

■ 論 文 ■

대규모교통망에서 관측교통량기반 통행수요추정

Travel Demand Estimation using Traffic Counts
on the Large Scale Network

김 종 형

(교통개발연구원 책임연구원)

이 승 재

(서울시립대학교 교통공학과 조교수)

조 범 철

(교통개발연구원 연구원)

목 차

- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구 배경 및 목적 2. 연구 범위 및 방법 <p>II. 이론 고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 다차종관측교통량기반 gradient모형 2. 통행시간빈도분포 3. 군집분석 | <p>III. 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 분석교통망 2. 평가지표 3. 분석결과 <p>IV. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Key Words : 대규모 교통망, 다차종기반모형, 단일차종기반모형, 통행시간빈도분포, multiclass assignment

요 약

대부분의 관측교통량기반 수요추정기법은 소규모 및 중규모 교통망 등의 상대적으로 규모가 작은 교통망에서 기본적으로 가정된 수요를 가지고 얻은 추정O/D를 기본O/D와 비교하여 그 추정의 정확성이 어느 정도인가를 오차분석법 등을 이용하여 비교·분석하는 것이 그 주요한 분석방향이라고 할 수 있었다. 이러한 접근법은 실제 현실에서는 알 수 없는 참O/D나 참관측교통량을 가정하고 제시된 모형을 면밀히 관찰하여 모형의 장단점이 무엇인지를 파악하거나 타모형과의 비교·분석을 용이하게 하고자 할 때 많이 이용된다. 그러나, 이러한 가정된 교통망이나 참O/D(true O/D) 등은 모형의 적용가능성을 살필 경우에 이용 가능한 방법이라고 할 수 있지만, 참O/D를 알지 못하는 현실상황(대규모 교통망)에서는 추정O/D의 신뢰성을 평가하기란 매우 힘든 작업이거나 거의 불가능한 일이라 할 수 있다. 이러한 문제점을 보완하고자 본 연구에서는 서울시의 1996년도 교통센서스 자료를 이용하여 가정된 수요가 아닌 실제적이고 현실적인 자료를 가지고 대규모 교통망에서 이용될 수 있는 모형을 살펴보았다. 연구방법은 대규모 교통망에 기존의 단일차종기반모형과 본 연구에서 제시한 다차종(multiclass)기반모형을 적용하여 추정된 O/D에 TLF(D) (Trip Length Frequency Distribution) 개념을 이용하여 추정된 O/D의 신뢰성을 평가하고자 하였다. 또한, R^2 를 이용하여 모형 적용 전후의 관측교통량과 배분교통량을 비교하여 추정력을 분석하였다. 본 연구에서는 단일차종기반모형보다는 차종간 혼잡효과 및 노선선택비율을 차종별로 감안할 수 있는 다차종기반모형이 대규모교통망에서는 보다 적절한 결과를 나타내는 것으로 분석되었다.

1. 서론

1. 연구 배경 및 목적

대부분의 관측교통량기반 수요추정기법은 소규모 및 중규모 교통망을 연구대상으로 삼는다. 즉, 기존의 방법론들은 상대적으로 규모가 작은 교통망에서 기본적으로 가정된 수요를 가지고 얻은 추정O/D를 최초의 참O/D(true O/D)와 비교하여 그 추정의 정확성이 어느 정도인가를 오차분석법 등을 이용하여 비교·분석하는 것이 그 주요한 분석방향이라고 할 수 있었다.

이러한 접근법은 실제 현실에서는 알 수 없는 참O/D나 참관측교통량을 가정하고, 제시된 모형을 면밀히 관찰하여 모형의 장단점이 무엇인지를 파악하거나 타모형과의 비교·분석을 용이하게 하고자 할 때 많이 이용된다.

그러나, 이러한 가정된 교통망이나 참O/D 등은 모형의 적용가능성을 살필 경우에 이용 가능한 방법이라고 할 수 있지만, 참O/D를 알지 못하는 현실상황(대규모 교통망)에서는 추정O/D의 신뢰성을 평가하기란 매우 힘든 작업이거나 거의 불가능한 일이라 할 수 있다.

이러한 현실 적용 문제를 보완하고자 본 연구에서는 서울시의 1996년도 "교통센서스 자료"를 이용하여 가정된 수요가 아닌 실제적이고 현실적인 자료를 가지고 선행연구¹⁾에서 제시한 다차종(multiclass)관측교통량기반 수요추정기법을 적용하여 그 신뢰성을 평가하였다. 즉, 추정된 O/D의 신뢰성을 통행수요모형 정산과정에서 많이 이용되는 TLF(D(Trip Length Frequency Distribution)개념을 이용하여 대규모 교통망에서 추정된 O/D의 신뢰성을 평가(evaluation)하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

대규모 교통망(서울시 포함 수도권)에서 추정된 O/D의 신뢰성을 평가하기 위해 선행 연구에서 제시한 방법론을 적용하여 조사된 TLF(D와 추정된 O/D의 TLF(D를 비교하고 보다 세부적인 분석을 위하여 개별적인 존별 TLF(D(일대다:one-to-many zone) 또

한 조사된 TLF(D와 비교·검토하여 최종 분석된 결과들이 통계적으로 어떠한 유사성이 있는지를 살펴보고자 한다. 또한 추정된 O/D의 배분교통량과 관측교통량을 비교하여 배분교통량 또한 어느 정도 신뢰성 있게 정산되었는지를 살펴보고자 R^2 분석을 추가하였다.

