

■ 論 文 ■

# 통행량 기반 대중교통 기종점통행량(O/D) 추정 신뢰성 평가에 관한 연구

Reliability Evaluation on the Transit O/D matrix from Traffic Counts

**이 신 해**  
(서울시정개발연구원 연구원)

**이 승 재**  
(서울시립대학교  
교통공학과 조교수)

**최 인 준**  
(서울시립대학교  
교통공학과 석사과정)

**문 수 연**  
(현대엔지니어링(주) 토건환경사업부)

**임 강 원**  
(서울대학교 환경대학원 교수)

## 목 차

- |   |  |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 연구의 배경 및 목적</li> <li>2. 연구의 내용 및 방법</li> </ol> <p>II. 이론 고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gradient방법</li> <li>2. 최적전략(Optimal Strategy)방법</li> </ol> | <p>III. 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 분석교통망 및 속성자료</li> <li>2. 분석 방법</li> <li>3. 분석 결과</li> </ol> <p>IV. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 관측통행량, 대중교통기종점통행량추정, Gradient 방법, 최전전략, 신뢰성

## 요 약

급변하는 교통환경 하에서 신뢰성있는 기·종점통행량(O/D)를 구축하는 것은 매우 어려운 일이다. 특히, 시간과 비용의 제약하에서 교통계획을 수립해야 하는 경우라면 전통적인 O/D 구축방법인 O/D조사를 통해 O/D를 구축하는 것은 현실적으로 불가능한 일이다. 이로 인해 관측통행량을 이용하여 O/D를 추정하는 연구가 활발하게 이루어져 왔다. 그러나, 현재까지 진행되어 온 연구들이 개별차량 O/D를 추정하는 데에만 국한되어 있어, 관측통행량으로 대중교통 O/D를 추정하는 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 이미 개별차량 O/D 추정에서 신뢰성이 검증된 Gradient방법을 대중교통 O/D 추정에 적용하여 그 신뢰성을 평가하는데 목적이 있다. 본 연구에서 대중교통 통행배정은 Spiess-Florian의 대중교통 통행배정 규칙을 이용하였고, Gradient방법의 신뢰성을 평가하는 기준으로는 기본 O/D와 추정 O/D의 분포형태를 이용하였다.

## 1. 서론

### 1. 연구 배경 및 목적

교통환경이 안정되지 않은 상황에서 필요할 때마다 신뢰성 있는 기종점통행량(O/D)을 구축하기는 매우 어려운 일이다. 특히, 시간과 비용이 제약되어 있는 상황이라면 더욱 전통적인 기종점조사를 통해 기종점을 구축하는 것은 불가능한 일이다. 이로 인해 관측통행량을 기반으로 기종점통행량을 추정하는 방법은 지난 30년간 여러 가지 이론적 틀을 바탕으로 연구되어 왔다. 하지만, 이러한 이론적 틀은 개별차량 기종점통행량을 추정하는 데에 초점을 맞추고 있어, 관측통행량을 이용하여 대중교통 기종점통행량을 추정하는 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구는 관측통행량을 이용하여 기종점통행량을 추정하는 여러 가지 방법 중 Gradient 방법을 대중교통 기종점통행량 추정에 적용하여 그 신뢰성을 평가하고자 한다. Gradient 방법은 이미 이승재·김종형(1999년)의 개별차량 기종점통행량추정에서 신뢰성을 검증 받은 바 있다.

