

fsQCA를 활용한 BIM 활용성과 영향요인 분석

Analysis of Key Factors affecting BIM performance using fsQCA

박준호* 이슬기** 유정호**
Park, Jun-Ho Lee, Seul-Ki Yu, Jung-Ho

Abstract

Recently, considerable research has been done to look at the efficiency and performance of BIM, which has appeared as a new paradigm for construction design. BIM can manage a project throughout the whole construction process. The Korean government has made it a policy to implement BIM in public construction projects that cost over 50 billion won. In 2016, all public construction projects will have to implement BIM. Additionally, the construction industry in Korea has gained interest and made investments in BIM, and policies are being implemented such that BIM-adoption is inevitable. However, the strategies taken to implement BIM are insufficient and depend on visualization thru BIM, rather than information management. As such, this thesis analyzed what factors affect BIM use and causality for each variable. Although one factor affecting use and BIM performance might not independently affect the ultimate results, many factors may come together to intricately affect use and BIM performance. For this reason, we utilized a fuzzy-set qualitative comparative analysis (fsQCA) approach that can analyze complex casual factors and various effects on results.

키워드 : 건물정보모델링, 퍼지셋질적비교분석, BIM 활용성과

Keywords : Building Information Modeling, fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis(fsQCA), BIM performance

1. 서론

1.1 연구의 배경 목적

건설프로젝트에 BIM(Building Information Modeling, 이하 BIM)이라는 개념이 등장함에 따라 BIM을 활용한 일정계획, 비용 견적 및 위험분석, 협업프로세스 구축 등 다양한 분야에 활발하게 적용되고 있다. 국내의 경우 2012년부터 500억 이상 공공공사에 BIM적용을 의무화하였고 2016년에는 모든 공공공사에 BIM 적용을 확대할 수 있도록 의무화하고 있다. 이와 같이 BIM 도입에 대한 관심과 투자의 증가, 발주자의 BIM 적용 요구로 인해 BIM 활용이 불가피해지고 있다. 하지만 BIM 도입을 위한 체계적인 전략수립이 미흡한 실정이며 건물정보를 활용한 정보관리 보다는 주로 시각적인 부분에 의존하고 있다(박정욱 외 2009). 또한 기존에 사용되던 2D CAD 도면의 익숙함으로 인해 BIM의 필요성을 크게 느끼지 못하며 새로운 기술에 대한 인프라구축 및 교육 등의 여건의 부족으로 (이슬기 2014) BIM 활용의 활성화가 더디게 이루어지고 있다.

한편, 각 참여주체별 BIM을 활용하는 방법에 차이가 있으며, 활용방안도 상이하기 때문에(유용신 2013), 참여주체별로 BIM 활용 활성화를 통한 성과에 영향을 미치는 요인 또한 다를 것으로 판단된다. 이러한 BIM 활용성과 영향요인들은 독립적으로 BIM 활용성과에 영향을 미치지 보다는 복합적으로 작용할 것으로 보이기 때문에 기존에 개별 변수들 간의 영향관계를 분석하는 통계분석 방법론인 상관관계 분석 또는 회귀분석 이외에 요인들의 조합이 BIM 활용성과에 미치는 영향정도를 분석방법의 활용이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 원인변수들의 조합과 결과변수들 간의 영향관계를 분석할 수 있는 퍼지셋 질적비교분석(fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis, 이하 fsQCA)을 활용하여 참여주체별 BIM 활용성과에 영향을 미치는 요인들을 분석하고자 한다. 이러한 분석결과를 통해 참여주체별로 BIM 활용성과를 향상시킬 수 있는 요인을 파악하였으며, 향후연구를 통해 각 참여주체별 BIM 활용성과 향상을 위한 전략을 수립할 수 있다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구 수행을 위한 연구절차는 다음과 같다.

(1) BIM 활용사례 및 기존문헌고찰을 통해 각 참여주체별 BIM 활용 동향을 분석하여 참여주체별 BIM 활용방안 및 BIM 활용성과에 영향을 미치는 요인들을 도출

* 광운대학교 대학원 석사과정

** 광운대학교 건축공학과, 공학박사

*** 광운대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

(Corresponding Author, E-mail : myazure@kw.ac.kr)

본 연구는 2014년도 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2014R1A2A2A05006437)

하였다.

(2) 도출된 BIM 활용성과에 영향을 미치는 요인과 BIM 활용성과의 측정항목에 대해 정의하여 각 항목에 데이터를 건설사업 참여주체(설계사, 시공사, 엔지니어링사)들을 대상으로 설문조사를 실시한다.

(3) 마지막으로 수집된 자료들의 분석은 fsQCA 분석프로그램인 fsQCA software 2.0를 활용하였으며, fsQCA 분석을 통해 BIM 활용성과 영향요인의 조합이 BIM 활용성과에 미치는 영향정도를 검증한다.

본 연구에서 도출한 BIM 활용성과 영향요인과 BIM 활용성과에 대한 각 평가 항목을 7점 리커트 척도로 측정하였으며 실제 BIM의 사용자인 설계사, 시공사, 엔지니어링사들을 대상으로 실시하였다. 설문지를 이용한 자료 수집은 2012년 4월 11일부터 2012년 6월 12일 까지 약 2개월에 걸쳐 e-mail과 우편으로 이루어졌다. 수집된 84표본의 응답자에 대한 인구 통계적 특성은 표 1과 같다.

표 1. 응답자 표본자료 특성 (n=84)

구분		빈도	%
조직유형	설계사 (D)	30	20.27%
	시공사 (C)	33	22.30%
	엔지니어링 업체(E)	21	14.19%
합계		84	100%
경력	건설	평균 7.5년	
	BIM	평균 1.2년	
교육경험		평균 23.2시간	

2. 국내 BIM 활용 동향

2.1 BIM의 개념

BIM은 빌딩객체들(벽, 슬래브, 창, 문, 지붕, 계단 등)의 속성(기능, 구조, 용도)을 표현하고, 서로의 관계를 인지하며 건물의 변경 사항 등을 즉시 반영이 가능하며, 이를 통해 건축물 생산의 전 과정(설계, 시공, 사후관리)에 좀 더 빠르고(Faster), 저렴하며(Cheaper), 좋은(Better) 건물을 생산할 수 있도록 도와준다(김연용 2004). 따라서 BIM을 활용할 경우 건설사업에서 생산되는 다양한 정보들을 좀 더 효율적으로 활용할 수 있으며 이로 인해 국외뿐만 아니라 국내에서도 다양한 접근을 통해 BIM 적용에 힘쓰고 있다. 한편, 각 참여주체별 BIM을 활용하는 방법에 차이가 있으며, 활용방안도 상이하기 때문에(유용신 2013), 본 연구에서는 BIM 활용사례 및 기존문헌고찰을 통해 각 참여주체별 BIM 활용 방안 및 BIM 활용의 한계점을 분석하였다.

