

해외 도로사업 교통수요예측 및 검증 기법

Transportation Demand Forecasting and Validation for Overseas Road Projects



홍상연



백승걸

1. 서론

최근 국내 신규 도로사업이 위축됨에 따라 해외 도로사업에 대한 참여가 증가하고 있는 추세이다. 교통수요예측은 도로사업 참여의 타당성을 검토하기 위한 핵심적인 요소라고 할 수 있다.

그러나 현재까지 국내에서 검토된 해외 도로사업 교통수요예측은 주로 개별사업의 수요예측 중심으로 이루어졌으며, 예측 및 검증 기법에 대한 노하우를 축적하려는 노력은 상대적으로 소홀했다.

교통수요예측의 목적 역시 국가차원의 원조사업에 대한 타당성 평가가 중심이 되어왔으며, 최근 증가하고 있는 PPP(Public-Private Partnership) 사업 등을 위한 기업차원의 투자효율성에 대한 검토는 미흡한 실정이다.

또한 해외 도로사업의 경우에는 대상국가별 사회문화적 특성 및 교통특성이 상이하며, 개도국의 경우에는 장래 경제상황에 대한 가변성이 높고 경

계수준에 따라 다양한 교통체계를 갖고 있어 교통수요예측에 어려움을 겪고 있다(그림 1).

따라서 본 연구에서는 해외 도로사업 중 PPP

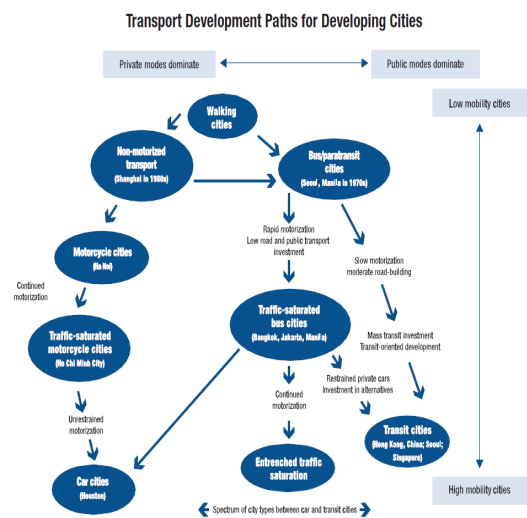


그림 1. 개도국의 교통체계 발전상 (Barter, 2004)

홍상연 : 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실, hongsy@ex.co.kr, Phone: 031-371-3492, Fax: 031-371-3319

백승걸 : 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실, bsktrans@ex.co.kr, Phone: 031-371-3311, Fax: 031-371-3319

사업을 중심으로 하여 유료도로 건설사업에 대한 다양한 국가들의 사회경제 및 교통특성을 바탕으로 해외 도로사업 교통수요예측에 영향을 미치는 주요 요소들을 다각적으로 검토하고자 한다.

II. 해외 도로사업 교통수요예측의 이슈

1. 기초자료의 부족 및 구축 수준의 차이

해외 도로사업의 주요 대상지역인 개도국들은 일반적으로 교통수요예측을 위한 제반여건이 열악하다. 교통수요예측을 위한 기초자료인 기종점 통행량(OD) 자료 및 교통망 자료가 미비하거나, 구축시점이 경과되어 활용도가 낮은 경우가 많다. 또한 시간가치 및 차량운행비 등에 대한 자료가 미비하여 각종 경제성 및 재무성 분석에 필요한 비용 및 편익산정이 어려운 경우가 많다.

따라서 해외 도로사업의 교통수요예측을 위해서는 사전에 국가별 기초자료의 구축 수준을 상세히 파악하는 것이 중요하며, 필수적인 기초자료가 누락된 경우에는 문헌조사 및 현장조사를 통해 직접 수집하는 것이 필요하다.

2. 현장조사의 수행

국가별 기초자료를 최대한 활용하더라도 정밀한 수준의 분석을 위해서는 현장조사를 통한 구체적인 최신화된 자료의 습득이 요구된다.

동남아시아 지역의 경우에는 아시아개발은행(Asian Development Bank, ADB)의 도로설계모형(Highway Design Model) 및 베트남, 인도네시아 등 일부 국가의 도로용량편람(Highway Capacity Manual)을 활용할 수 있다.

