

# 블록밀도법을 이용한 동적통행시간 예측

## Dynamic Estimation of Travel Time by Block Density Method

정헌영  
(부산대학교 도시공학과 교수)

심용운  
(부산대학교 도시문제연구소)

### 목 차

- |              |                    |
|--------------|--------------------|
| I. 서론        | III. 실측조사 및 통행시간예측 |
| II. 기본 개념    | 1. 실측조사            |
| 1. 블록밀도법     | 2. 통행시간예측          |
| 2. 블록밀도법의 개선 | IV. 결론             |

### Abstract

본 연구에서는 동적통행시간예측을 위한 하나의 방법으로 블록밀도법을 도입하여 가로상의 일정한 구간을 세분화하고 몇 개의 블록으로 분할한 후 교통류를 유체근사화시키고 각 블록의 밀도를 일정시간 마다 갱신해 나가는 방법을 채택하였다. 즉, 각 블록에서 주어진 밀도의 초기치와 최하류부의 블록에서 유출교통량을 이용하여 일정시간 간격으로 모든 블록에서의 밀도를 수정해 가는 유체의 연속방정식의 개념을 도입하였다.

또한, 본 연구에서는 첨단교통시스템에 적용될 동적통행시간 예측을 위해 기존의 연속교통류만을 대상으로 하던 것에서 벗어나 신호등을 포함한 단속교통류를 대상으로 하였다. 또한 교통류의 저밀도 구간과 고밀도 구간을 분리하여 Edie복합모형을 적용하여 교통류를 해석하고 가급적 실제 상황과 유사하게 근접시키고자 하였다. 이 이론을 근거로 구축된 모델에 실제 현장에서 얻어진 교통량, 밀도, 속도 등의 자료들을 투입하고 통행시간의 예측을 도모하였다.

## I. 서론

첨단교통시스템 구축에 있어서 중요한 요소 중 하나인 동적통행시간의 경우, 교통류이론을 바탕으로 하여 각종 예측기법들이 개발되고 있으나 아직 더 많은 실증적인 연구가 필요한 상태에 있다. 본 연구에서는 동적통행시간예측을 위한 하나의 방법으로 블록밀도법을 도입하여 가로상의 일정한 구간을 세분화하고 몇 개의 블록으로 분할한 후 교통류를 유체근사화시키고 각 블록의 밀도를 일정시간 마다 갱신해 나가는 방법을 채택하였다. 즉, 각 블록에서 주어진 밀도의 초기치와 최하류부의 블록에서 유출교통량을 이용하여 일정시간 간격으로 모든 블록에서의 밀도를 수정해 가는 유체의 연속방정식의 개념을 도입하였다. 동적통행시간 예측을 위해 적용되는 교통류이론에

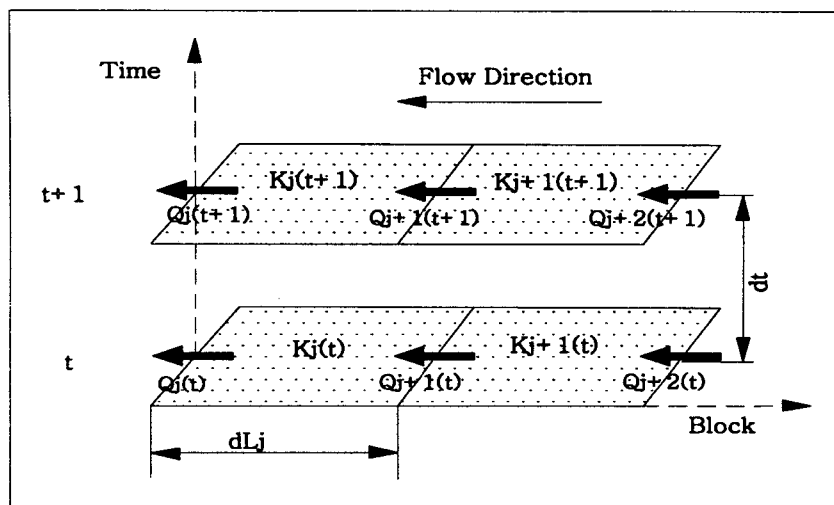
는 통상 연속교통류의 단일교통류 모형인 Greenshield모형, Greenberg모형, Underwood모형 등에 근거를 두고 있으나, 현실과의 괴리가 있어 문제가 되어 왔다.

