

동시방정식을 이용한 노외주차장 위치 및 요금수준 결정*

유정훈** · 최서윤***

Determining the Location of Off-street Parking Facility and Its Parking Fee Using Simultaneous Equations**

Jeong Whon Yu · Seo Yoon Choi***

요약 : 본 연구에서는 노외주차시설의 효율적인 운영을 위해 주차행태에 대한 설문조사를 바탕으로 선호주차요금과 이용자 최대도보가능거리를 결정하는 모형을 제안하였다. 먼저 선호주차요금과 최대도보가능거리를 각각 종속변수로 하는 단일방정식들을 구축한 후, 이 두 변수들을 종속변수와 설명변수로 동시에 고려하는 동시방정식을 추정하여 두 가지 접근방식들에 대한 비교분석을 수행하였다. 분석결과를 살펴보면 선호주차요금에 대해 통계적으로 유의한 변수는 목적지와 주차장 간 최대도보가능거리와 수입, 직업이었으며, 최대도보가능거리의 경우에는 선호주차요금과 연령, 현재 주차장 이용시 목적지까지의 이동시간 등이 유의미한 것으로 추정되었다. 그리고 단일방정식모형과 동시방정식모형의 추정결과를 비교해 볼 때 동시방정식모형이 단일방정식모형에 비해 모형 설명력이 훨씬 높은 것을 확인하였다. 이와 함께 동시방정식모형을 실제 노외주차장 건설예정 지역에 적용하여 본 연구에서 제안한 모형의 실제 적용성과 유용성을 검증하였다.

주제어 : 선호주차요금, 주차장과 목적지 간 최대도보가능거리, 토빗모형, 동시방정식, 집계예측

ABSTRACT : In order to improve the operational efficiency of off-street parking facilities, this study proposes a model to determine an preferable parking fee and maximum walking distance using a questionnaire survey data on off-street parking behavior. Two separate single-equation models, each of which takes the preferable parking fee and maximum walking distance as its dependent variable, are constructed first, and then a simultaneous equation model having the two variables as dependent and independent variables at the same time is developed to perform a comparative analysis between these two different approaches. The model estimation results statistically show that the preferable parking fee is mainly influenced by a user's maximum walking distance, income and occupation, while the maximum walking distance is affected by a user's preferable parking fee, age and his/her current walking time from home to parking lot. The analysis results also suggest that the simultaneous equation model has more explanatory power than two separate single-equation models. In addition, the simultaneous equation model is applied to an urban area where off-street parking facilities are considered to be constructed so that the real-world applicability and usefulness of the proposed model can be validated.

* 이 논문은 2011년 교육인적자원부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2011-0000860).

** 아주대학교 교통시스템공학과 부교수(Associate Professor, Department of Transportation System Engineering, Ajou University)

*** 아주대학교 건설교통공학과 석사과정(Master's Course Student, Department of Civil and Transportation Engineering, Ajou University),
교신저자(E-mail: tjdbsl017@ajou.ac.kr, Tel: 031-219-1653)

Key Words : preferable parking fee, maximum walking distance, tobit model, simultaneous equation, aggregate forecasting

I. 서론

지속적인 인구의 증가와 더불어 자동차 시장 또한 매년 성장하는 추세를 나타내고 있다. 현재 국내 자동차 등록대수는 2012년 6월말 기준 18,661,866대로 2011년에 비해 약 1.2% 증가하였으며, 자동차 1대당 인구수는 2.74명을 기록하고 있다. 자동차의 증가에 따라 환경문제, 도로혼잡문제, 소음문제 등 다양한 문제가 발생하였으며 가장 큰 도시문제 중 하나로 주차문제가 대두되고 있다. 도심 내 업무지역뿐만 아니라 주택가에서도 주차문제는 심각한 사회문제로 이슈화되고 있으며 이를 해결하기 위해 다양한 주차시설 및 정책이 마련되고 있는 실정이다. 주차난을 해소하기 위한 대책 중 하나로 주택가나 업무시설 위주로 공영주차장 및 민영주차시설이 신설되어 운영 중에 있다. 주차시설을 설치할 경우 위치선정 및 요금결정에 있어서 시민들의 의사가 적극적으로 반영되어야 하나, 이에 대한 조사 및 연구는 미비한 실정이다. 현재 서울시의 주차장 설치는 “서울특별시 주차장 설치 및 관리조례”를 따르게 되는데 주차장의 위치는 조례에 따라 시장이 선정하며, 요금은 지역적 특성에 따라 5급지로 구분하여 적용하고 있다. 주차장 설치위치는 주차수요와 주변 현황에 따라 유기적으로 대응할 수 있도록 적절하게 분포되어야 한다고만 설정되어 있다. 이와 같은 주차장 설치의 이용자의 행태를 반영하지 못하며, 위치 및 요금에 대한 이론적인 모형은 설정되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 주차장 설치 시 이용자의 행태를 반영하여 선호하는 주차요금과 목적지와 주차장 간의 최대도보가능거리에 대해 분석하였으며 최종적으로 주차장 설치에 관한 이론적 모형을 제시하고자 한다. 선호주차요금과 주차장과 목적지까지 도보로 이동가능한 최대거리에 대한 각각의 단일방정식을 제시하고, 선호주차요금과 최대도보가능거리 사이에 존재하는 상호연관성을 고려한 동시방정식 추정 모형을 산출하고자 한다. 이용자의 행태를 반영한 모형을 제시함으로써 향후 주차장 위치 및 요금설정을 위한 이론적인 바탕을 제공하고자 한다.

