

# 세계 과학 시스템의 변화

Loet Leydesdorff · Ping Zhou ·

소민호 · 박한우

영남대학교 영남지역발전연구소

영남지역발전연구소 제35집(별책)

2006년 2월

# 세계 과학 시스템의 변화

Loet Leydesdorff\*, Ping Zhou\*\*, 소민호\*\*\*, 박한우\*\*\*\*

Recognizing a change in World Science System

Loet Leydesdorff\*, Ping Zhou\*\*, So, Min-ho\*\*\*, Park, Han-Woo\*\*\*\*

## 목 차

- |              |                     |
|--------------|---------------------|
| 초록           | 3. 국가들의 역동성         |
| 1. 개요        | 4. 논문발표 수와 인용 비율 비교 |
| 2. 국가들 간 차이점 | 5. 결 론              |

## 초 록

인지적(cognitive) 목표의 관점에서 보면, 과학적 연구를 수행하는 조직 혹은 국가 등과 같이 제도적 기관들(institutions)은 과학 정책의 개발을 위해서 사용될 수 있는 올바른 분석 단위가 아니다. 그러나, 국가와 같은 기관적 단위들은 과거에 그들이 수행한 성과의 측면에서 비교될 수 있다. King이 2004년에 Nature에 발표한 "국가의 과학적 영향력" 논문은 연구 기관의 하나인 국가들 사이의 비교를 위한 데이터를 제공한다. 그러나 본 논문에서 제시하는 관점에서 King의 데이터를 평가하면, 완전히 다르고 지금까지 간과된 결론에 이르게 된다: 새로운 역동성 즉 부상하는(emerging) 그룹의 국가군을 보여줄 수도 있다. 이들 국가들은 세계 과학 시스템에 대한 그들의 논문기고를 한계점 이상으로 증가시키지 않는다. 그러나 그들의 국가 과학 시스템은 내부적으로 성장하고 있다. 이들 국가들이 발표하는 논문의 양과 인용속도는 조금의 지체는 있지만 성장 패턴을 그린다. 따라서 세계 과학 시스템의 중력 중심이 점차적으로 변할 수도 있을 것이다.

주요어: 세계 과학 시스템, 중국, 한국, SCI, Scientometrics

Recognizing a change in World Science System

\*Amsterdam School of Communications Research (ASCoR), University of Amsterdam

\*\*Information Research and Analysis Center, Institute of Scientific and Technical Information of China

\*\*\*KAIST 학술정보처 정보운영팀장

\*\*\*\*영남대학교 언론정보학과 조교수

## Abstract

King's(2004) "The scientific impact of nations" published in the Nature has provided the data for the comparison among nation-states in terms of their research performance with reference to their previous stages. This paper makes an attempt to do a new evaluation of the data from another perspective, which leads to completely different and hitherto overlooked conclusions. This paper found that there were newly emerging nations. While their national science systems grow endogenously, their publications and citation rates keep pace with the growth pattern. The center of gravity of the world system of science may be changing accordingly. Its axis is moving from North America first to Europe, but then increasingly to Asia. At the global level the rise of China and South Korea are perhaps the main effect because of the volumes.

Key words: world science system, SCI, China, Korea

## 1. 개 요

영국에서 발행되는 학술저널인 Nature지에 게재된 "국가들의 과학적 영향력"(The scientific impact of nations)이라는 최근 논문에서, King(2004; Evidence, 2003 또한 참고할 것)은 국가들 간 비교를 위한 흥미로운 데이터를 제시하였다. 그러나 실제 분석에서 King은 사과와 오렌지를 비교하는 것과 같이 전혀 맞지 않는 대상을 비교하는 전형적인 실수를 범하였다. 평균 인용률은 (그리고 큰 차이를 보이지 않지만 평균 논문 발표율 또한) 학문 분야에 따라서 그리고 동일한 분야일지라도 심지어는 세부적인 전공분야에 따라 다르다. 예를 들어, 수학 관련 논문들은 생명과학 분야의 논문에 비해 더 적은 참고문헌을 인용한다. 번역학 분야에 속하는 저널들의 영향지수(impact factor)는 평균적으로 독물학 저널들에 비교해 높은 수준이다. 상황이 이러함에도 불구하고, 혹자는 King의 논문을 기초로 하여 전국의 대학교에 개설된 수학과를 폐쇄하면 해당 국가의 인용률이 높아질 것이라고 오도된(misguiding) 정책적 제안을 할 수 있을 것이다. 유사하게, 의과대학에게는 전국 대학 평가에서 연구 성과도 순위를 올리기 위해 독물학 전공을 폐지하라고 권장할 것이다.

과학측정지표(scientometric indicator)와 관련하여 앞서 서술한 바와 같이 연구기관을 분석단위로 하는 접근법에 대해서, Collins는 1985년에 당시 '평가적 계량서지학(evaluative bibliometrics)' 옹호자들을(Martin & Irvine, 1983; Narin & Carpenter,

1975) 다음과 같이 비판하였다. Irvine과 Martin등은 실험실, 학과, 분야, 국가 등과 같이 제도적 기관들을 비교의 분석단위로 사용해 왔다. 그러나, 인지적(cognitive) 목표를 지니고 정책을 개발하기 위해서는 과학을 제도적 경계가 아니라 인지적 경계에 따라 구분할 필요가 있다. 왜냐하면 과학이란, 공통된 인지적 관심 때문에 소속된 제도적 기관의 영역을 넘어서 상호 작용하고 상호 인용하는 과학자들과 그들이 참여하는 일련의 연구 분야들의 집합으로 구성되기 때문이다. (Collins, 1985).

이러한 비판에 대해서, Martin 과 Irvine(1985)은 프랑스의 천문학과와 영국의 천문학 과처럼 'like with like'식으로 항상 비교해야 한다고 대응했다. 사실 통계적 정상화(normalization) 방향을 신중히 선택하면, 제도적 기관과 인식적 차원을 두 개의 축으로 한 교차분석은 보다 의미 있는 결과에 도출할 것이다. 예를 들어 세계 각국의 천문학과의 비교는, 천문학과가 개별 국가에서 천문학의 발전에 어떤 기여를 했는지를 규명하는 것은 어렵지만, 개별적인 두 기관 즉 국가와 천문학과가 세계 전체의 천문학 발전에 기여한 바를 우리에게 알려줄 수는 있다.

