

■ 論 文 ■

교통상황에 따른 운전자의 경로선택과 학습행동에 관한 연구

Drivers' Learning Mechanism and Route Choice Behavior for Different Traffic Conditions

도 명 식

(한밭대학교 토목환경도시공학부 전임강사)

석 증 수

(인천발전연구원 연구위원)

김 명 수

(한밭대학교 토목환경도시공학부 부교수)

최 병 국

(인천발전연구원 연구위원)

목 차

- I. 서론
 - II. 기대형성 가설과 기존 연구
 - III. 교통환경의 변화에 따른 경로선택과 학습 행동
 - 1. 운전자의 경로선택 행동과 기대 형성
 - 2. 비정상 교통환경에서의 경로선택과 학습행동
 - IV. 운전자 학습행동의 모델링
 - V. 시뮬레이션
 - 1. 시뮬레이션의 방법
 - 2. 시뮬레이션의 결과 분석
 - VI. 결론
- 참고문헌

Key Words : 경로선택, 학습행동, 정상교통류, 비정상교통류, 학습계수

요 약

본 연구에서는 운전자의 경로선택과 각 경로에 대한 학습행동이 교통상황에 따라 어떻게 달라지는 가를 살펴보기로 한다. 즉, 주어진 환경 하에서 자신의 효용을 최대화(소요시간의 최소, 비용의 최소)하는 경로를 선택하는 운전자를 가정하여 교통상황에 따른 운전자의 행동을 모델화하고자 한다.

경로선택에 직면한 운전자는 자신이 획득 가능한 정보와 과거의 경험에 근거하여 각 경로의 주행시간 등의 교통조건을 예측하고 반복적인 경로선택 행동을 통해 각 경로의 주행조건 등에 대한 학습을 하게 된다. 이 때, 운전자의 경로선택과 학습 메커니즘은 각 경로의 교통상황에 따라 다르게 형성된다. 즉, 교통류 상황이 정상성(stationarity)을 띄고 있는지 혹은 비정상성(nonstationarity)을 띄고 있는지에 따라 운전자의 경로선택과 학습 메커니즘이 다르게 됨을 확인하였으며, 이 경우 사후적인(ex-post) 정보의 획득가능성이 운전자 학습행동의 수렴에 큰 영향을 미치고 있음도 알 수 있었다. 또한, 랜덤워크와 같은 비정상성을 따르는 교통환경에서 운전자는 경로의 조건에 대한 그들의 학습과정에서 학습계수(적응계수)는 각 경로의 특성에 따라 서로 다른 값으로 수렴함을 확인하였다.

나아가 시뮬레이션을 통해 운전자의 경로 환경에 대한 학습과정과 경로선택 행동을 구현하였으며, 향후 연구 방향에 대해 고찰한다.

I. 서론

경로선택문제에서 교통정보의 영향은 교통정보의 종류, 정보의 신뢰성, 표현 방법 등에 따라 달라지며 불확실한 상황에서 경로선택을 해야하는 운전자는 획득가능한 정보와 과거의 경험에 비추어 주행시간 등의 교통조건을 예측하게 된다. 운전자는 선택하고자 하는 경로에 대한 예측을 행하게 되며, 이러한 예측의 결과를 "기대(expectation)"라 부르기로 한다. 교통주체의 경로선택 경험이 미숙하거나 부족한 경우 개인의 기대는 타인이 관측할 수 없는 개인적인 인지 구조나 주관적인 믿음의 영향을 받게 될 것이다. 그러나 이러한 주관적인 기대나 인지와 실적치 사이에는 차이가 존재하며, 이 경우 주관적인 인지는 장기적인 경험을 축적한다해도 안정적으로 수렴할 가능성은 거의 없다.

특히 교통정보 시스템의 발달로 교통주체(운전자)는 자기의 기대와 제공된 교통정보의 정도에 민감해질 것이며, 이 과정에서 운전자가 일시적으로 교통조건(소요시간 등)에 대해 큰 차이의 기대를 가졌다하더라도 경로선택을 반복함으로써 네트워크의 교통조건에 대해 학습을 하게 될 것이다. 따라서 운전자의 경로선택행동을 표현하고자 하는 경우, 각 운전자가 설명변수의 값을 어떻게 예측할 것인가를 설명하는 모델이 필요하게 된다.

현실적으로 공공주체가 경로선택 이전에 운전자에게 소요예상시간을 알려 준다해도 운전자들이 예상소요시간이 적게 걸리는 경로를 모두 선택하리라는 보장이 없을뿐만아니라 경로의 조건에 대한 완전정보를 가질 수 없으므로 사용자 균형배분(user equilibrium distribution)과 시스템 최적배분(system optimum distribution)의 구현은 현실적으로 불가능하다. 따라서, 효과적인 교통정보의 제공을 위해서는 우선 운전자가 각 경로의 교통류의 특성에 대한 「예측-주행-학습」의 과정을 거치면서 행하게 되는 기대형성과정과 경로의 특성에 대한 관계의 규명이 선행되어야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 기대형성 가설 및 학습에 대한 문헌 고찰과 함께 운전자가 경로선택을 할 경우, 경험을 축적함과 동시에 각 경로의 환경에 대한 학습행동이 교통상황에 따라 어떻게 달라지는가를 살펴보기로 한다. 즉, 운전자가 직면하는 교통류

상황이 정상성(stationarity)을 띄고 있는지 혹은 비정상성(non-stationarity)을 띄고 있는지에 따라 운전자의 경로선택과 학습 메커니즘이 다르게 됨을 모델화하고, 나아가 사후적인(ex-post) 정보의 획득가능성이 운전자의 학습행동의 수렴에 어떠한 영향을 미치고 있는가도 살펴보기로 한다.

또한, 교통환경이 정상적인 조건하에서는 적응적기대(adaptive expectations) 형성모델은 합리적기대(rational expectations) 형성모델과 일치함을 증명하고자 한다.

II. 기대형성 가설과 기존 연구

거시 경제학에서 다루는 기대란 경제 행위자들이 이미 알고 있는 경제정보를 바탕으로 하여 경제상황의 변화를 반영해주는 미래에 대한 예측 행위를 말한다. 대표적인 기대형성가설로서 1)외삽적 기대형성가설, 2)적응적 기대형성가설, 3)합리적 기대형성가설 등을 들 수 있다(김효명, 1987).

