

■ 論 文 ■

# 속도-밀도 모형을 적용한 혼잡통행료 산정 (강변북로를 중심으로)

An Estimation of Congestion Pricing Using Speed-Flow Relationship  
(Gangbyeon Expressway)

**강 경 우**

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

**국 우 각**

(한양대학교 교통시스템공학과 박사과정)

## 목 차

I. 서론

II. 본론

- 1. 통행료에 대한 이론적 고찰
- 2. 속도-밀도 모형의 산정

3. 속도-밀도 모형에 따른 혼잡통행료 산정

III. 결론 및 향후과제

참고문헌

Key Words : Congestion pricing, Drake model, Speed-flow relationship, Gangbyeon Expressway, ERP

## 요 약

본 논문은 전통적인 경제학적 개념의 수요함수와 비용과의 관계로서 혼잡비용을 추정할 때 어려움을 극복하고 실제 적용 가능한 혼잡비용을 추정하는 것이다. 본 논문에서는 속도-밀도 곡선을 이용한 공학적인 방법론을 이용하여 속도에 대한 탄력성을 통해 도로의 소통상황에 따른 실질적으로 적용 가능한 혼잡통행료를 산출하기 위해서 실질 교통량자료를 이용하여 속도, 밀도 및 교통량 관계에 따른 이론적인 혼잡요금을 추정하였다. 또한, 본 논문은 장래 전자통행료징수시스템의 도입을 전제로 속도에 따른 적정혼잡통행료를 산정하였다. 특히 연구대상 지역(강변북로)의 자료를 이용하여 다양한 분석결과 Drake모형이 가장 적합한 것으로 분석되었으며, 산정된 모형을 이용하여 통행속도의 변화에 따른 적정 혼잡통행료를 추정하였다. 본 논문의 분석결과를 임금율법에 적용하여 혼잡통행료를 부과할 경우 44km/h-68km/h일 때 최적의 혼잡 통행료는 94원에서 3,255원으로 추정되었다. 한계대체율법을 적용한 경우에는 속도가 44km/h-68km/h일 때 최적의 혼잡 통행료는 107원에서 6,381원으로 추정되었다.

The main purpose of this paper is to develop the practical method to estimate the congestion price in order to overcome the difficulty of traditional microeconomics approach for demand and cost function concepts. In this paper, we estimate the theoretical congestion toll which reflecting the real traffic conditions such as a speed-density functions using a traffic engineering methods. We calculate the optimal congestion toll based on the real traffic conditions assuming that the electronic road pricing (ERP) systems are installed for the study road. After evaluating the various speed-density relationship methods, we found that the Drake model is best suited for the Gangbyeon Expressway. Using the Drake model, the optimal congestion toll will be 94 to 3,255 Won for the traffic speed between 44 km/h to 68 km/h based on wage rate method and 107 to 6,381 Won for the marginal substitution method for the Gangbyeon Expressway in city of Seoul, Korea.

## I. 서론

1996년 서울 남산에선 학계와 여론의 많은 반대에도 불구하고 국내 최초로 혼잡통행료제도가 실시되었으며, 이후 혼잡통행료제도는 차량의 통행속도 증가라는 결과로 그 효과가 이미 입증되어 있다. 하지만, 시행 후 10년이 되어 가는 지금 그 당시의 혼잡통행료 2,000원은 지금도 그대로 유지되고 있으며 면제차량의 증가로 인하여 시행초기에 비해 그 효과성이 많이 떨어져 있는 것이 현실이며 근래에는 자율요율제 실시차량에 대하여 통행료를 차등 징수하는 등 요금제도의 변화가 있다. 하지만 지금까지의 남산 혼잡통행료는 일정 금액을 지불하는 방식이므로 실제 혼잡의 정도에 따라서 차등요금에 부과되어야 하는 것이 이론적으로 타당성을 가지나 시행상의 문제점과 다른 여러 문제들로 본래의 의미와는 다소 다른 방향으로 시행되고 있다.

도시교통정비촉진법의 개정에 의하여 교통혼잡통행료 징수대상과 교통혼잡관리구역 지정대상 기준이 변화되어 지자체별로 혼잡통행료를 징수하거나 승용차 이용이 제한되는 지역이 확대될 전망이다. 또한, 혼잡통행료의 징수 장소가 교량, 터널, 교차로 등 지점일 수도 있고 일정 구간 및 구역일 수도 있기 때문에 교통혼잡통행료 확대 시행은 통행료 지불 및 징수 시스템의 개혁을 수반한 자동징수시스템의 도입이 더욱 필요한 시점이다.

본 논문에서는 강변북로를 대상으로 속도-밀도 관계식을 도출하고, 이 식으로부터 연속류에 대한 통행속도와 시간가치를 이용하여 혼잡통행료를 산출하였다.

또한, 본 논문의 혼잡통행료 산정은 혼잡통행료 확대 기준에 의거 다양한 지점에서 자동징수시스템이 도입될 경우 혼잡수준에 따른 적정혼잡비용을 산출하여 현 교통류 상황을 속도라는 변수를 통하여 고정된 가격이 아닌 교통상황(속도)에 따른 가격을 책정하는데 있다.

## II. 본론

### 1. 통행료에 대한 이론적 고찰

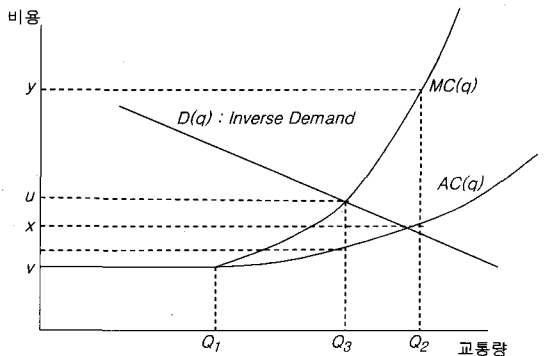
통행료에 대한 이론은 1844년 프랑스의 Dupuit에 의해 제기된 이후로 사회적 후생을 극대화하기 위한 통

행료수준은 한계비용(Marginal cost)에 근거해야 한다는 Pigou<sup>1)</sup>에 의하여 이론이 정립되었다. 교통체계에 대한 한계사회비용 가격화의 원리를 간략히 살펴보면 다음과 같다.

