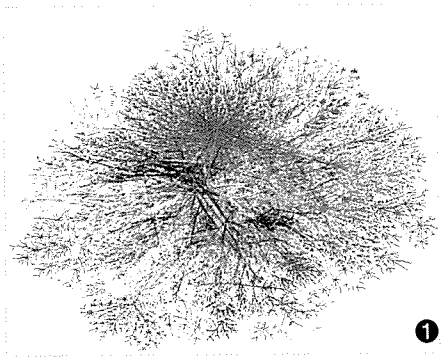
21세기의 새로운 과학 '복잡계 네트워크 이론'

우리가 살고 있는 세상은 매우 좁으며 알게 모르게 서로 연결돼 있다. 더욱 더 재미있는 사실은 월드와이드웹으로 대표되는 인터넷을 통해서 사회가 점점 더 좁아지고 있다는 것이다. 과연 현재의 사회는 몇 단계로 되어 있을까? 또 마지막에는 어디까지 줄어들게 될 것인가? 21세기에 새로운 과학으로 태동하고 있는 복잡계 네트워크 사회론을 소개한다.

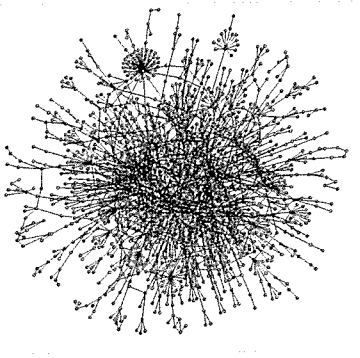
❶ 인터넷 지도, 인터넷 주소별로 색깔을 달리함.

❷ 단백질 상호작용 네트워크. 각각의 노드는 단백질을, 연결선은 단백질간의 상호작용을 나타낸다. 노드의 색깔은 해당 단백질을 제거했을 때의 세포의 생존여부를 나타낸다 : 붉은색 : 세포사망, 초록색 : 세포생존, 오렌지색 : 성장장애, 노란색 : 미확인.

❸ 스키틀러 프로젝트에 의해 얻어진 인터넷의 연결선을 나타내는 스냅샷 지도. 각 점은 인터넷 주소, 연결선은 실제 컴퓨터 및 라우터를 연결하는 네트워크 케이블을 뜻한다. 인터넷서비스 제공자 별로 색깔을 달리한 인터넷의 지도.



❶



❷

❸

복잡한 현대사회, 네트워크로 연결

「인터넷은 '척도없는 네트워크' 구조」 밝혀내

글 _ 강병남 서울대 자연과학대학 물리학부 교수 kahng@phya.snu.ac.kr

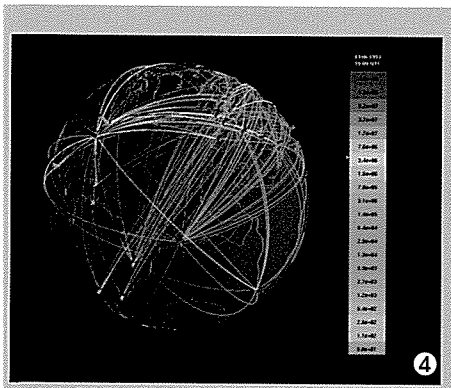
20세기 후반의 우리 삶은 인터넷과 휴대폰으로 완전히 바뀌어 버렸다. 특히 IT 강국인 우리에게 지구를 좁게 만들어 준 인터넷의 위력은 정말 대단하다. 개인이 얻을 수 있는 정보도 늘어났고, 자기 주장도 쉽게 밝힐 수 있게 되면서 세상은 더욱 시끄러워지기도 했지만, 그만큼 다양한 문화가 창출될 수도 있게 되었다. 젊은 학생들과 생활하고 있는 필자도 하루가 다르게 변하는 세상을 쫓아가기 바쁜데, 다른 사람들은 어떻게 급변하는 세상에 적응하고 있는지 궁금하다.

