

□ 論 文 □

구간 교통량의 표준오차를 이용한 최적 O/D 표본수 산출

(Optimal O/D Sample Size Computation using link Volume Estimates)

尹 成 洵

(交通開發研究院 責任研究員)

金 元 奎

(交通開發研究院 研究員)

目 次

- I. 문제제기
- II. 이론적해법의 도출
- III. O/D 통행량 추정치의 공분산 행렬
- IV. 계산절차(알고리즘)의 개발
- V. 실제적용
- VI. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

ABSTRACT

In this paper we address the issue of how an optimal sample size computation relates the level of precision required for travel demand estimations and transportation planning. We approach the problem by 1) deriving a theoretical solution, 2) developing a computational procedure(algorithm) to implement the theoretical solution, and 3) demonstrating a practical application. Ultimately, we construct a formal scheme of optimal sample size computation for use in travel data collection processes.

I. 문제제기

일반적으로 표본의 크기를 늘림으로써 모집단

추정치의 정밀도를 높일 수 있지만 추가적인 정밀도가 조사비용을 보상하지 못하는 수준이 항상 존재하기 마련이다.

주) 본 논문의 초고는 The 39th North American Meeting of the Regional Science Association International, November, 1992, Chicago, U.S.A.에 발표되었음.

교통계획을 위한 교통조사에서 표본의 크기를 결정하는 것은 쉬운일이 아니다. 왜냐하면 교통조사는 매우 다양한 용도를 위해 수행되기 때문이다. 따라서 교통계획에서는 조사자료가 사용될 목적에 따라 다양한 수준의 정밀도가 요구된다.

교통조사자료의 용도는 크게 두가지로 구분될 수 있는데 하나는 조사지역의 통행실태를 서술하는 것이고 다른 하나는 통행수요예측을 위한 것이다. 교통조사자료가 통행수요예측에 쓰여질때는 표본크기는 곧바로 통행수요 추정치의 정밀도와 연관된다. 전통적인 4단계의 교통수요예측과정(통행발생-통행배분-수단분담-노선배정)에 있어서 한가지 주목해야 할점은 수요예측의 최종단계인 노선배정단계에서는 입력자료(input)로서 통행조사자료가 직접적으로 사용되지는 않는다는 점이다. 다시 말하면 노선배정시에는 교통수단별 O/D간의 "통행분포 추정치"가 입력자료로서 사용된다는 점을 상기할 필요가 있다.

본 논문에서는 교통조사(O/D 조사)시 표본크기가 통행수요추정치 정밀도에 어떻게 연관되었는지에 대한 문제를 다루고자한다. 물론 통행수요추정치 정밀도는 O/D의 표본크기 뿐만 아니라 그의 여러가지 인자에도 관련이 있으나 본 논문에서는 O/D의 표본 크기와 구간교통량의 추정치의 정밀도간의 관계규명에 초점을 맞추고 있다. 즉 구간교통량 추정치가 일정한(허용할 만한) 수준의 정밀도를 유지하기 위한 최적표본의 크기를 어떻게 결정하여야 할 것인가를 밝히는 일이다. 이를 위해 본 논문에서는 먼저 이론적인 해를 도출하고, 그 다음 이론적인 해를 구하기 위한 실제 계산절차(알고리즘)를 개발, 제시한다. 마지막으로 개발된 계산절차를 서울시 강남구의 실제 자료에 적용시켜 그 결과를 살펴보기로 한다.

II. 이론적 해법의 도출

전통적인 4단계 교통수요예측기법을 적용할 때

교통망상의 구간교통량 추정치(link volume estimates)의 정밀도는 최소한 다섯개의 과정에 의해 좌우된다. 즉, 교통조사, 통행발생모형, 통행배분모형, 수단분담모형 및 노선배정모형이다. 사실 각 단계에서의 정밀도는 그 전 단계의 결과에 영향을 받을 것이다. 예컨대 구간교통량추정치 정밀도는 수단별 기종점 통행량 추정치에 좌우될 것이고 한편 수단별 기종점 통행량 추정치의 정밀도는 통행발생량 및 통행유입량추정치 정밀도에 달려있다.

이렇게 볼때 교통조사단계에서 발생한 오차는 통행수요예측의 전과정에 걸쳐 퍼질 것이기 때문에 교통조사시 표본의 크기를 최적으로 결정하는 문제는 교통계획에 있어 매우 중요한 문제로 볼 수 있다. 여기서 우리가 풀어야할 문제는 예컨대 교통망상의 특정 구간에서의 구간교통량 관측치와 추정치간의 오차가 시간당 $\pm 5\%$ 를 넘어서는 안된다고 했을때 이러한 통행수요추정치 정밀도 수준을 유지시키기 위해서는 각 교통존(traffic zone)에서 표본의 크기는 얼마로 해야 하는 가를 푸는 문제이다.

