국토연구 제64권 (2010. 3): pp167~183

수도권 화물자동차 통행분포를 위한 도착지선택모형 : 집계중력모형과 실증비교

Destination Choice Modeling for Freight Trip Distribution in Seoul Metropolitan

김한수 서울시립대학교 교통공학과 박사수료(제1저자)
Kim Hansoo Ph.D. Candidate, Dept. of Transportation Engineering, Univ. of Seoul(Primary Author)
(hansman@uos.ac.kr)

박동주 서울시립대학교 교통공학과 교수
Park Dongjoo Professor, Dept. of Transportation Engineering, Univ. of Seoul
(djpark@uos.ac.kr)

김찬성 한국교통연구원 국가교통DB센터 연구위원
Kim Chansung Research Fellow, Center for Transport Database, The Korea Transport Institute
(cskim@koti.re.kr)

이강대 연세대학교 패키징학과 조교수(교신저자)
Lee Kangdae Assistant Professor, Dept. of Packaging, Yonsei Univ. (Corresponding author)
(pimeson@yonsei.ac.kr)

김경수 서울시립대학교 교통공학과 석사과정
Kim Kyungsoo Master Student, Dept. of Transportation Engineering, Univ. of Seoul
(magudae@hanmail.net)

목 차

I. 서론

II. 기존 연구 및 이론 고찰
1. 기존 연구 고찰
2. 통행분포모형의 이론 고찰

III. 연구자료
1. 화물자동차 통행자료
2. 사회경제적 특성 및 토지이용 특성 자료

IV. 모형정산과 비교
1. 모형정산
2. 모형비교

V. 결론

※ 본 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.20090089086)이며, 제62회 대한교통학회 학술발표회(2010. 2. 20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것임.

www.kci.go.kr

I. 서론

전통적 4단계 교통수요추정 접근방법의 두 번째 단계인 통행분포는 출발지와 목적지 교통존 간의 교차통행량을 추정하는 단계다. 통행분포모형은 대부분 집계모형으로 성장인자모형, 간섭기회모형, 중력모형, 엔트로피 극대화 모형 등이 있으며, 분석목적과 주어진 분석환경에 따라 적합한 모형을 적용하고 있다. 이 중 중력모형은 교통망 변화에 따른 통행패턴의 변화를 반영할 수 있기 때문에 타 모형에 비해 널리 사용되어 왔다. 그러나 중력모형은 교통존의 통행발생량과 통행유인량, 존 간 통행비용의 영향만 고려할 뿐, 실제 통행의 의사결정자가 도착지를 선택하는데 고려하는 다른 설명변수를 반영하는 데 한계가 있다. 이러한 한계로 인해 단거리 통행은 과대 추정, 장거리 통행은 과소 추정하는 경향이 있는 것으로 보고되고 있다(노정현 외. 2005; Chow et al. 2005).

일찍이 다항로짓모형을 이용한 비집계 모형(disaggregate model)이 이러한 한계를 극복하는 방안으로 의사결정자의 도착지 선택을 모형화하는데 적용되었으며, 이를 도착지선택모형(destination choice model)이라 한다(McFadden. 1979; Daly. 1979). 그러나 도착지선택모형이 실제 교통수요추정에 활용되기 시작한 것은 최근 10년 내의 일이다(TRB. 2007). 도착지선택모형에 대한 대표적인 적용사례인 Zhao et al.(2004)은 미국 플로리다주 3개 도시를 대상으로 여객통행분포를 위해 중력모형, 간섭기회모형, 도착지선택모형을 구축하고, 이들 모형 간 비교를 통해 도착지선택모형이 효과적임을 제시하였다. 이 연구에서 조사한 바로는 미국 16개 대도시 중 5개 도시에서 중력모형과 함께 적용하거나 단독 적용하고 있는 것으로 나타났다. TRB(2007)는 대도시권 교통수요 추정의 현재와 미래방향에 대해 논하면서 도착지선택모형이 11개 도시로 확대 적용되고 있음과 함께 중력모형 대신 도착지선택모형을 적용할 것을 제안하고 있다.

이와 같이 도착지선택모형이 중력모형을 대체할 수 있는 방법론으로 주목을 받는 이유는 다음과 같다. 첫째, 도착지선택모형은 중력모형의 유연한 확장이기 때문에 이해하기 쉽다. 유출제약 중력모형을 변환하면 도착지 유인력(attractiveness)과 통행비용(impedance)으로 구성된 도착지선택모형의 수식이 도출된다(Daly. 1982). 이와 같은 이유로 비집계 중력모형이라고도 한다(Bhat et al. 1998; Kim et al. 2009). 둘째, 효용기반모형으로 해석과 적용이 용이하다. 도착지선택은 도착지에 대한 의사결정자의 효용에 따라 결정된다. 따라서 효용에 영향을 미치는 유인력, 존 간 통행비용뿐만 아니라 사회경제적 특성, 토지이용 특성, 지리적 특성 등으로 모형을 구축하고, 이들 설명변수에 의한 영향을 분석할 수 있다. 다양한 설명변수에 의한 영향분석은 정책적 활용을 용이하게 한다(Bhat et al. 1998; Kitamura et al. 1998).

도착지선택모형이 집계중력모형에 비해 갖는 이러한 장점에도 불구하고, 최근에야 실제 교통수요 추정에 적용되기 시작했다. 그러면서 기존에 적용했던 집계중력모형과의 비교에 대한 관심이 증가하였다. 즉, 집계중력모형과의 모형 예측력 비교와 적용상의 한계를 파악하는 것이 필요하였다. 집계중력모형과의 비교연구는 여객통행 부문에서 Chow et al.(2005)은 출근통행을 대상으로, Kim et al.(2009)은 지하철 통행을 대상으로 비교결과를 제시하였다. 그러나 화물통행을 대상으로 도착지선택모형을 적용한 선행연구들은 도착지선택모형을 구축하고, 설명변수에 의한 행태분석에 집중하였기 때문에 이러한 관심과는 거리가 멀었다

www.kci.go.kr

(Sivakumar and Bhat. 2002; 신승진 외. 2009).

본 연구는 수도권 화물자동차 통행분포모형으로서 도착지선택모형의 활용성 파악이 목적이다. 이를 위해 도착지선택모형을 구축하고, 집계중력모형과 모형 예측력을 비교한다. 이러한 결과로 화물자동차 통행분포모형으로서 도착지선택모형이 갖는 장점과 한계에 대해 논하고자 한다.

본 연구는 2장에서 기존 연구 및 이론에 대해 고찰하고, 3장에서 본 연구에서 이용한 화물자동차 통행자료와 사회경제적 특성, 토지이용 특성 자료에 대해 기술한다. 4장에서는 도착지선택모형과 집계중력모형을 적용하여 결과를 비교한다. 마지막으로 연구결과를 요약하고 향후 연구를 제시한다.

