□論 文□

신호등이 있는 가로망상에서의 신호 연동화보정계수 산정모형

A Model for the Estimation of Progression Adjustment Factors on a Signal-Controlled Street Network

김원창 오영태 이승환
金 源 昌 吳 榮 泰 李 勝 煥
(交通開發研究院) (交通開發研究院 責任研究員) (亞洲大 交通工學科 教授)

目 次

Ⅰ. 序 論
Ⅱ. 關聯研究의 考察
Ⅲ. Simulation 및 資料分析
Ⅳ. Simulation 結果整理
Ⅴ. 連動化補整係數의 模型推定
Ⅵ. 結 論

ABSTRACT

The purpose of this paper is to construct a model to compute a progression adjustment factor on a signalized network. In a way to construct the model, a simulation method is introduced and the TRAF-NETSIM is used as a tool of simulation. The structure of the network chooses an urban arterial network so as to measure the effect of progression and compute average stopped delay on each link.

A regression model is constructed by using the results of the simulation. The stepwise variable selection in the regression model is used.

The findings of this paper are as follows:

i) The secondary queue and platoon ratio are sensitive to the values of the progression adjustment factor,

ii) The continuous model can practically reflect on various situations in the real world.

The platoon adjustment factor can be computed by this model and the data required for this model can be easily obtained in the field.

Ⅰ. 序 論

1. 연구의 배경 및 목적

도심부 지역에서의 급속한 교통수요의 증대와 교통시설의 부족으로 야기되는 지체는 운전자와 승객의 불필요한 시간손실과 대기오염, 연료소모, 공해, 소음등을 유발한다. 특히, 가로망상에서의 지체는 서비스 수준(Level of Service : LOS)을 결정하는 척도인데, 혼잡으로 인한 이들의 상승은 서비스 수준을 떨어뜨린다.

그러나 현재까지 제시되고 있는 지체모형은 무작위 도착을 가정하고 있으므로 가로망(network)상에서 군의 형태를 이루는 교통류에 대한 실질 지체를 완전하게는 표현하지 못한다. 따라서 미국의 도로용량편람(Highway Capacity Manual : HCM)에서는 연동화보정계수(Progression Adjustment Factors : PAF)를 이용하여 정확한 지체의 표현을 꾀하고 있다. 그러나 미국의 도로용량편람에서 제시하고 있는 연동화보정계수의 경우, 1) 5가지 도착의 형태와 3가지 포화도비에 따라 이산적으로 추정하고 있으므로 정확한 지체 산정이 어려우며, 2) 회전 교통량에 의해 겪게 되는 제2의 지체에 대해 고려하지 못했고, 3) 차량군비에 의해 도착형태를 구분하므로 차량군의 구조에 대한 고려가 부족하다.

또한, Naugui M. Rouphail(1989)의 연구 결과에서는 미국의 도로용량편람에서의 문제점을 해결하기 위하여 1988년의 연구 결과에서 제시하고 있는 방법에 의해 지체를 산정하고, 이를 이용하여 연동화보정계수를 산정하고 있다. 여기서 제시하고 있는 군의 지체는 Offset과 진행대(Bandwidth)의 관계에 따른 4가지 형태와 최소, 최대 Offset에 의해 모형이 결정되고, 결정된 모형에 의해 지체 및 연동화보정계수가 구해진다. 그러나 Naugui M. Rouphail의 연구에서는 무작위 도착 이외의 조건하에서, 접근지체와 정지지체의 관계, 지체의 보정을 위한 무작위 지체등에 대한 고려가 부족하다. 즉 접근지체와 정지지체의 관계는 평균이 0.76일 뿐이지 모두가 동일한 것은 아니며, 무작위도착의 조건하에서 구축된 모형을 그대로 사용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 이상에서 제시된 문제점을 해결하고, 새로운 연동화보정계수의 모형을 구축하여 가로망상에서의 차량당 정지지체를 정확히 산정하고, 이에 따른 서비스수준의 정확한 평가를 도모하는 데 그 목적이 있다.

2. 연구 내용 및 범위

연동화보정계수는 무작위 도착을 가정한 지체모형에 의해 추정되는 지체와 가로망상에서의 실질 지체사이의 비를 말한다. 즉, 가로망상에서의 교통류는 신호제어에 의해 차량군(Platoon)을 형성하며, 교차로상에서의 도착형태(Arrival Type) 또한 군의 형태를 이룬다. 따라서 무작위 도착(Random Arrival)을 가정한 지체모형에 의해 추정된 지체값을 가로망상에서 그대로 적용하는 데는 문제점이 있다. 그러므로 미국의 도로용량편람에서는 연동화보정계수를 도입하고 있다.

그러나 미국의 도로용량편람에서 제시하고 있는 연동화보정계수는 다음과 같은 문제점을 안고 있다. 첫째, 계획된 조건하에서 지체추정을 위한 기법이 없다. 둘째, 도착형태가 다양하지 못하므로 지체의 추정이 민감하지 못하다. 셋째, 제2의 대기(Secondary Queue)에 의한 지체를 반영하지 못한다. 넷째, 차량군비 방법은 차량군 구조를 고려하지 않는다[Rouphail, "Progression Adjustment Factors at Signalized Intersections", TRR 1225, p.10, 1989].

연동화보정계수의 산정 방법에는 현장조사(Field Survey), 시뮬레이션, 분석적 기법(Analytical Method) 등이 있는데, 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 실제 상황을 반영한 지체를 구함으로써 이상에서 제시된 문제점들을 해결

하고자 한다.

본 연구에서는 -1) Offset과 지체는 2차 함수의 관계를 나타내고 있으며 [이승환, 1989], 2) 미국도로용량편람의 지체 모형에 있어서 포화도비는 일정지체 뿐만아니라 증분지체에도 변수로 사용되며[HCM, 1985], 3) 링크의 길이에 따라 차량군이 분산됨[TRANSYT-7F, 1984]-독립변수로 선정하였다.

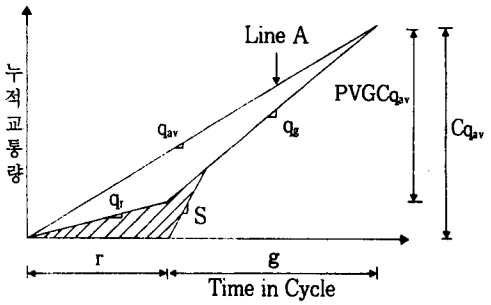
모형의 구축은 회귀분석모형을 통하여 종속변수인 연동화보정계수와 독립변수인 포화도비, 링크 길이, Offset의 관계를 함수로써 나타내고, 이 모형에 대한 통계적인 의미를 위하여 본 연구에서는 분산분석을 실시한다.

Ⅱ. 關聯硏究의 考察

1. 연동화보정계수에 대한 정의

신호교차로상에서의 차량의 도착은 대부분의 경우에 있어서 무작위한 도착으로 나타나지는 않는다. 교통류에 있어서 교차로를 통과하는 차량은 신호와 그 외의 영향으로 군을 형성하게 된다. 그래서 미국의 도로용량편람에서는 도착의 형태를 5가지로 구분하고, 신호형태에 따라 각각에 대해 포화도비를 분류하여 연동화보정계수(Progression Adjustment Factor : PAF)를 주고 있다.