2.1.1 설계사의 BIM 활용 현황

조달청의 “시설사업 BIM 적용 기본지침서”에 따르면 계획 설계의 BIM 적용 목적은 설계안에 대하여 최소한의 품질을 확보하고 정확한 계획 설계도면을 산출하며 친환경 설계를 실현하는데 있다고 명시되어 있다. 여기서 제시하는 설계단계의 BIM 업무는 디자인 검토, 품질확보, BIM설계도서 산출, 에너지 효율 검토 등으로 권장하

고 있는데, BIM 설계를 시작으로 프로젝트의 전체 BIM 적용방향과 정보의 연계가 결정되기 때문에 디테일하고 가능한 정보를 담은 BIM 모델을 설계하는 것이 이상적이다.

하지만 발주자와 설계자간의 양방향의 의사소통 부족, 건축 계획 상의 오류 및 시공성을 확인하기 위한 협업의 부족 등이 문제점으로 등장하였다(정광량 2010). 또한 BIM 소프트웨어를 보유하고 있으며 실제 프로젝트에 적용하는 비중이 높아지고 있으나 데이터 호환 문제로 협업에 어려움을 겪고 있다. 이 외에 표준지침이나 사례부족, 라이브러리, 소프트웨어 기능 등이 문제점으로 작용하고 있으며, 국가 차원의 BIM 적용기준 미흡, 각 분야별 협업체계 미비, 인프라구축 부담에 대한 문제점이 지적되었다(박정욱 외 2009; 김민재외 2014; 최희선 2010; 정재환 외 2014).

2.1.2 시공사의 BIM 활용 현황

시공 단계에서의 BIM 모델은 복잡한 부위를 2차원적인 도면으로 보던 것에서 3D 시각화를 통해 사용자가 쉽게 도면을 해석할 수 있도록 도와준다. 또한 BIM 모델은 CAD에 의해서 생성된 컴퓨터 렌더링 모델에 비해 보다 활용가능하고, 즉각적이고, 풍부한 정보를 제공하기 때문에 기존의 2차원 도면 해석으로 인해 발생하는 시공상의 오류를 방지 할 수 있다. 또한 모든 참여자들이 하나의 모델을 통해 모델에 접근할 수 있기 때문에 물리적 간섭과 여유 간 간섭이 일어나는지 체계적으로 검토 할 수 있다(이형섭 2012).

하지만 국내 건설사에서는 BIM 도입에 대한 상부 의사결정자의 관심 및 BIM 도입 비용은 시도되고 있으나 현실적으로 BIM 적용 프로젝트에서 투입비용 대비 성과관리, 협업관리시스템, BIM 시스템 구축 등이 정립되지 않았고, 교육, BIM관련 조직, 전담부서 등도 체계화 되지 않고 있다. 또한 시공사 입장에서는 BIM 적용 프로젝트를 함께 수행할 수 있는 협력업체는 아직 설계 부분에 한정되어 있으며 기업 내부의 전문 인력확보도 미흡한 실정이다. 또한 BIM에서 추출된 2D 시공 상세도를 그대로 활용하기에는 어려움이 따르며, BIM 데이터로 최적화시키는 추가업무에 대한 부담도 존재하며 설계단계에서 업무를 담당한 설계사와의 커뮤니케이션으로 인한 문제점도 존재한다. 이외에 BIM 도입으로 인한 추가비용, 장비나 기구 라이브러리 부재, 현장 BIM 운용 인력부족 등의 문제점이 있다(박정욱 외 2009; 권오철 외 2013; 유용신 외 2013; 김화성 2010; 김지선 외 2012).

2.1.3 엔지니어링사의 BIM 활용 현황

BIM 모델은 구조정보, 건축정보, MEP 등의 건물의 모든 부분의 정보가 담겨 있다. 구조 해석이나 MEP 업무를 수행하는 전문적인 엔지니어링사는 BIM 모델을 활용하는데, 이를 통해 자동적으로 변경된 정보들을 적용시켜 주거나 해석을 하는데 필요한 시간을 줄여주며 설계사와의 협업을 쉽게 도와주는 역할을 한다(Gery Wyatt 2007).

하지만 엔지니어링 업무에 있어 BIM은 설계 단계별로 수행해야 하는 업무의 목적, 대상, 범위, 산출물들이 명확하지 않고 또한 BIM 모델에 어떤 자료가 포함되어야 하

는지, 어떤 방식으로 생성되어야 하는지에 대한 합리적인 기준이나 지침이 없다(오향옥 외 2013). 이러한 이유 때문에 기존의 구조해석이나 MEP 업무에 있어 적절한 시간이나 비용이 배당되고 있지 않으며, 이로 인해 후속작업에서 BIM 모델을 제대로 활용하기 어렵다. 또한 국내 MEP 엔지니어링 경우 설계조율 단계에서 시공상제도 (shop drawing)이 작성자에 역량에 따라 크게 좌우되며 개인의 역량에 의존하게 되어 현장에서 재시공 사례가 발생할 수 있고 제대로 된 협업이 이루어지지 않은 경우에 간섭검토가 어려워 불필요한 시간 및 자원을 낭비할 수 있다 (장세준 외 2013; 이정호 외 2012). 다음 표 2는 설계사, 시공사, 엔지니어링사의 BIM 활용 현황을 비교한 결과이다.

표 2. 참여주체별 BIM 활용 현황

참여주체	BIM 활용 업무	BIM 활용 한계점	참고문헌
설계사 (D)	- 3D 설계 - 시설물 계획 및 배치 검토를 통한 타당성 검토 - 에너지 효율 검토	- BIM 도구에 대한 이해 부족 - 참여주체자간의 의사소통 부족 - 데이터 호환으로 인한 협업문제	박정옥 외 (2009), 김민재 외 (2014), 최희선(2010) 정재환 외(2014)
시공사 (C)	- 간섭 검토 - 물량산출 및 견적 - 일정관리 - 시공 상세도 생성 - 시공성 검토 - 비정형의 복잡한 형태의 시공을 위한 좌표값 도출	- BIM 시스템 구축 미흡 - BIM 교육 및 조직 체계화 미흡 - BIM 전문인력 확보 미흡	박정옥외(2009), 권오철외(2013), 유용신외(2013), 김화성(2010), 김지선외 (2012)
엔지니어링사 (E)	- 구조해석 - MEP 설계 - 간섭 검토	- 불명확한 BIM 산출물 - 관련 업무 지침의 부재 - 모델제작자 역량에 의존 - 제대로된 협업 미흡	Gery Wyatt (2007), 장세준 외(2013), 오향옥 외 (2013), 이정호외(2012)

기존 연구 동향을 살펴보았을 때, BIM의 효과적인 적용에 따른 프로젝트 목표 성과 달성이라는 목표는 같지만 설계사, 시공사, 엔지니어링사, 즉 건설산업 주체별 업무도 다르고 성격도 상이하기 때문에 BIM 활용 방법에 차이가 있다.

