

■ 論 文 ■

도로시설 규모산정에 있어서 교통량 정산과정에 따른 경제적 편익 차이에 관한 연구

A Study on Differences of Economic Benefits by Volume Calibration
in Road Construction Projects

김 상 구

(전남대학교 교통물류학부 교수)

김 근 덕

(전남대학교 교통물류학과 석사과정)

목 차

- I. 서론
 - II. 관련 연구 검토
 - 1. 예비타당성조사 표준지침(KDI, 제4판)
 - 2. 교통시설 투자평가지침(국토해양부)
 - 3. 경제성 평가 해외사례
 - 4. 도로저항함수
 - III. 자료수집 및 분석
 - 1. 자료 수집
 - 2. 자료 분석
 - IV. 통행배정 모형의 정산
 - 1. 관측교통량과 배정교통량 비교
 - 2. 정산결과의 통계적 검증
 - 3. 교통량 정산에 따른 속도 비교
 - 4. 추정속도와 관측속도 비교
 - V. 편익추정
 - 1. 각 VDF별 편익항목 추정
 - 2. 편익결과에 대한 통계적 분석
 - VI. 개선방향
 - 1. 교통량과 속도정산 동시수행
 - 2. 새로운 속도 추정 방법
 - 3. 교통량-지체함수(VDF) 개발
 - VII. 결론
- 참고문헌

Key Words : 교통량정산, 경제성분석, 편익산정, VDF함수, 통행속도
Volume Calibration, Economic Appraisal, Benefit Calculation, Volume-Delay Function, Travel Speed

요 약

본 연구는 도로사업의 경제적 타당성 분석시 적용되는 편익에 대한 정확성을 높이기 위한 방안을 제시하는 연구이다. 기존 경제적 평가방법의 문제점은 모형의 정산시 교통량만을 정산하기 때문에 실제 교통량과 비슷하게 모형이 정산되지만 모형에서 나오는 통행속도는 실제 속도와 차이를 나타낼 수 있다는 점이다. 실제통행속도와 다른 모형속도는 차량운행비, 통행시간, 대기오염 절감 편익들이 잘못 산정될 수 있게 한다. 따라서, 본 연구에서는 2개의 서로 다른 VDF를 가지고 도로망에서 비슷한 교통량 정산에 의해 서로 다른 속도로 산출된 후 서로 다른 모형속도 결과에 따른 경제적 편익의 차이가 크게 발생하는 문제점을 확인하였다. 이러한 문제점에 대한 개선방향으로 교통량에 따른 정확한 속도를 산출하는 VDF 함수 개발을 포함한 3가지 개선방안을 제시하여 향후 정확한 편익산정과 이로 인한 합리적인 경제성분석이 수행될 수 있는 토대를 마련하였다.

This paper proposes a plan which can raise the accuracy of economic benefit estimation in road construction projects. The point of existing economic appraisals may be that the speeds forecasted by models are different from the field speeds because only volumes are calibrated in the road network. The result of such a calibration has an influence on estimating wrong economic benefits in terms of vehicle operating cost savings, travel time savings, and air pollution savings. Then this study performs a calibration when volumes are at the same amount but the calibration between the field speeds and model speeds is different from each other with two different volume-delay functions; the differences of benefits are confirmed according to two different speed calibrations. Three improvement schemes, including the development of a new volume-delay function, are proposed in this study in order to solve the problem of current benefit calculations. The outcome of this study will help practitioners perform more accurate benefit calculations and reasonable economic appraisals.

이 논문은 2007년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

정부에서는 사회기반시설 투자사업의 효율적 수행과 타당성조사의 실효성 확보를 위해 ‘공공건설사업 효율화 종합 대책’을 마련하였다. 이 대책은 국고지원을 수반하는 총 사업비 500억원 이상의 신규 공공건설사업 및 공공개발 사업 중 국고지원이 300억원 이상인 경우 예비타당성조사를 시행하도록 명시하고 있다. 예비타당성조사의 수행은 타당성조사에 앞서 예산의 신중한 투자를 검토하고, 경제적 타당성에 의한 사업간 우선순위를 비교하여 투자의 효율을 증진시키고자 하는데 있다.

특히, 예비타당성조사와 타당성조사의 경제성 분석은 사업 타당성 평가의 근간을 이루는 부분으로서 지침에 의한 정확하고 합리적인 분석이 요구되고 있다. 그러므로 편익과 비용항목에 대하여 지속적인 보완이 이루어질 때 경제성 분석의 신뢰도 또한 높아질 것이다.

기존 타당성조사의 편익산정시 크게 영향을 미치는 변수들을 살펴보면 교통량, 속도 등이 있는데 현재 한국개발연구원(KDI)의 예비타당성 표준지침에서는 교통량만을 가지고 모형정산을 수행하기 때문에 속도에 대한 정산 여부가 불분명하고 이로 인하여 현실적인 속도 반영이 제대로 이루어지고 있는지 알 수가 없다.

본 연구에서는 같은 수준의 교통량 정산에 대하여 추정되는 서로 다른 속도를 나타내는 결과로 인하여 어느 정도 다른 편익 결과가 산출될 수 있는지를 분석하였고 이를 위하여 기존에 사용되는 (예비)타당성 지침의 내용을 검토하였고 해외 경제성평가 분석과정과 통행배정모형 정산에서 중요한 역할을 하는 도로저항함수 등을 관련 연구사례로 검토하여 제시한다.

본 연구의 결과로 인하여 향후 보다 합리적이고 정확한 경제성분석을 수행할 수 있는 기초연구가 되고 나아가 사회기반시설투자에 있어서 보다 효율적인 의사결정의 토대를 마련할 수 있을 것으로 예상된다.

