

O/D Matrix Estimation Based on Traffic Count Volumes by Using Gradient Method

Jaesup Lee
(Seoul Development Institute)

Soon-Gwan Kim
(Seoul Development Institute)

Table of content

I. Introduction	1. O/D
II. Previous studies	2. Trip Length Frequency Distribution
III. Application of Gradient Method	3. Link volume
1. Characteristic of input data	V. Conclusion
2. Application	References
IV. Comparison & evaluation of output	

Key Words : traffic counts, Gradient method, trip pattern, over estimate

abstract

Since it is difficult to do O/D survey for large study area every year, we estimated O/D matrix of Seoul Metropolitan Area based on traffic counts by using the Gradient method. Based on cordon and screen line count volumes in 2000, We estimated O/D matrix, analyzed the results, and compared statistical values of estimated O/D, base year O/D, previous research O/D, traffic counts data, and household survey data.

First, trends of traffic count volumes from 1996 to 2000 show huge fluctuation from count station to station and thus estimated results can not explain this phenomena. That is, trend variances of these observation stations cause poor estimation results.

Second, TLF(D(Trip Length Frequency Distribution) of estimated O/D matrix are considerably different from household survey data. It is mainly caused by link cost functions that do not work properly.

Third, assigned link volumes of estimated O/D matrix are closely similar to traffic count volumes but another O/D matrix modified by small sample household survey in the previous research reveals under assigned results.

Finally, the estimated O/D matrix based on count volumes showed better statistical measures than the O/D matrix modified by small sample household survey, but has total trips are over estimated.

To achieve more reliable O/D estimation based on count volumes, it is important to develop accurate base O/D matrix, network, link cost function, and traffic count data. Also, suitable locations and the number of count stations are important.

Gradient 기법을 이용한 관측교통량 기반 O/D추정기법의 적용 - 서울시를 대상으로 -

O/D Matrix Estimation Based on Traffic Count Volumes by Using Gradient Method

이재섭
(서울시정개발연구원)

김순관
(서울시정개발연구원)

목 차

- | | |
|------------------------|---------------------------------------|
| I. 연구의 배경 및 목적 | |
| II. 기존문헌 검토 | 1. O/D 총량적 비교 |
| III. Gradient 기법의 적용 | 2. Trip Length Frequency Distribution |
| 1. 분석에 사용된 자료 및 특성 | 3. 링크교통량 비교 |
| 2. 기법의 적용 | V. 결론 및 향후과제 |
| IV. 추정자료와 관련지표의 비교, 평가 | 참고문헌 |

Key Words : traffic counts, Gradient method, trip pattern, over estimate

요 약

많은 예산이 소요되는 대규모 조사를 매년 실시하는 것은 현실적인 어려움이 있으므로 수도권의 단기적인 교통패턴의 변화를 반영한 O/D를 추정하기 위해 관측교통량을 이용한 O/D 추정기법을 적용하였다.

2000년 관측교통량을 기반으로 Gradient 기법을 이용하여 O/D를 추정하였고 추정된 O/D의 정확도 및 신뢰도를 여러 관련자료와 비교하여 살펴보았다.

분석결과 첫째, 교통환경의 큰 변화로 관측교통량의 지점별 변화가 심하고 관측량이 오히려 감소한 지점의 변화를 추정O/D는 제대로 반영하지 못하고 있다. 이는 Gradient 기법이 기존 O/D의 통행패턴이 크게 변하지 않는다는 가정에 기반하기 때문에 발생하는 근본적인 문제라고 볼 수 있다.

둘째, 각 TLFD를 비교해 보면, 가구설문조사자료와 추정 O/D의 통행배분결과간 통행패턴에 차이를 보이고 있는데 주원인은 통행배분 과정에서 통행비용함수가 현상을 적절히 반영하지 못하기 때문으로 판단된다.

셋째, 링크교통량을 비교해 보면, 추정O/D는 관측교통량과 상당히 유사한 통행배분결과를 나타내고 있는 반면 기구측된 O/D는 서울외곽링크가 주로 under assignment 되는 것으로 나타났다.

넷째, 통계적 검증결과, 관측량기반 추정O/D가 기구측된 O/D보다 오차가 작지만 총량적으로는 O/D가 과대추정된 것으로 나타났다.

관측교통량을 이용하여 O/D를 추정하는데 보다 정확한 결과를 도출하기 위해서는 수단별 기준O/D, 네트워크, 수단별 통행비용함수, 관측자료 등이 정확하게 구축되어야 하며 적정 관측지점의 선정과 유효 관측지점수의 계산 등이 필요하다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1996년 서울시는 수도권 전체세대의 3.8%에 해당하는 약 22만 8천 가구의 일일식 가구 통행실태 조사를 비롯하여 코든·스크린라인조사 대중교통조사, 주차현황조사, 가로망 현황조사 등을 통해 교통센서스 및 데이터 베이스 구축작업을 수행하였는데 수도권의 수단별, 목적별 O/D와 통행패턴 및 방대한 양의 교통관련자료를 분석하였다.

그러나 이러한 대규모의 조사는 예산이 많이 소요되는 재정적인 부담뿐 아니라 조사결과를 분석하고 정리하여 발표하는데도 많은 시간이 소요되어 현실적으로도 매년 실시하는 것은 어려움이 있다. 따라서, 많은 예산이 소요되는 대규모의 조사를 하지 않고 단기적인 교통관련패턴의 변화를 파악해서 관련지표를 보정하는 기법들이 많이 적용되고 있다. 가장 일반적으로 인구, 학생수, 자동차보유대수, 산업별 종사자수 등과 같은 사회경제지표의 변화를 수요추정 4단계를 통해 교통지표를 추정하는 방법이 사용되고 있으며 O/D 추정의 경우, 코든·스크린라인 조사자료 같은 관측자료를 이용하여 기존의 O/D를 추정하는 기법이 많이 연구되고 있으며 적용되고 있다.