분석을 수행하기에 앞서 기존 주차시설 관련 연구와 동시방정식에 관한 연구를 살펴보았다. 주차요금 및 주차장 설치와 관련된 기존 연구를 살펴보면, 안건혁 외(2006)는 공동주택단지에서 가구당 단지 주차대수에 따라 차등적으로 주차요금을 부과하는 방안을 검토하고 이를 위한 주차요금 산정방식과 요금기준을 설정하는 연구를 진행하였다. 공동주택단지에서 주차비용은 차량이 점유하는 면적에 대한 가치를 통해 산정하였는데, 1㎡당 주차장 조성비용과 사회적 비용을 포함하여 산정하였다. 또한, 주차장 유형에 따라 지상주차, 전체 지하주차, 지상·지하 병용주차로 나뉘는 주차유형별로 산정식을 추정하였다. 김기혁·한민근(2012)은 구조방정식을 이용하여 주차장 이용자를 대상으로 주차유형별 이용만족도에 대한 평가모형을 추정하였다. 오재학·박준식(2009)은 주차이용 실태조사 자료를 사용하여 공동주택 주차장 설치기

준을 검증하였는데, 세대수에 따른 설치기준을 산정하였다. 이외에도 주차에 관한 연구로는 주차수요 예측모형 구축 및 주차계획단위 산정에 관한 연구 등 다양한 연구가 진행되어 왔다.

동시방정식 모형은 교통부문에서 이미 교통수요 분석 혹은 통행태 등에 적용된 사례가 있으며, 이에 관한 선행연구를 각각 구분하여 살펴보면 다음과 같다. Cervero and Hansen(2002)은 유발통행수요(induced travel demand)와 도로투자에 대한 관계를 정책적, 환경적, 인구 통계학 등을 도구변수로 한 동시방정식을 이용하여 관계를 규명하였으며, Abu-Eisheh and Mannering(2002)은 승용차수요와 승용차 소유지분에 대한 예측을 위해 교통수요 예측모형, 토지이용과 교통과의 상호작용모델과 교통정책 및 규제의 기초적인 항목으로 한 동시방정식을 이용하여 동적 승용차수요 모형을 개발하였다. 해당 시스템은 수요와 공급의 상호 간의 평형을 고려하였다. Abdelwahab(1998)은 수요의 시장 탄력성과 도시간 화물수송교통시장에서의 수단선택의 탄력성에 대한 실증적 분석을 수행하였으며, Strathman and Kimpel(2003)은 대중교통 배차간격서비스의 편차와 승객하중 사이의 관계를 실증적으로 분석하고, Tri-Met's의 자동차량위치에 대한 데이터와 자동 승객카운터 시스템을 이용하여 배차간격편차와 무게에 대한 관계를 동시방정식을 이용하여 규명하였다. Dueker et al.(1994)은 대중교통 이용자는 대중교통서비스의 변화에 영향을 받고 대중교통계획가는 이용자의 변화에 영향을 받는 것을 바탕으로 대중교통 노선 수의 증감과 이용자 수의 관계를 3 Stage Least Square 추정방법을 통해 규명하였다. 국내에서는 임주호(2006)가 역세권의 미시적 토지이용 특성 변수들이 거주자의 사회·경제적 특성, 역세권의 입지적 특성, 연계교통수단, 도시철도 이용수요에 미치는

영향을 가설로 설정하고 이를 검증하기 위해 다중회귀모형과 연립방정식 모형을 정립하여 실증분석하였다. 또한, 김정희(2009)는 서울시를 대상으로 도로망 패턴이 인구, 산업, 토지이용 등의 사회·경제적 인지와 어떠한 인과관계가 있는지에 대해 구조방정식 모형을 사용하여 분석을 수행하였다.

주차시설 관련 연구를 살펴보면 주차요금 산정 및 이용자 만족도 등에 관한 연구들이 존재하는데, 주차요금산정에 관한 연구의 경우 이미 주차장을 설치한 후 요금산정에 관한 적절성을 검토하는 수준의 연구로 본 연구와는 차이가 있다. 본 연구는 이용자의 행태를 반영하여 새로운 주차시설 설치 시 선호주차요금에 대한 모형을 제시하고, 주차장 위치 설정을 위한 최대도보거리에 대한 모형을 제시한다. 또한, 선호주차요금과 최대도보거리를 모두 고려한 동시방정식을 통해 합리적인 도출점을 제시하고자 한다.

II. 분석자료 구축

1. 분석의 목적 및 개요

주차장 설치 시 고려해야할 가장 주요한 항목은 크게 주차요금설정과 주차시설과 목적지까지의 거리 즉 주차장의 위치이다. 이는 주차장 이용 여부를 결정하는 주요한 요인으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 이용자가 지불하고자 하는 선호주차요금에 대한 분석을 수행하였으며, 이동거리에 따른 이용 여부를 판단하기 위해 목적지까지 도보로 이동 가능한 최대거리에 대한 분석을 수행하였다. 최종적으로 주차시설을 설치할 경우 이용자의 의사를 반영한 요금과 위치를 설정하기 위한 모형식을 제시하고자 한다.

설문조사는 서울시 도봉구 창동지역을 대상으

로 수행하였다. 해당지역은 높은 주차수요에 비해 주차시설 공급이 부족하여 만성적인 주차난을 겪고 있는 지역이며, 국철 1호선과 지하철 4호선이 환승되는 창동역이 위치하므로 향후 주차장 설치 시 환승수요 또한 많을 것으로 예상되는 지역이다.

