

Kauffman의 NK모형에 따른 기술생태지형연구

A Study on The Technological Ecosystem Landscape in Kauffman's NK Model

조상섭(Sang-Sup Cho)*

목 차

- | | |
|--------------------|------------------|
| I. 서론 | III. 사용자료 및 분석결과 |
| II. 이론적 배경 및 분석방법론 | IV. 결론 및 시사점 |

국문 요약

본 연구는 다음과 같은 분석결과를 제시한다. 먼저 우리나라 10개 산업의 기술생태지형을 결정하는 상호연관관계 K 는 9개로 나타났다. 이러한 주성분요인분석결과는 $K = N - 1$ 의 기술생태지형 구조를 가지고 있음을 보여준다. 둘째, Kauffman NK모형에 따른 우리나라 기술생태지형은 $K = N - 1$ 인 경우로 다 극점을 존재하는 적응체계로 매우 울퉁불퉁한 기술생태지형을 가지고 있다고 볼 수 있다. 따라서 우리나라의 기술생태계경우에 기술 또는 산업의 수 N 이 증가함에 따라서 국소 최적 점의 수는 매우 빠르게 증대할 수 있다. 도출된 분석결과에 따른 경우에 매우 많은 국소 최적 점을 가진 기술생태지형에서 기술탐색과정은 전체 최적 기술조합 또는 기술개발에 효율적으로 도달하기 어려우며, 우리나라 기술생태지형은 매우 복잡한 진화 및 발전체계를 갖고 있음을 의미한다. 본 연구결과의 기술 정책적 시사점은 우리나라 산업간 그리고 기술간에 보다 너무 높은 상호연관성은 기술생태지형에서 효율적이고 창조적 기술개발에 어려움을 수반할 수 있다.

핵심어 : Kauffman의 NK모형, 기술생태지형, 주성분요인, Bai and Ng 선택기준, 기술상호연계성

※ 논문접수일: 2012.6.20, 1차수정일: 2012.9.11, 게재확정일: 2012.9.25

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

ABSTRACT

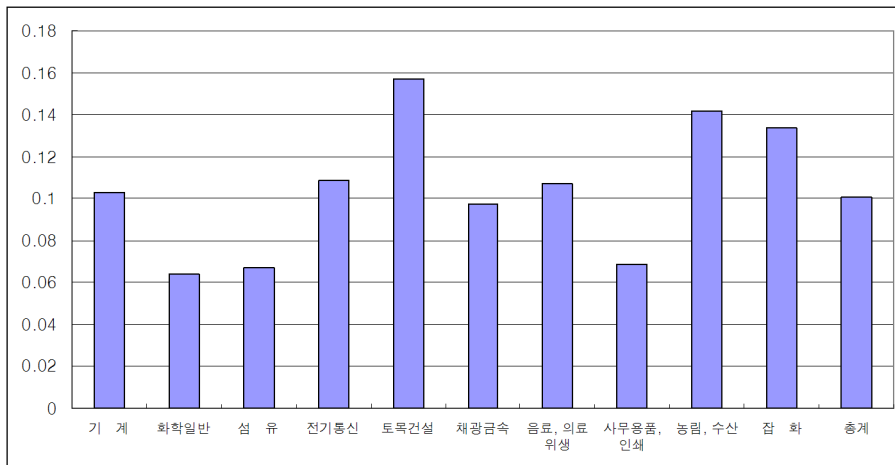
This paper shows a empirical results by adopting Kauffman' NK model. First, we find interdependence parameter K is nine in the technological ecosystem Landscape. According to principal component analysis, our technological ecosystem landscape is based on $K=N-1$ technology structure. Second, to Kauffman NK model, our technological ecosystem landscape is completely uncorrelated each other and contains a large number of local optima. As additional technology rises, the number of local optima rises rapidly. Our results mean that the more complexity in the technological ecosystem landscape, the less effective technology innovation will be in our country's technology system.

Key Words : Kauffman's NK Model, Technological Ecosystem Landscape, Principal Components Factor, Bai and Ng's Selection, Technological Interdependence

I. 서론

만일 우리나라 산업기술생태지형이 외부에서 발생하는 공통적 진화압력 즉 세계화 또는 산업정책 등과 같은 장기간에 선택압력을 받는다면, 기술특허 또는 생산매출액으로 측정된 산업기술생태지형은 산업간에 유사하게 변해갈 것이다. 그러나 (그림 1)에서 보듯이, 현재 장기간에 걸친 외부선택압력을 경험한 우리나라 기술생태지형의 형태와 모습은 산업간에 매우 다르게 나타난다. 이는 한 나라에서 산업간의 발전형태의 차이점이 외부의 선택압력(Natural Selection)에 의한 영향력인 지 또는 내부의 자기조직화(Self-organization)에 의한 영향인 지에 대한 논의는 매우 중요한 의미를 지니게 된다[Dawkins, 1976 그리고 Buchanan, 2007 참조.¹⁾

Kauffman (1993)은 관측된 형태들이 필연적으로 선택압력에 의한 결과물인지에 대한 의문을 제기하였다. 즉 관측된 조직형태가 자기조직화의 과정일 수 있다는 견해이다. 이를 다시 설명하면, 어떤 특성이 총 조직 적응계에서 골고루 발견된다면, 선택압력은 전반적이고 보편적 특성을 비껴가지 않는다. 만일 선택압력이 약하거나 어떤 영역으로 전체 집단을 움직이지 않게



(그림 1) 1988년부터 2010년까지 우리나라 산업별 기술변화구조

1) 선택압력에 의한 진화과정과 자기조직화에 의한 진화과정에 대한 중요성은 만일 진화론적 관점에서 특정 조직체들은 그들의 최적 형태를 추구하기 위하여 인접한 Hill-Climbing을 사용한다면(즉 자기조직화 압력), 대부분 조직체들은 전체적 보다 국소적인 최적화에 머물게 됨. 따라서 대부분 경제학자들은 선택압력이 결과적으로 차선 조직체 구조를 없애줄 것으로 믿음. 그러나 만일 이것이 사실이라면, 많은 차선의 조직구조 중에서 부분적인 집합만 남게 되며, 이로 인하여 관측된 조직체의 형태에 의하여 나타난 특성들에 이로운 선택적 과정에 의하여 생존된 특성으로 결론을 내릴 수 있음. 즉 어떤 형태의 진화압력이 중요인지에 대한 결정은 우주론적 관점에서 매우 다른 우리들의 사고체계를 형성하게 됨.

