4D CAD 시스템의 실무적 활용성 평가를 위한 BSC기반의 예비 평가 모델

김현승* · 문현석** · 강인석***

Kim, HyeonSeung*, Moon, HyounSeok**, Kang, LeenSeok***

Preliminary Assessment Model based on BSC for Evaluating Practical Utilization of 4D CAD System

ABSTRACT

Recently, BIM(Building Information Modeling) is on the rise as a customized solution for construction environment, but construction companies rarely introduce and apply BIM in the construction site. Due to such issues, the fact that empirical data for evaluating the quantitative effect of BIM application is insufficient might be an another main reason. In the end, construction companies cannot assure investment effect of BIM and therefore don't make an investment actively. To activate BIM application, the evaluation system that quantitatively assess usability of BIM needs to be developed. This study aims to suggest a methodology that evaluates the usability quantitatively according to introduction and operation of BIM by construction companies. Accordingly, this study analyzes applicability of 4D CAD by developing an evaluation index and its model with BSC(Balanced Score Card) for 4D CAD, which have high practical use among BIM techniques, and verifies the usability as the entire evaluation index of BIM. Therefore, it is expected that the developed assessment model will be utilized as the critical decision-making information in order to introduce related techniques by identifying the usability and operational issues of 4D CAD.

Key words : Building information Modeling(BIM), 4D CAD, Balanced score card(BSC), KPI

초 록

건설 환경에 맞춤형 대응방안으로 최근 BIM(Building Information Modeling)이 대두되고 있으나, 대다수의 건설사에서 실제 현장에 BIM을 도입하여 운용하는 사례는 저조한 실정이다. 이러한 원인으로는 다양한 건설 환경에서 BIM 적용에 의한 정량적인 효과가 파악될 수 있는 실증 데이터가 부족한 점도 주요 부분이 되고 있다. 이러한 요인은 결국 BIM 투자 효과에 대한 확신을 갖지 못하게 되고, 회사의 적극적 투자도 유도하지 못하게 된다. 건설사로 하여금 BIM 적용을 유도하기 위해서는 BIM의 활용성을 정량적으로 평가할 수 있는 평가체계가 구축될 필요가 있다. 본 연구에서는 건설사들의 BIM 도입과 운용에 따른 활용정도를 정량적인 수치로 평가할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 건설분야 BIM 기술 중 실무 활용성이 높은 4D CAD를 대상으로 BSC(Balanced Score Card)에 의한 평가지표와 평가 모형을 구축하여 적용성을 분석하며, 향후 BIM 기능 전체의 평가지표로 활용성을 검증하고 있다. 이를 통해 건설업체들은 4D CAD 기술의 활용 정도와 운영상 취약점을 파악함으로써 기술 도입을 위한 의사결정의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

검색어 : BIM, 4D CAD, 균형성과평가제도, 핵심성과지표

* 정희원 · 경상대학교 토목공학과 박사과정 (wjdcshs2003@gmail.com)

** 정희원 · 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 ICT융합연구실 수석연구원 공학박사 (hsmoon@kict.re.kr)

*** 정희원 · 교신저자 · 경상대학교 토목공학과 교수 공학연구원 (Corresponding Author · Gyeongsang National University · lskang@gnu.kr)

Received August 7, 2012/ revised November 7, 2012/ accepted June 5, 2013

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설프로젝트는 기획부터 유지관리단계까지 연속적인 라이프사이클 단계로 구성되고, 각 단계별 다양한 참여주체가 존재한다. 따라서 건설프로젝트가 점점 대형화 및 복잡화 될수록 참여주체간의 협업과 이들 간에 발생하는 방대한 정보의 효율적인 관리 방안에 관심이 높아지기 마련이다. 이러한 건설 환경에 맞춤형 대응방안으로 최근 BIM(Building Information Modeling)이 대두되고 있다.

BIM은 건설 프로세스 단계별 업무를 수행하면서 발생하는 정보, 조직, 업무 등의 데이터를 3D 기반 객체정보를 중심으로 통합관리가 가능하기 때문에 정보전달의 효율성을 향상시킬 수 있다. 특히 BIM은 조달청에서 발표한바와 같이 2012년부터 500억 이상의 공공 터키공사에 대해서 BIM 적용이 의무화되는 등의 정책적인 반영을 통해 국내의 BIM기술 적용이 확대되는 추세이며, 이에 따라 효율적인 BIM의 도입과 운용은 건설사들의 중요한 관심분야가 되고 있다. 그러나 대다수의 건설사들은 BIM 도입의 필요성과 중요성을 인지하면서도 이를 실제 현장에 도입하여 운용한 사례는

저조한 실정이다. 이는 아직까지 BIM 도입과 운용에 대한 표준 가이드라인, 다양한 건설 환경에 반영된 BIM의 정량적인 효과 등의 실증 데이터가 부족함으로서, 건설사들이 BIM 투자 효과에 대한 확신을 가지지 못하기 때문이다.

따라서 건설사가 BIM 도입과 운용에 있어서 BIM 기술을 얼마나 활용할 수 있는지와 이를 효율적으로 활용하기 위해서는 무엇을 준비해야하는지를 판단할 수 있는 기준이 제시될 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 건설사들이 직접적으로 BIM 도입과 운용에 따른 활용정도를 정량적인 수치로 평가할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 BSC(Balanced Score Card) 성과분석 방법론을 활용하여 평가지표와 평가모형을 구축한다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구는 BIM 도입과 운용에 따른 활용정도를 정량적인 수치로 평가하여 BIM 도입에 대한 의사결정에 도움을 주고자하는 연구이다. 이를 위하여 토목분야 BIM 기술 중 실무 활용성이 높은 4D CAD를 연구 범위로 한정하고, 이를 BSC(Balanced Score Card) 성과분석 방법론을 활용하여 평가 지표와 평가 모형을 개발한다.

