KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research
Vol. 41, No. 6: 697-705/ December, 2021
DOI: https://doi.org/10.12652/Ksce.2021.41.6.0697

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Transportation Engineering **교통공학**

구조방정식을 활용한 터널 진입부 라디오 재난경보방송 수용성 분석

강찬모* · 정연식** · 김종진***
Kang, Chanmo*, Chung, Younshik**, Kim, Jong-Jin***

Acceptability Analysis for a Radio-Based Emergency Alert System at Access Zones of Freeway Tunnels Using a Structural Equation Modeling

ABSTRACT

Currently, roadway operation agencies provide interior zones of tunnels with emergency information including crash, fire, and vehicles' stop, through state-of-the-art technologies such as variable message signs and radio-based broadcast systems. However, when coping with an emergency in tunnel interior zones, such information could be too late for drivers to access. A radio-based emergency alert system at the access zones of freeway tunnels, on the other hand,could be a good alternative for solving this problem. Therefore, the objective of this study is to assess user acceptability of such an alternative system. To carry out this study, an online survey was conducted on 762 drivers, and the survey results were analyzed using a structural equation modeling to identify factors affecting acceptability of the proposed system. As a result, driver characteristics such as age group, driving frequency, and driving career, utilization of conventional traffic information, and usefulness of conventional traffic information have a positive impact on acceptability. It is expected that the findings of the study will be a basis to effectively address and deploy a new emergency alert system at the access zones of freeway tunnels.

Key words : Acceptability analysis, Emergency alert system, Radio broadcast, Traffic information, Structural equation modeling

초 록

현재 고속도로 터널 내 돌발상황 정보는 라디오 재난경보방송 및 VMS (Variable Message Sign)를 통해 터널 내에서만 제공되고 있다. 따라서, 터널 입구부 사고의 경우, 운전자는 돌발상황 정보 서비스를 받지 못하며, 이에 대한 대처가 늦어져 사고 위험성이 증가하게 된다. 한편, 터널 진입구간 라디오 기반 돌발상황 정보 서비스는, 해당 문제점에 대한 좋은 해결방안이 될 수 있다. 따라서, 본 연구의 목적은 라디오 기반 재난경보방송을 실시하기 전 일반 운전자들의 자동 재난경보방송 기술에 대한 생각과 수용성을 분석하는 것이다. 총 762명의 운전자를 대상으로 수행된 설문조사 결과에 대하여 구조방정식을 적용하였으며, 새롭게 도입될 기술과 서비스에 대한 수용성 분석을 진행하였다. 결과적으로 운전자 특성 (연령, 운전빈도, 운전경력 등), 교통정보 활용도, 교통정보 유용성이 자동 정보제공 기술 및 라디오 재난경보방송 수용성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구결과는 새로운 재난경보방송 시스템의 검토 및 적용에 대한 기반자료로 활용될 것으로 기대된다.

검색어 : 수용성 분석, 재난경보방송, 라디오 방송, 교통정보, 구조방정식

* 정회원 · 영남대학교 도시공학과 박사과정 (Yeungnam University · iaenmoo@ynu.ac.kr)
** 종신회원 · 교신저자 · 영남대학교 도시공학과 부교수 (**Corresponding Author** · Yeungnam University · tpgist@yu.ac.kr)
*** 영남대학교 도시공학과 박사과정 (Yeungnam University · ngenie@yu.ac.kr)

Received April 16, 2021/ **revised** May 11, 2021/ **accepted** May 21, 2021

Copyright ⓒ 2021 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

폐쇄공간인 터널은 전방 시야 제한, 입·출구부 구간 운전자 시력 저하 등 다양한 취약점을 가지고 있다. 이로 인해, 운전자의 전방 교통상황 대처 능력이 저하되어 추돌사고 및 2차 사고로 이어질 가능성이 높다. 또한 공간적으로 접근성에 제한된 터널에서 사고나 화재와 같은 돌발상황 발생 시, 대응팀의 접근과 대피의 한계로 사고 심각도도 높아질 가능성이 존재한다. 도로교통공단 발표자료에 의하면, 2019년 고속도로 터널 사고의 경우, 고속도로 전체에서 발생한 사고 대비 부상자 비율은 126 %, 사망자 비율은 358 %로 높게 나타났다(The Road Traffic Authority, 2021). 또한 2017년 자료에 의하면, 터널 사고 원인 중 89.3 %는 안전운전 불이행 및 안전거리 미확보로 나타나, 전방 주시에 대한 중요성이 부각되고 있다(The Road Traffic Authority, 2017).

그러나 터널 내부 돌발상황의 경우, 운전자는 터널 내부에 진입 후 돌발상황 정보를 제공받기 때문에, 터널 내부에서 돌발상황에 대응할 수 있는 행동은 매우 제한적이다. 즉, 터널 내부에서 발생한 사건에 대한 정보는 터널 진입 전에 제공되는 것이 보다 효과적일 수 있다. 따라서 지능형교통체계(Intelligent Transportation Systems: ITS) 사업시행지침에 의하면, 방재 1등급 터널 내부에서 발생한 돌발상황 정보를 터널 외부에 제공하기 위해 적어도 터널 진입부(portal) 500 m 이전에 VMS를 설치하도록 안내하고 있다(Korea Information Society Development Institute, 2019). 그럼에도 불구하고, VMS가 설치된 지점부터 터널 진입부(portal)까지 약 500 m 구간에는 터널내 돌발상황 정보 제공을 받을 수 없게 된다. 즉, 정보의 음영지역이 발생하게 된다. 아울러 방재 2등급 미만 터널의 경우, VMS 의무 설치기준이 없어 터널 진입부에서는 교통정보 서비스가 불가능하다.

