

■ 論 文 ■

# 운전자 행태를 고려한 VMS의 실시간 경로안내 정보제공에 관한 연구

A Study on Providing Real-Time Route Guidance Information by Variable Message Signs with Driver Behavior

이 창 우

(중앙대학교 도시공학과 석사)

정 진 혁

(중앙대학교 도시공학과 부교수)

## 목 차

I. 서론	경로전환 모형 구축
1. 연구의 배경 및 목적	1. 모형설정 및 자료수집
2. 연구의 범위 및 방법	2. 모형추정 및 결과
II. 관련이론 및 기존 연구 고찰	V. 최적 VMS 정보내용 결정
1. CA기반 교통류 시뮬레이션 모형보 내용결정	1. 최적경로전환율 및 VMS 최적성
2. 교통정보와 운전자행태에 관한 연구	2. 시스템 성능평가
III. 최적경로전환율 산정 모듈	VI. 결론
1. CA모형을 이용한 돌발상황 영향 분석	1. 연구의 결론
2. 최적경로전환율 산정 방법	2. 연구의 향후과제
IV. 운전자의	참고문헌

Key Words : 도로전광판, 교통우회전략, 최적경로전환율, 운전자행태모형, 정보제공전략, CA모형 VMS, Traffic Diversion Strategy, Optimal Diversion Rate, Driver Behavior, Providing Information Strategy, Cellular Automata Model

## 요 약

ITS의 한 분야인 첨단교통정보체계(ATIS: Advance Traveler Information System)는 운전자들에게 통행 전(pre-trip), 통행 중(en-route) 교통정보를 제공함으로써 운전자의 경로선택과정에 영향을 미쳐 도로망의 교통량 분산효과를 추구하는 시스템이다. 이 중 도로상에서 운전자가 진행하는 방향에 대한 직접적인 정보를 제공하는 VMS는 ATIS의 정보제공방안 중 가장 효과적인 수단이 될 수 있다. 이러한 VMS의 정보제공목표는 단순현황정보만을 제공하는 운전자 편의측면과 교통수요를 관리하여 시스템의 성능을 증진시키는 시스템 제어측면으로 구분이 가능하다. 하지만 보다 효율적인 도로전광판의 정보제공을 위해서는 시스템제어 측면의 정보제공이 이루어져야 할 것이다. 이러한 교통관리시스템(traffic management system)으로서 VMS 핵심적인 관리전략은 혼잡(traffic congestion) 또는 돌발 상황(incident) 발생시 지체(delay)를 최소화하기 위한 교통우회전략(Traffic Diversion Strategy)이라 할 수 있다. 이를 효과적으로 운영하기 위해서는 첫째, 교통상황(network traffic condition)에 따라 적절한 우회교통량(diversion traffic volume)의 산정이 선행되어야 하고 둘째, 이러한 우회교통량을 제어하기 위해서는 VMS 정보내용(VMS message contents)에 따른 운전자의 행태(driver response behavior)가 반영된 정보제공전략(providing information strategy)이 수립되어야 한다. 이에 본 연구에서는 돌발 상황 발생에 의해 혼잡이 야기될 때 VMS 실시간 경로안내 정보제공에 대해 초점을 맞추었다. 이를 위해 첫째로, CA(Cellular Automata) 기반 교통류 시뮬레이션을 모형에 이용하여 통행시간 및 대기행렬의 변화가 반영된 시간대별 시스템 최적경로 전환율을 산정하였다. 둘째로, 이항로짓 모형을 이용하여 운영자가 제어할 수 있는 정보특성에 대한 경로전환행태 모형(route choice behavior model)을 만들었다. 마지막으로 시스템 최적상태(system Optimum)의 달성을 위한 VMS의 시간대별 정보내용 및 강도를 결정하였다.

The ATIS(Advance Traveler Information System), as one part of ITS, is a system aiming to disperse traffic volume on transportation networks by providing traffic information to transportation users on pre-trip and en-route trips. One of tools in ATIS is usage of VMS(Variable Message Signs). It provides to the drivers with direct information about state of processing direction, which is considered as the most effective method in ATIS.

The purposes of providing VMS information are classified two categories. One is to provide simple information to drivers for their convenience. The other is to manage traffic demand to improve transportation network performance. However, for more effective and reliable VMS information, several strategies should be taken into account. The main VMS management strategy is "Traffic Diversion Strategy for minimum delay" when traffic congestion or incident are occurred. For effective operation, firstly, reasonable diversion traffic volume is determined by network traffic condition. Secondly, it is necessary to make providing information strategy which reflects driver response behavior for controlling diversion traffic volume.

This paper focuses on the providing real-time route guidance information by VMS when congestion is occurred by the incidents. This study estimates time-dependent system optimal diversion rate that inflects travel time and queue lengths using traffic flow simulation model on base Cellular Automata. In addition, route choice behavior models are developed using binary logit model for traffic information variable by traffic system controller. Finally, this study provides time-dependent VMS message contents and degree of providing information in order to optimize the traffic flow.

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

도로의 교통 혼잡으로 인해 교통 혼잡비용이 GDP의 3%를 넘어서 17조원 이상이 된 것이 이미 오래 전이며, 그 증가 추세가 좀처럼 줄어들지 않고 있다. 이러한 교통 혼잡을 해소하기 위한 방안으로 최근 급격히 발달한 정보기술을 기반으로 지능형교통체계(ITS: Intelligent Transportation System)에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이중 ITS의 한 분야인 첨단교통정보체계(ATIS: Advance Traveler Information System)는 운전자들에게 통행 전(pre-trip), 통행 중(en-route) 교통정보를 제공함으로써 운전자의 경로선택과정에 영향을 미쳐 도로망의 교통량 분산효과를 추구하는 시스템이다.

일반적으로 ATIS의 정보제공매체로는 교통방송, 도로전광판(Variable Message Signs: 이하 VMS), 인터넷, ARS, FAX, 차내 주행안내시스템(CNS: Car Navigation System) 등이 있으며, 이 중 운전자에게 주로 이용되는 매체는 정보를 쉽게 접할 수 있으며, 운전자에게 부가적인 행위를 요구하지 않는 방송매체와 VMS가 높은 이용률을 보이고 있다. 특히, VMS는 단순현황정보만을 제공하여 운전자의 편의를 도모하는 정보제공 매체로서의 역할뿐만 아니라 통행 중 운전자에게 진행방향의 돌발 상황 또는 지체·정체 대한 정보를 제공하여 우회도로로 우회를 유도함으로써 혼잡구간의 확산을 방지하고, 혼잡에 의한 사회적 비용을 절감시켜 시스템 전체의 성능을 증진시키는 시스템 제어 측면의 역할도 수행한다. 보다 효율적인 VMS의 정보 제공을 위해서는 이러한 시스템 제어 측면의 정보제공이 이루어져야 할 것이다. 이에 국내에서도 VMS의 중요성을 인식하고 한국도로공사의 교통관리시스템, 서울시의 도시고속도로 교통관리시스템, 건설교통부의 국도교통관리시스템 등에서 VMS 시스템이 운영되고 있고, 향후 지속적인 설치·운영이 계획되어 있다.

교통관리시스템으로서 VMS 핵심적인 관리전략은 혼잡 또는 돌발 상황 발생시 지체를 최소화하기 위한 교통우회전략(Traffic Diversion Strategy)이라 할 수 있다. 이러한 VMS 교통우회전략이 효과적으로 운영되기 위해서는 첫째, 교통상황에 따라 적절한 우회교통량의 산정이 선행되어야 하고 둘째, 이러한 우회교통량을

제어하기 위해서는 VMS 정보내용에 따른 운전자의 행태가 반영된 정보제공전략이 수립되어야 한다.

시스템의 통행비용을 최소화 시키는 최적경로전환율(optimal diversion rate)을 산정하고 이를 VMS 교통우회전략에 반영하고자 하는 연구는 기존에 여러 차례 수행되어 왔다. 그러나 많은 연구들이 돌발 상황 발생에 따른 링크의 용량 감소율을 단순히 통행비용함수(travel cost function)에 적용하여 시스템최적(SO: System Optimum) 또는 이용자평형(UE: User Equilibrium) 통행배정을 통한 정적(static)인 최적 경로전환율을 산정하는 연구들이 많았다. 이러한 정적인 최적경로전환율은 돌발 상황 발생위치 및 대기행렬 길이 변화에 따른 영향을 고려하지 못함으로 실시간 교통상황이 반영되지 못한다. 또한, 돌발 상황 발생 및 해소시점 측면의 문제가 발생해 불필요한 경로전환으로 인해 시스템의 효율이 감소되는 결과를 초래하게 된다는데 그 한계점이 있다.