통행비용은 "일반화된 비용(generalized cost)"라고 표현되며 이는 운행비용과 시간가치비용의 합이라 할 수 있다. 교통량이  $Q_1$ 에 도달하기 전까지, 즉 혼잡이 발생하기 전까지는 운행비용은 일정하지만 교통량이 임계점인  $Q_1$ 을 지나가면 각 차량들이 서로 다른 차량들을 방해하며 이에 따라 속도가 감소하면서 통행시간의 증가로 한계비용은 증가한다. 이때 각 운전자는 그 도로를 통행함에 따라 발생하는 이윤 혹은 편익과 비용과의 관계를 통하여 통행을 결정하는데 여기서  $D > AC$  (Average cost : 평균비용) 인 지점( $Q_2$  이전의 부분)까지 운전자는 도로를 이용하지만 그 지점을 지나서 통행을 결정하는 운전자는 해당 통행으로 얻어질 수 있는 이득보다 비용이 초과하며 이에 따라 더 이상의 통행은 발생하지 않는다.

<그림 1>과 같은 상황에서 시장의 균형은  $Q_2$  교통량이다. 하지만  $Q_2$ 일 때의 최적의 교통량은  $Q_3$  이후의 추가적인 운전자가 다른 운전자들을 방해하는 비용을 고려하지 않는다. 도로시설의 건설비용이 고정되어 있는 단기 분석의 경우 추가통행이 발생시키는 km당 한계비용은 추가 차량 통행으로 인하여 발생하는 비용과 차량 통행이 한 단위 증가함으로써 이전의 다른 도로 이용자 전체가 부담해야 하는 한계비용의 합이며 이러한 한계비용과 평균비용의 차이가 추가적인 차량에 의한 혼잡비용이다.

<그림 1>의 MC 곡선은 도로 이용자의 한계비용을 보여주며,  $Q_1$ 을 지나면서부터 혼잡이 발생함을 볼 수



<그림 1> 이론적인 혼잡비용

1) Pigou, A. C.(1932). "The Economics of Welfare. London : Macmillian".

있다. 교통량이  $Q_2$ 에서는  $MC(Q_2) > D(Q_2)$  이며, 혼잡통행료인  $\gamma$ 은  $u-v$ 로 나타낼 수 있다. 즉, 도로를 이용하고자 하는 각각의 운전자에게  $\gamma$ 의 비용이 부과됨에 따라 최적의 교통량인  $Q_3$ 이 얻어질 수 있다.

1) 속도-밀도 모형의 이론적 고찰

미국의 HCM(Highway Capacity Manual)에서는 실제 도로상에서 운전자나 차량, 도로 등의 환경조건이 변하기 때문에 이상적인 조건하에서 용량에 도달한 교통량을 관찰한다는 것은 어려운 일이며, 교통량, 속도, 밀도간의 관계는 연속류의 용량추정 및 용량하에서의 운행상태를 추정하는데 이용된다고 한다.

이때 용량이라고 하는 것은 속도-교통량, 교통량-밀도곡선상의 첨두점의 최대교통량으로 정의하고 있다. 그러나 대부분의 경우 용량상태 부근에서 명확한 관찰이 어려워 정확하게 규정하기가 매우 어렵지만 많은 연구자들은 이와 같은 문제점을 해결하고 이들의 관계를 설명하는 분석적인 모형을 발전시켜 왔으며 이들 모형으로부터 도로용량 또는 각 서비스수준에 상응하는 실용용량을 추정할 수 있다.

교통류의 3변수 즉 속도(U), 밀도(K), 교통량(Q)의 상관관계를 함수관계로 나타낸 것을 거시적 교통류 모형이라 부르며, 이들 간의 관계는 다음과 같다.

$$Q(vph) = U(kph) \times K(vpk) \tag{1}$$

여기서, Q : 평균교통유율(vph)  
 U : 공간평균속도(kph)  
 K : 평균밀도(vpk)

이와 같은 변수에 관련된 다른 부호의 정의는 다음과 같다.

$Q_m$  : 최대 교통류율  
 $U_f$  : 자유속도  
 $K_j$  : 혼잡밀도  
 $U_m$  : 임계속도(최대 가능교통량에서의 속도)  
 $K_m$  : 임계밀도(최대 가능교통량에서의 밀도)

초기의 연구자들은 밀도(도로상의 차량들), 속도 사이에 밀접한 상호작용이 존재함을 알고 속도와 밀도 사이의 관계

〈표 1〉 속도-밀도-교통량관계

Model	속도-밀도 함수	속도-교통량 함수
Green shield	$K = K_j \left(1 - \frac{U}{U_f}\right)$	$q = K_j U \left(1 - \frac{U}{U_f}\right)$
Drew	$K = K_j \left(1 - \frac{V}{V_f}\right)^{1/\beta}$	$q = K_j V \left(1 - \frac{V}{V_f}\right)^{1/\beta}$
Drake	$K = K_m \left(\delta \ln \frac{V_f}{V}\right)^{1/\delta}$	$q = K_m V \left(\delta \ln \frac{V_f}{V}\right)^{1/\delta}$

$K_j$  : 혼잡밀도  
 $K_m$  : 최대 가능교통용량( $q_0$ )에서의 밀도  
 $U_f$  : 자유속도  
 $U_m$  : 최대 가능교통용량에서의 속도

를 상세히 연구하여 그들의 관계에 대한 형태를 찾고자 하였다. 그에 따라 연구자들에 의해 직선모형(Greenshield), 대수모형(Greenberg), 지수모형(Underwood), Drew, Drak 모형 등이 개발되어 제시되었다. 〈표 1〉은 Greenshield, Greenberg, Underwood, Drew, Drake의 속도-밀도 모형을 정리한 것이다.

2) 속도 탄력성을 통한 혼잡통행료 산정식 도출

평균비용곡선이 통행시간과 비례적으로 증가한다는 가정 하에 비용의 추정이 가능하다는 것은 Walters (1961)<sup>2)</sup>에 의하여 널리 알려져 있는데 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$AC(q) = c \times \left(\frac{d}{v}\right) = \left(\frac{c}{v}\right) \cdot d, \quad d = 1\text{km 가정} \tag{2}$$

$$TC(q) = \left(\frac{qc}{v}\right) \tag{3}$$

여기서, q : 정해진 시간동안 도로를 통과하는 차량의 대수  
 v : 차량의 속도  
 d : 운행거리  
 c : 일반화된 평균비용(차량운행비용+시간비용)

이를 다시 한계비용(MC), 즉 추가적 차량에 의한 비용으로 표현하면,

$$MC(q) = \frac{dT C(q)}{dq} = \frac{c}{v} - \frac{qc}{v^2} \left(\frac{dv}{dq}\right) \\ = \frac{vc - qc}{v^2} (dv/dq) = AC - \frac{qc}{v^2} \frac{dv}{dq} \tag{4}$$

2) Walters, A. A.(1961), Theory and measurement of private and social cost of highway congestion. Econometrica 29(4), pp.676~699.

