

부산지역 고정식 신호교차로의 시간대별 소통체계 최적설계에 관한 연구

김 아 영* · 김 태 곤**

Optimal Design of the Travel System during the Different Time Periods on the
Pretimed Signalized Intersections in Pusan Area

A. Y. Kim · T. G. Kim

Key Words : 교통체계개선(Transportation System management, TSM), 통행체계분석(Travel System Analysis), 도로체계분석(Roadway System Analysis), 신호체계분석(Signal System Analysis), 첨두교통량(Peak Traffic Volumes), 평균지체시간(Average Delay, AD), 연료소모량(Fuel Consumption, FC), 고정식 신호교차로(Pretimed Signalized-Intersection), 전자감응식 신호교차로(Actuated Signalized Intersection), 오전 첨두시간대(AM on-Peak), AM off-Peak(오전 비첨두시간대), PM off-Peak(오후 비첨두시간대), PM on-Peak(오후 첨두시간대)

Abstract

Today the congestion problem is a problem for the most of the cities to solve. Especially, traffic congestion in the big cities is occurring regardless of the rush-hours. Because the transportation facilities secured in the big cities are very low, and the financial resources and sites for the expansion of new transportation facilities are also limited. Therefore the appropriate Transportation System Management(TSM) techniques which could improve the transportation system are absolutely required to solve the transportation problems instead of the expansion of the transportation facilities in the big cities.

The purpose in this study was to review the travel characteristics on the Pretimed Signalized - Intersections under the study in Pusan area, construct the travel systems during the different time-periods based upon the travel characteristics reviewed, and

* 한국해양대학교 대학원

** 한국해양대학교 해양토목공학과 교수

finally suggest the optimal travel systems which could reduce the traffic delay and fuel consumption of the Pretimed Signalized - Intersections based upon the travel system constructed.

Based upon the results, it could be concluded that the pretimed signal system based upon the on-peak periods should not be applied to all the different time-periods on the Pretimed Signalized - Intersections(PSI) to reduce traffic delay and fuel consumption, and increase the travel capacity on the intersections in Pusan area.

1. 서 론

1.1 연구배경

오늘날 도시문제 중 가장 해결하기 어려운 문제가 교통문제로, 특히 출·퇴근시간대(Rush hours) 차량의 통행량 집중으로 인한 교통체증은 우선적으로 해결해야 할 가장 중요한 문제가 되고 있다. 또한, 대도시에서 확보하고 있는 교통시설은 매우 열악하며, 새로운 교통시설을 확충하기 위한 투자재원 및 시설용지가 한정되어 있다. 그러므로, 대도시에서는 새로운 교통시설의 지속적인 확충과 함께 기존 교통시설을 최대한으로 활용할 수 있는 적절한 교통체계개선 (Transportation Systems Management, TSM) 방안이 절실히 요구되고 있는 상황이며, 이러한 교통여건에 있어서 부산지역 또한 예외는 아닐 것이다.

부산지역은 약 30% 이상이 산지로 되어 있고, 도로형태가 남북방향의 대상형으로 발달되어 있어 대체도로, 우회도로가 극히 부족한 지역이다. 또한, 생활수준의 향상 및 활동영역의 확대 등으로 부산지역의 통행수요가 날로 급증하고 있으며, 높은 차량증가율(연평균 약 16%)과 현저하게 부족한 교통시설(1996년 현재 도로율 15%)로 인하여 심각한 교통문제에 직면함은 물론, 도시기능까지 마비되는 사태에 이르고 있다. 더구나 부산지역내 주요 간선도로상에 있어서의 교통체계가 효율적으로 설계·운영되지 못하여 간선도로의 소통능력을 저하시킴으로써 교통문제는 한층 더 심화되고 있다.

1.2 연구 목적 및 필요성

일반적으로 도시지역에서는 출·퇴근시간대(오

전 07:00~09:00시와 오후 17:00~19:00시)에 차량이 간선도로에 집중함으로써 교통체증이 발생하고 있으나, 대도시지역에서는 거의 모든 간선도로가 출·퇴근시간대에 관계없이 차량으로 붐비고 있다.

부산지역에 있어서 대부분의 간선도로가 통행량 집중으로 최악의 서비스수준(Level of Service, LOS)인 F수준을 나타내고 있으며, 또한 그 시설용량이 초과됨으로써 교통체증을 가중시키고 있다. 더구나, 기존의 교통시설에 있어서 잘못된 도로체계와 부적절한 신호체제로 소통체계가 더욱 악화되고 있기 때문에 투자재원 허용범위내에서 새로운 교통시설이 확충과 함께 기존 시설의 교통체계를 효율적으로 재설계하여 소통능력을 최대한 증대시킬 수 있는 교통체계개선(TSM)방안이 절실히 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 교통체계개선(TSM) 방안의 근거를 두고 i) 부산지역내 고정식 신호교차로(Pretimed Signalized-Intersection)상에서의 통행특성을 검토하고, ii) 통행특성을 바탕으로 오전 첨두시간대(AM on-Peak), 오전 비첨두시간대(AM off-Peak), 오후 비첨두시간대(PM off-Peak) 그리고 오후 첨두시간대(PM on-Peak)에 대한 소통체계를 구축하며, iii) 고정식 신호교차로상에서 통행지체를 감소시킬 수 있는 최적의 소통체계를 제시하고자 한다.

1.3 문헌조사

본 연구와 관련된 문헌에 있어, 미국의 McTrans에 따르면 '미국 플로리다주 Tallahassee시의 도심지구내 56개 교차로에 대하여 신호체계를 5개의

서로 다른 시간대(AM on-Peak, AM off-Peak, Lunch Peak, PM on-Peak, Evening Peak)로 분류하여 각 시간대별 최적 운영체계를 구축한 결과, 연간 약 770만 달러의 연료절감과 시간절약을 도모할 수 있었다.'라고 보고함으로써 도심지구(CBD)내 신호교차로의 소통능력을 증대시키기 위해서는 시간대별 신호체계의 운영이 필요하다는 사실을 입증하였다.

미국의 W. H. Kraft는 '고속도로상에서, 만약 고속도로의 이용차량 5대 중 1대가 차량함께타기(Ridesharing Program)에 동참한다면 고속도로의 교통체증은 약 65%정도가 줄어들게 되며, 또한 도시지역의 주요 간선도로상에 양방향 좌회전 전용차로(Two-Way Left Turn Lanes)를 설치하여 운영하고, 간선가로변의 노상 불법 주·정차로 인한 교통문제를 가급적 줄이며, 간선도로 신호체계를 최적으로 운영함으로써 간선도로의 시설용량을 약 50%정도까지 증대시킬 수 있다.'라고 보고함으로써 도시지역내 간선도로의 소통능력을 증대시키기 위해서는 교통체계개선(TSM)방안의 검토가 필요하다는 사실을 강조하였다.

미국의 A. K. Rathi와 E. B. Lieberman은 '도시지역내 간선도로상에 설치·운영되고 있는 신호교차로의 유효녹색시간(Effective Green Time)을 적절히 조절하면 통행지체를 약 39.9%정도 줄일 수 있고, 또한 통행량도 약 7.1%정도 증대시킬 수 있다.'라고 보고함으로써 도시지역 간선도로상의 교통체증을 감소시키기 위해서는 신호체계 재조정이 필요하다는 사실을 역설하였다.

미국교통학회(Institute of Transportation Engineers, ITE) 기술 소위원회 보고서(4A-24)에 의하면, '도시지역내 간선도로의 신호교차로상에 접근하는 차량의 대기행렬(Queue)이 처리할 수 없을 정도로 지나치게 길 경우, 대기행렬의 길이를 줄일 수 있는 가장 간단하면서도 직접적인 해결방법으로는 신호교차로의 녹색신호시간비(Green-to-Cycle Length Ratio)를 증가시키는 것인데, 이와 같이 신호교차로의 녹색신호시간비(g/C)를 증가시킨다는 것은 항상 접근하는 차량의 대기행렬을 줄어든다.'라고 보고함으로써 신호체계분석에 있어서 녹색신호

시간비에 대한 심도있는 분석이 필요하다는 사실을 역설하였다.