2010년 4월 중 운전면허를 소지한 20대 이상을 대상으로, 총 300명에게 설문조사를 실시하였다. 설문항목은 주차요금과 위치를 산정하기 위한 항목과 기초사회 경제지표를 바탕으로 한 응답자 특성에 대한 항목으로 구성하였다. 주차장 이용 시 시간당 선호주차요금과 목적지에서 주차장까지 도보로 이동 가능한 최대거리에 대해 주관식으로 질문하였으며, 현재 주차장 이용시 목적지까지의 이동시간, 주차유형 등 주차시설에 대한 설문을 수행하였다.

2. 기초통계분석

설문조사 결과 무응답항목과 일관성이 없는 항목 등 이상치가 관측된 항목을 제외한 유효응답 수는 222부이다.

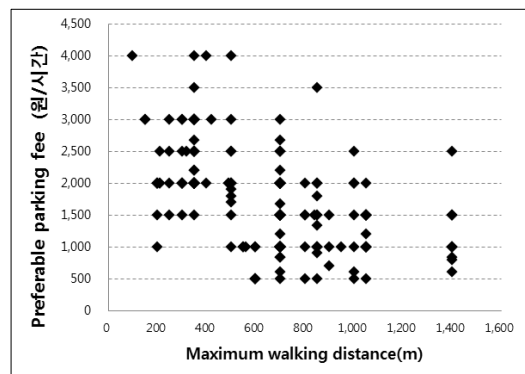
주차장에서 목적지까지 도보로 이동 가능한 최대거리는 평균 653.83m이며 표준편차는 302.23, 최소값은 100m, 최대값은 1,400m이다. 주차장 이용시 지불하고자 하는 선호요금에 대한 평균은 시간당 1,739원, 표준편차는 743.89, 최소값 500원/시간, 최대값 4,000원/시간으로 산출되었다.

선호주차요금과 최대도보가능거리의 관계는 <그림 1>과 같다.

최대도보가능거리가 짧을수록 지불하고자 하는 선호금액이 높게 나타나며 이동거리가 길어질수록 지불하고자 하는 금액이 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

<표 1> 설문조사 결과

구분		응답 수	비율
성별	남성	131	59.0%
	여성	91	41.0%
연령	20대	21	9.5%
	30대	82	36.9%
	40대	67	30.2%
	50대	44	19.8%
	60대 이상	8	3.6%
직업	경제활동 (회사원, 자영업)	75	33.8%
	비경제활동 (주부, 학생, 기타)	147	66.2%
수입	100~200만원	118	53.2%
	200~300만원	31	14.0%
	300~400만원	32	14.4%
	400~500만원	24	10.8%
	500만원~	17	7.7%
주차형태	노상주차	84	37.8%
	노외주차	98	44.1%
	기타주차	40	18.0%
최대도보 가능 리	~500m	84	37.8%
	~1,000m	109	49.1%
	~1,500m	29	13.1%
선호주차 요금	~1,000원/시간	66	29.7%
	~2,000원/시간	111	50.0%
	~3,000원/시간	39	17.6%
	~4,000원/시간	6	2.7%



<그림 1> 최대도보가능거리에 따른 선호주차요금 분포

III. 자료 분석 및 모형 구축

1. 선호주차요금 추정 모형

본 연구에서는 응답자들에게 요금에 대한 직접 설문을 통해 선호주차요금을 추정하고자 한다. 주차시설은 운영수입이 보장되어야 하는 시설로 선호금액이 갖는 특성이 0원 이상이므로 설문조사결과 선호주차요금이 0에서 절삭되도록 분석을 수행해야 한다. 이 경우 최소자승법(OLS: Ordinary Least Square)을 사용하여 모수 추정시 편의(bias)가 발생할 수 있으므로 Tobit Model의 최우추정법(MLE: Maximum Likelihood Estimation)을 이용하여 일치추정량을 구하였다. 선택 가능한 변수가 제한되거나 혹은 중도 절단되었을 때 어떤 영역에서의 값은 모두 단일 값으로 변환될 수 있으므로 제한된 변수를 다루기 위한 모형인 Tobit Model을 적용하는데, 종속변수의 관측값은 연속이나 일부에 대해서만 적용 가능한 경우에 적용한다.

관측할 수 없는 y_i^* 는 관측 불가능한 잠재변수로 본 연구에서는 모형을 통해 최종적으로 얻고자 하는 선호주차요금을 의미하며, y_i 는 관측한 반응변수로 실제 설문조사결과에서 응답한 선호주차요금을 의미한다. 둘의 관계식은 다음과 같다.

$$y_i^* = \beta X_i + \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

$$y_i = \begin{cases} y_i^*, & \text{if } y_i^* > 0 \\ 0, & \text{if } y_i^* \leq 0 \end{cases}$$

여기서, x_i 는 변수에 영향을 미치는 설명변수, β 는 계수, ϵ_i 는 오차항을 의미한다. Tobit Model은 오차항이 정규분포를 따른다는 가정 하에 최

우추정법을 이용하여 β/σ 의 값을 추정한다. Tobit Model에서 우도함수는 다음과 같다.

$$L = \prod_i^N \left[\frac{1}{\sigma} \phi \left(\frac{y_i - X_i \beta}{\sigma} \right) \right]^{d_i} \left[1 - \Phi \left(\frac{X_i \beta}{\sigma} \right) \right]^{1-d_i} \quad (2)$$

$\phi(\cdot)$ 와 $\Phi(\cdot)$ 는 각각 표준정규 누적분포함수(CDF: Cumulative Distribution Function)와 표준정규 확률밀도함수(PDF: Probability Density Function)이다.

