

자갈도상과 콘크리트도상 궤도구조의 생애주기비용 분석

Analysis of the Life Cycle Cost for the Ballasted Track and the Concrete Track Structures

백재욱* 송유섭** 박대효***
Baek, Jae Wook Song, Yoo Seob Park, Tae Hyo

ABSTRACT

In this paper, the objective is an evaluation of economics using Life Cycle Cost(LCC) analysis for the ballasted track and the concrete track. However, since the absence of reliable data on maintenance activities, the degree of a reliability about the results of the LCC analysis is insufficient yet. In order to remedy the problems, we surveyed a professional research group for an approximate estimation which can be represented a degree of maintenance through a application of examples. Hereby we found that it is possible to expect the retrenchment of cost using preventive maintenance management. Moreover we proposed appropriate and economical restrictions between track structures.

1. 서론

오래전부터 철도 몇몇 선진국에서는 전통적인 자갈도상 궤도구조의 유지보수에 대한 노력을 절감하고자 여러 가지 콘크리트도상 궤도구조를 개발하여 부설·운영하고 있으며 계속해서 연구 발전시키고 있는 실정이며 국내에서는 경부고속철도에서부터 활발히 적용되고 있다. 궤도구조는 반복되는 열차하중에 의해 점진적으로 궤도틀림이 발생하며 이상적인 자연현상에 의한 재해 및 시설물과 지반의 상호작용에 의해 침하 등이 빈번히 생길 수 있으므로 안정된 교통시설물의 유지라는 최우선 목표를 위해서는 지속적인 유지보수가 필요함에도 불구하고 콘크리트도상 궤도구조의 적용에 있어서는 유지관리를 거의 하지 않아도 된다는 생력화(maintenance free)궤도 개념으로 인식되고 있는 것 같다. 콘크리트도상 궤도구조는 자갈도상 궤도구조 보다 궤도틀림 및 도상의 손상, 마모는 적지만 재료의 열화손상, 파괴 메커니즘을 고려한다면 더 적정하고 신중한 유지관리 및 보수 노력이 필요하지만 적용에 있어서는 제한적인 유지관리로 생력화가 가능하다는 생각으로 유지관리비용을 크게 줄일 수 있는 것으로 여기고 있다. 이에 본 연구에서는 궤도구조 간 적용에 있어서 가장 크게 고려되는 경제성비교의 적정성을 찾기 위해 문제점을 개선시킬 수 있는 방안으로 생애주기비용(LCC, Life Cycle Cost) 분석에 기초한 적정한 유지관리수준을 제시하고자 한다. LCC 분석을 통한 적정 유지관리수준에 대한 개념의 도입으로 상황이 다른 외국자료의 인용, 과거이력에 의한 궤도구조 간 경제성비교의 개선점을 찾을 수 있으며 보다 신뢰할 수 있는 유지관리비용의 산출로 궤도구조의 선정에 있어 합리적인 의사결정의 판단 잣대로 가능하리라 생각한다. 궤도도상구조별 대표단면을 가정하여 적정 유지관리수준에 근거한 유지관리비용을 비교하였고 적정한 유지관리수준을 도출하기 위해 궤도설계전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다.

* (주)유신코퍼레이션 철도부, 정회원

** 한양대학교 석사과정

*** 한양대학교 부교수, 정회원

2. 궤도구조의 적용 및 경제성평가 동향

궤도는 철도시설물 중 노반과 함께 차량하중을 직접 지지하는 지지체인 레일 및 부속품, 침목, 자갈 또는 콘크리트 도상 등으로 노반 위의 전체를 말한다. 이 중에서 도상은 레일과 침목으로부터 전달되는 열차하중을 넓게 분산시켜 노반에 전달하고 침목을 소정 위치에 고정시키며 침목을 탄성적으로 지지하고 충격을 완화해서 선로의 파괴를 경감시키고 승차감을 좋게 한다. 따라서 도상은 경질이고 수평마찰력이 커야 하며 궤도틀림의 정정 및 침목갱환작업과 재료공급이 용이하고 경제적이어야 한다.

