

■ 論 文 ■

교통정보 수신율 변화에 따른 운전자의 경로선택과 학습과정

Effect of Guidance Information Receiving Ratio on Driver's Route Choice Behavior and Learning Process

도 명 식

(한밭대학교 도시공학과 조교수)

석 종 수

(인천발전연구원 연구위원)

채 정 환

(한밭대학교 도시공학과 석사과정)

목 차

- I. 서론
 - II. 운전자의 경로선택 행동과 기대형성
 - 1. 교통정보의 의의
 - 2. 정보 수신율에 따른 역효과의 발생
 - 3. 기대형성가설
 - 4. 운전자의 학습과정과 학습계수의 변화
 - III. 시뮬레이션을 통한 모형의 적용
 - 1. 시뮬레이션 방법
 - 2. 시뮬레이션 결과 분석
 - IV. 결론
- 참고문헌

Key Words : 경로선택, 학습행동, 교통정보, 정보의 역효과, 수신율

요 약

본 연구에서는 운전자들의 경로선택 행태에서 교통정보 수신율이 네트워크 전반에 미치는 영향과 각 경로의 주행 조건에 대한 운전자의 학습과정에 대해서 살펴보았으며, 교통상황이 정상성 및 비정상성을 따르는 경우, 공공기관이 유입교통량의 대소에 의해 유도되는 정보의 수신율이 증가함으로써 운전자의 경로선택행동이 네트워크에 미치는 영향을 분석하고 정보의 역효과가 나타남을 밝혔다. 또한, 정보수신율이 최적비율 이하인 경우에는 총통행시간이 정보가 없이 오직 자신의 경험에만 의존하는 경우보다 감소하여 정보제공의 효과가 있었지만, 최적비율 이상으로 유도정보에 따라 경로선택을 하는 운전자가 많아지면 정보의 역효과가 발생함도 증명하였다. 나아가, 교통환경이 정상성을 따르는 경우에는 모든 운전자의 경로조건에 대한 학습과정과 이 경험을 축적함에 따라 어느 일정한 값으로 수렴해감을 알 수 있었다. 교통환경이 비정상성을 따르는 경우에는 주행조건에 대해 돌발적인 진동과 혼란상태가 발생하고 이 경우에도 무정보 환경보다는 어느정도의 비율로 유도정보가 주어지는 것이 네트워크 전체의 통행시간을 감소시킴으로써 정보의 효과가 있음도 확인하였다.

향후, 다양한 교통류 환경을 적용한 대규모 네트워크를 대상으로 한 운전자의 경로선택과 학습행동에 대한 연구와 정보의 정도에 따른 운전자의 행동을 고려한 정보의 제공방안에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 2002년도 한밭대학교 교내학술연구비의 지원을 받았음.

I. 서론

불확실한 교통환경하에서 운전자는 끊임없이 다양한 의사결정을 내리면서 통행을 하게 된다. 출발시간의 선택, 이용 수단의 선택, 경로의 선택 등은 모두 불확실한 상황에서 이루어지는 의사결정 문제이다. 경로의 선택에서 교통정보의 영향은 교통정보의 종류, 신뢰성, 표현 방법 등에 따라 달라지며, 불확실한 상황에서 경로 선택을 해야 하는 운전자는 획득 가능한 정보와 의사결정 때까지 축적한 자신의 경험을 이용하여 주행시간 등의 교통조건을 예측한다.

교통에서 정보라는 것은 운전자 또는 통행자들의 의사결정과정에 반영되어 그들의 통행시간을 단축하거나 통행편의를 제공하는 것과 같이 후생수준을 제고하는 요소로 작용하고 있다. 최근 들어 교통정보 제공원이 공공뿐만 아니라 민간 등으로 다양화되면서 교통 행위에서 교통정보가 의사결정과정에 미치는 영향은 점점 더 커지고 있다. 이러한 관점에서 교통정보가 통행자들의 의사결정 과정 및 그 결과에 미치는 영향을 살펴보고 네트워크 전반에 미치는 영향을 분석해 보는 것이 필요하며, 이에 대한 연구는 많이 이루어져 왔다(도명식 외, 2000; 윤대식, 2002; 조해진 외, 2003; 김혜란 외, 2004). 또한 정보를 제공함에 있어 언제(when), 어느 정도의 주기로(how often), 누구에게(who) 제공해야 할 것인가라고 하는 문제에 대한 전략이 필요하다(이영환, 1999; 이정모, 2001).

그러나, 지금까지 교통정보의 제공이 교통네트워크에 미치는 영향과 정보수신율의 변화에 따른 교통량의 변화 등에 따른 연구는 많이 이루어졌으나, 정보의 제공이 운전자의 경로선택과 동시에 경로의 조건에 대한 학습과정에 대한 연구는 이루어지지 않았다(변완희 외, 2003; Emmerink et al., 1995; Iida et al., 1992; Kobayashi, 1979; Mahmassani, 1990).

따라서 본 연구에서는 운전자들의 경로선택 행태에서 교통정보의 제공 및 공공기관으로부터 제공되는 정보의 수신율이 네트워크 전반에 미치는 영향과 각 경로의 주행조건에 대한 운전자의 학습과정에 대해서 살펴보고자 한다.

II. 운전자의 경로선택 행동과 기대형성

1. 교통정보의 의의

정보란 오늘날 가장 흔히 사용되는 용어 가운데 하나로서 현대인들의 일상생활은 정보를 창출하거나 가공하고 교류하는 행위들로 점철되어 있다고 할 수 있다. 그런데 정보의 개념을 이와 같이 매우 포괄적으로 이해할 수도 있지만, 경제학적 관점에서는 구체적인 의사결정을 내리고자 할 때 그 정보가 의의를 가진다. 만약 경제주체들이 의사결정을 내리고자 할 때 모든 것이 확실하다면 아무런 정보도 필요로 하지 않기 때문에 정보는 불확실한 상황에서만 그 의미를 가진다. 불확실성 하의 경제 이론에서 경제주체들은 불확실한 상태에서 나름대로 선형적 믿음(prior belief)을 가지고 있다고 본다. 여기서 선형적 믿음이란 불확실한 상태에 대한 선형적 확률분포(prior probability distribution)를 의미한다. 예를 들어 통행하고자 하는 경로에 대한 두 개의 불확실한 상태 [$s = \alpha$ or β]가 예상된다고 하자. 여기서 α 는 소동원할, β 는 정체상황으로 생각할 수 있다. 만약 운전자들이 각 상태가 실현될 확률을 $\pi(\alpha)$ 와 $\pi(\beta)$ 로 예상한다면, 이 때의 확률분포 $\pi = (\pi(\alpha), \pi(\beta))$ 가 바로 운전자들이 보유하고 있는 선형적 확률분포인 것이다. 정보란 바로 이 선형적 확률분포를 통해 경제주체의 의사결정에 영향을 미치는 것이다.

정보란 정보 서비스(information service)를 의미하며, 정보 서비스란 불확실한 상태와 관련된 일련의 정보신호들(information signals)로 구성 된다. 운전자들은 어떤 의사결정을 하기 전에 이러한 정보 신호들 가운데 하나를 획득하는데 구체적으로 어떤 정보 신호가 주어질지는 사전에 미리 알 수 없다. 단지 어떤 임의의 정보 신호가 주어지면 이에 기초해서 미래의 불확실한 상태에 대한 선형적 확률분포를 새로운 사후적 확률분포(posterior probability distribution)로 바꾸게 된다. 이것이 바로 정보신호에 기초한 조건부 확률분포(conditional probability distribution)이다.