Tobit Model을 이용하여 추정한 선호주차요금에 대한 식은 다음과 같다.

$$PPF = \alpha_0 + \alpha_1 \times MWD_i + \alpha_2 \times INC_i + \alpha_3 \times OCCU_i + \epsilon_i \quad (3)$$

여기서,

PPF (Preferable Parking Fee): 선호주차요금

MWD_i (Maximum Walking Distance): i 번째

이용자의 최대도보거리(주차장과 목적지간)

INC_i (Income): i 번째 이용자의 수입

$OCCU_i$ (Occupation): i 번째 이용자의 직업

(0: 비경제활동인구, 1: 경제활동인구)

ϵ_i : 오차항

선호주차요금에 유의한 변수로는 주차장에서 목적지 간 도보로 걷고자 하는 최대도보가능거리와 개인별 수입, 직업으로 추정되었으며, 세 개의 독립변수에 따라 선호주차요금이 산출되는 것으로 분석되었다.

분석결과 p-value가 상수항을 제외한 나머지 변수들은 0.1 이하로 산정되어 모형의 검정력은 전반적으로 양호한 수준이다. 설명변수의 부호는 최대도보가능거리는 음(-)의 부호로 도보거리가 짧을수록 선호주차요금이 높게 나타났으며, 수입과 직업은 양(+)의 부호로 추정되었다. 직업은

더미변수로 설정하였으며 직장인과 자영업을 경제활동 직군으로 구분하여 1로 처리하였으며 주부 및 학생, 기타의 경우를 비경제활동 직군으로 구분하여 0으로 처리하였다. 분석결과 비경제활동직군이 경제활동 직군에 비해 선호주차요금을 낮게 지불하고자 하는 것으로 나타났는데, 이는 경제활동직군이 주차요금에 보다 민감하지 않게 반응하는 것으로 해석할 수 있다. 변수들의 부호는 모두 직관적인 사실과 일치함을 확인할 수 있으며, 또한 Adjusted R²의 값도 0.775로 1에 근접하므로 독립변수들이 모형을 설명하기에 적합한 것을 확인할 수 있다.

〈표 2〉 선호주차요금 단일방정식 분석결과

Variables	Coefficient	Standard error	b/St.Er.	p-value
Constant	-232,266	150,985	-1.538	0.124
MWD	-0.454	0.873	-5.197	0.000
INC	7.084	0.322	21.958	0.000
OCCU	762,704	66,524	11.465	0.000
R ² =0.778, Adjusted R ² =0.775				

2. 최대도보가능거리 추정 모형

이용자가 주차장과 목적지 간 도보로 이동가능한 최대거리를 최대도보가능거리로 지정하였다. 주차장의 위치를 선정할 때 최대도보가능거리를 이용하여 최적위치를 설정할 수 있다. 분석은 회귀분석을 통해 수행하였다.

$$MWD = \beta_0 + \beta_1 \times PPF_i + \beta_2 \times AGE_i + \beta_3 \times AWT_i + \epsilon_i \quad (4)$$

여기서,

AGE_i : i 번째 이용자의 연령

AWT_i (Actual Walking Time): i 번째 이용

자의 현재 주차장 이용시 목적지까지 도보이동시간

분석결과 모든 변수가 p-value 값이 0.1 이하로 검정력이 양호한 것으로 판단된다. 설명변수를 살펴보면 선호주차요금과 연령에 대해선 음(-)의 부호로 추정되었으며, 선호주차요금이 낮을수록 도보거리가 증가하고, 연령이 낮을수록 도보거리가 증가하는 것으로 나타났다. 여기서, 최대도보가능거리와 선호주차요금은 앞서 추정된 선호주차요금 모형에서의 결과와 일관성이 있음을 확인할 수 있다. 실제 주차시 목적지까지의 이동시간은 양(+)의 부호로 추정되었으며, 이동시간이 길게 관측된 경우일수록 도보이동거리가 길게 나타나는 것으로 분석되었다.

〈표 3〉 주차장과 목적지 간 최대도보가능거리 단일방정식 분석결과

Variables	Coefficient	Standard error	T-ratio	p-value
Constant	1108,105	80,566	13,754	0.000
PPF	-0.173	0.020	-8,566	0.000
AGE	-8.113	1,566	-5,181	0.000
AWT	39,345	5,002	7,866	0.000
R ² =0.492, Adjusted R ² =0.485				

3. 동시방정식 추정

앞서 제시한 두 개의 단일방정식의 최종결과에 따르면 선호주차요금과 목적지와 주차장 간 최대도보가능거리는 상호 밀접하게 연관되어 있음을 알 수 있다. 따라서 두 개의 내생변수와 나머지 외생변수들의 관계를 명확히 규명하기 위해서는 개별적인 단일방정식보다는 동시방정식을 적용함이 효과적이라 판단된다.

일반적인 단일방정식 모형에서는 하나의 변수(종속변수 Y)가 다른 한 변수 혹은 그 이상의 변수들(설명변수 X 들)의 선형함수로 표현되었다. 단일방정식 모형에서 하나의 목시적인 가정은 Y 와 X 들 사이에서 어떠한 인과관계가 존재할 때 그 인과관계는 단일방향으로 흘러가게 된다. 그러나 일방통행 혹은 단일방향으로 인과관계가 흐른다는 가정이 무의미한 상황이 존재하는데, Y 가 X 들에 의해 결정되고 X 들의 일부가 역으로 Y 에 의해 결정되는 경우가 발생할 수 있다. Y 와 X 들은 종속변수와 설명변수로서 분명히 식별이 가능하다고 말하는 것이 불가능한 쌍방으로의 혹은 연립적인 상관관계가 존재할 수 있다.

