

터널관리시스템의 안전운영 적정성 분석

Adequacy Analysis of Tunnel Management System in terms of Operational Safety

박 범 진*

(Bumjin Park)

(Korea Institute of Civil Engineering
and Building Technology)

노 창 균**

(Chang-Gyun Roh)

(Korea Institute of Civil Engineering
and Building Technology)

문 병 섭***

(Byeongsup Moon)

(Korea Institute of Civil Engineering
and Building Technology)

· Corresponding author : Chang-Gyun Roh (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology),
E-mail rohcg@kict.re.kr

요 약

터널은 자연훼손 최소화, 주행편의 향상과 건설장비 발전 등의 이유로 지속적으로 건설되며, 터널의 연장 또한 증가하고 있다. 하지만, 터널의 폐쇄적 구조는 대형사고로 이어질 확률이 크며, 터널에서의 교통사고 건수는 예년에 비하여 대폭 증가되고 있다. 이러한 이유로 최근 터널은 터널관리시스템을 구축하여 신속한 사고처리와 방재관리에 심혈을 기울이고 있다. 이와 같은 측면에서 본 연구에서는 실제 터널관리시스템의 현황 파악, 현 시스템 진단 및 개선사항 도출을 목적으로 하고 있다. 터널관리시스템은 실제 터널관리시스템은 운영 및 관리하는 터널관리사무소 직원이 가장 정확히 알고 있으므로 이들을 전문가로 규정하고, 전문가 설문지를 통한 시스템 진단이 가능한 분석 방법을 선택하였다. 본 연구에서는 이를 고려하여 터널관리시스템을 상위요소 3개, 하위요소 16개로 계층을 나눠 터널관리사무소의 관리자 43명을 대상으로 IPA와 AHP 조사를 수행하였다. 조사결과를 활용하여 본 연구에서는 터널관리시스템의 안전 운영 적정성을 분석하였다. 분석결과 관리자들은 터널관리를 방재관리 위주로 진행하고 있어 이 부분의 하위요소들이 대부분 중요도와 만족도가 동시에 높은 것으로 분석되었다. 하지만 돌발상황 관리와 관련된 분야는 중요도와 만족도의 차이가 1.17로 가장 높으며, IPA결과를 나타내는 포트폴리오 차트에서도 2사분면에 위치한다. AHP분석결과도 방재관리의 하위분야는 대부분 고순위로 위치하였으나, 1순위는 돌발상황 관리 분야로 조사되었다. 본 연구는 현장의 실무자가 판단한 결과로 의미가 있다고 판단된다. 또한 실무자들이 개선이 필요하다고 느끼는 항목은 우선적인 개선이 이루어져야 할 것이다.

핵심어 : 터널, 터널관리시스템, 운영 적정성, IPA, AHP

ABSTRACT

Length and the number of tunnels has increased 10% annually. Tunnel construction has positive effect in nature and driving condition. However, the structure of tunnels lead to a greater probability of major accidents. For this reason, tunnel is focusing its attention on the rapid incident handling and disaster management to build a tunnel management system in recently. In this study, tunnel management system adequacy analyzed in terms of operational safety using IPA and AHP analysis. IPA analysis results using the portfolio chart, incident management factors has a large gap between important and satisfaction. Disaster management is analyzed high ranking in priority. However, incident management factors are derived first priority in AHP analysis. This study determined that the results are meaningful to practitioners in the field is determined. In addition, practitioners comments should be reflected primarily for tunnel operational safety.

Key words : Tunnel, Tunnel Management System, Operation Adequacy, IPA, AHP

† 본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(차세대 도로교통정보 서비스 고도화 기술개발)의 연구비 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소

** 공저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소

*** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소

† Received 30 June 2015; reviewed 3 September 2015; Accepted 9 September 2015

I. 서 론

한국은 도로터널을 2014년 현재, 전국에 1,777개소(총 연장 1,293km)¹⁾를 운영하고 있다. Table 1은 한국의 2005년부터 2014년까지 최근 10년간 터널 개소와 터널의 전체 연장의 증가율이다. 2005년 대비 2014년 기준 960개소, 742km의 터널이 추가로 운영 중에 있다. 이는 터널 개소는 매년 평균 9.1%를, 연장은 매년 평균 10.0% 증가한 것이다. 한편, 한국의 터널 운영의 특징은 터널의 개소와 연장의 증가뿐만 아니라 장대터널이 건설되는 추세라는 것이다. 장대터널은 일반적으로 터널의 연장이 1,000m 이상인 터널을 의미한다. 현재 연장 5,057m에 이르는 배후령 터널이 국내 최장대 도로터널 시설이며, 7,000m에 달하는 보령해저터널도 건설 중에 있다. 이러한 장대터널은 자연훼손을 최소화 하는 친환경적 터널에 대한 건설 요구의 증가와 이용자의 통행시간 감소 등의 주행 편의 향상을 목적으로 건설되고 있다.[1] 국토해양부[2]는 2014년부터 2020년까지 추가로 신설되는 장대터널 관리를 위한 48개소의 관리동이 신설될 것으로 예상하였으며,

대심도 터널에 대한 논의도 이와 같은 맥락일 것으로 판단된다.

반면에 터널은 이러한 높은 편리성도 불구하고, 교통사고의 위험도 항시 내재하고 있다고 알려져 있다. 한국도로공사의 발표자료[3]에 따르면 터널에서 발생한 교통사고는 2013년 기준 2009년 대비 56.3% 증가하였다.