개별 국가들은 광범위한 과학의 여러 분야에서 서로 다른 위치를 점하면서도 다른 한편으로, 하나의 포트폴리오(portfolio)를 유지할 수도 있다 (May, 1997). 하지만, 과학 기술 정책들의 수행 전략과 특정 정책에 대한 우선 순위는 국가마다 다를 것으로 예상된다. 특히 다른 지역에 위치한 국가들을 비교할 경우에 더욱 그러하다. 개발 도상 국가들의 수많은 과학자들은 선진국의 학자들과 함께 일을 하면서 세계 과학 시스템에 자연스럽게 흡수되어 간다. (Wagner, 2004; Wagner & Leydesdorff, 2005) 그러나, 제3 그룹 국가들은 해당 국가들 내부의 고유한(indigenous) 우선 순위에 기초하여 그들의 과학적 자원을 개발해 왔다. 예컨대, 중국과 이란은 최근까지 세계 과학 시스템으로부터 비교적 독립적으로 운영된 대표적인 사례이다. 한국, 대만, 싱가포르 등 서구 국가의 발전 방향을 따르면서 중국과 강력한 연구 협동 관계를 지니고 있다는 점에서 흥미로운 경우이다. (Leydesdorff, 2003)

요약컨대, 누구든지 특정 국가의 과학적 성과에 대해 평가를 할 때는 해당 국가의 포트폴리오를 보다 신중하게 고려해야 한다. 과학 분야의 학술 저널을 분석단위로 이용하여 과학의 여러 분야들을 재단하는 것은 나태한 접근법이라고 단정할 수는 없다. 행정적 목적을 위해서, 정책 분석가들은 미국 민간정보업체인 과학정보원(ISI, Institute for Scientific Information)에서 제공되는 학술 저널들 사이의 인용도 보고서인 JCR(Journal Citation Reports)에 수록된 과학 분류를 종종 사용한다. (Pudovkin & Garfield, 2002; Small & Garfield, 1985). 하지만, JCR의 분류들 가운데 몇몇은 매우 광범위한 문제를 지니고 있으며, 어떤 경우는 아주 협소한 문제점을 드러내기도 한다.

예를 들면, ISI는 291종이나 되는 저널들을 "생화학과 분자생물학"(biochemistry & molecular biology) 항목으로 분류하고 있다. 이것은 하나의 분류 항목에 포함되기에는

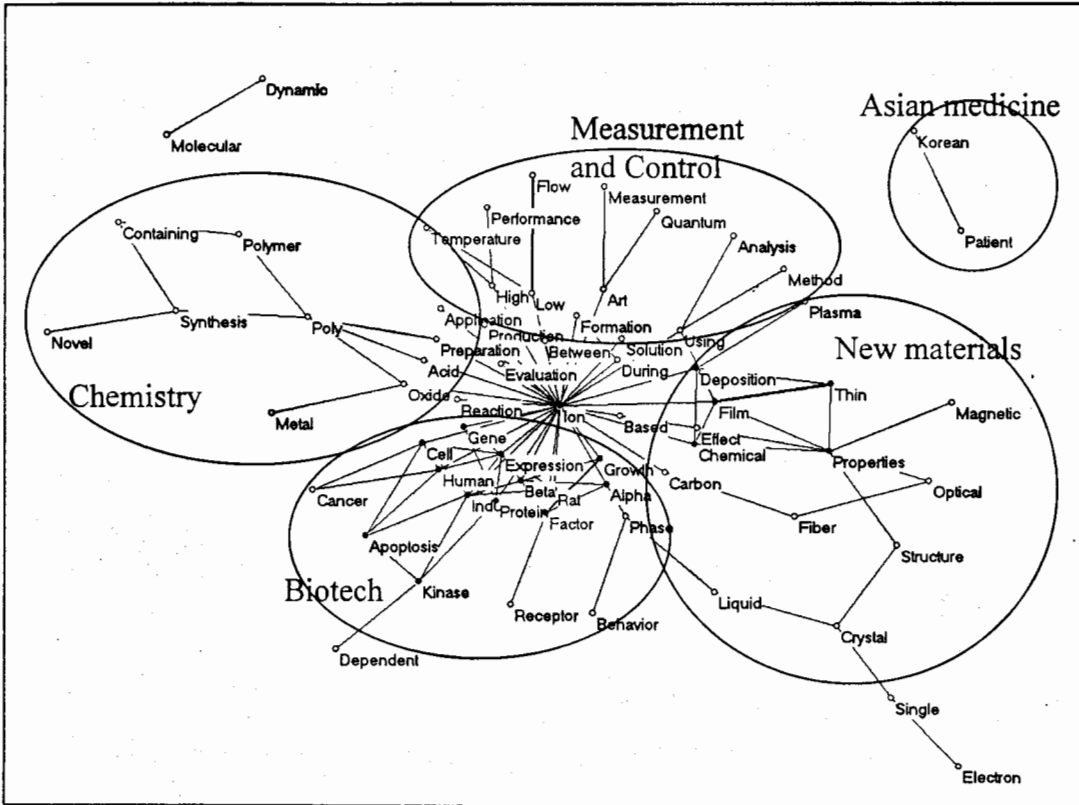
너무 많은 숫자이다. 반면에 단지 46종의 저널만이 “무기화학과 원자화학”(inorganic & nuclear chemistry)의 분야로 분류된다. 그런데 Leydesdorff (2005)가 JCR 2003년도 보고서의 저널들 간 인용 데이터를 이용하여 체계적으로 분석한 결과에 따르면, 106종의 저널들이 “무기화학과 원자화학”의 범주에 포함될 수 있었으며 “생화학과 분자생물학”으로 분류 가능한 저널들의 수는 ISI의 291종보다 적었다. JCR에서 제공된 저널 저널 인용 데이터를 이용하여 저널들의 주제분야(subject)를 정하는 것은 저널의 이름(title)에 사용된 단어들의 피상적 의미(face value)에 기초하여 저널들을 분류하는 것보다 훨씬 많은 통찰력을 제공할 수 있다. (Leydesdorff, 1987)

