

경량전철 교량 LCC분석을 위한 불확실성 인자 분석

An Analysis of the Uncertainty Factors for the Life Cycle Cost of Light Railroad Transit

원 서 경[○], 이 두 현^{**}, 김 균 태^{***}, 김 현 배^{****}, 전 진 택^{*****}, 한 충 희^{*****}
Won, Seo-kyung, Lee, Du-Heon, Kim, Kyoon-Tai, Kim, Hyun-Bae, Jun, Jin-Taek, Han, Choong-Hee

요 약

최근 경량전철 건설이 정부 및 지자체의 정책과 민간자본의 투자에 힘입어 다양한 노선들이 추진되는 등 SOC 분야에 민간투자사업 형태의 참여가 증가하고 있다. 이러한 민자유치사업은 지자체를 포함한 정부뿐 아니라 민간건설업체의 입장에서 면밀한 사업 경제성 분석을 통한 타당성 검토가 이루어져야 한다. 즉 공사비 등의 초기 투자비용 뿐 아니라 유지관리비용, 해당 시설물 운영을 통한 수익창출, 해체비용 등 생애주기측면에서의 정확한 비용 분석이 필요하다 하겠다. 그러나 불확실성 인자들의 분석과 이를 확률론적 기법에 의해 경제성을 평가할 수 있는 여건은 미흡한 실정이다. 대표적으로 경량전철 건설사업의 경우 유지관리비용에 관한 실적자료가 아직 미비하므로 정확한 비용산출 및 경제성 분석이 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 최근 민자투자가 많은 경량전철사업 중 토목구조물 경제성평가를 위한 불확실성을 분석하였다. 이를 위해 먼저 경량전철 비용분류체계를 토대로 교량구조물을 대상으로 생애주기비용 측면에서 고려되어야 할 불확실성 인자를 분석하는 순으로 연구를 수행하였다. 경량전철 건설사업에 있어 시설물에 대한 유지관리 실적자료가 거의 전무한 상황임을 가정할 때, 본 연구를 통해 제시된 비용분류체계와 불확실성 인자 분석은 향후 이 분야의 LCC분석 및 경제성 평가의 자료로 활용될 수 있으리라 기대한다.

키워드: 경제성 평가, 비용분류체계, 불확실성 처리기법,

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 정부에 의해 추진되어 온 SOC(사회간접자본시설물)사업에 민간부문의 참여가 증가하고 있다. 이는 부족한 재원마련과 유연한 사업추진을 위한 것으로 향후 지속적으로 민간투자는 증가할 것으로 예상되고 있다. 이러한 민자유치사업의 경우 지자체를 포함한 정부뿐 아니라 해당 시설물 운영을 통해 수익을 창출해야 하는 민간건설업체의 입장에서 시설물의 계획, 설계, 건설과 유지관리 등 생애주기동안 투입되는 사업비와 운영수익간의 정확한 예측이

필요한 실정이다. 그러나 최근 건설중인 경량전철과 같이 유지관리에 관한 실적자료가 축적되지 못한 사업의 경우 민간건설업체의 입장에서 사업 수익성 여부를 사전에 정확히 예측하여 추진 여부를 결정하기가 쉽지 않다. 이와 같이 사전에 사업성 여부를 판단하기 위하여 다수의 불확실성을 내재한 상황에서 미래의 가치 등을 알아내야 하는 경우 의사결정을 내릴 수 있는 기법에 관한 연구는 여러 각도에서 진행되어 왔다. 그러나 대부분의 경우 사업 타당성 평가 단계에서의 리스크 관리에 관한 연구나 건축개발사업의 재무적 타당성 분석에 관한 연구가 대부분이었다.

