

■ 論 文 ■

관측 TCS data 및 AADT 교통량을 이용한 기종점 교통량 보정에 관한 연구

Origin and destination matrix estimation using Toll Collecting System and AADT data

<p>이 승 재 (서울시립대학교 교통공학과 조교수)</p>	<p>김 종 형 (교통개발연구원 책임연구원)</p>	<p>이 헌 주 (서울시립대학교 교통공학과)</p>
<p>장 현 호 (서울시립대학교 교통공학과)</p>	<p>변 상 철 (한국건설기술연구원 연구원)</p>	<p>최 도 혁 (한국건설기술연구원 선임연구원)</p>

목 차

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경과 목적</p> <p>2. 연구의 범위와 방법</p> <p>II. OD보정기법의 이론적 고찰</p> <p>1. 이론적 배경</p> <p>2. 구간 교통량기반 O/D 보정시의 문제점</p> <p>3. 교통량 관측위치 산정 이론 검토</p> <p>4. Gradient O/D 보정 모형</p> <p>III. 네트워크 구성 및 관측지점 선정</p> | <p>1. 네트워크 구성</p> <p>2. 관측지점 선정</p> <p>IV. 분석</p> <p>1. 분석의 기준 설정</p> <p>2. OD 보정 전·후 구간교통량 분석</p> <p>3. OD 보정 전·후 TLFD 분석</p> <p>V. 결론 및 연구한계</p> <p>참고문헌</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Key Words : 기종점 교통량보정, 관측지점, 통행시간분포, TCS, AADT

요 약

구간 교통량을 이용한 기종점(O/D:Origin-Destination)통행의 보정에 관한 여러 기법들은 기존의 기종점 통행량과 현재의 관측 구간 교통량을 이용하여 기존의 O/D를 보정할 수 있는 장점이 있다. 또한 참 O/D통행량을 알 수 없다는 기존의 문제점을 다소라도 극복하면서 현실에 적합한 배정 구간교통량을 얻을 수 있는 방안으로 유용하다고 할 수 있으나, 적정 관측조사지점 위치 및 관측교통량 집합의 선정에 대한 문제가 있다. 또한, 보정된 O/D내에 내재해 있는 통행패턴이 유지되면서 보정이 수행되어야 한다. 이상의 O/D보정 과정은 모의 네트워크상에서 참 O/D값을 알고 O/D보정을 수행할 수 있으나, 실제 대규모 네트워크에서 참 O/D를 알기란 사실상 불가능하며, 대규모 네트워크에서의 적용 사례는 보고되지 않고 있다.

기존 O/D의 보정에 있어서 보정된 O/D는 입력자료의 신뢰성과 관측지점 위치 및 지점수에 크게 의존한다. 따라서 본 연구에서는 관측된 구간 교통량 자료와 O/D 보정 모형중의 하나인 Gradient기법을 이용하여 기존의 전국 O/D를 보정하고, 관측 구간교통량 집합별로 보정된 O/D가 기존의 통행패턴을 유지하면서 실측 및 배정된 구간교통량 분석을 통한 O/D보정과정에 있어서의 방법론을 제시하고자 한다.

분석을 위하여 관측 구간교통량 별로 적용된 관측위치 및 지점수의 현실적 타당성과 O/D 평가의 신뢰성 지표로서 관측지점과 개수에 변동에 따른 ①보정 전-후의 관측 구간교통량과 배정 구간교통량, ②기종점 통행수요 매트릭스에 내재되어 있는 통행행태로서 전체 통행수요의 평균통행시간분포를 나타내는 통행시간분포(TLFD:Trip Length Frequency Distribution)변화를 통계적으로 비교-분석하였다.

본 연구의 분석결과는 전체 네트워크의 총 링크교통량중 약 10%의 관측교통량을 이용하면 기본 O/D의 TLFD를 왜곡시키지 않으면서 관측교통량과 배정교통량의 차이를 최소화시키는 것으로 분석되었다.

1. 서론

1. 연구의 배경과 목적

교통계획 과정에서 기종점(Origin-Destination, 이하 O/D) 통행량은 가장 기본적인 자료이며, 중요한 입력 자료 중의 하나이다. 또한, 기종점 통행량의 정밀도가 교통계획 전체 과정에서 미치는 영향은 매우 크다.

기종점 통행량은 주로 각 시도별로 작성되었으며, 전국 단위의 기종점 통행량 조사는 5년에서 10년에 한 번씩 이루어지고 있다. 그러나 전국 단위의 기종점 통행량의 작성에는 막대한 예산과 시간이 소요되며, 전수화 과정에서 발생하는 오차, 자료의 편향 등 여러 가지 문제점을 수반하고 있다. 특히, 교통 상황이 급속히 변하고 있는 우리나라 현실에서 과거의 기종점 통행량을 바탕으로 예측된 기종점 통행량의 이용은 부정확한 구간 교통량의 예측으로 이어진다. 부정확한 구간 교통량의 예측은 국도의 신설이나 확장과 같은 국가 기간산업의 우선 순위 선정, 그리고 사업의 타당성 평가에 왜곡된 자료로 이용될 수 있다. 이러한 측면에서 기종점 통행량(O/D Trips)은 지속적인 보정이 필요하다고 할 수 있다.

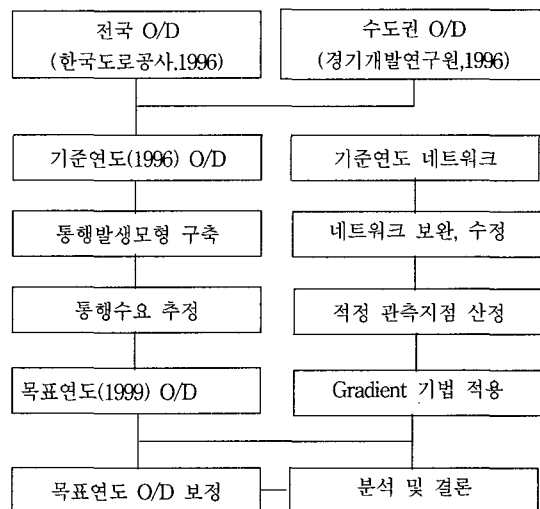
따라서 교통 네트워크상에서 현실성을 반영하면서 저 비용으로 쉽게 이용이 가능한 구간교통량을 이용한 기종점 통행량의 보정에 관한 기법으로 ①Entropy Maximizing, ②통계적 기법을 이용한 모형으로 최우추정법과 일반화 최소자승법, ③2단계 모형(bi-level), ④Gradient 모형 등이 적용되고 있다. 보정된 O/D의 신뢰성에 영향을 미치는 주요 요인은 기존의 O/D 통행량과 구간 교통량 자료의 정확성, 그리고 네트워크 상에서의 교통량 측정지점과 지점수라고 할 수 있다. 그러나 보정된 O/D의 신뢰성(Reliability)에 큰 영향을 미치는 관측 지점의 위치 및 개수에 대한 연구는 상대적으로 미약하였다. 관측 지점의 위치에 관한 연구는 소규모의 네트워크에서 수적인 시뮬레이션으로 이루어 졌으며, 대규모 네트워크에서의 적용사례는 보고되지 않고 있다. 관측지점의 선정문제는 수집될 수 있고 사용되어 질 수 있는 구간정보를 최대한 가진 구간들의 집합을 선정하는 문제라고 할 수 있다. 그러나 현재의 한국건설기술연구원의 ADT(average daily traffic, 일교통량, 이하 ADT), AADT(annual average daily traffic, 년평균일교통량, 이하 AADT)

