

혼잡통행료와 대중교통 보조금의 효용개선 원인 분석

이혁주¹ · 유상균^{2*}

¹ 서울과학기술대학교 행정학과, ² 대진대학교 도시공학과

An Analysis of the Causes of the Welfare Gain Achieved by Congestion Pricing and Transit Subsidies

RHEE, Hyok-Joo¹ · YU, Sang-gyun^{2*}

¹ Department of Public Administration, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

² Department of Urban Engineering, Daejin University, Gyeonggi 487-711, Korea

Abstract

We analyze the efficiency of congestion pricings and transit subsidies in the spatial micro-economic model based on a general equilibrium environment. In this setting, we decompose the total welfare change into component factors and identify the reason of the change in the efficiency caused by policy instruments; these component factors are divided into indirect factors and direct factors including of origin-destination and mode choices. We set up the model as adding mode choice to the standard format in the fashion of Anas and Kim (1996) and extend the methodology proposed by Yu and Rhee (2011) and Rhee (2012) for deriving theoretical and analytical solution. Most of welfare gain comes from the modal shift from car to bus. The relative efficiency of subsidies in relation to the first-best pricing is lower than it of congestion pricings although the change in bus share by subsidies is similar to it by congestion pricing. Subsidies give rise to more modal shift from a car to a bus for long-distance commuting than it caused by congestion pricings. As the increase of bus share for long-distance commuting leads to the increase of cross-commuters passing through CBD, the welfare gain by subsidies is lower than it by congestion pricings.

본 연구는 혼잡통행료 징수와 보조금 지급의 후생개선 효과를 일반균형조건을 충족하는 공간모형에서 비교하고 이들이 발생시키는 후생개선 효과를 분해한 후 후생개선 효과의 원인을 규명하고 있다. 본 연구는 Anas and Kim (1996)를 기원으로 구축된 확률균형모형에 수단선택 조건을 추가한 후, Yu and Rhee (2011)와 Rhee (2012)가 제안하는 연구방법론을 응용하여 후생개선 효과를 간접효과와 직접효과 중 입지요인과 수단요인으로 구분하여 관찰한다. 최선의 정책수단(First-best pricing)에 대한 혼잡통행료 부과 또는 보조금 지급의 상대적 효율성은 혼잡통행료 부과의 경우가 보조금 지급에 비하여 높은 것으로 나타났다. 우리는 후생개선 효과의 분해를 통해 이들 효과의 대부분은 수단요인에 의해 달성된 것임을 확인하였다. 대중교통 보조금의 지급은 혼잡통행료 부과에 비하여 장거리 대중교통 분담률을 더욱 증가시키고, 이러한 현상은 혼잡통행료 징수에 비하여 입지요인으로 인한 더욱 많은 후생감소 효과를 유발하여 후생개선 효과는 상대적으로 낮게 나타난다. 이에 대한 원인은 혼잡통행료 부과에 비하여 보조금 지급이 도심 내 과도한 통과교통을 유발했기 때문이다.

Key Words

Analytical Methodology, Congestion Pricing, General Equilibrium Model, Mode Choice, Transit Subsidy
분석적 연구방법론, 혼잡통행료, 일반균형모형, 수단선택, 대중교통 보조금

* : Corresponding Author
plan2009@daejin.ac.kr, Phone: +82-31-539-2013, Fax: +82-31-539-2010

Received 13 December 2012, Accepted 24 April 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

한정된 도로에서 승용차의 추가통행량은 대중교통 수단에 비하여 보다 많은 사회적 비용을 유발한다. 따라서 승용차 통행가격은 과소책정 되었고 대중교통 통행가격은 과다책정된 것으로 평가된다. 이러한 수단별 한계비용 차이를 상쇄시키고자 과소 책정된 승용차의 통행가격을 높이는 대표적 정책이 혼잡통행료 제도이고 반대로 과다 책정된 대중교통 통행가격을 낮추는 대표적 정책이 대중교통 보조금 제도이다.

혼잡통행료는 Corridor 방식, 구역통행료, 진입통행료, 그리고 거리비례요금제 등으로 시행되고(Yu et al., 2009), 혼잡의 외부비용을 통행료로 징수하는 최선의 혼잡통행료(First-best pricing)인 피구세(Pigouvian tax)가 징수방식 간 효율성 비교를 위해 이론연구에서 등장한다. 대중교통 보조금 제도는 수요자를 대상으로 하는 대중교통 통근비용 보조정책과, 공급자를 대상으로 하는 교통수단 및 교통시설 공급 지원 그리고 대중교통 운송사업 재정지원으로 분류된다.

혼잡통행료는 서울의 경우 남산 1호, 3호 터널에 부과되고, 대중교통 보조금은 버스운송사업자를 대상으로 버스 유가보조금과 버스운송 사업에 대한 재정지원이 시행되고 있다. 그러나 정부는 이들 제도를 운영하기 위해 막대한 재정적 지원을 실행하였음에도 불구하고 출퇴근 시간대의 교통 혼잡을 완화하는 데 큰 효과를 발휘하지 못하고 있다(Han 2007: 223). 이로 인해 정부는 혼잡통행료 징수방식의 변경과 확대, 대중교통 보조금의 증액, 또는 현재의 공급자 위주에서 수요자 위주로의 제도 전환 등을 논의하고 있다. 그러나 현재 시행되는 제도들의 수정 및 확대의 필요성이 강조되고 있으나 아직까지 혼잡통행료와 대중교통 보조금 제도의 효율성을 이론적 틀 속에서 상호비교하고 이들의 후생개선 요인을 관찰하고 풀이한 연구는 매우 제한적이다.

Basso and Jara-Diaz (2012)는 도식적 풀이법을 통해 Mogridge (1997)이 제안한 Downs-Thomson 가설의 직관적 전개가 가지는 논리적 한계를 지적함과 동시에 최적 수단분담은 총 통행비용의 최소지점에서 결정되지 않고 통행빈도가 고려된 수단간 최적 가격차이에 의해서 결정된다고 풀이하고 있다. 또한 Basso and Jara-Diaz (2012)는 최적 가격차이에 대해서 혼잡통

행료가 징수되지 않을 경우, 대중교통수단의 실질요금에 마이너스이거나 보조금의 규모가 더욱 커질 수도 있다고 설명하고 있다. Parry and Small (2009)은 대중교통 보조금 시행의 합리적 근거는 1) 대중교통 보조금이 발생시키는 규모의 경제와 Morning effect 이고 2) 대중교통 보조금 지급으로 인한 승용차 통행량이 감소하였기 때문이라고 해석하고 있다. 더욱이 Parry and Small (2009)은 이들 근거들은 통행자의 통행시간대, 통행수단, 그리고 주거지와 직장 입지에 따라 달라진다고 설명하고 있다. 그러나 Basso and Jara-Diaz (2012)는 시장가격 결정구조가 생략된 교통부문만을 고려한 수단간 통행비용이 다른 비공간 단일도시를 가정하고 있다. 이러한 한계로 인해 Basso and Jara-Diaz (2012)는 Parry and Small (2009)가 지적한 다양한 요인에 따른 혼잡통행료와 보조금의 최적가격 차이와 이들로 인한 후생개선의 수준을 보여주지는 못하고 있다. 특히 이들은 현실도시의 특징인 가구의 주거지와 직장 입지변화와 시장가격(임대료, 상품가격, 임금) 변화를 간과하고 있는바, 정책수단 추진 시 이러한 요인들을 고려한 확대된 이론적 논의가 진행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 일반균형조건을 만족하는 가구의 주거지-직장 쌍 선택과 수단선택이 가능한 도시공간모형을 구축한 후, 분석적 전개와 수치해석법을 통해 혼잡통행료 징수와 보조금 지급의 후생개선 수준을 측정하고 후생개선 효과의 원인을 규명토록 한다.

