

■ 論 文 ■

조건부가치추정법을 이용한 VMS교통정보의 기본가치 추정연구

Underlying Values of Real-time Traffic Information on Variable Message Sign Using Contingent Valuation Method(CVM)

이 경 아

(서울대학교 환경대학원 박사수료)

김 준 기

(국토연구원 국토인프라GIS연구본부 책임연구원)

오 성 호

(국토연구원 국토인프라GIS연구본부 연구위원)

이 영 인

(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

- I. 서론
 - II. 관련 선행 연구 고찰
 - III. VMS 교통정보의 기본가치 추정을 위한 방법론 정립
 - 1. 가치추정방법론 검토
 - 2. 가치추정을 위한 방법론 정립
 - 3. 가치추정모형의 주요 변수 설정
 - IV. VMS 교통정보의 기본가치 추정
 - 1. 자료 분석
 - 2. 가치 추정 및 결과 해석
 - V. 결론 및 향후 연구과제
 - 1. 결론
 - 2. 정책적 활용방안 및 향후 과제
- 참고문헌

Key Words : 조건부 가치 추정법, 지불의사액, 생존함수, 수요곡선, 이중양분 선택형 설문조사
Contingent Valuation Method, Willingness-to-pay, Survival Function, Demand Curve, Double Bounded Dichotomous Choice Question

요 약

VMS를 통한 실시간 교통정보 제공에 따른 편익에는 경로 우회에 따른 통행시간 절감과 이에 따른 운행비용 및 환경오염 절감 등의 파급효과 뿐 아니라, 전방교통상황 인지에 따른 심리적 안정 등의 정성적 편익도 함께 존재하며, 도로환경을 첨단화하는 ITS사업의 특성상 정성적 편익의 비중은 상대적으로 높다. 이러한 ITS사업의 특성을 기존의 투자평가지침에 반영하기 위해서는 도로이용자가 인식하는 VMS 교통정보의 기본가치와 같은 정성적 편익에 대한 많은 연구와 이를 인정하는 사회적 공감대가 필요하다.

본 연구에서는 이중양분 선택형 설문형태의 조건부가치추정법(Contingent valuation Method)을 통해 VMS 교통정보에 대한 도로 이용자의 지불의사액(Willingness-to-pay)을 파악하고, 생존함수를 활용하여 WTP 함수를 추정하는 방법론을 정립하고, 국토에 설치된 도로전광표지판(VMS)을 통해 제공되는 실시간 교통정보에 내재된 기본가치를 추정하여 제시하였다. 또한 교통정보의 기본가치를 ITS사업의 편익으로 고려해야 하는 정책적 필요성과 활용방안에 대해 검토하였다.

In the benefits of ITS, there are intangible gains from real-time traffic information as well as classical gains such as travel time saving. These intangible gains are difficult to be estimated by existing transportation investment appraisal commonly used in SOC investment. The major reason is not because of the absence of methodology but because of the absence of generalized values of particular benefits from real time traffic information. This research explores the value of real-time traffic information on VMS that is the most representative of ITS services, by using CVM with Double Bounded Dichotomous Choice Question. Willingness-To-Pay (WTP) functions of drivers are built with survival functions using various types of probability distribution functions such as Exponential, Log-logistic, and Weibull functions. The results reveal that Log-logistic distribution is the most appropriate distribution model to estimate WTP, and the estimated coefficients are stable through LR (Likelihood Ratio) test. For the further study, it is recommended to perform statistical tests of temporal and spatial transferability that is not examined in this research due to the lack of data.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

ITS(Intelligent Transportation System)사업은 기존 도로의 이용 효율을 증대시키고 이용자의 실시간 교통정보에 대한 니즈를 충족시키기 위한 사업으로 도로 및 철도와 같은 물리적 SOC(Social Overhead Capital) 사업의 편익구조를 적용하는데 한계가 있다.

타당성 평가지침 등에서 제시하는 통행시간 절감편익은 네트워크의 물리적 변화에 따른 통행시간 절감으로 신규 시설이 건설될 경우 해당 시설을 이용함으로써 발생하는 지속적 편익이라고 할 수 있다. 그러나 국도와 같은 지역 간 도로기반 ITS사업에 의한 통행시간 절감편익은 근교화 및 돌발상황 시 정보제공에 따른 경로 우회로 발생하는 제한적 편익으로 볼 수 있다.

따라서 정보 제공에 따른 경로 우회율¹⁾은 ITS사업의 편익을 결정하는 주요 척도가 된다. 그러나 ITS사업의 고속국도 우회국도 ITS사업에 대한 효과분석 연구용역(구 건설교통부, 2006)에서 우회율에 대해 조사해 본 결과 평일에는 고속국도에서 국도로의 우회가 전혀 발생하지 않았으며, 주말 혼잡시에 2.5%, 설, 추석과 같은 특별수송대책기간에 7%가 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 이 우회율도 모든 시간대에서 발생하는 것이 아니라 고속도로 본선의 속도가 일정수준(29km/h) 이하로 감소되는 기간 동안에만 우회가 제한적으로 발생하는 것으로 나타나 이 우회율을 전시간대에 적용하여 통행시간 절감편익을 산정할 경우 국도와 같은 도로 기반 ITS사업의 편익은 과다 추정될 우려가 있다.

또한 SOC 사업의 타당성 평가지침에서 설정하는 결정적 상황은 많은 시나리오 중 한 개의 낙관적 시나리오에 근거하고 있기 때문에 현재의 지침을 ITS사업에 그대로 적용할 경우 ITS사업에 의한 편익을 과다 추정할 우려가 있다.

이에 본 연구에서는 ITS사업을 통해 실시간으로 제공되는 교통정보에 대해 주목하였다. 실시간 교통정보를 통해서 얻을 수 있는 이용자 편익은 크게 두 가지 형태로 구분될 수 있다. 첫째, 교통정보가 제공됨으로써 차량들이 경로를 우회하고 이로 인해 본선의 통행시간이 줄어

들고, 대안 경로의 이용 효율이 증가함으로써 네트워크 전체의 통행비용이 감소되어 생겨나는 편익이다. 둘째, 전방의 실시간 교통정보 제공에 의한 운전자의 심리적 안정감이다. 이는 이용자가 이러한 교통정보를 얻기 위해 지불할 의사가 있는 금액, 즉, 정보의 가치로 나타낼 수 있는 편익이다.

현재 교통정보를 제공하는데 접근성의 제약이 없는 가장 대표적인 공공매체는 도로변에 설치된 도로전광표지판(VMS; Variable Message Signs)이다. 1997년 시작된 국내 ITS사업을 통해 현재 고속도로, 국도 및 지자체 내 주요 간선도로 등에 설치된 VMS는 천개에 가깝다. 지금도 VMS가 주요 제공매체로서 설치되고 있으며, 정보 접근성에 대한 형평성문제 때문에 향후 개인단말이 확대·보급된다고 하더라도 VMS와 같은 공공단말을 통해 불특정 다수를 위한 교통정보가 제공될 것이다.

