

효율적인 신호교차로 운영방안 연구

황인식^{1*} · 김수성² · 오세경³

A Study on Efficient Management of Traffic Flow on Intersection

In-Sik HWANG^{1*} · Su-Sung KIM² · Se-Kyung OH³

요 약

본 연구의 목적은 교차로에서 교통류관리의 효율성을 증대시키는 것으로, 연구 결과 신호교차로에서의 교통류의 효율성을 증대시키기 위해 좌회전 진입허가 lane의 설치를 제안하였다. 연구의 범위는 진입교통신호를 기다리는 차량들이 있는 신호교차로를 선정하여 교통신호현시를 변경함에 따른 신호교차로, 방향 및 신호현시별 교통량(밀도)의 기하학적 구조를 연구하는 것이다. 현 상황과 개선 안 적용시의 방향별 교차로전체의 지체가 비교되었다. 교통분석 패키지인 TSIS(Traffic Software Integrated System)를 사용하여 교차로 교통상황이 분석되었다. 도입가능한 실제 교차로를 조사하여 마산시 석전교차로를 대상으로 시뮬레이션한 결과 비보호로 진입한 방향에서는 지체가 78.6초/대 향상되었으며, 지체가 증가할 것으로 예상되는 방향에서는 4초/대의 증가로 큰 영향을 주지않았다. 즉, 교차로 전체의 대기시간이 개선되었다고 확인할 수 있었다.

주요어 : 신호교차로, 비보호좌회전, 대기시간, 진입허가 lane, 교통신호

ABSTRACT

This study was intended to increase efficiency of traffic flow management on intersection. The result suggested to establish a left-turn at own risk lane to increase efficiency of traffic flow on intersection. The scope of the research was to investigate the geometric structure of a signal-controlled intersection, traffic volume(density) with respect to directions and traffic signal display, and to select a signalling intersection into which a car waiting for a traffic signal enters by adjusting the display sequence of traffic signal. The delay with respect to directions and for the whole intersection was compared for the current situation and an improvement plan. Using TSIS, a traffic analysis package, the traffic situation on an

2009년 5월 28일 접수 Received on May 28, 2009 / 2009년 8월 4일 수정 Revised on August 4, 2009 / 2009년 9월 2일 심사 완료 Accepted on September 2, 2009

1 우신기술단 부사장 Vice President, Traffic Planning Div. WOOSHIN Engineering & Consultant

2 경남발전연구원 환경교통연구실 전문연구원 Researcher, Environment · Transportation Ministry, GyeongNam Development Institute

3 동아대학교 도시계획조경학부 부교수 Professor, Department of Urban Planning, Dong-A University

* 연락처 E-Mail : hinsik64@hanmail.net

intersection was investigated. Based on the simulation result for Seok-Jeon intersection in Ma-San selected from the field investigation of intersections to which an improvement plans would be applicable, the waiting time in the direction without a entering traffic signal was decreased to be 78.6 seconds per car and that of the direction expecting the increase of waiting time was increased by 4 seconds per car only. It was confirmed that the waiting time for the whole intersection was improved.

KEYWORDS : *Signal-Controlled Intersection, Perm Left Turn, Wait Time, Own Risk Lane, Traffic Signal*

서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 신호교차로에서는 교차로 진입 교통류에 녹색현시를 부여하여, 직진 및 보호 좌회전, 대향직진의 차량간격을 이용하여 좌회전하는 비보호좌회전, 좌회전을 하지 못하게 하는 좌회전 금지의 형태로 좌회전 교통류를 처리하고 있다. 외국에서는 교통량이 적은 교차로에 비보호좌회전을 일반적으로 사용하고 있으나 우리나라에서는 일부 지역에 한정적으로 사용하고 있다. 또한 우리나라 신호교차로 중에서 일부는 비보호좌회전 형태로 좌회전 교

통류를 처리하면 교통소통 능력을 상당히 향상시킬 수 있는데도 불구하고 안전상의 문제와 관계자의 인식부족으로 신호교차로를 효율적으로 운영하지 못하고 있는 곳이 많은 실정이며, 교차로에서 시야가 확보되어 대향차로에서 진입할 차량이 없음을 알면서도, 적색신호현시로 인해 진입을 대기하는 경우가 많다. 그러나 교차로 상에 랜덤하게 도착하는 차량들의 도착분포를 일률적인 신호현시로서 운영하게 되면, 시간가치의 중요성, 에너지 이용 및 환경부하 등의 측면에서 비효율적인 것으로 사료된다.