II. 선행연구

1920년대 초반 혼잡의 외부효과를 통제하기 위한 경제학적 토대를 Pigou와 Knight가 마련한 이후 혼잡통행료 관련연구는 많은 도시경제학자와 교통계획가들의 연구대상이었다. 이들의 연구목적은 혼잡통행료의 파급 효과 측정(Parry and Bento, 2001; Anas and Rhee, 2006, 2007; Arnott, 2007; Kraus, 2012)과 적용 가능한 혼잡통행료 징수방식의 평가(Verhoef, 2002, 2005; Mun et al, 2003, 2005; Maruyama and Harata, 2006; Maruyama and Sumalee, 2007; Yu et al., 2009; Kockelman and Lemp, 2011) 등으로 분류된다. 이들 중에서 전통적인 네트워크 모형에 이용한 연구(Verhoef, 2002; Maruyama and Harata, 2006; Maruyama and Sumalee, 2007; Kockelman and Lemp, 2011)를 제외하고 대부분은 혼잡통행료

징수에 따른 시장가격(토지비, 임금, 상품가격) 변화, 수집된 통행료 수입의 수입회전효과(revenue recycling effect), 또는 가구의 주거지-직장 입지의 합리적 조정을 이유로 혼잡이 완화되고 이로 인해 사회적 후생이 개선됨을 설명하고 있다. 특히, Mun et al. (2005), Anas and Rhee (2006, 2007), 그리고 Yu et al. (2009)은 단핵도시가 가지는 분석의 한계를 극복하고 현실적 견지에서 혼잡통행료 시행방식의 후생개선 효과를 논의코자 다핵도시를 관찰 대상도시로서 설정하고 있다. 또한 대부분의 혼잡통행료 연구들이 수단선택 조건이 없이 승용차만을 고려하고 있으나 (Basso et al. 2011: 677), Kockelman and Lemp (2011)과 Kraus (2012)은 혼잡통행료 징수에 따른 수단간 상호작용을 관찰의 세부대상으로 설정하고 부분균형 관점에서 혼잡통행료의 효과를 측정하고 있다.

Downs (1962)와 Thomson (1977)은 통행수단간 통행비용이 동일한 지점에서 수단분담의 균형이 결정되고 (Mogridge, 1997: 7), Mohring (1972)은 대중교통 수단을 규모 수익체증을 일으키는 소비재로서 규정하고 대중교통 이용자의 증가는 서비스 빈도를 개선하여 한계 통행비용을 감소시킨다고 설명하고 있다. 전자는 'Downs-Thomson 가설'로 불리고, 후자는 'Mohring effect'으로 명명되어 대중교통 수단이 발생시키는 규모의 경제와 함께 대중교통 보조금 지급의 타당성을 제공하는 기초적 논리로서 관련연구에 등장한다. 이를 바탕으로 Vickrey (1980)은 대중교통 보조금 정책의 타당성과 최적 보조금 결정 시 고려사항을 기술적 풀이를 통해 분류하였고, Parry and Small (2009)은 기존 대중교통 보조금을 평가하기 위한 일반적인 구조와 최적 보조금 수준을 도출하였다. Basso and Jara-Diaz (2012)는 Mogridge (1997)이 제안한 Downs-Thomson 가설의 직관적 전개가 가지는 논리적 한계를 지적함과 동시에 대중교통 보조금과 혼잡통행료 혼합 시행 시 보조금과 혼잡통행료 수준을 도식적 풀이과정을 통해 설명하였다. 그리고 Borck and Wrede (2008)은 대중교통 보조금의 효율성을 소득계층과 토지시장과의 관계를 통해 측정하였는데, 최근 들어 이러한 연구는 확대되어 보조금 단일정책 시행을 기준으로 혼잡통행료 혼합 시행 및 버스전용도로(Basso et al, 2011), 그리고 근로소득세 감면 및 도로용량 확충 (Tscharaktschiew and Hirte, 2012)과 같은 유사제도와의 효율성 비교연구로 확대되었다. 국내에서는

Han and Lee (2006)이 대중교통 보조금과 유류비 및 주차요금 인상정책을 설문조사를 통해 실증적 차원에서 비교하였다.

분석방법 측면에서 혼잡통행료 관련연구는 도시경제의 시장가격(임대료, 상품가격, 임금) 결정구조와 가구의 수단선택이 없는 네트워크 모형과 단핵도시 부분공간모형을 이용한 연구가 주류를 이루었다. 이후 현실도시가 갖는 특징을 분석환경에서 구현시키고 이를 통해 관찰의 범위를 확대코자 시장가격 결정구조가 포함된 다핵도시에서 가구가 주거지-직장 간 선별행위를 할 수 있는 확률균형모형이 Anas and Kim (1996)을 기원으로 등장하였다. 보조금 관련 연구는 복수의 통행수단이 등장하는 비공간 집단모형(aggregate model)을 이용하여 주로 진행되었는데, Parry and Small (2009)은 대중교통 보조금을 결정짓는 요인들에 대한 설명은 수요측면에서 개인의 특이성을 고려할 수 있는 개별행태모형과 공급측면의 네트워크 모형이 결합된 모형이 필요함을 지적하였다. 이에 Tscharaktschiew and Hirte (2012)는 보조금 관련연구의 분석방법을 확대하고 논의의 현실화를 피하기 위해 가구가 각자의 선호에 따라 통행수단과 주거지-직장을 선택할 수 있는 시장가격 결정구조가 포함된 비단핵 공간모형을 구축하였다. 이러한 Tscharaktschiew and Hirte (2012)의 공간모형은 Anas and Kim (1996)의 확률균형모형을 확장한 것으로 혼잡통행료 징수와 보조금 지급에 따른 도시환경의 다양한 변화를 관찰할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 이들 공간모형들은 미시경제학적 이론에 기반을 두고 있으나, 수치해석적 분석에 의존하는바 분석적 해석과 이론도구로서의 유연성이 부족하다는 한계를 가지고 있다. 이에 Yu and Rhee (2011)와 Rhee (2012)은 이를 개선코자 수단선택이 제외된 간략한 확률균형모형을 대상으로 분석적 연구방법론의 가능성을 제안하였다. 이에 본 연구는 혼잡통행료 징수와 보조금 지급의 후생개선 효과의 원인을 분해코자 Yu and Rhee (2011)와 Rhee (2012)가 제안하는 연구방법론을 확장 및 응용토록 한다.

III. 모형의 구축

1. 모형의 개요

본 연구의 모형은 Anas and Kim (1996)을 기원으로

로 Yu et al. (2009)와 Yu and Rhee (2011) 등에서 응용한 공간모형에 수단선택 조건을 포함시킨 것으로 교통혼잡에 따른 외부효과만이 존재한다. 또한 혼잡통행료 징수와 보조금 지급이 대중교통 이용의 확대라는 동일한 목적으로 Mohring effect를 유사하게 발생시키고 Mohring effect로 발생될 서비스 개선의 불확실성이 대중교통 보조금 산정에 영향을 주는 바 (Tisato, 1998) 불필요한 논리전개를 피하고 정책수단간 효율성 비교에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단하여 Mohring effect는 모형에서 제외하였다.

본 모형은 정책수단의 시행으로 인한 교통비용의 변화가 토지이용패턴에 영향을 주고 다시 토지이용 변화가 교통비용에 영향을 주면서 최종적으로 일반균형 상태에 도달할 때까지 3가지 과정을 반복 수행한다. 우선, 가구는 효용극대화를 달성코자 균형조건을 전제로 재화소비와 토지소비를 결정한다. 다음은 토지이용과 교통부문의 연결과정으로 개별 가구의 교통비용 최소화를 위한 행위들이 가구의 효용에 내생적으로 반영된다. 마지막은 균형조건 성립과정으로 가구의 행위선택이 종합화된 균형 시장가격이 성립되고 시장균형 조건이 완결된다.