따라서, 본 연구에서는 첨단교통시스템에 적용될 동적통행시간 예측을 위해 기존의 연속교통류만을 대상으로 하던 것에서 벗어나 신호등을 포함한 단속교통류를 대상으로 하였다. 또한 교통류의 저밀도 구간과 고밀도 구간을 분리하여 Edie복합모형을 적용하여 교통류를 해석하고 가급적 실제 상황과 유사하게 근접시키고자 하였다. 이 이론을 근거로 구축된 모델에 실제 현장에서 얻어진 교통량, 밀도, 속도 등의 자료들을 투입하고 통행시간의 예측을 도모하였다.

## II. 기본 개념

### 1. 블록밀도법

<그림 1>은 블록밀도법에서 각 블록의 밀도와 블록간의 교통량을 표현한 그림으로, 각 블록에서 주어진 밀도의 초기치와 최하류 블록에서의 유출교통량을 이용하여, 각 시물레이션시간마다 모든 블록에서 밀도를 수정해 가는 방법을 설명하고 있다.



<그림 1> 각 블록의 밀도와 교통량과의 관계

네트워크하류단에서 유출하는 교통량과 각 블록에서의 밀도만 주어지게 되면, 시물레이션시간 동안 네트워크상의 통행시간을 예측할 수 있게 된다. 구체적인 통행시간의 산정개념을 살펴보면 다음과 같다.

$$K_j(t+1)dL_j = K_j(t)dL_j + Q_{j+1}(t)dt - Q_j(t)dt \quad \text{----- (1)}$$

$Q_j(t)$  = 시간 t에서 t+1까지 블록 j에서 유출하는 교통량

$K_j(t)$  = 블록 j내의 시각 t에 있어서 밀도

dt = 시물레이션시간

dL<sub>j</sub> = 블록 j의 길이

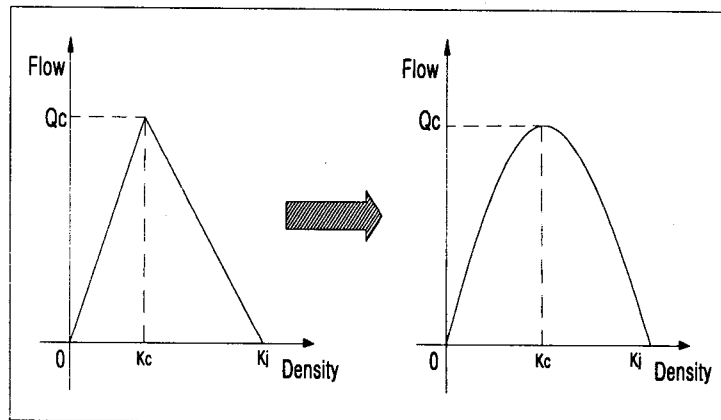
만약 유입교통량  $Q_{j+1}(t)$ 가 결정되면, 밀도  $K_j(t+1)$ 의 값이 새로이 수정될 수 있다. 따라서

블록 j+1에서 블록 j로 유입하는 교통량  $Q_{j+1}(t)$ 을 결정하는 것이 곧 식(1)을 해결할 수 있는 길이 된다. 식(1)에서 시각 t+1에 있어서 밀도  $K_j(t+1)$ 을 갱신하게 된다. 이렇게 되면, 시각 t에서 블록 j의 여행시간  $T_j(t)$ 는 식(2)과 같이 된다.

$$T_j(t) = dL_j \cdot K_j(t+1) / Q_{j+1}(t) \text{ ----- (2)}$$

## 2. 블록밀도법의 개선

본 연구에서는 두 가지 관점에서 교통정보제공을 위한 동적 통행시간 예측에 관한 모델을 구축하고자 한다. 첫 번째는 기존의 블록밀도법에서 가정하고 있는 밀도-교통량관계를 단순한 직선이 아닌 곡선으로 가정하는 것이다. 즉, 기존의 연구에서 가정하고 있는 직선관계는 시시각각으로 변화하고 있는 교통상황을 제대로 설명할 수 없다. 따라서 이 관계를 직선관계가 아니라, <그림 2>처럼 곡선의 관계로 가정하여 교통현상을 더욱 잘 반영하고자 하였다. <그림 2>는 이러한 개념을 나타낸 것이며, 특히 정상류 부분에서 곡선부분을 활용하고자 한다.



