

고속도로 이용차량에 대한 통행분포 모형의 적합성 연구

- 중력모형과 간섭기회 모형의 비교 -

A Suitability Analysis of Trip Distribution Models for Vehicular Movements on
the Express Highway in Korea

노 정 현 한양대학교 도시대학원 교수
김 재 진 한양대학교 도시대학원 박사과정
김 태 균 한양대학교 도시공학과 박사수료

※주요단어 : 간섭기회모형, 엔트로피 극대화 모형, 통행분포 모형, TCS

목 차

- I . 서론
- II . 기존연구 검토
- III . 통행분포 모형 비교
 - 1. 엔트로피 극대화 모형의 이해
 - 2. 간섭기회 모형의 이해
 - 3. 적용 통행분포 모형의 비교
- IV . 모형적용 및 결과분석
 - 1. 자료구축
 - 2. 모형의 적용
 - 3. 분석결과
- V . 결 론

I. 서론

일반적인 교통수요 추정방법으로는 전통적인 4단계 수요추정방법이 널리 쓰이고 있으며, 교통존간 교차통행량의 추정은 통행분포과정에서 이뤄진다.

통행분포 모형은 1950년대 이후 미국과 영국등지에서 많은 모형들이 개발 되어왔으며, 대표적인 모형으로는 중력모형, 간섭기회모형, 프라타 모형 등이 있다. 이들 중 중력모형은 Wilson(1970)에 의해 양편제약 형태의 엔트로피 극대화 모형이 개발되면서 타 모형에 비해 적용이 용이하며, 이론적으로 합리적이라는 이유로 가장 일반적으로 사용되어 왔다.

그러나 중력모형 및 엔트로피 극대화 모형은 통행저항 함수로 두 존 간의 통행비용(거리)를 사용하는 전형적인 여객 중심의 통행분포 모형이다. 이에 지역간 화물수송의 특수성을 반영하는데는 한계가 있다. 화물수송은 통행비용 뿐만 아니라 화물 유출입 지역의 사회경제적 규모(주변시장 및 원료공급지, 항만 등) 화물차 보유대수 및 수송력 등 많은 특성에 영향을 받는다. 그

럼에도 불구하고 기존의 연구에서는 엔트로피 극대화모형의 이러한 한계를 고려하지 않고 여객 및 화물수송에 일률적으로 적용하고 있는 실정이다. 또한, 엔트로피 극대화 모형은 장거리 통행에 대한 교차통행량 추정을 과소 추정하는 경향이 있다.

따라서 본 연구의 목적은 통행 목적지의 상대적 접근성 및 기회(Opportunity)를 반영하는 간섭기회모형과 엔트로피 극대화 모형을 이론적으로 비교하고, 지역간 통행특성에 따라 통행분포모형을 달리 적용해야 함을 보이고자 한다. 그리고 이를 검증하기 위해 TCS¹⁾자료 중 고속도로 폐쇄구간내의 자료를 이용하였다.

II. 기존연구 검토

통행분포 모형관련 연구 중 중력모형과 간섭기회모형의 적용연구들을 살펴보면, 다음과 같다.

엔트로피 극대화 모형은 Wilson(1970)에 의해 개발되면서 모형의 정확성을 높이기 위한 통행저항 계수추정 관련 연구들이 진행되어 왔다.²⁾

1) 한국도로공사가 운영하는 TCS(Toll Collection System)자료는 폐쇄구간 톨게이트에서 통행권 이용차량을 대상으로 5개 차종으로 구분하여 매일 톨게이트별로 자료가 수집되고 있으며, 차종, 기·중점톨게이트, 통과시각 등이 기록되어 있다.

국내의 경우, 한국도로공사(1998)는 고속도로 TCS 차종별 기·종점통행량 자료를 이용하여 전국 지역간 차종별 O/D를 생성하면서 전 차종에 엔트로피 극대화 모형을 적용하였다.

원제무 외(2001)는 엔트로피 극대화 모형의 정확성을 높이기 위해 고속도로 이용차량의 차종별 통행저항계수(β)의 적정 범위를 설정하는 연구를 수행하였다.

엔트로피 극대화 모형을 화물수송에 적용한 경우를 살펴보면, Theologos, Kenneth(1992), Shaohui, Michael(2002)는 New Jersey와 Virginia의 지역 내 및 지역간 트럭에 대한 기·종점 통행량을 산출하기 위해 물동량기반(Commodity base)자료를 트럭통행(Vehicle base)으로 전환하고 이를 중력모형에 적용하였다.

백호중(1988)은 품목별 전국 지역간 화물 물동량을 추정함에 있어 중력모형과 엔트로피 극대화 모형을 적용하였다. 그 결과 엔트로피 극대화 모형의 추정이 우수함을 제시하였다.

