

시공 프로세스에서 발생하는 공사변동 요인 및 네트워크 분석에 관한 연구

박유나¹ · 이동덕² · 김재준*

¹한양대학교 건축공학과 · ²한양대학교 건설경영학과

A Study on the Task Variation and Social Network Analysis in the Construction Process

Park, Yoona¹, Lee, Dongdeok², Kim, Jaejun*

¹Department of Architectural Engineering, Hanyang University

²Department of Construction Management, Hanyang University

Abstract : A construction project is a complex process consisting of interdependent tasks. If one task has variation, other tasks will be affected additionally and it is difficult to reach consensus on task variation due to the characteristics of the construction site that is going on quickly and complicatedly. Therefore, this study identified the root cause of task variation in construction process. Adjacent matrix was created with the tasks corresponding to major causes of variation, and the network analysis was performed. The results of social network analysis in the construction process can stabilize the work flow in the complex process and improve the reliability of the process plan and the project performance.

Keywords : Construction Process, Task Variation, Social Network Analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설공사가 대형화, 전문화, 복잡화되어 가면서 하나의 프로젝트를 완성하기 위해 요구되는 공종들은 점차 다양해질 뿐만 아니라 상호의존적으로 진행되어 복잡한 프로세스를 이룬다. 한 작업의 계획 일정에서 변동이 발생하면 추가적으로 다른 작업들도 영향을 받게 되는 프로세스에서는 공종 간 체계적인 의사소통이 이루어지지 않으면 공기 지연, 품질저하 등을 초래할 가능성이 높아진다(Ha et al., 2010). 수량화 하기는 어렵지만 이러한 지연과 오류의 지속적인 축적은 많은 프로젝트 관리 문제의 원인이 될 수 있다. 시공 프로세스 상에서 공종들이 형성한 네트워크 구조를 파악하는 것이 중요하지만 이러한 업무 역량을 위해서는 수년의 경험이 필요하며 소수의 프로젝트 관리자만이 가능하다(Wambeke et al., 2012). 따라서 실증적으로 문제해결의

초점을 건설 프로젝트 작업들 자체에 두었던 접근 방법과 달리 작업들의 상호의존성에 초점을 맞추고 관계론적 속성에 대한 네트워크 분석을 하고자 한다.

본 연구에서는 시공 프로세스 작업들의 계획대비 변경되는 실적 공정에 대하여 공사변동이 발생하는 주요 원인들을 확인한 뒤 작업들이 형성하는 네트워크 구조에 대하여 분석하고자 한다. 작업들의 네트워크 구조를 이해하기 위하여 공사 프로세스 기반의 네트워크를 구성하여 작업들의 상호관계와 중요한 구조적 위치를 분석한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

국내 공동주택 프로젝트는 수많은 실적으로 계획된 전체 공기가 잘 지켜지는 편이지만 프로젝트 내 작업들의 계획대비 일정을 살펴보면 변동은 매우 빈번히 일어나고 있다. 이러한 변동은 프로젝트 성과에 리스크를 발생시키는 요인으로 계획대비 발생하는 차이를 줄여 작업흐름을 안정화시키는 것이 필요하다. 따라서 본 연구는 국내 공동주택 프로젝트 시공단계에서 발생하는 주요 공사변동 요인을 도출하고 해당하는 작업들에 대하여 네트워크 분석을 실시하고자 한다. 먼저 이론적 고찰을 통하여 변동에 대한 선행연구와 건설업에서의 네트워크 분석에 대한 필요성을 확인하였다. 다

* Corresponding author: Kim, Jaejun, Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Korea
E-mail: jkim@hanyang.ac.kr
Received September 27, 2018; revised October 30, 2018
accepted October 31, 2018

음으로 국내 공동주택 프로젝트 사례를 통하여 변동을 일으키는 근본 원인을 확인하고 주요 요인에 해당하는 작업들을 도출하였다. 마지막으로 작업들이 이루는 네트워크를 도출하여 중심성 분석을 통해 네트워크 구조를 분석하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 공사변동에 대한 정의

건설 프로젝트에서는 항상 변동(Variation)이 존재하며 이는 생산성에 상당한 영향을 미친다(Wambeke et al., 2011). 건설 분야에서는 여러 연구들에서 생산성과 관련한 변동에 대한 정의를 논하였다. Tommelein et al. (1999)은 시뮬레이션을 통해 작업흐름의 변화가 작업들의 수행과 성과에 미치는 영향을 확인하였다. Howell et al. (2004)은 완료된 작업과 계획되었던 작업의 비율인 PPC (Percentage Planned Complete)를 측정하여 작업 흐름의 변화를 측정하였다. Wambeke et al. (2014)과 Horman and Thomas (2005)의 연구에서 변동은 계획된 일정과 실적공정의 차이로 정의하였다. 본 연구에서도 공사변동을 계획공정과 실적공정의 시간 차이로 정의하였다. 건설 프로세스는 수많은 작업들이 상호의존적으로 진행되므로 한 작업의 시작 일정이 변경되면 다른 이어지는 작업들에도 영향을 미치게 된다. 또한 작업 기간이 계획과 차이가 나는 경우도 전체 프로세스에서의 리스크를 초래하게 된다. 따라서 예정 일정 대비 발생하는 차이를 측정하는 것은 공사 과정에서의 변동을 측정하기 위한 직접적인 수단임과 동시에 작업흐름을 안정화시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 작업들의 변동에 대한 근본 원인을 파악하고 작업 시작 시간 변동과 작업 기간 변동에 대하여 분석하고자 한다.