문제에 대한 이론적인 해법은 우선 구간교통량 추정치의 통계적 표준오차(standard error)를 구하는 것으로 시작된다. 구간교통량추정치 표준오차(혹은 분산의 평방근)는 구간교통량 추정치의 공분산행렬(covariance matrix)을 계산함으로써 구해지고, 한편 이 공분산행렬은 기종점통행량추정치(O-D trip estimates)의 공분산행렬로부터 계산될 수 있다. 이제 이와 같은 이론적인 접근방법을 수학적으로 유도해 보기로 한다. 구간교통량(f_i)은 기종점통행량(T_{ij})의 함수로서 식 (1)과 같이 표현가능하다.

$$f_i = \sum_k h_{ik} \delta_k = \sum_k T_{ij} p_{jk} \delta_k = \sum_j T_{ij} \sum_k p_{jk} \delta_k = \sum_j a_{ij} T_{ij}$$

여기서 h_{ik} 는 통행의 기점 i 와 종점 j 간에 존재하는 통행경로(route)중에서 경로 k 를 이용하는

교통량이고 P_{ij} 는 그 비율, 즉 i 와 j 간에 존재하는 여러 대안 경로를 중에서 경로 k 의 교통량이 차지하는 비율이다. δ_{ij}^k 는 지시변수(indicator variables)로서 식(2)와 같이 정의 된다

$$\delta_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{링크 } l \text{이 } i \text{와 } j \text{를 연결하는 경로} \\ & \text{k에 포함된 경우} \\ 0 & \text{기타} \end{cases} \quad \text{식(2)}$$

식(1)에서 a_i^j 는 균형노선배정기법(network equilibrium algorithm)을 이용해서 기점 i 와 종점 j 간의 기종점 교통량(T_{ij})을 교통망상에 배정하였을때 구간 l 에 부과되는 교통량의 비율을 나타낸다. 다시말해서 교통존 i 에서 교통존 j 로 가는 통행량 중에서 구간 l 에 걸리는 교통량의 비율을 의미한다. 여기서 식(1)을 행렬식으로 표현해보면 식(3)과 같다.

$$f = AT \quad \text{식(3)}$$

여기서

$$T = (T_{11}, T_{12}, \dots, T_{1n})$$

$$A = (a_1^1, a_1^2, \dots, a_1^L, a_2^1, a_2^2, \dots, a_2^L, \dots, a_n^1, \dots, a_n^L)$$

$$f = (f_1, f_2, \dots, f_L)$$

식(3)에서 행렬 A 의 계산은 구간비용함수(link cost function)에 근거하여 노선배정의 결과로 구해지고, 행렬 T 는 통행배분(trip distribution)의 결과로 구해진다.

문제의 해를 구하기 위한 접근방법으로서 구간교통량추정치의 통계적 신뢰구간(confidence intervals)을 구하기 위해 이제부터 구간교통량추정치의 공분산행렬을 유도해보기로 한다. 이를 위해 우선 Δf 와 ΔT 를 다음과 같이 정의 한다. 여기서 E 는 수학적 기대치이다.

$$\Delta f \equiv f - E(f)$$

$$\Delta T \equiv T - E(T)$$

정의에 의해 구간교통량 (f)의 공분산 행렬은 식(4)와 같이 유도가 된다. 식에서 '는 행렬의 전치(transpose)이다.

$$\begin{aligned} \text{Cov}(f) &= E(\Delta f \Delta f') \\ &= E(A \Delta T \Delta T' A') \\ &= A E(\Delta T \Delta T') A' \\ &= A \text{Cov}(T) A' \end{aligned} \quad \text{식(4)}$$

$\text{Cov}(f)$ 의 모양은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \text{Var}(f_1) & \text{Cov}(f_1, f_2) & \dots & \text{Cov}(f_1, f_L) \\ \text{Cov}(f_2, f_1) & \text{Var}(f_2) & \dots & \text{Cov}(f_2, f_L) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{Cov}(f_L, f_1) & \text{Cov}(f_L, f_2) & \dots & \text{Var}(f_L) \end{pmatrix}$$

여기서 Var 와 Cov 는 각각 분산의 공분산의 의미하고 L 은 총 구간수로서 $\text{Cov}(f)$ 의 크기는 $L \times L$ 과 같다. 식(5)와 같은 공분산행렬이 계산되면 이 행렬의 대각선상에 있는 요소들 즉, 각 구간교통량추정치의 분산에 평방근(square root)을 취함으로써 구간교통량추정치의 표준오차(standard error)를 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 표준오차를 이용하여 구간교통량 추정치의 통계적 신뢰구간(confidence intervals)을 계산할 수 있다.