II. 경제성평가 방법

1. 예비타당성조사 표준지침(KDI, 제4판)

KDI의 「도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준

지침 수정·보완연구(제4판),(2004)에서는 교통수요추정 결과의 신뢰성을 확보하고자 교통량-지체함수(VDF)를 이용하여 관측교통량을 가지고 통행배정모형을 정산하도록 하고 있다. 이러한 모형의 정산시 영향권내 주요 도로의 관측교통량과 배정교통량을 비교하여 허용오차 범위 이내에 들어오도록 정산하고 있다.

1) 통행배정 모형의 정산

실제 조사를 통하여 얻은 관측교통량과 교통수요추정 과정에서 얻은 배정교통량을 비교하여 모형의 현실모사 능력을 평가한다. 이때 교통량 비교는 직접영향권뿐 아니라 간접영향권의 주요 도로를 포함하며, 특히 사업시행으로 인하여 교통패턴의 변화가 현저할 것으로 예상되는 지점을 포함하여 교통량을 비교하여야 한다. 오차율의 허용범위는 사업대상구간과 인접도로의 경우 15%, 기타 주요도로는 30%로 설정한다.

$$\text{오차율}\epsilon(\%) = 100 \times \frac{f_i^{est} - f_i^{obs}}{f_i^{obs}}$$

단, f_i^{est} : 통행배정 분석 결과에 의한 링크의 추정 교통량

f_i^{obs} : 링크의 관측 교통량

또한, 영향권내 전체 링크의 관측교통량과 배정교통량의 상관관계를 집계한 R값이 0.8을 초과하여야 한다.

2) 편익의 산정

① 차량 운행비용 절감 편익

차량운행비용은 차종별 속도에 따라 다른 비용이 산출되기 때문에 교통수요 추정결과에 의한 속도 결과값들은 편익 산정시 매우 중요한 요소이다. 특히, 차종별 차량운행비용 원단위는 저속에서 변화가 매우 크고 고속에서는 변화가 작기 때문에 추정된 속도크기가 얼마인지에 따라 편익이 가장 민감하게 나타날 수 있다.

② 통행시간 절감 편익

링크통행 시간에 따라 통행시간비용이 결정되기 때문에 통행시간을 결정하는 추정속도에 따라 가장 직접적으로 반영되는 편익항목이라고 할 수 있다.

③ 교통사고 절감 편익

교통사고 비용은 도로등급과 링크길이, 교통량에

의해 산정되는 항목이므로 속도와는 상관이 없는 편의 항목이다.

④ 환경비용 절감 편의

대기오염 비용 편익은 한국환경정책평가연구원과 철도청에서 제시된 차종별·속도별 오염물질별 대기오염비용 원단위를 사용하여 사업시행 전·후의 대기오염비용 차이를 편익으로 산정하기 때문에 편익결과는 속도에 의해 결정된다.

2. 교통시설 투자평가지침(건설교통부, 2007)

1) 통행배정 모형의 정산

통행배정 모형의 정산 방법은 KDI의 표준지침(제4판, 2004)과 같지만 오차율의 허용범위가 인접도로의 경우 10%, 기타 주요도로는 20%로서 좀 더 정확한 정산수준을 요구하고 있다.

2) 승용차 환산계수와 시간가치 원단위

분석시 사용되는 원단위는 KDI의 표준지침(제4판, 2004)과 거의 유사하지만 수도권 버스의 승용차 환산계수(KDI-2, 건설교통부-3.5)로 약간 다르고, 수도권 및 5대 광역권에 전국 각 시도별 평균차차인원을 추가적으로 제시하였다.

편익산정시 시간가치 산출의 기반이 되는 자료들의 년도가 2005년으로서 KDI 표준지침 자료(2003)보다 최신 자료를 기반으로 산정되었고 시간가치가 상대적으로 낮게 제시되고 있다.

<표 1> 시간가치 비교(2006년 기준)

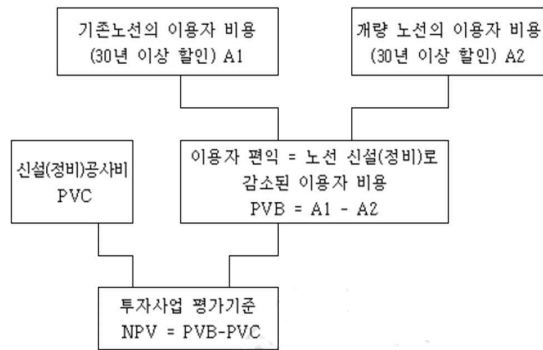
구분	KDI 표준지침	건설교통부 투자평가 지침
승용차(원/대)	13,220	11,298
버스(원/대)	82,234	44,918
트럭(원/대)	12,697	12,182

주: KDI 표준지침은 2003년, 건설교통부의 투자평가 지침은 2005년 자료로서 소비자물가지수 보정계수를 사용하여 2006년 기준으로 보정하였음

3. 국외 경제성평가 방법

1) 영국

영국에서는 신규 간선도로 사업에 대한 책임을 교통



<그림 1> 영국의 비용-편익(COBA) 평가과정

성이 가지고 있으며, 그 사업의 계획순서는 9단계를 거치고 교통평가, 경제평가, 환경평가를 수행한다.

비용·편익 분석에 사용되는 COBA 프로그램은 비용·편익 분석은 시장거래가 가능한 산출물을 생산하는 부분을 대상으로 하여 사회에 대한 비용과 편익을 측정한다.

추정 항목으로는 사회전반에 발생시키는 모든 비용과 편익을 화폐가치로 환산하기란 불가능하며, 부분적인 분석에 그칠 수밖에 없기 때문에 계량화가 가능한 통행시간 절감, 차량운행비 절감, 교통사고 절감을 평가하고 있다.

