

재래식(ASSM) 도로터널의 성능평가 체계 연구

박광림^{1*}, 정지승²

A Study on the Performance Evaluation System of Conventional(ASSM) Road Tunnels

Kwang-Rim Park^{1*}, Jee-Seung Chung²

Abstract: Although the current evaluation system has been revised four times since it was revised in 1996, it is insufficient to utilize it as a basis for predicting the performance degradation from the long-term viewpoint and prioritization decision for the budget input due to the evaluation system limited to securing the structural safety. Therefore, this study proposes a new evaluation system suitable for the performance evaluation of conventional (ASSM) tunnels among the various types of existing road tunnels using Delphi technique and AHP technique. Since the existing evaluation systems and evaluation items in domestic and overseas are limited in scope of evaluation criteria, the survey was conducted in conjunction with closed questionnaires on existing items and open questionnaires for eliciting new items. The validity of the questionnaire results were verified and the performance evaluation factors suitable for conventional (ASSM) tunnels were derived. After calculating weighted value of the derived evaluation item using AHP technique, a new evaluation system is proposed to meet the characteristics of the ASSM tunnel, so that they can be used as reference materials for revising and supplementing detailed guidelines of performance evaluation in the future.

Keywords: ASSM tunnels, Performance evaluation system, Delphi, AHP, evaluation factors, weight, Detailed guidelines

1. 서 론

우리나라는 1970년대부터 본격적으로 경제발전을 하면서 고도의 압축 성장을 이루는데 사회기반시설의 역할이 매우 크다고 할 수 있으나, 이러한 사회기반시설들이 40년이 넘어서면서 노후화되어 본래의 기능을 유지하기 힘들어지고 있다. 또한, 이들 시설들의 구조나 성능에 대한 유지관리가 소홀해지면 시설 철거, 재건설 등 막대한 비용 증대 상황에 맞닥뜨릴 수 있으며, 그 비용은 천문학적일 수 있기 때문에 지금부터라도 안전에 대한 특별한 조직적 관리가 더욱 필요한 시기이다.

최근 한국시설안전공단 주최로 열린 “The VIEW Infrastructure Performance 2017” 국제 세미나에서 기조 연설자로 나선 미국 크리스티나 ASCE 회장은 미국이 지난 10년간 소극적인 SOC 투자로 인해 ‘D등급’의 인프라 수준을 보유하고 있으면서 현재 3300조원이라는 천문학적인 복구비용을 지불하는 부메랑을 맞고 있다고 말했다.

우리나라는 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「시설물 안전법」이라 한다)상 1, 2종 대형시설물이 1970년도에 800여개에 불과하던 것이 2016년 말에는 8만2000개 가까이로 급증했다. 1971년부터 1975년까지 5년 동안 우리나라 시설물이 약 50% 증가했을 때 GDP는 약 270%가량 증가했으나, 2015년에는 시설물의 증가율과 GDP의 증가율이 거의 같아졌다. 이후 증가율은 계속적으로 감소하고 있다. 이것은 시설물의 양적 증가를 통한 국가 경제력 향상도 이제 한계치에 이르렀다는 의미이기도 하며, 인프라의 양적·질적 저하로 국가 경쟁력 추락이 불가피할 것으로 전망된다는 의미이기도 하다.

현재 국내에서 「시설물 안전법」상 1, 2종 시설물 가운데 사용 연수가 30년 이상 된 노후시설물은 2017년 10.5%에서 2022년에는 14.7%, 2032년에는 34.7%로 늘어날 것으로 전망되며, 15년 이내에 낡은 시설물의 규모가 3배 이상 급증한다는 의미이다. 시설물의 양적 증가가 한계에 이른 상황에서 이미 건설돼 있는 시설물의 노후화는 급속히 진행되고 있어 시설물의 공용연수 증가에 따라 신설도 중요하지만 기존 시설의 안전 확보와 지속가능한 유지관리체계 개선에 대한 사회적 요구가 증가하고 있어 이를 반영할 수 있는 새로운 평가체계가 절실히 필요한 때이다. 새로운 평가체계는 기존 시설의 안전 확보는 물론 시설물의 수명을 연장하고 경제·사회적 비용 절감과 사회적 눈높이에 맞는 신뢰성과 안전성을 갖춘 평가

¹정회원, 한국시설안전공단 진단본부 부장, 교신저자

²정회원, 동양대학교 철도건설안전공학과 교수

*Corresponding author: krpark@kistec.or.kr

315, Goyang-Daero, Ilsanseo-Gu, Goyang-City, Gyeonggi-Do, 10223, Korea
•본 논문에 대한 토의를 2018년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

체계 이어야 한다. 따라서, 이를 위해 본 연구에서는 텔파이기 법과 AHP 기법을 활용하여 지하구조물중 재래식(American Steel Support Method) 도로터널의 성능평가에 적합한 평가인자 및 평가인자의 가중치와 구조물의 특성에 맞는 성능평가 체계를 새롭게 제시하고자 하며, 향후 세부지침 수정 및 보완 시 참고자료로 활용될 수 있도록 하고자 한다.

