

융합기술환경에서 멱법칙과 과학기술정책체계 분석

A Study on the Theory of Power-law and Science Technology Policy System under
Convergence Technology Environment

조상섭(Sang-Sup Cho)*

목 차

- | | |
|----------------------|------------------|
| I. 서론 | III. 사용자료 및 분석결과 |
| II. 경제물리학 이론 및 분석방법론 | IV. 요약 및 정책시사점 |

국문 요약

본 연구는 최근 기술변화환경에 중요한 패러다임으로 대변되는 융합기술환경에서 바람직한 과학기술정책체계수립을 위한 정책적 시사점을 제시하고자 동태적 기술역량분포에 대한 실증 분석하였다. 본 연구결과를 간단하게 요약하면 다음과 같다. 먼저 비모수적 Hill추정치와 모수적 Rank-1/2추정치가 유사하게 멱법칙의 존재를 나타냈다. 둘째, 기술역량분포를 결정하는 멱법칙의 추정계수가 1990년부터 2008년 분석기간동안 지속적으로 증가하여 파레토분포에 접근하고 있다.

본 분석결과는 다음과 같은 과학기술정책수립에 시사점을 제공한다. 첫째, 최근 멱법칙 결정계수의 증가추이로 볼 때, 그 작동원리가 상대적으로 약화되고 있으며, 연구대상 국가간에 기술역량이 수렴화되고 있다는 사실을 보여준다. 이러한 기술역량의 국제적 수렴화경향은 국가간 기술격차역량의 차이가 줄어들고 있음을 보여준다. 둘째, 본 연구에서 분석한 바와 같이 만일 기술역량분포의 구조결정에 지속적으로 멱법칙이 존재한다면, 국제적으로는 과학기술역량의 규모가 큰 국가의 기술개발변동이 전 세계의 과학기술변동에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 국내적으로는 과학기술역량이 몇 기업에 국한된 경우에 그 기업의 성과가 우리나라 과학기술발전에 큰 영향을 미치게 된다는 것을 의미한다. 즉 이러한 멱법칙의 존재는 융합기술환경에서 한 국가의 기술역량이 소수의 기술잠재역량있는 기술개발기업에 너무 의존적이 될 수 있다는 기술정책적 시사점을 제공한다.

핵심어 : 경제물리학, 멱법칙, 기술역량분포, Hill추정량, Rank-1/2추정량

※ 논문접수일: 2011.9.10, 1차수정일: 2011.11.21, 게재확정일: 2012.2.22

* 호서대학교 디지털비즈니스학부 부교수, choss@hoseo.edu, 041-860-8353

** 본 논문은 2011년도 호서대학교 재원으로 학술연구비 2011-0039의 지원을 받아 수행된 연구임.

ABSTRACT

This paper proposes the science and technology policy implications of power law in econophysics methodology under the recent convergence technology environment. Empirical results are summarized as follow: first, similar empirical results are showed up using Hill estimates and Rank-1/2 estimates in patent data set during 1990 through 2008. Second, the estimates of power law exponents for technology capability distribution are decreased during the periods.

The policy implications for science and technology development draw from the empirical results. First, the fact that the exponents of power law are decreased show the convergence of technology capability among countries. The our country policy directs focus on the innovation strategy rather than imitation strategy. Second, the volatility of technology change results from a few capable technology developers so that policy direct may need to control the technology power in the large technology developer or company.

The methodology and analytical results used in the paper may also be useful for consider for the science and technology phenomena such as convergence and divergence of technologies among countries in the world.

Key Words : Eonophysics, Power Law, Technology Capability Distribution, Hill's Estimator, Rank -1/2 Estimator

I. 서론

물리적 세계에서 자주 목격되는 먹법칙(Power Law)은 경제구조, 사회구조에서도 발견되는 동일현상을 설명하는 중요한 물리법칙으로 인용되고 있다.¹⁾ 본 연구에서는 21세기의 기술변화환경에 중요한 패러다임으로 대변되는 융합기술환경에서 과학기술정책체계수립을 위한 정책적 시사점을 제시하고자 한다. 이 연구목적은 달성하기 위하여 최근 다양하게 전개되고 있는 국가별 기술정책결과로 나타나는 기술발전분포형태에 대한 구조파악과 구조에 대한 과학기술의 정책적 시사점을 경제물리학(Econophysics)적 이론에 기초하여 해석한다.

이와 관련하여 기존 연구로는 먹법칙 존재에 따른 경제정책 및 과학기술정책수립을 위한 실증분석을 추구한 Scherer(1965)와 Grabowski et al.(1994)의 연구가 많이 언급된다. 먼저 Scherer는 등록특허를 이용하여 얻는 기술사업수익분포를 분석한 결과, 수익분포가 상당히 긴 꼬리를 갖고 있음을 보였으며, Grabowski et al.은 미국 새로운 개발약품에 대한 FDA자료를 이용하여 수익률분포를 분석한 결과 역시 긴 꼬리를 가진 것으로 밝혔다. 역시 Harhoff et al.(1999)은 출원특허의 가치가 매우 긴 꼬리를 가지는 분포임을 제시하였다. 이들 연구에서는 다양한 기술환경에서 먹법칙이 작동하는 원인으로 통제할 수 없는 기술환경출현을 언급하고 있다. 따라서 여러 과학기술분야에서 다양하게 존재하는 긴 꼬리를 가진 기술역량분포의 존재성을 알아보고, 그 분포가 제시하는 과학기술정책적 시사점을 규명하는 것이 매우 중요한 현안이 되고 있다. 또한 본 연구의 실증분석결과는 우리나라 과학기술정책 방향으로 경쟁적 과학기술정책방향과 협력정책방향 그리고 내부적 변화역량이 존재하는 지 또는 외부적 간섭을 기술개발역량에 적용해야 하는 지에 대한 정책수립원리를 제공 할 수 있는 먹법칙의 존재성을 분석하고자 한다(Hudson, 2000, p.534).²⁾

본 연구에서는 기존 연구와 달리 새롭게 전개되고 있는 융합기술환경에서 기술역량변화를 결정하는 기술환경요인들에 대한 배경을 기술하고, 각 국가들의 다양한 과학기술정책추구로 나타난 기술역량변화에 대한 구조를 파악하기 위하여 각 국가의 삼극특허분석자료를 이용하여 그 분포결정구조를 실증적으로 분석하며, 이 실증분석결과를 통하여 융합기술환경에서 일반적인 과학기술정책방향과 우리나라의 바람직한 과학기술정책체계수립에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

본 연구목적은 위하여 먼저 기술수준이 높은 세계 39개국의 삼극특허를 중심으로 1990년도

1) 이에 대한 자세한 내용은 Krugman, (1996)을 참조바람.