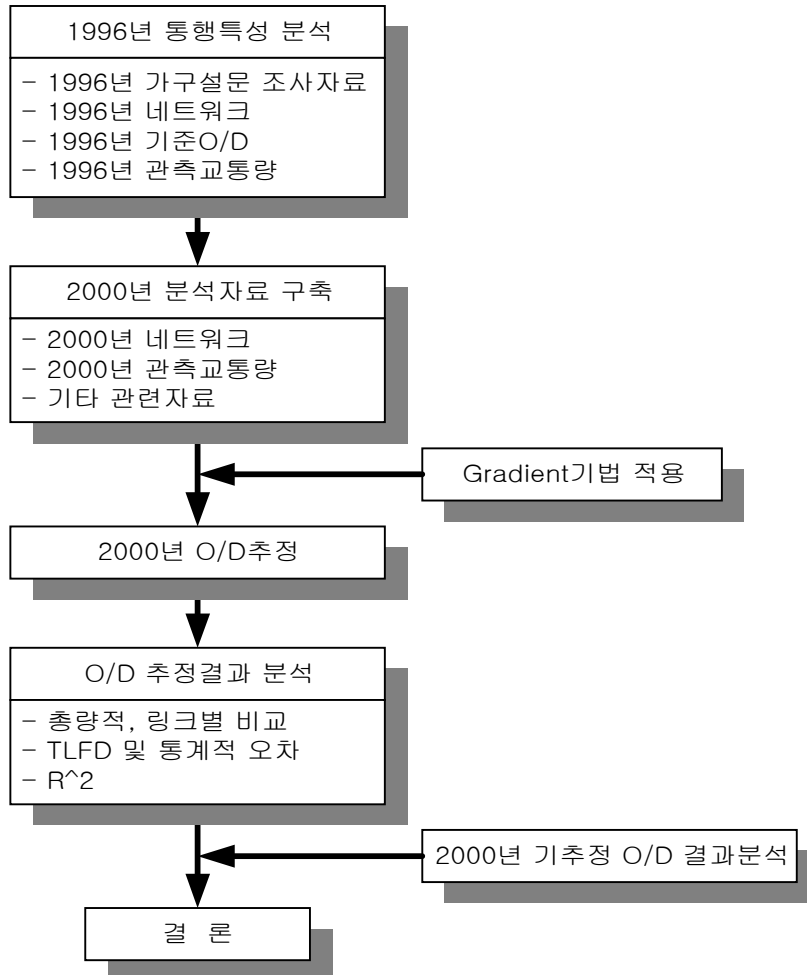
본 연구는 교통센서스 조사와 같은 대규모 조사를 통한 교통지표를 구할 수 없는 중간년도의 단기적인 교통패턴의 변화를 반영한 O/D를 구축하기 위한 모형의 적용가능성 및 적용결과의 신뢰성을 평가하는데 있다. 즉 2000년 코든·스크린라인 관측교통량을 이용하여 2000년 추정O/D를 도출하기 위해 대규모 네트워크에 적용이 용이한 Gradient 기법을 적용하여 O/D를 추정하고 그 결과를 분석하고 관련자료들 결과와 비교하였다.

2. 연구방법 및 순서

1996년 센서스 구축자료를 바탕으로 구축된 1996년 기준 O/D와 2000년의 코든·스크린라인의 관측교통량을 이용해서 2000년의 O/D를 추정한다. O/D 추정에는 대규모 네트워크에 적용이 용이한 Gradient 기법을 적용하며 1996년과 2000년 관측교통량간의 변화, 1996년 기준O/D와 99년 추정O/D간의 총량비교, 통행배분후 TLFD 등의 통행패턴 변화를 비교, 분석하고 타 과제에서 구축된 2000년 O/D와 그 결과를 비교, 분석한다. 이때 분석에 적용한 TLFD(Trip Length Frequency Distribution)는 통행시간과 통행거리를 적용하였다.

연구의 순서는 가장 먼저 1996년 교통센서스 조사 때 구축된 가구설문조사자료, 수도권 네트워크, 기준O/D, 코든·스크린 관측교통량 등의 자료를 이용하여 1996년 당시의 통행특성을 파악하고 새로운 O/D를 추정할 2000년의 네트워크와 관측교통량을 비롯하여 사회경제지표와 관련 관측자료 등을 구축한다. 그 다음 O/D 추정모형을 통해 새로운 O/D

를 추정하고 그 결과를 여러 지표를 적용하여 분석하고 다른 관련자료와 그 결과를 비교하기로 한다. 본 연구의 과정은 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> O/D 추정작업과 결과의 비교분석 과정

II. 기존문헌 검토

1. O/D추정 기법

Cascetta 등¹⁾(1988)은 관측통행량을 이용하여 기중점통행량을 추정하는 문제를 “관측 통행량자료와 이용할 수 있는 기타의 자료를 최대한으로 활용하여 기중점통행량을 추정하는 것”으로 정의하고 있다. 관측통행량으로부터 기중점통행량을 추정할 때 가장 중요한 것은 각 기중점통행량이 사용하는 경로를 결정하는 것으로 이 단계를 수식으로 표현하면

1) Cascetta E. and Nguyen S., 1988, A unified framework for estimating or updating OD matrices from traffic counts, Transpn. Res., 22B, pp 437-455

다음과 같다.

$$\hat{V}_a = \sum_j T_{ij} p_{ij}^a, \quad 0 \leq p_{ij}^a \leq 1 \quad (\text{식 1})$$

여기서, p_{ij}^a = 존 i 와 존 j 간의 통행량 중 링크 a 를 이용하는 통행량의 비율

T_{ij} = 존 i 와 존 j 간의 통행량

\hat{V}_a = 링크 a 의 관측통행량

만약 연구대상지가 N 개 존으로 구성되어 있다면 N^2 개의 기종점 통행량이 존재하고 N^2 개의 미지의 T_{ij} 를 구하기 위해서는 N^2 개의 링크교통량 V_a 가 있어야만 하나, 현실적으로 관측통행량을 N^2 만큼 확보하는 것은 어려운 일이다. 따라서, 미지의 T_{ij} 에 비해 방정식 수가 적어 유일한 해가 존재하지 않고 다수의 해가 발생하는, 즉, 주어진 관측통행량 조건을 만족시키는 다수의 T_{ij} 가 존재하는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 극복하고 적절한 기종점통행량을 얻기 위하여 여러 가지 모형들이 개발되어 왔다. 대표적인 O/D 추정모형들에는 엔트로피 극대화(Entropy Maximization) 모형, 최우추정법(Maximum likelihood) 이용 모형, 일반화 최소자승법(GLS) 이용 모형, 베이시안추정(Bayesian inference) 이용 모형, Gradient 기법에 모형 등이 있다(김종형, 2000, 임용택 등, 2000). 이 중 본 연구에서는 Spiess(1990)가 제안한 Gradient 기법을 O/D추정에 이용하였으며 EMME/2에서 적용하고 있는 모형이다.