미래의 예측에 관한 기대이론은 거시 경제학에 있어서 다음의 두 측면에서 큰 공헌을 하였다. 첫째는 미래의 기대가 지금까지 알고 있는 정보를 이용하여 어떻게 과학적으로 이루어지는가 하는 문제(기대형성)를 설명해주고 있는 점이며, 둘째는 일단 형성된 기대가 그 후 경제상황이 변화함에 따라 이를 기대형성에 어떻게 반영하는가 하는 문제(기대의 내생성)를 해결한 점이다. 그런데 이 두 문제를 해결하는데 큰 공헌을 한 이론이 합리적 기대가설(rational expectation hypothesis)이다(Muth, 1961; DeCanio, 1956; Bray and Savin, 1986).

종래의 기대이론은 경제적 선택행위에 있어서 미래에 대한 기대행위가 중요함을 지적하고 있지만, 기대를 주로 외생변수로 취급함으로써 미래에 대한 기대형성과 경제행위를 설명하기 위해서 사용된 경제모델 사이에 일관성이 결여되고 있다. 특히, 외삽적 기대가설이 그러하며, 적응적 기대가설은 비록 기대를 내생변수로 취급하였다고 하더라도 내생변수의 성격을 제한적으로 반영하였을 뿐만 아니라 경제상황이 변화한다고 하더라도 인간의 기대는 그대로 지속된다고 가정하였기 때문에 미래의 기대를 변화시키는데 경제상황의 변화가 충분히 반영되지 못하였다.

즉, 외삽적 기대(extrapolative expectation)형

성가설은 전기의 주행시간의 실적치뿐만아니고 그 변동의 정도에도 의존한다는 이론으로, t 기의 주행시간의 예측치 \hat{T}_t 는 $t-1$ 기의 주행시간의 실적치 T_{t-1} 와 $t-2$ 기의 주행시간의 실적치 T_{t-2} 의 함수로 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. η 는 기대계수라 불리며, η 이 양이면 과거의 경향이 지속되는 것으로 기대할 수 있으며, 음이면 과거의 경향이 역전되는 것으로 기대된다.

$$\hat{T}_t = T_{t-1} + \eta(T_{t-1} - T_{t-2}) \quad (1)$$

적응적 기대(adaptive expectation)형성가설은 Cagan (1956)에 의해 주창되었으며, 과거의 경험일수록 지수적으로 가중치가 감소하는 분포 래그(lag)를 가지면서 기대형성을 하는 특징이 있다. 적응적 기대가설은 t 기의 주행시간에 관한 예측치 \hat{T}_t 가 $t-1$ 기의 주행시간의 예측결과와 실적치와의 차이 ($T_{t-1} - \hat{T}_{t-1}$)를 설명변수로 사용하며 식(2)와 같이 나타낼수 있다.

$$\hat{T}_t = \hat{T}_{t-1} + \gamma(T_{t-1} - \hat{T}_{t-1}) \quad (2)$$

여기서, γ 는 적응계수라 불리며, 식(2)에서 알 수 있는 바와같이 적응적기대는 주행조건에 관한 과거의 경험의 가중평균으로서 표현할수 있게된다. 그러나 적응적 기대형성 가설은 기대형성과정을 최적화 행동의 결과로서 구현하지 못했다는 비판이 생기면서 최적화 행동의 결과로써 기대형성과정을 모델화하고자 하는 시도가 Muth(1961)에 의해 시도되어졌다. 그는 경제주체가 경제구조와 경제에 대한 과거지식에 대해 주어진 정보만을 가지고 있다는 제약하에서 가능한 한 정확하게 예측을 하려 할 경우, 어떠한 기대가 형성될수 있을까에 주안점을 두었다.

즉, 합리적기대는 통상의 개인행동의 효용최대화행동에서 채택되는 개인의 합리적행동을 기대형성에 도입하여, 기대도 주어진 정보하에서 예측오차를 최소화하는 최적화행동의 결과로서 형성된다고 생각하였다. 즉, 합리적기대(rational expectation)형성가설은 "합리적인 주체가 장기간에 걸쳐 학습행동을 할 경우, 그의 주관적인 기대는 객관적으로 실현되는 기대와 일치한다"라고 요약할 수 있다. 그 후 많은 경제학자들에 의해 발전되어 온 이론으로 교통환경에 접목하게 되면, 정상상태에서의 장기간에 걸친 운전자의

주관적기대는 객관적으로 실현되는 주행시간의 기대치와 일치한다고 표현할 수 있으며, 식(3)으로 나타낼 수 있다(Sheffrin, 1983; Kobayashi, 1994; 이정모, 2001).

$$\hat{T}_t = E_{\infty}[T_t] = \lim_{N \rightarrow \infty} N^{-1} \sum_{i=1}^N T_i \quad (3)$$

따라서 합리적 기대가설을 교통공학에 도입할 경우, 미래의 교통상황(예를 들어 소요시간)을 예측함에 있어 과거의 경험뿐만 아니라 소요시간에 영향을 미칠 수 있는 관련변수(요일특성, 기상특성, 행사 등)도 포함시켜 기대소요시간을 내생변수로 취급할 수 있게 된다.

그러나 합리적기대형성가설은 몇가지 비현실적인 가정에 근거하고 있음이 지적되고 있다(Do, 2001). 먼저, 교통조건이 변동이 정상적인 확률과정에 따르고 있음을 전제로 하고 있다. 즉, 교통조건이 정상적 확률과정을 따르는 경우, 교통주체의 주관적 기대는 장기적으로 합리적기대에 수렴한다. 그러나 실제 교통조건이 변동이 정상과정을 따른다는 보장은 없으므로, 비정상적인 과정에 따르는 경우의 운전자의 교통조건에 대한 기대형성과정을 모델화할 필요가 있다.

III. 교통환경의 변화에 따른 경로선택과 학습행동

1. 운전자의 경로선택 행동과 기대 형성

운전자가 경로선택에 앞서 예측하는 경로의 주행조건으로는 1)주행시간의 기대치, 2)주행시간의 분산, 3)주행시간의 확률분포 등을 들 수 있다. 한편, 운전자의 위험회피행동을 모델화하게 되면, 확률분포의 기대형성 메커니즘을 모델화 할 필요가 생긴다. 이하에서는 논의의 일반성을 확보하기 위해 운전자는 계속되는 경로선택의 경험을 축적하면서 경로의 주행조건에 대한 학습을 하게 되며 자신의 효용을 최대화할 것으로 판단되는 경로를 선택한다고 가정하자. 기대주행시간에 관해서만 합리적 기대를 형성할 경우 이하의 논의에서 특수한 경우로 다룰 수 있을 것이다.

