

디지털 협력과 연구개발 패러다임의 변화

박진서 · 이준영 · 문영호 · 배국진*

1. 들어가는 말

1990년대 들어와 공공 연구개발의 사업 선정과 평가에 있어서 산학연 협력 및 연계가 매우 강조되고 있다. 학계에서도 혁신네트워크, 기술협력, 삼중나선(triple helix), 기업간 협력 등의 개념을 통해 연구개발 행위자간의 관계의 특성에 주목하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 행위자간의 관계에 있어서 '협력'에 대한 관심이 증가하고 있는 것은 무엇보다 기술혁신에 있어서 '협력'의 효과에 대해 많은 경험적 연구가 그것이 갖는 장점을 충분히 입증했기 때문이라고 볼 수 있다¹⁾. 협력을 통한 행위자간의 지식의 이동, 그러한 지식의 흡수를 통해 행위자 상호간의 능력이 고양될 뿐만 아니라 거시적이고 장기적으로는 기초지식과 응용지식의 융합을 통해 시너지 효과가 발생한다는 연구결과가 그러한 예이다. 이제 '협력' 자체를 일종의 '정책 목표'로 보는 경향까지 나타나고 있다.

협력의 장점이 부각되고 있는 가운데 또 하나의 논의의 축은 정보통신기술에 의해 협력의 양식, 더 넓게는 연구개발의 패러다임이 전환하고 있다는 견해이다. 정보통신기술의 급속한 발전으로 인하여 기존의 연구개발 혹은 혁신의 근본적인 속성이나 양식이 변화될 것이라는 입장은 이미 몇몇 연구에서 e-Science(김인호 · 구용익, 2003), e-R&D(박동현, 2002; Ebert & de Man, 2002; Kessler, 2003), e-innovation(Lan & Du, 2002) 등의 개념을 통해 표현되고 있다²⁾. 디지털 협력(digital collaboration, collaboratory)³⁾에 대한 연구 또한 유사한 문제의식에서 연구개발 활동에 있어서 협력의 양식이 변화하고 있다고 주장한다.

그러나 정보통신기술과 인터넷의 급속한 기술발전과 이의 확산으로 인해 연구개발 패러다임이 변화할 것이라는 논의에 있어서 몇 가지 주의할 점이 있다.

첫 번째는 '패러다임이 변했다 혹은 전환되었다'는 사전적인 정당화가 '우리는 그러한 패러다임을 수동적으로 쫓아가야 한다'는 논리로 귀결될 수 있다는 점이다. Smith(1996)가 지적하였듯이 어떤 시스템(여기서는 연구개발시스템)이 특정 기술패러다임에 일단 고착이 되면 그 기

* 박진서: 한국과학기술정보연구원 정책연구실 연구원(jayoujin@kisti.re.kr)
이준영: 한국과학기술정보연구원 정책연구실 연구원(road2you@kisti.re.kr)
문영호: 한국과학기술정보연구원 정책연구실 책임연구원(yhmoon@kisti.re.kr)
배국진: 한국과학기술정보연구원 정책연구실 선임연구원(baekj@kisti.re.kr)

- 1) 산업기술 혁신에 있어서 협력을 연구한 대표적인 연구로 Dodgson(1993)을 참고할 것.
- 2) 보다 거시적이고 장기적인 관점에서 기술경제패러다임의 전환에 대한 논의는 조현대 · 임기철(2000)을 참고할 것.
- 3) 디지털 협력(digital collaboration)과 collaboratory는 엄밀히 말하면 다른 개념으로 사용되기도 하나 정보통신기술과 인터넷을 통한 협력양식의 변화라는 의미로는 이 글에서는 동일하게 사용하였다.

슬퍼다임은 쉽게 변화하지 않으며, 만약에 세계적인 범위에서 지배적인 패러다임이 다른 패러다임으로 전환된다면 우리는 바람직하지 못한 혹은 변화에 적응하기 힘든 특정 패러다임에 고착됨으로써 발생하는 시스템 실패(lock-in failures)를 경험할 수 있게 된다. 따라서 우리는 연구개발 패러다임의 변화를 논할 때, '지금과는 다른 무엇'이라는 메타포로서가 아니라 경쟁하는 대안들의 집합들이 무엇인가에 대해 더 주목을 해야 할 것이다.

두 번째 주의할 점은 일단 어떤 특정한 패러다임, 특히 연구개발 및 기술과 관련된 패러다임을 설정하게 되면 그러한 기술패러다임이 만들어진 과정과 그러한 과정에 관련된 행위자의 이해관계는 블랙박스로 취급된다는 것이다⁴⁾. 특히 현재의 시점이 특정 패러다임으로 고착화된 시기가 아니라 다양한 가능성이 모색될 수 있는 상황이라면 이 점에 대해 더욱 주의해야 한다. e-R&D, e-Science, e-innovation의 한 예로서 들 수 있는 디지털 협력 프로젝트가 가장 활성화된 국가가 미국이라는 점과 디지털 협력에 필요한 인프라기술이 하나의 거대한 상업 시장으로 형성되어 있는 현 상황에 대해 보다 비판적으로 검토해야 할 필요성이 제기되는 것이다.

본 연구는 이러한 전반적인 문제의식을 바탕으로 디지털 협력의 현황과 그 특징을 살펴보고 디지털 협력을 연구개발 패러다임이 변화하는 하나의 사례로 볼 수 있는가에 대한 문제에 답을 도출해보고자 한다. 이를 위해 2절에서는 정보통신기술이 연구개발에 어떤 영향을 주는지를 문헌을 통해 살펴보았다. 3절에서는 연구개발 활동의 본질이 협력 및 커뮤니케이션 활동이라는 것을 전제로 하여 디지털 협력의 개념과 관련 사례를 소개하였다. 4절에서는 디지털 협력과 관련된 주요 쟁점을 연구개발의 생산성의 측면에서 살펴보았다.

2. 정보통신기술과 연구개발

(1) 연구개발 활동의 구성요소와 특성

연구개발의 본성 혹은 연구개발이 다른 활동과 구분되는 특성이 무엇인가에는 여러 입장이 있을 수 있지만, 연구개발 활동은 첫째, 신뢰성이 있는 지식의 생산과 교환이 주 임무이며(활동의 목적), 둘째, 수행 과정에 있어서 명시적이든 함축적이든 협력을 강하게 수반한다는 특성을 가지고 있다(David, 2002). 이런 측면에서 본다면 연구개발 활동을 협력의 한 양식으로 볼 수 있고, 동시에 협력을 연구개발을 수행하는 다양한 행위자간의 커뮤니케이션 과정으로도 파악할 수 있다.

