

연구논문

T7F Model에서 차량군분산계수변화에 따른 민감도분석에 관한 연구 A Study on Sensitivity Analysis by PDF in T7F Model

황의진*

Hwang, Eui Jin

要 旨

본 연구에서는 신호연동화에 관한 기초적인 이론에 대하여 고찰하고 광주시 죽봉로의 광천4거리에서 농성광장에 이르는 3개 교차로를 사례지구로 하여 포화교통류율 및 차량군 분산계수 산정기법들을 적용하여 분산계수에 따른 민감도를 분석하는 과정으로 연구를 진행한 결과 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었다.

1. 차량군 분산계수는 0.28-0.33으로 같은 지점의 교차로에서도 관측위치에 따라 상류부보다는 하류부가 더 작은 값을 나타내었다.
2. 차량군지수는 큰 변화를 보였으나 수행지수는 미세한 편차를 보였다. 이는 차량분산계수를 0.34로 설정하여 평가 하여도 무리가 없음을 나타내었다.
3. T7F 모형에서 연동화 설계 시 차량분산계수 변화에 따른 수행지수값의 민감도가 미소한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 수행지수, 차량군지수, 분산계수, T7F

Abstract

The purpose of this study is to correct data on 3 intersection ranging from Kwangchun INT. to Nongsung INT. by the means of VTR recording and site survey and to measure the responsiveness of performance index by diversifying the platoon dispersion factor in signal progression simulation.

The results are as follows :

1. The value of platoon dispersion factor was 0.28-0.33. The value in up stream is lower than that of in down stream even on the same intersection.
2. The platoon index showed big changes, though performance index didn't according to platoon dispersion factor. Therefore the value of platoon dispersion factor which is inner variable in T7F can be fixed for 0.34.
3. There was only little divergence in performance index changes according to platoon dispersion factor in designing the progression of T7F model.

Keywords : Performance index, Platoon index, Dispersion factor, T7F

1. 서 론

1970년대 중반 이후 우리나라는 급격한 경제성장과 소득수준의 향상으로 경제, 사회, 문화의 각 부문에 걸쳐 많은 변화를 가져왔다. 특히 도시에 있어서는 인구와 자동차보유대수가 획기적으로 증가하였으며 이중 자가용 승용차의 증가는 타 교통수단에 비하여 상대적으로 수송효율이 낮아 노면교통수요를 급증시키는 원인이 되었다. 이러한 현상은 결과적으로 교통시설 공급측면에 있어 교통시설물의 지속적인 확충을 요구하게 되어 사회경제적인 문제를 야기 시키게 되었다. 이 같은 문제를 개선하기 위하여 우리나라 대도시들은 지난 10년간 도

계의 효율성 등을 고려하여 지하철, 전철 등 신 대중교통 수단 개발과 기존 시설물에 대한 여러 가지 TSM(Transportation System Management) 기법을 교통축별 혹은 지역단위로 적용시키고 있어서 도시교통에 많은 공헌을 하고 있다(도철용, 1998).

일반적으로 도시교통에 가장 큰 취약점이라 할 수 있는 것은 교차지점에서의 지체 및 정지를 어떻게 효율적으로 처리하느냐 하는 문제이다. 이런 문제를 개선하기 위하여 가각정리, 차량정지선의 단축, 차량동선체계개선, 교차로간 연동신호체계(임강원, 1998) 등을 도입함으로써 큰 성과를 거두고 있다. 그러나 이러한 일련의 개선사항은 분석프로그램모형의 내재변수를 어떻게 적

2006년 2월 21일 접수, 2006년 3월 17일 채택

* 정희원, 한려대학교 토목환경공학과 교수 (midasej@paran.com)

용하여 효율을 평가하였느냐가 그 신뢰성을 좌우한다고 알려지고 있다(유복모, 1995).

따라서 본 연구에서는 신호연동화에 대한 기초적인 이론에 대하여 고찰하고 TRANSYT모형의 내재변수 중 광주시 죽봉로의 광천4거리에서 농성광장에 이르는 3개 교차로를 사례지구로 하여 포화교통류를 및 차량군 분산계수 산정기법들을 적용하여 분산계수에 따른 민감도를 분석하고자 하였다.