혼잡비용을 부과하는 도로의 최적의 교통유율은 <그림 1>의  $Q_3$ 이며 이때,  $MC(q) = D(q)$ 이다.

$$r = MC(Q_3) - AC(Q_3) = -\frac{qc}{v^2} \cdot \frac{dv}{dq} > 0 \quad (5)$$

$r$ 은 혼잡비용을 의미하며, (4)식에 의한 한계비용과 평균비용의 차이는 양(+)의 부호를 가지며, 도로 가격화에 유효한 범위에서  $q$ 의 함수인  $V(q)$ 는 감소한다. 그러나 최대교통유율 이후의  $dV/dq > 0$  부분에선 속도-교통량의 관계는 후굴곡선(backward bending)의 형태를 띠며  $AC(q)$ 의 곡선 또한 후굴곡선의 속성을 가지게 됨과 동시에  $AC(q)$ 의 2계도함수인  $AC''(q)$ 는 감소한다. 따라서 이 지점에서는 위의 혼잡비용공식을 적용할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 수요곡선이 한계비용곡선과 교차하고, 평균비용곡선이 증가하는 부분은 혼잡통행료의 적용이 가능한 범위로 한정하였다<sup>3)</sup>.

위의 개념을 기본으로 Li<sup>4)</sup>는 밀도에 대한 속도의 탄력성을 이용하여 혼잡통행료를 산정하였다.

$$\epsilon_v = \frac{dq/dV}{q/V} \quad (6)$$

$$\gamma = -c/(V\epsilon_v) \quad (7)$$

여기서, 속도-교통량-밀도 근본적인 관계식인  $q = V \times K$ 라는 식을 이용하여  $V$ 와  $K$ 의 관계를 추정해보면,  $K = g(V)$ 로 가정할 수 있으며 이를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$dq/dv = K + V \times dK/dV \quad (8)$$

$$\epsilon = \frac{dq/dV}{K} = 1 + \frac{dK}{dV} \times \frac{V}{K} = 1 + \epsilon_v^K \quad (9)$$

결국  $\epsilon_v$ 라는 교통류에 대한 속도의 탄력성은 밀도에 대한 속도의 탄력성인  $\epsilon_v^K$ 로 표현할 수 있다.

### 3) 속도-밀도 모형에 의한 혼잡통행료 산정식 추정

한계비용과 평균비용과의 차이를 이용하여 혼잡비용을 부과하려 할 때는 시행 후의 속도나 통행시간이 필요하여 정확한 수요함수의 이해가 수반되나 공학적 방법론을 기반으로 한 혼잡비용 산출방법은 수요함수의 정확한 규명 없이도 가능하다는 장점이 있다.

이 방법은 지금까지 널리 알려져 있는 여러 교통류 모형을 이용하여 교통량-밀도곡선, 밀도-속도곡선, 교통량-속도곡선을 이용하여 비용-교통량곡선과의 관계를 산출하는 것인데 이러한 교통류 모형에는 직선모형(Greenshield), 지수모형(Greenberg), 단일모형, 그리고 복합모형<sup>5)</sup> 등이 있다. 직선모형은 수학적으로 단순한 반면, 현실적인 혼잡밀도를 나타낼 수 없으며, 직선성의 가정이 관측자료와 일치하지 않으며 지수모형은 혼잡 밀도 값에 대해서는 잘 맞으나 고속에서의 속도 추정 값이 현장 측정값과 잘 맞지 않는다. 단일모형, 복합모형은 이와 같은 결점을 보완하기 위하여 이들 각 모형의 가장 적합한 속도-밀도 영역을 서로 합하여 만든 것이다.<sup>6)</sup> 실측조사 자료에 의하면 속도와 밀도는 비선형 구간이 혼잡되어 있기 때문에 양자의 관계를 하나의 관계식으로 표현하기 어려운 단점이 있다. 따라서 관계식을 여러 개로 나누어 동일한 관계식으로 표현한 단일모형인 Drew, Drake model이 현실을 잘 묘사한다고 볼 수 있다. <표 2>는 속도-밀도-교통량 관계와 매개변수의 관계이다.

<표 2> 속도-밀도-교통량관계 매개변수 도출

Model	임계 속도 관계	임계속도에 의한 속도-밀도 함수
Green shield	$U_m = \frac{U_f}{2}$ $K_m = \frac{K_f}{K}$	$K = 2 \cdot K_m (1 - \frac{U}{2U_m})$
Drew	$U_m = \frac{\beta}{1+\beta} U_f$ $K_m = K_f (1+\beta)^{1/\beta}$	$K = K_m (1 + \beta - \beta \frac{U}{U_m})^{1/\beta}$
Drake	$U_m = e^{-1/\beta} U_f$	$K = K_m (1 + \delta \ln \frac{U_m}{U})^{1/\beta}$

3) 후굴곡선 즉, 과포화상태에서의 통행료는 상당히 높게 책정이 되어 실현가능성이 낮다. Verhoef et al(1995)는 이의 해결을 위해서는 관련 외부효과에 따라 발생하는 모든 비용에 대해 각각의 가중치를 두어 평균한 값이 현실적인 요금수준으로 가장 바람직하다고 주장하였다. 또한, 과포화 상태에서 적은 액수의 통행료를 부과하더라도 개별 통행당 교통비용은 증가하지만 더 많은 교통량을 일정시간 처리할 수 있어서 사회적 비용은 감소한다고 주장하였다.

4) Li, M. Z. F, Nov.(2002), "The role speed-flow relationship in Congestion Pricing implementation with an application to Singapore", Transportation Research Part B 36 pp.731~754.

5) Adolf D.may(1990), "Traffic Flow Fundamentals", Prentice Hall.

6) 도철웅(1996), 교통공학원론(上), 청문각, pp.103~121.

〈표 3〉 혼잡 통행료 산정식

Model	교통류에 대한 속도 탄력성	혼잡 통행료
Greenshield	$\epsilon_U = \frac{2(U_m - U)}{2U_m - U}$	$r = \frac{C}{U} \times \frac{2U_m - U}{2(U - U_m)} \quad U_m < U < 2U_m$
Drew	$\epsilon_U = 1 - \frac{U}{(1 + \beta)U_m - \beta U}$	$r = \frac{C}{U} \times \frac{U_m - \frac{1 + \beta}{\beta} U}{U - U_m} \quad U_m < U < \frac{1 + \beta}{\beta} U_m$
Drake	$\epsilon_U = 1 - \frac{U}{1 + \delta \ln \frac{U_m}{U}}$	$r = \frac{C}{U} \times \frac{\ln(e^{1/\delta} U_m) - \ln U}{\ln U - \ln U_m} \quad U_m < U < e^{1/\delta} U_m$

〈표 3〉은 속도-밀도-교통량 밀도에 대한 속도의 탄력성을 이용하여 통행료 산정식이다.