그러나 이성모 외(2003)는 기존 중력 모형 및 엔트로피 극대화 모형이 여객

특성을 고려한 통행비용함수를 그대로 사용함으로써 화물수송의 특성을 반영하지 못하는 한계점을 지적하였다. 따라서 현실적인 관점에서 비용함수에 용량지수 개념을 도입하여 새로운 저항함수를 도출하였다.

간접기회모형은 Stouffer(1940)에 의해 개발 되었으며, Schneider(1959)에 의해 수정되고 CATS(Chicago Area Transportation Study)에 적용되었다. 그리고 Eash(1984), Rogerson(1986;1993)은 기존의 CATS에서 적용하고 있는 Schneider의 간접기회모형을 개선하였다.

그러나 Concalves(1992)의 연구에 의해 그 적용이 어렵다는 이유로 그 이후 많은 연구들이 이를 적용하지 않다가 최근 들어 중력모형의 거리와 목적지가 제공하는 기회를 모두 고려하기 위해 두 모형을 통합하는 연구들이 진행되어 왔다.²⁾

또한, Fang Zhao, etc(2001) 연구에서는 통행목적별로 간접기회모형과 중력모형을 적용하여 목적별 기·종점통행량을 추정하고 이를 실제 기·종점통행량 자료와 비교하였다. 그 결과, 통

2) 예를 들면, 국외의 경우 Evans.1971.; Sen and Matuszewski.1991.; Goncalves. 1992.; Goncalves and Ulysséa Neto. 1993.; Yun and Sen. 1994. 등이 있다

3) Wills. 1986.; Goncalves, Ulysséa Neto. 1993.; Roy. 1993. 등의 연구가 있다

행목적별 기·종점통행량 추정에 있어서 통행분포 모형을 달리 적용해야 함을 제시하였다.

III. 통행분포 모형 비교

1. 엔트로피 극대화 모형의 이해

엔트로피 극대화 모형은 Wilson(1970)에 의해 열역학 제2법칙⁴⁾을 통행분포과정에 도입한 것으로 공간적 분산 정도(degree of spatial dispersion)를 엔트로피로 정의하고 주어진 제약조건 하에 엔트로피를 극대화 하는 모형이다. 그리고 이 모형은 “통행자는 이동하는데 소요되는 비용이 가장 적게 드는 곳, 또한 그곳에서 자신의 목적활동을 수행하기 용이한 곳을 목적지로 결정한다.”를 가정을 바탕으로 다음과 같은 모형의 구조를 가지고 있다.

$$\text{Max. } S = - \sum_i \sum_j T_{ij} \cdot \ln T_{ij} \quad (1)$$

$$\text{st. } \sum_j T_{ij} = O_i \quad (2)$$

$$\sum_i T_{ij} = D_j \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} \cdot c_{ij} \leq C \quad (4)$$

$$T_{ij} > 0$$

여기서,

T_{ij} : 교통존 i에서 교통존 j로의 교차통행량

O_i : 교통존 i의 통행 유출량

D_j : 교통존 j의 통행 유입량

c_{ij} : 교통존 i에서 교통존 j로의 통행비용

C : 총 통행비용

이를 비선형 최적화 모형으로 각 제약조건을 도입, 정리하면 음 지수 함수를 저항함수로 하는 양편제약 중력모형을 얻을 수 있다.⁵⁾

$$T_{ij} = A_i \cdot O_i \cdot B_j \cdot D_j \cdot \exp(-\beta \cdot c_{ij}) \quad (5)$$

$$A_i = [\sum_j B_j D_j \exp(-\beta \cdot c_{ij})]^{-1}, \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$B_j = [\sum_i A_i O_i \exp(-\beta \cdot c_{ij})]^{-1}, \quad (7)$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

A_i, B_j : 균형인자(Balancing factor)

β : 저항계수(deterrence factor)

2. 간섭기회 모형의 이해

간섭기회모형은 통행기회를 제공하는 목적지의 상대적 접근성에 따라 교차통행량이 분포된다는 개념을 바탕으로 하고 있다. 즉, 각 출발지에서 통행기회를 제공하는 목적지들을 출발지로부터의 거리, 통행시간, 통행비용 등에 따라 순서대로 나열한다. 그리고 통행

4) 하나의 고립된 체계내에 있는 분자들은 주어진 에너지의 양을 초과하지 않는 범위 내에서 가장 무질서한 상태로 가려는 경향이 있다는 것으로 결국 엔트로피란 어떤 폐쇄체계에서의 무질서도를 나타낸다고 할 수 있다.

5) 노정현. 1999. 교통계획-통행수요이론과 모형-(나남신서);pp 125-139.

