

LCCA기반 터널 자산관리 시스템 개발을 위한 연구개발 프레임워크 설계

이승수¹ · 김광염² · 김동규^{2*} · 신휴성² · 서종원³

¹정회원, 한국건설기술연구원 석사후연구원, 공학석사

²정회원, 한국건설기술연구원 연구위원, 공학박사

³비회원, 한양대학교 건설환경공학과 교수, 공학박사

A research framework for development of a LCCA based tunnel asset management system

Seung Soo Lee¹, Kwang Yeom Kim², Dong-Gyou Kim^{2*}, Hyu-soung Shin², Jong Won Seo³

¹Researcher, Geotechnical Engineering Research Division, Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology

²Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Division, Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology

³Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, HanYang University

ABSTRACT: As many parts of Korea are mountainous, many tunnels have been constructed to be in step with rapid economic development since 1970's. However, the interest on maintenance of tunnels is far less than the awareness of need for tunnels. As the tunnel maintenance system is the responsive maintenance system which responds to the problems found during the inspection, it will be very difficult to respond to each problem with the limited budget and manpower of the government agencies when the number of aged tunnels rapidly increase in the future. As such, this study presents the need for the LCCA (Life Cycle Cost Analysis) based tunnel asset management system to transform the tunnel maintenance to a preventive management system in a strategic and long-term viewpoint and proposes the framework for development direction. It observed the asset management implementation cases of social infrastructure in other countries and analyzed the need for asset management technique to manage the tunnels in Korea. Moreover, it applied the LCCA model, which is the economic and engineering quantitative decision making technique, for tunnel asset management to present the concrete direction for development of an asset management model and designed the R&D framework to systemize it.

Keywords: Tunnel maintenance, Life Cycle Cost Analysis, Asset management, Cost breakdown structure

초 록: 산악지형이 많은 우리나라는 1970년대 이후 급속한 경제발전과 함께 수많은 터널이 건설되어 왔으나 터널의 필요성에 대한 인식에 비해 터널의 유지관리에 대한 관심은 부족한 상태이다. 국내 터널의 유지관리체계는 점검 후 이상이 발견 되었을 때 대처하는 대응적 유지관리 체계로서, 앞으로 노후화 터널이 급격히 증가하면서 각 기관들의 제한된 예산의 범위와 인력으로는 일일이 대응하기 어려워질 것이다. 따라서 본 연구에서는 터널의 유지관리를 전략적이고 장기적인 관점에서의 예방적인 관리 체계로 변환시키기 위한 LCCA(Life Cycle Cost Analysis)기반 터널 자산관리 시스템의 필요성과 개발방향에 대한 프레임워크를 제시하고자 한다. 국외 선진국의 사회기반시설물에 대한 자산관리 수행사례를 살펴보고 국내 터널관리에서의 자산관리기법의 필요성을 분석하였다. 또한, 터널 자산관리에서 경제적, 공학적인 정량적 의사결정 기법인 LCCA 모델을 적용하여 자산관리모델이 개발되기 위한 구체적인 발전방향을 제시하고 이를 시스템화하기 위한 연구개발 프레임워크를 설계하였다.

주요어: 터널 유지관리, 생애주기비용분석, 자산관리, 비용분류체계

*Corresponding author: Dong-Gyou Kim

E-mail: dgkim2004@kict.re.kr

Received November 14, 2014; Revised November 24, 2014;

Accepted November 27, 2014

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

미국, 일본, 유럽을 비롯한 주요 선진국의 경우 1980년대 들어 터널을 비롯한 사회기반 시설물의 노후화로 인한 유지관리 비용이 급증하면서 1990년대 전후의 유지관리 비용이 전체 건설 예산의 40%를 차지하였으며, 현재에도 지속적으로 증가하는 추세에 있다(FHWA, 1999). 국내 터널 시설물의 경우 전체 2,695개 가운데 30년 이상 경과된 터널은 128개(4.7%), 50년 이상은 30개(1.1%)를 차지하고 있다(Park, 2014). 이는 일본의 노후화 터널이 51.3%를 차지한다는 점과 비교해 보았을 때 낮은 수준이나, 1970~80년대 이후 우리나라의 급속한 경제발전과 함께 다량의 터널이 건설되어 왔다는 점을 고려하면, 머지않아 노후화 터널이 더욱 급증하고 이들에 대한 유지관리가 사회적 이슈가 될 것임은 자명한 이치이다. 특히, 30년 이상 된 128개의 터널 중에서도 C등급 이하의 상태평가를 받은 터널이 55개소(43%)에 이르고 있어 현재의 유지관리 체계에도 많은 문제점이 있다는 것을 알 수 있다(Park, 2014).

선진국에서는 이러한 문제점에 경제적이고 효율적으로 대응하고자 터널을 포함한 사회기반시설물을 초기부터 하나의 국가적, 사회적 자산으로 보고 전략적이고 장기적인 유지관리 및 운영 계획을 수립하여 관리하기 위하여 예방적 자산관리(asset management) 기법을 도입하고 있다. 예방적 자산관리는 시설물의 상태를 신뢰적으로 예측·평가하여 제한된 예산범위 내에서 장기적으로 최적의 물적 자산(physical assets)의 성능을 유지하기 위하여 인적자산(human assets), 정보자산(information assets), 무형자산(intangible assets), 재정자산(financial assets)에 대한 운영 및 유지관리계획을 수립하여 관리함으로써 시설물의 노후화 이전에 안전성과 경제성이 확보될 수 있도록 한다. 즉, 과거의 수동적인 사후 “대응적 유지관리 체계”에서 시설물의

안전은 물론 사용성, 경제성을 고려한 사전의 “예방(능동)적인 관리 체계”로의 전환을 의미한다(British Standards Institution, 2008).

