



한국도로학회 논문집
第9券 1號 2007年 3月
pp. 17 ~ 27

.....

유료도로 ETCS 이용수요 예측모형에 관한 연구 (창원시를 중심으로)

A Study on an ETCS Demand Forecasting Model of Toll Roads in Changwon City

김 경 환* 하 만 복** 전 연 후*** 이 익 수****
Kim, Kyung Whan Ha, Man Bok Jeon, Yeon Hoo Lee, Ik Su

Abstract

Since early 1990s, several developed countries have applied the Electronic Toll Collection System (ETCS) to toll roads in order to solve traffic congestion and delay problems at toll plazas. For the successful operation of the ETCS, it is important to correctly forecast the ETCS using rate. In this study, it was conceived to develop a sophisticated demand forecasting model of the ETCS for toll roads in Changwon City. The Binary Logit and neural network models were tested for the model considering 11 explaining variables. The best results in prediction accuracy and goodness-of-fit were obtained on the neural network model. However, because of the difficulty in predicting the 11 variables and its fitness in wide range, the Binary Logit model which considers three policy variables only is recommended as the model to forecast the ETCS using rate.

Keywords : electronic toll collection system, logit model, neural network model, toll road

요 지

ETCS는 1990년대 초부터 선진국에서 유료도로 톨게이트에서의 교통체증 및 지체문제를 해결하기 위하여 적용되기 시작하였다. ETCS의 성공적인 운영을 위해서는 ETCS 이용률을 정확히 예측하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 창원시의 신뢰성 있는 ETCS 이용수요예측 모형 개발이 시도되었다. 총 11개의 설명변수들을 고려하면서 이항로짓 및 신경망 모형들이 검토되었다. 신경망모형에서 가장 좋은 결과를 얻었다. 그러나, ETCS 이용률 추정을 위해 설명변수 11개를 추정하기에는 어려움이 있으므로 차내장치 임대보증금, 절약시간, 할인률의 중요 3개 정책변수만을 고려한 신경망 및 로짓 모형들을 ETCS 이용률 추정모형으로 분석하였다. 모형의 예측력 평가와 적합도 분석에 있어서 신경망모형이 로짓모형보다 우수한 모형으로 판단되어지거나 학습에 사용된 9가지 이외의 시나리오에서 신뢰성이 떨어지는 것으로 나타나, ETCS 이용률 추정 모형으로 3개의 중요한 정책변수를 고려한 이항로짓모형이 제안된다. 이 모형은 평균제곱오차 0.14, R^2 0.31, χ^2 488.9로 신뢰성이 높은 모형으로 평가되며 창원시와 규모가 유사한 도시에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

핵심용어 : ETCS, 로짓모형, 신경망 모형, 유료도로

* 정회원 · 경상대학교 건설공학부 교수 · 환경 및 지역발전연구소 고문, 2단계 BK21 지역특화도시연구인력양성사업팀 · 공학박사

** 정회원 · 경상대학교 환경 및 지역발전연구소 위촉연구원, 공학박사

*** 교통안전공단 부산경남지사 교수

**** 경상대학교 대학원 도시공학과 석사과정

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

유료도로 툴게이트에서의 교통체증은 연간 약 2 조원의 교통 혼잡비용을 발생시키고 있으며(이상건 2001), 수동요금징수로 인한 과다한 인건비 지출과 툴게이트 광장의 확보 및 유지관리 등에 따른 부수적인 문제가 지속적으로 대두되고 있다.

이를 해결하기 위한 근본적인 해결책으로 첨단교통관리분야(ATMS)의 자동요금징수시스템(ETCS : Electronic Toll Collection System) 도입의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 시스템은 90년대 초부터 이미 선진국을 중심으로 적용되기 시작하였으며, 그 이용률은 15~80%의 큰 편차를 보이고 있다. 이에 따라 ETCS의 성공적 도입을 위해서는 정확한 이용수요예측이 이루어져야 한다.

이에 본 연구에서는 창원시의 유료도로 ETCS 이용수요를 예측하는데 있어 보다 신뢰할 수 있는 모형을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

ETCS 이용수요예측에 영향을 주는 복합적인 요인을 파악하기 위하여 창원시 유료도로를 이용하는 운전자 중심으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 내용은 RP자료, SP자료로 나누어 조사하였으며, RP자료의 경우 ETCS 이용에 관한 특성 및 운전자의 사회·경제적인 특성과 통행특성에 대해 조사하였다. 또한, SP자료의 경우에는 3가지 중요정책변수(공급변수)들을 통계적인 실험계획법을 통해 9가지의 가상적인 시나리오로 구축하고 그 시나리오를 운전자에게 제공하여 개인의 선호를 찾는 일련의 기법을 적용하였다.

이용수요예측 모형으로는 기존의 연구에서 적용되었던 이항로짓모형외 신경망 모형이 분석되었다. 이항로짓모형에 있어서는 ETCS에 영향을 미치는

모든 변수를 투입하여 모형을 구축한 후 t-test를 통해 유의성이 높은 변수만을 택하여 로짓모형 I 을 구축하였다. 또한 ETCS 이용률 추정에 있어 중요 정책 변수(공급변수)만을 선택하여 로짓모형 II 를 구축하였다.

신경망 모형에 있어서는 로짓모형과 유사하게 ETCS에 영향을 미치는 전체변수를 모두 투입한 신경망 모형 I 과 중요정책변수만을 입력변수로 선택한 신경망 모형 II 를 각각 구축하였으며, 구축과정에 있어서는 다양한 구조와 학습인자들을 고려한 최적의 신경망 구조를 통해 학습이 이루어지도록 하였다.