따라서, 연구대상 도심지구(Central Business District, CBD)와 부도심지구(Non-Central Business District, Non-CBD)에 대해 차량소통을 원활하게 하고, 시설용량을 증대시키기 위해서는 간선도로의 교통시설에 대한 교통체계분석: 통행체계분석, 도로체계분석 및 신호체계분석을 기초로 하여 각 시간대별 최적의 소통체계를 구축할 필요가 있었다.

1.4 연구내용 및 방법

본 연구에서는 연구대상 도심지구(CBD)내 13개의 교차로와 부도심지구(Non-CBD)내 17개의 교차로가 연구대상 교차로로 선정되었다. 특히, 도심지구내 13개의 연구대상 교차로는 도심권역을 중심으로 Ac 교차로(시청앞 교차로), Bc 교차로(부산우체국앞 교차로), Cc 교차로(세관앞 교차로), Dc 교차로(범내골 교차로), Ec 교차로(서면 교차로), Fc 교차로(송공 교차로), Gc 교차로(양정 교차로), Hc 교차로(문현 교차로), Ic 교차로(연산 교차로), Jc 교차로(내성 교차로), Kc 교차로(거제 현대 APT앞 교차로), Lc 교차로(교대앞 교차로), Mc 교차로(수안 교차로)가 선정되었다. 또한, 부도심지구에는 An 교차로(유엔 교차로), Bn 교차로(대연 교차로), Cn 교차로(수영 교차로), Dn 교차로(보수 교차로), En 교차로(서대신 교차로), Fn 교차로(괴정 교차로), Gn 교차로(부암 교차로), Hn 교차로(백병원앞 교차로), In 교차로(미남 교차로), Jn 교차로(안락 교차로), Kn 교차로(범곡 교차로), Ln 교차로(금정 경찰서앞 교차로), Mn 교차로(봉래 교차로), Nn 교차로(원동 I.C. 교차로), On 교차로(덕천 교차로), Pn 교차로(하마정 교차로), Qn 교차로(사하 경찰서앞 교차로) 즉, 부도심권역 주변 17개 교차로가 연구대상 교차로로 선정되었다.

부산지역내 약 900여개 신호교차로 중 600여개의 교차로가 고정식 신호체계(Pretimed Signal System)로 운영되고 있고, 나머지 300여개 교차로가 전자감응식 신호체계(Actuated Signal System)로 운영되고 있으나, 대부분의 전자감응식 신호장

치가 제대로 기능을 발휘하고 있지 않다.

따라서, 본 연구에서는 간선도로를 중심으로 30개의 연구대상 신호교차로에 대하여 1일 12시간 교통량을 중심으로 4개의 서로 다른 시간대 : 오전 첨두시간대(AM on-Peak), 오전 비첨두시간대(AM off-Peak), 오후 비첨두시간대(PM off-Peak) 그리고 오후 첨두시간대(PM on-Peak)에 대해 시물레이션분석과 최적화분석결과를 중심으로 서비스수준(LOS)과 교통량 흐름도를 상호 비교함으로써 각 시간대별 최적의 소통체계를 제시하였다.

2. 교통 체계 분석

본 연구에서는 연구대상 교차로에 대하여 각 시간대별 첨두교통량을 파악하기 위해 오전 첨두시간대, 오전 비첨두시간대, 오후 비첨두시간대 그리고 오후 첨두시간대에 대한 통행체계분석을 실시하였고, 교차로상의 기하구조 현황을 조사하여 도로체계분석을 실시하였으며, 노면표지 및 신호표지, 신호주기와 신호현시 그리고 통과차량의 도류화 형태 등 신호체계의 현황을 조사하여 신호체계 분석을 실시하였다.

2.1 통행 체계 분석

본 연구에서는 연구대상 교차로에 대한 1일 12시간 교통량을 중심으로 4개의 시간대 : 오전 첨두시간대(AM on-Peak ; 07:00~09:00), 오전 비첨두

시간대(AM off-Peak ; 09:00~12:00), 오후 비첨두시간대(PM off-Peak ; 14:00~17:00) 그리고 오후 첨두시간대(PM on-Peak ; 17:00~19:00)에 대해 통행체계분석을 실시하였다.

또한, 본 연구대상 교차로의 첨두교통량을 산정하기 위하여 미국의 도로용량편람(Highway Capacity Manual, HCM)에 근거를 두고 조사된 차종별 통행량에 대해 Table 2.1과 같은 승용차환산단위(Passenger Car Units, PCU)를 적용하여 시간대별 첨두교통량을 산정하였다.

첨두시간계수(Peak Hour Factor, *PHF*)는 관측된 첨두시간대의 첨두 1시간 교통량을 15분 단위의 교통량으로 분류하여 첨두 15분 동안 교통량의 집중정도를 나타내는 것으로 다음 식(2. 1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, *PHF* ; 첨두시간계수
 V_{15} ; 첨두 15분 교통량
 V ; 첨두 1시간 교통량

특히, 연구대상 교차로상의 첨두시간계수(*PHF*)는 시간대별로 뚜렷한 차이를 보이지 않았기 때문에 첨두교통량 산정시 각 교차로에 대해 시간대별 첨두시간계수의 평균치를 적용하였다. 또한, 교차로별 첨두시간계수의 평균치를 산정한 결과, 도심 지구에서는 대체로 0.9이상으로 나타났고, 부도심

Table 2.1 Passenger Car Units for the Vehicles (Unit : PCU)

Veh. Type	승용차	택시	승합차	트럭	버스	이륜차	특수차	컨테이너
PCU	1	1	1.5	2.5	2	0.5	2.5	4

Table 2.2 Average Peak Hour Factor(*PHF*) on the Intersections

Intersection	CBD																
	A _C	B _C	C _C	D _C	E _C	F _C	G _C	H _C	I _C	J _C	K _C	L _C	M _C				
PHF	0.94	0.96	0.96	0.95	0.95	0.96	0.93	0.97	0.99	0.91	0.99	0.97	0.98				
Intersection	Non-CBD																
	A _N	B _N	C _N	D _N	E _N	F _N	G _N	H _N	I _N	J _N	K _N	L _N	M _N	N _N	O _N	P _N	Q _N
PHF	0.97	0.91	0.93	0.95	0.94	0.94	0.94	0.97	0.98	0.97	0.88	0.98	0.98	0.87	0.93	0.98	0.92

지구에서는 K_N 교차로와 N_N 교차로를 제외한 대부분의 교차로에는 0.9이상으로 나타나서 첨두 1시간 동안에 통행량이 고루 분포하고 있음을 알 수 있었다(참조 Table 2.2).

따라서, 연구대상 신호교차로의 첨두시간대는 출·퇴근시간대와 일치한다고 볼 수 없었으며, 비첨두시간대에도 화물통행이나 업무통행 그리고 기타통행(상품구매통행 포함)이 상대적으로 증가함으로써 첨두시간대와 비첨두시간대를 뚜렷하게 구분할 수 없을 정도로 교차로에 통행수요가 집중됨

을 알 수 있었기 때문에 통행체계분석은 시간대별로 통행특성을 재검토하는 측면에서 이루어져야 한다고 판단되었다(참조 Fig. 2.1, 2.2).