구체적인 분석 범위는 다차종 gradient방법의 가용성과 TLF(D개념의 적용성을 대규모 교통망상에서 평가하기 위한 일환으로 수도권 전체의 1,020개의 존을 가지고 있는 교통망과 1996년도 교통센서스 자료의 전수화된 O/D 및 코든·스크린라인 교통량자료를 가지고 수행되었다. 분석기준자료는 동일년도의 동일조사에서 조사된 통행시간분포를 이용하여 수행된 결과 들을 비교·검토하였다. TLF(D(χ^2 -검정 포함) 및 R^2 를 가지고 추정O/D의 신뢰성 검증을 그 내용적 범위로 삼았다.

구체적인 연구방법은 아래와 같다.

첫째, 분석대상교통망을 수도권 전체로 설정하고, 전수화된 O/D를 기본O/D라 하고,

둘째, 253개의 1996년도 코든·스크린 라인 교통량 자료를 이용하여 승용차, 버스 등의 2개 자료를 관측교통량이라고 설정하고²⁾,

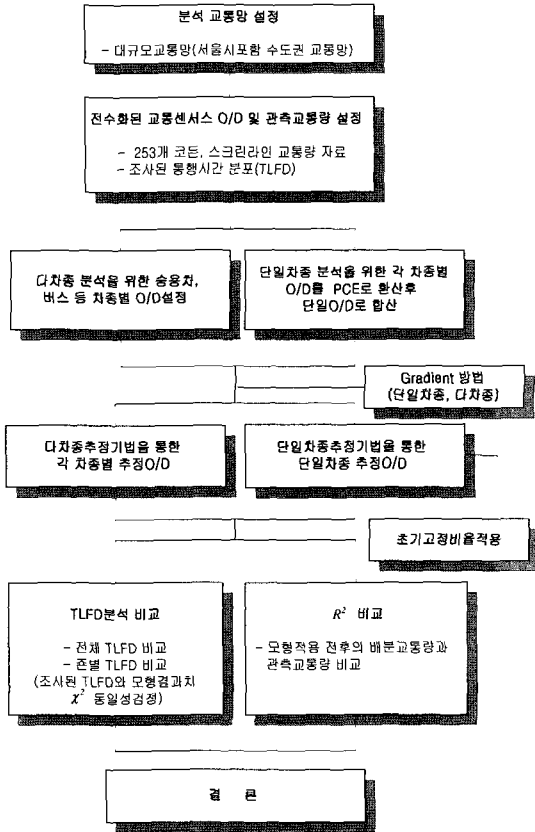
셋째, 대규모 교통망에 적합한 모형은 무엇인가를 판단하기 위하여 기존의 단일차종기반모형과 본 연구에서 제시한 다차종기반모형을 비교하기 위하여 위의 2개 차종을 PCU로 환산하여 합한 단일관측교통량 집합 및 단일O/D와 기존의 두 개 관측교통량자료 및 O/D를 별도로 마련하여 분석을 수행하여,

넷째, ①조사된 TLF(D, ②최초전수화된 O/D의 TLF(D, ③단일차종기반추정O/D의 TLF(D, ④다차종기반추정O/D의 TLF(D를 서울시 전체뿐만 아니라 존별로 일대다(one-to-many)비교하여 군집분석을 통한 그룹을 나누어 그 추정의 정확도를 χ^2 -검정으로 조사된 TLF(D와 각각의 자료별로 동일성검정을 통한 추정력을 살펴보고,

다섯째, 이렇게 선정된 존들의 TLF(D특성이 존의 입지특성과는 어떠한 관계가 있는지를 보다 면밀히 파악하기 위하여 k -평균(k -means) 군집분석을 통하여 4개의 군집으로 나누어 분석하였으며,

1) 이승재·김종형(2001), 다차종통행배분을 이용한 관측교통량기반 통행수요추정방법개발, 대한교통학회지, 제19권 제1호.

2) 1996년도 서울시 교통센서스 자료중 코든·스크린 라인 자료에는 크게 auto, bus, truck의 3개 class의 교통량 자료가 조사되었으나, 전수화 O/D에는 truck과 관련된 O/D가 없어 부득이 auto, bus의 2개 차종만을 대상으로 하였다.



〈그림 1〉 대규모 교통망 분석 과정

여섯째, 최초 추정되기 전의 배분된 교통량과 최종적으로 추정된 O/D의 배분된 교통량을 관측교통량과의 R^2 로 비교·분석하여 추정력을 살펴보았다.

일곱째, 본 연구에서 이용되는 통행배분(traffic assignment)기법은 단일차종기반분석법, 다차종기반분석법 모두 균형통행배분³⁾을 이용하였다.

전체적인 분석절차를 살펴보면 〈그림 1〉과 같다.