2.2 공사변동이 프로젝트에 미치는 영향

복잡하고 신속하게 진행되는 건설현장에서 시공 도중 매번 변경사항에 대한 합의를 도출하기는 매우 어렵다. 또한 변경사항을 둘러싼 발주자와 시공자 간 분쟁 또한 빠지지 않는 쟁점이다(Chung, 2015). 또한 작업 지연에 따른 문제점도 많이 있지만 계획대비 변경된 일정으로 인한 공사가 단축될 경우에도 추가 비용 산정과 같은 문제들이 발생한다. 따라서 예정 계획대로 작업이 실시되도록 공사변동을 최소화할 필요가 있다. Howell et al. (2004)은 작업 흐름에서 변동을 줄이는 것이 설계의 신뢰성을 높여주고 프로젝트 성과를 향상시킨다는 것을 보여주었다. 해당 연구는 공사변동의 중요성에 대한 상당히 중요한 관점을 보여주었지만 정량적인 분석은 하지 않았다는 한계점이 존재한다. Thomas et al. (2002)은 작업 흐름에서의 혼잡성과 관련한 변동성과

일일 생산량에 대해 고찰하였다. Wambeke et al. (2011)은 문헌고찰을 통해 도출한 예정 대비 발생하는 공사변동의 원인들을 작업자, 현장관리자, 프로젝트매니저 세 가지의 주체별로 설문조사를 실시하여 요인분석을 하였다. 본 연구에서는 공사변동을 발생시키는 원인에 대하여 프로젝트에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 공사변동이 발생하는 작업들이 형성한 네트워크 구조를 분석하고자 한다.

2.3 네트워크 분석의 필요성

네트워크 분석은 네트워크 구성요소의 상호작용, 상호관계로 형성된 구조를 분석하는 방법으로 조직의 구조와 경영 프레임워크를 기반으로 하는 연구가 가장 많으며 현재는 사회학적 분야를 넘어 대규모 자료들에 대하여 관계론적 특성을 분석하는데 적용되고 있다. 네트워크의 위상학적인 위치는 분석 단위의 기회와 제약을 결정하는 도구가 될 수 있고, 성과나 행태를 예측하는데 있어 중요한 역할을 한다(Borgatti et al., 2013). 현재는 기술 분야, 미래예측분야, 텍스트 마이닝 등 분야가 확장되어진 만큼 건설 분야에서도 관리 시스템 측면에서의 네트워크 분석은 분명히 필요하다. 건설프로젝트는 참여자들의 정보 흐름구조와 함께 다양한 작업들이 상호 작용하며 진행되는 것으로 다양한 관점에서 관계론적인 분석이 가능하다. 본 연구에서는 시공과정에서 공사변동이 발생하는 작업들이 근본적으로 이루는 네트워크 구조를 분석하여 건설 분야에서의 네트워크 분석에 대한 중요성을 높이고자 한다.

2.4 사회연결망분석

사회 연결망 분석(Social Network Analysis, SNA)은 가장 많이 사용되는 네트워크 분석 중 하나로 연결망 형태의 특징을 도출하고 관계성으로 체계의 특성을 설명하거나 체계를 구성하는 단위의 행위를 설명하는 것이다(Kim & Kim, 2016). 네트워크의 특성을 확인하는 지표들은 평균 연결정도(Degree), 밀도(Density), 포괄성(Inclusiveness)이 있다. 평균 연결정도는 네트워크 총 링크 수를 총 노드수로 나눈 값이다. 밀도는 가능한 총 링크 수와 실제로 연결된 링크 수의 비율로 일반적으로 밀도는 네트워크 크기와 반비례한다. 포괄성은 한 그래프의 총 노드 수에서 연결이 없는 노드의 개수를 뺀 비율로 네트워크가 전체적으로 연결이 되어있는지를 확인할 수 있다. 이러한 지표 값은 단일 값으로 판단하기는 어렵고 다른 네트워크에서의 값들과 비교를 통해 해석이 가능하다.

네트워크의 구조적 특징을 확인하는 지표로는 대표적으로 중심성이 있다. 중심성은 네트워크를 구성하는 노드들의 관계의 분포를 나타내는 주요한 측정도구이다. 중심성

이 높은 노드일수록 네트워크에서 구조적으로 중심에 위치하게 되고 이는 중심성이 높은 소수의 노드들이 네트워크 내 전체 링크들에 영향을 준다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 연결정도중심성(Degree centrality), 위세중심성(Eigenvector centrality)을 확인하였다. 연결정도중심성은 개별 노드가 네트워크 내 다른 노드들과 연결된 링크의 수를 나타내는 것으로 노드들의 잠재적인 커뮤니케이션 활동을 반영한다. 연결정도중심성은 중심성 지표 중에서 가장 많이 이용되는 지표로 건설 분야 연구에서도 사용되어져 왔다(Chinowski et al., 2009; Di Marco et al., 2010; Wambeke et al., 2012). 연구의 관점에 따라 주변 작업들과 가장 많이 직접적으로 연결되어있는 노드를 도출하거나 다른 노드들과 가장 가까운 노드를 도출하기도 한다. 위세중심성은 연결중심성의 확장된 개념으로 이웃된 노드들의 중심성에 비례하여 해석된다(Estrada & Rodríguez-Velázquez, 2005). 위세중심성은 낮은 연결정도 중심성을 갖는 노드가 높은 연결정도 중심성을 갖는 노드와 연결될 때, 또는 그 반대로 높은 연결정도 중심성을 갖는 노드가 낮은 연결정도 중심성을 갖는 노드와 연결될 때 민감하게 변화한다. 예를 들어 한 작업이 연결정도중심성은 높으나 위세중심성이 낮다고 하면, 그 작업의 영향력은 크지 않다고 볼 수 있다. 왜냐하면 그 작업은 다른 작업들과 많이 연결이 되어 있으나 그와 연결된 작업들이 영향력이 크거나 정보를 빠르게 잘 전달할 수 있는 작업들은 아니라는 뜻으로 해석될 수 있다. 이러한 특성을 갖는 노드가 전달하는 정보는 외부로 널리 확산되지 않기 때문에 이들의 노력은 투입한 만큼 효과가 나타나지 않는 낮은 효율성을 보이게 된다. 위세중심성은 건설 분야 연구에서 주요 구성 노드를 식별하기 위해 사용된 사례가 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 위세중심성을 이용하여 주요 작업들을 도출하였다.