또한, 교통정보에 대한 경로전환행태에 관한 연구는 정보의 유형, 정보의 질, 매체 신뢰도, 운전자의 순응, 운전의 학습 등 지금까지 다양하게 논의되고 있다. 그러나 대부분의 연구들은 이러한 요인들이 운전자의 경로전환행태에 어떻게 영향을 미치는가를 분석하였을 뿐, 운전자의 경로전환행태가 제공된 정보에 의해 영향을 받았을 때 네트워크의 성능이 어떻게 변화며, 시스템 제어 측면에서 정보를 어떻게 제공해야 하는지에 대한 논의는 많이 이루어지지 않았다.

이러한 점에서 VMS 교통우회전략이 보다 효과적으로 운영되기 위한 많은 연구가 필요한 시점이며, 이를 바탕으로 막대한 재원 투입이 요구되는 교통정보 제공 사업에서 구체적이고 체계적인 정보제공 전략을 수립하여 효과적이고 부가가치가 높은 정보를 제공할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 VMS가 시스템 제어 측면으로서 보다 효과적으로 운영되기 위한 방안을 크게 두 가지 나누어 분석하고자 한다.

첫째, 기존의 정적인 최적경로전환율의 한계를 극복하고자 하는 것이다. 이는 교통상황에 따른 통행시간 및 대기행렬의 변화를 정확히 분석하고, 각 시간대별로 시스템의 통행비용을 최소화하는 우회교통량을 산정함으로써 유동적인 교통상황에 대해 대처할 수 있는 최적 경로전환율을 산정할 수 있을 것이다. 둘째, 운전자의 경로전환 행태를 통제할 수 있는 VMS 우회정보제공전

락을 수립하고자 하는 것이다. 이를 위해서는 운영자가 VMS 메시지를 통해 운전자를 통제할 수 있어야 하며, 그러기 위해서는 VMS 메시지에 대해 반응하는 운전자의 행태를 파악하여야 한다.

따라서 본 연구는 VMS 메시지가 상황에 따라 어떤 내용을 제공하면 시스템최적 상태를 달성할 수 있는지 즉, 각 시간대별로 산정되는 최적경로전환율의 유도를 위한 실시간 VMS 정보제공 내용 및 메시지 강도에 대한 연구를 목적으로 한다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 첨두시 반복적 혼잡(recurrent congestion)보다는 돌발 상황에 의한 비 반복적 혼잡(non-recurrent congestion)에 초점을 맞추어 시스템최적상태 달성을 위한 VMS 제공정보내용을 결정하려는 것이다. 이를 위해 본 연구는 다음과 같이 세 가지의 방법으로 수행되어 졌다.

첫째, 돌발 상황 하에서 발생하는 교통류 현상을 가상의 모의 네트워크에 실시간 시뮬레이션을 수행하고, 단기링크통행시간을 예측하여 각 시간대별 시스템 총통행비용을 최소화 시키는 최적경로전환율을 산정하였다. 이때 단기링크통행시간을 예측하기 위한 실시간 시뮬레이션은 무엇보다 연산 수행속도가 중요하다 할 수 있다.

따라서 실시간 교통류 시뮬레이션은 1992년 Negal K. and Schreckenberg M.에 의해 발표되고, 현재 Los Alamos 연구소에서 활동기반모형(activity-based model)을 기반으로 개발한 TRANSIMS의 Traffic MicroSimulation Module에 사용되는 Cellular Automata(이하 CA)모형을 이용하였다. CA 모형은 각 개별 차량의 미시적 요소들의 관계(microscopic relationship)를 통하여 거시적 행태(macroscopic behavior)를 설명하는 이론으로서 연산 수행속도가 빠른 장점이 있어 단기링크통행시간을 예측하는 모의실험이 가능하도록 한다.

둘째, 본 연구의 목적이 “시스템 제어 측면으로서 VMS 정보제공전략”이라는 점에서 운전자의 경로전환 의사결정에 미치는 요인 중 시스템 운영자가 제어할 수 없는 통행자 특성, 통행특성, 경로특성, 과거경험 등은 배제하였다. 따라서 운영자가 제어할 수 있는 정보특성에 대한 운전자의 경로전환행태 모형을 산정하였다. 이

때 정보특성은 운전자가 정보를 취득했을 당시 운전자가 지각하고 있는 교통상황 특성과, VMS 메시지 정보 특성으로 구분하여 분석하였다.

교통상황 특성과 VMS 메시지 정보특성에 대한 운전자의 경로전환행태에 대한 자료 수집은 가상 상황에 대한 현실감의 부족 및 운전자의 time pressure, 응답자가 설문자의 기대 방향으로 선택하는 긍정편의(Affirmation bias) 등과 같은 SP설문조사의 단점을 극복하기 위하여, 시간과 비용을 절감할 수 있고, 응답자에게 현실감 있는 상황을 컴퓨터에서 보여주면서 응답자들이 조사에 응하게 하는 시뮬레이터를 활용한 인터넷기반의 웹조사를 실시하였다.

셋째, 돌발 상황 발생시 시스템 최적상태를 유도하기 VMS 우회정보제공전략을 수립하기 위해서는 운전자 경로전환행태 모형을 장래 교통상황 예측 시에 반영하여 네트워크 성능을 평가하여야 한다. 따라서 본 연구에서 산정된 경로전환행태 모형을 CA모형에 적용하여 시스템 최적상태 달성을 위한 최적의 VMS 메시지 내용을 결정하였고, 이때의 네트워크 성능을 평가하였다.

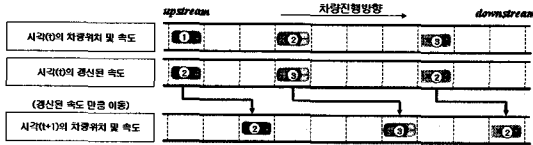
## II. 관련이론 및 기존연구 고찰

### 1. CA 기반 교통류 시뮬레이션 모형

CA모형에 기반을 둔 차량 시뮬레이션 모형은 각 개별 차량의 미시적 요소들의 관계를 통하여 거시적 행태인 교통량-속도-밀도 관계를 해석하는 이산적 시-공간(discrete time space) 모형으로 컴퓨터의 연산구조를 고려하여 빠른 시간 내에 개별차량을 대규모 가로망에 모의실험 하고자 하는 모형이다.

Shin(1999)은 CA 시뮬레이션을 이용하여 고속도로에서 발생하는 사고가 교통류에 미치는 효과를 분석하였다. 가상의 자료를 이용하여, 교통류 상황을 시뮬레이션 하였고, 그 결과 CA 규칙과 Hydrodynamic 모형을 이용하여 교통류의 상태를 어떻게 예측할 수 있을지에 대한 방향을 제시하였다. 현재, 이 연구는 TCS(Toll Collection System)와 VDS(Vehicle Detection System)로부터 올라오는 Data를 이용하여 실제 교통 상황을 시뮬레이션 할 수 있는 하위모듈들을 통합하고 있는 단계에 있다.

Wolfgang Knospe 외 3명(1999)은 2차로 도로



〈그림 1〉 CA차량모형의 차량표현 및 이동방식

에서 저속 차량이 미치는 영향에 대해서 연구하였다. 결과에 따르면, 매우 적은 저속 차량이 있는 경우에도 저밀도상에서 대기행렬이 발생한다는 사실을 발견하였다. 이 현상의 신뢰성을 판단하기 위해서 1차로 도로의 동태적인 특성에 관한 다양한 변형뿐만 아니라 차로 변경 규칙의 다양한 형태에 대해서도 조사하였다. 이 연구를 통해서 저속 차량에 대한 영향력은 운전자의 기대 감으로 감소된다는 것을 알 수 있다

장원호(2003)는 기존의 CA차량추종모형 보다 현실적으로 감속을 통한 정지과정을 설명하면서 거시적 지표인 교통량 - 밀도 -속도관계를 설명하였다. 또한 링크의 유출교통량(Outflow)을 제어하기 위한 차량의 링크전이 모형은 기존의 차량 링크전이 모형에 비하여 보다 안정된 대기차량을 형성하였다. 단기링크공행시간 예측을 위한 차량 모의실험기는 대규모 가로망에 적용이 가능하도록 차량묶음(Packet) 방식과 링크기반 모의실험방식으로 컴퓨터의 연산 수행속도 및 메모리를 효율적으로 처리할 수 있게 하였고, 기존의 시계열자료 예측기법에서 고려할 수 없었던 차량의 행태 및 링크상에서 발생하는 이동류 과포화, 뒷막임 현상 등의 메커니즘을 고려함으로써 기존의 시계열자료 예측기법에 비하여 우수한 예측력을 보였다.

〈그림 1〉은 CA 차량행태모형의 차량표현 및 이동방식을 보여주고 있으며 차량안의 숫자는 각 차량의 속도이다. Cell의 정수 배로 표현되는 속도는 시각(t)의 전방차량과 후방차량간의 비 점유된 Cell의 개수와 시각(t)의 속도를 이용하여 다음 시각(t+1)의 속도를 갱신한다. 그리고 차량의 주행 중에 발생하는 가속소음(Acceleration Noise)은 무작위 확률 값을 이용하여 일개의 Cell 만큼 속도를 감소시키면서 차량의 속도를 결정한다.

