

시공성을 위한 Dependency Structure Matrix 기반의 설계 프로세스 관리 모델 개발

Development of Design Process Management Model using Dependency Structure Matrix for Constructability

박문서*
Park, Moonseo

함영집**
Ham, Youngjib

이현수***
Lee, Hyun-Soo

김우영****
Kim, Woo-Young

요약

시공단계의 경험 및 지식을 반영한 설계결과물은 시공 효율성을 향상시키고 설계변경을 최소화하여 프로젝트의 낭비요인 제거와 전체적인 생산성향상을 가능하게 해준다. 설계자가 설계단계에서 시공단계의 경험 및 지식을 효과적으로 활용하기 위해서는, 설계과정에서 필요한 시공성 지식을 필요한 시점에 활용할 수 있어야 한다. 설계단계에서 시공성 지식의 효과적인 활용을 위한 기존의 접근방법은 체크리스트와 같이 설계단계 별로 활용되는 시공성 지식의 구조화에 초점을 맞추고, 설계의 사결정과정의 기본단위가 되는 액티비티 수준에서 시공성 지식의 활용시점에 대한 고려가 부족하다. 하지만 적절하지 않은 시점에서 고려된 시공성 지식은 설계자에게 불필요한 재작업을 야기해 설계생산성을 저하시키는 문제를 발생시킬 수 있다. 이러한 비효율적인 정보교환을 최소화하기 위해서는, 설계 프로세스 상에서 정보흐름에 중점을 둔 설계관리를 통해 각 시공성 지식들을 요구하는 설계 액티비티가 무엇인지를 파악해야 한다.

이에 본 연구는 Dependency Structure Matrix(DSM)를 이용하여 설계의사결정과정의 기본단위가 되는 설계 액티비티와 설계과정에서 고려해야 하는 시공성 지식간의 상호관계를 고려한 정보흐름기반의 설계프로세스관리를 제안한다. 이는 설계프로세스관리를 설계단계에서의 단순한 설계검토보다 한 단계 높은, 건설프로젝트 전 과정과 연계된 포괄적인 관리활동으로 발전시켜 건설생산합리화에 크게 기여할 수 있으리라 예상된다.

키워드 : 설계프로세스, 시공성, Dependency Structure Matrix(DSM)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 들어 건설프로젝트가 대형화, 복잡화됨에 따라 설계와 시공기술이 전문화, 고도화되어, 시공단계에 활용하는 시공기술과 성과가 설계를 크게 좌우하게 되었다(김문한 2006). 시공단계의 경험 및 지식을 반영한 설계결과물은 시공의 효율성을 향상시키고 설계변경을 최소화하여 프로젝트의 낭비요인 제거와

생산성향상을 가능하게 해준다(김현수 2002).

이러한 효과를 달성하기 위해서는 설계단계에서 이루어지는 의사결정과정들에 시공성(Constructability)이 고려된 시공단계의 경험 및 지식을 시공조직과의 협업을 통해 반영해야한다(Glavinich 1995; Fischer와 Tatum 1997). 즉, 설계자는 설계과정에서 필요한 시공성 지식을 필요한 시점(the proper point in time)에 이용할 수 있어야 한다(Fischer와 Tatum 1997; Arditi 외 2002).

설계단계에서 시공성 지식의 효과적인 활용을 위한 기존의 접

* 종신회원, 서울대학교 건축학과 부교수, 공학박사, mspark@snu.ac.kr

** 일반회원, 서울대학교 건축학과 대학원 석사과정, tjdz03@snu.ac.kr

*** 종신회원, 서울대학교 건축학과 정교수, 공학박사, hyunslee@snu.ac.kr

**** 일반회원, 한국건설산업연구원 연구위원, 공학박사, beladomo@cricmail.net

근방법은 체크리스트와 같이 설계단계 별로 고려되어야 하는 시공성 지식의 구조화에 초점을 맞추고 있다. 하지만 이는 실제 설계의사결정과정의 기본단위가 되는 액티비티 수준에서 시공성 지식의 활용시점에 대한 고려가 부족하다 (O'connor 1995). 이는 설계단계의 생산성을 저하시키는 문제를 발생시킬 수 있다. 예를 들어 관련 설계가 진행된 상황에서 시공성 지식을 설계에 반영하려면, 설계자는 관련 설계업무뿐만 아니라 그 설계업무에 영향을 받는 다른 설계업무에까지 재작업을 해야 한다 (Arditi 외 2002).

이러한 비효율적인 정보교환을 최소화하여 설계생산성을 향상시키기 위해서는 설계프로세스 측면에서의 설계관리를 통해 시공성 지식들을 요구하는 설계 액티비티들이 무엇인지를 우선 파악해야 한다 (Koskela 외 2002; Arditi 외 2002).

이에 본 연구는 Dependency Structure Matrix(DSM)를 이용하여 설계의사결정과정의 기본단위가 되는 설계 액티비티와 설계과정에서 고려해야 하는 시공성 지식간의 상호관계를 고려한 정보흐름 기반의 설계프로세스관리를 제안한다. 이를 통해 설계단계에서 시공지식과 경험의 최적 활용을 가능하게 해주는, 시공성 지식의 활용시점을 파악할 수 있다.

1.2 연구의 범위 및 절차

건축설계프로세스는 발주자, 설계자, 시공자 등 여러 설계참여주체들 간의 다양한 의사결정과정들로 이루어진다. 본 연구에서는 전체 설계프로세스 중 설계자와 시공자간의 협업이 요구되는 설계 과정을 연구 범위로 한정한다.

본 연구의 주요 절차는 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서 사용될 시공성을 정의하고 관련 현황을 분석한다.
- (2) 문헌고찰을 바탕으로 설계단계에서 시공성 지식의 활용을 위한 현재까지의 접근방법에 대해 살펴보고 그 한계점을 분석한다.
- (3) 앞서 규명한 한계점을 극복하기 위한 연구방법론인 DSM을 이용하여 시공성을 고려한 정보흐름기반의 설계프로세스관리를 제안하고 예시 설계프로세스를 대상으로 적용성과 효용성을 검증한다.