현장조사에서 수집해야 할 기초자료로는 기종점 통행량(OD) 및 교통망 자료, 차종별 현황교통량, 첨두시간계수(Peak Hour Factor, PHF), 증방향계수, 도로등급별 교통량 지체함수(Volume-Delay Function), 차로수, 도로등급, 시간가치 등이 있다.

또한 기존 구축자료를 현행화하기 위해 교통존 및 통행 발생변수와 일치되게 수집된 사회경제지표와 상위계획 및 관련계획에 대한 조사가 병행되어야 할 것이다.

3. 기초자료의 신뢰성 확보

해외사업 교통수요예측에서는 분석모형의 정밀성뿐 아니라 기초자료의 신뢰성 확보가 중요하다.

개도국의 기종점 통행량(OD) 및 교통망 자료가 구축된 경우는 해외원조사업이나 다자간개발은행(Multilateral Development Bank, MDB)의 지원을 통해 수행된 사례가 많다. 과거 분석사례들을 살펴보면 이러한 기초자료는 교통수요가 다소 과다 추정되는 경향이 있는 것으로 나타났는데, 이는 이들 기관의 지원목적이 사업의 효율성보다는 효과성을 중시하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 구축시점이 경과되었음에도 변화된 여건이 반영되지 않은 경우가 있어 활용단계의 재검토가 요구된다.

장래 전망치를 적용할 때 해당국가 또는 지자체에서 제시하는 값은 낙관적인 기대가 반영될 수 있으므로 분석의 상한치로 설정하고, 국제기구 및 국제금융기관 등 외부기관에서 제시하는 전망치를 중간값 또는 하한치로 설정하는 것이 필요하다.

4. 상위계획 및 관련계획의 수용

개도국에서는 사회경제환경의 변화로 인해 상위계획 및 관련계획의 시행이 가변적인 경우가 많다. 교통수요예측에서도 해당사업의 상위계획 및 관련계획을 검토해야 하나, 이에 대한 명확한 반영기준을 수립하기에는 현실적으로 어려움이 있다.

대부분의 국가에서는 5년 단위의 실행계획이 수립되고 있고, 이 경우에는 시행 가능성이 매우 높은 것으로 판단할 수 있으므로 분석에 반영해야 할 것이다. 반면에 교통수요에 중대한 영향을 미칠 것이나 시행여부가 불투명한 상위계획 및 관련계획에 대해서는 시나리오를 설정하여 분석하여 다양한 변동상황에 대한 검토를 수행해야 한다.

III. 해외 도로사업 교통수요예측 및 검증

1. 교통수요모형의 선택

교통수요예측의 방법으로는 일반적으로 알려진 바와 같이 크게 전통적인 4단계 모형과 개략 수요 모형으로 구분할 수 있다. 해외 도로사업에 있어 교통수요모형의 선정은 주어진 시간, 비용 제약 내에서 분석목적에 따라 결정되어야 한다(표 1).

초기 사업발굴 단계에 적용되는 교통수요모형은 단기간 내에 개략적인 분석을 통해 신속한 의사결정을 도울 수 있어야 하며, 사업 참여가 결정되어 상세한 설계가 이루어지는 단계에서는 다양한 시나리오에 대한 정밀한 분석을 지원할 수 있어야 할 것이다.

PPP 사업으로 수행되는 해외 도로사업은 유료 도로 건설사업인 경우가 많으며, 유료도로의 교통수요예측에 있어서 가장 중요한 요소는 주변 도로망의 혼잡도 분석 및 요금수준별 통행수요예측이라고 할 수 있다.

전통적인 4단계 모형은 요금수준별 통행수요 분석을 시행하기에 적합한 모형이며, 단계별 시행 및 검증과정을 거침으로써 의사결정과 관련된 이해관계자를 설득하기에 우수한 측면을 지니고 있다. 교통량-지체함수(Volume-Delay Function)를 통해 교통량에 따른 혼잡도를 반영하기도 적합하다(그림 2).

