

# 평균주행거리를 이용한 진출입램프 O/D통행량추정 연구

## Origin-Destination trip estimation with average travel distance

**임 용 택**  
(서울시 교통관리실  
교통연구팀장)

**이 수 진**  
(서울시 교통관리실  
교통전문위원)

**김 대 호**  
(서울시 교통관리실  
교통운영개선기획단장)

### 목 차

- I. 서 론
- II. 진출입 램프간 통행량 추정모형
  - 1. 기종점 통행량 추정기법
  - 2. 사전정보의 설정
- III. 모형의 평가
  - 1. 현황조사자료
  - 2. 분석결과
- IV. 결론 및 향후연구

## I. 서 론

기종점간의 통행량을 추정하는 방법은 그동안 여러차례 연구되었으며, 그중 일부 기법은 현실에 가까운 통행량을 추정하는 것으로 나타나고 있다. 기종점 통행량 추정기법은 크게 2가지로 구분할 수 있는데, 첫 번째는 가로망의 일부 링크 통행량 정보를 가지고 전체 기종점간의 통행량을 구하는 방법이며 두 번째는 링크 통행자료 없이 기종점의 통행량 총합만을 가지고 기종점간 통행량을 추정하는 방법이다. 현재까지 제시된 대부분의 연구가 첫 번째방법에 해당하며 최근 동적 기종점추정모형(Dynamic O/D estimation model)으로 발전하고 있다. 두 번째 방법은 사전정보가 없는 경우 추정력이 떨어지기 때문에 주로 수요예측과정 중 통행배분(trip distribution)단계에서 이용되었다. 그러나 두 번째 방법은 이론적으로 적용이 간단하기 때문에 사전정보만 주어진다면 현실 적용가능성이 크다는 장점이 있어 최근 도시고속도로를 대상으로 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 링크 통행량 자료없이 기종점 통행자료만을 가지고, 즉 두 번째 방법을 이용하여 기종점간 통행량을 추정하였다. 서울 도심을 통과하는 청계고가도로를 대상으로 모형에서 도출된 진출입 램프간 기종점교통량과 실제 조사된 진출입램프간의 통행량을 비교하여 모형

의 타당성을 검증하였다. 진출입램프간 O/D 통행량추정은 엔트로피극대화모형(Entropy maximization method)을 이용하였으며, 사전정보(초기값)는 평균 주행거리 개념을 도입하여 적용하였다. 다음 II장에서는 본 연구에 적용되는 통행량 추정모형과 사전 정보를 결정하는 방법에 대하여 살펴보고 III장에서는 청계고가도로를 대상으로 모형의 타당성을 검증하였다. 마지막으로 IV장에서 본 연구의 결론 및 향후연구과제를 정리하였다.

## II. 진출입램프간 통행량 추정모형

### 1. 기종점 통행량 추정기법

진입램프  $i$ 와 진출램프  $j$ 간의 통행확률을 구하기 위해서는  $i, j$ 간 통행량을 구해야 한다. 본 연구에서 본선구간의 진입, 진출부도 하나의 램프로 간주한다.  $i, j$ 간의 통행량  $T_{ij}$ 를 구하는 방법은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 Hauer, et.al(1981)가 제시한 방법을 응용코자 한다. 이 기법은 Entropy Maximization 기법을 기초로 독립 교차로에서 진입로와 진출로간의 통행량을 추정하

는 데 적용되었다. 교차로의 진입로와 진출로는 고속도로의 진입램프와 진출램프로 각각 간주할 수 있기 때문에 본 연구에서 이기법을 적용한 것이다. 먼저 본 연구에서 사용되는 변수에 대한 정의는 다음과 같다.

$T_{ij}$  : flow from upramp  $i$  into downramp  $j$

$O_i$  : total inflow from upramp  $i$   
 $( \sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i )$

$D_j$  : total out flow forward downramp  $j$   
 $( \sum_{i=1}^m T_{ij} = D_j )$

$p_{ij}$  : initial(prior) probability(  $\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1$  )

Hauer,et.al(1981)는 진출입램프  $i, j$  간의 통행량을 구하기 위하여 Entropy Maximization 개념으로부터 도출된 아래식을 제시하였다. 따라서 진출입 램프간 최적 통행량은 아래 Entropy 값을 극대화시키는  $T_{ij}$ 를 구하면 된다.

$$\text{Max} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (T_{ij} \ln p_{ij} - \ln T_{ij}!)$$

