

사회경제적 특성과 도로망구조를 고려한 고속도로 교통량 예측 오차 보정모형

A Model to Calibrate Expressway Traffic Forecasting Errors Considering Socioeconomic Characteristics and Road Network Structure

이 옹 주	Yi, Yongju	아주대학교 건설교통공학과 박사과정 (E-mail: srzr2001@ajou.ac.kr)
김 영 선	Kim, Youngsun	아주대학교 건설교통공학과 박사과정 (E-mail: jjinying@ajou.ac.kr)
유 정 훈	Yu, Jeong Whon	정회원 · 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수 · 교신저자 (E-mail: jeongwhon@ajou.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study is to investigate the relationship of socioeconomic characteristics and road network structure with traffic growth patterns. The findings is to be used to tweak traffic forecast provided by traditional four step process using relevant socioeconomic and road network data.

METHODS : Comprehensive statistical analysis is used to identify key explanatory variables using historical observations on traffic forecast, actual traffic counts and surrounding environments. Based on statistical results, a multiple regression model is developed to predict the effects of socioeconomic and road network attributes on traffic growth patterns. The validation of the proposed model is also performed using a different set of historical data.

RESULTS : The statistical analysis results indicate that several socioeconomic characteristics and road network structure clearly affect the tendency of over- and under-estimation of road traffics. Among them, land use is a key factor which is revealed by a factor that traffic forecast for urban road tends to be under-estimated while rural road traffic prediction is generally over-estimated. The model application suggests that tweaking the traffic forecast using the proposed model can reduce the discrepancies between the predicted and actual traffic counts from 30.4% to 21.9%.

CONCLUSIONS : Prediction of road traffic growth patterns based on surrounding socioeconomic and road network attributes can help develop the optimal strategy of road construction plan by enhancing reliability of traffic forecast as well as tendency of traffic growth.

Keywords

traffic forecast error, multiple regression, socioeconomic characteristics, road network structure, traffic growth

Corresponding Author : Yu, Jeong Whon, Associate Professor
Department of Civil and Transportation Engineering, Ajou University,
206 World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 443-749, Korea
Tel : +82.31.219.2965 Fax : +82.31.219.2973
E-mail : jeongwhon@ajou.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ijhe.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

고속도로는 지난 40여 년 동안 우리나라의 핵심 사회
간접자본시설로서 여객과 화물의 편리하고 신속한 수송

을 통해 사회경제적 발전의 선도적 역할을 담당해 오고
있다. 현재 전체연장 약 3,911km에 달하는 우리나라 고
속도로의 평균 건설비는 지속적으로 증가하여 최근 4차

로 도로의 1km당 평균 비용은 351억 원에 달하는 실정이다(2011 고속도로건설 평균단가, 한국도로공사 내부자료). 따라서, 비효율적 노선선정과 과다설계와 같은 고속도로 건설과 관련된 잘못된 의사결정은 막대한 경제적 손실을 가져오게 되므로, 이를 극복하기 위해 고속도로 건설과 관련된 의사결정을 최적화하고자 하는 여러 가지 노력들이 진행되고 있다. 특히, 장래 고속도로 이용 교통량 예측치는 고속도로의 신설 또는 확장 여부와 설계차로수를 결정하는 핵심요소이므로, 이와 관련된 교통수요예측의 정확도 및 신뢰도 확보에 대한 논의와 연구가 활발히 이루어지고 있다.

영국, 미국, 일본 등 선진국과 마찬가지로, 우리나라 역시 국가차원의 신뢰성 있는 통행자료(O/D) 및 도로망 전산자료를 KTDB(Korea Transport Database)라는 형태로 1999년부터 구축해오고 있다. 또한 같은 년도에 예비타당성 조사지침이 개발되어 4단계 수요예측기법을 기반으로 하는 교통수요예측체계가 확립되어 지속적으로 수요예측의 고도화가 진행되어온 바, 국가재정의 사회간접자본 투자 시 의사결정의 일관성과 여러 사업들 간의 상대적 평가를 위한 공정한 잣대로 사용하기 위한 기반이 갖추어져 있다.

그럼에도 일련의 교통수요 예측과정을 거쳐 개통된 여러 노선들이 지역에 따라 큰 폭으로 과소 또는 과다 예측된 것으로 드러나는 등 수요예측의 정확성이 떨어지는 것으로 나타났다. 이러한 부정확한 예측 결과는 교통수요예측의 방법론적인 결함에도 기인할 수 있지만, 교통수요를 예측함에 있어 반영되는 변수(인구수, 개발계획, 접속노선망 등)가 예측을 수행했던 당시와 규모, 시기 등의 측면에서 다르게 변화하는 등의 불가항력적인 요소 또한 큰 원인 중의 하나로 작용하였을 가능성이 높다고 판단된다(본 연구의 대상노선 분석 결과 시·도별 인구 예측치는 평균 13.6% 과다 예측, 노선망 계획은 평균 2.7년 지연 개통). 그렇기 때문에 이러한 외부요소에 의한 오차를 줄이고자 교통수요에 영향을 미치는 요인에 대한 연구의 필요성이 제기되었다.

한편, 4단계 교통수요 예측기법은 현재까지 사용하고 있는 수요예측의 방법 중 가장 보편적인 방법으로 평가되고 있으나, 수요예측에 소요되는 과다한 시간과 비용을 고려하여 개통연도 이후 일정 간격(주로 5년)으로 수요를 추정하고 5년 사이의 중간 연도는 선형 보간법을 적용하고 있어, 연간 교통수요의 불확실적 요소에 의한 변동은 파악하기 어려운 실정이다. 이에 대한 보완책으로 민감도 분석을 함께 수행하고 있으나, 각 시나리오에

대한 발생확률을 파악할 수 없어 여전히 장래 지표의 불확실성이 반영되기 어렵다는 한계를 지니고 있다. 이를 해결하기 위해서는 각 연도별로 발생 가능 시나리오 각각에 대한 4단계 교통수요 예측과정을 수행하는 것이 가장 바람직하겠지만, 분석에 투입되는 시간과 비용이 과다하여 실제 도입에는 한계가 있다.