본 연구는 이러한 제약조건을 해결하기 위한 대안으로 터널 내부에서 발생한 돌발상황 정보를 터널 외부에서 서비스하기 위한 새로운 기술도입을 검토하였으며, 이러한 기술에 대한 이용자들의 수용성을 분석하고자 하였다. 이를 위해 전국에 거주하는 일반 운전자를 대상으로 2020년 9월 14일부터 10월 30일까지 47일간 온라인 설문조사를 시행하였으며, 그 결과 762명의 유효 표본을 확보하였다. 설문조사 결과는 구조방정식을 적용하여 분석하였으며, 터널 진입구간 라디오 재난 방송의 수용성에 영향을 미치는 주요 인자를 파악하고자 하였다.

2. 문헌고찰

2.1 터널사고

서론에서 언급한 바와 같이, 터널의 경우 전방 주시 및 선행 차량에 대한 안전거리 확보가 매우 중요하다. 그러나 터널 진입 시 발생하는 일시적 시력저하, 전방 시야 제한 등은 사고 발생가능성 및 심각도 증가에 영향을 미칠 수 있다. Bassan(2016)은 터널 사고관련 연구들을 종합하여 정리하였으며, 일반적으로 터널 입구부가 터널 내부보다 사고율이 높다고 하였다. 이 밖에도 터널 입·출구부의 사고 심각도(Ma et al., 2016), 터널 진입부 사고율(Amundsen and Ranes, 2000; Pervez et al., 2020), 터널 입·출구부의 사고율(Wang et al., 2018) 등의 연구가 진행되었다. 더 나아가 터널 진입부는 터널 내부보다 사고 발생율이 3배 높은 것으로 나타났다(Amundsen and Ranes, 2000). Wang et al.(2018)은 낮 시간대에는 터널 입구부에서, 밤 시간대에는 터널 출구부에서 사고 발생비율이 높은 것으로 나타나, 결론적으로 운전자의 암순응 시 사고 위험성이 높아진다고 제시하였으며, Pervez et al.(2021)은 명순응, 암순응 모두 사고 위험성을 높인다고 하였다. Table 1은 터널 사고 관련 기존 연구 사례를 정리한 것이다.

Table 1. Summary of Previous Studies on Tunnel Crash

Authors	Methodology used	Key findings
Amundsen and Ranes(2000)	Descriptive statistics	The crash rate in the tunnel access zone is three times higher than that of the tunnel mid-zone.
Ma et al.(2016)	Generalized ordered logit model (GOLM)	Crashes that occurred near the entrance/exit zone tend to be more severe than those that occurred inside the tunnels.
Huang et al.(2018)	Classification and regression tree (CART)	The crashes due to drivers' failure such as safe distance violation and improper braking and steering had higher probabilities of fatalities and injuries at the tunnel exit.
Wang et al.(2018)	Descriptive statistics	The tunnel entrance zone has a higher crash rate during daytime compared with other times.
Pervez et al.(2020)	Descriptive statistics	The tunnel entrance has a high crash risk mainly due to drivers' failure to maintain a safe distance.
Pervez et al.(2021)	Descriptive statistics	The crash rate is found to be highest in the entrance zone.

2.2 수용성 분석

라디오를 활용한 재난경보방송 시스템을 도입할 경우, 터널 내부에서 발생한 돌발상황의 추가적인 피해 감소효과를 기대할 수 있다. 그러나 긍정적인 효과가 기대되는 새로운 정책이나 기술의 도입에도 불구하고, 이용자들은 이에 대한 반감이나 불편함 등 부정적 견해를 제시할 수 있다. 따라서 이러한 정책이나 기술의 도입 시, 이용자들의 수용성이나 선호도 등의 분석이 선행되어야 한다(Chung et al., 2012; Chung, 2013; Chung and Kim, 2015).

먼저, 정책 수용성에 관한 논문으로는 UTIS (Urban Traffic Information System) 활성화를 위한 교통정보 이용자 만족도 분석(Jang et al., 2009), 과세를 통한 지속가능한 교통정책 수용성 분석(Kim et al., 2014), 교통약자 이동편의시설 투자우선순위 결정을 위한 이동편의시설 중요도 분석(Ahn and Choi, 2014), 대심도 철도 건설에 대한 일반 시민들의 수용성 분석(Chung and Kim, 2015), 실시간 교통서비스 전략 수립을 위한 교통정보 선호도 분석(Yun et al., 2017), 자율주행차량의 사회적 수용성를 평가하기 위한 메타 분석(Nishihori et al., 2018) 등의 연구가 진행되었다. 신기술 수용성에 관한 논문으로는 고속도로 통행예약제 수용성 분석(Chung et al., 2011; Chung et al., 2012), 기상예보 정보 제공에 따른 통행행태 반응 분석(Chung, 2013), 자율주행자동차 도입을 위한 수용성 요인분석(Sung et al., 2020), 자율주행자동차의 위험성 및 사회적 수용에 대한 분석(Chikaraishi et al., 2020) 등의 연구가 진행되었다. 수용성은 하나의 측정값으로 측정하거나 판단하기에는 한계가 있기 때문에, 일반적으로 다양한 측정 변수를 통해 판단하게 된다. 즉, 잠재변수를 활용하는 구조방정식(Structural Equation Modeling: SEM) 기반 수용성 분석 연구가 주류를 이루고 있다. Table 2는 기존 연구들의 연구목적과 적용 모형을 정리한 것이다.

