■ 論 文 ■

일반균형에서 최적 혼잡통행료

Optimal Congestion Charges in General Equilibrium

문 동 주
(서울시정개발연구원)

목 차

요 약

현재 교통경제학에서 통용되는 도로시설의 최적 혼잡통행료는 분석의 대상을 개별 시설로 국한시킨 부분적인 사회복지 최적화모형에서 도출한 것이다. 그렇지만 특정 시설에 국한하여 부과하는 경우, 부분균형에서 해당 시설의 최적 혼잡통행료는 교통망 전체로서 사용자 후생를 최대화시킬 수 있는지 불분명하다. 특정 시설에 부과된 통행료는 여타 대체시설의 교통량을 증가시키는 파급효과를 동반하기 때문이다.

본 연구에서는 이와 같은 기존 이론의 취약점을 극복하는 대안적 접근방법이 제시되었다. 본 연구의 주된 차이점은 여러 개의 교통시설 이외에도 일반 소비재가 유통되는 시장에 대한 일반균형분석을 통해 최적의 혼잡통행료를 산출한 것이고, 이러한 접근방법은 기존 이론과는 차별화된 분석결과를 가져왔다.

이러한 일반균형분석에서 모든 교통시설에 혼잡통행료를 부과하는 경우, 개별 교통시설의 최적 혼잡통행료는 해당 시설의 한계비용이 한계효용과 일치시키는 값이었다. 이러한 분석결과는 부분균형에서 유도된 기존의 결과와 일치한다. 반면 특정 교통시설에 국한하여 혼잡통행료를 부과하는 경우, 혼잡통행료는 대체시설로의 수요 전이효과등을 반영하여 부분균형에서의 최적 혼잡통행료에 비해 낮은 값으로 나타났다.

Ⅰ. 서론

교통시설, 특히 도로시설에서는 교통량이 일정한 수준을 초과하여 계속 증가되는 경우 통행시간이 과도하게 증대되는 혼잡현상이 나타난다. 이러한 혼잡은 경제적 관점에서 추가분의 통행자가 여타 기존이용자의 통행비용을 증가시키는 시장실패의 한가지 유형으로서 해석되고 있다. 또한 이의 보완조치는 개별 통행자에게 다른 이용자들의 통행비용 증가분에 상응하는 혼잡통행료를 부과시키는 것이며, 이러한 혼잡통행료는 교통체계 전체의 효율성을 높히는 유용한 대안으로서 교통경제학계에서 널리 받아들여지고 있다.

이제까지 혼잡통행료는 분석의 범위를 개별 교통시설로 한정시키는 사회후생 최적화모형에서 도출되어 왔다. 이러한 혼잡통행료는 해당 시설의 한계비용이 한계효용과 일치시키는 값이었다. 이러한 분석결과는 시장실패가 초래되는 어떠한 공공재라도 유료인 경우에는 한계비용을 가격으로 책정해야 자원배분의 효율성이 달성된다는 고전경제학의 주장을 뒷받침한다.

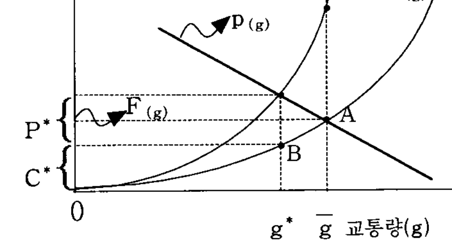
이러한 이론적 장점에도 불구하고, 혼잡통행료 부과제도는 실제로 도입하는 데에는 여러 형태의 어려움이 뒤따르는 정책대안이다. 과도한 집행비용의 발생, 징수과정에서 이용자의 불편, 특정 통행자에게만 부과함에 따른 부담의 불공정성 등은 이러한 부작용으로 꼽을 수 있다. 이에 따라 혼잡통행료는 전세계적으로 극히 일부 대도시에 국한하여 시행되고 있고, 이러한 도시에서도 특정 도로구간 또는 특정 지역을 대상으로 한정적으로 징수되고 있다.

이와 같이 혼잡통행료는 특정 도로에 국한하여 시행되는 것이 일반적이다. 이 경우, 해당 도로의 한계비용이 이 도로를 포함하는 교통망 전체에 대한 최적의 혼잡통행료인지 불분명하다. 구체적으로 혼잡통행료는 부과되는 도로시설의 교통량은 감축시키는 대신, 대체기능을 갖는 여타 도로와 대중교통시설의 교통량을 증가시킬 것이다. 그렇지만 이러한 파급효과는 부과대상 도로의 한계비용 산출과정에 반영되지 않는다. 따라서 개별 교통시설의 사회적 한계비용으로 책정된 혼잡통행료는 이의 부과에 의해 영향을 받는 교통망 전체에 대한 최적 통행료로 간주하기 어렵다.

이러한 기존이론의 한계를 극복하는 대안적 접근방법은 일반균형분석을 통해 혼잡통행료를 산출하는 것이다. 이러한 목적아래 본 연구에서는 Mohring(1970)이 처음 사용한 사회후생 최적화모형을 개조하여 필요한 분석을 시행하였다. 이러한 최적화모형 개조작업에서는 공공재의 효율적 생산과 최적 요금책정등 사회후생 최적화결정의 분석과정에서 교통시장의 독특한 현상에 해당하는 혼잡을 적절히 반영하는데 촛점을 맞추었다. 다음으로 이러한 최적화모형을 이용한 분석에서는 먼저 모든 교통시설에 혼잡통행료를 부과함으로써 도달이 가능한 최적의 사회후생 최적화 상태에서의 통행료를 제시하였고, 뒤이어 일부 교통시설에 국한하여 혼잡통행료를 부과하는 상황에서 차선의 사회후생 최적화상태에 도달할 수 있는 혼잡통행료를 도출하였다.