도상은 크게 자갈도상과 콘크리트도상으로 구분되는데 자갈도상은 현재까지 국내 대부분의 철도에서 사용되어온 궤도도상구조로서 자갈 사이의 마찰력에 의해 안정성을 유지하고 그 자체의 탄성력으로 충격 및 소음을 흡수한다. 자갈도상 궤도구조는 초기 투자비가 저렴하고 탄성이 풍부한 반면 유지관리에 많은 노력이 들어가고 많은 경비가 지출된다. 콘크리트도상 궤도구조는 레일을 콘크리트로 지지하거나 레일 자체를 콘크리트도상에 직접 체결하는 구조로서 별도의 탄성대책과 함께 외국에서 많이 채택되고 있다. 일반적으로 콘크리트도상 궤도구조는 구조의 특성상 초기 투자비가 자갈도상 보다 비싸고 시공에 정밀을 요하나 내구년한이 상대적으로 길고 궤도파괴에 대한 저항력도 커서 유지관리를 감안한 장기적인 면에서 자갈도상 궤도구조 보다 유리한 것으로 알려져 있다. 이러한 사항으로 선진 외국에서는 위 두 가지 형태의 궤도구조에 대한 특성을 살려 연약지반이나 쌓기노반은 자갈도상 궤도구조를 노반이 견고한 강성노반 상에서는 콘크리트도상 궤도구조를 채택하는 경향이 높다.

국내의 경우 콘크리트도상 궤도구조는 최초로 1974년 지하철 1호선에 역구내의 청결상태를 유지하기 위하여 시청역 등 6개역 구내에 약 3km 부설되었다. 2호선 건설시에는 잠실철교 및 일부 역구내에 RC 침목과 PC침목을 콘크리트도상에 매입하는 방식으로 채택하였고 3, 4호선 건설시에는 목단침목을 사용한 콘크리트도상을 채택하였다. 5호선 건설시에는 프랑스의 STEDEF형식을 채택하였고 과천, 일산, 분당선에는 영단지하철과 프랑스의 STEDEF형식을 조합한 새로운 콘크리트도상 궤도구조를 적용하였다 [1]. 경부고속철도 1단계에서는 장대터널 등 일부 터널에서 RHEDA구조가 도입되었으나 2단계구간은 전부 콘크리트도상 궤도구조로 건설하는 등 최근 급속도로 유지보수비용을 경감을 내세우며 궤도구조의 주를 이루며 맹신하는 실정이다.

기존 연구사례를 보면 1975년부터 1990년까지 일본 신간선의 자갈도상 궤도구조와 콘크리트도상 궤도구조(콘크리트 슬래브궤도)의 층다지기, 고저정정, 방향정정, 충전재, 체결장치, 기타로 항목분류를 통한 보수비용을 비교하며(山陽신간선의 경우) 자갈도상 궤도구조에 비해 콘크리트도상 궤도구조의 보수비용이 10~20% 정도로 현저히 낮고 콘크리트도상 궤도구조의 초기 건설비용은 자갈도상 궤도구조에 비해 1.3~1.5배 크지만 보수비용의 연간비용을 적산하면 대강 10~12년 안에 추가 투자분을 회수할 수 있다고 했다[1,2]. 그 밖에도 노동력 부족과 증노동 기피현상에 대응한 새로운 생력화 궤도구조로서 콘크리트도상을 언급하면서 자갈도상과의 경제성비교를 통해 투자비 회수년수는 약 9년(일본 신간선의 보수비 비교) 또는 10년(서울지하철 유지보수비용 비교)으로 분석하며 콘크리트도상 궤도구조의 적용의 논리로 삼고 있다. 심지어는 3~6년의 손익분기점으로 검토 한 사례도 있으며 외국자료의 인용에서도 자갈도상 궤도구조는 많은 보수비용이 들지만 콘크리트도상 궤도구조는 32년간 보수작업을 거의 하지 않는 것으로 검토하는 실정이다.