Leydesdorff(2001: 3-5)는 과학 활동의 기본적인 분석단위로 행위자(과학자, 연구 집단, 커뮤니케이션 네트워크)의 상호작용을 강조한다.

4) 이런 측면에서 1990년대에 새로운 조직혁신을 위한 만병통치약으로 사용된 'Downsizing', 'TQM', 'BPR', 'Learning Organisation', 'Virtual Organisation'에 대한 재검토가 필요하다고 본다. 일부 학자들은 미국의 독특한 대학-컨설팅 복합체(마치 과거 미국의 군산복합체와 유사한)가 이러한 만병통치약을 만들어 마치 조직은 이것을 채택해야만 혁신이 이루어지는 것처럼 알려졌다고 비판한다. 이런 입장에서 이런 개념들은 수사와 이미지에 불과하다. <Conway et al.(2001), "Realising the Potential of the Network Perspective in Researching Social Interaction and Innovation", in Jones, O. et al. (eds.), *Social Interaction and Organisational Change - Aston Perspectives on Innovation Networks*, Imperial College Press.> 참조.

니터 등), 텍스트(논문, 아카이브 등), 인지(이론, 지식 주장, 전공분야 등)의 세 가지 축을 제안하고 있다. 이와 유사하게 Borgman(1990: 17-20)은 학술활동을 커뮤니케이션의 생산자(producer), 커뮤니케이션의 담지자(artifact), 커뮤니케이션의 내용(concepts)으로 구분하고 있다. 커뮤니케이션의 생산자(연구개발 활동의 행위자)는 개별 인간일 수도 있으며 집합체로서 연구팀, 집단, 분야, 기관, 국가일 수도 있다. 커뮤니케이션의 담지자(텍스트)는 공식 혹은 비공식적인 커뮤니케이션 과정에서 정보가 담겨지는 매체를 의미한다. 커뮤니케이션의 내용(인지)이라는 것은 실제로 한 행위자로부터 다른 행위자에게 매체를 통해 전달되는 '무엇'(content of the artifact)을 의미한다. 이론, 주장, 신념, 사실, 지식체계 등 전달되는 모든 것들을 포함한다.

이상의 논의를 종합한다면 연구개발 활동의 구성요소로서 ① 행위자와 ② 상호작용의 내용과 ③ 상호작용의 형식으로 구분하여 볼 수 있고, 연구개발 활동의 집합적 특성은 ④ 활동의 목적(과학기술 분야라는 특수한 지식의 생산과 교환)과 ⑤ 개별 행위자의 활동에 영향을 미치는 구조적인 속성(규범구조, 거버넌스 등)으로 구분하여 살펴볼 수 있을 것이다. 정보통신기술이 연구개발에 영향일 준다는 것은 정보통신기술에 의해 연구개발 활동의 구성요소와 집합적 특성의 일부 혹은 전체가 변화함을 의미한다.

(2) 정보통신기술의 영향

정보통신기술이 연구개발에 어떤 영향을 주는가를 우리는 크게 두 가지 차원에서 접근하고자 한다. 첫 번째는 경험적 연구로 실제의 변화를 기술한 연구를 간략히 정리하고, 두 번째는 이론적인 개념 연구로서 서두에서 언급했던 e-Science, e-R&D, e-innovation의 주요 논점에 대해 정리를 할 것이다.

먼저 경험적인 연구로는 OECD(1998)의 연구와 EC의 지원을 받아 수행된 SIBIS(Statistical Indicators Benchmarking the Information Society) 프로젝트(Barjak & Harabi, 2000a, 2000b)를 들 수 있다. SIBIS 프로젝트는 정보통신기술의 영향을 직접적으로 다루었기 보다는 인터넷의 영향력을 어떻게 측정할 수 있는가에 대한 기초연구의 성격이 강하다. 따라서 본 글은 OECD의 논의를 중심으로 변화의 내용을 간략히 살펴볼 것이다.

OECD(1998) 보고서는 연구개발 시스템의 변화의 동인으로 크게 3가지 요인을 꼽고 있다. 첫 번째는 정보통신산업의 기술변화이고, 두 번째는 과학자 스스로 자신의 기법이나 장비를 개발하고자 하는 노력, 세 번째는 정보통신기술을 특정한 과학적 수요에 맞게 설계한 정부의 연구개발 프로그램이라고 진단하고 있다.

이 보고서는 크게 5가지 영역에서 정보통신기술이 연구개발 시스템에 어떤 영향일 주고 있는지를 살펴보고 있다. 5가지 영역은 1) 과학자간의 커뮤니케이션, 2) 과학정보에 대한 접근, 3) 과학 장비, 4) 전자출판, 5) 과학교육으로 다음은 과학교육을 제외한 영역에서 정보통신기술의 효과를 간략히 정리한 것이다.

○ 과학자 커뮤니케이션

- 협력의 증가: 전문가 네트워크의 크기가 증가, 국제 협력의 증가, 디지털 협력의 출현, 커뮤니케이션의 지리적 한계 극복.
 - 커뮤니케이션의 양적 증가(e-mail, 게시판 등)
 - 연구자의 지위에 대한 영향: 연구자의 분산화와 불균등(e-mail 커뮤니케이션의 소수 집중), 신진연구자의 지위 강화. ICT가 정보에 대한 접근을 향상시켰지만 직접적인 접촉의 단점을 극복하진 못함.
- 과학정보에 대한 접근
 - 대규모 용량의 디지털 데이터에 대한 조작성 가능
 - 디지털 도서관의 출현, 정보의 접근에 있어서 지리적 한계의 극복
 - 생명공학의 경우, 데이터베이스가 첨단연구의 성패에 결정적인 역할을 하고 있음.
 - 참고문헌에 대한 DB 확장, 인터넷을 통한 정보의 유통
 - 그러나 이러한 변화는 세부 연구 분야에 따라 다양하게 나타남(예를 들면, 물성정보에 대한 수치데이터)
 - 특히, 상표 등과 같은 텍스트 정보의 디지털화
 - 소프트웨어의 공유
 - 정보 접근에 필요한 인프라 비용의 증가 및 정보의 상업화와 저작권 문제
 - 과학 장비
 - 계산과학의 발전(모델링, 시뮬레이션, 가시화 등)
 - 가상 실험실(collaboratory)의 출현 → 대규모 연구프로젝트의 조정 방식의 변화
 - 전자출판
 - 연구개발의 결과에 대한 정보의 확산 속도가 증가, 그러나 분야별 출판시스템에 따라 다양하게 나타남.
 - 출판비용에 대한 효과는 아직 불분명
 - 세부 연구 분야별로 전자출판 시스템이 다양함. 정보의 빠른 확산에 대한 저항.

