

오픈 소스 기술혁신 과정의 기술정책적 함의*

- 비교 사례분석 -

Deciphering Open Source Innovation Process with Implications for Technology Policy - Comparative Case Study -

한 윤 환**
(Hahn, Yoon-Hwan)

<목 차>

- | | |
|-------------------------|--------|
| I. 서론 | IV. 결론 |
| II. 기술혁신 과정에 대한 비교 사례분석 | 참고문헌 |
| III. 기술정책적 시사점의 모색 | |

Abstract

In this paper, we try to explore the nature of open source software development process. The process involves peculiar characteristics which seem to defy the traditional economic reasoning for technology policy. Based upon the comparative case study of open source software development process with the two innovation processes adopted from literature on economic history, we argue that technology policy should strike the balance between provision of innovation incentives and voluntary disclosure of information.

Key Words : Open Source, Innovation Incentive, Information Disclosure, Technology Policy

핵심어 : 오픈 소스, 혁신유인, 정보공개, 기술정책

* 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-003-H0001). 본 논문에 대하여 유익한 논평을 해주신 익명의 두 심사위원께 감사드립니다.

** 경성대학교 상경대학 디지털 비즈니스 학부 조교수, E-mail : kindwind@star.ks.ac.kr

I. 서론

Arrow (1962) 가 제시한 기술정책의 이론적 배경은 “발명” 및 “혁신,” 보다 일반적으로 “지식” 및 “정보”는 내재적으로 공공재의 성격을 지니고 있음에 근거하며, 이러한 공공재적 성격으로부터 두 가지의 정책 목표를 파악할 수 있다.¹⁾

먼저 신기술의 공급 시점을 기준으로 事前的 측면에서 살펴보면, 신기술의 공공재적 성격은 발명 및 혁신이 私的 경제 주체들에 의해 공급이 이루어지는 경우 과소 공급이라는 시장 실패의 결과로 이어짐을 의미하며, 이를 해결하기 위한 정부의 정책적 관심 즉, 공공재 공급의 誘引(incentive) 제공이 필요함을 의미하는 것이다.

둘째, 신기술의 공급 시점을 기준으로 事後的 측면에서 살펴보면, 신기술의 공공재적 성격은 달성된 발명 혹은 혁신의 非自發的 외부 효과를 방지하기 위한 발명가 혹은 혁신가의 노력 즉, 신기술 관련 지식 및 정보의 專有化 또는 비밀화 시도를 유발하며, 이는 공공재 소비로부터의 사회적 편익 감소로 이어지므로, 이를 해결하기 위한 정부의 정책적 관심 즉, 공공재 소비의 활성화가 필요함을 의미하는 것이다.²⁾

가장 대표적인 기술정책의 수단인 특허 제도는 이러한 기술정책의 이론적 배경을 반영하고 있다. 즉, 특허 제도의 목적은 限時的 독점권을 허용하여 혁신의 유인을 제공하고, 아울러 특허 부여의 요건으로써 특허를 부여하는 기술과 관련된 정보의 공개를 의무화함으로써 신기술 관련 정보의 사회적 소비 활성화를 지향하는 것이다. 일반적으로 “情態的 효율성과 動態的 효율성 간의 절충”이라고 표현되는 특허 제도의 이러한 양면성은 기술혁신 과정에 대한 경제학적 이론의 근간인 “혁신 유인”과 “정보 공개” 간의 상충 관계를 반영한 것이다.³⁾

1) 기술정책에 대한 미시경제학적 배경 이론에 대한 보다 상세한 논의는 Dasgupta and Stoneman (1987), Stoneman (1987) 을 참조하기 바란다.

2) Schumpeter (1942) 에 의하면 기술진보의 과정은 “발명→혁신→확산”의 세 단계로 나누어질 수 있다. 여기에서 논의한 사전적 측면의 문제는 발명 및 혁신 과정에서의 문제로, 사후적 측면의 문제는 확산 과정에서의 문제로 이해할 수 있으며, 보다 간략히 기술의 공급 측면과 수요 측면의 문제로 해석할 수도 있을 것이다.

3) 특허를 통한 신기술 관련 정보의 공개는 특허명세서(specification)를 통해 이루어진다. 즉, 특허명세서는 해당 기술의 특허가능성(patentability)을 판단하기 위한 목적과 함께, 특허 종료 후 해당 기술의 사회적 사용을 가능케 하는 기능과 특허 기술 기반의 후속 혁신을 유도하는 목적을 지닌다.

한편, 기술 혁신 과정 즉, 지식 및 정보의 생산 과정에 있어서는 한 번 생산된 지식 및 정보는 재생산의 필요가 없는 규모의 경제 효과가 적용된다. 이는 앞서 논의한 신기술 확산의 당위성을 의미할 뿐만 아니라, 동일 내지 유사한 기술 분야에서 이룩된 발명과 혁신 중 최선의 것만이 가치를 지니는 것을 의미하는 것이다. 따라서, 중복된 발명과 혁신을 방지하고, 사적 연구개발 투자 과정이 사회적으로 바람직한 발명 및 혁신을 지향하도록 유인하는 정책적 “조정(coordination)” 기능의 필요성이 대두된다(Demsetz, 1969).

그러나, 최근 학계 및 실무계에서 공히 관심이 증폭되고 있는 오픈 소스 소프트웨어 개발 과정은 이러한 기술정책의 이론적 배경에 부합하지 않는 여러 특성을 보인다.⁴⁾

먼저, 오픈 소스 소프트웨어 개발 과정에서는 아무런 경제적 보상이 부여되지 않음에도 불구하고, 인터넷 상에 분산된 수많은 프로그래머들이 기꺼이 자신의 시간과 노력을 투자하여 오픈 소스 소프트웨어의 개발 및 혁신에 기여하고 있다. 이는 오픈 소스 소프트웨어가 갖는 공공재적 특징에도 불구하고 그 생산이 활발히 이루어지고 있다는 점에서 혁신의 공공재적 성격과 관련된 과소공급의 논리에 대한 도전으로 해석할 수 있으며, 적어도 혁신의 유인 제공이 반드시 경제적 내지 금전적(monetary)으로 이루어질 필요는 없음을 시사하는 것이라 판단된다.

