

■ 論 文 ■

기종점 수요추정을 위한 교통량 관측지점의 적정위치 선정

Selection of the Optimal Location of Traffic Counting Points
for the OD Travel Demand Estimation

이 승 재

(서울시립대학교 교통공학과 부교수)

이 현 주

(서울시립대학교 교통공학과 박사수료)

목 차

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 <ul style="list-style-type: none"> 1. 연구배경 및 목적 2. 연구범위 및 방법 II. 기존 연구 고찰 <ul style="list-style-type: none"> 1. 기존연구 검토 2. 검토결과 III. 교통량 관측지점 선정 | <ul style="list-style-type: none"> 1. 선정기준정립 2. 교통량 관측지점 선정 <ul style="list-style-type: none"> IV. 분석평가 <ul style="list-style-type: none"> 1. 평가방법 2. 평가결과 V. 결론 참고문헌 |
|--|---|

Key Words : 관측교통량, 관측위치, 지점수, 신뢰성평가, 기종점수요(OD)

요 약

관측교통량을 이용하여 추정된 OD의 오차는 관측링크집합에 크게 의존하기 때문에 얼마나 많은 수의 관측장비를 어느 지점에 위치시켜야 신뢰성을 확보할 수 있는가를 파악하는 것이 중요하다. 즉, 교통량 관측지점의 위치와 개수에 따라 OD추정이 변하기 때문에 관측지점의 적절한 위치와 지점수를 산정하는 연구가 필요하다고 판단되어 본 연구는 기종점 교통수요(OD)를 추정하기 위해 교통수요추정의 정확도에 직접적으로 영향을 미치는 교통량 관측지점의 적정위치와 지점수를 선정하였다.

대안별 교통량 관측위치가 선정된 결과를 통계적인 평가지표를 이용하여 사전OD와 추정OD간의 오차를 평가하였다. 오차평가결과, 관측교통량을 이용하여 사전OD를 갱신할 때 관측교통량에 대한 관측지점의 위치 및 개수가 적절하게 반영되어 추정된 OD가 사전OD의 통행패턴을 어느 정도 잘 반영하고 있음을 알 수 있었다.

따라서 관측교통량을 이용하여 기종점간 교통수요(OD)를 추정할 때 사전OD의 통행패턴 및 특성을 잘 반영하기 위해서는 교통량 관측위치의 적정지점 및 개수선정이 중요한 요인이라고 판단된다.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

기종점 교통수요(Origin and Destination Demand, 이하 OD)는 교통계획과정에서 가장 기본적인 데이터이며, 또한 효율적으로 교통제어 및 관리를 위해서는 필수적이다. 과거 십수년동안 우리는 관측교통량을 이용하여 OD를 추정하는 방법에 초점을 맞추어 연구해 왔다. 관측교통량은 곧바로 이용할 수 있고, 수집하는데에 수월하며, 교통계획 측면에서는 직접 적용이 가능하기 때문이다. 일반적으로 추정된 OD는 입력데이터(관측교통량과 사전(prior) OD 등) 및 도로망내에서 교통량 관측지점 및 개수에 크게 의존한다(Lam and Lo, 1990; Yang et al., 1991; Yang and Zhou, 1998). 관측교통량으로부터 OD를 추정하는 방법은 직접 관측이 불가능한 OD와 관측된 링크교통량의 인과관계를 설정하여 링크교통량으로부터 OD를 추정해 내는 것이다. 통상 추정 OD의 정확성은 입력데이터의 신뢰성과 통행량을 검지하는 위치 및 개수에 많은 영향을 받는다.

추정된(reproduced) OD의 신뢰성 및 정확도에 영향을 미치는 주요 요인은 과거의 사전(prior) OD¹⁾와 관측교통량 자료의 정확성, 그리고 가로망상에서의 적절한 교통량 관측위치와 지점수라고 지적하고 있다(이승재·김종형·이현주 등, 2001). 즉 기존의 교통량 관측지점은 구간교통량을 관측하기 위해 공간적, 기능적으로 적절한 간격으로 분포되어 있지만 모든 이용가능한 관측지점의 교통량을 이용하여 사전(prior) OD를 추정했다고 해서 그 추정된 OD의 신뢰성 및 정확성이 향상되지 않는다는 것을 보여주고 있다. 다시말해, 이러한 문제는 기존 연구자들이 지적했듯이 관측 링크교통량의 과소식별문제, 종속성 및 불일치문제, 혼잡효과, 관측지점의 위치 및 개수 등에 따라 추정된 OD의 신뢰성 및 정확도에 영향을 미친다고 하겠다. 또한 링크상에서 관측되는 모든 정보는 같은

양의 정보를 갖고 있지는 않으며, 어떤 관측지점의 교통량 자료는 OD를 추정하는데 큰 정보를 제공하지 못할 수도 있다. 즉, 교통량 관측지점을 무작정 증가시킨다고 해서 추정OD의 정확성이 높아지고 관측오차가 낮아진다고 볼 수 없을 것이다.

현재까지의 OD추정의 추정력에 관한 연구는 추정기법에 따라 발생할 수 있는 오차의 정도에 관한 것이었으나, 교통량 관측위치 및 개수에 따른 오차에 대한 국내의 연구²⁾는 많지 않으며 교통량 관측지점의 적정위치 및 개수와 그에 따른 추정력의 변화에 대한 연구가 필요하다고 본다.

OD추정오차는 관측링크집합에 의존하기 때문에 얼마나 많은 수의 관측장비를 어느 지점에 위치시켜야 신뢰성을 확보할 수 있는가를 파악하는 것이 중요하며(백승걸·임강원·이승재, 1998) 교통량 관측지점의 위치와 개수에 따라 OD추정이 변하기 때문에 관측지점의 적절한 위치와 지점수를 산정하는 연구가 필요하다고 본다. 따라서 기종점 교통수요(OD)를 추정하기 위해 교통수요 추정의 정확도에 직접적으로 영향을 미치는 교통량 관측지점의 적정위치와 지점수를 선정하고 선정된 지점수를 이용하여 OD를 추정한 추정OD와 사전(prior)OD의 통행특성 및 관측교통량과 배경교통량의 오차를 비교하여 적절한 관측지점을 선정해 보고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

기종점 교통수요 추정을 위해 교통량 관측지점의 위치 및 지점수를 산정하기 위해서 전국도로망을 이용하여 224개존체계(한국도로공사, 2001)를 이용하도록 한다.

