

Bus Links를 고려한 부산지역 간선도로 소통체계의 최적설계에 관한 연구

이 은 진¹⁾, 김 태 곤²⁾

Optimal Design of the Travel System with Bus Links on the Arterial in Pusan

Abstract

Today travel demand in the City of Pusan is increasing with the wide scope of activity and the better living circumstances as a big city with a population of about 4 million. Also, the transportation problem of Pusan city becomes one of the severest urban problems with travel demand increasing in spite of the continuous expansion of the transportation facilities.

The purpose in this study is to find the travel characteristics on the arterial under the study, construct the optimal travel systems based upon the travel characteristics found, and finally suggest the optimal Transportation System Management(TSM) which could increase the travel capacity of the arterial based upon the optimal travel systems constructed.

Thus, it was concluded that more emphasis should be put on Transportation Demand Management (TDM) Policy which could reduce the flow of the automobiles into the Downtown areas, increase the travel capacity of the arterial through Mass Transportation System(MTS) including the HOV lanes or the Bus Exclusive Lanes instead.

1) 한국해양대학교 대학원 항만운송공학과 석사과정 교통공학 전공

2) 한국해양대학교 이공대학 항만운송공학과 교수

1. 서론

1990년말 현재 부산시는 서울시 다음으로 높은 인구밀도(7,173인/km²)를 기록하고 있고 산업의 집중으로 도시규모가 급성장함에 따라 개인의 활동영역이 점차 확대되고 있으며 생활수준이 향상됨으로써 통행수요는 날로 급증하고 있다. 또한, 부산시의 주요 도심인 시청과 서면을 중심으로 주요 관공서나 상업시설들이 밀집되어 도시의 주요 기능 및 역할이 분산되지 못해 유출입통행량이 도심으로 집중됨으로써 교통체증이 한층 가중되고 있다. 그리고, 부산시의 도로율은 14.4%로 다른 대도시에 비해 현저히 낮고 연평균 16.8%라는 높은 차량 증가율로 인하여 극심한 교통체증이 야기되고 있는데, 이는 단순한 교통체증이 아니고, 날로 급증하는 통행수요와 부족한 시설공급 사이의 불균형으로 부산시의 전 교통시설에 교통체증을 가중시키고 있어 결국은 심각한 도시문제로 대두되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 부산시의 핵심간선도로인 중앙로를 중심으로 i) 연구대상 간선도로상의 통행특성을 파악하고, ii) 파악된 통행특성을 중심으로 최적의 통행체계를 구축하며, iii) 구축된 최적의 통행체계를 바탕으로 간선도로의 소통능력을 증대시킬 수 있는 최적의 교통체계개선(TSM)방안과 더불어 자가용차량의 도심진입을 규제시키고, 대신 대중교통수단의 이용률을 증대시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 교통체계 분석

본 연구에서는 시청 앞에서 구서 I. C.까지 중앙로 18km 전 구간을 연구대상 구간으로 선정하였다. 특히, 본 연구를 위해서 우선적으로 연구대상 구간 내에 통과교통량의 변화가 심하지 않은 3곳의 가로지점과 유출입통행량이 많은 17개의 교차로를 선정하여 비디오 관측방법(Videologging System Techniques)을 이용하여 교통량을 수집하여 교통량체계의 분석자료를 준비하였다. 다음으로 연구대상 교차로의 기하구조 현황을 조사하여 도로체계분석을 위한 자료를 마련하였고, 통과차량의 도류화 형태, 교차로상의 노면표지와 신호표지를 비롯하여 대상 교차로의 신호주기와 현시를 반복 관측하여 신호체계분석을 위한 자료를 준비하였다.

2. 1 교통량체계 분석

연구대상 간선도로의 가로교통량 자료를 관측하기 위하여 관측요일은 일주일 중 요일별 통과교통량의 변화가 적은 날인 화, 수, 목요일 3일을 선택하였고, 관측대상 가로지점은 B 교차로(중앙동 교차로)와 C 교차로(초량 교차로)사이의 1개 지점, F 교차로(서면 교차로)와 G 교차로(전포 교차로)사이의 1개 지점, N 교차로(동래온천 교차로)와 O 교차로(부곡동 교차로)사이의 1개 지점 등, 총 3개 지점을 조사지점으로 선정하여 15분 단위로 07:00시부터 19:00까지 12시간씩 반복 관측하였다. (참조 Table. 2-2) 특히, 보다 신뢰성 있는 자료수집을 위하여 차량통행의 형태 및 유출입교통량에 변화가 많이 발생하는 비가 오는 날이나 공휴일 및 국경일과 그 전,후일을 제외하고 비디오 관측기법(Videologging System Techniques)을 이용하여 자료관측을 실시하였고, 시간대별, 방향별, 차종별로 분류하여 교통량을 수집하였으며, 수집된 교통량에 중차량 보정계수(Heavy Vehicle Factor, HVF)를 적용하여 승용차환산계수(Passenger Car Unit, pcu)로 환산하여 첨두교통량을 산정하였다. (참조 Table. 2-1)

Table. 2-1 Adjustment Factor for Heavy Vehicle(HVF) (Unit : pcu)

| | 승용차 | 택시 | 승합차 | 트럭 | 버스 | 이륜차 | 특수차 | 컨테이너 |
|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|------|
| HVF | 1 | 1 | 1.5 | 2.5 | 2 | 0.5 | 2.5 | 4 |