뿐만 아니라, 오픈 소스의 정의 자체가 혁신 관련 정보의 공개를 포함한다는 점에서 정보 공개를 위한 정책적 개입의 필요성 역시 성립하지 않는 것처럼 보인다.⁵⁾

또한, 인터넷 상에 분산된 수많은 독립적 프로그래머들에 의해 이루어지는 지속적인 혁신 과정이 명확한 제도적 장치가 존재하지 않음에도 불구하고 적절히 조정되고 있다.⁶⁾

따라서, Arrow (1962)로 대표되는 기술혁신 과정에 대한 경제학자들의 우려가 적어도 오픈 소스 소프트웨어 개발 과정에서는杞憂인 것으로 나타나고 있는 것이다. 이로부터

4) 오픈소스 소프트웨어에 관한 경영학 및 경제학 분야의 최근 연구는 Research Policy (2003), Special Issue in Open Source Software Development 를 참고하기 바란다.

5) 오픈 소스 소프트웨어라는 용어 자체로부터 알 수 있는 바와 같이 소프트웨어의 혁신 관련 정보는 프로그램의 원시(source) 코드이다. 한편으로는 소스 코드의 공개가 오픈 소스 관련 라이선스에 의한 강제적 성격을 지닌다고도 볼 수 있다. 그러나, 오픈 소스 라이선스는 소스 코드의 공개를 강제하기 위한 것이 아니라, 오픈 소스 소프트웨어의 사유화를 방지하는 법적 장치라고 보는 것이 타당하다고 판단된다. 오픈 소스 소프트웨어와 관련된 다양한 라이선스 형태에 관한 경제 분석으로는 Lerner and Tirole (2002) 을 참조하기 바란다.

6) 이를 오픈 소스 공동체의 용어로 표현하면, “개발 과정에서 ‘forking’이 방지된다”라고 표현할 수 있다.

4 오픈 소스 기술혁신 과정의 기술정책적 함의

우리는 다음과 같은 일련의 연구 주제를 도출할 수 있다.

- ▶ 오픈 소스 소프트웨어 개발 과정이 기술혁신 과정에 대한 새로운 모형을 제시하고 있는 것인가?
- ▶ 오픈 소스 기술혁신 과정이 소프트웨어가 아닌 다른 기술 혁신 분야에서도 적용될 수 있을 것인가?
- ▶ 오픈 소스 기술혁신 과정이 기술정책에 대한 새로운 접근이 필요함을 의미하는 것인가?

본 연구에서는 오픈 소스 소프트웨어 개발 과정을 Dasgupta and David (1994) 이 “과학의 신경제학(new economics of science)” 이라는 논의를 통해 제시한 과학적 지식의 생산 과정을 살펴봄으로써 상기 문제에 대한 분석의 실마리를 찾고자 한다. Dasgupta and David (1994) 에 의하면,

① 지식의 "공개"와 "공유"는 윤리적 또는 정신적 가치관을 반영하는 것에 국한되지 않는다. 즉, 지식의 공개는 특정한 환경 하에서 相互互惠的(positive-sum) 게임의 참가자가 되기를 희망하는 경제 주체들에 의해 실행되고 유지되는 경제적 효율성을 위한 메커니즘이며,

② 이러한 개방형 지식 시스템은 "정신적 재산권(moral property rights)" 메커니즘에 기반한다. 즉, "명성 또는 인정과 관련된 자본(reputational capital)"의 획득에 있어 우선순위 규칙(priority rule)이 적용되며 따라서 지식의 생산 과정은 지식의 공개를 보장되며 진행되는 경주(race)와 같다.

본 연구에서는 이상의 개방형 시스템이 과학 분야뿐만이 아닌 산업 환경(industrial setting)에서도 적용될 수 있음을 역사적 사례 분석에 근거하여 설명하고자 한다. 본 연구에서 분석된 세 가지 사례가 공통적으로 제시하는 내용은 첫째, 기술정보의 공개와 공유를 통해 경제 주체간의 개발 노력이 조정되어 중복된 노력의 위험이 감소하고, 품질에 대한 보장이 가능해지며, 후속 발명 또는 혁신을 촉진하고, 둘째, 적용되는 유인 제공 메

커니즘은 발명 또는 혁신의 최초 발견자로 하여금 정보공개를 유도한다는 것이다. 이는 개방형 시스템 즉, 무상으로 이루어지는 기술 및 정보의 공개와 공유 과정을 통해 경제학 분야에서 지향하여온 “혁신 유인의 제공”과 “혁신 과정의 조정”이라는 두 가지 목적이 이루어질 수 있음을 의미하는 것이다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 먼저 다음 절에서는 리눅스로 대표되는 오픈 소스 소프트웨어 기술혁신 과정을 경제사 문헌에서 발췌한 두 가지의 오픈 소스형기술혁신 사례와 비교, 고찰한다. 이를 바탕으로 3절에서는 기술정책적 시사점을 모색한 후, 마지막으로 4절에서는 연구 결과를 요약하고 결론을 서술함과 아울러 연구의 한계 및 추가적 연구의 방향을 제시할 것이다.

II. 기술혁신 과정에 대한 비교 사례분석

1. 오픈 소스 소프트웨어 개발 과정 - 리눅스를 중심으로

오픈 소스 소프트웨어는 프로그램의 소스 코드가 함께 제공됨으로써 사용자들로 하여금 자유롭게 프로그램을 수정하고 개선할 수 있도록 한 컴퓨터 프로그램을 말하며, 수정 및 개선된 프로그램도 변경된 소스 코드와 함께 배포된다.⁷⁾

이러한 개방성은 인터넷 상에 분산된 수많은 프로그래머들의 참여를 유도하며, 인터넷을 통해 개발자 커뮤니티가 자생적으로 형성된다. 현재 수많은 오픈 소스 소프트웨어 개발 프로젝트가 진행 중이며 아래의 <표 1>은 본 절에서 논의되는 Linux 이외의 대표적인 사례를 제시한 것이다.⁸⁾

1980년대 초반 AT&T의 분할과 함께 AT&T는 UNIX 운영체제의 사유화를 시도하였고, 이에 대응하여 Richard Stallman은 자유 소프트웨어 재단(Free Software Foundation,

7) 오픈 소스 소프트웨어의 배포 방식은 적용되는 라이선스의 유형에 따라 차이가 있으나, 가장 널리 알려진 GPL(General Public License; Copyleft) 하에서는 수정 및 개선된 버전의 소프트웨어 역시 원래의 소프트웨어와 동일한 조건으로 배포되어야 한다. 이러한 “바이러스(viral) 효과”로 인해 GPL은 오픈 소스 소프트웨어의 사유화를 방지하는 법적인 수단의 역할을 하게 된다.