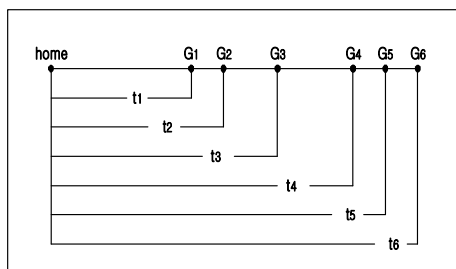
자에게 모든 목적지는 자신의 목적을 수행할 수 있는 잠재적인 장소이므로 잠재적 목적지가 갖는 기회의 크기를 통행유입량으로 간주한다. 이 모형은 통행자 행태와 관련하여 두 가지 가정을 바탕으로 하고 있다.

첫째, 통행자가 주어진 기회를 선택할 확률은 일정하다. 즉, 통행자는 어느 목적지에서든지 차별 없이 자신의 목적을 달성할 수 있다.

둘째, 통행자는 자신의 통행비용을 최소화 하고자 한다. 다시 말해 통행자는 가장 가까운 목적지에서 자신의 통행목적을 달성할 기회를 찾으므로 통행비용을 최소화 한다는 것이다.

간접기회모형의 구조를 설명하면 다음과 같다. 예를 들어, 각 통행 출발존(home)으로부터 통행시간(t_i) 또는 거리의 증가순서로 도착존(G_1, G_2, \dots)을 나열한다.

<그림 1> 통행시간 증가 순서에 의한 도착지



그리고 각 도착존의 기회수를 A_j , 각 도착지 j번째 존을 경유할 확률을 U_{j+1} , 통행자가 각 도착존에서 기회를 선택할 확률을 L(총기회의 역수)라고 하면, 각 도착존을 경유할 확률은 다음과 같다.

$$U_{j+1} = U_j(1 - L \cdot A_j), \quad i=0,1,2,\dots \quad (8)$$

식(6)을 L에 대해 정리하고, V_j 를 j 번째 존을 통과할 기회의 수라고 하면 다음과 같다.

$$-L \cdot A_j = \frac{U_{j+1} - U_j}{U_j} \quad (9)$$

$$A_j = V_{j+1} - V_j \quad (10)$$

그리고 식(7)을 식(6)에 대입하면, 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$-L \cdot (V_{j+1} - V_j) = \frac{U_{j+1} - U_j}{U_j} \quad (11)$$

즉, 존 j에서 통행량이 유입될 확률과 존 j에서 일정하게 부여할 기회선택확률은 동일하다. 따라서 식(9)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-L dV = dU/U \quad (12)$$

여기서, 어떤 목적지에서 통행이 유입될 확률이 p라고 하면,

$P = (1 - U)$, 그리고 $dU = -dP$ 이다. 따라서 식(9)에 대입하여 이를 다

시 정리하면, 다음과 같다.

$$(1-P) \cdot L dV = dP \quad (13)$$

$$dP/(1-P) = LdV \quad (14)$$

그리고 식(12)을 V 에 대해 적분하고 음지수 형태로 전환하면,

$$P = 1 - K \cdot e^{-LV} \quad (15)$$

$$T_{ij} = O_i \cdot (U_j - U_{j+1}) \quad (16)$$

여기서, $P = (1-U)$ 이고, 이를 식(13)에 적용하면 다음과 같다.

$$U_j = K \cdot e^{-LV_j} \quad (17)$$

$$U_{j+1} = K \cdot e^{-LV_{j+1}} \quad (18)$$

식(15)와 식(16)을 식(14)에 대입하면,

$$T_{ij} = K \cdot O_i (e^{-LV_j} - e^{-LV_{j+1}}) \quad (19)$$

$$K = \frac{1}{1 - e^{-LV_j}} \quad (20)$$

식(18)를 식(17)에 대입하면, 중간통행량 (T_{ij})는 다음과 같다.⁶⁾

$$T_{ij} = \frac{O_i \cdot (e^{-LV_j} - e^{-LV_{j+1}})}{(1 - e^{-LV_j})} \quad (21)$$

T_{ij} : 교통존 i에서 교통존 j로의 교차통행량

O_i : 교통존 i에서의 총 유출통행량

$e^{-LV_j} - e^{-LV_{j+1}}$: 목적지를 선택할 확률

$1 - e^{-LV_j}$: 확률배분함수 값

L : 각 통행자가 기회를 선택할 확률 (총 기회의 역수)

그러나 간접기회모형은 실용화 되지 못하고 있다. Otúzar, Willumsen(1990)는 그 이유를 다음과 같이 설명하였다.

첫째, 간접기회 모형은 이론적으로 잘 알려져 있지 않으며, 모형을 이해하기 어렵다.

둘째, 중력모형에 비해 이론적 측면에 장점을 가지고 있으나, 실용성면에서 뒤 떨어진다.

