

# 조건부 가치측정법을 활용한 VMS 교통정보 가치 추정

## Estimation of VMS Traffic Information Value Using Contingent Valuation Method

최 정 윤\*  
(Jung Yoon Choi)

유 정 훈\*\*  
(Jeong Whon Yu)

### 요 약

본 연구는 비시장재화의 가치추정을 위해 환경경제학 분야에서 발전되어 온 가치추정방법인 조건부가치측정법을 교통 분야에 적용하여 VMS 교통정보의 가치를 산정하였다. 조건부가치측정법(CVM)은 사업 시행 전 이용자들이 대상재에 대해 부여하는 가치를 추정하고, 추정된 값을 근거로 사업의 타당성을 간접적으로 검토할 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 고속도로의 교통문제를 완화시키기 위한 방안으로 도로공사에서 추진 중인 교통체계 선진화 사업 중 가변전광판(VMS)에서 제공하는 교통정보의 가치를 추정하였다. 특히 본 연구는 기존연구와는 다르게 통행목적, 정보의 종류, 소통 상태에 따른 정보의 가치를 분석하였다. 비시장재인 교통정보의 가치를 추정하기 위해 가상시나리오를 설계하여 진술선호 방법을 활용하여 설문하였으며, 설문의 신뢰도를 높이기 위해 설문에 앞서 예비조사를 실시하였다. 지불용의액의 설문방식은 직접설문법을 채택하였다. 교통정보의 가치추정의 방법으로 Tobit 모형과 이항 probit 모형을 이용하였고 계수 추정은 최우추정법을 이용하여 계수를 추정하였다. 연구결과 고속도로 이용자들이 생각하고 있는 교통정보의 가치는 건당 518.28원으로 추정되었다.

핵심어 : ITS, 교통정보, 조건부가치측정법, 정보가치, 교통상황, Tobit 모형

### Abstract

In this study, value of VMS (Variable Message Sign) traffic information is estimated by using CVM (Contingent Valuation Method), which is developed to quantify the value of non-marketable goods in environmental economics. CVM is used to estimate the value of goods provided by a project under consideration and then the project feasibility can be indirectly examined on the basis of the estimated value. This study focuses on estimating to estimate value of traffic information provided through VMS, a part of the transportation system enhancement project by Korea Expressway Corporation which is aimed at mitigating traffic problems on expressways. In particular, this study analyzes value of information separately by trip purpose, information type, and traffic flow condition. A state preference survey was designed to estimate the value of non-marketable traffic information. To maximize reliability of the survey results, a pilot survey was taken before the main survey. The open-ended question method was adopted in capturing users' willingness-to-pay. Both Tobit and binary Probit models were applied in estimating the value of VMS traffic information and their parameters were estimated using the maximum likelihood estimation. The estimation results suggests that the value of traffic information perceived by users is 518.28 KRW.

**Key words** : ITS, Traffic information, CVM, Value of information, Traffic condition, Tobit

† 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029447)

\* 주저자 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정

\*\* 공저자 및 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수

† 논문접수일 : 2012년 7월 24일

† 논문심사일 : 2013년 4월 30일

† 게재확정일 : 2013년 5월 7일

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

산업화가 진행됨에 따라 우리 사회는 보다 신속하고 안전한 객화의 이동이 요구되었고, 근래에 그 중요성은 더욱 부각되고 있다. 과거 도로건설, 운송수단 확장 등과 같은 시설공급 위주의 교통정책이 시행되었으나 이러한 물리적 요소들의 확장으로는 이용자들의 요구를 충족시키기에는 한계가 있음을 인지하고 교통수단 및 교통시설에 첨단기술을 접목하여 교통체계의 운영 및 관리에 효율성과 안전성을 극대화 하는 첨단교통시스템(ITS: Intelligent Transport System)을 도입하게 되었다.

그러나 ITS사업의 효과를 평가할 수 있는 방법론 및 지침의 부재로 ITS사업의 효율적인 투자와 운영이 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구는 ITS사업 분야 중 교통정보 가변전광판(VMS: Variable Message Sign)에 대한 이용자의 지불용의액(WTP: Willingness-to-Pay)을 조건부 가치 측정법을 활용하여 추정하였다.

본 연구의 기존연구에 대한 차별성은 별도의 제시금액을 설정하지 않고 직접 설문하여 제시금액에 의한 편의를 줄였고, 기존의 연구들이 이용자의 사회적 특성 및 통행목적에 따른 정보가치 차이를 분석하는 데 그친 데 반해 본 연구는 제공되는 정보 종류, 소통상황에 따른 정보의 가치 차이를 분석하였다. 특히, 정보의 종류는 도로상황, 소통상황, 도착예정시간, 대체경로로 구분하여 분석을 수행하였다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 VMS 교통정보 가치 추정을 위해 조건부가치측정법 중 제시금액에 따른 편향성을 최소화할 수 있는 장점을 지닌 open-ended method를 사용하였다. 응답자의 이해를 높이고, 결과의 편향성을 최소화하기 위해 다수의 예비조사를 실시하였고, 이를 바탕으로 본 조사 설문지를 작성하였다. Open-ended method에 의한 결과를 바탕으로 Tobit

모형을 적용하여 지불의사금액모형을 추정하였다.

