

## 수강신청 자료를 이용한 아주대학교 학생들의 그물얼개 연구

박성민 · 김범준\*

아주대학교 분자과학기술학과, 수원 443-749

Petter HOLME†

Department of Physics, Umeå University, 901 87 Umeå, Sweden

(2004년 10월 14일 받음)

본 연구에서는 2003년도 2학기 아주대학교 수강신청 자료를 이용하여, 두 개의 그물얼개 (network)를 구성하였다. 하나는 학생들을 점(vertex)으로 놓고 두 학생이 함께 수강하는 강의를 이음선(edge)으로 본 학생의 그물얼개이고, 다른 하나는 강의들을 점으로, 두 강의를 동시에 수강하는 학생을 이음선으로 본 강의의 그물얼개이다. 우리는 그물얼개 분석에 널리 이용되는 평균이음수(average degree), 평균거리(characteristic path length), 지름(diameter), 뭉침계수(clustering coefficient)를 구해서 두 그물얼개 모두 뭉침의 정도가 강한 좁은 세상 그물얼개라는 결과를 얻었다. 학생의 그물얼개의 경우에는 두 학생이 공통으로 수강하는 강의의 수를, 그리고 강의의 그물얼개의 경우에는 두 강의를 공통으로 수강하는 학생의 수를 각각 가중값(weight)으로 정의하면 두 그물얼개 모두 멱함수 꼴의 가중값의 분포를 가짐을 보였다. 학생의 그물얼개에서의 유사성 지표 assortative index가 양의 값을 가지어 일반적인 사회 그물얼개 (social network)와 같은 유사성 그물얼개 (assortative network)임에 비해 강의의 그물얼개는 아주 약한 비유사성 (weak disassortativity)을 보임도 확인했다.

PACS numbers: 05

Keywords: 그물얼개, 가중값 그물얼개, 유사성 그물얼개, 사회 그물얼개

### I. 이끄는 글

최근 물리학이나 생물학과 같은 자연과학을 넘어 경제학이나 사회학 등의 다양한 학문 분야의 연구자들이 복잡한 그물얼개 (complex network)라는 개념들을 이용하여 광범위한 문제를 심도 있게 연구하고 있다. 근래의 몇 년 간의 선구적인 연구들에 힘입어서 복잡한 그물얼개의 분석에 널리 사용되는 유용한 여러 개념 및 측정량들이 표준화, 정량화 되고 있는 추세이다 [1]. 또한, 아주 간단한 컴퓨터 프로그램의 이용만으로 대규모의 그물얼개를 자동적으로 얻고 분석하는 기술이 발전하여 기존의 사회 그물얼개의 연구에도 획기적인 발전이 가능하게 되었다. 본 연구에서는 이미 전산화 되어 표준적인 형태로 존재하는 대학생들의 수강신청정보를 이용하여 그물얼개를 구성해보았다. 각 강의를 수강하는 학생들의 목록이 주어지면, 전체 그물얼개는 두 갈래 그물얼

개 (bipartite)가 된다. 즉, 학생들의 집합과 강의들의 집합을 생각하고 한 학생과 그 학생이 수강하는 강의들을 이음선 (edge)으로 이으면, 학생들끼리 그리고 강의들끼리는 직접적인 연결은 없는 전형적인 두 모드 그물얼개 (two-mode network [2])의 형태가 된다. 이 밖에도 논문들과 저자들, 그리고 생화학적 반응과 각 반응에 참여하는 신진대사물질 (metabolite) 등도 두 모드 그물얼개의 입장에서 볼 수 있다.

주어진 두 모드 그물얼개는 같은 종류의 점들로만 이루어진 두 개의 보통의 그물얼개로 투영 (projection)할 수 있다. 우리는 아주대학교 수강신청 자료에서 학생을 점으로, 두 학생이 같이 수강하는 강의를 학생들 사이의 이음선으로 본 학생 그물얼개로의 투영과, 강의를 점으로, 두 강의를 동시에 수강하는 학생을 이음선으로 본 강의의 그물얼개로의 투영을 생각하였다.

