현대 물리학에서는 우주를 구성하는 모든 물질은 그 물질을 구성하고 있는 성분으로 연속적인 분해가 가능하다고 생각한다. 예를 들어 철은 철 원자들로 분해가 되고, 철 원자는 원자핵과 전자로 다시 분해되고, 원자핵은 또다시 양성자와 중성자로 분해된다는 것이다.

(앞의 문장에서 그 물질을 구성하고 있는 성분이라 했으므로, 철->철원자->전자+ 원자핵->양성자와 중성자 순으로 크기가 작아진다는 것을 유추할 수 있다.)

이러한 관점은 20세기 초에 형성되었고, 과학자들은 이 관점을 활용해 물질의 구성에 대해 연구해 왔다.

물질을 보다 근본적인 것으로 되돌리는 것은 환원이라는 개념으로 이해될 수 있다.

(1문단의 내용인 ‘물질을 구성하고 있는 성분으로 연속적인 분해’ 를 ‘물질을 보다 근본적으로 되돌리는 것’으로 paraphrase하고 이를 다시 한번 ‘환원’ 이라고 깔끔하게 정리하였다. 앞으로 환원이라는 단어는 ‘물질을 보다 근본적으로 되돌리는 것’ 으로 이해해야 한다.)

환원은 세상에 존재하는 모든 물질이 기본 요소로 이루어져 있다는 것을 전제하고 있는 개념이다.

(중요: 환원은 세상의 모든 물질은 기본 요소로 이루어져 있다는 것을 전제한다. 를 기억하고 가야한다! 여기서 기본 요소라는 단어는 일종의 통분가능성(commensurable)을 암시하고 있다. 왜인가? 기본 요소는 아마도 basic element 를 번역한 것 같은데, 여기서 한번 의문을 던져보자. 기초와 기본의 차이는 무엇인가? 기의 한자는 ‘터 기’로 동일하지만 기초의 초는 ‘주춧돌 초’이며 기본의 본은 ‘근본 본’ 이다(뿌리 본 이라고도 불림). 기초를 먼저 살펴보자면 이 ‘초’는 영어에서 주로 foundation으로 번역이 되며 어떤 구조를 갖고 있는 대상에서 가장 밑에 있고 그 위를 떠받들어 주는 역할을 한다. 그러니까 기초는 물리적인 구조에서나 이론적인 구조에서나 1: 가장 먼저 세워야 하며 2: 다른 많은 물리적 대상 혹은 주장들을 지지해주고 3: 만약 이것이 빠진다면 전체적인 구조가 무너지는 특성을 가진 것들을 이른다. 기본의 근본 본은 (**本) 나무 목에 줄을 그어 놓은 것으로 뿌리를 의미한다. 뿌리는 무엇을 의미하는가? 우리는 ‘한 뿌리에서 갈라져’와 같은 표현을 종종 쓰곤 한다. ‘뿌리’라는 단어를 추상적으로 사용할 경우, 이는 공유하는 기원 등의 의미를 가진다. 따라서 ‘기본 요소’란 이로부터 다른 것들이 기원해 갈라지거나 달라질 수는 있지만, 여전히 공유하고 있는 근본 따위를 지칭한다. 참고로 본질적 등 ‘본’ 이 들어가는 단어들은 모두 이러한 맥락을 공유하고 있다. 참고로 통분가능성이라는 말의 뜻은 나눴을 때(분) 결국 공(통)된 것 나온다는 의미이다. 영어로는 co 는 함께, mensure은 measure 즉 단위를 의미하며 이는 단위를 공유할 수 있다는 뜻으로 이는 통분과 유사한 개념이다. 이렇게 단어의 의미를 올바르게 이해했다면, 왜 2문단 첫번째 문장에서 ‘물질을 보다 기초적인 것으로 되돌리는 것은 환원~’ 이라고 하지 않고 ‘물질을 보다 근본적인 것으로 되돌리는 것은 환원~’이라고 하는지 받아들일 수 있을 것이다.)**

**이 개념을 바탕으로 존재론적 환원은 다양한 수준의 물질이 갖는 ‘부분-전체’ 관계에서 전체의 속성이 전체를 구성하는 부분들의 속성과 부분들 사이의 상호 작용으로 이루어져 있다고 가정하고 있다.**

**(존재론적 환원은 존재에 대한 환원 정도로 이해해도 된다. 여기서 중요한 것은 “환원의 가정: 물질의 전체의 속성= 부분의 속성 + 부분들 사이의 상호 작용” 이라는 내용을 확실히 정리하고 넘어가는 것이다. 한 발짝 나아가면 환원에서는 ‘부분으로 설명할 수 없는 전체의 속성은 없구나’ 라고 이해할 수 있다. )**

**과학 연구에서는 존재론적 환원을 바탕으로 연구를 수행함으로써 성공적인 결과를 거두어 왔다. 하지만 존재론적 환원은 사람의 영혼과 같은 정신적 존재가 물질로 환원될 수 있는지를 설명하기 어렵다는 문제를 안고 있다.**

**이 문단까지 읽었다면 우리는 환원에 대해서 다음과 같이 확실하게 정리가 되어있어야 한다.**

**환원의 전제: 세상에 존재하는 모든 물질이 기본 요소로 이루어져 있음 (a)**

**환원의 개념(결론): 물질을 보다 근본적인 것으로 되돌리는 것 (b)**

**환원의 가정: 물질의 전체의 속성 = 물질의 부분의 속성 + 물질의 부분들 사이의 상호 작용(c )**

**환원의 문제: 사람의 영혼과 같은 정신적 존재를 물질로 환원될 수 있는 지 설명하기 어려움.**

이렇게 머릿속에 정리하지 못했는가? 그렇다면 반성하자!