교통량 관측위치를 선정하기 위한 본 연구의 수행 방법은 다음과 같다. 2장에서는 기존연구중 관측교통량을 이용하여 기종점 교통수요를 추정하는 기법과 선행 연구들을 검토하여 본 연구의 방법론을 도출한다. 3장에서는 교통량 관측위치 선정방법에 따라 각

1) 사전(prior) OD라 함은 추정이전의 OD를 말하며 기존에 존재하는 historical OD를 일컬으며, 이를 선행 OD라고도 함. 본 연구에서는 사전(prior) OD라고 언급함. 추정(estimated) OD라 함은 사전(prior) OD와 관측교통량을 이용하여 추정된 OD를 일컬으며 이를 posterior(사후) OD라고도 함. 관측지점(traffic counting point)이라고 함은 어떤 구간에 지나가는 교통량을 counting하기 위해 정해 놓은 지점이라고 할 수 있으며 여기에는 관측장비(검지기 등)가 위치해 있으며 어떤 특정시간대의 교통량을 조사하기 위한 지점이라고 할 수 있음. 관측교통량(traffic counting volume, or observed traffic volume)은 어떤 구간에 지나가는 교통량을 counting한 교통량을 말함.
2) 이승재·김종형·이현주 등(2001)이 관측교통량 집합을 11개의 집합으로 구분하여 각 관측교통량의 지점수가 변화함에 따라 추정된 OD의 추정력이 어떻게 변화하는지에 대해 분석한 연구가 있음.

각의 대안별 관측위치를 선정한다. 4장에서는 3장에서 대안별 교통량 관측위치가 선정된 결과를 통계적으로 분석하여 사전(prior) OD와 추정 OD간의 오차를 평가하여 어떤 대안이 가장 좋은 결과를 보이는지를 분석한다.

II. 기존연구 고찰

1. 기존연구 검토

연구대상지역이 N 개 존으로 구성되어 있다면, N^2 개의 기종점 통행량이 있는데, 관측교통량으로부터 기종점 통행량을 추정하는 가장 중요한 사항은 각 기종점 통행량이 사용하는 경로를 결정하는 것이다. 도로망 $G(N, A)$ 에서 다음과 같이 변수를 정의할 수 있다. N : 노드와 링크의 집합을 각각 N, A , 교통량이 관측된 링크의 집합을 $\hat{A} (\hat{A} \subset A)$, OD쌍의 집합을 $w (w \subset W)$, OD쌍 $w \in W$ 간의 참 통행량과 평가된 통행량을 각각 t_w^*, t_w , 각 OD쌍 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 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

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

위의 식에 따라 $N^2 - N$ 개의 미지의 t_w 를 구하기 위해서는 $N^2 - N$ 개의 독립(independent)이면서 일치된(consistent) v_a 가 있어야 하나 현실적으로 관측교통량을 $N^2 - N$ 만큼 확보하는 것은 어려운 일이다. 따라서 미지의 t_w 에 비해 방정식의 수가 적어 유일한 해가 존재하지 않고 다수해가 발생하는 즉, 주어진 관측교통량 조건을 만족시키는 다수의 t_w 가 존재하는 문제가 발생하는데 이러한 문제를 극복하고 적절한 기종점통행량을 얻기 위해 많은 연구를 해왔다.

1) Lam & Lo의 연구

Lam과 Lo(1990)는 OD표를 추정하기 위해서 링크가 선택된다는 점에서 그 순서를 규정하기 위한 경험적인(heuristic)과정을 제안하였다.

2) Hai Yang의 연구

Yang et al(1991 a,b)은 최대가능상대오차(MPRE

:Maximal Possible Relative Error)의 개념을 제시하여, 추정 OD의 신뢰성을 평가하는 지표로 정의하였다. MPRE는 노선선택비율이 정확히 설정되고 관측교통량의 오차가 없을 경우 특정 OD에 대한 현실적인 오차 한계로부터 추정된 OD의 최대가능상대편차를 나타내는 것이다. Yang(1998)은 최대가능상대오차에 근거하여 링크교통량 관측위치에 관한 4가지 위치규칙(통행검지위치규칙(Location Rule))을 제시하고 이러한 규칙을 만족하는 링크를 결정하기 위해 정수계획모형과 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다.

3) Bianco의 연구

Bianco(1997)는 관측노드와 그 노드에 연결되는 링크들의 집합인 영향권(influence basin)을 설정하여 검지기가 설치되지 않은 지점에 대해서도 링크교통량을 구하는 방법으로 완전한 교통량벡터를 구한 후 휴리스틱 방법을 통해 조합최적화모형으로 검지기 위치를 구하였다. 또한 검지기위치문제의 하한(lower bound)과 상한(upper bound)에 대한 알고리즘을 제시하였다. 그러나 복잡한 최적화문제에 의해 관측 위치를 구하고 네트워크 구성수준에 따라 최적위치가 변경될 수 있으며, 노드에서의 검지를 가정한다는 한계를 가지고 있다.

4) Tamin의 연구

Tamin et al(2001)은 관측교통량(Traffic Counts)을 이용하여 교통량 관측위치를 선정하는 방법을 제시하였다. 즉 교통량 관측위치 선정기준을 3단계로 구분하여 매 단계별 교통량 관측위치를 선정하여 최종적으로 선정된 지점을 평가한 후 관측위치의 적정수를 결정하였다.

5) 백승걸, 임강원, 이승재의 연구

백승걸·임강원·이승재(1998)는 기종점 추정을 위한 최적관측위치로서의 존코돈라인(Zone Cordonline) 원칙을 제시하였다. 기종점(OD) 추정을 위한 존 코돈라인 관측방법(Zone Cordonline Counting Method)은 모든 노드에 연결된 링크를 관측대상으로 하는 기존의 방법 대신 존 경계선을 따라 코돈라인을 설정하고 코돈라인이 통과하는 링크에서 교통량을 관측하는 것이다. 이 연구는 존의 크기 즉, 존이 세분화될수록

관측위치가 증가함에 따라 관측비용(검지기 수)이 많이 소요되는 방법이라고 하겠다.

6) 이승재, 김종형, 이현주의 연구

이승재·김종형·이현주 등(2001)은 관측교통량으로 기종점(OD) 수요를 추정함에 있어 관측교통량을 이용할 때 관측지점의 위치를 11개의 관측교통량 집합으로 구분하여 각각의 관측교통량 집합을 이용하여 기종점(OD) 교통수요를 추정하였다. 추정된 교통수요에 대하여 관측링크 집합별 오차평가 결과 관측링크 1,164개부터 수렴하기 시작하여 관측지점 링크 수가 증가함에 따라 오차는 급속히 수렴하다 일정한 관측지점수가 넘으면 관측지점수가 증가해도 오차는 개선되지 않는 것을 보여 주었다. 따라서 오차가 개선되지 않는 부분의 관측링크 집합을 적정 관측지점수로 선정하고 있다. 그러나 이 연구는 기종점(OD) 교통수요를 추정하기 위해 교통량 관측지점의 위치를 선정한 후 선정된 지점의 관측교통량을 이용하여 교통수요를 추정하지 않고, 관측지점수를 임의(random)적으로 11개의 집합으로 구분하여 각각의 집합에 속한 관측지점의 교통량으로 추정된 기종점(OD) 수요를 이용하여 관측과 배경교통량의 차이가 최소가 되는 집합의 관측링크를 지점수로 결정하였다. 따라서 관측링크 집합의 관측링크가 과연 공간적 및 기능적으로 적정한 교통량 관측위치인지는 불분명하다고 하겠다.