혼잡비용의 설정에 있어 교통량, 속도, 밀도관계를 이용하여 설명한 연구로는 Else 와 Nash를 꼽을 수 있으며 특히, Nash(1982)<sup>7)</sup>는 통행수요는 단위 통행시간당 통과교통량이므로 혼잡요금도 시간에 따라 변화해야 한다고 주장했으며, Li(2002)는 싱가포르의 적정혼잡통행료를 추정시 Drake, Drew model을 이용하였다. 본 논문에서는 Greenshield, Drew, Drake 모형을 이용하여 혼잡통행료를 추정하였다.

식(7)과 (9)를 이용하면 교통량에 대한 속도의 탄력성과 혼잡통행료(r) 값이 도출된다.

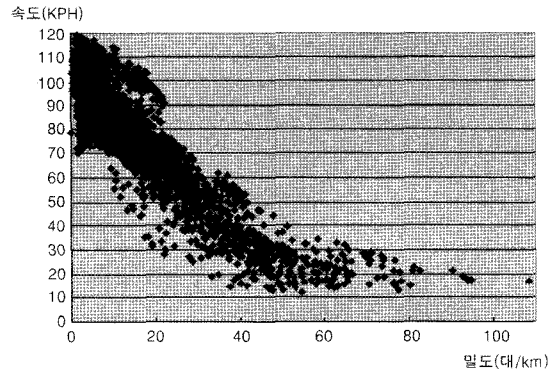
## 2. 속도-밀도 모형의 선정

### 1) 자료의 수집

본 연구에서는 강변북로를 대상으로 모형을 추정하였다. 추정된 구간은 서울 도시고속도로 교통관리 시스템에 의해 강변북로, 내부순환로, 올림픽대로, 북부간선도로, 동부간선도로에 설치된 영상 검지기와 CCTV를 통해 실시간으로 도로상을 통행하는 차량의 교통량, 속도, 밀도 등의 소통상황과 돌발자료자 수집 및 분석되어지고 있으며, 본 연구에서는 서울도시고속도로 교통관리시스템에서 수집된 교통량, 속도 밀도 등의 수집 자료를 이용하여 분석하였다.

실시간 자료를 통해 혼잡통행료를 부과하는 방안에 대한 연구로서 대상 구간의 수집된 자료를 통해 속도-밀도 모형을 선정하였다.

강변북로의 가양대교→구리시계, 구리시계→가양대교의 양방향 속도, 밀도자료에서 유고시 자료를 제외한 2005년 1월 10일(월)부터 1월 14일(금)까지의 자료를



〈그림 2〉 강변북로 분석대상구간 속도-밀도 관계

분석하였으며 이 중 기본구간인 주행차선인 연속류 구간 자료로 분석하였다.

〈그림 2〉는 본 연구에서 수집된 강변북로의 속도-밀도 관계 그래프이다. 그래프에서 나타난 것과 같이 속도-밀도 관계가 일정한 패턴을 가지고 있어 속도-밀도 관계를 분석하기에 용이할 것으로 판단된다.

### 2) 모형의 선정

교통분야에서 여러 변수들, 즉 밀도, 속도, 교통량은 서로 관련되어 있고, 인과관계를 형성하기 때문에 모집단들의 관련성을 통계적인 수치로 추정하기가 쉽지 않다.

그러나 하나의 종속변수 y(속도)와 하나의 독립변수 x(밀도)가 선형 관계라고 가정했을 때 이들 관계를 분석 가능한 수치적인 함수관계로 표시되며 이것을 함수관계로 표시하도록 만드는 분석기법으로 회귀분석을 이용하였으며 속도와 밀도 사이의 관계를 유도하였다. 따라서 속도(y)와 밀도(x)의 상관관도와 밀도(x)를 이용하여 속도(y)의 미지값을 예측할 수 있으며 기본식은 다음과 같다.

$$y = ax + b \tag{10}$$

7) Nash(1982), "A Reformulation of the Theory of Optimal Pricing Congestion Tax : A Comment", Journal of Transport Economics and Policy.

- y : 종속변수(속도)
- x : 독립변수(밀도)
- a, b : 상수

종속변수 y를 독립변수 x에 관련시키는 가장 단순한 방법은 그래프 상에서 두 변수의 선형관계를 갖는다는 가정을 이용하는 방법으로 본 연구에서는 구해낸 회귀 분석식의 유용성을 t분포로 검정하므로 x계수(a)가 어떤 특정한 값을 갖는다는 것을 밝혀서 두 변수의 선형 관계가 존재함을 검정하였다.

결정계수(R<sup>2</sup>)는 회귀모형이 주어진 자료에 얼마나 적합한가, 즉 독립변수(밀도)들이 종속변수(속도)에 공헌하는 정도를 포괄적으로 나타내는 것으로 밀도에 의해서 속도의 예측오차가 얼마나 감소했는가를 나타내는 값으로 상관계수(r)의 제곱과 같다.

따라서 결정계수의 값이 높다는 것은 밀도가 속도에 많은 영향을 주고 있음을 의미하며 회귀식이 속도의 변동을 잘 설명하고 있음을 의미한다.

본 연구에서도 두 변수의 관계를 선형관계로 가정하고 그 관련정도를 나타내는 결정계수(R<sup>2</sup>)를 구하여 값이 가장 큰 것을 적합한 식으로 선정하였다.

3) 모형의 선형화

본 연구에서는 Drew, Drake 모형을 산정 하였으며, Drew모형은 n=1(Greenshield), n=0 (Parabolic), Drake모형은 δ=2(Bell curve)와 δ값을 1과 2.2사이에서 0.1씩 변화시켜 가장 적절한 모형을 산정 하였다.

(1) Greenshields 모형

$$U = U_f \times \left(1 - \frac{K}{K_j}\right)$$

$$U = U_f - \frac{U_f}{K_j} K \tag{11}$$

여기서, U<sub>f</sub>를 U의 절편으로, U<sub>f</sub>/K<sub>j</sub>를 K의 상수로 보면 선형식으로 가정할 수 있다.