이에 본 연구는 정부고시 민간투자사업 중 경량전철을 대상으로 유지관리단계의 불확실성 인자들을 도출하고 불확실성 정도가 높은 인자들을 분석하는 것을 목적으로 한다. 특히 경량전철 건설사업의 각종 시설물 중 유지관리에 소요되는 비용비중이 큰 교량시설물을 대상으로 하여 LCC 측면에서의 사전 경제성평가를 위한 불확실성 인자들을 분석할 수 있도록 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

경량전철 건설사업의 경우 사업주체 및 계약 체계에 따라 그 유형이 매우 광범위하고, 수익생성구조 또한 상이할 수 있으므로 경량전철 모든 항목에 관한 불확실성 인자들을 도출하는 것은 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는

* 일반회원, 경희대학교 일반대학원 건축공학과 박사과정, kcem@khu.ac.kr
** 일반회원, 한국건설기술연구원 연구원 ldh24@kict.re.kr
*** 종신회원, 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사 (교신 저자), ktkim@kict.re.kr
**** 일반회원, (주)포스코건설 상무이사 kimhb@poscoenc.com
***** 일반회원, (주)포스코건설기술연구소 토목환경기술연구팀 과장, jtjun@poscoenc.com
***** 종신회원, 경희대학교 토목건축대학 교수, 공학박사, chhan@khu.ac.kr

경량전철 사업에서 공사비 및 유지관리 비용 비중이 큰 토목시설물 중 교량시설물로 범위를 한정하였다. 이는 유사시설물 비용실적자료 중 비교적 자료관리가 잘 되어있는 도로교량의 유지관리 실적자료를 활용하여 경량전철 교량시설물의 불확실성 인자를 분석하기 위함이다. 본 연구에서 경량전철 교량시설물의 불확실성 인자도출을 위하여 다음과 같은 순서로 연구를 진행하였다.

(1) 문헌조사와 면담조사를 통해 본 연구에서 대상으로 하고 있는 경량전철 민간투자시설사업과 관련된 불확실성 연구 및 리스크 연구 결과를 분석한다. 또한 연구대상으로 삼은 Y-시 경량전철 건설사업 및 민간투자시설사업의 특성을 고찰한다.

(2) 생애주기비용 측면에서 고려할 때 초기투자비용과 유지관리비용으로 대별하여, 실적자료가 없는 유지관리비의 불확실성 인자 도출을 위하여 유사 실적자료 활용을 통한 비용분류체계와 항목을 구축한다. 이를 통해 잠재 불확실성 인자들을 도출한다.

(3) 도출된 인자들을 대상으로 주요 불확실성 인자들을 규명하기 위하여 변수의 수가 많을 경우 AHP기법을 이용하여 각 불확실성 변수들의 중요도 가중치를 산출한다.

이후 상위 변수들을 중점적으로 고려하여 주요 불확실성 인자를 규명한다.

2 예비적 고찰

2.1 국내외 연구 현황

사업 타당성 분석 및 재무적 리스크와 관련된 연구는 최근 여러 방면에서 수행되었다. 불확실성하에서의 의사결정에 있어 기존의 결정론적 방법에 의한 방식에서 탈피해 확률론적 방법을 이용하여 행한 연구(이성수 외 2007)와 SOC 사업 중 민간투자사업의 재무적 리스크 분석에 대한 연구(정동욱 외 2001) 등이 대표적이다.

그러나 전자의 경우 민간이 직접 시행하는 공동주택분야의 분양형 개발사업이 대상이며, 후자의 경우 경량전철을

대상으로 관련 리스크 인자를 파악하는 내용을 포함하고 있으나 사업 타당성을 확률적으로 평가할 수 있는 모델개발을 목적으로 하여 리스크 분류체계가 본 연구의 대상과는 상이하다. 기타 관련 연구동향 분석결과는 표 1과 같다.

2.2 민간투자 형식의 경량전철 건설사업의 특징

SOC 사업의 특성을 지닌 경량전철 건설사업의 경우 민간투자 시설방식으로 진행할 경우 계약체결의 유형에 따라 매우 다양하고 가변적인 방식의 체결이 가능하다.¹⁾ (정동욱 외 2001)

(1) Y시 경량전철 사업의 특성

Y시의 경우 BTO(Build-Transfer-Operate)방식으로 건설을 맡은 Y경전철(주)가 향후 30년간 운영하게 된다. 총연장은 18.4km이며, 정거장 16개소, 토공구간 2.3km, 고가구조물 15.5km로 구성되어 있다.