도상구조별 기존 경제성평가를 보면 콘크리트도상은 유지관리 생력화가 가능하여 인건비와 제비용을 크게 줄일 수 있는 것으로 여기고 있다. 자갈과 콘크리트의 재료 특성의 차이만을 너무 구별시켜 콘크리트 재료는 유지보수가 필요 없는 것으로 그리고 제한적인 유지관리 만으로도 오랫동안 수명을 유지할 수 있으며 장수명화를 기할 수 있는 구조체로 인식하고 있는 것 같다. 외국자료의 인용에 있어서도 상황이 확연히 다른 일본자료를 너무 강조하고 있으며 미국 상무성의 토공노반상에서 경제성 전환시점을 30년 내외로 분석하는 등 결과가 다른 자료들도 있지만 편중되게 검토되고 있는 것 같다. 또한 비용산정에 있어서도 생애주기에 근거한 적정 이력(profile)을 모르는 상태에서 단순히 과거의 유지·보수 예산 집행상태를 기초로 산정하며 적정하고 효율성 있는 인력 및 관리인원에 대한 계상 없이 방대한 관리자 비용이 포함되고 있어 경제성평가의 적정성을 찾을 수 없다. 그리고 경제성평가를 위해서는 미래비용을

현재가로 환산해야 하는 데 즉, 모든 비용과 편익을 현재 또는 기준년도의 불변가격으로 표시하기 위한 계수가 필요하지만 이를 고려치 않고 있다. 할인율은 자원의 기회비용으로 투자사업에 사용된 자본이 다른 투자사업에 사용되었을 경우 얻을 수 있는 수익을 측정할 뿐만 아니라 사람에 따라 혹은 사회에 따라 그리고 세대에 따라 다를 수 있는 시간의 객관적인 가치를 나타내는 것이 필요하다.

3. 생애주기비용 분석에 의한 경제성평가

시설물의 내구년수 동안 소요되는 총 유지관리비용은 일반적으로 초기 건설비용을 초과하기 때문에 시설물을 계획하는 단계에서부터 이를 고려하여 의사결정을 하여야 하며 이러한 고려 없이 법률 및 지침에서 정하는 대로 안전 및 유지관리를 수행한다면 유지관리에 대한 효율적이고 적절한 투자시기가 확보되지 않아 안전성이 감소되고 이용도가 저하되어 계획된 수명을 다하지 못하고 결국 대대적인 복구를 하거나 개축을 하게 되어 사용에 따른 총 비용이 증가하게 된다. 시설물은 안전 및 유지관리 수준에 따라 노후화의 진행속도가 달라질 수 있고 수명이 증대될 수 있기 때문에 시설물의 개보수(rehabilitation) 또는 교체(replacement) 등에 대한 생애주기 전반에 걸친 유지관리체계의 구축이 필요하다[3]. 또한 시설물의 관리를 효율화하기 위해서는 적정 유지관리수준에 대한 정립이 필요하며 이러한 관점에서 신설 뿐만 아니라 유지보수, 대수선을 위한 예산의 최적관리는 상당히 중요한 요소가 된다. 최근 계획, 설계, 유지보수 및 대수선 단계에 이르기까지 체계적이고 효율적인 유지관리를 위하여 시설물관리시스템(FMS, Facility Management System) 등의 운용을 시도하고 있으나 현 단계에서 LCC 분석에 의하기 보다는 경험에 기초하고 있어 문제가 있다. 시설물의 안전 및 유지관리는 시설물의 성능저하 수준을 파악하고 효율이 지속될 수 있도록 점검, 진단, 보수·보강, 대수선 등을 하는 것이고 이와 같이 유지관리의 목적은 문제가 생길 소지가 있는 부분을 미연에 방지하여 내하력이 크게 떨어지지 않도록 열화속도를 완화시켜 시설물의 전면 보수, 보강시기를 연장함으로써 궁극적으로 시설물의 수명을 연장시키는데 있다[4].

