

복잡계 상황에서의 새로운 과학기술정보인프라구축의 틀 모색

New Approach to the Framework for Making the S&T Information Infrastructure in Complex System

원동규, 서지현

한국과학기술정보연구원(기술정보분석팀)

DONG KYU WON, JEE HYUN SUH

Korea Institute of Science and Technology
Information

요약

오늘날 국가연구개발사업 및 국가과학기술정책에서 당면하고 있는 최대의 관건은 불확실한 기술개발환경을 어떻게 극복할 것인가의 문제가 될 것이다. 우리를 둘러싼 사회경제 환경은 한 마디로 질서와 무질서가 병존하는 제한적 불확실성 상황(복잡계)이며 기술개발환경은 더욱 복잡한 상황이다. 따라서 이러한 복잡계 상황에서 창조적 기술개발의 실천적 관점을 관철하기 위해서는 기존 선형적이고 정태적인 국가과학기술정보 인프라구축에서 벗어나 '모방에서 창조로의 전환', '기술혁신의 자기조직화(self-organization)', '동태적 능력(dynamic capability)의 확보'라는 새로운 비전을 제시하기 위한 새로운 '복잡계 과학기술정보인프라구축의 프레임 워크' 구축으로 새로운 패러다임 전환이 필요하다. 이러한 패러다임 전환을 통하여 불확실성 하에서 태동하는 질서를 간파하고 새로운 질서를 만들어가는 자기조직화가 가능한 과학기술 정보인프라는 기존의 정보공유중심에서 정보공명이 중심이 되는 인프라 구축이 되어야 할 것이다. 따라서 새로운 Web 3.0은 이러한 정보공명이 가능한 상태 즉, 피드백이 가능한 맞춤형 분석 정보 지원체계가 될 것으로 예상된다. 이를 통하여 개개인이 갖고 있는 지식, 자기조직화된-노하우가 공유됨으로써 서로 간에 공진화(co-evolution)가 발생할 수 있는 국가 차원의 새로운 과학기술정보 인프라 구축의 정책적 진화가 이루어질 것이다.

Abstract

Today, the most pivotal issue in the national research and development, and national scientific and technical policy is to overcome uncertainties in the environment of technology development. The social and economic environment around us is at restricted uncertainty (complex system) where order and disorder coexist. Furthermore, the environment of technology development is more complicated. In order to bring about creativity in practices of technology development, we need a paradigm shift towards a new framework for the construction of the national scientific and technical information infrastructure, which entails a shift to creativity, self-organization and dynamic capability. The paradigm shift will lead the present scientific and technical information infrastructure which centers on information sharing, to move towards one that enables information coherence through self-organization. Thus, it is expected that the new Web 3.0 will provide a client-flexible analysis information system that will make information coherence and feedback possible. Through this system, the policy for the construction of a new scientific and technical infrastructure will evolve, which will bring about co-evolution of individual's knowledge through sharing of self-organizaed know-how.

I. 불확실성과 정보생태계

1. 복잡계와 과학기술정보환경

지식 기반 사회란 무엇인가? 쉽게 말해서 지식 기반 사회는 지식이 부가 가치를 창출하는 사회이다. 지식을 어떻게 활용하고 구조화 체계화 하여 어떻게 유통 시킬 것인가가 관건이 되고 있다. 이미 우리 사회는 제 3의 거대한 물결에 휩싸여 있다. 바로 지식 기반 사회의 도래이다.

세상을 시스템적인 관점으로 보는 사람들은 물질생태계가 평형-비평형-무질서-(끌개)-혼돈의 단계로 변화한다고 한다.

이는 요즘 유행하는 복잡계의 이론적 기반을 제공하고 있다. 정보의 관점에서든 마찬가지이다. 정보생태계를 전술한 시스템의 발전단계와 대응해보면 과학적 논리에 기반을 둔과학은 물질의 평형단계에 대응한다고 할 수 있고, 시장과 제품에 기반한 기술은 비평형 단계에 속한다고 할 수 있다. 특히 이러한 수많은 정보들이 인터넷 망을 통하여 전 세계로 퍼져 나가는 정보의 세계는 무질서 그 자체라고 할 수 있다. 이러한 의미에서 현재의 과학기술정보 유통체계는 혼돈의 단계에 있다고 할 수 있다.

