

■ 論 文 ■

**기종점 통행량 변화에 따른 링크 교통량 추정의
불확실성에 관한 연구**
(국가교통DB를 이용한 구간 링크 교통량 추정을 중심으로)
Analyzing the Uncertainty of Traffic Link Flow, and Estimation of the Interval Link
Flow using Korea Transport Data Base

김 강 수
(한국개발연구원
공공투자관리센터 연구위원)

김 진 석
(동국대학교 정보통계학과 조교수)

조 혜 진
(한국건설기술연구원
도로연구부 책임연구원)

— 목 차 —

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 기존 문헌 고찰</p> <p>III. 불확실성 분석을 위한 설계 및 모형 구축</p> <p> 1. 개요</p> <p> 2. O/D 자료 분석</p> <p> 3. 의사 O/D 자료 발생을 위한 모형 구축</p> <p> 4. 의사 O/D 통행량 생성</p> | <p>5. 의사 O/D 통행량을 이용한 통행배정</p> <p>IV. 도로부문 교통량 추정에 대한 불확실성 분석</p> <p> 1. 전체 네트워크 측면의 불확실성</p> <p> 2. 링크 교통량의 불확실성</p> <p>V. 종합 및 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words : 링크교통량, 불확실성, 기종점통행량, 신뢰구간, 국가교통DB
Link Flow, Uncertainty, Interval Estimates, Origin-Destination Data, Korea Transport
Data Base

— 요 약 —

본 논문에서는 우리나라의 도로교통사업의 타당성 평가시 활용되는 국가교통DB 기종점 자료를 이용하여, 통행량 변화에 따른 추정 링크 교통량의 불확실성을 분석하였다. 분석 결과, 평균적으로 기종점 통행량의 확률변동으로 변화될 수 있는 전체 국가교통DB 네트워크의 교통량 불확실성 정도는 15.4%로, 혼잡한 구간의 교통량에 대한 불확실성이 그렇지 않은 구간의 불확실성보다 매우 큰 것으로 나타났다. 특히, 본 논문에서는 교통량 추정치에 대한 분산추정치를 계산하고 이를 토대로, 주어진 신뢰수준에서 구간추정치를 제시하여 교통투자를 결정하는 의사결정가나 분석가들에게 다양한 정보를 제공할 수 있는 기틀을 마련하였으며 도로부문 투자에 대한 불확실성을 정량적으로 평가할 수 있는 토대를 마련하였다.

This study analyzed the uncertainty of the forecasted link traffic flow, and estimated of the interval link flow using Korea Transport Data Base (KTDB) to consider those risks into the feasibility study. In the paper, the uncertainty was analyzed according to the stochastic variation of the KTDB origin-destination traffic.

It was found that the uncertainty of the entire network traffic forecasts was 15.4% in average, when the stochastic variation of the KTDB was considered. The results showed that the more congested the roads were, the bigger the uncertainty of forecasted link traffic flow were found. In particular, we estimated the variance of the forecasted traffic flow, and suggested interval estimates of the forecasted traffic flow instead of point estimates which were presented in the common feasibility studies.

These results are expected to contribute the quantitative evaluation of uncertain road investment projects and to provide valuable information to the decision makers for the transport investment.

I. 서론

지역 간 기종점 교통량(Origin-Destination 교통량, 이하 O/D 교통량)을 이용하여 산출되는 교통량 자료는 합리적 교통계획 수립과 SOC 투자 분석에 필수적으로 요구되는 기초자료이다. 하지만 대부분의 지역 간 기종점 교통량을 이용한 링크 교통량의 결과는 점 추정치(point estimate)만을 제공하고 있어 이에 대한 추정의 불확실성 측면을 반영하지 못하고 있다. 민감도 및 시나리오에 바탕을 둔 추정결과도 마찬가지로 점 추정치이며, 그 추정치의 불확실성에 대한 정보는 제공하지 못하고 있다. 이렇게 링크 교통량의 점 추정치만을 타당성 평가에 이용할 경우 SOC 투자시, 예측 교통량이 실제 관측되는 교통량과 비교하여 기대치 않은 차이를 수반하게 된다. 즉, 교통수요의 과대 추정에 따라 민자사업의 경우 우발채무가 발생할 수도 있으며 재정사업의 경우 불필요한 SOC 투자로 인해 궁극적으로 비효율적인 국가예산의 집행을 초래한다. 따라서 교통 분석가나 정책 결정자들이 교통시설 투자에 대한 합리적인 의사결정을 하도록 하기 위해서는 발생가능성이 높은 교통량의 추정 혹은 장래 가능한 교통량의 범위 추정과 같은 교통량의 불확실성과 연관된 정보의 제공이 필요하다.

본 논문에서는 O/D 교통량에 기초한 교통량 추정의 불확실성에 대한 가정을 통하여 다양한 O/D 교통량을 생성하고 이를 통해 링크 교통량의 점 추정치뿐만 아니라 추정량의 분산을 추정하고자 한다. 즉, 현재 우리나라 타당성 평가에 활용되고 있는 국가교통DB의 전국 지역 간 O/D와 네트워크 자료를 활용하여 우리나라 도로교통사업의 타당성 평가시 발생할 수 있는 교통량 추정의 불확실성을 분석 한다.

이러한 추정량의 분산추정은 결국 특정 링크에 대한 기대 교통량과 향후 관측 교통량의 괴리를 어느 정도 예측하는 데 도움을 줄 수 있다는 점에서 우리나라 SOC 투자에 대한 불확실성(uncertainty)을 정량적으로 평가할 수 있는 토대를 마련할 수 있다고 판단한다.

본 논문의 주요 내용은 다음과 같이 구성되어 있다. 본 논문의 배경 및 의의에 대해서 설명하는 서론부분에 이어 II장에서는 교통수요 추정 불확실성에 대한 국내외 기존 연구를 고찰한다. 제III장에서는 우리나라 도로교통사업의 타당성 평가 시 발생할 수 있는 교통량 추정의 불확실성을 실증적으로 분석하기 위해 기존 국가교통DB 기종점 자료를 분석하고 의사 O/D 통행량을 발생하기

위한 모형을 구축한다. 즉, 교통량 추정 불확실성에 영향을 미치는 인자는 다양하나, 국가교통 DB의 기종점 통행량의 불확실성에 따른 링크 교통량 추정의 불확실성을 분석하기 위해, 국가교통DB의 기종점 통행량 추정을 모형화한 후, 의사 O/D 자료를 발생시켜 분석한다. IV장에서는 실제 발생된 의사 O/D 자료를 시뮬레이션 방법을 통해 통행 배정하여 점 추정 교통량의 분산을 추정한다. 이 장에서는 교통량의 점 추정치뿐만 아니라 교통량의 분산 추정치를 이용하여 주어진 신뢰수준에서 교통량의 범위를 제시하여, 현재 배포되고 있는 국가교통DB의 이용 시 발생할 수 있는 교통량의 불확실성을 분석한다. 마지막으로 장에서는 본 논문의 종합 및 한계 그리고 향후 연구 과제를 제시한다.