구축된 ETCS 이용수요예측 로짓모형(I, II)과 신경망 모형(I, II)을 평가하기 위해 각 모형에 대한 통계적 분석을 실시하였다. 각 모형의 예측치를 비교·분석하기 위한 효과척도는 평균절대오차(MAE), 평균제곱오차(MSE), 평균상대분산도(ARV)등의 통계치가 사용되었고, 모형에 대한 적합도를 평가하기 위해 각 모형별 χ^2 와 ρ^2 를 이용하였다.

본 연구에서는 인공신경망의 학습과 모형의 추정을 위해서 MATLAB 6.0, Neural Network Toolbox 4.0을 사용하였으며, 로짓모형의 정산을 위해서 SPSS 8.0과 LIMDEP 7.0을 사용하였다.

2. 문헌 연구

2.1 국내·외 자동요금징수시스템 현황

2.1.1 국외 자동요금징수시스템 현황

선진국의 경우 주행차량 자동인식과 관련된 산업 및 기술의 발달에 힘입어 90년대 초반부터 다양한 형태의 ETCS의 개발이 이루어졌으며, 그후 ITS 도입의 필요성을 인식한 동남아시아 등 기타 여러 국가에서도 ETCS를 적용하고 있는 상황이다.

ETCS 부분의 실용화에서 가장 앞서 있는 미국은 주로 대도시를 중심으로 거의 모든 주마다 유료도로에 ETCS를 도입했거나 계획 중에 있는 상황이다.

한 예로 플로리다주의 유료도로공사 OOCEA는 1994년에 E-PASS라 불리는 ETCS를 9개월간에 걸쳐 전 구간에 도입하였으며, ETCS 차로와 수동정수 차로를 병용하여 운영하고 있다.

선진국 중 가장 늦게 ETCS를 도입한 일본은 2000년 4월 24일부터 수도고속도로공단과 함께 지바 지구 등에서 모니터에 의한 실험 운영을 개시한 후 2001년 3월 30일에는 지바 및 오키나와 지구, 7월 23일에는 3대 도시권(관동, 중부, 관서)의 일부 도시고속도로 등에서 서비스를 개시하였다.

2.1.2 국내 자동요금징수시스템 현황

우리나라도 ETCS를 비롯한 ITS의 조기실현을 위하여 한국도로공사, 건설교통부, 정보통신부 등에서 많은 관심과 투자를 하고 있다. 한국도로공사는 현재 수도권의 개방식 톤페이지트에서 ETCS를 운영하고 있고 전국으로 확대할 예정이며, 서울시, 인천 국제공항고속도로와 부산광안대로 및 기타 민간투자도로 등에서도 ETCS를 도입·적용하고 있다.

2.2 ETCS 이용수요 예측모형

ETCS 이용수요 예측모형에 관한 국외의 연구로는 Jian John Lu etc(1977)는 Florida의 고속도로에서 ETCS 적용시 자동인식기술(AVI) 사양과 적정 차로수를 결정하기 위해 ETCS차로수, 자체시간, 장치비용의 정책변수에 따른 ETCS이용률(market share) 추정모형을 로짓모형을 이용하여 개발하였다. 清水 哲夫와 屋井 鐵雄(1999)은 ETCS 이용수요의 중요한 요인으로 비용측면의 OBU(차량탑재단말기) 가격과 편의측면의 ETCS 이용시 할인율, 절감시간 및 쾌적성을 선정하고 이를 요인을 고려한 마켓팅사이언스분야의 diffusion model을 적용하여 ETCS 이용수요 예측모형을 구축하였다.

국내연구로는 김대현 외(1998)는 국외 사례적용을 토대로 적용대상지역과 도로조건 및 교통조건이 유사한 지역을 선정하여 과거추세연장법을 적용한

로지스틱 성장곡선모형을 개발하였다. 정현영(2001)은 부산시 운전자를 대상으로 SP조사에 의한 공급 및 수요 인자 자료를 수집하여 이항로짓모형을 적용한 ETCS 이용수요 예측모형을 구축하였다.

2.3 신경망 이론

2.3.1 이론적 배경 및 개요

신경망이란 생물학적 뉴런의 구조 및 기능을 단순화하여 수학적 모델로 표시하고 이 뉴런모델을 상호 연결시켜 망을 형성한 것으로 생물학적 신경망과 구별하여 인공신경망(artificial neural network)이라 한다.

신경망의 학습방법으로는 입력·출력의 짹을 이용해 학습시키는 지도학습(supervised learning), 입력자료만을 이용하여 학습이 이루어지는 자율학습(self-organizing learning) 등이 있다. 지도학습을 이용한 대표적인 신경망으로는 역전파신경망(backpropagation)이 있다.

2.3.2 역전파신경망(backpropagation)

신경망의 훈련(train)은 각 단위들의 각 입력치에 대해 가장 최적의 연결강도를 부여하는 수행과정이다. 이러한 수행과정은 훈련셋(train set)을 활용하여 가중치를 부여함으로써 네트워크의 출력치가 훈련셋의 원하는 출력값에 접근하도록 한다. 역전파신경망 학습방법의 진행 단계를 간단히 3단계로 나누면 다음과 같다.