본 논문에서는 이러한 두 개의 그물얼개의 특성을 평균이음수 (average degree), 평균거리 (characteristic path length), 지름 (diameter), 뭉침계수 (clustering coefficient), 유사성 지표 (assortative index)를 구해 분석하였

\*E-mail: beomjun@ajou.ac.kr

†Present address: Department of Physics, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA

Table 1. Comparison of various networks. Measured quantities are total number of vertices  $N$ , the average degree  $k$ , the characteristic path length  $l$ , and the clustering coefficient  $C$ . The Ajou student network and the Ajou lecture network are constructed in the present study.

| Network                    | $N$     | $k$   | $l$   | $C$   |
|----------------------------|---------|-------|-------|-------|
| Movie actors [3]           | 225,226 | 61    | 3.65  | 0.79  |
| Power grid [3]             | 4,941   | 2.67  | 18.7  | 0.08  |
| <i>C. elegans</i> [3]      | 282     | 14    | 2.65  | 0.280 |
| World-Wide-Web [4]         | 269,504 | 5.55  | 11.27 | 0.29  |
| Math coauthorships [5]     | 70,975  | 3.9   | 9.5   | 0.59  |
| Company directors [6]      | 7,673   | 14.44 | 4.60  | 0.88  |
| Romantic relationships [7] | 573     | 1.66  | 16.01 | 0.001 |
| Ajou Student               | 8,070   | 326.1 | 1.9   | 0.404 |
| Ajou Lecture               | 1,312   | 102.1 | 1.8   | 0.394 |

다. 또, 학생 그물얼개에서는 두 학생이 같이 수강하는 강의의 수를 이음선의 가중값으로, 강의 그물얼개에서는 두 강의를 같이 수강하는 학생의 수를 가중값으로 정의하여, 가중값이 어떤 분포를 보이는지 살펴보았다. 이때, 한 점이 갖는 이음선들의 가중값의 합으로 정의한 각 점의 세기 (strength)와 이음수의 관계도 조사했다.

## II. 그물얼개의 특성

아주대학교의 수강신청자료로부터 학생 그물얼개와 강의 그물얼개를 추출하여 다음의 값들을 구해보았다. 먼저, 평균 이음수 (average degree)  $k$  는 그물얼개의 점이 갖는 이음선의 수를 모든 점들에 대해 평균을 낸 값이다. 학생과 강의 그물얼개는 각각  $k = 326.1$ ,  $k = 102.1$  의 값을 보였다 (Table 1). 이 값들은 기존에 파악된 다른 그물얼개들에 비하면 상당히 큰 값이다. 즉, 지금까지 연구된 많은 그물얼개들은 평균이음수가 그물얼개의 크기 (보통 그물얼개를 이루는 점의 수로 정의함)에 비해 아주 작은 희박한 (sparse) 그물얼개임에 반해, 본 연구에서 얻은 아주대 학생과 강의의 그물얼개는 이음선의 밀도가 큰 그물얼개이다. 이처럼 평균이음수가 큰 그물얼개는 두 점을 잇는 경로의 길이가 상당히 짧게 될 것으로 추측되므로 좁은 세상 성질 (small-world behavior)을 보일 것을 예상케한다.

그물얼개의 구조적 특성 중 가장 관심을 끌고 있는 것 중 하나는 이음수의 분포 (degree distribution)이다. 많은 실제의 그물얼개들은 멱함수 꼴의 이음수 분포를 보인다는 것이 잘알려져있다. 본 연구의 대상인 수강자료에 바탕을 둔 학생, 그리고 강의의 그물얼개의 이음수 분

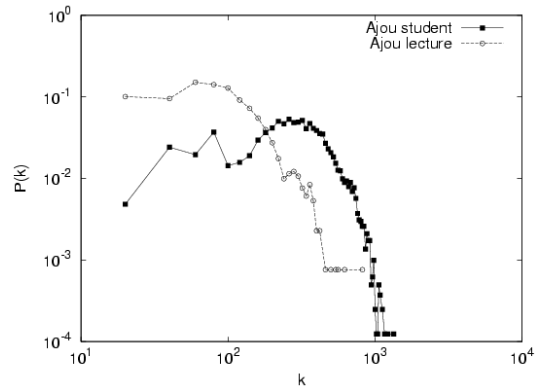


Fig. 1. Degree distribution of Ajou student network and Ajou lecture network.

