

이 研究는 1992年度 韓國海洋大學校
學術振興會의 支援에 의하여 遂行한 研究 結果임

교차로 신호체계 최적화를 이용한 소통체계 개선방안에 관한 연구

金 殆 坤 *

A Study on the Travel System Management using the
Signal System Optimization in the Intersection

Tae gon , Kim

1. 연구 배경

오늘날 도시지역에서는 급속한 경제성장과 활동영역의 확대로 통행수요가 급증함에 따라 극심한 교통정체가 발생하고 있고, 또한 이로 인하여 심각한 도시교통 문제를 겪지않는 지역은 거의 없다. 1960년대 말까지 미국에서는 이러한 교통문제를 해결하기 위하여 막대한 자본으로 대규모의 도로시설을 확충하는 데 치중하여 왔다. 그러나, "교통체증을 해결하기위해 도로를 새로이 건설하여 준공테이프를 자르자마자 교통량의 증가로 인하여 새로운 도로는 차량으로 붐비게 된다."라고 미국의 C. K. Orski⁽¹⁾가 비유하였듯이 새로운 도로시설의 확충은 더 많은 교통수요를 야기시킴으로써 교통체증을 더욱 가중시켰고, 게다가 70년대에 붙어닥친 2차

* 韓國海洋大學校 理工大學 助教授

례의 에너지위기(Energy Crises)사태, 국민적인 여론의 환경보호운동(Environmental Protection Movement)확대 및 지속적인 교통시설의 확충으로 인한 국가의 투자재원의 한계에 직면하였기 때문에 시설확충에 치중하는 대신 기존시설의 개선 및 보안을 통한 교통시설의 효율성 증대방안인 교통체계개선(Transportation Systems Management, TSM)방안에 대하여 보다 체계적이고 집중적인 연구를 하게 되었다. 일반적으로 교통체계개선(TSM)방안에는 교통량체계개선(Traffic System Management), 도로체계개선(Roadway System Management) 및 신호체계개선(Signal System Management)방안으로 분류할 수 있다. 이러한 교통체계개선(TSM)방안 중에서 특히, A. K. Rathi와 E. B. Lieberman⁽²⁾은 신호체계개선(Signal System Management)방안에 대해 집중적인 연구를 하였는데, 그들의 연구 결과에 따르면, “신호교차로(Signalized Intersection)의 신호시간(Signal Timing)을 단순히 조정하여 39.9%의 통행지체(Traffic Delay)를 감소시킬 수 있고, 또한 교차로 통행량도 7.1%정도 증대시킬 수 있다.”라고 언급함으로써 교통정체가 심한 도시지역내 주요 신호교차로의 신호체계를 재분석하여 통행량의 소통체계에 적절하도록 최적설계함으로써 교차로의 소통능력을 증대시킬 필요성이 있음을 보여주고 있다.

부산시는 인구 4백만의 대도시로서 배산임해의 지형적 특성, 대상형의 도로망 구조 및 투자재원의 부족으로 인하여 다른 대도시들과 비교하여 볼 때 지극히 부족한 도로시설을 확보함(14%의 도로율)과 동시에 지역내 대체도로망 체계가 거의 미비하여 주요 도심지역인 시청과 서면을 중심으로 통행차량이 집중하고 있고(64%의 통행집중율)⁽³⁾, 또한 개개인 생활수준의 향상 및 활동영역 등의 확대에 의하여 통행수요가 급격히 증가하고 있으며(21%의 연평균 차량증가율)⁽⁴⁾, 더구나 곳곳에 산재된 항만시설로 인하여 항만화물수송을 위해 대형화물차량들이 주요 간선도로를 이용함으로써 발생하고 있는 극심한 교통정체현상은 당연한 결과가 아닌가 생각된다. 지금까지 이러한 교통문제를 해결하기 위해서 부산시에서는 매년 막대한

본을 투자하여 지하철을 포함한 대중교통체계 및 도시고속도로체계의 시설확충에 주력하여왔으나 교통시설의 확충이 통행수요의 증가에 제대로 부응하지 못하기 때문에 통행수요와 시설공급의 불균형 현상을 야기시키며 교통체증은 더욱 가중되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 부산지역내 주 간선도로(Main Arterials)상의 일부 신호 교차로의 신호체계를 최적화시킴으로써 날로 급증하고 있는 통행수요에 보다 적절히 대처하고 기존의 교통시설을 효율적으로 이용하며 간선도로상의 전반적인 소통체계를 개선시키기 위해 주 간선도로의 i) 가로 및 신호교차로상의 통행특성을 확인하고, ii) 통행특성에 따른 가로 및 신호교차로의 문제점을 파악하며, 마지막으로 iii) 가로 및 교차로상의 고질적인 교통체증문제를 감소시킬 수 있는 최적의 신호체계개선(Signal System Management)방안을 제시함으로써 전반적인 소통능력을 증대시키고자 한다.

II. 연구 내용 및 방법

위에서 언급했듯이 부산지역에서 겪고있는 교통문제는 매우 심각하다. 이러한 교통문제의 주요 요인으로는 불리한 지형적 여건에도 급증하고 있는 통행수요에 비하여 현저하게 부족한 도로시설, 또한 지방도시로서 도로시설의 확충에 절대적으로 필요한 재원조달의 어려움, 더구나 항만도시로서 주요 간선도로를 이용하고 있는 대형화물차량의 높은 혼재비율 등으로 분류할 수 있다. 그러나, 이러한 교통문제가 부산지역에만 한정되어 있는 문제가 아니고 대다수의 대도시에서 겪고있는 도시문제이기 때문에 비록 부산지역의 교통문제가 다른 대도시에 비하여 더 심각하고 교통여건 또한 더 어렵다해도 지역여건이 허용되는 범위내에서 교통문제를

다소라도 해결하기 위해 활용가능한 교통체계개선(TSM)방안을 적극 모색할 필요가 있다고 생각한다.

우선적으로부산지역에서 적극 검토하고 모색할 수 있는 교통체계개선(Transportation Systems Management, TSM)방안으로는 신호체계개선(Signal System Management)방안을 들 수 있다. 신호체계개선(Signal System Management)방안이란 기존 신호교차로의 신호체계를 교통량의 흐름 및 교차로 기하구조의 특성에 적절하도록 신호시간(Signal Timing)과 현시(Phase)를 재조정하여 운영함으로써 교차로의 소통을 원활하게 개선하려는 방안으로 본 연구에서는 대상 간선도로(중양로)상의 대상 교차로들로 A 교차로(시청앞 교차로), B 교차로(동아일보사 앞 교차로) 및 C 교차로(정발장군동상앞 교차로)를 선정하였으며 각 교차로에 대하여 교통체계를 분석하여 최적설계함으로써 대상 교차로상에서의 평균지체(Average Delay)를 감소시키고 교차로의 소통능력을 증대시키는 것을 주요 연구내용으로 한다. 특히, 본 연구대상 간선도로는 부산의 핵심 간선도로로 교통체증이 심한 도로이고 도심지역을 통과하고 있으며 출퇴근시간대에 각 방향별 교통량이 현저한 차이를 보이고 있기때문에 연구 대상축(Travel Corridor for Study)으로 그 중요성이 있다고 생각되었다. 다음으로 본 연구를 위해서

i) 비디오 관측기법(Videologging System Techniques)을 이용하여 대상 간선도로의 가로 교통량을 수집하였고, 수집된 가로 교통량을 바탕으로 각 시간대별/차종별/방향별 분포에따라 첨두시간대(Peak Time Periods)를 결정하였으며, 결정된 첨두시간대를 중심으로 대상 교차로의 첨두교통량(Peak Traffic Volumes)을 수집함으로써 교통량 체계의 분석자료를 준비하였고;