하지만 혼돈 상태의 정보생태계를 혼돈에서 지체로 가게 하

는 가교역할을 하는 끝개¹⁾의 역할을 하는 정보세계의 질서가 있으니 그것이 지식의 구조화이다.

2. 지식구조화와 복잡계

지식구조화는 일반적으로 자기 전문영역뿐 아니라 학문 전체를 조망해 볼 수 있는 방법론이라는 의미로 교육학에서 처음 출발하였다. 이는 특정 문제에 대해 한 가지 답이 아닌 종합적인 해결책을 지원할 수 있다는 측면에서 기존의 문제와 해답의 1 : 1 대응식 정보제공과는 차이점을 갖는다. 특히 사회문제가 다양한 체제간 혼합하여 발생하고 있고, 기술개발 역시 융복합기술 등 다양한 분야간 혼합되어 진전되고 있는 현 사회 흐름과도 무관하지 않다.

따라서 일상화된 환경(단순계)에서 행위자는 처방전(recipes)을 사용할 수 있지만 불확실성이 커지면 청사진(blueprint)에 기초한 문제해결 반응이 필요하며, 지식구조화는 지식관점의 청사진이라고 할 수 있다.

II. 복잡적시스템과 새로운 과학기술정보인프라

1. 연구개발환경의 새로운 패러다임

현재의 연구개발 환경은 크게 3가지 키워드로 요약 할 수 있다고 한다[1]. 첫 번째, ‘모방에서 창조로의 전환’이다. 이는 첨단기술개발 경쟁을 이겨나갈 수 있는 독창적 기술을 확보하기 위한 창조적 기술혁신을 대폭 확대해야 한다는 것을 의미한다. 두 번째, ‘기술혁신의 자기조직화(self-organization)’이다. 이는 기술혁신의 중심축인 과학기술인프라가 다양한 기술적 아이디어를 자생적으로 창출할 수 있는 인센티브를 강화하기 위해서 기술혁신 친화적인 체제를 구축해야 한다는 것을 의미한다. 세 번째, ‘동태적 능력(dynamic capability)의 확보’이다. 이는 기존 정태적인 과학기술정보유통체제만으로는 급변하는 기술혁신 환경의 동태성과 다양성에 대응하기 어렵기 때문에, 내부의 기술자원과 외부의 기술자원을 결합시킬 수 있는 기술통합(technology integration) 등 환경 변화에 탄력적으로 대응하는 능력을 확보해야 함을 의미한다.

이러한 새로운 과학기술 패러다임의 변화의 속성은 다분히 복잡계적인 사고를 기반으로 한다. 이러한 불확실성 속에서 태동하는 질서를 간파하고 새로운 질서를 만들어가는 것이 복잡계에서의 생존방식이며, 이는 정보생태계에서도 마찬가지이다.

일반적으로 복잡계(complex system)의 핵심은 복잡한 것을, 단순한 것으로 분해하지 않고 복잡한 그대로로 파악하는

것을 의미하며, 세계를 구조가 아닌 프로세스로 본다. 또한 지금까지 근대과학이 세계를 거대한 기계로 파악했다면, 복잡계적인 관점에서는 세계를 웅대한 생명체로 바라보는 입장이다. 따라서 복잡계에서는 구조자체보다는 구조의 하층에 존재하는 운동의 다이내믹한 프로세스에 관심을 갖는다.

2. 복잡적응시스템

어떤 시스템을 복잡계라고 부를 수 있는 경우는 다음 두 가지 현상이 관찰될 때이다. 첫째, 상호 작용하는 수많은 요소로 구성되어 있어야 한다. 이는 시스템에 피드백 메커니즘이 존재함을 말한다²⁾. 둘째, 무언가 기존과는 전혀 다른 새로운 현상이 나타난다는 창발적 특성(emergent properties)을 갖는 것이다. 여기서 창발적 특성이란 뚜렷이 관찰될 수 있고 실증적으로 규명할 수 있는 전체적 패턴을 말한다.