2) 미국

정진혁(2009)은 주정부 중심의 미국의 도로투자 평가에 대하여 미국의 AASHTO에서 개발된 비용-편익 분석 방법론을 기반으로 다양한 기관에서 사용하고 있던 도로 투자분석기법을 일관적이고 체계화시킨 분석법인 HERS(Highway Economic Requirements System)에 대하여 소개하였다.

HERS는 연방정부의 재정지원을 받는 대규모 사업을 대상으로 예산 제약하에서 최적 대안을 선정하는데 그 목적을 두고 있다. 이는 이용자 비용(통행시간 감소, 운행비용 절감, 교통사고 감소), 사업자 비용(유지관리비 절감, 잔존가치), 사회적 비용(차량 오염물질 방출 감소) 등을 분석항목으로 사용하여 경제성분석을 통하여 최적안을 도출한다.

3) 일본

1998년 “도로투자의 평가에 관한 지침검토 위원회”가 구성되어 「도로투자의 평가에 관한 지침(안)」을 발간하였으며, 2003년 8월에 이의 후속작업으로 「비용편익분석 매뉴얼」을 발간하였다.

비용편익분석 매뉴얼에서는 이러한 효과 가운데 충분한 정확도에 의해 계측 가능하고 금액으로 환산 가능한 주행시간 단축, 주행경비 감소, 교통사고 감소의 항목에 대해서만 편익을 산출한다.

일본에서도 아직까지는 우리나라와 비슷한 전통적인 비용·편익 분석 적용하고 있다. 비용과 편익 항목면에서도 우리나라와 비슷한 항목을 적용하고 있으며, 단지 차이점은 환경편익을 반영하지 않는다는 점과 통행시간 절감편익과 운행비용 절감편익 산정시 관공목적의 교통량이 증가하는 등 휴일의 교통상황이 평일의 교통상황과 크게 다른 도로에 대해서는 휴일 교통량을 고려할 수 있도록 한 점이다.

4) 독일

독일의 도로투자 평가는 연방 교통성에 의해 제시된 교통투자 평가지침(RAS-W)에 기초하여 행해지고 있었으나, 2003년에 'Bundesverkehrswege plan 2003: Die gesame-wirtschaftliche Bewertungsmethodik (Federal Transport Infrastructure Plan 2003: methodology macroeconomic evaluation)',(이하 BVWP 2003)은 RAS-W에 비해 기본적인 방법론에는 큰 차이가 없으나 편익 항목이 추가되는 등 일부 내용이 수정되었고 추정되는 편익 항목의 대부분으로서 아래와 같다.

- 교통 비용의 절감(시간, 운행비 및 환승)
- 교통 시설 관리·운영 비용의 절감
- 접근성의 개선(여객의 시간 절약 편익)
- 교통안전의 향상
- 고용증대효과 및 국제관계증진에의 기여
- 환경 질의 향상(저하)
- 교통량 유발에 따른 영향
- 항만 공항 등의 접근성 향상
- 비교통 기능에의 기여(예: 수로 건설에 따른 수력발전, 홍수조절기능 등)

4. 도로저항함수

Irwin 등(1961)의 연구는 차로별 교통량과 용량 관계에 의해 불연속적으로 적용하는 두 개의 직선함수를 제안하였고 Smulick(1962)은 DATS(Detroit Area Transportation Study)에 사용하기 위하여 지수형식의 함수를 제안하였고 이를 유도할 수 있도록 실험과 수학적 논리를 제공하였으며 각 링크의 용량을 추정하는 위해 링크의 중점에 있는 교차로의 용량을 평균하여 산출하였다.

$$T = T_0 \exp(Q/C_c)$$

$$T \leq 5T_0$$

여기서, T : 교통량이 Q일 때 통행시간
 T₀ : 교통량이 없을때의 통행시간
 Q : 교통량 또는 통행수요
 C : 용량

미국의 공로국(1964)에서는 BPR식을 개발하였으며 함수식은 다음과 같다.

$$T = [60 \times (L/S_M) + D] \cdot [1 + \alpha (V/C)^2]$$

여기서, T : 링크 통행시간(분)
 L : 링크 거리(km)
 SM : 자유속도(km/h)
 D : 교차로 지체시간 (20초)
 V : 링크 교통량(pcu/시)
 C : 링크 용량(pcu/시)
 α, β : 파라미터

영국 교통부(1985)에서는 도시부, 외국부 및 도시간 도로 등 지역구분에 따라 여러 형태의 링크에 대하여 속도-교통량 상수를 제시하였고 또한, 교통량 수준별로 다른 시간-교통량 관계식을 적용하고 있다.

$$T = d/S_0 \quad V < F_1$$

$$T = d/S(V) = \frac{d}{S_0 + SS_{01}F_1 - SS_{01}V} \quad F_1 \leq V \leq F_2$$

$$T = d/S_1 + (V/F_2 - 1)/S \quad V < F_2$$

여기서, $SS_{01} = \frac{S_0 - S_1}{F_1 - F_2}$
 S₀ : 자유류에서의 속도
 S₁ : 용량상태 F₂일 때의 속도
 F₁ : 자유류 상태하에서의 최대교통량
 d : 링크의 길이

Spiess(1990)는 BPR 통행비용함수의 급격히 증가하는 곡선의 형태에 대한 문제점을 보완한 Conical 함수식을 제안하였으며 함수식은 다음과 같다.

$$t = (t_0 + D) \times [t_0/t_0 + \sqrt{a^2 \times (1-x)^2 + b^2} - a \times (1-x) - b]$$