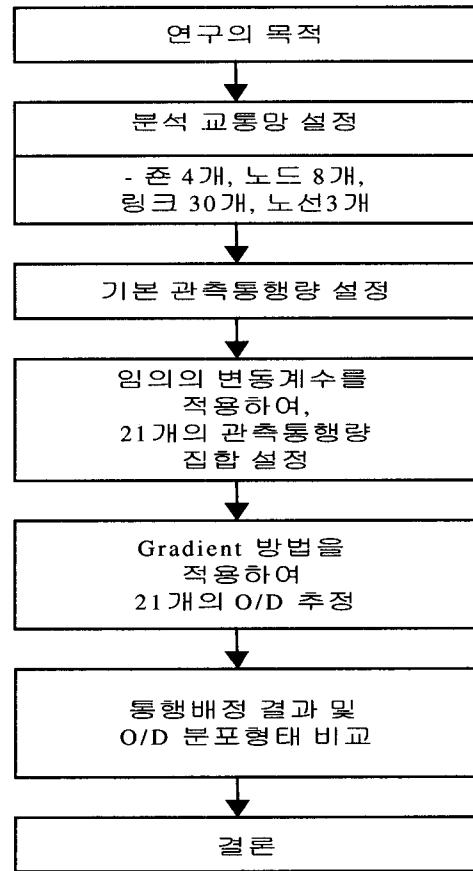
### 2. 연구범위 및 방법

본 연구는 Gradient 방법을 대중교통 기종점통행량 추정에 적용하여 그 신뢰성을 평가하기 위한 것으로 연구의 공간적 범위를 임의로 구축한 모의 교통망으로 한정하였다. 또한 신뢰성을 평가하는 기준으로는 기본 기종점통행량과 추정 기종점통행량의 분포형태를 이용하였는데, 구체적인 연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 분석대상 모의 대중 교통망을 구축하고 이 교통망과 결부된 기종점통행량을 기본 기종점통행량이라 하고, 이러한 기본 기종점통행량을 Spiess-Florian의 대중교통 통행배정규칙인 최적전략(Optimal Strategy) 방법에 의해서 배정한 통행량을 기본 관측통행량이라고 가정한다.

둘째, 위에서 가정한 기본 관측통행량을 임의의 변동계수를 적용하여 21개의 관측통행량 집합을 설정한 후, 이를 바탕으로 Gradient 방법으로 21개의 기종점통행량을 추정한다.

셋째, 추정된 20개의 기종점통행량과 기본 기종점통행량의 분포형태의 유사정도를 비교·평가한다.



〈그림 1〉 연구수행 과정

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구에서 평가하려는 기종점통행량 추정기법인 Gradient 방법과 본 연구에서 대중교통 통행배정에 사용한 최적전략(optimal strategy)방법의 이론적 내용을 살펴보고, III장에서는 분석대상 교통망을 제시하고 분석과정과 분석결과를 나타내었으며, 마지막 장에서는 본 연구의 결론 및 향후 방향을 제시하였다.

## II. 이론 고찰

### 1. 관측통행량을 이용한 기종점통행량 추정의 개념

관측통행량을 이용하여 기종점통행량을 추정하는 문제를 Cascetta와 Nguyen(1988)은 “관측통행량 자료와 이용할 수 있는 기타의 자료를 최대한으로 활용하여 기종점통행량을 추정하는 것”으로 정의하였는데,

기중점통행량을 추정하는 기본적인 개념은 다음과 같이 표현된다.

연구대상지가  $N$ 개 존으로 구성되어 있다면,  $N^2$ 개의 기중점통행량이 있는데, 관측통행량으로부터 기중점통행량을 추정하는 가장 중요한 것은 각 기중점통행량이 사용하는 경로를 결정하는 것이다. 이 단계를 수식으로 표현하면 식(1)과 같다.

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

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,  $N^2$ 개의 비종속(independent)이면서 일치(consistent)된  $V_a$ 를 확보한다면, 미지의 기중점통행량  $T_{ij}$ 는 식(1)에 의해 구해진다.

## 2. Gradient 방법

기존의 기중점통행량 추정기법들이 관측통행량에 배정통행량과 일치한다는 제약조건하에 표본 기중점통행량(또는 사전 기중점통행량)과 참(true) 기중점통행량의 차이를 최소화시키는 것으로 목적함수를 구성한데 반해, Spiess(1990)가 제안한 Gradient 방법은 관측통행량과 배정통행량의 차를 최소화하는 목적함수를 구성함으로써 기존의 기중점통행량 추정기법들이 과도한 계산시간으로 인해 대규모교통망에는 적용하기에 힘들었던 단점을 보완하였다. 또한 Gradient 방법은 기존 기중점통행량이 가지고 있는 정보를 가장 많이 포함한다는 장점이 있다.