포를 그린 Fig. 1을 보면 우리의 그물얼개의 이음수 분포는 멱함수의 꼴이 아님을 분명히 볼 수 있다. 그 이유는 학생들이 한 학기에 수강할 수 있는 학점수의 제한과 같은 제도적인 상한과 또 한 강의실에서 동시에 수강할 수 있는 학생수의 제한과 같은 강의실 크기의 물리적인 상한과 같은 여러 제한조건의 존재 때문일 것으로 믿어진다.

평균거리  $l$  (characteristic path length or average path length)은 그물얼개에 있는 임의의 두 점을 연결하는 가장 짧은 경로의 길이의 평균으로 정의되는 양이다. 학생과 강의 그물얼개에서 각각  $l = 1.9$ ,  $l = 1.8$  의 값이 측정되었다. 이 값은 본 연구에서 분석하는 그물얼개가 상당히 큰 평균이음수를 갖는다는 것을 고려하더라도 놀라울 정도로 작은 값이다. 예를 들어, 학생 그물얼개의 경우에는, 임의의 두 학생이 평균적으로 단지 단 한명의 중간 매개자를 통하면 연결이 가능하게 된다는 것을 의미한다. 평균거리와 유사한 개념으로서 그물얼개의 지름  $d$  (diameter)가 있다. 이는 그물얼개의 두 점을 연결하는 경로를 모든 점들의 짝에 대해 구했을 때 그 중 가장 큰 값을 의미한다. 즉, 그물얼개의 점들 중 가장 멀리 떨어져있는 두 점 사이의 거리가 된다. 대부분의 좁은 세상 그물얼개들은 평균거리와 지름이 모두 작은 값을 갖는다. 본 연구에서 분석한 두 그물얼개에서는 모두  $d = 5$ 의 값을 얻었다.

그물얼개의 중요한 구조적인 특성 중 뭉침성 (clustering)이 있다. 이는 한 점에 연결되어 있는 이웃의 두 점들 사이에 이음선이 존재할 (즉, 삼각형 모양으로 세 점이 서로 이음선에 의해 연결될) 가능성을 측정하는 것인데, 실제의 많은 그물얼개들은 뭉침의 성격이 있다는 것이 잘알려져 있다. 뭉침의 정도를 정량적으로 측정할 때는 뭉침계수 (clustering coefficient [3])  $C$ 를 주로 이용한다. 주어진 점의 뭉침계수는 그 점의 이음수가  $n$ 일 때 그

Table 2. Size  $N$  and assortativity index  $r$  for various networks [8].

| Network                   | $N$     | $r$    |
|---------------------------|---------|--------|
| Ajou Student              | 8,070   | 0.382  |
| Physics coauthorship [10] | 52,909  | 0.363  |
| Actor collaborations [3]  | 449,913 | 0.208  |
| Math coauthorship [11]    | 253,339 | 0.120  |
| Ajou Lecture              | 1,312   | -0.051 |
| World-Wide-Web [4]        | 269,504 | -0.065 |
| Protein interaction [12]  | 2,115   | -0.156 |
| Internet [13]             | 10,697  | -0.189 |
| Freshwater food web [14]  | 92      | -0.276 |
| Random graph [15]         |         | 0      |
| BA network [4]            |         | 0      |

점이 갖는 삼각형 모양 (triad)의 개수를 이론적으로 가능한 삼각형 개수의 최대값인  $n(n-1)/2$ 로 나눈 값이다. 이러한 과정을 모든 점에 대해 시행하고 구해진 값들의 평균값을 그 전체 그물알개의 뭉침결수  $C$ 로 본다. 아주대의 수강신청 자료로 만들어본 학생 그물알개와 강의 그물알개는 각각 0.40과 0.39의 뭉침결수 값을 갖는다는 것을 확인했다. 이와 같이 0과는 확연히 다른 뭉침결수는 두 그물알개가 사회 그물알개뿐 아니라 다양한 실제의 그물알개와 마찬가지로 뭉침의 성질이 강한 그물알개라는 것을 의미한다. Table 1의 Romantic relationship의 그물알개는 비록 사회 그물알개이지만 남녀관계의 그물알개라는 특징으로 인해 아주 작은 값의 뭉침결수를 보인다. 또, 아주대의 그물알개와 마찬가지로 두 모드 방식 그물알개의 투영인 영화배우 그물알개의 뭉침결수 0.79 가 더 큰 값을 가지므로 영화배우 그물알개가 학생들과 강의들의 그물알개보다 군집화가 강하다고 볼 수 있다. [3]

