

철도인프라 BIM 적용에 따른 비용편익 효과 분석

- 오송 철도종합시험선로 사례를 중심으로 -

Benefit-Cost Analysis of BIM Application

- Case Study on Osong Test Line Railway -

김환용¹⁾, 신민호²⁾, 한상천³⁾, 최영우⁴⁾, 김창호⁵⁾

Kim, Hwan-Yong¹⁾ · Shin, Min-Ho²⁾ · Han, Sang-Cheon³⁾ · Choi, Young-Woo⁴⁾ · Kim, Chang-Ho⁵⁾

Received November 8, 2018; Received November 19, 2018 / Accepted November 20, 2018

ABSTRACT: Recent technological improvements have made abundant changes in construction industry. In specific, some technical applications, such as Building Information Modeling (BIM) opens up many possibilities. Some studies have articulated the use of BIM and its advantages in construction, but most of them are theoretical, not practical. This study is to provide an insight to such obstacles in BIM research. By investigating a real project that could utilize BIM in planning and construction phases, the authors try to investigate a possible outline of advantages in BIM implementation. The study area was set to a railway construction site in South Korea. The site covers a multiple railway tracks, stations, telecommunication facilities, infrastructure facilities, railway structures, and so numerous. In the site, the authors have identified 12 errors in 7 projects that could be prevented if BIM was utilized before the construction.

KEYWORDS: BIM Application, Cost-Benefit Analysis, Construction Shortening Period, Railway Infrastructure, Risk Cost

키 워 드: BIM활용, 비용편익분석, 공기단축, 철도인프라, 리스크 비용

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내외 건설 산업의 규모가 대형화, 복잡화됨에 따라 도시 전체에 영향을 미치고 있다. 이에 대한 영향으로 국내의 경우에는 공공 발주기관, 민간 발주자들의 BIM(Building Information Modeling)에 대한 사용 요구와 관심도가 점점 증가하고 있는 추세이며(Kim et al., 2014), 미래 건설 산업계에서 정보를 표현하고 관리하는 확실한 방법으로 자리매김 하고 있다. 해외의 경우에도 현재 미국, 영국 등의 해외 건축사들의 절반 이상은 이미 BIM을 활용하고 있으며, 건축시장에서 각 분야에서 발생하는 방대한 양의 데이터를 통합하고 효율적으로 관리하는 것이 성공적인 프로젝트를 위한 필수조건으로 여기고 있다(Kim et al., 2012).

이에 따라 2D도면 및 3D도면의 호환 및 관리, 품질과 생산성 향상, 비용 절감에 관련되어 발생하는 각 단계별 데이터의 관리를 가능하게하기 위해서 BIM으로 대변되는 정보모델링을 활용하는 사례가 증가하고 있다. 그러나 국내의 기술력은 전반적인 BIM 활용에 대한 이해가 부족한 상태에서 3D도면 작성과 이에 따른 현장에서의 추가업무 발생, 설계자와 실무자 간 의견 충돌 및 비용증가 등의 많은 복잡함을 발생하고 있다. 따라서 최근 우리나라의 건설 산업에 도입되고 있는 BIM은 다양한 데이터의 처리 및 재활용에 대한 새로운 가능성을 제시한다는 점에서 국내 다양한 건설 업체들의 BIM을 적용한 다양한 활용 가능성이 대두되고 있는 상황이다.

특히, 사회기반시설의 경우 단계별 데이터 관리에 BIM 등의 정보모델링을 활용하려는 연구는 후발주자에 속한다. 그러나 프로

¹⁾정회원, 인천대학교 도시건축학부 교수 (hwan.kim@inu.ac.kr)

²⁾정회원, 한국철도기술연구원 수석연구원 (mhshin@krrri.re.kr)

³⁾학생회원, 인천대학교 도시건축학부 학사과정 (lucky7@naver.com)

⁴⁾학생회원, 인천대학교 도시건축학부 학사과정 (kjhsasbg@naver.com)

⁵⁾학생회원, 인천대학교 도시건축학부 석사과정 (kimch0330@naver.com) (교신저자)

젝트의 특성상 건축시장에 비해 규모와 비용의 차이가 다양하여 데이터 관리에 따른 긍정적인 효과는 상당할 것으로 예측된다. 프로젝트의 전생애주기는 기획, 설계, 시공, 관리 4가지 단계로 구분할 수 있으며, 각각의 단계에서 관련 주체들 간의 데이터 전달과 공유, 협업은 효율적이고, 성공적인 프로젝트의 관리를 위해서 중요하다. BIM은 이러한 측면에서 중요성이 더욱 부각되고 있는 실정이며 BIM을 활용한 부분과 이에 따른 기대효과에 대한 분석은 필수적이라 판단된다.

본 연구의 주요 목적은 사회기반시설 중 철도인프라의 BIM 사용 유무에 따른 비용절감 효과를 분석하는 것이 목적이다. 건설 산업 프로젝트에 BIM을 적용하면 2D 도면에서 확인하기 어려운 설계오류들을 3D BIM 모델을 통해 발견함으로써 설계 품질을 높일 수 있고, BIM 모델을 실제 시공과정에서 활용함으로써 시공 품질을 높일 수 있다. 실시설계 단계부터 BIM 모델설계 프로세스를 적용하여, 발생한 설계오류를 정량적으로 분석하고, 시공단계에서 발생할 수 있는 인력과 추가적 비용이 무엇이며, 이러한 추가적 비용에 대한 편익분석을 통해 얼마만큼의 이득을 얻게 되는지를 판단할 수 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 철도인프라의 BIM 사용 유무에 따른 실질적 비용절감 효과 분석을 위해, 연구 범위를 현재 한국철도시설공단에서 발주하고 GS 건설 외 9개사가 시공하는 사업인 오송 철도중합시험선으로 한정하였다.