- ① 네트워크상에서 학습 입력패턴을 신경망에 입력하고 연결링크의 연결강도와 각 뉴런의 활성화 함수를 활용하여 출력값을 산출한다.
- ② 연산된 결과와 실제 결과치와의 차이를 통해서 오차를 산출한다.
- ③ 오차는 네트워크를 통해 역방향으로 전파되고 연결강도는 출력층 및 은닉층을 거쳐 오차를 최소화하도록 조절된다.



3. 자료수집 및 자료분석

3.1 자료수집 및 수집결과

자동요금징수(ETC)라는 새로운 시스템 도입시, 변수들의 다양한 변화에 따른 ETCS 이용률 추정에 있어서는 직접적인 관찰로 인한 자료수집은 많은 한계가 있으므로 가상선후도(SP:Stated Preference)자료와 현재화선후도(RP:Revealed Preference)자료를 바탕으로 설문조사를 실시하였다.

3.1.1 자료의 종류

RP자료를 바탕으로 운전자의 ETCS 이용에 관한 특성, 사회경제적인 특성, 통행특성 등에 관한 정보를 취득하였으며, 자동요금징수시스템이 설치된다는 가정하에 중요정책변수인 차내장치(OBU) 임대 보증금, ETCS 이용시 절감시간, 요금 할인율에 대한 가상 시나리오의 SP자료를 통하여 ETCS 이용수요 예측모형 구축을 위한 자료를 수집하였다.

3.1.2 설문문항 작성 및 자료구축 방법

SP자료 경우에는 직교배열표를 이용하여 주어진 선택대안 및 수준수의 모든 조합을 고려하지 않고 각

속성변수간의 주효과만을 측정하면서 속성변수간 상호작용의 일부 또는 전부가 없다고 가정하는 실험설계를 적용하였다. 따라서 9회의 실험조건으로 충분히 중요정책변수(공급변수)가 ETCS 이용여부에 영향을 미치는 효과를 판단할 수 있다. 본 연구의 분석과 관련한 설문문항과 SP자료 변수의 수준은 표 1과 같다.

3.1.3 자료수집 결과

본 연구의 설문대상은 창원시에서 유료도로를 이용하는 차량운전자를 대상으로 면접조사를 통한 설문조사를 실시하였으며, 총 설문지는 650부를 배포하여 최종적으로 593부가 회수되었다. 이중 불성실한 기재, 유료도로를 이용하지 않는 자의 이용목적 기재 등 논리적으로 모순이 있는 설문지를 제외한 227부를 이용하여 자료를 분석하였다.

3.2 자료분석

3.2.1 RP자료 설문분석

3.2.1.1 운전자의 사회·경제적 특성

창원시에서 유료도로를 이용하는 운전자들의 사회·경제적 특성 자료에 대한 설문을 분석한 결과는

표 1. 설문항목 요약

R P 자 료			
사회·경 제적특성	유료도로 통행특성	ETCS 이용특성	
• 성 별	· 이용 유료도로	· ETCS 도입시 이용의사	
• 연 령	· 유료도로 이용빈도	· ETCS 비 이용시 이유	
• 차 종	· 유료도로 이용목적	· ETCS 이용시 이유	
• 소 득	· 유료도로 통행료 지불 주체	· ETCS 이용여부 결정 시 고려사항	
	· 차량답체기 비용 지불 주체	· 차내장치 임대보증금, 절감시간, 적정 할인율	
S P 자 료			
ETCS 이용여부 가상 시나리오(중요정책변수)			
변수	차내장치 임대 보증금	이용시 절감시간	요금 할인율
수준	0 1 2	0 1 2	0 1 2
구분	3만원 6만원 9만원	0분 5분 10분	0% 3% 6%

표 2. 운전자의 사회·경제적 특성

(단위 : 인, %)

구성 문항	구 성 비	
	· 남자 : 211(93.0)	· 여자 : 16(7.0)
성 별	· 20-30세 : 73(32.2)	· 31-40세 : 82(36.1)
연 령	· 41-50세 : 51(22.5)	· 51-60세 : 20(8.8)
	· 60세 이상 : 1(0.4)	
차량	· 승용차 : 176(77.5)	· 택시 : 1(0.4)
종류	· 승합차 : 21(9.3)	· 소형트럭 : 17(7.5)
	· 대형트럭 : 6(2.6)	· 기타 : 6(2.6)
가구	· 100만원 미만:37(16.3)	· 100-200만원:106(46.7)
소득	· 200-300만원:56(24.7)	· 300-400만원:12(5.3)
	· 400만원 이상 : 16(7.0)	

표 2와 같다. 성별은 주로 남자 211명(93%)이며, 연령 대는 31-40세가 82명(36.1%)과 21-30세가 73명(32.2%)으로 연령에 따라서는 대체로 고른 분포를 하고 있다. 차량종류는 승용차가 176명(77.5%), 가구소득은 100-200만원이 106명(46.7%)으로 대부분을 차지하고 있다.

3.2.1.2 유료도로 통행특성

창원시를 중심으로 주로 이용하는 유료도로는 고속도로가 156명(68.7%)으로 대부분을 차지하며, 유료도로 이용횟수는 '1-3회' 가 132명(58.1%)으로 가장 많았다. 이용목적은 업무자 102명(44.9%)으로 가장 많았다. 이러한 유료도로 통행특성에 대한 분석결과는 표 3과 같다.