Gradient 방법은 최급강하방향(steepest descent direction)을 따르는 볼록 최소화문제(convex minimization problem)로 구성되는데, 그에 따른 목적함수는 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \min Z(g) &= \frac{1}{2} \sum_{a \in A} (v_a - \hat{v}_a)^2 \\ \text{s.t.} \quad &g \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

$v_a$  : 링크  $a$ 의 배정통행량(assigned volume)으로 아래의 식을 풀어 나온 값임

$$\begin{aligned} \min \quad &\sum_{a \in A} c_a v_a + \sum_{i \in I} \frac{v_i}{\sum_{a \in A_i^+} f_a} \\ \text{s.t.} \quad &v_a = \frac{f_a}{\sum_{a \in A_i^+} f_a} v_i, \quad a \in \overline{A_i^+}, \quad i \in I, \\ &v_i = \sum_{a \in A_i^-} v_a + g_i, \quad i \in I, \quad v_i \geq 0, \quad i \in I \end{aligned}$$

$\hat{v}_a$  : 링크  $a$ 의 관측통행량(observed volume)

Gradient방법에 의한 추정 기중점통행량은 다음과 같은 방법으로 산출된다.

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

여기서,

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z(g)}{\partial g_{ij}} &= \sum_{a \in A} \sum_{k \in K_{ij}} \delta_{ak} p_k (v_a - \hat{v}_a) \\ &= \sum_{k \in K_{ij}} p_k \sum_{a \in A} \delta_{ak} (v_a - \hat{v}_a) \\ v_a &= \sum_{i \in I} \sum_{k \in K_{ij}} \delta_{ak} h_k, \quad a \in A \\ \delta_{ak} &= \begin{cases} 0 & \text{만약 } a \notin k \\ 1 & \text{만약 } a \in k \end{cases}, \quad h_k = \text{경로통행량} \\ p_k &= \frac{h_k}{g_{ij}}, \quad k \in K_{ij} \\ \lambda &= \frac{\sum_{a \in A} v_a (\hat{v}_a - v_a)}{\sum_{a \in A} v_a^2} \end{aligned}$$

## 3. 최적전략 방법(optimal strategy)

대중교통수단 이용자는 목적지까지의 경로 선택방법에 따라 다수의 전략(strategy)을 세울 수 있는데, 만일 하나의 전략이 수립되면 이용자는 다음과 같은 체계적인 과정을 따라 통행을 수행한다.

- 단계 0 : 출발노드를 NODE로 설정
- 단계 1 : NODE에서 이용가능 한 노선들의 차량 중 에서 가장 먼저 도착하는 차량에 승차
- 단계 2 : 주어진 전략에 따라 미리 결정된 노드에서 하차
- 단계 3 : 아직 목적지에서 도착하지 못했을 때는 현 재의 노드를 NODE로 설정하고 단계 1로 돌아가고 그렇지 않으면 통행은 완결

최적전략모형이란 통행자의 기대 통행시간(expected travel time)을 최소화하는 모형인데, 기대 통행시간 은 정류장에서의 대기시간 및 대기시간을 제외한 기 타의 통행시간(출발지에서 정류장까지의 접근, 차량 에 승차, 차량으로부터 하차, 두 정류장 사이의 도보, 정류장으로부터 목적지까지의 접근 등)으로 구성된다.

기대 통행시간(expected travel time)을 최소화 하는 모형은 식(4)와 같이 구성된다.

$$\min \sum_{a \in A} c_a v_a + \sum_{i \in I} \frac{v_i}{\sum_{a \in A_i^+} f_a} \quad (4)$$

$$s. t. \quad v_a = \frac{f_a}{\sum_{a \in A_i^+} f_a} v_i, \quad a \in \overline{A_i^+}, \quad i \in I,$$

$$v_i = \sum_{a \in A_i^-} v_a + g_i, \quad i \in I,$$

$$v_i \geq 0, \quad i \in I$$

여기서,

- $v_a$  : 링크  $a$ 의 통행량
- $c_a$  : 링크  $a$ 의 통행비용
- $f_a$  : 링크  $a$ 의 운행간격
- $v_i$  : 노드  $i$ 의 통행량
- $g_i$  : 노드  $i$ 에서 발생하는 통행수요
- $A_i^+$  (or  $A_i^-$ ) : 노드  $i$ 에서 유출(입)하는 링크 집합
- $\overline{A}$  : 전략(strategy)에 포함되는 링크집합,
- $\overline{A_i^+}$  (or  $\overline{A_i^-}$ ) :  $\overline{A} \cap A_i^+$  (or  $A_i^-$ )

식(4)에서 첫째 제약식은 노드  $i$ 에서의 통행량  $v_i$ 가  $\overline{A_i^+}$ 에 속하는 링크로 배분되는 방법을 나타내고있다. 즉, 노드  $i$ 에 도착한 통행이 각 링크를 사용할 확률 은 그 링크의 운행간격에 비례함을 의미한다.