Ⅱ. 부분균형에서 최적 혼잡통행료

현재 활용되는 교통시설의 최적 혼잡통행료 산출모형은 여타 유료 공공재와 마찬가지로 한계비용가격이론에 근거를 두고 있다. 이러한 혼잡통행료 산출모형에서는 대상을 개별 교통시설로 국한시키고, 해당 시설의 수요함수와 비용함수를 이용하는 부분균형분석이 이루어진다. 이러한 분석에서 최적 혼잡통행료는 시설 이용자들의 한계편익과 한계비용이 일치하는 균형상태를 유도할 수 있는 부담금에 해당하며, 이를 산출하는 분석과정을 아래의 그림을 이용하여 설명하면 다음과 같다.[1)]



〈그림 1〉 부분균형에서 최적 혼잡통행료 산출과정

1) Keeler, T.E. and K.A.Small (1974) 과 Small, K.A. (1992)참조

먼저 편익함수 P는 교통량 g의 감소함수로서, 주어진 교통량 g에서 개별 이용자들이 경험하는 한계편익을 나타낸다. 이러한 편익함수는 가격에 대해 수요를 산출하는 수요함수의 역함수(逆函數)에 해당한다. 다음으로 비용함수 F는 교통량 g에서 통행자들의 평균통행비용을 나타내며, 시설이용과정에서 통행자들이 경험하는 평균통행시간함수와 유사한 형태를 취한다. 이러한 평균비용함수는 교통량이 증가할수록 통행시간이 증가하는 혼잡현상 때문에, 교통량 g에 대해 단조증가하는 특성을 갖는다.

이와 같은 편익함수와 평균비용함수의 교차점은 이용자균형(user equilibrium)이라고 불리운다. 그림에서 이용자균형은 교통량 $\bar{g}$에 대한 점 A에 해당하고, 다음의 조건을 충족시킨다.

$$P(\bar{g}) = F(\bar{g}) \tag{1}$$

여기서 좌변 $P(\bar{g})$는 교통시설 이용자들의 평균통행비용 기대치를 나타내며, 우변 $F(\bar{g})$는 실제로 경험한 평균통행비용 실적치를 나타낸다. 또한 위의 등식은 두 개의 값이 일치한다는 이용자균형조건을 나타낸다.

이용자균형은 혼잡현상이 발생하는 교통시설의 시장균형에 해당한다. 이러한 이용자균형은 자신들의 편익을 극대화하려는 이용자 스스로에 의해 도달되며, 교통수요가 안정되는 상태이기도 하다. 따라서 이용자균형은 교통시설의 부분균형분석은 물론 일반균형분석에서도 필히 충족되어야 하는 제약조건으로 이해되어야 할 것이다.

한편 그림의 이용자균형 A에서는 한계편익이 $P(\bar{g})$인 반면, 한계비용은 평균비용함수를 미분하여 얻은 $F'(\bar{g})$에 해당한다. 따라서 이용자균형 A에서는 한계비용이 한계편익을 초과하는 시장실패가 나타난다. 이러한 시장실패를 보완하는 대안은 혼잡통행료를 부과하는 것이며, 이러한 부담금 산출수식은 아래와 같다.

분석의 대상이 되는 교통시설의 이용자 순편익 Z는 소비자잉여에서 총통행료비용을 제한 값으로 아래와 같다.

$$Z = \int_0^g P(g)dg - gF(g)$$

이러한 이용자 순편익의 최대치는 아래의 조건을 충족시키는 교통량 g^*에서 도달된다.

$$\frac{\partial Z}{\partial g} = P(g^*) - F(g^*) - g^* \frac{\partial F(g^*)}{\partial g} = 0$$

또는 $P(g^*) = F(g^*) + g^* F'(g^*)$
$= \text{평균통행비용 } (c^*) + \text{혼잡통행료 } (p^*) \quad (2)$

여기서 최적해에 해당하는 교통량 g^*는 혼잡통행료 p^*를 이용자들에게 부과해야 도달될 수 있다.

이러한 분석결과는 다음과 같은 경제적 해석이 가능하다. 먼저 혼잡통행료 p^*의 부과는 새로운 이용자균형 B를 가져온다. 이러한 새로운 균형에서 한계편익 $P(g^*)$는 한계비용 c^*+p^*와 같다. 여기서 한계비용은 교통시설을 이용하는 과정에서 실제로 경험하는 평균통행비용 c^*와 혼잡통행료 p^*를 합한 값이며, 혼잡통행료는 새로운 이용자균형에서 교통량이 1단위 증가함에 따라 기존통행자들이 추가로 지불해야 하는 총비용과 같도록 책정되어야 한다.

Ⅲ. 일반균형에서 혼잡통행료 산출모형

여기서는 Mohring, H.(1970)가 유료 공공재의 최적요금을 산출하는 용도로 제안한 사회후생 최적화 모형을 혼잡현상을 갖는 공공재를 대상으로 하는 모형으로 개조하여 혼잡통행료를 분석했다. 이러한 접근방법은 일반균형분석의 틀 아래서 사회후생를 최대화시킬 수 있는 일련의 정책결정사항을 수리적으로 나타내는 것이며, 여기서 정부의 정책결정변수에는 혼잡통행료도 하나의 요소로서 포함된다. 또한 정부의 의사결정모형에는 상호 대체관계에 있는 여러 개의 교통시설이 분석의 대상으로 포함되어 있으며, 개별 교통시설의 분석에서는 혼잡현상을 수리적으로 반영하는 새로운 시도가 이루어졌다.

이러한 일반균형분석의 대상이 되는 시장에는 세가지 유형의 주체가 참여한다. 하나는 소비자로서 주어진 시장여건아래서 자신의 효용을 극대화시키는 결정을 한다. 다른 하나는 소비재 생산자로서 완전경쟁여건 아래서 경제활동을 영위한다. 마지막은 정부로서 공공재에 해당하는 교통시설을 공급하고 혼잡통행료 징수하며, 소비자와 생산자에게 세금을 부과한다.

정부의 역할은 시장에서 모든 구성원들의 후생를

반영하는 사회후생를 최대화시키는 것이다. 이러한 최적화상태는 정부의 정책결정사항에 대한 최적의 선택을 통해 도달되며, 여기서 정책변수에는 개별 교통시설의 시설투자와 혼잡통행료 그리고 각종 세금이 포함된다. 또한 정부의 정책결정은 일정한 제약조건 아래서 이루어져야 하며, 제약조건에는 교통시설별로 이용자균형조건이 충족되어야 한다는 점과 정부의 총지출이 총수입을 초과하지 않아야 하는 점등이 포함되어야 한다.

따라서 정부의 사회복지 최적화모형은 아래와 같은 비선형 최적화모형으로 표현될 수 있을 것이다.

Maximize 사회후생함수
Subject to 교통시설별 이용자균형조건과
정부의 예산제약조건 (3)

이러한 최적화모형의 구조를 보다 상세하게 설명하면 다음과 같다.

