

건축설계에서 BIM ROI 측정방법 연구: 중소규모 설계사무소 실무중심으로

손준익 · 옥종호[†]

서울과학기술대학교 건축학부

A Study on Measurement Method of BIM ROI in Architectural Design Firm

Junick Son and Jongho Ock[†]

Dept. of Architectural Engineering, Seoul National University of Science and Technology

Received 28 June 2016; received in revised form 24 July 2016; accepted 25 July 2016

ABSTRACT

In the construction industry, adoption of BIM is a global tendency whereas it doesn't seem to be fully activated in domestic market. Thus, the need of BIM ROI measurement is emerging. There has been a few researches which is only focused on evaluating achievement of BIM in constructional stage. However, it's hard to find any studies on the case of measurement of BIM ROI at the design phase. Therefore, this paper analyzes the domestic and external 12 advanced researches in the measurement of BIM ROI and suggests common investment and return facts. Based on this, this paper proposes a measuring method which is applicable in domestic architectural firms. To determine the appropriateness of the measure, there has been an expert survey and interview. According to the expert survey, the measure itself is practical. But in other survey targeting industry employee, actual profit and efficiency appear to be significantly different from previous expectations. In short, in the domestic conditions in the design stage, the introduction of BIM doesn't have a practical effect and this is one of the main reason why BIM can't be fully functional.

Key Words: Architectural Design, Building Information Modeling (BIM), Return of Investment (ROI)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

한국은 웹(WEB) 상에서 토지정보시스템을 제 공하며, 건축행정시스템(세움터)를 운영하는 등 다

른 나라에 비하여 건설분야에서도 IT 강국이라 할 수 있다.

그러나 3차원 정보 모델(BIM, Building Information Modeling) 분야에서는 그렇지 않은 것으로 나타났 다. BIM은 2000년경에 국내에 도입되어 15여년이 나 지났음에도 불구하고 국내 건축사사무소 75% 이상은 BIM을 운영해본 경험이 없는 것으로 조사 되었다^[1].

[†]Corresponding Author, ockjh@seoultech.ac.kr
©2016 Society for Computational Design and Engineering

미국의 경우 건설산업의 약 50%가 BIM 또는 BIM과 관련된 도구를 사용하고 있으며, 일본의 경우 기존 2D 방식보다 BIM 사용으로 똑 같은 결과물을 만드는데 40%의 시간을 줄이는 등 BIM 효과를 충분히 보고 있다. 이는 미국과 일본뿐만 아니라 전 세계적인 경향이다¹⁾.

건설프로젝트의 품질을 향상시키고 BIM을 활성화하기 위하여 정부는 2012년부터 500억 이상의 공공건축물에 BIM 설계를 의무적으로 적용하였고, 2016년부터 조달청이 발주하는 모든 맞춤형 서비스 공사²⁾에 BIM 설계를 의무화하였다³⁾. 또한, 정부는 BIM 설계 적용을 토목분야로 영역을 넓혀 2020년까지 사회기반시설(SOC) 건설공사의 20% 이상에 BIM을 확대적용하기로 하였다⁴⁾.

이러한 국내여건의 변화에 따라 BIM 도입의 효과를 증명하기 위한 ROI(Return on Investment) 측정의 필요성이 크게 대두되고 있다. 최근 국내에서도 신도림 디큐브시티 건설, 이천 베어스파크 건설, LH진주신사옥 건설 등 시공분야의 BIM 활용 성과가 측정되어 발표되고 있다. 그러나 설계분야에서는 대규모 건축사사무소 일부가 BIM팀을 운영하고 있을 뿐, BIM ROI 평가에 대한 연구나 사례가 거의 없다.

본 연구는 국내외에서 수행된 BIM ROI의 다양한 측정방법을 알아보고, 국내 건축사사무소에서 적용이 가능한 BIM ROI 측정방법을 제시하고자 한다. 또한 이 과정을 통하여 국내 건축사사무소에서 BIM이 활성화 되지 못한 실질적인 원인을 알아보고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구는 다음과 같은 방법으로 수행한다.

- (1) 문헌조사를 통하여 BIM 및 ROI의 개념과 측정방법에 대하여 정리한다.
- (2) 국내외에서 BIM ROI를 관련된 보고서와 논문을 조사 선별한다. BIM 활용 단계, 측정방법, 측정범위 등으로 분석한다.
- (3) 선행연구에서 적용한 투자(Investment) 요소와 수익(Return) 요소를 알아보고 전문가 면

담과 BIM 경험자 설문조사를 통하여 국내 건축사무소에서 적용 가능한 요소(Factor)를 선별한다.

- (4) 선별한 투자 및 수익 요소와 선행연구의 측정공식 분석결과를 가지고 국내 여건에 적합한 측정공식(formula)을 만든다.
- (5) 본 논문에서 제안한 측정공식과 선행연구의 측정공식들과 비교하고, 면담 및 설문조사 결과분석을 통하여 BIM 전반에 대하여 토의하고, 종합하여 결과를 도출한다.

2. 이론적 고찰

2.1 투자수익률

투자수익률(Return on Investment, ROI)란 기업의 경영성과를 측정하는데 이용하는 대표적인 방법으로 미국 듀폰(Dupont)사에서 개발된 개념이다. 수익을 투자비용으로 나눈 수치와 수익에서 투자비용을 제외한 값을 투자비용으로 나눈 수치를 모두 사용하고 있다.

$$ROI = \frac{\text{Return}}{\text{Investment}} \text{ or}$$

$$ROI = \frac{\text{Return} - \text{Investment}}{\text{Investment}}$$

새로운 시스템이나 설비 및 장비의 도입을 검토하기 위하여 투자 대비 수익을 예측하거나, 도입된 시스템이나 설비 및 장비의 도입 성과를 확인하기 위하여 사용한다. ROI 측정은 성과가 분명하고 수익이 높은 경우에는 오히려 측정할 필요가 없다. 성과가 가시적이지 않은 경우, 성과를 수익으로 환산하기 어려운 경우나 사업에 관련된 주체가 여럿으로 투자 주체와 수익 주체가 분명하지 않은 경우 그 필요성이 커진다.

BIM ROI란 건설 프로젝트에서 BIM을 도입하였을 경우에 투자대비수익률을 측정하는 것인데, 투자와 수익은 유형적 요소와 무형적 요소, 계산이 가능한 요소와 계산이 불가능한 요소, 직접적인 것과 간접적인 것, 가시적 요소와 잠재적 요소 등으로 구분될 수 있다.

일반적으로 가시적인 것이나 정략적인 것을 산정하는 것은 비교적 쉽고, 잠재적이고 정성적인 것을 산정하는 것은 더 어렵다. 그러나 가시적이고 계산이 가능한 정략적인 측정이라도 건설에서

¹⁾맞춤형 서비스 공사는 수요기관의 요청에 의해 조달청이 기획단계부터 발주, 설계평가, 계약까지 사업 전반을 일괄 대행하는 공사를 말한다(매일건설신문, <http://www.mcnews.co.kr>).