<그림 2> 밀도-교통량관계의 개선도

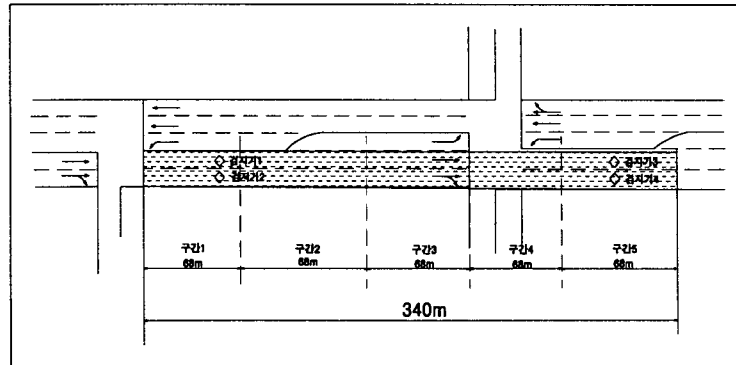
두 번째 접근방법으로는 단속류의 교통류를 거시적으로 해석하여, Edie의 복합교통류모형을 적용한다. 일반적으로 도시간선도로와 같은 단속류에서는 미시적으로 교통류를 해석하고 있지만 본 연구에서는 블록밀도법을 이용하여 단속류를 대상으로 거시적인 접근을 시도하였다. 또한, 대상 구간을 교차로와 비교차로구간으로 설정하여, 교차로구간은 Greenberg모형을 적용하고, 비교차로구간은 Underwood모형을 적용하여 교통류를 기술하는 Edie의 복합모형을 적용하였다.

## III. 실측조사 및 통행시간예측

본 연구에서는 두 가지 조사를 실시하였다. 첫째는 교통류모형식을 도출하기 위한 조사였으며, 두 번째는 개선된 모형을 통해서 예측된 통행시간이 얼마나 현실과 잘 맞는지를 알아보기 위한 실측조사였다. 두 종류 조사의 대상구간은 부산시 수영구 망미동의 가로구간으로 <그림 3>과 같이 양방향 4차선도로이며, 경사구간이 없는 평지지역으로 신호교차로를 포함하고 있다. 대상구간의 총길이는 340m이며, 각 블록의 길이는 68m로 설정하였다.

# 1. 실측조사

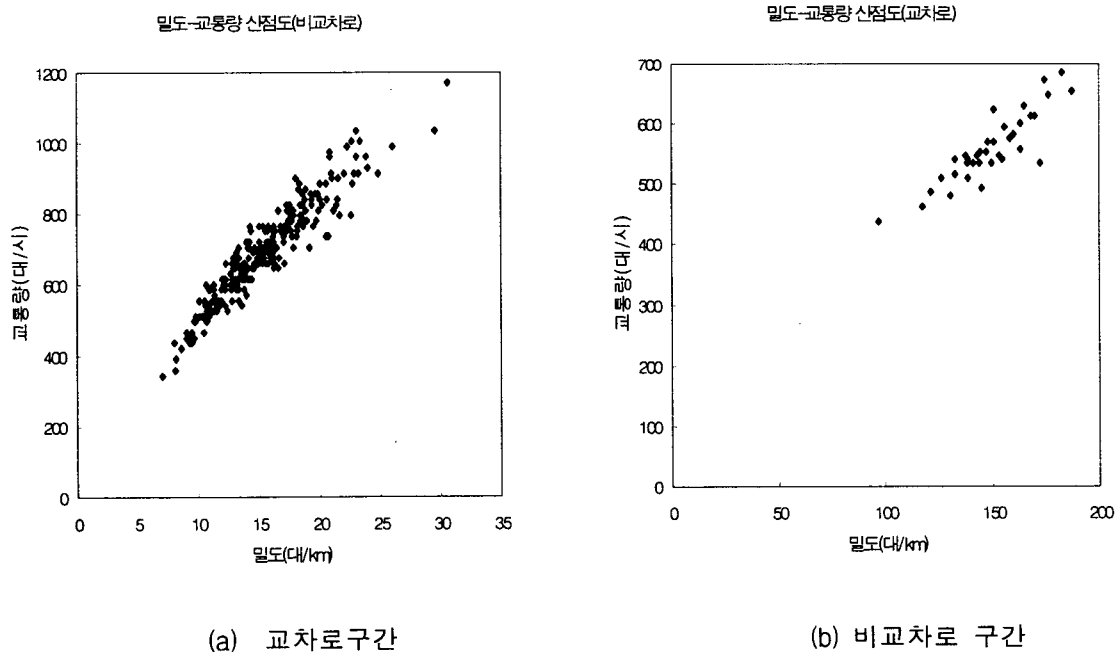
우선 교통류모형식을 도출하기 위한 기초조사는, Edie모형을 적용하기 위하여 상기 조사지역을 두 가지 지역으로 나누어 행해졌다. 대상구간을 교차로구간과 비교차로 구간으로 나누어 비디오카메라를 이용하여 촬영한 후 촬영된 필름을 연구실에서 비디오화면을 보면서 재현하여 교통량과 속도를 파악하였다. 조사시간대는 주말교통류를 배제시키기 위해서 평일의 특정시간대로 하였다.