위식중 두번째항  $\ln T_{ij}!$  는 Stirling's approximation에 의해 다음과 같이 변환된다.

$$\ln T_{ij}! \cong T_{ij} \ln T_{ij} - T_{ij}$$

따라서, 위 근사식을 대입하고 진출입램프간의 통행량보존 제약조건식을 추가하면 다음과 같이 수리계획문제로 정리된다.

$$\text{Max} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_{ij} \ln p_{ij} - T_{ij} \ln T_{ij} + T_{ij}$$

subject to

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i, \quad \text{for } i=1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m T_{ij} = D_j, \quad \text{for } j=1, \dots, n$$

위식에 Lagrangian을 취하면 다음과 같다. 여기서  $\alpha_i, \beta_j$  는 Lagrange multiplies이다.

$$L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_{ij} \ln p_{ij} - T_{ij} \ln T_{ij} + T_{ij} + \alpha_i (O_i - \sum_{j=1}^n T_{ij}) + \beta_j (D_j - \sum_{i=1}^m T_{ij})$$

위식을  $T_{ij}$  로 편미분하면,

$$\frac{\partial L}{\partial T_{ij}} = \ln p_{ij} - \ln T_{ij} - \alpha_i - \beta_j = 0$$

위식을 정리하면 다음과 같다

$$T_{ij} = p_{ij} e^{-\alpha_i} e^{-\beta_j} = p_{ij} A_i B_j$$

여기서,  $p_{ij}$ 는 초기 확률값(initial proportion)이며,  $A_i$  와  $B_j$  는 구해야할 parameter들이다. 본 연구에서는 Kruithof(1937)가 제시한 biproportional method를 이용하여  $A_i, B_j$ 를 계산하며 자세한 내용은 Ortuzar(1994)와 Lim,Y.(1998)에 기술되어 있으며, 풀이 알고리즘은 다음과 같다.

[step0] initialization

set initial proportion  $p_{ij}$

set iteration number  $n = 1$

[step1] set  $A_i^n = \frac{O_i}{S^{1/2}}$

where,  $S$  is the total summation of  $O_i$  for all up-ramp  $i$ , that is  $\sum_i O_i = S$ . and

$O_i$  is the inflow from upramp  $i$

[step2] find  $B_j^n$  from  $B_j^n = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^m p_{ij} A_i^n}$

Where,  $D_j$  is the outflow of down-ramp  $j$

[step3] find  $A_i^{n+1}$  from

$$A_i^{n+1} = \frac{O_i}{\sum_{j=1}^n p_{ij} B_j^n}$$

[step4] convergence test

if  $|A_i^{n+1} - A_i^n| \leq k$ , stop

otherwise, return [step2]

where,  $k$  is predetermined small value.

위 식에서 초기확률값( $p_{ij}$ )를 어떻게 설정하느냐가 중요한데, 본 연구에서는 운전자들의 도시 고속도로 평균주행거리를 고려하여 초기확률값을 설정하였다. 자세한 내용은 다음 절에 기술되어 있다. 위 알고리즘을 통하여 기종점 램프간 통행량  $T_{ij}$ 가 구해지면 진입램프  $i$ 와 진출램프  $j$ 간의 통행비율  $P_{ij}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{ij} = \frac{T_{ij}}{O_i}$$

## 2. 사전정보(초기확률값, $p_{ij}$ )의 설정

기종점램프간 통행량  $T_{ij}$ 를 정확히 구하기 위해서는 초기확률  $p_{ij}$ 를 현실적인 값으로 주어지는 게 필요하다. 따라서 기존 자료가 있으면 이를 활용하는 것이 가장 좋으나, 본 연구와 같이 기존자료가 없는 경우에는 합리적인 초기확률값의 설정이 요구된다.

<표1> 도심방향(IN-BOUND) 진출입 램프간 초기확률값

Origin ramp( $i$ )	Destine ramp( $j$ )	length( $X$ )	편차 $d = \frac{ X - \mu }{\mu}$	$\frac{1}{d}$	$p_{ij} = \frac{(1/d)_{ij}}{\sum_a (1/d)_a}$
$O_1$ (마장동)	$D_1$ (청계7)	2.3	0.28	3.57	0.335
	$D_2$ (청계3)	4.1	0.28	3.57	0.335
	$D_3$ (종각)	4.7	0.46	2.17	0.204
	$D_4$ (남산1호)	5.6	0.75	1.33	0.125
	$\sum$			10.64	1.000
$O_2$ (청계8가)	$D_1$	0.6	0.81	1.23	0.028
	$D_2$	2.5	0.22	4.55	0.105
	$D_3$	3.1	0.03	33.33	0.773
	$D_4$	4	0.25	4	0.093
	$\sum$			43.11	1.000
$O_3$ (청계6가)	$D_1$	-			0.000
	$D_2$	1.2	0.625	1.6	0.156
	$D_3$	1.8	0.437	2.28	0.222
	$D_4$	2.7	0.156	6.4	0.622
	$\sum$			10.28	1.000