Figure 1. Osong test line railway

오송 철도중합시험선은 충청북도 청주시 오송읍을 시점으로 세종특별자치시 전동면 일원을 종점으로 구축된다. 철도중합시험선은 총 연장 12.99km이며, 주요공사내용은 토공 6056m, 교량 1517m 8개소, 터널 4221m 6개소, 기존선 활용 1196m를 포함한 노반공사 궤도공사 통합 통제센터 등 건축공사 및 전철전력 신호통신 등 시스템 공사로 이뤄져 있다(Ruy and Koh, 2017).

본격적인 비용절감 효과 분석에 앞서, 연구의 자의적 해석을 방지하기 위하여 분석 대상 현장에 관한 실무회의(GS 건설)와, 건축물 BIM 적용에 따른 리스크 분석에 관한 실무회의(POSCO 건설), BIM 활용 진단에 관한 실무회의(GS 건설), 철도시설공단 측에서 제공한 유사사례를 분석하였다.

Table 1. Current status of osong test line railway

Project name	Osong test line railway construction	Ordering organization	Korea Rail Network Authority
Managements	Seoyoung Engineering and 8 companies	Constructors	GS E&C and 9 companies
Periods	2014. 09. - 2018. 12. (51months)	Expenses	240.6 billions (KRW) (National treasury 100%)

실무회의 및 선행 연구 분석과정에서 비용절감 효과 분석에 필요한 데이터 형태의 예측 및 한계점을 파악하였고, 건축물과 사회기반시설인 철도인프라 BIM 적용에 따른 리스크 분석 방향성의 차이점을 통해 비용절감 효과 분석의 틀을 마련하였다.

BIM 적용 시 철도인프라 프로세스에서 변화가 예상되는 부분은 크게 계획, 설계, 시공, 유지보수의 4가지 단계이나 본 연구에서는 시공이 진행 중인 오송 시험선의 특성상 유지보수 단계에 대한 검증에 한계가 있었다.

따라서 아래 Figure 2와 같이 계획단계에서 시공단계에 이르는 과정에 대한 자료 및 정량화 지표에 필요한 정보를 조사하였고, 도출된 정량화 지표가 철도 BIM 적용 프로젝트에 부적합함에 따라 예상 편익분석에 용이하다고 판단되는 인건비(설계검토), 해체 및 재시공, 공기지연의 세 가지 항목으로 구분하여 진행하였다.

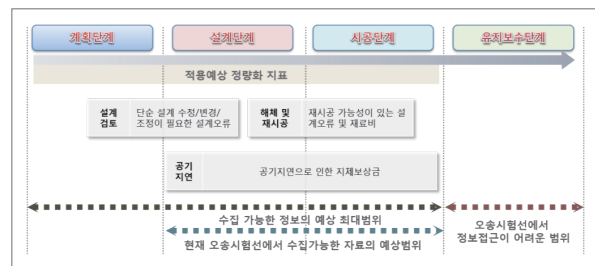


Figure 2. Railway infrastructure process in application

2. 분석의 틀

2.1 편익분석을 위한 연구의 가정 설정

본 연구는 BIM 적용 및 미적용 프로젝트 비교에서 나타난 작업 시간 단축효과 결과에 대한 편익분석의 소요비용과 Benefit을 산정하는 방법으로 가정한다. 이 방법에 따라 편익의 소요비용은 연구의 공간적 범위인 오송 시험선에서의 BIM 업무 및 시공 현장에서 발생한 인건비를 중심으로 산출하였다.

Benefit의 경우 오송 시험선에서 BIM 미사용에 따른 비용이 BIM 활용 시에 절약될 것이라는 가정을 통해 인건비 중심의 설계 단계, 인건비 및 재료비 중심의 시공단계, 공기지연 중심의 전체

단계로 나누어 산출하였다.

인건비 및 재료비에 대한 정확한 인력 산출에 한계가 있어 국토부 표준시방서의 내용을 바탕으로 보수적인 계산을 실시하였다. 인건비의 경우 단순도면 작업관련 일정은 초급 기술자 하루에 해당하는 업무로 판단하였으며, 시공단계에서의 인건비 및 재료비의 경우 구조물 작업을 중심으로 편익 산정하였다.

공기지연 항목 기준의 경우 근거가 철도인프라를 포함한 다양한 프로젝트 혹은 전문가에 따라 일정하지 못하다는 한계를 가지고 있다. 본 연구에서는 편익에 활용하고자 하는 공기지연 항목은 오송 시험선에 초점을 맞추어 분석을 진행하기 때문에, 연구 과정 중 시행한 실무자 회의 및 인터뷰 과정에서 도출한 기준을 근거로 하여 산출하였다. 공기지연에 따른 비용은 지체보상금으로써 총 공사비의 최대 15%로 가정하여 편익을 산출하였다.

결론적으로 Benefit에 해당하는 산출 근거는 BIM 미사용에 따른 비용을 역추적 하는 과정으로써 설계단계에서의 인건비, 시공 단계에서의 인건비 및 재료비, 마지막으로 전체 소요비용에서의 공기지연(지체보상금)의 항목을 중심으로 편익분석에 활용하였다.