II. 기존 문헌 고찰

본 장에서는 실증적인 교통량 추정의 불확실성을 분석하기 전에 국내외 관련 논문을 고찰하였다. 교통모형에 대해 수 많은 논문은 존재하나 교통량 예측의 불확실성에 대한 연구는 상대적으로 미흡하다.

먼저, 기존 문헌을 고찰하기에 앞서, 교통수요 추정의 불확실성 원인에 따라 기존 연구를 살펴 볼 필요가 있다. 또한 불확실성의 표현방식 및 불확실정도 등을 중심으로 기존 문헌을 고찰하는 것이 필요하다.

남두희(2002)는 불확실성을 반영한 ITS 사업의 타당성 평가 방법론을 연구하였다. 위 연구는 실제 ITS 투자사업을 대상으로 하지 않고 방법론을 중심으로 연구하였다. 기존 전통적인 매크로 모형보다는 마이크로 시뮬레이션 방법에 의한 ITS 사업의 위험도를 분석하는 방안을 제안하였다. 이 논문은 모든 변수의 불확실성은 임의로 가정된 확률분포를 가정하였다.

한편, 하헌구, 모창환(2002), 심상달 외(2005)는 SOC 민간투자사업의 위험배분 및 관리방안 연구를 통해 교통량 추정의 불확실성에 대한 분석보다는 민간투자사업을 시행하는 과정에서의 주요위험을 분류하고 그러한 위험에 대해 정부와 민간사업자의 합리적인 분담 및 관리방안을 제안하였다.

최근, 이승재·김용훈(2008)은 통행발생 단계의 회귀분석 모형 적용시, 상한값과 하한값을 이용하여 링크 교통량 추정의 변화를 분석하였다. 대전시를 사례로 분석하였는데, 평균적으로 17.8%의 링크 교통량 변화가 존재하는 것으로 분석되었다. 통행발생 이후의 불확실성

에 대해서는 연구되지 못했다.

많지 않은 기존 관련 국내 연구를 살펴보면, 대부분 교통 수요와 건설 비용의 위험 측정에 대한 개괄적인 수준에서 그치고 있고 교통량 추정에 대한 불확실성 등에 대해서는 구체적으로 제시하지 못하고 있다.

본 논문의 내용과 밀접하게 관련이 있는 연구인 경우 국외문헌에서 비교적 많이 찾아 볼 수 있다. Asheley (1980)는 새로운 우회도로 건설로 인해 추정된 교통량의 불확실성을 모형 및 외생입력변수의 불확실성 측면에서 분석하였다. 불확실성은 교통량의 확률분포를 보여줌으로써 나타나어 졌는데 새로운 우회도로의 16시간 교통량이 18,000대 이하일 확률이 5%, 36,000대 이상일 확률이 5%로 표현하였다.

Lowe et al.(1982)도 추정된 링크교통량의 불확실성을 추정하였는데, 링크교통량 추종 모형의 입력자료와 파라미터의 확률분포를 이용하여 불확실성 정도를 추정하였다. 분석결과 1일 해당 링크의 교통량이 14,000대 이하일 확률이 5%, 20,000대 이상일 확률이 5%로 주장하였다.

Leurent(1996)은 외생 입력변수의 불확실성으로 야기되는 추정된 통행시간과 링크 교통량의 불확실성을 분석하였다. 불확실성은 표준오차로 표현되었고, 추정교통량의 표준편차는 평균의 약 10% 정도라고 분석하였다.

Boyce(1999)는 입력변수의 불확실성으로 인한 차량 대-km의 불확실성을 추정하였다. 표준오차와 추정값의 비율로 표현되어 졌는데, 불확실성의 정도는 제시하지 못하였다.

Zhao and Kockelman(2002)는 교통수요 추정단계별로 오차의 증감을 분석하고 링크 교통량의 불확실성을 분석하였다. 표준오차를 이용하여 측정 하였는데 통행발생에서 통행분포 그리고 수단분담모형으로 순차적인 분석을 거치면서 오차는 증가하는 데, 마지막 통행배분에서는 오차가 감소한다고 분석하였다. 분석결과, 불확실성의 정도는 평균 추정치의 0~70% 정도인 것으로 나타났다.

Ecorys(2003)는 입력자료의 불확실성으로 인한 유료도로의 수입에 대한 불확실성을 시나리오 분석을 통해 분석하였다. 교통량 증가에 따라 1.2백만달러에서 3.9백만달러의 변화폭이 존재하는 것으로 분석하였다.

Schrijver et al.(2003)는 외생입력 변수의 오차로 인한 통행시간 추정의 불확실성을 분석하였다. 신뢰구간을 통해 불확실성을 표현하고자 하였으나 표준편차는 제시하지 않았다

Beser Hugosson(2004, 2005)는 모형에 의한 오차로 기인하는 기종점 통행량의 불확실성 정도를 추정하

였다. 95% 신뢰구간으로 불확실성이 표현되어 졌는데, 불확실성의 정도가 95% 신뢰수준 하에서 $\pm 7\%$ 에서 $\pm 14\%$ 정도로 제시하였다.

De Jong et al.(2007)은 교통수요 추정 불확실성에 대한 연구를 종합하였다. 지역과 표본 수에 따라 분석결과와의 차이가 있지만, 개략적으로 모형 오차에 의한 링크 교통량 또는 교통수단 교통량 추정의 불확실성 정도는 5%에서 14%, 그리고 입력자료를 포함시에는 평균 18%에서 33%까지 불확실성이 증가하는 것으로 분석하였다. 따라서 모형오차 보다는 입력자료에 의한 불확실성이 큰 것으로 주장하였다. 시간가치인 경우, 95% 신뢰수준에서 평균 시간가치의 6%에서 48%정도까지 불확실성이 존재하는 것으로 분석하였다.

III. 불확실성 분석을 위한 설계 및 모형 구축

1. 개요

교통수요 모형은 교통수요와 밀접한 관련이 있는 외생 입력 변수와, 그리고 그러한 외생 입력변수의 영향을 나타내는 파라메타로 구성되어 진다.