구간 교통량 자료 및 한국도로공사의 TCS(toll collecting system, 영업소, 이하 TCS)자료 등을 이용하면 자료수집의 제약성은 극복할 수 있는 반면, 가능한 많은 정보를 가지고 있는 관측지점의 선정은 주요한 문제라고 할 수 있다.

본 연구는 전국 네트워크를 대상으로 관측구간교통량집합을 구성하여 기존의 O/D를 참 O/D라 가정하고, O/D 보정기법을 이용하여 실측 구간교통량과 보정 후 배정된 구간교통량간의 오차를 줄이는데 있어서 O/D 테이블에 내재해 있는 TLFD와 어떤 관계를 가지는가를 분석하고자 한다.

2. 연구의 범위와 방법

본 연구는 전국의 동, 군 단위의 272의 존을 그 공간적 범위로 하며, 선정된 관측지점과 O/D보정 기법 중의 하나인 Gradient기법을 이용하여 보정된 O/D를 관측지점수에 따른 TLFD 분석, 그리고 보정 전후의 구간교통량의 차이를 비교-분석함으로써 보정된 O/D의 신뢰성에 대한 문제를 그 내용적 범위로 설정하며, 수행과정은 <그림 1>같다.



<그림 1> 연구 수행 절차

II. OD 보정기법의 이론적 고찰

1. 이론적 배경

관측교통량은 O/D와 선택된 Path의 조합결과라고

할 수 있다. 따라서 링크교통량으로 통행수요모형을 추정하는데 있어서 가장 중요한 단계는 각각의 기-중점간의 경로를 규정하는 것이다. 네트워크를 $G(N, A)$ 에서 다음과 같이 변수를 정의할 수 있다.

N : 노드와 링크의 집합을 각각 N, A , 교통량이 관측된 링크의 집합을 $\hat{A} (\hat{A} \subset A)$, O/D쌍의 집합을 $w (w \subset W)$, O/D쌍 $w \in W$ 간의 참 통행량과 평가된 통행량을 각각 t_w^*, t_w , 각 O/D쌍 w 에 대해서 링크 $a \in \hat{A}$ 을 이용하는 통행량의 비율을 p_{aw} , 그리고 링크 $a \in \hat{A}$ 상에서 관측된 교통량을 v_a 라 설정하면 수학적으로 한 링크를 이용하는 교통량은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sum_{w \in W} p_{aw} t_w = v_a, a \in \hat{A} \quad (1)$$

변수 p_{aw} 는 단순한 all-or-nothing방법부터 보다 복잡한 균형통행배분법을 사용하여 구할 수 있다. 모든 p_{aw} 와 관측된 링크구간 교통량 v_a 가 주어진다면 L (관측 교통량의 개수)개의 연립방정식으로 추정되어야 할 t_w 는 N^2 개가 존재한다. 여기서, N 은 교통존의 개수이다.

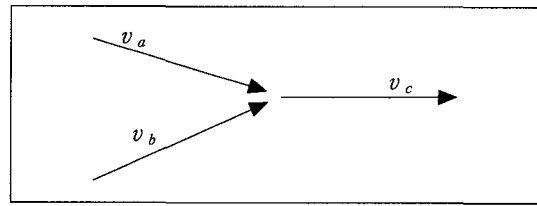
2. 구간 교통량기반 O/D 보정시의 문제점

1) 과소식별 문제

관측교통량이 미지의 기중점 T_{ij} 보다 적다면 수학적으로 미지수에 비해 제약식의 개수가 적게되어 유일한 해에 도달하지 않게 되는 과소식별(underspecification)문제가 발생하게 된다. 과소식별문제를 줄이기 위해서는 가정이나 정보를 추가하여 해의 범위를 좁히는 것이다. 방법적으로는 통행행위에 대한 가정하에 정보최소화, 엔트로피 극대화, 통계적추론 방법이 있으며, 또한 과거 교통량과 현재 교통량간의 변화가 없을 때 기존 O/D와 같은 과거 정보를 활용하는 것으로 이 경우 현재 관측교통량으로 과거 O/D를 갱신하는 것으로 이때 유의할 사항은 과거교통량보다 현재 교통량간의 큰 변화가 없는 경우에만해의 안전성이 확보될 수 있다.

2) 종속성 및 불일치 문제

전체 도로망에서 관측교통량 중에는 주변 링크교통



〈그림 2〉 종속성을 나타내는 교통량도

량과 경로(path)로 연결되어 선형조합관계를 가지고 있어 종속성 및 불일치의 문제가 발생하게 된다. 즉, 유출입이 같은 경우 링크간에는 선형종속관계가 성립되고 이런 선형종속링크에 대해서는 추가적인 정보를 첨가하지 못하게 된다.

〈그림 2〉에서 $v_c = v_a + v_b$ 이고 이것은 v_c 는 중복된 것이고 단지 v_a, v_b 만 독립적이 되어 v_c 는 추가적인 정보를 제공하지 못 한다. 현실적으로 관측교통량 자체가 오차를 수반하게 되며, 관측교통량간에 종속성이 존재하게 되어 만족할 만한 기중점의 추정을 불가능하게 하는 불일치의 문제가 발생한다. 〈그림 2〉에서 $v_c = v_a + v_b + \alpha$ 의 관계가 발생하게 되고 이러한 불일치의 문제를 방지하기 위해서는 불일치를 제거해야 하지만 현실적으로 어려운 문제이다. 따라서 모형에 오차를 고려해 주어야 한다.