일반적인 cell의 길이는 7m를 적용하며 속도가 0~5cell/s일 경우 차량이 가질 수 있는 최대속도는 130km/h에 해당된다.

1) 차량추종모형

CA모형에서 차량추종모형은 기본적으로 자신이 가

질 수 있는 최대속도까지 가속하기를 원하며, 전방차량과의 차두거리와 감속확률에 따라 속도가 결정되는 것을 기본전제로 한다. 시뮬레이션 규칙은 크게 가속 규칙, 감속 규칙, 불규칙적 감속, 차량 이동의 4단계 이동규칙(Movement rules)으로 구분되며 각 규칙이 동시에 실행되면서 차량의 속도가 결정되고, 차량이 존재하는 각 cell에 결정된 속도정보가 저장된다.

Negal 과 Schreckenberg이 제안한 NaSch 모형은 CA 규칙을 적용한 고속도로 시뮬레이션 모형으로 기본규칙은 다음과 같다.

(1) 가속(Acceleration)

- IF  $(v < v_{max} \ \& \ v < gap_{same})$  THEN  $v_{t+1} = v_t + 1$
- 현재 차량의 주행속도가 최대속도보다 작고, 전방 차량의 차두거리보다 작다면, 다음시점의 주행속도는 1Cell 만큼 가속을 한다.

(2) 감속(Slowing Down)

- ELSE IF  $(v > gap_{same})$  THEN  $v_{t+1} = gap_{same}$
- 현재차량의 주행속도가 전방차량의 차두거리보다 크다면, 다음시점의 주행속도는 차두거리만큼 감속을 한다.

(3) 불규칙적 감속(Randomization) with  $p_{noise}$

- $v - 1$  with probability  $p_{noise}$
- 운전자의 행태를 나타내는 규칙으로 차량은 확률  $\rho$ 를 가지고 자신의 속도를 1Cell 만큼 감속한다.

(4) 이동(Car Motion)

- $x_{t+1} = x + v$
- 위의 세 개의 규칙에 의해서 다음시점의 속도가 결정되면, 결정된 속도만큼 차량은 전방으로 이동한다.

- 여기서,  $v$  : 시각t의 차량속도(cell/s)  
 $v_{max}$  : 차량이 가지는 최대속도(cell/s)  
 $gap_{same}$  : 주행차로 전방 차두거리(cell)  
 $\rho$  : 차량이 불규칙적으로 감속하는 비율  
 $x_t$  : 시각t의 차량위치

2) 차로변경모형

차로변경모형은 차량들은 현재 주행하고 있는 차로

에서 자신이 희망하는 속도를 얻을 수 없을 경우에 차로변경을 원하며, 차로변경 대상차로에 충분한 안전거리가 확보되어 있으면 차로변경이 수행되는 것을 기본 전제로 한다.

(1) 선호조건(Incentive)

$$\bullet v_{hope} > gap_{same} \ \& \ gap_{forward} > gap_{same},$$

$$v_{hope} = \min(v+1, v_{max})$$

-차량은 자신이 주행하고자 하는 속도가 앞차에 의해서 감속 받게 된다면, 차로를 변경하고 싶은 동기가 유발되게 되고, 기본적으로 차로변경을 희망한다.

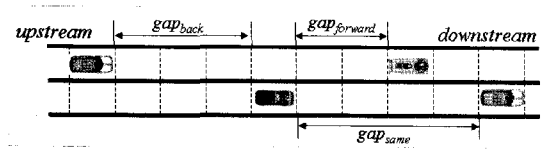
(2) 안전조건(Safety)

$$\bullet gap_{forward} > v \ \& \ gap_{back} \geq v_{max}$$

-선호조건이 만족되었다 하더라도 차로변경 대상차로에 대한 안전성이 확보된 경우에만 차량이 차로변경을 수행할 수 있다.

여기서,  $v_{hope}$  : 희망속도(cell/s)  
 $gap_{forward}$  : 차로변경 대상차로 전방차두거리(cell)  
 $gap_{back}$  : 차로변경 대상차로 후방차두거리(cell)

차로변경은 위의 모든 조건을 만족하여야만 할 수 있으며, 하나의 조건이라도 만족하지 않을 경우에는 차로변경을 하지 못한다. <그림 2>는  $gap_{same}$ ,  $gap_{forward}$ ,  $gap_{back}$ 의 예를 보여준다.



<그림 2>  $gap_{same}$ ,  $gap_{forward}$ ,  $gap_{back}$ 의 예

2. 교통정보와 운전자행태에 관한 연구

운전자가 선택한 경로로 계속 진행하는 것을 포기하고 다른 경로로 전환하는 것은 경로선택 당시에 예상한 교통상황이 달라졌다는 것을 인지했기 때문이다. 교통

상황의 변동을 운전자가 인지하게 되는 매개체가 정보이며 본 연구에서는 이를 매체정보와 관측정보로 구분한다.

1) 매체정보

운전자가 매체로부터 정보를 취득하여 경로 전환의 사결정을 하는 데에서는 매체고유의 특성과 정보의 형식, 전달내용 등이 영향을 미친다.

매체정보 중 VMS는 주요 전용도로 본선 부 및 진입·진출 부 근방에 위치한 전광판을 통해 구간의 통행시간 및 소통상황을 간단하게 표기하며, 여건에 따라 대안 경로의 정보를 제공하기도 한다. 운전자가 정보를 요청하거나 사용료를 지불하지 않아도 필요한 때에 유용한 정보를 취득할 수 있다는 점에서 이 매체가 경로 전환에 미치는 영향력은 크다. 이러한 이유로 많은 연구들이 VMS를 대상으로 진행되었다.

Bonsall and Palmer(1997)에 의하면, VMS를 통해 제공된 사고, 지체, 혼잡에 관한 정보는 경로전환에 중요한 영향을 미치며, 그 효과는 정보의 문구(phrase)에 달려 있다 하였다.

정보는 크게 지시적 정보와 설명적 정보로 나눌 수 있는데 Khattak 외 (1993)에 의하면 설명적 정보가 경로선택에 더 큰 영향을 준다. 그러나 지시적인 정보가 주어지더라도 타당한 근거가 함께 제시되는 경우에는 이것이 단순한 설명적 정보 보다 더 효과적이다 (Cho, Hye-Jin, 1998).

설명적 정보는 정성적 정보와 정량적 정보로 나눌 수 있다. 정성적 정보가 경로전환에 미치는 영향은 전달하는 어투나 매체 신뢰도, 운전자의 경험에 따라 달라진다. Wardman 외 (1997)은 정성적 지표들을 모형을 통해 정량화 한 결과 'Likely Delay'는 통행시간으로 환산하여 10~31분, 'Long Delay'는 35~47분으로 운전자들에게 인지되는 것으로 나타났다. 또한 아무런 정보를 제공하지 않은 것에 비하여 해당 링크의 소통이 원활하다는 정보를 제공하면 현재의 경로를 고수하려는 경향이 있었다. 정량적 정보는 지체시간이나 구간 통과시간으로 제시되는데, 해당 경로를 통행한 충분한 경험이 없는 운전자는 이 정보를 제대로 해석할 수 없을 뿐 아니라, 혼잡정보를 정량적 지표로 제시할 경우가 정성적 지표로 제시할 때보다 운전자의 인지능력이 더 많이 요구된다(Hato 외, 1999).

단지 혼잡상황에 대한 정보만 제공하는 것이 아니라 지체의 원인을 함께 제시할 경우 정보의 효과가 더 크다. 여러 정보 유형에 대하여 비교분석을 수행한 결과에 의하면, 운전자는 지체의 원인들 중에서는 혼잡이나 도로 공사로 인한 지체보다 사고 발생으로 인한 지체의 경우 경로 전환에 보다 민감하게 반응한다(Wardman 외, 1997).

2) 관측정보

운전자는 정보매체로부터 정보를 취득하지 않더라도 교통상황에 대하여 나름대로 판단하여 경로를 전환할 수 있다. 예상치 못한 지점 혹은 시점에서 혼잡을 겪거나, 혼잡의 정도가 예상했던 것 보다 심각한 경우 운전자는 관측정보를 이용해 상황을 판단한다.