표 3. 유료도로 통행특성

(단위 : 인, %)

문항	구성	구 성 비
이용 유료도로	· 창원터널:56(24.7) · 안민터널:15(6.6) · 고속도로:156(68.7)	
이용횟수 (회/주)	· 이용하지 않음:33(14.5) · 1-3회 :132(58.1) · 4-6회 : 32(14.1) · 7-9회 : 11(4.8) · 10회 이상 :19(8.4)	
유료도로 주된 이용목적	· 출퇴근:33(14.5) · 업무 : 102(44.9) · 친교 및 여행 : 67(29.5) · 기타 : 25(11.0)	
유료도로 통행료 지불주체	· 본인 : 187(82.4) · 회사 : 15(6.6) · 본인 + 회사 : 21(9.3) · 기타 : 4(1.8)	
OBU 임대 비용지불 주체	· 본인 : 169(74.4) · 회사 : 22(9.7) · 본인 + 회사 : 22(9.7) · 기타 : 14(6.2)	

3.2.2 SP자료(가상 시나리오) 설문분석

총 593부 중에서 부정실 기재 또는 논리적으로 모순이 있는 설문지를 제외한 227부 중 ETCS 이용을 선택한 136부의 설문을 바탕으로 중요정책변수인 차내장치(OBU) 임대 보증금, ETCS 이용 시 절감시간, 할인율에 대한 9가지 가상 시나리오를 분석

하였다.

각 시나리오에 대한 ETCS 이용률(표4. 참조)은 차내장치 임대 보증금이 3만원, 이용시 절감시간이 10분, 요금할인율이 6%일 경우 97.1%로 가장 높은 반면 보증금 9만원, 이용시 절감시간 0분, 요금할인율 3%일 경우 5.9%로 가장 낮은 ETCS 이용률을 나타내었다.

표 4. ETCS가상 시나리오별 이용률

공급 변수 시나 리오	차내장치 임대 보증금	이용시 절감시간	요 금 할인율	이용률	이용률 순위
1	3만원	0분	0%	7.4%	8
2	3만원	5분	3%	58.1%	2
3	3만원	10분	6%	97.1%	1
4	6만원	0분	6%	16.9%	5
5	6만원	5분	0%	16.2%	6
6	6만원	10분	3%	58.1%	2
7	9만원	0분	3%	5.9%	9
8	9만원	5분	6%	41.2%	4
9	9만원	10분	0%	14.0%	7

4. ETCS 이용수요예측 모형

4.1 ETCS 이용수요예측 모형구축

ETCS 이용수요예측 모형을 구축하기 위해 개별 행태모형인 이항로짓모형과 신경망 모형을 적용하였으며, 각각의 추정결과를 바탕으로 모형의 비교·검증을 실시하였다.

유효 설문지 227부중에서 ETCS를 '이용한다'를 선택한 설문지 136부를 사용하였으며, 하나의 설문지에 6가지 시나리오를 활용하여 총 1,224개의 자료를 바탕으로 모형을 구축하였다.

ETCS 이용수요예측 모형(로짓, 신경망) 구축을 위해 사용된 변수는 표 5와 같다.

표 5. ETCS 이용수요예측모형 입력변수

공급변수(SP자료)	수요변수(RP자료)
<ul style="list-style-type: none"> · OBU 임대 보증금(만원) · 이용시 절감시간(분) · 요금 할인율(%) 	<ul style="list-style-type: none"> · 성별 · 연령 · 차량종류 · 가구수입 · 주당 유료도로 이용빈도 · 유료도로 통행료 지불주체 · OBU 구입주체 · 유료도로 이용목적

4.2 로짓모형에 의한 모형추정

ETCS 이용에 영향을 미칠 수 있는 모든 입력변수들을 택하여 로짓모형을 설정하였으며, 정산된 설명변수는 t-test에 의해 그 유의성을 검증하여 유의적이지 못한 변수는 제거되었다.

이러한 과정을 수행한 결과, 표 6에서와 같이 차내장치 임대보증금, 이용시 절감시간, 할인율, 성별, 유료도로 이용빈도를 수요예측의 독립변수로, ETCS 이용여부를 종속변수로 하는 로짓모형 I이 구축되었다.

표 6. ETCS 이용수요예측 모형추정결과(로짓모형 I)

설명변수(단위, 값)		계수	표준편차	T값(유의수준)
공급 변수	차내장치(OBU) 임대 보증금(만원)	-0.342	0.0340	-10.069(0.000)
	이용시 절감시간(분)	0.293	0.0222	13.227(0.000)
	할인율(%)	0.405	0.0351	11.513(0.000)
수요 변수	성별(남성=1)	0.705	0.3160	2.232(0.0256)
	유료도로 이용빈도(회/주)	0.100	0.0249	4.010(0.0001)
	상수항	-2.437	0.4063	-5.999(0.000)

Logit Model(Number of Observations.....1,224)
 ρ^2 0.3217 $\bar{\rho}^2$ 0.3142
 Log-Likelihood.....-537.3398
 Restricted Log-Likelihood.....-537.3398
 Chi-squared.....509.7740 Degrees of freedm.....3
 Significance level.....0.0000

표 6에서 보는 바와 같이 구축된 모형에 채택된 변수는 소수로 대부분의 설명 변수들이 ETCS 이용여부를 예측하는데 유의성이 없는 것으로 나타났으며, 한자릿수인 공급변수들의 계수값 중 할인율(%)이 가장 큰 값을 보임으로써 이 공급변수가 가장 큰 영향을 미침을 볼 수 있다. 수요변수에서는 남성의 더미변수가 “+”의 값을 가져 여성보다는 남성이 ETSC를 선호함을 볼 수 있다.