이러한 민감도 분석의 궁극적인 목적은 장래의 불확실한 사회경제적 요소와 도로망 연계성을 다양한 시나리오 조합으로 분석함으로써, 교통수요예측모형에서 제시한 기본 교통량 예측치에 비해 실제로 형성될 교통량의 추이가 어떻게 될 것인가를 알고자 하는 것이다. 즉, 현재 이용가능한 정보를 바탕으로 장래교통량을 추정하였지만, 여러 장래 불확실성 요소들을 고려할 때 실제교통량이 더 많이 관측될 경향성이 있는지, 혹은 다소 적게 형성될 개연성이 큰지를 파악하여 이를 바탕으로 계획전략을 수립하고자 하는 것이다. 본 연구에서는 각 시나리오에 대한 발생확률 예측이 어려운 민감도 분석의 대안으로 민감도 분석에서 핵심변수로 주로 사용되는 사회경제적 변수와 도로망 연계성을 포함한 장래교통량 형성 행태에 영향을 미치는 요소들을 파악하고, 이러한 요소들과 실제 교통량 형성과의 인과관계를 규명하고자 한다. 구체적으로는 이를 위해 과거 교통수요예측자료, 실제 관측 교통량자료 및 해당 도로구간에 영향을 미친 사회경제적 요소과 도로망 특성을 조사분석하여 이들간의 관계를 모형식으로 도출하고자 한다.

이러한 접근방법은 현재 많은 비용과 시간을 투입하여 꾸준히 신뢰성을 높여가고 있는 KTDB에 기반을 두고 있는 현행 교통수요예측과정을 수용하면서, 이와 동시에 기존 전통적 4단계 기법에서 적은 비용과 시간으로 손쉽게 파악하기 어려운 사회경제적 요소와 도로망 구조의 변동성에 따른 실제 교통량 형성 행태를 직접적으로 빠르게 예측할 수 있다. 즉, KTDB를 기반으로 한 전통적인 교통수요모형에서 제시한 교통량과 본 연구에서 예측한 장래 교통수요형성 행태를 동시에 고려함으로써 보다 효율적인 도로건설계획을 수립할 수 있도록 한다.

2. 관련연구 고찰

2.1. 교통망과 도시 성장간의 주요 요인 분석

기존 연구에서는 도시성장과 교통수요의 변화 패턴이 유사한 요인의 영향을 받는 것으로 나타나고 있다.

Cheng 등(2003)은 중국의 한 도시를 대상으로

1993~2000년간 도시성장의 주요 요인을 파악하기 위해 설명변수 분석과 공간 로지스틱 회귀 모형을 활용하였다. 설명변수 분석은 도시개발 밀도와 CBD로부터의 거리가 음지수의 관계라는 기본적 도시 이론에서 출발하여, CBD를 간선도로·개발지역 등으로, 밀도를 변화 확률로 대체하였다. 공간 로지스틱 회귀 모형에서는 공간 종속성, 공간 샘플링을 고려하였는데, 설명변수로는 근접성 관련 변수, 사회경제지표, 입지환경 관련 변수 등이 이용되었다.

Muller 등(2010)은 스위스 주요 고속도로 IC와의 인접성에 따른 도시개발 영향을 분석하고자, 도시 지역을 'building areas', 'industrial areas', 'transportation areas' 등 3개로 세분한 뒤, 고속도로 IC와의 거리가 도시 성장 정도에 영향을 주는지에 대하여 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 고속도로 IC와의 거리에 따라 유의한 영향이 나타났으며, 'industrial areas'가 가장 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 또한 고속도로 IC와의 근접성이 도시 성장의 요인으로 얼마나 뚜렷하게 작용하는가를 분석하고자 변수분할 및 ANOVA 분석을 활용한 결과 거리, 기존 도시개발 정도, 재정지원 요소 중 거리의 설명력이 높은 것으로 나타났다.

Noronha Vaz 등(2012)은 1960년대 중반 이후 지역 경제 변형에 따라 인구 증가, 기반시설 확충 등이 이루어진 포르투갈 Algarve 지역을 대상으로 non-linear complex system modeling을 통해 도시 성장을 동적 평가하고자 하였다. 설명변수로는 도시부와의 거리, 경사도, 도로망, 고도, 주요도시와의 거리, 농업지역, 인구밀도 등이 사용되었으며, 3개의 시나리오(ecological interest, business as usual, economic interest)에 대하여 장래 도시 성장을 예측하였다.

Funderburg 등(2010)은 캘리포니아의 3개 도시를 대상으로 회귀분석을 이용하여 고속도로 건설에 따른 토지이용의 변화에 따른 연구를 실시하였다. 도로가 건설되지 않았을 상황을 가정하고 가설 검정을 통하여 토지이용의 변화가 인구와 고용의 변화에 어떤 영향을 주는지에 대한 분석을 수행하였으며, 인구와 고용의 변화를 lagged adjustment model로 모형화한 바 있다.

2.2. 교통수요 예측의 오차원인 분석

교통수요 예측의 오차원인 분석에 관련된 연구는 최근 대두되기 시작하였다. 정성봉 등(2007)은 도로교통수요 분석과정에서 발생할 수 있는 오차유형을 4단계 과정의 각 단계별로 체계화하고, 사례 분석을 통해 관련

계획 실현의 불확실성과 기초자료, 특히 부정확한 기준점 통행량이 주요 오차 원인임을 밝혔다. 이후 MCS(Monte Carlo Simulation) 기법을 활용하여 오차요인별 영향을 분석한 결과 재차인원 및 관련계획에 따른 수요 변동폭이 가장 큰 것으로 나타나, O/D가 수요분석 결과의 신뢰도에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 도출하였다.

