

■ 論 文 ■

통행시간분포를 이용한 교통량기반 추정O/D의 신뢰성 평가에 관한 연구

Evaluation on the traffic count based O/D matrix using
Trip Length Frequency Distribution

이 승 재

손 의 영

김 종 형

(서울시립대학교 교통공학과 조교수) (서울시립대학교 교통공학과 조교수) (서울시립대학교 도시공학과)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 연구 배경 및 목적</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 연구 내용 및 방법</p> <p>II. 이론 고찰</p> <p style="padding-left: 20px;">1. Gradient방법</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 통행시간빈도분포</p> | <p style="padding-left: 20px;">3. 최적관측지점</p> <p>III. 분석</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 분석교통망 및 평가지표</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 분석결과</p> <p>IV. 결론</p> <p style="padding-left: 20px;">참고문헌</p> |
|---|---|

요 약

현재까지 개발된 교통량 기반 O/D 추정기법들은 추정된 O/D의 신뢰성을 평가하는 기준으로 통계적 오차분석을 통한 참O/D(true O/D)와 추정O/D간의 차이를 분석하는 방법이 주류를 이루었다. 문제는 이러한 오차분석기법들이 현실적인 대규모 교통망상에 적용될 때 참O/D를 알 수 없을 뿐만 아니라, 알 수 있다고 하더라도 추정된 O/D와의 비교·평가시에 그러한 평가방법으로 추정된 O/D의 신뢰성을 부여하기에는 많은 문제점을 가지고 있다는 점이다. 통행조사에 의한 O/D는 비록 포함되어 있는 정보가 과거의 정보라고 할지라도 현재의 통행흐름에 대하여 가장 많은 정보를 가지고 있다고 할 수 있다. 즉, 선행O/D의 정보를 크게 변화시키지 않으면서도 관측교통량으로 O/D를 추정할 수 있는 방법이 이 관점에서 매우 뛰어난 추정방법이라고 할 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 선행O/D정보 중 통행수요예측시 가장 중요한 지표의 하나인 통행시간빈도분포(Trip Length Frequency Distribution:TLFD)를 이용하여 추정O/D의 신뢰성 지표로 삼았다. TLFD는 4단계 모형에서 통행분포(trip distribution)시 모형을 정산하는 데 사용되는 방법으로써 존간 통행시간을 단위별로 나누어 조사된 통행시간분포와 추정된 O/D의 통행시간분포가 유사한 지를 살피는 방법이라고 할 수 있다. 조사된 TLFD와 추정O/D의 TLFD가 유사한 모양을 이룰 때 추정O/D의 신뢰성이 높다고 인정한다. 또한 TLFD는 전통적으로 조사된 표본O/D를 전수화하는데 이용되어 그 타당성 또한 많이 검증되어 왔다. 그러나 아직까지 TLFD를 가지고 교통량으로 O/D를 추정하는 모형의 결과를 검증한 연구 결과는 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 최종적인 이러한 분석결과를 평가할 수 있을 뿐 아니라, 평가된 지표가 신뢰할 만한 수준이 아니라면, 추정된 결과를 보정할 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

1. 서론

1. 연구 배경 및 목적

다수의 교통량 기반 O/D 추정방법이 지난 30년간 여러 가지 이론적 틀을 바탕으로 연구되어 왔고, 그 이론적 기반 또한 매우 탄탄하다고 할 수 있다. 현재 까지 개발된 교통량 기반 O/D 추정기법들은 추정된 O/D의 신뢰성을 평가하는 기준으로 RMSE(Root Mean Square Error) 등과 같은 오차분석을 지표로 설정하여 참O/D(true O/D)와 추정O/D간의 차이를 분석하는 방법이 주류를 이루었다.

그렇지만 문제는 이러한 오차분석기법들이 현실적인 대규모 교통망상에 적용될 때 참O/D를 알 수 없을 뿐만 아니라, 알 수 있다고 하더라도 추정된 O/D와의 비교·평가시에 그러한 평가방법으로 추정된 O/D의 신뢰성을 부여하기에는 많은 문제점을 가지고 있다는 점이다.

이러한 관점에서 본 연구는 이승재·김중형(1999)의 선행연구에서 제시된 바와 같이 관측교통량과 선행 O/D간에 오차를 작게 만드는 gradient방법을 가지고 기본O/D(base O/D)와 오차가 반영된 target O/D로 추정된 O/D와의 비교·분석을 통한 오차분석방법을 제시하고자 한다.

선행O/D¹⁾는 비록 포함되어 있는 정보가 과거의 정보라고 할지라도 현재의 통행흐름에 대하여 가장 많은 정보를 가지고 있다고 할 수 있다. 즉, 선행O/D의 정보를 크게 변화시키지 않으면서도 관측교통량으로 O/D를 추정할 수 있는 방법이 이 관점에서 매우 뛰어난 추정방법이라고 할 수 있다.