다양한 사례를 통해 BIM활용으로 인한 효과에 대한 요소들을 산출할 수 있지만 Benefit을 산출할 때 이용할 수 있는 보편적이거나 일관된 지표는 아직 없다. 하지만 BIM과 관련된 Benefit을 산출하는 유형의 기준을 설정할 수 있으며, 성과 지표를 시간, 비용, 품질, 정보변경, 고객만족, 사업성과, 건강/안전 7가지 핵심요소로 도출할 수 있다(Seo and Choo, 2010). 이러한 7가지 요소 중에서 일부는 기준으로 적합한 양적 요소이나 정량화할 수 있는 기준으로 설정하기 어렵다. 이러한 요소들을 정량화 지표로 변환하여 아래 Table 2와 같이 정리하였다.

Table 2. Quantification index of BIM usage and unused

Item	Quantification index		
Quality management	Incidence of interference decrease (%)	Rework reduction rate (%)	Error incidence rate decrease (%)
Cost	Required wage (KRW)	Cost / Unit (KRW)	Cost / Time (%)
Time	Man-hour (Hour)	Shortened time (Hour)	Delayed construction (Day)

2.2 항목별 비용 산출 요소 검토

오송 시험선 BIM 적용 List의 Benefit을 분석하기 위해서 인건비, 재료비, 공기지연의 요소를 중심으로 이슈 사항을 검토하였다. 산출요소는 세부 내용 및 근거에 따라 설계 단계에서는 공중 구분 및 업무처리의 인건비를 중심으로, 시공 단계에서는 업무종류에 해당하는 인건비 및 재료비를 중심으로, 공기지연은 전체 단계에 해당하는 요소로 구분한다.

설계단계에서의 인건비는 각 프로젝트의 설계 변경 및 도면 단 순순정에 대한 검토로써 작업 소요 인원 및 소요 일수를 통해서 Benefit을 도출하였다. 오송 시험선의 경우 시험 제 1교, 시험 제 5교, 시험 제 7교, 시험 제 8교에서 설계단계에 해당하는 이슈사항을 해결하였기에 인건비를 통한 Benefit을 산출하였다.

시공단계에서의 인건비와 재료비는 각 프로젝트에서 재작업 이슈가 포함된 것을 대상으로 시공 품목별 인건비 및 재료비를 보수적으로 계산하여 Benefit을 도출하였다. 오송 시험선의 경우 시험 제 1교, 시험 제 7교, 시험 제 8교에서 시공단계에 해당하는 이슈사항을 해결하였기에 인건비 및 재료비를 통한 Benefit을 산출하였다.

공기지연 요소의 산출은 Non-BIM일 경우 총공사비의 최대 15%까지 지체보상금 비용발생 가능성을 검토하여 Benefit을 도출하였다. 본 연구에서는 시공단계의 편익분석에서 공기단축 2달을 가정하고 있으므로, 최대 공기지연 기간에서 2달을 제외한 총 공사비의 12%를 공기지연 요소의 편익분석으로 활용하였다. 공기지연의 경우 전체단계에 해당하기 때문에 오송 시험선의 모든 프로젝트에 대하여 Benefit을 산출하였다.

Table 3. Examination of cost calculation factors

Step	Factor		Content	Basis
Planning	Wage	Work division	Single / Multi work	Input personnel
		Work process	Days	Reworking time / 8hours
Construction	Wage	Work type	Wage by construction item	2017 Breakdown cost table (The Construction Association of Korea)
		Material cost	Material	Material cost / Unit
Total	Construction delay	Delay compensation	Maximum 15% of total cost	Maximum approx 300days (0.05% / 1day)

2.3 BIM 사용에 따른 소비비용

BIM 사용에 따른 소비비용 산출식은 인건비를 중심으로 하여 BIM 업무, 간섭해결 비용, 공기지연으로 인한 소비비용 세 가지 항목으로 분류할 수 있다. 공중 구분 기준으로는 단일 공종의 경우에는 1명이 투입되었으며, 멀티 공종의 경우에는 2명이 투입된 수치로 설정하였다.

단일 공종은 설계 오류 중 구조, 건축, MEP에 대한 설계오류 유형으로 대표적인 유형으로는 도면 치수 상이, 정보 불명확 및 불일치, 도면 누락, 공중간의 간섭 등으로 분류된다. 멀티 공종은 단일 공종이 아닌 하나의 설계 오류에 대한 유형이 구조와 건축, 또는 구조와 MEP 등 다른 공종에 영향을 끼치는 설계 오류로 주로 공중 간의 간섭오류가 이에 해당한다. 시공현장에서의 소요비

용은 도면검토에 대해 BIM 업무에서 정보가 전달되지 않은 상태로 설계팀에서 도면 검토가 이루어지는 가정이며, BIM 검토 자료가 전달될 경우를 고려한다면 업무시간은 예상치의 1/3 정도로 예상된다.

Table 4. Equation of consumption costs by using BIM

W a g e	List	Single work	Engineer wage (A day wage + Daily expenses) x working time/day x Input personnel
		Multi work	Engineer wage (A day wage + Daily expenses) x working time/day x Input personnel
	A-1	BIM Work (Creating and reviewing BIM model)	
	A-2	Interference resolution cost and site review to prevent delays in the construction period (Construction site)	

BIM 업무에 대한 기술자 등급으로는 BIM Manager, BIM Coordinator, BIM Modeler 등급이 있으며 간접 해결 비용 및 공기 지연 방지를 위한 현장 검토에 대한 기술자 등급으로는 특급, 중급, 초급으로 설계 검토와 시공 검토 모두 세 가지 등급으로 분류된다. 기술자 등급에 대한 일일임금으로는 BIM Manager 671,500원, BIM Coordinator 561,000원, BIM Modeler 382,250원이며, 일비는 BIM Manager 201,450원, BIM Coordinator 168,300원, BIM Modeler 114,750원이며(Chung and Kim, 2012), 총 소요임금은 일일임금과 일비를 더한 값으로 설정하였다. 시공 검토의 기술자 등급에 대한 임금으로는 특급 1억 3천만 원, 중급 9천만 원, 초급 7천만 원으로 설정하고 계산식에는 월 근로시간 기준인 192시간으로 나누어 소요시간을 곱한 값으로 설정한다.

