 과학기반분야, 즉 과학기반혁신으로 판단되는 특허는 1991-99년 기간에 축소¹⁾되는 기현상이 나타나고 있다 (설성수, 2001). 과학기반혁신의 절대규모는 증가하지만 전체에서 차지하는 비중은 어떠한 기준으로 보든 축소되고 있는 것이다.

2. 과학기반산업의 확대

최영락 외(2000)는 과학기반산업을 과학활동이 기술혁신의 원천이고, 기술혁신이 성장의 원동력인 산업으로 2단계 조건을 부여하여 정의한다. 그러나 설성수 외(2001)에서는 과학기반산업은 기초연구나 과학적인 활동이 기술혁신의 기반이자 산업 자체를 형성하는 산업으로 정의된다. 일부 산업에서는 실험실에서의 과학적인 탐구활동이 바로 산업화되고 실험실 자체가 생산기지가 된다. 이러한 경우는 과학이 기술혁신으로, 나아가 기술혁신이 산업성장이라는 2단계로 이해되기 보다 과학활동과 기술혁신 및 산업성장은 하나로 보아야 할 것이다.

어떻든 과학기반산업은 전문가의 직관이나 연구개발집약도, 과학집약도 및 기술집약도(간접 R&D 포함 연구개발비 대비 매출)에 의해 측정되고 있다. 이중 과학기반산업 측정 지표로 과학집약도가 가장 적합하게 보이지만, 기술과 산업의 개념이 다른 것처럼 과학집약도가 높은 분야라 해서 과학기반산업이라 정의하기 어렵다는 점을 서두에 지적한 바 있다.

그런데 연구개발집약도나 기술집약도가 이들 산업을 파악하는 지표로 사용되면 과학기반산업은 일반적인 첨단산업 논의와 큰 차이를 보이지 않는다. 더욱이 이는 OECD(1997)에서 보는 바와 같은 하이테크산업 정의 혹은 OECD(1998)에서 보는 지식기반산업 중의 기술/지식기반 제조업과 동일 의미를 갖는다 (설성수, 2001). OECD(1997)에서는 산업을 하이테크산업 중간기술산업 및 저기술산업으로 정의하는

1) 과학기반혁신은 과학집약도를 통해 파악되지만 국가별, 시대별 차이가 존재한다. 따라서 비교를 위해 Grupp(1992) 기준과 독자적으로 설정한 기준으로 파악한 결과 전자는 동 기간에 4,731건에서 35,530건으로 증가하고 후자는 6,063건에서 44,135건으로 증가한다. 그러나 전체에서 차지하는 비중은 각각 38.3%에서 37.3%, 49.0%에서 46.4%로 축소되었다.

데 이 구분에 의한 하이테크산업의 비중은 <표 1>과 같다. 하이테크산업의 비중은 분명 모든 산업에서 확대되고 있다. OECD(1998) 기준에 의한 지식기반 제조업의 추세는 뒷부분의 산업적인 논의에서 추가로 언급될 것이다.

<표 1> 제조업 대비 하이테크산업 비중

| | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 |
|--------|------|------|------|------|
| 미국 | 10.5 | 14.6 | 15.3 | 15.8 |
| 일본 | 9.6 | 14.3 | 14.8 | 14.5 |
| 프랑스 | 9.4 | 12.1 | 11.7 | 11.9 |
| 독일 | 8.8 | 10.6 | 11.0 | 11.2 |
| 영국 | 10.9 | 13.0 | 14.3 | 13.9 |
| 아시아태평양 | 9.2 | 13.6 | 14.2 | 13.3 |

자료: OECD(1997), p. 150

주 : 하이테크산업, 중기술산업, 저기술산업 중 하이테크산업 비율 (부가가치 기준)

Ⅲ. 대표적인 과학기반산업

1. 3대 과학기반산업의 대표성

설성수 외(2001)에서는 정보통신산업(IT: information technology), 생명공학산업(BT: biotechnology) 및 나노기술산업(NT: nanotechnology)을 대표적인 과학기반 산업으로 설정하고 이들을 3T산업으로 명명하여 분석한 바 있다.²⁾ 이들이 이 산업들을 3T산업으로 선택한 것은 세 이유이다.³⁾

첫 이유는 <표 2>에서 보듯이 Grupp & Schmoch(1992)와 Albert et al.(1998)에서 과학집약도가 높은 분야로 공통적으로 도출된 바 있기 때문이다. 표에서 언급되는 분야들은 명칭이 동일해도 약간씩 차이가 있다. IT나 BT 모두 포괄범위가 대단히 큰 산업이기 때문이다. 한편 소재기술이나 표면처리기술과 나노기술은 다른 것으로 보이지만, 최근의 소재기술에 있어서의 화두는 나노기술이다. 이는 뒤에서 다시 검토된다.

2) 나노기술은 과학이 기반이 되는 기술이라는 점은 분명하지만 아직은 산업으로 부르기에 무리이다. 따라서 과학기반혁신을 대표하는 분야(3T)로서의 의미는 분명하나, 산업으로서의 의미는 약하다.

3) 혹자는 환경 및 에너지 기술을 차세대기술로 평가하기도 한다. 그러나 서술되는 이유로 인해 논의에서 제외되어 있다.