2. 기초이론 고찰

2.1 포화교통량

교차로의 용량은 거시적으로 볼 때 신호주기에 따라 좌우된다(이종달, 1998). 즉 도로구간과는 달리 신호등이 녹색으로 바뀐 후 단위시간 내에 교차로를 통과한 교통량을 시간단위로 환산하여 사용하는 포화교통량일 경우 교차로 용량은 다음과 같이 계산한다.

$$\text{교차로의 용량}(C) = S \times g / c \quad (1)$$

여기서, S = 포화교통량

g = 유효녹색 신호시간(녹색시간-출발지연시간)

c = 신호주기

위의 식 (1)에서 교차로의 용량은 각 현시에 따른 접근로 별로 구하며 크기를 결정하는 것은 포화교통량(S)과 신호주기이므로 본 절에서는 신호주기 산정방법과 포화교통량 산정방법에 대하여 간략하게 고찰해 보고자 한다.

포화교통량은 포화교통류율이라고도 하며, 그 개념은 교차로 진입부에서 충분히 긴 차량 대기행렬이 존재할 때 신호가 녹색으로 바뀌고 나서 차량이 움직이기 시작한 후 2-3대의 차량이 정지선을 통과한 이후 1시간 동안 통과하는 차량대수로 설정한다(원재무, 2000). 포화교통량은 일반적으로 대/유효녹색 1시간으로 표시하는데 포화교통량은 교차로의 기하학적 여건 및 교통여건에 따라 달라진다. 미국 HCM의 경우 이 값을 한차선당 1,800대/시로 거의 동일하게 사용하고 있으며 이 값에 각 교차로에 따른 증감계수를 다양하게 고려하고 있다. 포화교통량의 값은 일반적으로 교차로의 여건에 따라 다르나, 우리나라 도시의 경우 직진차선의 포화교통량은 1,800-2,500대/시 정도이고 좌회전 및 우회전 차선에서는 1,700-2,200대/시에 이르고 있다(원재무, 2000)(한국건설기술연구원, 1991).

2.2 차량군 분산모형

차량군 분석모형은 크게 Kinematic Wave 이론, Diffusion 이론, 순환적 관계 등의 3가지 관점에서 전개되

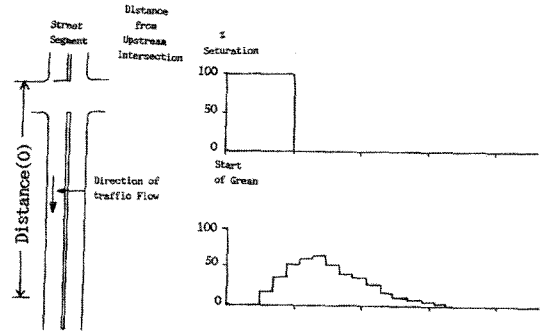


그림 1. 차량군 분산의 예

어 왔다.

이와 같은 3가지 관점에서 전개되어 온 분산모형 가운데 본 연구에서는 모의관측(simulation)모형인 TRANSYT 모형에서 사용되고 있는 순환적 관계 모형을 고찰하였다. 이는 Robertson에 의하여 만들어진 모형으로 시간간격에 따른 교통량의 순환적 관계를 이용하였다.

$$Q_2(i+j) = F \cdot Q_1(i) + Q_2(i+t-1) \quad (2)$$

여기서,

$Q_2(i+j)$ = (i+j)번째 시간간격에서 관측된 차량군의 교통량

$Q_1(i)$ = 정지선에서 i번째 시간간격에 관측한 초기차량군의 교통량

t = 정지선에서 차량군 분산이 계산되어 지는 곳까지의 평균주행시간

F = 평활계수

Diffusion이론의 Pacey 모형과 비교해 보면, Robertson 모형은 Pacey 모형에서의 주행시간 정규분포이며, Robertson 모형은 기하분포를 취하는 확률함수로 대체되었다.