2.5 건설 분야에서의 사회연결망분석

건설프로젝트는 참여자들이 커뮤니케이션 패턴을 만들어 내며 정보의 흐름을 통해 상호작용하는 일시적인 소셜 시스템으로 구성된다(Winch, 2010). 건설 분야에서의 사회연결망분석으로는 협력관계(Chinowsky et al., 2009), 조직간 정보 및 지식 교환 흐름(Abbsaian-Hosseini et al., 2017a; Wehbe et al., 2016)에 대한 선행연구가 있었다. 특히 BIM (Building Information Modeling) 구조와 같은 혁신적인 의사소통 관계의 효율성(Al Hattab & Hamzeh, 2015; Badi & Diamantidou, 2017)에 대한 연구들이 진행되어 왔다. 또한 계약관계에 대하여 네트워크 위상학적 구조를 분석한 연구(Lee et al., 2016)와 BIM 기술에 대하여 특히 인용 네트워크를 분석한 연구가 있었다(Park et al., 2018). 건설 분야에

서의 SNA분석은 많이 이루어지고 있지만 커뮤니케이션 과정의 정보흐름에 대한 분석이 대부분을 차지하고 있다. 건설 프로젝트 시공과정에서 근본적으로 존재하는 네트워크와 같은 다양한 관점에서의 분석이 필요하지만 참여자 네트워크에 비해 많이 이루어지지 않고 있는 편이다. Wambeke et al. (2014)은 프로젝트 시작부터 네트워크 분석에 필요한 데이터를 수집하여 작업공간별로 네트워크를 구축하여 작업들의 관계를 분석하였다. Abbsaian-Hosseini (2017b)은 건설 프로젝트 내 상호의존적으로 진행되는 작업들이 인접한 작업들로 받는 영향과 전체 네트워크 구조에서 받는 영향을 비교 분석하였다. 본 연구에서는 국내 공동주택 시공 프로세스 상에서 상호의존적으로 진행되는 작업들이 생성하는 네트워크 구조에 대하여 분석을 실시하고자 한다.

3. 공사변동 요인 분석

3.1 데이터 수집 및 분류

공사변동이 발생한 작업들을 확인하기 위하여 국내 공동주택 프로젝트 사례를 분석하였다(Table 1). 전체 일정이 계획대로 끝난 공사 중 공사 중단이 발생한 경우는 제외하고 작업단위로 변동을 확인함으로써 작업 흐름의 안정화를 위한 분석대상으로 적절하다고 판단하였다. 공동주택 공사의 전체공기는 대부분 계획대로 지켜지는 편이지만 각 작업들 단위로 살펴보면 거의 모든 작업에서 변동이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에 사용한 작업들은 주공정에 포함되는 작업들로 토공사, 골조공사, 마감공사로 대분류하였다. 설비공사 및 부대토목공사의 경우 동시에 진행될 뿐만 아니라 마감공사의 진행여부에 따라 설비공사가 결정되므로 매우 유동적으로 진행되는 경향을 보였다. 공동주택공사에서는 설비공사가 진행되어도 최종적으로 마감공사가 진행되어야 프로젝트가 완료된다. 이로 인해 실제 프로젝트 관리시에도 설비공사는 주공정선에 포함시키지 않아 분석대상에서 제외하였다. 공사변동이 발생한 주요 작업들은 토공사, 골조공사, 마감공사 하에 공통적으로 24개로 정리되었으며, 이는 작업유형 및 하도급 업체에 따라 분류하였다. 또한 분석을 위하여(Table 2)와 같이 각 작업들을 A-X로 코드화 하였다. 변동이 발생한 작업에 대해서는 공종별 분석 자료와 프로젝트 참여자와의 피드백을 통하여 근본원인을 도출하였다. 이를 통해 공사변동을 일으키는 근본원인은 총 113개로 추출되었으며 이는 선행연구를 기반으로(Table 3)과 같이 총 7개의 카테고리(선행 작업, 관리·감독, 상세설계 및 공법, 노무자역량, 자재 조달, 작업사이트, 날씨)로 분류하였다.

Table 1. Case study

Project	Site area	Number of stories	Total period	Completion
I	70,100 m ²	B3F, 6~18F	32.7 months	2015
II	45,369 m ²	B2F, 23F	29.9 months	2016
III	16,357 m ²	B5F, 17F	31.6 months	2016
IV	3,905 m ²	B6F, 14F	26.0 months	2016
V	31,668 m ²	B2F, 15F	24.0 months	2015

Table 2. Key trades in the construction process

Work	Trade	Code	Work	Work	Code
Temporary work	False	A	Finishing Work	Stone	M
	Approval of drawings, subcontractor	B		Painting	N
Earthwork	Site grading	C		Insulation	O
	Retaining	D		Metal	P
	Excavation	E		Tile	Q
Structural frame	Underground	F		Paper hangers	R
	Ground	G		Furniture(kitchen)	S
Finishing Work	Masonry	H		Furniture(general)	T
	Lightweight walls	I		Floor	U
	Plaster	J		PVC external frame	V
	Waterproof	K	AL.Sheet	W	
	Ceiling	L	exterior window	X	

Table 3. Causes of task variation

Category	Causes of variation
Prerequisite work	Time required to begin work
	Whether the previous task is complete
	Quality issues with previous work
	Related to prerequisite work
	Ordering relation of simultaneous work
Management · Supervision	Influences of situational supervision
	Feedback from the client and project manager
	Foreman communication skills
	Communication between contractor and subcontractor
	Contractor's pressure (special management)
Detailed design · Work method	Post-process started earlier
	Inadequate detailed design
	Change of method according to work environment
	Work Complexity
	Level of difficulty
Labor availability	Engineer's processing time for drawing
	Design constructability
	Experience on the tasks
	Crew size
	Abandonment and legal issues
Material delivery	Increased productivity of subcontractors
	Order delay of material subcontractor
	Error in material size
	Error in material type
	Change materials
Job site	Delay in supplying the material
	Lack of preliminary review for the job site
	Discovery of poor subsoil
	Problems in the work area
Weather	Occurrence of inoperative work area
	Heavy rain and winter season