예를 들어 고속도로를 이용하고자 하는 운전자는 자신의 경험에 기초하여 이 도로의 소통정도를 판단할 것이다. 그러나 자신의 판단에 대한 절대적인 믿음이 부족한 운전자는 휴대전화를 이용하여 경로상의 교통정보를 제공받기로 하였다면 이때 교통정보는 정보가 되고 소통상황에 대한 내용이 정보신호가 된다. 운전자는 물론 어떤 정보가 제공될지 전혀 모르는 상태에서 정보를 제공받는다. 이와 같이 정보란 단지 어떤 특정한 불확실한 상태가 진정된 상태로 실현될 가능성을 정보신호

에 기초해서 새롭게 해석하도록 도움을 줄 뿐이다. 이때 정보가 어느 정도 도움이 되는가는 전적으로 정보의 성격에 달려 있다.

2. 정보 수신율에 따른 역효과의 발생

정보의 역효과란 제공된 교통정보에 대해서 다수의 운전자가 단기간의 시간 간격동안 그 정보에 반응하여 네트워크의 효율이 오히려 떨어지고, 경로 변경으로 인한 실익이 발생하지 않는 상황을 의미한다. 정보에 반응하는 운전자 비율과 효과의 관계를 살펴볼 때 총체적 효과가 가장 높을 때를 운전자의 정보 수신율이 최적비율(optimal fraction)이라고 하자. 즉 운전자의 정보 수신율이 이 최적비율을 넘어서면 교통정보 제공의 역효과가 발생한다(임강원·임용택, 2003; 석중수 외, 2003).

정보의 역효과에 의해 운전자들이 한 도로에서 대안 도로로 전환하며 혼잡이 야기되는 경우에 경로 통행 시간에는 진동이 발생할 수 있다. Boyce(1987)는 그의 연구에서 만약 최소시간 경로유도와 같은 단순한 전략을 사용할 경우에 이는 서로 다른 대안간의 교통류 진동을 일으킬 수 있다고 지적하면서 이러한 현상을 피하기 위해서는 경로 분배유도와 같은 진보된 전략이 필요하다고 밝히고 있다.

한편, Emmerink et al.(1995), Ben-Akiva et al.(1986, 1991), Bonsall and Perry(1991) 등도 정보의 역효과에 관련된 연구 결과를 제시하고 있으며, 이청원(2001)은 남산터널과 대안도로인 소월길을 대상으로 연구를 수행하고 대안도로로 40%이상이 경로를 전환할 경우에는 역효과가 발생한다고 밝히고 있다.

따라서, 본 연구에서는 주행시간이라는 교통조건이 정상성 혹은 비정상성을 따르는 경우로 구별하여 운전자의 경로선택행동과 주행조건에 대한 학습과정에 정보의 수신율이 미치는 영향을 분석함과 동시에 시뮬레이션을 통해 이를 확인하고자 한다.

3. 기대형설기설

거의 모든 경제적 의사결정은 시간개념을 포함하고 있다. 이는 경로선택 문제에서도 마찬가지다. 경로선택을 해야 하는 운전자는 획득 가능한 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.

교통 주체의 경로선택 경험이 미숙하거나 부족한 경우 개인의 기대는 타인이 관측할 수 없는 개인적인 인지구조나 주관적인 믿음의 영향을 받게 될 것이다. 그러나 이러한 주관적인 기대나 인지와 실적치 사이에는 차이가 존재하며, 이 경우 주관적인 인지는 장기적인 경험을 축적한다 해도 안정적으로 수렴할 가능성은 거의 없다. 특히 교통정보시스템의 발달로 교통 주체는 자기의 기대와 제공된 교통정보의 정도에 민감해질 것이며, 이 과정에서 운전자가 일시적으로 교통조건(소요시간 등)에 대해 큰 차이의 기대를 가졌다하더라도 경로 선택을 반복함으로써 네트워크의 교통 조건에 대해 학습을 하게 될 것이다.

따라서 운전자의 경로 선택 행동을 표현하고자 하는 경우, 각 운전자가 설명변수의 값을 어떻게 예측할 것인가를 설명하는 모델이 필요하게 된다.

현실적으로 공공 주체가 경로선택 이전에 운전자에게 소요 예상시간을 알려 준다고 하더라도 운전자들이 모두 예상 소요시간이 적게 걸리는 경로를 선택하리라는 보장이 없을 뿐만 아니라 경로의 조건에 대한 완전 정보를 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 교통류 특성에 대한 「예측·주행·학습」의 과정을 거치면서 행하게 되는 기대형성과정과 경로의 특성에 대한 관계의 규명이 선행되어야 할 것이다.

합리적 기대(rational expectation)란 미래에 대한 예측을 형성하는 여러 형태 중 가장 합리적이란 의미에서 붙여진 기대 형성 방법을 말한다(김효명, 1992; 노병탁·김태환, 1986). 그 이전에 흔히 가정된 기대 형성 방법은 정태적 기대와 적응적 기대였다.

정태적 기대(static expectation)란 지난 기의 실적치를 이번 기간의 예상치로 보는 방법이다. 예를 들어 직전의 통행시간이 80분이었으므로 현재의 통행시간도 80분이 될 것이라고 예상하는 형태를 말한다.

적응적 기대(adaptive expectation)는 단순히 지난기의 자료만 보는 것이 아니라 과거의 예상치와 실제 경험의 차이를 이용하여 이번기의 예상치를 형성하는 방법을 말한다(Cagan, 1956). 이에 비하여 합리적 기대는 통행시간 예상에 관련되는 모든 이용 가능한 정

보를 이용하여 예상을 형성하는 방법을 말하며, 주행조건이 정상성을 만족하는 경우 매우 유용한 방법이다 (Muth, 1961).

4. 운전자의 학습과정과 학습계수의 변화

여기서, 공공정보로부터 주어지는 정보의 유무에 따른 운전자의 주관적 기대형성의 차이를 살펴보기로 한다. 운전자는 자신이 선택한 경로를 주행함으로써 실제 소요된 주행시간(\bar{T}_t)을 알게 된다. 따라서 경험을 통해 주행한 경로의 주행시간의 항상적인 변동부분(T_t)를 예측하고자 할 것이다.

실제로 경험에 의해 얻게되는 주행시간은 경로의 교통류가 가지는 항상적인 특성요인(ϵ_t , permanent component)과 일시적인 특성요인(λ_t , temporary component)으로 이루어진다(Lawson, 1980; Do, 2001). 이때, 항상적인 특성요인이란 도로 변의 토지 이용특성, 인구의 변동 등에 의해 결정되어지는 변화를 말하며, 일시적인 특성요인은 우발적으로 발생하는 교통량 변동과 주행시간 변동을 나타낸다.

$$\bar{T}_t = H_t T_t + \lambda_t \tag{1}$$

$$T_t = F_t T_{t-1} + G_t \epsilon_t \tag{2}$$

$$\text{단, } E[T_0] = T_0, E[T_0 - T_0]^2 = p_0$$

운전자는 매일 매일 변동하는 주행시간의 경험의 항상적인 변동에 의해서 인지 아니면 그때 그때의 일시적인 변화때문인지 알 수 없기 때문에 λ_t 와 ϵ_t 는 서로 독립이며, $E[\epsilon_t] = 0, E[\lambda_t] = 0$ 이고, 분산이 각각 $E[\epsilon_t \epsilon_t] = q, E[\lambda_t \lambda_t] = r$ 인 정규분포를 따르는 확률변수이다.