8) 이하에서 논의하는 리눅스 개발 과정은 Dibona et al. (1999)에서 발췌, 요약한 것이다.

<표 1> 오픈 소스 소프트웨어의 대표적 예

소프트웨어	설명
Apache	웹 서버 (NCSA 오픈 소스 서버의 'a patchy' 서버)
Zope	인트라넷 및 포털 등의 웹 기반 비즈니스의 창출과 관리를 위한 팀 협력 방식을 가능케하는 소프트웨어
Sendmail	널리 사용되는 이메일 전송 소프트웨어
Mozilla	넷스케이프 기반의 오픈 소스 브라우저
MySQL	오픈 소스 데이터베이스
Perl	널리 사용되는 웹 프로그래밍 언어
Python	객체 지향 프로그래밍 언어
PHP	서버 스크립팅 언어
BIND	도메인 네임 서비스
KDE	UNIX 워크스테이션용 그래픽 데스크탑 환경
GIMP	GNU Image Manipulation Program
GNOM	데스크탑 환경

FSF)을 설립하고 非專有的인(non-proprietary) 운영체제의 개발을 위해 GNU 프로젝트를 착수하였다.

GNU 프로젝트가 진행되어 감에 따라 운영체제를 구성하는 대부분의 요소에 있어서 자발적 프로그래머들의 참여를 통해 활발히 진행되었으나, Unix 호환 커널의 개발을 위한 GNU Hurd 프로젝트는 심각한 난관에 봉착하였다.⁹⁾

커널 개발을 위한 해결의 실마리는 전혀 예상치 못한 것이었다. 1991년 헬싱키 대학의 컴퓨터 과학도 Linus Torvalds가 인터넷 뉴스 그룹에 자신이 자유로운 UNIX 버전의 개발을 진행하고 있음을 공지하고 이와 함께 프로그램의 버그 수정을 요청하였다. Torvalds는 GPL을 채택하였으며, 추가적인 수정과 개선 역시 자유로운 재배포를 허용하는 경우에 한해 미래 버전에 포함시킬 것이라고 선언하였다.

Torvalds의 제안에 대한 반응은 폭발적이었다. 수많은 개별 프로그래머들의 자발적 참여와 협조를 통해 1994년 Torvalds는 리눅스 1.0 을 발표하였으며 1990년대 후반에 이르러 리눅스는 더욱 개선되어 수많은 새로운 기능을 제공하게 되었다. 인터넷 상의 개발자

9) GNU 는 “Gnu is Not Unix”의 재귀적 약어이다.

커뮤니티는 기하급수적으로 증가하여 1998년에는 10,000여 명에 이르게 되었다.¹⁰⁾

이러한, 리눅스의 잠재력은 Microsoft 사도 인식하게 되었고, 1999년에는 리눅스와 오픈 소스 소프트웨어 개발을 최대의 경쟁 위협으로 지적한 Microsoft 사의 내부 문건이 유출되어 커다란 파문을 일으키게 된다.¹¹⁾

리눅스의 개발 과정은 Torvalds의 권위를 바탕으로 진행되었다. 법적으로는 누구나 또 다른 버전의 리눅스를 개발하기 위한 커뮤니티를 구성할 수 있었으나, 개발 과정은 Torvalds를 중심으로 진행되었다. 새로운 코드는 Torvalds에게 제출되었으며 그는 채택 여부를 결정하고 리눅스에 포함시키기 위한 수정을 요구하였다. Torvalds가 논란의 여지가 없는 프로젝트의 관리자임은 분명했으나, 그의 역할을 공식적으로 인정하는 조직은 존재하지 않았다. 리눅스의 인기가 높아지고 프로그램의 규모가 성장함에 따라 Torvalds는 제출되는 코드의 양을 감당할 수 없어 많은 부분을 분야별 관리자(area owners)에게 위임하게 된다. Torvalds가 프로젝트의 관리에 관한 암묵적 최고 권위를 가지고 있었으나, 그가 분야별 관리자의 결정을 거절한 경우는 거의 없었다.

리눅스 개발 과정의 근간에 존재하는 유인 체계는 Dasgupta and David (1994) 이 설명한 과학 분야에서의 유인 체계와 유사하다. 즉, 개별적인 프로그래머들은 그들의 기여도에 대하여 개발자 리스트를 통해 많은 고급 프로그래머들로부터 공식적 인정을 받게 된다. 이러한 사실은 Raymond (1999) 가 오픈 소스 프로젝트에 참여하는 가장 큰 동기로 동료들 간의 인정(peer recognition)을 지적한 것과 일치한다. 이러한 보상 시스템은 혁신 및 관련 정보의 공개에 기반한 유인 체계인 것이다.

2. 영국 콘월 지방에서의 펌프 개발 과정

17세기와 18세기에 걸쳐 영국 지방의 채광 산업은 갭 내의 침수 문제로 인하여 극심한 피해에 직면하고 있었다.¹²⁾ 1712년, Thomas Newcomen은 갭의 물을 배수할 수 있는 안정적인 신뢰성이 높은 증기 펌프 엔진을 개발하였으며, 이 엔진은 내구성이 높고 유지

10) Forbes, 1998년 8월 10일자 기사에서 인용한 것이다.

11) 이 내부 문건은 이른바 “할루윈 문서(Halloween document)”로 알려져 있다.

12) 본 사례는 Nuvolari (2002), Torrens (1994) 및 von Tunzelmann (1978) 을 기초로 서술된 것이다.

8 오픈 소스 기술혁신 과정의 기술정책적 함의

비용이 저렴하여 빠른 시간에 널리 보급되었다. 그러나, Newcomen이 개발한 엔진은 연료의 효율성이 낮은 단점을 지니고 있었다. 엔진의 연료인 석탄을 채굴하는 광산 지역에서는 그러한 비효율성이 문제가 되지 않았으나, 그 이외의 광산에서는 심각한 문제가 되었다.

