

도로 터널의 성능기반 자산가치 평가 방법에 관한 연구

이용준¹, 박경훈², 선종완^{3*}

A Study on the Performance-Based Asset Valuation Method for Road Tunnels

Yong-Jun Lee¹, Kyung-Hoon Park², Jong-Wan Sun^{3*}

Abstract: The asset value of social infrastructure must be accurately evaluated, as it is an essential element for rational decision-making processes aimed at efficient asset management. Current domestic accounting guidelines stipulate that the asset value of social infrastructure should be evaluated based on the depreciated replacement cost using the straight-line method. However, while these guidelines state that the remaining service life and useful life should be estimated by a reasonable method, they do not provide specific methods for estimation. In this paper, a performance deterioration model for road tunnels was developed using safety grade information collected through inspections and diagnoses, and formulas for estimating the remaining service life and useful life based on this model were proposed. The Performance and Service Life Based Depreciation (PSLBD) method proposed in this paper is easy to apply as it conforms to the depreciated replacement cost evaluation formula of the existing domestic accounting guidelines. Moreover, since the performance improvements from maintenance actions such as repairs and reinforcements are reflected in the asset value, it is expected that the asset value can be used as a factor in decision-making. Additionally, the proposed valuation method is considered to provide more objective and realistic results compared to existing methods, as it takes into account the performance of tunnels.

Keywords: Asset valuation, Road tunnel, Performance Deterioration Model, Regression analysis, Remaining Service Life, Useful life

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 도로 터널은 근래에 지속적으로 건설되어 2023년 말 기준 2,892개소이며 최근 10년간 연평균 5.0%씩 증가하고 있다. 터널의 경우 도로 사용자의 안전성 향상 등의 사유로 비교적 최근 건설이 집중(공용연수 20년 미만 79.1%)되고 있어 교량에 비해 노후화(공용연수 30년 이상) 비율이 현재 5.1%로 낮으나 향후 10년 내 20.9%까지 증가할 것으로 조사되었다(MOLIT, 2024).

최근 노령화와 경제성장 둔화에 따른 세수 감소로 시설물을 안전하고 효율적으로 관리하는 방법에 대한 연구가 계속되고 있다. 그중 미국, 영국 등은 도로시설물의 성능뿐만 아니라 자산가치를 동시에 고려하는 자산관리 개념을 도입하여, 보수 또는 교체가 필요한 시설물에 예산의 투입 기회를 향상시키고 자산가치를 유지보수 예산 투입에 대한 성과 지표로

활용하는 방식 등 효율적인 유지관리체계를 제안하고 있다(Dojutrek et al., 2012; Lee et al., 2023).

현재 국내 「일반유형자산과 사회기반시설 회계처리지침(MOSF, 2022)」(이하 회계처리지침)에서는 터널의 기준내용연수를 20년으로 제시하고 있으며, 내용연수가 만료되면 국가채무제표 상 해당 자산의 잔존가치를 일률적으로 1,000원으로 평가한다. 즉, 추가적인 재평가 절차를 수행하지 않는다면 기준내용연수를 초과하는 공용중인 터널의 자산가치는 1,000원으로 평가된다. 이와 같은 기준만으로 평가하게 된다면 터널 자산의 가치는 저평가될 수밖에 없다.

또한 회계처리지침에서는 합리적인 방법으로 내용연수를 추정할 수 있다면 추정된 내용연수를 적용할 수 있도록 규정하고 있다. 하지만, 국유재산 재평가의 신뢰성 문제와 개선과제(NABO, 2023)에서 상각완료자산(공용연수가 기준내용연수를 초과하는 자산)의 추정내용연수를 기존의 기준내용연수 이상으로 추정한 사례가 있으나, 추정내용연수에 대한 근거가 부족하고 최초 취득원가에 대한 신뢰성이 떨어진다고 지적하고 있다.

이러한 한계를 고려할 때 자산가치를 고려한 효율적인 유지관리체계를 적용하기 위해서는 우선적으로 터널의 현재 자산가치를 합리적으로 산정하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 Lee et al. (2023)이 제안했던 교량 성능 기

¹정회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구원

²정회원, 한국건설기술연구원 구조연구본부 연구위원

³정회원, 한국건설기술연구원 구조연구본부 수석연구원, 교신저자

*Corresponding author: jwsun@kict.re.kr

Department of Structural Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2025년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2025년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

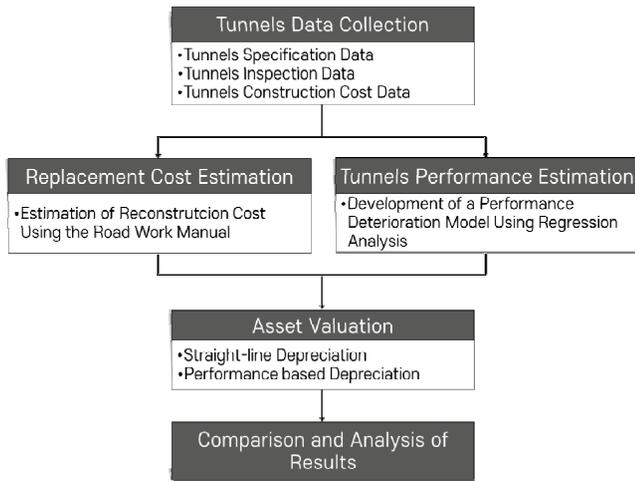


Fig. 1 Research Methodology and Process

반 자산가치 평가 방법을 참고하여, 도로 터널 시설물에 대한 합리적인 자산가치 평가 방법을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