(2) Drew(Parabolic)

$$U = U_f \times \left[1 - \left(\frac{K}{K_j}\right)^{\frac{n+1}{2}}\right]$$

$$U = U_f - U_f \left(\frac{1}{K_j}\right)^{\frac{1}{2}} K^{\frac{1}{2}} \tag{12}$$

여기서, U<sub>f</sub>를 U의 절편으로, U<sub>f</sub>(1/K<sub>j</sub>)<sup>1/2</sup>를 K<sup>1/2</sup>의 상수로 보면 선형식으로 가정할 수 있다.

(3) Drake(δ=실수)

$$U = U_f \times e^{-\frac{1}{\delta} \frac{K}{K_m}}$$

양변에 ln을 취하면, ln U = ln U<sub>f</sub> - 1/δ (K/K<sub>m</sub>)<sup>δ</sup> 과 같은 식이 된다.

$$\ln U = \ln U_f - \left(\frac{1}{\delta K_m^\delta}\right) K^\delta \tag{13}$$

여기서 ln U<sub>f</sub>를 ln U의 절편으로, (1/δK<sub>m</sub><sup>δ</sup>)을 K<sup>δ</sup>의 상수로 보면 선형식으로 가정할 수 있다.

4) 회귀분석 결과

상관계수, 표준편차, U의 모형식은 위에서 언급한 각 종속변수와 독립변수들의 회귀분석을 통하여 추정하였다. 분석결과 중에 구해낸 U의 절편과 K의 계수를 가지고 각각 모형들의 특성(U<sub>f</sub>, K<sub>m</sub>, K<sub>j</sub>, U<sub>m</sub>) 등을 계산하였으며 4개 모형들에 대한 결정계수, t 통계량 그리고 특성들은 <표 4>와 같다.

<표 4>를 살펴보면 관찰수는 4,116개이며 결정계수는 0.69에서 0.81로 나타나 있다. 임계속도는 40.21kph에서 52.73kph로 나타나 있으며, 자유속도는 86.9kph에서 120.63kph로 나타나 있다. 교통류 모형은 지점에 따라 계수가 달라지겠지만, 본 연구의 목적은 속도-밀도 모형을 산출한 결과를 가지고 강변북로의 전반적인 혼잡통행료 수준을 결정하는 것으로서 결정계수가 가장 큰 모형인 Drake(δ=1.1)모형을 선택하였다. 선택된 모형은 식 (14)와 같으며, 이 식을 통해 강변북로의 혼잡통행료를 산정하기로 한다.

<표 4>의 결과로 산정된 최적모형 Drake(δ=1.1)는 다음과 같다.

$$U = 104.6 \times e^{-\frac{1}{1.1} \frac{K}{37.5}^{1.1}} \tag{14}$$

3. 속도-밀도 모형에 따른 혼잡통행료 산정

1) 통행시간가치 선정

위에서 도출해낸 통행료공식을 이용하여 비용을 산출할 경우 필요한 입력변수로는 통행시간가치, 입금에 대한

〈표 4〉 강변북로 속도-밀도 모형 산정 결과

구 분	관찰수	결정계수	$U_j$	k의 계수	혼잡밀도 ( $K_j$ )	임계밀도 ( $K_m$ )	임계속도 ( $U_m$ )	
Drew	Greenshield	4116	0.7541	99.826 (390.19)	1.42 (112.92)	70.5	35.25	49.91
	Parabolic	4116	0.7373	120.632 (281.13)	11.93 (108.02)	102.2	45.43	40.21
구 분	관찰수	결정계수	$\ln U_j$	$U_j$	K의 계수	임계밀도 ( $K_m$ )	임계속도 ( $U_m$ )	
Drake	2	4116	0.6974	4.465 (1208.64)	86.9	0.000390 (94.89)	35.82	52.73
	1.1	4116	0.8124	4.650 (1268.33)	104.6	0.016872 (134.19)	37.50	42.13

( ) : t 통계량 <절편과 x계수의 경우 자유도(n-k-1)가 30개 이상이면 t = 1.645임>

통행시간(Value of Travel Time Saving: VTTS) 비율이 필요하다. 통행시간가치를 산정하는 대표적인 방법으로는 시간당 임금의 일정비율을 시간가치로 계산하는 한계임금율법(marginal wage rate method)과 효용함수로부터 계산된 통행시간과 통행비용의 한계대체율(rate of substitution)을 통행시간가치로 계산하는 한계대체율법이 있다.<sup>8)</sup> 임금율법에 의한 통행시간가치의 추정은 국내 외 많은 연구가 있었으며 이를 정리하면 〈표 5〉와 같다.

임금율법은 여객의 시간가치를 통행자의 임금수준과 관련한 것으로 보고 평균임금을 월평균소득으로 산출하여 월 평균 근무일수, 일 평균 근무시간을 기준으로 시간가치를 산출하는 방법으로 일반적으로 교통투자사업의 타당성평가에 주로 이용되는 방법이다. 하지만 임금율법은 '통상임금의 일정비율'을 적용함에 있어 주관적 판단이 개입될 수밖에 없어 결과에 객관성을 유지하기 어렵다는 점에서 어느 정도의 한계가 있기 때문에(조중래, 1998) 이의 선정에 있어서 주의를 요하고 있음을 알 수 있다.

또한 〈표 5〉외에도 외국의 선행연구결과에서 보면 1962년 Paris시 거주자의 출근 통행의 임금에 대한 시간가치는 75%, 1967년 기준 영국 Leeds시는 30%, 동년도 기준 Liverpool시와 Leicester시는 각각 61% 및 132%인 것으로 보고되어 도시간에도 큰 격차를 보이고 있다<sup>9)</sup>.

임금율법의 의한 절차는 다음과 같다. 2002년 서울 통계연보 가구당 근로소득자료<sup>10)</sup>를 이용한 서울시의 근로자 평균 월 소득은 2,405,800원이며 이를 월평균 평

〈표 5〉 국내외의 시간가치 산정 연구사례-임금율법

출처	추정방법	VTTS
Lisco (1967)	대중교통수단과 자가용의 교통수단선택모형을 이용	임금의 40~50%
Beesley (1965)	영국교통부의 공무원들을 대상으로 한 연구	임금의 33~50%
Mohring (1961) Maslove (1972)	시애틀과 미네아폴리스의 지대와 부동산 가격을 이용한 연구	임금의 22~43%
Png et al (1994)	싱가폴의 자가용승용차의 통행시간가치 추정	임금의 67%
Lau (1999)	싱가폴도시근로자의 업무통행에 대한 VTTS 연구	임금의 102%
조중래, 김채만 (1998)	서울시 가구통행실태조사를 통한 서울, 일산지역 비교연구	임금의 61.4%

균주일인 4.5로 나누면 주당 534,622.22원이 되며 이를 2002년 기준인 주당평균근무시간 45.72시로 나누면 11,692.83원이 나온다. 이를  $w_1$ 이라 하고 임금에 대한 통행시간 가치의 비율은 조중래, 김채만이 추정한 61.4%를 적용하였다. 임금율법에 의한 서울시민의 통행시간 가치는  $11,692.83 \times 0.614 = 7,179.4$ 원/시간이다.