이제까지 구간교통량 추정치의 통계적 신뢰구간은 추정치의 공분산행렬 $\text{Cov}(T)$ 와 노선배정의 결과에서 얻을 수 있는 A 행렬을 가지고 계산할 수 있음을 보았다. 그러면 O/D 교통량추정치의 공분산행렬의 유도도 그 계산방법을 다음장에서 설명하기로 한다.

III. O/D 통행량 추정치의 공분산 행렬

기종점(O/D) 통행량 추정치의 공분산행렬의 이론적 도출에 앞서 먼저 기종점통행량(T_{ij}) 예측을 위한 일반화 중력모형(Generalized Gravity Model)¹⁾을 개략적으로 기점을 개략적으로 설명하기로 한다.

주1) 일반화 중력모형과 모형파라미터의 추정법은 윤성순, "일반화 중력모형 파라미터의 새로운 최우추정기법 개발", 대한교통학회지 제11권 제1호(통권 19호), 1993. 4., PP. 55-66참조.

N_{ij} 를 기점 i 와 종점 j 간에 관측된 (observed)통행량이라 하고 $c_{ij} = (c_{ij}^{(1)}, \dots, c_{ij}^{(K)})'$ 를 통행시간, 통행비용등으로 구성되는 공간분리(spatial separation)벡타라고 할때 일반화 중력모형은 식(6)과 같이 표현된다.

$$T_{ij} = E(N_{ij}) = A(i) B(j) F(c_{ij})$$

for all $i \in I$ and $j \in J$ 식(6)

여기서 N_{ij} 는 상호독립의 Poisson 분포를 갖는다고 가정하고 (N_{ij} 가 Poisson 분포를 갖기 위한 필요충분조건은 Smith, 1987을 참조) 통행저항 함수 $F(c_{ij})$ 는 식(7)과 같은 함수식을 갖는 것으로 가정한다.

$$F(c_{ij}) = \exp[\theta' c_{ij}]$$

식(7)

여기서 \exp 는 exponent이고 θ 및 $A(i)$, $B(j)$ 는 추정해야할 파라메타이다.

행렬의 크기가 $IJ \times (I+J+K)$ 임 모형 파라메타 벡타 $(A, B, \theta)'$ 에 대한 O/D 통행 T의 Jacobian 행렬 Ψ_1 은 식(6)과 식(7)로부터 유도될 수 있다. 일반화 중력모형에서 O/D통행추정치의 모형 파라메타에 대한 편미분은 각각 $\partial T_{ij} / \partial A(i) = B(j)F_{ij} = T_{ij}/A(i)$, $\partial T_{ij} / \partial B(j) = A(i)F_{ij} = T_{ij}/B(j)$, $\partial T_{ij} / \partial \theta_k = A(i)B(j)c_{ij}^{(k)}F_{ij} = c_{ij}^{(k)}T_{ij}$ 이므로 Jacobian행렬식은 식(8)과 같이 유도된다.

$$\Psi_1 = \begin{matrix} \text{diag}(T) \cdot M \\ \cdot \text{diag}(1/A(1), \dots, 1/A(I), 1/B(1), \dots, \\ 1/B(J), 1, 1, \dots, 1) \end{matrix}$$

여기서 $\text{diag}(\cdot)$ 은 괄호안의 원소(elements)를 갖는 대각행렬(diagonal matrix)를 나타낸다. 식(8)의 행렬M의 형태를 예를 들어서 설명하면 교통존이 3개 ($I=J=3$), 공간분리변수가 2개 ($k=2$)인 경우 다음과 같은 모양이 된다.

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & c_{11}^{(1)} & c_{11}^{(2)} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & c_{12}^{(1)} & c_{12}^{(2)} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & c_{13}^{(1)} & c_{13}^{(2)} \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & c_{21}^{(1)} & c_{21}^{(2)} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & c_{22}^{(1)} & c_{22}^{(2)} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & c_{23}^{(1)} & c_{23}^{(2)} \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & c_{31}^{(1)} & c_{31}^{(2)} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & c_{32}^{(1)} & c_{32}^{(2)} \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & c_{33}^{(1)} & c_{33}^{(2)} \end{pmatrix}$$

$(A, B, \theta)'$ 에 대한 M'T의 Jacobian 행렬 (Ψ)은 식(8)로부터 구해진다.

