J. Korean Soc. Transp.
Vol.32, No.4, pp.357-368, August 2014
http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2014.32.4.357

Journal of Korean Society of Transportation
pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Article

세수 재순환과 토지이용-교통모형을 이용한 혼잡통행료 분석방법론

이혁주*
서울과학기술대학교 행정학과

Analysis of Congestion Tolls Using the Land Use-Transportation Model When Toll Revenues Are Recycled

RHEE, Hyok-Joo*
Department of Public Administration, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

Abstract

So far, land use-transportation models have been used exclusively for numerical analysis. A recent theoretical endeavor now enables us to derive the first-order derivative of the model's welfare function with respect to policy variables. I extend this methodology into the institutional setting where toll revenues are recycled through labor income tax. In this setting, the first-order derivative is composed of (1) the increase in welfare due to reduced congestion, and (2) the decrease in welfare due to interaction with the existing labor income tax. This result coincides with existing theory in the non-spatial model.

지금까지 토지이용-교통모형은 전적으로 수치해석적 분석도구로만 이용되어 왔는데, 최근 이론개발 노력의 결과 정책변수에 대한 후생함수의 1계 도함수 간편식을 구할 수 있게 되었다. 본 논문은 혼잡통행료가 소득세 경감을 통해 재순환될 때 혼잡통행료의 변화에 대한 후생함수의 도함수를 어떻게 유도할 수 있는지 보여준다. 분석결과 혼잡통행료의 부과가 가져오는 후생변화분을 (1)혼잡의 완화로 인한 후생증가분과 (2)노동공급과의 상호작용에서 발생하는 후생손실로 분해할 수 있다. 이 결과는 기존의 연구결과와 일치한다.

Keywords
congestion tolls, general equilibrium, labor income tax, land use-transportation model, tax recycling
혼잡통행료, 일반균형, 소득세, 토지이용-교통 모형, 세수 재순환

* : Corresponding Author
rheehj@seoultech.ac.kr, Phone: +82-2-970-6494, Fax: +82-2-971-4647

Received 5 April 2013, Accepted 1 May 2014

서론

Yu and Rhee(2011)는 토지이용-교통 연산가능 일반균형 모형을 이용해 교통 및 공간정책을 이론적으로 분석할 수 있는 방법론을 제시한 바 있다. Rhee(2012, 2013)는 후속연구를 통해 교통수요를 내생화하고 정책수단을 다양화하며, 분석대상 외부효과를 교통혼잡에서 집적의 경제로 확장했다.

본 연구는 이들 두 연구성과를 보다 현실에 맞게 개선한다. Yu and Rhee(2011) 및 Rhee(2012, 2013)의 연구에서 다루어진 조세는 피구조세(Pigouvian tax) 하나뿐이었다. 물론 현실의 정책환경은 이와 완전히 다르고, 서로 다른 조세간 상호작용과 그 메커니즘의 후생경제학적 시사는 공공경제학뿐 아니라 환경 및 교통경제학의 주요 주제이다. 이 연구는 다음과 같은 차별성과 의미를 가진다.

첫째 환경경제학도들의 모형에서 통상 공간은 관심의 대상이 아니다(Bovenberg and De Mooij, 1994; Goulder, Parry, and Burtraw, 1997; Calthrop, De Borger and Proost, 2007). 본 연구는 이들 모형에 공간요소를 도입한다.

둘째 교통계획 및 교통경제학의 입장에서 보았을 때, 토지이용-교통 통합모형이 좀 더 현실적인 분석환경에서 수리적 분석도구에 그치지 않고 이론적 분석도구로 그 활용가능성이 확대될 필요가 있다. 본 연구는 연산가능 토지이용-교통 일반균형 모형을 이용해 피구조세(Pigouvian tax)와 같은 가격정책수단의 후생분석을 어떻게 할 수 있는지 보여준다. 토지이용-교통모형은 기존의 교통계획 분야의 네트워크 분석, 환경경제학 분야의 非공간 모형보다 구성요소가 풍부하다는 장점을 가진 반면, 이러한 풍부함과 복잡한 구성방식 때문에 이론적 분석도구로 이용되어 오지 못했다.

본 연구에서는 노동시장에서 차지하는 소득세의 중요성을 고려해 소득세가 존재하는 환경에서 피구조세의 후생분석을 시도한다. 또한 Yu and Rhee(2011), Rhee(2012, 21013)과 달리 화물통행이 통근통행 및 구매통행과 공존하는 분석환경에서 연구가 진행된다.

본 연구는 두 단계로 나뉘어 진행된다. 1단계에서는 어떤 조세도 존재하지 않는 분석환경에서 최적의 승용차 통행료와 최적의 화물 통행료가 유도된다. 기존의 교통-환경경제학 모형과 달리 생산요소시장이 본격적으로 고려된다. 이 생산요소시장은 토지시장, 노동시장을 말한다. 2단계에서는 징수된 혼잡통행료가 근로소득세의 경감으로 세수 재순환이 될 때, 후생함수의 통행료에 대한 변화율을 구한다. 그런데 각종 요소시장에 존재하는 분석환경에서 이 변화율은 복잡하게 주어지는데, 본 연구는 이 변화율을 간단한 수식으로 유도하는 방법론을 제시한다. 이 1계 도함수를 이용해 비교정태적인 분석과 최적 통행료를 구할 수 있다.

기존 조세가 없는 모형

1. 기본 구조

도시면적이 $A(\#)$인 어떤 도시에 $N(\#)$명의 주민(혹은 가구, 노동자, 소비자)이 살고 있다. 아직 구역(zone)과 같은 공간개념을 본격 도입하지 않았다. 따라서 토지의 임대료를 농업용 토지에 대한 임대료 $r_A(\#)$로 놓고 문제를 풀자. # 표시는 모수 혹은 정책변수로서 외생변수를 의미한다. 이 도시에는 중간재를 생산하는 산업과 최종재를 생산하는 산업 등 두 種의 산업이 있다. 중간재 산업은 토지 Q_1과 노동 M_1을 이용해 생산기술 $X_1 = f_1(M_1, Q_1)$에 따라 X_1을 생산한다. 최종재 산업은 토지 Q_2, 노동 M_2, 중간재 X_1을 이용해 최종재 X_2를 생산기술 $X_2 = f_2(M_2, Q_2, X_1)$에 따라 생산한다. X_2기업은 X_1을 투입하기 위해 X_1 한 단위당 g_F원의 운송비와 $t_F(\#)$의 혼잡통행료를 지불한다. 두 산업은 모두 규모에 대해 수확불변이라고 한다. 중간재와 최종재의 단위가격을 각각 p_1과 $p_2 \equiv 1$이라고 하면(최종재 가격을 1로 놓는 이유는 나중에 설명), 두 산업의 이윤극대화 문제는 다음과 같다.

$$\pi_1 = p_1 X_1 - rQ_1 - wM_1$$
$$\pi_2 = p_2 X_2 - rQ_2 - wM_2 - (p_1 + g_F + t_F)X_1$$

이 식에서 r, w는 각각 토지 임대료와 임금률을 말한다.

생산함수 $X_2 = f_2(M_2, Q_2, X_1)$을 전미분하면 $dX_2 = (\partial f_2/\partial M_2)dM_2 + (\partial f_2/\partial Q_2)dQ_2 + (\partial f_2/\partial X_1)dX_1$이 된다. 위에 기술된 이윤극대화 문제의 풀이 $p_2 \times (\partial f_2/\partial M_2) = w$, $p_2(\partial f_2/\partial Q_2) = r$, $p_2(\partial f_2/\partial X_1) = p_1 + g_F + t_F$를 이용해, 방금 유도한 dX_2를

$$p_2 dX_2 = w dM_2 + r dQ_2 + (p_1 + g_F + t_F)dX_1 \tag{1}$$

라고 고쳐 쓸 수 있다.