II. 이론 고찰

1. 다차종관측교통량기반 gradient 모형

다차종 관측교통량기반 O/D추정법의 전체적인 모형의 형태는 아래와 같이 수단별 관측 링크 통행량과

배분된 통행량의 차이를 최소화하는 형태라고 할 수 있다.

$$\min Z(t^m) = \frac{1}{2} \sum_{m \in M} \sum_{a \in A} (v_a^m - \bar{v}_a^m)^2$$

제약조건

$$v_a^m \geq 0 \quad \forall a, m$$

$$c(v^*)(v - v^*) \geq 0 \quad \forall v \in V$$

제약조건

$$\sum_k f_{kw}^m = t_w^m, \quad \forall w, m$$

$$f_{kw}^m \geq 0, \quad \forall m, k, w$$

$$v_a = \sum_m \sum_w \sum_k f_{kw}^m \delta_{ak}^w, \quad \forall a$$

여기서,

$$v = \sum_m v_a^m b_a^m, \quad v^* = \sum_m v_a^{*m} b_a^{*m}$$

$$\delta_{ka}^w = \begin{cases} 0 & \text{만약 } a \neq k \\ 1 & \text{만약 } a = k \end{cases}$$

b_a^m : 각 차종별 혼잡 가중치

m : 차종

t_w^m : 차종 m 의 O/D

v_a^m : 링크 a 에서 수단 m 의 배분교통량

\bar{v}_a^m : 링크 a 에서 수단 m 의 관측교통량

$c(v)$: 비용함수

위의 식은 다차종통행배분을 이용한 다차종관측교통량기반 gradient 모형의 구조를 나타낸 것이다. 모형의 목적함수 형태는 단일차종기반의 형태와 유사하지만, 단일차종기반모형은 차종별 특성을 고려하지 못한다. 즉, 다차종기반모형은 차종간 혼잡효과를 감안하기 위하여 서로 다른 차종들은 링크상의 총통행량을 기반으로 동일한 혼잡영향을 받지만, 각각의 수단들은 서로 다른 고정된 편위(bias) b_a^m 를 가지며 차종별 O/D를 추정한다.

3) multiclass assignment 방법에는 먼저 대중교통을 도로에 loading한 후 다른 수단을 배분하는 방법과 UE로 배분하는 방법이 있습니다. 본 연구에서는 버스를 UE를 이용하여 배분하는 것은 다소 오해의 소지가 있다고 판단되지만, '96년도 교통센서스 조사시 이용될 수 있는 차종별 교통량이 승용차 및 버스를 제외하고는 없었고, 트럭에 대한 O/D는 구축되지 않았으며, 대중교통망 또한 구축이 되지 않았기 때문에 피치 못하게 버스를 UE로 배분하는 방법을 이용하게 되었습니다. 그러나 버스라 할지라도 논문의 논리전개에는 큰 무리가 없을 것이라 판단되어 UE를 이용하게 되었습니다.

또한, 다차종기반모형은 차종별로 노선선택비율을 계산하기 때문에 단일차종기반모형에 비해 차종별로 보다 정밀하게 수요를 추정할 수 있는 장점이 있다.

이러한 다차종기반수요추정법의 기본적인 알고리즘은 아래와 같다.

단계 1 : 최초선행O/D를 이용하여 $p_k^{m(0)}$ 을 설정:

$\ell = 0$ 로 초기화

단계 2 : $p_k^{m(\ell)}$ 를 이용하여 모든 링크 a 의 링크교통량 v_a^m 을 계산

단계 3 : v_a^m 를 이용하여 수단별 gradient $\frac{\partial Z(g)}{\partial g}$ 를 계산

단계 4 : step size 결정

$$\lambda_m^* = \frac{\sum_{a \in A} v_a^m (\hat{v}_a^m - v_a^m)}{\sum_{a \in A} v_a^m{}^2}$$

여기서, λ_m^* : 차종 m 의 step length

단계 5 : 수렴 검증

수렴조건에 부합하면 정지, 그렇지 않으면,
 $\ell = \ell + 1$ 과 단계 2로 되돌아가

2. 통행시간빈도분포

통행시간빈도분포는 본 연구에서 제시한 평가지표로서 추정O/D의 신뢰성을 평가하기 위하여 TLFD를 채택하여 통행시간대를 단위 구간으로 나누어 분석하는 방법이다. 통행시간빈도분포(Trip Length Frequency Distribution)는 중력모형을 정산(calibration)하는 기법 중에서 가장 많이 사용되는 방법으로 미국의 공로청(Bureau of Public Roads)에서 개발된 방법이다. 정산의 목적은 기준년도의 주어진 상황에서 friction factor f_w 와 거리 d_w 간의 관계 또는 f_w 와 일반화비용 z_w 간의 관계를 설정하는 것이다.

정산과정은 전체지역의 존간통행시간에 대한 다항함수가 가정된 통행시간요소(travel time factor)함수의 개발을 목적으로 한다.

중력모형에 의해서 시뮬레이션된 통행시간빈도분포와 관측된 분포간에는 아래와 같이 두 가지의 특성을 가져야 한다.

- ① 두 곡선의 모양과 위치가 매우 유사하여야 하며,
- ② 조사된 TLFD와 추정된 O/D의 TLFD의 평균통행시간의 차이가 $\pm 3\%$ 이내이어야 한다.