Table 1. Research Review in Korea and Abroad

Type	Author	Description
Work in construction project	Kim(2005)	Development of indexes for measuring performance of main work in construction management and suggestion of details to check them
	Song(2006)	Development of objective indexes for measuring performance in quality management and suggestion of quality performance process by PDCA cycle
	Oh(2006)	Suggestion of practical CSF and KPI by considering characteristics of domestic construction industry
	Son(2007)	Development of critical success factors in design phase on plant projects
	Mohamed(2003)	Suggestion of BSC approach to benchmarking organizational safety culture in Construction projects
	Gongbo Lin(2007)	Suggestion of critical review for measuring the performance of value engineering studies in Construction.
Performance measurement of BIM and construction IT	Leem(2006)	Development of a KPI-based IT evaluation methodology and its application
	Lee(2009)	Development of the BIM software selection factors by analyzing main function and limitation of BIM
	Song(2011)	Suggestion of critical factors and weak points by investigating the current status and satisfaction degree of based BIM construction projects
	Lim(2011)	Suggestion of valuation basis of successful cases by developing success factors and its weight in construction IT convergence
	Chung(2012)	Analysis of core ability of BIM manager in general contractor for systematic BIM operation
	Dawood(2009)	Suggestion of key performance indicators for measuring 4D CAD system in construction projects

연구 수행 방법은 다음과 같다.

첫째, 문헌고찰을 통하여 건설·IT 분야의 성과관리 현황과 성과 지표 선정에 관한 사례를 수집한다.

둘째, 건설 BSC의 기초자료 및 4D CAD 기능을 분석하여 4D CAD 활용성 측정을 위한 지표를 개발하고, AHP 분석 기법을 통해 성과지표들 간의 가중치를 산정한다.

셋째, 4D CAD 활용도를 정량적으로 분석할 수 있는 평가 모형을 제안하고, 이를 시나리오 작성에 의한 사례에 적용한다.

1.3 국내외 연구동향

국내·외 건설분야의 성과관리에 관한 연구들은 Table 1과 같이 건설프로젝트 성과관리와 BIM 및 건설 IT관련 성과관리로 구분할 수 있다.

건설프로젝트의 성과관리 연구는 주로 품질, 안전, 조직 등의 다양한 건설 업무들의 효율적인 운영을 위한 성과지표 및 평가 프레임워크를 개발하는 연구들로 수행되고 있다. 그리고 BIM 및 건설 IT관련 성과관리는 BIM 및 IT 기술들의 개념적인 운영 방안과 보완사항 등을 제시하거나, 포괄적인 BIM 기술을 대상으로 활용도 및 만족도를 평가하는 성과지표 및 평가 프레임워크 개발 연구들로 수행되고 있다. 그러나 이와 같이 건설분야의 성과관리 연구들은 대부분 주요 업무나, BIM 및 IT 기술의 도입에 대한 전반적인 성과를 분석하고 있을 뿐 4D CAD와 같이 세부적인 기술에 대한 투자효과와 운영상 취약점을 파악할 수 있는 성과관리 는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 BIM의 세부기술인 4D CAD의 도입과 운용에 따른 활용정도를 정량적인 수치로 평가할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 4D CAD 시스템의 성과지표 개발

2.1 성과지표 개발을 위한 BSC 개요

BIM 적용에 따른 프로젝트의 효과는 기존의 재무적 지표뿐만 아니라 품질향상, 작업환경 개선 등의 정량화가 힘든 무형적 효과를 수반하고 있기 때문에 유·무형적 효과가 모두 고려되어야 한다(송미림, 2011). 따라서 4D CAD 도입과 운용을 위한 활용성 평가도 유·무형적 효과를 포함해야하며, 이를 위해 BSC를 적용한다.

BSC는 기업의 성과를 단순한 재무 지표뿐만 아니라 고객, 내부 프로세스, 학습 및 교육의 4가지 관점으로 구분하여, 유·무형적인 효과들을 균형적으로 관리할 수 있기 때문에 4D CAD의 성과를 평가하기 위한 적절한 기법이 될 수 있다.

BSC기반으로 4D CAD 시스템의 활용성 평가를 위한 성과지표의 개발 절차는 Fig.1과 같다.

먼저, 자료 수집을 통해 4D CAD 시스템의 활용 기능과 성과지표 항목을 분석하고, 1차적으로 중점목표, 관점별 성공핵심요인 및 핵심성과지표를 작성한다. 전문가의 의견 수렴을 통해 협의된 사항으로 2차 평가항목을 구성하고 이를 실무 경력자 10년 이상인 시공자, 설계자, 감리자, 발주자들의 설문을 통해 적합성을 검증함으로써 최종적인 성과지표를 도출한다.

그리고 도출된 성과지표들의 4D CAD 도입과 운용에 미치는 영향정도를 분석하기 위해 설문지를 배포하여 건설 실무자들로부터 성과지표들의 가중치를 산정한다.

2.2 성과지표 개발을 위한 기초 자료수집

4D CAD는 3차원 입체 도면과 시간정보를 갖는 공정표와의 연계를 통해 공사 경과 시간에 따른 시설물의 완성상태를 VR(Virtual Reality) 기술로 나타낼 수 있다.