II. 기존 연구 및 이론 고찰

1. 기존 연구 고찰

집계중력모형에 비해 비집계 모형인 도착지선택모형이 갖는 장점은 도착지를 선택하는 데 영향을 주는 다양한 형태의 설명변수를 반영할 수 있는 것과 더불어 이들 설명변수로부터 도착지선택의 행태를 분석하는 것이 용이한 것이다. 여객통행 부문에서는 도착지선택모형이 통행분포에 적용되면서 통행

표 1_기존 도착지선택모형의 연구대상과 연구자료

구분		연구대상	자료수	존수	대안 개수	비선택대안 추출방법
여객분야	Bhat et al. (1998)	• 미국 Boston 대도시권 • 가정기반 출근통행, 쇼핑통행의 도착지선택	통근통행: 7,337건 쇼핑통행: 7,963건	986개	7개 (0.7%)	단순무작위 추출
	Pozsgay and Bhat (2001)	• 미국 Dallas-Fort Worth 대도시권 • 도시 여가통행의 도착지선택	777건	919개	10개 (1.1%)	단순무작위 추출
	Chow et al. (2005)	• 미국 플로리다 3개 도시 • 가정기반 출근통행의 도착지선택	Broward: 1,361건 Palm Beach: 1,297건 Volusia: 410건	미기재	10개	단순무작위 추출
	Li et al. (2005)	• 미국 플로리다 Broward시 • 가정기반 출근통행의 도착지선택	1,361건	893개	30개 (3.4%)	단순무작위 추출 층화중요비 추출
	Sivakumar and Bhat (2007)	• 독일 Karlsruhe시 • 비통근활동의 위치선택	903건	69개	10개 (14.5%)	단순무작위 추출
	Kim et al. (2009)	• 한국 수도권 지하철 통행의 도착지선택	4,000건 (계통추출)	200개	11개 (5.5%)	단순무작위 추출
화물분야	Sivakumar and Bhat (2002)	• 미국 텍사스주 • 농산물, 건자재, 음식료품 지역 간 화물분포	농산물: 124건 건자재: 268건 음식료품: 261건	273개	미기재	미기재
	신승진 외 (2009)	• 한국 전국 대상 화물자동차의 도착지선택	1만 9,192건	249개	10개 (4.0%)	단순무작위 추출

주: 대안 개수 괄호 안의 비율은 대안 개수/존수로 표본율을 의미함.

www.kci.go.kr

행태 분석에 많은 성과를 가져왔다. 여기서는 기존 연구에서 도착지선택모형을 어떤 연구대상에 적용하였으며, 연구자료를 어떻게 구성하였는지, 효용함수의 설명변수는 어떤 것을 적용하였는지 살펴본다.

우선 도착지선택모형의 연구대상과 연구자료를 살펴보면, 〈표 1〉과 같다. 여객통행 부문의 사례를 보면 대부분 대도시권 목적통행(출근통행, 쇼핑 및 여가통행 등)의 도착지선택에 적용한 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 지역 간 통행에 비해 대도시권 내 통행의 복잡도가 높기 때문이며, 통행행태 설명에 필요한 요인이 증가할수록 유연한 모형을 도입하여 현실설명력을 증대시키려 하기 때문이다.

도착지선택모형은 선택대안 집합(D) 중 하나의 도착지 i를 선택하는 구조로 되어 있다. 그러나 통행실태조사로부터 실제 통행자가 다수의 대안으로부터 하나의 도착지를 선택하는 것을 조사하기 어렵기 때문에, 조사된 개별통행의 도착지를 선택대

표 2_기존 도착지선택모형 연구에서 적용한 효용함수

구분		선택목적	시장분할	통행저항	규모측도	비규모측도와 지표변수
여객분야	Bhat et al. (1998)	출근통행 쇼핑통행	없음	일반화비용 (차내시간, 차외시간, 통행비용)	• 총종사자수 • 소매업과 서비스업 종사자수 • 토지면적	• 존별 위치지표 • 존별 공간구조 측도 • 성별, 연령, 소득
	Pozsgay and Bhat (2001)	여가통행	없음	일반화비용 (차내시간, 차외시간, 통행비용)	• 소매지역과 비소매지역 면적	• 수면적 비율 • 연령, 보유차량수 • 가정 내 5~21세 존재 여부 • 저소득가구 여부 • 독자참여 여부 • 존별 공간구조 측도
	Chow et al. (2005)	출근통행	소득수준 구분 (저, 중, 고)	승용차 통행시간	• 저소득층: 소매업과 서비스업 종사자수 • 중소득층: 상공업과 정부 종사자수 • 고소득층: 전문직 종사자수	• 고속도로 횡단 여부 • 중심상업지역 여부
	Li et al. (2005)	출근통행	소득수준 구분 (저, 중, 고)	승용차 통행시간	• 저소득층: 소매업, 서비스업 종사자수 • 중소득층: 상공업, 정부 종사자수 • 고소득층: 전문직 종사자수	• 고속도로 횡단 여부 • 중심상업지역 여부
	Sivakumar and Bhat (2007)	비통근활동	없음	가정 간 거리 직장 간 거리 학교 간 거리	• 토지면적, 쇼핑기회수, 여가활동기회수 • 복합용도개발 토지면적	• 인구밀도, 탁아소 존재여부 • 중심상업지역 여부
	Kim et al. (2009)	지하철통행	없음	차내시간 차외시간	• 존별 도착량	• 접근성
화물분야	Sivakumar and Bhat (2002)	화물통행	화물품목 구분 (농산물, 건자재, 음식료품)	도로거리 철도거리	• 농어업/농장 종사자수, 건설업 종사자수, 인구, 면적, 시설수	• 고용률, 인구밀도, 시설밀도
	신승진 외 (2009)	화물차통행	차종별, 업종별 구분	통행거리	• 인구	인구밀도, 체류시간, TOD

www.kci.go.kr

안으로 설정하고, 나머지 비선택대안을 구성하는 것이 필요하다. 선택대안 집합의 비선택대안은 선택 가능한 모든 도착지를 대상으로 할 수 있으나, 요구되는 자료와 연산량이 증가하는 단점이 있어 표본추출방법을 적용한다. 비선택대안은 선택대안을 제외한 $n-1$개를 표본추출하여 구성한다. 일반적으로 선택대안을 제외한 다른 존에서 비복원추출(sampling without replacement)하며, 단순무작위 추출(simple random sampling)과 층화중요비추출(stratified importance sampling) 등의 표본추출방법을 적용할 수 있다.

선택대안 개수(n)는 전체 존수의 0.7~14.5%로 연구목적이나 요구되는 정밀도에 따라 다르게 적용하고 있다. Nerella and Bhat(2004)는 전체대안 개수와 선택대안 개수에 따른 효과를 분석한 결과를 제시하고 있으므로 선택대안 개수를 선정할 때 참고할 수 있다.

도착지선택모형을 구축하기 위해 고려해야 할 사항은 시장분할과 효용함수의 설명변수 선정이다. 시장분할은 연구목적에 따라 필요할 수 있으며, 통계적 검정을 통해 시장분할 여부를 결정할 수 있다. 그러나 기존 연구에서는 통계적 검증결과를 제시하고 있지는 않다. 〈표 2〉의 기존 연구를 살펴보면, 여객통행에서는 소득수준에 따른 구분, 화물통행에서는 화물품목, 화물자동차 차종(적재용량), 화물자동차 업종(영업용, 비영업용)에 따른 구분이 적용되었다.