링크교통량에서 불일치가 발생하는 원인은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 한 링크의 양단에서 교통량이 시간적으로 동일하지 않다는 것에서 연속성이 결여된다. 둘째는 가정된 통행배분모형이 관측교통량을 정확히 설명하지 못한다는 점이다.

3) 혼잡효과

혼잡효과의 처리 문제는 구간선택확률이 교통망의 혼잡도를 반영하느냐 하지 못하느냐의 문제이며 추정될 기·중점표는 구간 교통량을 제약조건으로 구간선택확률을 이용해 산출한다.

구간선택확률을 구하는 데에는 통행배분방법을 이용하거나 구간선택확률모형을 이용할 수 있고 통행배분방법을 이용할 경우 적절한 통행배분방법의 선택은 기중점표 추정에 있어서 결정적 역할을 담당하게 된다. 통행배분의 경우 혼잡을 고려하지 않는 비례통행배분과 혼잡을 고려한 균형통행배분모형으로 크게 구분할 수 있다.

비례통행배분의 경우 혼잡을 고려하지 않으므로 구간선택비율을 O/D의 추정과정과 무관하게 독립적으로 결정한다. 따라서, 지역간 도로 등 교통혼잡이 비

교적 적은 지역의 도로망에 대한 추정에서는 효율적이나 그렇지 않은 지역에 대해서는 설명력이 떨어진다. 그러나 용량제한 균형통행배분의 경우는 구간선택비율이 구간의 통행수요가 변화함에 따라 계속적으로 변화하게 된다. 이 경우 도로망의 각 구간을 선택할 비율이 통행수요가 변화함에 따라 바뀌게 되어 구간 선택비율마저도 미지수가 되기 때문에 더 큰 과소 식별 문제가 발생될 수 있다.

3. 교통량 관측위치 선정 이론 검토

관측지점의 개수가 증가할수록 추정오차 및 정확성이 증가한다는 것은 주지의 사실이지만, 동일한 관측지점의 개수를 가지고 어느 지점에 위치하여 보다 낫은 O/D를 추정할 수 있는가? 예산상의 제약으로 인한 적정관측지점의 개수는 어떻게 되는가? 대한 적절한 해를 얻고자 하는데 그 목적이 있다.

상기의 문제에 대한 연구는 Lam과 Lo(1990)는 링크가 O/D표를 추정하기 위해서 선택된다는 점에서 그 순서를 규정하기 위한 경험적인(heuristic)과정을 제안하였고, Yang et al.(1998)은 교통망에서 검지위치와 그 수에 관련되어 추정된 O/D표의 신뢰성을 MPRE(최대 가능 상대 오차:The maximum possible relative error)방법을 기초로 연구하였다.

1) MPRE(최대 가능 상대 오차)

p_{aw} (각 O/D쌍 w 에 대해서 링크 $a \in \hat{A}$ 을 이용하는 통행량의 비율)가 외생적으로 결정되고, 링크 교통량의 오차가 없다고 가정하면 식(1)은 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\sum_{w \in W} p_{aw} t_w^* = v_a, \quad a \in \hat{A} \tag{2}$$

식(1)에서 식(2)의 관계에서

$$\sum_{w \in W} p_{aw} (t_w^* - t_w) = v_a, \quad a \in \hat{A} \tag{3}$$

참 O/D쌍 $w \in W$ 과 평가된 통행의 상대편차를 $\lambda_w = (t_w^* - t_w)/t_w$ 로 놓으면 $t_w^* > 0, t_w \geq 0$ 이므로 $\lambda_w \geq -1, w \in W$ 이다. 따라서 식(3)으로부터 식(4)을 얻을 수 있다.

$$\sum_{w \in W} p_{aw} t_w \lambda_w = 0, \quad a \in \hat{A} \tag{4}$$

O/D표의 오차평가를 위해서 다음과 같이 $G(\lambda)$ 을 식(5)과 같이 정의하면, $G(\lambda)$ 가 작아질수록 정확도는 높아지게 된다. 그러므로 MPRE(최대가능상대오차)는 식(4)을 만족하는 식(6)과 같이 정의된다.

$$G(\lambda) = \sqrt{\sum_{w \in W} \lambda_w^2 / m} \tag{5}$$

여기서,

m : W에서 요소 (n, l, λ) 의 개수

$$MPRE(\lambda) = \max G(\lambda) \tag{6}$$

2) 검지위치 규칙(location rule)

적정 검지위치의 선택의 문제는 식(1)의 정의에서 링크는 가능한 많은 정보를 포함할수록 $MPRE(\lambda)$ 을 최소화시켜 주는 문제라 할 수 있다.

식(4)에서 하나의 O/D쌍($w \in W$)에 대해서 $p_{aw} = 0, \forall a \in \hat{A}$ 이면 식(4)의 λ_w 의 변수 $p_{aw} t_w = 0$ 이 된다. 그러므로 λ_w 는 -1보다 큰 값을 가지게되어 $MPRE(\lambda)$ 는 수렴하지 않는다. 즉, 어떤 한 지점에서라도 한 O/D쌍간의 통행이 관측되지 않으면 $MPRE$ 는 수렴하지 않는다. 이상과 같은 상태를 발생하기 않기 위해서 Yang et al.은 다음의 규칙을 제안하였다.

규칙 1 : O/D 확보 규칙

O/D확보규칙(O/D covering rule)은 검지위치는 O/D쌍간의 통행이 관측될 수 있는 지점에 위치하여야 함을 의미한다. $w \in W$ 이고 적어도 하나의 $p_{aw} \neq 0$ 이면 식(4)로부터 다음의 식(7)을 얻을 수 있다.

$$\lambda_w = - \frac{\sum_{k \neq w} p_{ak} t_k \lambda_k}{p_{aw} t_w} \tag{7}$$

$\lambda_w \geq -1, w \in W$ 이므로

$$\begin{aligned} \lambda_w &\leq - \frac{\sum_{k \neq w} p_{ak} t_k}{p_{aw} t_w} = \frac{v_a - p_{aw} t_w}{p_{aw} t_w} \\ &= \frac{v_a}{p_{aw} t_w} - 1 \end{aligned} \tag{8}$$

여기서 링크 교통량 v_a , $a \in A$ 의 O/D쌍 $w \in W$ 간의 교통량의 일부분(fraction)을 $\alpha_{aw} = \frac{p_{aw} t_w}{v_a}$ 로 놓으면 $\frac{1}{\alpha_{aw}}$ 는 λ_w 보다 상위값으로 존재한다. 즉, α_{aw} 가 클수록 λ_w 의 상위값은 작아지게된다. 이것은 다음의 최대교통량비율규칙(maximum flow fraction rule)을 설명하게된다.

