

시공현장 BIM 운영 및 성과측정을 위한 사례분석

A Case Study on BIM Operating and Performance Measurement in Construction Phase

함남혁¹⁾, 김재준²⁾

Ham, Nam-Hyuk¹⁾ • Kim, Jae-Jun²⁾

Received March 4, 2015 / Accepted June 17, 2015

ABSTRACT: Despite a lot of research on BIM, there is no quantitative study to measure accurately the performance of BIM coordination service. Thus, this study suggested method to measure the performance of BIM coordination services, applying queueing models in the field of management science. To analyze queueing system of BIM coordination services, a group of BIM coordinator were selected. Through focus group interviews with experts were used in the analysis to derive mean arrival rate(λ), mean service rate(μ) of BIM coordination services. Single-server queueing model($M/M/1$), multiple server queueing model($M/M/s$) is utilized for the BIM coordination services performance measurement in construction phase. This study has significant quantitative performance measurement approaches that can be utilized in the decision-making for the improvement of the BIM coordination services and to support the review of the alternatives accordingly. But There is a limit but it is difficult to take into account the increase or decrease of the cost of alternatives according to the review.

KEYWORDS: BIM Coordination Service, Performance Measurement, Queueing Model

키워드: BIM 조율 서비스, 성과측정, 대기행렬모형

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

BIM 도입 초기 건설 프로젝트에 참여하는 발주처, 설계사, 시공사, 엔지니어링사 등 다양한 분야의 전문가들은 BIM 실행을 위한 가이드라인; '건축분야 BIM 적용가이드(국토해양부, 2010)', BIM 작성 지침; '시설사업 BIM 적용 기본지침서 1.0(조달청, 2010)', 각종 연구 과제 등을 수행하였으며, 이와 더불어 조달청에서는 2012년부터 500억 이상 신축 공공건물 입찰에 BIM 설계 의무화를 시작으로 2013년부터는 300억 이상으로 그 기준을 강화한 뒤, 2016년부터 전면 시행한다고 발표하였다(조달청, 2010). 현재까지 진행된 국내 및 해외 BIM 가이드라인 연구(권오철, 조찬원, 2011), 다양한 프로젝트의 입찰안내서(RFP, Request for Proposal) 및 수행 사례, BIM Execution Planning Guide 등 BIM 실행에 필요한 참고 자료 및 정보들이 많음에도 불구하고 BIM 프로젝트의 운영에 대한 성과를 정확하게 측정하기 위한 정량적인 방식은 전무하다고 볼 수 있다. 이는 BIM과 관련된

기존의 연구들이 간접적인 경험치에 근거한 단순 설문조사를 기반으로 이루어지는 경우가 많으며, 정량화될 수 있는 BIM 관련 실무 사례들이 그리 많지 않기 때문이다(김화성, 2010). 따라서 본 연구에서는 실제 운영 사례를 기반으로 현장에서의 BIM 운영에 대한 성과 측정 방식을 제안하고, 이를 통해 향후 BIM 프로젝트 진행시 의사결정에 활용할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 현장에서 이루어지는 BIM 코디네이션 서비스에 대한 성과측정을 위해 건축 프로젝트 생애주기에 걸쳐 작성된 BIM Model이 실질적으로 활용되는 시공단계로 범위를 한정하였다.

시공 현장은 설계의 완성도, 시스템의 복잡성 등에 의해 운영을 위한 리스크가 매우 높아질 수 있으며, 본 연구에서는 이러한 건설 프로젝트의 특성을 고려하여 앞선 리스크에 대응하기 위한 시공현장의 BIM 운영을 연구의 대상으로 한정하였다. 또한 이에

¹⁾학생회원, 한양대학교 건축환경공학과 박사과정 (sunkist7@hanyang.ac.kr)

²⁾정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사 (jjkim@hanyang.ac.kr) (교신저자)

대한 효율을 분석하기 위해 현장에서 문제 해결 및 승인 과정을 지원하기 위한 다양한 BIM 적용 분야에 대해 조사하고, 이에 대한 성과측정 방안 및 의사결정 지원 방안을 제시하는 것을 최종 목표로 한다. 이를 위한 연구의 흐름은 다음과 같다.

이론적 고찰에서는 건설업무를 위한 코디네이션의 방식 및 목표에 대해 살펴보고, 빌딩스마트협회에서 제공하는 BIM 운영 수행 정보를 검토하여, 실무에서 BIM이 어떻게 수행되고 있는지 분석하였다. 또한 문헌 고찰을 통해 기존 BIM 관련 연구들이 프로세스, 기술, 엔지니어링 측면에 치우쳐져 BIM 운영 측면에 대한 고려가 미흡하다는 문제점을 파악하였다. 이러한 문제점 해결을 위해 본 연구에서는 경영자들이 업무 시스템 효율 제고 시 의사결정의 도구로 활용하는 경영과학 분야의 대기행렬모형(Queueing Model)을 통해 운영적 측면에서 BIM 코디네이션 서비스의 효율을 파악하고, 그에 따른 의사결정 지원을 위한 방안을 제안하고자 한다.

현장에서 활용되는 BIM 코디네이션 서비스 도출을 위해 BIM 실무 경력 3년 차 이상의 BIM 코디네이터들을 1차 전문가 그룹으로 선정하였으며, 이 그룹의 전문가들은 현상설계단계, 기본설계단계, 실시설계단계 등 설계단계의 프로젝트와 시공단계의 프로젝트를 경험한 사람들로 구성하였다. 전문가 인터뷰 및 관련 문헌 고찰을 통해 시공현장에서 활용성이 높은 BIM 활용 분야를 선정하였다.

다음으로 본 연구의 연구 범위인 시공 현장의 BIM 코디네이션 서비스에 대한 인터뷰를 위해 시공 현장 상주 기간이 6개월 이상인 전문가들을 2차 전문가 그룹으로 추출하였다. 이는 실제 현장에서 활용되는 BIM 코디네이션 서비스를 운영적 측면에서 접근하기 위해서이다. 이렇게 선정된 2차 전문가 그룹에 대한 시공 현장의 BIM 코디네이션 서비스 성과측정을 위해 대기행렬모형을 수립하였다.

대기행렬모형을 활용한 분석은 3차에 걸쳐 이뤄졌다. 1차 분석은 각기 다른 현장에 상주했던 BIM 코디네이터들의 서비스 역량을 평균치로 환산하여, M/M/1 모형을 통해 분석하였으며, 2차 분석은 동일한 조건하에서 BIM 코디네이터를 늘릴 경우에 대해 분석하였다. 3차 분석은 2차 분석과 동일한 조건에서 현재 17개월 동안 BIM 코디네이터 상주를 통해 시공 현장 코디네이션 업무에 BIM을 일체화시켜 활용하고 있는 D사의 Y프로젝트에 상주하고 있는 BIM 코디네이터들의 서비스 역량을 평균치로 환산하여 M/M/s 모형을 통해 분석하였다.

분석 결과를 비교함으로써, 각각의 대기행렬모형에 대한 성과척도들을 비교하였으며, 이러한 성과 척도들을 활용하여 현장의 원활한 BIM 운영을 위한 대안검토를 통해 의사결정을 지원하는 것을 본 연구의 최종 목적으로 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 건설업무 지원을 위한 코디네이션과 BIM

D. Darshi De Saram, Syed M. Ahmed, Michael Anson (2004)은 건설업무 지원을 위한 코디네이션을 프로젝트 매니저가 건설 활동을 하는 프로젝트 참여자인 고객에게 서비스를 제공하는 프로세스로 정의하고 있으며, Fang-Ying Shen과 Andrew S. Chang(2011)은 ASCE에서 제안한 건설업무 지원에 필요한 코디네이션을 위한 기본적인 13가지 방식을 회의(Meeting), 상시협의(Informal Discussion), 현장방문(Site Visits), 서면응답(Written correspondence), 계획(Plans), 공정(Schedules), 각종 보고서(Reports), 계약문서(Contract document) 8가지 방식으로 재분류하였으며, 이러한 코디네이션의 목표를 지시(Instruction), 명확화(Clarification), 편리화(Facilitation), 조정(Control), 정보공유(Information Sharing), 관계유지(Maintenance of relationships) 6가지로 설정하였다. 현장에서 이뤄지는 이러한 건설 업무를 위한 코디네이션은 일회적으로 이뤄지는 업무부터 지속적으로 이뤄지는 업무까지 매우 다양하다.