이러한 맥락으로 본 연구에서는 선행O/D정보 중 통행수요예측시 가장 중요한 지표의 하나인 통행시간 빈도분포(Trip Length Frequency Distribution : 이하 TLF D)를 이용하여 추정O/D의 신뢰성 지표로 삼았다. TLF D는 4단계 모형에서 통행분포(trip distribution)시 모형을 정산하는 데 사용되는 방법으로써 존간 통행시간을 단위별로 나누어 조사된 통행시간분포와 추정된 O/D의 통행시간분포가 유사한 지를 살피는 방법이라고 할 수 있다. 조사된 TLF D와 추정 O/D의 TLF D가 유사한 모양을 이룰 때 추정O/D의

신뢰성이 높다고 일반적으로 인정한다. 또한 TLF D는 전통적으로 조사된 표본O/D를 전수화하는데 이용되어 그 타당성 또한 많이 검증되어 왔다. 그러나 아직까지 TLF D를 가지고 추정O/D의 추정결과를 검증한 연구 결과는 없는 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 첫째, 모의교통망이 아닌 현실적인 교통망에서 gradient방법으로 추정된 O/D의 오차분석에 TLF D를 이용하여, gradient방법의 타당성 및 신뢰성을 검토하고, 둘째, 관측교통량으로 추정된 O/D의 정확성을 검증하는 방법에 과거에는 시도되지 않았던 TLF D를 이용할 수 있는 기초적인 연구 방향을 제시하고자 하는 것이다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구의 범위는 gradient방법의 가용성과 그 적용성을 평가하기 위한 일환으로 서울북부의 미건설된 외곽순환고속도로의 일부분(약 37km)과 몇 개의 우회 도로를 분석교통망으로 구축하여 그 공간적 범위로 삼았고, 또한, gradient방법으로 추정된 O/D를 TLF D와 여타의 오차분석기법으로 분석한 후, 추정O/D의 신뢰성검증을 그 내용적 범위로 삼았다.

연구방법은 아래와 같다.

첫째, 분석대상교통망을 설정하고, 이 교통망과 결부된 O/D를 기본O/D라 하고, 이러한 기본O/D를 균형 배분한 교통량을 기본관측교통량(관측지점 12개, 18개)²⁾이라 가정한다.

둘째, 설정된 기본O/D와 참관측교통량에 오차를 반영하기 위한 변동계수를 정규분포상에서 무작위(random)로 추출한다.

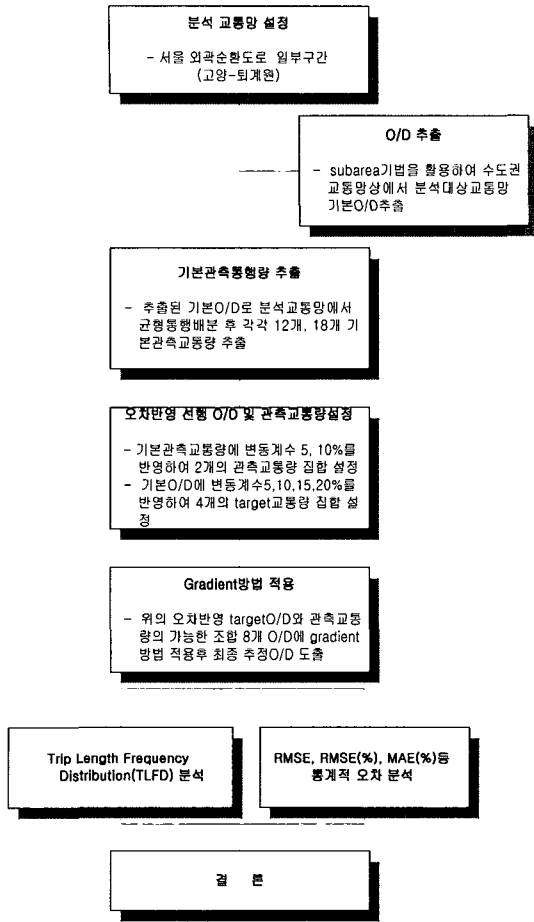
셋째, 기본O/D와 참관측교통량에 추출된 무작위 변수를 적용시켜 4개(5%, 10%, 15%, 20%)의 target O/D, 2개(5%, 10%)의 오차가 반영된 관측교통량을 만든다.

넷째, 오차가 반영된 O/D와 관측교통량의 가능한 조합 8개로 gradient 방법을 적용하여 O/D를 추정한다.

다섯째, 최종 추정O/D들을 기본O/D로 설정된 O/D와 설정된 분석기법으로 비교·분석한다.

1) 사람통행조사를 바탕으로 한 전수화된 O/D 또는 연구과정상 가정된 O/D 등

2) 관측지점은 Yang(1998)이 제시한 4대원칙을 기반으로 선정되었고, 본 연구의 이론적 고찰에서 간략하게 살펴보았음. 또한 12개, 18개로 관측교통량집합을 구분한 이유는 관측교통량의 증가로 인한 추정O/D의 신뢰성이 증가하는지를 검토하기 위한 것임.



