ARTICLE

시스템 다이내믹스를 활용한 교통문화지수 변화 시나리오 분석

원동욱[1] · 도명식[2] · 김규호[3*]
[1]라산엔지니어링 대표, [2]한밭대학교 도시공학과 교수, [3]한밭대학교 도시공학과 박사과정

Scenario Analysis on the Change of Traffic Culture Index Using System Dynamics

WON, Donguk[1] · DO, Myung Sik[2] · KIM, Gyu-Ho[3*]

[1]CEO, Rasan Engineering, Seoul 06575, Korea
[2]Professor, Department of Urban Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea
[3]Ph.D. Candidate, Department of Urban Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea

*Corresponding author: md5427@naver.com

Abstract

The purpose of this paper is to develop a traffic culture diffusion model using the system dynamics analysis technique used to structure and analyze complex social phenomena, and to perform scenario analysis on changes in the traffic culture index. The diffusion model was built based on the Bass Diffusion Model, which has a theoretical basis, and focused on deriving the innovation coefficient and the imitation coefficient by reflecting two types of diffusion by innovation and diffusion by imitation in the model. The vehicle technology level variable was considered as the diffusion factor by innovation, and the traffic safety investment variable was considered as the diffusion factor by imitation. In consideration of these two variables, a scenario analysis was performed on how the future traffic culture index will change. In the diffusion model, the innovation coefficient was calculated as 0.0005 and the imitation coefficient as 0.03625. In the scenario analysis, in the case of the diffusion level of transportation culture by innovation according to the change in vehicle technology level, it was analyzed that the transportation culture index increased or decreased in the range of ±0.058% when the vehicle technology level changed by ±10%. As for the level of spread of traffic culture by innovation according to changes in traffic safety investment, it was analyzed that the traffic culture index increased or decreased in the range of ±0.26% when the traffic safety investment changed by ±10%. It is judged that the results of this study can be used to predict and respond to changes in the transportation culture index by local governments, etc. through additional research on factors that spread transportation culture in the future.

Keywords: diffusion coefficient, system dynamics, traffic culture index, traffic safety investment, vehicle technology level

초록

본 논문의 목적은 복잡한 사회현상을 구조화하고 분석하는데 활용되고 있는 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 분석기법을 이용해 교통문화 확산모형을 개발하고, 교통문화지수(Traffic Culture Index) 변화에 대한 시나리오 분석 수행하는 것이다. 확산모형은 이론적 근거를 갖고 있는 배스의 확산모형(Bass Diffusion Model)에 기초해 구축하였으며, 혁신에 의한 확산과

J. Korean Soc. Transp.
Vol.40, No.2, pp.147-160, April 2022
https://doi.org/10.7470/jkst.2022.40.2.147

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY
Received: 22 December 2021
Revised: 17 January 2022
Accepted: 2 March 2022

Copyright ©
Korean Society of Transportation

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.

모방에 의한 확산, 2가지를 모형에 반영하여 혁신계수와 모방계수를 도출하는데 주안점을 두었다. 혁신에 의한 확산 요인으로는 차량기술수준 변수를, 모방에 의한 확산 요인으로는 교통안전투자 변수를 고려하였다. 이 2가지 변수를 고려해 향후 교통문화지수가 어떻게 변화하는지 시나리오 분석을 수행하였다. 확산모형에서 혁신계수는 0.0005, 모방계수는 0.03625로 산정되었다. 시나리오 분석에서는 차량기술수준 변화에 따른 교통문화 확산수준의 경우, 차량기술수준 ±10% 변화시 교통문화지수가 ±0.058% 범위에서 증감하는 것으로 분석되었다. 교통안전투자 변화에 따른 교통문화 확산수준은 교통안전투자 ±10% 변화시 교통문화지수가 약 ±0.26% 범위에서 증감하는 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 향후 교통문화 확산요인에 관한 추가 연구를 통해 지자체 등에서 교통문화지수의 변화를 예측하고, 대응하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 확산계수, 시스템 다이내믹스, 교통문화지수, 교통안전투자, 차량기술수준

서론

1. 연구 배경 및 목적

교통문화지수(Traffic Culture Index, TCI)는 국내에서 교통안전공단과 사단법인 녹색교통운동 공동으로 1998년 처음 개발되어 사용되기 시작한 이후 매년 발표되어 왔다(Jeong et al., 2006; MOLIT, 2020). 교통문화지수 실태조사는 2008년부터는 교통안전법의 제57조(교통문화지수 조사와 활용)에 근거해 매년 실시하는 법정 지표로 활용되고 있으며, 운전행태, 보행행태 및 교통안전 등 3개 조사항목으로 구분된다(TS, 2021). 이 조사에 따른 결과는 교통안전기본계획, 교통안전 특별실태조사 등 지역 단위의 교통문화수준을 나타내는 분야에서 다양하게 활용되고 있다. 교통문화(Traffic Culture)는 국내에서 명확하게 정의된 바는 없지만, 교통과 문화가 결합한 용어로 교통과 관련된 조직이나 지역사회, 국가를 구성하는 구성원들이 지닌 가치관과 행동양식 등 이용자의 행태 특성을 포함하고 있다. 문화라는 용어가 사회 구성원들의 행동양식을 일컫는 말이라는 점을 고려한다면 사회가 발전, 성장하면서 점차 진화되는 경향을 나타내게 되는데, 차량기술의 발달이나 도로환경 변화, 국민 안전의식 개선 등으로 교통사고가 감소한 것은 교통문화수준이 개선되었다고 판단된다. 이러한 점에서 교통문화는 교통사고건수 등 지역의 교통안전수준을 나타내는 교통안전지표와 연관되어 있다(Joo, 2014; Kim, 2017).

교통문화지수와 교통사고간의 연관성은 교통사고 감소를 위한 다양한 정책적, 제도적, 공학적 접근방법의 필요성을 나타낸다. 또한, 교통사고 감소는 교통문화수준 개선의 결과로 해석된다. 정부가 각종 교통안전 지표(교통사고건수 등)를 토대로 교통문화지수를 산정하기 위한 실태조사를 매년 추진하고 있는 이유 중 하나는 교통사고와 교통문화간 관계를 규명하기 위함이다. 정부에서는 이러한 평가지표를 활용해 지역별 교통문화수준을 파악하고 있고, 안전한 교통문화 조성 및 확산을 위해 각종 교통안전사업을 추진하거나, 도로안전기술 개발, 교통안전 교육과 홍보, 안전예산 확대 등 다양한 시도를 추진하고 있다.

현재 산출된 교통문화지수는 각 지역의 교통문화수준을 나타내는 의미있는 지표임에도 불구하고, 실질적으로 교통정책 시행효과를 분석, 평가하는데 한계점이 있다. 교통문화에 미치는 다양한 요인들이 있음에도 이러한 요인들을 고려한 실질적인 평가나 모니터링이 이루어지지 못하고 있다. 지자체 교통공무원 등 정책 의사결정자 관점에서 교통문화 확산에 관한 모니터링이 어려운 실정이다. 안전하고 쾌적한 교통문화 확산을 위해 다양한 정책, 사업, 제도의 효과를 평가할 수 있는 시스템이 필요한 상황이다.