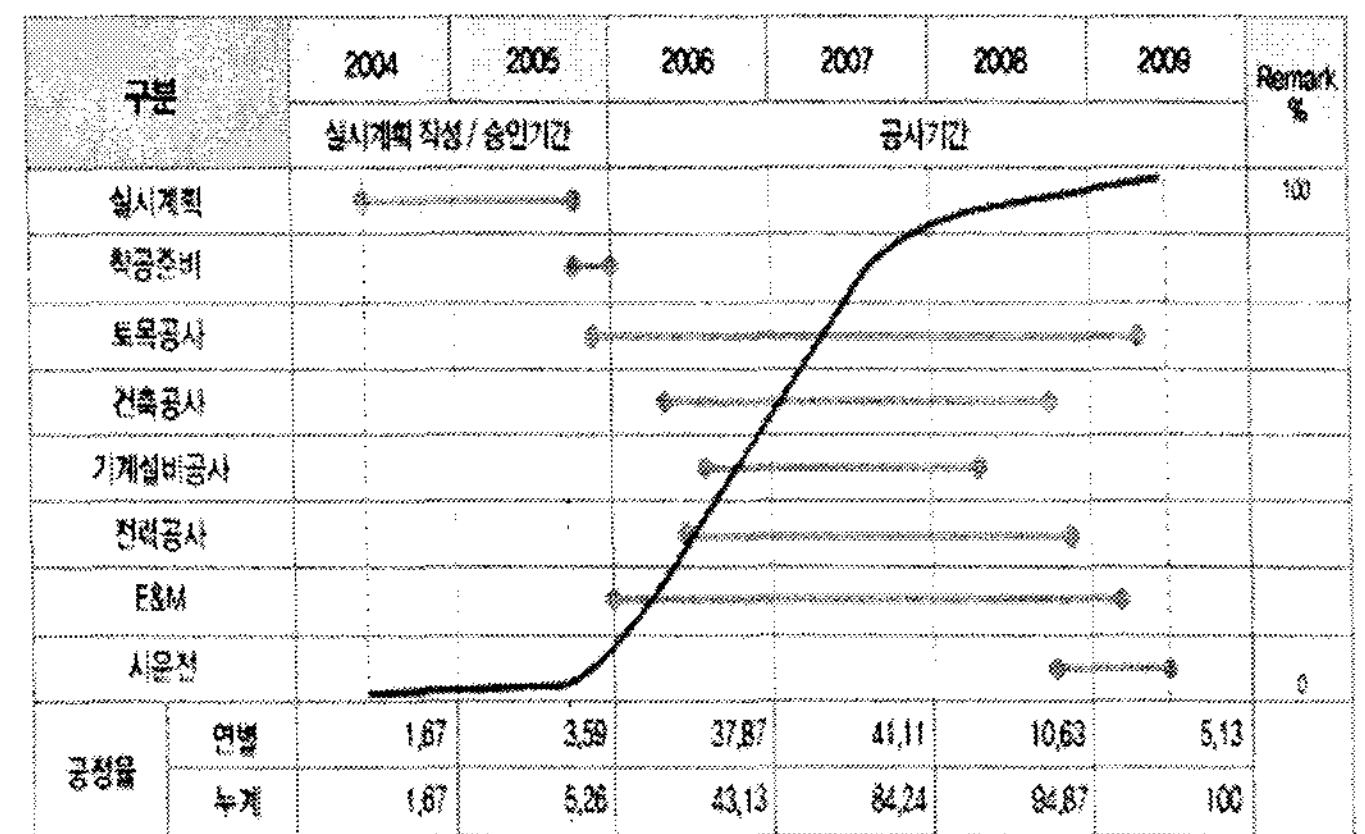


그림 1. Y시 경전철 건설사업 예정공정율
(출처 : www.ever-line.co.kr)

2006년 12월 착공하여 현재 올해말까지 84%의 공정율로 진행되게 된다. 대부분의 구간이 고가 즉 교량시설물로 시공되고 있으며, 본 연구에서는 당 현장의 교량시설물 상부 시공형식과 가장 유사한 U-Girder교와 Steel Box Girder교

