

고속도로 연간 이용차량 예측모형 구축

A Model for Forecasting Annual Trips on Expressway



정소영



백승길

I. 서론

우리나라 고속도로는 국가기간망을 연결하는 중추적인 역할을 담당하고 있으며, 국가경제발전의 중요한 부분을 차지하고 있다. 그러나 최근 자동차 등록대수 증가율 및 경제성장률 둔화, 국제유가 급등, 고속철도 이용객 증가 등 사회·경제적 변화와 특정시간대·특정노선의 통행량 집중으로 인한 이용 효율성 저하로 고속도로 이용차량의 증가율이 점차 감소하는 추세이다. 이에 한국도로공사는 고속도로 이용을 촉진하고, 통행량을 시·공간적으로 분산시키기 위해 지난 11월 통행요금제도 변경 시 출·퇴근 할인차종 변경, 주말 통행요금 할증 등 차등요금제의 적용 범위를 확대하였다. 그러나 통행요금 변화에 따른 이용차량 추정이나 장래 고속도로 이용차량 예측에 활용하는 예측모형은 최근의 사회·경제적 변화를 반영하기에 다소 미흡하여, 이에 대한 수정·보완이 요구된다.

이에 본 연구에서는 자동차등록대수, GDP, 고

속도로 연장, 통행요금, 유가, 철도 수송량과 같이 고속도로 이용차량에 영향을 미치는 다양한 설명변수를 검토하여 고속도로 연간 이용차량 예측모형을 구축하였다. 구축된 모형은 향후 고속도로 이용차량 예측이나 사회·경제지표에 대한 탄력성 산정에 활용될 것으로 기대된다.

II. 기존문헌 검토

본 연구는 사회·경제지표와 고속도로 이용차량과의 상관관계를 분석하고, 이를 모형화하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 고속도로 이용차량 예측모형을 구축한 기존문헌들을 검토하였다.

교통개발연구원(2004)은 자동차등록대수, 도로연장, 유가, 통행요금 등을 독립변수로, 고속도로 차량이용대수를 종속변수로 선정하여 회귀모형을 도출하였다. 1980년에서 2004년까지의 연도별 자료를 이용하여 분석하였으며, IMF 경제위기 이후의 경제침체와 고속철도 개통연도를 더미변수

정소영 : 한국도로공사 도로교통연구원, youstech@ex.co.kr, 직장전화:031-371-3428, 직장팩스:031-371-3319

백승길 : 한국도로공사 도로교통연구원, bsktrans@ex.co.kr, 직장전화:031-371-3311, 직장팩스:031-371-3319

로 추가하였다. 그러나 국토해양부에서 제공하는 고속도로 차량이용대수는 각 노선별로 산정되는 통행량을 합산한 데이터로 두 개 이상의 노선을 경유하여 통행하는 차량의 경우 중복되어 산정될 우려가 있다.

이재민 등(2005)은 고속도로 통행수요에 영향을 미치는 물리적, 사회·경제적 변수를 선택하여 통행수요 함수를 추정하였다. 회귀분석에 사용된 자료와 변수는 시계열변수로 각 변수가 장·단기적으로 종속변수인 고속도로 통행수요에 미치는 영향을 검토하였으며, 분석 결과 실질GDP와 통행수요함수는 정(+)의 관계를, 실질통행료와 통행수요함수는 부(-)의 관계를 가지는 것으로 나타나 고속도로 이용대수에 대한 일반적인 예측 결과와도 일치하였다.

한국개발연구원 등(2008)은 고속도로 통행요금제도 개선을 위한 기초자료로 2040년까지 고속도로 이용차량을 예측하였다. 이를 위해 자동차증가대수, GDP, 고속도로 연장, 유효철도 연장, 가중평균 유가, 통행요금 계수를 설명변수로 하는 시계열모형을 구축하였으며, 분석 결과 자동차증가대수, GDP, 고속도로 연장은 고속도로 이용차량과 양(+)의 상관관계를, 유효철도 연장, 가중평균 유가, 통행요금 계수는 고속도로 이용차량과 음(-)의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다.