그런데 생산기술이 규모에 대해 수확불변이므로, 오일러 정리로부터

$$\begin{aligned} p_2X_2 &= p_2\frac{\partial f_2}{\partial M_2}M_2+p_2\frac{\partial f_2}{\partial Q_2}Q_2+p_2\frac{\partial f_2}{\partial X_1}X_1 \\ &= wM_2+rQ_2+(p_1+g_F+t_F)X_1 \end{aligned} \quad (2)$$

를 유도할 수 있다. 두 번째 등호는 앞서 기술한 이윤극대화 문제의 풀이에서 왔다.

식(2)를 전미분하면

$$\begin{aligned} X_2dp_2+p_2dX_2 &= (dw)M_2+wdM_2+Q_2dr+r\,dQ_2 \\ &+(dp_1+dg_F+dt_F)X_1+(p_1+g_F+t_F)dX_1 \end{aligned}$$

와 같고, 식(1)을 이용해 이 식을 단순화하면

$$\begin{aligned} X_2dp_2 &= (dw)M_2+Q_2dr+(dp_1+dg_F+dt_F)X_1 \\ &= (dw)M_2+Q_2dr+X_1dp_1+(dg_F+dt_F)X_1 \end{aligned} \quad (3)$$

와 같다.

중간재 산업에 대해 동일한 작업을 수행하면

$$X_1dp_1 = M_1dw+Q_1dr \quad (4)$$

와 같은 수식을 유도할 수 있다. 즉 생산함수가 생산요소에 대해 1차 동형일 때 임금 및 지대변화로 인한 비용변화분은 중간재의 가격변화로 인한 수입증가분과 일치한다.

식(4)를 식(3)에 대입한 후 $M_1+M_2\equiv M$, $Q_1+Q_2\equiv Q$로 놓고, 양변을 M으로 나누면 식(5)을 얻는다.

$$X_2dp_2 = Mdw+Qdr+(dg_F+dt_F)X_1 \quad (5)$$

단위기간당 가구의 총가용시간을 $H(\#)$, 하루 근로시간을 8시간, 여가에 쓰는 시간을 l, 출근일수를 D(=노동공급량=교통수요), 하루 출퇴근 소요시간을 g_P라고 하자. 이때 각 가구의 총 가용시간은

$$H=8D+(x+D)g_P+l \quad (6)$$

와 같이 배분된다. 여기서 x는 어떤 가구가 단위기간에 구매해 소비하는 최종재 X_2의 양을 말한다. xg_P는 X_2재를 구매하기 위해 소비하는 시간으로서, X_2재 한 단위를 구매하려면 1회 구매통행을 해야 한다고 가정했다. 이 가정은 논의결과에 실질적인 영향을 미치지 않기 때문에 간단하게 xg_P로 측정하기로 한다.

각 가구는 단위기간당 모두 $8D$시간 일하고 노동소득 $8wD$을 얻는다. 여기에 노동외 소득 R을 합쳐 도합 $8wD+R$원의 총소득을 얻는다. 이 소득은 X_2재 x단위와 토지 q단위를 구입하기 위해 $x+rq$원 지출하는데 쓰이고, 여기에 통행료로 $t_P(x+D)$원을 지불하는데도 쓰인다(t_P는 승용차 통행의 트립당 부과되는 피구조세로서 정책변수).

$$x+rq+t_P(x+D)=8wD+R \quad (7)$$

식(6)-(7)에서 볼 수 있듯이, 가구의 교통비용은 전적으로 시간비용만으로 구성되어 있다. 보다 일반적인 교통비용은 이들 두 수식을 이용해 쉽게 도입할 수 있는데, 본 연구방법론의 일반화에 문제가 없으므로 간단히 취급하기로 한다.

식(7)에서 노동외 소득 R은 도시정부의 가구당 이전지출(transfer payment) G와 지대수입 rA의 합을 인구수 N으로 나눈 값

$$R=G+\frac{rA}{N} \quad (8)$$

으로 주어진다. 도시전체에서 발생한 임대료 수입을 주민이 똑같이 공유한다는 말은 도시내 토지 전체를 도시민이 똑같은 지분으로 공유한다는 말이다. 이런 조치는 두 가지 의미가 있다. 첫째, 본 연구는 주민간 불균등한 토지소유와 여기서 파생되는 문제에 관심이 없다. 둘째, 도시내 토지에서 발생하는 임대소득 모두 주민에게 귀속되고 이들이 도시경제를 통해 소득을 다시 순환시킨다. 따라서 도시 소득 가운데 '유출'되는 소득은 없다. 만약 당국이 정책개입하고 그 결과 어떤 이유에서 역내 소득의 일부가 역외로 유출된다면, 이는 해당 정책수단이 정당한 이유 없이 후생감소 효과를 가지고 있는 것으로 평가하는 것이 된다. 이는 올바르지 않은 정책분석이다.

도시정부의 세수(tax revenue)는 승용차와 화물차에 부과된 통행료 수입 두 가지로 구성된다(따라서 피구조세 이외의 별도의 조세는 아직 존재하지 않음). 이 세수를 소득의 역외유출 없이 전액 주민에게 되돌려 주는

것으로 세출 처리하면, 1인당 이전지출 규모는 1인당 세수와 같은

$$G = t_P(x+D) + \frac{t_F X_1}{N} \tag{9}$$

으로 주어진다.

각 가구의 효용함수는 $u(x,q,l)$이다. 이 식에서 q는 토지소비량, l은 여가시간을 말한다. 각 가구는 시장가격 r,w, 통행시간 g_P, 노동외 소득 R은 주어진 것으로 전제하고 효용극대화 문제를 푼다고 하자. 개별 가구가 시장에 미치는 영향이 무시할 정도로 작다면 이러한 가정은 별문제가 없을 것이다. 효용극대화 문제의 라그랑지안은

$$\begin{aligned} L = &\ u(x,q,l) + c^T\big[H - 8D - (x+D)g_P - l\big) \\ &+ c^M(8wD + R - x - rq - t_P(D+x))\big] \end{aligned}$$

으로 주어진다. 여기서 c^T, c^M는 각각 시간과 소득의 한계효용을 말한다. 내생변수 D에 대해 이 라그랑지안을 미분하고 영으로 놓으면

$$\frac{\partial L}{\partial D} = -c^T(8+g_P) + c^M(8w - t_P) = 0$$

이고, 따라서

$$\frac{8w - t_P}{8+g_P} = \frac{c^T}{c^M} \equiv \overline{w} \tag{10}$$

을 유도할 수 있다. 이 식의 좌변 분모는 하루 버는 실질임금(=하루 임금 - 통행세)을, 분모는 이 실질임금을 벌기 위해 투입하는 총시간(=하루 노동시간 + 하루 통근시간)을 말한다. 따라서 c^T/c^M은 시간의 기회비용(value of time)으로 해석할 수 있다. 이를 간단히 $\overline{w}$라고 부르자. 식(10)의 분모는 통행료통행료 부과로 실질 근로소득이 줄어 든다는 것을 보여준다. 이런 측면에서 통행료는 일종의 소득세(income tax)라고 말할 수 있다.

한편 노동시장, 토지시장, 복합재 시장의 균형조건은 각각 다음과 같다.

$$\underbrace{M_1 + M_2}_{\equiv M} = N(8D) \tag{11}$$

$$Nq + \underbrace{Q_1 + Q_2}_{\equiv Q} = A \tag{12}$$

$$Nx = X_2 \tag{13}$$

중간재 및 최종재 산업의 영이윤 방정식　(14)

식(11)의 좌변은 생산요소로서 노동에 대한 수요량을, 우변은 노동공급량을 말한다. 식(12)의 좌변은 소비재 수요와 기업의 토지수요를 보여주고, 우변은 토지공급량을 보여준다. 식(13)의 좌변은 최종재에 대한 가구의 소비수요를, 우변은 최종재의 공급량을 보여준다.