1769년, James Watt는 분리형 콘덴서를 채택하여 연료 효율성을 대폭 향상시킨 새로운 엔진을 개발하여 특허를 취득하였으며, 특허 기간은 1800년까지 지속되었다. 콘월(Cornwall) 지방의 구리 및 주석 탄광은 Newcomen이 개발한 엔진의 연료인 석탄을 웨일즈 지방으로부터 해상으로 공급받아야 했기 때문에 연료비 부담이 매우 큰 지역이었으며, 이로 인해 Watt가 개발한 엔진의 주요 시장이 되었다. 1777년부터 1801년에 걸쳐 Watt는 콘월 지방에 49 개의 펌프 시설을 공급하였다.

Watt는 콘월 지방의 각 탄광에 공급한 엔진에 대하여 'Newcomen이 개발한 엔진을 사용할 때에 비하여 절감되는 연간 연료비의 1/3'을 엔진 사용의 로열티로 요구하였다. 이러한 Watt의 가격 정책은 채광 기업에게 막중한 부담이 되었다. 뿐만 아니라, Watt는 자신이 개발한 엔진에 대한 라이선싱을 전면 거부함으로써 채광 기업들이 개량형 엔진을 개발, 사용하는 것을 금지하였다. 이는 곧 Watt가 자신이 개발한 엔진 특허에 대하여 매우 포괄적인 보호 범위(scope)를 주장한 것이었다. 이에 대응하여 콘월 지방의 기업들은 개량형 엔진을 개발, 사용함으로써 Watt의 특허에 도전하였으나, 장기간에 걸친 재판을 거쳐 1799년 법정은 Watt의 승리를 선언하였고, Watt는 기업들로부터 가혹한 특허권 침해 배상금을 징수하였다. 1800년 Watt의 특허가 만료되었을 때 콘월 지방의 탄광으로부터의 주문은 완전히 없어졌으며 Watt는 버밍햄으로 옮겨 새로운 시장을 모색하게 된다.

Watt가 떠나간 뒤 당분간 콘월 지방의 펌프 엔진 개발에 대한 노력은 주춤하게 된다. 즉, 채광업자들은 Watt에 의해 부과되었던 로열티 부담에서 벗어난 상황에 일시적으로 안주하였다. 그러나 1811년, 일련의 탄광 경영자들이 다양한 엔진 관련 신기술을 소개하기 위한 저널을 창간하기로 합의하면서, 콘월 지방의 기술혁신 과정은 새로운 국면을 맞이하게 된다. 저널 발간의 목적은 최선의 기술 관행(best practice technology)을 신속히 전파시키고, 공학 기술자 간의 경쟁을 촉진하여 혁신을 가속화하기 위한 것이었다. 당시 널리 존경받던 탄광 경영자인 Joel Lean이 저널의 초대 편집장이 되었으며 저널은 Lean's Engine Reporter 라고 명명되었다. 이 저널은 Joel Lean의 사후에도 그의 아들에 의해 1904

년까지 발간이 지속된다.

Lean's Engine Reporter 의 발간은 콘월 지방의 기술혁신 과정을 폐쇄적이고 독점적인 과정에서 개방적이고 협조적인 과정으로 변화시켰다. 저널의 발간은 개별 탄광에서의 경험과 성능을 공개함으로써 최선의 기술에 대한 발견과 이해가 가능케 함으로써 콘월 지방에서 사용되는 엔진의 전체적 성능을 향상시키려는 노력의 일환이었다. 이러한 기술 공개와 공유의 대표적 사례는 Richard Trevithick이 개발한 엔진에서 찾아볼 수 있다. Trevithick이 개발한 고압 엔진은 뛰어난 성능 향상을 이룩하여 신속히 콘월 지방의 엔진 표준으로 확산되었으나, Trevithick은 자신이 개발한 엔진에 대한 특허를 청구하지 않았다. 이후에도 콘월 지방의 공학기술자들은 Trevithick의 전례를 따라 대부분의 경우 특허를 청구하지 않게 된다.

Lean's Engine Reporter 의 발간 이후 콘월 지방에서 사용되는 엔진의 성능은 극적으로 개선되었다. 기술정보의 공개와 공유를 통해 기술혁신이 가속화되었던 것이다. 콘월 지방의 엔진은 Trevithick의 엔진을 기초로 하여 수많은 기술자들에 의해 지속적인 설계의 개량과 성능의 향상이 모색되었다. 오늘날에 이르기까지 콘월 지방에서 개발된 엔진이 특정 공학기술자의 이름과는 무관하게 단지 "콘월 지방에서 개발, 사용된 엔진(Cornish engine)"이라고 알려진 이유는 이와 같은 개방적이고 협조적이며 누적적인 기술 진보의 과정을 반영한 것이라고 할 수 있다.

3. 프랑스 리옹 지방에서의 실크 산업 관련 기술 개발 과정

18세기 후반의 리옹은 프랑스 실크 산업의 중심지로 14만 3천여 명의 거주자 중 3만 5천여 명이 실크 산업에서 종사하였다.¹³⁾ 이러한 번영은 베틀에 도안을 쉽게 삽입하기 위한 방법이나 고가 의류를 신속히 생산해내기 위한 기술 개발이 활발히 이루어진 것에 기초한다. 당시의 섬유 산업에서는 베틀에 그림을 그려주는 여공(draw-girls)들이 길드들의 사업 운영에 큰 부담이 되었으며, 고객의 취향이 빠르게 변화함에 따른 신속한 작업 대처가 핵심 과제였다.

13) 본 절의 사례는 Foray and Perez (2000) 과 Cottreau (1997) 를 기초로 서술된 것이다.

리옹 지방의 기술혁신 환경은 16세기 이래 지역 독점권의 부여 및 “재정적 보상(financial rewards)”을 통해 뒷받침되어 왔다. 그러나, 18세기에 접어들면서 독점권의 부여는 점차 사라지고 재정적 보상이 주류를 이루었으며, 1711년에는 혁신을 보상하기 위한 보상 기금(reward fund)이 설립되었다. 그런데, 발명 및 혁신에 대한 보상금의 수여는 발명의 경제적 유용성에 대한 보상에 국한되지 않았다. 즉, 보상금 규모는 발명가가 전체 공동체와 정보를 공유하기 위해 기울인 노력의 정도에 따라 차별화되었다. 대표적인 예를 Michel Berthet의 경우에서 살펴볼 수 있다. Berthet은 베틀에 도안을 쉽게 삽입할 수 있는 기술을 개발하였고, 1760년 보상 기금 측은 그에게 총액 1,000 파운드의 보상금 지불을 결정하였다. 총 보상금은 기본금 600 파운드와 보너스 400 파운드로 구성되었는데, 보너스 400 파운드는 그가 길드 감독자들에 대하여 기술 및 관련 정보를 교육하고, 공동체 내에서 그가 개발한 베틀이 적어도 네 개 이상 사용되어야 한다는 조건 하에 수여되었다.