만약 정산된 TLFD가 이러한 조건을 만족시키지 못한다면 아래의 식에 의해 통행시간요소(travel time factor : F-Factor)를 재설정하여야 한다.

$$F-Factor = \frac{O/D\%}{gravity\%}$$

여기서,

O/D% : 주어진 통행시간에 포함되는 통행량의 총통행량에 대한 비율

gravity% : 중력모형에 의해 주어진 어떤 통행시간길이에 포함된 통행량의 총통행량에 대한 비율

기본O/D의 존간통행시간을 조사된 통행시간이라 가정하고, 추정된 O/D의 통행시간분포와 평균통행시간차이의 비율은 아래와 같이 계산하였다.

평균통행시간차이비율(%) =

$$\left\{ \left(\sum_{w \in W} tt^* / M \right) - \left(\sum_{w \in W} tt^+ / M \right) \right\} / \left(\sum_{w \in W} tt^+ / M \right) \times 100$$

여기서,

tt^+ : 기본O/D의 각 존간 통행시간

tt^* : 추정O/D의 각 존간 통행시간

M : O/D쌍 개수

3. 군집분석

군집분석은 어떤 개체나 대상들은 밀접한 유사성(similarity) 또는 거리(distance)에 의하여 유사한 특성을 지닌 개체들을 몇 개의 군집으로 집단화하는 다변량 기법이다.

군집분석방법에는 몇 가지 이론적 구분에 따라 계층적 군집방법(hierarchical clustering)과 분리군집방법(partitioning clustering)으로 나눌 수 있다.

본 연구에서는 이 두 가지 방법 중 초기군집의 개수를 임의로 설정할 수 있으며, 각각의 자료 단위를

가장 가까운 중심점을 가지는 군집에 할당하는 과정을 거치는 분리군집방법에 포함되는 k -means 알고리즘을 이용한다. k -means 알고리즘의 수행절차는 아래와 같다.

- ① 자료를 k 개 초기군집으로 나눈다. 군집의 수는 사용자의 의하여 설정되거나 프로그램에 의하여 선택될 수 있다.
- ② 개별군집의 평균은 처음에 설정된 k 개 개체를 선택한다.
- ③ 각 개체와 각 군집사이의 유클리드 거리를 계산한다. 만약 개체가 현재 속해 있는 군집평균에 가장 가까우면 현재 소속군집에 포함되고, 다른 군집의 중심에 가까우면 다른 군집으로 재할당한다.
- ④ 개별군집의 평균이 다시 계산되어 각 개체에 대한 3번째 단계를 반복한다.
- ⑤ 다시 할당되는 개체가 없을 때까지 ②, ③, ④단계를 반복하여 수행한다.

III. 분석

1. 분석 교통망

대규모 교통망에 다차종 관측교통량기반 O/D추정 모형을 적용하기 위해 사용된 교통망은 아래와 같이 서울시를 포함하는 수도권 전체의 교통망이다. 이 교통망은 존 1,020개, 노드 6,357개(centroid포함), 링크 19,127개(dummy link포함)로 구성되어 있다. 분석의 대상이 되는 서울시 내부의 존개수는 526개이다.

또한, 관측링크 253개(96년도 코든·스크린라인 조사지점)는 서울시 도심부의 주요간선도로와 서울시의 주요외곽지점 및 한강 교량들을 중심으로 조사된 자료들을 포함하고 있다.

2. 평가지표

TLFD는 대규모 교통수요를 분석하는데 있어서 가장 기본적이면서도 가장 중요한 지표 중의 하나이다. 본 연구에서는 타연구에서와 같이 가정된 수요가 아닌



〈그림 2〉 분석교통망(서울시)

실제 조사된 자료 및 교통망을 통해 본 연구에서 제시된 지표의 타당성을 판단하고자 한다. 먼저, 이용된 자료는 〈그림 2〉와 같다.

- ① 1996년도 서울시 교통센서스시 전수화 과정전의 원시자료에서 사람통행에 관련된 통행량조사 원자료를 이용하여 실제 TLFD를 분석하였으며(이하 survey)
- ② 동 센서스자료 중 전수화된 자료를 이용하여 통행 배분하여 분석된 TLFD(이하 expansion⁴⁾)
- ③ ②의 전수화된 수요를 단일차종기반 Gradient법을 이용하여 보정된 수요에서 분석된 TLFD(이하 single)
- ④ ②의 전수화된 수요를 다차종기반 Gradient법을 이용하여 보정된 수요의 TLFD(이하 multi)

또한 개별존별(출발존기준) TLFD를 분석하기 위해 서울시 전체 526개의 존 중에서 편의를 줄이기 위해 조사된 TLFD의 표본 중에서 종점의 개수가 100개 이상인(0 cell을 제외하고 값이 존재하는 종점이 100개 이상인 기점) 기점 55개를 추출하여 일대다(one-to-many) TLFD를 분석하였으며, 나머지 3개 분석 자료 또한 동일한 55개 존을 기점으로 한 일대다 TLFD를 추출하여 비교·분석하였다. 또한 이렇게 추출된 55개존을 군집분석을 통하여 각각의 분포패턴에 대한 공간적 분포를 살펴보고자 한다.