또한 2012년 KBS[4]에서는 일반도로의 교통사고 사상자 수는 전년대비 줄어들었지만, 터널구간에서 발생한 사고로 인한 사상자수는 전년대비 40%나 증가하였다고 보도하였다. 특히 국토해양부[2]는 터널 내 사망사고의 18%가 직접사고로 인한 사망이 아니라 2차 사고에서 비롯되었다고 발표하였다. 터널의 폐쇄적 구조는 사고 발생시 회피공간의 부족, 회차의 어려움, 돌발상황 관리의 어려움 등을 항시 가지고 있으며, 운전자의 심리도 위축되어 있다. 이로 인해 대형 2차 사고의 발생 위험에 상시 노출되어 있다.[5] 이러한 이유로 터널 내 방재예방뿐만 아니라 더불어 터널 내 사고방지와 2차사고의 신속 처리를 위하여 현재의 터널관리시스템을 고도화하고 성능을 향상시킬 필요성이 제기되고 있다.[5]

본 논문에서는 이러한 필요성에 대한 현황을 파악하기 위하여 현재 터널관리시스템(터널 내 도로 안전 및 터널방재 시설물을 총칭함)을 직접 운영하는 관리자를 대상으로 심층설문을 시행하였다. 본 논문의 목적은 심층설문으로 안전한 터널 운영의 관점에서 터널관리 시스템에 대한 운영 적정성을 분석하는 것이다. 본 논문에서의 운영 적정성은 관리자들이 인식하는 터널관리시스템의 계층을 구성하는 하위구성요소(단위시스템)들 간의 ‘중요도’와 시설물들의 역할이 잘 수행될 수 있도록 만들어져 있는지에 대한 편의성 등이 포함된 ‘만족도’를 의미한다. 따라서 설문을 통하여 하위구성요소별 중요도와 만족도를 조사하여 운영 현황을 파악하고, 구성요소별로 개선해야 하는 사항을 도출하는 방법으로 전개된다. 터널관리시스템의 하위구성요소의 구분은 기존의 국토해양부 ‘도로터널 방재시설 설치 및 관리지침[6]’ 및 ‘도로안전시설 설치 및 관리지침[7]’과 터널전문가의 폐널조사를 시행하여 계층을

〈표 1〉 터널 개소 및 터널 전체 연장의 증가율
(Table 1) Growth of Tunnel

		Places	Total length
2005		817	551
2006		932	648
2007		1,064	755
2008		1,152	806
2009		1,287	910
2010		1,382	974
2011		1,465	1,053
2012		1,578	1,149
2013		1,659	1,208
2014		1,777	1,293
Average amount of Change	per annual	+106.7 (+9.1%)	+82.4 (+10.0%)
	2005 to 2014	+960 (+117.5%)	+742 (+134.7%)

(source: Statistics Korea(e-Nation Index))[17]

1) e-나라지표, 도로교량 및 터널 현황 (http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1213)

구분하였다. 도출된 상위계층은 상기 지침에 의거하여 방재관리, 안전관리가 있으며, 상황 발생시 신속한 대응 및 피해 확산방지와 관련 있는 교통류 관리분야로 선정되었다. 본 연구는 현재의 터널관리시스템의 개선사항 도출을 위하여 중요도만족도 분석(Importance-Performance Analysis, 이하 IPA)과 분석적 계층화 방법(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP)을 동시에 시행하였다.

II. 관련 문헌 고찰

1. 터널관리시스템 현황과 단위시설물 정의

터널관리시스템 관련 지침으로는 ‘도로터널 방재 시설 설치 및 관리지침[6]’ 및 ‘도로안전시설 설치 및 관리지침[7]’ 등이 있다. 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침[6]은 도로터널 방재시설의 계획, 설계, 시공 및 관리시 적용해야 할 최소한의 기술기준을 규정하는 것을 목적으로 한다. 여기서 터널 방재 시설은 사고예방, 초기대응, 피난대비, 소화 및 구조활동, 사고확대방지를 목적으로 설치하여 운영해야 한다고 정의하고 있다.

도로안전시설 설치 및 관리지침[7]은 사고방지 및 피해경감시설을 중심으로 관련된 시설을 정의하고 있다. 터널관련 주요 시설로는 시선유도시설, 조명시설, 차량방호 안전시설 및 기타 안전시설로 규정하고 있으며, 각 시설은 터널구간의 특수성을 고려하여 시설별로 터널부의 설치 및 관리지침 제시하였다. 기존 터널관련 지침은 사고발생시 신속한 대응 및 사고 피해 경감을 위한 시설에 보다 집중되어 있는 등 터널 내 사고 대응에 집중되어 있다.

2. 터널 진단 관련

터널관리시스템에 대한 진단 연구는 기존에 이루어진바 없다. 다만, 터널구간내의 교통사고 예측 모형 및 터널 내 사고특성 분석과 관련된 연구, 터널 외관 상태 모니터링과 관련된 연구로 한정되어 있다. Park(2012)[8]의 연구에서는 터널 내 사고건수를 종속변수로, 교통량(AADT, ADT), 도로조건(구

배, 폭원, 차로수, 터널높이, 설계속도 및 측방여유폭), 환경조건(주야간 및 계절)을 독립변수로 하는 회귀모형을 구축하였다. An(2014)[9]은 교통사고 발생 여부를 종속변수로 하는 로짓모형을 구축하였으며, 독립변수로 설계요소(차로수, 측방여유폭, 경사 및 선형), 시선유도시설(주행 및 추월차로 설치 여부, 안전시설 설치 여부) 및 교통환경(AADT/차로수)를 선택하였다. 이와 같이 교통측면에서의 터널 관련 연구는 교통사고 예측 모형에 한정된 연구만 일부 진행되어 있다.

교통측면 이외의 경우, 터널 시설의 안전진단에 중점이 맞추어져 있다. Kim, et. al.(1997)[10]은 GIS를 이용한 터널관리체계 연구를 수행하였으며, Han, et. al.(2004)[11]은 적외선 열화상 계측을 이용한 내부 안전진단 기술을 연구하였다. Han, et. al.(2004)[11]의 연구 이외에도 탄성파, 인공지능 기법 등 다양한 기법을 적용한 연구가 있다.