〈그림 1〉 연구수행절차

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관측교통량으로 O/D를 추정하는 기법 중에 gradient 방법과 TLFD의 이론적 내용을 살펴보고, III장에서는 분석대상 교통망과 분석 내용 및 분석결과를 나타내었으며, 마지막IV장에서는 본 연구의 결론을 제시하였다.

II. 이론 고찰

1. Gradient 모형

Spiess(1990)가 제안한 gradient 방법은 최급강하법(steepest descent)에 의해 필요이상으로 O/D를 변경시키지 않는 볼록최소화문제(convex minimization problem)로 수식화되었다. 이러한 유형의 가장 간단한 형태는 아래의 볼록최소화문제(convex minimization problem)를 유도하는 최소자승법이다.

$$\min Z(g) = \frac{1}{2} \sum_{a \in A} (v_a - \hat{v}_a)^2 \quad (1)$$

제약조건

$$v_a = assign(g) \quad (2)$$

여기서, 유사함수(pseudo function) $assign(g)$ 는 O/D g 의 통행배분 결과로부터 나온 교통량을 나타내기 위해 사용되었다. 물론 사용된 통행배분모형은 식(1)이 볼록하게 되기 위하여 볼록최적화문제(convex optimization problem)와 대응되어야 한다.

이 연구의 목적을 위하여, 본 연구에서 통행배분이라는 용어는 모형의 볼록성(convexity)을 보장하는 단조증가 링크비용함수 $s_a(v_a)$ 를 이용하는 균형통행배분이라고 가정한다.

식(1)에서 정의된 O/D표 추정문제는 주로 과소식별문제이기 때문에, 무한개의 해가 존재한다. 물론 실질적인 교통계획적 측면에서, 최종적으로 추정된 O/D표는 가능한 한 초기의 선행O/D표와 유사하게 되는 것을 일반적으로 예상한다. 그 이유는 초기선행O/D표가 기종점간의 이동량에 대한 중요한 구조적인 정보를 포함하고 있기 때문이다. 그러므로, 위의 식(1)에 대하여 단지 하나의 해만을 탐색하는 것은 충분하지 않다는 것이 당연하다고 할 수 있다.

전통적인 모형들은 거리함수 $f(\hat{g}, g)$ 에 대응되고 제약조건으로서 관측치와 통행배분치간의 차이가 없는 등식제약조건을 부과하는 목적함수 $Z(g)$ 를 사용함으로써 이러한 퇴화문제(degeneracy)를 (최소한 부분적으로) 제거하였다. 반면에 이 접근법은 관측된 교통량을 만족하는 O/D중에서 최적 O/D를 선택할 수 있는 수단을 제공한다. 그렇지만 이 방법은 해결해야 하는 문제의 복잡성을 가중시키기 때문에 대규모 교통망에 적용되기가 매우 힘들다는 것은 바로 이러한 문제에서 기인한다.

만약 초기시작점과 매우 근접한 해를 구할 수 있는 알고리즘을 가지고 있다면, 이러한 문제에 대한 해결책을 제시할 수 있다고 판단된다. Gradient방법은 정확하게 이러한 특성을 가지고 있다. 이 방법은 목적함수를 가장 크게 최소화하는 방향으로 찾는다. 따라서, 이 방법은 필요이상으로 초기해에서 벗어나지 않는다는 사실을 보장할 수 있다고 하겠다.

$$g_i^{\ell+1} = \begin{cases} \hat{g}_i & \ell = 0 \text{에서} \\ g_i^{\ell} - \lambda^{\ell} \left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right]_{g_i^{\ell}} & \ell = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (3)$$

여기서, λ^{ℓ} : step length
 g^{ℓ} : ℓ 번째 iteration 상의 선행 O/D

그러나, 만약 gradient가 식(3)에서처럼 변수 g 에 기초한다면, 이것은 O/D에 대한 변화를 절대적인 방법으로 측정할 수 있다는 것을 의미하는 데 이 방식은 0 cell 또한 이 과정에서 조정될 수 있다는 것이다. 따라서, 이러한 문제점을 극복하기 위해 상대적인 변화에 따른 O/D조정과정이 아래와 같이 필요하다.

$$g_i^{\ell+1} = \begin{cases} \hat{g}_i & \ell = 0 \text{에서} \\ g_i^{\ell} \left(1 - \lambda^{\ell} \left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right]_{g_i^{\ell}} \right) & \ell = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (4)$$

상대적인 gradient가 사용될 때, 알고리즘은 ghi 에서 곱셈의 형태를 취하게 되어 수요 변화는 초기 O/D행렬에서의 수요와 비례적이다. 또한, 0 cell은 이러한 과정을 진행하는 동안에도 계속 유지된다.

gradient $\frac{\partial Z(g)}{\partial g}$ 를 계산하기 전에 관심을 가져야 할 것은 먼저, 경로통행량(path flow)을 링크통행량 v_a 로 분해(decomposition)하는 것이다. 각 O/D쌍 i 에서 사용하는 경로의 집합을 $k (\in K_i)$ 라 하고, 대응되는 경로통행량의 벡터를 h_k 라고 한다. 그러므로 링크통행량은 아래와 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$v_a = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K_i} \delta_{ak} h_k, \quad a \in A \quad (5)$$