미지수는 p_1, p_2, r, w, X_1, X_2 등 모두 6가지이다. 위에 나열되지 않은 수식은 요소수요로 주어지는 X_1의 수식으로서 위의 균형조건을 합쳐 모두 6가지 균형조건이 있다. 미지수와 균형조건이 똑같이 6가지이므로 이들 미지수를 모두 구할 수 있다. 이 6가지 변수는 시장 균형조건으로부터 유도된 값들이기 때문에, 현 모형내 모든 내생변수를 이들 6가지 변수의 함수로 표현할 수 있다(즉 이들 변수의 함수).

효용극대화 문제 및 기업 이윤극대화 문제를 자세히 살펴보면, 이들 두 극대화문제에 이용된 가격에 똑같은 상수를 곱해도 가구의 소비재 수요량과 기업의 산출물 및 요소수요량에 아무런 변화가 없다. 즉 이들 실질변수는 가격에 대해 0차 동형이므로, 모든 가격에 $1/p_2$를 곱한 새로운 가격벡터를 앞으로 사용하기로 하자. 이때 최종재의 가격은 1이 되므로, 현 모형내 모든 내생변수는 p_1, r, w, X_1, X_2의 함수로 표현된다. 이들 다섯 변수를 '기본변수'라고 부르자.

그런데 정책변수 t_P, t_F에 따라 새로운 시장균형이 달성되고, 이 새로운 균형에 대응해 이들 기본변수가 달리 주어지므로, 기본변수는 다시 정책변수 t_P, t_F의 함수이다. 즉 $r(t_P, t_F), w(t_P, t_F), X_2(t_P, t_F)$와 같은 방식으로 기본변수를 쓸 수 있다.

2. 후생함수의 변화율

모형내 모든 내생변수는 다섯 가지 기본변수 p_1, r, w, X_1, X_2의 함수이기 때문에 가구의 효용극대화 문제의 풀이로 주어지는 간접효용함수도 이들 기본변수의 함수이다. 그런데 효용극대화문제는 중간재 가격 p_1과 최종소비재의 시장공급량 X_2를 포함하지 않으므로, $V(r(.), w(.), X_1(.), t_P, t_F)$라고 쓸 수 있다[(.)는 정책변수로 이뤄진 벡터]. 앞서 최종재 가격은 1에 고정시켰으므로, 정책변수의 변화에도 불구하고 최종재의 가격은 항상 1

이고 그 결과 그 변화율은 0으로 주어진다. 따라서 정책 변수의 변화가 간접효용함수에 미치는 영향을 계산하면서, 정책변수가 최종재의 가격 p_2의 변화를 통해 가구의 효용수준에 미치는 영향은 고려할 필요가 없다.

이제 $W(t_P, t_F) \equiv V(r(.), w(.), X_1(.), t_P, t_F)$라고 하면, 도시정부의 문제를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\max_{t_P, t_F} W(t_P, t_F)$$

물론 $V(.)$식에 포함된 가격변수는 모두 식(11)-(14)와 영이윤 조건 등 시장균형 조건을 충족시키는 값으로 정의된다. 따라서 각 정책변수에 대한 후생함수 $W(.)$의 변화율은 다음과 같다.

$$\frac{\partial W(.)}{\partial t_P} = \frac{\partial V(.)}{\partial r}\frac{dr}{dt_P} + \frac{\partial V(.)}{\partial w}\frac{dw}{dt_P} + \frac{\partial V(.)}{\partial X_1}\frac{dX_1}{dt_P} + \frac{\partial V(.)}{\partial t_P} \quad (15)$$

$$\frac{\partial W(.)}{\partial t_F} = \frac{\partial V(.)}{\partial r}\frac{dr}{dt_F} + \frac{\partial V(.)}{\partial w}\frac{dw}{dt_F} + \frac{\partial V(.)}{\partial X_1}\frac{dX_1}{dt_F} + \frac{\partial V(.)}{\partial t_F} \quad (16)$$

이 식들은 시장가격 변수가 정책변수의 함수라는 점을 잘 보여준다. 그런데 이들 시장가격 변수는 식(11)-(13)의 풀이로 주어지기 때문에, 식(15)-(16)를 시장가격에 대해 조작하면서 이들 시장가격 변수는 식(11)-(13)의 충족을 전제로 조작되어야 한다.

이제 식(15)의 각 항을 하나씩 유도하고 그 결과를 (15)에 대입한 후 간단한 모양으로 정리하자. 식(18)에 대해서도 동일한 작업을 하고, 두 수식을 동시에 영으로 만드는 값이 최적 혼잡통행료 조합이 된다.

식(15) 첫 번째 줄의 첫 번째 항은 식(17)과 같다.

$$\frac{\partial W(.)}{\partial r} \equiv \frac{\partial V(.)}{\partial r} = \frac{\partial L}{\partial r} \quad (17)$$

이 식에서 마지막 항의 L은 효용극대화 문제의 라그랑지안이다. 포락선 정리에 따르면, 어떤 모수가 변했을 때 내생변수인 x, q, D, l, c^T, c^M 등을 통한 영향은 무시하고 직접효과만으로 어떤 모수의 간접효용에 대한 영향을 파악할 수 있다. 식(17)의 두 번째 등호는 이 정리를 활용한 결과이다.

$$\frac{\partial L}{\partial r} = c^M\left(\frac{\partial R}{\partial r} - q\right) = c^M\left(\frac{A}{N} - q\right) = \frac{c^M}{N}(A - Nq) = \frac{c^M}{N}\underbrace{(Q_1 + Q_2)}_{\equiv Q} = \frac{c^M Q}{N} \quad (18)$$

위 식의 마지막 등호는 시장균형 조건 식(12)를 활용했다.

식(15) 두 번째 항을 계산하자. 마찬가지로 포락선 정리를 이용하면 다음과 같이 바로 임금에 대한 간접효용함수의 변화율을 계산해낼 수 있다.

$$\frac{\partial W(.)}{\partial w} \equiv \frac{\partial V(.)}{\partial w} = c^M(8D) = c^M\frac{M}{N} \quad (19)$$

두 번째 등호는 노동시장의 균형조건 식(11)을 활용했다. 마찬가지로 식(15)의 세 번째 항은 다음과 같다.

$$\frac{\partial W(.)}{\partial X_1} \equiv \frac{\partial V(.)}{\partial X_1} = \frac{\partial L}{\partial X_1} = c^M\frac{\partial R}{\partial X_1} = \frac{c^M}{N}t_F \quad (20)$$

계속해서 식(15)의 마지막 항을 계산하자. 어떤 가구가 효용극대화 문제를 풀면서 모수로 간주한 변수 가운데 교통시간 g_P가 있었다. 교통시간 g_P는 교통량 $Nx + ND + \phi X_1$의 함수이다(ϕ는 화물통행량의 부하계수. 통근통행의 부하계수는 1). 정책변수를 제외한 모든 내생변수(g_P)는 시장균형값 r, w, X_1의 함수이기 때문에, 혼잡 교통시간 역시 이들 세 가지 시장균형 값의 함수이다. 그러나 식(18)-(19)을 유도하면서 이러한 사실은 무시되었다. 이제 식(15) 우변 마지막 항을 통해 이러한 생략된 효과를 포함해 정책변수가 직접 미치는 효과까지 포함해 모든 효과를 '종합적'으로 고려하자.

$$\begin{aligned}\frac{\partial W(.)}{\partial t_P} &\equiv \frac{\partial V(.)}{\partial t_P} = \frac{\partial L}{\partial t_P} \\ &= -c^T(x+D)\frac{dg_P}{dt_P} + c^M\left(\frac{dR}{dt_P} - x - D\right) \\ &= -c^T(x+D)\frac{dg_P}{dt_P} + c^M\left(\frac{dG}{dt_P} - x - D\right) \\ &= -c^T(x+D)\frac{dg_P}{dt_P} \\ &\quad + c^M\left(x + D + t_P\frac{d(x+D)}{dt_P} - x - D\right) \\ &= -c^T(x+D)\frac{dg_P}{dt_P} + c^M t_P\frac{d(x+D)}{dt_P} \end{aligned} \quad (21)$$

이 식에서 보듯이 식(15) 뒤에서 두 번째 항은 편의상 위에서 고려했다. 그리고 앞서 명확히 했듯이 dg_P/dt_P는

$$\frac{dg_P}{dt_P}=\frac{dg_P}{dr}\frac{dr}{dt_P}+\frac{dg_P}{dw}\frac{dw}{dt_P}+\frac{\partial g_P}{\partial t} \tag{22}$$

로 해석되어야 한다.