기대형성 메커니즘(expectations formation mechanism)은 운전자가 과거의 경험과 현 시점에서 확

득한 경로정보에 기초해 경로의 주행조건을 예측하는 함수로써 나타낼 수 있다. t 기의 기수에서 어떤 운전자가 가지는 어느 경로의 주행시간에 관한 주관적기대 \hat{T}_t 를 그의 경험정보(과거의 주행에 대한 실적치) $\{T_{t-1}, T_{t-2}, \dots\}$ 및 과거의 주관적기대치 $\{\hat{T}_{t-1}, \hat{T}_{t-2}, \dots\}$ 의 함수로써 나타내면 식(4)와 같다.

$$\hat{T}_t = \phi(T_{t-1}, T_{t-2}, \dots; \hat{T}_{t-1}, \hat{T}_{t-2}, \dots) \quad (4)$$

식(4)는 운전자가 경험정보와 과거에 가졌던 주관적기대에 근거해 t 기의 경로주행시간에 관한 주관적기대를 형성하는 메커니즘을 나타내고 있으며, 본 연구에서는 이를 「기대형성메커니즘」이라 부르기로 한다.

한편, 교통정보와 운전자의 반응에 대한 연구는 많이 이루어져 왔다. Mahmassani(1990)와 Iida et al. (1992) 등은 과거의 시점에서의 주행시간의 예측결과와 실적치와의 차이 등을 설명변수로 운전자가 경로주행시간을 예측하는 시스템을 모델화 하였다. 그들은 경로선택에 관한 실사실험에 근거해 예측 메커니즘의 파라메타를 운전자 자신의 경험을 통해 추계하고 있다.

컴퓨터를 기반으로 하는 시뮬레이터를 개발하여 정보의 영향을 분석한 연구(Bonsall and Parry, 1991; Polak and Jones, 1993)와 교통정보의 이용비율의 변화가 정보 시스템의 효과에 미치는 영향에 대한 연구(Khattak and de Palma, 1997) 등이 있으며, Hu and Mahmassani(1997)는 출발시각과 경로선택간의 메커니즘을 고려한 배분 시뮬레이션모델을 구축하기도 하였다.

그러나, 운전자에 의한 파라메타의 추정 행동이 행동가설에 의해 설명되어야 하지만, 기존의 연구는 여기에 대해 아무런 언급이 없다. 또 파라메타 값이 시간적으로 안정적이기 위해서는 그것이 장기학습의 결과로써 정상치에 수렴한 것이어야만 한다. 운전자의 학습행동은 경로 주행 시간의 예측 메커니즘을 경험을 통해 축차 수정해 가는 메커니즘이다. 즉, 경로선택 행동이 미숙한 경우에는 '합리적 기대'를 형성할 수 없다.

또한 기존의 경로선택행동에 대한 모델링의 연구에서는 실제적으로 도로 네트워크상에서 관측되어지는 교통량의 변동이 정상성의 확률과정을 따른다는 암묵적인 가정하에서 이루어졌으며, 확률론적 균형분배

서도 교통환경의 정상성이 전제가 되었다.

저자 등이 제안한 모델에서도 교통주체가 예측하는 주행시간의 기대값은 장기적인 학습과정을 통해 객관적으로 실현되는 주행시간과 일치하는 환경하에서의 운전자의 경로선택과 기대형성을 다루었다(도명식의, 2000; Kobayashi, 1994). 그러나 운전자가 관측을 반복하는 환경이 비정상성을 띄고 있을 경우 운전자의 주관적인 기대는 합리적기대에 수렴한다는 보장은 없으며, 이러한 비정상 교통환경하에서 운전자의 경로선택과 이에 수반되는 학습과정에 대한 연구는 아직 초보적인 수준에 머물고 있는 실정이다(Do, 2001).

따라서 본 연구에서는 운전자가 경로선택을 할 경우, 경험을 축적함과 동시에 교통류의 변동상황에 따라 운전자의 학습프로세서가 어떻게 달라지는가를 살펴보기로 한다. 즉, 운전자가 직면하는 교통류 상황이 예측가능한가, 아니면 예측이 불가능한 랜덤워크(random walk)과정에 따르는가에 따라 운전자의 경로선택과 학습 메커니즘이 다르게 됨을 모델화하고, 이 경우 운전자의 경로 주행후에 주어지는 사후적인(ex-post) 정보의 획득가능성이 운전자의 학습행동의 수렴에 어떠한 영향을 미치는가도 살펴보기로 한다. 이 과정은 향후 공공주체(교통관리자)에 의한 효율적인 네트워크 관리와 정보의 제공을 위해 반드시 선행되어야 할 연구이며, 이를 바탕으로 교통정보의 제공 방법과 정보의 종류 등에 대한 연구가 이루어질 수 있을 것이다.

2. 비정상 교통환경에서의 경로선택과 학습행동

교통환경에서 발생할 수 있는 비정상성은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 먼저, 규칙적인 비정상성(orderly nonstationary)으로 이는 일정한 추세(trends)를 가지거나 계절적인 특성 등으로 대별되는 주기성을 가지는 것으로 교통량의 평균이 시간과 함께 어떤 경향적인 규칙으로 변하는 경우로 이러한 규칙적인 비정상성은 예측이 가능하다(오광우 외, 1991). 만약 이러한 장기적인 규칙적 변동패턴이 존재하면 그것을 내생변수로 취급한 교통행동모델을 만들 수 있을 것이다.

두 번째 비정상성은 랜덤워크 등으로 대별되는 비정상성으로 공공주체나 운전자가 전혀 예측이 불가능하게 변동하는 특성이 있다. 교통량의 변동에 불규칙적인 비정상적인 요인이 포함되어 있으면 경로정보의

제공과 운전자의 기대형성에 지속적으로 쇼크(shock)를 가하게 되며, 이러한 상황하에서는 신뢰할 수 있는 교통정보의 제공은 어렵다. 따라서 효율적인 경로의 유도 등도 이루어질 수 없게 된다.

따라서 실시간으로 변동하는 교통류의 상태가 비정상적인 확률과정에 따를 경우를 가정한 운전자의 경로선택행동과 학습과정을 모델화할 필요가 있다. 이하에서는 운전자가 획득하는 주행시간에 관한 표본과정을 비정상 확률과정의 한 예인 랜덤워크 과정(random walk process)을 도입하기로 한다.