또한, 본 연구에서는 ETCS 이용수요예측 모형을 구축하는 것 외에 차내장치 임대 보증금, 이용시 절감시간, 할인율의 공급변수만 이용하여 이들의 변화에 대한 ETCS 이용률을 추정하고자 표 7과 같은 로짓모형 II를 구축하였다. 모형 I보다는 설명력이 다소 낮으나 신뢰할 수 있는 모형을 구축할 수 있었다.

표 7. ETCS 이용수요예측 모형추정결과(로짓모형 II)

설명변수(단위, 값)	계수	표준편차	T값(유의수준)
공급 변수	차내장치(OBU) 임대 보증금(만원)	-0.335	0.0335 -10.000(0.000)
	이용시 절감시간(분)	0.287	0.0.218 13.165(0.000)
	할인율(%)	0.396	0.0347 11.435(0.000)
	상수항	-1.436	0.2532 -5.673(0.000)

Logit Model(Number of Observations.....1,224)
 ρ^2 0.3085 $\bar{\rho}^2$ 0.3035
 Log-Likelihood.....-547.7872
 Restricted Log-Likelihood.....-792.2268
 Chi-squared.....488.8792 Degrees of freedm.....3
 Significance level.....0.0000

4.3 신경망에 의한 모형추정

4.3.1 신경망 모형구조

신경망 모형의 구조는 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성된 역전파 신경망 구조이다. 입력층에서는 ETCS 이용수요예측에 영향을 미치는 11개의 특성변수를 모두 투입한 신경망 모형 I과 공급변수 변화

에 따른 ETCS 이용률 추정을 위해 중요정책변수(차내장치 임대 보증금, 이용시 절감시간, 할인율)만을 투입한 신경망 모형Ⅱ를 구축하였다.

4.3.2 신경망 학습

4.3.2.1 신경망 모형Ⅰ

신경망의 학습을 위하여 유효자료 1,224개 중에 816개의 입력 셋을 학습(train)에 적용하였고, 다시 1,224개의 입력 셋을 시뮬레이션 하였다.

ETCS 이용수요예측을 위한 최적의 신경망을 구축하기 위해서는 은닉층의 뉴런수, 학습 알고리즘의 변수, 은닉층 레이어수, 활성화 함수를 고려하여 신경망을 학습시켜야 한다.

따라서 본 연구에서는 Lenenberg-Marquardt 역전파 신경망(trainlm)으로 학습을 수행하며, Nguyen-Widrow 레이어 초기화 방법(initnw)을 통해 연결강도와 바이어스를 초기화하였다. 또한, 여러 가지 학습인자들을 고려하여 은닉층의 뉴런수를 7~11개, 은닉층 레이어수를 1개와 2개, 그리고 Lenenberg-Marquardt 학습 알고리즘의 변수 $\mu(mu)$ 와 $\theta(mu_inc)$ 의 값을 변경해 가면서 MSE(Mean Square Error)를 최소로 하는 최적의 신경망이 구축되도록 학습하였다.

활성화 함수로는 로그시그모이드 함수를 적용하였다. 각 CASE의 반복 횟수(epoches)에 따른 MSE 값의 변화를 그림 1과 2에 나타내었다.

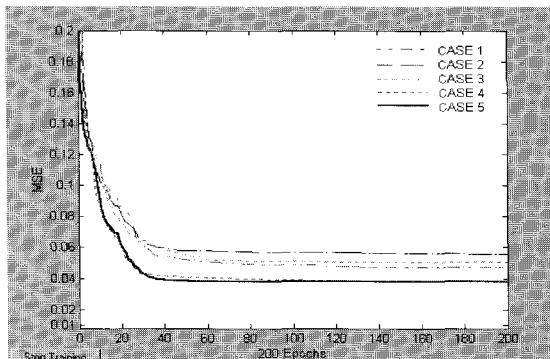


그림 1. 은닉층 1개(CASE 1-5) 학습결과

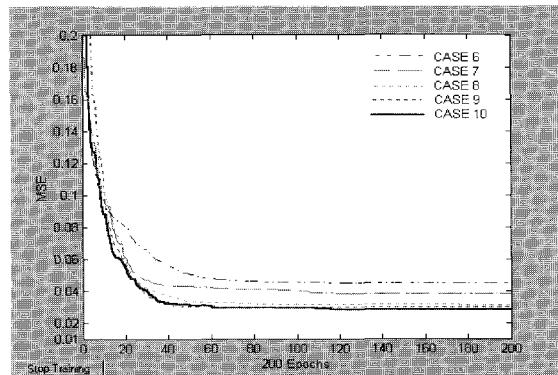


그림 2. 은닉층 2개(CASE 6-10) 학습결과

표 8과 같은 신경망 구조를 검토한 결과, 은닉층이 2개이고 은닉층 뉴런수가 11개인 CASE 10이 최소 MSE 값을 도출함으로써 이 구조를 ETCS 이용수요예측을 위한 최적 모형으로 선정하였다. 따라서 최적 신경망 구조는 입력층 1개, 은닉층 2개, 출력층 1개의 4개의 레이어로 구성된 그림 3과 같다.