ii) 비디오 관측기법(Videologging System Techniques)과 반복실측을 통하여

대상 간선도로 및 교차로의 기하구조 현황을 면밀히 조사함으로써 도로체계분석의 자료준비를 하였고:

iii) 비디오 관측기법(Videologging System Techniques)과 병행하여 대상 신호교차로상에서 신호주기(Cycle Length) 및 현시(Phase)에 대한 반복관측을 통해 신호체계분석을 위한 자료를 준비하였으며; 그리고

iv) 교통량체계의 분석자료, 도로체계의 분석자료 및 신호체계의 분석자료를 바탕으로하여 대상 교차로의 신호체계를 각각 독립교차 방식(Isolated Intersection)과 연동교차방식(Progressive Intersection)으로 분류·분석하여 각 차선별 v/c ratio(volume-to-capacity ratio) 및 지체수준(Delay Level)을 산정하였고, 산정된 v/c ratio와 지체수준에 따라 수집된 첨두 교통량을 중심으로 신호체계의 최적화 실시 전후비교(Before & After Study)를 통해 최적의 교통체계 및 서비스수준(Level of Service)을 추구하였다.

(1) 교통량 체계 분석(Traffic System Analysis)

교통량분석에 있어서 첨두시간(Peak Time) 및 첨두교통량(Peak Traffic Volumes)이 항상 거론되고 있는 데, 첨두시간(Peak Time)이란 1일 교통량을 시간대별로 분류하였을 때 교통량이 가장 많은 시간을 말하고 첨두교통량(Peak Traffic Volumes)이란 첨두시간의 교통량을 15분단위로 분류하여 교통량이 가장 많은 첨두 15분단위의 교통량으로 환산하여 1시간 교통량을 산정하였을 경우의 교통량을 말한다. 흔히, 도시지역의 주요 첨두시간대(Peak-time Periods)라면 오전 7시 - 9시사이와 오후 5시 - 7시사이의 직장인들의 출퇴근시간대(Rush-hours)로 생각하기 쉽다. 그러나, 부산지역에서는 시간대에 관계없이 교통체증이 심화되고

있는 상황하에서 대상 간선도로의 시간대별 교통량의 통행분포를 재점검하지 않고 기존의 첨두시간대를 그대로 사용하기가 어렵고, 또한 교통량의 유출입상황을 보다 면밀히 분석하기가 쉽지 않으며, 간선도로마다 시간대별로 통과 교통량에 있어서 현저한 차이를 보이고 있기때문에 도심지역인 시청지역을 중심으로 유출입 교통량의 차가 현저하게 나타나는 3개의 교차로(시청앞 교차로, 동아일보사앞 교차로 및 정발장군동상앞 교차로)와 각 교차로사이의 가로지점을 선정하여 가로교통량 및 교차로 교통량을 Videologging System Techniques에 의하여 주중(화요일, 수요일 또는 목요일 중의 1일을 선정)에 매 15분단위로 12시간씩 반복관측을 하였다. 특히, 관측된 가로교통량의 분포에 따라 대상 간선도로의 첨두시간(Peak-times)을 점검하여 본 결과 대상지역의 첨두시간은 의외로 오전 10시 - 11시사이와 오후 3시 - 4시사이로 나타났고(참조 그림 2.1), 이때의 가로교통량은 대상 간선도로를 중심으로 pcu(passenger car unit)단위로 양방향통행으로 환산하여 약 5,500pcu - 7,200pcu가 통행함으로써 1일 교통량의 각각 10.62%와 10.61%를 점유하는 것으로 나타났다. (참조 그림 2.1과 2.5) 또한, 교차로 분석을 위한 첨두교통량은 산정된 첨두시간을 중심으로 대상 교차로의 첨두 15분 교통량을 결정하여 교차로 분석에 이용하였는데 대상 교차로마다 차이는 있지만 대체적으로 약 7400pcu - 9700pcu의 유출입 교통량이 발생하는 것으로 나타났다. (참조 그림 2.2, 2.3, 2.4, 2.5)

(2) 도로 체계 분석(Roadway System Analysis)

외국의 도시지역내 간선도로상에 설치된 교차로의 형태에는 주로 3지 교차로(3-Leg Intersection)와 4지(4-Leg Intersection)의 형태를 취하고 있는 데 반하여 우리나라의 교차로의 형태는 3지 교차로를 포함하여 4지 이상의 다지 교차로(Multi-Leg Intersection)의 다양한 형태를 취하고 있고 또한 교차로상에 설치된

차선의 폭과 노면표지가 일관성있게 되어있지 않아 교차로의 교통량 및 도로용량 산정에 상당한 문제점이 있었다. 더구나, 대상 간선도로의 차도폭은 약 25M - 32M로 측정되었고, 또한 중앙 차선폭은 약 3.0M - 3.6M였으며 우측차선폭은 3.6M - 5.0M정도로 상당한 차이를 보이고 있었기때문에 보다 신뢰성있는 도로용량산정을 위해서 실측 차선간격을 HCM(Highway Capacity Manual)에 근거를 두고 분석하였다. 특히, 교차로의 각 차선용량산정은 교차로의 노면상에 표시된 노면표지와 도류화(Channelization)가 실제 통행량의 방향과 상당한 차이를 보이고 있었기때문에 교차로상의 노면표지 및 도류화(Channelization)를 최대한으로 고려하였고 HCM 및 관련 소프트웨어인 TRANSYT-7F와 그 메뉴월을 중심으로 주요 교통용량(Primary traffic capacity)과 보조 교통용량(Secondary traffic capacity)으로 구분하여 용량을 배정하여 도로체계분석에 적용하였다. (참조 그림 2.2, 2.3, 2.4)

(3) 신호 체계 분석(Signal System Analysis)

대상지역내 교차로의 신호체계를 분석하기 위해 이미 언급한 첨두교통량과 교차로의 기하구조를 중심으로 신호주기(Cycle Length) 및 현시(Phase)에 대하여 관측하여 본 결과 교통량의 흐름에 따라 현시도는 주로 3현시(Phase)와 5현시(Phase)의 형태를 취하고 있었으며 신호주기는 160sec와 200sec를 유지하고 있었다. 특히, A 교차로(시청앞 교차로)의 신호주기는 160sec였고 3현시로 운영되고 있었으며 특히, N-S 방향의 직진 교통량(Thru Traffic) 및 E-W 방향의 좌회전 교통량(Left-Turn Traffic)의 집중으로 인하여 녹색신호시간(Green Time)이 상대적으로 높게 배정되어 있었으며 각 현시별로 각각 4sec의 황색신호시간(Yellow Time)을 유지하고 있었고, 또한 B 교차로(동아일보사앞 교차로)는 200sec의 신호주기 및 3현시로 운영되고 있었으며 특히, N-S방향의 직진 교통량(Thru Traffic) 및 E-W방향의 좌회전 교통량(Left-Turn Traffic)의 집중으로 인하여 녹색신호시간(Green

Time)이 상대적으로 높게 조정되어 있었으며 A 교차로와 마찬가지로 각 현시별로 각각 4sec의 황색신호시간(Yellow Time)을 유지하고 있었으며, 마지막으로 C 교차로(정발장군동상앞 교차로)는 5지 교차로(5-Leg Intersection)로서 신호주기는 A 교차로와 마찬가지로 160sec 였으나 5현시로 운영되고 있었으며 특히, N-S방향의 직진 교통량(Thru Traffic)의 집중으로 인하여 직진방향의 녹색신호시간(Green Time)이 상대적으로 높게 조정되어 있었으며 각 현시별로 각각 4sec의 황색신호시간(Yellow Time)을 유지하고 있었다. (참조 그림 2.2, 2.3, 2.4)