1) Gradient 기법

Spiess(1990)가 제안한 Gradient 기법은 목적함수를 convex combination problem으로 수식화한 모형으로 대규모 가로망에 적용이 가능하고 기존 O/D와 가장 근접하면서 관측 교통량과 차이를 최소화시키는 O/D를 추정하는 모형이다. 이 모형은 목적함수의 미분정보를 이용하는데 초기에 주어진 값인 기존 O/D정보의 범위를 크게 벗어나지 않는 범위 내에서 해가 도출되기 때문에 O/D의 변화가 적은 곳에 유용한 모형이다.

관측량과 통행배분량의 오차를 가장 작게 하는 O/D는 다음과 같은 목적함수를 통해 계산된다.

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

subject to

$$v = \text{assign}(g)$$

여기서, $assign(g)$ 는 기준 O/D인 g 를 통행배분한 링크 a 의 교통량 v_a 를 계산하는 일반적인 이용자균형 통행배분과정으로 관측교통량 \bar{v}_a 와 함께 목적함수식에 입력자료로 제공된다.

Gradient 기법을 이용한 O/D추정 알고리즘을 살펴보면 다음과 같다.

단계 1 : 초기화, $l=0$

각 O/D쌍 w 이 통행경로 k 를 사용할 비율 p_{kw}^0 계산.

단계 2 : UE 통행배분으로 링크교통량 v_a 계산

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

$$\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} = \sum_{a \in A} \frac{\partial v_a}{\partial g_i} (v_a - \hat{v}_a) \quad i \in I \quad (\text{식3})$$

단계 4: step size 계산

$$\lambda^* = \frac{\sum_{a \in A} v'_a (\hat{v}_a - v_a)}{\sum_{a \in A} v'^2_a} \quad (\text{식4})$$

여기서 v'_a 는 링크 a 의 임시 통행배분교통량

단계 5: 다음 수렴조건 만족하면 정지, 아니면 $l = l+1$ 로 하고 단계 2로 감.

$$g_i^{l+1} = \begin{cases} \hat{g}_i & \text{for } l=0 \\ g_i^l \left(1 - \lambda^l \left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right]_{g_i^l} \right) & \text{for } l=1,2,3,\dots \end{cases} \quad (\text{식 5})$$

여기서, $\lambda^l = \text{step size}$

$g^l = l$ 번째 iteration의 O/D

2. O/D추정을 위해 적용 가능한 모형

실제 수도권 O/D의 추정을 위해 현재 구축되어 있는 수도권 네트워크는 존이 1,132개인 대규모 네트워크로 본 연구에서는 대규모 네트워크에 적용이 용이한 Gradient 기법을 이용하여 O/D를 추정하였다. Gradient 기법은 교통수요분석 패키지인 EMME/2에서 사용하는 방법으로 <표 1>에 있는 지역의 O/D 추정에 사용되었다.

<표 1> Gradient 기법을 이용한 기존연구와 본 연구적용 네트워크 비교

		존 수	링크수 ①	관측 자료수 ②	(②/①) (%)
기 존 사 례	Winnipeg	154	2,983	70	2.3
	Basel	330	220	229	104.1
	Bern	226	2,676	338	12.6
	Sweden	522	3,879	334	8.6
	Finland	469	12,476	5,759	46.2
본 연구	1996년	1,020	14,438	250	1.7
	2000년	1,132	15,770	265	1.7

1) 자 료 : Spiess, 1990, A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem, INRO

Ⅲ. Gradient 기법의 적용

1. 분석에 사용된 자료의 특성

1) 네트워크자료

1996년 네트워크 자료는 「서울시 교통센서스 및 데이터베이스 구축」 과업에서 구축한 수도권 네트워크를 사용하였다. 2000년 네트워크 자료는 「수도권 종합교통체계조사」 과업 중 과업2에 해당하는 광역교통계획평가 전산모형의 개발에서 구축한 1999년 수도권 네트워크를 보정하여 사용하였다.

<표 2> 1996년 네트워크자료와 2000년 네트워크 자료비교 (단위 : 개)

		1996년 네트워크	2000년 네트워크	비 고
총수단		8	9	전세버스 추가
대중교통수단		6	7	전세버스 추가
highway 네트워크	존	1,132	1,132	
	노드	5,378	6,186	
	링크	16,892	18,759	
대중교통 노선		757 + 50	956 + 52	버스 + 철도노선
회전여부 자료		5,129	6,019	교차로 회전여부
통행비용합수		26	26	

주) 1996년 네트워크는 1,020개 존으로 구축되었으나 1,132개 존으로 확장하였음.

<표 3> 정산된 통행비용함수의 도로위계별 입력값

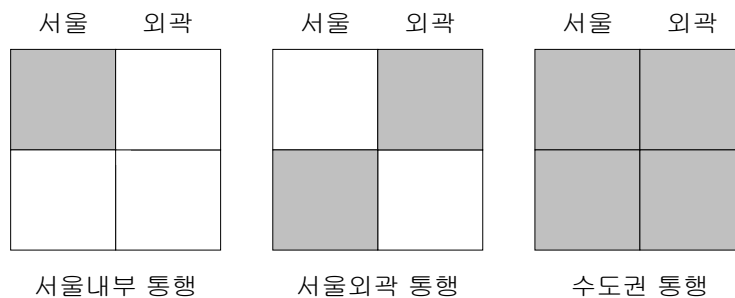
도로구분	a	b	링크당교차로 지체시간(D)	설계속도(Sm)	용량/차선(C)
고속도로	0.5	2.0	20초	90km/h	1100 pcu/차선
도시고속도로	0.5	2.0	20초	80km/h	1000 pcu/차선
간선도로	0.5	2.0	20초	60km/h	800 pcu/차선
보조간선도로	0.5	2.0	20초	50km/h	700 pcu/차선
집분산도로	0.5	2.0	20초	50km/h	550 pcu/차선
국도	0.5	2.0	20초	70km/h	800 pcu/차선
지방도	0.5	2.0	20초	70km/h	700 pcu/차선
교량/터널	0.5	2.0	20초	70km/h	1000 pcu/차선
램프	0.5	2.0	20초	40km/h	500 pcu/차선
고가	0.5	2.0	20초	70km/h	900 pcu/차선