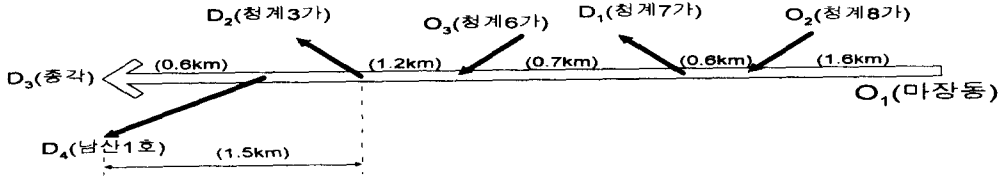
본 연구에서는 청계 도시고속도로의 차량당 평균 주행거리를 이용하여 초기확률값을 설정한다. 즉, 주행거리(여기서는 진입, 진출램프간의 거리)가 평균주행거리에 가까울수록 높은 초기확률값을 가지며 평균 주행거리에서 멀어질수록 작은 값을 갖도록 하였다. 청계고가도로의

연장이 5.6Km(청계천로측은 4.7Km)임을 고려하여 청계고가도로의 평균주행거리를 3.2Km로 가정하였으며, 이를 기준으로 아래 <표1>, <표2>와 같이 초기확률값을 설정하였다. 즉, 편차(평균 주행거리와 주행거리의 차이)의 역수( $\frac{1}{d}$ )를 이용하여 초기확률을 계산하였다.

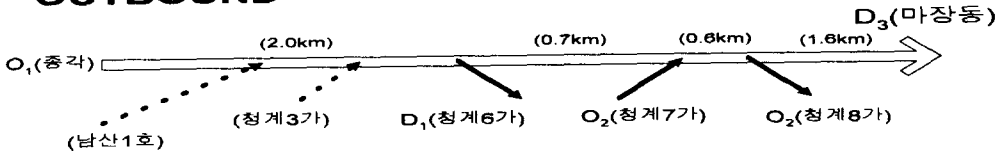
<표2> 외곽방향(OUT-BOUND) 진출입 램프간 초기확률값

Origin ramp( $i$ )	Destination ramp( $j$ )	length( $X$ )	편차 $d = \frac{ X - \mu }{\mu}$	$\frac{1}{d}$	초기확률값 $p_{ij} = \frac{(1/d)_{ij}}{\sum_a (1/d)_a}$
$O_1$ (종각외)	$D_1$ (청계6)	2.0	0.375	2.67	0.073
	$D_2$ (청계8)	3.3	0.031	32	0.875
	$D_3$ (마장)	4.9	0.531	1.88	0.052
	$\sum$			36.55	1.000
$O_2$ (청계7가)	$D_1$	-			0.000
	$D_2$	0.6	0.812	1.23	0.277
	$D_3$	2.2	0.312	3.2	0.723
	$\sum$			4.43	1.000

## INBOUND



## OUTBOUND



<그림1> 청계고가도로 진출입 개념도

### III. 모형의 평가

#### 1. 현황조사자료

모형을 검증하기 위하여 도심방향은 청계7가 진출램프에서 표본추출 면접조사를 통하여 청계고가도로의 진입램프를 조사하였으며(’99.4.15~16), 외곽방향은 청계6가 진출램프에서 실시하였다. 청계고가도로 램프별 유출입통행량은 서울시경찰청자료(1999.3)를 이용하였다.