2.2 BIM 활용성과 영향요인 도출

SmartMarket Report(2012)에서는 한국의 BIM 도입수준 및 활용현황에 대하여 조사를 수행하였는데, 한국의 BIM 도입수준은 58%이며 BIM을 도입하지 않은 실무자(42%)들 중 39%는 BIM에 대해 알고 있으나 아직까지 사용하지 않고 있으며, 오직 3% 만이 BIM에 어느바가 전혀 없다고 답변했다. 또한 한국의 BIM을 사용하는 엔지니어들의 전문사용자라고 인식하는 것이 북미나 유럽에 비해 적으며 과거에는 사용했으나 현재는 사용하지 않는 비율 또한 높게 도출되었다. 이러한 현상이 발생하는 원인은 BIM 활용성과에 영향을 미치는 요인을 정확하게 파악하지 않은 채 무작정 도입하려고만 하였기 때문이라고 판단된다. 이로 인해 단기적인 BIM 도입율은 높고, 성과를 낼 수 있지만 지속적으로 BIM을 효과적으

로 활용하긴 힘들며 BIM 활용에 대한 신뢰도 또한 낮아지게 될 것이라고 예측하였다. 또한 BIM 활용 효과에 대해 정량적인 성과 측정이 어려우며, BIM 활용으로 인해 프로젝트가 성공했다고 판단할 수 있는 근거가 미흡하기 때문에 BIM 활용 효과에 대한 불명확함이 존재한다. 기존에 설계에 사용한 2D CAD 활용에 대한 익숙함으로 인하여 새로운 설계 기술이라고 할 수 있는 BIM을 익힌다는데 에 대한 부담감도 존재한다(이슬기 2014). 또한 BIM 기술을 익히는데 필요한 교육의 부족도 BIM 활용 성과에 영향을 미치고 있으며 불명확한 BIM 활용 효과 및 부담감으로 인해 BIM 구현을 위한 지원이 미흡해지면서 소프트웨어나 하드웨어적 자원이 BIM 활용 성과를 저해하고 있다. 설계사 입장에서 프로젝트에 BIM을 적용하는데 있어 효과적인 협업이 체계적으로 이루어져 있지 않고 있으며 이로 인한 BIM 활용에 대한 R&R이 불명확한 것으로 나타나고 있다. 그리고 BIM 활용을 위한 국가적 차원의 가이드라인은 제시되어 있지만 관련된 제도가 미흡한 점도 문제점으로 꼽힌다(박정옥외 2009; 이상효 외 2007; 최희선 2010). 이를 토대로 다음 표 3과 같이 BIM 활용성과에 영향을 미치는 요인들을 도출하였다.

표 3. BIM 활용 영향요인 도출

BIM 활용성과 영향요인	축약어	참고문헌
BIM 활용 효과에 대한 불명확함 (Unclear effectiveness for using BIM)	Unclear-Eff	이슬기 2014, SmartMarket Report 2012
BIM 활용에 대한 부담감 (Burden for using BIM)	Burden	이슬기 2014, SmartMarket Report 2012
BIM 활용을 위한 교육부족 (Lack of education for using BIM)	Lack-Edu	박정옥 외 2009, 이슬기 2014, 최희선 2010
BIM 활용을 위한 자원부족 (Lack of resource for using BIM)	Lack-Res	박정옥 외 2009, 이상효 외 2007, 이슬기 2004
BIM 활용을 위한 협업부족 (lack of collaboration for using BIM)	Lack-Colla	박정옥 외 2009, 이상효 외 2007, 이슬기 2014, SmartMarket Report 2012
BIM 활용의 역할 및 책임 불명확 (Unclear role and responsibility for using BIM)	Lack-R&R	이슬기 2014, 최희선 2012, SmartMarket Report 2012
BIM 활용을 위한 제도적 체계 미흡 (Lack of institution system for using BIM)	Lack-Sys	박정옥 외 2009, 이슬기 2014

2.3 BIM 활용성과

본 연구에서는 BIM을 활용하였을 때 얻을 수 있는 성과를 측정하기 위해 BIM을 활용한 프로젝트의 성공을 BIM 활용성과(Performance using for BIM: Perf-BIM)라고 이름을 정의하고 측정 항목을 도출하였다. 측정항목을 도출하기 위해 프로젝트의 성공요인에 대해 기존 문헌들을 고찰하였다. 본 연구에서의 프로젝트 성공은 비용, 시간, 품질 등에 대한 목표가 효과적으로 달성된 정도를 의미하며, 다음 표 4는 프로젝트 성공요인에 대한 선행연구를 정리한 것이다.

표 4. 프로젝트 성공요인

정의	참고문헌
-성공적인 프로젝트 수행이란? · 기간 내에 완수 (시간 기준) · 예산 내에 완수 (비용 기준) · 설정한 목표들을 기본적으로 달성 (효과성 기준) · 프로젝트가 대상으로 하는 발주자에 의해 수용되고 사용되는 것. (발주자 만족 기준)	J.K. Pinto, D.P. Slevin (1988)
-프로젝트 성공은 일반적으로 시간, 비용, 품질, 프로젝트의 참여주체들을 만족했을 때로 정의된다.	Baccarini D. (1999)
-시간, 비용, 품질, 안전, 참여주체들의 만족도가 예상했던 것이나, 일반적으로 관찰되는 것보다 뛰어난 결과를 도출했을 때 성공이라고 정의한다.	Ashley D. B. (1987)
-프로젝트의 성공은 시간, 비용, 품질, 프로젝트상의 임무와 같은 프로젝트의 전반적인 목적들에 의해 측정되고 평가된다.	Anton de Wit (1988)