## 2. 국가들 간 차이점

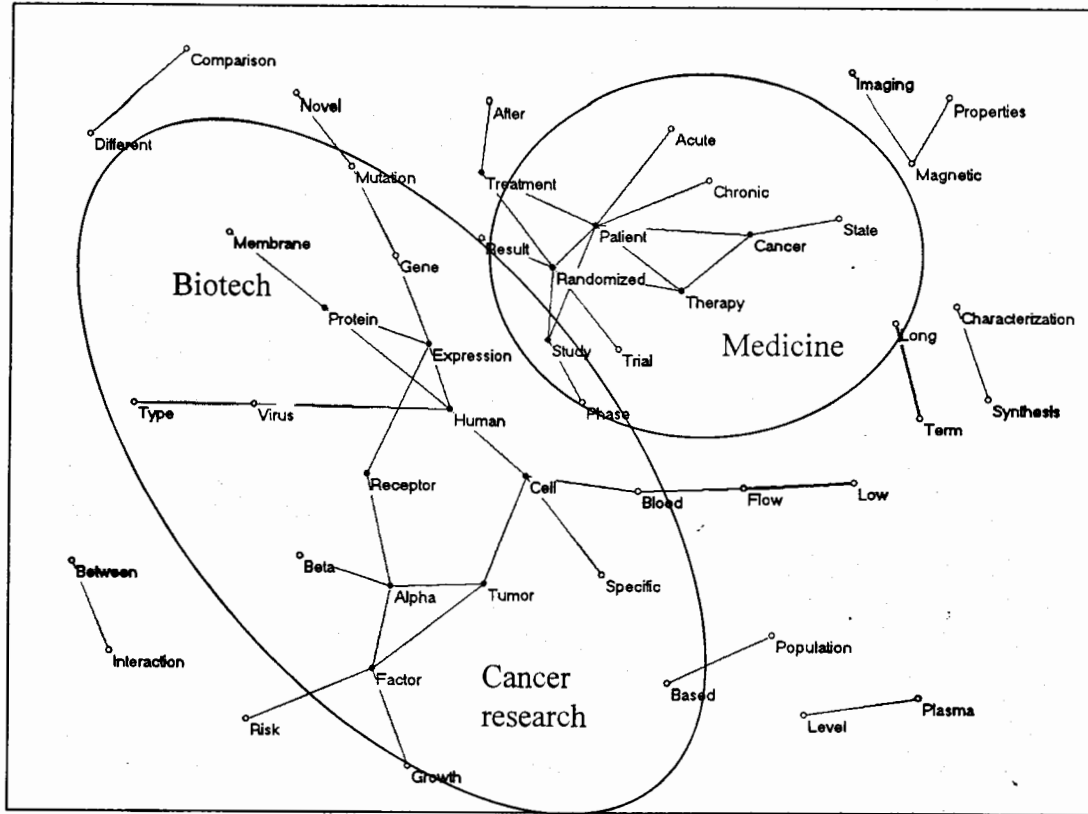
R&D(Research & Development) 포트폴리오와 과학기술 정책의 전개 전략의 측면에서 국가들 간 차이점을 파악하는 것은 방법론적인 이유에서도 중요하다. ISI 데이터베이스는 순수과학과 수학보다 생명과학에 보다 많은 초점을 맞추고 있으며, 후자(後者) 분야에서 인용하는 참고문헌의 수는 전자(前者)에 비교해 많다. 물론 ISI에 등록된 생명과학 분야의 저널들이 상대적으로 많기 때문에 통계적으로 평균 효과(averaging effects)를 가져와 그 차이를 보상할 수도 있으나, 이것은 국가에 따라 다른 영향을 미칠 수 있다. Park 등(2004)은 한국과 네덜란드가 2002년도에 ISI의 SCI(Science Citation Index) 저널들에 발표한 논문과 미국 특허청에 등록된 특허 데이터를 이용하여 양국의 포트폴리오를 비교하였다 (박한우 외, 2004 참조). [표1]에 나타난 바와 같이 두 국가는 논문 발표 수가 거의 비슷하기 때문에 상호간 합리적인 비교 대상이 될 수 있다고 본다. 두 국가에서 발표된 논문들의 제목에서 사용된 단어의 출현 빈도는 총 논문 수와 비례할지라도, 이러한 단어들의 의미론적(semantic) 구성은 매우 다르다. [그림 1]과 [그림 2]는 가장 빈번히 출현한 100개 단어들을 사용하여 벡터 공간에 양국의 과학 포트폴리오를 지도화한 것이다 (Salton & McGill, 1983; Leydesdorff, 2004). 그림은 사회 네트워크 프로그램인 Pajek을 이용하여 작성되었으며, Kamade와 Kawai(1989)의 알고리즘을 토대로 하였다.

[표1] 2002년도에 한국과 네덜란드가 SCI 저널에 발표한 논문의 비교

분류 항목	대한민국	네덜란드
SCI 저널들에 발표한 논문의 수 (국가 점유율)	15,127 (2.02%)	18,792 (2.51%)
제목에 사용된 단어들의 총 개수	144,597	177,707
실제 분석에 사용된 단어	160회 이상 출현한 105개의 단어들	190회 이상 출현한 102개의 단어들
지도화에 사용된 단어는 코사인값이 0.1 보다 크거나 같은 경우에	68개의 단어들	49개의 단어들



[그림1] 한국의 2002년 SCI 논문 제목에 나타난 의미 네트워크의 지도화  
 : 단어 분포 벡터들 간에 코사인 값이 0.1이상인 관계에 있는 가장 빈번하게 출현하는 68개 단어들의 경우



[그림2] 네덜란드의 2002년 SCI 논문 제목에 나타난 의미 네트워크의 지도화

: 단어 분포 벡터들 간에 코사인 값이 0.1이상인 관계에 있는 가장 빈번하게 출현하는 49개 단어들의 경우

두 세트 모두 의미론적으로 견고하게 조직화 되어 있지 않다. 이것은 앞서 지적한 바와 같이 과학이 국가를 중심으로 조직화 되지 않음을 보여주는 하나의 사례이다. 한편, 두 그림은 한국과 네덜란드가 보유한 연구 포트폴리오의 초점이 서로 다르다는 것을 암시한다. 한국의 지도를 보면, 순수 과학 분야가 강하게 나타나고 있으며 그 밖에 의학과 관련된 그룹 등이 보이고 있다. 네덜란드 경우는 과학 연구가 바이오메디신(biomedicine)과 바이오텍(biotech)으로 집중되고 있다. 네덜란드의 이러한 상황은 ISI 데이터베이스가 강조하는 중심 분야와 일치한다.

따라서 과거 SCI 논문 생산량과 인용도 측면에서 네덜란드가 한국보다 높은 순위를 보이는 이유는 부분적으로 ISI 데이터베이스의 구성 때문이라고 할 수 있다. 하지만 한국과 네덜란드의 차이가 실제 포트폴리오의 차이로 인한 것인지 아니면, 한국과 네덜란드에서 생산한 논문의 고유한 질(quality)에 의한 차이점인지를 구분하는 것은 쉽지 않

다. 통화(currency) 교환과 달리, 논문과 인용의 가치는 공개(open) 시장에 의해 고정되어 있지 않다. 과학이 시간을 축으로 한 궤도(trajjectory)를 따라 발전하는 반면에, 시장은 매 순간마다 조정되는 일종의 평형구조(equilibrium)이다. 이러한 사실은 인용 지표를 통해서도 확인된다. 특정 논문은 특정한 시점에 발행되었기 때문에 중요한 것으로 인정되었을 수 있다. 만약, 그 논문이 늦게 (혹은 일찍) 출판되었다면 아마도 그 만큼은 인용되지 못했을 수도 있을 것이다.

국가는 시장 혹은 시간적 궤도 이외의 또 다른 준거 시스템(a system of reference)을 제공한다. 유사(quasi) 평형구조로 비유될 수 있는 국가는 내부의 상이한 하부 역학들을 재 조합한 제도적인 기관으로써 고려될 수 있다(Aoki, 2001). 물론 특정 국가의 노력을 해당 국가와 비교가능한 다른 국가들과 대비하여 벤치마킹하는 것은 의미있는 작업이나, 더욱 흥미로운 것은 성장 속도의 관점에서 비교하는 것이다. 예컨대, 시간의 흐름에 따라 일어나는 자원의 유입(fluxes)과 함께 특정 국가가 경제적 부(wealth)를 어떻게 유지, 성장, 지체하는지를 비교하는 것이다. 현재 사용되고 있는 포트폴리오는 특정 국가가 지닌 포트폴리오의 효율성이 아닌 해당 국가의 R&D 자산(stock)에 대한 정보를 제공하는 경향이 있다.

King(2004)이 언급한 바와 같이, 세계 시스템 수준에서 국가들 간 위계질서는 오랜 기간을 거치며 매우 안정된 상태를 보이고 있다(May, 1997). 따라서 미국, 유럽연합(EU 15), 그리고 영국이 King(2004)의 논문 [표 1]에서 높은 순위에 있는 것은 놀라운 일이 아니다. 그러나 관심가는 것은 [표 1]에서 중국이 20위에 올라 있다는 사실이다. (King의 논문에 수록된 도표는 부록을 참조하기 바람). 그러나, King(2004) 또한 특정 국가의 영향력과 경제적 부(富) 사이에 허위 관계가 존재할 수 있음을 지적하였다. 한 예로 중국과 인도는 항상 최하위에 머물러 있으나 이러한 등급이 두 국가의 과학기술의 현재 역동성을 나타냄에 있어서 공정하다고 할 수 있을 지 의문이다.