1.1 이론적 배경

현재 국내에서 터널에 대해 적용하고 있는 평가체계는 「시설물 안전법」에 의해 한국시설안전공단에서 제시한 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침. 2016」을 근거로 정밀안전진단을 실시하고 터널에 대한 등급을 판단하고 있다. 터널의 등급을 판단하기 위하여 대상 구조물에 대한 외관조사와 비파괴조사를 실시하고 상태평가와 안전성평가를 수행하고 있으며, 상태평가는 외관조사 및 비파괴 조사에 의해 라이닝 상태평가와 터널 주변 상태평가로 구분하여 실시하고, 안전성평가는 구조해석 또는 기존의 자료를 분석하고 종합적으로 평가하여 안전성평가 기준에 따라 결정한 후 상태평가와 안전성평가중 최저결과를 대상터널에 대한 종합평가 결과로 결정하고 안전등급을 지정하도록 하고 있다.

1.2 문제점 분석

현재 적용되고 있는 평가체계는 1996년 개정되어 4차례 개정을 실시하였으나, 설계 및 기술수준 등의 근거로 손상부위 보수보강 기능 회복 및 구조적 안전성의 확보 목표에 국한된 평가체계로 인해 장기적 관점의 성능저하 예측 및 예산투입을 위한 우선순위 의사결정의 근거로 활용하기에는 부족하다.

시설물 평가시 외관조사 결과에 의한 평가는 구조물의 구조적인 특성을 제대로 반영하지 못한 채 평가가 이루어지고 있으며, 구조물의 공용연수가 증가됨에 따라 외관상태 못지않게 구조물의 내구성에 대한 평가도 중요한데 현재 현장에서 실시하고 있는 시험 중 일부(탄산화, 염화물)만 평가에 반영되고 있고 그 외 콘크리트 강도, 내공변위, 단면축량 등 여러 가지 시험은 평가에 전혀 반영되지 못하고 있어 시설물의 노후화를 반영한 새로운 평가체계가 절실히 필요한 때이다.

2. 본 론

2.1 성능평가 항목 도출 방법

2.1.1 대상 시설의 국내 현황

국내 도로터널 중 「시설물 안전법」에서 구분한 1, 2종 시설물의 준공연수별 분포현황은 Fig. 1과 같으며, 머지않아 30년 이상 된 노후시설물이 급증할 것으로 보인다. 국내 도로터

널 중 시공방법별 분포현황은 Fig. 2와 같으며, 재래식(ASMM) 터널은 1%정도를 차지하고 있다.

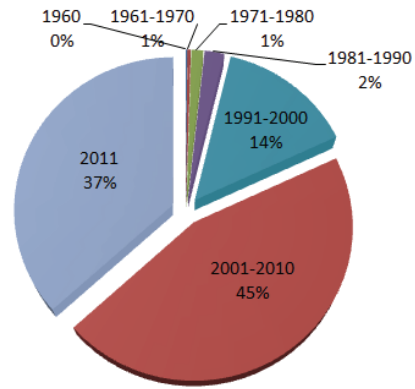


Fig. 1 Distribution Status by Completion Year of Road Tunnel

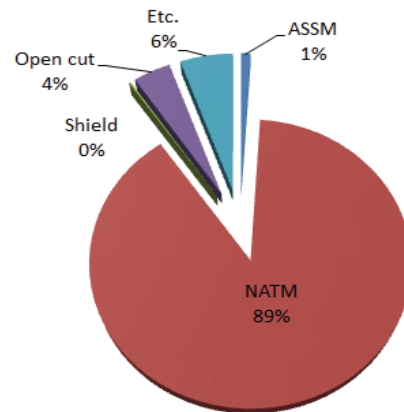


Fig. 2 Distribution Status by Construction method of Road Tunnel

2.1.2 평가항목 선정 방법

평가항목 선정을 위하여 국내외 기존 평가체계를 Table 1과 같이 분석하였으며(Park and Chung, 2017), 분석한 내용을

Table 1 National arrangement of valuation items

Division	Common items	Certain items
Four countries Common	Cracks, Leakage, Breakage and Damage, Desquamation, Exfoliation, etc.	Rebar exposed, Thickness and inverted sinkhole existence, Excitation and Dropout,
Three countries Common	Material deterioration, Ground conditions, Drainage condition, etc.	Lining stress, Building limits, Water quality, Vegetation,
Two countries Common	Joint, White coating, Inner section, Tunnel gate state, Displacement, Lining strength, Subsidiary facilities	Rock strength, Degree of weathering, Maintenance Intent, Linearity of tunnels, Illuminance

보면 국가별로 공통적인 평가항목과 공통적이지 않은 특정평가 항목들이 다소 차이를 나타내어 도출 가능한 평가항목은 한정적인 것으로 판단하고 연구방법론과 연구방향을 고려한 결과 델파이 기법이 가정 적합한 것으로 판단된다. 평가항목을 도출하기 위해서 참여자는 터널과 평가체계에 대한 높은 이해도를 가지고 참여해야 한다.

