

고속도로 교통데이터(FTMS, TCS)를 이용한 경로전환율 분석: 서해안고속도로 매송~발안 구간을 중심으로

고한검¹ · 최윤혁^{2*} · 오영태³ · 최기주³

¹ 아주대학교 건설교통공학과 ² 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실

³ 아주대학교 환경건설교통공학부

Analysis of Diversion Rate using Expressway Traffic Data(FTMS, TCS): Focusing on Maesong~Balan IC at Seohaean Expressway

KO, Han Geom¹ · CHOI, Yoon Hyuk^{2*} · OH, Young Tae³ · CHOI, Keechoo³

¹ Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

² Transportation Research Division, Korea Expressway Corporation Research Institute, Gyeonggi 445-812, Korea

³ Division of Environmental, Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

Abstract

Due to growing interests in the distribution of traffic volume through information dissemination such as VMS and traffic broadcasting system, the research on the driver's reaction and effect of the traffic report has continued. In this study, we propose a methodology, which estimates the traffic volume of diversion and the consequential diversion rate using FTMS data and TCS data, and the estimation is based on the analysis of the national highway and IC, in which real-time FTMS and TCS data are established. We also calculate the diversion rate of actual targeted sections and analyze the changes in time and spatial diversion rate. In this study, we define a deviation (considering a deviation due to dynamic properties of traffic conditions) found when the outflow traffic volume is temporarily higher than the average outflow traffic volume on a relevant time slot after providing traffic information. The diverting volume is considered to be caused by the traffic information, and the study determines the ratio of traffic volume on highways to that of route diversion as the diversion rate. The analysis on changes in the diversion rate in accordance with the time flow, the initial change in the diversion rate on upstream IC that first acquires the report on the traffic congestion is significant. After that, the change in the diversion rate on upstream IC affects the route diversion on downstream IC with spatial and time flow, and this again leads the change in upstream IC. Thereby, we confirmed that there is a feedback-control circulation system in the route diversion.

VMS, 교통방송(라디오), SNS 등 교통정보제공을 통한 교통량 분산에 대한 관심이 높아짐에 따라 교통정보에 대한 운전자의 반응행태 및 효과에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 본 연구는 FTMS 및 TCS 데이터가 구축되어 있는 전국 고속도로 본선부를 분석 대상으로, FTMS 데이터와 TCS 데이터를 이용하여 경로전환 교통량과 그에 따른 경로전환율을 추정하는 방법론을 제시하고, 실제 대상구간의 경로전환율을 산출하여 시간 및 공간적 경로전환율 변동에 대한 특성을 분석하였다. 본 연구에서는 교통정보 제공 이후, 해당 시간대의 평균 유출교통량에 비해 유출교통량이 일시적으로 증가한 경우 이 편차(도로교통상황의 동적인 특성으로 인한 편차 고려)는 교통정보 제공으로 인한 경로전환 교통량이라 정의하고, 본선 교통량과의 비율을 경로전환율로 계산하였다. 시간흐름에 따른 경로전환율 변화를 분석한 결과, 혼잡상황에 대한 교통정보를 먼저 얻게 되는 상류부 IC에서의 초기 경로전환율(유출교통량) 변화는 일시적으로 매우 큰 것으로 나타났다. 이후 공간적·시간적 흐름에 따라 상류부 IC에서의 경로전환율의 변화는 하류부 IC에서의 경로전환에 영향을 미치고, 이는 다시 상류부 IC에서의 변화를 유도하는 등의 경로전환 순환체계(feedback control loop)가 있음을 확인하였다.

Key Words

Traffic Data, FTMS, TCS, Diversion Rate, Outflow Traffic Volume, Estimated Diversion Traffic Volume
교통데이터, FTMS, TCS, 경로전환율, 유출교통량, 경로전환 추정교통량

*: Corresponding Author
yhchoi76@ex.co.kr, Phone: +82-31-371-3429, Fax: +82-31-371-3319

I. 서론

교통정보는 서비스제공 측면에서 도로를 이용하는 운전자에게 여행계획수립과 통행경로 변경, 돌발상황 대처에 도움을 줄 수 있고, 교통관리 측면에서 집중된 교통수요를 분산시키는 장점을 가지고 있다(최윤희, 2010). 교통정보 제공을 통해 효율적 교통관리의 목표를 실현하기 위해서는 정보의 유형, 정보의 내용, 정보제공매체 신뢰도, 운전자의 만족도 및 반응 등 여러 측면에서 종합적으로 검토할 필요가 있다. 동일 교통정보를 제공받은 운전자라 할지라도 각자의 교통정보에 대한 선호특성에 따라 정보를 수용하는 행태가 다를 수 있기 때문이다. 효율적인 운영전략 수립을 위한 기초 연구로 교통정보제공매체 중 일반적으로 사용되는 도로전광표지(이하 VMS)를 통한 도로교통정보에 대한 운전자의 반응 및 효과에 대한 연구가 지속되고 있으나, VMS 메시지에 대한 운전자의 반응은 실제적인 조사가 어렵기 때문에 그동안에는 SP조사 및 시뮬레이터를 이용한 조사방법이 주로 사용되고 있어 왔다.

본 연구는 SP 및 시뮬레이터 조사를 통해 우회율을 추정하거나 IC 진출부에서의 현장조사를 통해 우회율을 측정하였던 기존 연구 방법론에서 탈피하여, 고속도로 교통데이터(FTMS 및 TCS 데이터)를 이용하여 경로전환 교통량과 그에 따른 경로전환율을 추정하는 방법론을 제시하고, 위의 방법론에 대한 타당성 여부를 평가하고자 한다. 마지막으로, 경로전환율 추정 방법론을 이용하여 서해안고속도로(이하 서해안선, 목포방향)의 매송~발안IC를 대상으로 VMS 정보제공에 따른 경로전환율을 산출하고, 정보제공에 따른 운전자의 경로전환 행태 변화를 분석해보고자 한다.

II. 기존 연구 고찰

1. 기존 연구 고찰

교통정보를 제공할 수 있는 여러 가지 제공매체 중에서 VMS는 경로변경이 가능한 주요 지점에 설치되어 운전자의 의사결정을 도울 수 있으며, 교통 흐름을 제어하는 효과를 가지고 있다(최윤희, 2010). 이와 더불어, VMS를 통한 정보제공에 따른 운전자의 행태 및 반응에

대한 연구도 지속적으로 이루어지고 있다.

Wardman 등(1997)은 메시지 내용에 따른 운전자의 경로 전환율을 로짓모형으로 분석한 결과, 지체가 길어질수록 경로 전환율이 높게 나타남을 제시하였다.

Srinivas와 Ramos(2000)는 VMS에 표출되는 메시지 내용에 따라 운전자의 경로 전환율의 변화에 대한 연구를 수행하여 VMS 메시지에 따른 개인별 경로전환 확률을 예측하는 운전자 행태모형 개발하였다.