2) 정책목표에 대한 정책도출의 기본 작동원리가 통계적 관점에서 정규분포를 갖는 지 또는 먹법칙이 존재하는 파레토 분포 등을 갖는 지에 대한 분석결과는 정책도출의 중요한 출발점이 됨.

부터 2008년도까지 떡법칙을 결정하는 계수(또는 인자)를 추정하였다. 이러한 추정인자는 떡법칙의 존재를 파악하는 데 매우 중요한 정보를 제공한다. 떡법칙의 존재를 말하는 추정계수는 추정방식에 따라서 민감하게 영향을 받기 때문에 분석결과의 강건성(Robustness)을 위하여 두 가지 추정방식을 적용하여 실증 분석하였다. 먼저 가장 전통적으로 적용하고 있는 Hill(1975)의 추정량과 최근 Gabaix et al.(2011)이 제시한 회귀분석 추정치의 편기조정 추정량(즉 Rank $-1/2$)을 적용하여 비교분석하였다.

본 연구의 기여도는 다음과 같이 기술할 수 있다. 먼저 본 연구에서 접근하고 있는 경제물리학적 접근방식은 다른 나라에서 활발하게 연구에 적용하고 있는 분석방법론활용에 비하여 우리나라에서 이 분석방법론을 적용한 연구결과가 희소하다. 특히 기술경제 및 경영분야에서 활용 예가 적기 때문에 선행적인 연구결과가 될 수 있다. 둘째, 이러한 연구방향은 기술정책적 영역뿐만 아니라, 기술경영 및 경제학적 문제점에 대한 해결가능성을 제시하고, 본 연구의 방법론을 보편화 가능성을 확대할 수 있으며, 융합기술환경에서 기술정책에 대한 미시적인 연구결과를 도출함으로써 거시적 기술정책체계수립에 기초자료로 활용될 수 있다. 따라서 본 연구 방법은 미시분석기반의 거시정책의 연결에 대한 작동원리를 제시함으로써 현재 큰 문제점인 기술 및 산업정책이라는 거시정책적인 기초자료의 한 형태를 제시물이라고 볼 수 있다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서는 21세기 기술환경의 패러다임으로 자리 잡고 있는 융합기술발전에 따른 경제 및 사회에 미치는 전반적인 영향을 살펴보고, 본 연구의 주요한 목적인 떡법칙의 존재가능성에 대한 추정방법을 설명한다. 제 III장에서는 본 연구에서 사용한 자료에 대한 간단한 특성과 Hill추정량과 Rank-1/2추정량 적용에 대한 분석결과를 비교 제시하고, 분석결과를 간단하게 기술한다. 마지막장에서는 본 연구를 요약하고, 분석결과에 나타난 과학기술정책적 시사점 및 연구 한계점을 기술한다.

II. 경제물리학 이론 및 분석방법론

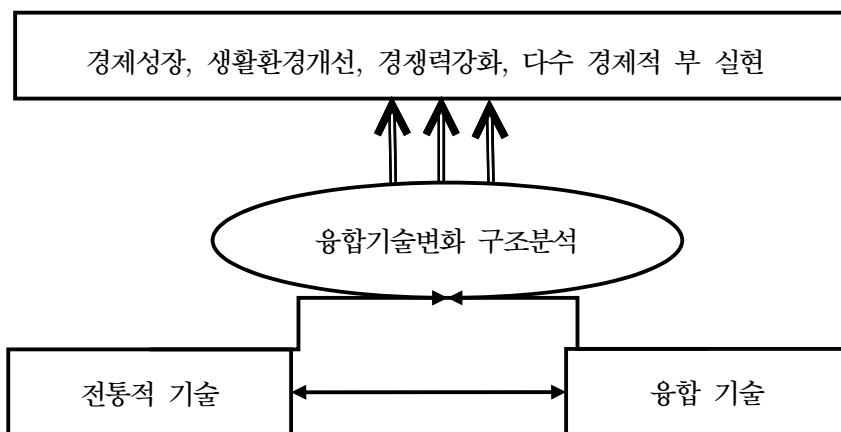
1. 융합기술환경의 복잡성출현

21세기에 미래 신 성장동력원(BT, NT, 신소재, IT)의 융합화와 신기술 확산이 빠르게 진행되고, 기술간 융합화속도가 더욱 가속화되는 세계단위 기술환경을 맞이하고 있다. 이러한 국제 기술환경으로 개인생활보호, 지적 재산권침해 그리고 환경보호 등 사회 그리고 윤리관련 문화적 복잡성이 증대되고 있으며, 우리 사회 노령화와 삶의 질적 추구에 따른 의료비용증

대로 신 성장동력을 견인할 수요가용자원이 부족현상이 발생하고 있다. 따라서 Rand(2001)에서 제시하고 있듯이, 글로벌화의 확산과 국제적 기술경쟁심화로 우리나라 경제구조 및 기술구조의 지속적 업그레이드가 필요하게 되었다.

21세기의 융합기술발전의 도래는 기술복잡성에 따른 기술정책체계변화에 대한 시급성을 요구하고 있다. 먼저 단일적이고 선형적인 과학기술정책체계에서 복합적이고 비선형적인 과학기술정책체계가 요구되며, 이를 위하여 기술복잡성체계에 알맞은 거시적 핵심과제도출요구가 존재한다. 또한 과학기술공간에서 기술간 융합에 필요한 핵심기술발굴을 위한 과학기술자원에 대한 기술환경분석에 대한 선행 연구필요성이 제기된다. 즉 Kauffman(1993)이 제시한 기술복잡계환경에서 기술선택과 자기조직화원리에 따른 기술구조변화과약이 필요하게 되었다. 또한 융합기술환경에서 거시적인 기술정책체제수립을 위하여 기본이 되는 기술구조변화를 파악하기 위하여 미시적 구조분석으로 NT, BT, 신소재기술과 ICT의 융합에 따른 기술공간분석(Technology Space)과 신 산업창출 및 기존 산업에서 ICT기반 융합기술간에 연관구조의 작동메커니즘(Linkage Structure)분석이 필요하며, 보다 정확한 미시세계(Microscope)작동체계의 이해가 시급히 필요하게 되었다.