표 8. CASE별 학습정도

구 분 대 안	은닉층 수	은닉층 뉴런수	MSE
CASE 1 (11-7-1)	1	7	0.0558645
CASE 2 (11-8-1)	1	8	0.047347
CASE 3 (11-9-1)	1	9	0.0505047
CASE 4 (11-10-1)	1	10	0.0381985
CASE 5 (11-11-1)	1	11	0.0379902
CASE 6 (11-7-7-1)	2	7	0.0445894
CASE 7 (11-8-8-1)	2	8	0.0381946
CASE 8 (11-9-9-1)	2	9	0.0310644
CASE 9 (11-10-10-1)	2	10	0.0296161
CASE 10(11-11-11-1)	2	11	0.0277783

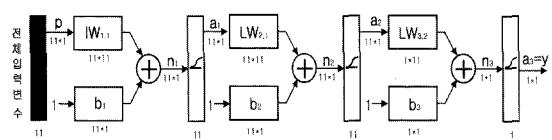


그림 3. 최적 신경망 구조

4.3.2.2 신경망 모형Ⅱ

신경망 모형Ⅱ는 입력변수로서 공급변수만을 고려한 구조로 중요정책변수의 변화에 따라 ETCS 이용률을 추정하고자 하는데 있다.

신경망 모형Ⅱ의 학습은 단지 입력변수가 전체 입력변수가 아닌 중요정책변수 3가지만을 고려했다는 점만 다를 뿐 신경망 모형Ⅰ과 동일한 방법을 적용하였다.

그러나, 신경망 모형Ⅱ에서는 신경망 모형Ⅰ과 달리 다양한 구조와 학습인자를 고려하였음에도 불구하고 12번의 반복 횟수(epoches)로 최소 gradient에 도달할 수 있었다.

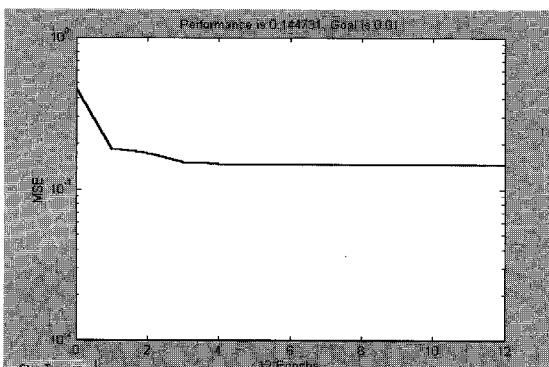


그림 4. 신경망모형Ⅱ 학습결과

4.4 모형의 비교·검증

4.4.1 모형의 예측력 평가

4.4.1.1 평가방법

평균절대오차(MAE), 평균제곱오차(MSE), 평균상대분산도(ARV)의 통계적 분석을 통하여 모형의 오차 및 분산정도를 측정하였다. 모형의 예측력을 평가하는 지표는 다음 식과 같다.

$$MAE = \frac{\sum |Y_i - \hat{Y}_i|}{N} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} ARV &= \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \\ &= \frac{1}{\sigma^2} \frac{1}{N} \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, Y_i = ETCS 이용여부 실측치

\hat{Y}_i = ETCS 이용여부 예측치

\bar{Y} = 실측치의 평균

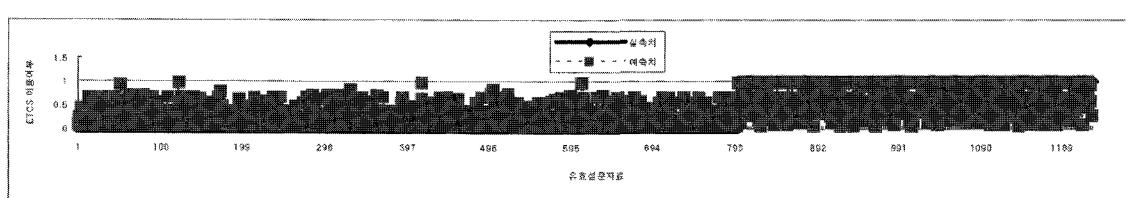


그림 5. 로짓모형Ⅰ의 실측치와 예측치의 비교

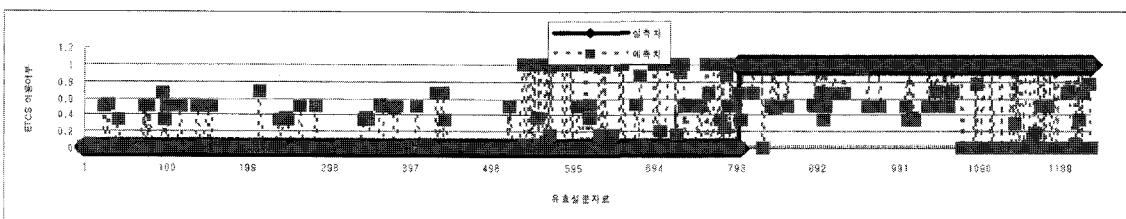


그림 6. 신경망 모형Ⅰ의 실측치와 예측치의 비교

4.4.1.2 모형별 예측결과

816개 유효설문자료에 있어, ETCS 이용수요예측에 영향을 미치는 유의변수만을 고려한 로짓모형Ⅰ과 전체입력변수를 고려한 신경망 모형Ⅰ에 대한 예측결과를 그래프로 나타내면 그림 5와 6과 같다.

여기서 실측치는 실제 운전자의 ETCS 이용여부의 조사치를 나타낸 것이고, 예측치는 모형별로 추정된 운전자의 ETCS 이용확률이라고 할 수 있다.

그래프에서 보는 바와 같이 로짓모형Ⅰ보다 신경망 모형Ⅰ의 예측치가 실측치에 유사하게 분포함으로써 좀더 정확한 ETCS 이용수요예측을 하는 것으로 나타났다. 그러나 신경망 모형Ⅰ은 대부분의 유효설문자료에 대해서 정확한 예측을 하나, 학습에 사용되지 않은 일부 자료에 있어서는 실측치에 대한 예측치가 상반되는 추정을 하기도 하였다.