최근 이슈화되고 있는 BIM(Building Information Modeling) 패러다임은 건설 프로젝트 생애주기 동안 생성되고, 소멸되는 모든 정보를 하나의 정보 모델을 기반으로 관리한다는 개념으로 건설업무 지원을 위한 코디네이션을 위해 BIM 업무 프로세스 구축, 투입대비 성과 관리 등 그 관리의 중요성이 점점 증가하고 있다(정재국, 김예상 2012). BIM 운영 관리는 설계단계에서 작성된 3차원의 BIM Model을 활용한 다양한 참여자간의 공정, 공법, 공사비 등 다양한 설계 및 엔지니어링에 대한 견적(estimation), 공정계획(scheduling), 조율(Coordination), 사전 제작(pre fabrication), 설치(installation), 승인(inspection) 과정을 효율적으로 수행해야 한다(Thomas Korman, 2010).

하지만 아직까지 BIM 도입이 초기 단계에 머물러 있기 때문에 건설업무 지원을 위한 코디네이션에 BIM을 활용하는 사례가 적을 뿐만 아니라, 이에 따라 BIM을 통한 건설업무 지원 서비스의 정확한 효율 및 성과 측정의 어려움으로 인해 실무에서 BIM을 적극적으로 도입하는 데 있어서 문제가 되고 있다. 특히 건설 프로젝트 시공단계의 경우 최종 생산물인 건축물을 완성하는데 필요한 자원이 지속적으로 투입되는 단계로 BIM을 도입할 경우 필요한 인력, 장비, 소프트웨어 등의 추가 비용이 발생하기 때문에 BIM 코디네이션 서비스에 대한 정확한 효율 측정 및 성과 측정을 통한 현장 관리자의 의사결정을 지원할 수 있는 방안 마련이 더욱더 절실하다.

본 연구에서는 서론에서 언급한 것과 같이 건설업무 지원을 위한 각종 코디네이션 업무가 BIM을 기반으로 전환될 것으로 예상되는 가운데, 시공단계의 BIM을 활용한 건설업무 지원을

위한 코디네이션 서비스의 성과 측정 방식 및 그 방식을 통한 의사결정 지원에 초점을 맞추고자 한다.

시공단계에서 BIM 기반 건설업무 지원이 원활하게 이루어지기 위해서는 업무진행을 위해 현장에서 프로젝트에 참여하는 발주처(Client), CM, 원도급자(General Contractor, 이하 GC), 하수급자(Sub-Contractor, SC) 등 의 고객이 필요로 하는 BIM 코디네이션 서비스가 즉각적으로 혹은 일정 기간 동안 간격을 두고 지속적으로 제공되어야 한다. 이러한 BIM 코디네이션 서비스를 지속적으로 현장에 제공하기 위해서는 시공현장 경력을 갖춘 BIM 코디네이터가 현장에 투입되어야 하며, BIM 코디네이터가 제공하는 서비스의 효율은 고객이 BIM 코디네이션 서비스를 요청하기 위해 대기한 시간뿐만 아니라, 서비스를 제공받는데 걸린 시간에 의해 결정된다.

시공현장의 업무 지원을 위한 BIM 코디네이션 서비스에는 설계 오류 등을 검토하기 위한 3D 시각화(visualization), 공종별 간섭검토(clash detection), 한정된 작업 공간에서의 장비 운용, 부재와 공정간의 선후 관계에 따른 간섭을 검토하기 위한 공정 시뮬레이션(4D simulation), 2차원 CAD 정보에서 추출된 주요 물량(콘크리트, 거푸집, 철골 등)의 검증뿐만 아니라, 앞서 4D를 통해 검토된 현장 운용에 최적화된 장비들의 제원 및 비용을 파악하기 위한 물량산출(quantity take off, Quantity Survey), 시공상세도 작성(shop drawing) 등 매우 다양하다(박찬식, 박희택, 2010 ; 신태홍, 2011). 이 중에는 BIM 코디네이터의 간단한 작업을 통해 서비스를 요청한 고객에게 바로 작업 결과물이 전달될 수 있는 BIM 코디네이션 서비스가 있을 수도 있고, 공종간의 추가적인 협의 및 정보 교환 등의 과정을 통해 일정 기간 동안의 작업 기간을 두고 고객에게 제공되는 BIM 코디네이션 서비스가 있다. 종합적으로 BIM을 활용한 코디네이션 서비스는 BIM 코디네이터간 협업뿐만 아니라, 공종간 협의, 관리자의 의사결정 등 매우 복잡한 과정을 거쳐 고객에게 제공된다.

2.2 국내 BIM 도입 현황

Rafael Sacks, Lauri Koskela, Bhargav A. Dave, Robert Owen(2010)는 건설업무에서 Lean과 BIM의 상호관계에 대해 연구하였다. 이 연구에서 Lean 건설의 초점은 쓸데없는 낭비를 줄이고, 고객에게 가치를 제공하며, 지속적인 개선 방향을 제시하는 데 있다고 하였다. 중요한 것은 BIM 도입이 Lean 건설에 필수불가결한 요소는 아니지만, BIM을 통해 지속적으로 건설업무 프로세스를 통합하는 것은 Lean 건설에 효율적이라고 밝히고 있다. 뿐만 아니라, AIA에서 발행한 IPD(Integrated Project Delivery) 관련 문서에서도 BIM 없이 IPD 구현이 가능하다고 하였으나(Eckblad, S. et al, 2007), IPD를 위해 요구되는 협업을 효율적으로 수행하는데 있어서는 BIM이 필수적이라고 밝히고

있다(Rafael Sacks, 2010).

하지만 국내의 BIM 도입 현황을 살펴보면 아직까지 IPD, Lean건설 등을 구현할 정도로 건설시장에 BIM을 도입하려는 움직임이 성숙되지 않았다. 빌딩스마트협회에서 제공하는 BIM 용역 실적 정보를 분석한 결과 현재까지 집계된 프로젝트를 기준으로 BIM 업무를 수행하는 업체는 45곳으로 파악되었고, 이러한 업체들이 등록된 프로젝트는 총 336건(중복포함)에 이르렀다. 하지만 이 중 BIM을 단순히 용역사를 통해 수행한 건수는 245건(72.9%), 자체 수행 및 제안 건수는 91건(27%)으로 파악되었다. 자체 수행 및 제안 건수 중 설계사가 수행한 건수가 67건(73.6%)으로 큰 비중을 차지하였다. 이 밖에 CM사 2건(2.1%), IT사 17건(18.6%), 엔지니어링사 3건(3.2%), 기타 2건(2.1%)으로 분석되었다. 이처럼 국내 BIM 용역 실적을 분석한 결과 다음과 같은 문제점을 발견하였다.

첫째, BIM을 단순히 용역사에 의존한다. 이 경우 BIM 용역을 수행하는 주체와 용역을 고용한 주체 간의 프로젝트의 목표가 다르기 때문에 원활한 BIM 활용을 기대하기 어려우며, BIM의 활용성이 제한된다. 이로 인해 현장에서 직접 업무를 수행하는 작업자들이 BIM을 접하기 어렵다.