현재 서울시의 경우 3,100여개의 교차로 중 70% 정도가 좌회전이 허용되고 있는데, 좌회전 수요가 많지 않은 교차로의 경우 신호주기가 길어지고 교통체증을 유발한다는 지적을

연구의 개요	
문제 제기	<ul style="list-style-type: none"> ◦연구배경 및 목적 ◦연구방법 및 범위
기존연구 고찰 및 사례연구	
기존연구의 고찰 및 사례	<ul style="list-style-type: none"> ◦비보호좌회전에 관한 기존문헌 고찰 ◦신호교차로 내 진입허가 lane의 설치 사례
분석방법 및 분석결과	
효과분석	<ul style="list-style-type: none"> ◦신호교차로 내 진입허가 lane의 효과 분석방법 ◦신호교차로 내 진입허가 lane의 효과 분석결과
신호교차로 내 진입허가 lane의 도입검토	
도입검토	<ul style="list-style-type: none"> ◦신호교차로 내 진입허가 lane의 목적 ◦신호교차로 내 진입허가 lane의 도입방향
정책적 제언 및 향후 추진사항	
결론	<ul style="list-style-type: none"> ◦정책적 제언 ◦향후 추진사항

FIGURE 1. 연구 흐름도

받고 있으며, 신호대기 차량의 공회전으로 대기오염 문제까지 발생하고 있다. 이 문제를 해결하는 대안으로서 서울시에서는 시내에 비보호 좌회전을 늘이는 방안이 연구되고 있다.

지금까지 국내·외에서 비보호좌회전에 관한 연구는 많이 있었으나 신호교차로에서 신호현시 개선을 통한 연구는 거의 없었다. 그리고 신호현시를 통한 교차로 운영효율을 향상시키는 방안은 현재 차량검지기를 통해 교차로 진입을 통제하는 시스템의 개발과 함께 연구가 가능할 것으로 생각된다. 이러한 필요성에 근거하여 본 연구에서는 신호교차로의 운영효율을 향상시키기 위해 비보호진입을 허가하는 방안을 모색해 보고자 한다.

2. 연구방법 및 범위

본 연구의 범위는 마산·창원시내의 주요 신호교차로를 대상으로 교차로의 기하구조, 방향별 교통량, 신호현시를 조사한 후, 신호교차로에서 부여되는 신호현시 순서를 조정하여 신호대기 차량이 교차로 내부로 진입 가능한 신호교차로를 선별하였다. 진입이 허가된 차량이 대향차로의 교통량이 없을 경우 비보호 진입하였을 때, 교차로 접근로의 방향별 지체도와 교차로 전체 지체도를 개선전·개선후로 구분하여 비교하기 위해 이러한 시뮬레이션 구현이 가능한 교통패키지 TSIS(Traffic Software Integrated System)를 통해 신호교차로의 소통상황을 분석하였다.

대상 교차로는 지방부 신호교차로를 대상으로 하였으며, 사전현장조사를 통해 방향별 교통량을 직접조사 하였으며, 그 결과에 따라 적용 가능한 선별된 신호교차로를 대상으로 하였다.

기존연구 고찰 및 사례연구

1. 비보호좌회전에 관한 기존문헌 고찰

우리나라의 교통안전시설실무편람에서는 교차하는 도로의 기하구조와 교통량은 언급하지 않고 해당도로의 대향직진 교통량과 비보호좌회전을 시행하는 교통량과의 관계를 현장에서

여러 차례 반복 조사하여 표 1과 같은 비보호 좌회전 시행기준을 제시하고 있다. Cottrell은 교통량에 따른 좌회전 통제방식의 시행기준으로 식(1)에 의한 교통량의 곱으로 제시하고 있다.

$$\frac{LTOV}{NL} = LT \times \left(\frac{OV}{NL} \right) \quad (1)$$

$\frac{LTOV}{NL}$: 교통량의 곱
 LT : 좌회전교통량
 $\frac{OV}{NL}$: 차로당 대향교통량

TABLE 1. 비보호좌회전 기준표

직진 교통량	좌회전교통량(시간당 교통량)		
	2차로도로	3차로도로	4차로도로
400	260	300	320
500	210	250	270
600	160	210	230
700	120	180	200
800	90	150	170
900		120	140
1,000		110	120
1,100		90	110
1,200		70	100
1,300		60	80
1,400		50	70
1,500			60
1,600			50
1,700			50
1,800			40

자료 : 경찰청. 교통안전시설실무편람. 2000.

그 결과로 차로당 교통량의 곱이 200,000대/시 이상이면 보호좌회전 현시를 사용할 것을 제안하였고, 50,000대/시 이하이면 비보호좌회전 현시의 사용을 제안하였는데 그림 2에서 보는바와 같다.

Kentucky주에서 실시된 좌회전시행기준안의 설정을 위해 Nikiforos Stamatiadis는 주에 있는 408개 접근로에서 발생한 사고 자료와 교통량을 바탕으로 여러 개소의 교차로를 시뮬레이션하여 좌회전 시행기준을 제시하였다.

그 중에서 교통량의 곱과 지체에 의한 기준을 보면 그림 3과 같이 「비보호좌회전<보호/비보호좌회전<보호좌회전」의 순으로 지체가

크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

그 외에도 국내에서 김은식, 노희철, 도철웅, 조범원, 국외에서는 Agent, Upchurch 등의 연구에서 비보호좌회전의 시행기준을 제시한 바는 있지만, 본 연구에서처럼 신호교차로의 신호현시를 조정하여 교차로 내 진입허가 차로를 설치하여 비보호 진입시키는 방안과는 전혀 다른 것으로 판단된다.