연동화된 차선군에 대한 교통모형 개념을 〈그림 1〉에서 보면, 차량의 도착은 적색(qr)과 녹색(qg)에서 2개의 다른 유율로 발생하며, 유효 녹색현시내에 발생하는 도착의 비율은 PVG (Percentage Vehicle Green)라고 한다. 만일 도착이 무작위하다면 (Line A), 이때 PVG=g/C 또는 PVG(g/C)=1이 된다. 여기서 g는 유효녹색시간(초)이며, C는 주기길이가 된다. 주기당 총 균등지체는 도착율 곡선아래의 빗금친 부분을 말한다. [Rouphail, "Progression Adjustment Factors at Signalized Intersections", TRR 1225, p.9, 1989]



〈그림 1〉 미국도로용량편람에서의 연동화된 교통모형

여기서,

Cq_{av}:C＊q_{av}

(주기길이＊유입되는 평균 차선군유율)

$PVGCq_{av}$:PVG＊C＊q_{av}

PVG/(g/C)는 녹색내의 상대적 교통밀도를 나타낸다. "1"의 상대적 밀도에서 차선군 교통이 무작위하게 도착하며, 그것의 상대적 지체 또한 "1"이다. 미국의 도로용량 편람에서 녹색내의 상대적 밀도는 "차량군비(Platoon ratio:R_p)"라 하며, 상대적 지체는 "연동화보정계수(Progression Adjustment Factor)"라 한다.

결국 연동화보정계수는 무작위도착상에서의 지체와 실질지체사이의 상대적인 관계를 의미하며; 본 연구에서는 이들 관계에 대한 수식의 산정을 도모한다.

2. 미국의 도로용량편람에 의한 산정 방식

미국의 도로용량편람(1985)에서는 교통류의 도착형태를 아래의 5가지 형태로 구분하고 있으며, 각 형태를 보면 다음과 같다.

1) 형태1 : 적색현시의 시작부분에 차량군이 밀집하여 도착하는 경우

2) 형태2 : 적색현시의 중간부분에 차량군이 밀

집하여 도착하거나 적색현시 내내 분산된 군의 형태로 도착하는 경우

3) 형태3 : 무작위 도착의 경우

4) 형태4 : 녹색현시의 중간부분에 차량군이 밀집하여 도착하거나 녹색현시 내내 분산된 군의 형태로 도착하는 경우

5) 형태5 : 녹색현시의 시작부분에 차량군이 밀집하여 도착하는 경우

이에 대한 계산방법은 다음과 같다.

$R_p = PVG/PTG$

여기서,

R_P : Platoon Ratio

PVG : 교통류에서 녹색시간에 도착하는 차량의 백분율

PTG : (G/C)×100(Percentage Total Green)

이상의 계산결과에 따라 5가지의 도착형태를 구분하면 다음과 같다.

〈표 1〉 신호교차로의 도착형태별 차량군비(R_P)

도착형태	R_P의 값
1	0.00~0.50
2	0.51~0.85
3	0.86~1.15
4	1.16~1.50
5	≥1.51

이상의 도착형태에 있어서 형태 1은 무작위를 가정한 지체보다 높게 나타나며, 형태 5는 낮게 나타난다. 즉, 주차선군의 신호연동이 좋다면, 지체는 무작위 도착보다 상당히 낮으며, 주차선군의 신호연동이 좋지않으면 지체는 무작위 도착보다 상당히 높게 나타날 것이다. 연동의 질에 따른 지체의 변동은 포화도비(v/c Ratio:X)가 1.00에 접근하는 만큼 감소하고, 다른 형태의 신호보다 고정식 신호(Pretimed Signal)에 대해 더 높다. 좌회전 교통류의 지체는 일반적으로 연동에 의해 영향을 받지 않는다(보호 좌회전 현시는 거의 연동화 되지 않고, 비보호 좌회전 지체는 대부분 대향 교통에 의존한다.). 지체는 지역적이고 환경적인 조건의 다양성에 민감한 복잡한 변수이다.

〈표 2〉의 연동화보정계수를 사용하여 실질지체를 산정하는 방법은 다음과 같다.

$d = d_1 + d_2$

여기서,

d : 차량당 평균 정지지체

d_1 : 균등지체(Uniform Delay)

d_2 : 증분지체(Incremental Delay)

$PAF = d_a/d$

여기서,

d_a : 실질지체(Actual Delay)

PAF : 연동화보정계수(Progression Adjustment Factor)

〈표 2〉 연동화보정계수(HCM)

신호 형태	차선군의 형태	v/c Ratio,X	Arrival Type(도착 형태) 1	2	3	4	5
고정식	직진 우회전	≤0.6	1.85	1.35	1.00	0.72	0.53
		0.8	1.50	1.22	1.00	0.82	0.67
		1.0	1.40	1.18	1.00	0.90	0.82
감응식	직진 우회전	≤0.6	1.54	1.08	0.85	0.62	0.40
		0.8	1.25	0.98	0.85	0.71	0.50
		1.0	1.16	0.94	0.85	0.78	0.61
반감응식	주도로 직진 우회전	≤0.6	1.85	1.35	1.00	0.72	.42
		0.8	1.50	1.22	1.00	0.82	0.53
		1.0	1.40	1.18	1.00	0.90	0.65
반감응식	부도로 직진 우회전	≤0.6	1.48	1.18	1.00	0.86	0.70
		0.8	1.20	1.07	1.00	0.98	0.89
		1.0	1.12	1.04	1.00	1.00	1.00
	전좌회전	all	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

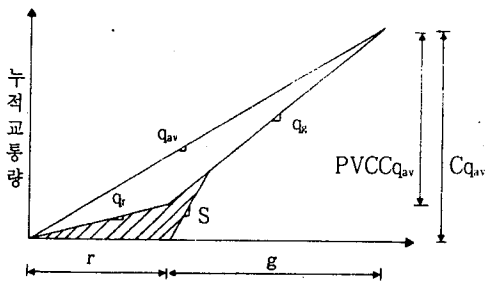
결국 미국의 도로용량편람에서는 연동화보정계를 위의 수식에서 보는 바와 같이 실질지체와 차량당 평균정지지체의 비로 나타난다.

3. 제2의 대기(Secondary Queue)에 의한 산정 방식

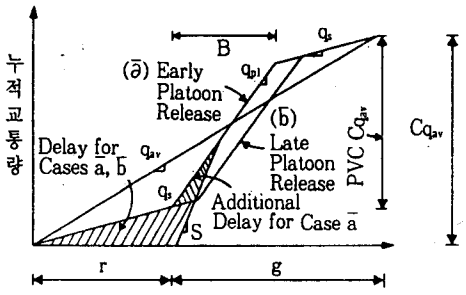
미국의 도로용량편람에서 제시하고 있는 차량군비 방법은 합리적이고 간단한 반면, 많은 결점들을 가지고 있어 연동화보정계수와 차량군비 사이에 관계를 설명하지 못하는 부분이 있다. 즉, 미국도로용량편람 방법에는 계획된 조건하에서 지체를 계산하기 위한 기법이 없다. 녹색시간에 도착하는 차량의 백분율은 지체가 계산되기 전에 현장에서 관측되어 진다. 이런 문제는 〈Courage et al.〉에 의한 연구에서 다루고 있는데, 이는 "진행대비(Band Ration:R_b)"가 차량군비를 예측하는데 사용된다는 것이다.

차량군비에 대한 공식은 녹색내 차량군 도착의 밀도가 연동된 교통의 양과 진행대폭(Bandwidth)의 크기에 비례한다는 가정에 근거를 둔다. 차량군을 이루지 않는 도착은 비연동 교통에 대한 녹색의 나머지에 비례적으로 부여한다.

도착형태의 명시에 있어 개략적인 경우, 넓은 범위의 차량군비에 민감하지 않는 지체 추정치를 산출한다. 예를들면 g/C=0.5인 차선군에 대해, 도착형태 2는 녹색내에 모든 도착의 25.5~42.5 % 발생될 때 적용된다. 이런 경우 중간 지체추정치를 사용하는 것이 적당하다. 이런 문제를 해결하기 위해 현재 및 미래의 연구는 연동화보정계수의 연속추정치를 개발하는데 초점을 맞추어야 할 것이다.