이에 본 연구에서는 ITS사업으로 발생하는 무형의 편익 중 하나로서 VMS가 제공하는 교통정보의 기본가치를 추정하고 이를 ITS사업의 편익 추정시 활용할 수 있는 방안을 정책적으로 간략히 제시하고자 한다.

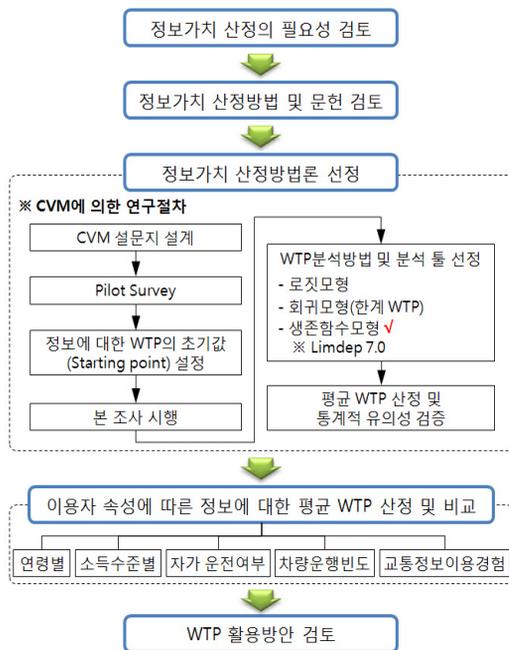
2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 이중양분 선택형 설문형태의 조건부가 치추정법(CVM; Contingent Valuation Method)으로 설문조사를 실시하였으며, 이 결과를 토대로 VMS 정보에 대한 도로 이용자의 WTP 함수를 생존함수형태로 정립하였다. 또한 생존함수에서 가정한 확률분포의 적합성과 추정된 계수의 안전성을 확인하기 위해 통계적 검증결과를 제시하였다.

다만, 본 연구의 가치화 대상은 국도 이용자들을 대상으로 국도 VMS가 제공하는 교통정보이며, 국도 상에 설치된 VMS가 대부분 문자형임을 감안하여 설문 조사 시 문자형 VMS가 참고용 그림으로 제시된 점을 밝혀 둔다. 또한 본 연구에서 다루는 교통정보는 공공단말을 통해 불특정 다수에게 방송(Broadcasting)되는 정보를 의미하며, 개인단말(Mobile)을 통해서 제공되는 맞춤형 교통정보는 다루지 않는다.

본 연구의 수행절차는 <그림 1>과 같다.

1) 미국 FHWA에서 개발한 IDAS(ITS Deployment Analysis System)에서도 우회율이 주요 입력자료로 사용되며, 이를 근거로 네트워크 효과를 포함한 이동성 편익이 산출된다. 그러나 우회율은 조사자제도 어렵고, 상황에 따라 변화가 크기 때문에 일반화하여 적용하기가 매우 어려운 지표임에도 불구하고, 이에 대한 심도 깊은 논의 없이 단순 입력자료로 적용되고 있어 문제의 소지가 있다고 저자는 생각한다.



〈그림 1〉 연구수행절차

II. 관련 선행 연구 고찰

1. 국내 선행연구

CVM은 주로 환경 분야에서 활발히 도입된 방법이었으나 최근 교통을 비롯한 진산화·정보망사업 등과 같이 무형의 가치 또는 서비스를 제공하는 사업 분야로 적용 분야가 확대되고 있다. 도로 및 철도 등의 정형화된 사업이 아닌 연구 개발(R & D), 환경 등의 비정형화된 사업에 대한 예비타당성 지침(한국개발연구원)에서는 이미 CVM을 이용한 가치추정을 연구방법으로 제시하고 있다. 교통 분야에서도 특히 ITS나 신교통수단 및 교통안전시설 등을 도입하는 데에 따른 경제적 타당성 확보를 위해 CVM을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 최근의 저탄소 녹색성장으로 교통정책 패러다임이 변화하면서 철도사업(예비)타당성조사의 편익 산정방안 개선연구(한국교통연구원, 2008)에서 CVM을 이용하여 철도수단의 선택가치를 산정하였다.

김준정(2005)은 CVM을 통해 로짓모형을 구축하여 고속도로 교통정보 유형 및 종류에 따른 가치를 산정하였다. 장수은(2008, a)은 생존함수를 이용하여 통행시간 신뢰성(travel time reliability) 가치를 산정하였으며, 이에 대한 지불의사액은 한계대체율법을 활용하였다. 통행시간 신뢰성에 대한 지불의사액은 통행자가 통행시간 비신뢰성 1단위를 줄이기 위해 지불하고자 하는 금전적 가치로 정의하고 있다.

2. 국외 선행연구

David(2003)는 혼잡통행료의 성공은 전적으로 운전자의 지불의사(WTP)에 좌우된다고 주장하면서 미국 샌디에고 I-15 고속도로 이용자를 대상으로 현시선호(RP: Revealed Preference)설문을 통해 오전 첨두시의 혼잡(즉, 출근시간)을 줄이기 위해 기꺼이 지불할 수 있는 금액(WTP)을 추정하였다. 이 논문은 현시선호를 사용하여 WTP를 추정한 점이 특이하며, 결과적으로 기존의 잠재선호(Stated Preference) 설문에 의한 가치 추정 결과(시간당 \$3.5~5(시급의 15~25% 수준))에 비해 훨씬 높은 수준의 지불의사액(시간당 30달러)이 추정되었다. 또한 혼잡통행료에 대한 지불의사액은 통근 목적통행일 경우, 가구소득이 높을 경우, 여성일 경우, 35~45세일 경우, 교육수준이 높고 주택을 보유한 경우에 높아진다고 제시하였다.

Farideh(2007)은 지불의사(WTP)와 수용의사(WTA: Willingness-To-Accept)간의 차이(Gap)를 기대이론(Prospect Theory)²⁾과 소유효과(endowment effect) 측면에서 검토하였다. 장거리 통행을 담당하는 6개 수단에 대한 로짓모형을 변수와 제약조건이 다른 4가지 형태로 설정하여 이에 대한 가치를 산정한 결과 시간가치에 대해 관측된 WTA가 WTP보다 1.5~2배 정도 큰 것으로 나타났다. 즉, 기대이론 때문에 WTP와 WTA는 비대칭으로 나타나므로 시간가치 산정시 WTP와 WTA의 차이를 줄이는 것이 중요하다고 주장하고 있다. 그러나 4개 모형간 통계적 유의성을 비교하지는 않았다.