추정된 지불의사금액모형을 통하여 지불의사금액에 영향을 미치는 요인을 분석하고 모형을 검증하였으며, 측정된 평균지불의사금액을 이용하여 VMS 교통정보의 가치를 산정하였다. 또한 통행목적, 정보의 종류, 소통상황에 따른 VMS 교통정보의 가치를 살펴보았다. 특히, open-ended method에 의해 설문된 결과를 closed-ended method를 통해 조사된 결과의 형태로 변환한 후 이항 probit 모형을 적용하여 지불의사금액을 산출하고 이를 Tobit 모형결과와 비교분석하였다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 교통정보 가치산정

교통정보에 대한 관련된 수많은 연구가 국내외에서 수행되어 왔으며, 이중 본 연구대상인 VMS를 중심으로 한 연구와 교통정보에 대한 금전적 가치를 추정한 연구를 중심으로 살펴보면 다음과 같다.

Kim et al.(2006)은 VMS의 실시간 운영 전략의 수립을 위해 SP(Stated Preference)조사를 바탕으로 한 운전자 경로선택모형을 구축하여 VMS 설치 전후의 network의 총 통행시간을 분석하였다. 그 결과 VMS 설치로 인해 도로망의 총 통행시간이 감소한 것을 확인할 수 있었으나 통행시간 절감편익 및 VMS 정보의 가치는 분석하지 않았다[1].

Jang et al.(2005)은 교통정보제공에 따른 우회율을 분석하기 위해 SP조사를 수행하여 해당 결과를 기초로 국도와 대체도로의 선택대안을 로짓모형을 활용하여 구축하였다. 다만 VMS 정보가 주행도로 선택에 유의미한 영향을 준다는 결론을 제시하고 있으나 정보에 대한 가치를 추정하지는 않았다[2].

Chu et al.(2005)은 자동화된 고속도로 내 공사구간에 대한 정보를 제공 전후의 효과를 분석한 결과를 제시하였다. 설문조사를 통해 자동 공사정보안내시스템(Automated Workzone Information System; AWIS)의 유용성을 입증하였고, 정보제공에 따라 주변도로의 교통혼잡이 감소한 것으로 평가하였다[3].

또한, Smith et al.(2005)은 제공되는 교통정보 서비스 내용 변화에 따른 도로 이용자 반응의 변화를 분석한 결과를 제시하였는데, 이용자는 교통정보의 내용, 제공매체 및 주기 등에 따라 이용행태가 유의미하게 변화하는 것으로 나타났다[4].

## 2. 조건부가치 측정법을 활용한 교통정보 가치 산정

조건부가치 추정법을 사용한 연구의 효시는 1963년 미국 메인주에 위치한 삼림지역의 환경적 혜택의 가치를 방문자들의 인터뷰를 통해서 계량적으로 측정된 것이다. 이후 1980년대에 환경경제 분야에서 산림, 수질 등과 같은 비시장재의 가치추정을 중심으로 활발하게 진행되었다.

특히, Lindsey(1994)는 환경 분야와 더불어 교통 분야에서도 교통사고로 인한 간접적인 사회적 편익을 추정함으로써 교통사고의 피해정도를 평가하였으며 [5], Hayashiyama et al.(2001)는 삿포로 시내의 겨울철 도로관리 사업을 평가하는데 있어 QOL(Quality of Life), 보행자의 안전성과 같은 간접적인 혜택을 CVM을 활용하여 계량화하였고, 이를 기존 편익항목에 추가하여 B/C 분석을 수행하였다[6].

국내에서는 1990년 대 후반까지 CVM을 활용한 연구가 환경경제 분야에 국한되어 진행되었으나, 2000년대 들어 CVM을 교통 분야에 적용하여 연구가 시작되기 시작하였으며, CVM을 활용한 교통 관련 국내의 연구로서 Son et al.(2002)은 전주시 교통문제 해결을 위해 추진 중인 ITS 사업 중 교통정보 제공시스템 도입을 sequential-bid method의 일종인 양분선택법을 적용하여 998원/건~1,048원/건의 가치가 있는 것으로 추정하였다[7].

Kim and Lee(2004)은 고속도로 상에서 휴대폰, PDA 등을 소지한 개인에게만 제공되는 정보의 가치를 CVM을 활용하여 추정하였다. 고속도로 교통정보 이용료를 종속변수로 하여 다중회귀모형을 적용, 가치를 평가한 결과 1,365원/월의 가치가 있는 것으로 평가하였다[8].

Bin and Kim(2005)은 버스도착정보의 가치를 해당 정보제공에 따른 불안감 해소라는 심리적 만족

도 측면에서 접근하여 버스도착정보의 가치를 추정하여, 1분 동안의 대기시간에 대한 불안감 해소가 132.5원/분의 가치가 있는 것으로 분석하였다[9].

Kang et al.(2007)의 연구에서는 ITS 평가항목 및 투자평가방법을 연구하여 ITS 도입의 편익 중 교통정보 제공에 따른 이용자 편익이 고려되어야 함을 주장하고 있다[10].

MOLIT(2008)는 VMS를 통해 얻게 되는 심리적인 안정감을 ITS 사업의 편익으로 분류하였다. 경매법의 일종인 양분선택법을 적용하였고, 상한액을 유료교통정보의 평균가치인 220원으로 설정하였다. 분석 결과 VMS 1대당 125.7~177원의 가치를 지닌 것으로 제시하고 있다[11].

Yeon et al.(2010)은 VMS 교통정보 제공에 따른 이용자의 불안감 해소와 심리적 안정감에 대한 가치를 CVM을 활용하여 분석한 결과 도시고속도로는 VMS 1대당 196.7원, 도시부고속도로는 VMS 1대당 176.3원의 가치가 있는 것으로 나타났다.[12]

## 3. 연구의 차별성

VMS 교통정보는 무료로 제공되고 비시장재의 성격을 지니고 있어 가치가 과소 추정되어 왔으며, 관련 연구가 미미하였다. 또한 기존 연구에서도 상한액을 설정하거나 제시금액을 통해 설문이 이루어져 WTP의 추정 값이 제시금액으로 한정된 한계가 있었으며 이용자의 심리적인 만족도에 대한 가치 추정을 중심으로 이루어졌다.

