

복잡계로 본 기초과학

충남대 화학과 교수
김학진(hackjin@cnu.ac.kr)

1. 서론

최근 들어 기초과학 (자연과학)과 사회과학 분야에서 널리 논의되어 온 주제 중 하나가 복잡계 (complex system)이다. 일반적으로 복잡계는, 기존의 패러다임에서 정확하게 이해하지 못하는 요소들의 영향이 강하게 나타나 쉽게 이해하기 힘든 현상들을 총칭하는 말이다. 이러한 정의에 따르면 모든 학문 분야에서 복잡계는 항상 존재하고 있으며, 존재할 것이다. 일찍이 뽀앙까레는 과학의 발전을 위해서는 연구하는 주제가 적절한 수준의 복잡성을 가져야 한다고 하였다. 현재의 패러다임으로 충분히 이해할 수 있는 주제들만이 연구된다면 진정한 의미의 발전은 없을 것이며, 연구 주제가 너무 복잡하여 이해하기가 어렵다면 과학의 발전은 매우 더딜 것이다.

본 글에서는 기초과학에서 다루어온 복잡계들을 통해 복잡계의 특성에 관하여 살펴보고, 이를 바탕으로 기초과학 자체가 복잡계의 하나라는 관점에서 기초과학에 관하여 생각해보고자 한다. 기초과학의 연구 대상은 자연 현상이지만 그 연구 활동의 주체가 인간이며, 사회의 지원을 받아 이루어지고 있다. 따라서 기초과학 자체는 기초과학에서 연구 주제로 다루는 복잡계들과는 다른 사회과학적 요소들을 가지고 있다. 그러므로 이러한 요소들에 대한 고려가 기초과학에 대한 올바른 이해와 정책 제시에 도움을 줄 것이다. 사회과학 중에서는 경제학에서 복잡계에 대한 논의가 활발한데, 복잡계 경제학은 기초과학에서 다루어온, 최근 수십 년 간 일어난 복잡계에 대한 과학적 개념과 방법들을 널리 이용하고 있다는 느낌이다.

2. 기초과학에서 다루어온 복잡계

20 세기 후반 과학이 발전해온 자취를 간단히 살펴보면 기초과학에서 다루어 온 복잡계들은 <표 1>에 요약된 바와 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다.

<표 1> 복잡계의 분류

특성 복잡계	전반적 특성	내부 구조 특성	외부와의 반응	예
단순 복잡계	평형	다체 문제	둔감	액체
단순 기능 복잡계	평형-비평형	자기 조직	민감	단백질
복합 기능 복잡계	비평형	네트워킹	피드백	세포

1) 단순 복잡계

물과 같은 액체 상태는 오래 전부터 물리 화학자들의 관심을 끌어왔지만 20 세기 중반 이후 많은 연구 성과가 얻어졌다. 분자 사이의 상호작용이 무시할만한 기체 상태나, 분자들이 주어진 위치에 고정되어 있는 고체 상태와는 달리, 끊임없이 움직이는 분자들 사이의 상호작용들을 고려해야 하는 액체 상태를 정확하게 이해하기는 쉽지 않다. 액체 상태는 다체 문제 (many body problem) 가 중요한 대표적 예의 하나이다.