표 1. 관련 연구동향

연구제목	연구자	발표년도	연구내용	차별성
확률론적 시뮬레이션 분석방법을 적용한 건축개발사업의 재무적 타당성 분석	이성수 외 2인	2007	건축개발사업의 확률론적 타당성분석방법 제시	민간시행의 공동주택 대상
SOC 민간투자사업의 재무적 리스크 분석에 관한 연구	정동욱 외 3인	2001	경량전철 재무적 타당성분석의 확률적 평가 모델개발	사업 타당성 평가, 리스크 평가 위주
국내개발사업의 사전기획단계에서의 효율적 리스크 관리를 위한 리스크 인자 중요도에 관한 연구	신규호 외 1인	2002	국내개발사업 사전기획단계의 리스크 관리	리스크 인자의 중요도 분석
민간투자건설프로젝트에서 위험예측모델을 반영한 사업타당성분석방법 개발	김수정 외 3인	2002	위험요소 도출을 통한 사업타당성 분석방법 개발	위험예측모델 개발

1) 운영 및 유지관리만을 민간에 위탁하는 OM(Operation & Maintenance)방식에서부터 모든 업무를 민간이 담당하는 BOO(Build-Own-Operate)방식까지 다양함

의 도로실적자료를 토대로 유지관리 단계에서의 불확실성 인자들을 도출하고자 한다.

(2) 경량전철 불확실성 인자도출을 위한 전제

경량전철 교량시설물의 생애주기비용 관점에서의 불확실성 인자 도출을 위해서는 LCC 분석을 위한 비용분류항목을 체계적으로 살펴볼 필요가 있다. 본 연구에서는 도로교량의 비용분류체계를 바탕으로 경량전철의 교량을 분석하고자 하였으나 경량전철을 비롯한 철도교량은 도로교량과 서로 활용되는 목적이 상이하므로, 투입되는 자재와 비용발생항목도 다소 차이가 있다. 이러한 차이는 교량의 바닥판 시공 후 교면포장이 이루어지는 도로교량과 도상과 레일이 설치되는 철도교량의 상이한 특성에 기인하며, 이로 인해 설치되는 교량받침이나 신축이음 등 활용되는 자재의 종류도 달라지게 된다. 따라서 잠재 불확실성 인자를 우선 도출하여 AHP기법에 의해 주요 불확실성 인자를 결정했을 때 도로와 철도 교량의 상이점으로 인해 발생하는 인자들에 대한 고려를 추가할 것이다.

2.2 경량전철 교량구조물 비용분류체계

생애주기비용 측면의 관점에서 보면 비용은 초기투자비와 유지관리비, 해체비 등으로 대별되며, 이 중 본 연구에서 중점을 둔 것은 초기투자비 중 공사비, 유지관리비 중 보수/보강/교체비이다. 현재 경량전철 사업은 건설사업이 진행중인 상태이므로 공사비에 관한 자료의 경우 개략적 자료의 입수 및 분석을 통하여 규모를 가늠할 수 있지만 유지관리비의 경우 유사 사업의 실적자료를 통한 추정과 확률론적 기법을 통한 분석만이 가능한 실정이다.

초기투자비의 경우 설계비(기본, 실시설계 등), 공사비, 감리비 등으로 분류되며, 유지관리비의 경우 점검진단비, 보수보강교체비, 운영관리비 등으로 분류된다. 각 항목의 하위 상세분류는 그림 2와 같다.