(4) 교차로 LOS 분석

일반적으로 교차로의 (서비스 수준(Level of Service, LOS)분석에는 i) v/c ratio (volume-to-capacity ratio)에 의한 비교나 ii) 평균지체시간(Average Delay)에 의한 비교 등을 들 수 있다

i) v/c ratio에 의한 비교방법

교차로 분석의 기초적인 지표이고 가로나 교차로의 소통능력을 직접적으로 나타내는 방법으로서 v/c ratio(교통량과 교통용량의 비)가 사용된다. 특히, 도로의 교통용량(capacity)은 포화 교통량(Saturation Flow)과 신호운영체계에 의하여 결정되고 포화 교통량(Saturation Flow)의 경우에는 도로의 차선수(Number of Lanes), 도로의 경사도(Grades)등 도로여건과 대형차량(Heavy Vehicles)의 혼재율에 따라 상당한 차이를 보이고 있는 데, 이런 조건을 모두 고려한 상태에서 교통용량(Capacity, c_i)과 포화 교통량(Saturation Flow, s_i)과의 관계는 다음과 같다.

$$c_i = s_i \times (g/C)_i$$

여기에서, c_i = capacity of lane group or approach i in vph

s_i = saturation flow rate for lane group or approach i in vph

$(g/C)_i$ = green ratio for lane group or approach i

따라서, 교차로상의 각 차선군(lane group)이나 또는 접근로(approach)상에서
의 v/c ratio (X)는 다음과 같다.

$$X_i = (v/c)_i = v_i [s_i \times (g/C)_i]$$

$$X_i = v_i C / s_i g_i = (v/s)_i / (g/C)_i$$

여기에서, X_i = v/c ratio for lane group or approach i ;

v_i = actual flow rate for lane group or approach i in vph;

s_i = saturation flow rate for lane group or approach i in vph;

and

g_i = effective green time for lane group or approach i in
sec.

게다가, 신호교차로 분석에 있어서 교차로 용량의 효율성 개념의 *critical v/c*

$ratio (X_c)$ 는 교차로 전 차선군(lane group)이나 접근로(approach)상에서의 전반적인 v/c ratio로서 다음과 같다.

$$X_c = \sum_i (v/s)_{ci} \times [C/(C-L)]$$

여기에서, $X_c =$ critical v/c ratio for the intersection;

$\sum_i (v/s)_{ci} =$ the summation of flow ratios for all critical lane

groups or approaches i ;

$C =$ cycle length in sec; and

$L =$ total lost time per cycle; computed as the sum of "start-up" and change interval lost time minus the portion of the change interval used by vehicles for each critical signal phase.

ii) 평균지체시간(Average Delay)에 의한 비교방법

평균지체시간(Average Delay)의 비교를 통한 교차로의 LOS 분석에는 Webster Model, TRANSYT-7F Model, HCM Model, QUEUEING Model 등이 있을 수 있으나, 본 연구를 위해서는 TRANSYT-7F모형을 사용한 Computer Program에 의해서 지체시간을 산출하였다. 특히, TRANSYT-7F모형을 이용한 교차로의 지체시간에는 교차로의 대기행렬로부터 산출되는 Uniform Delay(d_u)와 차량의 임의 도착 및 포화상태로 인한 Random Delay(d_r)로 구성되어 있으며 총 지체시간(total delay, D)은 다음과 같다.

$$D = d_u + d_r$$

$$d_u = \frac{C}{3600N^2} \sum_t^N m_t$$

여기에서, D = total delay in veh-hr/hr;

d_u = uniform delay in veh-hr/hr;

C = cycle length in sec;

m_t = queue length during step t ; and

N = number of steps in the cycle.

계다가

$$d_r = \left[\left(\frac{B_n}{B_d} \right)^2 + \frac{X^2}{B_d} \right]^{1/2} - \frac{B_n}{B_d}$$

여기에서, d_r = random and saturation delay;

$$B_n = 2(1-X) + XZ;$$

$$B_d = 4Z - Z^2;$$

$$Z = (2X/V) \times 60/T;$$

X = degree of saturation;

V = volume on the link; and

T = period length, normally 60 minutes.

따라서, 대상 교차로상의 v/c ratio의 분석결과에 따르면 v/c ratio가 1.0이상인 차선의 경우에는 차선의 소통능력이 낮은 차선으로 간주하여 방향별 차선계획을 다시 검토하거나 차선 용량을 확충할 계획을 다시 수립해야 하고, 또한 Average Delay(평균지체시간)의 분석결과에 따르면 평균지체시간이 약 78sec를 초과하는 차선에 대해서도 마찬가지로 최악의 LOS를 갖는 차선으로 간주하여 전반적인 도로 및 차선계획을 다시 수립해야 하며, 교통체계개선(Transportation Systems Management, TSM)방안에 대한 계획도 이 결과에 따라 수립되어야 한다. (참조 표 2.1 ~ 2.9)

III. 결론 및 건의 사항

부산지역내 대상형으로 걸쳐있는 중앙로는 핵심 간선도로(Main Arterial)로 교통로의 중추역할을 담당하고 있고 대상 간선도로상의 시청지역은 주요 도심지역으로서 다른 어느 지역보다도 교통문제의 해결이 필요하다는 인식하에 시청지역을 중심으로 3개의 교차로에 대하여 기존의 신호체계가 교통량에 어느 정도 적절하게 운영되고 있고, 또한 기존 신호교차로의 신호주기 및 현시를 교통상황에 적합하도록 재 조정하였을 때 어느 정도의 교통체증을 감소시킬 수 있으며 소통능력을 어느 정도 증대시킬 수 있는 지에 대하여 대상 교차로를 중심으로 분석해 본 결과 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

1) A 교차로(시청앞 교차로)는 현재 160sec의 신호주기(Cycle Length)와 3현시(Phase)로 운영되고 있는 데, 첨두시간에 9,670pcu의 첨두교통량을 소통시켜야 하며 차선용량을 초과하는 좌회전 교통량(Left-turn Traffic Volumes)을 처리해야 하는 상황으로 교차로 전체의 평균지체시간(Average Delay)은 약 169.0sec/veh

로 나타났으나, A 교차로의 신호주기를 162sec로 하고 각 현시별 시간을 그림 2.2와 같이 개선할 경우 교차로 전체의 평균지체시간이 143.1sec/veh로 약 15.3%가 감소함을 알 수 있었고, 또한 B 교차로(동아일보사앞 교차로)의 경우 현재 200sec의 신호주기와 3현시로 7,400pcu의 첨두교통량을 처리해야 하는 상황 하에서 평균지체시간이 142.4sec/veh를 나타내고 있으나 그림 2.3과 같이 98sec의 신호주기와 3현시로 운영하였을 경우에 평균지체시간이 77.6sec/veh로 나타나 약 45.5%의 지체시간이 감축됨을 알 수 있었으며, 마지막으로 8310pcu의 첨두교통량을 처리하는 C 교차로(정발장군동상앞 교차로)의 경우 160sec의 신호주기와 5현시로 운행되고 있는 상황하에서 평균지체시간은 318.1sec/veh로 나타났으나 그림 2.4와 같이 244sec의 신호주기와 5현시로 운영하였을 경우 91.0sec/veh으로 평균지체시간이 감소함으로써 약 71.4%의 지체시간의 감소를 기대할 수 있는 것으로 나타났다(참조 그림2.6) 이는 간선도로의 소통체계를 개선시키고 교차로의 통행지체를 감소시키기 위해서는 간선도로를 중심으로 좌회전차선의 확대와 함께 교통량의 변화에 따른 교차로 신호주기의 최적설계가 주기적으로 재분석되어야 할 것으로 생각되었다.