2.1.3 델파이 기법

기존 자료 부족으로 참고할 만한 자료가 없거나 미래를 예측하고자 할 경우 도입하는 분석기법 중 하나로, 전문가 합의법이라고도 한다. 이 기법은 응답자의 익명성을 보장하고 반복적인 피드백을 통한 하향식 의견 도출로 문제를 해결한 것이 특징이며, 본 연구에서는 평가항목 도출을 위하여 Park (2017)이 선행연구에서 사용하였던 Fig. 3과 같은 단계의 과정을 걸쳐 연구를 수행하였다.

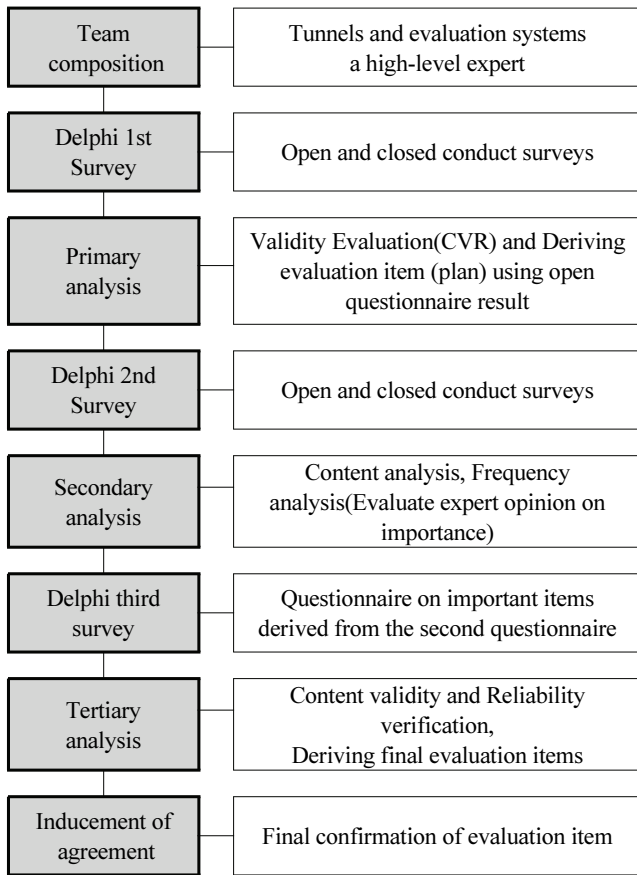


Fig. 3 Delphi Method

2.1.4 전문가 집단의 선정

델파이기법에서 전문가 집단인 위원회의 크기에 대한 명확한 규정은 없으나, 델파이 연구의 신뢰도와 위원 집단 크기 간에는 함수관계가 성립한다. 델파이 연구의 신뢰도를 높이기 위

한 전문가 수에 대한 연구내용을 보면, 집단별 위원의 수가 13명이상일 때에는 전후 질문지 간 과정의 신뢰도(Process reliability)는 전혀 문제가 되지 않으며(Na, 1999), 평균 0.80이상의 높은 상관관계를 보인다고 하였으며, Ziglio(1996)는 10~15명의 소집단 위원만으로도 유용한 결과를 얻을 수 있다고 하였다.

이 연구에서는 터널의 구조형식 중 재래식(ASSM)터널에 대한 실무지식을 보유하고 있고 「시설물 안전법」에 의거하여 실시하고 있는 정밀안전진단의 평가체계에 대한 높은 이해도를 가지고 있는 연구기관, 관리주체, 연구원, 관련업체 등에 종사하고 있는 전문가를 검토하여 Table 2와 같이 구성하였으며, 전문가의 경력 및 전문성은 Table 3과 같이 전부 특급기술자로 구성되어 있다. 전문가 구성 시 관련요건을 모두 갖춘 전문가가 부족하여 어려움이 많았다.

Table 2 Experts distribution

Field	Research institutions	Management body	Academia	Relation industry
Number	8	5	1	1

Table 3 Professional experience and expertise

Career	10 years~15years	Over 15 years
Person	5	10

2.1.5 내용타당도 검증

가. 델파이 1차 조사

기존에 실시되고 있는 평가항목이 포함된 폐쇄형 설문 결과에 대하여 내용타당도를 검증하였다. 내용타당도 비율(CVR)은 패널 수에 따라 Table 4와 같이 최소값을 제시하고 있으며, 최소값 이상이 되었을 때 문항에 대한 내용타당도가 있는 것으로 판단한다(Lawshe, 1975).