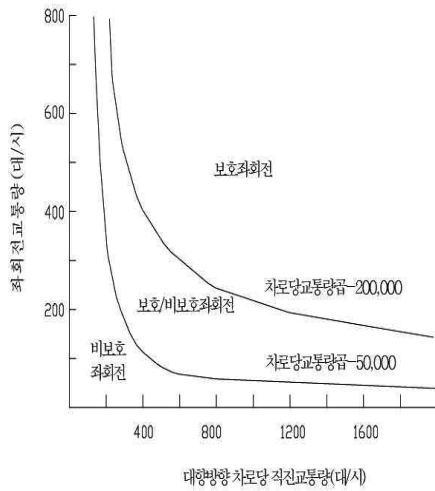


FIGURE 2. Cottrell의 좌회전현시 시행기준

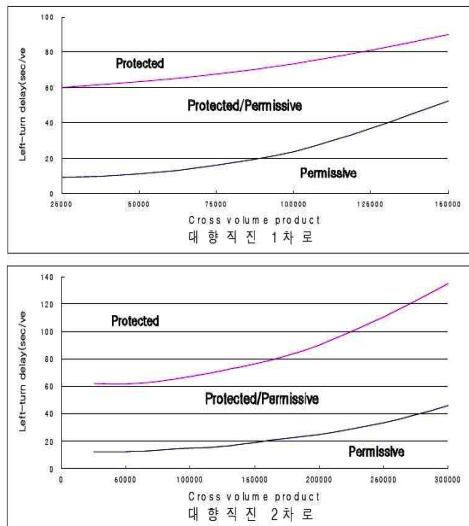


FIGURE 3. Nikiforos의 좌회전 시행기준

2. 신호교차로 내 진입허가 lane의 개요 및 설치 사례연구

1) 신호교차로 내 진입허가 lane의 개요

본 연구에서 제안하는 신호교차로 내 진입허가 lane의 정의는 그림 4와 같이 대향차로의 통행을 방해하지 않는 범위 내에서 신속한 교차로 통과를 유도하고 교차로 용량을 증대시키기 위한 방안의 하나로서, “교차로 내부로 차량 진입허가를 유도하기 위한 전용차로”를 말한다. 이 경우, 교차로를 통과하는 차량은 교차로 내 진입허가 lane에 의해 안전하고 신속하게 유도가 가능하여 차량간 추돌사고를 방지하는 효과를 가진다. 신호교차로 내 진입허가 lane의 설치는 교차로로 접근하는 차로 중 좌회전 전용차로가 있는 곳에서 대향차로 간의 시야가 확보되어 진입차량 유무를 멀리까지 확인 가능한 교차로에 설치가 가능하며, 그림 4와 같이 좌회전 포켓이 설치된 교차로 또한 적용이 가능하다.

그림 4의 경우는 좌회전 진입허가를 주는 경우를 그림으로 나타낸 것이고, 회전현시 후 다음 신호가 직진인 경우, 좌회전 교통량이 없는 경우에 직진차량에 대해 진입허가를 하는 경우에도 설치가 가능하다

이처럼 신호교차로에서 접근하는 대향차로의 접근차량 유무에 따라 좌회전 혹은 직진진입허가를 할 경우, 교차로에서 지체시간의 단축효과를 기대할 수 있어 효율적 운영이 기대된다.

신호대기 상태의 대기차량이 교차로 내 진입허가 lane으로 진입할 경우 대기차량군의 신속한 소통을 유도하여, 교차로의 소통 상태를 원활하게 할 뿐만 아니라, 좌회전 진입허가 lane의 경우에는 회전교통류의 차량 궤적을 안전하게 유도하여 추돌사고 등으로부터 안정성을 확보할 수 있다.

만약, 그림 4와 같은 경우라면, 차량이 7대가 좌회전 신호대기를 할 경우, 좌회전 포

켓을 넘어서게 되어, 직진차로의 진행을 방해하게 된다. 하지만, 대향직진차량의 흐름에 방해가 되지 않는 범위에서 교차로 내 좌회전 전용 진입허가 lane에 의해 진입허가가 이루어지면, 그림과 같이 2대의 차량이 교차로 내부로 진입되면서, 동일한 접근로 직진차로의 진행이 원활해질 수 있다.

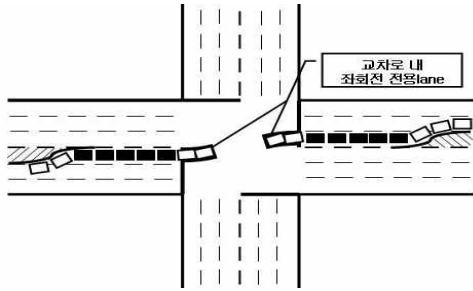


FIGURE 4. 교차로 내 좌회전 전용lane의 개요

2) 신호교차로 내 진입허가 lane 설치의 사례연구

그림 5는 일본의 사례로서 평면교차에 양방향으로 설치된 교차로내 우회전 전용lane은 좌회전 대기에 관련한 추돌사고 방지에 큰 효과가 있다.