혹시 헷갈릴까봐 몇 자 추가한다. 전제(premise)와 가정(presumption or assumption)의 차이는 무엇인가?(+가설(hypothesis)까지)

전제란 논증에서 그것으로부터 출발하여 결론을 얻을 수 있는 명제이다. 즉 어떤 명제를 근거로 하여 다른 명제를 도출해 내는 경우, 근거가 되는 명제를 전제라고 부른다. 즉 전제의 짝은 결론이다. 즉 이를 위에 적용한다면 이는 “세상에 존재하는 모든 물질이 기본 요소로 이루어져 있기 때문에(전제) 물질을 보다 근본적으로 되돌릴 수 있다(결론)” 과 같은 논리 구조를 취함을 알 수 있다.

가정이란 현실의 조건과는 관계없이 무엇인가를 설명하기 위해서 그 진위는 알 수 없지만 있을 수 있는 것으로서 임시로 생각해보는 것이다. 이런 점에서 가정의 요건을 가장 엄격하게 한 것이 과학 연구상의 가설이다. 이를 위에 적용 하면, 환원(론)에 따르면 “물질을 보다 근본적인 것으로 되돌릴 수 있다면 전체의 속성은 부분의 속성과 부분들 사이의 상호 작용으로 이루어져 있을 것이다” 라고 임시로 생각해보는 것이다.

간단하게 요약하면, 명제 (a) 에서 명제 (b)를 이끌어냈기 때문에 (a)는 (b)의 전제라 할 수 있고 환원론은 명제(b)를 조건으로 (c)의 가능성을 확인하고자 한다.

정신적 존재가 물질로 환원이 가능한가에 대해 이원론과 유물론의 입장에서 살펴볼 수 있다.

(환원의 문제에 대해서 두 가지 관점에서 볼 수 있구나!)

이원론은 정신적 존재는 독자적인 실체로 구성되어 있는 것이기 때문에 물질로 환원이 불가능하다고 본다. 하지만 이원론은 오랫동안 정신적 존재라고 여겨졌던 대상들이 복잡한 물질 현상으로 이해할 수 있게 되었다는 점에서 설득력이 약화되었다.

(근데 바로 이원론은 망한 이론이야라고 하면서 입구컷. 자세한 내용은 예비시행 데카르트 지문에 있었지요? 여기까지 읽었다면 아 그렇다면 이 글의 주제는 ‘유물론적인 관점에서 본 환원의 문제’ 인 것을 알아야겠죠?)

유물론에서는 세계가 물질로만 구성되어 있다고 본다. 이러한 유물론의 입장과 존재론적 환원의 입장을 모두 수용하면 정신적 존재의 속성이 물질적 속성으로 환원된다고 주장할 수 있을 것이다.

(논리학에서 A의 입장을 수용한다라는 말은 A의 결론을 전제로 받아들인다는 말과 같다. 위에서 정리한 환원의 전제와 결론을 포함해 지금까지의 논리적 구성을 정리하면 다음과 같다.

전제 0: 세상에 존재하는 모든 물질은 기본 요소로 이루어져 있다. (환원(론)의 전제)

전제 1: 물질은 보다 근본적인 것으로 되돌릴 수 있다. 즉 물질은 환원할 수 있다. (환원의 전제에서 얻어낸 환원의 결론)

가정 1: 물질의 전체의 속성은 물질의 부분의 속성과 물질의 부분들 사이의 상호 작용으로 이루어져 있다. (환원의 가정)

전제 2: 세계는 물질로만 구성되어 있다. (유물론의 결론)

결론 : 정신적 존재의 속성은 물질적 속성으로 환원된다.

유물론과 존재론적 환원의 입장을 수용한다는 것은 전제 1과 전제 2를 받아들이는 것과 같고 여기서 결론이 도출되는지 확인해보자. 전제 2에 따라 정신적 존재 역시 물질로 구성되어 있고 전제 1에 따라 물질은 환원할 수 있으므로 정신적 존재는 물질로 환원할 수 있다.

어라? 우리가 구하려고 했던 것은 정신적 존재의 속성은 물질적 속성으로 환원된다는 결론이었지 않나? 그래서 이제부터는 이에 대한 얘기를 하려 한다. 미리 말하자면 위의 전제 1과 전제 2만으로는 결론을 도출할 수 없고 결론을 도출하기 위해서는 추가로 가정 1을 전제로 받아들여야, 즉 가정을 인정해야 한다.

하지만 이에 대해서는 정신적 속성이 궁극적으로는 물질적 속성으로 환원될 것이라고 믿는 입장과, 세계에 진정으로 존재하는 것은 오직 물질뿐이지만 우리 두뇌와 같은 특정한 물질이 가질 수 있는, 추론 능력과 같은 정신적 속성은 물리적 속성으로 환원될 수 없다고 보는 입장으로 나누어 생각할 수 있다. 전자는 ㄱ존재론적 환원을 존재자의 수준과 속성의 수준 모두에서 주장하는 것이고, 후자는 ㄴ존재론적 환원을 오직 존재자의 수준에서만 수용하는 것이다. 이 중 후자는 특정한 물질의 경우 환원이 불가능한 속성을 지니고 있다는 생각을 전제하고 있다.