<표 2> 대표적인 과학기반산업

| | Grupp & Schmoch (1992) | Albert et al(1998) |
|---------|---|-----------------------------------|
| 분석시점 기준 | 특허분석(1979-86) 과학집약도 높은 분야 | 특허분석(1982-96) 평균 증가율 이상 5대 분야 |
| 공통분야 | 제약, 유기/식품화학, 생명과학 정보통신컴퓨터광기술 재료기술, 표면처리기술 | 보건: 의약, 생명기술 정보통신컴퓨터광기술 신소재 |
| 차이분야 | 각종 과학 측정장비 전기 / 비전기 기기 | 차량: 엔진, 동체, 부품 물류유통기술 |

두 번째로 3T산업은 우리 나라에서 과학기반산업으로 구분되는 분야 중 1991년 67.7%, 1999년에는 72.5%를 차지할 정도로 큰 산업이기 때문이다. 이 분야는 각 년도에 등록된 특허 전체에 비해서는 33.2%와 33.6%에 달하는 규모이다. 그런데 NT는 아직 산업분야로 부르기에는 무리이므로 이 수치들은 거의 모두가 IT와 BT 산업의 것이다.

<표 3> 세계 500대 기업의 분야별 R&D 지출과 특허

| | 1998 R&D지출 (십억 US\$) | R&D지출/매출 (%) | 1998 등록특허 건수 |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Pharmaceuticals | 28.031 | 12.64 | 1,998 |
| Biotechnology | 4.042 | 46.51 | 793 |
| Software | 7.426 | 12.08 | 770 |
| Electronics | 72.240 | 6.46 | 22,941 |
| Computer | 18.181 | 5.80 | 9,682 |
| Telecommunications | 14.906 | 4.12 | 738 |
| Scientific, Photo, Control Equip. | 4.342 | 7.59 | 3,113 |
| Chemicals | 19.861 | 4.66 | 4,543 |
| Soaps & Cosmetics | 2.936 | 3.41 | 986 |
| Rubber & Plastic Products | 1.633 | 3.99 | 344 |
| Automobiles | 46.257 | 4.22 | 3,458 |
| Aerospace | 3.425 | 3.45 | 1,459 |
| Industrial & Farm Equipment | 7.563 | 2.89 | 1,364 |
| Food | 2.933 | 1.38 | 204 |
| Metal Products | 1.762 | 1.39 | 437 |
| Engineering & Construction | 1.337 | 1.15 | 500 |
| Building Material & Glass | 0.766 | 1.20 | 219 |
| Utilities, Gas & Electric | 2.314 | 1.11 | 38 |
| Petroleum | 5.769 | 0.87 | 994 |

자료: Bowonder(2000)

세 번째로 이들은 산업적인 관점에서 본다면 연구개발집약도가 다른 산업에 비해 월등 높다. 다른 분야에 대비한 이들 분야에서의 연구개발집약도는 <표 3>과 같다. BT분야의 연구개발집약도는 IT분야에서 가장 높은 소프트웨어분야에 비해서도 월등 높다.

2. 분야별 개요

IT산업은 부품과 시스템, 이를 운용하는 소프트웨어 및 통신산업 등으로 구성된다. 다른 측면에서 보자면 하드웨어에서 소프트웨어, 나아가 통신 및 인터넷산업도 포함되는 대단히 다양한 산업이다. 따라서 이들 모두가 과학이 기반이 되는 산업이라 보기는 힘들지만 반도체, 보안소프트웨어 등 최근 등장하는 대부분은 과학적인 연구활동이 없이 도출되기 어려운 분야들이다.

의약, 생명공학, 보건산업의 기술을 지칭하는 생명공학산업은 앞서의 연구들에서 보는 바와 같이 전체가 과학기반산업으로 간주되고 있다. 그리고 이들 산업이 과학기반산업이라는 점에 대한 반론은 현재 전혀 나타나지 않고 있다. IT나 BT산업은 이미 여러 문헌에서 충분히 언급되고 있다. 따라서 여기서는 나노기술에 대해서만 약간 언급하기로 한다.

물질의 크기를 $10^9\text{m} \sim 10^7\text{m}(1 \sim 100\text{nm})$ 로 만들면 물질의 물리적 특성, 화학적 특성, 생물학적 특성, 현상, 공정상의 특성 등이 변화되고 다양하게 나타난다. 이러한 특성은 단지 해당 물질들의 크기가 매우 작다는 점에 기인한다. 이렇듯 나노기술은 물질의 크기를 원자수준에서 취급할 때 나타나는 특성변화를 이용하여 각 물질의 특성한계를 극복하기 위한 과학 기술이다. 나노기술의 목표는 물질들을 원자, 분자, 그리고 분자 이상의 수준에서 이들의 구조를 제어하여 그 특성을 파악하고, 효율적인 제조기법을 얻는 것이며, 이러한 나노구조들을 집적하여 $\mu\text{m}(\text{micrometer}, 10^6\text{m})$ 수준에서 그 특성의 안정성을 유지하는 것이 성공의 핵심적 요소이다.

1998년 미국의 세계기술평가센터(WTEC)에서는 나노기술에 대한 조사연구에서, 원자제어를 통해 나노구조를 갖는 재료의 제조는 기존 재료의 특성을 대부분 획기적으로 변화시킬 것이고, 그 결과 전자기, 광학, 촉매, 센서, 저장, 생체 등의 다양한 분야에서 응용될 것으로 예측하고 있다. 일부 연구에서는 에너지 환경 군사분야에서의 이용 역시 예측하고 있다. 이를 통해 볼 때 나노기술은 차세대 기반기술로 평가되고 있다 할 것이다. 그러기에 20세기가 마이크로시대라면 21세기는 나노시대라 표현되기도 한다.