2.2 도로 체계 분석

본 연구대상 교차로는 부산지역 간선도로의 핵심교차로로서 도시교통체계의 근간을 이루고 있으나, 교차로의 접근부에 있어서 보도와 차도가 적절하게 분리되어 있지 않아 통과 교통량을 효율적으

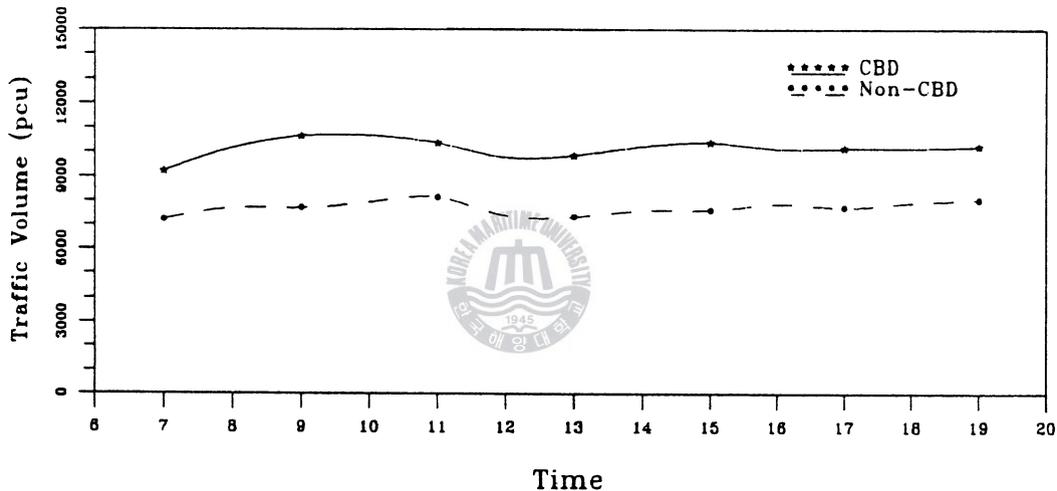


Fig. 2.1 Traffic Volume(pcu) Distribution on Intersections

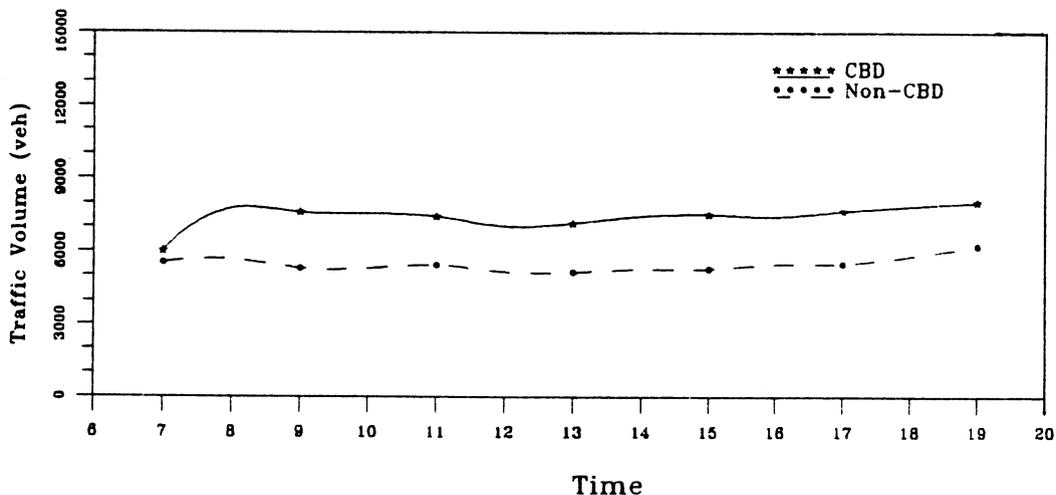


Fig. 2.2 Traffic Volume(veh) Distribution on Intersections

로 처리할 수 없고, 차로폭이 도로시설용량을 최대한 수용할 수 없게 배정되어 있다. 또한, 그릇된 차로 설계 및 차로 지정으로 인하여 첨두시간대에 교통정체가 가중되고 있었다.

연구대상 교차로의 접근부 폭원은 대체로 약 10~38m를 유지하고 있었으며, 각 차로폭은 약 3~5m 정도로 이상적인 차로폭(3.6m)과 비교해 볼 때 현저한 차이를 보이는 것으로 관측되었다. 특히, 교차로 접근부의 차로수는 편도 1~7차로까지 관측되었는데, 교차로 주변에 일시적으로 주·정차하고 있는 택시와 각종 차량들로 인해 우측 차로 이용이 거의 어려워 우측 차로의 용량이 감소하는 것으로 나타났다. 더구나, 차로폭과 차로수의 불균형으로 인해 소통능력이 저하됨과 동시에 교통혼잡과 정체가 한층 심화되고 있었다.

따라서, 연구대상 교차로 접근부의 차로폭과 차로수에 대한 전반적인 재조정과 교차로 주변의 불법 주·정차차량에 대한 강력한 단속이 요구되었으며, 또한 교차로상에서 좌회전 차량의 집중이 교통체증에 심각한 영향을 주고 있었기 때문에 도로체계분석은 시간대별로 도로용량을 증대시키는 측면에서 이루어져야 한다고 판단되었다.

2.3 신호 체계 분석

본 연구는 연구대상 교차로의 각 방향별 차량통행에 따른 신호등의 신호주기와 신호현시, 교통표지 및 노면표시 등을 실측을 통해 이루어졌다.

특히, 도심지구(CBD)내 연구대상 교차로의 신호주기는 대체적으로 약 140~200초(sec)사이의 주기로 운영되고 있었고, 신호현시는 2~6현시, 그리고 각 교차로의 주방향별 유효녹색 시간비(Effective Green Time)는 약 0.21~0.77사이의 값을 유지하고 있었다. 또한, 부도심지구(Non-CBD)내 연구대상 교차로의 신호주기는 대체적으로 약 110~280초 사이의 주기로 운영되고 있었고, 신호현시는 2~5현시, 그리고 각 교차로의 주방향별 유효녹색 시간비는 약 0.21~0.59사이의 값을 유지하고 있었다. 더구나, 도심지구와 부도심지구내 연구대상 교차로의 신호형태는 대체적으로 전자감응식 신호제

어(Actuated Signal Control)가 아닌 고정식 신호 제어(Pretimed Signal Control)로 운영되고 있었고, 도심지구내에서 Ac, Bc, Gc 교차로, 그리고 부도심지구에서 FN, NN, ON 교차로를 제외한 대부분 교차로에는 평면교차 횡단보도가 설치되어 있어 보행자와 차량사이에 상충이 발생하고 있었다. 뿐만 아니라, 각 시간대별 유·출입통행량에 대해 적절하지 않는 신호주기, 신호현시, 교통표지, 노면표시 및 도류화표시 등이 교통정체의 주요 요인이 되고 있었다.

따라서, 연구대상 교차로의 교통표지, 노면표시와 도류화표시가 차량통행특성에 적합한지에 대해 재검토와 신호위반차량에 대해 강력한 단속이 요구되었으며, 또한 교차로의 각 시간대별 최적의 신호체계가 적용되어야 함을 알 수 있었기 때문에 신호체계분석은 교차로의 소통능력을 증대시키는 측면에서 이루어져야 한다고 판단되었다.

2.4 교차로 서비스 수준(Level of Service, LOS) 분석

교차로의 서비스수준(LOS) 비교 분석방법에는 i) 교통량과 교통용량의 비(v/c ratio)에 의한 서비스수준 분석과 ii) 평균지체시간(Average Delay, AD)에 의한 서비스수준 분석의 방법이 있으나, 본 연구에서는 평균지체시간(Average Delay, AD)에 의해 서비스수준을 분석하였고, 또한 교차로의 서비스수준을 극대화시키기 위해서 TRANSYT-7F의 최적화 목적함수(Objective Function)가 사용되었다.