관측한 결과를 정리하여 보면 전체적으로 연구대상 간선도로상의 첨두시간대를 뚜렷이 구분할 정도로 가로교통량의 시간대별 분포에 있어서 큰 차이를 보이지 않았으나, 대체적으로 오전 07:00~08:00시를 제외하고는 하루종일 거의 균일하게 통행차량이 분포하는 것을 알 수 있었다. 특히, 오전 출근시간대에 금정경찰서에서 서면방면으로 진입하는 차량이 현저히 많아 양방향의 통행량이 심한 불균형 현상을 보이고 있었으며, 오후 퇴근시간대에는 도심지역에서는 양방향의 교통량이 균형을 보이는 반면, 도시외곽지역에서는 유출되어 나가는 차량이 많은 것을 알 수 있었다.

따라서, 부산시에서는 교통체증이 극심해짐에 따라 출근시간대 출근시간이 점차 빨라지고 일찍 서둘러 출발하는 사람들이 증가하는 추세이며, 자가용차량의 보유율이 증가함에 따라 뚜렷하게 첨두시간은 나타나지 않고 고루 분포하는 경향이

질었으나, 시간대별 가로교통량 분포를 중심으로 결정된 첨두시간대는 오전과 오후에 각각 08:00~09:00와 18:00~19:00로 나타났다.

Table. 2-2 Street Traffic Volume Distribution (Unit : pcu)

| Time | B - C | | F - G | | N - O | | Total | Rate |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|--------|
| | NORTH BOUND | SOUTH BOUND | NORTH BOUND | SOUTH BOUND | NORTH BOUND | SOUTH BOUND | | |
| 07:00-08:00 | 1,855 | 2,689 | 2,037 | 4,151 | 3,337 | 6,668 | 20,737 | 7.72 |
| 08:00-09:00 | 2,667 | 3,456 | 2,896 | 4,887 | 3,911 | 5,589 | 23,406 | 8.71 |
| 09:00-10:00 | 3,026 | 3,090 | 3,104 | 4,336 | 4,536 | 4,944 | 23,036 | 8.57 |
| 10:00-11:00 | 2,831 | 3,014 | 3,454 | 4,190 | 4,825 | 4,600 | 22,914 | 8.53 |
| 11:00-12:00 | 2,930 | 3,175 | 3,386 | 4,131 | 4,718 | 4,684 | 23,024 | 8.57 |
| 12:00-13:00 | 2,748 | 2,893 | 3,193 | 3,792 | 4,552 | 4,510 | 21,688 | 8.07 |
| 13:00-14:00 | 2,840 | 2,928 | 3,272 | 3,862 | 4,620 | 4,437 | 21,959 | 8.17 |
| 14:00-15:00 | 2,975 | 3,012 | 3,563 | 4,246 | 4,646 | 4,167 | 22,609 | 8.41 |
| 15:00-16:00 | 3,021 | 3,107 | 3,610 | 3,931 | 4,635 | 4,172 | 22,476 | 8.36 |
| 16:00-17:00 | 2,898 | 2,912 | 3,444 | 3,982 | 4,713 | 4,210 | 22,159 | 8.24 |
| 17:00-18:00 | 2,873 | 2,848 | 3,473 | 3,947 | 5,021 | 3,947 | 22,109 | 8.23 |
| 18:00-19:00 | 3,136 | 2,832 | 3,476 | 3,630 | 5,593 | 3,995 | 22,662 | 8.43 |
| 합 계 | 33,800 | 35,956 | 38,908 | 49,085 | 55,107 | 55,923 | 268,779 | 100.00 |

그리고, 첨두시간대 간선도로의 가로구간별, 교차로별로 각각 첨두시간계수(PHF)를 산정한 결과, 대부분 0.9가 넘는 것으로 나타나서 교통량이 첨두 1시간에 걸쳐 고루 분포하는 것을 나타내고 있다. (참조 Table. 2-3)

$$PHF = V / (4 \times V_{15}) \quad (2-1)$$

여기서,

$$PHF = \text{첨두시간계수}$$

$$V_{15} = \text{첨두 15분 교통량 (대/15분)}$$

$$V = \text{첨두 1시간 교통량 (대/시)}$$

한편, 연구대상 구간내 A 교차로(시청앞 교차로), B 교차로(중앙동 교차로), C 교차로(초량 교차로), D 교차로(좌천동 교차로), E 교차로(범내골 교차로), F 교차로(서면 교차로), G 교차로(전포 교차로), H 교차로(송공 교차로), I 교차로(양정

교차로), J 교차로(연산 교차로), K 교차로(교대앞 교차로), L 교차로(내성 교차로), M 교차로(명륜동 교차로), N 교차로(동래온천 교차로), O 교차로(부곡동 교차로), P 교차로(기찰 교차로), Q 교차로(금정경찰서앞 교차로) 등 유출입통행량이 많은 17개의 교차로를 선정하고 일주일 중 유출입교통량의 변화가 적은 화, 수, 목요일 3일을 선택하여 앞서 정해진 오전·오후 첨두시간 각각 1시간씩 반복 관측하였다. 관측대상 교차로의 교통량은 대상 교차로마다 차이는 있었지만 7,000~12,000 *pcu*의 교통량이 발생하였으며, 각 교차로의 첨두시간계수(PHF) 역시 Q 교차로(금정경찰서앞 교차로)를 제외하고 대체적으로 0.9이상으로 나타났다. (참조 Table. 2-4)