나노기술은 가시적인 세계에서는 관찰 자체가 되지 않는 초미세 기술이라 과학적인 연구활동 없이 존재하지 않는다. 그렇지만 나노기술은 현재 산업으로 존재하기 보다 이제 한창 연구가 진행되는 분야라는 특징이 있다.

세 기술은 성장단계가 다르다는 차이가 있다. 정보통신은 성장기나 성숙기에 있는 기술이라 산업이 크게 발달해 있으며, 그에 따라 기술적인 요인 못지 않게 시장적인 요인이나 전략적인 요인이 중요하게 작용하고 있다. 다시 말해 표준화나 다른 기업과의 제휴 등이 중요한 부분이 되고 있다. 바이오분야는 이제 산업형성단계라 할 수 있으며 기술과 산업의 동시 검토가 가능하다. 그러나 아직은 초기라는 점으로 인해 시장에서의 동적인 변화가 예상되므로 시장분석의 결과가 매우 가변적이다. 나노기술은 기술적으로도 태동기라 산업에 대한 실증 자료는 아직 보고되지 않았으며 기술혁신의 패턴을 언급하기도 무리가 있다. 그렇지만 나노기술산업은 과학 없이 존재할 수 없다는 점에 의해, 또한 세계 각국의 정부가 전략적으로 연구개발을 추진하고 있는 기술이라는 점에 의해 포함되었다.

이들 기술산업은 다른 산업에 미치는 영향이 큰 기반기술이며, 한 시대를 이끌 핵심기술들이라는 공통점이 있다. 이들 산업에게서 공통적으로 도출된 특성은 다음과 같이 요약된다. 첫째, 세 산업은 모두 과학기반혁신에 의존한다는 특징이 있다. 산업의 성숙도에 따라 차이가 있다할지라도 3T산업의 기술혁신은 과학의존적이다. 이들 산업은 연구개발집약도가 높고 과학집약도도 높다. 생명공학산업은 연구개발집약도가 정보통신산업에 비해서도 두 세배 이상이고, 과학집약도 역시 두 세배 이상이다. 보통 산업과는 비교가 되지 않을 정도의 연구개발집약도나 과학집약도인 것이다. 두 번째, 이러한 산업에서는 연구실의 연구결과가 중간단계를 거치지 않고 바로 상업화되는 경향이 짙게 나타나고 있다. 대학의 연구실이 기업의 배태조직이기도 하고 기업 자체가 되는 현상이 발생하고 있는 것이다. 세 번째, 그렇기 때문에 이들 산업의 형성과 발전에서 모두 벤처기업의 역할이 대단히 크다. 고도의 과학적 능력이 사업화 능력이 되고 있고, 기업의 경쟁력 원천이 되고 있다. 시장성숙에 따라 이러한 현상은 변화될 수도 있겠지만 산업의 초기단계에는 이러한 현상이 일반적이라는 공통점이 있다.

IV. 과학기반산업의 기술혁신 속성

1. 과학주도혁신

高橋琢磨(1999)는 그간의 기술혁신 패턴을 공학주도혁신이라 부르고, 최근의 기술혁신패턴을 과학주도혁신이라 부르며 공학주도혁신과 과학주도혁신의 차이를 분석한다. <표 4>에서 보는 바와 같이 혁신의 근원, 혁신형태, 혁신수단, 경쟁우위의 원천, 특허정책, 혁신주체, 자금제공자, 대표적 산업이라는 8개 요소로 과학주도혁신과 공학주도혁신을 구분한다.

그러나 이 분석은 생명공학산업과 공학적인 산업을 분석하며 등장한 것이라 생명공학산업은 과학주도혁신, 다른 산업은 공학적인 혁신으로 대별한다는 문제가 있다. 이미 앞에서 보았듯이 모든 분야에서 과학화 경향이 나타나고 있다. 즉, 과학기반혁신이 강화되고 있는 것이다. 따라서 생명공학에서의 혁신만 과학주도혁신이라 부르는 것은 문제가 있다. 그러기에 자금제공자, 특허정책, 경쟁우위의 원천 등에서 과학기반산업의 일반적인 현상을 설명하지는 못한다.

공학적인 혁신에 대비한 과학적 혁신도 개념상 모호한 점이 있다. 과학적 혁신의 대상인 생명산업은 생명공학에 의해 지탱된다. 그런데 생명공학이라는 단어 자체에도 공학적인 내용이 포함되어 있다. 또한 용어 자체로만 본다면 과학주도혁신은 수학 물리학 화학과 같은 자연과학까지도 포함하고 있다. 반면 공학적인 혁신은 자연과학이나 생명과학에 대비되는 용어인 공학에서의 혁신을 의미하고 있는 것이다.