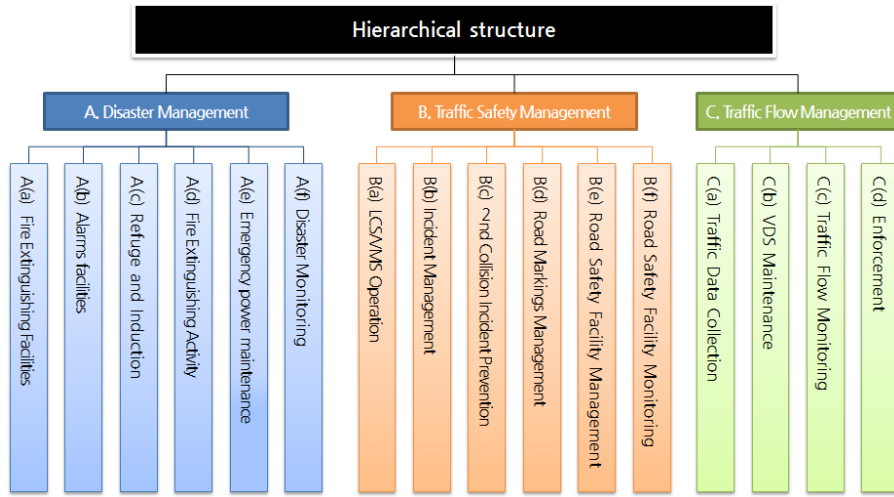
상기 검토한 결과와 같이 터널시스템의 경우, 관리시스템 자체에 대한 연구는 진행되나 없다. 터널 관리시스템 분야는 사고와 관련된 분야에 한정되어 진행되었으며, 진단 관련 연구는 시설물 및 구조에 한정되어 있다.

III. 분석방법 정립

1. 분석 내용

터널관리시스템은 Fig.1과 같이 터널 내에서 발생할 수 있는 사고에 대비한 A.방재관리, 안전한 통행 유도를 위한 B.교통안전관리와 함께 차량통행을 관리하는 C.교통류 관리를 목적으로 운영된다. 상기 목적을 터널관리시스템 분류의 상위요소로 설정하였다.

방재관리의 하위요소 6개 항목은 도로터널 방재 시설 설치 및 관리지침[6]을 기준으로 관련 설비 및 시설을 검토하였으며, 교통안전관리는 도로안전시설 설치 및 관리지침[7]의 항목을 검토하여 하위요소 6개를 도출하였다. 교통류관리는 서울지방국토관리청의 국토교통관리시스템에서 정의하고 있는



<그림 1> 계층구조
<Fig. 1> Hierarchical structure

시설을 기준으로 총 4개의 하위요소를 선정하였다. 터널관리사무소의 역할을 기준으로 분류한 상위요소(3개) 및 하위요소(16개)는 터널 및 도로 전문가의 자문을 거쳐 최종 Fig. 1의 계층구조를 완성하였으며, 도출된 계층구조를 이용하여 전문가 조사를 시행하였다.

2. 조사방법 정립

터널관리시스템의 구성요소에 대한 평가를 시행하기 위해 중요도-만족도 분석(Importance-Performance Analysis, 이하 IPA) 및 계층분석법(Analytic Hierarchy

Process, 이하 AHP) 등 2가지 분석방법을 활용하였다. 상기 2가지 분석방법을 채택한 근거는 다음과 같다.

현 터널관리시스템의 평가 및 개선을 위해서는 현 시스템의 진단이 최우선으로 시행되어야 한다고 판단하였다. 따라서 현장 실무자를 대상으로 현 시스템 구성요소에 대해 터널관리에 기여하는 정도를 기준으로 중요도에 대한 평가를 시행하였으며, 이와 함께 해당 시스템 운영시의 만족도를 평가하였다. 이를 복합적으로 진단하여 분석하기 위해 IPA 기법을 활용하였다. 이와 함께 각 요소의 종합적인

우선순위를 평가하기 위해 AHP 기법을 분석에 적용하였다. AHP 기법은 쌍대비교(pair-wise comparison)을 통해 종합적 중요도 평가를 시행할 수 있다는 강점이 있다.

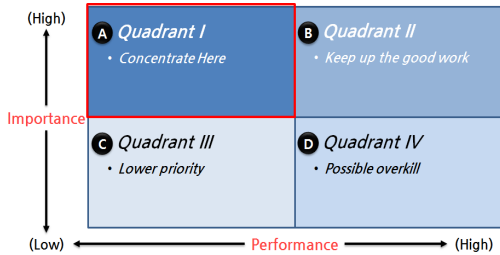
1) IPA

IPA분석기법은 도로교통분야에서 개선방안 도출시 다수 활용된바 있다. Park, et. al.(2011)[12]은 교통정보 콘텐츠 개선방안 도출에 IPA분석기법을 활용하였으며, Choi, et. al.(2006)[13]은 서비스 평가와 정보제공 개선전략 수립에 활용하였다. 기존 연구를 검토 결과, IPA분석기법은 본 연구에서 선정된 바와 같이 시스템의 진단 및 분석에 적절한 것으로 판단된다.

IPA 분석결과는 Fig 2와 같이 총 4개 사분면으로 구성되며, 각 영역별 의미와 활용방향은 다음과 같다.

각 사분면은 각 영역의 의미와 터널관리시스템의 특성을 고려하여 ‘A중점개선항목’, ‘B유지강화항목’, ‘C점진개선항목’ 및 ‘D지속유지항목’으로 정의하였다. 여기서 A중점개선항목은 터널관리시 중요도는 높으나 만족도가 낮은 요소로, 최우선적인 개선이 필요한 요소에 해당한다. B유지강화항목은 중요도와 만족도가 모두 높은 요소로 현재 시

시스템을 지속적으로 유지가 필요한 요소이다. ㉔점진개선항목은 만족도와 중요도가 모두 낮아 개선의 필요성이 적은 요소가 해당 사분면에 도출된다. 우선순위는 낮으나 터널관리시스템의 안전성 향상을 이유로 점진적인 개선이 가능한 요소가 도출될 수 있다. 마지막으로 ㉕지속유지항목은 만족도는 높으나 중요도가 낮아 추가적인 시설투자 및 개선이 불필요한 항목이 해당된다. 일반적인 IPA분석에서는 여기에 해당하는 요소는 줄이는 것으로 분석하나, 터널관리시스템의 특성상 안전사고 예방 및 관리 측면에서 해당 요소에 해당하는 시스템은 유지되어야 하므로 지속유지항목으로 정의하였다. 이를 위해 Table 2과 같이 각 요소별로 만족도 및 중요도에 대해 5점 척도를 기준으로 평가하도록 설문지를 구성하여 조사를 시행하였다.