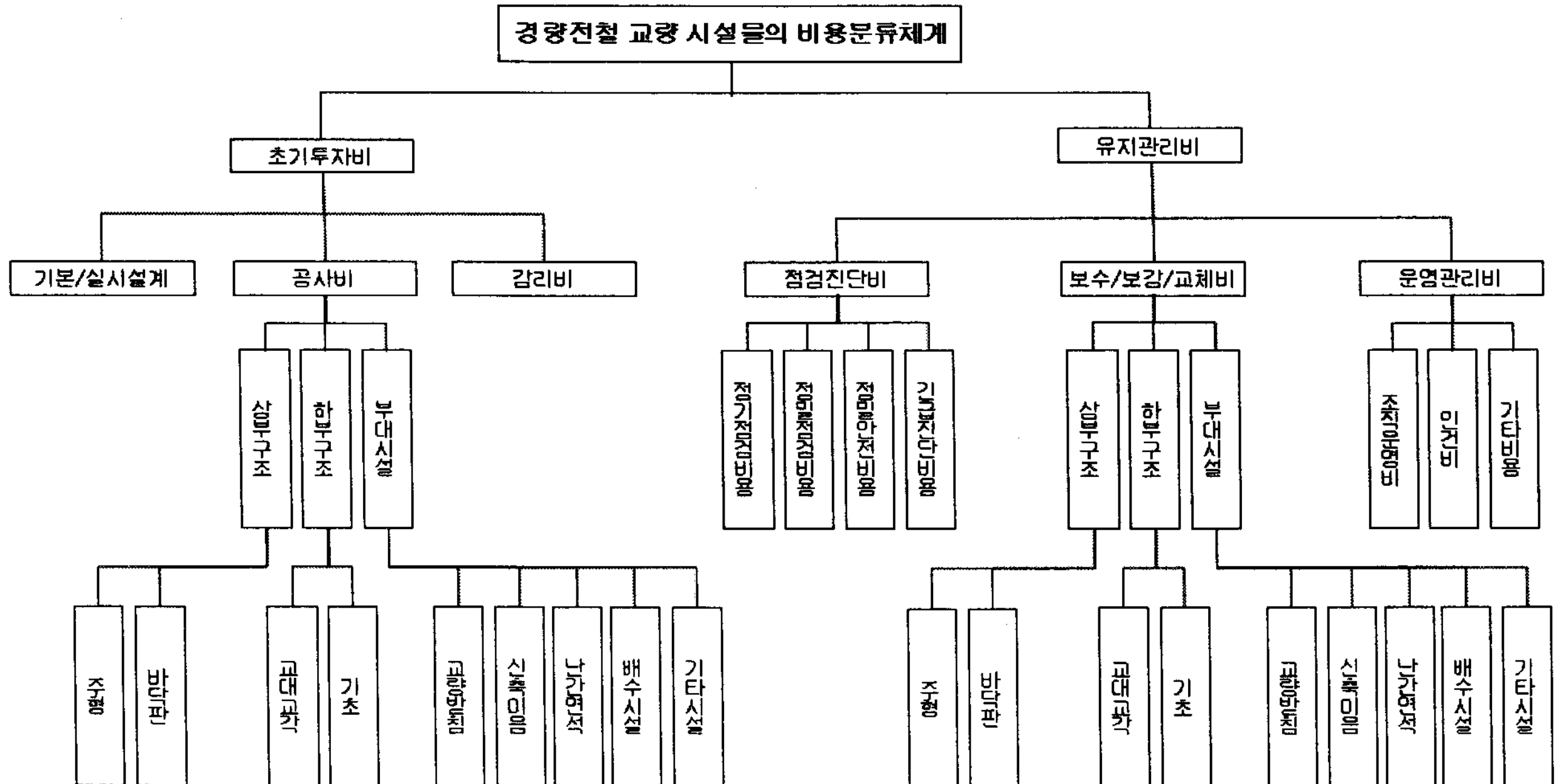


그림 2. 경량전철 교량 시설물의 비용분류체계

3. 교량구조물의 불확실성 인자분석

3.1 불확실성 잠재인자 도출

경량전철 교량구조물의 생애주기비용관점에서 불확실성 인자는 크게 공사비와 보수보강교체비²⁾를 위주로 하였으며 프로젝트 특성관련 사항을 비롯한 기타 항목을 포함해 전문가 자문을 통하여 우선순위화 할 수 있도록 하였다.