둘째, BIM 용역이 설계단계에 매우 집중되어 있다. 이 경우 단순히 납품 도서 작성을 위해 형식적인 전환설계 BIM을 수행할 수 있으며, 실제로 건축물이 구축되는 시공단계에서 BIM이 제대로 활용되지 못하는 경우가 발생한다.

셋째, BIM 도입 초기로 시공성 검토 등 프로젝트의 과정에 부분적으로 도입하고 있다. 이 경우 BIM을 활용한 생산성 제고 산정 이전에 전반적인 BIM 서비스의 효율을 정량화하기 어렵다. 이로 인해 서비스에 대한 지속적인 측정이 어려울 뿐만 아니라, 서비스 품질 관리 문제, 적절한 자원 투입을 위한 의사결정의 리스크가 높아진다.

국내의 BIM 도입 현황을 종합적으로 분석했을 때, BIM 프로젝트 사례에 대한 정확한 성과측정 방식의 부재로 인하여, BIM의 본 취지와는 다르게 BIM을 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 시공단계에서 BIM 코디네이터로 현장에 상주하여, 지속적으로 BIM 코디네이션 서비스를 제공하고 있는 전문가 그룹을 선정하여, BIM 코디네이션 서비스의 성과측정에 활용하고자 한다.

2.3 BIM 문헌 고찰

기존의 BIM 관련 연구는 매우 다양한 측면에서 이루어지고 있다. 하지만 연구 범위가 일부 범위에 한정하여, 구체적이지 못하거나, 너무 광범위하여, 실제 BIM 운영에 반영하기 힘든 부분이 있다고 밝히고 있다(이치주, 이강, 원종성, 윤성찬, 2011). 특히, 프로세스 측면에서 접근한 연구들의 경우 단순히 현행

은 개선 업무에 대한 프로세스를 제안하고, 그에 대한 설문조사 혹은 전문가 인터뷰 등을 통해 프로세스의 효율성을 밝힌 연구들이 많았다. 이는 적절한 사례 검증이 어려울 뿐만 아니라, 실제 업무 프로세스에 대한 경험치가 미약한 전문가 그룹을 선정함으로써 연구 결과에 대한 실질적인 검증이 어렵다는 단점이 있었다. 기술적인 측면에서 접근한 연구들은 BIM 구현을 위한 세부 기술인 IFC(Industry Foundation Classes), 소프트웨어간 호환성 문제, 표준화, 라이브러리 개발, Add-in 프로그램의 개발 등에 초점을 맞추어 연구를 진행하였으나, 이 경우 실제로 BIM을 도입하는 데 있어서 의사결정을 위해 참고하기에는 너무 기술적인 한계가 있다.

BIM 수행성과 평가에 대한 기존 문헌을 살펴보면, BIM Interactive Capability Maturity Model(I-CMM), BIM Proficiency Matrix, BIM Maturity Model(Bim3), BIM Performance diagnose model, BIM QuickScan, bimSCORE 등 다양한 BIM 성과 평가 도구가 정의되고 있으나(강태욱, 원종성, 이강, 2013), 평가의 범위가 매우 광범위한 한계가 있다. 또한 BIM의 비즈니스 가치 산출에 대한 대표적인 방법인 ROI(Return on Investment) 산출은 투입 비용 대비 소득에 대한 비율로 나타내지만, 이에 대한 다양한 변수(소프트웨어, 하드웨어, 절차, 교육 및 데이터에 대한 투자비용)들을 한꺼번에 고려하기에는 무리가 있으며, 산출한다고 하더라도 현장의 BIM 적용 효율을 대표하는 데이터라고 하기 힘들다.

국내의 BIM 효과 분석에 관한 기존 연구는 BIM 만족도 평가(송미림, 윤수원, 진상윤, 2011) 역량 평가(이지희, 이준성, 2011), 업무환경 평가(서희창, 오중근, 김재준, 2012), BIM 평가 지표 개발(이지희, 2009) 등 다양한 연구가 있었다. 하지만 아직까지 국내 연구는 개발된 평가도구를 이용하여 BIM을 도입한 프로젝트의 성과를 평가하는 등의 검증 프로세스에 대한 연구는 매우 부족하다. 또한, 다양한 프로젝트 기반의 ROI 산출에 대한 사례가 많아지고 있으나, 아직까지 투자수익을 산출할 때 이용할 수 있는 보편적이거나 일관된 지표는 아직 없다고 밝히고 있다(Neelamkavil, J., S. Ahamed, 2012).

따라서 본 연구에서는 BIM을 현장에 도입하기 위해 필요한 운영에 관련된 인력과 인력의 서비스율, 업무량 등에 초점을 맞춰 연구를 진행하고자 한다.

시공단계에서 BIM을 운영하는 주체는 원도급자(GC)이며, 원도급자(GC)가 발주처(Client), CM, 하수급체(SC)를 위한 BIM 코디네이션 서비스를 관리하는 역할을 수행한다. 그러므로 본 연구에서는 원도급자(GC)가 직접 BIM을 활용하고, 관리하고 있는 현장에 참여했던 BIM 코디네이터들을 전문가 그룹으로 선정하여 연구를 진행하였다.

현장 운영에 BIM을 활용하기 위한 고려사항으로는 몇 명의

BIM 코디네이터를 투입하느냐?, 투입된 인력이 담당하는 BIM 코디네이션 서비스는 무엇인가?, BIM 코디네이션 서비스를 현장 관리를 위해 얼마나 많은 기간 동안 지속할 것인가?, 이러한 BIM 활용에 따른 비용은 얼마나 드는가? 등이 시공 현장 관리자에게는 주요 이슈가 된다.

앞서 살펴본 바와 같이 기존에 수행되었던 BIM 프로젝트의 경우 단순히 용역 기반으로 수행되어, 전체 시공기간 동안 BIM을 사용한 현장의 비중이 매우 적었으며, 업무 범위가 단순히 프로젝트의 일부 부분에 대한 간섭체크, 공정 시뮬레이션, 도면화 작업 등에 국한되어, 앞서 현장 관리자의 의사결정을 지원하기에는 프로젝트의 성과를 측정하기 위한 관련 정보가 매우 적을 뿐만 아니라, 이로 인해 서비스 효율에 대한 정확한 측정이 어렵다.

따라서 본 논문에서는 현장의 한정된 인력과 비용을 활용하여 최고의 효율을 도출하기 위해 운영 관리 측면에서 BIM 코디네이션 서비스의 성과를 측정하고자 한다. 이를 위해 경영과학의 대기행렬모형을 활용하여 BIM 코디네이션 서비스의 성과를 측정하고, 이를 통해 현장 관리자의 의사결정을 지원하는 방식에 대해 제안하고자 한다.

2.4 대기행렬모형(Queueing Model)

경영과학(Management Science)은 계량적 요소를 고려하는 경영 문제에 대해 과학적 접근 방법을 사용하여 의사결정을 지원하는 학문분야이다(Frederick S. Hiller, Mark S. Hiller, 2010). 중요한 점은 경영과학을 적용하여 얻은 결론이 최종적인 의사결정이 아니라 단지 의사결정을 지원한다는 것이다. 경영과학 분석은 문제에 고려된 계량적 요소에 근거해서 분석하고 얻은 대안을 추천함으로써 경영자가 의사결정을 내리는 데 필요한 자료를 제공하는 것에 그 목적을 둔다. 본 연구에서 도입하고자 하는 대기행렬모형(Queueing Models)은 다양한 형태의 대기기에 대한 연구인 대기행렬이론(Queueing Theory)를 기반으로 하고 있으며, 현실에서 나타나는 다양한 형태의 대기행렬시스템(Queueing Systems)을 알기 쉽게 표현한 것이다. 각 모형에 대한 수식은 여러 가지 상황 변화(신규 작업자 투입 혹은 교체, 장비 투입 등)에 따라 평균대기시간을 포함하여 대기행렬시스템이 어떻게 되는지를 알게 해준다. 대기행렬모형은 대기행렬시스템을 가장 효율적으로 운용할 방법을 결정하는 데 매우 유용하게 사용된다.