여기서,

$$\delta_{ak} = \begin{cases} 0 & \text{만약 } a \notin k \\ 1 & \text{만약 } a \in k \end{cases} \quad (6)$$

경로통행량 대신에 경로선택비율을 사용하면 아래와 같다.

$$p_k = \frac{h_k}{g_i}, \quad k \in K_i, \quad i \in I \quad (7)$$

따라서, 위 식(5)는 아래와 같이 쓰여질 수 있다.

$$v_a = \sum_{i \in I} g_i \sum_{k \in K_i} \delta_{ak} p_k, \quad a \in A \quad (8)$$

여기서, gradient $\frac{\partial Z(g)}{\partial g}$ 를 계산하면, 식(1)의 도함수를 취하여, 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} = \sum_{a \in A} \frac{\partial v_a}{\partial g_i} (v_a - \hat{v}_a), \quad i \in I \quad (9)$$

경로선택확률이 국지적으로 상수라고 가정한다면, 식(8)에서 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial v_a}{\partial g_i} = \sum_{k \in K_i} \delta_{ak} p_k, \quad a \in A, \quad i \in I \quad (10)$$

식(10)을 식(9)에 대입하면,

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} &= \sum_{a \in A} \sum_{k \in K_i} \delta_{ak} p_k (v_a - \hat{v}_a) \\ &= \sum_{k \in K_i} p_k \sum_{a \in A} \delta_{ak} (v_a - \hat{v}_a), \quad i \in I \end{aligned} \quad (11)$$

Gradient 방법인 식(4)를 수행하기 위해, step length λ^{ℓ} 에 대한 값을 알아야 한다. Step length가 매우 작은 값을 갖는다는 것은 보다 정확하게 gradient 경로를 추적할 수 있지만, 보다 많은 step을 필요로 하게 된다. 반면에 step length가 큰 값이 된다는 것은 목적함수 $Z(g)$ 의 값이 증가할 수 있고, 알고리즘 수렴이 어렵게 될 수 있다. 따라서, 주어진 수요 g 에서 최적 step length λ^* 는 일차원적인 아래의 수식을 해결함으로써 얻어질 수 있다.

$$\min_{\lambda} Z \left(\left(g_i \left(1 - \lambda \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right) \right) \right) \quad (12)$$

제약조건

$$\lambda \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \leq 1, \quad g_i > 0 \text{인 모든 } i \in I \text{에서} \quad (13)$$

목적함수 Z 는 링크교통량 v_a 에 관해서 표현되었기 때문에, gradient 방향을 따라 이러한 변화가 어떻게

이루어졌는지 알 필요가 있다. 이것은 식(10)에 연쇄 법칙을 적용함으로써 얻어질 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{v}_a &= \frac{dv_a}{d\lambda} = \sum_{i \in I} \frac{dg_i}{d\lambda} \frac{\partial v_a}{\partial g_i} \\ &= - \sum_{i \in I} g_i \left(\sum_{k \in K_i} p_k \sum_{a \in A} \delta_{ak} (v_a - \hat{v}_a) \right) \times \left(\sum_{k \in K_i} \delta_{ak} p_k \right) \end{aligned} \quad (14)$$

최소화문제(12)의 해를 구하는 것은 도함수가 0이 되는 지점을 찾는 것일 수 있다. 연쇄법칙을 다시 적용하면, 아래와 같은 도함수를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dZ(\lambda)}{d\lambda} &= \sum_{a \in A} \frac{dv_a}{d\lambda} \frac{\partial Z}{\partial v_a} \\ &= \sum_{a \in A} \dot{v}_a (v_a - \hat{v}_a + \lambda \dot{v}_a) \end{aligned} \quad (15)$$

따라서, 이 식에 의해 최적 step length를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\lambda^* = \frac{\sum_{a \in A} \dot{v}_a (v_a - \hat{v}_a)}{\sum_{a \in A} \dot{v}_a^2} \quad (16)$$

이 식은 타당성을 검증하기 위해, 식(13)에 의해서 최종적으로 검토된다. 식(11), (14) 및 (16)으로 상대적 gradient 방법인 식(4)를 이용한 O/D 조정 문제(1)에 대한 모든 해를 구할 수 있다. Gradient방법의 알고리즘은 아래와 같다.

- 단계 1. 초기화 : $P_{ij}^{k(0)}$ 를 계산, 여기서, $P_{ij}^{k(0)}$ 는 기점 i 와 종점 j 간의 가능한 경로통행비율; $\ell = 0$.
- 단계 2. $P_{ij}^{k(0)}$ 를 사용하여 모든 링크 a 의 링크교통량 v_a 계산.
- 단계 3. v_a 를 사용하여 gradient $\frac{\partial Z(g)}{\partial g}$ 계산.
- 단계 4. $\dot{v}_a = - \sum_{i \in I} g_i \left(\sum_{k \in K_i} p_k \sum_{a \in A} \delta_{ak} (v_a - \hat{v}_a) \right)$ 를 계산 $\times \left(\sum_{k \in K_i} \delta_{ak} p_k \right)$
- 단계 5. step size $\lambda^* = \frac{\sum_{a \in A} \dot{v}_a (v_a - \hat{v}_a)}{\sum_{a \in A} \dot{v}_a^2}$ 를 계산.
- 단계 6. $g_i^\ell \left(1 - \lambda^\ell \left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right]_{g_i^\ell} \right)$ 이 수렴조건에 부합되

면, 알고리즘 정지. 그렇지 않다면, $\ell = \ell + 1$, 단계 2로 되돌림.