국내의 터널 유지관리를 위한 점검·진단은 시설물 안전관리에 관한 특별법(이하 시특법)에 의거하여 정기적인 점검이 수행되도록 규정되어 있다(MOLIT, 2009). 이는 점검 후 이상이 발견되었을 때 대처하는 대응적 유지관리 체계로서 향후 유지관리가 요구되는 노후화된 시설물의 급격한 증가에 따라 각 기관들의 제한된 예산의 범위 내에서 일일이 대응하기에는 도저히 불가능한 상황을 초래할 수도 있다(Lee et al., 2006). 이에 반해, 국외 주요 선진국은 터널을 포함한 주요 도로 시설물을 관리하는 데 생애주기비용분석(Life Cycle Cost Analysis; 이하 LCCA) 및 위험도 분석과 같은 의사결정기법을 활용하여 유지관리 성능 및 경제적 가치척도를 정량적으로 분석하여 자산관리의 효율성을 증대시키고 있다.

따라서 국내에서도 향후 노후화된 터널의 급격한 증가에 대비하고 수많은 터널이 체계적이고 효율적으로 관리되기 위해서는 예방적 유지관리를 수행할 수 있는 포괄적 자산관리 체계가 개발되어야 할 것이다.

1.2 국외 사회기반 시설물의 자산관리 사례

미국의 연방 도로청(Federal Highway Administration; 이하 FHWA)에서는 도로시설물과 관련된 모든 자산을 경제적이고 효율적으로 관리하기 위하여 정책적 목표를 안전, 환경, 교통혼잡 완화, 보안 및 경제성 향상에 두고 있다(Systematics, 2004). 특히, 자산관리의 정책적 목표를 달성하기 위하여 재정, 인력, 장비 등의 자원분배에 대한 의사결정을 수행하는데 실시간 시뮬레이션, 시나리오 분석, 증분 편익·비용 분석(benefit·cost analysis) 및 LCCA 기법을 적극 활용하고 있다. 호주는 Austroads에서 규정하고 있는 도로관련 자산들을 개별 혹은 일관적으로 관리하는데, LCCA 및 위험도 분석을 통해 효율적이고 안전한

자산관리의 수행을 추구하고 있다(Korea Infrastructure Safety Corporation, 2010). 캐나다의 TAC (Transportation Association of Canada)에서는 고속도로 자산관리의 효율화를 위해 1999년 자산관리 매뉴얼을 작성하여 자산의 성능평가를 위한 예측모델, 자산관리의 사결정을 위한 구조물 열화모델, LCCA, 위험도 평가, 증분 편익·비용 분석 등의 정량화 의사결정기법의 적용을 권장하고 있다(Transportation Association of Canada, 1999).

이와 같이 터널의 유지관리 조치에 대한 문제뿐만 아니라 급격하게 증가하고 있는 터널에 대한 운영 및 관리차원에서 조식을 효율적으로 구성하고, 예산 집행을 경제적으로 추진하기 위해서도 자산관리기법의 도입은 반드시 필요하다. 그러나 이러한 자산관리의 수행을 위한 의사결정과정에서는 방대한 양의 수집된 이력데이터가 분석되어야 하기 때문에 사용자가 일일이 대처하기가 힘들다. 또한, LCCA 및 위험도 평가 등 다양한 의사결정 모델은 해당 분야에 전문지식이 없는 상태에서 활용하기 어렵다. 따라서 각 도입 국가에서는 IT기술을 활용하여 자산관리기법을 시스템화하기 위한 노력이 수행되고 있다. FHWA에서는 증분 편익·비용 분석기법을 적용한 HERS (Highway Economic Requirements System)를 구축하였고 예산 및 자원배분을 효율적으로 수행하는 데 활용하고 있다(Mizusawa and McNeil, 2008). 그리고 TMS (Tunnel Management System)를 개발하여 2차원 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS) 플랫폼을 기반으로 모든 터널의 정보를 관리하고 있다(FHWA, 2013). 영국에서는 1994년 이후 도로관리시스템(A United Kingdom Pavement Management System, UKPMS)을 구축하여 도로표면의 상태관리를 수행하고 있으며, 모든 정보를 데이터베이스화하여 관리하고 있다(Phillips, 1994). 또한 시설물관리정보시스템(structures management information system, SMIS)을 개발하여 운영하고 있고, 국가적 차원에서 모든 사회 기반 자산을 데이터베이스화하여 과거 관리이력을

통해 자산의 상태평가, 자원배분 등을 수행한다. 국내의 경우 한국시설안전공단에서는 FMS (Facility Management System)를 개발하여 1, 2종 시설물에 대하여 유지관리에 대한 데이터를 관리하기 위하여 활용하고 있다. 그러나 DB화 되어 있는 데이터가 대부분 이미지 문서로 저장되어 있어 시스템을 활용하여 데이터를 자동으로 분석하거나 수집하기가 매우 어렵다. Shin et al. (2013)은 터널의 설계 및 시공관련 데이터를 인공지능망을 활용하여 터널의 구간별 붕괴위험도를 정량적으로 산출하여 관리할 수 있는 위험도평가 시스템을 개발하였다. 이러한 연구내용 및 사례는 대상 시설물을 종합적으로 평가, 관리, 운영하기 위한 자산관리의 개념보다는 필요한 일부 요소기술 수준의 연구로서 이러한 연구내용을 바탕으로 총체적인 자산관리가 수행될 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