위에서 얘기한 것 처럼 결론 3을 도출하기 위해서는 전제 1과 전제 2에 더해 가정 1이 필요한데, ‘ㄱ존재론적 환원을 존재자의 수준과 속성의 수준 모두에서 주장’ 하는 자는 가정 1을 받아들일 것이고, “ㄴ존재론적 환원을 오직 존재자의 수준에서만 수용”하는 자는 가정 1을 받아들이지 않을 것이다. 그리고 ㄴ 의 전제는 “특정한 물질의 경우 환원이 불가능한 속성을 지니고 있다” 이다. 위의 입장을 한번 더 각각 정리해보자.

ㄱ 의 입장

전제 0: 세상에 존재하는 모든 물질은 기본 요소로 이루어져 있다. (환원(론)의 전제)

전제 1: 물질은 보다 근본적인 것으로 되돌릴 수 있다. 즉 물질은 환원할 수 있다. (환원의 전제에서 얻어낸 환원의 결론)

전제 2: 세계는 물질로만 구성되어 있다. (유물론의 결론)

전제 3: 물질의 전체의 속성은 물질의 부분의 속성과 물질의 부분들 사이의 상호 작용으로 이루어져 있다. (환원의 가정)

결론 : 정신적 존재의 속성은 물질적 속성으로 환원된다.

검증: 전제 2에 따라 정신적 존재 역시 물질로 구성되어 있고 전제 1에 따라 정신적 존재는 보다 근본적인것으로 환원할 수 있다. 전제 3에 따라 물질인 정신적 존재의 속성은 부분의 속성과 부분들 사이의 상호작용으로 이루어져 인데, 환원한 부분 역시 물질이기에 정신적 존재의 속성은 물질적 속성으로 환원된다.

ㄴ 의 입장

전제 0: 세상에 존재하는 모든 물질은 기본 요소로 이루어져 있다. (환원(론)의 전제)

전제 1: 물질은 보다 근본적인 것으로 되돌릴 수 있다. 즉 물질은 환원할 수 있다. (환원의 전제에서 얻어낸 환원의 결론)

전제 2: 세계는 물질로만 구성되어 있다. (유물론의 결론)

전제 4: 특정한 물질의 경우 환원이 불가능한 속성을 지니고 있다

결론 : 정신적 존재의 속성은 물질적 속성으로 환원되지 않는다.

검증: 정신적 존재는 전제 2에 따라 물질로 구성되어 있고 전제 1에 따라 환원할 수 있지만 전제 4에 따라 특정한 물질이므로 환원이 불가능한 속성을 가지고 있다. 따라서 정신적 존재의 속성은 물질적 속성으로 환원되지 않는다.

예를 들어 화학자와 물리학자는 화학에서 다루는 물질들이 궁극적으로는 물리학에서 다루는 보다 미세한 물질들로 환원된다는 것에 동의한다. 모든 화학적 용매는 전자와 원자핵으로 구성되어 있음을 인정하는 것이다. 그러나 몇몇 화학자들은 특수한 종류의 물리계가 화학적으로 정의될 수 있는 일정한 조건을 만족시킬 경우에만 등장하는 ‘창발적’ 속성은 물리적 속성으로 환원되지 않는다고 믿는다. 가령 \*비평형 상태에서 볼 수 있는 ‘자기 조절성’은 일정한 조건을 만족시킬 때 하위 계층에는 없는 특성이나 행동이 상위 계층에서 자발적으로 나타나는 속성이라고 주장하는 것이다. 이 주장을 하는 화학자들은 후자의 입장을 수용하는 것이고, 이에 반대하는 화학자들은 전자의 입장에 동의하는 것이다.

앞의 프레임을 이 화학자의 예시로 가져와보자. 지금의 논점은 “모든 화학적 속성이 물리적 속성으로 환원될 수 있다 vs 물리적으로 환원되지 않는 화학적 속성이 존재할 수 있다” 이다. 후자와 같은 속성을 창발적 속성이라 한다. 이 논쟁은 즉 창발적 속성이 존재 하느냐에 관한 것이라고 이해할 수도 있다. 환원의 가정을 받아들인다는 것은 곧 창발적 속성의 존재를 부인하는 것이고 환원의 가정을 받아들이지 않는다는 것은 곧 창발적 속성의 존재가 가능함을 인정하는 것이다. 여기서 창발적 속성의 예시로 비평형 상태를 들었지만 사실 전혀 이해할 수가 없어 마지막에 창발에 대한 자료를 첨부한다. 재미로 읽어보시라.

물리적 세계의 물질들이 기본 입자들로 환원된다는 경험적 증거가 압도적으로 많기 때문에 존재론적 환원은 존재자의 수준과 속성의 수준 모두에서 세계 전체에 대해 설명이 가능한 것처럼 보이기도 한다. 예를 들어 인간의 염색체를 구성하는 기본 요소인 염기의 배열 순서를 읽어 내면, 인간의 다양한 형질이 발현되는 현상에 대한 생물학적 근거를 규명할 수 있을 것처럼 보이는 것이다.

으레 그렇듯 ~처럼 보이기도 한다는 말은 사실 ~은 아니라는 말을 위한 빌드업이다. 여기서 ~의 내용은 창발을 인정하지 않는 환원론자의 주장이므로 이 글은 창발론자의 입장에서 쓰여졌겠거니 예상할 수 있다. 그리고 “인간의 다양한 형질이 ~규명할 수 있을 것처럼”에 대해 저자는 규명할 수 없다고 생각할 것이다. 여기서 잠깐! 앞에서 무슨 얘기했는지 혹시 까먹었는가? 그렇다면 안된다. 정신의 속성이 물리적 속성으로 환원될 수 있는지에 대해 논쟁하고 있었다. 저자는 어느 쪽이라고? 창발이 존재한다, 즉 환원될 수 없는 속성이 존재한다고 생각한다. 그렇다면 이 논쟁에 대해 저자는 어떻게 생각할까? 정신의 속성이 물리적 속성으로 환원되지 않는다고 생각할 것이다. 즉 저자는 ㄴ 존재론적 환원을 오직 존재자의 수준에서만 수용하고 있는 것이다!