는 간단하지 않다. 건설이 대표적인 일회성 산업으로 비슷한 형태의 조건으로 설계나 시공이 되는 경우가 없으므로 동일 조건으로 비교하여 생산성 향상에 대한 구체적 수치화가 어렵다^[3].

2.2 선행연구

2007년 이후 국내외 BIM ROI 관련 선행연구자료를 수집하고 선별하였다. 총 12건 중 9건은 외국 논문과 보고서이고, 3건은 국내 논문이다. Table 1에 선별한 선행연구 논문 목록을 연도순으로 작성하였다.

선행연구를 ROI 측정방법, 측정범위와 적용 및 측정단계에 대하여 조사하였다. 4건의 연구에서는 측정공식(Formula)를 제시하고 있다.

2.2.1 측정방법

선행연구 분석결과 건설분야에서 BIM ROI를 측정하는 방법은 ① 설문조사(Survey) 및 면담조

사(Interview), ② 사례조사(Case study), ③ 샘플링 작업 측정(Sampling Work Test)이 있다. 사례조사는 5건, 설문조사 4건, 인터뷰(전화인터뷰 포함) 3건, 샘플링 작업측정 1건인데, 사례조사와 인터뷰가 동시에 진행 경우와 설문조사와 인터뷰가 동시에 적용된 경우 각 1건으로 조사되었다.

설문조사는 건설관계자들의 BIM 투자 및 성과 요소에 대한 인식을 살펴보고, BIM과 ROI에 대한 인식과 기대치를 알아볼 수 있다. 그러나 객관화되고 표준화된 평가방법이 없으므로 그 결과값에 대한 신뢰도가 낮다. 건설관계자 설문조사보다는 BIM에 경험이 풍부한 전문가에 대한 면담조사가 설문조사보다 더 신뢰도가 높을 수 있으나 특정분야의 이익추구나 선입관이 반영될 가능성이 있다.

사례조사는 기존의 2D 방식으로 설계 시공한 프로젝트를 BIM으로 설계하였을 때를 가정하여 재작업(rework)과 설계변경(change order)이 방지되는 효과에 따른 공사비용 감소와 공사기간 단축을

Table 1 Methodology and Character of Previous Research on BIM ROI

Researcher (Year)	Nation	Research methods				Research scope		Application Phase			Formula Propose
		Survey	Inter-view	Case Study	Sample test	Project based	Company based	Design	Construction	Maintenance	
Autodesk ^[4] (2007)	USA	√					√	√	√		√
Brittany Giel ^[5] (2009)	USA			√		√			√		
Burcin B. ^[6] (2010)	USA	√						√	√		
Salman Azhar ^[7] (2011)	USA			√		√			√		
Kristen Barlish ^[8] (2011)	USA			√		√		√	√		
Ang Yu Qian ^[9] (2012)	Singapore		√				√	√	√		√
Salih Sen ^[10] (2012)	Sweden		√	√		√		√	√		
Lee, Gang ^[11] (2012)	Korea			√		√			√		√
Lee, Dong-Min ^[12] (2013)	Korea					√			√		√
McGraw Hill ^[13] (2014)	USA	√						√	√		
Erin R. Hoffer ^[14] (2014)	USA	√	√			√		√	√		
Kim, Seong-Ah ^[15] (2016)	Korea				√			√			

산출하는 방법으로 한다. 또는 BIM으로 설계 시공한 프로젝트를 2D로 설계 시공하였을 때 발생할 것으로 예상되는 오류와 문제를 금액으로 산출하는 방법도 가능하다.

샘플링작업 측정은 BIM 작업방법이 기존의 캐드(CAD) 작업방법보다 작업성과 효율성이 더 우수한지 여부를 실험하는 것이다. 예를 들어 동일한 사람이 동일한 프로젝트에서 단면도 1장 작성에 소요되는 시간을 캐드 방식과 BIM 방식에서 각각 측정하여 비교하는 것이다. 시공단계에서도 적용이 가능하나 측정 가능한 샘플링 작업을 선정하기 어렵고 그 측정결과에 미치는 다른 요소들을 배제하는데 어려움이 있다.

2.2.2 측정범위

ROI 측정범위에 따라 하나의 프로젝트에서 투자대비 수익을 조사하는 프로젝트 기반(Project based)과 회사 차원에서 1년간 투자대비 수익을 조사하는 컴퍼니 기반(Company based)으로 구분할 수 있다. 선행연구 12건에서 구분이 가능한 것은 9건인데, 7건은 프로젝트 기반이고 2건은 컴퍼니 기반이다. ROI의 측정의 목적이 기업에서 BIM 시스템을 도입하고 그 투자대비 수익을 비교하는 것이라는 측면에서는 컴퍼니 기반으로 측정하는 것이 이상적이다. 그러나 컴퍼니 기반으로 측정하면, 회사의 재무흐름, 수주실적 등 다른 많은 변수가 작용하므로 정확한 수익을 측정하기 어렵다. 수익이 발생되더라도 그 원인이 전적으로 BIM 도입의 효과라고 판단하기 어렵기 때문에 다수가 프로젝트 기반으로 측정하였다.

2.2.3 적용단계

건설 프로젝트는 장기간 수행되므로 BIM 적용과 성과도 건설의 여러 단계에서 나타난다. 건설은 크게 설계단계, 시공단계, 운영 및 유지관리 단계로 구분되고, BIM ROI도 각 단계별로 구분할 수 있다. 선행연구에서 설계단계를 중심으로 연구한 것은 오토데스크(Autodesk, 2007)와 김성아(2016) 2건뿐이고, 나머지 10건은 시공단계의 적용과 성과를 연구하거나, 설계 및 시공단계의 적용과 성과를 연구하였다. 사례조사 방법으로 연구한 경우, 연구사례가 시공사례이므로 시공단계의 적용과 성과를 대상으로 한 것을 알 수 있다. 설문조사 방법으로 연구한 경우 설문대상자가 설계와

시공 전반에 종사하고 있는 사람을 대상으로 하고 있지만, 시공비가 설계비보다 규모가 훨씬 크고 그 성과도 커서 시공단계 중심으로 하고 설계단계가 부가적으로 포함되어 있다. 조사된 선행연구에서는 운영 및 유지관리 단계의 적용과 성과는 대한 연구는 없다.

2.3 투자요소와 수익요소

BIM ROI를 평가하려면 먼저 투자요소와 수익요소를 선정하여야 한다. 투자요소와 수익요소는 정량적 요소와 정성적 요소로 구분될 수 있고, 정량적 요소는 다시 직접 비용과 간접 비용으로 구분된다. 선행연구 11건에서 조사된 투자요소와 수익요소는 다음 Table 2에 정리하였다.

선행연구의 조사방법에 따라 나타나는 투자요소와 성과요소에 차이가 있다. 설문조사와 인터뷰 조사로 연구된 선행연구는 설문조사 대상자가 발주자, 설계자, 시공자 등 다양하게 조사되어서 설계단계 또는 설계 및 시공단계를 대상으로 연구되었다고 할 수 있다.