따라서 이 세계를 복잡하지만 상호작용적 적응(공진화)³⁾의 과정을 통해 무언가 새로운 질서를 만들어 낼 수 있는 세상으로 보는 관점에서 ‘복잡적응계’라고 칭한다. 이러한 복잡 적응계는 다수의 행위자가 자율성을 갖고 상호작용하고 학습하고 진화함으로써 특정한 구조와 규칙을 만들어갈 뿐 아니라 외부 환경이나 다른 복잡계와 상호작용을 하며 진화해 가는 시스템을 의미하며, 일반적으로 인체의 신경계, 경제시스템, 도시나 지역사회와 같은 시스템들이 대표적인 예가 될 것이다[2].

3. 복잡적응시스템과 Web 3.0

복잡적응시스템은 혼돈에서 새로운 질서형성의 전이지대(edge of chaos)⁴⁾로 진화하며, 여기서 선택적 이익의 제공을 통한 크고 작은 공진화적 변화는 승자독식 함수(power law)⁵⁾의 형태로 진화된다.

특히 인터넷의 활용은 정보생태계를 복잡적응계의 조건 환경으로 더욱 그럴 듯하게 만들어 가고 있는데, 예를 들면 Web 1.0(네트워크의 연계)에서 Web 2.0(수요자 참여형 네트워크)의 진전을 통해서, 이제는 새로운 방향전환 즉 새로운 질서형성의 전이 지대(Web 3.0)로 가고 있는 추세이다. 즉 Web 3.0의 정체를 파악하는 것이 새로운 과학기술정보인프라 구축의 관건이 될 것이다.

전술한 바와 같이 복잡 적응계는 다수의 행위자가 자율성을

1) 동역학계의 운동을 시간에 따라 변하는 궤도로 나타낼 수 있는데(혼돈), 이 궤도가 시간의 흐름에 따라 일정한 모양(질서)을 갖는데, 그것을 끌개(attractor)라고 한다

2) 피드백은 시스템의 동학에 비선형성을 만드는 기제이다.

3) 서로 대응하며 진화한다는 의미로 ‘공진화(co-evolution)’라고 한다.

4) 혼돈의 가장자리(edge of chaos)는 변화하는 환경에 적응하며 진화해가는 생명체들의 원리를 탐구해보니 이들은 안정된 균형상태도 아니고 무질서한 혼돈상태도 아닌 중간상태에 있을 때 보다 잘 적응한다는 것이다.

5) 수학에서는 ‘베키의 법칙(Becky's law)’이라고 부르는데 일반적으로 ‘멱함수(power law)’라는 말을 더 많이 쓴다. 순위와 빈도수의 관계가 역지수 함수 형태의 분포를 보인다는 것을 의미한다. 이러한 현상은 사회와 자연의 곳곳에서 많은 사례들을 볼 수 있다. (웹페이지에 접속빈도, 검색엔진 검색어 빈도, 도시와 인구, 인터넷 트래픽 등)

갖고 상호작용하고 학습하고 진화함으로써 특정한 구조와 규칙을 만들어가는 특성을 가지고 있다. 즉 복잡적응계의 가장 큰 특성은 학습에 있으며, 그러한 성과의 진화가 바로 복잡적응시스템인 것이다. 그리고 이러한 학습의 성과를 학습성이라고 한다. 즉 학습은 지식과 지혜를 얻기 위한 과정이며, 이것이 사회의 업(業)과 결합이 되어 새로운 지식과 지혜가 생성된다.

이러한 학습의 생산성은 지식 구조화의 여부에 달렸다. 지식의 구조화(OBS: Object Breakdown Structure)가 된 사람과 그렇지 않은 사람의 학습성은 차이가 난다. 학습성의 차이만큼 지식 구조화는 그만큼 가치를 지니고 있는 것이다. 과학기술의 지식구조화는 표 계산 프로그램에 의한 시트와 같은 모습을 띄게 된다. X축에는 사회와 현업의 구조를, Y축에는 과학기술 구조를 구축한다. 이러한 X축과 Y축이 서로 만나는 모든 셀이 대안 또는 아이디어가 된다. 모든 셀이 타당성을 지니지는 못하나, 폭넓은 대안들을 제공해 준다. 대안들 중 가장 타당한 것을 솔루션으로 채택할 수 있다. 결국 좋은 솔루션이 선택되기 위해서는 많은 셀이 가동해야 하며 또 많은 셀이 가동하기 위해서는 X축과 Y축이 비슷하게 균형 있게 구조화되어 있어야 한다.