〈그림 2〉 모형 개념의 비교 1



〈그림 3〉 모형 개념의 비교 2

차량군비 방법 〈그림 2〉에 있어 기초가 되는 교통모델은 "제2의 대기(Secondary Queues)"에 의한 지체에 대해 잘 반응하지 못한다. 〈그림 2〉에서는 대안적인 모델개념으로 교통을 두개의 별개 그리고 연속적인 흐름으로 고려하였다. 두개의 그림 〈그림 2〉와 〈그림 3〉을 통해 우리는 흥미있는 비교를 해 볼 수 있다. 두개의 모델에서 포화도(X)와 PVG(또는 R_P)는 동일하다고 가정한다. 이리하여 유일한 연동화보정계수 수치가 미국도로용량편람에 따라 존재한다. 〈그림 3〉에서는 두개의 조건－첫째, 밀집된 차량군이 녹색의 시작에 도착하는 초기 차량군 방출(도착형태 5), 둘째, 도착중인 차량군이 적색동안 축적된 제2의 대기에 간섭하지 않는 마지막 차량군의 방출－이 설명되고 있다. 미국도로용량편람에 따라 이는 도착형태 4(녹색의 중간에 도착하는 밀집된 차량군)로 분류한다. 또한 이러한 예는 도착형태의 정의에 있어 결점이 있음을 증명하는데, 이는 도착형태 5(미국도로용량편람에서 가장 좋은 연동상태)에 대한 지체가 도착형태 4에서 보다 더 높기 때문이다. 사실 제2의 교통유율(Secondary Flow)가 완전히 무시되지 않는 한 도착형태 5는 좀처럼 지체에 있어 최적이 될 수 없다는 것을 증명하는 것은 가능하다. 두 모델개념 사이의 차이점은 "차량군비 방법"이 녹색과 적색 시간내에 도착하는 모든 도착을 분산하는 경향이 있기 때

문에 상대적으로 더 짧고 밀집된 차량군(small B, high q_{P1})에 유리하다는 것이다.

차량군비 방법은 차량군 구조를 고려하지 않는다. 예를들면, 최대 연동을 이루기 위해 간선도로상에서 Offset과 진행대폭(Bandwidth)을 보정하는 것은 만일 차량군이 교차로 사이에서 심각한 분산을 경험한다면 비효율적일 것이다. 〈그림 3〉에서의 교통모델은 교통유율(q_{pl} 또는 q_s)과 평균 차량군 통행시간(t)사이의 명백한 함수적 관계에 의해 이런 변수를 고려하고 있다.

따라서 이들에 대한 문제점을 해결하기 위한 방법을 제시하면 다음과 같다.

1) 차량군 크기와 유율 추정

2) 지체모형의 검증과 계산

$$q_{pl} = q_{av} + (S - \alpha \cdot q_{av}) \times \exp(-0.01215 \cdot t)$$

$$q = (C \cdot q_{av} - B \cdot q_{pl})/(C - B)$$

$$B = (C - g_u) \times \alpha \cdot q_{av}/(S - \alpha \cdot q_{av})$$

여기서,

q_{pl} =평균균 차량군(Platoon)유율(veh/sec)

q_s =평균 제2의 교통유율(veh/sec)

q_{av} =유입되는 평균 차선군 유율(veh/sec)

α =상류부 교차로로 부터 연동되는 교통의 비율

t =평균 차량군 통행시간(거리/연동속도)

S =포화 교통유율(veh/sec)

B =차량군 크기(세번째식으로부터 추정 또는 시공도로 부터의 진행대폭과 동일)

g_u =상류부 교차로에서의 유효 녹색시간

〈표 3〉 문제형태와 지체모형의 설계*

Problem Type	I.A	I.B	II.A	II.B
Selection 1. Criteria 2.	$B>r/(1-q_{pl}/S)$ $B\leq g-rq_s/(S-q_s)$	$B>r/(1-q_{pl}/S)$ $B>g-rq_s/(S-q_s)$	$B\leq r/(1-q_{pl}/S)$ $B\leq g-rq_s/(S-q_s)$	$B\leq r/(1-q_{pl}/S)$ $B>g-rq_s/(S-q_s)$
Applicable Delay Models				
Min BW Offset Max BW Offset Delay Model Offset	-r $rq_s/(S-q_s)$ 2	-r g-B 2	-r $\{q_s r-B(S-q_{pl})\}$ $/(S-q_s)$ 1	-r $\{q_s r-B(S-q_{pl})\}$ $/(S-q_s)$ 1
Min BW Offset Max BW Offset Delay Model Offset	$rq/(S-q)$ g-B 3	g-B $C-B+rq_{pl}/(S-q_{pl})$ 4	$\{qr-B(S-q)\}$ $/(S-q)$ $r_s q/(S-q_s)$ 2	$\{qr-B(S-q)\}$ $/(S-q)$ $rq_s/(S-q_s)$ 2
Min BW Offset Max BW Offset Delay Model Offset	g-B $C-B+rq_{pl}/(S-q_{pl})$ 4	$C-B+rq_{pl}/(S-q_{pl})$ g 5	$rq_s/(S-q_s)$ g-B 3	$r_s q/(S-q_s)$ g 4
Min BW Offset Max BW Offset Delay Model Offset	$C-B+rq_{pl}/(S-q_{pl})$ g 5	N/A	g-B g 4	N/A

*참조 : Rouphail, "Delay Models for Mixed Platoon and Secondary Flows", ASCE, 1988, APPENDIX I
Rouphail, "Progression Adjustment Factors at Signalized Intersections", TRR 1225, 1989, pp 12

3) 연동화보정계수(PAF_s)의 추정

연동화보정계수는 균등지체(d_1)와 증분지체(d_2)의 두 요소를 적용하며, 이들은 미국도로용량편람에서와 동일하다. 또한 〈표 3〉에서 보는 바와 같은 조건하에서의 지체(d_p)를 산정하여 연동화보정계수를 구한다.

$$PAF = (0.76 \times d_p + d_2)/(d_1 + d_2)$$

여기서,

d_p : 〈표 3〉에 의해 산정된 지체

Ⅲ. Simulation 및 資料分析

1. 시뮬레이션의 환경설정

본 연구에서의 가로망 구조는 5개의 노드(Node : 11~15)와 12개의 가노드(Dummy Node : 1-5, 10, 11, 21-25), 12개의 입구노드(Entry Node:8001~8025), 16개의 링크(Link)를 가지며, 아래의 〈그림 4〉와 같이 표현된다. [Ajay K. Rathi, "Urban Network Traffic Simulation : TRAF-NETSIM Program", ITE, 1990] [Ajay K. Rathi and Alberto J. Santiago, "Identical Traffic Streams in the TRAF-NETSIM Simulation Program", ITE, 1990] [Gang-Len Chang and Ammar Kannan, "Variability Assessment of TRAF-NETSIM", ITE, 1990]

아래의 구조는 여러개의 교차로를 갖는 간선도로의 형태를 고려함으로써 하나의 링크만을 고려한 구조보다 현실성을 가지며, 하나의 링크에 의한 연동화는 여러개의 링크가 맞물렸을 때 진행대비에 대한 고려가 부족하므로 링크의 수를 증가시켜 각 링크에서의 정지지체를 산술평균 한다.