Robertson 모형은 식이 간략하며 자료수집이 용이한 장점을 갖는다. Transyt 모형에서의 차량군 분산은 그림 1과 같은 형태를 취한다는 전제하에 시간의 변화에 따른 교통량의 변화를 이용하여 차량군의 분산을 설명하였다.

3. 자료수집 및 분석

3.1 자료수집 및 조사방법

본 연구에서는 내재변수의 경험적인 값을 유출하고 모의관측을 위해 필요한 진행연장시간, 포화교통류율, 차량군분산계수, 교통량, 여행시간, 지체시간에 대한 자료를 수집하였다. 그 외의 분석에 필요한 교차로의 기하학적구조, 신호운영방법, 유입부나 유출부의 교통류를 방

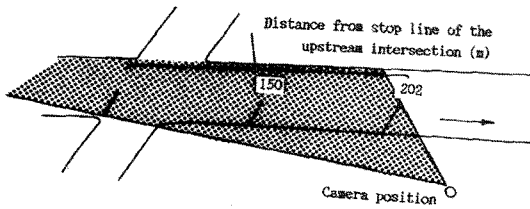


그림 2. 비디오 투영 개념도

해하는 버스정류장위치, 노상주차장 실태 등을 조사하였다(임강원, 1998).

광주시의 순환노선축인 광천4거리, 화정삼익APT, 농성공원 앞 교차로 사이를 사례지역으로 선정하여 현장조사를 통하여 교통량, 여행시간, 지체시간의 자료를 수집하였으며, 진행연장시간, 교차로교통류율, 차량군분산계수의 산정을 위해서는 관측점을 2번 옮기어 VTR촬영을 실시하였다. 첫 번째는 카메라로 정지선상의 차량 유출형태와 신호등 현시변화도 동시에 영상면에 담을 수 있는 지점에 설치하였으며, 그 다음에는 교차로 정지선으로부터 150m, 202m 되는 하류부의 지점에 설치하여 정지선으로부터 차량의 진행 형태를 지속적으로 살필 수 있는 지점에 설치하였다. 이 VTR 촬영은 화정 삼익APT, 농성광장 앞 교차로 사이의 차량진행특성을 10회 반복하여 촬영하였다. 기본적인 비디오 투영방법을 보면 그림 2와 같다.

3.2 조사상의 문제점

본 연구를 수행하는 동안에 도출된 문제점으로는 첫째, 조사구간이 100m 이상으로 길게 되므로서 모니터상에서 분석이 어려워 구간을 분할하여 관측하였으며, 이때 2대 카메라에 의한 동시 촬영이 원칙이나 촬영시간의 차이가 1시간 이상이 되지 않아 교통류의 특성이 동일한 시간대의 것이라 볼 수 있으므로 한 대의 카메라로 옮겨가며 촬영을 실시하였다. 둘째, 적절한 위치에 비디오카메라를 설치했다라도 녹색신호가 들어오기 전에 이미 차량들이 정지선을 통과하거나 정지선 앞으로 다가오는 성급한 운전특성이 매우 심하게 나타나 차량의 움직임을 잡는데 어려웠으나 분석 시에는 별무리가 없었다. 셋째, 비디오 투영은 대기시간이 정지선을 통과하는 시점을 명확히 투영해야 하는 동시에 대기차량의 길이도 동시에 파악되어야 하고 동시에 신호등의 색깔 변화도 투영되어야 하지만 관측당시에 이러한 조건들을 충분히 만족시키기가 어려웠다.

3.3 자료정리 및 분석

3.3.1 차량군분산계수 분석방법

촬영 자료를 비디오 모니터와 컴퓨터를 이용하여 다음과 같이 분석하였다. 녹색신호시작과 함께 차량 진행상

향을 컴퓨터의 lock 기능을 이용한 program으로 입력키를 누르고 차량이 정지선과 관측점을 통과하는 순간마다 입력키를 눌러 차량통과시간을 연속적으로 저장하였다.