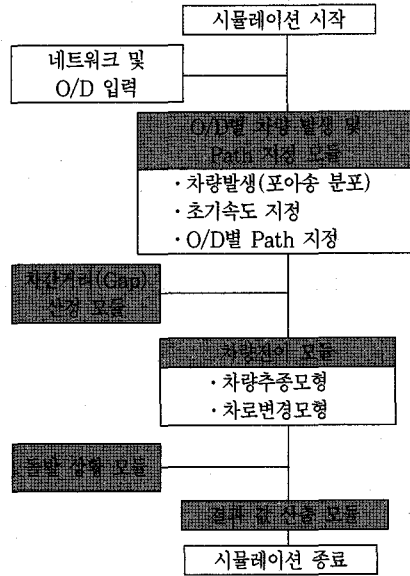
Khattak 외 (1993)에 의하면, 운전자가 경로전환 의사결정에 이용하는 정보는 교통정보가 16%, 직접관측이 21%, 과거경험 63%로 조사되었다. 매체로부터 취득하는 정보가 혼잡구간에 관한 정보를 포함하기 때문에 직접 관측하는 것보다 매체로부터 정보를 취득할 때 경로전환의 성향이 강해지지만, 정보매체의 접근에 대한 제약 때문에 실제로 경로전환 요인을 집계적으로 조사하면 직접관측이 더 높은 비중을 차지한다.

관측 정보가 경로전환에 미치는 영향은 매체정보 취득 여부에 따라 달라질 수 있다. 운전자는 매체정보와 관측정보 중에서는 매체정보를 더 신뢰하는 경향이 있어서 두 정보를 모두 취득했을 경우 매체정보에 근거하여 의사결정을 하지만, 매체정보를 취득하지 못한 상황에서는 관측정보가 경로전환 여부를 판단할 수 있는 유일한 기준이 된다. 한편 Wardman 외 (1997)에 의하면, 경험에 의해 VMS 정보의 신뢰도를 낮게 평가한 운전자들은 VMS 정보에 잘 순응하지 않으며, 제공되는 정보 보다 자신의 관측이나 판단을 더 신뢰하는 경향이 있는 것으로 나타났다.

III. 최적경로전환을 산정 모듈

1. CA모형을 이용한 돌발상황 영향 분석

CA 기반 실시간 시뮬레이션을 통해 고속도로에서 돌상 상황이 발생하였을 경우 링크통행시간, 링크교통량, 속도 등 변화되는 교통상황을 모의실험을 통하여



<그림 3> CA기반 시뮬레이션 모형 흐름도

분석하였다.

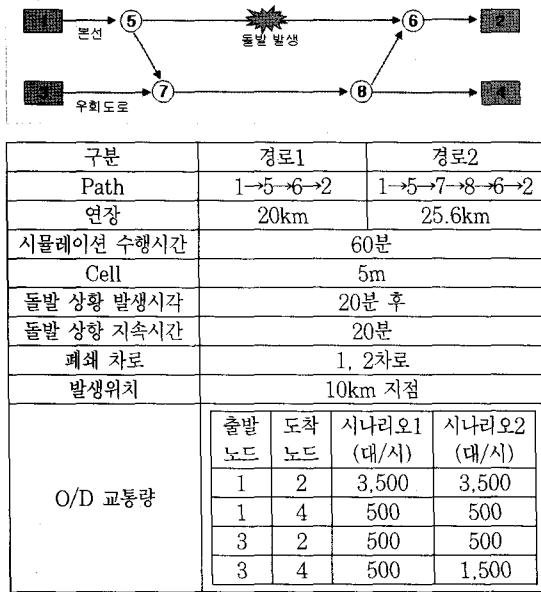
시뮬레이션 모형의 구성은 O/D별 차량발생 및 Path 지정 모듈, 차간거리(Gap)산정 모듈, 차량전이 모듈(차량추종, 차로변경), 돌발 상황 모듈, 결과 값 출력 모듈의 다섯 가지 모듈로 구성되어 있으며, 이를 구현하기 위해 Matlab 6.5을 사용하였다.

<그림 3>은 본 연구에서 구현한 교통류 시뮬레이션 모형의 전체 흐름도이다.

1) 모의실험

모의실험 대상 네트워크는 8개 노드와 8개 링크로 구성된 연속류 가로망으로, 본선구간과 우회도로 구간 그리고, 진·출입 Ramp가 포함된 네트워크 구조이다.

본선구간의 차로수는 편도 3차로이며, 우회도로 구간은 편도 2차로, 진·출입 Ramp는 각각 1차로로 설정하였다. 구간별 최대속도는 본선의 경우 108km/h(6cell/초) 이고, 우회도로는 90km/h(5cell/초), 진·출입 Ramp는 54km/h(3cell/초)로 하였다. 또한 각 구간의 시뮬레이션 구간의 길이는 본선구간은 20km이고 우회도로는 25km, 진·출입 Ramp는 각각 300m로 하였다. 돌발 상황은 본선 시작 노드에서 10km 지점에 1, 2차로를 폐쇄하여 시뮬레이션 시작 후 20분이 되는 시점에 발생 시키었다. 한편 돌발 상황의 지속시간은 20분으로 하였다. 또한 우회도로의 교통량에 따라 본선의 경로전환율이 달라진다는 판단 하에 우회도



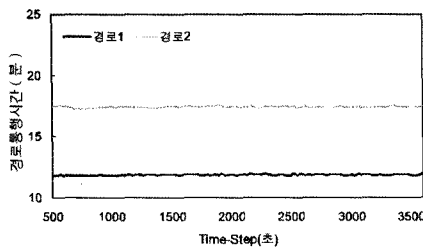
〈그림 4〉 모의실험 네트워크 구조

로의 유입교통량이 1000대/시와 2000대/시로 나누어 분석하였다.

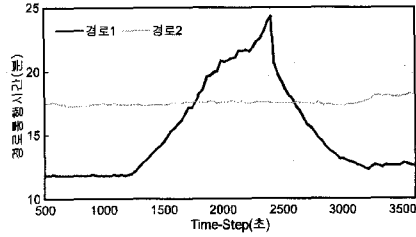
〈그림 4〉는 모의실험에 가로망 구조를 나타낸 것이다.

2) 분석결과

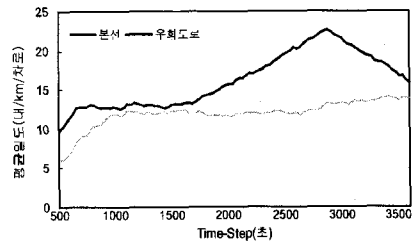
〈그림 5〉에서 보듯이 돌발 상황이 발생하지 않았을 경우에는 경로1, 경로2 모두 교통류가 자유류 상태에서 통행시간으로 일정한 분포를 유지하다가 〈그림 6〉에서 보듯이 돌발 상황이 발생하는 시점인 1200초(20분)부터 대기행렬로 인해 통행시간이 증가하여 교통상황이 악화되는 것을 볼 수 있다. 또한, 돌발 상황이 종료되는 시점인 2400초(40분)부터는 대기행렬의 해소로 인해 통행시간이 감소하여 돌발 상황 발생 전 교통상황으로 회복되는 것을 볼 수 있다. 〈그림 7〉과 〈그림 8〉은 돌발 상황에 따른 본선과 우회도로의 평균밀도와 총 통행시간의 변화를 나타낸 것이다.



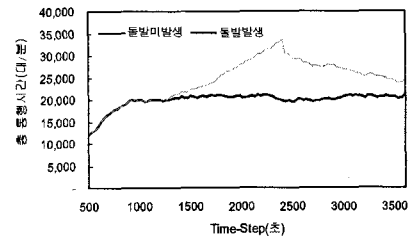
〈그림 5〉 돌발상황 미발생시 경로통행시간



〈그림 6〉 돌발상황에 따른 경로통행시간변화



〈그림 7〉 돌발상황에 따른 평균밀도 변화



〈그림 8〉 돌발상황에 따른 총통행시간 변화

2. 최적경로전환을 산정 방법

VMS 교통우회전략에서 돌발 상황으로 인해 혼잡이 발생하면 지체의 감소를 극대화 할 수 있는 시간대별로 최적의 우회교통량이 산정되어야 한다.

본 연구에서 최적경로전환율은 앞 절에서 설명한 가상의 모의네트워크에 적용하여 체계적 모형을 바탕으로 다음과 같은 목적함수를 최소화 하는 해를 CA 차량행태모형을 통해 산정하였다.

$$Min Z(D_r) = \sum_t \sum_a x_a^{D_r}(t) \cdot k_a^{D_r}(t)$$

- 여기서,  $x_a$  : 링크 a의 예측 링크교통량
- $k_a$  : 링크 a의 예측 통행시간
- t : 돌발 상황 발생 시점

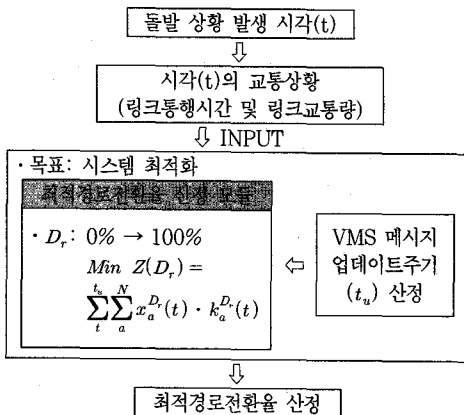
$t_u$  : VMS 메시지 업데이트 주기  
 $D_r$  : 경로전환율 (단,  $0\% \leq D_r \leq 100\%$ )

CA 차량행태모형을 이용하여 최적경로전환율을 산정하는 방법은 다음과 같다.