이에 대한 수정모형으로 이재민(2010)은 사회·경제적 변수가 고속도로 및 수도권 전철 통행수요에 미치는 영향을 분석하였으며, 기존의 오차수정모형 외에도 자기회귀시차모형을 추가 분석하여 모형 간 분석 결과의 신뢰성을 증진하였다.

이와 같이 고속도로 이용차량 예측에 대한 기존 연구들은 다소 있으나, 연도별 추이가 예측년도에 영향을 미치는 시계열모형의 특성 상 예측 당해년도의 설명변수의 영향을 반영하기 어렵다는 한계를 지니며, 재정/민자고속도로의 상이한 요금체계를 반영하기에 다소 미흡하다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 재정고속도로만을 대상으로 예측년도 설명변수의 특성을 반영할 수 있는 회귀모형을

구축하였으며, 경제여건 및 고속도로 통행특성을 설명할 수 있는 신규 변수를 추가하였다. 또 모형의 설명력을 증진시키기 위해 계절변동을 고려한 분기별 자료를 구축하여 표본 수를 확보하였다.

III. 기초자료 구축

1. 설명변수 검토

기존 연구에서 고속도로 이용차량과 상관관계가 높게 판단된 주요 변수들을 대상으로 자료구득 용이성 및 모형 설명력 등을 검토하였다. 검토 결과 고속도로의 대체수단으로 반영되는 철도의 유효철도 연장을 제외하고 철도 수송량을 추가하였다. 이는 고속도로의 경우 차로환산 연장을 통해 차로수를 반영하고 있으나, 철도의 경우 고속철도, 전철, 비전철연장만을 분류하는 유효철도 연장으로는 최근 중점적으로 추진되고 있는 복선화사업을 반영하기에 제한적이기 때문이다.

본 연구에서는 예측 당해년도 설명변수의 특성을 반영하기 위해 기존 예측모형보다 단순화된 회귀모형을 구축하였다. 이에 따라, 고속도로 이용차량에 직접적으로 영향을 미치는 가중평균 유가 및 통행요금 계수에 소득변수인 GDP를 반영, GDP 당 가중평균 유가, GDP 당 통행요금 계수라는 신규변수를 반영하였다.

2. 기초자료 구축

1) 고속도로 연장 (민자 제외)

고속도로 연장은 최근 증가율이 둔화되었으나, 꾸준히 증가하는 추세이며, 2010년 12월 기준 고속도로 연장은 3,579km로 나타났다. 본 연구에서는 각 구간별 차로수를 고려하여, 4차로 환산연장을 산정하여 모형에 반영하였으며, 2010년 12월 기준 4차로 환산연장은 4,111km로 나타났다.

〈표 1〉 기초자료 구축

구분	고속도로 연장 (km)	GDP (조)	자동차 등록대수 (만대)	휘발유가 (원/ℓ)	경유가 (원/ℓ)	통행요금 계수	일반철도 수송량 (백만인/년)	고속도로 이용차량 (백만대/년)
1998	1,996	501	1,047	1,038	496	79	120	689
2000	2,131	603	1,206	1,164	558	86	116	879
2005	2,850	865	1,540	1,351	993	99	115	1,087
2006	2,874	909	1,590	1,407	1,130	102	114	1,140
2007	3,132	975	1,643	1,444	1,178	103	111	1,197
2008	3,211	1,026	1,679	1,611	1,494	100	113	1,195
2009	3,496	1,065	1,733	1,513	1,300	100	108	1,244
2010	3,579	1,173	1,794	1,635	1,413	100	112	1,298

자료 : 한국도로공사, 업무통계, 각 년도
 한국철도공사·코레일공항철도·한국철도시설공단, 철도통계연보, 각 년도
 한국은행 경제통계시스템, ecos.bok.or.kr/
 한국석유공사 유가정보서비스, <http://www.opinet.co.kr/>

2) GDP

본 연구에서는 GDP를 별도 변수로 반영하지 않고, 유가, 통행요금 계수와 같이 고속도로 이용자가 실제 체감할 수 있는 설명변수에 소득수준을 반영하기 위한 용도로 활용하였다. 따라서 실질가로 전환하지 않은 명목GDP를 활용하였으며, 계절변동에 따른 영향을 받기 때문에 모형 반영 시에는 계절조정된 명목GDP를 이용하였다.