자료) 「서울시정개발연구원, 서울시 종합교통분석체계 정립 및 광역통행분석, 1999」

IV. 추정O/D와 관련지표의 비교, 평가

가구설문조사자료, 기준O/D, 관측교통량을 이용하여 추정한 O/D를 총량, TLFD(Trip Length Frequency Distribution), 링크별 통행배분결과 등을 비교·분석하였다.

먼저, 총량적 비교는 영역을 서울과 외곽으로 구분한 후 분석결과를 서울내부에서의 통행, 서울에 기점 혹은 종점을 갖는 서울관련통행, 수도권 전체의 통행으로 구분하여 각 영역별 총량과 TLFD 등의 특성을 분석하였다.



<그림 2> 통행시간 분포특성 파악을 위한 O/D분석영역구분

1. 총량적 통행패턴분석

1) 코든·스크린라인 관측자료 및 경찰청 조사자료

1996년에서 2000년까지의 코든·스크린라인의 관측교통량 변화를 보면, 서울시 경계인 코든라인 교통량은 약 3.2% 증가한 반면, 스크린라인 경계인 한강교량의 교통량은 18.2%

감소한 것으로 나타났다. 즉, 서울시의 인구는 감소하는 반면 인천·경기도의 외곽인구는 계속 증가하여 전체 수도권 인구는 증가하는 것과 동일한 추세를 보이고 있다.

<표 3> 1996년, 2000년 코든·스크린라인 관측교통량 변화추이 (단위:대, %)

	1996년	2000년	증감량	증감율
코든라인	2,700,518	2,785,800	85,282	3.16
스크린라인	1,710,635	1,399,283	- 311,352	- 18.20
계	4,411,153	4,185,083	- 226,070	- 5.12

주) 1996년 : 1996년 서울시 교통센서스 및 데이터베이스구축 조사자료
 2000년 : 2001년 수도권 종합교통체계조사 자료

<표 4>의 경찰청 조사자료³⁾의 경우, 스크린라인 개념인 한강교량은 약 14% 이상 감소하였고, 코든라인 개념인 시계는 약 7%의 교통량이 증가한 것으로 조사되었다. 또한 중구 일대의 도심부 교통량이 12%이상 감소한 것으로 조사되었으나 시계와 간선도로에서의 교통량 증가량이 크게 나타나 교통량 총량은 증가한 것으로 나타났다.

<표 4> 경찰청 정기교통량 조사자료 변화추이 (단위:대, %)

	1996년	2000년	증감량	증감율
도심	1,729,919	1,517,504	- 212,415	- 12.28
교량	1,906,077	1,634,982	- 271,095	- 14.22
간선	2,511,709	3,258,066	746,357	29.72
시계	2,432,699	2,602,832	170,133	6.99
계	8,580,404	9,031,384	450,980	5.26

자료 : 서울지방경찰청, 각 해당년도 서울시 교통량 조사자료

두 조사자료는 조사시간과 지점이 상이하어 직접적인 비교는 어렵지만 각 조사의 시간 변화에 따른 추세를 보면 두 조사 모두 서울시 경계인 코든라인과 간선도로의 교통량은 증가한 반면, 한강교량의 스크린라인과 도심부에서의 교통량은 오히려 큰 폭으로 감소한 것을 알 수 있다. 총량적인 통행량은 줄어든 반면 서울시 내부통행은 줄고 외부에서 서울로 유출입하는 통행과 주요 간선도로를 이용하는 차량의 수는 증가한 것을 알 수 있다.

3) 도심진입지점, 시계지점, 한강교량, 주요간선으로 구분하여 총 100여 지점의 교통량 자료를 매년 조사발표하고 있음.

2) 기준O/D(1996)와 추정O/D(2000)의 총량비교

1996년, 2000년 서울지역의 코든·스크린 관측량은 변화에 어떤 패턴을 보이지 않으며 Gradient 기법을 적용하여 도출된 추정O/D는 전반적으로 큰 폭의 증가를 보였다.

<표 5> 기준O/D와 관측교통량기반 추정O/D의 통행배분 결과 비교 (단위:대, %)

		① 기준 O/D	② 추정 O/D	③기구축 O/D	비율 ②/①	비율 ③/①
서울 내부 통행	강북 -> 강북	2,333,416	2,328,820	2,396,313	1.00	1.03
	강북 -> 강남	481,219	572,258	533,005	1.19	1.11
	강남 -> 강남	2,531,326	2,727,144	2,654,968	1.08	1.05
	강남 -> 강북	465,398	555,417	517,626	1.19	1.11
서울 외부 통행	서울 -> 외곽	9,12,573	1,448,950	1,019,429	1.59	1.12
	외곽 -> 서울	8,67,594	1,433,406	983,638	1.65	1.13
	외곽 -> 외곽	5,821,220	7,612,391	6,338,098	1.31	1.09
총 합		13,412,746	16,678,386	14,443,077	1.24	1.08

주) 강남, 강북은 서울시를 한강기준으로 구분한 것이며 외곽은 인천시, 경기도 지역을 의미함.

추정O/D는 수도권 총량적으로는 약 24.4% 증가하였고 서울관련 통행은 서울에서의 유출통행이 약 59%증가, 서울로의 유입통행이 약 65% 증가한 것으로 나타났으며 서울내부 통행도 약 6% 증가하였다. 이는 서울내부의 통행량이 감소한 코든·스크린라인 조사자료와는 상반되는 결과이며 그 증가폭도 상당히 크게 나타나고 있다.

