

論 文

Bus Links를 고려한 부산지역 간선도로 소통체계의 최적설계에 관한 연구

이은진* · 김태곤**

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

E. J. Lee · T. G. Kim

Key Words : 교통체계개선(Transportation Systems Management, TSM), 교통수요관리(Transportation Demand Management, TDM), 교통체계분석(Transportation System Analysis), 다승객차량(High Occupancy Vehicles, HOV), 비디오 관측방법(Videologging System Techniques), 첨두시간대(Peak-Time Periods), 최적화분석(Optimization), 연동 최적화분석(Progressive Optimization), 현시순서(Phase Sequence), 버스링크(Bus Links), 평균지체시간(Average Delay), 첨두시간계수(Peak Hour Factor, PHF), 직진링크(Thru Links)

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.

* 한국해양대학교 대학원 항만운송공학과 석사과정.

** 한국해양대학교 이공대학 항만운송공학과 교수.

1. 서 론

1.1 연구배경

1990년 말 현재 부산시는 서울시 다음으로 높은 인구밀도(7,173인/km²)를 기록하고 있고¹⁾ 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.²⁾ 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, 부산시의 교통문제를 해결하기 위해서는 새로운 교통시설의 확충과 병행하여 기존 교통시설의 이용률 및 효율성을 증대시킬 수 있는 교통체계개선(Transportation Systems Management, TSM)방안 및 도심지역으로의 차량유입을 규제할 수 있는 교통수요관리(Transportation Demand Management, TDM)방안에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

(1) 도로시설현황

현재 부산시의 도로시설은 매우 부족하여 날로 급증하는 교통량을 제대로 처리하지 못하고 있다. 1993년 말 현재 우리나라 주요 대도시의 도로율을 비교해 볼 때, 서울은 19.3%, 대구는 16.5%와 인천은 15.6% 등을 각각 확보하고 있는데, 부산시는 이에 비해 현저하게 낮은 14.4%를 확보하고 있으며, 또한 부산시의 도심내 주요 간선도로상에서의 평균주행속도(Average Running Speed)는 약 22.7km/h로서 서울의 19.9km/h에 비하여 다소 높은 편이기는 하지만, 대구의 25.0km/h 및 인천

의 32.0km/h에 비하면 역시 저조하다.³⁾ 그러므로, 부산시의 교통문제를 해결하기 위해서는 우선적으로 도로시설을 대폭 확충하고 도로의 소통능력을 증대시킬 수 있는 방안이 적극 검토되어야 한다.

(2) 차량등록현황

1980년대 중반 이후로 소득수준의 향상과 자가용 문화의 과급으로 승용차의 보급이 급격히 늘어나 승용차와 택시의 연평균 증가율이 약 20.2%에 달하고 있다. 특히, 지난 1993년 한 해 동안 1일 평균 172대가 증가하였고 3.8세대당 1대의 자가용 승용차를 보유하게 되었으며, 1994년 3월 현재 부산시의 차량등록현황을 살펴보면 총 482.9천대가 등록되어 있는데 그 중 택시를 포함한 승용차가 319.7천대이고, 버스가 43.0천대이다.⁴⁾(참조 Table 1.1)

그러므로, 부산시의 교통체증을 더욱 심화시키는 요인으로 작용하는 자가용차량의 이용을 줄이고 그 대신 대중교통수단을 이용할 수 있도록 보다 효율적인 대중교통수단의 서비스확대 및 대중교통체계의 개선방안이 수립되어야 한다.

(3) 대중교통 이용현황

일반적으로 대중교통(Public Transportation)이란 전철을 포함하여 지하철 및 버스를 주요 통행수단으로 하여 이루어지는 역과 역(Station-to-Station)사이의 통행을 말하지만, 일반대중의 접근성(Accessibility)이 용이하다는 측면에서 주로 버스와 지하철을 대중교통수단으로 간주하고 있다. 부산시의 1일 교통수단별 수송분담률을 보면 1993년 현재 가장 많은 통행을 보이고 있는 것은 시내버스로서 전체의 약 43.0%를 차지하고 있고, 택시는 18.9%, 승용차는 17.9%, 지하철은 7.6%의 통행률을 나타내고 있다.⁵⁾(참조 Table 1.2)

특히, Table 1.2에서도 알 수 있듯이, 현재 부산시에서는 시내버스의 수송분담률이 높은 편이지만 점차 감소하고 있는 반면, 승용차의 분담률은 점점 증가하고 있다. 이런 현상이 나타나는 원인 중의 하나는 대중교통수단의 이용여건이 열악하고, 통행수요의 증가로 인해 교통정체가 심

Table 1.1 Vehicle Registration in Pusan

(Unit : veh)

| 차종 년도 | 승용차/택시 | 버 스 | 기 타 | 계 |
|-------------|---------|--------|---------|---------|
| 1980 | 28,163 | 4,506 | 29,750 | 62,419 |
| 1981 | 30,287 | 5,100 | 31,335 | 66,812 |
| 1982 | 32,038 | 6,436 | 32,543 | 71,017 |
| 1983 | 37,116 | 8,141 | 35,724 | 80,981 |
| 1984 | 45,503 | 9,858 | 40,426 | 95,787 |
| 1985 | 50,189 | 11,346 | 44,822 | 106,357 |
| 1986 | 59,099 | 13,941 | 51,420 | 124,460 |
| 1987 | 75,444 | 18,535 | 58,919 | 152,898 |
| 1988 | 97,022 | 23,530 | 67,057 | 187,609 |
| 1989 | 130,501 | 28,398 | 76,037 | 234,936 |
| 1990 | 167,164 | 33,619 | 86,275 | 287,058 |
| 1991 | 213,485 | 36,462 | 96,490 | 346,437 |
| 1992 | 259,489 | 40,187 | 107,080 | 406,756 |
| 1993 | 309,448 | 42,384 | 117,750 | 469,622 |
| 연평균 증가율 (%) | 20.2 | 18.8 | 11.2 | 16.8 |

자료 : 부산직할시, "교통 및 관광통계자료", 교통관광국, 1994. 5.

Table 1.2 Transporting Rates

(Unit : %)

| 구 분 | '88 | '89 | '90 | '91 | '92 | '93 |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| 시 내 버 스 | 50.8 | 50.5 | 46.8 | 45.2 | 43.2 | 43.0 |
| 택 시 | 20.7 | 20.3 | 21.7 | 22.3 | 22.3 | 18.9 |
| 지 하 철 | 6.0 | 6.5 | 7.6 | 7.7 | 7.9 | 7.6 |
| 승 용 차 | - | - | 12.1 | 13.9 | 16.4 | 17.9 |
| 기 타 | 22.5 | 22.7 | 11.8 | 10.9 | 10.2 | 12.6 |
| 계 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

자료 : 교통관광국, "교통 및 관광통계", 1994. 5.

확됨으로써 대중교통수단을 이용하는 대신 자가용차량을 이용하는 사람이 날로 증가하고 있음을 보여주고 있다. 그러므로, 부산시의 대중교통체계 개선방안에 관하여 보다 집중적으로 투자하고 연구를 확대하여 대중교통수단의 이용률을 높일 수 있는 방안을 적극 모색하여야 한다.

1.2 연구의 목적 및 필요성

부산시는 시청과 서면을 중심으로 단핵도심구조의 형태를 이루고 있어서 유출입통행량이 도심으로 집중되고 있고, 또한 낮은 도로율과 높은 차량 증가율로 인하여 극심한 교통체증을 겪고

있다. 더구나, 택시와 승용차의 연평균 증가율이 약 20%를 상회함으로써 체증현상이 한층 가중되고 있다.

현재 부산시의 핵심간선도로인 중앙로는 주요 도심인 시청과 서면을 통과하면서 부산을 남북방향으로 관통하고 있고, 도심 통행량의 60% 이상이 집중됨으로써 심한 교통체증을 겪고 있다. 그리고 중앙로는 24~40m의 폭에 6~8차선 도로로 120개소의 버스정류소와 51개소의 택시 정류장 시설이 설치되어 있고, 약 92개소의 신호처리와 무신호처리 횡단보도시설이 있으며⁴⁾, 첨두시간대에 약 7,000pcu 이상의 가로교통량을 처리해야 하는

상황에 놓여 있다. 더구나, 중앙로상에서는 출퇴근시간대의 출퇴근 통행과 등하교 통행, 업무통행, 상품구매통행, 친교 및 여가활동통행 등으로 첨두시간대에 관계없이 하루종일 거의 균일하게 통행량이 집중되고 있다.

한편, 부산시의 1일 총 통행량을 보면, 1991년 기준으로 1일 목적통행량은 7,084천통행, 수단통행량은 9,525천통행으로 나타났는데, 목적통행의 경우 귀가통행이 43.5%를 차지하고 있고, 다음으로 출근통행이 20.4%, 등교통행이 15.1%, 업무통행이 7.6%를 각각 차지하고 있다. 특히 등교통행의 경우 주요 교통수단으로 시내버스를 이용하는 경우가 80% 이상을 차지하고 있고, 출근통행의 경우에도 시내버스를 이용하는 경우가 33.8%를 차지하고 있으며, 기타 상품구매, 친교 및 여가활동통행에서도 시내버스가 주요 통행수단이 되고 있는 것으로 나타났다.²⁾ 그러나, 부산시의 심각한 교통체증 및 대중교통수단의 서비스수준 악화로 대중교통수단 대신 자가용차량의 이용이 날로 증가하고 있기 때문에 부산시의 교통문제는 더욱 악화되고 있다.