Doohee Nam & Mannering(2000)은 위험함수

2) 기대이론이란 사람들은 어떤 재화를 소유(gain)할 때보다 잃어버렸을 때(loss) 그 재화에 더 큰 가치를 부여한다는 것으로 이는 소유효과(애착)가 발생했기 때문이다. 교통측면으로 해석하면, 사람들이 느끼는 통행시간의 증가(이익)에 대한 수용의사액(WTA)이 통행시간 절감(손실)에 대한 지불의사액(WTP)보다 높다는 것임. 즉, 기대이론 측면에서 사람들은 통행시간 절감에서 얻는 이익(gain)보다는 통행시간 증가에 따른 손실감(loss)에 더 큰 가치를 부여한다는 것임

(hazard function)를 이용한 교통사고 지속시간(duration)의 분석 방법과 위험함수 분석 틀을 제시하고 있다. 특히, 본 논문에서 연구하고자 하는 교통정보 가치 추정 모형을 정립하는데 명확한 해법을 제공하고 있는 논문이라고 할 수 있다. 이 논문에서는 지속시간을 산정하는데 적합한 위험함수를 적용하기 위해 우도비 테스트(Likelihood Ratio test)와 카이제곱 검정을 통해 해당 데이터를 통계적으로 가장 잘 설명하는 분포를 선정하였다.

3. 시사점 도출

고유가 및 에너지 위기, 개인이동통신기기 보급 확대 등의 사회적 여건 변화에 따라 교통정책의 패러다임도 변하고 있다. 이 변화 하에서 물리적 시설 확충사업 보다는 사람들의 행태를 바람직한 방향으로 전환·유도하거나 환경 개선에 주력하는 비물리적 사업이 증가하고 있다. 비물리적 사업의 경우 사업의 타당성을 정성적 편익에서 구해야 하므로 정성적 가치에 대한 계량화 요구는 꾸준히 증가하고 있다.

계량화의 대상은 비단 교통정보에 대한 가치 뿐 아니라 이용자가 가치를 부여할 수 있는 모든 항목이 그 대상이 되고 있고, 특히 국내의 경우 사업의 타당성 검토단계에서 적용되는 공공시설 투자평가지침에서 정성적 편익을 직접편익으로 반영한 사례가 있다. 통행시간 신뢰성 편익과 철도사업에만 적용되는 선택가치에 의한 편익이 대표적인 예이다.

국내외 문헌 검토 결과, ITS사업이나 기존에는 없던 새로운 형태의 사업(예, 국토해양부의 신교통·복합환승센터, TAGO 등)의 정성적 편익(또는 서비스)에 대한 가치화 연구가 예전에 비해서는 증가하고 있으나, 아직은 미흡한 수준으로 향후 활발한 연구가 필요한 실정이다.

III. VMS 교통정보의 기본가치 추정을 위한 방법론 정립

1. 가치추정방법론 검토

가치를 측정하는 방법에는 시장수요를 추정하거나 대리변수를 이용하여 서비스의 가치를 측정하는 방법과 소비자들의 선호를 직접 조사하여 가치를 측정하는 방법이 있다.

비경합성과 비배재성의 특성을 갖는 공공재의 가치는 사적 재화와는 달리 개인들의 효용(또는 Willingness-to-pay)의 합으로 나타낼 수 있다. 공공재나 환경재와 같은 비시장재의 편익을 추정하기 위한 방법으로 크게 간접적 가치추정법(잠재선호조사)과 직접적 가치추정법(현시선호조사)이 있다.

대표적인 직접적 가치추정법인 헤도닉법은 산림 등의 환경자원이 지가나 임금에 미치는 영향을 계산하는 방법으로 지가나 임금들의 시장데이터와 환경특성의 정보 수집을 통해 환경자원의 화폐가치가 가능하다. 그러나 계산대상이 한정되어 있으며, 계산할 때 많은 설명변수를 필요로 하기 때문에 계산 결과의 신뢰성 저하가 우려되고, 측정대상이 되는 가치의 범주를 사용가치(use value)에 한정해야 하는 어려움이 있다. [2]

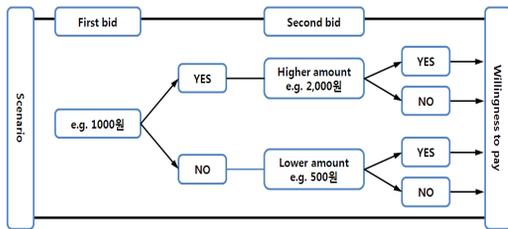
간접적 측정방법 중 하나인 조건부가치추정법은 설문지를 통해 비시장재가 개선되거나 악화되었을 때를 가상적으로 평가하여 지불의사액을 파악하는 방법으로 소비자에게 설문지를 통해 화폐가치를 직접 묻기 때문에 VMS 교통정보 등과 같은 비시장재에 대해서도 측정이 가능하다. 또한 보상잉여(CS; Compensating Surplus)나 동등잉여(ES; Equivalent Surplus)의 직접 평가가 가능하여 이론적인 문제점이 적은 반면, 비사용가치(non-use value)에 대한 평가라는 점과 설문지에 의한 전략적 편익 등에 논쟁의 여지가 있다.

가치화 대상인 실시간 교통정보의 제공매체를 내비게이션이나 모바일로 고려한다면 이미 형성된 시장가격을 통해 정보의 가치를 파악할 수 있을 것이다. 그러나 본 연구는 VMS와 같이 불특정다수를 대상으로 제공되는 공공 교통정보에 대한 가치 산정을 목적으로 하므로 직접적인 측정방법보다는 CVM을 활용한 간접적 측정방법이 효율적일 것으로 판단된다.

2. 가치추정을 위한 방법론 정립

1) CVM 조사방법

CVM 분석을 위한 설문지는 이중계약 양분선택법으로 설계되었다. 양분선택형 질문법이란 응답자에게 사전 조사에서 결정된 WTP를 제시하고, 이 금액에 대한 지불의사 여부를 조사하는 방법이다. 양분 선택형 질문법 중에서는 이중 계약형이 가장 널리 적용되고 있는데, 이 방법은 <그림 2>와 같이 특정 초기제시액(w^0)을 응답자



〈그림 2〉 이중제약 양분선택형 조사개념도 (장수은 (2008, a))

에게 제시한 후, 이에 대해 지불의사가 있으면 두 번째 질문에서는 더 높은 금액(w^h)을, 이에 대해 지불의사가 없으면 더 낮은 금액(w^l)을 제시하는 것이다. 이렇게 구해진 자료에서 설정된 금액의 함수형태로 “예”라고 응답한 응답자의 비율을 조사함으로써 특정가치에 대한 평균 WTP를 구하게 된다.

2) 초기제시액(w^0) 검토

CVM은 설문조사를 통해 이용자가 일정 서비스에 대해 가지고 있는 지불의사금액을 조사하기 때문에 설문지 설계시 주의가 요구되며, 또한 설문조사에서 제시되는 초기값(Starting point)의 설정 주의가 필요하다. 즉, 초기값의 크기에 따라 추정결과에 편의(Starting point bias)가 발생할 가능성이 존재하기 때문이다. 따라서 CVM 분석을 위해서는 관련 문헌 및 사전조사를 통해 가치의 초기값을 결정해야 하며, 여러 가지 참고가격(reference price)을 함께 제시함으로써 기준점 효과(anchoring effect)³⁾에 의한 가치의 변동을 최소화할 수 있다.