한계 대체율법은 이론적인 연구에서 주로 수행되는 통행자 개개인에 대한 통행특성의 분석을 통하여 시간가치를 추정하는 방법으로써 〈표 6〉은 한계대체율을 이용한 시간가치 추정연구사례 이다.

한계대체율법에 의한 통행시간가치는 통근통행의 경우 거의 일정함을 볼 수 있는데 1998년 조중래의 연구<sup>11)</sup>에

8) Anas A.(1982), "Residential Location Markets and Urban Transportation : Economic Theory", Econometrics and Policy Analysis with Discrete Choice Models, Academic Press.  
 9) 임강원(1986), 도시교통계획-이론과 실제, 서울대학교 출판부, p.237.  
 10) 통계청(2002), 근로자가구당 월 평균 가계수지, 제39회 서울통계연보.  
 11) 조중래(1998), "통행시간가치의 신뢰구간 추정", 대한교통학회지, 제16권 제4호, 대한교통학회, pp.219~224.

〈표 6〉 국내 시간가치 산정 연구사례 : 한계대체율법

출처	연구제목	시간가치 (승용차)
KOTI 1990년	자가용승용차 이용율 둔화를 위한 정책 대안연구	차내: 6,900원 차외: 9,870원
KOTI 1997년	수도권 여객통행실태조사	통근통행: 11,400원
이현구, 조중래 1989년	네스티드 로짓모형을 이용한 쇼핑통행의 행태분석에 관한 연구	10,026원
최기주 외2명 1999년	통행목적별 수단별 통행시간가치산출 및 유의성 검정	업무통행: 14,073원 통근통행: 10,947원
조중래, 김채만 1998년	1996서울시 가구통행실태조사를 통한 서울, 일산지역 비교연구	서울:8,133원 (출근통행)

의하면 서울시 출근통행의 통행시간가치의 기대값은 7,341원으로 계산되었고, 위에서의 95%신뢰구간은  $5,454 \leq VOT \leq 10,806$ 으로 추정하였다. 이를 통하여 표에서 제시한 통행시간가치는 모두 유의한 것으로 잠정적으로 결론 내릴 수 있을 것이다. 한계대체율법에 의하여 도출된 시간가치는 1996년 서울시 가구통행실태조사를 이용하여 조중래, 김채만이 추정한 8,133원을  $C_1$ , 1999년 최기주에 의해 제시된 업무통행시간가치 14,073원<sup>12)</sup>을  $C_2$ 로 설정하여 속도의 변화에 따른 혼잡통행료 변화를 산출하였다.

〈표 6〉를 살펴보면 우선 임금율에 의해 도출된 시간가치를 이용한 결과 혼잡통행료가 상대적으로 낮게 나오는 것을 알 수 있는데, 한계대체율법에 의하여 도출된 시간가치는 승용차이용자에 대한 시간가치임에 비해서 임금율법을 이용한 전국·서울시의 자료는 승용차 이용자의 소득자료가 아니라 모든 가구의 평균소득이기 때문에 혼잡비용 적용시 이보다는  $C_1$ 이 합리적인 것이라 사료된다. 하지만 승용차 이용자의 시간가치만을 고려하는 것은 향후 국내에 자동징수시스템을 도입시에 차질 불합리한 결과를 불러일으킬 수 있다. 현재 남산1·3호 터널의 경우 2인 이하의 승용차에게만 통행료를 부과하고 있으나 혼잡통행료 시행이후 면제차량(택시, 버스, 화물, 승

합차)의 지속적인 증가로 인한 효과감소 때문에 면제차량의 범위를 축소하자는 논의가 이루어지고 있는 바이다. 만일 위의 방법론을 실제에 적용시킬 때에는 현 상황을 제대로 반영할 수 있는 시간가치를 선정하여야 할 것이다. 현재 서울시에서는 승합차에 대하여 혼잡통행료를 부과하여야 한다고 주장하고 있으며 승합차를 생계형 도구로 보느냐 승용차의 일부로 보느냐 하는 문제가 불거져 있는데 만일 이 안이 통과되어 실제로 적용된다면  $C_1$  즉, 승용차이용자의 시간가치만을 이용하여 통행료를 징수하게 될 때 지나치게 높은 통행료를 부과하는 결과를 불러일으키게 된다는 점을 명심해야 할 것이다.

$C_2$ 의 경우는 목적통행을 통근통행이 아닌 업무통행으로서 통행료가 제일 높게 나왔다. 이러한 결과는 해당 도로를 이용하는 운전자의 특성 및 도로가 수행하는 역할에 따라서 각각에 해당되는 시간가치를 적용해야 한다는 것을 의미하는데 일례로 신공항고속도로를 이용하는 운전자의 시간가치는 16,000~19,000원/시간으로 기존의 출근통행연구에서 제시되는 시간가치보다 1.5~2배 가량 높게 추정되었다는 점을 들 수 있다<sup>13)</sup>. 즉, 이러한 여러 범주의 자료를 통하여 도출되는 통행료의 변화를 통해서 우리는 위의 방법론을 실제에 적용할 때 시간가치에 대한 공간적, 계층적인 세밀한 고려가 중요하다는 것을 알 수 있다. 따라서 현실에 위의 방법론을 적용할 때에는 이를 잘 반영하고 타당한 자료를 이용해야 할 것이다.