2) 3개의 대상교차로상에 대하여 기존의 현시를 변경하지 않고 동시에 연동화를 시켰을 경우에 최적의 신호주기는 240sec로 나타났다. (참조 그림 2.2, 2.3 및 2.4) 특히, A 교차로(시청앞 교차로)에서는 152.7sec/veh의 지체시간이 예측되었고, B 교차로(동아일보사앞 교차로)에서는 74.4sec/veh의 지체시간이 예측되었으며, C 교차로(정발장군동상앞 교차로)에서는 86.1sec /veh 의 지체시간이 예측됨으로써 교차로를 연동화시켰을 경우에 최적상태의 독립교차로 방식에 비하여 약 1.1sec/veh의 미미한 정도의 통행지체가 증가하는 것으로 나타났다. (참조 그림 2.6) 이는 간선도로를 중심으로 각 교차로사이의 도로폭 및 차선폭의 불균형, 도로 우측차선에 상주하고 있는 불법 주정차차량들로 인한 일시적인 병목현

상(Bottle-neck)과 방향별 교차로사이의 유출입통행량(Mid-block Traffic Volumes)의 변동폭이 상대적으로 크기때문에 나타나는 결과이므로 각 신호교차로의 현시조정 및 기하구조의 개선을 통한 간선도로의 교통체계를 재정비한 상태에서 교차로 신호체계의 연동화를 실시할 필요가 있는 것으로 생각되었다.

3) 대상 신호 교차로의 신호체계를 통행상태에 적합하도록 최적의 통행 체계 및 연동화 체계를 구축하여 그 흐름도(Flow Profile Diagrams)를 통해 차량의 소동상태를 비교하여 보면 녹색신호시간(Green Time)에는 통과 차량이 상대적으로 늘어나고 적색신호시간(Red Time)에는 차량이 상대적으로 줄어들어 교차로 상에서의 지체 시간이 감소하고 있음을 보여줌으로써 신호 교차로의 최적설계(Optimal Design) 및 연동최적설계(Progressive Optimal Desisn)의 타당성을 입증하여 주고 있다. (참조 Flow Profile Diagrams I, II, III, IV)

참고 문헌

1. C. K. Orski, "The Politics of Traffic Congestion." ITE Journal, Feb. 1989, pp. 31-32.
2. A. K. Rathi and E. B. Lieberman, "Reducing Traffic Congestion in Herald Square." ITE Journal, Sept. 1986, pp. 27-31.
3. 交通開發研究院, "釜山直轄市 停車場整備計劃." 1991. 1.
4. 金 殆 坤, "交通滯症緩和를 爲한 都市交通體系 改善方案에 關하여." 釜山

直轄市 市政 研究, 1991, 12.

5. Transportation Research Board. "Highway Capacity Manual." TRB, Special Report 209, 1985.
6. McTrans. TRANSYT-7F Software User's Manual. The Center of Microcomputers in Transportation, Univ. of Florida, July, 1986.

표 2.1 Intersection A(Initial Settings)

Node Number	Approach	Lane Group Movement	Traffic Volume (PCU/hr)	X = v/c ratio	Average Delay (sec)	Average Delay on the Node (sec)
City Hall Intersection	East Bound	Thru	2,400	0.88	44.3	168.98
		Right Turn	1,370	0.57	0.0	
	West Bound	Left Turn	750	1.19	381.1	
		Thru	1,990	0.62	18.9	
		Right Turn	670	0.37	0.0	
	North Bound	Left Turn	1,310	1.76	914.8	
		Thru	120	0.59	49.5	
		Right Turn	1,060	0.44	0.0	

표 2.2 Intersection B(Initial Settings)

Node Number	Approach	Lane Group Movement	Traffic Volume (PCU/hr)	X = v/c ratio	Average Delay (sec)	Average Delay on the Node (sec)
Dong-A-Il-Bo Intersection	West Bound	Left Turn	1,430	1.06	190.5	142.36
		Thru	310	0.43	57.3	
		Right Turn	580	0.24	0.0	
	North Bound	Thru	2,400	0.69	34.0	
		Right Turn	180	0.15	0.0	
	South Bound	Left Turn	510	2.45	1,281.0	
		Thru	1,910	0.50	14.9	
		Right Turn	80	0.07	0.0	

표 2.3 Intersection C(Initial Settings)

Node Number	Approach	Lane Group Movement	Traffic Volume (PCU/hr)	X = v/c ratio	Average Delay (sec)	Average Delay on the Node (sec)
Jung-Bal-Jang Gun Intersection	West Bound	Left Turn	410	2.73	1,295.7	318.12
		Right Turn	30	0.24	0.0	
	South-East Bound	Left Turn	360	1.38	590.8	
		Right Turn	780	0.57	3.7	
	North-East Bound	Left Turn	370	2.47	1,215.3	
		Right Turn	30	0.02	0.0	
	North Bound	Left Turn	480	1.26	479.8	
		Thru	2,820	0.87	33.6	
		Right Turn	90	0.06	0.0	
	South Bound	Left Turn	210	1.11	275.8	
Thru		2,680	1.22	397.0		
Right Turn		50	0.08	0.0		

표 2.4 Intersection A(Optimal Settings)

Node Number	Approach	Lane Group Movement	Traffic Volume (PCU/hr)	X = v/c ratio	Average Delay (sec)	Average Delay on the Node (sec)
City Hall Intersection	East Bound	Thru	2,400	1.00	74.0	143.11
		Right Turn	1,370	0.58	0.0	
	West Bound	Left Turn	750	1.02	133.0	
		Thru	1,990	0.65	21.3	
		Right Turn	670	0.37	0.0	
	North Bound	Left Turn	1,310	1.66	809.2	
		Thru	120	0.56	47.0	
		Right Turn	1,060	0.44	0.0	

표 2.5 Intersection B(Optimal Settings)

Node Number	Approach	Lane Group Movement	Traffic Volume (PCU/hr)	X = v/c ratio	Average Delay (sec)	Average Delay on the Node (sec)
Dong-A-Il-Bo Intersection	West Bound	Left Turn	1,430	0.97	49.0	77.57
		Thru	310	0.39	26.7	
		Right Turn	580	0.24	0.0	
	North Bound	Thru	2,400	0.99	47.8	
		Right Turn	180	0.15	0.0	
	South Bound	Left Turn	510	1.56	705.9	
		Thru	1,910	0.56	10.9	
		Right Turn	80	0.07	0.0	

표 2.6 Intersection C(Optimal Settings)

Node Number	Approach	Lane Group Movement	Traffic Volume (PCU/hr)	X = v/c ratio	Average Delay (sec)	Average Delay on the Node (sec)
Jung-Bal-Jang Gun Intersection	West Bound	Left Turn	410	1.12	313.9	91.01
		Right Turn	30	0.02	0.0	
	South-East Bound	Left Turn	360	1.16	409.1	
		Right Turn	780	0.62	7.4	
	North-East Bound	Left Turn	370	1.01	174.7	
		Right Turn	30	0.02	0.0	
	North Bound	Left Turn	480	0.91	109.6	
		Thru	2,820	0.80	41.7	
		Right Turn	90	0.07	0.0	
	South Bound	Left Turn	210	1.03	229.1	
		Thru	2,680	0.98	71.5	
		Right Turn	50	0.08	0.0	