교통정보에 대한 가치산정과 관련된 문헌을 검토한 결과 <표 1>과 같이 각 정보 유형 및 제공형태별로 정보가치가 상이한 것으로 나타났으며, 정보의 종류나 형태와 관계 없이 교통정보 건당 평균 약 220원의 가치가 있는 것으로 분석되었다. 본 연구의 사전조사는 VMS에 대해 인지하고 있는 일반인 50인을 대상으로 실시하였으며, 기존 문헌에서 제시하고 있는 교통정보가치를 참조가치로 제시하여 이상치(outlier)가 나오지 않도록 고려하였다.

관련 문헌 및 사전조사 결과를 토대로 본 연구에서는 CVM 설문 설계시 VMS 교통정보의 초기제시액(w^0)을 110원으로 제시하였다.

〈표 1〉 고속도로 교통정보 종류 및 형태에 따른 가치

정보종류	가치(원/건)	정보형태	가치(원/건)
최적경로안내정보	189	음성인식정보	160.6~175.2
동영상화면정보	407	동영상방식	195.8~213.6
사고 및 지정체정보	148	정치화면방식	84~92.4
구간별 속도정보	130	문자방식	83.6~91.2

자료: 김준정(2005) 재구성

3) 양분선택형 CV 데이터와 생존함수

양분선택형 CV(contingent valuation) 데이터에 근거한 WTP 수요곡선은 <그림 3>과 같이 WTP가 증가함에 따라 ‘YES’라고 응답하는 비율이 작아지는 우하향 형태이며, 양분선택형 CV데이터는 (a)~(d)중의 하나가 된다. 즉, 응답이 (a)에 위치할 경우 이는 첫 번째 경매에서 제시된 초기금액(w^0)과 두 번째 경매에서 제시된 두 번째 금액(w^l)을 모두 거절하였음을 의미한다. (c)의 경우는 초기금액(w^0)은 수락하고, 두 번째 금액(w^h)보다 많은 w^h 은 거절하였음을 의미한다. 이를 수식으로 나타내면 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 (a) \text{ Prob}(YY) &= P_i^{yy}(W_i > w^h) = 1 - G_i(w^h; \eta) \\
 (b) \text{ Prob}(YN) &= P_i^{yn}(w^0 \leq W_i < w^h) = G_i(w^h; \eta) - G_i(w^0; \eta) \\
 (c) \text{ Prob}(NY) &= P_i^{ny}(w^l \leq W_i < w^0) = G_i(w^0; \eta) - G_i(w^l; \eta) \\
 (d) \text{ Prob}(NN) &= P_i^{nn}(W_i < w^l) = G_i(w^l; \eta)
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 $\text{Prob}(\cdot)$ 은 응답자가 ‘·’라고 답할 확률, W_i 는 통행자 i 의 최대지불용의액, $G_i(w; \eta)$ 는 파라메타의 확률분포가 η 일 때 통행자 i 가 가지는 WTP의 누적분포함수(Cumulative Distribution Function)를 나타내며, 식(2)와 같다.

$$G_i(w) = \int_0^w g_i(\cdot) dv = \text{Prob}(w_i \leq w) \tag{2}$$

식(1)의 log likelihood 함수는 식(3)과 같다. 여기서 통행자 i 의 응답이 [yes, yes]이면 d_i^{yy} 는 1, 아니면 0, 통행자 i 의 응답이 [yes, no]이면 d_i^{yn} 는 1, 아니면 0을 나타낸다.

$$\ln L(\eta) = \sum_i (d_i^{yy} \ln(P_i^{yy}) + d_i^{yn} \ln(P_i^{yn}) + d_i^{ny} \ln(P_i^{ny}) + d_i^{nn} \ln(P_i^{nn})) \tag{3}$$

3) 명확한 가치의 판단을 하기가 어려울 때, 제일 먼저 제시하게 되는 점이 기준점(anchor)이 되어 기준점의 변동성에 따라 판단이 좌지우지되는 현상으로 닷내림효과라고도 함.

생존함수는 지속시간(duration)이 특정시간 t와 같거나 클 때로 정의된다(Greene, 2003). 따라서 식(1)은 수학적으로 식(4)와 같이 변형이 가능해진다. WTP 추정 시 생존함수를 이용할 경우 t는 화폐가치로 고려된다.

$$\begin{aligned}
 \text{Prob}(YY) &= P_i^{yy}(W_r < w^h) = S_i(w^h) \\
 \text{Prob}(YN) &= P_i^{yn}(w^0 \leq W_r < w^h) = S_i(w^0) - S_i(w^h) \\
 \text{Prob}(NY) &= P_i^{ny}(w^l \leq W_r < w^0) = S_i(w^l) - S_i(w^0) \\
 \text{Prob}(NN) &= P_i^{nn}(W_r > w^l) = 1 - S_i(w^l)
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 $S_i(\cdot)$: 응답자 i의 생존함수가 되고, 생존함수는 $S_i(w) = P_i(WTP \geq w)$ 로 표현된다.

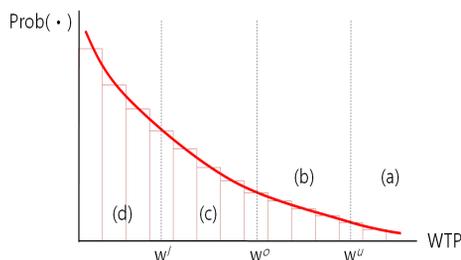
이중양분 선택형 CVM을 통하여 드러난 WTP는 결국 생존함수 그래프와 같아진다. 즉, 해당 기간에 살아남을 확률을 해당 요금에 'yes'라고 응답한 비율로 바꾸어 생각하면 CVM방법으로 조사된 WTP는 생존함수 데이터형태가 된다. 따라서 의학통계에서 사용하는 생존함수를 CVM에 응용하여 사용하는 것이다. 이에 본 연구에서는 이중양분형 선택형의 CVM설문을 시행하고 생존함수로 추정하였다.

4) 생존함수의 확률분포

의학계에서 생존시간(duration)의 인과관계를 결정하기 위해 사용되던 생존함수는 최근 들어 교통분야(Gilbert, 1992; Nam & Mannering, 2000)에 적용되기 시작하였다. 생존함수 $S(t)$ 는 식(5)와 같이 정의되며, 여기서 $F(t)$ 는 누적분포함수이다.

$$S(t) = 1 - F(t) \tag{5}$$

시간 t에서의 위험함수는 누적분포함수(CDF)



<그림 3> WTP에 대한 수요곡선

$F(t)$ 로서 표현될 수 있으며, 이를 확률밀도함수(PDF) $f(t)$ 를 이용하여 식(6)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $h(t)$ 는 위험함수이다.