또한 원조사업 등을 통해 기 구축된 교통분야 기본계획 및 관련 자료가 대부분 전통적인 4단계 모형을 기반으로 설정되어 있어 기존 자료의 활용에도 용이한 장점이 있다.

반면에 대다수 해외 도로사업 대상지역은 혼잡수준이 비교적 낮고 교통망이 단순한 경우가 많으며, 이 경우에는 개략수요모형을 적용하는 것이 투

표 1. 검토단계별 수행내역

검토단계	주요내용	요구사항
초기	사업발굴	신속
↑ ↓	사업성 개략검토	
	사업성 상세검토	
후기		정밀

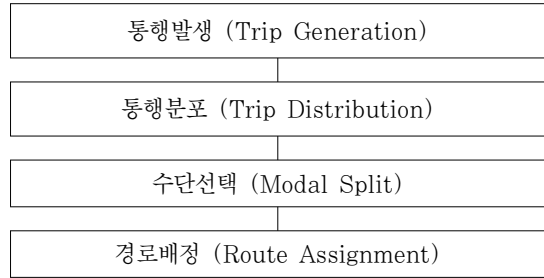


그림 2 전통적 4단계 모형의 수행절차

표 2. 개략수요모형의 기본개념

$$\begin{aligned} & \text{장래 교통량} \\ & = \text{장래인구} \times \text{발생량 원단위} \times \text{수단분담율} \\ & \quad \times \text{평균 통행거리} \div \text{lane-km} \end{aligned}$$

입되는 노력 및 시간 대비 우수한 결과를 보일 수 있으므로 보조적인 수단으로 검토가 필요하다.

개략수요모형은 분석여건에 따라 실제 타당성조사 단계에서도 적용사례가 있으며, 개략수요모형의 개념적인 틀은 표 2와 같다. 여기에 주요 사회경제지표 증가율을 반영하고, 대안노선 간의 경로 전환모형을 적용함으로써 사업대상노선의 개략적인 교통량을 예측할 수 있다.

그밖에도 사업대상노선 외의 연결도로가 미흡한 경우에는 영향권을 고려하지 않고 사업대상노선 주변의 현황 교통량에 단순히 장래 증가율을 적용하여 징계 교통량을 개략적으로 추정할 수도 있을 것이다.

2. 단계별 적정성 평가지표

교통수요모형을 적용함에 있어 국가별로 인당 통행발생율, 평균 통행거리, 인당 승용차 보유대수 등 각 단계에 적용되는 원단위의 특성을 조사하기 위해서는 대규모의 현장조사를 필요로 한다.

그러나 실질적으로 이러한 현장조사가 이루어지는 경우는 시간과 비용 등 현실적인 제약이 있으므로 소득수준, 도시규모 및 도시기능이 유사한 사례들을 통해 상호참조하는 방법이 유용할 것이다.

특히 4단계 모형의 경우에는 시간 전이성

표 3. 4단계 모형의 단계별 적정성 평가지표

구분	검증지표
통행발생	1인당 총 통행발생율 (통행/인·일)
	목적별 1인당 통발생율 (통행/인·일)
통행분포	통행당 평균통행거리 (km)
수단분담	수단분담율 (%)
	통행거리대별 수단분담율 (%)
통행배정	도로유형별 VMT ^{주)}
	도로유형별 VMT/km
	도로유형별 VMT/lane-km

주: VMT(Vehicle-Mile Traveled)

(Temporal Transferability)이 낮은 특성상, 사회경제 환경의 변화가 큰 개도국의 경우에 장래에 측력이 약화될 수 있어 장래여건 변화에 대한 상호 참조의 중요성은 더욱 높아진다.

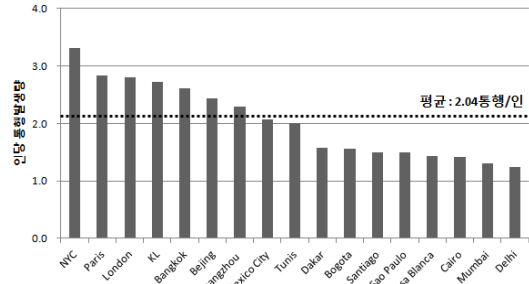
4단계 모형을 중심으로 단계별로 활용가능한 적정성 평가지표는 표 3과 같으며, 비교대상 도시 또는 국가 선정 시에는 소득수준, 도시규모, 교통수단 공급현황 등을 고려해야 할 것이다.