최기주 등(2004)은 지체정보를 주었을 경우 SP를 통해 조사된 경로전환율은 36%, VMS 순응도를 고려한 최종 경로전환율은 21%가 됨을 제시하였다.

장정아 등(2005)은 고속도로에서의 우회(국도) 교통정보제공에 따른 경로전환효과를 분석하여, 경로전환경로에 대한 운전자의 인식정도에 따라 교통정보 제공에 따른 경로전환율이 다름을 밝혀내었다.

최윤희 등(2008)은 고속도로에서 영업소 출구차량 우회설문조사를 통해 조사된 출구차량 우회교통량을 FTMS 교통량과 비교하여 본선 우회율을 추정하는 방법을 제시하고, 제시한 방법론을 통해 추정된 우회율이 SP 조사를 통한 우회율과 큰 차이가 있음을 밝혀내었다.

Foo 등(2008)은 CMS(Changeable Message Signs)¹⁾ 메시지 변화에 따른 경로전환율의 영향을 분석하기 위해, 27개의 CMS 메시지와 그에 따른 교통량변화를 Loop 데이터를 통해 살펴 본 결과, 메시지 변화가 하류부의 경로전환에 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

최윤희 등(2009)은 실제 조사를 통해 추정된 우회율과 소통상황과의 상관분석을 통해 둘 간의 관계를 밝히고, 본선교통량과 통행속도, 통행시간을 변수로 하는 우회율 산정 회귀식을 제시하였다.

2. 기존 연구와의 차별성

효율적 교통관리를 위한 교통정보 제공전략은 운전자의 경로선택 행태에 기반하는 바, 제공되는 메시지에 대한 효과 및 운전자의 반응에 대한 실증적인 연구가 반드시 필요하나, 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.

특히 많은 연구자들은 VMS에 제공된 교통정보에 대한 운전자의 반응을 실험하였으나, 경로전환율 산정을 위한 실제적인 조사가 어려워 SP조사 혹은 시뮬레이터를 이용한 방법들이 사용되었기 때문에 비현실적인 경로전환율이

1) 도로전광표지를 뜻하는 단어로, VMS(Variable Message Signs) 및 DMS(Dynamic Message Signs)라고도 사용됨

도출이 되었다. 예를 들어, Albrecht (1978)의 연구에서 경로전환율이 5~80%로 분석된 것이 그 좋은 예이다.

본 연구는 최윤혁 등(2008)의 후속연구로, 교통관리 전략 수행의 필수요건인 경로전환율을 정량적으로 예측하기 위해 기존의 방법론과는 다르게 실제 고속도로 교통데이터(FTMS, TCS 데이터)를 이용하여 분석하고자 하였다. 교통데이터를 이용하여 경로전환율을 분석하는 시도를 통해 향후 교통정보제공에 대한 실제적인 효과 측정이 가능하고 실시간 정보제공전략 수립에 활용이 가능하다는데 그 의의가 있다고 할 수 있다.

III. 교통데이터를 이용한 경로전환율 분석

1. 경로전환율 추정

1) 경로전환율 추정 필요성

고속도로에서는 평일과 주말에 관계없이 상습 정체구간이 존재하며 점차 증가 추세를 보이고 있다. 이러한 상습정체에 대해 운전자들은 제공되는 교통정보 또는 자신의 과거경험 등을 통해 정체구간을 피하기 위한 경로전환을 빈번히 결정하고 있다. 하지만 교통사고, 도로작업, 교통량 증가 등의 비반복적인 요인으로 인해 혼잡이 발생했을 때, 운전자는 사전에 해당 정보를 얻지 못할 경우 혼잡이 발생하고 있는 구간에 도달해서야 해당 교통상황을 인지할 수 밖에 없으며 다음 번 출구(IC 또는 JCT)가 나올 때까지 혼잡이동류 속에 갇혀 함께 이동을 할 수 밖에 없기에 운전자의 주행쾌적성 및 고속도로 이용 만족도는 감소할 것이다.

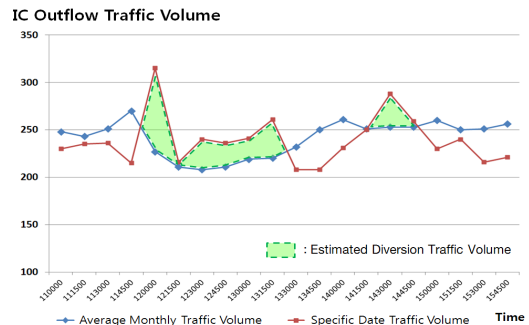
도로관리자 측면에서 효과적으로 교통관리를 위해서는 운전자가 교통상황에 따라 어떠한 운전 형태(기존 경로 유지 또는 경로전환 결정)를 가지는가에 대한 연구가 필요하다. 이러한 운전자의 경로전환 행태에 대한 파악이 가능할 경우 돌발상황 등의 비반복적인 혼잡상황 발생 시 운전자에게 적정하고 효율적인 교통정보를 제공하여 우회도로로 경로전환을 유도함으로써 혼잡의 심화 및 확산을 방지하는 등의 네트워크의 효율성 및 성능을 증진시키는 교통관리가 가능해 질 수 있기 때문이다. 이러한 이유 등으로 고속도로 교통데이터를 이용하여 경로전환 교통량과 그에 따른 경로전환율을 추정하고 이를 활용하여 운전자의 행태가 반영된 교통정보제공전략(크게는 교통관리전략)의 수립이 필요한 것이다.

2) 경로전환율 추정 방법론

전방 도로교통상황에 대한 교통정보를 제공받은 운전자는 전방 혼잡의 심각도를 인지하고, 경로전환 여부를 결정하게 된다. 이 때, 동시간대의 평균 유출교통량보다 많은 유출교통량을 보일 경우, 이는 곧 교통정보 제공에 따른 효과, 즉 '경로전환량'이라고 추정할 수 있는 것이다. 평균 유출교통량은 특별한 이벤트가 발생하지 않는 한 일정하다는 가정을 두었다.

<Figure 1>에서와 같이 전방 교통정보를 제공받아 경로전환을 결정하게 된 운전자의 발생으로 인하여 유출교통량이 해당 시간대의 평균 유출교통량에 비해 일시적으로 증가한 경우 이 편차는 교통정보 제공으로 인한 경로전환 교통량을 나타낸다고 할 수 있을 것이다. 그러나 이와 같이 단순히 평균 유출교통량과의 차를 교통정보 제공으로 인한 증가된 우회교통량으로 계산할 경우, 이 교통량은 과대 추정될 가능성이 있다. 이는, 해당 IC에서의 유출교통량은 해당 시간대에서 발생하고 있는 혼잡과는 무관하게 해당 구간 또는 해당시간대의 도로교통상황의 동적인 특성으로 인한 편차 역시 포함하고 있기 때문이다. 따라서 이러한 도로교통상황의 동적 특성으로 인한 유출교통량의 증가와 혼잡 교통정보 제공으로 인한 유출교통량의 증가를 구분할 필요가 있다.