셋째, 각 출발지 존에서 통행목적을 수행 할 수 있는 목적지들을 출발지로부터 통행거리 등의 접근성 순서대로 목적지 존을 나열해야 하므로 실제 적용에 어려움이 있다.

넷째, 간접기회 모형을 적용하기 위한 적절한 Software가 부족하다.

또한, Shaohui, Michael(2001)는 간접기회모형이 트릭의 통행분포에 잘 적용되지 않는 이유에 대해 Ortúzar, Willumsen(1990)와 동일한 근거를 제시하였다.

3. 적용 통행분포 모형의 비교

엔트로피 극대화 모형은 총 통행비용에 대한 제약조건, 통행유출량 또는

6) Stoper, Meyburg.1975. Urban Transportation Modeling an Planning. Library of Congress Cataloging in Publication Data :pp159-163.

유입량 제약조건을 갖는 비선형 최적화 모형으로 목적함수의 유형과 제약조건의 선정에 따라 다양한 형태의 통행수요분석 모형을 도출해 낼 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 여객의 통행특성을 기반으로 한 모형이기 때문에 화물수송의 특수성을 반영하는 데는 한계가 있다. 이는 이성모 외(2003)에서도 언급된바와 같이, 지역간 화물수송을 담당하는 화물차량들이 대부분 주요 수출입 도시나 막대한 소비가 이루어지는 대도시 부근에 밀집되어 있으며 장거리 통행특성을 나타내기 때문이다. 따라서 화물차량의 통행특성은 반 중력모형 현상을 나타낸다고 볼 수 있다.

간접기회모형은 엔트로피 극대화 모

형에 비해 실용성은 떨어지나 거리에 대한 영향력뿐만 아니라 각 목적지에서 제공하는 기회의 수도 반영하는 장점을 가지고 있다. 또한 폭이 좁고 긴 띠의 형태를 갖는 지역의 통행패턴 분석에 유리하며, 중력모형에 비해 통행거리의 영향을 덜 받는 장점을 갖고 있다. 그러나 존의 순위에 영향을 미치지 않는 단거리 통행의 변화 등은 고려하지 못하는 단점을 가지고 있다.

그리고 간접기회모형은 통행거리가 긴 존에 대해서는 과대 추정되고, 통행거리가 짧은 존에 대해서는 과소 추정되는 경향이 있다. 반면에 중력모형 및 엔트로피 극대화모형은 장거리 통행에서는 과소 추정되며, 단거리 통행에서는 과대 추정되는 경향이 있다.⁷⁾

<표 1> 엔트로피 극대화모형과 간접기회모형의 비교

구분	중력모형 및 엔트로피 극대화 모형	간접기회 모형
특징	<ul style="list-style-type: none"> 통행거리 및 통행비용 반영 장거리통행 과소추정, 단거리통행 과대추정 	<ul style="list-style-type: none"> 목적지의 상대적 접근성과 기회 반영 장거리통행 과대추정, 단거리통행 과소추정
장점	<ul style="list-style-type: none"> 통행저항함수의 변형에 따라 다양한 형태의 통행 수요 분석모형 도출이 가능 통행비용만 반영하므로 적용이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> 폭이 좁고 긴 띠의 형태를 갖는 지역의 통행패턴 분석에 유리 통행거리의 영향을 덜 받음 통행거리 및 목적지에서 제공하는 기회 반영
단점	<ul style="list-style-type: none"> 화물수송과 같은 특수성을 반영하지 못함. 	<ul style="list-style-type: none"> 각 출발지 존에서 접근성 순서대로 목적지 존을 나열하는 어려움이 있음. 존의 순위에 영향을 미치지 않는 단거리 통행변화등은 고려하기 어려움.

7) Fang Zhao etc. 2001. "Refinement of FSUTMS trip distribution methodology, calibration of an Intervening Opportunity model for Palm Beach County". Technical Memorandum No.3. Florida International University: pp1-2.

IV. 모형적용 및 결과분석

1. 자료구축

본 연구에서 사용할 TCS 자료는 전 수조사자료로서 기존의 통행분포 모형 정산과정 중 표본조사에 의해 발생하는 계수추정의 부정확성 문제를 최소화 할 수 있다. 그리고 추정 통행분포 모형의 적합성을 검증하는데 매우 유용하다.⁸⁾

이에 엔트로피 극대화 모형과 간섭 기회모형을 적용하고 이를 비교 검증하기 위해 고속도로 폐쇄구간내의 87개 톨게이트⁹⁾ 간 5개 차종별 기·종점 통행량(TCS) 자료를 사용하였다.