Jang et al.(2009)은 UTIS 활성화 방안을 위해 개인 특성과 선호도 특성 설문조사 자료를 활용하였다. 결과적으로 교통정보 제공에 대부분 긍정적인 것으로 나타났으며, 만족도 및 중요도 조사를 통해 서비스 개선 방향을 도출하였다. Hong et al.(2010)은 교통정보 이용자의 만족도 모형을 개발하기 위해 설문조사 자료를 활용하였다. 결과적으로 VMS, 라디오, 인터넷 등 매체별 만족도는 각각 다르게 나타났으며, 실시간 정보에 대한 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. Chung(2013)은 기상정보 제공에 따른 정보 이용자들의 통행패턴 변화를 분석하기 위해 600건의 설문조사 자료를 활용하였으며, 결과적으로 실시간 교통정보 의존도가 높은 도로 이용자들은 통행행태 변화에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. Ahn and Choi(2014)은 교통약자 이동편의시설 중요도를 분석하기 위해, 306명에 대한 만족도 및 불편사항에 대한 설문조사 자료를 수집하였다. 결과적으로 버스정류장, 보도, 횡단보도 순으로 만족도에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 휠체어 활용공간 및 안내판 위치 순으로 중요도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. Chung and Kim(2015)은 대심도 철도를 건설하기 전 시민들의 수용성에 대한 설문조사를 진행하였다. 결과적으로 새로운 철도 교통시스템

Table 2. Summary of Previous Studies on Acceptability Analysis

Authors	Purpose of study	Acceptability type	Methodology used
Jang et al.(2009)	To develop a model for traffic information user satisfaction for the establishment plan of the urban traffic information system (UTIS)	Strategy	SEM
Hong et al.(2010)	To develop a model for evaluating the effectiveness of traffic information and analyzing factors affecting satisfaction		
Chung et al.(2011)	To analyze the acceptability of a freeway travel reservation strategy		
Chung et al.(2012)	To analyze factors affecting acceptability of freeway booking	Technology/Strategy	
Chung(2013)	To develop a model for user travel behavior response to establish a strategy for providing weather information	Technology	
Kim et al.(2014)	To analyze factors affecting acceptability of a sustainable transport policy	Strategy	
Ahn and Choi(2014)	To analyze factors on investment priorities of mobility facilities for the transportation disabled		
Chung and Kim(2015)	To analyze factors affecting public perception and acceptability of a deep subterranean railway system		
Yun et al.(2017)	To develop a model of real-time traffic information preference to establish a traffic information service strategy		
Nishihori et al.(2018)	To analyze factors affecting social acceptability of autonomous vehicles	Technology/Strategy	Meta analysis
Sung et al.(2020)	To analyze factors affecting acceptability of autonomous vehicles	Technology	SEM
Chikaraishi et al.(2020)	To analyze factors affecting potential risk of autonomous vehicles		Tobit model

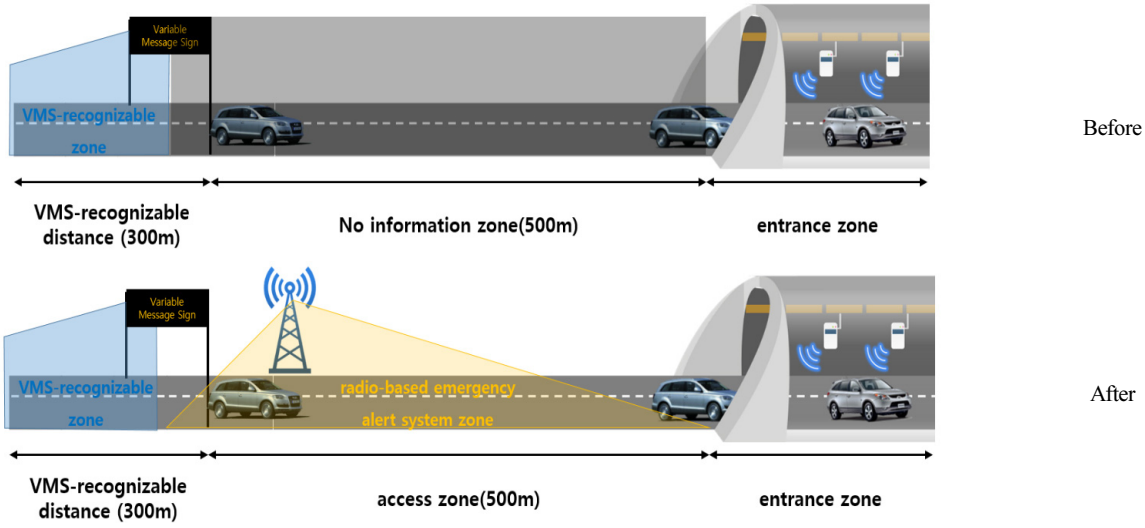

Fig. 1. Conceptual Diagram of the Radio-based Emergency Alert System

의 구조, 속도, 환승 측면에서는 긍정적인 관계가 있는 것으로 나타났으며, 환경, 불편함, 불안정한 측면에서는 부정적인 관계가 있는 것으로 나타났다. Sung et al.(2020)에서는 자율주행 자동차에 대한 수용 요인 분석을 위해 PLS-SEM (Partial Least Squares Structural Equation Modeling)을 활용하였다. 결과적으로 안전성 요인이 수용성에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 그 외 경제성, 편의성, 환경, 기술 요인들 중 기술 요인이 가장 낮은 영향을 주는 것으로 나타났다.

2.3 시사점

터널사고에 대한 문헌고찰을 통해 터널 입구부는 터널 내부와 비교하여 사고 발생 발생률이 높은 것으로 나타났으며, 주요 사고 원인은 암순응, 안전거리 미확보 등인 것으로 나타났다. 이는 운전자의 전방 교통상황에 대한 인지 부족으로 나타난 결과이며, 사고 감소를 위해 전방 교통상황에 대한 신속한 정보 서비스가 필요하다. 결과적으로, 라디오를 통한 터널 진입 전 교통상황의 신속한 서비스는 운전자의 전방 경계 및 방어운전을 가능하게 하며, 대처 능력 향상 및 사고 감소를 기대 할 수 있다. 한편, 터널 진입부 라디오 재난경보방송은 새로운 교통정보 제공 시스템이며, 자동 정보제공 기술과 같은 민감한 기술에 대한 일반 이용자들의 수용성 분석이 필요하다. 이러한 수용성 분석은 일반적으로 구조방정식을 적용하여 진행되어 왔다. 결과적으로 본 연구에서는 터널 내부에서 발생하는 돌발상황에 대한 피해규모를 최소화하기 위한 방안으로 터널 진입 전 라디오 기반 재난경보방송 시스템에 대한 일반 운전자들의 반응(수용성)을 평가하고자 하였으며, 수용성 분석은 기존 연구에서 주로 활용된 구조방정식을 적용하여 수행한다.