평균지체시간(AD)에 의한 교차로의 서비스수준(LOS) 분석 모형에는 Webster Model, TRANSYT-7F Model, HCM Model, Queueing Model 등이 있으나, 신호교차로의 서비스수준분석에 널리 사용되고 있는 모형은 TRANSYT-7F 모형이다. TRANSYT-7F 모형에서 이용하는 신호교차로상의 총 평균지체시간(Total Average Delay, D)은 교차로 상에 차량의 대기행렬로부터 산출되는 균일지체시간(Uniform Delay, D_u)과 차량의 임의도착 및 포화상태로 인한 임의포화지체시간(Random and Saturation Delay, D_s)의 합으로 구성되어 있으며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D = D_u + D_{rs} \dots\dots\dots (2.2)$$

여기서,

- D ; 총 지체시간 (sec)
- D_u ; 균일지체시간 (sec)
- D_{rs} ; 임의포화지체시간 (sec)

특히, 차량들의 규칙적인 도착에 의하여 발생하는 균일지체시간(Uniform Delay, D_u)은 다음과 같다.

$$D_u = \sum_t^N m_t / N \dots\dots\dots (2.3)$$

여기서,

- D_u ; 균일지체시간(veh-hr/hr)
- m_t ; step t동안 대기차량행렬의 길이
- N ; 신호주기당 step의 수

반면, 차량들의 불규칙한 도착에 의하여 발생하는 임의 포화 지체시간(Random and Saturation Delay, D_{rs})은 다음과 같다.

$$D_{rs} = 900TX^2 [(X-1)+(X-1)^2+(4X/cT)]^{1/2} \cdot (3600/v) \dots\dots\dots (2.4)$$

여기서,

- D_{rs} ; 임의 포화지체(random-plus-saturation delay) (veh-hr/hr)
- X ; 포화도
- c ; 용량 (vph)
- v ; 교통량 (vph)
- T ; 주기(Period Length, 보통 60분)

또한, TRANSYT-7F(Ver 7.2, 1994)의 목적함수(Objective Function)는 표준지체(Standard Delay)와 정지횟수(Stops)를 중심으로 구성된 불용지수(Disutility Index, DI)를 최소화(Minimization)시키는 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } DI = & \sum_{i=1}^n [W_{di} \cdot d_i + K \cdot W_{si} \cdot S_i] \\ & + U_i [W_{di-1} \cdot d_{i-1} + K \cdot W_{si-1} \cdot S_{i-1}] \quad (2.5) \\ & + Q \cdot B_i [W_q (q_i - qc_i)^2] \end{aligned}$$

여기서,

- DI ; 불용지수(disutility index)
- d_i ; 링크 i상에서의 지체 (veh-hr)
- K ; 지체와 관련하는 "stop penalty"
- S_i ; 링크 i상에서의 정지(stops/sec)
- W_{di}, W_{si} ; 링크 i의 지체 및 정지에 대한 가중치
- U_i ; 링크 i에 대해 가중치가 주어졌다면 '1', 그렇지 않다면 '0'
- Q ; DI 상에 최대 후미 대기행렬 "penalty"를 사용자가 포함하고자 한다면 '1', 그렇지 않다면 '0'
- B_i ; 최대 후미 대기행렬(q_i)이 사용자가 정의한 storage capacity를 증가한다면 '1', 그렇지 않다면 '0'
- W_q ; 전체 network에 대해 "spillover"를 나타내기 위해 적용되는 "penalty"
- q_i ; 링크 i상에서의 계산된 최대 후미 대기행렬의 길이
- qc_i ; 링크 i상에서의 최대 후미 대기행렬의 용량

또한, 신호교차로의 서비스수준(LOS)을 평균지체시간(Average Delay, AD)의 분석결과에 따라 결정할 때, 평균지체시간이 약 78.0초를 초과하는 교차로는 서비스수준이 매우 열악한 상태(LOS F 수준)로 간주하게 되는데, 본 연구대상 교차로에 대한 서비스수준분석 결과, 대부분 교차로상에서 평균지체시간이 약 78.0초를 초과하는 것으로 나타났다.

따라서, 연구대상 교차로에 대해 방향별 차로수 및 차로 용량의 재검토와 서비스수준 분석결과에 따른 전반적인 통행체계, 도로체계 및 신호체계에 대한 교통체계개선(TSM)방안 수립이 요구되어졌다.

2.5 교통량 흐름도(Flow Profile Diagrams) 분석

본 연구에서는 연구대상 교차로에 대해 남-북(N-S)방향과 동-서(E-W)방향의 교통량흐름도(Flow Profile Diagrams)를 비교하였다.

특히, 교차로내의 시뮬레이션분석과 최적화분석을 통해서 선정되는 주요 통행방향(Link)에 대해

교통량 흐름도를 비교 분석한 결과, 대체적으로 교차로의 좌회전 차로에서는 녹색시간에 도착하는 차량이 많이 교차로를 빠져나가지 못해 녹색신호 시간인데도 많은 차량이 누적되고 있었고, 직진 차로이나 우회전 차로에서도 용량부족으로 인해 정체가 심하게 나타나고 있었다. 그러나, 연구대상 교차로에 있어서 시간대별 교통량의 차이가 심하게 나타나는 교차로에서는 동일 링크(link)라 하더라도 각 시간대별 최적 교통체계를 구축함으로써 보다 원활한 소통을 보이고 있음을 알 수 있었다.

3. 교차로 분석

본 연구에서는 대상 교차로의 소통체계에 대한 시뮬레이션분석(Simulation) 및 최적화분석(Optimization)을 통해 최적의 소통체계를 구축하였으며, 구축된 소통체계를 중심으로 최적 신호체계와 최적 현시체계를 제시하였다.

3.1 도심지구(CBD) 교차로 분석

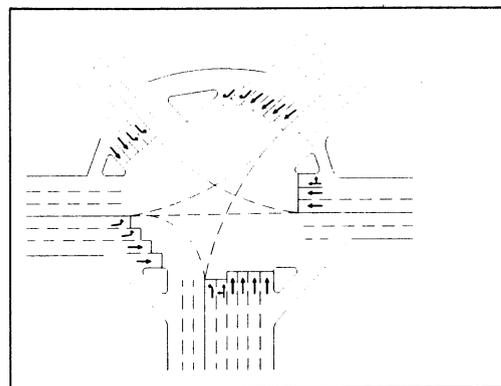
도심지구(CBD)내에 있는 연구대상 교차로들은 대체로 3지~6지 교차로로 신호주기는 최저 140초에서 최고 200초로 운영되고 있었고, 각 시간대별 통행량 분포는 오전 첨두시간대(AM on-Peak)에는 약 7,000pcu~17,000pcu, 오전 비첨두시간대(AM off-Peak)와 오후 비첨두시간대(PM off-Peak)의 교차로 통행량은 약 7,500pcu~16,400pcu, 그리고 오후 첨두시간대(PM on-Peak)의 교차로 통행량 분포는 약 7,600pcu~16,100pcu 정도로 대부분 교차로의 용량을 초과하여 운영되고 있었다.

시뮬레이션분석 결과와 최적화분석 결과에 따른 평균지체와 연료소모량의 감소율을 살펴보면, 평균지체시간은 약 57%정도 감소하였고 연료소모량은 약 55%정도 감소하였다. 특히, 특정시간대의 최적 신호체계를 나머지 다른 시간대에 동일하게 적용하였을 때 평균지체와 연료소모량의 값은 오전 첨두시간대와 오전 비첨두시간대에 각각 약 40%, 29%정도가 증가하였다. 또한, 오후 비첨두시간대와 오후 첨두시간대의 최적 신호체계를 다른 시간

대에 적용했을 때 평균지체와 연료소모량의 증가율은 각각 약 28%, 27%정도로 나타났다. 연구대상 교차로들 중에서 도심지구의 교차로 Ec(서면 교차로)에 대한 교차로 분석결과는 다음과 같았다.