2. 통행시간빈도분포

TLFD는 중력모형을 정산하는 기법 중에서 가장 많이 사용되는 방법으로 미국의 공로청(Bureau of Public Roads)에서 개발된 방법이다. 정산의 목적은 기준년도의 주어진 상황에서 friction factor f_{ij} 와 거리 d_{ij} 간의 관계 또는 f_{ij} 와 일반화비용 z_{ij} 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.

$$F-Factor = \frac{O/D\%}{gravity\%} \quad (17)$$

여기서,

- O/D% : 주어진 통행시간에 포함되는 통행량의 총통행량에 대한 비율
- gravity% : 중력모형에 의해 주어진 어떤 통행시간길이에 포함된 통행량의 총통행량에 대한 비율

3. 최적관측지점선정

통상적으로 추정 O/D의 정확성은 입력데이터의 신뢰성과 통행량을 검지하는 위치 및 개수에 많은 영향을 받는다. 즉, 관측지점이 증가할수록 오차는 감소하고, 그 추정의 정확도는 증가하는 것으로 알려져

있다. O/D추정방법에 대한 연구는 지금까지 많은 관심을 받아왔으나, 검지위치 및 개수에 대한 연구는 상대적으로 미약하였다. 경제학적인 관점에서 살펴볼 때 이러한 연구는 최소비용으로 최대의 효과를 얻는 연구라 하겠다. 즉, 주어진 선행O/D분포유형을 위한 최적 통행 검지위치 및 그 수를 결정하는 문제는 몇몇 연구자들에 의해서 제시되었지만 본 연구에서는 Yang (1998)이 제시한 4가지 원칙을 간략히 살펴보기로 한다. Yang은 이러한 4가지 원칙을 만족하는 링크를 결정하기 위해 정수계획모형과 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다.

- ① O/D확보규칙(O/D covering rule) : 통행검지 지점은 O/D쌍간의 통행이 관측될 수 있는 지점에 위치하여야 한다.
- ② 최대교통량비율규칙(maximal flow fraction rule) : 통행검지 지점은 링크상의 교통량에서 각 O/D쌍간의 교통량 부분이 가능한 커지게 하는 지점에 위치하여야 한다.
- ③ 최대교통량관측규칙(maximal flow intercepting rule) : 선택된 링크들은 가능한 많은 통행량을 획득하여야 한다.
- ④ 링크독립규칙(link independence rule) : 통행검지 지점은 모든 선택된 링크에서 결과적으로 도출된 관측교통량이 선형적으로 종속적이지 않게 선정되어야 한다.

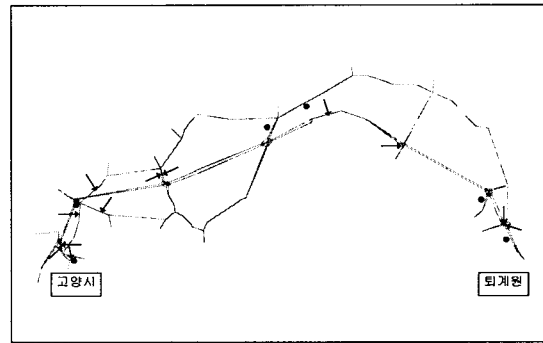
III. 분석

1. 분석교통망 및 평가지표

1) 분석교통망

모형을 적용하기 위해 사용된 교통망은 아래와 같다. 이 교통망은 전술한 바와 같이 미완공된 서울북부의 외곽순환도로구간(고양-퇴계원 ; 약 37km)이다. 이 구간을 중심으로 주변에 다수의 우회도로가 설정되어 있다.

존의 개수는 20개이며, 기본O/D로 가정된 수요는 subarea기법을 이용하여 수도권전체교통망에서 배분된 교통량을 기반으로 추출된 것이다. 또한 <그림 2>에서 화살표는 관측링크 12개를 말하며, 흑색점은 6개의 링크를 추가하여 18개의 관측링크를 설정한 것이다. 선정된 링크들은 Yang(1998)이 제시한 4가지 규칙을 기반으로 선정된 링크들이다.