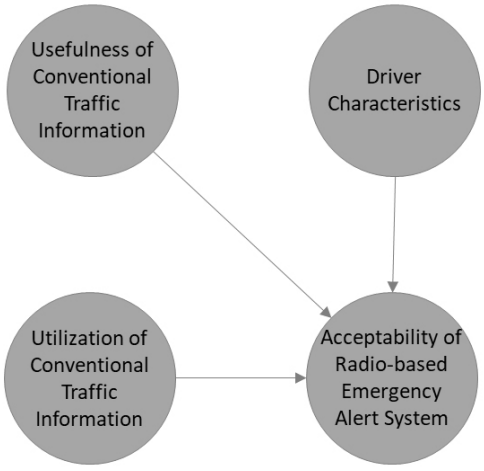

Fig. 2. Conceptual Model for the New System's Acceptability

3. 가설설정 및 자료수집

3.1 라디오 재난경보방송 개념

서론에서 서술한 바와 같이 VMS를 지난 운전자의 경우, 터널 내부 돌발상황 정보를 제공받지 못한다. 결과적으로 정보 음영구간에 있는 운전자의 경우, 터널 내부 돌발상황에 대한 인지가 늦어져 사고 위험이 높아지게 된다. 라디오 재난경보방송은 정보 음영구간에 있는 운전자에게 라디오 비상채널망을 통한 터널 내부 교통정보 서비스 시스템을 말한다. Fig. 1과 같이 라디오 재난경보방송 시스템이 구축된다면, 정보 음영구간 내 운전자는 터널 진입 전 터널 내부 돌발상황 인지가 가능하며, 이에 따른 전방 교통상황에 대한 대처가 가능해 사고 위험이 감소하게 된다. 추가적으로 돌발상황이

발생한 터널에 대한 차량의 추가 진입을 미연에 방지할 수 있어 추가 사고 감소 효과를 기대할 수 있다.

3.2 가설설정

터널 진입구간 라디오 기반 재난경보방송 시스템은 공공 차원의 서비스이다. 운전자는 주행 안전성 향상을 기대할 수 있어 새로운 교통정보제공 시스템 수용성에 긍정적일 것으로 판단된다. 또한 기존 교통정보제공 시스템을 효과적으로 생각하는 운전자의 경우, 교통정보 수집 매체를 많이 활용할수록 새로운 교통정보제공 시스템 수용성에 긍정적일 것으로 판단된다. 결과적으로 Fig. 2과 같이 운전자 특성(연령, 운전빈도, 운전경력 등), 교통정보 활용도(스마트폰·내비게이션, VMS), 교통정보 유용성이 정책수용성에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 설정하였다.

3.3 자료 구축

본 연구에서는 고속도로 이용자들의 터널 전방 재난경보방송 선호도를 파악하기 위해 2020년 9월 14일부터 10월 30일까지 47일간 전국 차량 운전자 762명 대상으로 온라인 설문조사를 실시하였다. 한편, 설문조사자의 지역 분포는 강원 2.8 %, 경기 23.1 %, 경남 3.1 %, 경북 5.4 %, 광주 1.7 %, 대구 6.2 %, 대전 14.8 %, 부산 4.9 %, 서울 12.1 %, 울산 2.2 %, 인천 6.3 %, 전남 1.6 %, 전북 2.1 %, 충남 4.1 %, 충북 2.1 %, 제주 0.4 %로 나타났다. 또한, 설문 조사자의 성비는 남성이 70.6 %, 여성이 29.4 %로 나타났으며, 차량비율은 승용차가 38.1 %, 승합차, 화물차가 61.9 %로 나타났다. 추가적으로 설문 내용에는 운전자 특성, 교통정보 유용성, 교통정보 활용도의 내용이 포함되어 있다. 운전자 특성에는 연령대, 운전경력, 일 통행거리 정보가 수집되었다. 교통정보 유용성에는 기존 터널 내부 비상방송과 터널입구 VMS정보를 효과적으로 생각하는지, 교통정보 활용도에는 VMS, 라디오, 내비게이션을 얼마나 활용하는지, 정책 수용성에는 비상방송 자동 정보제공 기술 혹은 비상방송 청취여부 대한 내용이 포함되어 있다.

먼저, Table 3은 운전자 특성에 관한 설문조사와 각 항목에 대한 기초통계량을 나타낸다. 연령은 40대가 37.0 %로 가장 높았으며, 30대 50대 순으로 나타났다. 운전경력은 20년 이상이 35.0 %로 가장 높은 것으로 나타났으며, 설문 대상자 중 72.4 %가 주 5회 이상 차량을 이용, 36.3 %이 주 5회 이상 고속도로를 이용한 것으로 나타났다. 대부분 일 통행거리는 100 km 미만인 것으로 나타났지만, 300 km 이상 통행하는 비율도 20.7 %로 높게 나타났다. 이는 화물차 운전자로 인해 나타난 결과로 보인다.

Fig. 3은 교통정보 유용성에 대한 설문조사 결과이다. 71.9 % 이상이 터널 내부 비상방송유용성에 대해 효과적으로 생각하는 것으로 나타났으며, 8.4 %가 부정적인 것으로 나타났다. VMS의 유용성의 경우 64.1 % 이상이 효과적으로 생각하는 것으로 나타났으며, 9.4 %가 부정적인 것으로 나타났다.