리옹 지방의 혁신 환경은 이와 같이 보상 체계에 발명의 확산 정도에 따른 보너스를 포함시킴으로써 발명에 대한 투자를 촉진함과 동시에, 기술정보의 기밀화를 방지하고, 발명을 공공의 부가 되도록 하였다. 이는 중앙 통제(corporate control) 방식에 시장 메커니즘을 결합한 것이었다. 보상금의 규모 결정 즉, 발명의 가치에 대한 평가는 공식적 조사(judgement of authority)와 사용자의 선택과 결정(judgement of fact)을 동시에 반영하였으며, 발명가들은 공공재의 공급 및 확산을 위해 상호 협조하였다.

이와 같은 리옹 지방의 개방적이고 협조적인 혁신 환경을 나타내는 또 하나의 대표적 사례는 de Lasalle의 경우에서 찾아볼 수 있다. 그는 1758년 섬유에 반조(half-tone)의 꽃장식을 가능케 함으로써 보상금을 획득하였으며, 1760년에는 도안 작성에 대한 교육을 요청받고 기꺼이 수용함으로써 추가적인 보상을 받았다. 10년 후 그는 베틀에 변경된 도안의 신속한 삽입을 가능케 하여 다시 대규모 보상을 획득하게 되며, 그 기술의 확산에 따른 상당한 보너스를 획득하였다. 특히, De Lasalle는 자신의 발명이 도용되는 것에 전혀 개의치 않았으며, 지식의 소통을 최우선으로 하였다. 그는 자신의 실크가 복제되거나 자신의 작업자들이 경쟁자들에 의해 악의적으로 스카우트되는 것도 기꺼이 용인하였다. De Lasalle에 의하면 모방 없는 천재는 있을 수 없으며, 예술적 창작과 기술적 발명은 협력과 모방의 누적적 과정을 통해서만 이룩될 수 있는 것이었다. 그에게는 지식 및 기

술의 전달과 확산이 관계된 것이라면 교육, 모방, 무료 제공 심지어 도용까지도 좋은 것으로 인식되었다.

이와 같은 환경 하에서 이룩한 리옹 지방의 기술혁신 성공은 영국 런던 지방의 실패 사례와 극명하게 대비된다. 19세기 중반까지 두 지역은 극심하게 경쟁하였으나, 궁극적 결과는 극히 대조적이었다. 런던 실크 산업은 몰락으로 이어졌음에 비해 리옹 지역은 19세기 내내 시장 불황과 시련을 성공적으로 극복하며 가장 번성한 지역 중 하나였다. 이러한 결과의 원인은 런던 지역과 리옹 지역의 기술혁신에서 찾아볼 수 있다. 약 100년간 런던 지역에서는 5,000여 개의 새로운 베틀이 개발되었음에 비해 리옹 지방에서는 30,000여 개의 새로운 베틀이 개발되었다. 그 결과, 런던 지역에서는 여전히 수요 예측에 기반한 재고생산에 머무른 반면, 리옹 지방은 매년 두 차례에 걸쳐 새로운 섬유 샘플을 제시하고 베틀의 도안 패턴을 신속히 변경할 수 있었으므로 주문을 수주한 후 생산하는 주문생산이 가능하였던 것이다. 특히 주목할 만한 점은 런던에서는 혁신 활동이 특허와 비밀화에 의존하여 이루어졌던 것에 비해, 리옹의 기술혁신 환경은 혁신 및 그와 관련된 정보의 공개 및 신속한 확산을 가능케 함으로써 기술진보가 가속화되었다는 점이다.

4. 사례의 비교 및 요약

이제까지 논의한 세 가지 사례를 비교해보면 기술정책에 대한 중요한 시사점을 제공하는 공통적인 특성을 파악할 수 있다(<표 2> 참조).

첫째, 세 사례는 혁신 과정의 배경에 있어 유사성을 지닌다. 세 경우 모두 혁신 과정의 계기가 되었던 요인과 혁신 대상 기술의 기술적 특성이 기술의 사유화에 대한 부정적 인식 형성과 정보 공개에 대한 긍정적 인식 형성으로 이어졌다. 특히, 혁신 대상 기술의 특성에 있어서, 리눅스의 경우 운영체제라는 소프트웨어가 갖는 누적성이 중요한 혁신 과정에 중요한 영향을 미쳤으며, 콘월의 펌프 엔진 개발의 경우에는 기술의 대동기에 나타나는 기술적 불확실성으로 인해 혁신 과정의 비밀화를 통한 보상 규모의 확대보다는 혁신 과정의 공개를 통한 불확실성의 감소를 더욱 중요한 요인으로 부각하였고, 리옹 지역의 혁신 과정은 도안과 관련된 예술적 측면으로 인해 기술혁신의 과정이 Dasgupta and David (1994) 이 설명한 과학의 발전과 유사함으로 인하여 정보의 확산 및 공개가 활성화

<표 2> 사례 비교

구분	리눅스	코헨	리옹
계기	Unix 사유화 시도 소프트웨어의 상업화	증기기관의 발명 Watt 특허 만료	소비자 취향 변화 런던과의 경쟁
대상기술 및 특성	소프트웨어 누적적 개선 가능	펌프 엔진 기술적 불확실성	베틀 및 도안 예술적 측면 중요
↓			
관리 구조	Linus Torvalds 중심 <i>Central Governance</i>	Joel Lean 중심 <i>Central Governance</i>	Reward Fund <i>Central Governance</i>
혁신 유인 제공 수단	인정 및 능력 발휘 <i>Diffusion-Based Incentive</i>	인정 및 능력 발휘 <i>Diffusion-Based Incentive</i>	기본보상금+보너스 <i>Diffusion-Based Incentive</i>
확산/정보 공개 수단	Internet <i>Voluntary Disclosure</i>	Lean's Engine Reporter <i>Voluntary Disclosure</i>	교육 / 보급 <i>Voluntary Disclosure</i>

되었다고 해석할 수 있다.