김강수(2007)는 국도 및 고속도로에 대한 예측 교통량과 실제 교통량을 비교하여 교통량 예측 오차를 분석하고, 이를 통해 도로시설 투자 여부에 대한 타당성 평가 시 이러한 위험을 고려할 수 있는 방안을 살펴보았다. 우선 사회경제지표 및 두 지역간의 시간과 거리의 불확실성을 반영하는 O/D 모형을 구축한 뒤 통행배정을 시행하고, 교통량 추정결과의 분산을 추정해 구간 추정치를 신뢰구간 하에서 제시하였다. 이어서 최근 개통된 국도 및 고속도로를 대상으로 오차를 분석한 결과 평균적으로 약 22%의 과다 추정이 발생함을 밝혔으며, 교통량 추정 위험요소에 대한 회귀모형을 구축하여 각 변수의 영향을 분석하였는데, 최종적으로 재원(민자/재정), 개통연도(1999년 이후/이전), 지역(도시/지방), 표준화된 사업비용 및 사업연장, 공사기간이 설명변수로 채택되었다.

정일호 등(2005)은 통행수요 추정과정에서 이용되는 다양한 입력자료의 불확실성을 수요추정과정에 반영하여 장래통행수요 예측 시 신뢰수준을 판단할 수 있는 가이드라인을 제시하고자 하였다. 문헌검토를 통해 통행수요 추정의 문제점을 검토한 결과 유발수요 미반영으로 과소추정이 이루어짐을 지적하였으며, 이후 4단계 통행수요 추정방법을 고찰하고, 통행발생 단계의 회귀모형을 점추정에서 구간추정 방식으로 전환하여 통행발생량을 산출하였다. 이어 통행배정 단계에 이를 적용한 결과 배정교통량이 적은 지역의 경우 변화의 폭이 크고, 배정교통량이 많은 지역은 상대적으로 차이가 적은 것으로 나타났다.

이재민 등(2005)은 고속도로 통행수요함수를 추정하기 위하여 시계열자료를 이용하여 회귀분석을 시도하였다. 월별데이터에 대하여 자동차대수, 유효도로연장, 실질GDP, 실질통행료 등을 활용한 결과 계절적인 추세변동과 증가추세를 잘 반영하는 등 고속도로 이용대수의 특성을 잘 나타내는 시계열 모형을 도출할 수 있었다.

Harvey(2011)는 부정확한 교통수요 예측의 사례를 조사하고, 오차요소를 선정한 뒤 개선방향을 제시하였다. 국내의 사례 검토결과 대체적으로 과다예측 경향이

나타났으며, 유료도로의 경우 그 경향이 더욱 심화되는 것으로 조사되었다. 이에 모형의 적합성, 데이터의 한계, 입력자료의 불확실성, 램프업, 낙관적 편이 및 전략적 오판 등을 오차의 원인으로 꼽았으며, 이에 대한 개선책을 종합적으로 제시하였다.

Smith 등(2011)은 사례 분석을 통해 교통수요가 지나치게 낙관적으로 예측되는 원인과 개선책을 제시하였다. 호주 내 4건의 사례에 대한 지리적, 시간적, 물리적 특성과 자원 형태를 분석하고, 이해관계자들에 대한 인터뷰를 실시한 결과 오차원인으로 민자사업의 입찰 선정과정(가장 낙관적인 제안 선정), 물리적 배경(연장/터널/진출입부간격/대체도로/상업차량비율 등), 모형 가정사항의 편이, 장래 데이터 및 파라미터의 불확실성 등을 밝혀냈다. 이에 대한 개선책으로 정부의 관리기능 강화, 입찰 절차 개선, 이력자료 활용, 장래 토지이용계획 변화의 고려 등을 제시하였다.

2.3. 관련연구 고찰의 시사점

도시성장 패턴의 영향요인 분석에 대한 기존 연구에서는 도시성장에 영향을 줄 수 있는 다양한 요인들에 대하여 회귀분석, ANOVA 분석 등을 실시하였으며, 공통적인 영향요소인 도시부와의 거리 등 근접성 관련 지표, 토지이용/인구밀도 등 사회경제지표, 도로망 등 입지환경 요소는 교통수요 형성에도 유사한 영향을 끼칠 수 있을 것으로 예상된다.

교통수요 예측의 오차원인 분석에 대한 기존 연구에서는 관련계획의 불확실성과 기초자료의 부정확성을 공통적인 오차요인으로 지목하였으며, 그 외 유발수요의 미반영, 모형 자체의 한계 등에 대하여 언급하였다. 김강수(2007)는 불확실성을 반영한 O/D 모형을 구축하였으나 도출된 결과에 대해 4단계 예측기법을 각각 적용함으로써 최적 대안을 찾기까지의 의사결정과 피드백이 지연되는 등 시간/비용상의 한계가 존재하는 바 있으며, 교통량 추정 위험요소에 대한 회귀모형은 주로 도로 건설과 관련된 특성만을 반영하고 있어 외생적 오차에 대한 반영이 어렵다. 정일호 등(2005) 역시 구간추정 방식으로 통행발생량을 산출하였으나, 해당 모형은 택지계획 및 노선망계획 등의 외생적 오차 반영이 어려우며 매 분석에 대하여 4단계 통행수요예측기법을 적용해야 하지만, 본 연구에서는 기존 4단계 예측기법의 결과를 보정할 수 있는 모형을 개발함으로써 비교적 적용이 용이하도록 한다. 이재민, 이수신(2005)은 시계열자료를 이용하여 사회경제지표를 반영한 회귀분석을 실시하여 고속도로 통

행수요함수를 도출하고자 하였으며, 본 연구에서는 사회경제지표 외에도 관련계획의 불확실성을 함께 반영할 수 있는 모형을 도출하여 차별성을 유지하고자 한다.