OECD 보고서는 결론적으로 최근의 정보통신기술(특히 인터넷)의 발전과 확산으로 인해 앞에서 언급한 연구개발의 구성요소와 구조적인 속성이 변화하고 있지만, 세부 연구 분야별로 영향력은 다르게 나타난다고 주장한다. 다만 연구자 커뮤니케이션(위의 ②와 ③) 영역의 경우, 내용과 형식이 다양해지고 있으며, 오프라인에서 온라인으로 커뮤니케이션 공간이 확장된다는 측면에서 정보통신기술의 영향력이 매우 크다고 본다. 이로 인하여 전체 연구자 네트워크의 크기가 확장되고 지리적 장벽이 어느 정도 해소되었지만, 제도적인 특성에는 큰 영향을 미치지 못하고 있다고 진단한다(위의 ⑤).

정보통신기술이 연구개발 시스템의 생산성 향상에 어떤 영향을 미치고 있는가에 대해 이 보고서는 아직은 분명한 답을 제시할 수 없지만, 전체적인 연구개발 시간이 단축될 수 있고, 규

모 및 범위의 경계가 나타날 수 있는 가능성은 존재한다고 본다. 특히, 규모 및 범위의 경계와 관련하여 장기적으로 이러한 효과가 어떻게 나타날지에 따라 규범구조와 거버넌스와 같은 연구개발의 구조적인 속성(⑤)에 영향을 끼칠 것이라고 본다. 이와 함께 연구개발에 있어서 정보통신기술의 이용은 새로운 학습비용을 부담케 할 수 있으며, 첨단 연구의 경우 아직은 전체적인 비용을 감소시키는 효과까지 이어지지 않는다고 주장한다.

(3) e-전환의 의미

OECD 보고서를 통해 연구개발 활동의 구성요소(행위자, 상호작용의 내용과 형식)와 구조적 속성(규범구조, 거버넌스)이 정보통신기술에 의해 어떻게 변화될지는 아직은 분명하지 않음을 알 수 있다. 그렇다면 무슨 개념들이 변화된 패러다임을 어떤 의미로 지칭하고 있는지 살펴보자.

'e-Science'는 2000년 영국의 'e-Science 연구사업'에서 비롯된 개념으로 엄밀히 이야기 하자면 분석적인 개념보다는 비전에 대한 명명에 가깝다고 보는 것이 타당하다. 연구개발 수행 패러다임을 설명하는 개념으로서의 의미보다, e-Science는 구체적인 사업의 대상과 목적으로서 "대규모 데이터의 수집, 테라급 컴퓨팅 자원, 고성능 가시화 기술을 이용하여 인터넷을 통해 지역적으로 분산된 협력 연구자들이 수행하는 과학"⁵⁾을 가리킨다. 그러나 e-Science는 "과학이 수행되는 방식의 동학을 변화"시키는 하나의 패러다임으로 해석될 수도 있다(김인호·구중억, 2003: 223). e-Science가 '현재의 방식과 다른 방식으로 패러다임의 변화'를 의미한다면 e-R&D와 유사한 개념으로 볼 수 있다. 마찬가지로 'e-innovation'도 'e-science'와 유사하게 산업계에서의 혁신과정에 대한 새로운 비전으로서의 의미가 더 강하지만(Lan & Du, 2002 참조), e-innovation을 패러다임의 의미로 사용한다면 e-R&D의 개념과 유사한 것으로 볼 수 있다.

Ebert와 de Man(2002)은 특정 소프트웨어 기업에서의 새로운 연구개발 환경을 e-R&D라 지칭하였고, Kessler(2003)는 인터넷 환경에서 새로운 제품개발과정(cyber-innovation process)을 지칭하기 위해 e-R&D라는 용어를 사용하였다. 두 연구 모두 e-R&D를 새로운 패러다임의 변화로 해석하기 보다는 기존의 연구개발 과정에 인터넷이 결합된 특정한 연구개발 양식의 한 예로 본 것이다. 따라서 본 글에서는 e-R&D를 새로운 패러다임으로 개념화한 박동현(2002)의 연구를 중심으로 e-R&D의 의미를 살펴볼 것이다.

e-R&D는 전통적인 과학연구의 접근방법인 이론, 실험, 계산과학적 관점에 최근의 정보기술과 사이버인프라스트럭처를 기반으로 한 제4의 패러다임의 의미로서 사용될 수 있다. 이때 e-R&D는 기존 연구개발 활동의 e-전환을 통해 단순하고 반복적인 연구개발 업무뿐만 아니라 연구개발 활동 자체를 고성능 컴퓨터에 의한 데이터의 관리·처리·분석에 기초하여 가상공간에서의 수행되는 협동연구, 아웃소싱을 통한 R&D, 모듈형 R&D 등을 모두 통칭하는 개념으로

5) <http://www.escience-grid.org.uk/docs/gridtech/define.htm>

6) 기업의 전체적인 작업 흐름에 있어서 전통적인 R&D 활동과 고객관리 활동의 중간영역을 지칭하는 의미로 사용하였다.

사용된다. 그리드(GRID)는 e-R&D 시스템에서 정보하부구조의 역할을 하는 것으로 파악하고 있다(박동현, 2002: 101-117 참조).

그러나 이러한 e-R&D 개념은 총체적인 연구개발 패러다임의 변화(급진적인 혁신)로 해석하기 보다는 생물학과 계산과학 등 특정한 연구개발 분야 내에서의 e-전환으로 보는 것이 바람직하다. 앞의 OECD 보고서에서 볼 수 있듯이 보편적인 정보접근의 증가를 제외하고 정보통신 기술의 영향력은 분야별로 매우 다양하다. 현재 특정 분야의 연구개발 활동 공간이 오프라인에서 온라인으로 이동하고 암묵지가 형식지로 전환되면서 커뮤니케이션의 일부 내용과 형식은 e-전환을 하고 있는 과정이지만, 전통적인 연구개발 활동의 목적과 구조적 속성 그 자체는 디지털화에 따른 e-전환이라기보다는 점진적인 변화를 모색하고 있다고 보아야 할 것이다.

3. 디지털 협력과 연구개발

(1) 전통적인 협력: 행위자간의 근접성

일반적으로 협력을 '두 명(혹은 두 조직) 이상의 파트너들이 서로 동의하는 보완적인 목적을 위해 서로의 자원과 노하우를 교환하는 과정'(Dodgson, 1993: 13)으로 본다면, 앞에서 언급한 바와 같이 연구개발 활동 차체를 협력과정으로 간주할 수 있으며, 협력의 과정은 동시에 커뮤니케이션 과정으로도 파악할 수 있다.

