

★ 3월 8일(금) 오전 4시(국제엠바고) 이후 보도하여 주시기 바랍니다.

로	 함께하는 공정사회 더 큰 희망 대한민국 교육과학기술부 Ministry of Education, Science and Technology
	 한국연구재단 National Research Foundation of Korea
	교육과학기술부 홍보담당관실 ☎ 02-2100-6588 한국연구재단 홍보팀 ☎ 042-869-6116

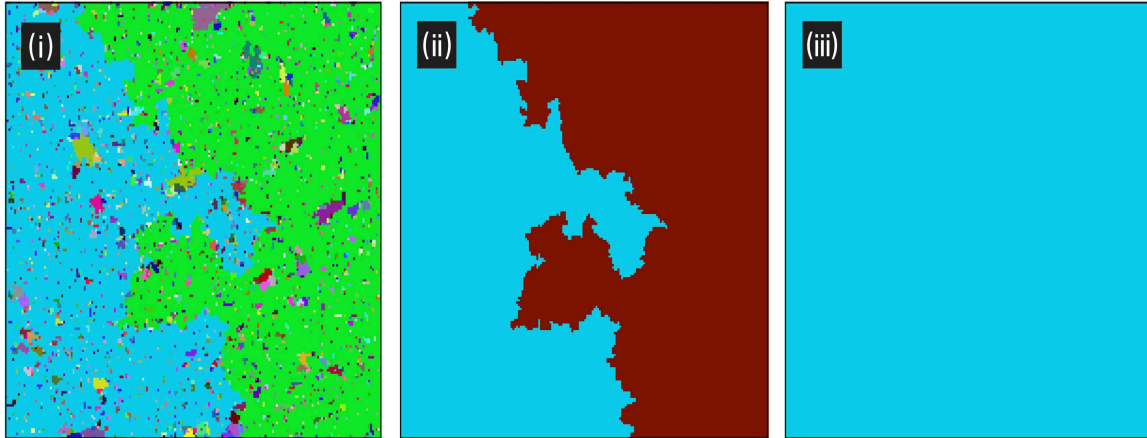
< > ☎ 02-2100-6829, 교과부 기초연구지원과장 최도영, 사무관 송영동
02-880-1326, 물리천문학부 강병남 교수

대규모 집단 형성에 대한 불연속 상전이 현상 규명

- 발표, 억압하는 환경 속에서 대규모 집단 형성의 비밀 밝힘 -

- 국내 연구진이 성장을 억압하는 환경에서 소규모 집단이 대규모 집단으로 급진적으로 진화할 수 있는 조건을 물리학의 상전이 개념을 이용하여 밝혀냈다.
- 교육과학기술부(장관 이주호)와 한국연구재단(이사장 이승중)이 추진하는 중견연구자지원사업(도약연구)의 지원을 받은 서울대학교 물리천문학부 강병남 교수 연구팀이 스위스 공과대학 Herrmann 교수와 공동으로 수행한 이번 연구결과는 사이언스지 3월 8일자 온라인판에 게재되었다.
(논문명: *Avoiding a Spanning Cluster in Percolation Models*)
- 서로 모르는 사람들도 시간이 흐르면서 사회적 관계를 통해 집단을 형성하게 된다. 이 경우 소규모 집단에서부터 대규모 집단까지 다양한 크기의 집단이 만들어지게 되는데 일반적으로 대규모 집단의 형성은 연속적으로 천천히 진행된다.