$$\Psi = \begin{matrix} M' \text{diag}(T) \cdot M \\ \cdot \text{diag}(1/A(1), \dots, 1/A(I), 1/B(1), \dots, \\ 1/B(J), 1, 1, \dots, 1) \end{matrix}$$

어떤 정방행렬(square matrix)의 계급(rank)이 행렬의 크기(dimension)와 같을때 그 행렬을 정칙행렬(nonsingular)이라 하고 그렇지 않은 경우에는 비정칙행렬(singular)이라한다. 어떤 행렬식의 유일한 해가 존재하기 위해서는 그행렬은 full rank이어야만 한다. full rank란 행렬의 계급이 연립방정식에서 미지수의 갯수와 같은 경우이다. Jacobian행렬 (Ψ)은 rank가 $I+J+K-1$ 이고 크기는 $I+J+K$ 로서 비정칙행렬이다. 한편 행렬 M의 rank는 $I+J+K-1$ 로서 full rank가 아니므로 유일해를 갖지 못한다. 따라서 행렬 Ψ 를 full rank로 만들기 위해서 행렬 M에서 첫열(column)에서부터 $I+J$ 번째 열중에서 하나의 열, 예컨데 $B(J)$ 를 제거시켜서 $M_{(2)}$ 라는 새로운 행렬을 만들어 낸다. 그 다음, 식(9)에다 행렬 M 대신 $M_{(2)}$ 로 바꿔서 대입하면 $(A, B, \theta)'$ 에 관한 $M'_{(2)}T$ 혹은 $M'_{(2)}N$ 의 Jacobian 행렬은 다음 식(10)과 같다.

$$\Phi = \begin{matrix} M'_{(2)} \cdot \text{diag}(T) \cdot M_{(2)} \\ \cdot \text{diag}(1/A(1), \dots, 1/A(I), 1/B(1), \dots, \\ 1/B(J-1), 1, 1, \dots, 1) \end{matrix}$$

따라서 M'N에 관한 일반화중력모형 파라메타 벡타 $(A(1), \dots, A(I), B(1), \dots, B(J-1), \theta_1, \dots, \theta_k)'$ 의 Jacobian 행렬은 Φ^{-1} 이 된다.

한편 O/D통행 관측치의 공분산 행렬 Cov(N)은 O/D통행 추정치가 대각선 원소가 되는 $\text{diag}(T)$ 와 같다. 왜냐하면 앞에서 O/D 통행관측치 (N_{ij}) 들은 상호독립인 Poisson분포를 갖는 것으로 가정하였기 때문이다. 즉,

$$\text{Cov}(N_{ij}, N_{pq}) = T_{ij} \text{ if } (i,j) = (p, d) \\ 0 \text{ 기타}$$

또한 $E(N_{ij})=T_{ij}$ 이고 $\text{Var}(N_{ij})=T_{ij}$ 이므로

$$\begin{aligned} \text{Cov}(M'_{(2)}N) &= E(M'_{(2)}NN'M_{(2)}) \\ &= M'_{(2)}E(NN')M_{(2)} \\ &= M'_{(2)}\text{Cov}(N)M_{(2)} \\ &= M'_{(2)}\text{diag}(T)M_{(2)} \end{aligned} \quad \text{식(11)}$$

이제 일반화중력모형 파라메타의 최우추정치(Maximum Likelihood Estimates)의 공분산행렬은 다음과 같이 유도된다. 우선 O/D통행량 관측치 N 의 작은 변화분 ΔN 에 대한 일반화중력모형 파라메타의 작은 변화분을 $\Delta A, \Delta B, \Delta \theta$ 라 하면

$$(\Delta A', \Delta B', \Delta \theta') = \Phi^{-1} \cdot M'_{(2)} \Delta N \quad \text{식(12)}$$

그다음,

$$M'_{(2)} \Delta N \equiv M'_{(2)}N - E(M'_{(2)}N)$$

$$(\Delta A', \Delta B', \Delta \theta') \equiv (A, B, \theta) - E(A, B, \theta)$$

라고 정의하자. 그러면 모형파라메타 추정치 (A', B', θ') 의 공분산행렬은 식(13)과 같이 유도된다. 여기서 \cdot 은 추정치(estimate)를 나타낸다.

$$\begin{aligned} E[(\Delta A', \Delta B', \Delta \theta')(\Delta A', \Delta B', \Delta \theta')'] \\ &= E[\Phi^{-1} M'_{(2)} \Delta N (M'_{(2)} \Delta N)' (\Phi^{-1})'] \\ &= \Phi^{-1} E[M'_{(2)} \Delta N (M'_{(2)} \Delta N)' (\Phi^{-1})'] \\ &= \Phi^{-1} \text{Cov}(M'_{(2)}N) (\Phi^{-1})' \\ &= \Phi^{-1} M'_{(2)} \text{diag}(T) M_{(2)} (\Phi^{-1})' \end{aligned}$$