다른 관련연구⁴⁾에서 구축한 O/D는 1996년 기준O/D에서 총량적으로 약 8% 증가한 것으로 나타났으며 서울의 경우 약 10% 이내의 증가량을 보이고 있는데 추정O/D의 증가량은 기 구축O/D보다 2배 이상 증가한 것이다. 또한 관측자료를 보면 서울 교량의 스크린라인 교통량은 18%이상 감소했는데도 강남과 강북간의 통행량은 오히려 19% 증가하는 것으로 추정하였다.

관련연구에서 구축한 O/D는 사회경제지표의 변화를 반영한 정통적인 4단계를 거쳐도 도출한 O/D로서 코든·스크린의 관측량 증감비율을 고려하면 오히려 관련연구의 기구축 O/D가 더 오차가 적다고 할 수 있을 것이다.

2. TLF(D(Trip Length Frequency Distribution) 분석

조사에 사용한 자료는 1996년 서울시 교통센서스 및 데이터 베이스 구축에서 조사한 자료로서 전수화한 전체자료 중 highway를 이용하는 관련통행만을 대상으로 집계하였다. 1996년에 가구방문을 통해 조사한 통행자료와 1996년 기준O/D의 통행배분결과, 1996년

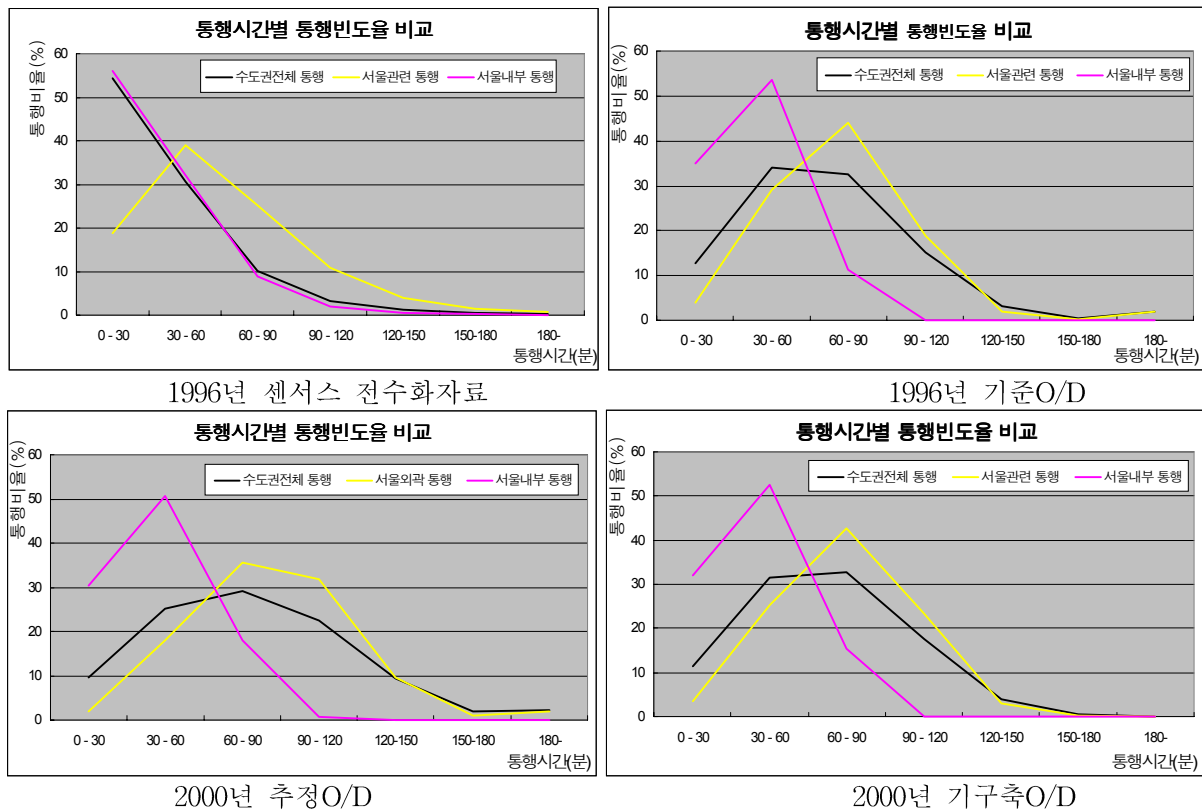
4) 건설교통부, 수도권 종합교통체계조사, 2000

관측교통량에 근거하여 추정된 O/D의 통행배분결과를 통행시간, 통행거리별 빈도수로 비교하였다.

1) 통행시간 TLFD

1996년 센서스 조사자료의 통행시간별 분포를 보면 수도권 전체통행의 경우, 30분 미만 통행이 전체통행의 약 54%를 차지하고 60분 미만의 통행은 전체통행의 약 85%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 그리고, 서울을 기점 또는 종점으로 하는 서울관련통행의 경우는, 30분 미만통행이 약 18%, 60분 미만통행이 약 58%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이는 인천, 경기도에서 서울로 유출입하는 통행시간이 60분 이상인 장거리 통행자들의 비율이 약 50%에 이른다는 것을 보여주는 것이다. 또한 서울시 내부통행자들의 패턴을 보면, 30분 이내의 통행자들이 약 56%, 60분 이내의 통행자들이 전체의 88%인 것으로 나타났다.

<그림 3>은 가구설문조사 자료의 통행패턴과 나머지 O/D의 통행배분결과가 서로 다른 통행패턴을 보이고 있음을 보여주고 있다. 특히, 수도권 전체통행과 서울내부통행의 경우 큰 차이를 보여주고 있는데 이는, 가구설문조사의 신뢰도가 높은 것을 감안하면 통행배분 결과가 현상을 정확히 반영하지 못하고 있다는 의미로 해석된다. 즉, 모든 통행의 통행시간이 전반적으로 크게 계산된 것은 BPR 형태의 통행비용함수가 교통량과 통행시간의 관계를 적절하게 설명하지 못하고 있음을 보여주고 있다.