Table 4 CVR(Content Validity Ratio)

Number of respondents	CVR	Number of respondents	CVR
10	0.62	15	0.49
11	0.59	20	0.42
12	0.56	25	0.37
13	0.54	30	0.33
14	0.51	35	0.31

$$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (1)$$

여기서, CVR(Content Validity Ratio) : 내용타당도 비율,
 n_c : 중요하다고 응답한 사례 수, N : 응답한 전문가 수이다.

나. 델파이 2차 조사

1) 합의도

응답자 사이의 합의 정도를 검증하는 방법으로 1.0이하이면 합의가 이루어진 것으로 여겨진다.

$$\text{합의도} : 1 - \frac{Q_3 - Q_1}{M_d} \quad (2)$$

$$\text{IQR} = Q_3 - Q_1 \quad (3)$$

여기서, Q_3 : 3/4분위 수, Q_1 : 1/4분위 수, M_d : 중앙값이다.

2) 수렴도

응답 결과가 수렴하고 있는가를 나타내는 지수로 수렴할수록 “0”에 가까워진다.

$$\text{수렴도} : \frac{Q_3 - Q_1}{2} \quad (4)$$

3) 안정도

변동계수(C.O.V : Coefficient of Variation)로 평가하며, 0.5이하일 경우 채택, 0.5~0.8은 안정적, 0.8이상이면 추가설문이 필요한 것으로 판단한다(노승용, 2006).

$$\text{안정도} : C.O.V = \frac{\sigma}{\mu} \quad (5)$$

여기서, C.O.V : 변동계수, σ : 표준편차, μ : 평균이다.

다. 델파이 3차 조사

3차 델파이 조사는 각 항목의 중요도를 재평가하기 위하여 다른 전문가의 의견을 일부 참고할 수 있도록 하였다.

2.1.6 평가항목 도출

가. 델파이 1차 조사 분석 결과

응답한 전문가는 15명이며, 내용타당도 판단기준은 Table 4에 의해 $CVR > 0.49$ 로 하였다. Table 5와 같이 문헌연구를 통해 도출된 평가항목(총 71개)에 대하여 내용타당도를 검토한 결과 49개 항목이 만족하는 것으로 나타났으며, 개방형 설문을 통해 모집된 추가 평가항목 19개 항목을 신규항목으로 반영하였다.

Table 5 1st Delphi survey result

Enclosed survey	Open survey
Seventy-one Items evaluation	Nineteen items additional
Content validity Satisfaction (Forty-nine items)	<ul style="list-style-type: none"> • Condition safety -Invert existence -Drainage condition, etc. • Usability -Running condition -Road surface condition -Brightness. etc.

나. 델파이 2차 조사 분석 결과

2차 델파이 조사에 응답한 전문가는 15명이며, 내용 타당도 분석결과 68개 항목 중 50개 항목이 적절한 것으로 나타났으며, 합의도의 경우 42개의 항목에서 전문가의 의견이 합의되었다. 안정도(C.O.V)의 경우 모든 항목에서 0.5이하로 나타나 전문가 응답의 일치성이 매우 높은 것으로 나타났다.

다. 델파이 3차 조사 분석 결과

응답한 전문가는 15명이며, 내용타당도 분석결과 68개 항목 중 2차 평가항목 보다 높은 53개 항목이 적절한 것으로 분석되었으며, 합의도의 경우 2차 평가항목(42개 항목) 보다 7개 항목이 증가한 49개 항목이 합의되었다. 안정도(C.O.V)의 경우 모든 항목에서 0.5이하로 나타나 전문가 응답의 일치성이 매우 높은 것으로 나타났다.

라. 평가항목 도출 결과

총 3회의 델파이 조사를 통하여 재래식(ASSM) 터널의 평가항목을 Table 6과 같이 최종 선정하였다.

2.2 ASSM 터널의 성능평가 체계 도출 결과

2.2.1 상태안전성평가 방법

가. AHP 개요

본 기법은 수학적 모형으로 적합하도록 고안된 의사결정기법(Saaty & Vargas, 2001)으로 본 연구에서는 델파이 조사 분석 결과 도출된 평가항목중 상태안전성평가 및 사용성평가 항목에 대하여 이 기법을 활용하여 가중치를 산정하였다.