3.1 유지관리의 이력(profile) 모형화

시설물에 대한 적정 유지관리수준을 제시하기 위해선 각각의 유지관리수준에 대한 LCC를 산정할 수 있어야 하며 각각의 LCC를 비교하여 상대적 차이를 분석하고 이를 토대로 경제적 이익에 대한 절감효과 분석으로 적정 유지관리수준의 결정이 가능하게 된다. 적정 유지관리수준에 대해서는 열화, 손상 등이 심한 시설물에 대해 긴급 보수하는 현행유지관리체제에서 벗어나 미연에 문제가 발생할 소지를 근본적으로 차단하는 예방유지관리체제로 전환하는 것이 장기적인 측면에서 비용을 최소화 한다는 관점이다. 따라서 미래비용을 가능한 최소화하여 경제적 손실을 줄이기 위해서는 지금부터 적극적인 유지관리로 전환하여 시설물의 안전성에 문제가 커지기 전에 손상의 악화를 막는 것이 필요하다. 이러한 유지관리체제가 예방유지관리체제로서 시설물의 적시, 적소에 점검하고 유지관리 한다면 전면 보수, 보강시기를 연장하고 궁극적으로 시설물의 공용수명을 연장할 수 있으며 이로 인한 경제적 이익을 기대할 수 있을 것이다[5].

적정 유지관리수준에 대한 정량적 LCC 분석을 위해서는 유지관리 조치와 관련된 일상적인 점검비용 외에 대대적인 보수·보강비용 및 대수선비용 그리고 시설물별, 구성요소별로 기대되는 보수·보강년도와 수명에 대한 데이터가 있어야 한다. 구체적으로 유지관리수준별 시설물의 내구년한, 구성요소의 내구년한 또는 교체 주기, 보수·보강 주기, 1회 보수·보강 비율 등 LCC 분석에 관련된 데이터가 있어야 하지만 국내에는 유지관리의 역사가 얼마 되지 않고 관련 자료의 데이터베이스가 없어 추정하기가 매우 어려운 실정이다. 그리고 시설물을 구성하고 있는 각 부재들의 성능 열화곡선을 개발하여 구성요소별로 노후화를 예측하는 것이 보다 정확한 방법이지만 국내에서는 본격적으로 수집한 시기가 얼마 안 되어 열화곡선은 개발되어 있지만 제한된 기간의 자료를 가지고 유지관리 주기를 예측하기 위해서 단지 회귀분석모델(regression model)을 이용하는 것은 모델의 정확도에 있어 문제가 있다. 또한 현재 수행되고 있는 유지관리는 어느 정도의 데이터를 가지고 있다 하더라도 시설물의 보수수준, 환경조건, 상태, 관리주체, 형식, 교통량 등에 따라 상당히 달라지며 또한 중앙정부의 유지보수 예산과 관련된 사항이므로 변동이

심해 실제적인 유지보수 이력 데이터로서 정리가 거의 불가능한 실정이다. OECD[6]에서도 과거이력에 기초한 방법으로는 적정 유지관리비용의 산정은 기대하기 어렵다고 보고 있으며 이러한 사항으로 FHWA[7]에서는 실질적인 자료가 없는 경우 대안으로서 전문가의 의견과 경험을 수렴하는 방안을 제시하고 실정이다. 이러한 사항으로 전문가들과의 인터뷰를 통한 델파이설문(delphi survey) 방식으로 상대적으로 평가하는 것이 최적이라고 생각한다. 따라서 기존 유지관리 데이터를 통한 통계처리로는 신뢰할 만한 결과를 얻지 못하기 때문에 전문가집단을 대상으로 설문조사를 실시하여 이들의 경험과 기술적 판단을 수렴하고자 한다.