표 2.7 Intersection A(Progressive Optimal Settings)

Node Number	Approach	Lane Group Movement	Traffic Volume (PCU/hr)	X = v/c ratio	Average Delay (sec)	Average Delay on the Node (sec)
City Hall Intersection	East Bound	Thru	2,400	1.00	104.4	152.70
		Right Turn	1,370	0.57	0.0	
	West Bound	Left Turn	750	1.02	158.8	
		Thru	1,990	0.66	28.0	
		Right Turn	670	0.37	0.0	
	North Bound	Left Turn	1,310	1.55	798.5	
		Thru	120	0.52	60.5	
		Right Turn	1,060	0.44	0.0	

표 2.8 Intersection B(Progressive Optimal Settings)

Node Number	Approach	Lane Group Movement	Traffic Volume (PCU/hr)	X = v/c ratio	Average Delay (sec)	Average Delay on the Node (sec)
Dong-A-Il-Bo Intersection	West Bound	Left Turn	1,430	0.98	99.6	74.40
		Thru	310	0.39	64.4	
		Right Turn	580	0.24	0.0	
	North Bound	Thru	2,400	0.98	60.0	
		Right Turn	180	0.15	0.0	
	South Bound	Left Turn	510	1.16	378.0	
		Thru	1,910	0.51	26.8	
		Right Turn	80	0.07	0.0	

表 2.9 Intersection C(Progressive Optimal Settings)

Node Number	Approach	Lane Group Movement	Traffic Volume (PCU/hr)	X = v/c ratio	Average Delay (sec)	Average Delay on the Node (sec)
Jung-Bal-Jang Gun Intersection	West Bound	Left Turn	410	1.00	167.3	86.10
		Right Turn	30	0.02	0.0	
	South-East Bound	Left Turn	360	1.19	411.1	
		Right Turn	780	0.63	9.0	
	North-East Bound	Left Turn	370	0.91	119.8	
		Right Turn	30	0.02	0.0	
	North Bound	Left Turn	480	0.91	131.3	
		Thru	2,820	0.82	27.0	
		Right Turn	90	0.07	0.0	
	South Bound	Left Turn	210	1.05	249.8	
		Thru	2,680	1.01	95.6	
		Right Turn	50	0.08	0.0	

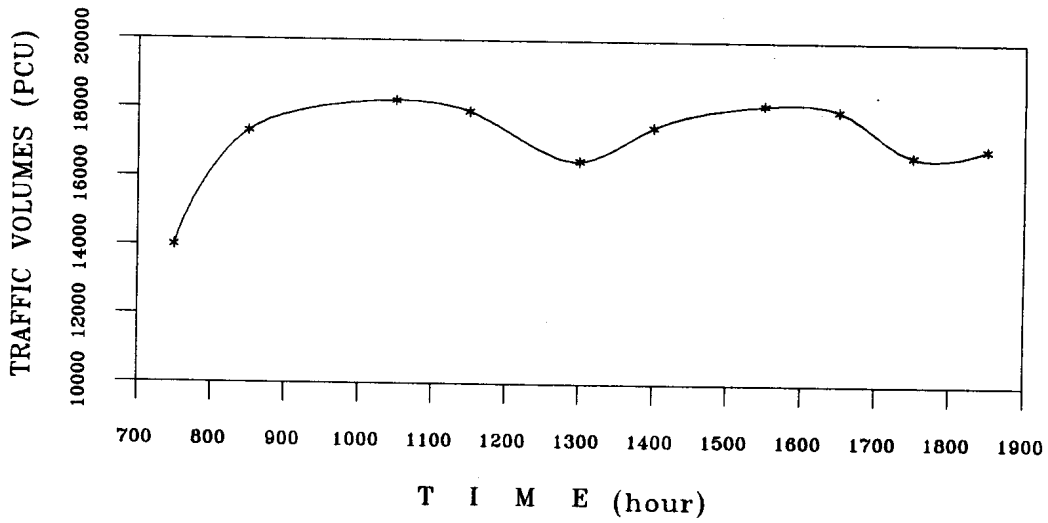
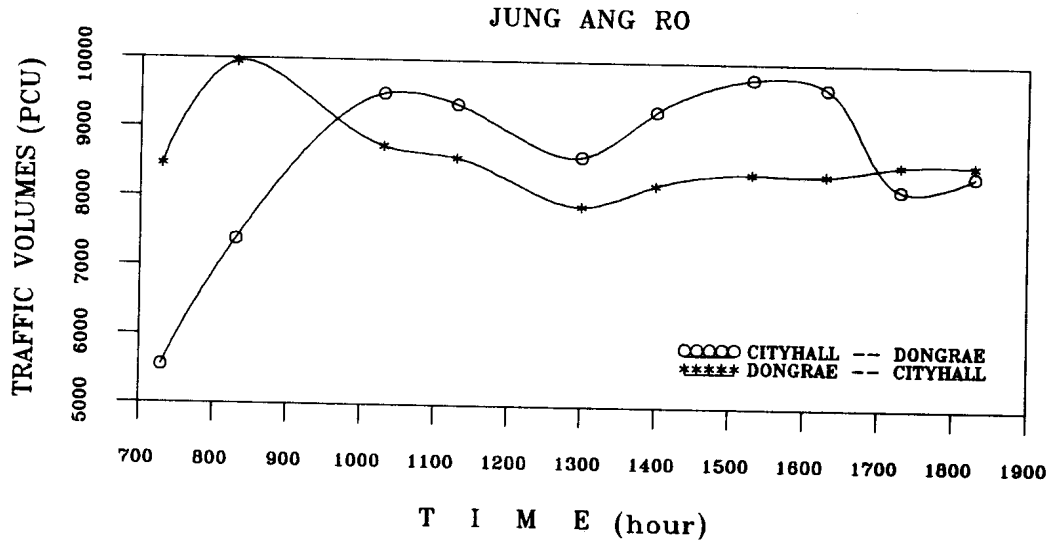
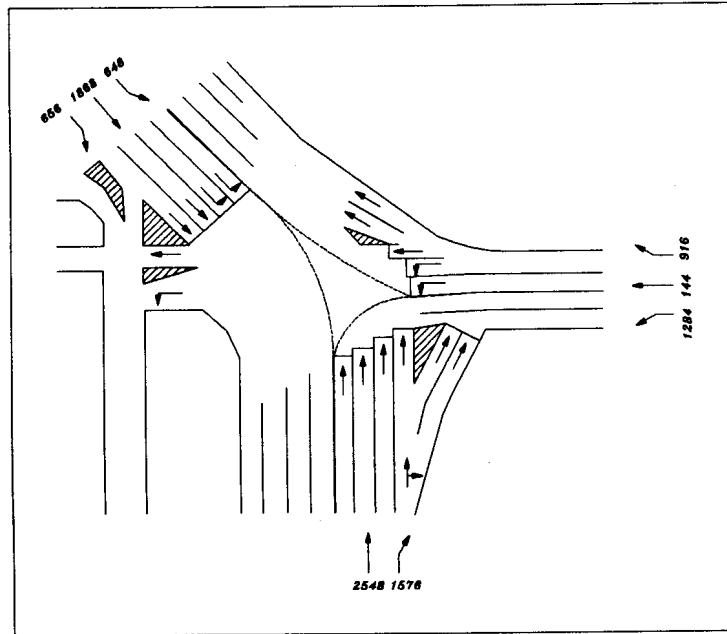


그림 2.1 Traffic Volume Distribution on Main Arterial



현황(Initial Setting)