교통 분야에서는 인적요인, 차량요인, 도로환경요인을 교통사고의 3요소로 분류하는데, 이러한 3가지 요인이 상호 작용하고 있다. 이러한 요인들은 교통사고와 밀접하게 연관되어 있고, 이는 지역의 교통안전수준 또는 교통문화수준으로 여겨진다. 교통안전 분야에서 시스템적 사고의 필요성이 요구되는 상황에서 안전하고 쾌적한 교통문화 확산을 위해 교통문화지수에 대한 분석이 필요하다. 교통문화지수가 교통문화수준을 대표한다는 기본전제(가설) 하에 교통문화수준을 향상시키기 위한 다양한 요인들에 대한 검토가 선행되어야 하나, 본 연구에서는 교통문화가 확

산되는 패턴을 찾는데 연구의 주안점을 두었다.

본 연구는 장기적인 관점에서 국내 교통문화수준 변화를 파악하고자 교통문화 확산모형을 토대로 하여 시나리오 분석을 수행하는데 목적이 있다. 교통문화수준이 시간의 흐름에 따라 확산되는 경향을 나타내는 점을 가설로 하여, 배스 확산모형(Bass Diffusion Model, BDM)에 기초하여 모형을 개발하였다. 이에 교통문화 확산에 영향을 미치는 요인을 혁신에 의한 확산요인(Diffusion for Innovation)과 모방에 의한 확산요인(Diffusion for Imitation)으로 구분하여 그 영향을 확인하고자 하였다.

2. 연구 방법 및 내용

본 연구에서는 교통문화지수 실태조사의 과거 10년간(2008-2017년)의 교통문화지수 자료를 활용하여 배스 확산모형에 기초로 교통문화지수 변화를 분석하였다. 확산모형 구현을 위해 복잡한 인과관계로 구성된 사회현상이 어떻게 시간 흐름에 따라 변화하는지 컴퓨터 모델(Vensim DSS 8.2.1)을 활용해 분석하는 시스템 다이내믹스(System Dynamics, SD) 분석방법론을 이용하였다. 본 연구에서 적용한 배스 확산모형은 시스템 다이내믹스의 대표적 기본 모델로 알려져 있다(Kwak and You, 2016). 배스 확산모형은 한계 상황에 이르러 성장을 멈추는 경향을 나타내는 S자형 곡선을 나타내며, 감염병 확산, 신제품 전파, 특정 기술 보급 등에서 활용되고 있다.

본 연구에서는 다양한 교통환경요인에 의해 문화가 확산되는 경향을 기반으로 한 교통문화 확산모형(Diffusion Model)을 개발하고, 교통문화에 영향을 미치는 요인 중 차량기술수준(Vehicle Technology Level, VTL)과 교통안전투자(Traffic Safety Investment, TSI) 등 2가지 요인 변화에 따른 교통문화수준 변화를 시나리오로 분석하였다.

선행연구

1. 교통문화지수 관련

교통문화지수는 운전행태, 보행행태, 교통안전 등 3개 평가항목(18개 평가지표)으로 구분되어 있다(TS, 2021). 운전행태 부문에서는 횡단보도 정지선 준수율 등 8개 지표가, 보행행태 부문에서는 횡단보도 신호 준수율 등 3개 지표가 조사되고 있다. 교통안전 부문에서는 교통안전 실태와 교통사고 발생정도 등 2가지로 구분되는데, 교통안전 실태 부문에서는 지역교통안전 정책 이행 정도 등 4개 지표가, 교통사고 발생정도 부문에서는 인구 당 교통사고 사망자수 등 3개 지표가 조사되고 있다. 조사항목별 평가지표 및 점수는 교통문화 특성을 반영하기 위해 수시로 조정되어 왔으며, 본 연구의 분석기간인 2008-2017년 동안에도 여러차례 변경되어 왔다. 2020년 교통문화지수 실태조사의 조사항목과 평가지표는 다음과 같다.

- 운전행태(8개) : 횡단보도 정지선 준수율, 방향지시등 점등률, 신호 준수율, 안전띠 착용률, 이륜차 승차자 안전모 착용률, 운전 중 스마트기기 사용 빈도, 음주 운전 빈도, 규정속도 위반 빈도
- 교통안전(7개) : 지자체 교통안전 전문석 확보 여부, 지역교통안전정책 이행 정도, 지자체 교통안전 예산 확보 노력, 지자체 사업용 차량 안전 관리 수준, 인구 및 도로연장 당 자동차 교통사고 사망자 수, 인구 및 도로연장 당 보행자 사망자수, 사업용 자동차 대수 및 도로연장 당 교통사고 사망자 수
- 보행행태(3개) : 횡단보도 신호 준수율, 횡단보도 횡단 중 스마트기기 사용률, 횡단보도가 아닌 도로에서의 무단횡단 빈도

교통안전 관련 지표로서 교통문화지수와 유사한 지수로는 도로교통공단의 교통안전지수(KOROAD, 2021)가 있으며, 해당 지수는 전국 227개 지자체를 대상으로 교통사고 자료(사상자수, 사상자 발생건수 등)와 인구, 도로연장 자료를 토대로 6개 영역(사업용자동차, 자전거 및 이륜차, 보행자, 교통약자, 운전자, 도로환경)의 18개 지표를

산출하여 전국 단위의 안전지수로 활용되고 있다.

국외의 교통문화와 관련된 지수로서 미국의 AAA Foundation(미국자동차협회)에서 발표하는 교통안전문화지수(Traffic Safety Culture Index, TSCI)는 확률 기반의 샘플링 패널을 사용해 온라인 설문조사 방식으로 16세 이상 운전면허 소지자를 대상으로 현행 이슈(Current Issues) 및 운전행태(Driver behaviors) 등에 관한 사항을 조사하여 지수화하고 있다. 교통안전 관련 주요 조사항목으로는 음주운전, 운전 중 휴대전화 사용, 운전 방해, 과속, 공격적인 운전, 신호위반, 졸음운전, 안전벨트 미착용 등이 있다(MOLIT, 2014; AAA Foundation, 2021).