따라서 교통수요 추정 모형결과의 불확실성은 잠재소득과 같은 외생입력 변수의 불확실성과 모형의 불확실성으로 크게 대별 할 수 있는데, 모형의 불확실성은 중요 입력 변수의 누락이나 적절하지 못한 모형식 구조 등 모형의 구조적 오차(specification error)와 각 외생 입력 변수 파라미터의 오차이다.

본 논문에서는 이러한 교통수요 추정결과의 불확실성을 반영시키는 요인 중에서 외생 입력변수의 불확실성, 즉 링크 교통량 추정의 가장 필수적인 입력자료인 기종점 자료에 따른 링크 교통량 추정결과에 대한 불확실성을 분석하고자 한다.

특히, 실제 우리나라 도로교통사업의 타당성조사에서 활용되고 있는 전국 지역간 국가교통DB 자료를 이용하여 분석함으로써 실제적으로 우리나라 도로교통사업의 타당성 평가시 발생할 수 있는 교통량 추정의 불확실성을 분석하고자 한다.

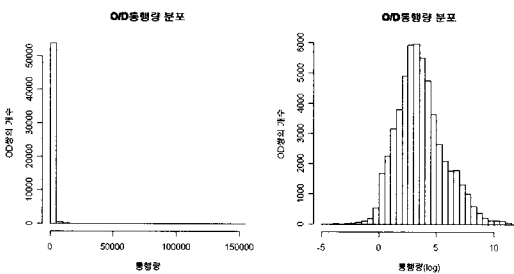
불확실성의 지표로는 교통량의 추정량에 대한 분산을 활용하고, 이를 통해 신뢰구간하에서 추정 교통량에 대한 구간 추정 교통량을 제시함으로써 교통량의 점 추정치 대신 구간추정치를 제시하고자 한다.

본 논문에서는 인구 수, 자동차 보유대수, 고용자 수 및 두 지역 간의 시간과 거리의 불확실성으로 인한 O/D의 변화에 따른 교통량 추정의 불확실성을 분석한다. 즉, 본 논문에서는 링크 교통량 산출의 입력자료인 전국 지역간 O/D 수에 따른 링크 교통량의 불확실성만을 연구대상으로 다루고, 링크 교통량 산출에 영향을 미치는 타 요소들, 예를 들어, 통행지체함수 및 통행배정방법 등에 대한 영향은 본 논문에서는 제외한다. 즉, 통행지체 함수 및 통행배정 방법은 현재 표준적으로 활용되고 있는 방법과 지침에 의거하여 분석하고 본 논문에서는 기종점 통행량 변화에 따른 링크교통량 추정의 불확실성을 분석한다.

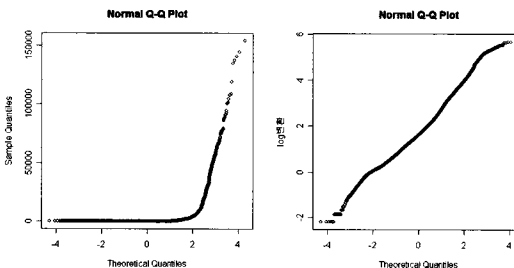
2. 기종점 (O/D) 자료 분석

교통량 추정의 불확실성을 분석하기 위해 먼저, 인구 수, 고용자 수, 자동차 등록대수 및 두 지역 간의 거리 및 시간으로 설명이 가능한 O/D 모형을 구축하고, 확률적 분포를 통한 같은 환경에서의 새로운 O/D 교통량을 생성한 후, 생성된 O/D 교통량 자료를 계속적인 통행배정을 통하여 비확률적(deterministic)으로 링크 교통량을 생성한다. 이러한 과정을 반복하면 다수의 링크 교통량을 생성할 수 있고, 이때 링크 교통량의 변동 정도를 이용하여 링크 교통량의 분산, 즉 불확실성을 측정할 수 있다.

먼저, 반응변수인 2004년 기준 국가교통DB O/D 통



〈그림 1〉 O/D 통행량 원 자료 및 로그변환 자료 히스토그램



〈그림 2〉 O/D 통행량 로그변환 자료 Quantile-Quantile 그림

행량 분포를 살펴보았다. 이 자료는 국가교통DB의 전국 지역간 OD 통행량 자료이며 직접수요추정 모형에 의해 산출된 지역간 통행량 자료가 아니다.

〈그림 1〉과 〈그림 2〉의 왼쪽은 O/D 통행량의 원자료에 대한 히스토그램과 QQ plot이다. 이를 살펴보면 O/D 통행량 자료의 대부분이 1,000보다 작은 값을 가지고 있지만, 꼬리부분의 확률이 큰 heavy tail분포를 보이고 있다. 또한 통행량 자료가 비음이므로 통행량 원자료에 대한 직접적인 모형 구축보다는 변수변환을 통한 통행량 모형을 고려하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 반응변수를 통행량 원자료를 로그변환한 값을 이용하였다. 로그변환된 통행량에 대한 히스토그램과 Quantile-Quantile 그래프는 각각 〈그림 1〉과 〈그림 2〉의 오른쪽에 제시되어 있다.

3. 의사 O/D 자료 발생을 위한 모형 구축

1) 기본 구조

본 장에서는 우리나라에서 도로교통사업의 타당성 평가시 표준적으로 활용되고 있는 2004년 기준 국가교통 DB 전국 지역 간 기종점 통행량을 인구통계학적 혹은 사회경제학적 변인으로 모형화하였다. 일반적인 $i \rightarrow j$ 에서 O/D 통행량(y_{ij}) 표현식은 다음과 같다.

$$y_{ij} = f(X_{1ij}, \dots, X_{pij}, U_{1ij}, \dots, U_{qij}, V_{1ij}, \dots, V_{rij}) + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

여기서 X_{1ij}, \dots, X_{pij} 는 $i \rightarrow j$ 간의 인구통계학적 혹은 사회경제학적 변수이고, U_{1ij}, \dots, U_{qij} 와 V_{1ij}, \dots, V_{rij} 는 각각 i 존과 j 존 변수들을 나타낸다. y_{ij} 는 일평균 존 $i \rightarrow j$ 에서 통행량, ϵ_{ij} 는 오차항으로 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 표준정규분포를 따른다. 위에서 함수 $f(\cdot)$ 를 선형함수로만 제한할 경우 통상적인 선형회귀모형이다.

만일 사회경제학적 혹은 기타 외부요인으로 설명이 가능한 O/D 모형을 구축한다면, O/D 교통량의 확률적 분포를 통해서 같은 환경에서의 새로운 O/D 교통량을 생성할 수 있다. 이후 생성된 O/D 교통량 자료를 통행배정에 따라 비확률적(deterministic)으로 링크 교통량을 생성할 수 있다. 이러한 과정을 반복하여 다수의 링크 교통량을 생성하고, 이때 링크 교통량의 변동 정도를 이용하여 링크 교통량의 불확실성을 측정할 수 있다.