	flux	Percept.		costs
	flux	influence	influence	
		Inform.	Inform.	influence
	action		Inform.	influence
외부환경	transport	habitat		Costs

▶▶ 그림 1. 지식구조화의 구체화 예

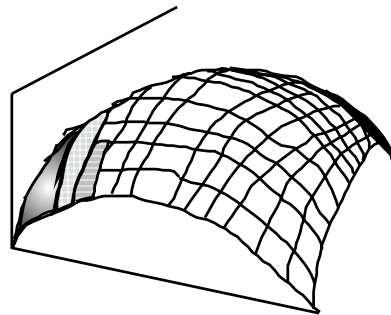
이러한 구조화 틀은 정보간 상호 작용하는 서로 다른 개체들로 구성되어 외부(수요자)의 기대와 요구에 부응하기 위해 자신들을 끊임없이 적응시켜가는 또 하나의 복잡적응계이다.

일반적으로 전통적 의사결정이론에서는 의사결정이 환경에 대한 객관적 이해를 바탕으로 한 합리적 선택에 의해 결정된다고 보아왔지만, 복잡적응계에서의 관점에서는 환경에 대한 객관적 이해나 합리적 선택을 부정하는 입장에 있다고 할 수 있다. 즉 불확실성 하에서의 의사결정은 즉, 하위의 복잡 적응계가 어떻게 상위의 복잡적응계와 동태적으로 공명(共鳴; coherence)⁶⁾하게 할 것인가에 답함으로써 가능하다고 할 수

6) 프리고진에 의하면 평형상태에서 분자는 이웃 분자만을 보고 있지만 비평형 상태에서는 분자는 계 전체 의 분자를 보고 있다. 그리고 비평형 상태에서 이들 분자가 공명(상호간섭)을 일으킬 때 자기조직화가 일어난다[5].

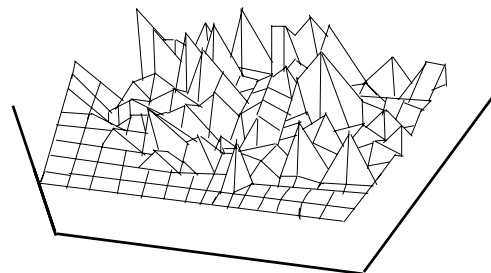
있다.

이렇듯 정보소스의 원천간의 관계를 모두를 중첩된 복잡적응계로 간주하는 관점에서 정보를 통한 의사결정지원의 기본적 틀은 카푸만(Kaffman, S.A)의 적합도 지형에서 찾을 수 있다[3]. 적합도 지형의 변화는 선택할 수 있는 정보의 수(N)와 정보간의 상호 의존성의 정도(K)의 조합에 따라 달라진다. 일반적으로 적합도 지형은 선택된 N개의 정보가 낳는 성과들을 보여주는 것으로, K값이 낮은 즉 정보간의 상호작용이 미미하다면 N개 정보를 통한 의사결정의 성과에 미치는 영향이 상대적으로 적어진 적합도 지형의 형태가 바로 하나의 정점(최적해)를 갖고 있는 지형으로 지속적인 정보검색을 통해 이상적인 최적해를 찾는 구조가 될 것이다[4]. 이러한 형태의 정보유통구조가 기존의 망라적 정보수집 및 서비스 체제이다.



▶▶ 그림 2. 정보간의 상호작용이 미미할 경우의 적합도 지형

한편 K값이 높은 경우에는 N개 정보에서의 사소한 변화가 의사결정을 통한 전반적 성과에 큰 변화를 초래하는 경우이다. 이러한 정보간에 상당한 상호작용이 존재할 때 수많은 국지적 정점이 존재해 울퉁불퉁한 지형을 형성하며, 수많은 차선의 해법이 존재하며, 수요자는 최적의 정보를 탐색하려고보다는 유연성을 가지고 차선의 대안을 통해 환경에 적응해 간다. 그리고 이러한 정보유통체제의 설계가 새로운 정보유통구조 설계의 핵심이 될 것이다. 즉 관련된 정보(연관도가 높은 정보)를 분석하여 서비스 하는 체제이다.