이상의 방법을 통해 자료를 시간간격 4초 간격으로 정리하여 차량군의 분포가 각 신호주기내에서 변화를 갖는다고 보고 10회의 주기를 통해 유출형태를 분석하였다.

$$F = \frac{q'(T+t)}{\sum q(t) - \sum q'(T+t-1)} \quad (3)$$

$$F = \frac{1}{1 + \alpha T} \quad (4)$$

여기서, F = 차량군 평활계수

α = 차량군 분산계수

S = 자유속도에서의 주행시간

T = 차량군 평균 주행시간 ($T = 0.8 \cdot S$)

$q(t)$ = 스텝 t에서 정지선을 통과한 교통량

$q'(T+t)$ = 스텝 t에서 T 시간 후 관측점을 통과한 교통량

TRANSYT 모형 내에서 분산계수는 평활계수(F)로 변환되는데 평활계수는 기준시간인 0에서 t 스텝까지 정지선을 통과한 차량 중에서 일정한 거리에 있는 관측선(T+t) 스텝까지 통과한 차량을 제외하고 나머지 차량 중에서 (T+t) 스텝까지 통과한 교통량의 비를 의미한다.

3.1.2 차량군분산계수의 분석결과

식 (3)과 식 (4)를 토대로 F값을 계산해 보면 각 스텝별로 다양한 F값을 갖게 된다. 분석결과를 보더라도 동일한 조건 내에서 F값은 스텝에 따라 다양함을 보여주는데 주로 스텝 전반부의 F값이 후반부의 F값보다 작았다. 녹색신호의 시작에 따른 운전자들의 반응속도 및 초기 가속능력 그리고 자유주행속도 등의 이유로 인해 차량군이 전반부보다 쉽게 분산되었기 때문이다. 따라서 F값 산정 시 각 스텝별 F값에 의한 예측교통량과 관측교통량과의 차이를 최소화시키는 값을 그 주기에서 대표값으로 산정하였다. 각 도로별 관측지점에서 분석된 F값은 표 1과 같다. 위에서 구한 F값을 식 (4)에 대입해 150m, 202m에서 α 값을 각각 0.28, 0.33으로 제시하고자 한다.

$$\alpha = \frac{(1/F) - 1}{T (= 0.8 \times \text{자유속도로 주행한 시간})} \quad (5)$$

4. 연동신호 시뮬레이션

본 연구에 의해 도출된 차량군 분산계수(α)는 TRANSYT모형 내에서 효과적도 기준인 지체와 연료소모를 좌

표 1. 죽봉로 관측점에서의 F값

죽봉로(농성공원 - 삼익 APT)			
150m 지점		202m 지점	
최초차량 주행시간	F값	최초차량 주행시간	F값
9.8	0.31	17.6	0.23
10.6	0.37	16.5	0.21
11.3	0.32	18.3	0.24
11.8	0.34	16.6	0.20
10.7	0.33	17.6	0.25
9.8	0.37	17.7	0.26
10.6	0.31	18.6	0.23
10.3	0.36	16.5	0.22
9.8	0.35	17.7	0.23
10.8	0.38	18.2	0.21

표 2. link의 교통특성

링 크	중간블럭 교통량	관측 교통량	속 도	포화도 (%)
301	23	440	50	82
302	58	1100	50	69
303	10	102	50	14
304		385		92
305		25	50	54
306		231		32
307		473		88
308		1431		90
309		728		90
310		792		63
311		846		63
312		351		26
801		294	50	89
802		1288	50	69
803		455	50	43
804		432		93
805		253		81
806	10	52		27
807	50	94	50	28
808	10	1692	50	91
809		319	50	30
810		215		46
811		510		62
812		235		60
1001		729		97
1002		1247		88
1003		21		1
1004		146		19
1005				
1006		403		55
1007	33	442	50	70
1008	97	1351	50	95
1009	32	454	50	31
1010		382		94
1011				
1012		665		42

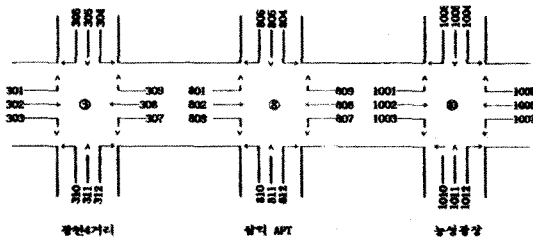


그림 3. 시뮬레이션을 위한 기본과정

우하는 유효성이 큰 parameter로 알려지고 있다. 광주 지역에 있어서도 도로특성에 맞게 산정된 α 값을 이용한 모의관측은 큰 의미가 있으리라 생각된다. 따라서 본 모의관측을 통해 TRANSYT 모형에서 제시한 값과 본 연구에서 구한 차량군분산계수 값의 전체 범위인 0.1 - 1.0 사이의 값을 변화시켜 P.I값의 민감도를 관측해보고자 한다.