3. 주요 적정성 평가지표 사례조사

1) 통행발생량

통행발생량은 교통수요예측에 있어 가장 기초적인 자료이자 4단계 모형의 첫 번째 입력변수이다. 일반적으로 소득수준이 높아질수록 사회활동이 증가하여 통행발생량이 증가하는 경향이 있다.

세계 주요도시의 인당 통행발생량을 조사한 결



자료: Millenium Database (UITP, 1996)

그림 3. 주요 도시별 인당 통행발생량 비교

과 평균 약 2.04통행/인으로 나타났으며(그림 3), 비교대상이 되는 도시 또는 국가의 통행발생량을 통해 교통수요 예측모형에 적용된 통행발생량의 적정성을 평가할 수 있다.

2) 차종구분 및 승용차 환산계수

국가별로 운행 허용차종이 다르고 경제수준에 따른 주요 통행수단이 다양하여 해외 도로사업 교통수요예측 시에는 대상국가별로 개별적인 접근이 필요하다. (예: 필리핀은 고속도로에 이륜차 진입 금지, 삼륜차는 승객이 없을 때만 진입 허용, 베트남은 삼륜차 진입 금지)

승용차 환산계수(Passenger Car Equivalent, PCE)는 유사한 등급의 차종에 대해서도 차량성능, 도로여건 및 운전자 특성에 따라 국가별로 차이를 보이고 있으며, 주요 국가의 차종구분 및 차종별 승용차 환산계수는 표 4와 같다.

표 4. 국가별 차종분류 및 승용차 환산계수

구분	Car	Light bus /truck	Bus		Truck		Cart		Rickshaw		Motor cycle	Bicycle
			medium	heavy	medium	heavy	horse	hand	cycle	auto		
Indonesia	1.00		1.30				-	-	-	-	0.20	0.50
Singapore	1.00	1.50	2.00				-	-	-	-	0.50	-
Ghana	1.00	1.50	-	2.00	1.80	2.50	-	-	-	-	-	-
Bangladesh	1.00	3.00	-	3.00	-		-	-	-	0.75	-	-
India	1.00	4.50	5.00				4.00	8.00	3.00	3.00	0.50	2.00
China	1.00	0.60	1.50	-	-	3.00	-	-	-	-	0.50	-
Palestine	1.00		2.00		2.00	-	-	1.67	-	-	-	-

자료 : 국가별 관련기관 홈페이지

3) 수단분담율

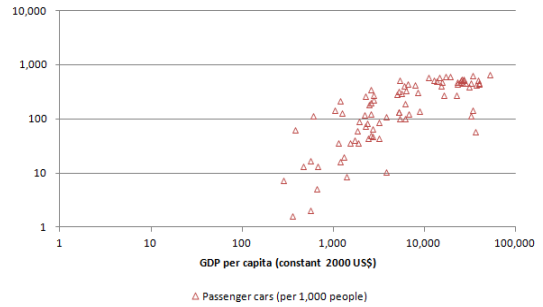
개도국에서 높은 수단분담율을 차지하는 이륜차는 장기적으로는 소득이 증가하고 승용차 보급이 확대되면서 감소하는 경향을 보이고 있다. 단기적으로는 이륜차의 직접적인 대체수단이 될 수 있는 대중교통의 보급률이 이륜차의 수단전환에 영향을 미치는 중요한 변수로 작용하기도 한다.

대중교통과 이륜차 보급의 관계를 검토하기 위해 필리핀의 통계자료를 보면, 2003년부터 2007년에 걸쳐 연간 버스 등록대수 변화는 미미하였지만 상대적으로 이륜차의 등록대수는 연평균 11.6%로 크게 증가하였다(표 5). 즉, 대중교통 서비스 증가 없이 이륜차 보급이 크게 증가하는 것은 기존의 단거리 도보통행자가 소득수준 향상에 따라 이륜차통행자로 전환된 것으로 추정할 수 있을 것이다.