둘째, 세 사례에 혁신 과정의 조정을 위한 관리구조가 존재하며 기존의 기술혁신 과정에 대한 전통적 관리구조와는 다른 성격을 지닌다는 공통점을 나타내고 있다. 이는 자유방임형 연구개발을 통해서만 사회적으로 바람직한 연구개발 자원 배분이 이루어질 수 없다는 것을 시사하는 것과 함께 관리구조의 재설계 필요성을 제시하는 것으로 해석할 수 있다.

셋째, 세 사례는 혁신 유인의 제공과 정보 공개가 긴밀히 연관된다는 공통점을 지닌다. 즉, 유인 제공이 인정(peer recognition) 및 능력 발휘(signalling)라는 수단으로 이루어지는 경우 그러한 보상은 필연적으로 개별적 혁신 노력의 결과가 확산되는 정도에 따라 그 크기가 결정된다. 또한, 리옹의 경우 보상금의 규모가 확산의 정도에 의해 직접 결정되는 방식이 적용되었다. 이와 같은 유인 체계는 “확산 기반 유인 체계(diffusion based incentive system)”라 할 수 있을 것이다.

Ⅲ. 기술정책적 시사점의 모색

1. 기술혁신 유인에 대한 재고찰

앞서 언급한 바와 같이 1960년대 초 Arrow (1962) 는 발명을 위한 최선의 자원 배분을 위해서는 정부 또는 이익 기준에 의해 지배되지 않는 제 3 의 대리인이 연구와 발명을 지원해야 함을 주장하였다. Arrow (1962) 의 이러한 주장은 “시장에서의 연구개발 자원 배분 문제”를 분석하는 산업조직론 분야의 연구개발 경쟁에 대한 연구로 이어졌다. 연구개발 경쟁에 대한 문헌에 나타나는 다양한 주장들 가운데 두 가지 논리 - 낚시와 경주 - 는 특별히 주목할 필요가 있다.

먼저, Barzel (1968) 은 발명의 과정이 주인 없는 연못에서의 낚시와 흡사하다고 주장하고, 연못에 지나치게 낚시꾼들(발명가들)이 많이 집중되면 물고기 한 마리의 수확(발명)을 위해 사회후생적 관점에서 지나치게 많은 노력이 수반됨을 지적하였다. 즉, 먼저 낚아 올리는 사람에게 소유권이 주어지게 되는 “一位 先占 원칙(rule of first appropriation)”이 적용될 경우 자원의 과잉 활용이 이루어지게 된다는 것이다.

둘째, 경주 논리는 낚시 모형과는 달리 유일한 하나의 발명을 전제로 하여, 발명을 향한 경쟁이 1 등이 모든 상을 차지하는 달리기 경주와 같아서, 1 위를 차지하지 못하는 수많은 발명가들의 노력이 사회적 관점에서 볼 때 낭비로 이어지는 결과를 가져옴을 설명하고 있다.¹⁴⁾

현재 기술정책의 핵심 차원으로 간주되는 특허 제도가 “시장에서 발명을 위한 유인이 부적절하게 제공됨”을 전제로 함에 비추어 볼 때, 위의 두 주장이 시사하는 바는 매우 크다고 볼 수 있다. 특히, 경주 논리에 있어서 1 등에 대한 상을 특허 획득으로 해석할 때 발명에 대하여 과잉 투자가 이루어짐을 예상할 수 있다. 이는 특허 제도가 발명 내지 혁신의 가치를 事前的으로 평가하여 일률적인 보상을 지급함으로써, 기술의 진정한 가치인 事後的 가치가 반영되지 못한다는 점에 기인하는 것이다.

그러나, 발명과 혁신의 진정한 가치는 시장에서 평가되어야 할 것이다. 즉, 발명 내지

14) 특허 경주 모형에 대한 경제학적 분석은 Reinganum (1986) 및 Beath et al. (1989) 을 참고하기 바란다.

혁신에 관한 보상은 해당 발명의 완료 시점에서 평가되어 시행될 수 없으며, 시장에서 해당 발명의 확산 과정을 통해 이루어져야 하는 것이다.

이러한 점은 앞서 살펴본 세 가지 사례 중 리옹 지방의 기술혁신 환경에 명시적으로 반영되어 있다. 즉, 리옹 지방에서는 보상 체계가 기본 보상금 이외에 기술의 확산 및 정보의 공유를 조건으로 하는 보너스로 구성되며, 이는 기술 확산에 근거한 기술의 가치 평가 및 혁신 유인 제공이 이루어지고 있었음을 증명하는 것이다.

2. 기술의 누적성에 관한 재고찰

기술변화의 과정은 연속성과 불연속성을 동시에 지닌다. 즉, 대부분의 경우 신기술이 처음 등장하여 기술적, 경제적 잠재성이 개척되고 증명될 때까지는 일련의 개선 과정이 필요한 것이다. Rosenberg (1982) 는 이와 같은 누적적 개선의 과정이 생산자 및 소비자 측면에서 공히 일어나는 학습 과정을 통해 이루어진다고 설명함으로써, 기술의 생산과 기술의 수요 즉, 혁신과 확산의 동시성을 설명하고 있다. 또한, Mokyr (1990) 에 의하면, 기술진보의 과정에서 나타나는 불연속성은 새로운 기술 영역(technological domain)을 여는 거시적 발명(macro-invention)에 의하며, 그 후 점진적 개선에 해당하는 수많은 미시적 발명(micro-invention)이 누적되는 연속성을 보인다고 설명한다.

이러한 기술변화의 누적성은 기술정책이 발명 및 혁신 간의 연계성 내지 관련성을 고려하여야 함을 시사한다. 오늘의 발명은 미래 발명의 가능성을 제시하는 것이다. 특허 제도에 관한 문헌에서도 Kitch (1977) 는 특허 제도가 “보상 기능(reward function)” 뿐만 아니라, 미래 발명을 위한 “가능화 기능(prospect function)” 까지도 수행하여야 하며, 두 기능이 동일한 중요성을 가진다고 주장한 바 있다. 즉, Kitch (1977) 는 앞서 설명한 낚시 논리에 근거하여, 특허 제도는 특허에 의해 제시되는 미래의 기술적 가능성(prospect; technological opportunities)에 대한 독점적 권한을 특허 취득자에게 부여함으로써, 발명에 관한 과잉투자의 비효율성을 제거할 수 있다고 주장하고 있다. 그러나, 이러한 가능성 기능에 지나치게 초점을 맞추면, 잠재적 발명가들을 소외시킴으로써 반대의 현상인 발명을 위한 과소투자의 결과가 나타날 수도 있을 것이다.