(그림 1)에서 보듯이, 융합기술환경에서 출현한 기술복잡성에서 적정한 과학기술정책체계를 구축하기 위해서는 거시적 관점에서 NT, BT, 신소재기술과 ICT의 융합화에 따른 지역적 전문화추진 및 그 기대효과극대화를 위한 기술정책체계가 필요하게 되었다. 또한 융합기반 복잡기술의 연관구조의 작동 메커니즘(Linkage Structure)의 효율성제고를 위한 인프라구축방안 및 미래 청사진제시를 위한 실증적 분석결과수용성 증대를 위한 정책육구해결이 필요하게 되었다. 그러나 최근 출현한 기술복잡계환경에서 거시적 기술정책체계구조를 확립하기 위한 미시적 현상을 기반으로 하는 충분한 사전적 정보가 필요하다. 즉 미시적 단위의 과학기술진화 방향을 진단하고, 그 복잡구조를 파악할 필요성이 제기되었다. 또한 미시적 단위의 기술발전 움직임을 보여주는 기술원자단위의 패턴분석과 거시적 구조현상의 연결원리를 분석하는 연구결과가 필요하게 되었다. 미시적 기술개발 단위와 거시적 발전현상의 작동원리를 파악하기 위한 융합기술역량구조를 실증적으로 분석하여야하며, 융합기술환경이라는 기술복잡계를 체계적 분석하기 위하여 최근 경제물리학의 중요한 발견인 먹법칙의 존재여부가 사전적으로 필요하다.



(그림 1) 융합기술환경에서 과학기술정책체계구축을 위한 연구 프레임

21세기 융합기술환경의 도래에 대응하기 위하여 선진 국가들은 <표 1>에서 보듯이, 다양한 과학기술정책을 수립하여 추진하고 있다. 먼저 선진 국가별로 경제성장잠재력확충을 위하여 다양하게 과학기술정책추진체계를 정비하고, 빠른 융합기술변화에 적응하기 위하여 과학기술 정책방향을 생태계(Ecosystem)설계 및 융합관련 기술요소간에 조정속도를 높일 지배구조를 확립하고 있다. 둘째, 공공과학기술문제 및 사회문제해결을 위한 공공정책수단으로 바람직한 융합기술육성을 위한 전문적인 부서를 설치하고 있다. 또한 이공계 및 인문사회 연구계의 융합적 사고제고를 위한 융통성 있는 과학기술부처설치 및 강화필요성을 수용하고, 이를 추진하

<표 1> OECD 국가별 융합과학기술관련 정부부처조직 및 정책추진 비교 (2008년도 기준)

국가	관련 부처	비교
Australia	Department of Innovation, Industry Science and Research Department of Education, Employment and Workplace Relations	교육과 과학기술연결성 중시한 정책추구
Finland	Ministry of Employment and the Economy	다양한 IT기술정책 및 인력정책수행
Sweden	Minister of Enterprise, Energy and Communications Minister of Research	한 기관에 두 장관 임명하여 융합화정책 추구
Norway	Minister for Research and Higher Education Minister for Education	
Spain	Ministry of Science and Innovation	
UK	Department of Innovation, University and Skills	
France	Department for Research and Innovation	과학기술정책 전담 기구 및 정책 추진

출처: OECD(2008), OECD Science, Technology and Industry Outlook 2008에서 정리

고 있다. 마지막으로 2008년부터 발생한 세계적 경기침체에 기술발전과 혁신이 가장 많이 발생하기 때문에 이를 관리할 국가주도기술정책체계수립하고, 보다 강화하고 있다.

다음 절에서는 21세기 융합기술환경에 선진국가의 다양하고 강력한 과학기술정책체계를 수립 및 추진원리의 도출을 위하여 본 연구에서 적용한 경제물리학이론과 그 실증방법론을 간단하게 기술한다.

2. 경제물리학 이론 및 분석방법론

경제물리학적 방법론의 보편화에 따른 경제 및 사회 그리고 여러 관련 분야에서 연구가 활발히 진행 중에 있다. 특히 경제구성인자들의 상호결합 및 작용으로 매우 복잡하고, 사전적 예측이 불가능한 경제적 현상을 수반하며, 복잡한 경제체계의 작동결과가 매우 간단한 결과를 나타내는 경제 및 사회현상에 대한 이해를 위하여 물리적 세계에서 빈번하게 목격할 수 있는 법칙과 원리의 적용가능성에 대한 학문적 탐구가 진행 중에 있다.

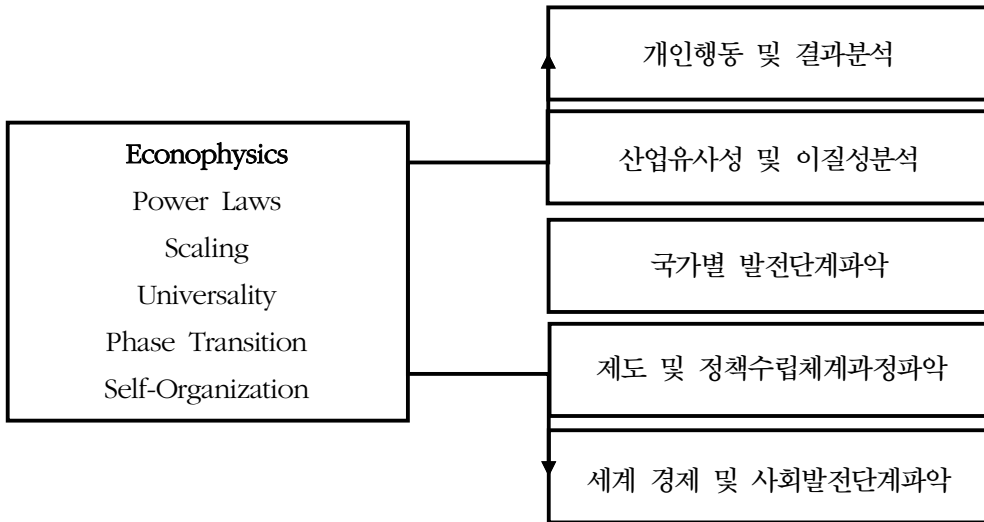
Stanley(1995)의 선구적 연구로부터 최근 물리학계에서 발견한 규모성 및 보편성개념들을 경제학에서 적용하고자하는 노력이 다방면에서 시도되고 있으며, 새로운 연구방법론의 적용에 따른 가시적 연구결과들이 나타나고 있다.³⁾ 또한 다 학제적 성격의 경제물리학분야는 물리적인 법칙 또는 원리를 이용하여 경제적인 현상을 이해하고 분석하는 다 학문적 영역(Interdisciplinary Field)으로 사회문제전반에 적용할 수 있는 연구분야로 인정받고 있다(Ball, 2002).

경제물리학에 관련된 기존 연구는 여러 가지 복잡한 형태의 경제적 현상을 파악하는 분석 방법론으로 먼저 도시발전 및 진화경로에 따른 법칙을 구명하는 작업으로 경제물리학의 적용한 Gabaix et al.(1995)의 연구가 많은 인용되고 있으며, 기업의 성장과 발전 그리고 금융시장의 변동에 대한 경제물리학의 적용으로 Axtell(2001) 및 Sutton(2002)의 연구결과가 존재한다. 또한 Chatterjee et al.(2005)의 연구에서 보듯이 현대사회에서 개인들의 소득분배에 작동하는 메커니즘이 파레토분포를 발현하는 이론적 및 실증적 연구들이 최근에 다양하게 제시되고 있다. 역시 우리나라에서 네트워크 경제에서 복잡계에 관련된 제 이론을 자세히 설명한 이덕희(2008) 저술이 있다.