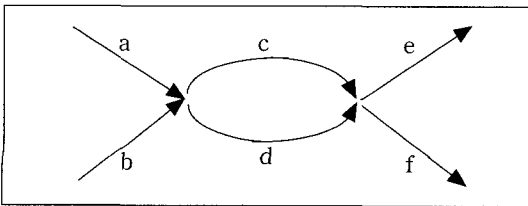
규칙 2 : 최대교통량비율규칙

최대 교통량 비율 규칙(Maximum Flow Fraction Rule)은 교통량 관측지점은 링크상의 통행량에서 각 O/D쌍간의 통행량부분(traffic fraction)이 가능한 커지게 하는 지점에 위치하여야 함을 의미한다. 규칙 2는 다른 O/D쌍들간의 불일치를 초래하게되므로 관측지점의 선정에 있어서 항상 바람직하지는 않다. 예를 들어, 한 링크가 통행량이 작은 O/D쌍간의 높은 부분(fraction)을 수용한다해도 당 링크의 교통량이 적다면 크게 영향을 미치지 않아 주요하지 않을 수도 있다. 이 경우 효과적인 O/D표를 선정하기 위해서 링크a ($a \in A$)의 우선순위를 결정하고자 한다면 한 링크의 교통량 부분(fraction)의 임계값을 부여함으로써 결정할 수 있다.

규칙 3 : 최대교통량관측규칙

최대 교통량 관측 규칙(Maximum Flow Intercepting Rule)은 선택된 링크들은 가능한 많은 통행량을 획득하여야 함을 의미한다. 이것은 같은 수의 관측위치를 가진다해도 링크 집합의 조합은 O/D의 보정에 있어 결과가 다를 수 있음을 의미한다.

예를 들어, <그림 3>는 4개의 O/D쌍의 경로(a-c-e, a-d-f, b-c-e, b-c-f)라 가정하고 2개의 관측지점만을 선정한다면 링크 d, e를 관측지점으로 선정하는 것보다 링크 a, b 또는 c, d를 선정하는 것이 더 바람직하다. 이것은 관측지점 d, e는 a-c-f를 설명하지 못하기 때문이다.



<그림 3> 최대교통량 관측규칙 설명도

규칙 4 : 링크 독립 규칙

링크독립규칙(link independence rule)은 관측 지점은 모든 선택된 링크에서 결과적으로 도출된 관측통행량이 선형적으로 종속적이지 않게 위치되어야 함을 의미한다. 즉, 선택된 링크의 집합은 O/D표의 보정을 위해 가능한 많은 새로운 정보를 포함해야 한다. <그림 3>에서 $v_a + v_b = v_c + v_d$ 이기 때문에 링크 a, b, c, 그리고 d는 동시에 선택될 경우 새로운 정보를 제공하지 못한다.

4. Gradient O/D 보정 모형

본 모형은 구간 교통량과 배정된 교통량과의 차이를 최소화해주는 O/D를 구하는 모형이다. 주어진 구간 교통량을 만족시켜주는 O/D는 여러 개가 존재할 수 있다.

본 연구에서는 해를 찾는 기법으로 경사도기법을 사용하는데 최대경사와 적정 스텝길이를 사용할 경우 초기해에 근접된 해를 찾기 때문에 간단하며 구간 교통량과 배정교통량의 상대적인 차이를 최소화해주는 목적함수의 도입으로 대규모의 네트워크에도 적용이 가능하다. 그리고, 관측 교통량을 최대한 반영하기 위해 수요 매트릭스를 보정하는 것으로 통행배정(assignment)에 이용된 모든 자료가 정확할수록 정확한 결과를 얻을 수 있으므로 보다 정확한 자료들을 사용하여야 한다.

O/D 보정을 위한 모형식은 식(9)와 같다

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z(g) &= \frac{1}{2} \sum_{a \in A} (v_a - \bar{v}_a)^2 \\ \text{Subject to : } v_a &= \sum_{i \in I} g_i \sum_{k \in K_i} \delta_{ak} p_k, \quad a \in A \end{aligned} \quad (9)$$

여기서,

v_a : 수요 매트릭스(g)의 통행배정 결과로 산출된 구간(a)교통량

\bar{v}_a : 구간(a)의 구간 교통량

i : O/D 쌍

h_k : 경로(k) 교통량

i 쌍 O/D중 경로 k 를 이용할 확률(p_k) :

$$p_k = \frac{g_k}{g_i}, \quad k \in K_i, \quad i \in I$$

$$\delta_{ak} = \begin{cases} 0 & \text{if } a \notin k (\text{구간 } a \text{는 경로 } k \text{상에 없음}) \\ 1 & \text{if } a \in k (\text{구간 } a \text{는 경로 } k \text{상에 있음}) \end{cases}$$

위의 해를 찾기 위한 경사도 기법은 다음과 같다.

$$g_i^{l+i} = \begin{cases} \hat{g}_i & \text{for } l=0, \\ g_i^{l-1} - \lambda^l \left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right]_{g_i^{l-1}} & \text{for } l \geq 1 \end{cases} \quad (10)$$

① 경사도(gradient) $\frac{\partial Z(g)}{\partial g}$ 계산

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

② 스텝길이(step length) λ^l 값 계산

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

$$\text{Subject to: } \lambda \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \leq 1, \quad \forall i \in I \text{ with } g_i > 0$$

위 조건을 만족하는 λ^l 는

$$\lambda^* = \frac{\sum_{a \in A} v_a' (\hat{v}_a - v_a)}{\sum_{a \in A} v_a'^2} \quad (13)$$

III. 네트워크 구성 및 관측지점 선정

1. 네트워크 구성

본 연구에서 전국 네트워크 분석을 위해 EMME/2로 구축한 1999년 전국 도로망(고속국도, 일반국도, 지방도 및 국가지원지방도)은 노드 3,055개, 링크 10,051개, 센트로이드 242개로 구성되었다.

