

# Graph Theory를 활용한 서울시철도 Network의 특성변화 분석

## Analysis for Changing of Network Properties in Seoul metropolitan Railway Using by Graph Theory

김명재\*, 정성봉\*<sup>†</sup>, 이부원\*, 조문석\*\*

Myoung-Jae Kim\*, Sung-Bong Chung\*<sup>†</sup>, Boo-Won Lee\*, Moon Suk Joe\*

**Abstract** In the past, Traffic Network Analysis had the purposes to enhance Mobility and Accessibility of users when made a plan for New Transportation or Line. The major reasons were to solve facing traffic problems without a macroscopic plan for enlarged cities especially in economically developing countries. And Seoul Metropolitan was similar to them. This paper classified the Seoul Metropolitan Railway by construction steps and analyzed its Network characteristic based on Centrality concept. These attempts will be able to make a verification about Graph Theory in application for expression of traffic Network characteristics. Furthermore, it will help to make an efficient Network when establish plan for New Metropolitan Railway based on Centrality concept.

**Keywords** : Graph Theory, Centrality Concept, Network Characteristic

**초 록** 과거 교통네트워크 분석은 새로운 교통수단도입 및 신규노선 계획단계에서 이용자의 Mobility와 Accessibility 향상과 경제성 및 효율성 확보를 목표로 수행되었다. 이는 대다수 경제개발도상국의 대중교통 확대가 거시적인 도심성장계획을 바탕으로 이루어진 것이 아닌 직면한 문제해결에 중점을 두고 이루어졌기 때문이며, 이러한 상황은 대한민국의 수도인 서울시에도 동일하게 적용되었다. 본 논문에서는 서울시 도시철도 Network를 건설단계별로 분류하고 각 단계별 Network의 특성변화를 Centrality개념으로 분석하였다. 이러한 연구는 Graph Theory의 개념이 실제 Network특성을 표현할 수 있는가에 대한 검증의 역할을 할 수 있을 것이며, 나아가 도시철도건설계획 수립 시 Centrality 개념을 도입한 효율적인 Network구축에도 도움이 될 것으로 기대한다.

**주요어** : 그래프이론, 중심성개념, 네트워크특성

### 1. 서 론

Graph Theory 와 Centrality Concept이 처음 개발된 분야는 Social Network Analysis였으며, 연구의 시작은 Network상의 중요한 Node가 어떠한 특징을 나타내는가를 확인하고 이러한 특징이 주변의 Node들에 어떻게 영향을 미치는가에 대한 질문에서부터 시작되었다. 또한 Graph는 다양한 관계들을 수학적으로 나타내는데 아주 효과적인 도구로 활용될 수 있으며, 이러한 개념을 활용하여 서울시 도시철도의 건설단계별로 네트워크 특징 변화와 주요 환승

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도경영정책학과  
(sbchung@seoultech.ac.kr)

\* 서울과학기술대학교 철도경영정책학과

역사들의 Node 특성변화를 분석함으로써 실제 Network상에서 다양한 노선들이 지나가는 중요역사가 Graph Theory로 분석한 Network상의 Node 특성변화와 일치하는 지를 확인하였다. 또한 서울도시철도가 확대 팽창되는 과정에서 주요 역사들의 Network상 Node 특성변화를 확인함으로써 실제 역사주변의 개발과 Node 특성변화가 일치하는지에 대해 확인하였다.

## 2. 본론

### 2.1 Node정의와 Edge구성을 통한 Coding

#### 2.1.1 서울도시철도의 건설단계별 분류

기존의 서울도시철도는 건설연도별 분류가 아닌 노선 별로 구분을 하여 1호선 이후 2~4호선을 1기 지하철, 5~8호선을 2기 지하철, 그리고 9호선을 3기 지하철로 분류하여 각 단계별 건설효과 등을 분석하였다. 하지만 이러한 분류는 같은 호선 내에서도 개통시기가 크게 차이가 나기 때문에 도시철도의 건설단계별 네트워크특성 변화를 확인하려는 본 연구의 취지와는 차이를 가질 수 밖에 없으므로 본 연구에서는 건설단계를 해당노선과 역사의 개통연도로 분류하였다.

Table 1 Dividing the Seoul Metropolitan Railway by Construction Step

No	Operation	Line		No	Operation	Line	
		Line No.	St.quantity			Line No.	St.quantity
1	1974	1	57ea	11	1994	4	6ea
2	1980	2	12ea	12	1995	5	14ea
3	1982	2	5ea	13	1996	5,7,8	69ea
4	1983	2	14ea	14	1999	8	4ea
5	1984	2	20ea	15	2000	4,6,7	64ea
6	1985	1,3,4	50ea	16	2006	1	11ea
7	1986	1	6ea	17	2009	9	25ea
8	1988	4	11ea	18	2010	3	3ea
9	1990	3	11ea	19	2012	7	9ea
10	1993	3,4	11ea	20	2015	9	5ea

상기 테이블에서 확인할 수 있듯이 지하철 1호선의 경우 1단계 57개역사가 1974년도에 개통을 시작하였으나, 수원역 이하를 제외한 1호선의 77개역사의 전체 개통은 2006년도에 완료되었다. 결국 노선별로 분석을 실시할 경우 서울시의 건설단계별 Network특징을 정확히 표현할 수 없음을 확인할 수 있다.