독자의 이해를 위해 외생변수가 처음 설명될 때 변수 다음에 (*)표시를 붙이기로 한다. 상품가격 p_i (*)과 임금 w_j (*)은 외생변수로 처리하였는데 이유는 식(13)의 설명에서 기술토록 하였다. 본 연구에서 관찰될 도시의 형태는 Figure 1과 같이 3개의 구역으로 구성된 대칭도시로서 구역별 지대 r_i 는 토지시장 균형조건에 따라 내생적으로 결정된다. 독자의 이해도를 높이고자 도시의 통행은 통근통행만을 고려하며, 가구는 통근통행을 위해 각자의 효용수준에 따라 통행수단을 자유롭게 선택한다. 아래첨자 i, j, k, n, s 은 구역명칭을 나타내는 표시이고 m 은 통행수단으로 규정하여 가구(i, j)는 구역 i 에 거주하며 구역 j 에 직장이 있는 가구를 의미하고, 가구(i, j, m)은 통행수단 m 을 이용해서 주거지 i 로부터 직장 j 까지 통행하는 가구를 의미한다.

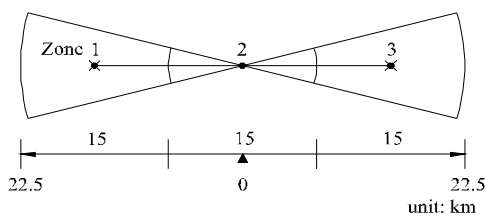


Figure 1. Physical shape of the city

2. 소비시장

가구(i, j)는 시간당 임금 w_j 을 받으며 한달 동안 노동일수 D (*) 만큼 일하여 노동수입을 벌게 된다. 따라서 가구(i, j)의 월간 총 수입, Ω_{ij} 은 노동수입과 배당금 (Dividend) R 의 합에서 통근통행 시 지출되는 시간비용 $w_j c_{ij}^{time}$ 과 혼잡통행료 (*) ($c_{ij}^{toll} > 0$) 또는 대중교통 보조금 (*) ($c_{ij}^{toll} < 0$)으로 구성된 왕복 통행비용 $C_{ij} = 2w_j c_{ij}^{time} + 2c_{ij}^{toll}$ 의 합계인 식(1)로 주어진다. R 은 가구가 평균적으로 받게 되는 공공서비스를 의미하는 배당금 (Dividend)으로 식(2)로 계산된다. 기준도시의 경우 식(1)과 식(2)의 c_{ij}^{toll} 은 제거된다. N (*)은 가구수, A_i (*)는 구역 i 의 면적, Δ_i (*)는 구역 i 의 폭 (km)이다.

$$\Omega_{ij} = w_j H - DC_{ij} + R \tag{1}$$

$$R = \frac{1}{N} \left(\sum_i r_i A_i + \sum_{sm} D \Delta_s t_s(m) F_s(m) \right) \tag{2}$$

가구(i, j)는 식(3)의 효용 u_{ij} 을 극대화하기 위해 Ω_{ij} 를 이용하여 단위 상품가격 p_i 인 생산품 z_{ij} 와 단위면적당 지대 r_i 인 주거용지 q_{ij} 를 소비한다. 따라서 균형 제약식 $p_i z_{ij} + r_i q_{ij} = \Omega_{ij}$ 이 성립한다. 가구의 월간 총 가용시간을 H (*)라고 할 경우 월간 노동시간은 $H - 2DC_{ij}^{time}$ 으로 계산된다. 효용함수, 식(3)에서 ϵ_{ij} 는 가구의 주거지-직장 쌍 (i, j)을 선택 시 영향을 주는 가구의 특이성 (Idiosyncratic taste)을 의미하는 것으로서 굼벨분포 (Gumbel distribution)을 따른다.

$$\max_{z_{ij}, q_{ij}} u_{ij} = u(z_{ij}, q_{ij}) + \epsilon_{ij} \tag{3}$$

$$\text{제약조건 } p_i z_{ij} + r_i q_{ij} = w_j H - DC_{ij} + R,$$

3. 선택확률

가구의 선택은 주거지-직장 쌍 (i, j) 선택 P_{ij} 과 통행수단 m 선택 $P_{m|ij}$ 으로 분류되고, 가구의 주거지-직장 쌍 (i, j) 선택구조는 두 단계로 구분된다. 첫 번째 단계에서 가구는 주거지-직장 쌍 (i, j)를 우선 선택한다. 다음으로 가구는 주거지-직장 쌍 (i, j)가 결정된 후, 식(3)에서 주어진 효용극대화를 위해 소비묶음 (Consumption bundle)을 결정토록 한다. 이들 과정에서 가구는 통행수단에 대한 개인의 특이성 확률변수 없이 소비묶음

(Consumption bundle)을 결정하는 데, 이는 가구가 이들 결정과정에서 통행수단 선택 시 발생하는 다양한 교통비용(d_{ij}^{time} , d_{ij}^{oll})을 평균적으로 고려하기 때문이다.

통행수단 선택을 위한 가구의 하부효용, $\tilde{v}_{ij}(m)$ 은 통행의 시간비용 $w_j g_{ij}(m)$, 수단특성 $h(m)$, 그리고 수단별 혼잡통행료($t_{ij}(m) > 0$) 또는 보조금($t_{ij}(m) < 0$)의 합계로 식(4)와 같다. 통행자의 수단선택의 특이성을 나타내는 $\epsilon_{ij}(m)$ 는 곱벨분포(Gumbel distribution)를 따르는 연속확률변수이다. 식(4)에서 $g_{ij}(m)$ 는 수단별 통행시간이고 왕복통행을 가정함에 따라 우변 첫 번째 항과 두 번째 항에 2가 곱해진다. 이에 통행자가 주거지-직장 쌍 (i, j) 이 주어진 상태에서 통행수단 m 을 선택할 확률, $P_{m|ij}$ 은 Ben-Akiva와 Lerman (1985: 287)이 제안한 확률적 선택원리에 따라 식(5)로 주어진다. 또한 가구의 주거지-직장 쌍 (i, j) 선택확률 P_{ij} 역시 통행수단 선택확률 계산방식과 동일하게 식(3)에서 도출된 간접 효용함수 $V_{ij} = \ln \Omega_{ij} - \alpha \ln p_j - \beta \ln r_i$ 을 이용하여 식(6)으로 계산된다. 식(5)과 식(6)의 λ_M 과 λ_L 은 각각 확률 변수의 분산모수(Dispersion parameter)이다.

$$\tilde{v}_{ij}(m) = v_{ij}(m) + \epsilon_{ij}(m) \tag{4}$$

$$= -2w_j g_{ij}(m) - 2t_{ij}(m) + h(m) + \epsilon_{ij}(m) \tag{5}$$

$$P_{ij} = \exp \lambda_L V_{ij} / \sum_{i,j} \exp \lambda_L V_{i,j} \tag{6}$$

본 모형에서는 식(6)을 이용하여 가구의 극대화된 효용 식(3)의 기댓값을 나타내는 사회적 후생 W 를 구현할 수 있는바 식(7)로 계산된다.

$$W = \frac{1}{\lambda_L} \ln \sum_{ij} \exp \lambda_L V_{ij} \tag{7}$$

4. 교통부문

가구 (i, j) 의 통행수단 m 을 이용한 통근통행 $F_{ij}(m) = NP_{ij} P_{m|ij}$ 이고, 주거지 i 로부터 직장 j 까지 총 통행량은 $F_{ij} = \sum_m NP_{ij} P_{m|ij}$ 이다. 구역 i 에서 통행수단 m 의 통행량 $F_i(m)$ 은 내부통행, 출발통행, 도착통행, 그리고 통과통행의 합으로 결정된다. 구역 $i \in \{1, 3\}$ 의 수단별 통행량 $F_{i \in \{1,3\}}(m)$ 의 경우 통과통행은 0이다. 만약 표

시변수 δ_{kZ_j} 가 $k \in Z_j$ 인 경우만 1이라면, 구역 k 의 수단별 통행량은 $F_k(m) = \sum_{ij} F_{ij}(m) \delta_{kZ_j}$ 으로 계산된다.