Table. 2-3 Peak Hour Factor(PHF) depending upon Street Peak Traffic

| Section | P H F | |
|---------|------------------|------------------|
| | A.M. 08:00~09:00 | P.M. 18:00~19:00 |
| B - C | 0.890 | 0.974 |
| F - G | 0.966 | 0.955 |
| N - O | 0.987 | 0.921 |

Table. 2-4 Peak Hour Factor(PHF) depending upon Intersection Peak Traffic

| Intersection name | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PHF | 0.984 | 0.961 | 0.962 | 0.950 | 0.974 | 0.958 | 0.971 | 0.971 | 0.933 |
| Intersection name | J | K | L | M | N | O | P | Q | |
| PHF | 0.926 | 0.961 | 0.931 | 0.935 | 0.962 | 0.945 | 0.970 | 0.897 | |

2. 2 도로체계 분석

본 연구대상 간선도로인 중앙로는 24~40 *m*의 도로 폭을 유지하고 있었고, 대상 교차로는 대체적으로 3지에서 6지 교차로의 형태를 취하고 있었다. 그리고 대상 간선도로의 차선 폭은 다양하여 좌회전차선의 폭은 2.7~3.3 *m*의 넓이로 직진보다 좁은 차선이 많았고, 우회전차선은 버스나 택시의 주·정차와 버스통행 등으로 인하여 3.0~5.0 *m* 정도의 넓은 폭을 유지하고 있었다. 특히, 노면표지가 차량의 통행특성과 통행방향에 일관성 있게 표시되어 있지 않아서 차량통행에 혼란을 야기

시키고 차량지체를 가중시키고 있었다. 따라서, 보다 신뢰성 있는 도로체계분석을 위해 대상 교차로의 차선간격과 도류화 표지 및 노면표지를 실측하였고, 도로용량 산정은 미국의 도로용량편람인 HCM(Highway Capacity Manual)¹⁵⁾과 신호체계 최적화 프로그램인 TRANSYT-7F의 기준을 바탕으로 우리나라의 도로 여건과 차량의 크기를 고려하여 주 교통용량(Primary Travel Capacity)과 보조 교통용량(Secondary Travel Capacity)으로 구분하여 도로체계 분석에 적용하였다.

일반적으로 포화 교통량은 1시간동안 교차로의 통행량을 결정하며 신호 교차로에서의 용량은 포화 교통량에 유효녹색시간비(g/C)를 적용함으로써 결정된다.

$$c = s \times (g/C) \quad (2-2)$$

여기서,

- c ; 용량
 s ; 포화 교통량
 g/C ; 주기(C)에 대한 유효녹색시간(g)의 비

특히, 포화 교통량(s)는 다음과 같이 산정된다.

$$s = s_o N_L f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{RT} f_{LT} \quad (2-3)$$

여기서,

- s ; 포화 교통량 ($vphg$)
 s_o ; 이상적인 포화 교통량 ($1,800 pcphgp$)
 N_L ; 분석 대상, 이동류의 차선 수
 f_w ; 차선 폭 보정계수
 f_g ; 구배 보정계수
 f_p ; 주차 보정계수
 f_a ; 용지활용 보정계수
 f_{bb} ; 버스 정류장 방해 보정계수

f_{HV} ; 중차량 보정계수

f_{RT} ; 우회전 보정계수

f_{LT} ; 좌회전 보정계수

한편, 정확한 도로체계 분석을 위해서는 위에서 정의한 보정계수를 모두 고려해야 하지만, 본 연구에서는 실측가능한 차선 폭, 노면상태 그리고 중차량에 대한 보정계수만을 고려하고 나머지 보정계수는 일반적으로 사용되는 이상적인 값을 사용하여 포화 교통량을 산정하였다. 그리고, 차선 폭의 변화를 고려하여 아래와 같이 용량을 수정하였다.

$$U_1 = c \times \frac{B}{L} \quad (2-4)$$

여기서,

U_1 ; 수정용량

c ; 기본용량

B ; 차선 폭

L ; 이상적인 차선 폭 (3.6m)

또한, 도로여건과 차량의 크기 등을 고려해 25%의 가중치를 주어서 다음과 같이 도로용량을 수정하여 분석에 이용하였다.

$$U_2 = U_1 \times 1.25 \quad (2-5)$$

여기서

U_2 ; 최종 적용용량

일반적으로 미국의 도로용량편람인 HCM(Highway Capacity Manual)에서는 이상적인 3.6 m의 차선 폭에 대하여 승용차를 기준으로 교통용량(Travel Capacity)을 1800 vph로 정하고 있으나, 본 연구에서는 연구대상 간선도로의 신호체계분석에 이용된 프로그램인 TRANSYT-7F의 차선 당 용량기준 및 우리나라 도로 기

하구조의 특성 및 차량의 크기를 고려하여 각각 25%를 추가하여 3.6 m의 차선 폭을 기준으로 직진 한 차선 당 2,250 *vph*, 회전 차선에는 2,000 *vph*, 직진과 회전 겸용차선에는 3,000 *vph*의 교통용량을 적용하였다. 특히 겸용차선(Shared Lane)의 경우 주링크(Primary Link)에는 2,000 *vph*를, 보조링크(Secondary Link)에는 1,000 *vph*를 각각 적용하였고 그 외 각 교차로의 상황에 따라 적절하게 용량을 적용하였으며, 버스링크(Bus Link)를 고려할 때는 직진 차선(Thru Link)에 800 *vph*를, 직진·회전 겸용차선(Thru & Turning Link)에는 1000 *vph*를 고려하여 분석에 이용하였다.