2. 검토결과

위에서 살펴본 Lam과 Lo(1990), Yang(1991, 1998), Bianco(1997)는 적절한 관측지점의 교통량이 기종점(OD) 수요 추정에 영향을 미친다는 것을 언급한 후 OD 행렬표 추정에 이용할 교통량 관측지점을 선정하여 선정된 지점의 교통량으로 소규모의 가로망에 적용하여 기종점(OD) 수요를 추정하였다. 관측지점 선정에 이용한 방법은 경험적인(heuristic) 알고리즘을 이용하였거나, 정수계획모형을 이용하는 과정에서 다분히 계산적인 복잡함 등으로 인해 대규모 가로망에서 이 방법들을 적용할 수 없는 한계가 내재되어 있다. 또한 현실적으로 대규모 가로망에서 정확한 관측지점의 교통량 자료를 얻기에는 다소 무리가 있

며 따라서 현실과 모형상의 가로망이 일치하지 않는 문제가 발생하게 된다. 기종점(OD) 수요를 추정할 때 지나치게 많은 관측지점의 교통량을 이용할 경우 시간적, 경제적 어려움뿐만 아니라 불필요한 정보를 추가하게 된다. 따라서 관측교통량을 이용하여 기종점(OD) 수요를 추정할 때 교통량 관측지점의 적정수를 산정하여 추정할 필요가 있다. 또한 이승재·김종형·이현주 등(2001)의 연구는 관측지점을 먼저 선정하지 않고 관측링크 집합을 임의적(random)으로 구분하여 오차평가 결과에서 선정된 관측링크 집합을 적정한 관측지점으로 선정하였는바, 이는 대규모 가로망에 적용하였으나 그 관측지점이 과연 공간적으로 적정하게 선정되었는지는 명확하지 않다고 하겠다.

따라서 현실적으로 대규모 가로망을 중심으로 기종점(OD) 교통수요를 추정시 교통량 관측지점의 위치 및 적정수가 추정된 OD의 통행패턴에 직접적으로 영향을 미친다는 기존연구에서 언급되었듯이, 과거의(historical) 사전(prior) OD를 현재의 관측교통량으로 갱신(reproduction)할 때 사전(prior)OD의 통행패턴을 크게 변화시키지 않고 기종점(OD) 수요를 추정하기 위해서는 교통량 관측지점의 적정위치 및 지점수를 선정할 필요가 있다고 판단된다.

III. 교통량 관측지점 선정

교통량 관측지점을 선정하기 위해서는 대상지역에 대한 기종점 교통수요(사전 OD)가 있어야 한다. 또한 관측지점 선정에 영향을 미치는 주요한 변수는 기종점간 교통수요(OD)라고 할 수 있다. 즉 기종점 교통수요(OD)의 통행특성에 따라 교통량 관측지점들이 각각 다르게 선정된다고 하겠다. 따라서 본 연구에서는 전국의 지역간 통행특성이 고려된 TCS(Toll Collecting System) 기반 전국 교통수요를 추정한 OD를 사전(prior)OD(〈표 1〉)라 가정하고 이 사전OD를 이용하여 교통량 관측지점을 선정하였다. 〈표 1〉은 전국 지역간 TCS의 통행특성이 반영된 TCS기반 전국 교통수요를 추정한 결과이다(한국도로공사, 2001). 교통량 관측지점을 선정하기 위해 3장에서는 6개 대안을 고려하여 관측지점을 선정하였으며 다음 장에서 선정된 지점에 대한 검증 실시하였다.

〈표 1〉 교통량 관측위치 선정에 이용된 전국 OD

(단위:대/일)

구분	경기권	강원권	충북권	충남권	전북권	전남권	경북권	경남권	합계
경기권	0	59,391	66,138	101,750	22,218	15,000	33,933	11,307	309,737
강원권	58,751	0	2,096	2,402	673	778	999	1,056	66,755
충북권	66,396	2,427	0	52,740	4,262	2,154	9,936	2,678	140,593
충남권	100,927	2,580	52,366	0	19,707	7,625	18,006	4,761	205,972
전북권	23,173	747	4,005	19,431	0	31,939	1,531	1,355	82,181
전남권	14,725	744	1,928	7,527	32,237	0	18,765	37,149	113,075
경북권	35,286	942	9,663	17,589	1,330	18,791	0	112,784	196,385
경남권	12,685	1,107	2,691	4,840	1,208	37,717	112,589	0	172,837
합계	311,943	67,938	138,887	206,279	81,635	114,004	195,759	171,090	1,287,535

1. 선정기준 정립

교통량 관측지점을 선정하기 위해서는 Yang(1991)의 통행검지 위치규칙(Location Rule)을 적용하여 교통량 관측지점을 선정하는 방법이 있으나 Yang(1999)의 관측지점 선정방법은 경험적인(heuristic) 알고리즘과 정수계획기법을 적용하는 과정에서 복잡한 계산 등으로 인해 대규모 가로망에 이 방법을 적용할 수 없는 한계가 내재되어 있다. 따라서 관측지점 선정에 이용되는 방법은 여러 가지 방법이 있겠지만 본 연구는 다음의 경우를 고려하여 관측지점 선정기준을 정립하였다.

첫째로, OD 행렬표 전체를 담보할 수 있는 경로(path)교통량에 대하여 최소한 경로(path)당 1개이상의 링크가 선정되는 것을 원칙으로 하였으며 이를 분석하기 위해서는 사전(prior) OD 행렬표를 이용하여야 한다. 둘째로, 기존연구에서 고찰한 바와 같이 교통량 관측위치와 지점수에 따라 추정된 기종점(OD) 교통수요의 추정력이 달라지기 때문에 추정력을 향상시키고 경제적인 효율성을 제고하기 위해서는 관측장비의 비용(검지기 수)을 줄이는 방향으로 교통량 관측지점을 선정하여야 한다.

이러한 경우, 두가지의 경우에 대하여 고려해 볼 수 있는데, 하나는 가로망의 어떤 링크구간에서 주행대·km가 높은 링크를 선정하는 것이고, 또 하나는 교통량밀도가 높은 링크구간을 선정하는 것인데 이것은 즉 이용빈도가 높은 링크를 선정하는 것이다. 이를 분석하기 위해서는 주행대·km를 이용하여야 하고 교통량밀도를 이용하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 기본적으로 위에서 제시한

교통량 관측지점 접근방법과 선정기준을 이용하여 교통량 관측지점 선정 대안을 설정하였다. 즉 교통량 관측지점을 선정하기 위해 본 연구에서 분석할 대안은 다음과 같이 6개의 대안을 설정하였으며 각각의 설정대안에 대하여 관측지점을 선정하였다.