3. 모형 개발

3.1. 방법론

본 연구는 먼저 분석범위를 설정한 뒤 오차원인을 분석하고, 이를 반영하여 예측교통량 오차율의 범위를 제시할 수 있는 오차율 추정모형을 구축한 뒤 시범 적용을 통해 모형을 검증하고자 한다. 교통수요예측의 오차유형은 크게 측정 오차, 구조적 오차, 외생적 오차로 나뉠 수 있는데(정성봉 등, 2007), 측정 오차나 구조적 오차는 실제 분석을 수행한 당사자가 아닐 경우 구체적 내용을 검토하기에 한계가 있으며, 따라서 모형 자체의 한계를 규명하기보다는 사회경제지표, 노선망 계획의 불확실성 등 외생적 오차를 중심으로 분석하고자 한다.

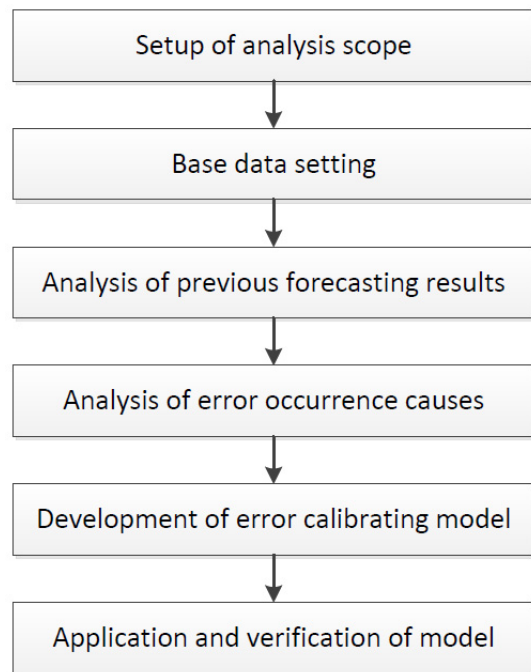


Fig. 1 Flow Chart of Analysis Process

본 연구의 전체적인 분석절차는 Fig. 1과 같으며, 각 절차의 상세한 과정은 다음과 같다. 본 연구에서는 데이터 구득이 가능하고 최근 추세를 반영할 수 있으며, 지역적으로 고르게 분포한 범위를 설정하여 분석구간을 설정하고자 한다. 이후 기초자료를 구축함에 있어서는 고속도로 교통량 형성에 영향을 끼칠 수 있는 변수로써 사회경제지표(인구, 인구밀도, 고용인구, 지역 GDP, 평

균치가, 자동차보유대수 등), 노선특성지표(중방향계수, 월변동계수, 노선연장, 최근접분기점과의 거리, 대도시권 최단거리, 개통경과연도, 경쟁노선 경합율, 시단위 행정구역간 평균간격 등) 등을 고려하였으며 데이터 취득 가능성, 고속도로 교통량 변화에 대한 영향도 등을 고려하여 최종 변수를 선정하고자 한다.

모형의 기본 구조로는 다양한 형태의 회귀모형, ARIMA 모형 등을 적용의 용이성, 변수 반영의 적절성, 오차요인에 대한 민감성 측면 등에서 검토한다. 또한 모형의 종속변수로는 오차율을 선정하였는데, 이는 교통 수요 성장특성을 설명하기에 절대적인 교통량 차이값보다 오차의 경향성과 크기를 파악하는 것이 더욱 적합할 것으로 판단되기 때문이다. 이후 도출된 모형을 토대로 모형 구축 단계에서 사용되지 않은 데이터를 대상으로 검증 실시하여 기존 결과에 대한 교통량 오차율 개선 효과를 살피고자 한다.

3.2. 모형 구축 자료

본 연구에서는 국가교통DB가 본격적으로 구축된 2000년 이후 전체 연장의 50% 이상이 개통된 고속도로 노선 중 예측보고서가 취득 가능한 6개 노선 80개 구간을 선정하였으며 이는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. List of Selected Analysis Expressway Routes

Route Name	Opening Year	Section
Seohaean	1994~2001	Mokpo-Ansan
Iksan-Pohang	2001~2004	Jangsu-Pohang
Pyeongtaek-Jecheon	2002	W.Pyeongtaek-W.Anseong
Jungbu Naeryuk	2001~2004	Gimcheon-Yeouju
Nonsan-Cheonan	2002	Nonsan-Cheonan
Tongyeong-Daejeon	2000~2005	Tongyeong-Sannae

일정한 시간적 간격(3~4년)에 대하여 각 구간별로 보고서에 수록된 예측교통량과 교통량정보제공시스템(TMS)에서 제공하는 실측교통량, 사회경제지표, 노선 특성지표, 인접 택지개발계획 및 노선망 계획 등을 조사하였다. 사회경제지표는 교통수요의 발생배경이 되는 요소로써, 계량화가 가능한 인구, 자동차등록대수, 산업체별 종사자수를 시·군·구별로 조사하였으며, 해당 노선의 입지특성 등을 반영하기 위한 노선특성지표는 다양한 요소가 있을 수 있으나 계량화가 가능한 구간별 월변동계수의 표준편차, 시(市)단위 행정구역간 평균 간격을 조사하였다. 월변동계수는 특정연도의 월간교통량 평균을 1로 하였을 때 각 월별 교통량의 상대

적인 크기를 수치로 나타낸 것으로, 주로 일상적 통행을 처리하는 도로는 월별 차이가 크지 않은 반면, 관광지역 등 특수한 시기에 많은 교통량이 집중되는 도로의 경우 월변동계수의 변동폭이 큰 추세를 보인다. 따라서 월변동계수(12개)를 표준편차로 환산 및 반영하였으며, 표준편차가 클수록 월변동계수의 변동폭 또한 커진다고 볼 수 있다. 또한 시(市)단위 행정구역간 평균 간격(노선이 직접 경유하는 시(市)의 개수/노선 전체 연장)이 넓을수록 도시간 이동에 있어 국도/지방도 등 대체도로가 미비하여 고속도로 이용 가능성이 높아질 수 있어 이를 반영하였다.