식(10)으로 표현되는 ϕ 를 식(13)에 대입하면 다음식을 얻는다.

$$\begin{aligned} &\text{diag}(A(1), \dots, A(J), B(1), \dots, B(J-1), 1, 1, \dots, 1) \\ &\cdot [M'_{(2)} \text{diag}(T) M_{(2)}]^{-1} \cdot [M'_{(2)} \text{diag}(T) M_{(2)}] \\ &\cdot [\text{diag}(A(1), \dots, A(J), B(1), \dots, B(J-1), 1, 1, \dots, 1) \\ &\cdot (M'_{(2)} \text{diag}(T) M_{(2)})^{-1}] \\ &= \text{diag}(A(1), \dots, A(J), B(1), \dots, B(J-1), 1, 1, \dots, 1) \\ &\cdot (M'_{(2)} \text{diag}(T) M_{(2)})^{-1} \\ &\cdot \text{diag}(A(1), \dots, A(J), B(1), \dots, B(J-1), 1, 1, \dots, 1) \end{aligned}$$

식(14)에 A, B, θ, T 의 최우추정치 $\hat{A}, \hat{B}, \hat{\theta}, \hat{T}$ 를 대입하면 일반화중력모형 파라메타 최우추정

치의 공분산행렬을 얻을 수 있다. 따라서 O/D통행량추정치의 공분산행렬 $\text{Cov}(\hat{T})$ 은 다음 식(15)와 같이 도출된다.

$$\text{Cov}(\hat{T}) = \Psi_1 \text{Cov}(A, B, \theta) \Psi_1 \quad \text{식(15)}$$

여기서 ϕ_1 는 (A, B, θ) 에 관한 T의 Jacobian행렬로서 식(8)과 같다.

IV. 계산절차(알고리즘)개발

제 2장 및 3장에서 제시한 이론적인 해법을 실제로 적용하기 위한 계산절차는 다음과 같은 단계별로 개발될 수 있다.

절차1 : 대상지역의 조사된 O/D자료를 이용, 노선배정을 통하여 구간교통량(link volume)을 추정한다.

절차2 : 절차1에서 추정된 구간교통량(\hat{f}_i) 정밀도의 신뢰수준(허용오차범위)을 결정한다.

절차3 : 기존 O/D통행표를 이용해서 일반화중력모형 파라메타의 최우추정치 $\hat{A}, \hat{B}, \hat{\theta}$ 구하고 또한 O/D통행량추정치 \hat{T} 을 구한다.

절차4 : 제3장의 식(14)를 이용해서 일반화중력모형 파라메타의 최우추정치의 공분산행렬 $\text{Cov}(\hat{A}, \hat{B}, \hat{\theta})$ 를 계산한 후 O/D통행량추정치의 공분산행렬 $\text{Cov}(\hat{T})$ 를 식(15)를 이용해서 계산한다.

절차5 : 균형노선배정(network equilibrium)알고리즘, 예컨대 Frank-Wolfe알고리즘을 이용해서 각 O/D 교통량이 구간에 걸리는 비율인 a^k 를 계산한다.

절차6 : 제2장의 식(4)를 이용해서 구간교통량추정치 \hat{f} 의 공분산행렬 $\text{Cov}(\hat{f})$ 를 계산하고, 이 행렬 대각선 요소(diagonal elements)의 평방근을 취함으로써 각 구간교통량 추정치의 통계적 표준오차(standard error)를 계산한다.

절차7 : 구간 l 에 대한 표본크기를 다음식(16)에

의해 계산한다.

$$Z \cdot \frac{s.e.(\hat{f}_i)}{n_i} \leq \bar{f}_i - \hat{f}_i$$

여기서 \bar{f}_i 은 구간 i 의 관측교통량(observed volume)이고 \hat{f}_i 는 예측교통량(estimated volume)이다. $s.e.(\hat{f}_i)$ 은 \bar{f}_i 의 표준오차이고 n_i 은 구간 i 에 대한 표본크기이다. Z 는 주어진 유의 수준에서 정규분포의 확률밀도(normal variate)로서, 예컨대 95% 유의수준에서 Z 값은 1.96이다.