3.2 확률론적 분석방법

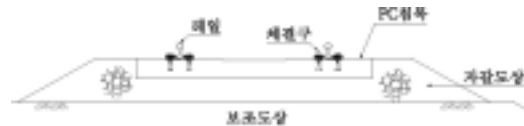

LCC 분석은 입력되는 데이터를 확정적으로 대표되는 값을 사용하여 분석하는 확정적인(deterministic) 방법과 입력되는 데이터의 불확실성을 고려하여 분석하는 확률적인(probabilistic) 방법으로 구분한다. 확률적인 방법은 입력변수의 확률적 특성치(분포형태, 최확치, 변동성)를 발생 가능한 전체 범위로 시뮬레이션 하여 해석하며 전체 변수에 대한 변동성의 고려가 가능하지만 어떻게 정량화 할 것인지는 LCC 산정에 있어 가장 어렵고 중요한 문제이다. 막연히 통계적 데이터가 많아야 확률적 분석 방법의 적용이 가능하다고 생각하지만 반드시 그렇지는 않으며 데이터가 전혀 없는 경우에도 유지관리 전문가들의 설문조사로 통계치를 얻어 이를 기초로 확률해석을 수행할 수 있다. 이에 본 연구도 설문조사에 의해 입력변수의 불확실성 처리에 주로 사용되어지고 있는 분포의 형태에 따라 해석하였다[8].

관련 유지관리 전문가의 의견을 통하여 데이터를 추정할 경우 설문조사에 참가한 전문가에게 판단할 수 있는 정보 즉, 근거를 가진 자료들의 분산도, 추세도, 기초적인 통계자료, 유용한 자료들을 요약한 히스토그램 등의 정보를 가능한 많이 제공하여 전문가들이 의사결정을 함에 있어 용이하게 하면 할수록 유용한 확률모델의 추정이 가능하며 제공된 자료는 입력자료의 전반적인 불확실성뿐만 아니라 입력변수 간의 관련성과 상호의존도까지 포함해야한다.

4. 사례 적용

본 사례 적용에서는 자갈도상과 콘크리트도상 궤도구조의 차이에 따른 적정 유지관리수준 하에서 경제성을 비교하기 위해 표 1과 같이 궤도구조의 대표적인 형상을 가정하였고 LCC 분석모델은 NIST의 Ehlen & Marshall의 분석 및 비용분류 모델에 따랐다.

표 1. 궤도구조별 단면 가정

구분	자갈도상 궤도구조	콘크리트도상 궤도구조
구조 가정	⇒ 밸러스트매트 / 자갈도상 + PC침목 + 레일 + 체결구(Pandrol) 그리고 PCT 탄성분기기	⇒ 구조 : 노반 강성체 + 전단키 / 콘크리트도상 + 방진재 + RC침목 + 레일패드 + 레일 + 체결구(Pandrol) 그리고 PCT 탄성분기기 ⇒ 유사 제품 형식 : LVT, RHEDA 2000, ALT II + RC블럭
단면도		

4.1 분석조건

철도투자분석 및 평가편람에서 철도시설물의 공용수명은 일반적으로 60~80년, 궤도수명은 25년으로 검토되며 그리고 일반적으로 자갈도상 궤도구조는 25년, 콘크리트도상 궤도구조는 50년으로 고려되고

있어 궤도구조 간 기대 공용수명을 결정하는 것은 매우 어렵다. 이에 철도시설물의 목표수명으로 간주되고 있는 100년을 기준으로 LCC 분석을 수행하여 경제성비교 및 경제성 전환시점을 추정하고자 하였다.