표 2. 불확실성 잠재 부위 및 인자 도출

구분	잠재 불확실 부위 및 인자	세부내용
부위별	상부구조	U-Girder교, 강박스교
	하부구조	교대, 교각, 기초 등
	부대시설	교량받침, 신축이음, 난간연석, 기타시설 등
규모별	교량 규모에 따른 비용 불확실성	교량폭원, 설계하중, 연장, 높이 등
주기별	교량 구성요소의 보수보강비용	교량의 해당 구성요소별 보수보강 주기
프로젝트 특성	비용관련	공사비, 수명주기비용, 예비비, 가용자원, 민간투자자원의 지연, 인플레이션 및 이자율 변경 등
	계약관련	계약 유형, 불공정 계약조건, 발주자와의 분쟁, 민원 발생, 대관업무 차질, 보험·보증 조건 등
	기술공법	공사도서 검토 미비(설계, 시방, 계약서 등) 공구별 주변현황의 영향 정량화

표 2와 같이 정리된 불확실성 잠재 인자들을 토대로 하여 항목을 정리하고, 이들 항목들 중 주요 불확실성 인자를 도출하기 위하여 AHP 기법을 사용하였다.

3.2 불확실성 인자의 우선순위화

상기에 도출한 잠재 인자들을 전문가 자문을 토대로 항목별로 분류한 후 이들 항목에 대하여 AHP³⁾기법을 이용하여 각 항목별 중요도 가중치를 구하였다. 그림 3에서 보이는 바와 같이 교량상부구조형식, 보수보강 조건의 변경, 현장주변 여건의 변화, 사회·경제 여건의 변동, 교량규모에 따른 변동, 계약관련 변경 사항, 기술·공법·자재 등의 변화, 실적자료의 활용성, 천재지변과 같은 예측불가능한 상황 등으로 대별하여 분류할 수 있었다.

LCC 측면의 경량전철 교량 시설물 불확실성 인자	교량 상부 구조 형식	보수 보강 조건 변경	변경 주변 여건 변화	사회 경제 여건의 변동	교량 규모에 따른 비용	계약 관련 변경 사항	기술· 공법· 자재의 변화	실적 자료 활용 가능	예측 불가능 상황	기타 평균	중요도
교량상부구조형식	1	1/2	1/2	1	1/3	1/3	1	1/2	1/3	2.02	0.050
보수보강조건변경	2	1	1/3	1	1	1/2	1	1/2	1/2	2.98	0.075
현장주변여건변화	2	3	1	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1/3	3.98	0.101
사회·경제 여건의 변동	1	1	2	1	1/3	1/2	1/2	1	1	3.10	0.078
교량 규모에 따른 비용	3	1	3	3	1	1/3	1	1/2	1/2	5.53	0.138
계약관련변경사항	3	2	3	2	3	1	1/2	1/3	1/2	8.05	0.151
기술·공법·자재의 변화	1	1	1	2	1	2	1	1/2	1/3	3.56	0.091
실적자료 활용 가능	2	2	2	1	2	3	2	1	1/3	5.58	0.139
예측불가능한 상황	3	2	3	1	2	2	3	3	1	7.87	0.177

그림 3. 경량전철 교량시설물 불확실성 인자 분석

이에 의하면 예측불가능한 자연재해 등의 상황을 제외하고는 주변 여건의 변화, 교량 규모에 따른 제비용, 계약변경사항, 실적자료 활용성 등이 주요 인자로 도출되었다.

4. 결론

본 연구는 최근 증가추세를 보이고 있는 경량전철과 같은 민간자본투자사업의 경제성평가 시 공사비와 같은 초기 투자비용 외 유지보수비와 같은 실적자료는 미비한 상황임을 전제할 때, 불확실성을 지닌 인자를 도출하고 주요 불확실성 인자에 대하여 분석하는 것을 목적으로 수행되었다.

기존 도로 및 철도의 경우 공사비 및 유지관리 비용에서 많은 부분을 차지하는 교량 및 터널 등의 토목시설물에 관한 실적 자료가 존재하고 있으나, 그 내용 및 구성이 연구에 활용하기 미비하거나 외부에 공개하지 못하는 사정 등으로 인해 활용도가 높은 자료를 구하기 쉽지 않았다. 또한 경량전철 건설사업의 경우 전술한 바와 같이 현재 국내에서는 유지관리 자료가 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구를 진행함에 있어 경량전철의 유지관리비에

관한 항목을 도출하는 데 있어 주관적 판단에 대한 발생 가능한 오류를 줄이기 위한 적극적 대응이 부족했다. 그러나 향후 관련 정보와 자료가 좀 더 보완된다면 보다 체계적인 불확실성 분석이 가능할 것이라 기대한다.