66 + 4	54 + 4	28 + 4	160
↑ ↓	← ↘	↓ ↘	

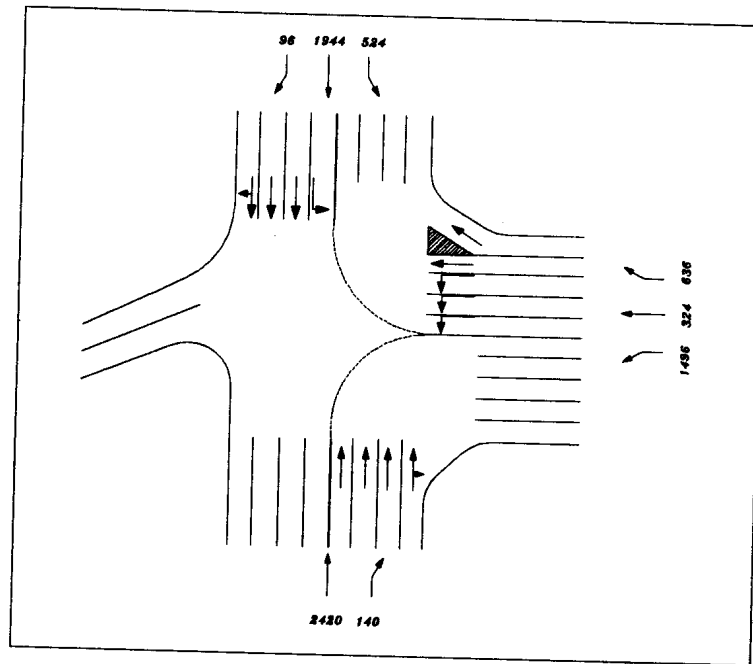
최적 상황(Optimal Setting)

59 + 4	58 + 4	33 + 4	162
↑ ↓	← ↘	↓ ↘	

연동 최적 상황(Progressive Optimal Setting)

87 + 4	92 + 4	49 + 4	240
↑ ↓	← ↘	↓ ↘	

그림 2.2 Intersection A(City Hall Intersection)



현황(Initial Setting)

106 + 4	56 + 4	26 + 4	200
↑ ↓	← ↘	↓ ↘	

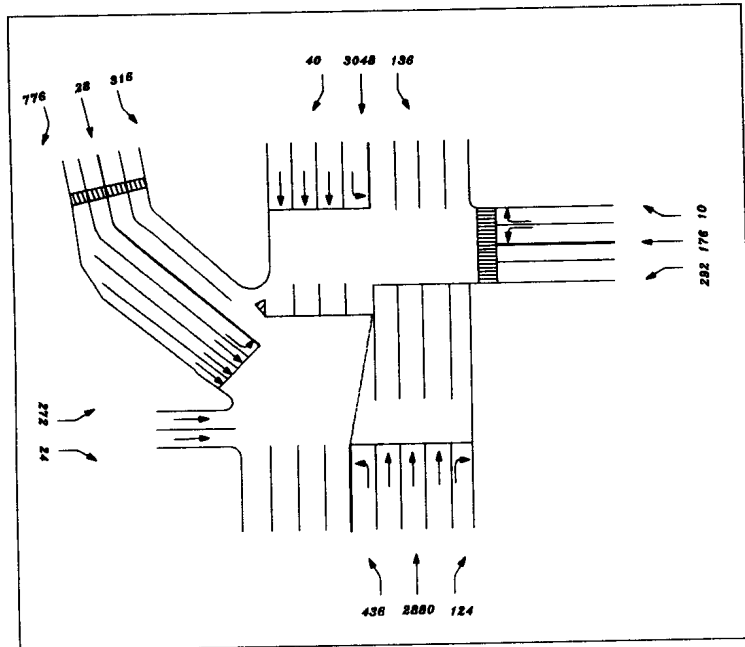
최적 상황(Optimal Setting)

36 + 4	30 + 4	20 + 4	98
↑ ↓	← ↘	↓ ↘	

연동 최적 상황(Progressive Optimal Setting)

89 + 4	73 + 4	66 + 4	240
↑ ↓	← ↘	↓ ↘	

그림 2.3 Intersection B(Dong-A-Il-Bo Intersection)



현황(Initial Setting)

65 + 4	15 + 4	26 + 4	19 + 4	15 + 4	160
↓ ↑	↻	↘ ↙	↘ ↙	↘ ↑	

최적 상황(Optimal Setting)

123 + 4	32 + 4	27 + 4	31 + 4	11 + 4	244
↓ ↑	↻	↘ ↙	↘ ↙	↘ ↑	

연동 최적 상황(Progressive Optimal Setting)

118 + 4	35 + 4	26 + 4	30 + 4	11 + 4	240
↓ ↑	↻	↘ ↙	↘ ↙	↘ ↑	

그림 2.4 Intersection C(Jung-Bal-Jang-Gun Intersection)