된다면, 넓게 관측된 특성이나 속성은 선택보다는 단순히 존재하기 때문으로 볼 수 있다. 그러나 만일 선택이 전체 집단을 특정 영역으로 움직이게 한다면, 선택과정은 전부는 아니지만 대부분에 의하여 나타나는 자기조직적 특성을 회피할 수 있을 것이다. Kauffman 이론은 전체 적응계에서 전형적 또는 비전형적인 총체의 특성을 관측할 수 있는 정도로 복잡한 적응계의 형태에 따라서 달라질 수 있는 가능성을 보여준 이론이며, Kauffman의 NK모형은 그러한 통계적 특성에 대한 이론적 모형이다. 1990년대 초기에 생물진화론적 관점에서 Kauffman은 복잡한 생태계를 분석할 수 있는 간단한 통계적 NK모형을 제시하였다. 즉 어떤 생태계도 N개의 본질적 요인과 K개의 본질적 요인간에 상호관계를 가진 체계이며, 통계적 분석이 가능하다는 것을 보였다.

본 연구에서는 우리나라 산업기술지형이 어떤 형태이며, 어떻게 전개될 지에 대한 실증적 분석을 위하여 Kauffman (1993)의 NK모형을 적용하여 실증적으로 분석하였다. 특히 본 연구목적인 기술생태지형의 동태성이 가지는 분석대상 때문에 최근 여러 분야에서 실증적 분석을 위하여 많이 활용되는 동태적 공통요인분석방법을 NK모형분석에 적용하였다.²⁾ 본 연구의 주제와 유사한 기존 연구를 살펴보면, Shelling (1978)은 단순한 기준에 의하여 한 도시 내에서 어떻게 인종이 분리될 수 있는 지를 보였으며, Westhoff, et al. (1996)은 최근 여러 학문분야 큰 영향력을 발휘하고 있는 Kauffman (1993)의 NK모형을 적용하여 기업의 형태에 대한 영국 기업과 미국기업의 차이점에 대한 분석에서 유사한 질문을 하고 있다.³⁾ 특히 Fleming et al. (2001)은 Kauffman이론에 따라서 특허자료를 이용하여 기술의 복잡적응체계에 대한 실증분석을 실시하였다. 조상섭 (2012)은 여러 기술이 융합화하는 산업환경에서 기술융합화의 자기조직화원리를 적용하여 기술정책적 시사점을 도출하였다. 그러나 본 연구와 상기에서 언급한 기존 연구들과 차별성은 단순한 이론적인 적용가능성에 대한 제언을 벗어나 실제 10개분석단위 위 시계열자료를 바탕으로 Kauffman의 NK모형을 실증적으로 분석하였다는 데 있다.

본 연구에서 수행한 Kauffman (1993)의 NK모형을 적용하여 우리나라 산업별 기술변화에 대한 실증적 분석을 수행함으로써 다음과 같은 몇 가지 기술정책적 시사점을 얻을 수 있다. 먼저 산업별 기술변화를 결정짓는 상호연결요인이 몇 가지로 구성되어 있는 지에 대한 물음에 대한 답이다. 이러한 물음에 대한 답은 공통요인분석을 통하여 알 수 있다. 둘째, 공통요인과 산업기술간에 관계를 통하여 우리나라 산업의 기술생태지형을 파악함으로써 기술정책의 시사점을 도출할 수 있다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 Kauffman (1993)의 NK모형을 설명하고, 이에 대한 실

2) 최근 주성분요인분석을 패널자료에 적용한 대표적 연구로 Watson et al. (2007)은 패널자료에서 주성분요인분석에 대한 계량분석의 방법론을 자세히 설명하고 있음.

3) Krugman (1996)은 경제학계에서 Kauffman(1993)의 영향력을 자기조직의 경제에서 언급하고 있음.

증분석모형을 기술한다. 제 III장에서는 1988년부터 2010년까지 우리나라 10개 산업의 기술적 특허를 이용하여 기술생태지형에 대한 실증분석을 실시한다. 마지막 장에서는 본 연구결과를 요약하고, 실증분석결과를 바탕으로 정책적 시사점을 도출하였다.

II. 이론적 배경 및 분석방법론

1. Kauffman의 NK모형

최근 Westhoff et al.(1996)은 Kauffman의 복잡계라는 학문으로부터 도출된 NK모형을 평가하고, NK모형을 통하여 총 조직체에 대하여 어떤 형태의 조직이 다른 조직으로부터 영향을 받는 지에 대한 통계적 특성을 분석하는 데 도움을 줄 수 있는 이론적 방법론을 기술하였다. 이들은 기업조직구조의 변화의 전형적 형태를 결정짓는 특성들의 상호작용에 대한 상황분석을 실시하고, 마지막으로 동태적 체계의 특성이 알려지지 않은 경우에 이를 분석하는 데 유용한 분석기법을 알기 쉽게 설명하고 있다. 또한 Frenken(2006)은 기술혁신 또는 기술개발에서 Kauffman의 복잡계접근방식의 중요성은 기술채택과 기술확산보다는 기술혁신이 어떤 형태로 이루어지는 지에 대한 블랙박스(Black Box)를 열기 위해서는 필요하다는 주장을 하였다. 즉 자연적 세계와 사회적 세계뿐만 아니라 기술을 포함한 인공적 세계를 이해하기 위해서 다 학제적 접근방식인 복잡계접근방식의 활용이 매우 중요하다는 기술을 하였다. 본 장에서는 Westhoff et al.(1996)이 보여준 Chandler(1990)의 기업형태결정이론의 적용과 더불어 SW기술체계결정에 대하여 적용한 예시를 보충적으로 기술하였다.⁴⁾

본 연구의 이론적 근간이 되는 NK모형의 필요성에 대하여 Westhoff et al.(1996)과 Kauffman(1993)의 서술을 바탕으로 설명하면 다음과 같다. 만일 어떤 조직들이나 개체군들이 그들의 최적 형태를 추구하기 위하여 탐색방법으로 인접한 지역 또는 주변 지형에서 Hill-Climbing방법을 사용한다면, 대부분 조직체들은 전체보다 국소적 최적화에 머물게 된다. 만일 이것이 사실이라는 많은 차선 조직구조 중에서 부분적인 조직구조의 집합만 남게 되며, 이로 인하여 관측된 조직형태 또는 개체군형태에서 나타난 특성들에 이로운 선택적 과정에 의하여 생존하게 된 조직체구성으로 결론을 내리게 된다. 다음에서는 Kauffman의 NK모형을 본 연구 목적과 범위에서 다음과 같이 간단하게 설명할 수 있다.

4) 새로운 이론을 다른 분야에 적용하는 데 사전적 충분한 이해가 필요하며, 이해를 위해 다양한 예시가 가장 중요한 방법일 수 있음.