이러한 가능성은 영국 콘월 지방의 기술혁신 과정에서 Watt가 개발한 엔진에 대하여

넓은 범위를 인정함으로써 후속 혁신이 저해되었다는 사실에 의해 증명된다. 또한, 리눅스 개발 과정에서 인터넷 상에 분산된 수많은 프로그래머의 노력을 통해 Torvalds 개인의 노력으로는 상상하지 못할 정도의 기술혁신을 달성하였다는 사실은, 미래 혁신 및 개선을 유도하는 가능화 기능이 반드시 특허를 통해 수행되어야 하는 것은 아니라는 점을 나타내고 있는 것이다.

3. 기술정책에 대한 제안

본 절에서는 지금까지의 논의된 기술정책의 배경과 목적을 종합적으로 고찰하고 나아가 세 가지 사례 연구의 시사점을 바탕으로 기술정책에 대한 제안을 시도하고자 한다. 먼저, 기술정책의 배경에 대하여 살펴보기로 하자. ([표 3] 참조)

첫째, 기술이 갖는 경제적 특성은 분명 어떠한 형태의 “관리 구조(governance structure)”를 필요로 한다. 즉, 시장에서의 상호작용은 비효율적인 결과를 가져오며 사회적으로 최적의 결과를 유도하기 위해서는 정책적 개입이 불가피하게 되는 것이다. 그러나, 이러한 관리 구조는 “배제(exclusion)”를 지향하는 구조가 아닌 “포함(inclusion)”을 지향하는 구조이어야 한다. 즉, 기존의 대표적 집중형 관리 구조인 특허 제도와는 달리, 기술 정책을 통하여 발명가 내지 혁신가, 그리고 발명 내지 혁신의 잠재적 사용자들을 보다 중시하여, 발명가 혹은 혁신가들이 완전배타적인 권한을 소유하는 것이 아닌 부분적 소유권(partial rights) 만을 획득하여야 하는 것이다. 법률적인 관점에서 본다면 발명가들은 그들의 발명에 대하여 수동적(passive) 권한이 아닌 능동적(active) 권한을 소유하여야 하는 것이다. 즉, 발명가가 그들의 권한을 잠재적 사용자들의 적극적 활용이 가능하도록 추구하여야 하는 것이다.

이러한 점은 앞서 살펴본 세 가지 사례가 공히 제시하고 있다. 리눅스를 비롯한 오픈소스 개발 과정에서는 Torvalds가 궁극적 권한을 가지고 개발 과정을 조정하였으나 조정의 과정이 다른 혁신자(개발자)의 참여를 배제하는 것이 아니라 적극적인 참여를 촉진하였다. Watt의 특허 만료 이후 콘월 지방의 기술 개발 과정에서 Lean이 수행한 기능 역시 이러한 참여를 유도하는 조정의 역할이라고 해석할 수 있을 것이다. 프랑스의 리옹 지방에 적용되었던 보상 체계 역시 기금 관리자의 조정 권한을 사용자들의 평가가 보완

<표 3> 기술정책 분석틀

정책 배경		정책 목표	정책 영역
경제적 특성 - 공공재 - 규모의 경제	⇒	혁신과정의 조정 <i>Coordination of Research</i>	관리구조의 재설계 - 부분적 소유권 - 최소한의 배타성
기술적 특성 - 누적성 - 불확실성	⇒	혁신유인의 제공 <i>Encourage Innovation</i>	보상체계의 재설계 - 발명/혁신 과정과 확산 과정의 연계성 반영
	⇒	혁신정보의 공개 및 확산 <i>Disclosure & Diffusion</i>	자발적 정보공개 및 확산 - 지속적 개선 활성화 - 암묵적 정보의 확산

하고 있는 것이다.

둘째, 기술정책은 보상체계의 재설계를 통해 발명 및 혁신 과정과 확산 과정의 연계성을 활용하여야 한다. 발명이나 혁신에 대한 보상은 리옹 지방에서 채택되었던 보너스 체계나 콘월 지방의 공학기술자와 리눅스 개발과정에서 프로그래머에게 제공되는 유인 체계인 인정 및 능력 발휘에서와 같이, 해당 기술혁신이 시장에서 얼마나 폭넓게 사용되는가 또는 받아들여지는가 즉, 기술확산의 정도에 근거하여 이루어져야 한다. 특정 발명 혹은 혁신의 가치는 시장에서 잠재적 사용자들에 의하여 평가되어야 하며, 정부의 연구개발 자금 지원에서와 같이 事前的으로 또는 법률적으로 해석 및 파악되어서는 안된다. 이러한 시장에서 평가된 혁신의 가치는 또 다른 혁신의 유인으로 작용하며 이러한 과정의 반복을 통하여 기술변화 과정이 진행되어야 하는 것이다. 이러한 시장의 평가에 기반한 확산 기반의 보상 체계는 연구개발 즉, 발명의 노력이 사회적으로 바람직한 영역으로 초점이 맞추어지도록 조정하는 역할 또한 담당할 수 있을 것이다.¹⁵⁾

마지막으로, 기술변화 과정의 누적성을 활용하고 불확실성을 감소시키기 위해서는 신기술에 체화되어 있는 지식의 자발적 공개가 이루어져야 할 것이다. 기술변화의 누적성

15) 이러한 확산 기반의 보상체계를 구현하고 있는 현실적 사례는 미국의 음반시장에서 찾아볼 수 있다. 이에 대한 자세한 내용은 Karp and Perloff (1993) 을 참조하기 바란다.

은 모든 신기술은 미래의 또 다른 기술적 가능성을 파생시킨다는 것을 의미한다. 본 연구에서 제시하는 바와 같이 혁신의 보상이 시장에서의 수용 여부에 의해 결정된다면 발명가 및 혁신가들은 자신의 발명 및 혁신의 매력을 높이기 위하여 스스로 기술 관련 지식이나 정보를 제공하려고 할 것이다. 이러한 사실은 콘월 지방의 펌프 기술 개발 과정과 리옹 지방에서의 기술 혁신 과정 및 리눅스 개발 과정에 대한 사례 분석의 결과로부터 파악이 가능하다.