고전 역학과 양자역학에서는 3 개 이상의 입자로 구성된 계의 거동에 관해서는 해석적 함수로 이루어진 해 (analytical solution)가 존재하지 않기 때문에, 한 때 두 개의 전자와 두 개의 양성자로 이루어진 수소 분자까지도 복잡계의 하나로 간주하기도 하였다. 액체 상태는 아보가드로 수 (6×10^{23} 개) 정도의 천문학적 숫자의 분자들로 이루어져 있으며, 각각의 분자는 3 개 이상의 입자 (핵과 전자)들로 구성되어 있으므로 액체 상태는 매우 복잡할 수밖에 없다. 컴퓨터를 이용한 계산 능력의 획기적 향상과 관련 이론들의 발전으로 액체 상태에 대한 연구에서 많은 진전이 이루어지고 있지만 액체 상태는 21 세기의 상당 기간 동안 복잡계의 하나로 남아 있을 것으로 예상된다. 하지만 액체 상태는 <표 1>에 나와 있는 단백질이나 세포와 같은 계에 비하면 단순하다고 할 수 있다. 우선 액체 상태는 온도 압력과 같은 변수로 규정할 수 있는 평형 상태를 쉽게 이루며, 외부 조건 변화에 의한 액체 상태의 변화는 다른 복잡계에 비해 그다지 복잡하지 않다. 평형 상태에 대한 이해는 상당히 깊은 편이며, 이러한 평형 상태 복잡계의 복잡성은 전체적 특성에 관한 이해에 대한 어려움이라기보다는 세부 계산의 복잡함에 따른 것으로 간주되고 있다. 따라서 액체와 같은 단순 복잡계에 대한 이해는 컴퓨터의 계산 능력 향상과 알고리즘의 발전으로 이루어질 수 있을 것이라는 견해도 가능하다.

액체를 단순 복잡계로 분류하는 것은 단백질이나 세포와는 달리 액체 상태 자체가 갖는 구체적 기능을 고려하지 않고 있기 때문이기도 하다. 주어진 계의 기능에 대한 이해는 내부 구조와 특성뿐만 아니라 외부와의 상호 작용에 대한 보다 정확한 이해를 요구하는 부분이다. 액체의 상태를 규정하는데 온도와 압력과 같은 변수들을 사용하지만, 계의 기능과 관련하여 생각하면 이들 변수들의 의미는 보다 제한적이며, 그 영향에 대한 훨씬 정밀한 이해를 필요로 한다. 단순 복잡계에서는 보다 복잡한 복잡계들에 비해 외부 요소들이 단순하게 작용하고 있다.

2) 단순 기능 복잡계

단백질 분자는 많은 수의 원자로 구성된 거대 분자로 단순 복잡계와 마찬가지로 다체 문제가 관련된다. 단백질 분자가 액체보다 더 복잡한 이유는 구성 입자들 사이의 복잡한 상호 작용 뿐만 아니라 단백질 분자가 특정 조건 하에서만 고유한 기능을 수행할 수 있는 구조를 갖는다는 점이다. 온도 압력과 같은 열역학적 변수의 일반적 가변 범위와 단백질 분자가 존재하는 생체 용액의 조건을 비교하면, 단백질 분자가 생물학적 기능을 할 수 있는 조건은 매우 좁은 영역이다. 단백질 분자는 매우 제한된 조건에서만 생물학적 활성을 갖지만, 이러한 활성 상태는 단백질 분자의 크기로 볼 때, 주어진 조건에서 가능한 단백질 분자의 구조들 중에서 극히 일부분에 해당하는 천문학적 확률을 뚫고 만들어진 상태이다. 단백질 분자가 생물학적 활성을 갖는 구조를 형성하는 과정에 대한 이해는 크게 부족한 형편이다.

단백질 분자의 기능 (생물학적 활성)이 단순하다고 할 수는 없다. 아직도 많은 단백질 분

자의 기능을 완전히 파악하지 못하고 있으며, 한 개의 단백질 분자가 한 가지 기능만을 수행하는 것도 아니다. 하지만 더 높은 단계의 복잡계인 세포나 뇌 또는 생명체의 기관, 생명체 자체에 비하면 단백질 분자의 기능은 상대적으로 단순하고 할 수 있다. 단백질 분자가 그 기능을 수행할 수 있는 상태에 도달하기 위해서는 내부적으로 자기 조직(self-organizing)의 과정을 거친다고 할 수 있으며, 이러한 자기 조직 과정은 물과 같은 단순 복잡계에는 존재하지 않는다. 단백질 분자의 활성 조건이 까다로운 것은 자기 조직 과정이 이루어질 수 있는 조건이 까다롭기 때문이라고도 할 수 있다.

