

고속도로 교통수요 보정모형에 관한 고찰

이의준¹ · 김영선² · 이용주² · 오영태^{3*} · 최기주³ · 유정훈³

¹ 한국도로공사 스마트하이웨이사업단, ² 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과,
³ 아주대학교 교통시스템공학과

Compensation and Amendment of Highway Travel Demand Forecasting

LEE, Eui-jun¹ · KIM, Young-Sun² · Yi, Yong-Ju² · OH, Young-Tae^{3*}
CHOI, Keechoo³ · YU, Jeong Whon³

¹ The SMART Highway R&D Center, Korea Expressway Corporation, Gyeonggi 445-812, Korea

² Department of Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

³ Department of Transportation Systems Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

Abstract

In this study, a model of compensation and amendment of forecasted travel demand was developed to calculate the range of values depends on the changes in the risk factors, selecting factors that might affect traffic demand changes among risk factors. Selected factors are as follows: influenced area population, the number of registered vehicle per person, ratio of service industry workers, and city intervals. Then this model is applied to six routes of expressway and the calculated value were compensated with error rate being reflected on each quartile value with respect to influenced area population (200,000 people standards). Result from applying developed model to Cheongwon-Sangju expressway suggests that the model could compensate the error rate by more than 50%, which in turn validate the effectiveness of the model developed. Some limitations and future research agenda have also been identified.

본 연구에서는 장래 교통수요의 변화에 영향을 주는 요인을 위험요인으로 선정하여, 위험요인 변화에 따라 달라지는 수요예측 값의 범위를 제시할 수 있는 교통수요 보정모형을 개발하였다. 장래 교통수요의 변화에 영향을 주는 요인으로 영향권인구, 1인당 자동차 등록대수, 3차산업종사자 비율, 도시간격 등이 선정되었고, 이를 바탕으로 수요예측의 오차율을 산정하는 모형을 개발하였다. 6개의 고속도로 노선에 모형을 적용하여 대상구간의 영향권 인구(20만명 기준)에 따라 각각 다른 사분위값을 반영하여 교통수요예측 결과의 오차율을 산정하여 수요예측을 보정하였다. 개발된 모형을 청원-상주 고속도로에 적용해 본 결과, 교통량 오차율의 차이를 50% 이상 보정 가능한 것으로 분석되어 본 연구를 통해 개발된 모형이 효과가 있음을 검증하였다. 또한 논문의 말미에 본 연구의 한계와 논문의 향후 연구과제에 대해서도 논하였다.

Key Words

4-step Travel Demand Model, Amendment of Forecasted Travel Demand, Compensation of Forecasted Demand, Expressway Travel Demand, Quartile Value

교통수요의 보정, 4단계 교통수요모형, 예측수요의 보정, 고속도로 교통수요, 4분위수

* : Corresponding Author
ytoh@ajou.ac.kr, Phone: +82-31-219-2537, Fax: +82-31-215-7604

Received 10 January 2013, Accepted 30 April 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도로는 물류비용절감과 함께 국가경쟁력을 높이고 국민의 삶의 질 향상에 기여했을 뿐만 아니라 일상생활에서 매일 접하는 우리 삶의 일부가 되었다.

하지만, 우리나라의 경우 경제규모가 세계 10위권임에도 불구하고 차량 1대당 고속도로연장은 OECD 30개국 중 17위, 전체도로는 29위로 선진국에 비하여 부족한 상태이며, 이렇게 도로가 부족한 상황임에도 불구하고 도로에 대한 과투자 및 중복투자에 대한 논란은 현재까지도 지속되고 있는 실정이다. 이러한 논란은 장래 교통수요 예측의 정확성 부족으로 도로의 실제교통량이 계획당시의 예측교통량에 비해 현저히 미달되는 일부구간이 발생하고 있으며, 최근에도 교통량 예측이 과다하게 산정된 도로사업에 대한 사업재검토가 불가피한 사례가 여전히 발생하고 있다. 따라서, 도로 사업에 대한 신뢰성 확보를 위해서는 공용중인 고속도로의 실제 교통량과 수요예측당시 계획교통량을 비교·분석하여 오차원인을 찾아내어 이를 해결함으로써, 교통 수요예측을 현재보다 좀 더 정확하고 합리적으로 수행하는 것이 무엇보다 시급한 실정이다.

현재 고속도로 건설을 위한 장래 교통수요예측의 방법으로 주로 전통적인 4단계 교통수요예측 방법을 이용하여 교통수요예측을 수행하고 있다. 4단계 교통수요예측은 현재까지 사용하고 있는 수요예측의 방법 중 가장 좋은 방법으로 평가되고 있으나, 장래 교통수요예측의 결과값을 하나의 수치로 제시한다는 측면에서, 그 값이 정확하지 않을 경우에 대한 위험부담이 크기 때문에 현실적인 우려점은 지속적으로 제기되어 왔다.

그러나, 주목할 점은 이러한 부정확한 교통수요의 예측은 현행 수요예측의 방법이 잘못된 것이라기보다는, 교통수요를 예측함에 있어 반영되는 변수(개발계획, 노선망 변화 등)의 값이 예측을 수행했던 당시와 규모, 시기 등의 측면에서 다르게 변화하는 등 불가항력적인 요소가 큰 원인 중의 하나로 작용하고 있기 때문이라는 것이다. 이러한 불가항력적인 원인을 줄이고자, 교통수요에 영향을 미치는 요인의 특성파악 및 이것이 교통수요에 어떻게 영향을 미치는가에 대한 분석의 필요성이 제기되고 있다.