반응변수(종속변수)가 로그변환된 일평균 O/D 통행량이므로 일반적인 다중회귀모형이 가능하다. 이때 반응

변수에 영향력이 있는 독립변수를 선정하기 위해 반응변수와의 상관계수가 높은 변수들을 모형에 추가할 필요가 있다. 변수를 추가할 때, 권역별로 통행 특성이 상이한 점을 감안하여 수도권 및 대도시지역과 지방의 교통량의 패턴을 분석하여 이들을 구분 짓는 더미변수 그리고 종속변수와 독립변수의 비선형성을 보정할 수 있는 새로운 파생변수의 도입을 고려하였다.

2) 지역별 그룹화

일반적으로 지역 간 기종점 통행량은 지역 간 특성에 기인하기 때문에 지역에 따라 통행의 패턴과 통행량이 매우 상이하다. 이러한 특성을 반영하기 위해 통행량과 관련된 변수들을 이용하여 지역을 몇 개의 군집으로 나누고 군집별 모형을 추정하였다.

군집화를 하는 데 사용된 변수는 인구수, 종사자 수, 자동차 보유대수, 통행시간 및 통행거리이고, 군집화 방법은 k-means 클러스터링을 이용하였다. k-means 클러스터링은 군집의 개수가 정해질 경우 군집의 중심을 찾고 군집의 중심에 가까운 자료를 하나의 그룹으로 묶는 방법을 반복적으로 계산하여 자료들을 그룹화하는 방법이다.

본 연구에서는 군집의 수를 5개로 상정하였다. 그룹 1과 3은 인구 및 종사자가 적고 자동차 보유대수도 적은 지역의 군집으로 주로 군지역이 여기에 속한다. 그룹 4, 5는 둘 다 중대도시 이상의 도시지역에 속하지만 종사자 수와 자동차 보유대수가 적거나(그룹 4) 혹은 많은 지역(그룹 5)이다. 그룹 2는 중소도시이지만 상대적으로 고용인구가 많고 자동차 보유대수도 많은 지역이다.

3) 군집별 모형 구축

지역 간 기종점 통행량에 대한 모형은 지역을 5개의 그룹으로 분류한 후, 그룹 간의 차이를 고려하기 위하여 총 25=(5×5)개의 회귀모형을 각각 구축하였다. 예를 들어, 그룹 G₁에서 그룹 G₂로의 통행량모형은 다음과 같다. 각 그룹별 모형 추정치 결과는 지면 관계상 생략하였다.

$$\log(y_{ij}) = \mu_{ij} + \epsilon_{ij}, \quad \epsilon_{ij} \sim iid N(0, \sigma^2)$$

$$\mu_{ij} = \alpha + o_i + d_j + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p$$

$$+ \gamma_{1i} I(O=i) X_1 + \gamma_{2j} I(D=j) X_1 \quad (2)$$

여기서

- y_{ij} : 그룹 G₁에 속한 지역 i에서 그룹 G₂에 속한 지역 j로의 통행량
- o_i : 출발지 zone 효과(effect)
- d_j : 도착지 zone 효과(effect)
- γ_{1i} : 출발지 zone i와 거리의 교호작용을 반영한 회귀계수
- γ_{2j} : 도착지 zone j와 거리의 교호작용을 반영한 회귀계수

한편, 설명변수인 X_1, \dots, X_p 는 log(distance, 거리), log(time, 시간), log(total populations, 인구), log(total employees, 고용자 수), rate of origin employee per population(출발지의 인당 고용자 수 비율), rate of destination employee per population(도착지의 인당 고용자 수 비율), rate of origin vehicle per population(출발지의 인당 자동차 등록대수 비율), rate of destination vehicle per population(도착지의 인당 자동차 등록대수 비율), difference of population between origin and destination(출발지와 도착지의 인구 차이), difference of vehicle between origin and destination(출발지와 도착지의 자동차 등록대수 차이), difference of employees between origin and destination(출발지와 도착지의 인구 및 고용자 수 차이)이다.

한편, 위의 모형에서 모형에서 γ_{1i}, γ_{2j} 는 출발지 및 도착지에 따라 거리(log distance)의 영향력이 통행량에 미치는 영향력을 보정하기 위하여 출발지(도착지)와 거리의 교호작용을 고려한 것이다. 위의 모형을 전체모형(full model)으로 하여 모수의 유의성을 검토하였으며, 이때, 비교해야 할 모형의 수가 너무 많기 때문에 STEP-WISE 방법을 이용하여 최종모형을 결정하였다. 이 때 모형 선택의 기준으로 다음의 AIC (Akaike Information Criterion)¹⁾을 최소로 하는 모형을 결정하였다.

$$AIC = -2 \times \log \text{likelihood} + 2 \times (\text{추정할 모수의 수}) \quad (3)$$

위의 과정을 25개 그룹에 각각 적용하였다.

1) AIC는 Akaike (1974)가 제안한 통계모형의 선택 기준으로 모형의 적합도(goodness of fit)를 나타내는 지표이다. 통상적으로 여러개의 모형에서 AIC값이 최소인 모형을 선택한다.

4. 의사 O/D 통행량 생성

최종 결정된 모형에서 $\log(y)$ 의 추정치를 이용하고 그룹별 25개의 모형에 대한 분산추정치를 이용하여 다음과 같이 난수를 발생시켰다. 여기서 각 존 간 O/D는 독립적으로 발생한다고 가정하였다. O/D 간의 교호작용은 변수에서 이미 고려하였다.

추정된 모형이 로그변환된 자료를 이용하였기 때문에 난수에 지수변환을 한 후 의사 O/D 통행량을 생성하였다.

$$y_{ij}^{(b)} = \hat{y}_{ij} \times \exp(\epsilon), \quad \epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{G_i, G_j}^2) \quad (4)$$

여기서, $y_{ij}^{(b)}$ 는 생성된 의사 O/D 통행량을 의미하고, \hat{y}_{ij} 는 모형식으로 추정된 O/D 통행량의 지수변환값을 의미한다.