이에 따라 분석대상 6개 노선 80개 구간에 대하여 각 2~3개 년도(일부 개통 1년차 자료는 초기교통수요의 불안정성으로 인하여 제외) 총 132개 구간 자료를 구축하였으며, 시·군·구 단위로 구축된 사회경제지표는 각 구간별로 그대로 적용하기에는 광범위하기 때문에 영향권 개념을 도입하였다. 심재권 등(1999)은 고속도로의 IC로부터 가장 영향을 많이 받는 구간을 직접영향권으로(10km 이내 또는 20분 이내 지역), 2차적으로 영향받는 지역을 간접영향권(20~30km 또는 30분 이내 지역)으로 설정한 바 있으며, 이를 참조하여 영향권은 한 구간의 양쪽 끝 IC로부터 10km 이내로 설정하여, 행정구역 내에 사회경제지표(인구, 자동차등록대수, 산업체별 종사자수)가 동일한 밀도로 분포한다고 가정하고 각 행정구역의 면적 비율로 이를 집계하였다. 다만 자동차등록대수는 지역의 특성을 반영하고자 인구로 나눈 1인당 자동차등록대수를 사용하였으며, 산업체별 종사자수는 교통유발패턴이 다를 것으로 예상되는 3차산업 종사자수의 비율(영향권 내 전체 종사자수 대비 3차산업 종사자수의 비율로 산출)로 환산하였다.

3.3. 오차 영향인자 도출

본 절에서는 분석 노선의 교통수요예측 오차율을 파악하고, 이에 영향을 미치는 외생적 오차요소의 현황을 파악하였다. 우선 각 노선별로 주요 연도별 오차율¹⁾을 비교하였는데 예시로 서해안선의 오차율을 그래프로 나타낸 결과는 Fig. 2와 같다. 오차율 비교 결과 대체로 과다예측 경향을 나타내고 있으며 이는 대체로 대도시권에서 멀어질수록 심화되는 것으로 나타났다. 또한 분석에 반영된 사회경제지표(인구)와 노선망 계획(18개 구간)을 검토한 결과, 당초 사용된 시·도별 인구 예측치가 평균적으로 13.6% 과다 예측된 것으로 나타났으며, 노

1) 오차율 = (실측교통량 - 예측교통량) / 예측교통량 × 100

선망 계획은 당초 완공예정연도보다 평균 2.7년이 지연되는 등 과다예측의 요인으로 작용할 수 있는 것으로 나타났다.

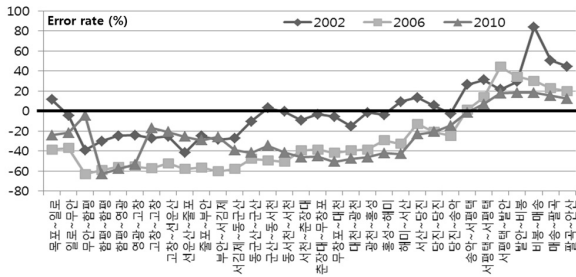


Fig. 2 Demand Forecasting Error Rate of Seohaean Expressway

기초자료 구축 단계에서 조사된 각종 사회경제지표 변수를 이용하여 오차율 추정 모형을 구축하기에 앞서, 본 연구에서는 지역적 특성(도시부, 지방부 등)이 실제 오차율 패턴에 영향을 줄 것으로 판단하고 이에 대한 검증 실시하였다. 사회경제지표 중 가장 대표적 특성으로 판단되는 영향권 인구를 대상으로 오차율에 대한 회귀분석을 실시한 결과, 상관계수는 0.508로 유의확률은 0.0001 이하로 나타났으며, 모형의 계수가 양의 값으로 영향권 인구가 증가할수록 오차율은 과대보다는 과소 추정될 여지가 높은 것으로 나타났다.

최종적으로 오차율 추정 모형에 활용되는 영향인자로는 사회경제지표(영향권인구, 1인당 자동차등록대수, 3차산업 종사자비율), 노선특성지표(월변동계수의 표준편차, 시단위 행정구역(도시)간 평균간격)이다. 또한, 접속노선 개통지연으로 큰 오차가 발생하는 것에 말미암아, 개통예정연도 이후 개통이 되지 않은 경우 해당 분기점까지의 거리를 모형에 입력하도록 하였다. 다만, 분기점과의 거리가 가까울수록 영향을 더욱 많이 받는 특성을 고려하고자 통상적인 분기점 간격이 200km를 넘지 않는 점에 착안하여 이의 절반인 100km를 특정 분기점의 최대 영향권으로 보고, 100-분기점까지의 거리를 실제 입력변수로 사용하였다.

3.4. 오차율 추정모형 구축

교통수요예측 오차율 추정모형의 기본 구조로는 오차율과 관련된 다양한 설명변수를 반영하여 단일모형 형태로 나타낼 수 있는 모형을 선정하고자 하였으며, 구조가 비교적 직관적이고 간단하여 여러 변수에 대한 조합 비교 등이 가능하며, 자료 특성에 따라 다양한 형태로 변환이 가능한 다중회귀모형을 최종적으로 선정

하였다.