- 여기서, t : 통행시간(분)
- D : 교차로 지체시간 (20초)
- t_0 : 자유류상태 통행시간(분)
- t_c : 용량상태 통행시간(분)
- a : 정산계수 (단, 1보다 커야함)
- b : $(2a-1) / (2a-2)$
- x : v/c 비

Wardrop(1968)은 평균 지체의 역수와 교통량의 관계는 대기행렬과 통행시간에 대하여 대체로 선형관계임을 증명하였고, 도로망의 전체 통행속도와 교통량과의 관계를 표시하는 지체함수를 개발하였다.

$$T = \frac{T_0}{1-\gamma Q} + \frac{\alpha\beta}{(\alpha-Q)D}$$

여기서 D : 도로연장, $\alpha, \beta < 0, \gamma < 1/C$

III. 자료수집 및 분석

1. 자료수집

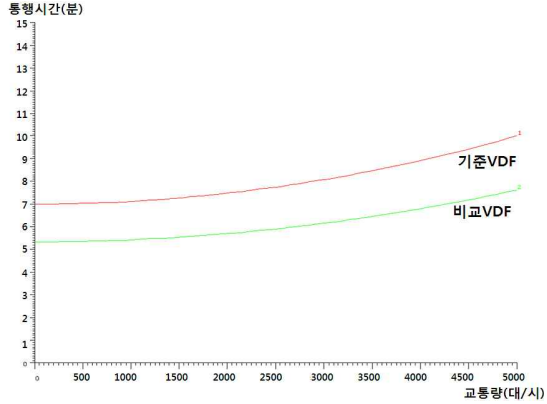
본 연구에서는 도시부내 관측교통량과 속도가 조사되어 있는 수도권을 대상으로 자료를 수집하였다.

기초자료는 (예비)타당성조사시 사용되는 서울시정개발연구원(이하 SDI) 4차 배포 Network와 O/D를 사용하였고 VDF는 교차로 지체(1/180)가 반영된 SDI의 3차 배포 VDF를 적용하였다. SDI 3차배포 VDF의 특성을 살펴보면 크게 연속류와 단속류로 구분되고 연속류는 BPR함수를 적용하여 고속도로, 도시고속도로, 내부순환로로 구분하며, 단속류는 Conical함수를 적용하여 간선도로, 보조간선도로, 일반도로, 국도, 지방도, 시군도로 구분한다.

본 연구에서는 통계적으로 동일한 수준의 교통량 정산결과에 따른 서로 다른 모형속도를 나타내기 위하여 SDI 3차 배포 VDF(이하 기준 VDF)에 통행배정모형 정산시 일반적으로 조정되는 자유속도 항목을 임의적으로 상향조정하여 속도의 차이를 나타낼 수 있는 새로운 VDF(이하 비교 VDF)를 설정하였다.

- 기준 VDF 예(고속도로) :

$$VDF = (\text{length}/90 + 1/180) * 60 * (1 + .5 * ((\text{volau} + \text{volad}) / (\text{lanes} * \text{ul}))^2)$$



<그림 2> 기준 VDF 및 비교 VDF 통행시간 차이

- 비교 VDF 예(고속도로) :

$$VDF = (\text{length}/120 + 1/180) * 60 * (1 + .5 * ((\text{volau} + \text{volad}) / (\text{lanes} * \text{ul}))^2)$$

<그림 2>에서 보는 바와 같이 두 개의 VDF를 비교해 보면 교통량에 따른 통행시간 변화율(기울기)은 비슷하고, 교통량이 없을 때 10km 구간에서 최소시간이 약 1.7분정도 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

2. 자료분석

1) 분석구간

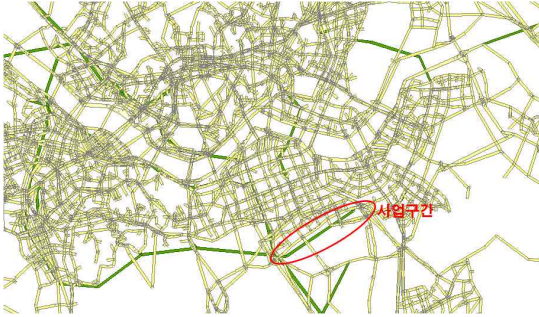
본 연구목적에 부합되도록 경제성 평가를 수행하고자 장래 수도권 계획도로 중에서 SDI에 반영된 장래 네트워크를 활용하여 도로 일부구간을 대상으로 사업구간을 설정하고 교통량 정산과 경제적 편익을 산출하였다. 사업구간은 강남 순환고속도로 중 선암영업소~사당IC간 3.8km 구간을 설정하여 분석을 수행하였다.

<표 2> 사업구간 현황

노선명	강남 순환 고속도로
사업구간	선암영업소~사당IC
링크길이	3.8km
차로수	왕복 4차로
도로등급	도시고속도로

2) 분석년도

분석년도는 2006년을 기준년도로 설정하였고, 개통년도는 2011년이고 개통 후 30년간 편익분석을 수행하



<그림 3> 사업구간 위치도

기 위하여 2011년, 2016년, 2021년, 2031년을 중간 분석년도로 설정하고 최종목표년도인 2040년까지는 2031년 분석결과와 동일한 것으로 가정하였다.

3) 통행배정의 원단위

재차인원, 승용차 환산계수, 시간가치 등은 KDI에서 제공하는 자료를 참고하였는데, 재차인원은 승용차 1.319인/대, 버스 12.95인/대, 트럭 1인/대를 사용하였고 승용차 환산계수는 버스 2.0, 트럭 1.56을 사용하였다. 시간가치는 승용차 8,394원/대, 버스 44,417원/대, 트럭 12,417원/대를 사용하였다.