주행시간의 일변동을 식(5), 식(6)과 같이 비정상 확률과정에 의해 표현하기로 한다.

$$T_t = Z_t + \lambda_t$$

$$E(\lambda_i) = 0 \text{ 모든 } i \text{에 대해}$$

$$E(\lambda_i \lambda_j) = \begin{cases} \delta_\lambda^2 & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (5)$$

$$Z_t = Z_{t-1} + \epsilon_t$$

$$E(\epsilon_i) = 0 \text{ 모든 } i \text{에 대해}$$

$$E(\epsilon_i \epsilon_j) = \begin{cases} \delta_\epsilon^2 & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (6)$$

위의 확률과정모델의 특징은 운전자가 관측가능한 주행시간의 실측치 T_t 는 관측할 수 없는 항상적인 변화 Z_t 와 일시적인 변동부분 λ_t 로 구성되어있다는 점이다. 여기서, 항상적인 변화는 연도입지와 인구의 변동에 의해 결정되어지는 변화를 나타내고, 식(6)에 나타난 바와같이 Z_t 의 1차 차분(first-order difference) 시계열은 백색잡음(white noise)이 된다. t 기에 있어서 항상적인 부분 Z_t 는 전기의 상태 Z_{t-1} 에 오차항 ϵ_t 를 더한 값으로, 전체적으로 비정상성을 가지는 랜덤워크과정을 따른다. 즉, 항상적인 부분의 기대값은 $E(Z_t) = Z_0$ 이며, 분산은 $Var(Z_t) = t \cdot \sigma_\epsilon^2$ 이며, 시간 t 에 의존하여 변동한다.

경로선택에 직면한 운전자는 항상적인 변화를 관측할 수 없지만, 교통관리자는 매일 매일 변동하는 유입교통량과 선택교통량을 관측할 수 있으며, 이를 근거로 주행시간함수를 작성하여 운전자에게 예측되는 주행시간을 제공할 수 있게 된다. 한편, 일시적인 변동은 그때 그때 우발적으로 일어나는 교통량 변동과

이에 동반되는 주행시간의 변동을 나타내는 것이다. 즉, 관측가능한 주행시간의 변동은 항상적인 변화 부분과 일시적인 변화 부분으로 구성되어 있으므로 운전자는 매일 매일의 주행시간의 변동이 항상적인 주행시간의 변화때문인지 그 당시의 일시적인 변화때문인지 식별할 수 없다.

비정상성을 띄는 확률과정은 여러 형태로 존재하며, 본 연구에서 도입한 랜덤워크 과정은 그 가운데에서 하나의 예에 불과하다. 또한 위 식(5)를 확장하여 보다 일반적인 자기회귀(Auto Regressive; AR)과정으로 표현할 수도 있을 것이다(오광우 외, 1991). 그러나 교통주체의 기대형성과정이 적응적 기대형성 가설에 따를 것인지, 아니면 비정상성의 환경하에서도 합리적기대가설 형태로 설명가능할지의 본질적인 문제에는 전혀 영향을 미치지 않는다. 따라서 비정상성 확률과정을 따르는 교통환경하에서의 운전자의 기대형성 문제라는 본질적인 부분에 초점을 맞추기 위해 본 연구에서는 단순한 랜덤워크 모델(식(5)와 식(6))을 그대로 도입하기로 한다.

저자는 비정상성을 띄는 교통환경하에서의 운전자의 경로선택 행동과 학습행동에 대한 연구결과를 발표하였지만, 정보의 사후적인 획득가능성을 고려하지 않았다(Do, 2001). 따라서, 본 연구에서는 최소분산 선형예측모델을 사용하여 운전자의 교통조건에 대한 학습과정을 모델화하고 운전자에게 주행이 끝난 후, 주행하지 않은 경로의 주행조건에 대해 공공주체로부터 사후적으로 주어지는 정보의 제공여부가 운전자의 학습행동에 미치는 영향을 분석하기로 한다.

IV. 운전자 학습행동의 모델링

운전자의 학습행동을 모델화하기로 한다. 운전자는 각기에 있어서 자신이 선택한 경로를 주행함으로써 선택한 경로에 대한 주행시간의 실적치를 알 수가 있다. 따라서 운전자는 주행시간의 경험정보 Ω_t 에 근거해서 경로의 항상적인 주행시간 Z_t 를 예측하려고 할 것이다. 이때, $\Omega_t = \{ T_{t-1}, T_{t-2}, \dots \}$ 이다. 관측할 수 있는 변수 T_t 가운데에서, 과거의 실적치 Ω_{t-1} 로 설명할 수 없는 부분을 $\hat{T}_t = T_t - E(T_t | \Omega_{t-1})$ 로 나타내기로서, 운전자의 Z_t 에 대한 예측량을 $E(Z_t | \Omega_t)$ 라 하면,

$$\begin{aligned}
 E(Z_t | \Omega_t) &= E(Z_t | T_t, \Omega_{t-1}) \\
 &= E(Z_t | \hat{T}_t, \Omega_{t-1}) \quad (7)
 \end{aligned}$$

로 표현할 수 있다. 운전자는 과거의 경험정보를 최대한 이용해서 합리적으로 t 기의 주행시간을 예측할 경우, \hat{T}_t 와 Ω_{t-1} 는 서로 직교한다. 그리고 조건부기대치에 관해서는 $E(Z_t | \Omega_t) = E(Z_t | \hat{T}_t) + E(Z_t | \Omega_{t-1}) - E(Z_t)$ 의 관계가 성립하므로 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E(Z_t | \Omega_t) &= E(Z_t | \Omega_{t-1}) + E(Z_t | \hat{T}_t) - E(Z_t) \\
 &= E(Z_t | \Omega_{t-1}) + E(Z_t) + K_t \hat{T}_t - E(Z_t) \\
 &= E(Z_t | \Omega_{t-1}) + K_t \hat{T}_t \quad (8)
 \end{aligned}$$

식(8)은 t 기에서 새롭게 주행시간 정보가 관측된 경우의 Z_t 의 최적추정치 $E(Z_t | \Omega_t)$ 는 $(t-1)$ 기 까지의 정보에 근거한 Z_t 의 추정치 $E(Z_t | \Omega_{t-1})$ 의 값에, 지금까지의 정보와 독립적인 성분인 \hat{T}_t 에 가중치가 곱해진 형태가 된다. 여기서 K_t 는 식(9)로 나타내어진다.

$$K_t = \frac{E[Z_t - E(Z_t | \Omega_{t-1})] \hat{T}_t}{E(\hat{T}_t^2)} \quad (9)$$

이 때, λ_t 는 백색 잡음(white noise)이므로,

$$\begin{aligned}
 \hat{T}_t &= T_t - E(T_t | \Omega_{t-1}) \\
 &= Z_t + \lambda_t - E(Z_t + \lambda_t | \Omega_{t-1}) \\
 &= Z_t - E(Z_t | \Omega_{t-1}) + \lambda_t
 \end{aligned}$$