연구자와 연구자간의 커뮤니케이션이란 측면에서 과거의 협력은 동일한 공간에서의 대면접촉(fact-to-face)을 중심으로 이루어졌다. 전화가 발명되기 이전에 수세기동안 한 연구자의 메시지는 우편을 통해서만 교환되었으나, 19세기 말 전화의 발명과 보급을 통해 동일 공간을 벗어나 일정 거리 이상의 두 연구자간의 협력도 가능하게 되었다. 현재는 다양한 정보통신기술, 예컨대 전화, 팩스, e-mail, 오디오 및 비디오 컨퍼런스 등을 통해 협력을 수행하고 있다. 무엇보다 인터넷에 주목하게 된 배경에도 이러한 기술적 수단을 통해 새로운 형태의 조직(협력의 e-전환으로서 디지털 협력)이 출현할 가능성이 커졌기 때문이다.

역사적으로 협력 활동은 공간적 근접성(physical proximity)에 크게 의존하여 이루어져 왔다. 예컨대, 전통적인 환경에서 개인 대 개인 커뮤니케이션이 이루어질 확률은 30미터가 넘으면 거의 0에 가까울 정도로 물리적인 거리는 협력에 있어서 매우 중요한 요인이었다. 연구개발 협력에 있어서 근접성은 협력의 질과 빈도에 직접적인 영향을 준다는 전제하에, 회소 장비에 대한 접근의 편리성을 이유로 고에너지 물리학의 경우처럼 연구자와 장비들의 co-location은 당연하게 받아들여졌다. 그러나 co-location에는 연구자가 자신이 익숙한 환경에서 벗어나

7) 혁신연구와 과학기술정책 분야에서 디지털 협력에 대한 연구는 아직은 초창기라고 볼 수 있다. 이 분야에 대한 본격적인 연구의 출발에는 지난 1999년 오스트리아에서 유럽과학재단(European Science Foundation)과 IASA(International Institute for Applied Systems Analysis)가 공동으로 주최한 워크숍인 "Building the Virtual "House of Solomon": Digital Collaboration Technologies, the Organisation of Scientific Work and the Economics of Knowledge Access"가 계기가 되었다. 그동안의 연구 성과는 올해 *Economics of Innovation and New Technology* (Vol. 12, No. 1)에서는 "Collaboration Technologies and the Economics of Collaborative Research"를 특집으로 소개되었다.

에 따라 생산성이 감소함으로써 발생하는 개인적인 비용이나, 더 적합한 연구자를 배제하거나 고립시킴으로써 발생하는 사회적 비용이 수반될 수 있다(Finholt, 2003: 7). 커뮤니케이션 관점에서 공간적 근접성의 장점은 두 명의 잠재적인 협력자가 공간적으로 가까운 곳에 있을수록 비공식적인 커뮤니케이션에 참여할 가능성이 더 커진다는 데에 있다(Katz and Martin, 1997: 5).

연구개발 협력에 대한 기존 연구는 공간적 근접성 이외에도 다양한 특성들⁸⁾이 무엇인지, 협력의 동기 및 협력의 성과간의 관계가 어떠한지, 혹은 협력 활동에 영향을 미치는 요인들이 무엇인가 등에 주목한 반면에 정작 협력이 이루어지는 공간(커뮤니케이션의 형식, 오프라인 vs 온라인)과 협력의 실질적인 내용(커뮤니케이션의 내용)에 대한 관심은 부족한 것으로 보인다. 더불어 행위자의 활동의 목적(실험, 단순한 의견교환과 토론, 공동 저술, 시제품 생산 등의 다양성)에 따라 협력의 동기와 성과, 과정도 다양하게 나타날 것⁹⁾으로 예상되나 이 분야에 대한 연구도 미흡한 편이다. 이러한 이유로 디지털 협력의 의미를 이해하기 위해서는 협력을 하는 행위자간의 커뮤니케이션 과정에 주목할 필요가 있으며, 이러한 커뮤니케이션 과정에서 바라볼 때 R&D의 e-전환을 올바르게 이해할 수 있을 것이다.

협력을 커뮤니케이션 과정으로 본다면, 연구개발에 있어서 전통적인 커뮤니케이션 양식은 2가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 연구개발 과정에 있어서 '개인 대 개인 커뮤니케이션'이고, 두 번째는 '개인 대 장비(기기, 도구 등) 커뮤니케이션'이다. Froitzheim와 Simioni(1999)는 이러한 두 가지 커뮤니케이션에 추가로 슈퍼컴퓨팅, 메타머신 등과 같이 분산된 데이터셋을 다루기 위한 커뮤니케이션을 '개인 대 메타머신(metamachine) 커뮤니케이션'이라고 지칭하였다. 마지막 커뮤니케이션 양식은 정보통신기술의 발전에 의해 새롭게 나타난 것(컴포넌트 혁신)으로 해석될 수 있다.

(2) 디지털 협력의 출현 배경

디지털 협력의 출현과정에 가장 결정적인 역할을 한 요인이 정보통신기술과 인터넷이라는 기술의 발전이었다 점에는 연구자들간에 이견이 거의 없어 보인다. 특히, 전통적인 협력과 커뮤니케이션 과정에 있어서 시공간적인 제약을 정보통신기술을 이용하여 해결하고자 하는 시도는 디지털 협력을 새로운 협력의 양식으로 전환시키는데 중요한 기술적 기반으로 작용하였다.

하지만 우리가 간과해서는 안 되는 부분이 대규모 프로젝트의 증가와 이로 인해 조직을 보다 효율적으로 관리하기 위해 조직혁신의 필요성이 제기된 맥락이다. 연구의 규모와 복잡성이

8) Katz & Martin(1997), Harsanyi(1993) 참조. 협력에 영향을 미치는 요인의 예로 물리적 근접성 이외에도 사회적 근접성, 파트너의 권위, 대규모 장비사용의 여부, 연구 분야의 전문화 정도, 연구개발에 대한 자금지원 시스템의 특성, 정치적 요소 등이 있다.

9) 일반적으로 실험 연구는 이론 연구에 비해 더 많은 협력을 필요로 하며 따라서 협력이 일상적이라고 받아들여지고 있다. 한편, 기초 연구보다 응용 연구가 학제적 성격이 강하기 때문에 특정한 연구 문제를 해결하기 위해서는 더 많은 연구자를 필요로 한다는 주장도 있으나, 반대로 기초 연구의 성격이 강할수록 국제 공동저작의 비율이 더 많다는 연구결과도 있다(Katz and Martin, 1997: 4).

증가하면서 자연스럽게 협력도 증가하였고, 이러한 협력 활동을 보다 효과적으로 지원하기 위해 새로운 기술을 적용할 수밖에 없었다. 실제로 협력에 대한 많은 경험연구에서 협력의 증가 추세를 거의 모든 연구 분야에서 발견할 수 있다.