그런데 여기에서 나타나는 투자요소는 하드웨어관련, 소프트웨어관련, 교육관련 등이고, 성과요소는 생산성 증가, 실수와 누락감소, 재작업 감소, 클레임(Claim)과 분쟁 감소 등이다.

앞서 언급하였듯이, 사례조사로 연구된 선행연구는 모두 시공단계를 연구 대상으로 하고 있다. 여기에서 나타나는 투자요소는 주로 전환설계²관련 비용인데 공사비의 0.2~0.55%이다. 성과요소는 충돌방지, 재작업 감소, 설계변경 감소 등에 따른 직접공사비와 간접공사비로 나타나고 있다.

2.4 선행연구 측정공식

Table 3를 살펴보면, 오토데스크의 제안 측정공식은 투자요소는 하드웨어 구입 및 유지관리비, 소프트웨어 구입 및 유지관리비, 직원교육에 소요되는 시간과 비용이고, 성과요소는 BIM 적용 후 생산성 증가이다. 여기서 생산성 향상을 측정하는 구체적인 방안 제시는 없다. 기획, 설계, 시공과 유

²전환설계는 설계단계에서는 2D로 설계되었으나 시공자 선정 이후 시공성 향상 또는 공사비 절감 및 공사기간 단축을 목적으로 BIM설계로 전환하는 경우와 BIM으로 설계되었으나 시공에서 활용하기 부적합하여 시공용 BIM설계로 전환하는 경우가 있다.

Table 2 BIM Investment Factor in Previous Research

Research Method (Application phase)	Researcher (Year)	Investment Factor	Return Factor
Survey & interview (Design or Design & Construction phase)	Autodesk ^[4] (2007)	Software & Hardware Productivity Loss	Productivity Gain
	Burcin B. ^[6] (2010)	Software & Software upgrade Hardware & Hardware Maintenance Training	Reduced Printing Use Costs Reduced Document Shipping Costs Reduced Travel Costs Reduced Approved Change Orders Reduced Claims & Disputes Reduced Correcting Errors & Omission
	Ang Yu Qian ^[9] (2012)	Hardware Software Training New Staff	Improved Information Control Less Error Improved Communications Reduced Rework
	McGraw Hill ^[13] (2014)	Develop Internal Collaborative Process BIM Training BIM Software Develop External Collaborative Process New/Upgraded Mobile Device Develop Custom 3D Libraries New/Upgraded Desktop Machines	Reduced Error and Omissions Collaboration with Owner/Design Firms Enhanced Organizational Image Reduced Rework
	Erin R. Hoffer ^[14] (2014)	Startup Costs Costs to Tailor BIM to a project Longer-term outlays	Improved Collaboration Less Rework, Fewer change orders
Case study (Construction phase)	Brittany Giel ^[5] (2009)	0.5% of Contract Value	Reduced RFIs(Request for Information) Reduced Change Orders Reduced Project Delay
	Salman Azhar ^[7] (2011)	0.2% of Project budget	Clash Detection
	Kristen Barlish ^[8] (2011)	Increase 31% Design Costs	Reduced 5% Contractor Costs
	Salih Sen ^[10] (2012)	0.55% of Total Project Costs	Direct Savings Indirect Savings
	Lee, Gang ^[11] (2012)	Initial Outsourcing fee Salary of BIM coordinator	Reduced Direct Costs Reduced Home office Costs
Lee, Dong-Min ^[12] (2013)	Software & Hardware Training Costs BIM Switching Cost Salary of BIM coordinator	Controllable Change Orders	

지관리 등 모든 단계에 적용이 가능하나, 공사비 절감과 공사기간 단축과 같은 내용이 없으므로 시공단계에 적용하기는 어렵다. 설계단계에 적용가능 하나 컴퍼니 기반이다.

Qian은 n년차 현금 흐름도(Cash flow) 공식을 제시하였다. 설계단계에 적용이 가능하나, 컴퍼니 기반이다.

이강의 ROI 측정공식은 프로젝트 기반이고 시

공단계에 적용이 가능하다. 투자요소는 하드웨어, 소프트웨어, 교육비 등을 포함한 전환설계비용과 BIM코디네이터(coordinator)의 급여이다. 성과요소는 BIM 설계를 통하여서만 방지할 수 있는 에러(error) 발생에 따른 직접 및 간접공사비와 일반관리비 그리고 에러발생에 따른 공기지연으로 인한 지체상금, 간접공사비와 일반관리비, 은행이자이다. 기존의 2D설계도면으로 착공 전 시공성 검토를

Table 3 Formula of Previous Research

Researcher	Formula
Autodesk ^[4] (2007)	$First\ Year\ ROI = \frac{\left(B - \left(\frac{B}{1+E}\right)\right) \times (12-C)}{A + (B \times C \times D)}$ <p>A = Cost of hardware and software (dollars) B = monthly labor cost(dollars) C = training time(months) D = productivity lost during training(percentage) E = productivity gain after training(percentage)</p>
Ang Yu Qian ^[9] (2012)	<p>Cash Flow in year k = $(\Delta i)i_0 - \Delta c - (n_3Dk - n_3Dk - 1)(C_3D) - (n_3Dk)(m_3D) - n_2Dk(m_2D) - [(nak)(La) + (nmek)(Lme) + (nsek)(Lse) + (npmk)(Lpm) + (nqsk)(Lqs)] + Sp$ $\Delta c = (1 - 0.025Pk)(C_0)$ $n_3Dk = (nak + nsek + nmek + npmk + nqsk) / (Pk)$ $n_2Dk = (nak + nsek + nmek + npmk + nqsk) / (1 - Pk)$ $Sp = (1.085Y)(0.025Pk)(C_0)$ K = the number of years after initial investment in BIM implementations Δ_i = forecast growth in income by year k/ current income i_0 = current annual income for all project Δc = adjusted annual overhead costs C_0 = current annual overhead costs P_k = percentage of projects with BIM usage; $0 \leq P_k \leq 1$ n_{3Dk} = number of BIM enabled workstations n_{2Dk} = number of normal workstations with BIM capabilities C_{3D} = investment cost of a BIM-enabled workstation (including hardware, software and training) m_{3D} = annual maintenance costs of 1BIM enabled workstation m_{2D} = annual maintenance costs of 1 normal workstation without BIM capabilities n_{ak} = number of architects in year k n_{me} = number of M&E engineers in year k n_{se} = number of structural engineers in year k n_{pm} = number of project managers in year k n_{qs} = number of quantity surveyors in year k L_a = average salary per annum for architectural work L_{me} = average salary per annum for M&E engineering work L_{se} = average salary per annum for structural engineering work L_{pm} = average salary per annum for project management work L_{qs} = average salary per annum for quantity surveying work S_p = saving due to productivity gain as experience level of users increase Y = increased years in industry of all staff from previous year</p>
Lee, Gang ^[11] (2012)	$ROI = \frac{[(\sum_{p=0}^n(dp \times cp)) \times (i + idc + hoc)] + \sum_{j=0}^w(jocw + binw + liqw) - [i + \sum_{q=1}^k(lq \times mq)]}{i + \sum_{q=1}^k(lq \times mq)}$ <p>i = initial outsourcing fee that includes software and hardware costs, training and architectural-BIM-to-construction-BIM conversion fee l = monthly salary of BIM coordinator (each BIM coordinator may have a different monthly salary) q = BIM coordinator seral number k = total number of BIM coordinators m = total work months of a BIM coordinator d = estimate of the direct costs potentially caused by an error c = likelihood of not being able to identify the error in the traditional drawing-based approach p = error number n = total number of design errors idc = ratio of indirect costs relative to direct costs in the contract costs hoc = ratio of home office costs relative to direct costs in the contract costs jocw = weekly increase in the job overhead costs including indirect costs and home office costs binw = weekly paid additional bank interest liqw = weekly member w = delayed number of weeks</p>