<표 4> 과학주도혁신과 공학주도혁신의 차이

| | 과학주도혁신 | 공학주도혁신 |
|----------|----------------------|-----------------|
| 혁신의 근원 | 개인의 창조성 | 조직의 창조성 |
| 혁신의 형태 | 돌파형(breakthrough) 혁신 | 개량형 혁신 |
| 혁신의 수단 | 과학적 연구 | 기반기술, 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 | 생물산업 | 전자장치산업 |

자료 : 高橋琢磨(1999), 조황희, 박수동(2000)에서 재인용

그러므로 과학주도혁신의 의미가 조정될 필요가 있다. 전통적인 공학의 연구활동에서도 과학적인 탐구활동은 존재하고 기초적인 연구활동이 존재한다. 이는 두 차원으로 분해해 설명할 필요가 있다. 첫째, 과학주도혁신은 공학과 대비되는 이학을 지칭하는 과학에서의 기술혁신을 대비하기 위한 용어가 아니다. 과학이라는 용

어를 사용한다해서 공학이 제외되지 않는 것이다. 두 번째, 과학기반혁신과 과학기반산업이 순수 기초연구에 대비되는 응용연구와 그의 산업화만을 지칭하는 것이 아니라는 점이다. 의도적이든 의도적이지 않은 연구의 결과가 기술이 되고 산업화되고 있다는 것이다. 이러한 연구는 분명히 경험과 재능 등 혹은 그간의 기술적 기반에 의해 좌우되는 엔지니어링적인 연구활동과는 구분된다. 그러기에 과학주도혁신은 기초연구나 과학적인 연구활동 전체가 주도하는 혁신이라 할 것이다.

2. 기술혁신패턴

과학기반산업의 가장 특징적인 기술혁신 속성은 高橋琢磨(1999)의 지적과 같이 과학주도혁신이라는 점이다. 따라서 과학주도혁신이 무엇인가 하는 점을 보다 깊이 검토하여 보자. 박용태외(1994)는 혁신주체, 혁신유발 및 기술속성이라는 세 요인을 통해 산업별 기술혁신 패턴을 분석한다. 한편 송성수(1999)는 기술속성을 기술추세로 전환시켜 역시 3 요소로 철강산업의 기술혁신 패턴을 분석한다. 이러한 분석들과 高橋琢磨(1999)의 분석들을 종합한다면 다음과 같은 요소로 과학기반산업의 기술혁신 패턴을 분석할 수 있다.

첫째, 기술혁신의 원천이라는 측면에서 과학활동이 기술혁신의 원천이다. 기술혁신의 원천에 관한 기존의 학설은 과학기술주도설과 수요견인설 및 상호작용설로 대별된다 (설성수, 1997). 그런데 과학기반산업은 과학적인 탐구활동 자체가 기술혁신의 원천이 되고 있다. 그러기에 과학기술주도설은 이제 과학적 혁신 주도설과 기술적인 혁신 주도설로 엄격히 구분될 필요가 있다.

둘째, 高橋琢磨식이라면 기술혁신의 형태는 과학주도혁신에서는 전혀 새로운 내용의 돌파형 혁신이 이루어지는 반면, 공학적인 혁신에서는 개량형태가 이루어진다. 그러나 개량형 혁신이 공학적인 혁신이라 말할 수는 없다. 따라서 이는 엔지니어링형 혁신이라는 표현이 더 적합할 것이다. 돌파형 혁신은 과학기반산업의 대표적인 영역인 생명공학 분야에서는 새로운 제품혁신이 주로 나타난다는 특징으로 연결되고, 엔지니어링형 혁신에서는 공정에서의 혁신이 주된 형태라는 점으로 나타나기도 한다.

셋째, 기술혁신의 투입측면에서는, 과학기반산업의 기술혁신은 다른 산업에 비해 연구개발집약도가 높다는 특성을 갖는다. 그만큼 고도의 지적활동이 바탕이 되고 있는 것이다. 지적활동이 바탕이 된다는 점은 창조성을 전제로 한다는 것이고, 그에 따라 과학기반산업에는 다양성이 내재된다. 대량생산과 대량투입의 패러다임

이 아니라 다양화라는 패러다임이 산업 전체의 속성으로 나타난다.

넷째, 혁신의 장소라는 측면에서는 대학에서 혹은 연구실에서 주로 이루어진다는 특징이 있다. 기초적인 연구의 현장이 기술의 산실이자 산업의 모태가 되고 있다. Gibbons(1994)의 지적과 같이 기술혁신에 있어서 대학의 역할이 점차 중요해지고 있고, Godin & Gingras(2000)의 지적과 같이 사회 내의 다른 연구능력을 가진 기관들이 대학과 협력관계를 강화시키고 있다. 연역적으로 볼 때도 다양한 형태의 산학협력이 예상되는 것이다.

다섯째, 혁신의 주체라는 측면에서도 검토 가능하다. 대량생산을 바탕으로 하는 엔지니어링형 혁신에서는 규모 자체가 필요하거나 규모의 경제성을 지원할 수 있는 대기업이 주가 되지만, 과학적인 연구를 하는 과학주도혁신에서는 실험실형도 가능해 소규모 벤처기업에 의한 혁신이 주도적이라는 특징이 있다.

여섯째, 혁신의 유발 역시 과학의 발전에 크게 의존하고 있다. 이는 기술혁신의 원천에 관한 부분과 동일한 것으로 보이지만 기술혁신의 원천은 과학활동 자체라는 점을 강조하므로 이 내용과는 차이가 있다. 어쨌든 과학의 발전이 과학기반산업의 기술혁신의 원천이자 유발요인이라 할 것이다.