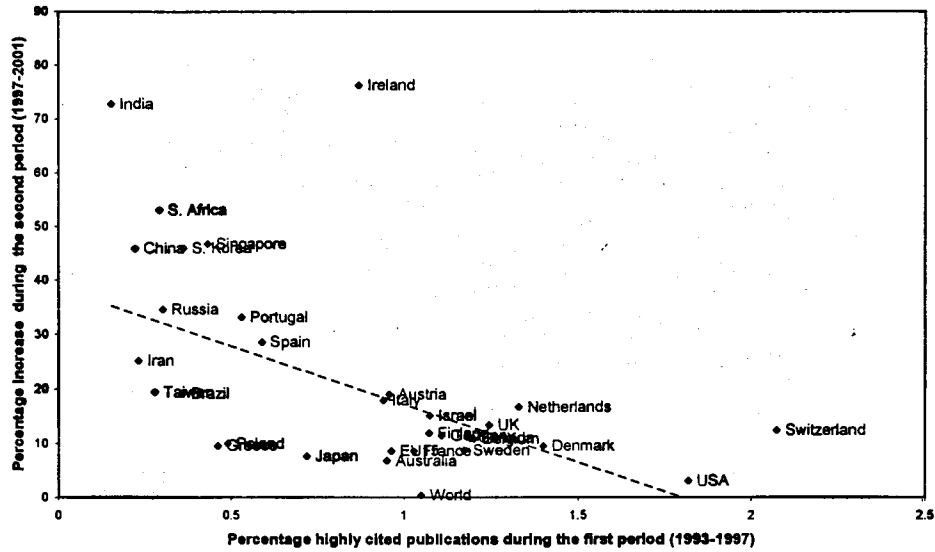
### 3. 국가들의 역동성(dynamics)

King(2004)의 논문에 대하여 논평하면서, Kostoff(2004)는 나노기술이라는 중요한 (critical) 분야와 관련된 지표에 초점을 둔다면, 중국은 논문수에서 미국을 최근에 능가했을 것이라고 지적하였다. 그러나 현재 중국 논문들은 거의 인용되지 않고 있으며 King(2004)의 논문에서 중국은 20위를 차지하였다. Jin과 Rousseau(2004)는 중국이 논문 수에 있어서 급격히 증가하고 있다고 주장하였으나 한편으로 이러한 논문들이 일정한 인용 기준치를 넘기에는 질적으로 (아직) 충분하지 않다고 평가하였다. 원칙적으로 말하면, King(2004)이 논문에서 제시한 데이터들은 이러한 질문들에 대한 답을 내포하



고 있다. 하지만 국가의 성장 효과를 알기 위해서, 그리고 상대적인 성장의 관점에서 국가들을 비교하기 위해서, 본 논문은 King(2004)의 [표1]에서 제공된 데이터를 시간축을 잣대로 하여 다시 분석하였다.

제1기(1993-1997)와 제 2기(1997-2001) 동안의 수치를 비교하였을 때 국가별 역동성은 어떠한가? 가장 먼저 King(2004)의 표에서 “가장 많이 인용된 1%의 논문들”에 주안점을 두고 살펴보기로 한다.

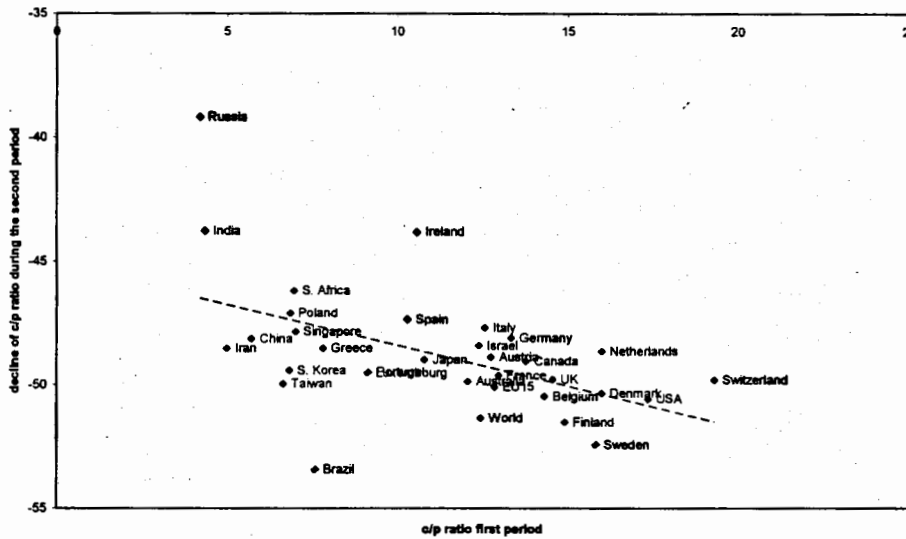


[그림 3] 제 1기(1993-1997)를 X축으로 하여 규격화된(normalized) 제 2기(1997-2002)동안 가장 많이 인용된 논문 수의 성장도

정확하게 같은 데이터를 토대로 할지라도, [그림 3]은 Nature에 수록된 연구에서 논의된 것과 완전히 다른 순서의 형태를 보여준다. 영어를 모국어로 쓰는 국가인 아일랜드, 인도, 남아프리카와 싱가포르가 높은 성장력을 보이고 있다. 중국과 한국에서 생산한 논문들은 이 지표에서 탁월한 성과를 보이며 선두 그룹을 바짝 뒤쫓고 있다. 서구국가들 중 King(2004)에서 26위를 차지한 아일랜드의 변화가 경이롭다. 반면에, King(2004)의 보고서에서 9위였던 스위스는 상대적으로 낮은 비율로 증가하였다. 따라서, 스위스의 향후 발전도 또한 역시 주목해야 할 것이다. 물론, 제1기 동안의 값이 높기 때문에 한계점 이상으로 증가하는 것은 경쟁 시장에서 점점 더 어려워 질것으로 예상된다. 게다가, 스위스는 King(2004)의 [표2]에서 랭킹 1위를 차지했다. 하지만 본 논문에서는 신흥국가들의 역동성에 주안점을 두고 있으므로 이것은 논의 대상에서 제외한다.

중국과 한국은 가장 많이 인용된 논문이라는, 상대적으로 작은 분석 수준에서만 항상

되고 있는가? 평균 논문 발표율은 어떤가? 이것에 대한 기준 지표는 총 발표 논문당 인용 비율( $\sum c_i/p_i$ )이다. [그림4]는 이 지표를 [그림3]과 유사한 형태로 표준화하여 제공한다. 제 2기의 수치는 1기에 비해 상당히 낮았는데 이는 King(2004)에서 계산한 인용도 방식이 다음과 같은 문제를 함유하고 있기 때문이다. 예컨대, 1990년도에 발행된 논문은 2000년도 논문에 비교하여 2005년도에는 더 높은 피인용도를 가질 것이다. 따라서, 이러한 사실을 고려하지 않고 제1기와 제2기를 비교하면, 후반기의 논문들은 전반기에 비교해 더 낮은 인용도를 보일 것이다. King(2004)의 [표 1]을 보면 모든 국가들의 인용 빈도는 제1기가 제2기보다 낮다. 이러한 이유로 인용수는 시간이 경과함에 따라 감소하였고 y축 값이 음( )이 되었다.