초기 4D CAD는 시공 프로젝트 계획의 이해도를 지원하기

Fig. 1. Process of Developing Indexes

Table 2. 4D CAD Functions by Phase

Phase	Function
Planning phase	Alternative review simulation, summary schedule simulation, arrangement/landscape planning simulation, site plane simulation
Basic design phase	Shape information 3D model, visual review of underground utilities, arrangement/landscape planning simulation, site plane simulation
Design phase	Detailed design 3D modeling, visual review of the cross section information, constructability analysis
Construction phase	4D schedule simulation, progress management simulation, visual analysis of schedule management, constructability analysis simulation, risk management, cost and resources management, wide area and long-distance management, VR functions etc.

위한 시각화도구 위주로 활용되었으나 최근에는 비용, 자원, 리스크 등의 다양한 분석 기능으로 확장되고 있다(강인석 2012).

Table 2는 상용 4D CAD 시스템과 기존 문헌분석을 통해 건설 프로젝트 단계별로 적용 가능한 4D CAD 기능들을 나타내고 있다. 분석된 기능들은 상용 기능뿐만 아니라 다양한 기술이 접목된 부가기능들까지 포함하고 있으며, 이를 기획, 기본/실시설계 및 시공단계로 구분하여 제시하였다(강인석 2012).

2.3 BSC기반 성과지표 선정

기존 참고문헌 및 성과지표 개발 사례 검토를 통한 기초자료를 활용하여 Fig. 2와 같이 4D CAD 도입 및 운용의 성과지표 개발을 위한 BSC 전략맵을 구성하였다. 전략맵은 전략 목표 달성을 위해 필요한 활동들의 인과관계를 나타낸 것으로서 4가지 관점과 성공핵심요인들의 상호관계를 나타낸다.

4D CAD 도입 및 운용 평가를 위한 전략맵은 고객만족도, 프로세스, 기술지원 교육 및 정책, 투자비용 확보로 구성하고 투자비용 확보 관점이 맵의 가장 하부에 배치된다. 이는 인과관계가 아래에서 위로 전달되어 최종 목표인 4D CAD 활용성을 극대화할 수 있다.

즉, 연구비용 및 교육지원의 자본 확보는 효율적인 기술력 확보와 인력양성에 기여하고 기술력 확보 및 인력양성은 건설공사의 기획, 설계, 시공단계에서의 4D CAD 운영 시 활용도를 증대시키는 역할을 수행하게 된다. 따라서 이와 같은 인과관계들은 내부, 외부 고객의 만족도를 높여 목표 달성에 기여하게 된다.

BSC기반 성과지표는 전략맵을 기초하여 예비평가항목들을 구성하고, 이를 실무자들의 설문과 인터뷰를 통해 최종적으로 선정된다. 예비평가항목은 건설단계별 주요 활용기능들과 업무 만족도를 평가할 수 있도록 문헌고찰을 통해 도출하였다. 특히 4D CAD 기능의 활용범위가 확대됨에 따라 기업차원에서의 지원 및 운영 환경이

반영될 필요성이 있으므로, 이를 위한 평가항목들도 포함하였다.

실무자들의 설문과 인터뷰를 통해 선정된 관점별 성공핵심요인과 핵심성과지표는 Table 3과 같이 도출 되었다.

고객만족도 관점은 4D CAD의 활용도의 만족도를 평가하는 지표로써 실질적으로 4D CAD 시스템을 사용하는 실무자를 내부 고객으로, 투자자인 발주자는 외부고객으로 구분하였다. 이는 일반적인 고객만족을 통한 고객 유지 및 유치뿐만 아니라 실무자의 업무 만족도 분석을 통해서 업무효율성을 극대화하기 위함이다. 외부고객 만족도 향상을 위한 핵심성과지표는 기획부터 시공단계 까지 수행되는 실무회의에서 4D CAD 활용 시 만족도를 평가할 수 있도록 구성하였고, 내부고객 만족도 향상에서는 기획부터 시공 단계까지 각각의 업무에서 4D CAD 활용 시 실무자의 업무 만족도를 평가할 수 있도록 구성하였다.

투자비용확보 관점은 4D CAD 체계를 효율적으로 운영·관리할 수 있도록 재정적으로 얼마나 지원이 가능한가를 평가하는 지표로 개발하였다. 특히 시스템 운영비뿐만 아니라 연구개발비, 교육 훈련비를 고려함으로써 지속적인 신기술 및 기능 개발을 통한 4D CAD 시스템의 발전을 추구하였다. 이를 위한 핵심성과지표는 연구개발비 투자 비중, 교육훈련 투자 비중, 장비구축을 위한 투자 비중으로 구성하였다.

프로세스활용 관점은 다양한 4D CAD 기능들을 해당 프로젝트에 얼마나 효율적으로 적용하여 사용할 수 있는가를 평가하는 지표이다. 개발된 성과지표는 국내·외 개발 시스템 및 문헌 분석을 통해 도출한 4D CAD 기능 위주로 구성하였으며, 기획, 설계, 시공 단계별 활용성을 평가할 수 있도록 하였다. 기획단계에서는 경관 및 구조물 배치, 주변 환경, 교통 처리 검토와 같이 개략적인 설계 검토를 할 수 있도록 구성하였으며, 설계단계에서는 단면요류, 설계 적합성 검토 및 공간계획 등의 상세설계를 위한 활용성 평가로 구성하였다. 그리고 시공단계는 공정 및 진도관리와 시공성 분석, 비용/자원관리, 안전교육, 설계변경 등의 현장관리에 대한 활용성을 평가하도록 구성하였다.