나. 일관성 검증 개요

일관성 비율(CR)은 통상 0.1 이하이면 응답자가 일관성 있게 판단한 것으로 보며, RI는 Table 7과 같다.

$$CR = CI / RI \times 100\%, \quad CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad (6)$$

Table 6 ASSM Tunnel(Nonrebar concrete lining)

Division		Evaluation item						
		Large category	Middle category	Small category	CVR	Convergence	Agreement	C.O.V
Safety	Condition safety	Concrete lining condition	Cracks	(1) Location	0.86	0.50	0.83	0.13
				(2) Width	1.00	0.50	0.86	0.08
				(3) Length	1.00	0.50	0.86	0.08
				(4) Progressive	1.00	0.38	0.89	0.09
				(5) Pattern	1.00	0.75	0.75	0.12
			Leakage	(6) Location	0.71	1.00	0.67	0.19
				(7) Leakage quantity	1.00	0.50	0.86	0.12
			Material deterioration, etc	(8) Desquamation	0.71	0.88	0.71	0.29
				(9) Layer separation and Exfoliation	1.00	0.50	0.83	0.13
				(11) Material separation	0.86	0.88	0.71	0.27
				(10) Breakage and Damage	1.00	0.50	0.86	0.08
				(11) Thickness and inverted sinkhole existence	1.00	0.88	0.73	0.13
		Tunnel measurement	(12) White coating	0.43	0.88	0.65	0.30	
			(13) Whether or not the inner section is reduced	1.00	0.50	0.83	0.08	
	(14) Cross section measurement		1.00	0.50	0.80	0.12		
	Surround condition	Ground conditions	(15) RMR	0.71	0.50	0.83	0.15	
			(16) Geological characteristics	1.00	0.50	0.83	0.09	
			(17) Belt of fault breccia	1.00	0.38	0.89	0.09	
			(18) Tunnel gate state slope	0.71	0.50	0.83	0.21	
			(19) Road bed swell existence	0.86	0.50	0.83	0.23	
		Drainage · Cavity conditions	(20) Drainage condition	1.00	0.88	0.71	0.14	
			(21) Sediment condition	0.86	0.50	0.80	0.17	
			(22) Drainage ditch condition	0.57	0.50	0.86	0.13	
	Structure safety	Degree of risk	Ordinary	(23) Safety factor	1.00	0.50	0.86	0.12
				(24) Displacement	1.00	0.50	0.85	0.10
				(25) Stress	1.00	0.50	0.83	0.08
		Earthquake time	(26) Safety factor	1.00	0.88	0.75	0.15	
			(27) Displacement	1.00	0.50	0.85	0.12	
(28) Stress			1.00	0.50	0.85	0.10		
Durability	Concrete lining	(29) Concrete estimation strength	1.00	0.50	0.83	0.10		
	Surround environment	(30) Cold environment	1.00	0.50	0.83	0.11		
Usability	Diurnal traffic	(31) Running condition	0.57	0.50	0.80	0.20		
		(32) Brightness	0.86	0.50	0.83	0.14		
		(33) Vibration and Noise Condition	0.71	0.50	0.80	0.26		
		(34) Traffic, Average velocity	1.00	1.00	0.67	0.16		
	Disaster prevention	(35) Disaster prevention facilities	1.00	0.88	0.71	0.15		
		(36) Emergency evacuation time	0.86	0.50	0.83	0.21		
	Service	(37) Functionality of Electricity, Machine, -Communication, Signaling equipment	0.71	0.50	0.82	0.16		

여기서, CR(Consistency Ratio) : 일관성 비율, CI (Consistency Index) : 일관성 지수, RI(Random Index) : 난수지수, 경험적

자료로 얻어진 평균 무작위 지수, λ_{max} : 상호비교 행렬의 고유치 중 최대값, n : 상호비교의 개수, 행렬의 크기이다.

다. 일관성 검증
본 연구에서는 일관성 비율이 1.0미만인 설문지 15부를 활용하여 상대적인 가중치를 도출하였다.

라. 가중치 산정 결과
가중치는 Table 8과 같으며, 라이닝 콘크리트, 주변상태, 특수조건으로 구분하여 산정하였다.

마. 결합지수 산정
1) 영향계수
각 부재에서 발생하는 각종 손상 및 결합에 대한 상태평가 시 손상이 전체 구조물에 미치는 안전성의 결합정도, 구조적인 중요도가 적절히 고려되어 평가될 수 있도록 영향계수를 Table 9~11과 같이 적용한다.

Table 7 Random index(RI)

Matrix size	RI	Matrix size	RI
1	0.00	9	1.45
2	0.00	10	1.49
3	0.58	11	1.51
4	0.90	12	1.48
5	1.12	13	1.56
6	1.24	14	1.57
7	1.32	15	1.59
8	1.41	-	-

Table 8 Weight Calculation results(ASSM Tunnel-None rebar concrete lining)

Evaluation item		Weight(%)
Concrete lining	Cracks	15
	Leakage	12.5
	White coating	2
	Breakage and Damage	8
	Desquamation	2
	Layer separation and Exfoliation	6
	Material separation	3
	Whether or not the inner section is reduced	16.5
Tunnels around	Drainage condition	8
	Ground condition	9
	Drainage ditch condition	2
	Rear face sinkhole existence	10
Special condition		6

Table 9 Damaged by Influence coefficient(Critical flaws)