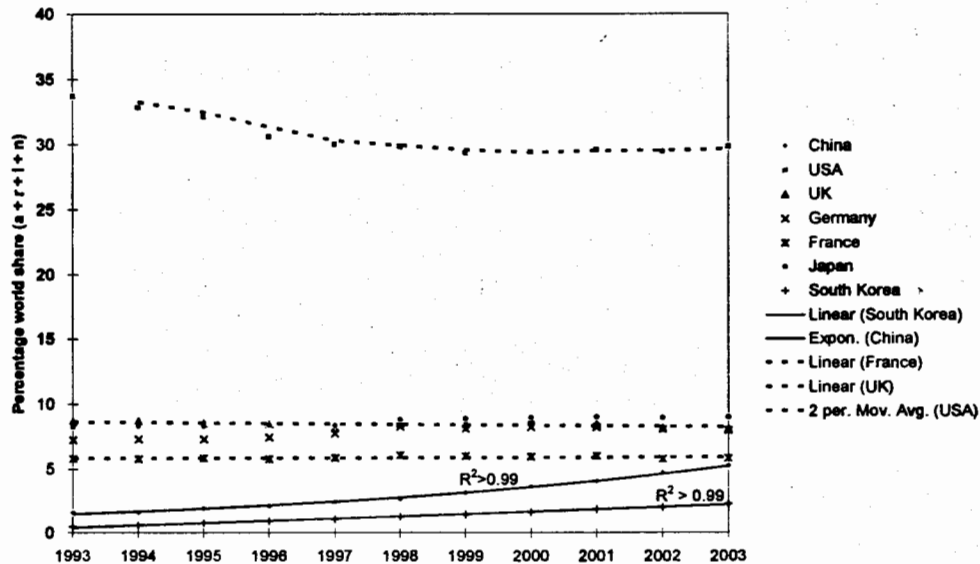
[그림4] 제1기(1993-1997)를 X축으로 해서 표준화된 제 2기(1997-2001) c/p 성장도

[그림 4]는 러시아가 c/p의 성장도 차원에서 가장 윗자리를 차지 하고 있음을 보여준다. 인도, 아일랜드와 남아프리카가 그 뒤를 잇지만 싱가포르의 평균지점으로 이동하며 한국과 중국에 가까이 위치해 있다. 비록 한국과 중국이 국가의 평균 피인용도가 향상되지 않았을지라도, 이 기간 동안 중국과 한국에서 발표한 논문의 절대량은 거의 두 배임을 기억해야 한다. 따라서 분모(p) 값은 극적으로 변해 왔음에도 불구하고, c/p 비율은 상대적으로 정체되어(stable) 있다. 반면에 러시아와 인도에서 발표되는 논문 수는 감소하고 있다. 이 지표의 관점에서 보면 유럽 국가들은 한 점으로 수렴되지(converge) 않으며 분산되어 있음을 알 수 있다.

## 4. 논문 발표 수와 인용 비율 비교

## 4.1 논문의 세계 점유율

ISI의 SCI데이터베이스에 수록된 연구논문(research articles), 리뷰(reviews), 레터(letters), 노트(notes)들을 대상으로 분석한 경우에 (Braun et al., 1991), [그림 5]는 과학 분야의 5개 선도 국가 (미국, 일본, 영국, 독일, 프랑스)가 생산한 논문의 세계 점유율과 함께 지난 십 년 동안 6위로 새롭게 등장한 중국의 현황을 보여주고 있다. 게다가 중국의 경향선(trend line)은 거의 완벽하게 지수곡선(exponential curve)에 일치하고 있다 ( $r^2 > 0.99$ ). 한국의 데이터 역시 추가되었다. 한국의 성장을 또한 드라마틱한 패턴을 보였으나 경향선은 선형(線形)(linear)이었다.

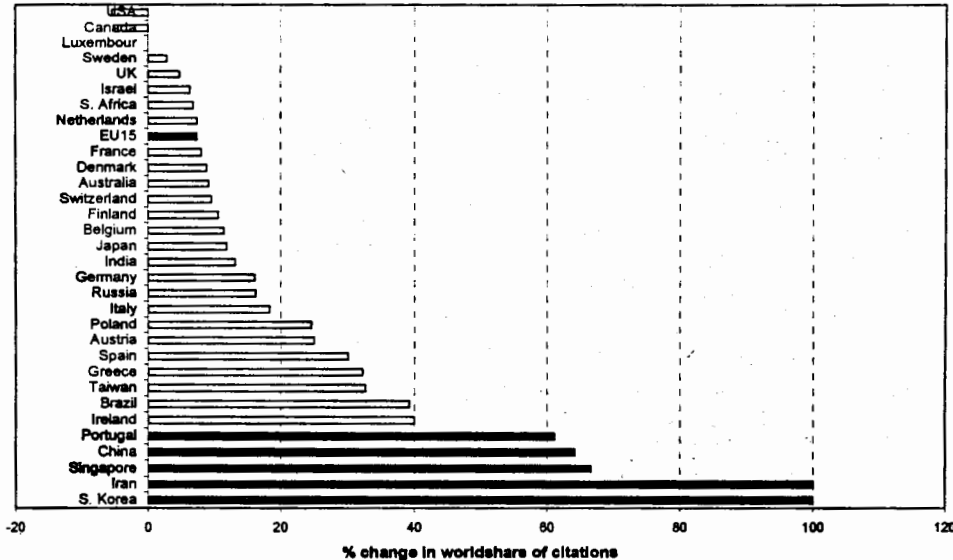


[그림5] 5개 선도국, 중국과 한국의 논문 세계 점유율.

중국의 괄목할 만한 성장과 더불어 유럽의 주요 국가들과 일본의 점유율의 점진적 증가는 미국의 상대적 감소에 따른 결과물(artifact)일 수 있다. 독일은 통일의 영향으로 인해 1993-1998년 사이에 상당한 증가를 보였다. 이 지표에 따르면 독일과 영국은 1998년 이후로 사실상 동일한 규모를 보이고 있다. 하지만 일본은 1990년대 하반기 동안 2위를 차지하면서 영국을 능가하여 왔다.

그러나 King(2004)의 [표1]을 보면, 영국에서 발표된 논문은 독일과 일본 논문에 비

해 훨씬 많이 인용되고 있다. 하지만 King(2004)은 세계 시스템에서 국가들간을 비교함에 있어 개별 국가의 규모를 고려하지 않음으로써 근본적인(underlying) 변화에 대한 인식을 모호하게 만들고 말았다. 특히 상대적으로 작은 국가들에 대해 두 기간을 비교할 때는 그 순서가 완전히 달라지는 양상을 보인다.