위의 식(4)의 가정하에서 의사 O/D 통행량의 기대값은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$E(y_{ij}^{(b)}) = \hat{y}_{ij} \times E[\exp(\epsilon_{ij})] = \hat{y}_{ij} \exp(\sigma^2/2) \quad (5)$$

위 식에서 항상 $\exp(\sigma^2/2) > 1$ 을 만족하므로 기존 O/D 통행량에 비해 의사 O/D 통행량은 로그변환된 자료에서의 회귀모형에서 추정된 분산추정치의 크기만큼 크게 추정된다. 하지만 본 연구에서는 의사 O/D 통행량을 이용하여 실제 통행량을 추정하는 것이 아니라, O/D 통행량의 변동성에서 기인하는 링크통행량의 변동성(분산) 추정이 목적이고 O/D 통행량의 변동성을 반영하기 위한 하나의 방법론으로 의사 OD 통행량을 발생시킨 것이기 때문에 의사 O/D 통행량이 평균적으로 실제 관측 O/D 통행량보다 많은 것은 문제가 되지 않는다.

5. 의사 O/D 통행량을 이용한 통행배정

앞서 언급한 25개의 모형을 통해 발생한 O/D를 이용하여 통행배정을 실시하였다. 통행배정을 위해 사용한 네트워크는 O/D 자료와 정합할 수 있는 2004년 기준 전국 지역 간 네트워크이다. O/D 자료가 247개의 존 간 통행으로 구성되어 있듯이 네트워크도 247개의 센트로이드와 11,608개의 노드, 31,925개의 링크로 구성되어 있다.

〈표 1〉 2004년도 전국 지역 간 네트워크

구분		2004년 KTDB (A)
센트로이드 (개)		247
노드 (개)		11,608
링크 (개)		31,925
링크 구분	고속국도	2,940.5
	국도	14,816.3
	지방도	12,971.9
	기타	5,090.5

주: 연장의 경우, 총연장/2.

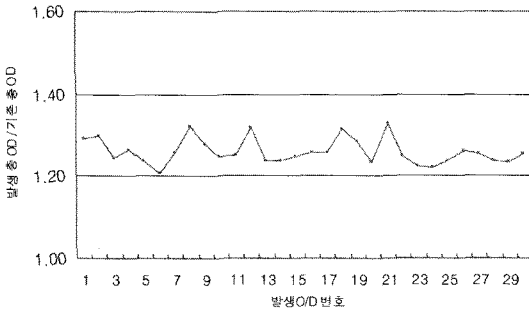
〈표 2〉 도로등급별 용량지체함수

도로 구분	일방 차선수	용량지체함수(VDF: Volume Delay Fuction)
고속국도	1	$fd1 = 60 \times (\text{length}/80) \times (1 + .58 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (1600/0.1 \times \text{lanes}))^{2.4})$
	2	$fd2 = 60 \times (\text{length}/117) \times (1 + .645 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (2200/0.1 \times \text{lanes}))^{2.047})$
	3,4,5	$fd3 = 60 \times (\text{length}/118.6) \times (1 + .601 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (2200/0.1 \times \text{lanes}))^{2.378})$
일반국도	1	$fd4 = 60 \times (\text{length}/70) \times (1 + .15 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (1500/0.1 \times \text{lanes}))^4)$
	2	$fd5 = 60 \times (\text{length}/80) \times (1 + .15 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (2000/0.1 \times \text{lanes}))^4)$
	3,4,5	$fd6 = 60 \times (\text{length}/90) \times (1 + .15 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (2000/0.1 \times \text{lanes}))^4)$
지방도 (국가 지원 지방도 포함)	1	$fd7 = 60 \times (\text{length}/60) \times (1 + .15 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (1500/0.1 \times \text{lanes}))^4)$
	2	$fd8 = 60 \times (\text{length}/70) \times (1 + .15 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (2000/0.1 \times \text{lanes}))^4)$
	3,4	$fd9 = 60 \times (\text{length}/80) \times (1 + .15 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (2000/0.1 \times \text{lanes}))^4)$
시군도	-	$fd10 = 60 \times (\text{length}/40) \times (1 + .15 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (4000 \times \text{lanes}))^4)$
Dummy	-	$fd11 = 60 \times (\text{length}/20)$
도시 고속화 도로	2	$fd12 = 60 \times (\text{length}/90) \times (1 + .58 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (2200/0.1 \times \text{lanes}))^{2.4})$
	3, 4	$fd13 = 60 \times (\text{length}/100) \times (1 + .58 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (2200/0.1 \times \text{lanes}))^{2.4})$
고속국도 연결램프	-	$fd15 = 60 \times (\text{length}/50) \times (1 + .15 \times ((\text{volau} + \text{volad}) / (16000 \times \text{lanes}))^{2.4})$

주: 사용된 용어는 fd(도로구분별 함수정의), length(거리), volau(승용차 교통량), volad(추가 교통량), lanes(차선 수)임.

이 중 고속도로는 2,940.5km, 국도는 14,816.3km, 지방도는 12,971.9km, 기타 도로는 5,090.5km이다.

통행배정을 위한 또 다른 중요한 자료인 교통량에 따른 통행지체(비용) 함수는 〈표 2〉과 같고, 이는 현재 우리나라의 예비타당성 평가에도 표준적으로 활용되고 있다. 통행배정방법은 사용자균형모형을 통해 이루어졌는데 PCU 단위로, 최대 반복횟수(iteration) 500번을 설정하여 배정하였다.



〈그림 3〉 기준 O/D량 대비 발생 O/D량 변화 비율

〈그림 3〉은 모형을 통해 산출된 기준 총 O/D량 대비 의사 총 O/D의 발생량 비율을 보여주고 있다. 의사 O/D 총량은 기준 총 O/D량보다 모두 많은 것으로 나타났다. 평균적으로 1.26배 많은 것으로 분석되었다. 이러한 차이는 O/D의 확률적 변동을 반영한 것으로 이러한 변동을 통해 통행배정 후 전체 링크 교통량의 불확실성을 분석한다. 한편, 본 분석에서 교통량이 없는 링크는 분석에서 제외하였다.

IV. 교통량 추정에 대한 불확실성 분석

본 장에서는 기종점 통행량의 확률적 변동에 따른 통행량의 불확실성을 분석한다. 먼저, 전체 네트워크 측면에서 통행량의 불확실성 정도를 분석한다. 이때 교통 혼잡에 따른 도로특성별, 고속도로 및 기타 도로 종류별 통행량의 불확실성 정도를 비교한다.

이는 향후 이러한 불확실성을 줄이기 위한 노력이 어떠한 부분에 우선되어야 하는가에 대한 시사점을 제공한다. 다음으로 실제 예비타당성 조사에서 수행되었던 추정 교통량 결과의 링크별 통행량 분산 정도를 분석하여 불확실성을 측정하고, 95% 신뢰수준하에서의 구간교통량 추정치를 제시한다.