2. 예비적 고찰

2.1 시공성(Constructability)

시공성 개념은 1960년대 영국에서의 연구를 시발로, 건설

산업 전반에 걸친 잠재적 비효율성 요인의 파악을 위해 생산성에 중점을 둔 협의의 개념이었다. 이후, 1970~1990년대에 걸친 미국, 영국, 호주의 연구들을 통하여 건설 산업의 비용효율성(cost-effectiveness)과 품질의 향상을 위한 계획, 설계, 시공을 비롯한 각 생산단계들의 통합개념으로 발전하여 현재의 개념과 원리가 정립되었다. 또한, 실무적용을 위한 원리, 절차 및 시행방법 등이 구축되어 건설 프로젝트에 적용되고 있다(Griffith와 Sidwell 1995; 박찬식 2000).

본 연구에서는 시공성을 미국건설협회(Construction Industry Institute)에서의 정의(CII 1986)를 기반으로, 프로젝트의 목적을 달성하기 위한 계획, 설계 및 시공단계에서 시공지식과 경험의 최적화된 활용으로 정의한다.

설계단계에서 시공성 적용을 통하여 얻을 수 있는 주요 기대 효과는 다음과 같다 (김한수 2002).

- 시공성이 우수한 설계개발로 인한 시공의 효율성 향상
- 설계변경 최소화를 통한 원가절감 및 낭비요인 제거
- 시공자의 프로젝트 공헌 기회 증대에 따른 성취동기 부여

이처럼 설계단계에서 시공성에 대한 고려를 통해 건설프로젝트의 생산성 측면에서 긍정적인 효과가 있다는 것을 인지하고는 있지만, 배정익 외(2006)의 조사에 따르면 건축설계 업무를 수행하는 응답자의 60% 이상이 설계와 관련된 주된 문제점으로 '설계단계에서 시공성에 관한 고려미비'를 지적하고 있었다. 이러한 사실로 미루어 보아 현재 설계단계에서 시공성에 대한 고려가 충분히 이루어지지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 하지만 전문화된 시공기술과 다양한 현장조건을 수반하는 대형화, 복잡화된 건설프로젝트의 성공적인 수행을 위해서는 설계단계에서 시공단계의 경험과 지식을 효과적으로 활용할 필요가 있다.

2.2 선행 연구

국내의 다수의 연구자들이 설계단계에서 시공성에 대한 고려의 필요성을 인지하고 시공성 지식의 효과적인 활용을 위한 관련연구들을 수행하였다.

Fischer와 Tatum(1997)은 대다수 건설프로젝트에서 시공성 지식이 제대로 설계자에게 전달되지 않아 비효율적인 작업이 발생하고 있으며 그 주된 이유를 명확하고(explicit) 형식화된(formal) 시공성 지식의 부재로 설명하였다. 이에 전체 설계단계 중 초기설계단계에 사용될 수 있는 시공성 지식을 구조화함으로써 설계자가 시공성 지식을 효과적으로 이용할 수 있도록 기반

을 마련하였다.

Pulaski와 Horman(2005)은 기획, 계획, 기본, 실시단계로 구성된 통합 빌딩 프로세스 모델(Integrated Building Process Model: IBPM)과 건축물이 완성되기까지의 과정으로 이루어진 프로덕트 모델 아키텍처(Product Model Architecture: PMA)를 바탕으로 설계단계 별로 요구되는 시공성 지식의 수준을 개념적인 매트릭스 모델로 제시하였다. 그리고 이를 이용하여 시공성 지식을 조직화함으로써 시공성 지식의 효과적인 사용을 도모하였다.

권동혁과 김한수(2002)는 고층사무소 프로젝트의 시공단계에서 발생되고 있는 문제점 중에서 설계와의 인터페이스 취약에 기인하고 있는 항목을 발굴하고 이들 항목을 중요도, 빈도, 영향도 측면에서 분석하여 문제점의 원인 및 특징을 도출하였다.

박장수 외(2009)는 강구조물 공사의 시공성 저해요인을 단계 별로 파악하여 개선방안을 제시하고 이를 효과적으로 수행하기 위해 설계자를 포함한 프로젝트 참여자를 대상으로 시공성 향상을 위한 체크리스트를 제안하였다.

선행 연구들을 살펴보면, 그 한계는 다음과 같다. 먼저 체크리스트와 같이 설계단계 별로 활용되는 시공성 지식의 구조화 및 분석에 초점을 맞춘 결과, 설계의사결정과정의 기본단위가 되는 (1)액티비티 수준에서 시공성 지식의 활용 시점에 대한 고려가 부족하다. 적절하지 않은 시점에서 고려된 시공성 지식은 설계 단계의 생산성을 저하시키는 문제를 발생시킬 수 있다. 예를 들어 기둥의 구조 재료 강도를 선정하는 단계에서 상부하중에 영향을 주는 시공 계획과 관련된 시공성 지식을 설계에 반영하려면, 설계자는 단순히 기둥의 강도만 높이면 되는 것이 아니라 기둥의 단면 및 기둥의 배치, 그리고 그에 따른 HAVC 배치까지 필요한 재작업을 해야 한다.

그리고 (2)설계자와 시공조직 간 협업방안에 대한 고려가 부족하다. 시공성 지식은 설계단계에서 설계자와 시공조직 간의 협업을 통해 전달되는데 적합하지 않은 형태의 협업은 비효율적인 상황을 만들 수 있다. 예를 들어 협업이 필요할 때 마다 구성원들 간에 회의를 한다면 이는 시간과 비용의 낭비가 될 수 있다.