터널의 성능기반 자산가치 평가 방법을 개발하고 적용하기 위한 연구의 방법 및 절차는 Fig. 1과 같다. 국내 터널의 성능을 고려한 자산가치 평가 방법을 개발하기 위해 시설물통합정보관리시스템(Facility Management System; FMS)을 통해 터널의 기본제원, 정밀안전점검 및 정밀안전진단(이하 점검진단)이력을 수집하고, 가장 적합한 성능저하모형을 선정한다. 또한 가용한 정보(FMS, 공사비정보광장, 도로업무편람)를 검토해 터널의 제조달원가 모델을 개발한다.

마지막으로 터널의 현재 성능 평가 결과와 성능저하모형, 제조달원가 모델을 활용하여 자산가치를 평가하고, 기존 회계처리지침의 방법과 본 연구에서 제안하는 방법을 비교 및 분석하여 적용성을 검증하고자 한다.

2. 사회기반시설 자산가치 평가 현황

2.1 회계기준에 따른 사회기반시설 자산가치 평가 방법

국가 회계처리지침(MOSF, 2022)에서 사회기반시설의 자산가치 평가는 일반유형자산과 동일하게 평가하도록 규정하고 있다. 사회기반시설 자산의 분류는 도로, 철도, 항만 등 10가지로 분류하고 있다. 그중 도로 터널은 도로시설물에 해당하며, 터널의 자산가치는 최초 취득원가로 인식한다. 감가상각방법은 정액법을 원칙으로 하나 자산의 미래 경제적 효익이 소비되는 형태가 정액법으로 감가상각하는 방법과 중대하게 다를 경우에는 경제적 효익이 소비되는 형태를 반영한 감가상각방법을 적용할 수 있도록 규정되어 있다.

사회기반시설의 자산가치 재평가가 시가표준액으로 평가하기 곤란한 경우 상각후대체원가(Depreciated Replacement Cost; DRC)법으로 평가하도록 규정되어 있다. DRC는 동일한 용역잠재력을 가진 자산을 현재시점에서 채취득 또는 재생산하는 경우 투입될 최적의 건설원가액(제조달원가)에 물리적 감가 등을 반영한 방법이다. 제조달원가는 최근 건설된 유사 구축물의 총 건설원가를 기준단위 물량으로 나눈 단위당 제조달원가에 해당 구축물의 물량을 곱한 금액으로 산정한다. 다만, 취득원가를 신뢰성 있게 측정할 수 있는 경우 물가배수법을 적용하여 제조달원가를 산정할 수 있다.

현행 회계처리지침에 따라 터널의 자산가치(DRC)를 상각후대체원가법(정액법으로 감가상각)으로 평가하는 경우 식 (1)과 같이 정식화할 수 있다.

$$DRC_{SLD} = RC \times \frac{t_{Remaining\ Useful\ Life}}{t_{(Standard)\ Useful\ Life}} \quad (1)$$

여기서, SLD는 정액법(Straight-Line Method), RC는 제조달원가, $t_{Remaining\ Useful\ Life}$ 는 잔존내용연수로 향후 자산이 사용될 것으로 예상되는 기간(장래보존연수), $t_{Useful\ Life}$ 는 내용연수로 객관적이고 합리적인 방법으로 추정된 기간으로서 자산이 본래의 용도대로 사용가능할 것으로 기대되는 기간을 의미한다. 다만, 내용연수를 합리적으로 정하기 어려운 경우 회계처리지침에서는 기준내용연수($t_{Standard\ Useful\ Life}$)를 제시하고 있으며, 터널은 20년(±25%)으로 정의되어 있다(MOSF, 2022).

식 (1)에서 유사 터널 i^{th} 의 제조달원가(RC_i)는 식 (2)와 같은 방식으로 산정할 수 있다(MOSF, 2022). 여기서 단위면적당 제조달단가(\overline{UC})는 식 (3)과 같이 5년 이내 유사 터널의 실제 건설비용(Construction Cost)을 면적이나 연장(Quantity)당 단가로 환산하여 산정하거나 실제 건설원가 자료가 없을 경우에는 평균 설계단가나 건설예정원가 등을 적용할 수 있도록 규정하고 있다(MOSF, 2022).

$$RC_i = \overline{UC} \times Quantity_i \quad (2)$$

$$\overline{UC} = \frac{\sum_{i=1}^n Constructure\ Cost_i}{\sum_{i=1}^n Quantity_i} \quad (3)$$

2.2 성능 기반 자산가치 평가 방법

회계처리지침에 따르면 사회기반시설은 정액법에 의해 매년 동일한 감가상각액을 일정하게 감액해주는 방식으로 가치를 평가한다. Lee et al. (2023)은 도로 교량 시설물에 한정하여, 회계처리지침에서 제시하는 SLD 방법은 현재 시설물의 성과 서비스수준을 고려하지 않아 자산가치가 과소평가 된다는

한계점을 강조하고 SLBD (Service Life based Depreciation) 방법, PBD (Performance based Depreciation) 방법을 제안했다. 그중 SLBD 방법은 중대한 결함이 발생한 교량과 발생하지 않은 교량의 공용연수 데이터를 이용하여 와이블 분포로 추정된 교량의 평균수명을 내용연수로 선정하고 SLD 방법으로 가치를 평가하는 방식이며, PBD 방법은 SLBD와 같은 데이터를 이용하여 와이블 분포로 추정된 연도별 신뢰도(생존확률)와 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(MOLIT, 2023)」(이하 세부지침)의 교량 안전등급별 결함도 지수를 재조달원가에 곱하여 자산가치를 감가상각하는 방식이다(Lee et al., 2023).