N은 어떤 기술체계에 존재하는 핵심적 요소(또는 속성)의 수이다. 한 예로 N은 기업구조를 다르게 하는 특성들(Chandler의 예시에서 4가지)을 말한다.⁵⁾ 또 다른 N의 예시를 보면, OECD(2008)은 우리가 사용하는 소프트웨어(SW)체계의 특성을 비체화성, 누적성, 보완성 그리고 짧은 기술주기라고 정의하고 있다. 일반적으로 N가지의 요소에서 취할 수 있는 값이 A라면 총가지 수 또는 총체는 A^N 이다. 따라서 각 특성을 가진 존재는 이웃에 $N(A-1)$ 의 다른 형태가 존재하게 된다.⁶⁾

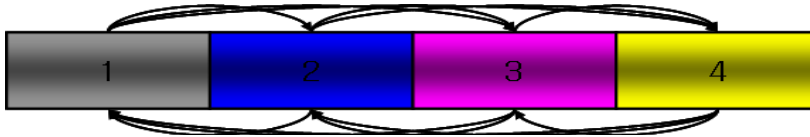
앞에서 살펴본 각 기술특성은 특정한 형태를 형성하는 데 특정한 기여를 하게 된다. 그러한 기여는 자신의 특성과 N가지 중에서 K가지의 다른 특성에 좌우된다. 여기서 K가지의 특성이란 N개의 특성들이 어떻게 상호작용을 하는 지에 따라서 달라진다. 앞에서 본 SW체계에서 만일 $K=0$ 인 경우에는 비체화성은 누적성과 보완성 그리고 짧은 기술주기와 독립적인 경우로 모든 SW관련 특성이 독자적임을 보여준다. 그러나 다른 극단적인 경우로 $K=N-1$ 인 경우에는 각 SW관련 특성이 SW적응계 기여에 다른 모든 특성과 상호의존적으로 작용함을 보여준다.

일반적으로 모든 적응체계에서 이론적으로 $(N-1) \geq K > 0$ 의 관계가 성립함을 알 수 있다. 한 예로 Chandler(1990)의 예시에서 기업전문화의 특성이 기업 적응계에 미치는 기여도는 규모가 크고, 다 부분으로 독립된 특성을 가진 기업에서 소규모의 비 결합적 구조를 가진 가족 중심의 기업보다 더 크다고 볼 수 있다. 또한 SW체계의 경우에도 비체화성이 강한 SW체계는 누적성과 보완성 그리고 짧은 기술주기를 갖는 SW체계에서에서 보다 강한 기여도를 갖게 된다. 그러나 논쟁의 여지는 이러한 정확한 미적 상호작용에 대한 판단을 할 수 없다는 데 있다. 즉 이러한 상호작용에 대한 측정문제는 우리가 경제구조에 대한 이론 또는 Kauffman의 적응 물리에 대한 이론에 보다 정확한 지식을 필요로 한다.

앞에서 언급했듯이, 우리들은 일반적으로 상호의존성을 지닌 요소들이 어떻게 전체 적응계에 영향을 미치는 지에 대한 정확한 정보를 모른다. 이를 설명하는 가장 좋은 예시로 Westhoff et al.(1996)에서 보듯이 멘델의 콩의 예에서 볼 수 있다. 그는 노란색과 녹색의 대립된 두 유전형질을 발견했으며, 콩의 매끈하고 거친 매질에 대한 두 번째 유전형질을 발견하였다. 사전적으로 우리는 어떤 네 가지 유전형질이 가장 잘 적응된 것인지에 대한 지식을 알 수 없다. 또한 어떻게 하나의 조합에서 다른 조합으로 변화가 전체 적응형태를 결정짓는 지 알 수 없다. 만일 하나의 유전형질의 적응에 대한 기여도가 다른 유전형질에 영향을 받는다면, 미적인 상호작용의 복잡한 그물망에서 서로 다른 제한조건은 알지 못하며, 또한 매우 복잡한 형태일 것이다. 이러한 복잡한 적응계는 우리의 무지를 보여주며, 본질적으로 의도되지 않은 상호작용이

5) Chandler(1990)는 기업조직을 결정짓는 네 가지 핵심요소를 경영, 규모, 수직적 통합 그리고 조직형태로 보았음.

6) 즉 기업구조의 경우에 선택(1)과 비 선택(0)이라는 2가지 경우가 존재한다면, $2^4 = 16$ 이 됨. 그러나 이 경우에 선택, 비 선택 그리고 중간 정도의 선택이 있는 경우에 총 조직체를 구성할 수 있는 가지 수는 3^4 로 급속히 증가함.



(그림 2) 개별 기술특성사이에 가능한 상호작용

가능함을 말하게 된다. 역시 SW기술체계에서도 마찬가지로 현상을 발견할 수 있다. 즉 누적성과 비체화성이 결합된 새로운 SW는 다른 특성이 미친 영향인 상호작용의 정도를 알 수 없다. 이러한 문제점으로 인하여 자체 특성과 함께 다른 특성사이에 상호작용이 너무 복잡하기 때문에 확률적 적응함수에 의한 그들의 결과를 바탕으로 통계적 형태를 분석할 모형을 시도하게 된다. 이러한 통계적 모형 중 가장 정교한 모형이 Kauffman의 NK모형이다.

Kauffman의 NK모형의 적용 예시로 앞에서 본 SW체계형성을 고찰해보자. SW체계의 핵심적 요소 $N=4$ 가 존재하며, 이들 네 가지 핵심요소가 SW체계형성에 대한 기여도를 결정할 때, 최대 상호작용을 나타내는 $K=N-1=3$ 임을 가정하자. 각 기술특성의 SW적용체계에 대한 기여도는 네 개의 기술특성에 따라 좌우된다. Kauffman(1993, p. 42)의 (그림 2)는 특성들 사이에 가능한 상호작용을 나타낸다. 이들 특성간에 상호작용의 조합은 $2^{K+1}=16$ 이다. Kauffman(1993)의 NK모형에서 우리의 무지란 균등 확률로 분포하는 여러 조합들에서 확률적으로 선택된 조합에 기여도(즉 가중치)를 부여함으로써 이루어지는 일련의 과정을 보여준다.⁷⁾ 따라서 어떤 특성의 적용계에 대한 기여의 가능한 가치 w_i 는 확률적 수치 1과 0에서도 2^{k+1} 의 가짓수가 나타난다.

비록 N개의 특성들의 특정체계의 적응가치에 대하여 임의의 확률적 가치가 부여되지만, Kauffman의 NK 모형에서 N과 K는 매우 유용한 정보를 제공한다. 본 연구의 실증적 결과에서 보듯이, K는 우리나라 기술지형을 결정하는 가장 중요한 정보임을 알 수 있다. 한 예로 만일 산업의 특성사이에 상호작용요소인 K가 증가한다면, 여러 제약된 조건들은 더욱 복잡한 그리고 다극 점을 가진 기술적용체계를 나타낼 것이며, 국소적인 최적 점과 Hill-Climbing의 효율성에 대한 중요한 정책적 함의를 제공하기 때문이다.⁸⁾ 따라서 아래에서 기술하듯이, Kauffman의 NK 모형에서 K의 수에 대한 정확한 정리가 필요하다.