일곱째, 기술의 이전이라는 형태에서도 특징이 나타난다. 과학기반산업은 지식 의존적이라 지식의 확산이 용이하다는 측면이 있는가 하면 핵심지식의 내용이 규명되지 않는다면 이전된 기술을 발전시키기 어렵다는 문제가 있다. 확산이 용이하다는 점에 의해 지적재산권의 보호가 과학기반산업에서는 더욱 강조된다. 한편 핵심지식이 기술의 관건이라 기술이전을 기피하거나, 그 대가가 과거형 기술에 비해 대단히 높게 나타난다. 기술이전 역시 엔지니어링형 기술과는 다른 패턴을 나타내는 것이다.

여덟째, 과학의 산업화가 연계되어 있다는 특징도 있다. 다시 말해 조황희, 박수동(2000)의 분석과 같이 과학의 자본화 과정은 엔지니어링형과는 달리 창출에서 산업화까지가 연계되어 이루어진다는 특징이 있는 것이다.

V. 산업론에서의 논점

1. 지식기반산업론과의 관계

적어도 국내에서는 과학기반산업에 관한 논의는 지식기반산업에 관한 논의의

부속으로 이루어졌다. OECD(1996)의 권고에 따라 각국은 지식기반경제로의 이행을 위한 정책적인 대응을 한다. 한국 역시 산업자원부(1999)나 재정경제부(2000) 주관으로 이 문제가 검토되며 지식 중심적인 산업에 관한 검토가 이루어졌는 바, 그 과정에서 과학 중심적인 산업 역시 중요하다는 관점에서 과학기반산업이 언급된다.

OECD는 1996년에 지식기반경제(The Knowledge-Based Economy)라는 보고서에서 '지식과 정보의 창출, 확산, 활용이 모든 경제활동에 있어서 중심이 되는 경제'로 정의되는 지식기반경제가 21세기의 새로운 경제 패러다임이라는 주장을 하고 각국 정부는 지식기반경로의 이행을 서둘러야 한다고 권고한다. 이에 따라 OECD(1998, 1999a, 1999d, 2000) 등에서 지식기반산업을 포함하여 지식기반경제의 구체적인 모습을 측정하기 위한 여러 시도가 이루어졌다.

이보다 앞서 OECD(1996)에서는 R&D뿐만 아니라 구입하는 중간재나 투자재도 기술획득의 중요요인이므로 이러한 획득에 내재된 간접 R&D를 포함한 기술집약도를 통해 하이테크기술과 산업을 파악해야 한다고 주장한다. 한편 OECD를 위한 작업에서 Hatzichronoglou(1997)는 기술산업을 하이테크기술, 중간 하이테크 (medium high-tech)와 중간 저급기술(medium low-tech) 및 저급기술로 구분하여 기술 및 산업을 네 단계로 구분한다. 이후 이러한 분류는 OECD의 연구에서 계속되어 사용된다.

OECD(1998)에서는 한 걸음 더 나아가 기술의 생산 측면만을 강조하는 기존의 하이테크기술이나 이에 입각한 산업 정의는 문제가 있다는 점을 지적한다. 다시 말해 하이테크산업에 속하지 않는 자동차나 플라스틱 등의 산업은 첨단기술을 생산하지 않지만 분명 높은 수준의 첨단기술을 사용하는데 기존의 정의는 수요측 산업을 고려하지 못하는 것이다. 마찬가지로, 서비스산업에 있어서도 통신이나 금융보험 혹은 사업서비스 산업과 같이 첨단기술을 사용하는 산업들이 존재하는데 이들도 기술에 둔 산업의 정의에 포함될 필요가 있다는 것이다.

그리하여 이들은 연구개발집약도가 높은 하이테크산업을 지식기반제조업이라 부르고, 서비스업에서의 통신업과 금융보험업 및 사업서비스업을 지식기반서비스업이라 정의하여 이들을 기술기반(technology-based)혹은 지식기반(knowledge-based) 산업이라 정의한다. 한편 교육과 보건업도 지식기반서비스업에 추가되어야 하나 통계처리상 생략되어 있다는 점을 명확히 한다. 이 정의 역시 이후의 보고서에서 계속 사용된다.

OECD(1999a)의 계측에 따르면 지식기반 제조업은 일본은 1987년을 100으로 할 때 1996년에 160에 가까운 수준으로 확대되고 있고, 미국이나 OECD 소속국가는 동

기간에 140-150선으로 확대되고 있다. EU 소속국가들은 이들보다 낮아 120선이 되고 있다. 한편 동 기간에 지식기반서비스업은 분석대상 모두에서 130-140 선으로 확대되고 있다. 그런데 지식기반제조업은 성장세가 경기순환에 따라 움직여서 불황기에는 성장세가 감소하기도 하지만 지식기반서비스업은 지속적으로 증가하고 있다는 특징이 있다.

국내에서는 OECD의 권고가 있는 이후 김승택(1998), 오상봉, 김인중 외(1998), 오영석(1999), 정진화 외(2000) 등에서 전략적인 연구가 이루어지고, 산업자원부(1999)와 재정경제부(2000) 등에서 지식기반경제를 달성하기 위한 전략들이 언급된다. 또한 장석인(2000), 이선 외(2000)에서는 지식기반경제에 관한 종합 검토가 이루어진다. 한편 이진우(1999), 이진우, 장석인(2000), 한은정보(2000) 등에서 국내의 지식기반산업 측정이 이루어지고 있다. 그러나 이 연구에서 사용된 지식기반산업의 범위는 지식기반산업의 정의를 구체화하여 여러 나라를 측정한 OECD(1998)의 것과 약간 차이가 있다.