건축설계에서 설계프로세스는 어느 정도 정형화되어 있다. 하지만 설계자와 시공조직과의 협업과 같이 서로 다른 분야 간 정보를 교환하는 과정에서는 비효율적인 부분이 발생할 가능성이 크다. 이러한 것을 최소화하여 설계생산성을 향상시키기 위해서는 설계 프로세스 상에서 협업주체간의 정보흐름을 효율적으로 관리할 필요가 있다 (Koskela 외 2002).

2.3 Dependency Structure Matrix(DSM)를 이용한 정보흐름기반의 프로세스관리

1965년에 Steward에 의해 제안된 Dependency Structure Matrix(DSM)는 반도체나 자동차 등 다양한 산업분야의 설계프로세스관리에 널리 적용되고 있다 (Steward 1965; McCord와 Eppinger 1993) 건설 분야에서는 건축 설계 프로세스를 대상으로 DSM의 사용성(usability)을 평가하고, DSM을 적용하기 위한 연구들이 진행되었다 (Huovila 1995; Oloufa 외 2004; 장세훈 외 2007).

DSM은 액티비티간 관계를 $n \times n$ 정사각행렬 형태의 매트릭스로 모델링함으로써 프로세스를 분석하는 방법이다. 각 행과 열에 있는 임의의 두 액티비티간에 정보 의존도가 있는 경우 \times 로, 없는 경우 빈칸으로 표현된다.

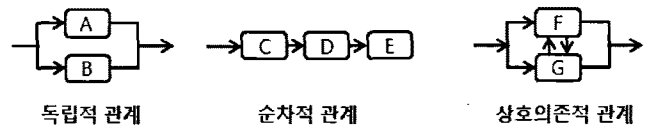


그림 1. 액티비티간 관계의 종류 (Maheswari 외 2006)

그림 1은 모델링에 사용되는 액티비티간 관계의 3가지 종류를 보여준다. 먼저 서로 상호작용이 없어 교환하는 정보가 없는 독립적(Parallel) 관계(A-B), 두 액티비티 중 하나의 액티비티가 다른 액티비티에 영향을 미쳐 한 방향으로 정보가 흐르는 순차적(Sequential) 관계(C-D-E), 마지막으로 두 액티비티간에 서로 상호작용이 있어 서로 정보를 교환하는 상호의존적(Coupled) 관계(F-G)가 있다.

위의 과정을 통해 만들어진 DSM은 분할(Partitioning)알고리즘, 분해(Tearing)알고리즘, 클러스터링(Clustering)알고리즘 등 다양한 알고리즘을 통해 액티비티 최적 배열 과정을 거치게 된다 (Browning 2001; Gebala와 Eppinger 1991; DSMweb.org 2005).

각각의 알고리즘은 적용 대상에 따라 서로 다른 목적으로 사용된다 (Browning 2001; DSMweb.org 2005). 여기에서는 본 연구에서 사용될 분할알고리즘에 초점을 맞추어 설명을 한다. 분할알고리즘은 피드포워드(Feed-Forward)관점에서 정보흐름을 최적화하기 위해 액티비티를 재배열하는 과정이다. 그림2는 분할알고리즘을 사용한 예다 (Maheswari 외 2006)

그림2의 좌측 매트릭스는 6개의 액티비티를 각 액티비티간의 임의의 관계를 이용하여 모델링한 DSM이다.

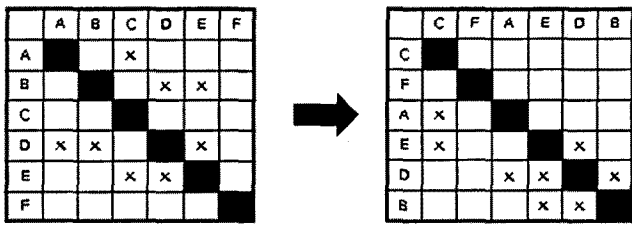


그림 2. 분할(Partitioning)알고리즘이 적용된 예시 DSM (Maheswari와 2006)

임의의 액티비티를 따라 세로방향(column)으로 있는 ×표시는 ×표시가 된 액티비티에 정보를 제공한다(gives information to)는 의미이고, 가로방향(row)으로 있는 ×표시는 ×표시가 된 액티비티로부터 정보를 필요로 한다(needs information from)는 의미이다. 사선위의 ×표시는 피드백을 의미하며 사선아래의 ×표시는 피드포워드를 의미한다. 만일, 사선위에 ×표시가 있는 경우, 이는 프로세스를 진행하기 위해서 반복 작업이 필요함을 의미한다. 이러한 반복 작업을 최소화하기 위해서는, 액티비티를 재배열함으로써 사선위의 ×표시를 사선 아래로 이동시키는 과정이 필요하다. 하지만 복잡한 정보흐름을 가지는 프로세스의 경우 사선위의 ×표시를 모두 제거하지 못할 수 있다.

이 경우 DSM은 피드백 표시가 있는 액티비티와 관련 액티비티를 함께 블록으로 형성함으로써 매트릭스에 표시한다. 이러한 과정을 통해 피드백 표시는 최대한 사선으로부터 가까워지게 된다. 왜냐하면 사선으로부터 멀리 떨어질수록 더 많은 액티비티들의 재작업이 요구되기 때문이다. 이렇게 피드백 표시를 최대한 사선 아래로 움직이거나 사선근처로 움직이는 것을 분할알고리즘이라 한다. 그림2의 우측 매트릭스는 분할알고리즘을 거친 DSM이다. 액티비티 C와 액티비티 A의 순서를 바꿈으로써 처음에 생긴 피드백 표시를 없앨 수 있다. 그리고 액티비티를 재배열하는 과정을 통해 제거하지 못한 두 개의 피드백 표시는 하나의 반복 작업(액티비티 E-D-B)을 형성하고 있다.