절차8 : 제2장의 식(2)와 같이 표시되는 지시변수 δ_{ij} 를 이용해서 통행의 기점 i 에 대한 표본크기 n_i 를 계산한다. 구간에 대한 표본크기 n_i 로부터 교통존 i 에 대한 표본크기를 결정하는 방법을 좀 더 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 주어진 교통존 i 에 대해서,

- (a) 각 구간 j 에 대해 다음식을 이용해 n_i^j 를 계산한다.

$$n_i^j = n_i \times a^{ij}$$

- (b) 주어진 i 에 대해 n_i 를 다음과 같이 계산한다.

$$n_i = \sum_j n_i^j$$

- (c) 위의 (a)와 (b)의 계산을 모든 대상구간에 대해 반복한다. 즉 모든 구간의 n_i 를 주

어진 i 에 대해서 구한다.

- (d) 그런 후 (c)에서 구한 모든 구간의 n_i^j 중에서 최대값을 취함으로써 교통존 i 에서의 "최적 표본크기"를 결정한다.

$$n_i = \max_j n_i^j$$

최대값을 취하는 이유는 앞서 절차2에서 결정된 신뢰수준이 적용지역의 모든 대상구간에 대해 "충분히" 만족시킬 수 있게 하기 위함이다.

- (e) 절차 (a),(b),(c),(d)를 대상지역의 모든 교통존 ($i=1, 2, \dots, I$)에 대해서 반복 함으로써 모든 교통존에서 최적표본크기를 계산한다.

V. 실제적용

본 논문의 실제적용 대상지역은 서울시 강남구 일원이다. 분석기준년도인 1991년 현재 강남구의 인구는 517,218인이며, 면적은 38.97km²으로서 서울시의 24개구중에서 면적크기로는 4번째, 인구 규모로는 9번째에 해당된다. 강남구는 23개의 행정동으로 나뉘어져 있으며 북으로는 서울시를 가로지르는 한강이 흐르고 있고 동으로는 송파구, 서로는 서초구, 남으로는 경기도 성남시와 접하고 있다. 적용대상지역의 위치도는 (그림 1)과 같다.

(그림 1) 적용대상지역의 위치도

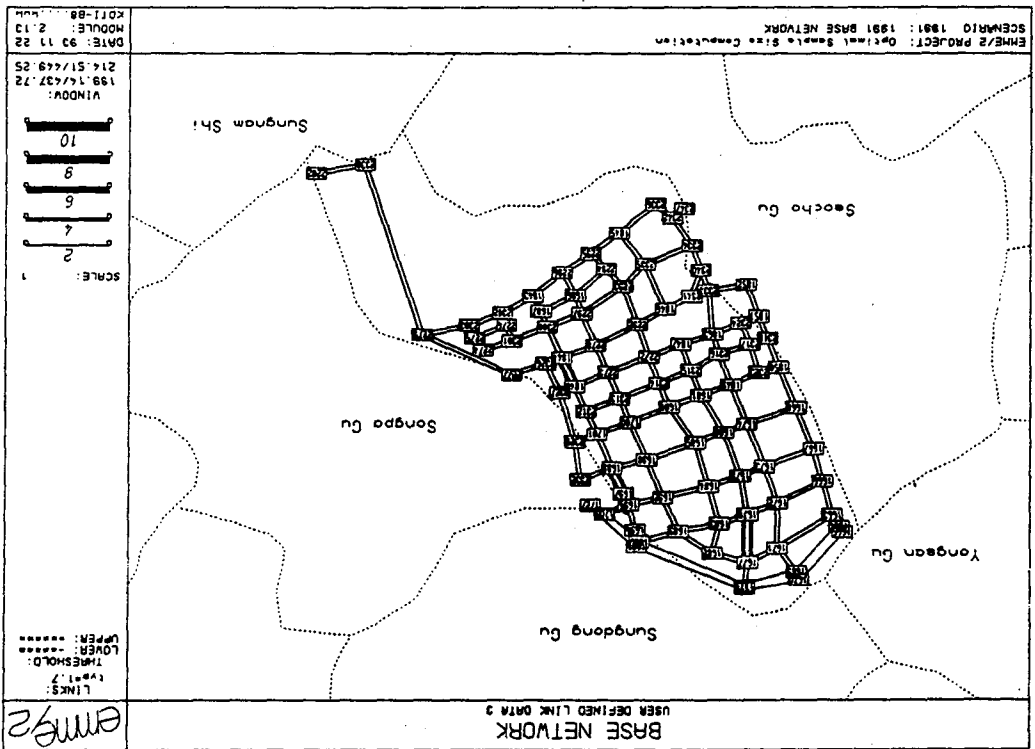


분석을 위한 교통존은 모두 27개의 존으로 설정되었다. 대상지역의 내부존은 강남구의 23개 행정동을 기준으로 설정되었으며 외곽존은 서울시와 경기도지역의 각 시군구 지역들을 강남구를 중심으로 동, 서, 남, 북으로 각각 나누어 4개의 존으로 설정하였다. 본 논문에 사용된 강남구 지역의 기존 O/D 통행량은 1990년에 시행된 서울시 교통현황자료를 바탕으로 산출되었다. 또한 관

측구간교통량은 도로교통안전협회에서 실시한 전자신호체계운영구간 교통량조사 자료를 사용하였다.