Division	Flaws and Damage	Evaluation Type	Influence coefficient	Evaluation standard	Evaluation score
Concrete lining	<ul style="list-style-type: none"> • Significant flaws • Lining part severe leakage and deformation • Structural cracks • Progressive Cracks(Condition assessment “d” below) • Fixed crack(Area ratio more than 20% “d” below) • Insufficient lining thickness(Design thickness, Overall) • Breakage and Damage <ul style="list-style-type: none"> -Area ratio more than 20% “d” below -If there is a risk of falling(Large-scale) • Rebar exposed and corrosion(e Grade) 	Critical flaws	1.0	a	0
			1.1	b	1
			1.3	c	2
			1.7	d	3
Tunnels around	<ul style="list-style-type: none"> • Drainage condition(Poor drainage and clogging) • Ground conditions(Differential settlement of ground) • Special condition(Risk of freezing train line) 		3.0	e	4

Table 10 Damaged by Influence coefficient(General flaws)

Division	Flaws and Damage	Evaluation Type	Influence coefficient	Evaluation standard	Evaluation score
Concrete lining	Longitudinal direction(Diagonal) crack, Drying shrinkage crack, Transverse crack, Delusion crack, Leakage(White coating), Rebar exposed, Material separation	General flaws	1.0	a	0
				b	1
				c	2
Tunnels around	Drainage condition, Ground conditions, Drainage ditch condition, Special condition			d	3
				e	4

Table 11 Damaged by Influence coefficient(Local flaws)

Division	Flaws and Damage	Evaluation Type	Influence coefficient	Evaluation standard	Evaluation score
Concrete lining	<ul style="list-style-type: none"> · Longitudinal direction(Diagonal) crack(Member length more than 2/3) · Breakage and deterioration(Member thickness more than 2/3) · Delusion crack(Area ratio more than 20% to more than “c”) · Insufficient lining thickness(Design thickness, Overall) · Leakage <ul style="list-style-type: none"> - If it interferes with the passage of trains - Leak with a soil particle(more than “c” Grade) · Breakage and Damage <ul style="list-style-type: none"> - Area ratio more than 20% to more than “c” - If there is a risk of falling(Small-scale) · Rebar exposed and corrosion(c~d Grade) 	Local flaws	1.0	a	0
			1.1	b	1
			1.2	c	2
			1.4	d	3
Tunnels around	<ul style="list-style-type: none"> · Drainage condition(Poor drainage and clogging) · Ground conditions(Small and medium scale fault) · Special condition(Tunnel with electric line-freezing risk) 		2.0	e	4

영향계수는 구조물의 안전에 크게 영향을 주지 않는 일반적인 손상의 상태등급을 기준으로 하여 국부결함 및 중요결함의 등급을 상향조정함으로써 이들이 전체 구조물에 미치는 영향을 평가 상향하는 계수이다.

2) 평가기준 및 평가점수

평가기준은 5단계로 세분화하였고, 평가항목별 상태안전성 평가기준은 터널의 안전성 평가기준과 차이를 두기 위하여 소문자 a, b, c, d, e로 표기하여 Table 12와 같다.

Table 12 Evaluation standard and Evaluation score

Evaluation standard	a	b	c	d	e
Evaluation score	0	1	2	3	4

3) 결함지수 산정

결함지수 산출을 위한 세부 평가기준은 현재 적용하고 있는 세부지침을 준용한다.

$$\text{기본시설결함지수}(f) = \frac{\sum(\text{평가점수} \times \text{영향계수} \times \text{가중치})}{4 \times \sum \text{가중치}} \quad (7)$$

2.2.2 구조안전성평가 방법

현장조사 및 시험에서 얻은 실측 물성치를 반영하여 실제 상태에 대한 해석을 통해 올바른 평가가 되어야 하며, Table 13과 같다.

Table 13 Structural safety evaluation items and evaluation criteria

Division	Evaluation item		Evaluation criteria
Structure safety	Ordinary	Safety factor	Apply current evaluation system
	Earthquake time (Necessary)	Displacement	
		Stress	

2.2.3 안전성평가 방법

상태 및 구조 안전성평가를 실시한 후 평가결과를 비교하여 최저 등급을 최종 안전성 평가등급으로 결정한다.

$$\text{터널의 안전성평가 등급} = \text{Min}(T_c, T_s) \quad (8)$$

여기서, T_c : 터널의 상태안전성 등급, T_s : 터널의 구조안전성 등급이다.

2.2.4 내구성평가 방법

가. 평가항목 및 판정기준

터널의 경우 세부부재는 갱문, 본선 라이닝, 환기구가 대상이 되며, 각 부재별 가중치는 Table 14와 같다.

내구성 평가 시 평가항목은 대상터널이 무균이므로 Table 15과 같이 2개 지표로 평가되며, 부재별 등급에 따른 결함도 지수 범위는 Table 16과 같다.