분석에 앞서 설명변수간 상관분석을 실시한 결과 대부분 0.5 아래의 값으로 나타나 특별한 상관관계는 존재하지 않는 것으로 나타났다. 다중회귀모형 도출 결과, 수정결정계수는 0.486으로 전체의 절반에 다소 못 미치는 정도가 설명되는 것으로 나타났는데, 이는 모형에서 반영하지 못한 정성적 지표의 영향으로 파악된다. 또한 월변동계수의 표준편차는 분석과정에서 유의하지 않은 것으로 나타나 제외되었는데, 이는 분석 대상노선 간 월변동계수의 차이가 크지 않기 때문으로 해석된다. 설명변수별 계수와 유의확률, 다중공선성 검정을 위한 분산팽창인자(VIF)는 다음과 같다.

Table 2. Development Results of Forecasting Error Calibration Model

Variables	Coefficient	t-value	p-value	VIF
Constants	102.323	4.68	<.0001	0
Population(x100,000)	2.705	3.55	0.0005	1.268
Vehicle per person	-104.559	-2.80	0.0059	1.388
Tertiary Industries Employments Rate	-130.468	-6.56	<.0001	1.256
Avg. Interval of City	0.296	2.40	0.0176	1.467
Distance to Connecting Route	-0.299	-5.39	<.0001	1.130

(Error Calibration Model)

$$\text{Error Rate(\%)} = 102.323 + 2.705 \times (\text{Population}(x100,000)) - 104.559 \times (\text{Vehicle per person}) - 130.468 \times (\text{Tertiary Industries Employments Rate}) + 0.296 \times (\text{Avg. Interval of City}) - 0.299 \times (\text{Distance to Connecting Route})$$

분석결과 각 계수의 의미는 다음과 같다. 교통수요의 발생배경이 되는 영향권인구가 많을수록 오차율이 과소예측 경향을 나타내고 있으며, 1인당 자동차대수와 3차산업 종사자비율이 높을수록 과다예측의 경향이 나타나는 것으로 도출되었는데 이는 1인당 자동차대수가 대중교통이 열악한 지역(지방부)에서 높게 나타나 지방부의 교통수요 과다예측 특성을 반영하는 것으로 파악되며, 3차산업 종사자비율이 높을수록 통행유발원 인근의 인구 밀도가 높아져 지역간 이동보다는 지역내 이동이 발달하는 특성(김영모 외, 1992)에 의한 것으로 분석된다. 도시(시단위 행정구역)의 평균간격이 넓을수록 도시간 이동에 있어 고속도로 외 대체도로의 발달이 더디어 고속도로 이용 경향이 강해지는 것으로 파악된다. 또한 개통예정노선 분기점의 이격거리가 가까울수록 예측 당시 해당 노선을 이용하려는 수요가 많이 반영되어, 미개통 시 과다예측의 경향이 강해지는 것으로 나타나고 있다.

3.5. 모형 검증

개발된 모형의 적용을 통하여 기존 예측치에 비하여 실측치에 근접한 값을 나타내는지를 검증하고자 하였다. 적용 노선은 모형 개발 시 사용되지 않은 데이터를 대상으로 하며, 다양한 지역을 통과하는 서해안선 2010년 기준자료를 검증 대상 노선으로 선정하였다. 외생적 오차요인 중 영향권인구는 본 연구에서의 분석 대상노선(80개 구간) 평균 과다예측율인 13.6%가 동일하게 적용될 것으로 가정하고 해당 수치만큼 감소시켜 적용하였으며, 노선망계획은 예측보고서상의 당초 예정준공연도에서 본 연구 분석대상노선(80개 구간)의 평균 접속노선망 지연연도인 2.7년을 적용하여 분석하였다.

예를 들어, 서해안선의 당진IC~송악IC 구간은 당진 JCT에서 당진-상주선이 2002년 개통되는 것으로 예측 당시 반영된 바 있다. 오차율 보정 모형 적용 시에는 준공예정연도(2002년) 이후 노선망개통지연 2.7년을 반영하여 2005년 이후 준공되는 것으로 적용하고, 영향권 인구는 당초 규모의 88%(=100%/113.6%)가 반영되는 것으로 적용하였다.

이와 같은 개념을 적용하여 서해안선(2010년 기준)에 모형을 적용한 결과는 Fig. 3과 같으며, 대체적으로 예측치에 비하여 지방부의 과다예측과 도시부의 과소예측 경향을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

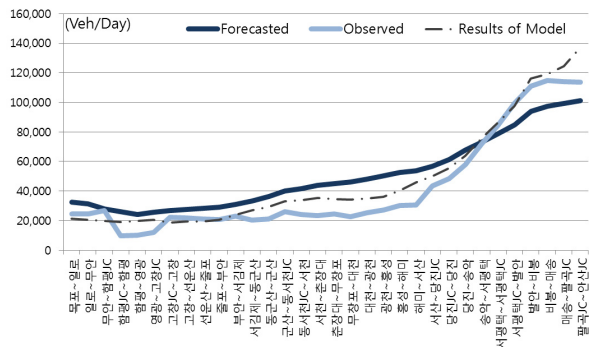


Fig. 3 Model Applied Results for Seohaean Expressway (as of 2010)

전 노선에 대한 모형 적용 결과의 오차율 절대값을 당초 예측치의 오차율 절대값과 비교한 결과, 당초 예측치의 평균 절대값 오차율 30.4%에서 21.9%로 오차율이 낮아지는 것으로 나타나 모형 적용이 예측 오차율을 개선시키는 것으로 나타났다.

3.6. 모형 적용 사례

본 연구에서는 2011년 개통된 “X 고속도로”와 2018

년 개통예정인 “Y 고속도로”를 대상으로 오차율 추정 모형을 적용하였다. “X 고속도로”는 117.8km 연장의 왕복 4차로 노선으로 3개 노선과 교차하는 지방부 노선이며, “Y 고속도로”는 146.6km 연장의 왕복 4차로 노선으로 6개 노선과 교차하는 지방부 노선이다.