한국의 기술/지식기반 제조업은 전 경제에서 1985년 9.5%에서 1995년 20.2%로 급격히 증가한다. 동 기간의 성장률에 있어서도 이들 산업은 일반제조업의 약 2배인 20%를 기록하며 경제 전체의 성장을 주도하고 있다. 이러한 통계는 기술기반제조업을 OECD(1998)와 같이 하이테크제조업, 중간 하이테크제조업, 중간 저급기술, 저급기술이라는 네 분류 중 하이테크제조업과 중간 하이테크제조업의 비중을 기준으로 한 것이다 (설성수, 2001).

만약 과학기반산업을 연구개발집약도나 기술집약도로 파악하려 한다면 과학기반산업은 지식기반산업 논의의 지식기반 제조업과 동일한 개념이 된다. 과학기반산업의 측정이 어려워 이러한 현상이 나타나고 있지만, 과학기반산업이 의미하는 바는 과학적인 연구활동이 기술과 산업의 바탕이 되고 있다는 점이다. 그렇기 때문에 과학적인 연구활동과 연구개발이 동일시된다면 과학기반산업도 지식기반산업 논의에 포함되어 거론될 수 있는 것이다.

2. 산업구조론에서의 위치

과학기반산업론과 지식기반산업론은 엄밀한 의미에서는 차이가 있다. 어떻든 이 두 산업론은 1990년대 이후에 일반화된 새로운 산업인식이라 할 것이다. 그렇다면 이들은 산업구조론에서 어떠한 위치를 차지하고 있는 것인가?

산업에 관한 이론적인 논의는 크게 개별 산업론과 산업 일반론, 나아가 산업정

책론으로 구분된다. 개별 산업론은 제조업, 정보통신산업, 생명공학산업 등과 같은 개별 산업에 대한 논의이다. 산업 일반론은 산업구조론과 산업조직론 및 산업기술론으로 구분된다. 한편 산업정책론은 개별 산업에 대한 정책론과 산업 일반에 관한 정책론, 즉 산업구조정책, 산업조직정책, 산업기술정책과 같은 형태로 주어진다.

이중 논제를 검토하기 위해 2차 대전 이후의 대표적인 산업구조에 관한 논의를 검토하여 보자. 1960년대 초반 지식활동이 새로운 산업으로 부각되고 있다는 지식산업론(Machlup, 1962)이 등장한다. 이는 지식이나 정보에 의존한 경제활동인 지식산업에 관한 것으로, 2차 대전 후 대중교육의 일반화와 커뮤니케이션산업의 발달 등에 의해 산업구조 변화를 반영한 것이다. 그리고 이 논의에 의거한 미국경제를 대상으로 하는 계측은 1980년대 중반까지도 미국의 통계부처(Rubin, 1984)를 중심으로 계속되어 온다. 그러나 이 논의는 기존의 산업 관련 통계와는 완전히 다른 체계를 바탕으로 한 것이라 다른 나라에서 그렇게 활발하게 측정되고 분석되지 못했다.⁴⁾

1970년대 말 정보산업론(Porat, 1977)이 등장한다. 이는, 지식이나 정보에 입각한 정보산업은 급격히 확대되고 있어서, 서비스산업 확대의 원인은 정보산업이라는 인식이다. 정보활동은 지식이나 정보에 의존하는 경제활동이라는 점에서 지식산업론에서 주장하는 지식활동과 개념정의에서는 큰 차이가 없지만 정보활동을 측정하며 기존의 통계체계를 부분적으로나마 사용한다는 점에서 보다 발전된 형태이다.

<표 5> 산업구조론의 흐름

| | 지식산업론 | 정보산업론 | 지식기반산업론 | 과학기반산업론 |
|------------|---------------|-------------|------------|---------------|
| 출현 | Machlup(1962) | Porat(1977) | OECD(1996) | Pavitt(1984)? |
| 주안점 | 지식활동 | 정보활동 | 지식기반활동 | 과학활동 |
| 이론적 배경 | 지식활동론 | 산업론 | | 기술혁신론 |
| 기존통계와의 호환성 | 없음 | 재편필요 | 호환 | 곤란 |
| 산업의 범주 | 일부 모호 | 명확 | 명확 | 모호 |
| 통계파악된 국가 | 미국, 일본 소수 | 주요 선진국 | OECD 국가 | 소수 |

주: Grupp(1992)을 과학기반산업론의 시초로 볼 수도 있을 것이다.

미국 상무성의 지원 아래 이루어진 이 논의는 이후 OECD(1981, 1986), 한국(송

4) Gershuny & Miles(1983)의 서비스산업론이 제시될 수도 있겠으나 이는 현상 설명 정도이고, 정보산업론에 의해 그 원인이 규명된다는 점에서 소개하지 않는다.

종래, 설성수, 1986; 설성수, 1987) 등 세계 주요 국가로 확대되었다. 이 논의는 정보통신기술의 발전과 확산, 즉 정보화를 뒷받침하는 새로운 산업인식으로 자리를 잡고 여러 국가에서 활용되었고, 또한 많은 정책적인 시도들이 이어졌다. 그러나 이 논의 역시 기존의 통계를 재편해야 한다는 어려움으로 인해 새로운 산업통계로 설정되지는 못했다.