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} \tag{6}$$

생존함수 구축시 적용 가능한 확률분포로는 지수분포(exponential), 웨이블분포(weibull), 로그-로지스틱분포(log-logistic), 로그-노멀분포(log-normal)가 있으며, 웨이블분포는 지수분포의 일반화된 형태(Greene, 2003)이다. 웨이블분포는 θ 와 α 파라메타($\theta > 0, \alpha > 0$)를 가지며, 이때 밀도함수는 식(7)과 같다. 여기서 θ 와 α 는 크기(scale)와 모양(shape)을 결정하는 파라메타이다[15].

$$f(t, \theta, \alpha) = \alpha \cdot \theta^\alpha \cdot t^{\alpha-1} \cdot e^{-\theta t^\alpha} \tag{7}$$

웨이블분포의 위험함수는 식(8)과 같다.

$$\begin{aligned}
 f(t, \theta, \alpha) &= 1 - \exp(-(\theta)^\alpha) \\
 S(t) &= 1 - F(t) = 1 - (1 - \exp(-(\theta)^\alpha)) = \exp(-(\theta)^\alpha)
 \end{aligned} \tag{8}$$

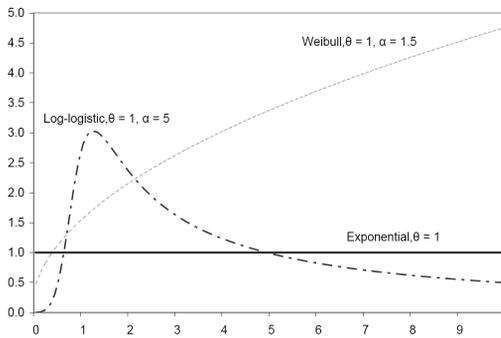
여기서 α 가 1이면 웨이블분포는 지수분포와 같아지며, 위험함수는 WTP에 대해 일정한 값을 가지게 된다(value independence). α 가 1보다 크다면 위험함수는 WTP가 변함에 따라 단조감소, α 가 1보다 작으면 위험함수는 증가하게 된다. 웨이블분포가 지수분포보다 생존시간의 의존도를 파악하는데 더 유연하더라도 웨이블분포의 경우 비단조(non-monotonic)형태의 함수를 묘사하지 못한다. 로그-로지스틱 분포일 때 밀도함수와 위험함수($\theta > 0, \alpha > 0$)는 식(9)와 같다.

$$f(t, \theta, \alpha) = \alpha \theta^\alpha t^{\alpha-1} [1 + (\theta)^\alpha]^{-2} \tag{9}$$

$$h(t) = \frac{\alpha \theta^\alpha t^{\alpha-1}}{[1 + (\theta)^\alpha]} \tag{10}$$

<그림 4>와 같이 로그-로지스틱 분포의 위험함수는 시간 t에 따라 변하는데 처음에는 증가했다가 나중에는 감소하는 비단조함수형태를 보인다. 즉, 로그-로지스틱

4) 본 논문에서 t는 통행자가 지불하고자 하는 최대 지불용의액(WTP)을 의미함



〈그림 4〉 위험함수 형태 [14, p.219, Figure 9.2]

〈표 2〉 변수 선정 및 입력변수

변수		기대부호
종속변수	최대 지불용의액(WTP)	-
독립변수	성별(gender)	NA
	나이(age)	NA
	VMS정보 만족도(VMS)	+
	소득(income)	+
	운전빈도(fre_fr)	+
	자가운전(delf_dr)	NA
	교통정보 이용경험(info_use)	+

분포의 위험함수는 웨이블분포나 지수분포의 위험함수에 비해 탄력적(flexible)임을 알 수 있다. 〈그림 4〉에서는 4가지 형태의 위험함수를 제시하고 있으며, 시간에 대해 1차 미분된 형태이다.[14]

확률분포는 생존함수의 형태에 영향을 미치기 때문에 올바른 확률분포를 선택하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 지수, 웨이블, 로그-로지스틱 분포를 가진 생존함수를 이용하여 WTP를 추정하고 우도비(LR; likely hood ratio) 검정을 통해 가장 적합한(best-fit) 분포를 선택하고자 한다.

3. 가치추정모형의 주요 변수 설정

VMS에 대한 이용자의 지불의사액에 영향을 미치는 변수로 성별, 연령대, 운전횟수, 소득, 교통정보 이용경험 유무를 설정하였으며, 이 중 유의한 변수들을 대상으로 WTP함수를 정립하고자 한다.

〈표 2〉에 제시한 바와 같이 독립변수별로 부호를 예상

하였는데, 성별이나 나이, 자가운전여부에 대해서는 기존 자료가 없어 부호를 예상하기 어려운 측면이 있다. 다만 운전빈도가 높거나 VMS 정보에 대한 만족도가 높을수록 정보가치에 대한 지불용의액도 높아질 것으로 예상되며, 자가운전일 경우, 교통정보 이용경험이 있을 경우 독립변수의 부호가 양(+)으로 추정될 것으로 예상하였다.

IV. VMS 교통정보의 기본가치 추정

1. 자료 분석5)

1) 설문조사 개요

설문조사는 2007년 12월 3일부터 15일까지 13일에 걸쳐 국도 ITS 이용경험자를 대상으로 수행되었다. 총 422인을 조사하였으며 이중 유효설문인 387인을 대상으로 분석을 수행하였다.

2) 설문대상의 특성 및 VMS 만족도

〈표 3〉과 같이 설문조사가 운전자를 대상으로 이루어져 설문응답자 중 남성의 비율이 상대적으로 높으며, 연령대는 20~30대에서 높게 나타났다. 주 1회 이상 운전하는 경우가 75.5%, 운전을 전혀 하지 않는 경우가 24.5% 수준으로 나타났는데, 이는 탑승자도 설문대상에 포함되었기 때문이다. 소득수준은 200~500만원 사이가 가장 많은 것으로 조사되었으며, 자가운전비율은 전체 응답자의 75%로 나타났다. 설문대상 중 88%는 VMS 정보에 대한 만족도가 '중'이상이라고 응답하여 현재 제공되는 VMS 정보에 대한 이용자 만족도가 상당히 높은 것으로 조사되었다.

3) 교통정보 이용 경험

설문대상 중 209인(54%)이 차내 단말기를 이용한 교통정보를 받아본 경험이 있는 것으로 나타났으며, 복수응답으로 제시된 교통정보 수신방법에 대해서는 라디오가 39%로 가장 높았고 그 다음으로 VMS가 33%로 나타났으며, 이외에는 인터넷, 휴대전화(무선 모바일), ARS 순으로 조사되었다.