3) 자동차등록대수

자동차등록대수는 경제여건에 따라 다소 변화는 있으나 꾸준히 증가하는 것으로 나타났다. 2010년 12월 기준 자동차등록대수는 1,794만대로 나타나며, 이 중 약 76%가 승용차로 구성된다.

4) 유가

차종에 따라 사용하는 석유제품이 상이하기 때문에 본 연구에서는 차종 비율을 고려한 가중평균 유가를 모형에 적용하였다. 2010년 기준 휘발유 1,635원/ℓ, 경유 1,413원/ℓ로 각각 나타났다.

5) 통행요금 계수

통행요금 계수는 한국은행에서 발표하는 통행요금 소비자물가지수를 적용하였다. 통행요금 소비자물가지

수는 통행요금 인상, 할인 등과 같은 주요 통행요금 변경이력이 반영되어 있으며, 최근 관련 자료들이 갱신되며 기준년도가 2010년으로 변경되었다. 이에 본 연구에서는 2010년 기준의 통행요금 계수를 적용하였다.

6) 철도 수송량

고속도로는 지역 간 통행을 담당하기 때문에 대체수단인 철도도 수도권 전철을 제외한 일반철도 수송량만을 대상으로 하였다. 이는 고속철도, 새마을, 무궁화 등을 포함하며, 2010년 기준 철도 수송량은 112백만인/일로 나타났다.

7) 고속도로 수송량 (민자 제외)

고속도로는 도로관리주체에 따라 요금 부과기준이 상이하기 때문에 한국도로공사가 관리하는 재정고속도로만을 대상으로 이용차량을 산정하였다. 2010년 기준 고속도로 이용차량은 1,298백만대/일로 전년보다 4.37% 증가한 것으로 나타났다.

Ⅳ. 고속도로 이용차량 예측모형 구축

본 연구는 1998~2010년 분기별 자료를 기반으로 고속도로 이용차량 예측모형을 구축하였다. GDP, 고속도로 이용차량, 철도 수송량은 계절변동에 따른 영향을 조정하여 모형에 반영하였다.

〈표 2〉 상관분석 결과

구분	4차로 환산연장	자동차 등록대수	통행요금 계수/GDP	가중평균 유가/GDP	철도 수송량	고속도로 이용차량
4차로 환산연장	1.000	-	-	-	-	-
자동차등록대수	0.990	1.000	-	-	-	-
통행요금 계수/GDP	-0.989	-0.988	1.000	-	-	-
가중평균 유가/GDP	-0.775	-0.780	0.775	1.000	-	-
철도 수송량	-0.531	-0.536	0.526	0.651	1.000	-
고속도로 이용차량	0.977	0.988	-0.984	-0.804	-0.560	1.000

1. 상관분석

고속도로 이용차량에 영향을 미치는 설명변수들을 대상으로 상관분석을 시행하였다. 설명변수의 대다수가 시계열적으로 증가하는 자료이므로 고속도로 이용차량과의 상관관계는 대부분 높게 나타났으나, 다른 변수들에 비하여 철도 수송량의 설명력이 다소 낮게 나타났다.

상관분석 결과 4차로 환산연장 및 자동차등록대수는 고속도로 이용차량과 양(+)의 상관관계를, 통행요금 계수/GDP, 가중평균 유가/GDP, 철도 수송량은 고속도로 이용차량과 음(-)의 상관관계를 갖는 것으로 나타나, 객관적인 타당성은 확보되나, 일부 설명변수 간 상관계수가 높게 나타나 다중공선성이 의심되는 것으로 나타났다.

2. 예측모형 구축

본 연구에서는 설명변수 간 다중공선성을 제거하기 위해 분산팽창인수(VIF: Variation Inflation

Factor)를 사용하였다. 분산팽창인수란 설명변수가 상관관계에 있을 경우 추정된 회귀계수의 분산이 증가하는 정도를 측정하는 값으로 일반적으로 VIF 값이 1에 가까울수록 다중공선성 정도가 작으며, 보통 VIF 값이 10 이상일 때 다중공선성이 있다고 판단한다. 본 연구에서는 독립변수를 모두 반영한 모형을 구축한 후 VIF가 높게 산정된 변수를 제거하는 방식으로 최적모형을 구축하였다.