방금 보았듯이 일반균형하에서 어떤 변수의 변화율을 구하는 일은 매우 복잡하다. 교통-환경경제학도들이 후생함수의 변화율을 계산하면서 거의 예외 없이 Roy의 항등식(Roy′s identity)를 이용하는데 반해, 본 연구방법론은 Roy의 항등식을 이용하면서 거쳐야 하는 번거로운 과정을 생략하고 포락선 정리를 이용해 식(14)-(16)의 수식을 한두 줄의 과정을 거쳐 유도했다.

지금까지 유도한 수식을 모두 식(15)에 대입한 후 정리하자.

$$\frac{\partial W(.)}{\partial t_P}=c^M\frac{Q}{N}\frac{dr}{dt}+c^M\frac{M}{N}\frac{dw}{dt}+c^M\frac{t_F}{N}\frac{dX_1}{dt_P}+\frac{\partial V(.)}{\partial t_P}$$

식(5)에서 $dp_2=0$으로 놓은 후(p_2는 1에 표준화한다고 했음), 결과식을 위에 대입하자.

$$\begin{aligned}\frac{\partial W(.)}{\partial t_P}&=c^M\frac{Q}{N}\frac{dr}{dt_P}+c^M\frac{M}{N}\left(-\frac{Q}{M}\frac{dr}{dt_P}-\frac{X_1}{M}\frac{dg_F}{dt_P}\right)\\&\quad+c^M\frac{t_F}{N}\frac{dX_1}{dt_P}+\frac{\partial V(.)}{\partial t_P}\\&=-c^M\frac{X_1}{N}\frac{dg_F}{dt_P}+c^M\frac{t_F}{N}\frac{dX_1}{dt_P}+\frac{\partial V(.)}{\partial t_P}\\&=-c^M\frac{X_1}{N}\frac{dg_F}{dt_P}+c^M\frac{t_F}{N}\frac{dX_1}{dt_P}\\&\quad+\left[-c^T(x+D)\frac{dg_P}{dt_P}+c^M t_P\frac{d(x+D)}{dt_P}\right]\end{aligned} \tag{23}$$

승용차 통행량을 $F_P\equiv Nx+ND$, $F\equiv F_P+\phi X_1$이라고 하면, 교통비용 함수는

$$\begin{aligned}g_P&=g_P(F)=g_P(F_P+\phi X_1)\\g_F&=g_F(F)=g_F(F_P+\phi X_1)\end{aligned}$$

이 된다. 식(23)의 양변에 N/c^M을 곱한 후 다시 정렬하자.

$$\begin{aligned}\frac{N}{c^M}\frac{\partial W(.)}{\partial t_P}&=-\frac{c^T}{c^M}(Nx+ND)\frac{dg_P}{dt_P}+t_P\frac{d(Nx+ND)}{dt_P}\\&\quad+t_F\frac{dX_1}{dt_P}-X_1\frac{dg_F}{t_P}\\&=-\overline{w}F_P\frac{dg_P}{dt_P}+t_P\frac{dF_P}{dt_P}+t_F\frac{dX_1}{dt_P}-X_1\frac{dg_F}{dt_P}\\&=-\overline{w}F_P\frac{dg_P}{dF}\frac{dF}{dt_P}+t_P\frac{dF_P}{dt_P}+t_F\frac{dX_1}{dt_P}-X_1\frac{dg_F}{dF}\frac{dF}{dt_P}\\&=-\overline{w}F_P g_P'\frac{dF}{dt_P}+t_P\frac{dF_P}{dt_P}+t_F\frac{dX_1}{dt_P}-X_1\frac{dg_F}{dF}\frac{dF}{dt_P}\\&=-\overline{w}F_P g_P'\frac{d(F_P+\phi X_1)}{dt_P}+t_P\frac{dF_P}{dt_P}+t_F\frac{dX_1}{dt_P}\\&\quad-X_1\frac{dg_F}{dF}\frac{d(F_P+\phi X_1)}{dt_P}\\&=-\overline{w}F_P g_P'\left(\frac{dF_P}{dt_P}+\phi\frac{dX_1}{dt_P}\right)+t_P\frac{dF_P}{dt_P}+t_F\frac{dX_1}{dt_P}\\&\quad-X_1 g_F'\left(\frac{dF_P}{dt_P}+\phi\frac{dX_1}{dt_P}\right)\\&=\left(\overline{w}F_P g_P'+X_1 g_F'-t_P\right)\left(-\frac{dF_P}{dt_P}\right)\\&\quad+\left(\phi\overline{w}F_P g_P'+\phi X_1 g_F' t_F-t_F\right)\left(-\frac{dX_1}{dt_P}\right)\end{aligned} \tag{24}$$

도로에 승용차 통행이 하나 추가되면 시간비용으로 $F_P g_P'$, 금전비용으로 $\overline{w}F_P g_P'$원의 외부비용을 다른 승용차 통행자에게 발생시키고, 또한 화물통행에 대해서는 $X_1 g_F'$원의 외부비용을 발생시키므로, 도합 $\overline{w}F_P g_P'+X_1 g_F'$원의 외부비용을 승용차 통행 하나가 야기한다. 이 외부비용(보다 정확히 한계외부비용)의 합을

$$MEC=\overline{w}F_P g_P'+X_1 g_F'$$

라고 쓰면, 식(24)를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}\frac{N}{c^M}\frac{\partial W(.)}{\partial t_P}&=(MEC-t_P)\left(-\frac{dF_P}{dt_P}\right)\\&\quad+(\phi MEC-t_F)\left(-\frac{dX_1}{dt_P}\right)\end{aligned} \tag{25}$$

이 식과 유사한 수식을 화물통행료 t_F에 대해서도 유도하자. 식(16)에 대해 유사한 조작을 하면 식(25)와 대칭적인 수식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\frac{N}{c^M}\frac{\partial W(.)}{\partial t_F}=(MEC-t_P)\left(-\frac{dF_P}{dt_F}\right)+(\phi MEC-t_F)\left(-\frac{dX_1}{dt_F}\right) \tag{26}$$

첫째, 어떤 도시에서 화물통행료가 처음 도입되었다고 하자(즉 도입전 $t_F = 0$). 이 통행료 부과로 중간재의 운송수요 X_1가 줄어들었다면 식(26)의 두 번째 줄에 표현된 후생의 변화율은

$$(\phi MEC-0)\left(-\frac{dX_1}{dt_F}\right)=\phi MEC\left(-\frac{dX_1}{dt_F}\right)$$

이고 $\Delta t_P=t_P-0=t_P$이므로, 화물통행료 t_P의 신규도입으로 도시전체의 후생은 화폐단위로

$$\frac{N}{c^M}\frac{\partial W}{\partial t_F}\times\Delta t_P\simeq\phi MEC\left(-\frac{dX_1}{dt_F}\right)\times t_P>0$$

만큼 증가한다. 식(26) 두 번째 줄에서 $(\phi MEC-t_F)>0$가 크면 클수록(즉 혼잡의 한계외부비용과 혼잡에 대해 부과되는 통행료 t_P간 차이가 크면 클수록) 후생이 더 많이 개선된다. 즉 혼잡의 외부비용 일부가 통행료로 이미 부과되고 있는 런던시에서보다 통행료가 사실상 전혀 부과되지 않는 서울시에서 통행료를 부과하면, 그로 인한 후생개선은 서울시에서 더 크게 나타난다.