먼저 최적화모형의 목적함수에 해당하는 사회후생함수는 시장에 참여하는 소비자 개개인의 효용을 독립변수로 한다. 일반적으로 개인의 효용이 증가할수록 사회복지함수도 함께 증가한다. 그렇지만 사회후생함수의 구체적인 형태는 정부에 따라 달라질 수 밖에 없고, 정부를 선택하는 선거는 이러한 사회후생함수를 결정하는 중요한 행위의 하나로 이해될 수 있을 것이다.

다음으로 정책결정사항의 한 가지 유형은 각종 교통시설을 직접 건설하고 혼잡부담금을 부과하는 것이다. 이러한 정부의 시장참여는 그 필요성을 교통시설이 내재적으로 갖고 있는 시장실패현상에서 찾을 수 있다. 정부의 세부 조치사항에는 교통시설별로 시장실패를 보완하는 혼잡통행료를 징수하는 것 이외에도, 시설별로 용량과 물리적 형태등 비용함수를 결정하는 기술적 특성을 선택하는 것도 필히 포함되어야 할 것이다.

이러한 정책결정변수가 일단 선택되면, 개별 교통시설은 각각의 이용자균형에 도달하는 특징이 있다. 이러한 이용자균형은 소비자들의 효용 극대화결정을 반영하는 수요함수와 정부에 의해 결정된 평균비용함수의 교차점에 해당한다는 점은 앞서 언급된 바와 같다. 이러한 이용자균형에서는 교통시설별로 이용자들의 평균통행비용 기대치와 이용과정에서의 평균통행비용 실적치와 일치한다. 이러한 이용자균형의 조건은 정부의 사회후생 최적화결정에서 필히 충족되어야 하는 제약조건이기도 하다.

정부정책사항의 또 다른 유형은 세금을 부과하는 것이며, 이러한 세금에는 두가지 종류가 있다. 하나는 개별 소비자 각각에 대해 개별적으로 책정되는 인두세(head tax)로서, 소비자간 소득재분배기능과 함께 공공사업 재원조달기능을 갖는다. 다른 하나는 소비재의 최종 소비단계에서 부과되는 물품세(excise tax)로서, 소득재분배와는 무관한 공공사업 재원조달기능만을 수행한다.[2)]

이러한 조세정책은 정부의 총지출이 총수입을 초과하지 않아야 한다는 균형예산조건을 충족시켜야 한다. 여기서 총지출에는 공공재에 해당하는 교통시설 확충사업에 소요되는 투자재원이 포함될 것이다. 한편 총수입에는 각종 조세수입 이외에도 혼잡부담금 수입도 가산되어야 할 것이다.

Ⅳ. 교통시설투자 최적화조건

시장경제에서 개별 기업들은 각기 효율적인 생산체계를 갖추어야 사회후생의 최적화상태에 도달할 수 있다는 점은 주지하는 바다. 마찬가지로 공공재에 해당하는 교통시설 각각에 대해서도 정부는 최적의 투자를 시행하여야 사회후생의 최적화상태에 도달할 수 있다. 그렇다면 혼잡현상이라는 시장실패 요인을 갖고 있는 교통시설은 어떠한 투자정책이 사회복지를 최대화시킬 수 있을까?

정부는 교통시설 $m=1,2,\cdots,M$을 직접 공급하며, 개별 교통시설의 산출은 교통량 q_m이라고 설정하자. 다음으로 교통량의 생산에 필요한 시설의 건설에는 시설투자 y_m이 투입되어야 하며, 이 투입요소의 시장가격은 p_y라고 가정하자. 또한 교통량 q_m의 생산에는 시설투자 이외에도 단기가변비용으로서 통행당 평균통행비용 c_m을 투입해야 한다고 하자. 아울러 투입요소 y_m과 c_m 그리고 산출 q_m은 기술적 제약조건에 해당하는 이용자균형조건을 충족시켜야 한다고 하자.

이러한 일련의 가정아래서 정부의 교통시설별 사회비용 최소화문제는 최적의 투입요소 c_m와 q_m를 산출

2) Dixit, A.K.(1970)와 Diamond, P.A(1971)에 의하면, 물품세는 모든 소비재에 걸쳐 세전가격(before-tax price)에 일정한 비율을 징수하는 정율세가 사회후생를 최대화시키는 필요조건의 하나에 해당한다.

하는 아래의 비선형 최소화문제로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}&\text{Minimize} \quad c_m\, q_m + p_y\, y_m \\ &\text{Subject to} \quad c_m - f_m(q_m, y_m) \geq 0 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 f_m은 통행당 평균비용함수로서, 이용자균형을 특징지우는 식(1)의 함수 F와 유사한 구조를 갖는다.

위의 최적화모형에서 시설투자의 투입요소는 y라는 한 가지 재화로 구성되어 있다고 가정했다. 이러한 접근방법은 분석이 단순한 장점을 취하는 대신 논리의 일반성을 상실할 수 있는 단점이 있다. 이러한 단점을 해소하는 대안으로서 교통시설투자결정을 적절히 반영할 수 있는 설명변수를 투입요소 y_m을 선정해야 할 것이다.

이러한 요구조건의 시설투자 y_m은 본 연구에서 해당 교통시설의 용량결정 변수로 규정하였다. 따라서 정부의 시설투자결정은 적정의 시설용량을 선택하는 의사결정으로 해석될 수 있을 것이다. 또한 식(4)의 비용함수 f_m은 용량과 교통량이 결정된 상태에서 통행당 평균통행비용을 산출하는 함수로 이해될 수 있을 것이다.

다음으로 비용함수 f_m은 대기행렬모형의 평균지체함수와 유사한 구조를 가지고 있다. 구체적으로 비용함수 f_m은 교통량 q_m에 대해 단조증가하는 오목함수이며, 이러한 특징은 대기행렬모형에서 도착량이 증가될수록 지체시간이 기하급수적으로 증가하는 현상을 반영한 것이다. 반면 비용함수 f_m은 용량결정변수 y_m에 대해서는 감소하는 오목함수이며, 이러한 가정은 일정한 도착량을 처리하는 창구의 수가 많아질수록 평균지체시간은 단조감소한다는 대기행렬이론을 반영한 것이다.