둘째 제약식은 각 노드에서의 통행량이 보존됨을 의미한다.

최적전략 통행배정의 알고리즘은 최적전략을 결정 하는 단계와 통행량을 배정하는 단계로 구성된다.

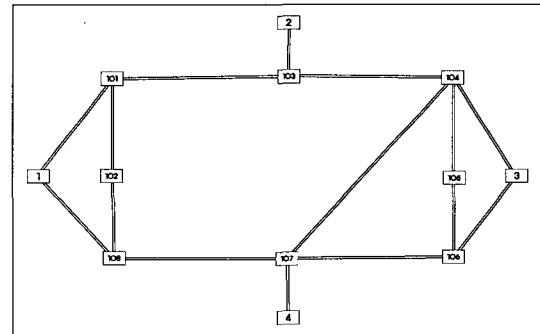
## IV. 분석

### 1. 분석교통망 및 속성 자료

#### 1) 분석교통망

전술한 Gradient방법의 신뢰성을 검증하기 위해 설 정한 대중 교통망은 <그림 2>와 같이 존 4개, 노드 8개, 링크 30개(존 커넥터 12개 포함), 노선 3개로 구성 되어있고, 각 노선의 배차간격(headway)는 5분으로 통일하였으며, 각 노선의 경로는 <표 2> 제시되어있다.

또한, 기본 기종점통행량은 위에서 설정한 대중 교 통망을 기반으로 작성된 기종점통행량을 사용하였으며, 기본 관측통행량은 기본 기종점통행량을 가지고 최적 전략 대중교통 통행배정을 통해 배정된 통행량으로 설정하였다.



<그림 2> 분석 교통망

<표 1> 네트워크 속성

구 분	갯수	비 고
존	4	1~4
노드	8	101~108
존 커넥터	12	-
노선링크	18	-

<표 2> 노선에 대한 자료

구 분	간격 (분)	노선여정 (순환)
노선1	5	101, 103, 104
노선2	5	106, 107, 108
노선3	5	104, 107

〈표 3〉 기중점통행량

O \ D	1	2	3	4	Sum
1	-	257	374	299	930
2	318	-	288	235	841
3	455	501	-	485	1,441
4	201	299	325	-	825
Sum	974	1,057	987	1,019	4,037

## 2. 분석 방법

위에서 설정한 기본 관측통행량에 임의의 변동계수 (200%~0%)를 적용하여 21개의 관측통행량 집합을 설정하였다. 기본 기중점통행량과 설정된 21개의 관측통행량 집합을 기반으로 하고, Gradient 방법을 적용하여 최종 21개의 추정 기중점통행량을 산출하였다.

마지막으로 추정된 기중점통행량의 분포형태 변화를 관측통행량의 증·감에 따라 관찰하며, 기본 기중점통행량의 분포형태와 비교하였다.

## 3. 분석 결과

### 1) 통행배정 결과 비교

21개의 관측통행량과 Gradient방법으로 추정된 21개의 기중점통행량의 통행배정결과로 산출된 배정통행량을 비교한 결과가 〈표 4〉에 제시되어 있다.

분석결과 관측통행량과 Gradient방법을 이용한 배정통행량은 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났으나, 관측통행량이 각각 100%, 0%일 경우 정확한 배분을 수행하지 못함을 볼 때, 이는 gradient 방법이 지니고 있는 이론적 특성이라 할 수 있다.

또한, 추정 기중점통행량으로부터 배정된 통행량이 관측통행량의 변화와 거의 유사하게 나타나는 점을 고려해 볼 때 Gradient 방법으로 추정되는 기중점통행량은 기본 기중점통행량보다 관측통행량에 매우 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

### 2) O/D의 분포형태 비교

기본 기중점통행량과 추정 기중점통행량의 분포형태 비교 결과는 앞서 살펴본 통행배정결과 비교와 유사하다.

본 연구에서는 추정 기중점통행량과 기본 기중점통행량의 분포형태 비교를 위해 F-검정 및 분포도를 이용하였다.