2.3 신호체계 분석

본 연구대상 교차로상의 차량 접근로를 중심으로 노면표지와 신호표지를 비롯하여 신호현시의 길이(Signal Phase Length)와 순서(Signal Phase Sequence), 그리고 신호주기(Cycle Length)를 관측하였고, 교차로의 기하구조 및 통과차량의 도류화 형태를 파악하여 교통량체계 분석으로부터 산정한 침투교통량을 중심으로 각 대상 교차로의 신호체계 분석을 실시하였다.

대상 교차로의 전반적인 신호체계 현황을 살펴보면, 신호현시는 대체적으로 2~5현시의 형태를 취하고 있었고, 선정된 17개 대상 교차로 중 3현시로 운영되고 있는 교차로가 7곳으로 가장 많았으며, 6개의 교차로는 5현시로 운영되고 있었다. 그리고, 신호주기는 150~240sec 사이에서 운영되고 있었으나, 교통량이 집중되는 몇몇 교차로에서는 정체되는 링크에 녹색신호시간을 길게 할당하고 그렇지 않은 곳에는 짧게 할당하는 가변형의 신호주기(Variable Cycle Length)로 운영되고 있었다. 대상 교차로에 대해 오전과 오후 침투시간대(Peak-Time Periods)로 분리하여 현황분석(Simulation), 최적화분석(Optimization) 및 연동 최적화분석(Progressive Optimization)을 실시하였다

교차로의 현황 및 최적화분석 결과를 상호 비교할 때 평균지체(Average Delay)나 연료 소모량(Fuel Consumption)이 대체적으로 감소하였다. 그러나, 각 교차로 별로 현황과 연동 최적화분석 결과를 비교할 때 일부 교차로에서는 평균지체나 연료소모량이 감소하지 않고 다소 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 간선도로를 중심으로 교차로 신호체계의 연동화시에 각 교차로별 유출입교통량과 간선도

로의 통과교통량의 현저한 차이로 인하여 발생하는 것으로 생각되었다.

Table. 2-5 Progressive optimization results in the morning peak period

| 분 석 Parameter | I | II | III | IV |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Average Delay (<i>sec/veh</i>) | 786.4 | 778.8 | 1,469.6 | 1,461.1 |
| Fuel consumption (<i>lit/hr</i>) | 115,713 | 114,746 | 196,599 | 195,554 |
| Operating Cost (<i>\$/hr</i>) | 449,560 | 445,889 | 756,146 | 752,181 |
| Performance Index (DI) | 36,899.1 | 36,554.4 | 66,263.2 | 65,887.3 |

Table. 2-6 Progressive optimization results in the afternoon peak period

| 분 석 Parameter | I | II | III | IV |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Average Delay (<i>sec/veh</i>) | 701.6 | 698.2 | 1,328.1 | 1,312.8 |
| Fuel consumption (<i>lit/hr</i>) | 101,939 | 101,170 | 174,338 | 172,477 |
| Operating Cost (<i>\$/hr</i>) | 395,911 | 392,957 | 670,340 | 663,258 |
| Performance Index (DI) | 32,220.9 | 31,959.5 | 28,523.3 | 57,849.5 |

<참고>

- I : 연동 최적화분석 (Progressive Optimization)
- II : 최적현시를 고려한 연동 최적화분석 (Progressive Optimization with Optimal Phase)
- III : 버스링크를 고려한 연동 최적화분석 (Progressive Optimization with Bus Link)
- IV : 최적현시와 버스링크를 고려한 연동 최적화분석
(Progressive Optimization with Optimal Phase and Bus Link)

한편, 본 연구에서는 대상 간선도로의 N-S 방향의 직진링크에 대하여 버스링크를 고려하였는데, 버스링크의 효율성을 알아보기 위해 버스링크 고려 전·후 (Before & After)의 버스의 평균지체시간과 연료소모량을 중심으로 비교하였다. (참조 Table. 2-7)

Table. 2-7 Measures of Effectiveness(MOE) in Progressive Optimization with/without Bus Links

| | | Without Bus Links | | With Bus Links | | Rate (%) | |
|----------------------------------|----|-------------------|-------|----------------|------|----------|------|
| | | N 방향 | S 방향 | N 방향 | S 방향 | N 방향 | S 방향 |
| Average Delay (sec/veh) | 오전 | 166.6 | 149.6 | 35.3 | 39.3 | 78.8 | 73.7 |
| | 오후 | 145.6 | 152.0 | 34.0 | 39.1 | 76.6 | 74.3 |
| Fuel Consumption (lit/hr/veh) | 오전 | 0.52 | 1.31 | 0.16 | 0.72 | 69.2 | 45.0 |
| | 오후 | 0.48 | 0.46 | 0.16 | 0.15 | 66.7 | 67.4 |

이와 같은 분석결과로부터 대상 간선도로를 중심으로 최적의 신호체계와 연동화체계를 구축할 필요가 있으며, 간선도로상의 버스통행을 증대시키기 위해 버스링크를 고려할 경우 그 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각되었다.