참고문헌

1. Seungwoo Han, Application Modeling Of The Conventional And The Gps - -Based Earthmoving Systems, 2005
2. 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구, 2004년도 예비타당성조사 연구보고서, 한국개발연구원, 2004
3. 김수정 ; 서석원 ; 김재준 ; 김경래, 민간투자건설프로젝트에서 위험예측모델을 반영한 사업타당성분석방법 개발, 대한건축학회 논문집(구조계), v.18 n.4, 대한건축학회, 2002, pp. 129-138
4. 박경훈 ; 이상운 ; 김정호 ; 조효남 ; 공정식, 강교량의 최적 유지관리 시나리오 선정 모델, 한국강구조학회 논문집, v.18 n.6, 한국강구조학회, 2006, pp. 677-686
5. 소병춘 ; 최영민 ; 조선규 ; 신경철 ; 정재동, 확률적 방법에 의한 철도시설물의 LCC 분석, 2004년도 추계학술대회 논문집, 한국철도학회, 2004
6. 신규호 ; 김재준, 국내개발사업 사전기획단계에서의 효율적 리스크 관리를 위한 리스크 인자 중요도에 관한 연구, 한국건설관리학회 논문집, v.3 n.2, 한국건설관리학회, 2002, pp. 75-86
7. 이두현 ; 김근태 ; 안동근 ; 전진택 ; 한충희, 경량전철 교량의 생애주기비용 분석에 관한 연구, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 한국건설관리학회, 2006, pp. 384-389
8. 이성수 ; 최희복 ; 강경인, 확률론적 시뮬레이션 분석방법을 적용한 건축개발사업의 재무적 타당성 분석, 한국건설관리학회 논문집, v.8 n.3, 한국건설관리학회, 2007, pp.76-86
9. 정동욱 ; 김형진 ; 현창택 ; 김인호, SOC 민간투자사업의 재무적 리스크 분석에 관한 연구 : 경량전철 건설사업을 중심으로, 대한건축학회 논문집, v.17 n.5, 대한건축학회, 2001, pp.109-116
10. 최지훈, [기술칼럼] 경량전철의 현황과 해외사례, 건설기술, 쌍용, 2004. 가을호(v.32), 쌍용건설 기술연구소, 2004, pp.44-51

2) 도로공사 보수보강이력자료 참조

3) AHP(Analytic Hierarchy Process)

Abstract

Various ways of automated guideway transit construction are being planned recently owing to the policies of the national government and local municipalities as well as increasing investment from the private sector. Particularly, the increase in the private investment is increasing greatly in SOC (Social Overhead Cost). This trend of promoting private sector investment must be conducted on the basis of a thorough analysis of the economic feasibility of the project from the government and construction companies in the private sector. In other words, an accurate cost analysis of initial investment cost (construction cost), maintenance/repair cost, profit making through the operation of the concerned facilities, cost of dissolution, etc. in terms of the life cycle is very much in need. Nevertheless, the analysis of uncertainty factors and its probabilistic theory are in need of development so that they can be used in the analysis of the economic feasibility of a construction project. First of all, the actual studies on maintenance/repair cost of automated guideway transit are scarce as of yet, prohibiting an accurate computation of the cost and its economic analysis. Accordingly, this study focused on the uncertainty analysis of the economic feasibility for civil engineering structures among automated guideway transit construction projects based on the rapidly increasing investment on such structures from the private sector. For this research purpose, a cost classification system for the automated guideway transit is proposed, first of all, and the data on the cost cycle of the civil structure facilities and their unit cost are collected and analyzed. Then, the uncertainty in the cost is analyzed from the perspective of LCC. In consideration of the current status with almost no studies on maintenance/repair of such facilities, it is expected that the cost classification system and the uncertainty analysis technique proposed in this study will greatly enhance LCC analysis and economic feasibility studies for automated guideway transit projects in the future.

Keywords : Life Cycle Cost, economic evaluation, Cost Breakdown Structure