하지만 이러한 주장에 대해서 다양한 반론이 제기될 수 있다.

우선 개체주의적 입장에서의 반론이 가능하다. 이들은 어떤 물질은 그 물질을 구성하고 있는 부분들이 지닌 속성들과 각각 독립적으로 존재한다고 주장한다. 따라서 물질과 부분들의 속성은 상호 작용을 하지 않기 때문에, 물질은 그 물질을 구성하는 부분들의 속성들로 환원되는 것이 아니라 단순히 부분들의 속성들의 합으로만 이해될 수 있다는 반론을 제기할 수 있다.

다음으로 인과론적 입장에서의 반론이 가능하다. 이들은 어떤 물질이 그 물질을 구성하고 있는 부분들로 환원되기 위해서는 물질과 부분의 속성 사이에 인과적 관계가 존재해야 한다고 주장한다. 따라서 어떤 물질이 그 물질을 구성하고 있는 부분의 속성 사이에 인과적 관계가 존재하지 않는다면 환원이 불가능하다는 반론을 제기할 수 있다.

마지막으로 양자 역학 입장에서의 반론이 가능하다. 이들은 미시 세계에서는 어떤 물질을 이루고 있는 각 부분들의 상태가 서로 독립적이지 않고 섞여 있는 중첩 상태가 존재한다고 주장한다. 따라서 물질이 그 물질을 구성하고 있는 각 부분들의 개별적 속성으로 환원되는 것 자체가 불가능하다는 반론을 제기할 수 있다.

환원론자에 대한 세 가지 반박을 잘 정리해야겠다.

개체주의적 입장: 어떤 물질은 부분의 속성과 독립적으로 존재해 상호작용을 하지 않아 환원될 수 없고 부분 속성들의 합으로만 이해될 수 있다.

인과론적 입장: 물질과 부분의 속성 사이의 인과적 관계가 존재해야만 전체를 부분으로 환원할 수 있다.

양자 역학 입장: 물질의 미시 상태는 중첩 상태가 존재하므로 환원할 수 없다.

사실 이 마지막 세 반박은 뭔가 다 알맹이가 없이 단어들을 나열한 느낌이다. 왜냐하면 이 짧은 글에서 양자역학이니 인과론이니 이런 자체만으로도 어려운 개념을 다룰 수는 따라서 없고 이를 근거로 한 주장은 더욱 이해할 수 없기 때문이다. 심지어 어떠한 예시도 없다. 따라서 이 부분은 그냥 그렇구나~ 라는 마음가짐으로 세 가지 입장이 있고 각각 어떠한 단어가 나왔는지 정도만 기억하고 넘어가도 무방하다.

\*존재자: 인간과 사물 등을, 이것들의 있음에만 주목하면서 무차별하게 총칭할 때 사용되는 말

\*비평형 상태: 서로 다른 두 방향으로 진행되는 변화의 속도가 달라 물질의 성질이 달라지는 상태.

지문의 내용이 여러 번 옮겨가서 큰 맥락을 놓치지 않는게 중요해 보인다. 한번만 더 정리해보자.

환원의 전제: 모든 물질이 기본 요소로 이루어져 있다.

환원론: 물질은 보다 근본적인 것으로 되돌릴 수 있다.

환원의 가설: 전체의 속성은 부분의 속성과 부분들 사이의 상호 작용으로 이루어져 있다.

유물론: 세계는 물질로만 구성되어 있다.

환원론과 유물론을 받아들일 때, 환원의 가설을 인정한다면 환원을 존재자의 수준과 존재자의 속성 수준 모두에서 주장할 수 있고 이러한 입장에서는 정신적 존재의 속성이 물질적 속성으로 환원된다고 주장할 수 있다. 하지만 이에 대해서는 세 가지 반론(개체주의적, 인과론적, 양자역학적) 이 제기될 수 있다.

환원론과 유물론을 받아들이더라도 환원의 가설을 인정하지 않는다면 환원되지 않는 ‘창발적’ 속성이 있다고 주장할 것이고 따라서 정신적 존재의 속성 역시 환원되지 않는 ‘창발적’ 속성이라고 주장할 수 있다.

문제는 풀고 모르겠으면 질문.

읽어볼만한 주제로 창발에 관한 위키피디아를 첨부한다. 원래 핫한 키워드이니만큼 한 번쯤 읽어보면 좋을 것이다. 아주아주 간단하게 말하면 전체가 부분의 합이 아니라고 주장할 때 그 차이에 해당하는 것, 즉 환원할 수 없는 부분을 창발이라고 생각할 수 있다.

**창발**(創發)또는 **떠오름 현상**은 하위 계층(구성 요소)에는 없는 특성이나 행동이 상위 계층(전체 구조)에서 자발적으로 돌연히 출현하는 현상이다. 또한 불시에 솟아나는 특성을 창발성(emergent property) 또는 이머전스(emergence)라고도 부른다. 자기조직화 현상, 복잡계 과학과 관련이 깊다.