1.3 연구의 범위 및 목표

주요 선진국의 사례를 살펴본 바와 같이 대부분의 국가에서 LCCA와 같은 비용분석기법을 활용하여 유지관리 성과와 경제적 가치를 위한 척도를 개발하고 시스템화하여 자산관리의 효율성을 증대시키고 있다. 이는 예산 및 투입인력이 한정된 조건에서 가장 경제적으로 정책적 목표를 부합시키기 위함이다. 터널과 같은 사회기반시설물과 같이 자산항목이 광범위한 네트워크를 형성하고 있고 단·장기적인 관점에서 제한된 예산범위 내에서 모든 자산의 성능을 최적화하는 데는 자산관리항목의 비용분류체계(cost breakdown structure)를 기준으로 미래에 발생하는 모든 생애주기비용을 예측하는 LCCA기법의 적용이 적합하다(Han & Do, 2013; Bae et al., 2014; Do & Kim, 2009; AAMCoG, 2008; International Union of Railways, 2010; Zoeteman, 2001). 또한, 이러한 일련의 절차 및 분석기능을 시스템화 하여 방대한 양의 터널 관련 데이터를 처리하기 위한 사용자 편의적인 능동형 시스템의 구축도 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 터널의 관리를 전략적 이고 장기적인 관점에서 예방적인 관리 체계로 발전시키기 위한 LCCA기반 터널 자산관리 시스템의 필요성 및 기대효과를 분석하고, 향후 개발방향에 대한 프레임워크를 설계하는 것을 목표로 하였다. 먼저, LCCA를 활용한 터널 자산관리의 기대효과를 분석하여 적용 타당성을 가늠하고, 향후 LCCA기반 터널 자산관리 시스템에 대한 발전 및 개발방향을 제시하였다. 이를 바탕으로 보다 구체적인 개발 프레임워크를 설계하기 위하여 터널의 관리를 유지관리, 조직 및 예산관리로 구분하여 LCCA기반 터널 자산관리모형을 설계해 보았다. 마지막으로 설계된 모델이 시스템화 되어 적용되기 위한 방법을 제시하고, 설계된 각 모듈별 수행될 기능을 정의하였다.

터널 자산관리는 기존의 유지관리 업무와 개별적으로 독립된 기술이나 기법이 아니다. 터널의 자산관리는 유지관리과정에서 신뢰도가 높은 데이터를 수집하고, 분석하여 경제적, 공학적으로 최적화된 자산관리 계획에 대한 의사결정을 내리는 것을 의미한다. 따라서 본 연구를 통해 도출된 LCCA기반 터널 자산관리 시스템에 대한 개발 프레임워크를 바탕으로 향후 시스템이 구축된다면, 1차적으로 도출된 정량적인 자산관리에 대한 계획과 근거를 사용자에게 능동적으로 제공할 수 있을 것이며, 사용자는 이를 토대로 최종적인 합리적 의사결정을 수행할 수 있을 것이다.

2. 터널대상 생애주기비용분석 및 자산관리

2.1 터널 생애주기비용분석

LCCA는 시설물의 설계, 시공, 유지관리 및 폐기까지 전 생애주기 동안에 소요되는 비용을 경제적으로 예측·평가하는 기법(Mearig, T. et al., 1999)으로서, 경제적 수명 전반에 걸쳐 발생하는 제비용의 합(총비용)을 비교하기 편리한 일정한 시점으로 등가 환산하

여 가치를 평가하는 분석기법을 의미한다. 일반적으로 계획비+설계비+건설비+유지관리비+해체·폐기비의 합으로 구성되며, 사전 목적에 따라 정의된 비용 분류체계에 따라 분석수준을 결정할 수 있다.

LCCA의 순서는 일반적으로 “분석대상과 목적에 따른 비용분류체계 작성”, “분석 전제조건 설정(할인율, 분석기간)”, “비용 항목별 비용 산정(과거 데이터 기반 유지보수 주기, 확률 등을 활용) 및 집계”, “현재가치화 및 의사결정”의 순으로 수행된다. LCCA의 분석방법으로는 확정적 분석방법(deterministic approach)과 확률적 분석방법(probabilistic approach)이 있다. 확정적 분석방법은 입력데이터의 불확실성 및 변동성을 미 고려한 간단한 분석방법이며, 분석과정에서 최확기대치(평균데이터)만 사용하므로 결과도 하나의 확정된 값으로 산정된다. 확률적 분석방법은 확률적 위험도 분석이라고도 하며, 모든 데이터를 입력하여 비용의 발생확률과 변동성을 모두 고려하여 시뮬레이션 결과를 확정값이 아닌 확률밀도함수(probability density function; PDF)와 누적분포함수(cumulation distribution function; CDF)로서 나타내는 방법이다(MOLIT, 2008). 확률적 분석방법에 따른 결과 값이 매우 신뢰적이고 의사결정을 다양한 전략에 따라 도출할 수 있기 때문에 대부분의 선진국에서 채택하고 있는 방법이다.

이와 같이 LCCA는 과거의 관리이력 데이터를 통해 미래가치를 추론하는 기법이며, 이를 터널의 자산관리에 활용할 경우 Fig. 1과 같은 효과를 도모할

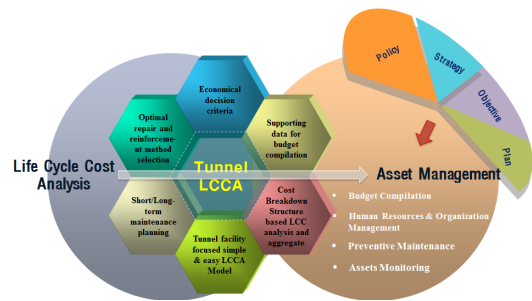


Fig. 1. Expectancy effects of LCCA based tunnel assets management

수 있다. 첫째, 터널 유지관리에서 최적의 보수·보강·교체공법을 결정할 수 있다. 이는 유지관리공법의 대안들 가운데 장기적으로 가장 경제적이고 효율적인 공법의 우선순위를 정량적으로 도출할 수 있다. 둘째, 유지관리 예산을 고려한 단·장기 유지관리 계획의 수립이 가능하다. 특히, 환기시설, 조명시설, 소방시설, 전기시설 등 부속시설물이 추가 되는 터널의 유지관리에서는 과거의 이력데이터를 통해 각 부속시설물의 교체수리 주기 및 미래의 유지보수 발생 시점을 확률적 추론으로서 예측할 수 있고, 각 년도별 운영 및 관리비용이 산출되기 때문에 제한된 예산 범위 내에서 최상의 유지관리 시나리오를 도출할 수 있다. 셋째, 수준별 유지관리 비용분석 및 통계가 가능하다. 수준별이라는 의미는 정의된 터널 비용분류체계를 구성하는 각 항목별, 위계별로 비용을 집계해 볼 수 있다는 의미이다. 대상터널에 대해 구조물 및 시설물별 혹은 운영 및 조치비용 등의 비용항목별로 세분화가 가능하며, 터널 군별로도 집계 가능하다. 마지막으로, 예산 설계 및 편성의 과학적 근거자료로서 역할을 하며, 자산관리에 대한 의사결정과정에서 경제학적 판단기준을 제공한다. LCC를 통해 각 관리기관별 객관적이고 과학적인 근거자료를 활용하여 예산을 투명하게 편성 및 집행할 수 있으며, 자산관리의 전략 및 공학적 판단기준과 함께 종합적 의사결정에 중요한 지표가 될 것이다.