장래 노선에 대한 적용 시에는 사회경제지표의 예측치가 활용되어야 하는 바, 영향권 인구는 KTDB의 인구 예측치 데이터를 활용하되 평균 과다예측비율을 적용하여 과다예측 경향을 보정하며, 1인당 자동차대수나 3차산업 종사자비율은 해당 지역의 가장 최근 데이터가 유지되는 것으로 가정하여 반영하도록 한다.

시단위 행정구역 평균간격은 “X 고속도로”의 경우 전체 연장(117.8km)을 시단위 행정구역 통과 개수(4개)로 나눈 29.45를 적용하였으며, “Y 고속도로”의 경우 전체 연장(146.6km)을 시단위 행정구역 통과 개수(3개)로 나눈 48.87을 적용하였고, 대상 노선과 접속되는 향후 신설 개통노선은 두 노선 모두 없는 것으로 조사되었다.

“X 고속도로”에 대한 모형 적용 결과, 도시부에 인접한 A~B, B~C 구간은 기존 예측치에 비교하여 -40% 가량의 오차율을 보일 것으로 예측되었으며, 지방부에 해당하는 나머지 구간은 -50% 내외의 오차율을 보이는 것으로 나타났다. 또한 “Y 고속도로”에 대한 모형 적용 결과 역시, 대도시권에 인접한 I~J, J~K 구간은 기존 예측치에서 큰 오차가 발생하지 않을 것으로 예측하였으나, 지방부에 해당하는 나머지 구간은 -20% 내외의 오차율을 보이는 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 가정이었던 지역적 특성에 따른 오차율 패턴 차이를 보여주고 있으며, 기존 노선에 대한 적용 결과와 유사한 형태를 나타냄으로써 장래 적용 시에도 큰 문제가 없을 것으로 판단할 수 있다. 다만 “Y 고속도로”에 비해 “X 고속도로”의 오차율 폭이 더욱 크게 나타난 것은 대체로 “X 고속도로” 구간 영향권의 인구가 더 적고 3차산업 종사자 비율이 높아 지역간 이동보다 지역내 이동이 발달하는 등의 원인이 작용한 것으로 파악된다.

본 결과를 참고하여 건설시기의 조정이나 단계적 확장 등 도로건설계획을 조정하여 건설 및 운영비 절감 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. “X 고속도로” 및 “Y 고속도로”의 개통예정연도(X: 2010년, Y: 2018년) 및 목표연도(수요예측 단계에서의 최종 예측연도, X: 2019년, Y: 2037년)의 추정 오차율(모형 적용 결과)은 다음과 같다.

Table 3. Model Applied Results for Expressway X (Error Rate(%))

	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I	I-J	J-K	K-L
2010	-42.5	-42.7	-50.8	-48.7	-53.8	-55.2	-55.2	-61.2	-60.5	-58.0	-55.5
2019	-43.3	-43.5	-51.1	-48.7	-53.9	-55.3	-55.3	-61.3	-60.6	-58.3	-55.7

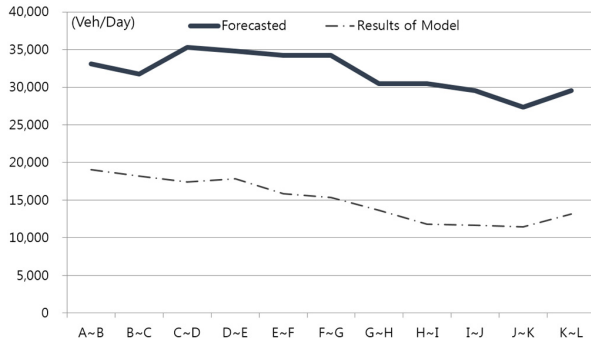


Fig. 4 Model Applied Results for Expressway X (as of 2010)

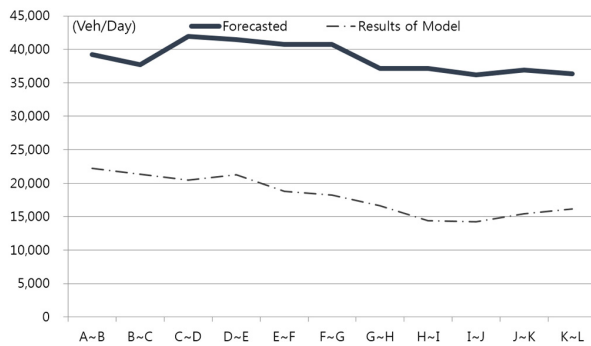


Fig. 5 Model Applied Results for Expressway X (as of 2019)

Table 4. Model Applied Results for Expressway Y (Error Rate(%))

	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I	I-J	J-K
2018	-20.5	-22.4	-22.7	-18.3	-11.9	-9.0	-12.0	-16.1	4.9	-0.1
2037	-20.6	-22.5	-22.9	-18.5	-12.0	-9.1	-12.0	-16.2	4.7	0.2

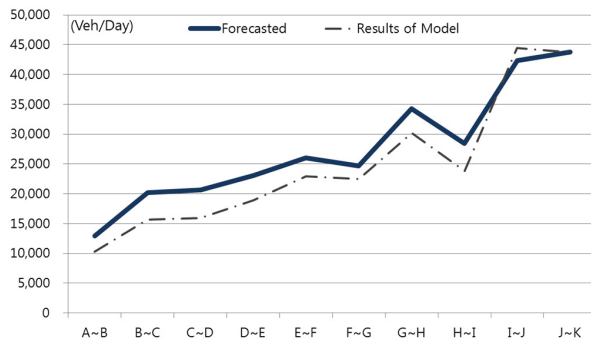


Fig. 6 Model Applied Results for Expressway Y (as of 2018)