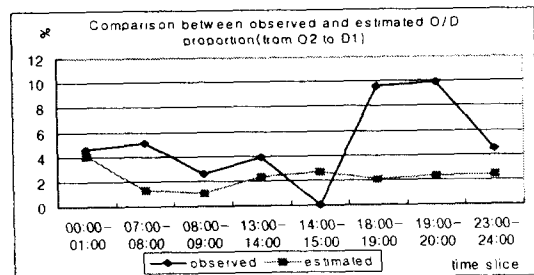
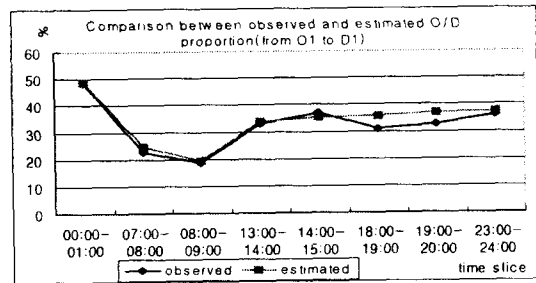
#### 2. 분석결과

##### 1) 실측치와의 비교

모형에서 추정된 추정치와 실제 현장 실측치를 비교한 내용이 <그림2>과 <표3>에 나타나 있다. <그림2>의 왼쪽 그림은 도심방향에서 마장동램프( $O_1$ )로부터 진입하여 청계7가램프( $D_1$ )로 진출하는 통행비율을 보인 것이다. 그림과 표에서 보듯이 18:00-20:00 시간대를 제외하고는 대부분의 시간대에서 관측치와 매우 유사한 모형추정치를 산출하고 있음을 알 수 있다. 즉 모형이 대단히 현실적인 값을 보여주고 있다. 18:00-20:00 시간대의 차이는 전 시간대에 동일한 사전정보(초기값)를 사용하기 때문에 시간대별 평균 주행거리의 변화특성을 고려하지 못하여 발생된 오차로 판단된다.

그러나 <그림2>과 <표3>의 오른쪽 그림과 표를 보면 실측치와 차이를 보이고 있는 데, 이는

진입램프 청계8가( $O_2$ )와 진출램프 청계7가( $D_1$ )의 거리가 불과 0.6km에 불과하여 이구간을 이용하는 단거리 통행이 많지 않기 때문에(표본 추출수 4~5개에 불과) 이를 이용하여 모형을 평가하기는 곤란할 것으로 판단된다.



<그림2> 시간대별 모형추정치와 실측치변화추이

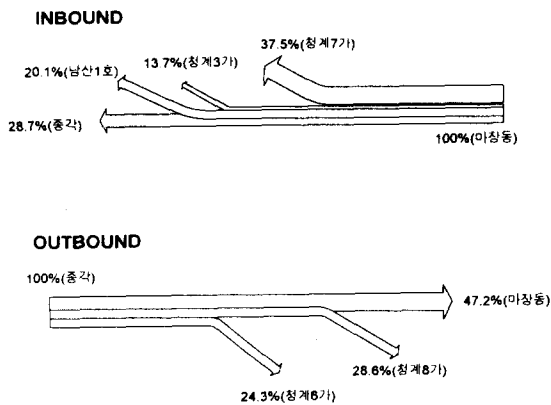
##### 2) 방향별 통행비율

<그림3>는 심야시간대 본 연구에서 추정된 방향별 통행비율을 나타내고 있다. 도심방향(Inbound)의 경우, 마장동에서 진입한 37.5%의 차량이 청계7가램프로 진출하고 있으며 도심방향(종각)으로 28.7%의 통행이, 남산1호터널을 이용하는 장거리 통행이 20.1%로 나타났다. 청

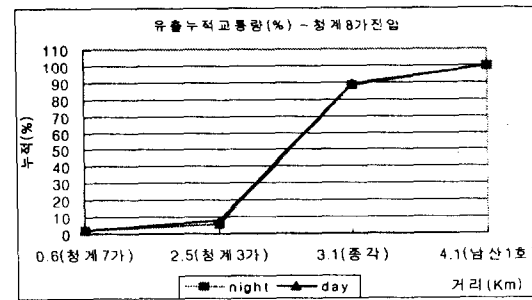
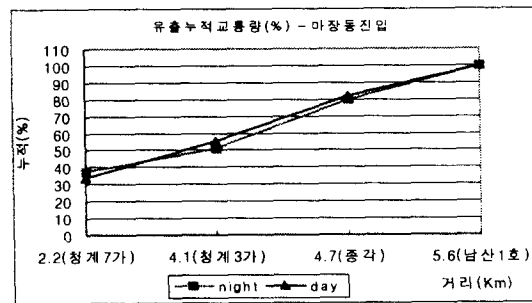
<표3> 시간대별 추정치와 실측치 비교