#### 2.1.2 Node 정의

Graph Theory를 이용한 Network분석을 실시하기 위해서는 Node에 대한 정의가 선행되어야 하며, 본 연구에서는 각각의 역사에 대해서 별도의 Node Number를 부여하였다. 또한 환승역사에 대해서는 플랫폼을 함께 사용하는 경우 기존 Node Number를 사용하였으며, 플랫폼을

다르게 사용하는 경우 해당 노선의 넘버를 부여하여 동대문운동장2, 동대문운동장4, 동대문운동장 5와 같이 각각의 Node Number를 부여하여 총 407개의 Node Number를 부여하였다.

### 2.1.3 Edge구성 및 Coding

Edge는 각각의 Node를 연결하는 Link와 같은 개념으로서 Node Number를 부여 받은 각각의 역들을 양방향 통행개념을 적용하여 Edge로 연결시키고 환승역사의 경우에도 도보이동을 Edge로 구성하여 Table 1의해서 구분된 건설단계별로 20개 Stage에 대해서 Coding을 수행하였다.

## 2.2 Graph Theory를 활용한 Network Embody

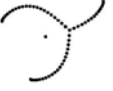



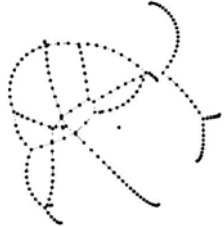

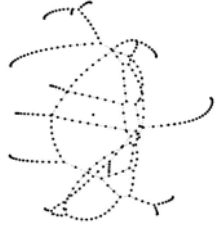
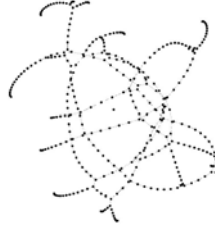


### 2.2.1 Gephi Program

본 연구에서는 Coding이 완료된 서울시 도시철도 Network의 형상화를 위하여 사회관계 등을 분석해 그래프로 나타내주는 프로그램인 Gephi를 사용하였으며, 분석결과를 통해 Network망과 주요 Node(역사)들의 특성변화를 분석하였다.

### 2.2.2 Network Embody

건설단계별로 Coding된 Network을 Gephi Program을 사용하여 형상화 시켰으며, 각 단계별 형상화 결과는 다음과 같다.

Table 2 Network Embody of the Seoul Metropolitan Railway by Construction Step

				
Stage1	Stage3	Stage5	Stage7	Stage9
				
Stage11	Stage13	Stage15	Stage17	Stage20

Stage1의 경우 1974년도에 개통된 지하철1호선의 Network을 형상화한 것으로서 인천과 수원으로 분기되는 구로역의 모습을 확인할 수 있으며, Stage3은 기존 1호선 노선에 더해 2호선의 1, 2단계가 개통됨으로써 신설동역과 환승되는 Network의 모습을 확인할 수 있다. 또한 1~9호

선 2단계까지 개통이 완료된 Stage20의 경우 Network의 모습이 크게 확대되고 다수의 환승 Node가 발생했음을 확인할 수 있다.

## 2.3 분석결과

### 2.3.1 Network 분석결과

Graph Theory를 통해 각 건설단계별로 Network의 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

**Table 3** Dividing the Seoul Metropolitan Railway by Construction Step

No	Operation	Network Overview			Node and Edge Overview	
		Average Degree	Network Diameter	Graph Density	Avg. Clustering Coefficient	Avg. Path Length
1	1974	3.862	42	0.034	-	15.474
3	1982	3.867	52	0.026	-	17.424
5	1984	4.055	54	0.019	0.017	18.148
7	1986	4.424	50	0.013	0.011	16.297
9	1990	4.374	52	0.012	0.010	18.444
11	1994	4.343	52	0.011	0.009	18.89
13	1996	4.355	54	0.008	0.010	20.038
15	2000	4.423	56	0.006	0.008	19.293
17	2009	4.445	62	0.006	0.009	19.955
20	2015	4.456	62	0.005	0.008	20.059

분석결과는 크게 Network에 대한 특성변화와 Node와 Edge에 대한 특성변화로 분류할 수 있다. 건설단계별로 Network이 확대되면서 전체 Network에 포함된 각각의 Node들에 연결되어 있는 Edge들의 수를 나타내는 Average Degree값이 점진적으로 증가하였음을 확인할 수 있으나, 5에서 7단계로 넘어갈 때는 4.055에서 4.424로 Avg. Degree가 0.369만큼 크게 증가한 것을 확인할 수 있다. 이 시기는 4호선건설 1, 2단계인 상계~한성대입구, 한성대입구~사당까지의 구간과 3호선건설 1, 2단계인 구과발~독립문, 독립문~양재구간의 건설이 이루어지면서 기존의 ‘入’ 자형의 1호선과 1호선의 위 구간 일부에 환승이 이루어지며 순환선을 구성하던 2호선에 다양한 환승역과 이동경로를 만들어 각 Node들의 Avg. Degree가 크게 증가하게 된 것으로 보이며, 이는 Graph Theory가 실제 Traffic Network의 변화를 반영하고 있음을 보여준다.