이와 같이 주요 프로젝트의 성공요인으로는 비용, 공기, 품질을 말하며 이외에도 최근 건설산업에서는 안전과 환경에 관한 문제들에 대해 관심을 갖게 되면서 안전과 환경 또한 주요 프로젝트의 성공요인으로 부각되고 있다. BIM은 건설 및 유지관리 단계에서 속성정보를 활용한 에너지 부하 및 온실가스 배출량 예측 및 검증, 각종 인증 업무의 자동화 등 녹색 건축분야에서 그 쓰임새가 클 것으로 기대된다(APU, 2013). 또한 효과적인 안전관리가 프로젝트 운영의 효율성을 높일 수 있으며 이를 통해 차질 없는 프로젝트 성공을 기대할 수 있다. BIM을 활용한 안전관리는 위험작업 추출, 위험성 평가 등을 분석하여 안전조치를 모델링하여 활용할 수 있으며, 안전관리 데이터를 통해 건설현장에서 발생할 수 있는 위험요소들을 경감할 수 있다(김태훈 외, 2013). 다음 표 5는 BIM을 활용하여 안전 및 환경관리를 수행한 연구이며, 이들을 토대로 환경관리나 안전관리 분야에 BIM을 효과적으로 적용함으로써 프로젝트의 성공적인 성과를 달성할 수 있음을 알 수 있다. 이에 따라 본 연구에서 도출한 BIM 활용성과 항목은 다음 표 6과 같은 측정항목을 도출하였으며 각 참여주체별로 Likert 7점 척도에 따라 설문 데이터를 수집하였다.

표 5. BIM을 활용한 환경/안전관리 관련 연구

분야	연구	참고문헌
환경 관리	BIM을 활용하여 의사결정 지원, 대안비교검토, 에너지 성능분석, 비용 대안 분석	전승호, 2008
	BIM을 활용한 인동간격, 일조권 분석, 가시성 분석, 열에너지 분석, 탄소배출량 분석	장원준 외 2009
	BIM을 활용하여 실내 온열환경, 실내공기환경 등 모델링을 통한 에너지 분석	민병기 외 2011
안전 관리	위험요소 모델링을 통한 안전관리 프로세스 개발	김태훈 외 2013
	위치추적기술을 이용한 BIM 기반 현장안전관리 시스템 개발	이현수 외 2009
	안전관리를 위한 BIM 기반 증강현실 시스템 적용 방안 제시	이중훈 외 2012

표 6. BIM 활용성과 측정항목

결과 변수	측정항목
BIM 활용 성과 (Perf-BIM)	BIM활용을 통해 일정관리가 효과적으로 이루어졌습니다.
	BIM활용을 통해 원가관리가 효과적으로 이루어졌습니다.
	BIM활용을 통해 품질관리가 효과적으로 이루어졌습니다.
	BIM활용을 통해 안전관리가 효과적으로 이루어졌습니다.
	BIM활용을 통해 환경관리가 효과적으로 이루어졌습니다.

3. fsQCA 방법론

3.1 fsQCA의 개념

fsQCA는 여러 가지 복잡한 변수들이 어떻게 조합되어 결과에 작용하는지 파악하기 위해 등장한 방법론이며, 이 방법론은 질적 연구방법은 심도 깊은 연구를 할 수 있는 대신 일반화가 어렵고, 양적 연구방법은 일반화가 가능한 반면, 실제 사례에 대한 심도 깊은 이해가 어려운 방법론의 문제를 조화시키고자 fsQCA를 제안하였다.(상지윤 2010). 이 방법론은 사례중심(case-oriented)의 질적 연구방법과 변수중심(variable-oriented)의 양적 연구방법을 결합하여 비교분석 연구 방법론에서 변수의 복합적인 조합을 도출해내는 방법이다.(Kvist 1999).

이 방법론은 양적 연구방법 중 회귀분석이 다루지 못하는 중간사례들을 다룰 수 있다. 질적 연구방법으로 연구할 경우 사례수가 2~3개가 넘어가게 되면 질적 연구방법론의 특성을 잃게 되며, 반면에 양적 연구방법론은 사례수의 부족으로 인해 데이터 분석에 타당성이 현저히 낮아진다. fsQCA는 중간사례의 연구가 가능하기 때문에 질적 연구방법과 양적 연구방법 문제점을 해결해 줄 수 있는 방법론이라고 할 수 있다.

fsQCA는 우선 질적 연구방법론의 집합 이론을 활용하여 집합과 집합 소속에 대한 부분을 차용하였고, 여기에 양적 연구방법론의 정확한 데이터 분석을 접목하였다. 여기서 집합에 소속된 정도를 파악하기 위해 해당 데이터가 집합에 완전 속하면 1, 완전 속하지 않으면 0으로 설정하고 0과 1사이에 속하는 정도를 분산시켜 소속정도를 파악하고자 하였다. 이를 위해 수집한 데이터를 퍼지점수로 변환(Calibration)하여 각 데이터가 각각 집합에 어느 정도 소속되는지 알 수 있으며 원인변수들의 조합이 결과변수에 미치는 영향 정도를 분석해 낼 수 있다. 즉, 이 방법론은 한 가지 원인변수가 결과에 미치는 영향을 독립적으로 분석해내기 보다는 여러 원인변수들이 결합적인 효과가 어떻게 결과에 영향을 미치는지 복합적으로 분석할 수 있다.

3.2 fsQCA 활용절차

fsQCA의 활용절차는 다음과 같다.

(1) 원인변수 및 결과변수 정의: 연구하고자 하는 바를 이론적 고찰을 통해 지식적 기반을 마련해 두어야 한다. 충분한 검토 및 지식을 바탕으로 어떠한 문제에 대한 결과변수를 정의하고 이에 따르는 원인 변수를 정의한다.

(2) 각 변수들의 원점수의 퍼지점수 변환: 각 변수에 해당하는 데이터들을 수집하고 수집된 데이터들을 분석하기 위해 퍼지점수로 변환(Calibration)한다. 여기서 퍼지점수로 변환 하는 방법에 대해 fsQCA를 처음으로 제안한 Ragin은 로그 승산(log odds)값을 활용하여 다음과 같은 산출방법을 제안하였다. 여기서 Ragin은 도출된 값에 최대값과 최소값에 각각 0.95와 1.05의 가중치를 주어 집합 소속정도를 분명히 하였다. 이 과정은 매우 복잡한 수학적 계산이기 때문에 fsQCA software을 활용하였으며, 수식은 다음과 같다.

$$\text{소속점수} = \frac{\exp(\log \text{ odds})}{1 + \exp(\log \text{ odds})} = \frac{e^{\log \text{ odds}}}{1 + e^{\log \text{ odds}}} \text{ ---- (1)}$$