그러나 해당 방법은 도로 교량에 한정해 제안된 것으로 모든 도로시설물로 확대 적용이 가능한지는 검토가 필요하다. 특히 도로 터널의 경우 FMS의 '중대결함등 사후관리' 메뉴에서 관련 이력을 조회해 보면 중대결함이 발생한 사례가 없다는 점에서, 추가적으로 수집된 정보가 없다면 중대결함이 언제 발생했는지 여부로 와이블분포의 모수를 추정하기 어렵다고 판단된다.

이에 본 논문에서는 점검진단을 통해 수집된 공용연수와 성능정보(안전등급, 결함도 지수)를 이용해 성능저하모델을 개발하고, 이를 통해 상각후대체원가를 산정하는데 필요한 자산의 잔존내용연수 및 내용연수 추정식을 제안하였다.

2.3 도로 터널 취득원가 현황

회계처리지침에 따르면, 신뢰할 수 있는 취득원가 정보를 확보할 수 있다면 물가배수법을 적용하여 재조달원가를 산정할 수 있다. 여기서 물가배수법은 최초 취득원가에 물가배수를 반영하여 재조달원가를 산정하는 방법이다(MOSF, 2022). 터널의 취득원가 관련 정보는 FMS의 시공비 정보를 통해 수집할 수 있다. 준공시점의 시공비 정보를 현재 기준으로 환산하기 위해 건설공사비 지수를 물가배수로 사용하였다(KICT, 2024a). 건설공사비지수는 건설공사에 투입되는 직접공사비를 대상으로 공사부문 시중노임 자료, 생산자물가지수 등을 이용하여 건설공사비의 가격변동을 측정하는 지수로, 터널은 건설공사비 지수 항목 중 토목건설(대분류)-교통시설건설(중분류)-도로시설(기본 시설물) 지수를 활용하였다.

FMS에 등록되어 있는 도로 터널은 현재 2,852개소이다. 그중 공사비지수가 제공되는 2000년대 이후 건설된 터널 중 시공비 정보가 입력된 2,401개소를 분석하였으며, Table 1은 차선별로 단위연장당 터널 시공비의 통계적 특성을 분석한 결과이다. 통계분석 결과, FMS에 입력된 시공비 정보는 차선수 증가에 따라 시공비 단가가 증가하는 경향이 보이지 않았다. 특히, 표본수가 가장 적은 5차선의 경우 6차선에 비해 단위연장당 공사비 단가가 10배 이상이며, 8차선 터널의 단위연장당

Table 1 Statistical Characteristics of Construction Costs by Lane Collected through FMS (Million KRW/m)

Lane	Sample size	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mode
1	12	203.0	520.1	0.0	1,847.3	57.7
2	1,949	75.3	223.3	0.0	3,124.3	18.2
3	189	162.7	464.2	6.6	3,970.1	39.8
4	187	131.6	569.4	1.3	7,565.8	43.1
5	3	2,642.2	4,466.6	63.4	7,799.8	63.4
6	56	261.2	472.2	10.8	2,689.3	90.6
8	5	72.9	55.2	18.5	163.3	52.6

공사비는 1차선 터널의 공사비의 36%에 불과하다. 또한 표준편차와 평균의 비를 나타내는 변동계수가 76%~433%인 점을 볼 때, FMS 시스템에 입력된 정보는 신뢰도가 부족하기 때문에 취득원가로 그대로 사용하는 것은 적절하지 않은 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 회계처리지침에 따라 최근 5년 이내에 건설된 유사 터널의 건설비용과 평균 설계단가 정보를 공사비정보광장(Construction Cost Information System; CCIS), 도로업무편람(2022) 등에 제시된 정보를 조사 및 수집하여 재조달원가 산정 모델을 제안하였다.

3. 도로 터널의 성능 기반 가치평가 방법

3.1 성능지표 선정

「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(MOLIT, 2024)」(이하 시설물안전법)에서는 시설물을 안전하게 유지 및 관리하기 위하여 시설물 규모에 따라 주기적으로 점검, 진단, 성능평가를 실시하도록 규정하고 있다.

그중 정밀안전점검, 정밀안전진단은 모든 1, 2종 도로 터널 시설물을 대상으로 하는 반면, 성능평가는 국토교통부가 관리(위탁관리 포함)하는 1, 2종 도로 터널만을 대상으로 한다. 모든 관리주체에 적용 가능한 성능저하모델을 개발하기 위해 성능평가의 성능지표인 종합성능등급 보다는 정밀안전점검, 정밀안전진단의 성능지표인 안전등급을 성능지표로 선정하였다.

3.2 성능저하모델 개발

도로 터널의 성능저하모델을 개발하기 위해 FMS에서 총 98개소 터널의 기본제원과 424건의 점검진단 결과(터널의 대표 성능인 안전등급과 결함도지수)를 수집하였다. Table 2는 터널의 공용연수별로 수행된 점검진단 건수와 그 결과를 정리한 것이며, Fig. 2는 안전등급을 비율로 표시한 것이다.