이와 같이 LCCA를 통한 터널 유지관리의 수행은 많은 장점을 도모할 수 있지만, 경제적 관점만 고려된 유지관리가 수행되어 기타 관리 목표나 전략이 고려되어야 할 경우 분석결과가 무의미해 질 수 있다. 따라서 자산관리기법을 접목한 종합적 의사결정이 수행되어야 도구(tool)의 의미가 아닌 전략(strategy)의 의미로서 각 조직의 정책, 전략, 목표, 계획 등의 판단기준과 LCC와 같은 경제학적 판단기준, 구조물의 성능평가를 위한 공학적 판단기준 등이 복합적으로 고려되어 의사결정이 수행되기 때문에 효율적인 관리를 계획·수행할 수 있다. 즉, 자산관리는 특정

문제를 해결하기 위한 개별적 도구라기보다 종합적 프로세스의 재설계이자 이를 수행하는 조직의 재설계이며, 논리적 패러다임의 전환이라고 할 수 있을 것이다(Jeong et al., 2008).

2.2 터널 자산관리

자산관리의 일반적 의미를 살펴보면, 해당 조직의 자산과 자산체계를 대상으로 생애주기에 걸쳐 위험요소, 예산지출 및 관련 성능을 최적상태에서 지속가능하도록 관리하여 전략적 계획을 달성하기 위한 기법을 의미한다(British Standards Institution, 2008). 호주의 국제시설물 관리매뉴얼(INGENIUM, 2006)에서는 가장 범용적이며 포괄적인 의미로 “자산관리는 자산의 요구되는 서비스 수준을 유지하기 위해서 가장 경제적으로 효과적인 관리를 통해 현재와 미래의 소비자를 위해 자산의 서비스 수준을 유지시키는 것”으로 정의하고 있다.

자산관리의 기본적인 추진 체계는 Fig 2와 같으며, 각 단계별 터널 자산관리의 경우를 비교하여 정리해 보았다. 시설물 자산관리는 최종 수행목표를 확립하기 위한 전략적 계획 및 목표(strategic plan)가 확립되어야 한다. 터널 자산관리의 경우, 안전하고 경제적인 터널 자산의 상태를 유지하기 위한 예방적 유지관리를 수행하고, 운영기관 및 예산여건 등이 모두 고려된 효율적 의사결정 계획을 수립하는 것이 목표가 되어야 한다. 자산관리정책수립(policy) 단계에서는 자산관리의 구체적인 전략, 목표 및 계획을 정의하는 단계로서 전략적 계획목표의 범위내에서 결정하며, 법과 제도와 같은 정책, 지침, 목표의 우선순위 등을 기준하여 수립한다. 터널을 대상으로 하는 경우, “시설물 안전관리에 관한 특별법”, “소방시설 설치 유지 및 안전관리에 관한 법률” 및 “전기사업법”과 같은 유지관련 법규를 준수할 수 있도록 하고, 성능관리 목표, 그리고 각 기관 및 터널 군별 예산과 조직구성에 따른 자산관리 계획이 작성되어야 할 것이다. 자산목록

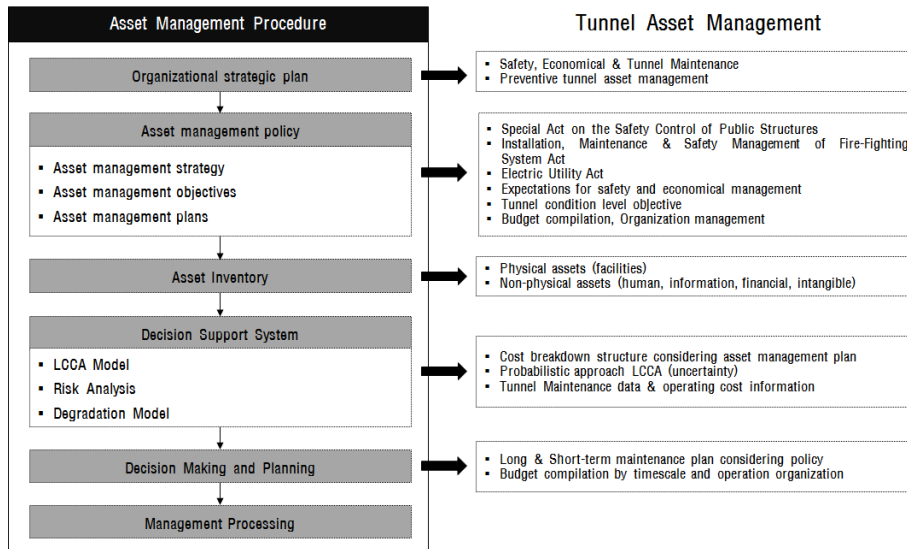


Fig. 2. Expectancy effects of LCCA based tunnel assets management

(asset inventory)구성 단계에서는 자산관리 목표의 범주를 고려하여 체계적이고 구체적으로 구성되어야 한다. 자산목록은 물적 자산과 무형적 자산으로 구분하여 구체화 할 수 있으며, 본 연구와 같이 터널 시설물에 초점이 된 LCCA기반 자산관리를 목표로 하는 경우 부속시설물의 종류와 비용계정을 구체화하여 비용분류체계와 함께 작성이 되어야 한다. 일반적인 최적화 공법 선정을 위한 LCCA와 달리, 예산편성 및 조직운영관리에 연관되는 모든 경비가 자산목록 하위 비용계정에 포함 될 수 있도록 한다. 자산관리에서의 의사결정단계는 목표를 정량적으로 분석할 수 있는 기법이 활용되며, 시설물 관리를 목표로 하는 경우 LCCA, 위험도 분석 및 열화모델이 주로 활용된다. 시설물 중심의 터널 자산관리는 앞에서 언급한 바와 같이 LCCA기법의 적용이 타당하며, 자산목록을 고려한 비용분류체계를 작성하고 관리기관별 혹은 터널 군별로 예측예산을 자유롭게 집계할 수 있도록 데이터 체계를 설계해야 할 것이다. 또한, 터널의 LCCA 모델은 다양한 환경조건에서의 시설물 관리이력데이터가 수집되고 분석되기 때문에 분석결과 값의 불확실성 및 변동성을 고려할 수 있도록 확률적 분석