2. 4 현시체계 분석

Lead Left-Turn Phasing은 좌회전 녹색신호(Left-Turn Arrow)에 이어서 반대방향의 녹색신호(Green Interval)가 계속 진행되는 현시상태이고, 그와는 반대로 Lag Left-Turn Phasing은 반대방향의 녹색신호 다음에 보호 좌회전신호(Protected Left-Turn Green Arrow)가 이어지는 현시상태이다. Lead Left-Turn Phasing을 이용하면 좌회전 차선을 설치하지 않고서도 접근차선상의 교차로 용량을 증대시키고 좌회전과 직진의 충돌을 최소화시킬 수 있으나 녹색신호시에 반대방향 직진차량의 통행을 제한하는 경향이 있다. 반면에 Lag Left-Turn Phasing에서는 양방향의 직진이 동시에 운행될 수 있고 좌회전 녹색신호가 시작되기 전에 보행자의 횡단이 끝남으로써 차량과 보행자를 분리시키며 인접한 교차로에서 진행해 오는 차량군이 차단되지만, 좌회전 차선이 없는 경우에 직진차량의 통행이 지장이 발생하고 좌회전 황색시간(Left-Turn Yellow Change Interval)동안 좌회전 차량이 차단되며 Lagging Interval의 초기에 직진차량과 좌회전차량 사이에 상충이 발생할 수 있다.

본 연구에서는 대상 교차로에 대하여 좌회전신호 현시체계의 기본적인 형태인 Lead Left-Turn Phasing과 Lag Left-Turn Phasing의 효과를 비교하여 각 교차로 상황에 알맞은 현시체계(Signal Phase)를 적용함으로써 지체가 어느 정도 감소

하는가 알아보았다.

2. 5 교차로 서비스수준 (Level of Service, LOS) 분석

일반적으로 교차로의 서비스 수준을 비교하는 방법으로는 i) *v/c ratio*에 의한 비교방법, ii) 평균지체시간(Average Delay)에 의한 비교방법 등이 있다.

i) *v/c ratio*에 의한 비교방법

교차로의 분석에 있어서 가장 기본적이고 흔히 이용되는 것이 *v/c ratio*에 의한 비교방법이다. *v/c ratio*는 교통량(Traffic Volume)과 교통용량(Travel Capacity)의 비율로서 가로(Street)나 교차로(Intersection)의 소통능력을 나타내는 수치이다. 교차로상의 각 링크(Link)의 *v/c ratio*는 X 로 나타내기로 하며 이를 포화도(Degree of Saturation)라 부르기도 한다.

모든 이동류가 동시에 포화가 되는 일은 거의 없으므로 개개의 이동류의 포화도에 따른 효율성이 더욱 중요하다. 그러나 교차로 전체의 *v/c ratio*를 나타내기 위해서는 한 현시의 여러 이동류 가운데 최대 *v/c ratio*값을 선정하여 이를 모든 현시에 대하여 합한 값인, 교차로 용량의 효율성 개념의 *critical v/c ratio* (X_c)를 사용한다.

따라서 교차로 전체의 *critical v/c ratio*는 다음과 같이 구해진다.

$$X_c = \frac{C}{C-L} \times \sum_j (v/s)_j \quad (2-6)$$

여기서,

- X_c ; 교차로 전체의 *critical v/c ratio*
- $\sum_j (v/s)_j$; 임계 차선군, 접근로 i 의 교통량비의 합
- C ; 신호주기의 길이 (sec)
- L ; 신호주기 당 총 손실시간,
(출발지연시간 + 황색시간 - 진행연장시간)

ii) 평균지체시간(Average Delay)에 의한 비교방법

$$D = D_u + D_{rs} \quad (2-7)$$

$$D_u = \sum_t^N m_t / N \quad (2-8)$$

여기서,

D ; 총 지체시간 (veh-hr/hr)

D_u ; 균일지체시간 (veh-hr/hr)

m_t ; t 시간 동안의 대기차량행렬의 길이

N ; 신호주기 당 step의 수

지체는 차량들의 불규칙한 도착에 기인하여 발생한다.

$$D_{rs} = 900TX^2 \{ (X-1) + [(X-1)^2 + (4X/cT)]^{1/2} \} \cdot (3600/v) \quad (2-9)$$

여기서,

D_{rs} ; 임의 포화지체(Random-plus-Saturation Delay) (veh · hr/hr)

X ; 포화도

c ; 용량 (vph) 또는 sg/C

T ; 주기 (Period Length, 보통 60분)

iii) 목적함수 (Objective Function)

본 연구에서 적용된 최적화분석의 목적함수는 표준지체(Standard Delay)와 정지 횟수(Stops)를 중심으로 구성되어 있으며 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Minimize} \quad DI = D_i \cdot D_{wf} + S_p \cdot S \cdot S_{wf} \quad (2-10)$$

여기서,

- DI ; 불용지수 (Disutility Index)
 D_i ; 링크 i 상의 단위시간당 차량지체시간
 D_{wf} ; 각 링크상의 지체시간 가중치
 S_p ; 네트워크 전체의 차량 정지에 따른 벌점 (Penalty)
 S ; 네트워크 상의 차량의 정지시간
 S_{wf} ; 각 링크 상의 정지시간 가중치

이와 같이 계산된 차선의 v/c ratio가 1.0 이상이면 이 차선의 소통능력은 낮은 것이므로 방향별 차선계획을 다시 검토하거나 차선용량을 확충할 수 있는 계획을 수립해야 하고, 또한 분석된 평균지체시간(Average Delay)이 78sec를 초과하는 차선(Lane)이나 교차로의 경우에도 서비스 수준(LOS)이 “F”로 규정되어 전반적인 도로 및 차선계획을 다시 수립해야 한다.