여기서, H_t, F_t 와 G_t 는 시간 t 에 의존하는 파라메타이며, 본 연구에서는 간단히 하기 위해 모두 1로 두기로 한다. 따라서 식(2)는 항상적인 변동부분이 비정상성을 띄는 랜덤워크(random walk)과정으로 표현된다. 만약 F_t 가 1이 아닌 다른 임의의 값($|F_t| < 1$)이면 일차 자기회귀모형(AR(1))이 되어 항상적인 변동부분은 정상성을 띄게 된다.

이때 교통류의 정상성은 교통류의 변동특성이 일정한 평균값, 분산값을 가지며, 자기공분산이 시간의 변화에 상관없이 불변인 경우이지만, 비정상성 교통류의

경우 변동특성이 시간에 따라 변하게 되며, 대표적인 경우가 랜덤워크과정이다.

결국, 비정상 교통류의 흐름을 가지는 네트워크에서 각 경로에 대한 t 기까지의 주행경험에 근거한 $t+1$ 기의 예측소요시간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{t+1} = T_t + \frac{p_t}{r} (\bar{T}_t - T_t) \tag{3}$$

$$p_t = \left(\frac{1}{p_{t-1} + q} + \frac{1}{r} \right)^{-1} \tag{4}$$

여기서, \bar{T}_t 는 t 기의 경험 주행시간을 나타내며, 식(3)에서 (p_t/r) 는 학습계수(혹은 적용계수)라 하며, 이 값은 시간 t 의 함수로 변동하게 됨을 알 수 있다. 자세한 식의 유도는 기 발표된 논문을 참조하기 바란다 (Do, 2001).

한편, 식(2)에서 백색잡음 ϵ_t 가 존재하지 않으면 항상적인 변동은 정상성 변동으로 바뀌게 되어, 정상성 교통류의 흐름을 가지는 네트워크에서의 예측소요시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_t = \frac{T_0 + \frac{p_0}{r} \sum_{j=1}^t \bar{T}_j}{1 + \left(\frac{p_0}{r}\right)t} \tag{5}$$

$$p_t = p_0 / [1 + \left(\frac{p_0}{r}\right)t] \tag{6}$$

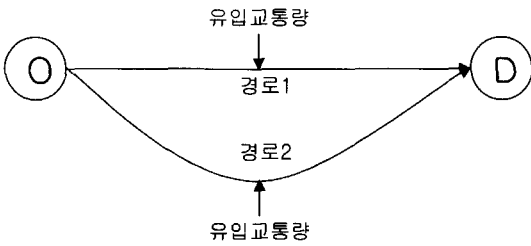
여기서, 운전자가 각 경로의 선택을 무한히 경험하게 되면 즉, $(t \rightarrow \infty)$ 이면 식(6)은 0으로 수렴하게 된다. 결국, 정상성 환경하에서의 예측소요시간(식(5))은 다음과 같이 합리적 기대(Rational expectation) 형성 결과와 같게 된다(도명식 외, 2003; Muth, 1961; Kobayashi, 1994; 이정모, 2001).

$$T_{t+1} = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t \bar{T}_j \tag{7}$$

III. 시뮬레이션을 통한 모형의 적용

1. 시뮬레이션 방법

교통조건의 정상성 여부와 운전자의 경로선택행동과의 관계를 알아보기 위해 간단한 네트워크를 대상으로



(그림 1) 대상네트워크

〈표 1〉 경로의 특성 파라미터

		경로1	경로2
연장(km)		40	50
용량 (C)	선형	80	80
	비선형	120	110
선형BPR함수		$\alpha_i = 40, \beta_i = 0.2$	$\alpha_i = 50, \beta_i = 0.15$
비선형BPR함수		$\alpha_i = 40, \beta_i = 0.002$	$\alpha_i = 50, \beta_i = 0.0015$
초기유입교통량분포		N(100, 10)	N(100, 4)

시뮬레이션을 수행하기로 한다. 우선, 〈그림 1〉에서와 같이 어떤 일정한 수의 운전자(200명)를 대상으로 그들이 동시에 2개의 경로 가운데 어느 한 경로를 매일 선택한다고 가정하자.

두 경로로 유입되는 유입교통량이 정상성을 따르는 경우, 「경로 1」은 복잡한 도심지역을 통과하는 경로로 「경로 2」에 비해 거리는 짧지만 혼잡 발생의 가능성이 상대적으로 높으며, 반면 「경로 2」는 「경로 1」보다 우회하는 도로지만 혼잡 발생의 가능성은 상대적으로 낮은 도로라고 가정하자(표 1 참조).

운전자의 각 경로 $i(i=1,2)$ 의 주행시간에 대한 초기 기대를 정규분포라고 생각하자. 운전자는 과거의 경험, 이용할 수 있는 정보 및 주행시간의 예측결과에 근거해 주행시간이 짧다고 여겨지는 경로 i_t^* 를 선택할 것이다.

$$i_t^* = \arg \min (T_{1,t} + \eta_{1,t}, T_{2,t} + \eta_{2,t}) \quad (8)$$

기호 argmin는 식(8)의 우변을 최소로 하는 경로를 나타낸다. $\eta_{i,t}$ 는 개개인 운전자가 가지는 속성정보(혹은 사적정보, private information)다. 운전자가 경로를 선택해 주행함으로써 각 경로의 선택 교통량 $x_{i,t}$ 을 얻을 수 있다.

한편, 유입교통량 $\omega_{i,t}$ 가 비정상성을 따르는 경우, 식 (9)와 (10)과 같이 랜덤워크를 따르는 비정상성 유

입교통량을 도입할 수 있다.

$$\omega_{i,t} = z_{i,t} + \bar{\lambda}_{i,t} \quad (9)$$

$$z_{i,t} = z_{i,t-1} + \bar{\epsilon}_{i,t} \quad (10)$$

따라서 각 경로의 총교통량은 배분(선택) 교통량 ($x_{i,t}$)과 유입교통량 ($\omega_{i,t}$)의 합으로 구할 수 있다.

$$y_{i,t} = x_{i,t} + \omega_{i,t} \quad (11)$$

t 기의 각 경로의 주행 시간 함수(performance function)와 용량 등 경로의 특성을 나타내는 파라미터는 〈표 1〉과 같으며, 식(12.1)의 선형 주행시간 함수식과 식(12.2)의 비선형 주행시간 함수식을 따르고 가정하자.

$$T_{i,t} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t} \quad (12.1)$$

$$T_{i,t} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t}^2 \quad (12.2)$$

여기서 α_i, β_i 는 경로의 특성에 따른 파라미터로서 「경로 1」은 「경로 2」에 비해 거리는 짧지만 교통량의 증가에 따른 한계비용(marginal cost)은 상대적으로 높게 설정되었음을 알 수 있다.