2. 관측지점의 선정

적정 관측지점의 선정에는 EMME/2에서 매크로 프로그램(Cntpost.mac)을 이용하여 산출할 수 있다. 이 매크로 프로그램은 관측 구간 교통량 자료를 이용한 O/D 보정 기법인 경사도 기법(Gradient Method)을 수행하기 전 네트워크상의 모든 링크들을 대상으로

O/D량 전체를 담보할 수 있는 최적의 주요링크들을 선정할 때 사용되며, Post Link들의 개수와 O/D 자료를 입력하면 최적의 Link들을 출력하게 된다. 만약 Post Link수를 충분히 잡아주지 않으면 잔여 O/D량을 남겨둔 채(정상적으로 종료된 경우 잔여 O/D량은 0)로 입력된 개수만큼만 잡고 매크로를 종료하게 된다. 본 매크로의 실제 적용 시, 입력된 O/D를 모두 보장할 수 있을 정도로 관측지점의 개수를 충분히 준 경우 가장 이상적인 post link를 선정한다. 출력된 post link들이 O/D 보정 시 쓰일 경우 관측교통량 값을 모두 가져야하는데 특히 본 연구에서와 같이 전국규모의 네트워크인 경우 실제 관측교통량을 모두 얻기란 쉽지가 않다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 관측교통량을 확보하고 있는 링크로 제약하여 상기 매크로를 사용하였으며, 도로위계별 관측교통량 자료는 <표 1>과 같으며 한국건설기술연구원의 상시지점 AADT, ADT자료와 한국도로공사의 TCS 자료를 이용하였다.

<표 1>에서 기타는 시가지 주요간선이며 지역간 분석을 실시하는 본 연구에는 제외하였다. 지역별 관측지점의 분포는 <그림 4>과 같으며, 고속국도(적색), 국도 및 국지도(연두색), 지방도(파란색)의 관측링크를 보여주고 있다.

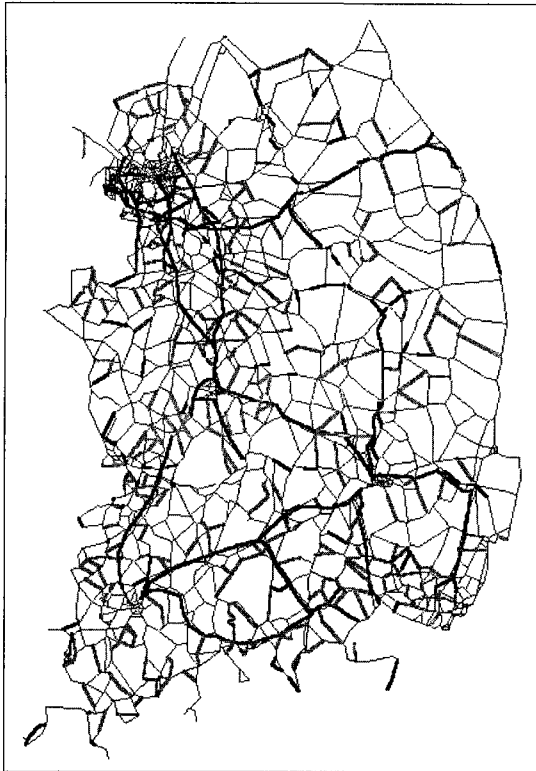
구간 교통량의 단위는 승용차이며, 차종별, 도로위계별 승용차 환산계수(PCE)는 <표 2>와 같으며, 일반지형 평지를 기준으로 선정하였다(도로용량편람, 1992).

<표 1> 관측지점 선정 결과

	링크 수	관측 지점 수	Pct(%)
고속국도	528	338	64.02
국도	4,303	288	6.69
지방도	1,282	596	46.49
국지도	643	236	36.70
기타	3,295	-	-
합계	10,051	1,458	100.0

<표 2> 도로위계별 차종별 PCE

차종	도로	승용차	버스		화물차 (특수포함)
			소형	보통	
PCU	고속국도	1.0	1.0	1.3	1.5
	기타	1.0	1.3	1.3	1.5



〈그림 4〉 지역별 관측지점 분포도

IV. 분석

1. 분석의 기준 설정

본 연구에서 분석은 관측지점 수의 증가에 따른 실제 구간교통량과 보정 후의 배정 구간 교통량 분석, 그리고 TLFDF의 분석을 통하여 이루어지며 분석의 기준은 다음과 같다.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_T |x(t) - \hat{x}(t)| \quad (14)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_T |x(t) - \hat{x}(t)|^2} \quad (15)$$

$$EC = 1 - \frac{\sqrt{\sum_T |x(t) - \hat{x}(t)|^2}}{\sqrt{\sum_T x(t)^2 + \sum_T \hat{x}(t)^2}} \quad (16)$$

여기서, $x(t)$ 는 관측 구간 교통량(또는 기본 TLFDF),

$\hat{x}(t)$ 는 배정 구간 교통량(또는 보정된 TLFDF), N 은 관측 지점의 수(또는 시간대)를 나타내며, EC 는 0과 1 사이의 값을 갖게 되는데 1에 가까울수록 오차가 적음을 의미한다. 그리고 Link Scattergram에서 평가지표로서 R 값을 사용한다. R 값은 y 절편을 0에 고정시키고, 추세선의 기울기가 1에 근접할수록 1에 근접한 값을 나타내게 된다. 따라서 R 값 이 1에 가까울수록 관측 구간 교통량과 실제 구간 교통량간의 보정정도를 보여주게 된다.

2. OD 보정 전·후 구간 교통량 분석

통계적 오차분석은 11개의 관측 교통량 집합으로 실제 관측 구간교통량과 보정후의 배정 구간교통량을 통계적으로 분석하였다. 통계적 오차분석 결과 추정 의 정확도는 관측 지점의 수가 증가함에 따라 링크에 서의 배정 교통량 오차값은 작아진다는 통념과 일치 함을 보였다. 〈표 3〉에서 오차평가는 다음과 같이 평 활화(Normalization)하였다.