〈표 5〉의 분석결과에서 알 수 있듯이 관측통행량의 크기에 따라 분포형태 유사정도에 약간의 차이가 있지만, 관측통행량이 160%~20% 사이에 있을 경우 유의수준 0.05에서 기본 기중점통행량과 추정 기중점통행량의 분포는 동일하다고 볼 수 있다.

한편, 특이한 것은 관측통행량이 0% 일 경우이다.

〈표 4〉 관측통행량과 Gradient방법에 의해 추정된 기중점통행량 통행배정결과 비교 (단위:통행)

구분	노선여정	200%		190%		180%		170%		160%		150%		140%		
		G	O	G	O	G	O	G	O	G	O	G	O	G	O	
결과	노선1	101 → 103	506	514	482	488	461	463	433	437	408	411	383	386	358	360
		103 → 104	1,038	1,046	988	994	937	941	884	889	833	837	782	785	730	732
		104 → 103	1,597	1,600	1,517	1,520	1,439	1,440	1,358	1,360	1,278	1,280	1,199	1,200	1,119	1,120
		103 → 101	633	636	602	604	571	572	540	541	508	509	476	477	444	445
	노선2	108 → 107	1,346	1,346	1,279	1,279	1,209	1,211	1,144	1,144	1,077	1,077	1,010	1,010	942	942
		107 → 106	1,398	1,398	1,328	1,328	1,256	1,258	1,188	1,188	1,118	1,118	1,049	1,049	979	979
		106 → 107	1,875	1,880	1,782	1,786	1,691	1,692	1,601	1,598	1,507	1,504	1,412	1,410	1,318	1,316
		107 → 108	1,309	1,312	1,243	1,246	1,180	1,181	1,117	1,115	1,052	1,050	986	984	919	918
	노선3	107 → 104	605	598	574	568	541	538	512	508	481	478	452	449	421	419
		104 → 107	483	470	458	447	430	423	408	400	383	376	358	353	333	329
	Objective function		0.4059		0.2717		0.0972		0.1340		0.0950		0.0612		0.0370	
	Maximum gradient		0.0125		0.0097		0.0054		0.0064		0.0052		0.0040		0.0031	
	Optimal step length		0.0078		0.0066		0.0045		0.0054		0.0047		0.0039		0.0032	

구분	노선여정		130%		120%		110%		100%		90%		80%		70%	
			G	O	G	O	G	O	G	O	G	O	G	O	G	O
결과	노선1	101 → 103	333	334	307	308	283	283	-	257	231	231	206	206	180	180
		103 → 104	678	680	627	628	575	575	-	523	472	471	419	418	367	366
		104 → 103	1039	1040	960	960	880	880	-	800	720	720	640	640	561	560
		103 → 101	413	416	382	382	350	350	-	318	286	286	254	254	223	223
	노선2	108 → 107	875	875	808	808	740	740	-	673	606	606	538	538	471	471
		107 → 106	909	909	839	839	769	769	-	699	629	629	559	559	489	489
		106 → 107	1223	1222	1129	1128	1034	1034	-	940	846	846	751	752	657	658
		107 → 108	854	853	788	787	722	722	-	656	590	590	525	525	458	459
	노선3	107 → 104	391	389	360	359	330	329	-	299	269	269	238	239	208	209
		104 → 107	309	306	284	282	260	259	-	235	211	212	186	188	163	165
	Objective function		0.0189		0.0082		0.0016		-		0.0016		0.0052		0.0099	
	Maximum gradient		0.0022		0.0015		0.0007		-		0.0007		0.0012		0.0017	
	Optimal step length		0.0025		0.0015		0.0009		-		0.0010		0.0021		0.0034	

구분	노선여정		60%		50%		40%		30%		20%		10%		0%	
			G	O	G	O	G	O	G	O	G	O	G	O	G	O
결과	노선1	101 → 103	154	154	129	129	103	103	77	77	51	51	26	26	257	0
		103 → 104	315	314	263	262	210	209	158	157	107	105	52	52	523	0
		104 → 103	481	480	401	400	321	320	241	240	162	160	81	80	800	0
		103 → 101	191	191	159	159	127	127	95	95	64	64	32	32	318	0
	노선2	108 → 107	404	404	337	337	269	269	202	202	135	135	67	67	673	0
		107 → 106	419	419	350	350	280	280	210	210	140	140	70	70	699	0
		106 → 107	563	564	469	470	377	376	283	282	187	188	93	94	940	0
		107 → 108	393	394	327	328	263	262	197	197	131	131	66	66	656	0
	노선3	107 → 104	178	179	149	150	119	120	89	90	60	60	29	30	299	0
		104 → 107	138	141	115	118	91	94	68	71	43	47	0	24	235	0
	Objective function		0.0131		0.0132		0.0114		0.0112		0.0204		0.5781		-	
	Maximum gradient		0.0018		0.0018		0.0017		0.0018		0.00290		0.0010		-	
	Optimal step length		0.0047		0.0068		0.0089		0.0149		0.0280		0.0222		-	