많은 종류의 사회 그물알개들은 유유상종의 경향이 있다는 것이 알려져있다. 즉, 비슷한 사람들끼리 그물알개에서 이어져 있고, 유사성이 없는 사람들끼리의 연결은 많지 않다는 것이다. 그물알개의 구조에서 이러한 유유상종의 정도를 측정하는 양으로서는 유사성지표  $r$  (assortative index)이 있다 [8]. 유사성 지표의 값이 확실히 0과는 다른 양의 값을 가지면 연결이 많은 점들끼리 서로 연결된 경향이 있는 유사성이 있는 그물알개 (assortative network)이고, 반면에 음의 값을 갖는 경우에는 유유상종과는 정반대로 성격이 다른 점들끼리 연결된 경향이 있는 그물알개 (disassortative network)가 된다. 학생과 강의의 그물알개에서 각각 유사성지표의 값이 0.38, -0.05 로 나타나, 학생 그물알개가 전형적인 사회그물알개처럼 끼리끼리 모이려는 유사성 그물알개

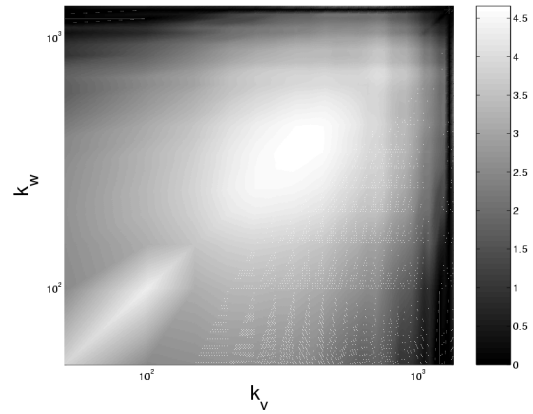


Fig. 2. Density plot of the degrees  $K_v$  and  $K_w$  where  $v$  and  $w$  are two vertices connected by each edge. Brighter region indicates that there are more edges in that region. The student network shows assortative behavior (higher  $K_v$  prefers higher  $K_w$ , and lower  $K_v$  prefers lower  $K_w$ ), which is an abundantly found property of social networks.

의 경향을 보이고, 강의 그물알개는 약간의 비유사성을 보이는 중립그물알개 (neutral network) 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 하나의 두 모드 그물알개에서 시작하여 어떤 방법으로 투영을 하는지에 따라, 얻어지는 그물알개의 유사성의 경향이 판이하게 다르다는 것은 놀랍고 재미있는 결과이다. 또한, 학생들이 주어진 수강편람에 따라 개별적으로 수강신청을 함에도 불구하고 대규모의 강의를 여럿 듣는 학생들은 비슷한 성향의 학생들과 강의에서 만날 확률이 크다는 것도 주목할 필요가 있다. Table 2는 각 그물알개에서의 유사성 지표를 나타낸 것으로, 학생들의 그물알개 유사성 지표는 이러한 기존의 실제 그물알개에서의 측정값과 비교할 때 상당히 큰 값을 가짐으로써 다른 학생들과의 연결이 많은 학생은 많은 학생들끼리, 연결이 적은 학생은 적은 학생들끼리 모이는 집단구조를 만들려는 경향이 강함을 알 수 있다. 또한, 이러한 유사성 지표가 양의 값을 갖는 유유상종성은 사회 그물알개에서 일반적으로 나타나는 현상인데, 우리 학생들의 그물알개도 그러한 사회 그물알개의 특성과 일치하는 성질을 보임을 확인할 수 있다. 이와 같은 학생 그물알개의 유유상종의 경향은 Fig. 2에서도 볼 수 있다. 그물알개를 구성하는 모든 이음선들을 하나씩 택해 이음선에 의해 연결된 두 점의 이음수를 각 좌표축으로 놓아서 자료의 많고 적음을 명암으로 표현한 그림인데, 밝은 영역은 각각  $K_v$ ,  $K_w$  를 이음선수로 하는 두 점의 쌍이 많이 존재하는 것이고, 어두운 영역은 그 반대의 경우이다. 유유상종성이 크면 양의 기울기를 갖는 대각선의 형태로 밝은 영역이 표현되고, 반대의 경우는 각 축의 방향으로 밝은 영역이 표현되는 방식이다.