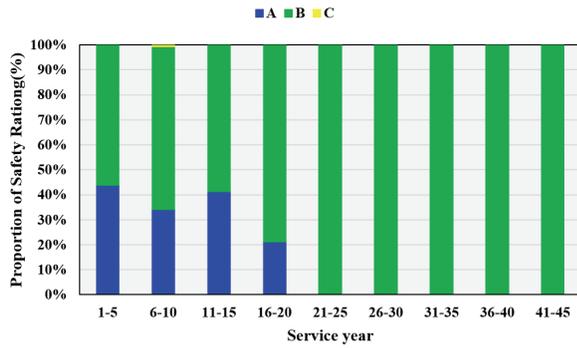


Fig. 2 Proportion of Safety Ratings by Tunnel Service Years (Excluding Warranty Repairs)

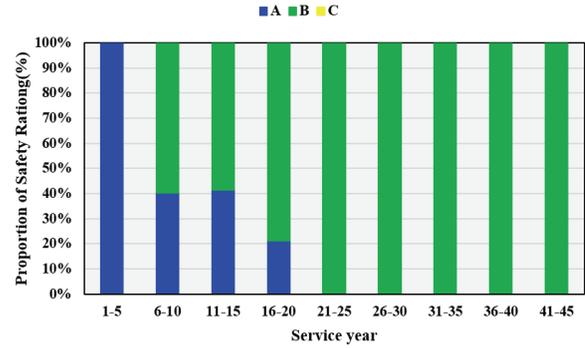


Fig. 3 Proportion of Safety Ratings by Tunnel Service Years (Including Warranty Repairs)

Table 2 Inspection and Diagnosis Results by Service Years (Excluding Warranty Repairs)

Service Years	Number of Inspections and Diagnoses	Safety Ratings		
		A	B	C
1-5	105	46	59	0
6-10	141	48	92	1
11-15	104	43	61	0
16-20	47	10	37	0
21-25	15	0	15	0
26-30	2	0	2	0
31-35	2	0	2	0
36-40	6	0	6	0
41-45	2	0	2	0

Table 2 및 Fig. 2를 분석한 결과, 공용연수가 증가함에 따라 안전등급이 점차 악화되는 경향이 나타났다. 그리고 대부분의 터널은 여전히 B등급 이상의 안전등급을 유지하고 있는 것으로 확인되었다.

터널 등 시설물은 건설공사 후 하자보수기간이 설정되어 있으므로 수집된 점검진단 정보를 그대로 사용하는 것은 초기 성능을 과소평가하게 되는 문제가 있다. 건설산업기본법 시행규칙 제70조에 따르면 터널의 하자담보책임기간은 철근 콘크리트부의 경우 10년, 그 외 공종의 경우 5년으로 정의되어 있다. 하자담보책임기간 내에 점검진단을 통해 손상 및 결함이 발견되면 관리주체는 시공사에 하자보수를 요청하고 시공사는 하자보수를 수행하여야 한다. 따라서, 수집된 점검진단 결과 중 하자담보책임기간 내 B등급 이하로 평가된 터널은 보수보강 조치를 통해 상태가 향상된다고 가정할 수 있다. 이 점을 고려하여 B등급 이하 안전등급을 A등급으로 변경하는 방식으로 Table 2의 점검진단 결과를 보정하였으며, 그 결과는 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

수집된 터널의 대표 성능은 터널이 현행 관리 체계에 따라

Table 3 Types of Functions Used in Regression Analysis

Function Name	Equation	Regression Coefficients
Exponential Function	$HI = I - (I - HI_{EOL}) \left(\frac{T_a}{T_{as}} \right)^\beta$	T_{as}, β
Linear Function	$HI = I - \frac{I - HI_{EOL}}{T_{as}} T_a$	T_{as}
Geometric Function	$HI = I \cdot (1 - k)^{T_a}, k = 1 - \left(\frac{HI_{EOL}}{I} \right)^{\frac{1}{T_{as}}}$	T_{as}
Hyperbolic Function	$HI = \frac{T_a - k \cdot I}{T_a - k}, k = T_{as} \frac{1 - HI_{EOL}}{I - HI_{EOL}}$	T_{as}

관리된 결과를 반영하므로, 현행 관리 체계가 계속된다고 가정한다면 공용연수에 따른 대표 성능의 추세를 통해 미래 성능을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 따라, 독립변수로 공용연수를, 종속변수로 건전도 지수(Health Index, 1-결함도 지수)를 설정하여 회귀분석을 수행하였으며, 이를 통해 공용연수에 따른 건전도 지수 예측식을 제안하였다.

회귀분석에 주로 사용되는 식은 Jeong et al. (2016)이 교량의 성능 예측 모델에 사용한 지수 함수식과 OECD (2009)에서 자산의 효율성 프로파일을 표현하는데 제안하고 있는 선형, 기하학적, 쌍곡선 함수식 등 총 4가지이다. 지수 함수의 지수가 1인 경우 선형 함수와 동일한 식이 되며, 공용연수가 증가함에 따라 안전등급이 C등급에 수렴하는 경향을 보이는 점을 고려했을 때 열화율이 증가하는 쌍곡선 함수식은 적절하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 지수, 기하학적 함수식 등 2가지 식에 따라 회귀분석을 수행하고, 그중 결정계수가 가장 높은 식을 도로 터널 시설물의 성능저하식으로 채택하였다.