Kim and Park(2018)은 교통문화지수 변화양상을 고려해 패턴을 분류하고 패널자료에 기초로 한 사고모형을 개발하였다. 이 연구는 교통문화지수의 변화 패턴을 고려해 지역별로 교통안전정책 방향이 차등화 되어야함을 강조하였다. Park et al.(2014)과 Joo(2014)의 연구에서는 구조방정식을 이용해 지자체별(시군구) 교통문화지수와 교통사고건수, 사망자수와의 영향관계를 분석하였다. 교통문화지수가 증가할 경우 교통사고건수와 사망자수가 감소하는 것으로 분석하였고, 모형 적합도도 양호한 것으로 나타났다. Kim et al.(2013)은 평가항목으로서 교통문화지수 잠재변수, 조사항목으로서 측정지표에 대한 분류, 타당성 검증 등을 위해 구조방정식을 활용하였다. 인구 10만명 당 교통사고 사망자수, 자동차 1만대 당 교통사고 사망자수, 인구 10만명 당 보행자 교통사고 사망자수 순으로 영향력이 높게 나타났다. 교통문화 발전을 위해 사망사고, 부상사고를 줄일 수 있도록 사고의 심각성을 줄이는 항목을 도출하고, 측정지표 보완이 필요하다고 강조하였다. Jin(2013)은 교통문화지수 항목의 시계열 분석을 통해 교통문화지수 사업의 성과를 조명하였으며, 교통문화지수 항목 변화와 시대적 상황을 고려할 때 초기 도입기-초기 정착기-중기 과도기-중기 정착기로 구분하였다. Kang et al.(2011)은 국내외 교통문화지수 관련 연구를 중심으로 교통문화지수 개선방향으로 평가항목 보완, 항목별 가중치에 대한 근거 마련 및 지역별 특성을 감안한 효율성 증진방안, 지자체 대책수립시 실제 활용방안에 관해 개선방향을 제시하였다. 설문조사를 통한 AHP 분석으로 교통문화지수 가중치에 대한 근거 마련이 필요하다고 강조하였다. 교통사고의 빈도와 심각도를 고려하고, 평가항목 조정에 대한 근거 마련을 위해 교통문화지수와 교통사고 발생간 관계 정립을 위한 상관분석을 수행함으로써 중복 지표들을 조정하고 이에 대한 근거를 마련해야 한다고 주장하였다. Jeong et al.(2006)은 전국 81개 도시를 대상으로 교통문화지수를 결정짓는 요인으로 도시를 유형화하였다. 주성분 분석을 기반으로 각 집단별 영향요인을 분석하기 위해 교통문화지수를 종속변수로 하는 회귀모형을 개발하였다. 회귀모형에서는 안전속도 준수율, 교통사고 발생건수, 사망자수 등 여러 독립변수가 각 그룹별로 상이하게 영향을 미치는 것으로 분석되어, 그룹별 중요 변수를 고려한 교통사고 예방대책 수립이 필요함을 강조하였다. Seo(2019)는 교통지출행태가 교통문화행태에 미치는 영향을 파악하고자 실증분석을 실시하였다. 이 연구에서 검토한 선행연구 내용으로는 대중교통시스템이 교통문화 환경을 개선하고, 고객만족에 영향을 주는 점을 조사하였다. 교통수단 이용객의 교통안전에 대한 태도, 운전행태/보행행태가 교통문화지수에 영향을 미치는 것으로 나타났고, 교통지출행태가 교통문화 환경을 개선하는데 기여할 것으로 추론하였다. Park(2017)은 서울시 자치구별 재정자립도, 인구특징, 문화지수와의 관계를 분석하였다. 교통문화지수는 자치구의 재정자립도와 음의 상관관계를 나타내었다. Kim(2017)은 인구 50만 이상 도시(12개)에서의 교통문화지수 항목들의 변동 추이를 통해 교통문화지수 발전방향에 대해 제안하였다. 교통문화지수는 인구 10만명 당 교통사고 사망자수, 인구 10만명 당 보행 중 사망자수와 강한 음의 상관관계를 나타냈고, 방향등 점등율, 안전벨트 착용률, 이륜차 헬멧 착용률과는 양의 상관관계를 나타낸 것으로 상관분석 결과를 도출하였다.

2. 시스템 다이내믹스 및 확산모형 관련

시스템 다이내믹스(System Dynamics)는 복잡한 인과관계로 구성된 사회현상을 구조화하고 분석하는데 활용된다. 또한, 분석하고자 하는 대상이 시간의 흐름을 따라 어떻게 변화하는지 분석한다. 지역의 교통문화수준은 인적요인, 차량요인, 도로환경요인 뿐만아니라 다양한 사회경제적 요인들로부터 영향을 받기도 하고, 영향을 미치기도 한다. 이러한 점에서 시스템 다이내믹스 분석기법이 복잡한 교통문화 특성을 이해하는데 적합한 방법이라고 볼 수 있

다. 이미 도로 부문에서 교통시설(인프라)-차량-이용자 등 교통과 관련된 다양한 요인들이 상호 얽혀서 교통시스템이 작동되고 있다. 교통시스템은 교통사고와 밀접한 관계에 있으며, 교통사고는 교통문화수준과 직결된다. 교통분야는 복잡하게 얽혀있는 교통문제를 해결하는데 어려움이 있어 교통과 관련된 요인들을 시스템 사고에 기초해 접근할 필요가 있다. 국내 교통 분야에서 시스템 다이내믹스를 활용한 연구는 미흡한 실정이다.

확산모형(Diffusion Model)은 신상품 또는 신규 서비스가 시장에 도입되어 확산되는 과정을 설명하고, 예측하기 위해 개발된 모형(Hong, 2011)으로, 마케팅 분야에서 주로 활용되고 있다. 확산모형에서 가장 잘 알려진 모형이 배스의 확산모형(Bass Diffusion Model)이며, 확산모형의 기본 모형으로 인식되고 있다. 주로 확산패턴 분석에 기본이 되는 이분조각 Bass 모형의 기본구조는 다음과 같다(Hong and Eum, 2009).

$$n(t) = dN(t)dt = p[m - N(t)] + qmN(t)[m - N(t)] \quad (1)$$

여기서, $n(t)$: t 시점에서의 채택자 수
$N(t)$: t 시점의 누적 채택자 수
m : 전체 대상자 수
p : 혁신계수
q : 모방계수

확산모형은 신제품, 전염병 등 사회에서 확산되는 과정을 설명한 모형으로 시간경과에 따라 확산량을 모델링한다. 제품의 시장 도입 이후 확산되는 과정을 모형화한 확산모형은 자발적 선택에 의해 제품을 구입하고 사용하는 혁신자 집단과 주위의 소문을 듣고 영향을 받아 제품을 구매하고 사용하는 모방자 집단으로 구분한다(KISDI, 2001). 전염병 모형은 특정 병원체 혹은 병원체의 독성 물질 때문에 일어나는 질병의 확산 및 전파 양상을 나타내는데, 감염기간, 전파속도, 잠복기, 감영 이후의 면역성 등의 정보를 얻거나, 예방대책을 마련하기 위한 모델이다(Do et al., 2017). Hong and Koo(2012)는 확산이론 관점에서 신기술과 신제품, 서비스의 확산에서 많이 활용되는 로지스틱 모형과 배스 확산모형을 비교하였다. 배스 확산모형과 로지스틱 모형이 확산요인을 판별하는 문제에서 사용할 경우 잘못된 결론에 이를 수 있음을 입증하였으며, 연구 목적에 맞게 적용하는 것이 연구에 도움이 된다고 강조하였다. 로지스틱 모형은 분석이 용이하나, 비대칭형적 현실의 성장 행태, 인과관계를 모델에 반영하지 못하는 특성이 있다.

3. 선행연구 검토 결과

교통문화지수 관련 선행연구에서는 주로 교통문화와 관련된 영향요인들에 대해 검토하였다. 선행연구에서는 교통문화와 교통사고와의 관계규명에 주안점을 두고 있었다. 또한, 교통문화에 영향을 미치는 요인은 연구자의 주관적 판단에 따라 다양하게 나타났으며, 다양한 요인이 있음을 시사하고 있었다. 교통문화지수가 지역의 교통안전수준을 가늠할 수 있는 평가척도이나, 교통문화지수의 변화과정이 시간흐름에 따라 어떻게 변화되어 왔는지, 현재 교통문화수준은 어느 단계인지에 대한 연구는 미흡한 것으로 나타났다. 교통문화가 다양한 요인들에 의해 변화하고, 개선 또는 진화한다는 점이 선행연구에서 잠재적으로 포함하고 있는 내용으로 판단된다. 실제로 국내 여러 정책에서 표현상 교통문화 확산이라는 단어를 주로 사용하고 있다. 시스템 다이내믹스 분석방법과 배스 확산모형 연구 사례에서 보면, 확산은 혁신에 의한 확산과 모방에 의한 확산으로 구분된다. 본 연구는 교통문화 또한 확산되어진다는 전제(가설)에서 시작되었다. 교통문화는 사회 전체 교통시스템 관점에서 접근할 필요성이 있다.