3.1 교차로 Ec(서면 교차로)

교차로 Ec(서면 교차로)는 5지(5-Leg) 교차로로 신호주기는 180초에 4현시(Phase)로 운영되고 있었다. 특히, 교차로 Ec(서면 교차로)에서는 오전 첨두시간대와 비첨두시간대, 그리고 오후 비첨두시간대에는 북쪽으로 향하는(N-Bound) 좌회전 차로



Intersection Ec(CBD)

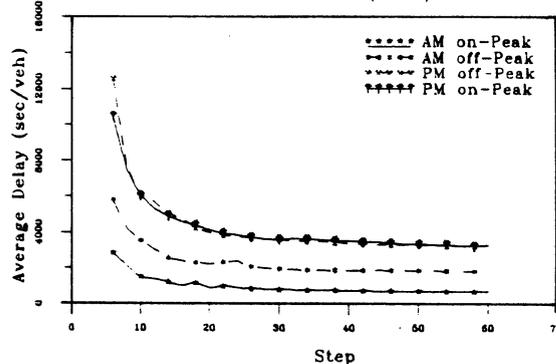


Fig. 3.1 Geometric Conditions and Cycle Evaluation(Intersection Ec)

(링크 502)에서 가장 심한 체증이 발생하고 있었고, 오후 첨두시간대에는 북서방향으로 향하는(NW-Bound) 우회전 차로(링크 523)에서 가장 체증이 심하게 나타났다.

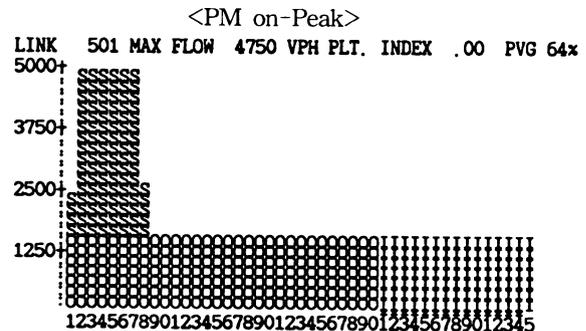
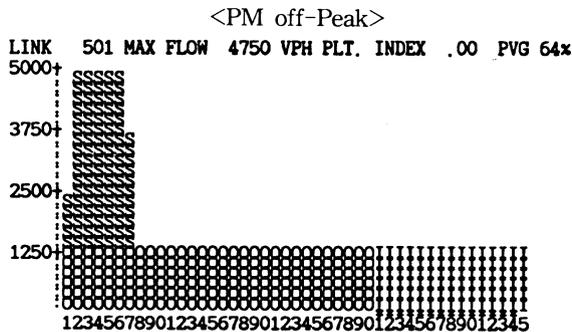
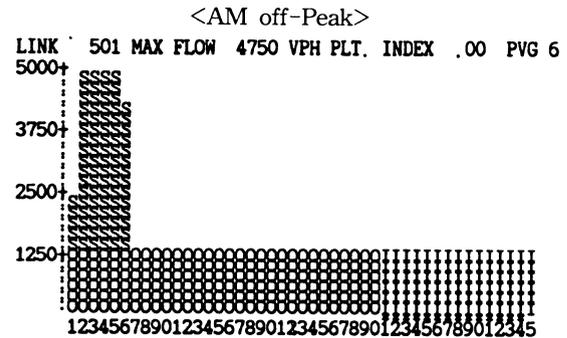
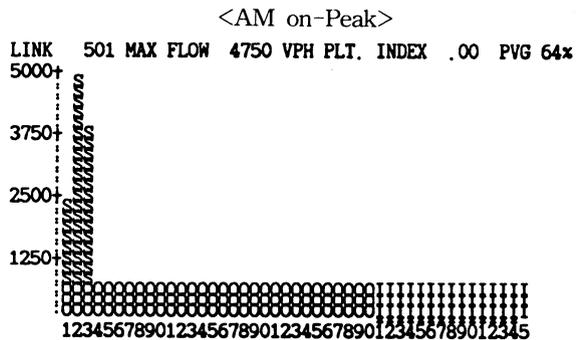
신호체계의 최적화를 고려하면, 평균지체시간은 현황과 비교하여 오전 첨두시간대와 비첨두시간대에 있어 각각 약 60.6%, 64.6%정도 감소하였고, 오후 비첨두시간대와 첨두시간대에서는 각각 약 7.8%정도와 약 58.2%정도 감소하였다. 또한, 연료소모량은 오전 첨두시간대와 비첨두시간대에 각각 약 56.8%, 64.4%정도, 그리고 오후 비첨두시간대와 첨두시간대에는 각각 약 7.8%, 58.1%정도 감소하는 것으로 나타났다(참조 Table 3.1, Fig. 3.1). 한편, 교차로 Ec에 있어서 특정시간대 최적 신호체계를 다른 시간대에 대해 동일하게 적용하였을 경우, 평균지체시간과 연료소모량이 최저 4%에서 최고 42%까지 증가하였으며, 교통량흐름도(Flow Profile Diagrams)로부터 동일 링크(link)라 하더라도 각 시간대별 최적의 교통체계를 구축하였을 때 보다 원활한 소통상태를 보였다(참조 Table 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, Fig. 3.2). 따라서, 교차로 Ec(서면 교차로)의 소통체계개선을 위해서는 교차로의 통행특성을 제대로 파악해야 했고, 직진 통행(Thru

○ 현황분석 (Simulation)

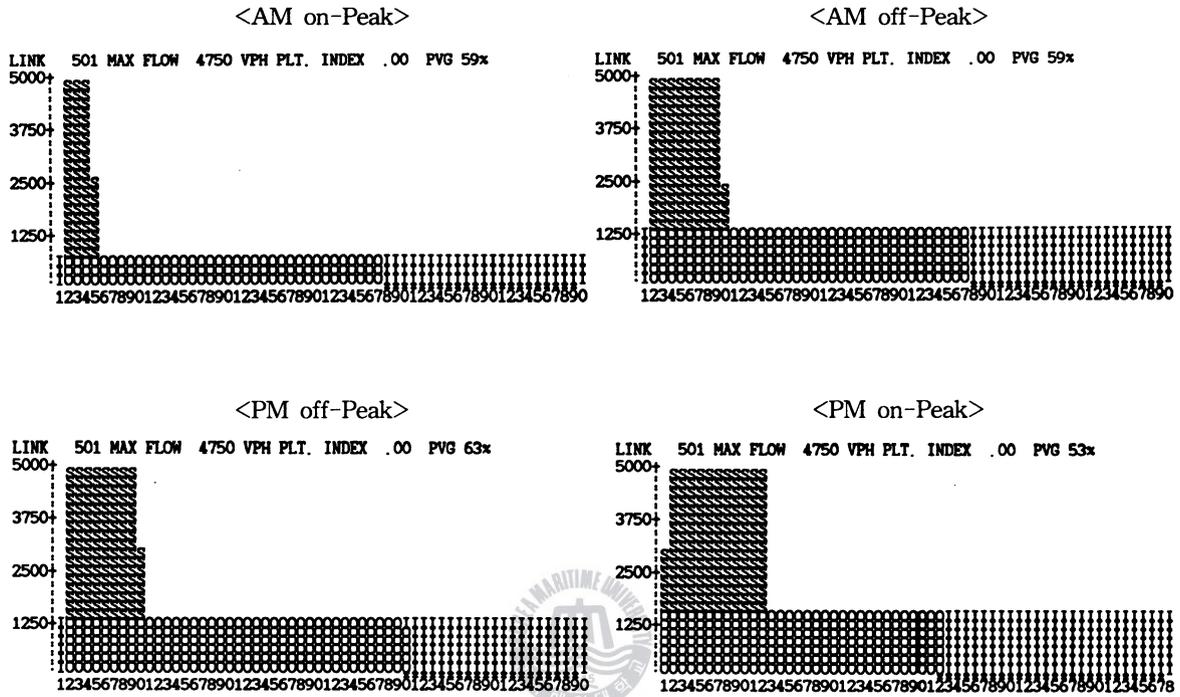
Movements)보다는 지체발생의 주요 원인이 되는 좌회전 통행(Left-Turn Movements)에 보다 역점을 두어 교차로 기하구조를 재설계해야 했으며, 그리고 각 시간대별 통행량에 적절하게 대처할 수 있도록 최적의 신호체계가 구축되는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