- 만약 거대 집단의 형성을 억압하는 상황이라면 집단은 어떤 형태로 발전할 수 있을까? 연구팀은 집단의 규모가 커지면서 성장이 더욱 억압받게 되고 그 결과 생겨난 중간 크기의 집단이 일정 임계점에서 마치 기다렸다는 듯이 폭발적으로 결합하여 대형 집단을 형성하는 조건을 알아내기 위해 수학모형을 연구했다.
- 연구팀은 서로 다른 집단 간의 사교를 매개할 동기가 없는 상황에서 성장이 억제된 N 명의 구성원으로 이뤄진 시스템에서 임의의 $\log N$ 명 이상을 선택하여 그 중 네트워킹이 가장 약한 사람에게만 사교활동의 동기를 제공하면 대규모 집단이 급진적으로 탄생할 수 있다는 것을 밝혀냈다.
- 연구팀은 이러한 연구를 위해 물리학 개념을 사용했다. 두 도체판 사이에 도체 알갱이들을 서로 연결하는 병목(bottleneck)이 만들어져야 비로소 전기가 흐르는 상전이 현상처럼 사회적 집단 간에도 서로 떨어진 집단 간을 연결해 줄 전령(messenger)에 의해 폭발적인 집단의 성장이 이뤄질 수 있다고 보고 그 임계점에 해당하는 조건을 찾아낸 것이다.
- 이 연구결과는 반대로 대규모 그룹이 출현하는 것을 억제하는데 응용될 수도 있다는 설명이다. 예를 들어 전염병 확산이 대유행상태까지 발전하지 못하도록 하는 방안을 생각할 수 있다.
- 강 교수는 “이번 연구결과는 비평형계에서 일어나는 불연속 스미기 상전이 현상에 대한 원인을 규명한 것” 이라면서 “연구 대상이 된 수학모형은 다양한 성질을 내포하고 있어 논란이 되어 왔는데 본 연구를 통해 모든 결과를 하나의 이론적 틀에서 이해하게 된 것” 이라고 밝혔다.



<참고그림> 본 연구에서 다룬 모형은 억압받는 상황 속에서 대규모 집단이 급진적으로 탄생하는 모습을 보여주는데 이 현상은 마치 베를린장벽이 갑작스럽게 무너진 현상에 비유할 수 있을 것 같다.

(i) 초기에는 대규모 집단 형성을 가로 막는 외부의 힘으로 말미암아 중규모 집단 사이에 장벽이 형성된다. 이 때 중규모 집단 내부에는 아직도 독립된 소규모의 집단이 존재한다.

(ii) 시간이 경과하면서 어떤 조건하에서는 내부의 소규모 집단은 사라지고 중규모 집단 내의 결속이 강화된다.

(iii) 임계 시점(티핑포인트)에 도달하면 장벽은 무너지고 대규모 집단이 탄생하게 되는데 이 변화는 갑작스럽게 일어난다. 만약 본 연구에서 찾아낸 위에서 언급된 “어떤 조건”에 대한 여건이 형성되지 않으면 내부적으로 소규모 집단이 계속 존재하면서 대규모 집단이 탄생하게 되지만, 이 경우 변화는 급작스럽게 일어나지 않는다.



이 보도자료와 관련하여 보다 자세한 내용이나 취재를 원하시면
 교육과학기술부 기초연구지원과 송영동 사무관(☎ 02-2100-6829)이나
 서울대 강병남 교수(☎ 02-880-1326)에게 연락주시기 바랍니다.

연구결과개요

1. 배경

물리학에서 스미기 전이에 대한 연구는 오랫동안 수행되어왔다. 스미기 전이에서 임계점을 지나면 양측의 가장자리를 연결하는 클러스터가 형성된다. 이 연결 클러스터에 속하는 본드(저항) 수의 전체 시스템에 있는 저항이 놓여질 빈 자리 수(시스템 사이즈라 함)에 대한 비율을 질서매개변수라고 칭하는데 이는 시스템에 붙여진 총 본드 수가 증가함에도 불구하고 급격히 증가하지 않고 천천히 연속적으로 변한다. 따라서 연속 상전이 현상을 일으킨다.

그러나 물이 액체에서 기체로 변하는 상전이 현상에서는 물 분자의 밀도(질서매개변수)는 임계온도 섭씨 100도에서 불연속적으로 변한다. 이런 상전이를 불연속 상전이라고 부른다. 어떤 상황에서 불연속 스미기 전이가 일어날 수 있을까? 이에 대한 연구는 아직 초기 단계이다.