Table 3 Continued

Researcher	Formula
Lee, Dong-Min ^[12] (2013)	$E ROI = \frac{[\sum_{z=0}^n(Dz \times Pz)] \times (1 + idc)}{[i + \sum_{j=0}^k(Bj \times Mj)] \times [1 + (r \times t)]}$ <p> Dz = Direct costs of z'th change order's controllable element Pz = Control Probability of z'th change order (Pz ≤ 0) Idc = ratio of indirect costs relative to direct costs (0.1 ≤ idc ≤ 0.15) i = initial costs (software and hardware costs, training fee, modeling fee) Bj = monthly salary of BIM coordinator Mj = work months of BIM coordinator r = the average interest rate t = project duration(year) </p>

통하여 방지될 수 있는 예러와 BIM 설계를 통하여서만 방지할 수 있는 예러를 구분할 수 있는 방법과 공사기간 단축을 측정할 수 있는 구체적인 방법의 제시는 없다.

이동민의 ROI 측정공식은 프로젝트 기반이고 시공단계에 적용이 가능하다. 투자요소는 투자요소는 하드웨어, 소프트웨어, 교육비 등을 포함한 전환설계비용과 BIM 코디네이터(coordinator)의 급여와 초기투자에 대한 이자비용이다. 성과요소는 제어(방지) 가능한 설계변경에 따른 직접 및 간접공사비의 절감이다.

설계변경은 발생원인에 따라 시공자에게 보상이 될 수도 있다. 일반적으로 공사비는 매달 또는 격월 기성으로 지급받는다. 따라서 BIM 초기투자비에 대한 이자비용을 투자요소에 포함하는 것과 방지 가능한 설계변경에 따른 직접 및 간접 공사비 전체를 성과요소에 포함하는 것은 부적절하다.

선행연구에서 ROI 측정공식을 제시한 연구는 4건이다. 2건은 컴퍼니 기반이고, 2건은 프로젝트 기반이지만, 시공단계를 대상으로 하여 본 연구에서 대상으로 하는 내용을 제공하지 못하고 있다.

3. ROI 측정방법제안

3.1 면담조사

2015년 12월에 1주일 동안 서울, 경기 지역의 중소기업 건축사사무소를 운영하고 있는 건축사 8명과 건축사사무소와 협력하여 설계프로젝트를 수행하고 있는 대학교 건축과 교수 2명을 상대로 면담조사를 실시하였다.

BIM ROI 측정공식 제안을 중심으로 BIM 설계가 활성화되지 못한 배경, 선행연구에서 선별된 투

자요소와 성과요소에서 국내 설계단계에서 적용 가능한 요소 선별, 설계단계에서 BIM ROI를 측정할 때 기대치, 관계하고 있는 민간 건축주의 BIM 인지도 등에 대하여 조사하였다.

면담조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 건축사사무소에서 수행되고 있는 프로젝트 중 일부만이 BIM으로 설계되므로 BIM ROI 측정공식은 컴퍼니 기반보다는 프로젝트 기반의 측정공식이 필요하다.
- (2) 정량적인 투자요소는 ① 하드웨어관련 비용, ② 소프트웨어관련 비용과 ③ 교육비관련 비용이다.
- (3) 정량적인 성과요소는 ① 에너지 효율 추가적인 서비스 제공과 설계 품질향상에 따른 설계대가 상승과 ② 건축주와 협력회사 소통용이, 오류와 재작업 감소에 따른 작업시간 단축과 ③ 3D 모델링 자료 활용에 따른 CG 적산 등 외주비 절감이다.

3.2 설문조사

2016년 1월에 2주 동안 서울, 경기 지역에서 BIM 수행 경험이 있는 건축사사무소와 협력회사 임직원을 대상으로 설문조사하였다. 100명에게 설문조사를 요청하였는데, 65명에게 회신을 받았고, 자료로써 가치가 있는 것 57개를 선별하였다.

BIM 투자요소와 성과요소를 중심으로 조사하였다. 세부적으로 BIM 교육방법과 시간, BIM 실행 위하여 구입한 하드웨어, BIM 수행에 따른 시간 단축 유무, BIM 수행에 따른 설계비 증감여부, BIM 수행에 따른 외주비 증감여부 등에 대하여 조사하였다.

Table 4와 같이, 응답자의 구성은 75.4%가 건축

Table 4 Company Size and Field of the Respondents

Company size	Architectural planning	Structure planning	MEP planning	BIM	Sum
5 or less	1		5		3 (5.3%)
6-10 people	5				5 (8.8%)
11-20 people	5		1		8 (14.0%)
21-50 people					
Over 51 people	32	1	1	6	40 (70.1%)
No Answer	1				1 (1.8%)
Sum	43 (75.4%)	1 (1.8%)	2 (3.5%)	9 (15.8%)	57

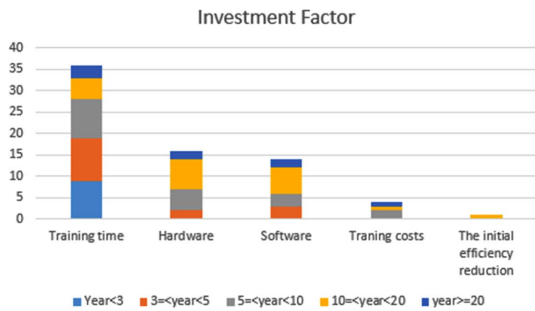


Fig. 1 Recognition of Investment Factor

설계에 종사하고, 15.8%가 BIM 설계에 종사하고, 3.5%가 기계설계에 종사하고, 1.8%가 구조설계에 종사하고 있는 것으로 나타났다. 70.1%의 응답자가 51명 이상의 대형 건축사사무소에 근무하고 있었는데, 대규모 건축사사무소에서 먼저 BIM을 도입하고 있는 것을 확인할 수 있다.

BIM 설계 경험이 있는 건축사사무소 임직원들은 ‘가장 큰 투자요소는 무엇인가’라는 질문에 대하여 56.3%가 교육관련비용(교육시간+교육비)이라고 대답하였다. 다음으로는 소프트웨어(22.5%), 하드웨어(19.7%), 초기효율저하(1.4%) 순으로 나타났다(Fig. 1).