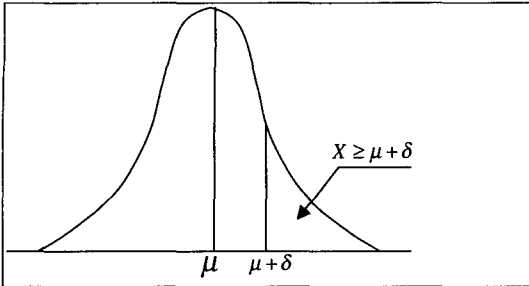
- ① OD표를 이용한 관측지점 선정
- ② 주행대·km를 이용한 관측지점 선정
- ③ 교통량밀도를 이용한 관측지점 선정
- ④ OD표를 이용한 관측지점 선정결과와 주행대·km를 이용한 관측지점 선정결과(①+②)
- ⑤ OD표 이용 결과와 대·km이용결과와 교통량밀도를 이용한 결과(①+②+③)
- ⑥ 교통량통계연보상 교통량 관측지점으로 지정된 지점중 이용가능한 모든 지점을 선정한 결과(이하, 모든 링크에 관측지점 선정결과라 함)

1) OD표를 이용한 지점선정

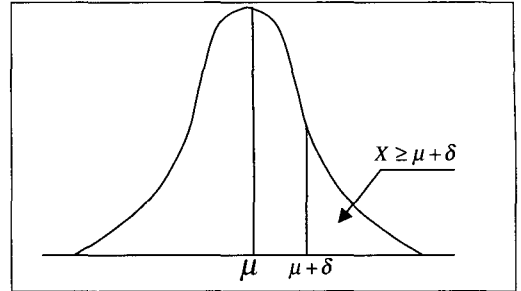
OD표를 이용한 관측지점 선정방법은 EMME2의 매크로 프로그램을 이용하여 관측지점을 선정하였다. 이 매크로는 네트워크상의 모든 링크들을 대상으로 사전(prior) OD 전체를 담보할 수 있는 최적의 교통량 관측지점 링크들을 선정해 준다.

2) 주행대·km를 이용한 지점선정

주행대·km를 이용한 관측지점 선정방법은 각 구간(링크)별 교통량과 구간거리(km)에 대한 대·km의 평균(μ)과 표준편차(σ)를 구하여 ($\mu + \sigma$)보다 큰 구간(X)을 교통량 관측지점으로 선정하였다. 예를들어 모든 링크를 주행한 대·km의 평균(μ)이 100이고



〈그림 1〉 대·km기준 관측지점 선정방법



〈그림 2〉 교통량 밀도기준 관측지점 선정방법

표준편차(σ)가 80이라고 하면 (μ+σ)은 180이 된다. 그러면 링크상의 어떤 한 구간(링크)의 주행대·km가 180이상인 값들의 구간들은 관측지점으로 선정되는 것이다. 이것을 구체적으로 표현한 내용은 식(1), 〈그림 1〉과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{대} \cdot \text{km} \text{ 기준 지점 선정 } (X) \geq \mu + \sigma \\ & \geq \sum_{i=1}^n x_i / n + \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{\mu}^2} \end{aligned} \quad (1)$$

3) 교통량밀도를 이용한 지점선정

교통량밀도를 고려한 관측지점 선정방법도 대·km 선정방법과 마찬가지로 각 구간(링크)별 교통량 관측 밀도를 구하여 교통량밀도의 평균(μ)과 표준편차(σ)를 구하여 (μ+σ)보다 큰 구간(X)을 교통량 관측 지점으로 선정하였다. 예를들어 전국의 모든 링크(구간)의 교통량밀도의 평균(μ)이 200이고 표준편차(σ)가 150이라고 하면 (μ+σ)는 350이 된다. 그러면 어떤 한 구간의 교통량밀도가 350이상인 값들의 구간들은 관측지점으로 선정되는 것이다. 여기서, 본 연구에서 이용한 교통량밀도는 어떤 한 구간에 대해서 총 주행한 대·km값을 그 구간의 거리로 나눈값을 의미하며 구체적인 내용은 식(2)와 〈그림 2〉로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{교통량밀도 기준 지점 선정 } (X) \geq \mu + \sigma \\ & \geq \sum_{i=1}^n x_i / n + \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{\mu}^2} \end{aligned} \quad (2)$$

교통량밀도 : 어떤 링크의 주행대·km/km

4) 주행대·Km와 OD표를 이용한 지점선정

주행대·Km와 OD표를 이용한 관측지점 선정방법은

사전(Prior) OD 〈표 1〉를 이용하여 통행배정된 각각의 링크에 대한 주행대·Km를 이용하여 식(1)의 기준을 적용하여 도출된 링크와 EMME2의 매크로 프로그램을 이용하여 도출된 링크들을 조합하여 공동으로 선정된 링크들을 선정하는 방법이다.

5) 주행대·Km와 관측밀도와 OD표를 이용한 지점선정

주행대·Km와 관측밀도와 OD표를 이용한 교통량 관측지점 선정방법은 마찬가지로 위의 주행대·Km와 OD표를 이용한 관측지점 선정방법에 관측밀도를 이용한 관측지점 선정방법을 추가한 방법이다. 다시 말해서 주행대·Km를 이용하여 선정된 관측지점 선정결과와 OD표를 이용한 관측지점 선정결과에 추가적으로 위의 식(11)의 기준에 부합되는 관측밀도를 이용하여 선정된 링크들의 3가지 선정방법을 이용하여 공동으로 선정된 관측링크를 선정하는 방법이다.

6) 모든 링크에 관측지점 선정

모든 링크에 관측지점 선정방법은 교통량통계연보상의 모든 관측지점으로 지정된 지점중 분석 네트워크에서 확인가능한 모든 관측지점을 관측링크로 선정한 결과이다. 이 선정방법은 관측지점수가 증가하면 할수록 추정된 OD의 정확도도 향상되는지를 비교검토하기 위한 방법으로서 위의 5가지의 적정한 관측지점으로 선정된 결과치와 비교분석해 보기 위한 방법이다.