단순 기능 복잡계와 단순 복잡계의 또 다른 차이점은 단순 복잡계를 이해하는데 사용되는 평형 개념에서는 배제하는 경로 의존성이 관찰된다는 점이다. 단순 기능 복잡계에서는 평형 상태의 물질을 이해하기 위하여 주어진 상태에 도달하는 경로와는 무관한 상태 함수(state function)들을 사용하고 있으며, 이들 상태 함수들은 평형 상태 물질계를 이해하는데 매우 유용하다. 물은 가열하면서 압축하거나, 압축한 후 가열하거나, 가열한 후 압축하거나간에 최종 온도와 압력이 같으면 같은 상태에 도달한다. 단백질 분자 덩어리인 두부를 요리할 때 가열한 후 압축한 것과 압축한 후 가열한 것이 서로 다르리라는 것은 쉽게 상상할 수 있다. 이렇게 단백질 분자의 상태는 그 도달 경로에 크게 의존하며, 기존의 평형 개념으로는 이해할 수 없는 측면이 많다. 이러한 자기 조직의 개념과 경로 의존성은 복잡계 경제학에서 많이 논의되는 주제들이다. 단백질 분자와 같은 생물학적 물질계에 대한 연구가 생물학 분야뿐만 아니라 물리, 화학 분야에서도 활발한 것은 현재의 과학 수준에서 볼 때 적절한 복잡성을 가지고 있기 때문이라고도 할 수 있다.

3) 복합 기능 복잡계

세포는 많은 단백질 분자들을 포함하고 있으며 매우 다양한 기능을 수행한다. 생명체의 관점에서 보면 한 개 세포의 기능을 단순한 것으로 볼 수 있지만, 여러 가지 거대 생물학적 물질들로 이루어진 세포의 기능은 실제로 매우 복잡하다. 세포의 구성 요소들은 단순 복잡계나 단백질과 같은 분자들에서는 볼 수 없는 네트워크에 의해 연결되어 있다. 네트워크는 많은 복잡계, 예를 들면 뇌, 생태계, 경제 등에서 매우 중요한 요소로 논의되고 있다. 물론 단순 복잡계나 단순 기능 복잡계에서도 네트워크가 있다고 할 수도 있지만 그 중요성이나 역할은 세포와 같은 복합 기능 복잡계에서와는 현저히 다르다. 사실 복합 기능 복잡계에서의 네트워크는 그에 관한 정의나 규정조차 분명하지 않을 정도로 매우 복잡하다. 세포에 포함된 많은 구성 요소들 사이의 상호 작용들을 통해 세포의 많은 기능들이 효율적으로 이루어지고 있는데, 이러한 현상이 네트워크를 통해 일어난다고 할 수 있다.

복합 기능 복잡계에 영향을 줄 수 있는 외부 요소들 역시 매우 복잡하여, 단순한 조건이라는 표현보다 환경이라는 표현이 더 어울린다. 세포와 외부 환경과의 상호 작용은 매우 복잡하고 강하여, 서로 변화를 줄 수 있는 수준이라고 할 수 있다. 이러한 복합 기능 복잡계와 외부 환경의 상호 작용이 피드백이며, 단순 복잡계나 단순 기능 복잡계에서는 뚜렷한 피드백이 일어나지 않는다. 단백질 분자는 녹아있는 용액의 조건에 따라 그 구조와 특성이 변화하지만 단백질 분자가 용액의 조건을 바꾸는 일은 일어나지 않는다. 복합 기능 복잡계인 생명체가 주변 환경을 크게 변화시켜 왔음은 생태학이나 지질학적으로 잘 알려진 사실이다.

세포와 같은 복합 기능 복잡계의 생성 과정은 자연계에서 자발적으로 일어나는 많은 현상들과 다른 특징이 있는데, 이는 엔트로피에 관한 것이다. 자발적 자연현상들은 엔트로피가 높아지는 방향, 즉 무질서도를 높이는 방향으로 일어난다. 평형 상태를 찾아가는 현상은 엔