가 되며, 식(9)의 분자는 $E[Z_t - E(Z_t | \Omega_{t-1})]^2$ 으로 표현되며, 이것을 간단히 R_t 로 표현하기로 한다. 한편 분모는 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E(\hat{T}_t^2) &= E[Z_t - E(Z_t | \Omega_{t-1}) + \lambda_t]^2 \\
 &= E[Z_t - E(Z_t | \Omega_{t-1})]^2 + E\lambda_t^2 \\
 &= R_t + \sigma_\lambda^2 \quad (10)
 \end{aligned}$$

여기서 R_t 는 Ω_{t-1} 가 주어질 경우의 예측오차의 분산으로 식(6)의 분산과 일치하며, 다음과 같은 관계

가 성립한다. 우선,

$$\begin{aligned}
 Z_t - E(Z_t | \Omega_{t-1}) &= Z_{t-1} + \epsilon_t - E(Z_{t-1} + \epsilon_t | \Omega_{t-1}) \\
 &= Z_{t-1} - E(Z_{t-1} | \Omega_{t-1}) + \epsilon_t
 \end{aligned}$$

가 성립하므로,

$$\begin{aligned}
 R_t &= E[Z_{t-1} - E(Z_{t-1} | \Omega_{t-1}) + \epsilon_t]^2 \\
 &= E[Z_{t-1} - E(Z_{t-1} | \Omega_{t-1})]^2 + E(\epsilon_t^2) \\
 &= S_{t-1} + \sigma_\epsilon^2
 \end{aligned}$$

로 나타낼 수 있다. 또한 식(8)과 식(9)를 이용하면,

$$\begin{aligned}
 R_t &= E[Z_t - E(Z_t | \Omega_{t-1})]^2 \\
 &= E[Z_t - E(Z_t | \Omega_t) + K_t \hat{T}_t]^2 \\
 &= E[Z_t - E(Z_t | \Omega_t)]^2 + K_t^2 E(\hat{T}_t^2) \\
 &= S_t + K_t^2 E(\hat{T}_t^2)
 \end{aligned}$$

이므로

$$\begin{aligned}
 S_t &= R_t - K_t^2 E(\hat{T}_t^2) = R_t - K_t E(\hat{T}_t^2) K_t \\
 &= R_t - K_t E[Z_t - E(Z_t | \Omega_{t-1})] \hat{T}_t \\
 &= R_t - K_t E[Z_t - E(Z_t | \Omega_{t-1})]^2 \\
 &= R_t - R_t K_t = (1 - K_t) R_t
 \end{aligned}$$

의 관계가 성립한다.

따라서 위의 관계를 이용하여, t 기에 이용가능한 정보에 근거한 $t+1$ 기의 상태에 관한 예측치 Z_{t+1}^e 는 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Z_{t+1}^e &= E(Z_{t+1} | \Omega_t) = E(Z_t + \epsilon_{t+1} | \Omega_t) \\
 &= E(Z_t | \Omega_t) = E(Z_t | \Omega_{t-1}) + K_t \hat{T}_t \\
 &= Z_t^e + K_t [T_t - E(T_t | \Omega_{t-1})] \\
 &= Z_t^e + K_t [T_t - E(Z_t | \Omega_{t-1})] \\
 &= Z_t^e + K_t (T_t - Z_t^e) \quad (11)
 \end{aligned}$$

즉, 적응적 기대모델(Adaptive Expectations Model)을 얻게된다. 여기서 적응파라메타 K_t 는 주행경험이 증가함에 따라 어떤 정수의 값으로 수렴하게 된다. 이 값을 ϕ 라 하면, 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{i,t+1}^e = Z_i^e + \phi (T_i - Z_i^e) \quad (12)$$

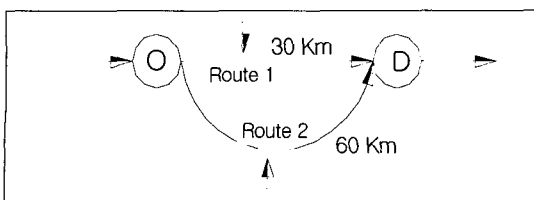
즉, 정상성인 교통류의 환경을 전제로 한 합리적이 대형성모델에서의 적응계수는 학습과정을 거침에 따라 점점 0으로 수렴해가지만, 비정상 교통류 환경하에서는 적응계수는 0으로 되지않고 어떤 일정한 값으로 수렴하게 된다. 여기서 항상적인 변화(랜덤워크)가 존재하지않고 주행시간의 변화가 일시적인 쇼크 λ_t 만으로 구성되어진다고 가정을 해보자. 이때, 적응계수는 $K_t = 0$ 이되며, 합리적이대모델과 일치하게 됨을 알 수 있다. 즉, 교통환경에 있어서 항상적인 변화(비정상적인 랜덤워크)가 존재하지 않는 정상과정인 경우는 본 연구에서 제안한 모델은 합리적이대모델과 일치한다.

여기서 확률과정(5)(6)을 상태공간모델이라 생각하면, 적응계수 K_t 는 Muth(1961)의 최소분산 선형 불편예측량(Linear Minimum Mean Square Estimator)과 같게 된다. 즉, 이론적 근거는 관측할 수 없는 상태를 예측하는 경우, 노이즈를 포함한 관측치 T_t 와 전기의 예측치 Z_t^e 와의 차이에 근거해, 예측의 재적응을 해가는 방법이 가장 적절한 예측형태의 식으로 만들 수 있다는 것이다.

V. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션의 방법

비정상적인 환경하에서의 운전자의 학습행동을 시뮬레이션 해보자. <그림 1>에서와 같이 어떤 일정 수의 운전자(200명)가 단위시간에 동시에 2개의 경로에 대해 경로선택을 행하는 경우를 생각해보자. 이때, 「경로 1은 복잡한 도심지역을 통과하는 경로로써 경로 2에 비해 거리는 짧으나, 혼잡 발생의 가능성이 상대적으로 높으며, 반면 경로 2는 경로 1보다 우회하는 도로이므로 혼잡 발생의 가능성은 상대적으로 낮다」라고 가정하자.



<그림 1> 시뮬레이션을 위한 교통 네트워크

운전자의 각 경로 $i(i=1,2)$ 의 주행시간에 대한 초기기대를 정규분포라고 생각하자. 운전자는 과거의 경험과 주행시간의 예측결과에 근거해 주행시간이 짧다고 여겨지는 경로 i_t^* 를 선택할 것이다.

$$i_t^* = \arg \min (T_{1,t} + \eta_{1,t}, T_{2,t} + \eta_{2,t}) \quad (13)$$

기호 \arg 는 식(13)의 우변을 최소로 하는 경로를 나타낸다. $\eta_{i,t}$ 는 개개인 운전자가 가지는 속성정보(혹은 사적정보, private information)이다. 운전자가 경로를 선택해 주행함으로써 각 경로의 선택 교통량 $x_{i,t}$ 을 얻을 수 있다.