2. 교통량 관측지점 선정

위에서 언급한 교통량 관측지점 선정방법에 따라 기본적으로 OD표를 이용한 관측지점 선정(이하, OD표 결과), 주행대·km를 이용한 관측지점 선정(이하,

〈표 2〉 교통량 관측지점 선정 결과

(단위: 링크수, %)

구분	전체 링크수	비율	OD표 결과(①)		주행대·km 결과(②)		교통량밀도 결과(③)		주행대·km와 OD표 결과(④)		주행대·km와 밀도와OD표 결과(⑤)		모든 링크에 관측지점 선정결과(⑥)	
			선정	비율	선정	비율	선정	비율	선정	비율	선정	비율	선정	비율
고속국도	552	8.2	63	11.4	80	14.5	113	20.5	128	23.2	82	14.9	370	67.0
일반국도	4,284	63.7	503	11.7	475	11.1	532	12.4	890	20.8	641	15.0	1,936	45.2
국가지원 지방도	629	9.4	31	4.9	20	3.2	65	10.3	46	7.3	45	7.2	292	46.4
지방도	1,260	18.7	40	3.2	134	10.6	158	12.5	164	13.0	103	8.2	420	33.3
계	6,725	100.0	637	9.5	709	10.5	868	12.9	1,228	18.3	871	13.0	3,018	44.9

주행대·km 결과), 그리고 교통량밀도를 이용한 관측지점 선정(이하, 교통량밀도 결과)으로 구분하여 관측위치를 하였다. 또한 주행대·km결과와 OD표 결과를 합한 관측지점 선정(이하, 주행대·km와 OD표 결과), 주행대·km와 교통량밀도의 결과치중 공통으로 선정된 결과치에 OD표 결과치를 합한 관측지점 선정(이하, 주행대·km와 밀도와 OD표 결과), 그리고 모든 관측가능한 관측링크를 선정(이하, 모든 관측링크에 관측지점 선정)으로 구분하여 관측지점을 선정하였다.

본 연구에서 관측지점을 선정하기 위해 이용된 분석네트워크는 시가지도로를 제외한 6,725개의 링크로 구성되어 있다. 전국 도로망의 6,725개의 링크중 사전OD(〈표 1〉)를 담보할 수 있는 교통량 관측지점 링크수는 약 9.5%인 총 637개 관측지점 링크가 선정되었다(〈표 2의 1〉, 〈그림 3〉). 고속도로의 관측지점 링크선정 결과는 11.4%인 63개링크, 국도는 11.7%인 503개 링크로 선정되었으며 국가지원지방도는 31개링크(4.1%), 지방도는 3.2%인 40개 링크가 선정되었다.

주행대·km를 이용하여 교통량 관측지점을 선정한 결과는 〈표 2의 2〉, 〈그림 4〉와 같다. 주행대·km를 이용하여 교통량 관측지점을 선정한 최적의 교통량 관측지점 링크수는 약 10.5%인 총 709개 관측지점 링크가 선정되었다. 고속도로의 관측지점 링크선정 결과는 14.5%인 80개링크, 국도는 11.1%인 475개 링크로 선정되었으며 국가지원지방도는 20개링크인 3.2%, 지방도는 10.6%인 134개 링크가 선정되었다.

교통량밀도를 이용하여 교통량 관측지점을 선정한 결과는 〈표 2의 3〉, 〈그림 5〉와 같으며 최적의 교통량 관측지점 링크수는 약 12.9%인 총 868개 관측지

점 링크가 선정되었다. 고속도로는 20.5%인 113개 링크, 국도는 12.4%인 532개 링크로 선정되었으며 국가지원지방도는 65개링크인 10.3%, 지방도는12.5%인 158개 링크가 선정되었다.

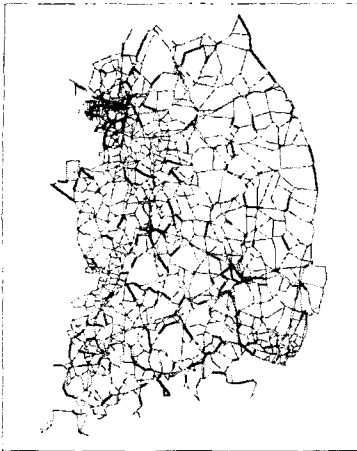
주행대·km를 이용하여 교통량 관측지점을 선정한 결과와 OD표를 이용하여 교통량 관측지점을 선정한 결과 모두의 경우에 공통으로 관측지점이 선정된 결과는 〈표 2의 4〉, 〈그림 6〉과 같다. 총 관측지점 선정링크는 전체의 18.3%인 1,228개 링크로 선정되었다.

주행대·km와 교통량밀도의 경우에 모두 선정된 링크와 OD표를 이용하여 선정된 결과치를 합하여 선정된 결과는 〈표 2의 5〉, 〈그림 7〉과 같으며 약 13.0%인 871개 링크가 선정되었다.

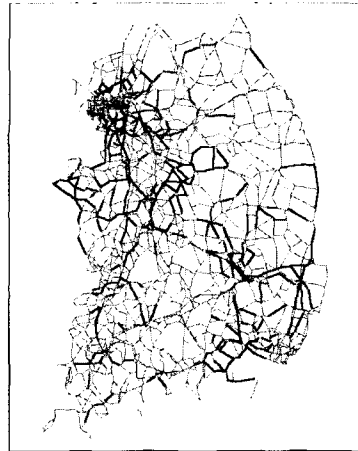
교통량 관측지점의 적정한 관측위치를 고려하지 않고 통계연보상의 모든 이용가능한 관측지점중 분석네트워크에서 확인가능한 링크를 모두 이용하여 관측지점을 선정한 결과는 〈표 2의 6〉, 〈그림 8〉과 같이 전체 링크중 약 44.9%인 3,018개 링크가 선정되었다.

IV. 분석평가

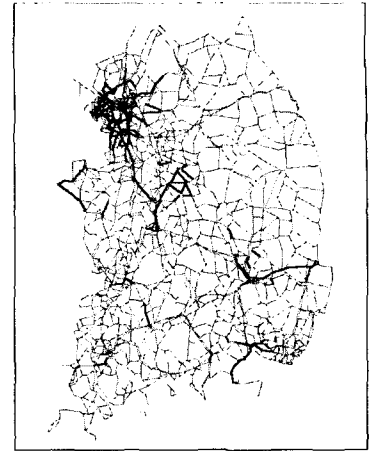
이 장에서는 6개의 관측지점 선정대안에 대하여 교통량 관측지점 선정기준에 따라 관측지점이 선정된 지점의 관측교통량을 이용하여 추정된 OD를 사전(prior) OD와 비교하여 어떤 대안이 가장 좋은 결과를 보이는지를 오차분석을 실시하여 비교평가하였다. 사전(prior) OD와 비교가 되는 추정OD는 관측지점 선정방법으로 선정된 링크의 관측교통량을 이용하여 경사도(Gradient)기법으로 추정된 OD이다.