대기행렬시스템을 설계할 때 중요한 문제는 얼마나 많은 서버를 둘 것인가 하는 것이다. 너무 많은 서버를 두면 과도한 비용이 발생하고, 너무 적게 하면 고객들의 대기시간이 길어진다. 그러므로 서버의 수를 결정한다는 것은 서버와 관련된 비용과 고객의 대기시간 사이에 적절한 절충점(trade-off)을 찾는 것이다(이호우, 2006).

본 연구에서 다루고자 하는 BIM 코디네이션 서비스도 서비스 산업인 건설산업을 위해 중요한 서비스의 일종이다. 따라서 본 연구에서는 BIM 코디네이션 서비스가 이뤄지는 시공현장을 하나의 대기행렬시스템으로 가정하고, 사례분석을 통해 대기행렬 시스템의 현황을 분석하고, 그에 따른 운용 방법에 대한 의사결정을 지원하기 위한 용도로 활용하고자 한다.

BIM 코디네이션 서비스가 이뤄지는 시공현장에서의 대기라인(Queue)은 일정 기간 동안 BIM 코디네이션 서비스를 받기 위해 기다리는 고객들의 행렬이라고 볼 수 있다. 고객(Customers)은 BIM 코디네이션 서비스를 받기 위해 기다리는 사람들 혹은 업무가 되며, 이러한 BIM 코디네이션 서비스를 받기를 기다리는 고객들은 랜덤하게 도착하는 경향이 있다. 또한 이러한 BIM 코디네이션 서비스를 처리하는 서버(Server)는 현장에서 상주하면서 BIM 코디네이션 서비스를 지원하는 BIM 코디네이터이다. 아직까지 BIM 업무가 복잡하고, 전문적이며, 확산되는 단계이기 때문에 BIM의 원활한 사용을 위해 BIM 코디네이터가 필요하다. 고객들이 요청한 BIM 코디네이션 서비스들은 BIM 코디네이터 간의 협업 방식, 모델 공유 방식 등을 통해 효율성이 달라질 수 있다. BIM 코디네이션 서비스의 품질은 현장 관리자와 BIM 코디네이터의 협업에 따라 이뤄지며, AIA의 IPD 관련 문서에서 제공하는 LOD(Level of Detail)에 근거하여 정한다. 시공현장 운영 중 프로젝트에 참여하는 전문가들(원도급자, 하수급자, 발주처 등)간의 건설업무를 위한 코디네이션은 매우 중요하다. 이러한 코디네이션 업무 중 참여자간 BIM 코디네이션은 시공사에서 원활한 BIM 수행을 위해 문제를 발견하고, 이를 발주처 혹은 설계사에 질의과정을 거쳐 문제를 해결해 나가는 것으로 이처럼 현장 운영에 필요한 BIM 코디네이션 서비스에 대한 고객들의 요구는 프로젝트 기간 내에서는 발생한다는 점에서 제한적이며, 프로젝트 진행 중 고객들이 필요로 하는 요구사항에 대해서는 무제한적일 수도 있다.

3. 대기행렬모형 제안

3.1 고객(Customers) : BIM 코디네이션 서비스 건수

BIM 코디네이션 서비스가 이뤄지는 시공현장을 대기행렬시스템으로 가정할 경우 고객은 BIM 코디네이션 서비스를 요청하는 프로젝트 참여자 혹은 BIM 코디네이션 서비스 자체가 된다. 이 대기행렬시스템에서 고객은 아주 간단한 업무부터, 몇 시간 혹은 길게는 몇 일이 소요되는 업무들까지 매우 다양하다. BIM 코디네이션 서비스를 요청하는 고객은 건설 프로젝트의 특성상 필요에 따라 매우 랜덤하게 나타나는 경향이 있다.

각각의 고객들이 요구하는 서비스들은 대기행렬 시스템에서 BIM 코디네이터의 서비스를 받기 위해 기다리게 된다. 현장 상

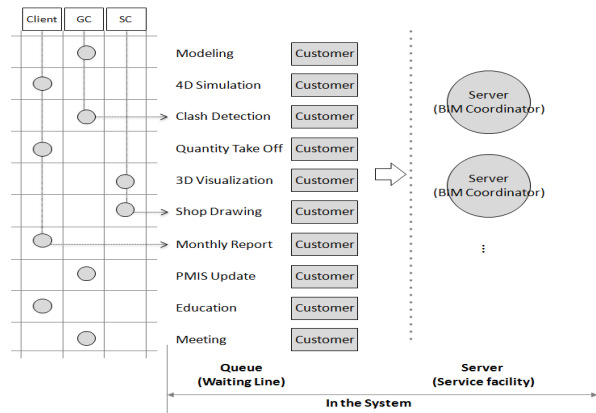


Figure 1 Queuing Model of BIM based Coordination Service

황에 따라서 BIM 코디네이터들은 최대한 서비스를 제공하나, 제한된 업무 시간에서 모든 요구사항들을 수행하기는 어렵다. 이 경우 몇 가지 요구 업무들은 서비스가 제공되지 못하는 경우가 있으며, 굳이 BIM이 아니더라도, 진행 가능한 업무에 대해서는 BIM 코디네이션 서비스를 제공받지 않을 수도 있다. BIM 코디네이션 서비스는 고객의 우선순위에 따라 제공될 수도 있으나, 먼저 온 서비스 요청을 순차적으로 처리하는 것이 일반적인 가정이다.

본 연구에서 가정한 대기행렬시스템에서의 고객은 대기행렬 시스템에 랜덤하게 도착하며, 도착간격시간은 평균이 $1/\lambda$ 인 지수분포를 따른다. 이 가정은 현실의 대기행렬시스템에 대해서 일반적으로 유효한 가정이다.

3.2 서버(Server) : BIM 서비스를 처리하는 상주인력

설계단계에서 최종 납품된 BIM Model 및 데이터들은 시공단계에 참여하는 원도급자(GC), 하수급자(SC), CM, 발주처(Client)에게 다양한 형태로 활용된다. 고객들이 원하는 서비스의 수준은 설계단계에서 최종 납품된 그대로의 데이터일 수도 있으며, 이 경우 단순한 작업으로 고객에게 BIM 코디네이션 서비스가 바로 전달될 수 있다. 하지만 일반적으로 시공단계의 요구에 맞게 코디네이션 작업을 필요로 한다. Charles M. Eastman(1999)은 이러한 작업들을 'Information Exchange Architectures'라는 개념으로 설명하였으며, 하나의 중심이 되는 BIM Model을 다양한 측면에서 활용할 수 있게 코디네이션하기 위해 Internal Mappings, External Mappings이 필요하다고 하였다. 시공현장의 BIM 코디네이션 서비스에 대한 대기행렬시스템에서 BIM 코디네이터는 BIM Model을 고객의 요구에 맞게 다양하게 맵핑하는 역할을 수행한다. 이 경우 이 대기행렬시스템에 대한 성과적도 측정을 위해 다음과 같은 지표가 필요하다.

λ = 대기행렬시스템에 도착하는 고객의 평균도착률
 = 단위시간당 평균 도착고객 수

μ = 평균서비스율(연속적으로 바쁜 서버에 대해)
 = 단위시간당 평균 서비스완료 수

이에 따라 도착간격시간은 일정 기간 동안 도착하는 BIM 코디네이션 업무 건수로 보며, $1/\lambda$ 는 앞서 설명한 바와 같이 평균 도착간격시간을 의미한다. 또한 $1/\mu$ 는 각 고객에 대한 평균 서비스시간을 의미한다. 평균 서비스시간에는 고객이 요청하는 BIM 코디네이션 서비스에 필요한 각종 정보를 전달하는 시간 및 BIM 코디네이터가 요청을 받아서 서비스를 진행하는 시간이 포함된다.