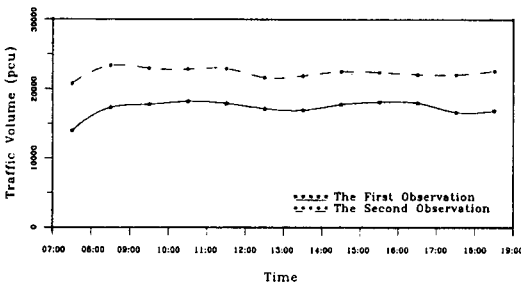


Fig. 1.1 Variation in Traffic Volume on the Arterial

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 증대

시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

1.3 사례연구

부산시에서는 급격한 차량증가와 더불어 통행수요가 날로 급증하고 있기 때문에 부산시의 교통문제를 해결하기 위해서 부족한 도로시설을 단시일 내에 대폭 확충하는 데에는 어려움이 많다. 따라서, 부산시에서는 투자재원의 허용범위 내에서 우선적으로 도로시설을 확충하고, 다음으로 대중교통수단을 포함한 전반적인 교통수단을 보다 효율적으로 운영할 수 있도록 교통체계개선(TSM)방안에 대한 연구와 자가용차량의 도심유입을 규제하고 대중교통수단의 이용률을 증대시킬 수 있도록 교통수요관리(TDM)방안에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

이러한 교통체계개선(TSM)방안의 효과를 여러 연구에서 살펴볼 수가 있는데, 미국의 W. H. Kraft⁵⁾의 연구에 따르면, 고속도로를 이용하는 차량 5대 중 1대가 차량을 함께 이용(Carpool)할 경우 교통체증을 65%까지 감소시킬 수 있으며, 또한 교통신호체계를 최적화시킬 경우 도로시설 용량을 50%까지 증대시킬 수 있다라고 하였고, 또한 미국의 A. K. Rathi와 E. B. Lieberman⁶⁾의 연구에 따르면 교통신호시간, 특히 유효녹색시간을 적절히 조절하면 통행지체를 39.9% 정도 감소시킬 수 있고, 교통량도 7.1% 정도 증대시킬 수 있다고 하였으며, 미국의 J. Z. Luh와 W. G. Lothian⁷⁾의 연구에 따르면 교차로상에서 신호연동화가 잘 이루어지지 않을 경우에는 지체시간이 85%까지 증가하는 반면 신호연동화가 잘 이루어질 경우에는 지체시간이 60%까지 감소될 수 있다라고 하였다.

미국의 Sandra Rosenbloom⁸⁾은 심각한 교통문제를 겪고 있는 대도시의 주요 도심지역에 적용할 수 있는 가장 효율적인 교통수요관리(TDM)방안으로는 대중교통정책이 우선적으로 고려되어야 한다고 역설하고 있다. 또한, 미국의 교통학회(ITE)의 기술소위원회 자료⁹⁾에서도 일반적으로 교통체증이 심한 대도시지역의 교통정책에 우선

적으로 검토할 수 있는 가장 효율적인 교통수요 관리(TDM)방안으로는 버스 우선신호(Bus-Actuated Signal) 처리방안, 버스차선 지정(Reserved Bus-Lanes)방안, 그리고 버스 및 카풀 전용차선(Exclusive Bus/Carpool Lanes)방안 등과 같은 대중교통 우선처리방안을 제안하고 있다.

미국 New York 교통과 자료¹⁰⁾에 따르면, 미국 New York의 Manhattan지역내 간선도로상에 버스 전용차선(Bus Lanes 또는 Red Zone Bus Lanes)을 설치하여 버스의 평균속도가 약 20% 정도 증가하였고 일반차량의 주행속도는 약 15% 정도 증가하는 효과를 보았으며 출퇴근시간대에는 일반차량의 주행속도가 약 50% 정도 증가하였음을 보여주고 있다.

미국의 S. M. Turner의 연구¹¹⁾에 따르면, 미국 플로리다주 마이에미에 이르는 South Dixie Highway상의 8.9km 구간에 대하여 1974년 이후에 버스 및 카풀(High Occupancy Vehicles, HOV) 전용차선제를 실시하여 5~10분의 차량통행시간이 감소하였고 이 전용차선의 이용자가 약 40% 정도까지 증가하였음을 보여주고 있고, 미국의 R. H. Pratt의 연구¹²⁾에 따르면, 미국의 북부 버지니아에서 워싱턴에 이르는 Shirley Highway상에 대하여 1974년 이후에 버스 및 카풀(HOV) 전용차선제를 설치하여 아침 출근시간대에는 약 16% 정도 유입교통량이 감소하였고 차량통행시간의 30분 정도가 단축되었음을 보여주고 있으며, 미국의 Ann Lancaster와 Timothy Lomax의 연구¹³⁾에 따르면, 대도시의 도시교통체계를 대중교통수단 중심으로 전환하고 버스와 카풀(Carpool)차량에 대해 대중교통우선 처리방안 및 대체 교통수단을 도입하여 실시함으로써 자가용 차량의 통행수요가 대중교통수단으로 흡수되고 전반적인 소통체계가 개선될 수 있다고 제시하고 있다.

또한, 미국의 Leonard Newman의 연구¹⁴⁾에 따르면, 1972년 미국의 San Francisco Marin County지역 내에서 San Francisco 북쪽 Route 101을 따라 약 4mile(6.4km)길이의 역류버스차선(Contra-Flow Bus Lanes)을 설치하여 오후 첨두시간에 운영하였는데, 이 차선을 이용하는 버스는 승

용차에 비해 통행시간을 단축하지는 못하였지만 체증에 시달리지 않는 독립된 차선을 이용하게 되므로 실제로는 교통축의 교통용량을 증대시키는 효과가 있었는데, 체증으로 인한 충돌사고도 거의 없었으며, 또한 1974년에 Richardson Bay Bridge에서 Sir Francis Drake Boulevard 사이의 도로 중앙에 양방향으로 3.8mile(6.1km)길이의 버스전용차선이 운영되었는데 오전 첨두시간에는 6분, 오후 첨두시간에는 3분 가량의 운행시간이 각각 단축되어 운행시간의 신뢰성이 개선되었으며, 1975년 10월에 2mile 길이의 버스와 카풀(Bus-Carpool) 차선을 설치·운영하여 첨두시간 동안 버스와 3명 이상의 카풀(Carpool)차량에 대해 개방한 결과 3.5~5분 정도의 통행시간을 절약할 수 있었음을 보여주고 있다.

따라서, 부산시에서도 간선도로의 소통능력을 증대시키고 도시교통문제를 완화시키기 위해서는 간선도로 통행체계의 개선이 필요할 뿐만 아니라 신호주기와 유효녹색시간을 조절함으로써 신호체계를 최적화시키고 교차로 사이의 연동화체계를 구축하며, 대중교통수단의 확충 및 서비스 개선과 더불어 버스와 카풀(Bus-Carpool) 전용차선(HOV Lanes)을 설치하여 운행하는 것을 검토할 필요가 있다.

2. 교통체계 분석

현재 부산시의 간선도로체계는 핵심 간선도로인 중앙로를 중심으로 33개 노선, 총 연장 227.57km로 전 도로의 10%를 차지하고 있다. 대부분 간선도로의 도로폭원이 불규칙하여 간선도로 곳곳에서 일시적으로 차량의 병목현상이 발생하고 있다. 그 중 중앙로는 남북방향의 교통축으로서 낙동로, 만덕로, 가야로 등의 여러 간선도로와 접속되어 부산시의 전지역을 연결하고 있고, 120개의 버스 정류장과 51개의 택시 정류장이 설치되어 있어 1일 도심 통행량의 60% 이상이 집중하는 핵심도로라고 할 수 있다.

본 연구에서는 시정 앞에서 구서 I. C.까지 중

양로 18km 전 구간을 연구대상 구간으로 선정하였다. 특히, 본 연구를 위해서 우선적으로 연구대상 구간 내에 통과교통량의 변화가 심하지 않은 3곳의 가로지점을 선정하여 비디오 관측방법(Videologging System Techniques)을 이용하여 시간대별/차종별/방향별로 분류하여 가로교통량을 수집하였고, 수집된 가로교통량을 중심으로 연구대상 구간의 첨두시간대(Peak-Time Periods)를 결정하였다. 또한 연구대상 구간내 A 교차로(시청 앞 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 앞서 결정된 첨두시간대를 중심으로 연구대상 교차로의 첨두교통량을 수집하여 교통량체계의 분석자료를 준비하였다. 다음으로 연구대상 교차로의 기하구조 현황을 조사하여 도로체계분석을 위한 자료를 마련하였고, 통과차량의 도류화 형태, 교차로상의 노면표지와 신호표지를 비롯하여 대상 교차로의 신호주기 및 현시를 반복 관측하여 신호체계분석을 위한 자료를 준비하였다.

우선적으로 이와 같이 준비된 자료를 기초로 하여 각 교차로의 소통상황을 파악하기 위해 현황분석(Simulation)을 실시하였고, 각 교차로의 현황자료를 중심으로 최적의 소통체계를 구축하기 위해 최적화분석(Optimization)과 연동 최적화분석(Progressive Optimization)을 실시하여 현황분석 결과와 비교하였으며, 각 교차로의 최적현시를 구축하기 위해 현시순서(Phase Sequence)를 변화시켜 가며 현시 최적화분석(Phase Optimization)을 실시하였다. 다음으로 연구대상 간선도로의 소통능력을 증대시키기 위해, 최적의 현시체계와 더불어 연동 최적화분석(Progressive Optimization)을 실시하였고, 간선도로를 중심으

로 버스전용차선의 타당성을 검토하기 위하여 기존 교통량 자료에서 버스 통행량을 따로 추출하여 독립적인 버스링크(Bus Links)와 함께 연동 최적화분석(Progressive Optimization)을 실시하였다. 마지막으로 각과정에서 분석된 각 차선별 v/c ratio(Volume to Capacity ratio), 평균지체시간(Average Delay), 연료소모량(Fuel Consumption) 등을 바탕으로 대상 간선도로의 최적의 통행체계를 구축하였고, 대상 교차로를 중심으로 최적의 연동화체계를 구축하여 최적의 간선도로 교통체계를 제시하였다.

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 승용차 환산계수(Passenger Car Unit, pcu)로 환산하여 첨두교통량을 산정하였다.¹²⁾(참조 Table 2.1)

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.

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 |

특히, 다음의 Table 2.2에서 F-G 구간의 교통량을 살펴보면 오전 출근시간대에는 동래방면에서 도심인 서면지역으로 진입하는 차량이 현저히 많았고, N-O 구간에서도 같은 현상이 발생하는 것을 알 수 있었다. 반면에, 오후 퇴근시간대에 N-O 구간에서는 외곽으로 유출되어 나가는 차량이 많은 것을 알 수 있었는데, F-G 구간에서 그 같은 현상을 볼 수 없는 것은 오후 침두시간대의 상품구매(Shopping)통행과 여가(Recreation)통행이 도심방면으로 집중됨으로써 나타나는 현상이라 생각되었다.