<그림 2> 분석교통망

Target O/D를 설정하는 방법은 Iida et al.(1987)가 제시한 기준을 따랐다.

$$\bar{t}_w = t_w^+ (1.0 - c_{vt} \sigma_w) \quad (18)$$

$$\bar{v}_w = v_w^+ (1.0 - c_{vf} \sigma_a) \quad (19)$$

여기서,

v_a^+ : 기본O/D t^+ 를 이용하여 균형통행배분에 의한 링크통행량

σ_w, σ_a : $N(0,1)$ 상에서 무작위로 추출된 변수

c_{vt}, c_{vf} : 각각 O/D와 관측교통량의 변동계수 (coefficient of variation)

w : O/D쌍, \bar{t}_w, \bar{v}_w : target O/D 및 교통량

위와 같은 방법으로 관측교통량의 변동계수 (c_{vf}) 2개와 기본O/D의 변동계수 (c_{vt}) 4개를 설정하여 각각의 변동계수 조합으로 가능한 8개의 분석자료를 구축하였다. 또한, 8개의 분석자료를 각각 관측교통량이 12개, 18개일 때의 경우로 나누어 관측교통량이 증가할 때 추정의 신뢰성 변화를 관찰하였다.

2) 평가지표

평가지표로는 일반적으로 추정O/D의 신뢰성을 평가하는데 많이 사용되는 평균자승근오차(Root Mean Square Error ; RMSE), 상대평균자승근오차(relative RMSE ; RMSE%), 상대평균절대오차(relative Mean Absolute Error ; MAE%)등의 통계적 오차 분석방법을 1차 평가지표로 사용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{w \in W} (t_w^* - t_w^+)^2 / M} \quad (20)$$

$$RMSE(\%) = \frac{RMSE}{\left(\sum_{w \in W} t_w^+ / M\right)} \times 100 \quad (21)$$

$$MAE(\%) = \left(\frac{\sum_{w \in W} |t_w^* - t_w^+|}{\sum_{w \in W} t_w^+}\right) \times 100 \quad (22)$$

여기서, t_w^* : 추정 O/D
 t_w^+ : 참 O/D
 M : O/D쌍 개수

두 번째 평가지표로 추정O/D의 신뢰성을 평가하기 위한 TLFD를 채택하여 통행시간대를 5분단위로 8개의 구간으로 나누어 분석하였다. 기본O/D의 존간 통행시간을 조사된 통행시간이라 가정하고, 추정된 O/D의 통행시간분포와 평균통행시간차이의 비율은 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{평균통행시간차이비율}(\%) = \left\{ \left(\frac{\sum_{w \in W} t_w^*}{M} \right) - \left(\frac{\sum_{w \in W} t_w^+}{M} \right) \right\} / \left(\frac{\sum_{w \in W} t_w^+}{M} \right) \times 100 \quad (23)$$

여기서, t_w^* : 기본O/D의 각 존간 통행시간
 t_w^+ : 추정O/D의 각 존간 통행시간

2. 분석 결과

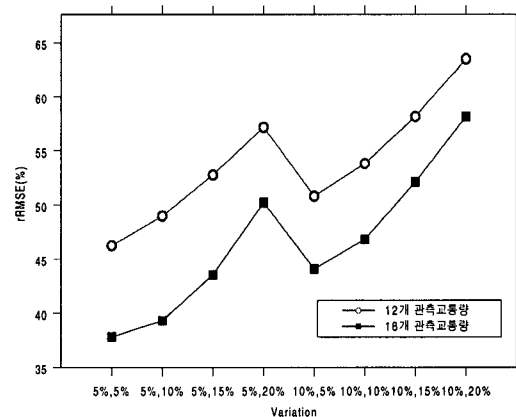
1) 통계적 오차분석

통계적 오차 분석방법은 오차가 반영된 각각 2개의 관측교통량집합(12개, 18개 관측교통량)을 기반으로 추정된 O/D를 분석하였다. 전체적인 분석내용은

<표 1>에서 살펴볼 수 있다.

첫 번째 평가지표로 제시된 3가지 통계적 오차분석 내용은 다음과 같다. 2개의 관측교통량집합(12개, 18개)을 기반으로 추정된 O/D의 통계적 오차가 변동계수의 증가에 따라 비교적 낮은 증가율이지만 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한, target O/D와 관측교통량 오차의 증가에 따른 추정O/D의 통계적 오차 민감도 또한 유사한 경향을 나타내는 것으로 분석되었다.

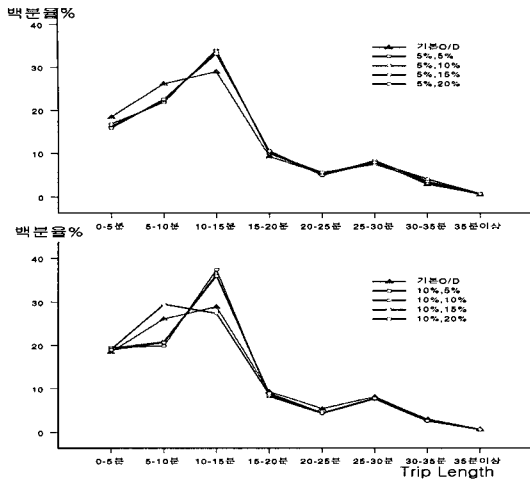
통계적 오차분석에서는 추정의 정확도가 관측교통량이 증가함에 따라 오차의 크기가 작아져야 한다는 일반적인 통념과 매우 일치하는 결과를 보였다. <그림 3>은 관측교통량지점개수에 따른 RMSE%를 나타낸 것이다. 각각 12개와 18개의 관측교통량집합에서 나타내는 통계적 오차는 관측교통량의 오차5%일 경우와 10%일 경우에 관측지점이 증가할수록 즉, 관측지점이 18개인 경우가 12개인 경우보다 더 작게 분석되었다.