1997년 미국 과학자문위원회(National Science Board) 의장인 Richard Zare는 *Science*의 편집장으로서 “미래의 연구는 전지구적 문제(예컨대, AIDS와 같은)를 해결하기 위해 대규모 협력(mega-collaborations)을 지원할 수 있는 새로운 메카니즘을 필요로 하다”며, 이를 위해 그는 향후 연구개발 조직이 ‘distributed intelligence’의 형태로 변화해야 한다고 주장하였다. 특정 지역 혹은 공간에서 개별 과학자가 축적한 경험과 지식이 다른 지역 혹은 공간의 과학자와 쉽게 공유되고 이용될 수 있도록 연구 활동이 새롭게 조직되어야 하며, 미래의 연구개발 환경에서 지식은 사람, 장소, 시간(anyone, anywhere, any time)에 구애받지 않고 언제, 어디서 누구나 이용가능하며, 권력과 정보, 통제와 주체의 중앙시스템에서 개인으로 이동하게 될 것이라고 주장하였다(Finholt, 2002: 7-8).

연구개발 시스템의 제도화와 이를 지원하는 과학정책은 필연적으로 해당 시기의 정치 및 경제적 이해관계를 반영한다(Salomon, 1977: 50). 디지털 협력과 관련된 다양한 프로젝트는 대부분 미국과 영국을 중심으로 수행되고 있다. 특히, 냉전의 종식 이후 우주과학과 국방에 집중된 거대과학 프로젝트의 효과성에 대해 많은 의문이 제기되면서 연구개발에 대한 지출은 현상을 유지하거나 삭감되는 상황에서 미국의 과학계는 과거와는 다른 성격을 지닌 새로운 대규모 프로젝트를 공공부문에서 지원해야 할 당위성이 필요했다는 점에 유의해야 한다. 새로운 프로젝트의 하나가 휴먼게놈 프로젝트이며 최근의 *collaboratory*와 관련된 프로젝트도 이런 맥락에서 이해해야 할 것이다.

(3) 새로운 양식의 협력 - *collaboratory*

*collaboratory*는 협력(collaborate)과 연구실(laboratory)의 혼합어로 1989년 컴퓨터 과학자인 Wulf가 “연구자들이 물리적인 위치와 상관없이 동료들과의 교류(interacting), 실험도구에 대한 접근, 데이터 및 컴퓨팅 자원의 공유, 디지털 도서관에서 정보의 접근 등을 통해 자신들의 연구를 수행할 수 있는 장벽이 없는 연구센터”라는 의미로 제안된 용어이다(Wulf, 1993; Finholt, 2003). 이후 미국 과학연구위원회(National Research Council)가 1993년 발간한 ‘*National Collaboratories: Applying Information Technology for Scientific Research*’란 연구보고서에서는 과학 활동에 대한 정보기술의 광범위한 응용가능성에 대해 낙관적인 견해를 바탕으로 과학 공동체에 익숙한 기존의 전통적인 방식이 아닌 새로운 연구개발의 양식이 가능하다고 주장하였다(Wulf, 1993).

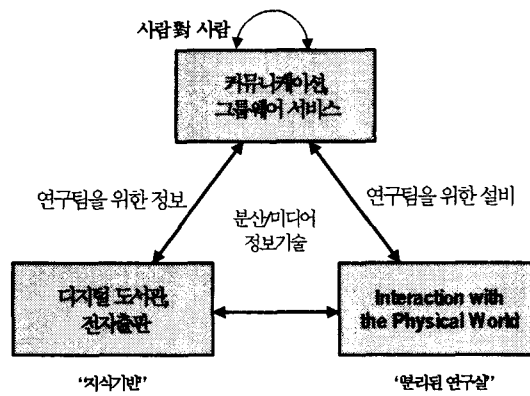
일부에서는 *collaboratory*를 “과학자들이 같은 장소에서 효과적으로 접촉되어있는 것처럼 과학자들이 원격 설비(co-laboratory)를 통해 함께 작업을 할 수 있도록 하는 기술, 도구, 인프라의 결합”으로 정의하기도 하나¹⁰⁾, 이 글에서는 *collaboratory*를 연구개발 활동에 있어 협력의

10) Lederberg, J. and Uncapher, K.(1989), "Toward a national collaboratory", Report of an invitational

새로운 추세를 반영하는 개념(Finholt, 2003: 7)으로 볼 것이다.

이런 측면에서 Atkins(1996, 1999)는 아래 그림과 같이 '개인 대 개인 커뮤니케이션', '개인 대 정보 커뮤니케이션', '개인 대 장비 커뮤니케이션' 등 과거에 분리되었던 커뮤니케이션 공간이 정보통신기술과 인터넷을 통해 시간과 공간의 제약 없이 통합되어 제공되는 환경으로 보고 있다.

<그림 1> Collaboratory의 개념도



출처: Atkins(1996: S56; 1999)

<표 1> 시공간에 따른 커뮤니케이션 공간

		시간	
		동일	상이
공간	동일	I (물리적) 근접	II 출입가능한 연구실 (실물) 게시판 (실물) 도서관
	상이	III 전화 그룹웨어 어플리케이션 비디오 컨퍼런스	IV e-메일 웹게시판

출처: Atins(1996: S56; 1999)

workshop, Rockefeller University, New York, Hesse et al.(1993: 90)에서 재인용. 이처럼 collaboratory를 정보인프라 혹은 특정 시스템으로 해석하는 경향은 실제 프로젝트에 참여한 연구진들과 관련 기술보고서, 컴퓨터 관련 문헌에서 강하게 나타난다. 국내의 경우에도 collaboratory를 '인터넷 기술을 이용한 원격 공동실험실', '전산망에서 사용 가능한 연구기기와 데이터 수집 및 분석 플랫폼을 갖춘 분산된 컴퓨터 시스템' 등과 같이 특정 기술시스템으로 이해하는 경향이 강하다.

시공간의 동시성에 의해 개인 대 개인간의 커뮤니케이션은 위 표에서와 같이 4가지 유형으로 구분할 수 있다(Atkins, 1999). 대면접촉을 통한 협력은 공간적으로 근접한 커뮤니케이션 공간(I)에서만 실현가능한 반면에 디지털 협력은 상이한 시간과 상이한 공간에서의 커뮤니케이션 공간(II, III, IV)으로 협력이 확장된 것을 의미한다. II와 III의 영역은 전통적인 협력에서도 발견할 수 있으나 정보통신기술의 발전은 II와 III 영역에서의 커뮤니케이션의 형식을 변화(e-전환)시킴으로써 커뮤니케이션의 양과 질을 증가시켰다.