Table 5. Consumption cost results from BIM use

Project	List	Work	Technician grade	Wage (1,000 KRW)
Test 1st Bridge	A-1	Multi work	BIM Manager / BIM Coordinator / Bim Modeler	6,312.3
	A-2		Top class engineers / Semi-skilled engineers	16,666.7
Test 5th Bridge	A-1	Single work	BIM Coordinator	1,367.4
	A-2		Semi-skilled engineers	3,750.0
Test 7th Bridge	A-1	Single work	BIM Coordinator	1,367.4
	A-2	Multi work	Top class engineers / Semi-skilled engineers	16,666.7
Test 8th Bridge	A-1	Single work	BIM Coordinator	1,367.4
	A-2	Multi work	Semi-skilled engineers	7,500.0
Test Bed Bridge	A-1	Single work	BIM Coordinator	1,367.4
Test 6th Tunnel	A-1	Multi work	BIM Manager / BIM Coordinator / Bim Modeler	4,944.9
Tunnel + Road bed	A-1	Multi work	BIM Coordinator / Bim Modeler	5,221.1

3. BIM 적용 유무에 따른 효과 분석

3.1 BIM 활용에 따른 비용절감 효과

3.1.1 설계오류와 관련된 비용절감 효과

오송 시험선 BIM 적용 List 중 설계 변경 및 도면 치수 수정에 해당하는 프로젝트에 대한 BIM 미적용 시 설계 변경, 도면 치수 수정으로 인한 재작업 비용을 산출하였다. 해결 사항에서는 설계 변경과 도면치수 수정 두 가지로 프로젝트들을 구분하였으며 이 기준으로 각각의 Benefit을 도출하였다.

Benefit 산출식에서 작업 소요 인원과 소요 일 수를 현 데이터를 기준으로 적용할 수 있도록 전체작업시간에서 일일 작업시간인 8시간을 기준으로 나누어 계산하였으며, 일일 일당은 사무직 일당과 기타 일비를 더한 값으로 계산하였다. 변경에 따른 기술자 등급은 초급, 중급, 고급으로 나뉘며 각각 등급에 따른 사무직 일당과 기타 일비가 설정되고, 일일임금은 사무직 일당과 기타일당을 포함한 금액이며 앞서 구분한 기술자 등급에 따라 각각의 금액이 다르다.

설계 변경 Benefit에는 시험 제 1교가 해당되며 설계오류 산출식에 따라 약 4,800만 원으로 계산되었으며, 도면치수 수정 Benefit에는 시험 제 1교, 시험 제 5교, 시험 제 7교, 시험 제 8교가 해당되며 산출식에 따라 약 1,700만 원으로 계산되었다. 결과적으로 산출식에 따른 설계 오류 해결과정에 따른 총 리스크 비용은 약 6,534만 원으로 계산되었다.

3.1.2 시공오류와 관련된 비용절감 효과

해당 이슈 사항의 시공오류와 관련한 Benefit을 분석하기 위하여 인건비와 재료비로 구분하여 분석을 진행하였다. 오송 시험선 BIM 적용 List 중 시공오류로 인한 재작업이 해결 사항인 프로젝트 시험 제 1교, 7교, 8교에 대한 인건비 Benefit과 재료비 Benefit을 계산했다.

시험 제 1교, 시험 제 7교, 시험 제 8교 각각의 이슈 사항은 자립식 옹벽과 모정 고가교 간섭, 교대의 계획과 자립식 옹벽 상단의 EL 불일치, 교량과 공동구, 전철주 및 방음벽 기초 연결부, 거더와 교량 받침 간 오차이며 모든 이슈사항의 해결 사항은 시공오류로 인한 재작업이 해당한다.

BIM 적용과 non-BIM 프로젝트 비교 시, 구조 부분에 해당하는 작업시간이 평균적으로 2달이 단축됨을 파악할 수 있었으나 해당 이슈에 대한 non-BIM 데이터가 구축되어 있지 않기 때문에 평균적으로 단축되는 기간에 대한 공사비용이 BIM을 이용한 Benefit이라고 가정하였다.

재료비와 인건비에 대한 자료는 한국 철도 시설공단에서 정의하는 단가산출기준과 대한건설협회에서 제시하는 2017 일위대 가총괄표를 기준으로 하여 분석을 진행했다. 이슈 사항의 주요한

건설 자재를 설정하고 해당 자재에 대한 일위대가총괄표의 단위 별 인건비와 재료비를 산출식에 대입해 인건비와 재료비 Benefit 을 계산하였다.

시험 제 1교의 주요 자재로는 블록식 규격의 자립식 옹벽이며, 시험 제 7교의 주요 자재로는 H=5m의 방음벽, 시험 제 8교의 주요 자재로는 철근, 진동기 재료의 콘크리트 타설로 설정했다. 결과적으로 산출식에 따른 평균적 작업 단축기간인 2달을 기준으로 총 인건비 Benefit의 합계는 약 830만 원, 총 재료비 Benefit의 합계는 약 715만 원으로 총 Benefit 총합으로 약 1,543만 원으로 계산된다.