구역 i 의 통행시간 g_i 은 BPR(Bureau of Public Roads) 함수를 이용하여 식(8)로 결정된다. 식(8)에서 a_1 은 자유류 상태에서 통행속도(km/h)를 의미하며 a_2 와 a_3 는 마찰계수이다($a_1, a_2, a_3 > 0$). K_i 는 구역별 도로의 교통처리용량이고 $\phi_{m > 1}$ 는 대중교통 탑승객 한명과 동일한 승용차 여객 운송량(Passenger car equivalents of one bus passenger)으로 $1 > \phi_{m > 1} > 0$ 이다($\phi_{m=1} = 1$). 구역 간 통행시간 g_{ij} 는 $g_{ij} = \sum_k g_k \Delta_k \delta_{kZ_j}$ 이다. 수단별 통행시간 $g_{ij}(m)$ 은 식(9)로 결정된다. 식(9)의 차외시간에 속하는 $walk(m)$ 은 수집시간과 배분시간의 합이고, $wait(m)$ 은 대기시간, 그리고 $stop_{ij}(m)$ 은 구역 i 부터 구역 j 까지 소요되는 정류시간으로서 통행거리가 증가할수록 $stop_{ij}(m)$ 은 증가한다. 본 모형에서 대중교통 수단의 통행시간은 차내 통행시간 g_{ij} 과 차외 통행시간의 합이고, 승용차의 통행시간은 차내 통행시간만을 고려하여 차외시간은 0이다. 구역 i 로부터 구역 j 까지 수단별 통행시간이 가중평균된 통행시간은 $d_{ij}^{time} = \sum_m P_{m|ij} g_{ij}(m)$ 으로 가구의 효용극대화를 위해 식(3)에서 사용된다.

$$g_i = a_1 \left[1 + a_2 \left(\frac{\sum_m \phi_m F_i(m)}{K_i} \right)^{a_3} \right] \tag{8}$$

$$g_{ij}(m) = \begin{cases} g_{ij}, & m = 1 \\ g_{ij} + walk(m) + wait(m) + stop_{ij}(m), & m > 1 \end{cases} \tag{9}$$

혼잡통행료($t_i(m) > 0$)와 대중교통 보조금($t_i(m) < 0$)은 Basso and Jara-Diaz (2012)가 지적한 것과 같이 수단별 통행비용이 상호영향을 미친다면 피구세 계산과정과 같은 전통적 방식으로 이들을 산정하는 것이 어려운 바, 수치해석을 통해 수단간 최적 가격차이를 갖는 최적 혼잡통행료와 대중교통 보조금을 탐색토록 한다. 식(4)의 수단별 구역간 혼잡통행료 $t_{ij}(m)$ 은 탐색된 $t_k(m)$ 을 이용하여 $\sum_k t_k(m) \Delta_k \delta_{kZ_j}$ 으로 계산된다. $d_{ij}^{oll} = \sum_m P_{m|ij} t_{ij}(m)$ 은 가중평균된 혼잡통행료 또는 보조금으로 가구의 효용극대화를 위해 식(3)에서 사용된다. 마지막으로 모형은 토지시장의 균형조건을 충족하기 위하여 $A_i = N \sum_j P_{ij} q_j$ 이 성립되도록 한다.

IV. 후생함수의 분해

1. 기초적 논의

혼잡통행료와 대중교통 보조금이라는 정책변수 $t_k(m)$ 로 인한 후생함수 W , 식(7)의 변화를 분석적으로 관찰하기 위해 Yu and Rhee (2011)와 Rhee (2012)가 제안한 방법론에 수단선택 조건을 삽입하여 변형토록 한다. 본 분석의 관심대상은 정책시행 전후 식(7) W 의 변화이다. W 는 r_n 와 $t_k(m)$ 의 함수이기 때문에 $t_k(m)$ 에 대한 W 의 1계 도함수는 식(10)와 같이 쓸 수 있다(전개과정은 Yu and Rhee (2011: 201)와 Rhee (2012: 185) 참고).

$$\frac{dW}{dt_k(m)} = \sum_{ij} P_{ij} \frac{\partial V_{ij}}{\partial r_n} \frac{dr_n}{dt_k(m)} + \sum_{ij} P_{ij} \frac{\partial V_{ij}}{\partial t_k(m)} \quad (10)$$

식(10)의 우변 첫 번째 항은 정책수단이 시장가격 벡터인 지대 r_n 을 변화시켜 W 에 미치는 '간접효과'이고 두 번째 항은 정책수단이 W 에 직접적으로 영향을 미치는 '직접효과'이다. 정책이 시행되면 가구는 통근통행 시 혼잡통행료를 지불하거나 보조금을 지급받는다. 혼잡통행료의 경우 지대 배분수입과 수집된 혼잡통행료 수입을 합친 식(2)의 배당금을 동일한 크기로 다른 가구들과 나누워 갖고, 보조금은 지대 배분수입에서 보조금의 재원만큼을 차감한 배당금을 동일한 크기로 다른 가구들과 나누워 갖는다. 동시에 정책변수는 가구의 수단별 교통비용을 증가시키거나 감소시켜 가구의 수단전환을 촉발하고, 가구가 주거지-직장 쌍 (i, j) 를 새롭게 선택토록 영향을 준다. 식(3)의 효용극대화 문제에서 라그랑지안(Lagrangian) 식(11)을 구성한다. θ_{ij} 은 소득의 한계효용을 의미한다.

2. 간접효과

포락선 정리(Envelope theorem)를 이용해 지대 r_n 에 대한 간접효용함수의 도함수는 식(12)와 같이 유도 가능하다. δ_{in} 은 표시변수로 $i=n$ 일 때 1, 나머지 경우는 0이다.

$$\mathcal{L} = u(z_{ij}, q_{ij}) + \theta_{ij}(\Omega_{ij} - p_i z_{ij} - r_i q_{ij}) \quad (11)$$

$$\frac{\partial V_{ij}}{\partial r_n} = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial r_n} = \theta_{ij} \left(\frac{A_n}{N} - q_{ij} \delta_{in} \right) \quad (12)$$

식(12)를 식(10) 우변 첫 번째 항에 대입하면 식

(13)로 정리된다. 식(13) 우변의 괄호는 소득의 한계효용 가중평균과 주거지-직장 쌍 (i, j) 의 소득의 한계효용과의 차이로 0에 근사한 값을 갖는다. Yu and Rhee (2011)와 Rhee (2012)은 $(\bar{\theta} - \theta_{ij})$ 가 매우 작아 시장가격 벡터 (r_i, w_i, p_i) 에 의한 간접효과가 0에 근사함을 보여 주고 있다. 본 연구에서는 모형의 단순성과 가독성을 높이고자 지대 r_i 를 제외한 가격벡터 (p_i, w_i) 가 외생적으로 주어지도록 구성하였고 시장가격으로 인한 간접효과가 0에 근사하는 지는 수치해석을 통해 확인토록 한다.

$$\begin{aligned} & \sum_{ij} P_{ij} \frac{\partial V_{ij}}{\partial r_n} \frac{dr_n}{dt_k(m)} \\ & \equiv \sum_{ij} (\bar{\theta} - \theta_{ij}) P_{ij} q_{ij} \frac{dr_i}{dt_k(m)} = \epsilon_k(m) \end{aligned} \quad (13)$$