LCC 분석을 위해서는 미래비용을 현재비용으로 환산해야 하며 미래비용을 추정하기 위해서는 할인율(discount rate) 개념이 사용된다. 할인율이 LCC 분석결과에 상당히 민감한 요소임을 평가사례에서 쉽게 볼 수 있다. 할인율이 변화함에 따라 LCC 분석결과에 큰 영향을 미치므로 타당성 있는 분석을 위해서는 과거의 오랜 기간의 이력을 반영하고 향후 국가의 경제적인 예측을 통하여 합리적인 할인율의 사용이 필수적이다. 이 중 공칭할인율(nominal discount rate)은 인플레이션 효과를 고려한 할인율이기 때문에 반드시 미래투자에 대한 인플레이션 된 미래 비용평가와 연관해서만 사용해야하고 실질할인율(real discount rate)은 인플레이션 효과를 제거한 할인율을 의미하기 때문에 돈의 실제가치 반영과 미래의 투자에 대한 인플레이션 되지 않는 비용평가와 연관해서 사용되어야 한다. 이에 시설물의 LCC 분석을 위해서는 언급한 바와 같이 인플레이션을 고려할 필요가 없는 실질할인율을 사용하는 것이 바람직하며 국내의 경우 실질할인율은 가장 일반적으로 4.5% 정도의 수준에서 적용이 가능해 본 사례 적용에 적용하였다.

비용모델에서 초기비용은 일반적으로 관리주체가 최초에 투자하는 기본적인 매개변수로서 시설물의 계획과 설계 및 시공 등이 포함되지만 본 적용에서는 대부분을 차지하는 건설비용만을 고려하여 실적공사비의 단가를 토대로 작성하였다. 유지관리비용은 크게 운영·관리비용, 유지·보수비용, 점검 및 진단비용의 합으로 표현된다. 첫 번째로 운영·관리비용의 적용에서는 궤도도상에 국한된 인건비, 장비비 및 기타 경비만을 대상으로 하여야 하지만 궤도구조 간 운영·관리비용은 관리주체에 따라 그리고 조직의 효율성에 따라 크게 달라지고 유지관리 조직의 적정 인원 및 관리비용을 적정하게 산정할 수 없으므로 제외하기로 하였다. 일상적인 관리 및 주기적인 보수·보강·교체 활동에 대한 비용이 유지·보수비용의 인건비 내지는 비용항목으로 포함되고 장비비도 유지·보수비용의 임대료로 계상되므로 차이가 미소할 것으로 생각된다. 두 번째로 유지·보수비용은 일상적인 유지관리비용 및 주기적인 보수 및 보강비용에 대한 합으로 포함되며 적용에서는 유지관리 집행현황을 분석하여 표 2와 같이 유지관리 항목별로 구분하여 산정하였고 비용은 궤도공사 연간단가를 적용하였다.

표 2. 궤도구조별 유지관리항목 설정

구분	자갈도상 궤도구조	콘크리트도상 궤도구조
유지관리항목	① 자갈도상 다짐	① 콘크리트도상 보수
	② 자갈살포고르기	② 방진재·레일패드 교체
	③ 자갈도상 교체	③ RC침목 교체
	④ PC침목 교체	④ 레일 교체
	⑤ 레일 교체	⑤ 콘크리트도상 교체
	⑥ 체결구 교체	⑥ 체결구 교체
	⑦ 분기기 교체	⑦ 분기기 교체
	⑧ 순회 및 기본관리 - 면마춤, 유간정정, 궤간정정 등	⑧ 순회 및 기본관리 - 면마춤, 유간정정, 궤간정정 등
	⑨ 점검 및 진단	⑨ 점검 및 진단

세 번째로 점검 및 진단비용은 ‘시설물의 안전관리에 관한 특별법’에 따른 정기점검, 정밀점검 및 정밀안전진단비용의 합으로 표현된다. 1종 및 2종 시설물에 대하여 정기점검은 반년은 1회 이상, 정밀점검은 2년에 1회 이상, 정밀안전진단은 10년이 지난 시설물에 대하여 5년에 1회 이상 정기적으로 수행하여야 하므로 적용에서도 ‘안전점검 및 정밀안전진단의 대가(비용산정)기준’에 의거 계상하였고 다만 1

종 및 2종 시설물에 의한 분류 및 조정비율 등은 다소 근사적으로 적용하였다. 처리비용은 철도시설물의 내용년수가 끝나는 시점에서 해체·폐기에 의해 발생하는 비용으로 해체비, 폐기처분비, 잔존가치 등으로 구성할 수 있지만 적용에서는 잔존가치를 제외하고 계상하였다.