가. $K=0$ 인 경우 매끄럽고 하나의 극대점을 소유한 기술적용체계

만일 각 산업에 속한 기술특성들이 기술적용체계를 구성하는 데 있어 그 기여도가 다른 기

7) 여기서 무지와 관련하여 균등확률부여에 대한 가정은 발생확률을 알 수 없다는 의미에서 무지이며, 이는 가장 기초적인 확률을 부여함을 의미함.

8) 이러한 분석적 결과의 함의는 산업간의 융합현상을 설명하는 데 중요한 정보를 제공할 수 있음.

술특성들과 독립적이라면, 따라서 $K=0$ 인 경우에 N 개의 기술특성 사이에 상호작용이 존재하지 않는 경우로, 이러한 기술적응계는 매우 매끄럽거나 탐색하기 쉬운 구조체계이다. 따라서 서로 부분적 기술적응체계간에 유사성이 매우 높게 나타난다. 즉 매끄러운 지형은 이웃한 형태들 사이에 매우 유사한 지형을 나타낸다. 이는 하나의 특성이 변화하면, 다른 특성의 적응에 대한 기여도는 변화하지 않게 되며, 하나의 특성변화는 전체 적응계의 변화를 단지 $1/N$ 정도만 나타낸다. 이 경우에 만일 기술적응체계를 구성하는 산업기술특성이 $N \rightarrow \infty$ 이면, 전체 기술적응계는 마치 구형처럼 형성될 것을 암시한다.

상기에서 언급한 적응체계는 결과적으로 하나의 최적 점을 갖게 되며, 다른 모든 형태는 부분 최적이지만, 다른 이웃 형태를 통하여 전체 최적 점에 도달할 수 있다. 앞에서 본 기업이론의 예시에서 네 가지 특성은 다른 특성을 고려하지 않고 0 또는 1이라는 가치를 선택함으로써 기업구조의 최적 점에 도달할 수 있다. 따라서 최적 형태의 기업구조는 네 가지 특성의 최대 가치의 조합으로 나타난다. 어떠한 기업이라도 단순히 그들의 구성특성에 대응하는 가치를 변화시킴으로써 전체 기업지형관점에서 최적 점에 도달하게 된다. 역시 다른 예시로 본 SW체계에서도 동일한 결론에 도달한다. 즉 SW관련 기술특성이 서로 독립적이라면, 다른 기술특성을 고려하지 않고도 전체 SW체계를 최적상태로 변화시킬 수 있다.

나. $K=N-1$ 인 경우에 다 극점을 양산하는 기술적응체계

어떤 적응체계에서 특성간에 상호작용을 나타내는 K 는 적응계의 울퉁불퉁한 정도를 나타내는 모수이다. K 의 증가는 적응체계를 매끄럽고 상호연관적인 그리고 하나의 최적 점을 가진 형태로부터 울퉁불퉁하고 다수의 최적 점을 가진 적응체계로 변화시킨다. 서로 상호의존성의 증대는 서로 다른 제한을 체계에 부여하며, 해당 적응체계의 울퉁불퉁함을 증대시킨다.

만일 극단적인 경우로 $K-1=N$ 인 적응체계는 완전하게 서로 상관성을 갖게 되며 각 특성의 적응체계에 대한 기여도는 모든 다른 특성에 의존하게 된다.⁹⁾ 따라서 어떤 형태로부터 시작하여 하나의 특성의 변화는 모든 다른 특성의 적응 기여도를 변화시키게 되어 완전히 새로운 확률적 가치를 갖게 된다. 이웃하는 형태의 적응가치는 다른 새로운 확률 값의 합이며, 원래 형태와 완전히 상관성이 없게 된다.

완전한 비상관성에 더하여 $K=N-1$ 의 적응체계는 매우 많은 국소적 최적 점을 소유하게 된다. 2^N 의 형태를 가지는 경우에 하나의 특성의 변화로 발생하는 기대되는 국소 최적 값은 $2^N/(N+1)$ 이다[Westhoff et al. 1996, p. 9 참조]. 이 경우에 N 이 증가함에 따라서 국소 최적

9) 이 경우에는 어떤 특성이 독립적인 특성을 나타내지 못한다는 관점에서 적응체계를 형성할 때 정보의 가치가 없다고 볼 수 있음.

점의 수는 지수형태로 증대한다. 이러한 매우 많은 국소 최적 점을 가진 지형에 대한 Hill Climbing은 전체 최적 점에 도달할 수 없게 되거나, 자기 함정에 빠지게 된다.

앞에서 언급한 N과 K로 구성된 적응체계에서 특성간에 상호의존성의 증대가 생성하는 어려움에 대한 관점은 전통적 경제학 모형에서도 발견할 수 있다. Matsuyama(1997)은 경제체계를 구성하고 있는 부분 또는 요소들 사이에 강한 상호의존성이 존재할 때, 다 균형점이 형성되며, 다 균형점의 존재로부터 외부의 약한 변화에도 매우 민감하게 반응하는 불안정한 체계를 만든다는 모형을 제시하였다. 따라서 우리는 전통 경제학에서 제시하는 모형과 생물학에 기반을 둔 Kauffman의 NK 모형사이에 밀접하게 연결되어 있음을 알 수 있다.

극단적인 경우로 울퉁불퉁한 구조의 $K = N - 1$ 의 적응지형은 초기 출발점에서 도달할 수 있는 국지적 최적 균형의 수를 제한한다. 가장 최소적 적응에서 시작한다고 해도 접근 가능한 국소 균형점의 기대 가능수의 최대수는 $N^{(\log_2^{N-1})/2}$ 이다[Kauffman, 1993, pp. 47-52 참조]. 이러한 결과와 기대되는 국소적 최적 균형의 수를 조합할 경우에 주어진 출발점에서 도달할 수 있는 국소 최적 균형의 비율의 최대는 N에 따라서 감소한다. Chandler(1990)의 기업조직의 예시나 본 연구에서 언급한 SW산업체계의 예시에서 동일하게 $N = 4$ 에서 기대되는 국소 최적 균형점은 3이며, 이 중에서 최소 적응형태로부터 접근할 수 있는 수는 2이다. 만일 어떤 기술 적응체계를 구성하는 특성의 수가 $N = 8$ 로 두 배가 된다면, 기대되는 국소 최적 균형점은 28이며, 단지 8만이 최소 적응형태로부터 접근이 가능한 균형점이다.

다음 절에서는 앞에서 살펴본 Kauffman의 NK모형의 실증적 분석방법론을 기술하고자 한다. 가장 실증적 문제점은 어떻게 NK모형에서 상호의존성을 결정하는 모수인 K의 수를 결정하는가에 있다. 특히 본연구의 분석대상이 시계열적인 자료일 경우에 상호공통요인을 결정하는 통계적 기법의 적용이 매우 중요하다. 본 연구에서는 최근에 제시된 시간의 차원에서 요인 분석을 적용한 동태적 요인분석방법을 Kauffman의 NK모형에 적용하였다. 다음은 본 연구에서 사용한 분석방법론을 간단하게 설명하였다.