한편 최적화모형 (4)에서 용량결정변수 y_m은 연속변수로 가정하였다. 이러한 접근방법은 도로시설의 규격이 차선 단위로 설정되는 등 교통시설의 불분리성(indivisibility)을 적절히 반영하지 못한다는 지적이 가능할 것이다. 그렇지만 동일한 차선의 도로시설이라도 용량은 차선폭·선형·구배등 여러 물리적 요인에 의해 영향을 받는다. 따라서 교통시설의 용량은 정부의 투자규모를 결정하는 재화 y_m에 대한 연속함수로 규정하여도 논리적으로 큰 하자는 없을 것이다.

이제까지 고찰한 교통시설별 사회비용 최소화문제는 다음과 같은 라그랑쥐 수식으로 나타낼 수 있다.

$$L \equiv -c_m q_m - p_y y_m + \lambda_m [c_m - f(q_m, y_m)]$$

여기서 라그랑쥐 계수 $\lambda \geq 0$ 이다. 다음으로 의사결정변수 c_m과 y_m 각각에 대해 미분하여 도출한 1차조건은 아래와 같다.

$$\frac{\partial L}{\partial c_m} = -q_m + \lambda_m = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial y_m} = -p_y - \lambda_m \frac{\partial f}{\partial y_m} = 0$$

위의 1차조건들을 재정리하면,

$$q_m = \lambda_m = -p_y / \frac{\partial f_m}{\partial y_m} \tag{5}$$

위의 수식은 시설투자 최적화조건을 특징지우는 수리적 표현으로, 이의 경제적 의미는 다음과 같다. 시설투자 최적화상태에서 산출 q_m은 λ_m과 같다. 또한 λ_m은 라그랑쥐 계수로서 c_m이 1원 증가함에 따라 발생하는 사회적 총비용의 증가분을 의미한다. 한편 식(5)의 세 번째 항은 평균통행비용 1원을 감축하는데 소요되는 시설투입 y_m의 투자금액을 나타낸다. 따라서 시설투자 최적화상태에서는 시설투자 q_m원은 평균통행비용을 1원씩 감소시켜, 총비용을 q_m원 감축시킨다 해석이 가능할 것이다.

Ⅴ. 통행자의 효용 극대화결정

여기서 분석될 시장에서는 정부가 상호 대체기능을 갖는 여러 교통시설 $m = 1, 2, \cdots, M$을 직접 건설하며, 개별 교통시설의 평균통행비용함수는 f_m으로 앞서 설명된 바와 같다. 이 시장에서 소비재로는 유일하게 x가 세후가격(after-tax price) p_x에 유통되고 있으며, 이 재화는 평균통행비용을 결정하는 용량결정변수 y_m과 동일한 것이다.[3)]

3) 여기서 소비재 x는 미시경제분석에서 사용되는 기준재(numeraire)에 해당한다. 다만 여기서는 세전가격과 세후가격이 보다 명확하게 구분되도록, 각각을 Py와 Px로 달리 표현하였다. 아울러 시장에서 한 가지의 소비재만이 유통된다고 가정하여도, 분석의 결과는 여러 개의 소비재가 유통되는 시장에 대한 분석과 비교하여 논리적 일반성에서 전혀 차이가 없음이 지적되어야 할 것이다.

다음으로 정부는 교통시설 m 각각에 혼잡통행료 p_m을 부과한다. 따라서 개별 소비자가 교통시설 m을 이용하는 과정에서 실제로 투입하는 비용은 p_m+c_m 이며, 여기서 c_m은 평균통행비용함수 f_m에 의해 결정된다. 아울러 정부는 소비자 $i=1,2,\cdots,I$ 각각에게 인두세 h^i를 징수하고, 소비재 x에게는 물품세 t를 부과한다. 따라서 소비재 x의 세후가격 p_x는 p_y+t의 관계를 갖는다.

한편 소비자 i는 신고전적 효용함수 u^i를 가지고 있으며, 현금수입과 인적자원등을 포함한 기본재산 m^i를 보유하고 있다. 따라서 소비자 i의 효용극대화 의사결정문제는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{Maximize} \quad u^i(g_1^i, g_2^i \cdots, g_M^i, x^i)$$
$$\text{Subjet to} \quad \sum_m (p_m+c_m)g_m^i + p_x x^i \le m^i - h^i \qquad (6)$$

여기서 g_m^i는 소비자 i의 교통시설 이용빈도를 나타낸다.

이러한 소비자 i의 효용 극대화문제에 대한 라그랑쥐 수식 z^i는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} z^i \equiv\ & u^i(g_1^i, g_2^i, \cdots, g_M^i, x^i) \\ & + \eta^i[m^i - h^i - \sum_m (p_m+c_m)g_m^i - p_x x^i] \end{aligned}$$

여기서 $\eta^i \ge 0$는 소비자 i의 소득에 대한 한계효용을 나타낸다.

다음으로 교통수요 g_m과 소비재 x의 최적 소비량을 의미하는 g_m과 x의 수요함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} & g_m^i \equiv g_m^i(\underline{p+c}, p_x, m^i - h^i), \\ & x^i \equiv h^i(\underline{p+c}, p_x m^i - h^i) \end{aligned} \qquad (7)$$

여기서 $\underline{p+c} = (p_1+c_1, p_2+c_2, \cdots, p_M+c_M)$을 나타내는 벡터에 해당한다. 아울러 소비자 i의 간접효용함수는 수요함수를 효용함수에 대입한 것으로, 다음과 같다.

$$u^i(g_1^i, g_2^i, \cdots, g_M^i, x^i) \equiv u^i(\underline{p+c}, p_x, m^i - h^i) \qquad (8)$$

이러한 간접효용함수를 h^i p_m t 각각에 대해 미분하면, 다음과 같은 결과를 얻을수 있다.

$$\frac{\partial u^i}{\partial h^i} = -\eta^i, \ \frac{\partial u^i}{\partial p_m} = -\eta^i g_m, \ \frac{\partial u^i}{\partial t} = -\eta^i x^i \qquad (9)$$

한편 식(7)의 수요함수를 예산제약조건에 대입한 후, h^i p_m t 각각에 대해 미분하면 다음과 같은 등식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & 1 + \sum_m (p_m+c_m)\frac{\partial g_m^i}{\partial h^i} + p_x \frac{\partial x^i}{\partial h^i} = 0, \\ & g_k^i + \sum_m (p_m+c_m)\frac{\partial g_m^i}{\partial p_k} + p_x \frac{\partial x^i}{\partial p_k} = 0, \\ & k = 1, 2, \cdots, M \\ & \sum_m (p_m+c_m)\frac{\partial g_m^i}{\partial t} + x^i + p_x^i \frac{\partial x^i}{\partial t} = 0 \end{aligned} \qquad (10)$$