선행연구에서는 교통문화지수의 활용성 측면이 강조되었다. 교통문화지수를 교통문화 확산의 실험과 정책적 대안을 마련하는데 활용할 필요가 있다. 본 연구는 교통문화에 영향요인을 혁신과 모방 요인의 관점에서 교통문화지수의 변화양상을 시나리오로 분석함으로써 향후 정책대안 분석이 가능하다는 점에서 기존 연구와의 차별성이 있다.

교통문화 확산모형 개발

1. 자료 구축

분석 자료는 종속변수로서 교통문화지수(TCI)를, 내생변수로서 차량기술수준(VTL)과 교통안전투자액(TSI)을 활용하였다. 교통문화 확산수준 반영을 위해 2008년부터 2017년까지 조사된 교통문화지수 값을 활용하였다. 차량기술수준은 교통사고 감소에 기여하고, 이를 통해 교통문화수준 개선을 촉진하는 요인으로서 한국과학기술기획평가원의 스마트 자동차기술 수준 자료를 이용하였다. 교통안전투자액은 국토교통부에서 제공하는 도로교통 부문에서의 교통안전투자 실적 금액을 반영하였다.

교통문화지수의 경우 2018-2020년 평가지표 변경으로 교통문화지수 값이 조정됨에 따라 분석에서 제외하였다. 이에 따라 분석은 2008-2017년 교통문화지수 자료를 대상으로 수행하였다.

Table 1. Data for analysis

Classification	Unit	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Traffic culture index (TCI)	Index	73.20	74.25	74.71	75.20	75.20	76.04	76.70	78.75	81.38	81.56	75.25	77.46	78.94
Vehicle tech level (VTL)	Index	58.8	-	63.9	-	78.3	-	78.9	-	78.8	-	80.0	-	84.0
Traffic safety investment (TSI)	Billion won	-	15,804	16,404	14,002	14,362	15,789	11,967	12,733	17,594	19,887	19,417	20,714	31,420

source: KISTEP (2009-2021), MOLIT (2009-2021), TS (2009-2021).

2. 모형의 개요

본 연구에서는 교통문화수준 변화를 분석하고자, 교통문화수준이 교통 관련 요인들과의 상호작용으로 점차 향상된다는 점을 기본전제(연구가설)로 하여 다음 2가지 연구주제를 설정하였다.

- 연구가설 : 교통문화수준은 교통 관련 영향요인(인적요인, 차량요인, 도로환경요인 등)들과의 상호작용으로 점차 확산되는 경향을 보인다.
- 연구주제1 : 교통문화지수(Traffic Culture Index)가 혁신과 모방에 의해 확산되는 경향과 확산단계(초기-중기 성장-안정화)에 대해 분석하고자 한다.
- 연구주제2 : 교통문화지수에 기초한 교통문화수준은 차량기술수준(혁신계수 영향요인)과 교통안전투자(모방계수 영향요인)에 얼마나 민감한지 분석하고자 한다.

안전한 교통문화 조성의 관점에서 교통문화 확산의 영향요인에는 인적요인, 차량요인, 도로환경요인 등이 있으며, 이러한 영향요인은 혁신에 의한 확산(Diffusion for Innovation), 모방에 의한 확산(Diffusion for Imitation) 등 2가지로 구분하였다. 이러한 혁신에 의한 확산과 모방에 의한 확산은 주로 확산모형에서 적용되는 기본구조이며, 교통문화도 이러한 확산에 따라 조성되는 기본전제를 설정하였으므로 이를 토대로 연구를 수행하였다. 그림 1은 본 연구에서 다루고자 하는 내용을 구조화한 기본 골격에 해당된다. 혁신에 의한 확산(Diffusion for Innovation)은 차량 기술의 혁신, 도로상 설치된 안전시설물 등 도로환경 관련 첨단기술의 개발·보급 등이 해당되며, 모방에 의한 확산(Diffusion for Iimitation)은 교통안전정책의 시행, 교육·훈련, 홍보, 교통안전개선사업 등을 통해 도로 이용자가 교통문화를 준수하도록 하는 확산요인 등이 포함된다.

교통안전을 둘러싼 환경은 하나의 사회 시스템으로서 다양한 요인들에 의해 복잡하게 연결되어 있으며, 다양한 요인간의 상호작용으로 시스템은 변화하게 된다. 그 가운데 차량기술수준과 교통안전투자 요인은 교통사고 감소 또

는 교통문화 확산에 중요한 요인에 해당된다. 차량기술의 발달은 기술혁신에 의한 것으로 안전하고 쾌적한 교통문화를 조성하는게 기여한다. 또한, 교통안전투자는 도로교통 부문에 대한 지속적인 투자를 하는 것으로 각종 사업, 교육, 홍보 등에 대한 예산 확보와 투자 확대로 안전한 교통환경 조성에 기여한다. 교통문화의 확산을 통한 교통사고의 감소, 교통사고 감소를 통한 교통문화 개선 및 확산은 상호작용에 의해 시스템이 점점 개선된다. 혁신에 의한 확산은 일시적인 현상일 수 있으나, 기술의 고도화를 통해 혁신은 가속화되기도 한다. 모방에 의한 확산은 혁신 요인 외의 다수의 요인을 포함하는 것으로 도로교통 부문에서 여러 요인들이 여기에 포함된다.

본 연구는 배스 확산모형 등에서 적용되고 있는 혁신계수(Innovation Coefficient)와 모방계수(Imitation Coefficient)를 도출함과 동시에 교통문화 확산에 미칠 수 있는 여러 요인 중에서 차량기술수준과 교통안전투자 등 2가지 요인을 중심으로 확산모형을 개발하였다. 혁신과 모방에 관한 요인은 다수 존재하므로, 교통문화지수의 변화패턴을 통해 교통문화 확산모형을 개발함으로써 혁신계수와 모방계수를 도출하는데 주안점을 두었다.