이륜차의 수단전환은 다양한 조건에 따라 발생하여 전환과정을 일반화하기는 어려우나, 도로용량, 기종점 통행량(OD), 수단분담율 및 요금탄력성 등 다양한 부분에 영향을 미치므로 면밀한 검토가 요구되는 분야이다.

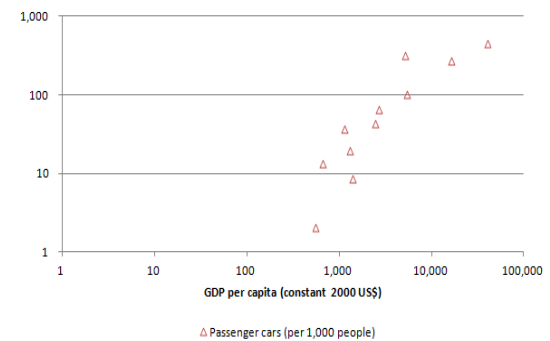
이와 마찬가지로 국가별 소득수준에 따른 승용차 보유대수를 비교하면 높은 수준의 상관관계가 있음을 알 수 있다. 그림 4와 같이 세계 주요국가에 대한 소득대비 승용차 보유대수의 관계(log-log 그래프)를 살펴보면 일부 도시국가, 산유국 등 특수한 사례를 제외하고는 뚜렷한 상관관계를 보이고 있다.

그림 5는 비교대상을 동남아시아 주요국가로 한정된 결과이다. 그림에서 보는 것과 같이 세계 주요국가 비교결과보다 높은 적합도를 보이고 있어, 앞에서의 지표들과 같이 지역적 특성이 반영되고 있음을 시사하고 있다.



자료: World Bank Database

그림 4. 세계 주요국가 소득대비 승용차 보유대수



자료: World Bank Database

그림 5. 동남아 주요국가 소득대비 승용차 보유대수

표 5. 필리핀 자동차 등록대수

(단위: 대, 폐소)

구분	2003	2004	2005	2006	2007	증가율
버스	31,347	34,998	30,968	23,155	30,113	-1.0
이륜차	1,552,570	1,847,350	2,157,707	2,157,707	2,409,286	11.6
GDP	52,718	58,149	63,556	69,365	74,947	9.2

자료: 필리핀 통계국

4) 통행요금 결정방법

유료도로 건설사업에서 적정 통행요금을 결정하는 것은 향후 운영단계에서 도로시설의 효율적인 이용과 운임수입 극대화를 위해 매우 중요하다. 일반적인 통행요금 결정방법은 표 6과 같다.

5) 가격탄력성

유료도로 건설사업의 사업성을 평가하기 위해서는 다양한 요금수준별 교통수요예측이 요구된다. 국내 도로사업 분석시에 요금수준은 교통량-지체함

표 6. 통행요금 결정방법 조사사례

구분	통행요금 결정방법
법적 근거	· 국내의 경우에 고속도로 통행료 책정에 관한 법(유료도로법 제9조)에 근거하여 적정요금 설정
기존 유료도로 사례 검토	· 운영 중인 유료도로 요금 검토 · 기존 민간고속도로 사례 조사
SP조사	· 대상 사업노선 주변지역 운전자를 대상으로 설문조사 시행 · 사업노선의 적정 요금수준 설문

표 7. 통행목적별 가격탄력성 추정

교통수단	탄력성	국가	자료 및 방법
업무(철도)	-0.67~-1.00	영국	시계열자료
	-0.60~-0.70	미국	횡단면자료
여가(철도)	-0.37~-1.54	영국	시계열자료
	-1.30~-1.40	미국	횡단면자료
업무(항공)	-0.50~-0.65	유럽	시계열자료
	-1.00~-1.15	유럽	횡단면자료
여가(항공)	-0.40~-0.92	유럽	시계열자료
	-1.05~-1.52	유럽	횡단면자료

자료: Evaluación Económica de Proyectos de Transporte, Banco Interamericano de Desarrollo¹⁾, 2006