여기서 첫 번째 수식에 g_k^i을 곱한 값을 두 번째 수식하고 제하고, 첫 번째 수식에 x^i를 곱한 값을 세 번째 수식에서 제하면, 다음의 수식이 유도된다.

$$\begin{pmatrix} s_{11}^i & s_{21}^i & \cdots & s_{M1}^i & s_{X1}^i \\ s_{12}^i & s_{22}^i & \cdots & s_{M2}^i & s_{X2}^i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ s_{1M}^i & s_{2M}^i & \cdots & s_{MM}^i & s_{XM}^i \\ s_{1X}^i & s_{2X}^i & \cdots & s_{MX}^i & s_{XX}^i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1+c_1 \\ p_2+c_2 \\ \vdots \\ p_m+c_m \\ p_y+t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad (11)$$

여기서 $s_{mk}^i = \partial g_m^i / \partial p_k - g_k^i \partial g_m^i / \partial h^i$이며, 혼잡통행료 p_k에 대한 교통수요 g_m^i의 Slutsky 대체효과를 나타낸다. 마찬가지로 $s_{mx}^i = \partial g_m^i / \partial t - x^i \partial g_m^i / \partial h^i$이며, 물품세 t에 대한 g_m^i의 Slutsky 대체효과를 의미한다.

Ⅵ. 최선의 사회후생 최적화결정

앞서 Ⅲ절에서는 정부의 사회후생 최적화모형을 식(3)의 형태로 제시하였다. 이 최적화문제는 목적함수에 해당하는 사회후생함수 W를 최대화시키는 것이다. 이를 달성하는 정책수단에는 교통시설 $m=1,2,\cdots,M$ 각각에 대한 용량결정변수 y_m과 혼잡통행료 p_m, 소비자 $i=1,2,\cdots,I$ 각각에 부과되는 인두세 h^i, 그리고 소비재 x에 부과되는 물품세 t가 포함된다.

이러한 최적화문제의 목적함수에 해당하는 사회복지 W는 사회구성원 각각의 효용 u^i의 함수로서 다음과 같다.

$$W \equiv W(u^1, u^2, \cdots, u^I)$$

여기서 함수 W는 u^i각각에 대해 증가하는 볼록함수이다. 효용 u^i는 소비자 i각각이 자신의 예산제약조건 아래서 도달이 가능한 효용의 최대치로서, 식(8)의 조건을 만족시킨다.

다음으로 정부는 개별 교통시설의 투자결정과정에서 이용자균형에 의해 형성되는 평균통행비용 c_m을 수용하는 입장이며, 이러한 평균통행비용 c_m은 다음의 등식을 만족시킨다.

$$c_m - f_m(g_m, y_m) \geq 0, m = 1, 2, \cdots. M$$

여기서 $g_m = \sum_i g^i_m$으로, 교통시설 m에 대한 시장 전체의 수요를 나타낸다.

한편 정부의 의사결정은 총지출이 총수입을 초과하지 않아야 하며, 이러한 제약조건은 다음과 같다.

$$\sum_i h^i + \sum_m p_m g_m + tx - p_y y \geq 0$$

여기서 $x = \sum_i x^i$ 그리고 $y = \sum_m y_m$을 나타낸다.

따라서 식(3)의 사회후생 최대화문제는 아래의 비선형 최적화문제로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{Maximize} \quad W(u^1, u^2, \cdots, u^I) \\ &\text{Subject to} \quad c_m - f(g_m, y_m) \geq 0, \ m = 1, 2, \cdots, M \\ &\qquad \sum_i h^i + \sum_m p_m g_m + tx - p_y y \geq 0 \end{aligned} \quad (12)$$

이러한 최적화모형의 라그랑쥐 수식 Z는 다음과 같다.

$$Z \equiv W(u^1, u^2, \cdots, u^I) + \sum_m \lambda_m [c_m - f_m(g_m, y_m)] + \phi(\sum_i h^i + \sum_m p_m g_m + tx - p_y y)$$

여기서 $\lambda_m \geq 0$, $m = 1, 2, \cdots, M$. 또한 $\phi \geq 0$ 이다.

정부의 최적결정은 Z의 결정변수 각각에 대해 Z를 미분하여 얻은 1차 조건을 충족시켜야 한다. 이러한 요구조건의 첫 번째로 교통시설 m의 용량결정변수 y_m에 대한 1차조건은 아래와 같다.

$$\frac{\partial Z}{\partial y_m} = -\lambda_m \frac{\partial f_m}{\partial y_m} - \phi\, p_y = 0 \ , \quad m = 1, 2, \cdots, M$$

위의 등식은 교통시설 m의 시설투자 최적화조건을 나타낸 것으로, 여기에 식(5)을 대입하면 다음과 같은 흥미로운 결과를 얻을 수 있다.

$$\frac{\lambda_m}{\phi} = -p_y / \frac{\partial f_m}{\partial y_m} = g_m$$

$$\text{또는 } IC_m = g_m \frac{\partial f_m}{\partial g_m} = \frac{\lambda_m}{\phi} \frac{\partial f_m}{\partial g_m} \quad (13)$$

여기서 IC_m은 교통시설 m의 한계교통량에 의한 평균통행비용 증가분을 나타낸다.4)

두 번째 요구조건으로 소비자 i에 대한 인두세 h^i는 다음의 등식을 충족시켜야 한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial h^i} &= \frac{\partial W}{\partial u^i} \frac{\partial u^i}{\partial h^i} - \sum_m \lambda_m \frac{\partial f_m}{\partial g_m} \frac{\partial g^i_m}{\partial h^i} \\ &\quad + \phi[1 + \sum_m p_m \frac{\partial g^i_m}{\partial h^i} + t \frac{\partial x^i}{\partial h^i}] \\ &= -\frac{\partial W}{\partial u^i} \eta^i + \phi[1 + \sum_m (p_m - IC_m) \frac{\partial g^i_m}{\partial h^i} + t \frac{\partial x^i}{\partial h^i}] \\ &= 0, \quad i = 1, 2, \cdots, I \end{aligned} \quad (14)$$

여기서 두 번째 등식은 첫 번째 등식에 식(9)와 (13)를 대입한 것이다.