- i. 돌발 상황이 발생하면 그 시점의 예측된 교통상황을 최적경로전환율 산정 모듈에 입력한다. 여기서 입력 자료는 각 차량의 속도와 위치, 링크통행시간, 링크교통량이다. 여기서 링크통행시간은 링크에 있는 각 차량들의 공간평균통행속도와 링크거리를 이용하여 산정한다.
- ii. 최적경로전환율 산정 모듈에서는 VMS 업데이트 주기( $t_u$ )까지 경로전환율( $D_r$ )을 1%부터 100%까지 증가하면서 목적함수 값을 계산 한다.
- iii. 목적함수가 최소가 되는 경로전환율( $D_r$ )을 산정한다.

이때, VMS 메시지 업데이트 주기( $t_u$ )를 결정하는 것은 매우 중요하다. 만약 메시지의 업데이트가 너무 빠르면 운전자는 자주 변화는 메시지에 대해 혼란 느끼고, 정보에 대한 신뢰성이 떨어지게 되어 시스템에 바람직하지 못한 영향을 줄 것이다.

본 연구에서는 VMS 메시지 업데이트 주기( $t_u$ )를 3분으로 가정하여 분석하였다. 그 이유는 차량들이 우회하여 네트워크에 변화가 있는 시간이 최소 3분 정도의 시간이 적절한 것으로 판단되었으며, 3분 동안 VMS 메시지를 제공하여 시스템 전체의 교통상황이 반영된



〈그림 9〉 최적경로전환율 산정과정

경로전환율을 시간대별(3분주기)로 반영함으로써 정보의 역효과를 방지하고자 한다. 이상의 최적경로전환율 산정 알고리즘을 도식화면 〈그림 9〉와 같다.

## N. 운전자의 경로전환 모형구축

### 1. 모형설정 및 자료수집

운전자의 경로전환 의사결정에 미치는 요인으로는 통행자 특성, 통행특성, 경로특성, 정보특성, 과거경험 등이 있다. 그러나 통행자 특성, 통행특성, 과거경험은 시스템 운영자가 제어할 수 없는 특성이며, 본 연구의 쟁점이 교통관리시스템으로서 VMS는 어떠한 교통정보를 제공해야 하는가? 라는 점에서 정보특성에 따른 운전자의 경로전환행태를 살펴보고자 한다. 또한 운전자가 취득할 수 있는 정보는 관측정보와 매체정보로 구분하였으며, 관측정보로는 대기행렬(queue)을, 매체정보로는 VMS 메시지 강도를 고려하였다.

본 연구에서는 VMS 메시지에 표출되는 정보내용을 제공정보내용의 상세성과 운전자의 행동을 요구하는 정보의 적극성에 따라 〈표 1〉과 같이 크게 단순현황정보, 판단보조정보, 유도·권고 정보 3단계로 분류하였다.

〈표 1〉 VMS 제공정보 내용

구분	제공정보내용
단순현황정보	· 사고발생정보
판단보조정보	· 본선 통행시간 · 우회도로 소통정보
유도· 권고 정보	· 본선 통행시간 · 우회도로 소통정보 · 우회경로안내

〈표 2〉 VMS 메시지 강도

강도	제공정보단계	제공정보내용	VMS 메시지
1	단순현황정보	· 사고발생정보	
2	판단보조정보	· 본선 통행시간	
3		· 본선 통행시간 · 우회도로 소통정보	
4	유도· 권고정보	· 우회경로안내	
5		· 본선 통행시간 · 우회경로안내	
6		· 본선 통행시간 · 우회도로 소통정보 · 우회경로안내	



또한 위의 분류를 바탕으로 각 단계의 대표적인 제 공정보내용을 조합하여 VMS 메시지의 강도를 <표 2> 와 같이 6단계로 구분하였다.

경로전환 모형은 VMS 메시지 강도에 따라 운전자가 경로 전환 여부를 선택하는 이항로짓모형(binary logit model)이며, 모형의 효용함수는 다음과 같다.

$$U_{\epsilon} = V_{\epsilon} + \epsilon_{\epsilon}$$

$$U_{jn} = V_{jn} + \epsilon_{jn}$$

- 여기서,  $i$  : 우회하는 대안
- $j$  : 우회하지 않는 대안
- $V_{\epsilon}$  : 우회하는 경우의 결정적 효용
- $V_{jn}$  : 우회하지 않는 경우의 결정적 효용
- $\epsilon_{\epsilon}, \epsilon_{jn}$  : 확률적 효용

따라서 개인  $n$ 이 대안  $i$ 와  $j$ 를 선택할 확률은 다음과 같다.

$$P_n(i) = \frac{e^{V_{\epsilon}}}{e^{V_{\epsilon}} + e^{V_{jn}}} = \frac{1}{1 + e^{-(V_{\epsilon} - V_{jn})}}$$

$$P_n(j) = 1 - P_n(i)$$

여기서, 결정적 효용요소의 차를 다음과 같이 나타 내었다.

$$V = (V_{\epsilon} - V_{jn}) = ONE + \beta Queue + \sum_{k=2}^6 \alpha_k VMS_k$$

여기서,  $ONE$  : 메시지 강도 1에 대한 경로변경 대안특유상수

$Queue$  : 대기행렬 관측유무를 나타내는 더 미설명변수

$VMS_k$  : VMS 메시지 강도  $k$ 에 따른 더미 설명변수

$\alpha_k$  :  $VMS_k$ 의 계수

$\beta$  :  $Queue$ 의 계수

모형정산을 위한 자료수집은 시간과 비용을 절감할 수 있도록 실제 상황을 컴퓨터에서 보여주면서 응답자들이 조사에 응하게 하는 시뮬레이터를 활용한 인터넷

기반의 웹조사를 실시하였다.

대상 교통망은 주도로와 우회도로가 있는 모의 네트워크를 설정하였으며 각 경로의 특성은 <표 3>과 같이 가정하였다.

자료 수집은 대기행렬이 응답자의 시야에 관측되는 경우와 관측되지 않는 경우로 구분하고, 6단계의 강도를 나타내는 각각의 VMS 메시지를 응답자에게 제공하였을 경우 우회도로로 전환하는 운전자의 반응 자료를 수집하였다. 이때 응답자의 반응은 경로전환의지(Willingness to Divert)를 5가지의 척도(scale)로 구분하여 응답자가 선택하게 하였다. 여기서 척도가 1인 경우는 경로변경을 하겠다는 의지가 거의 없는 상태이며, 5일 경우는 경로변경의 의지가 매우 강한 경우를 말한다.

또한 VMS 메시지 강도를 1부터 6단계까지 1 사람에게 순차적으로 질문 할 경우 응답자의 선택에 방향성 편 의(directional bias)가 있을 가능성이 있어 이를 피하기 위해 각각의 질문을 무작위(random)로 질문하였다.

조사 대상자 운전경험이 있는 운전자를 대상으로 하였으며, 본 논문의 목적이 시스템 최적상태를 달성할 수 있는 시간대별 최적경로전환율을 VMS라는 매체를 통해 어떠한 방법으로 제어할 수 있는가?라는 점에서 표본수가 다소 적은 총 48명의 응답자중 선택의 기준 이 모호한 10명의 응답을 제외한 38명의 설문을 확보 하였다. 따라서 총 유효 표본 수는 1사람당 6개의 질문에 답하도록 하여 228개 된다. <그림 10>부터 <그림 12>는 조사가 수행될 때 응답자에게 표출되는 화면

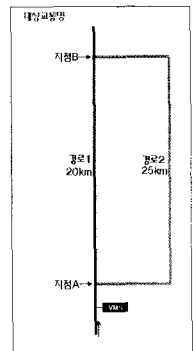
<표 3> 모의네트워크 특성

구분	주 이용경로	평소 통행시간(분)	연장(km)
경로1	○	8분	20km
경로2	×	12분	25km

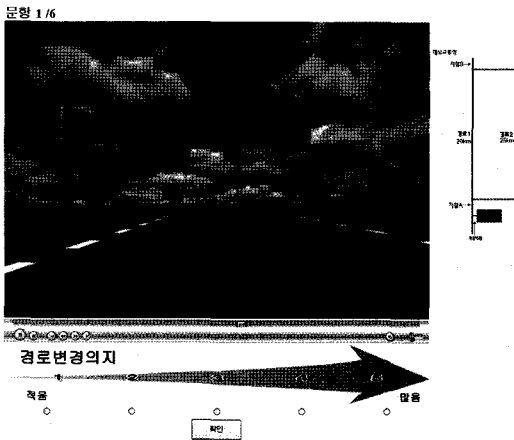
본 조사의 목적은 VMS(차량정보전송)의 교통정보내용에 따른 운전자들의 노선선택행태 차이를 수집하는 것입니다.