정보전달 시간은 작업을 지시하고 및 작업에 관련된 정보(공정표, 조닝계획 등) 등을 BIM 코디네이터와 고객이 협의하는 시간으로 BIM 도입 초기에 필수적으로 고려되어야 한다.

서비스 시간의 경우 BIM 코디네이터가 고객의 요청사항 및 정보를 전달받아 BIM Model을 수정 및 새로 작성하고, BIM Model을 고객의 요구사항에 맞게 코디네이션하는 과정이다. 이러한 작업들은 (1) 공정계획에 따라 BIM Model을 지속적으로 수정하고, 업데이트 하는 업무(착공 BIM의 항목들) (2) 업데이트 된 BIM Model을 활용하여 고객의 요구사항에 맞게 가공하는 과정(간섭체크, 물량산출, 공정 시뮬레이션 등) (3) 기타 업무 (BIM Model을 활용한 업무 내용을 정리한 보고서 작성 및 현장 작업자들을 위한 BIM 교육 등) (4) 현장을 관찰하면서 BIM Model과 현장 진행 중인 시공의 정합성을 검토하는 업무 등이 본 대기행렬시스템에서 행해지는 주요 세부 업무들이며, 각 업무에는 매우 다양한 고객과 요구사항들이 포함된다. 이처럼 시공현장의 BIM 코디네이션 서비스들에는 매우 다양한 업무들이 포함되며, 고객의 요구사항들을 서비스하는 시간은 매우 큰 랜덤성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 대기행렬시스템에서의 서비스시간 역시 도착간격시간과 마찬가지로 평균이 $1/\mu$ 인 지수분포를 따른다. 이 가정 역시 서버가 제공하는 대부분의 서비스시간은 평균 이하로 매우 짧지만 간혹 긴 서비스시간도 있는 대기행렬시스템에 적합한 가정이라고 할 수 있다.

대기행렬시스템에서 성과척도를 분석하기 위해 이용률(ρ) (utilization factor)가 필요하다. 이 값은 전체 업무 시간에 대해 서버가 고객에게 서비스를 제공하는 데 사용한 시간의 평균비율을 나타내는 값이며, 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (1)$$

대기행렬시스템에서의 서버는 한 명이 투입될 수도 있고, 여러 명이 투입될 수도 있다. 이를 분석하기 위해 본 연구에서는 경영과학에서 가장 많이 사용되는 대기행렬모형인 단일서버 대기행렬모형인 $M/M/1$ 모형 및 복수서버 대기행렬모형인 $M/M/s$ 모형을 활용하여, 단일 서버 운영시 BIM 코디네이션 서비스의 성과척도, 복수 서버 운영시 BIM 코디네이션 서비스의 성과척도 등에 대해 분석해 보고자 한다.

3.3 대기행렬모형 : $M/M/1$ & $M/M/s$

앞서 살펴본 바와 같이 BIM 코디네이션 서비스를 제공하는 대기행렬시스템에서는 BIM 코디네이션 업무(대기행렬시스템에서의 고객)는 그 업무를 처리하는 BIM 코디네이터(Server)에게 랜덤하게 도착한다. 랜덤하게 도착한다는 것은 바로 다음 1분 내에 도착할 가능성과 미래의 다른 1분이라는 시간 동안에 도착할 가능성이 동일하다는 것으로 이는 도착시간을 전혀 예측할 수 없다는 것을 의미한다. 가장 최근의 도착 이후 시간이 얼마나 경과했는지가 다음 도착시간에 전혀 영향을 미치지 않는다. 이를 마코프 특성(Markovian property)이라고 부른다(Frederick S. Hiller, Mark S. Hiller, 2010). 지수분포는 랜덤도착을 적절히 묘사하는 유일한 확률분포이다. 시공현장에서 BIM 코디네이션 서비스를 요구하는 고객들은 아직 BIM 도입 초기로 직접 BIM을 활용하는데 어려움이 있다. 따라서 그들은 현장에서 건설업무 진행을 위한 다양한 분야(미팅, 회의, 현장방문, 대관업무 등)에 BIM을 직접적으로 활용하기 위해 BIM 코디네이터의 지원을 받는다. BIM 코디네이터가 제공하는 서비스 효율이 BIM을 통해 업무를 수행하려는 고객들에게 직접적인 영향을 주게 된다. 서버가 BIM 코디네이션서비스를 처리하는 시간은 앞서 말한바와 같이 BIM Model로부터 간단한 뷰를 추출하는 매우 간단한 일에서부터, 현장 설계변경에 따른 BIM Model 수정 및 업데이트, 업데이트 된 모델을 활용한 물량산출, 간섭체크, 4D 시뮬레이션 등 길게는 몇 일이 소요되는 일 등 매우 다양하다. 이러한 업무들의 평균 서비스 시간 역시 예측하기 힘든 랜덤한 특성이 있다. 이 때문에 서비스시간 역시 지수 분포로 가정한다. 대기행렬모형의 표기법은 (도착간격시간의 분포)/(서비스시간의 분포)/(서버의 수)로 나타낸다. $M/M/1$ 모형은 도착간격시간과 서비스시간이 모두 지수분포를 따르는 단일 서버 모형이다. $M/M/s$ 모형은 도착간격시간과 서비스시간이 모두 지수분포를 따르며 s 명의 서버가 있는 모형이다.

4. 대기행렬모형의 성과측정

4.1 성과척도

본 연구에서 적용한 $M/M/1$ 모형 및 $M/M/s$ 모형분석을

위해 MS 코스웨어에서 제공하는 엑셀 템플릿을 활용하였으며, $M/M/1$ 모형에 관한 공식을 살펴보면 식(2)~(9)와 같으며, 대기행렬모형에 대하여 각 성과척도인 L, L_q, W, W_q 의 값을 쉽게 얻을 수 있다.

$\rho = \lambda/\mu$ 로 두면 대기행렬시스템 내에 있는 평균 고객 수는 식 (2)과 같다.

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu-\lambda} \quad (2)$$

리틀의 공식($L = \lambda W$)를 이용하면, 시스템 내에서의 평균대기시간은 식 (3)와 같다.

$$W = \frac{1}{\lambda} L = \frac{1}{\mu-\lambda} \quad (3)$$

따라서 대기행렬에서의 평균대기시간(서비스시간 제외)은 식 (4)과 같으며,

$$W_q = W - \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu-\lambda} - \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (4)$$

리틀의 공식을 다른 형태($L_q = \lambda W_q$)로 이용하면 대기행렬에 있는 평균 고객 수(서비스 중인 고객 제외)는 식 (5)와 같다.

$$L_q = \lambda W_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} = \frac{\rho^2}{1-\rho} \quad (5)$$

또한 대기행렬시스템 내에 n 명의 고객이 있을 확률은 식 (6)와 같다.

$$P_n = (1-\rho)\rho^n \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (6)$$

따라서 대기행렬시스템 내에서의 대기시간이 어떤 값 t 를 초과할 확률은 식 (7)과 같으며, 대기행렬내에서의 대기시간이 t 를 초과할 확률은 식 (8)과 같다.

$$P^c(W > t) = e^{-\mu(1-\rho)t} \quad (t \geq 0) \quad (7)$$

$$P^c(W_q > t) = \rho e^{-\mu(1-\rho)t} \quad (t \geq 0) \quad (8)$$

고객이 도착할 때 대기행렬시스템 내에 고객이 없으면 대기행렬에서의 대기시간이 0이기 때문에 식 (9)이 성립한다.

$$P^c(W_q = 0) = P_0 = 1 - \rho \quad (9)$$

위 식들은 서버가 통제 가능한 이용률($\rho = \lambda/\mu$)을 갖는다고 가정하고 있다. 평균서비스율이 평균도착률보다 높아야($\rho < 1$) 정상적인 서비스 제공이 가능하다. 반대의 경우($\rho \geq 1$) 서버는 도착고객을 모두 다 처리할 수 없게 되고, 대기행렬시스템은 결코 안정 상태에 도달할 수 없게 된다.