(그림 2)는 적용대상지역인 서울시 강남구의 교통망(network)이며 91개의 결절점(node)과 386개의 구간으로 이루어졌다. 적용대상 구간(link)들은 기존에 교통량조사가 시행되고 있는 147개의 구간들로 선정되었다.

(그림 2) 강남구 지역의 교통망(network)도



측구간교통량(f)은 교통계획전산패키지인 EMME/2의 균형노선배정모듈(equilibrium network assignment module)을 이용하여 산출하였다.

관측 O/D통행표와 공간분리변수(본연구에서 는 $c_{ij}^{(1)}$: 존 간의 거리, $c_{ij}^{(2)}$: ln(존간의 거리)

를 사용하였음)를 이용하여 일반화중력모형 파라메타의 최우추정치 A, B, θ 를 구하였다. $\hat{A}, \hat{B}, \hat{\theta}$ 의 산출결과는 <표 1> 및 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 $\hat{\theta}^{(1)}$ 은 $c_{ij}^{(1)}$, $\theta^{(2)}$ 는 $c_{ij}^{(2)}$ 에 관한 파라메타이다.

<표 1> 일반화 중력모형 파라메타 (\hat{A} , \hat{B})의 추정결과

존 번호	\hat{A}	\hat{B}	존 번호	\hat{A}	\hat{B}
1(신사동)	0.26	28.61	13(대치4동)	0.08	3.85
2(학동)	0.10	8.90	14(역삼1동)	0.14	17.64
3(압구정1동)	0.07	10.62	15(역삼2동)	0.11	7.71
4(압구정2동)	0.04	3.16	16(개포1동)	0.11	12.01
5(논현동)	0.15	31.68	17(개포2동)	0.06	6.48
6(청담1동)	0.13	13.45	18(개포3동)	0.05	7.11
7(청담2동)	0.06	8.36	19(개포4동)	0.05	3.87
8(삼성1동)	0.27	19.21	20(세곡동)	0.02	2.09
9(삼성2동)	0.10	11.26	21(일원동)	0.04	5.94
10(대치1동)	0.08	13.11	22(도곡1동)	0.05	5.04
11(대치2동)	0.13	14.17	23(도곡2동)	0.05	3.14
12(대치3동)	0.10	4.95			

<표 2> 일반화 중력모형 파라메타 ($\hat{\theta}$)의 추정결과

$\hat{\theta}^{(1)}$	0.2257612
$\hat{\theta}^{(2)}$	-0.4600596
자유도(degree of freedom)	482
Chi-Square	845.9469
Chi-Square Ratio	1.7751.

식(14)에 의해 계산된 $Cov(\hat{A}, \hat{B}, \hat{\theta})$ 를 이용

하여 $Cov(\hat{T})$ 를 식(15)에 의해 구하고 EMME/2의 균형노선배정모듈을 이용하여 a^{ij} 를 산정한 다음 식(4)에 의해 $Cov(\hat{f})$ 를 산출하였다. 또한 $Cov(\hat{f})$ 의 대각선요소의 평방근을 취하여 문제구간들의 표준오차들을 구하였다. <표 3>은 대상 링크중 일부구간의 관측구간교통량과 추정구간교통량 그리고 표준오차를 나타낸 것이다.

<표 3> 테헤란로 구간의 관측교통량, 추정교통량 및 표준오차

(단위 : PCU)

링크(inode→jnode)	관측교통량(f_i)	추정교통량(\hat{f}_i)	표준오차(Standard Error)
1850 → 2323	2419	5830	280.43
2323 → 1850	2669	3211	158.65
2323 → 1849	1204	4958	535.40
1849 → 2323	2416	2172	270.77
1849 → 1681	2398	4803	547.49
1681 → 1849	2497	1615	283.03
1681 → 1688	2300	3751	251.97
1688 → 1681	3580	1326	313.30
1688 → 1700	2427	3521	283.47
1700 → 1688	3777	1722	713.19
1700 → 1701	2442	3180	192.88
1701 → 1700	3040	1426	517.48

그리고 <표 3>의 표준오차와 \hat{f}_1, \hat{f}_1 을 식 (16)에 대입하여 n_1 을 산출하였다. 이때 Z값은 1.96(유의수준 95%)로 정하였다. 이 n_1 은 구간(link) l에 대한 표본수로서 이것은 노면면접조사(road-side survey)를 실시하는 경우 최적표본크기로 사용될 수 있다. IV장의 절차8에 제시된 과정을 통하여 교통존 i에서의 최적표본크기 n_i 를 구한 결과는 <표4>와 같다.