앞에서 논의한 과학기술환경에 대한 경제물리학적 이론적 탐구의 연관관계는 Amaral, et al.(2001)의 연구결과를 이용하여 다음과 같이 시각화 할 수 있다. (그림 2)에서 보듯이, 경제물리학의 방법론에서 연구된 접근방법론을 이용하면 개인의 행위구조부터 국가단위의 발전구

3) 특히 이 관점에서는 Chatterjee et al.(2005)의 연구가 많이 인용됨.

조를 파악하고, 그 작동원리를 이해할 수 있게 된다. 따라서 기술역량구조를 파악하는 데 경제 물리학에서 활용되고 있는 중요한 원리인 멱법칙의 작동원리가 존재하는 지에 대한 연구를 수행할 수 있게 된다.



(그림 2) 경제물리학적 방법론의 보편화 및 적용영역

본 연구에서는 멱법칙의 존재에 대한 실증분석을 기술역량단위인 국가를 대상으로 기술역량의 분포형태의 추정으로 살펴보고자 한다. 먼저 멱법칙이란 특정 경제체계 또는 사회집단에서 구성인자 S 들이 주어진 규모 x 보다 클 다음과 같은 확률분포를 갖도록 작동하는 물리법칙을 말한다. 상기에서 언급한 기술융합환경에서 기술분포가 다음 특정한 멱법칙이 지배하는 함수형태로 나타낼 수 있음을 본 논문 부록에서 제시하였다⁴⁾

$$P(S > x) = kx^{-\zeta}$$

이 경우에 결정계수 ζ 는 어떤 측정단위에 관계없이 일정하게 결정된다. 한 예로 파레토분포 또는 도시규모를 결정하는 Zipf분포인 경우도 멱법칙이 작동하는 분포이다. 특히 Zipf의 법칙이 존재하는 경우에 $\zeta \approx 1$ 이 된다. 즉 ζ 는 극한분포(Extreme Distribution)를 결정하는 모수

4) 익명 심사자는 기술융합환경이 어떻게 멱법칙이 존재하는 지에 대한 상기 함수형태유도를 요구하였다. 따라서 부록으로 기술융합환경과 멱법칙의 유도를 첨부하였음. 이러한 이론적 유도는 실증분석에 정당성을 연결하는 중요한 부분으로 미래 연구과제로 생각하였으나, 본 연구에서 추가적으로 기술하는 바이다. 또한 이러한 멱법칙이 실제 존재하고 있는 지와 어느 정도 존재하는 지에 대한 탐구는 실증분석영역에서 이루어짐.

이다. 먼저 $\zeta = 2$ 을 기준으로 $\zeta \geq 2$ 인 경우에는 정규분포를 갖는 분포형태를, $\zeta \leq 2$ 인 경우에는 파레토 분포형태를 갖게 된다.⁵⁾

Newman(2005)은 경제 및 사회집단에서 먹법칙에 의한 파레토분포 또는 Zipf분포를 나타내게 되는 이유로 여러 가지 설명을 제시하였다. 먼저 랜덤워크과정이 먹법칙을 발생시킨다. 랜덤워크과정은 재무변수에서 많이 발생하며, 최근 재무변수구조는 먹법칙에 의한 파레토분포의 계수추정이 많이 연구되고 있다.⁶⁾ 경제현상 중에서 먹법칙을 발생시키는 원인으로 물리세계에서는 무질서에서 질서를 찾아가는 경향이 존재하며, 이러한 물리적 힘 또는 경향이 먹법칙이라는 작동원리로 나타나게 된다. 역시 Krugman(1995)은 동일하게 경제세계에서도 초기 도시의 무질서가 질서를 잡아가면서 먹법칙이 작동하여 Zipf분포를 나타낸다.

먹법칙의 존재성을 검증하는 가장 오래된 방법은 히스토그램에 의한 시각적 판단방법이 편리하게 사용된다. 먼저 본 연구에서 먹법칙에 대한 존재를 추정할 수 있는 실증적 방법론은 다음과 같이 제시된다. 먼저 세계국가의 일정한 기술발전정도가 높은 나라들을 다음과 같이 배열한다.⁷⁾

$$S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_n$$

여기서 S_i 는 i 국가의 특허규모를 말한다. 이 경우에 먹법칙이 작동하는 기술분포를 결정하는 모수 ζ 을 추정하는 가장 일반적 방법이 Hill(1975)이 제시한 추정방법이다. 즉

$$\widetilde{\zeta}^{hii} = (n-1) / \sum_{i=1}^{n-1} (\ln S_i - \ln S_n) \quad (1)$$

이 경우에 $\widetilde{\zeta}^{hii}$ 의 표준오차는 $\widetilde{\zeta}^{hii} n^{1/2}$ 로 계산된다.

다음으로 최근 Gabaix et al.(2011)은 수식 (2)에서 $\zeta = 0$ 의 일반적인 회귀분석에 의한 먹법칙의 계수추정방법은 추정계수가 편기를 나타내며,⁸⁾ 다음과 같은 간편한 편기조정 회귀분석방법을 제시하였다. 즉

$$\ln(R - \gamma) = a - b \ln(S) \quad (2)$$

5) 먹함수의 결정인자의 범위에 대한 특성은 Kleiber, et al.(2003)을 참조바람.

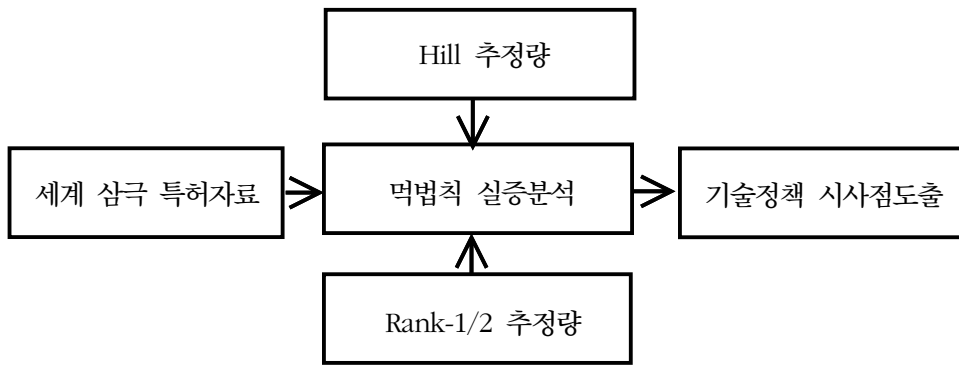
6) 계량적 분석방법에 대한 자세한 내용은 Hill(2010)을 참조바람.