- 소속점수: *degree of membership*
- log odds : 로그 승산값

(3) 진실표 작성 및 해석: 퍼지점수로 변환한 데이터를 연구자의 일정 기준에 의해 0과 1로 데이터를 다시 한번 변환시켜 분석하는 진실표 분석(Truth Table Analysis)하는 과정이다. 진실표는 수학적 표(Mathematical table)로써 데이터의 논리를 설명하는 모델이 된다. 진실표 분석은 마지막으로 결과를 도출하기 위하여 원인변수 조합을 평가하는 과정이다. 진실표 분석은 원인변수들의 결합구조를 0과 1의 구조로 축약해서 제시하는데, 이때 퍼지집합 점수가 0과 1로 변환 되더라도 퍼지집합의 점수가 무의미해지는 것이 아니라 진실표 내에 보전되어 조건 검증에 반영된다(이소정 2010). 또한 진실표 분석에서 사례 별 분석뿐만 아니라 축약결과를 도출하여 원인변수들의 결합이 결과변수에 미치는 영향을 분석할 수 있는데, 이는 축약결과로 분석할 수 있다. 축약결과는 각 사례의 결과에 영향을 미치는 원인변수의 결합구조를 요약해서 보여준다. 여기에서는 일관성(Consistency)을 통한 평가가 이루어지는데, 경험적으로 서로 관련 있는 원인 변수들의 조합은 이 조합의 일관성 평가를 통해 확인할 수 있다. 이는 진실표 분석의 마지막이자 fsQCA로 얻고자 하는 연구결과의 내용을 얻을 수 있다. 사회과학에서의 데이터들은 완벽한 것이 없기 때문에 연구와 연관된 경험적인 데이터가 일관되게 원인변수들의 조합을 평가함으로써 데이터를 검증할 수 있다. 일관성이 1 일수록 원인변수의 조합은 결과변수를 충분히 설명한다고 할 수 있으며 보통 일관성이 0.75이하이면 일관성이 부족하여 설명력을 잃게 된다고 보고 있다(Ragin 2006). 또한 각 원인조합의 범위(Coverage)를 살펴보아야 하는데, 범위는 결과의 실증적 적절성이나 중요성을 나타내며, 어느 정도를 설명하는가를 나타내줄 뿐 검증 기준이 되는 값은 별도로 존재하지 않는다(Ragin 2006). 이처럼 fsQCA를 통해 원 점수의 집합에 소속된 정도, 또한 소속집합, 원인 변수들의 조합이 결과에 미치는 영향을 분석할 수 있으며, 본 연구에서는 fsQCA를 활용하여 BIM활용에 따른 성과에 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

3.3 fsQCA 활용배경

본 연구에서 fsQCA 방법론을 활용하게 된 배경은 위에서 설명한 바와 같이 여러 가지 원인들의 조합 효과에 의해 결과에 미치는 영향을 분석할 수 있다는 점에 착안한 것이다. BIM 활용 영향요인은 여러 가지의 요인들로 도출하여 구성하였고 이는 BIM 활용 성과라는 결과에 독립적으로 인과관계를 구성하기 보다는 여러 요인들의 복합적인 결합에 의해 발생한다고 할 수 있다. 즉, 한가지의 요인이 BIM 활용성과에 영향을 미친다고 단정하기에는 무리가 있으며 여러 가지 문제점이 함께 작용하여 BIM 활용성과에 영향을 미친다고 할 수 있기 때문이다.

4. BIM 활용성과 영향요인 분석

4.1 원인변수 및 결과변수

본 연구에서는 BIM 활용성과 영향요인들의 조합이 BIM 활용성과에 영향을 미칠 것이라고 가정하였고 이에 BIM 활용 영향요인을 원인변수로 설정하고 BIM 활용성과를 결과변수로 설정하였다. 원인변수는 2.2절의 표 3에서 기존 문헌으로부터 도출한 BIM 활용의 영향을 미치는 요인을 토대로 데이터를 수집하였으며, 결과변수는 2.3절의 표 6의 측정항목을 토대로 각 참여주체별 데이터를 수집하였으며 측정항목 값들의 평균 값을 활용하여 각 참여주체의 결과변수 데이터를 수집하였다.

4.2 각 변수들의 상관관계 분석

본 연구에서는 도출한 변수들간의 독립적인 상관관계를 파악하기 위해 상관관계분석을 실시하였다. 다음 표 7은 각 원인변수들이 결과변수에 독립적으로 작용하였을 때의 영향정도이다. 분석결과를 살펴보면, 설계사의 “BIM 활용의 역할 및 책임 불명확”만 약한 음의 선형관계를 보여주는 것 이외의 다른 요인들은 각 참여주체별로 결과변수에 별다른 영향을 보여주고 있지 않다. 이를 통해 상관분석을 통해서는 의미 있는 영향요인들을 도출해 내기 어렵다고 판단되며, 개별 영향요인들이 BIM 활용성과 요인에 독립적으로 영향을 미친다고 파악하기 어렵다. 따라서 개별 영향요인들이 조합되면 BIM 활용성과에 영향을 미칠 것이라고 가정하였으며, 원인변수들이 결합적으로 결과변수에 미치는 영향을 파악할 수 있는 방법론인 fsQCA 방법론을 적용함으로써 적절하게 변수들의 인과관계를 분석하였다.

표 7. BIM 활용성과영향요인과 BIM 활용성과 간 상관분석

BIM 활용성과 영향요인	설계사(D)의 BIM 활용성과	시공사(C)의 BIM 활용성과	엔지니어링사(E)의 BIM 활용성과
Unclear-Eff	-.193	-.073	-.239
Burden	-.338	-.077	-.215
Lack-Edu	-.017	-.151	.489*
Lack-Res	-.371*	-.055	-.247
Lack-Colla	-.331	-.139	-.167
Unclear-R&R	-.619**	.158	.034
Lack-Sys	.047	.167	.314

**0.01 수준에서 유의함. * 0.05 수준에서 유의함.

표 8. 참여주체별 BIM활용 영향요인 진실표

참여 주체	BIM 활용성과영향요인								일관성	범위
	Unclear-Eff	Burden	Lack-Edu	Lack-Res	Lack-Colla	Unclear-R&R	Lack-Sys	~Perf-BIM		
D	0	0	0	0	1	1	1	1	0.96	0.42
	1	1	0	1	1	1	0	1	0.93	0.43
C	1	1	1	1	0	1	1	1	0.91	0.44
E	1	1	1	1	1	1	1	1	0.91	0.59

D : 설계사(Design), C : 시공사(Construction), E : 엔지니어링사(Engineering)

4.3 원점수의 퍼지점수 변환

fsQCA를 활용하여 분석하기 위해서는 각 변수들의 원 점수에 대한 퍼지점수로 변환하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 퍼지점수로 변환을 위해 fsQCA software 2.0²⁾을 활용하였는데, 이는 데이터가 1점부터 7점까지 한정되어 있는 원점수를 질적 고정점³⁾을 설정하여 집합 소속 정도를 명확히 하기 위함이다. 원점수에서 완전히 포함하는 값을 7, 분기점을 4, 완전히 제외되는 값을 1로 결정하고 이를 각각 0.95, 0.5, 0.05의 퍼지셋 점수로 질적고정점을 설정하였다. 다음으로 분기점 기준으로 각 값의 편차를 구하고 분기점을 초과하는 값을 완전히 포함하는 값에서 분기점을 뺀 값으로 나누어 스칼라를 구하고 편차와 스칼라를 곱하여 로그승산(log odds) 값을 적용하여 퍼지셋 점수를 도출한다.