3.1.3 공기지연과 관련된 비용절감 효과

BIM 미적용 시 공기지연으로 인한 리스크 비용을 산출하기 위하여 앞서 도출되었던 BIM 사용에 따른 소비비용 산출식 및 결과에 근거하여 분석을 진행하였다. 공종을 구분하기 위해서 단일 공종, 멀티 공종, 단일/멀티 공종으로 총 세 가지 기준을 설정하였으며, 단일 공종에는 시험 제 5교, Test Bed교가 해당되며, 멀티 공종에는 시험 제 1교, 시험 제 6터널, 터널+노반이 해당되고, 마지막으로 단일/멀티 공종에는 시험 제 7교, 시험 제 8교가 해당된다.

각각의 프로젝트들을 BIM Model 작성 및 검토 (A-1)와 간섭 해결 비용 및 공기지연 방지를 위한 현장 검토 (A-2)에 대한 부분으로 구분하였고, Test Bed교, 시험 제 6터널, 터널+노반은 간섭 해결 비용 및 공기지연 방지를 위한 현장 검토는 해당되지 않는다. 시험선 시공 단계에서, 설계오류 해결과정에 따른 리스크 비용으로 인건비, 재료비, 공기지연 등 간섭으로 발생하는 부가적 손실이 가장 큰 부분을 차지하고 있다.

간섭으로 발생하는 부가적 손실 중 공기지연에 따른 리스크 비용은 간접비, 이자, 지체보상금 등이 해당되고, 1일 기준으로 소요비용의 0.05% 공기지연 리스크 비용 한도는 300일 기준으로 15%에 해당한다. GS건설 시험선로 시공현장 실무회의를 통해 공기지연에 따른 리스크 비용은 전체 공사비의 0~15%으로 파악되었으며, 시공오류 관련 Benefit에서 설정한 단축기간 2달을 기준을 적용하여 공기단축 기간을 12%로 설정하였다.

기준을 따라 설정한 공기단축 기간 12%를 각 프로젝트의 소요 비용에 적용하여 산출된 값이 공기지연으로 인한 Benefit 이라고 가정하였으며, 결과적으로 산출식에 따른 BIM 미적용 시 공기지연으로 인한 Benefit의 총합으로 약 800만 원으로 계산된다.

3.2 BIM 활용에 따른 Benefit / Cost

현재의 데이터는 BIM 모델 납품이 담당 업무인 기관에게서 받은 데이터로 실제로 시공에 소모된 정확한 수치에 대한 데이터는 없는 상태이다. 오송 시험선과 같은 경우 실제 시공이 진행되고 있는 상황에서 공기의 단축에 대한 부분을 짐작하기 매우 어려운

상황으로 기대효과 비용에 대한 산출이 상당히 주관적인 상황이다. 아울러 BIM 간섭검토를 통한 다양한 이득이 있을 것으로 판단되나 현재로서는 정확하게 이득의 종류를 구별하기 어려운 상황으로 시공과정을 좀 더 관찰할 필요가 있다고 판단된다.

앞서 BIM 미적용 시 시공오류와 설계 오류로 인한 재작업 비용에 대한 데이터를 산출식에 적용하여 계산한 결과 BIM 활용에 따른 총 투자비용(COST)은 약 6,600만 원으로 계산된다. 공기 단축을 2달로 가정하여 계산한 BIM 활용에 따른 총 효과비용 (Benefit)은 설계관련 효과비용 약 6,500만 원, 시공관련 효과비용 약 1,500만 원, 공기관련 효과비용 800만 원을 총합하여 약 8,800만 원으로 계산된다.

즉, BIM 활용에 따른 투자비용 대비 효과비용 효과인 Benefit/Cost는 약 133.4%로 결과값이 나온다. 만약 현재의 B/C 결과가 133.4%라고 하더라도 BIM 적용 철도인프라의 특성 상 유지보수 단계에서 누릴 수 있는 이득이 더 높게 해당되게 산정될 가능성도 있다.

Table 6. Benefit/Cost according to a shorter period of work

Period (month)	Benefit(1,000won)	Cost(1,000won)	Benefit / Cost	
Reduction	-2	88764.20	66531.40	133.42%
	-1.5	85405.50	66531.40	128.37%
	-1	82046.80	66531.40	123.32%
	-0.5	78688.10	66531.40	118.27%
-	0	75329.40	66531.40	113.22%
Extension	+0.5	75828.38	70389.09	107.73%
	+1	76327.36	74246.77	102.80%
	+0.5	76826.35	78104.46	98.36%
	+2	77325.33	81962.15	94.34%

B/C 결과의 민감도를 확인하기 위하여, 설계단계를 제외한 시공단계 및 공기지연 항목에서의 공기단축 기간을 2달(기준)에서 -2달까지 0.5달 간격으로 총 9가지의 변수를 활용하여 동일 계산방법을 적용하였다. 공기단축 기간 변수가 음의 정수인 경우에는 총 공사비 내에서의 작업 단축기간이 변화했음을 의미하고, 0인 경우에는 예측된 공사기간에 맞게 완공되었음을, 양의 정수일 경우에는 총 공사비 이상으로 공기가 지연됨을 의미한다. 따라서 공기단축 기간 변수가 양의 정수인 경우 편익산출에 있어서 총공사비 이후에 발생한 비용은 Cost에 해당하는 소비비용에 추가하여 계산하였다.