기술지원교육 및 정책 관점은 4D CAD 체계를 효율적으로 사용하기 위한 기술력과 이를 수행할 수 있는 인력을 얼마나 보유하고 있으며, 이를 위한 노력을 얼마나 하는가를 평가하기 위한 지표로 개발하였다. 즉 기술지원교육은 4D CAD 체계의 효율적인 운영·관리를 위한 교육체계 및 기술력 측정을 위한 핵심성과지표로써 관련 연구프로젝트 수행 실적 및 3D 모델링 수준, 정보화 도구 활용성 및 시스템 구축 수준으로 구성하였으며, 인력양성을 위한 핵심성과지표는 프로그램 교육수준 및 훈련 빈도, 정보화 교육을 수료한 신규인력 채용 비중으로 구성하였다. 그리고 정책반영을 위한 지표는 정책 변경에 따른 즉각적인 반응 수준으로 구성하였다.

Fig. 2. Strategy Map for Developing Indexes

Table 3. Indexes for Availability Assessment of Introduction 4D CAD

perspective	CSF		KPI
C. Customer satisfaction	C.a	External customer satisfaction	C.a.1 What is the satisfaction degree of working-level meeting with simulation in planning phase?
			C.a.2 What is the satisfaction degree of working-level meeting with simulation in design phase?
			C.a.3 What is the satisfaction degree of working-level meeting with simulation in construction phase?
			C.a.4 What is the satisfaction degree of simulation for corporate public relations and advertisement?
	C.b	Internal customer satisfaction	C.b.1 What is the satisfaction degree of business process with 4D CAD in planning phase?
			C.b.2 What is the satisfaction degree of business process with 4D CAD in design phase?
			C.b.3 What is the satisfaction degree of business process with 4D CAD in construction phase?
			C.b.4 What is the satisfaction degree of simulation for corporate public relations and advertisement?
E. Securement of investment cost	E.a	Research support	E.a.1 How much is the investment proportion of research and development cost for 4D CAD technical development?
	E.b	Education support	E.b.1 How much is the investment proportion of education and training cost for manpower training of 4D CAD systems?
	E.c	Equipment support	E.c.1 How much is the investment proportion of purchasing equipment (hardware, software etc.) for developing 4D CAD systems?
P. Process	P.a	Efficiency improvement for planning phase	P.a.1 What is the availability degree of scene simulation?
			P.a.2 What is the availability degree of planning simulation for building arrangement?
			P.a.3 What is the availability degree of influence review simulation for the surrounding environment?
			P.a.4 What is the availability degree of planning simulation for the traffic management?
	P.b	Efficiency improvement for design phase	P.b.1 What is the availability degree of review simulation for the cross section errors?
			P.b.2 What is the availability degree of constructability review simulation?
			P.b.3 What is the availability degree of review simulation for design adequacy?
			P.b.4 What is the availability degree of review simulation for space planning?
	P.c	Efficiency improvement for construction phase	P.c.1 What is the availability degree of schedule management simulation?
			P.c.2 What is the availability degree of progress management simulation?
			P.c.3 What is the availability degree of constructability analysis simulation?
			P.c.4 What is the availability degree of cost and resources management simulation?
			P.c.5 What is the availability degree of safety education simulation for safety accident prevention?
			P.c.6 What is the availability degree of simulation for the design changes?
G. Education process and policy	G.a	Technology development	G.a.1 What is the performance degree of information and technology projects related 3D and 4D?
			G.a.2 What is the availability degree of 3D modeling?
			G.a.3 What is the availability degree of information technology tools for schedule management?
			G.a.4 What is the build-up degree of information system (hardware, software)?
	G.b	Manpower training	G.b.1 What is the education level of program related information technology for employees?
			G.b.2 What is the frequency level of education and training implementation for employees?
			G.b.3 How much is the employment proportion of new manpower trained information technology education?
	G.c	Policy reflection	G.c.1 What is the reflection level by changing policy?

3. 설문조사를 통한 4D CAD 도입 활용성 평가 성과지표의 가중치 선정

앞서 도출된 성과지표들은 4가지 관전별로 상호 독립적으로 선정되었다. 따라서 4D CAD 도입 및 운용의 활용성을 정량적이고

통합적으로 평가하기 위해서는 비중이 서로 다른 성과지표들의 중요도를 결정하여야 한다.

3.1 설문조사 개요

본 연구에서는 성과지표들의 가중치 산정을 위해 토목공사 현업

에 종사하는 건설 전문가를 대상으로 설문을 실시하였다. 설문기간은 2010년 8월 9일부터 9월 10일까지 약 30일간이며, 설문 방법은 서면 또는 e-mail 발송 및 방문에 의한 면담을 통하여 설문을 실시하였다. 설문 회수율은 총 100부에 대해 60부만 회수되어 총 60%의 설문 응답률을 보였다. 설문형식은 AHP 방법론을 활용하였으며, 각각 성과지표들 간의 쌍대비교를 통해 가중치를 분석하도록 구성하였다.

설문대상의 직무 현황은 시공사(60%), 감리사(22%), 설계사(18%)로 구성되고, 설문대상의 45% 이상이 10년 이상의 실무경력을 보유한 것으로 나타났다.

3.2 설문조사 분석결과

성과지표들의 가중치 분석은 AHP 분석 소프트웨어 패키지인 “ExpertChoice 2000”을 사용하였다. 그리고 자료의 신뢰도를 위해서 AHP의 일관성 비율이 10% 이상인 가중치만을 활용하여 산정하고 업무별로 시공사, 감리사, 설계사로 구분하였다.

3.2.1 관점별 가중치 분석

각 관점별 가중치 분석결과에서는 Fig. 3과 같이 평균적으로 고객만족도, 투자비용 확보, 프로세스 활용, 기술 지원교육 및 정책 순으로 가중치가 높은 것으로 나타났다. 특히, 고객만족도관점에서는 감리업무가 가장 높은 가중치를 나타내는데 이는 감리사의 주요 업무가 발주자 및 고객들의 감독대행에 따른 업무적 특징에 기인한 것으로 판단된다. 또한 투자비용확보 관점에서는 시공업무가 가장 높은 가중치를 나타낸 것은 실제 업무를 수행함에 있어 가장 많은 비용이 요구되므로 비용확보에 중점을 둔 것으로 판단된다.