〈표 2〉 TCS 차종 분류기준

구분	차종 분류기준
1종	승용차, 승합차(16인이하), 화물차(2.5톤 미만)
2종	승합차(17~23인이하), 화물차(2.5~5.5톤 미만)
3종	대형버스(24인이상), 화물차(5.5~10톤 미만)
4종	화물차(10~20톤 미만)
5종	화물차(20톤 이상)

자료 : 한국도로공사.2000. TCS 데이터로부터 차종별 교통량 추정모형구축을 위한 조사 분석 . 최종보고서 . p13.

그리고 본 연구에 적용할 연구대상 톨게이트 TCS 자료의 차종별 유출입 교통량은 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 연구대상 톨게이트의 교통량 총합

차종	1종	2종	3종	4종	5종
교통량 (대/일)	883,223	82,510	47,786	24,057	33,146

2. 모형의 적용

1) 엔트로피 극대화모형의 적용

본 연구에 엔트로피 극대화 모형을 적용하기 위해서는 통행저항계수(β)의 산출이 필요하다. 이에 통행저항계수 산출을 위해 5개 차종별 기·종점 통행량 자료(TCS)와 톨게이트 간 실 거리¹⁰⁾를 이용하였다.

그리고 통행저항계수는 노정현(1991)이 제시한 Hybrid 기법을 사용하여 산출하였다. 노정현(1991)은 $2n+1$ 개의 미지수(A, B, β)와 $2n+1$ 개의 방정식(식(5)~식(7)) 체계로 구성되는 비선형 연립방정식으로 hybrid 기법을 이용하여 해를 찾는 방법을 제시하고, Wilson(1970)의 반복평형기법 보다 효율적임을 제시하였다. 이 방법은 연립체계가 식

8) TCS 자료는 <표 2>에서 알 수 있듯이 1개종에 여러 차종이 묶여 있어 세부 차종별 분석이 어려운 단점을 가지고 있다.

9) 연구대상 톨게이트는 자료수집상 1999.10.22 고속도로 폐쇄구간내의 87개 톨게이트를 대상으로 하였다.

(22)과 같다고 하면,

$$f_i(\bar{z}) = f_i(z_1, z_2, \dots, z_n), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (22)$$

결정변수 벡터 \bar{z} 는 식 (21)과 같이 수학적 반복과정을 거쳐 해로 접근하게 된다.

$$\bar{z}(k+1) = \bar{z}(k) - \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial \bar{z}} f(\bar{z}) \right]_{\bar{z}=\bar{z}(k)} / \mu(k) \quad (23)$$

여기서 $F(\bar{z}) = \sum [f_i(\bar{z})]^2$ 로 잔차의 자승합(Sum of Squares of residuals)이며, $\mu(k)$ 는 k 번째 반복과정에서 해로의 접근을 가장 빨리 유도하는, $F(\bar{z}(k+1)) < F(\bar{z}(k))$ 를 만족시키는 계수(parameter)이다. 단, 이 계수는 비음(non-negative) 조건을 만족해야 한다. 그리고 이와 같은 수학적 반복과정은 다음 두 가지 근접성 평가기준(Convergence criteria)을 만족시킬 경우 중단하게 된다.

$$\| \bar{z}(k+1) - \bar{z}(k) \| \leq \xi_1 \| \bar{z}(k) \| \quad (24)$$

$$\| f(\bar{z}(k+1)) \| \leq \xi_2 \quad (25)$$

여기서, $\| \cdot \|$: euclidean norm
 ξ_1, ξ_2 : 는 정확도의 허용오차

이를 적용한 결과, 여객 차량 및 소형 화물차량의 경우 0.0229 ~ 0.0343으로 대형화물차량의 0.0198

~ 0.0237에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 이는 기존 연구(원제무 외, 2001)와도 유사한 결과를 보이고 있다. 그리고 각 톨게이트의 차종별 유·출입 교통량과 톨게이트 간 거리와 함께 엔트로피 극대화 모형에 적용하여 5개 차종별 기·종점 통행량을 추정하였다.

2) 간섭기회모형의 적용

간섭기회 모형 적용을 위해서는 각 연구대상 기점 톨게이트별로 통행거리의 증가 순서에 따라 종점 톨게이트를 나열하였다. 예를 들어, 서울톨게이트를 기점으로 할 경우 통행거리 순서에 따른 종점 톨게이트는 동수원, 수원, 기흥, ...; 부산 톨게이트 순으로 나열된다.

〈표 4〉 통행거리 순서에 의한 종점톨게이트 나열(예)

기점 톨게이트	통행거리 순서에 따른 종점톨게이트 명				
서울	동수원	수원	기흥	...	부산
동수원	수원	매송	마성	...	부산
수원	기흥	동수원	⋮	...	부산
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
부산	양산	대동	물금	...	월정

10) 본 연구에서 통행시간 대신 톨게이트 간 실 거리를 이용한 이유는 고속도로를 이용하는 차량들의 주행시간에 휴게소 이용시간 및 기타 주행이외의 시간이 포함되어 있어 정확한 주행시간의 산출이 어렵기 때문이다.