<그림 3> 연구대상지역의 단면도

통상 밀도-교통량관계의 회귀식을 도출하기 위해서는 일반적으로 교차로구간에서는 15분 교통량자료를 이용하여 분석하고 있으나 본 연구에서는 동적인 통행시간의 예측이라는 관점에서 5분 단위로 자료를 분석하였다. 그리고 비교차로구간에서는 더욱더 세밀하게 동적상황을 파악하기 위해 2분단위로 분석을 하였다. 이렇게 분석된 자료를 바탕으로 하여, 밀도-교통량관계식을 유도하였다.

회귀식의 추정에 앞서서 우선 밀도와 교통량과의 관계를 알아보기 위해, 교차로구간과 비교차로 구간에서 산점도를 그려보았다.



<그림 4> 밀도-교통량 산점도

<그림 4>에서 보면 밀도와 교통량과의 관계는 양의 상관관계를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 밀도값이 클수록 교통량의 값도 커지는 것을 알 수 있다. 그리고 전체적인 분포형태는 직

선이 되기 보다는 곡선에 가까운 모양을 하고 있어서, 곡선회귀분석을 알 수 있다.

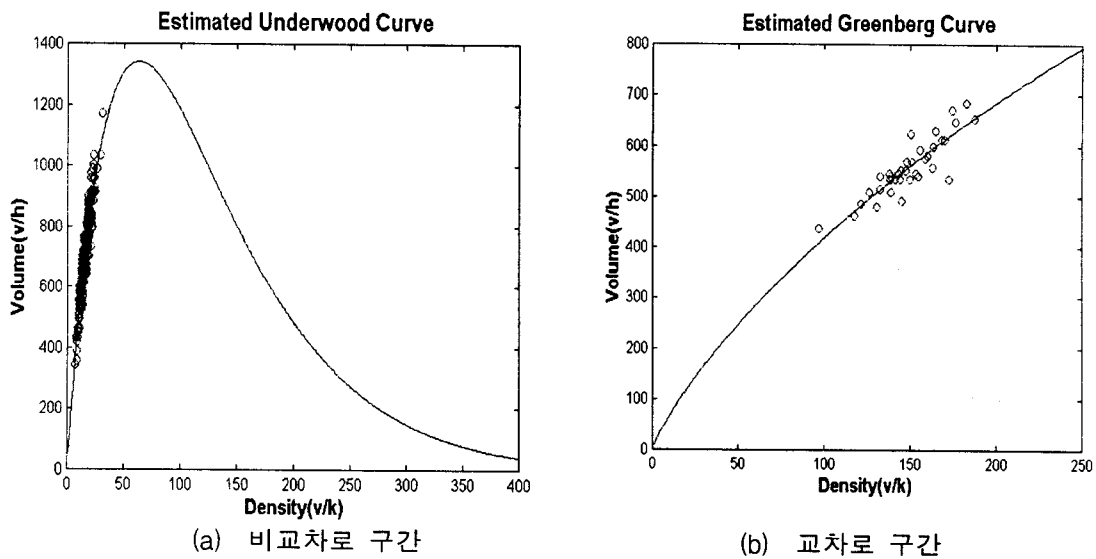
다음으로 위의 자료를 바탕으로 하여 교차로구간과 비교차로구간에서 블록밀도법에 적용될 밀도-교통량관계식을 비선형회귀분석으로 예측하였으며, 예측된 회귀식은 <표 1>과 같다.