본 연구에서는 속도-밀도의 최적모형인 Drake( $\delta = 1.1$ )인 모형을 적용하여 혼잡통행료를 산정 하였다. 본 연구에서 가장 중요한 사항은 각 도로의 속도-밀도에 대한 최적의 모형을 산출하는 것이다. 하지만, 향후에는 서울시내의 여러 도로에 적용하기 위해서는 각 도로의 속도-밀도의 최적 모형을 산정하여야 할 것이다. 또한 위의 방법론을 통한 도시고속도로의 통행료징수 방법은 비용함수를 도출하는 과정에서 알 수 있듯이 거리(km)를 기반으로 산출된 혼잡비용이다. 따라서 차량이 주행한 거리를 알아야 하며 도로이용자의 기·종점 및 충분한 자료를 숙지해야 한다. 하지만 이에 대한 기술적인 문제 역시 ENP<sup>14)</sup>(Electronic Number Plate)나 RFID<sup>15)</sup>

12) 김 현·오세창·최기주(1999), "통행목적별 수단별 통행시간가치도출 및 유의성 검정", 대한교통학회지, 제17권 제1호, 대한교통학회, pp.113~129.

13) 오재학 외 3인 (1997), "인천국제공항 접근교통분석을 위한 수단선택행태모형의 정립에 관한 연구 -선호의식조사기법의 적용을 중심으로" 교통개발연구원 연구총서.

14) ENP라 함은 홍콩에서 고안된 시스템으로 차량의 아랫부분에 부착되어 도로상에 매설된 감지장치에 반응하여 중앙기억장치에 출입시간 장소가 기억되는 시스템을 말한다.

15) 도로변에 매설된 RSE에서 차량에 탑재된 tag로 RF파를 송·발신 한 후 중앙제어기에서 차량의 통과시간 및 지점위치 등을 알 수 있는 시스템이다.



〈표 7〉 강변북로 혼잡통행료 산정결과

속도 (km/h)	$w_1$	$C_1$ 8,133원/시	$C_2$ 14,073원/시
	7,179원/시 61.4%(VTTS)		
	DRAKE ( $\delta=1.1$ )	DRAKE ( $\delta=1.1$ )	DRAKE ( $\delta=1.1$ )
68	94.92	107.53	186.06
67	102.84	116.50	201.58
66	111.54	126.35	218.63
65	121.13	137.22	237.44
64	131.74	149.24	258.24
63	143.53	162.60	281.36
62	156.69	177.50	307.14
61	171.42	194.19	336.02
60	188.02	213.00	368.56
59	206.83	234.30	405.42
58	228.26	258.58	447.44
57	252.88	286.47	495.70
56	281.38	318.76	551.56
55	314.69	356.49	616.85
54	354.05	401.07	694.00
53	401.14	454.42	786.31
52	458.36	519.24	898.47
51	529.16	599.45	1037.26
50	618.77	700.96	1212.91
49	735.47	833.16	1441.66
48	893.16	1011.79	1750.76
47	1117.19	1265.58	2189.91
46	1459.15	1652.97	2860.22
45	2042.57	2313.87	4003.82
44	3255.43	3687.83	6381.26
43	NA	NA	NA
42	NA	NA	NA
41	NA	NA	NA
40	NA	NA	NA
39	NA	NA	NA
38	NA	NA	NA
37	NA	NA	NA

위의 자료는 1km를 단위로 계산되어진 것임.

의 Tag을 통해 차량의 주행계적 또는 거리에 대한 정보를 알 수 있으므로 기술적인 문제에 대해서는 해결이 가능하리라 여겨진다.

〈표 7〉은 강변북로 혼잡통행료 산정결과이다. 본 모형에서 혼잡통행료의 한계값은 42.13km/h < U < 104.57km/h로서 0km/h~43km/h까지의 혼잡통행료값은 산정이 되지 않았다.

도심의 교통문제를 완화시키기 위하여 서울시는 1996년 11월 7일부터 월요일~금요일 07:00~21:00

까지 토요일 07:00~15:00 까지 양방향에 대해 2,000원의 통행료를 징수하였는데 이는 혼잡정도와는 관계없는 고정통행료였으며 1996년 이후로 현재까지 징수금액이 변하지 않았다는 것은 혼잡통행료의 취지와는 거리가 있다고 할 수 있다.

혼잡수준에 따른 통행료의 개념은 아니지만 진삼현<sup>16)</sup>에 의하면 승용차 이용 행태 분석에 적용하는 시뮬레이션을 통하여 승용차 수단분담율을 10%정도를 감소시키기 위해서는 월소득 100~150만원의 경우 2000원, 150~200만원의 경우는 3000원 정도가 적당하다고 밝혔으며, 김성수<sup>17)</sup>에 의하면 사회적 후생을 극대화하는 통행료 수준은 4,400원이라고 밝히고 있다. 본 연구 방법론에 의하여 강변북로의 혼잡수준에 따른 통행료를 산정한 결과를 살펴보면 기존 연구와 방법론에서 다소 차이가 있어 해석이 용이하지 않지만, 기존 연구와 유사한 결과를 도출한 것으로 나타났다.

본 연구의 방법론을 통하여 도출된 결과만을 살펴본다면 낮은 속도에서는 혼잡통행료가 높게 책정되어야 한다는 결과를 보여주고 있다. 특히 혼잡이 극심할 때 교통류 특성으로 나타나는 후골곡선에서는 혼잡통행료가 급증하고 본 연구의 통행비용함수의 특성상 임계속도 이하로는 통행비용이 도출되지 않는데 이는 본 논문에서 산정한 Drake 모형으로부터 도출된 임계속도(강변북로 전체를 대상의 공간적 대상)가 현재 해당지역의 관측속도보다 높게 추정되었기 때문이라고 사료된다. 하지만 낮은 속도에서 도출되는 높은 통행료를 도로 이용자에게 징수하게 된다면 사용자에게 높은 부담을 지우게 되며 실질적인 집행이 불가능하므로 실제 적용시에는 혼잡수준과 사용자 반발 등 양자를 효과적으로 제어하고 반영할 수 있는 적정 수준의 통행료를 선정하여야 할 것이다. 이미 앞에서 밝혔듯이 과포화상태에서는 차선의 방법으로서 그보다는 적은 통행료를 부과해서라도 혼잡을 적정 한정도의 수준으로 유지시킬 수 있을 것이며 혼잡 통행료의 근본 취지는 혼잡을 완전히 제거시키는 것이 아닌 완화시키는 개념으로 이해해야 할 것이다.

### III. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 속도-밀도 곡선을 이용한 공학적인 방법론을 이용하여 속도에 대한 탄력성을 통해 도로의 소통

16) 박창호·진삼현(1994), "교통혼잡비용 적용에 따른 승용차 행태분석에 관한 연구", 대한교통학회지, 제12권 제4호, 대한교통학회, pp.131~151.  
 17) 김성수(1993), "Congestion Pricing in Seoul : A Simulation of The effects of CBD Cordon Charge".