3.2.2 고객만족도 관점

고객만족도 관점의 성공핵심요인에 대한 가중치는 Fig. 4와 같이 분석되었다. Fig. 4를 살펴보면 고객만족도의 성공핵심요인인 외부 고객 및 내부 고객에 대한 가중치는 감리, 설계, 시공업무 모두 외부 고객의 가중치가 높은 것으로 나타났다.

외·내부 고객의 핵심성과지표에 대한 가중치를 분석한 결과는 Fig. 5와 같이 외부 고객은 설계, 기획, 시공, 기업홍보 및 광고 순으로 가중치가 높게 나타났으며, 내부 고객은 설계, 시공, 기획, 기업홍보 및 광고 순으로 가중치가 높게 나타났다.

특히, 설계단계에서의 4D CAD 활용 가중치는 내·외부 모두 가장 높게 나타났으며, 업무별 분석에서는 설계업무가 다른 업무에 비해 가중치가 가장 높은 것으로 분석되었다.

3.2.3 투자비용확보 관점

투자비용확보의 성공핵심요인에 대한 가중치는 Fig. 6과 같이

Fig. 3. Weighting Values by Work-Scope Perspective

Fig. 4. Weighting Values of CSF by Customer Satisfaction Perspective

Fig. 5. Weighting Values of KPI for Customer Satisfaction Perspective

Fig. 6. Weighting Values of CSF by Investment Cost Perspective

분석되었다. 투자비용확보에서는 평균적으로 연구, 교육, 장비지원이 비슷한 가중치를 가지는 것으로 나타났다. 그러나 설계업무에서는 연구지원 성공핵심요인에 큰 가중치를 보이는데, 이는 점점 복잡화되는 3D 및 4D 객체 모델링 작업들의 소요되는 비용과 시간을 단축시키기 위한 연구지원에 관심이 높아진 것으로 판단된다.

3.2.4 프로세스 관점

프로세스 관점의 성공핵심요인 가중치는 Fig. 7과 같이 평균적으로 설계, 기획, 시공단계 순으로 가중치가 나타난다. 업무별로는 기획단계에서 감리업무가 높은 가중치를 나타내는 반면 설계업무는 가장 낮은 가중치를 나타내고 있다. 설계단계에서는 설계업무가 높은 가중치를 나타내고, 감리업무는 가장 낮은 가중치를 나타낸다. 시공단계에서는 감리, 설계, 시공업무 모두 비슷한 가중치를 보이고 있다.

Fig. 8은 프로세스의 핵심성과지표에 대한 가중치결과를 나타낸다. 각 단계를 업무별로 분석하면, 기획단계에서 감리업무는 구조물 배치, 주변 환경검토, 경관, 교통처리 분석 순서이고, 설계업무는 교통처리 분석, 구조물 배치, 주변 환경검토, 경관 순서이며, 시공업무는 구조물 배치, 경관, 교통처리 분석, 주변 환경검토 순서로 가중치가 분석되었다.

설계단계에서는 설계업무를 제외하고 단면요류 검토, 시공성 검토, 설계적합성 검토, 공간계획 검토 순으로 가중치가 분석되었다. 시공단계에서의 가중치는 공정관리, 진도관리, 시공성 분석, 비용/자원 분석, 안전사고, 설계 변경검토 순으로 분석되었다.

3.2.5 기술교육지원 및 정책 관점

기술교육지원 및 정책 관점의 성공핵심요인 가중치는 Fig. 9와 같이 분석되었다. Fig. 9를 살펴보면 기술력 확보, 인력양성, 정책반

영 순서로 가중치가 나타났으며, 업무별 분석 또한 평균과 유사하게 나타났다. 특히 기술력 확보가 인력양성 및 정책반영에 비해 2배가량 높은 것으로 분석되었다.

Fig. 10은 기술지원교육 및 정책 관점 핵심성과지표들의 가중치를 나타낸다. Fig. 10과 같이 기술력확보 성공핵심요인에 해당하는 지표들은 설계업무를 제외하고 평균과 비슷한 가중치 값을 나타내며, 설계업무는 3D 모델링 활용도 지표에 높은 값을 갖는 반면 공정관리 및 정보화 시스템 구축 수준 지표에는 평균이하의 값을 보이고 있다. 인력양성 성공핵심요인 지표의 가중치는 감리업무를 제외하고 평균과 비슷한 가중치 값을 나타내고 있으며, 감리업무는 정보화관련 프로그램에 평균이하의 값을 보이고 있는 반면 교육 훈련 및 신규인력 채용에 높은 가중치 값을 나타내고 있다.

3.2.6 업무별 성과지표 우선순위

Fig. 11은 업무별 성과지표의 가중치 및 우선순위를 나타내고 있다. 이는 업무별로 4D CAD 활용성 평가에 영향을 미치는 성과지표의 정도를 파악할 수 있게 함으로써 효율적인 성과지표관리를 가능하게 한다.