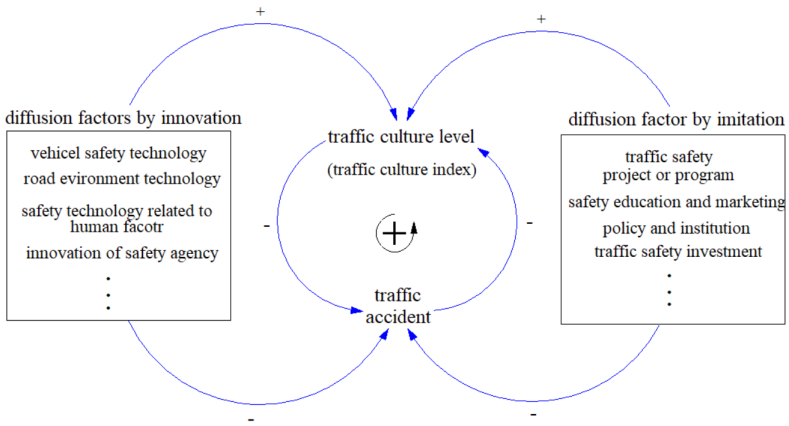


Figure 1. Concept of diffusion model for traffic culture - causal loop diagram

3. 확산모형의 개발: 저량-유량 모형(Stock-Flow Diagram, SFD)

본 연구의 확산모형은 교통문화지수를 토대로 교통문화 미준수 상태(Non Traffic Culture)에서 교통문화 준수 상태(Traffic Culture)로 확산되는 저량-유량 모형(SFD)으로, 혁신에 의한 확산(diffusion for Innovation)과 모방에 의한 확산(diffusion for Imitation)을 고려하였다. 시스템 다이내믹스에서 적용되는 저량(Stock)의 개념은 축적되는 양으로 유입과 유출에 의해 변화하는 것을 나타내며, 유량(Flow)은 흘러다니는 양으로 저량의 값을 변화시키는 것을 의미한다.

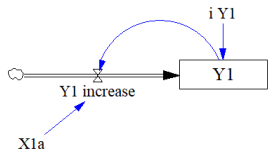
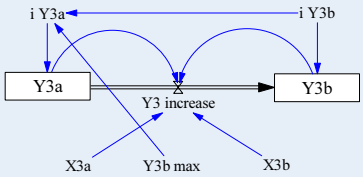
분석기간은 2000년(초기시간)-2040년(종료시간)으로 설정하고, 시간 단위(time unit)는 월(month) 단위로 하였으며, 분석 시간단위(time step)는 0.25로 설정하였다. 본 연구에서의 분석 시간단위는 모델검증 과정에서 분석 시간단위(1, 0.5, 0.25, 0.125)별 민감도 분석의 결과를 적용해 선정한 값이다. 분석에서는 시간변수로 Year, time, time step을 활용하였으며, 모델에 적용된 c ct 18 시간변수는 기준점을 나타내는 시간변수로서 2018년 값을 적용한 상수에 해당된다.

Table 2. Setting for analysis program (Vensim DSS. 8.2.1)

Classification	Unit	Meaning
Initial time	Time=0 (base 2000y)	Staring time for simulation
Final time	Time=480 (target 2040y)	End time (12month*40y)
Time step	Time step=0.25	Conduction time for simulation
Time unit	Month	Base time for analysis of simulation

확산모형에 적용된 함수식은 지수함수(exponential function model)과 배스 확산모델(bass diffusion model) 2가지이며, 차량기술수준과 교통안전투자에 대한 함수식은 지수함수를 교통문화지수에 대한 함수식은 배스 확산모델을 적용하였다. 각 모델에 적용된 모델구조와 수식은 다음과 같다.

Table 3. Modeling pattern (structure and equation)

Model type	Model structure	Model equation
Exponential function model		Y1=INTEG (Y1 increase, i Y1) i Y1=D Y1*p Y1 ini adj Y1 increase=X1a*p X1a rate
Bass diffusion model		Y3a=-INTEG (Y3 increase, i Y3a) Y3b=INTEG (Y3 decrease, i Y3b) i Y3a=Y3b max-i Y3b i Y3b=D Y3*p ini adj Y3 increase=X3a+X3b

Y1/Y3a/Y3b: stock variables; X1a/X3a/X3b: flow (rate) variables; i: initial values; D: data; p: parameters; ini adj: initial adjustment parameters.

위 모델구조에 따라 각 변수에 대한 개별 모델을 개발하였으며, 각각의 모델에 대한 최적화(optimize)를 통해 최적의 파라미티 값(p 계수 값)을 찾는 과정을 거쳤다. 파라미터 추정은 Vensim 프로그램에 적용되어 있는 비선형계획법에 따라 최적 파라미터를 찾도록 설계되어 있다. 그 결과 혁신에 의한 확산계수(p traffic culture innovation coeff.) 값은 0.0005로, 모방에 의한 확산(p traffic culture imitation coeff.) 값은 0.030625로 산출되었다.

교통문화 확산모형은 S자 커브를 나타내었다. 교통문화지수에 대한 RSQ(RSquare, 모델의 설명력) 값은 0.926으로 높게 나타났다. RSQ(RSquare)는 회귀모형식 등에서 통계적 유의성을 판단하는 기준으로, 추정된 제곱오차(squared errors)의 합을 전체 제곱오차의 합으로 나누어 0과 1 사이의 값을 나타내며, 높을수록 모델 설명력이 높음을 의미한다.