또한, 일본에서는 피크시 교차로의 원활한 소통을 위해 교차로 내 우회전 전용lane을 운영하고 있는데, 아래 그림 6은 일본 大阪에서 현장조사 한 자료로서, 동그라미로 표

시된 차량이 교차로 중앙부분까지 진입하여 신호를 대기하고 있다. 다른 진입차량의 통행에 영향을 미치지 않고 있음을 사진을 통해 알 수 있다.

그림 7과 같은 교차로 내 진입허가 lane을 설치할 경우, 일본에서 제시하고 있는 교차로 조건과 효과 및 문제점은 다음과 같다.

- 교차로 조건
 1. 대향 직진차가 많아 신호조작 없이 진행이 불가능한 경우
 2. 우회전이 많은 경우(일본의 우회전은 국내의 좌회전과 동일)
- 효과/문제점
 1. 우회전 차량의 정체에 의한 무리한 운전으로 발생하는 사고방지에 유효함
 2. 시야가 나빠서 발생하는 사고의 방지효과를 줄어듦

그 외 교차로에 설치된 우회전 전용lane의 설치 사례는 아래의 그림과 같다.

진입허가 lane설치 효과분석

1. 신호교차로 내 진입허가 lane의 효과 분석방법

신호교차로 내 진입허가 lane 설치의 효과 분석을 위해, 마산, 창원시의 주요교차로를 대상으로 현장조사를 실시한 하였다. 그 결과 도

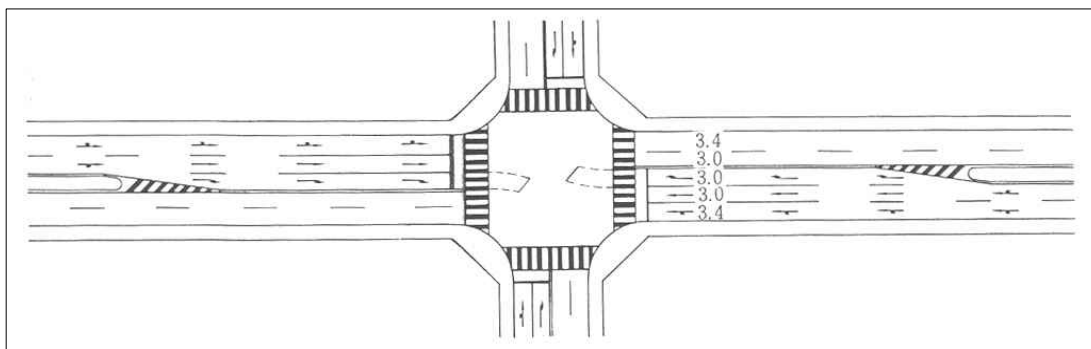


FIGURE 5. 일본 교차로 내 우회전 전용lane 설치 예



FIGURE 6. 일본의 교차로 내 우회전 전용lane에서 신호대기 차량

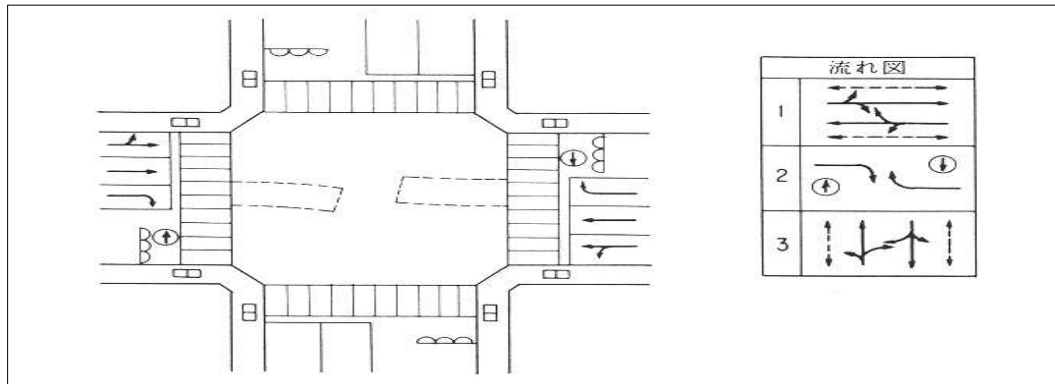


FIGURE 7. 일본의 교차로 내 우회전 전용lane의 현시

입 가능한 교차로가 상당수 존재함을 알 수 있었으나, 만약 예비실험을 하게 된다면, 안전에 대한 문제가 제기되므로 도입 가능한 교차로 중 보다 안전한 교차로를 선택했다.