4.2 설문방법 및 결과분석

궤도구조 간 LCC 분석을 위해서는 구성요소별로 기대되는 보수, 보강 및 교체주기에 대한 데이터가 있어야 하지만 LCC에 대한 연구가 활발한 도로 교량분야에서도 분석자료가 미비하여 생애주기 예측에 상당한 어려움을 가지고 있으며 철도운영기관에서의 교환기준도 엄밀하지 못하고 다소 일반적으로 설정하고 있으며 유지보수 현황도 예산과 관련된 사항이라서 변동이 심하며 일반관리자비용도 매우 크고 심지어는 개발비, 교육훈련비 등까지 포함되는 계상으로 적정한 비용계상으로 보기 어려운 실정이다 [9,10]. 따라서 본 사례 적용에 있어서도 이력 데이터가 없는 산정방안으로 궤도설계에 오랫동안 경험이 있는 전문가에게 설문조사를 실시함으로써 전문기술자의 경험 및 기술적 판단에 의해 데이터를 수집하고자 했다. 실제적인 궤도구조별 유지관리 이력(profile)을 도출하기 위해서는 오랫동안의 경험에 기초한 한국철도공사 등에서의 보선사무소 직원들 즉, 유지관리전문가의 설문조사가 보다 적정하고 합리적이었지만 현 단계에서는 불가능하여 궤도설계 전문가로 한정하였다.

궤도구조 간 유지관리비용 분류구조에 따라 보수·보강·교체 발생년도, 주기, 비율을 추정하기 위해 설계전문가 집단의 설문조사를 실시하였고 각 항목에 대해 설문조사 결과의 표본수가 적은 점을 감안하여 일반적으로 제시하는 삼각형 확률분포로 가정하여 각 항목별 생애주기 특성에 대한 확률적 특성치를 추정하여 분석하였다. 참조로 표 3은 유지관리수준별 내구년한을 나타낸다.

표 3. 유지관리수준별 궤도구조의 내구년한

구분 (단위 : 년)		현행유지관리			사후유지관리			예방유지관리		
		상한	하한	최빈	상한	하한	최빈	상한	하한	최빈
자갈도상 궤도구조	도시·광역철도	28.3	20.0	24.2	25.0	16.7	20.8	31.7	21.0	26.3
	간선철도	25.0	17.0	21.0	20.7	14.3	17.5	28.3	20.0	24.2
	고속철도	22.3	15.0	18.7	18.3	11.3	14.8	25.0	17.0	21.0
콘크리트도상 궤도구조	도시·광역철도	53.3	36.0	44.7	46.7	30.7	38.7	60.0	38.3	49.2
	간선철도	45.0	33.3	39.2	38.3	27.7	33.0	50.0	36.7	43.3
	고속철도	40.0	29.3	34.7	31.7	22.3	27.0	43.3	31.7	37.5

이상과 같이 궤도구조 간 LCC 분석으로 일반적으로 알고 있듯이 콘크리트도상 궤도구조가 자갈도상 궤도구조 보다 훨씬 경제적인 것으로 분석되었다. 콘크리트도상 궤도구조의 누적 생애주기비용에 대한 경제성 전환시점은 기존 연구와는 다르게 대략 20년인 것으로 분석되었다. 또한 현행 유지관리수준에서 예방 유지관리수준으로 전환하였을 경우 자갈도상 궤도구조에서 8.5% 정도, 콘크리트도상 궤도구조에서 8.0% 정도의 비용감소를 기대할 수 있었다. 참조로 간선철도의 LCC 분석결과는 표 4와 같다.