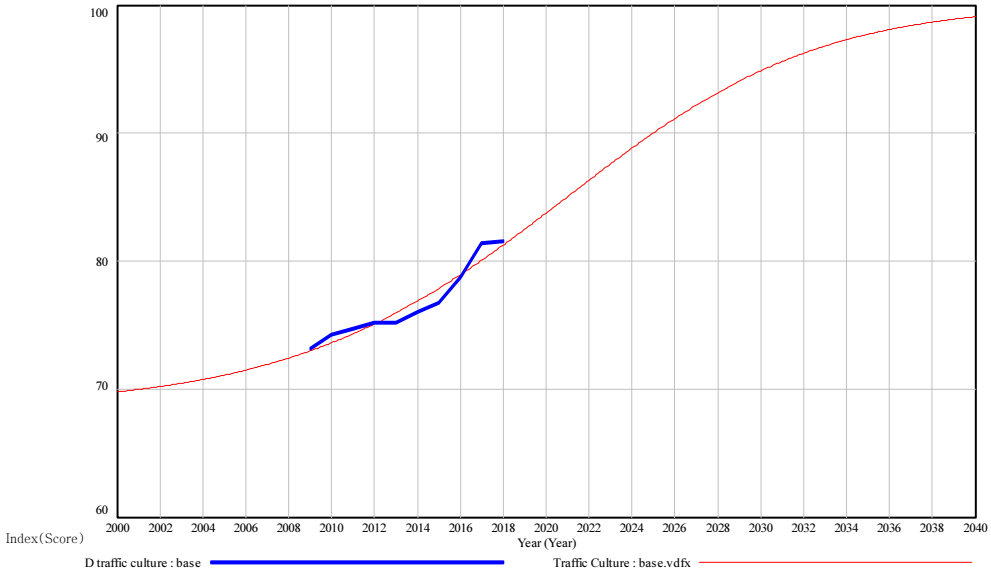


Figure 2. Forecasting for traffic culture diffusion by the model

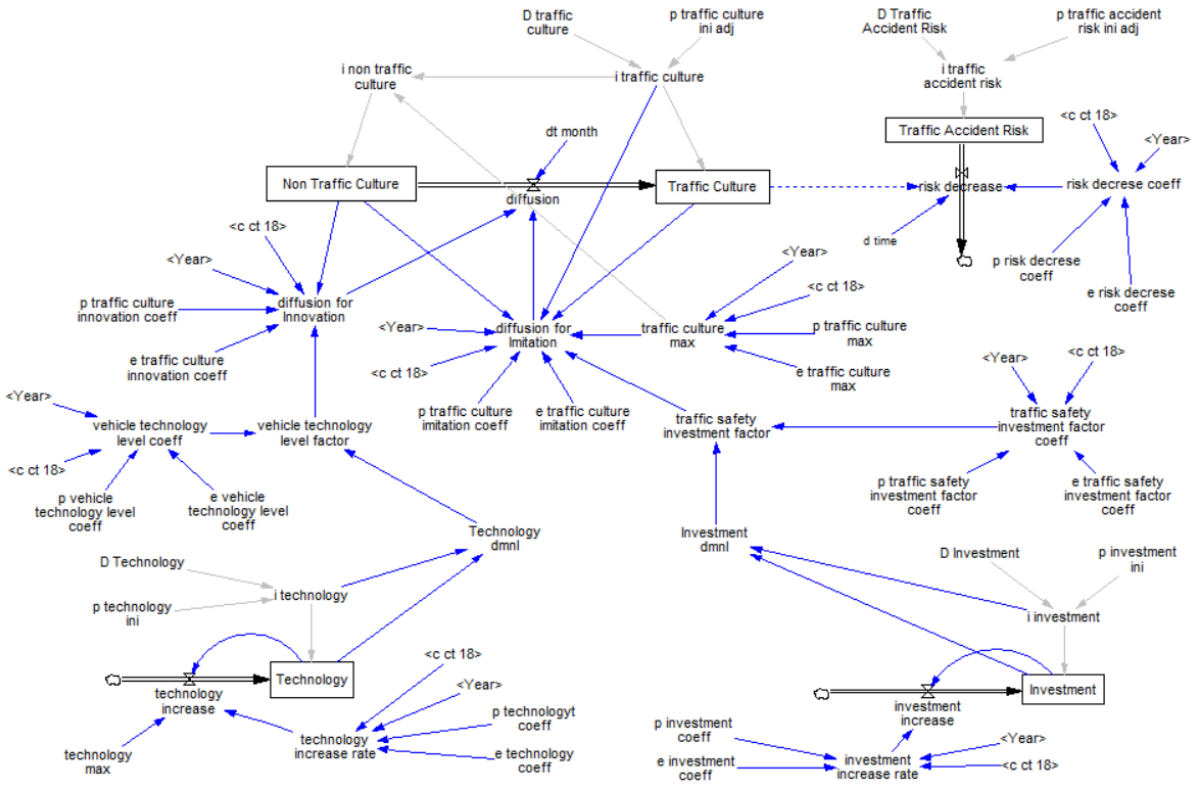


Figure 3. Diffusion model for traffic culture (stock-flow diagram)

*box[▭] (level variable) / initial letter (D: data; p: parameter; c: constant).
*e variable means future values of p parameter for scenario analysis.

4. 모형 검증(validation) 및 민감도 분석(sensitivity analysis)

본 연구에서는 시스템 다이내믹스 연구에서 주로 활용하는 모델검증(validation) 방법을 적용하였다. 검증방법은 모델개발 과정에서의 모델의 구조 검증을 위한 단위점검(Unit Check), 타임스텝(time step)의 변화에 따른 민감도 분석, 모델의 적합성 판단을 위한 모델 설명력(RSQ) 검토, 계수값(p-values)에 대한 민감도 분석을 통해 모델검증을 실시하였다.

단위점검(Unit Check)은 변수의 단위와 변수 정의식의 단위가 적합한지 논리적 오류 여부를 점검하는 것으로 검토결과 오류(error) 없이 구성된 것으로 나타났고 타임스텝(time step) 변화에 따른 민감도 분석 결과, 변화 구간별 값의 변화가 미미한 것으로 나타나. 0.25 값으로 타임스텝을 결정하였다.

모델 설명력(RSQ) 검토결과, 교통문화지수의에 대한 RSQ는 0.926(92.6%), 차량기술수준의 RSQ는 0.717(71.7%), 교통안전투자의 RSQ는 0.951(95.1%)는 분석되어 모델의 설명력이 높아 모델의 적합도가 우수한 것으로 분석되었다.

Table 4. Sensitivity analysis of time step change

Classification	By time step				Sensitivity		
	1.0	0.5	0.25	0.125	1.0→0.5	0.5→0.25	0.25→0.125
Traffic culture index	99.0847	99.0853	99.0847	99.0844	0.0006%	−0.0006%	−0.0003%

계수값(p-values)에 대한 민감도 분석은 교통문화지수의 계수값 변화 정도를 분석하는 것으로, 모델에 적용된

4개 계수(e traffic culture imitation coeff., e traffic culture innovation coeff., e vehicle technology level coeff., e traffic safety investment factor coeff.)에 대해 ±10% 범위에서 변화하는 정도를 분석하였다. 계수의 장래 값 변화를 분석하기 위해 모델에서 e 변수 명으로 표기하여 분석을 실시하였다. 민감도 분석을 위한 시뮬레이션은 200회 실시되었으며, 시뮬레이션에는 난수를 이용해서 확률적으로 분석하는 알고리즘인 몬테카를로 방법(Monte Carlo Method)이 적용되었다(Kwak and You, 2016).

교통문화지수 값의 각각의 계수(4개)에 대한 민감도 분석결과, 모방계수(e traffic culture imitation coeff.)에 대한 민감도는 7.35%, 확산계수(e traffic culture innovation coeff.)에 대한 민감도는 0.59%, 차량기술수준(e vehicle technology level coeff.)에 대한 민감도는 0.40%, 교통안전투자(e traffic safety investment factor coeff.)에 대한 민감도는 3.01%로 나타났으며, 위 4개 요인 전체에 대한 교통문화지수의 민감도는 9.87%로 분석되었다. 모방계수의 높은 민감도로 인해 4개 전체에 대한 교통문화지수의 민감도가 높게 나타났으나, 모델의 정확성을 저해할만큼의 수준은 아닌 것으로 판단된다. 다만, 향후 모방에 의한 확산과 관련된 여러 요인들에 대해 정밀한 분석을 통해 예측값의 변동성을 최소화하기 위한 추가적인 연구가 요구된다.

Table 5. Sensitivity analysis of individual parameter for traffic culture index

Classification	Data of traffic culture index (2040y)			
	Min.	Average	Max.	Sensitivity
e traffic culture imitaion coeff.	99.357112	99.555655	99.722885	7.35%
e traffic culture innovation coeff.	99.560533	99.574864	99.590113	0.59%
e vehicle technology level coeff.	99.565801	99.575225	99.585777	0.40%
e traffic safety investment factor coeff.	99.496186	99.570926	99.646073	3.01%
Total analysis for 4 parameter	99.275206	99.566016	99.76638	9.87%

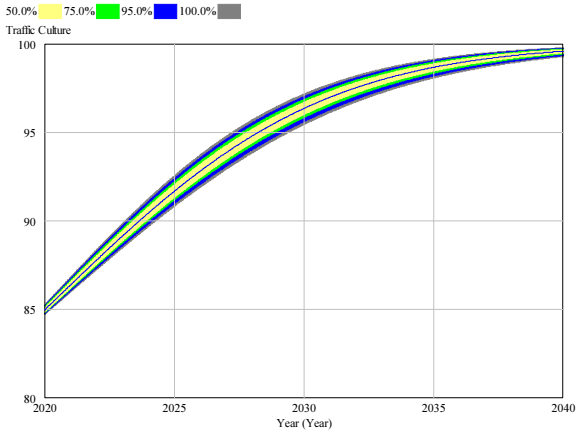


Figure 4. Results of sensitivity analysis for traffic culture index (4 parameter)