그 결과 본 연구에 적용된 마산시 석전교차로는 그림 9의 과정을 통해 개선효과가 있을 것으로 판단되고, 안전에 대한 문제를 최소화

시킬 수 있을 것으로 판단되어 교통분석 패키지인 TSIS를 이용하여 분석을 실시해 보았다.

효과분석 방법은 현 상태의 신호현시 조건을 기준으로 신호현시를 변경한 경우, 현시 변경 후 진입허가lane을 적용한 경우로 구분하여 이동시간, 지체시간, 속도

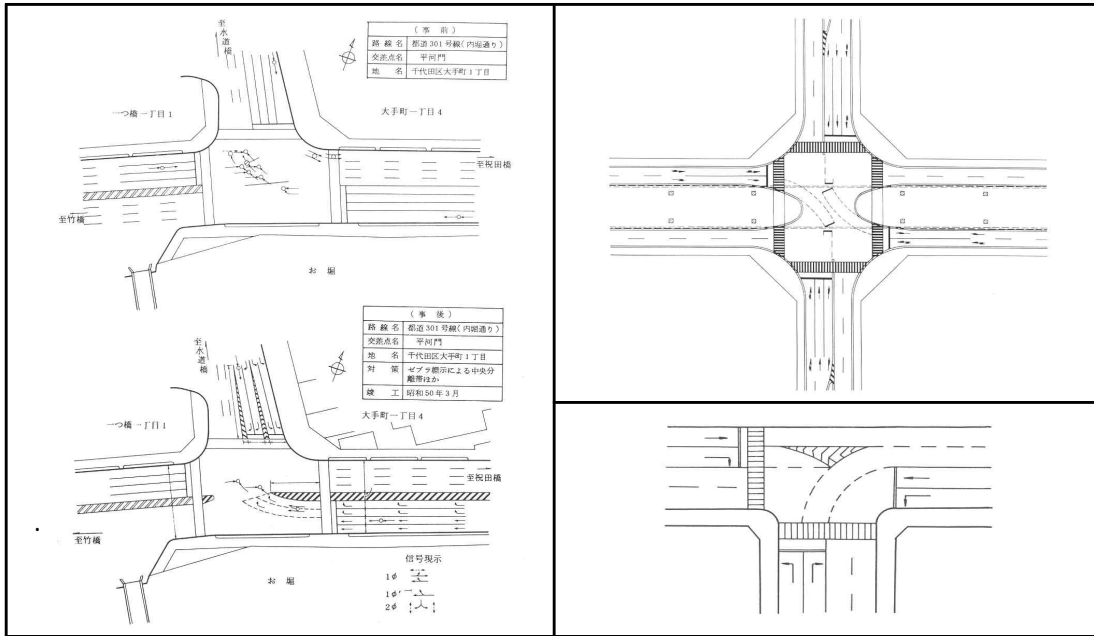


FIGURE 8. 교차로 내 안전성을 고려한 일본의 우회전 전용lane

를 교차로의 접근로별로 비교·분석하는 방법으로 한다.

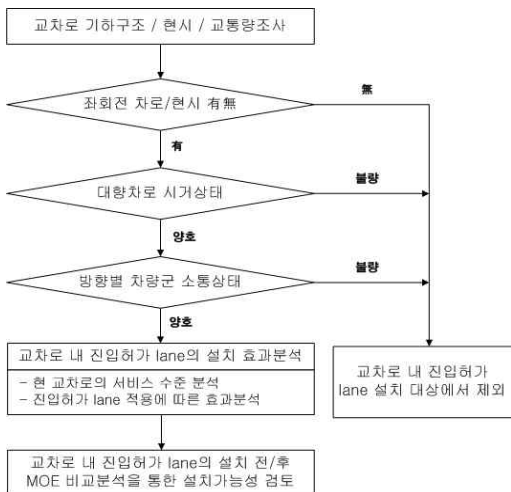


FIGURE 9. 교차로 내 진입허가 lane의 효과 분석 흐름도

표 2와 같이 신호현시를 바꾼 이유는 개선 전 2현시의 서비스시간 동안 통과차량이 많지

않으며, 개선전 1현시에 좌회전하는 교통량이 많아 황색시간 내에 교차로를 통과하지 못하고 딜레마 구간이 생기는 현상이 다수 발생하여 2현시때 대기하던 차량들이 교차로로 진입할 때 어느 정도의 지체되는 문제가 발생하고 있었다. 이에 개선전 1현시에 좌회전하는 차량들의 신속한 소통을 위해 개선전 2현시의 서비스시간 동안 통과차량이 없으면, 비보호로 진입을 가능하도록 신호현시를 부여하였다. 개선전 1현시 대기차량이 비보호로 진입할 때 상충되는 차로는 대향차로의 관계에 있어 시야가 확보되어 대향차로의 차량이 진입하는 여부를 확인할 수 있었다.