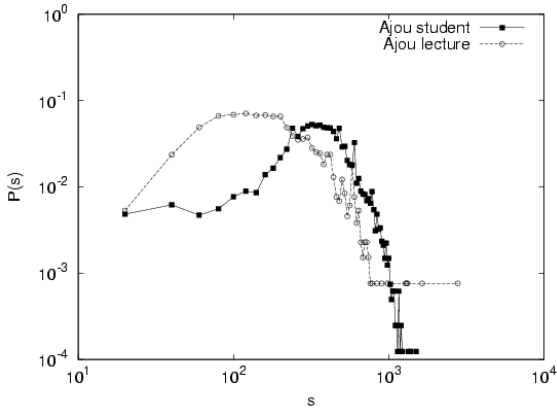


Fig. 3. Strength distribution of Ajou student network and Ajou lecture network.

여기서는 학생들의 그물얼개를 표현한 것으로서 대각선 형태로 밝은 영역이 보이고 있다. 즉, 유유상종성이 크을 알 수 있다.

### III. 가중값을 이용한 그물얼개 분석

학생 그물얼개의 경우에는 두 학생이 동시에 수강하는 강의의 수를, 그리고 강의 그물얼개의 경우에는 두 강의를 동시에 수강하는 학생의 수를 각각 이음선의 가중값 (weight)으로 정의 하면, 두 그물얼개를 가중값이 있는 그물얼개 (weighted network)로 볼 수 있다. 아주 최근부터 많은 관심을 끌고 있는 가중값이 있는 그물얼개에서는 가중값이 없는 그물얼개에서 이음수 (degree)에 해당하는 개념으로서 각 점의 중요도 (centrality) 측정에 세기 (strength)라는 값을 이용할 수 있다 [9]. 그물얼개의 점  $i$ 의 세기는 다음과 같이 정의된다.

$$s_i = \sum_j \Lambda_{ij} w_{ij}. \quad (1)$$

여기서  $w_{ij}$ 는 점  $i$ 와  $j$ 를 잇는 이음선의 가중값이고,  $\Lambda_{ij}$ 는 점  $i$ 와  $j$ 가 연결되어 있으면 1, 아니면 0의 값을 갖는다. Fig. 3에 그려진 세기의 분포를 보면 두 그물얼개 모두 이음수분포와 마찬가지로 세기의 분포도 역시 멱함수의 꼴이 아님을 볼 수 있다.

Fig. 4에서 그물얼개의 각 점이 갖는 이음수와 세기의 상관관계를 그려보았는데, 두 양이 강한 상관관계를 갖는다는 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 1과 Fig. 3의 유사성으로부터의 예측과 일치한다.

Fig. 5는 이음 하나당 세기 ( $s/k$ )와 이음수  $k$ 의 상관관계를 보여준다. 즉, 그물얼개의 각 점의 세기와 이음

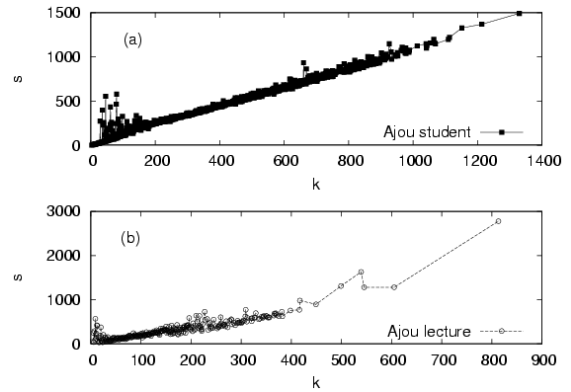


Fig. 4. Strength  $s$  versus degree  $k$  for (a) Ajou student network and (b) Ajou lecture network: Both show strong positive correlation.