BIM 도입으로 얻어지는 성과에 대하여 중복 선택할 수 있도록 한 질문에 대하여 응답자의 21.7%가 경쟁력강화, 21.7%가 오류감소, 16.9%가 소통용이, 13.3%가 협업용이, 8.4%가 재작업 감소, 6.6%가 비정형건축, 4.2%가 시간단축, 2.4%가 물

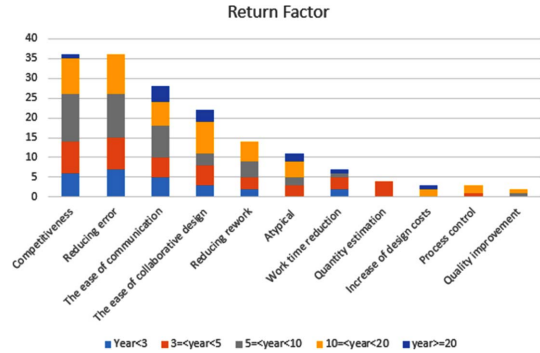


Fig. 2 Recognition of Return Factor

량산출, 1.8%가 설계대가 상승, 1.8%가 공정관리, 1.2%가 품질향상 이라고 대답하였다(Fig. 2).

여러 항목 중 경쟁력 강화는 정량적으로 산출하기 어려운 항목이다. 오류감소, 소통용이, 재작업 감소는 작업시간을 단축시키는 요소에 포함시켰다. 협업설계 용이와 물량산출은 협업설계 비용을 절감하는 요소로 판단하였다. 공정관리는 시공단계이므로 제외하였다.

3.3 측정공식

선행연구 분석과 전문가 인터뷰 결과에 따라 국내 BIM을 도입할 때 설계단계에서 사용할 수 있는 투자 요소는 ① 하드웨어 구입비 및 유지관리비, ② 소프트웨어 구입비 및 업그레이드 비용, ③ 교육비와 교육시간, ④ 새로운 기술에 대한 부담으로 선정하였다.

수익 요소는 ① 추가적인 서비스 제공과 설계 품질향상에 따른 설계대가 상승, ② 3D 및 적산 외주비 감소, ③ 발주자와의 소통용이와 오류 및

Table 5 Investment Factor and Return Factor

Investment	Quantitative Factor	Direct	Hardware & Software
		Indirect	Learning Costs
	Qualitative Factor		Burden of New technology
Return	Quantitative Factor	Direct	Increase Design Revenue Reduced Outsourcing Costs
		Indirect	Reduced Schedule
	Qualitative Factor		Owner Satisfaction Reduced Claim & Disputes Improved Competitiveness

제작업 감소에 따른 시간 단축, ④ 경쟁력 강화, ⑤ 발주자 만족, ⑥ 분쟁감소로 선정하였다. 이상의 내용을 정리하여 Table 5를 작성하였다.

계산이 불가능한 정성적인 요소들인 신기술부담감, 경쟁력강화, 발주자 만족, 분쟁감소를 제외하고 계산이 가능한 정량적인 요소들의 단위를

$$ROI = \frac{Return - Investment}{Investment}$$

$$ROI = \frac{(IDR + ROC + RSC) - (HWC + SWC + LC)}{(HWC + SWC + LC)}$$

Return = IDR + ROC + RSC
Investment = HWC + SWC + LC

$$IDR(Increase Design Revenue) = \frac{\text{설계상승 부분} \times (1 - \text{외주비율})}{\text{참여인원} \times \text{참여 개월수}}$$

$$ROC(Reduced Outsourcing Costs) = \frac{\text{외주비감소 부분}}{\text{참여인원} \times \text{참여 개월수}}$$

RSC(Reduced Schedule Costs) = 참여원 평균 급여 × 시간단축비율

$$HWC(Hardware Costs) = \frac{\text{개인장비구입 및 관리비}}{\text{내구연한}} + \frac{\text{공동장비구입 및 관리비}}{\text{내구연한} \times \text{사용인원}}$$

$$SWC(Software Costs) = \frac{\text{Software 연간입대료}}{12\text{개월}} \text{ or } \frac{\text{Software 구입비}}{\text{사용연한}}$$

$$LC(Learning Costs) = \frac{(\text{교육비} + \text{참여원 평균 급여}) \times \text{교육기간}}{\text{직원평균근속기간} \times 0.5}$$

측정공식 이해를 위한 계산 예시(예시의 모든 값은 측정공식 이해를 위한 것으로 실제 수치가 아님)
 팀이 팀장(월급 450만원), 차장(400만원) 과장(350만원), 대리(300만원), 사원(250만원)으로 5명이고, 회사의 평균 근속 개월이 4년(48개월)이다. BIM 교육기간은 2개월이고 1인 학원비는 100만원/월이다. BIM 수행을 위하여 5명이 사용하는 서버와 허브를 500만원(한계수명 3년)에 구입하였고, 개인장비로는 RAM과 비디오퀵드 100만원/인(한계수명 3년) 추가 구입하였다. BIM 소프트웨어는 1300만원/인(한계수명 5년)으로 구매하였다.
 2D 프로젝트에서는 5명이 5개월에 설계비 3억 프로젝트를 수행하였는데, 신규 BIM 프로젝트는 3억3,000만원(110%)에 수주하고 5명이 4.5개월(90%)에 업무를 수행하였다. 외주비율은 40%인데, BIM으로 수행하여 적산비용 300만원과 모형 및 투시도 비용을 200만원 절감하였다.

$$IDR(1\text{개월 } 1\text{인당 설계비 상승금액}) = \frac{3,000\text{만원} \times (1-40\%)}{5\text{인} \times 4.5\text{개월}} = 80\text{만원/인}\cdot\text{개월}$$

$$ROC(1\text{개월 } 1\text{인당 외주비 감소금액}) = \frac{300\text{만원} + 200\text{만원}}{5\text{인} \times 4.5\text{개월}} = \text{약 } 18\text{만원/인}\cdot\text{개월}$$

$$RSC(1\text{인당 단축시간 월급으로 환산}) = \frac{450\text{만원} + 400\text{만원} + 350\text{만원} + 300\text{만원} + 250\text{만원}}{5\text{인}} \times \frac{0.5\text{개월}}{5\text{개월}} = 35\text{만원/인}\cdot\text{개월}$$

$$HWC(1\text{개월 } 1\text{인당 Hardware 비용}) = \frac{100\text{만원}}{36\text{개월}} + \frac{500\text{만원}}{36\text{개월} \times 5\text{인}} = \text{약 } 6\text{만원/인}\cdot\text{개월}$$

$$SWC(1\text{개월 } 1\text{인당 Software 비용}) = \frac{1,300\text{만원}}{60\text{개월}} = \text{약 } 22\text{만원/인}\cdot\text{개월}$$

$$LC(1\text{개월 } 1\text{인당 교육비와 교육시간 환산비용}) = \frac{(100\text{만원} + 360\text{만원}) \times 2\text{개월}}{48 \times 0.5} = \text{약 } 23\text{만원/인}\cdot\text{개월}$$