이에 본 연구에서는 수요예측에 영향을 주는 요인을

파악하고, 이 중 장래 교통수요의 변화에 크게 영향을 줄 수 있는 요인을 위험요인(Risk Factors)으로 선정하여, 이러한 위험요소가 변화함에 따라 달라지는 수요 예측값의 범위의 폭을 제시함으로써, 하나의 수치가 아닌 수요값의 범위를 제시할 수 있는 교통수요 보정모형을 개발하고자 한다. 뿐만 아니라, 이를 바탕으로 고속도로의 적정 건설시기 등 단계적 건설 방안을 수립하여 투자 우선순위의 책정, 효율적인 건설비의 집행 및 최적의 고속도로 건설에 그 목적이 있다고 하겠다.

본 연구의 시간적 범위는 고속도로 개통 이후 최대 10년까지의 시간을 분석기간으로 설정하였으며, 공간적 범위는 전국의 고속도로(1차적 범위)를 원칙으로 하되, 필요시 고속도로 대체 국도 및 인접 도로(2차적 범위)를 포함하는 것으로 설정하였다.

II. 이론적 고찰

1. 기존 4단계 교통수요예측 방법론 고찰

교통시설 투자 사업에 대한 타당성 분석은, 교통시설을 건설하는데 소요되는 비용과 이로 인해 발생하는 편익의 비교를 통해 분석이 가능하며, 교통수요는 이러한 타당성 평가 시 비용과 편익 추정에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 교통수요의 추정을 통해 대상 사업의 추진 여부 및 투자 우선순위 등을 평가하며 교통시설에 대한 적정 공급 규모 산출, 교통시설 건설로 인한 주변 지역의 영향 분석에도 활용할 수 있다.

우리나라의 경우 4단계 모형이 내포하고 있는, 교통수요 추정과정의 단계적 일관성이 비전문가라도 이해가 용이하기 때문에, 대도시권은 물론 지역 간 교통수요 추정에 가장 많이 활용되고 있다. 4단계 교통수요 추정방법은 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배정의 4단계로 나누어 순차적으로 교통존(traffic zone)을 기반으로 교통수요를 추정하는 방법으로 『공공교통시설사업 투자평가지침』 등에서 수요예측의 기준으로 제시되고 있다.

Lee et al. (2007)은 교통수요예측을 위해서는 교통수요모형의 설명변수로 활용되는 특정 입력자료가 필요하지만 정확한 입력자료를 확보하는데 한계가 존재한다고 언급하고 있다.

Lim et al. (2007)은 각 단계별로 오차가 누적되는 경향이 있고, 현재의 사회경제 패턴이 장래에도 유지된다

는 가정을 가지고 있어, 이런 기본가정이 만족되지 않을 경우 오차가 발생할 수 있기 때문에, 이런 오차의 원인과 사용되는 모형의 구조적인 한계를 감안해야 한다고 제시하고 있다.

2. 국내의 교통수요예측 관련 연구

Chung et al. (2007)은 도로교통수요 분석과정에 서 발생할 수 있는 오차 유형을 4단계 과정의 각 단계별로 체계화하고, 2000년 이후 개통된 재정투자 고속도로 사업 4개 구간과 민자도로 3개 구간 등 총 7개 구간에 대한 사례 분석을 통해 관련계획 실현의 불확실성과 기초자료, 특히 부정확한 기·종점 통행량이 주요 오차 원인을 밝혔다. 이후 Monte Carlo Simulation (MCS) 기법을 활용하여 오차요인별 영향을 분석한 결과 재차인원 및 관련계획에 따른 수요 변동폭이 가장 큰 것으로 나타나, 기종점통행량이 수요분석 결과의 신뢰도에 가장 큰 영향을 미치고 있다고 분석하였으나, 비교기간을 3년 이내로 제한하여 오차율의 연도별 변화추세의 파악은 이루어지지 않았다는 한계가 존재한다고 제시하고 있다.

Chung et al. (2005)은 통행수요 추정과정에서 이용되는 다양한 입력 자료의 불확실성을 수요추정과정에 반영하여, 장래통행수요 예측시 신뢰수준을 판단할 수 있는 가이드라인을 제시하고자 하였다. 유발수요 미반영으로 인한 과소추정과 교통수요예측모형의 유의성 문제를 지적하였으며, 이후 4단계 통행수요 추정 방법을 고찰하고, 통행발생 단계의 회귀모형에 신뢰구간(95%) 추정방식을 도입하여 기존의 점추정이 아닌 구간추정 방식으로 통행발생량을 산출하여, 수요분석의 가변성이 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

Flyvberg (2005) 및 Flyvberg et al. (2006)은 지난 30년간 유럽 14개국에서 수행된 철도 26개 사업과 도로 208개 사업을 조사하여 관련계획의 불확실성을 도로사업의 수요추정 2대 오차 중 하나로 제시하고 있다. 2대 오차는 '통행발생단계의 오차'와 '토지 이용계획의 불확실성 오차' 등이며, 토지이용계획의 불확실성은 계획 대비 이행의 차이로 발생하는 것으로 밝히고 있다.

Cervero et al. (2002)은 파생교통수요와 파생 도로투자가 다양한 경제적, 지리적, 환경적변수에 영향을 받고 있음을 연립방정식 모형을 이용하여 추정하였다. 파생교통수요에 도로용량과 1인당 소득은 정(+)의 효과를, 유가

는 부(-)의 효과를 미친다는 것을 캘리포니아의 34개 카운티의 22개 연도 자료와 3SLS추정방식으로 입증하였다.