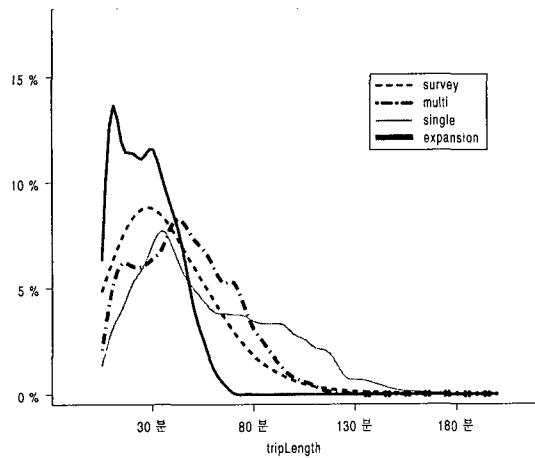
4) 서울시 교통센서스 전수화 자료

3. 분석결과

1) 전체 TLFDb 분석

전체적인 TLFDb 분석 패턴은 <그림 3>을 살펴보면 알 수 있다. 전체적인 그래프 모양은 동일한 smoothing 과정을 거친 결과들이다. 전반적으로 자료①(survey)은 전형적인 TLFDb 모양을 나타내고 있다. 본 연구에서는 이 조사된 survey자료를 참TLFDb(true TLFDb)라 가정하여 전반적인 분석을 수행하였다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 survey자료는 전형적인 TLFDb 모양을 이루고 있으나, 가장 많은 통행시간비율을 나타내는 통행시간이 대략적으로 30분을 전후로 해서 나타나 다른 나라 또는 다른 도시에서 가장 많은 통행시간을 나타내는 20분전후의 통행시간보다 좀 더 긴 것으로 분석되었다. 이것은 장거리 통행이 많은 우리나라 사람들의 통행특성이나 혼잡한 서울시 교통 상황을 나타낸 것이라고 할 수 있다.

자료②(expansion)는 자료①(survey)의 TLFDb와 비교하면 상대적으로 단거리 통행을 위주로 전수화되어 있음을 전반적으로 살펴볼 수 있다. 또한 코든·



<그림 3> 분석자료별 TLFDb 비교

스크린 라인 데이터를 이용하여 자료②(expansion)의 수요를 보정한 자료③(single)과 자료④(multi)의 TLFDb의 분포는 전반적으로 자료②(expansion)의 TLFDb보다는 참TLFDb자료인 자료①(survey)의 그것과 매우 유사한 분포를 이루는 것으로 분석되었다.

이것은 전반적으로 관측교통량(253개의 코든·스크린 라인 자료)를 이용하여 추정된 O/D가 비교적 정확하게 관측교통량의 정보를 이용하여 초기 자료②(expansion)의 수요를 보정하였다고 판단된다. 물론 전반적으로 자료①(survey)의 TLFDb보다 장거리 통행시간이 상대적으로 늘어나 전반적인 분포패턴이 자료①의 TLFDb보다 오른쪽 부근의 장거리 통행비율이 상대적으로 큰 것으로 나타나 있는데 이것은 장거리 통행비율이 높은 정보가 있는 관측교통량의 데이터⁵⁾가 그 주요한 원인이라고 판단된다.

<표 1>는 조사된 통행시간의 평균과 각 추정된 O/D의 평균통행시간차이를 나타낸 것이다. 즉, 평균통행시간차이가 작은 것이 추정된 O/D의 신뢰성이 우량한 것이다. 분석된 자료를 살펴보면 전반적으로 다차종기준분석법(multi)으로 추정된 O/D의 평균통행시간차이가 2.9%로 나타나 가장차이가 적은 것으로 분석되었고, 그 다음은 단일차종기준분석법(single), 전수화(expansion)자료의 순서로 나타났다.

이러한 분석결과는 다차종기준분석법이 다른 분석법에 비해 차종별로 노선선택비율을 따로 계산하여 O/D를 보정하는 방법을 이용하기 때문에 실제 존간 통행시간에 보다 가깝게 정산(calibration)되기 때문이라고 할 수 있다.

<표 2>는 <그림 3> TLFDb자료를 χ^2 -검정을 이용하여 자료②(expansion), 자료③(single), 자료④(multi)의 분포들이 자료①(survey)의 조사된 통행시간분포와 어느 정도 동일한 지를 검토한 것이다.

동일성 검정을 위하여 이용된 χ^2 -검정의 공식은 아래와 같으며, 또한 검정을 위한 가설은 다음과 같다.

<표 1> 자료유형별 조사통행시간기준 평균통행시간차이비율

분석 대상	구분	평균통행시간(분)				존별평균통행시간차이비율		
		① survey	② expansion	③ single	④ multi	expansion (②-①)/①	single (③-①)/①	multi (④-①)/①
서울시		44.7	23.7	57.9	43.4	-47.0%	29.6%	-2.9%

5) 대부분의 관측교통량자료가 코든·스크린라인 자료이므로 서울시 외곽지점이나 한강교량 위주의 통행량을 위주로 조사된 자료이므로 장거리 통행에 대한 정보를 많이 가지고 있는 것으로 판단됨.