3. 직접효과

식(13)의 지대 r_i 로 인한 가격효과 $\epsilon_k(m)$ 가 0에 근사한다는 전제조건을 식(10)에 적용할 경우 정책변수 $t_k(m)$ 으로 인한 후생변화는 식(10)의 두 번째 항인 직접효과에서만 관찰된다. 직접효과 식(14)을 식(10)의 두 번째 항에 넣고 전개하면 식(15)가 된다. 식(15)의 A 항은 정책변수 1단위 변화로 인한 가구의 통행시간 변화, B 항은 가구 통행의 금전비용 변화, 그리고 C 항은 지대수입과 혼잡통행료 수입의 변화를 의미한다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_{ij}}{\partial t_k(m)} &= \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial t_k(m)} \\ &= \theta_{ij} \left(-2Dw_j \frac{dc_{ij}^{time}}{dt_k(m)} - 2D \frac{\partial c_{ij}^{oll}}{\partial t_k(m)} + \frac{\partial R}{\partial t_k(m)} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt_k(m)} &\simeq \sum_{ij} P_{ij} \frac{\partial V_{ij}}{\partial t_k(m)} = \\ &= \underbrace{-\sum_{ij} P_{ij} \theta_{ij} 2Dw_j \frac{dc_{ij}^{time}}{dt_k(m)}}_A - \underbrace{\sum_{ij} P_{ij} \theta_{ij} 2D \frac{\partial c_{ij}^{oll}}{\partial t_k(m)}}_B \\ &+ \underbrace{\bar{\theta} \frac{\partial R}{\partial t_k(m)}}_C \end{aligned} \quad (15)$$

$$\frac{\partial R}{\partial t_k(m)} = \frac{1}{N} \left(F_k(m) + \sum_{sm} D\Delta_s t_s(m') \frac{dF_s(m')}{dt_k(m)} \right) \quad (16)$$

식(15) 우변 첫 번째 항의 dc_{ij}^{time} 는 통행량 $F_s(m)$ 와 수단선택 P_{mlij} 의 함수이기 때문에 dc_{ij}^{time} 를 $F_s(m)$ 와 P_{mlij} 로 구분하고 식(16)을 우변 세 번째 항에 대입하여 정리하면 식(15)는 식(17)로 변형된다. 이렇게 변형된

식(17)의 우변 첫 번째 항은 통행자의 수단변환(Modal shift)으로 인한 후생변화를 의미하고 두 번째 항은 구역별 통행량 변화로 인한 후생변화를 담당한다.

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt_k(m)} &\simeq \sum_{ij} P_{ij} \frac{\partial V_{ij}}{\partial t_k(m)} \\ &= -\frac{\theta}{N} \sum_{ijm'} 2D(w_{ij} g_{ij}(m') + t_{ij}(m')) NP_{ij} \frac{\partial P_{m'ij}}{\partial t_k(m)} \\ &\quad + \frac{\theta}{N} \sum_{sm'} D\Delta_s(t_s(m') - \phi_{m'} \sum_m E_s^{time}(m'')) \frac{dF_s(m')}{dt_k(m)} \end{aligned} \quad (17)$$

식(17)의 우변 두 번째 항 $E_s^{time}(m)$ 은 통행자의 신 규진입으로 발생하는 구역 s 에서 발생하는 초과된 시간비용으로 $E_s^{time}(m) = w_s F_s(m) [dg_s(m) / d \sum_m \phi_m F_s(m)]$ 으로 계산된다. 식(17)에 수단선택 조건이 없을 경우 우변 첫 번째 항 전체와 두 번째 항의 통행수단 m 이 삭제되어 최적의 혼잡통행료는 $t_s = E_s^{time} = w_s F_s [dg_s / dF_s]$ 으로 초과된 사회적 비용과 동일한 피구세로 계산된다. 하지만 수단선택 조건이 존재하는 경우 최적의 혼잡통행료는 두 번째 항에 있는 초과된 사회적 비용뿐만 아니라 첫 번째 항이 발생시키는 수단전환으로 인한 후생변화를 고려하여 결정되어야 한다. 더욱이 후생개선을 위해서는 식(17)의 두 번째 항이 양(+)의 값을 가져야 할 것으로 예측되지만, 음(-)의 값을 가지는 첫 번째 항의 절대값이 두 번째 항의 절대값에 비하여 클 경우 오히려 후생감소를 가져올 수 있다. 이러한 경우 최적의 혼잡통행료는 양(+)의 값이 아닌 음(-)의 값인 보조금의 형태로 지급될 경우 후생개선을 가져온다.

4. 요인별 후생개선 효과

식(17)의 $dF_s(m')$ 은 dP_{ij} 과 $dP_{m'ij}$ 을 내포하고 있기 때문에 아직까지 정책변수 $t_k(m)$ 의 후생개선 효과를 요인별로 관찰할 수 없다. 따라서 요인별 후생개선 효과를 관찰코자 $dF_s(m')/dt_k(m)$ 에 약간의 변형을 가하여 식(18)을 도출토록 한다. 이렇게 도출된 식(18)을 식(17)에 대입한 후 정리하면 식(19)와 같이 요인별 후생개선 효과를 관찰할 수 있는 자기완결형 수식이 도출된다. 식(19)의 우변 첫 번째 항인 '입지요인'은 정책실행으로 인한 가구의 주거-직장 쌍 변경에 따른 후생개선의 정도를,

두 번째 항인 '수단요인'은 가구의 수단전환에 따른 후생개선의 정도를 관찰토록 한다. 앞으로 정책수단에 따른 요인별 후생개선 효과는 식(19)을 통해 측정토록 한다.

$$\frac{dF_s(m')}{dt_k(m)} = \quad (18)$$

$$\sum_{ij} NP_{m'ij} \delta_{sZ_{ij}} \frac{dP_{ij}}{dt_k(m)} + \sum_{ij} NP_{ij} \delta_{sZ_{ij}} \frac{dP_{m'ij}}{dt_k(m)} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt_k(m)} &\simeq \\ &\underbrace{\frac{\theta}{N} \sum_{ijm'} 2D(t_{ij}(m') - \phi_{m'} \sum_m E_{ij}^{time}(m'')) P_{m'ij} \frac{\partial P_{ij}}{\partial t_k(m)}}_{\text{입지요인}} \\ &\quad - \underbrace{\frac{\theta}{N} \sum_{ijm'} 2D(w_{ij} g_{ij}(m') - \phi_{m'} \sum_m E_{ij}^{time}(m'')) NP_{ij} \frac{\partial P_{m'ij}}{\partial t_k(m)}}_{\text{수단요인}} \end{aligned}$$

V. 정책수단 비교

1. 도시의 개요

본 연구에서 '기준도시'는 정책수단이 시행되지 않은 균형도시로서 도시형태는 Figure 1과 같고, 구역별 평균 통행속도는 2006년 서울시 오전 침두시간대 차량통행속도(Seoul city Transportation Headquarter, 2007)와 유사하게 도심(zone 2)은 18km/hr, 도심외곽 구역(zone 1, 3)은 22 km/hr으로 매우 혼잡한 도시이다. 가구는 구역별로 동시에 동일한 도로를 이용하는 승용차($m=1$)와 버스($m=2$)를 선택하며 기준도시에서 버스 분담률은 약 60% 이고¹⁾, 버스는 승용차에 비하여 차외 통행시간²⁾이 추가됨에 따라 편도통행 시 10분 이상 통행시간이 길다. 혼잡으로 인한 시간의 외부효과만 존재하는 본 모형은 현실도시에서 대체로 관찰되는 도시환경이 구현되도록 2006년 서울시를 대상으로 조사된 다양한 통계자료³⁾를 이용하여 모수를 선정하였다.

본 연구는 혼잡통행료와 보조금의 효율성을 비교코자 정책수단과 정책시행의 재원규모를 고려하여 5가지 각기 다른 정책 시행방식을 마련하고, 이를 기준도시에 적용하여 각각의 후생개선 효과를 측정한다. 독자의 이해를 돕기 위해 정책이 시행된 도시는 아래와 같이 5개의 도시로 각각 명명하고 분류토록 한다.