그리고 기회선택확률 값(L :총 기회의 역수)은 TCS 자료의 차종별 각 톨게이트별 유·출입 교통량의 총합을 총 기회의 수로 보고 이를 산출 하였다. 이를 통하여 확률배분함수 값 $(1 - e^{-LV_i})$ 을 산출하고, 기점 톨게이트로부터 통행거리의 증가 순서대로 나열한 종점 톨게이트에 대해 기점 톨게이트의 유출교통량 (O_i)에 확률배분함수 값을 곱하여 차종별 기·종점 통행량을 추정 하였다.

<표 5> TCS 자료에 의한 모형별 계수 산출

구분	통행저항계수 (β)	기회선택확률 (L)
1종	0.0343	1.13222×10^{-6}
2종	0.0298	1.21197×10^{-5}
3종	0.0229	2.09266×10^{-5}
4종	0.0237	4.15679×10^{-5}
5종	0.01987	3.01696×10^{-5}

3) 모형의 검정

본 연구의 각 통행분포 모형 적합성 검증 방법은 일반적으로 빈번하게 사용되고 있는 RMSE(Root Mean Square Error) 와 Theil의 부등계수(Theil's Inequality Coefficient: Theil의 U-통계량)를 적용하였다. 이들의 값들은 작을수록 모형의 설명력이 높다고 할 수 있다. 그리고 Theil의 부등계수(U-통계

량)는 그 범위가 0과 1사이에서 분포하고 있어 모형간의 오차의 절대적 비교가 가능하다. 따라서 "U-통계량"이 0에 근사 할수록 모형치가 실측치를 잘 설명한다고 할 수 있다.

$$RMSE = (\sum (T_k - \bar{T}_k)^2 / N)^{0.5} \quad (26)$$

$$U = \frac{(\sum (T_k - \bar{T}_k)^2 / N)^{0.5}}{(\sum T_k^2 / N)^{0.5} + (\sum \bar{T}_k^2 / N)^{0.5}} \quad (27)$$

U : Theil의 U-통계량
 T_k : 모형에 의해 산출된 추정치
 \bar{T}_k : 추정치 비교를 위한 실측치
 N : 비교대상 Sample 수

<표 6> 각 모형의 검정결과 비교

구분	엔트로피 극대화 모형		간접기회 모형	
	RMSE	Theil의 부등계수	RMSE	Theil의 부등계수
1종	3,598	0.03	24,199	0.19
2종	790	0.05	3,247	0.23
3종	1,088	0.09	1,266	0.11
4종	827	0.16	399	0.07
5종	610	0.08	497	0.06

각 모형에 의해 추정된 차종별 기·종점통행량의 검정 결과를 살펴보면 1종, 2종 그리고 3종의 경우 엔트로피 극대화 모형이 간접기회 모형에 비해 모형의 적합성이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 4종과 5종의 경우에는 간접기회모형이 더 우수한 것으로 검정 되었다.

3. 분석결과

본 연구에서는 엔트로피 극대화 모형과 간섭기회 모형을 고속도로 TCS 자료를 이용하여 적용 비교해 본 결과 다음의 분석결과를 얻을 수 있었다.¹¹⁾

첫째, 대형화물차로 구성된 TCS 4종과 5종의 경우 간섭기회 모형이 엔트로피 극대화 모형보다 모형의 적합성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 기존연구(이성모 외, 2003)에서도 밝혀진 바와 같이 중력모형 및 엔트로피 극대화 통행분포 모형은 여전히 여객의 통행특성만을 반영하는 한계를 가지고 있다. 즉, 화물의 이동과 사람의 이동은 그 통행특성이 다르기 때문에 화물차의 통행분포와 여객차량의 통행분포를 동일한 모형으로 설명하기 어렵다.

둘째, 일반적으로 대형화물차는 근접지역간 단거리 통행보다는 주로 장거리통행을 하는 특성을 보이는바 본 연구의 대상인 고속도로에서도 유사한 특성이 나타났다. 4, 5종 대형화물차의 모형별 추정치 중 오차 10% 이내의 기·종점 통행량을 살펴보면 간섭

기회 모형의 오차 폭이 매우 낮음을 볼 수 있다.

〈그림 2〉는 대형화물 차종의 비율이 높은 동수원 톨게이트 기준을 예로 나타냈다. 이는 대형화물차량의 통행특성을 간섭기회 모형이 잘 설명한다고 할 수 있다.

셋째, 엔트로피 극대화 모형이 적합한 것으로 분석된 1종의 경우 오차 10% 이내의 기·종점통행량을 살펴보면, 일부 지역 톨게이트의 경우 장거리 통행에 대해 간섭기회 모형의 오차 폭이 감소하는 것을 볼 수 있다.