2. 6 교통량 흐름도 (Flow Profile Diagrams)

본 연구에서는 각 단계의 분석과정에서 N-S 방향의 직진링크(Thru Links)와 좌회전 링크(Left-Turn Links)의 교통량 흐름도(Flow Profile Diagrams)를 제시하여 방향별, 분석 단계별 소통현황을 비교하였고, 버스링크(Bus Links)의 효율성을 알아보기 위해 버스링크를 고려한 연동최적화분석의 결과 중에서 N-S 방향의 직진링크와 버스링크의 교통량 흐름도를 비교하였다. 교통량 흐름도에서 기호 “I”는 적색신호시간에 도착하는 차량을 나타내고, 기호 “S”는 적색신호시간에 누적된 차량이 녹색신호시간에 출발하는 차량을 표시하고, 기호 “O”는 녹색신호시간에 도착하는 차량을 각각 나타내고 있다. 특히, 대상 간선도로 현황분석의 교통량 흐름도에서는 기호 “O”의 수가 많은 것을 볼 수가 있는 반면 최적화분석의 교통량 흐름도에서는 “O”의 수가 감소한 것을 볼 수가 있었는데, 이것은 대기열(Queue)을 이루는 차량의 수가 감소함으로써 지체가 감소하는 것을 의미하는 것으로, 연동 최적화분석, 최적현시를 고려한 연동 최적화분석, 버스를 고려한 연동 최적화분석의 교통량 흐름도에서도 비슷한 현상을 볼 수가 있었다.

3. 교차로별 분석

각 교차로의 교통량체계 분석, 도로체계 분석 및 신호체계분석을 중심으로 하여 교차로의 소통현황을 파악할 수 있었고, 최적화분석 및 연동 최적화분석을 통해 최적의 신호주기를 추구할 수 있었으며, 신호주기의 최적화 수렴과정에서 평균지체시간이 안정상태에 도달하는 구간을 최적신호주기 구간으로 제시하였다.

여기서는 대표적인 교차로로 금정경찰서앞 교차로를 예로 들었다.

3.1 Q 교차로(금정 경찰서앞 교차로)

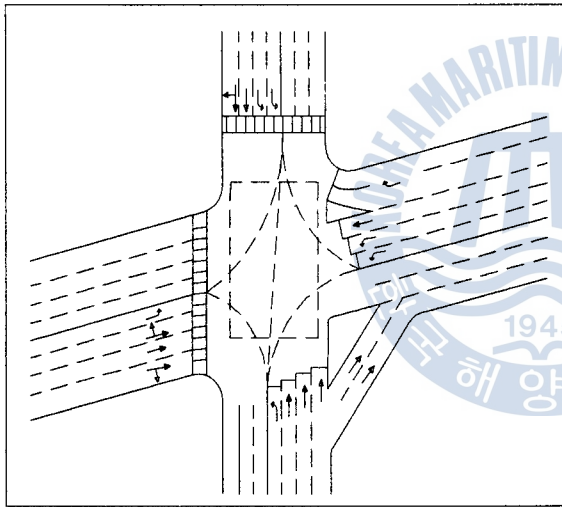


Fig. 3-1 Kum-Jeong Police Intersection

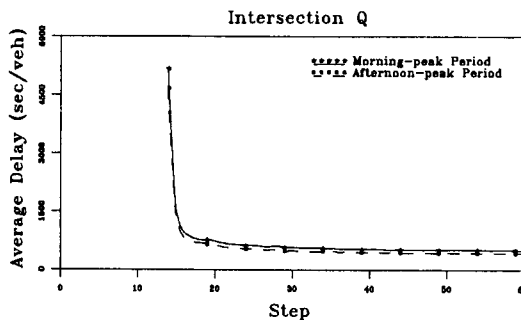


Fig. 3-2 Cycle Evaluation

Q 교차로 (금정경찰서앞 교차로)는 5 현시로 운영되고 있었고 신호주기는 200sec로 관측되었다. 최적화분석에서 N-S 방향의 직진링크(Thru Link)의 녹색신호시간이 증가되어 있고 N 방향(시청→동래방면)의 직진과 좌회전에 배정된 녹색신호시간이 감소되었는데 이 때 오전 첨두시간에는 약 40%의 평균지체시간과 연료소모량이 감소되었고 오후첨두시간에는 약 41% 정도가 증가됨을 알 수 있었다. 연동 최적화분석을 실시하였을 경우 38%의 평균지체시간이 감소하였고 33%의 연료소모량이 증가하는 것으로 나타났다. 최적현시를 고려한 연동 최적화분석을 실시했을 때에는 오전 첨두시간대에는 37%의 평균지체시간이 감소하였고 32%의 연료소모량이 감소하였으며, 이와 마찬가지로 오후 첨두시간대에도 39%, 33%의 평균지체시간과 연료소모량이 각각 감소하였다. 버스링크를 고려한 연동 최적화분석에서도