Table 14 Weights for Detail member

Division	Each member	Each member Weight(%)	
Tunnels	Lining	60	70
	Tunnel gate	30	30
	Vent	10	-

Table 15 Durability evaluation items and evaluation criteria

Division	Evaluation item	Evaluation criteria
Concrete Lining	Concrete strength estimation	Comparison with Design standard strength
	Cold environment	Number of repeat days -of freezing thawing

Table 16 Defect index

Evaluation grade	a	b	c	d	e
Defect index	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

나. 내구성평가 결과 산정

산정방법은 평가항목에서 평가지표별 결과 중 가장 낮은 최저등급을 적용한다. 이유는 평가항목 중 어느 한 가지 지표에 의해서만 피해가 발생하여도 심각한 결과가 발생할 수 있으며, 대책을 강구하여야 하기 때문이다.

$$\text{터널의 내구성평가 등급} = \text{Min}(T_{es}, T_{ce}) \quad (9)$$

여기서, T_{es} : 콘크리트 강도 등급, T_{ce} : 동해환경(동결융해 반복일수)이다.

2.2.5 사용성평가 방법

가. 가중치 산정 결과

델파이 조사결과 도출된 평가항목에 대하여 AHP기법을 활용하여 가중치를 산정한 결과 Table 17과 같으며, 가중치는 주행성, 방재성, 서비스로 구분하여 산정하였다.

Table 17 Weight Calculation results(Usability)

Evaluation item		Weight(%)
Diurnal traffic	Running condition	18
	Brightness	16
	Vibration and Noise Condition	7
	Traffic, Average velocity	7
Disaster prevention	Disaster prevention facilities	25
	Emergency evacuation time	12
Service	Functionality of Electricity, Machine, Communication, Signaling equipment	15

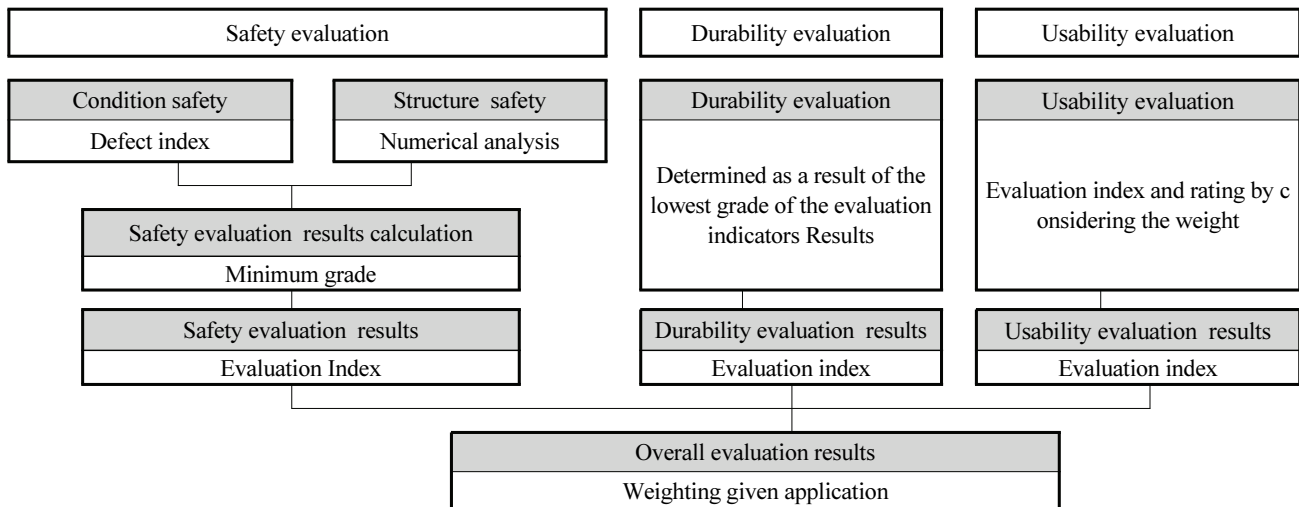


Fig. 4 The results of comprehensive evaluation procedure of the tunnel

2.2.6 종합평가 방법

가. 종합평가 산정 기준

종합평가 산정시 평가항목인 안전성평가, 내구성평가, 사용성평가의 가중치는 AHP기법을 활용하여 Table 18과 같이 상대적인 가중치를 도출하였다.

Table 18 Estimation criteria for comprehensive evaluation of tunnels

Division	Evaluation item		
	Safety	Durability	Usability
Weight	0.72	0.18	0.10

나. 종합평가 결과 산정

종합평가 결과의 산정방법은 Fig. 4와 같이 안전성평가, 내구성평가, 사용성평가 지수를 산출한 후 Table 18에 따라 각 항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