**창발의 정의**

창발은 새로운 것이 일시적인 과정, 창조가 성장이나 진화로서 일시적이 아닌 것으로 고찰되는 것을 말하고, 사물이 아닌 성질이 그 어느 구성부분에 의해서도 가지고 있지 못한 것을 말한다. 예를 들어 암모니아 냄새는 수소나 질소에서는 존재하지 않고, 화학의 법칙으로서는 예견할 수 없다. 창발에 대한 설이 보다 일반적으로 말하는 것은 조직의 일정 수준에서 실체에 속한 성질은 그보다 낮은 차원에서 발견된 성질로부터는 예견할 수 없다는 것이다. 그것의 역(전환명제)처럼, 환원주의는 다양한 해석을 인정하고 있다.

"역학적 반응과 화학적 반응만을 알고 있는 자는 생명에 대해 예측할 수 없다."(S. Alexander, 공간, 시간 그리고 신, 1920)

"개개의 구성원이 가지고 있지 않으므로 그것들이 상호 작용했을 때에 나타날 것으로 결코 예상하지도 못한 동작이 그야말로 창조적으로 발현되는 것"(John. L. Casti, 1997)

창발성은 정의에 따라 단순한 물리법칙으로 나타낼 수 없다. 또한 대개 창발적 체계의 적응성을 높이기 위해서는 여러 종류의 되먹임을 조작하는 일이 필요하다. 모든 창발적 체계는 더 높은 수준의 학습을 촉진하는 쌍방향 연결 되먹임으로부터 만들어진다.

### 창발성과 규칙

창발성은 규칙만 알아서는 예측하거나 계산할 수 없다. 그것이 나타나는지 보려면 계를 작동시켜야 한다. 따라서 그런 계는 본질적으로 이원론적인 특성을 지닌다. 즉 단순한 논리규칙을 토대로 하지만 거기에서 나오는 행동은 단순하지도 논리적이지도 않다. 창발적 시스템 역시 규칙의 지배를 받는 시스템이다. 창발적 시스템이 학습과 성장의 능력 그리고 실험의 가능성을 갖는 이유는 저차원의 규칙을 엄격히 따르기 때문이다. 한 예로 개미들은 다른 개미들과 마주치는 패턴에 기초해 먹이를 조달할 것인지 다른 일을 할 것인지를 결정하고, 알렉사 소프트웨어는 클릭 패턴에 기초하여 연결을 만들어낸다. 게임처럼 창발적 행동도 규칙에 의해 정의된 범위 내에서 행동하는 것과 관련된 문제이면서 동시에 공간을 이용하여 부분의 합보다 더 큰 무엇인가를 창조하는 문제이다.

### 창발적 지능

수많은 미시동기에 의해 발생하는 거시행동을 말한다.

* 떼 지능: 로드니 브룩스의 모기 로봇과 같은 집단으로부터 창발하는 사회적 행동은 떼 지능(swarm intelligence)이라고 부른다. 떼 지능은 개미, 흰개미, 꿀벌, 장수말벌 따위의 사회성 곤충에서 보편적으로 나타나는 행동이다. 가령 개개의 개미는 집을 지을 만한 능력이 없다. 그럼에도 불구하고 개미 집합체는 역할이 상이한 개미들의 상호작용을 통해 보금자리를 만든다. 이와 같이 하위수준(낱낱의 개미)에는 없지만 상위 수준(개미의 집합체)에서 자발적으로 돌연히 출현하는 행동이 떼 지능이다. 떼 지능은 다양한 문제를 해결하는 소프트웨어 개발에 응용되고 있다. 떼 지능을 본떠 만든 대표적인 소프트웨어는 개미떼가 먹이를 사냥하기 위해 이동하는 모습을 응용한 것이다.

## 창발성과 자기조직화

창발성은 모든 복잡계가 보여주는 특성이다. 가령 흰개미들은 집을 지을 만한 지능이 없지만 그 집합체는 역할이 다른 개미들의 상호작용을 통해 거대한 탑을 세운다. 복잡계에서 하위수준(구성요소)에는 없는 특성이 상위수준(전체구조)에서 창발하는 것은 자기조직화능력 때문이다. 자기조직화에는 분명 위대한 힘과 창조적 에너지가 있지만 그 힘과 에너지가 지능과 같은 능력을 발휘하려면 특정한 형태를 향해 변해가야 한다. 자기조직화의 가장 간단한 보기는 모래언덕이다. 모래를 한 번에 한 개씩 떨어뜨려 언덕을 만든다면 경사가 가파를수록 더욱 큰 사태가 일어나면서 많은 모래알이 아래로 흘러내릴 것이다. 위에서 떨어뜨리는 모래알과 아래로 흘러내리는 모래알이 평형을 이루는 임계상태가 되면 모래언덕은 더 이상 커지지 않는다. 모래언덕처럼 완전히 안정되지도 않고 완전히 무질서하지도 않은 상태에서 전체 모양을 유지하고 있는 것을 자기조직화라고 한다. 자기조직화 현상에 도전하여 학문적 성과를 거둔 대표적 인물로 벨기에의 화학자인 일리아 프리고진을 들 수 있다. 그는 1977년 비평형 열역학의 비선형 과정에 대한 연구업적으로 노벨상을 받았다.