〈그림 2〉 포트폴리오 차트
 〈Fig. 2〉 Portfolio Chart
 (source: Matilla, J.A. and James, J.C.(1977), reconfiguration)(18)

〈표 2〉 IPA 설문지 구성
 〈Table 2〉 Questionnaire for IPA

	Importance		Performance	
	Low	High	Low	High
A. Disaster Management	①-②-③-④-⑤	①-②-③-④-⑤	①-②-③-④-⑤	①-②-③-④-⑤
B. Traffic Safety Management	①-②-③-④-⑤	①-②-③-④-⑤	①-②-③-④-⑤	①-②-③-④-⑤
C. Traffic Flow Management	①-②-③-④-⑤	①-②-③-④-⑤	①-②-③-④-⑤	①-②-③-④-⑤

2) AHP

AHP는 다기준 의사결정모형(Multiple Criteria Decision Making) 기법 중 대표적인 방법으로, 평가 기준별 선호정도가 상호비교가 가능하다는 장점이 있다. 도로교통분야에서 AHP기법은 Kim, et. al.

(2010)[14]연구와 같이 서비스 적용시 선정 기법 연구 및 Yoon, et. al.(2013)[15]의 연구와 같이 서비스 평가 등에 활용된 바 있다.

본 연구에서는 Saaty(1980)[16]이 제안한 9점 척도를 기준으로 Table 3와 같이 설문지를 구성하였다. 설문대상자의 응답에 대한 일관성을 검토하였으며, 이를 위해 일관성비율(Consistency Ratio, 이하 CR)을 적용하였다. Saaty(1980)[16]에 따르면 CR값이 0.1미만이면 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하였고, 최대 0.2까지는 일관성이 있는 응답이라 제시하였다. 본 연구에서는 CR값이 0.1미만인 응답자의 응답만을 선별하여 종합 우선순위를 도출하였다.

3. 조사대상 선정 및 조사 개요

현 터널관리시스템을 진단하고, 우선 개선순위를 도출을 위한 조사를 시행하는 본 연구의 목적에 따라 터널관리시스템을 직접 운영 및 관리하는 터널관리사무소 소장 및 실무자를 대상으로 조사를 시행하였다. 지방도, 국도 및 고속도로상에 위치한 주요 터널을 검토하였으며, 이중 터널관리시스템을 운영중이며, 터널관리사무소가 있는 5개 터널을 최종 조사대상으로 선정하였다. 선정된 터널은 Table 4와 같다.

〈표 3〉 AHP 설문지 구성
 〈Table 3〉 Questionnaire for AHP

Evaluation factors 1	>>	>	=	<	<<	Evaluation factors 2
A. Disaster Management	⑤-④-③-②-①-②-③-④-⑤					B. Traffic Safety Management
A. Disaster Management	⑤-④-③-②-①-②-③-④-⑤					C. Traffic Flow Management
B. Traffic Safety Management	⑤-④-③-②-①-②-③-④-⑤					C. Traffic Flow Management

〈표 4〉 조사시행 터널
 〈Table 4〉 Tunnel List of Survey

			Length (m)	Width (m)	Height (m)
Provincial Road	#58	Gadeok Tunnel	3,666	10	6
National Road	#19	Bonggye Tunnel	1,674	9	9
Highway	#35	Jincheon tunnel	475	9	7
	#55	Jukryeong Tunnel	4,600	8	7
	#100	Sapaesan Tunnel	3,997	17	9

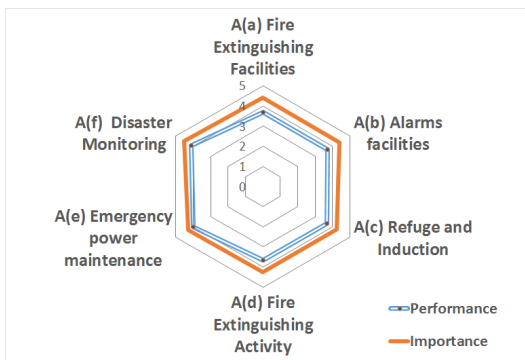
조사를 시행한 가덕해저터널은 국내 유일한 해저터널이며, 봉계터널은 국도상에 위치한 장대터널 중 하나이다. 죽령터널 현재 대한민국에서 가장 긴 고속도로터널이며, 사패산터널 세계최장 광폭터널로 조사범위에 포함되었다. 진천터널의 경우 연장은 짧으나 터널 내 추돌사고로 인한 인명사고가 발생(2009.7.10.) 한 바 있으며 이후 자동돌발감지 시스템을 도입하는 등 터널관리시스템을 개선한 바 있어 조사대상으로 최종 선정하였다. 조사는 2014년 8월부터 9월까지 1개월간 시행하였으며, 조사방법은 터널관리사무소에 방문하여 IPA 24부, AHP 20부 및 응답의 근거를 면접조사의 형태로 직접 시행하였다. IPA는 보직이 없는 일반 관리자를 대상으로 주로 시행하였으며, AHP조사는 조사의 난이도등을 감안하여 터널관리소장과 부분별 책임자를 대상으로 조사를 시행하였다.

IV. 분석 결과

1. IPA 분석 결과

1) 방재관리 평가 결과

상위요소 중 ‘A.방재관리’의 하위 6개 요소 분석 결과, 만족도는 평균 3.80, 중요도는 평균 4.35이며 이는 ‘A.방재관리’는 평균 만족도 및 중요도가 모두 높은 2사분면에 위치하여 있다. 이는 전통적으로 터널관리는 화재 등의 방재관리가 우선시 되었고



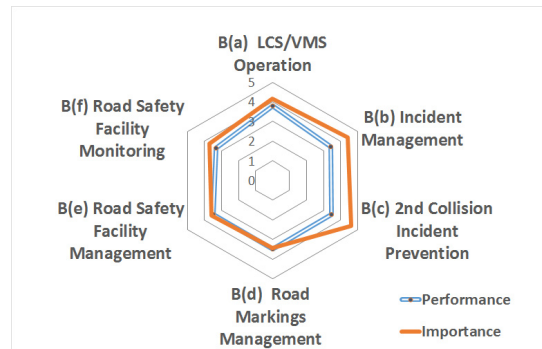
〈그림 3〉 방재관리 IPA 결과
〈Fig. 3〉 IPA Result of Disaster Management

많은 투자가 이루어진 결과로 판단된다.