<표 4> 교통존별 최적표본크기

(단위 : PCU)

존 번호	최적표본크기	존 번호	최적표본크기
1(신사동)	1598	13(대치4동)	61
2(학동)	1611	14(역삼1동)	115
3(압구정1동)	2461	15(역삼2동)	348
4(압구정2동)	2440	16(개포1동)	583
5(논현동)	1615	17(개포2동)	65
6(청담1동)	3594	18(개포3동)	71
7(청담2동)	3631	19(개포4동)	40
8(삼성1동)	4219	20(세곡동)	33
9(삼성2동)	262	21(일원동)	22
10(대치1동)	65	22(도곡1동)	69
11(대치2동)	53	23(도곡2동)	53
12(대치3동)	55		

VI. 결론 및 향후연구과제

교통계획을 위한 O/D 조사에서 표본율은 대부분의 경우 인구나 가구수에 대해 일률적으로 적용되고 있다. 예를 들어서 미국 공로청은 도시인구의 4-20%를 추천하고 있고 영국 TRL의 경우는 이보다 약 0.5% 정도 높은 표본율을 추천하고있다. 우리나라의 경우 표준화된 표본을 기준은 아직 없는 형편이다. 그러나, 교통수요예측과정의 출발점이라고 할 수 있는 교통조사에서 발생한 오차는 교통수요예측의 전과정에 걸쳐 영향을 미칠 것이기 때문에 최종단계에서 산출된 구간교통량 추정결과

를 반영할 수 있는 방법이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 과거에 조사된 O/D 자료와 관측구간 교통량 자료를 이용해서 교통수요 추정의 정밀도를 제고할수 있는 표본크기를 산출하는 새로운 방법을 제시하였다. 이 방법의 의의는 교통계획을 위한 표본크기의 결정에 있어서 기존의 O/D 통행패턴과 노선배정에 영향을 미치는 변수(예컨대 도로의 용량, 교통망의 형태)를 고려하는데 있다.

본 연구의 실제 적용에 있어서의 한계성은 다음과 같다. 우선, 최적 표본크기의 단위가 PCU로 산출되었는바 이를 실제 가구 표본수로 환산하는 방안에 관한 추후 검토가 필요할 것이다. 이를 위해 고려되어야 할 요인으로는 교통수단 부담율, 수단별 재차인원, 가구당 인구수, 1인당 통행횟수 등을 들수있다. 이에 대한 한가지방법으로써 제시할 수 있는 것은 본 논문에서 제시한 최적 표본크기 계산절차를 교통수단별로 적용하여 수단별 최적 표본크기를 구한후, 여기에 앞서 말한 재차인원, 1인당 통행 횟수, 가구당 인구수등의 요인들을 적용, 가구수 단위의 최적 표본수를 산출하는 것이다. 또한, 본연구의 실제적용사례에서는 첨두시 구간교통량에 의해서 최적표본수를 산출하였는데 이를 전일화된 표본수로 환산하는 방안도 강구되어야 할것이다.

참 고 문 헌

- [1] 윤성순(1993) "일반화 중력모형 파라미터의 새로운 최우추정기법 개발", 대한교통학회지 제11권 제1호(통권19호), 1993. 4, PP. 55-66.
- [2] Boyce, D.E. and Ashish Sen(1990), Estimation Procedures for Transportation Network Equilibrium Models, in K. Peschel, ed., Infrastructure and Space-Economy, New York: Spinger-Verlag.

- [3] Rao, C. Radhakrishna(1973) *Linear Statistical Inference and Its Application*, New York: Spinger-Verlag.
- [4] Sheffi, Yosef(1985) *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programing Method*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- [5] Smith, Tony E.(1987) *Poisson Gravity Models of Spatial Flows*, *Journal of Regional Science*, Vol 27, pp. 315-340.
- [6] Weber, James and Ashish Sen(1985) *Sensitivity of Gravity Model Parameters*, *Journal of Regional Science*, Vol 25, pp. 317-336.
- [7] Yun, Seongssoon(1992) *Maximum Likelihood Estimation Procedures for Generalized Gravity Model Parameters*, University of Illinois at Chicago, unpublished Ph.D Dissertation.