1. 전체 네트워크 측면의 불확실성

전체 네트워크 측면에서 O/D의 불확실성에 따른 링크 교통량의 변화 정도를 분석하기 위해 각 의사 O/D에서 산출되는 네트워크 전체 링크 교통량과 기준 O/D에서 산출되는 전체 링크 교통량을 비교 분석 하였다.

〈표 3〉과 〈그림 4〉는 각 기준 및 의사 O/D를 이용하여 산정된 교통량의 총합을 보여주고 있다. 여기서 TLF(Total Link Flow)는 의사 O/D에서 배정된 개별

링크 교통량의 합을 의미한다. 즉, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$TLF = \sum_{i=1}^n l^i \quad (6)$$

여기서 l^i 는 i 링크에서의 교통량 l 을 의미한다. n 은 분석에 포함된 링크 수를 의미한다.

반면, TMLF(Total Misplaced Link Flow)는 기준 O/D에서 배정된 각 개별 링크 교통량과 의사 기준 O/D에서 배정된 해당 개별 링크 교통량(l^i) 간 차이의 절대값을 의미하며 이러한 차이는 기준 O/D에서 배정되는 링크 교통량의 변화 정도를 의미한다.

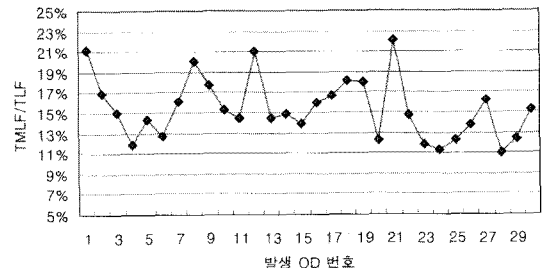
$$TMLF = \sum_{i=1}^n |l^i - l_i^i| \quad (7)$$

여기서 l_i^i 는 기준 O/D에서 배정되는 i 링크에서의 교통량 l 을 의미한다.

전체 네트워크 측면에서 교통량 불확실성을 의미하는 지표는 $\frac{TMLF}{TLF}$ 로서 기준 링크 교통량을 기준으로 O/D의 불확실성에 따른 링크 교통량의 변화 정도이다. 즉, 식 (8)의 수치가 전체 네트워크 측면에서 교통량 불확실성을 나타낸다.

$$\frac{TMLF}{TLF} = \frac{\sum_{i=1}^n |l^i - l_i^i|}{\sum_{i=1}^n l^i} \quad (8)$$

분석결과, 평균적으로 기종점 통행량의 확률변동으로 변화될 수 있는 전체 네트워크의 교통량 불확실성 정도는



〈그림 4〉 기준 링크 교통량 대비 의사 O/D 발생 링크 교통량 변화

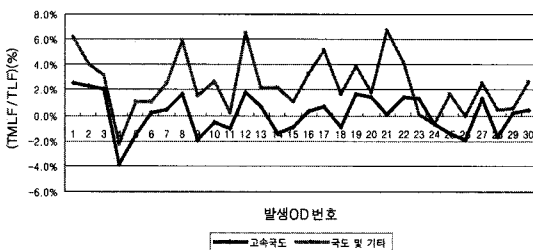
〈표 3〉 도로 종류 및 혼잡 정도에 따른 평균 교통량 변화율
(단위: 대/일, %)

도로 종류	TMLF	평균	최대값	TLF	TMLF/TLF
고속도로	27,446.79	63.63	35,605.76	31,077,654.09	0.09
국도 및 기타	1,974,666.70	181.91	53,093.42	82,085,671.44	2.41
고속국도	12,305,334.91	13,149.55	395,844.97	119,556,651.90	10.29
국도 및 기타	80,623,044.20	5,399.47	217,773.98	383,762,309.69	21.01

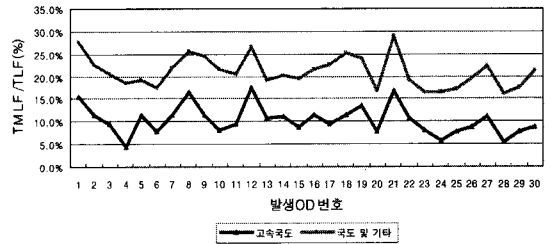
15.4%로 분석되었다. 즉, 타당성조사 시 표준적으로 사용하는 국가교통DB 활용 시 통행배정을 위한 기타 모든 조건이 변화하지 않고, 기종점 통행량도 앞서 모형 구축 시 사용했던 인구 수, 자동차 등록대수, 고용자 수 등에 의해서만 확률적으로 변동한다고 가정했을 때, 기종점 통행량으로 추정되는 전체 네트워크 링크 교통량은 약 15.4%의 총량이 변동할 수 있는 불확실성이 존재한다.

사실 불확실성의 정도에 대한 판단을 떠나서 이러한 불확실성이 존재하는 이상 타당성 평가 결과 및 기타 교통량 자료를 활용한 의사결정의 왜곡을 가져올 수 있는 위험이 존재하고, 따라서 이러한 불확실성을 반영하거나 고려하는 타당성 평가기법에 대한 연구가 필요한 것이다.

고속도로와 국도 등 도로 종류별로 링크 교통량 변화를 살펴보았다. 특히, 혼잡 정도에 따른 교통량 변화 정도를 살펴보기 위해, 교통량/용량 비율(V/C)에 따른 교통량 변화 정도를 분석하였다. 먼저, V/C가 1 이하인 링크, 즉 비교적 덜 혼잡한 링크인 경우 고속도로의 교통량 변화율은 매우 작은 것(0.09%)으로 분석되었고, 상대적으로 국도 및 기타 도로인 경우 2.41%로 나타났으나 그다지 큰 변화 정도는 보이지 않는다. 그러나 교통량이 용량을 넘어서 배정되는 혼잡한 링크인 경우, 고속도로의 교통량 불확실성을 나타내는 변화율이 10.29%로 분석되어 혼잡하지 않은 링크보다도 훨씬 높다. 국도 및



〈그림 5〉 V/C 1 미만(<1) 도로 종류에 따른 평균 교통량 변화



〈그림 6〉 V/C 1 이상(≥ 1) 도로 종류에 따른 평균 교통량 변화

기타도로인 경우에도 불확실성은 증가하며 고속도로보다 높은 21.01%를 보인다.

종합해서 보면, 고속도로보다 국도 및 기타도로의 교통량 추정에 대한 불확실성이 높고, 덜 혼잡한 링크보다는 혼잡한 링크 교통량 추정치의 불확실성이 상대적으로 높음을 알 수 있다.