서둘러 출발하는 사람들이 증가하는 추세이며, 자가용차량의 보유율이 증가함에 따라 뚜렷하게 침두시간은 나타나지 않고 고루 분포하는 경향이 짙었으나, 시간대별 가로교통량 분포를 중심으로 결정된 침두시간대는 오전과 오후에 각각 08:00~09:00와 18:00~19:00로 나타났다.

따라서, 부산시에서는 교통체증이 극심해짐에 따라 출근시간대 출근시간이 점차 빨라지고 일찍

그리고, 침두시간대 간선도로의 가로구간별, 교차로별로 각각 침두시간계수(PHF)를 산정한 결과, 대부분 0.9가 넘는 것으로 나타나서 교통량이 침두 1시간에 걸쳐 고루 분포하는 것을 나타내고 있다.(참조 Table 2.3)

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 |

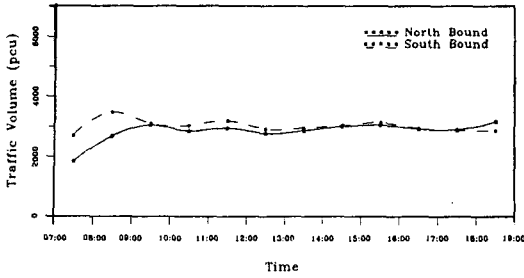


Fig. 2.1 Street Traffic Volume on B-C

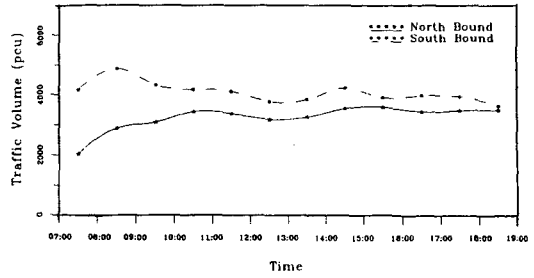


Fig. 2.2 Street Traffic Volume on F-G

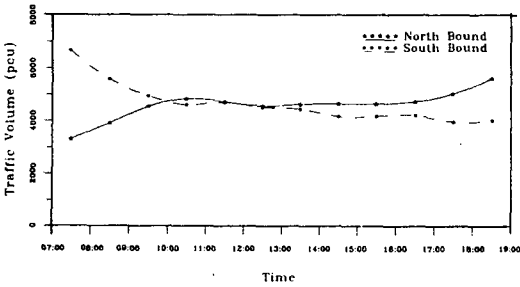


Fig. 2.3 Street Traffic Volume on N-O

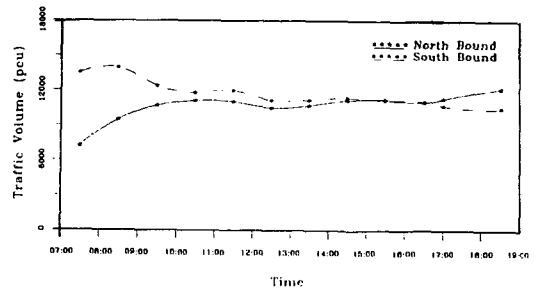


Fig. 2.4 Mean Traffic Volume on the Arterial

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 |

$$PHF = V / (4 \times V_{15}) \dots\dots\dots (2.1)$$

여기서,

PHF = 첨두시간계수

V_{15} = 첨두 15분 교통량(대/15분)

V = 첨두 1시간 교통량(대/시)

한편, 교차로교통량 수집도 가로교통량 수집과 마찬가지로 일주일 중 유출입교통량의 변화가 적은 화, 수, 목요일 3일을 선택하여 오전·오후 첨두시간 각각 1시간씩 반복 관측하였다. 관측대상 교차로의 교통량은 대상 교차로마다 차이는 있었지만 7,000~12,000pcu의 교통량이 발생하였으며,

각 교차로의 첨두시간계수(PHF) 역시 Q 교차로(금정경찰서앞 교차로)를 제외하고 대체적으로 0.9이상으로 나타났다.(참조 Table 2.4)

2.2 도로체계 분석

본 연구대상 간선도로인 중앙로는 24~40m의 도로 폭을 유지하고 있었고, 대상 교차로는 대체적으로 3지에서 6지 교차로의 형태를 취하고 있었다. 그리고 대상 간선도로의 차선 폭은 다양하여 좌회전차선의 폭은 2.7~3.3m의 넓이로 직진보다 좁은 차선이 많았고, 우회전차선은 버스나 택시의 주 정차와 버스통행 등으로 인하여 3.0~5.

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 | |

0m 정도의 넓은 폭을 유지하고 있었다. 특히, 노면표지가 차량의 통행특성과 통행방향에 일관성 있게 표시되어 있지 않아서 차량통행에 혼란을 야기시키고 차량지체를 가중시키고 있었다. 따라서, 보다 신뢰성 있는 도로체계분석을 위해 대상 교차로의 차선간격과 도류화 표지 및 노면표지를 실측하였고, 도로용량산정은 미국의 도로용량편람인 HCM(Highway Capacity Manual)¹⁵⁾과 신호 체계 최적화 프로그램인 TRANSYT-7F¹⁶⁾의 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.¹⁷⁾

$$c = s \times (g/C) \dots\dots\dots (2.2)$$

여기서,

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

특히, 포화 교통량 (s)는 다음과 같이 산정된다.

$$s = s_o N_L f_w f_{f1} f_{f2} f_{f3} f_{f4} f_{f5} f_{f6} f_{f7} f_{f8} f_{f9} f_{f10} f_{f11} f_{f12} f_{f13} f_{f14} f_{f15} f_{f16} f_{f17} f_{f18} f_{f19} f_{f20} f_{f21} f_{f22} f_{f23} f_{f24} f_{f25} f_{f26} f_{f27} f_{f28} f_{f29} f_{f30} f_{f31} f_{f32} f_{f33} f_{f34} f_{f35} f_{f36} f_{f37} f_{f38} f_{f39} f_{f40} f_{f41} f_{f42} f_{f43} f_{f44} f_{f45} f_{f46} f_{f47} f_{f48} f_{f49} f_{f50} f_{f51} f_{f52} f_{f53} f_{f54} f_{f55} f_{f56} f_{f57} f_{f58} f_{f59} f_{f60} f_{f61} f_{f62} f_{f63} f_{f64} f_{f65} f_{f66} f_{f67} f_{f68} f_{f69} f_{f70} f_{f71} f_{f72} f_{f73} f_{f74} f_{f75} f_{f76} f_{f77} f_{f78} f_{f79} f_{f80} f_{f81} f_{f82} f_{f83} f_{f84} f_{f85} f_{f86} f_{f87} f_{f88} f_{f89} f_{f90} f_{f91} f_{f92} f_{f93} f_{f94} f_{f95} f_{f96} f_{f97} f_{f98} f_{f99} f_{f100} \dots\dots\dots (2.3)$$

여기서,

- s_o : 이상적인 포화 교통량(1,800 *pcphgpl*)
- 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.

$$U_1 = c \times \frac{B}{L} \dots\dots\dots (2.4)$$

여기서,

- U_1 : 수정용량
- 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.

$$U_2 = U_1 \times 1.25 \dots\dots\dots (2.5)$$

여기서,

- U_2 : 최종 적용용량

일반적으로 미국의 도로용량편람인 HCM(Highway Capacity Manual)에서는 이상적인 3.6m의 차선 폭에 대하여 승용차를 기준으로 교통용량(Travel Capacity)을 1800vph로 정하고 있으나, 본 연구에서는 연구대상 간선도로의 신호체계 분석에 이용된 프로그램인 TRANSYT-7F의 차선 당 용량기준 및 우리나라 도로 기하구조의 특성 및 차량의 크기를 고려하여 각각 25%를 추가하여 3.6m의 차선 폭을 기준으로 직진 한 차선 당 2,250 vph, 회전 차선에는 2,000vph, 직진과 회전 겸용차선에는 3,000vph의 교통용량을 적용하였다. 특히 겸용차선(Shared Lane)의 경우 주링크(Primary Link)에는 2,000vph를, 보조링크(Secondary Link)에는 1,000vph를 각각 적용하였고 그 외 각 교차로의 상황에 따라 적절하게 용량을 적용하였으며, 버스링크(Bus Link)를 고려할 때는 직진 차선(Thru Link)에 800vph를, 직진 회전 겸용차선(Thru & Turning Link)에는 1,000vph를 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 첨두교통량을 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 첨두시

간대(Peak-Time Periods)로 분리하여 현황분석(Simulation), 최적화분석(Optimization) 및 연동 최적화분석(Progressive Optimization)을 실시하여, Table 2.5a, Table 2.5b, Table 2.6a, Table 2.6b와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

교차로의 현황 및 최적화분석 결과를 상호 비교할 때 평균지체(Average Delay)나 연료 소모량(Fuel Consumption)이 대체적으로 감소하였다. 그러나, 각 교차로별로 현황과 연동 최적화분석 결과를 비교할 때 일부 교차로에서는 평균지체나 연료소모량이 감소하지 않고 다소 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 간선도로를 중심으로 교차로 신호체계의 연동화시에 각 교차로별 유출입 교통량과 간선도로의 통과교통량의 현저한 차이로 인하여 발생하는 것으로 생각되었다.

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

버스링크를 고려하지 않고 연동 최적화분석을 실시하였을 경우 오전 첨두시간대의 N 방향 직진링크의 버스의 평균지체시간은 약 166.6sec/veh였고, 연료소모량은 약 0.52lit/hr/veh였으나, 버스링크를 고려하였을 경우 각각 78.8%, 69.2% 정도씩 감소하여 35.3sec/veh과 0.16lit/hr/veh로 나타났다. 오후 첨두시간대에 버스링크를 고려하지 않고 연동 최적화분석을 실시하였을 경우 버스의 평균지체시간과 연료소모량이 각각 145.6sec/veh, 0.48lit/hr/veh였으나, 버스링크를 고려하여 연동 최적화분석을 실시하였을 경우 평균지체시간은 34.0sec/veh로 약 76.6% 감소하였고, 연료소모량은 0.160lit/hr/veh로 약 66.7% 감소하였다. S 방향의 경우에도 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

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.