상황에 따른 혼잡통행료를 산출하였다. 본 연구의 방법론으로 적용한 강변복로는 다양한 교통현상이 나타나고 있으며, 이에 따라 공간적 시간적으로 혼잡구간 비혼잡구간이 구분되어진다.

혼잡통행료의 실제적인 적용을 위해서는 속도, 교통량, 통행시간 등을 고려한 변동요금에 보다 합리적인 혼잡통행료라는 개념에 대한 이해가 먼저 이루어져야 한다.

특히 서울시는 주요 간선도로 및 도시고속도로에서 발생하는 교통혼잡을 개선하고자 향후 혼잡통행료제도의 확대 시행을 연구 중이며 나아가 자동징수시스템의 도입을 고려하고 있는 상황인 바 본 연구에서는 이러한 자동징수시스템의 도입에 따라 가능해지리라 여기는 통행속도에 따른 변동요금에 대한 실제적인 방법론을 제시하였다.

특히 시간가치를 달리 적용하여 통행료를 산출한 민감도분석결과를 보면 그 결과가 상이하다는 것을 볼 수 있으며 실제로 본 논문의 방법론을 적용할 때에는 시간가치의 적용에 있어 시간적 공간적으로 타당한 연구결과를 이용해야 한다는 것을 알 수 있다.

즉, 상기의 방법론을 적용하여 혼잡통행료를 징수할 때는 각 도로의 역할과 이용자의 통행 특성을 고려한 속도-밀도 관계식과 시간가치를 이용해야 하며 실제적인 실행을 위해서는 이에 대한 정확한 자료 및 연구가 필요할 것이며, 다양한 비용에 대한 세밀한 연구가 뒷받침되어야 할 것이다. 또한 연구결과를 보면 속도-밀도 모형에 따라 혼잡통행료가 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

따라서, 본 연구방법론의 결과에 영향을 미치는 자유속도와 임계속도값의 변화가 시-공간적(침투, 비침투)으로 있으리라 여겨지므로 향후 이에 대한 조사 및 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 단속류 및 연속류의 다양한 교통상황을 고려하지 않았다. 하지만, cordon 방식의 단속류에는 포화교통류를 반영한 속도-밀도식을 통한 해결이 적절할 것으로 판단되며, 연속류는 구간(혼잡, 비혼잡)별 속도-밀도식을 산정하여 구간에 따른 혼잡통행료를 산정하고, 운전자들에게 예측 가능성을 높이기 위해서는 모니터링을 통해 요금-교통량 탄력성에 대한 고찰을 한다면 충분히 예측 가능성을 높일 뿐만 아니라 원칙이 수립되어 적용될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 강정규·손봉수·김상구(1998), "국내 도시고속도로 교통관리 현황 및 과제", 대한교통학회지, 제16권 제3호, 대한교통학회, pp.155~165.
- 김갑수·신판식(1998), "도시고속도로 기본구간의 교통특성분석-대구신천대로를 대상으로-" 대한교통학회지, 제16권 제4호, 대한교통학회, pp.99~112.
- 김성우·김동녕(1996), "도시내 다차선도로의 교통류 특성 및 모형연구: 한남대교 지역을 중심으로", 대한교통학회지, 제14권 제2호, 대한교통학회, pp.7~29.
- 도철웅(1996), 교통공학원론(上), 청문각, pp.103~121.
- 박창호·진삼현(1994), "교통혼잡비용 적용에 따른 승용차 행태분석에 관한 연구", 대한교통학회지, 제12권 제4호, 대한교통학회, pp.131~151.
- 오재학 외 3명(1997), "인천국제공항 접근교통분석을 위한 수단선택행태모형의 정립에 관한 연구-선호의식조사기법의 적용을 중심으로" 교통개발연구원 연구총서.
- 임강원(1986), 도시교통계획-이론과 실제, 서울대학교 출판부.
- 조중래·김채만(1998), "출근통행 교통수단 선택 행태의 지역간 비교연구: -서울과 일산신도시를 중심으로-", 대한교통학회지, 제16권 제4호, 대한교통학회, pp.75~86
- 통계청(2002), 근로자가구당 월 평균 가계수지, 제 42회 서울통계연보.
- 프랑케나 著(1992), 교통경제학 이론과 정책.
- 김현·오세창·최기주(1999), "통행목적별 수단별 통행시간가치도출 및 유의성 검정", 대한교통학회지, 제17권 제1호, 대한교통학회, pp.113~129.
- 황기연 외 2명(2000), "도시고속도로 유료화방안 연구", 서울시정개발연구원.
- 황기연(2001), "서울시 혼잡통행료 징수체계 보완 연구", 서울시정개발연구원.
- 황상규(1995), "도로통행료 징수가 사회적 후생에 미치는 영향", 교통개발연구원, Vol.2 No.3, pp.11~31.
- Anas A(1982), "Residential Location Markets and Urban Transportation: Economic Theory, Econometrics and Policy Analysis with Discrete Choice Models, Academic Press.
- Adolf D.may(1990), "Traffic Flow Fundamentals", Prentice Hall.
- Drew, R.D.(1968). "Traffic flow theory and

- control". McCreaw-Hill.
18. Li, M.Z.F.(1999), "Estimating congestion toll by using traffic count data - Singapore's area licensing scheme", *Transportation Research* 35E, pp.1~10.
  19. Li, M.Z.F.(2000), "Congestion Pricing and Speed-Flow Relationships-Theory and its Application to Singapore's ERP", Nanyang Technological University.
  20. Li, M.Z.F.(2002), "The role speed-flow relationship in Congestion Pricing implementation with an application to Singapore", *Transportation Research Part B* 36 pp.731~754.
  21. Menon, A.P.G., Lam, S.H., Fan, H.S.L.(1993), "Singapore's road pricing system : its past, present and future.", *ITE Journal*, 63(12), pp.44~48.
  22. Nash(1982), "A Reformulation of the Theory of Optimal Pricing Congestion Tax : A Comment", *Journal of Transport Economics and Policy*.
  23. Pigou, A.C.(1932), "The Economics of Welfare. London : Macmillian".
  24. Walters, A.A.(1961). "Theory and measurement of private and social cost of highway congestion", *Econometrica* 29(4), pp.676~699.

✉ 주 작 성 자 : 강경우  
 ✉ 교 신 저 자 : 강경우  
 ✉ 논문투고일 : 2005. 12. 1  
 ✉ 논문심사일 : 2006. 1. 19 (1차)  
                   2006. 3. 14 (2차)  
 ✉ 심사판정일 : 2006. 3. 14  
 ✉ 반론접수기한 : 2006. 8. 31