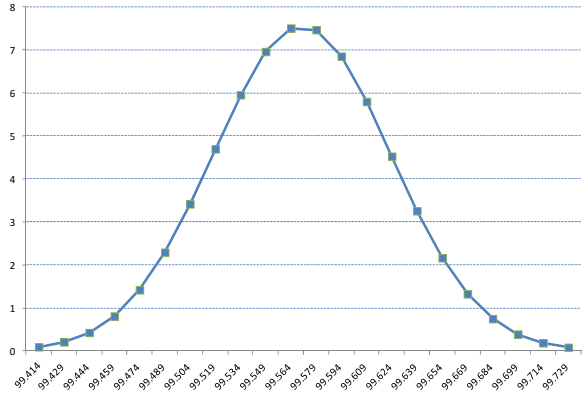


Figure 5. Probability density function of sensitivity analysis data (results)

교통문화지수 변화 시나리오 분석

1. 시나리오 구성

시나리오 분석에서는 교통문화 확산모형을 토대로 교통문화지수의 변동성을 예측하기 위해 혁신에 의한 확산(Diffusion for Innovation)과 모방에 의한 확산(Diffusion for Imitation) 등 2개 요인에 대한 시나리오 대상 변수를 선정하였고, 각 변수 변화에 대한 교통문화지수 확산수준을 분석하였다. 혁신에 의한 확산요인으로는 차량기술수준을, 모방에 의한 확산요인으로는 교통안전투자를 변수로 고려하였다.

기준 시나리오(base)는 각 대상 변수의 계수값(p-values)에 대한 확산모형 기본 값을 적용하였으며, 각 변수 특성을 고려해 확산 가속과 확산 감속으로 구분하고 각 2개의 시나리오로 세분화하였다. 기준 시나리오(base)에서의 혁신계수(Innovation Coefficient)는 0.0005이고, 모방계수(Imitation Coefficient)는 0.03625로 설정하였다.

각각의 시나리오는 교통문화 확산수준을 고려해 계수 값의 ±10%, ±20%로 설정하고, 요인별 4개의 시나리오로 구성하였다. 시나리오명에서 Inno20%up은 혁신계수 값의 20% 증가를, Imit20%dn은 모방계수 값의 20% 감소를 의미한다.

Table 6. Scenario setting for simulation

Classification	Parameter name	Level of change	Scenario name	Parameters values
Base scenario			Base	-
Diffusion by innovation	Vehicle tech level (p vehicle technology level coeff.)	+20% of parameter	Inno20%up	1.0175064
		+10% of parameter	Inno10%up	0.9327142
		-10% of parameter	Inno10%dn	0.7631298
		-20% of parameter	Inno20%dn	0.6783376
Diffusion by imitation	Traffic safety investment (p traffic safety investment factor coeff.)	+20% of parameter	Imit20%up	0.4078452
		+10% of parameter	Imit10%up	0.3738581
		-10% of parameter	Imit10%dn	0.3058839
		-20% of parameter	Imit20%dn	0.2718968

2. 시나리오 분석 결과

1) 혁신에 의한 확산 영향: 차량기술수준 변화 시나리오

혁신에 의한 확산(Diffusion for Innovation)의 영향요인으로 차량기술수준 변수를 고려해 분석한 결과, 차량기술수준 변화 시나리오는 기준(base) 대비 ±0.12% 이하에서 변화하는 것으로 분석되었다. 차량기술수준 변화에 따른 혁신에 의한 교통문화 확산수준은 차량기술수준 ±10% 변화시 교통문화지수가 ±0.058% 범위에서 증감하는 것으로 분석되었다.

Table 7. Traffic culture index change by innovation coefficient change

Scenario name		Traffic culture index						
		2022y	2024y	2026y	2028y	2030y	2035y	2040y
Base		89.1071	91.6407	93.8245	95.6771	96.9577	98.9237	99.5755
Inno20%up (+20%)	Values	89.1999	91.7507	93.9366	95.7789	97.0443	98.9676	99.5968
	Against base (%)	0.104%	0.120%	0.119%	0.106%	0.089%	0.044%	0.021%
Inno10%up (+10%)	Values	89.1522	91.6942	93.8791	95.7267	96.9999	98.9452	99.5860
	Against base (%)	0.051%	0.058%	0.058%	0.052%	0.044%	0.022%	0.010%
Inno10%dn (-10%)	Values	89.0645	91.5902	93.7729	95.6300	96.9176	98.9032	99.5655
	Against base (%)	-0.048%	-0.055%	-0.055%	-0.049%	-0.041%	-0.021%	-0.010%
Inno20%dn (-20%)	Values	89.0244	91.5424	93.7240	95.5853	96.8795	98.8836	99.5560
	Against base (%)	-0.093%	-0.107%	-0.107%	-0.096%	-0.081%	-0.041%	-0.020%

2) 모방에 의한 확산 영향: 교통안전투자 변화 시나리오

모방에 의한 확산(Diffusion for Imitation)의 영향요인으로 교통안전투자 변수를 고려하여 분석한 결과, 교통안전투자 변화 시나리오는 기준(base) 대비 ±0.5%(내외) 이하에서 변화하는 것으로 분석되었다. 교통안전투자 변화에 따른 혁신에 의한 교통문화 확산수준은 교통안전투자 ±10% 변화시 교통문화지수가 약 ±0.26% 범위에서 증감하는 것으로 분석되었다. 교통안전투자를 고려한 모방에 의한 확산은 차량기술수준을 고려한 혁신에 의한 확산보다 영향강도가 더 큰 것으로 분석되었다.

Table 8. Traffic culture index change by imitation coefficient change

Scenario name		Traffic culture index						
		2022y	2024y	2026y	2028y	2030y	2035y	2040y
Base		89.1071	91.6407	93.8245	95.6771	96.9577	98.9237	99.5755
Imit20%up	Values	89.4281	92.0641	94.2992	96.1484	97.3872	99.1768	99.7099
	Against base (%)	0.360%	0.462%	0.506%	0.493%	0.443%	0.256%	0.135%
Imit20%up	Values	89.2657	91.8507	94.0613	95.9140	97.1755	99.0556	99.6473
	Against base (%)	0.178%	0.229%	0.252%	0.248%	0.225%	0.133%	0.072%
Imit20%up	Values	88.9522	91.4343	93.5894	95.4382	96.7346	98.7812	99.4939
	Against base (%)	−0.174%	−0.225%	−0.251%	−0.250%	−0.230%	−0.144%	−0.082%
Imit20%up	Values	88.8011	91.2317	93.3562	95.1980	96.5067	98.6282	99.4020
	Against base (%)	−0.343%	−0.446%	−0.499%	−0.501%	−0.465%	−0.299%	−0.174%

결론 및 시사점

1. 결론

본 연구에서는 교통문화지수 자료를 토대로 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 분석 방법론을 활용해 교통문화지수(Traffic Culture Index)의 변동성을 예측하였다. 교통문화 확산요인을 혁신계수(Innovation Coefficient)와 모방계수(Imitation Coefficient) 영향요인으로 구분하고, 요인별로 각각 차량기술수준과 교통안전투자 변수를 모델에 반영한 교통문화 확산모형을 개발하였다. 교통문화 확산모형은 확산연구에서 주로 활용되고 있는 배스 확산모형을 기반으로 개발하였다. 위 2가지 변수를 고려한 교통문화지수 변동성 예측하기 위해 각 변수 변화에 따른 교통문화지수 변화를 시나리오로 분석하였다. 교통문화 확산모형에 의한 확산계수는 0.0005, 모방계수는 0.030625로 산출되었다. 시나리오 분석결과, 차량기술수준 변화에 따른 혁신에 의한 교통문화 확산수준은 차량기술수준 ±10% 변화시 교통문화지수가 ±0.058% 범위에서 증감하는 것으로 분석되었고, 교통안전투자 변화에 따른 혁신에 의한 교통문화 확산수준은 교통안전투자 ±10% 변화시 교통문화지수가 약 ±0.26% 범위에서 증감하는 것으로 분석되었다.