(관측구간집합 i 의) 오차평가=

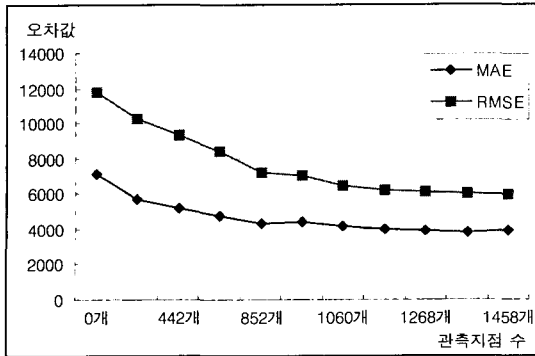
$$\left(\frac{MAE_i}{MAE_{max}} + \frac{RMSE_i}{RMSE_{max}} + \frac{EC_{min}}{EC_i} + \frac{R_{min}}{R_i} \right) / N \quad (17)$$

여기서, N : 평가지표의 개수

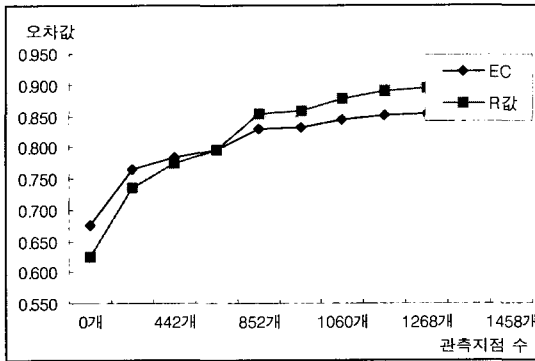
오차평가는 값이 작을수록 관측 구간교통량과 보정 구간교통량집합간의 정확도가 높음을 의미하며, 오차 평가 결과 구간교통량 집합 1,164개부터 수렴해 가

〈표 3〉 관측구간집합별 구간교통량 오차분석

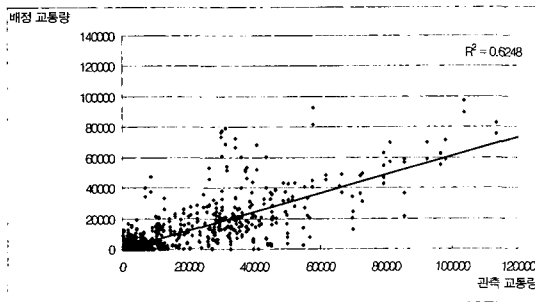
관측지점	MAE	RMSE	EC	R값	오차평가
0개	7.130	11,826	0.675	0.625	1.000
242개	5.648	10,249	0.763	0.735	0.848
442개	5.181	9,328	0.784	0.774	0.796
642개	4.761	8,417	0.796	0.796	0.753
852개	4.350	7,189	0.829	0.854	0.691
954개	4.391	7,002	0.831	0.859	0.687
1,060개	4.155	6,456	0.845	0.878	0.660
1,164개	3,995	6,172	0.850	0.890	0.645
1,268개	3,930	6,079	0.853	0.894	0.639
1,356개	3,842	5,987	0.855	0.898	0.633
1,458개	3,861	5,961	0.857	0.901	0.632



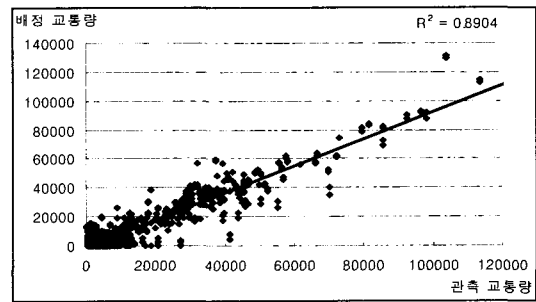
〈그림 5〉 구간 교통량 오차분석(1)



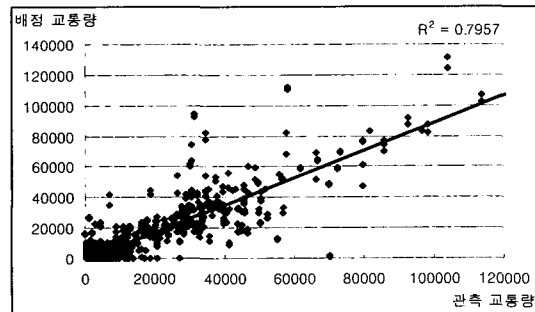
〈그림 6〉 구간 교통량 오차분석(2)



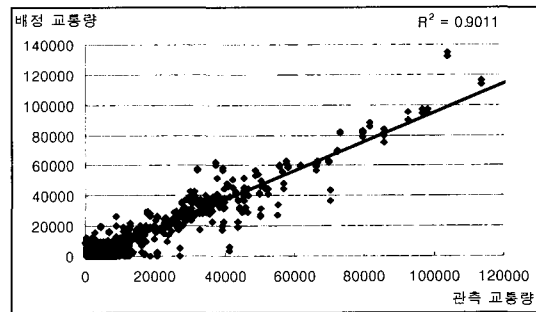
〈그림 7〉 보정 전 Link Scattergram



〈그림 9〉 관측구간집합(1,164개) Link Scattergram



〈그림 8〉 관측구간집합(642개) Link Scattergram



〈그림 10〉 관측구간집합(14,588개) Link Scattergram

고 있으며, 관측지점 수의 증가에 따라 오차는 급속히 수렴하다 일정 지점수(본 연구에서는 852개 관측 교통량 집합) 넘으면 관측지점수가 증가해도 오차는 오차범위 내에서 수렴하고 있다.

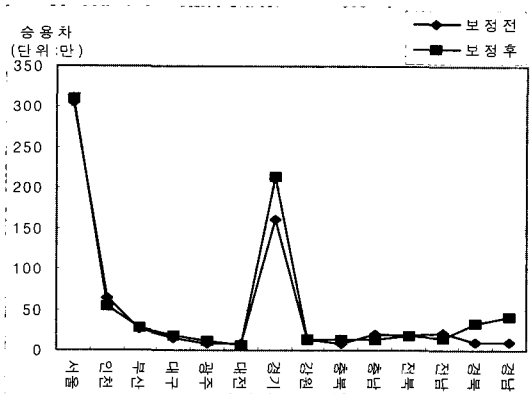
〈그림 5〉와 〈그림 6〉에서 관측지점의 수가 증가할 수록 오차는 수렴해가고 있으며 1,164개의 관측교통량집합부터는 오차는 크게 감소하지 않고 수렴해 가고 있음을 알 수 있다.

〈그림 7〉에서 〈그림 10〉까지는 관측지점수의 증가에 따라 보정 후 배정된 구간교통량과 관측교통량과의 오차의 정도를 설명해 주는 Link Scattergram의 수렴과정을 보여주고 있으며, 관측교통량 집합 1,458개에서 R값은 0.9011로 나타나고 있다.