IV. 통행배정 모형의 정산

1. 관측교통량과 배정교통량 비교

정산방법으로는 일단 분석에 사용할 기준 VDF를 기반으로 서울지방경찰청에서 조사된 관측교통량과 건설교통부의 교통량 통계연보에 제시되어 있는 고속도로, 국도, 지방도의 관측교통량을 기준으로 배정교통량을 정산하였다.

유사한 교통량 정산에 따른 서로 다른 추정속도를 가진 모형 정산결과를 도출하기 위하여 기준 VDF로 정산된 결과에 VDF의 자유속도만 전체적으로 동일하게 상향조정하고 EMME/2의 Link Compare 기능을 이용하여 각 도로등급간 패턴을 살펴본 후 각 VDF의 자유속도를 조금씩 수정하였다.

정산 결과는 <표 3>에서와 같이 기준 VDF와 비교 VDF로 정산한 오차율이 거의 비슷하게 정산되도록 하였다. 거의 대부분의 링크에서 두 종류의 정산결과가 2% 이내의 오차율 차이(A-B)를 보이고 있고, 잠수교, 강남태극당 등 일부 구간에서 5%내외의 오차율 차이를 나타내었다. 기준

<표 3> 교통량 정산 결과

지점	관측 교통량 (대/일)	기준 VDF 통행배정(A)		비교 VDF 통행배정(B)		A-B 오차율 차이 (%)
		추정 교통량 (대/일)	오차율 (%)	추정 교통량 (대/일)	오차율 (%)	
관교-학의	168,893	165,073	2.26	163,719	3.06	-0.8
학의-평촌	154,779	170,413	-10.10	168,433	-8.82	-1.28
평촌-산본	158,965	167,055	-5.09	163,964	-3.14	-1.95
산본-조남	160,190	173,623	-8.39	170,701	-6.56	-1.83
조남-안현	157,251	167,078	-6.24	160,912	-2.33	-3.91
청담교	163,348	147,795	9.52	144,075	11.80	-2.28
성수대교	110,814	94,807	14.44	93,598	15.54	-1.1
동호대교	92,336	76,811	16.81	77,319	16.26	0.55
한남대교	216,403	178,224	17.64	173,663	19.75	-2.11
반포대교	89,239	102,445	-14.80	98,792	-10.70	-4.1
잠수교	41,121	42,810	-4.11	44,911	-9.22	5.11
동작대교	74,905	65,834	12.21	63,762	14.98	-2.77
양재IC (경부선)	187,910	203,198	-8.14	206,984	-10.15	2.01
매봉터널	84,732	80,121	5.44	79,202	6.53	-1.09
강남태극당	85,003	93,422	-9.79	97,506	-14.59	4.8
종합운동장 (동-서)	82,227	76,062	7.50	74,870	8.95	-1.45
종합운동장 (남-북)	53,116	55,923	-5.28	54,595	-2.78	-2.5
낙성대역	139,772	134,236	3.96	133,909	4.19	-0.23
충신대입구	127,141	119,839	5.74	117,974	7.21	-1.47

지침서에서는 네트워크 모형정산시 교통량 정산만 허용오차를 만족하도록 정하고 있기 때문에 본 연구에서 수행한 서로 다른 VDF 함수에 의한 교통량 정산 결과 모두 기준 방법론상에서는 문제가 없고 단지 정산된 두 종류의 교통량이 통계적으로 유사하다는 것을 검증할 필요가 있다.

2. 교통량 정산결과의 통계적 검증

본 연구에서 수행한 두 가지 VDF에 의한 교통량 정산결과에 대하여 정산결과가 유사한지 알아보고자 통계적 검증을 수행하였다.

각 VDF의 정산결과별로 관측교통량과의 오차에 대하여 't-검정 쌍체비교' 분석을 수행하였고 귀무가설은 '오차율 차이(A-B)는 0이다.'로 설정하였다. 유의수준 (a) 0.05에서 유의성 검증(양측검정)을 수행하였을 때 그 결과는 <표 4>와 같다.

유의수준 0.05에서 t 계산치가 채택역에 존재하여 오차율 차이가 없다는 귀무가설을 채택하고 이는 기준 VDF에 의한 정산교통량이 비교 VDF에 의한 정산교통량과 유의수준 5%에서 통계적으로 차이가 없다는 것을 의미한다.

<표 4> 오차율 차이의 t-검정 쌍체비교(양측검정)

구분	통계치
자유도	18
t 통계량(기준치)	-1.51104
P(T<t)	0.148134
t 계산치	± 2.100922

3. 교통량 정산에 따른 추정속도 비교

두 종류의 VDF에 의해 비슷하게 정산된 교통량에 의해 추정된 속도는 기준 VDF에 비해 비교 VDF로 배정

<표 5> 기준 및 비교 VDF에 의한 추정속도 비교

지점	기준VDF (km/h)	비교VDF (km/h)	속도 차이 (km/h)
관교-학의	40.33	47.27	-6.94
학의-평촌	37.49	43.74	-6.25
평촌-산본	34.69	40.19	-5.5
산본-조남	39.04	46.16	-7.12
조남-안현	31.58	37.05	-5.47
청담교	27.39	31.41	-4.02
성수대교	5.25	5.56	-0.31
동호대교	12.68	15.25	-2.57
한남대교	12.65	15.13	-2.48
반포대교	2.19	2.32	-0.13
잠수교	15.58	18.14	-2.56
동작대교	21.84	27.55	-5.71
양재IC (경부선)	11.25	11.80	-0.55
매봉터널	15.31	18.13	-2.82
강남태극당	7.61	8.38	-0.77
종합운동장 (동-서)	9.19	9.94	-0.75
종합운동장 (남-북)	14.91	16.76	-1.85
낙성대역	8.38	9.24	-0.86
충신대입구	10.89	12.18	-1.29



<그림 4> 기준 VDF 속도 대비 속도 차이 비교

한 속도가 약간 더 높게 추정되었고 속도차이는 전체 네트워크에서 0.13~7.12km/h의 범위를 나타내고 정산 지점에서의 결과는 <표 5>에 제시하였다.