3.2 프로젝트 성과에 리스크를 발생시키는 공사변동 요인 분석

공사변동 요인이 작업 시작 변동과 작업 기간 변동에 얼마나 영향을 미치는지 확인하기 위하여 <Fig. 1>과 같이 발생 빈도와 프로젝트에 영향을 미친 정도로 정리하였다. 가로 축은 각 요인들의 빈도를 퍼센트로 표현하였다. 예를 들어 선행 작업의 영향은 전체 작업시작 변동이 발생한 빈도 중 48%를 차지하며 상세 설계 및 공법과 관리·감독의 경우 전체 작업 기간 변동이 발생한 빈도 중에서 28%, 24%를 차지한다. 세로축은 각 공사변동요인이 프로젝트에 미친 평균 일 수로 표현하였다. 프로젝트 성과에 영향을 미치는 주요 공사변동 요인을 정리하면 선행 작업이 완전히 완료되지 않아 후행 작업의 시작 시간 변동, 상세설계 및 공법으로 인한 작업 기간 변동, 관리·감독의 영향으로 발생한 작업 기간 변동으로 볼 수 있다. 선행 작업의 영향으로는 이전 작업의 완료 여부나 품질 문제, 작업시작을 위해 요구되는 시간, 동시에 병행되는 작업들의 선행후행 문제가 있다. 선행 작업의 영향은 자연스럽게 다음 작업의 시작에 영향을 미치게 되므로 거의 모든 작업시작변동이 발생한 경우에 해당하였으며 계획일정에 가장 큰 리스크로 나타났다. 빈도수에서도 가장 높은 결과를 보였으며 이는 선행연구의 결과와도 일치한다(Wambeke et al., 2014). 상세설계 및 공법과 관리·감독은 작업 기간 변동을 유발하는 주요 요인으로 확인된다. 상세설계 및 공법의 경우 현장상황에 맞추어 공법을 변경하거나 작업의 복잡성 및 난이도로 인한 작업 기간 변동이 발생하였다. 특히 조적공사, 미장공사, 방수공사를 동일한 하도급 업체에서 맡게 되는 경우 계획 일정을 각 공사별로 정하지 않고 대략적인 기간을 한 번에 공정 계획하는 것을 확인할 수 있었다. 관리·감독 요인은 발주자의 요구사항이나 추가요청에 대한 피드백과 특히 프로젝트 진행과정에서 축적되어진 변동사항들을 만회시키기 위한 시공사의 관리·감독의 영향에 대한 내용이 포함되었다.

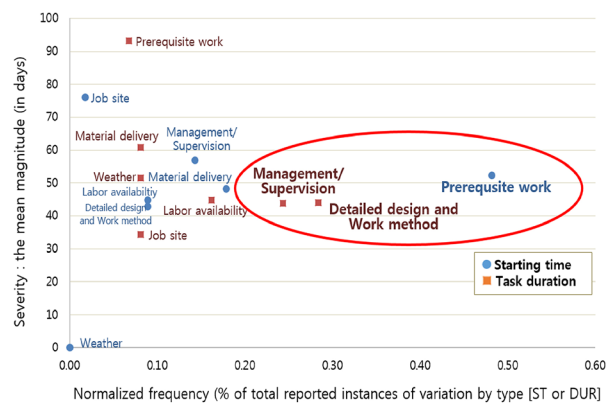


Fig. 1. Starting time and task duration on risk assessment matrix

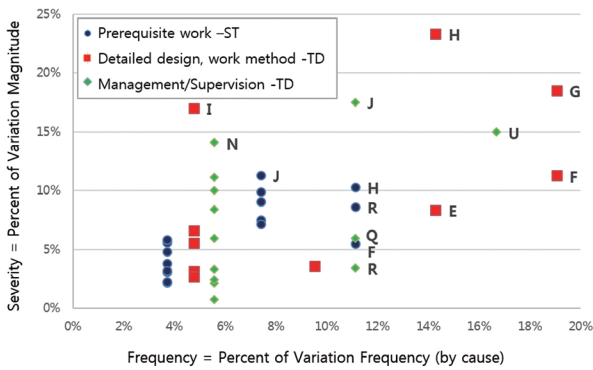


Fig. 2. Trades associated with the top three causes of variation

언급한 세 가지 주요 공사변동 요인에 해당하는 작업들을 도출하면 <Fig. 2>와 같다. 가로축은 공사변동이 발생한 빈도에 대한 퍼센트를 나타내며 세로축은 작업들이 공사변동으로 인해 프로젝트에 영향을 미친 정도를 비율로 나타내었다. H(조적공사)를 보면 가장 높은 심각도(severity)를 나타내는 작업으로 이는 상세설계 및 공법으로 인한 작업 기간 변동이 발생한 작업에 해당한다. 조적공사는 전체 작업 기간 변동 발생 빈도에서 14%를 차지하며 전체 작업 기간 변동일 중 215일 즉, 23% 작업 기간 변동을 발생시켰다. 조적공사의 경우 가장 많은 공사 일수 변동이 발생한 작업으로 나타났다. G(지상골조), F(지하골조)의 경우 상세 설계 및 공법으로 인한 전체 작업 기간 변동이 가장 높은 빈도 발생하는 공사이다. 지상골조의 경우 전체 작업 기간 변동 정도도 19%로 높은 영향을 나타내었다. 다음으로 U(마루공사), J(미장공사)가 관리·감독으로 인한 작업 기간 변동 정도가 높은 작업으로 도출되었다. 이는 앞선 공사에서 공사변동이 발생하는 경우 만회를 위한 시공사의 관리로 인한 결과로 해석 가능하다. 이 외에도 E(터파기) 또한 공사변동이 많이 일어나는 작업이라는 것을 확인할 수 있다.