특정 고속도로의 진출 대상 j IC에 대하여 평일과 주말을 구분한 해당 시점 이전의 1개월 동안의 단위시간(15분) t_m 에 대한 평균 유출교통량 $F_{AVE_i(j,t_m)}$ 을 산출한다. 만일 n 번째 관측치에 대한 유출교통량을 $F_{VMS_i(j,t_m)}$ 라 할 경우, 이 교통량에 대한 분포 $\Omega_{F_{VMS}(j,t_m)}$ 는 해당시간대의 유출교통량의 평균 $F_{AVE_i(j,t_m)}$ 과 표준편차 $\delta_{F_{VMS}(j,t_m)}$ 를 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.



<Figure 1> Estimated Diversion Traffic Volume that has changed the Route as Time passes by

$$\Omega_{F_{VMS_q}(j, t_m)} = \Omega(F_{AVE_q}(j, t_m); \alpha \cdot \delta_{F_{AVE_q}(j, t_m)}) \quad (1)$$

여기서,

$\Omega_{F_{VMS_q}(j, t_m)}$: VMS 교통정보제공에 따른 IC
유출교통량의 분포(대/15분)

$F_{VMS_q}(j, t_m)$: VMS 교통정보제공에 따른 IC
유출교통량(대/15분)

$F_{AVE_q}(j, t_m)$: 월평균 유출교통량(대/15분)

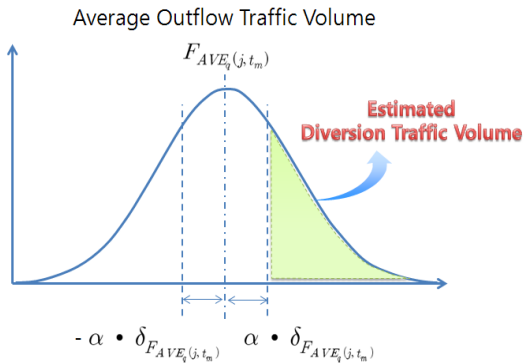
$\delta_{F_{AVE_q}(j, t_m)}$: 월평균 유출교통량의 표준편차(대/15분)

j : 진출 대상 IC

t_m : 분석 대상시간(15분)

α : 표준편차의 가중치

월평균 유출교통량의 분포를 정규분포(normal distribution)로 가정할 경우 평균(μ) 기준 $\pm 1\delta$ 를 적용하면 68%를, $\pm 2\delta$ 를 적용하면 95%에 대해 신뢰성 있는 유출교통량으로 간주할 수 있다. 즉, 표준편차의 가중치인 α 값이 0에 가까울수록 교통량의 분포는 유출교통량의 표준편차에 둔감하고 반면 점점 커질수록 유출교통량의 표



<Figure 2> Estimated Diversion Traffic Volume that has changed the Route after Provision of Traffic Information

<Table 2> Distribution Table of Outflow Traffic from an Expressway IC by Time Range (Example)

Segment Time	Expressway IC (Flow Direction : →) 3)				
	...	$j-1$	j	$j+1$...
...
t_{m-1}	...	$F_{VMS_q}(j-1, t_{m-1})$	$F_{VMS_q}(j, t_{m-1})$	$F_{VMS_q}(j+1, t_{m-1})$...
t_m	...	$F_{VMS_q}(j-1, t_m)$	$F_{VMS_q}(j, t_m)$	$F_{VMS_q}(j+1, t_m)$...
t_{m+1}	...	$F_{VMS_q}(j-1, t_{m+1})$	$F_{VMS_q}(j, t_{m+1})$	$F_{VMS_q}(j+1, t_{m+1})$...
...

준편차에 민감함을 알 수 있다. 본 연구에서는 α 값을 1로 적용하여 분석을 진행하였다. 즉, 해당 구간 또는 해당시간대의 도로교통상황의 동적인 특성을 고려하기 위해 1δ 를 적용 한 것이다.

앞서 제시한 평균 유출 교통량 분포의 개념을 활용하여 VMS 이력자료와 같은 기간의 교통데이터를 이용한 경로전환 교통량을 추정하는 식은 다음과 같다.

$$F_{dq}(j, t_m) = F_{VMS_q}(j, t_m) - (F_{AVE_q}(j, t_m) + \delta_{F_{AVE_q}(j, t_m)}) \quad (2)$$

여기서, $F_{dq}(j, t_m)$: 경로전환 추정교통량(대/15분)

$$D_m(j, t_m) = \frac{\langle F_{dq}(j, t_m) \rangle}{Q_m(j, t_m)} \quad (3)$$

여기서,

$D_m(j, t_m)$: 고속도로 본선 경로전환율(%)

$\langle F_{dq}(j, t_m) \rangle$: 경로전환 추정교통량(대/15분)

$F_{dq}(j, t_m) < 0$ 이면, $\langle F_{dq}(j, t_m) \rangle$ 는 0으로 표현

$Q_m(j, t_m)$: 고속도로 본선 교통량(대/15분)

$F_{dq}(j, t_m)$ 는 진출 대상 j IC에서 분석 대상시간 t_m 동안의 경로전환 추정교통량으로, VMS 교통정보 제공에 따른 IC 유출교통량($F_{VMS_q}(j, t_m)$) 대비 동일 시간대의 월

<Table 1> Target Section of Diversion Rate

Target Section	Division	Traffic Information Provided VMS Mileage	Provision of Traffic Information ²⁾	Traffic Information Expressed Time	Analysis Target IC
Seohaean Expressway (Mokpo Direction)	6. 27. 2007. (Wed)	0150VMS3195K1 (Near Palgok JCT)	#1) 서평택분기점부근:정체극심 사고처리중 #2) 매송 IC, 비봉 IC(발안 IC) : 우회바랍니다.	08:26~09:08 (42min)	Maesong(316.7K)
					Bibong(312.6K)
					Balan(299.0K)

2) 제공 교통정보 문구(Provision of Traffic Information)의 경우 VMS를 통해 실제 표출되는 내용을 제시하기 위해 영문으로 변환하여 나타내지 않도록 함

3) 정연식 등(2010) 인용

평균 유출 교통량($F_{AVE_q(j,t_m)}$)과 표준편차($\delta_{F_{AVE_q(j,t_m)}}$)의 합과의 차로 계산할 수 있다.