효용함수의 변수는 특성에 따라 존 간 통행저항변수(impedance variables), 존별 규모측도(zonal size measures), 존별 비규모측도(zonal non-size measures), 지표변수(indicator variables)로 구분할 수 있다. 존 간 통행저항은 통행시간, 통행거리 또는 이들의 일반화비용으로 표현할 수 있다. 통근, 쇼핑과 같은 목적통행의 도착지선택에 적용할 때는 다수의 교통수단을 이용할 수 있는 것을 감안하여 복합통행비용(composite impedance)으로 표현할 수 있다(Bhat et al. 1998). 존별 규모측도는 존 내의 개별적인 도착지의 수를 표현하는 것으로 하나 이상의 규모변수(size variables)로 표현할 수 있다. 종사자수, 면적은 도착지 각 존의 규모를 표현할 수 있는 변수다. 존별 비규모측도는 각종 밀도뿐만 아니라 도착지의 사회경제적 특성을 표현할 수 있다. 마지막으로 지표변수는 도착지의 특성(중심상업지역 여부 등)을 표시할 수 있는 지표, 출발지와 도착지 간의 관계(고속도로 횡단여부 등)를 표시할 수 있는 지표들로 구성할 수 있다. 이와 같이 연구목적과 대상에 따라 다양한 설명변수를 반영하여 효용함수를 구성할 수 있는 것이 집계중력모형에 대한 도착지선택모형의 장점이다.

화물통행 부문의 선행연구인 Sivakumar and Bhat(2002)는 화물자동차가 아닌 화물을 대상으로 도착지선택모형을 적용하여 본 연구의 연구대상과 차이가 있으며, 신승진 외(2009)는 화물자동차를 대상으로 도착지선택모형을 적용하였다 하더라도, 도착지선택 행태분석에 치중하여 모형의 예측력을 평가하지는 않았다. 또한 공간분포에 주로 영향을 끼치는 공간설명변수보다는 출발시간, 물류활동시간 등의 시간설명변수를 적용하였기 때문에 통행기반의 통행분포모형으로 적용하여 교통수요를 추정하는 데 적합하지 않다. 본 연구는 교통수요추정을 위해 화물자동차 통행기반의 통행분포모형으로서 도착지선택모형을 구축하고, 집계중력모형과 비교한 결과를 제시하는 연구를 수행하고자 한다. 그 결과로 화물자동차 통행분포로서 도착지선택모형의 모형예측력과 한계를 파악한다는 데 의의가 있다.

www.kci.go.kr

2. 통행분포모형의 이론 고찰

1) 중력모형

중력모형은 통행자의 집합적인 행태를 물리학에서 다루는 뉴턴의 중력법칙에 이론적 근거를 두고 있으며, 각 존 간 교차통행량은 해당 존의 통행유출량과 유입량 그리고 존 간 통행비용에 영향을 받는다는 가정을 바탕으로 한다.

중력모형은 통행량 제약유형에 따라 무제약, 단편제약, 양편제약으로 구분할 수 있으며, 단편제약 중 유출제약 중력모형은 존별 통행유출량 제약을 만족시키는 것으로 〈식 1〉과 같다(노정현. 1999; 윤대식. 2001; Ortúzar and Willumsen. 2001).

$$T_{ij} = A_i \cdot O_i \cdot B_j \cdot D_j \cdot f(c_{ij}) \quad \langle 식\ 1 \rangle$$
$$\text{st. } O_i = \sum_j T_{ij}$$

여기서, T_{ij} : 존 i, j 간의 통행량
O_i : 존 i의 통행유출량
D_j : 존 j의 통행유입량
c_{ij} : 존 i, j 간의 일반화비용
A_i, B_j : 존별 균형인자, B_j = 1.0

유출제약 중력모형의 〈식 1〉을 제약식에 대입하여 정리하면 〈식 2〉와 같이 정리할 수 있다.

$$T_{ij} = O_i \frac{D_j \cdot f(c_{ij})}{\sum_j D_j \cdot f(c_{ij})} \quad \langle 식\ 2 \rangle$$

여기서, D_j, $f(c_{ij})$를 $\exp(\beta_1 A_j)$, $\exp(\beta_2 c_{ij})$으로 치환하면 〈식 3〉과 같이 정리되어 도착지 유인력과 통행비용으로 구성된 도착지선택모형의 수식으로 변환된다(Daly. 1982).

$$T_{ij} = O_i \frac{\exp(\beta_1 A_j + \beta_2 c_{ij})}{\sum_j \exp(\beta_1 A_j + \beta_2 c_{ij})} \quad \langle 식\ 3 \rangle$$

2) 도착지선택모형

도착지선택모형은 이산선택모형으로 효용극대화 원리에 이론적 근거를 두고 있으며, 개별 통행자의 도착지선택은 도착지의 유인력, 통행조건, 개인특성에 의해 영향을 받는다는 가정을 바탕으로 한다. 개별 통행자의 실제적인 도착지를 개별대안(elemental alternatives)이라 하면 너무 많은 대안으로 인해 대안집합 구성의 어려움, 모형 추정의 계산적인 부담이 존재한다. 이로 인한 문제를 극복하기 위해 여러 개별대안들을 포함하는 집계대안(aggregate alternatives)의 개념을 도입하였다.

개별대안은 어느 한 집계대안에만 포함되어야 하므로 집계대안을 교통존으로 설정할 수 있다. 도착지선택모형은 이러한 집계대안을 기초로 모형을 정산하고 적용한다. 또한 집계대안 모두를 선택대안 집합으로 설정하는 것이 아니라 전체 집계대안에서 선택대안 집합을 표본추출하여 분석한다[1].

의사결정자 n이 선택대안 집합 D에서 도착지 i를 선택할 확률을 $\pi_n(i|D)$라 하면, 이 확률은 조건부 확률로 〈식 4〉에 의해 추정할 수 있다. $\pi_n(D|i)$는 전체 도착지 중 선택대안 집합 D를 추출할 확률로 단순무작위추출에 기초할 경우 〈식 4〉의 $\pi_n(D|i)$는 제거된다[2].

본 연구에서는 선택대안 집합의 대안수를 5개

1) 이와 같은 기본적인 개념과 수식 전개과정은 Ben-Akiva and Lerman. 1985. pp253-275를 참고.

2) 도착지선택모형에서 선택대안 집합의 표본추출방법도 중요한 이슈 중 하나임. 단순무작위추출일 경우 선택확률이 같아 제거되지만, 층화중요비추출일 경우 선택확률이 다르기 때문에 중요한 부분임. 선택대안 표본추출과 관련해서는 Ben-Akiva and Lerman(1985), Nerella and Bhat(2004), Li et al.(2005)를 참고.

www.kci.go.kr

로 하며, 비선택대안 4개를 단순무작위추출에 의해 추출하여 구성하였다.

$$\pi_n(i|D) = \frac{\exp\left\{\sum_{k=1}^{K'} \beta_k x_{ink} + \mu' \ln M_i + \ln \pi_n(D|i)\right\}}{\sum_{j=1}^{J} \exp\left\{\sum_{k=1}^{K'} \beta_k x_{jnk} + \mu' \ln M_j + \ln \pi_n(D|j)\right\}}$$

$$i = 1, \ldots, J \qquad \langle 식\ 4 \rangle$$

여기서, $\pi_n(i|D)$: 의사결정자 n이 선택대안 집합(D)에서 집계대안 i를 선택할 확률

β_k: k번째 요인(attribute)의 계수(coefficient)

x_{ink}: 의사결정자 n의 집계대안 i에 대한 k번째 요인의 값(value)

M_i: 집계대안 i의 규모측도(개별대안의 수)

μ': 규모측도의 계수

D: 의사결정자 n의 도착지 선택대안 집합

K': 설명변수의 총 수

J: 대상지역 전체의 집계대안의 수

III. 연구자료

1. 화물자동차 통행자료

본 연구에서는 2005년 한국교통연구원에서 국가교통DB 구축을 위해 수행한 화물자동차 통행실태 조사자료를 이용하였다(한국교통연구원, 2006). 이 조사에서는 전국 시군구 단위의 행정구역을 교통존(248개)으로 설정하였다.