<그림 3> 각 O/D자료별 통행시간별 통행비율

<표 6> 각 자료의 영역별, 통행시간별 누적비율

(단위:%)

통행시간(분)		0 - 30	30 - 60	60 - 90	90-120	120-150
수도권통행	①	54.44	84.99	95.02	98.29	99.43
	②	12.65	46.75	79.30	94.39	97.56
	③	9.66	34.87	63.92	86.35	95.66
	④	11.44	43.01	75.63	93.28	97.35
서울관련통행	①	18.73	57.83	83.03	94.01	97.93
	②	4.03	33.13	77.09	95.96	97.97
	③	2.05	20.04	55.67	87.49	97.15
	④	3.43	28.77	71.50	94.85	97.87
서울내부통행	①	56.09	88.28	97.14	99.22	97.76
	②	35.01	88.64	99.99	100.00	100.00
	③	30.46	81.02	99.16	100.00	100.00
	④	31.91	84.47	99.95	100.00	100.00

주) ① 1996년 센서스 전수화 자료

② 1996년 기준O/D

③ 2000년 추정O/D

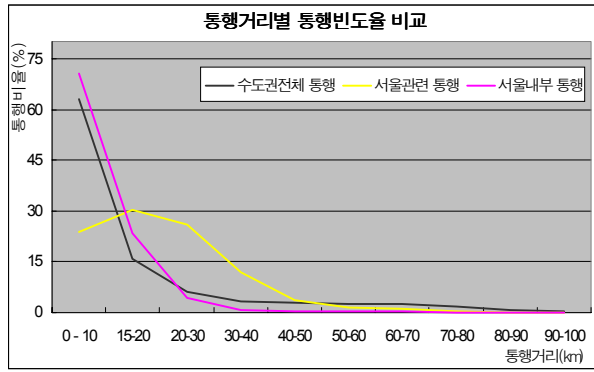
④ 2000년 기구축O/D

통행배분 된 결과들의 변화를 보면, 추정된 2000년 O/D의 통행배분 결과는 1996년 기준O/D 결과보다 전반적으로 통행시간이 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 전체적으로 O/D가 증가하였기 때문으로 해석되며 다른 연구에서 도출된 기구축O/D는 1996년 O/D의 거의 유사한 패턴을 보이고 있다.

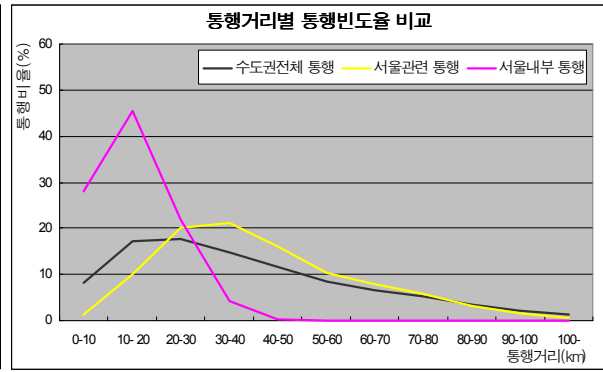
2) 통행거리 TLFD 분석

통행배분 통행시간이 통행비용함수에 너무 민감하고 가구설문조사 패턴과 상이하기 때문에 상대적으로 안정적인 값을 나타내는 촌간 통행거리를 기준으로 TLED를 살펴보았다. 수도권전체 통행과 서울시 내부통행의 경우 센서스자료와 통행배분결과간에 많은 차이를 보이고 있는데 이는 설문조사자료의 통행거리를 가공하는 과정에 원인이 있는 것으로 판단된다. 즉, 센서스자료의 통행거리는 조사자료에 없는 항목으로 통행거리 계산시에 네트워크의 free flow 상태의 촌간 최단경로 자료를 적용하였는데 이때 단거리 통행량이 실제보다 많이 도출된 것으로 판단된다.

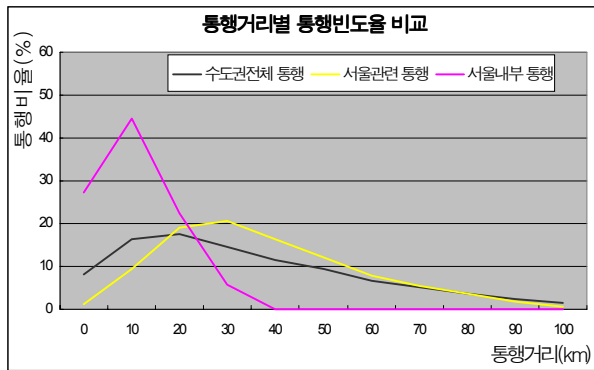
1996년 기준O/D, 2000년 추정O/D, 2000년 기구축O/D의 통행배분후 패턴은 모두가 약간의 차이가 있을 뿐 거의 유사한 분포를 가지는 것으로 나타났는데 이는 네트워크가 큰 변화를 보이지 않기 때문으로 해석할 수 있다.



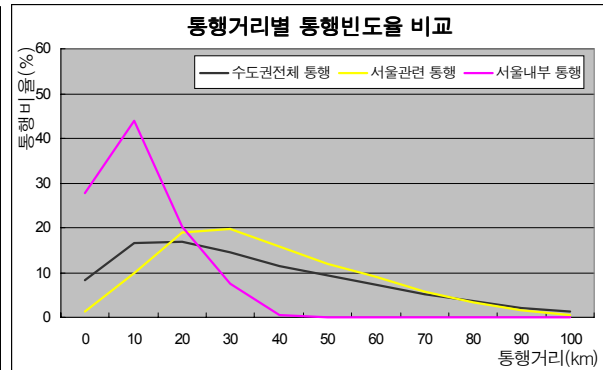
1996년 센서스 전수화자료



1996년 기준O/D



2000년 추정O/D



2000년 기구축O/D

<그림 4> 각 O/D자료의 통행거리별 통행비율

<표 7> 각 자료의 영역별, 통행거리별 누적비율 (단위:%)

통행거리(km)		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
수도권통행	①	78.10	87.97	93.65	97.89	99.02
	②	25.51	58.05	78.28	90.13	95.72
	③	24.46	56.55	77.46	89.09	95.07
	④	24.89	56.50	77.20	89.72	95.52
서울관련통행	①	53.97	92.12	97.25	98.53	98.57
	②	11.45	52.68	79.26	92.93	97.64
	③	10.70	50.35	78.83	92.29	97.50
	④	11.17	49.78	77.63	92.58	97.56
서울내부통행	①	94.05	99.00	99.46	100.00	100.00
	②	73.55	99.75	100.00	100.00	100.00
	③	71.89	99.87	100.00	100.00	100.00
	④	71.64	99.50	100.00	100.00	100.00

주) ① 1996년 센서스 전수화 자료
 ③ 2000년 추정O/D

② 1996년 기준O/D
 ④ 2000년 기구축O/D

3. 링크교통량 비교

각 O/D를 통행배분한 링크 교통량이 1996년과 2000년 코든·스크린 관측교통량과 얼마나 유사하게 도출되었는지 총량적으로 살펴보고 오차의 정도를 비교하였다.