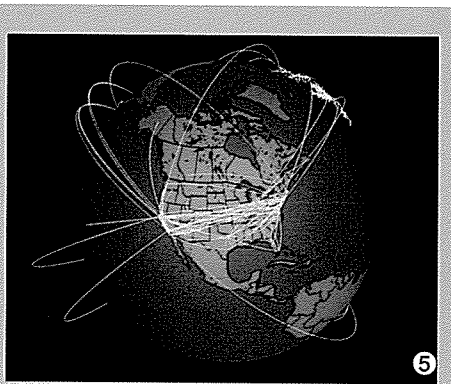
얼마 전에 학생들을 무한 경쟁의 세계를 경험시키기 위하여 어려운 숙제를 내준 적이 있었다. 물론 대부분의 학생들은 힘들어했지만, 몇몇 학생들은 기대 이상의 성적을 올려 감동을 받은 적이 있었다. 그런데 그 중에는 인터넷을 통해 손쉽게 문제를 해결해버린 학생도 있었다. 담당 교수가 인터넷에도 올라 있지 않은 기발한 문제를 내어주어도, 한 학생이 지구상의 모든 학생들에게 그 문제를 함께 풀어보자고 제안을 한다면 풀리지 않는 문제는 하나도 없을 것이다. 온 세상이 네트워크로 얽혀져 있는 네트워크 사회에서는 그런 일이 얼마든지 가능한 법이다. 네트워크 사회의 위력은 정말 대단하다.

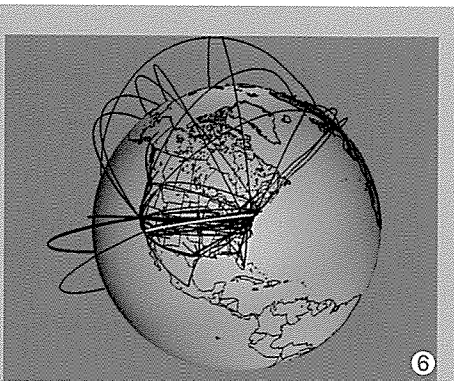
우리들은 알게 모르게 네트워크 사회에 살고 있다. 주위에서 일어나는 자연 현상과 사회 현상들은 매우 복잡한 네트워크로 연결되어 있다. 처음 만나는 사람들이 무슨 말을 할지 몰라 서먹서먹할 때, 우연히 나오는 말이 있다. "고향이 어디입니까? 어느 학교 나왔어요? 아 그럼 누구 아시겠네요... 예, 그럼요. 그 사람하고 친구입니다. 참 세상 좁네요." 이렇게 대화가 진행되면서 그 두 사람간의 벽은 허물어지게 된다. 세상은 참 좁다. 1960년대 미국의 사회학자 스탠리 밀그램은 다음과 같은 실험을 통해 세상 사람들은 5 단계 사람만 거치면 다 알게 된다는 이른바 "6단계 분리"라는 유명한 말을 남겼다. 네트워크로 연결된 우리의 세상

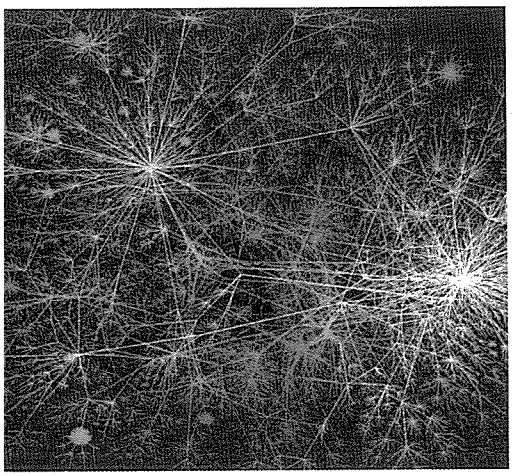
❹ 월드와이드웹 트래픽의 양을 보여주는 지도. 오른쪽 색테이블은 교통량의 정도를 뜻한다.

❺~❻ 인터넷 멀티캐스트에 사용되는 주요 연결망의 구조를 3차원으로 나타낸 그림. 멀티캐스트망이란 한 곳의 송신자가 다수의 수신자에게 데이터를 보낼 때 사용하는 효율적인 방법을 뜻한다.







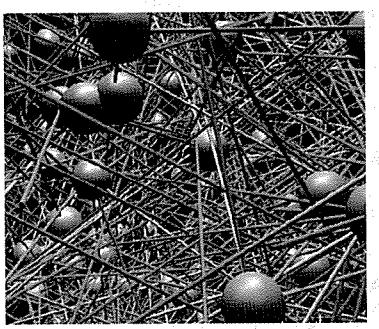


은 놀라울 정도로 좁다는 뜻이다.