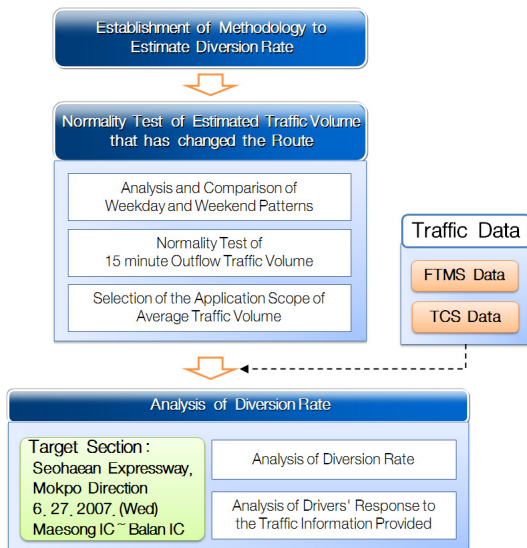
이 때, $F_{dq(j,t_m)}$ 가 0보다 작은 경우($F_{dq(j,t_m)} < 0$)는 VMS 교통정보 제공에 따른 IC 유출교통량이 월평균 영업소 유출교통량에 비해 적은 경우로, 교통정보 제공으로 인한 경로전환 효과가 없었던 분석시간대로 판단할 수 있다. 이 경우 경로전환율($D_{m(j,t_m)}$)은 0으로 제시하도록 한다.

3) 경로전환을 분석 개요

(1) 경로전환을 분석 절차

앞서 제시한 경로전환 추정 방법론에 대하여 적절한 지를 검증하고 타당성을 확보하기 위해 고속도로 분석 대상구간을 선정한 후 해당 방법론을 이용한 경로전환 추정 교통량에 대한 정규성 검토 및 경로전환율의 추정을 통한 운전자 반응행태를 분석하도록 한다.

경로전환 추정 교통량의 정규성 검토를 통해 교통정보 제공으로 인하여 평균 유출교통량 대비 일시적으로 증가한 유출교통량은 교통정보 제공으로 인한 경로전환 교통량을 의미한다는 본 연구의 가정을 통계적으로 검증하고, 본 연구 방법론에 대한 타당성을 확보할 수 있도록 한다. 이를 위하여 분석 대상구간에서의 분석대상 시간대의 유출교통량의 정규성을 검토하고, 평균 유출교통량의 산출 범위에 대하여 검토해보도록 한다.



<Figure 3> Analysis Process of Diversion Rate

한국도로공사의 VMS 이력자료⁴⁾와 FTMS(VDS) 및 TCS 데이터를 이용하여 교통상황별로 제공된 교통정보에 따른 운전자의 경로전환 행태분석을 수행하였다. 분석을 위해 '교통량증가', '교통사고발생', '도로공사' 등의 인한 혼잡을 유발하는 이벤트가 발생한 분석 대상일의 FTMS 및 TCS 데이터와, 이벤트 발생일이 제외된 해당 월(1개월)의 평일/주말의 TCS 데이터를 이용하였다.

(2) 경로전환을 분석 대상구간 선정

2007년 1월~12월(1년) 동안 표출된 한국도로공사의 VMS 이력자료의 검토를 통해, 교통사고 발생으로 인해 진행방향의 하류부의 본선상에 발생한 혼잡으로, 주변 IC로 우회를 하라는 메시지를 표출하고 있는 서해안선 목포 방향의 2007년 6월 27일(수)의 매송IC~발안IC를 분석 대상구간으로 선정하였다.

(3) 경로전환을 분석 대상시간 선정

본 연구에서는 VMS를 통해 혼잡교통정보가 제공되기 전 1시간과 종료 정보 제공 후 1시간(혼잡상황이 종료되어 혼잡 여파가 점차 사라지는 시간으로 가정) 동안을 추가 분석시간으로 선정하여 분석 대상 IC에서의 경로전환 교통량 및 경로전환율 변화 추이를 분석하였다.

이 때, 데이터의 분석주기(time slice)는 고속도로의 경우 교통류가 안정화되어 있어 급격한 변화가 없는 연속류의 데이터임을 감안하여 15분으로 설정하였다.

분석에 사용되는 FTMS 데이터는 한국도로공사 고속도로교통관리시스템에서 산출되는 15분 데이터를 이용하였으며, TCS는 15분 데이터의 산출시각과 동기화하여 산출하였다. FTMS 및 TCS 데이터의 경우 임의로 가공하지 않고 한국도로공사에서 현재 사용중인 데이터 산출 프로세스에 따라 산출되는 15분 집계 자료를 그대로 사용하여 분석을 수행하였다.



<Figure 4> Target Section at Seohaean Expressway

4) 한국도로공사 고속도로 교통정보제공시스템(FTMS) VMS Message log

4) 경로전환 추정 교통량 정규성 검정

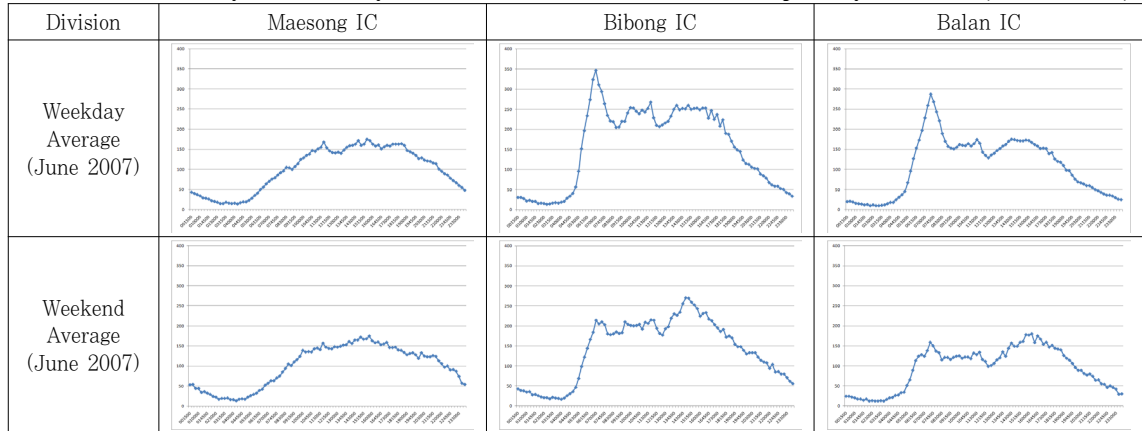
주지하였듯이, 본 연구에서 사용하고 있는 IC의 월평균 유출교통량 데이터의 경우 해당 이벤트가 발생한 1개월 데이터의 평균값(이벤트 발생일이 제외된 평일평균 또는 주말평균 각각)을 이용하고 있으며, 월평균 유출교통량은 통계적으로 정규분포를 이룰 것이라는 가정에 근

거하고 있다. 본 절에서는 이러한 가정이 타당한지를 검증하기 위해 분석 대상 IC의 월평균 평일/주말 유출교통량에 대한 정규성 검정을 수행해 보도록 하였다.