Return = IDR + ROC + RSC = 80만원 + 18만원 + 35만원 = 133만원/인·개월
 Investment = HW + SW + LC = 6만원 + 22만원 + 23만원 = 약 51만원/인·개월

$$ROI = \frac{Return - Investment}{Investment} = \frac{133\text{만원} - 51\text{만원}}{51\text{만원}} = \text{약 } 163\%$$

Fig. 3 BIM ROI Formula in Design stage

(원/인·개월)로 변환하여 측정공식(BIM ROI Formula)을 만들었다. 즉 직원 1인이 1개월동안 2D로 작업할 때와 BIM으로 작업할 때에 소요(Investment)되는 비용과 생산(Return)되는 성과를 비교하여 ROI를 측정할 수 있도록 하였다. 정리된 측정공식은 Fig. 3과 같다. 이해를 돕기 위하여 가상의 측정예시를 첨부하여 설명하였다.

측정공식은 선행연구의 분석과 면담 및 설문조사를 통하여 도출 결과에 따라 국내 건축사사무소에서 간단하게 측정할 수 있도록 창작하였다.

4. 적용성

4.1 기존공식과 비교

선행연구에서 ROI 측정공식을 제시한 것은 오토데스크(2007), Qian(2012), 이강(2013), 이동민(2013) 4건이다. 이 중에서 국내의 이강과 이동민이 제시한 것은 시공단계에 적용 가능한 프로젝트 기반의 공식이다. 미국의 오토데스크와 싱가포르의 Qian이 제시한 것 모두 설계단계에 적용이 가능한 공식이나 Qian이 제시한 공식은 n년차에 현금흐름도(Cash flow)이다. 본 연구에서 제시한 측정공식은 국내 설계단계에 적용가능하고 프로젝트 기반이다. 따라서 가장 비교 적합한 것은 오토데스크 측정식이다.

투자요소에 대하여 오토데스크는 하드웨어와 소프트웨어 구입비와 BIM 교육에 따른 생산성 손실이라고 하였고 본 연구는 하드웨어와 소프트웨어 구입비와 교육비용이라고 하였다. 오토데스크가 제시한 공식과 본 논문의 제안식은 기본구상에서 대동소이하다. 교육관련 비용은 설문조사에서는 회사에서 시간과 교육비를 제공한 경우, 교육비만 제공한 경우, 업무 이외 시간에 독학을 배운 경우 등 다양하게 나타났다. 국내 현실에 맞추어 실제적인 비용으로 환산할 수 있도록 하였다.

오토데스크는 성과요소를 BIM 교육 후 직원의 생산성 향상이라고 하였으나 생산성 향상을 측정할 구체적인 방법에 대한 언급이 없다. 본 연구에서는 품질이 향상으로 설계대가가 상승한다고 가정하였고 협력설계 업무가 감소되어 협력설계비가 감소된다고 가정하였다. 또 생산성이 향상됨에 따라 프로젝트에 투입 인원이 감소하고, 작업시간이 단축된다고 가정하였다. 이것을 국내 여건에 맞추어 비용으로 수치화 하고자 하였다. 이상의 차

Table 6 Comparison with Autodesk Formula

	Autodesk	Productivity Gain
Return	Autodesk	Increase Design Revenue Reduced Outsourcing Costs Reduced Schedule
	This paper	
Investment	Autodesk	Hardware & Software Learning Costs
	This paper	Hardware & Software Learning Costs

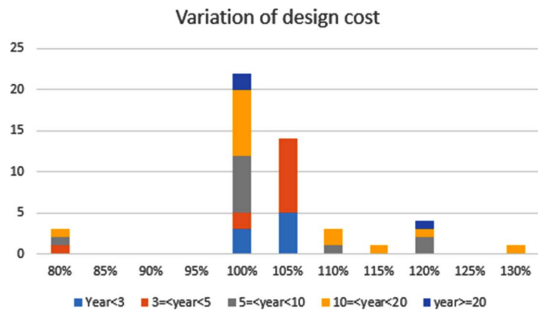


Fig. 4 Change of Design Revenue

이점을 정리하여 Table 6을 작성하였다.

두 공식의 큰 차이점은 본 논문이 제안한 공식은 프로젝트 기반이나 오토데스크가 제안한 공식은 컴퍼니 기반이다. 본 연구에서 컴퍼니 기반으로 측정공식을 구상하지 않는 것은 면담조사 결과에 따른 것이고, 2.2.2 측정범위에서 언급하였듯이 BIM 도입 이후 수행되는 설계가 모두 BIM이 될 수 없고, 현재 국내의 현실은 BIM 도입보다 건설경기와 회사의 수주경쟁력이 더 영향력을 미치고 있기 때문이다.

Fig. 3의 ROI 측정 예시에서와 같이 건축사사무소에서 팀원 5~10명이 1~2년 기간에 수행하는 프로젝트에 적용한다고 생각하고 측정공식을 구상하였다. 더 큰 프로젝트에도 적용은 가능하지만 경쟁력 강화, 발주자 만족, 분쟁 감소 등 잠재적 요인이 더 중요한 변수들 작용할 수도 있다.

4.2 면담 및 설문조사 결과

전문가 면담조사 결과, BIM 설계가 활성화되지 못하는 이유는 BIM 설계용역 부족, 낮은 BIM 설계대가, BIM 설계를 수행할 협력회사 부족, 발주처의 BIM 인식 부족, 경력 직원의 BIM 교육의지 부족 등이다. 건축설계 전문가들은 제안된 측정공

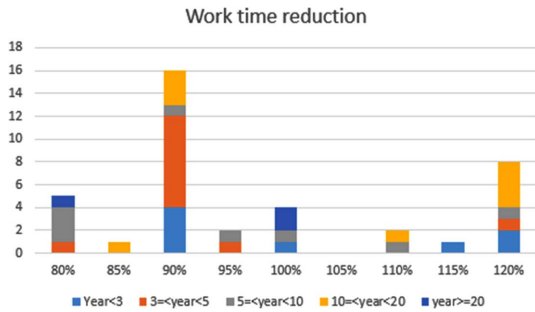


Fig. 5 Change of Working Time

식으로 측정하여도 ROI 값이 높지 않을 것이라고 기대하고 있었고 BIM ROI 측정을 부정적인 시각으로 보고 있었다. 정부가 일정규모 이상의 공사를 BIM 설계로 발주하고 있지만, 대규모 설계시장에 접근할 수 없는 중소규모 건축사무소는 당분간 BIM 도입을 고려할 필요가 없다고 인식하고 있었다.