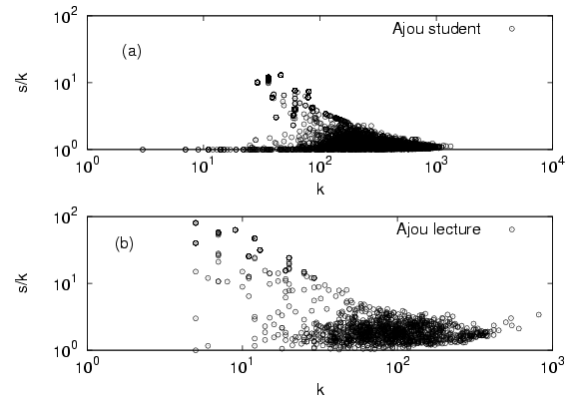


Fig. 5. Strength per edge ( $s/k$ ) versus degree  $k$ .

수를 구해서 세기를 이음수로 나누면, 학생의 그물얼개의 경우에는 한 학생이 자신과 같이 수강하는 각 학생들과 평균 몇 개의 강의를 수강하는지에 대한 정보를 준다. 같이 수강하는 강의의 수가 많을 수록 두 학생이 친밀하게 느낄 것이라는 가정을 한다면, 한 학생이 자신과 같이 수강하는 학생들에게 느끼는 일종의 평균 친밀도라고도 할 수 있겠다. 또한 강의 그물얼개의 경우에는 한 강의가 다른 강의들과 평균 몇 명의 학생을 공유하는지에 대한 정보이므로 이는 강의의 성격 (예를 들어 교양과목인지 아니면 전공과목인지)에 대한 정보를 얻을 수도 있다. Fig. 5가 보여주는 것은, 많은 이음수를 갖는 학생일수록 수강하는 강의들에서 다른 학생들과의 평균 친밀도가 낮다는 것을, 또 강의 그물얼개의 경우에는 다른 강의들과의 이음이 많은 강의일수록 다른 강의들과 공유하는 평균 학생수가 적다는 것을 뜻한다.

Fig. 6은 각 이음선이 갖는 가중값의 분포를 보여준다. 그물얼개의 각 점이 갖는 세기는 멱함수의 꼴이 아님에 반해, 각 이음선의 가중값의 분포는 명확한 멱함수의 꼴을 보여준다. 즉, 학생 그물얼개의 경우에는  $P(w) \propto$

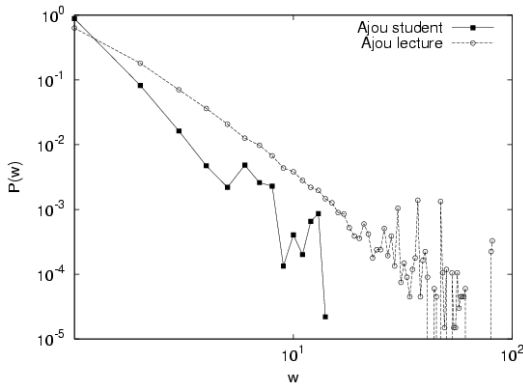


Fig. 6. Weight distribution  $P(w)$  versus the weight  $w$  for the student network and the lecture network.

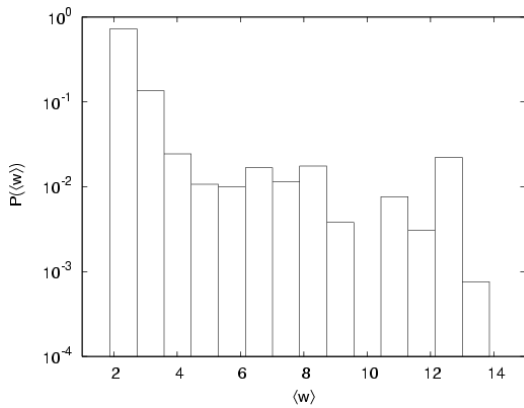


Fig. 7. Histogram of the average weight  $\langle w \rangle$  for lectures. Averages are taken for  $n(n-1)/2$  different weighted edges within the lecture of the size  $n$ .