(1) 평일 및 주말 패턴분석 및 비교

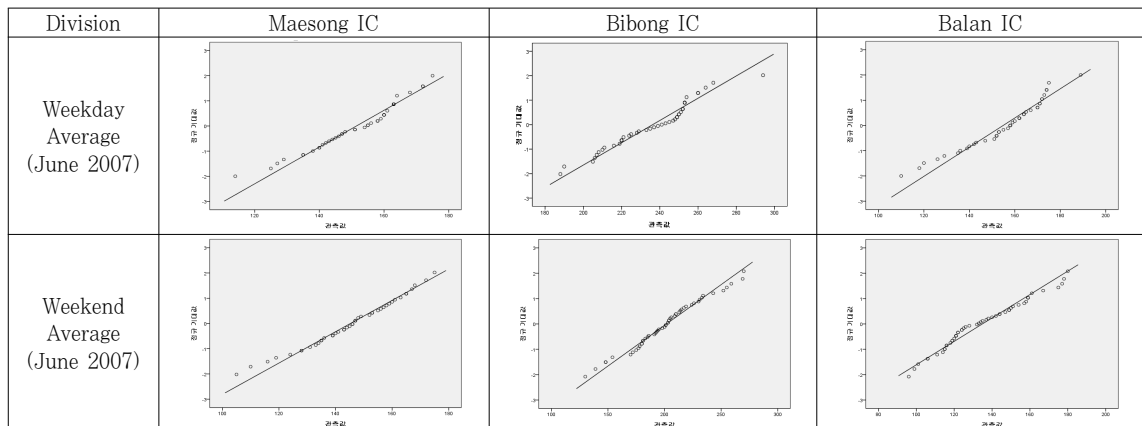
우선 서해안선의 평일과 주말을 각각 구분하여 15분

<Table 3> Pattern Analysis of Weekday/Weekend Outflow Traffic at Seohaean Expressway ; 0hr~20hr (15min Interval)



<Table 4> Normality Test of Weekday/Weekend Outflow Traffic at Seohaean Expressway (Q-Q Diagram) ; 7hr~20hr (15min Interval)

Division		Weekday			Weekend		
		Maesong IC	Bibong IC	Balan IC	Maesong IC	Bibong IC	Balan IC
Descriptive	Mean (veh/h)	151.47	236.27	154.88	145.27	201.73	134.88
	Standard Deviation	13.668	21.966	17.302	16.107	31.159	21.665
Shapiro-Wilk Test	Statistic	0.959	0.961	0.949	0.981	0.983	0.964
	Sig. (p-value)	0.133	0.135	0.056	0.667	0.646	0.120



<Figure 5> Normality Test of Weekday/Weekend Outflow Traffic at Seohaean Expressway (Q-Q Diagram) ; 7hr~20hr (15min Interval)

을 기준으로 하루 동안의 월평균 유출교통량을 도식화하였다. IC별로 유출교통량 패턴을 검토한 결과 <Table 3>에서와 같이 IC별로 차이는 존재하지만 어느 정도 유사한 특성을 보이는 것을 알 수 있다. 매송IC의 경우 평일과 주말 모두 오후시간대에 첨두가 존재하는 것으로 판단되지만, 비봉IC와 발안IC의 경우에는 전체적으로 오전과 오후에 각각 첨두시간이 존재하나, 평일의 경우 오전 첨두에서, 주말의 경우에는 오후 첨두에서 더 많은 통행이 발생하였던 것을 알 수 있었다.

(2) 15분 유출교통량의 정규성 검정⁵⁾

분석 대상 IC의 평일 및 주말 유출교통량(15분 단위)에 대한 정규성을 검정하기 위해, 정규성 검정 시 일반적으로 이용되는 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였다.

Shapiro-Wilk 검정⁶⁾은 Shapiro, S. S와 Wilk, M. B.(1995)에 의해 제안된 정규성 검정에 쓰이는 대표적인 방법으로 표본수가 비교적 적은 수인 경우에 사용하는 방법⁷⁾이다. 검정값이 1에 가까울수록 정규분포에 가까운 것으로 분석된다.

95% 신뢰수준(유의확률 $p < 0.05$)에서 귀무가설을 검증하도록 하며, 유의확률이 0.05 이상일 경우 귀무가설을 채택하여 모형이 정규성을 따르고, 0.05 미만일 경우 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하여 정규분포를 따르지 않는다는 통계적 결론을 내리게 된다.

오름차순으로 정렬된 표본을 $Y_1 \leq Y_2 \leq \dots \leq Y_n$ 이라 하고 이를 계산하면 다음과 같다.

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \tag{4}$$

$$b = \sum_{i=1}^n a_{n-i+1} (y_{n-i+1} - y_i) \tag{5}$$

통계량 W 를 계산하면 다음과 같다.

$$W = \frac{b^2}{S^2} = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \tag{6}$$

여기서, y_i 는 오름차순으로 정렬된 순서통계량

$Y_1 \leq Y_2 \leq \dots \leq Y_i, i = 1, 2, \dots, n$ 이고, a_i 는 정규분포에서 크기 n 인 표본의 순서통계량의 평균과 분산, 공분산으로부터 만들어진 상수들이다.

<Table 4>에서와 같이 Shapiro-Wilk 검정을 실시한 결과, 평일과 주말 모두 모든 분석 대상 IC의 유출교통량은 통계적으로 정규성을 띠는 것으로 나타났다.

따라서 교통정보 제공에 따른 경로전환 교통량을 교통정보가 제공되었을 때의 IC 유출교통량과 동시간대의 월평균 유출교통량의 차이로 추정하는 방법론은 통계적으로도 적절하다고 볼 수 있다.

(3) 평균교통량 적용 범위 선정

앞서 설명한 바와 같이, 경로전환 추정식의 기본 개념은 동시간대의 평균 유출교통량보다 많은 유출교통량이 산출될 경우, 이는 곧 교통정보 제공에 따른 효과, 즉 경로전환량이라고 추정할 수 있으며, 이 때의 평균 유출교통량은 특별한 이벤트가 발생하지 않는 한 일정하다는 가정을 두고 있다. 그렇다면 경로전환 추정에 사용하는 평균 유출교통량의 적용 범위는 어느 규모로 선정하여야 하는지에 대한 검토가 필요하다.