DSM은 네트워크기법이나 바차트와 같은 다른 프로세스관리 기법과는 달리 프로세스 상의 액티비티간 상호의존적인 정보흐름을 보여줄 수 있고 이를 바탕으로 한 정보흐름기반 분석을 통해 다양한 전략적인 사고를 가능하게 해준다(Yassine 와 1999). 상호의존적인 정보흐름으로 인한 반복적인 업무가 많이 발생하는 설계프로세스의 특징을 고려할 때, DSM은 설계프로세스 상의 정보흐름을 기반으로 액티비티들 간의 상호관계를 보여주는데 적합한 프로세스 관리기법이다 (Steward 1981; Browning 2001).

3. 시공성 지식 활용을 위한 정보흐름기반 설계프로세스관리 모델

본 연구에서는 설계프로세스 상의 적절하지 못한 시점에서 고려된 시공성 지식으로 인한 설계단계의 생산성저하를 최소화하기 위한 방법으로, DSM을 이용한 정보흐름기반의 설계프로세스관리를 제안한다. 그림3은 시공성을 고려한 정보흐름기반의 설계프로세스관리의 개념적인 모델이다.

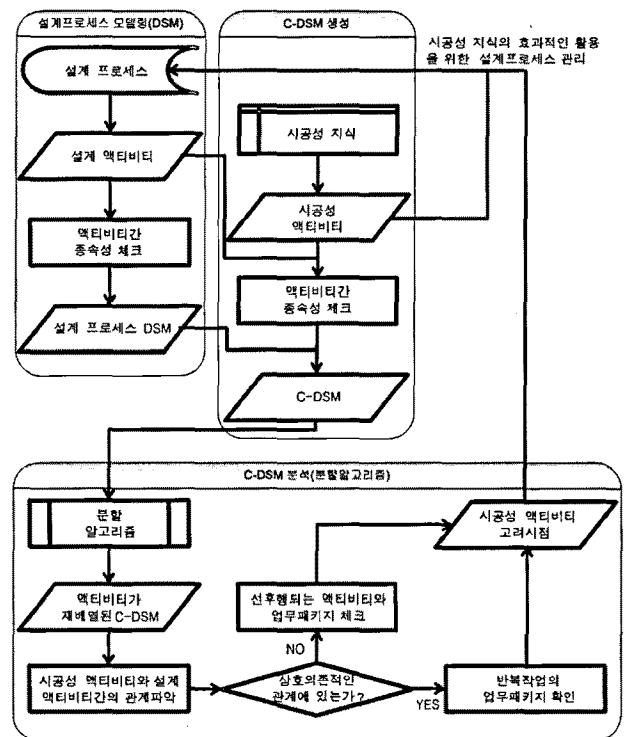


그림 3. 시공성을 고려한 정보흐름기반의 설계프로세스관리

모델은 3개의 모듈로 구성되어있다. 각각의 모듈은 필요한 정보를 입력받고, 이를 가공 처리하여 다음 단계의 모듈로 정보를 주는 역할을 한다. 각 모듈에 대한 설명은 예시 설계프로세스를 기반으로 진행된다. 예시 설계프로세스는 전체 설계프로세스 중 지하층 기둥과 기초의 구조 설계 프로세스만을 대상으로 한다. 발주방식은 설계시공일괄계약(design-build) 또는 CM계약과 같은 시공성을 고려한 설계 작업이 원활한 경우로 가정한다. 각 모듈에서 사용되는 설계 액티비티와 시공성 액티비티, 그리고 액티비티간 정보의존도는 설계사무소의 업무프로세스 분석과 설계 및 시공 전문가와의 면담을 통해 확인하였다. 이를 바탕으로 한 각 모듈에 대한 설명은 다음과 같다.

3.1 DSM을 이용한 설계프로세스 모델링

설계프로세스를 관리하기 위해서는 먼저 설계프로세스를 모델링하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 설계 프로세스상의 설계 액티비티들을 액티비티간 종속성(dependency)기반으로 모델링한다. 사용된 주요 개념을 정리하면 다음과 같다.

- 설계 액티비티: 본 연구에서는 설계프로세스 상의 액티비티 간 정보흐름이 관리대상이 되므로 프로세스 상에서 다른 작업과 정보흐름을 가지는 단위 작업으로서 한정지어 고려한다. 즉, 설계의사결정에 직접적인 영향을 줄 수 있는 설계정보를 생성하는 업무만을 다룬다. 예를 들어 주요 관리업무로 인식되고 있는 설계도서 납품과 같은 액티비티는 설계의사결정에 영향을 주는 정보를 생산하지는 않으므로 설계 프로세스 상에 기재하지 않는다.
- 종속성: 임의의 두 액티비티간 선, 후행관계에 따른 정보흐름을 의미한다. 예를 들어 기둥의 단면을 결정하기 위해서는 상부 하중의 크기가 먼저 산정되어야 하므로 기둥의 단면을 결정하는 업무는 상부 하중 크기를 산정하는 업무에 종속성을 가지게 된다.

모델링을 위한 첫 단계로, 설계 프로세스 상에서 설계 액티비티들을 생성하고, 각 액티비티간의 종속성을 파악한다. 그리고 파악된 종속성을 바탕으로 설계프로세스를 액티비티 기반의 매트릭스 형태로 모델링한다.

표 1. 설계 액티비티들과 액티비티 상호 간의 종속성

분류	Activity ID	Activity Name	Predecessors
설계프로세스	A	건축주 요구파악	-
	B	설계 지침서 검토	-
	C	지질 조사	-
	D	기초 형식 검토	A, B, C
	E	상부 하중 크기 산정	-
	F	HAVC 레이아웃 계획	G
	G	기둥, 보, 슬래브 레이아웃 계획	F
	H	철골 기둥(지하층) 단면 결정	E
	I	S, R, C 기둥 단면 결정	E, H
	J	기초 형태 결정	C, D, E
	K	기초 치수 및 관입 깊이 결정	C, E, J
	L	구조 재료 강도 선정	H, I, K

표1은 예시 설계프로세스 상의 액티비티들과 액티비티간 종속성을 보여준다. 그리고 그림4는 예시 설계프로세스상의 설계 액티비티A~L을 액티비티간 종속성을 기반으로 모델링한 것이다.