4.1 기본환경 설정

모의관측하기 위한 기본환경은 본 연구의 분석대상 가로와 유사한 환경을 만들되 연속되는 세 개의 교차로를 대상으로 하였으며, 세 교차로의 도로특성 및 교통특성을 동일하게 하였다.

각 link 별 중간 블럭교통량과 관측교통량, 속도, 포화도 값은 표 2와 같다

모의관측하기 위한 node 3, node 8, node 10, 교차로의 신호특성은 그림 4에서와 같다. 여기서 보면 출발지연시간은 2 초, 진행연장시간은 3 초, 현시는 4현시로 표시되었다.

phase 구분	1	2	3	4	총신호주기 (초)
진행패턴					
녹색신호(초)	27(3)	32(3)	32(3)	32(3)	130

그림 4. 신호현시

4.2 TRANSYT에서의 효율관측기준 (MOE'S)

TRANSYT에서 가장 핵심이 되는 것으로 본 연구에서 기본적으로 다루고자 하는 MOE's은 수행지수와 연료소모이다(도로교통안전협회, 1990).

4.2.1 수행지수

TRANSYT-7F 모형에서 PI는 모든 link의 지체와 정지를 합한 지표로서 다음과 같이 구한다.

$$PI = \sum(di + K \cdot Si) \tag{6}$$

여기서 di = link i의 지체
 Si = link i의 정지
 K = 지체와 정지관계를 나타내는 계수

TRANSYT 모형에서 사용되는 지체추정 방법은 다음과 같다.

$$D = du + drs \tag{7}$$

$$du = \frac{C}{3600N^2} \sum_t^n m_t \tag{8}$$

$$drs = \left\{ \left(\frac{Bn}{Bd} \right)^2 + \left(\frac{X^2}{Bd} \right) \right\}^{1/2} - \frac{Bn}{Bd} \tag{9}$$

여기서, D = 총지체
 du = 균일지체
 drs = 임의지체 및 포화지체
 C = 신호주기
 mt = step t 동안의 대기행렬 길이
 N = 신호주기내의 step수
 Bn = 2 · (1-X) + X · Z
 Bd = 4Z - Z²
 Z = (2X/V) · (60/T)
 X = 포화도
 V = link내의 교통량

4.2.2 연료소모

TRANSYT-7F 연료소모 모형 변수는 전형적인 도시조건과 정지, 지체, 평균속도를 변화시킨 수많은 경험적 바탕으로 얻어진 자료에 대해 다중회귀분석방법을 도출하

였다. 본 연구에서 사용하는 연료소비모형은 다음과 같다.

$$F = k1 \cdot TT + k2 \cdot D + k3 \cdot S \tag{10}$$

여기서, F = 연료소비(liter/home)
 TT = 전체 주행거리(vehicle-km)
 D = 전체 지연
 S = 전체 정지
 k1, k2, k3 = 회귀분석 계수로서 자유속도의 함수

4.2.3 차량군지수

대상가로를 주행하는 차량군의 상태를 나타내는 지표인 차량군지수(platooning index)는 신호연동화의 잠재력을 의미한다. 만약 차량군지수(PI)가 0이라면 이것은 차량군의 흐름이 균일하게 흐르게 되므로 연동효과가 없게 된다는 것을 의미한다. 차량군 지수는 다음과 같이 구하여 진다.

$$PLat. Index = \frac{\sum |q_t - q|}{N \cdot q} \tag{11}$$

여기서, qt = step t 에서의 교통류율
 q = 신호주기 동안의 평균교통류율
 N = 신호주기의 step

4.3 분산계수변화에 따른 민감도 분석

차량군분산계수의 변화에 따른 수행지수(performance index)의 민감도를 분석하기위한 모형실험과정은 그림 5와 같다.