5) 본 논문에서 사용한 설문데이터는 「국도 ITS 기본계획 수립을 위한 효과분석 및 수요전망 연구(국토연구원, 2008)」에서 수행한 설문자료 중 정보가치 추정에 필요한 내용만을 인용한 것임

〈표 3〉 응답자 특성 및 빈도수

변수명	변수값	빈도(명)	비율(%)
성별	남자	285	73.6
	여자	102	26.4
	합계	387	100.0
연령대	20~29세	133	34.4
	30~39세	186	48.1
	40~49세	59	15.2
	50세 이상	9	2.3
	합계	387	100.0
운전횟수	주 1회	46	100.0
	주 1~2회	100	37.5
	주 5~7회	146	37.8
	전혀 안 한다	95	5.2
	합계	387	180.5
소득	200만원 미만	145	31.3
	200~500만원	222	57.3
	500만 원 이상	20	12.1
	합계	387	100.0
VMS 만족도	상	121	31.3
	중	219	56.6
	하	47	12.1
	합계	387	100.0

〈표 4〉 WTP시나리오별 설문결과

변수	변수 설명	NY(c)의 평균wtp	YY(a)의 평균wtp
성별	남자	143	60
	여자	51	19
자가 운전	자가 운전	137	66
	동반 승차	57	13
연령대	20~29세	76	21
	30~39세	87	39
	40~49세	25	18
	50세 이상	6	1
운전 횟수	주 1회	25	3
	주 1~2회	56	20
	주 5~7회	56	43
	전혀 안 한다	57	0
소득	200만원 미만	82	19
	200~500만원	105	49
	500만 원 이상	7	11

4) VMS 정보의 가치 유무와 가치 수준

실제 지불의사(WTP) 질문과 관계없이 설문응답자 중 89%가 VMS 정보에 가치가 있다고 응답한 것으로 나타났다. 또한 VMS의 가치수준을 초기제시액(w^0) 기준으로 설문한 결과 w^0 보다 낮다는 의견이 57%, w^0 보다 높다는 의견이 43%로 나타났다.

5) WTP시나리오별 설문결과

VMS 정보의 가치가 초기제시액(w^0)인 220원보다는 낮으나 이에 대해 지불의사가 있다고 응답한 No-Yes (c) 시나리오와 초기제시액(w^0)인 220원 보다 높고 이에 대해 지불의사가 있다고 응답한 Yes-Yes (a) 시나리오에 대한 설문결과는 〈표 4〉와 같다. 여기서 연령대가 50세 이상인 경우와 소득이 500만 원 이상인 경우와 같이 적정 표본수를 확보하지 못한 세부 카테고리에는 평균 WTP 추정시 인접한 카테고리에 포함시켜 검토하였다.

2. 가치 추정 및 결과 해석

1) 분석자료의 정의

본 연구에서 사용한 변수와 정의는 〈표 5〉와 같다.

2) 분석결과 및 WTP 함수 정립

〈표 5〉에서와 같이 본 연구에서 설정한 변수 중 정보 이용경험은 통계적 유의수준(10%)을 만족하지 못하는 것으로 나타났으며, 성별, 나이, 자가운전은 종속변수와 의 상관성이 낮아 제외하였다. 특히 나이의 경우 젊은 층과 노년층 등 세부카테고리로 구분하여 분석을 수행하였음에도 불구하고 어느 한 카테고리에서도 유의한 결과를 도출하지 못하였다.

이에 통계적으로 유의한 VMS 만족도와 소득변수, 운전빈도⁶⁾만으로 WTP함수를 최종 설정하였으며, 3가지 확률분포 가정에 따른 통계적 유의성 검토를 통해 분석 결과를 제시하였다.

〈표 5〉 변수의 정의 및 요약

변수	정의	평균	표준오차
성별(Gender)	· 남자 1, 여자 0	0.74	0.44
나이(Age)	· 20대 1, 30대 2 · 40대 3, 50대 4	1.69	0.57
VMS정보만족도(VMS)	· 상 또는 중이면 1 · 하면 0	2.22	0.62
개인 소득(Income)	· 200만원 초과 1 · 200만원 이하 0	1.85	0.74
자가운전(delf_dr)	· 자가운전이면 1 · 아니면 0	0.75	0.43
운전빈도(fre_dr)	· 5~7회/주 : 1 · 4회 미만/주 : 0	1.78	1.2
교통정보이용경험(info_use)	· 있으면 1 · 없으면 0	0.55	0.5

$$\text{average WTP} = f(\text{vms}, \text{income}, \text{fre_dr}) \quad (11)$$

확률분포별 위험함수 분석결과와 <표 6>과 같으며, 지수분포를 전제한 위험함수의 경우 상수를 제외한 모든 변수값이 통계적으로 유의하지 않아 WTP를 추정하는데 적합하지 않은 것으로 나타났다.

웨이블분포를 가정했을 경우 위험함수형태는 <그림 5>와 같으며, 교통정보의 가치에 대한 WTP는 63.8원으로 분석되었다. <표 6>에서와 같이 P값이 1보다 크므로 이때의 위험함수는 단조증가를 나타내었다. 이는 WTP 금액이 커질수록 위험도가 높아져 긍정적 응답 확률은 낮아짐을 의미한다.

위험함수의 분포가 로그-로지스틱일 경우 평균 WTP는 57.4원으로 추정되어 웨이블분포일 경우와는 다른 결과를 나타내었으며, <그림 6>과 같이 44.6원⁷⁾까지는 위험도가 증가하다가 이후 위험도가 감소하는 형태를 보이고 있다. 이는 44.6원까지는 VMS가 제공하는 교통정보에 대한 WTP가 감소하다가 44.6원 이후에 지불할 의사가 증가한다는 의미로서 VMS가 제공하는 교통

정보가 가지는 최소한의 가치라고 판단할 수 있다. 따라서 로그-로지스틱 분포를 가질 경우 추정된 평균 WTP는 57.4원이 아니라 44.6원으로 보는 것이 타당하다.

WTP에 적합한 생존함수의 분포를 선정하기 위해 LR 테스트를 수행하였다. LR테스트는 웨이블분포와 로그-로지스틱분포와 같이 네스트(nest)관계가 아닌 두 분포를 비교하는 방법으로 이때 우도비는 식(12)와 같다.

$$x^2 = -2[LL(\beta_R) - LL(\beta_V)] \quad (12)$$

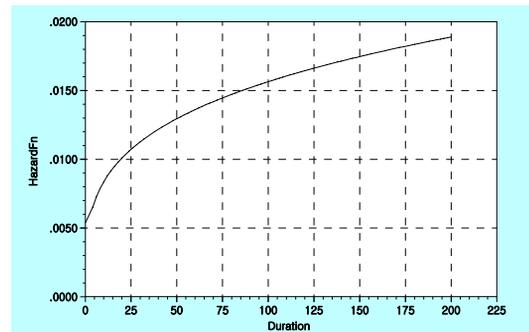
여기서, $LL(\beta_R)$ 는 제약된 초기상태의 log-likelihood, $LL(\beta_V)$ 는 수렴된 상태에서의 log-likelihood를 나타내며, 우도비 검정은 카이제곱분포를 따른다.