Table 2. 5a Simulation results in the morning peak period

| Intersection Name | Traffic Volume (pcu/hr) | Max <i>v/c ratio</i> | Average Delay (sec) | Fuel Consumption (lit/hr) |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|
| A (시청앞) | 10,924 | 144 | 293.9 | 2,529 |
| B (중앙동) | 8,628 | 100 | 46.2 | 359 |
| C (초량) | 9,736 | 130 | 140.5 | 1,126 |
| D (좌천동) | 11,604 | 136 | 111.9 | 1,059 |
| E (범내골) | 10,644 | 218 | 664.2 | 5,516 |
| F (서면) | 9,660 | 262 | 1,149.5 | 8,615 |
| G (전포) | 10,500 | 235 | 2,257.1 | 18,302 |
| H (송공) | 12,046 | 251 | 5,263.5 | 48,899 |
| I (양정) | 8,952 | 100 | 56.2 | 448 |
| J (연산) | 9,328 | 379 | 10,015.1 | 72,008 |
| K (교대앞) | 10,680 | 169 | 498.6 | 4,145 |
| L (내성) | 9,472 | 380 | 17,723.1 | 129,330 |
| M (명륜동) | 10,124 | 122 | 279.1 | 2,245 |
| N (동래온천) | 9,140 | 171 | 578.2 | 4,136 |
| O (부곡동) | 7,378 | 127 | 385.4 | 2,243 |
| P (기찰) | 7,188 | 159 | 132.1 | 757 |
| Q (금정경찰서앞) | 9,768 | 151 | 844.9 | 6,420 |

Table 2. 5b Simulation results in the afternoon peak period

| Intersection Name | Traffic Volume (pcu/hr) | Max <i>v/c ratio</i> | Average Delay (sec) | Fuel Consumption (lit/hr) |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|
| A (시청앞) | 10,652 | 141 | 255.1 | 2,146 |
| B (중앙동) | 8,412 | 97 | 42.0 | 322 |
| C (초량) | 9,492 | 126 | 103.2 | 824 |
| D (좌천동) | 11,320 | 133 | 95.6 | 890 |
| E (범내골) | 10,384 | 212 | 586.0 | 4,755 |
| F (서면) | 9,424 | 254 | 1,014.0 | 7,421 |
| G (전포) | 10,164 | 227 | 1,981.5 | 15,558 |
| H (송공) | 11,746 | 245 | 4,789.0 | 43,387 |
| I (양정) | 8,728 | 98 | 50.9 | 400 |
| J (연산) | 9,104 | 366 | 9,054.7 | 63,546 |
| K (교대앞) | 10,420 | 165 | 448.3 | 3,640 |
| L (내성) | 9,236 | 371 | 16,341.9 | 116,284 |
| M (명륜동) | 10,000 | 121 | 257.8 | 2,053 |
| N (동래온천) | 8,912 | 167 | 493.3 | 3,449 |
| O (부곡동) | 7,186 | 124 | 328.8 | 1,871 |
| P (기찰) | 7,100 | 157 | 124.7 | 707 |
| Q (금정경찰서앞) | 9,571 | 147 | 736.8 | 5,493 |

Table 2. 6 a Optimization results in the morning peak period

| Intersection Name | Traffic Volume (pcu/hr) | Max <i>v/c ratio</i> | Average Delay (sec) | Fuel Consumption (lit/hr) |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|
| A (시 청 앞) | 10,924 | 116 | 171.2 | 1,500 |
| B (중 앙 동) | 8,628 | 97 | 29.5 | 244 |
| C (초 량) | 9,736 | 100 | 76.2 | 640 |
| D (좌 천 동) | 11,604 | 124 | 84.8 | 817 |
| E (범 내 골) | 10,644 | 137 | 280.3 | 2,370 |
| F (서 면) | 9,660 | 160 | 563.5 | 4,257 |
| G (전 포) | 10,500 | 164 | 714.1 | 5,825 |
| H (송 공) | 12,046 | 138 | 688.5 | 6,459 |
| I (양 정) | 8,952 | 97 | 30.6 | 266 |
| J (연 산) | 9,328 | 285 | 6,664.1 | 47,938 |
| K (교 대 앞) | 10,680 | 169 | 328.4 | 2,754 |
| L (내 성) | 9,472 | 185 | 2,353.5 | 17,218 |
| M (명 룬 동) | 10,124 | 132 | 187.1 | 1,522 |
| N (동래온천) | 9,140 | 150 | 471.2 | 3,382 |
| O (부 곡 동) | 7,378 | 111 | 122.2 | 745 |
| P (기 찰) | 7,188 | 87 | 132.1 | 757 |
| Q (금정경찰서앞) | 9,768 | 151 | 17.7 | 128 |

Table 2. 6 b Optimization results in the afternoon peak period

| Intersection Name | Traffic Volume (pcu/hr) | Max <i>v/c ratio</i> | Average Delay (sec) | Fuel Consumption (lit/hr) |
|-------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|
| A (시 청 앞) | 10,652 | 113 | 134.0 | 1,157 |
| B (중 앙 동) | 8,412 | 95 | 25.3 | 211 |
| C (초 량) | 9,492 | 100 | 61.3 | 513 |
| D (좌 천 동) | 11,320 | 117 | 67.9 | 649 |
| E (범 내 골) | 10,384 | 136 | 238.7 | 1,978 |
| F (서 면) | 9,424 | 155 | 488.2 | 3,605 |
| G (전 포) | 10,164 | 158 | 596.1 | 4,715 |
| H (송 공) | 11,746 | 133 | 591.8 | 5,424 |
| I (양 정) | 8,728 | 96 | 27.1 | 234 |
| J (연 산) | 9,104 | 276 | 6,017.2 | 42,251 |
| K (교 대 앞) | 10,420 | 165 | 297.5 | 2,438 |
| L (내 성) | 9,236 | 180 | 2,121.4 | 15,138 |
| M (명 룬 동) | 10,000 | 129 | 171.2 | 1,380 |
| N (동래온천) | 8,912 | 146 | 405.9 | 2,849 |
| O (부 곡 동) | 7,186 | 106 | 100.9 | 606 |
| P (기 찰) | 7,100 | 85 | 17.4 | 124 |
| Q (금정경찰서앞) | 9,571 | 131 | 425.7 | 3,201 |

Table 2. 7 a Progressive optimization results in the morning peak period

| Parameter \ 분석 | I | II | III | IV |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Average Delay (sec/veh) | 786.4 | 778.8 | 1,469.6 | 1,461.1 |
| Fuel consumption (lit/hr) | 115,713 | 114,746 | 196,599 | 195,554 |
| Operating Cost (\$/hr) | 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. 7 b Progressive optimization results in the afternoon peak period

| Parameter \ 분석 | I | II | III | IV |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Average Delay (sec/veh) | 701.6 | 698.2 | 1,328.1 | 1,312.8 |
| Fuel consumption (lit/hr) | 101,939 | 101,170 | 174,338 | 172,477 |
| Operating Cost (\$/hr) | 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)

Table 2. 8 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 |

2.4 현시체계 분석

일반적으로 좌회전 신호현시체계는 비보호 좌회전현시체계(Unprotected Left-Turn Phasing Schemes), 보호 좌회전현시체계(Protected-only Left-Turn Phasing Schemes), 그리고 보호/허용 좌회전현시체계(Protected/Permissive Left-Turn Phasing Schemes)로 구분이 되고,¹⁸⁾ 보호 좌회전 현시체계에는 Lead Left-Turn Phasing과 Lag Left-Turn Phasing이 포함된다.

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 반대 방향의 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 통행에 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 감소하는가 알아보았다.

2.5 교차로 서비스수준(Level of Service, LOS) 분석

일반적으로 교차로의 서비스수준을 비교하는 방법으로는 i) *v/c ratio*에 의한 비교방법, ii) 평균지체시간(Average Delay)에 의한 비교방법 등이 있다.¹⁹⁾

i) *v/c ratio*에 의한 비교방법²⁰⁾

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.

교차로상의 각 차선군(Lane Group)이나 또는 접근로(Approach) i 상에서의 *v/c ratio*(X_i)는 다음과 같다. 주어진 이동류 또는 접근로 i 에 대하여

$$X_i = v_i / c_i (v/c)_i \dots\dots\dots (2.6)$$

여기서,

X_i : 접근로 또는 이동류 i 의 *v/c ratio*

v_i : 접근로 또는 이동류 i 의 교통량(Volume) (*vph*)

c_i : 접근로 또는 이동류 i 의 용량(Capacity) (*vph*)

따라서,

$$X_i = (v/c)_i = v_i / [s_i \times (g/C)_i] \dots\dots\dots (2.7)$$

$$X_i = v_i C / s g_i = (v/s)_i / (g/C)_i \dots\dots\dots (2.8)$$

여기에서,

g : 접근로 또는 이동류 i 의 유효녹색시간 (sec)

C_i : 신호주기의 길이(sec)

$(g/C)_i$: 접근로 또는 이동류 i 의 유효녹색시간 비

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 개념인 *critical v/c ratio*(X_c)를 사용한다.

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

$$X_c = \frac{C}{C-L} \times \sum_j (v/s)_j \dots\dots\dots (2.9)$$

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)

$$D = D_u + D_n \dots\dots\dots (2.10)$$

$$D_u = \sum_i^N m_i / N \dots\dots\dots (2.11)$$

여기서,

- D : 총 지체시간(veh-hr/hr)
- D_u : 균일지체시간(veh-hr/hr)
- m_i : t 시간 동안의 대기차량행렬의 길이
- N : 신호주기 당 step의 수

지체는 차량들의 불규칙한 도착에 기인하여 발생한다.

$$D_n = 900TX^2 \left\{ (X-1) + \left[(X-1)^2 + (4X/cT) \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \cdot (3600/v) \dots\dots\dots (2.12)$$

여기서,

- D_n : 임의 포화지체(Random-plus-Saturation Delay)(veh · hr/hr)
- X : 포화도

- c : 용량(vph) 또는 sg/C
- T : 주기(Period Length, 보통 60분)

ii) 목적함수 (Objective Function)

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

$$\text{Minimize } DI = D_i \cdot D_{df} + S_p \cdot S \cdot S_{df} \dots (2.13)$$

여기서,

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

이와 같이 계산된 차선의 *v/c ratio*가 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 현황분석(Simulation), 최적화분석(Optimization), 연동 최적화분석(Progressive Optimization), 최적현시를 고려한 연동 최적화분석(Progressive Optimization with Optimal Phase) 등 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 연동 최적화분석의 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, 기호 "I"의 아래에 있는 기호 "O"는 녹색신호시간에 도착한 차량이 교차로를 통과하지 못하고 누적되는 것을 나타내는 것이다. 그리고 교통량 흐름도 하단에 표시된 일련의 숫자는 한 신호주기의 Step수를 표시하고 기호 "*"으로 표시된 구간은 적색신호구간을 의미하고 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 등 각 분석에서도 같은 현상을 볼 수가 있었다. 또한 버스를 고려한 연동 최적화분석의 교통량 흐름도에서도 비슷한 현상을 볼 수가 있었는데, 각 교차로의 직진 링크 상에서는 녹색신호시간에 도착하는 많은 차량이 교통정체로 인하여 교차로를 빠져나가지 못해 녹색신호시간임에도 누적되고 있는 반면에, 버스링크 상에 있어서는 적색신호시간에 누적된 차량들은 녹색신호시간에 소통이 원활히 되고 녹색신호시간에 도착한 차량도 거의 지체없이 빠져나가고 있어 정체가 적은 것을 알 수가 있었다.