Dargay et al. (2002)의 연구는 전체자료와 시계열 자료를 이용하여 통행수요함수를 추정하였다. 해당 연구에서는 영국의 버스, 승용차, 철도의 통행수요와 도로연장, GDP, 그리고 가격변수와의 관계를 시계열 분석을 이용하여 추정하였다. 개별 변수에 대한 단위근 검정과 공적분 검정을 시도하였으며 단순회귀분석, 오차수정모형, 그리고 SURE 모형을 이용하여 추정하였다. 그리하여 도로연장, GDP, 그리고 가격변수들이 다양한 수송수요에 미치는 효과를 분석하였다.

Guo et al. (2004)은 교통과 토지이용의 상관관계 중 특히 주거지 선택의 행태를 연구하면서 연구자가 설정하는 존재계(주로 기구축 DB 활용)와 의사결정자가 인지하는 존재계의 차이로부터 공간단위 수정가능성 문제(MAUP: Modifiable Areal Unit Problem)가 발생하는 것에 착안하고 다규모 모형화(Multiscale Modeling Structure)를 대안으로 제시하고 있다. 이 접근법은 존을 census, block, track의 3단계로 구분하고 각 위계별 주거지 속성변수를 별도로 구축함으로써 MAUP의 완화를 시도하고 있다.

Boyce et al. (1981)은 통행배정방법과 링크지체함수의 차이에 따른 통행배정 결과의 차이를 살펴보고 있다. 전량배정법(All-or-Nothing)과 균형배정법에 대해서 링크지체함수로 Davidson식을 적용하였을 때와, US FHWA(The Federal Highway Administration)식을 적용하였을 때의 실측교통량과 배정교통량을 비교하고, 경로간 통행시간과 거리의 변동계수 등을 살펴본 결과 통행배정 방법과 링크지체함수에 따라, 결과가 서로 달라질 수 있다는 것으로 보고하고 있다.

Bovy et al. (1983)의 연구에서는 네덜란드의 Eindhoven 지역 자료를 이용한 사례분석에서 균형배정 방법과 전량배정방법에 대하여 네트워크의 상세성을 높음(detail), 보통(medium), 낮음(coarse)으로 나누어 분석한 결과 네트워크의 상세성이 통행배정 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 제시하였으나, 어느 수준 이상에서는 차이가 크지 않은 것으로 보고하고 있다.

그 밖에도 Fulton et al. (2000)은 미국 4개주(MD, NC, VI, DC)의 자료를 이용하여 고속도로 용량, 1인당 소득, 인구가 교통수요에 미치는 영향을 추정한 결과, 고속도로 용량은 교통수요에 정(+)의 효과를 가지는 것으로 나타난다는 것을 분석하였으며, Hansen et al. (1997)은 캘

리포니아의 카운티별(county), 대도시별(MSA) 자료를 이용하여 고속도로통행수요와 차로감안 연장, 인구, 소득, 유가의 관계를 추정한 결과, 차로감안 연장, 인구, 소득은 고속도로통행수요에 정(+)의 효과를, 유가는 부(-)의 효과를 나타내는 것을 입증하였다.

3. 시사점

기존의 교통수요예측방법은 일반적으로 20년을 목표로 하는 목표연도의 수요예측값과 목표연도까지를 5년 단위로 수요예측값을 제시하는 것에 반해, 본 연구에서 실시하는 수요예측방법은 목표연도까지 연단위로 위험요소의 변화폭에 따른 수요예측 값의 범위를 제시하는 방법이다. 이는 외부요인의 불확실성 추세를 반영할 수 있는 오차를 사분위값에 의한 교통수요예측의 구간 범위값을 산정하는 것으로서, 각 연도별 예측교통량을 구간범위로 제시함으로써 효과적인 의사결정 지원을 가능하게 할 수 있는 방법이다.

기존 연구 검토 결과 수요 예측시 각 단계별 오차발생 요인 분석 및 오차 완화를 위하여 구간추정 개념의 도입을 제시한 사례는 있었으나, 실제 적용방안에 대한 고려가 미흡하여 본 연구에서는 보다 구체적인 적용방안을 제시하게 되었다.

또한 기존 고속도로의 교통량을 검토한 결과, 지역에 따라 개통 후 실측교통량이 예측통행량에 비해 많지 않은 경우 적자운영을 지속해야 하는 구간이 있을 뿐만 아니라, 반대로 실측교통량이 예측통행량에 비해 많은 경우에는, 상습적인 교통혼잡이 발생하는 구간이 존재하여, 이를 해결하기 위해 도로용량을 증가시켜야 할 해결방안을 필요로 하는 구간이 존재한다.

이에 수요의 예측에 영향을 주는 위험요소가 지역별로 미치는 영향의 정도가 상이할 수 있으므로, 이것을 파악하기 위해 고속도로를 지역별로 구분하여 지역 유형에 따른 고속도로 교통수요의 변화에 대한 분석을 실시하고, 지역별로 각 위험요소의 특성분석을 실시하였다.

이는 기존의 수요예측에서는, 교통수요의 변화 또는 수요에 영향을 미치는 요소가 지역적으로 차이를 나타낸다는 개념을 도입하지 않았기 때문에, 이러한 측면에서 기존의 수요예측방법과는 그 차별성이 있다고 하겠으며, 이러한 위험요소의 영향도를 고려하지 않고 단지 수요예측 값의 변화에 대한 영향만을 분석하는 기존의 민감도 분석과도 차별성이 있다고 하겠다.