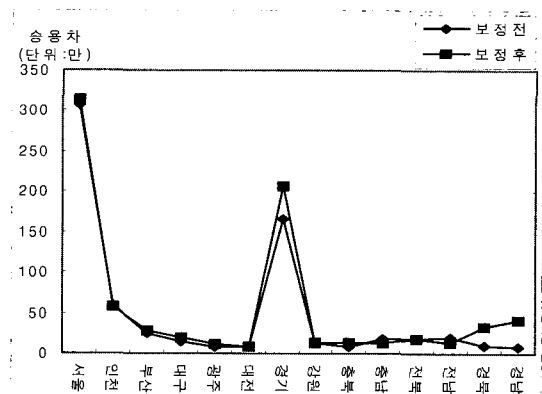
3. OD 보정 전·후 TLFD 분석

분석연도(1999년)의 전국 총 통행량은 6,863(천 승용차/일)에서 7,886(천 승용차/일)로 약 15% 상향조정되었다. 그리고 보정 전·후의 대존별 유출입 교통량은 〈그림 11〉과 〈그림 12〉같이 기존의 패턴을 유지하면서 전체적으로 높게 보정되는 결과를 보였다.

TLFD분석은 통계적 오차분석과 마찬가지로 11개의



〈그림 11〉 보정 전후 대준별 통행 발생량 비교



〈그림 12〉 보정 전후 대준별 통행 도착량 비교

구간교통량 집합으로 분석하였으며, 〈표 4〉는 관측 교통량집합별 TLFDD를 보여주고 있다.

전체적으로 관측교통량의 증가에 따라 TLFDD는 크게 왜곡하지 않으면서, 기본 TLFDD로 수렴해 가는 것을 알 수 있다. TLFDD분석에 있어서 분석연도의 참O/D를 현실적으로 알 수 없는 한계로, 기존 O/D의 TLFDD가 참값이라고 가정하고, 기존의 통행행태가 유지된다고 가정한다.

〈그림 13〉과 〈그림 14〉는 관측 구간교통량 집합의 수의 증가에 따라 기본 TLFDD에 가까워지고 있음을

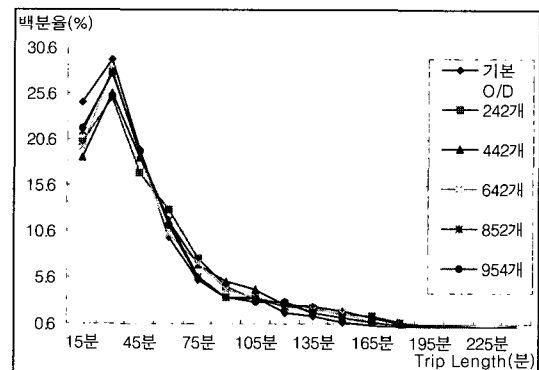
보여주고 있다. TLFDD 분석의 오차평가는 다음과 같이 평활화(Normalization)하였다.

$$\text{(관측구간집합 } i \text{의) TLFDD 오차평가} = \left(\frac{MAE_i}{MAE_{max}} + \frac{RMSE_i}{RMSE_{max}} + \frac{EC_{min}}{EC_i} \right) / N \quad (18)$$

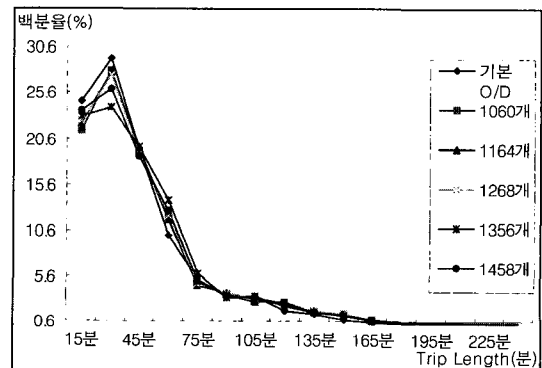
여기서, N : 평가지표의 개수

〈표 4〉 관측 구간교통량 집합별 TLFDD

통행 시간 (분)	관측 구간교통량 집합의 관측 저점수										
	기본	242	442	642	852	954	1060	1164	1268	1356	1458
	아래의 값은 각 통행시간거리의 백분율(%)를 나타냄.										
15	24.6	20.2	18.6	19.8	21.4	21.8	21.6	22.2	22.4	23.0	23.7
30	29.3	25.2	25.6	28.3	28.0	27.8	28.0	27.8	27.5	24.0	26.0
45	19.4	16.9	18.5	18.9	18.9	19.2	19.0	19.5	19.1	19.7	18.6
60	10.0	13.0	11.6	10.2	11.7	11.3	12.0	11.7	12.1	13.9	12.7
75	5.2	7.5	6.9	7.1	5.6	5.4	4.8	4.6	4.6	5.9	5.0
90	3.3	4.5	5.1	4.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.2	3.3
105	3.3	3.2	4.2	3.4	3.2	2.9	2.8	3.0	3.1	3.3	3.2
120	1.7	2.4	2.5	2.5	2.8	2.9	2.6	2.3	2.3	2.2	2.5
135	1.4	2.3	2.4	2.0	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.6	1.5
150	0.7	1.6	1.9	1.6	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.2	1.2
165	0.5	1.3	1.1	0.7	0.7	0.6	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7
180	0.3	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
195	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4
210	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
225	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
240	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



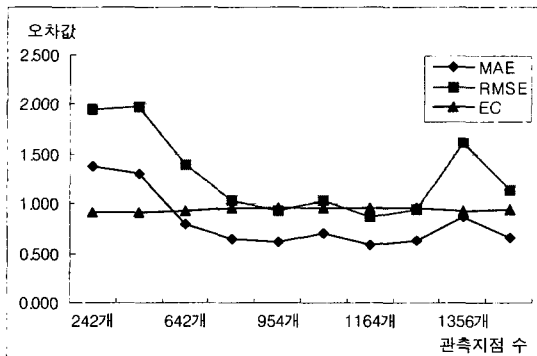
〈그림 13〉 관측 구간집합별 TLFDD(1)



〈그림 14〉 관측 구간집합별 TLFDD(2)

〈표 5〉 관측 구간집합별 TLFD 오차분석

관측지점	MAE	RMSE	EC	오차평가
242개	1.379	1.951	0.908	0.996
442개	1.305	1.970	0.907	0.982
642개	0.794	1.393	0.935	0.751
852개	0.641	1.028	0.953	0.646
954개	0.611	0.930	0.957	0.621
1,060개	0.697	1.040	0.952	0.662
1,164개	0.589	0.875	0.960	0.605
1,268개	0.630	0.942	0.957	0.628
1,356개	0.874	1.715	0.921	0.830
1,458개	0.666	1.140	0.948	0.673