본 연구의 공간적 범위는 〈그림 1〉과 같이 수도권(79개)[3]을 대상으로 한다. 화물자동차 차종에 따른 도착지선택 행태를 분석하기 위해 적재톤수에 따라 구분하였으며, 이들 자료의 차종별 통행자료[4]는 〈표 3〉과 같다. 존 간 통행저항은 2005년 기준 교통네트워크의 존 간 도로통행거리를 이용하였다. 조사된 통행시간과 통행거리를 이용하여

그림 1 _ 수도권의 교통존과 주요 도로망

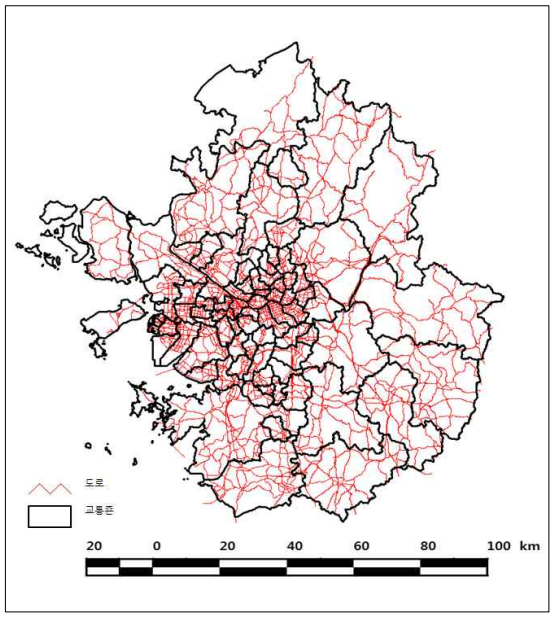


표 3 _ 수도권 화물자동차 차종별 통행자료

차종	전체통행(건)	평균적재량(톤)	평균거리(km)	평균시간(분)
소형	3,490	0.3	23.1	57.6
중소형	1,424	0.8	25.1	60.8
중형	594	1.9	27.8	65.0
대형	226	4.3	29.3	78.1
합계	5,734	0.8	24.4	60.0

3) 수도권은 서울(25개), 인천(10개), 경기(44개)의 행정구역으로 구성된 대도시권임.

4) 화물자동차 적재톤수에 따라 소형(1톤 이하), 중소형(1톤 초과~3톤 이하), 중형(3톤 초과~8톤 미만), 대형(8톤 이상)으로 구분함.

www.kci.go.kr

모형추정을 하면 모형 적합도가 낮게 나타나는데, 이는 조사된 자료의 편차가 크기 때문이다.

2. 사회경제적 특성 및 토지이용 특성 자료

1) 사회경제적 특성 자료

집계존의 개별도착지수를 의미하는 규모측도를 위해 〈표 4〉와 같이 인구, 가구수, 산업별 기업체수(제조업, 도소매업), 산업별 종사자수(제조업, 도소매업)를 구축하였다. 산업별 종사자수는 통계청 조사자료를 이용하였으며, 한국표준산업분류에 규정된 산업대분류(2005년 기준) 중 다음 분류를 적용하였다.

- 제조업: C.광업 10~12, D.제조업 15~37
- 도소매업: G.도매 및 소매업 50~52

이들 자료의 상관관계를 분석한 결과는 〈표 5〉와 같으며, 인구와 가구수(0.992), 제조업 기업체수와 종사자수(0.830), 도소매업 기업체수와 종사자수(0.871)가 높은 선형 상관관계를 갖고 있었다. 따라서 선형 상관관계가 낮은 인구, 제조업 종사자수, 도소매업 종사자수를 설명변수로 선정하여 분석하였다.

그 후 이들 변수 하나로만 구성된 도착지선택모형과 이들 변수와 통행거리로 구성된 도착지선택모형을 구축하여 모형적합도를 평가하고, 그 결과 인구를 설명변수로 적용한 모형은 모형적합도가

표 4_사회경제적 특성 설명변수의 요약통계

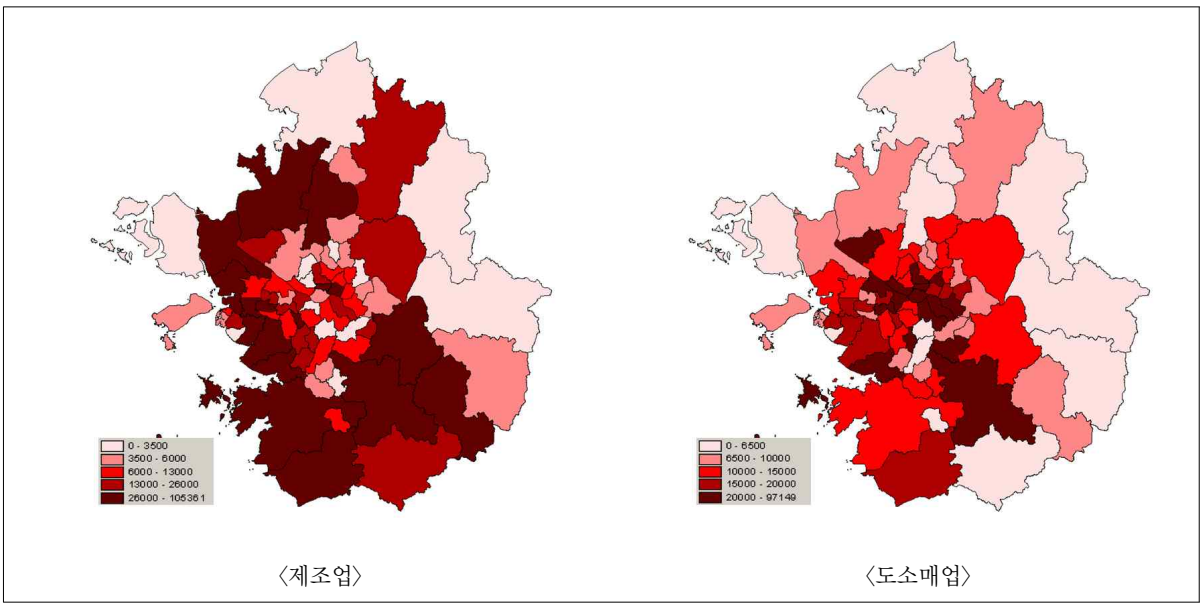
설명변수		평균	표준편차	최소값	최대값
인구(인)		288,188	140,500	12,271	1,044,110
가구수(가구)		95,329	47,203	5,068	346,371
기업체수(개)	제조업	850	940	4	3,893
	도소매업	4,819	4,602	183	35,409
종사자수(인)	제조업	17,065	20,900	43	105,361
	도소매업	15,601	16,336	333	97,149

표 5_사회경제적 특성 설명변수 간의 상관계수

구분		인구	가구수	기업체수		종사자수	
				제조업	도소매업	제조업	도소매업
인구		1.000	–	–	–	–	–
가구수		0.992	1.000	–	–	–	–
기업체수	제조업	0.095	0.089	1.000	–	–	–
	도소매업	0.273	0.307	0.362	1.000	–	–
종사자수	제조업	0.086	0.071	0.830	0.113	1.000	–
	도소매업	0.366	0.409	0.225	0.871	0.054	1.000

www.kci.go.kr

그림 2_교통존별 종사자수 분포



〈제조업〉 〈도소매업〉

낮아 최종적으로 제조업 종사자수와 도소매업 종사자수를 설명변수로 선정하였다.