공기단축 기간의 변수가 -2에서 +1까지는 Table 6에서 볼 수 있듯 B/C의 값이 100% 이상으로 산출되었고, 1.5, 2인 경우 100% 이하의 B/C 값이 산출되어 이는 BIM 활용 기간에 따라 총사업비가 큰 토목인프라 프로젝트가 큰 영향을 받을 수 있다고 판단된다.

Table 7. Benefit calculation formula using BIM

Benefit of design error								
Benefit of design change								
Project	CAD work personnel for change (person)	Technical grade	CAD rework time (Hour)	Wage (1,000 KRW)	Daily expenses (1,000 KRW)	Benefit (1,000 KRW)		
Test 1st Bridge	1	Skilled engineers	80	671.50	201.45	8,729.50		
	2	Semi-skilled engineers	320	561.00	168.30	29,172.00		
	1	Unskilled engineers	160	382.50	114.75	9,945.00		
Benefit of Design change total						47,846.50		
Benefit of edit drawing dimensions								
Project	CAD work personnel for change (Person)	Technical grade	CAD rework time (Hour)	Wage (1,000 KRW)	Daily expenses (1,000 KRW)	Benefit (1,000 KRW)		
Test 1st Bridge	2	Semi-skilled engineers	48	561.00	168.30	4,375.80		
Test 5th Bridge	1	Semi-skilled engineers	24	561.00	168.30	2,187.90		
Test 7th Bridge	3	Semi-skilled engineers	72	561.00	168.30	6,563.70		
Test 8th Bridge	2	Semi-skilled engineers	48	561.00	168.30	4,375.80		
Benefit of Edit drawing dimensions total						17,503.20		
Benefit of design error (Design change + Edit drawing dimensions) total						65,349.70		
Benefit of construction error								
Benefit of wage								
Project	Item	Standard	Unit	Size	Shortened working period (Month)	Construction period (Month)	Wage (1,000 KRW)	Benefit (1,000 KRW)
Test 1st Bridge	Self-supporting retaining wall	Block type	m ²	1016	2	16	46.83	5,947.41
Test 7th Bridge	Soundproof wall	H=5.0m, 24month	m	540	2	22	40.21	1,973.95
Test 8th Bridge	Concrete pouring	Rebar, Vibrator included	m ³	11.09	2	8	35.90	99.53
	Concrete pouring (Machine mixing)	Rebar, Vibrator included	m ³	11.09	2	8	93.13	258.20
Benefit of wage total								8,279.09
Benefit of material cost								
Project	Item	Standard	Unit	Size	Shortened working period (Month)	Construction period (Month)	Wage (1,000 KRW)	Benefit (1,000 KRW)
Test 1st Bridge	Self-supporting retaining wall	Block type	m ²	1016	2	16	2.63	334.01
Test 7th Bridge	Soundproof wall	H=5.0m, 24month	m	540	2	22	138.80	6,813.82
Test 8th Bridge	Concrete pouring	Rebar, Vibrator included	m ³	11.09	2	8	0.25	0.69
	Concrete pouring (Machine mixing)	Rebar, Vibrator included	m ³	11.09	2	8	1.13	3.13
Benefit of material cost total								7,151.65
Benefit of construction error (Wage + Material cost) total								15,430.75
Benefit of Delayed construction								
Project	List	Technical grade	Cost (1,000 KRW)	Total cost (1,000 KRW)	Rate of construction shortening period (%)	Benefit (1,000 KRW)		
Test 1st Bridge	A-1	BIM Manager / BIM Coordinator / BIM Modeler / Top class engineers / Semi-skilled engineers	6,312.3	22,979.00	12.0	2,757.48		
	A-2		16,666.7					
Test 5th Bridge	A-1	BIM Coordinator / Semi-skilled engineers	1,367.4	5,117.40	12.0	614.09		
	A-2		3,750.0					
Test 7th Bridge	A-1	BIM Coordinator / Top class engineers / Semi-skilled engineers	1,367.4	18,034.10	12.0	2,164.09		
	A-2		16,666.7					
Test 8th Bridge	A-1	BIM Coordinator / Semi-skilled engineers	1,367.4	8,867.40	12.0	1,064.09		
	A-2		7,500.0					
Test Bed Bridge	A-1	BIM Coordinator / BIM Coordinator	1,367.4	1,367.40	12.0	164.09		
	-		-					
Test 6th Tunnel	A-1	BIM Manager / BIM Coordinator / BIM Modeler	4,944.9	4,944.90	12.0	593.39		
	-		-					
Tunnel + Road bed	A-1	BIM Coordinator / BIM Modeler	5,221.1	5,221.10	12.0	626.53		
	-		-					
Benefit of delayed construction total						7,983.76		

4. 향후 연구 진행 방향 및 결론

4.1 연구의 성과 및 결과

사회기반시설에 적합한 편익분석을 위해 사전에 실시한 실무 회의에서는 첫째, 담당자들과의 논의를 통해 오송 시험선 시공 단계에서의 BIM 활용에 따른 데이터 활용가능성을 파악하였고 둘째, BIM 적용사례 자료 분석 및 실무회의를 통해 ROI에 대한 기본적인 진행방향이 사회기반시설에 대한 BIM 적용 편익분석과 유사하다고 판단되어, 이를 통해 편익분석에 필요한 주요 비용 산출식을 도출하였다. 셋째, 오송 철도종합시험선로 시공현장의 건설 실무자 회의를 통해서 시공현장에서의 BIM 모델링 검토와 같은 효율성 증대 방안의 필요성과 설계단계에서의 간섭 오류를 BIM 모델 구축을 통해 검토한다면 인건비, 설계검토, 재료비를 Non-BIM보다 공기지연을 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 BIM기반 프로젝트와 도면기반프로젝트(Non-BIM)의 비교를 위해 철도 시설공단에서 제공한 호남고속철도(평화육교)사례를 분석하여 인건비, 재시공 및 해체비용, 공기지연의 항목으로 분류 가능성을 검토하였다.