2. 시사점 및 향후 연구과제

국내에서 교통문화에 관한 연구는 교통사고와의 연관성, 교통문화지수 실태조사 관련 연구에 초점이 맞춰져 있다. 교통문화와 관련된 요인들에 대한 구체적인 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 자료 확보의 어려움, 연구사례 부족 등으로 교통문화와 관련된 일부 개별 요인(차량기술수준, 교통안전투자)들에 대한 분석만을 수행하였다. 본 연구에서는 확산모형에 기초한 교통문화 확산추세를 추종하는 확산모형을 개발함과 동시에 모형에 의한 혁신계수와 모방계수를 추정하는데 주안점을 두었다.

학술적인 측면에서 본 연구는 지자체 등에서 교통문화지수를 예측하고 대응하는데 활용될 수 있다. 실용적인 측면에서도 시나리오 분석에서와 같이 정책 의사결정자가 다양한 요인(변수)를 고려한 분석이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 교통문화에 미치는 요인(변수)들이 많은 만큼 향후 개별 요인(변수)에 대한 연구가 진행된다면 더욱 활용성이 증대될 것이다.

본 연구는 교통문화 확산에 관한 기초연구이므로 향후 혁신에 의한 확산과 모방에 의한 확산을 어떻게 이루어 나갈 것인지에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 교통안전 분야에서 데이터가 축적되고 있는 상황에서 혁신에 의한 확산요인과 모방에 의한 확산요인을 고려해 데이터 기반의 정밀 분석을 수행할 필요가 있다. 또한, 어떠한 요인이 혁신에 의한 확산요인인지, 모방에 의한 확산요인인지 상세 분류하고, 이를 정책대안 등 정책 의사결정에 활용할 수 있도록 이에 대한 보완 연구가 필요하다.

교통문화는 단기간에 형성되는 것이 아니므로 중장기적인 관점에서의 접근이 요구되며, 교통문화를 조성하기 위한 다양한 영향요인(사회경제요인, 교통행태요인, 정책요인)들에 관한 심도 있는 연구가 필요하다. 또한, 교통문화지수가 지역 또는 국가의 교통문화수준을 제대로 반영할 수 있도록 신규 평가지표(기술 관련 지표 등)를 발굴할 필요가 있다. 이러한 추가 연구를 통해 교통문화수준 변화에 능동적으로 대응하고, 실질적으로 교통문화수준을 향상시킬 수 있도록 기여할 필요가 있다.

알림

본 논문은 대한교통학회 제84회 학술발표회(2021.2.26)에서 발표된 내용을 수정 · 보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

WON, Donguk http://orcid.org/0000-0002-9390-3887
DO, Myung-Sik http://orcid.org/0000-0002-8738-0442
KIM, Gyu-ho http://orcid.org/0000-0001-9752-4326

References

AAA Foundation (2021), 2020 Traffic Safety Culture Index.

Do M. J., Kim J. T., Choi B. S. (2017), A Study of Epidemic Model Using SEIR Model, 28(2), 297-307.

Hong J. S., Eum S. J. (2009), Two Pieces Extension of the Bass Diffusion Model, Journal of the Korean OR/MS Society, 34(4), 15-26.

Hong J. S., Koo H. Y. (2012), Comparison of the Bass Model and the Logistic Model from the Point of the Diffusion Theory, Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society, 37(2), 113-125.

Hong S. K. (2011), Analysis of Diffusion Pattern in New Product and Services Based on Extended Bass and Logistic Models, Seoul National University of Science and Technology, Doctoral Dissertation.

Jeong C. W., Jung H. Y., Ko S. S. (2006), A Study on Patterning and Grading by the Impact of Traffic Culture Index, Journal of Korean Navigation and Port Research, 30(1), 35-43.

Jin J. W. (2013), Changes and Improvements of Transport Culture Index Survey Project (TCISP), Journal of Korean Society of Culture Industry, 13(3), 87-95.

Joo S. K. (2014), A Study on Clarifying Relationship between the Traffic Culture Index and Traffic Accidents, University of Seoul, Masters Dissertation.

Kang D. S., Cho S. J., Lee S. I., Kim T. H. (2011), A Study on the Improvement of Traffic Culture Index (TCI) Utilizing Research Paper Analysis, Transportation Technology and Policy, 8(4), Korean Society of Transportation, 45-54.

Kim I. G. (2017), Longitudinal Study on the History and Characteristics of the Transport Culture Index Survey: Around 12 Cities More Than 500,000 Population, Korea National University of Transportation, Doctoral Dissertation.

Kim T. H., Shin Y. C., Lim S. J., Park J. T. (2013), An Empirical Study of Influence Relationship on Traffic Culture Index (TCI) Utilizing PLS-SEM (Structural Equation Modeling), Journal of Korean Society Transportation, 28(2), 78-83.

Kim T. Y., Park B. H. (2018), Analysis of Accident Factors Based on Changing Patterns of Traffic Culture Index, Journal of the Korean Society of Safety, 33(3), 77-82.

KISDI (Korea Information Society Development Institute) (2001), Demand Forecasting Methodology of Information Communication Market Using Diffusion Model.

KISTEP (Korea Institute of S&T Evaluation and Planning) (2009-2021), Technology Level Evaluation.

KOROAD (2021), 2020 Traffic Safety Index in Local Government.

Kwak S. M., You J. K. (2016), System Dynamics Modeling and Simulation: Bookkorea.

MOLIT (2014), Study for Investigation Guideline Formulation of Traffic Culture Index.

MOLIT (2009-2021), Traffic Safety Annual Report.

Park J. H. (2017), A Study on the Correlation between Budget, Environment and Trasport Culture Index of Autonomous District of Seoul Metropolitan City, Yonsei Univ., Masters Dissertation.

Park W. W., Joo S. K., Lim J. B., Lee S. B. (2014), A Study on Clarifying Relationship between the Traffic Culture Index and Traffic Accidents Using Structural Equation Model, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 34(5), 1571-1579.

Seo J. S. (2019), A Study on Correlation between Traffic Spending Behavior and Traffic Culture, Kyonggi Univ., Masters Dissertation.

TS (Korea Transportation Safety Authority) (2009-2021), Traffic Culture Index Survey Report (in Korean).