4. 네트워크 분석

4.1 네트워크 구축

주요 공사변동 요인에 해당하는 작업들의 관계를 확인하기 위하여 네트워크 분석을 실시하고자 한다. 먼저 네트워크를 구축하기 위하여 각 프로젝트별 공사기간을 월단위로 나누어 각 작업들에 대하여 진행된 여부를 행렬로 구성하였다. <Table 4>는 Project 1의 총 33개월의 공사기간 동안 변동이 발생한 총 20개의 작업들의 진행여부를 나타낸 행렬이다. 행렬 값의 “1”은 해당 월에 작업이 진행되었음을 표현하고 있다. 예를 들어 작업 A의 경우 공통/가설 공사로 프로젝트 시작 후 3개월 동안 진행되었음을 나타낸다. 동일한 과정을 거치므로 Project 1에 대한 행렬만 표시하였다.

Table 4. Monthly work matrix of the Project 1

	1	2	3	4	5	...	26	27	28	29	30	31	32	33
A	1	1	1	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1	1	1	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	1	1	1	...	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	1	1	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	1	1	1	...	0	0	0	0	0	0	0	0
...
L	0	0	0	0	0	...	1	1	1	1	1	1	1	0
M	0	0	0	0	0	...	1	1	1	1	1	1	1	0
N	0	0	0	0	0	...	1	1	1	1	1	1	1	1
O	0	0	0	0	0	...	1	1	0	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0	...	1	1	1	1	1	1	1	0
Q	0	0	0	0	0	...	1	1	1	0	0	0	0	0
R	0	0	0	0	0	...	0	1	1	1	1	0	0	0
S	0	0	0	0	0	...	0	0	1	1	1	1	0	0
T	0	0	0	0	0	...	0	0	1	1	1	1	0	0

Table 5. Project 1 adjacency matrix

	A	B	C	D	E	...	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
A	0	3	1	1	1	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	3	0	1	1	1	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	1	1	0	2	3	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	1	1	2	0	2	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	1	1	3	2	0	...	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
L	0	0	0	0	0	...	0	0	14	11	9	14	10	4	4	4
M	0	0	0	0	0	...	0	14	0	11	9	14	10	4	4	4
N	0	0	0	0	0	...	0	11	11	0	6	11	7	4	4	4
O	0	0	0	0	0	...	0	9	9	6	0	10	10	1	0	0
P	0	0	0	0	0	...	0	14	14	11	10	0	11	4	4	4
Q	0	0	0	0	0	...	0	10	10	7	10	11	0	2	1	1
R	0	0	0	0	0	...	0	4	4	4	1	4	2	0	3	3
S	0	0	0	0	0	...	0	4	4	4	0	4	1	3	0	4
T	0	0	0	0	0	...	0	4	4	4	0	4	1	3	4	0

<Table 5>는 Project 1 작업들의 인접행렬(adjacency matrix)이다. 인접행렬이란 노드 사이의 관계를 나타내는 행렬로 이분법으로 표현하거나 관계의 정도로 표현할 수 있다. 본 연구에서는 작업들의 진행여부를 나타낸 <Table 4>의 행렬과 해당 행렬의 전치행렬의 곱으로 작업들의 인접행렬을 구축하였다. 해당 인접행렬은 각 작업들이 얼마나 같이 행해졌는지를 나타낸다. 작업 A를 살펴보면, B 작업과 총 3번 동시에 이루어졌으며 C, D, E 작업과는 각 1번씩 동시에 이루어졌다. 인접행렬은 대칭행렬로 구성되며 대각 값들은 동일한 작업에 대한 값으로 0의 값으로 대체하였다. 작업들의 행렬 값은 작업들 간 유사한 작업을 뜻하는 것이 아닌 같은 공간에서 물리적으로 동시에

이루어졌다는 의미를 가진다(Wambeke et al., 2012). 이러한 행렬은 각 작업간의 관계뿐만 아니라 작업들의 전체적인 관계를 보여줌으로써 전체 네트워크 구조 분석을 할 수 있다. 구축된 인접행렬은 사회연결망분석 소프트웨어인 Netminer를 이용하여 네트워크를 분석을 실시하였다.

4.2 네트워크 시각화

공사 진행 프로세스를 기반으로 구축한 인접 행렬로 네트워크를 시각화하면 (Fig. 3)과 같다. 다섯 가지 프로젝트를 네트워크 시각화한 결과 전반적으로 공통적인 네트워크를 확인할 수 있었다. (Fig. 3)은 Project 1에 대한 네트워크 결과로 총 160개의 링크로 구성되어 있으며 밀도는 0.421이고, 평균 연결 정도는 8, 포괄성은 1의 값을 가진다. 동원/가설, 토공사, 골조공사, 마감공사의 순서로 이루어지는 공사 프로세스를 네트워크로 확인할 수 있다. 전체 프로젝트 네트워크 특성은 (Table 6)과 같으며 평균 밀도는 0.41이며, 고립된 작업 없이 모두 하나로 연결된 네트워크로 대체로 유사한 결과를 확인할 수 있다. (Fig. 3)의 Project 1 네트워크 시각화 결과를 살펴보면 A(가설공사) B(도면승인 및 업체 선정), C(부지정지), D(흙막이공사)의 공통/가설공사와 토공사가 하나의 클러스터를 형성하였다. 이 클러스터는 E(터파기공사)를 거쳐 F(지하골조)와 연결되고 K(방수공사)를 통해 나머지 마감공사 클러스터와 연결되는 구조를 확인할 수 있다. 골조공사에서 G(지상골조)는 마감공사와 병행되어 진행되어 선행공종인 F(지하골조)보다 마감공사들의 영향을 더 많이 받는 것을 확인할 수 있다. 마감공사 클러스터에서는 Q(타일공사)와 L(천정공사)이 네트워크 중심에 위치한 것을 확인할 수 있다.