트로피가 증가하는 자발적 현상이다. 물질이 섞이고, 흩어지는 것과 같이 질서를 잃어가는 현상이 자연스러운 현상인 반면 복잡한 기능을 수행하는 복잡계가 만들어지는 현상은 이와는 반대인 질서가 높아지는 현상으로, 이를 이해하기 위해서는 비평형의 개념이 매우 중요하다. 단순 기능 복잡계에서도 경로 의존성과 같은 현상은 비평형 개념이 필요한데, 복합기능 복잡계에서는 비평형 개념이 더욱 중요하다. 20세기 후반 이후 비평형 상태, 특히 생명현상과 관련된 비평형 분야에서 많은 진전이 이루어졌지만 아직도 크게 미진한 상태로, 세포나 생명체와 같은 복합 기능 복잡계는 현재의 과학이 정확하게 이해할 수 있는 복잡성을 넘어서고 있다는 느낌이다.

3. 복잡계로서의 기초과학

경제를 복잡계로 간주하여 고전 경제학에 없는 여러 가지 가정들을 도입하여 경제 현상을 설명하려는 복잡계 경제학이 나타나고 있는 것을 생각하면, 기초과학 자체를 복잡계로 간주하여 그 발전 방향을 생각하는 것도 별 무리가 없어 보인다.

앞에 논의한 복잡계 분류를 고려할 때 기초과학이 갖는 복잡성의 수준에 관한 문제가 우선 제기된다. 기초과학에서는 세계적으로 공통의 주제를 다루고 있지만 각 국가에 따라 수준, 규모, 복잡성의 정도가 매우 다르다. 따라서 기초과학의 복잡성을 각 국가 단위로 고려하는 것이 필요해 보인다. 한 국가 내에서도 기초과학 세부 분야별 수준 차이가 있을 수 있고, 그에 따른 복잡성 정도가 다를 수 있지만 세부 사정에 관한 논의는 제외하고, 일반적 관점에서 기초과학의 복잡성과 국가 단위에서 기초과학과 그 발전을 위해 고려해야 할 점들을 생각해보고자 한다.

1) 기초과학의 복잡성

복잡계로서 기초과학을 파악하는데 가장 중요한 내부 요소는 과학 인력이다. 기초과학의 또 다른 내부 요소로 실험 장비와 같은 인프라를 고려해야 하지만 기초과학의 기능과 외부와의 상호작용 면에서 생각해보면 가장 중요한 요소는 인력이다. 과학 지식이 적혀져 있는 책이나 논문, 실험 장비들은 그것들을 이해하고 활용하고 교육할 수 있는 인력이 없는 경우에는 일반 대중이 이해하기 힘든 추상화와 크게 다르지 않다. 자기 조직, 네트워크 등의 복잡계의 특성들은 과학 인력을 매개로 나타난다. 과학이 사회에 미치는 영향이나 과학에 대한 사회의 지원 역시 인력을 매개로 나타난다. 기초과학은 인력과 자본을 투자하여, 지식을 생산하며, 이 지식은 인력을 통해 활용, 교육, 전파된다.

복잡계의 특성 중 하나인 자기 조직 현상은 기초과학에 있어 과학 인력의 조직으로 나타난다. 이러한 자기 조직은 과학 활동의 내용과 기능 면에서 중요하다. 각종 학술 학회들은 자기 조직의 결과의 하나이며, 과학자 집단 내부의 연구 활동을 서로 돕고 외부 사회와의 효율적인 상호 작용을 위해 활동한다. 학회와 같은 형식을 갖춘 조직의 활동이 아닌 과학자들의 연구 활동 자체에도 자기 조직화를 쉽게 찾아 볼 수 있다. 연구 방향을 결정하는 책임자와 실제 연구를 수행하는 연구자가 결합하여 효율적인 연구 소그룹을 형성하거나 많은 수의 연구원과 행정 요원들을 포함한 특정 목적의 연구소를 조직하는 것도 복잡계로서 작동하는 기초과학의 자기 조직의 결과이다. 기초과학의 자기 조직에 있어 인력은 가장 중요한 대상이다.