## [복잡계](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%B3%B5%EC%9E%A1%EA%B3%84) 과학과의 관계

시간이 지나도 전체는 어떤 구성요소보다도 더 오래 존속한다는 것은 복잡한 체제를 정의하는 특징이다.[]](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%B0%BD%EB%B0%9C#cite_note-9) 복잡한 것은 단순히 뒤엉켜 있는 것과는 다르다. 이것은 창발의 여부를 가지고 명확하게 구분된다. 많은 구성요소를 가지고 있다 해도 거시적인 새로운 질서가 나타나지 않는다면 그것은 뒤엉킨 시스템에 불과하다. 창발이 일어날 때 비로소 복잡계라고 할 수 있다.

창발성은 복잡계 과학의 기본 주제이다. 여기서 창발성은 상호작용하는 다수의 구성원(개체)으로 형성된 계에서 발생하는, 계의 전역적인 동작을 나타내는 전문 용어로써 시스템 이론에서 주로 사용된다. 복잡계 과학의 연구 대상은 사람의 뇌나 생태계같이 상호 관계가 중요한 현상이다. 이들을 통틀어 복잡계라고 부른다. 복잡계는 적어도 두 가지 면에서 공통점이 있다. 첫째, 복잡계는 단순한 구성 요소가 수많은 방식으로 상호작용한다. 가령 사람 뇌는 수십억 개의 신경세포가 거미줄처럼 연결되어 있다. 주식시장은 수많은 투자자들로 들끓는다. 둘째, 복잡계는 환경의 변화에 수동적으로 반응하지 않고 구성 요소를 재조직하면서 능동적으로 적응한다. 사람 뇌는 끊임없이 신경세포의 회로망을 재구성하면서 경험을 통해 학습하고 환경에 적응한다. 즉, 복잡계는 단순한 구성 요소가 상호간에 끊임없는 적응과 경쟁을 통해 질서와 혼돈이 균형을 이루는 경계면에서, 완전히 고정된 상태나 완전히 무질서한 상태에 빠지지 않고 항상 보다 높은 수준의 새로운 질서를 형성해낸다. 복잡계의 창발적 운동은 예측할 할 수 있는 것이 아니며, 계를 구성하는 개개의 성분을 독립적으로 분석하여 알아낸 지식들로부터는 만들어 낼 수 없는 운동이다.

복잡계는 간단하게 이야기하면 창발현상을 보이는 시스템이라고 할 수 있다. 그런데 복잡계의 개념과 이론은 자연과학과 사회과학의 다양한 분야에서 함께 발전해왔기 때문에 일률적으로 통일된 정의는 없다. 흔히 인용되는 여러 분야의 학자들이 내리는 정의도 다양하다. 이러한 관점의 차이는 창발이 일어나기 위해 시스템이 갖춰야 하는 특징과 그것을 표현하는 방식의 차이 때문이다.

복잡성에는 똑같은 대상에 대해 이야기하더라도 이를 바라보는 축척에 따라 복잡성의 정도가 달라진다는 중요한 특징이 있다. '축척이 작아진다'는 것은 더욱 가까이 접근하는 것, 즉 보다 미세한 부분까지 바라본다는 뜻이다. 축척이 원자와 분자 각각을 구분할 수 있는 수준으로 내려가면 복잡성은 급격히 커진다. 이것은 동일한 구성요소들을 모아놓은 시스템이라고 해도 축척에 따라 복잡성의 변화양상은 다양할 수 있음을 보여준다. 그리고 이러한 경향은 기업 조직에도 적용된다. 이러한 복잡성의 관점에서 복잡계를 다시 정의하면, 복잡계는 축척을 변화시킴에 따라 그 복잡성이 뚜렷한 변화를 보이는 시스템을 말한다. 이와 같이 축척이 커지며 새로운 질서가 나타나는 것이 바로 앞서 이야기한 창발이다.

복잡계의 행동은 언뜻 보아 무질서한 것 같다. 왜냐하면 구성요소의 상호작용이 고도로 비선형적인 행동을 나타내기 때문이다. 비선형세계에서는 초기 조건에서 발생하는 작은 변화가 출력에서는 엄청나게 큰 변화를 야기한다. 그러한 현상의 하나가 혼돈(카오스)이다. 카오스는 바다의 난류 또는 주식 가격의 폭락처럼 불규칙적이며 예측하기 어렵다. 그러나 복잡계는 혼돈 대신 질서를 형성해낸다. 혼돈과 질서의 균형을 잡는 능력이 있기 때문이다. 다시 말해서 혼돈계와 복잡계는 비선형이라는 점에서 같지만 혼돈계에는 혼돈이, 복잡계에서는 질서가 나타난다는 면에서 다르다.

복잡계는 단순한 구성요소가 상호간에 끊임없이 적응과 경쟁을 통해 질서와 혼돈이 균형을 이루는 경계면에서, 완전히 고정된 상태나 완전히 무질서한 상태에 빠지지 않고 항상 보다 높은 수준의 새로운 질서를 형성해 낸다. 이를테면 단백질 분자는 생명체를, 기업이나 소비자는 국가 경제를 형성한다. 단백질 분자는 살아 있지 않지만 그들의 집합체인 생물은 살아 있다. 생명은 단백질이 완전히 고착되거나 완전히 무질서한 상태에서는 솟아날 수 없다. 질서와 혼돈 사이에 완벽한 평형이 이루어지는 영역에서 생명의 복잡성이 비롯된다.