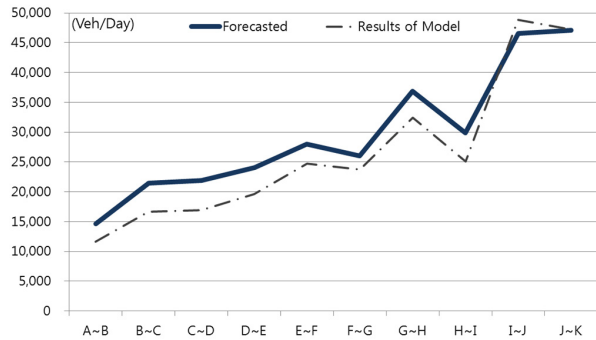


Fig. 7 Model Applied Results for Expressway Y (as of 2037)

4. 결론

본 연구에서는 기존의 교통량 예측이 실제 교통량에 많은 영향을 끼치는 사회경제적 불확실성을 고려하지 못하는 한계를 개선하기 위하여 영향권 사회경제지표 및 외생적 오차요인의 위험 요소를 반영한 교통수요예측 오차율 추정 모형을 개발하였다. 기존 연구에서도 교통수요예측의 오차를 개선하기 위한 노력은 있어 왔으나 본 연구에서는 불확실성을 지닌 오차요인의 평균 과다/과소 추정비율을 산출하여 적용함으로써 현실성 있는 교통량 오차율을 제시하고자 하였다. 그 결과 모형 검증 단계에서 기존 예측치의 평균 절대값 오차율이 8.5% 개선(기존 30.4% → 보정모형 적용 21.9%)되는 효과를 나타내어, 모형 적용이 예측 오차율의 불확실성을 반영하여 실측값에 좀더 가까운 범위를 제시하는 것으로 나타났다.

또한 본 연구에서 개발된 오차율 보정모형의 각 계수가 의미하는 바를 활용하여 교통수요 예측 과정의 신뢰성을 보완할 수 있는 여지가 존재한다. 특히 동일한 영향권 연구에서도 1인당 자동차 등록대수나 3차산업 종사자비율의 특성에 따라 과다예측 경향이 다르게 발생하는 것을 볼 때 향후에는 지역별로 통행 원단위 산정시 해당 요인들이 반영된다면 교통수요예측의 정확성을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

다만, 4단계 모형에 내포된 한계성을 수용하고 외생적 오차요인에 대한 영향만을 고려하였으며, 정량화되기 어려운 지표(예: 주변 네트워크의 형태 등)의 미반영, 영향권 사회경제지표 산정 시 시·군·구 행정구역 내에 사회경제지표가 동일 밀도로 분포하는 것을 가정한 점 등은 본 모형의 한계라 하겠다.

따라서, 향후 분석 데이터의 범위 확대와 함께 오차율에 영향을 주는 설명 변수의 추가 반영, 읍·면·동별 사

회경제지표 구축을 통한 정확한 영향권 지표 산출 등을 통해 모형의 신뢰도를 높일 수 있을 것이며, 수립된 모형을 이용하여 교통수요성장 패턴을 고려한 도로건설계획(이클테면 단계적 개통 또는 단계적 확장 등)을 수립하여 고속도로 건설비의 절감 및 경제적인 고속도로 운영의 효과를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2010-0029443)입니다.

References

- Cheng, J., Masser, I., 2003. Urban growth pattern modeling: a case study of Wuhan city, PR China, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 62. 199-217.
- Chung, Sungbong, Chang, S., 2007. *Demand forecasting errors in road projects: Causes and effects*, The Korean Transportation Institute, Goyang, Korea.
- Funderburg, R., Nixon, H., Boarnet, M., Ferguson, G., 2010. New highways and land use change: Results from a quasi-experimental research design, *Transportation Research Part A*, Vol. 44. 76-98.
- Harvey, M., 2011. *Review of traffic forecasting performance - toll roads*, Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics (for the Australian Department of Infrastructure and Transport), Canberra, Australia.
- Jung, Ilho, Oh, Sungho, 2005. Enhancement of reliability for traffic demand estimation -Focusing on interval estimation model for traffic demand-, *Korea Research Institute for Human Settlements*, Anyang, Korea.
- Kim, Kangsoo, 2007. *Rationalization for decision-making on SOC investment: Risk analysis of estimated road link traffic flow*, Korea Development Institute, Seoul, Korea.
- Kim, Youngmo, Lim, Gyungsook, 1992. A Study on the Urban Population Growth Impact by Manufacture and Service Industries, *Journal of Korean Urban Management Association*, Vol.5, pp. 43-56.
- Lee, Jaemin, Park, Sooshin, 2005. An estimation for highway trip demand functions based upon time series analysis, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 23. No. 7. 7-15.
- Muller, K., Steinmeier, C., Kuchler, M., 2010. Urban growth along motorways in Switzerland, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 98. 3-12.
- Noronha Vaz, E., Nijkamp, P., Painho, M., Caetano, M., 2012. A multi-scenario forecast of urban change: A study on urban growth in the Algerve, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 104. 201-211.
- Shim, Jaekwon, Jeon, B., Son, M., Kim, S., Hwang, J., Roh, H., Lee, J., Cho, C., Yoon, J., Kim, D., Lee, Y., Lim, D., Kim, J., 1999. *The analysis of social and economic effects of highway construction in Korea*, Korean Expressway Corp. Highway & Transportation Technology Institute, Hwaseong, Korea.
- Smith, N., Bain, R., Kanowski, S., 2011. *An Investigation of the causes of over-optimistic patronage forecasts for selected recent toll road projects*, GHD(for the Australian Department of Infrastructure and Transport), Canberra, Australia.

(접수일 : 2012. 7. 25 / 심사일 : 2012. 7. 25 / 심사완료일 : 2013. 4. 12)