따라서, 현시의 순서를 바꾸어 비보호 진입을 허가하면, 교차로로 접근하는 차량들의 방향별로 미치는 지체의 정도가 다를 것으로 판단된다. 즉, 어느 정도의 지체가 감소할 것으로 사료되며, 개선전 3현시와 같이 좌회전 대기차량의 지체는 어느 정도 증가될 것인가에 대해 검토해 보고자 한다. 교차로 효과분석의 기준

으로는 교차로 전체 평균이동시간, 평균지체시간, 평균 총 소요시간, 평균통행속도의 변화를 신호현시의 개선 전·후의 비교와 개선 후 진입허가를 허용한 경우로 나누어 비교하며, 교차로 접근로별 평균이동시간, 평균지체시간, 평균 총 소요시간을 같은 방법으로 분석한다.

2. 신호교차로 내 진입허가 lane의 효과 분석결과

신호교차로 진입허가 lane의 효과 분석결과

는 그림 11 신호교차로 내 진입허가 lane의 적용 전·후와 표 3 접근로별 지체도 증감변화에서 분석 결과를 제시하였다.

소수차량에 의한 교차로 전체의 개선효과는 그다지 크지 않지만 평균이동시간, 평균지체시간, 평균 총 소요시간, 평균통행속도 모두에서 개선이 되고 있음을 확인할 수 있으며, 24시간 전체로 확대할 경우 개선효과는 상당할 것으로 사료된다.

석전교차로로 접근하는 주요 접근로별 지체도 비교에서 가장 변화가 클 것으로 판단되는



FIGURE 10. 마산 석전교차로 위치도

TABLE 2. 마산 석전교차로 신호현시

마산 석전교차로 신호현시		1현시	2현시	3현시	4현시	신호주기
	개선 전 현시	 35(4)초	 12(4)초	 12(4)초	 75(4)초	
	현시 조정 후	 12(4)초	 35(4)초	 12(4)초	 75(4)초	