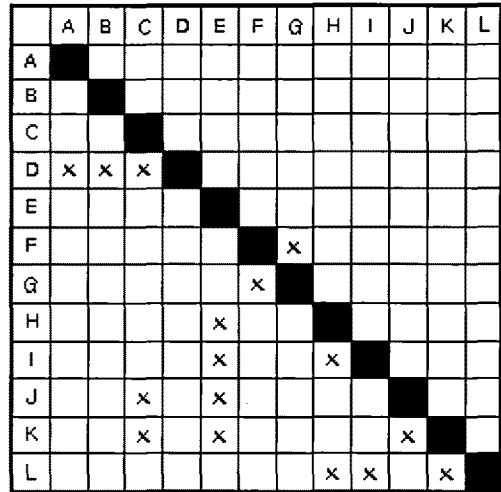


그림 4. DSM을 이용한 설계프로세스 모델링

3.2 시공성 액티비티를 포함한 C-DSM (Constructability-DSM) 생성

본 연구에서는 설계과정에서 고려해야 하는 다양한 시공성 지식을 업무 프로세스 상의 액티비티로 표현할 수 있다고 가정한다. 이에 시공성 액티비티는 설계자가 시공조직과의 협업을 통해 시공성 지식을 인지하는 행위라고 정의한다. 예를 들어 설계자가 기둥 설계 과정에서 콘크리트 타설이 가능하도록 철근 배근 간격을 조절해야 한다는 사실을 시공조직과의 협업을 통해 인지하는 행위자체를 설계 프로세스상의 액티비티로 간주한다.

표2는 설계단계에서 고려해야 할 시공성 지식의 근원이 되는 시공성 평가 요소의 예들이다 (전재열 2003; Uhlik과 Lores 1998). 이러한 시공성 평가 요소들을 바탕으로 해당 프로젝트의 설계단계에 고려해야 하는 시공단계의 경험 및 지식을 파악하여 이를 바탕으로 시공성 액티비티를 생성한다. 그리고 앞 절에서 다룬 설계 액티비티들과의 종속성을 체크한다. 즉, 시공성 액티비티들이 설계 액티비티들과 어떠한 정보흐름을 가지는지를 파악한다.

표 2. 시공성 평가 요소의 예 (전재열 2003; Uhlik과 Lores 1998)

분류	시공성 평가 요소의 예
공사 일정이 고려된 설계	· 지하공사의 공기단축 가능성 검토 · 시공순서를 설계에 반영 여부 검토
시공 효율성이 고려된 설계	· 조립의 단순화/ 구조의 단순화 검토 · 공정의 반복 및 표준화 검토 · 현장응답 개소의 최소화 고려 여부 검토 · 설계요소 중 모듈화 및 프리패브릭 가능 여부 검토
인부, 재료, 장비의 접근성을 고려한 설계	· 철근 배근 간격의 협소로 인한 콘크리트 타설 가능 검토 · 철근이 교차하는 부분의 적정 피복두께 고려 여부 검토 · 구조설계는 시공오차를 고려했는지 여부 검토 · 공정 간의 간섭 고려 여부 검토
재료와 장비의 조달을 고려한 설계	· 자재 및 시공 장비의 조달 가능성 검토

위의 과정을 거친 시공성 액티비티들을 앞 절의 설계프로세스 매트릭스에 포함시켜 C-DSM(Constructability-DSM)을 만든다. 그러므로 C-DSM상에서는 설계주체들간의 정보흐름뿐만 아니라 시공조직과의 협업을 통한 설계자와 시공조직간의 정보흐름도 나타나게 된다. 생성된 C-DSM은 설계프로세스 상의 액티비티 수준에서 특정 시공성 지식이 고려되어야 하는 시점을 파악하는데 기본 자료로 활용된다.

표 3. 설계 액티비티와 시공성 액티비티 및 각 액티비티들 사이의 정보흐름

분류	Activity ID	Activity Name	Predecessors	
설계프로세스	A	건축주 요구파악	-	
	B	설계 지침서 검토	-	
	C	지질 조사	-	
	D	기초 형식 검토	A, B, C	
	E	상부 하중 크기 산정	M	
	F	HAVC 레이아웃 계획	G	
	G	기중, 보, 슬래브 레이아웃 계획	F	
	H	철골 기둥(지하층) 단면 결정	E, N, O	
	I	S, R, C 기둥 단면 결정	E, H, N, P	
	J	기초 형태 결정	C, D, E	
	K	기초 치수 및 관입 깊이 결정	C, E, J	
	L	구조 재료 강도 선정	H, I, K, P	
	시공성 지식	M	지상 저층부 시공 계획	K
		N	기둥 내 부재 간 간섭 고려	-
O		Skip Floor 적용	H	
P		콘크리트 시공 효율성 고려	I, L	

표3은 예시 설계프로세스 상에서 고려해야 할 시공성 액티비티 M~P와 각각 설계 액티비티와의 상호간 종속성을 보여준다. 그림5는 이를 기반으로 시공성 액티비티를 앞 절의 매트릭스에 포함시킨 C-DSM이다. 매트릭스 상의 어두운 부분은 시공성 액티비티를 나타낸다. 그리고 x 표시는 설계주체들간의 정보흐름을, ⊙표시는 시공조직과 설계자와의 정보흐름을 보여준다.