4.2 M/M/1 모형 성과측정

6개월 이상 현장에 상주하면서 BIM 코디네이션 서비스를 제공한 9명의 전문가를 인터뷰한 결과 하루 평균 4건의 BIM 코디네이션 서비스를 요청받고, 작업 전달 시간을 포함해서 서비스를 제공하는 데 평균 2시간 정도 소요하는 것으로 파악되었다. 따라서 하루 10시간의 작업시간 동안 쉬지 않고 일한다면 1명의 BIM 코디네이터는 평균 5건의 BIM 코디네이션 서비스를 제공할 수 있다는 것이다. $\lambda = 4$ 건/일, $\mu = 5$ 건/일 이 된다. 이것은 $\rho = \lambda/\mu = 0.8 < 1$ 를 만족하게 되므로, 정상적인 서비스 제공이 가능하다는 것을 보여준다. 이 값들은 식(2)~(5)에 대입하면, BIM 코디네이션 서비스에 대한 대기행렬시스템에 대한 성과척도인 L, L_q, W, W_q 에 대한 값을 얻을 수 있다. 이 대기행렬시스템의 경우 BIM 코디네이션 서비스를 필요로 하는 평균 서비스 요청 건수는 $L = 4$ 건이다. 현재 BIM 코디네이터에 의해 서비스 중인 업무를 제외할 때, 서비스를 기다리는 평균 서비스 요청 건수는 $L_q = 3.2$ 건이다. BIM 코디네이터가 고객에게 서비스 요청을 받은 후부터 서비스가 완료될 때까지의 평균대기시간은 $W=1$ 일, 서비스 시간을 제외하였을 때, 서비스가 시작될 때까지의 평균대기시간은 $W_q=0.8$ 일이다. 이는 고객의 평균대기시간이 하루 근무시간인 10시간의 4/5인 대략 8시간 정도가 된다는 것을 의미한다. 또한 식(6)의 P_n 값을 살펴보면, $P_0 = 0.2$ 이므로 BIM 코디네이터는 80%의 시간(가동율 $\rho = 0.8$ 가 나타내는 바와 같이)은 BIM 코디네이션 서비스로 바쁠 것이다. 그림 2를 살펴보면 식(6)에 따른 대기행렬시스템 내에 있는 고객의 수에 대한 확률이 표시되어 있다. 여기서 $P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 0.59$ 이기 때문에 BIM 코디네이터는 근무시간 중 절반 이상은 현재 처리중인 서비스를 포함하여 처리해야할 BIM 코디네이션 서비스가 3건 이하가 된다. 또한 이 대기행렬시스템은 일이 밀리는 경우도 표현해 준다. 예를 들면 $P_0 + P_1 + \dots + P_9 = 0.89$ 가 나타내는 것은 근무시간의 10% 정도는 처리해야할 BIM 코디네이션 서비스가 10건(2일 이상의 작업량)이 될 수도 있다는 것을 보여준다. 이것은 대기행렬시스템에 내재되어 있는 랜덤성(도착간격시간과 서비스시간에 대한 큰 변동성) 때문에 이용률이 0.8임에도 불구하고 이처럼 일이 많이 밀릴 경우도 발생

한다. 식 (7)은 고객이 BIM 코디네이션 서비스를 제공받아서 업무에 활용할 때까지 하루(10시간) 이상 기다려야 할 확률을 나타내며, $P(cW > 1) = 0.368$ 이다. 또한 식(8)은 BIM 코디네이션 서비스를 제공받을 때까지 하루를 기다려야 하는 확률을 나타내며, $P(cW_q > 1) = 0.294$ 이다. 이처럼 BIM 코디네이션 서비스를 제공하는 시스템이 원활하게 운영된다고 하더라도, 서비스를 제공받는 데까지 걸리는 시간이 하루 이상 걸릴 확률도 있다는 것을 파악할 수 있다. 이러한 대기행렬시스템에서 평균대기시간을 줄이기 위해서는 서비스 수준을 만족시킬 수 있도록 BIM 코디네이터의 이용률을 충분히 감소시켜줘야 한다. 이 대안은 BIM 코디네이터에게 전달되는 서비스의 요청 건수인 λ 값을 감소시키는 것으로 이 경우 BIM 코디네이터에게 할당되는 업무가 감소하면 고객이 요청하는 BIM 코디네이션 서비스를 제공하기 위해 별도로 BIM 코디네이터를 고용해야 한다. 이 경우 투입되는 인력에 대한 교육, 업무 수행 경비, 장비 및 소프트웨어 구입비 등으로 인해 추가 비용이 발생할 수 있는 문제가 있다.

4.3 M/M/s 모형 성과측정

1명의 서버가 담당하던 일을 2명의 서버가 통합하여 서비스하는 방안으로 이 방식은 여러 명의 BIM 코디네이터가 함께 협업하는 방식으로 이렇게 팀을 구성하면, 바쁜 시간 동안 서로 지원할 수 있어 고객의 대기시간을 충분히 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

M/M/s 모형의 성과측정은 M/M/1 모형과 모든 가정을 동일하게 하고, BIM 코디네이터를 두 명으로 할 경우와 앞서 선정된 전문가 그룹 중 현장 상주 기간이 17개월째 되는 BIM 코디네이터 2명의 평균서비스율을 감안하여 성과척도인 L, L_q, W, W_q 를 분석하였다. 첫 번째 분석결과 는 BIM 코디네이션 서비스를 필요로 하는 평균 서비스 요청 건수는 $L = 4.44$ 건으로 분석되었으며, 현재 BIM 코디네이터에 의해 서비스 중인 업무를 제외할 때, 서비스를 기다리는 평균 서비스 요청 건수는 $L_q = 2.84$ 건으로 1명의 서버가 투입될 때에 비해 개선된 모습을 보여준다. BIM 코디네이터가 고객에게 서비스 요청을 받은 후부터 서비스가 완료될 때까지의 평균대기시간은 $W = 0.56$ 일, 서비스 시간을 제외하였을 때, 서비스가 시작될 때까지의 평균대기시간은 $W_q = 0.36$ 일로 개선되어, 이 성과척도 역시 개선되는 모습을 보여준다. 이 결과는 이 대기행렬시스템에서는 고객의 평균대기시간이 서버 2명의 협업을 통해 하루 근무시간 10시간의 0.36인 대략 3.6시간으로 서버 1명이 BIM 코디네이션 서비스를 제공할 때에 비해 6.4시간 정도 단축된다.

또한 여기서 평균서비스율(μ)을 늘릴 경우(서버의 속련도가 높을 경우) 개선효과가 있을 것으로 예측된다. 실제로 2차 전문가 그룹 중 17개월간 현장에 상주하여 BIM 코디네이션 서비스를

제공하고 있는 BIM 코디네이터들의 경우 평균서비스율(μ)이 나머지 6개월 이상의 현장 상주 경력을 갖고 있는 전문가들의 평균서비스율에 비해 높은 5.5 정도로 조사되었다. 이 대기행렬시스템을 분석한 결과 BIM 코디네이션 서비스를 필요로 하는 평균 서비스 요청 건수는 $L = 3.08$ 건이며, 현재 BIM 코디네이터에 의해 서비스 중인 업무를 제외할 때, 서비스를 기다리는 평균 서비스 요청 건수는 $L_q = 1.63$ 건으로 속련도가 높은 서버를 투입하였을 때 대기행렬시스템이 좀 더 개선된 모습을 보여준다. 또한 BIM 코디네이터가 고객에게 서비스 요청을 받은 후부터 서비스가 완료될 때까지의 평균대기시간은 $W = 0.39$ 일, 서비스 시간을 제외하였을 때, 서비스가 시작될 때까지의 평균대기시간은 $W_q = 0.20$ 일로 역시 개선된 모습을 보여준다. 이 대기행렬시스템에서는 고객의 평균대기시간이 하루 근무시간인 10시간의 0.20인 대략 2시간 정도인 것을 의미한다.