본 연구에서 공공기관(public agency)이 운전자에게 제공해 주는 정보는 다음과 같은 과정을 거쳐 제공된다. 먼저, 공공기관이라 하더라도 미래에 실현될 소요시간을 완벽하게 추정할 수는 없다. 그 이유는 제공되는 유도정보를 운전자가 그대로 따르리라는 보장을 할 수 없기 때문이며 동시에 시간차집 현상이 존재하기 때문이다. 그러나 공공기관은 각 경로로 유입되는 유입교통량을 검지거나 CCTV를 통해 관측할 수 있으며, 이들 유입교통량의 대소를 비교하여 상대적으로 덜 혼잡한 경로로 선택에 직면한 운전자에게 유도정보를 제공할 수 있다.

즉, 공공기관은 경로 1로 유입되는 유입교통량과 경로 2로 유입되는 유입교통량의 대소를 비교하여 다음과 같은 정보를 운전자에게 제공한다고 가정하자.

$$\text{「경로 1로 가세요」, if } w_1 < w_2 \quad (13.1)$$

$$\text{「경로 2로 가세요」, if } w_1 > w_2 \quad (13.2)$$

이때, 운전자가 획득 가능한 정보는 자신이 선택하

여 주행한 실제 주행경험과 공공기관으로부터 주어지는 사전 교통정보이다. 이 때 정보수신율에 따른 각 경로의 통행시간의 변화를 살펴보기 위해 시뮬레이션을 실시하였다. 정보수신율은 0%에서부터 100%까지 점진적으로 증가시키면서 각 경로의 통행시간의 변화를 관찰하였다.

본 연구에서는 정보수신율을 공공기관으로부터 주어지는 유도정보에 따르는 운전자의 비율로 가정하였다. 한편, 정보수신율이 0%인 경우는 주어지는 정보가 없이 오직 자신의 경험에만 의존해 경로를 선택하는 경우이며, 정보수신율 x%란 의미는 전체 100% 가운데 공공기관의 유도정보대로 따르는 운전자의 비율을 말한다.

2. 시뮬레이션 결과 분석

먼저, 경로의 특성이 네트워크에 미치는 영향과 운전자의 경로선택행동에 어떤 영향을 미치는 가를 알아보기 위해 <그림 1>의 네트워크를 대상으로 각 경로의 소요시간이 교통량의 증가에 따라 선형함수와 비선형함수의 형태로 이루어져 있는 경우를 시뮬레이션 해 보기로 한다.

<표 1>에 각 경로의 특성을 나타내는 파라미터를 정리하였으며, <그림 2>와 <그림 3>에는 각 경로로 유입되는 정상성 유입교통량과 비정상성을 따르는 유입교통량의 변화 추이를 나타내고 있다.

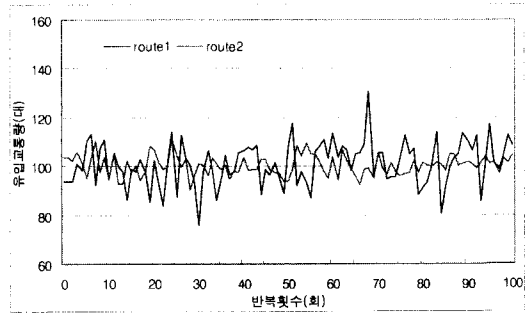
본 연구에서는 정상성 및 비정상성 교통류의 특징을 보이는 유입교통량의 형태 및 크기가 전체 네트워크에 미치는 영향을 살펴보기로 한다.

1) 학습계수의 변화

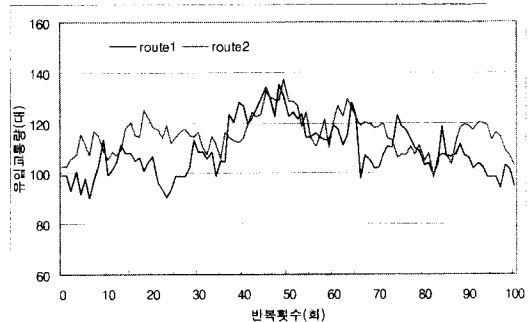
먼저, 각 경로의 교통류의 변동이 정상성 혹은 비정상성을 따르는 경우를 분리하여 운전자들이 경로선택을 반복함으로써 경로의 조건에 대한 학습과정을 학습계수의 수렴과정을 통해 살펴보기로 한다.

<그림 4>~<그림 5>에는 유입교통량이 정상성을 따를 경우, 운전자들의 학습계수의 수렴과정을 나타내며 정보를 수신한 운전자(driver1, driver2)들이 정보하에서 기대를 형성함에 따라 자기 경험에만 의존하는 운전자(driver3~driver10)에 비해 좀 더 빠르게 0으로 수렴하는 모습을 보여주는데, 이것은 주행함수가 선형, 비선형일때 모두 같음을 확인하였다.

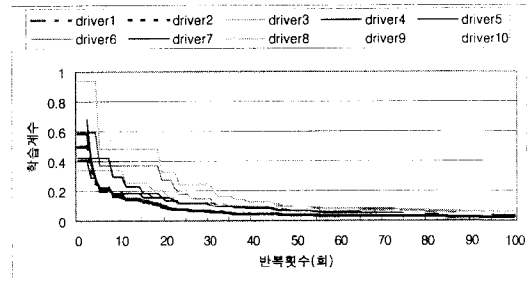
즉, 식(5)에서 언급한 바와 같이 운전자가 정상성의 교통류 흐름에서 경로선택을 반복할 경우, 학습계수는



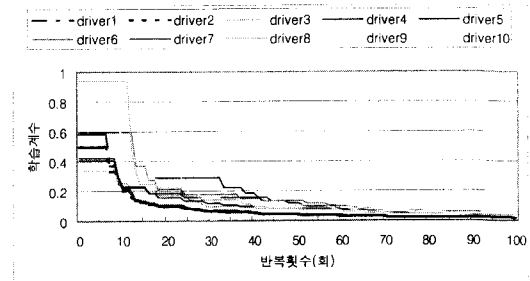
<그림 2> 각 경로에 유입되는 교통량의 변화 (정상성 교통류의 예)



<그림 3> 각 경로에 유입되는 교통량의 변화 (비정상성 교통류의 예)

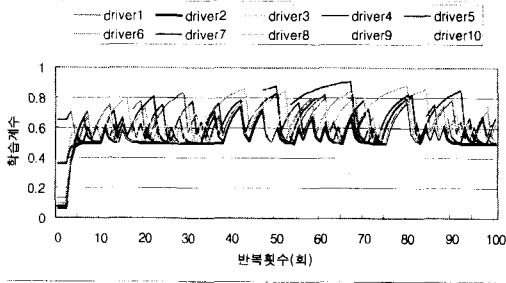


<그림 4> 수신율 20%에서 경로1의 학습계수변화 (선형BPR, 정상성 유입교통량)

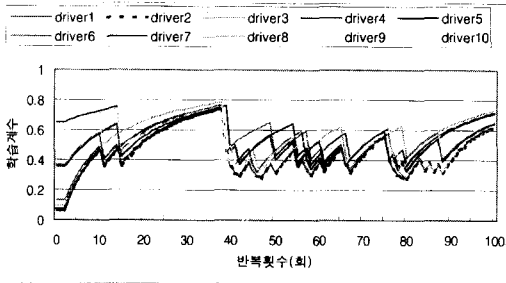


<그림 5> 수신율 20%일때 경로2의 학습계수변화 (비선형BPR, 정상성 유입교통량)

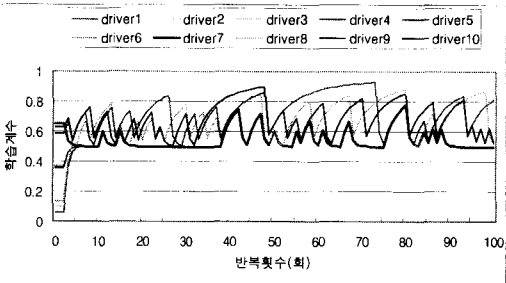
0으로 수렴하여 선형BPR함수이든 비선형BPR함수이든 합리적 기대가설이 성립함을 확인하였다.