- 우측의 교통망은 두 가지 다른 경로를 표현한 것입니다.
- <가령>
- 1) 귀하는 비혼도시 업무목적의 통행을 합니다.
- 2) 귀하는 평소 경로1을 이용하여 통행을 합니다.
- 3) 경로1(지점A → 지점B) 평소 통행시간 8분 정도 소요.
- 4) 경로2(지점A → 지점B) 평소 통행시간 15분 정도 소요.

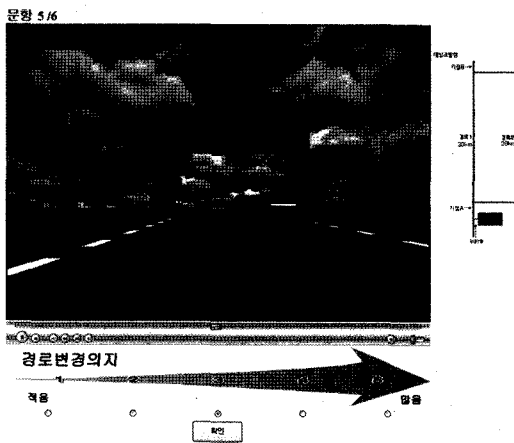
<설명대상>  
교통망에 표시된 VMS가 없으면(상 60km/h)의 제1인 교통정보를 제공하였을 경우 귀하여 평소 운전행태를 그대로 고수(노선선택)를 하도록 하여 선택하여 주시기요.



<그림 10> 조사개요 설명화면



〈그림 11〉 교통정보 표출화면(대기행렬 미관측)



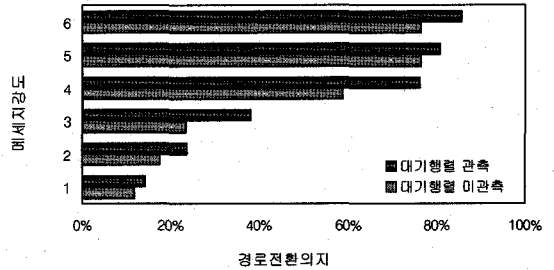
〈그림 12〉 교통정보 표출화면(대기행렬 관측)

〈표 4〉VMS 메시지 강도에 따른 선호도(대기행렬미관측)

메시지 강도	경로전환의지(Willingness to Divert)					계(%)
	1(%)	2(%)	3(%)	4(%)	5(%)	
1	11.8	41.2	35.3	11.8	0.0	100
2	17.6	35.3	29.4	5.9	11.8	100
3	11.8	29.4	35.3	11.8	11.8	100
4	11.8	17.6	11.8	35.3	23.5	100
5	5.9	11.8	5.9	47.1	29.4	100
6	5.9	5.9	11.8	35.3	41.2	100

〈표 5〉VMS 메시지 강도에 따른 선호도(대기행렬 관측)

메시지 강도	경로전환의지(Willingness to Divert)					계(%)
	1(%)	2(%)	3(%)	4(%)	5(%)	
1	23.8	33.3	28.6	9.5	4.8	100
2	19.0	23.8	33.3	14.3	9.5	100
3	9.5	28.6	23.8	23.8	14.3	100
4	4.8	4.8	14.3	42.9	33.3	100
5	0.0	9.5	9.5	52.4	28.6	100
6	0.0	4.8	9.5	28.6	57.1	100



〈그림 13〉 대기행렬 관측유무에 따른 선호도

의 예이다.

〈표 4〉와 〈표 5〉는 6가지 VMS 메시지 강도에 따른 운전자의 선호도를 조사한 표이다.

〈그림 13〉은 메시지 강도에 따라 경로전환의지가 4 이상인 응답자의 선호도를 대기행렬 관측 유무에 따라 나타낸 것이다. 각 메시지 강도별로 대기행렬이 관측 될 때 경로를 전환하려는 선호가 강한 것으로 나타났다.

## 2. 모형추정 및 결과

웹조사에서 수집된 척도(scale) 자료를 이용하여 이항로짓모형을 추정하기 위해서는 응답자가 반응한 척도를 이항 선택(Yes/No)으로 수정하여야 한다. 본 연구에서는 경로전환의지(Willingness to Divert)가 4 이상인 응답만을 경로를 전환한다고 가정하여, 모형의 종속변수를 결정하였다.

모형정산에는 LIMDEP을 사용했으며, 이항로짓모형(binary logit model)의 추정결과는 〈표 6〉과 같다.

모형 추정 결과 변수 ONE의 부호가 음(-)으로 추정되었다. 변수 ONE는 운전자의 경로전환의지 대한 대안특유상수(alternative specific constant)로 운자들은 기본적으로 원래 주행하던 경로에서 우회도로로 전환을 회피하는 경향이 있기 때문에 합리적인 부호가 도출되었다고 볼 수 있다.

변수  $VMS_2 \sim VMS_6$ 까지 정보 제공의 강도가 증가함에 따라서 계수 값이 양(+)으로 증가되는 것을 볼 수 있다. 이는 VMS가 표출하는 정보가 보다 구체적이고 상세할수록, 그리고 운전자의 행동을 유도하는 메시지 일수록 운전자가 경로를 전환하고자 하는 확률은 높아지는 것으로 해석할 수 있다. 또한 변수 Queue는 대기행렬의 관측 유무에 따라 운전자에게 동일한 강도의 매체 정보를 제공하여도 경로 전환에 미치는 영향은 달라질 수 있음을 보여준다. 변수 Queue의 계수는 양(+)

의 값으로, 운전자는 전방의 교통상황을 대체 정보를 통해 인지하고 있더라도 운전자가 직접 관측한 교통상황이 혼잡하다고 인식할 때 경로를 전환하고자 하는 확률은 높아진다고 할 수 있다.

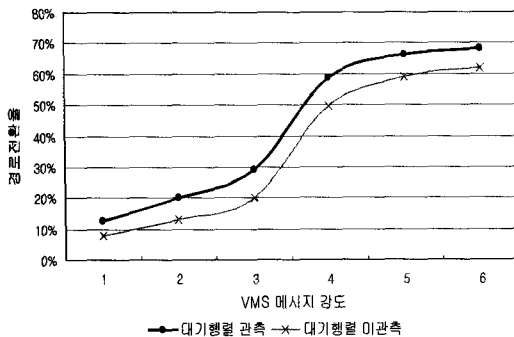
각 변수들의 t 통계량이 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났으며, 모형 전체의 통계적 유의성을 검증하기 위해 검정통계량  $-2[L(0)-L(\beta)]$ 을 계산한 결과 79.79로 나타나 대안 특유상수를 포함한 모든 파라미터가 0이라는 귀무가설( $H_0$ )을 기각할 수 있어, 추정한 가설 모형이 전체적으로 믿을 수 있는 것으로 판정할 수 있다.

모형의 전체의 적합도(goodness of fit)를 나타내는 통계량인  $\rho^2=0.253$ ,  $\bar{\rho}^2=0.208$ 으로 추정된 모형이 비교적 양호한 적합도를 가지는 것으로 평가 할 수 있다.

이러한 결과는 VMS에서 표시되는 정보의 강도를 조정함으로써 운전자의 경로전환행태에 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 즉, 교통망에 돌발 상황이 발생 하였을 경우 VMS 정보의 강도를 통제(control) 함으로서 네트워크의 최적상태를 유도할 수 있다는 것이다.

〈표 6〉 교통정보에 대한 로짓모형 추정 결과

변수	Coefficient	표준오차	t-statistic
ONE	-2.2076	.5357	-4.121
Queue	.5337	.3281	1.626
VMS <sub>2</sub>	.5706	.6288	.907
VMS <sub>3</sub>	1.1263	.5979	1.884
VMS <sub>4</sub>	2.6987	.5991	4.504
VMS <sub>5</sub>	3.2548	.6347	5.129
VMS <sub>6</sub>	3.4231	.6447	5.310
Number of observations	228		
L(0)	-158.0025		
L(β)	-118.1061		
$\rho^2$	0.253		
$\bar{\rho}^2$	0.208		



〈그림 14〉 VMS 메시지 강도에 따른 경로전환율

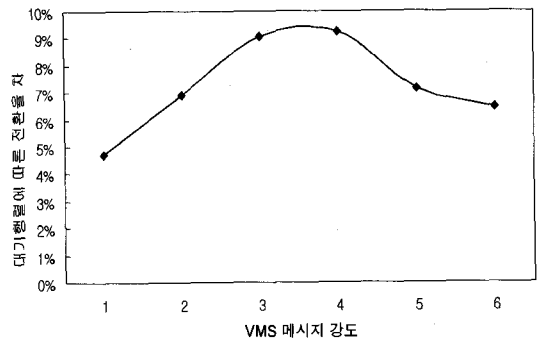
위의 〈그림 14〉는 경로전환 모형을 이용하여 VMS 메시지 강도에 따른 운전자의 경로전환율을 나타낸 것이다.