끝으로 혼잡통행료 p_m 과 물품세 t에 대한 1차조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial Z}{\partial p_k} = -\sum_i \frac{\partial W}{\partial u^i} \eta^i g^i_k + \phi[g_k + \sum_m (p_m - IC_m) \frac{\partial g_m}{\partial p_k} + t \frac{\partial x}{\partial p_k}] = 0, \quad k = 1, 2, \cdots, M \quad (15)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -\sum_i \frac{\partial W}{\partial u^i} \eta^i x^i + \phi[\sum_m (p_m - IC_m) \frac{\partial g_m}{\partial t} + x + t \frac{\partial x}{\partial t}] = 0 \quad (16)$$

---

4) IC_m은 (그림1)에서 p^* 에 해당하며, g_m은 식(5)의 q_m과 동일한 재화이다.

위에서 유도된 h^i p_m t에 대한 1차조건들을 재정리하면, 다음의 Slutsky 대체효과방정식을 얻을 수 있다.[5)]

$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{21} & \cdots & S_{M1} & S_{X1} \\ S_{12} & S_{22} & \cdots & S_{M2} & S_{X2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ S_{1M} & S_{2M} & \cdots & S^{i}_{MM} & S_{XM} \\ S_{1X} & S_{2X} & \cdots & S_{MX} & S_{XX} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 - IC_1 \\ p_2 - IC_2 \\ \vdots \\ p_M - IC_M \\ t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{17}$$

여기서 $S_{mk} = \sum_i s^i_{mk}$, $S_{mx} = \sum_i s^i_{mx}$, 그리고 s^i_{mk}와 s^i_{mx}는 식(11)에서 설명된 Slutsky 대체효과를 나타낸다.

한편 최적 혼합통행료 p_m과 물품세 t는 동차방정식시스템에 해당하는 식(11)과 식(17)을 이용하여 산출할 수 있으며, 이를 소개하면 다음과 같다.

$$p_m - IC_m = \alpha(p_m + c_m),$$
$$t = \alpha\ p_x$$

$$\text{또는 } p_m = (1+\beta) g_m \frac{\partial f_m}{\partial g_m} + \beta c_m,$$
$$t = \beta\ p_y \tag{18}$$

여기서 $\alpha \geq 0$ 임의의 값을 취할 수 있으며, $\alpha = \beta/(1+\beta) \geq 0$를 만족시킨다.

이러한 p_m과 t를 모든 소비자 i에 대해 아래의 조건을 충족시킨다.

$$\frac{\partial u^i}{\partial g^i_m} = \eta^i (1+\beta)(g_m \frac{\partial f_m}{\partial g_m} + c_m),$$
$$\frac{\partial u^i}{\partial x} = \eta^i (1+\beta) p_y \tag{19}$$

여기서 β는 사회후생 최적화상태에서 모든 소비재에 일률적으로 부과되는 물품세율에 해당하며,[6)] 위의 등식은 이러한 세율이 모든 교통시설의 이용에 대해서도 적용되어야 함을 보여주고 있다.

이제까지 유도된 분석결과는 후생경제학에서 최선의 사회후생 최적화상태(the first-best social optimality)를 특징지우는 여러 조건들을 충족시킨다. 이와 같은 주장을 뒷받침하는 내용을 보다 구체적으로 기술하면 다음과 같다.

첫째, 최적소득세제 아래서 모든 소비자 i는 소득에 대한 한계사회후생 (maginal social welfare : MSW)이 동일하다. 즉,

$$MSW_i \equiv \frac{\partial W}{\partial u^i} \frac{\partial u_i}{\partial m^i}$$
$$= \phi[1 + \sum_m \alpha\ (p_m + c_m) \frac{\partial g^i_m}{\partial h^i} + \alpha\ p_y \frac{\partial x^i}{\partial h^i}]$$
$$= \frac{\phi}{1+\beta},\quad i = 1, 2, \cdots, I \tag{20}$$

여기서 두 번째 등식은 식(14)와 (18)를, 그리고 세 번째는 식(10)을 대입하여 얻었다.

둘째, 최적의 혼잡통행료 p_m은 시장균형에서 한계사회후생(MSW)와 한계비용(MC)이 일정한 합을 갖게한다. 즉,

$$\frac{MSW_m}{MC_m} \equiv \frac{\partial W}{\partial u^i} \frac{\partial u^i}{\partial g_m} / MC_m$$
$$= \frac{\phi}{1+\beta}(1+\beta)(g_m \frac{\partial f_m}{\partial g_m} + c_m)/MC_m$$
$$= \phi,\quad m = 1, 2, \cdots M \tag{21}$$

여기서 두 번째 등식은 식(9),(19) 및 (20)을 대입한 것이다.

마찬가지로 소비재 x의 물품세 t도 한계사회복지와 한계비용은 일정한 값을 갖게한다. 즉

$$\frac{MSW_x}{MC_x} \equiv \frac{\partial W}{\partial u^i} \frac{\partial u^i}{\partial x} / MC_x$$
$$= \frac{\phi}{1+\beta}(1+\beta) p_x / MC_x$$
$$= \phi \tag{22}$$

5) 식(17)의 유도과정은 다음과 같다. 먼저 식(14)에 g^i_k를 곱한 다음에 i에 대하여 합한 후, 이 수식을 식(15)에서 빼면 $\sum_m (p_m - IC_m) S_{mk} + tS_{xk} = 0$, $k = 1, 2, \cdots, M$이 얻어진다. 다음으로 식(14)에 X^i를 곱한 다음에 i에 대하여 합한 후, 이 수식을 식(16)에서 빼면 $\sum_m (p_m - IC_m) S_{mx} + tS_{xx}$가 유도된다.

6) 식(18)의 두 번째 등식에서 p_y는 소비재 X의 한계생산비용(MC)와 같다. 또한 두 번째 등식은 완전경쟁시장에서 여러 소비재 X_j, $j = 1, 2, \cdots, J$가 유통되는 경우에는 충족된다. 즉 $\partial u^i / \partial x_j = \eta^i (1+\beta) MC_j$가 성립된다.

여기서도 두 번째 등식은 식(21)과 동일한 방식으로 산출되었다.

셋째, 모든 교통시설의 이용수요 g_m과 소비재 x는 시장균형에서 파레토 효율성(Pareto efficiency)을 달성한다. 즉

$$\frac{MSW_m}{MSW_x}=\frac{MC_m}{MC_x}$$

여기서 등식은 식(20)과 식(22)를 이용하면 손쉽게 유도될 수 있다.