<표 2> 각 군집별 분석자료간 평균통행시간차이

분석대상	구분	평균통행시간(분)				군집별평균통행시간차이비율(%)		
		①survey	②expansion	③single	④multi	expansion (②-①)/①	single (③-①)/①	multi (④-①)/①
군집1		47.36711	22.45481	54.51526	42.51842	-52.6%	15.1%	-10.2%
군집2		48.72056	24.28484	61.75946	47.63593	-50.2%	26.8%	-2.2%
군집3		46.41373	26.52278	62.78209	46.45922	-42.9%	35.3%	0.1%
군집4		41.11582	23.20107	57.49733	42.65487	-43.6%	39.8%	3.7%

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^h \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

여기서, 자유도(df) : (k-1)(h-1)

k, h : 각 표본의 계급수

O_{ij} : 관측회수

E_{ij} : 기대회수

■ 검정 가설

귀무가설(H₀) : 조사된 TLFD에 대한 각각의 분포는 동일하다.
 대립가설(H₁) : 각각의 분포는 동일하지 않다.

분석결과를 살펴보면 5%유의수준에서 두 개의 분포는 통계적으로 동일하다고 하는 귀무가설을 채택할 수 있는 분석자료는 자료④(multi)이다. 즉, 자료④(multi)를 제외한 나머지 두 개의 자료는 자료①(survey)과 통계적으로는 분포가 유사하지 않다는 것을 이르는 것이라 할 수 있으나, 자료③(single)과 자료②(expansion)에서는 임계치를 기준으로 비교분석하여 보면, 통계적으로 자료③(single)이 보다 더 유의한 자료라고 할 수 있다.

따라서, 전체적인 TLFD모양, 평균통행시간차이비교 및 통계적 검정을 통하여 최종추정O/D중에서 가장 우량한 결과를 보인 것은 다차종기반분석법의 분석

<표 3> 조사통행시간자료기준 동일성 검정(χ²-검정)

자료별 구분	multi	expansion	single
자유도(df)	576		
유의수준	0.05		
χ ² 통계량	519.20	3245.44	1090.53
χ ² 임계치	632.94		
결과	채택	기각	기각

자료④(multi)라고 할 수 있으며, 그 다음은 단일차종기반분석법을 통하여 추정된 자료③(single), 최초 전수화된 자료②(expansion)의 순서이다.

2) 개별존별 TLFD분석

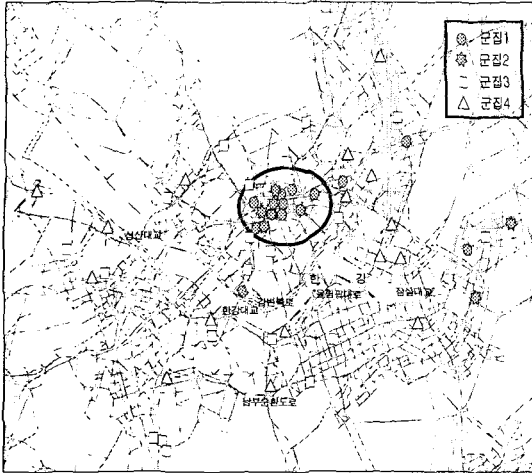
개별 존별 TLFD분석은 위의 전체 TLFD분석이 나타낼 수 없는 존별 TLFD를 보다 세밀하게 분석하여 각 추정방법의 신뢰성을 검토하고자 하는 것이 그 분석 목적이라고 할 수 있다.

<그림 4>는 '96년도 기준 서울시 526개동 중에서 55개 동만을 선정하여 개별존 TLFD분석을 수행하기 위한 존의 위치를 나타낸 것이다. 존의 선정기준은 조사된 통행시간자료 중 어떤 하나의 출발존(one)에서 다수의 종점존들(many) 중에서 0 cell을 제외한 값이 100개 이상 되는 출발존만을 선택하였다. 그 이유는 전체적인 분포패턴이 편의(bias)를 줄이기 위한 것이라 할 수 있다.

또한, 이렇게 선정된 존들의 특성을 보다 면밀히 파악하기 위하여 자료①(survey)을 기준으로 k-평균(k-mean) 군집분석을 통하여 4개의 군집으로 나누어 분석하였다.

<그림 4>는 군집분석결과 나타난 각 군집간의 분포 패턴을 나타낸 것이다. 전반적으로 몇 개의 존을 제외하고는 군집1, 군집2가 도심지에 분포하는 것으로 분석되었는데 이러한 분포는 도심지의 위치한 존의 통행시간분포의 분산이 평균적으로 이외의 군집보다는 크기 때문에 나타난 것으로 분석되었으며, 그 이외의 지역에 분포되어있는 군집3, 군집4는 그 통행시간분포의 분산이 군집1과 군집2에 비해 다소 작은 것으로 나타났다.

즉, 이러한 군집분석결과는 도심지에 위치한 존들은 비교적 혼잡한 구간을 경유하는 비율이 높고, 타지역으로 이동시 이용할 수 있는 대안도로의 개수도 상대



〈그림 4〉 조사통행시간기준 군집분석결과도면

적으로 다른 외곽지역에 있는 존보다 적기 때문인 것으로 판단된다.

〈표 4〉는 위의 전체 TLFD분석에서와 같이 각각의 자료에 대한 존별TLFD 분석결과를 자료①(survey)을 기준으로 각각의 자료에 대한 χ^2 -검정으로 동일성 검정을 실시한 결과이다. 5%유의수준에서 전반적으로 본 연구에서 제시한 다차종기반분석법의 결과(자료④(multi))가 가장 많은 존에서 조사된 분포와 통계적으로 동일하다 분석결과를 도출하고 있다.