Table 3은 회귀분석에 사용되는 함수식과 계수를 정리한 것이다. 여기서, HI = 터널의 건전도 지수, I = 건전도 지수 곡선의 시작점, β = 곡선의 비선형 형상계수, T_{as} = 평균내용연수, T_a = 터널의 공용연수, HI_{EOL} = 터널의 내용연수 종료 시

건전도 지수이다.

Fig. 4는 HI_{EOL} 가 0.36, I 가 0.9, T_{as} 가 60년, β 가 각각 0.5, 1.0, 2.0이라고 가정했을 때 해당 함수의 개형이다.

터널의 내용연수 종료를 D등급에 도달($HI=0.45$)로 정의하고 초기 성능을 $HI=1.0$ 으로 정의하였을 때, 회귀분석 결과 Jeong et al. (2016)이 교량의 성능 예측 모델에 사용한 지수 함수식이 터널의 성능을 예측하는데 가장 적합한 모델로 분석되었다. 그리고 기하함수는 결정계수가 0보다 작게 나와 데이터와 적합하지 않은 것으로 분석되었다. Fig. 5는 회귀분석 분석 결과를 나타내고 있으며, 터널의 평균내용연수 T_{as} 는 361.79, 곡선의 비선형 형상계수 β 는 0.359, 결정계수는 0.301로 분석되었다. 하지만 해당 회귀분석 결과는 한정된 터널의 점검진단 결과(도로법상 도로 내 전체 터널의 3.4% 수준)를 활용해 개발된 것이므로 향후 연구에서 추가적인 정보 수집을 통해 모델의 대표성을 보완하여야 한다. 또한, 다양한 터널 조건과 환경을 고려해 경향의 변화 여부에 대한 추가적인 검증이 필요할 것이다.

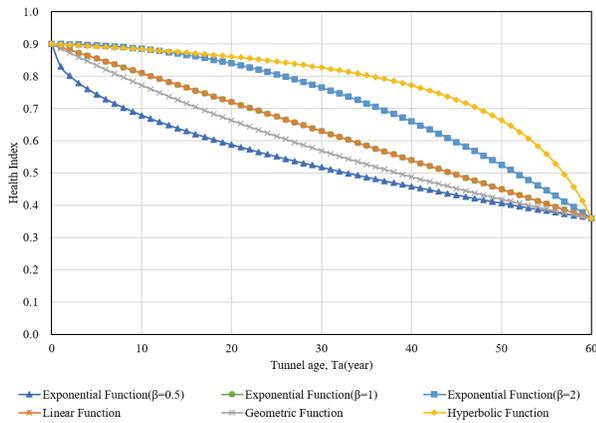


Fig. 4 Graphical Representation of Functions Used for Regression Analysis

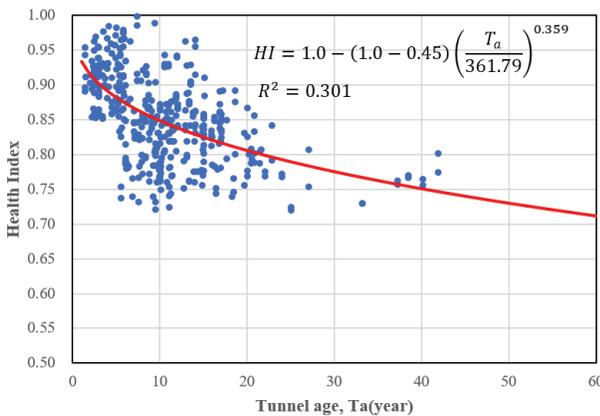


Fig. 5 Health Index Curve for Inspected Tunnels

3.3 터널의 내용연수 및 잔존내용연수 추정 방법

본 논문에서 터널의 수명과 잔존수명 예측은 Jeong et al. (2017)이 교량의 수명을 추정하기 위해 제안하는 방식을 터널에 확대 적용하는 방식으로 개발하였다.

Jeong et al. (2017)이 제안한 식을 적용하면, 임의의 터널의 공용연수(T_a)와 잔존내용연수(T_r)의 합을 터널의 내용연수(T_{as})로 정의하는 경우, 회귀분석을 통해 터널의 평균내용연수(T_{as})를 추정할 수 있고 점검진단의 결과로부터 터널 i^{th} 의 건전도 지수 HI^i 를 얻을 수 있으므로, 회귀식을 변환하면 HI^i 에 적합한 잔존내용연수 T_r^i 를 구할 수 있다.

$$T_r^i = T_{as} \left[1 - \left(\frac{I - HI^i}{I - HI_{EOL}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right] \quad (4)$$

예를 들어 Table 4에서 보듯이, 만약 i^{th} 터널의 HI^i 가 예측식에 따라 감소(Case 2)한다면 i^{th} 터널의 내용연수는 평균 내용연수 T_{as} 와 일치하게 되며, 반면 i^{th} 터널의 건전도 지수 HI^i 가 예측치보다 양호(Case 1)하게 조사된다면 터널의 내용연수는 평균 내용연수에 비해 길어지게 되고 반대로 예측치보다 불량(Case 3)하다면 내용연수는 짧아지게 된다.