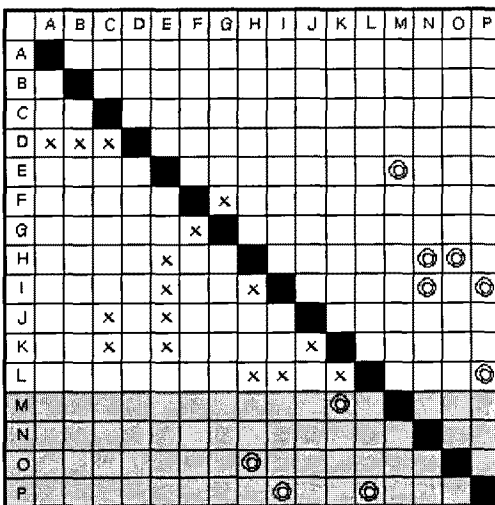


그림 5. C-DSM

3.3 분할알고리즘을 사용한 C-DSM분석

설계프로세스 상의 액티비티 수준에서 특정 시공성 지식이 고려되어야 하는 시점을 파악하기 위해 C-DSM에 분할알고리즘을 적용한다. 분할알고리즘은 매트릭스 상의 최적화된 정보흐름을 목적으로 정보의 피드포워드관점에서 액티비티들을 재배열한다. 그림6은 분할알고리즘을 통해 액티비티가 재배열된 C-DSM을 보여준다.

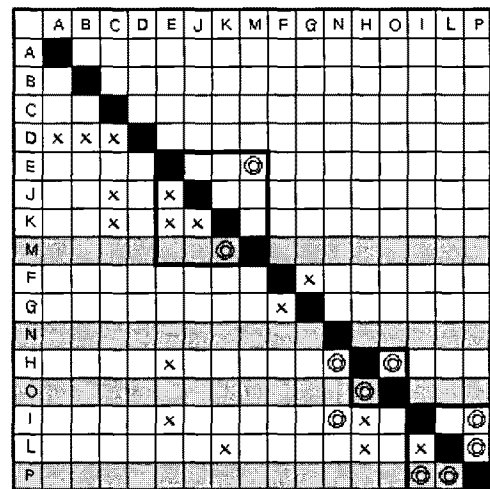


그림 6. 분할알고리즘이 적용된 C-DSM

그 결과, 시공성 액티비티 M~P가 설계 액티비티와의 정보의존도에 따라 매트릭스 상의 특정 위치에 재배치된다. 그리고 나서 설계프로세스 상에서 시공성 액티비티들이 설계 액티비티들과 어떠한 관계에 있는지를 파악한다. 시공성 액티비티들은 설계 액티비티들과 순차적 또는 상호의존적인 관계를 가지게 된다.

예시 설계프로세스의 경우, 그림6에서 볼 수 있듯이, 시공성 액티비티 N은 설계 액티비티 H, I와 순차적인 관계에 있고 시공성 액티비티 M은 설계 액티비티 E, J, K와 상호의존적인 관계에 있으며 시공성 액티비티 O는 설계 액티비티 H와, 그리고 시공성 액티비티 P는 설계 액티비티 I, L과 상호의존적인 관계에 있음을 확인할 수 있다.

3.3.1 상호의존적 관계에 있는 시공성 액티비티

설계 액티비티와 상호의존적인 관계에 있는 시공성 액티비티는 시공조직과 설계자 사이에 양방향 정보흐름을 가진다. 이러한 시공성 액티비티는 주로 공법 및 재료에 따른 시공계획이나 시공 효율성과 같이 설계결과에 따라 영향을 받는 가변적인 시공성 지식을 다룬다. 시공계획의 경우, 설계단계에서 정확한 시공계획을 미리 세운다는 것은 무리한 점이 있지만 시공조직과의 협업을 통해 설계 시 시공계획을 설계조건으로 전제 할 수는 있

으므로 본 연구에서 정의한 시공성의 의미를 생각한다면 이러한 시공성 지식은 설계단계에서 고려될 수 있다.

예를 들어 지상 층과 지하층을 동시에 시공하는 도심지 공사를 대상으로 한 설계프로세스 중 기초의 치수와 관입깊이를 결정하는 액티비티(설계 액티비티 K)는 지상 저층부 시공 계획(시공성 액티비티 M)과 상호의존적인 관계를 가지게 된다. 공사초기부터 영구기초를 시공한다면 문제될 것이 없으나, 실제로는 지상에서 굴착하는 굴착장비와 기초 지반의 상태에 따라 처음부터 영구기초를 시공하지 않고 피어기초와 같은 임시기초로 설계되는 일이 많다. 추 후 지하층 공사의 마지막에 건물전체를 지지하는 매트기초로 영구기초를 시공하기 전까지는 임시기초의 내력이 허용하는 지상 층수만큼, 지상 골조시공을 지하층과 동시에 진행하게 된다. 그러므로 지하 최저층 공사를 할 시점에 몇 개의 지상 층을 공사해야 할 것인가와 관련된 시공계획과 기초의 치수와 관입깊이를 결정하는 것 사이에는 양방향의 정보흐름이 생기게 된다.

그리고 공기 단축을 위해 Skip Floor 토공방식을 사용하여 복수의 지하층을 한 번에 굴착하고자 할 경우(시공성 액티비티 O), 축하중으로 인한 좌굴(buckling)의 문제가 발생할 수 있으므로 철골 기둥의 구조적 안정성(설계 액티비티 H)을 동시에 검토하여야 한다.

마지막으로 기둥의 단면을 설계(설계 액티비티 I)하고 구조 재료의 강도를 선정(설계 액티비티 L)할 때, 최적 설계만을 고려하여 각 층마다 기둥의 콘크리트 강도나 단면을 상이하게 할 경우, 시공 시 콘크리트 조달이나 작업의 효율성 저하를 초래(시공성 액티비티 P)할 수 있으므로 시공조직과의 협업을 통해 이러한 부분을 최소화 하도록 하여야 한다.

이러한 시공성 액티비티들은 설계 액티비티들과 상호의존적인 정보흐름을 가져 반복 작업의 업무 패키지를 형성하게 된다. 반복 작업의 업무 패키지안에 포함된 액티비티들끼리는 정보가 순환하게 된다. 그러므로 반복 작업의 업무 패키지에 포함된 시공성 액티비티는 업무 패키지 단위로 관련 설계 액티비티와 함께 수행되어야 한다. 이에 이러한 시공성 액티비티의 고려시점도 업무 패키지 단위로 고려한다.