이처럼 혼돈과 질서를 분리시키는 극도로 얇은 경계선을 혼돈의 가장자리(edge of chaos)라 한다. 요컨대 생명은 혼돈의 가장자리에서 창발하는 것이다. 생명은 혼돈의 가장자리에서 한쪽으로는 너무 많은 질서, 다른 한쪽으로는 너무 많은 혼돈 속으로 언제든지 빠져들 위험을 간직한 채 평형을 지키려는 유기체의 특성이라 할 수 있다. 혼돈의 가장자리는 복잡성 과학을 상징하는 용어가 되었다. 복잡계는 혼돈의 가장자리에서 가장 복잡한 행동을 창발함과 동시에 환경에 가장 잘 적응할 수 있기 때문이다.

복잡성 과학은 1980년대에 등장한 풋내기 과학이며 장래가 반드시 낙관적인것만은 아니다. 그럼에도 거의 모든 자연 세계와 사회 현상이 복잡계로 간주될 수 있기 때문에 창발의 원리를 밝히려는 복잡성 과학에 거는 기대는 상상 외로 크고 뜨거울 수밖에 없다.

## 창발의 분류

* 환원: 더 복잡한 범주가 더 기본적인 범주 등의 부분이나 기초로 설명될 수 있고, 더 기본적인 범주의 집합과 다르지 않음을 말한다.
* 수반: 더 복잡한 범주가 더 기본적인 범주로 환원되는 것은 아니지만, 상위 수준의 더 복잡한 범주는 하위 수준의 더 기본적인 범주 위에 창발될 때 수반한다고 말한다.
* 창발: 더 복잡한 범주는 더 기본적인 범주의 집합과 다르고, 더 복잡한 범주가 더 기본적인 범주보다 새로운 특징을 가지고 있음을 말한다.

### 환원주의와 전체론

* 환원주의: 생물학에서 일정 수준의 체계는 그 성분 부분으로도 분석할 수 있으며 좀더 높은 수준의 행동은 그 부분의 성질이나 행동, 배치에 의해 설명하거나, 또는 생물학이론이나 법칙을 일반적으로 그 기초가 되는 다른 과학(특히 화학, 물리학), 사실·법칙에 귀착시키려는 입장을 말한다. 예를 들어 전자의 경우 종이나 군집 수준의 현상에는 그수준에 특유의 법칙이 있다고 보는 입장에 대하여, 유전자나 개체 수준의 행동이나 법칙에 의해 설명할 수 있다고 보는 입장이다.
* 전체론: 자연의 다양한 실체, 특히 생물에서는 각각 그 자체로서 정상의 기능을 유지하는 본질이 갖추어져 전체로는 부분에서 볼 수 없는 새로운 성질이 성립한다고 하는 주장이다. 이러한 성질의 존재를 전체성이라고 하는데, 생명현상의 전체성에 대한 주목의 환기는 생기론에 의해 시작되었다. 전체론은 그 후 많은 발전을 보았는데, 그 입장은 생리학적, 발생학적, 생태학적 등 논자에 따라 다르다. 현재 생명현상에는 물리화학 법칙에서 설명할 수는 특유의 원리가 있다고 주장하는 전체론과, 군집이나 종같은 상위 수준의 현상은, 개체나 유전자 같은 하위 수준에서의 거동에서는 설명할 수 없다는 전체론이 중심이다.

## 철학에서의 창발

이전 단계에는 없던 성질이 윗 단계에서 갑자기 나타나는 것으로, 낮은 수준으로의 환원 불가능성을 강조한다.

### 아힘 슈테판의 창발

창발의 형태는 약한 창발, 약한 통시적 창발, 공시적 창발, 통시적 구조-창발의 4가지가 있다.

1. **약한 창발**은 물리적 일원론과 공시적 결정성이라는 두가지 명제를 전제로 가진다. 여기서 약한 창발은 자연 내에서 발생하는 거의 모든 현상과 성질들의 창발 형태이다.
   1. 물리적 일원론: 우주에 존재하고, 또 발생하는 시스템들은 물리적인 실재로 구성된다. 창발로 특징지어지는 성질, 성향, 행동 양식 혹은 구조들은 물리적인 구성 성분으로 이루어지니 그러한 시스템에 의해서만 실현된다.
   2. 공시적 결정성: 한 시스템의 성질이나 행동 성향은 그것의 미시구조, 즉 그것의 구성 요소나 배열에 의존적이다. 시스템의 구성 요소 내의 혹은 배열 내의 차이가 없이는 시스템 내의 성질 내에는 그 어떤 차이도 있을 수 없다.
2. 약한 창발에 새로운 종의 명제가 추가되면 그 의미가 강해지며, **약한 통시적 창발**이 된다.
3. 약한 창발에 환원 불가능성이 덧붙여지면 **공시적 창발** 혹은 강한 창발이 된다.
4. 심리 철학 분야에서 공시적 창발 혹은 강한 창발이 필요하다면, 로봇 공학이나 인공 생명 연구에서 필요한 창발의 형태는 약한 통시적 창발에 구조적-불예측성 명제가 더해진 **통시적 구조-창발**이다.

## 과학에서의 창발

복잡한 모형의 과정 또는 단순한 규칙이나 원인으로부터의 형성 결과를 말하며, 모형이 규칙으로 설명되는 것, 즉 환원가능성을 암시한다.