<표 1> 예측된 회귀식

Approach method	noneintersection area Underwood model	intersection area Greenberg model
Applying Edie model	$Q = 57.87 \times K \times \text{EXP}\left(-\frac{K}{63.02}\right)$ $R^2 = 0.89$	$Q = K \times 1.09 \times \ln\left(\frac{4625.68}{K}\right)$ $R^2 = 0.76$

주) Q : traffic volume(v/h) , K : traffic density (v/km),

한편 <표 1>의 예측된 회귀곡선이 실측된 밀도 및 교통량자료와 얼마나 적합한지를 알아보기 위해, 두 가지 방법을 통해서 살펴보았다. 우선은 예측된 회귀곡선에 실측 자료인 밀도와 교통량 자료를 플롯시켜 보았다. <그림 5>는 그 결과를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 실측된 자료와 회귀추정된 값과는 거의 일치하고 있는 것을 알 수 있어, 예측된 회귀식은 적합하다고 판단된다.



<그림 5> 밀도-교통량 곡선

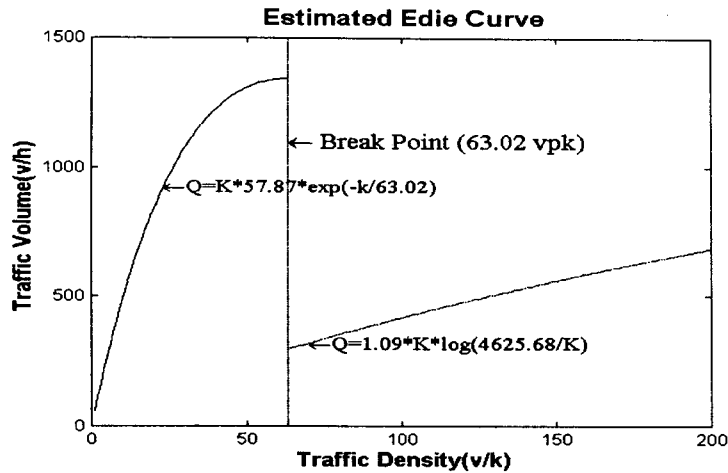
두 번째로는 실측된 밀도와 교통량자료가 예측된 회귀곡선에 얼마나 적합한지를 알아보기 위해 잔차분석을 실시하였으며, 또한 오차항의 정규성을 살펴보았다. 그 결과는 <표 2>와 같다. 표준잔차분석결과, 비교차로구간과 교차로구간에서의 잔차의 평균제곱오차들이 42.78과 27.95로 각각 나타났다. 잔차분석결과, 예측된 회귀식은 실측자료와 적합하다고 판단된다.

<표 2> 회귀분석의 결과

	noneintersection	intersection
mean squared error	42.78	27.95
normal distribution of residual	$N(0, 0.023^2)$	$N(0, 0.034^2)$

한편, <그림 6>은 조사결과를 바탕으로 추정된 Edie곡선을 보여주고 있으며, 절절점은 63.02(대

/시)로 추정되었다. 본 연구에서는 이 곡선을 이용하여 통행시간을 예측하고자 한다.



<그림 6> 추정된 Edie곡선과 결절점

## 2. 통행시간예측

개선된 모형의 예측력을 비교하기 위하여 본 연구에서는 두 번째의 실측자료를 활용하였다. 평일의 오후2시에서 3시까지 실측된 교통량, 속도, 밀도 그리고 통행시간자료와 개선된 모형을 통한 예측된 통행시간을 비교해 보았다.