2. 분석방법론

가. 전통적 요인분석모형

주어진 시간 t 에 i 번째 횡단면 단위를 가진 관측치 $X_{i,t}$ 가 존재하면, 다음과 같은 모형을 생각할 수 있다.

$$X_{i,t} = \lambda_i' F_t + \epsilon_{i,t} \tag{1}$$

여기서 F_t 는 공통인자의 벡터이며, λ_i 는 인자적재값(Factor Loading)의 벡터이다. 이 경우에 F_t 와 $\epsilon_{i,t}$ 는 서로 독립적으로 가정된다. 따라서 $\lambda_i' F_t$ 는 $X_{i,t}$ 의 공통요인이라고 부른다. 일반적으로 공통인자, 인자적재값 그리고 측정모형 오류 값은 사전적으로 알 수 없다.

요인분석은 자료차원을 줄이는 통계적 기법이며, 통계적으로 매우 유용한 기법이다. 많은 학문분야에서 상기모형정립수식을 적용할 수 있는 모형이 존재한다. 가장 많이 사용되는 분야로는 최근 발전한 예측모형으로 Stock and Watson(1999)은 물가상승률을 예측하는 연구에서 여러 경제변수들의 공통요인을 적용하였다.¹⁰⁾ 즉 기본적인 분석출발점은 모든 관련 경제변수들의 통계 가능한 작은 공통적 요인들이 물가상승률에 반영된다고 보는 시각으로부터 미래 물가상승률에 대한 예측치를 측정하였다. 따라서 물가예측모형은 다음과 같은 간단한 요인분석모형의 변형으로 볼 수 있다.

$$I_{t+1} = \alpha' F_t + \beta' W_t + \epsilon_t \quad (2)$$

즉 사전적인 물가상승률은 여러 경제변수들의 공통요인과 현재 관측 가능한 경제변수의 합으로 이루어진다. 역시 요인분석은 재무이론에서 적용되고 있다. 자산의 수익은 공통적 수익요인과 설명되지 않은 수익부분으로 이루어진다고 보는 Ross(1976)이론에도 적용되고 있다. 본 연구에서도 요인분석기법을 이용하여 Kauffman의 NK모형을 분석하고, 이 분석결과를 바탕으로 기술정책의 시사점을 찾고자 한다.

그러나 전통적인 요인분석에서 사용하는 요인 수 추정방법은 정확한 요인의 수를 측정하는데 다음과 같은 분석대상인 N 과 T 의 증대에 따른 전통적 요인분석방법론의 문제점이 발생한다. 즉 일반적으로 전통적 요인분석은 분석대상수인 횡단면 N 이 고정되었다는 가정에 기초한다. 따라서 주어진 시간 t 시점에서 다음과 같은 두 요인분석수식에 기초한다.

$$X_t = \Lambda^0 F_t^0 + \epsilon_t \quad (3)$$

$$\Sigma = \Lambda^0 \Lambda^{0'} + \Omega \quad (4)$$

여기서 모집단의 공분산(Σ)의 표본 공분산 행렬은 $\hat{\Sigma} = (1/T) \sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X})(X_t - \bar{X})'$ 이며, Λ^0 은 진정한 인자적재 값의 행렬을 말한다. 또한 Ω 는 요인분석모형에 의하여 설명되지 않은

10) 이 공통요인을 확산지수(Diffusion Index)라고 했음.

부분을 말한다. 그러나 실제로 N 의 증대는 공분산값의 증대를 가져오며, 이러한 공분산값의 증대는 측정 가능한 고유값의 증대를 가져오게 된다(Connor et al., 1993 및 Chamberlain et al., 1983 참조. 이를 정리하면 $N \rightarrow \infty$ 와 $T \rightarrow \infty$ 인 환경에서 전통적 요인분석방법론은 적용이 불가능하다는 데 있다.¹¹⁾

나. 동태적 공통요인분석모형

최근 Bai and Ng(2002)은 $N \rightarrow \infty$ 와 $T \rightarrow \infty$ 인 분석환경에서 상기에서 언급한 전통적 요인 분석의 공통요인 결정에 대한 문제점을 해결하는 통계적 기법을 제공하였다. 먼저 일반화된 가정에서 다음과 같은 요인분석에 관한 공통요인 수 추정의 정리를 제공하였다.¹²⁾

먼저 최초 요인 수는 $k < \min(N, T)$ 로부터 시작한다. 따라서 인자 적재값 λ^k 와 공통요인 F^k 는 다음과 같은 최적화과정에 의하여 구한다.

$$V(k) = \min_{A, F^k} (NT)^{-1} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (X_{i,t} - \lambda_i^k F_t^k)^2 \tag{5}$$

s.t.

$$F^{k'} F^k / T = I_k$$

다음으로 선택된 요인에 따른 인자 적재 값을 다음과 같이 구하게 된다.

$$V(k, F^k) = \min_A \frac{1}{NT} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (X_{i,t} - \lambda_i^k F_t^k)^2 \tag{6}$$

그러나 전통적인 요인분석방법을 적용할 수 없는 문제는 N 과 T 가 증대함으로써 발생하는 비효율성문제점(즉 Overfitting)을 보완하기 위하여 손실함수에 근거한 적정모형선택기준이 필요하다. 이 경우에 적용할 수 있는 손실함수의 형태는 다음과 같이 정리된다.

$$PC(k) = V(k, \widehat{F}^k) + kg(N, T) \tag{7}$$

11) 이 문제점의 근본은 일차적 공분산 Σ 의 측정이 불가능하기 때문이다.

12) 자기상관성과 이분산을 용인하는 가정을 말함.

Bai and Ng(2002)는 일반적으로 많이 적용하는 시계열모형 선택기준인 AIC 또는 BIC보다 다음과 같은 요인선택에 관련한 선택기준을 제시하였다.¹³⁾ 다음 세 가지 요인선택기준은 접근적으로는 동일하지만, 일반적으로 적용하는 유한적 표본에서는 서로 다른 값을 제공한다.

$$ICP1(k) = \ln(V(k, \hat{F}^k)) + k \left(\frac{N+T}{NT} \right) \ln \left(\frac{NT}{N+T} \right) \quad (8)$$

$$ICP2(k) = \ln(V(k, \hat{F}^k)) + k \left(\frac{N+T}{NT} \right) \ln(C_{NT}^2) \quad (9)$$

$$ICP3(k) = \ln(V(k, \hat{F}^k)) + k \left(\frac{N+T}{NT} \right) \left(\frac{\ln(C_{NT}^2)}{C_{NT}^2} \right) \quad (10)$$

여기서 $C_{n,t}^2 = \min\{N, T\}$ 을 말한다.