이처럼 연립적으로 결정되는 변수들에 대해 상호 분리할 필요가 있는데, 상호간 연립적으로 의존되어 있는 이른바 내생변수들에 대해 각각의 방정식이 존재하므로 복수의 방정식이 필요하게 된다. 본 연구의 목적인 주차장의 위치와 선호주차요금에 대한 변수들 사이에는 쌍방의 영향력이 존재하는데, 주차장 위치를 설정하는 최대도보가능거리가 종속변수인 경우에는 선호주차요금이 설명변수로 입력되고, 선호주차요금이 종속변수일 때는 최대도보거리가 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 동시방정식을 이용하여 해당 변수들 간의 관계를 정립하고자 한다.

동시방정식을 정립하기 위해서는 모형의 식별(Identification)단계를 거쳐야 한다. 방정식의 모수 추정이 가능한 경우 이 식은 식별되어 모수를 일치하여 추정할 수 있으나, 내생변수보다 적은 변수가 식에서 누락되는 경우 비식별되어 모수를 일치하게 추정할 수 없다.

$$PPF = \alpha_0 + \alpha_1 \times MWD_i + \alpha_2 \times INC_i + \alpha_3 \times OCCU_i + \epsilon_i \quad (5)$$

$$MWD = \beta_0 + \beta_1 \times PPF_i + \beta_2 \times AGE_i + \beta_3 \times AWT_i + \epsilon_i \quad (6)$$

선호주차요금(PPF)에 대한 식 (5)의 경우 내생변수는 최대도보가능거리(MWD) 1개이며, 전체 외생변수는 4개로 식 (5)는 과잉식별(Overidentified) 되었으며, 최대도보가능거리(MWD)에 대한 식 (6)에서도 내생변수보다 외생변수의 수가 많아 과잉식별 되었음을 확인할 수 있다. 이처럼 과잉식별로 판별된 모형의 경우 Theil(1953)과 Basmann(1957)이 각각 독립적으로 개발한 2단계 최소자승법(2SLS: Two Stage Least Square Method)에 의해 추정할 수 있다. 2SLS는 최소자승법을 두 차례에 걸쳐 연속적으로 사용하는 절차이다.

2SLS 방식은 도구변수(instrument variable)를 이용한 단식추정방법(single equation method estimation)의 일종으로서 전체의 연립방정식을 한 번에 검증하는 것이 아니라 추정식별로 또는 관심 있는 추정식만을 분리하여 추정하는 방법으로서 식별의 문제를 쉽게 해결할 수 있으며 더불어 모델의 부정확성을 피할 수 있는 장점이 있어 최근 실증분석에서 많이 쓰이는 방법이다(강철희, 2007). 이를 통해 일치성과 효율성이 있는 추정량을 얻을 수 있다.

1단계 최소제곱 추정을 통해 요금과 거리에 대한 각각의 유도방정식을 최소제곱으로 추정하고 이에 대한 예측치를 산출한 후, 예측치를 각각의 내생변수로 대체하여 2단계 최소제곱 추정을 통해 모수들에 대한 일치 추정량을 산출한다.

여기서, 1단계 최소제곱 추정결과 $\widehat{PPF}$ 모형의 R^2 값은 0.769, $\widehat{MWD}$ 모형의 R^2 값은 0.461로 내생변수와의 연관성이 높다고 판단되어 2SLS를 수행하였다. 2SLS방식을 통해 내생변수를 제외하고 외생변수들만으로 모형을 추정하였으며, 모

형식 및 결과는 다음과 같다.

$$PPF = \alpha_0 + \alpha_1 \times \widehat{MWD}_i + \alpha_2 \times INC_i + \alpha_3 \times OCCU_i + \epsilon_i \quad (7)$$

$$MWD = \beta_0 + \beta_1 \times PPF_i + \beta_2 \times AGE_i + \beta_3 \times AWT_i + \epsilon_i \quad (8)$$

〈표 4〉 선호주차요금 2SLS 분석결과

Variables	Coefficient	Standard error	T-ratio	p-value
Constant	627,920	193,949	3,238	0.001
MWD	-1.153	0.136	-8.470	0.000
INC	5,860	0.353	16.578	0.000
OCCU	614,521	65,591	9,369	0.000
R ² =0.812, Adjusted R ² =0.809				

〈표 5〉 주차장과 목적지 간 최대도보가능거리 2SLS 분석결과

Variables	Coefficient	Standard error	T-ratio	p-value
Constant	1176,812	79,541	14,795	0.000
PPF	-0.219	0.022	-9.756	0.000
AGE	-7.403	1,516	-4.882	0.004
AWT	35,575	4,896	7,266	0.000
R ² =0.527, Adjusted R ² =0.521				

2SLS를 통한 추정결과와 단일방정식에 대한 적정성 여부는 Adjusted R²값의 비교를 통해 판별하였다. Adjusted R²는 회귀선이 실제 관측치를 어느 정도 대표하여 그 적합성(goodness of fit)을 보여주고 있는가를 측정하는 계수로 이 값은 0~1사이 값을 가지며 값이 1에 가까울수록 회귀식이 자료를 잘 설명하는 것이며, 0에 가까울수록 모형의 설명력이 떨어짐을 의미한다. 선호주차요금의 경우 Adjusted R²값이 0.775에서 0.809로 설명력이 높아졌으며, 최대도보가능거리의 Adjusted R²값은 0.485에서 0.521로 향상되어 동시방정식의 결과

가 단일방정식의 결과에 비해 설명력이 높고 모형을 추정함에 있어서 보다 타당한 결과임을 확인할 수 있다.