$w^{-4.5}$ , 강의 그물얼개의 경우에는  $P(w) \propto w^{-2.5}$ 로 잘 기술된다. 이는 가중값이 매우 큰 이음선들이 적은수이긴 하지만 존재함을 의미한다. 우리가 가지고 있는 이 그물얼개 자료의 특성상 좀더 구체적인 조사를 할 수 있었는데, 학생들의 그물얼개에서 최대 14라는(14개의 강의를 수강한다는 의미) 가중값을 가지는 점들의 실제 소속을 확인해 본 결과 다른 일반학생들 보다 많은 한 학기 학점을 수강할 수 있는 의과대학 학생들로 파악되었다. 그리고, 강의들의 그물얼개에서 큰 가중값을 가지는 점들의 실제 강의 규모를 파악해본 결과, 많은 학생들이 수강할 수 있는 대형 교양과목 임도 확인할 수 있었다.

우리는 가중값을 통하여 전공과 비전공 강의들을 구분할 수 있을 거라 예측하고 전공과목의 경우 그 전공 과목을 수강하는 학생들이 같은 전공 수업을 수강하는 경향이 커 여러 명이 같은 수업을 듣는 반면, 교양과 같은 비전공 과목의 경우 그러한 경향이 작을 것이라는 가정을 하였다. 즉, 전공과목의 경우 한 강의를 수강하는 학생들끼리의 가중값이 크고 반대로 비전공 과목의 경우 가중

값이 작을 것이다. 우리는 이를 보이기 위해, 각 강의의 수강학생들끼리의 가중값의 평균을 구해보았다. 즉,  $n$ 명이 주어진 강의를 수강하고 있다면 모두  $n(n-1)/2$ 의 서로 다른 이음선이 학생들 사이에 존재할 텐데, 이 이음선들의 가중값의 합을  $n(n-1)/2$ 로 나눈 값이다. Fig. 7은 각 강의당 평균 가중값들의 분포그래프로서 전반적으로 평균 가중값이 작은 영역에 많은 분포가 있음을 알 수 있다 (수직 축이 로그스케일로 그려져 있음에 유의 할 것). 즉, 전체 강의의 절반 이상이 평균 가중값이 2보다 작다는 것을 알 수 있다. 이는 1312개의 강의 중에 절반에 해당하는 740여개의 강의들만 전공 과목이고 나머지는 교양들과 공통기초과목들에 해당하는 실제의 자료와 비교해 볼때, 전공 과목들 중에도 상당수의 과목들이 마치 교양과목처럼 평균가중값이 작다는 것을 뜻한다. Fig. 7에서 볼 수 있는 한가지 재미있는 특성은 평균 가중값이 10보다 큰 강의들의 존재인데, 실제의 자료와 비교해보면 이들은 모두 의과대학의 강의임도 알 수 있었다.

#### IV. 요약

본 논문에서는 아주대학교의 수강신청 자료에 근거한 두 모드 그물얼개로부터 학생과 강의의 그물얼개를 각각 구성하여 그 특성들을 연구하였다. 두 그물얼개 모두 평균 두 번의 연결이면 그물얼개내의 임의의 어떠한 학생들간에 또는 강의들간에 연결이 되는 좁은 세상 그물얼개이며, 또한 뭉침계수 (clustering coefficient)의 값이 상당히 큰, 전형적인 사회 그물얼개의 특성을 보였다. 한편, 유사성지표가 학생 그물얼개의 경우에 양의 값을 가지어 일반적으로 사회그물얼개가 보이는 유유상종성을 확인 할 수 있었던 반면, 강의 그물얼개는 유유상종의 성격을 전혀 볼 수 없었다. 이음수의 분포와 가중 그물얼개에서 널리 측정되는 세기의 분포는 멱함수의 꼴이 아닌 반면에, 각 이음선의 가중값의 분포는 두 그물얼개 모두 멱함수의 꼴을 가짐을 확인 할 수 있었다. 한 이음선당 가중값 ( $s/k$ )을 구해  $k$ 와 비교해보면, 이음수가 큰 점일 수록 이음선당 가중값이 작아진다는 것도 볼 수 있었다. 각 강의를 수강인원들끼리의 평균가중값을 통하여 그 강의의 성격을 추론하였다.