3. 교차로별 분석

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

3.1 A 교차로(시청앞 교차로)

A 교차로(시청앞 교차로)의 신호주기는 160 sec이고 3 현시로 운영되고 있는데, 최적화분석의 경우, W 방향(서측방향)의 직진과 좌회전의 녹색신호시간을 증가시키고 S 방향(동래→시청 방면)의 직진과 좌회전의 녹색신호시간과 N-S 방향 직진의 녹색신호시간을 비슷하게 배정하면 현황에 비해서 약 45%의 평균지체시간과 약 43%의 연료소모량이 감소하는 효과를 보였다. 연동 최적화분석과 현황분석을 비교한 경우에는 약 42%의 평균지체시간과 24%의 연료소모량이 감소하였다.

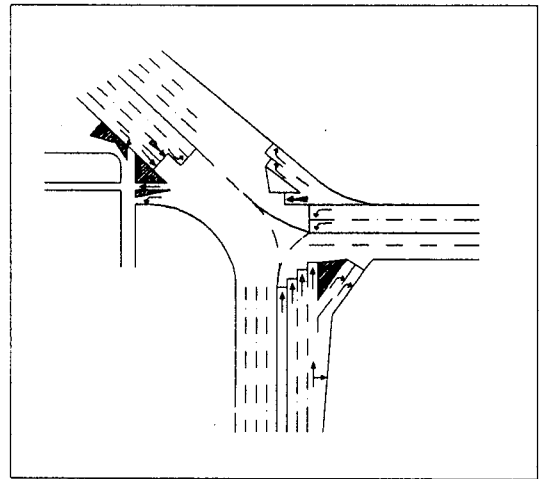


Fig. 3.1 City Hall Intersection

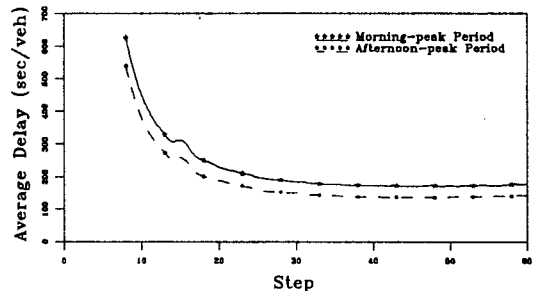


Fig. 3.2 Cycle Evaluation

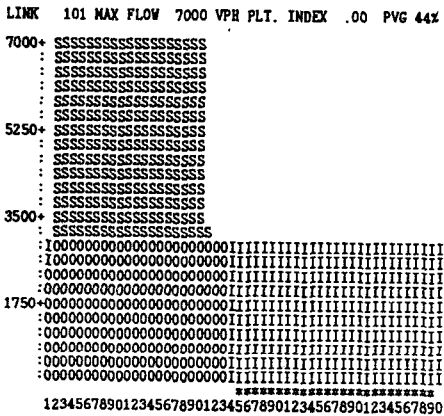
또한, 최적현시를 고려한 연동최적화분석에서도 현황분석에 비해 약 42%의 지체가 감소했고 연료소모량은 24% 정도 감소하였고, 아래 교통량 흐름도에서도 알 수 있듯이 버스링크를 고려하여

연동 최적화분석을 실시한 경우, 버스링크상의 차량소통이 원활한 것을 알 수 있었다. N 방향 (시청→동래 방면)의 버스링크에서는 현황에 비해 65%의 평균지체시간과 83%의 연료소모량이

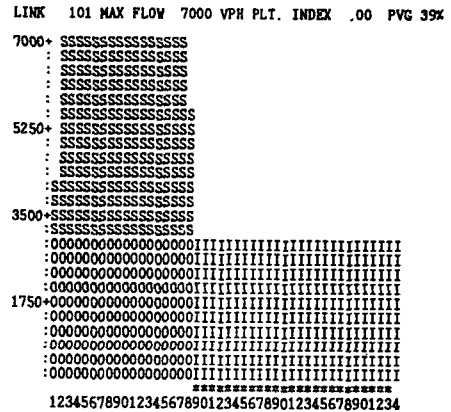
오전 첨두시간대 : 시청앞 교차로의 N-Bound
직진차선

오전 첨두시간대 : 시청앞 교차로의 N-Bound
직진차선

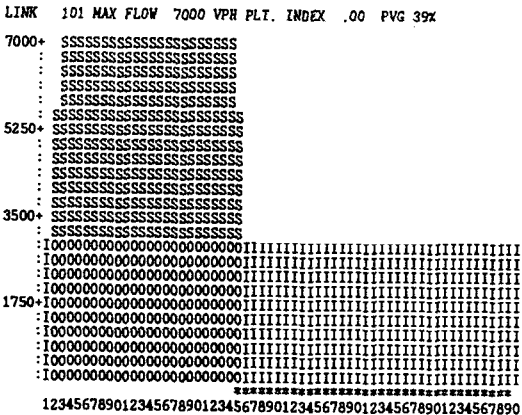
i) 현황분석



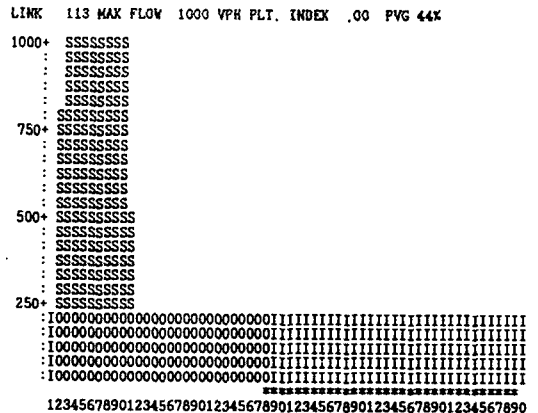
ii) 최적화분석



iii) 최적현시를 이용한 연동 최적화분석



iv) 버스링크를 고려한 연동 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

감소하였다. S 방향(동래→시청방면)의 버스링크에서는 현황에 비해 65%의 평균지체시간과 83%의 연료소모량이 감소하였다. 그리고, 오전·오후

첨두시간대 각 분석에 따른 시청앞 교차로의 최적의 현시체계 및 신호주기는 Table 3.1과 같다.

Table 3.1 Cycle Length and Phase Sequence in City Hall Intersection

| Setting | Node A (A.M.) | | | | | Cycle Length(sec) | Node A (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 (%) | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 150 | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 150 |
| | 44 (3) | 31 (3) | 16 (3) | | | | 44 (3) | 31 (3) | 16 (3) | | | |
| Optimization (%) | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 205~265 | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 185~265 |
| | 39 (2) | 39 (2) | 16 (2) | | | | 39 (2) | 39 (2) | 16 (2) | | | |
| Progressive Optimization (%) | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 260~300 | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 270~300 |
| | 39 (1) | 41 (1) | 17 (1) | | | | 39 (1) | 41 (1) | 17 (1) | | | |
| Optimization with Optimal Phase (%) | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 160~300 | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 185~265 |
| | 39 (2) | 39 (2) | 16 (2) | | | | 39 (2) | 39 (2) | 16 (2) | | | |
| Progressive Optimization with Optimal Phase (%) | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 260~300 | ↓ ↑ | ↙ ↘ | ↓ ↘ | | | 265~300 |
| | 39 (1) | 41 (1) | 17 (1) | | | | 39 (1) | 41 (1) | 17 (1) | | | |

3.2 D 교차로(좌천동 교차로)

D 교차로(좌천동 교차로)의 경우 160sec의 신호주기와 3현시로 운영되고 있었고 최적화분석의 결과를 현황과 비교해 볼 때 오전 첨두시간대에는 23%의 평균지체와 연료소모량이 감소하였으며, 오후 첨두시간대는 다소 높은 28% 정도의 평균지체시간과 연료소모량이 감소하였다. 그리고 연동 최적화분석을 실시하였을 경우에는 평균지체시간은 1.8% 증가하였고 90%의 연료소모량이 증가하였다. 버스링크를 적용한 연동 최적화분석 결과를 살펴보면, 오전 첨두시간에 N 방향(시청→동래방면)으로 진행하는 버스는 평균지체가 100% 감소하였고 연료소모량은 89% 정도 감소하였다. 오후 첨두시간도 마찬가지로 각각 100%, 87%의 감소효과를 볼 수 있었고, S 방향(동래→시청 방면)의 오전첨두시간대에도 비슷한 결과를 얻을 수 있었으나 오후 첨두시간대에는 다소 낮은 46%, 50%를 나타내고 있었다. 그리고, 오전·오후 첨두시간대 각 분석에 따른 좌천동 교차로의 최적의 현시체계 및 신호주기는 Table 3.2와 같다.