1) 기준년도 대비 관측교통량변화와 추정교통량의 변화 비교

<표 8> 1996년 관측교통량, 통행배분 교통량 비교 (단위:대, %)

	코든	스크린	전체
① 1996년 관측량	2,700,518	1,710,635	4,411,153
② 2000년 관측량	2,785,800	1,399,283	4,185,083
(②/①)×100	103.16	81.80	94.88
③ 1996년 기준O/D 배분량	1,730,636	1,170,070	2,900,706
④ 2000년 추정O/D 배분량	2,811,770	1,408,894	4,220,664
(④/③)×100	162.47	120.41	145.50

주) 코든·스크린라인 250개 자료 중 일부 서울자료임.

1996년 기준년도의 관측교통량과 2000년 관측교통량의 변화와 기준O/D, 관측교통량을 이용하여 추정한 O/D의 통행배분 결과를 비교하였다. 먼저, 1996년과 2000년 관측교통량 중 코든라인 교통량은 약간 증가하고 스크린라인 교통량은 약 19% 감소한 것으로 나타나 전체적으로는 약 5%가량 총 통행량이 감소한 것으로 나타났다. 그러나 기준O/D와 추정 O/D의 통행배분 결과를 보면 오히려 코든라인 교통량이 약 63%증가하였고 스크린라인 교통량도 20%이상 증가한 것으로 나타나 총량적 차이는 기준오디 기준으로 50%가량 차이가 나는 것으로 나타났다.

그 원인으로서는 우선 1996년 관측량과 1996년 기준오디의 통행배분량간의 차이를 들 수 있는데 코든라인의 경우 1996년 기준오디의 통행배분량이 1996년 관측량의 65%에도 미치지 못하고 있음을 볼 수 있다.

2) 2000년 코든·스크린 관측량과 2000년 추정O/D, 기구측O/D 비교

2000년 관측교통량과 관측교통량을 이용하여 추정한 O/D 그리고 다른 연구에서 기구측한 O/D의 통행배분결과를 분석하였다. <표 9>에서 보는 바와 같이 관측교통량을 이용하여 추정한 O/D의 통행배분 결과는 관측교통량과 아주 유사한 값을 나타내고 있는데 서울지역의 경우는 거의 일치하며 서울외곽의 자료중 코든라인의 자료만 관측량보다 작게 나타났다.

한편, 기구측된 O/D를 통행배분한 결과는 관측교통량과 비교하여 전체적으로 under assignment 된 것으로 나타났는데 스크린 라인 교통량의 경우는 관측량의 약 60% 선에 이르는 것으로 나타났다.

<표 9> 관측교통량, 통행배분 교통량 비교

(단위:대, %)

	서울시		인천·경기도		전체
	코든	스크린	코든	스크린	
① 2000년 관측량	3,480,681	1,558,194	1,188,921	1,863,065	8,098,861
② 추정O/D 통행배분결과	3,486,848	1,570,255	975,242	1,831,085	7,863,429
(②/①)×100	100.18	100.77	82.03	98.28	97.19
③ 기구측O/D 통행배분결과	2,908,467	868,507	603,334	1,047,880	5,428,189
(③/①)×100	83.56	55.74	50.75	56.24	67.09

주) 코든·스크린라인에 해당하는 265개 링크관측교통량과 통행배분 교통량임.

3) 추정력 검증에 위한 평가

관측치와 추정치의 오차정도를 알아보기 위해 R^2 및 평균자승근오차(Root Mean Square Error : RMSE), 상대평균자승근오차(relative RMSE%), 상대평균절대오차(relative Mean Absolute Error : MAE%) 등을 평가지표로 사용하였으며 각 결과간의 절대적인 비교보다는 상대적인 오차크기를 살펴보았다. 관측교통량과 기준O/D의 경우도 관측조사와 구축 과정에서 발생할 수 있는 기술적, 근본적인 오차를 내재하고 있기 때문이다. 각각의 오차추정식은 다음과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{\omega \in W} (t_{\omega}^* - T_{\omega}^+)^2}{M}} \quad (\text{식 8})$$

$$RMSE(\%) = \frac{RMSE}{\left(\frac{\sum_{\omega \in W} t_{\omega}^+}{M}\right)} \times 100 \quad (\text{식9})$$

$$MAE(\%) = \left(\frac{\sum_{\omega \in W} |t_{\omega}^* - t_{\omega}^+|}{\sum_{\omega \in W} t_{\omega}^+}\right) \times 100 \quad (\text{식 10})$$

여기서, t_{ω}^* = 추정O/D

t_{ω}^+ = 기준O/D

M = O/D쌍 개수

<표 10> 관측량기준 기준O/D, 추정O/D의 통계분석

	RMSE	RMSE(%)	MAE(%)	R^2	자료수
1996년 기준O/D	20,559.04	49.40	39.15	0.63	106
2000년 추정O/D	7,672.77	0.25	13.38	0.91	264
2000년 기구축O/D	18,562.22	60.57	44.60	0.69	264

<표 10>에서 볼 수 있는바와 같이, 관측교통량을 기준으로 했을 때 2000년 추정O/D의 오차는 전체적으로 크게 감소한 것으로 나타났다. 그러나 기구축된 O/D의 경우는 RMSE%와 MAE%는 오히려 1996년 기준O/D보다 증가한 것으로 나타났다. R^2 의 경우도 추정O/D의 경우 0.91까지 올라가 통행배분 교통량이 관측교통량을 잘 설명하는 것으로 나타났다.