III. 고속도로 수요 특성

1. 대상노선 선정

고속도로 교통 및 사회경제지표 분석에서는 서해안선, 익산-포항선, 중부내륙선, 영동선, 남해제1지선, 논산-천안선, 중부선, 제2중부선, 평택-계천선으로 연구대상 노선을 선정하고, 이를 바탕으로 기존 고속도로의 교통(교통량, 소통)현황 및 고속도로 주변 지역의 사회경제지표(인구, 자동차 등록대수, 사업체·종사자수)를 분석하여, 과거 고속도로 개통이후 고속도로 교통량의 증가 추이 및 교통수요 변화에 영향을 미치는 요소(인근 주변 도시의 사회경제지표)의 특성 파악을 실시하였다.

연구대상으로 선정된 9개 노선은 도로업무편람(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)에 제시하고 있는 공용중인 31개 고속도로 노선 중 국가교통DB 구축(1999)과 수요안정화 기간(개통 후 램프업종료시점(5년 이상))을 고려하여 2000년 이후 개통된 도로이며, 전체 노선 연장의 50% 이상이 2000년 이후에 개통되었을 경우, 2000년 이전에 개통된 구간도 대상노선으로 선정하되 분석기간의 범위를 2000년 이후로 동일하게 설정하는 것을 대상노선의 선정기준으로 두었다.

2. 고속도로 교통 및 사회경제지표 분석

교통현황에서는 기존 고속도로의 교통량의 변화 추이 및 고속도로의 소통상태에 대한 분석을 실시하여, 고속도로 교통수요의 변화를 파악하였다. 교통현황 분석 결과, 교통량은 대체로 수도권에 위치한 구간에 통행량이 집중되는 현상이 발생하고 있으며 반면에 수도권에서 이격거리가 멀어질수록 교통량은 작은 것으로 분석되었고, 고속도로 개통 후 2010년까지의 증감추이를 살펴볼 때, 대부분의 구간이 지속적으로 증가하는 형태를 나타내지만 특히, 수도권의 경우 급격한 증가율을 갖는 것으로 분석되었다. 이는 수도권의 대단위 택지개발사업 및 각종 산업 및 사업체의 입지 등으로 인해 수도권에 교통이 집중되는 현상의 일환으로 나타나는 현상으로 분석되었다.

소통 현황에서는 침투시간의 도로 운영현황을 분석한 결과 수도권에 중심으로 상습정체가 발생되고 있으며, 수도권에서 이격거리가 먼 구간에서의 소통 현황은 대체로 원활한 소통현황을 보이는 것으로 분석되었다.

사회경제지표 분석에서는 해당 고속도로 노선이 경유

하는 지역을 범위로 인구, 자동차 등록대수, 사업체·종사자수 등을 분석하였으며, 그 결과 수도권 중 일부 지역은 택지개발로 인해 사회경제지표가 급격히 증가하였으나, 개발계획이 없는 지방부의 경우는 그 변화가 거의 없거나 감소하는 것으로 분석되었다.

고속도로 주변 개발계획의 경우 택지개발은 주로 수도권, 대도시권에 집중되어 분포해 있고 택지개발의 규모 또한 지방의 그것보다 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 아울러 고속도로의 신설·확장 구간을 분석한 결과 신설 노선이 생긴 지역 중 거의 모든 지역의 교통량이 증가하였으며, 사회경제지표 또한 증가하는 것으로 나타났다.

3. 고속도로 개통영향 분석

고속도로 개통영향 분석에서는 고속도로가 개통된 후 초기 교통수요의 특성에 대한 분석을 수행하였으며, 이를 위해 초기 교통수요가 나타나는 기간을 램프업이 완료되는 시점까지라고 규명하고, 초기 교통수요 분석을 실시하기 위하여 램프업이 완료되는 시점을 산정하였다.

또한 고속도로 개통으로 인해 발생하는 주변 지역의 사회경제지표 변화에 대한 영향을 살펴보기 위해, 시계열 분석을 통한 고속도로 개통으로 주변 사회경제지표의 특징이 변하는 시점을 산정하였다.

그 결과 산정기간은 각 노선 및 구간의 특징에 따라 4-52개월에 해당하는 것으로 분석되었으며, 수도권 및 대도시권역에 인접한 구간일수록 산정기간이 8-32개월, 수도권 및 대도시권역에 멀어질수록 16-52개월로 비교적 길게 나타나는 것으로 분석되었다.

고속도로 개통과 사회경제지표와의 상관분석에서는 시계열 분석을 이용하여 고속도로 개통이 사회경제지표에 영향을 미치는 것에 대한 분석을 실시한 결과 고속도로의 교통량과 인구, 자동차 등록대수, 종사자수, 사업체수에 대해서 고속도로 개통이 지역별로 상이한 결과를 가져왔으나 일반적으로는 1-4년(인구는 2-12년) 후에 변화가 발생하는 것으로 분석되었다.

4. 고속도로 기존 교통수요 예측과정의 분석

기존 수요예측 결과 분석에서는 대상노선의 수요예측 분석 당시 전제조건 및 수요예측과정을 검토하였으며, 수요예측 시 발생할 수 있는 관련계획 및 사회경제지표의 불확실성인 외생적 오차에 대한 오차요소의 원인에

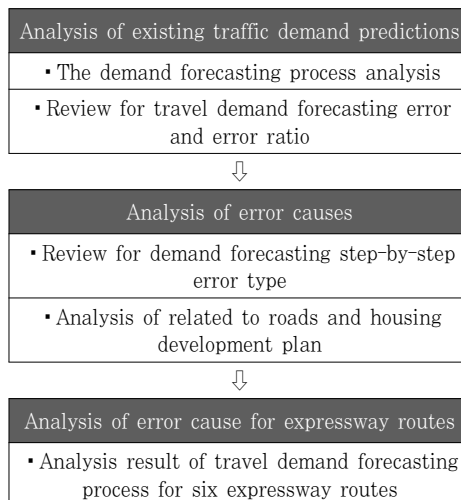


Figure 1. Travel demand forecasting process analytical procedures

대한 분석을 실시하였다.