왜 세상이 이렇게 좁고, 그런 네트워크는 어떻게 만들어지는가? 최근 통계물리학계에서 활발하게 연구되고 있는 문제다. 인터넷은 소위 '척도없는 네트워크' 라는 구조로 되어있음이 밝혀졌다. 네트워크는 '노드' 라는 점들과 노드들을 연결하는 '연결선' (링크)으로 구성된다. 인간 세상에서의 사람과 인터넷에서의 라우터가 바로 노드가 되고, 사람들이 서로 알게 되는 것과 두 라우터 사이의 연결이 바로 링크가 된다. 많은 사람들을 알고 있는 마당발은 많은 링크를 가지고 있는 셈이다. 아는 사람의 수에는 한계가 없을 것이므로, 정말 유명한 사람은 많은 지인, 즉 링크를 가지고 있게 된다. 이처럼 많은 링크를 가지고 있는 노드를 특별하게 '허브' 라고 부른다. 인터넷에도 유난히 많은 링크를 가지고 있는 허브가 존재한다. 허브가 가지고 있는 링크가 많아질수록 세상은 점점 더 좁아지게 된다. 즉, 세상은 그런 슈퍼 허브 때문에 좁게 느껴지게 된다. 항공사들은 오래 전부터 허브의 개념을 활용해왔다. 많은 비행사들이 몰려드는 시카고의 오헤어 공항이 대표적인 허브 공항이다. 어느 공항이 훌륭한 기반 시설을 갖추게 되면 허브 공항으로 성장하게 된다. 허브 공항에 연결되면 그곳으로부터 다른 곳으로의 연결이 쉬워지기 때문에 점점 더 많은 항공사들이 취항을 원하게 되고, 허브 공항의 링크는 점점 더 늘어나게 된다. 즉, 허브는

6단계 거치면 세상사람들 모두 알게 된다

글_정하웅 KAIST 물리학과 교수 hjeong@mail.kaist.ac.kr



호주 캔버라 지역 구성원들의 사회적인 연결관계를 나타낸 그림, 각 동그라미들은 개개인을, 연결선은 사회적인 인간관계를 즉, 서로 알고 있다는 것을 뜻한다.

'여섯 단계 분리' 라는 말은 1920년대 헝가리 작가 카린시의 '연쇄' (Chain)라는 소설에서 유래되었다. 자세한 내용은 전해지지 않지만 그는 몇 가지의 예를 들어 당시 15억의 사람들이 여섯 명만 거치면 서로 알 수 있을 것이라고 주장했다고 한다. '여섯 단계 분리' 를 본격적으로 소개한 사람은 하버드대학교 사회학과의 스탠리 밀그램이었다. 그는 1967년에 사람들 사이의 관계 형성을 연구하면서 다음과 같은 실험을 해보았다. 미국 중부에 사는 300명의 사람들에게 편지를 보내서, 그 편지를 보스턴에 살고 있는 주식 중개인 A씨에게 전해달라고 부탁했다. 편지를 받은 사람들은 자신이 알고 있는 사람들 중에 보스턴의 A씨를 알 것이라고 생각되는 사람들에게 편지를 전해주고, 그 사람도 역시 같은 방법으로 편지를 전해주도록 부탁을 했던 것이다. 이 실험을 통해 성공적으로 배달된 편지에 배서된 사람의 수를 세어보니 평균이 대략 5.5명이라는 사실을 확인함으로써 카린스의 주장을 확인했다 (http://www.stanleymilgram.com 참조). 그로부터 36년이 지난 오늘날 우리의 세상은 엄청나게 변화했다. 인터넷의 등장으로 세상은 더욱 좁아졌다고 느껴진다. 컬럼비아대학교 사회학과의 덩컨 와트 교수는 인터넷의 전자우편을 이

부익부 빈익빈의 현상으로 출현하게 된다.

미국 노터데임대학의 바라바시 교수는 인터넷에서는 어떤 노드가 갖게 되는 링크의 수가 멱함수 법칙을 따르는 '척도없는 네트워크'가 만들어진다는 사실을 밝혔고, 그런 네트워크가 만들어지는 가장 중요한 원인은 부익부 빈익빈 현상이라는 사실을 지적하였다. 어느 노드가 가지고 있는 링크의 수는 시간이 지나면 늘어나게 되지만, 그 증가 속도는 현재 확보하고 있는 링크의 수에 비례하기 때문에 척도없는 네트워크가 만들어진다는 것이다.