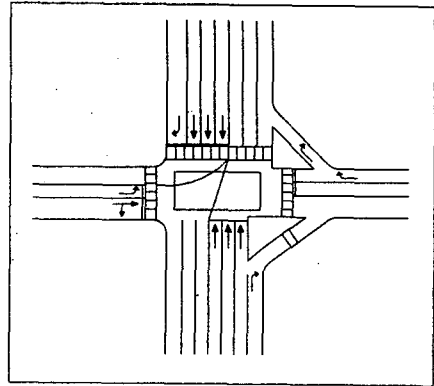


Fig. 3.4 Joa-Chun-Dong Intersection

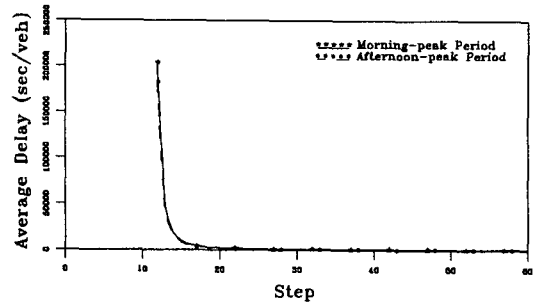
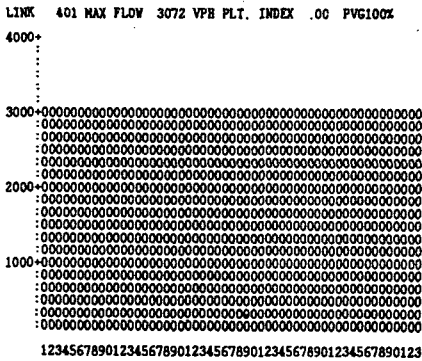


Fig. 3.5 Cycle Evaluation

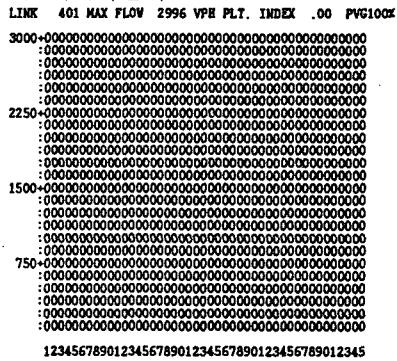
오후 침두시간대 : 좌천동 교차로의 N-Bound
직진차선

오후 침두시간대 : 좌천동 교차로의 N-Bound
직진차선

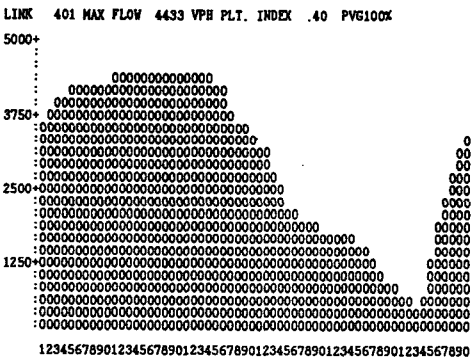
i) 현황분석



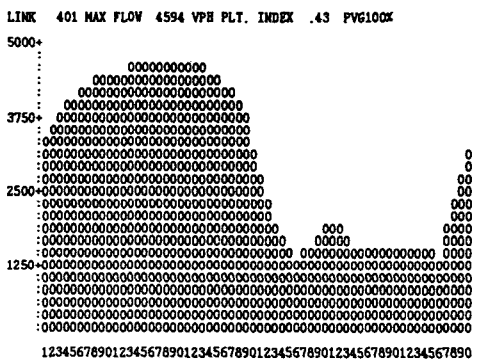
ii) 최적화분석



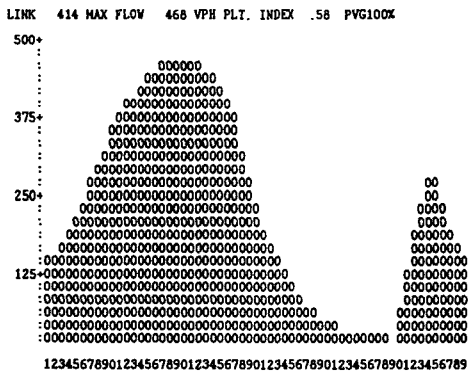
iii) 연동 최적화분석



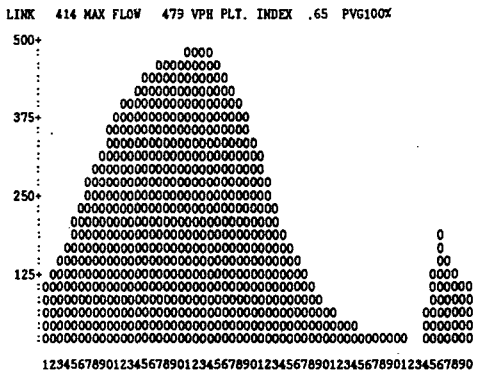
iv) 최적현시를 고려한 연동 최적화분석



v) 버스링크를 고려한 연동 최적화분석



vi) 최적현시와 버스링크를 고려한 연동
최적화분석



<기호설명>

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

Fig. 3.6 Flow Profile Diagram

Table 3.2 Cycle Length and Phase Sequence in Joa-Chun-Dong Intersection

| Setting | Node D (A.M.) | | | | | Cycle Length(sec) | Node D (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 (%) | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 160 | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 160 |
| | 33 (2) | 52 (2) | 9 (2) | | | | 33 (2) | 52 (2) | 9 (0) | | | |
| Optimization (%) | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 190~255 | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 180~250 |
| | 35 (2) | 49 (2) | 10 (2) | | | | 36 (4) | 48 (4) | 10 (4) | | | |
| Progressive Optimization (%) | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 260~300 | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 270~300 |
| | 36 (1) | 50 (1) | 11 (1) | | | | 36 (1) | 50 (1) | 11 (1) | | | |
| Optimization with Optimal Phase (%) | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 170~295 | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 180~250 |
| | 35 (2) | 49 (2) | 10 (2) | | | | 36 (2) | 48 (2) | 10 (2) | | | |
| Progressive Optimization with Optimal Phase (%) | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 260~300 | ↓ ↑ | ↕ ↕ | ← → | | | 265~300 |
| | 36 (1) | 50 (1) | 11 (1) | | | | 36 (1) | 50 (1) | 11 (1) | | | |

3.3 G 교차로(전포 교차로)

G 교차로(전포 교차로)의 신호주기는 200sec에 4 현시로 운영되고 있었다. 여기서는 N-S 방향 직진링크(Thru Link)의 교통량이 현저히 많기 때문에 최적현시를 고려하여 S 방향(동래→시청 방면)의 직진과 좌회전에 51%가량의 녹색시간을 배정하고 연동 최적화분석을 실시하게 되면 현황 분석에 비해 평균지체시간이 대폭 감소하게 되는데, 약 70% 정도의 평균지체가 감소하고 연료소모량은 약 65%씩 감소하였다. 버스링크를 적용하여 연동 최적화분석을 실시하였을 때 N·S 각 방향별로 오전 첨두시간대에는 약 83% 정도의 평균지체시간과 약 74%의 연료소모량이 감소하였고, 오후 첨두시간대에는 N 방향(시청→동래방면)에서는 77%의 평균지체시간과 52%의 연료소모량이 감소하였으나 S 방향(동래→시청 방면)에서는 약 9%의 평균지체시간이 증가하였고 연료소모량은 43%가 감소하였다. 오전·오후 첨두시간대 각 분석에 따른 전포 교차로의 최적의 현시체계 및 신호주기는 Table 3.3과 같다.

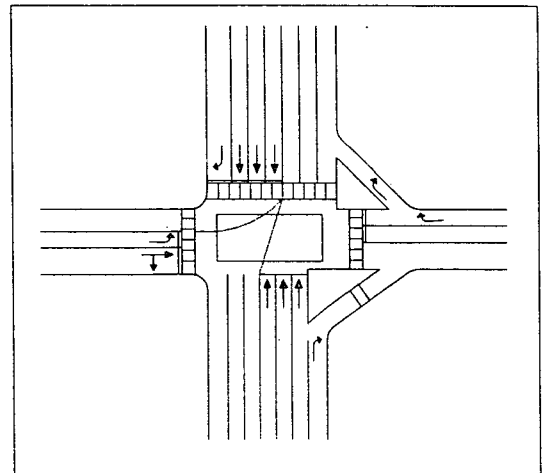


Fig. 3.7 Jun-Po Intersection

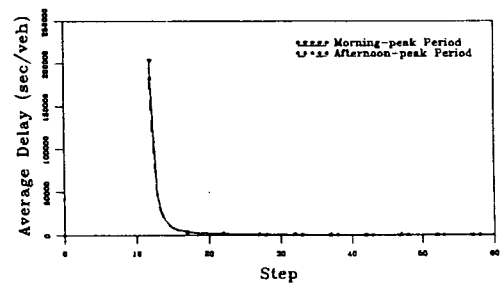
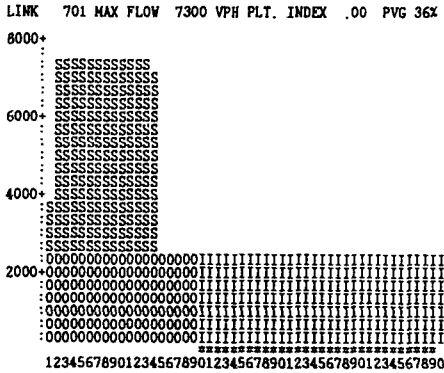