Ⅶ. 차선의 사회후생 최적화결정

앞서 최선의 사회후생 최적화분석에서는 정부가 모든 교통시설 각각에 대해 최적 혼잡통행료를 부과한다고 가정했다. 그렇지만 이와 같은 혼잡통행료를 부과하는 것은 현실성이 극히 희박하다. 교통시설별로 최적 혼잡통행료를 산출하여, 시설별로 상이한 부담금을 부과하는 것은 집행이 불가능할뿐더러 경제적으로도 무의미한 방안일 것이다.

보다 현실적인 접근방법은 특정의 교통시설에 국한하여 혼잡부담금을 부과하는 것이다. 그렇지만 해당 교통시설의 혼잡통행료는 다른 교통시설에 미치는 파급효과를 반영하여 책정해야 할 것이다. 여기서는 이러한 가정아래서 최적 혼잡통행료를 산출하였고, 이러한 분석의 전제를 보다 구체적으로 기술하면 아래와 같다.

정부는 모든 교통시설 $m=1,2,\cdots,M$을 직접 건설하되, 혼잡통행료는 시설 '1'에 국한하여 부과한다. 또한 정부는 소비자 $i=1,2,\cdots,I$ 에게 인두세 h^i와 함께 소비재 x에게 물품세 t를 부과한다. 아울러 정부는 이러한 사회후생가 최대화되도록 이러한 정책결정 변수들을 선택한다.

이러한 일련의 가정아래서, 정부의 사회후생 최적화문제는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}&\text{Maximize } W\ (u^1,u^2,\cdots,u^I)\\&\text{Subject to } c_m-f_m(g_m,y_m)\geq 0,\\&\qquad m=1,2,\cdots,M\\&\qquad \sum h_I+p_1g_1+tx-p_yy\geq 0\end{aligned}\tag{23}$$

이와 같은 비선형 최적화문제의 라그랑쥐 수식 Z는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}Z\equiv\ &W(u^1,u^2,\cdots,u^I)+\sum_m\lambda_m[c_m-f_m(g_m,y_m)]\\&+\phi(\sum_i h^i+p_1g_1+tx-p_yy)\end{aligned}$$

여기서 $\lambda_m\geq 0$, $\phi\geq 0$.

이러한 최적화문제에서 정부의 최적결정은 Z의 결정변수 각각에 대한 1차조건을 충족시켜야 한다. 이러한 요구조건의 첫 번째로 교통시설 m의 용량결정변수 y_m에 대한 1차조건은 식(13)과 동일하다. 두 번째 요구조건으로 h^i에 대한 1차조건은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}&-\frac{\partial W}{\partial u^i}\eta^i+\phi[1+(p_1-IC_1)\frac{\partial g_1^i}{\partial h^i}\\&-\sum_{m=2}IC_m\frac{\partial g_m^i}{\partial h^i}+t\frac{\partial x^i}{\partial h^i}]=0\end{aligned}$$

다음으로 혼잡통행료 p_1과 물품세 t에 대한 1차 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}&-\sum_i\frac{\partial W}{\partial u^i}\eta^ig_1^i+\phi[g_1+(p_1-IC_1)\frac{\partial g_1}{\partial p_1}\\&-\sum_{m=2}IC_m\frac{\partial g_m}{\partial p_1}+t\frac{\partial x}{\partial p_1}]=0\\&-\sum_i\frac{\partial W}{\partial u^i}\eta^ix^i+\phi[x+(p_1-IC_1)\frac{\partial g_1}{\partial t}\\&-\sum_{m=2}IC_m\frac{\partial g_m}{\partial t}+t\frac{\partial x}{\partial t}]=0\end{aligned}$$

이상의 1차조건들을 식(17)을 유도하는 과정과 동일하게 재정리하면, 최적의 혼잡통행료 p_1과 물품세 t의 산출모형은 다음과 같이 단순한 형태가 된다.

$$\begin{pmatrix}S_{11} & S_{X1}\\ S_{1X} & S_{XX}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}p_1-IC_1\\ t\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\sum_{m=2}IC_m\cdot S_{m1}\\ \sum_{m=2}IC_m\cdot S_{mx}\end{pmatrix}\tag{24}$$

여기서 $IC_m=g_m\cdot\partial f_m/\partial g_m$이고 S_{m1}은 p_1이 증가함에 따른 교통시설 m의 Slutsky 대체효과를 나타낸다.

이제까지 제시된 여러 1차조건을 충족시키는 최적

해는 차선의 사회후생 최적화결정(the second-best social optimal solution)에 해당한다.[7] 이러한 최적해에 의해 도달되는 차선의 사회후생 최적화상태는 Ⅵ절에 검토된 최선의 사회후생 최적화상태와는 여러 측면에서 서로 다르다. 이와 같은 최선과 차선의 사회후생 최적화상태에 대해 서로의 유사점과 차이점을 보다 구체적으로 설명하면 아래와 같다.

먼저 차선의 사회후생 최적화상태에서도 개별 교통시설의 용량은 혼잡통행료의 부과 여부와는 무관하게 식(5)의 시설투자 최적화조건을 충족시켜야 한다. 다음으로 특정 교통시설의 혼잡통행료는 해당 시설의 비용절감효과는 물론 대체 교통시설의 비용증가효과를 감안하는 식(24)를 사용하여 산출되어야 할 것이다. 마지막으로 차선의 사회후생 최적화상태에서는 최적 소득재분배세제의 조건 식(20), 모든 재화별 한계비용과 한계사회복지의 일치조건 식(21), 파레토 효율성조건 식(22)는 충족될 수 없다.

한편 본 연구의 주된 관심사인 혼잡통행료 산출모형 식(24)는 $S_{x1}(=S_{1x})$값이 무시될 수 있다는 가정아래서는 비교적 간단한 수식으로 재정리된다.[8] 이러한 가정은 혼잡통행료의 부과에 의한 일반 소비재의 수요대체효과는 무시될 수 있다는 비교적 무리없는 것으로써, 이 경우에 혼잡통행료 p_1은 다음과 같다.

$$p_1 \simeq \sum_m g_m \frac{\partial f_m}{\partial g_m} \frac{S_{m1}}{S_{11}} \qquad (25)$$

여기서 $|S_{11}| > \sum_{m=2} S_{m1}$, $S_{11} < 0$, $S_m \geq 0$ $m \neq 1$ 이고, 이러한 부등식은 모든 재화에 공통적으로 적용이 가능한 Slutsky 대체효과의 일반적 특징을 나타낸 것이다.