관측통행량이 0%일 경우 Gradient 방법을 통해 추정된 기준점통행량이 기본 기준점통행량과 같은 결과를 산출하는 것으로 나타났는데, 전술한 바와 같이 이는 Gradient의 특성<sup>1)</sup>을 반영하고 있을 뿐 기본 기준점통행량과 유사한 분포형태를 가지고 있다고는 보기 어렵다.

다음 <그림 3>~<그림 7>은 기본 기준점통행량과 추정 기준점통행량의 분포도를 비교한 것이다.

F-검정의 결과와 마찬가지로 분포도 비교에서도 같은 결과를 보였는데, 특히 <그림 5>와 같이 관측통행량과 기본 관측통행량 차이가 거의 없는(120%~80%) 경우에는 분포형태가 매우 유사한 것으로 나타났다. 따라서, 관측통행량이 기본 관측통행량과 차이가 거의 없을 경우 관측통행량을 이용해 기준점통행량을 추정하면 그렇지 못한 경우보다 신뢰성이 높다고 할 수 있다.

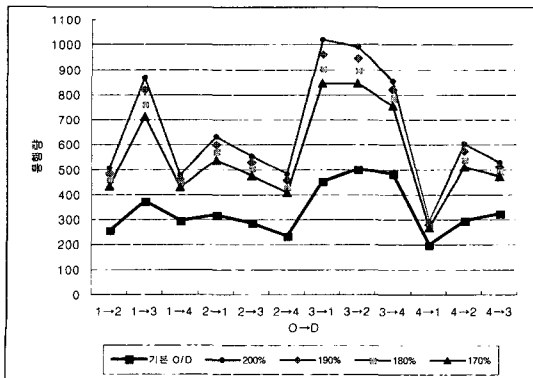
1) 이승재·김중형(1999)의 연구에서 밝힌바와 같이 gradient 방법은 타방법에 비해 선행 O/D나 관측 교통량의 오차크기에 민감하지 않고 추정력이 균일한 특성을 나타내는 것으로 연구됨.

〈표 5〉 기본 O/D와 추정 O/D 비교

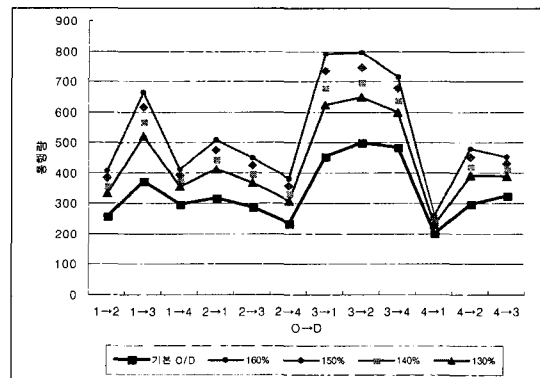
(단위:통행)

존	기본O/D	200%	190%	180%	170%	160%	150%	140%	130%	120%	110%
1→2	257	505.7	481.6	460.7	432.9	407.8	383.5	358.1	332.7	307.2	282.6
1→3	374	869.0	817.0	763.2	713.9	665.0	616.9	568.0	519.6	471.1	422.5
1→4	299	477.0	462.0	446.0	430.2	412.0	393.1	374.0	355.5	336.9	317.7
2→1	318	633.0	601.8	571.5	539.7	508.0	476.2	444.4	412.6	381.8	349.9
2→3	288	555.0	529.5	506.4	476.6	450.5	423.5	396.4	369.3	342.8	314.7
2→4	235	483.3	458.1	430.4	407.9	382.7	358.4	333.2	309.0	284.0	259.9
3→1	455	1019.1	960.7	904.2	846.3	790.7	734.8	679.0	623.5	567.4	511.6
3→2	501	991.9	943.7	897.5	846.2	797.1	747.1	697.9	648.7	599.5	550.3
3→4	485	856.1	821.3	786.7	754.7	715.8	677.1	638.6	599.6	561.3	522.7
4→1	201	289.7	282.6	276.0	271.1	261.3	250.7	240.3	230.4	220.2	210.7
4→2	299	604.9	573.6	541.0	511.9	481.3	451.7	421.1	390.6	360.0	329.5
4→3	325	528.9	511.0	493.0	474.1	453.0	432.1	411.0	389.5	367.9	346.6
F value	-	5.49	4.82	4.21	3.63	3.14	2.68	2.27	1.89	1.56	2.38
Pr>F	-	0.0088	0.0148	0.0250	0.0427	0.0708	0.1173	0.1907	0.3063	0.4756	0.1654