본 연구에서는 기존의 그물얼개 연구자들이 주로 관심을 갖는 특성들에 초점을 두었지만, 그물얼개의 기존 연구방법을 확장하여 적용한다면 대학교에서의 학생들의 수강자료를 이용한 여러 현실적이고 유용한 정보를 얻을 수 있다고 믿는다. 예를 들어, Fig. 7과 같은 그림을 각 학부에서 개설되는 과목에서 학부제 시행 이전과 이후에 그려서 비교해 본다면, 학부제의 도입이 학생들의 수강 패턴에 미치는 영향과 같은 것도 정량적이고 객관적으로 살펴볼 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2003년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-041-C00137). 2003년도 수강자료를 제공해준 아주대학교에 감사의 뜻을 표한다.

## 참고 문헌

- [1] B. Kahang, K.-I. Goh, D.-S. Lee and D. Kim, *Sae Mulli* **48**, 115 (2004); S.N. Dorogovtsev and J.F.F. Mendes, *Evolution of Networks* (Oxford university press, 2003); R. Albert and A. -L. Barabási, *Rev. Mod. Phys.* **74**, 47 (2002); M. E. J. Newman, *J. Stat. Phys.* **101**, 819 (2000); *SIAM Rev.* **45**, 167 (2003).
- [2] M. E. J. Newman, S. H. Strogatz and D. H. Watts, *Phys. Rev. E* **64**, 026118 (2001).
- [3] D. J. Watts and S. H. Strogatz, *Nature (London)* **393**, 440 (1998).
- [4] R. Albert, H. Jeong and A.-L. Barabási, *Nature* **401**, 103 (1999); A.-L. Barabási and R. Albert, *Science* **286**, 509 (1999).
- [5] A.-L. Barabási, H. Jeong, Z. Néda, E. Ravasz, A. Schubert and T. Viscsek, *Physica A* **311**, 590 (2002).
- [6] G. F. Davis, M. Yoo and W.E. Baker, *Strategic Organization* **1**, 301 (2003); M. E. J. Newman, S. H. Strogatz and D. J. Watts, *Phys. Rev. E* **64**, 026118 (2001).
- [7] P. S. Bearman, J. Moody and K. Stovel, *Am. J. Soc.* **110**, 44 (2004).
- [8] M. E. J. Newman *Phys. Rev. Lett.* **89**, 208701 (2002).
- [9] A. Barrat, M. Barthelemy and A. Vespignani, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 228701 (2004); A. Barrat, M. Barthelemy, R. Pastor-Satorras and A. Vespignani, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **101**, 3747 (2004)
- [10] M. E. J. Newman, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **98**, 404 (2001).
- [11] J. W. Grossman and P. D. F. Ion, *Congressus Numerantium* **108**, 129 (1995).
- [12] H. Jeong, S. Mason, A.-L. Barabási and Z.N. Oltvai, *Nature* **411**, 41 (2001).
- [13] Q. Chen, H. Chang, R. Govindan, S. Jamin, S. J. Shenker and W. Willinger, in *Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies* (IEEE Computer Society, New York, 2002).
- [14] N. D. Martinez, *Ecological Monographs* **61**, 367 (1991).
- [15] B. Bollobas, *Random Graphs*, 2nd ed. (Academic Press, New York, 2001).

## Student Network in Ajou University Based on Course Registration Data

Sung Min PARK and Beom Jun KIM\*

*Department of Molecular Science and Technology, Ajou University, Suwon 443-749*

Petter HOLME

*Department of Physics, Umeå University, 901 87 Umeå, Sweden*

(Received 14 October 2004)

We construct two networks from the course registration data at Ajou University for the second semester of 2003. In the student network, vertices are students, and an edge connecting two students represents the existence of lectures that the two attend together. For the lecture network, on the other hand, an edge between two lectures represents students who attend both lectures at the same time. We measure the quantities frequently used for characterizing network structures, such as the average degree, the characteristic path length, the diameter, and the clustering coefficient, and find is that both networks are clustered small-world networks. The weights of the edges are the number of lectures that the two students attend together for the student network and the number of students who attend two lectures at the same time for the lecture network. The weight distribution is found to show a power-law behavior. The student network is shown to be an assortative network similar to the usual social networks while the lecture network shows a weak disassortativity.

PACS numbers: 05

Keywords: Network, Weighted network, Assortative network, Social network

\*E-mail: beomjun@ajou.ac.kr