둘째, 식(25)-(26)의 변화율을 동시에 0이 되게 하는 혼잡통행료가 최적의 혼잡통행료 조합으로서 위 수식으로부터

$$t_P^*=MEC,\ t_F^*=\phi MEC=\phi t_P^* \tag{27}$$

로 주어진다. 이를테면 화물통행 한 단위가 승용차 통행 단위로 2단위라고 할 때, $\phi=2$가 되고 이때 화물통행료는 승용차 통행료의 2배가 된다.

셋째, 승용차 통행은 화물통행 비용에, 화물통행은 승용차통행 비용에 영향을 준다. 이러한 의미에서 승용차통행과 화물통행이 통행비용과 관련해 상호작용한다. 그러나 최적의 승용차 혼잡통행료는 오직 승용차가 유발하는 외부비용만을 내부화하도록 설계되며, 그 수식은 최적 화물통행료 t_F^*를 포함하지 않는다. 최적 화물통행료도 마찬가지이다. 이렇게 자신이 유발하는 혼잡에만 주목해 최적 통행료를 설정되지만, 이들 최적 통행료는 승용차통행과 화물통행 두 가지에 '동시'에 부과될 때이다.

넷째 토지시장, 노동시장 등 생산요소 시장과 최종재의 산출물 시장을 도입하더라도, 최적 통행료는 네트워크 분석에서 얻은 결론과 본질적으로 다를 것이 없다. 그러나 결과가 '상식적'이라고 그 가치가 폄하되어서는 아니 된다. 통행료의 부과는 기업과 가구의 입지선택에 영향을 준다. 이런 점에서 기종점뿐 아니라 기종점간 교통량을 고정하고 분석하는 네트워크 모형과 본 모형은 본질적으로 다르다. 또한 위 결과는 非공간 모형의 분석결과와도 일치한다. 본 모형처럼 다양한 시장을 동시에 고려한 행위자 기반 접근법(agent-based approach)은 향후 연구에서 방법론적 기여를 할 것으로 기대된다.

세수 재순환을 고려한 모형

1. 기본 구조

이제 근로소득세를 가구의 근로소득에 대해 부과하자. 지금부터 간단히 소득세라는 표현을 쓰겠다. 소득세가 가구로부터 징수되므로 기업이 풀어야 할 '문제'는 종전과 같고, 가구의 예산제약 조건 식(7)은 소득세율을 τ라고 할 때

$$x+rq+t_P(x+D)=8w(1-\tau)D+R$$

로 바뀐다. 한편 정부의 재정규모 식(9)는

$$G=t_P(x+D)+\tau(8w)D+\frac{t_FX_1}{N} \tag{28}$$

으로 바뀐다.

새 라그랑지안은

$$L=u(x,q,l)+c^T\left[H-8D-(x+D)g_P-l\right)+c^M(8w(1-\tau)D+R-x-rq-t_P(x+D))\right]$$

이 되는데, 교통수요 D로 미분하면 식(10)과 달리

$$\frac{8w(1-\tau)-t_P}{8+g_P}=\frac{c^T}{c^M}\equiv\overline{w} \tag{29}$$

인 시간의 기회비용이 주어진다. $\overline{w}$는 임금률 w와 다르기 때문에(좀 더 구체적으로 $\overline{w}<w$), 본 모형에서 시간의 비

용(value of time)은 임금률 w가 아니다. 이 식의 분자는 하루 버는 실질 근로소득을 말하는데 식(10)과 달리 근로소득세를 공제한 금액이다. 이 식은 혼잡통행료가 왜 소득세와 같은 성격을 가지는지 명확히 보여준다.

지금까지 열거한 수식은 간접효용함수가 시장 균형가격 r, w, 세율 t_P, t_F, τ을 모수로 한다는 사실을 보여준다.

$$W(t_P, t_F, \tau) \equiv V(r(t_P, t_F, \tau), w(t_P, t_F, \tau), t_P, t_F, \tau)$$

정부에서 거두어들인 피구세수(Pigouvian tax revenue)는 모두 기존의 소득세를 경감하는데 사용한다고 하자. 이제 정부의 문제는 고정 재정규모 제약조건하에서 방금 유도한 간접효용함수를 극대화하는 일이다.

$$\max_{t_P, t_F, \tau} W(t_P, t_F, \tau) = V(r(.), w(.), t_P, t_F, \tau)$$
$$\text{제약조건}\ \ G = \overline{G}(\text{상수})$$

라그랑지안을 구성해 기계적으로 풀기보다는 좀 더 구성적으로 문제를 풀어보자. 즉 일단 통제변수인 피구세율 t_P, t_F에 대한 목적함수의 변화율을 고정 재정규모 조건에 대한 고려 없이 푼 다음, 고정 재정규모 조건의 수학적 시사를 이용해 이들 변화율을 교정하는 방식으로 극대화 문제를 풀자(즉 라그랑지안 없이 풂).

이 계획에 따라 후생함수 $W(.)$를 전미분하자.

$$dW = \frac{\partial W}{\partial t_P} dt_P + \frac{\partial W}{\partial t_F} dt_F + \frac{\partial W}{\partial \tau} d\tau \qquad (30)$$

한 가지 통행료를 징수하면 이는 다른 통행료의 수준에 영향을 주지 않고 전액 소득세의 감면으로 이어지는 것으로 제도를 설계하자. 그리고 피구조세 한 가지를 변화시키면 다른 한 가지는 항상 고정시킨 상태에서 세수 재순환시키는 방식에 대해 연구하자(즉 식(30)에서 두 피구조세율 t_P, t_F는 '독립적'으로 변화).

우선 승용차 통행료의 세수 재순환문제부터 분석하자. 화물통행료는 고정시키므로 $dt_F = 0$으로 놓고 식(31)의 양변을 dt_P로 나누자.

$$\frac{dW(t_P, \bar{t}_F, \tau)}{dt_P} = \frac{\partial W(t_P, \bar{t}_F, \bar{\tau})}{\partial t_P} + \frac{\partial W(\bar{t}_P, \bar{t}_F, \tau)}{\partial \tau} \frac{d\tau}{dt_P} \qquad (31)$$

이 식에서 세율 위 가로줄은 해당변수가 고정되었다는 의미이다. 마지막 항의 $d\tau/dt_P$는 승용차 통행료의 변화가 유발하는 소득세율 변화를 말한다.

2. 후생함수의 변화율

이제 식(31) 우변의 각 항을 차례대로 계산하자. 식(31) 첫 번째 항을 후생함수 $W(.)$의 정의에 따라 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\frac{dW(t_P, \bar{t}_F, \tau)}{dt_P} = \left.\frac{\partial V(.)}{\partial t_P}\right|_{\bar{t}_F} + \left.\frac{\partial V(.)}{\partial \tau}\right|_{\bar{t}_P} \frac{d\tau}{dt_P} \qquad (32)$$

종전과 마찬가지로 '기본변수'를 이용해 간접 효용함수를 표현할 수 있다. 이렇게 구성된 간접 효용함수를 이용해 식(32)의 각 항을 유도하자. 이 식 우변 첫 번째 항은

$$\left.\frac{\partial V}{\partial t_P}\right|_{\bar{t}_F} = \frac{\partial V}{\partial r}\frac{dr}{dt_P} + \frac{\partial V}{\partial w}\frac{dw}{dt_P} + \frac{\partial V}{\partial X_1}\frac{dX_1}{dt_P} + \frac{\partial V}{\partial t_P} \qquad (33)$$