이러한 흐름을 반영하여 표로 정리한 것이 <표 5>이다. 이 표는 첫째, 산업을 중심으로 한 논의는 수많은 종류의 산업통계로부터 검증을 받기가 쉬운 반면 지식활동이나 기술혁신을 중심으로 한 논의는 기존의 산업통계로 검증받기 어렵다는 점을 보인다. 둘째로, 지식기반산업론은 지식산업론이나 정보산업론과 지식이나 정보라는 동일한 기반에서 출발하고, 과학기반산업론은 과학이 기반이 되는 기술혁신에서부터 출발한다는 차이를 보인다. 세 번째로, 과학활동을 역시 지적활동이라는 의미로 해석한다면, 지식산업론 정보산업론 지식기반산업론 나아가 과학기반산업론 모두 동일한 내용을 각도만 바꾸어 언급하고 있다는 차이만 있다는 점을 보여준다. 결국 최근의 산업구조 변화에 관한 논의는 인간의 지적활동이 바로 경제활동이라는 점을 반영하고 있다할 것이다.

VI. 결어

본 연구는 과학기반산업의 현황과 발전패턴을 분석한 기존 연구에 이러한 산업이 갖는 기술혁신적인 속성과 산업론적인 논점을 부가한 것이다. 달리 보자면 선진국 전체에서 나타나고 있는 과학화의 심화 경향이나 과학이 기반이 되는 산업의 확대 경향을 바탕으로 과학기반산업에 관한 일반론을 도출하고자 한 시도의 하나이다.

본 연구는 기술혁신의 패러다임이 엔지니어링적인 패턴에서 과학적인 패턴으로, 상징적인 표현으로 보자면 정확하지는 않지만 공학적인 패턴에서 과학적인 패턴으로 변하고 있다는 것을 보여준다. 그리고 변화의 속도도 빠르다는 점을 보여준다.

그러나 과학기반산업은 기존의 산업데이터와 같이 눈에 보이는 데이터를 제시하기 어렵다는 속성이 있고, 아직 충분히 성숙되지 않아 구체적인 모습을 보이기 어렵다는 문제가 있다. 이 점이 본 연구가 갖는 내재적 약점이라 할 수도 있다. 그럼에도 분명한 점은 이미 변화는 상당히 진행되고 있다는 점이다. 한편 과학기반산

업 논의는 산업의 공급 측면을 강조한다는 약점이 있다. 금융, 보건, 교육 등과 같은 지식기반 서비스업은 1990년대의 불경기에도 지속적으로 성장하고 있고, 지식기반산업 전체의 성장에 큰 기여를 하고 있다. 따라서 산업에 대한 종합적인 인식은 공급 측과 수요 측 모두에서 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 정책적인 차원에서의 의미도 갖는다. 최근 각국 정부는 OECD의 권고에 따라 지식기반경제에 대한 대응이 화두가 되고 있다. 지식의 경제적 중요성을 부각시키고 지식활동의 산업적인 활용을 촉진시키고자 하는 정책이 세계적인 차원에서 이루어지고 있는 것이다. 그런 와중에 본 연구와 같은 과학기반산업에 대한 검토는 일면 세계적인 화두와 동떨어진 것으로 보일 것이다. 그러나 과학기반산업은, 지식기반산업의 부분인 지식기반 제조업과 거의 동일한 의미를 갖는다. 다시 말해 지식기반산업의 공급측 논의가 과학기반산업이라 할 것이다.

한국의 현실은 두 가지로 요약된다. 첫째, 지식기반산업론의 입장에서 볼 때, 한국의 지식기반산업은 급격히 증가하고 있으며 성장을 주도하는 산업이다. 그런데 과학이 기반이 되는 분야의 특허는 선진국 전체의 경향과는 달리, 상대적인 비중이 1990년대에 감소되는 경향을 보인다. 다시 말해 1990년대 이후 과학에 대한 강조정책이 나름대로 이루어져 왔건만 상대적인 차원에서 볼 때 다른 기술분야보다 성장세가 낮은 것이다.

참고문헌

- 김승택 (1998), 「신산업의 발전비전 및 육성방안 - 지식기반산업으로의 구조개편」, KIET 정책자료 043, 8.
- 박용태 외 (1994), 산업별 기술혁신패턴의 비교분석, 과학기술정책관리연구소.
- 산업자원부 (1999), 「21세기 한국산업의 비전과 발전전략: 지식기반산업 중심의 산업구조 고도화」.
- 설성수 (2001), “과학기반산업의 거시분석”, 「경제연구」 특집, 김세열교수 은퇴기념 논문집, 한남대 경제연구소, 3.
- 설성수 (2000), “과학기반산업의 동향”, 기술혁신학회, 2000년 추계 학술대회 발표논문집, 89-108쪽, 11.24. 표준연구원.
- 설성수 (1997), “정책적인 관점의 기술혁신 촉진요인”, 설성수 외, 「기술혁신과 산