이에 본 연구에서는 이용자 측면에서 운전자가 이해할 수 있도록 시나리오를 설정하여 VMS 교통정보의 가치를 산정하였고, 통행목적, 제공되는 정보의 종류, 소통상황별로 구분하여 가치를 산정하였다. 또한, open-ended method를 사용하여 제시금액 설정에 따른 bias를 제거하였다. 그리고 추정된 모형의 적정성을 검증하기 위해 open-ended method로 조사된 설문결과를 closed-ended method 설문조사 결과로 변환하여, 모형을 추정하여 앞선 결과와 비교·분석하여, 모형의 신뢰성을 높이고자 하였다.

### Ⅲ. 조사 설계 및 기초 통계분석

#### 1. 설문조사 설계

조건부가치측정법은 시장에서의 거래를 가정하는 가상의 시나리오를 형성하고 해당재화를 계속해서 사용 또는 유지하기 위한 지불의사액 또는 해당 재화를 잃게 되었을 경우 보상요구액을 가상 시나리오에 의해 작성된 설문지를 통하여 비시장재의 가치를 부여하는 방식으로 다음의 과정을 거쳐 진행된다. 응답자의 대상재화에 대한 선호도를 설문을 통하여 도출하고, 조사의 신뢰성 확보를 위해 다음의 내용을 응답자에게 제공한다.

- ① 가치를 평가하고자 하는 재화와 그 재화가 거래될 가상의 시장조건에 대한 상세한 설명
- ② 가치를 평가하고자 하는 재화에 대한 응답자의 선호도를 도출하기 위한 질문
- ③ 응답자의 특성(예: 나이, 소득), 재화에 대한 응답자의 선호도, 재화에 대한 사용 등에 대한 질문

상기 조건에 따라 VMS 교통정보의 가치를 평가하기 위해 가상 시장에 대한 시나리오를 구성하였으며, 나이, 소득, 이용자 만족도, 통행목적, 소통상황, 정보 종류 등에 대한 지불의사액을 설문하고 Limdep과 SPSS를 이용하여 결과를 분석하였다.

#### 1) 대상재화와 재화공급

고속도로 상에서 VMS를 통해 제공되고 있는 정보를 도로 상의 교통사고, 고장차량, 노면상태 등을 알려주는 도로상황 정보, 주변 도로의 소통상태를 소통원활, 서행, 지·정체로 구분하여 제공하는 소통상황정보, 주요 기·종점간의 소요시간 또는 정보제공 지점에서의 목적지의 도착시간을 표시하는 도착시간 정보, 출·퇴근 등과 같은 이유로 발생하는 반복적인 지체와 유고상황을 통해 발생하는 비반복적인 지체 시 우회 가능한 경로에 대한 정보를 제공하는 대체경로 정보로 구분하여 대상재를 정의하였다.

또한, 통행목적을 시나리오로 처리하여 반복적이며 업무통행의 성격을 가진 출·퇴근을 목적으로 하는 시나리오와 비반복적이며 비업무통행의 성격을 지는 여가통행으로 구분하여 설문하였다. 그리고 소통상황에 따라 이용자가 느끼는 정보 가치의 차이가 있을 것으로 판단되어, 이 부분도 현재 도로공사에서 구분하고 있는 기준을 적용하여 소통원활(70km/h 이상), 서행(30km/h~70km/h), 정체(30km/h 미만)으로 구분하여 설계하였다.

#### 2) 지불수단 및 지불의사 유도방법

지불수단은 평가될 대상과 적절한 연계를 가질 때 신뢰성이 높아지게 된다. 따라서 고속도로 교통정보를 이용자가 사용할 경우 지불하게 될 정보이용료를 지불수단으로 하였다. 본 연구에서 가치산정을 하고자 하는 VMS 교통정보는 교통정보와 유사한 다양한 정보가 이미 국내에서도 유료화 되어 있고, 외국에서는 고속도로 교통정보를 유료화하여 정보이용료를 받고 있는 선례가 있어, sequential-bid method나 closed-ended method 보다는 응답자가 합리적인 판단에 의해 최대 지불의사를 표시하게 하는 open-ended method를 적용하였다.

#### 3) 제시금액 설계 및 설문의 구성

기존의 제시금액 설계 방식은 모수의 값을 알고 있다고 가정한 경우에 제시 금액을 어떻게 설계하는 것이 효율적인가 하는 연구들이 대부분이다. 본 연구에서는 설문조사 시 응답자가 지불의사액에 대한 응답에 어려움을 표현하는 경우 국내에서 유료화 되어 제공 중인 유사 정보의 사례를 예시하였다.

그 중 유료화가 가장 오래된 증권정보, 휴대폰 서비스 중 이용 빈도가 가장 높은 벨소리 정보, 동영상 정보나 최적경로 정보와 유사한 휴대폰 그래픽 서비스에 대한 정보이용료를 제시하여 주었다.

본 연구의 설문의 전체적인 구성은 고속도로 이용에 관한 5개의 질문, 교통정보 가치평가에 관한 3개의 질문, 그리고 응답자 특성을 묻는 9개의 질문으로 구성하였다.

4) 표본 설계

본 연구는 고속도로에서 제공 중인 VMS 교통정보에 대한 이용자의 최대 지불의사를 파악하는 것이 목적이므로 운전면허를 소지한 20세 이상의 고속도로 이용자를 모집단으로 하였다.