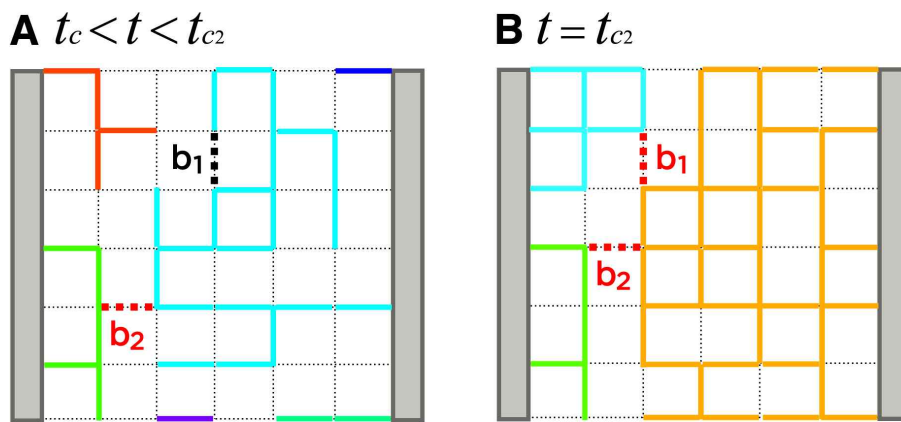
복잡계 네트워크에서는 공간이라는 개념이 설정될 수 없다. 따라서 복잡계 네트워크에서 일어나는 스미기 전이의 개념을 새롭게 설정하여야 한다. 복잡계 네트워크는 노드(예를 들어 사람)와 링크(사람사이의 관계)로 구성된다. 매 시간마다 하나씩 링크가 임의로 연결되는(사람과 사람이 인지하는) 네트워크의 진화 현상을 생각해 보자. 어느 정도 시간이 흐르면 거시적인 크기의 대형 클러스터가 형성될 것이다. 이때를 임계점이라고 한다. 이를 복잡계 네트워크에서의 스미기 전이라고 한다. 이 스미기 전이도 연속적으로 변한다.

2009년 사이언스지에 불연속 스미기 전이에 대한 논문이 소개되었다. 이 논문의 핵심 아이디어는 복잡계 네트워크가 진화하면서 클러스터의 성장을 억압하는 힘을 외부로부터 받을 때 성장이 억제된 클러스터들은 늦추어진 임계점에서 마치 기다렸다는 듯이 폭발적으로 결합하여 대형 클러스터를 만들게 된다는 것이다. 즉 불연속 스미기 전이를 일으킨다는 주장이었다.

그러나 이에 대한 원인이 밝혀지지 않았고 시스템의 노드 수가 무한히 큰 극한에서 정말로 폭발적인 전이가 불연속 전이인가에 대한 의문이 계속적으로 일어났다. 또한 억압하는 환경이 유클리드 공간에서 주어지는 경우 스미기 전이는 어떻게 될 것인가에 대한 대답도 없는 상황이었다.

2. 연구결과

본 연구에서는 억압 받는 환경 속에서 클러스터의 성장이 불연속적으로 변할 수 있는 원인 및 조건을 밝혔다. 모형에 대한 설명은 아래와 같다.



* 이 그림은 이해를 돕기 위한 것으로 저작권의 문제가 있어 보도에는 이용하지
말아달라는 연구진의 부탁이 있었습니다.

양쪽 가장자리에 있는 회색 부분을 두 개의 마을이라고 생각하자. 두 마을을 연결하는 길을 바둑판 위에서 만들려고 한다. 점선으로 칠한 것은 길(path)이 만들어질 후보지이다. 색으로 칠한 것은 길이 이미 만들어진 부분이다. 각각의 색은 집단을 표시한 것으로 각 집단은 서로 연결되어 있다.

매 시각에 두 개의 후보지 b_1 과 b_2 를 랜덤하게 선택한다. 만약 어떤 후보지(예를 들어 b_2)에 길이 새로 만들어지면 두 마을을 연결하는 길이 형성된다. 이러한 길 b_2 를 bridge bond 라고 한다. 이러한 길이 만들어지지 못하게 함으로써 대규모 연결 클러스터 형성을 억제시키는 효과를 낳게 된다. 실제로 b_1 이 새로 만들어지는 길이 된다.