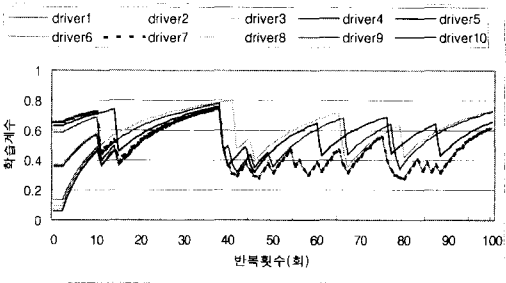
〈그림 6〉 수신율 20%에서 경로1의 학습계수변화 (선형BPR, 비정상성 유입교통량)



〈그림 7〉 수신율 20%에서 경로2의 학습계수변화 (비선형BPR, 비정상성 유입교통량)



〈그림 8〉 수신율 70%에서 경로1의 학습계수변화 (선형BPR, 비정상성 유입교통량)



〈그림 9〉 수신율 70%에서 경로2의 학습계수변화 (비선형BPR, 비정상성 유입교통량)

〈그림 6〉~〈그림 7〉에는 비정상성 교통류인 경우에서의 운전자의 학습계수의 변동을 나타내고 있다. 즉, 정보수신율이 20%인 경우, 주어지는 정보에 의해 경

로 선택을 반복하여 학습함으로써 경로의 조건에 대한 학습계수가 비정상성 교통류를 따르는 경우에는 0으로 수렴하지 않고 경로의 특성에 따라 서로 다른 학습계수의 폭을 가지고 진동하는 것을 확인할 수 있다. 그러나, 비정상성 환경하에서도 정보를 수신하는 운전자의 경우가 변동 폭이 적으며, 낮은 학습계수의 값을 가지는 것을 알 수 있다.

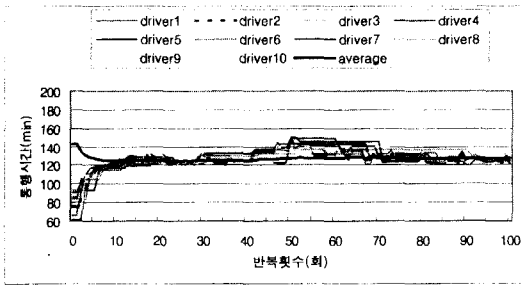
한편, 〈그림 8〉과 〈그림 9〉에서 보는 바와 같이 정보수신율 70%일 경우에는 정보수신율이 20%에서의 학습계수의 변동과는 달리 정보를 수신하지 않은 운전자의 진동이 작은 것을 볼 수 있다. 이는 정보를 수신하는 운전자의 비율이 높아짐에 따라 특정 경로로 교통류의 쏠림현상이 발생하여 정보의 역효과가 발생하게 됨을 나타낸다. 따라서 정보를 수신하지 않고 자신의 경험에 의존해 경로를 선택한 운전자가 역으로 소요시간이 짧게 걸리게 되어 경로에 대한 학습이 느려지게 됨을 의미한다.

특히, 선형BPR의 경우는 두 경로의 용량의 차이가 크지 않으므로 비선형BPR의 경우에 비해 유입교통량의 작은 변화에도 운전자가 민감하게 반응하여 학습계수의 진동 폭이 적음을 알 수 있다.

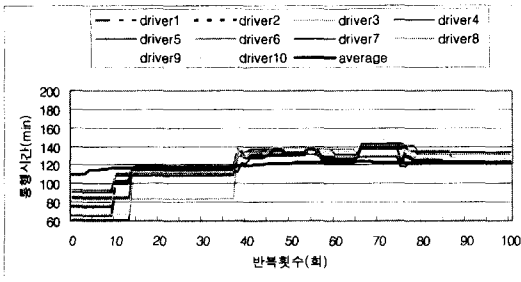
따라서, 비정상성 교통류의 특성을 나타내는 경로의 경우, 식(3)에서 언급한 바와 같이 학습계수가 0으로 수렴하지 않고 경로의 특성에 따라 매번 변동하는 것을 알 수 있다. 즉, 운전자는 일정한 평균값을 가지는 정상성과는 달리 예측할 수 없는 비정상성을 따르는 경로의 특성에 따라 학습계수가 변동하며, 이에 따라 경로의 소요시간에 대한 예측도 매번 달라짐을 알 수 있다.

한편, 〈그림 10〉~〈그림 13〉에는 비정상성 유입교통량이 유입되는 경우 비선형BPR에서의 경로 1과 경로 2에 대한 학습과정을 수신율 20% 및 70%로 구분하여 나타내고 있다. 수신율 20%일때 소요시간의 변동을 살펴보면, 정보를 수신한 운전자가 그렇지 못한 운전자에 비해 낮은 소요시간을 경험하게 되는 것을 알 수 있다. 이는 적절한 비율의 운전자에게 교통정보가 제공될 경우에는 정보를 수신한 운전자가 빨리 목적지에 도달할 수 있음을 말하는 것으로 정보의 순기능을 나타낸다고 할 수 있다.

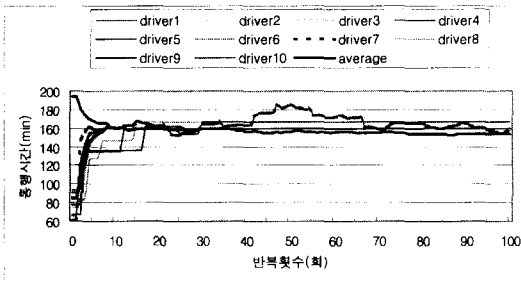
한편, 정보수신율 70%일때 소요시간의 변동을 살펴보면, 정보를 수신한 운전자가 오히려 높은 소요시간을 경험하게 된다는 것을 알 수 있다. 이는 운전자들이 유



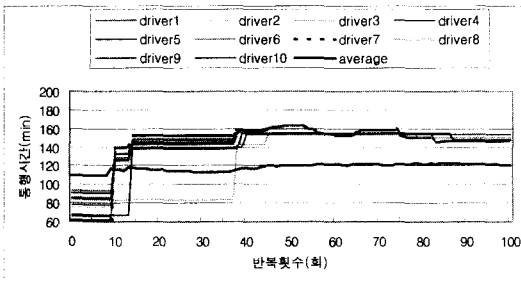
〈그림 10〉 수신율 20%에서 경로1의 소요시간에 대한 학습과정 (비선형BPR, 비정상성 유입교통량)



〈그림 11〉 수신율 20%에서 경로2의 소요시간에 대한 학습과정 (비선형BPR, 비정상성 유입교통량)



〈그림 12〉 수신율 70%에서 경로1의 소요시간에 대한 학습과정 (비선형BPR, 비정상성 유입교통량)



〈그림 13〉 수신율 70%에서 경로2의 소요시간에 대한 학습과정 (비선형BPR, 비정상성 유입교통량)

도정보에 의해 한쪽 경로로 쏠리게 됨으로써 생기는 것으로 정보의 역효과가 일어남을 보여준다. 이 결과는 선형BPR일 경우도 같은 모습을 보이고 있다.