각 방향에서 평균지체시간과 연료소모량이 큰 쪽으로 감소하였는데, N 방향(시청→동래방면)의 버스링크에서는 97% 정도의 평균지체시간이 감소하였고 86% 정도의 연료소모량이 감소하였다. 또한 S 방향(동래→시청 방면)의 버스링크에서는 94% 정도의 평균지체시간과 연료소모량이 감소하는 것을 알 수 있었다. 그리고, 오전·오후 첨두시간대 각 분석에 따른 금정경찰서앞 교차로의 최적의 현시체계 및 신호주기는 Table. 3-8과 같다.

Table. 3-8 Cycle Length and Phase Sequence in Kum-Jeong Police Intersection

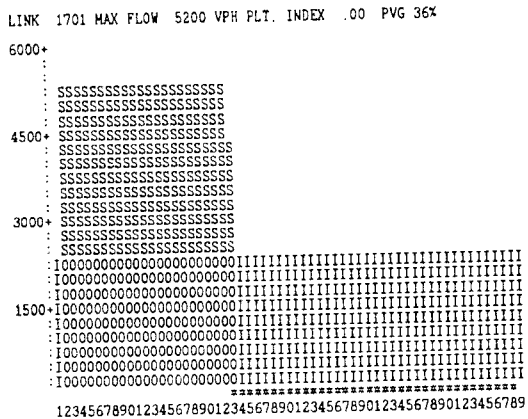
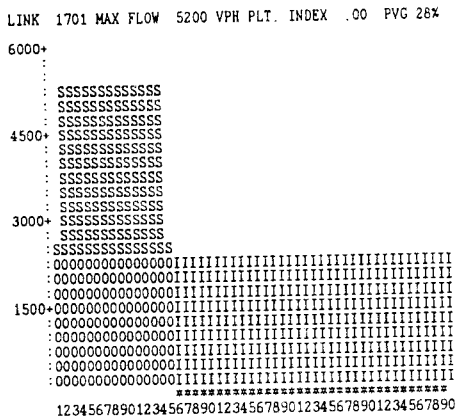
| Setting | Node Q (A.M.) | | | | | Cycle Length(sec) | Node Q (P.M.) | | | | | Cycle Length(sec) |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| | φ 1 | φ 2 | φ 3 | φ 4 | φ 5 | | φ 1 | φ 2 | φ 3 | φ 4 | φ 5 | |
| Simulation (%) | | | | | | 200 | | | | | | 200 |
| | 27 (2) | 25 (2) | 7 (2) | 11 (2) | 20 (2) | | 27 (2) | 25 (2) | 7 (2) | 11 (2) | 20 (2) | |
| Optimization (%) | | | | | | 225 ~ 300 | | | | | | 240 ~ 300 |
| | 37 (1) | 27 (1) | 6 (1) | 11 (1) | 14 (1) | | 36 (1) | 27 (1) | 6 (1) | 11 (1) | 15 (1) | |
| Progressive Optimization (%) | | | | | | 260 ~ 300 | | | | | | 270 ~ 300 |
| | 38 (1) | 27 (1) | 6 (1) | 11 (1) | 13 (1) | | 37 (1) | 27 (1) | 6 (1) | 11 (1) | 14 (1) | |
| Optimization with Optimal Phase (%) | | | | | | 220 ~ 300 | | | | | | 215 ~ 300 |
| | 38 (1) | 13 (1) | 11 (1) | 6 (1) | 27 (1) | | 38 (1) | 13 (1) | 11 (1) | 6 (1) | 27 (1) | |
| Progressive Optimization with Optimal Phase (%) | | | | | | 260 ~ 300 | | | | | | 265 ~ 300 |
| | 40 (1) | 12 (1) | 11 (1) | 6 (1) | 26 (1) | | 40 (1) | 12 (1) | 11 (1) | 6 (1) | 26 (1) | |

오전 첨두시간대 : 금정경찰서앞 교차로의 N-Bound 직진차선

오전 첨두시간대 : 금정경찰서앞 교차로의 N-Bound 직진차선

i) 현황분석

ii) 최적화분석



< 기호설명 >

- I : 적색신호시간에 도착하는 차량, S : 적색신호시간에 누적되었다가 녹색신호시간에 출발하는 차량
- O : 녹색신호시간에 도착하는 차량, * : 적색신호구간, 0 ~ 9 : 한 신호주기의 Step수