선호주차요금에 대한 축약형 방정식(reduced form equation)은 다음과 같다. 축약형 방정식은 따로 추정된 두 개의 방정식을 함께 고려하기 위해 사용된 방정식이다.

$$PPF = \frac{\alpha_0 + \alpha_1 \beta_0}{1 - \alpha_1 \beta_1} + \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_1 \beta_1} \times INC_i + \frac{\alpha_3}{1 - \alpha_1 \beta_1} \times OCCU_i + \frac{\alpha_1 \beta_2}{1 - \alpha_1 \beta_1} \times AGE_i + \frac{\alpha_1 \beta_3}{1 - \alpha_1 \beta_1} \times AWT_i + \epsilon_i \quad (9)$$

$$PPF = \pi_0 + \pi_1 \times INC_i + \pi_2 \times OCCU_i + \pi_3 \times AGE_i + \pi_4 \times AWT_i + \epsilon_i \quad (10)$$

$$PPF = -969.610 + 7.833 \times INC_i + 821.387 \times OCCU_i + 11.375 \times AGE_i - 54.683 \times AWT_i \quad (11)$$

분석결과 선호주차요금 모형의 경우 수입이 많고, 경제활동 직군이며, 연령이 높고, 현재 주차장과 목적지 간의 이동시간이 짧을수록 지불하고자 하는 금액이 높은 것으로 나타났다.

주차장과 목적지 간 최대도보가능거리에 대한 축약형 방정식은 다음과 같다.

$$MWD = \frac{\beta_0 + \beta_1 \alpha_0}{1 - \alpha_1 \beta_1} + \frac{\beta_1 \alpha_2}{1 - \alpha_1 \beta_1} \times INC_i + \frac{\beta_1 \alpha_3}{1 - \alpha_1 \beta_1} \times OCCU_i + \frac{\beta_2}{1 - \alpha_1 \beta_1} \times AGE_i + \frac{\beta_3}{1 - \alpha_1 \beta_1} \times AWT_i + \epsilon_i \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
 MWD = & \pi_0 + \pi_1 \times INC_i \\
 & + \pi_2 \times OCCU_i \\
 & + \pi_3 \times AGE_i \\
 & + \pi_4 \times AWT_i + \epsilon_i
 \end{aligned}
 \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
 MWD = & 1389.157 - 1.715 \times INC_i \\
 & - 176.884 \times OCCU_i \\
 & - 9.891 \times AGE_i \\
 & + 47.551 \times AWT_i
 \end{aligned}
 \quad (14)$$

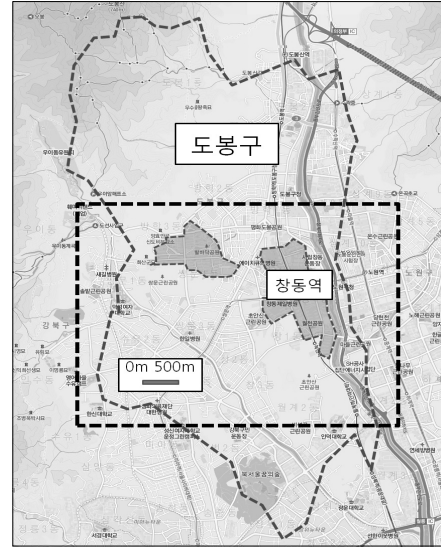
모형의 추정결과 최대도보가능거리는 소득이 적고 비경제활동 직군이며, 연령이 낮고 현재 주차장에서 목적지까지의 이동시간이 길수록 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

IV. 모형적용

1. 적용범위

본 연구 결과의 타당성을 검토하기 위해 설문 조사지역인 도봉구를 모형적용지역으로 설정하였으며, 국가통계포털을 통해 획득한 자료를 모형에 적용하였다.

도봉구는 2012년 7월 기준 인구가 36만 3,565명인 13만 8,263세대로 구성되어 서울시 인구의 약 3.55%가 거주 중이다. 행정동은 총 14동으로 구성되어 있으며, 총 면적 20.84km²로 서울시의 3.44%를 차지하고 있다. 주거지역이 8.7km²로 전체 면적의 41.8%를 차지하며, 상업지역은 0.28km², 공업지역은 1.47km²로 상업 및 공업지역이 차지하는 비중은 8.3%이고, 나머지는 녹지지역으로 구성되어 있다. 상업 및 공업적인 특성보다는 주거지역의 특성이 두드러지는 지역이다. 교통여건으로는 국철 1호선과 지하철 4호선이 지나고 있으며, 주요 도로로는 남북축으로 동부간선도로와 국도 3호선이 지나고 있다.



〈그림 2〉 모형적용지역

모형식을 기반으로 필요한 통계자료는 소득, 직업, 연령, 현재 주차장과 목적지 간 이동시간으로 총 4종류이며, 구축 가능한 통계자료로는 소득에 관한 설문조사자료와 서울시 직업구분자료, 구별 연령분포자료가 있고, 현재 주차장과 목적지까지의 이동시간은 설문결과의 평균값이다.

2. 집계예측(Aggregate Forecasting)

본 연구는 비집계된 자료를 다시 집계하는 방식인 집계예측을 사용하여 모형적용을 수행하였다. 추정모형은 개별적 선택에 의한 비집계형 모형으로 일반적으로 의사결정에 사용되는 모형은 집계모형이다. 따라서 비집계형 모형을 집계형 모형으로 전환할 필요가 있다.