본 연구에서는 상기에서 기술한 Bai and Ng(2002)방법론에 따라서 공통요인을 결정하여 우리나라 기술 적응계의 지형에 대한 분석을 실시하고, 그 결과에 대한 기술정책적 시사점을 도출하고자 한다.

III. 사용자료 및 분석결과

1. 사용자료 및 기초통계

우리나라 기술생태지형을 분석하기 위한 자료는 1988-2010년까지 10개 산업의 특허출원자료로 특허청(2011)에서 제공하는 지식재산권 통계를 이용하였다. 본 자료의 기초적 통계는 <표 1>에 제시하였다. 우리나라 산업별 기술은 1988년도부터 2010년도까지 많은 기술변동을 보여주고 있다. 가장 큰 기술생태지형의 변동을 보여준 산업은 농업 및 수산업으로 1988년도 132개에서 2010년도 2,486개의 특허출원변동으로 연평균 14%증대를 보였다. 그러나 산업기술 규모의 증대는 전기 및 전자산업으로 1988년도에 8,000개에서 90,528개의 큰 기술생태지형규

13) AIC 또는 BIC기준은 N과 T의 설정에 따라서 비효율성과 비 일치성을 보임[Bai and Ng(2002), p. 202참조].

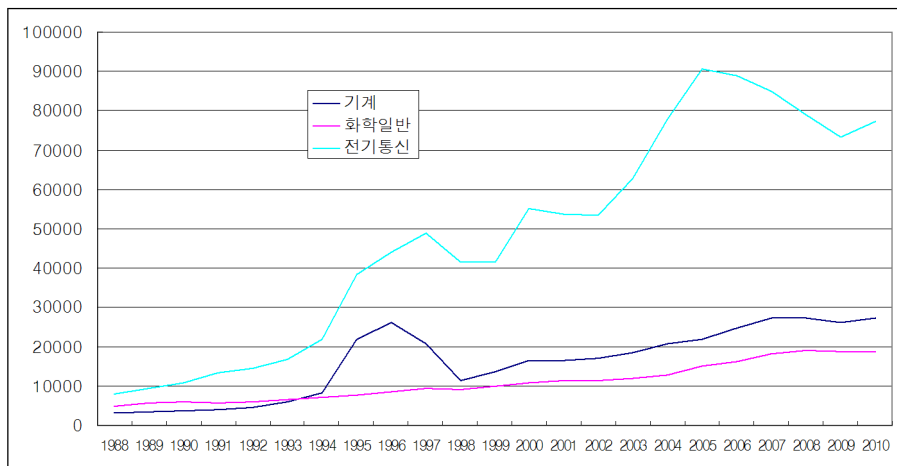
〈표 1〉 우리나라 산업별 기술의 기초통계

산업분야	관측치	평균	표준편차	최소 1988	최대 2010
기계	23	16,108	8,819.7	3,158	27,220
화학일반	23	10,916	4,726.1	4,848	18,985
섬유	23	1,736	738.3	578	2,821
전기통신	23	48,068	27,946.5	8,002	90,528
토목건설	23	3,846	3,545.8	392	10,309
채광금속	23	2,841	1,538.9	779	6,004
음료, 의료, 위생	23	6,708	4,294.1	1,557	14,581
사무용품, 인쇄	23	706	312.1	215	1,210
농림, 수산	23	934	736.9	132	2,486
잡화	23	2,641	2,071.1	387	6,234

모로 증대하였다. 〈표 1〉의 기초통계결과는 우리나라 산업의 기술생태지형의 분석초기인 1988년도에 비하여 많은 변동과 동태적 진화를 경험하고 있음을 보여준다.

(그림 3)은 대표적 몇 개 산업의 특허추이를 시각화한 것이다. 다음 (그림 3)로부터 실증분석에 유의해야 할 사항으로 자료의 비 정상성에 대한 시계열자료의 문제점을 해결하는 방법이다. 본 연구에서는 사전적으로 동태적 요인분석을 실시하기 전에 자료를 비 정상성에서 정상성을 갖는 자료로 전환하여 분석하였다.

다음은 우리나라 산업간에 기술생태지형에 대한 연관성을 보여주는 산업간 기술의 상관관계를 보았다. 〈표 2〉에서 보듯이, 우리나라 10개 산업간에 기술상관관계는 매우 높게 나타나났



(그림 3) 우리나라 대표적 산업의 특허추이

〈표 2〉 우리나라 기술생태지형의 상관성

산업	기계	화학 일반	섬유	전기 전자	토목 건설	채광 금속	음료, 위생	사무 인쇄	농업 수산	잡화
기계	1.00									
화학	0.85	1.00								
섬유	0.86	0.91	1.00							
전기	0.90	0.93	0.96	1.00						
토목	0.81	0.99	0.88	0.91	1.00					
채광	0.85	0.95	0.86	0.89	0.91	1.00				
음료	0.83	0.99	0.91	0.92	0.98	0.96	1.00			
사무	0.83	0.88	0.90	0.92	0.83	0.83	0.86	1.00	-	
농업	0.81	0.99	0.87	0.88	0.98	0.96	0.99	0.82	1.00	-
잡화	0.83	0.99	0.91	0.92	0.99	0.94	0.99	0.86	0.99	1.00

다. 이러한 높은 산업간 기술상관성(즉 최소 0.81에서 최대 0.99)은 기술생태지형에서 공통적 요인이 존재할 수 있음을 보여준다. 그러나 시계열자료에 의한 산업기술간에 상관성측정은 근본적으로 의사적 상관성(Spurious Correlation)문제점이 존재하기 때문에 산업기술간에 높은 상관성이 공통요인의 존재에 대한 확정적 결론에 필요충분하다고 볼 수 없다.