본 연구에서 사용하고 있는 교통데이터(FTMS, TCS)의 경우 DB화되어 있기에 자료의 활용에 있어 제약이 적은 편이나, 그 범위를 한없이 확장할 수만은 없을 것이다. 이에 평균 유출교통량의 적용 범위 선정과 관련하여 분석 대상 IC별로 적정 시간대 단위 집단(6개월, 1개월)에 대하여 검토를 실시하도록 하였다. 두 집단 사이의 차이는 어느 정도 존재하겠지만, 이전 1개월 동안의 통행특성과 6개월 동안의 특성이 유사할 것이라는 가정하에, 두 집단이 통계적으로 유사하다면 1개월 평균을 사용하도록 하는 것이다.

먼저, 15분 간격의 1개월 평균 집단(평일)과 6개월 평균 집단(평일)의 t-검정 결과 Levene의 등분산 검정⁸⁾에서의 p값이 0.05보다 크기에 각 집단의 분산이 같고(등분산), t-검정에 대한 p값 역시 0.05보다 큰 것으로 나타났다. 즉, 통계적 검증 결과 95% 신뢰수준에서 두 집단간의 차이는 없는 것으로 분석할 수 있다. 따

5) 정규성 검정은 상용 통계 프로그램인 SPSS(PASW) 17.0을 이용하여 분석을 실시하였으며, 07:00~20:00의 15분 데이터 중 이상치를 제외한 자료를 분석에 활용하였음
 6) Shapiro-Wilk 검정은 정규성을 따르다는 귀무가설에 대한 가설검정을 통하여 모형의 정규성을 검증함
 귀무가설(H_0) : 정규분포를 따른다. 대립가설(H_1) : 정규분포를 따르지 않는다.
 7) 정규성 검정을 위해 사용하는 분석방법에는 Kolmogorov-Smirnova 검정(2000개 이상의 많은 데이터 분석시 사용)과 Shapiro-Wilk 검정(데이터가 적을 때 사용) 등이 있음
 8) Levene 검정은 분산의 동일성을 검증하는 방법으로, 집단간 분산이 같다는 귀무가설의 기각여부를 판단함

<Table 5> t-test Result by Analysis Period (07hr~20hr, Weekday, 15min Interval)

Division		Mean of Outflow Traffic Volume (veh/h)	Levene's Test of Equality of Variances		t-test	
			F-Value	Sig.	t-Value	Sig.
Maesong IC	6 month Average	142.04	0.846	0.360	0.101	0.920
	1 month Average	141.50				
Bibong IC	6 month Average	213.77	0.035	0.852	-1.770	0.080
	1 month Average	226.98				
Balan IC	6 month Average	158.00	0.003	0.956	-0.194	0.847
	1 month Average	159.52				

라서, 본 연구에서는 평균 유출교통량 계산 시 교통데이터의 효과적인 사용을 위하여 1개월의 평균자료를 활용하는 것으로 결정하였다.

2. 경로전환율 분석

1) 경로전환율 분석

교통정보 제공에 따라 경로전환율의 차이가 발생했는지 분석해 보고자 교통정보가 제공된 시간대의 경로전환율과 이외 시간대의 경로전환율 간의 t-검정을 수행하였다. t-검정 결과 t값이 2.326이고 p값이 0.034로 나타

<Table 7> Test of the Difference in Diversion Rate between Groups after Provision of Traffic Information (t-test)

Division	Mean of Diversion Rate (%)	Levene's Test of Equality of Variances		t-test	
		F-Value	Sig.	t-Value	Sig.
Provided Traffic Information	5.357	7.832	0.008	2.326	0.034
Non Provided Traffic Information	1.743				

나, 95% 신뢰수준에서 교통정보 제공여부에 따른 우회율의 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이를 통해 VMS를 이용한 전방 혼잡상황에 대한 교통정보 제공시의 경로전환율이 미제공시보다 통계적으로 높은 것을 확인하였다.

경로전환의 판단기준이 되는 영업소 유출교통량은 비록 교통정보가 제공되었다고 할지라도, 기타 여러가지 도로교통상황에 의해 영향을 받을 수 있으나, 이는 평균 영업소 유출교통량 자체의 정규분포 범위에 모두 포함된다고 판단된다. 이와 같은 추정은 <Table 7>의 분석 결과와 같이 교통정보 미제공시에는 1.743%의 평균 경로전환율을 보인 반면, 정체 교통정보 제공에는 5.357%의 경로전환율을 나타내는 것을 통해서 통계적으로 유의함을 알 수 있다.

2) 정보제공에 따른 운전자 반응행태 분석

본 연구에서 제시한 경로전환율 추정방법론을 이용하여 서해안선 목포방향의 2007년 6월 27일(수)의 매송 IC~발안IC에 대한 경로전환율을 산출하고, 시간적·공

<Table 6> Analysis of Traffic Data and Diversion Rate at Seocheon Expressway

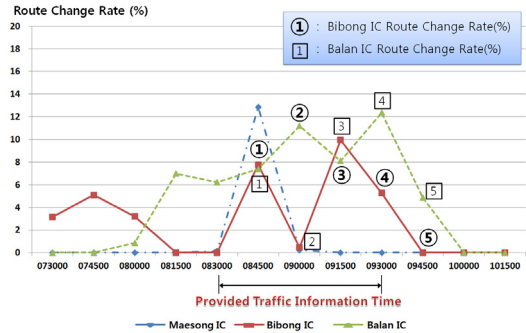
Time	$F_{VMS(j, t_m)}$ (veh/h)			$F_{AVE(j, t_m)}$ (veh/h)			$\delta_{F_{VMS(j, t_m)}}$			$Q_{m(j, t_m)}$ (veh/h)			$D_{m(j, t_m)}$		
	Maesong	Bibong	Balan	Maesong	Bibong	Balan	Maesong	Bibong	Balan	Palgok-Maesong	Maesong-Bibong	Bibong-Balan	Maesong IC	Bibong IC	Balan IC
07:30	83	338	299	85	296	344	14.453	19.628	19.562	394	708	794	0.00	3.16	0.00
07:45	61	331	330	94	266	324	10.737	20.388	20.107	485	875	879	0.00	5.10	0.00
08:00	93	287	325	100	236	294	12.166	26.030	23.530	412	779	867	0.00	3.21	0.86
08:15	102	233	355	102	224	268	5.907	17.501	18.662	413	849	978	0.00	0.00	6.99
08:30	124	227	309	112	223	234	11.264	20.343	12.324	510	862	1007	0.14	0.00	6.22
08:45	173	298	291	105	211	202	6.313	19.445	12.397	480	870	1037	12.85	7.76	7.39
09:00	109	239	306	99	211	180	8.877	23.960	16.224	489	875	981	0.23	0.46	11.19
09:15	99	328	263	106	222	172	8.166	14.936	14.869	516	916	940	0.00	9.94	8.10
09:30	107	283	295	114	222	165	11.167	15.647	9.234	515	860	977	0.00	5.27	12.36
09:45	100	245	234	125	240	171	7.171	14.748	11.263	522	920	1061	0.00	0.00	4.88
10:00	88	242	155	124	255	179	11.422	19.781	15.718	602	986	1115	0.00	0.00	0.00
10:15	96	228	193	134	254	179	13.873	24.233	17.669	576	1026	1163	0.00	0.00	0.00

Note) The relevant traffic information provides congestion situation at the upstream part in advance and, as the travel speed in the analysis object section in most of time ranges is maintained between 90 and 110km/h, it is judged that time lag does not occur.