4.4 대기행렬모형을 활용한 의사결정 시나리오

대기행렬모형을 통해 분석한 BIM 코디네이션 서비스대기행렬시스템을 분석한 결과를 종합하면, Table 1과 같다. 단일서버 대기행렬시스템에서는 BIM을 현장에 도입할 때의 생각보다 고객인 BIM 코디네이션 서비스를 제공받을 때까지의 대기시간이 길어지는 경향이 있는 것으로 나타났다. 이 경우 서비스의 수준이 떨어지게 된다. 복수서버 대기행렬시스템을 활용하여 서버를 늘릴 경우의 시나리오를 가정하면 협업의 효과로 인해 서비스를 제공받을 때까지의 대기시간이 단일서버를 운영할 경우와 비교하여, 상당히 개선되는 것으로 나타났다. 이는 현장의 BIM 코디네이터의 협업에 따라 서비스의 수준이 개선될 수 있음을 보여

Table 1 Queuing Model Analysis

Performance measures	M/M/1	M/M/s	M/M/s
Customers	104건	208건	208건
Server	1	2	2
λ	4	8	8
$1/\lambda$	0,25	0,125	0,125
μ	5	5	5,5
$1/\mu$	0,2	0,2	0,18
s	1	2	2
L	4	4,44	3,08
L_q	3,2	2,84	1,63
W	1day (10hours)	0,56day (5,6hours)	0,39day (3,9hours)
W_q	0,8day (8hours)	0,36day (3,6hours)	0,20day (2hours)
ρ	0,80	0,80	0,73
$P(cW > 1)$	0,368	0,159	0,032
$P(cW_q > 1)$	0,294	0,096	0,008

준다. 또한 전문가 그룹 중 2명의 특수한 서버들에 대해 복수서버 대기행렬모형을 적용하여 분석한 결과 업무 숙련에 따른 평균서비스율(μ)의 개선으로 인하여 고객의 대기시간이 많이 줄어드는 것으로 분석되었다.

이처럼 대기행렬모형을 활용하여 시공현장의 BIM 코디네이션 서비스에 대해 분석할 경우 현장 관리자는 평균서비스율을 늘리기 위해 좀 더 숙련된 BIM 코디네이터를 현장에 투입하는 방안을 검토할 수 있다. 또한 복수서버 운영을 통해서 고객의 대기시간을 줄이는 방안을 검토할 수 있다.

5. 사례 분석

H 프로젝트의 경우 20개월의 BIM Consultant 투입 기간 동안 시공단계에서 BIM을 활용하여 현장 안내도, 이미지 작성(220건), 현장 설계 검토(233건), 재료별 수량 산출(58건), 공사 간섭 및 재시공 방지(72건) 등 총 583건의 협업과 조율을 수행하였다. 앞서 제안한 대기행렬모형의 검증에 위해 주간/월간 단위의 시공 BIM 보고서 분석 및 현장에서 BIM Consulting 을 지원하는 전문가 인터뷰를 통해 RFI 건수의 평균도착률(λ), 평균서비스율(μ) 지표를 도출하였다.

Table 2 Case Study Project Overview

Case Study	H project
Total Floor Area (m ²)	70,261
Construction Cost (\$)	108,575,000
BIM Cost (BIM Investment Rate, %) (\$)	1,310,000 (1.21%)
Man	4
Period	20

분석 결과 한 주 (주 6일 근무, 10시간 근무/일 기준) 평균 1.82건의 시공 현장 업무 수행을 위한 RFI(BIM 기술지원 포함)를 요청받았으며, 작업 전달 시간을 포함해서 서비스를 제공하는 데 평균 2일 정도 소요되는 것으로 파악되었다. 즉 설계단계에서 전달된 Master BIM Model을 Master Schedule을 기반으로 Discipline BIM Model로 변환하고, 협업 및 조율에 필요한 각종 시뮬레이션 정보를 제공하는 데 평균 2일이 소요되었다. 따라서 한 주의 작업시간 동안 쉬지 않고 일한다면 1명의 BIM Consultant는 한 주 평균 3건의 Construction Coordination Meeting을 위한 RFI에 대한 자료를 제공할 수 있다는 것이다. 그 결과 평균도착률과 평균서비스율은 다음과 같다. $\lambda=1.82$ services/week, $\mu=3$ services/week

이것은 $\rho = \lambda/\mu = 0.606 < 1$ 을 만족하게 되므로, 대기행렬 모형에서 서버인 BIM Consultant 들이 고객들에게 정상적인 서

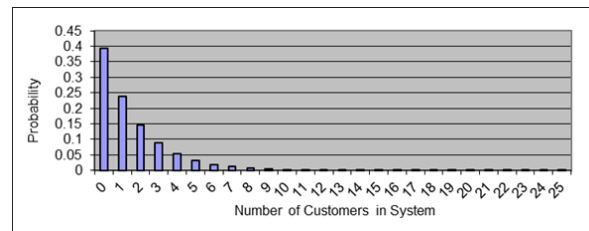


Figure 2 Probability distribution graph for the number of customers in a queuing system(M/M/1 Model)

비스 제공이 가능하다는 것을 보여준다. 이 값들을 식 (2)~(5)에 대입하면, 대기행렬 모형에 대한 성과척도인 L, L_q, W, W_q 에 대한 값을 얻을 수 있다. 이 대기행렬 모형의 경우 BIM Consultant의 지원을 필요로 하는 평균 서비스 요청 건수는 $L = 1.54$ 건이다. 현재 BIM Consultant에 의해 서비스 중인 업무를 제외할 때, 서비스를 기다리는 평균 서비스 요청 건수는 $L_q = 0.93$ 건이다. BIM Consultant가 고객에게 서비스 요청을 받은 후부터 서비스가 완료될 때까지의 평균대기시간은 $W = 0.84$ week, 서비스 시간을 제외하였을 때, 서비스가 시작될 때까지의 평균대기시간은 $W_q = 0.51$ week 이다. 이는 고객의 평균대기시간이 한 주(6일 기준)의 0.51인 대략 3일 정도가 된다는 것을 의미한다. 또한 식 (6)의 P_n 값을 살펴보면, $P_0 = 1 - \rho = 0.394$ 이므로 BIM Consultant는 60%의 시간(가동률 $\rho = \lambda/\mu = 0.606$)가 나타내는 바와 같이)은 시공 현장 업무 수행을 위한 RFI에 대한 기술지원으로 바쁠 것이다. Figure 2를 살펴보면 식 (6)에 따른 대기행렬시스템 내에 있는 고객의 수에 대한 확률이 표시되어 있다. 여기서 $P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 0.86$ 이기 때문에 BIM Consultant는 주간 근무시간 중 86% 이상은 현재 처리중인 서비스를 포함하여 처리해야 할 서비스가 3건 이하가 된다. 또한 이 대기행렬 시스템은 일이 밀리는 경우도 표현해 준다. 예를 들면 $P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0.91$ 이 나타내는 것은 근무시간의 9% 정도는 처리해야 할 서비스가 5건(1주 이상의 작업량)이 될 수도 있다는 것을 보여준다. 이것은 대기행렬시스템에 내재되어 있는 랜덤성(도착간격시간과 서비스시간에 대한 큰 변동성) 때문에 이용률이 0.606임에도 불구하고 이처럼 일이 많이 밀릴 경우도 발생한다. 식 (7)은 고객이 서비스를 제공받아서 업무에 활용할 때까지 한 주(6일) 이상 기다려야 할 확률을 나타내며, $P(W > 1) = 0.307$ 이다. 또한 식 (8)은 서비스를 제공받을 때까지 한 주(6일)를 기다려야 하는 확률을 나타내며, $P(W_q > 1) = 0.186$ 이다. 이처럼 서비스를 제공하는 시스템이 원활하게 운영된다고 하더라도, 서비스를 제공받는 데까지 걸리는 시간이 한 주 이상 걸릴 확률도 있다는 것을 파악할 수 있다. 이러한 대기행렬 모형에서 평균대기시간을 줄이기 위해서는 서비스 수준을