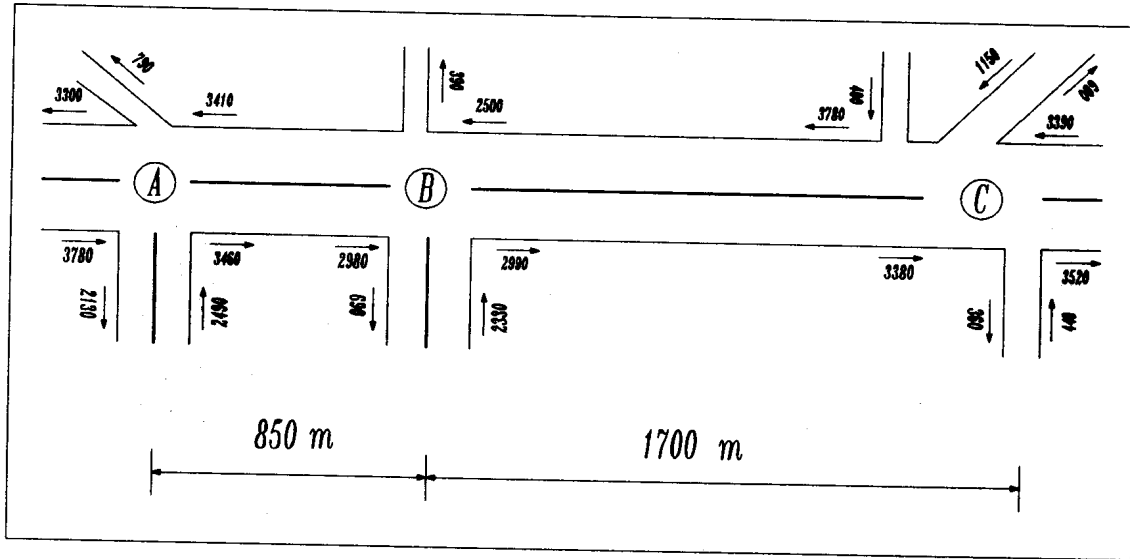


그림 2.5 Directional Traffic Volumes on the Roadway during Peak-time

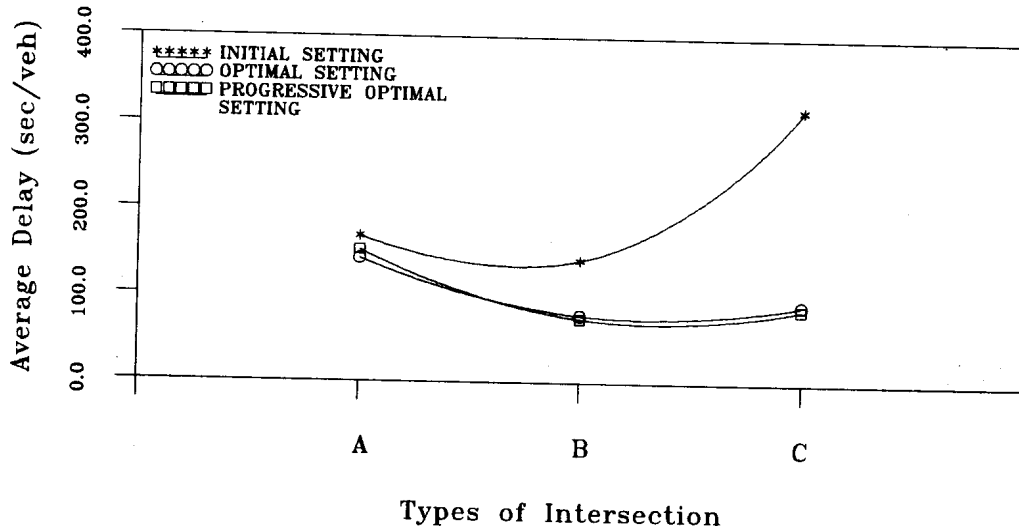


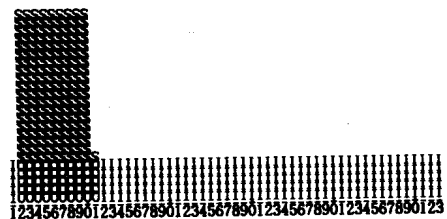
그림 2.6 Comparison of Average Delay

<TRANSYT-7F FLOW PROFILE DIAGRAMS>

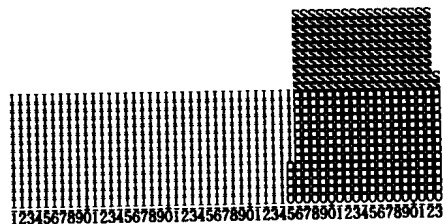
I. LEFT-TURN LANES(LINK 104 AND LINK 108) AT INTERSECTION A

i) INITIAL SETTINGS

LINK 104 MAX FLOW 3600 VEH/H PLT. INDEX .00

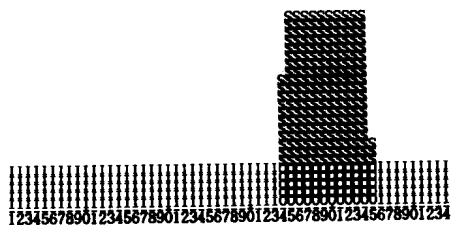


LINK 108 MAX FLOW 2200 VEH/H PLT. INDEX .00

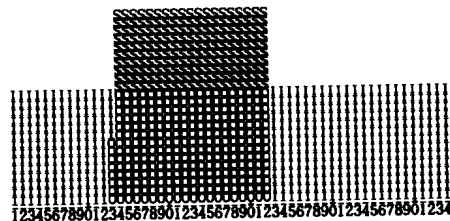


ii) OPTIMAL SETTINGS

LINK 104 MAX FLOW 3600 VEH/H PLT. INDEX .00

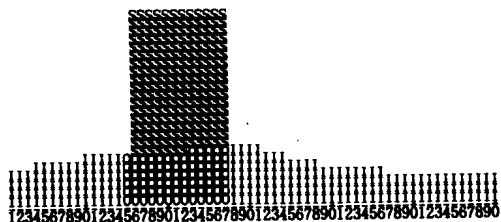


LINK 108 MAX FLOW 2200 VEH/H PLT. INDEX .00

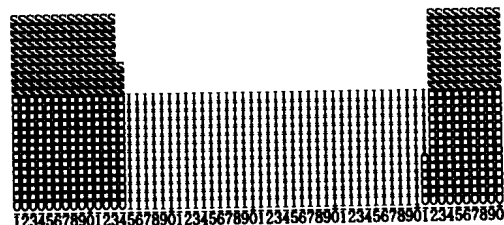


iii) PROGRESSIVE OPTIMAL SETTINGS

LINK 104 MAX FLOW 3600 VEH/H PLT. INDEX .25



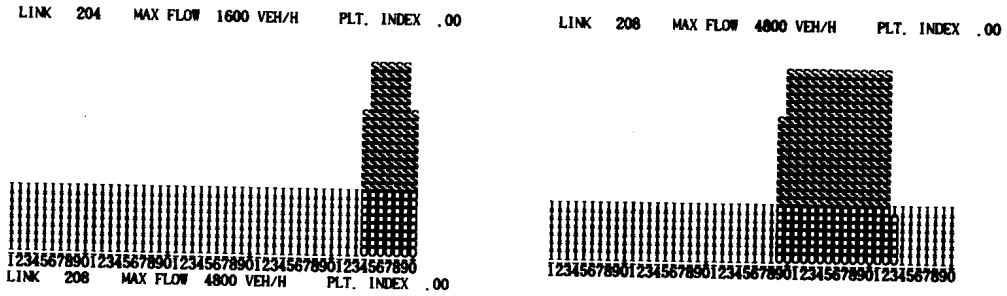
LINK 108 MAX FLOW 2200 VEH/H PLT. INDEX .00



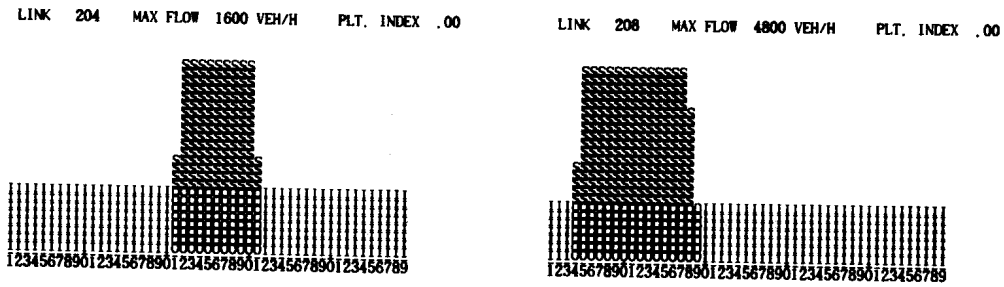
-KEY- I : ARRIVALS THAT QUEUE (NORMALLY ON RED).
 S : DEPARTURES FROM QUEUE (NORMALLY AT THE SATURATION FLOW RATE).
 O : ARRIVALS AND DEPARTURES ON GREEN.
 -, * : DELINEATORS (*+* MARKS EVERY TENTH STEP).
 N : THE NUMBERS ACROSS THE BOTTOM ARE A TIME SCALE IN UNITS OF STEPS.