본 연구에서 사용하는 데이터는 TRAF-NETSIM의 각 카드 형태에서 요구하는 바 대로 입력하였으며, 각 입력값들은 우리나라의 특성을 고려하여 과거에 수집된 데이터를 기초로 결정하였다. 이들 입력자료를 각 카드 형태별로 살펴보면 다음과 같다.(Default 값인 경우는 생략) [TRAF-NETSIM Uwer's Manual, 1989]

1) 카드 형태 11 : 도시의 링크특성

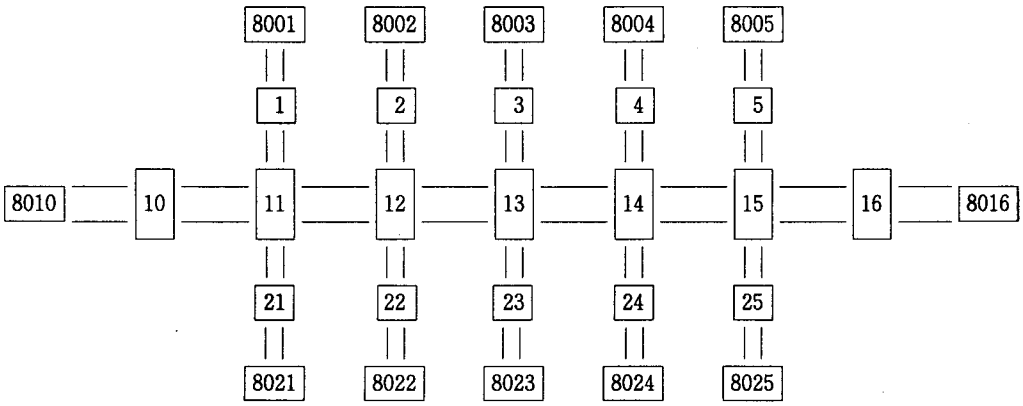
본 카드는 네트워크내의 모든 링크들을 정의하는데 사용되는 것으로서, 첫번째 시뮬레이션 기간내에는 반드시 입력되어야 하며, 기존의 링크들에 대한 선택된 입력자료들을 변경하고자 하는 다음 시뮬레이션 기간으로 변경될 수 있는 입력 자료는 차선의 도류화와 보행자 교통의 정도 뿐이다. 또한 본 카드에 입력된 데이터를 보면 다음과 같다.

①도로 조건

· 차선수 :

-주방향 : 직진:2차선
좌회전 Bay:2차선

-부방향 : 직진:2차선
좌회전 Bay:1차선



〈그림 4〉 본 연구의 가로망 구조

· 좌회전 Bay : 100m
· 링크 길이 : 250m, 500m, 750m, 100m
· 구배 : 0%

②교통 조건

· 대기행렬의 출발차두시간간격 특성 : 운전자의 특성에 따른 출발률의 분포는 아래와 같으며, 본 연구에서는 형태 1을 선택하였다.

〈표 4〉 운전자특성에 따른 차두시간 분포

(단위 : 백분율)

운전자 특성	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
형태 1	170	120	120	110	100	100	90	70	70	50
형태 2	180	140	120	110	100	90	80	70	60	50

· 대기행렬의 평균출발차두시간간격 : 2.6초
· 평균자유속도 : 70km/hr
· 대기행렬의 출발손실시간 특성 : 운전자 특성에 따른 출발 손실시간의 분포는 아래와 같으며, 본 연구에서는 형태 1을 선택하였다.

〈표 5〉 운전자특성에 따른 손실시간 분포

(단위 : 백분율)

운전자 특성	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
형태 1	218	140	125	118	102	86	78	63	47	23
형태 2	258	190	143	114	95	76	57	38	29	0

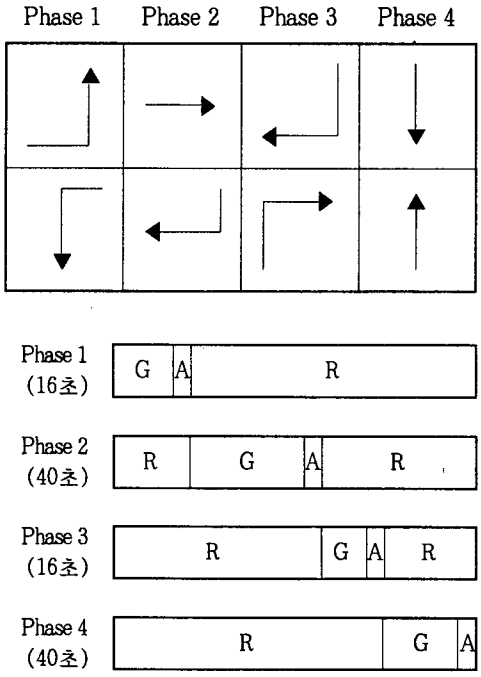
· 평균출발손실시간 : 2.6초
· 보행자 교통량 : 100~250Peds/hr

2) 카드 형태 21 : 도시 도로의 회전 교통류

본 카드는 모든 링크에 대한 회전교통류의 백분율을 명시하는데 사용된다. 본 연구에서의 회전교통량은 우리나라의 특성을 대표할 수 있는 값으로 예상되는 각 접근로에 대해 좌회전 15%, 직진 80%, 우회전 5%씩을 주었다.

3) 카드 형태 35, 36 : 고정식 신호통제

본 카드는 각 교차로에서의 통제 방식이 고정식 신호(Pretimed Signal)인 경우, 주기 길이, 녹색시간의 할당, 현시의 수등을 결정하는데 사용한다. 본 연구에서는 5개의 교차로에 대해 연구의 목적상 동일한 신호 구조를 제공하였으며, 이를 나타내면 다음과 같다.



〈그림 5〉 본 연구의 신호 현시

4) 카드형태 50 : 입구 링크의 교통량

본 카드는 입구링크를 경유하여 대상지역으로 들어오는 교통량을 정의하기 위하여 사용된다. 본 연구에서의 입구링크 교통량은 인자로 사용되는 v/c비에 영향을 줌으로 연구 대상링크의 교통량을 조절하여 v/c비가 각각 0.6, 0.8, 1.0이 되도록 한다. 물론 연구 대상링크의 교통량을 연구 목적에 맞는 교통량으로 하기 위해서는 다른 요인 또한 작용하지만 입구 링크의 교통량이 크게 작용하므로 주의해야 한다. 본 연구에서는 입구 링크의 교통량을 720, 960, 1200(veh/hr)로 하여 각각의 v/c비를 구하였다.

Ⅳ. Simulation 結果整理

본 연구에서는 TRAF-NETSIM 패키지를 이용하여 〈표 6〉에서 제시하고 있는 각 변수들에 따른 정지지체를 구하였다. 〈표 7〉은 제 2 장에서 제시한 바 있는 미국도로 용량편람의 연동화보정계수 산정방식을 이용하여 구하였다.

〈표 6〉 각 변수에 따른 정지지체시간(TRAF-NETSIM)

(단위 : 초)