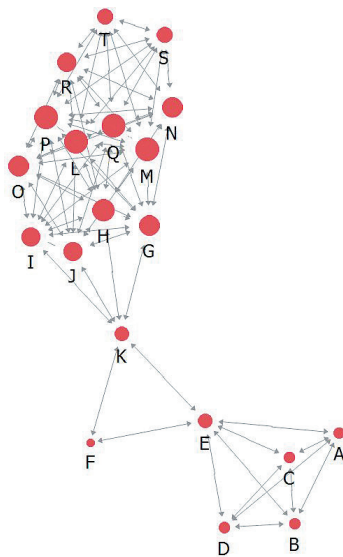


Fig. 3. Project 1 network visualization

Table 6. Structural characteristic of networks

	Project 1	Project 2	Project 3	Project 4	Project 5
# of Links	160	138	150	82	82
Density	0.421	0.404	0.49	0.342	0.39
Avg degree	8	7.263	8.333	5.125	5.467
Inclusiveness	1	1	1	1	1

4.3 중심성 분석 결과

본 절에서는 앞서 구축된 네트워크에 대하여 연결정도중심성과 위세중심성을 이용하여 한 작업이 다른 작업들로 인해 얼마나 많은 영향을 받게(주게) 되는지를 확인하고자 한다. (Fig. 4)의 그래프는 각 프로젝트 작업들의 평균 연결정도중심성 값과 빈도를 나타낸 것으로 주로 마감공사에 해당하는 작업들이 주로 중요한 결과를 나타냈다. 연결정도중심성이 높다는 것은 다른 작업들과 직접적인 연결이 많은 작업으로 해당 작업에 이슈가 생기게 되면 다른 작업들에게도 쉽게 전파된다는 것을 의미한다. Q(타일공사), H(조적공사), L(천정공사), M(석공사), J(미장공사)가 중요하게 고려해야할 작업으로 나타났다. 특히 타일공사와 천정공사는 마감공사로 이루어진 클러스터에서 중심에 위치한 공사로 해당 작업에서 공사변동이 발생하게 되면 전체 마감공사에 쉽게 영향을 미칠 수 있는 공사이다. 조적공사의 경우 주요 공사변동 요인 분석에서 높은 심각도를 가진 공사로 작업 네트워크 내에서도 영향력이 높은 결과를 보였다. 공사변동 요인 분석에서 주요하게 도출되었던 G(지상골조), F(지하골조), U(마루공사)의 경우 낮은 중심성 결과를 보여 주었다.

위세중심성 결과는 0에 가까운 값들도 나와 전체 평균값을 역치값으로 정하여 분석하였다. 결과는 (Fig. 5)와 같이 Q(타일공사), L(천정공사), M(석공사)이 중요한 결과로 나타났다. 이는 연결정도중심성 결과와 유사하지만 석공사의 경우 연결정도중심성에 비해 낮은 위세중심성 결과를 보였다. O(단열공사)의 경우 연결정도중심성 결과보다 위세중

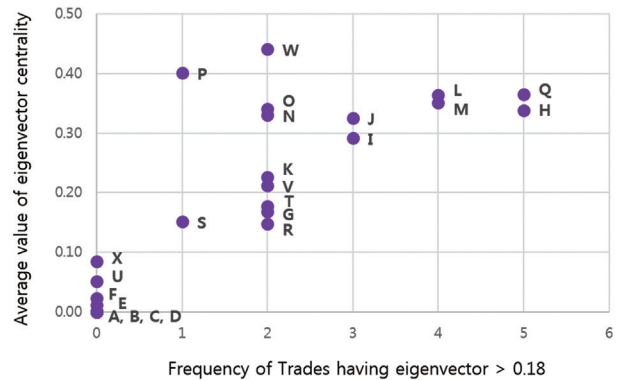


Fig. 4. Results of degree centrality for all project

심성 결과에서 상위로 도출되었다. 위세중심성은 연결된 작업의 영향력까지 고려하는 값이다. 따라서 단일공사의 경우 다른 작업 보다 네트워크 내에서 영향력이 높은 작업들과 더 많이 동시에 진행되는 공사로 공사변동 발생 시 주변 작업들에 미치는 영향이 크다. 위세중심성 값의 의미에서 알 수 있듯이 가장 높은 값을 지는 W (AL,sheet)와 P(금속공사)에 대해 고려할 필요가 있다. 외장재 공사의 경우 내부 마감공사와는 분리할 수 있으므로 실제 다른 작업에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다.

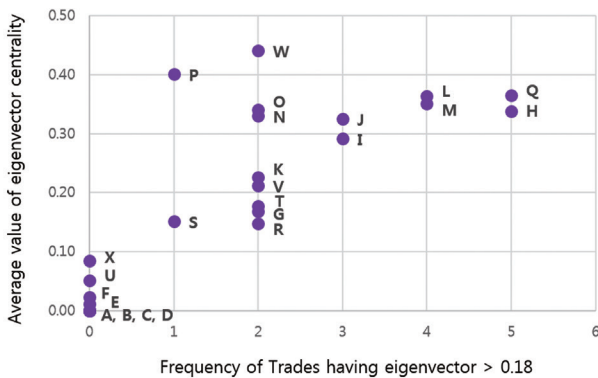


Fig. 5. Results of eigenvector centrality to identify key trades

4.4 소결

최근 많은 연구들이 자료의 관계론적 속성에 주목하여 네트워크 이론을 적용하여 현상에 대해 설명하려는 다양한 노력이 이루어져 왔다. 이에 본 연구에서는 다양한 작업들이 근본적으로 네트워크를 구성하며 동시에 진행되는 건설현장에 대하여 시공 과정 작업들의 상호관계를 네트워크를 통해 분석하였다. 프로젝트 내 작업들에 대하여 공사변동이 발생하는 근본 원인에 대해 정리하고, 주요 공사변동 요인에 해당하는 작업들에 대하여 네트워크 관점에서 분석을 실시하였다. 각 노드들은 건설 프로젝트의 세부 공사에 해당되므로 건설 현장 상황에 맞춰 공사들의 연결 구조에 대한 해석이 필요하다. 다시 말해 네트워크 내에 상호관계란 네트워크를 구성하는 기본적인 연결 관계로 이것이 건설에서 제시하는 이론적 개념에 대응시켰을 때의 의미를 도출할 수 있어야 한다.