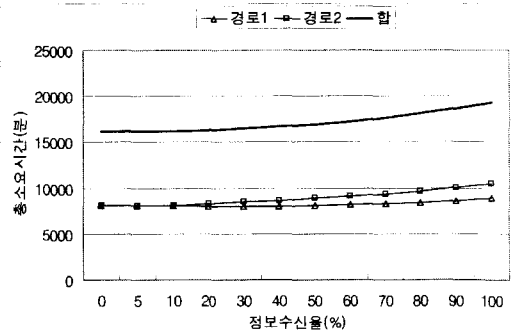
2) 총 통행시간의 변화(선형BPR의 경우)

소요시간 함수가 선형인 경우 〈그림 14〉와 같이 정상성을 따르는 교통량이 유입되는 경우 운전자의 경험에만 의존해 경로를 선택하고 학습하는 경우보다 수신율이 10%인 경우의 총 통행시간의 합이 감소한 것으로 나타나 교통정보의 효과가 있음이 증명되었다.

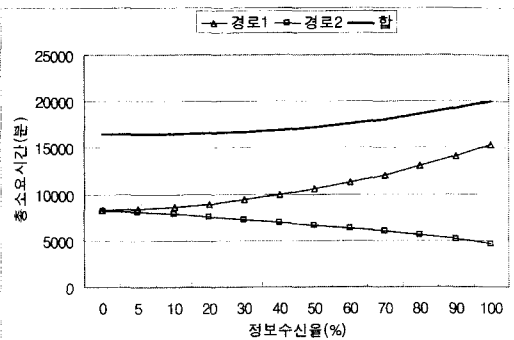
한편, 〈그림 15〉와 같이 비정상성을 따르는 교통량이 유입되는 경우 경험에만 의존하는 운전자들의 총 통행시간보다 정보의 수신율이 증가함에 따라 오히려 총 통행시간이 조금씩 증가함을 보였다. 이는 〈그림 3〉에서 알 수 있는 바와 같이 유입되는 평균 유입교통량의 절대치가 정상성일 경우보다 증가하였기 때문에 총 교통량이 증가하면서 소요시간이 증가하였기 때문이다.

또한 경로 2의 총 통행시간이 정보를 수신하는 운전자가 많아짐에 따라 계속 감소하는 것은 유입교통량이 경로2가 경로1보다 상대적으로 많아 유도정보가 1로 집중되면서 생기는 현상이다.

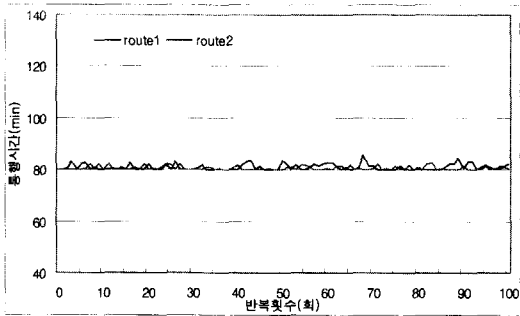
여기서 주의할 점은 기존의 연구결과에서는 교통정보의 최적 수신율까지 총통행시간이 감소하다가 수신비율이 높아짐에 따라 역효과가 나타나는 데, 본 연구의 경



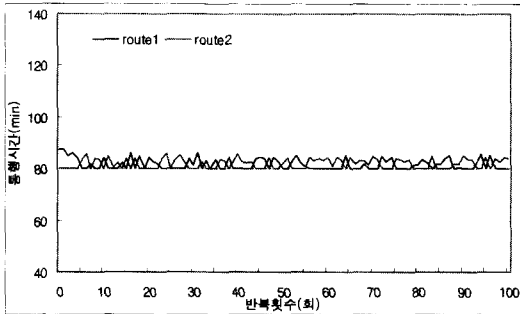
〈그림 14〉 정보수신율 변화에 따른 통행시간의 변화(정상성)



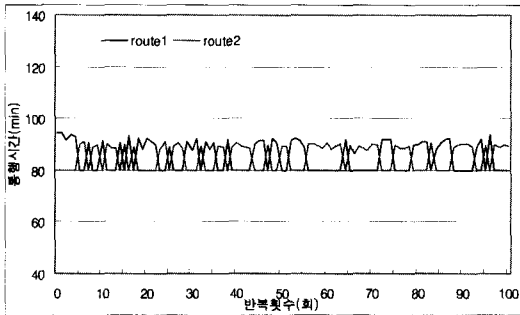
〈그림 15〉 정보수신율 변화에 따른 통행시간의 변화(비정상성)



〈그림 16〉 경로 통행시간변화 (선형-정상성-정보수신율 0%)



〈그림 17〉 경로 통행시간변화 (선형-정상성-정보수신율 30%)



〈그림 18〉 경로 통행시간변화 (선형-정상성-정보수신율 70%)

우, 고정수요를 대상으로 한 점과 각 기마다의 총통행시간이 아니라 수신율별로 운전자의 100회의 경로선택과 학습이 종료된 시점에서 합계한 총통행시간의 평균 값을 사용하여기 때문에 기존의 연구결과와 단순히 수신율과 총통행시간을 비교하는 것은 의미가 없다고 할 수 있다.

〈그림 16〉~〈그림 18〉에는 선형BPR의 경우에 있어서 정보수신율을 0%에서 30%, 70%로 변화시켰을 때 운전자들이 경험하는 각 경로의 통행시간의 변화를 나타내고 있다. 특히, 유입되는 교통량이 정상성을 따르고 있기 때문에 일정한 평균값을 유지하면서 정보수신율에 의해 진동 폭이 커짐을 알 수 있다.

한편, 선형BPR의 경우에 있어서 유입되는 교통량이 비정상성을 따르는 경우도, 정보수신율이 증가함에 따

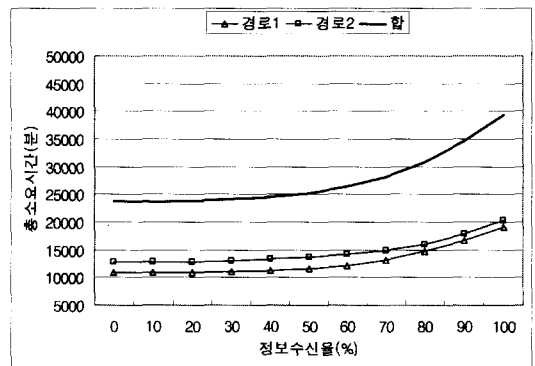
라 진동 폭이 커짐을 확인하였다. 동시에, 비정상성 교통류 흐름일 경우에 소요시간의 변동이 정상성을 따르지 않고 변동하는 것을 알 수 있었다.