하위요소별 분석결과는 Fig 3.과 같다. 만족도가 가장 높은 요소로는 ‘A(f)방재모니터링’ 항목으로 4.10으로 조사되었으며, 중요도 또한 4.52로 ‘A(f)방재모니터링’ 항목으로 도출되었다. 가장 중요도와 만족도 차이가 큰 항목으로는 ‘A(a)소화시설관리’ 항목으로 0.72 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

2) 교통안전관리 평가 결과

상위요소 ‘B.교통안전관리’의 하위요소 6개 항목의 평균 만족도는 3.49, 중요도는 3.99이다. 만족도가 가장 높은 요소로는 Fig 4와 같이 ‘B(a)LCS 및 VMS 운영’항목으로 3.79로 분석되었으며, 중요도가 가장 높은 요소로는 ‘B(c)돌발상황2차사고방지’항목이 4.62로, ‘B(b)돌발상황 관리’가 4.41로 나타났다. 특히 ‘B(c)돌발상황2차사고방지’항목은 가장 중요한 항목으로 인식하고 있음에도 만족도는 3.45로 ‘B.교통안전관리’의 하위요소 평균만족도(3.99)보다 낮으며, 중요도-만족도 차이가 1.17(중요도 4.62 - 만족도 3.45)로 본 IPA조사 항목인 하위요소 16개 항목 중 가장 큰 차이가 나는 것으로 분석되었다.

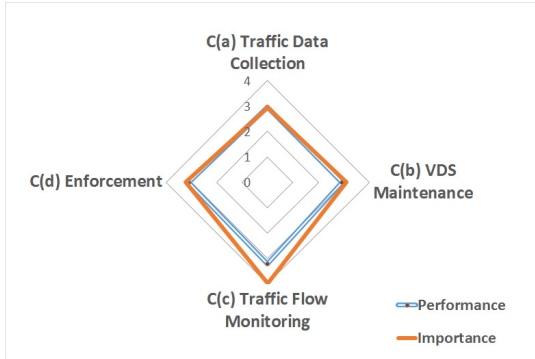


〈그림 4〉 교통안전 관리 IPA 결과
〈Fig. 4〉 IPA Result of Traffic Safety Management

3) 교통류관리 평가 결과

상위요소 ‘C.교통류관리’는 4개 하위요소로 구성되어 IPA분석을 시행하였으며, 그 결과 평균 만족도 3.05 및 중요도 3.32로 분석되었다. 평균 만족도

및 중요도 모두 타 요소 대비 낮은 것으로 3사분면에 대부분이 나타났다. 또한 중요도-만족도 차이가 가장 작은 것으로 나타났다. 특히 중요도-만족도의 차이가 Fig 5와 같이 하위요소 중 'C(c)교통류모니터링' 항목에서 0.69(만족도 3.21 - 중요도 4.00)으로 모두 가장 높은 것으로 분석되었다.



〈그림 5〉 교통류 관리 IPA 결과
 〈Fig. 5〉 IPA Result of Traffic Flow Management

4) IPA 분석 종합결과 및 시사점

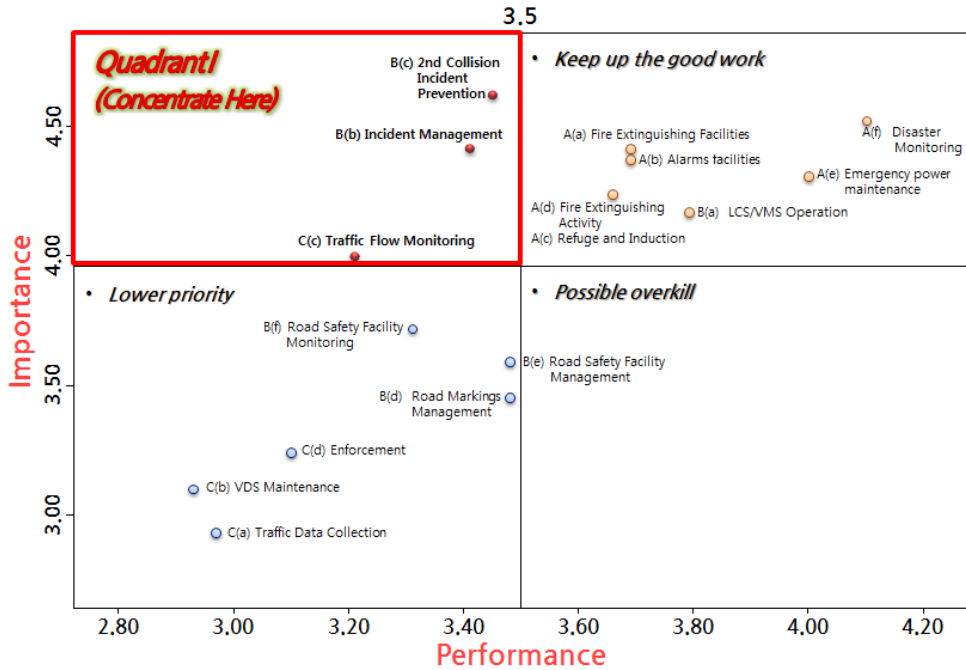
터널관리시스템 실무자를 대상으로 시행한 IPA 분석 결과는 Fig.6 와 Table 5와 같다. 상위요소 'A.