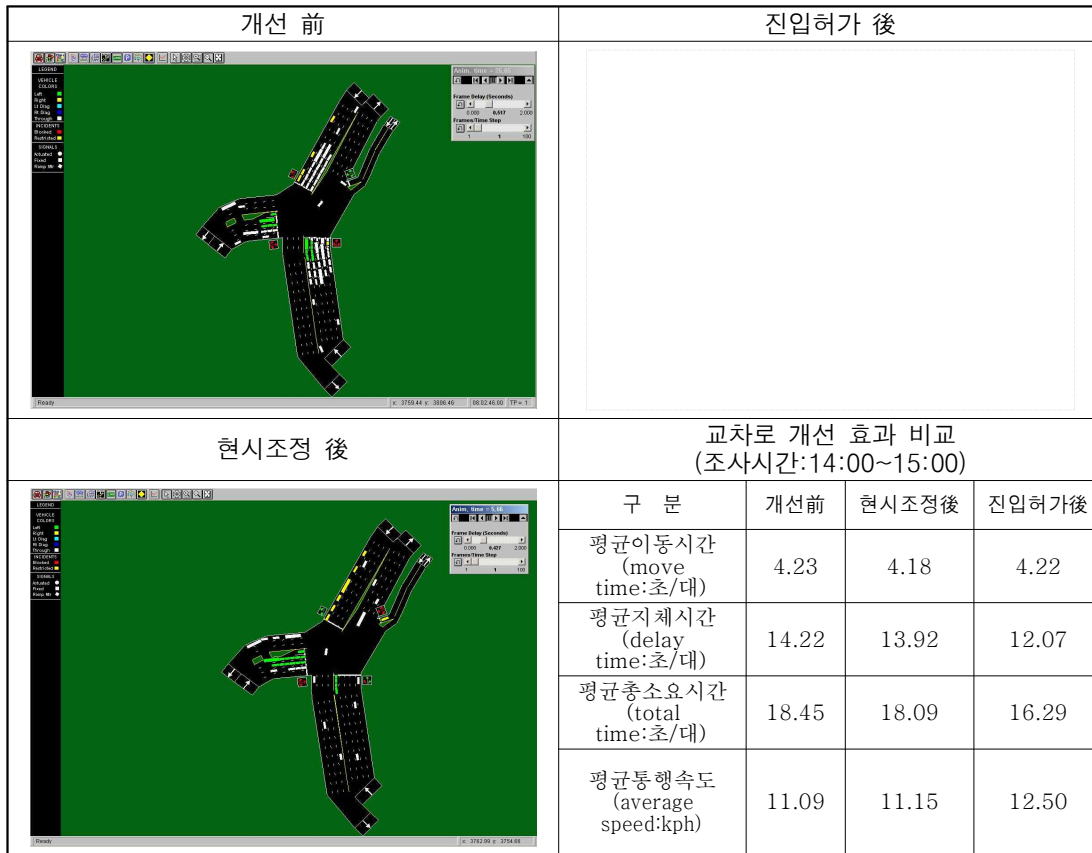


FIGURE 11. 신호교차로 내 진입허가 lane의 적용 전·후

TABLE 3. 접근로별 지체도 증감변화

구 분		방향별 검토조건	평균 이동시간 (move time:초/대)	평균 지체시간 (delay time:초/대)	평균 총 소요시간 (total time:초/대)		
통행방향	교통량						
	1→8	864	8→2	개선 前 현시	16.1	252.1	268.2
	1→3	1,320		현시조정 後	14.7	244.6	259.3
	1→5	0		진입허가 後	16.0	173.5	189.5
	5→1	48	5→2	개선 前 현시	1.0	10.5	11.5
	5→8	16		현시조정 後	1.1	13.9	15.0
	5→3	16		진입허가 後	1.1	14.5	15.6
	3→5	240	1→2	개선 前 현시	54.6	153.2	207.8
	3→1	1200		현시조정 後	55.3	169.4	224.7
	3→8	264		진입허가 後	55.3	151.2	206.5
	8→3	144	3→2	개선 前 현시	15.8	228.2	244.1
	8→5	216		현시조정 後	15.7	215.4	231.2
	8→1	840		진입허가 後	15.3	216.3	231.6

「8→2」, 「5→2」의 증감변화를 보면, 「8→2」로 접근하는 방향에서는 평균지체시간이 252.1초/대에서 173.5초/대로 78.6초/대나 감소하고 있음을 확인할 수 있었다. 반대로, 지체도가 증가할 것으로 예상되는 「5→2」의 방향에서는 10.5초/대에서 14.5초/대로 4.0초/대로 지체도가 조금 증가되었으나 교통량이 적은 관계로 교차로 상에 미치는 영향은 미미한 수준으로 판단된다.

신호교차로 내 진입허가 lane의 도입 검토

신호교차로 내 진입허가 lane의 도입시, 신호교차로에서 방향별로 교통량이 많아 주어진 신호에 모든 차량이 통과하지 못하고 신호를 2회 이상 기다리게 된다면, 비보호 진입을 허가하는 lane을 도입하기에 무리가 있을 것으로 판단된다.

그러나, 신호교차로 내 진입허가 lane의 도입 목적은 시간대별로 교통량의 변화가 다를 경우나, 방향별로 교통량이 일정하지 않을 때,

교차로를 통과하는 차량이 없음에도 불구하고 신호를 대기하는 경우, 혹은 차량들이 모두 통과했지만, 신호가 바뀌지 않아서 신호를 대기해야하는 상황을 보다 효율적으로 운영하고자 하는데 있다.

조사한 바로는 이와 같이 교차로를 개선할 수 있는 곳이 상당수 있었으며, 개선시키게 되면 상당한 효과를 거둘 것으로 판단되어진다.

그림 12는 좌회전 전용차로가 있는 교차로에서 좌회전 대기차량군의 통과시간을 조사한 그림이다. 교차로에서 좌회전 대기차량이 적을 경우 2~3대 미만으로 조사되었지만, 실제 서비스시간은 황색시간을 포함하여 대체로 15~30초 사이로 설정되어 있는 것으로 조사되었다. 이러한 경우 좌회전 통과차량이 없지만, 대향직진 차량들은 약 15초 이내의 불필요한 신호대기를 하게 되는 경우가 빈번히 발생하며 이 경우 신호를 무시하고 통과하는 위반차량이 다수 발생한다.

따라서, 이러한 문제점을 개선하는 신호시스템의 도입이 필요한 것으로 사료된다. 그러나, 신호교차로 내 진입허가 lane의 도입을 위해 일정한 기준을 제시하기란 상당히 곤란할 것