복잡계의 또 다른 특성으로 네트워크와 피드백이 지적되었는데, 네트워크는 자기 조직을

훨씬 넘어서는 형태의 구조라 할 수 있다. 과학자 집단 내부의 조직화를 통한 정보의 빠른 흐름도 네트워크의 결과이지만 복잡 기능 복잡계의 특성인 네트워크는 연구 효율의 극대화 뿐만 아니라 과학 인력과 일반 대중과의 상호 작용을 원활하게 하기 위한 네트워크도 포함하며, 과학 활동의 산물이 생산력 발전으로 효율적으로 전환할 수 있는 산업계와의 교류를 위한 네트워크도 포함한다. 이러한 네트워크가 제대로 된 경우에만 기초과학과 외부와의 피드백이 원활할 것이다. 과학 활동의 결과를 산업계에 자세히 알리는 일, 산업계의 필요를 과학자들이 정확하게 아는 일, 일반 대중에게 과학자들의 의견을 알리는 일, 사회의 요구를 과학자들이 파악하는 일들은 모두 과학자들과 외부를 연결해줄 수 있는 네트워크를 기반으로 가능하며, 왕성한 피드백을 통해 효율성이 높아질 것이다.

이러한 네트워크를 위한 중요한 수단으로 인터넷을 이용하는 데이터베이스의 구축을 논의 하지만, 실제 가장 중요하고 필요한 정보들이 인터넷 라인보다는 전화선을 통해 유통되고 있다는 느낌이다. 첨단 분야 연구자들이 인터넷상의 DB를 통해서나 발표되기 전 투고된 논문의 심사 검토 (review) 과정에서 많은 지식과 정보들 얻는다고 하지만, 많은 중요한 연구 결과들은 논문의 형식을 갖추기 전에 과학자들의 직접 대화를 통해 유통된다. 읽어서 알게 되는 것보다 알고 있는 사람에게서 직접 들어서 배우는 것이 가장 효율적이며, 교육은 교사와 학생 사이의 직접 대화를 통하는 것이 가장 효율적이다. 네트워크를 위한 첨단 IT 인프라보다 가지고 있는 아이디어를 적극적으로 교환하려는 문화적 특성이 더욱 중요하다.

2) 과학 선진국과 후진국의 차이

복잡계에 관한 논의를 기초과학 문제에 단순하게 확장하면 선진국의 기초과학은 복잡 기능 복잡계로, 후진국의 기초과학은 단순 기능 복잡계로 비교될 수 있지만, 단백질에 관한 모형인 깔때기 (funnel) 이론과 액체 이론의 하나인 침투 (percolation) 이론을 단순화한 모형을 사용하여 논의하고자 한다.

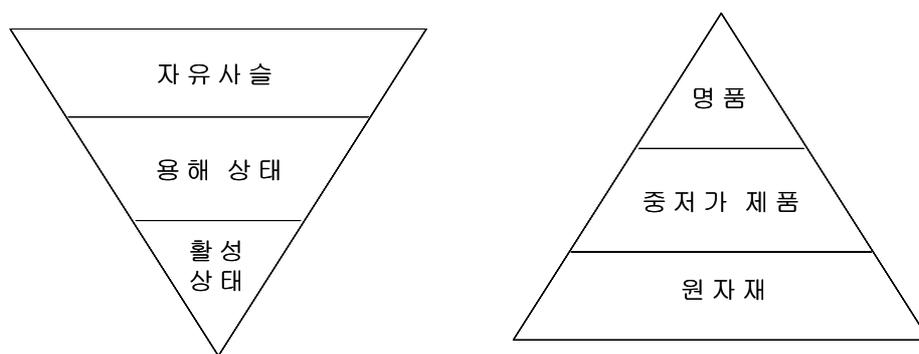


그림 1. 단백질 상태 변화와 고부가 가치 명품 생산

<그림 1>의 왼쪽 역삼각형은 깔때기 이론을 단순화한 것이다. 단백질 분자는 아미노산 분자들이 연결되어 형성되는데, 아미노산 분자들이 사슬 형태로 연결된 상태가 자유 사슬이며, 자유 사슬은 단백질의 생리적 활성을 갖지 못한다. 자유 사슬은 접힘 (folding) 과정을 거쳐 활성을 갖는 형태를 갖추는데, 자유 사슬과 활성 상태 사이에는 형태는 활성 상태와 유사하지만 생리적 활성이 없는 용해 (molten) 상태가 존재한다¹⁾. <그림 1>의 오른쪽 삼각