운전자에게 단순현황 또는 판단보조정보(메시지 강도 1, 2 3)를 제공하였을 경우 경로전환율은 약 30% 미만으로 나타났으며, 운전자에게 직접적으로 경로전환을 유도·권고하는 정보(메시지 강도 4, 5 6)를 제공하였을 경우 약 50% 이상의 전환율을 보였다. 이는 돌발 상황이 매우 심각하지 않은 상황에서 유도·권고 정보를 제공하였을 경우에는 오히려 교통정보의 과잉반응(overreaction) 문제가 발생할 수 있다.

또한 대기행렬 관측 유무에 따라 운전자의 경로전환율은 약 4%~9% 정도의 차이를 보이며 메시지 강도 3, 4에서 가장 많은 차이를 보이고 있다. 이는 메시지 강도가 극단적으로 낮거나, 높은 경우, 극단적인 메시지에 의해 운전자의 경로변경의지가 대기행렬 관측 유무에 따라 민감하게 반응하지 않는 반면, 메시지 강도가 중간정도의 정보를 제공하였을 경우 운전자는 직접 관측한 교통상황의 혼잡에 따라 경로를 변경하려는 의지가 민감하게 반응하기 때문인 것으로 판단된다.

〈그림 15〉는 대기행렬 관측 유무에 따른 운전자의 경로전환율 차이를 나타낸 것이다.

〈표 7〉은 VMS 최적 정보내용을 결정하기 위한 경로전환율의 범위를 나타낸 것이다.



〈그림 15〉 대기행렬 관측 유무에 따른 경로전환율차

〈표 7〉 메시지 강도 결정

대기행렬	VMS 메시지 강도					
	1	2	3	4	5	6
유	0	12.6%	19.9%	29.3%	58.9%	66.3%
	~	~	~	~	~	~
무	0	7.9%	13.0%	20.3%	49.6%	59.2%
	~	~	~	~	~	~
	7.9%	13.0%	20.3%	49.6%	59.2%	61.7%

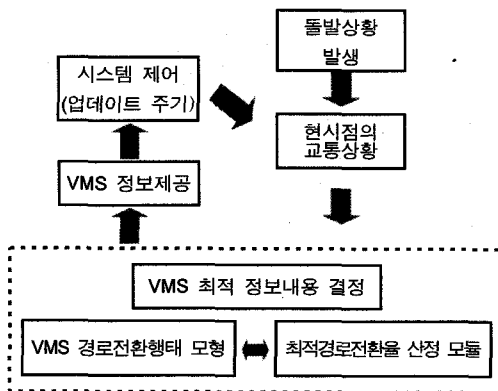
### V. 최적 VMS 정보내용 결정

#### 1. 최적경로전환을 및 VMS 최적정보내용 결정

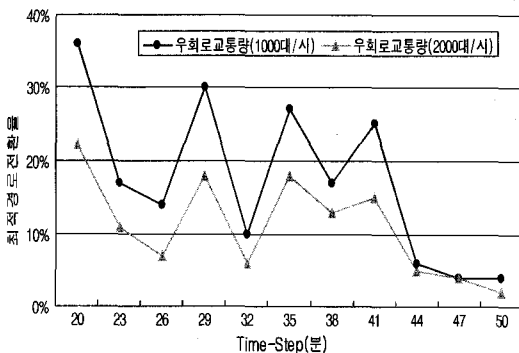
돌발 상황이 발생하면 시스템의 최적상태를 위한 경로전환을 산정하고, VMS에서는 이를 제어하기 위한 최적의 정보를 결정하여 제공하여야 한다. 이를 위해 앞에서 수행한 모의실험 CA 시뮬레이션 모형의 최적경로전환을 모듈과 경로전환행태모형을 이용해 돌발 상황에 따른 시간대별 최적경로전환율과 이를 제어 할 수 있는 VMS 최적 정보내용을 VMS 정보제공 업데이트 주기마다 산정하였다. 본 연구에서 VMS 최적 정보내용을 결정하는 과정을 도식화 하면 <그림 16>과 같다.

<그림 17>은 돌발 상황 발생 후부터 <그림 14>의 과정을 통해 산정된 시간대별 최적경로전환율이다.

돌발 상황 발생 시점 초기의 최적경로전환율은 우회도로의 교통량이 1000대/시 일 경우 36%, 2000대/시 일 경우 22%로 산정되었다. 이는 우회도로의 교통



<그림 16> VMS 최적 정보내용 결정 과정



<그림 17> 시간대별 최적경로전환율

상황에 따른 차이이며 전체적으로 우회도로의 v/c가 낮을 때 시스템의 최적상태 달성을 위한 우회교통량이 많이 산정되었다.

이렇게 산정된 전환율을 제어하기 위한 VMS 정보내용을 경로전환행태모형을 통해 결정하고 VMS 정보제공 업데이트 주기 동안 결정된 정보를 제공하였고 이러한 반복과정을 통해 시스템을 제어한 결과 돌발 상황이 발생하여 교통류가 회복하는 시점까지 대기행렬에 따라 최적경로전환율이 변화하는 현상을 보이며, 전체적으로는 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 기존의 정적인 최적경로전환율과는 달리 시스템을 제어 하면서 유동적으로 변화하는 본선과 우회도로의 교통상황이 반영된 경로전환율이라 할 수 있다. 따라서 정보의 과잉반응(overreaction) 문제를 해결하기 위한 다양한 정보제공전략을 수립할 수 있을 것이다.

<표 8>과 <표 9>는 최적경로전환율에 따라 결정된 VMS의 최적 제공정보내용을 우회도로의 유입교통량에 따라 시간대별로 나타낸 것이다.

<표 8> VMS 정보내용(우회도로 유입교통량 2000대/시)

분석시간(초)	메시지 강도	최적 제공정보
돌발상황	4	[Redacted]
3분후	3	[Redacted]
6분후	2	[Redacted]
9분후	4	[Redacted]
12분후	2	[Redacted]
15분후	3	[Redacted]
18분후	2	[Redacted]
돌발종료	3	[Redacted]
3분후	1	[Redacted]
6분후	1	[Redacted]

〈표 9〉 VMS 정보내용(우회도로 유입교통량 1000대/시)

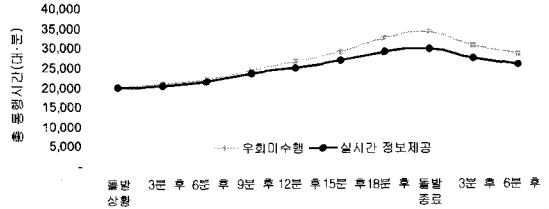
분석시간(초)	메시지 강도	최적 제공정보
돌발상황	3	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)
3분후	2	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)
6분후	1	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)
9분후	2	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)
12분후	1	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)
15분후	2	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)
18분후	2	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)
돌발종료	2	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)
3분후	1	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)
6분후	1	지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%) 지정A → 지정B, 지정C로 우회(20%)

2. 시스템의 성능 평가

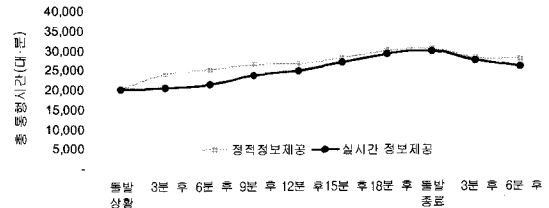
결정된 VMS의 정보내용에 따라 교통류를 제어했을 때 시스템의 성능을 평가하여 보았다.

〈그림 18〉은 상류부 교통량을 우회시키지 않았을 경우와 산정된 최적경로전환율에 따라 VMS 정보내용을 제공하였을 경우 시스템의 총 통행시간(대·분)을 비교한 것이다. 총 통행시간의 절감분이 돌발 상황 발생 시점부터 증가하다가 종료시점부터 감소하는 것을 볼 수 있다.

〈그림 19〉는 정적(static)인 최적경로전환율(일률적으로 40%)을 적용시켰을 경우와 본 연구에서 결정된 VMS 정보내용에 따라 시스템을 제어하였을 경우 총 통행시간(대·분)을 분석한 것이다. 일률적인 전환율을 적용하였을 경우 보다 본 연구에서 결정된 VMS 정보내용을 제공하여 시스템을 제어하였을 경우 총 통행시간이 절감되는 것을 볼 수 있다. 이는 정적인 경로전환율로 시스템을 제어하는 것 보다 변화하는 교통상황에 따라 정보를 갱신하여 실시간으로 제공하였을 경우 시스템을 보다 효율적으로 관리할 수 있을 것이다.