Table 3.1 Measures of Effectiveness(MOE) during Peak Periods(Intersection EC)

분석 Parameter	AM on-Peak			AM off-Peak		
	현황	최적화	감소율	현황	최적화	감소율
Average Delay (sec/veh)	1,773.9	699.6	60.6%	5,068	1,796.4	64.6%
Fuel Consumption (lit/hr)	12,438	4,946	60.2%	47,032	16,728.5	64.4%
분석 Parameter	PM off-Peak			PM on-Peak		
	현황	최적화	감소율	현황	최적화	감소율
Average Delay (sec/veh)	3,501.6	3,229.4	7.8%	7,773.6	3,248.7	58.2%
Fuel Consumption (lit/hr)	31,117	28,705.3	7.8%	64,424	26,969.4	58.1%



○ 최적화 분석 (Optimization)



<기호설명>

I : 적색시간에 도착하는 차량 S : 적색신호구간에 누적되었다가 녹색신호시간에 출발하는 차량
O : 녹색신호시간에 도착하는 차량 * : 적색신호구간 0~9 : 한 신호주기의 Step 수

Fig. 3.2 Flow Profile Diagrams(Intersection Ec)

Table 3.2 MOE Reductions under AM on-peak Optimal Setting(Intersection Ec)

분 석 Parameter	AM on-Peak			PM off-Peak			PM on-Peak		
	최적화	AM on-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	AM on-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	AM on-Peak 대 입 결 과	증가율
Average Delay (sec/veh)	1,796.4	2,190.6	18%	3,229.4	3,446.3	6%	3,248.7	4,425.7	27%
Fuel Consumption (lit/hr)	16,728	20,381	18%	28,725	30,629.2	6%	26,969	36,711.8	27%

Table 3.3 MOE Reductions under AM off-peak Optimal Setting (Intersection E_c)

Parameter	AM on-Peak			PM off-Peak			PM on-Peak		
	최적화	AM off-Peak 대입 결과	증가율	최적화	AM off-Peak 대입 결과	증가율	최적화	AM off-Peak 대입 결과	증가율
Average Delay (sec/veh)	699.6	927.5	25%	3,229.4	3,553.3	9%	3,248.7	3,373.2	4%
Fuel Consumption (lit/hr)	4,946	6,536	24%	28,705	31,577.8	9%	26,969	28,000	4%

Table 3.4 MOE Reductions under PM off-peak Optimal Setting (Intersection E_c)

Parameter	AM on-Peak			AM off-Peak			PM on-Peak		
	최적화	PM off-Peak 대입 결과	증가율	최적화	PM off-Peak 대입 결과	증가율	최적화	PM off-Peak 대입 결과	증가율
Average Delay (sec/veh)	699.6	1,211.5	42%	1,796.4	2,158.9	17%	3,248.7	4,504.5	28%
Fuel Consumption (lit/hr)	4,946	8,517.1	42%	16,728	20,085.2	17%	26,969	37,364.8	28%

Table 3.5 MOE Reductions under PM on-peak Optimal Setting (Intersection E_c)

Parameter	AM on-Peak			AM off-Peak			PM off-Peak		
	최적화	PM on-Peak 대입 결과	증가율	최적화	PM on-Peak 대입 결과	증가율	최적화	PM on-Peak 대입 결과	증가율
Average Delay (sec/veh)	699.6	1,117.5	37%	1,796.4	2,221.4	19%	3,229.4	3,958.4	18%
Fuel Consumption (lit/hr)	4,946	7,862.2	37%	16,728	20,666.8	19%	28,705	35,169	18%

3.2 부도심지구(Non-CBD) 교차로 분석

부도심지구(Non-CBD) 내에 있는 연구대상 교차로들은 대체로 3지~5지 교차로로 이루어져 있었고, 신호주기는 최저 110초에서 최고 280초로 운영되고 있었다. 부도심지구를 통행하는 차량들의 통행량 분포는 오전 첨두시간대(AM on-Peak)에 약 4,300pcu~13,500pcu, 오전 비첨두시간대(AM off-Peak)와 오후 비첨두시간대(PM off-Peak)에는 약 5,600pcu~13,400pcu, 그리고 오후 첨두시간대(PM on-Peak)에는 약 4,900pcu~13,600pcu 정도를 나타내고 있어, 대부분 시간대의 통행량이 교차로의 소통용량을 초과하고 있었다.

시뮬레이션분석 결과와 최적화분석 결과에 따른 평균지체와 연료소모량의 감소율을 살펴보면, 평균지체시간(AD)과 연료소모량(FC)의 감소율은 각각 약 59%, 57% 정도로 나타났다. 한편, 부도심지구내 교차로들에 대해 오전 첨두시간대(AM on-Peak)의 최적 신호체계를 다른 시간대에 적용했을 때 평균지체(AD)와 연료소모량(FC)이 약 40% 정도 증가하였고, 오전 비첨두시간대(AM off-Peak)의 최적 신호체계를 다른 시간대에 동일하게 적용했을 때는 약 29% 정도의 평균지체와 연료소모량이 증가하였다. 그리고 오후 비첨두시간대(PM off-Peak)와 오후 첨두시간대(PM on-Peak)

의 최적 신호체계를 다른 시간대에 적용했을 때 평균지체와 연료소모량의 증가율은 각각 약 25%, 30%정도로 나타났다. 연구대상 교차로들 중에서 부도심지구의 교차로 IN(미남 교차로)에 대한 교차로 분석결과는 다음과 같았다.

3. 2 교차로 IN(미남 교차로)

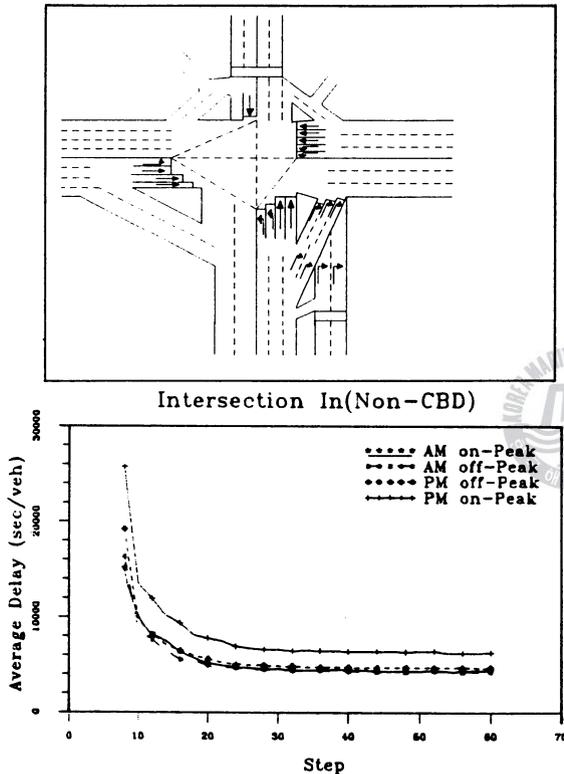


Fig. 3.3 Geometric Conditions and Cycle Evaluation(Intersection IN)

교차로 IN(미남 교차로)는 5지(5-Leg) 교차로로 신호주기는 140초에 5현시로 운영되고 있었다. 특히, 교차로 IN에 있어 시간대별로 가장 심한 정체가 발생하는 링크를 살펴보면, 오전 첨두시간대와 비첨두시간대에 서쪽방향으로 향하는(E-Bound) 좌회전 차로(링크 2206)에서 가장 지체가 심하게 나타났고, 오후 비첨두시간대와 첨두시간대에는 북쪽방향으로 향하는(N-Bound) 좌회전 차로(링크 2202)에서 가장 심한 교통체증이 발생하고 있었다.