그 다음으로 유의한(significant) 결과를 가지는 결과는 자료③(single)으로 나타났으며, 자료②(expansion)는 상대적으로 적은 존들만이 유의하다는 결과가 도출되었다. 즉, 통계적 χ^2 -검정을 통한 결과 또한 타분석법에서 나온 결과와 마찬가지로 다차종기반분석법이 가장 우량한 결과를 도출하였다.

3) R^2 분석

본 분석에서는 수단별 관측교통량과 추정교통량을 비교하는 방법으로 R^2 를 이용하였다. 다차종기반추정법과 단일차종기반추정법으로 추정된 O/D들의 각 차종별 배분량과 관측교통량의 차이를 관측교통량으로 모형을 적용하기 이전과 이후를 비교하여 전체적인 관측교통량과의 부합되는 정도를 살펴보고자 하는 것이다. 분석과정은 다차종기반과 단일차종기반으로 나누어 분석하였으며, 각각의 수단별 모형적용전과 적용후의 링크교통량과 관측교통량의 부합정도를 전체적인 R^2 방법으로 살펴보았다.

〈표 5〉는 다차종 및 단일차종추정법의 각 차종별 모형적용 전·후의 R^2 를 나타낸 것이다. 전반적으로 단일차종기반이나 다차종기반의 모형적용 전·후의 추정력이 높아진 것을 알 수 있으며, 다차종기반분석법이 단일차종기반분석법보다 높은 추정력을 보이는 것으로 나타났다.

그러한 이유는 앞에서의 모든 분석에서 언급한 바와 같이 단일차종기반분석은 최초 차종별 관측교통량을 PCE로 환산하여 하나의 차종으로 합산하여 모형을 적용한 후 최초 합산전의 비율로 나누는 과정에서 오차가 내재될 확률이 매우 높다. 그렇지만 다차종기반분석법은 각각의 차종별 관측교통량을 그대로 이용하여 선행O/D들과 결합하여 추정되는 과정을 거치기 때문에 이러한 오류를 범할 가능성이 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서, 단일차종기반분석법에 비해 다차종기반분석법이 매우 정확한 결과를 나타낸다고 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 현실적인 교통망(대규모 교통망)에 본 연구에서 제시한 다차종배분기법을 이용한 다차종기반분석결과를 단일차종기반분석결과 및 1996년 서울시 교통센서스 전수화 O/D의 TLFD에 대하여 그 분포패턴(χ^2 -검정 포함)과 평균통행시간차이를 조사된 통행시간분포를 기준으로 삼아 추정력을 비교·분석하는 것이 그 분석목적이라고 할 수 있다.

분석은 네 가지의 자료 즉, ①조사된 TLFD, ②최초전수화된 O/D의 TLFD, ③단일차종기반추정O/D의 TLFD, ④다차종기반추정O/D의 TLFD 등을 가지고 전체 서울시에 대한 TLFD분석과 개별존(55개) TLFD분석으로 나누어 진행되었다.

TLFD에 대한 전반적인 통계적 검정은 χ^2 -검정을 이용하였다. 자료①의 조사된 TLFD를 참값이라고 설정하고 이 분포를 기준으로 나머지 3개 자료의 분포에 대한 동일성 여부를 분석하였다. 그 결과는 다차종기반분석법의 분포패턴만이 조사된 TLFD에 유의성을 가질 수 있다는 통계적 결과가 도출되었다.

존별 TLFD분석에서도 마찬가지로 다차종기반분석법으로 분석된 결과들이 전반적으로 다른 분석자료의 분포에 비해 조사된 TLFD와 유사한 결과를 보이는 것으로 분석되었다.