7) 본 연구에서는 세계 150여개국들 중에서 일정수준의 국가를 39개국으로 한정하였음. 이는 일정한 판단기준에 의한 선정보다는 기술발전의 정도를 나타내는 특허자료구축의 이점에서 선정하였으며, 특히 본 연구에서는 삼극특허를 갖는 국가들이 기술발전이 높은 국가로 분류될 수 있음.

8) 일반적으로 회귀분석추정량은 과소편기(Underestimates)를 나타내는 것으로 알려져 있다. 자세한 내용은 Newman(2005, p.327)을 참조바람.

여기서 $\gamma = 1/2$ 인 경우에 \tilde{b} 는 ζ 의 일치추정량이 되며, 이 경우에 \tilde{b} 의 표준오차는 $\tilde{b}(2/n)^{1/2}$ 임을 보였다.

다음 장에서는 본 장에서 언급한 실증분석방법론을 적용하기 위하여 먼저 기술역량분포의 형태에 대한 추정과 둘째, 최근 융합기술변화가 어떤 미시적 형태와 구조를 나타내는 지에 대한 분석대상으로 OECD국가의 기술특허분석을 실시하였으며, 투입측면인 국가의 R&D지출단위에 대한 분석보다는 산출측면으로 특허라는 보다 원자적인 분석단위를 사용하였다. 다음으로 실증분석방법론으로 전통적인 Hill의 추정방법과 최근에 Gabaix et al.(2009)이 제시한 Rank -1/2추정량을 활용하여 기술관련 특허분석의 실증분석을 실시하였다. 다음에는 실증분석결과를 간단하게 요약하였으며, 그 분석결과에 따른 과학기술의 정책적 시사점을 도출하였다. 이러한 연구진행절차를 (그림 3)에 보였다.



(그림 3) 연구 추진방법과 절차도

III. 사용자료 및 분석결과

1. 사용자료 및 기초통계

본 연구에서는 우리나라를 비롯한 비교적 선진국에 속하는 39개국가의 삼극특허등록건수를 분석하였다.⁹⁾ 삼극특허등록건수는 기술개발에 시장성이 있을 경우에 등록하기 때문에 한 나

9) 분석대상인 39개 국가는 다음과 같다. 그리스, 남아프리카, 네덜란드, 노르웨이, 뉴질랜드, 대만, 덴마크, 독일, 러시아, 루마니아, 룩셈부르크, 멕시코, 미국, 벨기에, 스웨덴, 스위스, 스페인, 슬로바키아, 슬로베니아, 싱가포르, 아르헨티나, 아이슬란드, 아일랜드, 에스토니아, 영국, 오스트리아, 이탈리아, 일본, 중국, 체코, 캐나다, 터키, 포르투갈, 폴란드, 프랑스, 핀란드, 한국, 헝가리, 호주이다. 이러한 국가들의 선정이 중요한 이유는 떡법칙이 작동하는 영역은 우

라의 기술역량정도를 나타내는 중요한 지표이다. 본 연구의 자료출처는 OECD, (2010)을 사용하였다.¹⁰⁾ 분석자료에 대한 기초통계를 <표 2>에 나타냈다. 기초통계를 나타내는 <표 2>에서 보듯이, 1990년도에 특허등록평균이 858에서 2008년도에 1,231개수로 특허등록건수가 빠르게 증가하였다. 또한 가장 중요한 특징으로 1990년도에 최소등록국가의 특허등록건수는 1개와 최대 특허등록국가의 특허등록개수 11,258로 두 국가간에 등록비율이 11,258배라는 것이다. 이 비율이 2008년도에 그 비율은 4,799를 나타냈다.

<표 2> 분석대상국가의 기술역량에 대한 기초통계

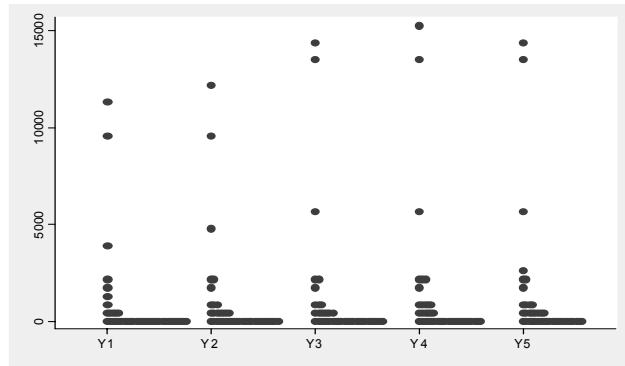
연도	대상국	평균	표준편차	최소	최대
1990	39	858	2,365	1	11,258
1995	39	947	2,512	2	12,354
2000	39	1,149	3,154	1	14,379
2005	39	1,250	3,242	2	15,272
2008	39	1,231	3,134	3	14,399

세계적 기술역량을 나타내는 삼극등록특허분포의 특성은 (그림 4)에서 (그림 6)를 보면 그 중요성을 알 수 있다. 먼저 (그림 4)의 의미는 매년도 등록특허수가 작은 나라들은 매우 많으나, 삼극등록특허수가 많은 나라들은 급격히 적어짐을 보여준다. (그림 5)와 (그림 6)의 히스토그램에서는 대상년도에 상관없이 특허등록분포모양이 유사함을 보여준다.

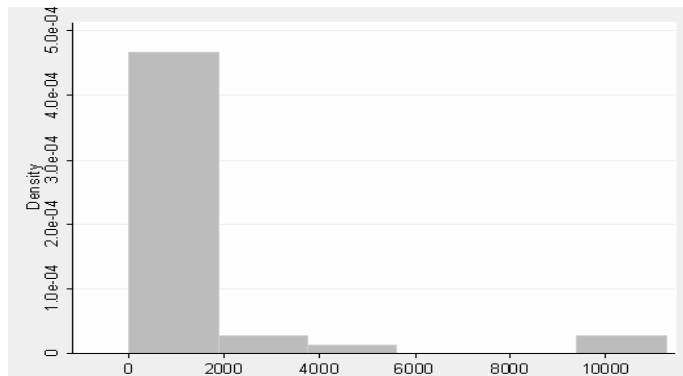
삼극특허등록건수를 중심으로 본 세계 기술역량분포에 대한 기초통계의 대표적 특징은 다음과 같이 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 기술역량분포는 일반적으로 고려되는 정상적 분포(예 정규분포)와 달리 매우 다른 형태를 보여준다.

축 꼬리부분이기 때문임.