**Fig. 1** Change of Seoul Metropolitan Railway From stage 1 to 7

### 2.3.2 주요 Node 분석결과

본 연구에서는 건설 단계별로 각각의 Node(정거장)들에 특성변화들을 분석하였으며, 1~9호선 2단계까지의 건설이 완료된 Network 분석결과를 토대로 Betweenness Centrality가 높은 상위 6개를 주요 Node로 선정하였다.

**Table 4** Change of Important Vertices by Construction Step

No	Node	Node Degree					Betweenness Centrality				
		4	8	12	16	20	4	8	12	16	20
1	신도림1	4	10	10	10	10	0.352	0.444	0.399	0.266	0.266
2	구로	6	6	6	6	6	0.424	0.414	0.368	0.228	0.235
3	신길1	4	4	4	6	6	0.353	0.310	0.279	0.220	0.217
4	노량진1	4	4	4	4	6	0.351	0.313	0.283	0.190	0.204
5	종로3가1	4	8	8	10	10	0.335	0.263	0.252	0.206	0.202
6	서울역1	4	8	8	8	8	0.346	0.354	0.222	0.219	0.194

- (1) Betweenness Centrality는 해당 Node가 임의의 두 개의 Node간에 Shortest Path에 얼마나 많이 포함되어 있는지에 대한 비율로서 해당 Node가 Network의 전체 Path에서 얼마나 중요도를 갖는가를 의미한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$C_b(v) = \sum_{s \neq v \neq t \in V} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (1)$$

여기서,

$C_b(v)$  = V Node의 Betweenness Centrality

$\sigma_{st}(v)$  = 임의의 지점 s에서 t까지의 Shortest Path 중 V Node를 지나는 수

$\sigma_{st}$  = 임의의 지점 s에서 t까지의 Shortest Path의 총합

- (2) Node로 지정한 407개 역사 중 8.1%에 해당하는 33개 역사만이 Betweenness Centrality가 10%이상을 갖는다. 이중 상위 여섯 역사는 건설단계별로 Node Degree가 증가하고 또한 Betweenness Centrality가 높은 비율을 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 해당 Node들이 1호선 건설단계부터 존재했던 Node이며, Network의 확장에 따라 Betweenness Centrality의 수치가 일부 변동이 발생되지만 상위 비율을 계속적으로 유지했음을 알 수 있다. 이러한 결과는 초기 건설된 노선이 주요 Line을 형성하고 이후 건설된 노선들이 중요 Node들을 활용하면서 Network을 확장시켜왔음을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

본 연구에서는 Graph Theory를 활용하여 서울도시철도 건설단계별로 Coding을 실시하고 Gephi를 이용하여 Network와 주요Node들의 특성변화를 분석하였다. 그 결과 Avg Degree의 급격한 상승구간에 대한 분석을 통해 실제로 해당 시기에 3, 4호선의 대규모 건설로 인해서 많

은 환승역과 다양한 Path들이 발생됨으로 인해 Avg Degree가 증가되었다는 것을 확인함으로써 그간 Social Network Analysis에서 주로 활용되었던 Graph Theory가 Traffic Network에도 적용이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 건설단계별로 주요 Node들에 Betweenness Centrality 변화의 확인을 통해 초기 개통된 역사들이 Network상에서 지속적으로 중요한 역할을 수행하고 있으며, 향후 Network의 Stability를 유지하기 위해서는 해당 역사들의 관리가 중요하다는 것을 확인하였다.

하지만 본 논문에서는 분석을 실시한 Network와 Node들의 다양한 특성들 중 일부만을 분석하였고, 또한 장래 계획된 Network에 대한 고려와 분석을 하지 못했다는 한계점을 가지고 있다. 향후 이러한 이론을 적용하여 학술적으로 더욱 발전적인 연구가 가능할 것이며, 또한 실제 정책수립에 있어서도 도움이 될 수 있는 연구들이 지속 가능할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] Zafarani, R., Abbash, M.A & Liu, H, (2014) Social Media Mining : An introduction 3.1
- [2] Borgatti, Stephen P. (2005) Centrality and Network Flow, , *Social Networks. Elsevier 27*, pp. 55-71
- [3] Borgatti, Stephen P., Everett, Martin G. (2006) A Graph-Theoretic Perspective on Centrality, *Social Networks. Elsevier 27*, pp.466-484

(한국철도학회 정기학술대회 Full Paper -Template 작성일: 2017.04.14)