방법을 적용함으로써 보다 유연한 대응을 가능케 할 수 있다. 마지막으로 이러한 분석 결과값을 고려하여 원하는 분석시점에서 관리주체의 의사결정을 통해 구체적 계획수립을 확정할 수 있으며, 이는 터널을 포함한 시설물 자산관리에서 조직의 정책적 목표에 부합하는 장·단기적 유지관리, 예산 및 조직관리를 효율적으로 수행하게 할 것이다.

3. LCCA기반 터널 자산관리 시스템 개발을 위한 프레임워크 설계

터널 자산관리 시스템의 개발을 위해서는 크게 “터널 LCCA 모델”과 이를 응용한 “터널 자산관리 모델”이 개발되어야 하며, 이를 근간으로 시스템화 하기 위한 전략이 필요하다. 또한 LCCA의 경우 과거 관리이력 데이터를 바탕으로 추론하는 기법이기에 때문에 과거의 이력뿐만 아니라 자산관리의 수행과정에서도 발생하는 모든 정보를 저장·관리할 수 있는 데이터베이스 시스템도 요구된다. LCCA기반 터널 자산관리 시스템의 개발 추진 전략을 설계한 내용은 Fig. 3과 같다. 생애주기비용 분석을 위해서는 자산의 종류, 위치,

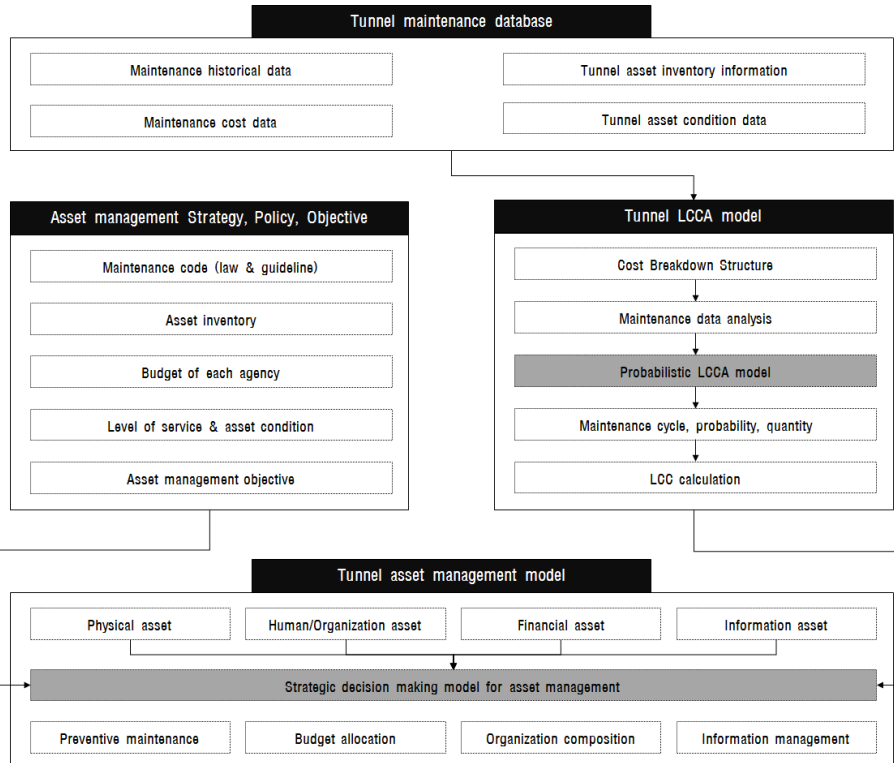


Fig. 3. Development strategies for LCCA based tunnel asset management system

특성, 상태 등의 자산정보와 이들에 대한 과거의 유지 관리항목, 시기 등의 이력데이터 및 소요비용 등의 데이터가 필요하기 때문에 터널 자산관리를 위한 빅 데이터를 구축하기 위한 노력이 수반되어야 한다. 효율적인 데이터관리를 위해서는 미국의 TMS와 같이 터널 부위별, 유지관리 행태별로 세분화된 데이터가 체계적으로 저장되어야 하며, 이는 신뢰적인 LCCA 분석과 세분화된 자산관리를 가능케 할 것이다.

생애주기비용 분석 시스템의 개발을 위해서는 터널의 유지관리단계에서의 비용을 관리주체비용과 사용자비용으로 구분하여 비용항목을 유지보수비용, 운영·관리비용 등으로 세분화한 비용분류체계를 구축하여 예방적 유지관리 뿐만 아니라 자산관리를 위한 비용계정까지 고려해야 한다. 또한 터널의 비용분석 수준 및 관리 수준은 터널부위단위(Component Level), 터널단위(Object Level), 터널 관리기관단위(Network

Level)로 체계화함으로써 보다 구체적인 비용분석 및 의사결정의 판단기준을 마련하고 각 관리기관별 전략·정책·목표별 자산관리가 수행될 수 있도록 해야 한다. 생애주기비용분석을 위한 분석시물레이션 모델은 확률적 접근방법에 기반한 방법에 따라 개발하며, 이를 위해서 통계데이터의 확률분포와 변동성을 그대로 입력하고 데이터의 분포를 모두 고려한 비용분석 결과와 확률을 제시할 수 있는 모델을 개발해야 한다. 이는 점진적으로 빅데이터가 구축되면서 보다 신뢰적인 LCCA 분석결과를 보장할 수 있다.