네트워크 분석 결과 타일공사, 조적공사, 천정공사, 석공사 작업이 네트워크에서 높은 중심성 값을 지는 작업들이면서 동시에 공사변동으로 프로젝트에 영향을 미치는 정도가 가장 큰 공사로 확인되었다. 특히 조적공사는 공사변동 요인 분석에서 가장 높은 심각도를 가진 공사로 도출되었다. 현장 특성상 조적공사를 기준으로 이후 마감공사들이 진행되므로 조적공사 자체적인 공사변동 발생 시 후행작업들의 관리를 보다 신속히 진행하여 빠른 시간 내에 만회할 필요가 있다. 현재는 같은 습식공사의 착수를 빠르게 진행시키는 대응을 하고 있

지만 결국 준공단계 직전 작업들에 무리한 작업 기간 단축을 요구한다. 네트워크 분석결과 조적공사의 공사변동은 빠르게 전체 네트워크에 영향을 미치므로 습식공사 이후 작업들에 대하여도 사전 관리가 필요하다.

외장재 AL,sheet 공사와 금속공사의 경우 공사변동 요인 분석에서는 높은 심각도를 보이진 않았지만 가장 높은 중심성 값을 지는 작업으로 도출되었다. 이는 높은 빈도로 공사변동이 생겨나는 작업은 아니지만 해당 작업에서 공사변동이 일어날 경우 다른 작업들에 미치는 영향이 클 것으로 해석된다. 외장재 공사의 경우 내부마감공사와 분리할 수 있는 공사로 실제 다른 공사들에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다. 금속공사는 내부 마감공사와 동시에 병행되는 공사로 높은 중심성 값을 가진다는 것은 금속공사의 영향이 빠르게 연관된 작업들로 전파되거나 전파 받을 수 있다는 것을 의미한다.

마루공사의 경우 낮은 중심성 값을 가지지만 관리·감독의 영향으로 무리한 작업 기간 단축이 발생하는 주요 작업으로 도출되었다. 이는 선행 작업인 습식공사에서 공사변동이 발생할 경우 주변 작업에 크게 영향을 미치지 않는 마루공사에서 만회한 결과이다. 시공 과정에서 한 작업의 공사변동이 연결된 작업에도 영향이 가지만 문제 해결 방식은 주변작업에 영향이 없는 다른 작업으로 만회하는 것으로 해석할 수 있다. 연결된 작업에서 만회가 불가능할 경우에는 이 또한 효율적인 관리방법이지만 현재는 마루공사가 진행되는 시점에서 시공사의 관리·감독이 이루어지고 일괄적인 업무처리로 인한 조기착수가 힘들어져 무리한 작업 기간 변경을 유발하고 있다. 앞서 언급한 것처럼 습식공사에 공사변동이 발생하면 전체 네트워크에 미치는 영향이 크므로 마루공사, 도배공사, 천정공사와 같은 공종에 대해서도 미리 사전 관리를 시행해 조기 착수를 진행해야 할 것이다.

지하골조, 지상골조의 경우 작업 네트워크에서는 비교적 낮은 영향력을 가지지만 상세설계 및 공법으로 인한 공사변동이 자주 발생하고 이로 인한 프로젝트에 미치는 정도도 높은 공사이다. 공동주택 공사가 동별 및 층별로 반복적으로 이루어지는 작업임에도 공사변동이 발생한다는 것은 충분한 사전 설계 검토의 필요성을 다시 말해주는 것이다.

5. 결론

본 연구는 시공 프로세스에서 발생하는 공사변동 요인과 작업들이 이루고 있는 네트워크에 대한 분석을 실시하였다. 공동주택 프로젝트가 전체 공기는 계획대로 완료가 되지만 각 작업단위에서는 계획대비 변동이 매우 빈번하게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구는 작업흐름의 안정

화의 필요성을 확인하여 계획공정과 실적공정의 시간 차이를 공사변동으로 정의하고 작업 시작과 작업 기간 변동이 발생하는 근본 원인을 파악하였다. 결과적으로 선행 작업의 영향으로 작업 시작이 변동되거나 상세설계 및 공법, 관리·감독의 영향으로 작업 기간에 변동이 발생하는 것이 프로젝트에 가장 큰 영향을 미치는 공사변동 요인으로 확인되었다. 선행 작업의 불완전한 완성은 후행작업의 시작에 자연스럽게 영향을 미치게 되며 이를 만회하기 위하여 시공사의 집중적인 관리·감독이 많이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 돌관공사를 유발시키는 충분한 원인이 될 수 있으며 프로젝트에 영향을 미치지 않기 위해서는 스케줄링 단계에서 상세설계와 공법 선정이 작업사이트의 상황 및 작업자 역량을 충분히 고려하여 계획되어야 한다. 시공단계에서 공사변동이 불가피하게 발생할 경우 현장에서는 신속하고 정확한 대처를 필요로 하지만 이는 수년의 경험을 가진 소수의 실무자만이 가능하다. 또한 한 작업에서 공사변동이 발생하면 인접한 공사들에게도 쉽게 영향이 가지만 여전히 문제해결은 주변 작업에 영향을 미치지 않는 다른 작업에서 만회하는 것이 현실이다. 또한 인접한 작업들에 대하여 신속한 조치를 취하더라도 네트워크 전체에 높은 영향을 미치는 작업들의 공사변동 영향은 후행 작업들의 무리한 작업 기간 단축을 유발하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 네트워크에 미치는 영향이 높은 작업일수록 인접한 작업뿐만 아니라 후행 작업들에 대하여 빠른 사전 조치가 필요하다.