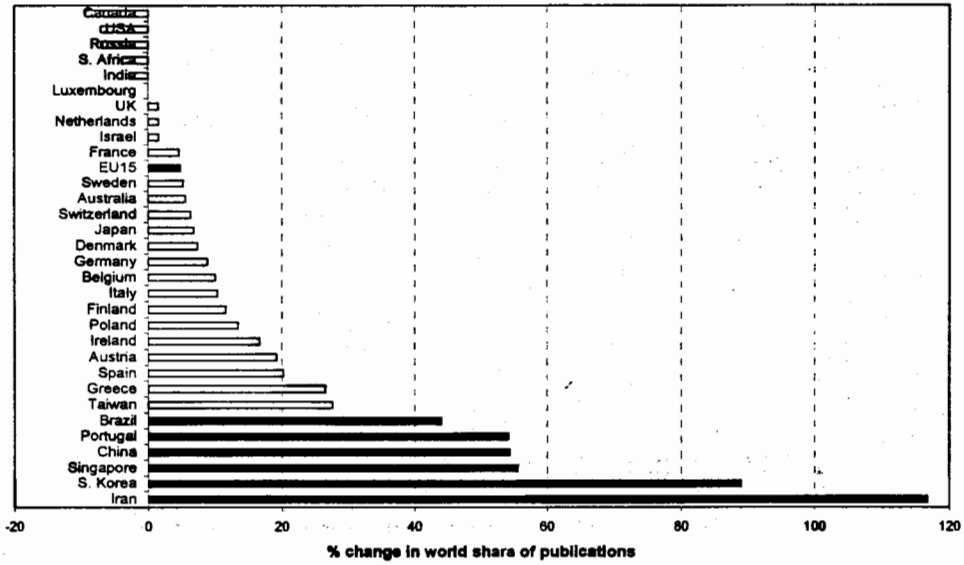
[그림6] 1993-1997대비1997-2001 년간 피인용 정도의 세계 점유율 증가

[그림 6]에서 보이듯이 King(2004)의 [표 1] 데이터를 이용하여 두 기간을 국가별로 비교하였을 때 가장 괄목할만한 인용률 증가를 보여준 5개국 중 중국, 싱가포르, 한국 세 나라가 아시아 국가이다. 유럽 국가들 중에서 포르투갈은 아일랜드보다 20% 이상 빠르게 증가하고 있다. 이란 또한 주목할 필요가 있다. 이란은 1993년에 289편에서 2003년도 2969편으로 10배 이상의 증가를 보이고 있다. 이러한 수치는 아마도 지난 십년 동안 이 국가들이 개방을 기치로 내세우면서 활발히 국제 교류를 한 결과인 듯하다.

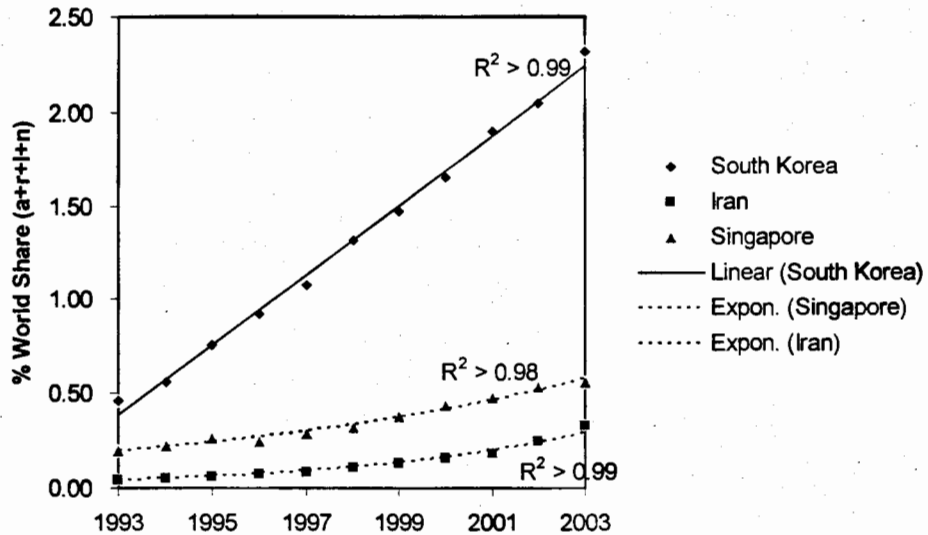
[그림 6]을 [그림 7]과 같이 변환하면, 브라질 또한 고도 성장 그룹에 포함된다. 브라질의 특별한 상황은 포르투갈에 영향을 줄 수 있다. 왜냐하면, 두 국가는 공통 언어를 사용하고 있기 때문이다. [그림 7]은 또한 [그림 4]에서 러시아와 인도의 c/p 비율 증가는 부분적으로 두 국가 논문 생산량의 상대적인 감소에 의한 것임을 보여준다.

[그림 6]과 [그림 7]에서 사용한 지표들에서 캐나다와 미국의 위치가 유사하다. 이것은 학술, 산업, 그리고 군사 연구에서 미국 포트폴리오의 구성이 변화되었기 때문만은 아니다. 이러한 변화는 북 아메리카에서 유럽으로 무게 중심이 옮겨간 변화를 반영하는 것으로 보이며, 이러한 변화는 점차 아시아 쪽으로 옮겨가고 있는 추세다. 한편, 일본과 타이

완은 변화가 미미하다. 세계적인 수준에서 보면, 아마도 논문 량의 절대 증가로 인한 중국의 상승이 주요한 결과이다. 싱가포르와 이란처럼 중국의 기하급수적인 성장 형태를 따르고 있지만, 역사적인 역동성은 [그림 8]에 나타나 있듯이 후반부에서 다소 다르다.

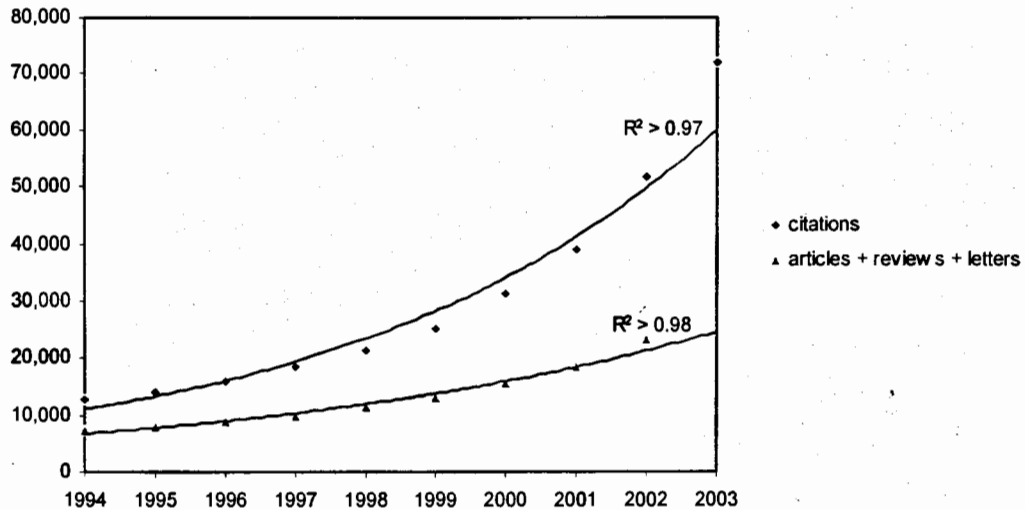


[그림7] 국가별 논문의 세계 점유율 증가



[그림 8] 빠른 성장을 하고 있는 일부 아시아 국가에서 생산한 논문의 세계 점유율 성장도

중국의 과학기술정보원(the Institute of Scientific and Technical Information of China, ISTIC)은 최근 보고서에서 중국에서 발표한 논문의 인용도 현황에 관한 10 년 간의 정보를 제공했다. 이 데이터를 도식화한 [그림 9]를 보면, 지수 함수조차도 중국 논문들의 인용도 성장을 과소평가하고 있음을 보여준다.