형은 원자재로부터 명품이 제작되는 상황을 계단식으로 나타낸 것으로, 이는 경기 변동에 따른 재고 축적에 관한 연구에 사용된 모형을 개념상 단순화한 것으로, 원래 액체에 관한 침투 이론을 참고로 하였다. 원자재와 명품 사이에는 중저가 제품이 존재한다고 할 수 있다.

이 두 가지 모형은 서로 다른 상황에 대한 설명을 위해 도입된 것이지만 유사한 점이 많다. <그림 1>의 단백질 분자의 역삼각형 모형의 경우 아래로 내려올수록 기능성 (생리적 활성)이 강화되며, 명품 삼각형의 경우 위로 올라갈수록 가치가 증가한다. 후진국의 과학이 단백질의 용해 상태나 중저가 제품에 비교될 수 있고, 선진국은 과학의 단백질의 활성 상태나 명품에 비교될 수 있다. 기능과 가치의 면도 그러하지만 단백질의 활성 상태나 명품에 도달하기 위한 과정도 유사하다. 중저가 제품들이 명품에 합류하기 위한 장벽이 높은 것과 마찬가지로, 단백질 분자가 자유 사슬에서 용해 상태로 전이하는 장벽보다 용해 상태에서 활성 상태로 전이하는 장벽이 높다. 후진국의 과학을 선진국 수준으로 높이는 과정에 수반되는 장벽은 수준이 향상됨에 따라 높아질 것을 예상할 수 있다.

후진국 과학 수준 제고에는 위 그림에 나타나 있지 않은 또 다른 어려움이 존재한다. 상태의 전이는 자체로도 수준과 함께 장벽도 높아지는 과정이지만, 후진국에 있어서는 수준 향상에 필요한 요소들을 사용하는데 양과 효율성 면에서 모두 어려움이 따른다. 자본과 인력이 부족한 후진국은 국가 경제 규모를 고려할 때 적지 않은 자본과 인력을 투자하지만 그 효용이 낮다. 후진국의 과학에 투자되는 자본은 대부분 장비와 설비를 국외에서 수입하는데 사용된다. 자국 경제의 측면에서 보면 투자 승수가 거의 0 이라 해도 과언이 아니다. 과학 인력 역시 많은 자본이 투자되어 양성되지만 고급 인력의 국외 유출로 인해 국가 경제면에서 볼 때 투자 효과가 좋지 못하다. 후진국의 과학 활동 산물 역시 사회적 효용성 면에서 그 효과가 뚜렷하지 않다. 이러한 상황은 후진국의 기초과학 수준 향상에 큰 걸림돌로 작용할 것이며, 흔히 강조되는 “선택과 집중”의 논리가 여기에 기초하고 있다.

기초과학이 갖는 또 다른 복잡성은, 생태학이나 경제학과 마찬가지로 기초과학 역시 사회 환경에 크게 영향을 받는다는 점이다. 기초과학이 사회 환경의 영향을 받는다는 사실은, 기초과학의 발전을 위한 정책의 수립과 시행에 있어 다른 국가 정책과 마찬가지로 정치, 경제, 문화적 요소를 고려해야 한다는 것을 의미한다. 또한 기초과학의 발전을 위하여 동일한 요소를 투입하는 경우에 있어서도 그 효과가 국가에 따라 다를 수 있다. 과학 활동의 중요 요소인 인력의 활동에는 그 사회의 정치 문화적 요인들이 영향을 줄 수밖에 없음을 염두에 두어야 한다.