Table 3. Descriptive Statistics for Driver Characteristics

Category	Variable		Ratio (%)	Variable type
Driver characteristics	Age Group	20s	11.2	interval
		30s	24.4	
		40s	37.0	
		50s	20.9	
		60+	6.6	
	Driving career (years)	1~5	16.9	
		5~10	14.6	
		10~15	16.1	
		15~20	17.3	
		20+	35.0	
	Weekly driving frequency	Almost never	2.5	
		1~2	11.9	
		3~4	13.3	
		5~6	38.1	
		7+	34.3	
	Weekly freeway driving frequency	Almost never	16.3	
		1~2	32.0	
		3~4	15.4	
		5~6	22.4	
		7+	13.9	
	Daily travel distance (km)	~ 50	30.4	
		50~100	23.2	
		100~200	16.1	
		200~300	9.4	
		300+	20.7	

Fig. 4는 교통정보 활용에 대한 설문조사 결과이다. 먼저, 교통정보 수집 활용매체 수는 1개만 사용하는 사람들이 60 %로 가장 높았으며, 3가지(라디오, VMS, 스마트폰·내비게이션)를 모두 쓰는 사람은 12.5 %로 나타났다. VMS 혹은 스마트폰·내비게이션을 자주 사용하는 사람들은 각각 70.2 %, 67.6 %로 라디오 46.2 %에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이는 스마트폰·내비게이션이 교통정보 정확도가 더 높으며, 라디오에 비해 접근성이 높기 때문에 나타난 결과로 보인다

마지막으로 Fig. 5는 정책수용성에 대한 설문조사 결과이다. 재난방송 시 라디오 청취 대한 설문조사 결과에서는 73.2 %가 라디오를 켜서 듣겠다고 하였으며, 자동 재난정보 제공기술에 대해 찬성하는 사람들은 전체 사람들 중 82.9 %로 보다 높은 비율로

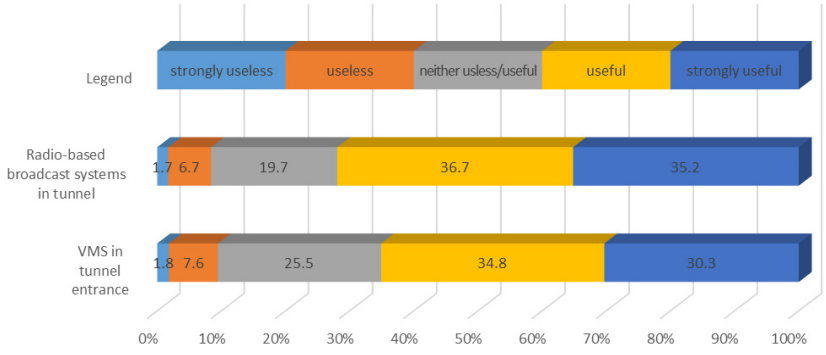

Fig. 3. Usefulness of Conventional Traffic Information

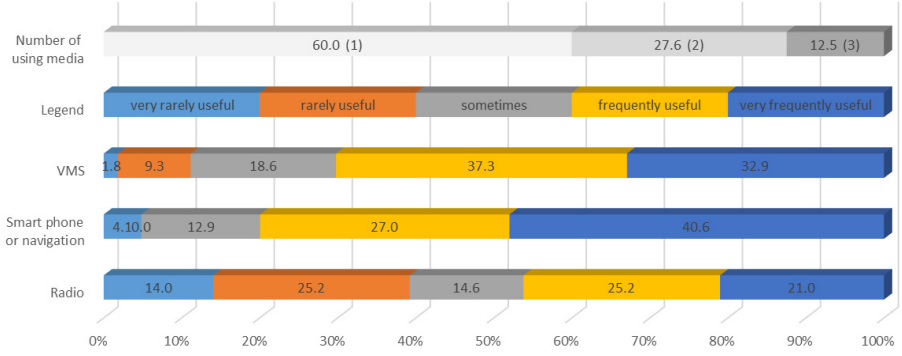

Fig. 4. Utilization of Conventional Traffic Information

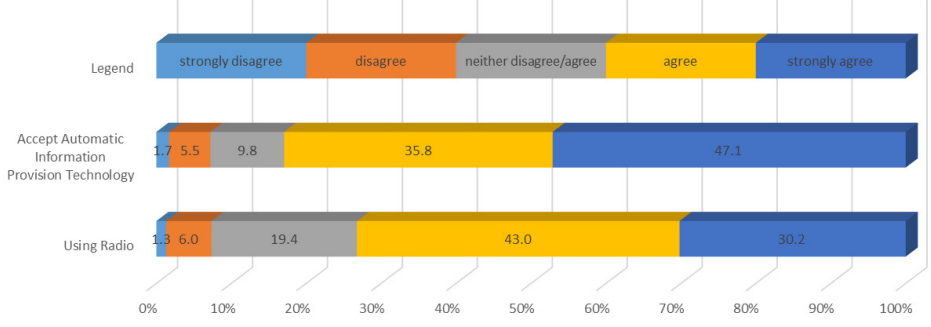

Fig. 5. Acceptability of the Radio-based Emergency Alert System

찬성하는 것을 알 수 있다. 운전자의 편의성을 높이기 때문에 나타난 결과로 보인다. 한편, 설정된 잠재변수의 신뢰성 검증을 위해 Cronbach's α를 주로 사용한다. 잠재변수가 관측변수를 정확하게 설명할 수 있는지를 나타내는 값으로, 주로 리커트(likert) 척도인 경우 사용된다(Noh, 2002). 본 연구에서 설정된 잠재변수별 Cronbach's α 값은 운전자 특성 0.719, 교통정보 활용도 0.372, 교통정보 유용성 0.591로 나타났다. Cronbach's α 값은 0.6~0.7 이상을 적용하는 것이 일반적이지만(Hair et al., 2006), 연구자의 판단에 따라 모형 추정에 필요한 잠재변수로 판단되면 적용하기도 한다(Kim et al., 2016; Taber, 2018). 따라서 본 연구에서는 교통정보 활용도와 유용성의 값이 다소 낮음에도, 필수적인 잠재변수로 판단되어 모형 구축에 포함하였다.