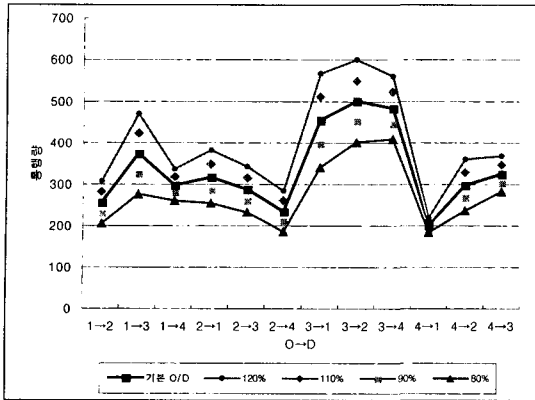
존	기본O/D	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
1→2	257	231.3	206.4	180.5	154.4	129.2	103.1	77.0	51.0	26.0	257.0
1→3	374	325.7	277.2	229.1	181.3	134.1	87.0	43.5	19.2	2.0	374.0
1→4	299	280.3	260.8	241.9	222.7	202.9	182.0	158.5	115.8	65.0	299.0
2→1	318	286.1	254.1	223.1	191.1	159.0	127.0	95.0	64.0	32.0	318.0
2→3	288	260.4	232.6	204.6	177.1	148.1	118.9	89.9	63.6	52.0	288.0
2→4	235	211.1	186.3	162.7	138.4	115.3	91.4	68.5	43.3	0.0	235.0
3→1	455	398.1	341.1	282.7	223.4	160.8	91.7	0.0	0.0	0.0	455.0
3→2	501	451.7	402.3	352.8	303.1	251.9	201.6	151.5	102.0	51.8	501.0
3→4	485	447.7	410.4	374.5	339.7	308.1	285.4	283.3	187.3	93.3	485.0
4→1	201	191.7	183.5	175.8	170.0	166.5	170.9	197.0	131.0	66.0	201.0
4→2	299	268.5	238.1	207.8	177.6	148.7	119.0	89.4	59.6	28.8	299.0
4→3	325	303.3	281.8	259.9	237.7	215.9	193.0	166.5	120.8	68.0	325.0
F value	-	1.29	1.66	2.12	2.59	2.88	2.53	1.57	2.98	6.97	-
Pr>F	-	0.6842	0.4161	0.2294	0.1292	0.0936	0.1386	0.4638	0.0838	0.0032	-