3.4 재조달단가 산정

국내 유사 터널의 건설비용과 관련하여, 조달청에서 개발

Table 4 Example of Estimating Expected Service Life of Tunnels Having the Same Age

Case	Health Index (HI^i)	Tunnel age (T_a^i)	Remaining service life (T_r^i)	Service Life $T_a + T_r^i$
1	0.881	30	$361.79 \left[1 - \left(\frac{1.0 - 0.881}{1.0 - 0.45} \right)^{\frac{1}{0.359}} \right]$	386.70
2	0.775		$361.79 \left[1 - \left(\frac{1.0 - 0.775}{1.0 - 0.45} \right)^{\frac{1}{0.359}} \right]$	361.79
3	0.669		$361.79 \left[1 - \left(\frac{1.0 - 0.669}{1.0 - 0.45} \right)^{\frac{1}{0.359}} \right]$	303.87

Table 5 Statistical Characteristics of Construction Costs Collected through the CCIS (Million KRW/m)

Region	Lane	Sample size	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mode
Rural	2	18	26.4	6.7	16.1	44.4	24.2
	2	4	41.2	21.5	27.0	73.2	32.4
Urban	4	2	103.7	0.3	103.5	103.9	103.7
	8	1	146.9	-	-	-	-

및 운영 중인 공사비정보광장시스템에서 그 정보를 수집할 수 있다(PPS, 2024). 공사비정보광장은 건설사업 단계별 효율적인 공사원가관리를 지원하기 위해, 유사한 시설물의 건설 공사비 정보를 검색할 수 있도록 개발된 시스템이다. 해당 시스템에는 현재 25건의 터널 건설정보가 저장되어 있으며, 지역과 총차선수로 구분해 단위연장당 건설비용을 분석한 결과는 Table 5와 같다. 앞선 터널의 취득원가와 마찬가지로 평균 건설공사비용도 발주시점의 단가를 현재단가로 변환하기 위해 건설공사비 지수를 사용하였다.

Table 5를 보면 2차선 도로 터널의 경우 도심부는 지방에 비해 건설비 단가가 약 1.6배 높으며, 변동계수 측면에서 지방부는 변동계수가 25.3%인데 비해 도심부는 52%로 도심부의 변동계수가 2배 이상 큰 것으로 분석되었다. 이는 도심부의 경우 지방부에 비해 공사가 어렵고 터널 공사에 응벽 등 다른 공사가 포함되어 있는 경우가 있어 발생하는 것으로 조사되었다. 그리고 도심부 4차선, 8차선 터널은 표본이 각각 2건, 1건으로 부족해 제조달원가 산정 모델로 사용하기에는 적절하지 않은 것으로 판단된다.

회계처리지침에서는 실제 건설원가 자료가 없는 경우에는 평균 설계단가나 건설예정원가 등을 적용하도록 규정하고 있으며, 그중 평균 설계단가는 국토교통부가 매년 발간하는 도로업무편람(2022)에서 수집할 수 있다. 도로업무편람은 최근 발주된 사업의 설계단가를 활용해 터널 시설물의 평균 건설 단가를 제공한다. 이를 앞선 CCIS의 정보와 비교를 위해 건설 공사비 지수를 활용해 현재가치로 환산한 결과를 Table 6에 정리하였다.

CCIS와 도로업무편람 각각의 분석에 사용된 표본이 다르기 때문에 평균 공사단가는 다르다. 그러나 CCIS와 도로업무편람의 자료는 모두 발주된 공사에 근거한 자료이고, 현재가치로 변환된 것이기 때문에, 단위물량당 제조달원가를 산정하기 위해 각 모델의 대푯값을 평균하는 방식으로 제조달원가 산정 모델을 개발하였다. 2차선 도로터널의 제조달원가는 CCIS의 지방부 단가와 고속국도, 일반국도의 단가의 평균값으로 정의하였다. 4차선 도로터널의 제조달원가는 고속국도

Table 6 Survey Results of Tunnel Replacement Costs (Million KRW/m)

Category		2 Lane	3 Lane	4 Lane
CCIS	Rural	26.4	-	
	Urban	41.2	103.7	146.9
Road Work Manual	Expressway	16.2	21.0	32.3
	National Highway	19.0	-	33.8
Unit replacement cost	-	20.5	26.6	33.1

와 일반국도 단가의 평균값으로 정의하였다. 3차선의 경우, 고속국도 자료만 존재하기 때문에 고속국도 2차선과 3차선 터널의 단가 비율을 2차선 터널의 최종 단가에 곱해주는 방식으로 산정하였다. CCIS 도심부 자료의 경우 신뢰성이 확보되지 않았기 때문에 제조달원가 산정에 사용하지 않았다.