4. 모형 구축

4.1 구조방정식

구조방정식 모형은 변수들 간의 상호 인과관계를 검증하기 위한 통계기법으로, 확인적 요인분석과 경로분석이 결합된 형태이며,

경영학, 광고학, 교육학, 생물학 등 여러 학문 분야에서 사용되고 있다(Yu, 2014). 또한 특정 현상을 파악하기 위해, 구조모형 이론의 분석 방법을 이용하여, 확증적인 형태의 모형에서 유의성을 검정하는 통계적 방법이다(Chung et al., 2018). 확인적 요인분석과 경로분석이 합쳐져 경로분석의 측정오차에 대한 문제가 보완되고 정확한 변수간 인과관계를 추정할 수 있는 장점이 있다(Golob, 2003; Schermelleh-Engel et al., 2003). 구조방정식의 일반식은 Eqs. (1)~(3)과 같으며, 구조방정식의 구성요소는 Table 4, 구조적 표현은 Fig. 6와 같다.

$$equation\ model\ 1 : x_m = \lambda_{mp}\xi_p + \delta_m \quad (1)$$

$$equation\ model\ 2 : y_n = \kappa_{nq}\eta_q + \varepsilon_n \quad (2)$$

$$structural\ model : \eta_q = \gamma_{qp}\xi_p + \zeta_q \quad (3)$$

Table 4. Component of SEM

Variable	Description
ξ_p	exogenous latent variable
η_q	endogenous latent variable
x_m	observed variable of ξ_p
y_n	observed variable of η_q
λ_{mp}	vector of path coefficient between ξ_p and x_m
κ_{nq}	vector of path coefficient between η_q and y_n
γ_{qp}	vector of path coefficient between ξ_p and η_q
δ_m	vector of measurement error term for x_m
ε_n	vector of measurement error term for y_n
ζ_q	vector of structural error term for η_q

Table 5. Goodness of Fit Values for the Final Model

Category	GFI	AGFI	CFI	RMSEA
Model fit	0.943	0.912	0.906	0.072
Acceptable fit	≥0.9	≥0.85	≥0.9	≤0.08

4.2 모형 평가

구조방정식 모형적합도는 추정모형의 채택 또는 기각을 결정하는 기준이 되기 때문에 추정계수의 유의성 검증만큼이나 중요한 부분이다(Chung et al., 2012; Ahn and Choi, 2014; Yu, 2014). 구조방정식 모형의 대표적인 적합도 평가지표는 χ^2 통계량이지만, 표본의 크기가 클 경우(>200), 관련 통계값이 증가하는 단점이 있다(Chung et al., 2012; Chung, 2013). 따라서 본 연구에서 GFI (Goodness of Fit Index), AGFI (Adjusted Goodness of Fit Index), RMSEA (Root Mean Squared Error of Approximation), CFI (Comparative Fit Index) 지표를 적용하여 모형을 평가하였다. Table 5에 제시된 바와 같이, 추정된 모형에 대한 분석결과 χ^2는 293.935 (p=0.00), GFI는 0.943, AGFI는 0.912, CFI는 0.906, RMSEA는 0.072로 나타났으며, 적합도 지수 값이 모델 충족조건을 만족하는 것으로 분석되었다(Schermelleh-Engel et al., 2003).

4.3 모형 구축 및 해석

구조방정식을 통해 추정된 최종 모형은 Fig. 7에 제시되었다. 그림의 화살표에 표기된 값들은 요인간 표준화 계수를 의미하며, 괄호안에 표기된 *와 **는 추정계수의 p-value가 0.001이하, 0.05 이하를 각각 의미한다. 분석결과, 교통정보 활용도는 재난경보방송 수용성에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났지만, 운전자 특성과 교통정보 유용성은 교통정보 활용도를 통해 재난경보방송 수용성에 간접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

결과적으로, 운전자 특성은 교통정보 활용도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 연령이 높을수록, 운전경력이 많을수록, 고속도로 이용빈도가 높을수록, 일 통행거리가 증가할수록, 차량통행빈도가 높을수록 재난경보방송 수용성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 결과적으로 연령 및 운전경력이 이용빈도나 운행거리 보다 재난경보방송 수용성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 운전자의 연령이 높을수록 안전에 대한 관심이 높아지고, 라디오에 대한 친숙함으로 나타난 결과로 해석된다. 또한 운행