1) 초기모형 구축

본 연구에서 검토한 5개의 설명변수를 모두 반영하여 초기모형을 구축하였다. 구축 결과 모형의 결정계수(R^2)는 0.981로 모형 설명력은 높으나, 설명변수 간 상관계수가 높은 4차로 환산연장, 자동차등록대수, 통행요금 계수/GDP의 VIF가 〈표 3〉과 같이 높게 나타났다. 특히 4차로 환산연장과 자동차등록대수 간 상관계수는 0.990으로 모든 변수들 중 상관계수가 가장 높으므로 상대적으로 고속도로 이용차량과의 상관계수가 낮은 4차로 환산연장을 모형에서 제외하였다.

〈표 3〉 모형 구축 결과

구분	1차 모형 (초기 모형)		2차 모형 (연장 제외)		3차 모형 (연장/등록대수 제외)		4차 모형 (연장/통행요금 제외)	
	계수	VIF	계수	VIF	계수	VIF	계수	VIF
상수	3,077	-	2,533	-	6,128	-	654	-
4차로 환산연장	-0.222	64.52	-	-	-	-	-	-
자동차등록대수	0.162	64.04	0.127	44.63	-	-	0.194	2.56
통행요금 계수/GDP	-2,659	56.41	-1,881	43.71	-5,218	2.51	-	-
가중평균 유가/GDP	-64.7	3.18	-64.2	3.18	-78.2	3.15	-69.5	3.17
철도 수송량	-0.760	1.75	-0.730	1.75	-1.031	1.74	-0.593	1.74
결정계수 (R^2)	0.981		0.979		0.971		0.977	

2) 수정모형 구축

수정모형은 4차로 환산연장을 제외한 4개 변수를 대상으로 구축되었다. 구축 결과 자동차등록대수와 통행요금 계수/GDP의 VIF가 높게 나타나, 각 변수를 하나씩 제거해가며 3차 모형, 4차 모형을 구축하였다. 수정모형은 모두 모형 설명력은 높게 나타나나, 자동차등록대수와 고속도로 이용차량의 상관계수가 다소 높기 때문에 통행요금 계수/GDP를 설명변수에서 추가 제외하였다. 자동차등록대수를 설명변수에서 제외할 경우 GDP가 통행요금이나 유가 인상에 따른 효과를 경감시키는 하나, 모든 설명변수가 고속도로 이용차량에 부(-)의 영향을 미치기 때문에 장래 이용차량 예측 결과에 대한 신뢰성이 저하될 우려가 있다.

3. 모형 적합성 검토

앞서 4차로 환산연장 및 통행요금 계수/GDP를 제외한 4차 모형을 최적모형으로 선정되었으며, 비정상적인 관측치를 제거한 결과 결정계수(R^2)가 0.979로 향상되었다. 개선된 4차 모형을 대상으로 독립성, 등분산성, 정규성을 검토하여 모형의 적합성을 검증하였다.

1) 독립성 검토

독립성은 설명변수 간 독립성 및 동일 설명변수의 관측값 간 독립성을 의미한다. 설명변수 간 독립성은 앞서 제시한 바와 같이 VIF를 통해 검증하며, 분석 결과 독립변수 간 상관관계는 낮은 것으

로 나타났다. 그러나 대다수의 설명변수들이 시계열적 특성을 지니기 때문에 선행하는 관측 값에 의존하는 자기상관을 보이는 것으로 나타났다.

2) 등분산성 검토

등분산성은 잔차들의 분산이 관찰 값이 상관없이 일정함을 의미하며, 이 경우 잔차와 관찰 값 간 산점도가 뚜렷한 경향이 없이 고르게 분포하게 된다. 본 연구에서는 비정상적인 관측치를 제거하여 표준화잔차가 모두 2 이하가 되도록 모형을 수정하였고, 수정된 모형의 잔차와 예측 값 간 산점도도 <표 4>와 같이 일정한 경향을 보이지 않기 때문에 등분산성을 만족하는 것으로 판단된다.