〈그림 18〉 우회미수행과 실시간 정보제공 비교



〈그림 19〉 정적 전환율과 실시간 정보제공 비교

VI. 결론

1. 연구의 결론

본 연구에서는 첨단교통정보체계(ATIS)의 유용한 정보제공수단 중에 하나인 VMS의 최적 정보내용에 대한 연구를 수행하였다. 즉, 시스템 제어측면의 VMS 교통우회전략을 수립함에 있어 기존의 정적(static)인 경로전환율의 한계를 극복하고자 CA 기반 교통류 시뮬레이션을 모형을 이용하여 돌발 상황에 따른 통행시간 및 대기행렬의 변화가 반영된 시간대별 시스템 최적경로전환율 산정방법을 도출하였고, VMS 메시지 내용 및 강도에 대한 운전자의 반응을 이항로짓모형(binary logit model)을 통해 모형화 하여 시스템 최적상태의 달성을 위한 VMS의 시간대별 정보내용 및 강도를 결정하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 운전자의 경로전환행태모형을 구축한 결과 VMS가 표출하는 정보가 보다 구체적이고 상세할수록, 그리고 운전자의 행동을 유도하는 메시지일수록 운전자가 경로를 전환하고자 하는 의지가 높아지는 것으로 나타났다. 또한 대기행렬의 관측 유무에 따라 운전자에게 동일한 강도의 매체 정보를 제공하여도 경로 전환에 미치는 영향은 달라 질 수 있음을 보였다. 즉, 운전자는 전방의 교통상황을 매체 정보를 통해 인지하고 있더라도 운전자가 직접 관측한 교통상황이 혼잡하다고 인식할 때 경로를 전환하고자 하는 확률이 높아짐을 알 수

있었다. 둘째, CA 기반 교통류 시뮬레이션을 모형을 이용한 최적경로전환을 모듈과 운전자 경로전환 모형을 통해 VMS의 시간대별 정보내용 및 강도를 결정할 수 있었으며, 이러한 시간대별로 갱신되는 최적의 정보를 제공함으로써 시스템의 성능이 보다 개선될 수 있음을 보였다.

이러한 결과는 VMS에서 표출되는 정보의 강도를 조정함으로써 운전자의 경로전환행태에 영향을 미칠 수 있다는 것이며 교통망에 돌발 상황이 발생 하였을 경우 VMS 정보의 강도를 통제(control) 함으로서 네트워크의 최적상태를 유도할 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구는 첨단교통관리시스템의 VMS 교통우회전략을 수립함에 있어서 운전자에게 보다 정확하고 유용한 정보를 제공하고 유동적인 교통상황에 대해 대처를 할 수 있는 VMS 정보내용에 대한 기초적인 판단기준을 제시함에 의의가 있을 것이다.

## 2. 연구의 향후과제

본 연구를 수행함에 있어 향후 개선, 발전시키기 위해 다음과 같은 연구가 수행되어야 할 것이다.

첫째, 본 연구에서는 최적경로전환을 도출함에 있어 전환을 산정 업데이트 주기를 3분으로 고정하였다. 메시지의 업데이트가 너무 빠르면 운전자는 자주 변화는 메시지에 대해 혼란 느끼고, 정보에 대한 신뢰성이 떨어지게 되어 시스템에 바람직하지 못한 영향을 줄 것이다. 따라서 VMS 메시지 업데이트 주기를 결정하는 것은 매우 중요한 과제이며 최적경로전환을 산정하는 과정에서 메시지 업데이트 주기를 결정하는 방법론에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

둘째, 경로전환행태모형을 구축함에 있어 매체정보로는 VMS 정보내용과 관측정보로는 대기행렬의 관측 유무만을 고려하여 하였다. 그러나 운전자의 경로전환에 미치는 매체정보는 라디오 정보, 개인 차량내비게이션 등 복합적으로 제공되고 있으며, 또한 운전자는 대기행렬뿐만 아니라 속도나 지체시간 등 다른 요인에 의하여 교통상황을 판단한다. 또한 VMS 메시지 강도를 메시지 내용 뿐만 아니라 차별화된 글자색상 및 단순화된 그림 형태로 설정하고자 한다. 따라서 이러한 다양한 요인들이 향후 경로전환행태모형에 반영되어야 할 것이다.

셋째, 본 연구에서는 최적경로전환을의 산정 및

VMS 최적 정보내용의 결정을 가상의 데이터를 이용한 모의실험을 통하여 분석하였다. 따라서 실제 사례지역을 대상으로 현장 데이터를 이용하여 다양한 돌발 상황의 유형 및 교통조건, 도로조건에 대한 분석이 요구된다.

넷째, 돌발 상황이 발생한 지점에서 가장 근접한 VMS만을 고려하여 정보내용을 결정하였으나 상황발생 지점을 정보제공영역으로 하는 상류부 및 그 이상의 공간적 범위의 네트워크 차원의 접근에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 김상신(1999), 고속도로 교통축에서 교통우회시스템의 개발, 한양대 석사학위논문.
2. 김혜란·전경수·박창호(2004), 관측 교통정보를 이용한 통행중 경로전환행태 모형, 대한교통학회지, 제22권 제3호, 대한교통학회, pp.137~144.
3. 도로안전시설 설치 및 관리 지침 -도로전광표지 편-, 건설교통부, 1999. 11.
4. 이승재·장현호(2003), CA모형을 이용한 단기 구간통행시간 예측에 관한 연구, 대한교통학회지, 제21권 제1호, 대한교통학회지, pp.91~102.
5. 이청원(2000), 서울시 첨단교통정보체계(ATIS) 구현을 위한 기본연구, 서울시정개발연구원.
6. 이청원(2001), 서울시 동적 교통정보제공을 위한 기본연구, 서울시정개발연구원.
7. 석종수(2003), 교통정보에 의한 경로전환모형 적용성에 관한 연구, 영남대학교 박사학위논문.
8. 조중래·김진구·고승영·김채만(2001), CA모형을 이용한 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 연구, 대한교통학회지, 제19권 제3호, 대한교통학회, pp.133~144.
9. 천승훈·노정현(2001), CA(Cellular Automata) 모형을 이용한 고속도로 돌발상황 영향 분석 교통 시뮬레이션 모형 개발, 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.219~227.
10. Bonsall, P.(1992), The Influence of Route Guidance Advice on Route Choice in Urban Networks, Transportation 19, pp.51~73.
11. Bonsall, P. and palmer, I.(1997), "Do Time-Based Road User Charges Induce Risk-

- Tasking?-Result Form a Driving Simulator, Traffic Engineering and Control, Bol.38, No.4.
12. Cho, Hye-Jin, 1998, Route Choice Responses to Variable Road User Charges and Traffic Information, Ph.D. Dissertation, University of Leeds.
  13. Hato, E., M. Taniguchi, Y. Sugie, M. Kuwahara and H. Morita(1999), Incorporating an Information Acquisition Processing into a Route Choice Model with Multiple Information Sources, Transportation Research Part C, vol.7, pp.109~129.
  14. Khattak, A. and J. Schofer and F. Koppelman (1993), Commuter's Enroute Diversion and Return Decision: Analysis and Implication for Advanced Traveler Information.
  15. K. Nagel and M. Schreckenberg(1992), A Cellular Automat on Model for Freeway Traffic." J . Phys . I, 2, 2221.
  16. Moshe Ben-Akiva and Steven R. Lerman (1987), Discrete Choice Analysis, MIT Press.
  17. Peeta, S, Ramos, J., and Raghubhushan, P.(2000), Content of Variable Message Signs and On-line Driver Behavior, Transportation Research Record 1725 pp.102~108.
  18. Peeta, S, Gedela, S(2001), Real-Time Variable Message Sign-Based Route Guidance Consistent with Driver Behavior, TCRP Research results digest, Vol.- No.1752.
  19. Seung-Won Shin, Seong Namkoong, Jong-Uk Choi(1999), Analysis of Congested Traffic Flows on Highway Based on CA Simulation and Hydrodynamic Model, ITS Toronto.
  20. TRANSIMS(2001), TRANSIMS version 3.1 Documents, Los Alamos National Laboratory.
  21. Wardman, M, Bonsall, P., and Shires, J. (1997), Driver Response to Variable Message Signs: A Stated Preference Investigation, Transportation Research Part C, Vol.5, No.6, pp.389~504.
  22. Wolfgang Knosp(1999), Ludger Santen, Andress Schadschneider, Michael Schreckenber, Physica A 256, pp.614~633.

✉ 주 작 성 자 : 이창우

✉ 교 신 저 자 : 이창우

✉ 논문투고일 : 2005. 7. 25

✉ 논문심사일 : 2005. 9. 12 (1차)  
2006. 10. 2 (2차)

✉ 심사판정일 : 2006. 10. 2

✉ 반론접수기한 : 2007. 4. 30