1) 서울시 내 통행수단으로 승용차와 버스 만 존재할 경우 버스 분담률은 전체의 56.2% 수준임 (MTA, 2007: 48)
 2) $walk(2) = 5$ 분, $wait(2) = 5$ 분, $stop_{ij}(2) = \text{통행거리(km)} \times 20 \text{초/정류소간 거리(0.4km)}$ (MOCT, 2005 : 454 ; KDI, 2008: 271 ; Kim et al. 2명, 2009. : 4)
 3) SMG (2007), MTA (2007), 그리고 STH (2007) 등

Table 1. Calibrated values of parameters

Geography (see Figure 1)
Unit section radians: 3.0° in each direction
Zone length: 15 km
Resident-workers
$N=66,300$ households($\approx 3,978,938$ HH $\times 6^\circ/360^\circ$)
Annual household income=KRW 38 million /year
$D=21$ work days per month,
$H=210$ hours per work day (= $d \times 10$ hr/day)
$\alpha=0.7, \beta=0.3$ ⁴⁾
Transport
$a_1 = 1/60$ km/hr, $a_2 = 0.15, a_3 = 4.0$
$\phi_{m=2} = 0.206$ ⁵⁾ , $\phi_{m=1} = 1$

note: KRW is South Korean won

첫째, ‘최적도시’(First-best)는 최적 혼잡통행료와 대중교통 보조금이 후생개선을 목적으로 구역별 모든 교통수단에 부과 또는 지급되는 도시이다.

두 번째, ‘혼잡통행료 도시 I’(Toll I)은 승용차 이용자를 대상으로 최적의 혼잡통행료만을 징수하는 도시이다.

세 번째, ‘혼잡통행료 도시 II’(Toll II)은 승용차 이용자를 대상으로 한 혼잡통행료 총 징수액과 동일한 대중교통 보조금 총액이 지원되는 두 가지 정책수단이 모두 시행되는 도시이다.

네 번째, ‘보조금 도시 I’(Subsidy I)은 대중교통 이용자를 대상으로 최적의 보조금만이 지급되는 도시이다.

다섯 번째, ‘보조금 도시 II’(Subsidy II)는 혼잡통행료 도시 I (Toll I)의 혼잡통행료 총 징수액과 동일한 규모의 재원을 이용하여 대중교통 보조금만이 지급되는 도시이다.

2. 상대적 효용개선

Table 2는 정책의 시행방식별 연간 가구당 효용개선

(Welfare gain)의 정도, 최선의 정책에 대한 정책의 시행방식별 상대적 효율성(Relative efficiency), 그리고 혼잡통행료의 총 징수액과 보조금의 총 재원규모를 보여주고 있다. Table 2에서 상대적 효율성은 $(W_{\text{개별 도시}} - W_{\text{기준 도시}}) / (W_{\text{최적 도시}} - W_{\text{기준 도시}})$ 으로 계산된다. 정책의 시행방식별 효용개선 효과는 Subsidy II를 제외하고 모두 연간 총 가구소득의 2.0% 이상의 효용개선 효과를 가져왔으며 최적도시(First-best)에서 시행된 최적화된 두 가지 정책수단의 시행은 2.3%의 효용개선 효과를 유발하였다. 이렇게 정책의 시행방식별 효용개선 효과가 높은 이유는 도시 전역이 매우 혼잡하기 때문이다.

Toll I과 Toll II의 후생개선 효과는 동일한데 이는 Basso and Jara-Diaz (2012)가 밝힌 바와 같이 정책의 최적화는 단일정책의 절대적 요금수준에 의해서 결정되는 것이 아닌 수단간 최적가격 차이에 의해서 결정됨을 보여주고 있다. Table 3에서 볼 수 있듯이 Toll I과 Toll II에서 구역 2의 수단간 가격 차이는 720원/km (= +640원/km - -80원/km)으로 동일하다. 이러한 결과는 수단선택이 고려되지 않는 혼잡통행료 관련연구에서 최적 혼잡통행료 수준은 다소 높게 측정되었음을 예측토록 한다.

순수하게 최적화된 단일정책으로 시행된 Toll I과 Subsidy I를 비교할 경우 Toll I의 경우 93.4%를 차지하여 Subsidy I보다 약 6.0% 높다⁶⁾. 더욱이 정책 시행을 위해 도시민들이 부담해야 될 재원규모가 양쪽 정책이 동일하다고 할 경우 Subsidy II의 상대적 효율성은 31.8%를 차지하는 바, 혼잡통행료가 대중교통 보조금 제도에 비하여 높은 후생개선효과를 가져옴을 알 수 있다.

Table 2. Welfare gains and relative efficiency

Type	Welfare gain (1e3*KRW/Household/year)	Relative eff. (%)	Total tolls and subsidies (1e3*KRW/Household/day)		
			Toll	Subsidy	Sum
Frist-best	897.5	100.0	440,917	-477,070	-36,153
Toll I	837.7	93.4	29,759		29,759
Toll II	837.5	93.4	26,450	-26,450	0
Subsidy I	782.5	87.5		-217,963	-217,963
Subsidy II	281.9	31.8	-29,753		-29,753

4) Anas and Rhee (2006)와 Yu et al. (2009)은 효용함수에서 α, β, γ 를 복합제, 토지, 여가 소비량이 차지하는 가구의 잠재소득으로 규정함. 이들은 이에 대한 할당량으로 $\alpha=0.36, \beta=0.15, \gamma=0.49$ 를 사용함. 본 연구는 가구의 여가 소비를 고려하지 않은 바, $\alpha = 0.36 / (0.36 + 0.15) \approx 0.7$ 그리고 $\beta = 0.15 / (0.36 + 0.15) \approx 0.3$ 으로 규정함

5) $0.206 = 3.7$ vehicles / 18.0 persons (MTA, 2007 : 98, 150 : KDI, 2008 : 280)

6) 민감도 분석(구역별 혼잡도 변화, 차외시간 감소 등) 결과, 정책수단의 상대적 효율성 순서는 바뀌지 않는다.

Table 3. Toll and subsidy level (Unit: 1e3*KRW/km)

Type	$t_1(1)$	$t_1(2)$	$t_2(1)$	$t_2(2)$	$t_3(1)$	$t_3(2)$
Frist-best	0.08	0.78	1.09	-1.38	0.08	0.78
Toll I			0.72			
TollII			0.64	-0.08		
Subsidy I				-0.66		
SubsidyII		-0.06		-0.01		

2. 요인별 후생개선 효과

Table 4은 식(19)을 이용하여 분해된 요인별 후생개선효과를 보여준다. Table 4의 두 번째 열(Welfare gain)은 식(10)이 의미하는 기준도시에 정책수단 적용 시 후생개선 효과의 총합을 보여주고 세 번째 열(Welfare gain by factor)은 식(19)에 의해 분해된 요인별 후생개선 효과의 합계로 두 번째 열과의 오차는 3.5% 이하이다. 정책수단 시행으로 발생하는 시장가격 벡터의 후생개선 효과는 식(13)에서 증명한 것과 같이 0에 근사한다. Table 4에서 흥미로운 점은 직접효과에 해당되는 모든 요인이 후생개선을 가져오는 것은 아니며 후생개선 효과를 주도하는 요인은 수단요인(Mode)이고, 오히려 입지요인(Location)은 후생감소를 유발시킨다는 것이다. 이렇게 입지요인의 후생감소 현상은 수단선택 조건이 없는 공간모형에서는 확인할 수 없는 현상이다⁷⁾.

Toll I에서 Subsidy I의 요인별 후생변화 효과를 각각 차감할 경우, 수단요인으로 인한 후생개선 효과의 두 도시 간 차이(-140.9 = 902.3-1,043.2)와 입지요인으로 인한 후생감소 효과의 두 도시 간 차이(205.2 = -82.1+ -287.3)의 합은 0 보다 크다. 이는 Subsidy I에서 수단요인으로 인한 높은 후생개선효과를 입지요인으로 인한 후생감소 효과가 상쇄하여 결국 Subsidy I이 Toll I에 비하여 낮은 후생개선 효과를 초래함을 의

미한다. 따라서 두 가지 정책수단 시행으로 인한 승용차에서 버스로의 수단전환 비율 (20.7% 수준, Table 5의 우측 하단 색칠된 곳 참고)이 유사하다는 관측치에 비추어볼 때 보조금의 지급은 상대적으로 보다 큰 입지요인의 후생감소 효과를 가져온다고 해석된다.