BIM 사용에 따른 소비비용 산출식은 인건비를 중심으로 투입 인원에 따라 단일공종 및 멀티공종으로 구분하여 작성하였고, 이 산출식을 근거로 프로젝트별 소요임금을 계산하였다. BIM 업무 및 BIM Model 작성 및 검토에 대한 기술자 등급과 간섭 해결 비용 및 공기지연 방지를 위한 현장 검토에 대한 기술자 등급은 각각 세 가지 등급으로 분류되며, 총 소요임금은 기술자 등급에 따른 일일임금과 일비를 더한 값으로 설정하였다. 모든 프로젝트의 BIM Model 작성 및 검토, 시공 검토를 더한 BIM 사용에 따른 소비비용의 총합은 약 6,600만 원으로 측정되었다.

오송 시험선 BIM적용 List는 간섭 오류로 인한 해결사항을 포함하고 있었고, 각 사항이 BIM미적용에 따른 비용발생이라는 가정 하에 Benefit을 분석하기 위해서 간섭오류가 일어난 List 중 시공 오류로 인한 재작업에 해당하는 자료를 편익 분석 데이터로 추출할 수 있었고, 면적(m²)당 인건비, 재료비(원)를 분석 요소로서 활용하였다.

오송 시험선의 BIM적용 List 중, 설계 변경 및 도면 치수 수정에 해당하는 프로젝트의 BIM미적용 시 설계 오류로 인한 재작업 비용 산출을 위하여 변경에 따른 기술자 등급은 세 등급으로 나누고, 각각 등급에 따른 사무직 일당과 기타 일비를 설정하여 설계 오류 해결과정에 따른 총 리스크 비용은 약 6,534만 원으로 계산되었다.

시공관련 이슈의 해결사항을 BIM미적용에 따른 비용발생이라는 가정 하에 Benefit을 분석하기 위하여 인건비와 재료비로 구분하여 분석을 진행하였다. BIM적용과 Non-BIM 프로젝트 비교 시 구조 부분에 해당하는 작업시간이 평균적으로 2달이 단축됨

을 파악하였고, 해당 이슈에 대한 Non-BIM 데이터가 구축되어 있지 않기 때문에 평균적으로 단축되는 기간에 대한 공사비용을 BIM을 이용한 Benefit이라고 가정하였다. 산출식에 따른 총 인건비 Benefit의 합계는 약 830만 원, 총 재료비 Benefit의 합계는 약 715만 원으로 총합은 약 1,543만 원으로 계산되었다.

공기 지연 산출요소의 경우 건설단계 모든 부분에 해당하고, BIM미적용에 따라 총공사비에 영향을 미친다는 가정에 의해 Benefit을 분석하기 위하여 지체보상금을 활용하여 분석을 진행하였다. 지체보상금의 경우 총공사비의 15%를 가정하였으나, 시공단계에서 평균 2달의 작업시간 단축을 고려하여 12%로 조정하여 산출하였고, BIM 미적용 시 공기지연으로 인한 Benefit의 총합으로 약 800만 원으로 계산되었다.

BIM 활용에 따른 총 투자비용(Cost)은 약 6,600만 원으로 계산되고, 공기 단축을 2달로 가정하여 계산한 BIM 활용에 따른 총 효과비용(Benefit)은 설계관련 효과비용과, 시공관련 효과비용, 공기지연관련 효과비용을 합한 약 8,800만 원으로 계산되어 BIM 활용에 Benefit / Cost는 약 133.4%로 계산되었다.

B/C 결과의 민감도를 확인하기 위하여, 시공단계 및 공기지연 항목에서의 공기단축 기간을 2달(연장)에서 -2달(단축)까지 0.5달 간격의 총 9가지 변수로 구분하여 동일 계산방법을 적용하였고, 각각 B/C의 값은 변수가 -2에서 +1까지일 경우 100% 이상, +1.5와 +2일 경우 100% 미만으로 나타났다. 이는 철도인프라를 포함한 토목인프라의 경우 총사업비의 규모가 크기 때문에, BIM 활용 기간에 따라 프로젝트 건설단계에 큰 영향을 미칠 것이라 판단된다. 분석에 활용한 데이터는 실제 시공에 소모된 정확한 수치에 대한 데이터가 아니고, 실제 시공이 진행되고 있는 해당 프로젝트의 성격상 공기의 단축에 대한 부분을 짐작하기가 어려운 상황으로 매우 보수적인 계산결과를 얻었으나, 본 연구에서 한계점으로 밝힌 유지 보수단계에서 비용편익 요소 산출 및 분석이 후속 연구로서 이루어진다면 철도인프라의 특성상 계획 및 시공단계에서 분석한 결과 이상의 누릴 수 있는 이득을 기대할 수 있다.

4.2 연구의 기준 설정 및 한계

국내 사회기반시설 BIM 적용 프로젝트의 편익분석과 관련된 연구는 아직까지 성격과 내용이 명확히 정의되지 않은 것들이 많다. 특히 계획, 설계, 시공, 유지보수의 4단계를 포괄하는 전생애 주기적 단계에서의 분석은 관리와 현장의 측면에서 발생하는 필요성의 차이와, 단계별 데이터의 관리 차원에서 발생하는 데이터 손실 등의 복합적인 문제로 인해 편익분석의 결과까지 이어지는 경우가 많지 않다.