이러한 억제 정책을 계속 펼쳐가다가 두 개의 후보 선택이 오른쪽 그림과 같이 이루어진다면 두 개의 후보 모두가 bridge bonds 이므로 어느 하나를 선택하여도 두 마을을 연결하는 길이 생기게 된다.

이때 두 마을을 연결하는 길에 속하는 본드(선)의 수는 바둑판에 그려져 있는 선의 총 개수와 비교할 수 있을 정도로 큰 유한한 값으로 점프하게 되어 불연속 상전을 일으킨다. 일반적으로 매 시간 선택하는 후보의 개수를 m 이라고 하자. (위의 예에서는 $m=2$ 이었음) 또 시스템의 크기, 즉 바둑판의 선의 수를 N 이라고 표시하는 경우, m 이 유한하고 $N \rightarrow \infty$ 인 경우 연속 상전이(transition)가 일어나고 $m > \log N$ 조건 하에서 $N \rightarrow \infty$ 인 경우에는 불연속 상전이(transition)가 일어난다는 것을 본 연구에서 밝혔다.

덧붙여 이와 같은 조건은 유클리디안 공간뿐만 아니라 복잡계 네트워크에서도 사용될 수 있음을 보였다.

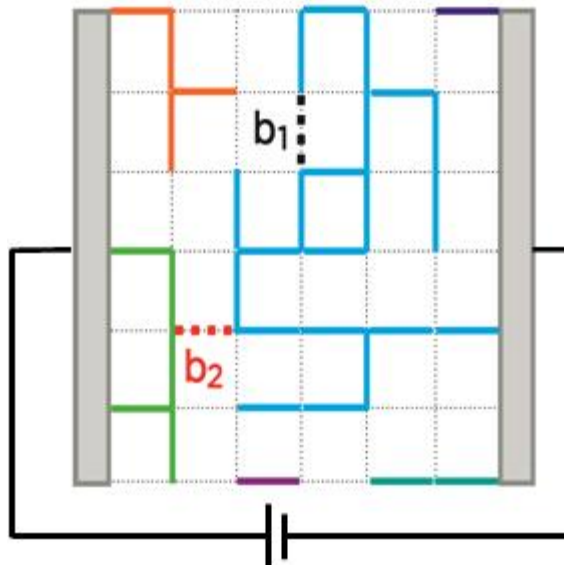
3. 기대효과

물리학에서 사용하는 스미기 전이 개념을 이용하여 복잡계 네트워크에서 일어나는 성장이 억제된 환경 속에서 집단의 성장 현상과 상태의 변화의 원인을 규명하였고 이에 대한 조건을 해석적으로 구함으로써 그동안 논란이 되어온 모형의 다양한 성질을 하나의 틀에서 이해할 수 있었다. 이에 대한 결과는 앞으로 비평형 동역학 계에서 일어나는 여러 가지 불연속 상전이 현상을 이해하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