4. 추정속도와 관측속도의 비교

서울시 속도조사 자료에 의하면 오전(7:00~9:00), 낮(12:00~14:00), 오후(18:00~20:00), 전일(6:00~22:00)로 조사되었는데 이 중에서 오전시간과 오후시간은 본 연구에서 구분된 침두시간과 같은 시간대 이므로 침두시간의 속도차를 분석하였고 낮(12:00~14:00) 시간대는 비침두 시간을 대표한다고 할 수 없기 때문에 비침두시간은 비교하지 않았다.

정산지점을 대상으로 추정속도와 관측속도의 차이를 살펴보면 관측속도가 추정속도에 비해 0.60km/h~33.55km/h까지 차이를 나타내었고 3개 구간을 제외하고 10km/h 이상의 속도차이를 나타내었다. 이는 앞서 분석한 비교 VDF와의 속도차이보다 훨씬 크게 나타난 것이고 교통량만 정산하였을 경우 VDF가 현실을 정확하게 반영하지 못하는 것을 의미한다.

이러한 이유로는 기존 교통량-지체함수(VDF)가 실제 교통류상황을 정확하게 대변하지 못하는 문제와 기존 정산방법들이 모형에서 추정되는 속도 값에 대하여 고려하지 않고 단지 관측교통량만을 정산하기위하여 VDF 함수의 변수를 변경하면서 추정교통량을 정산하는 방법 상에 문제가 있는 것으로 파악된다.

<표 6> 기준 VDF의 추정속도와 관측속도의 비교

지점	추정속도 (km/h)	관측속도 (km/h)	속도차이 (km/h)
청담교	27.39	52.15	-24.76
성수대교	5.25	34.40	-29.15
동호대교	12.68	34.70	-22.02
한남대교	12.65	46.20	-33.55
강남태극당	7.61	15.35	-7.74
종합운동장 (동-서)	13.60	19.20	-5.60
종합운동장 (남-북)	20.00	19.40	0.60
낙성대역	8.38	22.80	-14.42
충신대입구	10.89	25.45	-14.56

주 : 관측속도는 오전(7:00~9:00)와 오후(18:00~20:00) 시간대의 평균값임.

V. 편익 추정

각 편익 항목별 원단위는 KDI의 예타 표준지침에 따라 기준년도 2006년을 기준으로 원단위를 사용하여 경제적 편익을 분석하여 제시하였다.

1. 편익항목 추정결과

두 VDF에 대하여 항목별 편익 산정 결과는 운행비, 통행시간, 대기오염 항목에서 기준VDF보다 비교VDF에서 낮은 편익결과가 산출되었다. 이는 각 편익 항목별로 높은 속도에서 낮은 비용원단위를 가지기 때문이다.

두 VDF에 대하여 속도정산시 5km/h 안팎의 적은 속도차이에도 불구하고 운행비 절감편익, 통행시간 절감편익, 대기오염 절감편익에서만 분석기간인 30년동안 총 5,275.33억원의 편익차이가 발생하였다. 이는 기준 VDF의 차량운행비 절감, 통행시간 절감, 대기오염 절감 편익에 대한 30년 합계의 8.38%에 해당하는 편익규모이다. 이는 곧 경제성분석 결과의 오차를 의미하기도 한다.

편익의 패턴을 살펴보면 기준 VDF의 2016년의 차량 운행비 절감편익과 대기오염 절감편익을 제외하고 2011년부터 꾸준히 증가하고 있는 추세를 보이는데 이는 SDI 4차 배포 OD량이 장래에 꾸준히 증가하기 때문에 2011년 이후로 편익이 꾸준히 증가하는 것으로 분석된다.

본 연구에서는 속도정산의 여러 문제점으로 인하여 속도정산을 대신해 비교 VDF를 사용하여 편익결과를

<표 7> 분석년도별 편익산정 결과

	편익항목	기준 VDF (억원)	비교 VDF (억원)	편익차이 (억원)
2011	차량운행비 절감	251.56	237.73	13.83
	통행시간 절감	1,569.54	1,404.05	165.49
	대기오염 절감	119.13	114.93	4.2
2016	차량운행비 절감	245.76	243.56	2.2
	통행시간 절감	1,617.91	1,468.51	149.4
	대기오염 절감	116.53	114.86	1.67
2021	차량운행비 절감	264.90	264.35	0.55
	통행시간 절감	1,677.44	1,508.06	169.38
	대기오염 절감	123.21	119.98	3.23
2031	차량운행비 절감	267.42	267.04	0.38
	통행시간 절감	1,694.55	1,516.41	178.14
	대기오염 절감	123.77	120.76	3.01
30년 합계	차량운행비 절감	7,884.04	7,781.62	102.42
	통행시간 절감	49,924.29	44,840.49	5,083.8
	대기오염 절감	3,657.93	3,568.82	89.11
	계	61,466.26	56,190.93	5,275.33

비교하였는데 기준VDF의 추정속도와 관측속도와의 차이가 기준 VDF와 비교 VDF의 속도차이보다 더 크게 나타나기 때문에 실제 관측속도로 정산을 수행하였을 시 편익 차이는 더욱 크게 나타날 것으로 판단된다.

2. 편익결과에 대한 통계적 분석

서로 다른 VDF에 의해 추정된 편익결과들에 대하여 통계적으로 동일한 편익규모를 가지는 지를 파악하고자 유의성 검증을 수행하였다.