이러한 네트워크는 인터넷과 월드와이드웹은 물론이고, 생물 세포 속의 단백질 상호작용 네트워크 등에서도 발견할 수 있다는 것이 최근 통계물리학의 연구 결과다. 다시 말해서 부익부 빈익빈 현상은 자연에서 나타나는 당연한 현상이고, 만약 그것을 인위적으로 방해한다면 자연의 법칙을 파괴한 책임은 반드시 감수할 수밖에 없다는 것이다.

최근에는 이런 네트워크 이론을 이용해서 인간 유전자의 기능을 연구하려는 노력도 하고 있다. 유전자에 의해서 발현되는 단백질은 단독으로 기능을 수행하는 것이 아니라, 여러 가지 단백질들 사이의 상호작용을 통한 유기적인 조화를 통해서 생물학적 기능을 하게 된다. 만약 단백질들 사이의 네트워크에 유기성이 깨어지면 질병이 생기게 되고, 사망에까지 이를 수도 있게 된다. 만약 암세포에서 일어나는 단백질 사이의 유기적인 네트워크를 인위적으로 파괴시킬 수 있다면 암세포를 죽이는 방법이 될 수도 있게 된다. 네트워크에 대한 물리학적 이해가 질병의 치료에까지 연결될 수 있는 좋은 예다.

■글쓴이는 미국 보스턴대에서 박사학위를 받고 버클리 소재 캘리포니아대 연구원, 건국대 물리학과 교수를 거쳐 현재 서울대 자연과학부 교수로 재직중이다. 최근 복잡계 네트워크 연구에 관심을 가지고 있다.

용해서 현대판 '여섯 단계 분리' 실험을 해보았다. 뉴욕 타임스를 비롯한 언론을 통해서 널리 알려진 이 실험은 아직도 진행되고 있는 중이다(http://smallworld.sociology.columbia.edu 참조).

우리 사회의 특정 집단은 훨씬 더 좁은 사회를 구성하고 있는 경우도 있다. 작년 11월에 개봉되었던 영화 '트랩드'(Trapped)의 주연 케빈 베이컨은 함께 영화에 출연한 배우들을 통해서 케빈 베이컨과 연결하는 '케빈 베이컨 게임'의 주인공으로도 널리 알려져 있다. 그런 게임의 결과를 보면 20만명이 넘는 할리우드의 배우들은 2~3단계만 거치면 케빈 베이컨과 연결된다. 최근 필자의 연구 결과에 의하면 실제로 충무로 영화배우들의 네트워크도 2~3명의 배우를 통해 모든 배우들이 연결된 좁은 세상임을 알 수 있었다.

한편, 스위스의 물리학연구소의 프로그래머 팀 베르너스 리는 1980년에 "이 세상의 컴퓨터에 저장된 정보를 함께 사용할 수 있는 세계적 정보공간"을 만들려는 꿈을 꾸기 시작했다. 자신의 꿈을 실현하기 위해서 컴퓨터의 정보를 공유할 수 있도록 만든 작은 프로그램이 10년도 안되어 인간이 만들어낸 가장 큰 네트워크 중의 하나인 월드와이드웹으로 발전했다. 최근 연구결과에 따르면 1999년 현재 전 세계의 컴퓨터에 저장되어 있는 10억 개의 웹 문서들은 평균 19번의 마우스 클릭으로 찾아낼 수 있다고 한다. 결국 월드와이드웹도 좁은 세상인 것이다. 이밖에도 경제 네트워크, 생물 네트워크 등 너무나도 다양한 많은 분야에서 좁은 세상은 그 모습을 드러내고 있다(http://stat.kaist.ac.kr 참조).

이처럼 우리가 살고 있는 세상은 매우 좁으며 알게 모르게 서로 링크돼 있다. 더욱더 재미있는 사실은 이러한 월드와이드웹으로 대표되는 인터넷을 통해서 사회가 점점 더 좁아지고 있다는 것이다. 과연 현재의 사회는 몇 단계의 분리이고, 얼마나 더 좁아지게 될까? 컬럼비아대학의 연구 결과가 몹시 기다려진다. ST

정하웅교수는 1998년 서울대학교 물리학과에서 박사학위를 받고 미국 University of Notre Dame에서 연구원/교수를 거쳐 2001년부터 한국과학기술원 물리학과 교수로 재직중이다.