분석 결과, 택지개발의 규모 및 준공연도의 변경, 집속노선망의 준공연도가 변경되는 것이 장래 교통수요 추정의 오차 요소로 작용하는 것으로 나타났다.

즉, 사회·경제적으로 어느 정도 안정화되어 있는 선진 외국과는 달리 우리나라의 경우 급격한 경제성장을 이루어 왔기 때문에 장래 국가 및 지역의 각종 사회경제지표 값의 추정 정확도가 절대적으로 낮았던 것이 사실이며, 이런 부정확한 기초자료가 장래 교통수요예측과정에 반영되어 예측결과의 정확도를 떨어뜨렸던 것으로 판단된다.

IV. 교통수요 보정모형의 개발 및 검증

1. 교통수요 보정모형 개발

교통수요예측에 사용되는 사회경제적 데이터의 불확실성이 교통수요 예측에 가변적인 요소로 작용하고 있는 바, 불확실성을 반영한 교통수요예측이 필요함에 따라 본 모형에서는 위험요인분석개념이 도입된 구간 추정값을 제시하여 외부 요인의 불확실성을 반영하고자 하였다.

본 모형은 기존 4단계 교통수요 예측모형을 대체할 수 있는 모형이 아니며, 획일적인 분석 과정과 가변적 요소에 대한 불확실성 미반영 등에 의해 발생하는 고속도로 예측 교통량 오차의 경향성을 파악하고자, 각종 오차 요인을 모형 변수로 선정하여 교통수요 보정모형을 개발하였다.

Table 1. The quartile values of socio-economic indicators and housing development, expressway construction

Quar-tile value	Influ-enced Area of Popu-lation	Vehicle Regis-tration per person	Tertiary Industry ratio of workers	Housing Development (LH)		Housing Development (Municipality)		Express-way construction delayed (year)
				Delay (year)	Comp-letion	Delay (year)	Comp-letion	
75%	98%	107.3%	104.5%	1.0	101%	2.8	101%	1.0
Average (50%)	88%	111.1%	108.3%	2.3	96%	3.8	92%	2.7
25%	72%	117.7%	111.8%	3.0	86%	4.3	83%	5.0

본 연구에서는 구조가 비교적 직관적이고 간단하며 여러 변수에 대한 조합 비교 등이 가능하여 자료의 특성에 따라 로지스틱 모형 등 다양한 형태로 변환이 가능한 다중회귀분석을 활용하여 모형을 수립하였다. 본 연구의 대상 노선 9개 중 영동선(확장개통), 제2중부(기존 중부선 우회), 남해제1지선(남해선 우회) 등 3개 노선은 교통수요형성특성이 타 노선과 달라 제외하였고, 서해안선 등 6개 노선의 80개 구간에 대하여 오차율¹⁾ 비교시 사용된 각 2-3개년도의 총 171개 구간의 자료를 구축하여 연구를 진행하였다. 또한, 고속도로 구간의 영향권 설정에 대한 뚜렷한 기준이 없어, Sim et al. (1999)의 연구 결과(고속도로의 IC로부터 가장 영향을 많이 받는 구간을 직접영향권으로(10km 이내 또는 20분 이내 지역) 설정)를 참조하여 구간의 양 끝 IC로부터 10km 이내로 설정하였고, 해당 영향권 내 각 행정구역의 사회경제지표를 면적 비율(동일 밀도 분포 가정)로 환산하여 집계하였다.

분석결과 개별 노선 구축사업의 불확실성을 일일이 예측하기에는 어려움이 따르므로 예측인구의 오차 및 계획실현현황의 평균 및 25%, 75% 사분위값을 사용하여 일반적인 경향을 도출하였다. 또한 Table 1과 같이 모든 사업이 예정대로 진행되는 경우, 모든 사업의 지연 및 규모가 25%, 평균, 75% 사분위값에 해당하는 경우를 상정하며, 25% 사분위 값 및 평균값에 해당하는 경우를 추가 제시하여 향후 정책수립 시 효과적인 의사결정에 기여하고자 하였다.

각 설명변수가 오차율에 직접적으로 영향이 있다고 할 수 있는지를 알아보기 위하여 각 설명변수와 종속변수(오차율)간 상관분석을 실시한 결과, 설명변수 간에는 두드러지게 높은 상관관계가 존재하지 않는 것으로 분석되었으며, 다중공선성(multicollinearity) 문제 또한 없

(error rate) = 122.660
 + 2.030*(influenced Area of Population(100,000 person))
 - 132.301*(number of registered vehicle per a person)
 - 121.028*(ratio of service industry workers)
 - 214.014*(standard deviation of coefficient of variation for monthly)
 + 0.393*(city intervals)
 - 0.184*(100 - distance to J/C of not opening within 100km(km))

Figure 2. Development of compensation/amendment of forecasted travel demand model

는 것으로 확인되었다(모든 변수의 VIF 값이 1-2 수준). 분산분석 결과 F값은 33.80(유의확률 0.0001 이하)로 모형은 유의한 것으로 나타났으며, 조정된 결정계수(Adjusted R²)는 0.506으로 나타났으며, 최종적으로 오차율에 대한 회귀모형식을 다음과 같이 제시하였다.