통행시간의 예측은 5분단위로 실시하였으며, 실측된 자료 역시 5분간의 통행시간을 평균하여, 이를 비교하였다. <표 3>은 시뮬레이션에 입력되는 실측된 자료를 나타내고 있다. 블록1번은 최하류블록이며, 블록5번은 최상류블록이다. 블록밀도법을 이용하기 위하여, 초기의 교통량값은 최하류블록에만 주어지고, 밀도값은 모든 블록에 제각기 주어졌다.

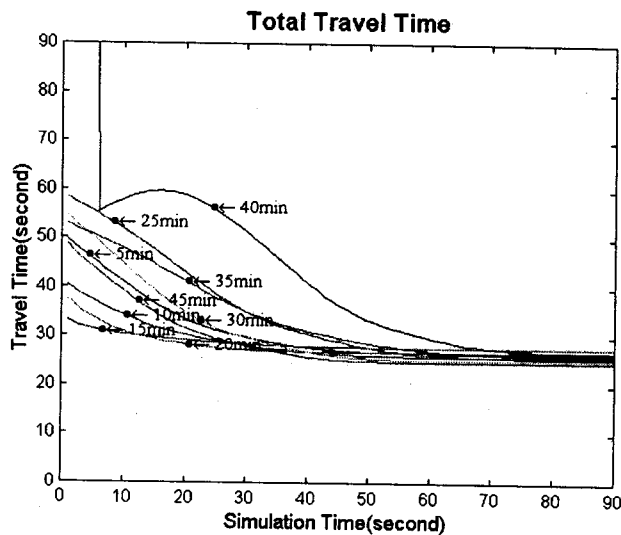
<표 3> 시뮬레이션 입력자료

Block		1	2	3	4	5
5 minute	volume	600	-	-	-	-
	density	14.36	14.36	83.33	14.00	14.00
10 minute	volume	555	-	-	-	-
	density	11.06	11.06	67.90	16.40	16.40
15 minute	volume	600	-	-	-	-
	density	14.88	14.88	44.78	19.23	19.23
20 minute	volume	675	-	-	-	-
	density	15.29	15.29	48.08	12.79	12.79
25 minute	volume	615	-	-	-	-
	density	11.86	11.86	109.56	14.46	14.46
30 minute	volume	540	-	-	-	-
	density	10.68	10.68	92.20	12.60	12.60
35 minute	volume	630	-	-	-	-
	density	12.15	12.15	104.68	16.89	16.89
40 minute	volume	675	-	-	-	-
	density	15.63	15.63	138.42	13.09	13.09
45 minute	volume	360	-	-	-	-
	density	8.68	8.68	81.20	13.16	13.16

주) 단위 : volume (v/h), density (v/km)

<표 1>의 추정된 회귀곡선과 <표 3>의 입력자료를 이용하여, 통행시간을 산출하였다. 시뮬레이션의 시간간격은 1초를 단위로 하였으며, 각 시간마다 300회의 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션결과, 시뮬레이션초기에는 통행시간에 많은 변화를 일으키지만, 특정한 시간이 지나면서 시뮬레이션값은 특정한 값으로 수렴하였다.

<그림 7>은 전체의 대상구간에서 시뮬레이션을 하는 동안 통행시간의 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 시뮬레이션시간이 70초 이전에는 다양한 변화를 보이다가, 그 이후에는 일정한 값으로 수렴하는 결과를 보였다. 이것은 통행시간의 예측에서 이용되는 밀도, 교통량, 속도 그리고 통행시간의 자료들이 평일 오후2시에서 3시까지의 자료를 바탕으로 하였기 때문에, 1시간동안의 교통특성은 거의 비슷하기 때문인 것으로 판단된다.