V. 결론 및 향후연구과제

1. 결론

2000년 관측교통량을 이용하여 O/D를 추정하기 위해 대규모 교통망에 사용할 수 있는 Gradient 기법을 적용하였다. Gradient 기법을 이용하여 추정된 O/D를 여러 관련자료와 비교하여 그 정확도 및 신뢰도를 살펴보았다.

분석결과 첫째, 관측자료가 시간에 따른 교통량의 변화패턴이 지점별로 편차가 심하고 관측량이 오히려 감소한 지점의 변화를 추정 O/D는 제대로 반영하지 못하고 있다. 이는 Gradient 기법이 기준O/D의 통행패턴이 크게 변하지 않는다는 가정에 기반하기 때문에 발생하는 근본적인 문제라고 볼 수 있다. 즉, 1996년에서 2000년사이 신도시와 대규모 택지개발사업, 도시고속도로, 간선도로의 확장·신설 등 수도권의 교통환경의 변화가 심한 상황을 모형에서 적절히 반영하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 코든·스크린라인 관측자료와 총량적으로 비교해보면, 관측자료는 지역적으로 증가와 감소의 편차가 심한 반면 추정된 O/D는 대부분 증가하였으며 관측자료의 시간에 따른 패턴변화가 O/D 추정과정에 전혀 반영되지 않았다. 또한 다른 연구에서 4단계 수요예측과정을 통해 구축한 O/D보다 큰 증가폭이 커서 관측량과 비교해본다면 오히려 관련연구의 기구축O/D가 더 오차가 적다고 할 수 있을 것이다. 그러나 대규모 조사를 통한 정확한 O/D를 구축한 후의 단기적인 변화를 충분히 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 각 TLFD를 비교해 보면, 가구설문조사자료와 추정 O/D의 통행배분결과간 통행패턴에 차이를 보이고 있는데 주원인은 통행비용함수가 현상을 적절히 반영하지 못하기 때문으로 판단된다. 또한 TLFD를 통행시간으로 비교하는 것보다는 통행거리를 기준으로

비교하는 것이 보다 합리적인 것으로 나타났다. 통행시간 패턴은 기준O/D와 추정O/D 관련 연구의 기구축O/D 모두 유사한 패턴을 보이고 있으며 통행거리 패턴도 유사한 패턴을 갖는 것으로 나타났다.

셋째, 링크교통량을 비교해 보면, 추정O/D는 관측교통량과 상당히 유사한 통행배분결과를 나타내고 있는 반면 기추정된 O/D는 서울외곽링크가 주로 under assignment 되는 것으로 나타났다.

넷째, 통계적 검증결과, 관측량기반 추정O/D가 오차가 가장 작지만 총량적으로는 O/D가 과대추정된 것으로 나타났다. 관측교통량 기반 추정O/D를 통행배분한 결과는 관측지점의 결과를 놓고 보았을 때, 매우 정확한 결과를 도출하였다. 그러나 1996년에서 2000년 동일지점 관측자료가 감소하고 총량적인 변화가 크지 않은 상황에서 추정O/D의 증가량이 크고 지역적인 증감의 편차를 반영하지 못하고 있으며 총량적으로 O/D가 과대추정된 것을 설명하지 못하고 있다. 즉, 관측지점의 링크교통량은 비교적 정확하게 계산되었지만 나머지 대부분의 링크도 추정과정에서 영향을 받아 O/D가 총량적으로 큰 값을 갖게 된 것으로 보여진다.

2. 향후 연구과제

관측교통량을 이용하여 O/D를 추정하는 과정에서 결과의 정확성에 영향을 미치는 것은 크게 기준O/D, 네트워크, 통행비용함수, 관측자료와 관측자료지점 수 등을 들 수 있다.

보다 신뢰성있는 추정 O/D를 추정하기 위해서는 다음과 같은 향후연구가 필요하다.

첫째, 보다 정확한 기준O/D를 구축해야 한다. 보다 정확한 결과를 도출하기 위해서는 highway를 이용하는 수단별 O/D를 별도로 구축하고 각각의 O/D를 각각의 관측자료를 이용하여 추정해야 할 것이다.

둘째, 통행배분 모형과 관련하여 본 연구결과가 좀더 신뢰성있는 결과를 도출하기 위해서는 현실을 반영할 수 있는 정확한 통행비용함수의 추정이 필요하다. 구축된 기준O/D와 분석 네트워크의 정밀도에 비교한다면 통행비용함수에 따른 오차율이 다른 요소에 비해 결과에 더 크게 영향을 미쳤다고 보인다. 특히 수단별 O/D와 관측자료를 이용한 다수단 통행배분모형을 적용할 경우 사용 가능한 합리적인 수단별 통행비용함수가 필요할 것이다.

셋째, 정확한 관측자료가 필요하다. O/D추정모형에서 가장 기본으로 사용되는 자료가 바로 관측교통량 자료로서 백승걸 등(2001)은 관측자료의 오차가 기준 O/D의 오차보다 O/D 추정에 더 큰 영향을 준다고 하였다. 본 연구에서는 수단별로 조사한 관측자료를 연구 한계상 PCU로 통합하여 분석함으로써 관측자료의 오차를 안고 연구에 임한 셈이 되었다.

넷째, 관측교통량을 조사할 적정관측위치와 유효관측지점 수의 결정에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 건설교통부, 수도권 종합교통체계조사 중 과업2 광역교통계획평가모형의 개발, 2000
2. 김종형, Gradient 기법에 의한 통행량기반 수요추정연구, 서울시립대 박사학위, 2000
3. 백승걸, 김현명, 임용택, 임강원, 관측교통량을 이용한 다차종 OD 통행량 추정, 대한교통학회 제 19권 제2호, pp61~71, 2001
4. 서울시, 서울시 교통센서스 및 데이터베이스 구축, 1997
5. 서울시정개발연구원, 서울시 종합교통교통분석체계 정립 및 광역통행분석, 1999
6. 오상진, 박병호, 기종점 통행료 산출모형의 적용성 평가, 대한교통학회지, 제 17권 제 5호, pp.99~110, 2000
7. Spiess. H, A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem, INRO, 2000