(4) 주요 디지털 협력 프로젝트의 함의

일상적인 연구개발 활동에 있어서 디지털 협력(의도하지 않은 행위의 결과)과 디지털 협력을 목표로 하는 특정한 연구과제(<표 2> 참조)는 서로 구분하여 살펴보아야 하나 협력의 의미가 광범위한 만큼 현재의 디지털 협력의 다양한 양식을 체계적으로 종합·분석한 연구는 거의 찾아보기가 힘들다. 이런 한계에도 불구하고 후자에 대한 기존의 사례 연구에서 주목해야 할 연구결과를 간략히 살펴보면 다음과 같다.

<표 2> 미국의 Collaboratory 주요 프로젝트

project title	start date	sponsor	total budget	target community	peak use	total use	관련 연구
Worm Community System	1990	NSF	\$1,741,141	c. elegans 연구자	NA	NA	Star(1994)
UARC	1992	NSF	\$4,455,329	우주물리학자	54	163	Finholt(1997)
CoVis	1992	NSF	\$4,794,633	초중등 학생	9,225	20,250	Gomez(1996)
CMDA	1994	NSF/NIH	\$2,273,321	전자현미경	NA	NA	Hadida-Hassan(1999)
Remote Experimental Environment	1995	DOE	NA	(해)융합 연구자	NA	NA	Caspar(1996)
EMSL Collaboratory	1995	DOE	NA	NMR 사용자	5	17	Bair(1999)
Chickscope	1996	U of Ill	NA	현미경, 초중등 학생	30	900	Bruce(1997)
MMC Collaboratory	1997	DOE/NIST	\$10,890,000	전자현미경	6	80	Zaluzec(1996)
Diesel Combustion Collaboratory	1997	DOE	\$7,155,000	디젤연소	NA	NA	Pancerella(1999)
Great Lakes Regional CFAR	1998	NIH	\$814,088	AIDS 연구자	25	86	Teasley(2001)
SPARC	1998	NSF	\$2,440,000	우주물리학자	34	215	Olson(2000)
BioCoRE	1998	NIH	\$1,225,000	구조생물학	NA	NA	Bhandarkar(1999)
NanoManipulator	1999	NIH	\$1,280,000	AFM 원격사용자	2	114	Sonnenwald(2001)
Bugscope	1999	NSF	\$447,751	현미경, 초중등 학생	30	1,500	Potter(2000)

출처: Finholt(2003: 10)

○ SCIENCEnet

초창기 디지털 협력 프로젝트의 하나로, 데이터 수집 및 분석의 애로사항을 해결하기 위해 해양학자들에 제공된 네트워크이다. Hesse 등(1993)은 SCIENCEnet의 이용행태와 이용의 효과(연구의 결과물)간의 관계를 서베이를 통해 분석하였다. 이들의 연구에 의하면, 네트워크를 자주 이용하는 연구자들이 더 활동적이고 생산적이었으며, 기존에 내륙에 위치한 연구자들의 감소해야 했던 데이터 수집의 불이익을 어느 정도 극복될 수 있었다(Hesse et al., 1993; Finholt,

2002: 9-11).

○ Worm Community System: 1990~1996

WCS(Worm Community System)는 꼬마선충을 통해 냉동 및 해동 능력에 대한 연구를 수행하는 생물학자를 위해 만들어진 시스템이다. Star와 Ruhleder(1994)는 1991년부터 1994년까지 3년간 25개 실험실의 100여명의 연구자들에 대한 관찰과 인터뷰를 토대로 WCS의 이용행태를 분석하였다. 이들의 조사에 따르면 응답자들은 WCS가 *c. elegans* 연구와 관련성이 높고 사용하기가 용이함에도 불구하고 WCS 대신에 고퍼(Gopher)를 더 애용하는 것으로 나타났다(Star and Ruhleder, 1994; Finholt, 2003: 11). 흥미로운 점은 WCS 시스템과 인터페이스에 대한 사용자의 높은 만족도에도 불구하고 많은 사용자들이 다른 시스템을 사용한다는 점이다. 이러한 사례에서 알 수 있는 것은 의도된 디지털 협력 양식이 기술적으로 우수하다고 해서 반드시 연구자들에 의해 채택되는 것은 아니라는 점이다. 특히 박사후 과정 연구원들이 자신의 아이디어나 자료를 공유하게 됨으로써 다른 연구자가 먼저 연구결과를 발표할 것이라는 두려움 때문에 시스템 사용에 적극적이지 않았다는 사실은 기존의 연구개발 규범구조가 오히려 새로운 활동 양식을 방해할 수 있음을 보여준다.

○ UARC(Upper Atmospheric Research Collaboratory): 1992~1999

UARC의 경험에서 흥미로운 점은, 사용자 중심으로 시스템이 설계되었음에도 이후에 연구개발 활동 외부에서 WWW 및 자바 어플리케이션이 지배적인 패러다임으로 자리 잡자 UARC 시스템의 적응과정이 한계를 드러냈다는 것이다(Finholt, 2003: 13). 특정 기술시스템에 고착됨으로써 외부 환경의 변화에 적응하지 못한 시스템 실패(lock-in failures)가 발생한 것이다.

미국의 디지털 협력 관련 프로젝트에 대한 다양한 연구결과는 OECD와 유사한 함의를 던져주고 있다. 디지털 협력이 의도한 대로 실제 연구자들에게 새로운 연구개발의 양식이 채택이 안 될 수도 있으며, 일반적인 예상보다 더 크게 분야별로 디지털 협력에 대한 연구자의 기대가 다양하다는 점이다.

4. 디지털 협력과 연구개발의 생산성

패러다임의 변화로서 e-Science, e-R&D, e-innovation, 디지털 협력에 대한 논의는 궁극적으로 변화된 패러다임에서 연구개발의 생산성이 증가할 것이고, 동시에 연구개발의 효율성이 증가하는 방향으로 변하게 될 상태를 그러한 패러다임으로 개념화할 수 있다는 낙관론을 배경으로 하고 있다.