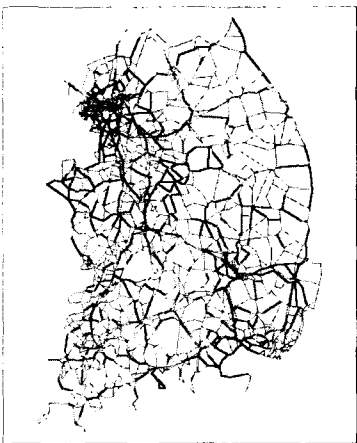
주 : 굵은 실선이 관측링크 선정
 <그림 3> OD표 이용결과



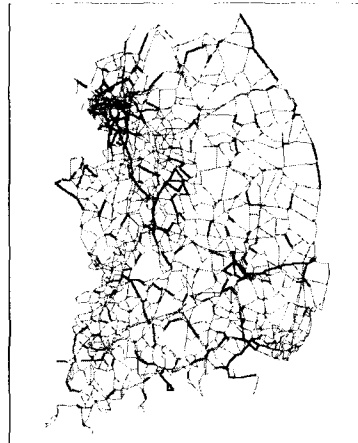
주 : 굵은 실선이 관측링크 선정
 <그림 4> 주행대·km 이용결과



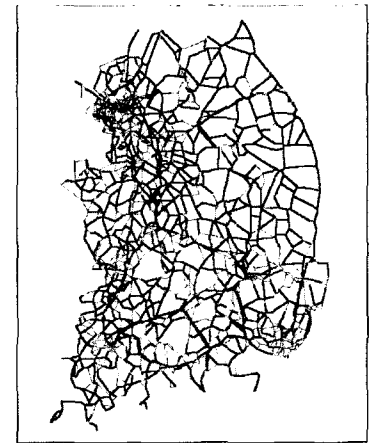
주 : 굵은 실선이 관측링크 선정
 <그림 5> 교통량밀도 이용결과



주 : 굵은 실선이 관측링크 선정
 <그림 6> 주행대·km와 OD결과



주 : 굵은 실선이 관측링크 선정
 <그림 7> 대·km, 밀도,OD결과



주 : 굵은 실선이 관측링크 선정
 <그림 8> 모든링크에 관측지점 선정결과

1. 평가방법

본 연구에서 교통량 관측지점이 선정된 결과의 오차를 평가하기 위한 지표는 Iida(1987) 등 일반적으로 신뢰성 및 적정성 분석에 많이 사용하는 상대평균 절대오차(relative Mean Absolute Error : 이하 MAE%)와 상대평균자승근오차(relative Root Mean Square Absolute Error:이하 RMSE%), 동등계수(Equivalent Coefficient:이하 EC)를 이용하였으며 식(3)과 같이 표현된다. 또한 사전(prior) OD와 추정 OD의 R^2 와 회귀선의 기울기값의 적합도도 이용되었다. MAE(%)와 RMSE(%)는 값이 작을수록 모형의 정확도가 높으며 EC는 1에 가까울수록 모형의 추정력

이 좋고 R^2 값과 회귀선의 기울기값은 1의 값에 가까울수록 모형의 적합도가 높다고 할 수 있다.

본 연구에서는 위에서 대안별로 선정된 교통량 관측지점 및 개수의 적정성을 평가하기 위해 이용한 평가척도는 %MAE, %RMSE, EC, R^2 , 회귀선의 기울기값을 기준으로 각각의 6개의 대안에 대하여 서열화하였다. 위의 평가척도를 이용하여 오차를 평가하기 위해 사용된 자료는 사전(prior) OD와 추정된 OD의 경로(path)교통량, 그리고 관측지점으로 선정된 지점의 관측교통량을 이용하여 추정된 OD를 전국 네트워크에 통행배정한 교통량중 관측지점의 관측교통량과 그 지점의 배정교통량을 이용하였다. 이 두가지 자료를 토대로 오차를 분석하였다.

$$MAE(\%) = \frac{\sum |V_e - V_o|}{\sum V_e} \times 100$$

$$RMSE(\%) = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (V_o - V_e)^2}}{\sum V_o / N} \times 100$$

$$EC = 1 - \frac{\sqrt{\sum |V_o - V_e|^2}}{\sqrt{V_o^2 + V_e^2}} \quad (3)$$

여기서,

- V_o : 사전OD
- V_e : 추정OD
- N : OD쌍 개수

2. 평가결과

교통량 관측위치를 선정된 6개 대안의 결과에 대해서 관측위치의 적합성을 평가한 결과는 <표 3>과 같다. 표에서 보는 바와 같이, 1순위로 선정된 경우는 주행대·km와 교통량밀도와 OD표의 결과치이다. 이는 MAE(%)와 회귀선의 기울기값의 순위는 낮지만 RMSE(%), EC, R^2 값의 순위는 제일 높다. 이 대안에서 선정된 871개(전체 링크의 13%)의 관측지점에 대한 관측교통량을 이용하여 OD를 추정하면 사전OD의 통행패턴을 크게 변화시키지 않고 OD가 추정됨을 볼 수 있다. 반면에 교통량 관측지점을 무작위로 선정한 결과를 보면 <표 3>에서처럼 6순위로 가장

낮은 결과가 나타났다. 이는 5개의 평가지표와 비교해볼 때 가장 낮은 순위로 분석되었는데 이 대안에 대한 관측지점 개수는 3,018개(전체링크의 45%)로서 모든 이용가능한 관측지점에 대한 관측교통량을 이용하여 OD를 추정하더라도 링크의 종속성 및 불일치문제³⁾로 좋지 않은 결과가 도출됨을 알 수 있다. 결과적으로 관측교통량을 이용하여 사전(prior)OD를 갱신(reproduced)할 때 가장 중요한 것은 사전OD의 통행패턴을 크게 변화시키지 않고 추정하는 것인데 여기에 영향을 미치는 요인은 관측교통량이며 관측지점의 위치와 개수를 고려하여 사전OD를 추정하는 것이 가장 중요한 요인이라고 하겠다. 사전OD를 갱신할 때 무조건 수많은 관측교통량을 이용하여 OD를 추정하는 것은 링크의 독립성을 위배하는 것이므로 관측교통량을 이용할 관측지점의 위치 및 개수가 상당히 중요하다고 하겠다. 이는 관측교통량을 이용하여 OD를 추정할 때 관측교통량을 이용할 관측지점의 위치 및 개수에 따라서 추정OD의 결과값 및 추정력이 다르게 나타날 수 있음을 암시하는 결과라고 판단된다. 즉 관측교통량으로 OD를 추정할 때 추정OD의 추정력을 높이기 위해서는 앞에서 언급하였듯이 링크의 종속성 및 불일치문제를 극복할 수 있어야 한다. 이를 해결하기 위해서는 관측지점의 독립성을 확보할 수 있도록 하기 위해 관측링크로 선정될 링크가 종속적으로 선형결합하지 않도록 관측링크를 선정하는 것이 관측오차로 발생하는 오차를 최소화시킬수 있는 방안이라고 하겠다.