2. 링크 교통량의 불확실성

1) 개요

앞에서는 기종점 통행량의 불확실성에 따른 통행량의 변화율 정도를 전체 네트워크 측면에서 살펴보았다. 여기서는 실제 링크 교통량의 분산 정도를 기존 예비타당성조사 시 추정했던 추정 교통량을 통해 보여주고자 한다. 이를 위해서 앞서 설명한 시뮬레이션 방법에 의해 주어진 3만여개의 모든 링크 교통량에 대해서 분산을 추정하였다. 본 소절에서는 이를 이용하여 기존 예비타당성조사에서 추정된 교통량의 점 추정치에 대한 분산을 구하고 이러한 분산으로 정해진 신뢰수준하에서의 구간 추정치를 제시한다.

해당 구간의 추정된 교통량의 분산 추정치를 구하기 위해서는 다음과 같은 고려가 필요하다. 새로운 도로건설로 추정된 교통량을 T_A 라고 하자. 불확실성은 다양한 척도로 표현이 가능하나 여기서는 교통량의 분산(표준편차)이다. 그리고 새로이 건설되는 도로의 영향권 안에 있는 링크 모두를 $L(A)$ 로 표현하면 해당 영향권 안에 있는 링크의 교통량은 $T_l, l \in L(A)$ 라고 표현할 수 있다. 참고로 기존 영향권 안에 있는 T_l 의 분산은 의사 O/D의 통행배정을 통해 이미 알려져 있다.

새롭게 추정된 A구간 교통량의 분산(표준편차)을 구하기 위하여 인근 영향권 안에 있는 링크와의 관련성을 이용할 수 있다고 다음과 같이 가정하자. 즉, 식(9)와 같이 표현될 수 있다.

$$T_A \approx \sum_{l \in L(A)} w_l T_l \quad (9)$$

여기서, $T_l, T_k, l \neq k$ 는 서로 독립이며, w_l 은 링크 통행량의 구간(A) 통행량에 대한 가중치로 구간 통행량에 대한 영향력을 의미한다. w_l 에 대한 특수한 경우로 다음과 같은 경우(CASE)를 가정할 수 있다.

CASE 1: 모든 링크 통행량이 동일한 가중치를 가지는 경우 가중치는 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$w_l = c$$

즉, $w_l = \frac{T_A}{\sum_l T_l}$ (10)

CASE 2: 가중치가 링크 통행량에 비례하는 경우, 가중치는 식(11)과 같이 산출할 수 있다.

$$w_l = c \times \frac{T_l}{\sum_{l \in L(A)} T_l} \text{로 가정할 경우,}$$

$$\sum_l c \frac{T_l}{\sum_l T_l} T_l = T_A \text{임을 이용하면,}$$

$$w_l = \frac{T_l T_A}{\sum_l T_l^2} \quad (11)$$

위의 각 CASE 1과 CASE 2의 가정에 따라서 구간 A의 통행량에 대한 분산은 아래와 같이 구해진다.

$$Var(T_A) \approx Var(\sum_{l \in L(A)} w_l T_l) = \sum_{l \in L(A)} w_l^2 Var(T_l) \quad (12)$$

2) 적용

본 연구에서 예시를 통한 개별 링크 교통량의 불확실성 추정은 한국개발연구원 (2006)의 「국도77호선(여수~남해) 건설사업 예비타당성조사」를 대상사업으로 하였다. 사업구간의 연장은 5.4km이고 전남 여수시 낙포동과 경남 남해군 서면을 연결하는 도로사업이다. 사업의 직접 영향권은 여수시 및 남해군이며, 간접 영향권은 광주광역시, 전라남도 및 경상남도이다. 여수~남해 구간의 개통 계획연도는 2016년이다.

〈표 4〉는 2016년 개통연도 기준 해당 사업에서 추정된 주요 구간의 교통량과 위 식 CASE 1과 CASE 2를 이용하여 추정된 표준편차를 보여주고 있다. 또한 추정된 표준편차를 이용하여 구한 교통량의 95% 신뢰구간을 보여주고 있다. 여수~남해 구간의 경우, 예비타당성 조사보고서에 교통량은 7,841대로 추정되었으나, 분석 결과 표준편차가 233대에서 304대 정도 되는 것으로 파악되었고, 95% 신뢰수준하의 추정 교통량은 7,245대에

〈표 4〉 구간별 추정 교통량 및 신뢰구간 추정 교통량

구간명	교통량	표준편차		95% 신뢰구간		95% 신뢰구간	
		case 1	case2	case 1	case2	case1	case2
여수남해	7,841	233	304	7,385	8,297	7,245	8,437
*남해고속 하동IC~진교IC	42,769	3,303		36,295		49,244	
*국도17호선 여수시~순천시	34,107	6,165		22,024		46,189	
*국도2호선 광양읍~태인동	20,222	2,154		16,001		24,444	
국도3호선	6,973	207	271	6,567	7,379	6,443	7,503
*국도19호선 일반~창선	9,834	2,299		5,328		14,339	
*국도59호선	10,372	1,027		8,360		12,385	
지방도1024호선 남해~고현	3,431	102	133	3,231	3,631	3,170	3,692
*지방도1024호선 남해~금남	8,941	3,383		2,310		15,572	
여수산단진입도로	20,146	598	782	18,974	21,318	18,614	21,678
여수~순천간 자동차전용국도	33,877	1,005	1,314	31,907	35,847	31,301	36,453

주: * 은 기존 존재하는 노선 구간임.

서 8,437대 사이에 존재하는 것으로 분석되었다. 타 구간의 추정 교통량도 동일한 분석으로 점 추정 교통량보다는 각 개별 구간의 분산을 활용한 신뢰구간 추정 교통량을 제시하였다.

V. 종합 및 결론

타당성 분석방법론에 대한 지속적인 보완 및 개발에도 불구하고, 사회경제지표의 변화, 사업계획 및 설계의 오류, 민원, 공사기간의 연장 등으로 타당성 결과의 중요 결정 요소인 수요 및 비용의 변화가 발생하며, 이에 따라 이를 기초로 산출되는 타당성 평가 결과의 불확실성은 항상 존재한다.

그동안 이러한 교통량 추정의 불확실성에 대한 고려 미흡이 지속적으로 제기되어 이를 반영하고자 하는 노력은 일부 존재하였으나 개념적으로만 언급되었으며, 교통량 예측의 불확실성을 실증적으로 분석하여, 그 정도가 어느 정도이고, 이러한 불확실성에 대한 위험을 관리하고 타당성 평가에 반영하는 방안은 제시되지 못하였다.