간적 흐름에 따른 경로전환의 흐름에 대해 살펴보았다. 팔곡JCT 인근의 VMS를 통해 전방 교통상황에 대한 정보가 제공이 되면,

- ① (08:30~08:45) VMS를 통해 매송과 비봉 IC에서 우회하라는 정보를 받은 운전자들은 해당 지점에서 우회를 결정함에 따라 경로전환율이 높아지게 된다.
- ② (08:45~09:00) 이 시간대에 매송과 비봉 IC에 도착한 운전자들은 본선상의 통행속도가 통행을 하는데 별다른 문제가 없는 것으로 판단하여 원래의 경로로 이동함에 따라 경로전환율은 다시 낮아지게 되며, 발안IC에서야 우회를 결정하게 된다.
- ③ (09:00~09:15) 본선상의 통과교통량의 증가로 하류부로부터 점차 상류부로 교통량이 증가함에 따라 운전자들은 다시 비봉IC에서의 우회를 결정하게 된다.
- ④ (09:15~09:30) 하류부의 소통상황이 우회를 결정할만큼 좋지 않은 것은 아니라고 판단한 운전자들은 발안IC까지 경로를 유지하다 우회를 결정하게 된다.
- ⑤ (09:30~09:45) 전방 정체상황에 대한 교통정보가 없어진 이후 운전자들은 평상시와 같은 통행패턴에 의해 주행을 하게 됨에 따라 상류부에서의 경로전환 교통량은 평상시 수준으로 회복하게 된다.

이와 같이 VMS를 통한 메시지 제공시간(08:30~09:15, 1시간)을 중심으로 이전 1시간부터 이후 1시간까지 총 3시간 동안의 경로전환율을 분석한 결과, 이벤트 발생 교통정보를 접한 운전자들은 '우회'하라는 교통정보에 의거하여 행동을 함에 따라 상류부 IC인 매송과 비봉IC에서의 초기 경로전환율(유출교통량) 변화는 일시적으로 매우 큰 것으로 나타났다. 이후 본선상의 소통상황에 따라 운전자들은 경로선택(현행 경로 유지 또는 우회 결정)을 하게 되며, 시간적·공간적 흐름에 따라 상류부 IC와 하류부 IC의 경로전환율의 변화가 상호 연계하여 발생하는 것을 확인하였다. 즉, 상류부 IC에서의 경로전환율의 변화는 하류부 IC에서의 경로전환에 영향을 미치고, 이는 다시 상류부 IC에서의 변화를 유도하는 등의 경로전환 순환체계(feedback control loop)가 존재함을 확인하였다. 즉, 우회하라는 정보를 받은 운전자들의 경로전환(우회) 결정으로 인해 상류부 IC에서의 초기 경로전환율이 높아졌다가 점차 그 비율이 낮아지고, 하류부 IC에서의 전환율이 증가하는 추세를 보이고 있으며, 시간대의 변화에 따라 하류부와 상류부 IC에서 상호 보완적으로 경로전환율의 변화가 유기적으로 발생하는



<Figure 6> Temporal and Spatial Response of Drivers which can be presumed through Route Change Rate after Provision of Traffic Information

것을 확인하였다.

그 동안의 연구에서는 일반적으로 교통정보는 특정한 지점에서 제공하고 이에 대한 효과를 거두는 것으로 인지되었으나, 본 연구를 통해 실제 운전자의 반응행태는 이보다 넓은 구간단위에서 이루어지고 있었음을 알 수 있었다. 전방 교통상황에 대한 정보제공 이후 시공간적 변화에 따른 운전자의 반응행태를 추정했다는 점에서 의의 있다고 할 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

VMS, 교통방송(라디오), SNS 등의 교통정보매체를 이용한 교통정보제공을 통한 교통량 분산에 대한 관심이 높아짐에 따라 교통정보에 대한 운전자의 반응 및 효과에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 교통관리전략의 수행의 필수요건인 경로전환율을 정량적으로 예측하기 위해 기존의 SP 및 시뮬레이션을 이용한 조사방법론과는 다르게 실제 고속도로 교통데이터(FTMS, TCS 데이터)를 이용하여 분석하고자 하였다. FTMS 및 TCS 데이터가 구축되어 있는 전국 고속도로 본선부를 분석 대상으로, 경로전환 교통량과 그에 따른 경로전환율을 추정하는 방법론을 제시하고, 이에 대한 사례연구로 서해안선의 특정 분석대상구간에서의 경로전환율을 산출하고, 시간적·공간적 경로전환을 변동에 대한 특성을 분석해 보았다.

본 연구에서의 주요한 분석 결과는 다음과 같다.

1. 교통정보를 제공받아 우회를 결정하게 된 운전자

의 발생으로 인하여 해당 시간대의 평균 유출교통량에 비해 유출교통량이 일시적으로 증가한 경우가 편차는 교통정보 제공으로 인한 경로전환 교통량이라 정의하고, 본선 교통량과의 비율을 경로전환율로 계산하였다.

2. 경로전환을 추정방법론을 검증하기 위해서 서해안 고속도로 매송~발안 구간을 대상으로 평일/주말 유출교통량의 정규성 분석을 실시한 결과 통계적으로 정규성을 띤 것으로 나타났다.
3. VMS를 통해 전방 혼잡상황에 대한 교통정보 및 우회 지시정보가 제공된 시간대의 경로전환율과 비교하여 혼잡정보가 제공되지 않은 이외 시간대의 경로전환율 간의 t-검정을 수행한 결과, 교통정보 제공시의 경로전환율이 미제공시보다 통계적으로 높은 것을 확인하였다.
4. 시간흐름에 따른 경로전환율 변화를 분석한 결과, 공간적·시간적 흐름에 따라 상류부 IC에서의 경로전환율의 변화는 하류부 IC에서의 경로전환에 영향을 미치고, 이는 다시 상류부 IC에서의 변화를 유도하는 등의 경로전환 순환체계(feedback control loop)가 있음을 확인하였다. 정보제공 이후 시공간적 변화에 따른 운전자의 반응행태를 추정했다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

고속도로 교통데이터를 이용하여 경로전환율을 분석할 수 있기에, 모든 고속도로의 IC에 대하여 구축이 가능하며, 평균 우회교통량의 경우 시간적 범위를 필요에 따라 평일/주말의 구분, 요일별 구분, 특정일 구분 등으로, 그리고 월별, 1년별 단위 등으로 조정이 가능하여 분석에 사용하는 시간적 범위에 따라 다양한 효과를 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