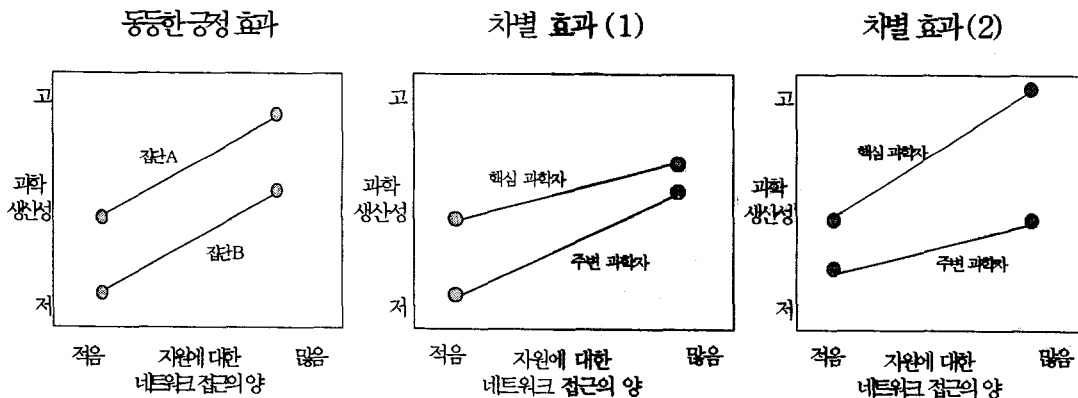
현재 가장 쟁점이 되고 있는 부분이 과연 정보통신기술에 의해 연구개발 활동의 생산성이

증가할 것인가이다. 일부 연구들에서는 전자메일과 컴퓨터 기반 커뮤니케이션을 통해 과학의 생산성이 증가하고 있으며, 인터넷과 컴퓨터 네트워크로 인해 지리적으로 분산된 연구자들의 협력을 더 잘 지원할 수 있다는 결과를 보여주고 있다. 공식적인 커뮤니케이션뿐만 아니라 비 공식적인 커뮤니케이션 등이 연구개발의 생산성 향상의 중요한 척도라는 연구결과도 있으며, 정보통신 기술은 이러한 비공식적인 커뮤니케이션을 더욱 활성화시킬 것이라는 견해도 지배적이다(Finholt, 2003: 8-9).

그러나 연구개발의 패러다임 변화가 커뮤니케이션 내용과 형식의 전환뿐만 아니라 연구개발 시스템의 구조적인 속성의 전환까지 의미한다면, 연구개발의 생산성의 증가와 함께 생산성의 분포라는 구조적인 속성도 함께 고려해야 할 것이다. 예컨대, 여러 지역에 소재한 연구소를 관리하는 다국적 기업이 컴퓨터에 기반한 커뮤니케이션 기술을 도입하여 거리의 장벽을 극복하는 경우를 보자. 전자메일, 게시판, 메일링 리스트 등 다양한 커뮤니케이션 수단을 통해 주변부의 연구자 혹은 종업원도 중앙에서와 같이 중요한 기업 활동과 정보의 흐름에 동등하게 접근할 수 있다. 그러나 전자메일과 연구자의 생산성의 관계에 대한 일부 연구에서는 전자메일의 사용이 보편적인 고생산성과는 관련이 있지만, 핵심 과학자에 대한 주변부 과학자의 지위의 변화와는 거의 관계가 없다는 연구결과를 보여주고 있다(Finholt, 2003: 8-9).

커뮤니케이션 기술이 발전함에 따라 연구개발에 참여한 행위자 전체 입장에서 본다면 보편적인 편익이 발생할 것이라고 예상하지만, 주변부 가설(peripherality hypothesis)에 따르면 그동안 상대적으로 우위에 있었던 연구자들에게 더 큰 편익이 돌아갈 수도 있고, 반대로 상대적으로 불리한 위치에 있었던 연구자들에게 더 큰 편익이 발생할 수도 있다(<그림 2> 참조). 아래의 세 그림은 모두 정보통신기술을 이용함으로써 연구개발 생산성이 향상되었음을 보여주지만, 첫 번째 그림과 세 번째 그림은 기존의 부익부 빈익빈 구조가 계속 유지되거나 심화되었음을 보여준다. 반면 두 번째 그림은 주변부 과학자들이 상대적으로 더 큰 기술의 혜택을 입었음을 보여준다. 정보통신기술이 이러한 구조적인 특성에 어떤 영향일 줄지는 아직은 미지수이다.

<그림 2> 주변부 효과



일반적으로 네트워킹 기술의 편익은 과학자들이 우주망원경, 슈퍼컴퓨터, DNA 시퀀스와 같은 대규모 데이터베이스, 위성 기상사진, Chemical Abstracts 등과 같은 문헌데이터베이스 등과 같이 희소하고 비용이 많이 소모되는 과학 자원의 원격 접근이 증가됨으로써 발생한다고 본다(Hesse et al., 1993: 90). 사실 컴퓨터 기술의 도입과 생산성간의 관계는 산업계에서도 많은 논란이 있었다.

정보통신기술의 발전과 과학의 생산성간의 관계에 있어서도 엇갈린 연구결과를 보여준다. 컴퓨터 네트워킹을 이용하는 일부 과학자들은 네트워크가 진작부터 연구의 생산성을 강화시켜 왔으며 과학 활동(work)의 본질을 변화시켰다고 주장하나, 생산성을 포함해서 컴퓨터 네트워크와 중요한 과학적 결과물간에 얼마나 관련이 있는지에 대한 체계적인 실증연구는 아직 없다고 주장하는 연구자들도 있다(Hesse et al., 1993: 90).

이상의 논의를 정리하면, 현재의 연구개발 방식의 변화가 연구개발의 효율성을 증가시키기 위한 방향으로 정보통신기술이 적용되는 것으로도 확신할 수 없으며, 연구개발 패러다임의 변화가 반드시 효율성의 증가라는 경제논리만으로도 설명될 수 없기 때문에, 패러다임의 변화를 이해하고 그것의 정책적 함의를 도출하기 위해서는 보다 넓은 사회정치적인 맥락을 고려해야 할 것이다.

5. 결론을 대신하여 - 패러다임 전환기의 사회정치적 맥락

제품기술을 대상으로 기술혁신의 유형을 점진적 혁신, 모듈라 혁신, 아키텍처 혁신, 급진적 혁신으로 구분한 Henderson and Clark(1990)의 논의와 이를 동태적인 진화과정으로 재해석한 Tushman and Anderson(1986)의 논의를 연구개발 조직의 패러다임의 전환에 적용한다면, 연구개발 패러다임의 변화는 연구개발 시스템의 컴포넌트와 아키텍처가 모두 변하여 새로운 아키텍처가 지배적인 아키텍처로 고착화되었다는 것을 의미한다. 컴포넌트만 변하고 아키텍처는 변하지 않거나(컴포넌트 혁신), 컴포넌트는 그대로이면서 컴포넌트의 구성 방식인 아키텍처만 새로운 형태로 변하는 것(아키텍처 혁신)은 e-전환으로 이해할 수 있지만, 양자는 모두 아키텍처의 구성요소와 구성 방식 모두의 e-전환을 의미하는 패러다임의 변화를 의미하는 것은 아니다.