본 연구의 설문조사는 예비조사 1회, 본 조사 1회로 총 2회에 걸쳐 이루어졌다. 예비조사의 목적은 본 조사에서 일어날 수 있는 다양한 오차를 줄이기 위해 설문내용의 방향을 설정하고, 질문 내용의 이해력을 높이기 위함이다. 예비조사 대상자로는 고속도로 이용경험이 있고 운전면허를 소지하고 있는 성인 50명에 대해서 이루어졌다.

본 조사의 경우, 고속도로 노선별의 차이가 있을 가능성이 존재하여 현재 VMS가 설치되어 운영 중인 경부고속도로와 서해안고속도로 이용자들을 50:50의 비율로 400명에 대해 조사하였다. 또한, 가장 최근의 실질적인 정보이용자의 의견수렴을 위해 경부고속도로 만남의 광장 휴게소와 서해안 고속도로 화성휴게소를 이용하는 실제 고속도로 운전자들 대상으로 설문조사를 실시하였다.

〈표 1〉 설문조사의 개요  
〈Table 1〉 Overview of the questionnaire survey

| Survey            | Pilot   | Main  |
|-------------------|---|---|
| Purpose           | Establish the direction of the main survey, Check possible errors in survey questions | Estimate the value of VMS traffic information |
| Questions         | User behavior, Valuation of traffic information, Characteristics of respondents       |   |
| Survey period     | 2011.11.01~2011.11.10   | 2011.11.24~2011.11.25                         |
| Location          | Ajou university   | Gyeongbu expressway, Seohaean expressway      |
| Number of samples | 50  | 400 (valid responses: 393)                    |
| Respondent        | Driver's license holders  | Expressway users                              |
| Method            | E-mail and interview  | Personal interview                            |

2. 기초통계 분석결과

설문조사 대상자 400명 중 응답이 누락되었거나 응답의 오류가 있는 설문을 제외한 유효응답자는 총 393명으로 경부고속도로 195명, 서해안고속도로 198명으로 관측되었다. 설문조사지의 각 속성별 표

본수와 구성비를 살펴보면 성별은 유효응답자 393명 중 남성은 52.1%, 여성은 47.9%로 관측되었고, 연령별 응답자 분포를 살펴보면 20대 27.1%, 30대 35.8%, 40대 22.9%, 50대 이상이 14.3%로 관측되었다. VMS 교통정보 제공에 따른 만족도에 대해서는 불만족 이하 비율이 25.5%, 보통 이상의 비율이 74.5%로 응답하여 대부분의 운전자들이 VMS 교통정보에 대하여 만족하고 있다고 판단되어진다. 또한, 정보가 필요한 소통상황은 지체상황일 때가 69.0%로 가장 높았으며, 서행인 경우가 21.9%, 소통상태 원활인 경우가 9.1%로 관측되었다.

〈표 2〉 설문조사 결과  
〈Table 2〉 Survey results

| Attributes   |                   | Frequency | Relative frequency |
|--|-------------------|-----------|--------------------|
| Gender   | Male              | 205       | 52.1%              |
|  | Female            | 188       | 47.9%              |
| Age  | 20-29             | 107       | 27.1%              |
|  | 30-39             | 141       | 35.8%              |
|  | 40-49             | 90        | 22.9%              |
|  | 50-               | 56        | 14.3%              |
| Level of satisfaction with information               | Very dissatisfied | 0         | 9.9%               |
|  | dissatisfied      | 39        | 15.6%              |
|  | Neutral           | 61        | 30.0%              |
|  | Satisfied         | 118       | 27.8%              |
| Monthly income (million KRW)                         | Very satisfied    | 109       | 16.7%              |
|  | -100              | 66        | 17.9%              |
|  | 100-200           | 70        | 22.3%              |
|  | 200-300           | 88        | 36.1%              |
|  | 300-400           | 142       | 15.5%              |
| Need of traffic info. according to traffic condition | 400-500           | 61        | 5.7%               |
|  | 500-              | 22        | 2.6%               |
|  | No congestion     | 36        | 9.1%               |
| Type of information                                  | Slow traffic      | 86        | 21.9%              |
|  | Congestion        | 271       | 69.0%              |
| Type of information                                  | Road condition    | 15        | 3.83%              |
|  | Traffic condition | 205       | 52.19%             |
|  | Arrival time      | 133       | 33.94%             |
|  | Detour            | 39        | 10.04%             |
| WTP (KRW)  | -200              | 0         | 6.9%               |
|  | 200-400           | 27        | 15.1%              |
|  | 400-600           | 59        | 22.1%              |
|  | 600-800           | 87        | 24.3%              |
|  | 800-1,000         | 95        | 22.8%              |
| 1,000-   | 90                | 8.8%      |                    |

## IV. 분석방법론

### 1. 조건부 가치 측정법

조건부가치측정법은 설문지 조사나 전화조사 등을 통하여 주어진 환경의 질이나 서비스 변화에 대한 응답자의 지불의사액 크기를 통계적으로 추정하는 방법이다. CVM은 경제학자와 정책평가자들 사이에서 가장 널리 사용되고 있는 가치측정방법으로서 가치를 측정하고자 하는 비시장재화에 대한 최대 지불의사액을 직접 이끌어내는 것이 특징이다.

그러나 조사로부터 얻은 응답자가 진술한 가치를 지불의사액의 추정치로 사용하는 CVM 기법에 대한 비판이 전혀 없는 것은 아니다. 이 방법에 의해 추정된 지불의사액은 하나의 임의변수로서 그 추론이 매우 복잡하고, 신뢰구간을 추정할 수 없으며 필요한 표본의 수를 책정하는 이론적인 근거도 빈약하다.