<표 6> VMS정보에 대한 WTP함수 추정 결과

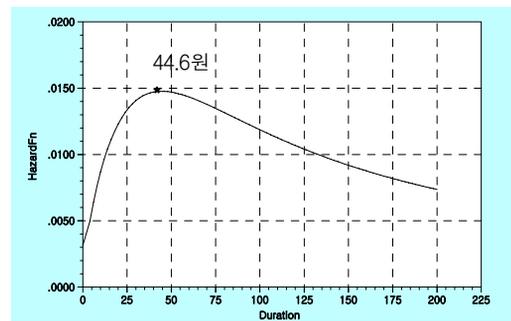
설명변수	지수	웨이블	로그-로지스틱
상수	3.97 (20.4)***	4.07 (31.5)***	3.53 (23.8)***
VMS 만족도 (보통 이상이면 1)	0.27 (1.62)	0.25 (2.2)**	0.39 (3.17)***
개인 월평균 소득 (200만원 이상이면 1)	0.001 (1.63)	0.001 (2.3)**	0.001 (1.96)**
일주일당 운행횟수 (일주일당 5일 이상이면 1)	-	-	0.289 (2.39)**

모델 적합성 지표			
P (distribution parameter)	-	1.27 (17.3)***	1.66 (13.6)***
λ	0.013 (13.5)***	0.012 (19.6)***	0.017 (15.8)***
t(inflection point) a	-	-	44.6
수렴된 Log likelihood	-482.67	-469.23	-504.45
평균 WTP(원/VMS)	54.8	63.8	57.5
표본수	345	345	345

주: * : 90% 신뢰구간에서 통계적으로 유의
 ** : 95% 신뢰구간에서 통계적으로 유의
 *** : 99% 신뢰구간에서 통계적으로 유의
 - : 통계적으로 유의하지 않음



<그림 5> 웨이블분포의 위험함수 형태



<그림 6> 로그-로지스틱분포의 위험함수 형태

<표 7> 위험함수 분포형태별 안정성 추정(LR 검정) 결과

위험함수의 분포형태	x^2	자유도	P-value
웨이블분포	92.2	4	4.06946E-19
로그-로지스틱분포	111.4	5	9.24616E-24

6) 운전빈도(fre_dr)의 경우 웨이블 분포를 가정한 위험함수에서만 통계적으로 유의하게 VMS 교통정보에 대한 WTP에 영향을 미치는 것으로 나타남

7) $t = (p-1)^{(1-p)}/\lambda$

LR 검정을 통한 위험함수 분포형태별 안정성 추정결과 안정성 측면에서 로그-로지스틱 분포가 웨이블분포보다 통계적 유의성이 높은 것으로 나타났다.

3) WTP함수 계수의 안정성 검토

본 절에서는 WTP함수 계수의 안정성을 검토하기 위해 전체 표본을 A, B의 서브그룹으로 구분하고 이에 대한 가설 검정을 수행하였다. 귀무가설(h_0)은 표본에서 무작위로 추출된 서브그룹의 WTP함수 계수는 안정적이라는 것이다. 즉, 표본인 A그룹과 B그룹에서 추정된 각각의 계수(β_{ra}, β_{rb})는 전체 표본의 계수(β_{Total})와 통계적 유의수준 이내에서 전이성을 가지고 있음을 의미한다. 따라서 귀무가설을 수락할 경우 본 연구에서 도출된 교통정보에 대한 WTP함수의 계수 안정성이 검증되는 것이다.

<표 8>과 같이 웨이블분포와 로그-로지스틱분포에 대한 생존함수의 LR 테스트를 수행한 결과, 두 분포 모두 LR 테스트의 값이 기각역에 해당하는 값 보다 작은 것으로 나타나 서브그룹 A에서 추정된 β_{ra} 와 서브그룹 B에서 추정된 β_{rb} 가 같다는 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 전체 표본의 계수 추정치(β_{Total})는 안정성을 갖는 것으로 판단할 수 있다. $LL(\beta_{total})$ 는 전체 표본을 사용하여 도출된 log-likelihood값이고, $LL(\beta_{ra})$ 와 $LL(\beta_{rb})$ 는 각각의 독립된 서브그룹의 자료에 근거하여 추정된 결과이다.

<표 8> 위험함수 분포형태별 계수의 안정성 검정결과

분포형태	Coefficient Stability Test
웨이블	$LL(\beta_{total}) = -501.4477$
	$LL(\beta_{ra}) = -239.0492$
	$LL(\beta_{rb}) = 256.8388$
	$-2(LL(\beta_{total}) - LL(\beta_{ra}) - LL(\beta_{rb})) = 11.1194$: $11.1194 < 13.2767$ (99% 신뢰구간, 자유도 4)
로그-로지스틱	$LL(\beta_{total}) = -469.2341$
	$LL(\beta_{ra}) = -228.7525$
	$LL(\beta_{rb}) = -239.7496$
	$-2(LL(\beta_{total}) - LL(\beta_{ra}) - LL(\beta_{rb})) = 1.464$: $1.464 < 15.0863$ (95% 신뢰구간, 자유도 5)

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 첫째, 이미 시장이 형성된 맞춤형 교통정보 뿐 아니라 VMS를 통해 불특정다수에게 제공되는 교통정보도 충분히 가치를 지니고 있음을 수적(numerical)으로 계량화하여 제시하였고, 둘째, 통행시간과 통행비용간의 한계대체율을 이용한 가치추정이 아닌 생존함수를 통해 교통정보의 가치모형을 정립하고 이의 통계적 신뢰성을 검증하였다는 데에 의의가 있다.

VMS 가치추정을 위해 본 연구에서는 양분선택형 질 문법을 사용하여 설문조사에 따른 전략적 편의를 최소화하고자 하였으며, 로그-로지스틱 분포의 생존함수 분석을 통해 VMS 1개가 제공하는 교통정보는 운전자에게 최소한 약 44.6원의 가치가 있는 것으로 분석되었다. 유태호(2007)의 연구에서는 고속도로 VMS에서 제공하는 지체정보의 가치는 단거리 통행시 241원/건, 장거리 통행시 156원/건으로 산정되었다. 이는 지체시간 변수에 대한 추정값을 이용하여 계산한 값으로 고속도로 통행료가 반영되었기 때문에 무료로 이용되는 국도에 비해 가치가 높게 추정되었음을 알 수 있다. 또한 VMS와 달리 이미 시장이 형성된 개인단말(Mobile)에 의한 교통정보는 가격이 존재하는데, 예를 들어 CCTV 동영상정보의 경우 1건당 150원의 이용료를 통신료와 별도로 책정하여 받고 있다. 같은 교통정보라 하더라도 도로특성(유료, 무료)과 제공단말(공공, 개인)의 특성에 따라 가치(즉, 가격)가 달라짐을 알 수 있다.

2. 정책적 활용방안 및 향후 과제

최근 저탄소 녹색성장이라는 정부정책의 기초 아래 스마트하이웨이 및 u-T(ubiquitous-transportation) 연구개발 등 첨단 기술을 활용하여 인프라를 지능화시키는 사업이 활발히 진행되고 있다. 인프라의 지능화는 실시간 정보의 교환으로 이루어진다고 해도 과언이 아닐 만큼 첨단화에 비례하여 정보의 양은 기하급수적으로 증가할 것으로 예상된다.

그러나 이러한 첨단정보산업의 적극적인 전개에도 불구하고 이들이 제공하게 될 정보가 주는 편익의 정량화에 대한 노력은 매우 미흡한 수준이다. 뿐만 아니라 무

형의 정보를 제공하는 ITS사업의 타당성이 기존 SOC사업의 투자평가지침(통행속도 증가에 의한 통행시간 절감 등)에 근거하여 평가되고 있어 ITS사업의 새로운 편익항목 개발이 시급한 실정이다.