터널 자산관리 시스템은 터널 자산관리의 대상을 물적자산, 인적·조직 자산, 재정 자산, 정보자산으로 구분하고, 예방적 유지관리 전략수립, 최적 예산분배, 조직 구성 및 책임관리, 자산정보관리로 명확한 자산 관리목표를 설정하고 모델을 개발시켜야 한다. 각 모델의 판단기준은 LCCA를 통해 도출된 경제학적 판단

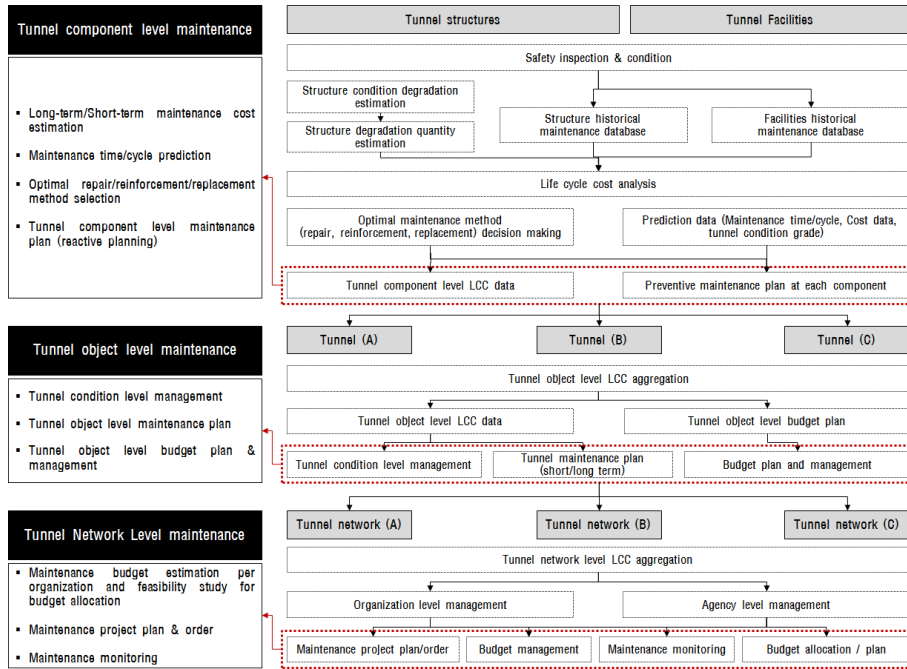


Fig. 4. Tunnel LCCA model framework design

기준과, 사용자의 입력값에 따른 터널 자산관리의 전략, 정책, 목표에 대한 전략적 판단기준, 그리고 성능 및 상태등급 유지를 위한 공학적 판단기준이 고려되어, 이를 복합적으로 고려한 전략적 의사결정이 수립될 수 있도록 한다. 일반적인 자산관리 프로세스에 따라 의사결정은 LCCA를 통해 계획되는 구체적인 유지관리 계획을 토대로 자산관리 수행시의 관련된 법규 및 지침, 서비스 제공 목표, 자산의 상태등급 관리 목표에 부합되는지 검토하여 조정하여 예방적 자산관리 계획을 수립하고 우선순위를 결정한다.

3.1 터널 LCCA 모델 설계

터널 LCCA 모델의 개발은 터널의 유지관리가 구성요소별, 터널개체별, 터널 군별로 예방적으로 수행되기 위한 단·장기적 계획을 1차적으로 수립하고 각 관리수행기관 및 조직별 정책, 전략, 목표를 고려한 최종 의사결정을 수행하는데 필요한 경제적인 척도

및 제반정보를 생성하는데 목적이 있다. 국내의 터널 유지관리 현황을 살펴보면, 국토터널의 경우 국토관리청, 국토관리사무소 및 터널관리동으로 세분화된 수준별 관리기관이 조직화되어 관리되고 있으며, 고속도로 터널의 경우에도 본부 및 지사로 역할을 분담하여 전국에 분포된 터널네트워크를 체계적으로 관리하고 있다. 그리고 유지관리 및 대응업무는 위탁용역 업체 및 유관기관과 연계를 통해 수행하고 있다. 따라서 이러한 관리특성에 따라 LCCA를 통해 도출된 모든 정보가 관리기관별로 활용될 수 있도록 수준별 분석 및 집계가 가능하도록 설계가 되어야 할 것이다. Fig. 4는 국내 터널의 관리특성에 맞는 LCCA가 개발되기 위한 설계모델을 도식화 한 그림이다.

터널 구조물 LCCA 모델은 콘크리트 구조물의 상태저하 예측이 필요한데, 이는 유지보수시점과 물량을 예측하기 위함으로서 구조물의 보수·보강·교체를 결정하고 이에 따른 비용을 산정하기 위함에 있다. 콘크리트 구조물의 열화를 예측하기 위한 모델은 여