3.5 터널의 성능 기반 가치평가 방법

본 논문에서는 도로 터널 시설물의 성능저하모델, 공용연수, 건전도 지수에 따른 잔존내용연수 및 내용연수 추정식과 차선별 제조달원가 모델을 이용해, 도로 터널 시설물의 자산 가치를 평가할 수 있는 성능-수명기반 감가상각(Performance and Service Life Based Depreciation; PSLBD) 방법을 식(5)와 같이 제안하였다. PSLBD는 회계처리지침에서 정의하는 상각후 대체원가법(정액법으로 감가상각)의 평가식(식 (1))을 기본으로 하되, 터널의 성능저하모델과 점검진단을 통해 수집된 터널의 현재 안전등급(건전성 지수)을 이용해 잔존내용연수와 내용연수를 합리적으로 추정하였다는 점에서 기존의 회계처리지침의 방법과 차별화된다. 또한, 기존 Lee et al. (2023)가 제시한 SLBD 방법이 와이블분포를 사용해 추정된 평균내용연수만을 사용한 것과 달리 개별 터널의 특성(건전도 지수)을 고려할 수 있다. 그리고 회계처리지침에서도 내용연수를 객관적이고 합리적인 방법으로 추정한 기간을 사용할 수 있도록 규정하고 있으므로 현행 지침에 부합한다고 할 수 있다.

$$PSLBD = \overline{UC}_L \times \leq ngth^i \times \frac{T_r^i(HI^i)}{T_a^i + T_r^i(HI^i)} \quad (5)$$

여기서 \overline{UC}_L 는 차선(L)별 제조달원가(백만원/m), $Length^i$ 는 i^{th} 터널의 연장(m), $T_r^i(HI^i)$ 는 i^{th} 터널의 건전도지수가 HI^i 일 때 추정된 잔존내용연수, T_a^i 는 i^{th} 터널의 공용연수를 의미한다.

4. 도로 터널의 성능 기반 가치평가

2023년 말 기준 일반국도 터널 792개소를 대상으로 회계처리지침상의 자산가치 평가 방법(SLD)과 본 연구에선 제안하는 PSLBD 방법을 비교·분석하였다.

Table 7은 일반국도 터널의 안전등급 현황이며 PSLBD 방

Table 7 Number of Tunnels by Safety Rating

	Total	A	B	C	D	E
Number	792	340	448	4	0	0
%	100.0	42.9%	56.6%	0.5%	0.0%	0.0%

Source: BMS (KICT, 2024b)

Table 8 Result of Total Asset Valuation (Unit: One million KRW)

Tunnel No.	Open year	Length (m)	Lane	Replacement unit cost (UC)	Replacement cost (RC)	Safety rank	Health index	Tunnel age	Remaining service life	Service life	DRC (PSLBD)	DRC(SLD) (Standard service life=20year)
1	2009	860	2	20.5	17,630	C	0.596	14	208.1	222.1	16,519	5,289
2	2017	1,950	3	26.6	51,870	B	0.792	6	337.7	343.7	50,964	36,309
3	2019	1,435	2	20.5	29,418	A	0.889	4	357.6	361.6	29,092	23,534
							⋮					
790	2013	270	4	33.1	8,937	A	0.888	10	357.5	367.5	8,694	4,469
791	1975	522	2	20.5	10,701	A	0.898	48	358.5	406.5	9,437	0
792	1971	400	2	20.5	8,200	A	0.898	52	358.5	410.5	7,161	0

Table 9 Result of Total Asset Valuation (Unit: One million KRW)

	RC	DRC(SLD)	DRC(PSLBD)
Asset valuation	12,145,593.5 (100.0%)	5,403,870.2 (44.5%)	11,750,828.7 (96.7%)

법 적용시 내용연수 및 잔존내용연수를 추정하는데 사용된다. Table 8은 자산가치 평가 방법별로 개별 터널의 자산가치를 평가하는 예시이며, Table 9는 방법별 자산가치 평가 결과이다.

Table 9에서 SLD 방법으로 평가한 현재 자산가치는 5.4조이며, PSLBD 방법으로 평가한 자산가치는 11.8조로 SLD 방식에 비해 PSLBD 방법이 2.17배 높은 것으로 분석되었다. 또한 PSLBD 방법으로 평가한 자산가치는 터널의 초기 자산가치 12.1조 대비 96.7%를 유지하는 반면, SLD 방식은 44.5% 수준까지 감가상각된 것으로 분석되었다.

방법별로 평가 결과가 차이가 나는 것은 SLD 방식은 터널의 성능을 고려하지 않고 회계지침에서 제시하는 기준내용연수 기반으로 감가상각한 반면, PSLBD 방법은 터널의 성능저하모델과 점검진단 결과를 이용해 잔존내용연수와 내용연수를 추정하였고, 성능저하모델을 이용해 추정된 내용연수가 회계지침에서 제안한 기준내용연수에 비해 길기 때문이다.

Table 7에서 보듯이 일반국도 터널은 대부분 안전등급이 A~B등급(99.5%)으로 매우 양호한 상태를 유지하고 있다. PSLBD 방법으로 산정한 결과는 초기 자산가치 대비 96.7% 수준으로, 양호한 상태를 유지되고 있는 일반국도 터널의 현재 성능을 잘 반영한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 도로 터널을 대상으로 성능을 고려한 수명추정에 기반한 합리적인 자산가치 평가방법을 제안하고 사례분

석을 실시하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

현재 터널의 최초 가치 산정에 있어 관련 정보시스템에 입력되어 있는 취득원가 정보의 한계로 인해 상각후대체원가 방식으로 평가하는 것이 적절한 것으로 평가된다. 따라서 회계처리지침에 따라 재조달원가를 산정하기 위해 최근 건설된 유사 구축물의 공사비정보광장에 수집된 공사비 정보와 도로업무편람을 통해 차선 및 도로종류별 평균 설계단가를 수집하여 평균값으로 차선별 재조달단가를 제안하였다. 제안한 방법은 현실적인 데이터의 적용성을 고려할 때 합리적인 단가 산정 방법으로 판단된다.