이와 같은 수식은 다시 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} p_1 &\simeq \sum_m g_m \frac{\partial f_m}{\partial g_m} \left(\frac{\partial g_m}{\partial p_1} / \frac{\partial g_1}{\partial p_1} \right) \\ &= g_1 \frac{\partial f_1}{\partial g_1} - \sum_{m=2} R_{m1} g_m \frac{\partial f_m}{\partial g_m} \qquad (26) \end{aligned}$$

여기서 R_{m1}은 혼잡통행료 p_1에 의해 교통시설 1의 교통량 감소분중 교통시설 m으로 전환된 교통량의 비율을 나타낸다.

위의 혼잡통행료 산출모형 식(26)은 다음과 같은 해석이 가능하다. 즉 특정 교통시설의 혼잡통행료는 최선의 사회복지 최적화상태에서 산출된 해당의 혼잡통행료 $g_1 \cdot \partial f_1/\partial g_1$에서 여타 교통시설에 끼치는 부정적 파급효과의 금전적 합계 $\sum R_{m1} \cdot g_m \cdot \partial f_m/\partial g_m$을 제한 값이다. 여기서 부정적 파급효과의 측정 대상에는 혼잡통행료의 부과에 의해 교통량이 전이되어 증가되는 모든 교통시설이 포함되어야 하며, 부정적 파급효과의 금전적 액수 $R_{m1}p_m$은 최선의 사회복지 최적화상태에서 산출된 해당 시설의 혼잡통행료 $p_m(=g_m \cdot \partial f_m/\partial g_m)$에 해당 시설로의 교통량 전이률 R_{m1}을 곱한 값이다.

식(26)은 특정 도로 및 특정 지역에 부과되는 최적 혼잡통행료의 산출에 유용한 길잡이로 활용될 수 있을 것이다. 또한 이 모형은 고속도로 통행료와 같은 유료시설의 통행료 부과방안에 대한 경제적 타당성을 검증하는 용도로도 활용이 가능할 것이다. 아울러 이러한 분석에서는 부담금 부과에 의해 영향을 받는 시설에는 대체기능의 도로 이외에도 대중교통수단도 필히 포함되어야 한다는 점이 강조되어야 할 것이다.

Ⅷ. 결론

본 연구에서는 일반균형분석을 전제로 하는 정부의 사회복지 최적화문제를 분석하여 최적 혼잡통행료를 산출하였다. 이러한 분석에서는 혼잡통행료를 모든 교통시설에 일괄적으로 부과하는 경우에 도달이 가능한 최선의 사회후생 최적화상태와 특정 교통시설에 국한하여 부과하는 경우에 도달이 가능한 차선의 사회후생 최적화상태 각각을 대상으로 최적 혼잡통행료를 산출했다. 또한 이러한 분석에서는 상호 대체관계의 여러 교통시설을 분석의 틀에 포함시키고, 개별 교통시설의 혼잡현상을 수리적으로 표현하여 의사결정모형에 반영하는 등 새로운 시도가 처음으로 이루어졌다.

이러한 분석의 결과로서 최선의 사회후생 최적화상태에서는 기존 한계비용 가격이론과 후생경제학에서 제시되는 사회후생 최적화상태에서의 여러 조건들이

7) Baumol, W.J. and D.F.Bradlord (1970)는 차선의 사회복지 최적화상태에서 최적의 공공재 가격을 산출한 최초의 논문으로, 여기서 제시한 결과와 유사한 가격결정공식을 제시함

8) Arrow,K.J(1971)에 의하면, Slutsky대체효과 Matrix는 대칭으로 $S_{ij}=S_{ji}$ 조건을 충족시킨다.

충족됨을 보여주었다. 최선의 소득재분배세제 요구조건, 균형상태에서 재화별 한계비용과 한계사회후생의 일치조건, 여러 재화간 파레토 효율성조건 등은 이러한 분석을 통해 증명된 사회후생 최적화상태의 조건에 해당한다. 이러한 분석결과는 본 연구의 새로운 시도가 수리적으로 타당하였음을 뒷받침한다.

이러한 분석결과에 의하면, 최선의 사회후생 최적화상태에서는 모든 교통시설에 걸쳐 혼잡통행료는 시설별로 해당 시설의 한계비용과 한계사회복지가 일치되도록 책정되어야 한다. 이러한 분석결과는 부분균형분석을 통해 유도된 기존의 연구결과와 일치한다. 반면 차선의 사회후생 최적화상태에서는 특정 교통시설의 혼잡통행료는 최선의 사회후생 최적화상태에 대한 혼잡통행료에서 다른 교통시설에 끼치는 부정적 파급효과를 합한 금액을 제한 값으로 책정되어야 한다. 이러한 분석결과는 기존의 연구결과는 특정 교통시설에 국한하여 부과하는 경우에는 활용할 수 없음을 보여준다.

끝으로 차선의 사회후생 최적화상태에 대한 최적 혼잡통행료 산출모형은 앞으로 각종 교통시설통행료 부과방안에 관한 유용한 이론적 준거로 활용될 수 있을 것이다. 일차적으로 제시된 모형은 앞으로 시행될 혼잡통행료의 산출에는 물론 시행중인 혼잡통행료징수방안의 평가에 활용될 수 있을 것이다. 또한 제시된 모형은 고속도로통행료 부과방안에 관한 효율성 측면에서의 타당성 검토에도 적용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Arrow, Kenneth J., and F. H. Hahn, "General Competitive Analysis", Holden-Day Inc., 1971.
2. Baumol, William J., and David F. Bradford, "Optimal Departure from Margial Cost Pricing", Amerian Economic R.eview, 1970.
3. Diamond, Peter A., and James A. Mirrlees, "Optimal Taxation and Public Production", Amerian Economic R.eview, 1971.
4. Dixit, Avinash K., "On the Optimal Commodity Taxes", Amerian Economic R.eview, 1970.
5. Keeler, Theodore E., and Kennth A. Small, "Optimal Peak-Load Pricing, Investment and Service Levels on Urban Expressways". Journal. of Political Economics, 1974.
6. Mohring, H., "The Peak Load Problem with Increasing Returns and Pricing Constraints", Amerian Economic R.eview., 1970.
7. Small, Kenneth A., "Urban Transportation Economics", Chur, Switerland: Harwood Academic Publisher, 1992.