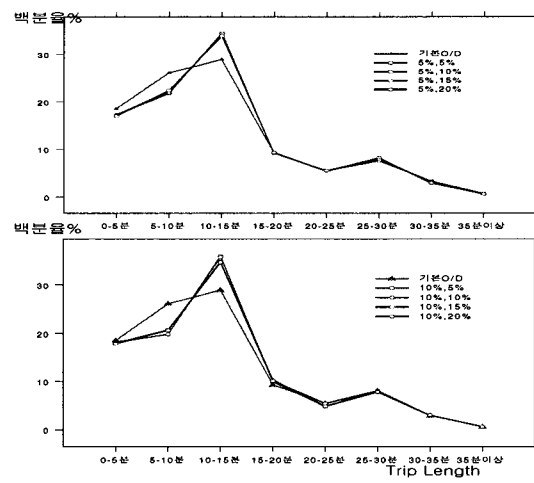
<그림 3> 관측교통량에 따른 RMSE%

<표 1> 변동계수별 오차분석

관측교통량개수		12개관측교통량기반 추정O/D의 통계적 오차			18개관측교통량기반 추정O/D의 통계적 오차		
관측교통량 변동계수 (c_{ij})	기본O/D 변동계수 (c_{it})	MAE(%)	RMSE	RMSE(%)	MAE(%)	RMSE	RMSE(%)
5%	5%	10.42	547.64	46.2	10.41	447.54	37.8
5%	10%	12.71	579.99	49.0	12.19	465.40	39.3
5%	15%	15.30	624.87	52.8	14.32	515.68	43.6
5%	20%	17.63	676.97	57.2	16.60	594.74	50.2
10%	5%	13.66	601.59	50.8	12.71	521.92	44.1
10%	10%	15.40	637.18	53.8	13.88	554.41	46.8
10%	15%	17.71	688.68	58.2	15.80	617.13	52.1
10%	20%	20.17	752.31	63.5	18.15	688.59	58.2



〈그림 4〉 12개 관측교통량 TLF D



〈그림 5〉 18개 관측교통량 TLF D

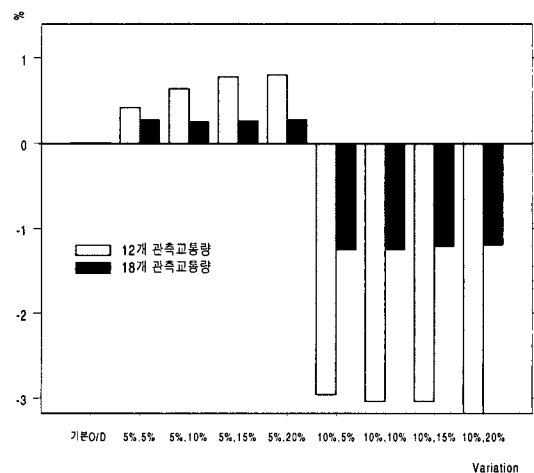
〈표 4〉 기본O/D와 추정O/D의 평균통행시간분포의 비교

관측교통량개수		12개 관측교통량기반 추정O/D의 TLF D		18개 관측교통량기반 추정O/D의 TLF D	
관측교통량 변동계수 (c_{vt})	기본O/D 변동계수 (c_{bf})	평균통행 시간(분)	기본O/D와의 평균통행시간차이(%)	평균통행 시간(분)	기본O/D와의 평균통행시간차이(%)
5%	5%	19.40	0.42	19.37	0.27
5%	10%	19.44	0.64	19.37	0.25
5%	15%	19.47	0.78	19.37	0.26
5%	20%	19.48	0.80	19.37	0.27
10%	5%	18.75	-2.96	19.08	-1.25
10%	10%	18.73	-3.04	19.08	-1.25
10%	15%	18.73	-3.04	19.09	-1.21
10%	20%	18.70	-3.19	19.09	-1.19
기본O/D		19.32	0.00	19.32	0.00

또한, 전체적으로 기본O/D와 평균통행시간차이의 비가 12개의 관측지점 교통량으로 추정된 3개 O/D를 제외하고는 $\pm 3\%$ 범위 안에 포함되는 것으로 분석되어 gradient방법으로 추정된 O/D의 추정력이 상당히 높은 것으로 판단된다. 물론 이 범위를 벗어난 3개O/D의 평균통행시간차이도 그 크기가 크지 않아 전체적인 추정O/D의 신뢰성은 상당히 높은 것으로 판단된다.