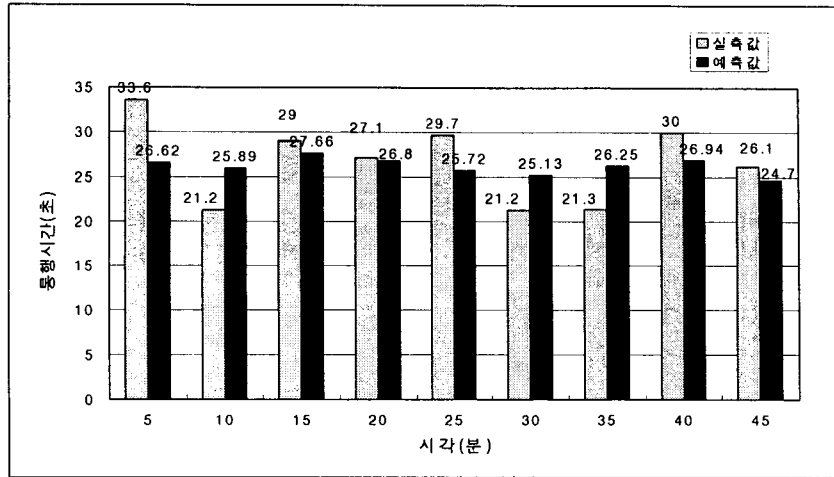


<그림 7> 시뮬레이션을 통한 통행시간 추정

본 연구에서 예측된 통행시간을 실측된 값의 평균백분율오차(MPE)를 이용하여 비교하였다. 그 결과 0.13으로 0에 가까운 값을 나타내었으며, 예측된 통행시간값과 실측된 통행시간값은 거의 일치하였다. <표 4>와 <그림 8>은 그 결과를 나타내고 있다. 15분, 25분, 40분에서는 예측값이 실측값과 거의 일치한다. 그리고 5분, 25분, 40분에서는 예측값이 실측값보다 낮게 예측되고 있으며, 반면에 10분, 30분, 35분에서는 실측값보다 예측값이 높게 예측되었다.

<표 4> 통행시간예측의 결과

시간(분)	실측 통행시간(초)	추정된 통행시간(초)	MPE(mean percentage error)
5	33.6	26.62	0.13
10	21.2	25.89	
15	29	27.66	
20	27.1	26.8	
25	29.7	25.72	
30	21.2	25.13	
35	21.3	26.25	
40	30	26.94	
45	26.1	24.7	



<그림 8> 예측된 통행시간과 실측된 통행시간의 비교

#### IV. 결론

본 연구에서는 첨단교통정보시스템의 도입 및 적용에 따른 효과를 평가하기 위한 기초적 연구의 일환으로 교통류모델에 한정하여 첨단교통정보시스템에 적용될 동적인 통행시간을 예측하였다. 종래의 연구에서는 동적통행시간예측에 있어서 밀도와 교통량과의 관계를 단순한 직선관계로 가정하고 있지만, 본 연구에서는 단순한 직선관계가 아닌 유체연속개념의 곡선관계를 가정하여 교통류에 적용하였다. 또한 단일모형의 결점을 보완하기 위해 Edie의 복합모형을 활용하였다. 모델구축과 실시간 자료수집을 위한 대상지역은 신호교차로를 포함하는 전형적인 도시간선도로의 교차로구간과 비교차로구간이었으며, 구축된 모델을 활용하여 통행시간예측을 행하였다. 예측된 통행시간과 실측된 값을 비교한 결과, 두 값이 거의 일치되고 있어 단속교통류의 통행시간을 예측하는데 있어 본 모델의 타당성이 파악되었다. 하지만, 본 연구에서는 시간적, 공간적으로 너무 짧은 범위를 택하였다는 문제가 있으며, 향후 범위를 확대해 나가야 할 것이다. 그리고, 지능형교통시스템의 효과평가를 위해서는 OD교통량의 배분과 운전자의 행태에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

#### V. 참고문헌

1. 임용택·임강원, 통행전 교통정보 제공효과에 관한 연구, 대한국토·도시계획학회지 「국토계획」, Vol. 30(3), 1995
2. Sanghoon Bae, Dynamic Estimation of Travel Time on Arterial Roads by using Automatic Vehicle Location(AVL) Bus as a Vehicle Probe, Blacksburg Virginia, 1995.
3. Cremer M. , "On the Calculation of Individual Travel Time by Macroscopic Models", 1995 Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings, 1995.
4. 桑原雅夫, 都市内高速道路における過飽和ネットワークシミュレーションモデルの開発, 交通工學, Vol. 30(1), 1995.
5. 飯田恭敬, 藤井, 内田 敬, 動的交通流シミュレーションを用いた道路網における情報提供効果に関する分析, 交通工學, Vol. 31 No. 6, 1996.