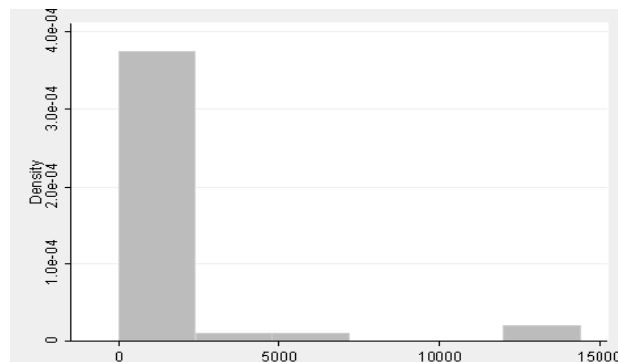
10) 삼극 특허(Triadic Patent Families)란 OECD에서 국가별 특허건수를 비교하기 위해 개발한 지표로서 미국특허청(USPTO), 일본특허청(JPO)와 유럽특허청(EPO)에 모두 등록되어 있는 특허이며, OECD, Main Science and Technology Indicators, 2010-1을 이용하였음.



(그림 4) 연도별 대상 국가들의 특허출원 분포¹¹⁾



(그림 5) 1990년도 39개국 특허출원건수에 대한 도수분포



(그림 6) 2008년도 39개국 특허출원건수에 대한 도수분포

11) 여기서 $y_1 = 1990, y_2 = 1995, \dots, y_5 = 2008$ 을 말함.

둘째, 보다 중요한 특징은 그림에서 보는 히스토그램의 형태는 물리적 체계에서 먹법칙이 작동하는 집단 또는 대상의 경우에 나타나는 분포형태이다.

2. 분석결과

이론적 검토에서 보았듯이, 기술발전환경에서 먹법칙의 존재성은 과학기술정책수립의 방향에 커다란 시사점을 제시한다. 본 연구에서는 세계 39개국의 삼극특허분포를 중심으로 먹법칙의 존재에 대한 실증분석을 실시하였다.¹²⁾ 먼저 전통적으로 많이 사용하고 있는 긴 꼬리부분을 갖는 분포의 모수추정으로 Hill 추정량을 이용하여 먹법칙 계수에 대한 추정된 결과를 <표 3>에 제시하였다. <표 3>에서 보듯이, 추정계수는 0.4에서 1.4까지의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 추정계수의 범위는 먹법칙이 존재하는 분포의 모수범위이다. 또한 추정계수가 21세기에 보다 크게 나타났다.

다음으로 최근 Gabaix et al.(2011)이 제시한 편기를 조정한 추정량을 이용하여 동일한 자료에 대한 먹법칙 계수를 추정하였다. <표 4>에서 보듯이, 1990년도에 추정된 결정인자계수가 0.33에서 2008년도에 0.38로 나타났다. 이러한 추정결정인자계수는 Hill 추정량을 사용한 추정치보다 낮게 나타났다. 역시 추정치는 시간이 지남에 따라서 높게 나타났다.

<표 3>과 <표 4>의 추정결과는 세계적 기술역량분포의 형태가 먹법칙이 존재하는 분포형태를 보여준다. 또한 최근 융합기술환경에서 먹법칙의 작동방식이 상대적으로 약화되고 있지만, 세계적 기술역량분포에 먹법칙 원리가 작용하고 있음을 알 수 있다. 그럼에도 기술역량분포의 추정계수의 증가는 세계적으로 각 국가간에 기술역량의 수렴현상이 발견되는 객관적 증거로 볼 수 있다.

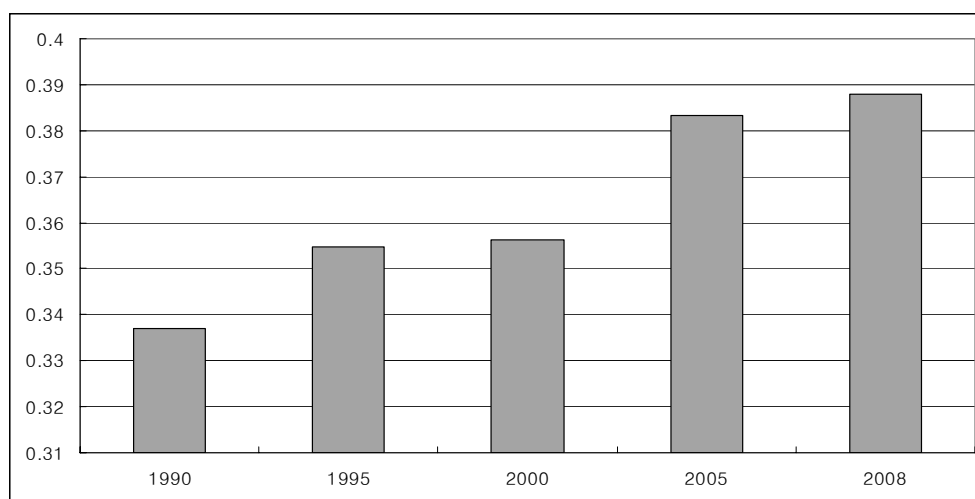
<표 3> Hill 추정량에 의한 먹법칙 결정인자의 계수추정치 및 관련 통계값

연도	추정치	표준오차	t_값	p_값	95% 신뢰구간	
					하위	상위
1990	-0.4336	0.029	-14.9517	0	-0.49044	-0.37676
1995	-0.7531	0.0823	-9.15067	0	-0.91441	-0.59179
2000	-0.960	0.108	-8.88889	0	-1.17168	-0.74832
2005	-1.4295	0.1914	-7.46865	0	-1.80464	-1.05436
2008	-1.2591	0.1506	-8.36056	0	-1.55428	-0.96392

12) 본 연구의 자료분석은 STATA V.11와 Gauss V.6.0을 사용하였음.