- 업혁신정책」, 기업기술연구원.
- 설성수 (1987), “정보부문 변화의 원인과 방향”, 한남대 사회과학논집 7, 1-17.
- 설성수 외 (2001), 「과학을 기반으로 하는 산업의 현황과 발전방안 모색」, 한국과학재단, 3.
- 송성수 (2000), 철강산업의 기술혁신 패턴과 발전과제, 기술혁신학회지, 3-2호, 94-110.
- 송종래, 설성수 (1986), 「한국경제의 정보화의 측정과 요인분석」, 한국전기통신공사, 고대 노동문제연구소.
- 오상봉, 김인중 외 (1998), 「지식기반산업의 발전전략」, KIET 정책자료 74, 12.
- 오영석 (1999), 「한국경제의 중장기 비전 - 산업부문」, 산업연구원, 매일경제, 대한상공회의소 주최, 발표자료, 12. 2.
- 이건우 (2000), 「지식기반산업의 산업연관분석」, 산업연구원 연구자료 제201호, 3.
- 이선 외 (2000), 「지식기반경제의 이론과 실제」, KIET 연구보고서 436, 5.
- 장석인 (1999), “지식기반경제의 이해 - 과학기술정책관점의 지식기반경제이해와 정책과제”, 1999년도 과학기술정책 포럼집 II」, STEPI.
- 재정경제부 (2000), 「지식기반경제 발전전략 확정」.
- 정진화, 김승택, 전기호 (2000), 「지식기반경제의 인력정책 (21세기 준비 연구보고서 시리즈 2000-17)」, 산업연구원, 5.
- 조황희, 박수동 (2001), 「연구결과의 창출과 자본화 : 과학기반산업의 혁신」, 과학기술정책연구원, 1월.
- 최영락, 장영배, 황영순 (1999), 「과학기술기반산업의 의의와 추진방향」, 과학기술정책연구원, 정책자료 99-04, 4.
- 한은정보 (2000), “지식기반산업의 국민경제적 역할”, 한국은행, 4, 22쪽.
- Albert, Michael B., et al. (1999), *The New Innovations : Global Patenting Trends in Five Sectors*, U. S. Department of Commerce, Office of Technology Policy, September. <http://www.ta.doc.gov/reports.htm>
- Bowonder, B., S. Yadav and B. Sunil Kumar (2000), “R&D Spending Patterns of Global Firms”, *Research · Technology Management*, Vol. 43 No. 5, Sep.-Oct., pp.40-56.
- Carpenter, M., F. Narin, P. Woolf (1983), “Validation Study : Patent Citations as Indicators of Science and Foreign Dependence”, *World Patent*

- Information*, 3, 4, 60-163.
- Carpenter, M., P., Cooper, F., Narin (1980), "Linkage Between Basic Research Literature and Patents", *Research Management*, 13, 30-35.
- Gershuny I., I. Miles (1983), *The Service Economy*, Frances Pinter.
- Gibbons, M. et al. (1994), *The New Production of Knowledge*, Sage Publications.
- Godin B., Yves Gingras (2000), "The Place of Universities in the System of Knowledge Production", *Research Policy*, 29-2, 273-278.
- Grupp, Hariolf, Ulrich Schmoch (1992), "Perception of Scientification of Innovation as Measured by Referencing Between Patents and Papers: Dynamics in Scienced-based Field of Technology", Grupp, Hariolf(ed.), *Dynamics of Science-Based Innovation*, Springer-Verlag, Berlin, ch. 4, 73-129.
- Hatzichronoglou, Thoms (1997), "Revision of the High-Technology Sector Product Classification", *OECD, STI Working paper*.
- Konic, Wolfgang (1996), "Science-Based Industry or Industry-Based Science? Electrical Engineering in Germany before World War I", *Technology and Culture*, Vol.37, No. 1.
- Machlup, F. (1962), *The Production and Distribution of Knowledge in the US*, Princeton University Press.
- McMillan, G. S., F. Narin, D. L. Deeds (2000), "An Analysis of the Critical Role of Public Science in Innovation: The case of Biotechnology", *Research Policy*, 29-1, January, 1-8.
- Narin, F., Hamilton, Limberly S., Olivastro, D. (1997), "The Increasing Linkage between U. S. Technology and Public Science", *Research Policy*, Vol. 26, 317-330.
- Narin, F., Olivastro, D. (1992), "Status Report: Linkage between Technology and Science", *Research Policy*, Vol. 21, 237-249.
- OECD (2000), *Science, Technology and Industry Outlook 2000*, Paris.
- OECD (1999a), *"The Knowledge-based Economy: A Set of Facts and Figures*.
- OECD (1999b), "The Management of Science Systems", *STI Review*, OECD, Paris.
- OECD (1999c), *Managing National Innovation Systems*, OECD, Paris.

- OECD (1999d), *Science, Technology and Industry Scoreboard - Bench Marking Knowledge-based Economies*, OECD, Paris.
- OECD (1998), *Technology, Productivity and Job Creation - Best Policy Practices*, OECD, Paris.
- OECD (1996), *The Knowledge-Based Economy*, Paris.
- OECD (1986), *Trends in the Information Economy*, Paris, ICCP Series 11.
- OECD (1981), *Information Activities, Electronics and Telecommunications - Impact on Employment, Growth, and Trade*, ICCP Series 6.
- Pavitt, K. (1984), "Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory", *Research Policy*, Vol. 13, 343-373.
- Porat, Marc U., M. Rubin (1977), *The Information Economy*, US Department of Commerce.
- Rubin, Michael R., M. Huber, L. Taylor (1986), *The Knowledge Industry in the US, 1960-1980*, Princeton University Press.
- 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.