또한 수도권 제조업과 도소매업 종사자수의 공간적 분포를 살펴본 결과 〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 제조업은 서울보다 인천, 경기 남부지역에 집중되어 있고, 도소매업은 서울에 집중되어 있었다. 이와 같이 공간적 분포가 다른 변수를 전체 종사자수(제조업과 도소매업의 합) 하나로 설명하는 것보다 제조업과 도소매업 종사자를 구분하여 적용하는 것이 도착지선택에 효과적일 것으로 판단하였다.

존별 규모측도를 하나의 변수로 대표하는 것은 한 변수에 의해서만 존 규모를 설명하는 것이며, 여러 개의 변수로 대표하는 것은 여러 변수에 의해 존 규모를 설명하는 것이기에 존 규모를 설명하는 데 효과적이며, 다수의 연구에서 이와 같은 방법을 적용하고 있다. 효용함수 내 규모측도인 $\mu' \ln M_i$가 〈식 5〉와 같이 여러 규모변수로 표현될 경우, 비선형 효용함수[5]로 구성된 다항로짓모형의 형태를 갖는다(Bhat et al. 1998; Pozsgay and Bhat. 2001; Sivakumar and Bhat. 2002, 2007; Chow et al. 2005; Li et al. 2005).

$$\mu' \ln M_i = \mu' \ln \left(\sum_{k=K'+1}^{K} \beta_k x_{ink} \right) \quad i = 1, \ldots, J \qquad \text{〈식 5〉}$$

2) 토지이용 특성

기존 연구에서 토지이용 특성을 반영하기 위해 효용함수에 적용한 설명변수는 중심상업지역 여부, 수면적 비율 등이다. 본 연구에서는 화물자동차의 도착지선택에 영향을 줄 수 있는 설명변수로 국가산업단지 존재 여부를 선정하였으며, 〈표 6〉과 같이 대규모 국가산업단지만 반영하였다.

5) 비선형 효용함수를 포함한 선택모형에 대해서는 Koppelman(1981), Daly(1982)를 참고.

www.kci.go.kr

표 6_ 수도권의 국가산업단지

단지명	위치	고용인원(명)	생산액(억 원)
한국수출산업 (서울디지털)	서울 구로구	107,113	42,474
남동 국가산업단지	인천 남동구	71,949	114,799
한국수출산업 국가산업단지	인천 서구 인천 부평구	21,528	32,932
반월특수지역 (반월지구)	경기 안산시 단원구	95,025	175,994
반월특수지역 (시화지구)	경기 시흥시	90,280	169,260

자료: 한국산업단지공단 홈페이지(www.kicox.or.kr)

IV. 모형정산과 비교

1. 모형정산

1) 중력모형

본 연구에서는 〈식 6〉과 같이 음지수함수의 통행저항함수로 구성된 이중제약 중력모형을 적용하였다. 중력모형의 통행저항계수는 Wilson(1970)의 반복평형법을 이용하여 산출하였다.

$$T_{ij} = A_i \cdot O_i \cdot B_j \cdot D_j \cdot \exp(-\beta \cdot c_{ij}) \quad \langle 식\ 6 \rangle$$

$$\text{st. } O_i = \sum_j T_{ij},\ D_j = \sum_i T_{ij}$$

여기서, T_{ij}: 존 i, j 간의 통행량
O_i: 존 i의 통행유출량
D_j: 존 j의 통행유입량
c_{ij}: 존 i, j 간의 일반화비용
A_i, B_j: 제약모형의 존별 균형인자
β: 통행저항계수

전체 화물자동차와 화물자동차 차종별 구분에 의해 산출된 결과는 〈표 7〉과 같다. 전체 화물자동차는 0.0449이며, 소형(0.0462)보다 대형(0.0334)의 통행저항계수가 적게 나왔다. 이는 소형 화물자동차는 상대적으로 단거리, 대형 화물자동차는 장거리 통행행태를 보이는 것을 의미한다.

기존 연구는 전국 고속도로 이용차량을 대상으로 추정하여 원제무 외(2001)는 1~4종이 0.019486~0.013040, 노정현 외(2005)는 1~5종이 0.0343~0.01987로 본 연구에서 추정한 통행저항계수가 상대적으로 높았다. 이는 기존 연구가 전국 대상의 통행으로 장거리 통행이 많은 반면, 본 연구는 수도권 대상의 통행으로 중단거리 통행이 많기 때문이다.

표 7_ 중력모형의 통행저항계수

구분	통행저항계수
전체	0.0449
소형	0.0462
중소형	0.0455
중형	0.0364
대형	0.0334

2) 도착지선택모형

도착지선택모형의 효용함수에 포함할 규모측도로 종사자수를 선정하였으나, 제조업 종사자수와 도소매업 종사자수의 공간분포 차이를 반영하기 위해 모형을 구분하여 구축하였다. 모형 1은 〈식 7〉과 같이 총 종사자수로 구성하고, 모형 2는 〈식 8〉과 같이 제조업과 도소매업 종사자수로 구분하여

www.kci.go.kr

구성하였다. 모형 1은 선형 효용함수이지만, 모형 2는 비선형 효용함수이다.

$$V_1 = \beta_1 \cdot DIST + \beta_2 \cdot \ln(EMP) \quad \langle 식\ 7 \rangle$$

$$V_2 = \beta_1 \cdot DIST + \beta_2 \cdot \ln(\beta_3 \cdot MEMP + SEMP) + \beta_4 \cdot IndEstFlag \quad \langle 식\ 8 \rangle$$

여기서, *DIST*: 통행거리
EMP: 총종사자수(=*MEMP*+*SEMP*)
MEMP: 제조업 종사자수
SEMP: 도소매업 종사자수
IndEstFlag: 1-산업단지, 0-아님

도착지선택모형은 〈식 9〉와 같이 일반적인 다항로짓모형의 로그우도함수를 이용하여 추정한다. 〈식 9〉의 y_{in}은 의사결정자 n의 대안 i 선택여부(1: 선택, 0: 비선택)이며, $\pi_n(i|D)$는 의사결정자 n이 선택대안 집합(D)에서 집계대안 i를 선택할 확률이다. 비선형 효용함수가 포함된 다항로짓모형의 계수값을 추정하기 위해 SYSTAT 버전 11의 비선형모형(nonlinear model)을 이용하였다[6].