집계예측방식(Aggregate Forecasting)은 크게 4가지로 구분되는데, 각각의 평균을 이용해 근사치를 추정하는 Average Individual 방식과 모집단의 분포의 속성을 통해 근사치를 구하는 Statistical Differentials 방식, 모집단 속성 분포의 대표값으로

근사치를 추정하는 Explication Integration 방식과 본 연구에서 사용한 Classification 방식이 있다. Classification 방식은 모집단을 동질의 소집단(subgroup)인 $N_1, N_2, \dots, N_G$ 크기의 집단(G: group)으로 나누며, 각각 소집단내에서 개별적인 평균에 대한 선택확률을 이용하는 방식이다(Ben-Akiva and Lerman, 1985).

$$W(i) \cong \sum_{g=1}^G \frac{N_g}{N_T} P(i|\widetilde{X}_g) \quad (15)$$

여기서,

$W(i)$: 근사치

N_g : 각 number의 그룹

N_T : 전체 number의 합

$g = 1, \dots, G$

본 연구에서는 Classification을 위해 소집단을 <표 6>과 같이 구분하였다.

<표 6> Classification 구분기준

구분	비집계변수
소득 (단위: 만원)	< 250
	≥ 250
직업 (서울시 기준)	경제활동인구
	비경제활동인구
연령 (단위: 세)	< 37
	≥ 37

구축된 자료는 비집계된 자료로 소득구분에 따라 250만원 미만과 250만원 이상, 서울시 경제활동인구와 비경제활동인구, 연령은 37세를 기준으로 그 미만과 이상으로 구분하여 2×2×2 개로 구성하여 총 8개의 그룹에 대한 값이 산출되었다. 총 8개로 비집계된 변수를 다음과 같이 그룹으로 설정하였으며 구분방식은 <표 7>과 같다.

<표 7> Group 설정기준

	소득 구분	직업 구분	연령 구분	지역 인구 수	가중치
G1	< 250	경제	< 37	69,042	0.19
G2	< 250	경제	≥ 37	67,988	0.19
G3	< 250	비경제	< 37	45,342	0.12
G4	< 250	비경제	≥ 37	44,650	0.12
G5	≥ 250	경제	< 37	42,137	0.12
G6	≥ 250	경제	≥ 37	41,494	0.11
G7	≥ 250	비경제	< 37	27,672	0.08
G8	≥ 250	비경제	≥ 37	27,250	0.07

단일방정식에 그룹별로 집계 예측하여 산출한 결과는 <표 8>과 같다.

<표 8> 단일방정식 모형적용결과

단일방정식	PPF	MWD
G1	162,206	154,193
G2	159,731	102,049
G3	315,636	101,263
G4	310,819	67,018
G5	186,906	94,105
G6	184,054	62,281
G7	250,368	61,801
G8	246,547	40,902
합계	1,816,268	683,612

선호주차요금은 1,816,268원/시간이며 최대도 보가능거리는 683,612m이다.

동시방정식을 적용한 분석결과는 <표 9>와 같다.

<표 9> 동시방정식 모형적용결과

동시방정식	PPF	MWD
G1	42,688	214,203
G2	111,849	150,228
G3	259,245	90,038
G4	301,136	48,796
G5	120,728	109,996
G6	161,492	71,268
G7	220,394	41,334
G8	245,012	16,372
합계	1,462,545	742,235

선호주차요금은 1,462,545원/시간이며, 이동거리는 742.235m이다.

분석결과 단일방정식을 이용하여 산출한 선호주차요금과 최대도보가능거리의 각각 1,816원/시간, 683.612m이며, 2단계 최소제곱 추정식을 통한 결과는 각각 1,462원/시간, 742.235m로 동시방정식의 선호주차요금은 약 353.724원/시간 낮게 추정되었으며, 58.622m의 거리를 더 걷고자 하는 것으로 분석되었다.

분석결과 주차요금과 위치 선정시 단일방정식을 통해 산출한 결과와 동시방정식을 통해 산출한 결과를 비교했을 때 단일방정식 모형을 적용할 경우 요금을 더 지불하고 보다 적게 도보로 이동하고자 하는 것으로 나타났다. 이처럼 단일방정식과 동시방정식의 결과는 차이가 발생하며, 실제로 주차장 설치시 선호주차요금과 최대도보가능거리를 동시에 고려하는 방정식을 사용하는 것이 보다 바람직할 것으로 사료된다.

동시방정식의 결과를 도봉구에 적용하여 최적주차장 위치를 설정하였다. 도봉구 창동역 주변으로 창1동에서 창5동까지 대규모 주거단지를 3개로 구분하였으며 각 주거단지를 기준으로 각각 742m씩으로 도보가능반경을 설정하였다. 세 주거단지를 기준으로 반경이 겹치는 지점을 최적주차 위치로 선정하였으며 결과적으로 창동역에서 약 500m 가량 떨어진 지점으로 선정되었다. 따라서 해당지점에 주차장을 설치하고, 주차요금을 본 연구결과인 시간당 1,460원가량으로 지정한다면 시민들의 선호가 반영된 주차장이 신설되는 것이므로 해당 주차시설의 수요가 발생할 것으로 예측된다. 본 모형적용은 통계치에 기반을 둔 자료로 실제로 주차장을 설치할 경우 해당지역의 주민들의 의견을 조사하여 추정된 동시방정식에 적용하면 선호주차요금과 최적위치를 설정할 수

있을 것이다.



〈그림 3〉 주차장 위치 선정 결과

V. 결론

본 연구는 주차난을 해소하고자 새로운 주차시설을 설치할 경우 위치선정과 요금산정에 영향을 미치는 변수를 선정하고, 주차장위치와 요금간의 상관관계를 고려한 동시방정식을 제공함으로써 주차장 설치시 이용자의 특성을 반영한 위치 및 요금을 추정하고 이에 대해 검증하였다.