유입교통량 $\omega_{i,t}$ 은 식(14)~식(15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_{i,t} = z_{i,t} + \bar{\lambda}_{i,t} \quad (14)$$

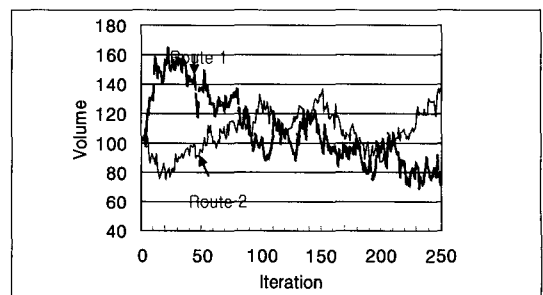
$$z_{i,t} = z_{i,t-1} + \bar{\epsilon}_{i,t} \quad (15)$$

<그림 2>에 각 경로로 유입되는 교통량의 변화추이가 나타나있다. 즉, 위의 식(14), (15)의 비정상 확률과정에 따르는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 각 경로의 총교통량은 배분(선택) 교통량 ($x_{i,t}$)과 유입 교통량 ($\omega_{i,t}$)의 합으로 구해지게 된다.

$$y_{i,t} = x_{i,t} + \omega_{i,t} \quad (16)$$

t 기의 각 경로의 주행시간함수(performance function)를 다음과 같이 선형주행시간함수의 형태로 가정한다.

$$T_{i,t} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t} \quad (17)$$



<그림 2> 각 경로에 유입되는 교통량의 변화

여기서 α_i, β_i 는 파라메타이며, $\alpha_1 = 30, \beta_1 = 0.35, \alpha_2 = 60, \beta_2 = 0.2$ 다. 즉, 경로 1은 경로 2에 비해 거리는 짧지만 교통량의 증가에 따른 한계비용(marginal cost)은 경로 2에 비해 높게 설정하였다.

운전자가 획득가능한 정보는 자신이 선택하여 주행한 실제 주행경험뿐이다. 여기서, 운전자의 경로조건에 대한 사후적(ex-post) 정보의 획득여부가 그들의 기대형성 메카니즘과 학습계수의 수렴과정에 미치는 영향을 살펴보기 위해 두 가지의 시뮬레이션을 실시하였다.

첫 번째 경우(Case-1)는 공공주체(public agency)는 교통량을 관측할 수 있으므로 한 경로의 주행을 끝난 운전자에게 주행하지 않은 경로의 소요시간을 사후적으로 알려주는 경우를 가정한 것으로 운전자는 자신이 주행하지 않은 경로의 소요시간도 함께 획득할 수 있는 경우이다.

한편, 두 번째 경우(Case-2)는 자신이 선택한 경로의 소요시간 정보만을 알 수 있다는 가정하에서 운전자는 자신의 주행 경험에 의해서만 경로의 조건(주행시간)에 대해 정보를 획득할 수 있는 경우이다. 경로선택을 하는 경우에 운전자의 수가 많다면 선형 주행시간함수(17)에서 얻어진 주행시간의 변동은 근사적으로 확률과정(5)를 따른다고 할 수 있을 것이다. 그리고 이 경우에 운전자의 기대형성모델은 식(17)로 나타내어질 수 있다.

$$\hat{T}_{i,t+1} = \hat{T}_{i,t} + K_{i,t}(T_{i,t} - \hat{T}_{i,t}) \quad (18)$$

식(18)은 결국 식(12)의 형태와 동일하며, 장기간의 학습과 경험을 통해 ($t \rightarrow \infty$), $K_{i,t}$ 의 값은 ϕ_i 의 값으로 수렴하게 됨을 알 수 있다.

2. 시뮬레이션의 결과 분석

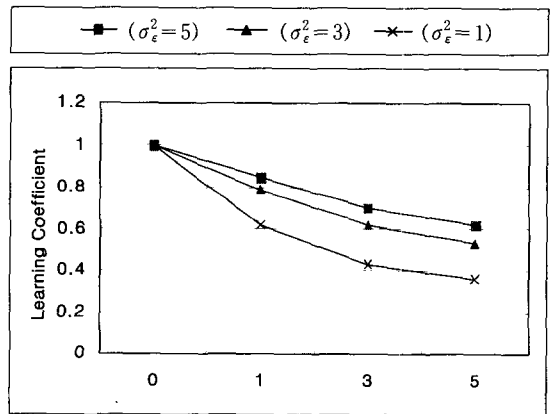
이상과 같이 <그림 1>의 네트워크에 비정상성을 따르는 교통환경이 주어졌을 경우, 운전자의 경로조건에 대한 학습과정을 수치계산을 통해 얻은 결과를 살펴보자. 먼저, 공공주체에 의해 사후적인 정보가 제공되는 경우에 운전자가 경험을 축적함에 따라 변화하는 학습계수 (ϕ_i)의 변동추이를 살펴보기로 한다.

<그림 3>은 식(5)의 σ_x^2 의 증가와 σ_ϵ^2 의 크기에 따른 운전자의 장기적인 경험의 결과로 수렴하는 경로 1에

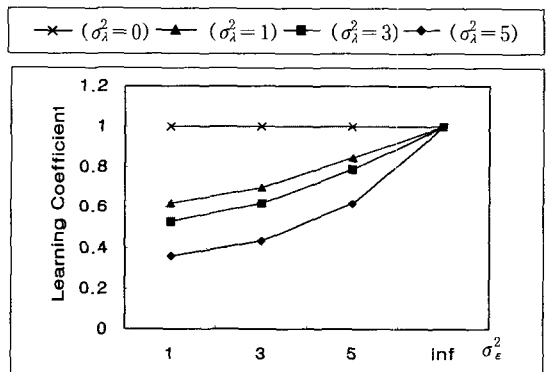
대한 학습계수 (ϕ_1)의 변화를 나타내고 있다.

즉, 관측가능한 소요시간이 랜덤워크의 과정을 따를 경우($\sigma_x^2 = 0$), 학습계수는 1의 값을 가진다. 이는 과거의 경험으로 전혀 예측 불가능한 교통환경의 경우에는 바로 전의 경험에 의존하는 것이 최선의 방법임을 나타내고 있다. 그러나 관측가능한 값에서 일시적인 변동의 분산값이 차지하는 비율이 높아짐에 따라(σ_x^2 의 값이 증가) 학습계수의 값은 점점 작은 값으로 수렴하고 있음을 알 수 있다.