$$L = \sum_{n=1}^{N} \sum_{i \in C_n} y_{in} \cdot \pi_n(i|D) \quad \langle 식\ 9 \rangle$$

모형추정 결과는 〈표 8, 9〉와 같다. 도착지선택모형의 모형 적합도는 $\rho^2 = 1 - L(\hat{\beta})/L(0)$에 의해 산출한다. 모형 1의 모형 적합도는 0.180~0.242, 모형 2는 0.237~0.307로 모형 1에 비해 모형 2가 적합도 측면에서 우수한 것을 알 수 있다. 이는 규모측도를 총종사자수로 모형을 추정하는 것보다 제조업과 도소매업 종사자수로 구분하여 모형을 추정하는 것이 효과적임을 의미한다. 또한 제조업과 도소매업 종사자수의 공간분포에 차이가 있을 때 이를 반영하는 것이 필요함을 의미

표 8 _ 도착지선택모형 1의 추정결과

구분	전체		소형		중소형		중형		대형	
	계수	t값	계수	t값	계수	t값	계수	t값	계수	t값
통행거리(β_1)	-0.0408	-39.75	-0.0404	-29.84	-0.0424	-20.68	-0.0308	-11.05	-0.0335	-7.44
존 규모측도(β_2)	0.8577	36.71	0.8041	27.10	0.8167	17.59	0.9064	12.90	0.6056	5.75
총종사자수	1.0000[a]	-[b]	1.0000[a]	-	1.0000[a]	-	1.0000[a]	-	1.0000[a]	-
관측치수	5,734		3,490		1,424		594		226	
$L(\hat{\beta})$	-7020.31		-4377.82		-1739.44		-724.47		-298.18	
$L(0)$	-9228.52		-5616.94		-2291.84		-956.01		-363.73	
ρ^2	0.239		0.221		0.241		0.242		0.180	

주: a. 해당 변수의 계수값은 1로 고정됨을 의미함.
b. 모든 줄표의 t값은 해당사항 없음을 의미함.
모든 계수는 유의수준 0.01에서 유의함.

6) 효용함수가 선형이거나 선형변환이 가능한 비선형 효용함수의 경우 범용 통계패키지(LIMDEP, SAS 등)의 다항로짓 분석모듈에서 손쉽게 추정하는 것이 가능하지만, 규모측도를 나타내는 변수가 2개 이상인 비선형 효용함수인 경우 선형변환이 어렵기 때문에 직접 log likelihood 함수를 구축하여 비선형분석을 이용하여 추정하는 것이 필요함. 기존 연구는 GAUSS와 같은 행렬 프로그램 언어(Bhat et al. 1998; Pozsgay and Bhat. 2001; Sivakumar and Bhat. 2007), LIMDEP 등의 범용 통계패키지(Li et al., 2005; Chow et al. 2005)를 이용하였으며, 본 연구에서는 범용 통계패키지인 SYSTAT을 이용하였음.

www.kci.go.kr

표 9 _ 도착지선택모형 2의 추정결과

구분	전체		소형		중소형		중형		대형	
	계수	t값	계수	t값	계수	t값	계수	t값	계수	t값
통행거리(β_1)	−0.0424	−40.27	−0.0421	−30.27	−0.0441	−20.96	−0.0285	−10.08	−0.0326	−7.04
존 규모측도(β_2)	0.6156	24.00	0.6115	18.79	0.5573	11.26	0.4835	8.35	0.3056	3.28
제조업종사자수(β_3)	3.2503	6.91	2.0160	6.04	6.6623	2.39[c]	1.0000[a]	−	1.0000[a]	−
도소매업종사자수	1.0000[a]	−[b]	1.0000[a]	−	1.0000[a]	−	−	−	−	−
산업단지여부(β_4)	0.6405	12.88	0.6379	10.12	0.6428	6.45	1.0061	6.66	1.2108	4.78
관측치수	5,734		3,490		1,424		594		226	
$L(\hat{\beta})$	−6816.01		−4287.89		−1670.66		−662.47		−270.26	
$L(0)$	−9228.52		−5616.94		−2291.84		−956.01		−363.73	
ρ^2	0.261		0.237		0.271		0.307		0.257	

주: a. 해당 변수의 계수값은 1로 고정됨을 의미함.
b. 모든 줄표의 t값은 해당사항 없음을 의미함.
c. 유의수준 0.05에서 유의함, 나머지 계수는 모두 유의수준 0.01에서 유의함.

하기도 한다.

다항로짓모형의 모형추정 결과는 계수의 부호와 t값으로 논리적인지 여부와 통계적 유의성을 판단하고 있다. 모형 1과 모형 2 모두 t값이 2보다 커서 통계적 유의성을 확보했다고 볼 수 있다. 또한 통행거리, 존 규모측도, 국가산업단지 여부에 대한 부호도 상식적인 방향과 일치하여 분석결과가 논리적이라고 판단된다. 각 계수의 부호를 살펴보면, 통행거리는 음(−)의 부호로 통행거리가 짧은 도착지가 선호되는 행태를 보이며, 존 규모측도와 국가산업단지 여부는 모두 양(+)의 부호로 나타나 존 규모측도가 클수록, 국가산업단지이면 도착지로 선호되는 행태를 보인다고 판단된다.

모형추정 결과에서 주목할 점은 화물자동차의 도착지를 선택함에 있어 도소매업 종사자수에 비해 제조업 종사자수의 비중이 높은 것을 알 수 있다. 화물자동차 전체에서는 3.2503배, 소형 2.0160배, 중소형 6.6623배 더 비중이 큰 것을 의미한다. 또한 중형과 대형은 제조업 종사자수만으로 추정하는 것이 모형적합도와 계수의 유의성을 만족하는 것으로 나타났다. 이와 같이 화물자동차 도착지를 선택하는 데 있어 도소매업 종사자수에 비해 제조업 종사자수의 비중이 높은 이유는 두 가지 측면에서 설명할 수 있다. 첫째, 본 연구의 교통존이 시군구 기준이기 때문이다. 시군구 기준 교통존 간의 통행은 배송통행(delivery trip)보다 본선통행(main haul trip)의 성격이 강하다. 도소매업은 인근 생활권 내로의 화물배송이 요구되고, 시군구 단위로 볼 때 존 내 통행이 상대적으로 많기 때문이다. 둘째, 도소매업 종사자수 중 소매업 종사자수(159만 8,922명)가 도매업 종사자수(84만 8,961명)에 비해 비중이 크며, 상대적으로 분산이 작기 때문이다. 즉, 소매업 종사자수는 시군구 기준의 화물자동차 도착지를 선택하는데 유인력이 작은 것으로 해석할 수 있다.

통행거리의 계수값은 통행거리에 대한 통행저항으로 대형화물자동차에 비해 소형 화물자동차가 높은 것으로 나타났다. 이는 대형 화물자동차가 보

www.kci.go.kr

다 장거리 운행이 많은 것을 의미한다. 또한 국가산업단지 여부에 대한 계수도 대형 화물자동차가 소형 화물자동차에 비해 높은 것으로 나타났다.

2. 모형비교

1) 도착지선택모형의 적용

도착지선택모형을 화물자동차 통행분포에 적용하기 위해 다음과 같은 과정을 거친다.