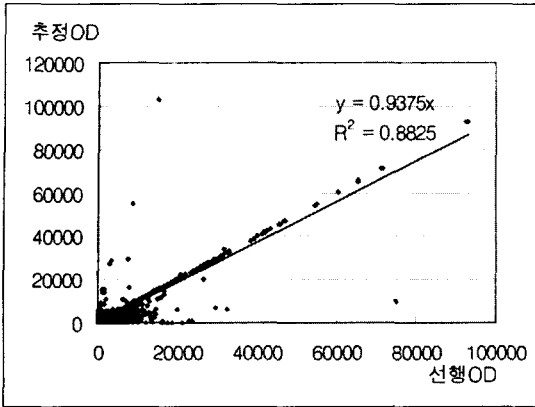
<표 3> 관측지점 선정의 검증결과 비교

구분	MAE%		RMSE%		EC		R^2		기울기		최종결과	
	결과값	순위	결과값	순위	결과값	순위	결과값	순위	결과값	순위	평가값 ¹⁾	최종순위
OD표 이용결과(①)	23.7	1	212.9	6	0.814	5	0.883	6	0.938	1	1.6	4
주행대·km 이용결과(②)	25.5	3	203.6	4	0.821	3	0.902	4	0.931	2	1.9	3
교통량밀도 이용결과(③)	24.3	2	197.7	2	0.826	2	0.905	2	0.930	3	2.3	2
주행대·km와 OD표 결과(④)	29.0	5	203.3	3	0.820	4	0.903	3	0.920	5	1.5	5
주행대·km와 밀도와 OD표 결과(⑤)	26.4	4	197.2	1	0.826	1	0.906	1	0.921	4	2.4	1
모든 링크에 관측지점 선정결과(⑥)	32.3	6	210.5	5	0.814	6	0.891	5	0.919	6	0.7	6

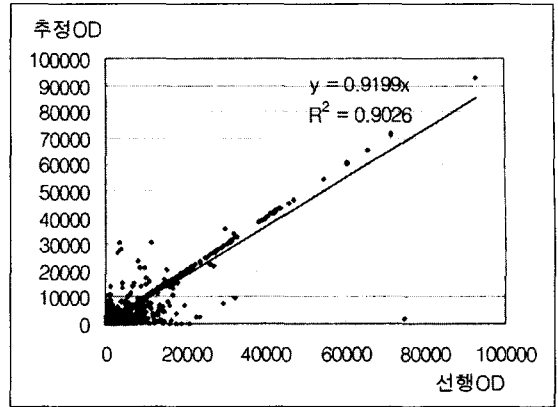
주 : 1) 최종결과의 평가값 산정은 순위별 가중치를 부여하였음.

순위값 : 1순위-0.6, 2순위-0.5, 3순위-0.4, 4순위-0.3, 5순위-0.2, 6순위-0.1

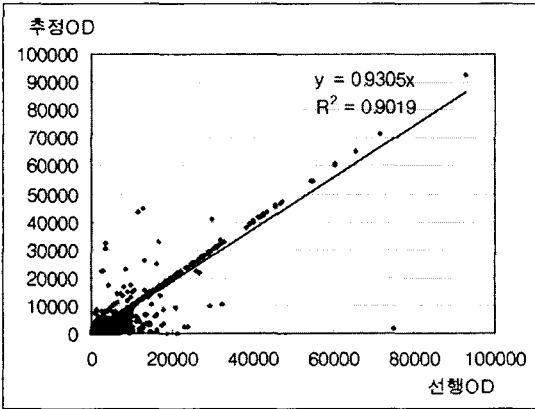
3) 링크의 종속성은 전체 네트워크의 관측교통량중 어떤 구간의 관측교통량은 주변 링크 교통량과 선형결합으로 이루어지는데, 즉 유출입이 같으면 링크는 선형종속 관계가 되고 이것은 어떠한 추가적인 정보도 첨가하지 못할. 링크의 불일치문제는 관측교통량들이 독립적이고 일치성이 유지되어야만 OD추정이 가능하나 관측교통량 자체의 측정오차와 함께 관측교통량들간의 종속성이 존재하여 기대할 만한 OD추정을 불가능하게 하는 것을 말할.



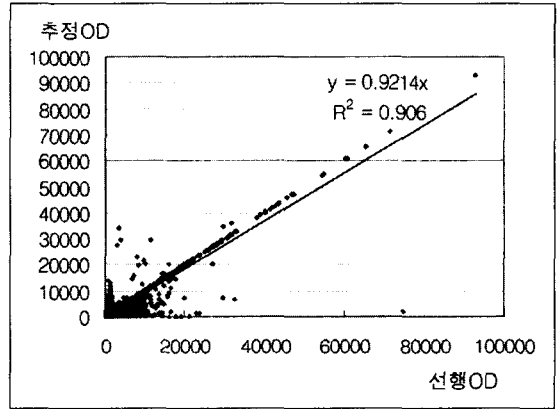
〈그림 9〉 OD표 이용한 결과



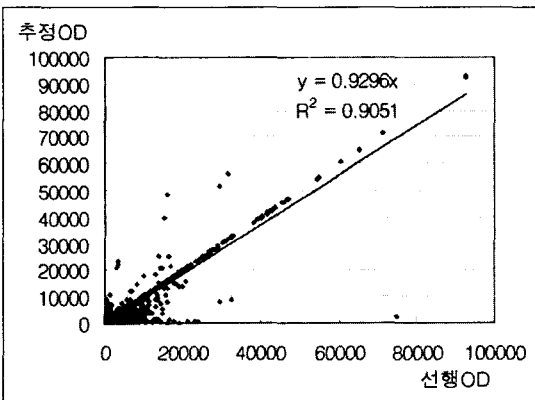
〈그림 12〉 주행대·km와 OD결과



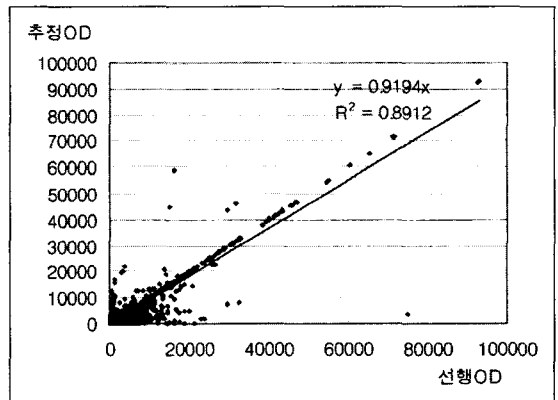
〈그림 10〉 주행대·km 이용한 결과



〈그림 13〉 대·km, 밀도, OD결과



〈그림 11〉 교통량밀도 이용한 결과



〈그림 14〉 모든 링크에 관측지점 선정결과

위의 〈그림 9〉에서 〈그림 14〉까지는 각각의 6가지의 관측위치가 선정된 지점의 교통량을 이용한 추정OD와 사전(prior) OD의 적합성을 나타낸 것이다.