또한, 향후 본 연구를 시초로 실제 현장에서의 경로전환율에 대한 연구가 확대되고 본 방법론에 대한 타당성이 확보된다면, 교통정보제공에 대한 보다 구체적인 정량적인 효과가 계상될 수 있으리라고 판단된다. 이를 통해 교통정보제공에 대한 실제적인 효과 측정이 가능하고, 교통량 분산을 위한 실시간 구간단위 교통정보 제공전략수립에 활용할 수 있는 등의 긍정적 효과로 이어질 수 있을 것으로 기대된다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서는 서해안고속도로의 특정 대상구간을 선

정하여 VMS를 통한 교통정보 제공으로 인한 경로전환율을 분석하였다. 하지만, 향후 범용적으로 활용가능한 경로전환율의 산정을 위해서는 다양한 노선 및 교통상황에 대한 추가 분석을 통해 본 연구 방법론에 대한 타당성을 확보가 필요할 것으로 보인다.

첫째, TCS와 FTMS 데이터를 이용하여 경로전환율을 추정하였으나, 보다 지능화된 IT 기술을 접목하여 차량의 경로전환 여부를 정확히 알 수 있는 방법에 대한 적용 역시 필요하다. 예를 들어, 현재 고속도로에 설치되어 운영 중인 DSRC를 통해 개별 차량의 이동경로에 대한 정보수집이나, IC 진출입부에서의 검지기 설치 및 운영을 통한 교통량 수집이 수월하게 이뤄질 경우 보다 정확한 경로전환율 산출이 가능할 것으로 판단된다.

둘째, 평일과 휴일을 구분하여 15분 단위의 1개월 평균 유출교통량을 사용하여 동일 분석 단위(15분)의 IC 유출교통량과의 비교를 통해 VMS 교통정보제공에 따른 경로전환율을 추정하였다. 하지만, 보다 정확한 분석을 위해서는 평일/휴일 구분을 보다 세분화하여 요일별 평균 유출교통량을 산출하여 경로전환율을 추정하는 방법론을 검토할 필요가 있을 것이다. 이 때 요일별 평균 유출교통량 산출 시 정규성이 확보되는 범위의 선정(예: 1개월 동안의 월요일 평균, 3개월 동안의 토요일 평균 등) 역시 중요할 것으로 판단된다.

마지막으로, 본 연구에서는 VMS를 통해 '교통사고'로 인한 정체정보가 주어졌을 경우에 대해 분석을 수행하였으나, '공사중'이나 '교통량 증가정보' 등의 교통정보 내용별로, 혹은 단순히 우회하라는 '소극적 정보' 또는 특정 IC나 우회도로로 우회하라는 '적극적 정보'가 제공되었을 경우 등의 다양한 상황을 고려하여 각각의 경로전환율 및 경로전환 패턴의 차이에 대해서도 추가 연구가 필요하다. 향후 이러한 결과를 이용하여 보다 정확한 교통정보제공 및 교통관리가 이루어지길 기대한다.

감사의 글

본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029446)

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제65회 학술발표회(2011.10.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

1. Kim, S. H., Choi, K. C. and Yu, J. W.(2006), "Driver Route Choice Models for Developing Real-Time VMS Operation Strategies", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.26, No.3D, Korean Society of Civil Engineers, pp.409-416.
 2. Chang, J. S., Kang, J. H. and Lee, S. J.(2008), "A Measure for Travel Time Reliability", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.26, No.5, Korean Society of Transportation, pp.217-226.
 3. Choi, K. C., Jang, J. A., Kim, S. H. and Kim, J. S.(2004), "Diversion Rate Analysis for Various Detour Information on VMS-Focusing on National Road Number 3", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.24, No.6D, Korean Society of Civil Engineers, pp.873-880.
 4. Choi, Y. H.(2010), "Development of an Integrated Congestion Management Model based on Traffic Information and Dynamic Toll", Ph. D. thesis, Ajou University.
 5. Choi, Y. H., Choi, K. C. and Ko, H. G.(2009), "Relationships between Diversion Rates and Traffic Conditions on Expressway", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.27, No.2, Korean Society of Transportation, pp.57-71.
 6. Choi, Y. H. and Choi, K. C.(2008), "A Methodology for Estimating Diversion Flows on Expressway", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.26, No.1, Korean Society of Transportation, pp.79-88.
 7. Chung, Y. S., Cho, H. S. and Kim, J. Y.(2010), "An Analytical Procedure to Estimate Non-recurrent Congestion caused by Freeway Accident", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.29, No.2, Korean Society of Transportation, pp.45-52.
 8. Eom, J. H.(2006), "A Comparison on the Empirical Power of Some Normality Tests", Master's Degree thesis, Catholic University of Daegu.
 9. Lee, C. H and Choi, S. W.(2008), "Normality Tests Using Nonparametric Rank Measures for Small Sample", Journal of the Korea Safety Management and Science, Vol.10, No.3, pp.237-243.
 10. Jang, J. A., Moon, B. S. and Choi, K. C.(2005), "Assessment of Diversion Rate by Detour Traffic Information Provision in Freeway", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.35, No.2D, Korean Society of Civil Engineers, pp.221-226.
 11. Albrecht, H., K. Everts, H. Heusch and J. Boesefeldt(1978), "Bewertung einer zentralen uberwachung und Steuerung des Verjkehrs durch Verkehrsstromfuehrung mit Hilfe von Wechselwegweisern", Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik 251.
 12. M. Wardman, P. W. Bonsall and J. D. Shires(1997), "Driver response to Variable Message Sign: a stated preference investigation", Transportation Research part C : Emerging Technologies, Vol.5, Issue 6, pp.389-405.
 13. Simon Foo, Baher Abdulhai, Fred L. Hall (2008), "Impacts of Changed CMS Messages on Traffic Diversion Rates", 87th Annual meeting of the TRB.
 14. Srinivas Peeta, Jorge L. Ramos, Raghubhushan Pasupath(2000), "Content of VMS and On-line Driver Behavior", Transportation Research Record 1725, Transportation Research Board, pp.102-108.
- ☞ 주 작 성 자 : 고한검
 - ☞ 교 신 저 자 : 최윤희
 - ☞ 논문투고일 : 2011. 12. 19
 - ☞ 논문심사일 : 2012. 3. 5 (1차)
2012. 4. 30 (2차)
2012. 6. 7 (3차)
 - ☞ 심사판정일 : 2012. 6. 7
 - ☞ 반론접수기한 : 2012. 10. 31
 - ☞ 3인 익명 심사필
 - ☞ 1인 abstract 교정필