CVM은 설문방식에 따라 open-ended method, sequential-bid method, closed-ended method로 구분되며 각 방법을 비교하면 다음과 같다[13].

〈표 3〉 CVM 설문 방식 비교  
 〈Table 3〉 Comparison of CVM questions

| Method         |  | Advantage  | Disadvantage   |
|----------------|--|--|--|
| Open-ended     | Ask the amount directly  | No possible bias due to pre-specified amount                   | Difficult to answer, which leads to a high variance in responses |
| Sequential-bid | If "yes" with a suggested amount, then ask "yes" or "no" with a higher amount; If "no", then with a lower amount | Easy to answer, which leads to a smaller variance in responses | Potential bias may occur depending on the initial amount         |
| Closed-ended   | Ask with a randomly selected amount  | Relatively a smaller bias compared to sequential bid           | Need more samples  |

### 2. 비교 분석을 위한 데이터 구축

본 연구가 기존 연구와 차별되는 부분 중 하나인 데이터 수집 방법에 따른 모형 추정결과 비교를 위

해 open-ended method와 closed-ended method 방식으로 모두 수집하였다.

Closed-ended method는 지불의사액을 직접 묻는 open-ended 방식과는 다르게 다수의 제시금액을 설정하여 이에 대한 수락여부만을 설문하는 방식이다. 본 연구에서는 open-ended method와 closed-ended method에 따른 결과 값을 비교 분석하였다.

Sequential-bid method의 경우 제시금액 변화에 따른 bias 및 설문 문항의 복잡성으로 인해 설문결과의 신뢰도를 저하시킬 수 있다고 판단되어 분석에서 제외하였다.

### 3. 분석 모형

#### 1) Open-ended method

본 연구에서는 VMS 교통정보의 가치를 추정하기 위하여 응답자에게 지불의사액을 직접적으로 대답하게 한다. 그러므로 간접적인 가치측정방법과는 달리 효용함수에 대한 일반적 가정이나 보통 수요 함수 도출 등의 복잡한 중간과정을 거치지 않고 지불함수에서 직접적으로 최대지불의사금액을 이끌어 낼 수 있다. 그러나 본 연구의 기초자료인 설문 조사의 결과를 살펴보면 정보는 필요로 하나 가치를 0원이라고 대답한 인원들이 약 3.8%에 달해 기존의 회귀분석으로는 투입요소의 변화에 따른 WTP의 변화를 추정하게 되면 추정치의 편의가 발생하게 되므로 이러한 문제를 해결하기 위해 Tobit 모형을 이용하여 분석하였다.

Tobit모형이란  $y_i^* > 0$ 면 관측할 수 있고,  $y_i^* < 0$ 이면 관측할 수 없는 경우와 같이 종속변수가 양적변수이지만 일정범위 안에서는 관측될 수 없고 제한된 값을 가지는 경우 사용되는 중도절단회귀모형(Censored regression model)을 말한다.

$$\begin{aligned}
 y_i^* &= x_i\beta + \epsilon_i & \epsilon_i &\sim N(0, \sigma^2) \\
 y_i &= y_i^* & & \text{if } y_i^* > 0 \\
 y_i &= 0 & & \text{if } y_i^* \leq 0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

위의 식에서  $y_i^*$ 는 관찰 불가능한 잠재변수이다.

이 변수의 값을 관찰할 수 있다면, 위의 식에서 일반적인 최소자승법을 적용하여 계수  $\beta$ 의 일치추정량을 얻을 수 있다. 그러나 관찰 가능한 변수는  $y_i$ 이다. 그런데 이 관찰 가능한 변수  $y_i$ 는 0이상에서만 관찰 가능하다. 이 경우  $y_i$ 를  $y_i^*$ 를 대신 이용하여 최소자승법으로 추정하면  $E(\epsilon_i) \neq 0$ 이기 때문에  $\beta$ 의 일치추정량을 얻을 수 없게 된다.

앞에 식과 같이 0의 값에서 censored된 자료에 대해 최우추정법을 이용하여 일치추정량을 얻을 수 있다. 이 경우 전체 표본에 대한 우도함수는 아래와 같이 표현되며 일반적으로 이 우도함수에 로그 값을 취해 언어지는  $\ln L$ 을 극대화 하는 방법으로 계수 추정치  $\beta$ 를 구하게 된다.

$$\ln L = \sum \ln(1 - \Phi(\frac{x_i\beta}{\sigma_u})) + \sum [\ln \sigma_u + \ln \phi(\frac{y_i - x_i\beta}{\sigma_u})] \quad (2)$$

단, 앞부분은  $y_i$ 가 0인 항의 합, 뒷부분은  $y_i$ 가 0보다 큰 항의 합이다.  $\Phi(\cdot)$ 는 표준정규분포의 누적분포함수,  $\phi(\cdot)$ 는 표준정규분포의 확률밀도함수를 나타낸다. 본 연구에서는 VMS 교통정보의 가치를 종속변수로 하고 소득, 성별, 연령, 정보 만족도, 정보의 종류, 통행목적, 소통상태를 독립변수로 선정하였다.

〈표 4〉 변수의 설정  
〈Table 4〉 Model variables

| Variables | Description  |
|-----------|--|
| INC       | Monthly household income (10,000 KRW)                    |
| AGE       | Age  |
| GEN       | Male=0, Female=1   |
| LOS       | Level of satisfaction with information: 1-5 Likert scale |
| TP        | Trip purpose: Business=0, Non-business=1                 |
| TC        | Provision of traffic condition information: Yes=1, No=0  |
| TA        | Provision of time-of-arrival information: Yes=1, No=0    |
| DT        | Provision of detour information: Yes=1, No=0             |
| NC        | Is traffic congested?: Yes=1, No=0                       |
| ST        | Is traffic slow?: Yes=1, No=0                            |

## 2) Closed-ended method

사전조사를 통해 설문지에 제시된 금액에 대해 ‘예/아니오’ 응답은 VSM 교통정보가 가지고 있는 효용과 응답자의 속성에 따라 다르다. VMS 교통정보로 인한 효용은 개인이 가지고 있는 성별, 연령, 소득 등과 같은 사회·경제적 속성과 개인의 통행특성, 교통여건에 대한 인식정도에 따라 결정된다.