〈표 4〉 조사통행시간기준 준별 TLFD 동일성 검정

		χ^2 임계치	multi χ^2	결 과	expansion χ^2	결 과	single χ^2	결 과
군집1	2	51.00	13.657	채택	137.051	기각	19.409	채택
	4	51.00	6.042	채택	150.922	기각	17.577	채택
	5	51.00	2.090	채택	105.751	기각	15.166	채택
	8	51.00	3.480	채택	101.062	기각	15.515	채택
	11	51.00	35.012	채택	139.420	기각	38.564	채택
	13	51.00	25.820	채택	132.766	기각	35.752	채택
	14	51.00	20.847	채택	92.704	기각	26.044	채택
	15	51.00	5.102	채택	122.172	기각	14.097	채택
	16	51.00	13.342	채택	152.602	기각	19.394	채택
	20	51.00	20.099	채택	120.169	기각	20.974	채택
군집2	26	51.00	9.316	채택	108.746	기각	15.768	채택
	55	51.00	12.655	채택	64.839	기각	73.151	기각
	3	51.00	16.369	채택	145.952	기각	34.133	채택
	9	51.00	23.699	채택	175.033	기각	42.204	채택
	10	51.00	30.757	채택	159.480	기각	50.922	채택
	12	51.00	32.293	채택	134.462	기각	74.691	기각
군집3	50	51.00	20.437	채택	137.400	기각	113.483	기각
	52	51.00	35.509	채택	178.162	기각	118.672	기각
	1	51.00	6.622	채택	42.790	채택	14.601	채택
	7	51.00	1.536	채택	56.224	기각	18.059	채택
	17	51.00	15.435	채택	48.350	채택	31.871	채택
	18	51.00	12.709	채택	42.596	채택	22.958	채택
	19	51.00	12.043	채택	62.497	기각	17.730	채택
	22	51.00	6.186	채택	53.653	기각	6.692	채택
	28	51.00	1.139	채택	50.604	채택	7.630	채택
	30	51.00	14.431	채택	52.467	기각	21.790	채택
	32	51.00	10.932	채택	49.386	채택	31.845	채택
	35	51.00	12.664	채택	37.572	채택	36.695	채택
	36	51.00	16.833	채택	38.106	채택	31.852	채택
	38	51.00	4.810	채택	28.872	채택	54.385	기각
	39	51.00	32.098	채택	87.468	기각	133.654	기각
	40	51.00	7.469	채택	10.584	채택	30.188	채택
	42	51.00	69.651	기각	199.141	기각	265.809	기각
	44	51.00	0.982	채택	21.818	채택	41.412	채택
45	51.00	10.638	채택	74.052	기각	59.261	기각	
46	51.00	4.060	채택	96.107	기각	52.706	기각	
49	51.00	27.003	채택	121.483	기각	22.690	채택	
54	51.00	13.185	채택	14.760	채택	44.962	채택	
군집4	6	51.00	6.804	채택	65.889	기각	18.793	채택
	21	51.00	9.281	채택	61.634	기각	12.032	채택
	23	51.00	10.225	채택	68.847	기각	9.020	채택
	24	51.00	9.055	채택	41.466	채택	13.839	채택
	25	51.00	7.111	채택	61.893	기각	22.066	채택
	27	51.00	12.093	채택	81.929	기각	14.025	채택
	29	51.00	16.654	채택	32.307	채택	25.921	채택
	31	51.00	18.044	채택	56.830	기각	84.779	기각
	33	51.00	11.140	채택	50.178	채택	53.845	기각
	34	51.00	18.327	채택	65.077	기각	43.363	채택
	37	51.00	48.919	채택	19.292	채택	73.495	기각
	41	51.00	71.315	기각	47.528	채택	111.146	기각
	43	51.00	23.697	채택	18.923	채택	71.745	기각
	47	51.00	4.753	채택	67.457	기각	48.933	채택
	48	51.00	18.791	채택	61.796	기각	117.902	기각
51	51.00	25.577	채택	83.154	기각	88.587	기각	
53	51.00	14.148	채택	12.443	채택	41.187	채택	

〈표 5〉 R^2 비교

관측교통량 개수(개)	O/D	승용차		버스	
		다차종	단일차종	다차종	단일차종
253	모형적용전 O/D	0.3737	0.3845	0.2838	0.7399
	모형적용후 O/D	0.7271	0.6616	0.8298	0.8693

R^2 분석법을 이용하여 모형 적용 전후의 관측교통량과 배분교통량 분석에서도 다차종기반 분석법이 단일차종기반분석법보다 우수한 결과를 나타내는 것으로 분석되었다.

전반적으로 다차종기반분석법이 우량한 결과를 보이는 이유는 다차종기반추정법이 차종간 혼잡효과 및 노선선택비율을 각각의 차종별로 계산하기 때문에 단일차종기반기법보다 현실성을 반영할 수 있다고 판단된다.

그러나 본 연구에서 이용된 다차종통행배분방법은 주(3)에서도 언급한 바와 같이 대중교통망에 대한 기존 교통망이 없었기 때문에 차종별 비대칭적인(asymmetric) 혼잡비용을 감안하지 못한 것이 아쉬움으로 남습니다. 따라서 향후 연구과제로는 이러한 차종별 비대칭적인 비용구조를 감안할 수 있는 모형으로 본 연구에서 제시한 모형을 개선하는 것이라 할 수 있겠습니다.

참고문헌

1. 이승재·김종형, Gradient방법과 일반화최소자승법을 이용한 관측교통량기반 O/D 추정방법에 관한 비교평가연구, 대한교통학회지, 제18권 제2호, 2000.
2. 이승재·손의영·김종형, 통행시간분포를 이용한 교통량기반 추정O/D의 신뢰성 평가에 관한 연구, 대한교통학회지, 제18권 제2호, 2000.
3. 김종형·이승재, 다차종통행배분을 이용한 관측교통량기반 통행수요추정방법개발, 대한교통학회지, 제19권 제1호, 2001.
4. 김종형, Gradient방법에 의한 통행량기반 수요추정연구, 서울시립대학교 박사학위논문, 2000.
5. 성용현, 응용다변량분석, 탐진, 1997.
6. J. D. Ortuzar, L. G. Willumsen, Modelling Transport, 1994, John Wiley & Sons.
7. B.G.Hutchinson, Principles of urban transport systems planning, 1974.

✉ 주 작성자 : 김종형

✉ 논문투고일 : 2000. 6. 28

논문심사일 : 2000. 10. 4 (1차)

2001. 1. 12 (2차)

2001. 3. 14 (3차)

심사판정일 : 2001. 3. 14