각 변수의 의미는 다음과 같다. 영향권 인구가 많을수록 과소예측(양의 오차율)의 경향을 보이며, 1인당 자동차등록대수는 대체로 대중교통 여건이 열악한 지역(지방부)일수록 높은 수치를 보이는데, 해당 특성을 나타내는 지역(지방부)은 다른 요소들이 복합적으로 작용하여 과다예측(음의 오차율)의 경향이 나타나며, 또한 3차산업 종사자비율이 높을수록 지역 간 이동보다는 지역 내 이동이 발달하는 특성으로 말미암아 과다예측 경향이 커지는 것으로 나타났다. 월별통계수의 표준편차가 클수록 일상적 통행보다는 비일상적 통행을 처리하는 특성을 나타내며, 비일상적 통행은 외부 요인에 대해 더욱 민감하게 반응하므로 과다예측 경향이 커지며, 도시간격이 클수록 도시 간 이동에 있어 국도/지방도 등 대체도로가 발달되지 못하여 과소예측의 경향이 커지는 것으로 나타난다. 또한, 미개통JC까지의 거리가 가까울수록 예측 당시 해당 JC를 이용하여 신설 노선을 이용하려는 수요가 높아질 것이며, 접속노선 미개통시 이러한 접속노선 이용 수요가 제외되는 폭은 미개통JC가 가까울수록 커지기 때문에 과다 추정 경향이 강해진다고 볼 수 있다.

Durbin-Watson(DW) 검정, 영향관측점(Influential Observation) 여부 파악, 표준화 잔차도표의 히스토그램과 정규확률도표를 통한 정규성 검정 등을 시행한 결과 모형에 통계적 문제는 없는 것으로 나타났다. DW 검정법은 통계량 d의 값은 0-4까지 가질 수 있으며 2에서 멀리 떨어질수록 오차항에서 독립적이라고 할 수 없는 것으로 판단한다. 본 모형의 DW 통계량을 통계 패키지

1) (실측교통량-예측교통량)/(예측교통량)

를 통해 산출한 결과는 0.956으로 잔차항들의 독립성은 어느 정도 확보되고 있는 것으로 분석되었다.

다음으로 회귀식에 크게 영향을 미치는 이상점이 있는지를 진단하고자 영향관측점(Influential Observation) 여부를 파악하였다. 영향관측점은 회귀계수를 포함한 모수의 추정에 큰 영향을 미치는 관측점으로, 일반적으로 어느 점이 영향관측점인지를 판단하는 기준으로는 해당하는 점이 분석에 포함된 경우와 포함되지 않은 경우에 분석결과에 얼마만큼의 차이가 있는가를 고려하는 방법이다. 영향관측점 여부를 파악하기 위하여 공분산비율(COVRATIO), 적합값 변화(DFFITs), Cook의 통계량(COOKD)을 각 데이터별로 산출한 결과, 각 판단기준치를 상회하는 데이터는 없는 것으로 나타나 전체 데이터가 적합한 것으로 분석되었다.

마지막으로, 표준화 잔차도표의 히스토그램과 정규확률도표를 통한 정규성 검정을 시행하였다. 표준화 잔차도표를 통하여 잔차의 히스토그램이 정규분포곡선과 유사하게 나타남을 확인하여 정규성 조건을 만족하고 있음을 확인하였으며, 정규 확률도표에서 대각선으로 표시된 직선에 표준화된 잔차가 일치하는 경향을 보이고 있어, 정규분포를 나타냄을 확인하였다.

2. 교통수요 보정모형의 적용결과 및 검증

본 모형에서는 위험요인 분석개념이 도입된 구간추정값을 제시하여 외부요인의 불확실성을 반영하는 것이 목적으로, 외부요인(택지개발계획, 노선망계획)이 모두 계획대로 시행되는 상황과 가장 부정적인 상황을 각각 가정하여 모형에서 도출되는 최대값과 최소값 사이의 범위를 구간추정 범위로 지정하였다.

서해안선에 대한 모형 적용 결과, Figure 3와 같이 도시부의 과소예측 경향과 지방부의 과다예측 경향에 잘 맞는 것으로 나타났으며, 지방부의 경우 대체로 25% 범위, 도시부의 경우 구간에 따라 당초(100%) 또는 75% 범위가 실측치와 가장 가까운 값을 보였다.

논산-천안선에 대한 모형 적용 결과, Figure 4와 같이 전체적으로 25-50% 범위 값과 실측치가 가장 근접한 것으로 나타나고 있으며, 대도시권역(천안아산권)에 인접할수록 교통량이 증가되는 것으로 예측되었으나 실제 증가폭이 크지 않아 오차가 커지는 것으로 분석되었다.

위의 결과 및 분석 대상 노선에 적용 결과를 종합해보면 지역적 특성에 의하여 특정 범위값이 실측값과 잘 일

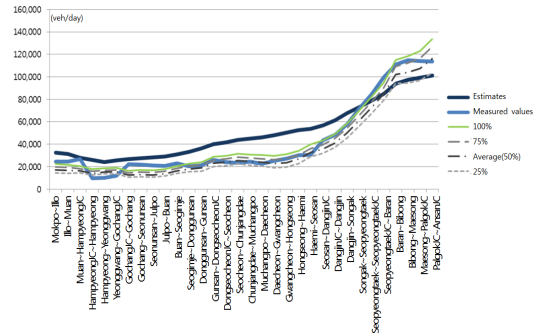


Figure 3. The application results of the model - Seohaean Expressway(2010)

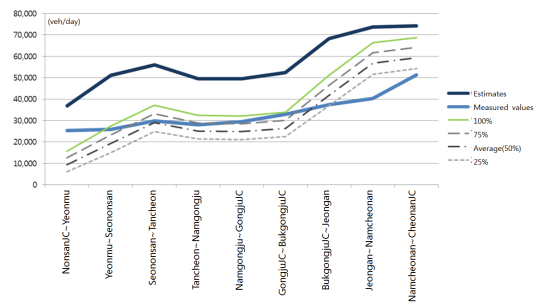


Figure 4. The application results of the model - Cheonan-Nonsan Expressway(2010)

Table 2. Quartile-value for influenced area of average population

quartile	100%	75%	50%	25%
influenced area of average population (person)	352,668	310,869	257,013	135,205

치하는 경향은 뚜렷하게 나타나지 않고 있으나, 영향권인 구 약 20만명 이상의 대도시 권역은 타 지역에 비해 교통량 감소폭이 크지 않아 당초(100%) 범위가 실측치와 가장 가까운 것으로, 이외 지역의 경우 25% 범위가 실측치와 가장 가까운 것으로 분석되었다. 다만, 미개통 JCT가 인접한 경우에는 지역에 관계없이 25% 범위가 실측치와 가장 가까운 경향을 나타내는 것으로 분석되었다.