3) 총 통행시간의 변화(비선형BPR의 경우)

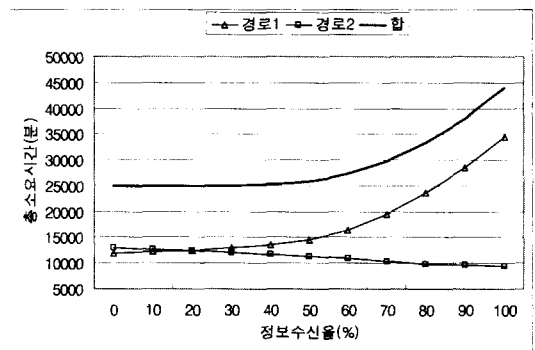
소요시간 함수가 비선형인 경우 〈그림 19〉와 같이 정상성을 따르는 교통량이 유입되는 경우 운전자의 경험에만 의존해 경로를 선택하고 학습하는 경우(정보수신율 0%)보다 수신율이 10% 부근에서 총 통행시간의 합이 감소하였다가 점점 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 〈그림 20〉에서와 같이 비정상성을 따르는 교통량이 유입되는 경우 경험에만 의존하는 운전자들의 총 통행시간보다 정보의 수신율이 20% 부근에서 최소가 되었다가 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 경로 2의 총 통행시간이 정보를 수신하는 운전자가 많아짐에 따라 계속 감소하는 것은 유입교통량이 경로2가 경로1보다 상대적으로 많아 유도정보가 1로 집중되면서 생기는 현상으로 선형일때와 같은 결과를 나타내고 있다.

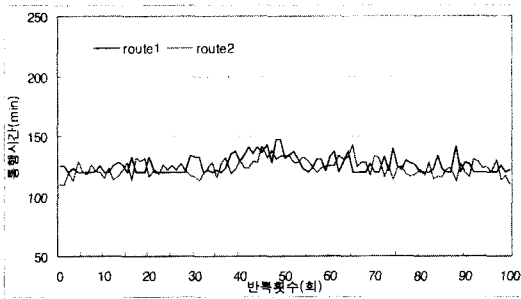
한편, 통행시간의 변화를 선형BPR일 경우와 비교해 보면, 즉 통행시간이 교통량의 변동에 비교적 덜 민감



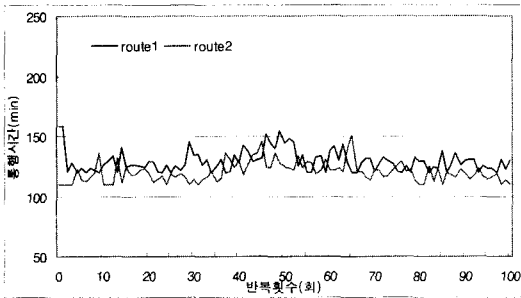
〈그림 19〉 정보수신율 변화에 따른 통행시간의 변화(정상성)



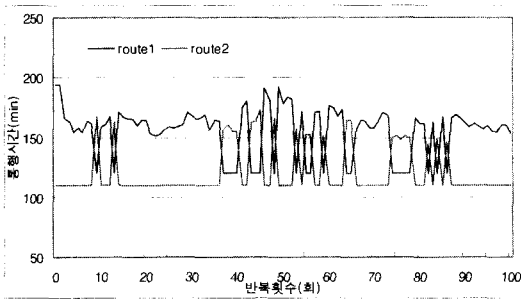
〈그림 20〉 정보수신율 변화에 따른 통행시간의 변화(비정상성)



〈그림 21〉 경로 통행시간변화(비선형-비정상성-정보수신율 0%)



〈그림 22〉 경로 통행시간변화(비선형-비정상성-정보수신율 30%)



〈그림 23〉 경로 통행시간변화(비선형-비정상성-정보수신율 70%)

한 선형BPR보다 비선형BPR의 경우가 정보수신율이 증가함에 따라 소요시간이 급격히 상승하는 것을 알 수 있다. 이것은 비선형BPR의 경우, 정보수신율이 최적 비율(optimal fraction)일 때까지는 총통행시간이 감소하지만, 정보수신율이 최적비율을 넘으면 경로를 선택하는 운전자의 비율이 증가함에 따라 경로 유도정보가 오히려 네트워크의 총통행시간을 증가시키는 역효과가 발생한다는 것을 보여주는 것으로 해석할 수 있다.

이때 유의해야 할 점은 정보수신율의 최적비율은 주어진 네트워크의 특징, 즉 용량, 차량대수, 유입교통량의 성질, 소요시간함수 등에 의존하기 때문에 네트워크의 상태와 특성에 따라 달라진다는 것이다.

한편, 비선형BPR의 경우 정상성 유입교통량이 존재

할 때에 정보수신율을 0%에서 30%, 70%로 변화시켰을 때 운전자들이 경험하는 각 경로의 통행시간의 변화를 살펴보면, 유입교통량이 정상성을 따르고 있기 때문에 일정한 평균값을 유지하면서 정보 수신율에 의해 진동 폭이 커짐을 알 수 있었다.

〈그림 21〉~〈그림 23〉에는 비선형BPR의 경우에 있어서 유입되는 교통량이 비정상성을 따르는 경우, 정보수신율을 0%에서 30%, 70%로 변화시켰을 때 운전자들이 경험하는 각 경로의 통행시간의 변화를 나타내고 있다.

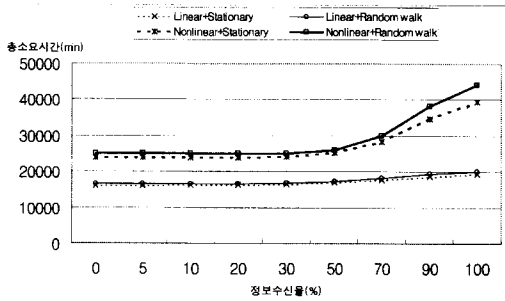
여기서 비정상성 교통류 흐름일 경우에 소요시간의 변동이 수신율에 상관없이 크게 변동하는 것을 알 수 있다. 특히, 〈그림 23〉에서 알 수 있는 바와 같이 유도정보가 경로1로 제공되는 경우가 많은 기간에는 경로1에서의 소요시간이 크게 높아진 것을 알 수 있다. 특히, 경로1과 경로2의 소요시간이 선형BPR의 경우보다 훨씬 큰 폭으로 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이는 유도되는 정보에 따르는 운전자의 비율이 커짐에 따라 쏠림현상이 발생하게 되고, 이로 인해 교통량의 증가에 따른 민감도가 비선형BPR에서 크게 작용하기 때문이다.

〈그림 24〉에는 지금까지 언급한 선형BPR과 비선형BPR이 전체 운전자의 총 통행시간에 미치는 영향을 알아보기 위한 그림이다. 여기서 선형소요시간보다는 비선형소요시간이 정보의 수신율의 증가에 따라 네트워크에 많은 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 어느 일정한 비율 이상의 운전자에게 유도정보가 주어지고 이에 따라 운전자들이 경로를 선택하면 유도된 경로로 많은 운전자가 몰리게 되면 정보의 역효과가 발생하며, 식(12.2)와 같은 비선형소요시간함수식에서 그 영향이 큼을 확인하였다.

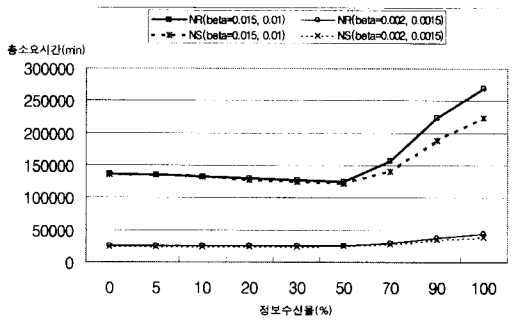
나아가, 유입되는 교통량의 절대값의 크기도 운전자의 경로선택과 총 소요시간에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 〈그림 3〉에서와 같이 예측할 수 없는 비정상성을 따르는 유입교통량의 절대값이 정상성을 따르는 유입교통량의 절대값(그림 2)보다 큰 경우 소요시간함수가 선형이든 비선형의 형태든 상관없이 커진다는 것을 확인하였다.