이는 간섭기회모형의 장거리통행에 대해 크게 추정하는 특징이 반영된 것으로 대형화물차 뿐만 아니라 승용차 및 소형화물차의 장거리 통행인 경우에도 간섭기회모형의 적용이 타당함을 보이고 있다. 즉, 장거리 통행의 목적지 톨게이트는 배후지역이 주요 수출입도시이거나 막대한 소비가 이루어지는 대도시 부근 그리고 주요 공업단지가 밀집되어 있는 지역으로 해당지역의 경제가 많은 통행기회를 부여하기 때문이다.

11) TCS 2,3종의 경우 차량구분 체계가 화물을 수송하는 트럭과 여객을 수송하는 대형승합차량이 혼재되어 있어, 이들 TCS 차종별 통행분포 모형을 행태이론적인 면에서나 실용적인 면에서 큰 의미를 찾기 어려우므로 제외하였다.

<표 6> 동 수원 톨게이트 기준 각 톨게이트 거리

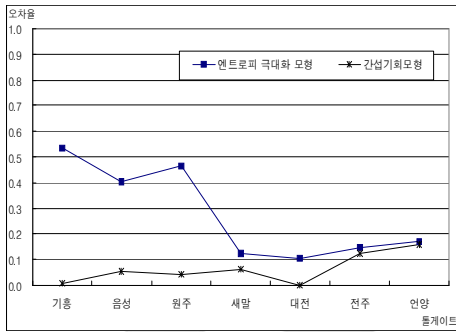
톨게이트 명	거리 (km)	톨게이트 명	거리 (km)
마성	11.5	북대전	121.7
기흥	12.6	대전	128.0
일죽	53.1	면은	139.9
음성	66.0	김천	200.4
목천	70.0	전주	200.8
진천	78.7	태인	228.7
원주	93.3	정읍	241.5
새말	106.0	언양	359.6

자료 : 2005년 한국도로공사 내부자료

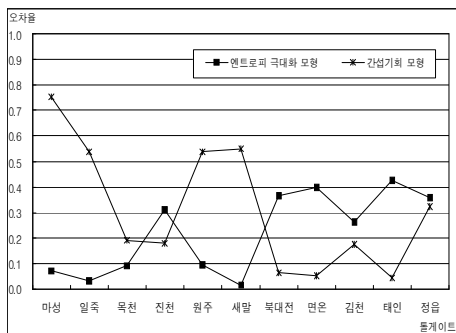
V. 결론

본 연구에서는 지역간 여객 및 화물 수송의 통행특성이 다름에도 불구하고 일률적으로 엔트로피 극대화 모형만을 적용하는 문제점을 인식하고, 지역간 통행특성에 따라 통행분포 모형을 달리 적용해야 함을 보이고자 하였다. 이에 TCS 자료 중 폐쇄구간내의 자료를 이용하여 엔트로피 극대화 모형과 간섭기회모형을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

<그림 2> 대형화물차4.5종의 모형간 오차율 비교 예 (동수원 톨게이트 출발기준)



<그림 3> TCS 1종의 모형간 오차율 비교 예 (동수원 톨게이트 출발기준)



첫째, TCS 4, 5종에 해당되는 대형 화물차의 경우 간섭기회모형이 엔트로피 극대화 모형에 비해 적합성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 대형화물차의 운행특성이 장거리 통행이 대부분을 이루고 있는 것으로 설명할 수 있었다.

둘째, TCS 1종인 승용 및 소형화물차의 경우 모형의 적합성은 중력모형 및 엔트로피 모형이 높은 것으로 나타났다. 장거리 통행인 경우 오히려 간섭기회 모형의 추정치 오차가 적게 나타났다. 이는 간섭기회 모형이 장거리 통행의 경우 많은 통행량이 추정되는 특징이 반영되었다고 볼 수 있다.