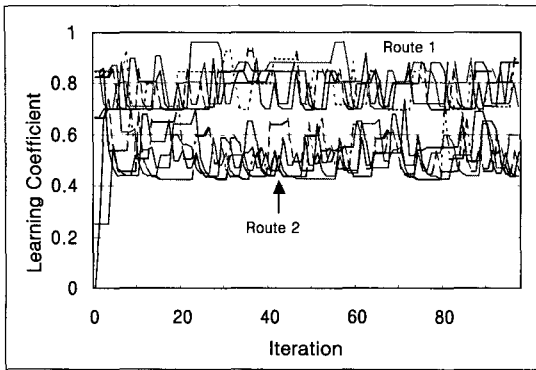
<그림 4>는 경로 2에 대한 σ_x^2 와 σ_ϵ^2 의 변화에 따른 학습계수 수렴치의 변화를 나타내고 있다. 즉, σ_ϵ^2 의 크기에 상관없이 $\sigma_x^2 = 0$ 인 경우에는 학습계수의 수렴치는 1이 된다. 또한, 랜덤워크 과정을 따르는 항상적인 변화분의 분산치(σ_ϵ^2)가 커질수록 학습계수의 값이 점점 커지지만, 운전자가 관측가능한 소요시간에



<그림 3> σ_x^2 와 σ_ϵ^2 의 변화에 따른 경로 1에 대한 학습계수 수렴치의 변화(Case-1)



<그림 4> σ_x^2 와 σ_ϵ^2 의 변화에 따른 경로 2에 대한 학습계수 수렴치의 변화(Case-1)



〈그림 5〉 각 경로에 대한 학습계수의 변화(Case-2)

서 항상적인 부분의 분산치가 상당히 큰 값을 가질 경우 (∞), 즉, 심한 변동을 가질 경우 학습계수는 1로 수렴하여 운전자는 예측이 거의 불가능하게 된다.

이상과 같은 시뮬레이션을 통해 랜덤워크와 같은 비정상성을 따르는 교통류의 조건이 존재하지 않는 경우에는 학습계수가 0으로 수렴하여 합리적 기대가 설모델이 성립하며, 교통류의 환경이 비정상성의 성질이 심해질수록 운전자의 학습과정도 예측불가능성이 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 합리적인 운전자의 학습과정은 경로의 특성 및 교통환경에 따라 서로 다른 학습계수로 수렴하게 됨을 확인하였다.

한편, 운전자가 자기의 경험정보에만 의존하는 경우, 〈그림 5〉에 나타난 바와 같이, 운전자의 교통조건에 대한 학습계수는 항상 변동하며 학습과정이 수렴하지 않음을 알 수 있다. 또한, 그림의 윗부분에 위치한 경로 1의 운전자의 학습계수의 변동은 0.7~0.95로 경로 2를 주행한 운전자가 가지는 학습계수의 변동 0.42~0.75보다 큼을 알 수 있다. 이는 경로 1이 경로 2보다 짧은 구간이면서 혼잡의 가능성이 크다는 경로의 특성에 기인함으로 판단된다.

따라서 이와 같이 운전자가 자신의 경험에만 의존하는 경우, 그들은 경로선택에 앞서 늘 랜덤워크를 따르는 예측불가능한 환경에 직면하게 되어 매번 학습메카니즘을 갱신하면서 학습을 반복하게 됨을 알 수 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 경로주행시간이 정상 및 비정상 확률과정에 따라 변화하는 경우, 운전자가 경로선택을

반복해가면서 경로주행시간에 관해 학습해가는 프로세스를 모델화하였다. 나아가, 수치계산을 통해 비정상 확률과정에 따라 변하는 교통류일 경우, 경로주행시간에 대한 합리적인 기대형성과정이 적응적기대형성모델에 의해서 표현되어질수 있음을 확인하였다.

또한, 공공주체에 의해 제공되는 경로조건에 대한 사후적인 정보의 획득가능성이 운전자의 학습행동의 수렴에 큰 영향을 미치고 있음도 알 수 있었다. 이 경우, 비정상 교통환경하에서는 각 경로에 대한 적응계수(학습계수)는 각 경로의 특성에 따라 서로 다른 값으로 수렴함도 증명하였다.

향후, 운전자의 학습행동을 다양한 비정상성을 따르는 확률분포에 대해 살펴보고 사전적인 정보의 제공과 이에 따른 운전자의 경로선택 행동과 네트워크에 미치는 영향에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김효명 역(1987), "알기 쉬운 합리적 기대가설", 형설출판사.
2. 도명식·고바야시 키요시(2000), "운전자의 이질성을 고려한 경로선택과 기대형성에 관한 연구", 대한토목학회논문집, Vol.21, 5-D, pp.555~565.
3. 오광우·이우리(1991), "예측방법과 응용", 자유아카데미.
4. 이영환(1999), "정보경제학", 울곡출판사.
5. 이정모(2001), "인지심리학", 아카넷.
6. 정진필(1995), "불확실성과 정보의 경제분석", 전남대학교 출판부.
7. Bonsall, P. W. and Perry, T.(1991), "Using interactive route-choice simulator to investigate drivers' compliance with route guidance advice", TRR, 1306.
8. Bray, M. M. and Savin, N. E.(1986), "Rational expectations equilibria, learning and model specification", *Econometrica*, 54, pp.1129~1160.
9. Cagan, P.(1956), "The monetary dynamics of hyperinflation", In: Friedman, M.(ed.) *Studies in the Quantity Theory of Money*, Chicago: Univ.of Chicago Press.
10. DeCanio, S. J.(1979), "Rational expectations

- and learning from experience", *Quarterly journal of Economics*, 93, pp.47~57.
11. Do, M. and Kobayashi, K.(2000a), "Hypothesis Testing on Drivers' Rational Expectations: An Experimental Approach", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.4, No.1, pp.1~10.
 12. Do, M.(2000b), "*Driver's Learning Mechanism and Evaluation Methods of Route Navigation Systems*", Ph.D. Dissertation, Dept. of Civil Engineering, Kyoto University.
 13. Do, M.(2001), "Drivers' Adaptive Expectations Formation in Nonstationary Traffic Environment", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.5, No.1, pp.75~85.
 14. Hu, T. and Mahmassani, H. S.(1997), "Day-to-day evolution of network flows under real-time information and reactive signal control", *Transportation Research C*, Vol.5, No.1, pp.51~69.
 15. Iida, Y., Akiyama, T. and Uchida, T.(1992), "Experimental analysis of dynamic route choice behavior", *Transportation Research*, 26B, 1, pp.17~32.
 16. Khattak, A. J. and de Palma, A.(1997), "The impact of adverse weather conditions on the propensity to change travel decisions: A survey of Brussels commuters", *Transportation Research A*, Vol.31, No.3, pp.181~203.
 17. Kobayashi, K.(1994), "Information, rational expectations, and network equilibria - An analytical perspective for route guidance systems", *The Annals of Regional Science*, 28, pp.369~393.
 18. Mahmassani, H. S.(1990), "Dynamic models of commuter behavior: Experimental investigation and application to the analysis of planned traffic distribution". *Transportation Research*, 24A, pp.465~484.
 19. Muth, J.(1961), "Rational expectations and the theory of price movement", *Econometrica*, 29, pp.315~335.
 20. Polak, J. and Jones, P.(1993), "The acquisition of pre-trip information : A stated preference approach", *Transportation* 20, No.2, pp.179~198.
 21. Sheffrin, S. M.(1983), "*Rational Expectations*", Cambridge Univ. Press.