① 화물자동차 수단별 통행발생량(O)과 통행도착량(D)를 추정한다. 본 연구에서는 모형추정에 적용한 조사자료를 이용하였다.
② 화물자동차 수단별 통행발생량이 존재하는 존 중 하나를 단순무작위 추출하여 선택한다.
③ 통행도착량이 존재하는 존 5개를 비복원 단순무작위 추출하여 선택한다.
④ 모형정산에서 추정한 계수를 이용하여 각 도착지의 선택확률을 계산하고, 이를 기반으로 도착지를 선택한다.
⑤ 해당되는 존의 통행발생량과 통행도착량을 하나씩 감소시킨다.
⑥ 모든 통행이 통행분포 될 때까지 ②~⑤의 과정을 반복한다.

2) 평가기준

통행분포모형을 비교하기 위해 평균통행거리(average trip length), 통행거리분포(trip length distribution)를 평가기준으로 적용한다. FHWA(2007)에서는 관측통행 평균통행거리와 추정통행 평균통행거리의 차이는 5% 이내가 일반적이라고 제시하고 있다. 관측치와 추정치 두 개의 통행거리분포를 비교하기 위해 식 10의 일치비율(coincidence ratio)을 이용한다. 이 비율은 0~1의 값을 갖으며, 0이면 두 분포는 완전불일치, 1이면 완전일치를 의미한다.

$$C = \frac{\sum_{t=1}^{T} \min\left\{\frac{f^m(t)}{F^m}, \frac{f^0(t)}{F^0}\right\}}{\sum_{t=1}^{T} \max\left\{\frac{f^m(t)}{F^m}, \frac{f^0(t)}{F^0}\right\}} \qquad \langle 식\ 10 \rangle$$

여기서, C: 일치비율(coincidence ratio)
$f^m(t)$: 시간대 t에서의 모형치 통행빈도
$f^0(t)$: 시간대 t에서의 조사치 통행빈도
$F^m(t)$: 모형치 총통행수
$F^0(t)$: 조사치 총통행수

3) 분석결과 비교

중력모형과 도착지선택모형 1, 2를 비교한 결과는 〈표 10〉과 같다. 표의 음영은 관측치에 근접한 것을 의미한다. 여객통행 부문의 Chow et al.(2005)은 도시 출근통행에 적용한 결과 중력모형에 비해 도착지선택모형의 정확도가 높음을 제시하였고, Kim et al.(2009)도 지하철 통행에 적용한 결과 중력모형에 비해 도착지선택모형의 정확도가 높음을 제시하였다.

그러나 화물자동차를 대상으로 적용한 본 연구 결과는 차종과 평가기준에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 평균통행거리는 중형화물차를 제외하고, 나머지 차종에서 도착지선택모형이 관측치에 근접한 것으로 나타났다. 반면 일치비율은 대형화물차를 제외하고, 나머지 차종에서 중력모형이 관측치에 근접한 것으로 나타났다. 평균통행거리와 일치비율을 이용하여 중력모형과 도착지선택모형을 비교한 결과는 어느 한 모형의 예측력이 월등

www.kci.go.kr

표 10 _ 평균통행거리와 통행거리분포

구분		관측치	중력 모형	도착지선택모형	
				모형 1	모형 2
전체	평균통행거리	24.36	25.78	26.06	25.78
	일치비율	–	0.789	0.690	0.729
소형	평균통행거리	23.14	24.60	23.33	23.76
	일치비율	–	0.785	0.756	0.768
중소형	평균통행거리	25.12	26.53	27.37	26.19
	일치비율	–	0.795	0.699	0.733
중형	평균통행거리	27.76	28.82	30.99	30.31
	일치비율	–	0.763	0.549	0.655
대형	평균통행거리	29.32	30.30	26.77	30.08
	일치비율	–	0.760	0.699	0.815

히 뛰어나거나 떨어지는 결과를 제시하지는 않는다는 것이다.

4) 도착지선택모형의 장점과 한계

도착지선택모형의 장점은 앞에서도 설명하였듯이 집계중력모형에 비해 도착지를 선택하는 데 영향을 주는 다양한 형태의 설명변수를 반영할 수 있는 것과 더불어 이들 설명변수로부터 도착지선택의 행태를 분석하는 것이 용이하다는 것이다. 실제 본 연구에서는 제조업과 도소매업 종사자수의 공간적 분포의 차이를 반영하여 모형을 구축하고 분석해 보았다. 그 결과 총종사자수 한 변수로 모형을 구축한 경우에 비해 모형의 적합도가 향상된 결과를 얻었고, 이에 대한 해석을 통해 시군구 기준 교통존 간의 화물자동차 도착지선택에는 도소매업 종사자수보다는 제조업 종사자수의 영향이 큰 것을 제시할 수 있었다. 그러나 화물자동차 통행분포모형으로서 실제 교통수요 추정에 적용되기까지는 보다 많은 연구가 필요한 것이 사실이다.

V. 결론

본 연구는 수도권 화물자동차 통행분포모형으로서 도착지선택모형을 구축하고 집계중력모형과 모형 예측력을 비교하였다. 그 결과 어느 한 모형의 예측력이 월등히 뛰어나거나 떨어지는 결과를 제시하지는 않는 동등한 수준의 현실설명력을 나타내는 것으로 분석되었다.

도착지선택모형은 다양한 형태의 설명변수를 반영할 수 있고, 모형해석과 적용이 용이한 장점을 갖고 있다. 본 연구에서는 화물자동차 도착지선택에 있어 제조업과 도소매업 종사자수의 공간적 분포의 차이를 반영하고, 모형을 구축하여 분석한 결과 도소매업 종사자수에 비해 제조업 종사자수의 비중이 상당히 높은 것을 파악하였다. 이와 같은 분석이 가능하므로 정책적 활용이 용이하다 할 수 있다.

www.kci.go.kr

향후 연구로는 다음과 같은 내용이 필요하다. 도착지선택모형은 개별 통행자의 실제 도착지를 추정하는 부담을 극복하기 위해 집계대안의 개념과 선택대안 집합을 표본추출하는 방법을 적용하였다. 이 두 가지 요소에 대해서는 보다 심도 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 예를 들어 개별대안과 집계대안과의 관계를 반영하는 방법, 비선택대안의 표본추출 시 단순무작위 추출보다 층화추출을 하는 방법 등이다.

참고문헌

노정현. 1999. 교통계획-통행수요이론과 모형. 서울 : 나남출판.

노정현 · 김재진 · 김태균. 2005. "고속도로 이용차량에 대한 통행분포 모형의 적합성 연구 : 중력모형과 간섭기회 모형의 비교". 국토연구 제45권. 경기 : 국토연구원. pp93-104.

신승진 · 김찬성 · 박민철 · 김한수. 2009. "출발시간, 통행거리 및 물류활동 특성을 고려한 도착지 선택행태분석". 대한교통학회지 제27권 제1호. 서울 : 대한교통학회. pp1-9.

원제무 · 강경우 · 정용기. 2001. "고속도로 O/D자료를 이용한 Entropy 극대화모형의 통행저항계수(β)추정에 관한 연구". 국토계획 제36권 제7호. 서울 : 대한국토 · 도시계획학회. pp101-110.

윤대식. 2001. 교통수요분석-이론과모형. 서울 : 박영사.