연동효과를 얻기 위한 타당성이 있는 가로의 조건으로는 중간블록의 교통량이 전체 교통량의 20% 이하이고 link의 길이도 800m 이내가 되어야 하며 그 이상이 되는 교차로는 독립교차로로 운영해야 한다고 알려지고 있다(FHWA, 1971). 본 가로에서의 중간블록 교통량은 link 302, 808, 1008에서 유입되고 중간블록 유입교통량비는 5.3%, 3.0%, 5.9%로 낮게 분포하고 있어 연동화효과의 타당성이 있는 교차로이다.

이러한 모의관측조건에 의해 차량분산계수의 변화에 따른 PI값의 변화를 관측한 결과 그림 6에서 나타나듯이 각 교차로에서 미세하게 변화하고 있었으며 TRANSYT-7F에서 사용되는 차량분산계수의 값이 0.34의 값이나 본 연구에서 산정한 0.28-0.33값이 포함된 0.1-1.0사이의 값이 큰 편차가 없음이 나타났다. 반면 차량군지수값은 차량분산계수의 값이 0.1에서 1로 증가함에 따라 그림 7에서처럼 감소하고 있다. 본 연구의 사례지역에서도 표 3에서와 같이 차량군지수값이 높은 link 302에서 차량분산

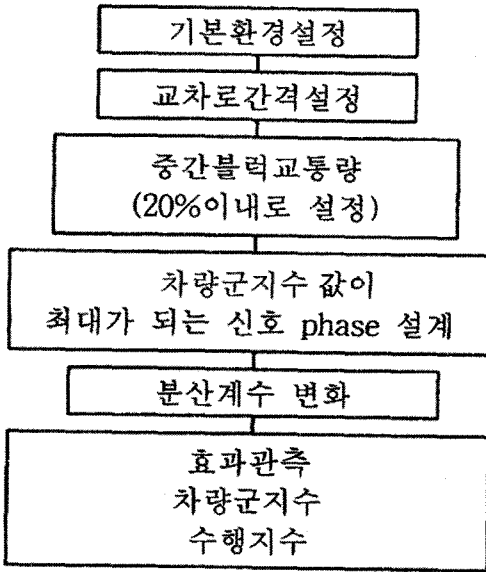


그림 5. 모의관측 흐름도

계수의 변화에 따른 P.I값이 미세한 변화를 보이고 있다. 여기에서 차량군지수값이 0-2사이의 값으로 2에 수렴할수록 연동화의 효율은 크게 나타남을 알 수 있다. 본 모형실험결과 교차로 신호연동화 설계 시 TRANSYT-7F의 내재변수의 차량분산계수 값을 0.340로 설정하여 연동화 효율을 관측하여도 신뢰성에 큰 무리가 없는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서 현장 경험값을 도출하기 위해 광주시의 죽봉로 1개 지점(광천 4거리 - 농성광장)을 대상으로 정지선상의 유출 교통류율과 하류부의 일정지점에서의 통과 교통류율을 VTR을 사용하여 조사한 자료를 해석하여 차량분산계수 및 포화교통류율 값에 따른 민감도를 관측한 결과, 첫째, 차량군 분산계수는 0.28-0.33으로 같은 지점의 교차로에서도 관측위치에 따라 상류부(농성삼익 APT)보다는 하류부(농성광장)가 더 작은 값을 나타내고 있었