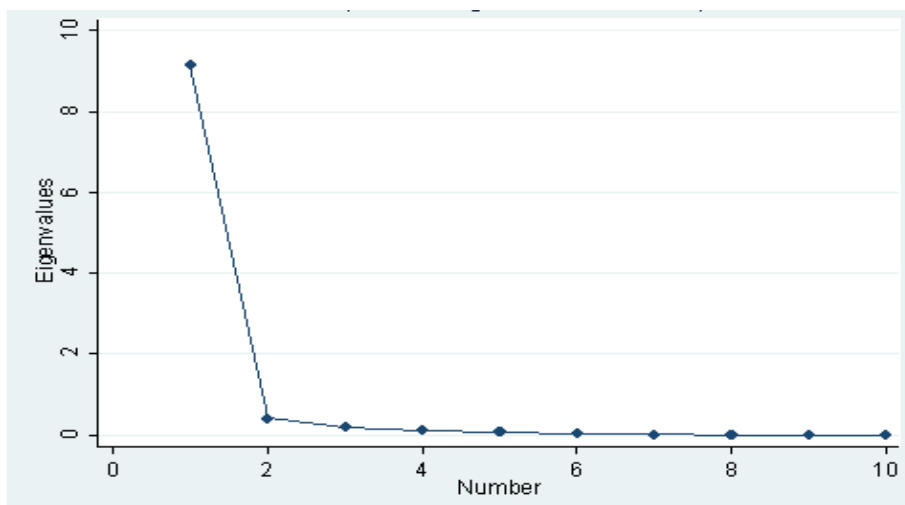
2. 분석결과

전통적으로 여러 변수로 이루어진 자료를 공통적 요인을 적출함으로써 독립적인 변수만으로 축소하는 통계적 기법이 요인분석(Factor Analysis)이다. 본 연구에서 추구하는 분석목적인 N 개의 산업에서 몇 개의 공통요인 즉 K에 의하여 기술생태지형이 변화하는 지에 대한 분석은 주성분 요인분석에 따라서 행해질 수 있다. 〈표 3〉은 전통적인 주성분 요인분석결과를 나타낸 것이다. 〈표 3〉의 결과에 따르면, 전체 기술생태지형의 분산을 1개의 요인이 91%정도 설명하고 있다. 주성분요인분석에 의한 경우에 고유 값 1이 넘는 요인의 수는 1개로 나타났다. 따라서 우리나라 기술생태지형의 변화를 결정짓는 주성분요인은 1개로 볼 수 있다. 간단하게 주성분 요인의 수를 결정하는 방법에 대한 설명은 Timm(2002) 참조.

그러나 앞 장에서 설명했듯이, 본 연구대상인 기술생태지형을 설명하는 자료형태는 전통적이고, 고전적인 요인분석방법에 의한 주성분요인 수에 대한 결정에 문제점을 가지고 있다. 즉 본 연구에서는 시계열적 특성인 T와 횡단면적 자료특성인 N이 지속적으로 증대하는 자료구조를 가지고 있다. 본 연구에서 사용하는 분석 자료와 같은 형태인 경우(즉 $N \rightarrow \infty, T \rightarrow \infty$ 인 경

〈표 3〉 기술생태에 대한 주성분 요인분석결과

요인	고유 값	차이	비중	누적비중
1	9.17326	8.7702	0.9173	0.9173
2	0.403064	0.213324	0.0403	0.9576
3	0.18974	0.0791	0.019	0.9766
4	0.11064	0.035671	0.0111	0.9877
5	0.074969	0.038918	0.0075	0.9952
6	0.036051	0.029949	0.0036	0.9988
7	0.006102	0.002547	0.0006	0.9994
8	0.003555	0.001786	0.0004	0.9997
9	0.001769	0.00092	0.0002	0.9999
10	0.00085	.	0.0001	1



(그림 4) 주성분 요인분석에 따른 고유 값 Scree Plot

우)에 고유 값이 증대하는 경향이 존재하므로 주성분요인의 수를 결정하는 데 필요한 기준이 일반적인 주성분요인분석결정기준과 달라진다.¹⁴⁾

앞 장에서 본 바와 같이 본 연구에서는 Bai and Ng(2002)이 제시한 주성분요인선택기준에 따라서 주성분요인 수를 결정하였다. 먼저 Bai and Ng(2002, p. 201)가 제시한 패널자료기준인 PC기준으로 측정하였다.¹⁵⁾ 분석결과는 〈표 4〉에 제시하였다. 분석결과에 따른 경우에 우

14) 특히 다음에 알 수 있듯이 9개의 공통요인수의 추정은 1개의 주성분 요인수가 존재함을 보여줌. 전통적 요인분석과 동태적 요인분석의 차이점은 시간변수를 포함하는 자료에 전통적 요인분석방법을 적용할 경우에 요인수를 추정하는 데 과도한 요인수를 추정하게 됨.

〈표 4〉 PC 기준에 따른 추정된 공통요인 수 분석결과

공통요인 수	PC1	PC2	PC3
0	0.9565	0.9565	0.9565
1	83.3400	98.8300	0.1797
2	52.6700	62.4600	0.1101
3	18.9300	22.4400	0.0432
4	6.4020	7.5910	0.0169
5	1.9500	2.3120	0.0064
6	0.4337	0.5141	0.0021
7	0.1209	0.1433	0.0009
8	0.0094	0.0111	0.0002
9	0.0008	0.0009	0.0001
추정 공통요인 수	9	9	9

리나라 기술생태지형을 결정하는 공통요인은 9개로 나타났다. 즉 주성분 요인수는 1개로 나타났다.¹⁶⁾ 그러나 본 PC기준에 의한 문제점은 첫째 본 자료형태에서 일반적으로 모형선택기준으로 사용하는 AIC 또는 BIC는 공통요인 수를 추정하는 데 일치적 속성을 나타내지 않는다 [Rapach et al. 2010참조].¹⁷⁾ 둘째, 추정분산 $\hat{\sigma}^2$ 이 사용되는 문제점이 존재한다.¹⁸⁾

앞 장에서 언급했듯이, Bai and Ng(2002, p.21)은 보다 일반적인 조건에서 일치적 추정을 보여주는 모형선택기준으로 몇 가지 ICP를 제안하였으며, 요인선택모형기준을 선택하는 시물레이션을 통하여 진정한 공통요인 수(즉 주성분요인 수)를 추정하는 데 ICP3가 가장 적합함을 보였다. 〈표 5〉의 ICP분석결과에 따를 경우에 우리나라 기술생태지형을 결정하는 공통요인은 역시 9개로 나타났다.

〈표 4〉와 〈표 5〉의 분석으로부터 우리는 다음과 같은 우리나라 기술생태지형에 대한 결론을 제시할 수 있다. 첫째, 우리나라 10개 산업의 기술생태지형을 결정하는 상호관계 K는 9개로 나타났다. 이러한 분석결과는 $K = N - 1$ 의 기술생태지형 구조를 가지고 있음을 알 수 있다. 둘째, Kauffman NK모형에 따른 우리나라 기술생태지형은 $K=N-1$ 인 경우에 다 극점을 양산하는 적응계로 매우 울퉁불퉁한 기술생태지형을 가지고 있다고 볼 수 있다. 따라서 앞 장에서 살

15) PC1, PC2, PC3은 ICP1, ICP2, ICP3과 동일하게 수식 (7)을 변형한 것임.

16) 전통적 주성분요인과 Bai and Ng(2002)가 사용한 공통요인과의 연관관계를 주의 깊게 고려할 것을 제안한 심사자에게 감사드립니다.

17) PCP기준은 AIC 또는 BIC의 패널형태의 연차기준으로 볼 수 있음.

18) 본 논문 심사위원은 AIC 및 BIC기준에 의한 공통요인검증을 요구하였으나, Bai and Ng(2002, pp. 203-204)에서 Simulation결과 ICP기준이 가장 우월한 것으로 나타남.