[그림9] 중국 논문 인용도의 지수함수적인 성장은 성장 패턴을 과소평가함

특히, 최근 몇 년간 중국은 아주 높은 성장을 보이고 있다. 혹자는 중국 내부에서의 인용으로 인용수가 크게 증가되었다고 주장할 수 있다. 하지만 그러한 상관관계는 미국과 같은 다른 큰 국가에 적용했을 경우에도 유사한 결과를 낳을 수 있을 것이다. 세계 시스템에서 중국 과학이 지니는 배태성(背胎性, embeddedness)은 국제 공동 연구의 현황과 인용도 관계 분석 등 별도의 논문에서 연구할 가치가 있다 (과학기술부, 2004; 박한우, 2005; Wagner, 2004).

### 5. 결론

과학측정지표(Anderson et al., 1988; Braun et al., 1991; Leydesdorff, 1989)의 관점에서 영국 과학이 1990년대 동안 쇠퇴하고 있다는 과거의 논쟁은 거의 종결 상태까지 왔다. 모든 유럽 국가와 일본은 미국과 캐나다를 뒤로 하고 그들의 성과를 속도를 점차적으로 향상시켜왔다. 특히, 아시아 일부 국가들은 기하급수적인 증가 속도로 세계 과학

시스템에서 두드러진 성과를 내고 있다.

1980년대 네덜란드와 북유럽 국가들, 그리고 1990년대의 일본, 이탈리아, 스페인에서 모국어 대신에 영어로 논문을 출판하는 빈도가 점점 더 증가함으로써 국가들에서 선형적인(linear) 증가율을 보이고 있음을 확인했다. 유사하게 독일의 논문 기고는 통일이라는 변수로 한 순간에 큰 영향을 받았다(Leydesdorff, 2000). 하지만 오늘날, 우리는 새로운 인력자원의 무제한 공급으로 추동될 것 같은 기하급수적인 증가를 중국에서 확인하였다.

이러한 관점에서 보면, 중국과 싱가포르의 성장율은 한국과 포르투갈의 성장율과는 또 다른 분석을 필요로 한다. 한국과 포르투갈은 선진국가그룹 내에서 후발 주자로 간주하여 검토할 수 있다. 예를 들어, 한국은 1996년에 OECD 회원국이 되었고, 선형(線形) 성장 형태가 기대되었다. 하지만, 영향의 크기는 기대한 것보다 크게 나타나고 있다. 이란과 싱가포르의 패턴 역시 지금까지 OECD 국가들 사이에서 관찰한 것과는 다른 성장 단계를 나타낸다. 싱가포르의 경우 이러한 결과는 중국의 발달과 직접적으로 관련되어 있을 수 있지만, 이란의 경우 다른 역사적인 설명이 필요할 것으로 보인다. 하지만 규모면에서 엄청나게 증가하고 있는 중국의 논문 기고는 역사적으로 전례가 없는 일로 세계 과학 시스템을 동요시키고 있다.

## 참고문헌

- 과학기술부. 2004. 「SCI DB분석을 통한 과학기술분야 연구실적 분석 연구」. 과학기술부 종합조정지원사업 2004. 서울: 과학기술부.
- 박한우. 2005. 디지털 테크놀로지 시대의 국제 협동연구: 동아시아 지역의 분석을 중심으로. *정보관리연구*. 36(1). 77-101.
- 박한우, Leydesdorff, L. 홍형득, 홍성조. 2004. Triple Helix 지표를 이용한 한국과 네덜란드의 지식기반 혁신 시스템 비교연구. 『Journal of The Korean Data Analysis Society』, 6(5): 1389-1402.
- Anderson, J., P. M. D. Collins, J. Irvine, P. A. Isard, B. R. Martin, and F. Narin (1988). On Line Approaches to Measuring National Scientific Output A Cautionary Tale. *Science and Public Policy* 15, 153-161.
- Aoki, M. (2001). *Towards a Comparative Institutional Analysis*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Braun, T., W. Glänzel, & A. Schubert. (1991). The Bibliometric Assessment of UK Scientific Performance Some Comments on Martin's Reply. *Scientometrics*, 20, 359-362.
- Collins, H. M. (1985). The Possibilities of Science Policy. *Social Studies of Science*, 15, 554-558.
- Evidence (2003). PSA target metrics for the UK Research Base. London: UK Office of Science and Technology, October 2003; at [http://www.ost.gov.uk/policy/target\\_metrics.pdf](http://www.ost.gov.uk/policy/target_metrics.pdf) (last visited on 23 October 2004).
- ISTIC (2004). 中國科學技術信息研究所, (2003年度中國科技論文統計結果) (Statistics about Chinese science and technology publications in 2003). Beijing: ISTIC.
- Jin, B., & R. Rousseau. (2004). Evaluation of Research Performance and Scientometric Indicators in China. In H. F. Moed, W. Glänzel & U. Schmoch (Eds.), *Handbook of Quantitative Science and Technology Research* (pp. 497-514). Dordrecht, etc.: Kluwer Academic Publishers.
- Kamada, T., and S. Kawai. 1989. An algorithm for drawing general undirected graphs. *Information Processing Letters* 31(1), 7-15.
- King, D. A. (2004). The Scientific Impact of Nations. *Nature*, 430 (15 July 2004),



- 311 316.
- Kostoff, R. (2004). The (Scientific) Wealth of Nations. *The Scientist*, 18(18), 10.
- Leydesdorff, L. (1987). Various Methods for the Mapping of Science. *Scientometrics* 11, 291 320.
- Leydesdorff, L. (1989). The *Science Citation Index* and the Measurement of National Performance in Terms of Numbers of Publications. *Scientometrics*, 17, 111 120.
- Leydesdorff, L. (2000). Is the European Union Becoming a Single Publication System? *Scientometrics*, 47(2), 265 280.
- Leydesdorff, L. (2003). The Mutual Information of University Industry Government Relations: An Indicator of the Triple Helix Dynamics. *Scientometrics*, 58(2), 445 467.
- Leydesdorff, L. (2004). The University Industry Knowledge Relationship: Analyzing Patents and the Science Base of Technologies. *Journal of the American Society for Information Science & Technology*, 55(11), 991 1001.
- Leydesdorff, L. (2005). Can the Hierarchy among the Sciences Be Mapped in Terms of Aggregated Journal Journal Citation Relations? *in preparation*.
- Martin, B., & J. Irvine. (1983). Assessing Basic Research: Some Partial Indicators of Scientific Progress in Radio Astronomy. *Research Policy*, 12, 61 90.
- Martin, B. R., & J. Irvine. (1985). Evaluating the Evaluators. *Social Studies of Science*, 15, 558 585.
- May, R. M. (1997). The Scientific Wealth of Nations. *Science*, 275(5391), 793 796.
- Narin, F., & M. P. Carpenter. (1975). National Publication and Citation Comparisons. *Journal of the American Society of Information Science*, 26, 80 93.
- Park, H., L. Leydesdorff, H. D. Hong, & S. J. Hung. (2004). *Indicators for the Knowledge Based Economy: A Comparison between South Korea and the Netherlands*. Paper presented at the Sixth International Conference on Social Science Methodology (RC33), 17 21 August 2004, Amsterdam.
- Pudovikin, A. I., & E. Garfield. (2002). Algorithmic Procedure for Finding Semantically Related Journals. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 53(13), 1113 1119.
- Salton, G., & M. J. McGill. (1983). *Introduction to Modern Information Retrieval*. Auckland, etc.: McGraw Hill.
- Small, H., & E. Garfield. (1985). *The Geography of Science: Disciplinary and*

