

아산재단 연구보고서 제124집

복잡계 네트워크 과학

— 21세기의 정보과학 —

강병남

집문당

— ● 차 례 ● —

제 1 장 좁은세상 / 15

1.1	밀그램의 좁은세상 실험	17
1.2	한국에서의 좁은세상 실험	18
1.3	좁은세상이 왜 만들어질까	20
1.4	좁은세상 네트워크에 대한 스케치	22

제 2 장 네트워크 분석 / 35

2.1	네트워크의 종류	37
2.2	네트워크 구조 용어	38

제 3 장 무작위 네트워크 / 49

제 4 장 좁은세상 네트워크 / 57

제 5 장 척도 없는 네트워크 / 61

5.1	월드-와이드 웹	63
5.2	인터넷	64
5.3	영화배우 네트워크	66
5.4	논문 인용 네트워크	67
5.5	신진대사 반응 네트워크	68
5.6	단백질-단백질 상호작용 네트워크	69

제 6 장 척도 없는 네트워크 모형 / 73

6.1	바라바시-알버트(BA) 모형	75
6.2	적합성 모형	77
6.3	후버만-아다미치 모형	79
6.4	스태틱 모형	81
6.5	Configuration 모형	82
6.6	적응모형	84
6.7	단백질 상호작용 네트워크 모형	85
6.8	사회네트워크에 대한 모형	88

제 7 장 척도 없는 네트워크의 Ultrasmall 성질 / 91

제 8 장 복잡계 네트워크에서 스핀 모형의 상전이 현상 / 97

8.1	평형 앙상블	99
8.2	Potts 모형	102
8.3	분배함수	104
8.4	Static 모형을 이용한 Potts 모형 상전이 현상	107
8.5	Helmholtz 자유에너지	109
	부록 8.1: $\Sigma_1(y)$ 의 해	111
	부록 8.2: 역함수의 특이성	114

제 9 장 스미기 전이(percolation transition) / 117

9.1	Potts 모형과 스미기 문제와의 관계	122
9.2	Potts model을 이용한 스미기 문제 접근	125
9.3	분배함수	129
9.4	스태틱 모형을 이용한 스미기 전이 유도: 열역학 극한	134

9.5	도수분포	136
9.6	거대 클러스터의 크기	137
9.7	클러스터 크기의 분산	139
9.8	고리의 개수	141
9.9	s -크기 클러스터에 속할 확률과 거대 클러스터의 크기	142
9.10	갈래치기 방법을 이용한 클러스터 크기 분포 유도	152

제 10 장 복잡계 네트워크의 견고성 및 연쇄적 파멸 현상 / 155

10.1	복잡계 네트워크의 견고성	157
10.2	연쇄적 파멸 현상	158
10.3	모래사태 모형	162

제 11 장 복잡계 네트워크에서의 수송 현상 / 171

11.1	최단 경로 수송과 부하	173
11.2	부하분포와 척도 없는 네트워크의 위상적 성질	180
11.3	부하 간의 상관관계	182
11.4	확산 수송과 멱대로 걷기	184

제 12 장 네트워크의 집단 선별 / 187

12.1	Girvan-Newman 알고리즘	190
12.2	Newman의 빠른 알고리즘	191
12.3	계층적 집단화(Hierarchical clustering) 방법	192
12.4	q -state Potts 모형을 이용한 알고리즘	193
12.5	D-value에 근거한 집단구조 선별 방법	195

제 13 장 가중치 복잡계 네트워크 / 197

13.1	가중치 네트워크의 구조적 특징	199
------	------------------------	-----

13.2	가중치 네트워크 위에서의 수송 현상	204
------	---------------------------	-----

제 14 장 네트워크의 스펙트럼 성질 / 207

14.1	이웃행렬.....	209
14.2	이웃행렬에 대한 스펙트럼.....	216
14.3	가중치가 있는 이웃행렬의 스펙트럼 밀도	220
14.4	라플라시안 행렬에 대한 스펙트럼 밀도.....	224
14.5	가중치가 있는 라플라스 행렬의 스펙트럼 밀도	227

제 15 장 프랙탈 복잡계 네트워크 / 231

제 16 장 시뮬레이션 프로그램 코드 / 241

참고문헌 / 259

— 표 차례 —

1.1	밀그램 실험에서 도착한 편지의 업종별 비율	18
4.1	복잡계의 좁은세상 특징	60
8.1	여러 가지 물리량에 대한 임계점에서의 성질	111

— 그림 차례. —

1.1	좁은세상 실험 결과	20
1.2	무작위 네트워크와 척도 없는 네트워크와의 비교	23
1.3	Watts와 Strogatz가 제시한 좁은세상 네트워크	25
3.1	성장하는 ER 네트워크에서 보이는 스미기 상전이 특징	55
5.1	신진대사망	69
5.2	단백질 상호작용 네트워크에 대한 구조적 특징	71
6.1	BA모형과 스테틱 모형으로부터 얻은 도수분포	82
6.2	단백질 상호작용 네트워크의 진화 기작에 대한 설명도	86
6.3	단백질 상호작용 네트워크의 진화 모형에 대한 설명도	88
9.1	간단한 스미기(percolation) 실험 개략도	120
9.2	Potts 모형에 대한 그래프적 해석	124
9.3	스미기 클러스터의 성질	135
10.1	척도 없는 네트워크에서 사태 현상 전파과정에 대한 간략도	160
10.2	임계점에서의 사태 크기 분포	161
11.1	부하와 중앙성의 정의를 설명하기 위한 예	174
11.2	실재하는 여러 네트워크에서 부하의 분포도	176
11.3	바라바시-알버트 모형에 대한 부하의 분포도	177

11.4	부하분포함수 지수의 보편성	178
11.5	전형적인 척도 없는 네트워크에서 질량-거리의 관계	181
11.6	네트워크에서 최단거리 모습	182
11.7	도수의 상관관계	183
11.8	도수와 부하와의 관계	184
12.1	집단구조가 있는 네트워크의 개략도.....	189
12.2	노드들의 계통수	193
14.1	간단한 네트워크	210
14.2	가중치가 있는 라플라스 행렬의 스펙트럼 밀도 함수.....	229
15.1	Box-covering 방법	234
15.2	Box-covering 방법을 설명하기 위한 예	236
15.3	프랙탈 분석.....	237
15.4	자기유사성 네트워크 모형	239