본 연구의 분석 대상 구간 각각에 대하여 모형에서 도출된 결과 중 각 사분위 값이 실측값과 가장 근접한지를 분류한 뒤, 각 사분위 값에 해당하는 구간별 평균 영향권 인구를 산정한 결과는 Table 2와 같다. 분류 결과 특히 사분위값 25%와 50% 사이에서 큰 폭의 차이가 발생하여 이에 따라 영향권인 인구 20만명을 도시부와 지방부의 경계값으로 정하였다.

Table 3. How to apply for quartile values

corresponding section influenced area of population	Influenced area of population of both sides connecting section	apply quartile values
more than 200,000 people	more than 200,000 people of both sides of two section	100%
	less than 200,000 people of both sides or one of both sides	75%
less than 200,000 people	more than 200,000 people of both sides or one of both sides	50%
	less than 200,000 people of both sides of two section	25%

Table 4. Example - How to apply for quartile values

Section	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I
Influenced Area of Population	less than 200,000 people	less than 200,000 people	less than 200,000 people	more than 200,000 people	more than 200,000 people	more than 200,000 people	less than 200,000 people	less than 200,000 people
apply for quartile values	25%	25%	50%	75%	100%	75%	50%	25%

본 연구에서는 20만명의 경계부인 구간에서 전이효과를 반영하기 위해 Table 3 및 Table 4와 같이 사분위값의 반영 방법을 제안하고자 한다. 이는 전후 구간이 모두 영향권 인구 20만명을 넘거나 넘지 않는 경우에는 각각 100%, 25% 값을 적용하되, 전후 구간이 20만명을 기준으로 나뉘는 경우 20만명을 넘는 경계 구간은 75% 값, 20만인을 넘지 않는 경계 구간은 50% 값을 적용하는 것을 의미한다.

모형 도출에 사용된 고속도로 구간 외 다른 구간에 대한 모형 적용을 통해 향후 적용시에도 일반적인 특성을 도출해낼 수 있는지 검증하고자, 최근(2007년 11월) 개통된 구간인 당진-상주고속도로(청원-상주구간)을 대상으로 2009, 2010년 데이터를 이용(2008년 데이터는 램프업을 고려하여 제외함)하여 모형을 적용한 결과는 Table 5와 같으며, 대체적으로 오차율을 절반정도로 감소시키는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 외생적 오차요인이 존재하지 않아 사회경제지표(영향권 인구), 1인당자동차보유대수, 3차산업중사자비율의 변화에 대한 영향이 반영되었다.

본 연구의 분석 대상구간이 2000년대 전후로 건설된 주요간선노선임에 비하여 최근에 건설되는 고속도로는 기존 도로축을 보조하는 역할로 활용되고 있어 고속도로 개통에 따른 영향력이 크지 않아, 예측교통량 오차율이 과다예측 되는 경향은 더욱 커지는 추세를 보이고 있다.

분석대상 이외의 노선인 청원-상주구간에 대한 모형

Table 5. The application results of the model -Cheongwon-Sangju Expressway(2010)

section	estimates (veh/day)	measured values (veh/day)	error rates (%)	모형 사분위값 적용시 오차율 (%)			
				100%	75%	50%	25%
Cheongwon JCT -Munui	47,737	27,521	-42.35	-22.78	-30.69	-36.90	-44.87
Munui -Hoein	51,951	29,369	-43.47	-21.13	-28.64	-33.99	-40.89
Hoein -Boeun	50,923	29,155	-42.75	40,976	37,509	33,904	30,197
Boeun-Songnisan	50,644	25,548	-49.55	-19.55	-27.06	-32.03	-38.61
Songnisan -Hwaseo	48,942	24,756	-49.42	40,966	37,679	34,358	31,013
Hwaseo-Namsangju	49,497	25,093	-49.3	-31.82	-39.88	-45.30	-52.29
Namsangju -Nakdong JCT	45,631	23,898	-47.63	34,531	30,953	27,355	23,740
				-29.75	-37.63	-43.08	-49.91
				34,380	30,921	27,429	23,912
				-23.56	-31.19	-36.47	-43.15
				37,833	34,464	31,046	27,592
				-8.05	-15.03	-19.81	-26.06
				41,959	39,181	36,339	33,449

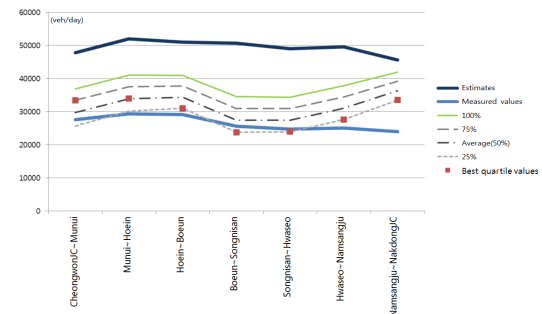


Figure 5. The application results of the model - Cheongwon-Sangju Expressway(2010)

적용 결과에서 Figure 5와 같이 영향권 인구가 20만명 이상인 구간이 연속되는 경우 당초(100%) 수준, 20만명 이상/이하의 경계에 해당하는 구간의 경우 각각 75%/50%, 그 외의 경우 25% 수준이 가장 적합한 것으로 나타난 바 있다.