예시 설계프로세스에서 시공성 액티비티M은 설계 프로세스 상에서 설계 액티비티E, J, K가 수행될 때 함께 고려될 경우 효과적인 활용이 가능함을 알 수 있다. 같은 방법으로 시공성 액티비티와 상호의존적인 정보흐름을 가지는 설계 액티비티를 확인함으로써 나머지 시공성 액티비티O와 P의 고려시점을 매트릭스를 통해 파악할 수 있다.

3.3.2 순차적 관계에 있는 시공성 액티비티

설계 액티비티와 순차적인 관계에 있는 시공성 액티비티는 시공조직에서 설계자로 일방향 정보흐름을 가진다. 이러한 시공성 액티비티는 주로 시공단계에서의 인부, 재료, 장비의 접근성을 고려하는 것과 같은 설계제약사항과 관련된 시공성 지식을 다룬다.

예를 들어 기둥구조설계 시 부재 간 간섭을 고려하는 것(시공성 액티비티 N)은 기둥의 단면을 결정하는 것(설계 액티비티 H, I)과 순차적인 관계를 가지게 된다. 즉, 설계자는 케이싱(casing) 내에서 기초 철근망 및 철골기둥, 트레미관, 토우 그라우팅 파이프(toe grouting pipe) 및 스티프너(stiffner)등의 상호 간섭 여부를 감안하여 기둥의 단면을 결정해야 한다.

설계 액티비티와 순차적 관계를 가지는 시공성 액티비티는 매트릭스 상에서 선, 후행되는 액티비티나 업무패키지를 파악하여 활용 시점을 선정할 수 있다. 예시 설계프로세스에서 시공성 액티비티N은 설계 액티비티H가 포함된 업무패키지(액티비티H-O)보다 선행하여 수행될 때 효과적인 활용이 가능함을 알 수 있다.

3.4 시공성 지식의 효과적인 활용을 위한 정보흐름 기반 설계프로세스 관리의 효용성

본 연구에서 제안하는 DSM을 이용한 정보흐름 기반의 설계 프로세스관리는 설계결과물에 시공성지식을 반영하는 과정에서 다음과 같은 효용성을 가져다 줄 수 있다.

먼저 시공성 지식으로부터 생성된 시공성 액티비티와 분할알고리즘을 사용해 파악된 시공성 액티비티의 고려시점은, 설계과정에서 '어떤 시공성 지식'을 '어느 시점'에 활용해야 하는지를 설계자에게 알려준다. 이는 설계프로세스에 반영되어 시공성 지식을 설계단계의 의사결정과정에 최대한 효과적으로 활용할 수 있게 해준다. 이러한 과정을 통해 설계가 진행되면서 시공조직과의 협업 시 발생할 수 있는 비효율적인 정보교환을 최소화하여 설계생산성 저해요인을 제거함으로써 전반적인 건설프로젝트의 생산성 향상을 도모할 수 있다.

또한 시공성 액티비티와 설계 액티비티간의 관계에 따라 특정 시공성지식을 '어떻게' 설계에 반영하는 것이 효율적인 지도 파악이 가능하다. 시공성 지식은 설계단계에서 설계자와 시공조직간의 협업을 통해 전달된다. 시공성 액티비티가 포함된 반복 작업의 업무패키지에서는 각 업무간 반복적인 정보교환이 이루어지므로 설계자와 시공조직간의 회의 등을 통한 적극적인 협업이 요구된다. 하지만 설계 액티비티들과 순차적인 관계를 가지는 시공성 액티비티들은 회의와 같은 적극적인 협업이 아닌 정보

전달과 같은 일방향 협업만으로도 설계에 반영이 가능하다. 이에 DSM을 이용한 정보흐름기반의 설계프로세스관리는 프로젝트 관리자에게 특정 시공성 지식을 설계단계에 반영하기 적합한 협업의 종류를 제공해줌으로써 설계자와 시공조직간의 효율적인 협업관리를 가능하게 해준다.

4. 결론

본 연구에서는 설계단계에서 시공성 지식의 효과적인 활용을 위해, 설계의사결정과정의 기본단위가 되는 설계 액티비티들과 설계과정에서 고려해야 하는 다양한 시공성 지식간의 상호관계를 고려한 정보흐름기반의 설계프로세스관리를 제안하였다. 이를 통해 프로젝트 관리자가 설계과정에서 ‘어떤 시공성 지식’을 ‘어느 시점’에 ‘어떻게’ 설계에 반영하는 것이 효율적인 지를 파악할 수 있게 하여 설계단계에서 시공지식과 경험의 최적화된 활용을 가능하게 하였다.

한편, 본 연구에서는 설계 액티비티의 상세정도가 낮아 그 수가 적고 시공성 액티비티의 수는 많을 경우, 하나의 설계액티비티에 다수의 시공성 액티비티가 동시에 정보흐름을 가져 설계 액티비티와 시공성 액티비티간의 구체적인 정보흐름을 보여주 기 힘들 수 있다. 이를 방지하기 위해 추후 연구에서는 설계프로세스 상에서 설계 액티비티를 세분화하는 구체적인 프로세스를 개발할 필요가 있다. 마지막으로 본 연구에서 예로든 설계 프로세스는 전체 설계 프로세스 중 구조 설계 프로세스만을 고려하였고, 그 중에서도 지하층 기둥과 기초의 설계프로세스만을 선택한 점이 연구의 한계로 남았다. 다양한 사례 연구를 통해 본 개념모델을 사용하여 적용성과 효용성을 검증한다면, 설계프로세스관리가 설계단계에서의 단순한 설계 검토에서 벗어나, 건설 생산합리화를 위한 프로젝트 전 과정과 연계된 포괄적인 관리활동으로 발전하는데 크게 기여할 수 있으리라 기대된다.