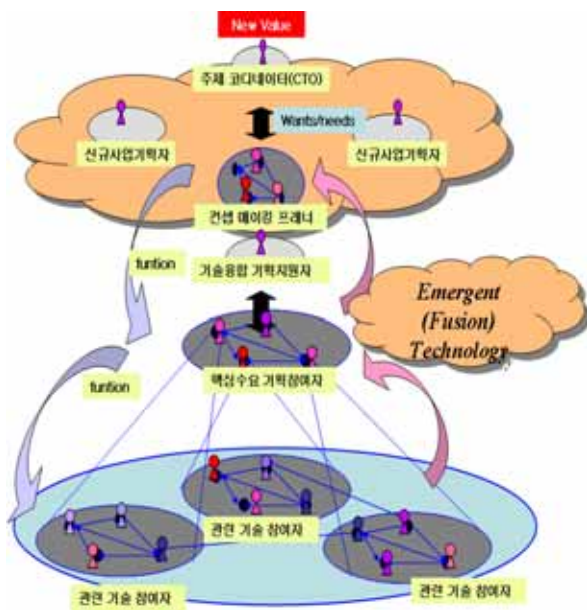


▶▶ 그림 3. 정보간의 상호작용이 높을 경우의 적합도 지형

일반적으로 복잡적응계는 사소한 변화에 극히 민감하며 구성 개체들의 상호작용에 비선형성이 존재하기에 커다란 변화

를 만들어낼 잠재성이 있는 사소한 변화의 단초인 약신호(weak signals)를 조기에 찾아내야 할 것이다. 이러한 측면에서 새로운 과학기술정보유통체계는 이러한 약신호를 어떻게 감지 해 낼 것인가에 대해서도 충분한 논의가 필요하다[7].

또한 복잡적응계에서 새로운 지식과 기술개발을 위해서는 지식창조 주체들 간에 생산적인 대화를 나눌 수 있는 인적 네트워크(People Network) 즉, 지식창조 주체들 간의 호혜적인 상호작용을 통해 만들어진 아이디어, 정보, 영감을 공유하는 지식 네트워크(Knowledge Network)의 구축이 필요하다. 즉 창조적 아이디어와 원천기술 개발은 한 마디로 지식생태계를 구성하는 요소들 간의 창발적 상호작용을 통해서 자기조직적으로 창조되므로 이러한 지식생태계를 어떻게 탄생시키느냐가 핵심적인 관건이 될 것이다. 이러한 논의를 배경으로 실제로 융합기술개발에 이러한 아이디어를 활용하기도 한다(그림 4. 참조).



▶▶ 그림 4. 융합기술아이디어 발굴 개념도(일본)

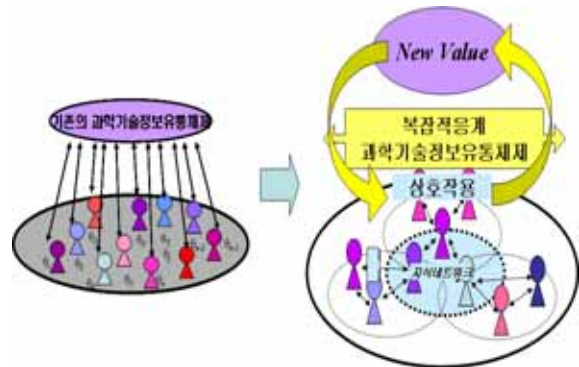
※ 참조: 일본 경제산업성 연구개발과(2006.6), "기술로드 매핑을 활용한 타분야 기술융합 촉진 심의 매뉴얼(Covergence- Plan)"을 참조하여 재작성[6]

이 복잡계와 매우 유사한 특징을 가지고 있기 때문이다. 특히 적응적 복잡계의 개념은 인터넷을 활용한 정보의 홍수라고 표현되는 현재의 정보유통체계의 새로운 변화의 방향을 제시해 준다고 할 수 있다.