또 한 가지 기초과학 문제에 있어 고유한 어려움은, 기초과학 활동 산물의 가치를 판단하기가 쉽지 않는 점이다. 연구 성과의 현재 가치는 어느 정도 평가할 수 있지만 연구 성과가 미래에 가질 가치를 판단할 수 있는 과학자는 아무도 없다. 모순처럼 들릴 수도 있지만 기초과학의 특성을 정확하게 이해하는 한 어떤 과학자도 “선택과 집중”을 올바르게 재단할 수 없다. 이러한 기초과학의 복잡성이 과학 수준 향상에 따라 증가하는 장벽을 극복하는 것을 더욱 어렵게 한다.

3) 한국의 기초과학

기초과학에 투자할 수 있는 자본, 인력 성과 등을 고려할 때 선진국에 속하지 않는 한국의 경우, 본질적으로 올바른 선택이 쉽지 않은 “선택과 집중”을 할 수밖에 없는 상황에서

1) 단백질 분자에 관한 모형을 참고로 기초과학 정책에 관하여, 김학진(2000), “기초과학정책과 단백질 접힘 현상”, 「과학기술정책」 2000년 7/8월호, pp. 50~59에서 간략히 논한 바 있다.

생각해 볼 수 있는 방안은 크게 두 가지이다. 하나는 규모의 경제로 표현될 수 있는 대규모 공동연구 집단을 통한 집중화 방안이다. 이는 60~70년대 경제 개발 전략과 맥을 같이 한다고 할 수 있다. 또 다른 하나는 전문화된 중소기업을 양성하는 것과 같이 독자성과 창의성을 보장하는 소수 정예의 양성과 지원 방안이다. 현재 이 두 가지 방향 모두를 고려한 정책이 시행되고 있다고 할 수 있다. 자본과 인력이 제한되어 있음을 고려하면 정책 방향 선정과 무관하게 투자 분야가 중요하지만, 성장 엔진과 관련하여 많이 논의되고 있는 투자 분야에 관한 논의는 본 글의 의도와 무관하다.

복잡계 논의의 연장에서 생각하면, 어떤 방향의 정책을 수행하든 기초과학이 수준 높은 기능을 하기 위해서는 구성 인력간의 네트워크가 중요하며, 내부 인력 간의 상호 작용 뿐만 아니라 외부 환경과의 생산적 피드백을 할 수 있어야 한다. 기초과학은 장치 산업이 아니기 때문에 자본의 중요성보다는 인력의 효율적 활동에 정책의 초점이 모아져야 할 것이다. 네트워크와 피드백은 인력의 활동성을 높이는데 매우 중요하다.

다소 모순적으로 보이지만 한국 기초과학 인력의 상당 부분이 선진국, 특히 미국에서 고등 교육을 받은 인력이라는 점이 한국의 기초과학과 한국 사회의 상호 작용을 활발하지 못하게 하는 요소가 되고 있다는 느낌을 준다. 앞에서 논의한 복잡계의 관점에서 보면 한국의 주요 과학 인력은, 기능과 수준면에서 복합 기능 복잡계로 분류할 수 있는 기초과학을 가진 선진국에서 교육받아, 그러한 환경 속에서 최선의 성과를 얻을 수 있도록 적응되어 있다고 할 수 있다. 이러한 인력은, 단순 기능 복잡계로 간주될 수 있는 기능과 수준을 가지고 있으며, 사회 환경 면에서도 매우 다른 한국에서 가지고 있는 최대 활동도를 보여주지 못 할 수 있다. 많은 경우 선진국과 유사한 시스템을 만드는 방향으로 투자되고 정책들이 기획 수행되고 있지만, 그러한 시스템들은 한국의 정치, 경제, 문화적 환경에 최적화되어 있지 않은, 과학 인력의 활동성을 극대화하지 못하는 경우가 적지 않다는 느낌이다. 개별 과학자의 생각들이 빠르고 정확하게 소통될 수 있으며, 국가적 차원의 아이디어가 개별 과학자들의 활동에 생산적이고 긍정적 영향을 줄 수 있는 시스템을 만들기 위해서는 과학자가 처한 사회적 환경의 특성에 관한 심사숙고가 있어야 할 것이다.

[주]

김학진(2000), “기초과학정책과 단백질 접힘 현상”, 「과학기술정책」, 7/8월호 pp. 50-59.