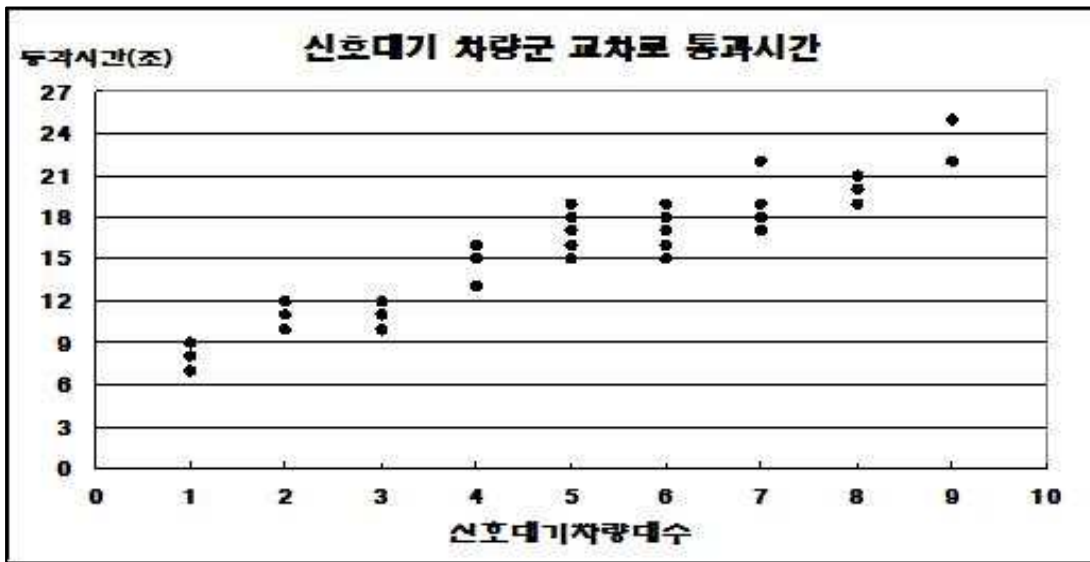


FIGURE 12. 신호대기 차량군 교차로 통과시간

으로 판단된다. 왜냐하면, 각 교차로마다 방향별 교통량뿐만 아니라, 교차로의 기하구조 및 방향별 시거 확보 정도가 충분히 고려되어야 하기 때문이다.

따라서, 신호교차로 내 진입허가 lane의 도입은 현장에서 충분한 검토를 한 뒤, 도입 여부를 판단해야 할 것으로 사료된다. 그리고 지속적인 모니터링을 통해서 변화에 민감하게 대처해야 할 것을 사료된다.

결 론

본 연구는 대향차로의 교통량이 적거나, 주어진 신호시간 동안 차량이 통과하고 더 이상 통과할 차량이 없을 때, 다음 신호의 대기차량이 비보호 진입을 할 수 있도록 하는 신호교차로 내 진입허가 lane의 설치를 제안하는 것이다.

도입 가능한 실제 교차로를 조사하여, 마산시 석전교차로를 대상으로 교통분석패키지 TSIS를 이용하여 시뮬레이션을 한 결과, 비보호로 진입한 방향에서는 지체가 78.6초/대 향상되었다. 반대로 지체가 증가할 것으로 예상되는 방향에서는 불과 4초/대 증가에 지나지 않아 교차로 전체의 효과에서도 개선되고 있음을 확인할 수 있었다.

추후연구 과제로는 본 연구에서 제시되지 않은, 감지기를 통해 별도의 진입허가 신호를 부여하는 감응식 신호시스템과의 비교분석이 필요할 것이다. 또한, 대향차로에서 비보호 진입을 하게 되면, 교차로에서 이격된 차량이 주어진 신호에 급히 통과하기 위해 가속하는 경우가 있으며, 이 경우 추돌사고가 발생하기도 한다. 대향차로의 시거가 확보된 곳에서 차량 진입이 확인된다면, 이러한 차량들이 가속하지 않을 것으로 사료된다. 이처럼 신호교차로 현시 변화에 대한 안전사고와의 관계에 대해서도 검토가 이루어진다면, 사고율 감소에도 도움이 될 것으로 기대된다. **KAGIS**

참고 문헌

- 건설교통부. 2001. 도로용량편람.
- 건설교통부. 2000. 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침.
- 김동녕, 최종윤. 2003. 교차도로 교통량을 고려한 비보호좌회전 신호체계의 적용기준. 대한교통학회지 21(4):67-77.
- 김석근, 이용재. 2002. 비신호 교차로의 운영특성 분석과 개선에 관한 연구. 중앙대학교 건설환경연구소 건설환경논문집 13(1):15-27.
- 김은식. 1998. 비보호좌회전 설치기준에 관한 연구. 명지대학교 석사학위논문.
- 김진태. 2003. 비보호 좌회전 지체도 추정모형의 개선. 대한교통학회 21(2):107-118.
- 경찰청. 2000. 교통안전시설 실무편람.
- 도철웅. 1999. 교통공학원론(상). 청문각.
- 도로교통안전관리공단. 1993. 신호교차로에서 좌회전금지 효율성평가 모형개발.
- 도로교통안전관리공단. 1989. 비보호좌회전현시의 기준설정 및 좌회전현시운용의 효과평가.
- 도로교통안전관리공단. 1997. 전자교통신호체계에 관한 연구.
- 도철웅. 2000. 좌회전 전용차로에서의 비보호좌회전 용량. 대한토목학회 논문집 D 20(1):49-56.
- 황인식, 오세경. 2007. 효율적인 신호교차로 운영방안에 관한 연구. 동아대학교 건설기술연구소 31(1):17-26.
- Benjamin, H. Cottrell, Jr. 1986. Guidelines for Protected/Permissive Left-Turn Phasing. TRR 1069.
- Jonathan E. Upchurch. 1986. Guidelines for Protected/Permissive Left-Turn Phasing. TRR 1039.
- Nikiforos Stamatiadis, Kenneth R. Agent, and Apostolos Bizakis. 1997. Guidelines for Left-Turn Phasing Treatment. TRR 1605.
- 社団法人 日本交通工學研究會. 1998. 平面交差の計劃と設計 -基礎編-.
- 社団法人 日本交通工學研究會. 1983. 交通信号の制御技術.
- 社団法人 日本交通工學研究會. 1994. 交通信号の手引. **KAGIS**