4) 한계비용의 크기가 소요시간에 미치는 영향

차량 한 대의 증가가 전체 소요시간에 미치는 영향을 소요시간에 대한 한계비용(marginal cost)이라 한



〈그림 24〉 선형BPR과 비선형BPR의 영향



〈그림 25〉 한계비용의 크기에 따른 영향

다. 본 연구에서는 이를 β_1 로 나타내고 있으며 이 값의 크기로 차량 한 대가 증가함으로써 소요시간에 미치는 영향을 나타내고 있다.

〈그림 25〉에서 β_1 의 값이 경로 1이 0.002에서 0.015로 경로 2가 0.0015에서 0.01로 증가함에 따라 어느 일정 수준이상의 정보수신율을 따르는 네트워크에서 소요시간이 급격히 변화하는 것을 알 수 있다. 즉, 한계비용이 큰 경로일수록 정보수신율에 증감에 따른 영향이 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

여기서도 마찬가지로 비정상성의 특징을 가지는 유입교통량의 절대값이 정상성을 따르는 유입교통량의 절대값보다 큰 경우에는 총 소요시간도 커진다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 교통환경이 정상성 혹은 비정상성을 따르는 경우로 구분하여, 교통정보의 수신율이 운전자들의 경로선택 행동과 교통네트워크 전반에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 살펴보았다.

본 연구를 통해 공공기관에 의해 제공되는 경로 조건

에 대한 사전 정보를 획득하는 운전자의 비율이 전체 네트워크의 성능에 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 자신의 경험에만 의존하는 경우보다는 정보의 제공으로 인해 전체 운전자의 소요시간이 단축되어 정보의 효과가 있음도 확인하였다. 또한 정보 수신율이 최적 비율을 넘어설 경우에는 유도정보가 전체 네트워크에 오히려 악영향을 미치며, 각 경로의 통행시간이 일정한 값의 범위 내로 수렴하지 못하고 크게 진동하는 것을 확인하였다.

나아가, 정상성을 따르는 경우와 달리 교통환경이 비정상성을 따르는 경우에는 초기의 경로의 특성에 대한 탐색기간이 끝난 후에도 운전자의 학습과정은 수렴하지 못하고 혼란상태가 발생함을 확인하였다. 또한 유입교통량이 클수록 정보수신율이 커짐에 따라 네트워크에 큰 영향을 미침을 알 수 있었으며, 선형의 소요시간 함수보다 비선형의 소요시간함수에서 소요시간이 크게 증가하여 정보의 역효과가 발생하기 쉬우므로 신중한 정보의 제공이 필요한 것으로 판단된다.

향후 연구과제로는 1) 가변 O/D에 대한 운전자의 경로선택과 학습행동, 2) 실제 교통 상황에서 운전자의 정보 수신율을 고려한 정보 제공 전략과 소요시간함수의 변화와 경로의 용량차이의 크기에 따른 영향, 3) 다양한 비정상적 교통류 환경하에서의 운전자의 경로선택 행동과 네트워크에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김혜란·전경수·박창호(2004), "관측 교통정보를 이용한 통행중 경로전환행태 모형", 대한교통학회지, 제22권 제3호, 대한교통학회, pp.137~144.
2. 김효명(1992), "알기쉬운 합리적 기대가설", 형설출판사.
3. 노병탁·김태환(1986), "정보경제학-의사결정과 회계정보", 박영사.
4. 도명식·고바야시 키요시(2000), "운전자의 이질성을 고려한 경로선택과 기대형성에 관한 연구", 대한토목학회논문집, Vol.21,5-D, pp.555~565.
5. 도명식·석중수·김명수·최병국(2003), "교통상황에 따른 운전자의 경로선택과 학습행동에 관한 연구", 대한교통학회지, 제21권 제3호, 대한교통학회, pp.97~106.
6. 변완희·Iida, Y.·김주현·Uno, N.(2003), "정

- 보제공 서비스가 운전자 및 도로 네트워크에 미치는 영향에 대한 시뮬레이션 분석", 대한교통학회지, 제21권 제3호, 대한교통학회, pp.85~96.
7. 석종수·도명식·채정환(2003), "정보수신율이 경로 통행시간과 운전자 학습과정에 미치는 영향", 대한토목학회 학술발표회 논문집 CD-ROM.
 8. 윤대식(2002), "교통방송이 제공하는 교통정보가 직장인의 통행행태에 미치는 영향분석", 대한교통학회지, 제20권 제5호, 대한교통학회, pp.33~43.
 9. 이영환(1999), "정보경제학", 을곡출판사.
 10. 이정모(2001), "인지심리학", 아카넷.
 11. 이청원(2001), "서울시 동적교통정보 제공을 위한 기본연구", 서울시정개발연구원.
 12. 임강원·임용택(2003), "교통망 분석론", 서울대학교출판부, pp.410~424.
 13. 조혜진·김강수(2003), "불확실한 정보에 대한 운전자의 의사결정 행태 연구", 대한교통학회지 제21권 제1호, 대한교통학회, pp.77~90.
 14. Ben-Akiva M, A. De Palma and Kanaroglou, P. (1986), "Dynamic model of peak period traffic congestion with elastic arrival rates", *Transportation Science.*, vol.20, pp.164~181.
 15. Ben-Akiva M, A. De Palma and Kaysi, I. (1991), "Dynamic network models and driver information system", *Transportation Research* 25A, pp.251~266.
 16. Bonsall, P.W. and Perry, T. (1991) "Using interactive route-choice simulator to investigate drivers' compliance with route guidance advice", *Transportation Research Record* 1306, pp.50~68.
 17. Boyce, D. E. and Kim, T. J.(1987) "The role of congestion of transportation networks in urban location and travel choices", *Transportation*, 14, pp.53~62.
 18. Cagan. P.(1956), "The monetary dynamics of hyperinflation", In: Friedman, M.(ed) *Studies in the Quantity Theory of Money*. Chicago: Univ. of Chicago Press.
 19. Do, M. (2001), "Drivers' Adaptive Expectations Formation in Nonstationary Traffic Environment", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.5, No.1, pp.75~85.
 20. Emmerink, R.H.M., et al. (1995) "The potential of information provision in a simulated road transport network with non-recurrent congestion", *Transpn. Res.-C*, Vol.3(5), pp.293~309.
 21. Iida, Y., Akiyama, T. and Uchida, T. (1992), "Experimental analysis of dynamic route choice behavior", *Transportation Research*, 26B, 1, pp.17~32.
 22. Kobayashi, F. (1979), "Feasibility study of route guidance system", *TRR737*, pp.107~112.
 23. 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.
 24. 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.
 25. Muth, J. (1961), "Rational expectations and the theory of price movement", *Econometrica*, 29, pp.315~335.

✉ 주 작 성 자 : 도명식

✉ 논문투고일 : 2004. 5. 12

논문심사일 : 2004. 8. 4 (1차)

2004. 9. 10 (2차)

2004. 9. 25 (3차)

심사판정일 : 2004. 9. 25

✉ 반론접수기한 : 2005. 2. 28