터널의 종합평가 지수(P)

$$= \sum (\text{항목별 평가지수} \times \text{항목간 가중치}) \quad (10)$$

3. 결 론

본 연구에서는 재래식(ASSM) 도로터널에 대하여 새로운 성능평가 체계를 정량적으로 제시하였으며, 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 현재 국내에서 준공 후 30년 이상 된 노후시설물은 현재 10.6% 수준에서 15년 후 34.5%로 3배 이상 급증할 전망이며, 현재 적용되고 있는 평가체계는 구조적 안전성의 확보 목표에 국한된 평가체계로 장기적 관점의 성능저하 예측 및 예산투입을 위한 의사결정의 근거로 활용하기에는 부족하므로 새로운 평가체계가 필요하다.
- 2) 본 연구에서는 국내외의 기존 평가체계 및 평가항목을 검토한 결과, 도출가능한 평가항목이 한정적인 것으로 판단되어 기존에 적용되고 있는 항목에 대한 폐쇄적인 설문과 새로운 항목 도출을 위한 개방형 설문을 병행하여 설문조사를 실시한 후 내용타당도 검증을 거쳐 성능평가 항목을 도출하였다.
- 3) 도출된 성능평가 항목은 AHP기법을 활용하여 가중치를 산정한 후 구조물의 특성에 맞는 성능평가 체계를 정량적으로 제시하였다.

- 4) 새롭게 제시한 평가체계는 재래식 터널의 구조적 특성을 반영시켰으며, 현재 평가기준에서 반영되지 못하는 현장 조사 및 시험 항목들을 최대한 반영하였다. 따라서 평가결과를 활용하여 구조물의 특성에 맞는 체계적이고 효율적인 유지관리가 가능할 것으로 기대된다.
- 5) 또한 제시된 성능평가 체계는 추후 관련 데이터가 많이 축적되면 이의 분석을 통하여 신뢰도가 높고 적합한 평가 체계가 될 수 있도록 추가적인 연구 및 보완이 계속적으로 필요하다.

References

- Adler, M., & Ziglio, E. (1996). *Gazing into the Oracle: The Delphi method and its application to social policy and public health*. London: Jessica Kingsley Publishers. 3-33.
- Jerry, A. (2008). *Effective Use of the Delphi Process in Research; Its Characteristics, Strengths and Limitations*, Unpublished doctoral dissertation, Oregon State University, 1-8.
- KISTEC(2001), *Establishment of criteria for condition evaluation of structures (tunnel)*.
- KISTEC(2002), *Tunnel Maintenance Manual*.
- KISTEC(2016), *Detailed Instructions of Safety Inspection and Precision Safety Diagnosis, Tunnel, 1-171 (in Korean)*.
- Lawshe, C.H(1975), *A UANTITATIVE APPROACH TO CONTENT VALIDITY*, *Personnel Psychology*, 28, 563-575.
- Park, K. R. and Chung, J. S. (2017), *A Study of Evaluation system of NATM Tunnel using Delphi and AHP*, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, 21(5), 25-34.
- Saaty, T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, Mc Graw-Hill, New York.
- Saaty, T.L. (1990), *Multicriteria Decision Marking: The Analytic Hierarchy Process*, AHP series I, RWS Publication.
- Saaty, T.L. (2008), *Decision marking with the analytic hierarchy Process*, *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83- 98.
- Seung-il Na(1999), *A study on the contents of general agricultural education for elementary-middle-high school students in the information society*, *The Journal of Agricultural Education and Human Resource Development*, KSI KISS, 31(1), 21-42.
- Yong Seung No(2006). *Delphi Technique; Get predictive insights from professional insights*, *KRIHS*, 299, 53-62.

Received : 12/26/2017

Revised : 03/09/2018

Accepted : 06/29/2018

요 지 : 현재 적용되고 있는 평가체계는 1996년 개정되어 이후 4차례 개정을 실시하였으나, 구조적 안전성의 확보 목표에 국한된 평가체계로 인해 장기적 관점의 성능저하 예측 및 예산투입을 위한 우선순위 의사결정의 근거로 활용하기에는 부족하다. 따라서, 본 연구에서는 델파이 기법과 AHP기법을 활용하여 기존 도로터널의 여러 구조형식 중 재래식(ASSM) 터널의 성능평가에 적합한 평가체계를 새롭게 제시하고자 한다. 국내의 기존 평가체계 및 평가항목을 검토한 결과, 도출가능한 평가항목이 한정적인 것으로 판단되어 기존에 적용되고 있는 항목에 대한 폐쇄적인 설문과 새로운 항목 도출을 위한 개방형 설문을 병행하여 설문조사를 실시하였다. 조사한 설문결과를 내용타당도 검증을 거쳐 재래식(ASSM)터널에 적합한 성능평가인자를 도출하였으며, AHP기법을 활용하여 도출된 평가항목에 대한 가중치를 산정한 후 구조물의 특성에 맞는 성능평가 체계를 새롭게 제시하여, 향후 성능평가 세부지침 수정 및 보완 시 참고자료로 활용될 수 있도록 하고자 한다.

핵심용어 : 재래식(ASSM) 터널, 성능평가체계, 델파이기법, AHP, 평가항목, 가중치, 세부지침