터널의 내용연수와 잔존내용연수 추정을 위해 총 98개소 터널에 대한 424건의 점검진단 정보를 활용하여 성능저하모델에 적합한 회귀 식을 도출하였다. 제안된 평균 성능저하모델을 바탕으로 점검진단을 통해 개별적인 안전등급(건전성지수)이 수집된 터널의 잔존내용연수와 내용연수를 추정할 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 통해 개별 터널의 실제적인 성능이 반영된 내용연수 및 잔존내용연수를 도출할 수 있으므로 보다 합리적인 가치평가가 가능할 것으로 판단된다.

제안된 방법(PSLBD)과 기존의 회계처리지침의 방법(SLD)으로 공용중인 792개소 터널에 대한 가치를 평가를 수행하여 비교 분석하였다. 제안된 방법이 시설물안전법에 따른 점검진단 및 보수보강을 통해 관리되고 있는 현실적인 터널 가치를 합리적으로 반영하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 제안된 방법은 자산의 가치와 성능을 고려한 합리적인 유지관리 의사결정에 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

향후 다양한 도로시설물에 제안된 성능기반 자산가치 평가 방법을 적용하기 위해서는 시설물의 제원, 보수보강, 점검진단 등 다양한 정보를 관리할 수 있는 시스템 구축 및 운영이 필요하다. 또한 제안한 터널의 성능저하모델의 대표성 향상을 위하여 추가적인 정보 수집과 분석이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 “기반시설 첨단관리 (Total care) 기술 개발(RS-2022-00142566)” 연구과제의 지원을 받아 진행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. Dojutrek, M. S., Makwana, P. A., and Labi, S. (2012), A Methodology for Highway Asset Valuation in Indiana, Publication FHWA/IN/JTRP-2012/31. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana.
2. Jeong, Y. S., Kim, W. S., Lee, I. K., and Lee, J. H. (2017), Bridge Service Life Estimation Considering Inspection Reliability, *KSCE Journal of the Civil Engineering*, 21(5), 1882-1893.
3. Jeong, Y. S., Kim, W. S., Lee, I. K., Lee, J. H., and Kim, J. K. (2016), Definition, End-of-life Criterion and Prediction of Service Life for Bridge Maintenance, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 20(4), 68-76 (in Korean).
4. KICT (2024a), Construction Cost Management Center, Available at: <https://cost.kict.re.kr/>(Accessed: September 1, 2024), Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (in Korean).
5. KICT (2024b), Bridge Management System, Available at: <https://nbms.kict.re.kr/>(Accessed: September 1, 2024), Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (in Korean).
6. Lee, Y. J., Park, K. H., and Sun, J. W. (2023), A Study on the Asset Valuation Method Based on the Performance Information of Bridge, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 27(5), 57-66 (in Korean).
7. MOLIT (2022), “Road Work manual”, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea (in Korean).
8. MOLIT (2023), “Guideline and Commentary of Safety Inspection and In-depth Safety Inspection for Structures-Bridge”. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea (in Korean).
9. MOLIT(2024), “Special Act on the Safety and Maintenance of Facilities”, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea (in Korean).
10. MOLIT (2024), “Yearbook of Road Bridge and Tunnel Statistics”, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea (in Korean).
11. MOSF (2022), “Accounting Guidelines of Tangible Assets and Social Infrastructure”, Ministry of Strategy and Finance (in Korean).
12. NABO (2023), “Issues and Improvement Tasks for the Reliability of Revaluation of National Properties”, National Assembly Budget Office, Korea (in Korean).
13. OECD (2009), Measuring Capital OECD Manual, OECD Publishing, Paris
14. PPS (2024), Construction Cost Information System, Available at: <http://pcae.g2b.go.kr:8044/>(Accessed: September 9, 2024), Public Procurement Service (in Korean).

Received : 10/04/2024

Revised : 11/25/2024

Accepted : 11/28/2024

요 지 : 사회기반시설의 자산가치는 정확하게 평가되어야 하며, 이는 자산의 효율적인 관리를 위한 합리적인 의사결정 과정에 필수적인 요소이다. 현행 국내 회계지침에서는 사회기반시설의 자산가치를 정액법을 기반한 상각후대체원가로 평가하도록 규정하고 있으나, 평가를 위해 필요한 잔존내용연수와 내용연수에 관해 합리적인 방법에 의해 산정할 수 있다고만 규정하고 있을 뿐, 구체적인 방법은 제시하지 않고 있다. 이에 본 논문에서는 점검진단을 통해 수집한 안전등급 정보를 활용해 도로 터널의 성능저하모형을 개발하였으며, 이를 활용한 잔존내용연수와 내용연수 산정식을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 성능-수명기반 감가상각(PSLBD) 방법은 기존 국내 회계지침의 상각후대체원가 평가식에 부합하기 때문에 적용이 용이하며, 보수나 보강과 같은 유지관리 조치로 인한 성능향상이 자산가치에 반영되기 때문에 의사결정의 인자로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 제한한 가치평가 방법은 터널의 성능이 고려되기 때문에 기존 방법에 비해 객관적이고 현실성 있는 결과를 제공해 줄 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 자산가치평가, 도로 터널, 성능저하모형, 회귀분석, 잔존내용연수, 내용연수