각 모형별로 예측된 결과에 대한 통계적인 검증결과는 표 9와 같다. 통계적 분석결과 전체입력변수를 고려한 신경망 모형Ⅰ이 다른 모형에 비해 오차 및 분산도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

표 9. 각 모형별 예측력 평가결과

구 분		MSE	MAE	ARV
로짓 모형	I (유의변수)	0.1415	0.2830	0.6222
	II (공급변수)	0.1444	0.2890	0.6349
신경망 모형	I (전체입력변수)	0.1158	0.1399	0.5090
	II (공급변수)	0.1422	0.2868	0.6253

4.4.2 모형의 적합도 분석

구축된 각 모형에 대한 적합도를 분석하기 위해 우도함수로부터 산정된 값에 기초하여 x^2 와 ρ^2 을 산정하였다.

$$x^2 = -2 \cdot [L(0) - L(\hat{\beta})] \quad (4)$$

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)} \quad (5)$$

여기서 $L(0)$: 초기우도함수로서 계수를 모두 0으로 해서 계산한 로그우도함수값

$L(\hat{\beta})$: 최우추정법을 통해 도출된 계수벡터를 이용하여 산정한 로그우도함수값

각 모형별 적합도 분석결과 표 10에서와 같이 신경망 모형(I, II)이 로짓모형(I, II)보다 비교적 ρ^2 와 x^2 가 크게 추정됨에 따라 높은 적합도를 나타냄으로써 신경망 모형의 적합도가 우수한 것으로 판단된다. 특히, 신경망 모형Ⅰ의 ρ^2 가 0.5023, x^2 가 852.3198로 다른 모형보다 높은 설명력을 나타내었다.

표 10. 각 모형별 적합도 분석결과

구 분	ρ^2	x^2
로짓 모형	I (유의변수)	0.3217
	II (공급변수)	0.3085
신경망 모형	I (전체입력변수)	0.5023
	II (공급변수)	0.3630

4.4.3 공급변수 변화에 따른 ETCS 이용률

모형의 예측력 평가와 적합도 분석결과 가장 우수한 모형으로 추정된 신경망 모형Ⅰ과 유의변수만을 고려한 로짓모형Ⅰ은 실제 ETCS 이용률을 추정하는데 있어서 다양한 RP자료 취득이 어렵다는 문제가 있다. 따라서 중요정책변수만을 고려한 신경망 모형Ⅱ와 로짓모형Ⅱ를 ETCS 이용률 추정에 적용하였다.

중요정책변수 수준을 변화시킨 9가지 시나리오에 대한 로짓모형Ⅱ와 신경망 모형Ⅱ의 ETCS 이용률을 추정한 결과는 표 11과 같으며, ETCS 이용률의 조사치와 비교해 볼 때 각 시나리오에 대해서 비교적 유사한 이용률이 예측됨을 알 수 있다.

그러나, 모형의 예측력 평가와 적합도 분석에 있어서 신경망 모형Ⅱ가 로짓모형Ⅱ보다 우수한 모형으로 판단되어지거나 신경망 모형Ⅱ는 가장 시나리오의 시나리오에서의 ETCS 이용률 추정에서는 그 신뢰성이 낮음을 볼 수 있었다. 이는 신경망모형Ⅱ

가 9가지 시나리오의 제한적인 공급변수 수준에서만 훈련되고 검정되었기 때문에으로 판단된다.

이에 따라, 로짓모형Ⅱ를 이용하여 중요 정책 변수들의 다양한 수준에 대한 ETCS 이용률을 추정하였으며, 그 결과 표 12와 같다.

표 11. 각 모형에 대한 시나리오별 ETCS 이용률

중요정책변수(공급변수)			ETCS 이용률			
시나리오	차내장치 임대 보증금	이용시 절감시간	할인율	조사치	로짓모형 Ⅰ	신경망 Ⅱ
1	3만원	0분	0%	7.4%	8.0%	4.4%
2	3만원	5분	3%	58.1%	54.5%	58.7%
3	3만원	10분	6%	97.1%	94.3%	96.6%
4	6만원	0분	6%	16.9%	25.5%	19.1%
5	6만원	5분	0%	16.2%	11.8%	16.3%
6	6만원	10분	3%	58.1%	64.8%	57.8%
7	9만원	0분	3%	5.9%	3.7%	7.6%
8	9만원	5분	6%	41.2%	34.5%	41.1%
9	9만원	10분	0%	14.0%	17.1%	16.3%

표 12의 9가지 시나리오에서 ETCS 이용률은 최소치 10.5%에서 최대치 92.8%까지 폭넓은 값을 보였다.

표 12. 중요정책변수 수준 변화에 따른 ETCS 이용률

중요정책변수			ETCS 이용률
차내장치 임대보증금	이용시 절감시간	할인율	로짓모형Ⅱ
3만원	5분	6%	79.7%
6만원	5분	6%	59.0%
4만원	9분	4%	80.1%
4만원	8분	3%	67.0%
5만원	4분	2%	23.7%
5만원	2분	1%	10.5%
3만원	5분	9%	92.8%
8만원	7분	5%	46.8%
9만원	3분	6%	22.9%

5. 결 론

ETCS의 성공적 도입을 위해서는 정확한 이용수요예측이 중요하다. 본 연구에서는 신뢰성 있는 ETCS 이용수요예측 모형을 개발하기 위하여 이항로짓 및 신경망 모형의 두 모형이 비교·검증 되었다.