방재관리'의 하위 요소는 모두 중요도가 중요도 평균(3.96) 보다 높은 것으로 도출되었다. 중요도가 높은 만큼 관련 지침에 의거 관련 시스템이 구축되어 방재관련 시스템의 만족도 또한 만족도 평균(3.5) 보다 모두 높게 나타났다. IPA분석 결과, 집중 개선이 필요한 사분면(Fig. 6의 Quadrant I 영역)은 중요도는 높으나 만족도가 낮은 항목은 상위요소 'B.교통안전관리'의 하위요소에서 많이 나타났다. 특히 'B(c)돌발상황2차사고방지', 'B(c)돌발상황관리', 'C(c)교통류 모니터링' 총 3개 요소가 그 차이가 큰 것으로 도출되었다. 이러한 이유는 관리자의 기타 설문 의견에서 찾을 수 있다. 기타 설문 의견에서 관리자는 돌발 상황 자동검지 및 자동 대응체계의 미흡, 관리인력의 부족을 만족도가 낮은 이유로 제시하였다. 또한 관리자들은 교통류 관리는 모니터링 체계와 관련하여 CCTV로 관찰하지 못하는 음영구간의 발생, 돌발 상황 발생위치 확인 시 분할된 화면에 의해 신속한 위치확인이 어려운 문제, 다수의 CCTV 화면을 동시에 모니터링해야 하는 문제, 다수의 CCTV를 상황판 표출시 화면크기의 제약 등의 이유로 만족도가 낮다고 제시하였다.

IPA 결과와 기타 의견을 통하여 알아본 시사점은 현재 터널관리시스템을 운영하는 관리자들은 터

〈표 5〉 IPA 분석 결과
 〈Table 5〉 Analysis Result of IPA

		Performance		Importance		Importance - Performance	
		Result	Average	Result	Average	Result	Average
A. Disaster Management	A(a) Fire Extinguishing Facilities	3.69	3.80	4.41	4.35	0.72	0.55
	A(b) Alarms facilities	3.69		4.38		0.69	
	A(c) Refuge and Induction	3.66		4.24		0.59	
	A(d) Fire Extinguishing Activity	3.66		4.24		0.59	
	A(e) Emergency power maintenance	4.00		4.31		0.31	
	A(f) Disaster Monitoring	4.10		4.52		0.41	
B. Traffic Safety Management	B(a) LCS/VMS Operation	3.79	3.49	4.17	3.99	0.38	0.51
	B(b) Incident Management	3.41		4.41		1.00	
	B(c) 2nd Collision Incident Prevention	3.45		4.62		1.17	
	B(d) Road Markings Management	3.48		3.45		-0.03	
	B(e) Road Safety Facility Management	3.48		3.59		0.10	
	B(f) Road Safety Facility Monitoring	3.31		3.72		0.41	
C. Traffic Flow Management	C(a) Traffic Data Collection	2.97	3.05	2.93	3.32	-0.03	0.27
	C(b) VDS Maintenance	2.93		3.10		0.17	
	C(c) Traffic Flow Monitoring	3.21		4.00		0.79	
	C(d) Enforcement	3.10		3.24		0.14	
Average		3.50		3.96		0.46	



〈그림 6〉 IPA 포트폴리오 차트 결과
 〈Fig. 6〉 Analysis Result of IPA Portfolio Chart

널을 교통시설보다는 방재시설로 보는 관점이 지배적 이다는 것이다. 이는 ‘A.방재관리’의 하위요소의 IPA의 결과가 중요도와 만족도가 모두 높다는 결과와 일맥상통하다.

2. AHP 분석 결과

AHP 분석은 총 조사대상 20명 중 일관성이 없는 답변(CI>0.10) 2명의 답변을 제외한 18명의 응답을 이용하여 최종 결과를 도출하였다. 그 결과는 Table 6.과 같으며, 상세 내용은 다음과 같다.

1) 상위요소간 우선순위 분석 결과

일관성 지수(CI)는 0.00으로 높게 분석되었다. 상위요소 3개 요인의 분석 결과, ‘B.교통안전관리’가 가중치 0.422로 가장 높게 분석되었다. 2순위는 ‘A.방재관리’이며 가중치는 0.417로 나타났다. ‘C.교통류관리’는 가중치 0.161로 상대적으로 가장 낮은 가중치로 분석되었다. 1순위와 2순위의 가중치의 차

이는 거의 나지 않았지만, 앞선 IPA 분석 결과에서 ‘A.방재관리’의 중요도가 높은 것과는 다른 결과가 도출되었다.

2) ‘A. 방재관리’ 하위요소간 우선순위 분석결과

‘A.방재관리’의 하위요소 6개 항목의 일관성 지수(CI)는 0.01로 신뢰도가 높게 나타났다. 폐쇄구간의 특성에 의해 ‘A(f)방재모니터링’ 항목이 가장 높은 가중치인 0.207로 분석되었으며, ‘A(e)비상전원 유지’ 항목이 0.203으로 2순위 가중치로 나타났다.

상대적으로 ‘A(d)소화활동’은 가장 낮은 0.116의 가중치를 갖는 것으로 도출되었으며, 이는 상대적으로 터널관리시스템 운영 중 활용빈도가 낮았기 때문이라는 응답이 조사되었다.

3) ‘B 교통안전관리’ 하위요소간 우선순위 분석 결과

‘B.교통안전관리’ 분야의 일관성 지수(CI)도 0.01로 분석되었다. ‘B.교통안전관리’ 분야의 하위 6개 요소에 대한 AHP 분석 결과, ‘B(b)돌발상황관리’가

〈표 6〉 AHP 분석 결과

〈Table 6〉 Analysis Result of AHP

Evaluation factors	Weight	Sub-Evaluation factors	Weight	Total weight	Priorities
A. Disaster Management	0.417	A(a) Fire Extinguishing Facilities	0.128	0.053	10
		A(b) Alarms facilities	0.149	0.062	9
		A(c) Refuge and Induction	0.196	0.082	5
		A(d) Fire Extinguishing Activity	0.116	0.048	11
		A(e) Emergency power maintenance	0.203	0.085	4
		A(f) Disaster Monitoring	0.207	0.086	3
B. Traffic Safety Management	0.422	B(a) LCS/VMS Operation	0.164	0.069	8
		B(b) Incident Management	0.263	0.111	1
		B(c) 2nd Collision Incident Prevention	0.214	0.090	2
		B(d) Road Markings Management	0.070	0.030	13
		B(e) Road Safety Facility Management	0.103	0.044	12
		B(f) Road Safety Facility Monitoring	0.176	0.078	6
C. Traffic Flow Management	0.166	C(a) Traffic Data Collection	0.175	0.028	16
		C(b) VDS Maintenance	0.179	0.029	14
		C(c) Traffic Flow Monitoring	0.470	0.076	7
		C(d) Enforcement	0.177	0.028	15