한 예로 Fig. 11에서 총합 업무별 성과지표의 가중치 및 우선순위를 살펴보면, 가장 높은 우선순위는 C.a.2이고, 그 뒤는 C.a.1, C.a.3, E.a.1, C.b.2 순서로 분석되었다. 설계 업무별 성과지표의 경우 역시 C.a.2 성과지표가 가장 높은 우선순위를 가지며, E.a.1,

Fig. 7. Weighting Values of CSF by Process Perspective

Fig. 8. Weighting Values of KPI for Process Perspective

Fig. 9. Weighting Values of CSF by Education Process and Policy Perspective

Fig. 10. Weighting Values of KPI for Education Process and Policy Perspective

4D CAD 시스템의 실무적 활용성 평가를 위한 BSC기반의 예비 평가 모델

Fig. 11. Weighting Values and Priority List of CSF, KPI by Work-Cope

C.a.1, G.a.1, 순서로 분석되었다. 감리 업무에서의 최고 우선순위는 C.a.1이며, C.a.2, C.a.3, C.b.3, 순으로 순위가 결정되었다. 시공 업무의 경우에서도 C.a.2가 가장 높은 순위로 결정되었다. 이와 같이 업무별 성과지표의 우선순위에서는 고객만족도, 투자비용확보 관점에 속하는 지표들이 우선순위가 높은 것으로 분석되었으며, 이는 가중치 산정에서 고객만족도와 투자비용확보가 비교적 높은 가중치로 산정되었기 때문이다.

4. 4D 시스템의 활용도 평가 모형 구성 및 시나리오기반 사례 적용

4.1 활용도 평가 모형

4D CAD 활용도 평가 모형은 성과지표별 가중치 및 우선순위를 기초하여 4D CAD의 도입 및 운용에 대한 활용도 정도를 정량적으로 평가 할 수 있도록 하였다. 4D CAD 활용도 평가 모형 구성도는

Fig. 12. Process of Availability Assessment Model for 4D CAD

Fig. 12와 같이 구성되며, 앞서 수행된 성과 지표 개발 및 가중치 산정단계와 4D CAD 활용도를 평가하는 평가 모형 단계로 구성된다.

4D CAD 활용도 평가 모형 프로세스는 데이터 입력, 정량적 분석, 활용도 도출 단계로 구성된다. 먼저 데이터 입력 단계는 평가자의 업무를 구분하고 업무별 핵심성과지표의 활용도 점수를 5점 척도에 따라 입력할 수 있도록 구성된다. 그리고 이는 정량적 분석단계를 통해서 관점별, 성공핵심요인별, 핵심성과지표별 활용 정도가 산정되어 활용도 도출 단계에서 4D CAD 활용에 대한 총괄적인 활용도 점수와 세부 성과요인 및 지표의 우선순위 및 활용도 점수를 확인할 수 있다. 이를 통해 4D CAD의 활용 정도를 파악하고, 활용을 저해하는 요소들을 도출하여 효율적으로 4D CAD를 활용할 수 있는 대책을 마련할 수 있다.

4.2 시나리오기반 사례 적용

본 절에서는 4D CAD 활용도 평가 모형의 적용성을 판단하기 위하여 다음과 같이 가상의 시나리오를 작성하여 4D CAD 활용성 평가를 실시하였다.

첫째, 건설회사에서 효율적인 건설프로젝트의 운영을 위한 4D CAD 시스템의 도입 여부를 판단하기 위한 기준근거로서 본 평가모형을 활용한다.

둘째, 4D CAD 활용성 평가 모형을 사용하여 활용성을 평가하고, 활용성이 낮은 성과지표를 도출하여 대책을 수립한다. 대책 수립 후 재 활용성을 평가하여 최종적으로 4D CAD 시스템 도입 여부를 판단한다.

4.2.1 데이터 입력

4D CAD 활용성 평가 모형에 사용되는 설정 데이터 값은 총합, 감리, 설계, 시공 업무별로 분석되어진 가중치 값으로 구성된다. 각각의 업무별 가중치는 Fig. 13과 같다.

Fig. 14와 같이 업무 구분을 통해 각각의 업무를 선택하고 핵심성과지표별 평가 문항에 5점 척도를 기반으로 활용도 평가점수를 입력한다.

활용도 점수는 60%가 4D CAD 도입 및 운용 면에서 보통인 수준을 나타내며, 60%보다 이상일수록 활용도가 높고, 이하일수록 낮다. 본 사례에서는 업무 구분을 시공으로 선택하고 활용도 값을 입력하였다.