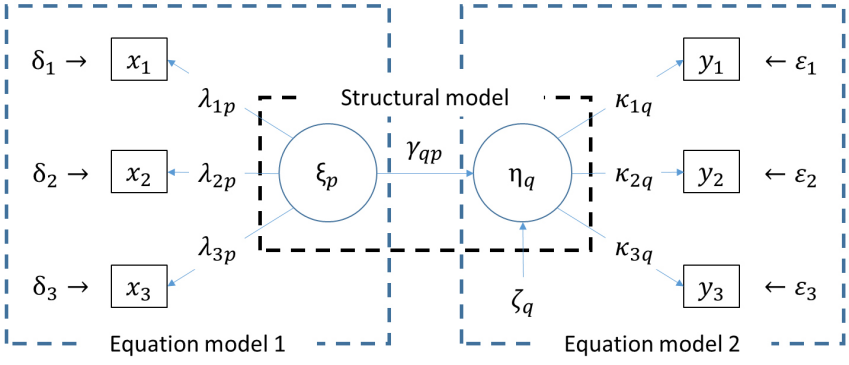

Fig. 6. Basic Structure of SEM

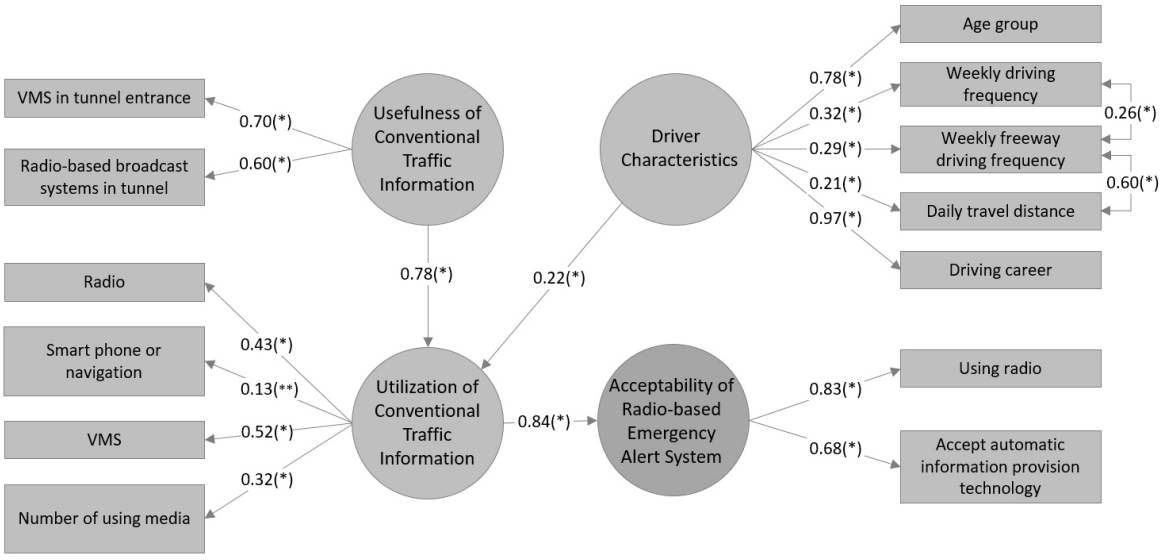

Fig. 7. Final SEM for the Acceptability of the Radio-based Emergency Alert System

횟수가 많을수록 터널에 익숙할 가능성이 높아 재난경보방송을 효과적으로 생각하는 운전자가 비교적 적게 나타난 결과로 보인다. 교통정보 유용성은 교통정보 활용도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 터널 입구 VMS를 유용하게 생각할수록, 비상재난방송을 유용하게 생각할수록 재난경보방송 수용성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 터널 입구 VMS 및 터널 내 비상재난방송이 라디오 재난경보방송과 유사한 기능(터널 내부 교통정보 전달)을 하기 때문에, 서비스를 경험한 운전자는 재난경보방송을 보다 긍정적으로 평가한 것으로 해석된다.

마지막으로, 교통정보 활용도는 재난경보방송 수용성에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 스마트폰·내비게이션을 많이 활용할수록, VMS를 많이 활용할수록, 라디오를 많이 활용할수록, 이용하는 교통정보 수집 매체가 많을수록 재난경보방송 수용성에 긍정적인 것으로 나타났다. 한편, 스마트폰·내비게이션을 사용하는 운전자가 교통정보활용도에 대한 계수 값이 가장 낮게 나타났으며(0.13), 다른 매체(라디오, VMS)에 비해 교통정보 수집의 정확성과 편리함을 느끼고 있기 때문에 나타난 결과로 보인다. 결과적으로 수집된 모든 변수들이 재난경보방송 수용성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 추정이 되었다. 설문조사자가 느낄 수 있는 부정적인 측면(비용, 불편함 등)에 대한 내용이 없으며, 차량 운전자의 안전과 직결된 내용으로, 긍정적으로 받아들인 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 구조방정식을 이용하여 터널 진입부 라디오 재난경보방송 수용성에 영향 미치는 인자들에 대해 분석을 실시하였다. 분석결과 운전자 특성, 교통정보 유용성은 교통정보 활용도를 통해 간접적으로 재난경보방송 수용성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 교통정보 활용도는 재난경보방송 수용성에 직접적으로 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 일 통행거리가 많을수록, 고속도로 이용빈도가 많을수록, 운전경력이 높을수록, 교통정보 수집매체(스마트폰, VMS 등)를 이용할수록, 기존 유사한 기술을 접한 사람인 경우 자동 재난경보방송제공 기술 수용 및 직접 라디오를 켜 해당 서비스를 이용할 의사가 높은 것으로 나타났다. 결론적으로, 라디오를 통한 터널재난방송 자동 제공 기술 및 라디오 활용에 대해 대부분 긍정적인 것으로 나타났다. 또한 운전자 특성, 교통정보 수집 매체에 따라 라디오 자동 정보제공 기술 수용성에 차이를 보이는 것으로 나타났다.

한편, 본 연구에서 내생잠재변수로 교통매체 활용도, 유용성이 활용되었으나, 만족도, 편의성은 활용하지 못하였다. 향후 이용자의 만족도, 편의성에 대한 분석이 이루어진다면, 더욱 구체적인 라디오 기반 재난경보방송 수용도의 매체별 특성 파악이 가능할 것으로 기대된다. 또한 라디오 기반 재난경보방송 시스템 적용 전·후에 따른 사고 감소효과 분석, 터널 이용자 심리 변화 분석 등 다양한 연구가 진행될 수 가능할 것으로 기대된다. 마지막으로 본 연구의 결과는 터널 진입부 라디오 기반 재난경보방송 시스템 적용에 있어 사전 검토 및 향후 적용 방안에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었음(과제번호 21AMDP-C161924-01).