본 연구에서는 우리나라의 타당성 평가시 활용되는 국가교통DB 기중점 자료를 이용하여, 이러한 기중점 통행량 변화에 따른 교통량의 불확실성을 분석하였다. 국가교통 246개의 존을 5개 그룹별로 구분하고 총 25개의 기중점 통행 모형을 추정한 후, 총 30개의 의사 O/D 통행량을 생성하여 분석하였다.

분석 결과, 평균적으로 기중점 통행량의 확률변동으로 변화될 수 있는 전체 네트워크의 교통량 불확실성 정도는 15.4%로 분석되었다. 즉, 타당성조사 시 표준적으로 사용하는 국가교통DB 활용 시 통행배정을 여타 모든 조건이 변화하지 않고, 기중점 통행량도 앞서 모형 구축 시 사용했던 인구 수, 자동차 등록대수, 고용자 수 등에 의해서만 확률적으로 변동한다고 가정했을 때, 기중점 통행량으로 추정되는 전체 네트워크 링크 교통량은 약 15.4%가 변동할 수 있는 불확실성이 존재한다.

또한, 좁잡한 구간의 교통량에 대한 불확실성이 그렇지 않은 구간의 불확실성보다 매우 컸다. 따라서 향후 국가교통DB의 신뢰성 제고 및 타당성조사의 일관성 있는 분석 결과가 제시되기 위해서는 좁잡한 구간에 대한 보다 신중한 교통량 산출이 요구되는 것으로 분석되었다.

특히, 본 연구에서는 교통량 추정 결과에 대한 불확실성의 존재와 그 정도를 추정하는 방법론과 결과를 제시했다는 점에서 의의가 크다. 교통량 추정 결과의 분산을

추정해 점 추정치 대신 구간 추정치를 신뢰구간하에서 제시함으로써, 교통투자를 결정하는 의사결정가나 분석가들에게 다양한 정보를 제공할 수 있는 기틀을 마련하였다.

이러한 불확실성에 대한 분석은 향후 교통량 추정 결과를 이용한 타당성 평가 시 의사결정의 위험을 관리할 수 있는 중요한 정보를 제공할 수 있다는 점에서 의의가 있다. 즉 교통 추정량의 분산추정은 결국 특정 링크에 대한 기대 교통량과 향후 관측 교통량 간의 괴리를 어느 정도 예측하는 데 도움을 줄 수 있다는 점에서 SOC 투자에 대한 불확실성(uncertainty)을 정량적으로 평가할 수 있는 토대를 마련할 수 있고, 의사결정에 대한 위험을 관리하는 데 중요한 기초자료로 활용될 수 있다.

향후 연구과제와 관련하여, 본 연구에서는 기중점 통행량 변동에 따른 교통량 추정의 불확실성만을 분석하였으나 다른 요인의 불확실성에 따른 교통량 추정의 불확실성을 분석하는 연구도 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

알림 : 본 논문은 KDI의 정책연구시리즈 "SOC 투자의 사결정 합리화 방안 (김강수, 2007, 한국개발연구원)"의 내용을 수정보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 건설교통부·한국건설기술연구원 (2000), 「건설공사의 확률적 위험도 분석 평가 기법 개발」.
2. 김강수 (2007), "SOC 투자의사결정 합리화 방안 - 도로부문 교통량 추정위험분석을 중심으로-" 한국개발연구원.
3. 남두희 (2002), 「ITS 사업의 타당성분석기법 정립에 관한 연구」, 교통개발연구원.
4. 심상달·최도성 외 (2005), 「사회기반시설 민간투자사업의 위험추정 및 분석 연구」, 「KDI 연차보고서」.
5. 심상달·최지은 외 (2005), 「사회기반시설 민간투자사업의 위험관리방안」, 연구보고서.
6. 이승재·김용훈(2008), 「구간추정법을 이용한 교통수요추정」 대한교통학회지, 제26권 제2호, 대한교통학회, pp.81~88.
7. 하현구·모창완 (2002), 「SOC 민간투자사업의 위험 배분 및 관리방안에 관한 연구」 한국교통연구원.
8. 한국개발연구원 (2006), 「국도77호선(여수~남해)

- 도로사업 예비타당성조사」.
9. 한국개발연구원 (2004), 「도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)」.
 10. 한국교통연구원 (2007), 「도로사업의 수요추정 오차발생 원인 및 영향분석 연구」.
 11. Akaike, Hirotugu (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19 (6): pp.716~723.
 12. Ashley, D.J. (1980), Uncertainty in the context of highway appraisal. *Transportation*. 9, pp.249~267.
 13. Beser Hugosson, M. (2005). Quantifying uncertainties in a national forecasting model. *Transportation Research A*. 39A(6), pp.531~547.
 14. Beser Hugosson, M. (2004). Quantifying uncertainties in the SAMPERS long distance forecasting system. Paper presented at the WCTR 2004, Istanbul.
 15. Boyce, A.M.: Bright, M.J. (2003), Reducing or managing the forecasting risk in privately-financed projects. Paper presented at the European Transport Conference.
 16. Ecorys, (2003). Rapport Doorstroomroute A4. Ecorys, Rotterdam.
 17. Jong, G. de, Andrew, Daly, Maritis Pieters, Stephen Miller, Ronald Plasmeijer, Frank Hofman, Uncertainty in Traffic Forecasts: Literature Review and New Results for the Netherlands, *Transportation* 34, pp.375~395.
 18. Leurent, F.M. (1996), An analysis of modelling error, with application to a traffic assignment model with continuously distributed values of time. Paper presented at the European Transport Conference.
 19. Lowe, S., Morrell D., Copley G. (1982), Uncertainties in Highway Appraisal: the development of systematic sensitivity testing. Paper presented at the PTRC SAM.
 20. J. B. MacQueen (1967), Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, University of California Press, pp.281~297.
 21. Schrijver, J.M., Meeuwissen A.M.H., Hilbers H. (2003), Het voorspellen van betrouwbaarheid van reistijd met een vevoerprognosemodel: SMARA, proceedings of the CVS.
 22. Zharo, Y., Kockelman, K.M. (2002), The propagation of uncertainty through travel demand models: and exploratory analysis. *Anal of Regional Science*. 361, pp.145~163.

✉ 주 작성자 : 김강수
 ✉ 교신저자 : 김강수
 ✉ 논문투고일 : 2008. 5. 16
 ✉ 논문심사일 : 2008. 7. 30 (1차)
 2008. 12. 5 (2차)
 2009. 2. 16 (3차)
 ✉ 심사판정일 : 2009. 2. 16
 ✉ 반론접수기한 : 2009. 6. 30
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필