4.4 진실표 작성 및 해석

마지막으로 변환된 퍼지셋 점수를 진실표(Truth table)에 붙이면서 퍼지셋 점수를 0.5를 기준으로 이상이면 1, 미만이면 0으로 설정하여 위의 표 8과 같이 진실표를 작성하였다. 또한 원인변수들이 BIM활용에 부정적으로 영향을 미치는 요소들로 구성되어 있기 때문에 원활한 분석을 위해 결과변수를 “BIM 활용성과”의 여집합으로 설정하여 BIM 활용 영향요인과 “BIM 활용성과의 부정(Negative)”에 대한 인과관계를 도출하고자 하였다. 0과 1로 구성된 27개의 조합중에서 해당하지 않는 조합, 즉 case가 0이 되는 의미를 갖지 못하는 조합은 제거하였고, 낮은 수준의 범위(Coverage)값을 제거하기 위해 의미를 갖는 일관성 기준은 0.8 이상으로 설정하였다.

여기서 설계사의 경우 두 가지 조합이 도출되었는데 이 경우 본 연구에서는 2가지 모두 중복되는 조합이 의미가 있다고 판단하고 “BIM활용을 위한 교육 부족”의 여집합, “BIM 활용에 대한 협업 부족”과 “BIM활용에 대한 역할 및 책임 불명확”의 집합을 “BIM 활용성과의 부정”과의 관계를 분석해본 결과 일관성 0.88에 범위 0.65로 세 조합이 상당한 설명력을 갖는 것으로 판단하였다.

4.5 분석 결과 고찰

본 연구에서는 진실표를 토대로 작성한 축약결과는 다음 표 9와 같다. 축약결과는 각 사례별 의미 있는 조합들을 분석하여 불리언 대수로 나타낸 결과를 말한다. 여기

서 “*”은 “AND”의 의미를 가지고 있으며 “~”은 변수의 여집합, 즉 부정(Negative)의 의미를 내포하고 있다.

여기서 설계사의 경우 “BIM활용에 대한 협업 부족”과 “BIM활용에 대한 역할과 책임 불명확”의 결합이 BIM 활용성과에 부정적인 영향을 미치는 것으로 도출되었다. 이는 설계사에서 엔지니어간의 효율적인 협업을 위한 협업 가이드라인이나 협업을 위한 통합 Platform 구축과 같은 협업체계가 미비하며, 이로 인해 BIM 정보를 입력하는 과정에서 속성정보 입력 주체가 정확히 명시되어 있지 않거나 구분되지 않기 때문에 정보의 정확성 또한 떨어질 수 있다고 해석할 수 있다. 따라서 BIM 협업 체계 미비로 인한 역할 및 책임 불명확함이 결합적으로 작용하여 BIM 활용성과에 부정적 영향을 미칠 수 있다.

시공사의 경우 “BIM활용에 대한 불명확함”, “BIM활용에 대한 부담감”, “BIM활용을 위한 교육부족”, “BIM활용을 위한 자원부족”, “BIM활용에 대한 역할과 책임 불명확”, “BIM활용을 위한 법적체계부족”이 BIM활용 성과에 부정적인 영향을 미치는 것으로 도출되었는데, 기존 문헌 고찰에 따르면 시공 단계에서 BIM은 보통 간섭체크와 그로인한 설계변경, 시각화된 도면자료 활용에서 주로 활용되고 있다. 즉, 시공사 입장에서는 시각적인 정보에 의존하여 BIM을 활용하고 있기 때문에 BIM에 포함된 다른 속성정보에 대한 활용이 미미하다. 본 연구의 결과에 따르면 BIM을 활용한 협업은 잘 이루어지지만, BIM 활용에 대한 불명확한 효과와 BIM 활용을 위한 법적체계 및 지침의 미비로 인한 BIM 교육의 부족과 BIM 활용자의 부족이라는 요인들이 연쇄적으로 작용하여 결국 BIM을 활용하는데 있어 부정적인 영향을 미친다고 도출되었다.

표 9. 축약결과

참여 주체	결과	일관성	범위
D	~Lack-Edu*Lack-Colla*Unclear-R&R	0.88	0.65
C	Unclear-Eff*Burden*Lack-Edu*Lack-Res*~Lack-Colla*Unclear-R&R*Lack-Sys	0.91	0.44
E	Unclear-Eff*Burden*Lack-Edu*Lack-Res*Lack-Colla*Unclear-R&R	0.91	0.59

· * : AND
· ~ : 변수의 여집합, 즉 부정

엔지니어링사의 경우 “BIM활용에 대한 효과 불명확”, “BIM활용에 대한 부담감”, “BIM활용을 위한 교육부족”, “BIM활용을 위한 자원부족”, “BIM활용에 대한 협업부족”, “BIM활용에 대한 역할과 책임 불명확”이 BIM활용 성과에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 엔지니어링사의 경우 “BIM활용에 대한 효과 불명확”, “BIM활용에 대한 부담감”, “BIM활용을 위한 교육부족”, “BIM활용을 위한 자원부족”, “BIM활용에 대한 협업부족”, “BIM활용에 대한 역할과 책임 불명확”이 BIM활용 성과에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 엔지니어링사의 경우 “BIM활용에 대한 효과 불명확”, “BIM활용에 대한 부담감”, “BIM활용을 위한 교육부족”, “BIM활용을 위한 자원부족”, “BIM활용에 대한 협업부족”, “BIM활용에 대한 역할과 책임 불명확”이 BIM활용 성과에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

1) <http://www.u.arizona.edu/~cragin/fsQCA/software.shtml>
2) fsQCA software의 질적 고정점은 해당 집합에 완전히 포함될 경우 '0.95', 해당 집합에 완전히 배제될 경우 '0.05', 그 중간은 0.5이다.