References

Ahn, W. Y. and Choi, L. R. (2014). "Importance factor analysis on mobility facilities for the transportation disabled by using structural equation model." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 34, No. 3, pp. 939-945 (in Korean).

Amundsen, F. H. and Ranes, G. (2000). "Studies on traffic accidents in norwegian road tunnels." *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 3-11.

Bassan, S. (2016). "Overview of traffic safety aspects and design in road tunnels." *IATSS Research*, Vol. 40, No. 1, pp. 35-46.

Chikaraishi, M., Khan, D., Yasuda, B. and Fujiwara, A. (2020). "Risk perception and social acceptability of autonomous vehicles: A case study in hiroshima, Japan." *Transport Policy*, Vol. 98, pp. 105-115.

Chung, Y. S. (2013). "Travel behavior response of road users to weather forecast information service." *Journal of Transport Research*, Vol. 20, No. 4, pp. 29-40.

Chung, Y. S. and Kim, H. (2015). "Deep subterranean railway system: Acceptability assessment of the public discourse in the seoul metropolitan area of South Korea." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 77, No. 82-94.

Chung, Y. S., Kim, J. J. and Kim, S. J. (2018). "Assessment of drivers' compliance with traffic rules for roundabouts using a structural equation modeling." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 38, No. 2, pp. 295-302 (in Korean).

Chung, Y. S., Song, T. J. and Park, J. S. (2012). "Freeway booking policy: Public discourse and acceptability analysis." *Transport Policy*, Vol. 24, pp. 223-231.

Chung, Y. S., Song, T. J., Kim, Y. H. and Kang, S. C. (2011). "Acceptability of a freeway travel reservation strategy." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 31, No. 1D, pp. 25-32 (in Korean).

Golob, T. F. (2003). "Structural equation modeling for travel behavior research." *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 37, No. 1, pp. 1-25.

Hair, J. F., Tatham, R. L., Anderson, R. E. and Black, W. (2006). *Multivariate data analysis*, New Jersey, USA.

Hong, J. Y., Lee, S. B., Im, J. B., Kim, J. U. and Kang, W. E. (2010). "The development of customer satisfaction model by traffic information provision media." *Journal of Korean Society of Transportation*, KST, Vol. 28, No. 3, pp. 109-117 (in Korean).

Huang, H., Peng, Y., Wang, J., Luo, Q. and Li, X. (2018). "Interactive risk analysis on crash injury severity at a mountainous freeway with tunnel groups in china." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 111, pp. 56-62.

Jang, S. Y., Jung, H. Y. and Ko, S. S. (2009). "Utis vitalization countermeasures using traffic information use satisfaction rate model." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 2009, No. 199-207 (in Korean).

Kim, J. H., Schmöcker, J. D. and Fujii, S. (2016). "Exploring the relationship between undergraduate education and sustainable transport attitudes." *International Journal of Sustainable Transportation*, Vol. 10, No. 4, pp. 385-392.

Kim, J. H., Schmöcker, J. D., Bergstad, C. J., Fujii, S. and Gärling, T. (2014). "The influence of personality on acceptability of sustainable transport policies." *Transportation*, Vol. 41, No. 4, pp. 855-872.

Korea Information Society Development Institute (2019). *2019 Broadcast Media Usage Behavior Survey*, Available at: https://www.kisdi.re.kr/ (Accessed: March 8, 2021).

Ma, Z., Chien, S. I. J., Dong, C., Hu, D. and Xu, T. (2016). "Exploring factors affecting injury severity of crashes in freeway tunnels." *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 59, pp. 100-104.

Nishihori, Y., Kimura, K., Taniguchi, A. and Morikawa, T. (2018). "What affects social acceptance and use intention for autonomous vehicles - benefits, risk perception, or experience? - meta-analysis in japan." *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 22-34.

Noh, H. J. (2002). *Social survey analysis using spss/amos*, Hyungseul publishing, pp. 29 (in Korean).

Pervez, A., Huang, H., Han, C., Wang, J. and Li, Y. (2020). "Revisiting freeway single tunnel crash characteristics analysis: A six-zone analytic approach." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 142, pp. 105542.

Pervez, A., Huang, H., Lee, J. Y., Han, C., Wang, J. and Zhang, X. (2021). "Crash analysis of expressway long tunnels using a seven-zone analytic approach." *Journal of Transportation Safety and Security*, Vol. 13, No. 1, pp. 108-122.

Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H. and Müller, H. (2003). "Evaluating the fit of structural equation models: Tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures." *Methods of Psychological Research*, Vol. 8, No. 2, pp. 23-74.

Sung, K. Y., Oh, J. T. and Kim, H. (2020). "A study on the acceptance factor analysis of autonomous vehicles: Focused on the structural equation model." *Journal of Korea Institue of Intelligent Transport System*, Vol. 19, No. 1, pp. 17-31 (in Korean).

Taber, K. S. (2018). "The use of cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education." *Research in Science Education*, Vol. 48, No. 6, pp. 1273-1296.

The Road Traffic Authority (2017). Available at: https://www.koroad.or.kr/ (Accessed: February 26, 2021).

The Road Traffic Authority (2021). Available at: http://taas.koroad.or.kr/ (Accessed: February 26, 2021).

Wang, J., Pervez, A., Wang, Z., Han, C., Hu, L. and Huang, H. (2018). "Crash analysis of chinese freeway tunnel groups using a five-zone analytic approach." *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 82, pp. 358-365.

Yu, J. P. (2014). *Misunderstanding and prejudice of structural equation model*, Hannarae phblishing, pp. 51 (in Korean).

Yun, D. S., Kim, J. J. and Chung, Y. S. (2017). "A preference analysis of real-time traffic information using a structural equation modeling (sem): A case study of Gyeongsan-si" *Journal of Transport Research*, Vol. 24, No. 4, pp. 93-103 (in Korean).