VMS 교통정보로 인한 응답자의 지불의사액에 대한 추정식을 아래와 같이 가정했을 때, 응답자  $i$ 에 사회·경제적 속성, 제시된 대안에 대한 특성들을 고려하여 자신의 지불의사액을 결정하게 된다. 다음 식은 응답자의 지불의사액에 대한 추정식이다.

$$Y_i = x_i\beta + \epsilon, \quad \epsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (3)$$

하지만,  $Y_i$ 의 값은 관측되지 않고,  $Y_i$ 가 0보다 큰지 아닌지만 관측된다. 즉, 실제로 관찰 가능한 것은  $Y_i$ 가 아니라 제시된 금액  $t_i$ 에 대한 응답자들의 수용의사 뿐이다.

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{if } Y_i > t_i \\ 0, & \text{if } Y_i < t_i \end{cases} \quad (4)$$

즉,  $y_i$ 는 지불 의사액의 크기를 의미하는 것이 아니라,  $t_i$ 가 제시되었을 때, 그 금액을 수용할 용의가 있는가에 대한 단순한 더미변수이다.

$t_i$ 와 지불의사액 추정식을 이용하면 다음을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr(y_i = 1 | x_i) &= \Pr(Y_i > t_i) \\ &= \Pr(x_i\beta + \epsilon_i > t_i) \\ &= \Pr(u_i > t_i - x_i\beta) \\ &= \Pr(z_i > (t_i - x_i\beta)/\sigma) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,  $z_i$ 는 표준정규분포를 따르는 확률변수이다. 따라서 주어진  $x_i$  하에서  $y_i = 1, y_i = 0$ 일 확률은 다음과 같다.

$$\Pr(y_i = 0|x_i) = \Phi((t_i - x_i\beta)/\sigma)$$

$$\Pr(y_i = 1|x_i) = 1 - \Phi((t_i - x_i\beta)/\sigma) \quad (6)$$

모든 응답자를 고려한 결합확률 밀도함수를 구하고 로그우도함수를 유도하면 다음과 같다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^n \left\{ y_i \log[1 - \Phi((t_i - x_i\beta)/\sigma)] + (1 - y_i) \log[\Phi((t_i - x_i\beta)/\sigma)] \right\} \quad (7)$$

이 접근방법에서 지불의사액은  $x_i$ 의 선형함수형태로 정의되고 있으므로, 이의 평균을 구하기 위해서는 단순히 추정된 각 계수에 각 변수의 대표 값을 곱하여 합하면 된다.

## V. 분석결과

### 1. Open-endend method

Open-ended method에 의해 수집된 데이터에 Tobit 모형을 적용하여 VMS 교통정보 가치의 지불의사액 모형을 추정한 결과는 <표 5>와 같다. p-value가 0.05 이하인 소득, 연령, 성별, VMS 교통정보의 만족도, 통행목적, 정보종류, 소통상태 등이 지불의사액 추정에 유의한 변수로 판단된다.

추정된 모형을 응답자 특성측면에서 살펴보면, 소득과 연령이 높고, 남성인 경우가 상대적으로 VMS 교통정보에 대한 지불의사액이 높은 것으로 분석되었다. 고속도로 이용행태 및 정보의 특성 측면에서 살펴보면 VMS 교통 정보의 이용만족도가 높고, 지체상황이며 정보의 종류가 소통상황정보일 때의 지불의사액이 높은 것으로 결과가 산출되었다. 또한, 비업무 통행의 경우 업무를 목적으로 하는 통행에 비해 VMS 교통정보 지불의사액이 높은 것으로 추정되었는데 이는 비업무 통행의 경우 업무 통행에 비해 발생빈도가 적으므로 경로나 소통 상황에 대한 친숙정도가 적기 때문으로 판단된다.

<표 5> 모형 추정결과(Open-ended)  
<Table 5> Estimation results (Open-ended)

| Variable | Coefficient | Standard error | t-value | p-value |
|----------|-------------|----------------|---------|---------|
| Constant | 118.062     | 59.425         | 1.987   | 0.046*  |
| INC      | 0.402       | 0.113          | 3.544   | 0.000** |
| AGE      | 2.777       | 1.562          | 1.778   | 0.079   |
| GEN      | -59.064     | 28.326         | -2.085  | -0.039* |
| LOS      | 25.904      | 11.993         | 2.160   | 0.031*  |
| TP       | 59.592      | 29.806         | 1.999   | 0.044*  |
| TC       | 224.811     | 108.424        | 2.073   | 0.040*  |
| TA       | 114.466     | 45.424         | 2.520   | 0.010** |
| DT       | 34.086      | 25.424         | 1.341   | -0.135  |
| NC       | -317.456    | 118.645        | -2.676  | 0.004** |
| ST       | -105.665    | 51.916         | -2.035  | 0.042*  |

Number of samples= 299,  $\mathcal{L}(0) = -576.379$ ,  
 $\mathcal{L}(c) = -495.069$ ,  $\mathcal{L}(\beta) = -390.711$

특히, 제공되는 정보종류가 VMS 교통정보에 미치는 영향을 살펴보면, 다른 변수들의 값이 동일하다고 가정했을 때, 소통상황, 도착시간, 대체경로 정보는 도로상태정보에 비해 건당 224.811원, 114.466원, 34.086원 높은 것으로 분석되었다.