따라서 청원-상주구간 중 영향권 인구가 40만명 수준인 청원JCT-문의IC 구간은 75% 수준(인접구간(문의-회인 구간)의 영향권 인구 16만명), 문의IC-회인IC는 50% 수준, 회인IC-낙동JCT(평균 영향권인구 5만명)는 25% 수준이 실측치와 가장 가까울 것으로 예상되었으나, 적용 결과 노선 전 구간에서 25% 수준이 실측치와 가장 가까운 것으로 나타났다. 이는 본 모형에서 설명되지 못한 추가적 오차요인(측정 오차, 구조적 오차 등)에 의해 실제 교통량 수준이 더욱 하락하였기 때문으로 해석된다.

3. 모형의 한계

본 모형은 기존 예측치를 보정하는 구간 추정 개념을 도입하여 교통수요 예측의 오차를 감소에 기여하고자 하나 일련의 한계성을 지니고 있다. 4단계 모형에 내재된 한계를 수용하고 외생적 오차요인에 대한 보정만을 실시하였으며, 주변 고속도로 및 국도 네트워크의 형태 등 정성적 지표에 의한 오차 발생 가능성에 대한 고려가 부족하다. 도시부/지방부를 단순히 영향권 인구(20만명) 기준으로 구분하여 산업단지 등 통행유발원에 대한 고려에는 한계가 존재한다. 또한, 고속도로 구간의 영향권 설정 기준에 대한 세부 연구가 필요하며, 읍·면·동별 사회경제지표 데이터의 부재로 영향권 인구가 실제보다 과소·과다 추정된 구간이 있을 가능성이 존재하여 향후 개선의 여지가 남아있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

고속도로 건설은 막대한 금액이 소요되기 때문에, 정확한 교통수요예측은 건설예산의 손실을 막을 수 있을 뿐만 아니라, 국가적 차원에서도 효과적인 건설예산의 집행을 가능하게 할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 수요예측에 영향을 주는 오차요인을 파악하고, 이중 장래 교통수요의 변화에 영향을 주는 오차요인을 위험요인으로 선정하여, 위험요인 변화에 따라 달라지는 교통수요 예측값의 범위를 제시할 수 있는 교통수요 보정모형을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 모형의 적용을 통해 오차를 적용하여 재산정한 교통량을 바탕으로 건설 방안을 수립하게 될 경우, 예측 오차율의 불확실성을 반영하여 실측값에 좀 더 가까운 교통량의 범위를 제시하기 때문에, 기존의 수요예측방법에 비해 보다 정확한 교통수요의 예측이 가능할 것이다. 이러한 정확한 교통수요의 예측을 토대로 고속도로의 규모를 재산정하고 건설방안을 수립하게 될 경우 고속도로 사업의 신뢰성이 확보되고 합리적인 예산 집행이 가능할 것으로 판단된다.

또한 현재 공용중인 고속도로의 실측 교통량을 예측 교통량과 비교·분석했을 때, 수요예측의 결과가 지방부에서는 과다 예측되고 도시부에서는 과소 예측되는 경향을 나타냄으로, 본 모형을 바탕으로 지방부 등을 고려한 지역균형발전과 도시부 교통난 해소를 위한 효율적이고 거시적인 도로계획을 수립하는데 활용할 수 있을 것이다.

뿐만 아니라, 본 연구의 결과를 바탕으로 건설하고자 하는 고속도로의 규모 산정하게 될 경우, 건설예산의 효과적인 집행의 근거로 활용할 수 있기 때문에 이는 국가 건설예산의 불필요한 집행을 방지하고, 건설비의 투자가 필요한 곳에 적정 투자가 가능하게 하여 효과적인 국가 예산의 분배 및 집행을 유도하는 차원에서 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 향후 연구과제로는, 모형식 사분위값 산정을 위한 분석 데이터의 범위를 6개 노선 외 추가 노선으로 범위를 확대하고, 오차율에 영향을 주는 설명 변수를 추가로 반영하여 분석하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 고속도로 구간의 영향권 설정 기준에 대한 추적인 연구와 함께, 시·군·구 단위 외에 읍·면·동별 사회경제지표 구축을 통한 정확한 영향권 지표 산출 등을 통해 모형의 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 지속적인 추가 연구를 진행해야 할 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government(MEST) (NRF-2010-0029443).

REFERENCES

- Bovy P. H. L., Jansen G. R. M. (1983), Network Aggregation Effects upon Equilibrium Assignment Outcomes : An Empirical Investigation, *Transportation Science*, Vol.17, No.3, pp.240-262.
- Boyce D. E., Janson B. N., Eash R. W. (1981), The Effect on Equilibrium Trip Assignment of Different Link Congestion Functions, *Transportation Research Part A*, Vol.15, No.3, pp.223-232.
- Cervero R., Hansen M. (2002), Induced Travel Demand and Induced Road Investment : A Simultaneous Equation Analysis, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.36, No.3, pp.469-490.
- Chung I. H., Oh S. H. (2005), Enhancement of Reliability for Traffic Demand Estimation: Focusing on Interval Estimation Model for Traffic Demand (통행수요 추정의 신뢰수준 제고 방안 연구: 구간 통행수요 모형 개발을 중심으로), *Korea Research*