결론적으로 교통수요 분석상의 통행

분포과정에 지역간 통행특성에 따라 통행분포 모형을 달리 적용해야 할 필요가 있다. 이에 향후 연구에서는 이 연구를 기초로 엔트로피 극대화 모형과 간섭기회모형을 통합하는 모형을 개발하거나, 엔트로피 극대화모형의 비용함수에 간섭기회모형의 기회선택 확률 값을 고려하여 모형을 수정하는 등의 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 노정현. 1999. 교통계획 - 통행수요이론과 모형 - .나남신서 .
2. 노정현. 1991. "엔트로피 극대화 통행배분 모형의 효율적 해법 개발". 대한교통학회지. 제9권(2호) : pp121-126.
3. 원제무 외. 2001. "고속도로 O/D자료를 이용한 Entropy 극대화모형의 통행저항계수 추정에 관한 연구". 대한국토·도시계획 학회지. 제 36권(제 7호) : pp101-110.
4. 이성모 외. 2003. "용량을 고려한 지역간 화물배분모형의 개발". 대한국토·도시계획 학회지. 제 38권(제 1호) : pp169-179.
5. 백호중. 1988. "전국화물 물동량의 통행배분에 관한 연구". 서울대학교.
6. 한국도로공사. 1998. 고속도로 Network Analysis 모형 적용을 위한 자료구축 및 실용화 연구.
7. 한국도로공사. 2000. TCS 데이터로부터 차종별 교통량 추정모형 구축을 위한 조사 분석. 최종보고서 .
8. Shaohui Mao. Michael J.Demetsky. 2002. "Calibration of the Gravity Model for truck freight flow distribution". Research Report. No. UVACTS -5 - 14 - 14.
9. Fang Zhao etc. 2001. "Refinement of FSUTMS trip distribution methodology, Calibration of an Intervening Opportunity Model for Plam Beach County". Technical Memorandum. No.3. Florida International University.
10. Mirian Buss Goncalves, Jose Eduardo Souza de Cursi. 2001. "Parameter estimation in a trip distribution model by random perturbation of a descent method". Transportation Research. Part B. 35 : pp137-161.
11. Yun and Sen. 1994. "Computation of maximum likelihood estimates of gravity model parameters". Journal of Regional Science. 34(2) :pp199-216.
12. Peter A.Rogerson.1993. "A maximum likelihood Estimator for the intervening opportunities model". Transportation Research. Part B. Vol. 27B. No. 4: pp275-280.
13. Roy.1993. "Comment on the development of a new gravity-opportunity model for trip distribution".Environment and Planning. A. 25. :pp1689-1691.
14. Goncalves,M.B., Ulysséa Neto. 1993. "The development of a new gravity-opportunity model for trip distribution".Environment and Planning. A. 25 :pp817-826.
15. Theologos Homer Bonitsis and Kenneth

- D. Lawrence.1992. " Estimation and Prediction of Interstate Sectoral Freight flows for New Jersey : A review of the literature and data sources". NCTIP.
16. Mirian Buss Goncalves. 1992."Desenvolvimento e Teste de um Novo Modelo Gravitacional de Oportunidades de Distribuição de Viagens".Federal University of Santa Catarina. Florianópolis. SC. Brazil.
17. Sen and Matuszewski.1991. "Properties of maximum likelihood estimates of gravity model Parameters".Journal of Regional Science. 31: pp469-486.
18. Otúzar.J.D. Willumsen,L.G.1990. Modeling Transport. Wiley and Sons.
19. Wills, M.J. 1986."A flexible gravity-opportunities model for trip distribution ". Transportation Research. Part B. 20 :pp89-111.
20. Pater A.Rogerson.1986. "Parameter estimation in the intervening opportunities model".Geographical Analysis.18 :pp47-56
21. Sen. 1986. "Maximum likelihood estimation of gravity model Parameters".Journal of Regional Science. A. 19(3) : pp461-474
22. Eash.1984. "Development of a Doubly Constrained Intervening Opportunities Model for Trip Distribution" CATS. Working paper number. 84-7.
23. Stoper, Meyburg.1975. Urban Transportation Modeling and Planning. Library of Congress Cataloging in Publication Data.
24. A.G. Willson.1970. Entropy in urban and Regional Modeling. Pion. Limited. London.
25. Evans. 1971. "The calibration of trip distribution models with exponential or similar cost functions". Transportation Research. 5: pp15-38.
26. Schneider M.1959." Gravity models and trip distribution theory".Papers and Proceedings of the Regional Science Association. 5 :pp51-56.
27. Stouffer S.1940. "Intervening Opportunities : A theory relating mobility and distance". American Sociological Review. 5 : pp845-867



" ABSTRACT "

A Suitability Analysis of Trip Distribution Models for Vehicular Movements on the Express Highway in Korea

Jeong Hyun Rho , Jae Jin Kim , Tae Gyun Kim

※Keywords : gravity model, intervening opportunity model, TCS, trip distribution
The gravity models including the entropy maximization model has been applied to almost every trip distribution analyses between regions not only in passenger trips but also in freight movements. In this study, the gravity model and the intervening opportunity model are theoretically compared and empirically examined using TCS(Toll Collecting System) data of Korean Express Highway Company to show the suitability of the models.

As a result, the intervening opportunity model is more suitable than the entropy maximization type gravity model in case of heavy truck movements which are usually used for long-distance shipment. This means that long-distance vehicular movements are influenced much more by the opportunities, which reflect the social and economic attractiveness, allowed in destination than by the travel costs to destination.

In conclusion, this study suggests that different types of trip distribution models should be applied to estimate the interregional movements of heavy trucks and passenger vehicles.