유의성 검증은 t-검정 쌍체비교 분석을 수행하였고 귀무가설은 '두 VDF에 의한 편익산정 결과는 같다'로 설정하였다. 유의수준(α) 5%에서 검증을 수행하였을 때 그 결과는 <표 8>과 같다.

<표 8> 두 편익의 t-검정 쌍체비교

편익항목	구분	통계치
운행비용 절감편익	자유도	29
	t 통계량	3.224118
	t 기각치 양측 검정	± 2.04523
통행시간 절감편익	자유도	29
	t 통계량	103.9413585
	t 기각치 양측 검정	2.045229611
대기오염 절감편익	자유도	29
	t 통계량	34.71688
	t 기각치 양측 검정	2.04523

차량운행비용, 통행시간, 대기오염 절감편익 모두 t 통계량이 t 기각치 양측 검정값의 절대값보다 크기 때문에 기각역에 존재하고 두 편익값은 같다는 귀무가설이 기각된다. 따라서 유의수준 5%에서 각 편익항목별 편익 결과는 통계적으로 서로 다르다고 할 수 있다.

결국 자유속도가 서로 다른 두 가지 VDF에 대하여 기존 지침서 방법에 의해 동일한 교통량 수준으로 정산이 되었음에도 불구하고 추정된 속도에 따라서 편익결과는 완전히 달라질 수 있다는 것이 확인되었고 모형에 의해 추정되는 모형속도를 결정하는 VDF 함수가 매우 중요하다라는 것을 알 수 있다.

VI. 개선방향

본 연구에서 확인한 교통량만 정산하는 기존 방법론에 의해 발생할 수 있는 문제점을 해결하고자 다음과 같은 3가지 방안을 강구해 보았다.

1. 교통량과 속도정산 동시수행

앞서 살펴본 바와 같이 모형에 의해 추정된 속도차이에 따라 편익이 달라질 수 있기 때문에 모형에 의해 추정되는 속도역시 현실을 잘 반영할 수 있도록 하는 것이 매우 중요한 것으로 생각된다. 이러한 현실적인 속도반영을 위해서 통행배정 모형 정산시 기존에 수행하는 교통량정산과 더불어 속도정산도 동시에 수행하는 방법이 필요할 것으로 판단된다.

교통량과 속도를 동시에 정산하는 방법은 제공되는 VDF 함수가 교통량과 속도관계를 현실적으로 정확하게 묘사하지 못할 때 사용할 수 있는 방법이다. 이러한 방법은 교통량을 정산하는 과정에서 추가적으로 속도정산도 고려하면서 수행하는 방법으로서 추가적인 VDF 함수 개발 없이 당장 수행할 수 있는 장점도 있지만 속도를 정산할 수 있는 관측속도 자료도 국가에서 제공하는 관측교통량과 마찬가지로 신뢰있는 기관에서 제공되어야 한다. 하지만 현실적으로 수도권과 일부 광역시를 제외하고 대부분의 지역에서는 신뢰성있는 속도자료를 제공하지 않기 때문에 정산을 위한 관측속도 자료를 수집하기가 어렵다.

그러나, 본 연구에서 분석한 속도정산의 중요성을 감안할 때 관측속도 자료가 제공되지않는 지방 도로사업의 경우에도 분석팀에서 해당 도로구간 근처의 일부 주요도로의 속도를 직접 조사하여 교통량정산과 더불어 속도정산도 이루어져야 할 것이다.

또한 교통량정산과 속도정산을 동시에 수행할 경우, 대체도로가 많아질수록 정산과정이 복잡해질 수 있고 총 통행량이 고정된 상태에서 통행속도(또는 시간)을 조정한다면 교통수요 분석프로그램 특성상 새로운 수요가 창출되는게 아니라 링크간의 통행시간을 기준으로 교통량을 서로 전환되는 관계이기 때문에 정산 신뢰성이 떨어질 우려도 있다.

2. 새로운 속도 추정 방법

앞에서 제시된 방법은 통행배정 모형 정산에서 동일한 VDF 함수를 가지고 교통량과 속도를 동시에 정산하는 방법이지만 본 방법은 VDF함수를 토대로 교통량 정산을 일단 수행하고 추정된 교통량을 가지고 새로운 교통량-속도함수를 이용하여 속도를 다시 추정하는 방법을 생각해 볼 수 있다.

교통량을 정산한 이후 모형에 의해 추정된 교통량에 따른 속도를 사용하지 않고 기존에 알려져 있는 교통류 모형식(Greenshields 모형 혹은 Greenberg 모형 등)을 활용

하여 현실에 맞는 속도를 추정하는 방법이라고 할 수 있다.

교통류 모형식에 의한 교통량과 속도관계는 기존에 사용되는 여러 교통량-속도 함수가 있기 때문에 손쉽게 활용하여 더욱 현실적인 속도를 제시할 수 있고 기존에 사용하는 VDF 함수를 당장 개선하지 않아도 된다. 하지만 현재까지의 교통량-속도 관계는 주로 고속도로(연속류) 위주의 연구가 주를 이루고 있기 때문에 연속류를 제외한 단속류(국도나 지방도·시군도)에서의 교통량-속도 관계 연구가 미흡하여 교통량에 따른 속도추정이 어렵다는 현실적인 문제점도 가지고 있다.

3. 교통량-지체함수(VDF) 개발

현실적인 교통량과 속도 관계가 정확하게 추정되는 VDF 함수가 없다면 교통량만을 정산하여 속도를 추정하는 것은 비현실적이고, 이를 극복하기 위한 신뢰성있는 새로운 VDF를 개발하는 방법이 제안된다.