Multiple	CSF		KPI	
	Customer satisfaction	Investment cost	Process	Education Process And Policy
C. Customer satisfaction	C.a External Customer satisfaction	C.b Internal Customer satisfaction	C.c Technology development	C.d Management training
	C.a.1 What is the satisfaction degree of working level meeting with simulation in planning phase?	C.b.1 What is the satisfaction degree of business process with 4D CAD in planning phase?	C.c.1 What is the satisfaction degree of business process with 4D CAD in design phase?	C.d.1 What is the satisfaction degree of business process with 4D CAD in construction phase?
	C.a.2 What is the satisfaction degree of working level meeting with simulation in design phase?	C.b.2 What is the satisfaction degree of business process with 4D CAD in design phase?	C.c.2 What is the satisfaction degree of business process with 4D CAD in construction phase?	C.d.2 What is the satisfaction degree of simulation for corporate public relations and advertisement?
	C.a.3 What is the satisfaction degree of working level meeting with simulation in construction phase?	C.b.3 What is the satisfaction degree of business process with 4D CAD in construction phase?	C.c.3 What is the satisfaction degree of simulation for corporate public relations and advertisement?	C.d.3 What is the satisfaction degree of simulation for corporate public relations and advertisement?
E. Securement Of Investment Cost	E.a Research support	E.b Education support	E.c Equipment support	E.d Policy support
	E.a.1 How much is the investment proportion of research and development cost for 4D CAD technical development?	E.b.1 How much is the investment proportion of education and training cost for manpower training of 4D CAD systems?	E.c.1 How much is the investment proportion of purchasing equipment (hardware, software etc.) for developing 4D CAD systems?	E.d.1 How much is the investment proportion of purchasing equipment (hardware, software etc.) for developing 4D CAD systems?
	E.a.2 What is the investment proportion of research and development cost for 4D CAD technical development?	E.b.2 What is the investment proportion of education and training cost for manpower training of 4D CAD systems?	E.c.2 What is the investment proportion of purchasing equipment (hardware, software etc.) for developing 4D CAD systems?	E.d.2 What is the investment proportion of purchasing equipment (hardware, software etc.) for developing 4D CAD systems?
	E.a.3 What is the investment proportion of research and development cost for 4D CAD technical development?	E.b.3 What is the investment proportion of education and training cost for manpower training of 4D CAD systems?	E.c.3 What is the investment proportion of purchasing equipment (hardware, software etc.) for developing 4D CAD systems?	E.d.3 What is the investment proportion of purchasing equipment (hardware, software etc.) for developing 4D CAD systems?
P. Process	P.a Planning phase	P.b Design phase	P.c Construction phase	P.d Supervision phase
	P.a.1 What is the availability degree of scene simulation?	P.b.1 What is the availability degree of planning simulation for building arrangement?	P.c.1 What is the availability degree of planning simulation for the surrounding environment?	P.d.1 What is the availability degree of planning simulation for the traffic management?
	P.a.2 What is the availability degree of influence review simulation for the surrounding environment?	P.b.2 What is the availability degree of planning simulation for the traffic management?	P.c.2 What is the availability degree of scene simulation for the stress reduction effect?	P.d.2 What is the availability degree of scene simulation for the stress reduction effect?
	P.a.3 What is the availability degree of controllability review simulation?	P.b.3 What is the availability degree of scene simulation for design planning?	P.c.3 What is the availability degree of scene simulation for design planning?	P.d.3 What is the availability degree of scene simulation for design planning?
G. Education Process And Policy	G.a Technology development	G.b Management training	G.c Policy support	G.d Policy support
	G.a.1 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?	G.b.1 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?	G.c.1 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?	G.d.1 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?
	G.a.2 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?	G.b.2 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?	G.c.2 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?	G.d.2 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?
	G.a.3 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?	G.b.3 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?	G.c.3 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?	G.d.3 What is the performance degree of information and technology growth related to 4D CAD?

Fig. 13. Weighting Values Database of CSF and KPI by Work-Scope

Fig. 14. Availability Assessment of 4D CAD

4.2.2 결과검토

5점 척도를 통한 핵심성과지표별 활용도 값 입력이 완료되면, Fig. 15와 같이 4D CAD 활용성 평가 결과를 확인할 수 있다. 결과분석표를 살펴보면, 업무구분이 시공업무로 설정되어 있으며, 총괄 활용도 점수는 50.15%로 4D CAD 활용도는 낮음과 보통의 중간 수준으로 분석되었다. 보다 세밀한 분석을 위해서 세부별 활용도 결과를 보면, 관점별로는 고객만족도가 51.75%, 투자비용 확보가 46.76%, 프로세스가 60.89%, 기술지원교육 및 정책이 42.34%로 프로세스 관점에서 가장 높은 활용도를 가지며, 기술지원교육 및 정책 관점에서 가장 낮은 활용도를 갖는 것을 알 수 있다. 11개의 성공핵심요인별 활용도 분석 결과에서는 프로세스 관점의 기획단계의 성공핵심요인이 71.06%로 가장 높고, 투자비용 확보 관점의 교육 및 장비지원, 기술지원교육 및 정책 관점의 정책 반영 성공핵심요인이 40%로 가장 낮게 분석되었음을 나타낸다. 또한 핵심성과지표별 활용도에 따른 순위를 살펴보면, E.a.1, E.c.1, C.a.2, E.b.1, C.a.1 순서로 투자비용확보 및 고객만족도 관점에서의 핵심성과지표들이 높게 나타났다. 반면 P.c.4, G.b.3, G.a.2, P.c.3 순서로 프로세스, 기술지원교육 및 정책 관점에서의 핵심성과지표들이 낮게 분석되었다.

총괄적으로 4D CAD의 실무 도입을 위한 기업 내·외부의 환경 구축이 아직 미흡한 것으로 판단되었다. 따라서 4D CAD 활용성을 저해시키는 핵심성과지표항목들을 도출하여 4D CAD 실무 도입을 위한 환경 개선 대책을 수립하여야 한다.

우선 Fig. 15의 ‘핵심성과지표 활용도 순위’를 통해서 활용도가 가장 낮은 성과지표를 도출한다. 가장 낮은 활용도를 나타내는 성과지표는 P.c.4, G.b.3, G.a.2, G.b.2... 등으로 나타났다. 따라

서 P.c.4 (비용/자원관리 시뮬레이션 활용도), G.b.2 (직원들의 교육 훈련 실시 빈도 수준)는 교육 훈련 실시 빈도를 높이는 대책을 마련하는 등의 성과지표의 활용도를 높일 수 방법을 강구하여야 한다. 또한, 효율적인 성과지표별 대책 수립을 위한 활용점수의 증가치는 ‘5점 척도 입력치 증가분’을 통해 분석할 수 있다.

‘5점 척도 입력치 증가분’에서는 성과지표별로 5점 척도를 기준으로 입력한 값의 증가량에 따른 총괄 활용도 점수를 나타낸다. 이는 입력치 증가분에 의한 총괄 활용도 점수들 중 상위 10% 값들이 표시됨으로써 총괄 활용도 점수에 가장 많은 영향을 미치는 성과지표를 우선적으로 파악할 수 있다. 따라서 E.c.1, E.a.1, C.a.2, E.b.1, C.a.1, C.a.3, C.b.2 성과지표가 총괄 활용도 값에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러므로 총괄 활용도 점수를 효과적으로 향상시키기 위해서는 우선적으로 위의 성과지표항목에 대한 대책을 수립하는 것이 유리하다. 그러나 AHP기법의 한계로 인해 평가 항목별 성과지표항목 개수가 동일하지 않을 경우, 가중치의 편차가 발생한다. 따라서 성과지표항목의 개수가 적은 E.c.1, E.a.1 등이 개수가 많은 P.c.4, G.b.3 등의 지표들보다 상대적으로 높게 평가되고 있다는 점을 고려할 필요가 있다.