어링사의 경우 주로 설계사와 협업을 통해 BIM 모델을 구축하는 업무를 수행하는데, 본 연구의 결과에 따르면 BIM활용을 위한 법적체계 미비를 제외한 모든 요소들의 결합적으로 작용하여 BIM 활용성과에 영향을 미친다고 도출되었다. 이는 엔지니어링사가 BIM을 활용하는데 있어 BIM가이드라인이나 법적체계보다는 BIM을 활용하는 엔지니어 조직의 BIM활용을 위한 준비가 많이 부족한 것을 의미한다. 건축물의 구조해석의 경우 기존 구조해석 프로그램을 활용하는 것이 엔지니어링사에게 더 익숙하며 아직 구조BIM이라는 개념이 명확하게 정착되지 않은 것에도 이유가 있다(이정호 외 2012).

5. 결 론

본 연구에서는 국가적인 차원에서의 BIM 도입에 따른 각 참여주체별 BIM 활용을 활성화하기 위한 노력의 일환으로 BIM 활용성과에 어떤 영향요인들이 작용하는지 분석하였다. 건설산업 참여주체별로 BIM을 활용하는 목적 및 방법이 서로 다르기 때문에 각 참여주체별(설계사, 시공사, 엔지니어링사) 사례를 통해 분석하였으며 기존 문헌 고찰을 통해 BIM활용에 영향을 미치는 영향요인들을 도출하였다. 상관계수 분석을 통해 각 영향요인들이 BIM 활용성과에 개별적으로 작용하지 않음을 확인하였고 요인들의 조합들이 복합적으로 BIM 활용성과에 어떻게 영향을 미치는지 fsQCA를 활용하여 분석하였다. 각 참여주체별 BIM 활용성과에 영향을 미치는 요인들의 조합은 다음과 같다.

- (1) 설계사는 “BIM활용에 대한 협업 부족”, “BIM활용에 대한 역할과 책임 불명확”
- (2) 시공사는 “BIM활용에 대한 불명확함”, “BIM활용에 대한 부담감”, “BIM활용을 위한 교육부족”, “BIM활용을 위한 자원부족”, “BIM활용에 대한 역할과 책임 불명확”, “BIM활용을 위한 법적체계부족”
- (3) 엔지니어링사는 “BIM활용에 대한 효과 불명확”, “BIM활용에 대한 부담감”, “BIM활용을 위한 교육부족”, “BIM활용을 위한 자원부족”, “BIM활용에 대한 협업부족”, “BIM활용에 대한 역할과 책임 불명확”

설계사의 경우, 설계단계에서 협업을 통한 BIM 업무 수행이 중요하기 때문에, BIM 활용에 있어서 다른 참여주체와의 의사소통 및 협업이 프로젝트의 성과로 이어질 수 있으며, BIM 정보를 주로 입력 및 생성하는 주체임에도 불구하고 다른 참여주체와의 의사소통과 협업의 부족으로 인해 오류를 갖는 정보를 입력할 수 있으며 이는 프로젝트의 성과에 부정적인 영향을 미친다고 볼 수 있다. 따라서 BIM 협업을 위한 프로세스 구축 및 BIM 정보 입력에 대한 R&R을 개선함으로써 BIM 활용성과를 개선할 수 있다.

시공사의 경우는 시공단계에서 BIM 적용이 아직 활발하게 이루어지지 않고 있으며 시각적인 효과에 초점을 맞춘 BIM 활용으로 인해 BIM을 활용한 프로젝트의 성

과에 부정적인 영향을 미친다고 볼 수 있다. BIM은 단순한 시각적 정보 뿐만 아니라 모델이 내포하고 있는 여러 가지 속성정보들의 활용을 통해 프로젝트의 성과를 향상시킬 수 있는 역할을 수행할 수 있기 때문이다. 시공사 측면에서 보면 BIM을 간접검토나 3D 도면을 주로 활용하기 때문에 모델에 포함되어있는 다른 속성정보 활용 정도가 낮다. 따라서 BIM 활용에 대한 효과가 불명확하다고 느낄 수 있고 부담감으로 작용할 수 있다. 또한 시각적인 측면에서 활용을 주로 하기 때문에 BIM 활용을 위한 교육에 대한 부족과 역할과 책임에 대한 불명확함이 나타난다고 할 수 있다. 이와 같은 영향 요인들로 인해 시공사는 BIM 활용성과에 대해 부정적인 영향을 받고 있다. 이를 해결하기 위해 BIM 활용을 위한 시공자용 가이드라인이나 지침 등을 개발함으로써 BIM 활용을 통한 효과 인식 개선을 기대할 수 있으며, 이를 통해 BIM 부담감 해소, BIM 활용 자원에 대한 투자 증대, BIM 활용을 위한 교육 여건 개선 등이 이루어져야 할 것이다.

엔지니어링사의 입장에서는 BIM 활용을 위한 법적체계 미비를 제외한 모든 요소들이 결합적으로 작용하여 BIM 활용성과에 영향을 미친다고 도출되었는데 이는 엔지니어링 조직에서 BIM 활용을 위해 여러 가지 복합적으로 준비가 미흡한 것을 알 수 있다. 이를 해결하기 위해 BIM 활용에 대한 전반적인 이해와 인식 개선이 필요할 것이다.

본 연구는 BIM 활용에 따른 성과에 미치는 영향요인을 도출하기 위해 상관분석을 활용하여 의미를 찾고자 하였으나, 의미있는 값을 도출하지 못하였다. 따라서 하나의 요인이 미치는 영향보다는 각 요인들이 결합적으로 결과에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단하고, 요인들의 결합이 결과에 미치는 영향을 분석할 수 있는 방법론인 fsQCA 방법론을 활용하여 의미있는 결과값을 도출하고자 하였다. 본 연구를 통해 각 참여주체별 BIM 활용성과를 위한 개선전략을 수립할 수 있을 것이며, 각각 도출된 요인들의 조합을 개선하여 BIM 활용성과를 기대할 수 있다. 하지만 각 참여주체가 BIM활용성과 개선을 위한 전략수립 및 개선사항 도출에 대한 연구가 미흡하며 이를 위해 향후 연구에서는 BIM활용을 통한 프로젝트 성과 개선을 위한 전략수립 및 개선사항 도출이 필요하다.