마지막으로, 일반적인 사실이지만 관측오차가 증가할수록(변동계수의 크기가 클수록), 추정O/D의 신뢰성이 점차 떨어지는 것으로 분석되었다. 동일한 관측교통량 개수내에서 기본O/D와의 평균통행시간차이는 변동계수가 커지면 커질수록 증가하는 것으로 나타났다.

따라서, TLF D방법의 평가기준에 입각해서 살펴보면,



〈그림 6〉 기본O/D와 targetO/D의 TLF D비 차이

첫 번째 원칙인 추정O/D의 TLFD와 조사된 TLFD의 두 곡선의 모양과 위치가 매우 유사하여야 한다는 조건에 본 연구의 분석은 매우 잘 부합되고, 두 번째 원칙인 조사된 TLFD와 추정된 O/D의 TLFD의 평균통행시간의 차이가 $\pm 3\%$ 이내이어야 한다는 조건에는 비록 약간의 범위를 벗어난 분석결과가 있지만 그 크기가 크지 않아 이 조건에도 부합된다고 볼 수 있다.

IV. 결론

본 연구는 관측교통량으로 O/D를 추정할 수 있는 기법을 적용하여 그 최종적인 결과물인 추정O/D를 평가할 수 있는 또 다른 분석지표를 제시하고자 한 것이다. 현실적인 규모의 교통망상에서 gradient방법을 적용하여 추정된 O/D의 신뢰성 평가를 위하여 일반적으로 가장 많이 이용되는 통계적 오차분석기법과 본 연구에서 적용한 TLFD기법으로 분석하였다. 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 통계적 오차분석에서는 추정의 정확도가 관측교통량이 증가함에 따라 오차의 크기가 작아져야 한다는 일반적인 통념에 부합하는 결과를 보였다.

둘째, 기본O/D의 변동계수에 따른 TLFD의 변화는 크지 않고, 관측교통량의 변동계수에 따른 TLFD의 변화가 상대적으로 큰 것으로 분석되었다.

셋째, 또한, 관측교통량이 증가함에 따른 분포 패턴은 기본O/D의 분포패턴과 보다 더 유사해지는 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 통계적 오차분석시에 나타난 결과 즉, 교통량이 증가하더라도 통계적인 신뢰성은 증가하지 않는 결과를 TLFD분석이 추정O/D내의 다른 정보를 이용하여 동일한 추정O/D라도 다른 관점에서 신뢰성을 보장할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

넷째, 또한, 전체적으로 기본O/D와 평균통행시간 차이의 비가 12개의 관측교통량으로 추정된 3개 O/D를 제외하고는 $\pm 3\%$ 범위 안에 포함되는 것으로 분석되어 gradient방법으로 추정된 O/D의 추정력이 상당히 높은 것으로 판단된다.

위의 연구 결과로부터 추정O/D의 신뢰성 지표로서 TLFD의 이용이 기존의 방법들에 대한 오차분석방법

을 보다 보완할 수 있는 기법이라고 판단되며, 추정된 O/D가 현재의 교통흐름과 부합하는지를 평가하고, 분석결과를 다시 모형에 반영할 수 있는 방안이라고 판단된다. 즉, 현재까지의 관측교통량으로 O/D를 추정하는 방법들은 최종추정O/D를 평가하는 지표로서 통계적 지표만을 사용하여, 적용된 모형의 추정력만을 높이는 방안을 검토하였다. 그러나, 이러한 방법들은 교통망의 모양이나 속성들이 달라지고 대규모교통망에 적용될 때에는 추정된 O/D의 신뢰성을 보장하기가 매우 힘들어지며, 그러한 결과를 보정할 방안은 제시되지 않았다. 본 연구에서 제시된 TLFD기법은 최종적인 결과를 평가할 수 있을 뿐 아니라, 평가된 지표가 신뢰할 만한 수준이 아니라면, 추정된 결과를 보정할 수 있는 가능성을 제시하고 있다.

이와 맥락을 같이하여 이후의 연구과제는 대규모 교통망상에서 관측교통량으로 추정된 O/D를 TLFD 기법을 활용하여 그 신뢰성을 평가하고, 평가된 지표가 신뢰할 만한 수준이 아니라면, 피드백(feedback) 될 수 있는 연구가 필요하다고 하겠다. 이점에도 본 연구에서는 이러한 연구가 포함되지 않아 추후에 기 제시된 향후 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이승재, 김종형(1999), Gradient방법과 일반화 최소자승법을 이용한 관측교통량기반 O/D 추정 방법에 관한 예측력 비교평가연구, 대한교통학회지, 제18권 제2호, 2000.
2. B.G.Hutchinson, Principles of urban transport systems planning, 1974.
3. H.Spiess(1990), A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem, INRO.
4. Iida, Y., Takayama, J., Kaneko, N. (1987), Traffic demand estimation model by observed link flows considering trend of secular change, Proceedings of JSCE, No.383/IV-7, pp.83~91.
5. Yang, H. (1998), Optimal traffic counting locations for O/D estimation, Transpn. Res. 25B, pp.351~363.