신호체계의 최적화를 고려하면, 평균지체시간(AD)은 현황과 비교하여 오전 첨두시간대와 비첨두시간대에 있어 각각 약 48.5%정도와 약 44.2%정도 감소하였고, 오후 비첨두시간대와 첨두시간대에서는 각각 약 51.3%, 51.2%정도 감소하였으며, 연료소모량(FC) 또한 시간대별로 각각 약 72.4%, 44.1%, 51.3%, 51.2%정도 감소하는 것으로 나타났다(참조 Table. 3-6, Fig. 3-4). 또한, 교차로 IN에 있어서 특정시간대 최적 신호체계를 다른 시간대에 대해 동일하게 적용하였을 경우, 평균지체시간과 연료소모량이 최고 58%까지 증가하였으며 교통량흐름도(Flow Profile Diagrams)로부터 동일 링크(link)라 하더라도 각 시간대별 최적의 교통체계를 구축함으로써 보다 원활한 소통상태를 나타내고 있었다(참조 Table 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, Fig. 3.5).

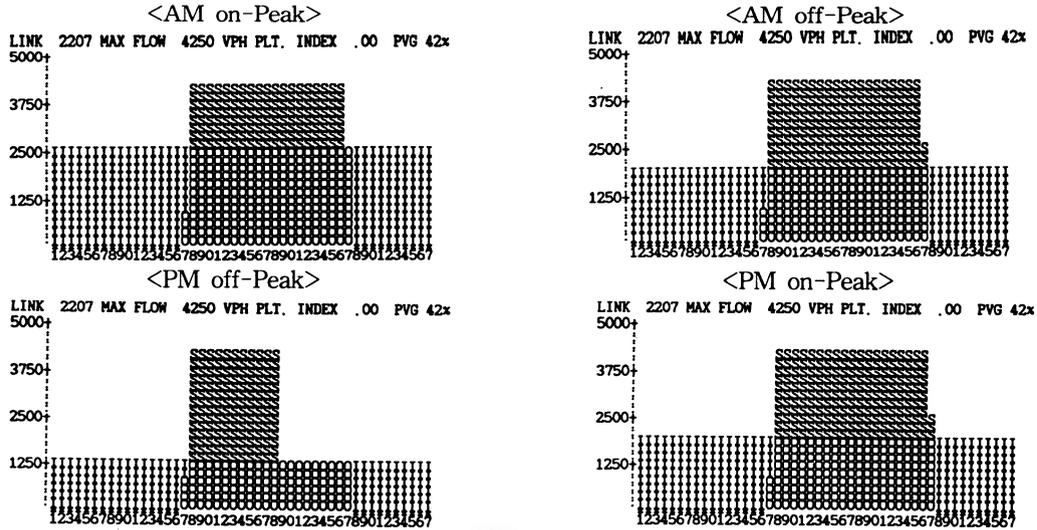
따라서, 교차로 IN(미남 교차로)의 소통체계개선을 위해서는 교차로의 통행특성을 제대로 파악해야 했고, 직진 통행보다는 좌회전 통행에 보다 역점을 두어 교차로 기하구조를 재설계해야 했으며, 시간대별 통행량에 적절히 대처할 수 있도록 가장 적절한 최적의 신호체계가 구축되어야 했다.

Table 3.6 Measures of Effectiveness(MOE) during Peak Periods(Intersection IN)

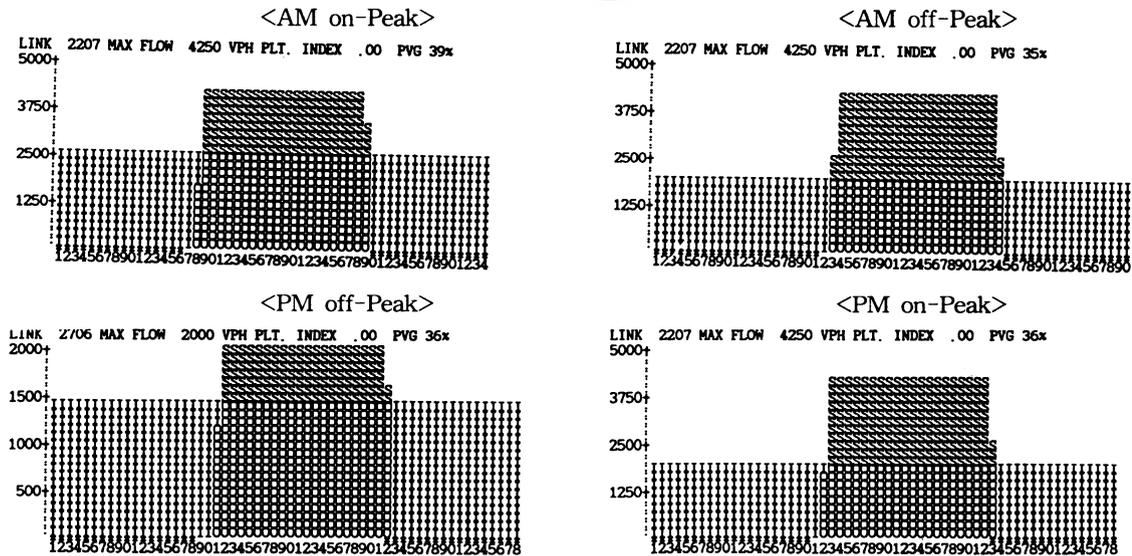
분 석 Parameter	AM on-Peak			AM off-Peak			PM off-Peak			PM on-Peak		
	현 황	최적화	감소율	현 황	최적화	감소율	현 황	최적화	감소율	현 황	최적화	감소율
Average Delay (sec / veh)	8,231.9	4,238.4	48.5%	7,492.1	4,181	44.2%	9,342.7	4,547.8	51.3%	12,739.6	6,211.7	51.2%
Fuel Consumption (lit / hr)	85,747	44,199	48.5%	72,791	40,659	44.1%	88,800	43,270	51.3%	133,624	65,207	51.2%

부산지역 고정식 신호교차로의 시간대별 소통체계 최적설계에 관한 연구

○ 현황분석 (Simulation)



○ 최적화 분석 (Optimization)



<기호설명>

- I : 적색시간에 도착하는 차량 S : 적색신호구간에 누적되었다가 녹색신호시간에 출발하는 차량
 O : 녹색신호시간에 도착하는 차량 * : 적색신호구간 0~9 : 한 신호주기의 Step 수

Fig. 3.4 Flow Profile Diagrams(Intersection I_N)

Table 3.7 MOE Reductions under AM on-peak Optimal Setting(Intersection I_N)

분 석 Parameter	AM off-Peak			PM off-Peak			PM on-Peak		
	최적화	AM on-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	AM on-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	AM on-Peak 대 입 결 과	증가율
Average Delay (sec / veh)	4,181	4,792.3	13%	4,547.8	4,874.8	7%	6,211.7	6,696.7	7%
Fuel Consumption (lit / hr)	40,659	46,590.6	13%	43,270	46,374.6	7%	65,207	70,290	7%

Table 3.8 MOE Reductions under AM off-peak Optimal Setting(Intersection I_N)

분 석 Parameter	AM on-Peak			PM off-Peak			PM on-Peak		
	최적화	AM off-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	AM off-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	AM off-Peak 대 입 결 과	증가율
Average Delay (sec / veh)	4,238.4	4,921.5	14%	4,547.8	4,635.1	2%	6,211.7	6,425.5	3%
Fuel Consumption (lit / hr)	44,199	51,305	14%	43,270	44,099.1	2%	65,207	67,447	3%