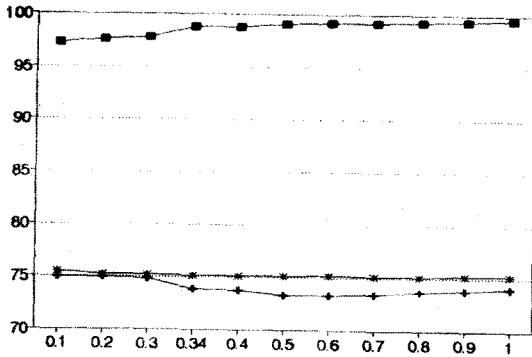


그림 6. 차량분산계수와 수행지수의 관계도

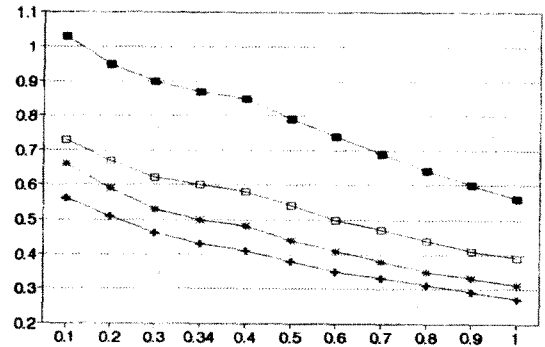


그림 7. 차량분산계수와 차량군지수의 관계도

표 3. 차량군분산계수의 변화에 따른 교차로의 P.I 및 차량군지수

분산계수	수행지수			
	3번 Int	8번 Int	10번 Int	Int 평균
0.1	97.3	74.9	75.4	247.52
0.2	97.6	74.9	75.2	247.72
0.3	97.8	74.8	75.2	247.72
0.34	98.8	73.8	75.1	247.78
0.4	98.8	73.7	75.1	247.64
0.5	99.1	73.3	75.1	247.52
0.6	99.2	73.3	75.14	247.56
0.7	99.2	73.4	75.1	247.74
0.8	99.3	73.6	75.1	248.03
0.9	99.4	73.8	75.2	248.39
1	99.6	74	75.2	248.78

분산계수	차량군지수			
	Node 302	802	808	1002
0.1	1.03	0.56	0.66	0.73
0.2	0.95	0.51	0.59	0.67
0.3	0.9	0.46	0.53	0.62
0.34	0.87	0.43	0.5	0.6
0.4	0.85	0.41	0.48	0.58
0.5	0.79	0.38	0.44	0.54
0.6	0.74	0.35	0.41	0.5
0.7	0.69	0.33	0.38	0.47
0.8	0.64	0.31	0.35	0.44
0.9	0.6	0.29	0.33	0.41
1	0.56	0.27	0.31	0.39

다. 둘째, 차량분산계수의 변화에 따른 차량균지수값은 각 link의 최대치와 최소치 편차평균이 98% 정도로 크게 변화하고 있으나 수행지수는 247.52에서 248.78로 0.51%의 미세한 편차를 보이고 있다. 따라서 TRANSYT -7F에 의한 교차로 연동효과 관측 시에 내재변수인 차량분산계수를 0.34로 설정하여 평가하여도 무리가 없는 것으로 나타났다. 셋째, 본 T7F program 모형에서 연동화 설계 시 차량분산계수 변화에 따른 수행지수(P.I)값은 분산계수(α)가 0.1 - 1.0일 때 차량균지수값이 높은 link 302와 낮은 link 802에서 최대값과 최소값의 편차가 각각 2.3과 1.6으로 나타나고 있어 민감도의 변화가 미소한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 도철웅, 1998, *교통공학원론*, 청문각, pp. 98-105.
2. 유복모, 1995, *지형공간정보론*, 동명사, pp. 40-43.
3. 도로교통안전협회, 1990, "Transyt 7F 매개변수 정립에 관한 연구", 도로교통 안전협회, p. 47.
4. 원제무, 2000, *도시교통론*, 박영사, pp. 535-552.
5. 이종달, 1998, "도로 교통류 특성에 관한 기초적 이론", 박사학위 논문, 영남대학교, pp. 43-65.
6. 임강원, 1998, "서울시 교통개선을 위한 가로망신호체계 개선에 관한 연구", 환경 논총, 서울대학교 환경대학원, 제22권 p. 6.
7. 한국건설기술연구원, 1991, "도로용량편람 연구조사서(제2, 3단계)", 교통개발연구원, pp. 333-460.
8. FHWA, 1971, *Manual on Uniform Traffic Control Devices*, PP. 56-75.