II. LEFT-TURN LANES(LINK 204 AND LINK 208) AT INTERSECTION B

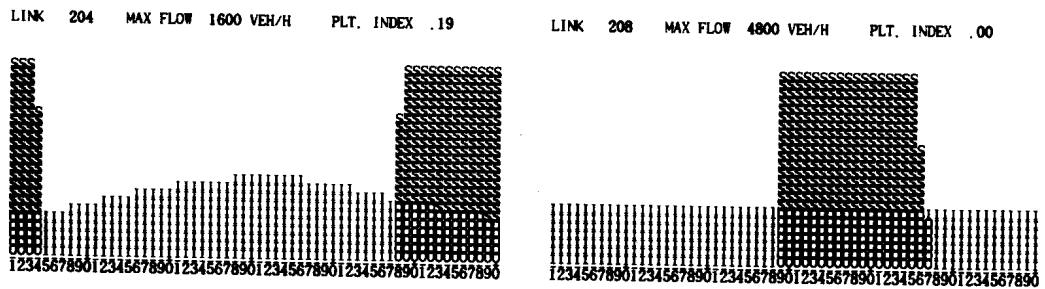
i) INITIAL SETTINGS



ii) OPTIMAL SETTINGS



iii) PROGRESSIVE OPTIMAL SETTINGS

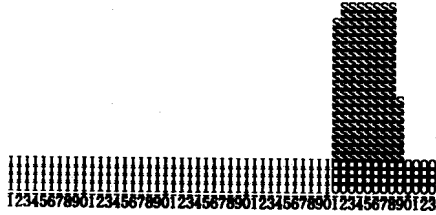


- KEY- I : ARRIVALS THAT QUEUE (NORMALLY ON RED).
- S : DEPARTURES FROM QUEUE (NORMALLY AT THE SATURATION FLOW RATE).
- O : ARRIVALS AND DEPARTURES ON GREEN.
- ,+ : DELINEATORS ("+" MARKS EVERY TENTH STEP).
- N : THE NUMBERS ACROSS THE BOTTOM ARE A TIME SCALE IN UNITS OF STEPS.

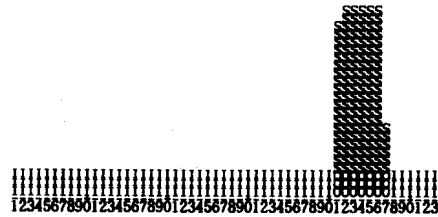
III. LEFT-TURN LANES(LINK 302 AND LINK 304) AT INTERSECTION C

i) INITIAL SETTINGS

LINK 302 MAX FLOW 2800 VEH/H PLT. INDEX .00

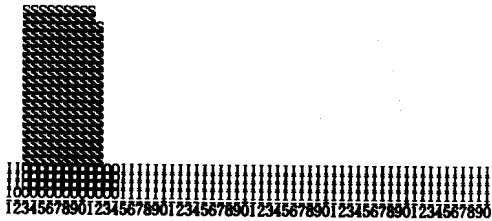


LINK 304 MAX FLOW 1600 VEH/H PLT. INDEX .00

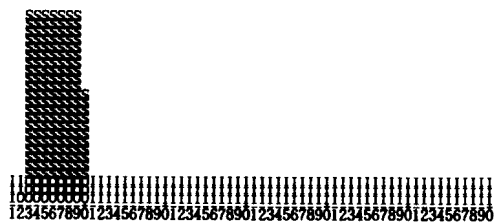


ii) OPTIMAL SETTINGS

LINK 302 MAX FLOW 2800 VEH/H PLT. INDEX .00

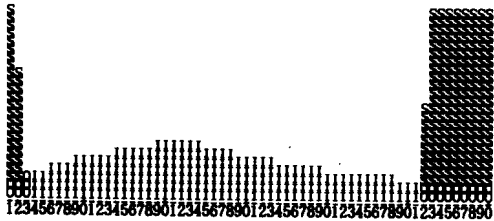


LINK 304 MAX FLOW 1600 VEH/H PLT. INDEX .00

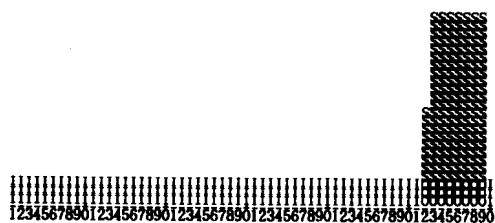


iii) PROGRESSIVE OPTIMAL SETTINGS

LINK 302 MAX FLOW 2800 VEH/H PLT. INDEX .35



LINK 304 MAX FLOW 1600 VEH/H PLT. INDEX .00

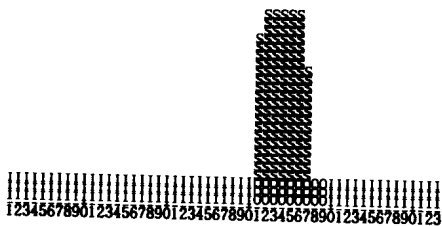


-KEY- I : ARRIVALS THAT QUEUE (NORMALLY ON RED).
 S : DEPARTURES FROM QUEUE (NORMALLY AT THE SATURATION FLOW RATE).
 O : ARRIVALS AND DEPARTURES ON GREEN.
 -,+ : DELINEATORS ("+" MARKS EVERY TENTH STEP).
 N : THE NUMBERS ACROSS THE BOTTOM ARE A TIME SCALE IN UNITS OF STEPS.

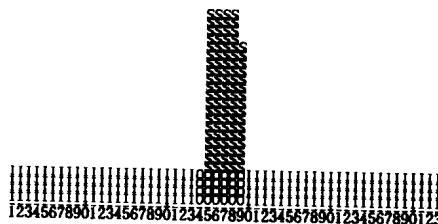
IV. LEFT-TURN LANES(LINK 306 AND LINK 308) AT INTERSECTION C

i) INITIAL SETTINGS

LINK 306 MAX FLOW 2800 VEH/H PLT. INDEX .00

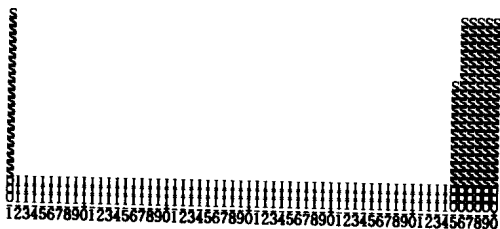


LINK 308 MAX FLOW 2800 VEH/H PLT. INDEX .00

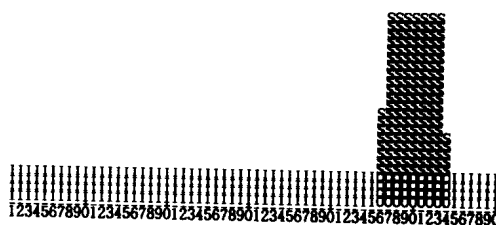


ii) OPTIMAL SETTINGS

LINK 306 MAX FLOW 2800 VEH/H PLT. INDEX .00

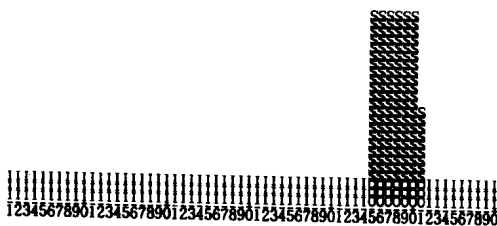


LINK 308 MAX FLOW 2800 VEH/H PLT. INDEX .00

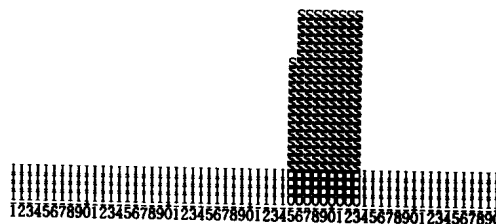


iii) PROGRESSIVE OPTIMAL SETTINGS

LINK 306 MAX FLOW 2800 VEH/H PLT. INDEX .00



LINK 308 MAX FLOW 2800 VEH/H PLT. INDEX .00



- KEY- I : ARRIVALS THAT QUEUE (NORMALLY ON RED).
 S : DEPARTURES FROM QUEUE (NORMALLY AT THE SATURATION FLOW RATE).
 O : ARRIVALS AND DEPARTURES ON GREEN.
 -,+ : DELINEATORS ("+" MARKS EVERY TENTH STEP).
 N : THE NUMBERS ACROSS THE BOTTOM ARE A TIME SCALE IN UNITS OF STEPS.