가중치 0.263으로 가장 높게 분석되었으며, ‘B(c)돌발상황2차사고방지’의 가중치 또한 0.214로 높은 것으로 도출되었다. 반면 B‘(d)노면표시관리’는 0.070의 가중치로 가장 낮게 도출되었다. ‘B.교통안전관리’ 분야의 경우, 돌발상황과 관련된 2개 요소가 모두 가중치 0.2이상으로 나타나는 등 돌발상황에 대한 중요도를 높게 평가하고 있는 것으로 결과가 도출되었다. 이는 ‘A.방재관리’의 높은 우선순위를 차지하는 항목과 동일한 이유인 폐쇄적인 터널구간의 특성에 의해 돌발상황 발생시 사고 위험 및 심각도가 크기 때문이라 응답하였다.

4) ‘C. 교통류관리’ 하위요소간 우선순위 분석 결과

‘C.교통류관리’의 하위 4개요인 조사결과의 일관성 지수(CI)는 0.00으로 분석되었다. 가중치 분석결과로는 ‘C(c)교통류모니터링’이 0.470으로 매우 높게 나타났으며, 이로 인해 타 요인은 0.2미만의 상대적으로 낮은 가중치로 분석되었다. 특히 ‘C(a)교통정보수집’의 경우 0.175로 가장 낮게 분석되었으며, 이는 터널관리시스템을 운영하는 터널관리사무소에서는 해당 사무소의 주요 업무가 아니라 판단하고 있기에 이와 같은 결과가 나타난 것이다. ‘C(d)단속’의 경우도 터널관리시스템의 역할이 아니라 판단하여 상대적으로 낮은 가중치가 부여되었다.

5) 종합 우선순위 분석 결과

터널관리시스템의 역할 및 시설요소를 기준으로 도출한 3개 상위요소, 16개 하위요소에 대해 터널관리사무소 책임자급 18명을 대상으로 시행한 AHP 분석의 결과는 다음과 같다. 터널관리시스템의 역할 중 ‘B.교통안전관리’가 가장 중요한 업무이며, ‘B(b)돌발상황관리’가 종합가중치 0.111로 가장 우선순위가 높은 항목으로 도출되었다. 2순위는 ‘B(c)돌발상황2차사고방지’로, 0.090의 가중치로 분석되었다. 차순위로는 ‘A(f)방재모니터링’, ‘A(e)비상전원유지’, ‘A(c)피난대비 유도’, ‘B(f)교통안전시설모니터링’, ‘C(c)교통류 모니터링’의 순으로 도출되었다. 종합 우선순위의 결과, 돌발상황과 관련된 항목, 비상상황과 관련된 모니터링 및 대응(전원유지, 대피 등) 및 일반적인 모니터링(교통안전시설 및 교통류) 관련 항목이 우선순위가 높게 도출되었다. 특히 앞선 IPA 분석결과와 종합한다면, 돌발상황 관리 분야는 높은 순위에도 불구하고 만족도가 방재관리 분야의 그것에 비하여 높지 않다는 사실에 주목할 필요가 있다.

V. 결론

본 연구는 터널관리시스템의 시설요소에 대해

중요도, 만족도, 우선순위를 터널관리사무소 소장 및 직원을 대상으로 조사하여 분석하였다. 조사방법은 크게 IPA와 AHP방법을 사용하였으며, 고속도로, 국도 및 지방도에 위치한 대표적인 터널 5개소를 직접 방문하여 면접조사의 형태로 구득한 결과이다. 분석결과를 종합하면 다음과 같다. 터널관리시스템은 관련 지침이 방재 및 안전시설물에 한정되어 있는 바와 같이, 방재 및 교통안전측면에 있어 IPA 분석결과 높은 중요도로 도출되었으나, 돌발상황관리 분야에서는 중요도에 비하여 낮은 만족도로 나타났다. 이러한 결과는 AHP분석결과를 통하여 다시 한번 확인되었다. AHP분석결과, 돌발상황관리 분야의 우선순위가 1,2순위를 차지하였다. 또한 IPA와 AHP 조사시 추가로 해당 답변의 근거와 관련하여 추가 응답을 조사한 결과, 돌발상황 관리 요소의 경우 매우 중요한 우선순위를 갖는 항목임에도 불구하고 현재 구축된 시스템에 대한 만족도 및 활용성은 낮은 것으로 나타났다. 특히 돌발상황 관리 시스템은 오검지율이 높으며, 검지 정확도가 낮아 실무적 측면에서는 활용도가 낮은 것으로 조사되었다. 비상전원 유지는 터널관리시스템의 끊임없는 운영을 위해 반드시 지켜져야 하는 항목이므로 우선순위가 4순위로 높게 도출되었다.

더불어 결과 중에 모니터링 체계의 중요성도 도출되었다. 모니터링은 방재, 교통안전 및 교통류 등 모든 항목에서 중요한 요소인 것으로 도출되었다. 상시 모니터링체계를 운영 중이며, 소수의 인원이 터널을 모두 관리하는 현 터널관리체계에 의해 CCTV를 활용한 모니터링 체계는 터널관리시스템의 가장 중요하고 큰 부분을 차지하고 있다. 이와 같은 모니터링 체계는 다수의 CCTV를 동시에 운영하고 있어, 다수의 CCTV를 한꺼번에 모니터링 해야 하는 어려움 및 CCTV에서 이상 발견 시 터널의 내부구조에 의해 어느 위치인지 순간적으로 확인이 어려운 문제점이 있는 것으로 응답하였다. 교통류 관리분야는 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 분석된 반면 교통류 모니터링의 경우 방재 및 안전분야의 타 요소와 함께 높은 우선순위로 도출된 것으로 볼 때 교통류 모니터링은 교통안전과도 연관이 있

으며 터널관리에 있어 중요한 요소를 차지하고 있는 것으로 판단된다.