- National Mappings. *Journal of Information Science*, 11, 147-159.
- Wagner, C. S. (2004). *International Collaboration in Science: A New Dynamic for Knowledge Creation*. Unpublished Ph.D. Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Wagner, C. S., & L. Leydesdorff. (2005). Mapping the Network of Global Science: Comparing International Co Authorships from 1990 to 2000. *International Journal of Technology and Globalization* (forthcoming).
- Zhou, P. & L. Leydesdorff, 2004年中國的納米技術研究成果世界領先 [China's research outcome in nanotech takes the lead in the world in 2004: The world position of China's publications]. *Chinese S&T Daily*, 23 October 2004; at [http://www.stdaily.com/gb/stdaily/2004\\_10/23/content\\_314274.htm](http://www.stdaily.com/gb/stdaily/2004_10/23/content_314274.htm).

부록: King(2004)에 수록된 [표 1]

Table 1 Rank order of nations based on share of top 1% of highly cited publications, 1997-2001

Country	Publications				Citations				Top 1% highly cited publications			
	1993-97		1997-2001		1993-97		1997-2001		1993-1997		1997-2001	
	Total	Per cent world	Total	Per cent world	Total	Per cent world	Total	Per cent world	Total	Per cent comparator group	Total	Per cent comparator group
United States	1,248,733	37.46	1,265,808	34.86	21,664,121	52.3	10,850,549	49.43	22,710	65.6	23,723	62.76
EU15 (net total)	1,180,730	35.42	1,347,995	37.12	15,147,205	36.57	8,629,152	39.3	11,372	32.85	14,009	37.3
United Kingdom	309,683	9.29	342,535	9.43	4,502,052	10.87	2,500,035	11.39	3,853	11.13	4,831	12.78
Germany	268,393	8.05	318,286	8.76	3,575,143	8.63	2,199,617	10.02	2,974	8.59	3,932	10.4
Japan	269,751	8.69	336,858	9.29	3,123,965	7.54	1,852,271	8.44	2,086	6.03	2,609	6.9
France	203,814	6.11	232,058	6.39	2,638,563	6.37	1,513,090	6.89	2,096	6.05	2,591	6.85
Canada	168,331	5.05	186,216	4.58	2,315,140	5.59	1,164,450	5.3	2,002	5.78	2,195	5.81
Italy	122,398	3.67	147,023	4.05	1,535,208	3.71	964,164	4.39	1,151	3.32	1,630	4.31
Switzerland	57,664	1.73	66,761	1.84	1,113,866	2.69	647,013	2.95	1,196	3.45	1,537	4.12
Netherlands	83,600	2.51	92,526	2.55	1,335,748	3.22	759,027	3.46	1,111	3.21	1,435	3.8
Australia	89,557	2.69	103,300	2.84	1,078,746	2.6	623,636	2.84	852	2.46	1,049	2.78
Sweden	63,757	1.91	72,927	2.01	1,007,419	2.43	548,112	2.5	748	2.16	930	2.46
Spain	79,121	2.37	103,454	2.85	813,722	1.96	559,875	2.55	467	1.35	765	2.08
Belgium	40,147	1.2	48,010	1.32	574,095	1.39	339,895	1.55	482	1.39	639	1.69
Denmark	31,808	0.95	37,198	1.02	508,183	1.23	295,004	1.34	445	1.29	570	1.51
Israel	41,804	1.25	45,944	1.27	517,027	1.25	293,039	1.33	449	1.3	568	1.5
Russia	121,305	3.65	123,629	3.4	509,105	1.23	315,016	1.43	365	1.06	501	1.33
Finland	28,727	0.86	34,890	0.96	427,873	1.03	250,456	1.14	308	0.89	416	1.1
Austria	26,100	0.78	33,598	0.93	332,145	0.8	218,493	1	250	0.72	383	1.01
China	68,661	2.06	115,339	3.18	392,055	0.95	341,519	1.56	153	0.44	375	0.99
South Korea	26,839	0.81	55,739	1.53	183,122	0.44	192,346	0.88	97	0.28	294	0.78
Poland	34,680	1.04	42,852	1.18	237,622	0.57	155,310	0.71	170	0.49	231	0.61
India	72,877	2.19	77,201	2.13	316,461	0.76	188,481	0.86	112	0.32	205	0.54
Brazil	27,874	0.84	43,971	1.21	211,460	0.51	155,357	0.71	100	0.29	188	0.5
Taiwan	32,620	0.98	45,325	1.25	216,852	0.52	150,743	0.69	91	0.26	151	0.4
Rep. Ireland	9,690	0.3	12,779	0.35	104,442	0.25	75,893	0.35	86	0.25	196	0.36
Greece	16,463	0.49	22,333	0.62	128,646	0.31	89,822	0.41	76	0.22	113	0.3
Singapore	9,030	0.27	15,306	0.42	63,288	0.15	55,929	0.25	39	0.11	97	0.26
Portugal	8,102	0.24	13,583	0.37	74,196	0.18	62,814	0.29	43	0.12	96	0.25
South Africa	1,7461	0.52	18,123	0.5	121,598	0.29	67,916	0.31	51	0.15	81	0.21
Iran	2,152	0.06	4,813	0.13	19,706	0.03	12,325	0.06	5	0.01	14	0.04
Luxembourg	300	0.01	430	0.01	2,736	0.01	1,979	0.01	2	0.01	2	0.01
World (net total)	3,333,464	106.23	3,631,368	108.94	41,425,399	118.27	21,953,043	122.97	34,982	127.43	38,263	136.5

This part of the analysis uses a five-year publication window for all disciplines. For papers published 1993-97, the total accumulation of citations to the year 2002 is included. For papers published 1997-2001, the total number of citations to the year 2002 is also included but, given the shorter time period, fewer citations will have accumulated.

The main source of internationally comparable data on research funding, staff and training is the OECD peer 'Statistics' at <http://www.oecd.org/content/html/index.htm>. Data also come from the 2002 editions of the *Latin America and Technology Indicators* and *Basic Science and Technology Statistics*. Accuracy and reliability are discussed in ref. 2. The Research Manual data definitions and their interpretations of OECD data have been adhered to wherever possible.