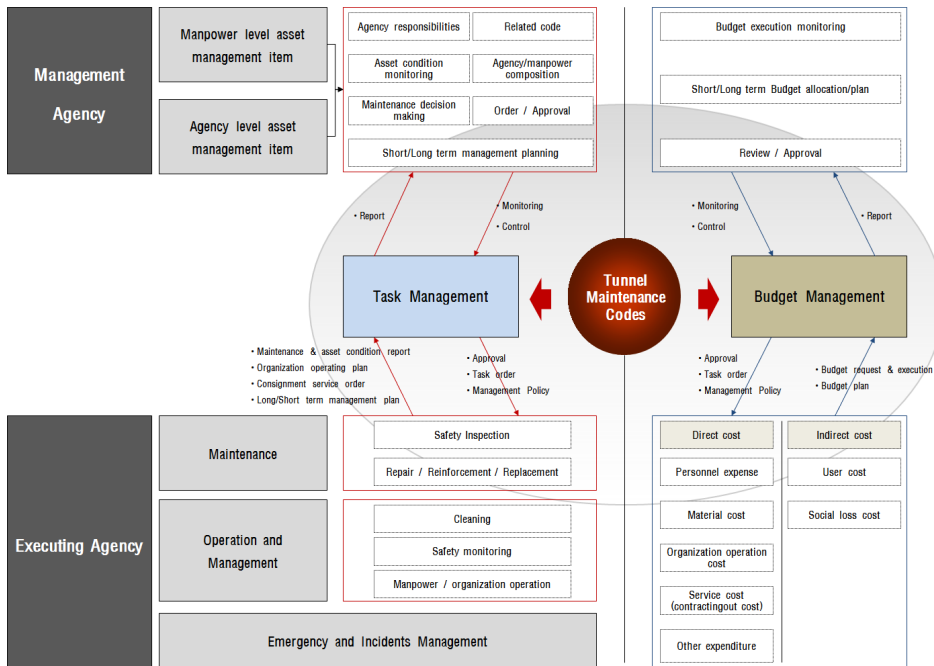


Fig. 5. Tunnel LCCA based asset management model framework design

러 가지 연구방법이 제시되어 있으며, 터널의 경우 교량이나 기타 구조체와 달리 구조적으로 안정적이며 영향인자가 한정적이기 때문에 사용자가 다루기 쉽고 시스템화가 용이하도록 적용할 필요가 있다. 터널 방재·부속 시설물에 대한 LCCA 모델은 과거의 데이터를 기반으로 추론·회귀분석하는 방법으로 유지관리 주기를 산정하고, 조치확률과 그에 따른 소요비용의 분포를 시물레이션 하기 때문에 터널관리에서 발생하는 관련 정보를 데이터베이스화 해야 한다. 터널은 시설물에 대한 유지보수가 빈번하게 발생하고 각 터널의 관리 상태나 환경에 의하여 예측결과에 변동성이 있으므로 모든 데이터의 변량의 범위를 고려할 수 있도록 몬테카를로 시물레이션(Monte Carlo Simulation)과 같은 기법을 적용하여 확률론적 분석 모델을 개발하는 것이 바람직하다.

터널 구조물과 방재·부속시설물에 대한 LCCA 분석모델이 개발되면 비용분류체계에 따라 정의된 분석 수준(터널 구성요소 단위, 터널 단위, 관리기관 단위)에 따라 비용이 분석·통계될 수 있도록 데이터의 상호

연계성을 검토한다. 또한 각 분석수준에서 도출된 1차적 결과가 자산관리 모델과 연계되어 전략적 의사결정을 수행할 수 있도록 요구되는 분석정보를 제공할 수 있도록 해야 한다. 각 분석 수준별 LCCA 분석에 따라 대응적·예방적 유지관리 계획, 예산편성 및 관리 계획이 수립될 수 있고, 자산관리에서의 의사결정을 위한 구체적 예측비용, 유지관리 주기데이터, 물량, 조치확률 등의 발생데이터가 연계될 것이다.

3.2 LCCA기반 터널 자산관리 모델 설계

효율적인 자산관리가 수행되기 위해서는 LCCA 모델을 통해 장기적 관점에서의 예방적 터널관리 시나리오를 수립하고 이를 바탕으로 터널자산에 대한 관리기관과 수행기관으로 구분하여 “과업 및 조직관리”와 “예산관리” 등이 수행될 필요가 있다. 따라서 터널 자산관리 모델 개발은 Fig 5와 같이 관리기관과 수행기관의 입장에서 유지관리, 과업·조직관리 및 예산관리로 대표할 수 있는 업무를 고려하여 체계화되어야

한다.

자산관리는 단순 LCCA와 달리 분석적인 측면보다 복합적인 평가기준을 고려하여 전략적 의사를 선 결정하여 관리 가이드라인을 수립하고 그 범위 내에서 LCCA 분석정보를 활용하여 구체적인 계획을 설계하고 관리를 수행하는 것이다. 따라서 자산관리를 위해서는 가장 먼저 전략, 정책 및 목표가 수립되어야 한다. 국내터널의 경우, 시특법 및 전기사업법 등 관련 관리법규를 충분히 검토하여야 하고, 각 기관별 터널의 성능유지 및 서비스 목표 등도 자산관리의 수행을 위한 의사결정에 앞서 중요한 기능자가 되어야 한다. 이를 토대로 LCCA 분석을 터널 부위별로 수행하여 장기적인 유지관리 시점 및 발생비용 시나리오를 작성하고 각 터널이 소속된 관리기관의 정책적·전략적 범위내에서 의사결정이 수행되어야 한다. 각 관리기관별 장기적으로 필요한 유지보수비, 운영 및 관리비, 인건비 등이 산출될 수 있으며, 제한된 예산범위 내에서 최적의 자산상태 유지를 위한 장기적 자산관리 시나리오가 수립된다.

과업·조직관리에서 대표적인 관리업무로는 터널 자산의 유지관리, 기관 및 조직의 운영, 위기 및 사고대응의 수행기관 업무와 이를 모니터링하고 평가·통제하는 관리기관업무로 구분할 수 있다. 관리기관은 인력단위 및 조직단위로 유지관리 수행 및 계획사항을 검토·평가해야 하고, 수행기관에서는 각 기관에 할당되는 터널 자산관리 범주(터널 부위별, 터널별, 터널군별)에 따른 구체적인 업무를 구체화하여 자산관리계획 및 업무가 수행된다. 예산관리는 수행기관에서 LCCA에 기반한 단·장기적인 예방적 유지관리 및 운영업무에 소요되는 예산을 계획하고 집행하며, 이는 관리기관의 승인을 전제로 하고 집행에 대한 모니터링이 수반된다. LCCA는 직접적으로 자산을 관리하는 수행기관에서 분석을 수행하여 1차 의사결정 및 계획을 수립하는 것이 타당하며, 직접 비용뿐만 아니라 관리수행시 발생될 수 있는 사용자 부담비용, 지역경제손실비용 등의 간접비를 포함하여 분석해야

한다. 터널 LCCA의 간접비 산정은 유지보수공법 선정 시 사용자 및 지역사회의 민원 및 갈등, 그리고 피해액을 최소화 할 수 있을 것이다.