현재 예비타당성조사에 사용되는 VDF는 각 도로등급간의 상대성은 잘 반영하고 있지만, 정산된 교통량에 따른 추정속도가 현실에 맞는 관측속도를 정확하게 반영하고 있는지 불분명하다. 따라서, 현재 사용하고 있는 VDF 함수에 대한 검증이 필요하고 교통량과 속도의 관계를 현실적으로 반영할 수 있는 새로운 VDF의 개발이 필요하다면 이를 적극적으로 검토하여 수행하여야 한다.

새로운 VDF 함수식 개발은 가장 이상적인 방법이고 교통량에 따른 정확한 속도가 동시에 추정될 수 있다는 장점이 있지만 VDF 함수식을 개발하기 위해 새로운 연구와 기간이 필요하여 지금 당장 적용하기는 어려운 방법이라고 할 수 있다.

VI. 결론

본 연구는 현행 (예비)타당성조사에서 사용하고 있는 편익추정상의 문제점을 살펴보고 이를 개선하기 위하여 여러 가지 개선방향을 제시하였다.

현행 (예비)타당성 조사에서는 편익을 산정하기 위한 합리적인 방법론을 제시하고 있지만 편익산정에 가장 큰 영향을 미치는 변수 중 하나인 속도에 대한 고려가 미흡하여 추정된 편익 결과에 대한 신뢰성에 문제가 있음을 기존 자료를 활용하여 분석하였다.

이러한 문제점의 원인으로 통행배정 모형의 정산시 주로 사용하는 방법인 교통량 정산 방법에 의한 편익추정 과정을 문제점으로 제시하였다. 이를 확인하기 위하여 자유속도가 서로 다른 두 가지 VDF를 이용하여 교통량이 통계적으로 같도록 통행배정 모형을 정산한 이후

각각의 VDF로 정산된 결과에 따른 편익을 산출하여 비교함으로써 편익결과가 통계적으로 유의하게 차이가 발생하는 것을 확인하였다.

기존 정산방법에서 발생하는 문제점을 개선하고자 본 연구에서는 교통량과 속도 동시 정산방법, 새로운 속도 추정 방법, 교통량-속도함수(VDF) 개발 방안 등 3가지의 개선방향을 제시하였다.

본 연구는 도로사업의 경제성 분석시 교통수요 추정 과정에서 사용되는 통행배정모형의 속도정산 중요성을 강조하고 더욱 신뢰성있는 경제성 편익결과를 분석하기 위한 연구라고 할 수 있다.

향후에는 개선방향에서 제시된 내용을 토대로 앞으로 더욱 정확한 경제성 평가는 물론이고 궁극적으로 도로사업의 투자 효율에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 개선방향에서 제시한 다양한 방안에 대하여 집중적인 연구가 필요하고 실제 속도자료를 기반으로 하는 정산과정에 대한 일정한 가이드라인을 제시하고 궁극적으로 교통량과 속도관계가 정확하게 반영되는 새로운 교통량-지체함수(VDF)의 개발에 힘써야 할 것이다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

- 강원의(2009), "일본의 공공부문 투자사업의 평가 방법", 도로정책연구센터(http://www.roadresearch.or.kr/board/notice/viewlist.asp?mnuflag=&code=net_brief2&bd_gubn=4).
 - 교통 교통성(<http://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/>), "공공사업평가 비용편익분석에 관한 기술지침".
 - 국토해양부(2007), "교통시설 투자평가지침".
 - 김인(2002), "도로사업 투자분석 기법정립에 관한 연구", 인하대학교 석사학위논문.
 - 서울특별시(2007), "2006년도 서울시 차량통행속도".
 - 영국(<http://www.dft.gov.uk/pgr/economics/software/coballusermanual/>), COBA 11 User Manual currently DMRB volume 13.
 - 일본 건설성(1997), "비용편익분석 매뉴얼".
 - 정진혁(2009), "주정부 중심의 미국의 도로투자평가", 도로정책연구센터(http://www.roadresearch.or.kr/board/notice/viewlist.asp?mnuflag=&code=net_brief2&bd_gubn=4).
 - 조남건(2009), 영국의 교통투자 평가, 도로정책연구센터(http://www.roadresearch.or.kr/board/notice/viewlist.asp?mnuflag=&code=net_brief2&bd_gubn=4).
 - 한국개발연구원(2004), "도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제4판)".
 - 한국교통연구원(2009), "도로통행비용함수 구축관련 조사연구".
 - 한국도로공사(2007), "도로사업 타당성조사 및 리스크 평가체계 구축 연구".
 - 한국도로공사(2008), "간선도로망 구축을 위한 실행계획연구".
 - Bureau of Public Roads (1964), "Traffic Assignment Manual", U.S Dept. of Commerce, Urban Planning Division, Washington D. C., USA.
 - Irwin, N. A., Dodd, N., and Von Cube, H. G. (1961). "Capacity Restraint in Assignment Programs", Highway Research Board Bulletin, 297, pp.109~127.
 - Smock, R. J. (1962), "An Iterative Assignment Approach to Capacity Restraint on Arterial Networks", Highway Research Board Bulletin, 347, pp.60~66.
 - Spiess, H. (1990), "Conical Volume-Delay Functions", Transportation Science Vol 24, No. 2.
 - Wardrop J. G. (1968), "Journey Speed and Flow in Central London", Traffic Engineering and Control, No. 9, pp.528~532.
- ✉ 주 작성자 : 김상구
 ✉ 교신저자 : 김상구
 ✉ 논문투고일 : 2009. 2. 21
 ✉ 논문심사일 : 2009. 4. 3 (1차)
 2009. 8. 25 (2차)
 2009. 9. 14 (3차)
 ✉ 심사판정일 : 2009. 9. 14
 ✉ 반론접수기한 : 2010. 2. 28
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필