와 같다. 세수 재순환이 없는 모형에서 유도했던 과정을 참고하면 식(33)을 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$\left.\frac{\partial V}{\partial t_P}\right|_{\bar{t}_F} = c^M\left(-\frac{X_1}{N}\frac{dg_F}{dt_P} - \tau\frac{M}{N}\frac{dw}{dt_P} - \overline{w}\frac{F_P}{N}\frac{dg_P}{dt_P} + \frac{dG}{dt_P} - \frac{F_P}{N}\right) \qquad (34)$$

마찬가지 방법으로 식(33) 두 번째 항은

$$\left.\frac{\partial V(.)}{\partial \tau}\right|_{\bar{t}_P} = \frac{\partial V}{\partial r}\frac{dr}{d\tau} + \frac{\partial V}{\partial w}\frac{dw}{d\tau} + \frac{\partial V}{\partial X_1}\frac{dX_1}{d\tau} + \frac{\partial V}{\partial \tau}$$

이고, 비슷한 과정을 밟아 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\left.\frac{\partial V(.)}{\partial \tau}\right|_{\bar{t}_P} = -c^M\left(\frac{X_1}{N}\frac{dg_F}{d\tau} + \tau\frac{M}{N}\frac{dw}{d\tau} + \overline{w}\frac{F_P}{N}\frac{dg_P}{d\tau} + \frac{dG}{d\tau} + w\frac{M}{N}\right) \qquad (35)$$

식(34)-(35)를 식(32)에 대입한 후 정리하면 식(36)을 얻게 된다.

$$\frac{1}{c^M}\frac{dW(t_P,\bar{t}_F,\tau)}{dt_P}=$$

$$-\frac{X_1}{N}\frac{dg_F}{dt_P}-\tau\frac{M}{N}\frac{dw}{dt_P}-\bar{w}\frac{F_P}{N}\frac{dg_P}{dt_P}-\frac{F_P}{N}$$

$$-\left(\frac{X_1}{N}\frac{dg_F}{d\tau}+\tau\frac{M}{N}\frac{dw}{d\tau}+\bar{w}\frac{F_P}{N}\frac{dg_P}{d\tau}+w\frac{M}{N}\right)\frac{d\tau}{dt_P}$$

$$=-\frac{X_1}{N}\left(\frac{dg_F}{dt_P}+\frac{dg_F}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)-\frac{\tau M}{N}\left(\frac{dw}{dt_P}+\frac{dw}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)$$

$$-\frac{\bar{w}F_P}{N}\left(\frac{dg_P}{dt_P}+\frac{dg_P}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)+\left(\frac{dG}{dt_P}+\frac{dG}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)$$

$$-\frac{F_N}{N}-\frac{wM}{N}\frac{d\tau}{dt_P} \tag{36}$$

위 식 뒤에서 두 번째 항은 통행료 부과로 인한 정부재정규모의 총변화분을 보여준다. 정부재정 규모에 변화가 없도록 소득세율이 '정확히' 조정된다면, 마지막 괄호의 값은 된다. 이제부터 소득세율을 정확히 조정하여 마지막 괄호의 값이 0이 된다고 전제하고 논의를 진행한다.

3. 고정 재정규모 제약조건의 반영

식(28)에서 $G\equiv\Gamma(t_P,t_F,\tau)$라고 하면, 두 피구세율은 상호 독립적으로 조정된다고 했으므로

$$\frac{dG}{dt_P}=\frac{\partial\Gamma}{\partial t_P}+\frac{\partial\Gamma}{\partial\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\equiv 0 \tag{37}$$

인 관계가 성립한다.

식(29)를 이용해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial\Gamma}{\partial t_P}=x+D+t_P\frac{d(x+D)}{dt_P}+\frac{t_F}{N}\frac{dX_1}{dt_P}+\tau(8D)\frac{dw}{dt_P}$$

$$+\tau(8w)\frac{dD}{dt_P}$$

$$=\frac{F_P}{N}+\frac{t_P}{N}\frac{dF_P}{dt_P}+\frac{t_F}{N}\frac{dX_1}{dt_P}+\frac{\tau M}{N}\frac{dw}{dt_P}$$

$$+\frac{\tau w}{N}\frac{dM}{dt_P} \tag{38}$$

$$\frac{\partial\Gamma}{\partial\tau}=t_P\frac{d(x+D)}{d\tau}+\frac{t_F}{N}\frac{dX_1}{d\tau}+(8w)D$$

$$+\tau(8D)\frac{dw}{d\tau}+\tau(8w)\frac{dD}{d\tau}$$

$$=\frac{t_P}{N}\frac{dF_P}{d\tau}+\frac{t_F}{N}\frac{dX_1}{d\tau}+\frac{wM}{N}$$

$$+\frac{\tau M}{N}\frac{dw}{d\tau}+\frac{\tau w}{N}\frac{dM}{d\tau} \tag{39}$$

식(38)-(39)에서 변화율을 계산할 때 모든 영향, 즉 일반균형 수준에서 세율의 변화가 유발하는 모든 영향을 고려했다.

식(38)-(39)를 식(37)에 대입한 후 같은 유형에 속하는 항끼리 모아 정리하자.

$$\frac{dG}{dt_P}=\frac{t_P}{N}\left(\frac{dF_P}{dt_P}+\frac{dF_P}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)+\frac{t_F}{N}\left(\frac{dX_1}{dt_P}+\frac{dX_1}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)$$

$$+\frac{\tau M}{N}\left(\frac{dw}{dt_P}+\frac{dw}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)+\frac{\tau w}{N}\left(\frac{dM}{dt_P}+\frac{dM}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)$$

$$+\frac{F_P}{N}+\frac{wM}{N}\frac{d\tau}{dt_P} \tag{40}$$

위 식에서 첫 번째 괄호의 값은 승용차 통행료가 한 단위 증가할 때 승용차 통행량이 얼마나 변하는지 보여준다. 통행료 인상은 통행량을 직접 줄이고 이 효과가 첫 번째 항 dF_P/dt_P에서 잡힌다. 그러나 통행료가 늘어난 만큼 소득세가 줄어들어 실질 임금률이 상승하고[식(29) 참고] 그 결과 노동공급이 늘어나는 효과도 동시에 발생한다. 따라서 식(40) 첫 번째 항의 부호는 불확정적이다.

식(40)의 값은 0이기 때문에 이 식을 식(36)에 더한다 해도 식(36)은 여전히 후생함수의 승용차 통행료에 대한 변화율이다. 한편 함수 W는 주민 1인의 후생수준을 보여주고 그 단위는 유틸(utile)이다. 식(36)에서 이 값을 수입의 한계효용 c^M으로 나누었으므로 식(36)의 값은 주민 1인당 원 단위로 표현된다. 그리고 식(40)도 주민 1인당 재정규모의 변화량으로서 마찬가지로 금전 단위이다. 따라서 식(36)을 식(40)에 더한 후 항끼리 더하거나 빼더라도 단위가 일치하므로 수학적으로 아무런 문제가 없다.

이제 $dG=0$이라는 조건을 이용해 식(40)을 식(36)에 더하자.

$$\frac{1}{c^M}\frac{dW(t_P,\bar{t}_F,\tau)}{dt_P}\bigg|_{\bar{G}}=$$

$$=-\frac{X_1}{N}\left(\frac{dg_F}{dt_P}+\frac{dg_F}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)-\frac{\tau M}{N}\left(\frac{dw}{dt_P}+\frac{dw}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)$$

$$-\frac{\bar{w}F_P}{N}\left(\frac{dg_P}{dt_P}+\frac{dg_P}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)-\frac{F_N}{N}-\frac{wM}{N}\frac{d\tau}{dt_P}$$

$$
\begin{aligned}
&+\frac{t_P}{N}\left(\frac{dF_P}{dt_P}+\frac{dF_P}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)+\frac{t_F}{N}\left(\frac{dX_1}{dt_P}+\frac{dX_1}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)\\
&+\frac{\tau M}{N}\left(\frac{dw}{dt_P}+\frac{dw}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)+\frac{\tau w}{N}\left(\frac{dM}{dt_P}+\frac{dM}{d\tau}\frac{d\tau}{dt_P}\right)\\
&+\frac{F_P}{N}+\frac{wM}{N}\frac{d\tau}{dt_P}\\
=&-\frac{X_1}{N}\frac{dg_F}{dt_P}\bigg|_{\overline{G}}-\frac{\overline{w}F_P}{N}\frac{dg_P}{dt_P}\bigg|_{\overline{G}}+\frac{t_P}{N}\frac{dF_P}{dt_P}\bigg|_{\overline{G}}+\frac{t_F}{N}\frac{dX_1}{dt_P}\bigg|_{\overline{G}}\\
&+\frac{\tau w}{N}\frac{dM}{dt_P}\bigg|_{\overline{G}}
\end{aligned}
$$

오른쪽 아래첨자 $\overline{G}$는 각 변수의 세수 재순환후 총효과를 부분효과들과 구분하기 위해 붙인 기호이다. 이점을 기억하고 아래 수식 유도과정에서 필요하면 생략하고 논의를 진행한다.