표 4. 간선철도의 LCC 분석결과 (단위: 억원)

자갈 도상	초기 건설	유지 관리	해체 폐기	계 (LCC)	콘크리트 도상	초기 건설	유지 관리	해체 폐기	계 (LCC)
현행	5.50	24.46	0.018	29.98	현행	9.00	18.27	0.023	27.29
사후	5.50	27.53	0.018	33.05	사후	9.00	21.29	0.023	30.31
예방	5.50	22.07	0.018	27.59	예방	9.00	15.90	0.023	24.92

5. 결론 및 제언

본 연구는 철도의 궤도도상구조별 즉, 자갈도상 궤도구조와 콘크리트도상 궤도구조로 대표할 수 있는 단면을 가정 설정하여 적정 유지관리수준에 기초한 생애주기비용을 비교하였고 적정 유지관리수준을 산정하기 위해 전문가 설문조사를 실시하였다. 생애주기비용 분석에 근거한 유지관리수준별(현행유지관리, 사후유지관리, 예방유지관리) 경제성 비교 및 도상구조 간 경제성 전환시점의 제시로 적정한 유지관리활동의 이력 정립이 가능하리라 생각하고 유지관리 측면에서 예방유지관리로 관리하여야 궁극적인 비용절감의 효과를 기대할 수 있음을 알 수 있었다. 특히, 생애주기 동안의 궤도구조 간 비용누계는 10% 내외의 차이로 다소 미소한 것으로 분석되어 앞으로 철도궤도의 도상구조 선정에 있어서는 지상구간(쌍기노반) 상에는 자갈도상 궤도구조를, 노반이 견고한 깎기 및 강성노반 상에는 콘크리트도상 궤도구조를 선택적으로 적용하는 것이 적절하다고 생각되며 경제성이나 환경성인 측면을 너무 확대·강조하여 도상구조를 선정하는 것은 적절치 못한 것으로 생각한다.

향후 연구에서는 현재 보선관계 업무에 종사하고 있는 유지관리 전문가를 대상으로 설문조사가 필요할 것으로 생각되며 계속적인 이런 연구를 통해 철도궤도의 도상구조에 대한 유지관리의 이력화로 구성요소별 성능 열화곡선의 예측·개발이 가능하여 노후도를 예측하는 보다 정확한 방법으로 갈 수 있을 것으로 생각한다.

참고문헌

- [1] 김해곤, 양근율, 김광모 (2003). “대구-부산간 고속철도 신설선에 대한 슬래브궤도구조의 도입 타당성에 관한 연구,” 한국철도학회 추계학술대회 논문집(II), pp. 27~34.
- [2] 장승엽 (2004. 3). “해외 공장제작식 콘크리트 슬래브 궤도 개발현황 및 적용사례,” 한국철도기술 제46호, pp. 47~52.
- [3] 국토연구원 (2001. 12). 민간투자사업의 운영관리비산정에 관한 연구 : 유지관리비를 중심으로.
- [4] 천용현, 이영대, 박혁, 김사명 (2005. 01). “LCC분석을 이용한 교량 유지관리수준에 관한 연구,” 대한토목학회논문집, 제25권 제1D호, pp.101~107.
- [5] OECD (1981). Bridge Maintenance, Rep. Road Research, Road Research Group, Organization for Economic Co-operation and Development. Paris. France.
- [6] OECD (1994). Road Maintenance and Rehabilitation : Funding and Allocation Strategies, Scientific Expert Group, Organization for Economic Co-operation and Development. Paris. France.
- [7] O'connor, P. S. and Hyman (1989). Bridge Management System, FHWA-DP-71-01R, Technical Report, FHWA.
- [8] Walls, J. III and Smith, M. R. (1998), Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design - Interim Technical Bulletin, FHWA, US DOT.
- [9] 한국철도공사 시설사업단 (2005). 시설업무현황.
- [10] 한국철도공사 보선업무자료 (2004). 보선업무자료.