〈표 5〉 Bai and Ng의 ICP기준에 따른 추정된 공통요인 수 분석결과

공통요인 수	ICP1	ICP2	ICP3
0	-0.04445	-0.04445	-0.04445
1	-2.726	-2.674	-2.774
2	-3.023	-2.92	-3.12
3	-3.459	-3.304	-3.604
4	-3.867	-3.659	-4.06
5	-4.294	-4.035	-4.536
6	-4.859	-4.548	-5.149
7	-5.298	-4.935	-5.636
8	-6.372	-5.958	-6.759
9	-7.404	-6.937	-7.838
추정 공통요인 수	9	9	9
추정 주성분요인 수	1	1	1

퍼본 바와 같이 우리나라의 경우에 기술 또는 산업의 수 N 이 증가함에 따라서 국소 최적 균형 점의 수는 지수적으로 증대할 수 있음을 보여준다. 즉 이러한 매우 많은 국소 최적 균형점을 가진 지형에 대한 Hill Climbing은 전체 최적 점에 도달할 수 없게 되거나, 매우 복잡한 기술 생태지형의 체계를 갖게 된다.

IV. 결론 및 시사점

본 연구는 우리나라 기술생태지형의 형태와 특성을 실증적으로 분석함으로써, 그 진화방향과 발전에 대한 시사점을 탐구하고자 실시하였다. 최근 많은 유기체적 접근방식 또는 생태계적 접근방식을 따르는 학문적 관심과 분석모형의 발전 속도를 고려할 때, 본 연구목적과 적용대상은 매우 중요하고, 흥미로운 연구주제로 볼 수 있다.

본 연구에서 실시한 실증적 분석결과 다음과 같이 요약할 수 있다. 먼저 우리나라 10개 산업의 기술생태지형을 결정하는 상호관계 K 는 9개로 나타났다. 이러한 주성분요인분석결과는 $K = N - 1$ 의 기술생태지형 구조를 가지고 있음을 보여준다. 둘째, Kauffman NK모형에 따른 우리나라 기술생태지형은 $K=N-1$ 인 경우로 다 극점을 존재하는 적응체계로 매우 울퉁불퉁한 기술생태지형을 가지고 있다고 볼 수 있다. 따라서 우리나라의 기술생태계경우에 기술 또는 산업의 수 N 이 증가함에 따라서 국소 최적 점의 수는 매우 빠르게 증대할 수 있다. 이러한 매우

많은 국소 최적 점을 가진 기술생태지형에서 기술탐색과정은 전체 최적 기술조합 또는 기술개발에 효율적으로 도달하기 어려우며, 역시 기술생태지형은 매우 복잡한 진화 및 발전체계를 갖고 있음을 의미한다. 본 연구결과의 기술 정책적 시사점은 우리나라 산업간 그리고 기술간에 보다 상호연관성을 높임으로써, 기술생태지형을 완만하고 매끄럽게 조성할 필요성이 제기된다.

본 연구의 분석한계와 확장방향에 대하여 기술하고자 한다. 먼저 진화론적 관점에서 Kauffman NK모형을 실증적으로 분석하고자 노력하였으나, 다른 중요한 Kauffman NK모형인 공진화관점의 기술생태계분석을 실시하지 못하였다. 이 분석 한계는 Kauffman NK모형인 공진화에 적용할 실증분석의 방법론을 해결하지 못하였다. 둘째, 우리나라 기술생태계에 대한 자료를 확장하는 부분으로 본 연구의 10부분모형보다는 더 많은 기술부분의 확장이 필요하며, 거시적인 산업대상에서 보다 미시적인 기업대상의 기술생태지형연구가 필요하다. 마지막으로 분석 기간동안에 우리나라 산업구조변화가 발생했을 개연성이 존재함에도 불구하고, 지속적으로 동일한 상호연관성이 발견될 수 있는 지에 대한 보다 깊은 연구가 필요하다.¹⁹⁾ 복잡한 현상인 기술혁신과 기술개발의 이해를 위하여 상호연관관계를 분석할 수 있는 구조적 접근방법이 요구되며, 보다 가상실험을 포함하는 계산방법의 개발과 적용이 요구된다.

참고문헌

- 조상섭 (2012), “융합기술환경에서 먹법칙과 과학기술정책체계분석,” 『기술혁신학회지』, 15권, pp. 28-46.
- Bai and Ng. (2002), “Determining the Number of Factors in Approximate Factor Models”, *Econometrica*, Vol. 70, pp. 191-221.
- Buchanan M. (2007), *The Social Atom*, Bloomsbury Press.
- Chandler, A. (1990), *Scale and Scope: The Dynamic Industrial Capitalism*, Harvard University Press.
- Chamberlain, G and M. Rothschild (1983), “Arbitrage, Factor Structure and Mean-Variance Analysis in Large Asset Market”, *Econometrica*, Vol. 51, pp. 1305-1324.
- Connor, G. and R. Koraizcyk (1993), “A Test for the Number of Factors in an Approximate Factor Model”, *Journal of Finance*, Vol. 48, pp. 1263-1291.

19) 이에 대해서 분석 자료를 어떤 변화기점(예 1998년으로 외환위기)을 중심으로 전후기비교분석이 필요할 것이라는 지적에 실제 분리하여 분석한 결과는 차이점을 발견할 수 없었음.

- Dawkins, R. (1976), *The Selfish Gene*, Oxford University Press.
- Fleming, L. and O. Sorenson (2001), "Technology as a Complex Adaptive System: Evidence from Patent Data", *Research Policy*, Vol. 30, pp. 1019-1039.
- Frenken, K. (2006), "Technological Innovation and Complexity Theory", *Econ. Innov. New Techn.*, vol. 15, pp. 137-155.
- Kauffman, S. (1993), *The Origins of Order*, Oxford University Press.
- Krugman, P. (1996), *The Self-Organizing Economy*, Blackwell.
- Lobo, Miller and Fontana (2004), *Neutrality in Technological Landscapes*, Working Paper, Santa Fe Institute.
- Matsuyama, K. (1997), "Complementarity, Instability, and Multiplicity", *Japanese Economic Review*, Vol. 48, p. 240-266.
- Rapach and Strauss (2010), "Bagging or Combining? An Analysis Based on Forecasting U.S. Employment Growth", *Econometric Review*, Vol. 29, pp. 511-533.
- Ross, S. (1976), "The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing", *Journal of Finance*, Vol. 13, pp. 341-360.
- Schelling, T. (1978), *Micromotives and Macrobehavior*, New York: W. W. Norton.
- Stock, J. and M. Watson (1999), "Forecasting Inflation", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 44, pp. 293-335.
- Timm, N. (2003), *Applied Multivariate Analysis*, Springer.
- Watson and D. Amengual (2007), "Consistent Estimation of the Number of Dynamic Factors in a Large N And T Panel", *Journal of Business and Economic Statistics*.
- Westhoff, Yarbrough and Yarbrough (1996), "Complexity, Organization and Stuart Kauffman's The Origins of Order", *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 29, pp. 1-25.

조상섭

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