포화도비	0.6				0.8				1.0			
링크길이 / Offset	250	500	750	1000	250	500	750	1000	250	500	750	1000
0	31.950	59.950	49.450	35.600	42.300	68.075	71.650	54.675	59.933	89.067	99.733	75.267
5	26.550	49.925	55.450	40.025	34.700	69.150	85.100	41.650	92.333	79.300	91.267	91.067
10	18.150	38.300	61.450	48425	28.425	84.825	88.775	61.975	72.733	80.300	97.100	66.600
15	12.525	30.625	64.175	55.900	27.450	49.175	88.500	69.850	64.500	91.667	93.967	146.967
20	12.050	23.675	52.175	62.300	15.725	42.250	76.150	69.900	39.333	71.300	143.566	133.333
25	12.000	19.075	45.775	71.850	21.250	34.325	80.375	61.900	40.267	94.100	121.200	91.067
30	9.150	16.350	33.950	61.875	27.600	24.575	57.950	70.325	42.233	41.367	139.100	89.400
35	7.500	12.950	26.825	64.500	28.100	19.150	80.800	93.950	47.433	54.033	84.300	124.867
40	10.575	10.010	20.250	51.425	11.300	22.850	47.600	74.850	66.933	31.833	80.300	84.967
45	14.225	10.075	15.675	34.950	22.775	12.425	32.025	79.400	48.267	52.267	52.333	108.833
50	17.125	8.275	11.050	30.825	18.150	20.425	24.550	37.900	43.667	55.700	60.967	87.100
55	23.300	9.650	10.875	27.050	40.200	35.550	46.500	36.950	69.367	30.400	40.800	77.333
60	25.825	13.750	9.950	24.775	50.475	38.325	12.225	24.675	51.367	40.267	59.567	67.633
65	28.875	17.375	10.125	12.475	74.425	47.150	15.950	18.175	42.267	55.100	52.267	36.333
70	39.400	20.375	9.700	12.625	49.225	33.600	24.475	23.250	63.500	31.267	43.367	43.000
75	37.525	26.700	12.225	9.225	41.775	35.150	23.700	15.875	62.000	50.367	57.467	59.600
80	43.575	27.725	16.625	10.000	53.800	28.325	26.100	14.150	73.267	83.133	41.767	67.900
85	52.975	39.175	19.975	10.850	67.375	33.250	20.500	12.175	76.233	93.767	83.233	58.067
90	51.525	37.000	24.450	12.500	65.425	42.575	26.875	14.900	102.667	77.033	73.967	63.933
95	59.825	41.400	33.925	19.300	77.850	44.275	42.400	18.950	93.700	84.800	69.167	38.000
100	63.300	46.075	31.350	24.275	72.725	55.825	40.725	51.800	106.267	158.933	89.233	82.033
105	58.725	54.300	36.575	25.825	87.325	68.950	83.175	25.475	97.867	111.333	93.267	58.233
110	46.600	56.650	42.750	28.875	89.300	69.175	69.850	34.175	81.267	84.267	121.000	60.867
115	36.550	60.825	60.825	31.800	57.100	68.900	71.675	37.050	77.367	108.500	96.200	104.400

〈표 7〉 각 변수에 따른 연동화보정계수(HCM)

포화도비	0.6				0.8				1.0			
링크길이 / Offset	250	500	750	1000	250	500	750	1000	250	500	750	1000
0	1.231	2.310	1.906	1.372	1.391	2.238	2.356	1.798	1.190	1.768	1.980	1.494
5	1.023	1.924	2.137	1.513	1.141	2.274	2.798	1.369	1.833	1.574	1.812	1.808
10	.711	1.476	2.368	1.866	.935	2.789	2.919	2.038	1.444	1.594	1.928	1.322
15	.183	1.180	2.473	2.154	.903	1.617	2.910	2.297	1.280	1.820	1.865	2.917

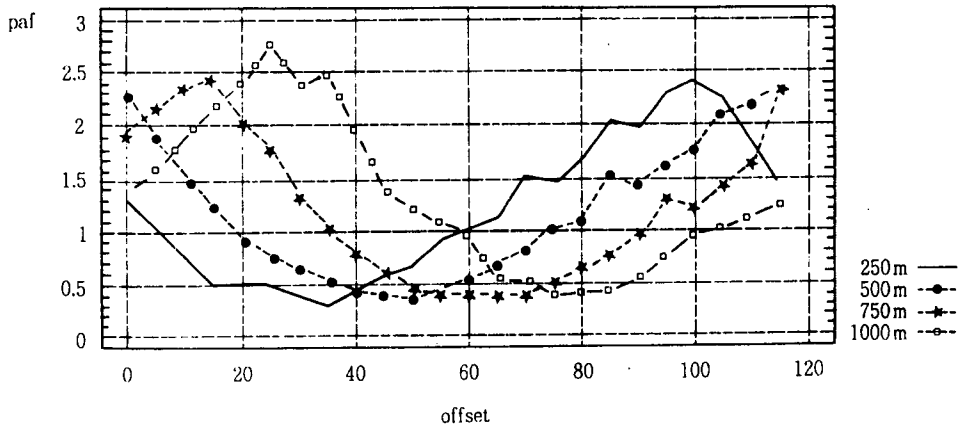
20	.164	.912	2.011	2.401	.517	1.389	2.054	2.298	.781	1.415	2.850	2.647
25	.462	.735	1.764	2.769	.699	1.129	2.643	2.035	.799	1.868	2.406	1.808
30	.353	.630	1.308	2.385	.907	.808	1.905	2.312	.838	.821	2.761	1.775
35	.289	.499	1.034	2.486	.924	.630	2.657	3.089	.942	1.073	1.673	2.479
40	.408	.386	.780	1.982	.372	.751	1.565	2.461	1.329	.632	1.594	1.687
45	.548	.388	.604	1.347	.749	.409	1.053	2.611	.958	1.038	1.039	2.160
50	.660	.319	.426	1.188	.597	.672	.807	1.246	.867	1.106	1.210	1.729
55	.898	.372	.419	1.042	1.322	1.169	1.529	1.215	1.377	.603	.810	1.535
60	.995	.530	.383	.955	1.660	1.260	.402	.811	1.020	.799	1.182	1.343
65	1.113	.670	.390	.481	2.447	1.550	.524	.598	.839	1.094	1.038	.721
70	1.518	.785	.374	.487	1.618	1.105	.805	.764	1.261	.621	.861	.854
75	1.446	1.029	.471	.356	1.374	1.156	.779	.522	1.231	1.000	1.141	1.183
80	1.679	1.068	.641	.385	1.769	.931	.858	.465	1.454	1.650	.829	1.348
85	2.042	1.510	.770	.418	2.215	1.093	.674	.400	1.513	1.861	1.652	1.153
90	1.986	1.426	.942	.482	2.151	1.400	.884	.490	2.038	1.529	1.468	1.269
95	2.306	1.595	1.307	.744	2.560	1.456	1.394	.623	1.860	1.683	1.373	.754
100	2.439	1.776	1.208	.936	2.391	1.836	1.339	1.703	2.109	3.155	1.771	1.628
105	2.263	2.093	1.410	.995	2.871	2.267	2.735	.838	1.943	2.210	1.851	1.156
110	1.796	2.183	1.648	1.113	2.936	2.274	2.297	1.124	1.613	1.673	2.402	1.208
115	1.409	2.344	2.344	1.226	1.877	2.265	2.357	1.218	1.536	2.154	1.910	2.072

V. 連動化補整係數의 模型推定

본 연구에서는 회귀모형의 통계적분석을 위해서 분산분석표를 작성하여 통계적 검정을 실시한다. 분석의 도구로는 STATGRAPHICS(Statistical Graphics System)와 SAS(Statistical Analysis Software) 패키지를 사용한다.