용 어 설 명

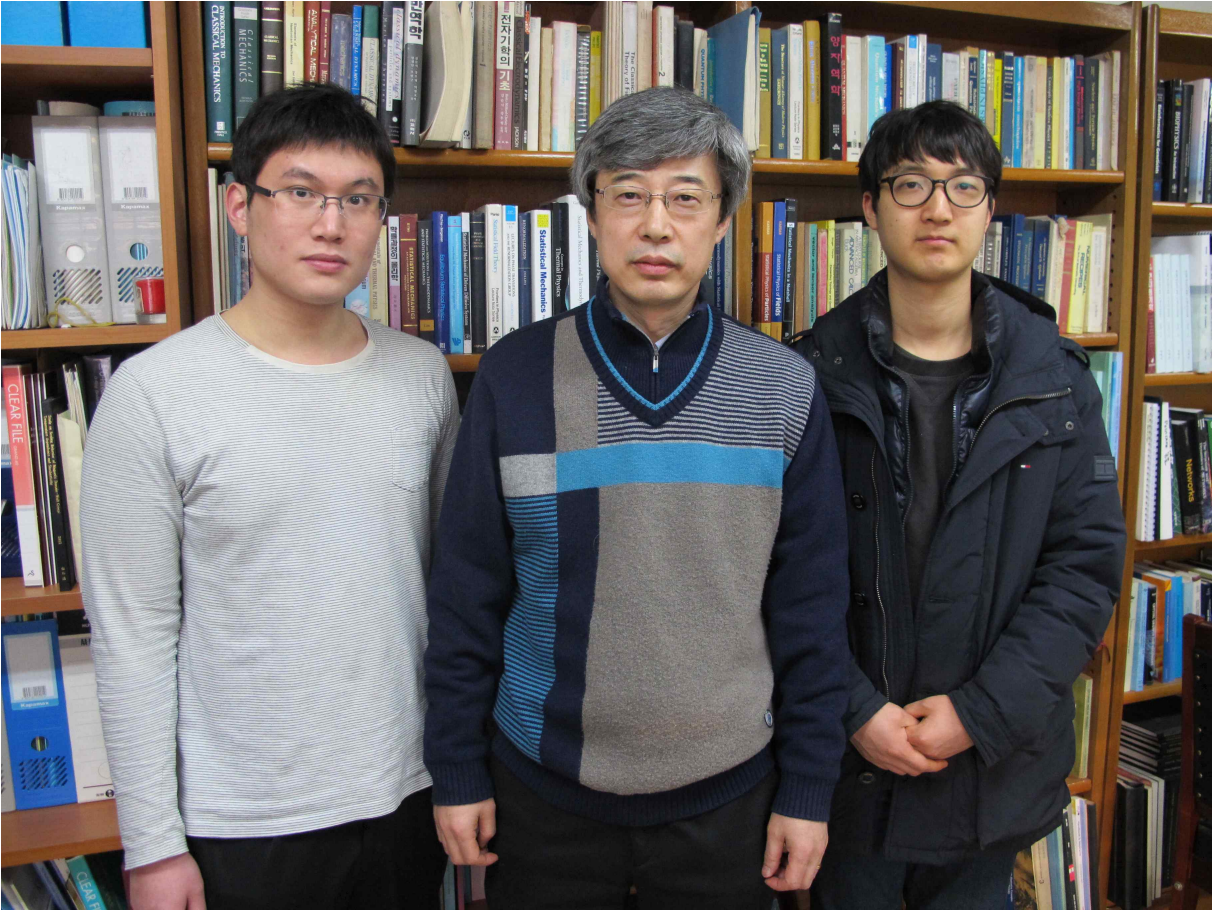
□ 스미기전이 (percolation transition)

- 현재로는 두 개의 전극판을 연결하는 길이 없어 전기가 흐르지 않는다. 그러나 b_2 에 저항이 새로이 연결되는 경우 두 금속 막대를 연결하는 길이 만들어져 전기가 흐르게 된다. 이와 같이 전기가 흐르지 않는 상태에서 전기가 흐르는 상태로 변하는 현상을 스미기 전이라고 부른다. 커피가 흐르는 것을 연상하여 percolation transition 즉 여과전이라고도 부른다.



* 이 그림은 이해를 돕기 위한 것으로 저작권의 문제가 있어 보도에는 이용하지
말아달라는 연구진의 부탁이 있었습니다.

사 진 설 명



사진설명 : 연구팀(좌로부터 조영설, 강병남, 황성민)

강병남 교수 이력사항



1. 인적사항

- 소 속 : 서울대학교 물리천문학부
- 전 화 : 02-880-1326
- e-mail : bkahng@snu.ac.kr

2. 학력

졸업년도	학 교	전 공	학 위
1989	Boston University	통계물리	박사
1985	서울대학교	물리학	석사
1983	서울대학교	물리학	학사

3. 경력사항

- 2001 ~ 현재 : 서울대학교 물리천문학부 교수
- 1991 ~ 2000 : 건국대학교 물리학과 교수
- 1989 ~ 1991 : 박사후연구원, 미국 캘리포니아 버클리대 화학과
- 2006 ~ 현재 : 한국과학기술한림원 정회원

4. 전문분야정보

- 통계물리

5. 연구지원현황

- 2010 - 현재 · 연구재단 중견연구자지원사업[도약 연구] 연구책임자