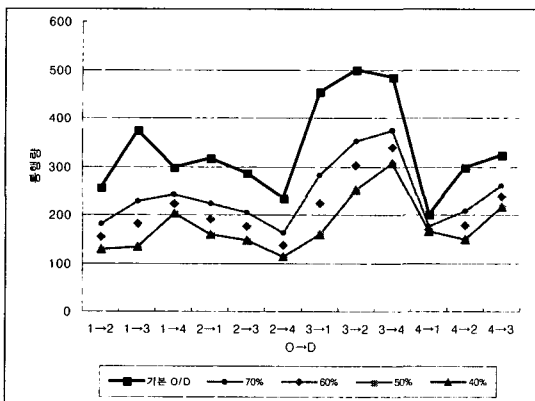
〈그림 3〉 관측통행량 200%~170%적용시



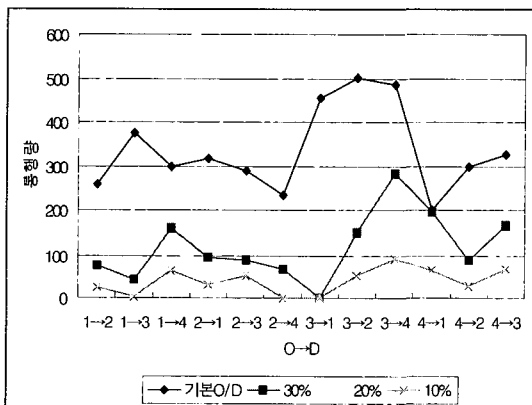
〈그림 4〉 관측통행량 160%~130%적용시



〈그림 5〉 관측통행량 120%~80%적용시



〈그림 6〉 관측통행량 70%~40%적용시



〈그림 7〉 관측통행량 30%~10%적용시

**IV. 결론**

본 연구는 관측통행량을 이용하여 기종점통행량을 추정하는 기법을 대중교통에 적용하여 그 신뢰성을 평가하고자 한 것이다. 비교적 단순한 대중교통망을

이용하였지만, Gradient 방법을 적용하여 추정된 대중교통 기종점통행량의 신뢰성은 전술한 바와 같이 매우 높게 나타났다.

연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 현재 개별차량 기종점통행량 추정에서 상당히 신뢰성이 높은 것으로 알려진 Gradient 방법이 대중교통 기종점통행량 추정에서도 그 신뢰도가 높다는 것을 보여주고 있다.

둘째, Gradient 방법은 기본 기종점통행량보다는 관측통행량의 변동폭에 더 민감한 것으로 판단된다.

셋째, 동일한 분포를 가진 관측통행량이라 하더라도, 관측통행량의 양에 따라 기본 기종점통행량과 추정 기종점통행량의 분포형태 유사정도에 차이가 발생하는데, 기본 관측통행량과 관측통행량이 유사할수록 추정 기종점통행량의 신뢰성이 높다고 판단된다.

위의 연구 결과는 Gradient 방법을 통한 추정 기종점통행량의 신뢰성을 제시할 뿐 아니라, 기존에 연구되지 아니한 대중교통 기종점통행량 추정에 적용하였다는 점이 상당히 고무적인 것이라 할 수 있다. 그러나, 이 방법은 매우 소규모의 대중교통망에서 행하여진 연구이기 때문에 이 방법을 향후 서울시 지하철과 같은 대규모 대중교통망에 적용하여 그 신뢰성을 평가해 볼 필요가 있을 것이다.

만일 대규모 대중교통망에 적용한 결과가 상기 연구결과와 동일하다면, 개별차량 기종점통행량 추정 뿐 아니라 대중교통 기종점통행량 추정에도 Gradient 모형의 신뢰성은 매우 크다고 판단되나, 이점에도 본 연구에서는 이러한 연구가 포함되지 않아 추후에 연구가 진행되어야 할 것이다.

**참고문헌**

1. 김종형, 2000, Gradient 방법에 의한 통행량기반 수요추정연구, 서울시립대학교 도시공학과 박사학위논문.
2. 이승재·김종형, 2000, 통행시간 분포를 이용한 교통량기반 추정 O/D의 신뢰성 평가에 관한 연구, 대한교통학회지 제18권 제2호.
3. Spiess, H, 1990, A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem.



4. Spiess, H, 1993, Transit equilibrium assignment based on optimal strategies : An implementation in EMME/2.
5. H. Yang, 1995, Heuristic algorithms for the bilevel origin-destination matrix estimation problem, *Transpn. Res.*, 29B, pp.231~242.
6. H. Yang and Y.Iida and Tsuna Sasaki, 1994, The equilibrium based origin destination matrix estimation problem, *Transpn. Res.*, 28B, pp.23~33.
7. B. G. Hutchinson, 1974, Principles of urban transport systems planning, Scripta Book.
8. Sheffi. Y., 1985, *Urban Transportation Networks : Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
9. Cascetta E. and Nguyen S., 1988, A unified framework for estimating or updating OD matrices from traffic counts, *Transpn. Res.*, 22B, pp.437~455.

✉ 주 작 성 자 : 이신해

✉ 논문투고일 : 2001. 3. 30

논문심사일 : 2001. 5. 30 (1차)

2001. 7. 14 (2차)

2001. 9. 6 (3차)

2001. 9. 22 (4차)

심사판정일 : 2001. 9. 22