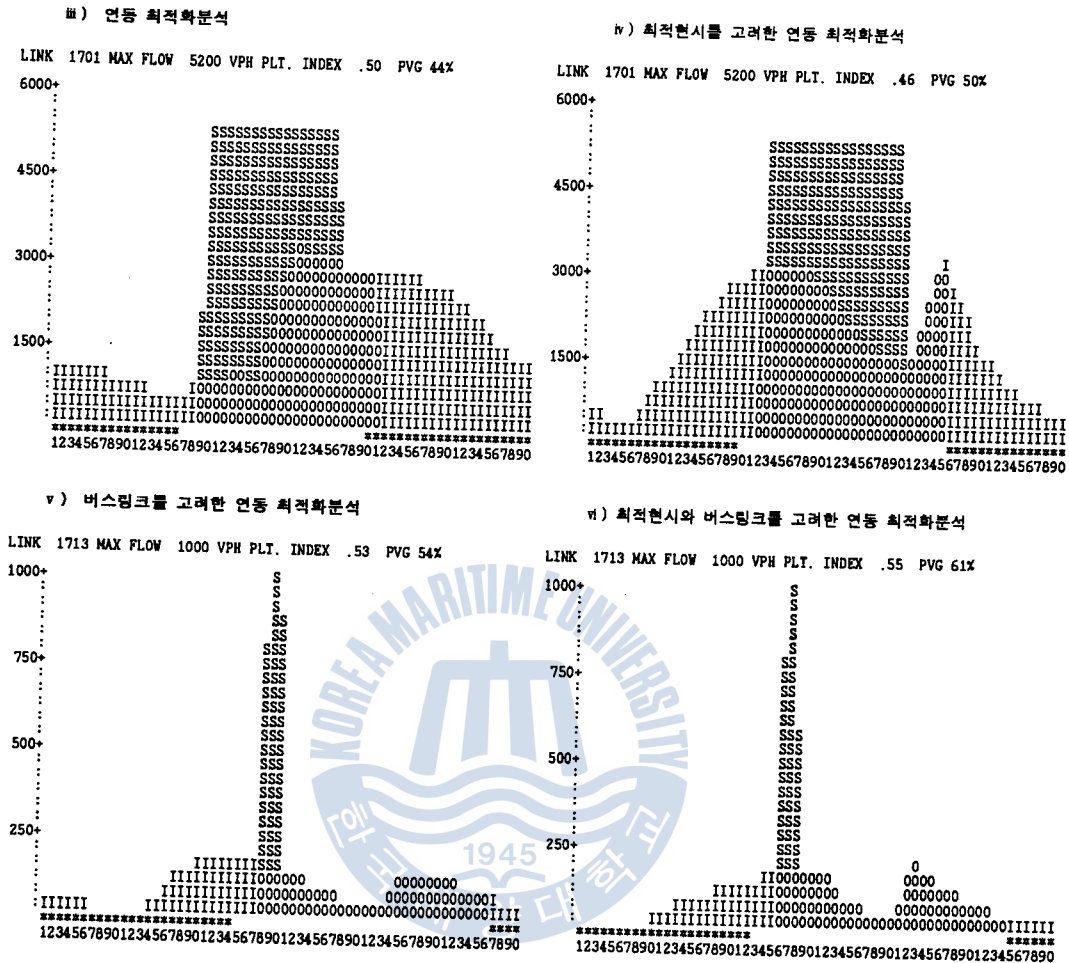


Fig. 3-3 Flow Profile Diagram

4. 결론

본 연구에서 선정된 중앙로는 부산시의 핵심 교통축으로서 1일 도심 통행량 중 60% 이상이 집중되고 있다. 그리고 대상 간선도로에서 발생하는 교통체증은 다른 간선도로에 막대한 영향을 줄 수 있다고 판단되었기 때문에 대상 간선도로를 중심으로 유출입통행량이 많은 17곳의 핵심 교차로를 선정하여 교통량체계, 도로체계 및 신호체계 분석을 실시하였고, 교차로상의 차량소통을 보다 원활히 하기 위해 최적의 신호체계 및 연동화체계를 구축하였으며, 간선도로의 소통능력을 증대시키기 위해 우측차선에 버스링크(Bus Links)를 고려하여 통행체계를 검토하였다.

그 결과 부산지역의 간선도로 소통능력을 증대시키기 위해서는 첫째 간선도로를 중심으로 시간대별 신호체계의 최적화 및 연동화가 구축되어야 하고, 둘째 대중교통시설의 확충과 서비스 개선을 통하여 대중교통수단의 이용률을 증대시켜야 하며, 셋째 간선도로상에 버스전용차선을 설치하여 개인교통수단의 통행수요 및 주차수요를 감소시켜 도시교통문제를 완화시켜야 한다는 결론에 도달하였다.

참고문헌

- 1) 부산직할시, 통계연보, 1991, 부산직할시, 대도시비교통계, 1991.
- 2) 부산직할시, 도시정비기본계획 최종보고서, 1993.
- 3) 부산직할시 교통관광국, "교통 및 관광통계자료", 1994. 5.
- 4) Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual", TRB. Special Report 209. 1985.
- 5) Courage and Wallace, "TRANSYT-7F Vol. 4 in Series", U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Dec. 1991.
- 6) Sandra Rosenbloom, "Peak-Period Traffic Congestion : A State-of-the-Art Analysis and Evaluation of Effective Solutions", Urban Transportation perspectives and prospects, ENO Foundation for Transportation, INC Westport 1982, Connecticut
- 7) Ann Lancaster and Timothy Lomax, "Second National Conference on High-Occupancy Vehicle Lanes and Transitways", Conference Proceedings, Huston, Texas, Oct. 25-28, 1987.
- 8) 오 영 태 외 1인, "도시부 신호교차로의 기본용량 및 기하구조 보정계수", 대한교통학회지 제 10권 제 2호, 1992. 8.
- 9) James L. Pline in ITE, "Traffic Engineering Handbook, fourth edition", PRENTICE- HALL, Inc. New Jersey, 1992.