참고문헌

1. Anton D.W. “Measurement of project success.” *Project Management Journal*, Vol.6 No.3, p.p.164~170, 1988.
2. Ashley, D.B., Laurie, C.S. and Jaselskis, E.J. “Determinants of construction project success.” *Project Management Journal*, Vol.18 No.2, p.p.69~79, 1987.
3. Baccarini, D. “The logical framework method for defining project success.” *Project Management Journal*, Vol.30 No.4, p.p.25~32, 1999.
4. Gary Wyatt, “Maintaining Bim Integrity In The Structural Engineering Office”, *Autodesk BIM Integrity in the Structural Engineering Firm*, 2007

5. Kvist, J. "Welfare reform in the Nordic countries in the 1990s: Using Fuzzy-set theory to assess conformity to ideal types". *Journal of European Social policy*. 9(3). p.p.231-252, 1999
6. Lee, S. S.. "A critique of the fuzzy-set methods in comparative social policy: A critical introduction and review of the applications of the fuzzy-set method". www.compass.org/files/WPfiles/Lee2008.pdf, 2009
7. Pinto J.K., D.P.Slevin, "Critical Success Factors Across the Project Life Cycle", *Project Management Journal*, p.p.67-75, 1988
8. Ragin,C.C. "Set relations in social research: Evaluating their consistency and coverage". *Political Analysis*. 14(3). p.p.291-310. 2006
9. Ragin,C.C. "Fuzzy- set social science". The University of California press, 2000.
10. 건축도시정책동향(APU), "녹색건축을 위한 BIM 기술 활용", 제5권, p.p.48-53, 2013.06
11. 권오철, 조주원, 조찬원, "시공단계에서의 BIM 활용성 증대를 위한 품질관리 방안", *한국CAD/CAM학회 논문집*, 제18권, 제5호, p.p.338-347, 2013
12. 김민재, 이강협, 손창백, "국내 설계사무소의 BIM 활용실태 분석 및 개선방안", *대한건축학회논문집 구조계*, 제30권, 제8호, p.p.79-86, 2014
13. 김언용, "지능형 디지털 아키텍처 도구와 BIM 패러다임", *대한건축학회지*, 제 48권, 제2호, p.p.111-134, 2004
14. 김지선, 김주형, 김재준, "시공단계에서의 BIM 적용방안에 관한 연구", *한국CAD/CAM학회 논문집*, p.p.572-576, 2012
15. 김태훈, 이동학, 배성인, 홍윤기, 박주석, "BIM을 활용한 현장 적용 안전관리 프로세스 제안", *대한건축학회연합논문집*, 제15권, 제5호, p.p.243-250, 2013..10
16. 김화성, "국내 시공분야의 BIM 활용사례를 통한 문제점과 향후전망", *건축* 제54권, 제1호, p.p.65-69, 2010
17. 민병기, 이슬비, 손보식, "친환경 건축물 인증제도의 BIM 적용에 대한 기초연구", *전국 대학생 학술발표대회논문집*, p.p.234-239, 2011
18. 박정욱, 김상철, 이상수, 송하영, "사례 분석을 통한 국내 BIM 적용 문제점 및 대안 도출에 관한 연구", *한국건축시공학회지*, 제9권, 제4호, p.p.93-102, 2009
19. 상지윤, "출산율 영향 요인에 대한 연구-OECD 국가에 대한 퍼지셋 질적비교분석", *충남대학교 석사학위 청구논문*, 2010
20. 정광량, "BIM 설계사례를 통해 본 문제점과 해결책", *한국건축시공학회지*, 제10권, 제3호, p.p.18-22, 2010
21. 양고운, 박형준, "지방정부 간 자율적 행정구역 통합의 성공 요인 탐색 : 퍼지집합 질적비교분석(fsQCA)의 적용", *한국지방자치학회보*, 제25권 제1호 p.p.1-26, 2013
21. 오향옥, 정종현, 이재철, "BIM기반 구조도면 작성기준", *대한건축학회논문집 구조계*, 제29권, 제3호, p.p.39-46, 2013
22. 유용신, 정지성, 정인수, 윤호빈, 이찬식, "시공단계의 BIM기반 건설사업관리 업무절차 모델 개발", *한국건설관리학회 논문집*, 제14권, 제1호, p.p.133-143, 2013
23. 이상효, 안병주, 김주형, 김경환, 이운선, 김재준, "계층분석법을 이용한 3D CAD 활용 저조에 대한 영향요인 분석 연구", *한국건설관리학회논문집*, 제8권, 제6호, p.p.188-196, 2007.
24. 이소정, "노인 자살의 사회경제적 원인 분석", *사회보장연구*. 26(4): 1-19., 2010
25. 이정호, 김지현, 최일섭, 김민수, 이재훈, "구조사무소 현업에 적용가능한 강구조의 BIM 작성지침", 2012 한국강구조학회 지 특집기사, p.p.12-17, 2012
26. 이종훈, 최주원, 서희창, 김주형, 김재준, "안전관리를 위한 BIM 적용 증강현실 시스템 적용 방안에 관한 기초연구", *한국건축시공학회 춘계학술논문발표대회 논문집*, 제12권, 제1호, p.p.147-148, 2012
27. 이주성, 홍정석, 김재준, "건설현장 안전관리 성공요인 분석을 통한 자율안전관리활동 개선에 관한 연구", *한국건축시공학회논문집*, 제8권, 제5호, p.p.109-117, 2008.10
28. 이현수, 이광표, 박문서, 김현수, 이사범 "위치추적기술을 이용한 BIM 기반 건설현장 안전관리 시스템", *한국건설관리학회* 제10권, 제6호, p.p.135-145, 2009.11
29. 이형섭, "건설공사 시공단계의 BIM활용사례 분석을 통한 효율적인 적용방안 연구", *경일대학교 석사학위 청구논문*, 2012
30. 전승호, "BIM기반의 친환경 건축 시뮬레이션 시스템에 관한 연구", *한국건설관리학회 학술발표대회논문집*, p.p.763-767, 2008
31. 장세준, 정연석, 이강, "린 건설기법을 활용한 BIM 기반 MEP 설계 조율 프로세스 구축", *한국CAD/CAM학회 하계 학술대회 논문집*, 제4권, 제3호, p.p.140-141, 2013
32. 정재환, 김성아 "의미중심 여과를 통한 BIM 기반 협업설계 정보교환의 경량화 및 자동화에 관한 연구", *대한건축학회 논문집 계획계*, 제30권, 제10호, p.p.71-78, 2013
33. 장원준, 김미경, 최현아, 전한중, "국내 친환경 건축물 인증제도의 BIM 적용을 위한 연구", *대한건축학회 학술발표대회 논문집*, p.p.339-342, 2009.10
34. 최영준. "사회과학에서의 퍼지셋 이론의 활용", *SAPA News & Platform*. p.p.24-26, 2009

(Received 2014.12.29 Revised 2015.2.4 Accepted 2015.3.31)