위 식의 양변에 N을 곱한 후 재정렬하자.

$$
\begin{aligned}
\frac{N}{c^M}\frac{dW(t_P,\bar{t}_F,\tau)}{dt_P}\bigg|_{\overline{G}}&=t_P\frac{dF_P}{dt_P}-\overline{w}F_P\frac{dg_P}{dt_P}\\
&\quad+t_F\frac{dX_1}{dt_P}-X_1\frac{dg_F}{dt_P}+\tau w\frac{dM}{dt_P}\\
&=t_P\frac{dF_P}{dt_P}-\overline{w}F_P g_P^{'}\left(\frac{dF_P}{dt_P}+\phi\frac{dX_1}{dt_F}\right)+t_F\frac{dX_1}{dt_P}\\
&\quad-X_1 g_F^{'}\left(\frac{dF_P}{dt_P}+\phi\frac{dX_1}{dt_F}\right)+\tau w\frac{dM}{dt_P}\\
&=\left(\overline{w}F_P g_P^{'}+X_1 g_F^{'}-t_P\right)\left(-\frac{dF_P}{dt_P}\right)\\
&\quad+\left(\phi\overline{w}F_P g_P^{'}+\phi X_1 g_F^{'}-t_F\right)\left(-\frac{dX_1}{dt_P}\right)+\tau w\frac{dM}{dt_P}
\end{aligned}
$$

밑에서 두 번째 줄에 있는 괄호 안의 수식에 주목하자. 승용차 통행이 한 단위 늘면 이로 인해 승용차와 화물차의 통행속도가 함께 줄어든다. 이 외부비용을 괄호 안 첫 두 항이 잡아낸다. 이때 만약 승용차에 통행의 가격이 이보다 작으면 괄호의 값 $\overline{w}F_P g_P^{'}+X_1 g_F^{'}-t_P>0$은 양수가 되어 통행량 감소량 $-dF_P/dt_P>0$가 곱해져 그 크기만큼 후생은 증가한다. $MEC=\overline{w}F_P g_P^{'}+X_1 g_F^{'}$ 라고 정의한 후 위 식을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
\frac{N}{c^M}\frac{dW(t_P,\bar{t}_F,\tau)}{dt_P}\bigg|_{\overline{G}}&=(MEC-t_P)\left(-\frac{dF_P}{dt_P}\right)\\
&\quad+(\phi MEC-t_F)\left(-\frac{dX_1}{dt_P}\right)+\tau w\frac{dM}{dt_P}
\end{aligned}
\tag{41}
$$

화물통행에 대해서도 식(41)과 유사한 수식을 유도할 수 있다.

$$
\begin{aligned}
\frac{N}{c^M}\frac{dW(\bar{t}_P,t_F,\tau)}{dt_F}\bigg|_{\overline{G}}&=(MEC-t_P)\left(-\frac{dF_P}{dt_F}\right)\\
&\quad+(\phi MEC-t_F)\left(-\frac{dX_1}{dt_F}\right)+\tau w\frac{dM}{dt_F}
\end{aligned}
\tag{42}
$$

이상 분석결과를 토대로 다음과 같이 논의할 수 있다.

첫째, 식(41)의 마지막 항에서

$$
\frac{dM}{dt_P}=\overset{(a)}{\frac{\partial M}{\partial t_P}\bigg|_{\bar{t}_F}}+\underbrace{\overset{(b)}{\frac{\partial M}{\partial \tau}\bigg|_{\bar{t}_P}}}_{(-)}\underbrace{\overset{(c)}{\frac{\partial \tau}{\partial t_P}}}_{(-)}
$$

의 의미를 갖는다(유도과정에서 명확함). 피구조세의 재순환으로 마지막 항 (c)는 (+)일 것이다. (b)의 부호는 현재 주어진 정보만으로는 그 부호를 단정지을 수 없다. 그러나 통행료 부과로 소득세율이 내리고 실질 임금률이 상승해 노동공급이 는다면 이 값 (b)는 (-)이 될 것이다. 이 경우 (b)*(c)는 양수가 되어, 세수 재순환이 없는 경우의 통행료의 부정적 효과 (a)〈0 일부를 상쇄할 것이다(물론 일반균형 효과로서 (a)가 음수가 될 것이라고 단정 지울 수는 없을 것이다).

둘째, 식(26)에서 이미 본 것처럼 교통서비스의 가격이 사회적 비용보다 낮게 설정되어 있으면 있을수록(underpriced travels), 통행료 부과의 효과는 더 크게 나타날 것이다.

셋째, 사회적 최적은 소득세율이 0, 각 통행료가 그 한계 외부비용과 같게 설정될 때, 즉 $\tau=0$, $t_P=MEC$, $t_F=\phi MEC$일 때 달성된다. 현 모형에 교통혼잡만이 유일하게 시장실패를 유발한다. 따라서 노동의 수요와 공급을 왜곡하는 요인, 즉 소득세율은 0이 되어야 한다. 그러나 어떤 이유로 소득세율을 0으로 놓을 수 없다면, 최적의 승용차 통행료와 화물통행료는 $\tau>0$인 상태에서

$$
\frac{dW(t_P,\bar{t}_F,\tau)}{dt_P}\bigg|_{\overline{G}}=\frac{dW(\overline{t_P},t_F,\tau)}{dt_F}\bigg|_{\overline{G}}=0
$$

을 동시에 만족시키는 수식으로 주어진다.

넷째, $\tau=0$라고 하자. 어떤 교통계획외적 이유로 화물차에 통행료를 부과할 수 없고 승용차에만 부과할 수

있다고 해보자. 이때 차선의 최적 혼잡통행료(승용차 대상)는

$$t_P = MEC\left(1+\phi\,\frac{dX_1/dt_P}{dF_P/dt_P}\right)$$

으로 주어진다. 만약 승용차에 대한 통행료 부과로 화물 통행량뿐 아니라 승용차 통행도 함께 줄어 든다면(즉 두 종류의 교통수요가 보완적(complementary)이라면), 위 식 괄호 안 분수는 (+)이 된다. 즉 차선의 승용차 통행료 t_P는 승용차 통행이 야기하는 외부비용 MEC보다 큰 혼잡통행료가 되어야 한다.

다섯째, 통행료는 노동공급과 노동의 가격 모두를 변화시키지만, 후생변화는 노동공급량과 직접 관계가 있을 뿐 임금률의 변화와 직접적인 관계는 없다. 기존 연구에서 생산요소와 산출물간 한계대체율을 1, 즉 요소 및 산출물의 가격을 1로 놓고 분석한다. 이 말은 본 연구의 맥락에서 식(42)의 마지막 항이

$$\frac{d(wM)}{dt_P} = M\frac{dw}{dt_P} + w\frac{dM}{dt_P}$$

로 해석할 수도 있다는 말이다. 그러나 식(42)는 이 식의 첫 번째 항 $M(dw/dt_P)$를 포함하지 않는다. 따라서 최적 차선 통행료는 노동의 공급수준에 미치는 영향을 고려해 결정해야 한다는 점에서 기존의 연구결과(De Borger and Mooij, 1994; De Borger and Wuyts, 2009)와 위 결과는 일치하지만, 본 연구는 이 공급수준이 물리적 공급수준을 말하는 것이지 금액으로 표현한 공급수준(즉 wM)은 아니라는 점을 보여준다.