### 2. Closed-endend method

Closed-ended method에 의해 수집된 데이터에 probit 모형을 적용하여 VMS 교통정보 가치의 지불의사액 모형을 추정한 결과는 <표 6>과 같다. p-value가 0.05 이하인 소득, 성별, 소통상태가 지불의사액 추정에 유의한 변수로 분석되었다. Open-ended 방식에 비해 유의변수가 적은 것은 sample 수가 충분치 않고, open-ended 방식으로 수집된 결과를 closed-ended 방식으로 변환 시 발생하는 오차에 의한 것으로 판단된다.

Open-ended 방식으로 수집된 결과의 추정모형과 마찬가지로 남성이고, 소득이 높고, 지체 상황에서 VMS 교통정보에 대한 지불의사액이 높은 것으로 분석되었다.



〈표 6〉 모형 추정결과(Closed-ended)  
 〈Table 6〉 Estimation results (Closed-ended)

| Variable | Coefficient | Standard error | t-value | p-value |
|----------|-------------|----------------|---------|---------|
| Constant | 115.949     | 58.641         | 1.977   | 0.000** |
| INC      | 0.395       | 0.110          | 3.603   | 0.037*  |
| AGE      | 2.719       | 1.492          | 1.823   | 0.083   |
| GEN      | -56.459     | 27.133         | -2.081  | -0.045* |
| LOS      | 25.308      | 11.425         | 2.215   | 0.076   |
| TP       | 58.734      | 28.417         | 2.067   | 0.082   |
| TC       | 221.551     | 106.700        | 2.076   | 0.140   |
| TA       | 112.108     | 44.615         | 2.513   | 0.360   |
| DT       | 33.394      | 24.885         | 1.342   | -0.068  |
| NC       | -302.821    | 115.857        | -2.614  | 0.012** |
| ST       | -100.519    | 51.241         | -1.962  | 0.042*  |

Number of samples = 299,  $\mathcal{L}(0) = -874.919$ ,  
 $\mathcal{L}(c) = -769.42$ ,  $\mathcal{L}(\beta) = -582.423$

Open-ended 방식과 마찬가지로 제공되는 정보종류별 VMS 교통정보 가치를 분석한 결과 소통상황, 도착시간, 대체경로 정보는 도로상태정보에 비해 건당 221.551원, 112.108원, 33.394원 높은 것으로 분석되었다.

### 3. WTP 추정

본 연구에서 구축한 모형은 개인의 설문조사자료를 기초로 구축한 모형은 비집계형(disaggregate) 모형이다. 그러나 모형의 적용은 특별한 경우를 제외하고는 집계형(aggregate)수요에 관한 것이므로, 비집계모형을 기초로 집계예측(aggregate forecasting)을 수행하여야 한다. Ben-Akiva and Lerman (1985)은 집계 예측방법을 average individual, classification, statistical differentials, explicit integration으로 나누어 제시하고 있다[14]. 적용대상 지역과 관련된 기초 통계 자료의 한계로 본 연구에서 적용 가능한 방법은 average individual과 classification이다. 그러나 가장 단순하게 모형 적용대상의 모집단 평균값을 적용하는 average individual 방법은 만일 설명변수 값의 분산이 클 경우 결과 값의 신뢰도가 급격히 감소할 수 있기 때문에 본 연구에서는 classification 방

법을 사용하였다.

Classification 방법은 적용대상 모집단을 상대적으로 homogeneous한 소집단(subgroup)으로 구분하여 모형의 독립변수들에 대한 각 소집단의 평균 값을 모형에 적용하여 결과값을 산출하고, 산출된 결과를 가중평균하여 모집단의 종속변수 값을 추정하는 방법이다. Classification 방법의 과정을 살펴보면 다음과 같다.

단계 1: 전체 집단  $T$ 를 상호배타적이고 총합이 전체와 일치하는  $G$ 개의 sub-group으로 구분함. 이때  $X_g (g=1,2,\dots,G)$ 는 각 subgroup의 속성값임.

단계 2: 각 subgroup에 해당하는 sample의 수:

$$N_g, g=1,2,\dots,G$$

단계 3: 각 subgroup을 대표하는 평균값:  $\bar{X}_g$

단계 4: 전체를 집단  $T$ 를 대표하는 값,  $W(i)$ :

$$W(i) \cong \sum_g \frac{N_g}{N_T} P(i|\bar{X}_g) \quad (8)$$

이때, subgroup은 소득(2), 연령(2), 성별(2), 만족도(3) 및 정보의 종류(4)에 따라 구분하였다. 그러므로 총  $2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 4 = 96$ 개의 subgroup 별로 구분하여 subgroup 별 평균 WTP를 산출하였고, 이때 나머지 변수들은 설문에서 관측된 비율을 적용하였다. 여기서 구해진 subgroup별 WTP를 subgroup의 sample 수로 가중평균하여 교통정보의 가치를 추정하였다.

본 연구에서는 위의 방법을 적용하여 VMS 교통정보의 가치 추정결과, open-ended 방식은 518.28원, close-ended 방식은 472.34원으로 분석되었다. 동일한 설문결과를 통해 도출된 가치가 차이가 나는 것은 closed-ended 방식은 설문 조사 시 응답자가 생각하는 최대 지불의사액에 대한 조사가 아니라 설문에서 제시되는 금액에 대한 수락여부만을 답하기 때문에 제시금액에 따라 차이를 보일 수 있으나 대체적으로 직접설문에 비해 낮은 값을 보인다[15].