공공시설투자평가지침(국토해양부, '09.12)에서는 통행시간 절감에서 파생되는 편익 외에 통행시간 신뢰성 향상 편익을 직접 편익항목으로 선정하고 이에 대한 계량화방안을 제시하였다. 이는 경제적 효율성만을 중시하던 기존의 투자평가체계에서 벗어나 정성적인 가치로만 여겨졌던 무형의 가치를 정량적 지표로 제시함으로써 최근의 대내외적 여건변화에 반영한 것으로 판단할 수 있다. 바로 여기에 본 연구의 의의가 있다고 볼 수 있다. 즉, 본 연구에서 산정한 정보의 가치를 ITS사업이 가져다주는 정량적인 "정보 편익"으로 산정하여 ITS사업에 적용하는 것이 필요하다.

구체적인 공공시설투자평가지침 적용방안에 대해서는 학계를 비롯한 산·관·연의 심도 깊은 논의가 뒷받침되어야 할 것이다. 다만, 본 연구에서는 간략한 방안을 제안하고자 한다.

VMS 뿐 아니라 다양한 제공매체를 통해 제공되는 정보 편익에 영향을 미칠 것으로 예상되는 물리적 조건과 개인행태에 대한 다양한 조사와 연구를 통해 "교통정보가치함수"를 일반화시키는 것이다. 즉, 어떤 교통서비스 환경과 수준, 개인의 사회경제적 특성이 정보가치에 어떻게 영향을 미치며, 이들 간에 내재된 인과관계는 무엇인지에 대해 전국 규모의 조사와 지속적인 조사를 통한 자료 축적과정을 거쳐 가치함수내 파라미터값의 범위를 제시하는 것이다. 교통안전이나 도로 설계 등에 반영되는 인적 요소(human factor)가 오랜 기간 동안의 조사와 자료 축적에서 만들어진 파라미터이고, 지속적인 개선과 학술적 비판이 상존하는 가운데에서도 사회적 통념으로 받아들여지고 있는 값을 감안할 때 충분히 가능할 것으로 예상된다.

다만 정보가치의 신뢰성 확보 측면에서 정보가치에 대한 시·공간적 전이성은 향후 심도 깊은 검토가 필요할 것으로 판단된다. 가치함수의 시·공간적 전이성 검증 위해서는 시차가 있는 설문조사자료와 공간적 범위가 다른 설문조사자료가 필요한데, 본 연구에서는 시간 및 예산측면의 제약여건으로 인해 다루지 못하고 이를 향후 연구과제로 제시하였다.

참고문헌

1. 김동건(2008), 비용·편익분석, 박영사.

2. 김준정(2005), 고속도로 교통정보의 가치평가에 관한 연구, 명지대학교 박사학위논문.

3. 국토연구원(2008), 국토 ITS 기본계획 수립을 위한 효과분석 및 수요전망 연구.

4. 국토해양부(2006), 고속국도 우회국도 ITS 사업의 효과분석 연구.

5. 광승준·유승훈(2001), 동강 자연환경 보존의 경제적 편익 추정 : 조건부 가치추정법의 적용을 중심으로, 경제학연구, 제49권 제2호, 한국경제학회, pp.163~184.

6. 김준정·이의은(2004), 교통정보 가치산정 방법에 대한 비교연구, 대한토목학회논문집, 제24호 제6D호, 대한토목학회, pp.881~888.

7. 송경일·최종수(2008), SPSS15를 이용한 생존자료의 분석, 한나래.

8. 유태호·이기영·이상수·오영태(2007), 고속도로 VMS 교통정보의 가치산정에 관한 연구, 한국도로학회지, 제9권 제3호, 한국도로학회, pp.63~74.

9. 장수은·강지혜(2008a), 통행시간 신뢰성 가치 산정에 관한 연구, 대한교통학회지, 제26권 제6호, 대한교통학회, pp.133~142.

10. 장수은·강지혜·이범신·윤석강(2008b), 철도의 선택 및 비사용 가치에 관한 연구, 대한교통학회지, 제26권 제6호, 대한교통학회, pp.143~154.

11. 정현영·백상근·백은상(2008), 이중양분선택형 질문법을 이용한 CVM에 의한 지하철 역사 Barrier-free 시설의 가치분석, 대한교통학회지, 제26권 제5호, 대한교통학회, pp.205~216.

12. 한국건설기술연구원, 국토연구원(2009), 국토 ITS 기본계획 수립 연구.

13. 한국교통연구원(2008), 철도사업 (예비)타당성조사의 편익 산정방안 개선연구.

14. David Brownstone, Arindam Ghosh, Thomas F. Golob, Camilla Kazimi, Dirk Van Amelsfort (2003), "Drivers' willingness-to-pay to reduce travel time: evidence from the San Diego I-15 congestion pricing project", Transportation Research A 37 pp.373~387, Elsevier.

15. Doohee Nam, Fred Mannering(2000), An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration, Transportation Research A, Vol. 34, pp.85~102.

16. Farideh Ramjerdi & Johanna Lindqvist Dillén(2007), Gap between Willingness - to - Pay and Willingness-to-Accept Measures of Value of Travel Time: Evidence from Norway and Sweden, *Transport Reviews*, Vol. 27, No. 5, pp.637~651.
17. Macchow, Matthew, Kanafani, Adib(1999), Some Aspects of the Market for Broadcast Traffic Information, California PATH Working paper, UCB-ITS-PWP-99-9.
18. Khattak, A. J., Y. Yim and L. S. Prokopy(2003), Willingness To Pay For Travel Information, *Transportation Research C*, Vol. 11, pp.137~159
19. Kim, J. K., Y. Wang and G. F. Ulfrasson(2007), Modeling the Probability of Freeway Rear-End Crash Occurrence, *Journal of transportation engineering*.
20. Sung-ho Oh, Kyoung-ah Rhee and youn-soo Kang(2008). "How much for the real-time traffic information on VMS?", 15th World Congress on Intelligent Transport System (Newyork, America).
21. Robert Cameron Mitchell, Richard T. Carson(1989), Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method, pp.223~226.
22. Simon P. Washington, Matthew G. Karlaftis, Fred L. Mannering(2003), *Statistical and Econometrics Methods for Transportation Data Analysis*, CHAPMAN & HALL/CRC.
23. William H. Greene(2008), *Econometric Analysis*, 6th ed. Pearson Education, pp.931~938.
24. Zhang, L. and D. Levinson(2008), Determinants of Route Choice and Value of Traveler Information, *Transportation Research Record*, No.2086, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.81~92.

✉ 주 작성 자 : 이경아

✉ 교 신 저 자 : 오성호

✉ 논문투고일 : 2010. 8. 20

✉ 논문심사일 : 2010. 10. 29 (1차)

2011. 4. 23 (2차)

2011. 5. 2 (3차)

✉ 심사판정일 : 2011. 5. 2

✉ 반론접수기한 : 2011. 10. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필