감사의 글

본 논문은 한국건설교통기술평가원 연구과제 “웹 기반 분산형 린건설 정보시스템 개발”의 지원에 의한 결과임(과제번호 : 05기반구축D05-1)

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설기술교통평가원에서 위탁 시행한 첨단도시개발사업(과제번호 : 09첨단도시A01)에 의해 수행한 결과의 일부임.

참고문헌

- 권동혁 외 1명 (2003). “고층사무소 프로젝트 시공성 분석 연구”, 대한건축학회 논문집, 19(3), pp.155~162
- 김문한 (2006). 건축생산관리학, 기문당, pp.189~213
- 김한수 (2002). “건설산업의 효율성 및 생산성 향상 전략: 영국건설산업 혁신운동의 벤치마킹 결과를 중심으로”, 세종대학교
- 박장수 외 4명 (2009). “강구조물 공사의 시공성 향상을 위한 체크리스트 개발”, 대한건축학회 논문집, 25(12), pp.197~206
- 박찬식 (2000). “Value Engineering vs. Constructability”, 한국건설관리학회 학회지, 1(3), pp.13~16
- 배정익 외 2명 (2006). “설계관리 모델 개발을 위한 설계업무 프로세스 개선 방향 제시”, 한국건설관리학회 논문집, 7(6), pp.90~98
- 장세훈 (2007). “DSM을 이용한 건설사업 공정관리에 관한 연구”, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.682~686
- 전재열 (2003). “건축설계단계에서 협력설계 의사결정을 통한 적정 부위 대안 선정 알고리즘에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 19(11), pp.199~206
- Arditi, D. El, hassan, A. and Toklu, C. (2002). “Constructability analysis in the design firm.”, Journal of Construction Engineering and Management, 128(2), pp.117~126.
- Browning T. R. (2001). “Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions”, IEEE Transactions on Engineering Management, 48(3), pp.292~306.
- Construction Industry Institute(CII). (1986), Constructability: A Primer, Publication.
- DSMweb.org, (2005). The Design Structure Matrix Web Site. Retrieved 2005-03-15, from <http://www.dsmweb.org/>
- Fisher, M. and Tatum, C. B. (1997), “Characteristics of Design-Relevant Constructability Knowledge”, Journal of Construction Engineering and Management, 123(3), pp. 253~260
- Gebala, D. A and Eppinger S. D. (1991). “Methods for Analyzing Design Procedures”, ASME Conference on

- Design Theory and Methodology, Miami, pp. 227~233
- Glavinich, T. E. (1995), "Improving Constructability During Design Phase", *Journal of Architectural Engineering*, 1(2), pp. 73~76
- Griffith, A and Sidwell, A. C. (1995), *Constructability in Building and Engineering Projects*, pp.85~105
- Huovila, P., Koskela, L., Lautanala, M., Pietilainen, K., and Tanhuanpaa, V. (1995). "Use of the design structure matrix in construction." *Proc., 3rd Int. Workshop on Lean Construction*, VTT Building Technology, Finland.
- Koskela, L., Huovila, P. and Leinonen, J. (2002). "Design management in building construction: from theory to practice". *Journal of construction research*, 3(1), pp.1~16
- Maheswari, J. U. Vargehese, K. and Sridharan, T.(2006) "Application of dependency structure matrix for activity sequencing in concurrent engineering projects", *ASCE Journal of Construction Engineering and Management* 132 (5), pp. 482~490.
- McCord, K. R. and Eppinger. S. D, (1993) "Managing the Integration Problem in Concurrent Engineering," *Massachusetts Institute of Technology Sloan School of Management Working Paper*, 3594-93-MSA.
- O' Connor, J.T and Miller, S.J. (1995), "Overcoming Barriers to Successful Constructability Implementation Efforts", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 9(2), pp. 117~128.
- Oloufa, A. A., Hosni, Y. A., Fayez, M and Axelsson, P. (2004). "Using DSM for modeling information flow in construction design projects", *Civil Engineering and Environmental Systems*, 21(2), pp. 105~125
- Pulaski, M. H. & Horman, M. J. (2005). "Organizing Constructability Knowledge for Design.", *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(8), pp. 911~919
- Steward, D. (1965). "Partitioning and tearing systems of equations." *Journal on Numerical Analysis*, 2(2), pp. 345~365.
- Steward, D. (1981). *Analysis and Management: Structure, Strategy and Design*, Petrocelli Books
- Uhlik, F. T., and Lores, G. V. (1998). "Assessment of constructability practices among general contractors." *J. Archit. Eng.*, 4(3), pp.113~123.
- Yassine, A. Falkenburg, D. and Chelst, K. (1999). "Engineering design management: An information structure approach." *Int. J. Prod. Res.* 3713, pp.2957~2975.

논문제출일: 2010.06.11

논문심사일: 2010.06.18

심사완료일: 2010.08.25

Abstract

The design with construction knowledge and experience can eliminate inefficiency in the process of construction and improve productivity in all phase of construction project. To utilize constructability knowledge most effectively in design phase, the information must be made available to the design team at the proper point in time. Current methods for effective utilization of constructability knowledge have focused on the structuralization of constructability knowledge such as checklist, which lack the consideration of the proper point in time. However, constructability knowledge which is used at the inapposite point in time consequently leads to unnecessary rework. To minimize this inefficiency and improve productivity, project manager needs to consider the design process and know what constructability knowledge is required for specific design activities. This paper therefore presents a design process management using Dependency Structure Matrix (DSM) that focus on information flows between design activities and constructability knowledge. We expect that the results of this paper will support that design process management become comprehensive management related to every phase of construction project beyond design review or inspection in design phase, and be used as a basis of the integration of design and construction.

Keywords : *Design process, Constructability, Dependency Structure Matrix(DSM)*