### 자연에서의 창발[

* **비생명적 창발**:
  + 적응이 없는 창발적 복합성을 나타낸다.
  + 복잡한 눈송이 결정체, 구름, 폭풍우가 있으며 이들은 일차 원리로부터 계산해낼 수 없고 복잡계의 창발성으로 보는 평이 더 타당하다.
* **생명적 창발**:
  + 흰개미는 역할에 따라 여왕개미, 수캐미, 병정개미, 일개미로 발육하여, 수만 마리씩 큰 집단을 이루고 살면서 질서 있는 사회를 형성한다. 흰개미는 흙이나 나무를 침으로 뭉쳐서 집을 짓는다. 아프리카 초원에 사는 버섯흰개미는 높이가 4미터나 되는 탑 모양의 둥지를 만들 정도이다. 이 집에는 온도를 조절하는 정교한 냉난방 장치가 있으며, 애벌레에게 먹일 버섯을 기르는 방까지 갖추고 있다.
  + 개개의 개미는 집을 지을 만한 지능이 없다. 그럼에도 흰개미 집합체는 역할이 상이한 개미들의 상호작용을 통해 거대한 탑을 만든다.
* **생태학적 창발**:
  + 생태학자들은 전통적으로 생태계가 예측 불가능한 현상을 나타내면 기후 변화와 같은 외부 요인 때문에 자연의 균형이 깨진 결과라 생각했다. 그러나 현대 생태학은 이러한 현상을 생태계 내부 요인의 상호작용에 의해 새롭게 생기는 성질, 즉 창발성으로 간주한다.
  + 생태계에서는 하위계층의 구성원들이 여러 개 모이면 보다 크고 통합된 성질을 갖는 상위계층이 된다. 즉 하위계층에 없었던 성질이 상위계층에서 새로 생긴다. 이와 같이 구성요소들의 기능적 상호작용의 결과로 생기는 성질을 창발성이라 한다.
  + 생태학자들은 하와이 고지에서 외래종이 적응에 실패한 것은 생태계의 창발성 때문이라고 본다. 다양한 종으로 형성된 생태계에서는 종이 협동하여 외부의 경쟁자를 배척하려는 속성이 있으므로 외래종이 어지간히 우수해서는 정착하기가 쉽지 않다. 말하자면 외래종을 물리친 것은 개개의 종보다는 생태계 전체의 능력이다.

#### 자연과 창발주의

자연에서 발견되는 창발적 성질은 자명한 이치이다. 그러나 이러한 성질 모두가 필연적으로 예측 불가능한 것은 아니고, 그래서 창발이란 의미가 요구되는 것이다. 이 주장은 사실에 있어서 불분명한 점이 있다. 만일 성질을 기술하는 단어가 관찰-술어적 이어서 명시적으로만 정의될 수 있다면, 성질에 대한 첫 예시성이 예견될 수 없다고 주장하는 것은 진부한 것이다. 그 이론가는 어떤 예상을 앞서서 공식화할 단어가 모자라게 되는 것이다. 반면에, 만일 단어로서 성질을 상술할 수 있다면, 그 때는 구두로서 이러이러한 조건 아래서 예시될 수 있는 예상을 할 수가 있게 되는 것이다. 그의 예상이 잘 설정이 된다는 것은 배경적 이론의 훌륭함에 달려 있는 것이다. 화학과 맛의 생리학 모두를 잘 알 때 설탕이 달다고 할 수 있는 것이다. 그래서 창발주의는 주어진 시간에 우리의 지식이 경험적인 한계 내에서 이용이 되는 것이다.

#### 창발적 진화

물질에서 생물로, 하등생물에서 고등생물로의 진화를 의식 발생까지 포함시켜 설명하고자 하는 설. 각각의 것의 결합에 의해 새로운 성질이나 상태가 나타나는(수소와 산소가 화합하여 물이 생기는 경우 등) 것을 기초로 한다. 게슈탈트 심리학의 원리를 진화이론에 적용한 것으로 조어이다. 한편 변증법을 자연계에 적용한 것이라고 주장하는 견해도 있다. 여러 창발론자는 각각의 사고방식에 다소의 차이가 있지만 대부분의 경우는 창발의 또 다른 의미인 ‘기존하는 것의 전개’라는 관념도 포함하고 있으며 창발의 기초에는 지구상의 원초적 물질 중에 이미 생명을 향한 막연한 방향성의 존재 혹은 생명이 창발하는 물질은 물리학이나 화학에서 규정하는 것과 다르다고 하는 가정을 설정하고 있다. 창발적 진화학자들은 '창발적 전체' 또는 '통합적 전체'을 주장하고 있는데, 이 성질로 자기완결성이 있다. 이는 부분적 결합에 의해 새로운 성질을 갖는 전체가 출현하는 것으로, 오래전에는 군집의 유기적 총체로 성질을 강조하기 위해 사용한 적도 있었지만, 현재는 별로 사용하지 않는다. 다만 구성요소 간에 상호작용이 다수 결합된 네트워크 시스템을 다루는 수리 분야에서는 각각의 관계가 겹쳐서 예측할 수 없는 전체 거동의 출현이 주목받는다

#### 생명의 조직화

세포의 특징, 즉 형질은 복잡계의 창발성과 비슷하다. 계산으로는 그것을 포착하기가 어렵다. 이는 인간 같은 다세포생물로 가면 더 복잡해진다. 인간의 몸에는 약 100조 개의 세포들이 계층 구조를 이루고 있으며, 계층의 각 단계는 위아래 단계들에 의존한다. 몸은 기관으로 이루어지고, 기관은 조직으로 이루어지며, 조직은 세포로 이루어지고, 세포는 더 작은 세포소기관으로 이루어진다. 이런 식으로 분자 단계까지 죽 이어진다. 단계 사이에는 끊임없이 정보가 흐르므로, 복잡성의 어떤 단계에서 명확히 구분 짓는 임의의 선을 긋기란 불가능하다. 구름이나 난류처럼 생물도 다양한 규모에 걸쳐 구조를 보여준다.