5. 결론

본 연구에서는 건설프로젝트에 BIM의 적극적인 활용을 유도하기 위해 BIM 도구의 실무도입 적합도를 평가할 수 있는 평가 지표 및 모형을 제시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 건설정보화 도구의 실무 도입 활용성 평가를 위한 연구범위를 BIM 기술 중 실무적으로 가장 많이 활용되고 있는 4D CAD로 한정하였다. 그리고 4D CAD의 실무 도입 및 운용의 활용성 평가를 위해서 BSC 성과관리기법을 활용하여 기업의 내·외적 환경을 고려한 평가 지표를 제시하였다. 제시된 평가 지표는 국내·외 문헌 및 사례분석과 현장 실무자 및 BSC 전문가와의 협의에 의해 도출되었으므로 인자들의 신뢰성이 확보될 수 있다.

둘째, 설문조사를 통해 성과지표들 간의 가중치 값을 제시하였다. 고객만족도에서는 감리업무, 투자비용 확보에서는 시공업무, 기술지원교육 및 정책에서는 설계업무가 가장 큰 비중을 차지하였으며, 프로세스활용 측면에서는 세 가지 업무가 비슷한 수준으로 분석되었다. 이와 같이 시공사, 설계사, 감리사 업무별로 성공핵심요인과 핵심성과지표들의 중점관리 우선순위를 파악함으로써 효과적으로 4D CAD의 활용도를 평가할 수 있다.

셋째, 4D CAD 도입에 따른 활용성 평가 모형을 제시함으로써 감리, 설계, 시공 업무 그리고 이를 모두 고려한 종합 업무별 및 세부 관점들에 대한 활용 정도를 정량적인 수치로 평가하였다.

Fig. 15. Results of Availability Assessment for Case Project

또한 성과지표의 우선순위 및 입력치 증가량에 따른 총괄 활용도 점수 변화량을 나타냄으로써 효율적인 성과지표 관리를 가능하게 하였다. 이러한 결과는 시나리오 사례 분석을 통해, 제시된 평가 모형의 타당성을 검증하였다.

감사의 글

본 논문의 일부는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0016064).

References

- Chung, J. K. and Kim, Y. S. (2012). "Analysis of core ability of BIM manager." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 1, pp. 175-182 (in Korean).
- Dawood, N. and Sikka, S. (2009). "Development of 4D based performance indicators in construction industry." *Engineering Construction and Architectural Management*, Emerald Group Publishing Limited, Vol. 16, No. 5, pp. 438-458 (in England).
- Kim, H. S., Moon, H. S., Choi, G. Y., Kim, C. H. and Kang, L. S. (2012). "Development of BIM functions and system for construction project through project life cycle." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Korean Institute of Construction Engineering and Management, Vol. 13, No. 2, pp. 11-24 (in Korean).
- Kim, Y. M., Lee, T. S., Son, J. H. and Lee, S. Y. (2005). "Novel approach in developing owner version KPI and checklist for measurement of construction management performance." *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers Annual Conference*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 2005, No. 10, pp. 4789-4792 (in Korean).
- Lee, C. J., Lee, G. and Won, J. S. (2009). "An analysis of the BIM software selection factor." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 7, pp. 153-163 (in Korean).
- Leem, C. S., Yu, E. J., Moon, H. J. (2006). "Development of a KPI-based IT evaluation methodology and its application." *Entrue Journal of Information Technology*, LG CNS, Vol. 5, No. 2, pp. 21-32 (in Korean).
- Lim, J. A. and Kwon, S. W. (2011). "Analysis of success factors in construction IT convergence : applying AHP." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Korean Institute of Construction Engineering and Management, Vol. 12, No. 4, pp. 130-138 (in Korean).
- Lin, G. and Shen, Q. (2007). "Measuring the performance of value management studies in construction." *Journal of Management in Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 23, No. 1, pp. 2-9.
- Mohamed, S. (2003). "Scorecard approach to benchmarking organizational safety culture in construction." *Journal of Construction Engineering & Management*, American Society of Civil Engineers, Vol. 129, No. 1, pp. 80-89.
- Oh, I. J., Lee, J. H. and Lee, C. C. (2006). "BSC perspective of an exploratory study of developing CSF/KPI pool in korean construction industry." *Journal of Korea Society of IT Services*, Korea Society of IT Services, Vol. 5, No. 1, pp. 35-46 (in Korean).
- Son, J. H., Lee, S. Y., Han, C. H. and Kim, J. O. (2007). "A study on the critical success factors for engineering step on plant project." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Korean Institute of Construction Engineering and Management, Vol. 8, No. 6, pp. 227-234 (in Korean).
- Song, M. R., Yoon, S. W. and Chin, S. Y. (2011). "BSC based measurement of satisfaction degree for based bim construction projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Korean Institute of Construction Engineering and Management, Vol. 12, No. 4, pp. 117-129 (in Korean).
- Song, S. H., Lee, H. S. and Park, M. S. (2006). "Quality performance management system for construction projects using quality performance indicators." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Korean Institute of Construction Engineering and Management, Vol. 7, No. 3, pp. 76-85 (in Korean).