Fig. 3.8 Cycle Evaluation

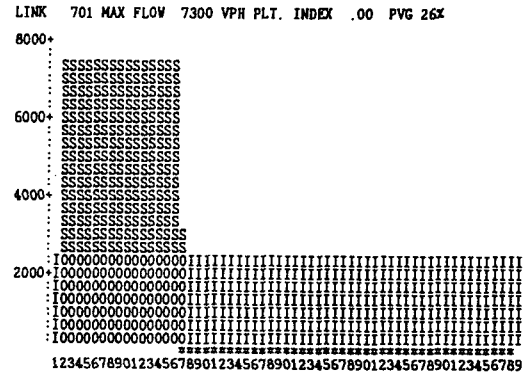
오전 첨두시간대 : 전포 교차로의 N-Bound
직진차선

오전 첨두시간대 : 전포 교차로의 N-Bound
직진차선

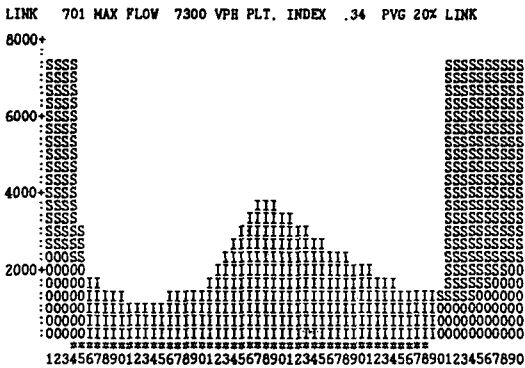
i) 현황분석



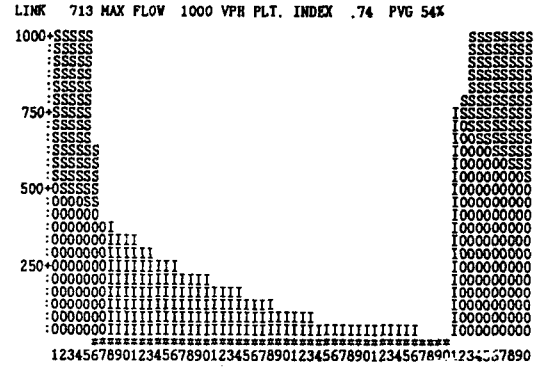
ii) 최적화분석



iii) 연동 최적화분석



iv) 버스링크를 고려한 연동 최적화분석



<기호설명>

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

Fig. 3.9 Flow Profile Diagram

Table 3.3 Cycle Length and Phase Sequence in Jun-Po Intersection

| Setting | Node G (A.M.) | | | | | Cycle Length(sec) | Node G (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 |
| | 36 (2) | 8 (2) | 14 (2) | 34 (2) | | | 36 (2) | 8 (2) | 14 (2) | 34 (2) | | |
| Optimization (%) | ↓↑ | ↗ | ← | ↓↘ | | 270 ~ 300 | ↓↑ | ↗ | ← | ↓↘ | | 275 ~ 300 |
| | 26 (1) | 11 (1) | 8 (1) | 51 (1) | | | 25 (1) | 12 (1) | 8 (1) | 51 (1) | | |
| Progressive Optimization (%) | ↓↑ | ↗ | ← | ↓↘ | | 260 ~ 300 | ↓↑ | ↗ | ← | ↓↘ | | 270 ~ 300 |
| | 24 (1) | 11 (1) | 8 (1) | 53 (1) | | | 24 (1) | 11 (1) | 8 (1) | 53 (1) | | |
| Optimization with Optimal Phase (%) | ↓↑ | ← | ↗ | ↓↘ | | 255 ~ 300 | ↓↑ | ← | ↗ | ↓↘ | | 250 ~ 300 |
| | 24 (1) | 8 (1) | 13 (1) | 51 (1) | | | 24 (1) | 8 (1) | 13 (1) | 51 (1) | | |
| Progressive Optimization with Optimal Phase (%) | ↓↑ | ← | ↗ | ↓↘ | | 260 ~ 300 | ↓↑ | ← | ↗ | ↓↘ | | 265 ~ 300 |
| | 25 (1) | 8 (1) | 13 (1) | 50 (1) | | | 23 (1) | 8 (1) | 13 (1) | 52 (1) | | |

3.4 M 교차로(명륜동 교차로)

M 교차로(명륜동 교차로)의 신호주기는 180 sec에 4 현시로 운영되고 있었다. 최적화분석을 실시하였을 때는 185~260sec사이의 신호주기에서 최적상태에 도달하였고 이 때 약 32%의 평균지체시간과 연료소모량이 감소하는 것으로 나타났다. 연동 최적화분석의 결과, 오전 첨두시간에는 약 37%의 평균지체시간이 감소하였으나 연료소모량은 약 2% 정도 감소하였고 오후 첨두시간의 경우 40%의 평균지체시간과 1% 정도의 연료소모량이 감소함을 알 수 있었다. 최적현시를 고려하여 연동 최적화분석을 실시하였을 경우에는 260~300sec의 신호주기에서 최적화가 이루어졌는데 이 때 약 39%의 평균지체시간과 1%의 연료소모량이 감소하였다. 버스링크를 고려하여 연동 최적화분석을 실시한 결과 N 방향(시청→동래방면)의 버스링크에서는 100의 평균지체시간과 85%의 평균지체시간이 감소하였고, S 방향(동래→시청 방면)의 버스링크에서는 오전 첨두시간의 경우 약 93%의 평균지체시간과 60%의 연료소모량이 감소했고 오후 첨두시간에는 각각 90%, 50%씩 감소하는 것을 알 수 있었다. 그리고, 오전·오후 첨두시간대 각 분석에 따른 명륜동 교차로

의 최적의 현시체계 및 신호주기는 Table 3.4와 같다.

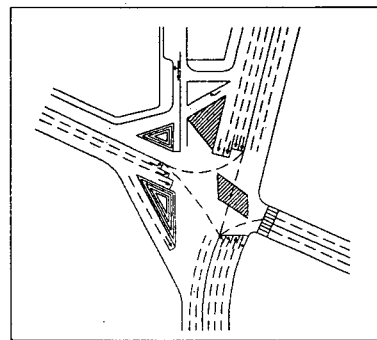


Fig. 3.10 Myeong-Yun-Dong Intersection

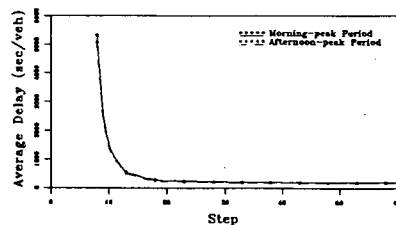
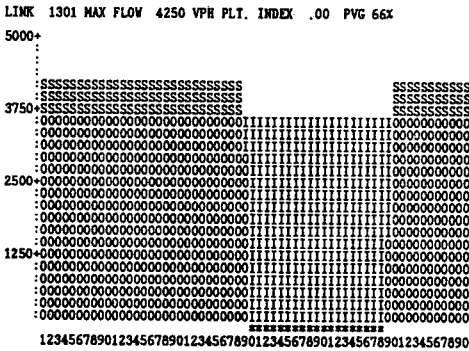


Fig. 3.11 Cycle Evaluation

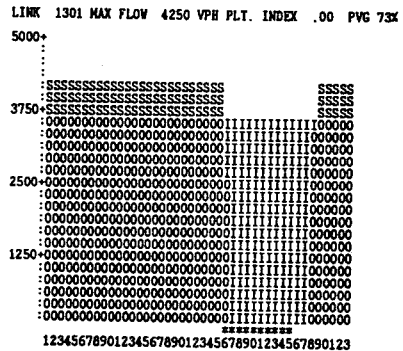
오전 침두시간대 : 명륜동 교차로의 N-Bound
직진차선

오전 침두시간대 : 명륜동 교차로의 N-Bound
직진차선

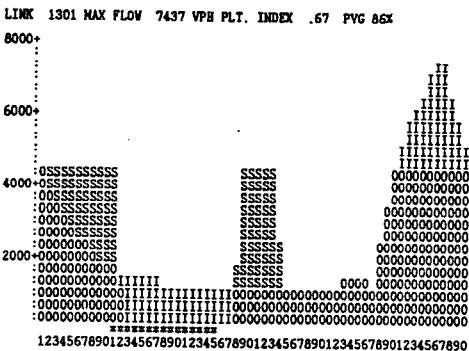
i) 현황분석



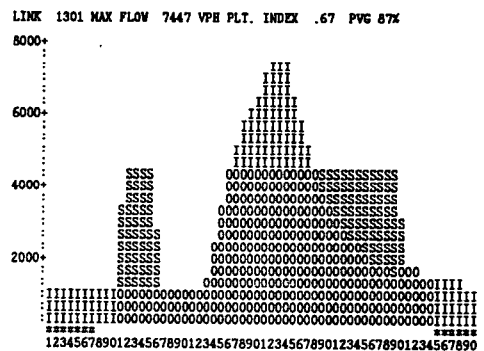
ii) 최적화분석



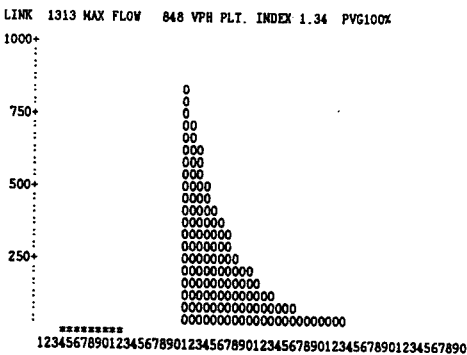
iii) 연동 최적화분석



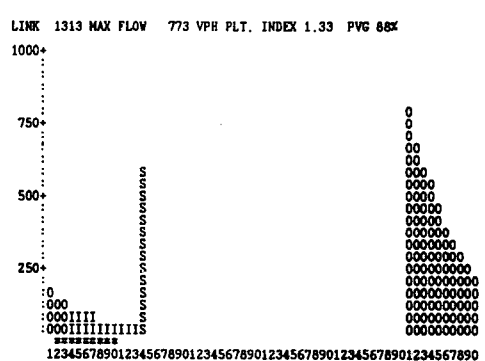
iv) 최적현시를 고려한 연동 최적화분석



v) 버스링크를 고려한 연동 최적화분석



vi) 최적현시와 버스링크를 고려한 연동 최적화분석



<기호설명>

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

Fig. 3.12 Flow Profile Diagram

Table 3.4 Cycle Length and Phase Sequence in Myung-Yun-Dong Intersection

| Setting | Node M (A.M.) | | | | | Cycle Length(sec) | Node M (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 (%) | ↓ ↑ | ← → | ↗ ↘ | ↖ ↙ | | 180 | ↓ ↑ | ← → | ↗ ↘ | ↖ ↙ | | 180 |
| | 46 (2) | 14 (2) | 14 (2) | 18 (2) | | | 46 (2) | 14 (2) | 14 (2) | 18 (2) | | |
| Optimization (%) | ↓ ↑ | ← → | ↗ ↘ | ↖ ↙ | | 185 ~ 260 | ↓ ↑ | ← → | ↗ ↘ | ↖ ↙ | | 190 ~ 260 |
| | 58 (2) | 13 (1) | 10 (1) | 14 (1) | | | 57 (2) | 13 (1) | 10 (1) | 15 (1) | | |
| Progressive Optimization (%) | ↓ ↑ | ← → | ↗ ↘ | ↖ ↙ | | 260 ~ 300 | ↓ ↑ | ← → | ↗ ↘ | ↖ ↙ | | 270 ~ 300 |
| | 59 (1) | 14 (1) | 10 (1) | 13 (1) | | | 56 (1) | 14 (1) | 10 (1) | 16 (1) | | |
| Optimization with Optimal Phase (%) | ↓ ↑ | ← ↑ | ← → | ↗ ↘ | | 155 ~ 300 | ↓ ↑ | ← ↑ | ← → | ↗ ↘ | | 180 ~ 260 |
| | 57 (2) | 15 (1) | 13 (1) | 10 (1) | | | 58 (2) | 14 (1) | 13 (1) | 10 (1) | | |
| Progressive Optimization with Optimal Phase (%) | ↓ ↑ | ← ↑ | ← → | ↗ ↘ | | 260 ~ 300 | ↓ ↑ | ← ↑ | ← → | ↗ ↘ | | 265 ~ 300 |
| | 59 (1) | 13 (1) | 14 (1) | 10 (1) | | | 57 (1) | 15 (1) | 14 (1) | 10 (1) | | |

3.5 Q 교차로(금정경찰서앞 교차로)

Q 교차로(금정경찰서앞 교차로)는 5현시로 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 평균지체시간과 연료소모량이 큰 폭으로 감소하였는데, 버스링크에서는 95% 정도의 평균지체시간이 감소하였고 90% 정도의 연료소모량이 감소하였다.