신경망 모형 구축과정에 있어서 다양한 구조와 학습인자들을 고려한 결과 은닉층 수가 2개이고 은닉층 뉴런수가 11개인 구조가 최적의 신경망 구조로 채택되었다.

각 모형에 대한 통계적 분석결과는 전체입력변수를 고려한 신경망 모형Ⅰ이 다른 모형에 비해 오차 및 분산도가 가장 낮은 모형으로 평가되며, 적합도 분석결과에 있어서도 가장 높은 설명력을 보였다. 본 연구의 과정에서 공급변수 중 할인율이 ETCS 이용율에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

모형의 예측력 평가와 적합도 분석결과 가장 우수한 모형으로 추정된 신경망 모형Ⅰ과 유의변수만을 고려한 로짓모형Ⅱ은 실제 ETCS 이용률을 추정하는데 있어서 다양한 RP자료 취득이 어렵다는 문제가 있다. 따라서 중요정책변수만을 고려한 신경망 모형Ⅱ와 로짓모형Ⅱ를 ETCS 이용률을 추정하는데 적용하였다. 모형의 예측력 평가와 적합도 분석에 있어서 신경망 모형Ⅱ가 로짓모형Ⅱ 보다 우수한 모형으로 판단되어지나, 학습에 사용된 9가지 시나리오외의 시나리오에서의 ETCS 이용률 추정에서 신뢰성이 낮음을 볼 수 있었다.

이에따라 이항로짓 모형Ⅱ가 중요정책변수들의 다양한 수준에 대한 창원시 ETCS 이용률 추정 모형으로 제안되며 이 모형을 이용하여 ETCS 도입에 따른 요금소의 운영효과가 분석될 수 있을 것이다. 이 모형은 창원시와 규모가 유사한 도시에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구의 모형구축과정에서 유효표본중 ETCS 이용의사가 없는 표본은 제외되었으므로 이용률이 높게 추정되었을 가능성성이 있다. 그러므로 ETCS 이용의사가 없는 운전자가 많다면 이들을 고려한 연구

가 필요하다. 또한, 실효성 있는 신경망모형 구축을 위해서는 보다 치밀한 가상 시나리오의 설정이 요구된다.

참고문헌

- 김강수, (2001), “Stated Preference 조사설계 및 분석 방법론에 대한 연구(1단계)”, 교통개발연구원 연구총서.
- 김기영, (2001), “항만 배후도로에서의 ETCS 이용수요 예측 및 효과분석에 관한 연구”, 부산대학교 도시공학과 석사학위논문.
- 김대수, (1999), “신경망 이론과 응용(I)”, 하이테크 정보 : pp. 34-49.
- 김대현, 박재범, 이용택, 김승준, (1988), “ETCS 이용을 추정에 관한 연구”, 토목학회 학술발표회 논문집.
- 권원석, (1999), “인공신경망 기법을 이용한 주차수요 예측 모형에 관한 연구”, 한양대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 남궁문·성수련譯, (1997), “알기쉬운 비집계분석”, 일본교통공학연구회編, 명보문화사.
- 배인환, (2002), “인공신경망을 이용한 운전자 노선선택 행태 모형에 관한 연구”, 경상대학교 도시공학과 석사학위논문.
- 이상건, (2001), “자동요금징수시스템(ETCS)의 시범 사업 효과분석(Hi-Pass 시스템을 중심으로)”, 대한교통학회지 제19권 4호 : pp. 59-69.
- 오창석, (2000), “뉴로컴퓨터”, 내하출판사.
- 장수은, (2000), “신경망 이론을 이용한 통행발생 모형연구”, 대한교통학회지 제18권 제4호 : pp. 95-105.
- 정현영, 김기영, (2001), “자동요금징수체계의 이용선후에 관한 연구”, 대한교통학회 부산·울산·경남지회 학술발표회 논문집.
- 한국전산원, (1998), “ITS 자동요금징수시스템 기본모델 개발을 위한 연구”.
- 清水 哲夫와 屋井 鐵雄 (1999), “自動料金徵收시스템의 需給豫測에 관한基礎的研究”, 第19回交通工學研究發表會論文報告集.
- Ben-Akiva & R. Lerman, (1985), “Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand”, MIT Press.
- Dusan Teodorovic, Katarina Vukadinovic, (1998), “Traffic Control and Transport Planning : A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach”, Kluwer Academy Publishers : pp. 235-297.
- Jian John Lu, Michael J. Rechtorik, and Shiyu Yang, (1997), “Automatic Vehicle Identification Technology Applications to Toll Collection Services”, TRR 1588
- Juan de Dios Ortzar & Luis G. Willumsen, (1994), “Modelling Transport”, John Wiley & Sons : pp. 233-271.
- Kim, DaeHyoun, (1998), “Normalization Methods for Input and Output Vectors in Backpropagation Neural Networks”, Intern J. Computer Math, Vol. 71 : pp. 161-171.
- LIMDEP VERSION 7.0 User's manual, (1998), Econometric software, INC.
- Martin T. Hagen, Howard B. Demuth, Mark Beale, (1996), “Neural Network Design”, PWS Publishing Company.
- Neural Network Toolbox for Use with Matlab User's Guide Version 4.0, 2000, The MathWorks, Inc.
- Veli Himanen, Peter Nijkamp, Aura Reggiani, (1998), “Neural Network in Transport Applications”, Ashgate : pp. 111-129.

접 수 일 : 2006. 11. 10
심 사 일 : 2006. 11. 30
심사완료일 : 2007. 1. 25