4. 결론

터널 자산관리는 기존의 유지관리 업무와 개별적으로 독립된 기술이나 기법이 아니다. 터널의 자산관리는 유지관리과정에서 신뢰도가 높은 데이터를 수집하고, 분석하여 자산관리 수행을 위한 경제적, 공학적인 정보를 산출하고, 관리 및 수행기관의 정책·목표·전략과 부합하는 최적의 계획을 수립하여 수행하는 일련의 프로세스이다. 본 연구에서는 국내 터널자산관리가 전략적이고 장기적인 관점에서의 예방적인 관리 체계로 변환되기 위한 LCCA기반 터널 자산관리 시스템의 개발 필요성을 분석하고 개발방향에 대한 프레임워크를 설계하여 제시하였다. 국외 자산관리 사례 및 터널 관리 현황을 살펴보고 필요성 및 개발방향을 분석하였으며, LCCA 및 자산관리 모델의 개발방향에 대한 구체적인 프레임워크를 제시하였다.

향후 본 연구내용을 토대로 국내의 수많은 터널자산을 전략적이고 효과적으로 관리하기 위한 모델 및 시스템이 개발되어 적용된다면, 노후화 터널의 급증으로 인한 유지관리 및 예산에 대한 문제를 효과적으로 해결할 뿐만 아니라, 예방적 자산관리의 수행을 통해 경제적이고 효율적인 관리를 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

References

1. AAMCoG (Australian Asset Management Collaborative Group), 2008, Life Cycle Cost Analysis(LCCA), [http://www.aamcog.com/wp-content/uploads/2011/08/LifeCycle-Costing-Project-Report-April-2008-\(2\).pdf](http://www.aamcog.com/wp-content/uploads/2011/08/LifeCycle-Costing-Project-Report-April-2008-(2).pdf).
2. Bae, Y.S., Lee, S.Y., Kwon, W.T., Jeon, J.M. (2014), "A Study on the Database for Analyzing

- Life Cycle Cost of Road Facilities in Seoul”, J. of Korean Society Hazard Mitigation, Vol. 14, No. 3, pp. 99-105.
3. British Standards Institution (2008), PAS 55-1:2008 Asset Management Part 1: Specification for the optimized management of physical assets, British Standards.
 4. Daisuke Mizusawa, Sue McNeil (2008), Demonstrating the Benefits of Highway Economic Requirement System-State Version: A Case Study, 7th International Conference on Managing Pavement Assets, pp. 1-10.
 5. Do, M.S., Kim, J.H. (2009), “Asset Evaluation Method for Road Pavement Considering Life Cycle Cost”, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 29, No. 1, pp. 63-72.
 6. FHWA (2013), OneDOT Tunnel Management System; Application Installation and Replication Guide, Federal Highway Administration, <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/tunnel/management/>
 7. FHWA (1999), Asset Management Primer - Office of Asset Management, Federal Highway Administration, U.S. DOT.
 8. Han, D.S., Do, M.S. (2013), “Development of Korean Life Cycle Cost Analysis Model for Road Pavement Asset Management”, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 33, No. 4, pp. 1639-1650.
 9. INGENIUM, IPWEA (2006), International Infrastructure Management Manual-Version 3.0, ISBN No: 0-473-10685-X.
 10. International Union of Railways (2010), Guidelines for the Application of Asset Management in Railway Infrastructure Organisations, ISBN No: 978-2-7461-1878-2.
 11. Jeong, H.S., Chae, M.J., Chin, K.H. (2008), “Infrastructure Asset Management, Construction Management”, Vol. 9, No. 3, pp. 17-20.
 12. Koo, J.S., Lee, S.S., Jeong, K.C. (2007), “Database Standardization for Safety Management of Railway Facilities”, J. of Industrial Science Technology and Institute, Vol. 21, No. 2, pp. 97-103.
 13. Korea Infrastructure Safety Corporation (2010), The Maintenance Plan of Road Facilities based on LCC Prediction Models, Research Report, RA-10-R5-053.
 14. Lee, M.K., Jin, N.H., Jung, S.H. (2006), “Application of Asset Management Techniques to Road Infrastructure Management”, Conference of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 1, No. 1, pp. 2339-2342.
 15. Mearig, T., Coffee, N., Morgan, M. (1999), “Life Cycle Cost Analysis Handbook: Draft. State of Alaska”, Department of Education and Early Development, Education Support Services/Facilities.
 16. MOLIT (2008), Life Cycle Cost Analysis and Estimation Method, Ministry of Land, Infrastructure and Transport; Construction Safety Division, Technology Standard Division No.512.
 17. MOLIT (2009), Special Act on the Safety Management of Facility, Ministry of Land, Infrastructure and Transport; Construction Safety Division, Korean Act, No. 9849.
 18. Park, S.Y. (2014), Unstable Detonator, Deterioration of Dam, Bridge, and Tunnel, No Cut News, <http://www.nocutnews.co.kr/news/4027373>.
 19. Shin, H.S., Lee, S.S., Kim, K.Y., Bae, G.J. (2013), “Quantitative Evaluation of Collapse Hazard Levels of Tunnel Faces by Interlinked Consideration of Face Mapping, Design and Construction Data: Focused on Adaptive Wights”, Journal of Korean Tunnel Underground Space Association, Vol. 15, No. 5, pp. 505-522.
 20. Stephen J. Phillips (1994), “Development of United Kingdom Pavement Management System”, 3rd International Conference on Managing Pavements, pp. 227-236.
 21. Systematics, C. (2004). “FHWA Asset Management Position Paper-White Paper”. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, April.
 22. Transportation Association of Canada. (1999). Highway asset management systems: a primer. Transportation Association of Canada.