물론 기존의 특허 제도에서도 특허 취득을 위하여 관련 기술정보의 강제적 공개를 요구하고 있으나, 특허 제도 하에서는 특허권자가 특허 취득에 필요한 최소한의 정보만을 공개하려고 할 것이다. 즉, 향후 특허 기술에 바탕을 둔 경쟁 기술의 출현 가능성을 우려하여 자신이 누리는 기술 정보에 관한 우월성을 적극 활용할 유인을 갖게 되는 것이다. 본 연구에서 제시하는 정보의 공개는 특허 제도에 있어서의 강제적 공개가 아닌 자발적 공개를 추구하는 것이며, 이는 지식의 공개성과 공유를 강조한 Dasgupta and David (1994)의 주장과 일치하는 것이다.

IV. 결론

본 연구는 기술정책에 대한 전통적 배경 이론과는 부합하지 않는 오픈 소스 소프트웨어 개발 과정에 대한 인식에서 출발하여, 궁극적으로는 기술정책에 있어서 “유인 제공”과 “공개 및 확산”에 대한 동시화의 필요성을 주장하였다.

이를 위하여 먼저, 기술정책의 전통적 배경 이론을 검토하고, 오픈 소스 소프트웨어 기술혁신 과정이 제기하는 연구문제를 제시한 후, 탐색적 해답의 도출을 위해 오픈 소스 소프트웨어 개발 과정과 유사한 두 가지의 역사적 혁신 사례를 비교 검토하였다. 나아가 사례 연구를 기초로 하여 기술정책의 세 가지 목적 - “혁신 유인의 제공,” “혁신 및 정보의 공개와 확산” 및 “혁신 과정의 조정” - 간의 긴밀한 관련성을 기술변화 과정의 누적적 특성을 고려하여 파악함으로써, 정책적 시사점의 제시를 시도하였다.

본 연구에서 제시하는 기술 정책에 대한 제안의 핵심은 보상 체계의 구성에 있다. 즉, 발명가 내지 혁신가에 대한 보상이 시장에서 나타나는 해당 기술의 수용 내지 확산 여부

에 바탕을 두고 이루어져야 함을 주장하였다. 이러한 보상 체계를 통해, 특정 기술의 보상과 그 기술의 확산 및 정보 공개 과정이 상호 긍정적 영향을 미치며 순환되고, 잠재적 발명가 및 혁신가들의 연구개발 노력 또한 시장에서의 수용성을 반영하여 이루어짐으로써 기술 혁신 과정의 조정 역할이 수행될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서 제시하는 정책 방향은 기존에 가장 중요한 기술 정책 수단의 하나로 인식되는 특허 제도가 “배제와 독점(exclusion and monopoly)”을 근거로 하는 것과는 달리 “포함과 경쟁(inclusion and competition)”을 근거로 하는 것이다.

그러나, 본 연구는 많은 한계를 지니며 많은 추가적인 연구를 필요로 한다. 본 연구의 결과는 소수의 역사적 사례와 오픈 소스 개발 과정에 대한 비교를 통하여 도출된 탐색적 결과이다. 따라서, 혁신 과정에 대한 보다 많은 사례 및 실증 분석이 뒷받침되어야 할 것이다. 이와 함께 혁신 유인의 제공과 혁신 관련 정보의 공개가 합치(consistent)하는 기술적, 경제적 환경에 대한 이론적 분석은 매우 의미있는 연구라고 판단된다.

참고 문헌

- Arrow, K. J.(1962). "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention," in National Bureau of Economic Research, *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton University Press, Princeton.
- Barzel, Y.(1968). "Optimal Timing of Innovations," *Review of Economics and Statistics* 50, 348-355.
- Beath, J., Y. Katsoulacos and D. Ulph(1989), "The Game-Theoretic Analysis of Innovation: A Survey," *Bulletin of Economic Research* 41, 163-18.
- Cottareau, A.(1997). "The Fate of Collective Manufactures in the Industrial World: The Silk Industries of Lyons and London, 1800-1850," in Sabel. And Zeitlin(eds.), *Flexibility and Mass Production in Westerns Industrialization*, Cambridge University Press.
- Dasgupta, P. and P. David(1994). "Towards a New Economics of Science," *Research Policy* 23, 487-521.

- Dasgupta, P. and P. Stoneman(1987) *Economic Policy and Technological Performance*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Demsetz, H (1969) "Information and Efficiency: Another Viewpoint," *Journal of Law and Economics*, 1-22.
- Dibona, C., S. Ockman and M. Stone(eds.)(1999). *Open Sources: Voices from the Open Source Revolution*, Sebastopol, California, O'Reilly.
- Foray, D. and L. H. Perez(2000). "The Economics of Open Technology: Collective Organization and Individual Claims in the Fabrique Lyonnaise During the Old Regime," A Paper Presented for the Conference in Honor of Paul A. David, Turin, Italy.
- Karp, L. S. and J. M. Perloff(1993). "Legal Requirements that Artists Receive Resale Royalties," *International Review of Law and Economics*, 163-177.
- Kitch, E. W.(1977). "The Nature and Function of the Patent System," *Journal of Law and Economics*, 265-290.
- Lerner, J. and J. Tirole(2002). "The Scope of Open Source Licensing," *NBER Working Paper* 9363.
- Mokyr, J.(1990). *The Lever of Riches*, Oxford, Oxford University Press.
- Nuvolari, A.(2002). "Collective Invention During the British Industrial Revolution: The Case of the Cornish Pumping Engine," Working Paper, Eindhoven Centre for Innovation Studies.
- Raymond, E. S.(1999). "The Cathedral and Bazaar," <http://www.tuxedo.org/~esr/writings/cathedral-bazaar/>.
- Reinganum, J.(1986) "The Timing of Innovation: Research, Development, and Diffusion," in R. Schmalensee and R. Willig(eds.), *Handbook of Industrial Organization*, Vol. 1(Chapter 14), North-Holland, Amsterdam.
- Rosengerg, N.(1982), *Inside the Black Box*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Schumpeter, J.(1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*.
- Stoneman, P.(1987). *The Economic Analysis of Technology Policy*, Oxford: Oxford University Press.
- Torrens, H.(1994). "Jonathan Hornblower and the Steam Engine: A Histogramic Analysis," in

D. Smith(ed.), *Perceptions of Great Engineers: Fact and Fantasy*, Science Museum, London.

Von Tunzelmann(1978). "Technological Diffusion During the Industrial Revolution: The Case of the Cornish Pumping Engine," in R. M. Harwell(ed.), *The Industrial Revolution*, Oxford, Basil Blackwell.