Table 3.9 MOE Reductions under PM off-peak Optimal Setting(Intersection I_N)

분 석 Parameter	AM on-Peak			AM off-Peak			PM on-Peak		
	최적화	PM off-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	PM off-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	PM off-Peak 대 입 결 과	증가율
Average Delay (sec / veh)	4,238.4	4,392.6	4%	4,181	4,324.4	3%	6,211.7	6,236	0%
Fuel Consumption (lit / hr)	44,199	48,924	10%	40,659	42,050.1	3%	65,207	65,461.6	0%

Table 3.10 MOE Reductions under PM on-peak Optimal Setting(Intersection I_N)

분 석 Parameter	AM on-Peak			AM off-Peak			PM off-Peak		
	최적화	PM on-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	PM on-Peak 대 입 결 과	증가율	최적화	PM on-Peak 대 입 결 과	증가율
Average Delay (sec / veh)	4,238.4	4,547.4	7%	4,181	9,912.6	58%	4,547.8	4,620.4	2%
Fuel Consumption (lit / hr)	44,199	48,453.2	9%	40,659	96,272.7	58%	43,270	43,959.2	2%

4. 결 론

일반적으로, 도시지역에서는 출·퇴근시간대(Rush hours)에 한하여 주요 간선도로상에 차량이

증가하고, 통행수요가 집중함으로써 교통체증이 발생하고 있다. 그러나, 대도시지역에서는 인구의 도시 집중으로 인한 통행수요급증으로 출·퇴근시간

대에 관계없이 대부분의 간선도로에서 극심한 교통체증이 발생함으로써 대도시 교통문제는 한층 더 심화되고 있다. 이러한 대도시들 중에서 부산지역은 다른 지역에 비하여 교통시설(1996년 도로율 15%)이 턱없이 부족하고, 열악한 대체도로와 우회 도로시설로 인해 거의 모든 도로상에서 극심한 교통체증이 발생하고 있다.

본 연구에서는 부산지역의 도심지구(CBD)과 부도심지구(Non-CBD)를 중심으로 유·출입통행량이 집중하고 있는 30곳의 고정식 신호교차로(Pretimed Signalized-Intersections, PSI)를 연구대상 교차로로 선정하였고, 이들 교차로를 대상으로 통행체계분석, 도로체계분석 및 신호체계분석을 실시하였고, 이들 교차로상의 유·출입통행을 보다 원활히 하기 위해 최적의 소통체계를 제시하였다. 따라서 부산지역의 고정식 신호교차로(PSI) 체계의 보다 효율적인 운영을 위한 분석결과를 기초로 하여 아래와 같은 결론에 도달하였다.

i) 대체적으로 연구대상 고정식 신호교차로(PSI)에서는 시간대별로 집중하는 유·출입통행량에 있어서 현저한 차이는 없었으나, 방향별 유·출입통행량에 상당한 차이가 있었다. 따라서, 시간대별 통행량을 오전 첨두시간대(AM on-Peak : 07:00~09:00), 오전 비첨두시간대(AM off-Peak : 09:00~12:00), 오후 비첨두시간대(PM off-Peak : 14:00~15:00), 그리고 오후 첨두시간대(PM on-Peak : 17:00~19:00)로 분류하여 교통체계분석을 실시할 필요가 있었다.

ii) 연구대상 신호교차로에 대한 최적화분석(Optimization)을 통해 현황분석(Simulation)과 비교해 볼 때, 도심지구(CBD)에서는 출·퇴근시간대에 관계없이 평균지체시간(Average Delay, AD)은 약 57%정도 감소하였다. 또한, 연료소모량(Fuel Consumption, FC)은 약 55%정도 감소하였으며, 부도심지구(Non-CBD)에서도 평균지체시간과 연료소모량이 각각 약 59%, 57%정도 감소하였다. 따라서, 교차로상에서의 교통체계분석은 도심지구, 부도심지구 관계없이 실시되어야 할 필요가 있었다.

iii) 연구대상 신호교차로에 대해 특정시간대의

최적 신호체계를 다른 시간대에 대해 동일하게 적용하였을 경우, 도심지구와 부도심지구에서는 각 시간대의 최적 신호체계와 비교하여 평균지체시간(AD)과 연료소모량(FC)이 각각 약 31%, 30%정도가 증가하였다. 따라서, 고정식 신호교차로상에서의 평균지체시간과 연료소모량을 감소시키기 위해서는 각 시간대별 최적 신호체계가 구축되어야 했다.

이상의 결과를 바탕으로, 향후 부산지역 교통문제의 체계적인 연구를 위해서는 교통시설에 대한 종합적인 데이터베이스(database)가 구축되어야 하고, 또한 교통체계의 효율적인 운영을 위해서는 기존의 고정식 신호체계를 전자감응식 신호(Actuated Signal)체계로 전환함과 더불어 간선도로 중심의 신호체계 연동화(Progression) 방안을 도입하여 통합 교통관제체계가 구축되어야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

- 1) McTrans, "Study Shows TRANSYT-7F Benefits Tallahassee Motorists", Transportation Research Center, University of Florida, Vol. 10, No. 2, Dec. 1995.
- 2) W. H. Kraft, "Traffic Congestion - What Have We Learned ?", ITE Journal, pp. 24-26, Feb. 1989.
- 3) A. K. Rathi and E. B. Lieberman, "Reducing Traffic Congestion in Herald Square", ITE Journal, pp. 27-31, Sep. 1986.
- 4) ITE Technical Council Committee 4A-24, "Management of Damaging Traffic Queues(A Summary Report)", ITE Journal, pp. 37-38, Jun. 1988.
- 5) J. Z. Luh and W. G. Lothian, "Traffic Progression Assessment in Traffic Impact Studies", ITE Journal, pp. 17-21, May. 1991.
- 6) Shui-Ying Wong, "Application of TRANSYT-7F in China", ITE Journal, pp. 38-42, Aug. 1988.
- 7) Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual", Special Report 209, 1985.

- 8) McTrans, "TRANSYT-7F Software(Ver. 7.2) Users Manual", the Center, University of Florida, Dec. 1991.
- 9) James L. Pline, "Traffic Engineering Handbook 4th Edition", Institute of Transportation Engineers, 1991.
- 10) W. S. Homburger and J. H. Kell, "Fundamentals of Traffic Engineering 12th Edition", published by Univ. of California at Berkeley, Oct. 1989.
- 11) 부산직할시, '94년 차량교통량 조사결과, 12. 1994.
- 12) 부산직할시 교통관광국, 교통 및 관광통계자료, 5. 1994.
- 13) 김 태 곤, "부산지역 도시교통체계의 개선방안에 관한 연구", 한국항만학회, 6. 1994.
- 14) 부산광역시, '95년 차량교통량 조사결과, 12. 1995.
- 15) 김 태 곤, "교차로 신호체계 최적화를 이용한 소통체계 개선방안에 관한 연구", 한국해양대학교 부설 산업기술연구소, 제11집, 12. 1993.
- 16) 김 태 곤, "대도시 교통문제완화를 위한 간선도로별 신호체계의 최적설계에 관한 연구", 한국항만학회, 제8권 제2호, 12. 1994.
- 17) 오 영 태 외 1인, "도시부 신호교차로의 기본 용량 및 기하구조 보정계수", 대한교통학회지, 제10권 제2호, 8. 1992.
- 18) 안 현 철, "TSM기법을 고려한 부산지역 간선도로의 최적설계에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원, 2. 1994.
- 19) 도 철 응, 교통공학원론(상, 하), 청문각, 1. 1994.
- 20) 이 은 진, "Bus Links를 고려한 부산지역 간선도로 소통체계의 최적설계에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원, 2. 1995.
- 21) 민주자유당 정책 위원회, 부산광역시권 교통 종합대책, 4. 1995.