〈표 4〉 Rank -1/2에 의한 역법칙 결정인자의 추정치 및 관련 통계값

연도		추정치	표준오차	t-값	p-값	95% 신뢰구간	
						하위	상위
1990	계수	-0.3369	0.0200	-16.79	0	-0.37755	-0.29625
	상수	3.916117	0.0913	42.86	0	3.730964	4.101271
1995	계수	-0.35467	0.0223	-15.84	0	-0.40004	-0.30929
	상수	4.135862	0.1082	38.22	0	3.916581	4.355142
2000	계수	-0.35639	0.0239	-14.9	0	-0.40484	-0.30794
	상수	4.240489	0.1208	35.1	0	3.995699	4.485279
2005	계수	-0.38336	0.0261	-14.68	0	-0.43628	-0.33044
	상수	4.519684	0.1394	32.4	0	4.237044	4.802323
2008	계수	-0.38785	0.0265	-14.59	0	-0.44171	-0.33398
	상수	4.556925	0.1426	31.95	0	4.267944	4.845906



(그림 7) 역법칙 추정결정인자계수의 연도별 변화추이

우리는 상기분석결과를 통하여 다음과 같은 분석결과에 따른 중요한 특징을 도출할 수 있다. 먼저 〈표 4〉와 (그림 7)가 보여주는 바는 역법칙의 결정인자계수가 시간이 지남에 따라서 증가되고 있다는 것이다. 이러한 결과는 앞 장에서 설명한 바와 같이 만일 분석대상국가가 소멸하지 않는다는 가정이 충족된다면, 융합기술환경에서 국가별 기술발전분포는 파레토분포에 접근한다는 것을 보여준다.¹³⁾ 둘째, 세계 국가들의 기술변화에 대한 분포는 국가내의 기술변

13) $\zeta=2$ 을 중심으로 $\zeta \geq 2$ 인 경우에 정규분포에 접근하며, $\zeta < 2$ 인 경우에는 파레토분포에 접근하게 됨. 역시

화에 대한 분포를 그대로 반영한다고 볼 수 있다. 한 국가 안에서 기술분포의 형태를 결정하는 확률분포는 파레토분포임을 이미 Jones(2007)는 제시하였으며, 본 연구는 세계적 차원에서도 동일하게 작동되는 메커니즘임을 보여준다. 본 연구대상은 세계 기술역량분포형태가 물리적 먹법칙을 따르고, 시간이 흐름에 따라서 먹법칙 작동원리에 의하여 생성되는 기술역량분포형태가 파레토분포에 접근함을 보여준다. 또한 본 연구결과를 이용하여 세계 기술역량분포를 규정할 때, 세계 기술역량분포는 평균과 분산이 존재하지 않게 된다.¹⁴⁾ 오래전에 Scherer, et al.(2000)이 분석했듯이, 이러한 먹법칙이 존재하는 기술역량분포의 특성으로 인하여 기술변화구조의 불안정성 및 과학기술체계의 불안정성을 높이게 되는 방향으로 기술환경이 진화함을 볼 수 있다.

IV. 요약 및 정책시사점

본 연구에서는 최근 기술변화환경에 중요한 패러다임으로 대변되는 융합기술환경에서 과학기술정책체계수립을 위한 정책적 시사점을 제시하고자, 경제물리학적 개념을 이용하여 실증분석하였다. 최근 다양하게 전개되고 있는 국가별 기술정책결과로 나타나는 기술역량분포형태에 대한 구조파악과 구조에 대한 과학기술의 정책적 시사점을 실증분석결과에 따라 제시한다.

본 연구결과를 간단하게 요약하면 다음과 같다. 먼저 비모수적 Hill추정치와 모수적 Rank-1/2추정치가 유사하게 먹법칙을 나타내는 결과를 보였다. 둘째, 기술역량분포를 결정하는 먹법칙의 결정인자추정계수가 1990년부터 2008년 기간동안 시간이 지남에 따라서 지속적으로 증가되고 있었다.

본 연구결과 다음과 같은 미래 과학기술정책적 시사점을 제공한다. 첫째, 최근 먹법칙 결정계수의 추이로 볼 때, 그 먹법칙 결정인자로 대변되는 작동원리가 악화되고 있기 때문에 국가간에 기술역량이 수렴화되고 있다고 볼 수 있다. 이러한 기술역량의 수렴화경향은 기술격차역량의 국가간 차이가 줄어들고 있음을 보여준다. 따라서 국가 기술발전전략의 고려변경대안 중 하나로 단순한 기술모방에서 기술혁신전략이 필요할 것으로 보이며, 이를 위한 기술정책방향

Mandelbrot (1960)은 $\zeta = 1.5$ 인 경우를 강한 파레토법칙이 지배하는 경제 및 사회환경으로 규정하였음.

14) 이러한 분석결과는 평균과 분산의 경우에 다음과 같이 측정되기 때문임.

$$E(S) = \frac{\zeta S_0}{\zeta - 1}$$

$$VAR(S) = \frac{\zeta S_0^2}{\zeta(\zeta - 1)^2(\zeta - 2)}$$

이 요구된다.

둘째, 본 연구에서 이론적 그리고 실증분석결과에 따르는 바와 같이 기술역량분포의 구조결정에 먹법칙이 존재한다면, 과학기술역량의 규모가 큰 국가의 기술역량변동이 전 세계의 과학기술변동에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 이러한 분석결과를 국내적으로 적용하면, 우리나라 과학기술역량이 몇 기업에 국한된 경우에 그 기업의 기술성과가 우리나라 과학기술발전에 너무 큰 영향을 미치게 된다는 것이다. 이러한 먹법칙이 존재하는 융합기술환경에서 한 국가의 기술역량은 소수의 역량있는 기술개발기업으로부터 독립해야 할 필요성을 제공하게 된다.¹⁵⁾

본 연구의 한계점을 간단하게 기술하면, 먼저 연구대상국가선택의 대한 객관적인 기준이 존재하지 않는다. 둘째, 기술역량분포에 대한 구조분석대상이 삼극특허로 대표될 수 있는 지에 대한 의문이 남는다. 마지막으로 융합기술환경에서만 먹법칙의 존재가능성이 성립하는 지에 대한 보다 심도 있는 이론적 고찰이 수행되어야 한다.¹⁶⁾ 이러한 연구문제점에도 불구하고, 기술환경에서 경제물리학의 분석개념인 먹법칙의 존재에 대한 실증분석결과는 과학기술정책수립에 보완적 시사점을 제공할 수 있다.

부 록

본 부록은 융합기술환경에서 기술분포가 먹법칙의 지배를 받을 수 있음을 수리적으로 유도함으로써, 본 연구의 실증분석에서 적용한 명시적 형태의 먹함수적합성을 제시한다. 따라서 이 부록은 융합기술환경의 기술분포에 대한 이론적 존재성과 이를 검증하는 실증분석의 타당성의 연결을 제공하고자 기술하였다. 본 부록의 먹함수의 유도과정 및 융합기술의 분포형태가 먹함수임을 유도하는 과정에서 Gabaix (2011), Jones (2005), Kortum (1997) 그리고 Jessen et al. (2006)의 기존 연구결과를 적용하였음을 알려둔다.

기술 x_1 과 기술 x_2 은 특정 융합기술 S 을 창출하게 된다. 먼저 융합기술 S 가 특정한 가정에서 먹함수형태의 분포를 가짐을 증명하고, 기술 x_1 과 기술 x_2 의 어떤 대수적 결합형태에도 S 가 먹함수형태를 유지함을 보인다. 두 부분의 유도과정의 성립은 본 연구에서 융합기술환경에서 먹함수존재에 대한 이론적 도출과 먹함수의 변동이 어느 정도 이루어지고 있는 지에 대한 실증분석의 당위성을 연결한다.