현재의 과학기술연구 및 연구개발환경은 시간의 흐름에 따라 빠르게 변화하며, 기업·산업·기술 간의 관계와 소통이 어우러진 세상이다. 이러한 복잡계 상황에서는 정보화 정책은 정보의 수요공급체계가 스스로 질서를 창출하고, 스스로 바람직한 상태를 찾아갈 수 있도록 조건을 마련하는 것이 되어야 할 것이다. 즉, 향후 우리나라 정보화 정책과 전략은 정보유통체계를 구성하는 개별 요소와 결과에 초점을 맞추기 보다는 관계와 과정에 초점을 맞추어야 할 것이다.

즉 기존의 정보유통의 개념이 정보공유의 개념이었다면, 향후의 정보유통은 어떤 식으로 정보공명이 가능해질 것인가에 초점이 맞추어져야 할 것이다. 현재 전 세계의 대부분의 정보센터에서는 정보공유의 개념에서 상담 및 자문 혹은 컨설팅의 영역으로 새로운 역할 정립을 시도하고 있으며, 시스템을 이용한 연구협업체계의 구축도 중요한 이슈를 이루고 있는 것이 사실이다[7].

이를 복잡계 개념으로 기술하면 정보공유는 무질서 단계로 정보공명은 끝개의 개념으로 표현 가능할 것 같다. 따라서 새로운 Web 3.0은 이러한 정보공명이 가능한 상태 즉 피드백이 가능한 맞춤형 분석 정보 지원체계의 개념으로 이해된다[9].



▶▶ 그림 5. 새로운 과학기술정보유통체계의 개념도

III. 결론 및 정책적 제언

우리가 복잡계에 주목하는 이유는 현실세계의 기술개발환경

즉 향후 과학기술 정보인프라 구축의 방향은 경쟁력있는 전문정보를, 문제가 발생한 다양한 현장 맥락에 따라 적용가능하도록 변형하여 문제 해결이 가능하도록 지원해야 할 것이며, 개개인이 갖고 있는 지식, 자기 조직화된-노하우를 공유함으

7) 주요 국가들은 자체적인 기술동향 모니터링 시스템을 구축·운영 중에 있다.

- 영국 Global Watch Online
- 미국 Eureka Alert/Nature News
- 프랑스 ADIT
- 유럽연합 EU CORDIS (dbs.cordis.lu/news/en)
- 일본 Newtonpress
- 중국 중국과학원(science.com.cn)

8) 영국의 무역산업부(DTI) 과학혁신청(OSI)의 e-Infrastructure 실무 그룹은

『과학 혁신을 위한 영국의 e-Infrastructure 개발』 보고서를 발간('07. 2. 8) 하고 e-Science 중심의 과학기술협업인프라 구축에 박차를 가하고 있으며, 미국의 경우는 Cyber Infrastructure 구축이라는 개념으로 추진되고 있다.

9) 이것은 형태측면에서는 기존의 포털 서비스 체제 중 네이버의 지식인 서비스가 가장 유사하다고 할 수 있다.

로써 서로 간에 공진화(co-evolution)가 발생하여 국가차원의 새로운 자산 (capital)으로 만들어 가야 할 것이다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 국가과학기술자문회의, 21세기 새로운 과학기술정책의 틀 모색, 2000.4
- [2] 윤영수·채승병, 복잡계 개론, 삼성경제연구소, 2005.
- [3] Kaffman, S.A, and Macrendy, W. (1995), " Technological Evolution and Adaptive Organization", Compexity, Vol.1, No.2, pp.26-43.
- [4] 최희갑, 불확실성을 경영하라, 삼성경제연구소, 2006
- [5] 다사카 히로시(주명갑 역), 복잡계 경영, 매일경제신문사, 1997, p.71
- [6] 일본 경제산업성 연구개발과, "기술로드 매핑을 활용한 다분야 기술융합 촉진 심의 매뉴얼(Covergence- Plan)", 2006.6
- [7] Developing the UK's e-Infrastructure for Science and Innovation, Feb. 2007.(<http://www.nesc.ac.uk/>)