시간대별	O <sub>1</sub> (마장동)→D <sub>1</sub> (청계7가)		차이 (추정-실측)	O <sub>2</sub> (청계8가)→D <sub>1</sub> (청계7가)		차이 (추정-실측)
	추정치(%)	실측치(%)		추정치(%)	실측치(%)	
00:00-01:00	48.5	48.9	-0.4	4.6	4.1	0.5
07:00-08:00	22.8	24.6	-1.8	5.1	1.3	3.8
08:00-09:00	18.5	19.5	-1	2.6	1	1.6
13:00-14:00	32.9	33.8	-0.9	3.9	2.3	1.6
14:00-15:00	37.1	35.4	1.7	0	2.7	-2.7
18:00-19:00	31.1	35.6	-4.5	9.6	2.1	7.5
19:00-20:00	32.6	36.8	-4.2	9.9	2.3	7.6
23:00-24:00	36.2	37.5	-1.3	4.5	2.4	2.1

계7가 방향의 차량진출이 많은 이유는 이지역이 동대문시장 등 상업밀집지역으로 통행유입 시설이 많기 때문이다. 반면, 심야 시간대의 외곽방향 차량비율은 마장동 방향으로 대부분의 차량이 빠져나가는 것으로 추정된다.



<그림3> 도심/외곽방향별 통행비율 (23:00-00:00)



<그림4> 청계고가 램프별 유출차량 누적곡선

3) 청계고가도로 평균 주행거리

<그림4>는 각각 마장동과 청계8가 램프에서 진입한 도심방향 차량들이 각 진출램프별로 진출하는 비율을 누적시킨 그림이다. 유출누적교통량 50%를 기준으로 할 때 차량당 평균주행거리는 대략 3.4Km로 추정되며 대부분의 차량(80%이상)이 약 4Km이내의 거리를 주행하고 있음을 알 수 있다. 즉, 현재 청계고가도로를 이용하는 대부분의 차량들이 4Km이내의 단거리 차량임을 알 수 있다. 이는 청계고가도로 자체의 총연장이 5.6Km에 불과하고, 내부순환도로와 연결이 불완전하며 경부고속도로와의 연결이 미흡하여 중장거리 차량의 이용율이 낮기 때문으로 판단된다.

IV. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 Entropy극대화모형을 이용하여 청계고가도로의 각 진출입램프간 통행비율을 추정하였다. 모형에서 추정된 값과 현장조사치(도심방향 청계7가, 외곽방향 청계6가)를 비교한 결과, 청계8가에서 진입하여 청계7가로 유출하는 교통량을 제외하고는 대체로 현장조사치와 일치하고 있음을 알 수 있었다. 청계8가-청계7가간 통행량의 차이는 현장 조사자료가 부족하다는 측면과 조사오차에서 기인된다고 여겨지며, 현실적으로 이구간을 이용하는 차량은 많지 않을 것으로 판단할 때, 본 연구에서 구축된 모형이 현실적인 추정치를 산출하고 있음을

알 수 있었다.

모형의 분석결과, 현재 청계고가도로를 이용하는 차량들의 주행거리는 대부분 4Km이내로 이는 서울시내 다른 도시고속도로가 갖는 평균 주행거리보다는 적어 청계천로가 주로 단거리 위주의 차량들이 이용하고 있음을 알 수 있었다.

본 연구와 관련된 향후 연구과제로는, 첫째, 초기확률값을 좀 더 이론적으로 설정하는 방법이 필요한데, 확률분포모형이나 토지이용을 고려한 중력모형으로부터 초기확률값을 설정할 수 있을 것이다. 둘째, O/D통행량 추정기법으로 현재까지 개발된 여러방법들과 본 연구를 비교,평가하는 것이며 마지막으로 현재 분석중인 서울시 내부순환도로의 유출입램프 기종점 자료를 이용하여 장거리 통행에 대한 모형의 추가검증도 요구된다.

#### 참고문헌

- Hauer,E., Pagitsas, and B.T.Shin(1981)  
Estimation of turning flows from automatic counts, Transportation Research Record 795, 1-7
- Kruihof,J.,(1937) Calculation of telephone traffic, De Ingenieur, Vol.52, No.8
- Lim,Y.(1998) Traffic assignment with turning movements at signal intersection, Traffic and Transportation Studies, ASCE, ICTTS, 369-378
- Ortuzar,J.D. & L.G.Willumsen(1994) Modelling Transport, 2nd edition, Wiley
- Schaefer,M.C.,(1988) Estimation of intersection turning movements from approach counts, ITE Journal, October 1988, 41-46