이러한 결과는 수단간 통행시간과 여객운송량 차이에서 촉발된다. 수단별 통행시간의 차이는 단거리 통행의 경우, 승용차의 이용이 통행자에게 유리하도록 만든다. 이유는 버스 이용자는 승용차 이용자에 비하여 추가된 차외시간을 소비하기 때문으로 혼잡이 없는 도로를 운행

하거나, 수단별 여객운송량이 동일하다면 지역 내 단거리 통행의 경우 버스 이용자는 승용차 이용자에 비하여 불필요한 차외시간을 소모하게 된다. 여객운송량 차이는 혼잡완화를 통해 버스의 이용이 통행자에게 유리하도록 만든다. 이유는 버스의 여객운송량이 승용차에 비하여 크기 때문에 승용차 이용자의 버스로의 수단전환은 도로 혼잡을 완화하여 통행시간을 단축하기 때문이다.

결국 정책수단의 시행은 승용차 이용자의 버스로의 수단전환을 유도하여 도시 내 혼잡을 완화시키고 승용차 이용자에게는 단거리 통행을, 버스 이용자에게는 장거리 통행을 유인토록 하는 원인이 된다. 따라서 수단요인에 의한 후생개선 효과는 버스로의 수단전환으로 인한 혼잡완화 효과이며, 입지요인에 의한 후생감소 효과는 버스 이용자의 통행거리 증가와 장거리 통행으로 인한 도심내 통과교통 증가에 따른 혼잡증가의 결과이다.

Table 5는 정책수단 시행에 따른 버스의 통근통행 패턴의 변화를 보여주는 것으로 (-)는 정책수단 시행으로 인한 기준도시 내 버스 통행량의 감소비율을, (+)는 버스 통행량의 증가비율을 보여준다. 최적도시(Frist-best)가 다른 정책 시행방식과 다른 특징은 혼잡이 낮은 도심외곽 구역(zone 1,3)에 승용차 이용자의 구역 내

Table 4. Welfare gain by factor

(Unit: KRW*1e3/Household/year)

Type of optimal tolls	Welfare gain	Welfare gain by factor				
		Sum	Direct effects		Indirect	error
			Location	Mode		
Frist-best	897.5	871	-103.8	974.4	0.9	3.0%
Toll I	837.7	820	-82.1	902.3	-	2.1%
TollII	837.5	818	-100.2	918.1	-0.0	2.4%
Subsidy I	782.5	756	-287.3	1,043.2	-0.0	3.5%
SubsidyII	281.9	277	-101.7	378.4	-0.0	1.9%

7) 수단선택 조건이 없는 Anas and Rhee (2007), Yu et al. (2009) 등은 혼잡통행료의 후생개선효과가 가구의 주거지-직장 쌍의 합리적 조정에서 촉발된 입지요인에 의해 발생된다고 설명하고 있다.

Table 5. Change in commuting arrangement by bus under policy instruments

(Unit: %points)

			Destination <i>j</i>			
			Zone 1	Zone 2	Zone 3	Sum
Origin <i>i</i>	Zone 1	To First-best	-7.9	4.7	7.2	4.0
		To Toll I	-0.2	3.4	5.8	9.1
		To Subsidy I	-1.7	3.4	7.4	9.0
	Zone 2	To First-best	1.1	2.0	1.1	4.2
		To Toll I	1.0	0.7	1.0	2.7
		To Subsidy I	0.9	0.6	0.9	2.5
	Zone 3	To First-best	7.2	4.7	-7.9	4.0
		To Toll I	5.8	3.4	-0.2	9.1
		To Subsidy I	7.4	3.4	-1.7	9.0
	Sum	To First-best	0.4	11.4	0.4	12.1
		To Toll I	6.6	7.6	6.6	20.8
		To Subsidy I	6.6	7.4	6.6	20.6

통행을 증가(-7.9%) 시켰으며 도심 혼잡완화를 위해 다른 정책수단에 비하여 도심 내부통행(zone2 ↔ zone2) 과 도심으로의 구역 간 통행(zone1,3 → zone2) 에 대해 통행자의 버스이용을 각각 2.0%와 4.7% 만큼 증가시켰기 때문이다.

따라서 First-best에서 버스의 장거리 통행비율의 증가(7.2%)가 Subsidy I에서 장거리 통행비율의 증가(7.4%)와 유사함에도 불구하고 입지요인에 의한 후생감소 효과가 작은 이유는 First-best가 Subsidy I에 비하여 도심의 버스 이용자 수를 확대하여 통과교통으로 발생될 혼잡의 한계비용을 축소시켰기 때문이다. Toll I와 Subsidy I의 입지요인에 의한 후생감소 효과의 정도는 Table 5의 장거리 통행(zone1 ↔ zone3)의 버스이용자 증가비율과 비례하고, 수단요인에 의한 후생개선 정도와 비례한다.

V. 결론

본 연구는 혼잡통행료 징수와 보조금 지급의 후생개선 효과를 일반균형조건을 충족하는 공간모형에서 비교하고 이들이 발생시키는 후생개선 효과를 요인별로 분해한 후 원인을 규명하고 있다. 대부분의 선행연구에서는 부분균형 상태를 전제로 비공간모형을 이용하거나 직관적인 설명을 위해 도식적 풀이법을 이용한 바, 정책수단 시행으로 인한 시장가격, 수단분담율, 그리고 가구의 주거지-직장 쌍의 입지변화로 인한 후생변화를 구분하고 명시적으로 측정하지는 못하고 있다. 이에 본 연구는 Anas and Kim (1996)를 기원으로 구축된 확률균형모형에 수단선택 조건이 추가한 Tscharaktschiew and Hirte (2012)의 비단핵 공간모형과 유사한 공간모형을

구축하고 Yu and Rhee (2011)와 Rhee (2012)가 제안하는 연구방법론을 활용하여 후생개선 효과를 간접효과와 직접효과로 분류하였다. 특히 본 연구는 직접효과를 입지요인과 수단요인으로 분류하고 있는바, 이는 선행연구의 제한적 논의를 확대시켰다는 의의를 가진다.

최선의 정책수단(First-best)에 대한 최적 혼잡통행료 징수(Toll I) 또는 최적 보조금 지급(Subsidy I)의 상대적 효율성은 최적 혼잡통행료 징수가 최적 보조금 지급에 비하여 높은 것으로 측정되었다. 더욱이 최적 혼잡통행료 징수(Toll I)로 인한 가구의 총 부담액과 동일한 규모의 재원을 보조금으로 활용할 경우(Subsidy II) 상대적 효율성의 차이가 더욱 커지는 것으로 관찰되는바 혼잡통행료 부과가 보조금 부과에 비하여 혼잡완화를 위해 보다 효율적이라고 이해된다.

모든 정책수단의 시행에서 시장가격 변화로 인한 후생변화량은 선행연구에서 밝힌 바와 같이 0에 근사하였고, 대부분의 후생개선효과는 수단요인이 주도하였으나 입지요인은 이와 반대로 후생감소 효과를 가져오는 것으로 관찰되었다. 이러한 이유는 수단간 통행시간과 여객 운송량 차이에 기인한 것으로 버스 이용자의 추가된 차외시간 소모와 버스의 여객운송량이 승용차에 비하여 높아 수단전환이 혼잡완화를 가져오기 때문이다. 이로 인해 정책수단의 시행은 혼잡이 낮은 구역의 단거리 통행(구역 내 통행)에 대해서는 승용차의 이용을 유도하고 도심을 통과하는 장거리 통행의 경우는 버스의 이용을 증가시켜 가구의 통행거리가 길어지고, 따라서 도심 통과교통이 증가하여 입지요인은 후생감소를 유발한다.