표 8. 교통수단별 가격탄력성 추정

교통수단	탄력성	국가	자료 및 방법
승용차	-0.13~-0.45	미국	장단기간예측
	-0.09~-0.52	호주	장단기간예측
	-0.14~-0.36	영국	다양한방법
	-0.10~-0.29	홍콩	횡단면자료
대중교통	-0.01~-0.62	여러 도시	시계열자료
	-0.05~-0.34	여러 도시	횡단면자료
	-0.06~-0.44	여러 도시	패널자료
항공	-0.82~-0.81	여러 국가	시계열자료
	-0.26~-1.34	유럽	시계열자료
	-0.76~-4.51	여러 국가	횡단면자료
	-1.24~-2.34	미국	비집계자료
철도(여객)	-0.15~-1.50	영국	비집계자료
철도(화물)	-0.09~-0.60	미국	총적재량
	-0.02~-1.18	미국	식품
도로(화물)	-0.69~-1.34	미국	총적재량
	-0.52~-1.54	미국	식품

자료: Evaluación Económica de Proyectos de Transporte, Banco Interamericano de Desarrollo¹⁾, 2006

수(VDF)에 추가적인 항으로 반영하고 있으며, 해외 도로사업의 경우에도 동일한 접근이 가능하다.

그러나 개도국에서 일반적으로 나타나는 빈부격차와 비교적 높은 경제 성장률 등을 고려했을 때, 가격탄력성을 단순히 통행요금과 시간가치의 관계로만 파악하기에는 다소 무리가 있다.

따라서 분석을 통해 도출된 가격탄력성은 교통수단별, 통행목적별로 주요 비교대상국가와의 상호참조를 통해 적정성을 검토해야 할 것이다.

표 7과 표 8은 각각 주요 국가에 대한 통행목적별, 교통수단별 가격탄력성을 나타내고 있다. 단, 제시된 자료는 선진국의 사례이므로, 소득수준, 교통여건 등 다양한 요소에 의해 영향을 받는 가격탄력성의 특성을 고려하여 실제 활용에 있어서는 다양한 요소를 고려한 주의 깊은 검토가 필요할 것이다.

IV. 결론

최근 국내 도로사업 건설시장이 침체됨에 따라 국내 업체의 해외 도로사업 참여가 증가하고 있다. 또한 우리나라가 2009년 OECD 개발원조위원회(Development Assistance Committee, DAC)에 가입한 이후로 점차 해외원조 비중을 높이고 있으며, 관련업계에는 이와 연계된 PPP 사업의 참여 기회가 확대되고 있다.

반면에 해외 도로사업의 참여를 결정하기 위한 첫 단추인 교통수요예측에 있어서는 개별사업에 대한 대응만 이루어지고 있으며, 이에 대한 심도 있는 논의나 경험 공유가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 해외 도로사업 교통수요예측에서의 주요 이슈를 검토하고, 검토단계별로 요구되는 교통수요모형의 유형을 제시하였다. 또한 교통수요모형을 적용함에 있어 단계별 적정성을 검토하기 위한 지표로서 통행발생량, 차종별 승용차 환산계수, 수단분담율 및 인당 승용차 보유대수, 가격탄력성 등을 다양한 국가들의 사례를 통해 비교 제시하였다.

1) Economic Evaluation of Transport Projects, Inter-American Development Bank, 2006

향후 해외 도로사업 참여를 활성화하고 고도화 하기 위해서 국내 여건과는 상이한 해외 국가들에 서의 교통수요예측에 대한 노하우를 공유하고 더 나아가 이에 특화된 절차 및 지침에 대한 지속적인 논의가 필요할 것이다.

참고문헌

Barter P. (2004), A Broad Perspective on Policy Integration for Low Emissions Urban Transport in Developing Asian Cities, Paper given at an international workshop, Institute for Global Environmental Strategies. Kanagawa,

Japan.
Economic Evaluation of Transport Projects (2006), Inter-American Development Bank.
Millenium Database (1996), International Association of Public Transport.
World Bank Database.
박규영 (2013), 개발도상국 도로사업 교통수요예 측 사례와 시사점, 도로정책브리프, 제66호.
한국도로공사 (2013), 해외사업 교통수요분석 매뉴얼.
싱가포르 통계청 홈페이지.
인도네시아 통계청 홈페이지.
필리핀 통계국 홈페이지.
호주 교통청 홈페이지.