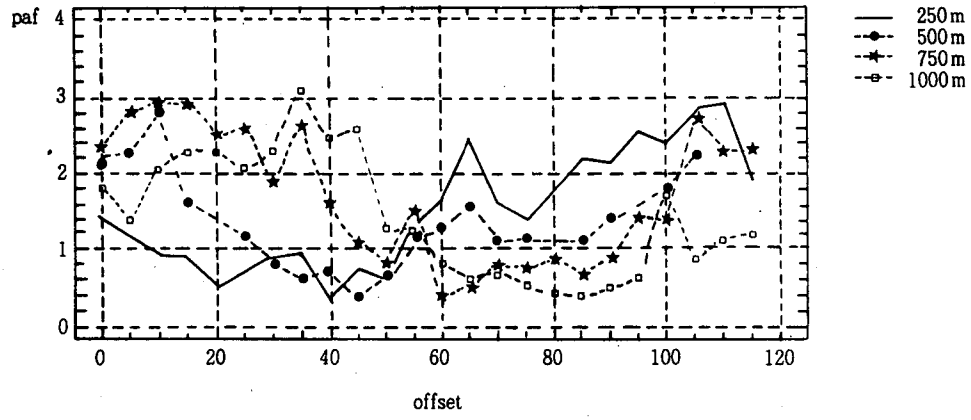
1. 회귀분석에 의한 모형구축 및 분석

본 연구의 모형구축을 위해서는 각 변수별 연동화보정계수의 추이를 살펴보아야 한다. 즉 각 변수별 추이를 알아봄으로써 모형에 사용되어야

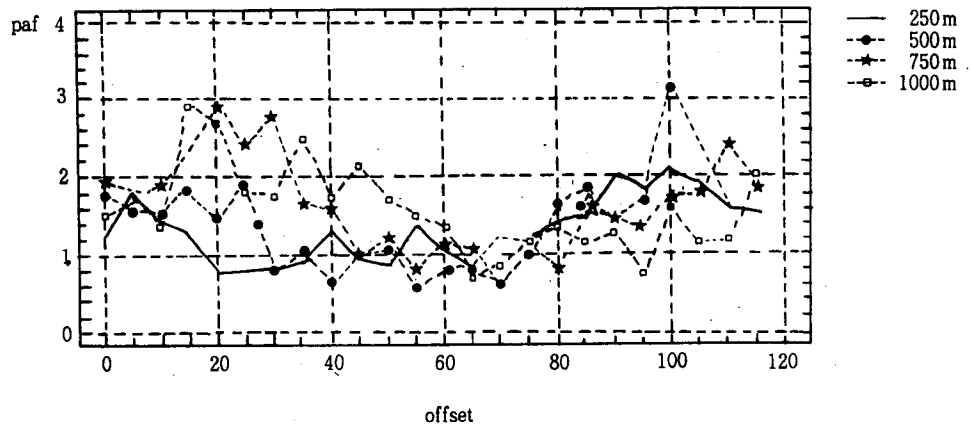


〈그림 6〉 Offset에 따른 연동화보정계수의 추이 (포화도비=0.6, 링크길이=250,500,750,1000m)

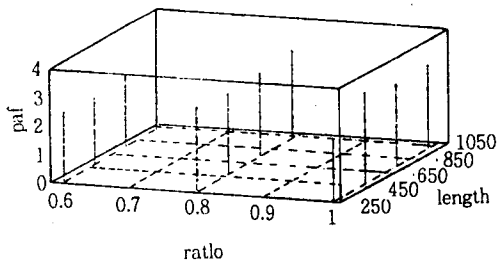
할 변수의 차수를 결정하고 각 변수별 상호작용에 대해 알아본다. 각 변수별 추이를 그래프를 이용하여 알아 보면 아래의 그림과 같으며, 〈그림 6〉, 〈그림 7〉, 〈그림 8〉을 보면 Offset은 연동화보정계수와 4차의 관계를 가지며, 〈그림 11〉는 링크길이와 연동화보정계수와의 관계가 Offset에 따라 다르게 나타나지만 3차의 관계를 갖는다. 또한 〈그림 9〉, 〈그림 10〉에 의해 연동화보정계수와 2차의 관계를 갖는다.



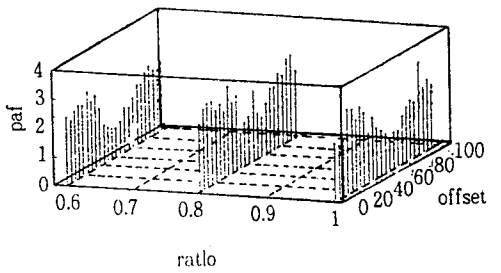
〈그림 7〉 Offset에 따른 연동화보정계수의 추이 (포화도비=0.8, 링크길이=250,500,750,1000m)



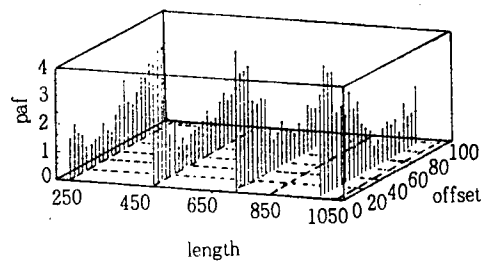
〈그림 8〉 Offset에 따른 연동화보정계수의 추이 (포화도비=1.0, 링크길이=250,500,750,1000m)



〈그림 9〉 연동화보정계수의 추이
(링크길이－포화도비)



〈그림 10〉 연동화보정계수의 추이
(Offset－포화도비)



〈그림 11〉 연동화보정계수의 추이
(링크길이－Offset)

본 연구에서는 회귀모형의 구축에 있어서 통계분석을 위한 패키지인 STATGRAPHICS와 SAS에 있는 중회귀모형의 일종인 단계적변수선정법(Stepwise Variable Selection)을 이용하여 다음의 연동화보정계수를 구하는 함수식을 도출하였다.

$$f(to, L, X) = \frac{e \cdot to^4 + d \cdot to^3 + c \cdot to^2 + b \cdot to + a}{1000}$$

여기서,

to : Offset 길이

L : 링크길이

X : 포화도비

여기서,

$a = k4 \cdot L^3 + k3 \cdot L^2 + k2 \cdot L + k1$

$b = m \cdot L^3 + m \cdot L^2 + m2 \cdot L + m1$

$c = n4 \cdot L^3 + n3 \cdot L^2 + n2 \cdot L + n1$

$d = p4 \cdot L^3 + p3 \cdot L^2 + p2 \cdot L + p1$

$e = q4 \cdot L^3 + q3 \cdot L^2 + q2 \cdot L + q1$

여기서,

$k4 = -1.12132193E-04 \cdot X^2 + 1.6222482E-04 \cdot X - 5.04714527E-05$

$k3 = 0.326088138750098 \cdot X^2 - 0.47156299425 \cdot X + 0.1447039866$

$k2 = -259.58647187 \cdot X^2 + 375.53739437 \cdot X - 114.5458735$

$k1 = 44837.94762163 \cdot X^2 - 64016.6228939475 \cdot X + 20326.4325373$

$m4 = 5.12265625E-05 \cdot X^2 - 7.96133875E-05 \cdot X + 2.712621E-05$

$m3 = -9.877833175E-02 \cdot X^2 + 1.513069E-01 \cdot X - 5.04324032E-02$

$m2 = 55.205679875 \cdot X^2 - 83.367142775 \cdot X + 27.3225791$

$m1 = -7773.47474087 \cdot X^2 + 11682.56553357 \cdot X - 3815.5255927$

$n4 = -1.990692375E-06 \cdot X^2 + 3.0521293E-06 \cdot X - 1.02777034E-06$

$n3 = 3.7607875E-03 \cdot X^2 - 5.6947025E$

$$-03\cdot X+1.887388E-03$$

$$n2=-2.049146775\cdot X^2+3.062889195\cdot X-1.00245742$$

$$n1=277.117061\cdot X^2-410.3755098\cdot X+131.9448888$$

$$p4=2.5251375E-08\cdot X^2-3.8250725E-08\cdot X+1.27472E-08$$

$$p3=-4.7818625E-05\cdot X^2+7.1582375E-05\cdot X-2.353938E-05$$

$$p2=2.62189375E-02\cdot X^2-3.87434625E-02\cdot X+1.258405E-02$$

$$p1=-3.544726\cdot X^2+5.1620233\cdot X-1.621594$$

$$q4=-9.926675E-11\cdot X^2+1.4859545E-10\cdot X-4.885324E-11$$

$$q3=1.8927286375E-07\cdot X^2-2.7995E-07\cdot X+9.08583746E-08$$

$$q2=-1.048266875E-04\cdot X^2+1.529398625E-04\cdot X-4.892051E-05$$

$$q1=1.41369375E-02\cdot X^2-2.02028625E-02\cdot X+6.13915E-03$$

본 연구에서 제시하고 있는 모형의 精度를 측정하는 방법으로는 분산분석에 의한 F-검정, 결정계수(R-Square), 잔차제곱평균등에 의해 알아볼 수 있다. 따라서 이들 방법에 의한 분석을 해 보면 다음과 같다.