15) 이러한 시사점은 최근 Gabaix (2011)의 연구에서 먹법칙의 존재로부터 나타나는 소수 대기업활동의 변동이 전체 경제활동에 미치는 불안정성을 도출한 연구로부터도 알 수 있음.

16) 또한 융합기술환경과 이전 기술환경과 먹법칙의 동태적 운동기저의 비교부분에 대한 깊은 연구가 필요함.

만일 융합기술 S 의 증가가 다음과 같은 진화과정을 가진다고 가정한다.¹⁷⁾

$$S_{t+1}^i = \gamma_{t+1}^i S_t^i$$

여기서 γ_{t+1}^i 는 $f(\gamma)$ 의 밀도함수를 갖는 독립적이고, 동질의 확률변수이다. 다음으로 S 확률변수의 일반적 누적분포함수 $G_t(S) = P(S_t^i > x)$ 을 고려할 때, 누적분포함수의 운동변화함수는 다음과 같다.

$$G_{t+1}(x) = P(S_{t+1}^i > x) = P(S_t^i > x/\gamma_t^i) = E[G_t(x/\gamma_t^i)]$$

따라서 $G_{t+1}(S) = \int_0^\infty G_t(\frac{S}{\gamma})f(\gamma)d\gamma$ 로 정리할 수 있다.

우리는 상기 누적확률분포함수의 정상상태가 존재한다면, 다음의 함수형태를 만족한다.

$$G(S) = \int_0^\infty G(\frac{S}{\gamma})f(\gamma)d\gamma$$

상기 정상상태의 누적확률분포함수는 어떤 멱함수형태 즉 $G(S) = \kappa S^{-\zeta}$ 의 함수형태를 만족한다. 이 경우에 $\zeta = 1$ 인 경우는 지프(Zipf)의 분포함수가 $1 < \zeta \leq 1.5$ 인 경우에는 파레토(Pareto)분포함수를 만족하게 된다. ■

다음으로 서로 다른 기술(즉 x_1, x_2)들의 융합기술(S_1, S_2)들의 융합 또는 결합에 의한 융합기술이 어떤 융합과정을 통하여 생성된 융합기술도 멱함수분포를 갖게 된다. 이는 Jessen et al.(2006)의 연구결과에 따른 경우에 멱함수의 어떤 확률변수변환 즉 $S_1 + S_2, S_1 S_2, \min(S_1, S_2), \max(S_1, S_2)$ 등은 또 다른 멱함수분포를 생성함을 보였다. 따라서 본 연구에서 적용한 융합환경에서 발생한 기술확률분포가 멱분포함수를 나타냄을 알 수 있다. ■

참고문헌

이덕희, (2008), 『네트워크 이코노미』, 동아사이출판.

Amaral, L. A. et al. "Application of Statistical Physics Methods and Concepts to the Study of Science & Technology Systems", *Scientometrics*, Vol. 51. pp. 9-36.

17) 융합기술진화과정은 일반적으로 잘 알려진 Gibrat법칙으로 알려져 있음.

- Axtell, R. (2001), "Zipf Distribution of U.S. Firm Sizes", *Science*, Vol. 293, pp. 1818-1820.
- Bell, P. (2002), "The Physical Modelling of Society", *Physica A*, Vol. 314, pp. 1-14.
- Chakrabarti, et. al. (2005), *Econophysics of Wealth Distributions*, Springer.
- Gabaix, X. (2011), "Rank $-1/2$: Simple Way to Improve the OLS Estimation of Tail Exponents", *Journal of Business Economics and Statistics*, Vol. 29, pp. 24-39.
- Gabaix, X. (2011), "The Granular Origins of Aggregate Fluctuations", *Econometrica*, Vol. 79, pp. 733-772.
- Grabowski, H. et al. (1994), "Return on New Drug Introductions in 1980s", *Journal of Health Economics*, Vol. 13, pp. 383-406.
- Harhoff, D, Narin, F., Scherer, F., and Vopel, K. (1999), "Citation Frequency and the Value of Patented Inventions", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 81, pp. 511-515.
- Hill, B. (1975), "A Simple General Approach to Inference about the Tail of a Distribution", *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 3, pp. 1163-1174.
- Hill, J. (2010), "On Tail Index Estimation for Dependent, Heterogeneous Data", *Econometric Theory*, Vol. 26, pp. 1398-1436.
- Hudson, C. (2000), "From Social Darwinism to Self-Organization: Implications for Social Change Theory", *Social Service Review*, December, pp. 532-559.
- Jessen, A. and Mikosch, T. (2006), "Regularly Varying Functions", *Publications De L'institut Mathematique*, Vol. 80, pp. 171-193.
- Jones, C. (2005), "The Shape of Production Function and Direction of Technology Change", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. pp. 517-549.
- Kauffman, S. (1993), *The Origins of Order*, Oxford University Press.
- Kleiber, et al. (2003), *Statistical Size Distributions in Economics and Actuarial Sciences*, John Wiley and Sons, Inc.
- Kortum, S. (1997), "Research, Patenting and Technological Change", *Econometrica*, Vol. 65, pp. 1389-1419.
- Krugman, P. (1996), *The Self-Organizing Economy*, Blackwell Publishers Limited.
- Mandelbrot, E. (1960), "The Pareto-Levy Law and the Distribution of Income", *International Economic Review*, Vol. 1, pp. 79-106.

- Newman, M. (2005), "Power Laws, Pareto Distributions and Zipf's Law", *Contemporary Physics*, Vol. 46, pp. 323-351.
- OECD (2008), *OECD Science, Technology and Industry Outlook 2008*.
- OECD (2011), Main Science and Technology Indicators, 2010-1.
- Rand (1002), *The Global Technology Revolution*.
- Scherer, F. (1965), "Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patented Inventions", *American Economic Review*, Vol. 55, pp. 1097-1123.
- Scherer, F., et al. (2000), "Technology Policy for a World of Skew-distributed Outcomes", *Research Policy*, Vol. 29, pp. 559-566.
- Stanly, H. E. (1995), "Power Laws and Universality", *Nature*, Vol. 378, p. 554.
- Sutton, J. (2002), "The Variance of Firm Growth Rates: the Scaling Puzzle", *Physica A*, Vol. 312, pp. 577-590.

조상섭

미국 St. Louis 대학에서 경제학 박사학위를 취득하고, 한국전자통신연구원 기술혁신팀장을 역임하였으며, 현재 호서대학교 디지털비즈니스학부 교수로 재직 중이다. 최근 관심분야는 기술혁신과 경제발전, 정보통신산업정책기획 및 평가, 기술발전과 사회구조변동에 대한 실증분석 등이다.