✉ 주 작 성 자 : 도명식

✉ 논문투고일 : 2003. 2. 21

논문심사일 : 2003. 3. 11 (1차)

2003. 5. 13 (2차)

2003. 6. 5 (3차)

심사판정일 : 2003. 6. 5

✉ 반론접수기한 : 2003. 10. 31

In order to compare the performances of roundabout and signalized intersection, the performance of roundabouts was evaluated with the SIDRA. The simulation was conducted only for the roundabouts composed of single lane.

According to the result of the analysis, it may be concluded that when the approaching traffic volume for each bound is lower than 600pcph, a roundabout is better than a signalized intersection in terms of its operational performance.

Development of the Traffic Actuation Signal Control System Based on Fuzzy Logic on an Arterial Street

JIN, Sun-mi · KIM, Seong Ho · DOH, Tcheol Woong

An arterial street control is performed for the purpose of the progression of a traffic flow using the arterial. However, during the progression in the arterial, the change according to the time is one of the most representative problems occurring at a signal plan. This paper intends to efficiently operate the arterial progression by applying fuzzy logic, which is thought to be the most possible one in the inference as that of the human logic, to the traffic responsive control system. Fuzzy Logic controller is applicable to the daily human language (linguistic), can be dealt with the uncertain traffic data and is useful on planning the signal control to sensitively confront the randomly changing traffic condition.

This study, based on the signal control part of the isolated intersection in "A Development of a Real-time, Traffic Adaptive Control Scheme Through VIDs"(Seong Ho, Kim, 1996), suggested the strategy for the progression control in the arterial and analyzed its effect by comparing the effect of the existing control method. In addition, the study compared each effect by using TRAF-NETSIM which is the traffic simulation software to analyze each control method.

Simulation Analysis about Effects on Highway Network and Drivers under Information Providing Service

BYUN, Wan Hee · IIDA, Yasunori · KIM, Ju Hyun · UNO, Nobuhiro

To build traffic information providing services by ITS technology should be carried out effect analysis in the first step for social and individual advantages.

The propose on this study is to make clear what influences of highway network by traffic information are, and what differences between drivers who use traffic information and drivers who do not use that for route choice are. For these propose, travel time and forecast error of travel time on network and traffic information dependence of driver are analyzed by simulation.

As a result of analysis travel time and forecast error of travel time is that the efficiency and reliability of travel time were increased when getting more drivers using traffic information in network. Drivers who using traffic information had advantage of decrease of travel time and forecast error in only definite situation. traffic information dependence analysis presented that drivers are dependent upon information and reliability of traffic information is also increased when drivers using traffic information become on increasing in network.

In conclusion, considering the range of the traffic information user ratio in this simulation, this study presents that the traffic information service provides an advantage to the highway network and the drivers, and increases the dependence of information.

Drivers' Learning Mechanism and Route Choice Behavior for Different Traffic Conditions

DO, Myungsik · SHEOK, Chong Soo · KIM, Myung Soo · CHOI, Byung-Kuk

When a route choice is done under uncertainty, a driver has some expectation of traffic conditions

that will occur according to the route chosen.

This study tries to build a framework in which we can observe the learning behavior of the drivers' expectations of the travel time under nonstationary environment. In order to investigate how drivers have their subjective expectations on traffic conditions in response to public information, a numerical experiment is carried out.

We found that rational expectations(RE) formation about the route travel time can be expressed by the adaptive expectation model when the travel time changes in accordance with the nonstationary process which consists of permanent shock and transient shock. Also, we found that the adaptive parameter of the model converges to the fixed value corresponding to the route conditions.

Model Development Determining Probabilistic Ramp Merge Capacity Including Forced Merge Type

KIM, Sang Gu

Over the decades, a lot of studies have dealt with the traffic characteristics and phenomena at a merging area. However, relatively few analytical techniques have been developed to evaluate the traffic flow at the area and, especially, the ramp merging capacity has rarely been. This study focused on the merging behaviors that were characterized by the relationship between the shoulder lane flow and the on-ramp flow, and modeled these behaviors to determine ramp merge capacity by using gap acceptance theory. In the process of building the model, both an ideal merge and a forced merge were considered when ramp-merging vehicles entered the gap provided by the flow of the shoulder lane. In addition, the model for the critical gap was proposed because the critical gap was the most influential factor to determine merging capacity in the developed models. The developed models showed that the merging capacity value

was on the increase as the critical gap decreased and the shoulder lane volume increased. This study has a meaning of modeling the merging behaviors including the forced merging type to determine ramp merging capacity more precisely. The findings of this study would help analyze traffic phenomena and understand traffic behaviors at a merging area, and might be applicable to decide the primary parameters of on-ramp control by considering the effects of ramp merging flow.

Estimation of Crosswalk Pedestrian Volume at Signalized Intersection

HA, Tae Jun · KIM, Jeong Hyun · PARK, Je Jin

Forecasting models for crosswalk pedestrian volume, which consider safety of crosswalks and good traffic operation accidents, have been established in order to reduce total number of crosswalk pedestrian accidents. However, the existing models did not include pedestrian volume which seemed to be very significant in the forecasting models because there were no pedestrian volume related data and no methods of estimating pedestrian volume. This paper presents estimating models for the total number of trips, which are produced in zone i and attracted to zone j, and a process of estimating pedestrian volume in the goal year.

First of all, the estimating models included the characteristics of land-use around a signalized intersection and the crosswalk pedestrian volume as factors. Secondly, the estimated crosswalk pedestrian volume was distributed to the crosswalk pedestrian volume each path in the basic year by friction factors of Gravity Model, adjustment factors for area and ratio of pedestrian volume who moved diagonally at the crosswalk. Thirdly, the estimating models of crosswalk pedestrian volume in the goal year were presented by using the distributed crosswalk pedestrian volume.