건설 현장의 특수성으로 프로젝트마다 데이터 수집이 일정하게 이루어지지 않으며 여전히 사후 연구를 위한 데이터 수집은 부가적인 업무로 행해지고 있어 네트워크 연구를 위한 데이터 수집의 한계가 존재하였다. 이로 인해 아직 어떠한 시각에서 사회연결망분석이 건설연구에 기여를 할 수 있는가에 대한 논의는 많이 이루어지지 않는 것으로 보인다. 건설 프로세스가 기본적으로 네트워크 구조를 이루며 진행되므로 다양한 시각에서의 네트워크 분석이 필요하다. 따라서 향후 연구에서는 공사별로 가중치를 부여하였을 때의 네트워크 구조와 프로젝트 진행 시간에 따라 네트워크가 어떻게 변화하는지에 대한 연구가 필요할 것이다.

References

- Abbsaian-Hosseini, S. A., Liu, M., and Hsiang, S. M. (2017a). "Social Network Analysis for Construction Crews." *International Journal of Construction Management*, pp. 1-15.
- Abbasian-Hosseini, S. A., Liu, M., and Hsiang, S. M. (2017b). "Social Network Conformity and Construction Work Plan Reliability." *Automation in Construction*, 78, pp. 1-12.
- Al Hattab, M., and Hamzeh, F. (2015). "Using Social Network Theory and Simulation to Compare Traditional Versus BIM-lean Practice for Design Error Management." *Automation in Construction*, 52, pp. 59-69.
- Badi, S., and Diamantidou, D. (2017). "A Social Network Perspective of Building Information Modelling in Greek Construction Projects." *Architectural Engineering and Design Management*, 13(6), pp. 406-422.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., and Johnson, J. C. (2013). *Analyzing Social Networks*, SAGE Publication Limited.
- Chinowsky, P. S., Diekmann, J., and O'Brien, J. (2009). "Project Organizations as Social Networks." *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 136(4), pp. 452-458.
- Chung, H. S. (2015). "Employer's Unilateral Variation Right in FIDIC Standard Construction Contract - Focusing on Governing Law being Laws of England." *Korea International Trade Law Association, KITLA*, 24(1), pp. 57-88.
- Di Marco, M. K., Taylor, J. E., and Alin, P. (2010). "Emergence and Role of Cultural Boundary Spanners in Global Engineering Project Networks." *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 26(3), pp. 123-132.
- Estrada, E., and Rodriguez-Velazquez, J. A. (2005). "Subgraph Centrality in Complex Networks." *Physical Review E*, 71(5), 056103.
- Ha, B. G., Yang, J. K., and Lee, S. B. (2010). "Development of CCPM (Critical Chain Project Management) Model for Schedule Management in Apartment Housing Projects." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*, AIK, 26(3), pp. 131-138.
- Horman, M. J., and Thomas, H. R. (2005). "Role of Inventory Buffers in Construction Labor Performance." *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 131(7), pp. 834-843.
- Howell, G. A., Ballard, G., Tommelein, I. D., and Koskela, I. (2004). "Discussion of Reducing Variability to Improve Performance as a Lean Construction Principle." *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 130(2), pp. 299-304.
- Kim, Y. H., and Kim, Y. J. (2016). *Social Network Analysis*, 4th ed, PARKYOUNGSA, pp. 5-13.
- Lee, Y. S., Kim, J. J., and Lee, T. S. (2016). "Topological Competiveness based on Social Relationships in the

- Korean Construction Management Industry.” *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 142(11), 05016014.
- Park, Y. N., Lee, Y. S., Kim, J. J., and Lee, T. S. (2018). “The Structure and Knowledge Flow of Building Information Modeling based on Patent Citation Network Analysis.” *Automation in Construction*, 87, pp. 215–224.
- Thomas, H. R., Horman, M. J., Lemes de Souza, U. E., and Završki, I. (2002). “Reducing Variability to Improve Performance as a Lean Construction Principle.” *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 128(2), pp. 144–154.
- Tommelein, I. D., Riley, D. R., and Howell, G. A. (1999). “Parade Game: Impact of Work Flow Variability on Trade Performance.” *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 125(5), pp. 304–310.
- Wambeke, B. W., Hsiang, S. M., and Liu, M. (2011). “Causes of Variation in Construction Project Task Starting Times and Duration.” *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 137(9), pp. 663–677.
- Wambeke, B. W., Liu, M., and Hsiang, S. M. (2012). “Using Pajek and Centrality Analysis to Identify a Social Network of Construction Trades.” *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 138(10), pp. 1192–1201.
- Wambeke, B. W., Liu, M., and Hsiang, S. M. (2014). “Task Variation and the Social Network of Construction Trades.” *J. Constr. Eng. Manage.*, ASCE, 30(4), 05014008.
- Wehbe, F., Al Hattab, M., and Hamzeh, F. (2016). “Exploring Associations between Resilience and Construction Safety Performance in Safety Networks.” *Safety science*, 82, pp. 338–351.
- Winch, G. (2010). *Managing Construction Projects*, 2nd ed, Oxford: Blackwell.

요약 : 하나의 건설 프로젝트에는 다양한 작업들이 상호의존적으로 진행되어 복잡한 프로세스를 이룬다. 한 작업에서 공사변동이 발생하면 추가적으로 다른 작업들도 영향을 받게 되며 신속하게 진행되는 건설현장 특성상 매번 변동에 대한 합의를 도출하기는 매우 어렵다. 이에 본 연구에서는 시공 과정에 발생하는 공사변동에 대한 근본원인을 파악하고 주요 공사변동요인에 해당하는 작업들에 대하여 인접행렬을 구축하여 네트워크 분석을 실시하였다. 이를 통해 작업들 간 관계론적 특성과 구조적 위치를 파악하였다. 이러한 시공 프로세스에서의 작업 네트워크 분석을 통해 복잡한 시공 과정에서의 작업흐름을 안정화 시키고자 하며 공정 계획의 신뢰성과 프로젝트 성과를 향상시키고자 한다.

키워드 : 시공프로세스, 공사변동, 사회연결망분석