건축사무소의 BIM 설계 경험자 설문조사 결과, BIM으로 설계한 용역에 대하여 기존 2D로 설계한 용역보다 설계대가의 증감여부를 묻는 질문에서는 48%의 응답자가 상승하였다고 하였고, 46%의 응답자는 기존의 2D 설계 경우와 동일하다고 하였다. 설계비가 오히려 감소하였다는 응답자는 전체의 6%이다. BIM 설계대가는 2D설계대와 비교하여 대체적으로 다소 상승하였다고 할 수 있으나 기대에는 미치고 못하고 있는 것으로 조사되었다

Fig. 5를 살펴보면, BIM 도입에 따른 작업시간 단축에 대한 문항에서는 응답자의 61.5%가 시간이 감소되었다고 응답하였다. 그러나 이전과 동일하다고 한 응답자가 10.2%로 나타났다. 선행연구에서는 작업시간 단축이 주요 성과로 파악되었지만, 오히려 증가한다고 인식하는 사람도 28.2%나 되었다. 도입초기에는 생산성이 오히려 감소한다는 오토데스크의 연구와 같이, BIM 설계 프로세스가 정착되지 않아서 작업시간은 크게 줄어들지 않은 것으로 받아들이고 있었다.

BIM 적용환경에 대한 조건이 유사한 경우라도 설계 팀의 유형, 작업자(팀)의 경험, 작업시간 그리고 발주처와의 관계 등에 의해 다양한 결과물과 BIM 적용방식과 활용기법이 나타나고 있다^[16]. 이것은 BIM 경력이 많거나 설계 경력이 많을수록 BIM ROI를 높게 인식한다고 알려졌다. BIM을 잘

활용할수록 BIM ROI가 높게 측정되는 것은 당연한 일이다. 그러나 이번 설문조사에는 BIM의 경력과 ROI 인식과는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

4.3 BIM 개선과제

BIM 도입을 캐드 도입과 비교하여 생각해 볼 수 있다. 1990년대 우리나라 도입된 캐드는 5년이라는 단기간에 정착이 되었고 아직까지도 절대적으로 사용되고 있다. 그러나 2010년대 BIM 도입은 캐드 도입과는 양상이 크게 다르다. BIM 도입과 비교하면 캐드 도입은 단순한 도구변화일 뿐이다. 물론 무한복제가 가능하고 자료 보관이 용이하고 생산성과 효율성이 상당히 개선되었지만, 캐드 도입은 제도판에서 연필로 그리던 2차원 도면을 모니터 안에서 마우스로 그리는 것이라 할 수 있다.

이에 비하여 BIM 도입은 설계정보의 체계 자체가 바뀌는 것이다. 건설산업에서 BIM 도입과 활용은 다양한 건설 프로젝트 참여주체들의 업무와 절차의 새로운 재구성을 요구하는 구조적 또는 체계적 혁신이다^[17]. 3차원 설계라는 것은 지금까지 표현하지 않았던 정보를 다루게 되고, 설계 시스템과 프로세스가 정보체계 중심으로 변경되는데, 이것에 대한 거부반응 당연한 것이고 심리적인 비용이 발생한다.

BIM의 성과가 크다는 것과 국내 건설시장에 도입되고 활성화되어야 한다는 것에는 발주자, 건축사무소, 건설회사, 정부의 의견이 일치하고 있다. 그러나 ‘BIM 도입에 따른 투자를 누가 해야 하는가’에 대한 입장은 다르다. BIM의 성과는 설계자, 건설회사, 발주자에게 돌아가지만, BIM을 수행하기 위한 비용에 대한 투자는 설계자나 시공자가 부담하고 있다^[6].

미국의 경우, 설계(Design) 비용은 31% 증가되었고 시공비용은 5% 절감되었다^[8]. 즉, BIM 도입으로 건축사무소는 투자해야 하는 비용이 증가하였고, 건설회사의 시공비용은 감소하여 건설회사의 수익이 되고 있다. 설계시공 일괄발주(Design-Build)에서는 이러한 문제가 해결될 수 있다. 우리나라 건설발주 방식이 설계시공 분할발주(Design-bid-Build) 방식이 주를 이루고 있는 것이 BIM 도입과 정착이 늦어지는 이유 중에 하나라고 할 수 있다.

또한 현재는 BIM 초기단계라서 발주자를 비롯

한 사람들의 인식, 프로세스 등의 변화에 따른 비용이 발생하는데 우리나라는 이 비용의 대부분은 설계자가 감당해야 하는 구조이나 현재의 열악한 국내 건축사사무소는 감당할 수 없는 실정이다.

BIM의 주요 기능 및 효과는 ① 3D BIM 전환설계, ② 시각화(Visualization), ③ 객체기반, 파라메트릭(Parameteric)을 통한 연계, ④ 간섭체크를 통한 설계 정확성(Clash Detection), ⑤ 2D도면 생성, ⑥ 물량산출 및 견적(Estimating), ⑦ 공정정보(4D Simulation), ⑧ 가설 및 시공관리, ⑨ 각종 분석과 연계 등이다¹⁸⁾. 설계단계에서도 BIM 도입의 성과가 나타나지만, 많은 부분들이 시공단계에 성과가 나타난다.

설계단계에서 BIM을 도입하려면 건축사사무소가 BIM 설계가 가능하도록 하드웨어와 소프트웨어를 구입하고 직원을 교육시켜야 한다. 하나의 프로젝트가 완료되고 추가적인 BIM 설계용역이 없으면 큰 손실을 보게 된다. 이러한 점을 고려한다면 대부분의 건축사사무소에서 BIM 설계팀을 운영하지 않고 아웃소싱(Outsourcing) 하는 것이 당연한 선택이다. 그런데 아웃소싱 하게 되면, 부분적이거나 설계단계에서 기대했던 BIM 성과가 나타날 수 없다.

설계단계에서는 2D방식으로 설계하고 시공자가 선정된 이후 BIM으로 전환설계를 하더라도 시공 단계에는 예상했던 ② 시각화, ④ 간섭체크를 통한 설계 정확성(Clash Detection), ⑥ 물량산출 및 견적, ⑦ 공정정보, ⑧ 가설 및 시공관리 등에서 탁월한 효과를 얻고 있다.

많은 국내외 연구에서도 알 수 있듯이 설계오류와 재시공을 줄여서 직접공사비와 공사 기간을 단축하여 투자대비수익이 투자비를 크게 상회하는 것을 알 수 있다. 특히, GMP(Guaranteed maximum price)로 공사계약을 하는 경우 BIM ROI는 더욱 높게 나타난다.

면담 및 설문조사 결과와 앞서 토의한 내용을 정리하면, 중소기업 건축사사무소에 BIM이 활성화되지 않은 원인은 다음과 같이 생각해 볼 수 있다.

- ① 건축사사무소에서는 BIM을 도입하기 위하여서는 상당한 초기투자가 선행되어야 하나 BIM 설계대가의 기준이 충분히 형성되어 있지 않다.
- ② 국내 건설여건상 지속적인 BIM 설계용역 수주를 기대하기 어렵고, 중소기업의 건축물을

지으려는 민간 발주자는 BIM 설계에 관심이 없다.