본 연구는 선행연구들의 제한적 논의를 확대하며 독자의 이해도를 높이기 위해 교통부문에 수단선택 조건과

시간의 외부비용 만을 고려하였다. 본 연구에서 구현된 모형은 UrbanSim와 TRANUS 등과 같은 계획지원용 기술적 모형(記述的 模型)과 교통계획에서 주로 사용하는 네트워크 모형에 비하여 유연성과 현실관찰력이 떨어진다는 한계점을 가지고 있다. 하지만 본 연구에 경로선택 조건을 추가할 경우 도시형태는 서울시와 같은 현실 도시로 구현가능하고 네트워크 모형이 갖는 부분균형적 논의를 이론적으로 보다 확장할 수 있다. 더욱이 본 연구에서 확장한 Yu and Rhee (2011)와 Rhee (2012)의 연구방법론을 통해 복잡한 이론모형의 논의과정을 수학적 엄정성을 전제로 설명이 용이하게 축약할 수 있다.

따라서 향후 연구에서는 도시형태를 현실화하고 경로선택 조건을 도입하여 모형을 확장할 필요가 있다. 이러한 과정은 혼잡통행료 징수와 대중교통 보조금 지급 시 통행자의 수단선택과 경로선택으로 인한 후생개선 효과의 변화를 보다 현실적 견지에서 이론적 해석이 가능토록 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education Science and Technology(2011-0007905).

REFERENCES

- Anas A., Kim I. K. (1996), General Equilibrium Models of Polycentric Urban Land Use with Endogenous Congestion and Job Agglomeration, *Journal of Urban Economics*, 40, pp.232-256.
- Anas A., Rhee H. -J. (2006), Curbing Excess Sprawl with Congestion Tolls and Urban Boundaries, *Regional Science and Urban Economics* 36, pp.510-541.
- Anas A., Rhee H. -J. (2007), When are Urban Growth Boundaries not Second-best Policies to Congestion Tolls?, *Journal of Urban Economics* 61, pp.263-286.
- Arnott R. (2007), Congestion tolling with agglomeration externalities, *Journal of Urban Economics* 62, pp.187-203.
- Basso L. J., Guevara A. C., Gschwender A., Fuster M. (2011), Congestion pricing, transit subsidies and dedicated bus lanes: Efficient and practical solutions to congestion, *Transport Policy* 18, pp.676-684.
- Basso L. J., Jara-Diaz S. R. (2012), Integrating congestion pricing, transit subsidies and mode choice, *Transportation Research Part A*, Vol.46, No.6, pp.890-900.
- Ben-Akiva M., Lerman S. R. (1985), *Discrete Choice Analysis*, MIT Press.
- Borck R., Wrede M. (2008), Commuting subsidies with two transport modes, *Journal of Urban Economics* 63, pp.841-848.
- Downs A. (1962), The law of peak-hour expressway congestion, *Traffic Quarterly* 16, pp.393-409. Reprinted in Downs A. (1968), *Urban problems and prospects*, Markham: Chicago.
- Han S. -Y. (2007), A Comparative Analysis on Transfer Effects to Public Transit by Regulatory and Incentive Systems, *Journal of Regulation Studies*, Vol.16, No.1, pp.221-254.
- Han S. -Y., Lee S. W. (2006), Analysis of Effectiveness on Subsidizing Commuting Cost for Public Transit User, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.24, No.1., Korean Society of Transportation, pp.59-72.
- Karlaftis M., McCarthy P. (1998), Operating subsidies and Performance in Public Transit: An Empirical Study, *Transportation Research Part A* 32, pp.359-375.
- Kim T. G., Ahn H. C., Kim S. G. (2009), Predictive Modeling of the bus arrival time on the arterial using real-time BIS data, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.29, No.1D.
- Kockelman K. M., Lemp J. D. (2011), Anticipating new-highway impacts: Opportunities for welfare analysis and credit-based congestion pricing, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45, pp.825-838.
- Korea Development Institute (2008), *A study on Standard guidelines of Preliminary Feasibility Test for Road and Railroad projects*.

- Kraus M. (2012), Road pricing with optimal mass transit, *Journal of Urban Economics*, 72, pp.81-86.
- Maruyama T., Harata N. (2006), Difference between area-based and cordon-based congestion pricing: investigation by trip-chain-based network equilibrium model with non-additive path costs. *Transportation Research Record* 1964, pp.1-8.
- Maruyama T., Sumalee A. (2007), Efficiency and equity comparison of cordon-and area-based road pricing schemes using a trip-chain equilibrium model, *Transportation Research Part A* 41, pp.655-671.
- Metropolitan Transportation Authority (2007), The 2006 Metropolitan household travel survey I, II, IV (2006 수도권 가구통행실태조사 I, II, IV).
- Ministry of Construction and Transportation (2005), Korea Highway Capacity Manual (도로용량편람), Republic of Korea.
- Mogridge M. (1997), The self-defeating nature of urban road capacity policy: a review of theories, disputes and available evidence, *Transport Policy*, 4(1), pp.5-23.
- Mohring H. (1972), Optimization and scale economies in urban bus transportation, *American Economic Review* 62, pp.591-604.
- Mun S. -i., Konishi K. -j, Yoshikawa K. (2003), Optimal Cordon Pricing, *Journal of Urban Economics* 54, pp.21-38.
- Mun S. -i., Konishi K. -j, Yoshikawa K. (2005), Optimal Cordon Pricing in Non-Monocentric City, *Transportation Research Part A* 39, pp.723-736.
- Parry I. W. H., Bento A. M. (2001), Revenue Recycling and the Welfare Effects of Road Pricing, *Scandinavian Journal of Economics*, 103, pp.645-671.
- Parry I. W. H., Small K. A. (2009), Should urban transit be reduced?, *American Economic Review*, 99, pp.700-724.
- Rhee H. -J. (2012), Welfare Function of Theory-Based Spatial Equilibrium Models and Congestion Tolls, *The journal of Korea Planners Association*, Vol.47, No.4, pp.183-192.
- Seoul city Transportation Headquarter (2007), 2006 Travel Speed of Motor Vehicle in Seoul (2006년도 서울시 차량통행속도).
- Seoul Metropolitan Government (2007), 2006 Seoul statistical yearbook.
- Thomson J. M. (1997), *Great Cities and their Traffic*, Gollancz, London. (Peregrine edition p.165).
- Tisato P. (1998), Service unreliability and bus subsidy, *Transportation Research Part A* 32, pp.423-436.
- Tscharaktschiew S., Hirte G. (2012), Should subsidies to urban passenger transport be increased? A spatial CGE analysis for a German metropolitan area, *Transportation Research Part A* 46, pp.285-309.
- Verhoef E. T. (2002), Second-best congestion pricing in general networks, Heuristic algorithms for finding second-best optimal toll levels and toll points, *Transportation Research Part B* 36, pp.707-729.
- Verhoef E. T. (2005), Second-best Congestion Pricing Schemes in the Monocentric City, *Journal of Urban Economics* 58, pp.367-388.
- Vickrey W. (1980), Optimal transit subsidy policy, *Transportation* 9, pp.389-409.
- Yu S. -g., Jung C. -M., Rhee H. -J. (2009), Comparison of Area pricing and Cordon pricing in General Equilibrium model, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.27, No.2., Korean Society of Transportation, pp.145-155.
- Yu S. -g., Rhee H. J. (2011), A study of the welfare Function of a spatial Equilibrium Model and the Implications, *The journal of Korea Planners Association*, Vol.46, No.4, pp.199-208.
- Yu S. -g., Rhee H. -J., Kim H. -K. (2010), Development of Land Use-Transportation Model with Route Choice, *The journal of Korea Planners Association*, Vol.45, No.1, pp.123-137.
- ☞ 주 작성자 : 이혁주
- ☞ 교신저자 : 유상균
- ☞ 논문투고일 : 2012. 12. 13
- ☞ 논문심사일 : 2013. 4. 4 (1차)
2013. 4. 24 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2013. 4. 24
- ☞ 반론접수기한 : 2013. 10. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필