## VI. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 VMS 교통정보 제공에 따른 이용자만족도 가치를 산정하기 위하여 조건부가치측정법을 이용하여 VMS의 가치를 산정하고자 하였으며, 통행목적, 소통상황, 정보의 종류에 의해 가치가 차이가 있는지를 분석하였다.

경부고속도로와 서해안고속도로 이용자 400명을 대상으로 설문조사를 실시하여 VMS 교통정보 가치 추정모형을 구축하였으며, VMS 교통정보의 가치를 산정하였다. 그 결과 open-ended method로 수집된 자료는 518.28원/건, closed-ended 방식을 통해 VMS 교통정보 가치를 추정한 결과 정보 1건당 472.34원의 가치를 지닌 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 응답자 특성 측면에서는 대체로 소득수준이 높고, 연령이 많고, 성별이 남자인 경우, 고속도로 이용행태 및 정보의 특성 측면에서는 VMS 교통정보 이용 만족도가 높고 필요로 하는 정보가 소통상황 정보이며, 지체인 경우가 그렇지 아닌 경우에 비해 상대적으로 지불의사액이 높은 것으로 분석되었다. 해당 연구 결과는 향후 ITS 사업 효과분석의 핵심이라 할 수 있는 편익 산출시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 open-ended method를 적용하여 제시금액에 의한 bias를 제거하고, 통행목적, 소통상태, 정보종류에 따른 VMS 교통정보 가치를 추정하였고, closed-ended method를 사용하여 수집된 결과를 통해 추정된 값과 비교하였으나 closed-ended method를 적용하기에는 sample 수가 적절하지 않은 것으로 판단된다.

또한, 조건부가치측정법은 가상의 시나리오를 설정하여 가치를 평가하는 방법으로 설문지의 설계, 제시금액, 설문방법, 설정변수에 따라 결과가 상이하게 도출될 수 있는 한계가 존재한다. 향후에는 이러한 한계를 극복할 수 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] S. H. Kim, K. C. Choi, and J. W. Yu "Driver route choice models for developing real-time VMS operation strategies," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 26, no. 3D, pp.409-416, May. 2006.
- [2] J. A. Jang, B. S. Moon, and K. C. Choi, "Assessment of diversion rate by detour traffic information provision in freeway," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 25, no. 2D, pp.221-226, Mar. 2005.
- [3] L. Chu, H. K. Kim, Y. S. Chung, and W. Recker, "Evaluation of effectiveness of automated workzone information systems," *Transportation Research Record*, vol. 1911, pp.73-81, Dec. 2005.
- [4] N. Smith, V. Salim, J. Gannon, D. Olaru, and M. Wigan, "Matching user demand and technical supply for the design of traveller information services," 84th *TRB Annual Meeting*, Washington, D.C., USA, Jan. 2005.
- [5] G. Lindsey, "Planning and contingent valuation: some observations from a survey of homeowners and environmentalist," *Journal of Planning Education and Research*, vol. 14, no. 1. pp.19-28, Oct. 1994.
- [6] Y. Hayashiyama, S. Tanabe and F. Hara, "Economic evaluation of snow-removal level by contingent valuation method," *Transportation Research Record*, vol. 1741, pp.183-190, Jan. 2001.
- [7] Y. G. Son, B. J. Lee, Y. S. Eom, and M. Namgung, "Benefic Evaluation of Traffic Information Offered System using Contingent Valuation Method," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 22, no. 2D, pp.229-235, Mar. 2002.
- [8] J. J. Kim, and E. E. Lee, "A Comparative study about a value estimation method of the traffic information-based on freeway traffic information,"

- KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 24, no. 6D, pp.881-888, Nov. 2004.
- [9] M. Y. Bin, and H. B. Kim, "Investigating the monetary value of bus arrival time information," Journal of Korean Society of Transportation, vol. 23, no. 6, pp.81-89, Oct. 2005.
- [10] Y. S. Kang, T. H. Kim, and K. M. Jung, Guideline of ITS investment evaluation, The Korea Transportation Institute, Jan. 2007.
- [11] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Study on the establishment of a national highway ITS master plan, pp.35-87, 2008.
- [12] B. M. Yeon, J. Y. Hong, and S. B. Lee, "Value analysis of user satisfaction by VMS traffic information using contingent value Method", The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 9, no. 2, pp.12-22, Apr. 2010.
- [13] T. A. Cameron, and M. D. James, "Efficient estimation methods for use with 'closed-ended' contingent valuation survey data," The Review of Economic and Statistics, Vol 69, no. 2 pp.269-276, May. 1987.
- [14] M. Ben-Akiva and S. R. Lerman, Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, MIT Press. 1985
- [15] A. Alberini, "Optimal designs for discrete choice contingent valuation surveys: single-bound, double-bound, and bivariate models," Environmental Economics and Management, vol. 28, pp.287-306, May. 1995.

저자소개



최 정 윤 (Jung Yoon Choi)

2012년 3월 ~ 현 재 : 아주대학교 공과대학 건설교통공학과 박사과정  
 2012년 2월: 아주대학교 공과대학 건설교통공학과 공학석사(교통공학 전공)



유 정 훈 (Jeong Whon Yu)

2002년 미국 Purdue University 공학박사(Transportation and Infrastructure Systems Engineering)  
 2005년 3월 ~ 현 재 : 아주대학교 공과대학 교통시스템공학과 부교수  
 2003년 8월 ~ 2005년 2월 : 한국교통연구원 광역도시교통연구실 책임연구원  
 e-mail : jeongwhon@ajou.ac.kr  
 연락처 : 031-219-1650