- ③ 구조, 기계설비, 전기설비 등의 분야에서 BIM으로 협업작업을 할 협력회사가 부족하고, BIM 설계 성과를 활용하여 적산, CG(Computer Graphic) 업무를 수행할 회사가 거의 없다.

- ④ 국내 어려운 건설경기로 인하여 초기자본을 투자 할 여력이 있는 건축사사무소가 적다.

BIM이 설계단계에서 활성화되지 않고 시공단계에서 먼저 활성화되는 원인은 다음과 같이 생각해 볼 수 있다.

- ① 건축사사무소와 건설회사에서의 BIM의 활용과 성과가 크게 다르다.
- ② 건설회사에게는 직접적인 수익이 나타난다. 특히, GMP로 계약하는 외국의 경우 수익이 확실하게 나타난다.

5. 결 론

건설분야에서 BIM이 도입되고 활용되는 것은 세계적인 추세이고, 정부, 설계자, 시공자 모두가 BIM 도입은 미래 건축기술이고 건설산업의 생산성을 높이기 위한 방안이라고 인식하고 있지만, 국내 건설업계에는 BIM 사용이 정착되지 않고 도입 초기단계에 머무르고 있다.

정부의 BIM 활성화 정책에 따라 BIM ROI 측정에 대한 필요성이 대두되었으나 시공단계에서만 BIM 성과에 대한 평가가 시도되고 있는 반면 설계단계에서 BIM ROI 측정에 대한 사례나 연구가 거의 없다.

먼저 국내외의 12개의 BIM ROI 선행연구를 조사 분석과 4개의 측정방정식 분석과 BIM 경험자 설문조사와 전문가 인터뷰를 통하여 국내 여건에 적합하고, 프로젝트 기반으로 설계단계에서 적용 가능한 측정공식을 제안한다.

설문조사 결과에 따르면 수익과 효율성은 예상했던 것과 다르게 크지 않는 것으로 인식하고 있다. 즉, 설계단계의 국내여건에서는 BIM의 도입의 실질적인 효과가 나타나지 않고 있고, 이러한 이유 때문에 BIM이 활성화되지 못하고 있다.

국내의 건축사사무소에서 BIM 도입의 투자요소로써는 직원 교육비용, 하드웨어 구입 및 유지관리비용, 소프트웨어 구입 및 업그레이드 비용이다. 수익 요소로써는 설계 생산성 향상에 따른 용

역기간 단축, BIM의 추가적인 서비스제공에 따른 설계대가 증가, 부가적인 BIM 데이터 활용에 따른 협력설계 외주비용 감소 등이다.

설문조사 결과에 따르면, BIM 설계프로세스가 정착되지 않아 설계용역 기간도 크게 단축되지 않는 것으로 인식하고 있고, BIM으로 설계 하더라도 상승한다고 기대했던 설계비용을 받지 못하고 있는 것으로 인식하고 있다. 또 협력설계회사에서 BIM 데이터가 활용하지 않아 협력설계 외주비가 감소되지 않는 것으로 나타났다.

본문에서 제시된 BIM ROI 측정식은 선행연구에서와 같이 정성적이고 잠재적인 수익에 대한 평가를 반영하지 못하고 있다. 향후 BIM의 정성적인 성과 평가에 대한 연구와 운영 및 유지관리단계에서의 성과 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발사업의 연구비지원(15-AUDP-C067817-03)에 의해 수행되었습니다.

References

1. <http://www.cnews.co.kr/utml/search/news.jsp>
2. Jang, Eun-jun, 2015, A Study of the Small and Middle Architectural Design Firms BIM Introduction and Training Case, *Korean Institute of BIM*, 5(1), pp.23-24.
3. Kim, Jung-Bae, 2015, Significance Analysis if Leveraging the Value of BIM in Construction, *Magazine of KIBIM*, Winter 2015, pp.11-17.
4. Autodesk, 2007, BIM's Return on Investment, Autodesk.
5. Giel, Brittany Kathleen, 2009, *Return on Investment Analysis of Building Information Modeling in Construction*. University of Florida.
6. Burcin Becerik-Gerber and Samara Rice, 2010, The Perceived Value of Building Information Modeling in the U.S. Building Industry, *Journal of Information Technology in Construction*, 15, pp.185-201.
7. Salman Azhar, 2011, Building Information Modeling (BIM): Trend, Benefits, Risks, and Chal-

- lenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), pp.241-252.
8. Kristen Barlish and Kenneth Sullivan, 2012, How to Measure the Benefits of BIM - A Case Study Approach, *Automation in Construction*, 24, pp.149-159.
9. Qian, Ang Yu, 2012, "Benefits and ROI of BIM for Multi-disciplinary Project Management" National University of Singapore, Mar.
10. Salih Sen. "The Impact of BIM/VDC on ROI - Developing a Financial Model for Saving and ROI Calculation of Construction Projects." 2012.
11. Ghang Lee, Kwangho Park and Jongsung Won, 2012, D3 City Project - Economic Impact of BIM-assisted Design Validation, *Automation in Construction*, 22, pp.577-586.
12. Lee, D., Ahn, J., Park, K. and Chin, S., 2013, A Study on the Process and Elements of Expected ROI Analysis for Estimating Value by Adopting BIM, *Journal of Korea Institute of BIM*, pp.81-82.
13. Construction, MCGRAW-HILL, "The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets." Nova York: Smart Market Report, 2014.
14. Erin Rae Hoffer, 2014, Measuring the Value of BIM: Achieving Strategic ROI, Autodesk.
15. Kim, Seong-Ah, Park, Gweon, Song, Byeong-Seob, Choi Chel-Ho, and Chin, Snag-Yoon, 2016, A Study on Setting Up Work Conditions for Improving Productivity of BIM-based Cost Estimation, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, 17(1), pp.56-65.
16. Kwon, Young-Suk, Chae, Kab-Su, Choi, Chang-Soon, and Lee, Sang-Hwa, 2009, A Study of Considering Elements using BIM Tool for Architectural Design Firm, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, pp.18-25.
17. Choi, Myung-seok, 2009, A Preliminary Study on the Strategic Approach for Growth in the Adoption of BIM Korea, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, pp.598-604.
18. Park, Chan-Sik, and Park, Hee-Teak, 2010, Improving Constructability Analysis Tasks by Applying BIM Technology, *Korea Journal of Construction Engineering and Management*, 11(2), pp.137-146.



손 준 익

1992년 2월 홍익대학교 건축학과
졸업
2004년 2월 서울과학기술대학교
공학 석사
2015년~현재 서울과학기술대학교
건축공학 박사과정
관심분야: 건설관리(CM), BIM,
건설분쟁



옥 종 호

1984년 2월 서울시립대학교 건축공
학과, 공학사
1993년 7월 Univ. of Nebraska-
Lincoln, 공학석사
1998년 5월 University of Colorado-
Boulder, 공학박사
2004년 2월~현재 서울과학기술대학
교 건축학부 교수
관심분야: 건설관리(CM), BIM,
Façade Engineering