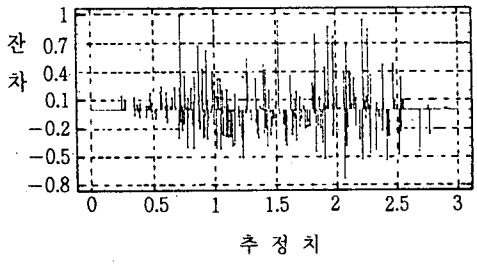
〈표 8〉 본 모형의 분산분석표

요인	Sum of Square	자유도	Mean Square	F-ratio
모형	11523934.29	59	1953209.224	20.41
잔차	21823197.034	228	95715.77645	
계	137062541.32	287		

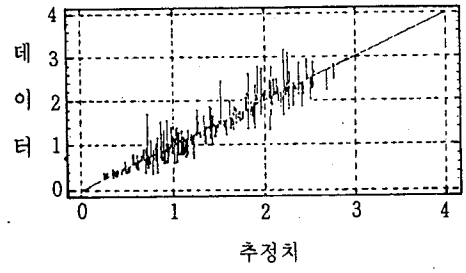
결정계수(R-square)=0.8434

이상에서 산정된 분산분석표에 의해 F-Ratio는 F(59,228:0.005)≒1.53보다 크므로 추정된 모형은 유의수준 0.005에서 유의하다고 할 수 있으며, R-Square가 0.8434이므로 추정된 모형은 精度가 좋다고 할 수 있다. 또한 잔차의 불편추정치가 작게 나타남으로 모형의 정도가 좋고, 데이타의 분산이 작은 것으로 나타난다.

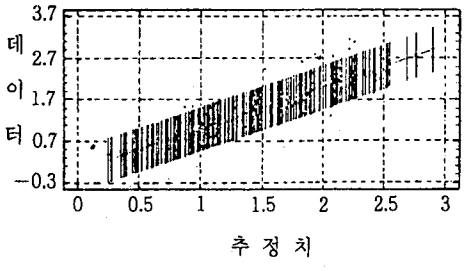
이들에 관계에 대해 그래프로 나타내면 다음과 같다.



〈그림 12〉 데이타와 추정치의 잔차 비교



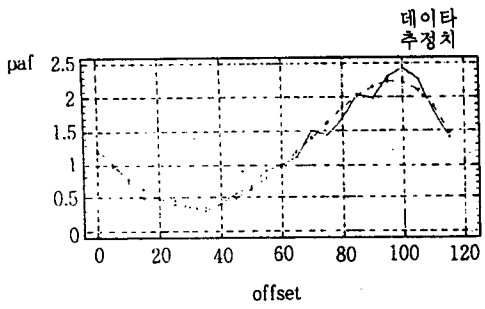
〈그림 13〉 데이타와 추정치의 비교



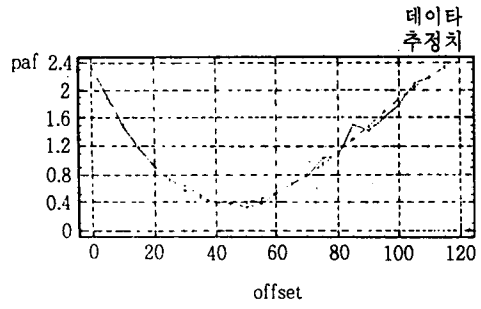
〈그림 14〉 데이타와 추정치의 비교(95% 신뢰구간)

2. 모형값과 실측치의 비교

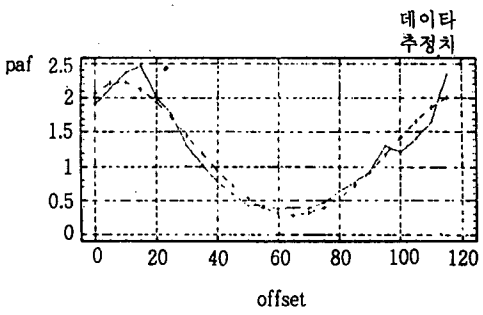
본 연구에서의 데이타와 모형에 의해 추정되는 값을 비교해보면 포화도비가 0.6인 경우는 Offset에 따른 추정치는 링크길이의 변화에 따라 R-Square 값이 0.95에서 0.98사이의 높은 적합도를 보이고 있고, 〈그림 15~18〉 포화도비가 0.8인 경우는 Offset에 따른 추정치는 링크길이의 변화에 따라 R-Square 값이 0.71에서 0.83사이로 포화도비가 0.6인 경우에 비해 적합도가 떨어진다. 〈그림 19~22〉 또한, 포화도비가 1인 경우는 R-Square 값이 점점 더 감소한다.〈그림 23~26〉



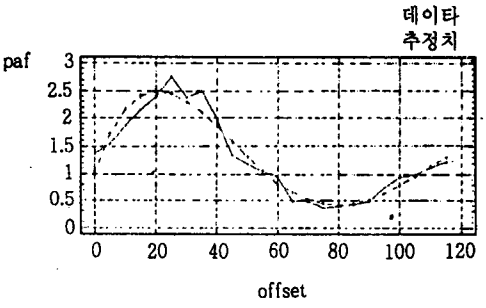
〈그림 15〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=0.6 링크길이=250m
R-Square=0.9770)



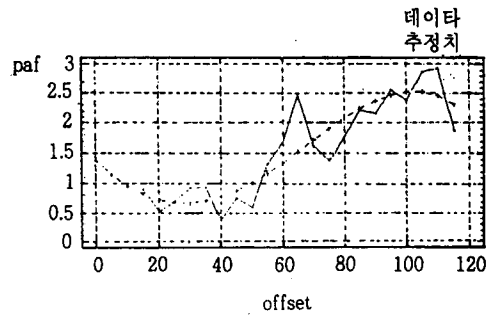
〈그림 16〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=0.6 링크길이=500m
R-Square=0.9853)



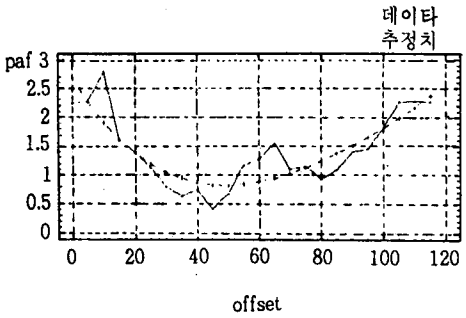
〈그림 17〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=0.6 링크길이=750m
R-Square=0.9536)



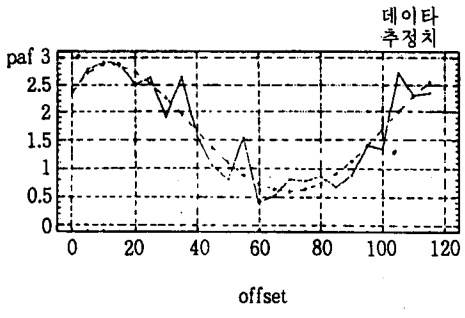
〈그림 18〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=0.6 링크길이=1000m
R-Square=0.9558)



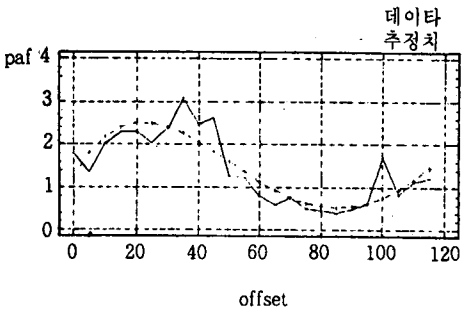
〈그림 19〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=0.8 링크길이=250m
R-Square=0.7872)



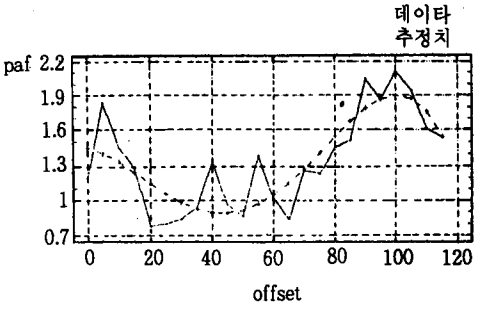
〈그림 20〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=0.8 링크길이=500m
R-Square=0.7058)