한국교통연구원. 2006. 2005년도 국가교통DB구축사업 전국 지역 간 화물 기종점통행량 조사.

Ben-Akiva, M. E. and S. R. Lerman. 1985. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Bhat, C., A. Govindarajan, and V. Pulugurta. 1998. "Disaggregate Attraction-End Choice Modeling: Formulation and Empirical Analysis". *Transportation Research Record* no.1645. Washington, DC. : Transportation Research Board of the National Academies. pp60-68.

Chow, L. F., F. Zhao, M. T. Li, and S. C. Li. 2005. "Development and Evaluation of Aggregate Destination Choice Models for Trip Distribution in Florida". *Transportation Research Record* no.1931. Washington, DC. : Transportation Research Board of the National Academies. pp18-27.

Daly, A. 1979. "Some Developments in Transport Demand Modelling". ed. Hensher, D. A. and P. R. Stopher. *Behavioural Travel Modelling*. London : Croom Helm.

_____. 1982. "Estimating Choice Models Containing Attraction Variables". *Transportation Research* B. vol.16B, no.1. New York : Elsevier B.V. pp5-15.

FHWA. 2007. *Quick Response Freight Manual II*. Washington, DC : U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.

Kim, C., C. G. Choi, S. Cho, and D. Kim. 2009. "A Comparative Study of Aggregate and Disaggregate Gravity Models Using Seoul Metropolitan Subway Trip Data". *Transportation Planning and Technology* vol.32, no.1. Kentucky : Routledge. pp59-70.

Kitamura, R., C. Chen, and R. Narayanan. 1998. "Traveler Destination Choice Behavior: Effects of Time of Day, Activity Duration, and Home Location". *Transportation Research Record* no.1645. Washington, D.C. : Transportation Research Board of the National Academies. pp76-81.

Koppelman, F. S. 1981. "Non-Linear Utility Functions in Models of Travel Choice Behavior". *Transportation* vol.10. Dordrecht : Springer Netherlands. pp127-146.

Li, M., L. Chow, F. Zhao, and S. Li. 2005. "Geographically Stratified Importance Sampling for the Calibration of Aggregated Destination Choice Models for Trip Distribution". *Transportation Research Record* no.1935. Washington, DC. : Transportation Research Board of the National Academies. pp85-92.

McFadden, D. 1979. "Quantative Methods for Analysing Travel Behaviour of Individuals". ed. Hensher, D. A. and P. R. Stopher. *Behavioural Travel Modelling*. London : Croom Helm.

Nerella, S. and C. Bhat. 2004. "Numerical Analysis of Effect of Sampling of Alternatives in Discrete Choice

www.kci.go.kr

Models". *Transportation Research Record* no.1894. Washington, DC. : Transportation Research Board of the National Academies. pp11-19.

Ortúzar, J. de D. and L.G. Willumsen. 2001. *Modelling Transport*. 3rd ed. England : John Wiley & Sons, Ltd.

Pozsgay, M. A. and C. Bhat. 2001. "Destination Choice Modeling for Home-Based Recreational Trips: Analysis and Implications for Land Use, Transportation, and Air Quality Planning". *Transportation Research Record* no.1777. Washington, DC. : Transportation Research Board of the National Academies. pp47-54.

Sivakumar, A. and C. Bhat. 2002. "Fractional Split-Distribution Model for Statewide Commodity-Flow Analysis". *Transportation Research Record* no.1790. Washington, DC. : Transportation Research Board of the National Academies. pp80-88.

_____. 2007. "Comprehensive, Unified Framework for Analyzing Spatial Location Choice". *Transportation Research Record* no.2003. Washington, DC. : Transportation Research Board of the National Academies. pp103-111.

TRB. 2007. *Metropolitan Travel Forecasting: Current Practive and Future Direction*. Special Report 288. Washington, DC.: Transportation Research Board.

Wilson, A. G. 1970. *Entropy in Urban and Regional Modelling*. London : Pion Ltd.

Zhao, F., L. Chow, M. Li, and A. Gan. 2004. *Refinement of FSUTMS Trip Distribution Methodology*. Tallahassee : Florida Department of Transportation.

한국산업단지공단 홈페이지(www.kicox.or.kr)

• 논문 접수일: 2010. 1.11
• 심사 시작일: 2010. 1.14
• 심사 완료일: 2010. 3. 9

www.kci.go.kr

ABSTRACT

Destination Choice Modeling for Freight Trip Distribution in Seoul Metropolitan

Keywords: Destination Choice Model, Gravity Model, Trip Distribution Models

This research proposed destination choice model of truck compared with gravity model for Seoul Metropolitan, Korea. The modeling approach is a discrete choice model based on the random utility maximizing principles. The research estimated destination choice models for two types : linear utility and non-linear utility models. The structure of destination choice model in the analysis takes the form of a non-linear-in-parameters multinomial logit model to accommodate multiple size measures characterizing the number of elemental alternatives within each alternative zone. The sample used in the analysis was drawn from the 2005 Korea commodity flow survey. The models were evaluated for average trip length, trip length frequency distribution.

수도권 화물자동차 통행분포를 위한 도착지선택모형 : 집계중력모형과 실증비교

주제어: 도착지선택모형, 중력모형, 통행분포모형, 비선형효용함수

도착지선택모형은 다항로짓모형을 이용한 비집계모형으로 개별적인 통행 의사결정자가 여러 대안 중 도착지를 선택하는 행태적 특성을 반영하여 모형화한 것이다. 이 모형은 유연한 확장, 모형해석과 적용이 용이한 장점으로 인해 집계중력모형을 대체할 수 있는 방법론으로 주목을 받고 있다. 본 연구는 화물자동차의 통행분포를 위한 도착지선택모형을 구축하고 집계중력모형과의 비교를 통해 모형예측력과 한계를 파악하는 것이 목적이다. 도착지선택모형은 통행거리, 종사자수, 산업단지 여부로 구성된 효용함수를 이용하여 구축하였다. 특히, 제조업 종사자수와 도소매업 종사자수의 공간적 분포가 다른 것에 착안하여 종사자수를 구분한 모형과 구분하지 않은 모형으로 구축하여 이들의 영향을 분석하였다. 분석결과 소형과 중소형 화물자동차는 도소매업 종사자수보다 제조업 종사자수의 영향이 더 큰 것을 파악하였으며, 중형과 대형 화물자동차는 도소매업 종사자수에 대한 계수가 유의하지 않으며, 제조업 종사자수로만 추정하는 것이 효과적임을 파악하였다. 집계중력모형과의 비교는 평균통행거리와 통행거리분포의 일치비율을 이용하였다. 그 결과 평균통행거리에서는 도착지선택모형, 일치비율에서는 중력모형이 관측치에 근접하는 것으로 나타났으나, 어느 한 모형의 예측력이 월등히 뛰어나거나 떨어지는 결과를 제시하지는 않았다. 이는 도착지선택모형이 집계중력모형과 동등한 수준의 현실설명력을 나타내는 것이라 할 수 있다. 향후 연구로는 개별대안과 집계대안과의 관계를 반영하는 방법, 비선택대안의 표본추출 시 단순무작위 추출보다 층화추출을 하는 방법 등이 필요하다.

www.kci.go.kr