본 연구는 터널관리시스템을 직접 운영하고 관리하는 실무자가 응답한 결과를 분석하였다는 점에서 분석결과가 큰 의미가 있다고 판단된다. 현장의 실무자가 판단하기에 부족하며 개선이 필요하다고 필요한 항목 중, 터널관리시스템에서 중요하다고 판단되는 항목에 대해서는 우선적인 개선이 이루어져야 할 것이다. 이러한 측면에서 향후 터널관리시스템의 개선 및 신규 터널관리시스템 구축시 본 연구를 통해 도출된 돌발상황 및 모니터링 체계와 관련된 보완이 이루어져야 할 것이라 판단된다.

앞선 조사 결과들은 터널의 운영에서 가장 중요시 하는 것은 화재나 교통사고시의 처리 등의 안전 요소이고, 반면에 기타 교통정체관리 등은 교통소통관리는 상대적으로 중요하지 않게 인식되는 것으로 판단된다. 이는 최근 발생한 치명적인 국가적 재난에 의하여 안전의식이 많이 함양된 결과로 볼 수 있어 매우 고무적이나, 터널관리시스템의 큰 부분을 차지하는 돌발상황 관리에 시스템의 투자와 연구가 필요하다는 반성적 결과도 있다.

본 연구에서는 고속국도, 일반국도 및 지방도에 운영 중인 터널을 대상으로 종합적인 터널관리시스템을 진단하였다. 터널관리는 터널의 규모, 시스템 구축비용 및 터널관리인력의 수에 따라 차이가 발생할 수 있다. 향후 연구로, 조사 대상 터널의 개수를 늘리고, 상기 제시한 요소를 포함한 분석을 시행하여 터널의 규모에 따른 터널관리시스템 진단 및 개선방안 도출이 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Park H. J., Hwang K. J. and Shin H. j., "A Study on Driver's Characteristics in Long Tunnel Using Driving Simulator", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 26, no. 2, pp.89-102, May. 2007.
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The Traffic Fatalities are reduced to 30% up to

- 2017", Press release, 19. Jul. 2013.
- [3] Korea Expressway Corporation, Accident Statistics at Tunnel, 2014.
- [4] KBS, "Tunnel traffic accidents are more dangerous... Second accident directly", Press release, 28. May. 2012.
- [5] KICT, *Development of Realtime Traffic Tracking Technology Based on View Synthesis*, 2013.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Prevention Facilities Installation and Care Instructions for Road Tunnel Disaster(SOP No. 100)*, 2009.
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Installation and Management Guidelines of Road Safety Facility(SOP No. 255)*, 2012.
- [8] Park J. H., Development of Traffic Accident Models in Freeway Tunnels, Chonnam National University, MS Thesis, 2012.
- [9] An B. H., A Study on the Traffic Accident Characteristics Analysis in Expressway Longitudinal Tunnel, Chonnam National University, MS Thesis, 2013.
- [10] Kim K. R., Jean H. W. and Hong S. H., System Development for Tunnel Management Using GIS, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.17 no. 3-3, pp.229-237, 1997.
- [11] Han Y. K., Choi M. Y., Park J. H., Kim W. T. and Hong S. J., "Measurement using Infrared Thermography for the Safety Diagnosis in Tunnels", *The Korea Society for Nondestructive Testing*, Proceedings of 2004 Spring Conference, 2004.
- [12] Park B. J. and Moon B. S., "Improvement of VMS Traffic-information Contents Using Importance Preference Analysis", *Journal of The Korea Contents Society*, Vol.11 no. 10, pp.457-466, 2011.
- [13] Choi K. C., Choi Y. H. and Oh S. H., "Using Importance-Performance Analysis to Improve Traffic Information Disseminating Strategies on VMS", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.26 no. 5, pp.747-754, Sep. 2006.
- [14] Kim T. J., Oh C. and Oh J. T., "Methodology for Selecting Traffic Safety Warning Messages Using Analytical Hierarchical Process(AHP)-based Multi-Criteria Value Function", *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, no. 2, pp.1-11, Apr. 2010.
- [15] Yoon I. S., Han E., Lee C. K., Rho J. H., Lee S. J. and Kim S. B., "Mobility and Safety Evaluation Methodology for the Locations of Hi-PASS Lanes Using a Microscopic Traffic Simulation Tool", *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 12, no. 1, pp.98-108, Feb, 2013.
- [16] Saaty R. W., "The Analytic Hierarchy Process - what it is and how it is used", *Mathl Modelling*, Vol. 9, no. 3-5, pp.161-176, 1987.
- [17] Statistics Korea(e-Nation Index), Status of Bridges and Tunnels at Expressway (Search at 2015.6.18.)
- [18] Matilla, J.A. and James, J.C., "Importance-performance analysis", *Journal of Marketing*, Vol. 41, pp.77-79, 1977.

저자소개



박 범 진 (Park, Bumjin)

2003년 4월~현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원
2010년 2월 : 연세대학교 공학박사(도시공학과 교통공학 전공)
2003년 2월 : 연세대학교 공학석사(도시공학과)
e-mail : park_bumjin@kict.re.kr



노 창 균 (Roh, Chang-Gyun)

2014년 5월~현재 : 한국건설기술연구원 박사후 연구원
2014년 2월~2014년 5월 : 한국교통연구원 박사후 연구원
2012년 3월~2014년 2월 : 연세대학교 전문연구원
2012년 2월 : 연세대학교 공학박사(도시공학과 교통공학 전공)
2008년 8월 : 연세대학교 공학석사(도시공학과)
e-mail : rohcg@kict.re.kr



문 병 섭 (Moon, Byeongsup)

2001년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원
2002년 8월 : 서울대학교 공학박사(환경계획학과 도시계획학 전공)
2001년 2월 : 스웨덴린쉬핑대학교 공학석사(교통공학)
1993년 2월 : 서울대학교 공학석사(환경대학원과 도시계획학)
e-mail : plus@kict.re.kr