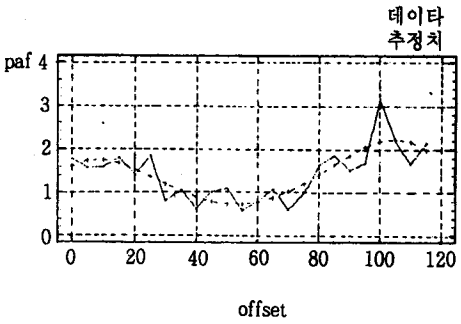
〈그림 21〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=0.8 링크길이=750m
R-Square=0.8339)



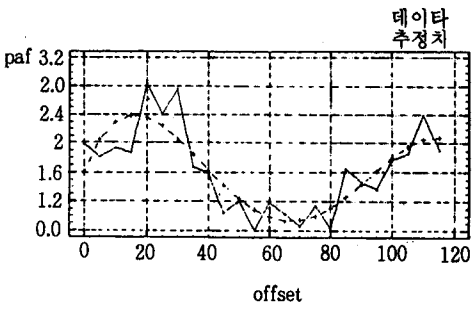
〈그림 22〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=0.8 링크길이=1000m
R-Square=0.8144)



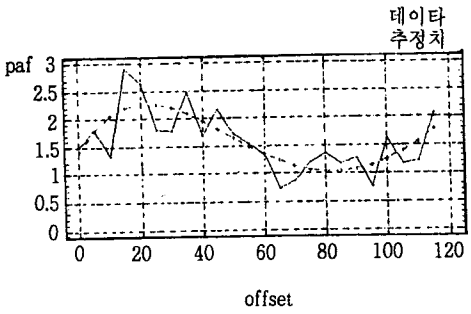
〈그림 23〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=1.0 링크길이=250m
R-Square=0.6380)



〈그림 24〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=1.0 링크길이=500m
R-Square=0.6972)



〈그림 25〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=1.0 링크길이=750m
R-Square=0.7544)



〈그림 26〉 Offset에 따른 데이타와 추정치의 비교
(포화도비=1.0 링크길이=1000m
R-Square=0.5633)

결론적으로 교통량이 포화되었을 때에는 연동효과가 감소가 되고 지체값추정이 상당히 큰 변동을 가지게 되기 때문에 포화도비가 높아짐에 따라 적합도가 떨어지고, 포화도비가 상대적으로 낮은 경우에는 높은 적합도를 보임을 그림에서 알 수가 있다.

Ⅵ. 結 論

본 연구에서는 시뮬레이션 패키지인 TRAF-NETSIM을 이용하여 첫째, 신호교차로상에서의 정지지체를 산정하고, 둘째, 이에 따른 연동화보정계수를 미국도로용량편람의 방식에 의하여 구하였으며, 셋째, 각 변수에 따른 연동화보정계수를 모형화 하였다. 미국도로용량편람 및 제2의 대기(Secondary Queue)에 의한 방식에 대해 제시하였던 모순을 다음과 같이 해결하였다.

1) 연속적인(Continuous) 모형을 도출함으로써 현실의 각 상황에 대해 민감하게 반응한다.
2) 시뮬레이션을 이용하므로써 제2의 대기에 의한 방법에서 제시하였던 접근지체와 정지지체의 관계에 대해 보장할 수 있다.
3) 시뮬레이션상에서 제2의 대기에 대해 고려하였다.
4) 본 연구의 모형은 옵셉, 링크길이, 포화도비를 고려함으로써 차량군비에 대해 반응한다.

본 연구에서 구축한 연동화보정계수의 산정을 위한 모형은 현장에서 얻을 수 있는 모형의 변수들을 대입함으로써 연동화보정계수를 용이하게 얻을 수 있고, 그 결과 효율적인 교통운영을 하는데 기여할 수 있을 것이다.

그러나 본 연구에서는 모형의 변수들을 모두 고려한 현장 데이타를 얻기 어렵다는 난점 때문에 시뮬레이션 패키지에 의해 연동화보정계수를 얻었으므로 현실성을 충분히 반영하지 못하였다.

따라서, 앞으로의 연구과제로는 현장 데이타를 통한 검정이 요구되며, 더불어 모형의 변수들에 대한 광범위한 조사도 함께 이루어져야 하겠다.

〈參 考 文 獻〉

1. 도철웅, "교통공학원론", 청문사, 1989.
2. 박성현, "현대실험계획법", 대영사, 1982.
3. 임강원, "도시교통계획", 서울대학교 출판부, 1986.
4. 이철기, "신호등 교차로에서의 지체예측에 관한 연구", 아주대학교 대학원 석사학위논문, 1991.
5. Ahmad Sadegh, and A. Essam Radwan, "Comprarative Assessment of 1985 HCM Delay Model", ASCE, 1985. 3.
6. Ajay K. Rathi, "Urban Network Traffic Simulation:TRAF-NETSIM Program", ITE, 1990.
7. Ajay K. Rathi and Alberto J. Santiago, "Identical Traffic Streams in The TRAF-NETSIM

Simulation Program", ITE, 1990.
8. Atherton, Borne, Finkelstein, Grattan, Morris, Tamm, Payne, Pelegrin, Hollister, Sage and young, "Traffic and Transportation Systems", Pergamon Press
9. Daniel B. Fambro and C.J. Messer, Estimating delay at coordinated signalized intersection", ISBN, 1991
10. "Effect of Signal Spacing on Platoon Dispersion", Final Report EES 311, 1973.
11. F. V. Webster, and B. M. Cobbe, "Traffic Signals", Road Research Laboratory, 1966.
12. Gang-Len Chang and Ammar Kannan, "Variability Assessment of TRAF-NETSIM", ITE, 1990.
13. G. F. Newell, "Theory of Highway Traffic Signals", Institute of Transportion Studies, 1988.
14. Highway Capacity Manual, Special Report 209, TRB, 1985.
15. James M. Staniewicz and Herbert S. Levinson, "Signal Delay with Platoon Arrivals", TRB 1005, 1985
16. Jan Chodur and Marian Tracz, "Effect of progression quality and traffic Flow non-stationarity in delays models at signalized intersections", ISBN, 1991
17. Mamoru Hisai, "Delay-Minimizing Control and Bandwidth-Maximizing Control of Coordinated Traffic Signals by Dynamic Programming", Elsevier Science Publishing Co., 1987
18. Nagui M. Rouphail, "Delay Models for Mixed Platoon and Secondary Flows", ASCE, 1988
19. Nagui M. Rouphail, "Progression Adjustment Factor at Signalized Intersections", TRB1225, 1989.
20. P.S. Olszewski, "Traffic Signal Delay Model for Non-uniform Arrivals", TRB, 1990
21. "SAS Release 6.03 Edition", SAS Inc., 1988
22. Seung-Hwan Lee, "Development of an Offset-Delay Expression Between Two Adjacent Signalized Intersection", Presented at the italy-U.S.A Joint Seminar, 1989
23. Shui-Ying Wong, "Capacity and level of service by simulation-A case study of TRAF-NETSIM", FHWA, 1991
24. "Signal Progression on Routes in Suburban-to-rural Areas", Final Report EES 471, 1976
25. "STATGRAPHICS", STSC Inc., 1987.
26. "TRAF-NETSIM User's Manual", FHWA, 1989. 11.
27. "TRANSYT-7F Student workbook", U.S Department of Transportation Federal Highway Administration, 1984.
28. William R. McShane, Roger P. Roess, "Traffic Engineering", PRENTICE HALL, 1990