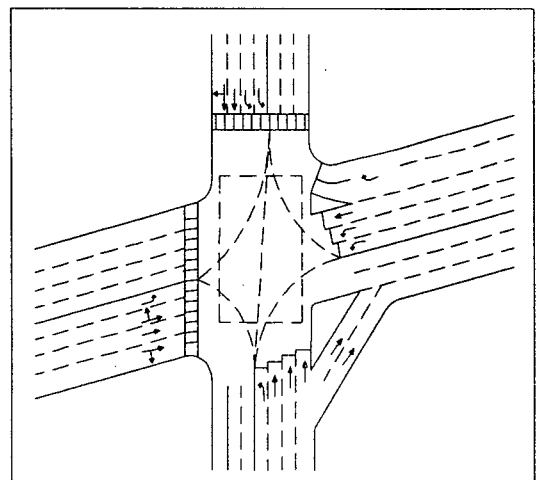


Fig. 3.13 Kum-Jeong Police Intersection

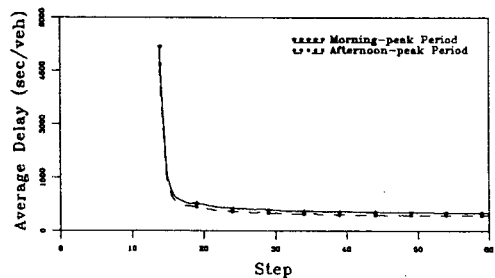


Fig. 3.14 Cycle Evaluation

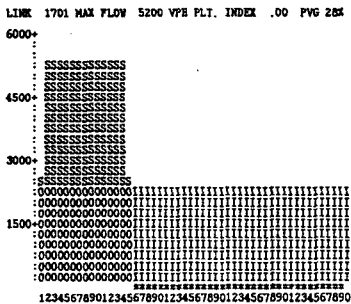
Table 3.5 Cycle Length and Phase Sequence in Kum-Jeong Police Intersection

| 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) | |

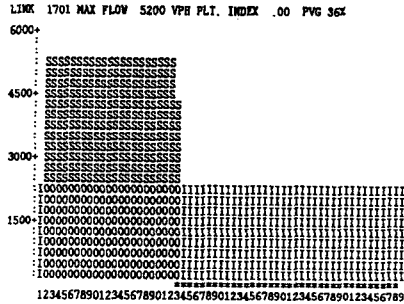
오전 첨두시간대 : 금정경찰서앞 교차로의 N-Bound 직진차선

오전 첨두시간대 : 금정경찰서앞 교차로의 N-Bound 직진차선

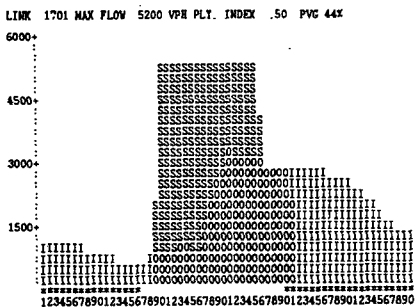
i) 현황분석



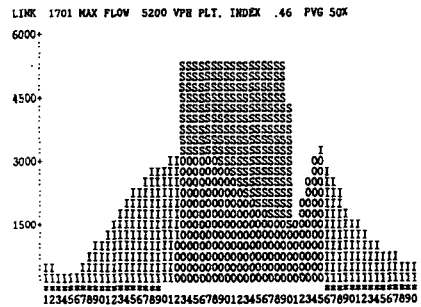
ii) 최적화분석



iii) 연동 최적화분석



iv) 최적현시를 고려한 연동 최적화분석



<기호설명>

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

Fig. 3.15 Flow Profile Diagram

4. 결 론

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 검토한 결과는 다음과 같았다.

i) 대상 간선도로의 교통량체계를 분석해 본 결과 첨두시간대(Peak-Time Periods)를 뚜렷하게 구분할 수 있을 정도로 시간대별 교통량에 큰 차이를 보이지 않았고 하루종일 거의 균일하게 통행차량이 집중하는 경향이 짙었으나 시간대별 가로교통량 분포를 중심으로 첨두시간대를 정하여 보면 오전과 오후에 각각 08:00~09:00와 18:00~19:00사이로 출퇴근시간대와 일치하는 것으로 나타났다.

ii) 대상 간선도로의 도로체계를 분석해 본 결과 폭 24~40m의 6~8차선도로이고, 도로의 차선 폭은 다양하여 좌회전차선의 폭은 대체로 2.7~3.3m로 직진보다 좁은 차선이 많았으며, 우회전차선은 버스나 택시의 주 정차와 버스통행 등으로 인하여 3.0~5.0m 정도의 넓은 폭을 유지하고 있었으므로 차량소통을 원활히 하기 위해 도로 폭과 차선 폭의 재조정이 요구되었다.

iii) 대상 간선도로상의 교차로에 대한 신호체계 현황을 보면, 오전 첨두시간대에 통과차량에 의한 평균지체시간은 약 2,378.8sec/veh로 나타났고, 평균연료소모량은 18,125.7lithr로 나타났으며, 오후 첨두시간대에는 평균지체시간과 연료소모량이 각각 2,159.0sec/veh과 16,043.9lit/hr로 나타났다. 이와 같이 평균지체시간과 연료소모량이 대폭 증가된 이유는 대상 교차로 중에서 특히, 연산

교차로와 내성 교차로의 평균지체시간과 연료소모량이 상대적으로 높았기 때문이었다.

대상 교차로에 대해 최적화분석을 실시하여 현황과 비교해 볼 때, 약 68%의 평균지체시간과 연료소모량이 감소하였고, 연동 최적화분석에서는 평균지체시간이 67%, 연료소모량은 62% 정도 감소함을 알 수 있었다.

iv) 최적의 현시체계를 고려하여 연동 최적화 분석을 실시하여 현황분석과 비교하였을 경우, 평균지체시간과 연료소모량이 각각 67%, 63%씩 감소하는 효과를 보았다. 또한 버스링크(Bus Links)를 고려해서 연동 최적화분석을 실시하였을 경우, N 방향(시청→동래 방면)에서 버스링크상의 평균지체시간은 버스링크를 고려하지 않았을 경우보다 약 78%, 연료소모량은 약 68% 정도 감소하였고 S 방향(동래→시청 방면)에 대해서도, 약 74%와 56%의 평균지체시간과 연료소모량이 각각 감소함을 알 수 있었다.

v) 분석대상 교차로의 신호주기 최적화 수렴과정에서 파형의 곡선이 거의 안정상태(Steady State)에 도달하면서 평균지체시간과 연료소모량 등을 중심으로 한 성과지수(Performance Index)에 별다른 변화를 보이지 않는 구간(평균성과지수의 $\pm 4\%$ 범위내)을 최적신호주기 구간으로 제시하였다.

이상의 결과로부터 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) 김 태 곤, “부산지역 도시교통체계의 개선방안에 관한 연구”, 한국항만학회, 1994. 6.
- 5) W. H. Kraft, “Traffic Congestion-What Have We Learned?”, ITE Journal, Feb. 1989, pp. 24-26.
- 6) A. K. Rathi and E. B. Lieberman, “Reducing Traffic Congestion in Herald Square.” ITE Journal, Sep. 1986, pp. 27-31.
- 7) J. Z. Luh and W. G. Lothian, “Traffic Progression Assessment in Traffic Impact Studies.” ITE Journal, May. 1991, pp. 17-21.
- 8) 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
- 9) ITE Technical Council Committee, “Transportation Energy Contingency Planning”, ITE Journal, Aug. 1986.
- 10) “Transportation Management for Corridors and Activity Centers: Opportunities and Experiences”, U.S. Department of Transportation, May. 1986.
- 11) Shawn M. Turner, “High-Occupancy Vehicle Treatments on Arterial Streets”, ITE Journal, Nov. 1993.
- 12) Transportation Research Board, “National Conference on HOV Systems, 1991”, Transportation Research Circular Number 384, Dec. 1991.
- 13) Ann Lancaster and Timothy Lomax, “Second National Conference on High-Occupancy Vehicle Lanes and Transitways”, Conference Proceedings, Huston, Texas, Oct. 25-28, 1987.
- 14) Leonard Newman, “Bus-Carpool FWY lanes in San Francisco area”, Urban Transportation perspectives and prospects, ENO Foundation for Transportation, Inc. Westport 1982, Connecticut.
- 15) Transportation Research Board, “Highway Capacity Manual”, TRB. Special Report 209. 1985.
- 16) Courage and Wallace, “TRANSYT-7F Vol. 4 in Series”, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Dec. 1991.
- 17) 오 영 태 외 1인, “도시부 신호교차로의 기본용량 및 기하구조 보정계수”, 대한교통학회지 제 10권 제 2호, 1992. 8.
- 18) James L. Pline in ITE, “Traffic Engineering Handbook, 4th edition”, PRENTICE-HALL, Inc. New Jersey, 1992.
- 19) 안 현 철, “TSM기법을 고려한 부산지역 간선도로의 최적설계에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원, 1994. 2.
- 20) 도 철 응, “교통공학원론(상,하)”, 청문각, 1994. 1.