현재의 연구개발 패러다임에 대한 다양한 논의(e-Science, e-R&D, e-innovation, digital collaboration)는 특정 분야(계산과학, 생명/제약산업, 소프트웨어 등)에 제한적인 패러다임의 전환으로 이해하거나, 아니면 총체적인 연구개발 시스템에서의 컴포넌트 혁신 혹은 아키텍처 혁신의 한 사례로 이해할 것이다. 현재는 특정한 연구개발 패러다임이 선택된 시기가 아니라 오히려 다양한 연구개발 패러다임이 출현하고 경쟁하는 시기로 보아야 할 것이다. 이러한 시각의 변화가 갖는 의미는, 서두에서 언급한 바와 같이 패러다임 전환기에 있어서의 사회정치적 맥락과 행위자들의 이해관계가 가지는 중요성 때문이다.

특정 패러다임이 선택된 이후에는 기술의 내적 논리에 의해 제한된 범위에서의 자연체적을 따라 기술이 점진적으로 변화(점진적 혁신)하지만, 패러다임의 전환기에서는 다양한 사회정치

적인 이해관계가 표출되고(다양한 패러다임의 경쟁), 특정 패러다임의 선택은 그러한 이해관계가 타협한 결과(선택과정)라는 견해가 일반적이다. 이 시기에서는 행위자의 개입을 통한 적극적인 기술의 선택이 가능하다. 연구개발 패러다임의 논의에 있어서 정보통신기술에 의한 기술의 내적인 논리와 기술체적이 지나치게 강조됨으로써 그 이면에 숨어 있는 이해관계를 다시 분석의 대상으로 끄집어내야 할 과제가 제기되는 것이다. 디지털 협력의 사례는 현재의 디지털화가 단순한 정보통신기술의 우월성이나 편익의 증가라는 기술 및 경제적 논리에 의해서가 아니라 보다 다양한 맥락을 고려해야 할 필요성을 보여주고 있다.

참고문헌

- 김인호·구중억(2003), 《e-Science 구축방안 연구》, 과학기술부.
- 박동현(2002), 《국가 e-R&D 시스템 구축 방안》, 정책연구 2002-10, 과학기술정책연구원.
- 조현대·임기철(2000), 《디지털 기술혁명과 기술경제 패러다임의 변화: 의미, 양상 및 발전과제》, 정책연구 2000-13, 과학기술정책연구원.
- Atkins, D. E.(1996), "Electronic Collaboratories and Digital Libraries", *Neuroimage*, Vol. 4, pp. S55-S58.
- Atkins, D. E.(1999), "Opportunities for Science Collaboratories and Knowledge Networks", Presented at *Joint Workshop Building the Virtual "House of Solomon": Digital Collaboration Technologies, the Organisation of Scientific Work and the Economics of Knowledge Access*, December 3-5, 1999, IIASA.
- Barjak, F. and Harabi, N.(2000a), *WP 2: Topic research and indicator development - The Internet for R&D*, SIBIS.
- Barjak, F. and Harabi, N.(2000b), *WP 5: Topic Report No. 2 - Internet for R&D*, SIBIS.
- Borgman, C. L.(1990), "Editor's introduction", in Borgman, C. L. (ed.), *Scholarly Communication and Bibliometrics*, pp. 10-27, Newbury Park: Sage Publications.
- David, P. A. and Steinmueller, W. E.(2003), "Introduction", *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 12, No. 1, pp. 1-3.
- Dodgson, M.(1993), *Technological Collaboration in Industry - Strategy, Policy and Internationalization in Innovation*, London and New York: Routledge.
- Ebert, C. and de Man, J.(2002), "e-R&D - effectively managing process diversity", *Annals of Software Engineering*, Vol. 14, pp. 73-91.
- Finholt, T. A.(2002), "Collaboratories", *Annual Review of Information Science and Technology*, Vol. 36, pp. 73-107.
- Finholt, T. A.(2003), "Collaboratories as a New Form of Scientific Organization", *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 12, No. 1, pp. 5-25.
- Froitzheim, K. and Simioni, M.(1999), "Developing a Toolkit for Virtual Laboratory Builders and Participants", Presented at *Joint Workshop Building the Virtual "House of Solomon": Digital Collaboration Technologies, the Organisation of Scientific Work and the Economics of Knowledge Access*, December 3-5, 1999, IIASA.

- Harsanyi, M.(1993), "Multiple Authors, Multiple Problems - Bibliometrics and the Study of Scholarly Collaboration: A Literature Review", *Library & Information Science Research*, Vol. 15, No. 4, pp. 325-354.
- Henderson, R. and Clark, K.(1990), "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Systems and the Failure of Established Firms", *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, pp. 9-30.
- Hesse, B. W., Sproull, L. S., Kiesler, S. B. and Walsh, J. P.(1993), "Returns to Science: Computer Network in Oceanography", *Communication of the ACM*, Vol. 36, No. 8, pp. 90-101.
- Katz, J. S. and Martin, B. R.(1997), "What is research collaboration", *Research Policy*, Vol. 26, pp. 1-18.
- Kessler, E. H.(2003), "Leveraging e-R&D processes: a knowledge-based view", *Technovation*, Vol. 23, pp. 905-915.
- Lan, P. and Du, H. H.(2002), "Challenges ahead E-innovation", *Technovation*, Vol. 22, pp. 761-767.
- Leydesdorff, L.(2001), *The Challenge of Scientometrics: The Development, Measurement and Self-Organization of Scientific Communications*, Universal Publishers.
- OECD(1998), *The Global Research Village: How Information and Communication Technologies Affect the Science System*, OECD.
- Olson, G. M. and Olson, J. S.(2003), "Mitigating the Effects of Distance on Collaborative Intellectual Work", *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 12, No. 1, pp. 27-42.
- Salomon, J.-J.(1977), "Ch. 2. Science Policy Studies and the Development of Science Policy", in Spiegel-Rösing, I. and de Solla Price, D. (eds.), *Science, Technology and Society: A Cross-Disciplinary Perspective*, pp. 43-70, London and Beverly hills: SAGE Publications.
- Smith, K.(1996), *System Approaches to Innovation: Some Policy Issues*, Submitted to the Commission, Innovation Systems and European Interaction, A research project funded by the TSER program of the European Commission(Contract no. SOE1-CT95-1004, DGXII SOLS).
- Star, S. L. and Ruhleder, K.(1994), "Steps Towards an Ecology of Infrastructure", *Proceedings of the 1994 ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, ACM Press, New York, pp. 253-264.
- Tushman, M. and Anderson, P.(1986), "Technological Discontinuities and Organization Environments", *Administrative Science Quarterly*, Vol. 31, pp. 439-465.
- Woolgar, S.(2003), "Social Shaping Perspectives on e-Science and e-Social Science: the case for research support", A consultative study for the Economics and Social Research Council.
- Wulf, W. A.(1993), "The Collaboratory Opportunity", *Science*, Vol. 261, 13 August, pp. 854-855.