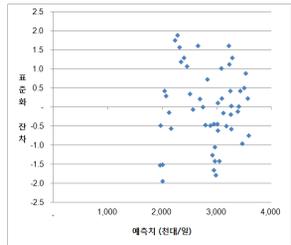
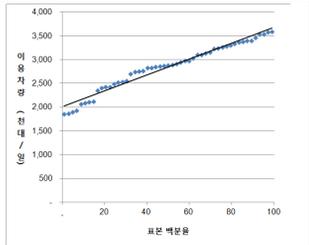
3) 정규성 검토

정규성은 예측모형의 잔차가 평균이 0인 정규분포를 따름을 의미하는 것으로 정규성을 만족하는 모형은 정규확률도를 도식화할 경우 선형으로 나타나게 된다. 본 연구에서 예측된 모형은 <표 4>와 같이 정규확률도가 선형으로 나타나며, 표준화잔차가 크지 않으므로 정규성도 만족하는 것으로 판단된다.

V. 결론

우리나라 고속도로는 국가기간망을 연결하는 중추적인 역할을 담당하고 있으며, 국가경제발전의 중요한 부분을 차지하고 있다. 그러나 고속도로 교통정책 수립에 기초가 되는 기존 고속도로 이용차

<표 4> 모형 적합성 검토

구분	계수	VIF	잔차와 예측치의 산점도	정규 확률도
상수	609	-		
자동차등록대수	0.195	2.515		
가중평균 유가/GDP	-75.8	3.129		
철도 수송량	-0.362	1.767		
결정계수 (R^2)	0.979			
Durbin-Watson 통계량	0.917			

량 예측모형은 최근의 사회·경제적 변화를 반영하기에 다소 미흡하며, 재정/민자고속도로의 요금체계가 상이함에도 불구하고 동일한 설명변수로 예측한다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 자동차등록대수, GDP, 고속도로 연장, 통행요금, 유가, 철도 수송량과 같이 고속도로 이용차량에 영향을 미치는 다양한 설명변수를 고려하여 고속도로 이용차량 예측모형을 구축하였다.

본 연구에서 구축한 고속도로 이용차량 예측모형은 자동차등록대수, GDP 당 가중평균유가, 철도 수송량에 영향을 받으며, 예측된 결과는 기존 연구에서 예측한 결과들과 유사하게 자동차등록대수는 정(+)의 관계를, 통행요금 및 철도 수송량은 부(-)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 구축된 모형은 장래 고속도로 이용차량 예측이나 사회·경제지표에 대한 탄력성 산정 등에 활용될 것으로 기대된다.

본 연구에서 구축한 예측모형은 다음과 같은 두 가지 한계점을 지닌다. 먼저 대다수의 변수들의 시계열적 특성을 지님으로 인해 설명변수 관측 값 간의 독립성이 일부 만족하지 못한다는 점이다. 다른 한계점은 한국은행에서 발표하는 소비자물가지수를 기준으로 통행요금 계수를 산정함에 따라 실제 고속도로를 이용하며 체감하는 할인·할증에 대한 영향을 반영하기 어려웠다는 점이다.

이와 같은 한계점은 설명변수 관측 값 간의 독립성을 개선하기 위한 통계적 기법 마련 및 통행요금 할인·할증제도에 대한 면밀한 분석을 통해 개선할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 향후 연구로 제시한다.

참고문헌

1. 교통개발연구원(2004), 통행요금 원가분석 및 차등요금 부과방안 연구.
2. 이재민·박수신(2005), 시계열 분석을 통한 고속도로 통행수요함수의 추정, 대한교통학회지 제23권 제7호, 대한교통학회, pp.7~15.
3. 한국개발연구원, 한국교통연구원(2008), 고속도로 통행요금 제도 및 법령에 관한 개선방안 모색 연구.
4. 이재민(2010), 사회경제적 여건 변화에 따른 교통수요의 변화 분석, 교통연구, 제17권 제4호.
5. 한국도로공사, 업무통계, 각 년도.
6. 한국도로공사, 고속도로 교통량 통계, 각 년도.
7. 한국철도공사·코레일공항공철도·한국철도시설공단, 철도통계연보, 각 년도.
8. 한국은행 경제통계시스템, ecos.bok.or.kr/
9. 한국석유공사 유가정보서비스, <http://www.opinet.co.kr/>