〈그림 15〉 관측구간집합별 TLFD 오차 분석

〈표 5〉에서 오차분석 결과 1,164개의 구간 교통량 집합이 기존의 TLFD와 오차가 가장 적게 분석되었으며, 관측 구간교통량 집합 954개, 1,060개, 1,164개, 1,268개에서 수용할 만한 오차를 보이고 있다. 배경 구간교통량 분석에서 관측 구간교통량 집합의 수가 증가에 따라 구간 교통량에 대한 보정은 증가하지만, 〈그림 15〉와 〈표 5〉에서 알 수 있듯이 기본 TLFD로 수렴해 간다고 말할 수는 없으며, 관측지점개수집합 1,356개의 경우는 〈표 4〉에서 기본 TLFD에서의 통행시간길이 15-30분의 경우 29.3%를 나타내고 있으나, 보정 후 24.0%를 나타내고 있어 오차가 크게 나타나고 있다.

V. 결론 및 연구한계

본 연구에서 관측 구간교통량 집합의 개수별로 분석한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 현실적으로 대규모 네트워크에서는 정확한

관측 구간교통량 자료를 얻기가 힘들며, 프로그램상의 네트워크와의 불일치가 많이 발생하게 된다. 따라서 지나치게 많은 관측지점을 O/D보정에 이용할 경우 시간적, 경제적 어려움뿐 아니라 불필요한 정보를 추가하게 된다. 따라서 관측 교통량 지점수를 적정 수준으로 사용할 필요가 있다.

둘째, 통계적 오차분석에서는 관측 교통량집합의 개수가 증가함에 따라 관측 구간교통량과 보정 후 배경된 구간교통량간의 오차가 감소한다는 통념에 부합하는 결과를 낳았지만, 기존의 기종점 통행량에 내재되어있는 TLFD를 크게 왜곡시킬 수 있다는 점에서 기존의 TLFD를 유지하면서 O/D를 보정할 수 있는 지점수를 산정하여야 한다. 따라서 일정 범위내의 관측 교통량집합이 관측 구간교통량과 보정 후 배경 구간교통량집합간의 적정 오차범위 내에 수렴하면, TLFD 분석을 통하여 기존의 TLFD를 크게 왜곡시키지 않으면서 실측 구간교통량에 대한 설명력이 높은 관측 구간교통량을 적정 구간교통량집합으로 선정할 필요가 있다. 따라서 본 연구의 분석결과는 전체 네트워크의 총 링크교통량중 약 10%의 관측교통량을 이용하면 기본 O/D의 TLFD를 왜곡시키지 않으면서 관측교통량과 배경교통량의 차이를 최소화시키는 것으로 분석되었다.

본 연구의 한계로는 첫째, 참 O/D를 알기란 사실상 불가능하다는 측면이 있다. 그러나 사람통행조사 등의 조사를 통하여 구축된 O/D를 적용하는데 있어서 단기간 내에 TLFD는 크게 변하지 않을 것이다. 따라서 기존 O/D를 참 O/D로 가정하고, 기존 O/D의 TLFD를 유지하면서 O/D보정을 수행하였다.

둘째, 관측지점의 기능적 위치에 대한 고려가 미흡하였다. 실제로 대규모 네트워크에서 계산상으로 선정된 관측지점이 현장에서 주요한 관측지점으로서의 역할을 수행하지 못하는 불일치가 발생할 수 있다. 또한 조사를 통하여 자료를 수집하기란 상당한 어려움이 있다. 따라서 향후연구로서 관측지점의 공간적 위치와 기능적 위치에 대한 연구가 수행되어지는 것이 할 것이다.

셋째, 기종점 통행량은 전체적으로 상향 보정되었으나, 교통혼잡이 심각한 구간의 경우 교통량의 우회 링크로의 교통량 이전이 발생하게 된다. 따라서 우회 교통량으로 인한 기종점 교통량의 과소평가문제를 보

완하기 위해 혼잡링크와 우회링크의 적정 관측지점수를 산정하여 분석할 필요가 있다.

참고문헌

1. 이승재·김종형(1999), Gradient방법과 일반화 최소자승법을 이용한 관측교통량기반 O/D 추정 방법에 관한 예측력 비교평가 연구, 대한교통학회지, 제18권 제2호, 2000.
2. 이승재·손의영·김종형(1999), 통행시간분포를 이용한 교통량기반 추정O/D의 신뢰성 평가에 관한 연구, 대한교통학회지, 제18권 제2호, 2000.
3. 김종형(2000), Gradient 방법에 의한 통행량기반 수요추정연구, 서울시립대학교 도시공학대학원 도시공학 박사학위 논문.
4. 한국도로공사(1997), 고속도로 Network Analysis 모형 적용을 위한 자료구축 및 실용화 연구, 1998.
5. Yang, H.(1998), Optimal traffic counting locations for O/D estimation, Transpn. Res. 25B, pp.351~363.
6. Cascetta E. and Nguyen S.(1998) A unified framework for traffic counts, Transpn. Res. 22B, pp.437~455.
7. Lam, W. H. K. and Lo, H. P.(1990) Accuracy

- of O-D estimates from traffic counts. Traffic Engineering and Control 31, pp.358~367.
8. 도로용량편람, p.123, p.264 대한교통학회(1992).
9. H. Yang, Y. Iida, T. Sasaki, Y. Asakura. (1992). Estimation of origin destination matrices from link traffic counts on congested networks. Transpn. Res. 26B, pp.417~434.
10. H. Yang and Y. Iida and Tsuna Sasaki, (1994). The Equilibrium based origin destination matrix estimation problem. Transpn. Res. 28B, pp.23~33.
11. Spiess, H.(1990). A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem, INRO.
12. Cascetta E.,(1984). Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data : generalized least squares estimator, Transpn. Res. 18B, pp.289~299.
13. Fisk C. S. and Boyce D. E.(1983). A note on trip matrix estimation from link traffic counts data, Transpn. Res. 17B, pp.245~250.
14. Fisk C. S.(1989). Trip matrix estimation from link traffic counts : The congested network case, Transpn. Res. 23B, pp.331~356

✉ 주 작 성 자 : 이현주
 ✉ 논문투고일 : 2001. 3. 9
 논문심사일 : 2001. 5. 31 (1차)
 2001. 8. 20 (2차)
 2001. 9. 27 (3차)
 2001. 10. 5 (4차)
 심사판정일 : 2001. 10. 5