V. 결론

본 연구는 관측교통량으로 기종점 교통수요(OD)를 추정함에 있어 관측교통량을 이용하는 관측지점의

선정에 대하여 연구하였다. 본 연구는 6개의 대안에 대해서 교통량 관측지점 선정방법에 의하여 관측지점을 선정하였고 각각의 경우의 대안에 대해서 통계적인 오차평가지표를 이용하여 관측지점들의 적합성을 평가하였다. 평가한 결과, 관측지점의 위치 및 개수에 따라 사전(prior) OD를 갱신하는 추정OD는 통행특성이 변함을 알 수 있었다. 사전OD를 갱신하는 추정OD의 통행특성은 사전 OD의 통행패턴을 크게 변화시키지 않고 추정되는 것이 가장 좋은 방법인데, 이것에 영향을 미치는 변수가 관측지점에 대한 관측위치와 교통량이라고 하겠다. 사전 OD를 갱신함에 있어 모든 관측지점에 대한 교통량을 이용하였을 경우의 추정OD는 사전 OD의 통행특성이 상당히 변한다는 것을 확인할 수 있었고, 그렇지 않고 적정한 관측지점의 위치와 관측교통량을 이용하였을 경우의 추정OD는 사전 OD의 통행패턴을 어느정도 유지할 수 있었다. 이로 보아 관측교통량을 이용하여 OD를 추정할 때 사전 OD를 갱신시키는 관측교통량의 위치 및 개수에 따라 추정OD의 정확성 및 추정력이 변한다고 할 수 있다. 따라서 사전 OD의 통행패턴 및 특성을 반영하면서 추정OD의 추정력을 높이기 위해서는 적절한 관측지점 및 개수의 선정이 무엇보다 중요한 요인이라는 것을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다.

본 연구의 향후과제 및 미진한 부분은 다음과 같다. 첫째로, 본 연구의 분석결과는 도시부도로를 제외한 지방부도로를 중심으로 관측지점 및 개수를 고려하였으나 추후 연구에서는 도시부도로의 검지기 설치 위치를 검토해 볼 만 하다. 둘째로, 관측지점이 선정된 결과의 통계적인 검증을 할 때 교통량 관측위치가 선정된 지점의 교통량을 전부 이용하여 분석하여야 했으나 통계자료상의 구득이 가능한 교통량만을 이용하여 분석한 결과 다소 오차분석의 정확성이 정교하지 못한 부분에 대해서는 아쉬움으로 남는다.

참고문헌

1. 김종형(2000), "Gradient방법에 의한 통행량기반 수요추정 연구", 서울시립대학교 박사학위논문.
2. 백승걸·임강원·이승재(1998) "기종점 추정을 위한 최적관측위치로서의 존 코든라인", 대한국토 및 도시계획학회지, 제33권 제6호.

3. 이승재·김종형·이현주·장현호·변상철·최도혁(2001) "관측 TCS 데이터 및 AADT 교통량을 이용한 기종점 교통량 보정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제19권 제5호, 대한교통학회, pp.49~59.
4. 이승재·이현주(2002) "3-D기법을 이용한 TCS 기반 전국 교통수요 추정 연구", 대한교통학회지, 제20권 제4호, 대한교통학회, pp.63~72.
5. 한국도로공사(2001), "2001년 고속도로망 변화에 따른 전국 교통수요 추정 연구".
6. Bianco L. et al.(1997) "Optimal location of traffic counting points for transport network control", IFAC97.
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. Ofyar Z. Tamin, Titi L. Soedirdjo and Rudi S. Suyono(2001), "The impact of location and number of traffic counts in the accuracy of O-D matrices estimated from traffic counts". Journal of the eastern asia society for transportation studies, Vol.4 No.2, pp.335~349.
9. Yang H. Iida Y. and T. Sasaki(1991b) "An Analysis of the reliability of an O-D trip matrix estimated from traffic counts". Transpn. Res. 25B, pp.351~363.
10. Yang, H.(1998), "Optimal traffic counting locations for O/D estimation", Transpn. Res. 25B, pp.351~363.

✉ 주 작 성 자 : 이현주
 ✉ 논문투고일 : 2002. 2. 7
 논문심사일 : 2002. 4. 23 (1차)
 2002. 5. 21 (2차)
 2002. 8. 23 (3차)
 2002. 9. 18 (4차)
 2002. 11. 27 (5차)
 2003. 2. 4 (6차)
 심사판정일 : 2003. 2. 4
 ✉ 반론접수기한 : 2003. 6. 30

Traffic separation schemes have now been established in most of the major routes and congested waters of the world, and the number of collisions and groundings have often been dramatically reduced. In this part, the relationship between the alleviation of ship handling difficulty and the reduction of encounter figures among ships is quantitatively clarified by applying the ES model.

As results of simulation analysis, it is recognized that a traffic separation system is most effective in the case of narrow width and heavy traffic volume. The centre buoy installation reduces about 1/4 of the alleviation of ship handling difficulty, TSS establishment 1/3, and design change to one-way traffic from two-way traffic reduces 1/2.

Selection of the Optimal Location of Traffic Counting Points for the OD Travel Demand Estimation

LEE, Seungjae · LEE, Heonju

The Origin-Destination(OD) matrix is very important in describing transport movements in a region. The OD matrix can be estimated using traffic counts on links in the transport network and other available information. This information on the travel is often contained in a target OD matrix and traffic counts in links. To estimate an OD matrix from traffic counts, they are the major input data which obviously affects the accuracy of the OD matrix estimated. Generally, the quality of an estimated OD matrix depends much on the reliability of the input data, and the number and locations of traffic counting points in the network. Any process regarding the traffic counts such as the amount and their location has to be carefully studied.

The objective of this study is to select of the optimal location of traffic counting points for the OD matrix estimation. The model was tested in nationwide network. The network consists of 224 zones, 3,125 nodes and 6,725 links except to inner city road links. The OD matrix applied for selection

of traffic counting points was estimated to 3-constrained entropy maximizing model.

The results of this study follow that : the selected alternative to the best optimal counting points of six alternatives is the alternative using common links of OD matrix and vehicle-km and traffic density(13.0% of 6,725 links), however the worst alternative is alternative of all available traffic counting points(44.9% of 6,725 links) in the network. Finally, it should be concluded that the accuracy of reproduced OD matrix using traffic counts related much to the number of traffic counting points and locations.

A Transit Assignment Model using Genetic Algorithm

LEE, Shinhae · CHOI, Injun ·
LEE, Seungjae · LIM, Kang-Won

In these days, public transportation has become important because of serious traffic congestion. But, there are few researches in public transportation compared with researches in auto. Accordingly, the purpose of paper is development of transit assignment model, which considers features of public transportation, time table, transfer, capacity of vehicle, common line, etc.

The transit assignment model developed in this paper is composed of two parts. One part is search for optimum path, the other part is network loading. A Genetic algorithm has been developed in order to search for alternative shortest path set. After the shortest paths have been obtained in the genetic algorithm, Logit-base stochastic loading model has been used to obtain the assigned volumes.

Effect of uncertain information on drivers' decision making(Application of Prospect Theory)

CHO, Hye-Jin · KIM, Kang-Soo

This paper explores the way and the extent to