공간요소의 도입

이제 공간 속에 지금까지 개발한 방법론을 구현하는 방법에 대해 알아보자. 개발된 모형에 공간요소를 도입하는 일은 크게 나누어 두 과정으로 구분된다. 첫 번째 과정은 도시를 n개의 구역(zone)으로 나눈 후 앞에서 유도된 변수에 구역 식별자를 부여하고 필요하다면 종합하는 과정을 거쳐 모든 변수를 다시 정의하는 과정이다. 이 작업을 위해 도시 각 구역에 식별자 $i,j,k= 1,2,\cdots,n$를 부여하자. 이제 기업은 임의의 구역에 입지하는 것으로 모형화되고, 구역 i에 입지한 중간재 산업의 생산량과 요소투입량은 각각 X_{1i}과 Q_{1i}, M_{1i}으로 다시 정의된다. 최종재 산업도 유사하게 정의되고, X_{1ij}를 i에서 생산되어 j에 있는 최종재 산업에 투입되는 중간재의 양으로 표시할 수 있다. 이때 구역 j에 입지한 최종재 산업의 중간재 투입총량은 $X_{1\,.\,j} = \sum_{i=1}^{n} X_{1ij}$로 정의된다.

한편 가구의 경우 주거지와 직장소재지를 달리하는 $n \times n$쌍의 조합이 가능하고, 구역 식별자를 2중으로 사용해 서로 다른 주거지-직장짝을 선택한 가구를 상호 구별할 수 있다. 이에 맞추어 효용극대화 문제를 다시 꾸미고 문제를 풀 수 있다.

문제는 기업의 생산활동과 가구의 주거지-직장 분포에 대한 '시장의 결과'(market outcome)를 어떻게 구현하느냐이다. 이는 랜덤효용을 이용한 토지이용-교통모형의 전통에 따라 구현할 수 있다. 이를테면 각 가구는 주거지-직장 소재지짝(residence-work zone pair)에 대해 특이선호를 가지고 있다면, 도시 수준에서 선택의 결과(혹은 '시장의 결과')를 선택확률을 통해 나타낼 수 있다. 한편 최종재에 대한 선호를 Dixit and Stiglitz(1977) 방식에 따라서 모형화하면, 이러한 다양성에 대한 소비자 선호를 충족시키기 위해 기업은 도시 전역에 거쳐 분포하게 된다.

각 구역의 교통량 F_i는 서로 다른 O-D로 구성된 승용차 통행량과 화물통행량의 합으로 자연스럽게 주어지고, 통행량의 크기에 따라 각 구역의 혼잡 교통시간 g_{Pi}와 화물 통행비용 g_{Fi}가 산출될 것이다.

식(11)-(14)의 시장균형 조건도 기본적으로 구역 식별자를 부여한 후 필요하다면 구역별로 합산하는 것으로 족하다. 토지시장의 경우를 예로 들어보자. 주거-직장짝이 (i,j)인 가구가 전체 가구수 N에서 차지하는 비율을 P_{ij}라고 하자. 토지시장의 균형은 각 구역에서 식(12)가 성립하면 된다. 즉 $\sum_j NP_{ij}q_{ij} + Q_{1i} + Q_{2i} = A_i$이라는 조건이 각 구역 i에서 성립하면 된다.

결론

이상의 연구를 통해 Yu and Rhee(2011)가 제안한 방법론이 조세가 이미 존재하는 정책환경에서도 손쉽게 적용될 수 있음을 보았다. 또한 식(41)-(42)의 각 항은 수치해석적으로 그 크기와 부호를 측정할 수 있다. 환언하면 어떤 정책의 후생경제학적 효과 전체를 서로 다른 구성요소로 수치해석적으로 분해할 수 있다는 말이다.

토지이용–교통 연산가능 일반균형 모형은 대체로 계획적 요구에 부응하여 개발되었고, 이러한 태생적 이유에서 이론적 엄정성보다는 계획적 유연성이 강조되어 왔다. 토지이용–교통모형이 가진 계획지원용 도구로서의 유연성은 살리면서 동시에 이론분석의 도구로서 활용할 수 있는 방안에 대한 모색을 계속해야 한다. 본 논문은 이러한 목적의식을 가지고 수행되었다. 본 연구를 통해 후생분석에 관한 한 최소한의 목적은 달성되었다고 자평한다. 두 가지 방향으로 추가 연구가 더 있어야 할 것으로 보인다. 첫째, 좀 더 일반화된 환경으로 본 논문의 후생경제학적 분석방법론을 확장하는 일도 병행되어야 한다. 교통수단, 외부효과, 도시의 수 등 분석환경을 더욱 확장하면서 방법론의 적용영역을 확대할 수 있도록 노력할 필요가 있다. 둘째, 본 연구는 후생함수라는 내생변수의 변화율을 단순화하는 데 그칠 뿐, 후생함수를 제외한 여타 변수의 비교정태적 분석방법론에 대한 연구는 아니다. 일반균형 자체의 속성상 내생변수들을 미적분학적으로 '의미 있게' 비교정태 분석하는 일은 앞으로도 쉽지 않을 것 같다.

REFERENCES

Anas A., Kim I.-K (1996), General Equilibrium Models of Polycentric Urban Land Use with Endogenoius Congestion and Job Agglomeration, Journal of Urban Economics, 40(2), 232-256.

Bovenberg A. L., De Mooij R. A., (1994), Environmental Levies and Distortionary Taxation, American Economic Review, 94, 1085-1089.

Browning E. K., (1987), On the Marginal Welfare Cost of Taxation, American Economic Review, 77: 11-23.

Calthrop E., De Borger B., Proost S. (2007), Externalities and Partial Tax Reform: Does It Make Sense to Tax Road Freight (But Not Passenger) Transport?, Journal of Regional Science, 47(4), 721-752.

De Borger B., Wuyts B. (2009), Commuting, Transport Tax Reform and the Labour Market: Employer-paid Parking and the Relative Efficiency of Revenue Recycling Instruments, Urban Studies, 46, 213-233.

Diamond P. A. (1973), Consumption Externalities and Imperfect Corrective Pricing, Bell Journal of Economics and Management Science, 4(2), 526-538.

Dixit A. K., Stiglitz J. E. (1977), Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity, American Economic Review, 67(3), 297-308.

Goulder L. H., Parry I. W. H., Burtraw D. (1997), Revenue-Raising versus Other Approaches to Environmental Protection: The Critical Significance of Preexisting Tax Distortions, RAND Journal of Economics, 28(4), 708-731.

Rhee H.-J. (2012), Welfare Function of the Theory-Based Spatial Equilibrium Models and Congestion Tolls, Journal of the Korea Planners' Association, 47(4), 183-192.

Rhee H.-J. (2013), Analytical Methodology of the Spatial Equilibrium Model with Agglomeration Economies, Journal of Korea Planners Association, 48(1), 181-189.

Yu S., Rhee H.-J. (2011), A Study of the Welfare of a Spatial Equilibrium Model and the Implications, Journal of Korea Planners Association, 46(4), 199-208.

♧ 주 작 성 자 : 이혁주
♧ 교 신 저 자 : 이혁주
♧ 논문투고일 : 2013. 4. 5
♧ 논문심사일 : 2013. 5. 28 (1차)
2013. 6. 17 (2차)
2014. 5. 1 (3차)
♧ 심사판정일 : 2014. 5. 1
♧ 반론접수기한 : 2014. 12. 31
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필