이용자가 선호하는 주차요금으로 지불용의가 있다고 판단되는 금액은 이용자가 주차장에서 목적지까지 도보로 이동 가능한 최대거리와 이용자의 수입, 직업군에 의해 유의미한 결과가 도출되었다. 주차장에서 목적지까지 최대도보가능거리는 주차장 위치를 선정하는데 주요한 항목으로 이에 대한 변수는 선호주차요금과 이용자의 연령, 실제 주차장 이용시 목적지까지의 이동시간으로 설정되었으며 해당 변수들은 모두 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다.

주차요금과 도보로 이동하고자 하는 최대거리는 상호연관성이 높고 서로 영향을 미치기에 동시방정식을 이용해 관계식을 산출하였다. 분석결

과 단일방정식을 통해 추정된 결과에 비해 동시방정식의 설명력이 향상되었음을 확인할 수 있었다. 따라서 실제로 주차장을 건설하고 이에 대한 요금과 위치를 산정할 경우 이용자가 선호하는 요금설정과 위치선정을 별개로 분석할 것이 아니라, 이 둘을 함께 고려한 동시방정식을 통한 추정이 보다 바람직한 것으로 분석되며, 향후 주차장 위치 선정 및 요금설정에 있어서 본 연구가 이론적 바탕이 될 것을 기대해 본다.

그러나 본 연구의 배경은 서울시 도봉구로 해당 구의 설문데이터를 바탕으로 모형을 추정하였기에 이는 서울시 전체를 바탕으로 분석된 것이 아니라 일부 지역을 기준으로 수립된 모형으로 지역의 특수성을 나타낸다는 한계를 지니고 있다.

또한, 현재 서울시의 경우 주차장 부지를 찾기 힘든 실정이다. 실제로 주차장 설치시 위치선정은 조례에 의해 서울시장이 지정하는 방식이며 요금수준 또한 급지별 요금이 설정되어 있다. 따라서 현재는 본 연구에서 제시한 모형식과 같이 이용자의 소득, 직업, 연령, 주차장까지의 이동거리, 선호주차요금, 최대도보가능거리라는 변수를 기반으로 주차장을 설치하기에는 현실적인 어려움이 따를 것으로 판단된다. 그러나 이용자의 행태를 반영한 모형을 제시함으로써 향후 주차장 설치 및 요금수준 결정에 반영되기를 기대해 볼 수 있다. 나아가 최대도보가능거리를 기반으로 이용 가능한 거주인구에 따라 주차시설의 규모설정에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

주차시설은 이용자의 욕구 및 기대와 운영자의 이익이 적절한 합의점을 찾아 운영되어야 하는 교통시설로 향후 운영자와 이용자를 모두 고려한 주차요금설정과 위치선정에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강철희, 2007, “기부 및 자원봉사와 신뢰의 관계에 관한 연구: Simultaneous Equation Model을 이용한 분석”, 『한국사회복지학』, 59(3): 5~32.
- 김기혁 · 한민근, 2012, “구조방정식을 이용한 아파트 단지의 주차장 유형별 이용만족도에 관한 연구”, 『대한토목학회』, 32(3): 197~203.
- 김정희, 2009, “구조방정식모형(SEM)을 이용한 서울시 도로망과 사회·경제적 지표의 인과관계 변화분석”, 『대한지리학회지』, 44(6): 797~812.
- 안건혁 · 서준원 · 김애리, 2006, “공동주택단지 주차대수별 비용부담제도의 도입방안과 주차요금 산정방식에 관한 연구”, 『국토계획』, 41(5): 191~205.
- 오재학 · 박준식, 2009, “공동주택 주차장 설치기준”, 『대한토목학회』, 29(4): 451~457.
- 임주호, 2006, “도시철도 이용수요에 영향을 미치는 역세권 토지이용특성”, 서울대학교 박사학위논문.
- Abdelwahab, W. M., 1998, “Elasticities of Mode Choice Probabilities and Market Elasticities of Demand: Evidence from a Simultaneous Mode Choice Shipment Size Freight Transport Model”, *Transportation Research E*, 34(4): 257~266.
- Abu-Eisheh, S. A. and Mannering, F. L., 2002, “Forecasting Automobile Demand for Economies in Transition: A Dynamic Simultaneous Equation System Approach”, *Transportation Planning and Technology*, 25: 311~331.
- Basman, R. L., 1957, “A Generalized Classical Method of Linear Estimation of Coefficients in a Structural Equation”, *Econometrica*, 24: 77~3.
- Ben-Akiva, M. and Lerman, S. R., 1985, *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press.
- Cervero, R. and Hansen, M., 2002, “Induced Travel Demand and Induced Road Investment A Simultaneous Equation Analysis”, *Journal of Transport Economics and Policy*, 36(3): 469~490.
- Dueker, K. J., Zhongren, J., and Peng, Z., 1994, “A

- Simultaneous Route-level Transit Patronage Model", *Transportation Northwest*, 24: 159~181.
- Strathman, J. G. and Kimpel, T. J., 2003, *Headway Deviation Effects on Bus Passenger Loads: Analysis of Tri-Mets Archived AVL-APC Data*, Final Technical Report TNW2003-01 Research Project Agreement No. 922910, Task 6 Analysis of Transit Service Reliability.
- Theil, H., 1953, *Repeated Least Squares Applied to Complete Equation Systems*, The Hague: Central Planning Bureau.
- 원 고 접 수 일 : 2012년 9월 26일
1 차 심 사 완 료 일 : 2012년 10월 24일
2 차 심 사 완 료 일 : 2012년 12월 7일
최 종 원 고 채 택 일 : 2013년 1월 25일