만족시킬 수 있도록 BIM Consultant의 이용률을 충분히 감소시켜줘야 한다. 이 대안은 대기행렬 모형의 서버인 BIM Consultant에게 전달되는 서비스의 요청 건수인 / 값을 감소시키는 것으로 이 경우 BIM Consultant에게 할당되는 업무가 감소하면 고객이 요청하는 서비스를 제공하기 위해 별도로 BIM Consultant를 고용해야 한다. 이 경우 투입되는 인력에 대한 교육, 업무 수행 경비, 장비 및 소프트웨어 구입비 등으로 인해 추가 비용이 발생할 수 있는 문제가 있다고 분석할 수 있다. 이러한 결과는 전통적인 프로젝트 관리 방식에 있어 효율성을 극대화하기 위해 직원들의 능력을 100% 활용하려고 개인의 능력을 넘어서는 과업을 할당하는 방식과는 상반되는 분석결과이다.

6. 향후 연구 진행 방향 및 결론

본 연구에서는 경영자들이 업무 시스템 효율 제고시 의사결정의 도구로 활용하는 경영과학 분야의 대기행렬모형(Queueing Model)을 활용하여 운영적 측면에서 BIM 코디네이션 서비스의 효율을 파악하고, 그에 따른 의사결정 지원을 위한 방안을 제시하였다.

현장에서 제공되는 BIM 코디네이션 서비스 도출을 위해 BIM 실무 경력 3년 차 이상의 BIM 코디네이터들을 1차 전문가 그룹으로 선정하였으며, 다음으로 본 연구의 연구 범위인 시공 현장의 BIM 코디네이션 서비스에 대한 전문가 인터뷰를 위해 1차 전문가 그룹 중 시공 현장 상주 기간이 6개월 이상인 전문가들을 2차 전문가 그룹으로 추출하였다. 이렇게 선정된 2차 전문가 그룹을 대상으로 시공 현장의 BIM 코디네이션 서비스 성과측정을 위해 단일서버 대기행렬모형인 $M/M/1$, 복수서버 대기행렬모형인 $M/M/s$ 를 활용하였다. 전문가 인터뷰를 통해 각각의 BIM 코디네이터의 BIM 코디네이션 서비스에 대한 도착간격시간과 평균서비스시간을 도출하여 분석에 활용하였다.

분석 결과 BIM 코디네이션 서비스에 대한 대기행렬시스템에서 서버인 BIM 코디네이터를 추가 투입할 경우 시스템 내에서의 고객인 BIM 코디네이션 서비스를 제공받는 원도급자(GC), 하수급자(SC), CM, 발주처(Client) 등 현장 참여자의 대기시간이 줄어드는 것으로 분석되었다. 또한 BIM 코디네이터의 숙련도에 따른 평균서비스시간을 단축시키는 경우 고객의 대기시간을 줄이는 것으로 분석되었다. 이처럼 본 연구는 BIM 코디네이션 서비스의 개선을 위한 의사결정에 활용할 수 있는 정량적인 성과 측정 방식 및 그에 따른 대안검토를 지원한다는 것에 큰 의미를 갖고 있다. 하지만 대안검토에 따른 비용의 증감을 고려하기 힘든 한계가 있다.

향후 BIM 프로젝트가 일반화될 경우 BIM 코디네이터의 서비스 품질 측정을 위한 데이터가 충분히 확보될 경우 대기행렬시

스템의 성과를 측정하는 데 활용되는 도착간격시간, 평균서비스시간이 좀 더 정확하게 측정될 경우 본 연구에서 제안한 대기행렬모형을 활용하면, 현장에 투입되는 자원에 대한 의사결정에 있어서 유용한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

References

- Ministry of Land, Transport and Maritime (2010), "BIM Implementation Guideline in Architectural Part".
- Public Procurement Service (2013), "Facility BIM Implementation Basic Guideline v1,2".
- Kwon, O-C, Cho, C-W (2011), "Proposal of BIM Quality Management Standard by Analyzing Domestic and International BIM Guides", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 11, No. 3, pp. 265-275.
- Shin, T-H (2011), "Proposal for a contractor BIM Implementation Strategy", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 11, No. 2, pp. 26-32.
- Jung, J-K, Kim, Y-S (2012), "Analysis of Core Ability of BIM Manager - From the Standpoint of General Contractor", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 1, pp. 175-182.
- Lu, N. and Korman, T. (2010) Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular Construction: Benefits and Challenges, Construction Research Congress 2010, pp. 1136-1145.
- Lee, C-J, Lee, G, Won, J-S, Yoon, S-C (2011) "Derivation of High-Priority Items for BIM Adoption in CM Service - CM Service for High Rise Building", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 27, No. 6, pp. 115-122.
- Kang, T-W, Won, J-S, Lee, G (2013), "A Study on the Development Direction of a BIM Performance Assessment Tool", Journal of Korea Spatial Information Society, Vol. 21, No. 1, pp. 53-62.
- Song, M-R, Yoon, S-W, Chin, S-Y (2011), "BSC Based Measurement of Satisfaction Degree For Based BIM Construction Projects", Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management, Vol. 12, No. 4, pp. 117-129.
- Lee, J-H, Yi J-S (2011), "A Study on BIM Capability Evaluation for Design Organization", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 27, No. 6, pp. 257-266.

- Seo, H-C, Oh, J-K, Kim, J-J (2012), "The Development of an Evaluation Model for the Work Environment of the BIM-based Architectural Design Firms", *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 5, pp. 95-105.
- Lee, J-H (2009), "Development of BIM capability evaluation model for design organization", Iwha University.
- Neelamkavil, J., S. Ahamed (2012), "The Return on Investment from BIM-driven Projects in Construction," IRC-RR-324, National Research Council Canada.
- Park, C-S, Park, H-T (2010), "Improving Constructability Analysis Tasks by Applying BIM Technology", *Journal of the Korea Institute of Construction Engineering and Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 137-146.
- Lee, H-W (2006), "Queuing Theory", Sigma Press.
- D. Darshi De Saram, Syed M. Ahmed, Michael Anson (2004), "Suitability of the Critical Incident Technique to Measure Quality of Construction Coordination", *Journal of Management in Engineering*, Vol. 20 No. 3, pp. 97-109.
- Fang-Ying Shen, Andrew S. Chang (2011), "Exploring Coordination Goals of Construction Projects", *Journal of Management in Engineering*, Vol. 27 No. 2, pp. 90-96.
- Rafael Sacks, Lauri Koskela, Bhargav A. Dave, Robert Owen (2010), "Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 136 No. 9, pp. 968-980.
- Eckblad, S (2007), "Integrated project delivery-A working definition", AIA California Council, Sacramento, Calif.
- Frederick S. Hiller, Mark S. Hiller (2010), "Introduction to Management Science, A Modeling and Case Studies Approach with Spreadsheets, 4th Edition", McGrawHill, Chapter 11.
- Charles M. Eastman (1999), "Building Product Model : computer environments supporting design and construction", CRC Press LLC.