본 연구에서는 BIM 적용 유무에 따른 효과 분석을 위해, 선행 연구 문헌 결과를 바탕으로 편익분석의 산출요소를 도출하였고, 산출요소인 인건비, 재료비, 공기지연의 항목을 BIM 미적용에 따

라 발생 가능한 추가비용으로 가정하여 오송 시험선에 적용하였다. 분석의 대상인 오송 시험선의 경우 시공이 진행되고 있는 상황에서 편익분석을 위한 기초 데이터로서, 계획단계에서 시공단계까지의 데이터는 일부 수집이 가능하지만 유지보수 단계에 대한 검증은 아직 진행되지 않은 부분으로 비용편익을 위한 요소 산출이 현실적으로 어려운 상황이다. 따라서 편익분석에 대한 비용 산출은 설계 오류와 시공 오류로 인한 인건비 및 재료비와, 건설 모든 단계에 관여하는 공기지연을 중심으로 진행하였다. 설계 단계에서는 인건비를 중심으로, 시공단계에서는 업무종류를 중심으로 한 인건비와 재료비를 활용하였으며 공기지연의 경우 전체 단계를 대상으로 하기 때문에 모든 프로젝트에 적용하였다.

오송 철도종합시험선로는 여러 Test Bed 구간으로 이루어져 있으며 시공기간 및 비용 등의 다양한 여건상 전 구간 BIM 활용에 한계가 있었다. 따라서 향후 연구로써 BIM 활용의 효용성을 다른 해외 문헌들의 BIM과 Non-BIM 대조군 비교 연구방법을 활용하여 종합시험선로 내부 유사한 구간에 수행한다면, BIM 효용성 측면에서 다른 가치 있는 결과를 예상할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부가 주관하고 한국철도기술연구원에 시행한 2018년도 “BIM기반 철도인프라 관리 표준기술 개발”(18RTRP-B104237-04)의 연구비 지원에 의한 결과임.

References

Jang, Y. H., Park, S. I., Han, J. H., Lee, S. H. (2013). Utilization of IFC Data Model for Constructing Railway Bridge Library Based on BIM Standards, Korean Society of Civil Engineers, pp. 669-672.

Kim, B. J., Ju, H. W., Jang, M. S., Kim, B. J., Chin, S. Y. (2016). An Analysis on Design Error Issues of BIM Conversion Design Projects through Case Studies, Journal of Korea Institute of BIM, pp. 47-57.

Kim, H. S., Lee, J., Um, J. K., Im, J. W. (2012). Effectiveness analysis due to the public transportation's accessibility improvement coming close to Osong station, Journal of the Korean Society for Railway, pp. 903-912.

Kim, J. H., Ji, S. G., Jeong, T. H., Seo, J. W. (2014). A Feasibility Study to Adopt BIM-based Infrastructure Management System, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 34(1), pp. 285-292.

Kim, M. J., Lee, K. H., Kwon, S. H., Park, S. I., Lee, S. C. (2014). BIM application case study of civil infrastructure Industry, Journal of the Korean Society for Railway, pp. 1119-1124.

Kim, M. J., Lee, K. H., Son, C. B. (2014). An Status Analysis on the BIM Utilization and Its Improvement Measures in Domestic Architects, Journal of the Architecture Institute of Korea, 30(8), pp. 79-86.

Kim, Y. H., Kim, H. S., Kang, L. S. (2015). A Study of BIM Delivery Model for Railway Construction Project using BIM Function Breakdown Structure, Journal of the Korean Society for Railway, 18(4), pp. 344-353.

Lee, C. G., Lee, S. R., Wang, J. B. (2008). A Study on the Applicability Improvement Enhance of Rolling Stock Safety Regulation, Journal of the Korean Society for Railway, pp. 1570-1594.

Lee, S. H., Kwak, C., Lee, K. J., Shin, T. H., Chin, S. Y., Kim, Y. S. (2009). A Derivation of BIM Adoption Strategy through Domestic and Foreign BIM-based Projects, Journal of the Architecture Institute of Korea, 29(1), pp. 677-680.

Lee, T. H., Lee, S. B., Hong, H. P., Kim, B. G. (2010). A Review of the Interoperability of Signalling System between Trunk Lines with Metro Rail Network, Journal of the Korean Society for Railway, pp. 2317-2322.

Lim, C. W., Yu, J. H., Kim, C. D. (2010). Analysis for BIM Object Information Compatibility Problem Classification Among BIM Softwares, Journal of the Korea Institute of Building Construction, pp. 257-260.

Oh, H. O., Kim, J. H., Kim, M. S. (2011). The Study on the Structure Design Process and Modeling Guidelines Based on BIM, Journal of the Architecture Institute of Korea, 27(12), pp. 107-114.

Park, J. W., Kim, S. C., Lee, S. S., Song, H. Y. (2009). Suggesting Solutions when Applying Building Information Modeling (BIM) to the Korean Construction Industry through Case Studies, Journal of the Korea Institute of Building Construction, pp. 93-102.

Shin, M. H., Park, J. J., Lee, G. I., Kim, B. G., Min, B. E. (2016). Development of Rail Infrastructure Information Management System with Application of BIM, Korean Society of Civil Engineers, pp. 313-314.

Son, J. I., Ock, J. H. (2016). A Study on Measurement Method of BIM ROI in Architectural Design Firm, Journal of Computational Design and Engineering, 21(3), pp. 267-280.